

宇宙航空研究開発機構特別資料

JAXA Special Publication

宇宙にかける「きぼう」

# 国際宇宙ステーション計画参加活動史

2011年2月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

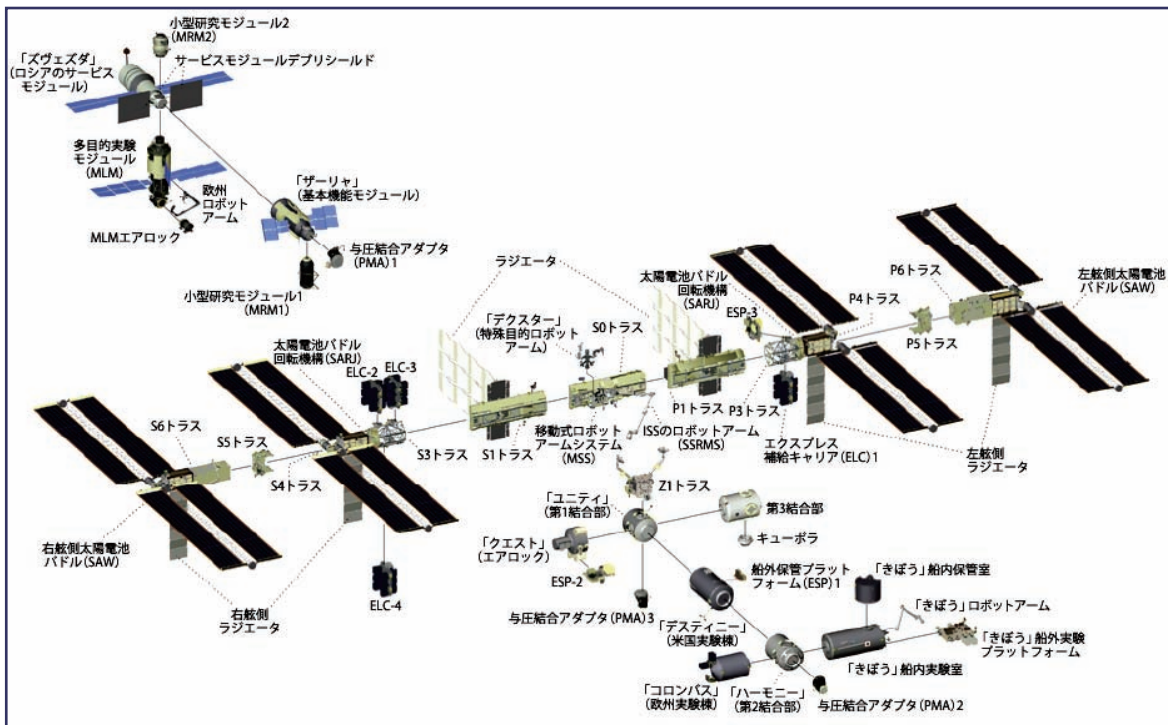
国際宇宙ステーション (ISS) を離脱直後のアトランティス号 (STS-129) から見た  
「雲に覆われた地球」を背景にした ISS (2009 年 11 月 25 日撮影: NASA 提供)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/shuttle/sts-129/html/s129e009243.html>



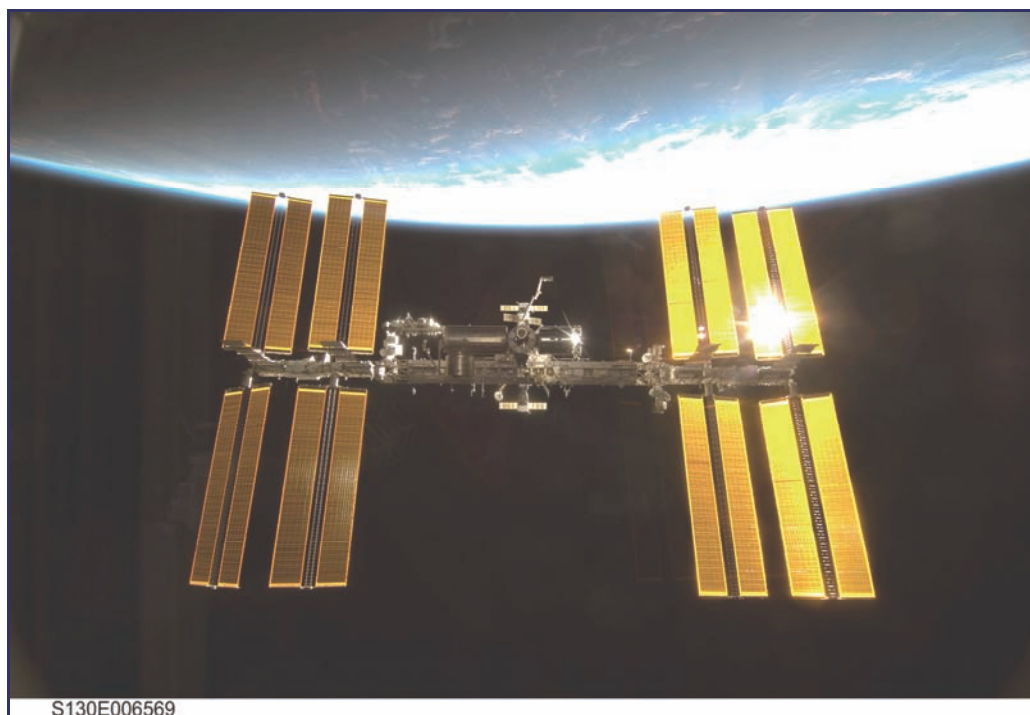
国際宇宙ステーション (ISS) の完成形態 (JAXA/NASA 提供)  
(2006 年 3 月 2 日開催の宇宙機関長会議 (HOA) における NASA 提示資料に基づく)

<http://iss.jaxa.jp/iss/about/config/>



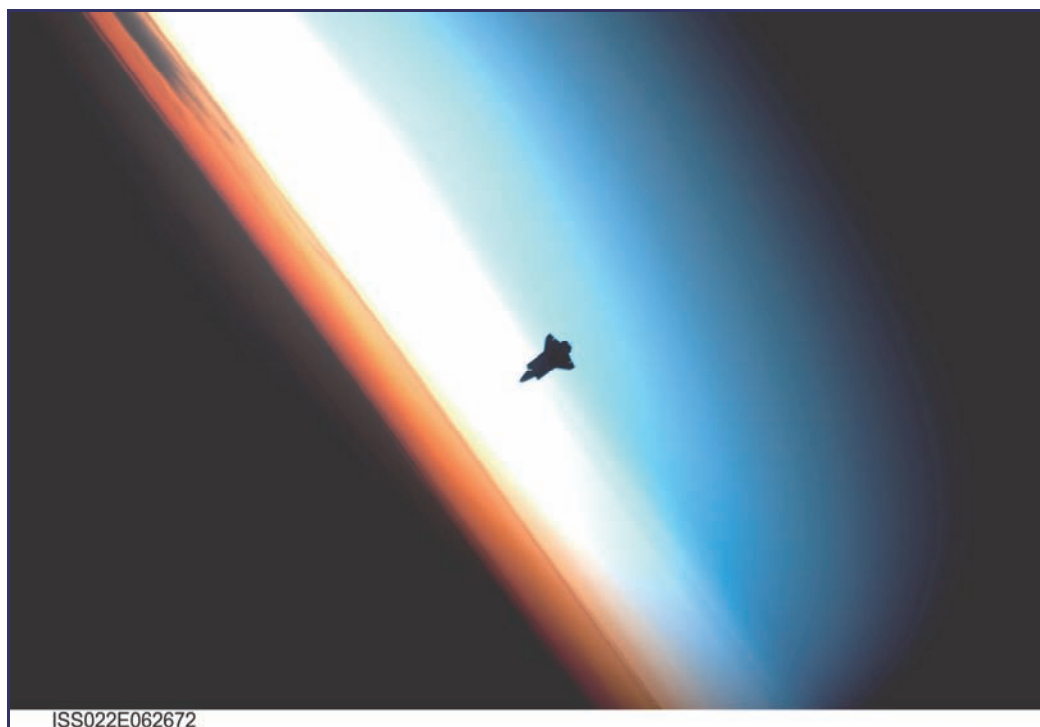
国際宇宙ステーション (ISS) へのランデブドッキング動作に入ったエンデバー号 (STS-130) から撮影した「太陽光で輝く地球の水平線」と「暗黒の宇宙空間」を背景にした ISS (2010 年 2 月 9 日撮影: NASA 提供)  
(STS-130 は「第 3 結合部 (Tranquility)」と「キューポラ (Cupola)」を ISS に輸送)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/shuttle/sts-130/html/s130e006569.html>



国際宇宙ステーション (ISS) から撮影したエンデバー号 (STS-130) (ISS へのランデブドッキング動作に入っている「エンデバー号のシルエット」と「太陽光で輝く地球の水平線と大気層」) (2010 年 2 月 9 日撮影: NASA 提供)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/shuttle/sts-130/html/iss022e062672.html>



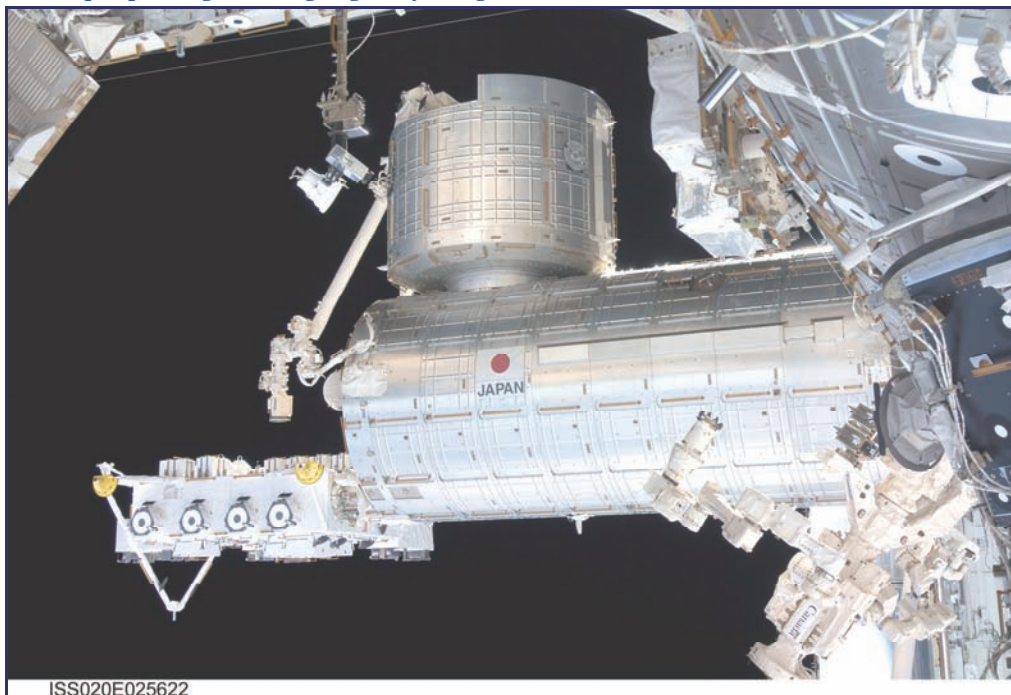
「地球の水平線」と「暗黒の宇宙空間」を背景にした日本の JEM(きぼう)  
(船内実験室、保管庫、船外実験プラットフォームと搭載の実験装置及び衛星間通信装置が映し出されている)  
国際宇宙ステーション(ISS)にアトランティス号(STS-132)がドッキングしている期間に ISS の搭乗員が撮影  
(2010年5月23日撮影:NASA 提供)

<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/shuttle/sts-132/html/iss023e051106.html>



日本の JEM(きぼう)の全容 (エンデバー号(STS-127)がドッキング中の ISS から撮影)  
(船内実験室、保管庫、船外実験プラットフォーム、「きぼう」ロボットアーム) (2009年6月26日撮影:NASA 提供)

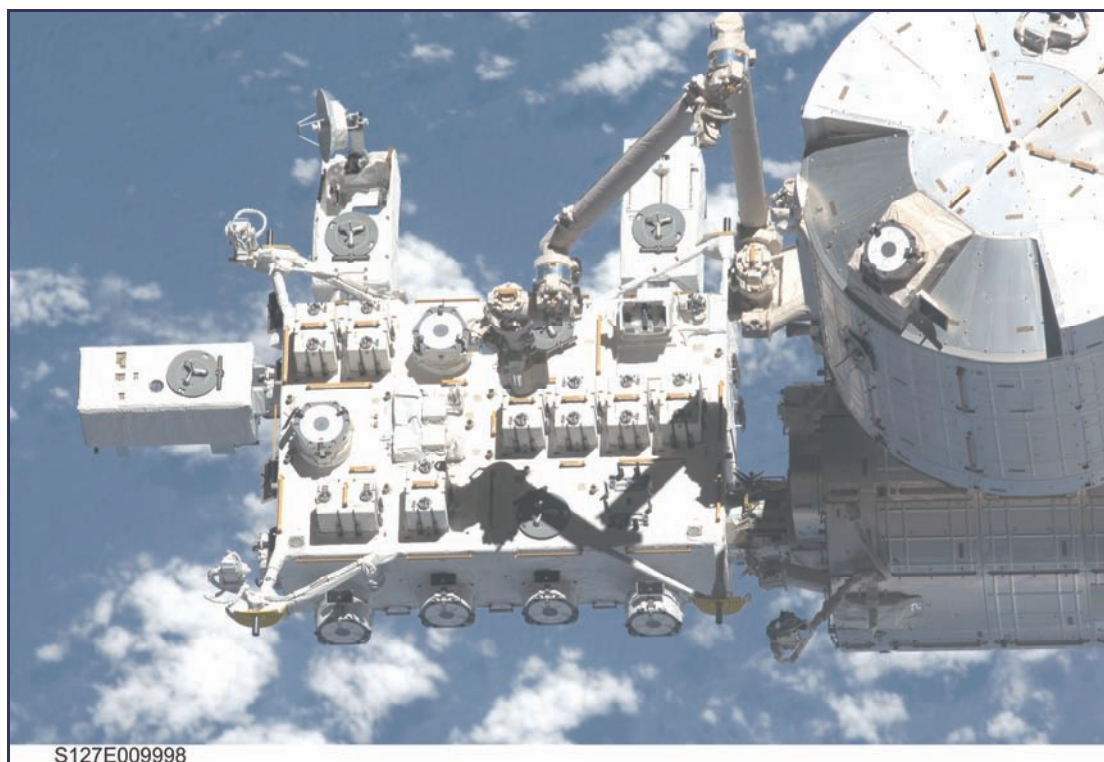
<http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-20/html/iss020e025622.html>



日本の JEM(きぼう) 船外実験プラットフォームの全容 (ISS から分離直後のエンデバー号(STS-127)から撮影)  
(実験装置(MAXI、SEDA-AP)、衛星間通信装置、ロボットアームの搭載状況)

(2009 年 7 月 29 日撮影 JAXA/NASA 提供)

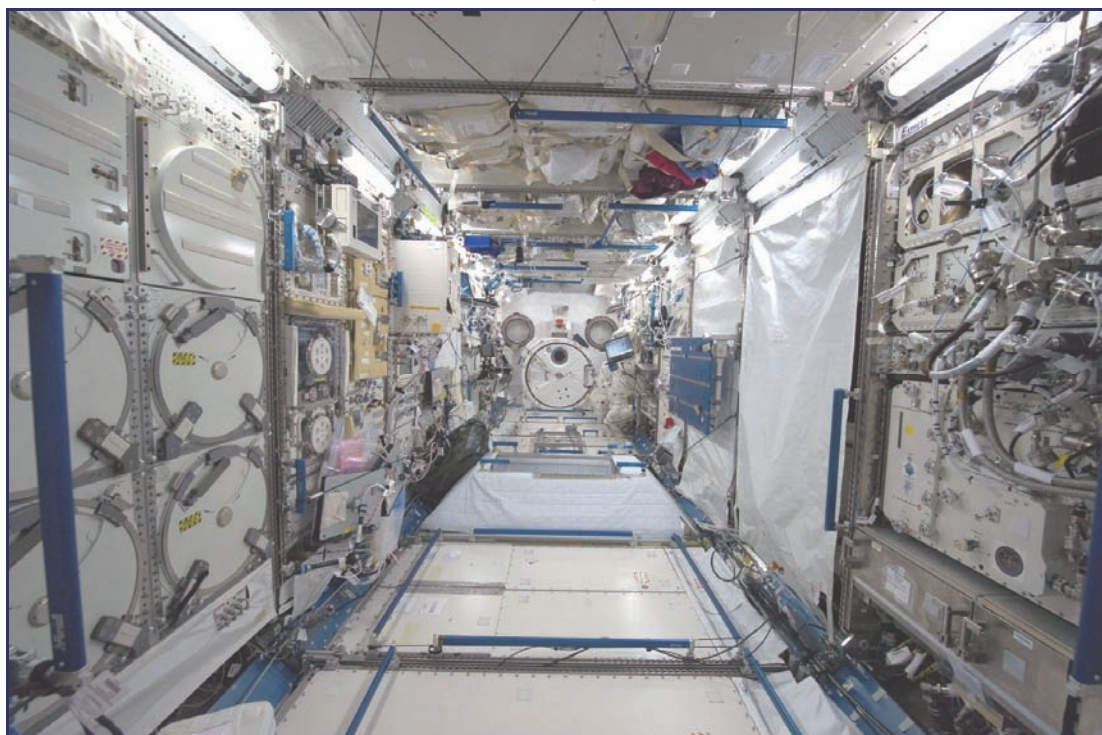
<http://iss.jaxa.jp/library/photo/s127e009998.php>



S127E009998

日本の JEM(きぼう)の船内実験室の内部の様子 (野口宇宙飛行士が ISS に長期滞在中に撮影)

(2010 年 5 月 24 日撮影:JAXA/NASA 提供)



## 巻頭言

科学技術の進歩は、20 世紀後半からその速度を早め、その推進にはあらゆる分野の科学技術の知識の集約が不可欠となった。その結果、規模が巨大化し、国際協力を中核にした大型プロジェクトの時代になった。ここで取上げる国際宇宙ステーションは正にその代表例の一つと云うことが出来る。

この国際宇宙ステーション計画に参画した我が国は、日本の実験モジュール“きぼう”を国際宇宙ステーションの一部として提供し、国際協同プロジェクトを推進してきた。開始以来 25 年の歳月を経て、“きぼう”が稼働に入ったのは 2009 年である。それまでに、“きぼう”開発に関わった人達の数は膨大になると思われる。

私は文部省(現文部科学省)における共同利用研究施設に長らく関わって来た一化学者である。しかし、その規模は国際宇宙ステーションの千分の一にも満たない研究組織の中で生きて来た。その私が本書のような資料の編纂と云う身の丈を知らない提案をしたのは、宇宙を全く知らない者が、「宇宙利用」の分野に飛び込んで本計画に命をかけた人々の話を聴いて、「熱気に満ちた国際宇宙ステーション建設の思い」を、完成を見た今生の声で残しておいて戴ければ、近い将来編纂されるであろう「国際宇宙ステーション正史」の参考に供することが出来ると思ったからである。そして更に、次世代のより大きな共同開発と利用への経験と教訓になると信じているからである。

それが如何に大変であったのかを一言で言うことは難しいだろうし、文書としてそれを残すことは、さらに困難が伴うと想像する。私は国際宇宙ステーション計画推進の中で、極めて僅かな時間帯でしか実務を経験しておらず、本書編纂を提案すること自体僭越であるとは承知している。しかし、困難を克服しつつ、文書化を熱心に周囲と関係者に呼びかけた。

本書編纂の作業はこの困難さを克服するための挑戦であった。本書は執筆者の多くが属している組織や昔属していた組織の公式的歴史書や年代記、正史ではなく、解説書でもない。国際宇宙ステーション計画は現在進行中のプロジェクトで、2009 年に我が国の実験モジュールが本体に組み付けを完了した状態とは言え、本格的な利用活動は今後である。プロジェクトとしては、まだ終了していない。しかし、我が国の実験モジュール“きぼう”の完成を期に、国際宇宙ステーションの建設に全力を投入された方々が活躍されている今これまでの過去を振り返ると、苦悩と栄光を共に体験された生の声が聞ける適当な時期ではないかと判断した。

従って、中間報告的な有志の忘備録として本書を企画した。本来ならば“きぼう”開発に携わった膨大な人達一人一人にお声を掛けなければならないのだが、それが叶わず、執筆者を限定させて戴いた。然しながら、本資料の執筆者は国際宇宙ステーション計画を熟知しておられる方で、これ以上適当な方々を探すのは難しいものとも考えている。

このような本書は、将来「正史」が企画される際に必ず参考にされるものと期待している。また、読者が本資料を通読し、執筆者の教訓と経験を自己の教訓と経験にして頂くように希望している。そして夢と希望を大きく持ち、次に来るであろう「地球を護る」全地球をあげての共同研究推進につなげて戴きたいと願っている。

井口 洋夫

## 目 次

第1章	緒論	井口洋夫、藤森義典
第2章	宇宙ステーション計画参加活動の全体経緯	齋藤勝利、吉村善範
第3章	国際宇宙ステーション計画における国際協力の法的枠組み	佐藤雅彦
第4章	日本の有人宇宙技術獲得の道のり	白木邦明、白川正輝
第5章	日本の宇宙実験システム JEM の技術開発 [ I ] — 有人宇宙システム技術(与圧系)の開発と将来展望—	小野義雄
第6章	日本の宇宙実験システム JEM の技術開発 [ II ] — 有人宇宙システム技術(曝露系)の開発と将来展望—	村上淳
第7章	JEM(きぼう)の利用促進並びに利用推進活動の変遷	清水順一郎
第8章	宇宙環境利用研究を推進する仕組みと技術	藤森義典
第9章	宇宙環境利用研究の経緯 — 生命科学分野—	高沖宗夫
第10章	宇宙環境利用研究の経緯 — 物質科学分野—	日比谷孟俊
第11章	先導的応用化・実用化研究の経緯	小林智之
第12章	JEM 曝露部利用(科学と技術開発)への取り組み	伊藤道夫
第13章	宇宙環境利用の開拓 — 人文社会科学分野の取り組み—	井口洋夫、清水順一郎
第14章	国際宇宙ステーション利用の今後の展開	白木邦明、白川正輝
付 録	— NASDA 時代の副本部長経験者等への最終稿レビュー依頼の概要—	
	執筆者略歴	
	編集委員会の開催録	
	編集後記	

## 第1章 緒論



## 目次

1. 1 編纂の趣旨.....	1-3
1. 2 国際宇宙ステーション計画の概要と流れ.....	1-4
1. 3 本書の構成と記述内容の流れ.....	1-7
1. 4 今後の国際宇宙ステーション利用に対する期待.....	1-10
1. 5 未来への希望を載せた JEM(きぼう) .....	1-11
参考文献 .....	1-12

## 1.1 編纂の趣旨

本書ではまず、国際宇宙ステーション(International Space Station 以下、ISS)計画全般の経緯について説明する。我が国が宇宙基地計画(当時、ISS を「宇宙基地」と呼んでいた、ここでは以下「ISS」に統一)に参加するに当たり、宇宙開発委員会宇宙基地特別部会(昭和 57 年、1982、8 月設置)報告が昭和 60 年(1985)4 月に取りまとめられ、ISS 計画への参加意義として、「高度技術の習得」、「次世代の科学技術の促進」、「国際協力への貢献」、「宇宙環境利用の実用化の促進」という 4 項目を掲げ、国としての取り組みが開始された[1]。これら参加の意義を眺めれば、ISS 計画への参加が、宇宙環境を利用する科学研究や技術開発のためだけに推進されたものでないことが分かる。

しかしながら、多様な目標の中で、科学研究や技術開発の活動が、ISS 計画参加の大きな柱であったことは論を待たない。学術研究の推進に向けた、我が国における共同利用の概念を歴史的に見るならば、頭脳の共同利用として、「共同利用研究機関」という考え方と「組織の組み立て方式」は、我が国において始まった。京都大学基礎物理学研究所を嚆矢とし、高エネルギー物理学研究所、分子科学研究所、核融合研究所、、、等々へと拡大・発展してきた[2]。この共同利用目的という観点から見れば、規模の大小は別として、現在建設完成直前の ISS も一つの国際共同利用軌道上研究施設である。「共同利用」という思想が宇宙において国際化されるに至っている。

従って、ISS 計画に参加して、これまで共同開発活動、共同利用活動を進めてきた歴史的事実や経緯(活動や苦勞・やり甲斐等)を平易な文章で記録に留めておくことが、本書の最大の目的である。これによって、将来も計画されると予想される地球規模の共同研究機関の基本概念の構築やその実現に必ずや参考になると考える。

ISS 計画は、システムの開発、国際調整、システムの利用(環境利用を含む)等々多くの活動領域を含み、それらの全体像を小さな書籍の形で纏める事は不可能に近い。本書では、ISS 計画の一部、即ち日本実験モジュール“きぼう”(Japanese Experiment Module 以下、JEM(きぼう))を以て参加した我が国の活動を取り上げるが、それとても本書のような簡便な形で纏めることには大変な困難が伴う。本書では出来る限り全体像が分るような記述を目指したが、ISS 計画の全体を見るならば、触れていない話題や領域もあり、全てを網羅している訳ではない。ご承知のように、ISS は巨大な有人宇宙システムで、その設計・開発には多大な労力と時間を要している。しかし本書は、巨大な宇宙システムの技術的解説書を目指すものではないことをご理解願いたい。

本書においては、まず執筆者等の担当した業務、携わった研究や開発の中で、当事者が力を集中した主な事項を編年的ないしは種別区分単位で記述し、主なイベントの時系列的展開と進展を分かるようにする。イベントの記述と参考資料の提示等は、将来的に本書が「宇宙ステーション計画参画活動正史の編纂」等、他の目的に利用されるとしても、十分資料価値があるようにと考慮したからである。

次に、それらのイベントから得られた経験と教訓を記述する。従って、そこには執筆者個人の判断や所感が入っていることをご容赦願いたい。ISS のような巨大な宇宙システムの国際協力による構築には、工学者、科学者だけでなく、法律家、行政官、外交官等々、自然科学系の専門家

のみならず、人文・社会科学系の専門家も参画している。それらの多くの分野に共通な事項は、広い分野から抽出された経験と教訓であり、それを対象とすれば本書に関する執筆者と読者各位との対話が専門領域を越えて成り立つと考えている。それらの経験や教訓の源泉がイベント記述に他ならない。

上述の内容をやや敷衍すれば、本書の記述においては次のような二つの柱が構成要素となっている。第一は、ISS 計画参画の経緯を、多種多様な活動の年代記、基本的な事実関係のデータによって記述した部分である。我が国が ISS 計画へ参加を決定し、JEM(きぼう)の概念や形状を確定し、JEM(きぼう)がISSの一部として建設されるまでの社会的背景や経緯を概観する。さらに、科学技術政策、国際調整、プログラム、技術的細目、利用計画、利用準備等々に関する審議討論等と方針の決定、引き続いた JEM(きぼう)設計開発・製造プロセス、建設プロセス、利用計画の立案と実施準備活動等を概観し、その過程での主な事項、イベント等に触れる。第二には、第一を分析と考察のベースとした上で、各章の執筆者が研究開発業務や科学研究過程で悩んだこと、学んだ事、挑戦したこと、経験した事等を記述し、次世代に向けた教訓やノウハウを抽出、提言として、それらを出来る範囲で簡潔に纏める。

本書が編纂の対象とする期間は、ISS 計画への参加検討を開始した 1980 年代中頃から、JEM(きぼう)の軌道上組立が開始された 2009 年 3 月(平成 21 年度末)までとする。概ね 25 年に及ぶ期間を対象として、執筆者が直接関わった ISS 計画での業務を中心に、歴史的事実を正確に把握できる範囲の事象を取り扱うこととしてある。従って、執筆者により取り扱う年代及び期間に差異があり、内容的にも濃淡があることをご了解いただきたい。

本書は第一義的に行政府内の政策立案者、宇宙開発機関や利用研究機関で企画・計画を担当する人達、組織の経営・運営責任者と中間管理職にある人達を主たる読者層として想定している。加えて、技術者、メディア関係者、大学生、一般市井の人々が、広範な職種の人々の努力の偉大さを知り、行政側のビッグサイエンスプロジェクトや宇宙活動を理解する上で、参考として頂きたい。

今後の宇宙開発の巨大大事業では、一国で賄うことが不可能なレベルに達していることに加えて、地球人としての意識や取り組みが求められることになり、この意味で国際協力による計画推進が不可欠である。そのような時に本書が有意義な情報源となり、参考に供せられる事を目的としている。

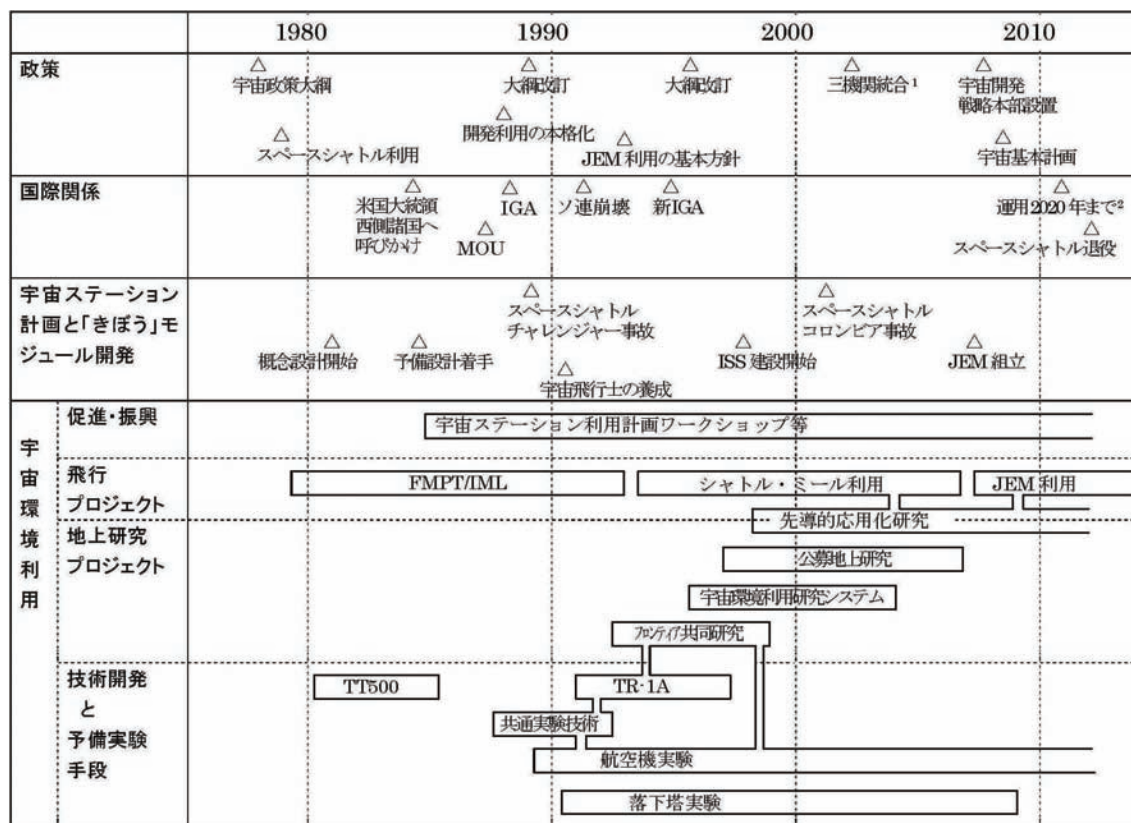
## 1. 2 国際宇宙ステーション計画の概要と流れ

ISS 計画の全貌をご理解頂くために図 1-1 を用意した。この図は ISS の年次的流れ、その過程での主なイベント、及び、業務や仕事の主なものを示し、各章で記述される内容全体を鳥瞰出来るようにしたものである。ISS・JEM(きぼう)概念の構築、計画立案、国際調整、打ち上げ組み立て、運用利用等、ISS の生い立ちから既に 30 年近くが経過している。

現在は過去からの延長上にあり、未来は現在の延長上にある。現時点で現代人が未来を作ることは出来ない。ただ、現代人が未来をより良くするための知恵を出しておくことは出来る。本書は現時点で纏めるものであるが、過去からの流れが現在に繋がり、そして未来に向かう道筋に立

っている道路標識になることを念願している。

図 1-1 国際宇宙ステーション計画の主なマイルストーンと経緯



IGA: Intergovernmental Agreement、政府間協定  
 MOU: Memorandum of Understanding、了解覚書  
 FMPT: First Materials Processing Test、第1次材料実験、1992 飛行  
 IML: International Microgravity Laboratory、国際微小重力実験室 (NASA: National Aero-Space Administration:アメリカ連邦航空宇宙局)の飛行プロジェクト  
 TT500: NASDA ([注釈]<sup>1</sup>)の小型ロケットの名称、それをを用いた微小重力実験名  
 TR-1A: NASDA の小型ロケットの名称、それをを用いた微小重力実験名

図 1-1 に示してあるように、ISS は国際協力の計画として、開始以来四半世紀以上の時間が経過している。その間に、ISS 計画を取り巻く国際的な社会・政治・経済等の周辺環境が大きく変化し、また、その間、地上の科学研究の進歩と技術革新も目覚ましいものであった。1980 年代中頃、ISS 計画参加への時点で掲げられていた我が国の考え方 (ISS 計画参加の意義と目標、及び、そこで展開される宇宙環境利用の意義と目標) が、四半世紀という時間の経過の中で変遷を遂げ

[注釈]<sup>1</sup> 宇宙開発事業団 (NASDA: National Space Development Agency of Japan)、宇宙科学研究所 (ISAS: Institute of Space and Astronautical Science)、航空宇宙技術研究所 (NAL: National Aerospace Laboratory) は 2003 年 9 月まで存続し、同年 10 月にこれら 3 機関が統合され宇宙航空研究開発機構 (JAXA: Japan Space Exploration Agency) となる。

[注釈]<sup>2</sup> 2010 年 3 月の宇宙開発機関長会議で合意され、我が国としては同年 8 月に決定。

てきた。それらは、有人宇宙開発や宇宙環境利用に対する社会的・政治経済的な環境の変化に対応するために、宇宙開発委員会等での審議を経てとりまとめられてきた「国の考え方の変遷」であった。その変遷の主な「流れ」を図1-2に示しておく。この「流れ」は、本書の各章の内容:ISSの計画推進と、JEM(きぼう)の利用促進及び利用推進の枠組みや方策、並びに各論を理解するための参考にして戴きたい。また、各時点において審議報告のポイントを表1-1に纏めてある。詳しくは7章をご覧戴き、トピックによっては他の章をご覧ください。

図1-2 国際宇宙ステーション計画の流れ

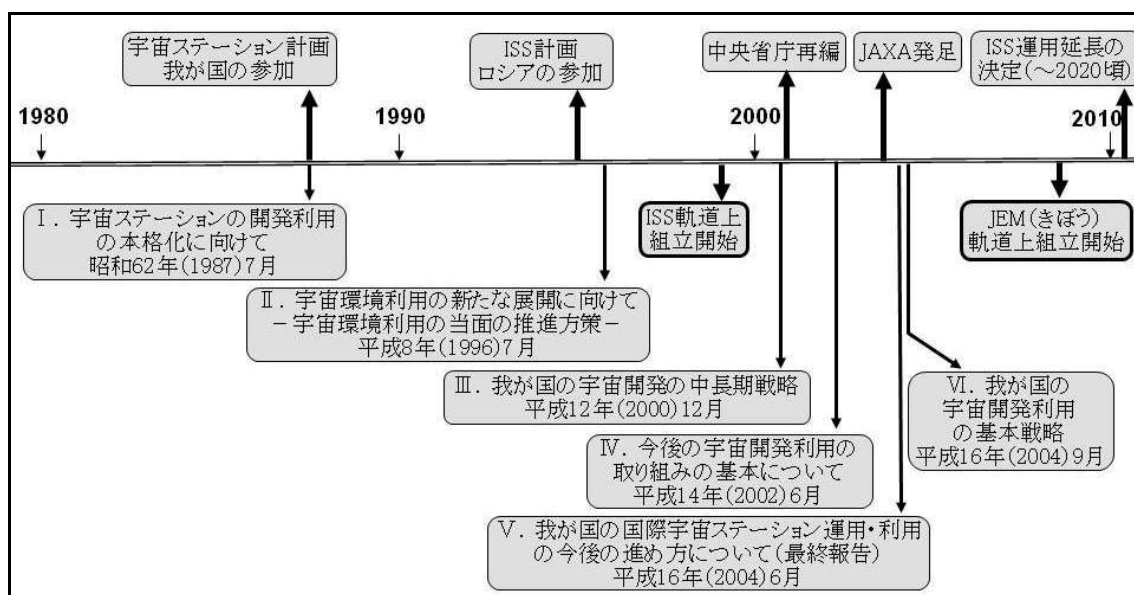


表1-1 意義・目的の変遷の流れ

図1-2 の番号 (参照する節)	意義・目的の変遷:強調されたポイントや考え方
I (7.2.1 節)	宇宙科学・地球観測への寄与、宇宙環境利用研究の実用化、宇宙科学技術高度化と科学技術一般への裨益、国際貢献
II (7.2.3 節)	科学的知見の創造、社会発展・生活向上に役立つ地上研究へ寄与と貢献、広範な技術の高度化、人類活動圏の拡大、地球社会の活性化
III (7.2.3 節)	先端科学技術に挑戦、社会経済へ貢献、宇宙活動基盤強化
IV (7.2.4 節)	有人宇宙技術の蓄積、きぼうモジュールの着実な打ち上げ、民間活力の導入と運用の効率化、優先度に応じて利用計画の見直し、運用・利用経費の大幅削減
V (7.2.5 節)	有人宇宙技術等の高度化、社会経済基盤の拡充、科学的知見の創造、国際協力の推進、運用・利用に関して官民協同体制の構築、利用計画重点化、新利用制度の創設
VI (7.2.5 節)	ISS計画の推進は有人宇宙技術蓄積・産業応用可能な科学的知見創造に不可欠、費用対効果比最大化のため民間活力の導入、利用の多様化、利用計画重点化、運用・利用経費の削減、アジア諸国との共同利用促進

### 1.3 本書の構成と記述内容の流れ

ISS 全体は勿論のこと、その一部である我が国の JEM(きぼう) モジュールでさえ巨大な有人宇宙システムであるから、これを如何に記述したら理解してもらえるのかは難題であり、本書完成の現時点で回答が出せているとは到底思えないが、読者の理解を助けるために、本書の構成の基本的考え方と各章の概略について述べる。

まず、ISS 計画へ参加した我が国のプロジェクト全体を概観すると、システムの開発、即ち JEM の設計製造等、システム構築と利用に関する国際調整や政策審議、システムの利用、の三者に大別されるから、それらに沿って章建てをするのが適当であると考えた。これは先に掲げた図 1-1 を見て頂くと分かるように、下に向かっての各行の名称、棒グラフ的に示した、業務名とプロジェクト名称等が、各章の内容や記述に対応している。

各章の記述は、第1章緒論に始まり、第14章が纏めである。この中で第2章から第6章までがシステムに関する記述、第7章から第13章までがシステムの利用に関する記述となる。システム全体の国際調整に関する法的な側面からの記述が第3章となっている。ISS 計画全体の流れと JEM(きぼう)の開発と運用利用に係わる政策の進展過程は第2章に、JEM(きぼう)の利用促進及び利用推進に係わる政策・審議の過程は第7章に記述される。

以下に各章の記述内容を概観する。

#### **第1章 緒論**

本書編纂の趣旨、全体の章構成、各章の記述概要や読者への注意事項等々を、総合的に紹介し、現在地球周回軌道を飛行している我が国の実験モジュール JEM(きぼう)が読者の期待に応えることを念願している。

#### **第2章 宇宙ステーション計画参加活動の全体経緯**

本章では、米ソによる宇宙開発競争時代から、現在の ISS の時代に至るまでの主な事柄を年代記的に纏めてある。我が国においてはロケットや人工衛星開発を 1970 年代から本格的に開始し、1980 年代になりスペースシャトル利用や ISS 計画に参画した。以後、30 年近くにわたり我が国の実験モジュール開発と利用計画を推進して来た。その期間中の主な事柄、イベント、問題等の中で主なものを時系列的に集大成した。

#### **第3章 国際宇宙ステーション計画における国際協力の法的枠組み**

本章では、参加各国が国際協力により ISS 計画を実現するための諸条件を定めた政府間協定(IGA)を中心に、合意に至るまでの外交交渉経緯や各国事情、国連宇宙条約レジームにおける位置づけ、主要条文の概要、内包する問題点や今後の課題等について解説する。

#### **第4章 日本の有人宇宙技術獲得の道のり**

本章では、スペースシャトル利用から始まった我が国の有人宇宙技術獲得は、ISS 計画参画を通して着実に進められたこと、人間が宇宙で活動するために必要なシステムの開発技術、生命維持・環境制御技術、運用管制技術、宇宙飛行士の選抜・訓練・健康管理技術、等々で当初の目標を概ね達成していること、等を解説する。

## 第5章 日本の宇宙実験システムJEMの技術開発 [I]

### －有人宇宙システム技術(与圧系)の開発と将来展望－

本章では、開発仕様が決まる前後の状況、与圧系の機能概要、開発終了に至るまでの経緯、ならびに我が国としての有人宇宙技術獲得状況を解説する。さらに技術習得内容を考察し、我が国として課題を指摘すると共に、将来への提言を示す。

## 第6章 日本の宇宙実験システムJEMの技術開発 [II]

### －有人宇宙システム技術(曝露系)の開発と将来展望－

本章では、多くのミッション要求に応えるため、曝露部の機能性能が仕様として決められた頃より、開発完了に至るまでの経緯を構成要素毎に概観し、特に宇宙飛行士の船外活動との整合性に留意したこと、開発過程で考案した不具合解析手法、機構潤滑技術、熱制御技術、等々は他の産業分野に応用されていること、将来の宇宙システム設計に適用できること、等を解説する。

## 第7章 JEM(きぼう)の利用促進並びに利用推進活動の変遷

本章では、宇宙開発政策大綱、宇宙開発委員会の決定等を受けて、宇宙開発機関が実施して来たISS・JEM(きぼう)の利用促進と推進の諸施策の流れを、1980年代から現在に至るまで概観する。1990年代後半に実施された当時の宇宙開発事業団の施策の推移、中央省庁の再編と宇宙三機関の統合後に迎った経緯等々、世界及び我が国の政治経済情勢と社会情勢の激変の中で進められたISS・JEM(きぼう)の利用促進並びに利用推進の活動が、大きな制約と困難の中で進められ、現在に至っていることを解説する。

## 第8章 宇宙環境利用研究を推進する仕組みと技術

本章では、ISS利用計画は1990年当時、スペースシャトル利用計画と同時並行的に進められていたこと、利用計画は利用計画ワークショップ等を通じて作成されていたこと、等を説明し、また、宇宙開発機関担当の大きな仕事として宇宙実験技術開発に取り組んでいて、それらの技術水準の指標としては実験装置開発であるので、主な装置開発の推移を概観する。また、国際パートナー間で適宜開催された利用ミッションに関する協力調整会等の活動を報告する。

## 第9章 宇宙環境利用研究の経緯－生命科学分野－

本章では、我が国の宇宙環境利用生物学・医学研究はスペースシャトル利用から始められ、1990年代にも着実に成果を上げて来ていることを記述する。また、宇宙実験へ向けた環境整備(フロンティア共同研究、公募型地上研究、実験装置開発等)、並びに我が国における研究コミュニティの状況に触れ、今後の当該分野の展望を示す。

## 第10章 宇宙環境利用研究の経緯－物質科学分野－

本章では、物質科学分野が1980年代から欧米においても期待が先行して宇宙実験が開始されたこと、その後、可変重力科学へと地道な見直しが掛けられたこと、等から説き起こし、1990年代には我が国においても宇宙環境利用シナリオなどの下で、利用研究推進策は講ぜられこと、そして、世界的に大きく注目される成果も上げて来たこと、また、研究者の国際協力による宇宙実験実施も進められていること、等を解説する。最後に、微小重力科学実験がシス

テム工学的な面からのバックアップも不可欠との観点から、将来へ向けた可変重力科学の総合的發展とその還元を図るべきことを提案する。

### **第11章 先導的応用化・実用化研究の経緯**

本章では、ISSの民間企業による利用促進策は1998年度より施策実施が開始され、現在に至っていること、当時までの諸外国の施策やプログラム例を参考としつつ、地上研究から宇宙実験に至るまでの一貫した研究体制を産学官で構築し、実施して来たこと、等の経緯を概観する。また、当該分野の研究テーマ領域、研究課題等は情報収集と調査、諮問委員会の意見、宇宙開発機関の意向等を勘案して選択してきており、研究テーマ例として、タンパク質研究を掲げ、そこでは将来の創薬に向けた貴重なデータ情報を獲得している成果を示す。最後に、今後のISSの多角的な利用可能性検討・利用発掘へ向けた活動も紹介する。

### **第12章 JEM 曝露部利用(科学と技術開発)への取り組み**

本章では、我が国の実験モジュールの曝露部は、当初科学観測ミッション利用のみならず、恒久的な前進基地としての有人支援利用が目的であったこと、その後、スペースシャトルの事故、ISS 本体の見直し(米国)等があり、利用計画立案に影響があったことから記述する。そして、当初の利用ミッション要求は科学観測、地球観測、通信、理工学実験と大きい4分類が設定されて居て、第一期利用テーマも選定された経緯を概観する。そして第一期利用テーマの開発を通して曝露部を利用する上での課題も顕在化し、それらの経験からすでにテーマ候補も選定されている第二期利用の実現に向けて取り組むべき方向性に言及する。

### **第13章 宇宙環境利用の開拓ー人文社会科学分野の取り組みー**

本章では、人類がその活動領域を宇宙へ拡大し、宇宙で生活を営もうとしたとき、科学技術以外の非物質面で、何が本質的な課題になるのか、これに迫るための人文社会科学分野のこれまでの調査研究等の活動を紹介、そこから明らかになってきた課題を示すことにより、宇宙開発における人文社会科学分野が果たすべき役割と、同分野への期待について概説する。このことにより、科学技術と人文社会科学の「連携」と「総合」が、宇宙への人類の活動領域の拡大という人類史的な活動には不可欠な協働作業であることを強調する。そのことを示すために、「宇宙に対する人類の取り組み」の発展段階に対応した「階層構造」を定義し、各階層での「宇宙と人間」の関わりを想定しながら、人文社会科学分野の位置付けと機能を解説した。また、そのような取り組みの導入部で、「新しい社会:宇宙」の特徴を表現するための芸術分野が果たす役割についても強調した。

### **第14章 国際宇宙ステーション利用の今後の展開**

本章においては、本書の総合的サマリーとして、JEM(きぼう)の組み立てフライト、日本人宇宙飛行士の長期滞在等、補給機の打ち上げと宇宙ステーションへのドッキング等々、最近ニュースにも取り上げられている話題を初めに瞥見し、1980年代後半に我が国がISS計画に参画するときに掲げた意義や目標が、現時点でどの程度達成しているか、自己評価を含めて分析する。そして、ISSの運用も2020年まで延長することが国際的にも約束されたので、宇宙開発基本計画に沿った計画の推進を図ること、従来から言われた科学成果創出、社会還元型利用、先端技術開発等に止まらず、教育・人材育成とアジア諸国への知識力の展示・映写



(Knowledge Projection)を推進すること、等を今後の展望とする。

一部の章を除いて、殆どの章は独立した内容になっている。説明や解説がその章内で完結するようにしてある。従って、読者は各章のタイトルから判断して、自分の関心ある章を先に読んで頂いても、脈絡は十分理解出来るような章内の記述と構成となっている。但し、第2章はISS計画全体を概観してあるので、時系列的なISS計画の進展と展開を理解する観点から、各章の参考文献としての役割を担っている。

#### 1.4 今後の国際宇宙ステーション利用に対する期待

冒頭でも述べた如く、ISSは科学や技術のためだけのために建設されたわけではなく、多種多様な目標と目的を持ってこれまで開発されて来た。これについては参加パートナー諸国も同じである。本項ではその中の一つ、科学と技術の面からの期待について触れる。

1980年代中ごろに計画が開始され、爾来25年来のISSが本格的な稼働期に入ったことは大変喜ばしいことである。本章共同執筆者の一人が宇宙環境利用研究システムに参加して10年余が経過した。そして思うことは、何としてでも今迄の蓄積を、厳しい選択を通して、実験に結びつけてほしいとの個人的な願望を読者にお伝えすることだ。

1990年代までの我が国の微小重力実験の数を見ると、例えば、今迄6分以上微小重力下での実験は218件ある[3]。宇宙実験を目指した地上での準備実験としての公募地上研究では、応募総数約3000件中706件が採択され、内評価の高いものが15%程度存在し[4]、“きぼう”の運用利用の開始を待ち望んでいた。度重なる運用利用の開始の延期という長い待機期間を経て稼働し始めた“きぼう”ではあるが、第二期、第三期の“きぼう”利用の研究課題候補が、待機してきた公募地上研究の終了課題から創出されることが十分に期待できるのである。我々の期待が現実身を帯びているとする根拠は、四半世紀も前に決断して参加し、それ以来、様々な困難を克服し組立てられてきたISS及びJEM(きぼう)が、現在、地球周回の軌道上で運用されているという輝かしい成果を、利用研究者が待ち望んできたからである。その全体の評価は現時点で簡単には決められないと思う。目に見えるハード部分でのみで評価するのは容易だろうが、それ以外に無形の形で得たものは、数え切れなくあることを忘れてはならないと思う。

ISS計画の推進過程を見ると、国際規模での共同開発や共同利用としては、日本がこれまでに推進してきたプロジェクトとは異質の内容も少なくない。その第一は参加した国の多さにある。総計15ヶ国、その中に米国、ロシアが含まれていることもその特徴であろう。

その目的とする処は、人類の活動領域の拡大(多様な宇宙環境利用の展開)と地球周回軌道以遠の宇宙進出を目指して、科学者や技術者に有人宇宙技術の研究開発や技術実証のための機会を提供する点であろう。即ち、人類の夢を究極の目標に置いている。目標に一步でも近づくための原動力は科学と技術をおいて他にない。その力を培うための軌道上研究所“きぼう”が実現している。

まもなく建設を完了して定常的な運用利用の段階に到達している現在、その計画段階から、また建設の最初の段階から携わった方々は、大型共同利用施設の建設というプロジェクトに関して膨大な知識と経験を会得している。このISS計画は地球規模のプロジェクトとして、他に比肩する

ものはない。この歴史的事実を、部分的とは言え、活動史として残すことによって、将来、かけがえのない地球を護るプロジェクト – 例えば地球の気候変動に対処する国際プロジェクト – に役立てることも、想定されるように思われる。

この言わば、人類がそう何度も経験することの出来ない ISS の建設とその運用利用の巨大プロジェクトの歴史を、主として科学と技術の面からの記録として残せるならば、その意義は将来必ずや評価されるであろう。幸い、ISS が完成をみている今、このプロジェクトに関係され、活躍された方々の協力が得られる今、ISS 活動史編纂を実行する最良の時期と考えた。

この多彩な共同施設の建設に参加した方々は恐らく数千人以上になるのではなかろうか。幸いにも、その中で中核として建設と運用利用の貴重な体験を持った人達が、万難を排して本書の執筆活動及び編集活動に参加して下さったことは、誠に有難いことで、この記録が何年か先に評価されることを期して待ちたい。その時にこそ、建設時の生の声 – 苦悩に満ちた判断も含め – の本来の意味が、読者に伝わって行くことを信じている。

そして、今や定常稼働期に入った ISS と JEM(きぼう)が、これから生み出すであろう成果 – 宇宙環境利用研究と技術開発の成果 – を活用し、本書執筆者の教訓や反省を生かし、課題を克服して次の展開に繋げて戴きたい。

### 1.5 未来への希望を載せた JEM(きぼう)

宇宙航空活動の歴史はその濫觴から今日に至るまで、限界への挑戦、画期的成果の追及であった。20 世紀最後に登場した ISS は、参加パートナー全員にとって様々な意味で限界への挑戦であったし、画期的な成果を追求してやまない活動であった。我が国が ISS へ参加する際に掲げた参加の意義「4項目」は、関係者の献身的な努力無しには一歩たりと雖も前に進まなかった事柄である。現時点で 20 年以上前に掲げた参加の意義だけに捉われていては不十分と思われるから、更に新しい参加の意義も創り出さねばならない。国際協力や自然科学、法律等だけではなく、人文社会科学全般、芸術的意義への広がりや今後の展望として期待している。

今後、定常的な運用利用の時代になっても、宇宙での挑戦の場、多種多様な成果を限りなく追求する場であり続けることには変わらない。我が国の実験モジュール JEM(きぼう)は、我が国の希望を載せて地球周回軌道を飛行している。

我が国の宇宙開発利用の活動は平和目的のためとされており、軍事技術開発と並行して開発されては来なかった大変ユニークな開発方式で今日に至っている。この事により、我が国が ISS のパートナーとして遜色があったわけではなく、むしろ仕事を立派にこなすという言う意味で、今や世界の最高峰に至っている。

然しながら、多くの点でまだまだ国家として、社会として、宇宙開発機関、研究機関ともども至らぬことは多く、ISS 計画からの反省材料も多い。何事によらず、予算の大小によらず、行なった研究・技術開発は、その成否に関わらず、次の時代の人々が知りうる形で残すべきであり、その責務の一端に本書が貢献出来ることを念願している。

各章においては、執筆者の経験した範囲でいかなる挑戦があったのか、いかなる画期的成果を追求して来たのかに関して言及がある。然しながら、本書の執筆者ではカバーしきれていないテーマや課題・領域も沢山残っている。本書は ISS の建設とその利用に関して、ほんの一部を記

述するのみで、全てを記述してはいないことを再度お断りし、本書が引き金となって、ISS の構想、企画、そして構築に携わった方々の蘊蓄が正史に加えられることを心より期待したい。

なお、きぼうモジュールの概要、開発の経緯等に関しては、参考文献[5]に分かり易く記述されている。宇宙航空研究開発機構ホームページにおいて公開されており、読者は適宜それを参照頂きたい。

#### 参考文献

- [1] 宇宙基地計画参加に対する基本構想 宇宙開発委員会宇宙基地計画特別部会報、1985 年 4 月
- [2] 新たな全国共同利用研究体制の確立に期待するー国立大学法人化後の学際的・融合的究のためにー、松尾研究会報 Vol.13 2004、財団法人松尾学術振興財団
- [3] 井口洋夫監修 我が国の宇宙実験ー成果と教訓ー、平成 17 年(2005)3 月、宇宙航空研究開発機構 日本マイクロ重力応用学会 Vol.22 Supplement 2005  
井口洋夫監修 要覧版 我が国の宇宙実験ー成果と教訓
- [4] 審査会等からの報告、これら数値等は評価報告書の中で近々公開される。
- [5]「きぼう」ハンドブック

## 第2章 宇宙ステーション計画参加活動の全体経緯

## 目次

2. 1 はじめに .....	2-4
2. 2 世界と日本の宇宙開発利用の動向（1970年代から1980年代前半頃までを中心に） .....	2-5
2. 2. 1 世界の宇宙開発利用動向.....	2-5
2. 2. 1. 1 ソ連の有人宇宙活動、宇宙環境利用動向 .....	2-5
2. 2. 1. 1. 1 有人宇宙ステーション関連 .....	2-5
2. 2. 1. 2 米国の有人宇宙活動、宇宙環境利用動向 .....	2-6
2. 2. 1. 2. 1 スペースシャトル関連.....	2-7
2. 2. 1. 2. 2 有人宇宙ステーション関連 .....	2-9
2. 2. 1. 3 欧州の有人宇宙活動、宇宙環境利用動向 .....	2-10
2. 2. 1. 3. 1 スペースシャトル搭載宇宙実験室（スペースラブ）関連... ..	2-10
2. 2. 1. 3. 2 有人宇宙ステーション、フリーフライヤ関係 .....	2-10
2. 2. 1. 4 その他.....	2-11
2. 2. 2 日本の宇宙開発利用動向 .....	2-11
2. 2. 2. 1 全般 .....	2-11
2. 2. 2. 2 ロケット、人工衛星分野.....	2-11
2. 2. 2. 3 有人宇宙活動、宇宙環境利用分野.....	2-12
2. 3 宇宙ステーション計画への日本参加に対する取り組み(昭和57年/1982年から)、JEM予備設計終了(昭和62年/1987年)まで .....	2-13
2. 3. 1 昭和57年の取り組み .....	2-13
2. 3. 2 昭和58年の取り組み .....	2-14
2. 3. 3 昭和59年の取り組み .....	2-17
2. 3. 4 昭和60年の取り組み .....	2-22
2. 3. 5 昭和61年の取り組み .....	2-25
2. 3. 6 昭和62年の取り組み .....	2-29
2. 4 JEM開発着手(昭和62年/1987年)からロシア参加招請まで（平成5年/1993年） .....	2-31
2. 4. 1 昭和62年の取り組み .....	2-31
2. 4. 2 昭和63年の取り組み .....	2-31
2. 4. 3 平成元年の取り組み.....	2-33
2. 4. 4 平成2年の取り組み.....	2-36
2. 4. 5 平成3年の取り組み.....	2-37
2. 4. 6 平成4年の取り組み.....	2-39
2. 4. 7 平成5年の取り組み.....	2-41

2. 5	ロシア参加(1994年)から宇宙ステーション組立て開始(1998年)まで	2-46
2. 5. 1	平成6年の取り組み	2-46
2. 5. 2	平成7年の取り組み	2-47
2. 5. 3	平成8年の取り組み	2-50
2. 5. 4	平成9年の取り組み	2-52
2. 5. 5	平成10年取り組み	2-54
2. 5. 6	平成11年の取り組み	2-56
2. 6	2000年代初頭における宇宙ステーション計画の状況	2-58
2. 6. 1	平成12年の取り組み(中央省庁再編前)	2-58
2. 6. 2	平成13年の取り組み(中央省庁再編後)	2-59
2. 6. 3	平成14年の取り組み	2-60
2. 6. 4	平成15年の取り組み	2-62
2. 6. 5	平成16年の取り組み	2-63
2. 6. 6	平成17年の取り組み	2-64
2. 6. 7	平成18年の取り組み	2-65
2. 6. 8	平成19年の取り組み	2-66
2. 6. 9	平成20年の取り組み	2-66
2. 6. 10	平成21年の取り組み	2-67
2. 7	宇宙ステーション計画前半期のまとめと教訓(齋藤私見)	2-67
(添付1)	宇宙ステーション協力ガイドライン抜粋	2-72
(添付2)	宇宙ステーション計画 IGA/MOU 締結の経緯(詳細は第3章参照)	2-72
(添付3)	クリントン政権宇宙ステーション計画見直し検討報告書(ブルーリボンパネル報告書)要旨抜粋	2-73
(添付4)	宇宙ステーション計画へのロシア参加のための統合計画概要抜粋	2-74
参考文献		2-74

## 2.1 はじめに

国際宇宙ステーション計画への我が国の参加に関して、当初(1982年)から組立てが本格的に開始された2000年頃までの間、実施機関においてほぼ全体が見通せる業務に長期間にわたって係わらせて頂き、貴重な体験をする事が出来ました。この極めて大規模で長期にわたる計画の全体像と推移の記録を残す事、及び体験を通して得た教訓のようなものをまとめて、今後の国際宇宙ステーションの運用利用、将来の大型宇宙開発利用国際協力計画や、類似の科学技術分野での国際協力などに、少しでもお役に立てれば幸いと思っておりました。こんな折、井口先生から有難いお申し出があり、記録の収集・整理と原稿化の作業を始めて1年半、なんとか読んでいただけるような資料にまとめる事が出来ました。(資料があまりに膨大で、本資料ではプログラムおよびシステム全体を鳥瞰した記述レベル、要点のみに止めました。従って、解りにくい点等あるかと思いますがご理解ください、詳しくは3章以降の内容や、後述の参考文献、JAXA資料もご参考にして頂ければ幸いです)。

取り組みを記述するに当たっては、当時の国際関係、社会・政治状況、先進宇宙開発国の動向なども鳥瞰しつつ、可能な限り事実即して、その内容と経緯を時系列的に、記述しながら全体像も理解して頂くべく努力しました。もとより、政府、宇宙機関、研究機関、産業界等の数えないくらい多くの方々が、宇宙ステーション計画参加活動に関与されておられますので、記述が偏ったり、私の理解が十分でなかったりしている可能性も高いので、不十分な点がありましたらご容赦頂きたいと思ひますし、ご指摘いただければ幸いです。読者に、より理解しやすいように、所々に、解説も含めて、個人的に感じた事や考えも挿入しました(コメントと表記)。

宇宙ステーション、宇宙基地と両者の呼び名については、特定文書で用いられている場合は、そのまま該当呼称を使い、その他は宇宙ステーションに統一しました。また、邦暦と西暦の使い分けについては、国内活動に関しては前者を、海外活動については後者を、原則として用いました。

なお、私が宇宙ステーション計画から離れた後の記述は、JAXA<sup>1</sup>から提示された資料、及び第7章を参考に、宇宙環境利用関係に重点をおいて簡単に記述しました。また、私の記述が足りなかった部分、特に、国際協力関係の記述について、吉村善範さん作成の原稿案の中から、その一部を本人の了解のもとで挿入しました、なお、該当部分には、(Y)を文章最後に付け加えました。資料内容を検索し易くする為に、パラグラフ毎に脚注<sup>2</sup>のような記号を冒頭に付けました。

以下に記述する内容は、次のような構成から成り立っています、①宇宙ステーション計画以前の世界(ソ連、米国、欧州)と日本の宇宙開発利用の動向と、宇宙ステーション計画が誕生した背景等、②昭和57年/1982年から本格化した米国の宇宙ステーション計画立案作業と予備設計段階の活動、こうした活動への日本の参加、取り組みの経過、日本実験棟 JEM 計

<sup>1</sup> 清水順一郎さんを通じての提供

<sup>2</sup> Am: 米国関係、Eu: 欧州関係、Ca: カナダ関係、So: ソ連関係、Ru: ロシア関係、Po: 政治、政策、国際関係、Ge: 一般、計画全般関係、De: 開発、開発管理関係、Ut: 利用関係、Op: 運用関係、HT: HTV 関係、Ce: セントリフュージ関係、Ma: 有人関係、Sa: 安全保障関係、In: 産業界関係

画がどのように決まって行ったかなど、③昭和 62 年/1987 年の JEM 開発着手から、ソ連崩壊後にロシアの参加を日米欧加が共同招請した時期までの米国宇宙ステーションフリーダム SSF 計画の推移と日本の参加活動の経過、繰り返された米国の計画見直しと日本の対応など、④平成 6 年/1994 年からのロシアも参加した国際宇宙ステーション ISS 計画の推移と日本の取り組み経過、ロシア参加に伴う混乱、JEM きぼうの運用・利用準備(事前宇宙実験、体制強化等)取り組みの本格化、⑤ISS 組立てが本格的に始められた平成 12 年/2000 年以降のからの ISS 計画の推移と日本の取り組み経緯、コロンビア事故と ISS 組立て延期、その対応、日本政府の宇宙開発利用体制と方針の推移と NASDA の対応、JEM 組立て完了など、⑥宇宙ステーション計画参加前半期のまとめと教訓(齋藤私見)。

まず、宇宙開発の経緯と時代背景等の全体像を、下図に示します。

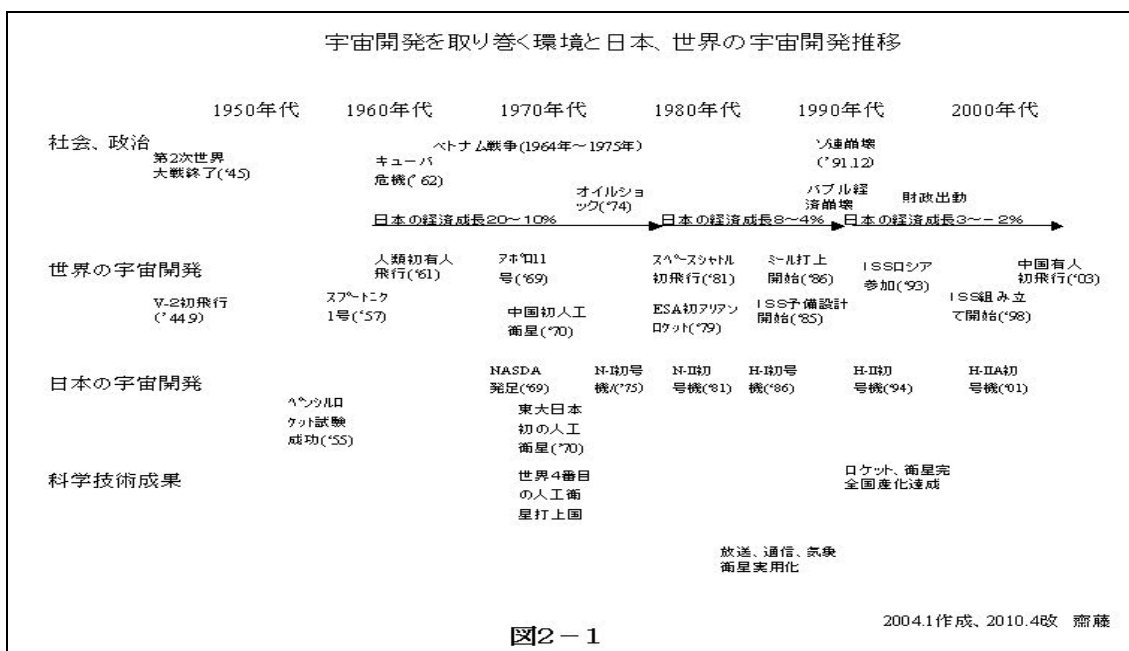


図2-1

2004.1作成、2010.4改 齋藤

## 2.2 世界と日本の宇宙開発利用の動向(1970年代から1980年代前半頃までを中心に)

### 2.2.1 世界の宇宙開発利用動向

世界は、米ソを中心とした冷戦構造の下で、それぞれロケット、人工衛星、有人宇宙船の開発や打上げ競争を、繰り返していたが、時代は、国家威信から実用化を重視した計画へと順次移行しつつあった。

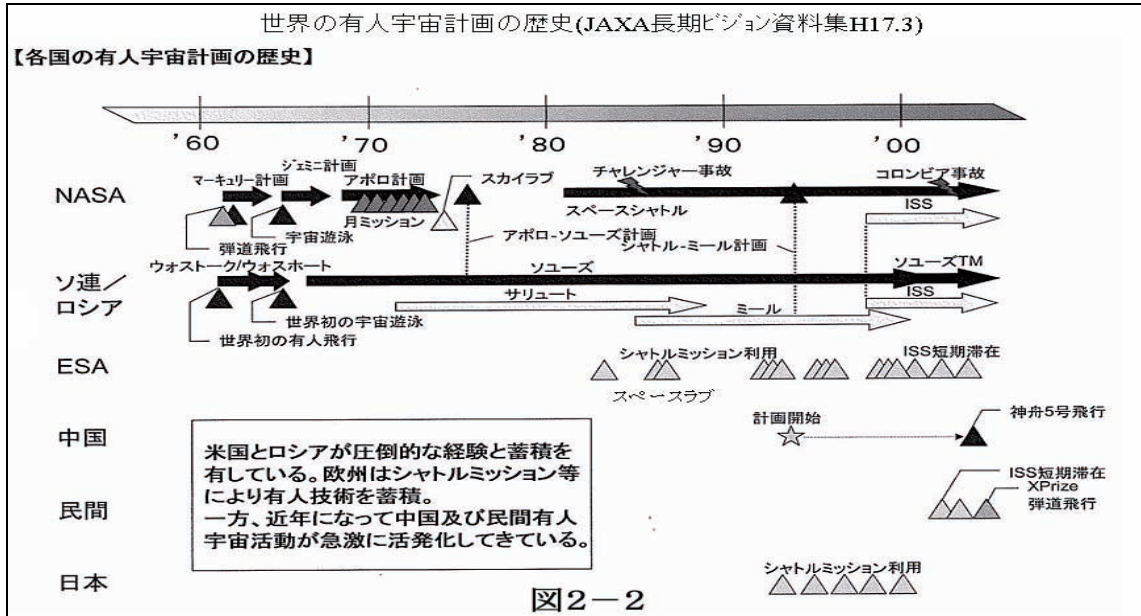
#### 2.2.1.1 ソ連の有人宇宙活動、宇宙環境利用動向

##### 2.2.1.1.1 有人宇宙ステーション関連

★So 人工衛星、有人宇宙船の打上げでは、米国に先行し、大きなインパクトを世界に与えたソ連であった。しかし、こうしたソ連に逆転を目指す米国の有人月探査計画(アポロ計画)が進行中、これに対抗すべく、ソ連も超大型ロケットの開発に努力したが、大型ロケットエンジンなどの技術、経済基盤がまだ弱く、開発が順調に進まなかった(参考文献 6、7)。このため、無人月サンプルリターン、有人火星飛行等もにらんだ有人宇宙ステーションを中心とした、開発利用などに力点を、移したと考えられている(参考文献 7、9)

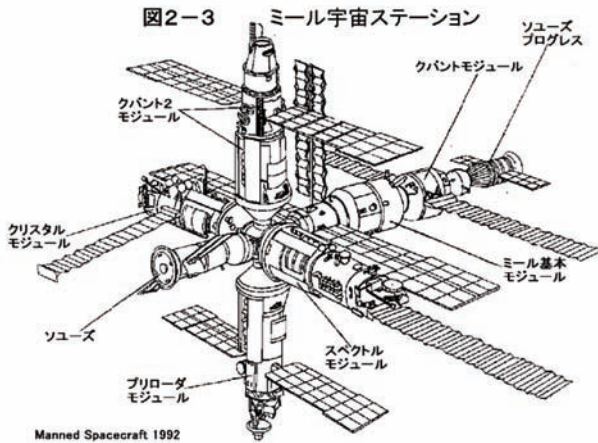


★So 第1段階の有人宇宙ステーションサリュートは、1971年4月1号(第1世代)を打上げ、以後1973年4月2号(第2世代)、1974年6月3号(第2世代)、同12月4号(第2世代)、1976年6月5号(第2世代)、1977年9月6号(第3世代)、1982年4月7号(第3世代)を次々に打上げ機能性能の向上が図られていった。



★So 本格的有人宇宙ステーションミールは、1986年にコアモジュールが打上げられ、以後ミッションモジュールを追加しながら、利用拡大が図られた。

★So 1987年から10年間に実施した利用ミッション分野、ミッション課題数は、宇宙物理、地球物理、応用化実験、医学研究、宇宙技術応用化、材料研究、微小重力研究、基礎生物学、リモートセンシング&環境、生物工学の順になっている。

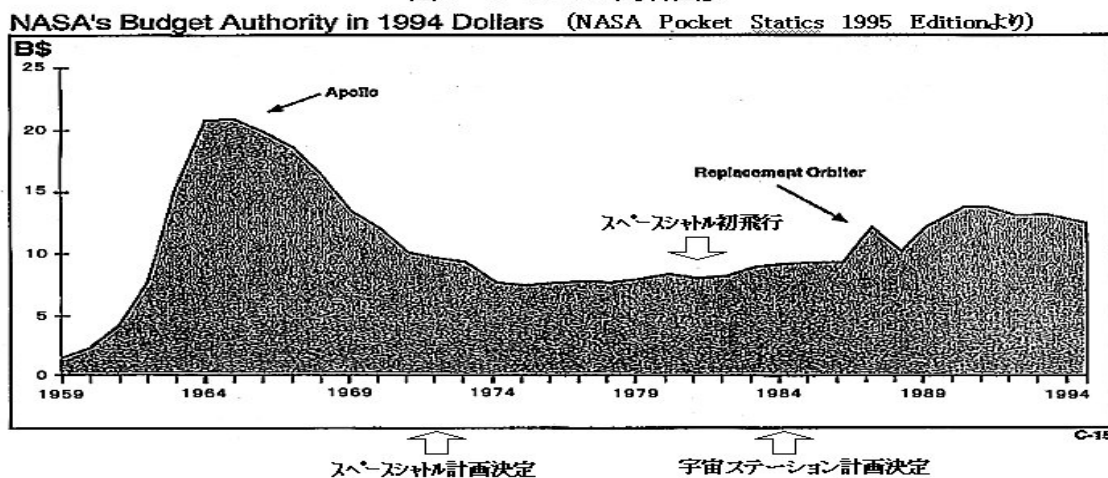


2. 2. 1. 2 米国の有人宇宙活動、宇宙環境利用動向

★Am 世界で初めて人工衛星(1957年)、有人宇宙船(1961年)打上げに成功し、社会主義体制、科学技術、軍事的な能力等の優秀さを宣伝したソ連に対抗するため、自由主義諸国の代表を自認する米国が、国家の威信をかけ体制を整備し(1958年NASA設立、アイゼンハワー大統領決定)、遂行した計画がアポロ計画(人類初の月着陸、1961年ケネディ大統領決定)であり、ピーク時で米国の国家予算の約5%、20万人を動員した壮大な計画であった(参考文献8)。(コメント:NASA及び契約企業にとっては、この計画があまりに華々しくかつ成功裏に終わったこともあり、以後、この成功体験が忘れられない様子が感じられた。アポロ時代以降

の NASA 予算、人員の減少は激しかったことを考えると理解出来るところがあるが)

図2-4 NASA予算推移



★Am しかしながら、一方で、米国はベトナム戦争(1964年～1975年)に苦しみ、1970年代は、より効率的・実利的な宇宙開発利用が必要とされる時代に入っており、アポロ計画は、予定していた最後のフライトを待たずに中断された(アポロ20号までがアポロ17号で中止、ニクソン大統領決定、参考文献4)。

★Am 米国の宇宙開発は、大統領を頂点として、政治決定の重みが他国より強い。このため、参考に下記に歴代大統領、NASA長官の推移図を示す。

NASA Administrators (NASA Pocket Statics 1995 Editionより)

	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
President	Eisenhower		Kennedy		Johnson				Nixon				Ford		Carter		Reagan				Bush		Clinton														
NASA Administrator	Glennan		Webb				Paine		Fletcher				Frosch		Beggs		Fletcher		Truly		Goldin																

図2-5

2.2.1.2.1 スペースシャトル関連

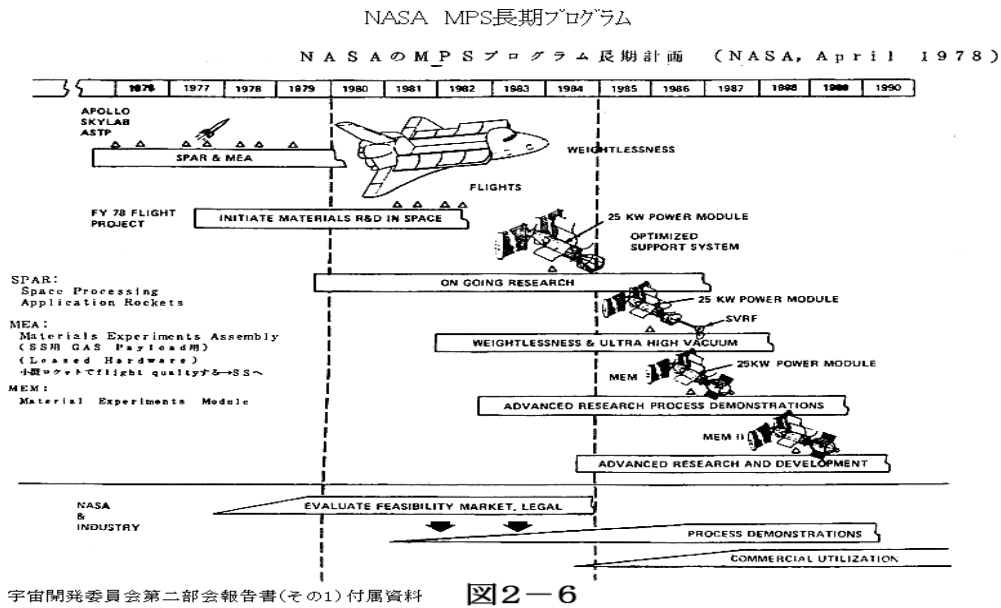
★Am アポロ計画の目標達成が近づく1960年代終頃には、ポストアポロ構想が広く研究されていた。宇宙ステーションと月面基地、火星探査、宇宙ステーションとスペースシャトルの3案があったが、資金的にはどれも実施できる環境になかった(参考文献4)。検討の重点が置かれていたのが、完全/部分再使用型スペースシャトル、宇宙ステーション、スペースタグ(軌道間輸送機)で、これらはセットで検討されていた。

★Am ポスト・アポロ計画を立ち上げるに当たり、NASAは、国際協力の範囲をハードウェア開発まで上げると共に有人飛行計画のシステムまで広げる事とした。1969年に、NASAは欧州、カナダ、日本に宇宙ステーションとスペースシャトルを中心としたポスト・アポロ計画への参加を呼びかけた。(Y)

★Am ニクソン大統領(共和党、1969年就任)は、将来の宇宙開発目標に関する政策声明の中で再使用型宇宙輸送機に高い優先順位を与えた(1970年3月)、1971年にニクソン大統領が任命したフレッチャー長官がスペースシャトルの現実的案の検討を主導。スペースシャトルは、米軍(DOD)がこの計画を支持したことから、決まったといわれている。その後、ニクソン大統領が、スペースシャトル計画を承認した頃(1972年、現固体ロケットコンフィギュレーションは、1973年2月にNASAが確定)には、スペースシャトルを4機整備し(1機約100回のフライト)、1980年代から1990年代に計約600回のフライト(NASA、DOD、他ミッション)、定常飛行段階でのフライト当りの費用は8.5M\$(当時のレート)が想定されていた

★Am カーター大統領(民主党、1978年就任)は、就任後、国家予算引き締め政策をとると共に、国家安全保障会議に対して、宇宙政策の再検討を指示。米国の宇宙政策基本方針を明確化した上で(軍事、非軍事の重複投資をやめるなど)、政策検討委員会を設置して審議。この結果を非軍事宇宙政策として発表、①応用・科学・技術開発分野間でのバランスを確保、②有人宇宙活動により最も効率的に遂行できる見込みがある場合に有人宇宙利用を実施、③アポロ計画に比肩できるような大型技術計画に着手する事は不可能かつ不要、④具体的事項としては、太陽発電衛星や宇宙材料工場の開発は時期尚早であるが、それに至る過程としての科学及び基礎技術を重点とした計画を進める、など。これに対して、議会の宇宙開発推進派や航空宇宙業界から失望と反発が起こったとされている。(以上、参考文献4)

★Am NASAは、宇宙材料処理プログラムを推進した。その長期目標は、①宇宙の科学的利用を通じて物質の基礎的プロセス及び特性の理解を深める事、②製品ないし材料を開発することによって宇宙の材料関係活動の効果を実証する事、③材料科学及び技術研究のためユーザをスポンサーとする宇宙利用を開始する事、④民間資金による軌道上の製造オペレーションを実現する事であった。具体的には、1978年からの5カ年間の飛行研究段階、1982年からの製造開発段階、1989年以降の産業利用段階を想定していた。(参考文献16)



★Am 1980年頃には、スペースシャトルミッションモデルは、12年間で460回、標準打上

げ費(プライス)は23.8M\$/フライト(1978年レート)(参考文献12)となっていたが、スペースシャトル初号機及び2回目の打上げが1981年、3回目が1982年、4回目が1983年と続くに従って、その課題も明らかになって来ていた。

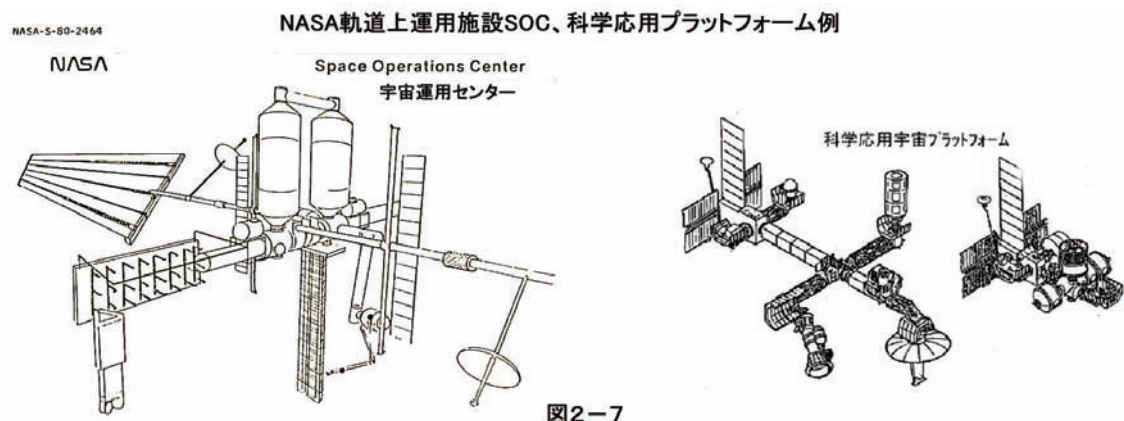
★Am 一方、スペースラブは、1983年11月の初飛行(ESA/NASA 共同フライト)後、1985年5月にスペースラブ3号、同7月にスペースラブ2号が飛行したが、後述のチャレンジャー事故により、スペースラブによる本格的な宇宙実験は、大きく遅れることとなった。

## 2. 2. 1. 2. 2 有人宇宙ステーション関連

★Am アポロ計画中断で、不要となったサターンロケット第3段目を宇宙実験室に改造し、米国として初めての有人宇宙ステーション「スカイラブ」を打上げ(1973年5月)、各種科学研究を実施した(5月、7月、11月宇宙飛行士打上げ)。この時の本格的な有人宇宙実験で、その有効性、可能性を示し、この分野での期待が高まるきっかけを作った。なお、最初の宇宙実験は、アポロ計画で行われ、その後、1975年のアポロ/ソユーズテストプロジェクトASTPでも行われた。

★Am これら初期段階の宇宙実験の結果から、高純度結晶、超強度合金、高純度医薬品など産業分野への宇宙利用の期待が高まる事となった。

★Am 1970年終わり頃から、NASAの恒久的宇宙ステーション概念研究として、①JSCを中心としたSOC(宇宙運用センター、静止軌道が将来の宇宙活動の主たる運用領域となり、大型で複雑な宇宙システムが必要となると予想し、これに対処するための軌道上運用施設)、②MSFCを中心としたS&A Platform(科学応用プラットフォーム、科学および応用ミッションをスペースシャトルのサービスを受けながら実施する軌道上施設)の概念研究が盛んに行われた。(コメント:後に、レーガン政権によってスタートを切ることになった宇宙ステーションは、この両者の機能と新技術開発テストベッド機能を併せ持つ巨大なシステムへと発展する事になった)



★Am レーガン政権(共和党、1981年就任)になって1982年に策定された国家宇宙政策には、「宇宙における米国のリーダーシップを維持する」、具体的には、「宇宙輸送における世界的リーダーシップ」及び「宇宙科学、応用及び技術といった重要な面における米国のリーダーシップ」と明記されている。また、宇宙計画は、ハードウェア中心の計画ではなく、用途、効果を十分に考慮したユーザフレンドリなシステムでなければならないとの指令が大統領府

から出されていたとの事であった。

★Am レーガン政権になって、ベッグス NASA 長官が就任、同長官は、上院での承認ヒヤリングにおいて、個人的ビジョンとして、常時有人宇宙ステーションの建設を次の主要ゴールとする旨、発言した。(Y)

### 2. 2. 1. 3 欧州の有人宇宙活動、宇宙環境利用動向

戦後、米ソに大きく遅れをとった欧州としては、米ソと個別に協力しつつも、長期的には自立し、対抗することを志向し、国際協力を続けながらも着実に、独自の宇宙開発利用技術やシステムの開発を続けていた。

#### 2. 2. 1. 3. 1 スペースシャトル搭載宇宙実験室(スペースラブ)関連

★Eu NASA からのポストアポロ計画参加の呼びかけに対して(1969 年)、欧州は、①機体の一部を開発する、②軌道間輸送機(タグ)を開発する、③研究応用モジュールを開発するという3つのオプションを1971年～1972年まで20M\$を投入して検討を行い、「タグ」開発が望ましい貢献と考えていた。しかし、欧州の検討期間中に、米国側の考え方が明確化され、①欧州の技術レベルがまだ不十分、②クリティカルな部分を外国に依存したくない、③安全保障上の問題などの理由から、米国案は研究応用モジュール(宇宙実験室)の開発というものであった。しかも、この案は、“take it or leave it”と言う提案であった。欧州では、フランスを中心に独自能力開発に集中する案と、西独&イタリアを中心とする有人宇宙飛行用ハートウェア開発参加案について、激論が交わされた後、所謂パッケージディール(アリアン打上げ機開発、スペースラブによる参加合意)が成立した。(Y)

★Eu こうして、西独&イタリアを中心として検討されたスペースラブ概念が、ESRO(欧州宇宙研究機構)プログラムとなり(1973年)、同年 ESRO/NASA 間で、スペースラブの開発運用利用についての了解覚書が交わされた(なお、了解覚書の傘協定としての政府間協定 IGA が、米国と欧州 9 カ国との間で結ばれている)。1975年には、スペースラブの開発がスタートし、欧州にとって最初の有人宇宙分野への参入となった。ちなみに、ESA(欧州宇宙機関)は、1975年に ESRO と ELDO(欧州ロケット開発機構)が統合され、設立されている。

★Eu スペースラブは、10年間、50フライトに耐えられるよう設計されており、プログラム経費は、約690MAU(1979年レート)、おおよそ2千億円であった。(コメント:欧州側には、これだけの投資をしたにもかかわらず、NASA は1回しか無償スペースラブ飛行を割り当ててくれない事、スペースラブの運用は、NASA が握っているなどの不満が残る協力であったとの意見があり、NASA と宇宙ステーション協力に当たって、欧州側の考え方をまとめる上で重要な教訓の一つとなっていたとの事であった)

★Eu 1983年11月の ESA/NASA 共同のスペースラブ初飛行の後、1985年10月に西独が中心となって宇宙実験 D-1(NASA とは有償契約)を実施している。

#### 2. 2. 1. 3. 2 有人宇宙ステーション、フリーフライヤ関係

★Eu 1970年代終わり頃には、スペースラブの軌道上実験期間を延長し、最終的に有人宇宙ステーションへと発展させるシナリオ、概念の研究が NASA と共同で行われていた。

★Eu 1983年には、長期宇宙実験等を実施する無人フリーフライヤ EURECA が、ESA プロ

グラムとして承認され、1992年7月にスペースシャトルで打上げ、1993年6月にスペースシャトルで回収されている。

### 2.2.1.4 その他

★ 世界的に物質特許の考え方が広がり、材料製造等の国際競争が激しくなってきた、なお、日本では、物質特許が昭和51年に導入されている。

### 2.2.2 日本の宇宙開発利用動向

宇宙ステーション計画において実務的業務を担当する事になったNASDAの主要な活動と予算、人員規模等の経緯は、宇宙ステーション計画、宇宙環境利用、日本の有人活動の全体的流れを理解してもらう上でも必要と考えられるので、下図にこの経緯を示す

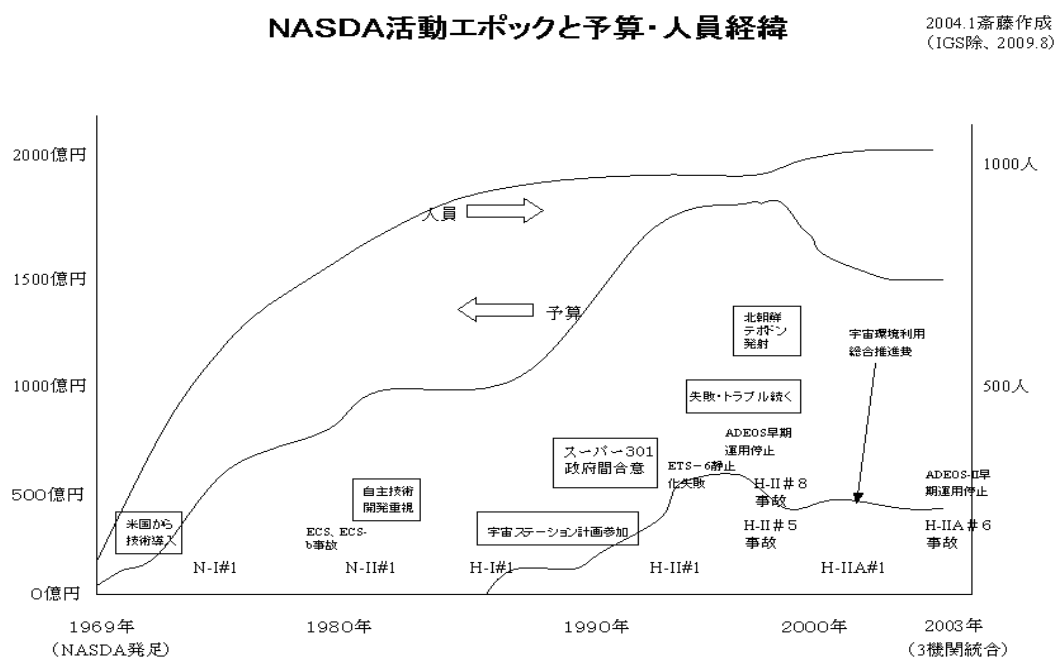


図2-8

### 2.2.2.1 全般

宇宙開発委員会が決定した最初の宇宙開発政策大綱は、昭和53年3月のものであるが、この中で「可能な限り、世界における宇宙開発活動との調和を図りながら我が国の宇宙開発を進めること、大型宇宙ステーション計画等にも可能な限り積極的に参加し、世界の宇宙開発に対して相応の分担と協力を行っていく」とされている。

1980年代前半におけるNASDAの宇宙開発利用は、草創期から自立期に移行しつつある時期であった。以下に、主要な活動まとめる。

### 2.2.2.2 ロケット、人工衛星分野

★Ge 草創期 1970年代 一技術導入、実用衛星打上げ一

- ① 自主開発路線から、昭和 44 年の「宇宙開発に関する日本国とアメリカ合衆国との間の協力に関する交換公文」により米国からの技術導入による実用的ロケット、衛星の開発へ。
- ② ロケット: 静止 130kg 級技術試験、実験用衛星打上げを目指したN-I 計画(1 号機/ETS-I 打上げ、昭和 50 年)、静止 350kg 級実用衛星打上げを目指したN-II 計画(1 号機/ETS-IV 打上げ、昭和 55 年)の推進。
- ③ 人工衛星: 小中型技術試験、実験用衛星の開発、実用分野の気象、通信、放送衛星の開発と米国ロケットによる打上げ。

★Ge 自立期 1980 年代 一自主開発への移行と多様化の萌芽一

- ① ロケット: 静止 500kg 級実用衛星独自打上げ技術確立を目指したH-I 計画による自主開発への移行(開発着手昭和 56 年)、静止 2 トン級実用衛星独自打上げ技術確立を目指した H-II ロケット開発に着手(昭和 61 年)。
- ② 人工衛星: 中型技術試験衛星による技術獲得と実用衛星の自主打上げ。
- ③ その他: 地球観測衛星の開発、データ利用に着手。

### 2. 2. 2. 3 有人宇宙活動、宇宙環境利用分野

★Ge NASA からのポストアポロ計画参加呼びかけ(昭和 44 年/1969 年)に対して、日本は技術導入で実用的なロケット、衛星打上げを目指す大型計画を開始した時期に当たり、参加できる状況になかった。

★Po スカイラブ(昭和 48 年/1973 年)宇宙実験に、日本から金属材料技術研究所高橋博士が参加。この時の成果や経験、世界の宇宙材料製造等への期待と宇宙実験計画の動向を踏まえて、日本も乗り遅れまいと昭和 49 年～52 年頃にかけて、科学技術庁は政策立案基礎資料作成のための委託調査検討を行った。この検討の中で、スペースシャトルを利用した材料実験、TT-500A 型ロケット利用材料実験、衛星を利用した材料実験などの構想の具体化が図られた(参考文献 13 など)。

★Po 宇宙開発政策大綱(昭和 53 年)において、当面 15 年間に実施すべきシリーズとして、①材料実験シリーズ、および、②ライフサイエンス実験シリーズの実施が、また、③人工衛星系共通技術分野の宇宙開発活動として、シャトル搭載実験機および有人サポート技術開発の実施が規定された(参考文献 14)

★Ut 短時間材料製造実験、スペースシャトル利用実験に向けた予備実験として、昭和 55～58 年にかけて、TT-500A 型ロケット利用材料実験(8～13 号機)を実施し、所定の成果を得た。

★Po 宇宙開発委員会第 2 部会報告書「スペースシャトルの利用の推進に向けて」(昭和 54 年 6 月)に基づいて、第 1 次宇宙材料実験 FMPT 計画が推進されることとなった。NASDA では、外部諮問委員会「スペースシャトル利用委員会」(齋藤委員長)を設置し、国の基本方針のもと、計画推進上の重要事項の調査審議を委嘱した。

★Ut, Ma FMPT 計画は、スペースシャトル/スペースラブの一部を NASA と実費支弁契約に基づいて借りて、材料実験やライフサイエンス実験を実施する計画であり、テーマ募集が昭和 54 年、テーマの 1 次選定は昭和 55 年、2 次選定は 59 年行なわれた。打上げ時期は、当初昭和 58 年であったが、テーマ募集時には昭和 59 年、さらに昭和 61 年へと打上時期が延期された後、チャレンジャー号事故の影響で、平成 4 年まで延期されてしまった。この計画により、①

微小重力等の宇宙環境利用に関する科学技術の研究開発、②有人宇宙システム利用技術の習得(スペースシャトルにユーザの一員として搭乗し科学技術実験運用に責任を持つ搭乗科学技術者PSの養成、及び、有人操作型実験装置の技術開発)を推進。この計画の一環で、毛利、向井、土井3名のPS候補者を、昭和60年8月に選定している。

★In、Ut また、この頃、宇宙工場の検討が、関連産業界で行なわれ、宇宙での材料製造への取り組みについて、政府に働きかける活動が、活発化し始めた時期でもあった。

2.3 宇宙ステーション計画への日本参加に対する取り組み(昭和57年/1982年から)、JEM予備設計終了(昭和62年/1987年)まで

2.3.1 昭和57年の取り組み

★Po この時期の政策立案に係る詳しい経緯は、宇宙開発委員会宇宙基地計画特別部会報告「宇宙基地計画参加に関する基本構想(1985年4月)」(参考文献17)付属資料宇宙基地計画の経緯を参照されたい。

★Am、Po スペースシャトルの初飛行成功(1981年4月)を受けて、1982年5月、NASAは公式に、宇宙ステーションタスクフォースをNASA本部に作って、宇宙ステーションの本格的な研究(ミッション解析からスタート)を開始すると共に、国際協力の呼びかけを行った。(コメント:アジアで最初、世界で4番目に人工衛星を独自に打ち上げ、また、導入技術を活用しつつも実用衛星の開発利用でアジアの先頭を走っていた当時の日本が、世界の最先端の宇宙技術である有人宇宙活動に関する国際協力に参加する事は、宇宙関係者の悲願でもあり、乗り遅れまいとの雰囲気が強かった)

★Po NASDA 園山理事(当時)が、スペースシャトルフライト(第3回目)を視察したおりに(昭和57年5月)、NASA本部で長官と会い、日本は宇宙ステーション開発に参加したい意向を持っており、居住部分への参加は有人経験を持たないので難しいが、ロジスティック(補給)モジュールであれば分担出来るのではないかと伝えた。

★Po 研究段階からの国際協力要請(昭和57年/1982年6月中川科学技術庁長官/ベッグスNASA長官会談)を受けて、NASDAは、同年6月「ポストシャトル計画検討チーム」を発足させ活動を開始、政府は同8月宇宙開発委員会(委員長:科学技術担当大臣)に宇宙基地計画特別部会(久松部会長)を作って、日本の参加構想の検討(利用テーマ、開発テーマなど)を開始した。検討は、オールジャパン体制で臨むこととされ、科学、応用などの利用機関・研究者、産業界、宇宙機関が入った公式の調査、検討体制作り(部会作業グループを支援する作業チームなど)が、急ピッチで進められた。作業チーム(スペースステーションタスクチーム:宇宙科学研究所ISAS、航空宇宙技術研究所NAL、電波研究所RRL、電電公社NTT、NASDA等から構成)は、関係機関、大学、企業などの検討状況についての情報収集・交換、意見交換や統合検討を展開。一方、NASDAに宇宙基地関係の研究予算が認められ、関係機関の研究者、関係企業の技術者等の参加も順次得て、検討体制の強化(NASDA関係部協力体制、NASDA&関係試験研究機関&企業協力体制(研究グループを編成))を図り、宇宙基地計画特別部会で議論・審議される資料作りを加速する事となった。(コメント:NASAは、この時期は宇宙ステーションの概念より先に、ミッション解析に重点を置いていた事もあり、日本もこの分野で協力することは、国内の関連研究機関、研究者等がそれぞれのアイデアや研究内容をアピールし、予算獲得が出来るとの期待も大きく、活動が活発化していた。部会での考え方



の整理が進み、NASDA の体制も次第に整備され、組織的活動が必要となってくるに従って、資料作りの実務的作業は、次第に、NASDA に重点が移って行く事となった。)

★In 民間企業(グループ)も、独自提案を持って、同年 9 月までに、計画実現に向けての活動を開始し始めた。この提案書が、NASA 長官にも渡り、国際協力により外国の研究開発資金を呼び込み、相互に役立つ機会を宇宙ステーション計画は提供できる例であると主張する資料にもなったとされている(参考文献 37)。一方、政府においては、民間資金の導入方策が検討課題となっていた。

★Ge、Am こうした中で、日本も昭和 57 年/1982 年 9 月、12 月の NASA 宇宙ステーション国際会合に参加するようになり、有人宇宙開発先進国の動向、考え方等についての情報収集が直接可能になると共に、日本側の考えも主張できる場が出来上りつつあった。この頃会った NASA 本部の宇宙ステーション幹部と話していると、NASA にとっての宇宙ステーションは、スペースシャトルの後に続くロジカルステップであるとの認識が強かった。

★Ge 昭和 57 年 10 月には、NAL、ISAS、NASDA、経団連宇宙開発推進会議の4機関が主催したスペースステーション・シンポジウムが開催され、多くの研究発表と参加者の出席があり、日本の宇宙科学者、技術者の関心の高さが示される事となった。

### 2. 3. 2 昭和 58 年の取り組み

★Po 日本側の動きの調査と意見交換のため、昭和 58 年/1983 年 3 月に宇宙ステーション担当 NASA 副長官補が来日し、宇宙開発委員、科学技術庁、NASDA、ISAS 幹部と会談し、米国側の状況説明と日本側の状況確認を行い、現状と今後の課題についての認識(夫々やるべき事が多い)を深めて帰国したとされている。

★Po 宇宙基地計画特別部会は、それまでの国内ニーズの調査、検討を踏まえて、参加意義、参加候補の整理を行った成果を、昭和 58 年 6 月に中間報告書(参考文献 17)としてとりまとめた(①参加意義・必要性:宇宙活動範囲の飛躍的拡大、先端技術開発・その波及効果、国際協力の推進、②参加テーマの検討結果:初期段階からの実施を検討すべき利用テーマと発展段階で検討すべき利用テーマに整理、初期段階からの参加を検討すべき開発テーマとしては宇宙基地取付型モジュール、サブサテライト型プラットフォーム、テレオペレータ、宇宙基地本体構成要素部(本テーマは NASA の意向を十分考慮しつつ検討)、③今後の検討の進め方:諸外国の動向等を総合的に勘案して技術面、経済面から実施可能性の検討を行う、利用テーマを実施するモジュールやプラットフォーム等については、“日本で開発すると想定して検討を進める”など)。NASDA は、関係者の協力を仰ぎながら、この基礎資料作りに奔走した。なお、同年 6 月に、この特別部会中間報告の内容は、NASA(本部)に説明された。

★Ge 宇宙基地計画特別部会中間報告を踏まえ、昭和 58 年/1983 年 6 月スペースステーション講演会が、航空宇宙学会主催のもとで開催された。宇宙ステーション参加構想の検討状況等について講演、意見交換が公開で行われ、国を挙げて検討し始めた検討についての理解を深める上で役立てられた。

図2-9 1983年6月の宇宙開発委員会宇宙基地特別部会中間報告

2. 宇宙基地構成要素の開発

分野	区分	関連提案 テーマ数
1.宇宙基地 取付型モジュール	(1)応用モジュール	14
	(2)標準モジュール	1
2.サブサテライト型 プラットフォーム	(1)応用プラットフォーム	4
	(2)標準プラットフォーム	1
3.輸送系 エレメント	(1)テレオペレータ等	8
	(2)軌道間輸送機	5
	(3)輸送基地	5
4.基地本体 構成部等	(1)ロジスティック モジュール	3
	(2)サブシステム等	24

総テーマ件数 187件

〔各分類のテーマ件数の合計と一致しないのは重複して分類されているテーマがあるため〕

表2-2 利用テーマの概要

実施想定時期 利用分野	宇宙基地の初期段階 (概ね1990年代前半)	宇宙基地の発展段階 (概ね1990年代後半以降)
科学観測	天体観測	
地球観測	関連技術開発を「宇宙 技術開発」で実施	海洋、陸域、 大気圏観測
通信	関連技術開発を「宇宙 技術開発」で実施	大型通信衛星組立て ・打上げ
材料実験・製造	材料実験	材料製造実用化
ライフサイエンス	ライフサイエンス実験	バイオテクノロジー実用化
理工学実験	宇宙技術開発	
	宇宙エネルギー実験	

注) 本表において宇宙基地の発展段階に分類されているテーマは主なテーマであり、それ以外のテーマについても今後検討される可能性がある。

★De NASAは、ミッション解析作業の国際協力に加えて、この時点までのNASAの宇宙基地概念研究概要を開示しつつ、予備設計に入る前に検討しておかなければならない主要技術項目リスト14項目を提示し、これらの技術項目を中心として各国が宇宙基地概念研究に協力するよう要請した(昭和58年/1983年7月、国際シンポジウム、バイラレラル会合時)。この要請に対応するため、国内で検討している利用、開発テーマとの関連も整理しつつ、関係機関の協力も得て7項目の概念研究(実験モジュール設計研究、プラットフォーム軌道運用研究、テレオペレータサービス概念研究、他)を行うとの回答案をNASDAが作成し(NASAは、この作業の参考用にと、それまでに検討して来た分厚い資料を送付してきた)、宇宙基地特別部会(同年9月)の了承をもらい、NASAに通知すると共に、検討作業を関係者に展開した。

★De NASAから、これを踏まえて日本を概念研究グループCDG(Concept Development / Design Group)会合に招待するとの回答があり、同会合(同年10月、12月)に出席。日本側の検討状況の説明を、NASDA&企業検討メンバーが直接行うと共に、NASA等の情報入手を行なった。この概念研究協力の過程で、NASAの設計思想、課題点などについて理解を深める事が出来た。

★Am 上記国際シンポジウムでは、米国防省から、(スペースシャトルと違って)有人宇宙基地は、無人衛星と比べて特に有効であるとの考えを持っていないとの報告、また、NASAからも「初期段階」の宇宙基地は非軍事と現在想定している旨の説明があった。

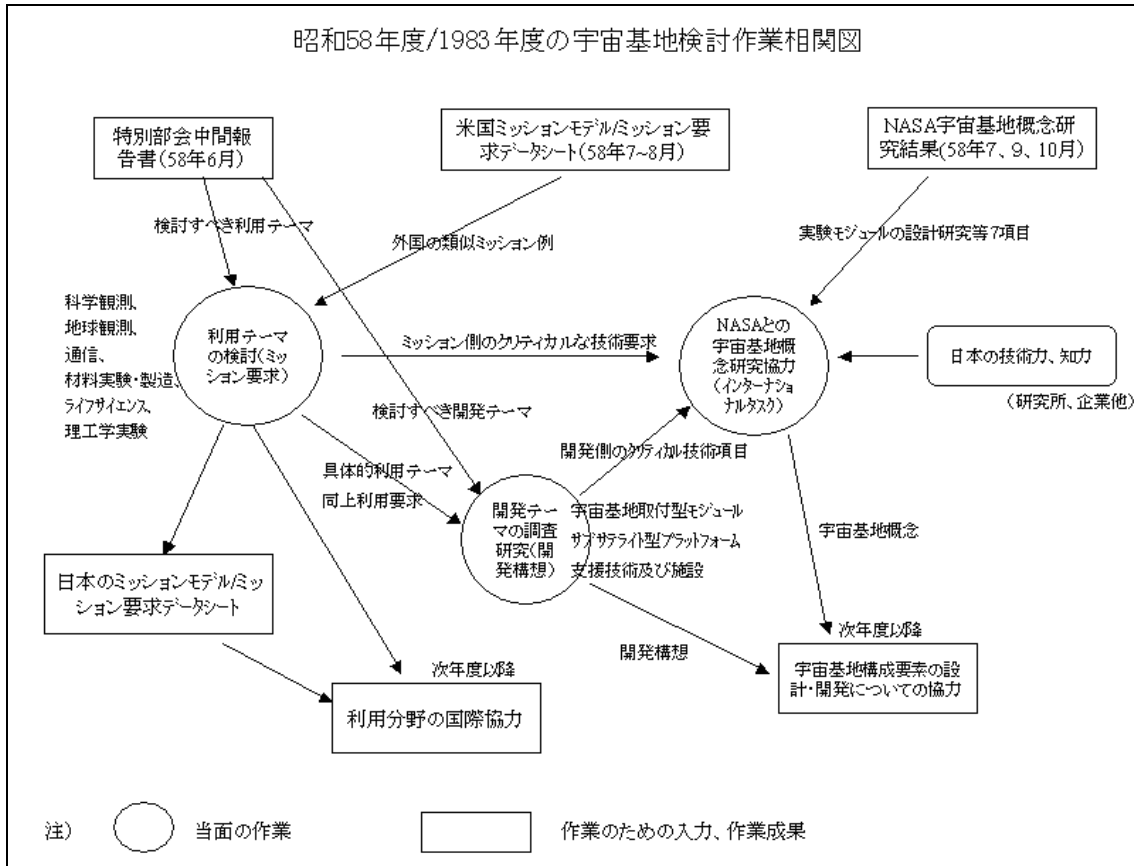


図2-10

★Am 米国防省は、NASA が宇宙ステーション計画を実施する事を望んでいなかったし、国際協力でのもとでの計画に反対していたとの事であった(参考文献 37)。(Y)

★Ge 宇宙基地計画参加構想の具体化作業が少しずつ進展する中で、昭和 58 年 8 月、宇宙開発を担っている中核的な機関である ISAS、NAL、NASDA の幹部連絡会(NASDA 園山理事が司会)が設けられ、密接な協力を行なっていくために情報及び意見の交換等を行う事となった。

★Ut NASA から日本の宇宙基地利用ミッション、ミッションモデルについて共通の様式での作成依頼あり(国際間での重複を避ける上で役立つとの趣旨であった、同年 9 月)、特別部会作業グループからデータシート作成作業依頼を展開、作成された資料は、整理のうえ後日 NASA に送付。

★Ut NASA は、協力国のデータも入れて全体をまとめて、ミッション要求作業グループ(MRWG)国際ワークショップで、宇宙基地への全体的ミッション要求を発表した。これによれば、科学ミッション分野では、各国とも短期間または無人フリーフライヤーによる実験が多い事、スペースシャトル利用から宇宙基地利用への移行計画を明確にする事が重要との指摘などがあった。

★Am、De 昭和 58 年終わり頃の NASA CDG メンバーが、検討していた宇宙ステーションの候補概念は、以下のように広範囲にわたっており、また、段階的に発展させていくというものであった。

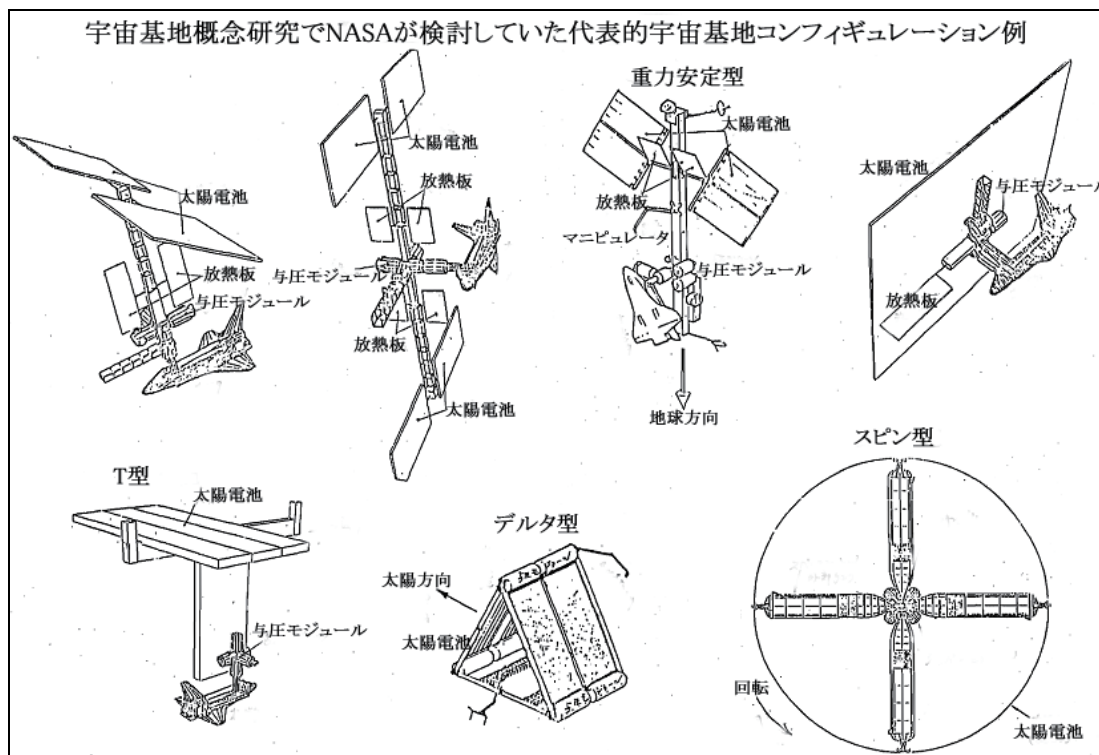


図2-11

★In 国内企業の動きとしては、IHI/東芝グループ、三菱グループ、日産/日立グループ等の動きも、活発化して来た。

★Ge、Po この時期、日本が自主開発しようとしていた次期大型ロケット(H-II ロケット)とNASA 宇宙基地への日本の協力に対する考え方、動向について、米国の注目が集まっていた。

### 2. 3. 3 昭和 59 年の取り組み

★Am、Po 1984 年の年頭教書でレーガン大統領は、Next フロンティアとして恒久的な有人宇宙ステーションを 10 年以内に開発することを NASA に指示した(宇宙ステーションは、米国の技術的リーダーシップと能力を強調できる計画、新しい産業の創造、友好国への参加の要請など)(参考文献 18)。なお、この時の米国宇宙ステーション開発費(除く、打上げ費、運用利用費)は、8B\$(1984 年レート、1\$=240 円)と見積もられていた。

★Po 昭和 59 年 2 月の宇宙開発政策大綱第一次改訂において、今後 15 年間に実施すべきシリーズに宇宙実験・観測フリーフライヤ(SFU)が追加された(SFUの開発着手は昭和 62 年)。この SFU は、ESA の EURECA と同様なフリーフライヤで、後述の宇宙ステーション計画で議論されたフリーフライヤ、プラットフォームとは別に分類されていた。

★Po、Am レーガン大統領は、年頭教書直前に、中曽根首相へ親書(同年 1 月)を出し、宇宙基地計画への協力を要請(同様の書簡が、西独、仏、英、伊、加首脳にも出されている)。また、同年 3 月には、本件で、ベッグス NASA 長官が日本を訪問し、中曽根首相、岩動科学技術庁長官等日本の首脳と会談。また、大きな投資を伴う計画である事から、国内の政治的

支援が不可欠であるとの各国関係者の意見も取り入れて、同年 6 月のロンドンサミットでレーガン大統領が各国首脳に協力を呼び掛け、各国が注意深くこの招請を検討する旨の宣言が行われた。こうした過程で、日本の同計画への参加の政治的決定に向けての基盤が固まって行ったと言われている。

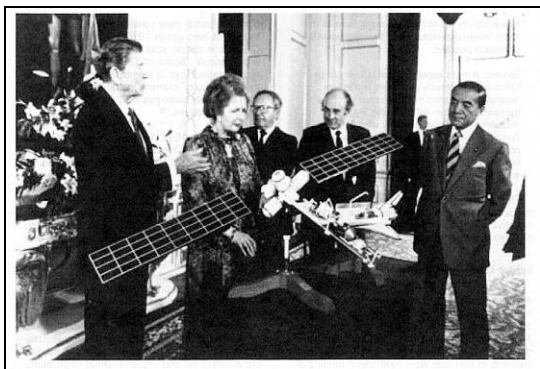


図2-12 (参考文献 37)

#### ロンドンサミット経済宣言

(宇宙基地計画参加に関する基本構想(1985年4月)  
/SAC宇宙基地計画特別部会報告より)

「我々は、有人宇宙基地が、経済の強化と生活の質の向上を導く技術開発に刺激を与える種類の計画であると信ずる。このような宇宙基地は、各国の計画又は国際計画の枠組みの中で打上げを行うべく、我々のいくつかの国において研究されている。これに関連して、我々のいずれの国も、米国大統領から他のサミット参加国が米国の有人宇宙基地の開発について受けた懸篤かつ思慮深い参加招請を注意深く検討するであろう。我々は、米国が、上記計画への各国の参加状況につき次回サミットで報告する意図を有していることを歓迎する。」

(59, 6, 9)

★Am 当時の NASA 公式情報によれば、レーガン大統領の決定は、直前まで決定されるかどうか、決定されるとしてもどの範囲かなどについて、かなり不確実であった。しかしながら、参考文献 37 によれば、NASA ベックス長官の努力により、1983 年 12 月のレーガン政権政策会合(大統領、ほか)において、宇宙基地計画の承認を得る事が出来たとされている。

★Am また、NASA は、大統領から宇宙ステーション計画の承認を得る事に集中し、国際協力のもとで実施する事については、計画の承認が発表される直前に決定されたとの事。(Y)

★Po 日本への協力要請が具体化、切迫化されるにつれて、国内では参加内容の絞込み(結果的に、取付け型実験日本モジュールに大きく傾斜していく事になったが)、規模についての政府内での検討・調整が活発化し、必要資料提出指示が頻繁に NASDA に来る事となった。科学技術庁からの要請に応えて、宇宙ステーション開発テーマ、利用テーマ夫々について、テーマの概要と概算経費の推定値を検討し、昭和 59 年初めに提出。(コメント: 有人宇宙システムの資金規模推定(含む、開発、運用、利用)は、全くといって良いほど未経験の分野(除く、FMPT 実験装置の経験からの推定)であり、また、国際協力の枠組みが決まっていな中で、さまざまな仮定を置かなければならないことから極めて難しかった。企業の見積もり、NASA から入手していた情報、スペースラブ開発経費、コストモデルなどを利用して予備的な検討したが精度はまだ低かった。その後、実験モジュール概念についての検討と議論が少しずつ進み、推定精度が向上して来たが、実験モジュールの具体的仕様や設計が固まっている段階ではないので、同年 4 月初めに実験モジュールに関して目安として科学技術庁に提出、数値的には実験モジュール&共通実験装置の開発費が約 3 千億弱程度、年間運用利用費は実験装置開発費を除き約 3 百億円 +  $\alpha$  のオーダーであった。国内企業の実験費推定値は、最初の頃は、一般的に海外情報に比べて低かった。また、実験モジュール打上げ費に関しては、スペースシャトル 1 回あたりのプライスは 83M\$, 1\$ = 230 円(1984 年)であったが、国際協力のもとで打上げ費をいくら支払うのかが不明だったり、実験モジュールの打上げが何回

になるのかハッキリしなかった)。資金規模については、当時の NASDA 年間予算が 1 千億円程度という中で、次第に 2~3 千億円という規模の数値が、科学技術庁でも議論されていった。また、当初は、材料実験やライフサイエンス実験については、国際実験モジュールに参加するという概念案も検討していたが、同年 2 月には、①出来るだけまとまったもので協力する、②日本のミッション要求をかなりカバーできるもの、③有人技術を修得できるもの、④軍事利用と出来るだけ区別できるもの、⑤マニピュレータでフリーフライヤ等をサービスできる点などを考慮に入れ、日本実験モジュールで参加する方向が明確化されて来て、科学技術庁がこの方向での説明用小冊子を作成。

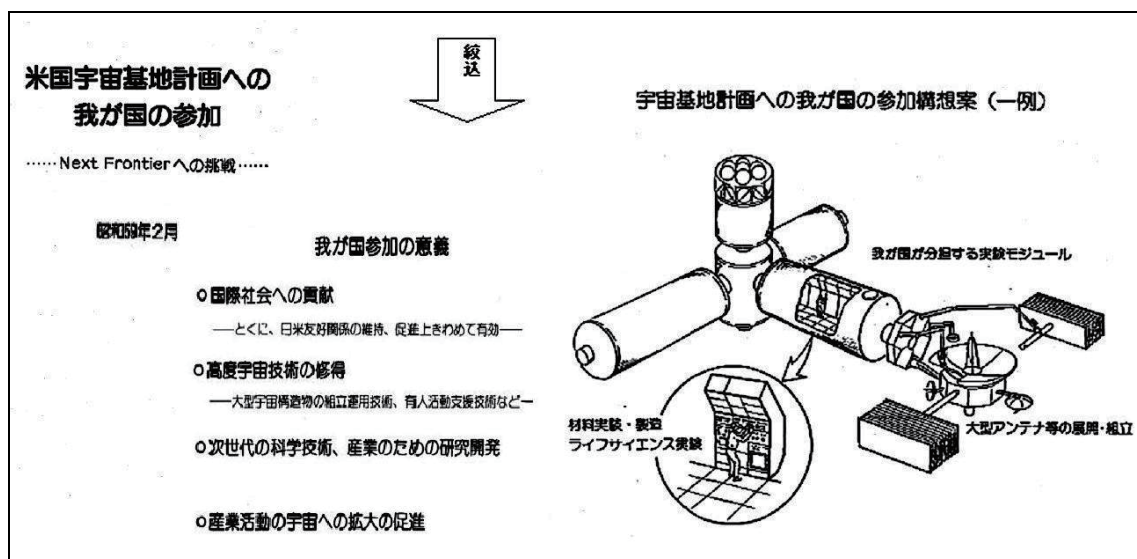
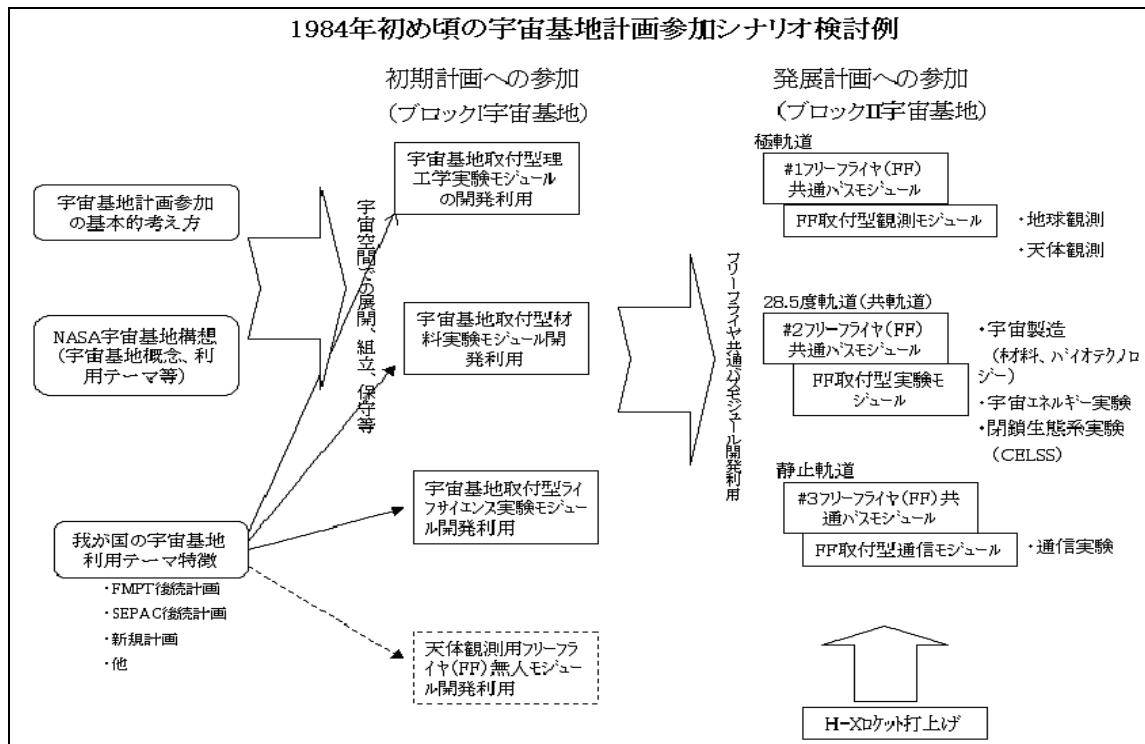


図2-13

★Po ベッグス NASA 長官来日時(同年 3 月)の新聞報道によれば、中曽根首相と会談した時には、首相から日本の宇宙開発は平和利用に限られている事、同年 6 月のロンドンサミットで提案があれば検討のための共同作業に参加する旨回答したとされている。

★Am、Po ベッグス長官は、来日時の記者会見で、日本に米国投資額の10~15%を、欧州には20~25%の投資を期待している事、初期段階の宇宙基地は大統領も述べているように民生用である事などを述べた。

★Am、Po 一方、参考文献 37 によれば、同年初め頃に、NASA 内部では、上記より少ない貢献についての意見交換があった模様。(Y)

★Po 長官来日後の同年 4 月には、科学技術庁の宇宙担当審議官が渡米し、日本実験モジュールの分担を中心に NASA と議論すると共に、NASA のモジュール開発経費の確認(共通モジュール機目が約 800M\$との事であった)も行なった。同審議官が帰国後記者会見を行ない、日本独自の実験モジュールについて NASA の賛同が得られた事などを発言(新聞報道)。その後、岩動科学技術庁長官から、経団連に協力の要請を行なった。

(コメント:この時代、米国は経済的に沈滞し、技術的にも日本、欧州の急迫を受けており、また、自動車等の米国への輸出で日米摩擦/通商問題が発生していた事、さらに米国からの技術導入で実用分野のロケット開発をして来た日本が、独自に H-II ロケットの研究開発に本格的に着手する時期に当たっており、日米友好の上からも、米国からの協力呼びかけに対する政府決定には高度の政治的判断が求められていたと推量)

★In 国内企業各グループ(IHI/東芝グループ、日産/日立グループ、日本電気グループ、三菱グループ、川崎重工グループ)が、いっせいに宇宙利用研究会を発足させると共に提案活動を活発化。これらの要望を一本化するために、同年 11 月、経団連に宇宙基地計画参加推進特別部会を設置、部会長には関本日本電気社長が就任(参考資料10等)した。

★De NASDA は、同年 4 月より 9 月末まで日本実験モジュールを中心とした調査研究を実施し、同モジュールが有すべき機能、今後の技術開発計画等の検討を行うと共に、その成果を活用し NASA との調整、昭和 60 年度予算要求などに対処。

★Am、Eu、Po NASA は、大統領のお墨付きをもらった事から、国際協力について強気の姿勢が目立つようになり、早く参加の形態を示すように迫っているとの ESA 情報もあった。また、宇宙ステーション本体の重要な機能は、自分で開発するとの姿勢を貫くと共に、国際協力の方法としては、南極での国際協力のような緩やかな協力も選択肢の中にある事などの話も出ていた。

★Po ロンドンサミット後の第 1 回国際宇宙基地ワークショップ(1984 年 6 月)で、NASA から宇宙ステーション協力に当たってのガイドラインが示された(添付1)。(コメント:技術的、資金的に不安がある国際パートナーに対しての米国側指針として理解出来るものであるが、逆に、当時の日本では、米国からの技術導入によるロケット、衛星計画推進上の課題も顕在化して来た時期である事も合わせて考えると、日本側からみてもリーズナブルなものであった。一方、その後の NASA のマネージメント上の不手際(開発コストの増大等)などの推移を見るとアポロ計画で見せた偉大な NASA イメージとは、だいぶ異なったものでもあった。)

★Am、De NASA は、宇宙ステーションマネージメントを 3 階層(レベル A/NASA 本部:プログラムの方針、指示、レベル B/JSC:プログラム管理、技術統合、レベル C/MSFC 等:プロジェクト管理)で行う事としていたがレベル C の各センターの役目が決まったと発表(1984 年 7

月)。NASDA は、宇宙基地予備設計の技術調整のための事務所を JSC 近くに開設 (昭和 60 年 4 月)。

★In 昭和 59 年 7 月に、経団連宇宙開発推進会議が、宇宙基地シンポジウムを開催し、産業界として宇宙ステーション計画参加をバックアップする活動が具体化されてきた。

★In 産業界の代表が、同年 8 月に、米国の宇宙基地関連の実情調査に行った時、NASA から受けた説明資料によると、国際パートナーも、商業的パートナーと同様の追加機能扱いとなっていた。

★De、Am 1982 年～1984 年前半にかけて多数検討された宇宙基地コンフィギュレーションは、1984 年中頃には、ミッションとの整合性等で、順次絞り込まれ、パワータワー型、プレーナー型、デルタ型が残った後、地球や太陽などの同時観測性、発展性等の面から、パワータワー型がフェーズ B (予備設計段階) 開発研究の開始に当たっての基準概念となった (1984 年 9 月)。

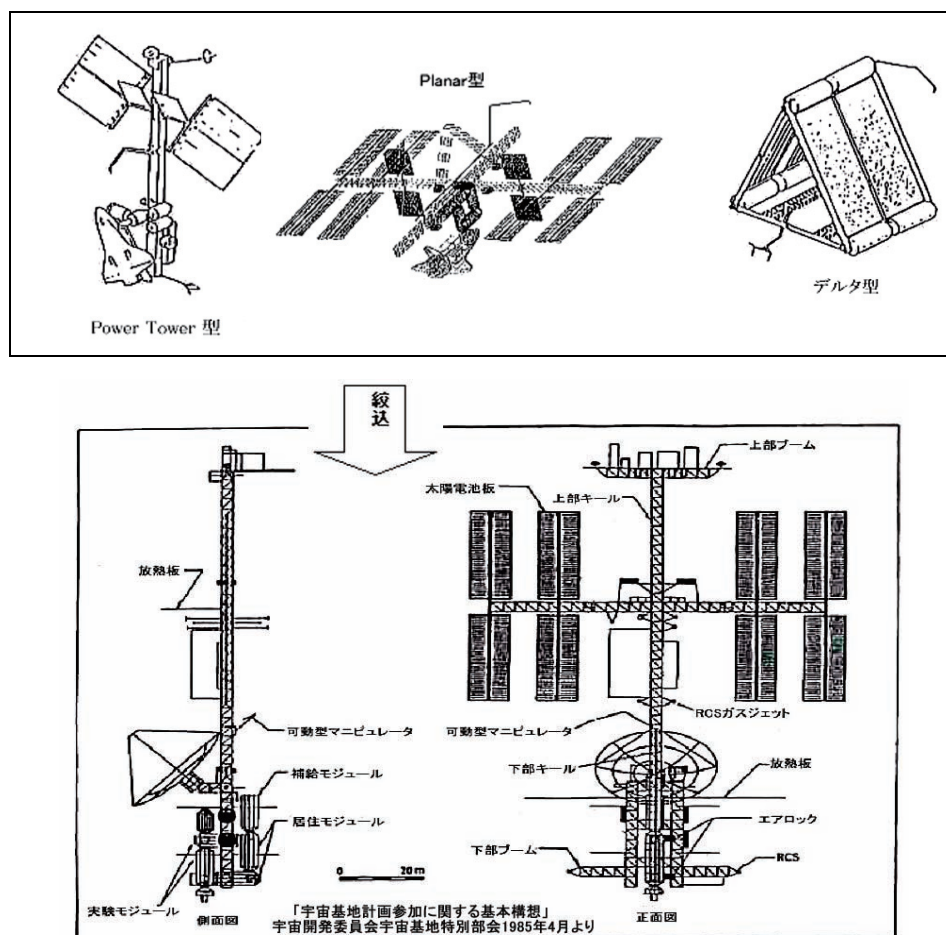


図2-14

★De NASDA は宇宙開発委員会の審議を支援するため、NASA 提示の協力ガイドラインや国際協力の考え方、政府関係者の意見、宇宙開発委員会が調査した利用テーマの要求を踏まえ、また、宇宙ステーション全体概念との整合性を考慮して、政府より重点的に検討するよう指示された宇宙基地取付け型日本実験モジュールを中心とした開発テーマ (宇宙基地構成要素) の研究を実施し、複数あった概念の具体化、整理を行いつつ、その概念と具体的



考え方の明確化を図った。

★De 日本実験モジュールは、有人技術を修得すると共に、国内ユーザの要求を極力満足する事(与圧各種ペイロード、曝露各種ペイロード共に搭載できる事)、発展性を有する事(JEM 構成要素及び機能が、軌道上でマニピュレータなどを使って交換する事等により、より高機能なものに切り換えられる事)、運用利用上重要な要素である安全性の確保(危険性の高い実験は曝露部で実験等)、補給の自在性の確保(日本ロケットでの補給部打上げ)、搭乗員の効率的利用(ロボット技術の活用)などの要素を考慮に入れた結果、与圧部、曝露部、補給部、ロボットアームからなる具体的概念が明確化されて来た。この概念は米欧の実験モジュールが与圧モジュールのみから成り立っている事を考えれば、一見、ユニークな実験モジュールとなっているが、NASA は上記機能を宇宙ステーション全体に配置しているので、日本実験モジュールは、一箇所に機能を集約した概念(NASA の表現では、オールインワン)となっているだけとも言える。

★Eu、Po 欧州としては、米国の呼びかけには、長期的コミットは出来ないので、まず、予備設計に協力する事として、それまで ESA、西独、フランス等が個別に行っていた研究を、欧州宇宙機関(ESA)を通して協力を行なう事とした。その上で、本来欧州は、独自の宇宙ステーション計画としてのコロンバス計画(総額 2.6BAU/約 5600 億円と見込まれていた)をもっており、米国が提唱した予備設計協力活動については、コロンバス準備計画として進めるが、その後の協力については、ESA の主張が認められ、米国と満足のいく協定の取決めが出来れば宇宙ステーションの一部を構成するが、そうでなければ欧州独自にコロンバス計画を実行するという基本的考え方を有していた(参考文献 10 等)。この考え方に沿って、ESA は、スペースラブ協力の経験を踏まえながら、NASAとは、一定の距離を置きながら協力する有人支援型フリーフライヤ、実験モジュール等を予備設計協力対象とした。

★Ca、Po カナダは、スペースシャトル協力の延長としての宇宙ステーション用ロボットアームを中心とした軌道上総合サービス・試験施設を予備設計協力対象とした。

★Ge、De NASDA は、同年 9 月に組織改正を行い、それまでの組織を発展的に改組して宇宙実験グループを設置。同グループの宇宙基地担当者を増員して、以降増大する業務推進に備えた。同年度後半には、実験モジュール概念を定量的に具体化する技術的検討作業を実施。この業務は、国内の技術力を最大限に活用し、かつ効率的に進めるため NASDA 職員(含む、客員開発部員)からなる研究チームとこれを支援するメーカ職員からなる研究支援チームにより行う事となった。昭和 60 年 1 月初めにチームが発足。予備設計段階に入ってから、設計チーム、設計支援チームという形で、この体制が継続された。

★Am 1984 年 10 月、米国宇宙商業打上げ法(NASA 及び米空軍 USAF 主体の打上げから民間企業による商業打上げに移行させる)が成立、その後、NASA が宇宙商業利用方針発表。

★Po 同年終わり頃から、科学技術庁と NASA の間で、宇宙基地予備設計段階の了解覚書 MOU の交渉が開始された。

#### 2. 3. 4 昭和 60 年の取り組み

★De 予備設計段階の協力開始に当たっての日本実験モジュール JEM 基準コンフィギュレーション案を、NASDA 内手続き終了後、同 3 月に科学技術庁を通じて NASA へ通知。

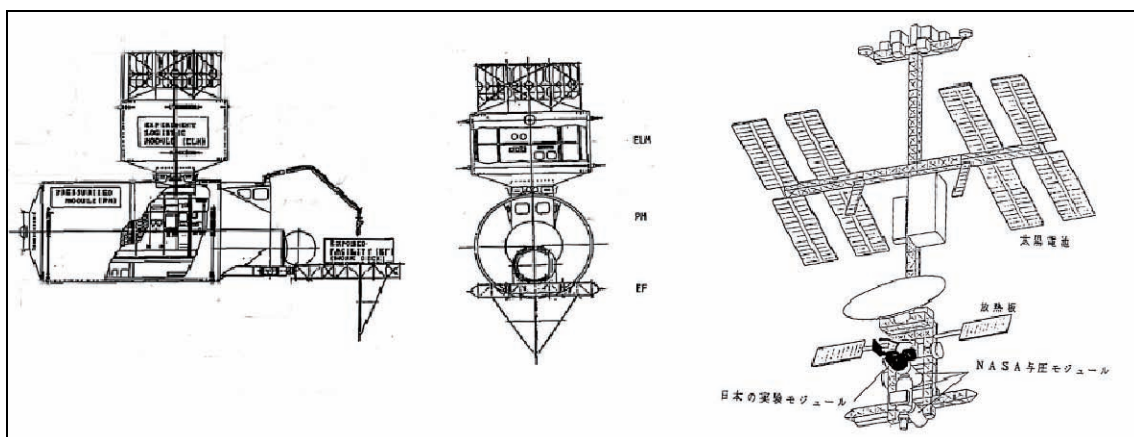
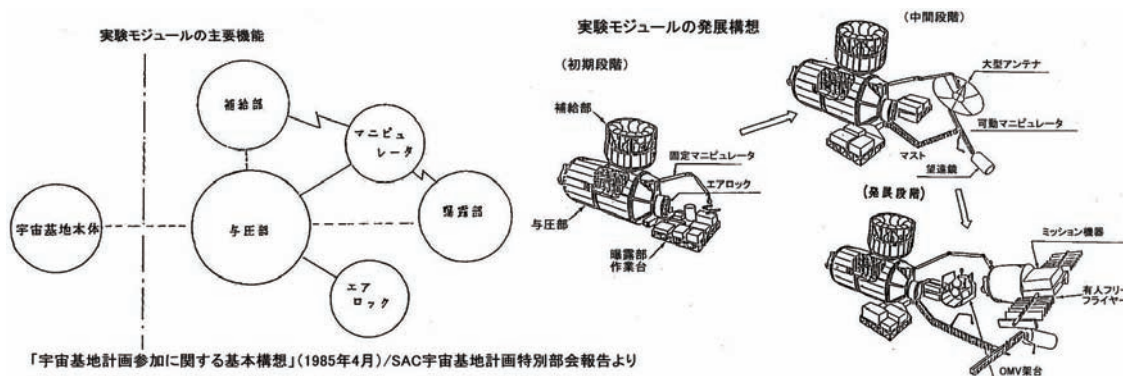


図2-15

★Ge 国内では、昭和 60 年 3 月から 9 月まで、国際科学技術博覧会が筑波で開催され、大成功裏に終了し、日本の科学技術の存在感、国民の関心が高まった時期でもあった。

★Am、De NASA は、宇宙ステーションフェーズ B(予備設計)作業を開始(1985 年 4 月)。



「宇宙基地計画参加に関する基本構想」(1985年4月)/SAC宇宙基地計画特別部会報告より

実験モジュールを利用した時系列ミッションモデル  
「宇宙基地計画参加に関する基本構想」(1985 年 4 月) / SAC 宇宙基地計画特別部会報告より

場所	ミッションテーマ名	JFY	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
与圧部	材料基礎科学実験	M・1	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	新材料製造実験	M・2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	宇宙製造実用化試験	M・3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	生物学	L・1	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	宇宙医学	L・2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	生態系生命維持システム	L・3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	バイオテクノロジー	L・4	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	高エネルギー宇宙線	S・3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
作業台	ガンマ線バースト	S・4	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	宇宙空間におけるRFI対策技術開発	C・1	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	宇宙環境性能試験	T・1	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	宇宙ロボット	T・5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	液体貯蔵移送技術	T・9	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	材料基礎科学実験	M・1	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	新材料製造実験	M・2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	宇宙製造実用化試験	M・3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	地球観測データ処置装置	E・5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	大気圏観測	E・3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
曝露部	宇宙エネルギー実験	T・4	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	宇宙ロボット	T・5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	大型構造物組立技術	T・3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	大型アンテナの機能試験	C・2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	地球観測技術実験	E・2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	大型アンテナシステム技術	T・2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	集光型熱機関発電機	T・8	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	新材料製造実験	M・2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	二次元展開太陽電池アレイ	T・7	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	宇宙通信技術試験	C・3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
マスト	赤外線望遠鏡	S・2	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	ラインガンマ線	S・5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	大型静止衛星組立打上げ保守	C・5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	軌道上作業機(OMV)		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

図2-16

★Po 宇宙開発委員会宇宙基地計画特別部会は、昭和 60 年から日本も他のパートナーと同様に、宇宙基地予備設計段階（開発研究）に参加する事とし、参加に当たっての方針を報告書「宇宙基地計画参加に関する基本構想（1985 年 4 月）」として策定した（昭和 60 年 4 月、参考文献 18）。この中で、我が国のニーズへの対応および宇宙基地計画参加意義としての①有人宇宙技術開発等の高度技術の習得、②次世代の科学技術の促進と宇宙活動範囲の拡大、③国際協力への貢献、④宇宙環境利用の実用化の促進といった期待に応えられるものとして日本実験モジュール JEM を選定し、NASDA を中心に開発研究体制の確立を図る事とした。なお、利用テーマについては、調査研究を平行して進め、実験モジュールの予備設計に十分反映させていく事、フリーフライヤについては当面基礎研究を行っていく事が望ましいとされた。JEM 開発研究予算としては、55 億円が認可される事となった（開発研究段階での予算としては異例の額となった、ちなみに NASA のフェーズ B 段階予算は約 360M\$/853 億円（参考文献 30、1ドル=240 円）、開発研究の内容としては、予備設計（システムの基本条件等の検討、インターフェース条件の検討、システム仕様等の検討、技術調整、宇宙基地実験施設の検討）、関連技術研究であった。

★Po ボンサミットで、竹内科学技術庁長官とベッグズ NASA 長官が予備設計段階協力の了解覚書 MOU に、署名（昭和 60 年 5 月）した。NASDA は、実施機関として予備設計段階の協力に参加する事となった。

★De JEM 開発研究の契約に当たって、インテグレータ方式とプライム方式のどちらを採用するかについて NASDA 内で議論され、国際調整責任、技術蓄積、安全保証の確保等のため NASDA インテグレーション方式を採用する事となった。

★De 昭和 60 年夏頃には、予備設計実施に当たって、各国が共有すべき技術要求、考え方をまとめた技術ガイドラインがパートナー間で調整された（補給、保全性、安全性設計基準、各国モジュール・要素の共通化、機能配分、利用者機器とのインターフェース標準化など）

★Op、Ut 国際運用概念作業グループ IOCWG、国際利用調整作業グループ IUCWG が結成され、IOCWG は宇宙基地の国際的な運用概念及びコストモデルを作成する事、IUCWG は宇宙基地利用についてのパートナー間情報交換及び国際間合意を形成する事とされた。これら作業結果は、宇宙基地協力協定協議へと順次反映された。

★Am、Po 日欧加も参加し、宇宙ステーションの基準コンフィギュレーション更新審査会 RUR（1985 年 7 月に#1、同年 10～11 月に#2）が開催され、ミッション要求への適合性等から電力塔型からダブルキール型に変更（大型化）、また、モジュールパタンがレーストラック型からノードを間に入れた 8 の字型になった。しかしながら、米国モジュール数（実験モジュール 2 個、居住モジュール 2 個）が予算の関係で減る可能性もあり、モジュールパタン及び当初 NASA が積極的であ

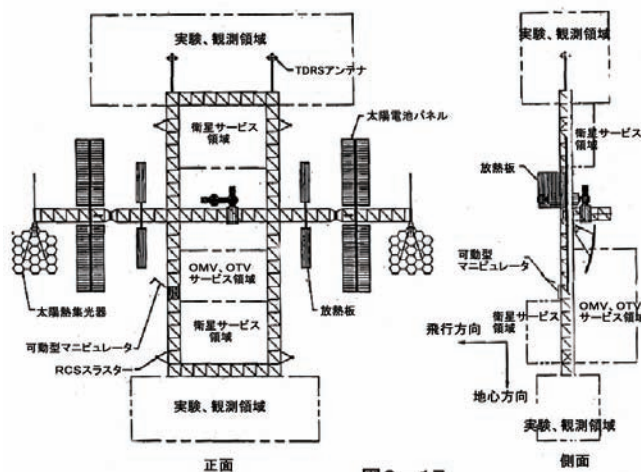


図2-17

った各国実験モジュール間の機能配分(この議論の背景の一つに国際的に一体的に取り組んでいることを国内的にアピールしたかった)については、NASA 本部(レベル A)は、歯切れの悪い状況にあった。

★Ut 予備設計の進捗状況とミッション要求の取り扱いについて、利用者に現状報告を行うと共に利用者の技術要求を把握し、予備設計に反映すること、などを目的とした宇宙基地利用計画ワークショップが開催されることとなり、予備設計期間中は、3回(第1回目は昭和60年10月)開催され、開発段階に入っても、年1~2回、東京と地方で、長期間にわたって開催された。

★Po 第4回日米計画調整委員会 PCC(昭和60年/1985年12月)において、NASAは、取り付け位置を除き JEM 構想(機能)を基本的に受け入れる旨表明、なお、JEM 補給部については、宇宙ステーション全体の補給機能の一翼を担ってほしいと述べた。本会合結果を踏まえて、翌年3月の科学技術庁長官から NASA への JEM に関しての通知につながった。

★Am, Eu, Ge この頃、米欧では、宇宙ステーション計画の中に入っている極軌道プラットフォームや共軌道プラットフォームと宇宙ステーションとの共通化やサービスについての概念の検討などが続いていた。また、極軌道プラットフォームについては、米国(NOAA、NASA)、欧州(ESA)主導で、Cost effective な国際的地球観測システムを国際共同開発で構築する議論が進みつつあって(1985~1986年初め)、日本もこれに参加する案について議論が始まっていた。なお、米国の極軌道プラットフォームは、後に、別プログラムとして切り離された。

### 2.3.5 昭和61年の取り組み

★Am, De スペースシャトルチャレンジャー号事故発生(1986年1月)、以後、1988年9月まで2年8ヶ月間のスペースシャトルの飛行空白期間が生ずる事となった。事故後、NASA 宇宙ステーション責任者は、1992年からの宇宙ステーション組立てには影響しないだろうとの楽観的見解を述べていたが、事故の結果、FMPT 等の打上げ時期が大きく遅れることとなり、また、宇宙ステーション計画においても、マネジメント等の面で大きなインパクトが発生した。

★De 昭和61年1月のインターフェース要求審査(JIRR)において、それまでの検討結果を踏まえて JEM 基準コンフィギュレーションを更新した。

★Am, Po 昭和61年/1986年2月の NASA/科学技術庁会合で、NASA は 8B\$では当初考えてきた規模の宇宙ステーション(2居住モジュール、2実験モジュール、2補給モジュール、2プラットフォーム)は建設出来ない事、さらに 8B\$予算を当初考えていたスケジュールでは獲得出来ない事から、一部計画変更が必要となっている事、変更にあたっては、大統領が述べた10年以内(1994年まで)に有人宇宙ステーションを作る事を最優先として、計画変更しようとしていると述べた。ちなみに、当初想定した宇宙ステーションの建設には、百数十億ドルかかるの見積もっているとの事であった。

★Ut (財)宇宙環境利用推進センターJSUP が、科学技術庁と通産省共管の公益法人として、昭和61年2月に設立され、宇宙環境利用推進業務を担う事となった。

★Po 予備設計段階の日米協力了解覚書 MOU に基づく手続きとして、日本の参加を JEM(含む、その基本機能)とすることを、科学技術庁長官から NASA に通知(昭和61年3月)、予備設計後半からの共同作業のベースラインとなった。

★Po、Ut、Op 宇宙ステーション全体としての要求審査 SRR(1986年3月下旬)で、NASAの実験モジュール、居住モジュールは、それぞれ1個に減らされた。合計14回のスペースシャトルフライト(含む、日欧加エレメント打上)を3段階に分けて、宇宙ステーションを組立てる事となった。第1、2段階はコア部分を組み立て、JEMは第3段階目で、1994年打上げであった。このJEM打上げスケジュールは、国内的には開発上も、長期資金上からも、当時相当厳しいものがあった。一方、この頃のIUCWG、IOCWG会合におけるNASA説明では、利用については、各国はすべての宇宙基地構成要素を利用可能である事、利用資源は開発段階の貢献度により各国へ配分される事、運用経費については、各パートナーエレメントの維持経費はそれぞれの分担とし、NASA担当分(全体共通分と個別分合わせて)のシステム維持経費(年間2千から3千億円と推定、除く、打上げ経費)の内全体共通分については、開発投資割合等に応じて、パートナーが比例分担してほしい旨を暗示。日本側としては、JEMの維持経費の削減、米国民間共通エレメントの維持経費削減要求、バーター(H-IIロケット、データ中継技術試験衛星DRTS、人員派遣)による資金移動の最小化、JEM補給部の有効活用、H-IIロケットによる独自物資輸送、独自回収手段の実現、などの課題を認識し、対応策を検討の上、以後の国際交渉に臨んでいく事とした。

★Po 予備設計段階後半(昭和61年/1986年春、SRR後)から、開発・運用段階の協力協定IGA/了解覚書MOU交渉が、政府間で開始され、長く困難な交渉が始まった。科学技術庁では、法制問題検討会(座長:栗林慶応大学教授)を発足させ、法的な検討を実施。一方、NASDAは、特別チームを編成し、技術的および計画実施上(含む、法制問題)の側面で政府を支援した。開発段階は米国との二カ国間、運用段階は多国間の性格がある事を意識しつつ、交渉が進められた。主たる協議内容としては、管理・意思決定メカニズム(政府レベル、実施機関レベル、リーダーシップのあり方など)、利用(利用リソースの配分、利用管理の仕組み、極軌道プラットフォーム等協力との関係など)、運用(運用管理の仕組み、運用経費の分担、搭乗員関連の権利と義務など)、その他(所有権、管轄権、自国輸送・通信手段利用、IGAとMOUの切り分けなど)等

★Po、Ut NASDAでは、宇宙基地計画参加を軸として、別途先行していたスペースシャトル利用宇宙実験FMPT計画など関連するプロジェクトを統合しつつ、試験研究機関、大学、企業とNASDAが連携して事業を推進していく上で必要な共同利用施設(仮称SSIPセンター)も筑波宇宙センターに整備し、宇宙環境利用という新分野の開拓、新たな宇宙活動基盤の整備を目指すというスペースステーション総合プロジェクト計画(仮称SSIP計画)を策定する作業に着手(同年春)。

★De NASAは、宇宙ステーション計画全体の管理、各種技術情報等の交換のため、技術管理情報システム(TMIS)を整備する構想を検討(1985年~1986年)、NASDAもワーキンググループを編成し、対応(J-TMIS)の検討を開始(昭和61年5月)。

★Po JEM計画の総開発費は、3千億円(含む、共通実験装置開発、予備宇宙実験を通じての実験技術開発等)という事で、政府内意見統一のための調整が続けられた。

★Po 昭和62年(1987年)度からの開発段階の予算要求に当たって推定した長期資金は、JEM開発関係約2600億円、宇宙環境利用共通技術&共通実験装置開発関係約450億円であった。その他、JEM運用準備・打上げ・軌道上試験&搭乗員関連業務費も概略推定した(JEM打上げ費は、実費支弁契約を想定)。

★Ut チャレンジャー事故で、当分、スペースシャトルでの宇宙実験が望めないことから、宇宙実験研究者への実験機会を確保するために、宇宙実験用小型ロケットを開発する案や、さらには回収機能を持つ超小型宇宙機などの検討を NASDA 内で開始。前者については次のステップで内容を詰め、その実現を図った。①JEM での各種宇宙実験に必要な共通実験支援技術の体系をまとめ、この中から小型ロケットを通じて開発すべき共通実験支援技術を抽出(昭和62年度)、②開発すべき共通実験支援技術と実験装置を選定、その後、この目的に最適な実験テーマを検討、選定(昭和63年度)、③共通実験支援技術の開発と小型ロケットによる予備実験手段の整備(宇宙実験用小型ロケット(TR-IA)微小重力実験計画プロジェクト、平成元年度より)、④計3回の宇宙実験(平成3年から平成5年まで)を実施。

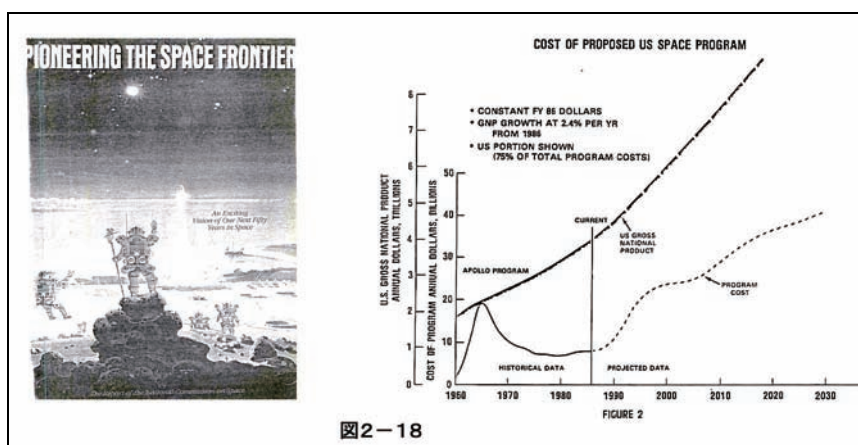


図2-18

★Am 米国国家宇宙委員会は、1986年5月、報告書「宇宙フロンティアの開発」をレーガン大統領に提出し、チャレンジャー事故を乗り越え、地球軌道を超えて太陽系への進出(具体的には、火星)を長期的に目指すとした。しかしながら、必要となる資金規模は、膨大なものであった。

★Am, Sa チャレンジャー号事故調査委員会が、レーガン大統領に調査報告書を提出(1986年6月)。報告のなかでは、固体補助ロケットブースターの設計変更、シャトル計画責任体制の明確化、宇宙飛行士の管理部門への登用、シャトル安全勧告委員会の設置、危険度の再検討と危険分析、安全部門の設置、連絡体制の改善、着陸時の安全確保、打上げ中止及び乗組員の脱出システムの確保、飛行頻度の適正化、などを勧告。以後、同年7月、NASAは、同上調査報告書に対する実施措置報告書をレーガン大統領に提出している。

★Am, Sa, De これら一連の動きの一環として、宇宙ステーション計画のマネジメント及び安全保証の強化を図るため、NASAはJSCからワシントンDC近くのレストンに宇宙ステーションプログラムオフィスを移転し、ここを中心に開発管理、国際調整を進めた。このため、国際パートナーもこれに対応することとなった。

★Am レーガン大統領は、1986年8月にチャレンジャー号に代わる追加オービターの建造、スペースシャトルによる打上げは国家安全保障上、外交政策上、科学技術上必要な場合に限定し、商業衛星打ち上げ業務中止を発表、続いて、NASAは、スペースシャトル飛行再開目標日(1988年2月、実際には同年9月再開飛行となった)及びマニフェストを発表した。(コメント:有人宇宙輸送機で、無人衛星を打上げる必要性・危険性がクローズアップし、まず、

商業衛星打上げから中止され、その後、軍事衛星の打上げも使いきりロケットに移された。)

★Po 宇宙開発委員会宇宙基地特別部会は、中間報告を昭和61年7月に出し、昭和62年度予算要求に関連して、JEM 計画開発段階移行に必要な方針などを明確化した。要点としては、①参加の意義:科学的知見の増大、宇宙環境利用実用化促進、科学技術高度化、国際協力推進、②国力及び他の計画との調和、我が国の自主性確保、平和目的を基本理念として積極的に推進、③国際プロジェクトとしての推進、ニーズへの適切な対応、自主開発、宇宙基地構成要素間の相互利用、④初期運用段階への対応:与圧部、暴露部、補給部、ローカル・マニピュレータ、エアロックからなる実験モジュールで参加、⑤推進すべき研究開発課題:有人サポート技術等の実験モジュール関連技術の研究開発を重点的に推進、各種プラットフォームについては、夫々の計画の段階に応じて研究開発を進める、⑥開発段階の推進体制:実験モジュール開発は NASDA、国立試験研究機関は関連の要素技術研究、関係機関間の調整・重要事項の審議は宇宙開発委員会、⑦利用要求への対応:NASDA は利用要求の開発への反映、宇宙環境利用共通技術の開発、実験実施の技術的支援、関係省庁はその所管において利用要求に関する調査・研究およびとりまとめ、宇宙科学研究所 ISAS は全国の大学等の科学分野の利用要求をとりまとめ、JSUP は民間の利用要求に関する情報の蓄積・提供等によって NASDA を支援、宇宙開発委員会は産・官・学利用要求の全体的なとりまとめを行う、⑧宇宙基地計画の進展に応じて、適時、搭乗員の養成計画に着手、有人宇宙活動を支える宇宙医学を含めた科学技術分野の研究の推進につき検討を行う、⑨宇宙基地活用のための基盤整備:宇宙実験等の推進(国際微小重力実験室 IML 計画等国際協力計画への参加、小型ロケットの活用、我が国独自のフリーフライヤによる宇宙実験)、⑩研究開発基盤の整備、⑪宇宙基地の運用・利用:宇宙開発委員会が全体的とりまとめ、実験モジュールの維持・補修等管理 NASDA、今後、経費の利用者分担のあり方、特許の保護等の検討を行う。なお、同8月の宇宙開発委員会見積もり方針での JEM 打上げ年度は、1994年度であった。

★Ma 上記中間報告の中で、有人サポート系技術課題について重点的に研究開発あるいは先行研究を進めることの重要性について指摘、同部会は、この考えに沿ってライフサポートワーキンググループを同年11月に設置、昭和62年夏に予定されている同部会の最終報告に取り入れるべく審議を開始した。

★Ma NASDA としては、上記動向も踏まえながら、FMPT 計画の PS の養成に関連して設置したスペースシャトル利用委員会有人サポート分科会(大島分科会長)の成果を引き継ぎ、宇宙ステーション計画への参加を通じて研究開発を行う有人宇宙技術のあり方について調査審議する有人サポート技術委員会(黒田委員長)を設置した(昭和61年12月)。

★Ut JEM 予備設計に入ったことから、JEM 開発利用へ繋げる宇宙実験機会について本格検討を行なってきたが、NASA 科学応用局が推進している国際微小重力実験室 IML 計画に、初号機から参加できる機会が生まれた(1986年夏に NASA から打診あり)ので、FMPT の実験装置開発成果を活用して、参加する方向で国内及び NASA との本格的調整を開始した(同年秋)。

★Am、De 長官の要請で、NASA は宇宙ステーション全体構成&システムを、シャトル能力、安全性、船外活動 EVA 時間、コスト、リソース配分、ユーザ対応の観点から見直した。この結果、宇宙基地組立手順の見直し(マンテンド→恒久的有人化→国際モジュール取付け

→IOCの順で組立てる事となった)、コンフィギュレーションの変更(IOCの電力を 75 から 87.5KW に増大、セーフヘブン期間を 28 日から 45 日に変更、保全を必要とする機器はできるだけ与圧部内へ、ノード内にも艀装、外部取付けペイロードは初期は横ブーム上に取付け)、打上げ順序の見直し、ライフボート(救出船)の必要性は今後の課題とする、等が行われた。JEM へのインパクトが生じたので、今後の調整・検討課題を明確化(STS 能力の低下により4機の STS 運用では宇宙ステーション要求を満足出来ない可能性があるので独自打上げ・回収の手段を早期につめる等)の上、対応していく事とした(昭和 61 年/1986 年 11 月)。

★De、Po 上記課題への対応も含めて、同年 12 月中旬の第 2 回中間システム審査 JISR#2 において、JEM 基準コンフィギュレーションの一部更新および JEM 開発着手に必要な各種仕様書、計画書等の作成状況の審査を行った。また、①JEM への柔軟な補給、国際間での資金移動最小化、ユーザの早期回収要求への対応などの観点から H-II ロケットを利用した補給回収システム及び JEM/ELM と NASA 補給モジュール LM との共同利用について予備検討、②実験モジュール開発に当たってクリティカルとなる要素技術の軌道上での飛行試験計画案、について審議した。なお、JISR#2 において初めて SSIP 計画(JEM 開発プロジェクト、開発地上施設プロジェクト、有人技術開発プロジェクト、JEM 運用プロジェクト、運用地上施設プロジェクト、利用準備プロジェクト、共通技術開発プロジェクト、SFU 搭載実験部開発プロジェクトから構成)の骨格が確立された。

### 2.3.6 昭和 62 年の取り組み

★Ma 有人サポート技術委員会(黒田委員長)は、想定される JEM 開発スケジュール等を考慮しながら、昭和 62 年 3 月より JEM 基本設計審査 PDR(当時は昭和 63 年 9 月)等を目途に、ライフサポート技術、人間・機械系、宇宙ステーション搭乗者の選抜・訓練・健康管理に関する調査審議を開始した。

★Am NASA 諮問委員会は、昭和 62 年/1987 年 3 月に、有人火星探査等をフレッチャー長官に提案した。また、この提案を受ける形で、同年 8 月には、NASA 長期宇宙目標検討最終報告書「宇宙における米国のリーダーシップと将来」(サリー・ライド長官特別補佐が検討責任者)がまとめられた。本報告書で、宇宙における米国のリーダーシップ維持のため①惑星地球へのミッション、②太陽系の探査、③月面拠点、④火星への人類到達の四つの目標を挙げてその評価を行っている。「月面拠点」では、1990 年代に月の無人ロボット探査を開始し、2000 年に宇宙飛行士を月に着陸させ、2010 年までには 30 人のグループが 1 ヶ月間にわたり生活、作業を行う拠点を建設する。「火星への人類到達」では、21 世紀初めに米国人を火星に着陸させるスプリント(全力疾走)ミッションを送り、10 年後には有人拠点を建設しようという目標を掲げた。この目標達成のためには今から国家的に取り組み、1990 年代中頃には NASA 予算の 3 倍増が必要で、現在の米国には地球から軌道への輸送という最小限の基本的能力に欠けているとし、猪突に火星に向かうのではなく、まずは再び月を目標とし、宇宙への秩序ある進出のための技術と経験の開発を図るべきだと指摘した。(コメント:現実との大きなギャップを考えると、アポロ計画が持っていた意味、時代は大きく変化している中で、こうした報告書が出された意味を考えさせられる)

★Am、Po NASA は、1987 年春、ホワイトハウス管理予算局(OMB)の求めに応じ宇宙ステーション開発費の見直し作業を実施した。当初推定した開発費 8B\$(1984 年度見積り)は、



14.5B\$に膨張する見通しとなったため OMB、国家安全保証会議(NSC)、科学技術政策局(OSTP)及びNASAとの間で宇宙ステーション計画を見直す作業を行った。この結果、宇宙ステーションの開発をブロック1(12.2B\$)とブロック2(3~4B\$)の2段階方式とし、ブロック1のみ現レーガン大統領が承認し、開発を進める方向で政策決定がなされた。(コメント:2段階化(初期段階(単一キール型)/発展段階(二重キール型))に分けた結果、フリーフライヤや軌道間輸送機等へのサービス、組立、大規模な科学観測、地球観測などの機能が発展段階に移され、初期段階の宇宙ステーションは、与圧モジュール内での科学、応用、商業利用などになり、地味な利用になった。)

★Ut NASAの国際微小重力実験室 IML-1計画に、日本が有機金属結晶成長装置 OCGP 及び放射線モニター装置 RMCD を搭載すること事が、昭和62年4月にNASAとの間で合意された。

★Am、So 米ソ宇宙協力協定は、1972年に初めて交わされ、1975年7月には、歴史的なアポロ・ソユーズドッキングが実現されていた。しかし、1982年のソ連軍ポーランド進駐に抗議して、米国が同協力協定を破棄した形になっていたが、両国の科学者達の努力で、1987年4月に米ソ外相が16ヶ条の宇宙プログラムを含む宇宙協力協定に署名した。このプログラムの中には、宇宙科学ミッションの他に、宇宙飛行士の医学データの交換や協同実験の可能性、宇宙生物学関係の協力も入っていた。(参考文献 31)

★HT スペースシャトルの飛行頻度減少と関連して、H-II ロケットで打上げる JEM 補給部を、日本の利用のみならず、統合補給の一環として、NASAの物資の補給にも使う概念について、日米共同で技術的検討することが、宇宙ステーション計画日米計画調整委員会 PCC で決まった(昭和62年5月)。

★De SFU 計画の内容についての国内調整が進み、JEM 関係では SFU 搭載実験機器部 EFFU により、曝露部や共通実験装置の信頼性向上を目的とする軌道上基礎データの取得を行うこととなった(H-II ロケットによる打上げ目標は1992年)。

★Po 宇宙開発委員会は、昭和62年7月に宇宙基地計画特別部会報告「開発利用本格化に向けて」(参考文献 20)を決定した。要点を抜粋すると、

①基本的考え方(国際社会への積極的貢献、自主開発能力の向上、国内ユーザの幅広いニーズへの柔軟な対応、宇宙ステーションの発展への対応など)、②実験モジュール開発及び共通実験装置開発の方針(・共通実験装置は、NASDA を中心に開発整備、・整備に当たっては、利用者ニーズを十分に調査検討し、適切に反映・、将来の科学技術の進展、利用ニーズの変化に適切に対応しうるよう装置の拡充・整備を計画的、段階的に進める、・共通実験装置以外・開発は原則的には利用者自身の負担・、NASDA 等が開発が効率的かつ円滑に進むよう協力・)、③運用利用のあり方(・開かれた実験室、将来の宇宙インフラストラクチャー構築の基礎的諸活動の場、国全体としての対応・)、④地上及び事前宇宙実験等の推進方針、宇宙ステーションでの宇宙実験等の進め方(・所管省庁:利用要求とりまとめ、ISAS:科学分野利用要求とりまとめ、JSUP:民間利用要求とりまとめ、宇宙開発委員会:我が国全体運用利用計画とりまとめ、NASDA:宇宙開発委員会に協力・)、⑤先行的研究開発、有人宇宙活動のための科学技術の推進、安全性の確保、総合的推進基盤の整備など。

★Po 米国の宇宙ステーション計画の見直しを踏まえて、宇宙開発委員会は、昭和62年8

月の見積もり方針で、JEM 打上げ年度 1995 年度に改定。

## 2. 4 JEM 開発着手(昭和 62 年/1987 年)からロシア参加招請まで(平成 5 年/1993 年)

### 2. 4. 1 昭和 62 年の取り組み

★Po JEM 開発予算は、昭和 62 年度から計上されたが、宇宙基地開発段階の協力協定の国会承認まで、協力の枠組み(協定、了解覚書)が発行されないため、予備設計協力 MOU の延長等によって、予備設計作業の延長と認められる作業(基準となる文書の作成、更新等)及び日本独自の宇宙環境利用推進に係わる共通基盤的作業のみが、執行される事となった。

★Am、De NASA が、1987 年 11 月からフェーズ C/D 段階に移行し、日米フェーズ B 協力 MOU が失効したため、科学技術庁/NASA 間で暫定取極めを締結し、日本側が開発段階に入るまでの協力活動を規定。また、NASA は、フェーズ C/D 契約を 1987 年 12 月に開始。NASDA も、NASA と歩調を合わせて、技術調整等を行うために昭和 62 年 12 月に必要な作業を開始した。

★Po 宇宙基地計画特別部会報告「開発利用本格化に向けて」及び、下記認識を踏まえて、NASDA は、JEM 利用推進(利用準備)プロジェクト(①プロジェクト管理及びシステムエンジニアリング、②利用要求とりまとめ、③共通実験装置の開発、④共通実験技術の開発、⑤地上設備の整備など)を設定し、推進する事とした。このうち、昭和 62 年度は、①利用運用構想の構築、②米国宇宙ステーション設計変更を踏まえた予備設計フェーズ成果の見直し、③利用推進プロジェクトの基本設計フェーズに必要な技術資料の取得に重点を置いた。

- (a) 日本の宇宙環境利用は未だ端緒についたばかりであり、期待は大きい、有効性等の評価法に関し未解決な点が多い、
- (b) 実験研究者の多くは宇宙実験に未経験、地上研究・予備実験データの蓄積が不充分、宇宙実験を計画/実験する基盤が脆弱、
- (c) 1986 年のシャトル事故の影響により、FMPT 等の宇宙実験の遅延により、著しく実験機会が減少し、ある種の厭戦感が生じている、
- (d) 将来的には、宇宙ステーションで、大幅な実験機会の拡大が予想されるが、その基盤の確立が急務、
- (e) 海外諸国の動向をみると宇宙環境利用の展開に対する姿勢が積極的であり、スペースシャトル利用計画(米)、D1 計画(西独)等の有意な成果報告が多数報告されている、更に、小型ロケット、航空機等の予備実験手段も整備されており、基礎データの取得/蓄積も着実に進んでいる、
- (f) これに反し日本では、TT-500A(小型ロケット)以来、計画的な予備実験は中断されており、わずかに MU-300 等による航空機実験が断続的に実施されているのみ。

★Po SSIP センター(仮称)の施設設備マスタープランを設定し(昭和 62 年/1987 年 12 月)、順次、JEM 開発試験、運用、利用のための地上施設設備を、設計・建設する事とした。

### 2. 4. 2 昭和 63 年の取り組み

★Po IGA/MOU 交渉については、国内調整に時間がかかり、実質合意まで進まない時期があり、日本国のみがプログラム要求、インタフェース条件等を決定する重要な時期に

NASAとの技術調整に参加出来ないため、NASAレストン地区を中心にNASA宇宙ステーションプログラムオフィス日本担当官を窓口に、非公式な情報交換に努めた時期もあった(昭和63年3月頃)。その後、同年5月のIGA、MOU実質合意を受けて、暫定取極めが延長され技術調整活動は正常に戻った。

★Am、De NASAは1988年5月から8月の間、宇宙ステーションプログラム要求審査(レベルII PRR)を実施。その後、同年9月から12月の間、各ワークパッケージを担当するフィールドセンタ(JSC等)において各契約企業とともにレベルIII PRRを実施し、基本設計着手に必要な要求文書の更新を行なった。NASDAは、NASAの要求文書改訂に伴って必要となつたJEM関係の要求文書の改訂を、順次、JEM全体システム設計検討の中で実施した。

★Am、So 1988年5月の米ソ首脳会談で、宇宙協力協定拡大に合意。

★Am、Poレーガン大統領は、1988年7月に宇宙ステーションを「フリーダム」と命名。同年9月には、スペースシャトルの飛行が再開し、ようやくスペースシャトル利用や宇宙ステーション組立てスケジュール調整が、再開出来る様になった。

★Ut NASA諮問委員会、NASA科学応用局、宇宙ステーション局からの提案があり、宇宙ステーション有人本体部の利用関係の技術的課題を、国際的に共同で検討、解決するために、宇宙ステーション利用国際共同スタディを行う事がパートナー間で合意された(昭和63年/1988年7月)。具体的作業としては、①ペイロードとシステムのインタフェースの不整合点明確化とその解決案の作成、②国際基準ミッションセット(複数)の搭載計画案の作成、③共通実験支援機器の明確化(国際間分担案を含む)、④ユーザインタフェース標準化、利用能力の最大化、モジュール間のラック/機器の互換性等を可能とする方法の確立、⑤全パートナー向け宇宙ステーション利用データブックの作成、など。

★Po 米国の宇宙ステーション組み立てスケジュールの見直しを踏まえて、宇宙開発委員会は、昭和63年8月の見積もり方針で、JEM打上げ年度を平成8年度に改定。

★Po 日、米、欧、加の12ヶ国が、昭和63年(1988年)9月に、宇宙基地フェーズC/D/E協力協定IGAに署名。この後、このIGAを受けて、日米協力MOUに両政府が平成元年(1989年)3月に署名した(日本側は駐米日本大使、米側はNASA長官が署名)。同年6月に、IGAが国会で承認された(野党は、平和問題で反対)。同年9月の閣議において、IGAの受託とIGA暫定取極への加入が承認された事により、同MOUが発効した。NASDAは、同MOUにおいて、適当な場合には、同MOU及び実施取決めの実施について科学技術庁STAを援助することができると規定された。

★Ut 第2回日米常設幹部会合(SSLG)宇宙協力活動計画会合(昭和63年10月)において、日本がNASAのIML計画に協力する事が合意された。翌年10月の科学調整会議において、日本の搭載実験装置(細胞培養装置、水棲生物飼育装置、高温加圧型電気炉、電気泳動装置等7装置)が選定された。

★Po、Am 昭和63年12月の宇宙ステーション管理会議SSCBで、NASAは、米国ユーザ及び議会の要請により、米国実験モジュールの早期打上げ(第4番目のフライト)、恒久的有人化PMCをフライト第13番目で達成すべく、宇宙ステーション組立(全体では20回)順序を見直す事にした。この結果、JEMの打上げは繰り下がる事となった(約4ヶ月の遅れ)ので、日米協力MOUに示された組立フェーズ終了段階における“各モジュールの同レベル装備”精神を遵守すべきである旨を主張。NASAレベルI提案で昭和62年7月から行ってきたJEM

補給部 (ELM) 共同利用の検討については、日米協力 MOU 上ではユーザ施設 (User Accommodation) として位置付けられた事から、共同施設として使えなくなったので、作業を中止する事となった。

★De MOU 等上位の文書の合意を踏まえて、JEM 開発段階で日米が共同で管理するプログラム要求書 JPRD、プログラム計画書 JPP、プログラム技術要求書 JPDRD、機能システム管理文書 JACD などについて、順次、NASA と共同で作成、制定する作業を行った。

★Ut JEM 利用推進については、基本設計着手に必要な、より詳細化、具体化された基準ミッションとその要求の作成、JEM 実験系の設計検討、実験装置の概念検討、航空機実験システムの開発、小型ロケット等予備実験計画の検討を実施すると共に、大学との共同研究等により実験技術の開発を進めた。これら作業の中間報告会 (同年 10 月) の成果等を踏まえて、「宇宙環境利用推進プロジェクト」計画書及びミッション要求書等の見直しを実施。JSUP 委託の中で設置した有識者委員会「宇宙環境利用推進委員会」等からは、基準ミッションが総花的である事、計画の具体化や実験装置の開発には優先順位付けと、より現実的な絞り込みが必要、等々の指摘がなされた。

#### 2. 4. 3 平成元年の取り組み

★De JEM システム仕様書を制定すると共に、政府間協定 IGA の国会批准後に JEM の基本設計に本格的に移行するための準備として、NASA とのインタフェースに係わる技術調整及びこれを支援するための基盤・基礎技術の開発に着手 (平成元年 2 月)。

★Ma JEM 打上げ時期の遅れ、JEM 計画で日本が目指す有人技術開発構想の明確化が必要となった事から、同年 3 月、有人サポート技術委員会 (黒田委員長) に、調査審議スケジュールの見直し、有人技術開発構想分科会の設置、上記構想の調査審議を委嘱。同年 7 月の委員会において、有人宇宙技術開発の進め方 (中間報告) がまとめられた。

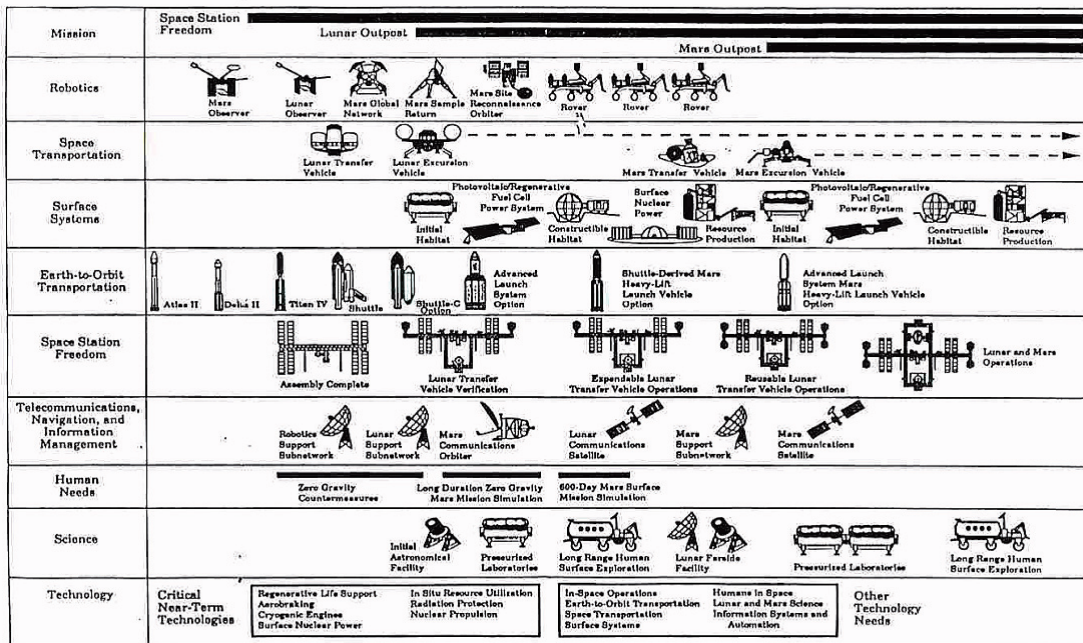
★Po 「宇宙開発政策大綱」第二次改訂が平成元年 6 月に行われ、①「宇宙インフラストラクチャの整備」、②ニーズの国際化、多様化への対応、③民間における宇宙開発活動の促進、④宇宙環境利用の展開及び有人宇宙活動展開のための基盤の形成、⑤宇宙ステーションへの大量輸送需要への H-II 派生型ロケットによる対応などの方針が記述された。また、宇宙開発委員会は、同年 8 月の見積もり方針で、JEM 運用に必要なシステムの開発研究に着手する事、米国の宇宙ステーション計画の見直し状況を踏まえて JEM 打上げ年度を平成 9 年度に改定。(コメント: 米国側の事情で、毎年のように JEM 打上げ時期を改定しなければならない状況に陥っていた)

★So ソ連のペレストロイカ政策もあって、ミールを製造しているエネルギア公団一行が平成元年 7 月に来日し、科学技術庁、NASDA、日本企業等を訪問し、ソ連の有人宇宙技術等の紹介と売り込みに来た。なお、当時の同公団の職員は約 5 万 6 千人との事であった。

★Am、Po 主として米国議会における予算削減の圧力のため、1990 年より向こう 5 か年で 30 億ドル (約 4200 億円) の予算削減を前提として、NASA 長官の指示で、1989 年 7 月より宇宙ステーション計画全体の見直しを開始。その後同年 8 月に、国際パートナーに対して NASA から見直し案 (リフェーズ化された計画、即ち、単一キール型をマンテンドット MTC、常時有人化 PMC、組立完了 AC の 3 段階に分けて完成させる案) の公式説明がなされた。NASA による見直し案では、JEM の打上げ時期の遅れ、電力・搭乗員作業時間のリソース削減等

MOU の規定を遵守出来なくなる可能性があるため、日本として容認出来ない旨の主張を行った。見直し案によるとPMC(常時有人による利用が出来る能力達成)は 1997 年 8 月(従来より7ヵ月遅れ)であり、AC(組み立て完了)時期は 2001 年末になる事も予想された。従来どおりの打上げ順序では、JEM の打上げが大幅に遅れる事が予想されるため、PMC直後に JEM を取り付け、実験が開始出来るよう主張。

★De JEM 開発契約着手に当たって、メーカー見積もりが予算目標額から大きくオーバーして来ており、開発仕様、開発方式、開発リスク、契約方法、企業間競争、技術蓄積、マンパワー、安全・開発保証(S&PA)等のあり方について、全社的意見も踏まえて、契約体制、目標コストなどを設定(平成元年秋)。



Human Exploration Initiative

図2-19

★Am 大統領に新たに就任(1989年1月)したブッシュ大統領は、同年11月に「国家宇宙政策」を承認(1988年2月策定の政策の改定)。この中で、地球軌道を越えて、太陽系に人類が展開していく事をゴールの一つにうたいあげた。同6月のアポロ11号月着陸20周年記念スピーチでは、アポロ計画のようなもの(目標と達成時期を設定)提案しているのではなく、21世紀に入ったらまず月に戻り、そこで滞在した後、さらに将来は火星へ有人飛行を目指すとして述べている。本件について具体的に検討された報告書が、NASA から国際パートナーに対して説明がなされた(参考文献 32)。

★Am 米国では、開発(フェーズ C/D)作業の進展と共に、総開発コストの増大、組立てスケジュール遅延、宇宙ステーション責任者交代ごとの見直し、契約者のコストオーバーラン等が繰り返し発生し、宇宙ステーション基準概念の更新が続き(1987年4月~1991年)、米国議会の宇宙ステーション計画への風当たりが強まる。下図に、全体像を示す。NASA では、資金管理の徹底を図るためデザイン to コスト(DTC)を1986年から適用していたが、その効果は明確ではなかった(コメント:これは、NASA の契約方式と深く関連していると考えられている)。

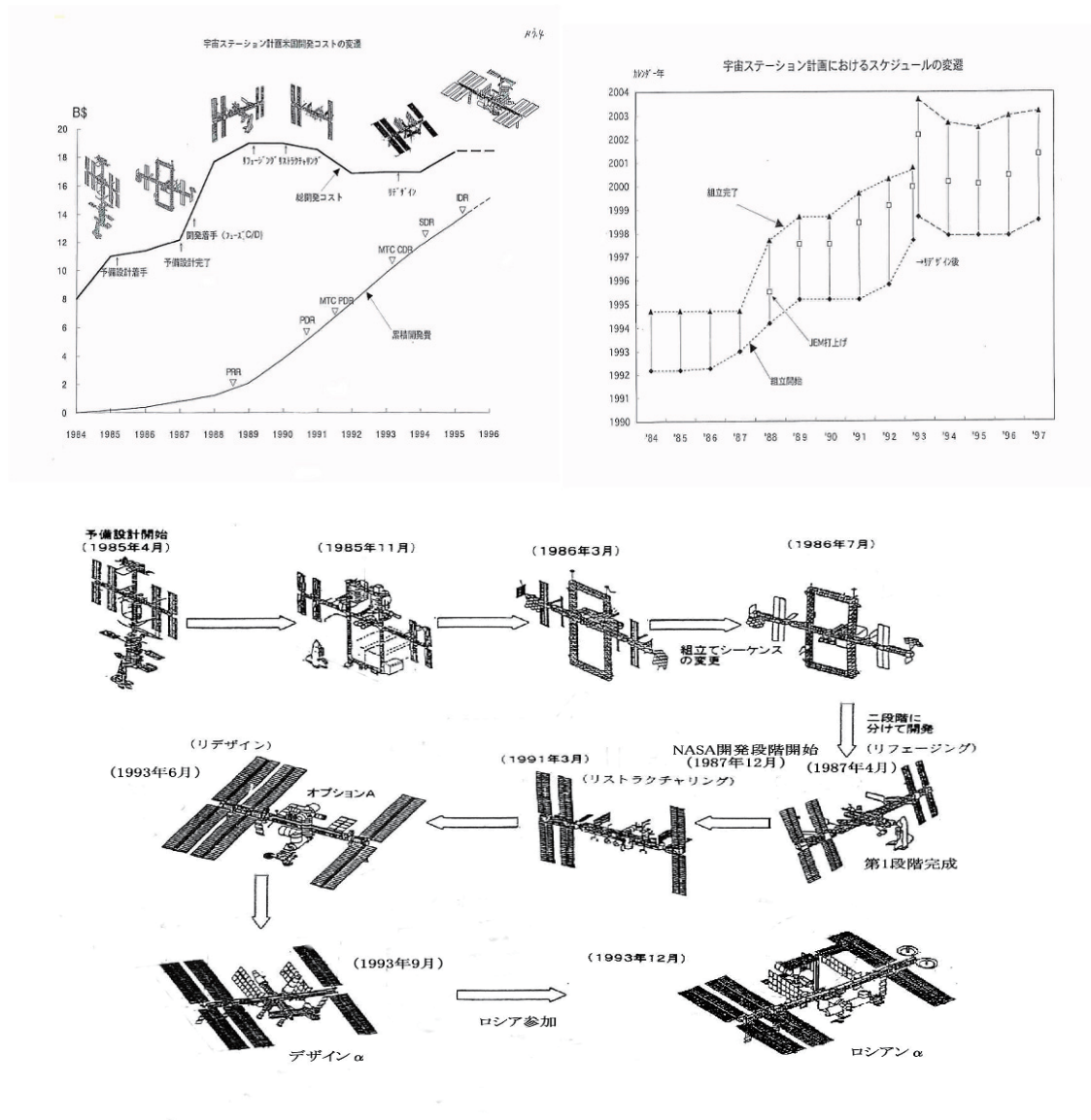


図2-20

★Am、In ブッシュ大統領は、1989年11月の国家宇宙政策において、民間の継続的な宇宙投資及び関連活動の推奨を全体目標として掲げ、①政府機関は商業的に入手し得るサービス等は可能な限り購入し、②国家安全保障等の理由を除き、民間の宇宙活動を妨げる可能性のある活動を行わない、③実費支弁で商業打上げ運用のために打上げ関連政府施設を利用させる、などの政策を発表した。

★Ut 宇宙ステーション利用国際共同ステディの1年間の主要成果が、同年12月に報告された。これによれば、①各国の実験装置・実験支援装置の重複、②ペイロード側のリソース要求とシステム側のリソース供給との不整合、③各国が作成した利用計画を統合すると相互干渉等により実施率が低くなり、今後工夫と改善が必要、④各国共に、搭乗員作業時間がネックとなっているので実験装置の自動化を進める必要がある事など、が明らかになった。

#### 2. 4. 4 平成2年の取り組み

★Po NASAのリフェーズ化の日本への影響は大きいと、平成2年(1990年)1月米国下院科学・宇宙・技術委員会「宇宙ステーション国際協力」公聴会において、ESA、独、仏、伊の代表と共に、NASDA 理事が、リフェーズ化された案のインパクトを訴え、宇宙ステーション協力には、信頼と協議が不可欠であると主張し、議会の理解とNASA への支援を要請した。

★De JEM 計画の資金管理を徹底するため資金管理計画書を平成2年2月に制定、以後順次、同実施要領、プロジェクト毎の同実施計画書などの下位文書を作成し、資金管理の徹底を図った。NASDA のDTC による資金管理は、NASDA 及び企業双方の多大の努力により管理手法としては、ほぼ良好に機能したと考えられる。

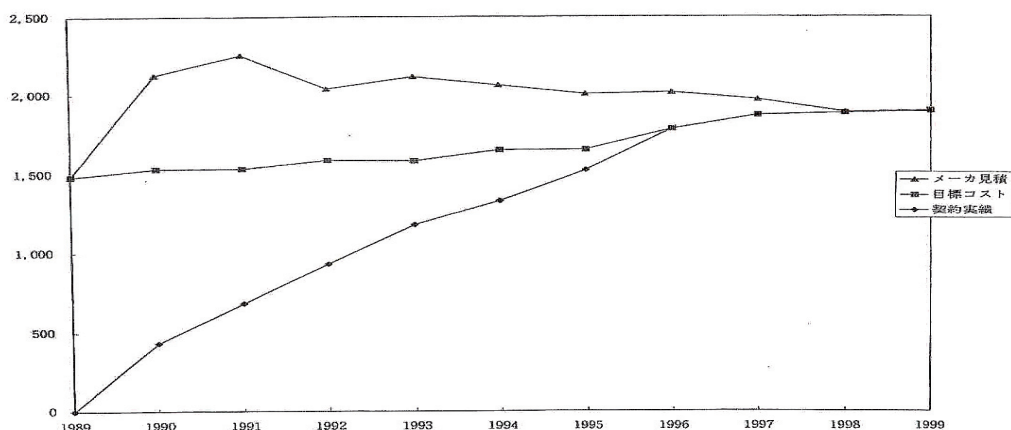


図2-21

★Ut 宇宙ステーション利用促進の方針策定(宇宙開発委員会において翌年3月までに制定予定)等に必要の基礎情報を得るために、科学技術庁(NASDAが協力)が、事前調査を行う事となった(平成2年3月)。内容は、①利用研究の組織化のあり方、②共通実験装置(JEM 打上げ後3年分程度の候補装置)の選定、仕様、③予備実験計画(落下塔、航空機、小型ロケット、軌道回収カプセル等による $\mu g$ 実験テーマ、これらを用いた $\mu g$ 実験への参加の希望、予備実験機会の確保、実施体制等)、④JEM 利用基本方針(基本的考え方、利用形態の分類、形態別費用負担、リソース配分等)のための基礎資料を得る事であった。NASDA からも、JEM 利用の全社的などりまとめを行い、各分野での利用要望テーマ等を提出(同年8月)。これら調査結果等は、宇宙ステーション部会(小林部会長)利用分科会(山中分科会長)で、同年12月以降、順次報告された。

★Am, In 1990年9月ブッシュ大統領は、「新商業宇宙打上げ政策」発表。この中で、米政府の衛星を打上げるために米打上げロケットを継続的に使用する、米打上げロケットのコスト削減、信頼性向上のための技術改良を促進するなどの政策が出された。

★Am, Po NASAは、1990年11月から、宇宙ステーション全体基本設計審査ISPDRを実施。この中で、NASAは議会による1991年度の予算削減及びその後の長期資金の上限に対する制約を考慮し、宇宙ステーション計画の見直しをする事とし、同年11月以降、国際パートナーを交えた調整会議を開催しつつ、見直し案(リストラクチャリング案)の作成作業を行った。作業に当たっては、搭乗員8名、電力75KWを段階的に達成するとし、同年12月時点で

は、JEM#1 はメンテナンス能力 MTC、電力 37.5KW 達成後の 1998 年打上げであった。恒久有人化 PMC(4 名搭乗員)は、それまでの案より約 2 年遅れの 1999 年 6 月、8 名搭乗員は、2000 年 12 月となり 21 世紀に入る事となっていた。日本側としては、危機管理上、JEM 見直し案も検討しつつ、NASA に対して MOU を守るよう強く働きかけを行った。

★Ut, Sa NASDA は、同年 12 月に SSIP 計画の一環として、宇宙環境利用プロジェクト計画書(利用者支援システムの整備、宇宙実験共通技術の開発、小型ロケットによる実験、実験系・共通実験装置の開発、宇宙ステーション利用計画作成支援の5つのサブプロジェクトから構成)の制定を行った。また、同 12 月に JEM 安全審査計画書の制定を行った。

### 2. 4. 5 平成 3 年の取り組み

★Am, Po, De 平成 2 年/1990 年 11 月からの宇宙ステーション計画の見直し検討(リストラクチャリング)は、検討期間が延長されつつ、平成 3 年/1991 年 2 月初めには各パートナーの合意も取付け、一通りの作業結果がとりまとめられた。しかし、コスト評価などを含めた総合まとめのために、さらに延長され、3 月になってようやく NASA 長官から NSC(米国宇宙評議会)議長のクェール副大統領に結果を説明、了承をとりつけた上で、米議会に提出された。日本側としては、NASA のリストラクチャリングに対し、一貫して JEM 開発に与える影響(打上げの数ヶ月遅れ等)を、最小限にする事を基本方針として臨み、ほぼその目的を達した。リストラクチャリングの結果、①PMC 達成は約 2 年遅れ、②PMC 時点の全電力供給能力は 75KW から 56KW へ、③搭乗員数は 8 名から 4 名へ、④米国及び ESA 実験モジュールの実験ラック搭載能力の大幅な縮小(シャトル打ち上げ能力の制約によるもので、結果として JEM に近づいた)、⑤トラスは軌道上組み立て型から地上組み立て型へ変更、などとなった。なお、NASA は協力 MOU 上に規定されている 8 名搭乗員、75KW 能力達成については、2000 年以降の後続フェーズにおいて約束は守るとしていた。その後、リストラクチャリング結果を踏まえ、NASA 技術レベルは、同年 10 月に MTC 段階の PDR を行うべく、技術文書の改訂作業を進めた。MTC 段階で実験モジュールが取付けられるようになった事、搭乗員数が大幅に減った事から、遠隔操作による宇宙実験(テレサイエンス)技術の重要性に各国が注目し、その技術開発への取り組みが順次始まった。

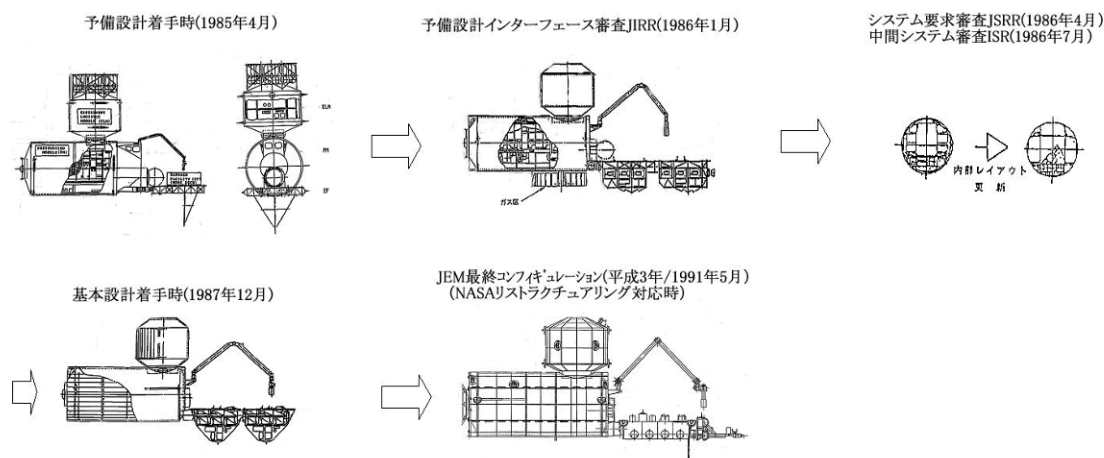


図2-22 JEM 基準コンフィギュレーション変遷



★Ut JEM 利用計画ワークショップや JEM 利用事前調査からの共通実験装置への要望、NASA 等パートナーの実験装置開発予定状況などを踏まえて、NASDA が共通実験装置候補の整理を行い、その結果を宇宙開発委員会宇宙ステーション部会利用分科会に報告(平成 3 年 2 月)。

★Sa NASDA 理事長の諮問委員会としての「有人安全技術委員会」(武田委員長)を、平成 3 年 3 月に設置し、JEM の安全性に関する調査審議を諮問した。JEM 開発と歩調を合わせながら、ほぼ年 1 回のペースで、調査審議が行われた。

★Am、Po 米国下院住宅都市開発庁／独立機構委員会での宇宙ステーション計画中止決議に関連して開かれた 1991 年 6 月の米国下院科学・宇宙・技術委員会公聴会において、NASDA 副理事長が、ESA 長官と共に出席し、宇宙ステーション計画の継続を要請。

★Ma、Po 宇宙ステーション搭乗員の養成について、NASA は日米共同作業の経験蓄積が双方にとって重要であるとの見地から、平成 4 年/1992 年 7 月から開始される MS 養成コースに日本人 2 名を参加させ、内 1 または 2 名にシャトル飛行機会を提供する旨、科学技術庁に提案。平成 2 年/1990 年 12 月に NASA/科学技術庁間で合意。これを受けて、宇宙開発委員会宇宙ステーション部会が、平成 3 年 6 月に報告書「日本人宇宙飛行士の養成について」をとりまとめ、この中で宇宙ステーションに搭乗する日本人宇宙飛行士養成の基本的考え方を示した。この考え方に沿って、NASDA は JEM 組立に必要な MS の募集を、同年 7 月開始。

★Am ブッシュ大統領は、1991 年 7 月、国家宇宙輸送戦略 National Space Launch Strategy を発表し、安全で信頼性が高く、かつ、運用経費を削減出来るような新しい国家打ち上げシステム NLS を開発する事などの方針を示した。この方向に沿って、1994 年 8 月に米大統領府科学技術政策局 OSTP は、国家宇宙輸送政策を発表。この中で、NASA が、スペースシャトルに換わる再使用型宇宙往還機 RLV の開発を行う事、DOD が現行使い切り型ロケット ELV に代わる発展型使い切り型ロケット EELV を開発する事を明らかにした。(なお、RLV については、NASA と産業界の共同事業として行われたが、開発が成功しなかった。この結果、スペースシャトルの老朽化が進む中で、アポロ型有人宇宙輸送機(有人宇宙船 Orion、有人・無人打ち上げロケット Ares)開発へと舵が切られる事となった。)

★Po 宇宙開発委員会は、平成 3 年 8 月の見積もり方針で、米国の宇宙ステーション計画の見直しを踏まえて、JEM 打ち上げ年度を 1998 年度に改定。

★Po、Op 平成 3 年 9 月の PCC 会合で、NASA からリストラクチャリング後の運用経費(除く、STS 経費)は、まだ、十分に整理されていないが、概略、年間約 \$2.1B で、その約 1/3 が共通経費、更にその 12.8% が日本の負担となるとの説明があった。

★Ut 宇宙環境利用の技術基盤整備の一環として、また、宇宙ステーションでの各種実験に必要な共通実験技術の開発等に資する事を目的として、微小重力実験用小型ロケット(TR-IA)の初号機が、平成 3 年 9 月、種子島宇宙センター竹崎射場から打ち上げられ、成功裏に宇宙実験が行なわれた後、ペイロード部は無事回収された。

★Ut 宇宙開発委員会宇宙ステーション部会利用分科会において「JEM 利用の基本方針」についての検討が行なわれ、平成 3 年 2 月には中間報告が作成されていた。その後の宇宙ステーション開発計画の見直しや利用・運用計画検討の進捗状況を踏まえ、平成 3 年 10 月より同分科会にて、平成 4 年度からの利用計画作成作業の着手に向けた検討が再開され

た。

★Ut 宇宙環境利用に係る情報を収集・蓄積し、JEM 等の利用者へ、宇宙実験技術情報を提供することにより、宇宙環境利用の促進を図るため、宇宙環境利用データベースの整備運用を行う事となった(平成3年12月)。

★So 1991年12月に、ソ連が崩壊し、ソ連の宇宙開発は、大きな影響を受けることとなった(コメント:政府からの資金が細る中、売れるものは国外にも売らざるを得なくなった。また、軍民転換など)。この影響は、順次、世界にも、広がる事となった。

#### 2.4.6 平成4年の取り組み

★Ut IML-1フライト(平成4年1月)で、NASDA 実験装置(宇宙放射線モニタリング装置RMCD、有機結晶成長装置OGCP)の宇宙実験は、成功裏に行なわれた。

★De マニピュレータ飛行実証試験 MFD(この当時は、シャトル飛行試験JFDと呼んでいた)は、JEM ロボットアームの重要要素をスペースシャトル・カーゴベイに搭載して、搭乗員が操作し、軌道上交換装置(ORU)の取外し、移動、取付等の試験を実施し、①アーム系統の動特性データ取得と共に、②軌道上運用・保守、搭乗員操作訓練に係わる技術習得を図る事、を目的として計画された。平成4年2月に本試験システムの設計に着手すると共にスペースシャトル飛行の申し込みを行った。

★Am、Po NASA ゴールデン長官が就任(1992年4月)。同長官指示に基づき、1992年5月～6月にNASA 開発プログラム(含む、宇宙ステーション計画)の予算カット(30%削減目標)検討が開始され(Red & Blue チーム活動)、パートナーからの意見の集約と調整会合が開催された。結局、予算上の制約から、JEM 打上げスケジュールは延びる事となった。

★Ma 平成3年7月のMS 候補者募集に372名の応募があり、この中から、平成4年4月に、若田MS 候補者が選定された。

★Po、Ut 宇宙開発委員会宇宙ステーション部会は、平成4年5月に、「宇宙ステーション取付型実験モジュール(JEM)の利用の基本方針」をとりまとめた。その概要は、

- (1)JEM 利用基本的考え方①主な利用分野:材料、ライフサイエンス、理工学・通信分野の研究、天体・太陽系観測及び地球観測並びに宇宙インフラストラクチャ整備のための基盤的先進的な技術開発、②利用計画の策定:長期的展望に立ち、基礎研究、応用研究等バランスのとれた利用を図る、宇宙開発委員会が国全体の利用とりまとめ、③適正な費用分担:利用者による適正・応分の負担を原則、状況に応じて定める、宇宙環境利用の多大なリスク、国際的均衡を踏まえる、④共通実験装置の整備:NASDA を中心に一元的に開発・整備、利用者のニーズの変化及び国際調整の状況を踏まえる、将来の科学技術の進展、装置の拡充・整備を計画的に進める、⑤利用促進方策の実施:国としての総合的な利用促進方策を進める、
- (2)利用計画策定基本方針:①利用テーマ公募を実施、②JEM 及び共通実験装置の検証・実証を段階的に実施、③運用・利用技術の実証に重点、④利用計画の柔軟性の確保、
- (3)利用テーマ選定基本方針:①大きな科学技術上の意義、②基盤的共通技術の開発に寄与、③提案者の研究遂行能力、実験テーマ実現性等、
- (4)利用テーマ公募・選定期限:①当面は7年前から公募、②3年前までに利用テーマを

選定、③原則として公募及び選定は毎年実施、④実験研究者固有の実験装置を用いる場合は原則6年前に選定、

- (5)利用テーマ公募・選定手順:①利用要求取りまとめ機関と調整の上、科学技術庁及びNASDAは利用募集案内(AO)を作成し、公募、応募結果を宇宙開発委員会に報告、AO発出、回収は、原則として利用要求取りまとめ機関を経由、②利用テーマ選定は宇宙開発委員会、専門的組織により科学技術上の有意性等を評価、NASDAは搭載性等の技術評価、評価の高いテーマから順次当該実施年の利用テーマとして選定、
- (6)利用計画策定に係る各機関の役割:①宇宙開発委員会が重要事項を審議、とりまとめ、利用テーマを選定、②科学技術庁及びNASDAは利用テーマを公募、応募結果を宇宙開発委員会に報告、宇宙開発委員会のテーマ選定作業を支援、関係省庁との所要の調整の上、国内利用計画(PUP)等を作成、③利用要求取りまとめ機関:関係省庁はその所管する機関の利用要求を取りまとめ、宇宙科学研究所は大学等の科学分野利用要求を取りまとめ、JSUPは、民間の利用要求取りまとめに中心的役割を果たすことを期待、
- (7)JEM利用費用分担基本方針:JEM初期運用ではNASDA及び利用者の役割分担の度合いに応じて設定、
- (8)共通実験装置の開発・整備に係る基本方針:①共通実験装置はJEM開発の一環として、NASDAが開発・整備、②理工学・通信分野の実験装置は、汎用的な支援装置のみ共通実験装置として開発・整備、個別の実験機器は宇宙インフラストラクチャー整備の技術開発を踏まえNASDAと利用機関が協力して別途、開発・整備、③搭乗員を対象とする宇宙医学実験はNASDAを中心に関係機関の協力を得て一元的に実施、必要な実験装置はNASDAが別途、開発・整備、④共通実験装置については、開発スケジュール、コスト、将来の科学技術と宇宙環境利用研究の進展、国際調整等を考慮して適切な数の装置を選定、順次段階的に整備、国際間分担を考慮、⑤利用者固有の実験装置の開発にNASDAは蓄積してきた技術、経験を十分活用し開発が効率的、円滑に進むよう協力

NASDAは、上記方針を踏まえて、「第1回JEM利用募集案内」を、平成4年10月に発出した。なお、この募集では、与圧部で実施可能な主として材料分野、ライフサイエンス分野が対象とされた。

★Ut 科学技術庁研究開発局は、同年6月、「宇宙環境利用フロンティア共同研究」プロジェクトを実施するとの局議決定をした。この決定は、①研究者等による実験の実施を体系的・計画的に行うことにより、宇宙環境利用の促進を図る事が必要、②平成4年5月の宇宙開発委員会宇宙ステーション部会報告を踏まえ、国立試験研究機関、特殊法人、大学、民間研究機関等のポテンシャルを最大限に活用し、共同研究体制を基盤とする計画研究を行う、との内容であった。このプロジェクトにおいては、計画研究の実施が有効と考えられる、①微小重力利用(材料、ライフサイエンス)分野、②理工学分野、③有人宇宙技術分野が対象とされた。なお、このプロジェクトは、平成9年度まで続けられた。

★Ma 日本人宇宙飛行士を、特異的環境下で長期間、ミッション遂行能力を維持し、かつ安全に帰還させるためには、①適切な候補者を選抜し、かつ効果的な基礎訓練を実施する必要性、②リハビリ終了後の再フライト待ちの宇宙飛行士に耐性維持訓練を実施する必要性、

③欧米等の候補者と育った環境、人種・文化圏が異なる事、④労働上の疾病・事故等(含、後遺症)は最終的には国内法で処理されるため最善の予防訓練を実施している事を示す必要がある、などの理由により所要の選抜・養成訓練設備を、独自に整備・運用する事とし、同年6月から設計に着手した。

★De JEM 基本設計の終了に際し国際パートナーも参加して、基本設計審査会(PDR)を実施(平成4年7月)。JEM 設計は、システム仕様書及び安全・開発保証要求書に記される要求に充足しているか、また、その実現性を審査し、詳細設計段階に移行出来る事を確認。

★Ut、Ma チャレンジャー事故の影響で大幅に遅れていた第1次材料実験 FMPT「ふわとど'92」を、平成4年(1992年)9月にSTS-47で実施、毛利飛行士がPSとして搭乗した。途中、実験装置に水漏れ騒ぎがあったが、大半の実験は成功裏に実施され、日本が本格的有人宇宙実験を体験した最初の機会となった。

★Op JEM 運用要員は、宇宙ステーション運用国際組織要員(米国へ派遣)と筑波宇宙センター運用要員に大別される。それぞれの運用要員数の平成4年9月頃の推定値は、米国内に130人程度、筑波宇宙センターに150~200人とかなりの数に上っており、その削減方策、NASA との削減交渉、要員確保・訓練方法などが重要な課題となっていた。この課題解決に向けての検討等を開始。なお、打上げ時の要員は、ロケット打上げ等他のプロジェクト同様にメーカー支援及び打上げ隊として他のグループより一時的な増員を行う事で対応可能と考えられていた。

★Am、Ru NASA とロシア宇宙庁は、同年6月の米露首脳(ブッシュ、エリツィン)共同声明における宇宙協力基本合意に基づいて、1992年10月に、シャトル・ミール共同計画(①米国、ロシアの宇宙飛行士が、それぞれミール、スペースシャトル(STS-60)に搭乗、②スペースシャトルとミールのランデブ・ドッキングプロジェクト)についての合意文書に署名。

★Am、Po 宇宙ステーション計画にかかわる1993年度NASA 予算の削減(22.5億ドル要求に対して、21億ドル認可)等に伴い、NASA のハジェット・レビュー(1992年5~12月)が行われ、宇宙ステーション計画の開発、打上げスケジュールの見直しが行われた。同年11月の多国間計画調整委員会(マルチPCC)での国際パートナーとの調整へて、JEM 与圧部の打上げ延期は、1998年6月から1999年3月へ、JEM 曝露部の打上げは、1999年3月から1999年12月となった。

★Am、De、Op NASA は、宇宙ステーションの設計等を確定するため、1992年~1993年にかけて詳細設計審査CDRを実施した。また、NASA では、宇宙ステーション運用経費削減のための検討が、平成4年8月から行われ、平成5年4月には、従来の経費の約1/2くらいまでの削減が可能となって来ていた。

#### 2.4.7 平成5年の取り組み

★Am、Op クリントン政権が誕生(1993年1月)。財政当局に宇宙ステーション計画中止意見もあり、大統領は、財政再建の一環として宇宙ステーション計画見直しを指示(1993年2月)。これを受けて、NASA は、宇宙ステーションフリーダムチームとは別に、宇宙ステーション見直し検討チーム(Station Redesign team:SRT)を設置、国際パートナーへ協力の要請を行った。日本、ESA、カナダは、対応に当たっての基本的考え方(計画の継続性、IGA/MOU の範囲での検討、最初の打上げが近づいている状況下では運用経費の削減を検討の重点

にする事など)、チーム活動への参加の功罪(政治的働きかけは別途行うとしても、NASA が検討結果を出してから協議されても困る事などから、それぞれの要員を参加させる必要性など)について意見交換を行った。NASDA 理事長が、NASA 長官等と会談し、日本側の基本的立場を伝え、理解と協力を要請。

★Po、Am 科学技術庁長官、駐米日本大使、NASDA 理事長から、米ゴア副大統領に、宇宙ステーション計画支援要請レターを发出、ESA 長官も同様のレターを发出した。また、駐米日本大使、科学技術会議議員が、大統領補佐官と会談し、計画継続を要請。一連の見直し活動期間中、緊迫した状況が続く事となった。

★Am、Po 同年 3 月には、見直し検討チーム(再設計チーム SRT)が本格的活動(3~6 月)を開始。また、同年 4 月には大統領府の諮問委員会であるブルーリボンパネル BRP(見直し検討チームの検討したオプションを評価する役目を有する、日本から齋藤成文元宇宙開発委員会委員長代理が特別メンバーとして参加した)が発足。

★Am、Pr NASA 宇宙ステーション再設計案(オプションA:モジュール組立型/従来設計を簡素化、B:フリーダム派生型/ほぼ従来設計通り、C:中核部単一打上げ型/大幅な設計変更で技術的に未成熟)の中には、JEM の存在意味が失われる可能性のある場合(オプションC)も含まれていた。

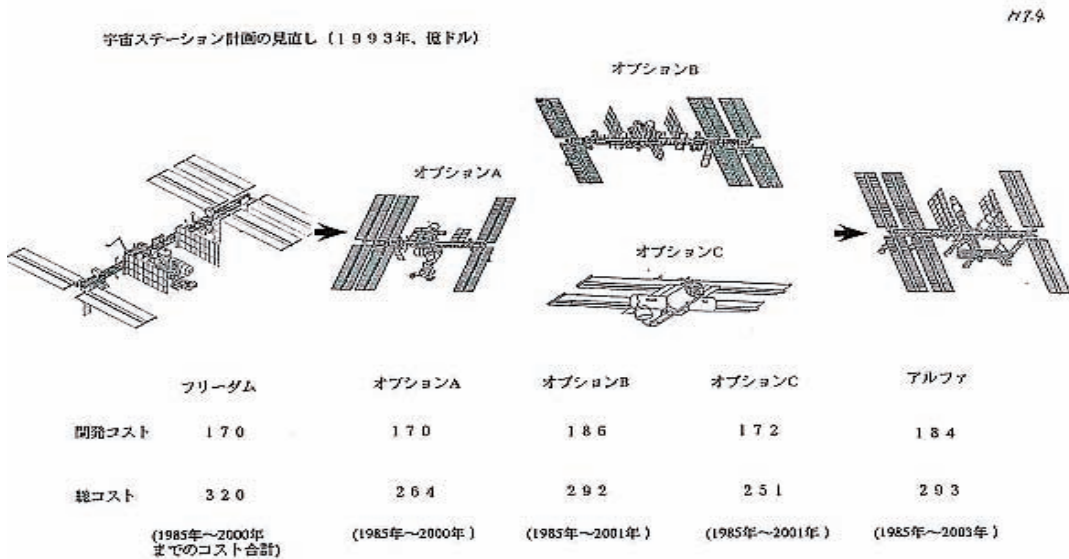


図2-23

★Po、Am NASA 宇宙ステーション再設計案に対し各パートナーは、それぞれハイレベルで意見書を提出するとともに、日本から齋藤元宇宙開発委員長代理(ブルーリボンパネル会合に出席)、科学技術庁幹部、NASDA 理事長が渡米し、クリントン政権幹部、議会有力議員、NASA 長官等と会談し、計画の継続性等を要請。また、宇宙ステーション協力協定のもとで設置されてる会合でも、日本側の主張を繰り返し、まさに、総動員によるの働きかけを行った。

★De これら一連の対応の中で、NASDA は、危機管理業務の一環としてJEM 自立化概念も検討した。

★Am、Op 宇宙ステーションの再設計作業によっても NASA 開発コストは下がりず、混乱

によって生じたコスト増、スケジュールの遅れが出る事となった、NASA は、運用コスト削減を強調。(コメント:ある程度のところまで開発が進んだ宇宙機は、いじくりまわせばまわしたほど高くつく代表的例となった)

★Am、Po、Ru ブルーリボンパネル BRP は、同年 6 月に、大統領府に最終報告を提出(添付3参照)。(コメント:報告書には、ロシアの参加を想定した答申内容が一部盛り込まれた内容となっていた、以降、政治的かつ公式な外交手続きなどを踏んでロシアの参加が現実のものとなって行った)。

★Am、Pr クリントン大統領は、BRP 報告、パートナーの意見を取り入れ、従来の宇宙ステーション概念を少し簡素化した案(オプション A 派生型)、及び NASA マネージメント体制の大幅な変更(BRP 答申)を支持する事を決めた。大統領府は、同年 9 月までに、レビューするための実施計画を作るよう NASA に指示。NASA はトランジションチームを設置し、作業を展開、9 月に報告書を提出した。

★Am この後 6 月の米下院本会議における NASA 授権法案審議において宇宙ステーション計画中止の修正案が、かろうじて 1 票差で否決(賛成215、反対216)されたり、同 9 月にクリントン大統領が上院歳出委員長に宇宙ステーション支持要請レターを出すなど、事態の深刻さがクローズアップされた時期でもあった。

★Am、Po NASA 及び宇宙開発をサポートしている米国議会主要議員は、計画見直し等の中で示された日本の行動を踏まえて、安定したパートナーとしての日本に大きな信頼を置くようになった。(コメント:結果として、NASA(含む、長官)等は、NASDA の意見に良く耳を傾けてくれるようになった)

★Ut 平成 5 年 7 月に、宇宙開発委員会宇宙ステーション部会が JEM 利用テーマの一次選定を行った。具体的には、応募された 208 件のテーマの中から、JEM 利用の実施に向けて搭載性確認作業及び実験計画書作成のための作業を開始するテーマとして 50 テーマ(材料分野 29 件、ライフサイエンス分野 21 件)が選ばれた。

★Ut 宇宙環境利用フロンティア共同研究の一環として、①JEM 利用実験支援技術と共通実験装置要素技術の開発、実験運用技術の習得、②JEM 利用促進のための予備実験手段の確保を目的として、「次期小型ロケット実験プロジェクト」を実施する事が、平成 5 年 7 月に決まり、平成 7 年から 10 年にかけて、4 回の宇宙実験が成功裏に実施され、所定の成果が得られた。

★Am、Ru 1993 年 7 月、有人宇宙ステーション及びシャトル/ミール協力に関する検討を行うとの米露共同声明が発表された。(コメント:米国にとって、冷戦終了後の米露間の政治レベルの課題の一つとして、ロシアミサイル技術の海外流失防止があった。一方、ロシアとしては 1986 年に打ち上げたミールの後続号機ミール2を 1995 年から組立てを開始する計画(地上でほとんど出来上がっていた基本モジュールを打上げ、続いて、材料・新薬創製、地球観測、科学ミッションを実施するモジュールを順次取り付ける計画)を持っていたが、財政難に陥っていた。NASA としては、有人分野で実績があるロシアの宇宙ステーション計画への参加によってスケジュール、コスト共得るものが多いと米露協力に期待を寄せていた。

★Am、Ru、Po 1993 年 7~9 月に、(ロシアも参加しつつ)トランジションチーム作業が行われ、米国がロシアから購入する軌道維持用推進系を組込んだ概念(オプション α)の構築を行った。検討結果は報告書として、大統領府に提出され、宇宙ステーションの全体コンフィグ

ュレーションは、デザインαと呼ばれるようになった(軌道傾斜角は 28.5 度、搭乗員は 4 名のまま、この案は、ロシア参加が実現しなかった時のコンフィギュレーションとしての意味を持っていた)。

★Po 米国での宇宙ステーション計画の見直しを踏まえて、国内においても財政当局の意向があつて、JEM 計画の見直し検討が必要となり、NASDA 内に宇宙ステーション見直し対応チームを設置(平成 5 年 7 月、リーダーは宇宙環境利用システム本部長、メンバーは関連管理部の長、専門家等から構成)、平成 6 年 1 月に広範な検討作業を終了。検討結果の要点としては、①開発費は、既に詳細設計及びエンジニアリング・モデルによる地上試験がかなり進んでいる現段階において、JEM の構成要素の縮小を行った場合、米国同様、再設計、再試験等による追加経費が発生する事によりコスト削減の効果を上回ってしまうこと、さらには、JEM 開発の意義が損なわれる事等から、有効な見直し案はなく、開発費削減は困難である事、②一方、運用費については、運用システムの設計は現在初期段階であり、米国の見直しを直接受けたコストの削減、独自の削減が可能というもので、これら結果は、科学技術庁から、財政当局に説明された。

★HT 平成 5 年夏頃に、NASDA 技術研究本部と宇宙環境利用システム本部が共同で、H-II ロケットで、JEM 補給部(与圧区、曝露区)を打上げる技術的検討を本格的に開始、その後、輸送本部も入った技術検討に発展。

★Ma 昭和 62 年に設置された NASDA 理事長諮問委員会である有人サポート委員会(黒田委員長)が諮問に応じて、①宇宙飛行士養成訓練設備整備計画、②宇宙飛行士健康管理計画、③宇宙飛行士健康管理設備計画、④倫理委員会設置、⑤有人宇宙技術開発に関しての答申を、平成 5 年 7 月に理事長に提出した。

★Ma 宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士に係る養成訓練、健康管理を行うのみならず、有人宇宙技術(養成訓練技術、健康管理技術)の研究・開発の拠点としての宇宙飛行士養成棟の整備計画を、同年 7 月に策定し、順次整備を進めた。

★Po 宇宙開発委員会は、米国の宇宙ステーション計画見直しを踏まえて、同年 8 月の見積もり方針で、JEM 打上げ年度を、平成 11 年度に変更した。

★Am、De ブルーリボンパネル BRP の答申も踏まえて、1993 年 8 月に、NASA 長官は、宇宙ステーション計画のホストセンターを再度 JSC に戻す事、宇宙ステーション関係職員の大幅削減、主契約者をボーイング社にする事を発表し、開発の責任体制の明確化を図った。

★Am、Ru、Po 1993 年 9 月、米国ゴア副大統領とチャルノムイルジン露首相は、宇宙ステーション計画に関するロシアの将来的な関与を視野に入れた、米露間の協力に関する共同声明を発表。内容としては、①フリーダム及びミールに関する過去の国際的な義務に従った形で、双方のパートナー国と共に作業を行う、②米国及びロシアがアクセスできる軌道で運用する、③相互に有益な条件による協力活動を実施すると共に契約ベースでのシステム、機器、サービスの調達を含める、④両国が個別に行うのと比較して、より早期かつ低コストで建設する事を主要な目標とする、⑤両国は、同年 11 月までに国際宇宙ステーション計画に関する詳細な活動計画を作成するよう NASA 及びロシア宇宙庁に指示する、などであった。同首脳は、同時に、ミサイル関連技術輸出規制 MTCR に関する米露間の了解覚書に調印した。

★Eu 欧州では、ロシア参加の宇宙ステーションは、それまでの協力計画とは別のものであるとの認識から、コロンバス計画の見直しを開始(1993 年 9 月)。欧州の自立を目指してアリア

ン5/ATVでコロンバス実験モジュールCOFを打上げ、国際宇宙ステーション、ミール型宇宙ステーション、または、将来の独自宇宙ステーションに取り付けられるようにするため、COFを縮小すると共に、外部インターフェースや内部アーキテクチャなどを、より自立的なものにする変更を行うとした。また、国際宇宙ステーションとの関係は、COF打上げは、まだ先の事であるので、2年程度かけて検討を行った上で、欧州としての決定を行うとした。しかしながら、結果的には、スペースシャトルでCOFを打上げ、国際宇宙ステーションに取付ける事となり、サイズも少し元に戻した仕様となった。(コメント:NASA同様、開発が進んだ実験モジュールは、見直した分、スケジュール遅れとコスト増となった例となり、JEMと同様な投資をしながら、JEMより小型の実験施設となった事に、欧州内で批判が出たとの情報もあった)

★Ru、Po 平成5年9月に、ロシア宇宙庁副長官が来日し、宇宙開発委員会等と日露宇宙協力、ロシアの宇宙ステーション計画参加問題等について意見交換を行った。ロシアとしては、国際社会への参加、軍民転換を図っている事、有人計画は負担が大きい事、米露間宇宙ステーションに互換性が無いので何かあった時のリスクが大きく、米露間協力で早く、安く出来れば、相互にメリットがある事などを述べた。

★Ru、Po 平成5年/1993年10月に、日露政府間で、宇宙空間利用に関する協力協定を締結。この後、NASDAロシア宇宙開発調査団が編成され(同年11月、計画管理部長以下6名)、日露宇宙協力項目についての議論、ロシアの宇宙ステーション計画への参加に関する情報収集を目的に、ロシア宇宙庁等を訪問した。こうした交流が順次発展し、ロシアで実績がある宇宙医学分野の専門家招聘、情報の購入を初めとし、ミール利用、地上での長期宇宙医学実験への参加等へと広がっていく事となった。

★Po、Ru 平成5年/1993年10月及び12月に、宇宙基地協力協定に基づく日米欧加政府間協議が開催され、ロシア招請に当たっての考え方を記した「統合計画」(添付4)を共同で作成し、これに基づいて招請する事となった。宇宙開発委員会審議を経て、12月の協議にて宇宙ステーション計画にロシアを正式に4極共同で招請した。これを受けて、ロシアは宇宙ステーション計画へ参加を表明(1993年12月)した。

★Po、De 同年11月から、ロシアが取り付けるエレメントも含めた国際宇宙ステーションプログラムレベルの基準文書、要求文書等の更新を行うシステム要求審査会SRRが、すべてのパートナー参加のもと開催され、新宇宙ステーション概念(ロシアン $\alpha$ )が具体化された(同年12月)。宇宙ステーションの運用期間が、それまでの30年から10~15年に短縮されると共に、搭乗員数が4名から6名に増員された。また、ロシアの射場からロシアエレメントを打上げられるようにするために宇宙ステーションの軌道傾斜角が51.6度となった。この結果、スペースシャトルの打ち上げ能力が下がったので、NASAは対策を講じたが、結果的には、すべての対策が実現出来なかった。このため、JEM与圧部を内装したままでは、上げられないため、JEM補給部に一部サブシステムを入れて与圧部より先に打上げる必要が生じた。SRRでは、航空機開発で実績があるIPTチーム方式が採用され、効率的な業務推進が図られた。

★Ut JEM打上げ時期が、少しずつ延びて行く中で、利用者の事前宇宙実験機会を少しでも多く確保すべく、ESAやNASAから提案があったスペースラブ利用の宇宙実験E1やライフサイエンス宇宙実験SLSシリーズへの参加について、関係者の意見も聞きながら検討を進めた。



## 2.5 ロシア参加(1994年)から宇宙ステーション組立て開始(1998年)まで

### 2.5.1 平成6年の取り組み

★Ge、HT H-II ロケット試験機1号機打上げに成功し(平成6年2月)、宇宙ステーション補給への基盤ができた。

★Eu、Po 欧州は、同年2月のNASAとのPCC会合等において、次のような新たな貢献等の提案を米側に行った、①アリアンV/ATVによる輸送の貢献、②欧州ロボットアームERA等による米露協力フェーズIIでの早期貢献、③共通経費のシーリング、物・サービス提供によるオフセット、④緊急帰還機ACRV、船外活動EVAスーツ等の宇宙ステーションへの提供。

★Ca、Po カナダは、国内事情から宇宙ステーション参加規模の見直しを、平成6年2月に発表し、米国との間で調整を経て、利用権を減ずると共に、マニピュレータの保守は、米国が行う事を発表した。

★De、Po SRRで設定された要求や基準文書等に基づいて、平成6年/1994年3月に、ロシア参加後の国際宇宙ステーションISSのシステム設計を確定するためのシステム設計審査SDRを開催。SDR後には、ほぼ最終的コンフィギュレーションに近いものとなった。(コメント:ロシアロケット及びスペースシャトルによる組立てフライト回数が多くなり、組立てスケジュールが、後述するような種々の要因も重なって、大きく遅れる事となる)

★Po ISS概念、仕様が固まって来た事から、平成6年/1994年3月からロシア参加に伴う宇宙基地協力協定改定に向けての交渉が開始され、平成8年/1996年12月に、宇宙基地協力協定改正案にパートナーが暫定合意するまで、ロシア招請「統合計画」に沿った交渉が続いた。

★Po、Op、HT 1994年7月、NASAは、ロシアの参加及び現パートナーの貢献の見直し動向を受け、次のような新しいISS運用利用概念を提示した。即ち、ISS共通システム運用を、「NASAが一括して行い、パートナーがリソース配分率に応じ実費支弁する」従来の方式から、「各パートナーがリソース配分率に応じ、共通システム運用の役務を提供する」方式で実施するというもの。NASAから、ESA同様、日本もH-IIロケット発展型/HTV等による貢献を明確にするよう依頼があり、日本の貢献内容を確定するための本格的な技術検討、国際調整、交渉、予算の確保などを進める事とした。

★Ut SDRの時点で、ISS組立て開始は1997年末頃、JEM組立て完了は2000年末頃であり、前年に決めたJEM利用1次選定テーマの実施まで、6年半以上あり、事前の宇宙実験機会の確保が必要とされた。このため①シャトル・ミール共同フライト(フェーズIフライト)での宇宙実験(NASDA高温加圧型電気炉LIFを共同利用、但し、NASAはその後、このフライトを中止したので、別の微小重力スペースラブフライトMSLにLIFを搭載)、②ロシアミールの利用(宇宙放射線生物影響実験等)、③米ニューラブ実験、④スペースハブ利用実験、⑤米国実験棟の早期利用などの検討、関係国等との国際調整を、順次実施した。

★Ut 第2次国際微小重力実験室IML-2宇宙実験が、平成6年(1994年)7月STS-65で行われた。日本から高温加圧型電気炉、リアルタイム放射線モニタ装置、電気泳動装置、水棲生物飼育装置等6装置を搭載すると共に、12テーマの宇宙実験を成功裏に実施。また、向井飛行士がPSとして搭乗し、国際貢献及び有人宇宙実験技術の向上を図った。

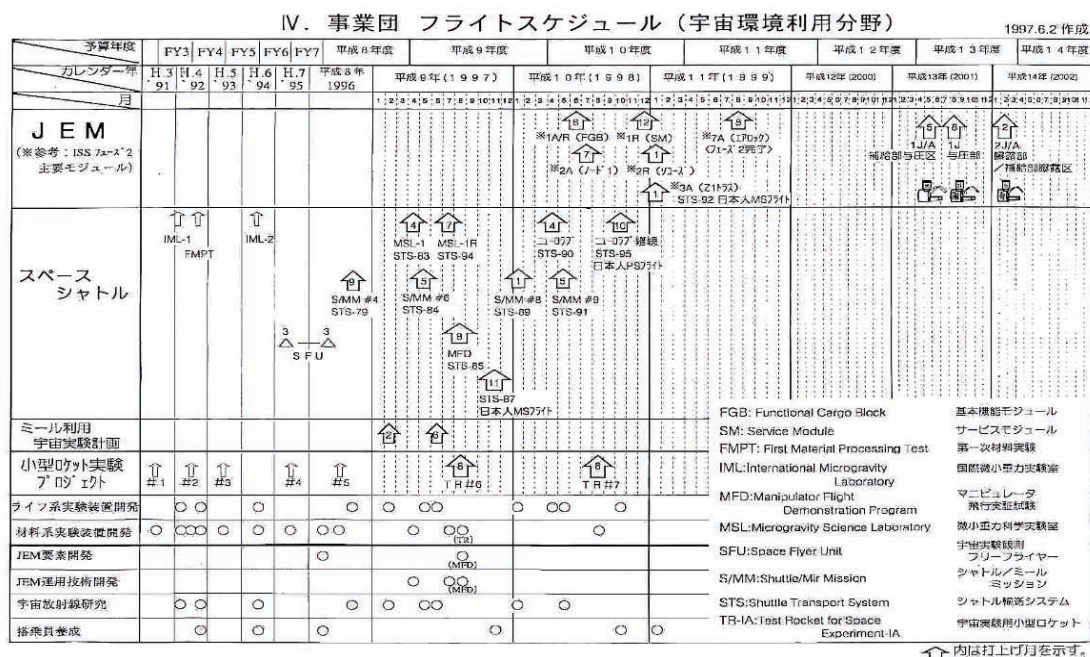


図2-24

★Ut ミール利用実験の調整のために、平成6年3月、科学技術庁担当室長とNASDA担当が、ロシア宇宙庁RSA及びミール利用宇宙実験の技術窓口であるNPOエネルギー社を訪問。同年6月中旬の科学技術庁担当室長/RSA幹部間の調整で、日露宇宙協力協定枠とは別の契約文書(Agreement)による宇宙実験実施を確認、同年11月下旬に技術要求を含めた契約条項についてNASDA/RSA間で基本的合意が成立。同年12月には、NASDA理事長がロシアを訪問し、今後の日露宇宙協力についてRSA幹部と意見交換を行った。

★Ma NASDAは、ロシア生物医学問題研究所IBMPとロシアの宇宙放射線被爆管理についての情報を入手するための契約を締結(平成6年/1994年10月)。

★Po、Ma 平成6年秋、NASDA/NASA間で日本人MS訓練(含む、フライトアサインメント)に関する取決めの改訂を行うに際して、日米政府間の損害賠償請求権相互放棄(クロスウェーバー)問題がクローズアップ。政府も入った極めて困難な交渉が行われた後、同年12月に合意(但し、平成7年7月の日米クロスウェーバー協定締結によって一部残っていた課題も解決)。

★HT 平成6年/1994年終わり頃から、ESAとの間で、ISSへの補給に関しての情報交換、協力の可能性についての意見交換を開始(この時点、ESAはロシアとの協力を重点を置いていた)。NASDAは、これらも参考にしつつ、H-IIロケット発展型を使って、ISS共通物資、JEM補給品を輸送する「宇宙ステーション補給システム」(含む、HTV)の研究を組織的・体系的に実施すると共に、NASAとの本格的技術調整を進めた。

### 2.5.2 平成7年の取り組み

★Ru、Am ロシア政府より提案(1994年12月)があったミールとスペースシャトルの米露宇宙ステーション組立共同ミッション(ISS組立てに関する技術の相互理解増進が目的)に関連し、米副大統領/露首相間でミールを平成11年まで運用する事について、政治レベルで合



のもあった)

★Am, Ru, De 1995年6月には、スペースシャトルSTS-71が、ミールと初ドッキングを行った。このフライトを含めて、7回のスペースシャトルフライトでミールとのドッキングが行われ、ISS組立てのリスクを減らすための努力が続けられた。1996年1月に、2回のフライトが追加された。

Phase I (1994~1997)	: シャトル/ミールミッション ・ロシア宇宙飛行士のシャトル搭乗 ・ミールへの7回のシャトル飛行 ・米国宇宙飛行士のミール滞在 ・宇宙ステーション計画に向けたリスク低減を目的
Phase II (1997~1999)	: 国際宇宙ステーション初期組立 ・ロシア要素組立 (7フライト) ・米国要素組立 (7フライト) ・利用 (1フライト)
Phase III (1999~2002)	; 国際宇宙ステーション組立完成 ・ロシア要素組立 (7フライト) ・米国要素組立 (12フライト) ・他パートナー組立 (5フライト) ・利用 (5フライト)

図2-26

★HT NASDA作成の「補給システムスタディレポート」について、平成7年5月、NASAと技術合意、同7月には政府へ見直し要望を提出。同8月から平成8年3月まで概念設計を実施。この作業に当たっては、①年1機の補給機の運用を想定し、運用コストを諸外国並とする、②補給システムは既存技術による「補給運用のためのシステム整備」と位置づけ、③内外の既存機器の活用による開発・運用コストの圧縮を図り、また、機器開発は運用コストへの費用対効果により選定する、④有人宇宙機への補給システム技術(ランデブー・バーシング技術、運用技術、安全設計等)については独自技術の蓄積を図る、⑤H-II 発展型を定常運用のベースランとする、などを検討方針とした。

★Po 平成7年7月、日米クロスウェーバー協定締結。これによって、宇宙ステーション計画以外の日米政府間での平和目的のための宇宙の探査及び利用における共同活動(宇宙飛行士訓練計画、MFD、RRMD、微小重力科学実験室MSL他)において生じた損害賠償責任の相互放棄の枠組みが確立された。

★Eu ESA閣僚級理事会は、1995年10月に、ロシア参加後の宇宙ステーション計画(ISS)へ、欧州宇宙ステーション計画を継続し、参加する事(コロンバス軌道上研究室COF、ATVなどで)を決定した。

★HT 平成7年12月頃には、NASDA/NASA間の調整で、6トン能力のHTVで、食料品やバッテリーなどの曝露機器を、ISS共通品等として輸送するという概念が、次第に明確化して来た。

★De 平成7年終わりから平成8年3月にかけて、国際パートナーの参加も得て、JEM CDR#1を開催し、①国際間合意要求がJEMの設計に確実に反映されている事、②設計が要処置事項を除いて確実に進んでいる事、③フライトモデルに着手できる状態である事が確認され、平成9年末に計画されているJEM CDR#2まで残りの設計を進め事とされた。

### 2.5.3 平成8年の取り組み

★Po 「宇宙開発政策大綱」第三次改訂が、平成8年1月に行なわれた。「科学技術基本法」成立後初めての見直しとなり、①独創的な科学研究及び技術開発の推進、②経済的な宇宙活動の実現、③宇宙環境保全への配慮等を基本方針に謳うと共に、重点活動に宇宙環境利用活動の充実を掲げ、JEMを「軌道上研究所」として位置づけた。

★Po、Ce 科学技術庁及びNASDAは、平成8年初め、NASAに対し、資金の授受を最小限とするよう努力するというIGAの趣旨に従い、JEM打上げ役務のバーターについての協議を申し入れた。同年5月に、NASAから、JEM打上げとセントリフュージ開発とのオフセットについての関心有無についての打診があった。国内調整とNASAとの予備調整の結果、同10月にNASA/NASDA間で本格交渉開始する事に合意。スペースシャトル打上げ費、セントリフュージ開発費について、両者の推定値に、かなりの違いがあり、交渉は難航した。平成9年/1997年8月にJEM打上げ役務をセントリフュージの開発・提供等によりバーターする事についてNASDAとNASA間で原則合意文書に署名。セントリフュージによりバーターする事は、金銭で打上げ経費を支払う事に比べ、①システム設計、システム統合、試験、安全性実証等の面で、有人システム技術等の蓄積に貢献する、②JEMの開発等で蓄積した国内技術の活用をもって国際貢献出来る、③宇宙開発予算の効率的執行が可能になる等のメリットがあった。セントリフュージプロジェクト資金は約430億円。

★HT HTV 予備設計開始に当たって前提となる事項(予備設計段階での技術調整内容、開発段階への移行に向けての合意内容)について記述したプロトコールにNASDA/NASAプログラムマネージャ間で合意(平成8年3月)。

★Ut、In 将来の実利用につながる先導研究の一つである蛋白結晶実験について、STS-84(1997年5月打上げ予定)において、ミッドデッキロッカー2個相当分に、蛋白質結晶成長実験装置(アラバマ大学開発)を載せて宇宙実験を行う提案が、平成8年2月に、SH社からNASDAにあり、これを受け検討した結果、平成8年5月にテーマ募集を開始、約1年間の準備の後、10テーマの宇宙実験を実施した。

★Am、Ru ロシアが、約束したISS計画への資金出を行っておらず、ロシア要素の開発遅れが、顕在化(1996年春)し、NASA長官、米下院宇宙関係有力議員から、ロシア側に善処を要請するレターを发出。

★Ma ISS/JEM組立て・運用に備えて、NASAのMS養成コースに派遣するために、平成7年9～10月に募集した宇宙飛行士候補者については、572名の応募者があり、この中から平成8年5月、野口MS候補者を選定した。

★Am、Ru、Po 米露間で交渉が続いていたISS計画の双方の貢献、責任、権利等について、基本合意(1996年6月)に達した。

★Po、Ut 平成8年7月に、宇宙開発委員会宇宙環境利用部会(山中部会長)が、報告書「宇宙環境利用の新たな展開に向けて一宇宙環境利用の当面の推進方策一」をとりまとめた。この中で、①従来の各省庁等毎の利用要求のとりまとめを改め、総合的に利用要求をとりまとめる委員会をNASDAに新たに設置する事、②外部に開放された流動的研究体制の整備、③地上公募研究の実施などを決めると共に、宇宙環境利用が有効な研究領域(物質科学等、ライフサイエンス等、曝露部利用理工学・通信、宇宙観測、地球観測、宇宙インフラ整備の分野)を示した(参考文献22)。(コメント:実施機関に要求を出し、実施機関の影響も考えられる

委員会で、利用を取りまとめるとなった事から、当初の理念であった政府がオールジャパンで取り組むという概念から変貌して来た。また NASDA が利用研究者に資金を出し、当該利用の責任も負う形となった。さらに、宇宙ステーション計画の度重なる延期の中で、流動組織が長期にわたって優秀な研究者を確保、維持、交代していく事の難しさが、次第に顕在化する事となった。)

この報告書を受けて、NASDA では、関連有識者の意見も取り入れながら、宇宙環境利用研究システム(流動的研究組織/井ロシステム長)、宇宙環境利用研究センター(宇宙環境利用研究システム運営を支援する機能を有する定常組織)及び宇宙環境利用研究委員会(宇宙環境利用を総合的にとりまとめる委員会/菅野委員長)の設置を、同年 8 月に決定し、同上システムとセンターを、同年 10 月設置した。同研究システム、研究委員会は、平成 15 年上半期までの約 7 年活動した。

★Ut JEM 利用開始前の宇宙実験機会確保の一環として、第4回目のシャトル・ミール共同飛行ミッション(平成 8 年/1996 年 9 月)STS-79 にて、第 1 回宇宙放射線環境計測計画 RRMD 実施した。

★Am クリントン大統領は、冷戦終結後初の新国家宇宙政策発表(1996 年 9 月)した。この中で、ISS 及び再使用型宇宙輸送機 RLV 開発プログラムへの取り組みの再確認、ロシア及び旧ソ連諸国を取り込んだ宇宙活動に関する国際協力の拡大、などの方針示した。NASA は、この政策に沿って、NASA 戦略計画書を作成し、議会、政府予算局 OMB に提出。毎年、改訂版を提出。

★Po 米国の宇宙ステーション計画見直しを踏まえて、宇宙開発委員会は、同年 8 月の見積もり方針で、JEM 打上げ年度を、平成 12 年度及び平成 13 年度に変更した。

★Ut 宇宙環境利用部会報告(平成 8 年 7 月)に沿って、科学技術庁/NASDA は JEM 曝露部利用テーマの募集を開始(平成 8 年 10 月)。この時のテーマ選定の考え方は、①候補曝露部実験装置・テーマ選定を、平成 9 年 1~3 月に行う、②その後、研究着手・予算要求準備の後、平成 9 年度に研究機関/NASDA 共同研究を実施、③平成 10 年度予算の確定を待って平成 10 年 4 月に搭載実験装置の決定をし、④その後は、その実験装置を利用するテーマの募集を、順次行うというものがあった。

★Ma, Ru 日本人宇宙飛行士の長期宇宙滞在に向けた健康管理技術の開発の一環として、宇宙飛行士養成棟において、平成 8 年 7 月 29 日から 8 月 10 日にかけて短期のベッドレスト研究(心循環器、筋肉、骨・Ca系における微小重力環境模擬のための研究手法の一つ)を実施した。数ヶ月以上に及ぶ長期の研究は経験が無く、また、被験者の確保等の問題から実施が困難であるので、IBMPが実施する長期ベッドレスト研究(平成 8 年 12 月から平成 9 年 9 月の間に実施)に初めて参加し、長期宇宙滞在時における宇宙医学的問題点及びそれらの対処法に関する知見を取得した。

★Po 政府は、ロシア参加に伴う宇宙基地協力協定 IGA 改正案に暫定合意(平成 8 年/1996 年 12 月)。同時に改正される新 MOU 案において、日本の宇宙ステーション飛行要素として、補給機能要素が規定された。

★Po NASDA 理事長訪米時(平成 8 年 12 月)に、米下院宇宙関係有力議員との会談で ISS 計画に係わる NASA 予算、ロシアの状況等について確認すると共に、NASA 長官との会談で ISS 計画現状等についての意見交換を実施、この際、セントリフュージ協力について同長

官から期待が述べられた。(コメント:この頃の NASDA は、H-II ロケットの打上げも順調で、かつ、予算も順調に伸びてきており、世界の宇宙機関から協力の相手先として大きな期待がかけられていた時期でもあった)

★Am、Po ロシア要素の開発遅れが、一層顕在化する中で、1996 年末頃には共和党が多数を占める米国下院で、ロシアが約束を守らず米国が不利益をこうむる状況が続けば、ロシア参加を見直すべしとの意見が強くなった。NASA も危機管理プランを作成し、バックアッププランも実行。米露間で、政治レベル協議が行われ、1997 年4~5 月に、問題点の改善が図られたが、開発の遅れを考慮し、組立てスケジュールの見直しが、1997 年 5 月に行われた。

#### 2. 5. 4 平成 9 年の取り組み

★HT 宇宙ステーション補給システム HTV については、平成 9 年 2 月にプロジェクト移行前審査の実施後、「宇宙ステーション補給機総合プロジェクト」として設定された。

★Ut ミール利用宇宙実験:①宇宙船内微生物相計測実験(平成 9 年 2 月)、②宇宙放射線生物影響実験(同年7~8 月)を、成功裏に実施した。

★Op NASDA は有人宇宙システム運用の経験不足を補うため、平成 2 年、4 年とそれぞれ 3 名の訓練生を NASA/JSC に約 1 年派遣。継続して派遣するための人的余裕が無いため中断。JEM 打上げ(この時点、平成 12 年)までの短期間に運用技術、体制を整えるため、理事長が JSC 訪問時に所長に協力を要請。運用経験がある NASA 技術者を招聘(平成 9 年 3 月)し、運用準備プロジェクトへの参加により、運用技術、運用準備を確実かつ効率的に実施。以降、訓練インストラクタ、フライトコントローラの NASA での養成訓練も実施された。

★Ut 第2回 NASDA 宇宙環境利用研究委員会(平成 9 年 3 月)において、JEM 曝露部初期利用テーマ・実験装置候補選定、宇宙環境利用研究システム研究方針、JEM 与圧部一次利用選定テーマの進捗状況評価の進め方、シャトル/ミールミッション宇宙放射線環境計測計画(S/MM-8)における生物実験等の公募と選定の進め方等の審議などが行なわれた。

★Ut JEM 曝露部初期テーマ・実験装置候補(全天 X 線撮像、光通信実験、超伝導サブミリ波リム放射サウンダ、宇宙環境計測センサ)が、第 2 回宇宙環境利用研究委員会において選定された後、宇宙開発委員会です承された(同年 4 月)。

★Ut JEM 利用開始前の宇宙実験機会の一つとして、MSL-1(平成 9 年/1997 年 4 月、STS-83 フライト)に、NASDA から大型均熱炉 LIF を搭載し、実験技術の開発、JEM 一次選定テーマの早期実施を目的として参加。しかし、オービターの軌道上での燃料電池不具合で、予定より早く帰還したために、再フライトが行われる事となり、平成 9 年/1997 年 7 月の STS-94 にて、MSL-1 再飛行宇宙実験が成功裏に実施された。

★Ut シャトル・ミールミッション 6 号機 STS-84(平成 9 年/1997 年 5 月打上げ)にて、①宇宙放射線環境計測技術の開発及び同環境データの蓄積を目的とした宇宙実験(シャトル・ミールミッション 4 号機/平成 8 年 9 月に引き続き2回目)、及び②JEM 利用に必要な技術の習得等を目的とした蛋白質結晶実験を成功裏に実施した。

★Po ISS 宇宙機関長会議を、初めて筑波宇宙センターで開催(同年 5 月)。NASA 長官より、ISS 組立てスケジュールが遅れているので、ISS 運用開始前に 3 回の事前宇宙実験機会を確保するので、国際パートナーへ参加の呼びかけがあった。本件は、STS-95、STS-107、STS-R2(後に、NASA の予算事情でキャンセルされた)の共同実験へと繋がった。ロシアから

は、国内の資金問題がようやく解決し、サービスモジュールを含む、自己提供要素の開発が、順調に行われつつあるとの説明あり。

★Ut 宇宙開発委員会宇宙環境利用部会報告書(平成8年7月)の中で、「公募により広範な分野に及ぶ数多くの研究者の参加の下に研究を推進する体制」を整備することが提言された事を受け、NASDA は公募方針の審議、応募テーマの選定、選定テーマの成果の評価等を行う「研究推進委員会」(委員長:井口宇宙環境利用研究システム長)を公益法人に設置するなど具体的実施策を作成し、宇宙開発委員会に説明。平成9年度予算として、約23億円が認可されのをを受け、同年5月公募型地上研究の第1回公募を開始。同年9月には応募テーマ454件の中から、132件のテーマを選定した。以後、平成18年度まで、毎年テーマの公募、選定が行われた。

★Po ロシア要素の遅れに関連した米国の宇宙ステーション計画見直しを踏まえて、宇宙開発委員会は、同年8月の見積もり方針で、JEM 打上げ年度を、平成13年度に変更した。

★De JEM のマニピュレータ及びマニピュレータでハンドリングする曝露部装置交換機構の打上げに先立ち、スペースシャトルを利用して部分モデルの飛行実証試験を行うと共に、将来の宇宙ロボットアームの研究開発に資する事を目的に、平成9年8月のSTS-85にて、マニピュレータ飛行実証試験 MFD を成功裏に実施した。

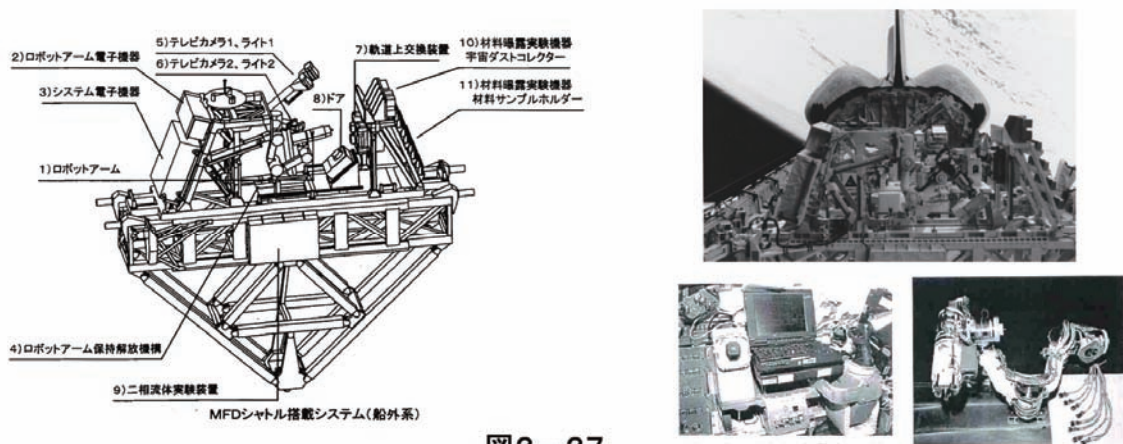


図2-27

★HT 平成9年8月から10月にかけて NASA 等も参加して、①宇宙ステーション補給システム HTV 要求が、ISS からの要求に合致している事、また、関連するすべての重要な設計及び機能・性能要求を含んでいる事、②ISS/HTV 間のインタフェース要求書に含まれる検証内容が、ISS の検証要求及び手法に従っている事などを確認するためのシステム要求審査会 SRR を実施。この頃、年12~13トン HTV で輸送する必要があるとの推算値が出ており、ISS システム運用共通経費の削減、JEM 運用利用打上げ重量削減が課題となっていた。SRR の後、同年11月~12月にかけて HTV の基本設計審査 PDR を実施した。また、同年11月には、技術試験衛星 ETS-VII きく7号を、H-II ロケット6号機で打上げ、翌年には、日本で初めてとなる無人ランデブ・ドッキング実験に成功するなど、前述の SFU 回収とあいまって、HTV 開発に至る基盤技術は蓄積されていった。

★Op JEM 運用準備に係わる経費を中心として、後年度負担軽減が課題となってきた。



★Ma ISS 組立てに必要な船外活動 EVA 技術の軌道上検証を重要なミッションの一つとする STS-87 フライト(平成 9 年/1997 年 11 月)に、土井飛行士が MS として搭乗し、日本人初の船外活動 EVA を実施、同組立技術の検証を行った。また、予定外の太陽観測衛星スパルタンの EVA による捕捉、回収も行った。こうした体験を通じて、この分野での日本の有人技術の向上が図られた。

★Ut 第3回 NASDA 宇宙環境利用研究委員会(平成 9 年 12 月)において、今後の活動方針、JEM 与圧部一次選定テーマの取り扱い、国際対応体制、ライフサイエンス国際 AO 参加体制、利用者の要求とりまとめの仕組み等の審議、シャトル/ミールミッション生物実験等の公募・選定結果等の報告が行なわれた。

### 2. 5. 5 平成 10 年取り組み

★Po 日本政府は、平成 10 年/1998 年 1 月に改正宇宙基地協力協定(新 IGA、参加国は 15ヶ国)に署名、また、同年 2 月には改正宇宙基地了解覚書 MOU に署名した。同年 4 月の国会で、新 IGA が承認された。

★Po 新 IGA の主な変更点、背景は、①米国同様、ロシアも自律的に運用可能な軌道上要素、搭乗員の輸送システム等を提供する事から、米国が「中核的な合衆国宇宙基地を実現する」という目的から、米露が有人宇宙飛行における広範な経験を活用して、「国際宇宙基地の基礎となる要素を実現する」に変更、②「システム運用に共通の経費及び活動が承認された見積りを超えない」ように努力する、「特定の運用活動を行うことにより又は関係の参加主体が合意する場合には交換を利用することにより、資金の授受を最小限にとどめるよう努力する」が追加された、など。なお、改訂 MOU では、①ロシアの利用要素の利用権は全てロシアが有する事、②利用権、利用資源の新配分値(除く、日本)、などが規定された。(Y)

★Ru、Am、Po 平成 10 年 1 月の多数者間計画調整委員会 MPCC において、ロシアからは最初の宇宙ステーション組立て要素である FGB は順調に打上げ準備が進められている事、NASA からは米国権利の 0.25%を使ってブラジルが参加するようになった事などが紹介された。

★Ut シャトル/ミールミッション SMM の飛行機会を利用し、宇宙放射線環境計測技術の開発及び同データの蓄積を目的とした3回目の宇宙放射線環境計測 RRMD を、STS-89(平成 10 年 1 月)において実施した。本宇宙実験は、宇宙放射線環境計測と宇宙放射線生物影響実験に大別されるが、宇宙放射線のうち重粒子から陽子までの範囲について、11年周期の太陽活動を考慮して実施されており、今回は、新たに中性子の計測を行うと共に、データ量が多いためこれまでに十分実施出来なかった南大西洋上空のデータ計測が行われた。本実験に引き続いて、平成 10 年 6 月打上げの STS-91 で、4 回目の実験が行われた。

★Ge 平成 10 年 2 月に、H-II ロケット 5 号機による通信放送技術衛星 COMETS 打上げが、2段エンジン不具合により、静止軌道投入に失敗。さらに、翌年の平成 11 年 11 月の H-II ロケット 8 号機による運輸多目的衛星 MTSAT 打上げが、1段エンジン不具合により失敗し、平成 9 年 6 月の地球観測プラットフォーム ADEOS の早期運用停止等とあいまって、日本の宇宙開発に対する信頼は大きく損なわれ、厳しい試練に立たされた。

★Ma ISS に搭乗し、運用利用を任務とする宇宙飛行士候補者の第 1 回募集を、平成 10 年 2 月に行った。

★De JEM CDR#1 以降に変更した技術要求に対する解析書、図面等の審査などを行うために、平成 10 年 3 月、国際パートナーも参加し、JEM CDR#2 を実施した。

★Ut 1990 年にブッシュ大統領が定めた「脳研究 10 年計画」に基づき、NASA が米国立衛生研究所 NIH 及び国際パートナーと協力して行う神経科学分野の宇宙実験であるニューロラブ実験(米国、欧州、加、日本など 8 カ国が参加、平成 10 年/1998 年 4 月～5 月実施)に、NASDA は IML-2 の成果を活かした海水型水棲生物実験装置を提供すると共に、日本の 5 実験テーマ(内、4 テーマは米国研究者との共同研究)を実施する事で、国際貢献を行った。

★Ut 第 4 回 NASDA 宇宙環境利用研究委員会(平成 10 年 4 月)において、ワーキンググループ(微小重力科学、ライフサイエンス、宇宙医学)を設置して、JEM 与圧部次期共通実験装置の検討をする事が了承された。

★Am、Po NASA の ISS 計画資金問題に関する通称シャブローレポート(米国議会の要求を受けて、NASA の依頼で、ISS 計画の資金、スケジュールについて、第三者評価を行うタスクフォースが作成した報告書、報告書の内容としては、①ISS 計画が内在するリスクを明らかにすると共に、②これに対応するためには追加資金が必要、③組立て完了時期は1～3 年遅れる事などを指摘)が 1998 年 4 月に出され、NASDA も対応に追われる。

★Po NASDA 外部評価委員会宇宙環境利用部会(大橋、トラフン共同部会長、部会長を含む評価委員は外国人 6 名、日本人 7 名)が、平成 10 年 5 月に NASDA 宇宙環境利用プログラムの評価を実施し、同 11 月に評価報告書を取りまとめた。評価全体要旨は、①ISS 成果を全ての国、人々に分かち合うにあたり日本は先導的な役割を果せる、②宇宙ステーション再構築、スケジュールの遅れの影響で、幾つかの分野で僅かなマージンしか残されていない、③任務を遂行するためには要員の追加が必要、④テレビやインターネットを通じた宇宙からの日々の映像発信などを通じて啓蒙、認知、教育、広報の拡大を推奨、全人類への有形無形の貢献の場とする事、⑤各プロジェクトを評価するに当たって対応する評価規準がない事項がいくつか見受けられたなど。

★Po、Ut 宇宙開発委員会宇宙環境利用部会応用化分科会が、応用化研究推進方策に関する報告書(平成 10 年 7 月)をとりまとめた。これに基づき先導的応用化研究(ここでの応用化研究とは、「地上における生産活動等に应用することを目的とした研究」と定義されるもので、①民間が抱えている課題の解決に宇宙環境をツールとして有効活用出来る様にする、②宇宙実験までの迅速性、利便性、秘密保持など宇宙実験に伴う各種制約の改善、③有効性を実証するための先導的な宇宙実験研究の実施、などが新たな施策のポイント)が推進される事となった。(コメント:海外での類似の施策としては、NASA の CODE-X の商業宇宙センター(CSC、以前の CCDS)、ESA の宇宙商業化促進組合 RADIUS、その後続プログラムとしての微小重力応用プログラム MAP がある)

★Po 米国の宇宙ステーション計画見直しを踏まえて、宇宙開発委員会は、同年 8 月の見直し方針で、JEM 打上げ年度を、平成 13 年度及び平成 14 年度に変更した。

★Ut、Ma ニューロラブ継続実験(平成 10 年/1998 年 10 月の STS-95)に参加。NASDA は海水型前庭機能実験装置 VFEU 等搭載すると共に、向井飛行士が PS として搭乗(2 度目)、さらに NASA 等が募集・選定した日本の 6 テーマの宇宙実験を行う事で国際貢献を行った。日本にとっては、微小重力下での神経科学研究の促進、実験技術の開発、搭乗員の健康管理に関する基礎医学研究の促進に役立った。なお、このフライトを最後に、スペースラブは、

フェーズアウトした。

★Ut 第5回宇宙環境利用研究委員会議(平成10年10月)において、今後の活動方針の審議、専門委員会活動中間報告、JEM 与圧部一次選定テーマ進捗状況と今後の取り扱い、宇宙環境利用研究システム課題研究の評価、国際宇宙ステーション/JEM 利用戦略の基本的考え方、ライフサイエンス国際公募応募状況、セントリフュージ開発状況等の報告があった。

★Am、In 米国では、1998年10月に、商業宇宙法案(Commercial Space Act of 1998)が成立。同法は、「商業宇宙機会の拡大」、「連邦政府による宇宙輸送サービスの調達」からなり、前者では、ISS の民営化・商業利用化の加速のための法的強制力の追加等について規定、後者では、スペースシャトルの民営化などについて規定している。この法案が、日本の宇宙ステーション計画民営化促進議論を加速させる要因ともなった。

★Ru、Am、De 平成10年(1998年)11月に、ISS 組立最初の構成要素である基本機能モジュール FGB(ザーリヤ)が、ロシアから打上げられた。また、同年12月には、ノード1(ユニティ)が、STS-88 で打上げられ、FGB と結合された。

#### 2.5.6 平成11年の取り組み

★Ma、Ut NASA から、宇宙環境が人間に及ぼす影響を広く研究する国際共同研究プロジェクトである Human Research Facility (HRF)プロジェクトの一環として、宇宙放射線計測で実績のある NASDA の中性子計測装置(BBND)の提供依頼があり、日本人搭乗員の放射線被曝管理システム構築の観点からも、本装置の打上げ機会は貴重なデータ取得機会であり、NASA 提案を受け入れる事とした(平成11年初め)。BBND は、平成13年3月打上げから約8ヶ月間、米国実験棟内で、中性子計測を成功裏に実施した。

★Ma ISS 搭乗の宇宙飛行士候補者として、応募者864名の中から古川、星出、角野の3名が選定された(平成11年2月)。

★Ut NASDA は、平成10年7月の宇宙開発委員会宇宙環境利用部会応用化分科会報告書を受けて、先導的応用化研究を推進する組織として「宇宙環境利用応用化研究推進グループ」を設置(平成11年4月)。また、先導的応用化研究の研究テーマの選定・評価を行うための「応用化研究テーマ選考評価委員会」を設置する事、同先導的応用化研究の研究推進に当たっては公益法人の機能を活用し実施する事とした。平成11年4月から研究テーマの随時公募が開始された。

★Ut NASDA 宇宙環境利用システム、センターは、ISS/きぼう利用戦略を作成し、平成11年4月に、宇宙開発委員会等へ説明した。

★Ge、De JEM の愛称公募が行われ、その中から「きぼう」に決まった(平成11年4月)。

★Ut ライフサイエンス国際公募(ISS の限られた実験装置、リソースを効率的に活用し、最大限の科学的成果が得られる事を目的に実施、NASA、ESA、CSA、CNES、DARA が参加)が、平成9年に第1回目が発出(日本は不参加)の後、第2回目が平成10年に発出され、日本から46テーマが応募、5テーマが実験実施候補テーマとして選定された(平成11年4月)。以降、第3回目公募では1テーマ選定(平成12年4月)、第4回目公募では6テーマ選定(平成14年1月)。

★Po、De、HT NASDA 外部評価委員会宇宙環境利用部会が、平成11年5~6月に、第

2 回宇宙環境利用プログラム評価を実施した。評価結果要旨は、①昨年度評価に対し、NASDA がアクションプランを設定し、実行してきた事を高く評価、②JEM 開発リスク低減のための計画は適切、地上検証を確実に実施し軌道上不具合のリスクを低減させる事、スケジュール遅延に対応する資源(人員や資金など)が必要、③HTV 開発強化のため設計の見直し強化策が必要、このため適切な予算措置が必要、総括的な HTV の FMEA(故障モード影響解析)と共に、独立評価を確実に実施すべき、など。

★Ge 宇宙開発委員会は、衛星及びロケット開発での一連の事故、不具合が続いた本質的・構造的問題の分析と、その対応策を提言として明らかにし、平成 11 年 5 月に「宇宙開発基本問題懇談会報告書」として取りまとめた。NASDA は、この提言に沿って、経営改革を進める事となった。

★HT NASDA は、HTV 開発強化に伴う計画の一部見直し(ETS-VII 運用経験反映、ISS 安全確保追加要求への対応、軌道上電力リソース増強)を行う事とした(平成 11 年 5 月)。(コメント:HTV 定常運用機のコストアップの要因ともなった)

★Ru、Ut ロシア宇宙庁 RSA/NASDA 間で、ロシアサービスモジュール利用宇宙実験に関する包括合意と個別契約を締結(平成 11 年 6 月、微小粒子捕獲・材料曝露実験、高精細テレビ HDTV カメラによる搭乗員健康管理支援&広報等画像取得、両者とも打上げは平成 12 年末予定であったが、前者は平成 13 年 8 月プログレス補給機で打上げられた)。

★Ru、Po ロシア担当サービスモジュールの製作の遅れ等から生じている米国宇宙ステーション計画見直しを踏まえて、宇宙開発委員会は、同年 8 月の見直し方針で、JEM 打上げ年度を、平成 14 年度及び平成 15 年度に変更した。

★Po 宇宙開発委員会が設置した第三者から構成される国際宇宙ステーション計画評価委員会(トーマス・ヤング委員長、メガサイエンス評価委員会)が、ISS 計画に係わる日本の研究開発活動についての評価結果(評価着目点:①計画が適切に実行されているか、②意図されている目的が実現されているか、③改善の必要な分野が存在するか)を、平成 11 年 10 月に中曽根宇宙開発委員会委員長に提出した。評価結果としては、①全般的な評価は肯定的である事、②日本の参加計画は卓越した計画であり、良好に実施されている、③同計画は科学的知見と新しい商業活動を拡大するために重要な施設であり、④創造的な宇宙環境利用活動のためには、強力な地上研究プログラムは必須な基盤である事、⑤基礎科学研究と応用研究ユーザーが協力的に参加する事によって得られる成果は最大化される、⑥潜在能力と機会は有意義であるので、それにふさわしい利用予算が必要とされる、など。

★Ge、Ut NASDA 創立 30 周年記念の一環として、「宇宙環境利用の時代へ」を、平成 11 年 10 月に発行。これまでの宇宙環境利用への取り組み、現状について取りまとめた。

★Ge 平成 10 年 2 月の H-II ロケット 5 号機打上げ失敗等を踏まえて、組織を挙げての総点検、十分な対策をとって、万全を期して平成 11 年 11 月に打上げた H-II ロケット 8 号機/運輸多目的衛星 MTSAT の打上げに失敗。この後、本事故の原因究明と対策、信頼性向上活動の水平展開、NASDA 経営改革、より高い信頼性と低コスト化に対応するために開発中であった H-IIA ロケットへの早期切り替え作業などにより、約 22 ヶ月間の打上げ空白期間が生ずる事となった(H-II ロケット 5 号機打上げ失敗による空白期間も入れると約 3 年半の打上げ空白期間が生じた)。H-IIA 増強型ロケット開発着手は凍結された。

★Ut 第8回 NASDA 宇宙環境利用研究委員会(平成 11 年 10 月)において、次期スペー

スシャトル／ハブ利用科学ミッションの宇宙実験計画、「研究シナリオ」及び「NASDA 利用戦略計画」の検討状況、平成 12 年度公募地上研究募集への研究シナリオ等の反映、ロシア・サービス モジュール利用実験の利用方針の審議、宇宙ステーション国内利用計画(PUP)の発出、宇宙実験結果の飛行後科学評価の実施予定等の報告があった。

## 2. 6 2000 年代初頭における宇宙ステーション計画の状況

### 2. 6. 1 平成 12 年の取り組み(中央省庁再編前)

★Ut 第9回宇宙環境利用研究委員会(平成 12 年 3 月)において、研究シナリオ(微小重力科学、ライフサイエンス、宇宙医学分野研究の方向性を定めたシナリオ)の制定、第1回微小重力科学国際公募参加の今後の進め方、平成 5 年度 JEM 与圧部一次選定テーマのフライト選定の進め方、平成 13 年度 JEM 与圧部利用テーマ国内募集の進め方、曝露部利用ミッション(平成 19 年度打上げ目標)の募集・選定の進め方、JEM 与圧部実験装置検討の進め方(\*1)、第3回ライフサイエンス国際公募テーマ選定等の審議、公募地上研究評価結果、宇宙実験結果の飛行後科学評価結果等の報告があった。(\*1)各専門委員会の検討状況及び装置開発の課題を踏まえつつ、優先順位の高い装置(静電浮遊炉、水棲生物飼育装置、細胞培養支援装置、X線撮影解析装置、非侵襲酸素モニター、高精細度映像システム)の技術的問題点明確化、開発コスト精査、民生品転用方法などの予備的検討、中長期的な装置開発計画案を作成する事が、同研究委員会です承された。

★Ru、De 2000 年 7 月に、サービスモジュール SM(ズベズダ)が、ロシアから打上げられ、ISS 組立が進みだした。

★Po ロシアサービスモジュールの打上げ遅れ等から生じた米国宇宙ステーション計画見直しを踏まえて、宇宙開発委員会は、同年 8 月の見直し方針で、JEM 打上げ年度を、平成 15 年度及び平成 16 年度に変更した。

★Ut ライフサイエンス国際公募と同様に、第1回微小重力科学国際公募が、平成 12 年 9 月に発出された。平成 14 年 1 月には、第1回国際公募の候補テーマとして5テーマ、及び共同研究提案3テーマが選定された。

★Ut 第10回 NASDA 宇宙環境利用研究委員会(平成 12 年 10 月)において、STS-107 フライトに向けた選定テーマ、新たな研究分野(微小重力物理学分野)の提案等の審議、一般利用、次期船外実験プラットフォーム利用ミッション募集準備、地上研究公募選定結果等の報告があった。

★Ma 平成 12 年/2000 年 10 月には、若田飛行士が STS-92 に MS として搭乗し、ロボットアームを操作して ISS 組立てに貢献した。

★Po 平成 12 年 12 月に、内閣府宇宙開発委員会としての最後の報告書「我が国の宇宙開発の長中期戦略」が制定された。ISS/JEM 計画関連の方針では、①短期的には、科学研究や技術開発を中心に利用を推進するとともに、利用分野や利用形態の多様化を図る、②中長期的には、有人宇宙活動により新しい宇宙ミッションの可能性を見出すとともに、有人宇宙活動を支える高機能ロボットの開発等により、我が国の主体性を確立する、また、ISS の軌道上活動拠点としての発展性を明らかにするとされた。

★Po、Ut また、平成 12 年 12 月に、宇宙開発委員会宇宙環境利用部会が、「国際宇宙ステーションの本格的利用に向けて一初期利用フェーズ推進方策」を策定した。この中で、基

本格的考え方として、①JEM 利用の多様化(JEM の「軌道上研究所」という位置づけは維持しつつも、これに加えて民間企業による利用等、利用者負担による利用を含む多様な利用を開始し、これを段階的に進めていくこと)、②具体的な成果の早期創出と利用者育成の両立、③ JEM 利用プロセスの具体化(初期利用フェーズにおける利用/運用方針を明確にし、想定される利用者、利用分野、利用形態に対応するための体制を利用開始に向けて整えておく)を示した。

## 2. 6. 2 平成 13 年の取り組み(中央省庁再編後)

★Ge、Po 中央省庁再編に伴い、平成 13 年 1 月に、政府の「重要政策に関する会議」の 1 つとして、総合科学技術会議が内閣府に設置された。

★Ge、P 文部科学省の(新)宇宙開発委員会(井口委員長)が、同年 1 月に発足した。本委員会では、所管の宇宙機関の長期計画を作成する事となった。

★Am、Po 主としてロシア参加を要因とする ISS 計画の遅延等によって生じていた米国 ISS 計画の予算増加に対して、さらなる予算超過は、これを基本的に認めないとする 2001 年 2 月の米政府の方針を受けて、NASA は ISS 計画の予算問題解決のために、NASA 諮問委員会 NAC の下に ISS 開発管理能力とコスト評価のためのタスクフォース IMCE を設置。IMCE の答申を受けて、NAC は当面米国基幹部分の完成を目指し(搭乗員の滞在期間延長、スペースシャトル年間飛行頻度削減、地上運用要員削減により、コストを削減しつつ)、それ以降の計画は、2003 年秋頃を目処に再評価すると共に、ISS 利用研究の優先順位付けによる利用計画の見直し、利用領域の絞込み等を勧告した。NASA は、これに対応したアクションを実施。

★Am、Ut 米国実験棟打上げ(平成 13 年/2001 年 2 月)。

★Ma、Ut ISS 内の宇宙環境が、ヒトに及ぼす影響について研究する国際共同研究プロジェクト(HRF プロジェクト)に参加し、NASDA 中性子モニタ装置を米国実験棟に長期間設置、船内中性子環境を計測した(平成 13 年/2001 年 3 月打上げ、同年 12 月回収)。

★Ut 第 11 回 NASDA 宇宙環境利用研究委員会(平成 13 年 3 月)において、NASDA 独自利用に関する検討の進め方、STS-107 先導的応用化研究テーマ追加、STS-112 ライフサイエンス国際公募テーマ選定、STS-112 先導的応用化研究蛋白質結晶実験実施、微小重力物理学ワーキンググループ設置、第 4 回ライフサイエンス国際公募の募集、研究シナリオの改訂等の審議、JEM 利用の多様化の推進、与圧部共通実験装置開発の現状等の報告があった。

★Po、Ut 平成 13 年 3 月に閣議決定された第 2 期科学技術基本計画では、当面 5 年間の科学技術政策として①ライフサイエンス、②情報通信、③環境、④ナノテクノロジー・材料、の 4 分野に重点化を図る事とされた。これらを受けて、宇宙開発委員会計画評価部会の平成 14 年度予算要求の方針に関する審議の結果、国際宇宙ステーション利用の分野においては、「総合科学技術会議で示された重点 4 分野への貢献を図るための取り組みを段階的に実施しつつ、JEM 利用開始前の宇宙実験機会の確保や有望な領域の促進等、宇宙ステーション利用開拓のための方策を、重点化を図り実施する」事となった。このため、NASDA は、国の重点政策に対応するよう各分野の研究シナリオの見直し検討を、平成 13 年度末に向けて開始。公募地上研究についても同様の重点化の考え方を導入すべく検討を進める事となった。

★Po JEM の確実な開発及び ISS 組立てスケジュールの見直しとの整合性をとるため、宇

宙開発委員会は、同年 8 月の見直し方針で、JEM 打上げ年度を、平成 16 年度及び平成 17 年度に変更した。

★Ge、HT H-IIA ロケット試験機 1 号機打上げに成功(平成 13 年 8 月)。

★Po 総合科学技術会議に、同年 10 月、「宇宙開発利用専門調査会」(桑原会長)が設置された。同調査会は、我が国宇宙産業の国際競争力の強化を図るとともに、宇宙の利用を通じて国民生活の質の向上等に資するために、「今後の宇宙開発利用に対する取組みの基本等について調査・検討を行う」とされた。

★Ut 第12回 NASDA 宇宙環境利用研究委員会(平成 13 年 10 月)において、微小重力物理学研究シナリオ制定、平成 5 年度選定船内実験室一次選定テーマの今後の進め方、宇宙環境利用研究における新たな重点化、STS-107NASDA 技術検証テーマの追加等の審議、第 1 回微小重力科学国際公募の募集結果等についての報告があった。

★Po、Op、HT NASDA は、定常運用利用段階における経費(推定年間約 6 百億円)を削減するため、ISS システム共通運用経費及び日本負担、JEM 運用経費を削減するための努力、交渉を続けた。

### 2. 6. 3 平成 14 年の取り組み

★Ge、Po 文部科学省宇宙 3 機関統合準備会議(議長:青山副大臣)が、報告書「宇宙 3 機関統合後の新機関の在り方について」を、平成 14 年 3 月に取りまとめた。その骨子は、①特色ある宇宙開発利用の推進の観点から機能を重点化、②重点化に当たっては宇宙・航空科学技術の基盤技術強化に特に配慮、③効率的、効果的な研究開発等を実施するため最適組織体制を構築、④世界トップクラスの技術力の獲得による先導的地位の確保、世界最先端の宇宙科学推進による知的存在感ある国の実現、そのための最適運営システムを構築、⑤産業界との円滑な連携・協力を推進、産業界との強い信頼関係を構築、⑥自律的宇宙開発利用活動展開のための技術力を独自に保持・発展させ、宇宙利用を拡大、⑦国際協力の推進。以後、この方針に従って、統合に向けての準備が進められた。

★Ut 第13回 NASDA 宇宙環境利用研究委員会(平成 14 年 3 月)において、各分野の研究シナリオの改訂等の審議、3機関統合の検討状況、日韓 ISS 利用協力等についての報告があった。

★Po、Op、Ut、Ma 総合科学技術会議が、報告書「我が国の宇宙開発利用に関する取組みの基本について」を、平成 14 年 6 月に取りまとめた。本方針の中で、国際宇宙ステーション計画について、民間活力による運用の効率化、優先度に応じた利用計画の見直しを行い、実験棟の運用・利用に要する経費を中心に大幅な削減に努める事とされた。また、有人宇宙活動については、我が国は、今後 10 年程度を見通して、独自の計画を持たないが、ISS 計画など国際協力を通じて、その活動に係わる技術の蓄積を着実に推進するとされた。

★Po、Ut、Op 宇宙開発委員会が、「我が国の宇宙開発利用の目標と方向性」を取りまとめた(平成 14 年 6 月)。この中で、①安全・確実な JEM 打上げに向けた準備について引き続き着実に推進、十分な資金の確保を図る必要がある、②利用計画については、それぞれの分野において重点化を図るとともに、利用の多様化を図るための検討を行う事、③我が国の宇宙開発利用全体の整合性の中で、資金規模の適正化を図るため、JEM 打上げを含むスケジュール及び資金計画についても必要な見直しを行う事、定常運用経費については、国際

パートナーと調整を図りつつ、利用計画の重点化や民間活力導入による利用・運用体制の効率化等を図ることにより、従来の試算からの大幅な削減に努める、④ISS への物資補給、衛星の複数打上げによるコスト低減、衛星の大型化に対応するために、H-IIA 増強型ロケットを開発する場合には、H-IIA 標準型を基本に民間に主体性を持たせた官民共同開発を行う、そのため官民の関係者からなる作業チームを文部科学省に設置し検討を行う、などの方針を示した。上記④については、上記方針に基づき、H-IIA 民営化作業チームにおいて官民共同の開発の進め方について検討し、平成 15 年 5 月に宇宙開発委員会に報告。(コメント:①～③の関係で結果的には、利用へのしわ寄せが一番大きくなった)。

★Ut 宇宙開発委員会利用部会は、宇宙利用推進に関する報告書「我が国の宇宙利用推進の基本的方向と当面の方策」(平成 14 年 6 月)をとりまとめた。骨子は、①大前提としてのロケット、人工衛星等のコスト、信頼性及び期間等の国際競争力強化、②幅広い宇宙利用の可能性確保と得意分野への重点化、③利用者本位の利用推進、④国民に夢・希望・誇りをもたらす挑戦心を涵養する取り組みの必要性、④未来への挑戦のための研究開発の促進、⑤開発と一体となって宇宙利用を推進する仕組みの構築、⑥開発側と利用側の協働体制を構築するためのガイドライン・制度等の整備、⑦開発側と利用側が協働で具体的利用を先導・牽引するモデル事業の実施、⑧利用側における自己増殖的な利用拡大を促す情報発信拠点の整備、⑨宇宙以外の分野における利用用途の発掘、育成など。

★Po 宇宙開発委員会は、平成 14 年 8 月の予算見積もり方針の中で、米国宇宙ステーション計画の見直し、利用準備状況等を踏まえると共に、安全かつ確実な開発のため、①JEM を平成 17 年度から 19 年度にかけて打上げる事に変更、②生命科学実験施設(セントリフュージ)を構成する生命科学グローブボックス(LSG)を平成 17 年度打上げに変更、③宇宙ステーション補給システム(HTV)を平成 19 年度打上げに変更するとした。

★Ut 第14回 NASDA 宇宙環境利用研究委員会(平成 14 年 10 月)において、平成 5 年度選定船内実験室一次選定テーマの中間評価結果、JEM 曝露部初期利用ミッションの開発状況と中間評価の実施についての審議、宇宙三機関統合の調整状況等の報告、今後の宇宙環境利用のあり方(同年 5 月の宇宙開発委員会報告書を受けての ISS 利用計画の重点化)に関する検討の進め方についての討議が行われた。

★Am、Ut、Ce NASAは、ISS利用の科学研究に対する優先度付け、対応する研究計画の見直し検討委員会(REMAP)を設置して検討を行い、2004 年 7 月に NASA 諮問委員会 NAC へ報告。その後、NAC メンバーとの議論を踏まえて同年 9 月に最終報告書提出。要点は、①最も優先すべき研究は、有人探査を進展させる研究、科学的に重要性でインパクトを与える研究、②ISS での研究実施能力向上に努力、③セントリフュージや生物飼育装置など優先度の高い施設を確実に打上げる、他。

★Ut 宇宙開発委員会利用部会は、同年 6 月の宇宙開発委員会報告書を受けて、ISS 利用計画、運用・利用体制の検討に資するため、同部会の下に「国際宇宙ステーション(ISS)利用専門委員会」(川崎委員長)を設置する事とした(平成 14 年 11 月)。NASDA は、同分科会における調査審議に対応するために、諮問委員会として「宇宙環境利用検討委員会」(菅野委員長)及び「利用促進検討委員会」(澤岡委員長)を設置(同年 11 月)。

★Ut きぼう応用利用分野で、高品質蛋白質結晶成長プロジェクトを開始(平成 14 年)、製薬業界等との連携体制を構築した。



#### 2. 6. 4 平成 15 年の取り組み

★Ut きぼう利用開始に先立つ実験機会(応用利用)として、STS-107 利用宇宙実験に参加(平成 15 年/2003 年 1 月)、蒸気拡散法を用いた蛋白質結晶成長実験を集中的に実施した。しかし、STS-107 帰還時の事故により、実験試料が喪失。

★Am、Po、De、Ut スペースシャトルコロンビア号 STS-107 事故(2003 年 2 月)発生。事故調査は、当初 NASA 中心に行われていたが、独立事故調査委員会 CAIB 発足に伴い全ての権限が移され、NASA は支援する事となった。CAIB 最終報告書が、同年 8 月に公表され、NASA は飛行再開に向けた取り組みを開始。ブッシュ大統領は宇宙開発を継続すると言及、また、予算面でも NASA を強く支援、NASA は、国際約束を重視し、約束した ISS スケジュールを守るよう努力するとのスタンス、日本政府も ISS 計画の意義自体に影響を及ぼすものではない事、基本的に従来通り推進するとして、ほぼ当初のスケジュールどおりに JEM を NASA KSC に搬入するとした。(コメント:結果的に、スペースシャトル再飛行までに約 3 年半かかった、きぼう利用者等へのインパクトは大きかった。)

★Ru、Ut 平成 15 年 2 月以降、ロシア宇宙庁との商業ベース契約によりサービスモジュールや米国実験棟を使って、きぼう利用事前宇宙実験(応用利用)の一環としての高品質蛋白質結晶生成実験を、3 年間、年 2 回、合計 6 回実施。

★Ut 第 15 回 NASDA 宇宙環境利用研究委員会(平成 15 年 3 月)において、JEM 曝露部初期利用ミッションの中間評価結果の審議、スペースシャトル「コロンビア号」の事故の概要と対応、ISS 利用計画に関する議論の進捗状況、宇宙三機関統合の調整状況等の報告があった。

★Sa NASDA 理事長の諮問委員会「有人安全技術委員会」(森委員長)は、平成 15 年 3 月に、JEM の安全性に関しての 12 年間に及ぶ審議結果を、諮問に対する最終答申としてまとめ、理事長に提出した。

★De フライト用 JEM は、平成 15 年 5~6 月に、NASA ケネディ宇宙センター KSC へ輸送。

★Ut、Ma、In NASDA「宇宙環境利用検討委員会」は、前述の総合科学技術会議報告書及び宇宙開発委員会報告書等を踏まえて、①これまでの宇宙環境利用の成果と展望、②ISS/JEM 利用計画見直し案(重点推進領域)、③これまでに修得した有人宇宙技術/今後修得する宇宙技術、④今後の有人宇宙技術開発のあり方等を検討。また、NASDA「利用促進検討委員会」は、同様に、制度の課題、改善策、宇宙機関と民間企業とのパートナーシップのあり方について検討。これらの検討結果は、宇宙開発委員会利用部会国際宇宙ステーション利用専門委員会(平成 15 年 3 月設置)に報告。同委員会での審議を経て、同年 6 月に中間報告がまとめられた。この中で、国、新機構、民間等が、具体化に当たって検討べき課題と方向性を明らかにした。

現在想定している輸送量:

★HT ISS 共通システム運用の日本分担分は、平成 15 年 7 月頃、6 トン/年以上(ISS 3 人体制の場合、軌道上 6~7 人体制においても同程度の規模にするべく継続調整中)となっていた。また、H-IIA 増強型/HTV の輸送能力(混載型キャリアの時)は最大約 6 トンとなっていた。

★Po 宇宙関係 3 機関(ISAS、NAL、NASDA)が統合して設立される独立行政法人宇宙航

空研究開発機構 JAXA の中期目標設定の基礎となる「宇宙開発に関する長期計画」を、宇宙開発委員会の議決をへて主務大臣(総務大臣、文部科学大臣、国土交通大臣)が決定した(平成 15 年 9 月)。

★Ge、Ut 平成 15 年 10 月に、JAXA が誕生。JAXA 発足に伴う「宇宙環境利用推進体制」の見直し(宇宙環境利用科学部門への統合等)が行われた。

★Ge 同年 11 月、H-IIA ロケット 6 号機打上げに失敗。

## 2. 6. 5 平成 16 年の取り組み

★Am、Po ブッシュ米国大統領が新宇宙政策を発表(2004 年 1 月)。この中で、3つの目標を掲げた、①ISS を 2010 年までに完成、2010 年までにスペースシャトルを引退させる、②現在のスペースシャトルに代わる輸送手段として、新しい有人宇宙船(CEV:Crew Exploration Vehicle:宇宙探査輸送機)を開発し、2014 年までに有人飛行を行う、③早ければ 2015 年、遅くとも 2020 年までに、有人月探査を行う。

★Ut、Ma JEM 利用事前宇宙実験(宇宙医学分野)の一環として、ESA とロシアとの共同プロジェクトである「宇宙放射線線量計検証・国際比較実験(マトリョーシカ実験)」へ JAXA 「生物試料対応型ドシメータパッケージ」を提供し、物理計測データを測定し、検出器間の国際比較検証をする事で参加協力。平成 16 年 1 月にプログレス補給機により打上げた。

★Ut JAXA は、宇宙環境利用研究委員会に代わって、国際宇宙ステーション・きぼうの利用推進に関する基本的事項、利用テーマの設定、テーマの成果の評価等に関する基本的事項について調査審議する国際宇宙ステーション/きぼう利用推進委員会(以下、きぼう利用推進委員会、黒川委員長)を理事長諮問委員会として設置(平成 16 年 2 月)した。

★Ut 第 1 回 JAXA きぼう利用推進委員会が、平成 16 年 3 月に開催され、ISS/JEM を中心とする宇宙環境利用の考え方と目標、JEM 利用に先立つ実験機会検討状況、JEM 初期利用計画検討状況、今後の ISS/JEM 利用推進の課題について討議、応用利用分野の宇宙実験計画については審議の上、了承された。

★Ut JEM 利用事前実験(ライフサイエンス分野)の一環として、ゲノム科学のモデル生物として利用されている線虫が、宇宙実験でも有用である事を確認すると共に実験技術の確立を目指した国際共同実験に参加(フランス CNES の実験に、JAXA、NASA、CSA が参加)。実験試料は、平成 16 年 4 月ソユーズで上げられ、ロシアサービスモジュールで実験の後、4 月 30 日に回収。

★Po、In 宇宙開発委員会利用部会は、「我が国の国際宇宙ステーション運用・利用の今後の進め方」(平成 16 年 6 月)をとりまとめた。その骨子は、①運用業務・利用サービス提供業務における官民協同体制の構築、②利用計画の重点化(JEM 初期利用の重点領域・課題)、③利用推進のための新しい方策(民間等による有償利用枠の創設)、既存の方策の見直し(JEM 利用開始前の宇宙環境利用機会の確保、初期利用の補強と初期段階以降の成果創出研究育成へと公募地上研究制度を見直し、公募による先導的応用化研究制度を発展的に解消し、大学や研究機関等の研究を企業等による利用や事業化に結びつけるための支援を行う産官学連携体制の構築に向けた制度の新設)。

★Ut 第 2 回 JAXA きぼう利用推進委員会が、平成 16 年 6 月に開催され、公募地上研究の当面の進め方(曝露部利用関係)について審議。主な意見は、ユーザまたは研究者の提

言が受け入れられるように組織を動かして欲しいこと、研究の裾野を広げるのが本来の公募の意味である、など。

★Po、In 総合科学技術会議が、「我が国における宇宙開発利用の基本戦略」を策定(平成16年9月)。この中で、ISS計画は、①我が国の有人宇宙技術の蓄積や、新たな産業活動に発展しうる宇宙環境利用と新たな科学的知見の創造に不可欠である事、②日本実験棟「きぼう」、HTV及び生命科学実験施設の安全性・信頼性の確保に配慮しつつ、これらの確実な開発・打上げ並びに利用・運用を進めていく事、③「きぼう」打上げやISS組立て・完成の遅延、運用期間の短縮などの計画推進上想定すべき事態に対し、我が国への影響を最小限とするために、米国の新宇宙ビジョンの具体化による影響を十分に見極めた上で、適切な対応を予め検討しておく事、④「きぼう」の利用・運用における費用対効果を最大化するために、民間活力を可能な限り活かした積極的な利活用を推進する事、民間活力による「きぼう」の利用・運用に要する経費を削減する努力を続けるとともに、限られたリソースのもと、最大限の効果を上げる事を目指す事、⑤アジア地域への国際協力の一環として、「きぼう」に係る共同研究促進などの様々な取組みを今後検討していく事、などの方針が示された。

★Ut 第3回JAXAきぼう利用推進委員会が、平成16年10月に開催され、ライフサイエンス国際公募国際調整方針、公募地上研究テーマ募集の考え方の審議、当面のJEM利用テーマ実施計画とりまとめの考え方についての討議、宇宙環境利用科学委員会活動状況等の報告があった。

★Ut 第5回ライフサイエンス国際公募が行われ、同年11月に5テーマが候補として選定された。

#### 2.6.6 平成17年の取り組み

★Po 平成17年/2005年1月の多数者間調整委員会 MCB、宇宙機関長会議 HOAにおいて、①2010のスペースシャトル退役までに28回のフライトで、パートナー各極の全ての要素を打上げる事、②ソユーズ2機の緊急帰還能力により、3人を越えたクルー増強を早期に可能とする(2009年目標)を承認、確認。

★Op JEM運用管制システムの開発完了審査会を、平成17年3月に実施。

★Ut 第4回JAXAきぼう利用推進委員会が、平成17年3月に開催され、スペースシャトル飛行再開が近づいて来た事などから、2010年代のきぼう利用のあり方、具体的な方策(科学利用、民間等による利用、教育・人文科学等での利用、将来の有人宇宙活動に必要な技術の実証、将来衛星の先端技術・先端ミッションの実証、アジア・太平洋地域との連携促進)についての討議を開始。主な意見としては、一回り大きく国民にアピールする事が重要、日本が知の創造のトップセンターになる重要性、アジア・太平洋地域連携の具体的な進め方、最新の研究・需要動向を踏まえた利用テーマのプライオリティの置き方等。また、ISS計画/シャトル再開の状況、JEM利用に先立つ実験実施状況について報告があった。

★Po JAXAは、提案書JAXA長期ビジョン—JAXA2025—を、平成17年3月に公表。

★Am、Po、Ce NASAは、内部検討チームを設置し、同年4月下旬以降数ヶ月にわたり、スペースシャトル飛行回数の削減とISS完成形態の見直し検討を実施。同年9月下旬、NASAが国際パートナーに対してISS計画見直しに係わる検討状況を説明。同年10月中旬、NASA長官が、関係宇宙機関長と会合を持ち、同検討状況を説明。これらによれば、①以降のISS

へのスペースシャトルの飛行回数は最大で18回、②打上げ順序としては、国際パートナー要素のために必要となる基盤設備を打上げた後、すぐに国際パートナーの実験棟を上げる、その後、補修・補給のための飛行を行う、③きぼうについては3便全て打上げる、④新宇宙探査計画の目的には、セントリフュージが必要ないとNASAは判断した、との事であった。これに対して、JAXAが、JEM 打上げの早期実施、セントリフュージ開発中止への対応(JEM3便打上げ確保、利用者への配慮)、JEM 運用利用に必要な輸送の実施とリソース(クルー時間、電力)の確保、ISS 完成形態と組立てスケジュールの早期合意を要請。

★HT HTV 運用管制システム詳細設計審査会 CDR を、平成 17 年 5 月に完了。

★Ut 第5回 JAXA きぼう利用推進委員会が、同年 10 月に開催され、JEM 初期段階以降の利用推進の進め方について討議が行われた。主な意見としては、セントリフュージが無くなる事による生命科学研究への影響は極めて大きい、JAXA 統合後全体がどう動いているのか見えなくなった、検討課題が山積しているなど。

★Ut JEM 利用事前実験(応用利用分野)の一環として、3次元フォトニック結晶の実用化に向けた宇宙生成実験(第1回目)がロシアサービスモジュールで実施された後、平成 17 年 12 月にソユーズで回収。

#### 2. 6. 7 平成 18 年の取り組み

★Po 平成 18 年/2006 年 3 月の宇宙機関長会議 HOA で、ISS 完成形態、スペースシャトル 16 回のフライトで 2010 米会計年度の初期に完成、ESA コロンバスモジュール、JEM 打上げ順番を繰り上げ、同年 7 月のスペースシャトル飛行で 3 人体制へ、平成 21 年/2009 年には搭乗員 6 人体制による運用を実現などが合意された。

★HT HTV の詳細設計審査会 CDR#2 を、同年 3 月完了。

★Ma、De スペースシャトル「コロンビア号」の事故以後初めてとなる平成 18 年/2006 年 7 月の「再開フライト」に野口宇宙飛行士搭乗が MS として搭乗、ISS 組立て作業が再開された。

★Ut 第6回 JAXA きぼう利用推進委員会(平成 18 年 9 月)において、JEM 第 2 期利用の方針についての討議、曝露部第 2 期利用の進め方の審議が行なわれた。主な意見は、サイエンスのボトムアップとトップダウン(社会還元のためには必要、大学でも責任を持つためには実施している)のあり方、ISS 利用に関する技術開発の重要性とゴールの明確化が重要、新しい曝露部装置についてはトップダウンでの議論が必要、株主&投資家(国民)、機関投資家(政府)にアピールし、IR 活動する事の重要性、ビジョンとその実現に向かっての前進、投資に対する成果のアピールなど全体像が必要など。なお、JEM 打上げは、同年 9 月時点で、平成 19 年及び平成 20 年打上げ見込みとなっていた。

★In、Op、Ut JAXA は、JEM 運用及び利用サービス提供業者選定のための RFP 発出(平成 18 年 11 月)、選定(同年 3 月)。

★Ut 宇宙開発委員会計画部会宇宙科学ワーキンググループが、平成 18 年 12 月に、報告書「宇宙科学研究の推進について」をとりまとめ。この中で、「宇宙環境利用における学術研究」の推進を提言。

★Ut 第7回 JAXA きぼう利用推進委員会(平成 18 年 12 月)において、第 2 期きぼう利用の具体的方針(第2期利用全体計画、与圧部利用/分野別利用概要、与圧部実験装置、利用促進方策など)について討議。主な論点は、物質科学等微小重力科学、生命科学研究に

における JAXA の果たすべき役割、コミュニティと JAXA の関係、分野間の協力、興味が先か方向付けが重要か、JAXA にコアとなる部分がある事の重要性、科学は結果が全てであり良い結果を早く出す必要性、宇宙環境利用科学推進と JEM 利用推進の違い、公募地上研究と宇宙環境利用科学委員会との連携など。なお、第2期曝露部利用候補ミッション選定における総合的順位付け、選定後のフェーズ A 検討結果等の評価のための曝露部分科会の設置は了承。

#### 2. 6. 8 平成 19 年の取り組み

★Po、In JAXA が、平成 19 年 4 月に、きぼう運用利用への民間活力の導入策を、宇宙開発委員会に報告。

★Am、Po、De 同年 4 月にスペースシャトル射点周辺で発生した雹により STS-117 の外部燃料タンク断熱材が損傷し、修理などの影響もあって、ISS 組立てスケジュールの調整が行われ、JEM の打上げは、平成 20 年 2 月以降(1J/A)、4 月以降(1J)、平成 20 年度(2J/A)となった。

★Ut 第 8 回 JAXA きぼう利用推進委員会(平成 19 年 4 月)において、①第 2 期きぼう曝露部利用候補ミッション(フェーズ A 移行ミッション)の選定(33 件の応募の中からポート占有ミッション候補 3 件、ポート共有ミッション候補 8 件を選定)、②第 6, 7 回委員会議論を踏まえた「きぼう」第 2 期利用の方向性(第 1 期活動を発展させ利用成果を社会還元する事を目指す、日本の国際的地位確立、発言力確保を目指す、ほか)、③同きぼう利用促進方策(地上研究に限られた制度からフライト実験準備と一体化、萌芽段階の地上研究支援枠組み設定)などが、了承された。主な意見は、米欧との共同研究の成立性有無、計画の縮小性と科学的意義の関係、生命科学は凄いい勢いで広がり大勢の人がこの分野に入って来ようとしているので限定しすぎない事が大切など。第 2 期与圧部利用候補テーマの募集、選定、利用計画設定の審議を行なう与圧部分科会設置は了承。

★Ut JAXA は、平成 19 年 7 月から 9 月まで、きぼう与圧部第 2 期実験候補テーマの募集を実施、73 件(生命科学 46 件、物質科学 27 件)の応募があった。

★Ut、In JAXA は、平成 19 年 10 月に、きぼう有償利用テーマ公募の進め方を、宇宙開発委員会に報告。同年 11 月、第 1 回公募を実施。

#### 2. 6. 9 平成 20 年の取り組み

★Ut 第 9 回 JAXA きぼう利用推進委員会(平成 20 年 2 月)において、①第 2 期前半与圧部実験候補テーマ選定(生命科学 8、物質科学 6、計 14 テーマ)が、同委員会です承された。第 2 期船内実験室実験装置候補開発移行関連の評価作業状況、第 2 期船外実験プラットフォーム利用候補ミッション概念設計状況、応用利用のロシアモジュール利用実験、きぼう第 1 期利用準備状況、宇宙医学・生物学研究取組み状況、一般利用、有償利用等についての報告があった。

★De、Ma きぼう船内保管室(1J/A)の打上げ(STS-123)、きぼう軌道上組立て開始(平成 20 年 3 月)、土井宇宙飛行士が MS として組立てに参加。同年 5 月には、きぼう船内実験室(1J)の打上げ(STS-124)、星出宇宙飛行士が MS として組立てに参加。

★Ut きぼう利用実験を本格的に開始(同年 8 月)。

★Ge、Po 議員立法により「宇宙基本法」が成立。この法律に基づいて「宇宙開発戦略本部」が設置(平成 20 年 8 月)された。

★Ut 第 10 回 JAXA きぼう利用推進委員会(平成 20 年 12 月)において、①第 1 期利用成果のとりまとめ方針、②第 2 期船内実験室利用の後半期間の科学分野候補テーマ募集に係わる準備に着手する事が、委員会で了承された。主な意見は、成果の公開の仕方、国民の理解を得るには、知的資産の確保方策など。JAXA の長期的な有人宇宙環境利用への取り組み案、第 2 期船外実験プラットフォーム利用ミッション候補検討状況と今後の進め方等についての報告があった。

## 2. 6. 10 平成 21 年の取り組み

★Ma 若田宇宙飛行士が、ISS に長期滞在(平成 21 年 3～7 月)。

★Ut、In JAXA は、平成 21 年 3 月に、きぼう有償利用事業の推進方策(有償利用事業促進の民間事業者への移管など)を、宇宙開発委員会に報告。

★Ut JAXA は、第 2 期船内実験室利用の後半期間の科学分野候補テーマを募集(同年 4 月)。

★Po、Ut 宇宙開発戦略本部が、平成 21 年 6 月に、「宇宙基本計画」を策定。この中で、今後 10 年程度の目標として、①豊かな国民生活の質の向上(健康長寿社会の実現、具体例として、今後、高齢者医療、介護問題、創薬など、国民の生活に密着した課題等、地上社会の課題解決にフォーカスし、微小重力環境の利用を通じて、実用成果を創出する事を掲げた)、②世界をリードする科学的成果の創出等(知的資産の蓄積、人類の活動領域の拡大、具体例として、生命科学や材料・流体科学や宇宙環境利用科学などの分野で、世界最先端の成果を継続的に創出することを目標とする事、また、有人やロボットを活用した宇宙活動の推進により、人類の活動領域を拡大することを目指す事などを掲げた)

★De、Ut きぼう船外実験プラットフォーム打上げ(1J/A)、きぼう組立てが完了(平成 21 年 7 月)、船外実験プラットフォームの利用を開始。

★HT HTV 初号機の打上げ、ISS 結合に成功(平成 21 年 9 月)。

★Ut 第 11 回 JAXA きぼう利用推進委員会(平成 21 年 10 月)において、①宇宙基本計画を踏まえた今後のきぼう利用の方向性を討議、②第 2 期利用ポート占有ミッション今後の進め方(高エネルギー電子、ガンマ線観測装置 CALET の選定)の審議が行なわれた。主な意見は、優先順位のあり方、人材育成の進め方、アジア協力の進め方、宇宙ステーション運用利用期間の延長、CALET 選定については提案機関/JAXA 責任体制構築を条件に了承など。他に、きぼう第 1 期利用成果のとりまとめ方針、実施計画案、きぼう第 1 期利用の実施状況報告、きぼう 2 期利用の準備状況報告などが報告された。

★Ma 野口宇宙飛行士が、ISS に長期宇宙滞在(平成 21 年 12 月～平成 22 年 6 月)。

## 2. 7 宇宙ステーション計画前半期のまとめと教訓(齋藤私見)

★ 宇宙ステーション計画にかかわる米国の戦略の変遷と日本の参加戦略を鳥瞰すると:

① 宇宙ステーション計画における米国の当初戦略は、スペースシャトルに続くロジカルステップとして、広範な科学(宇宙環境利用科学、宇宙科学、地球科学等)及び実用化(宇宙製造、宇宙輸送、軌道上サービス等の商業化)の促進、米ソ冷戦下での米国の国際的リ

ーダーシップ(科学、技術、商業化)の確保を目的として、スペースシャトルを前提とした計画として立ち上げた。しかしながら、チャレンジャー事故を契機に、人命をかけた有人宇宙活動は何を長期目標とするのかの戦略が求められ、有人宇宙探査が、その軸にすえられた。しかしながら、この長期戦略は、アポロ計画の国家戦略とは同じものでなかったが、宇宙関係者は、この目標に大きな期待をかけ、政権が膨大な投資を行ってくれる事を期待した。現実的には、さまざまな要因に基づく、資金的制約のもとで実現して行った宇宙ステーションは、初期段階の壮大な宇宙ステーション概念とは違って、実験モジュールを中心とした堅実な概念となった。この概念は、科学技術実験や技術開発は出来るが、有人宇宙探査という面からは離れたものとなって来ていた。その後、冷戦終了にともなって、米露等が相互に益がある計画として、ロシアも参加した国際宇宙ステーション ISS へと進んだ、

② 一方、目を日本にむければ、戦後の混乱の中から先輩達の努力もあって、高度成長をいち早く達成し、その過程の中で先進宇宙開発国への仲間入りにより、高度・次世代科学技術の習得・促進、宇宙活動範囲の拡大、国際貢献を目的として、宇宙ステーション計画へ日本実験モジュールでの参加を決めた。その後、繰り返された米国宇宙ステーション計画見直しに困惑しながらも、着実に実績を積み上げてきた、

③ 米国では、スペースシャトルの老朽化が進む中で、次世代スペースシャトルの研究開発に官民共同で取り組んだが、うまくいかずに、アポロ計画で用いられた有人宇宙船と打上げロケットの概念、技術を活用する事を決めた(これは有人宇宙探査の第一ステップとして月探査を重点目標として選択した事と関連していると理解)。しかしながらこの概念(Orion、Ares)には、本質的に、宇宙ステーションとは別に(ISSでは長期宇宙滞在の研究、探査のための技術蓄積を行うとしていたが)、有人月探査を行うという意味も入ってきて、これまでの宇宙ステーションへの投資の活用、及び宇宙探査だけではない多様な有人宇宙活動の姿(含む、商業宇宙活動)が存在するという意味からすれば疑問符がつくし、また同時に、有人「月」探査の意義・必要性に対する疑義も起こって来て、再度の見直しとなった、

④ 一方、宇宙開発利用も経済、社会、政治と無関係ではありえなく、世界は従来の先進国中心の経済、社会、政治から、中国、インド、ブラジルなどの新興国家の存在感増大で大きく様変わりしている中で、これらの国々が有人宇宙活動にも進出し始めてきた事は、当然の成り行きとなっている、

⑤ 日本は成熟国家になって来て少子高齢化、経済の相対的低下傾向等が続いているし、世界は人口の増大と豊かさを求めて消費が拡大し、地球的課題としての環境問題や資源・エネルギーや食料問題などが、顕在化して来ている。こうした中で、日本も、世界各国も、それぞれが固有に抱える課題、地球規模の課題に、宇宙開発利用が貢献できなければ、国民の支持が、すぐに得られるとは考えにくい時代に入っている。

★ 米国の宇宙開発と政治とのかかわり、米国を意識した欧州の考え方、日本とのかかわりは:

① 米国は、大統領が方針を決めて、それに従ってNASAが計画を推進しているように見られ易いが、宇宙ステーション計画の歴史等に見られるように、これは正確でない場合が多い。NASA 長官等が、(政権の方向性等も踏まえつつ)先鞭をつけてから、大統領への働き

かけを行う場合や、政権が目指す方向と現宇宙開発利用方向性が違っている場合に、政治的判断のもとで計画見直しが行われる、という極めて当たり前とも思えるプロセスがとられている。一方、米国は議会の影響力が他の国より強く、宇宙ステーション計画への投資、計画管理のあり方のみならず、設計の中身にも法案化を通じて口を出した例もあった、

② 欧州は、スペースシャトル国際協力の米国との苦い経験と、米ソに対抗する勢力として欧州自立を目指すとの戦略のもとで、宇宙ステーション計画でも独自プログラムの推進を掲げながらの米ソとの協力を行って来たが、投資規模の圧倒的な違い等から中途半端な状態となっているように感じられた、

③ 一方、日本は、ほとんどゼロベースに近い状況からの参加になったが、兄貴分たる欧州の経験、アドバイスも聞かせてもらいながら、また、目指す方向が共有出来る場合には、連携を組み合わせながら、なんとか開発段階の当初目標を達成した。今後は、運用利用段階における目標の達成を目指す事になるが、各種利用ミッションの重要性の重みは、計画参加時とは、異なって来ている部分もあるので、柔軟かつ戦略的な対応が求められている。

★ 圧倒的に技術、資金、要員、経験で勝る米国等と伍して行くために考えられた、考えた方策は：

① 初期の段階(昭和59年)で、NASAから共通モジュールを買ったらどうかとの示唆もあったが、前年の宇宙開発委員会特別部会中間報告で、“モジュールやプラットフォーム等は日本で開発すると想定して検討を進める”との方針が示されていた事(技術導入で進めてきた実用衛星打上げ用ロケットで顕在化されていた情報開示、技術移転等に関連した課題、制約等を踏まえた政策と認識)、及び多国間の協力という事もあって、これ以上深追いされずに済む事となった、

② FMPT プロジェクト推進の体験から、独自設計した有人施設(実験モジュール等)であっても最後は、安全性、インターフェース、宇宙飛行士運用等の面で、NASA が十分なレビューを行うとの認識で、独自技術、システムに挑戦した、

③ 技術的、資金的に米国について行けない時なども想定し、危機管理方策を複数持っているよう心がけた、

④ 情報(収集と分析)戦に負けない事、要員数が少ない事を逆利用し、向かっている方向、考え方、意識の統一を行い全体(政府、産業界、科学界等を含めたオールジャパンとして)として効率の良い活動を行い、また、不明の点や疑問点については、納得できるまでNASA等に確認する努力を続けた(米国企業からのロケット技術の導入の時にもそうした)、

⑤ 軌道上予備/事前宇宙実験への参加、軌道上要素試験の実施などを通じて、出来るだけ段階的に開発・運用・利用の技術・経験を積み上げた。

★ ミッションが先か、インフラが先か、計画の進め方：

① ミッションを想定しないとインフラ(実験モジュール、共通実験装置等)の設計は定まらないが、計画が長期にわたると、ミッションの重要性が変わってくるので、整備するインフラは、ある程度多目的である事が必要となってくる、

② しかし、一方、多目的すぎると個々のミッション遂行上の不便さが目立ってくるし、投資



効果が悪くなるので、設計上インフラの柔軟性の確保が重要となってくる、

③ 米国に依存し過ぎの計画であるとの批判は、過去からあったが、懐に入らなければ有人技術の修得は難しいし、一方、自立や危機管理の面からは、欧州が当初考えたように可能な限り距離を置いたほうが良いが、資金、技術面からはこれも難しいので、JEM計画は日本の有人計画の第一歩と考え、クリーンインターフェースの下での独自設計・開発、物資輸送、通信、発展性、予備宇宙実験機会(小型ロケット等)の確保の面で可能な限り、自立性に配慮する事となった、

④ いくつかの計画立上げに参加させてもらった体験(良くも悪くも)からは、詰め切れていないで立上げると本格的に資金投入が始まってから大変な事態になるので、計画立案から立上げまでが、極めて大切。このため経験の有る人が参加して、さまざまな視点から十分つめる必要がある。正確な理解無しで、計画途中でいじくり回すのも注意が必要。

★ 宇宙開発利用の歴史の中での宇宙ステーション、きぼうの位置づけ、活用方法は:

① 宇宙ステーションは、軌道上の科学技術研究施設であると共に、地球上から人類が宇宙空間へ進出する上でのベースキャンプ的な性格、ハブ機能も持つ軌道上拠点。将来、コンフィギュレーション、規模、建設者・運用者が変わっても、軌道上拠点は存在し続けると考えられる。選抜された宇宙飛行士による有人宇宙探査等のベースキャンプ、先端的科学技術の研究開発、地球圏の総合観測・診断、次世代人材育成、庶民の宇宙に行きたいという願望、ビジネスとしての有人飛行などが、軌道上拠点の必要性を支える(地表から直接、月に到達・着陸してから、地球に帰還するために必要となる全増速量と地表からISS軌道に乗せるのに必要な全増速量を比べると、前者は後者の倍以上となる、いわんや火星となると3倍以上となる。打上げロケットの大きさは、必要な全増速量に対応して指数関数的に大きくなるので、前者は巨大な使い切りロケットが必要であるのに対して、後者は複数回の再使用型ロケットで軌道上で組立て、発進が可能であり、人類の本格的な宇宙進出には、地球周回ベースキャンプ、ハブ機能が必要と考えられる)。

② 多目的軌道上実験施設で、発展性も考慮に入れた「きぼう」を活用して、未来を切り開く科学、技術、有人宇宙システム技術の研究開発に加えて、地球規模の課題でもある地球環境問題、エネルギー・食糧問題や日本の健康長寿社会やソフトパワー強化へ貢献する研究開発施設として役立たせる事に期待すると共に、日本企業が国際競争力(輸送、サービス、先端技術、創造的宇宙環境利用事業などの面で)を高める場として大いに活用して貰う事を期待、

③ 地球圏総合観測では、船外プラットフォームの活用や連携して飛行する能動型フリーフライヤの活用(災害や関連するシビア気象現象等即応性が必要とされる観測など)が期待されるが、このためには一層の工夫と技術開発が必要とされる、。

★ 国際協力(ギブ・アンド・テイク)と国際競争について:

① 米国が、ロケットや人工衛星の場合と違って、なぜ技術・実績がほとんど無い日本に、宇宙ステーション計画協力を呼びかけたのかを整理すると: a) NASAが必要とする機能(施設)の一部を肩代わりしてもらい、b) 民主主義国家の科学、技術、商業化促進のリーダーとしての米国を誇示できる、米国のリーダーシップ、影響下で各国の宇宙開発利用を囲い

込める、c) 国内的に計画を承認してもらうための手段として利用できる、d) 科学技術成果が交流出来、自国に益がある、などが考えられる、

② 一方、米国内では、国際協力による技術流出、足手まといになる懸念が、真剣に議論され、対応策が検討された、

③ 日本側から国際協力を見ると、当時の日米関係(技術導入から始めたが、独自ロケット等の本格的な研究開発に着手、日米通商問題など)のもとで、日本の宇宙ステーション計画参加に当たってまとめられた意義、目的(前述)となる、

④ 計画着手後、協定の交渉や実施計画を調整していくと、国益、立場、カルチャーの違いがぶつかるところが出て、危機的状況になったときも何度かあった(JEMの有効性を阻害する宇宙ステーション基準コンフィギュレーション、クロスウェーバー問題、JEM 打上げ費オフセット、など)が、双方関係者の信念、忍耐と努力(米国議員等にまで、関係者総動員で説明に行かざるを得なくなった場合があったなど)でなんとか計画がここまで進んできた。これは、将来の人類の宇宙展開や地球的課題への取組みには、国際協力なくしては成し得ないとの思いが、多くの関係者にあったからと理解している。こうした努力の過程で、日本がNASA等を支援した形にもなり、日本が信頼のおけるパートナーであるとの理解が、米国議員、NASA等に広がり、重要な効果を生んで来た、

⑤ 米国社会は、日本と比べると、創造と破壊を繰り返して、新時代を作っていくように見え、いとも簡単に、それまで積み上げてきた設計等を捨ててしまう事があった。このため、そのたびに日本に悪影響を及ぼさないように、主張し、交渉した事がいくたびもあったが、国際協力には避けては通れない部分もあり、この体験と切磋琢磨で成長した人材を、今後活かしていく事がより重要、

⑥ 世界が多極化の時代に入りつつある中で、日本が修得した技術、経験、人材を活用し、より対等に近い協力と競争が、ISS 利用運用等を通じて、順次実現し、さらに、未来へと発展していく事が期待される、

★ 政策決定と実施機関のあり方は:

① 宇宙ステーション/きぼう計画の立上げやロシア参加時などは、政府、実施機関、産業界、研究機関などが、一体として取り組んで、多くの困難を乗り越え、すばらしい成果を上げてきたと感じている、

② しかし、宇宙ステーション計画は、IGA/MOUにも規定されているように政府間の協力であるが、計画の進展と共に、オールジャパンの取組みから、次第に、科学技術庁中心の政策へ、さらに、実務機関であるNASDA/JAXAへと重心が移って来て、課題も出て来ている様にみえる。国民の資産であるJEMの投資効果が損なわれないよう、今後の計画のあり方、体制のあり方について、実態を踏まえながら継続的かつ十分な議論と改善が重要と思われる、

③ 計画当初にあった宇宙ステーション/きぼうの将来像は、今でも時間スケールの問題を除けば、多くが有効と考えられる。新興国の台頭、地球規模の課題の増大、国際協力の重要性の高まりを考慮に入れつつ、財政状況が厳しい中で、工夫して未来を切り開いて行くことが一層求められている、

④ 有人宇宙計画は、安全が第一であると共に裾野が広く、いったん崩れると再起は極め

て難しくなるので、実態を良く踏まえた次期計画の立案、体制の維持・発展を望んでいる。

★（基礎、応用）科学研究、応用化研究、学術研究、先端技術研究、利用研究、ボトムアップ研究、トップダウン研究の定義と組織のあり方について、十分な議論と整理が必要ではないか。

★ 定常運用利用段階では、利用に投入される費用とシステム運用等に投入される費用とのバランスが、投資効果の観点から重要。H-IIA 増強型ロケット/HTV の運用コストの低減については、研究開発段階で、さまざまなアイデアを検討し、コストダウンに取り組んだ様に、今後もさらに一層の工夫と努力が必要ではないか(安全性は確保しながら)。

(添付1) 宇宙ステーション協力ガイドライン抜粋

- ①国及び参加国の両方にとって相互に有益でなければならない。
- ②参加国は、宇宙基地の長期的利用の要求をもつべきである。
- ③参加機関は、政府機関である。
- ④参加国は、各自の開発プロジェクトの技術的、及び財政的責任を負う。
- ⑤合意は、義務と責任が明確に定義された特定のプロジェクトまたは機能に対するもの
- ⑥合意は、開発計画及び設計上の変更を受け入れ得るのに十分なる柔軟性のあるもの
- ⑦種々の部分間におけるマネージメント上及び技術上のインターフェースについては、現実的に可能な最大限の範囲において、明確なインターフェースを保持。
- ⑧宇宙基地のマネージメント・インテグレーション及び運用の主たる責任は米国にあるが、相当額の投資をする参加国も投資額に応じたマネージメント及び運用上の役割をもつ。
- ⑨宇宙基地構成要素または機能の所有権及び技術上、運用上のマネージメントの責任は、参加国にある
- ⑩安全性、信頼性等に関する共通の、技術的基準を作成し、宇宙基地計画参加国すべてに共通的に適用する。
- ⑪不当な技術移転を避けるよう実施されるが、インターフェースが有効にとれるように十分なる情報の交換を確保する。

(添付2) 宇宙ステーション計画 IGA/MOU 締結の経緯(詳細は第3章参照)

- ★1984年1月 レーガン米大統領が一般教書の中で宇宙ステーション建設提唱、西側同盟・友好国に参加呼び掛け
- ★ 〃 年6月 ロンドンサミットの経済宣言で国際協力による宇宙ステーションの意義を強調
- ★1985年5月 日米科技協定の下で宇宙ステーションフェーズB MOU 署名・発効(同種のMOUは同年4月に米加間、6月には米欧間でも締結。)
- ★1988年9月 フェーズC/D/E IGA(旧 IGA)に日米欧加計12ヶ国が署名。米欧加間で旧暫定適用取極締結。
- ★1989年3月 日米、フェーズC/D/E MOU(旧 MOU) 署名
- ★ 〃 年6月 日本、旧 IGA 国会承認
- ★ 〃 年9月 日本、旧 IGA 受諾、旧暫定適用取極加入。日米間で旧 MOU 発効。

- ★1992年1月 米国、旧 IGA 受諾。日米間で旧 IGA 発効(結果的に、旧 IGA は欧加については発効せず。)
- ★1993年2月 米クリントン政権宇宙基地見直し
- ★1993年9月 米副大統領／露首相共同声明で、宇宙基地協力を視野に入れた米露宇宙協力を宣言
- ★1993年12月 日、米、欧、加の招請に応じて、露が宇宙基地へ参加を表明
- ★1994年3月 露参加に伴う IGA 改正交渉開始
- ★1995年10月 ESA 閣僚級理事会欧州の宇宙基地計画継続を決定
- ★1996年6月 米露間で、双方の貢献、責任、権利について基本合意
  
- ★1998年1月 新 IGA に日米欧露加計15ヶ国が署名。米露加と欧の一部が新暫定適用取極締結。
- ★1998年2月 日米、新 MOU に署名
- ★ 〃 年4月 日本、新 IGA 国会承認
- ★ 〃 年11月 日米、新 IGA 受諾
- ★2000年7月 加、新 IGA 批准
- ★2001年3月 露、新 IGA 批准。日米露加間で、新 IGA 発効
- ★2001年6月 日米新 MOU 発効
- ★2005年6月 欧、新 IGA 発効

(添付3) クリントン政権宇宙ステーション計画見直し検討報告書(ブルーリボンパネル報告書)要旨抜粋

(1) 全般

- ・宇宙ステーション計画は国家的及び国際的研究施設で実施される現在進行中かつ発展的な科学技術研究計画
- ・宇宙ステーションは、長期的な多国間のコミットメントを必要とする国際協力の事業
- ・打上げ及び緊急避難機の安全性、柔軟性及び冗長性を配慮し、ロシアを含む多くの宇宙開発国からアクセス可能な高軌道傾斜角を推奨

(2) オプション

- ・オプションA及びCが更なる検討に値するものと認識

(3) コスト

- ・各オプションとも、現行の宇宙ステーションに比較し、マネジメントの再構築により顕著なコスト削減が達成可能
- ・最終的なコストは議会及び行政府が安定した予算づけを行うことをコミットすることによって最小化される

(4) 国際パートナー

- ・国際パートナーのモジュールが目標資金レベルでは取付られない、この場合、米国の国際的信頼度が損なわれることについて憂慮
- ・国際パートナーはオプションCに対し強い懸念を有する

(5) リスク

- ・緊急帰還能力の必要性を認識
- ・スペース・シャトル以外の代替打上げ手段の確保を推奨

(6) マネージメント

- ・NASA 及び契約者の両者における計画管理及び組織の大幅な簡素化についての NASA 及び行政府の決断を要請
- ・管理の階層の簡素化及びプロジェクトマネージャへの権限と責任の付与を推奨
- ・職員及び契約者雇用者全体の30%削減を推奨

(7) 調達

- ・宇宙ステーション開発においてプライム・コントラクター制を採用することを推奨

(添付4) 宇宙ステーション計画へのロシア参加のための統合計画概要抜粋

①統合された国際宇宙ステーションを達成する ②単一飛行体として統合された運用がなされる ③コスト及びスケジュール上の利益があること ④得られる利益は、国際パートナーに衡平に割り当てる ⑤現パートナーの権利義務関係に矛盾しないこと。ロシア権利、義務、責任は法的文書(IGA、MOU)により規定される ⑥プログラムの実行は IGA/MOU の運営機構に基づき、この機構を変更する際は相互の合意が必要 ⑦全体プログラムに対する指示及び調整は、引き続き米国が責任を有する ⑧宇宙ステーション計画における長期的安定性の達成が図れること ⑨英語が標準言語

参考文献

1. 「宇宙開発事業団 30 年の記録」平成 12 年 7 月、宇宙開発事業団
2. 「科学技術庁史」平成 13 年 1 月 5 日、科学技術広報財団
3. 「宇宙開発データブック 2000」宇宙開発事業団編集
4. 「NASA—アメリカの宇宙開発政策」(昭和 54 年)、内田勇夫、KYOIKUSHA
5. 「NASA Pocket Statistic 1995 Edition」
6. 「The Illustrated Encyclopedia of Space Technology」K.Gatland 1981, Harmony Books, NewYork
7. Space Science Magazine スペースイラストेट「宇宙ステーション」(1982 年 9 月号)、「ソビエトの宇宙開発」(1982 年 11 月号)
8. 「ビック・プロジェクト:システム化時代の成長戦略」坂元正義編著、昭和 44 年 7 月、ダイヤモンド社
9. 「ソビエト宇宙開発を探る—アメリカとの比較—」チャールズ S. シェルドン2世原著、石橋訳、コロナ社、昭和 45 年
10. 「宇宙基地と宇宙利用」日経エアロスペース別冊、1984 年
11. 「スペースサイエンス:新しい宇宙開発と先端技術」斎藤成文監修、1984 年 4 月、KEN MOOK
12. 80-IAA-34 「Cost Effectiveness of Spacelab Experiments」G.Seibert,France、1980 年
13. 科学技術庁委託 「宇宙空間利用材料実験調査」(昭和 52 年 3 月)未来研報告書
14. 科学技術庁委託 「宇宙基地に関する基礎調査」(昭和 58 年 3 月)未来研報告書

15. 「宇宙開発政策大綱」 昭和 53 年制定、宇宙開発委員会
16. 「スペースシャトルの利用の推進に向けて(1979 年)」 宇宙開発委員会第 2 部会報告
17. 「米国宇宙基地計画への参加に関する検討(1983 年 6 月)」 宇宙開発委員会宇宙基地計画特別部会中間報告
18. 「宇宙基地計画参加に関する基本構想(1985 年 4 月)」 宇宙開発委員会宇宙基地計画特別部会報告
19. 「宇宙基地特別部会中間報告(1986 年 7 月)」 宇宙開発委員会宇宙基地計画特別部会報告
20. 「開発利用本格化に向けて(1987 年 7 月)」 宇宙開発委員会宇宙基計画特別部会報告
21. 「宇宙ステーション取付型実験モジュール(JEM)の利用の基本方針(1992 年 5 月)」宇宙開発委員会宇宙ステーション部会報告
22. 「宇宙環境利用の新たな展開に向けて一宇宙環境利用の当面の推進方策一(1996 年 7 月)」 宇宙開発委員会宇宙環境利用部会報告
23. 「常時有人の民生用宇宙基地の詳細設計、開発、運用及び利用における協力に関するアメリカ合衆国政府、欧州宇宙機関の加盟国政府、日本国政府及びカナダ政府の間の協定」(IGA)、1988 年 9 月
24. 「常時有人の民生用宇宙基地の詳細設計、開発、運用及び利用における協力に関する日本国政府と合衆国航空宇宙局との間の了解覚書」(MOU)、1989 年 3 月
25. 「民生用国際宇宙基地のための協力に関するカナダ政府、欧州宇宙機関の加盟国政府、日本国政府、ロシア連邦政府及びアメリカ合衆国政府の間の協定」(IGA)、1998 年 1 月
26. 「民生用国際宇宙基地のための協力に関する日本国政府とアメリカ合衆国政府との間の了解覚書」(MOU)、1998 年 2 月
27. 「スペースステーションに関する提案」 三菱グループ、昭和 57 年 9 月
28. 「宇宙工場計画」(昭和 57 年 11 月)
29. 「スペースステーション講演会講演集」 日本航空宇宙学会、昭和 58 年
30. 「第 2 回スペースステーション講演会講演集」 日本航空宇宙学会、昭和 61 年 4 月
31. 「ISAS ニュース NO.78」 1987 年 9 月
32. 「Human Exploration Initiative Briefing to the Space Station Freedom Partners」  
Dr.Franklin D.Martin, Assistant Administrator for Exploration、November 22, 1989
33. JSUP 理工学セミナー講演「JEM の開発・運用・利用」 斎藤、平成 3 年 12 月
34. 「U.S.-Russian Cooperation in Space」(April, 1995)、Office of Technology Assessment  
U.S.Congress
35. 「NASDA 評価委員会提示資料(その1)」(平成 10 年 3 月)
36. 「NASDA 評価委員会宇宙環境利用部会提示資料」(平成 10 年 5 月)
37. 「Together in Orbit」 J.M.Logsdon、1998 年 6 月 24 日
38. 「宇宙環境利用の時代へ」 NASDA、1999 年 10 月
39. 国際宇宙ステーション計画評価委員会提示資料、科学技術庁、1999 年 6 月
40. 国際宇宙ステーション計画評価委員会評価報告書:1999 年 10 月

41. 「宇宙環境利用の展望」 NASDA 宇宙環境利用研究システム、センター、2001 年
42. 「我が国の宇宙開発の長中期戦略」 宇宙開発委員会、平成 12 年 12 月
43. 「国際宇宙ステーションの本格的利用に向けて一初期利用フェーズ推進方策」 宇宙開発委員会宇宙環境利用部会、平成 12 年 12 月
44. 「宇宙3機関統合後の新機関の在り方について」 文部科学省、平成 14 年 3 月
45. 「我が国の宇宙開発利用に関する取り組み基本について」 総合科学技術会議、平成 14 年 6 月
46. 「我が国の宇宙開発利用の目標と方向性」 宇宙開発委員会、平成 14 年 6 月
47. 「我が国の宇宙利用推進の基本的方向と当面の方策」 宇宙開発委員会利用部会、平成 14 年 6 月
48. 「宇宙開発に関する長期計画」 総務大臣、文部科学大臣、国土交通大臣、平成 15 年 9 月
49. 「我が国の国際宇宙ステーション運用・利用の今後の進め方」 宇宙開発委員会利用部会、平成 16 年 6 月
50. 「我が国における宇宙開発利用の基本戦略」 総合科学技術会議、平成 16 年 9 月
51. 「宇宙基本計画」 宇宙開発戦略本部、平成 21 年 6 月

### 第3章 国際宇宙ステーション計画における国際協力の法的枠組み

#### 概要

本章では、国際宇宙ステーション(以下、旧 IGA の下では「宇宙基地」、現行 IGA の下では「ISS」と呼ぶ。)計画の実施にあたっての参加国間の法的枠組みを概括する。筆者は、旧科学技術庁、旧宇宙開発事業団(NASDA)において、幸運にも、この法的枠組みを構築するための二度にわたる条約交渉や、署名や国会承認のための外務省条約局や内閣法制局との国内作業に立ち会った経験を有し、また、現在、IGA・MOU・実施取決めの下でISS計画を実施する立場にある JAXA の法務責任者として実務上フォローする立場にあるが、以下に触れる外交交渉の経緯に関しては、政府部内の資料あるいは個人の記憶や記録ではなく、有識者の著述や報道記事等により既に公開されている範囲にとどめた。また、この章に述べた見解については、あくまで筆者個人のものであり、JAXA や日本政府の見解や解釈を代弁するものではない。



## 目次

3. 1 既存宇宙法体系下の位置付け .....	3-4
(1) 既存宇宙法体系の根幹をなす国連宇宙諸条約 .....	3-4
(2) 国連宇宙諸条約との整合性 .....	3-5
(3) IGA による国連宇宙諸条約の運用と補完 .....	3-6
3. 2 経緯 .....	3-6
(1) 米国による参加招請から旧 IGA 締結まで .....	3-6
(2) ロシアへの参加招請から現行 IGA 締結まで .....	3-9
3. 3 IGA の骨格及び法的位置付け .....	3-11
(1) ISS 協力のための法的文書体系 .....	3-11
(2) 各国における IGA の法的位置付け .....	3-13
(3) 宇宙基地/ISS の平和目的利用 .....	3-14
3. 4 現行 IGA の主な内容 .....	3-16
(1) 目的・範囲(1 条) .....	3-16
(2) 協力機関(4 条) .....	3-16
(3) 登録・管轄権(5 条) .....	3-17
(4) 運営(7 条) .....	3-18
(5) 詳細設計・開発(8 条) .....	3-18
(6) 利用(9 条) .....	3-18
(7) 運用(10 条) .....	3-20
(8) 搭乗員(11 条) .....	3-20
(9) 輸送(12 条) .....	3-21
(10) 通信(13 条) .....	3-21
(11) 発展(14 条) .....	3-21
(12) 資金(15 条) .....	3-21
(13) 責任に関する相互放棄(16 条) .....	3-22
(14) 関税・出入国(18 条) .....	3-23
(15) データ・物品の交換(19 条) .....	3-24
(16) 知的所有権(21 条) .....	3-24
(17) 刑事裁判権(22 条) .....	3-25
(18) 紛争解決(23 条) .....	3-26
(19) 効力発生(25 条・26 条) .....	3-26
(20) 改正(27 条) .....	3-27
(21) 脱退(28 条) .....	3-27

3.5 経験と教訓、今後の課題.....	3-27
(1) 計画安定性の視点.....	3-27
(2) 参加主体の拡大と潜在リスク.....	3-28
(3) 関連国内法整備の必要性.....	3-29

### 3.1 既存宇宙法体系下の位置付け

#### (1) 既存宇宙法体系の根幹をなす国連宇宙諸条約

ISS 計画に参加する国家間の関係を規律する法が、1998 年に参加国間で作成された「民生用国際宇宙基地のための協力に関するカナダ政府、欧州宇宙機関の加盟国政府、日本国政府、ロシア連邦政府及びアメリカ合衆国政府の間の協定」(略称は”Intergovernmental Agreement”<sup>1</sup>。通称、「IGA」。ロシアが参加する前に西側同盟諸国間で作成された 1988 年協定と区別するため、本章では「現行 IGA」又は「新 IGA」と呼び、1988 年協定を「旧 IGA」と呼ぶ。)であり、前文及び本文 28 カ条、附属書からなる条約である。

旧 IGA が締結されるかなり以前の 1960 年代から 70 年代にかけて、米国と旧ソ連の宇宙競争や、欧州、日本、中国等の宇宙活動への参入に呼応し、各国の宇宙活動を規律する基本的な国際的枠組みが国連宇宙空間平和利用委員会(COPUOS)法律小委員会を中心に、集中的に整備された。具体的には、総則を定める宇宙条約<sup>2</sup>と、そこに謳われた基本原則の各論を定める宇宙救助返還協定<sup>3</sup>、宇宙損害責任条約<sup>4</sup>及び宇宙物体登録条約<sup>5</sup>の 3 条約のことである(便宜上、以下「国連宇宙諸条約」という。)。ほとんどの宇宙活動国はもとより、現在では多くの国連加盟国がこれらの 4 条約を締結しており、宇宙条約に至っては現在計 100 ヶ国もが加盟する。我が国は、1967 年に宇宙条約を締結したものの、残りの 3 条約については 1983 年に至りようやく一括して国会での審議・承認を経て締結している<sup>6</sup>。実に、旧 IGA の交渉開始の僅か 3 年前のことである。但し、この 3 条約については、ISS 計画を意識したもので

<sup>1</sup> 「民生用国際宇宙基地のための協力に関する日本国政府とアメリカ合衆国航空宇宙局との間の了解覚書」(以下、本章において「MOU」と呼ぶ。) 1 条 1 項

<sup>2</sup> 正式名称は「月その他の天体を含む宇宙空間の探査及び利用における国家活動を律する原則に関する条約」(第 21 会期国連総会決議 2222 号)。1966 年 12 月 19 日採択。1967 年 10 月 10 日発効。日本は 1967 年 7 月 19 日の国会承認を経て批准し同年 10 月 10 日発効。2010 年 1 月 1 日現在の加盟国数は 100 ヶ国。

<sup>3</sup> 正式名称は「宇宙飛行士の救助及び送還並びに宇宙空間に打ち上げられた物体の返還に関する協定」(第 22 会期国連総会決議 2345 号)。1967 年 12 月 19 日採択。1968 年 12 月 3 日発効。日本は 1983 年 5 月 13 日の国会承認を経て加入し同年 6 月 20 日発効。2010 年 1 月 1 日現在の加盟国数は 91 ヶ国。

<sup>4</sup> 正式名称は「宇宙物体により引き起こされる損害についての国際的責任に関する条約」(第 26 会期国連総会決議 2777 号)。1971 年 11 月 29 日採択。1972 年 9 月 1 日発効。日本は 1983 年 5 月 13 日の国会承認を経て加入し同年 6 月 20 日発効。2010 年 1 月 1 日現在の加盟国数は 88 ヶ国。

<sup>5</sup> 正式名称は「宇宙空間に打ち上げられた物体の登録に関する条約」(第 29 会期国連総会決議 3235 号)。1974 年 11 月 12 日採択。1976 年 9 月 15 日発効。日本は 1983 年 5 月 13 日の国会承認を経て加入し同年 6 月 20 日発効。2010 年 1 月 1 日現在の加盟国数は 53 ヶ国。

<sup>6</sup> これら 3 条約については、それぞれの採択時点では我が国の加盟の必要性は乏しいとされていたが、1978 年のコスモス 954 号のカナダ領域への落下事故を契機に、我が国加盟の機運が高まった。この時、これら 3 条約及び宇宙条約の国内履行担保のために立法措置も検討されたが、最終的に当時の宇宙活動の実施主体が国(宇宙科学研究所)及び政府関係機関(宇宙開発事業団)に限定されていたことから、立法措置なしで批准可能と判断された。1983 年 3 月 29 日閣議口頭了解「宇宙 3 条約の締結及びその実施について」。

はなく、偶然、このタイミングでの加盟となったものであり、振り返ってみると、ISS 計画にとっては極めて幸運であった。後述するとおり、IGA は参加国がこれら国連宇宙諸条約を締結していることを前提としているため、我が国がこの3条約に加入していなければ、旧 IGA の国会承認の際に、3 条約も合わせて国会承認を取り付けなければならない事態となり、国内立法措置の検討も絡み、IGA の締結には相当程度の困難を伴ったことが容易に想像される。

さて、国連宇宙諸条約の中でも、宇宙活動に関する諸国家間の「憲法」とも言うべき宇宙条約は、国家が宇宙に乗り出し、宇宙を探索、利用するに当たっての基本的な規範を定めたものである。とりわけ、宇宙の領有禁止(2 条)、大量破壊兵器(核・生物・化学兵器をいう。)の地球軌道配備の禁止(4 条)<sup>7</sup>、私人(企業等)の宇宙活動に対する国の許可・継続的監督と国の専属的責任(6 条)、打上げ時の損害賠償責任の帰属(7 条)、領域主権に代わり属人的管轄権に基づく宇宙物体とその乗員に対する管轄権と管理の権限の登録国への帰属(8 条)<sup>8</sup>等の規定を置くことで、今日においても宇宙活動の秩序と国際社会の平和と安定を維持しているのである。

## (2) 国連宇宙諸条約との整合性

IGA において、ISS は、国際法、とりわけ宇宙条約をはじめとする上記 4 条約に従って開発、運用、利用されるものとされている(2 条 1 項)。

例えば、ISS 上や ISS の軌道には、宇宙条約 2 条(宇宙の領有禁止)に従い、どの参加国も領有権を設定・主張することはできない。つまり、ある飛行要素(居住棟などの基盤要素や実験棟などの利用要素を含む。<sup>9</sup>)について自国が所有権や管轄権を有するからといって、そこを法的に自国の領土(territory)と位置付けることまではできないのである。また、宇宙条約 4 条(大量破壊兵器の軌道配備禁止)に従い、地球軌道を周回する ISS に大量破壊兵器を搭載することも許されない。参加国は自国の飛行要素を地上で完成させ、ISS への組立てのために宇宙輸送機で運搬する場合や、ISS 上での実験成果等を地上に持ち帰る場合、「打上げ国」<sup>10</sup>として、宇宙条約第 7 条及び宇宙損害責任条約に従い、第三国に与えた損害の賠償について、地表での損害及び飛行中の航空機に与えた損害であれば無過失責任を<sup>11</sup>、宇宙空間での損害であれば過失責任を<sup>12</sup>負う。また、登録条約 2 条に定める手続きに従い、飛行要素を提供する参加主体は、個別に宇宙物体登録を行い、宇宙条約 8 条(管轄権の帰属)や宇宙物体登録条約 2 条 2 項に基づき、その登録した飛行要素と ISS 上の自国民に対し、管轄権及び管理の権限を保持する。公海上にある船舶・航空機について、それらを登録した国が管轄権を有するとするいわゆる旗国主義に準じたものであるが、船舶・航空機との違いは、登録により自国の国籍までは付与されていない点である。

<sup>7</sup> 宇宙条約は、この第 4 条の存在により、軍縮条約の範疇にも属している。

<sup>8</sup> 国内登録と国連への通報・登録という 2 つの手続をふむことで、当該登録国の管轄権及び管理の権限は国際的に有効なものとして公認される。山本草二『新版 国際法』(有斐閣、1994 年) 486 頁

<sup>9</sup> 各参加主体が提供する ISS の要素の詳細は、IGA 附属書及び MOU3 条に記載。

<sup>10</sup> 宇宙損害責任条約 1 条(c)

<sup>11</sup> 同条約 2 条

<sup>12</sup> 同条約 3 条

### (3) IGA による国連宇宙諸条約の運用と補完

このように、IGA は、あくまで既存の国連宇宙諸条約の体系下に ISS を位置付け、これら諸条約の関係を各参加国間の関係に当てはめたものであり、国連宇宙諸条約体系から離れて関係国限りの新たな国際法規範を形成するというものではない。

とはいえ、国連宇宙諸条約が想定していた宇宙活動の典型的なパターンは、ある国が地上で組み立てた衛星なり宇宙船なりを自国のロケットに搭載し、自国領域の射場や外国領域にある自国射場設備から1回の打上げで軌道に運び(有人であれば自国宇宙飛行士とともに)、自国の地上管制網から運用していくというものだが、ISS の場合には、各参加主体が地上で開発・製造した、骨組みとなるトラスや太陽電池パネル、ロボットアームや居住・実験モジュールなどの飛行要素を、各参加主体が持つ宇宙輸送手段を融通し合いながら、数十回もの打上げにより軌道に運搬し、そこで宇宙飛行士とロボットアームにより組み立て、10年以上もかけて完成させていくというものである。また、その運用・利用についても、これらに必要な電力等の各種のリソースと各実験棟における利用権を相互に配分し合うことにしたうえで、各パートナーの地上管制センターからの飛行要素毎の運用と各参加国の国籍を有する搭乗員による運用・利用がなされるものである。すなわち、ISS という単一の複合機能体ではあるが、一種公海上を航行する多国籍の船団をなすようなものでもあり、国家間の複雑な利害が絡むという性格を有している。こうした性格を有する ISS の参加国間の関係を規律するには、国連宇宙諸条約に定めのない事項、例えば、ISS 本体に補給物資を搬入する際に実験棟を損傷してしまったような場合の民事責任の扱いや、各実験棟で生じた知的財産の権利の帰属や権利侵害の扱い、異なる国籍を有する搭乗員間の犯罪行為をどの参加国の刑事裁判権の下で裁くかという点、参加国間で必要な技術データや物品を交換する際の取扱いや、関税の免税措置等については、参加国間であらかじめ合意しておく必要があることから、IGA に具体的な規定を置くに至ったものである。

## 3.2 経緯

### (1) 米国による参加招請から旧 IGA 締結まで

① ISS に係る国際協力は、公式には、レーガン米国大統領(当時)が1984年1月の一般教書のなかで10年以内に西側友好国・同盟国との国際的協力の下に有人の宇宙基地を建設することを提唱し、同時に日本、西独(当時)、仏、英、伊及び加の首相に対し協力の呼びかけを行ったことにはじまるもの。同年6月のロンドンサミットの経済宣言では、国際協力による宇宙基地の意義が強調された。



1984年6月7日～9日に開かれたロンドン経済サミット。このサミットでは宇宙ステーションが主な議題となった。NASA ラングレー研究センターが製作した模型を前に、7名の首脳が20～30分間も活発な議論を行った。左端から右へ：レーガン大統領（米国）、マーガレット・サッチャー首相（英国）、グラフ・フォン・ラムスドルフ外相（ドイツ）、中曽根康弘首相（日本）。  
(NASA 公式写真)<sup>13</sup>

日本に対しては、レーガン大統領が中曽根総理に宛てた同年1月25日付けの書簡と、ベッグズ NASA 長官が岩動科技庁長官に宛てた1月28日付けの書簡(NASA 長官は同旨の書簡を上記各国の科学技術担当の大臣に宛てて発出した。)により正式に参加招請がなされ、同年3月にはベッグズ NASA 長官が来日し、中曽根総理、安倍外務大臣及び岩動科学技術庁長官との会談が行われ、同長官は帰国後岩動長官宛てに4月6日付けの親書(いわゆる「ベッグズ書簡」)を發出し、日本側が示した懸念である平和目的利用に関し、「大統領が NASA に対して建設するよう指示した宇宙基地は、民生用の宇宙基地である」ことや、「宇宙基地におけるあらゆる活動は、宇宙条約に規定するように、平和的、非侵略的機能に限定される」ことなどを述べている。我が国は、1970年代初頭にポストアポロ計画(スペースシャトル計画)への参加を米国から打診された際に、技術的にギブアンドテイクの関係に立ち得ない状況での国際協力は参加の意義が薄いとしてその参加に躊躇した経緯があったが、その後の、ロケット、衛星の自主技術能力の向上を踏まえ、国際協力の前提が既に整ったという判断と、この機を逃しては恰好の有人技術の獲得の場を将来にわたり失いかねないなどとして、宇宙開発委員会でのオールジャパンでの審議を経て、参加することを決定。

1985年5月には、日米科学技術協力協定の下、科技庁とNASAとの間で予備設計段階(フェーズB)における協力に関する了解覚書(MOU)を締結。NASAは、同年4月に既にカナ

<sup>13</sup> John M. Logsdon, *“Together in Orbit: The Origins of International Participation in the Space Station,”* Monographs in Aerospace History, No. 11 (Washington, DC: NASA History Division, 1998) 26-27 頁

ダ科学技術省との間で、また、6月には欧州宇宙機関(ESA)とも同様のMOUを締結し、2国間(バイ)の行政取決めを枠組みとした予備設計段階での協力を開始した。

② 予備設計段階の国際協力がスタートして、約1年経った1986年6月から、予備設計に続く、詳細設計、開発、運用及び利用の段階(フェーズ C/D/E)における協力に関する協定の交渉が開始された。当初は、米・欧間、米・加間、米・日間のバイ(二国間)の交渉で始まったが、バイ方式により主導権を握ろうとする米国に対し、他の参加主体が反発したことから87年2月から米欧日加のマルチ(多国間)の交渉となり、88年6月に実質的に交渉が終了。その間、協力の枠組みを、行政取極とするか条約とするかについて検討がなされ、管轄権の帰属をはじめとする種々の法律事項を含むため最終的には批准(受諾、承認、加入を含む<sup>14</sup>)を要する条約とすることとなった<sup>15</sup>。なお、交渉に当たってのESAの姿勢は特筆に値する。ESA閣僚理事会は、1985年1月、レーガン大統領の参加招請を受諾する条件として、1)米宇宙基地の単なる利用者ではなく、欧州の技術能力の自主開発という最終目標の範囲内で真正の連帯関係を築くこと、2)そのため宇宙基地の各要素の開発・運用・発展とその運営管理について自ら責任を負うこと、3)欧州諸国政府と米国とが締結する約束において最大限の法的安定性と同一の水準を確保すること等を決議<sup>16</sup>。この方針を受け、同年11月の対米交渉で、欧州側は、登録・管轄権、民事・刑事責任を重要な法律問題として提起し、これをIGAにより解決するよう主張した。実は、欧州は、ポストアポロ計画であるスペースシャトル・スペースラブ計画をめぐる米欧関係における過去の軋轢を踏まえ<sup>17</sup>、ISS参加のための法的枠組み交渉に備え周到に準備をしていたのである。

さて、紆余曲折を経た交渉も妥結し、各言語(英語、独語、仏語、伊語、日本語)による協正文の言語間調整を経て、1988年9月29日、ワシントンDCにて、宇宙基地協力協定(旧

14 ある国が条約に拘束されることについての同意を表明する最も一般的な形式が「批准」である(条約法に関するウィーン条約14条1項)。「受諾」と「承認」は比較的最近に認められた同意形式であり、国際法上は「批准」の場合とまったく同一の条件で認められる(同条約14条2項)が、国内法上は「批准」の場合よりも簡易な手続きによる場合が多い。「加入」は、既に発効している条約に対してあとから条約に拘束されることについての国の同意を表明する形式である(同条約15条)。国際法学会編『国際関係法辞典』(三省堂、1995年)428頁

15 栗林忠男編『解説宇宙法資料集』(慶應通信、1995年)226頁

16 John M. Logsdon・前掲論文(注13)35頁

17 1973年に欧州はスペースラブの初号機を自己負担で開発し、NASAに譲渡すること、NASAは最低1機の追加購入を保証することに合意したが(1973年米欧宇宙輸送システム協定)、その後開発費用の大幅超過と、シャトル使用計画の大幅縮小(当初は年間50回の飛行を想定。)によりNASAの追加購入が1機のみとなったため、欧州は開発費用の回収どころか、自ら開発したスペースラブを打ち上げて、使用する予算的余裕すらなくなるという状況に立たされた。John M. Logsdon・前掲論文(注13)5-6頁

また、法的側面を見ると、例えば、スペースシャトルに対する管轄権は、そのカーゴペイに搭載されるスペースラブ(宇宙実験室)も含め、米国のみが有することとされた。これは、スペースラブがシャトルから必要なリソースの提供を受けている限り、シャトルの構成部分であるとされ、米国がシャトル全体として登録し、管轄権を保持することにしたものである(1973年米欧宇宙輸送システム協定)。山本・前掲書(注8)485頁

IGA)への署名が参加12ヶ国により行われた<sup>18</sup>。同時に日本以外の参加各国は、旧IGAを国内法令の範囲内で最大限遵守することを約束する取極(旧暫定適用取極)を締結し、その下で本格的な宇宙基地協力を開始するためのNASAと各極実施機関との間のMOUにも署名し、発効させた。実質的にこの暫定取極により協力活動が続けられることになる。日本は、暫定取極を締結せずに、旧IGAの締結について国会の承認を得た後に、本格的な宇宙基地協力に参加することを決定していたため、できる限り早期に旧IGAを批准する必要があった。

日本政府は、1989年6月に旧IGAの締結につき、国会での審議・承認を得て<sup>19</sup>、同年9月5日に同協定を受諾したことから、参加各国の中で最も早い締結国となった。同日、既に他の参加各国が締結していた暫定取極にも加入し、1989年3月14日にNASAと日本政府(GOJ)間で署名済みのMOUが同日付けで発効した。1992年1月30日には、米国政府もIGAを受諾したため、日米2国間で、旧IGAが発効した。なお、米国においては、憲法上、IGAは議会承認を要しない行政取極として取り扱われることから、上下院での審議はなされなかったが、特許法等の関連国内法の改正作業に歳月を要したため、日本よりも3年余り遅れての批准となった。欧州参加主体<sup>20</sup>とカナダの場合は、さらに批准手続きに時間を要し、結果的に、旧IGAを締結することなく、旧暫定取極の下で計画への参加を続け、現行IGAの署名を迎えることになる。

## (2)ロシアへの参加招請から現行IGA締結まで

1991年12月に旧ソ連が崩壊し、東西冷戦が終焉を迎え、国際社会におけるロシアの立場が劇的に変化する中で、独自の宇宙基地「ミール」や有人往還輸送機「ソユーズ」等を通じ有人宇宙活動に豊富な経験を有するロシアをISS計画に参加させることは、本計画に大きく貢献し得るとともに、21世紀に向けた宇宙分野における国際協力の発展のために重要な意義を有するとの認識が芽生えてきた。こうした背景と、政治的には旧ソ連崩壊後のミサイル軍事技術の第三国移転を防ぐ狙いもあり<sup>21</sup>、1993年12月に、当時の参加主体であった日米欧加からロシアに対して、宇宙基地協力の枠組みへの参加が正式に招請され、同月、ロシアがこれに応じた。これを受け、1994年3月より、ロシアを加えた新たな宇宙基地協力の国際枠組みを構築するため、旧IGAにロシアを参加させるための条約改正交渉が開始された。1996年12月には、旧IGAに代わる新たなIGA(現行IGA)について暫定合意に至り、1998年1月29日にワシントンDCにおいて参加15ヶ国により署名された<sup>22</sup>。

この15ヶ国のうち、日本、フランス、イタリア及びベルギーを除いた計11ヶ国は、新たなIGAの署名と同時に、このIGAを国内法令の範囲内で最大限遵守することを約束する新暫

<sup>18</sup> 日本は松永駐米大使(当時)が署名。

<sup>19</sup> 1989年6月14日衆院外務委員会にて採決、同月22日参院外務委員会にて強行採決(衆参とも社会・公明・共産の各党が反対)。

<sup>20</sup> 旧IGAが発効した1992年1月30日時点において、デンマーク、ドイツ、オランダ、ノルウェー、スペインは批准していたが、欧州パートナーとしての発効要件を満たしていなかったことから、これらの批准国に対しても発効しなかったものである。

<sup>21</sup> 栗林編・前掲書(注15)232頁。実際、ロシアによるインドへのロケットエンジン売却がミサイルガイドライン(MTCR)に違反するとして、米国が経済制裁を下した事例もあり、米国は安全保障上極めて深刻な脅威と受け止めていた模様。

<sup>22</sup> 日本は斎藤駐米大使(当時)が署名。



定適用取極を締結し、新 MOU にも署名することで、旧 IGA の枠組みの下での宇宙基地協力から新 IGA の枠組みの下での ISS 協力に移行した。日本は、旧 IGA について既に国会の承認を得ていることに鑑み、新 IGA の国会承認を待たずに、行政府限りで新暫定適用取極を締結して新 IGA の枠組みに参加することは適当でないとし、できる限り早期の国会承認を目指すことにした。同年(1998年)の通常国会に新 IGA を上程し、衆・参両院での審議・承認<sup>23</sup>を経て、同年内の 11 月 17 日に受諾し、寄託国である米国に受諾書を寄託。旧 IGA と同様、参加各国の中で最も早い締結国となった。米国はその 2 日後の 1998 年 11 月 19 日に受諾。IGA の発効要件である日露米 3 ヶ国による批准のうち<sup>24</sup>、最後となったロシアによる批准が 2001 年 3 月 27 日に行われたことから、同日新 IGA は正式に発効した。カナダは既に 2000 年 7 月 24 日に批准していたが、発効は IGA の発効日である 2001 年 3 月 27 日まで待たされたため、結果的に、日米露加の 4 極が揃ってこの日に発効することになった。なお、日米 MOU については、日本は 1998 年 2 月 24 日の閣議を経て、同日署名し(米国は既に現行 IGA の署名と同時に署名済みであった。)、日米両国内における発効手続きが完了したことを相互に通知した 2001 年 6 月 8 日に発効した。

残る欧州参加主体<sup>25</sup>については 2005 年 6 月 28 日に至り、ようやく発効する。2002 年までにノルウェー(1999 年受諾)、スペイン(1999 年批准)、ドイツ(2000 年批准)、オランダ(2000 年受諾)、デンマーク(2000 年批准)、スイス(2000 年批准)、イタリア(2001 年批准)、スウェーデン(2002 年批准)の 8 ヶ国が IGA 締結のための国内手続を完了していたが、ESA 理事会は、フランスの国内手続の完了を待ち(2004 年承認)、欧州参加主体としての効力発生を寄託国である米国に通告し、2005 年 6 月 28 日にこれら 9 ヶ国について一斉に発効した<sup>26</sup>。その後、2006 年にはベルギーが批准し、同日発効した。欧州参加主体の構成国のうち英国のみが、現時点においても IGA を締結していない状態が続いている。

現行 IGA は、旧 IGA に代わる新たな協定であり、概ね旧 IGA の内容を踏襲するものとなっているが、主に以下の変更が加えられた。

- ① ロシアの参加に伴い、ISS の運営は、より明確に、対等な多数者間による運営を基礎とすることとされ、従来米国にのみ認められていた全体的な指揮権限が削除された<sup>27</sup>。また、刑事裁判権についても、従来米国にのみ認められていた特別の権利が削除され、各国が同等の立場でこれを行行使する<sup>28</sup>こととされた。
- ② その他、ISS 協力をより円滑に遂行するため、
  - (イ) 損害賠償責任に関する請求の相互放棄の対象に政府管掌保険に係る代位権者た

<sup>23</sup> 1998 年 4 月 14 日衆院本会議にて採決、同月 24 日参院本会議にて採決(衆参とも共産党のみ反対)。

<sup>24</sup> IGA25 条 3 項 a 号「この協定は、日本国、ロシア及び合衆国の批准書、受諾書又は承認書のうち最後の文書が寄託された日に効力を生ずる。」

<sup>25</sup> IGA を締結する ESA の加盟国から成るグループ。一つの参加主体として集団的に行動するもの。IGA3 条 b 号

<sup>26</sup> 同項(b)「この協定は、少なくとも 4 の欧州の署名国又は加入国からの批准書、受諾書、承認書又は加入書及び ESA の理事会の議長による公式の通告を寄託者が受領した後に欧州参加主体について効力を生ずる。」

<sup>27</sup> IGA7 条 1 項及び 2 項

<sup>28</sup> IGA22 条 1 項及び 2 項

る国を追加されるとともに<sup>29</sup>、  
 (ロ)この協定の実施のために必要な物品等に対する関税等の免除が義務化された<sup>30</sup>。

表 1 現行 IGA 参加国の批准・発効日<sup>31</sup>

参加国名	批准／受諾／承認日	発効日	新暫定取極締結国
欧州参加主体		2005年6月28日	
ベルギー	2006年2月21日批准	2006年2月21日	-
デンマーク	2000年2月21日批准	2005年6月28日	○
フランス	2004年11月30日承認	〃	-
ドイツ	2000年1月19日批准	〃	○
イタリア	2001年3月29日批准	〃	-
オランダ	2000年2月11日受諾	〃	○
ノルウェー	1999年5月13日受諾	〃	○
スペイン	1999年10月1日批准	〃	○
スウェーデン	2002年1月30日批准	〃	○
スイス	2000年8月28日批准	〃	○
英国	(未批准)	(未発効)	○
カナダ	2000年7月24日批准	2001年3月27日	○
日本	1998年11月17日受諾	2001年3月27日	-
ロシア	2001年3月27日批准	2001年3月27日	○
米国	1998年11月19日受諾	2001年3月27日	○

### 3.3 IGA の骨格及び法的位置付け

#### (1)ISS 協力のための法的文書体系

ISS 参加主体(パートナー)間の条約である IGA の下で、IGA を実施するための詳細を定めたものが了解覚書(MOU)という行政取極であり、NASA が、日本を除く各極の協力機関(“Cooperating Agencies”。欧州は欧州宇宙機関(ESA)、ロシアはロシア宇宙庁(RSA。現ロシア連邦宇宙局(FSA))、カナダはカナダ宇宙庁(CSA))との間、日本については協力機関である文部科学省(MEXT)の権限を超える内容<sup>32</sup>を含むことから日本政府(GOJ)との間の 2 者間で締結するものである。マルチの IGA と、バイの MOU 及びその下で締結される各種の

<sup>29</sup> IGA16 条 3 項(d)(2)、同項(e)

<sup>30</sup> IGA18 条 3 項

<sup>31</sup> 出典：米國務省条約局(Treaty Office)データ (2010年6月8日現在)。

<sup>32</sup> 具体的には、MOU8 条 3 項 g 号 4 (IGA9 条 3 項に基づく政府決定の外交経路を通じた伝達)、11 条 8 項(行動規範の承認)、20 条 (MOU の改正)、22 条 2 項 (MOU の改正を含む検討)。

実施取決め(“Implementing Arrangements”)<sup>33</sup>によって、ISS 協力のための法的枠組みが構成される。

ISS参加主体とは、カナダ、日本、ロシア、米国の4ヶ国に、欧州参加主体を加えた5極をいう。欧州参加主体とは、欧州域内の国際機関であるESA加盟18ヶ国のうちISS計画に参加する、次の11ヶ国から成る。すなわち、ベルギー、デンマーク、フランス、ドイツ、イタリア、オランダ、ノルウェー、スペイン、スウェーデン、スイス、英国である。これ以外のESA加盟国についても、後からIGAに「加入」(“accession”)することができることから、欧州参加主体の構成国は今後増える可能性もある<sup>34</sup>。旧IGAと比べ、ロシアが参加主体として加わり、また、スウェーデン、スイスが欧州参加主体に新たに参加したことから、参加国は計15ヶ国となった。もちろんドイツは、旧IGA当時の西独から、東西統一された「ドイツ」となったことは言うまでもない。なお、イタリア宇宙機関(ASI)は、ESAを通じてだけでなく、NASAとの個別協定に基づき、多目的補給モジュールを提供している。

ESA加盟国以外の国、例えば、中国やインド等が今後IGAに加盟するためには、IGAの改正が必要となる。但し、中印等の参加が、いずれかの現参加主体の実験棟等の利用要素の利用者の立場にとどまる場合には、すべての参加主体のコンセンサスさえ得られれば可能である<sup>35</sup>。過去に、ブラジルがISS計画に参加しようとしたことがあるが、正式な参加主体としてではなく、1997年10月14日に締結された米国とブラジルの両政府間の実施取決めに基づき、ブラジル宇宙機関(Brazilian Space Agency: AEB)が開発するハードウェア(技術実験施設「TEF」、「EXPRESS」パレット等)をNASAに供給し、その代わりNASAが保有する利用権の0.25%とブラジル人宇宙飛行士の飛行搭乗機会を取得するという参加形態であり<sup>36</sup>、現参加主体のコンセンサスは必要とされたが、IGAの改正までは不要とされた。

IGAの下での具体的な協力内容については、NASAと各極協力機関等とのバイのMOUや実施取決めに従って実施されるが、NASA以外の協力機関どうしの協力関係は別途の協定

---

<sup>33</sup> 日米協力機関間で締結又は暫定合意済みの実施取決めは、現在までのところ、1)「米国航空宇宙局による日本実験棟のシャトル打上げ業務提供と文部科学省による物品及び役務の提供の交換に関する米国航空宇宙局と文部科学省の間の実施取決め」(2008年1月23日締結)、2)「民生用国際宇宙基地のための協力に関する文部科学省のシステム運用に共通の責任並びにその他の義務と要求を相殺するための文部科学省による宇宙ステーション補給機(HTV)輸送業務の提供に関する米国航空宇宙局と文部科学省の間の実施取決め」(2009年9月10日暫定合意)のみである。

<sup>34</sup> IGA25条3項(c)。すなわち、オーストリア、チェコ、フィンランド、ギリシャ、アイルランド、ルクセンブルク、ポルトガルの7ヶ国は、いつでもIGAに加入することができる。

<sup>35</sup> IGA9条3項a号

<sup>36</sup> 1998年1月28日にNASA本部で開催された多数者間計画調整委員会(MPCC)においてNASAが行った計画状況報告に基づく。

が必要となる<sup>37</sup>。例えば、JAXA はロシアが有する豊富な宇宙医学に関する知見を導入すべく、ロシア宇宙庁との協定を締結し、ロシア宇宙生物医学研究所が保有するデータの購入や専門家の筑波宇宙センターへの招聘等を行ったが、そのための傘協定として日露政府間で包括宇宙協定(行政取決め)を締結した<sup>38</sup>。

## (2) 各国における IGA の法的位置付け

IGA は、日本、ロシア、米国の3ヶ国が批准(又は受諾、承認)することで発効する<sup>39</sup>。各参加国は自国の憲法上の手続きに従い、批准し、批准書を米国(寄託者)に寄託することで効力を生ずる。参加国の多くは、国会(議会)での承認を得たうえで、批准することになっている。我が国の場合も、IGA は憲法 98 条 2 項にいう「条約」<sup>40</sup>に該当し、さらに、憲法 73 条 3 号にいう、内閣が締結するにあたって国会承認を必要とする「条約」に該当する。この国会承認を要する条約の範囲については、戦後の慣行を踏まえた我が国政府の考え方が整理されたいわゆる「大平 3 原則」<sup>41</sup>によることとされている。この 3 原則のうち、IGA は法律事項を含む国際約束に当たるため、国会の承認を求めるとされた。具体的には、日本の実験棟 JEM(「きぼう」)の開発、利用等につき、宇宙開発事業団法(当時。現在の独立行政法人宇宙航空研究開発機構法。)を維持するとの法令維持義務があること、また、ISS の活動から生ずる損害についての損害賠償請求債権の相互放棄に関し、国が放棄することについては、財政法第 8 条により、法律(国会承認条約を含む。)に基づくことを要することがその理由とされた。旧 IGA は 1989 年に、現行 IGA は 1999 年にそれぞれその年の通常国会にて承認され、内閣が受諾、天皇が認証するとの手続きを経て、正式に締結された。なお、MOU は、行政府限りで締結し得る内容のものであることから、国会承認は必要とされず、閣議決定を受けて締結された(IGA の国会審議の際には、MOU は国会に参考提出された。)

他方、米国においては、憲法上、IGA は上院の 3 分の 2 の賛成を必要とする条約には当た

<sup>37</sup> IGA4 条 2 項

<sup>38</sup> 「宇宙空間の平和的目的のための探査及び利用の分野における協力に関する日本国政府とロシア連邦政府との間の協定」(1993 年 10 月 13 日署名)(1994 年 1 月 13 日外務省告示第 11 号)。なお、現在は失効している。

<sup>39</sup> IGA25 条 3 項 a 号

<sup>40</sup> 憲法 98 条 2 項の規定により、批准/公布によりそのまま国法の一形式として受け入れられ、特段の立法措置を待つまでもなく国内法関係に適用され、かつ、条約が一般の法律に優位する効力を有することとされる。『判例六法』64 頁(有斐閣、2007 年)

<sup>41</sup> 1974 年 2 月 20 日の衆議院外務委員会における当時の大平正芳外務大臣の答弁。この中で、次のいずれかのカテゴリーに該当する国際約束は国会承認を要するとの判断基準を示している。1) いわゆる「法律事項」を含む国際約束(新たな立法措置が必要となる場合又は既存法令を変更せずに維持することが必要となる場合)、2) いわゆる「財政事項」を含む国際約束(既に予算又は法律で認められている以上に財政支出を行う義務を負わせるもの)、3) 国家間の基本的な関係を法的に規定するという意味において政治的に重要な国際約束であり、それゆえにその発効のために最も重い形式である批准という行為が要件とされている国際約束(例えば、日中平和友好条約)。国際法学会編・前掲書(注 14) 340 頁

らず、30 日間の議会レビュー手続き(議会での審議・承認は行われぬ。)のみを要する「行政取極」に位置付けられる。具体的には、1988 年歳出権限化法により、行政府に対し、宇宙基地計画に係るパートナー諸国との協定締結権限が付与され、1998 年の新 IGA についてもその効力が及ぶものとされたものである。米国議会においては、旧 IGA の締結後、1993 年から95年まで毎年上下両院にて、また1996年に上院において、宇宙基地計画の中止を求める法案が提出され、いずれも辛くも可決を免れたが(筆者もワシントン DC の議事堂にて傍聴していた1993年6月23日の下院での採決においては、実に1票差で可決を免れた。)、このことは、IGA の締結プロセスにおいて、議会の審議と承認を経ることなく、行政府限りで締結されたことも影響しているものと思われる。欧州においては、ISS 計画の米国内における不安定さを招いた一因がこの点にあったと批判する向きが多い<sup>42</sup>。このように、米国では IGA を締結するための議会承認は必要としなかったが、議会において宇宙基地時代に対応した特許法改正のための立法措置を講じることが締結の要件とされたことから(後述)、日本より3年ほど遅れて1992年に旧 IGA を受諾し、日米両国の締結により IGA そのものは発効した。

欧州各国の中にも、IGA の締結にあたり議会承認を必要とする国とそうでない国が混在したが、欧州の場合、各国毎に個別に IGA が発効するのではなく、欧州参加主体として発効して初めて各国に発効することとされたため、結果的に、旧 IGA はいずれの国についても正式に発効するには至らず、また現行 IGA についても、他の参加主体に大きく遅れ2005年になりようやく発効するに至っている。旧 IGA では、欧州のコロンバス計画への拠出金が総計の80%に達するESA加盟4ヶ国以上の批准があつてはじめて欧州参加主体に発効することとされたが、フランスの批准が遅れたことからこの発効要件を満たすことができず(フランスは、宇宙基地計画が最終的に確定するまでは締結を待つべきとの姿勢を崩さなかったため、批准が遅れたとの事情があつたとされる。)、その結果、欧州参加国のいずれについても旧 IGA は発効するには至らなかったものである。カナダについても、IGA を国内法の一部として取り込むための議会承認が遅れ、結果的には旧 IGA を批准できず、発効しなかった。もっとも、欧加については、旧 IGA を暫定的に適用する取極に基づき、宇宙基地協力に参加していたため、実際には特段協力が支障は生じなかった。

### (3) 宇宙基地/ISS の平和目的利用

旧 IGA の交渉が開始されて間もなく、米国において、宇宙基地を安全保障目的、とりわけ宇宙基地計画とともにレーガン大統領が推し進めようとした SDI 実験(いわゆる「スターウォーズ計画」)のために用いるかどうかをめぐる、議会にて各種の法案が提出されていたが、宇宙基地の軍事利用に関する計画が公表されたことを契機に、日本を中心に反発、IGA 交渉が一時中断する事態にもなった。米側代表団には、国防総省の担当者も加わっていた。交渉が重ねられ、最終的に、IGA に「要素の企図されている利用が平和的目的のためのものであ

<sup>42</sup> 高屋友里・福嶋雅彦「欧州における国際宇宙ステーション計画の評価及び教訓」『ISS の人文・社会科学的评价に関する調査報告書』(JAXA 法務課委託。2008年3月、財団法人日本宇宙フォーラム) 51-52 頁

るか否かについては、当該要素を提供している参加主体が決定する。」との一文を盛り込むことで決着した<sup>43</sup>。これによると、JEM で行われる活動が日本の平和目的の解釈に合致するかどうかは、日本政府の判断に委ねられることになる。

なお、IGA には「国際法に従って平和的目的のために」「民生用」の ISS を開発、利用等をするところがあるが、この「平和的目的」の意味するところは、国際的に統一されているわけではない。日本の場合、平和目的の意味する範囲が、1969 年の国会決議及び NASDA 法 1 条（現在の JAXA 法<sup>44</sup> 条）にいう平和目的の解釈に従い、「非軍事」（自衛権の行使を放棄。）に限定されていた<sup>45</sup>。他方、米欧露加における平和目的の解釈は我が国ほど厳格ではなく、基本的には国連憲章で認められた自衛権の範囲での安全保障利用を許容するが、その解釈は完全に一致しているわけでもない<sup>46</sup>。この点に関し、最終的には、旧 IGA の署名と同時に米国と各参加主体の交渉担当者間で書簡が交わされ、各極間の折り合いがついた格好となった。すなわち、米国は、宇宙基地を国際法に従った平和的目的の下、国家安全保障目的のために自国の要素や配分された利用のための資源を利用する権利を留保するとしうえて、その利用の可否は米国に決定権がある旨記述。これに対し、日本は、旧 IGA9 条 2 項 b 号に基づき、企図された JEM の利用が平和目的に反すると判断した場合には、そうした利用は行われなことを確認。欧州は、欧州与圧実験室（コロンバス）の利用が平和目的に合致するか否かの判断基準は ESA 設立条約 2 条（ESA の活動がもっぱら平和目的に限定される旨規定。）であることを確認。カナダは、自国の要素に係る平和目的性は自国に決定権があることを確認。現行 IGA 署名の際にも、同旨の書簡交換が米、露（米書簡と同旨）と各参加主体との間で行われた。<sup>47</sup>

なお、ISS の関連でこの平和目的の解釈が問題となった事例として、米国スペースシャトルによる JEM の輸送費用と相殺するため、日本が米国に提供することとなったセントリフュージ（生命科学実験室）について、米国は国防総省（DOD）による安全保障利用の可能性は排除できないとして、NASDA 法 1 条の平和目的解釈との整合が問題となったが、日本政府部内で検討した結果、1985 年の一般化理論<sup>48</sup>を適用することで、問題なしとされた。

<sup>43</sup> 旧 IGA9 条 2 項 b 号。現行 IGA9 条 3 項 b 号。

<sup>44</sup> 独立行政法人宇宙航空研究開発機構法（平成 14 年 12 月 13 日法律第 161 号）

<sup>45</sup> 現在は、2008 年 5 月 28 日に公布された宇宙基本法 2 条により、この限定が取り払われ、日本国憲法と宇宙条約の範囲での安全保障利用が認められた。すなわち、「非軍事」から国際標準の「非侵略」となり、専守防衛の範囲で自衛権の発動が可能となった。但し、JAXA 法 4 条にいう「平和の目的に限り」との文言については、宇宙基本法と同様の解釈かどうかは、今後明らかになっていくものと思われる。

<sup>46</sup> ちなみに、欧州の中でも永世中立国であるスイスあるいはスウェーデンは、米国が軍事利用する余地を残したことも一つの理由として、旧 IGA への参加を見送ったとみられている。なお現行 IGA の下では、ISS の平和目的性がより強調されたため、両国にとり参加への障害は払しょくされたものとみられる。

<sup>47</sup> 龍澤邦彦『宇宙法システム 宇宙開発のための法制度』（丸善プラネット、2000 年）161 頁

<sup>48</sup> 1985 年 2 月 6 日政府統一見解に基づく。

### 3.4 現行 IGA の主な内容

#### (1) 目的・範囲(1 条)

①本協定は、国際法に従って平和的目的のために常時有人の民生用国際宇宙基地の詳細設計、開発、運用及び利用を行うことに関する参加主体間の協力の枠組みを、真の協力関係(“genuine partnership”)を基礎として、確立することを目的とする。

この「平和的目的」の意味については、協定上定義に関する明文規定はなく、その解釈及び適用については、各参加主体が判断するところとなるが、少なくとも「国際法に従う」とされており、国連憲章 2 条4(他国に対する武力による威嚇又は武力の行使の禁止)や 51 条(自衛権)、宇宙条約 4 条(大量破壊兵器の軌道配備の禁止、天体上における一切の軍事活動の禁止)の範囲に限定されることに紛れはない。

②参加主体は、全体的な運営及び調整に関する米国の指導的役割の下に、統合された国際宇宙基地を建設するための活動に参加する。

③ISS は、すべての参加主体が提供する飛行要素及び宇宙基地専用の地上要素から成る。

#### (2) 協力機関(4 条)

以下の機関を、ISS 協力の実施について責任を有する協力機関とする。

カナダ：カナダ宇宙庁(CSA)

欧州：欧州宇宙機関(ESA)

ロシア：ロシア宇宙庁(RSA)、現ロシア連邦宇宙局(FSA)

米国：航空宇宙局(NASA)

日本：NASAとGOJ間のMOU(1条)にて指定する機関として、科学技術庁(「STA」、現、文部科学省「MEXT」)。

ISS 計画の実施に際し、開発・運用等の現場で他極の協力機関と協働する旧 NASDA(現 JAXA)については、日米 MOU において協力機関を援助する機関として明確に位置付けられている<sup>49</sup>。我が国の場合、他の参加各国と異なり、政策立案と実施の両面を担う宇宙機関を設置しておらず、政策立案は文部科学省をはじめとする府省が担い、実施は当時の特殊法人たる旧 NASDA が、現在は独立行政法人たる JAXA が担っていることから、特異な構造となったものである。なお、現行 IGA が発効した際、旧 NASDA は直接 IGA・MOU の権利義務を担う国際法主体となり得ないことから、文部科学省研究開発局長から旧 NASDA 理事長に対し、IGA に従って ISS 計画業務を遂行するよう要請があり、旧 NASDA 理事長が IGA を遵守する旨の回答をすることで、一種の約定が成立し、その約定に基づき旧 NASDA も IGA の規定を遵守する義務を負うことになった<sup>50</sup>。この約定は JAXA 発足後も JAXA に承継さ

<sup>49</sup> MOU1 条 2 項

<sup>50</sup> 平成 13 年 3 月 27 日付宇宙開発事業団山之内秀一郎理事長宛、文部科学省今村努研究開発局長文書 12 文科開第 191 号「「民生用国際宇宙基地のための協力に関するカナダ政府、欧州宇宙機関の加盟国政府、日本国政府、ロシア連邦政府及びアメリカ合衆国政府の間の協定」の効力発生について」及び同月 30 日付今村局長宛山之内理事長文書 13 宇国第 14

れており<sup>51</sup>、なお有効である。また、万一、JAXA による ISS 関連業務が IGA の規定に反するおそれがある場合には、文部科学大臣が必要な是正措置を JAXA に求めることができ、その場合、JAXA はその求めに応じる義務を負うとの規定を JAXA 法に置くことで、JAXA による IGA の履行確保を担保している<sup>52</sup>。

### (3) 登録・管轄権(5条)

各参加主体は、自己が提供する飛行要素を登録する<sup>53</sup>とともに、その登録した要素及び自国民である ISS 上の人員に対し、管轄権及び管理の権限を保持する。日本が登録する JEM (きぼう)及び HTV(宇宙ステーション補給機)と、日本人搭乗員(JAXA 宇宙飛行士)や日本人宇宙旅行者等については、日本が管轄権及び管理の権限を有しているのである。

宇宙物体登録条約の制定当時に観念されていた「宇宙物体」は、通常的人工衛星のように軌道に投入された単一の機能物体であるのに対し、ISS は、各参加主体が提供する居住棟や実験棟などの飛行要素等から成る複合体であり、特定の一国が登録するのではなく、それぞれの飛行要素を単一の宇宙物体とみなし、その提供主体が登録することにした。欧州参加主体については、国際機関として登録条約上の締結主体と認められた ESA に対し登録の責任を委ねている<sup>54</sup>。

ここにいう「管轄権」や「管理の権限」とは、公海上の船舶に対する旗国の権限(国連海洋法条約 92 条 1 項・94 条)に類似するものと解されている。これによると、「管轄権」(“jurisdiction”)とは、「宇宙物体上で発生する事実や行為について、登録国が国内法の適用の対象とし(立法管轄権)、その遵守を強制する権限(執行管轄権)」をいい、また、「管理の権限」(“control”)とは、「宇宙物体の活動に対する指令・追跡・管制など、関係国内法令に基づいて行われる事実上の規制行為」をいう<sup>55</sup>。旧 IGA 交渉の初期においては、ISS のような複数国が提供する要素により構成される複合体に対する管轄権の在り方として、1)特定の

---

号「国際宇宙ステーション計画に係る政府間協定の遵守について」

<sup>51</sup> 独立行政法人宇宙航空研究開発機構法附則 10 条 1 項

<sup>52</sup> JAXA 法 24 条 1 項「主務大臣は、宇宙の開発及び利用に関する条約その他の国際約束を我が国が誠実に履行するため必要があると認めるときは、機構に対し、必要な措置をとることを求めることができる。」、同条 2 項「機構は、主務大臣から前項の規定による求めがあったときは、その求めに応じなければならない。」。条約の国内履行担保のためのこの種の規定は、数ある独法設置法の中でも極めて希有なものであり、ここにも我が国の宇宙開発体制の特異性が表れている。なお、JAXA 発足前については、宇宙開発事業団法に基づく一般監督権限により旧 NASDA による IGA 遵守を担保していた。

<sup>53</sup> JEM (きぼう)については、2010 年 2 月 24 日に国内登録簿に日本独自の標識番号を付し登録した。具体的には、船内保管室 (2008-009-J1)、船内実験室 (含むロボットアーム) (2008-027-J1)、船外実験プラットフォーム (2009-038-J1) という具合に最後のハイフンのあとの枝番が独自のものである。これは、それぞれの要素を打ち上げた米スペースシャトルの標識番号 (最後のハイフンの前までが同一) と区分する必要があるためである。なお、2009 年 9 月に処女航海を果たした HTV (2009-048A) の場合は、JAXA の H2B ロケットで打ち上げたため、COSPAR(国際学術連合会議宇宙空間研究委員会)が割り当てた標識番号をそのまま用いた。

<sup>54</sup> 宇宙物体登録条約 7 条

<sup>55</sup> 山本草二『国際刑事法』(三省堂、1991 年) 181 頁



一国の管轄権・管理権に服せしめる方式、2) 複数国の共同の管轄権・管理権の下に服せしめる方式、3) 個々の要素を各提供国の管轄権・管理権に服せしめる方式(各要素を独立した機能物体とみるクリーン・インタフェースの考え方)、4) 特定の一政府間国際機関により運営させる方式、といった4つの選択肢が検討されていた。米国は当初1)の方式を主張したが、欧州を中心に他の参加主体が反発。交渉の結果、各参加主体は、宇宙条約 8 条及び登録条約 2 条に従って、自己が提供する要素と自国民である搭乗員に対し、管轄権及び管理の権限を保持することとし、基本的には上記3)の方式を採用した<sup>56</sup>。なお、管轄権のうち、立法管轄権は自国領域外についても有効であるが、執行管轄権は通常、自国領域内でしか行使することができない。<sup>57</sup>

#### (4) 運営(7 条)

ISS の運営は、多数者間で行うことを基礎とする。参加主体の間で調整が必要な問題については、参加主体が出席する ISS の運営組織(設計・開発段階における計画調整員会(PCC)、運用・利用段階における多数者間調整委員会(MCB)が最高意思決定機関。前者はバイ、後者はマルチ。)において、コンセンサスの形成を目標として調整が行われる(7 条 1 項)。各参加主体は、自己の計画(提供要素の設計、開発、運用及び利用)を運営する責任を有するとされており(7 条 3 項)、参加主体間の調整を要しない問題については、参加主体は、自己の要素に関する決定を行うことができる(7 条 4 項)。

旧 IGA は、米国の中核的宇宙基地を日欧加が協力して実現するとの前提に立っていたため、米国は計画全般に亘る調整及び「指示」(“direction”)を行うという、他の参加主体に優越した権限を有していたが、ロシアの参加に伴い、この米国の役割が変更され、ISS の運営は多数者間で行うことを基礎とすることとされた。

#### (5) 詳細設計・開発(8 条)

各参加主体は、自己が提供する要素を設計し、及び開発する。

#### (6) 利用(9 条)

①参加主体は、利用要素、基盤要素又はその双方を提供することにより利用要素の利用権を得る。基盤要素から得られる資源を提供する参加主体、すなわち米加は、引換えに特定の利用要素の一定割合の利用権を得る。

先ず、米日欧加各々が有する利用権(後述)の行使として、ISS の利用要素を利用するためには、米国の基盤要素(ISS 全体の通信系、電力系、熱制御系、環境制御系等の中枢機能をつかさどるシステム)から得られる電力、熱、通信等のリソースと、カナダの基盤要素(ISS のトラス上を移動し ISS の組立て等を行う大型ロボットアーム等)から得られる組立て・保守サービスというリソースが必要となる。これら米加の基盤要素から得られるリソースは、76.6%が米国に、12.8%が日本に、8.3%が欧州に、2.3%がカナダに配分される。この配

<sup>56</sup> 栗林編・前掲書(注 15) 229 頁

<sup>57</sup> 青木節子・佐藤雅彦「宇宙法とはなにか」『日本航空宇宙学会誌 Vol.53 No.617』(社団法人日本航空宇宙学会、2005 年 6 月) 178 頁

分割合に従い、ISS を全体として運用するための経費又は活動(「システム運用共通経費」(CSOC))を米日欧加が分担する。同様に、この配分割合は、搭乗員定員が 7 人体制<sup>58</sup>になった際の、ロシアが権利をもつ 3 人を除く 4 人の搭乗員についての飛行機会の配分割合に等しい。なお、ロシアについては、自己が供給する電力等の資源の全てを自己の飛行要素で使用することとし、他の参加主体からは一切の資源を受け取らないこととしたため、自己の利用要素の 100%の利用権を保持し、他の参加主体の利用要素の利用権は取得しないこととなった。

米日欧加間の上記配分割合の基本は、旧 IGA・MOU の交渉過程において定められたものであるが、その計算の考え方は次のとおりである。すなわち、まず、カナダは、各参加主体の宇宙基地開発費の合計に占める自国の開発費<sup>59</sup>の割合にほぼ等しい 3%の配分割合で、すべての利用要素の利用権の配分を受けるため、その利用(すなわち利用権の行使)のために用いる資源の配分割合も 3%とされた。次に、米国が提供する取付型搭載物装着設備(“attached payload accommodation equipment”)をその搭載物とともに作動させるのに技術的に必要と見込まれる 20%を配分。残りの 77%を一旦米国、欧州、日本の 3 つの実験棟に均等に 25.6%ずつ配分するが、日欧の実験棟については米国がそれぞれ 46%の利用権の配分を受けるため、これを勘案し、25.6%の半分の 12.8%を米国に追加配分。この結果、米国の配分割合は計 71.3%となり、また、欧州及び日本の配分割合は、それぞれ 12.8%となった。その後、現行 IGA・MOU において、欧州の実験棟の規模縮小とカナダの貢献度合いの低減等に伴い、欧州の配分割合が 12.8%から 4.5 ポイント分減少し 8.3%となり、カナダもそれまでの 3%から 0.7%減少し 2.3%となったことから、両者の減少分の計 5.2 ポイント分が米国に加算され、端数調整のうえ、米国の配分割合は現行の 76.6%となった<sup>60</sup>。

表 2 利用用資源／システム運用共通経費(CSOC)／搭乗員の飛行機会等の配分割合

	利用用資源配分／CSOC 分担割合		搭乗員(7 人体制時)	
	米/加基盤要素	露基盤要素	4 人枠	3 人枠
米国	76.6%	0%	76.6%	-
日本	12.8%	0%	12.8%	-
欧州	8.3%	0%	8.3%	-
カナダ	2.3%	0%	2.3%	-
ロシア	0%	100%	-	100%

一方、利用権については、JEM の場合、日本は 51%の利用権を保有。JEM の利用に必要な

<sup>58</sup> 現実には 6 人体制となっている。

<sup>59</sup> 旧 IGA 署名時点における各参加主体の宇宙基地開発予算は以下のとおり推定されていた。米国：2 兆 9000 億円、欧州：6,200 億円、日本：3,000 億円、カナダ 1,200 億円。

<sup>60</sup> 宇宙航空研究開発機構 JEM 開発プロジェクトチーム・JEM 運用プロジェクトチーム『国際宇宙ステーション日本実験モジュール「きぼう」の技術解説(JMX-2006150)』(2006 年 9 月) 13 頁

な資源を日本に提供することと引き換えに、米国は JEM の利用権の 46.7%を、カナダは 2.3% (旧 IGA では米国が 46%、カナダが 3%を保有していたが、その後、カナダの貢献度合いが低減したため、カナダを 2.3%とし、米国を 46.7%に変更した経緯あり。)を保有し<sup>61</sup>、その部分の利用方法や利用者については、米加が選択することができるとされた<sup>62</sup>。

表 3 各実験棟における各参加パートナーの利用権

	米国	日本	欧州	カナダ	ロシア
米実験棟	97.7%	0%	0%	2.3%	0%
日実験棟(JEM)	46.7%	51%	0%	2.3%	0%
欧実験棟	46.7%	0%	51%	2.3%	0%
露実験棟	0%	0%	0%	0%	100%

②飛行要素の利用が平和的目的のためのものであるか否かについては、当該要素を提供している参加主体が決定する。

例えば、米国及びカナダによる JEM の利用(利用権の行使)が、日本の解釈、すなわち JAXA 法 4 条にいう「平和の目的に限り」の解釈に則った平和的目的のためであるか否かについては、日本が決定権を留保<sup>63</sup>していることになる。

#### (7) 運用(10 条)

参加主体は、自己が提供する要素を運用する責任を有する。

#### (8) 搭乗員(11 条)

①各参加主体は、ISS 搭乗員の有資格者を提供する権利を有する。

具体的には、ISS を利用するために自己に配分される電力等の資源の割合と等しい割合で、搭乗員の飛行機会が配分される。日本については、ISS 組立完了後においては、全搭乗員 7 名のうち、ロシア以外に配分される 4 名枠のうちの 12.8%となっている<sup>64</sup>。他の参加主体については、米国が 76.6%、欧州が 8.3%、カナダが 2.3%である。なお、ISS 組立完了前に、日本に搭乗員の飛行機会の配分が開始されるのは、システム運用共通経費の分担を開始する時点、すなわち、JEM の運用の開始の時点、具体的には、与圧部の取付け及び初期検証の終了時点とされた。

②ISS 搭乗員の行動規範(“Code of Conduct”)は、すべての参加主体がそれぞれの国内手続に従って作成し、及び承認する。行動規範には、搭乗員が宇宙飛行士としての地位をみだりに利用して私的な利益を得ることの禁止や、軌道上における指揮系統、とりわけ ISS 指揮官(“commander”)の権限等が規定されている。ISS 指揮官には、航空機の機長と

<sup>61</sup> IGA9 条 1 項、MOU8 条 3 項 a 号

<sup>62</sup> IGA9 条 3 項

<sup>63</sup> IGA9 条 3 項 b 号

<sup>64</sup> MOU11 条 1 項

同様、緊急時における ISS 内の秩序維持のための広範な権限が付与されている。

#### (9) 輸送(12 条)

各参加主体は、ISS に適合する場合には宇宙輸送システムを利用して ISS に発着する権利を有する。日米欧露は、宇宙輸送システムを利用することにより、ISS のための打上げ及び回収の輸送業務を利用可能にする(日本は H-II シリーズの輸送システム、すなわち H2A、H-2B/HTV 等を提供)。他の参加主体の輸送サービスを調達する場合には、実費弁償("reimbursable")の原則によることとなり、有償打上げ契約を結ぶことになるが、後述する資金授受を最小限にとどめるとの原則に照らし、物々交換("in-kind")で打上げ代金を相殺している。

#### (10) 通信(13 条)

米露は、データ中継衛星システムによる主たる宇宙・地上通信網を提供する。他の参加主体は、ISS に適合し、かつ米露の通信網と両立する場合に、データ中継衛星システムによる宇宙・地上通信網を提供することができる。日本の場合、DRTS(データ中継技術衛星)がこれに当たる。なお、JEM や HTV の運用のための通信については、地上回線を介して、JAXA 筑波宇宙センターの管制室が NASA のジョンソン宇宙センター(テキサス州ヒューストン)を経由して、24 時間体制で ISS と通信を行っている。

#### (11) 発展(14 条)

能力が追加された ISS は、引続き民生用の基地とし、その運用及び利用は、国際法に従って平和的目的のために行われる。

#### (12) 資金(15 条)

①各参加主体は、それぞれの責任を果たすための経費(システム運用に共通な経費又は活動(CSOC)を含む。)を負担する。参加主体の資金上の義務は自己の利用可能な予算に従うこと(ISS 計画参加に伴う資金負担は義務ではないということ。)としつつも、各参加主体は、ISS 協力の重要性を認識し、資金上の義務を履行するために必要な資金について予算承認を得るよう最善の努力を払うことを約束。

②各参加主体は、ISS の運用に係る経費を最小限にとどめるよう努力する。

この②の条項は旧 IGA にはなかったものであるが、特に欧州の主張に基づき、新設された。

③MOU 及び実施取決めに従って特定の運用活動を行うことや交換("barter")等により、資金の授受を最小限にとどめるよう努める。

日本については、JEM の打上げを、NASA のスペースシャトル 3 回のフライトに分けて行ったが、かかる打上げ経費の NASA への支払いは、金銭ではなく、セントリフュージ(生命科学実験施設)の開発・提供や H-II A による NASA 衛星の打上げにより代替することで合意

した<sup>65</sup>。金銭支払いに比べると、1)システム設計・統合、試験、安全性実証等の実施により、我が国の有人システム技術等の蓄積に貢献する、2)JEM の開発等で蓄積した国内技術の活用をもって、ISS 計画における国際協力の推進に貢献する、3)宇宙開発予算の効率的執行が可能となる、等のメリットがあると判断。また、システム運用共通経費の NASA への支払いについても、HTV による補給品や消耗品等の輸送により相殺(オフセット)している<sup>66</sup>。本来外国に支払うべき資金を国内企業に投下できるため、各参加国のインセンティブを高めているものと言うことができる。

### (13) 責任に関する相互放棄(16条)

宇宙分野における活動がリスクが高い(万一事故が起きた場合の損害賠償額が莫大なものになり得る。)ものであることを踏まえ、ISS 計画への参加者にとって自らの過失による不法行為や債務不履行について損害賠償請求が行われな一方、他者の過失による損害についても賠償請求を行わないとの仕組みを設けることによって、ISS 協力を円滑に進めるため、本条が設けられた。いわゆる「クロス・ウェーバー(“Cross-Waiver of Liability”)条項」である。この方式は、既に 1980 年前後から NASA の打上げサービス契約においても導入され、その後、米商業打上げ法(1984年制定)にも採用されるなど、宇宙の商業利用におけるリスク分担の典型的方式とされていたものである。

①参加国(日本の場合、NASDA(現 JAXA)を含む。)は、本協定の実施のための活動から生じた損害については、損害賠償請求権を相互に放棄する。また、参加国の関係者(製造メーカー、研究所などの利用者)に対しても、契約等により相互放棄を及ぼす(フローダウン)。JAXA の場合、ISS 計画に関与する多くのメーカー等との標準契約書において、相互放棄条項を規定することにより、この点が担保されている。例えば、ある町工場の零細企業が 1000 万円で主要な部品を納めた場合、その部品が直接の原因で、ISS 本体に甚大な被害を与えたようなケースでは、億・兆円の規模で損害賠償責任を負う可能性もあるが、この相互放棄の傘の下に入っている限り、自社のリスクは、納めた部品が故障した場合の良品への取換え等の瑕疵担保にとどまるため、ISS 計画への関与に躊躇する余地が大幅に縮減されるわけである。

但し、人の身体の傷害その他の健康の障害又は死亡についての請求(国が代位する請求を除く。)、悪意(“willful misconduct”)によって引き起こされた損害についての請求、知的所有権に係る請求、参加国が自己の関係者に及ぼすことができなかつたことから生ずる損害につ

<sup>65</sup> 「米国航空宇宙局による日本実験棟のシャトル打上げ業務提供と文部科学省による物品及び役務の提供の交換に関する米国航空宇宙局と文部科学省の間の実施取決め」(2008年1月23日締結)

<sup>66</sup> MOU9条5項。詳細は、「民生用国際宇宙基地のための協力に関する文部科学省のシステム運用に共通の責任並びにその他の義務と要求を相殺するための文部科学省による宇宙ステーション補給機 (HTV) 輸送業務の提供に関する米国航空宇宙局(NASA)と文部科学省(MEXT)の間の実施取決め」(2009年9月10日暫定合意)による。

いての請求等については、この相互放棄は適用されない。

②政府が取得する代位請求権も相互放棄の対象とする。但し、日本政府が取得する代位請求権であって国家公務員災害補償法に基づかないものについては、予算と法令の範囲内において、NASDA/JAXA が相手方に対し補償することにより放棄の義務を履行する。

相互放棄をできる限り拡大するとの観点から、旧 IGA では相互放棄の対象外とされていた、国が代位する請求についても、対象に含めることになったものである。すなわち、自然人の死傷等に関し、政府管掌保険により参加国が取得する代位請求権(例えば、日本企業の社員が業務上負傷した場合、労災認定が下れば当該被害者には災害給付がなされ、国が加害者に対する代位請求権を取得する。)も相互放棄の対象とすることにより、より完全な相互放棄を図るものである。但し、日本の場合、国家予算のみで運営される国家公務員災害補償法の下で生じる代位請求権は相互放棄の対象となるが、国と企業の負担金で運営される労働者災害補償保険法等の下で生じる代位請求権については、全国の企業サイドの理解を得て、法律改正を行わない限り放棄することはできないため、国が外国の加害者側に代位請求した場合に当該加害者は NASDA/JAXA に補てんの請求を行い、NASDA/JAXA が法令及び予算の範囲内でこれを補てんすることとした(実際には個々のケース毎に代位請求保険を購入することで担保している。)。日本のみに固有の条項である。

③例えば、JEM を米スペースシャトルで ISS まで運搬する場合、宇宙損害責任条約上、第三国に対して賠償責任を負うべき「打上げ国」は、その領域及び施設から JEM を搭載したシャトルを打ち上げる米国と、その打上げを米国に委託する(“procure”)日本の両国が打上げ国となり<sup>67</sup>、当該打上げにより損害を引き起こした場合には、連帯責任を負う<sup>68</sup>。仮に、米シャトルにより ISS に JEM を運ぶ際に、何らかの操作ミス(過失)で係留中の ESA の ATV を破損してしまったような場合、宇宙損害責任条約によると、日米両政府は共同で ESA に過失責任に基づき賠償する義務が生じるところであるが、IGA16 条はこうしたケースも相互放棄の対象とし、したがって、ESA は日米に対する賠償請求を行い得ないことになる。

#### (14) 関税・出入国(18 条)

参加国は、自国の領域へ輸入され又は自国の領域から輸出される、ISS の実施のために必要な物品及びソフトウェアに対する関税及び税関当局が徴収するその他の税を免除する。

旧 IGA では、この関税免除は各国の努力義務とされていたが、ロシアの国内事情、つまりロシアは輸入税に加え輸出税も課しており、これが課せられると ISS 協力に支障を生じる可能性もあること等に鑑み、条約上の義務とされた。日本は、1998 年 5 月 29 日に関税定率法施行令を改正し、関税定率法 15 条に基づいて「条約の規定による特定用途免税」として関税免除の対象となる貨物に、IGA18 条 3 号の規定に該当する貨物を追加<sup>69</sup>することで、関税及び消費税<sup>70</sup>を免除することにした。

<sup>67</sup> 宇宙損害責任条約 1 条 c 号

<sup>68</sup> 同条約 5 条

<sup>69</sup> 関税定率法施行令 25 条の 2 (条約の規定による特定用途免税貨物の指定) 3 号「民生用国際宇宙基地のための協力に関するカナダ政府、欧州宇宙機関の加盟国政府、日本国政府、ロシア連邦政府及びアメリカ合衆国政府の間の協定第十八条 3 の規定に該当する貨物」

<sup>70</sup> 輸入品に対する内国消費税の徴収等に関する法律 13 条 2 号に基づき、消費税も免除さ

## (15) データ・物品の交換(19条)

宇宙基地のための国際協力に伴う技術移転、あるいは技術流出については、1980年代前半まで宇宙基地計画への同盟国の参加をめぐる米政府部内での最大の懸案であった<sup>71</sup>。この問題を解決するための条項が本条である。すなわち、本協定の実施のために必要な技術データ及び物品の移転に当たっては、提供側の協力機関は、それらのデータ等を輸出管理上、所有権的管理上又は国家機密法等上<sup>72</sup>保護するために、表示(マーキング)を行うこと等により特別の指定を行う。参加国は、自国が受領する技術データ又は物品が、受領側の参加国、その協力機関、二次的な移転を受ける契約者等により、指定された条件に従って取り扱われることを確保するため、すべての指針を作成する。JAXAの場合、契約者等との関係では、責任の相互放棄(上記(13))同様、標準契約書により担保(フローダウン)している。なお、仮に JAXA の役職員が他の協力機関から提供を受けた技術データを表示どおりに取り扱わずに、外部に漏えいさせてしまったような場合には、JAXA 法上の秘密保持義務違反として、1年以下の懲役又は50万円以下の罰金に処せられることでも担保されている<sup>73</sup>。

## (16) 知的所有権(21条)

知的所有権(特許権、商標権、著作権等)に係る法律の適用上、ISSの飛行要素上において行われる活動は、当該要素の登録国の領域においてのみ行われたものとみなす。

属人的管轄権を排除し、属地的管轄権を擬制した規定である。

例えば、JEMで行われた発明は日本の領域において、また、米国の実験棟で行われた発明は米国の領域において、それぞれ行われたものとみなされることになる。但し、この規定は、各飛行要素の登録国がその立法管轄権に基づき、自国の知的財産法をISSに適用する権限を付与しているに過ぎず、実際に国内法を適用させるためには、国内法自身の適用範囲を拡大することが必要となる。米国では、宇宙基地時代に向け米国特許法の適用基準を明確にする要請が強まり、1985年・86年の両年にわたり、下院のカステンマイヤー議員等が、米国の管轄権又は管理の権限の下にある人工衛星・宇宙基地等で行われ、用いられた発明は、米国の領域内でなされた発明として米国特許法の適用が及ぶこととする法案を提出。司法省は、米国特許法の適用範囲を宇宙空間にも拡張することは、同時に、特許侵害に対する米国の責任をも拡大することになるとして反対したが、特許権保持者の側は、米特許法は既に従来より米国の管轄権と管理の下にある宇宙物体に及んでおり、この法案は単にこの確立した慣行を明文上確認するものにすぎないとして法案を支持。結果的に、旧IGAを米国が批准するために必要な国内立法措置とされ、1990年11月15日に同法案は成立し、特許法の中

---

れている。

<sup>71</sup> John M. Logsdon・前掲論文(注13)9-10頁、15頁等

<sup>72</sup> IGA19条3項c号に基づき秘密の指定を受けた技術データ等の移転をJAXAが他のパートナーの協力機関から受けようとする場合には、日本の協力機関である文部科学省に連絡することとされている(平成13年3月29日付文部科学省研究開発局宇宙開発利用課長発宇宙開発事業団国際部長宛書簡(12開宇利第6号))。

<sup>73</sup> JAXA法16条(役員及び職員の秘密保持義務)・30条(罰則)

に「宇宙空間における発明」として追加された(同法 105 条)<sup>74</sup>。この結果、領域内の発明は先発明主義、領域外の発明は先願主義とする米国の特許法上も、米国実験棟での発明は、米国領域内で行われたものとみなされ、米国で出願すれば、実際に発明が行われた日をベースに判断されることになった。一方、日本の特許法は、発明が行われた場所の如何を問わず、同一の発明については最も早い特許出願人が特許を受けることとなっており、JEM の内外を問わず、日本で出願されれば先願主義に従うことになるため、この特許権の取得という局面だけをみると、必ずしも米国のような特段の立法措置は必要とされない。むしろ、我が国をはじめとする先願主義をとる参加国にとっては、特許権の行使の局面が問題となり、例えば、日本が登録する JEM において特許権を侵害する行為が仮に行われたとしても、不問に付されることになり、企業の投資に対するインセンティブを著しく損なうことにもなりかねない<sup>75</sup>。ちなみにドイツは、1990 年 7 月 13 日、IGA を国内法制に組み込むための法律において、著作権法及び工業所有権法の適用に関し、ESA が登録した飛行要素において行われた活動は領域内で行われたものとみなすと定め、権利の行使の面についても措置済みである<sup>76</sup>。

この点について、我が国の場合、特許法や著作権法等に、条約の効力に関する規定があり、例えば、特許法 26 条には「特許に関し条約に別段の定があるときは、その規定による。」とされているため、特許法の改正を行うことなく、IGA の国内履行が可能と判断されたことから、旧 IGA を我が国が批准する際に、知財に係る特段の立法措置は講じられていない<sup>77</sup>。

#### (17) 刑事裁判権(22 条)

上記(3)で述べたとおり、管轄権とは、一般に、立法管轄権及び執行管轄権を含むものであるが、本条では執行管轄権の側面のみを取り扱っている。

参加国は、飛行要素上の人員であって自国民である者について刑事裁判権を行使することができる。また、当該行為によって影響を受けた参加国は、自国民が容疑者である参加国と協議した結果、一定の条件が満たされる場合には刑事裁判権を行使することができる。いわゆる能動的属人主義を原則的規定とした。

旧 IGA では、参加国は自国の提供する要素と自国民に刑事裁判権を行使できることに加え、一定の条件の下、米国に二次的な刑事裁判権を認めていたが、現行 IGA においては、自国民が容疑者である参加国に一次的な刑事裁判権を認め、一定の条件の下で、影響を受けた他の参加国に二次的な刑事裁判権を認めることとした。これは、宇宙飛行士の活動が自国の国民から大きな関心が寄せられるため、他の参加国によって自国の宇宙飛行士が裁かれることは国際関係上も必ずしも好ましくないとの考え方から、属地主義と属人主義(国籍主義)に

<sup>74</sup> 村瀬信也・奥脇直也「宇宙関係諸条約の履行と国内法整備 民間宇宙活動をめぐる米国の法制」『立教法学 36 号(1991 年)』85 頁

<sup>75</sup> 小塚荘一郎「宇宙空間における特許権」『知的財産法の理論と現代的課題 中山信弘先生還暦記念論文集』(弘文堂 2005 年) 623 頁、626-627 頁。栗林編・前掲書(注 15) 230 頁。

<sup>76</sup> 龍澤・前掲書(注 47) 163 頁

<sup>77</sup> 「特許法第 26 条にいう「条約」は私人の権利義務を直接規定した、いわゆる自動執行力のある(self-executing)条約を指すと解されているが、IGA は自動執行力のある条約と言い難いことから、JEM には我が国特許法の適用は及んでいないと解される可能性も否定できない」と指摘する声もある(小塚・前掲論文(注 75) 627 頁)。



優劣をつけない従来の規定振りを、属人主義を優先する規定振りに変更した。また、旧 IGA では、全体的な調整・指示権限と、容疑者が必ず米国領内(シヤトルが着陸する米国本土又は緊急着陸地に指定された海外の米軍基地)に帰還する現実に鑑み、米国にのみ二次的な刑事裁判権を認めていたが、現行 IGA では、各国いずれもが2 次的な刑事裁判権を行使できることとされた。

なお、米国では、1981 年に既に刑法を改正し、米国に登録された宇宙物体についても、船舶と航空機に準じて、「特別の海事(または航空)・属地的管轄権」に基づく内国刑法の適用対象に加えることとしたため、ISS 内の米飛行要素内における犯罪にはいわゆる国内犯規定を適用することが可能である<sup>78</sup>。他方、我が国の場合、未だに刑法改正は行っていないため、JEM 内で起きた犯罪にはいわゆる国外犯規定<sup>79</sup>しか適用し得ないのが現状である。

#### (18) 紛争解決(23 条)

ISS 計画の実施に関し、参加国間で紛争が生じた場合には、協力機関間の協議での解決や政府間協議(ケースによっては多数国間協議)での解決を目指す、これら協議による解決が不調に終わった場合には、合意された紛争解決手続き(調停、仲介、仲裁)に付託することとされた。

旧 IGA の交渉過程においては、欧州が IGA の法的拘束力をより強めるために、強制仲裁(仲裁の結果が当事国を拘束する。)を主張したが、米国は、宇宙基地計画の技術的な特性や国内法との整合性確保から、強制仲裁規定を国際約束に盛り込むことに難色を示したことから、上記のような規定となったものである<sup>80</sup>。

#### (19) 効力発生(25 条・26 条)

①新 IGA は、日・米・露の批准書等のうち最後の文書が寄託された日に効力を生ずる。但し、新 IGA の発効前に米・露が批准書等を寄託する場合には、新 IGA は、その寄託の日に両国の間で効力を生ずる。

②新 IGA の発効と同時に旧 IGA は効力を失う。

旧 IGA の発効要件は、米国と他の 1 極の批准であったが、現行 IGA では日・米・露 3 極の批准を発効要件とすることに変更された。米・露を発効要件国とするのは両国が ISS の重要な部分を提供することを踏まえたものである。一方、日本については、新 IGA の署名時点で旧 IGA が発効していたのは米国のほかは日本のみであり、また、日本のみが暫定取極を締結しないこととしていたため、日本の参加の法的根拠を失うことを避けるために、日本に対し新 IGA が発効するまでは、旧 IGA が失効しないようにすることを配慮した規定である。但し、新 IGA が発効する前に米・露が先に批准した場合には、協定そのものは発効しないものの、米・露間にのみ協定が効力を生ずる、つまり米・露はこの協定に拘束されることとした。これは、ISS 建設の初期段階では、米・露の要素のみが打ち上げられるため、仮に日本の批准が遅れ新 IGA 自体が発効しない場合であっても、特に責任に関する相互放棄などの条項が適用さ

<sup>78</sup> 山本・前掲書 (55) 177 頁

<sup>79</sup> 刑法 2 条、3 条、3 条の 2、4 条。

<sup>80</sup> 龍澤・前掲書(注 47) 165-166 頁。ESA 法務部 André FARAND 氏からの聴取結果(2010 年 4 月 27 日)

れるよう米・露間のみで協定の効果が事実上生ずることを確保しようとしたものである。結果的には、日本がどの国にも先駆けて批准したため、この規定は空文となった。

なお、IGA には期限の定めはないため、ISS の運用期限をいつまで延長しようが、IGA の改正は不要である。

#### (20)改正(27条)

本 IGA の改正は、各参加国の憲法上の批准手続きに従って行われる。但し、附属書のみについての改正は、参加国の政府の書面による合意のみで可能である。

旧 IGA では、各参加主体が提供する宇宙基地要素に変更があった場合、付属書を改正するために、条約改正手続きを踏む必要があったが、これを書面合意のみで可能とした。

#### (21)脱退(28条)

参加国は、寄託者である米国に対して少なくとも 1 年前に書面による通告を行うことにより、いつでもこの条約から脱退することができる。但し、その場合、他の全参加主体との間で ISS 計画全体の継続性を維持するための脱退の条件について合意に達することが求められている。カナダによる脱退の場合には、米・加間においてカナダの要素の米国への移転とそれに対する適正な補償についての脱退取極に合意する必要がある。脱退後も、IGA16 条(責任の相互放棄)、17 条(責任条約)、19 条(データ及び物品の交換)はなお有効である。

カナダの脱退の際の手続きに鑑みると、米国の脱退は少なくとも IGA 上は想定されていないものと考えられる<sup>81</sup>。

### 3.5 経験と教訓、今後の課題

#### (1)計画安定性の視点

法的枠組みの観点からは、各参加主体毎に IGA を締結するための国内手続きに差があることが計画の不安定性を招いているとの評価もある。つまり、米国のように、議会での審議・承認を経ることなく、行政府限りで IGA を締結することができる国では、計画途上において常に議会で中止法案が提出され、最悪の場合採決されてしまうという潜在リスクがつきまとうことになる<sup>82</sup>。二大政党体制の国であればなおさらである。内閣(行政府)が批准するにあたり国会(立法府)の承認を必要とする日本などは、「国会尊重」の観点から、過去の国会承認を覆すような、IGA からの脱退や JEM 計画の中止を議決するようなことは考え難い。このため、理想的には、各参加国とも IGA を締結する際に、両院での十分な審議を経て承認を受けることが望ましいが、この点は各国の憲法上の手続きの問題であり、国際交渉で如何ともし難く、具体的な解決方法はなかなか見つからない。

また、各国における予算獲得義務が努力義務にとどまる点(IGA15 条 2 項)も、計画の不安定性の一因となっているとの見方も可能である。この点についても、各国の予算手続きによるもので、解決策はなかなか見当たらない。逆に、努力義務にとどめないと、参加国の中には

<sup>81</sup> とはいえ、米国においては、IGA は憲法上上院の 3 分の 2 の同意を必要とする条約ではなく、行政府限りで締結できる行政取極と位置付けられていることもあり、米議会が ISS 計画の中止を決議し、IGA から脱退するリスクは常に内包している。

<sup>82</sup> 高屋・福嶋・前掲論文(注 42) 51-52 頁

議会承認が得られない国も出てくることを考慮する必要がある<sup>83</sup>。

以上の教訓を踏まえると、将来、ポスト ISS のような大規模な国際宇宙協力計画を設定するにあたっては、IGA のような条約レベルの法的枠組みを構築することに加え、自国に影響を与えるような主要国の計画撤退や条約脱退も潜在リスクと認識し、それへの対応策をあらかじめ講じておくことが必要である。すなわち、他の参加国への依存を致命的としない範囲にとどめ、参加国の構成がどう変わろうと、自国のみで一定程度のミッションが達成できる自律的な参加の形態を考えるべきであろう。具体的には、軌道上での種々の活動に必要なリソースを提供可能な基盤要素と、有人・無人の輸送システムを、自ら保有することが、その基本となるものとする。特に、有人ミッションの場合には、宇宙空間での生命維持システムと、地球との有人往還輸送システムが不可欠であり、国家主権の観点からも、これらを自ら保有し、国際協力に供することが極めて重要である。

## (2) 参加主体の拡大と潜在リスク

上記(1)において、有人輸送システムが計画の遂行にあたり不可欠であることに触れたが、ISS 計画では、2 度も、有人ミッションの遂行が危機にさらされたのである。

1 つ目が、2003 年に起きたスペースシャトル「コロンビア号」の事故であるが、幸い、その前に既にロシアを ISS 計画に取り込んでいたため、ソユーズがその役目を代替することができたので、事なきを得た。

2 つ目が、2008 年のロシアによるグルジアへの軍事介入により、スペースシャトル退役後の 2011 年以降、唯一の有人往還機であるソユーズを調達できなくなるおそれが生じた時のことである。これについては、以下、若干詳述してみたい。

現行 IGA によりロシアを取り込んだことで、ISS 計画は大きく完成に向け動き出したわけであるが、西側同盟国以外の国を取り込むことには、相応のリスクをも抱えることになったのである。米国は、2000 年に「イラン不拡散法」(当時)<sup>84</sup>を制定し、ロシアがイランに対し核・ミサイル技術の輸出を止めない限り、ソユーズによる宇宙輸送サービスを含む、ISS に関連する米国政府からロシア(ロシア宇宙庁及びその関連企業等)への支払いを禁止。2005 年にはシリアを、翌 2006 年には北朝鮮をそれぞれ追加するための改正を行い、「イラン・北朝鮮・シリア不拡散法」となった。2005 年の法改正時に例外が設けられ、IGA 上の米国の義務を果たすために必要な業務については、2011 年 12 月末日までは適用除外とされた。この改正を受け、搭乗員及び物資輸送のためにソユーズを調達できるようになった。この 2011 年というのは、まさにスペースシャトルが引退し、ISS への搭乗員の輸送をロシアに全面依存する時代に突入する年である。また、CRV(搭乗員緊急帰還救命艇)計画の中止を受け、NASA は代替救命艇としてソユーズに頼らざるを得なかった。このため、NASA グリフィン長官(当時)は、2008 年 4 月、米議会に対し上記適用除外期限を、ISS 計画の終了、月探査船又は商業有人機の運用開始の時点まで延長するように要請。ところが、2008 年 8 月にロシアがグルジアに軍事介入したことを受け、適用除外の延長が認められることはほぼ不可能となったなどとして<sup>85</sup>、先行きが危ぶ

<sup>83</sup> フランスは、2004 年 11 月 30 日の IGA の承認書(批准書の一つ)の米国への寄託にあたり、国内で予算が承認されることが参加の条件である旨留保宣言している。

<sup>84</sup> Public Law 106-178(50 U.S.C. 1701 note)125 条 7 項 (1) (B)

<sup>85</sup> Orland Sentinel 2008 年 8 月 12 日付け報道記事によると、従来議会において適用除外

まれた。幸い、その後、ロシア軍のグルジア撤退の意向が表明されたこともあり、同年 9 月に同法の適用除外の延長を認める法案<sup>86</sup>が下院、上院を通過し、翌 10 月 1 日に大統領が署名したことで、2016 年 6 月末日までの 4 年半の延長が決定した。これにより、その期間内に限りソユーズやプログレス補給船による輸送サービスの購入が可能となったのである。

現在、ISS 参加主体間あるいは各参加国内で、2016 年以降の ISS の運用延長を合意するための努力を続けているところであるが、それまでに米国がシャトル後継機を運用可能な状態にできなければ、今後の国際情勢次第では、米国はもとより搭乗員を派遣する参加主体は再び同様の苦境に立たされるおそれがある。

この教訓から、同盟国・友好国以外の国を参加主体として加える場合には、政治的リスクを念頭に置いて、クリティカルなシステムを全面依存しない体制を組むことが必要である。つまり、ロシアのケースでは、ソユーズに全面依存せず済むよう、有人往還システムの冗長系のラインアップをある程度揃えておくことが必要である(無人貨物往還システムについては、シャトル引退後も、ロシアのソユーズやプログレスに加え、日本の HTV<sup>87</sup>や ESA の ATV が回収機能を付加することで、充実したラインアップになる。)

ISS は現在、日米欧露加という 5 極、計 15 ヶ国の参加を得て、民生・平和目的のために、真の協力関係を基礎とした国際協力が進められているものであり、既に、地球を一つの共同体ととらえ、世界規模の紛争を抑止するという、一種グローバリズムの象徴的の事業となりつつあるが、今後、ますます ISS のグローバル化を進めることが期待されることになると思われる。いずれ、中国やインド、ブラジル等の経済成長著しい BRICs 諸国等の正式加盟も想定されるが、現参加主体が全面依存せざるを得ないような基盤要素や有人輸送系などによる貢献を受け入れることには慎重になるべきである。各種システムやリソースを補完する役割や単に利用者としての参加を求めていくことが現実的な対応になるのではないかと考える。

### (3) 関連国内法整備の必要性

我が国は旧 IGA、現行 IGA とともに、どの参加国よりも早く、国会承認等の所要の国内手続を経て、受諾したわけであるが、JEM 計画のための予算を獲得し、執行するためには、このスピードが何よりも重要であったことは否めない。その一方で、米国やドイツなどが、IGA と国内法との整合を確保するために講じた特許法改正等の立法措置は特段講じられていない(唯一、関税・消費税免除のための政令改正のみ行われた。)

昨年 JEM も完成し、ISS 本体がいよいよ来年完成すると、ようやく、ISS 上での様々な活動が本格的に開始されるわけであり、我が国としてもいかに主権を確保し国益を実現するかが重要視されてくることは間違いない。こうした観点から、既に有力な法律学者からは、刑法や特許法の改正の必要性について見解が示されている。例えば、刑法については、ISS 上で行われる犯罪について、現行刑法上、国外犯規定しか適用されないのは前述(3. 4(17))のと

---

を支持してきた Bill Nelson 上院議員(民主党、フロリダ州選出)ですら、「グルジアへのロシアの軍事介入によって適用除外の延長が認められる可能性は極めて低くなったと述べた。」としている。

<sup>86</sup> 2009 年歳出法(H.R. 2638: Consolidated Security, Disaster Assistance, and Continuing Appropriations Act, 2009)

<sup>87</sup> MOU12 条 1 項 a 号及び b 号において、HTV による回収も想定されている。

りであるが、IGA の当事国として刑事裁判権の行使を確保するためには、国外に在る日本船舶・航空機内の犯罪の場合(刑法1条2項)に準じて国内犯として扱うようにするため、刑法に明文の規定を加えることが、最小限不可欠であるとする見解がある<sup>88</sup>。また、特許法については、「特許法第26条にいう「条約」は私人の権利義務を直接規定した、いわゆる自動執行力のある(self-executing)条約を指すと解されているが、IGAは自動執行力のある条約と言い難いことから、JEMには我が国特許法の適用は及んでいないと解される可能性も否定できない」と指摘する見解である<sup>89</sup>。これらの基本的な国内法整備については、将来のポストISS計画も視野に入れ、できるだけ早期に本格的な検討を開始することが望まれる。

これ以外に、ISS長期搭乗員のための選挙権の行使の問題も今後の課題である。現行の公職選挙法上、ISS滞在員の投票を可能とする制度は存在しないのが実情である。一方、日本人搭乗員によるISSでの長期滞在は、既に、若田光一、野口聡一の両宇宙飛行士が経験済みであり、今後も古川聡飛行士をはじめとする長期滞在中が続く。彼ら搭乗員は、国会承認条約の下で、いわば国のミッションとして宇宙に長期滞在するのであり、国政選挙への投票を可能にする制度構築が必要である。南極観測隊のためのFAXによる投票制度は既に公職選挙法の改正により実現している。<sup>90</sup>米国においては、電子投票制度が整備されており、ISSに長期滞在する搭乗員の参政権を確保するための技術的な困難が既に解決されている。参政権は憲法が保障する基本的人権の一つであり、我が国においても、技術的な困難克服のうえでも、社会のコンセンサス(=国会の発意)を得て、宇宙からの投票を実現することが急がれる<sup>91</sup>。

---

<sup>88</sup> 山本・前掲書(注55)183頁

<sup>89</sup> 小塚・前掲論文(注75)627頁

<sup>90</sup> 投票制度において重要なのは選挙の公正の確保であり、立会人と選挙管理人を置くことが必須とされ、したがって、最低3人の日本人が必要とされる。南極越冬隊のように、ある程度の人数以上の集団であれば可能である。選挙の公正・公平を擬制しているということのようである。FAX装置についても受信機は特別なものであり、受信時には投票の中身が見えないようになっている。投票の秘密も担保しなければならないということのようである。

<sup>91</sup> 公職選挙法は1950年に議員立法で制定されたものであり、もともと議会制の根幹にかかわる法律であるため、議員立法に親和的とされる。

## 第4章 日本の有人宇宙技術獲得の道のり

## 目次

4.1 経緯と目標 .....	4-3
4.1.1 ロシア・米国における有人宇宙活動の始まり.....	4-3
4.1.2 我が国の有人宇宙活動.....	4-3
4.2 成果 .....	4-8
4.2.1 習得した有人宇宙技術 .....	4-8
4.2.2 人材育成や国際社会における成果.....	4-14
4.3 経験と教訓 .....	4-15
4.4 今後の有人宇宙活動の展開 .....	4-16
4.5 まとめ.....	4-16

## 4.1 経緯と目標

### 4.1.1 ロシア・米国における有人宇宙活動の始まり

世界で最初の人工衛星「スプートニク1号」がソ連から打ち上げられたのは1957年10月である。そのわずか3年半後の1961年4月には、ユーリ・ガガーリンによる人類史上初めての有人宇宙飛行が行われた。この時、冷戦真っただ中ではあったが、世界中が称賛した。しかし、アメリカ人の受けた心理的衝撃は大きかったものと思われる。

米国においても、ソ連に遅れをとったものの追従し、1958年1月に米国初の人工衛星「エクスプローラ1号」を打ち上げ、3年4ヵ月後(1961年5月)に、アラン・シェパードによる15分間の弾道飛行、1962年2月にジョン・グレンによる地球周回軌道での有人飛行を成功させている。これらの有人飛行に至るまで、両国ともイヌやチンパンジーなどの動物を衛星に乗せ、繰り返し試験を実施している。

このように、ロシア(ソ連)と米国は当初から人を宇宙に送ることを宇宙開発の目標に設定していたと考えられる。ロシアでは、この後ソユーズ宇宙船やロシアの宇宙ステーション「ミール」による有人宇宙活動を継続し、国際宇宙ステーション(ISS)計画に至っている。米国もマーキュリー計画、ジェミニ計画、アポロ計画を経てスペースシャトル及びISS計画の時代に至っている。すなわち、これら二国は、事故や計画の合間に数年の中断はあるものの、1960年代以降50年近くにわたり有人宇宙活動を継続している。これは、宇宙開発大国としての象徴的な意味を含め、両国が競争もしくは協力して、宇宙開発の中心として有人宇宙活動を推進してきたことを示している。

1961年にガガーリンが初めて宇宙飛行した時、我が国は自前のロケットも持っていない時代であり、政治家、国民、宇宙関係者を含めすべからく観客に徹していた。

### 4.1.2 我が国の有人宇宙活動

我が国の有人宇宙活動は大きく分けて、スペースシャトル利用時代と、それに続く国際宇宙ステーション時代に分かれる。スペースシャトルは1981年に運航を開始した。1980年代の我が国の宇宙活動はまだ自律的なレベルとは言い難く、欧米に追いつくことが最大の課題であった。有人宇宙飛行という言葉は当時既に魅力的であったが、我が国が単独で試みる課題としては程遠いものであった。

スペースシャトル搭載型の実験施設であるスペースラブを開発し、宇宙実験を実施しようという計画がNASAとESA、カナダで進められた。スペースラブの設計製造に我が国が参加することは、我が国の技術レベルや国内体制から無理であったが、スペースラブを利用した宇宙実験実施には我が国も参加することとなり、宇宙実験テーマの選定、必要実験装置の設計・製造、宇宙実験ミッションに搭乗する我が国の宇宙飛行士の選抜や訓練等々を通じて、我が国が有人宇宙活動を開始することとなった。

これまでの我が国における有人宇宙活動・ISS計画関連の経緯を表4-1に示す。以下、政策レベルでの有人技術への取組みの方針を振り返り、スペースシャトル利用時代、及び宇宙ステーション時代における我が国の有人宇宙活動の経緯や概要を述べる。



表4-1 日本の有人宇宙活動・国際宇宙ステーション計画の経緯

1979年6月	「スペースシャトルの利用の推進に向けて」(宇宙開発委員会第2部会報告)において、日本人搭乗科学技術者(PS)の養成方針等を設定
1983年12月	日本人搭乗科学者の募集開始
1984年1月	レーガン米大統領が有人宇宙ステーションの建設を提唱。日本、欧州及びカナダに参加を招請
1988年9月	日、米、欧、加の4極が宇宙基地協力協定(IGA)に署名
1989年3月	日、欧、加は、米との間で宇宙基地協力了解覚書書(MOU)に署名
1991年7月	「日本人宇宙飛行士の養成について」(宇宙開発委員会宇宙ステーション特別部会報告)に基づき、日本人搭乗運用技術者(MS)の募集開始
1992年9月	<b>STS-47/FMPT(第一次材料実験「ふわっと'92」)毛利宇宙飛行士搭乗</b>
1993年12月	日、米、欧、加の4極はISS計画への露招請を決定。露はこれを受諾
1994年7月	<b>STS-65/IML-2(第二次国際微小重力実験室)向井宇宙飛行士搭乗</b>
1996年1月	<b>STS-72 若田宇宙飛行士搭乗</b>
1997年11月	<b>STS-87 土井宇宙飛行士搭乗</b>
1998年1月	日、米、欧、加、露の5極が新しいIGAに署名(4月国会承認 11月受託)
2月	日、欧、加、露は米との間で新しいMOUに署名(平成13年6月発効)
10月	<b>STS-95 向井宇宙飛行士搭乗(2度目)</b>
11月	最初のISS構成パーツを打上げ
2000年2月	<b>STS-99 毛利宇宙飛行士搭乗(2度目)</b>
10月	<b>STS-92 若田宇宙飛行士搭乗(2度目)。ISSの組立に参加</b>
11月	第1次搭乗員によるISS長期滞在開始(3名)
2001年3月	我が国初の実験装置(中性子モニタ装置)打上げ、実験開始(12月に装置回収、実験終了)
2003年2月	スペースシャトル コロンビア号事故発生
4月	第7次長期滞在クルー打上げ(2名に減員)
2005年7月	<b>シャトル飛行再開、野口宇宙飛行士が搭乗、ISS補給ミッションへ参加</b>
9月	NASAよりISSへのシャトル飛行回数削減(2010年までに18回)の提案
2006年3月	見直されたISS完成形態、組立シーケンスに各極合意
2008年3月	<b>「きぼう」船内保管室打上げ。土井宇宙飛行士搭乗(2度目)</b>
6月	<b>「きぼう」船内実験室・ロボットアーム打上げ。星出宇宙飛行士搭乗</b>
2009年3月	<b>若田宇宙飛行士搭乗(3度目)。ISSで日本人初の長期滞在(約4ヵ月間)</b>
2009年7月	<b>「きぼう」船外実験プラットフォーム・船外パレット打上げ。若田宇宙飛行士帰還。&lt;きぼう軌道上組立完成&gt;</b>
2009年9月	<b>HTV技術実証機/H-IIB試験機打上げ。</b>
11月	<b>HTV技術実証機が大気圏再突入しミッションを完了</b>
2009年12月	<b>野口宇宙飛行士が約6ヵ月長期滞在(~2010年6月)。ソユーズでの打上げ、帰還</b>
2010年4月	<b>山崎飛行士がスペースシャトル搭乗。軌道上で初めて2名の日本人が滞在</b>

(太斜字は日本の関連のフライト等。2010年6月時点)

## (1) 政策レベルでの有人技術への取組みの方針

我が国の有人宇宙活動への取組みは、1978年(昭和53年)に最初に宇宙開発委員会で策定された、15年程度の長期的な指針である「宇宙開発政策」において、以下のとおり既に具体的に盛り込まれている。

## ① 宇宙実験の分野における宇宙開発活動

- 宇宙空間の環境条件を利用する宇宙実験の分野においては、「材料実験シリーズ」及び「ライフサイエンス実験シリーズ」を実施する。
- 1983年頃からのシャトル搭載実験を手始めに、米国のスペースシャトル、国産人工衛星の双方を適宜組み合わせながら進める。
- 将来、我が国が独立活動型の有人宇宙船を開発することになった場合にも、シャトルを利用して有人宇宙船の予備段階の開発及び試験を進める。

## ② 有人サポート技術

- 我が国における有人計画は、当面、米国の有人宇宙船に依存して進める。
- 1983年頃、まず第1回の計画(シャトル搭載実験)を進め、材料実験等を主体とした実験を行いながら、有人操作技術の習得を行う。
- 我が国独自の有人サポート技術については、今後、さらに十分な調査検討を行い、その技術的見通し等が得られてから計画を進める。

これによると、30年以上前から我が国として自立的な有人宇宙活動の実現を目指し、国際協力による宇宙環境利用等を進めていく方針であったことがわかる。

この10年後の1989年(平成元年)の宇宙開発政策大綱では、有人宇宙技術に関する記述は以下のとおりである。これは、その後の我が国における有人宇宙活動の方針の基本的考え方となっている。

- スペースシャトルを利用した宇宙実験計画への参加等を通じて、有人宇宙活動に必要な基盤技術の修得・開発に努める。
- 国際宇宙ステーション計画に参加し、JEMを開発するとともに、その運用・利用に必要なシステムを整備し、観測、宇宙環境利用実験等を実施することを通じて、有人宇宙活動に必要な基盤技術の修得・開発に努める。
- 宇宙医学面における研究、搭乗員の選抜、訓練、健康管理等のための技術の開発等を進めるとともに、搭乗員養成訓練システムの整備を進める。

宇宙ステーションに係る有人宇宙技術に関しては、1986年(昭和61年)11月、宇宙開発委員会の宇宙基地特別部会にライフサポートワーキンググループが設置され、宇宙基地における我が国の有人宇宙活動やライフサポート技術、宇宙医学に関することが検討された。

これら国レベルでの有人宇宙活動に係る動向を踏まえ、当時の宇宙開発事業団(NASDA)では、理事長の諮問委員会として「有人サポート委員会」が1986年12月に設置された。1987年3月に第1回会合が開催され、理事長より以下の事項の調査審議の諮問が行われた。

- 宇宙ステーション等に搭乗する者の選抜、訓練及び健康管理に関する事項
- 環境制御、生命維持等のライフサポート技術に関する事項
- 人間・機械系に関する事項
- これらに係る地上施設及び設備の整備に関する事項

● その他有人サポート技術等に関する重要事項

この諮問に対する答申において、我が国の有人宇宙技術に関しては、以下のように段階的に進めるシナリオが策定された。

- ① 第1ステップ:スペースシャトル利用フェーズ。FMPT(第一次材料実験), IML(国際微小重力実験室)計画において、NASA 技術等の修得を図りつつ、我が国最初の搭乗科学技術者(PS)としての宇宙飛行に関する経験、技術の蓄積を図る。
- ② 第2ステップ:JEM 開発・運用・利用準備フェーズ(JEM の軌道上検証まで)。国際宇宙ステーション計画参加によって、JEM 開発・運用及び日本人搭乗員運用に必要な有人技術を開発するとともに、経験を蓄積する。
- ③ 第3ステップ:JEM 等の運用・利用による独自の有人要素技術の開発フェーズ。JEM 等の運用・利用、日本のデータ中継衛星による有人運用管制ネットワーク構築、H-II ロケットによる宇宙ステーションへの補給、有人施設へのランデブドッキング等に関する技術を開発する。
- ④ 第4ステップ:日本独自の有人活動システムの開発フェーズ。

また、宇宙飛行士の養成訓練設備整備計画、健康管理計画、倫理委員会の設置などについて、具体的な答申が行われた。

これらに照らし、現在までに我が国は第3ステップまでを着実に進めてきていると言え、今後の第4ステップに向け様々な検討を進めている段階であると考えられる。

以下、こうした方針を踏まえて、実際に実行された計画について具体的に述べる。

(2) スペースシャトル利用時代 -1980年代から1990年代前半まで-

有人宇宙活動を支える「有人宇宙技術」は、人間を宇宙空間へ輸送し、宇宙空間で滞在・活動させ、再び安全に地球に帰還させる一連の技術である。我が国の有人宇宙技術の開発は、人を宇宙に送って戻す有人輸送から出発したロシアや米国と異なり、宇宙での滞在、活動に必要な技術の修得、経験の蓄積から始まった。

すなわち、国際協力に基づき、スペースシャトルミッションにおいて、短期(1~2週間)の宇宙実験ミッションへの搭乗を実施した。最初に、1992年の第一次材料実験「ふわっと'92」に毛利宇宙飛行士が搭乗科学技術者(ペイロードスペシャリスト)として搭乗した。ふわっと'92では、スペースシャトルにおける各種宇宙実験の実施とともに、宇宙での滞在の様子や無重量(微小重力)という興味深い環境について、日本人が直接宇宙から伝えることができ、日本人にとって宇宙飛行士という職業や有人宇宙活動がより身近なものとなった。

次に、1994年のスペースシャトルを用いた第2次国際微小重力実験室(IML-2)に向井宇宙飛行士がペイロードスペシャリストとして、また日本人女性として初めてスペースシャトルに搭乗し、約2週間にわたり様々な宇宙実験を実施した。

これらの活動に至った具体的な政策として、1978年3月の「宇宙開発政策大綱」に小型ロケット、スペースシャトル、国産人工衛星を用いた材料実験やライフサイエンス実験、有人サポート技術の遂行方針が掲げられた。さらに1979年6月、宇宙開発委員会第2部会報告「スペースシャトルの利用の推進に向けて」においてFMPTのための日本人ペイロードスペシャリストの養成・選抜方針が設定された。

当時の宇宙開発事業団(NASDA)(現在のJAXA)は、これらに基づき、実験装置の開発や運用の他、搭乗員(ペイロードスペシャリスト)の選抜や訓練、健康管理等を実施し、有人宇宙環境利用の貴重な経験を蓄積してきた。特に、NASDAではそれまで人工衛星やロケットの開発、打

上げ・運用等の経験はあったが、宇宙飛行士を対象とした選抜や訓練、及び宇宙飛行士の健康管理についても、NASDA が責任を持って実施することとなった。このため、宇宙飛行士の健康管理を行う航空宇宙医師(フライトサーजन)の採用・養成など、これまでの NASDA にない、新たな業務分野・体制を整備が必要となった。

一方、有人宇宙技術の観点では、有人輸送機や有人宇宙滞在・活動に必要なインフラは全て米国のものを利用してきた。スペースシャトル利用時代は、政策文書のタイトルからも明らかなように、宇宙環境の利用に重点が置かれ、有人活動に関しては、明確な目標は設定されていなかったが、副次的に宇宙飛行士の養成や我が国の有人活動経験の蓄積が図られた。

### (3) 国際宇宙ステーション時代 -1980 年代後半から現在まで-

我が国が明確に有人宇宙技術の蓄積を目的として掲げたのは、国際宇宙ステーション (ISS) 計画参加以降である。1988 年に ISS 計画に関する最初(ロシア参加前)の政府間協定 (IGA) が署名され、1989 年に了解覚書 (MOU) が署名された。これらには、日本が ISS に搭乗員を提供する権利を有すること、及び日本人搭乗員が JEM の軌道上組立てと検証に参加することが明示された。1991 年 6 月、宇宙開発委員会宇宙ステーション部会により「日本人宇宙飛行士の養成について」がとりまとめられた。

これらにより、JEM の組立てミッションに参加し、また ISS に長期滞在する日本人搭乗員の養成が必要となった。さらに有人宇宙技術を蓄積するために、NASDA において、1991 年 7 月より、スペースシャトルの運用等に携わる資格となる搭乗運用技術者(ミッションスペシャリスト)の募集を開始した。表 4-2 に、「日本人宇宙飛行士の養成について」で記述された宇宙飛行士の種類と役割を示す。

1996 年に、初めての日本人ミッションスペシャリストとして若田宇宙飛行士がスペースシャトルに搭乗した。その後もスペースシャトルへの搭乗を通じて、日本人宇宙飛行士によりロボットアームの操作、船外活動、ISS 組立等の経験を蓄積し、日本人搭乗員養成の観点で着実に成果を挙げた。

ISS 計画において、我が国は船内の実験室、船外の曝露環境、ロボットアーム等を備えた日本の実験棟 (JEM。愛称「きぼう」) をもって参加し、我が国初の本格的な有人宇宙活動に必要な基盤技術の習得を目的として、JEM の開発等を進めてきた。また、我が国初の有人システムの運用を確実に実施するための JEM 運用システム、訓練システム、運用準備(運用管制員の養成等)等を進め、現在の着実な JEM システム運用に繋げている。

現在、JEM や HTV の開発が完了し、順調に軌道上検証・運用や技術実証を実施していることで、我が国の有人宇宙技術のポテンシャルについて国内外にアピールできた。

表 4-2 宇宙飛行士の種類と役割

名称	英文名称	役割
宇宙ステーション 指揮官	Station Commander (SC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>軌道上搭乗員の安全とステーション本体の保全に対する最終責任</li> <li>軌道上搭乗員に影響する、安全性、規律に関する方針の実施指揮</li> <li>軌道上搭乗員活動の調整</li> </ul>
宇宙ステーション 運用飛行士	Station Operator (SO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙ステーション本体のシステム操作、維持、改修</li> <li>ランデブー、近接操作、マニピュレータ操作、船外活動</li> <li>実験・観測等ペイロード操作の支援</li> </ul>
宇宙ステーション 科学飛行士	Station Scientist (SS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験・観測等ペイロードの操作、保守、改修</li> <li>ランデブー、近接操作、マニピュレータ操作、船外活動</li> <li>宇宙ステーション本体のシステムのモニターと操作</li> </ul>
宇宙ステーション 特定宇宙飛行士	Payload Scientist (S-PS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>特殊のペイロード操作、保守、改修</li> <li>ペイロード運用に係る安全性に影響しないシステムの操作</li> </ul>
スペースシャトル 搭乗運用技術者	Mission Specialist (MS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>シャトルのシステムの運用、ペイロードの操作支援</li> <li>船外活動の実施、マニピュレータの操作</li> </ul>
スペースシャトル 搭乗科学技術者	Payload Specialist (PS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ペイロードの操作、保守、改修</li> <li>実験データの収集、解析、記録</li> </ul>

(平成 3 年 6 月、宇宙開発委員会宇宙ステーション部会「日本人宇宙飛行士の養成について」より抜粋)

## 4. 2 成果

### 4. 2. 1 習得した有人宇宙技術

有人宇宙技術は、広範で複雑な宇宙のシステム技術、その統合化や支援等の技術の集大成である。図 4-1 は、「きぼう」や HTV の開発・運用を通じて我が国が修得した有人宇宙技術について、有人宇宙技術を構成する各技術(テクノロジー)と、大規模システムを統合・管理するためのエンジニアリングの観点で体系化したものである。以下、各項目の概要を述べる。なお、「きぼう」の開発等に関する技術の詳細については、5章で詳述する。

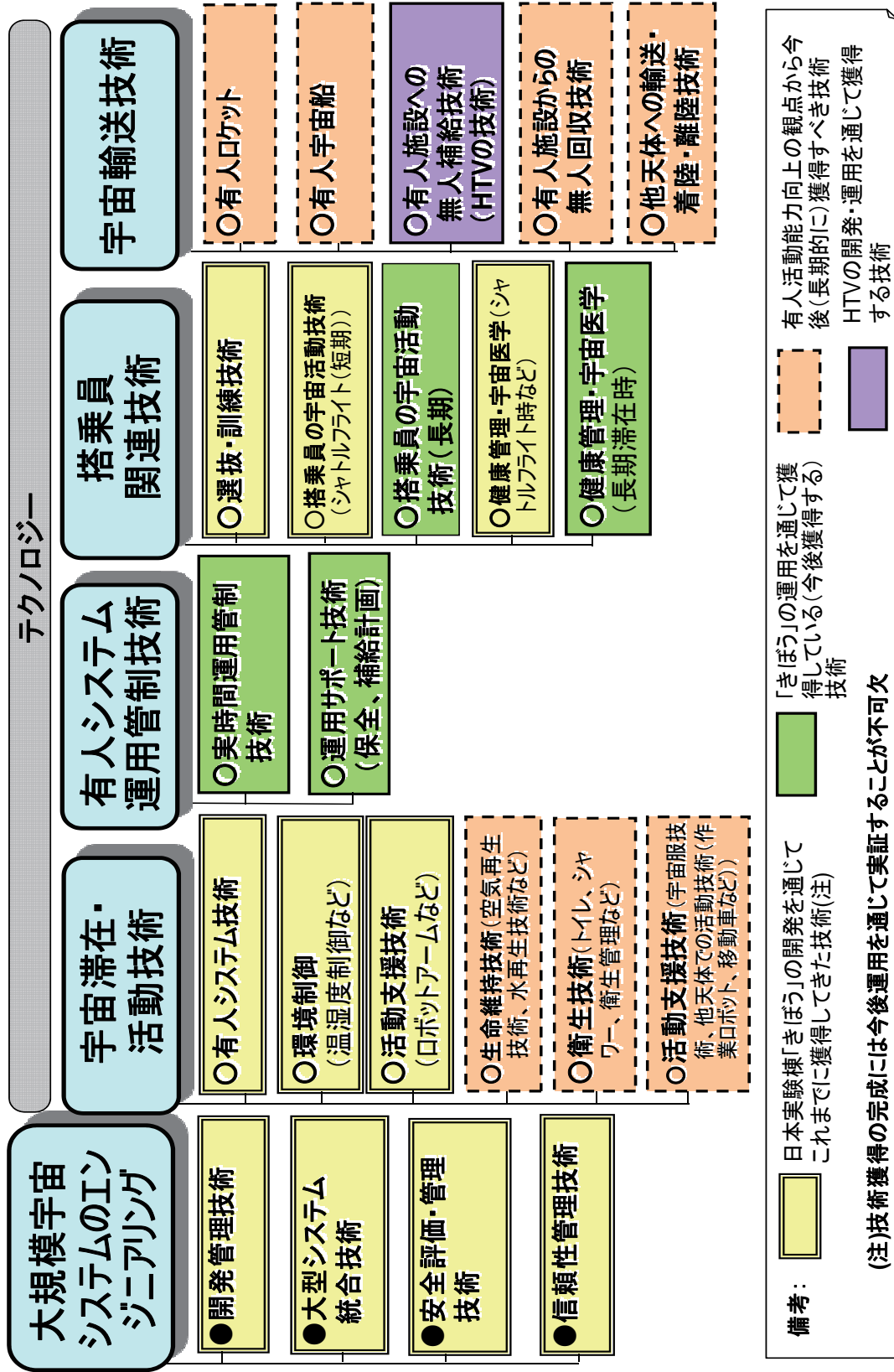


図 4-1 ISS 計画等参加により我が国が獲得した有人宇宙技術

### (1) 大規模宇宙システムエンジニアリング

人工衛星やロケットなどの宇宙機は大規模な統合化システムであり、中でも有人システムはより高い安全・信頼性確保のために特に大規模システムとなる。例えば、自動車の部品点数は約3万点と言われるが、H-IIA ロケットや大型衛星(ETS-VIII「きく8号」)では約30万点である。HTVの部品点数は約80万点となり、有人軌道上システムとしての「きぼう」では約200万点となる。また、開発には国内の数百社が関わり、軌道上でISSの他国の要素と結合するため、開発管理やインタフェース調整が不可欠となる(図4-2)。

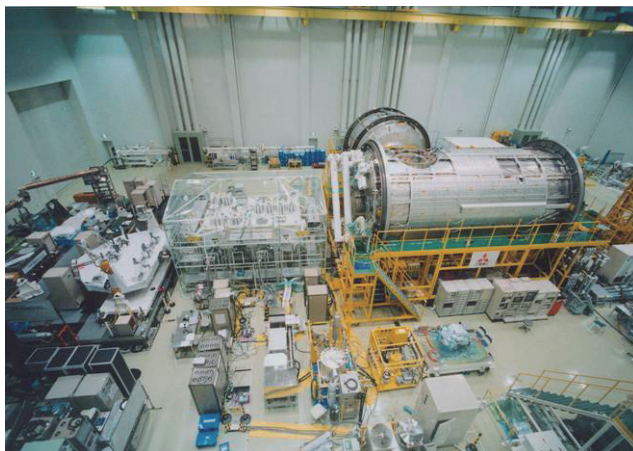


図4-2 「きぼう」全体システム試験  
(2001年9月～2002年6月)

このような大規模宇宙システムを技術、安全・信頼性、コスト、スケジュール等を管理しつつ着実に開発を進めるため、以下のような技術が必要である。

- 開発管理技術: 有人宇宙システムの要求、基準、仕様、審査(国内、国際)等に即した開発管理
  - 大型システム統合技術: 多数の大規模システムの統合化や他国の要素との結合のためのインタフェース管理、国際的な文書・変更管理手続き等。
  - 安全評価・管理技術: 二重故障でも搭乗員の致命傷は起こさないような、システムに潜在する危険要因の識別、除去、制御など、設計から運用まで安全性をより厳密に管理・評価する技術
  - 信頼性管理技術: ソフトウェアの独立検証、使用する部品・材料、工程等の管理技術
- 特に、有人安全・信頼性技術は、それまでのNASDAの無人の人工衛星の開発経験にない、新たな技術分野であった。なお、JEMの安全性の考え方は、日米共同技術文書(Joint Program Definition and Requirement Document)に準拠して作成したJEM安全・開発保証要求書(NASDA-ESPC-1088)に規定されている。

### (2) 有人宇宙システム技術

軌道上で搭乗員が滞在・活動するための「きぼう」等の開発における中心的な技術である。宇宙システムにおけるマン・マシンインタフェースの考え方の導入や、有人の安全性・信頼性に関する国際的な基準に対する実現方法を学んだ。

- 有人システム技術
  - 有人システムに対する厳しい設計要求を実現する技術であり、危機の故障や誤操作でも搭乗員の安全を確保する有人安全設計、搭乗員が操作することを考慮した人間工学・ヒューマンファクター、使い勝手の考慮、騒音抑制等。有人システムならではの軌道上での交換や修理を可能とする設計等)
  - 人間が船内で活動でき、高度な実験等を実施するための各種機能を実現する技

術(1 気圧を保つ構造、各種機能・リソースの提供(通信・制御、電力・ガス、熱制御(冷却水循環等))

- 環境制御技術: 船内空間の温室度制御、空気循環、火災検知・消火等の機能を実現する技術。なお、ISS において空気再生等の生命維持技術、トイレ等の衛生技術は、米国・ロシアが提供しているため、「きぼう」の開発においては未獲得である。
- 活動支援技術: 軌道上での高度な宇宙活動を実現するとともに、広範囲な宇宙技術を獲得するため、「きぼう」専用の機能として、船外の機器を設置・交換するためのロボットアーム、船外と船内の間の機器等の出し入れを行うためのエアロック、船内実験室と船外実験プラットフォーム間の結合機構等を開発した。なお、宇宙飛行士の船外活動に必要な宇宙服等の技術は未獲得である。

(人間工学技術について)

我が国では、これまで独自の有人宇宙活動経験がなかったため、この分野において豊富な経験を有する米国の開発手法を取り入れながら研究を進めてきた。JEM が接続する宇宙ステーションは、米国の宇宙人間工学的な設計標準(NASA-STD-3000)に基づく設計がなされている。このため、JEM においてもこの設計標準における要求に基づく設計が行われている。NASA-STD-3000 には、各機器の寸法、形状などの定量的な要求、ある作業が可能かどうか等の定性的な要求が記述されている。

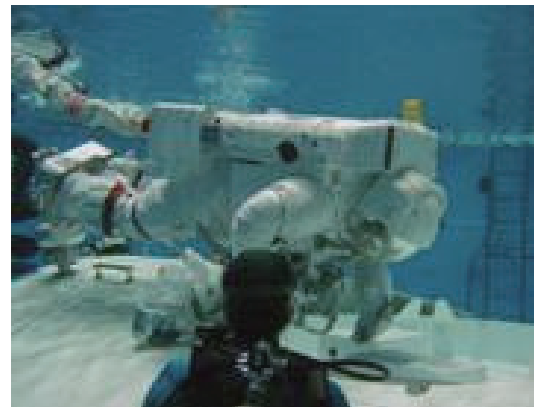


図 4-3 水槽内での無重量環境模擬試験  
(筑波宇宙センター無重量環境試験棟)

クルーインタフェースの検証として、定量的な要求に対しては図面などの検査で検証し、定性的な要求に関しては、無重量環境を模擬した水槽中での試験(図 4-3)、モックアップによるデモンストレーション、宇宙飛行士による操作性の評価等が行われる。

### (3) 運用管制技術

ISS では、自国の提供要素(日本は「きぼう」と HTV)を自ら運用することとなっており、日本は筑波宇宙センターにおいて24時間×365日、「きぼう」の監視・制御等の運用を実施している(図 4-4)。

一方、ヒューストンのジョンソン宇宙センターにある NASA のミッション管制センターは、米国要素の運用とともに、ISS 全体として統合した運用を実施する機能を有している。したがって、きぼうの運用管制にあたっては、米国等との調整が不可欠であり、日本の要素であっても、共通言語として英語による運用を行っている。

- 実時間運用管制技術: 有人宇宙システムを長期間、異常時・緊急時を含め安全・確実に運用する技術。様々な異常時等の対応手順の作成やシミュレーション訓練、実運用を通じて習熟を図るとともに、ISS 搭乗員、及び ISS 各要素の世界中の運用管制センター間での連携した運用体制を構築している。
- 運用サポート技術: トラブル発生時の解析や対処法の検討、手順の作成等。10 年以上に亘り「きぼう」の機能を維持するための保全、点検、交換、修理、効率的な予備品の整備・打上げ実施等の運用技術。



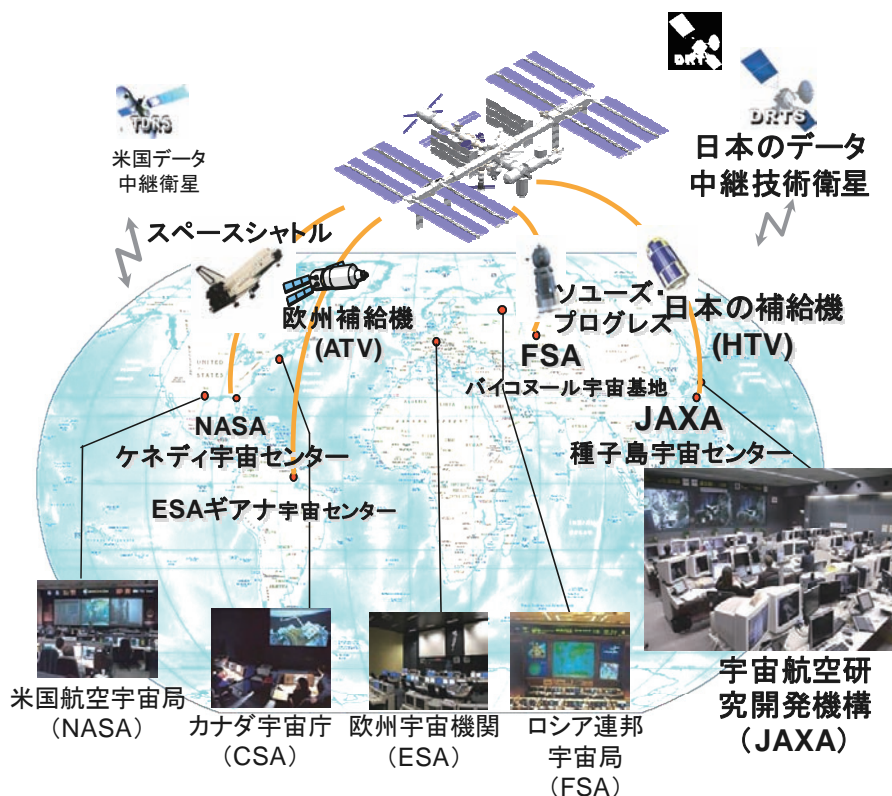


図 4-4 世界の宇宙機関による ISS の運用

#### (4) 搭乗員関連技術

スペースシャトル利用時代(ペイロードスペシャリストとしての日本人宇宙飛行士の活動)から日本が蓄積してきた技術であり、以下のように分類できる。

- **選抜・訓練技術:**これまでに 11 名の日本人宇宙飛行士候補者を選抜。選抜された飛行士は国際的にも高い評価を得ている。日本人ミッションスペシャリストについては NASA に派遣し訓練を受けてきたが、ISS 計画では、要素を提供した機関が訓練を実施することとなっており、日本のインストラクタが各国の ISS 搭乗員に対して「きぼう」システムや実験装置等の操作訓練を実施している。
- **宇宙活動技術(短期)(2 週間程度):**これまで、6 名の日本人宇宙飛行士が計 10 回のスペースシャトルによる飛行を行い(長期滞在時の往復のシャトル搭乗を除く)、各種宇宙実験、ロボットアームの操作、船外活動、ISS の組立等を実施。
- **宇宙活動技術(長期)(3~6 ヶ月程度):**1 名の日本人宇宙飛行士が ISS で約 4 ヶ月間の長期滞在を実施し ISS・「きぼう」での各種宇宙実験やシステムの運用、医学実験等を実施。
- **健康管理・宇宙医学(短期):**スペースシャトル搭乗時とその前後の宇宙飛行士の健康管理、医学データ取得・蓄積等を実施。
- **健康管理・宇宙医学(長期):**ISS での長期滞在時とその前後の宇宙飛行士の健康管理(精神・心理サポートを含む)、医学データ取得・蓄積等を実施。長期滞在に向けた地上での宇宙医学研究を実施。

これらの選抜・訓練、宇宙医学研究のために、有人サポート委員会の答申に基づき、以下のような施設を筑波宇宙センターの宇宙飛行士養成棟に整備した。

- ◇ 閉鎖環境適応訓練設備:ISS の閉鎖環境、異文化環境などを模擬する設備であり、宇宙飛行士が受ける精神的、心理的なストレスを事前に評価するため、またその対策法の研究・開発を行う。
- ◇ 低圧環境適応訓練設備:航空機あるいは ISS など緊急事態として発生する可能性のある低圧環境を模擬する設備であり、宇宙飛行士に低圧環境を体験させると共に安全確保のための対処手順を修得させる。
- ◇ 健康管理設備:宇宙飛行士の選抜・訓練・健康管理を行うための、診察室、X線検査室、生理検査室、耳鼻咽喉機能検査室、視機能検査室、脳波測定室、口腔検査室、救急処置室および体力機能検査室などを宇宙飛行士養成棟内に設置。

NASDA/JAXA では、宇宙飛行士の養成とともに、医学的な専門知識に基づき宇宙飛行士の飛行前・中・後の健康管理を行う健康管理医師(フライトサーजन)についても養成を進めてきている。

また、長期宇宙滞在に対処するノウハウや健康管理の具体的方法について経験を有するロシア生物医学問題研究所(IBMР)から、人材交流、長期宇宙滞在の人体に与える影響に関する技術調査(契約に基づく報告書作成)など、以下のような活動を通じて知見を修得してきた。

- ◇ ロシア宇宙医学者の招聘(1994年)
- ◇ 長期宇宙滞在が人体に与える影響に関するロシアの技術調査
  - 筋肉、骨、電解質代謝、心循環器系、放射線被曝、精神心理
- ◇ 長期ベッドレスト実験(1996-1997年; 120日間)
  - 循環器系、骨・Ca系、筋肉系
- ◇ ロシア長期閉鎖実験への参加(1999-2000年; 最長240日間)
  - 精神・心理実験、高精細度TV医学実験

## (5) 宇宙輸送技術

ISSで搭乗員が滞在し活動するためには、宇宙飛行士自身の輸送の他、水や食料、酸素・窒素等のガス、衣類等の人間の滞在・生活に必要な物資を地上から補給する必要がある。実験に必要な機器・試料やISSシステムの保全等に必要な機器等と合わせると、毎年数十トンの補給量となり、ISSへの輸送機を有する米、露、欧、日が分担してこれらの輸送を担うことになっている。我が国は、有人輸送機(有人ロケットと有人宇宙船)は持っていないが、HTVにより物資補給の面で貢献を果たしている。HTVにより、宇宙輸送技術に係る以下の技術を獲得した(図4-5)。

### ● 有人施設(ISS)への無人補給技術

- ① 有人施設への無人宇宙機による接近技術(万が一の衝突等を避けるための高い安全性が要求されるが、HTVでは日本が独自開発したランデブ飛行技術により実現)
- ② 無人補給機であるものの、ISSへの結合後、搭乗員がHTVの船内に入って作業を行う有人仕様での与圧物資補給技術
- ③ HTV独自の曝露パレットにより曝露ペイロード等をISS/「きぼう」船外実験プラットフォーム

フォームに輸送する技術

- ④ ISS ロボットアームによる、ISS に接近してきた HTV の把持や曝露パレットの抜き出し、挿入等の複雑な運用を軌道上 ISS と HTV 飛行運用管制員(つくば)、ISS 地上運用管制員(ヒューストン他)との連携により実現した統合運用技術
- ⑤ HTV の投入軌道(高度約 200km×300km)から ISS 軌道(約 350km~460km)への自律的な軌道間輸送技術

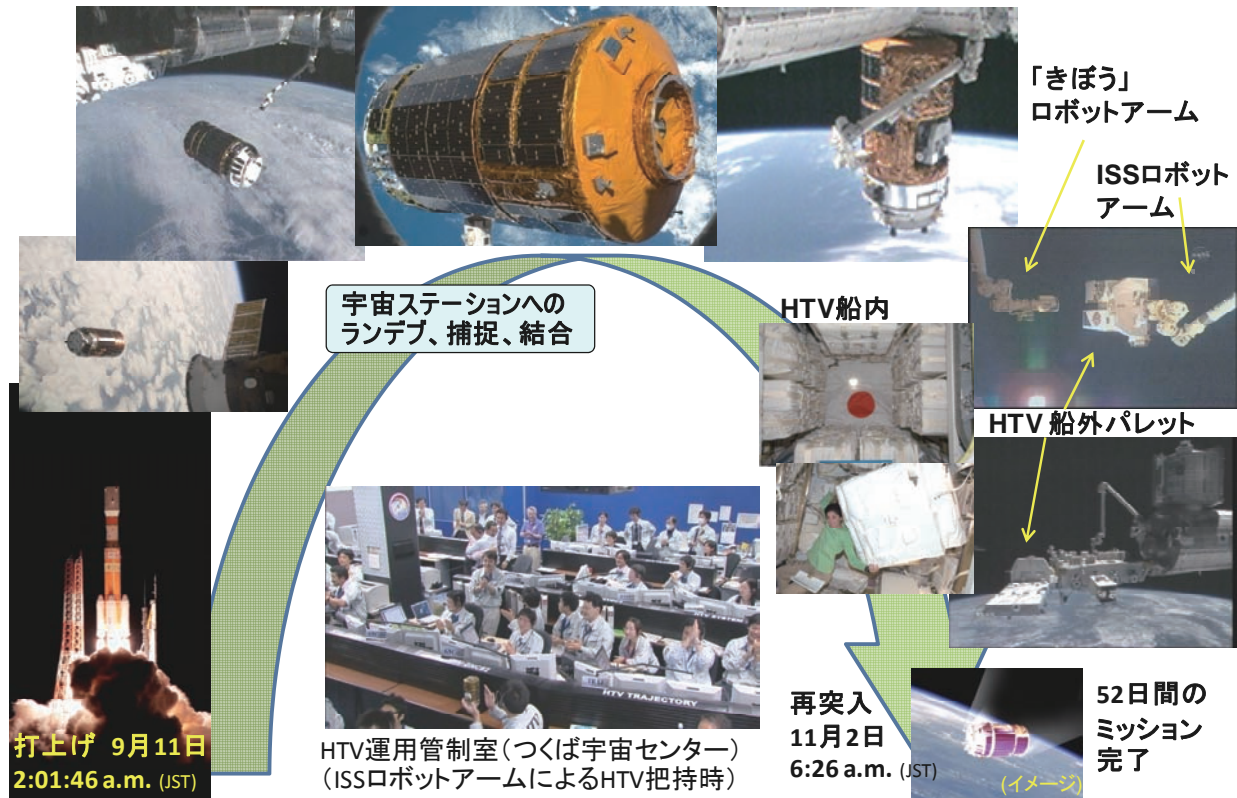


図 4-5 HTV 技術実証ミッション

#### 4. 2. 2 人材育成や国際社会における成果

上記の有人宇宙技術の他にも、日本人宇宙飛行士による有人宇宙活動や、国際協力としての ISS 計画への参加により、以下のような成果につながった。

- 「きぼう」や HTV による我が国の優れた技術の実証や海外からの高い評価による、宇宙先進国としての国際的地位の獲得
- 宇宙分野の国際社会で各国と対等に交渉、調整ができるエンジニアの輩出(人材育成)
- 宇宙で活躍する優秀な日本人宇宙飛行士の輩出。スペースシャトルや ISS での科学実験やロボットアームの運用、船外活動等の日本人宇宙飛行士の宇宙での活躍は研究者や NASA 等から高く評価されている。
- 日本人の日本の技術による宇宙でのチャレンジによる、技術立国としての国民の自信や矜持の醸成

- 宇宙飛行士による宇宙授業や教育用素材の提供、地上とは異なる微小重力環境での物理現象等を通じた子どもたちへの科学への関心の喚起
- 日本人宇宙飛行士等の活躍による、国民、特に若い世代の夢や希望の醸成

#### 4.3 経験と教訓

ISS 計画を通じて得られた経験や教訓等を、次代の有人活動に活かす観点から以下にまとめる。

##### (1) 緊密な国際間協力関係確立の重要性

ISS 計画は、宇宙という人類のフロンティアにおける、人類史上最大の国際的な科学技術協力プログラムである。地球及び人類の持続的発展と繁栄のために、今後も困難を乗り越え国境を越えた協力を探求し続ける必要があると考えられるが、ISS 計画の実現は、将来、20～21 世紀における国際協力の成果として歴史上認知されるべきものである。

ISS 計画の推進にあたって多くの困難に直面したが、その都度、国際パートナーと技術レベルからプログラムレベルまでの様々な階層で問題を議論し、相互に技術的に補完しあう等の協力関係を築くことで乗り越えてきた。その過程では、異なる技術思想、技術能力、文化及び伝統に立脚する各国際パートナーが、お互いの共通理解が得られるまで徹底的に議論し解決策を得てきた。ISS 計画のように大規模な国際プログラムを安定的に管理し、進めていくためには、国際間での共通認識の形成が最も重要な要素であるという教訓を得た。

##### (2) 継続的な国民・国の支援のための早期・段階的成果創出

ISS 計画においては、「きぼう」の打上げの遅れにより、利用成果創出や宇宙飛行士の長期滞在開始が大幅に遅れ、1987 年の投資開始から国民への成果提示までに 20 年以上の年月がかかった。結果として、ISS 計画に対する一般国民からの支持や理解が一時的に低下したことは否めない。

今後の大規模な宇宙活動では、国際パートナーの貢献や投資に対する成果の還元が可能な限り早期に達成され、国民に明示的に示すことができるプログラムの構築が望まれる。

##### (3) プログラム維持のための適切な自律性と相互依存性

ISS 計画において、日本は有人輸送、提供要素(きぼう)の打上げ、軌道上での電力供給や生命維持機能等のクリティカルな部分については、有人先進国に依存したが、実験棟や補給機の開発に専念したことで、効率的に有人宇宙プログラムへの門戸を開くことができた。

また、米国だけに輸送を依存する可能があった初期(ロシア参加前)のISS 計画に対し、ロシアの計画参加により有人輸送系でのバックアップシステムが構築された。HTV 及び欧州の補給機(ATV)の開発が行われたことで、物資輸送系での独立したバックアップシステムが構築され、計画推進の面で飛躍的に安定性を増した。また、クリティカルな電力、熱制御、生命維持等の機能について適切な冗長性を持たせることにより、ISS の安定した運用が可能となっている。これらの成功体験は今後のプログラムに引き継がれるべき大きな教訓である。

一方、その依存性の強さによる「きぼう」打上げの遅れや計画見直し等による大幅なインタフェースの変更など負の影響もあった。ISS 組立て用の代替打上機が無かったため、スペースシャトルの事故や技術上の問題が ISS 組立てスケジュールの遅延に影響を与えた。また、ISS は一つに統合された効率的なシステムである反面、その相互依存性により、システム構築の柔

軟性に難があった(組立順序・完成形態の大きな変更が困難であった)

将来の国際協力プログラムにおいては、各国の自律性の点で相互依存性は低くすべきであるが、自律性と効率性のバランスを勘案しつつ適切なレベルの相互依存性を持たせることが重要と考えられる。

#### (4) マネージメント

ISS 計画では、米国のリーダーシップにより効率的にプログラムのインテグレーションが推し進められた。また、枠組みの観点からは、条約レベルの国際間協定(IGA)や了解覚書(MOU)があり、これによりプログラムが長期間に亘ったにも関わらず各国政府から支援され、プログラムの安定性に大きく寄与した。

ISS 計画において、国際パートナー間で共通的な経費を分担するために、他国と現金のやりとりをするのではなく、自国で調達した宇宙輸送サービスや物品を提供することで分担責任を果たしている。この仕組みは、各国の宇宙産業の発展や、国際協力プログラムに対する国内での支持の確保につながるよい方法と考えられる。

#### (5) 広報活動の活用

ISS 計画では、広報活動が一般国民による理解や支援を得ることに重要な役割を果たしている。中でも自国の宇宙飛行士が宇宙空間から直接母国語で自国民に語りかけることは、特に大きなインパクトと感動を与えていると思われる。

将来の宇宙探査等のプログラムにおいても、国民の理解と支援を得るための広報活動や情報発信は重要と考えられる。

### 4.4 今後の有人宇宙活動の展開

これまでの日本の有人宇宙活動は、実質的に ISS 計画への参加に限定されており、我が国独自の有人ロケットや有人宇宙船の開発について、国レベルでの具体的な検討はなされてこなかった。一方、2009年6月に政府の宇宙開発戦略本部で決定された宇宙基本計画では、「将来的に月面有人活動も視野に入れた、日本らしい本格的かつ長期的な月探査の検討を進めること」、あるいは「ISS を通じた活動による成果を活かし、有人宇宙活動を行う能力の向上に向けた取組を段階的に進めることが必要」などの方向性が示されている。これにより、現在、有人を視野に入れた月探査について、宇宙開発担当大臣の下、懇談会が設置され検討されてきた。我が国が独自の有人輸送技術を持つべきか等の観点を含め議論できる土壌が整ってきたところと考えられる。

今後、これらの議論を踏まえ、有人宇宙船や軌道間輸送機への発展性を有する HTV、及び ISS で最大規模の実験棟「きぼう」の開発・運用・利用を通じて獲得・蓄積してきた有人宇宙技術を基に、我が国として新たな有人宇宙活動を展開していくことが期待される。

### 4.5 まとめ

我が国は、1980年代初期以降、現在までの約30年に亘り、JAXA(当時NASDA)における従来のロケットや人工衛星の開発・運用で培った技術を基盤として、以下のステップで有人宇宙技術を獲得・蓄積してきた。

- スペースシャトルにおける短期(2週間程度)の搭乗により宇宙実験やロボットアーム操作、船外活動などの経験を蓄積し、搭乗員関連技術を獲得。
- ISS 計画において、長期間(10年以上)運用可能な軌道上有人施設である「きぼう」の開発・運用、日本人宇宙飛行士による長期宇宙滞在を通じ、大規模宇宙システムのエンジニアリング(開発・安全性・信頼性等管理)、宇宙滞在・活動技術、有人運用・管制技術、及び長期滞在に係る搭乗員関連技術を獲得。我が国初の恒久的有人有人宇宙施設を手に入れた。
- さらに、HTV の開発・運用により、有人施設への補給技術を獲得。これにより、有人宇宙施設への自前の補給手段を確立した。特に、HTV 用に開発した ISS の近傍で使用する近傍通信システム(PROX)は、米国企業による ISS への商業輸送サービス(オービタル・サイエンス社による補給機「シグナス」)でも使用される予定であり、ISS 計画の一環として日本が開発した宇宙技術を米国が使用することとなる。

こうしたステップは、有人飛行から出発した米国・ロシアとは異なるが、国際協力による ISS 計画に参加することで、効率的に上記の有人宇宙技術を獲得できたと考えられる。また、ISS 計画参加初期は米国の基準・標準等の習得からスタートしたが、「きぼう」や HTV の開発、実証を通じ、米国企業が HTV 用に開発した機器を購入し、機能を使用するまで至ったことは、我が国の ISS 計画による技術が評価された結果と言える。

有人宇宙技術に限らず、技術は、一旦中断すると容易に縮退してしまう。30年に亘り獲得・蓄積してきた我が国の有人宇宙技術について、引き続き ISS 計画を通じて蓄積・発展していくとともに、ISS に続く新たな有人宇宙活動の場への活用が期待される。

## 第5章 日本の宇宙実験システム JEM の技術開発 [ I ]

### —有人宇宙システム技術(与圧系)の開発と将来展望—

## 目次

5.1	まえがきー開発仕様が決まるまでの経緯.....	5-3
5.2	与圧系の機能概要 .....	5-5
5.2.1	与圧部(船内実験室) .....	5-5
5.2.2	補給部与圧区(船内保管室) .....	5-7
5.2.3	マニピュレータ(ロボットアーム) .....	5-7
5.3	与圧系モジュールの開発経緯.....	5-8
5.3.1	モックアップ .....	5-8
5.3.2	艙装設計確認用モデル .....	5-8
5.3.3	エンジニアリングモデル.....	5-9
5.3.4	EVA 試験モデル.....	5-9
5.3.5	認定試験モデル .....	5-10
5.4	獲得された有人宇宙技術 .....	5-10
5.4.1	有人宇宙技術の体系.....	5-10
5.4.2	有人宇宙技術の獲得状況.....	5-12
5.4.3	有人宇宙技術獲得に対する今後の方向性 .....	5-15
5.5	あとがきー将来への展望 .....	5-16
5.5.1	搭乗員の安全.....	5-17
5.5.2	開発費用 .....	5-18
5.5.3	システム要求 .....	5-18
5.5.4	発展性.....	5-19
5.5.5	自立性.....	5-19
5.5.6	有人宇宙システム設計技術に関する戦略.....	5-19
5.5.7	将来の国際協同作業について.....	5-20



### 5.1 まえがき一開発仕様が決まるまでの経緯

1981(昭和56年)4月のスペースシャトル初飛行成功とともに、NASAは次期大型プロジェクトの最優先項目として宇宙ステーション計画を前面に押し出し、翌年には概念設計を開始した。同時に我が国に対しても参加要請があり、NASDA(現JAXA)を中心として宇宙関連企業からの技術者を集めた検討チームを作り、参加に関わる技術検討を開始した。

その後1984(昭和59年)1月のレーガン大統領の年頭一般教書にて、10年内の有人宇宙基地の建設をNASAに指示するとともに、友好国に参加/協力を呼びかけた。それに従い、1985(昭和60年)4月に宇宙開発委員会は、与圧部・曝露部・補給部から構成される「多目的な取付型実験モジュール」の概念、すなわちISS本体とのクリーンインタフェース(簡素なインタフェース)で開発することとして、宇宙ステーション計画への参加構想を発表し、予備設計が開始された。

その後、世界情勢の変遷やNASAに於ける開発予算の膨張による数度に亘る宇宙ステーション全体構想の見直しの影響を受けながら開発が進められた。

当初NASAは国際パートナーが開発する要素に対する技術要求を記述したガイドラインを提示し、「きぼう」に対する設計要求の調整を開始した。この調整で、「きぼう」の取付位置が最大の技術課題となり、さらに安全の観点からモジュールの出口が2つあること(Dual Egress)と安全避難(Safe Heaven)の適用が議論され、緊急時には搭乗員が補給部与圧区に避難することとして合意された。

その他に、電力仕様の共通化(NASAの20KHz交流案とESA/NASDAの直流案)、ネットワーク規格の違い(NASAのFDDIとNASDAのIEEE802.4)、熱制御系配管の配置と冷媒といったさまざまな困難な協議・調整がなされ、さらにNASAの開発コストオーバーによる全体コンフィギュレーションの大幅見直しが「きぼう」の開発仕様の決定に大きな影響を与えることになった。

その他「きぼう」開発構想からの変更は、炭酸ガス除去装置を削除してISS本体での集中除去に、独自のラジエータを削除してISS本体での集中排熱に、マニピュレータのハンドコントローラのシャトル方式との共通化、IBM製の多目的ワークステーションからラップトップへの変更、ラック内空冷方式から水冷方式へ等であり、さまざまな変更を経て現在の「きぼう」のコンフィギュレーションが定められた。

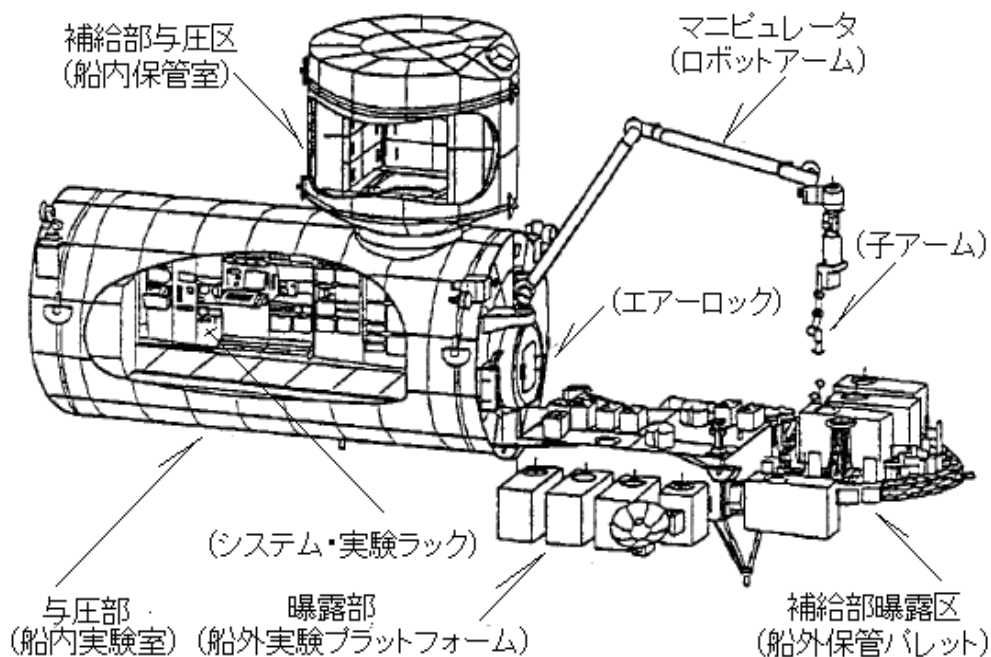
ロシアの参入によるISSの軌道傾斜角の変更(28.8 degから51.6 degへ)によるシャトルの打上げ能力低下対策として、NASAは外部タンク材料へのアルミリチウム合金の採用と固体ロケットブースターへの複合材適用を計画したが、シャトル改造予算削減による打上げ能力回復不可という事態に直面し、さらにフライト実機的设计途上で、地上レーダーでは発見困難な直径10 cmまでのデブリ(宇宙開発で生じた宇宙ごみ)との衝突により、例え与圧部壁に直径20 cmの穴が開いても爆発しない設計をというNASA提案を受け入れて、与圧構造壁厚の増大による重量増加対策として艀装設計の軽量化を行うとともに、「きぼう」の打上げをシャトル2便から3便とする打上げコンフィギュレーションの変更がなされた。なお直径10 cm以上のデブリに対しては、地上レーダーで見つけてISSの姿勢あるいは軌道を変えて回避する対策がとられる。

「きぼう」は、宇宙の微小重力(正確には重量)や真空環境を利用した微小重力実験・地球方向および天頂方向の視野を必要とする観測実験・理工学実験等を行うことができる「軌道上研究所」である。

我が国初の有人宇宙システムであるが、空調系でのマフラー性能の強化による静粛性は、他国のモジュールよりも搭乗員にとってより快適な空間になっており、誇れるものである。

「きぼう」は以下の各部(要素)から構成される。

- \* 与圧部(船内実験室) : 与圧系の構成品
- \* 曝露部(船外実験プラットフォーム) : 曝露系の構成品
- \* マニピュレータ(ロボットアーム) : 与圧系の構成品
- \* 補給部与圧区(船内保管室) : 与圧系の構成品
- \* 補給部曝露区(船外保管パレット) : 曝露系の構成品



これら各部はスペースシャトルにより打ち上げられて軌道上で組み立てられ、ISS(宇宙ステーションの正式名称 International Space Station の略称)に結合した後、10年から15年の間搭乗員活動や実験装置の運用を支援する。

本章では、与圧系の機能概要・与圧系モジュールの開発経緯・「きぼう」開発を通じて獲得された有人宇宙技術を説明し、最後に将来への戦略と展望を述べる。

5.2節「与圧系の機能概要」および5.4.1項「有人宇宙技術の体系」については本章の最後に示すJAXA内部資料を参考にさせて頂いた。

本節ならびに5.2節「与圧系の機能概要」および5.3節「与圧系モジュールの開発経緯」は、それに続く節を読み進めて頂く上で必要な基礎データを提供するものであり、著者の見解を含まない客観的事実である。

5.4.1項「有人宇宙技術の体系」は著者も参加した検討会等で整理されたものである。

5.4.2項「有人宇宙技術の獲得状況」、5.4.3項「有人宇宙技術獲得に対する今後の方向性」ならびに5.5節「あとがきー将来への展望」は客観性に配慮したが、あくまで著者の個人的見解を述べたものである。

## 5.2 与圧系の機能概要

### 5.2.1 与圧部(船内実験室)

与圧部は内径4.2 m(デブリとの衝突防護用バンパーを含めた外形4.4 m)、全長11.68 mの気密円筒構造で、マニピュレータを含む打上げ時の質量は13.9 ton、実験装置を除く軌道上での質量は15.7 tonである。米国モジュール Node2 に共通結合機構(CBM:Common Berthing Mechanism)で結合して運用することで、搭乗員が宇宙服等の特殊な服装環境ではなく、いわゆるシャツスリーブの状態での材料製造実験・ライフサイエンス実験等の実施が可能な設備である。

与圧部の基本レイアウトには、各国と設計を統一して4列のラックに機能品を搭載し、スタンドオフと称する配管/配線の共同溝で結合する様式が採用された。

与圧部内には最大23個のラックが取り付けられるが、その内12ヶ所が実験ラックに割り当てられている。残る11ヶ所には与圧部システム用の電力ラック A/B・情報管制ラック A/B・空調熱制御ラック A/B・ワークステーションラック・ロボットアーム制御ラック(含むバックアップ機器)・衛星間通信システムラックおよび保管庫ラック A/B を収納している。

与圧部の天頂側の側面には補給部与圧区を取り付ける能動型 CBM を備えている。また先端部にはマニピュレータ・曝露部を結合してリソースを供給する曝露部結合機構・曝露部からの排熱を収集する熱交換器・与圧部と曝露部間で機器を出し入れするエアロックならびに2個の外部展望用窓が取り付けられている。

与圧部外表面は、前述のように宇宙開発を通じて宇宙空間に撒き散らされたデブリと呼ばれる高速の微小物体との衝突から与圧壁を防護するバンパーで覆われ、さらにその内側は太陽輻射による加熱や宇宙空間への放射冷却を緩和するための断熱材で覆われている。

各実験装置は、実験ラックに組み込まれた形で搭載される。実験ラックと与圧部の結合やリソースインタフェースは各国の与圧モジュールと共通化されて、国際標準実験ラック(ISPR: International Standard Payload Rack)と称される。

#### (1) 電力系

米国モジュール Node2 の電圧変換装置(DDCU: DC/DC Converter Unit)を通じて直流120V/容量12.5KWまでの2系統の給電を受け、与圧部内システム機器・実験ラック・曝露部・マニピュレータおよび補給部に配電し、過電流遮断機能を備えている。

#### (2) 熱制御系

米国モジュール Node2 の中温と低温の2系統の熱交換器により、与圧部から中温で25 KW、低温で9 KWまでの排熱を行うことができる。

これに対応して与圧部内に中温と低温の水循環ループが2系統あり、与圧部内システム機器、実験ラックおよび曝露部で発生した熱を集熱して熱交換器により Node2 に返送する。緊急時に中温と低温のループをつないで1ループ構成での運用も可能である。フロリナートを冷媒とする冷却系統を持つ曝露部からの排熱は、与圧部後端に取り付けられている熱交換器を通じて与圧部に排熱される。

#### (3) 管制制御系

中央演算処理装置(JCP: JEM Central Processor)により、「きぼう」全体の管理・管制を行うもの

で、ローカルな制御装置・センサー・エフェクターが MIL-STD-1553B や RS-422 等の通信ラインで接続されて運用される。

#### (4) 通信およびデータ系

宇宙ステーション本体の米国モジュールの計算機と JCP の通信を通じて、地上からのコマンドを受けるとともに、地上へテレメトリデータを降ろす。また実験装置からの低速・中速(Ethernet)データ・高速データ・ビデオ・オーディオデータを地上にダウンリンクできる。

#### (5) 環境制御系

米国モジュール Node2 から酸素分圧／炭酸ガス分圧が制御された空気の供給を受け、与圧部および補給部与圧区内を強制循環し、これを Node2 へ返送する。空気循環用のダクト内の煙センサーにより火災検知を行っている。

空気の温湿度制御には熱制御系の低温水が用いられ、凝縮水は Node2 へ送られ、与圧部壁内面への結露防止には壁面に貼り付けられたヒーターが用いられる。

搭乗員の目等に危険な浮遊ゴミは空気流れとともに吸い込まれて、フィルターにより取り除かれる。

#### (6) オーディオおよびビデオ系

与圧部内には搭乗員が通話を行うために 2 台の音声端末(ATU: Audio Terminal Unit)が備えてある。また与圧部内に 2 台、補給部与圧区内に 1 台、与圧部外に 2 台、曝露部上に 2 台、コンピュータに 3 台のテレビカメラが作業モニター用として備えてあり、ペイロードのビデオデータとともに地上にダウンリンクされる。

#### (7) 実験支援系

与圧部内の実験装置に対して、アルゴン・ヘリウム・窒素・炭酸ガスといった実験用ガスの供給と実験装置内の真空排気を行う。

#### (8) 衛星間通信システム

「きぼう」から日本のデータ中継技術衛星を通じて、日本の地上局との間で双方向通信を実施するシステムであり、与圧部搭載機器(ICS-PM)とアンテナ部の曝露部搭載機器(ICS-EF)で構成される。(注)ICS: Inter-orbit Communication System

#### (9) HTV インタフェース機器

HTV(H-II Transfer Vehicle)が ISS に接近し、ランデブー飛行する時に必要とするインタフェース機器として、与圧部に、レーザーダリフレクタ・S バンドアンテナ・近傍通信システムおよび GPS(Global Positioning System)受信器を搭載する。

なお GPS アンテナは補給部与圧区の外表面に搭載されている。

#### (10) エアーロック

与圧部内外で機器を出し入れするためのもので、曝露部の実験試料や機器を与圧部内に持

ち込むことで搭乗員によるサービスを受けることができる。エアーロックは二重扉で仕切られた空間を加減圧する機能を有し、これによって機器の出し入れを可能にしている。

機器搬出時はエアーロック内空気の約 80 %を約 3 時間かけて回収することができ、通過機器はスライドテーブルに取り付けて移送されるが、受け渡しの失敗による機器の浮遊を防止するために 3 重の安全対策を施している。

#### (11) 搭乗員支援機器

搭乗員の作業支援器具として身体拘束具および移動補助具、その他に可搬型管制端末(ノートパソコン)・一般照明および点灯スイッチ・各種表示ラベル・警告警報パネル・非常用誘導灯・火災表示ランプ(LED)・可搬式消火器・非常用呼吸装置などを備えている。

#### 5. 2. 2 補給部与圧区(船内保管室)

補給部与圧区は、与圧部を短くした形状で長さ 4.17 m である。内部に搭載される貨物を除き補給部与圧区自体の質量は 4.1 ton、内部に搭載される貨物を含めた打ち上げ時の質量は 8.4 ton である。与圧環境下で、実験用試料・実験装置・システム補用品等の保管に使用するもので、8 個のラックが収納できる。

当初の目的の一つである輸送用コンテナとしての運用はシャトルの退役により取りやめることになり、代わりに地上からの打ち上げについては HTV が引き受けることになる。

補給部与圧区の外表面は与圧部と同様にバンパーと断熱材で覆われており、与圧部と結合するための受動型 CBM・補給部曝露区を仮置きするための結合機構および 5. 2. 1 項(9)HTV インタフェースに示す GPS アンテナが搭載されている。

内部に搭載されている装備は、内部でのラックの搬出入作業を行う搭乗員の作業環境維持に対応するものであり、空気循環ファン・温度制御用ヒーターとその制御装置・監視カメラ・内圧制御用のベントバルブおよび照明のみである。

#### 5. 2. 3 マニピュレータ(ロボットアーム)

マニピュレータは与圧部外アームと与圧部内制御卓で構成されている。

与圧部外アームは大型ペイロードの運搬、移動に使用する長さ約 10 m の親アームと、この先に取り付けられて細密作業を行うための長さ 2.2 m の子アームとから構成される。

それぞれの機能・性能を次ページの表に示す。

親アームは 6 自由度を持つアームであり、ブーム・間接機構部・間接エレクトロニクス・エンドエフェクタ・肘部および手首部視覚装置で構成される。

子アームも同様であるが、ツールと呼ばれるエンドエフェクタを持つ 6 自由度の精密作業用であり、力制御を行うためにツール取り付け部に力・トルクセンサーを備えており、親アームの先端に連結した状態で運用され、曝露部の軌道上交換装置の交換作業や実験支援などの高精度作業に使用される。

与圧部内制御卓は搭乗員が親あるいは子アームの遠隔制御操作を行うために使用するもので、マニピュレータ全体の管理・制御・入力などを司る装置類から構成される。

なお子アームは親アームとは別に、HTV 初号機にて打ち上げられた。

項目		親アーム	子アーム
全長		10 m	2.2 m
質量		780 kg	190 kg
取扱い ペイロード	質量	最大 7000 kg	最大 80 kg
	外形	直径 4.5 m X 6 m 以内	直径 0.8m X 0.6 m 以内
アーム移動速度(最大)		60 mm/sec : 2.5 deg/sec	50 mm/sec : 7.5 deg/sec
位置決め性能		±50 mm : ±1.0 deg	±10 mm : ±1.0 deg
アームの 許容トルク	曲げ	60 N-m	4.5 N-m
	捩り	90 N-m	6.0 N-m
緊急停止距離		300 mm 以下	50 mm 以下

### 5.3 与圧系モジュールの開発経緯

与圧系モジュールの開発では、ロケットや人工衛星と同様に、部品・機器の開発と平行してシステムの開発が行われたが、我が国が初めて取り組む有人宇宙システムであることから、モックアップにて居住性・作業性・整備性等の観点からの設計の確認が重視された。

次に与圧構造の加工・組立て工程の確認を兼ねたエンジニアリングモデルにてシステム全体の機能確認を行い、最後に打上げ実機と同等の構造認定試験モデルにて、シャトルでの打上げ時の振動荷重に対する強度の試験検証・打上げ時の音響に対する振動応答データの取得・断熱性能の試験検証・振動特性に関する数学モデルの試験検証がなされた。

以下に、このような設計確認用の試作モジュールの概要を示す。

#### 5.3.1 モックアップ

1985(昭和60年)4月に開始された予備設計の成果として製作された。

与圧部の内部レイアウトの人間工学的な確認を主たる目的として製作されたものであり、旅客機開発時にユーザーからの意見を集めるために製作される木製のモックアップと同じである。

ロケットの開発では、ダミー装備品を取り付けて打上げ時の音響に対する振動応答の計測等が行われるが、艙装設計に関する情報が不十分のため、そのような目的には使われなかった。

多くの技術者による確認作業後は一般見学用として活用することを目的として外殻構造には強固な金属構造が採用されたが、形状を合わせたのみの低コストのものである。

このモックアップと現在ISSの一部となっている実機との違いは、マニピュレータ用の与圧部内制御卓のレイアウトである。モックアップでは外部展望用窓を通してマニピュレータの動きを監視しながら操作できるように与圧部内制御卓をエアロック横の狭い空間に設置する設計であったが、その後、与圧部内制御卓のディスプレイに映し出される映像のみで作業を行えることが判明し、作業性改善のために他のサブシステムと同様にラックへ収納する設計に統一された。

現在このモックアップは宇宙ステーションの説明パネル等が追加されて、筑波宇宙センター内の展示室に置かれ、一般見学者の「きぼう」船内の擬似体験の場として好評を得ている。

#### 5.3.2 艙装設計確認用モデル

「きぼう」の基本設計段階では、モックアップでの反映事項を加味して、構造設計と平行して艙

装設計が進められた。しかし図面のみでは工場内での細部の艤装作業性や軌道上での機器の交換等の整備作業性の確認が困難であることから、配管・配線・主要機器をも模擬したモデルが製作された。したがって、より精度の高いモックアップである。

外殻構造にはモックアップと同様に金属製の低コストのものが採用されたが、ラックの結合部などには実機設計を反映し、軌道上でのラックの設置・回転作業を模擬できるように配慮された。

また擬似配管・配線の艤装作業では工場の作業者が作業性を確認しながら進められ、筑波宇宙センターに搬入後は人間工学関係の技術者により、主として軌道上での作業性の検証がなされた。

細部艤装設計の確認・検証を終えた後、詳細設計の後半段階で実機の艤装を反映して、宇宙飛行士の訓練用として部分的にはほぼ実物に似せた改造がなされて、現在筑波宇宙センター内の「JEM 試験棟」に設置して活用されている。

### 5.3.3 エンジニアリングモデル

我が国初めての本格的な有人宇宙システムの開発であることから、実機製作前にはほぼ実機と同じものが各サブシステムの統合機能確認を目的として製作された。人工衛星の開発に於いて同様な目的で製作されるものと同じである。

ただし搭載された機器類は認定試験前の物や認定試験に使用済みで実機には使えない物、あるいは実機に類似の廉価な汎用品を採用し、システムとしては実機と同じ機能を持つモデルが組み上げられた。

構造体は、実機での機械加工や溶接組立ての加工試験を兼ねて製作された。

長期間の地上での試験に供するための防食として、実機よりも表面処理が強化されているが、その時点でシャトルや ISS とのインターフェースが明確になっていなかった一部の点を除きほぼ実機と同じである。

このモデル完成までは解析のみでのシステムレベルの検証であったが、長期にわたる試験検証結果がその後の実機設計に反映された。我が国の従来のロケットや人工衛星に比し、はるかに複雑なシステムであることから、ドキュメントのみでは定め得なかった各社設計のインターフェース上の問題の抽出という点で大きな効果があった。

また宇宙飛行士の作業環境の確認と改善を目的として、内部照明・空調空気の風速分布・騒音等の計測がなされ、これらの計測結果も実機設計に反映された。

特に騒音試験結果によるフライト実機の空調ダクトへの強力なマフラーの追加は、「きぼう」が各国モジュールに比して格段に静粛であるという成果を産んだ。

エンジニアリングモデルは現在筑波宇宙センターの JEM 試験棟内に保管されており、今のところ再利用の計画はないが、軌道上で何らかの不具合を生じた場合の対策確認に活用されることも予想される。

### 5.3.4 EVA 試験モデル

船外活動 (EVA: Extra Vehicular Activity) への対応に必要な装備の設計は我が国では初めての経験であった。

NASA のスペックにもとづき設計を進めたが、開発の早期に筑波宇宙センター内に EVA 試験用のプールが建設され、我が国独自の EVA 作業性の試験検証がなされた。この試験に供さ

れたモデルであり、外形のみ正確に実機を模擬したものである。

与圧部に関しては、ISS に結合時の船外作業や船外に取り付けてあるバンパー等の交換作業等に必要なEVA支援用のハンドホールドの配置設計を、NASAから提供された擬似EVAスーツを装着した宇宙飛行士が与圧部外表面の移動や整備作業に不都合がないことを検証した。

### 5.3.5 認定試験モデル

構造強度・剛性ならびに音響応答特性の試験検証のために製作されたもので、艤装はなされていない。メーカーでの強度試験とモーダルサーベイ試験(機体振動特性についての数学モデルの検証を目的とした試験)後、筑波宇宙センターにて音響試験に供されて、打上げ時の音響によるランダム振動応答の計測がなされて、搭載機器のランダム振動環境への耐性レベルとの比較検証がなされた。

認定試験モデルの組立て完了後に5.1節に記したようにNASAからの勧めで、デブリ対策として円筒部の板厚をNASAモジュールと統一することになり、実機では1.6mm厚くなっている。現在筑波宇宙センターのJEM試験棟に保管されているが、今後の活用計画はない。

## 5.4 獲得された有人宇宙技術

有人宇宙技術とは、「①搭乗員を宇宙空間へ輸送し、②宇宙空間で搭乗員を滞在・活動させ、③再び地球へ帰還させる」という3つの技術に分類される。

それぞれは、「①有人宇宙活動を支援するハードウェア・ソフトウェアを開発し、②開発された有人施設を適切に運用し、③搭乗員の安全を管理する」という3つの要素に分類される。

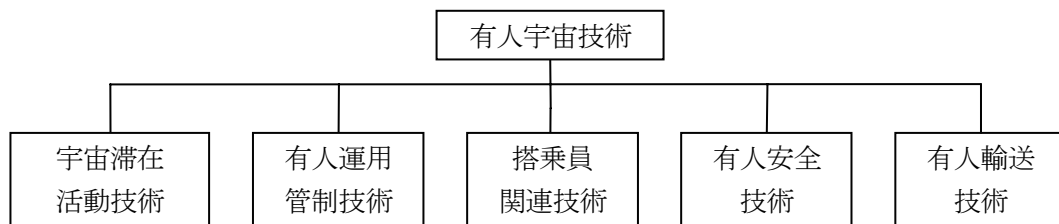
これらの有人宇宙技術を、搭乗員の生命維持・作業性の観点から開発経緯を眺めてみると、「①最低限の生命維持を実現し、②軌道上および地球帰還後の搭乗員の健康状態を維持し、③搭乗員の宇宙空間における快適性や作業性を向上する」という3つの段階に分類される。

我が国の有人宇宙開発は、有人輸送から出発した米国・ロシアとは異なり、主にNASAの安全基準・要求・知識ベースの理解と活用により、宇宙空間での滞在と活動に必要な技術の修得から開始し、短期間のスペースシャトル搭乗による実験と「きぼう」の開発を実現した。

これらの修得技術が、HTVの成功に寄与している。

### 5.4.1 有人宇宙技術の体系

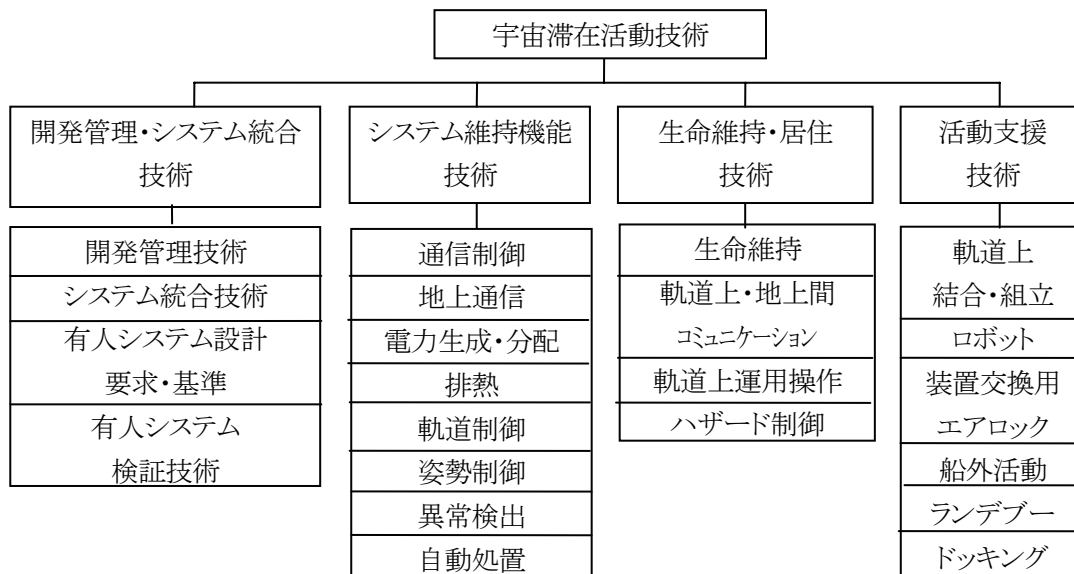
有人宇宙技術は下図のように大分類される。ただし有人輸送技術(宇宙空間への輸送と地球への帰還)に関しては、未だ手をつけていない状況にあることから詳細については触れてないが、今後我が国が力を入れることが必要な分野である。





(1) 宇宙滞在活動技術

我が国の有人宇宙技術の主たる部分であり、さらに下図のように分類される。

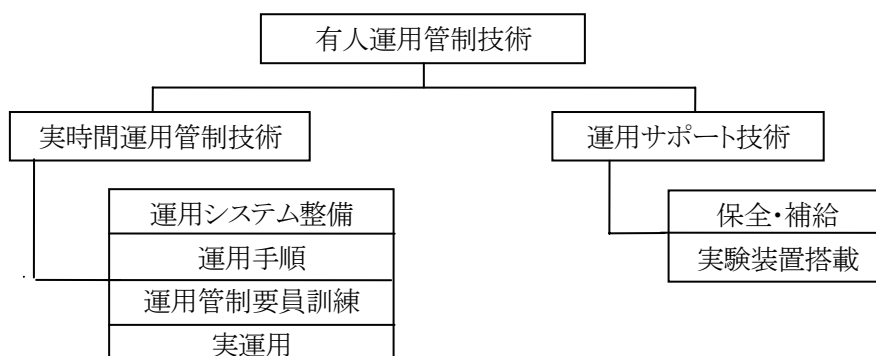


上図の生命維持は有人宇宙開発のキーとなる部分であり、さらに下図のように分類される。

空気温湿度制御	隕石・デブリ防止
空気循環	照明
空気圧力制御	排泄物処理
空気再生	衛生管理
空気浄化	健康管理
食料提供	居室・睡眠設備
水供給	放射線管理

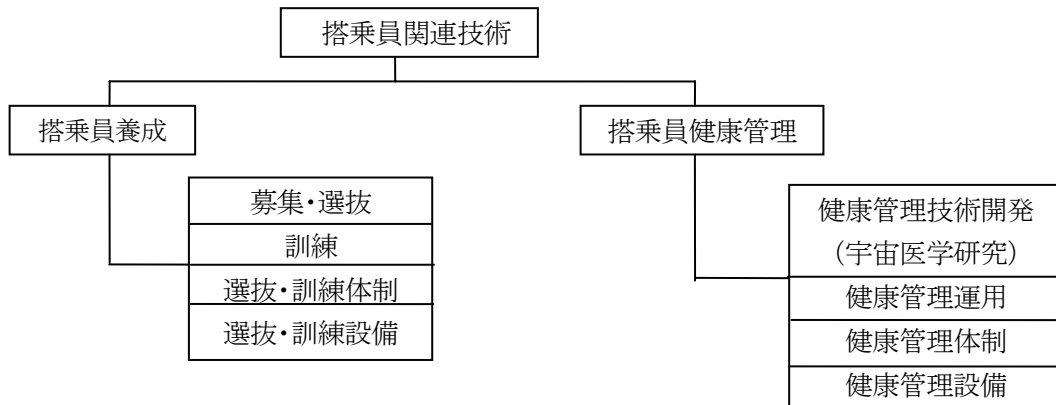
(2) 有人運用管制技術

ISS に結合後の地上からの運用管制は、さらに下図のように分類される。



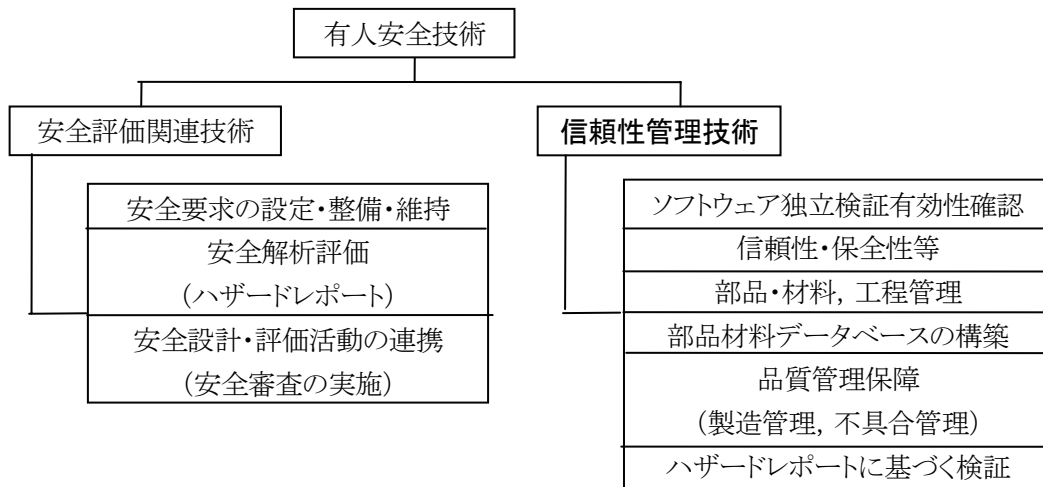
## (3) 搭乗員関連技術

この分野は有人宇宙先進国が長年の経験から得た情報やデータによるところが多いが、今後我が国の宇宙飛行士のISSでの長期滞在から独自に経験を積み、一層の進展が期待される。我が国の搭乗員関連技術は、さらに下図のように分類される。



## (4) 有人安全技術

我が国の有人安全技術は、さらに下図のように分類される。



## 5.4.2 有人宇宙技術の獲得状況

「きぼう」のような巨大プロジェクトの進行は概略以下のように進められる。

## 第一段階(概念設計)

ミッション要求ならびにハードウェア・ソフトウェア全体構想の作成  
運用・利用要求ならびに運用・利用全体構想の作成

## 第二段階(予備設計段階)

ハードウェア・ソフトウェアに対する検証を含めた要求仕様の作成  
運用・利用施設に対する要求仕様の作成  
開発日程・開発コストの推算に基づく開発計画の作成

### 第三段階(基本設計)

ハードウェア・ソフトウェアの試作ならびに検証

運用・利用施設の製作ならびに運用設備に対する要求仕様の作成

### 第四段階(詳細設計)

ハードウェア・ソフトウェアのフライト実機製作ならびに検証

運用・利用設備の製作ならびに検証

宇宙飛行士の選抜・基礎訓練・健康管理

### 第五段階

運用利用設備と実機との接続検証

打上げならびに運用・利用

宇宙飛行士へのシステムに関する教育

技術の成熟にはこれら全ての段階を自らの力で進め得ることが必要であるが、特定の数段階のみ獲得した技術分野もある。このような分野については一概に成熟していないとするのではなく、獲得できていない技術段階を明確にすることが、今後の技術強化策ならびに将来計画の立案に必要である。

#### (1) 第一段階について

過去のロケットと人工衛星の開発を通じて第一段階の技術はほぼ問題なく成熟していると判断できる。「きぼう」の開発経緯に示すように NASA との困難な調整を克服して「多目的な取付型実験モジュール」の概念ならびに現在の筑波宇宙センターでの運用・利用構想を早期に打ち立て得たことが証明している。

この段階は白紙に絵を描くような技術作業であり、かつ国家戦略も含めた検討が必要であることから、幅広い知識と経験や幅広い人間関係を有する技術者のみが実行できる段階である。

「きぼう」はISS本体のNASA担当部分に依存している機能が多い。これは必ずしも我が国の技術不足によるものではなく、国内調整ならびに NASA との協議の結果であり、①NASA が担当するISS本体からの集中供給あるいは集中制御(電力・冷却水・空気・排熱・空気再生・空気浄化など)、②各国モジュールとの統一化(CBM・ハッチ・ラック・ATU・照明機器・搭乗員支援機器全般・マニピュレータのエンドエフェクターとハンドコントローラ等)、③我が国の宇宙開発で未経験の分野(EVA関係全般・排泄物処理など)に分類される。

#### (2) 第二段階について

本節の命題としては、この段階が最も重要である。

我が国は技術立国として裾野の広い産業基盤を有していることから「要求仕様さえ与えられればそれをハードウェアやソフトウェアに具現化する技術を有するメーカーが必ず存在する」と言い切っても誤りではないであろう。

しかしバンパーを例にとると、地球周辺のデブリに関するデータは米国の地球近傍軌道上物体を強力なレーダー網で監視する軍事目的の副産物である。

このようなデータは我が国には皆無であったことから、バンパーに対する設計仕様の作成はNASAに頼らざるを得なかった。

またバンパーの概念も NASA から提示され、これらの情報をもとに設計・製作・解析と試験による検証作業をなし得たのである。宇宙開発の発展とともにデブリは増加傾向にあり、今後も NASA からのデータに依存することが必要である。

またEVAを支援するハンドレール等の配置設計については、NASAからの情報に基づき「きぼう」の開発にて獲得されたが、EVA 設計全体像の極く一部に過ぎない。EVA スーツや生命維持装置は米ロに於ける長い宇宙開発経験の凝縮であり、運用も含めた要求仕様の作成は容易なことではない。

一見簡単そうに見える宇宙飛行士の排泄物処理技術も、無重力環境での多くの実経験の凝縮であり我が国では未経験の分野ではあるが、我が国の宇宙飛行士の体験談を今後要求仕様の作成に活かすことができるであろう。

「きぼう」の開発では環境計測に限定され、設計面では重視されなかった宇宙環境対策として宇宙放射線がある。太陽から飛来する高速の重粒子線は地球の磁場で捕獲されることから低高度で地球を周回する ISS や短期間滞在のアポロ計画では重視されなかったが、磁場による保護がなく長期滞在が必要な将来の月面基地計画などでは重要なテーマになる。

「きぼう」や HTV の開発を通じて我が国の有人宇宙技術は飛躍的に発展したが、5. 4. 1項に記したように「搭乗員を宇宙空間へ輸送し、再び地球へ帰還させる」という分野を米ロに依存していることから、有人輸送に関連する技術分野が獲得できていないのは致し方ないところである。

### (3) 第三段階と第四段階について

有人宇宙システムであっても、無人のロケットや人工衛星技術をかなり広範囲に応用することができる。また前記したように、我が国ではハードウェアやソフトウェアの具現化に関しては広く成熟した技術基盤を有している。

しかし宇宙飛行士に直接関わる分野については経験が重要であることから、我が国の技術基盤のみでは不十分であるが、例えば EVA に関しては、NASA からの技術指導により EVA 作業性検証のための水槽施設が整備され、検証技術が獲得された。

第一段階と第二段階で記述したような理由で全般に宇宙飛行士に直接関わる分野の多くが未経験であるが故に未成熟であることは事実である。

また個々の部品や機器を輸入に頼っている部分が多いが、これは開発日程やコスト面からの判断によるものである。

ランデブーに関しては、ETS-VIIでの経験等を活かして HTV で実用域に達することができたが、人や物資の搬出入用ドッキング装置は有人輸送技術の一部であり、未成熟である。

### (4) 第五段階について

ISS 全体の運用は NASA が実施しているが、「きぼう」については NASA 経由ではあるが、JAXA の筑波宇宙センターが中心になって実施している。また HTV でも NASA による支援はあるが、筑波宇宙センターが中心になって実施している。これらは過去の数多くの人工衛星の運用経験が活かされたものである。さらに宇宙飛行士の選抜・基礎訓練・健康管理や「きぼう」のシステムに関する教育も JAXA の筑波宇宙センターにて行われている。

上記の状況から、この分野の技術はかなり成熟段階に達しているものと判断される。

### 5. 4. 3 有人宇宙技術獲得に対する今後の方向性

5. 4. 2項に記したように、「搭乗員を宇宙空間へ輸送し、再び地球へ帰還させる」という分野は今後に残された課題ではあるが、「宇宙空間で搭乗員を滞在・活動させる」という分野ではかなり成熟域にあるものと判断される。

5. 4. 2項での分析結果にもとづき、有人宇宙技術のさらなる獲得に対するいくつかの課題を掲げて今後の方向性の一端を示す。

キーワードとしては、地球からの困難な補給に対処するための「リサイクル技術」と、宇宙空間での滞在・活動範囲拡大のための「宇宙環境対応技術」とした。

なお5. 5節に示すシステムの観点から眺めた将来への展望も参照されたい。

#### (1) 空気再生・空気浄化

前記したように、これらの機能は「きぼう」の初期計画にあったが、ISS 本体での集中制御という方針に基づき削除された。我が国に技術がないわけではないが、実用ハードウェアとして具現化するまでは技術が獲得されたとは言えない。

将来想定される技術開発では、空気再生すなわち炭酸ガス除去のみではなく炭酸ガスからの酸素の回収・再利用技術まで進めることが期待される。この技術は既の実証されており、宇宙での実用化への研究が残された課題である。

#### (2) 排泄物処理・再生利用

トイレの改善による宇宙でのより快適な生活はここでのテーマではない。

将来の月面基地開発等での飲料水輸送コストや月面汚染防止のための地球への持ち帰りコストの削減のためにも、排泄物の処理・再生利用は重要なテーマである。

ISS で初めて宇宙飛行士の尿の再利用が試みられたが、我が国の高度の水浄化技術の活用が期待される。さらに糞から有用な成分の回収と無害化処理も必要になる技術である。

#### (3) 衣類等の滅菌・洗浄

ISS では地上で使用する衣類に比し汚れにくい素材が使われているが、将来の月面基地等ではさらに滅菌・洗浄による衣類の長期再利用は打上げ・処分コストの削減に有用な技術である。

#### (4) EVA スーツ

「宇宙空間で搭乗員を滞在・活動させる」ためには、将来のロボットの飛躍的發展を期待するとしても、人による船外活動は避け得ない。

EVA スーツは多くの技術要素を含み、米ロではかなり高い技術レベルに達しているが、将来の月面基地での船外活動性の改良や月面土壌による汚染対策が必要と考えられている。単なる米ロの後追いではなく、この観点からの改善に NASA との将来の協同開発に向けての研究も期待される。

#### (5) 宇宙放射線

前記のようにアポロ計画での月面滞在は短期間であり、ISS は地球磁場によるバンアレン帯にて太陽から飛来する重粒子線から守られている。

将来の月面基地での長期滞在では、予測困難な太陽活動の活発化による重粒子線飛来への対応は重要な課題と考えられており、月面基地の立地条件、居住モジュール全体の遮蔽や緊急避難方法などの研究が期待される。

#### (6) 緊急避難

「搭乗員を宇宙空間へ輸送する」ことは「再び地球へ帰還させる」技術をも含むものである。前者については今後国内で議論を進めることが期待される。

しかるに「再び地球へ帰還させる」は一方通行ではあるが、緊急避難手段にもなる。

現在ISSでは常時結合されているソユーズが唯一の緊急避難手段であり、ISSが例え致命的な損傷を受けて制御不能な状態になっても、自ら安全に分離・離脱可能なシステムであると判断されている。しかし搭乗員3名のソユーズ1機ではISSに搭乗している宇宙飛行士数には不足である。

我が国でも地球周回軌道からの無人システムの再突入回収はすでになされており、HTVを発展させて地上への物資回収カプセルや宇宙飛行士の緊急帰還カプセルの開発を進めるために必要な技術は育っていると判断する。有人システムの開発には多大の検証コストがネックであるが、ISSからの物資回収のための無人システムの運用機会を利用することにより、有人化のための検証を重ねることを提案する。

ISSからの緊急離脱には現HTVのようなロボットアームによる支援を必要としない分離・離脱が必要であるが、ロケットの分離技術と同じであり、新たな技術を必要とするものではない。ただし、例えば海上での回収をJAXAのみで行うのは困難であり、関連機関の協力が必要である。

緊急避難を目的とする「再び地球へ帰還させる」技術の実現は、「搭乗員を宇宙空間へ輸送する」技術にも必要なものであり、その前段階としてぜひ実現を期待したいものである。

### 5.5 あとがきー将来への展望

スペースシャトル上での短期間の無重量実験から始まった我が国の有人宇宙開発は、「きぼう」の開発による有人宇宙技術の獲得と国際貢献へと発展した。さらに2009(平成21年)9月に打上げられたHTVによるISSへの補給ミッションは技術のさらなる飛躍とともに国際貢献の向上をもたらし、これらの成功は部分的ではあるが、単に有人宇宙技術のみならず、有人宇宙分野のシステム技術の獲得と言えよう。

HTVはISS運用予算の一部に相当する国際貢献であるが、「きぼう」のシャトルでの打上げ費用に相当する貢献として、セントリフュージ計画があった。これは回転機械にて人工重力(遠心力)を発生させて、小型生物への様々な重力の影響を研究するためのモジュールであった。

限られた開発費用のもとで困難な技術開発を成し遂げて、組立てとシステムテストの直前にNASA側からのシャトル打上げ経費削減のための計画中止通告は、担当した技術者に辛いことであった。当初ISSでの実験施設として研究者から大いに期待されたものであっただけに残念なことである。

2009(平成21年)に我が国の宇宙開発の長期ビジョンと言える宇宙基本計画が策定されたが、今後の有人宇宙開発のための技術継承には、JEM・HTV・セントリフュージの開発に関わった技術者の温存が重要な課題である。この課題克服のためには具体的なロードマップを作成して、技術開発を継続していくことが必要であり、少なくとも研究機関や企業に対して指針を示すことが

必要である。

1999(平成11年)に我が国の宇宙開発に関係する4機関と、その他の研究所・大学・企業の代表が自発的に集まり、宇宙インフラ研究会を発足した。この研究会の目的は、我が国の宇宙開発に内在する問題点を分析して、その解決への指針を見出すことにあった。

そこで議論された宇宙開発の現状に対する認識(問題提起)のかなりの部分が今も有効であると思われることから、一部修正の上でその概要を紹介する。とりまとめたのは本章の著者である。

将来の国際協力プログラムでの我が国の自在性確保を重視すべきという意見がこれらの問題提起の根底にあり、主要なコメントを以下に示す。

- ① 今後の宇宙開発は多方面へ拡大する
- ② 我が国には宇宙開発シナリオが欠如している  
欧米の動向と開発予算の制約によるアプローチからの脱皮が必要  
Post JEM へ向けた有人宇宙開発の方向性の議論が必要
- ③ 有人宇宙システムのリスクに関与せざるを得ない発展段階に達している
- ④ 有人宇宙技術開発への戦略を考察する上でのキーワードとして、安全と費用は必須の課題である
- ⑤ 我が国の宇宙開発では、開発コスト・日程の制限によるハードウェアの海外調達への依存度が大きい
- ⑥ 宇宙の商用化が今後の技術開発のドライビング・フォースとなる

これらのコメントを考察すると;

有人宇宙技術開発への展望を考察する上でのキーワードとして、安全と費用は必須の課題である。

我が国の現状認識にて、システム要求をハードウェアやソフトウェアに具現化する技術力は獲得し得ているが、システム要求そのものを案画するために必要なデータや先行研究は十分とは言えず、これを課題として取り上げる必要がある。

有人宇宙技術は、地上から打ち上げる輸送機、宇宙空間にある宇宙ステーションや類似のもの、将来の月面や火星上の基地、ならびにこれらの間を移動する軌道間輸送機等多くの宇宙インフラに関与することから、長期ビジョンの観点から発展性を取り上げるべきである。

さらに、地上から遠く離れて運用する有人システムであるからには自立性は無視し得ない検討課題である。

このような検討課題への下記提言を5.4.3項と併せて将来への展望とする。

### 5.5.1 搭乗員の安全

宇宙への輸送手段であるロケットは過去多くの経験を積んだ分野であるが、一般の乗り物に比べて事故率は高く、決して安全な乗り物とは言えない。

無人のシステムでは適度の信頼度があればよしとしても、有人システムの安全性を確率のみで議論して済ますわけにはいかない。また、安全とリスクはトレードオフの対象にはならず、安全確保は絶対条件である。

したがって、改善による故障率の低減のみでは十分とは言えず、危険な状況からの回避手段が求められ、あらゆる有人宇宙システムの設計への共通課題として取り組むべきである。

- ① 部分的故障がシステム全体の崩壊に至ることを防止する手段
- ② 故障箇所を検知して一時的に安全な状態へ移行させる手段
- ③ 与えられた余裕時間内に可能な緊急避難や脱出手段

を満たすことにより、搭乗員の安心感が得られる安全なシステムを構築することが重要であり、さらに一般人の搭乗を前提とするなら、恐怖感を与えないものであることも重要である。

ロケットの事故例では、固体ロケットは別として、故障によって一瞬にシステムの崩壊に至るケースはなく、前記の対策が不可能なものではない。現状のロケットは空力的に不安定なためにエンジンの停止が直ちに制御機能喪失につながるという難点があるが、エンジンのクラスタ化により冗長性を持たせたり、空力的に安定な有翼ブースターの使用もこの問題の解決につながる。

宇宙ステーションにとって一番の危険は、大きなデブリとの衝突である。確率的には地上での巨大地震と同じように小さいものであるが、ある大きさまでは例え与圧壁を貫通しても爆発という事態には至らないように設計され、さらに搭乗員の緊急避難や脱出手段も考慮されている。

### 5. 5. 2 開発費用

例え無人システムであっても多額の開発費用を要し、かつ少量生産のため構成部品のコストは商用機器のそれを大きく上回る。有人システムではさらに一層の費用を必要とされ安全問題と並んで立ちはだかる壁になっている。無人システムとの開発コストの大きな差は一言で言えば安全検証のための費用である。

高いか安いかの判断は見返りによるべきであり、GPS (Global Positioning System) を例にとれば巨大なカーナビ市場を生み出しており、通信、放送の分野でも同様であろう。見返りをすぐには期待できない、あるいは予測できない新たな開発に必要な費用が問題となる。

国策と言えども、国状への配慮、慎重な未来予測と企業的視点、あるいは一般大衆の視点からの考察が必要であるが、別途多額の費用がかかる理由の分析が必要である。例えば宇宙ステーションを東京ドームの中心に設置して運用した場合と宇宙空間での運用とで何が異なるかといった分析から、なんらかの答えと対策が得られるのではないだろうか？ また、宇宙専用部品に固執していると民生部品の技術の進歩に追従できず、陳腐なものになる恐れがある。

有人宇宙システムでは、搭乗員による故障部品の交換や修理等の支援が得られるという有利な面が民生部品活用による欠点を補うことになる。このようなコスト低減策の実現を提案する。

### 5. 5. 3 システム要求

システム要求をハードウェアやソフトウェアに具現化する力があるからといって技術的に十分とはいえない。白紙に絵を描くようなシステム要求をまとめる技術力が設計には一番重要な部分である。具体的なシステム要求は、過去の経験や膨大なデータに基づいていることから、システム要求を纏めるためには、これらが無い限り先進国への追従の域を脱し得ない。

例えば与圧モジュールの設計に於いて、宇宙デブリのデータは不可欠であるが、我が国には観測データが皆無に近く、全面的にNASAに頼らざるを得なかった。したがって有人宇宙分野の進展には、これまでに得られた経験やデータに基づく考察等と平行して、新たな要素技術の研究や宇宙環境の観測等に、多くの分野の科学者や技術者による協力体制構築に取り組むべきである。



#### 5.5.4 発展性

発展性については、二つの観点で捉えたい。

一つは宇宙インフラ構築面での継続発展である。我が国では宇宙ステーション開発までは人工衛星とこれを打ち上げるロケットの組み合わせが宇宙開発であった。

今後の有人の宇宙インフラは、それぞれが機能的につながり、かつ多目的化する。

したがって、個々の有人宇宙技術は複数のインフラ構成品に少しずつ形を変えて適用され得ることから、要素技術をしっかり抑えた上で、技術の継続と発展に取り組むべきである。

もう一つは、長期の運用を前提とする有人宇宙インフラの発展性である。特定の宇宙専用交換部品の継続的な入手は生産設備の維持の観点から困難であり、また民生部品の適用であっても技術の急速な進展により継続的な入手は困難である。

さらに長期の運用を前提とする有人システムに対して、最初から全運用期間を考慮した完璧な設計を狙うことは困難であり、かつ必ずしも得策ではない。

したがって、運用期間中の改良やその時点で入手し得る部品や機器への交換を可能にするシステムの設計ならびに交換作業に必要な技術開発に取り組むべきである。

#### 5.5.5 自立性

いかに信頼性の高いシステムを構築し得ても、予測し得ない設計や作業の過誤、ランダムな故障や自然の災害による障害は起こり得る。宇宙空間での少々の不具合に対して、待機冗長系での対処とともに、機材の交換や修理を可能とするシステムの設計ならびに宇宙で修理を行う技術の開発に取り組むべきである。これは5.5.4項の発展性で述べた戦略の一部でもある。

宇宙ステーションでは、待機冗長系と機材の交換には配慮されているが、軌道上での修理技術の取得までには至っていない。有人宇宙システムに於ける搭乗員のこの面での活用検討が重要である。

#### 5.5.6 有人宇宙システム設計技術に関する戦略

上記個々の検討課題で述べた技術戦略の具体化には、関係者の議論を期待するが、まとめとして下記を提案する。これらには優先度はなく、重み付けをした上で平行して進めることが重要である。

- ① 「きぼう」開発を通じて入手した人間工学・安全設計指針・宇宙環境等の情報を、我が国の宇宙開発に定着化させる
- ② 要素技術研究への投資  
開発プロジェクト立ち上げに先行する要素技術の研究に一層力を入れる  
ただし具体的な目標意識を持たないと無駄な投資になる危険がある
- ③ 現在の宇宙ステーションの発展あるいはPost JEM計画として、将来を先取りした小開発プログラムの立ち上げにより技術者を温存し、技術の継承を行う  
「きぼう」開発経験者の散逸は「きぼう」の運用そのものにも痛手となる  
真の技術は技術者の頭の中にあり、開発の継続による後継者の育成が重要である

宇宙開発の目的を遠いところに置くとしても、技術開発戦略は直ちに実行に移すことを前提としたものとして、多くの研究者や技術者の力を結集するための具体的な開発計画を創出しなけ

ればならない。

技術の世界では、先人が築いた技術の上に継続して積み重ねていくことが重要である。例えば、有人宇宙開発に乗り出すために必須のものであり、かつ我が国では未経験の船外活動システムはこの目的に合う開発テーマになりうる。

我が国独自でこのハードウェアを開発する必要性については、もう少し先の議論を待つべきと考えるが、必要な要素技術の開発とシステム要求を構築するためのデータや経験の積み重ねは必要である。複雑で特殊であることから膨大な開発費用が必要なことは間違いなく、先進国からの一部技術導入も選択肢の一つではある。

また、船外観測や船外の簡単な修理程度の用途に限定した小型船艇のイメージのものは、HTV 技術の応用線上にあり、船外活動システムとしての具体的開発テーマになり得る。さらに有人輸送系の搭乗員のキャビン・宇宙ステーションからの緊急避難・有人月周回機・有人の月面移動機等に派生・発展し得るものである。特に宇宙ステーションからの物資の回収や宇宙飛行士の緊急帰還機への応用は、JEM 利用の拡大とともに宇宙ステーション計画での大きな国際貢献になるであろう。

今後必要になる要素技術としては5. 4. 3項に示したように、例えば空気再生や月面での宇宙線防護などがあり、この種の小開発テーマを発掘して、これにより有人宇宙技術の研鑽と後継者の育成は、Post JEM 計画への準備として有用で、かつ必要条件であると信じる。

#### 5. 5. 7 将来の国際協同作業について

ISS 計画への参加検討段階で、我が国の宇宙開発の状況をよく理解していない NASA の幹部から、「きぼう」の開発を米国メーカーに依頼し購入してはどうかとの話があったようである。しかし当時少し小型ではあるが、すでに H-I ロケットの液体水素タンクが実用化されており、また H-II ロケットや大型衛星の開発も始まっていた。米国モジュールの溶接で不具合に遭遇した時日本のメーカーが影で支援したことは、NASA 幹部は承知していないことである。また米国モジュールでの重大不具合発生時に「きぼう」の該当箇所の設計を問い合わせてきたこともある。

しかし先に記述したように我が国には要求仕様をハードウェアやソフトウェアに具現化する技術基盤は十分にあったが、要求仕様を固めるために必要な情報やデータが不足していた事実には留意する必要がある。

また「きぼう」は「多目的な取付型実験モジュール」として、言わばホテルの一室に例えられるものである。すなわち ISS 本体からのリソースの供給・集中制御に頼るものである。このため ISS 本体を開発する NASA のガイドラインや要求を満たすことが強いられ、逆に言えば従っていればよかった。

5. 1節に示したように NASA 側の開発費用オーバーや世界情勢の変貌による影響を受け、開発途上での設計変更を強いる事態を招いた。また HTV やそのペイロードも ISS に結合されている間は ISS の一部であることから安全に関して NASA の審査を受ける場面がある。これにより技術作業のコストアップという難点はあるが、有人宇宙の安全技術をより深め得るという利点がある。

最近少々雲行きが怪しくなっているが、Post JEM 計画として月面基地が候補になっている。

開発コストの点から一国での開発は無理で、ISS 同様に国際協同作業にならざるを得ないし、我が国としても「きぼう」で獲得した有人宇宙技術のさらなる発展の機会と捉えられている。

月面基地は ISS とは異なり、独立した機能を持つ要素から構成されるものと考えられており、我

が国が参加する場合には「多目的な取付型実験モジュール」の概念ではなく、一要素の開発を受け持つ開発形態が想定される。このような形態での国際協同作業に於いては我が国の自主性が増す代わりに、NASA 指導への依存が制限されるであろう。しかし南極基地のように各国独自のものではないことからインタフェースは存在し、宇宙飛行士に関わる部分の統一設計も必要である。

このように Post JEM での国際協同開発作業は ISS で経験したものとはかなり異なったものになると予想されることから、5. 5. 6項に示した戦略案も加味して関係者による検討が進められることを期待して本章の締めくくりとする。

(参考資料)

JCX-2002209 2006(平成 18 年)9 月

国際宇宙ステーション 日本実験モジュール「きぼう」の技術解説 Vol.1

資料番号なし

国際宇宙ステーション利用計画及び運用・利用体制に関する  
宇宙開発委員会及び NASDA 委員会での検討結果(中間報告)

## 第6章 日本の宇宙実験システム JEM の技術開発 [Ⅱ]

### －有人宇宙システム技術(曝露系)の開発と将来展望－

## 目次

6.1 まえがき.....	6-3
6.2 曝露系モジュールの概要.....	6-5
6.2.1 曝露部.....	6-5
6.2.2 補給部曝露区.....	6-8
6.3 曝露系モジュールの開発とその特徴.....	6-9
6.4 設計・製造からの経験と教訓.....	6-10

## 6.1 まえがき

JEM「きぼう」の基本構成としては、国内利用者(研究者を含む)の利用要求を極力実現でき、同時に発展性を有する形態が重視された。その上で、与圧環境と曝露環境の双方の宇宙環境利用実験を可能とするために、基本構成として、与圧系と曝露系が設けられることになった。このことに加えて、曝露環境利用の将来の発展性を確保し、実験装置の軌道上交換を適宜実施できるようにするため、曝露環境にはロボットアームが設置されることになった。また、実験装置の補給と交換のために、補給部の開発も行われることになった。

本章では、JEM「きぼう」の曝露系の構成要素である、曝露部、補給部曝露区の概要と、その構想検討までの段階並びにその設計開発の段階を通じて得られた経験と教訓についてまとめるが、まず、曝露部の全体構成等に関わる概要について述べておく。

JEM「きぼう」の曝露部コンフィギュレーションの設定は、国内の利用者(研究者)から実験テーマ(利用提案)を募り、その利用要求を最大限に実現させることを重視した実験システムの構成検討が進められた。その利用構想では、安全性の制約が少ない曝露環境の特徴を活かした、材料実験の利用要求が数多く掲げられた。曝露部は、最終的なコンフィギュレーションで、宇宙ステーションの進行方向の先端に配置され、このために視界を遮る構造物が少なく、地球と宇宙の良好な視野が確保できる特徴を有している。この特徴を活かした科学観測ミッションや宇宙構造物組立て等の理工学実験が数多く構想されていた。そのような曝露部の初期段階の大型実験ミッション構想に対応するために、パレット型、フラットデッキ型、トラス型、可動アーム型等、様々な形態案が検討されたが、その後、多様なミッションや数多くの実験提案に対応するための JEM「きぼう」のコンフィギュレーションが重視され、可能な限り数多くの実験ポートを設けることを優先した設計が行われた。

曝露部の基本設計着手の段階では、2つのモジュールを直列につないだ形態が考えられていたが、外乱の進入が防止でき、良好な実験環境を確保するために、1つのモジュールへと見直しが行われた。補給については、曝露系の実験装置等の輸送が可能で、曝露部本体、ロボットアーム、およびシャトルとのインタフェースを考慮して、補給部曝露区の現在の形態が設定された。

通常の宇宙機設計では、基本設計着手時にはそのコンフィギュレーションが概ね確定しているのが一般的であるが、曝露部の場合には、利用者(研究者)の利用要求に対応することが最重要命題とされた以外は、コンフィギュレーションを確定するための要求条件が明確でなかったために、与圧部と比べて、プロジェクトコンフィギュレーションの確定が1年程度遅れることになった。一方、補給部については、曝露部本体のコンフィギュレーションの確定遅れに加えて、利用者(研究者)の利用要求実現のための検討が継続されていたこともあり、そのコンフィギュレーションの確定が更に遅れて、最終形態の確定は基本設計の完了時点までずれ込むことになった。

材料実験(材料創製)の提案者(研究者、企業関係者)は、JEM「きぼう」の利用構想段階で、宇宙環境を利用する材料創製の将来の発展と高度化に備えるために、JEM「きぼう」よりも大電力を提供でき、より良質な微小重力環境と、汚染のない材料製造環境を実現するための手段として、宇宙ステーションの近傍を飛行するフリーフライヤーも活用する材料製造実験

システムの構想検討を行っていた。この実験システムは、軌道上での高付加価値な材料や、新規の医薬品の製造を目的とした軌道上実験施設で、宇宙ステーションと運用連携を図りつつ、材料製造実験を体系的に行うことが想定され、将来的には、商業的な宇宙環境利用活動につなげる斬新な構想であった。しかしながら、シャトル事故に起因した ISS 計画の遅れから、実験や製品開発の実施可能時期を想定することが難しい状況に直面し、この構想の実現に対する期待は徐々に弱まっていく。そのような状況を踏まえて、現実的な対応として、曝露部と補給部曝露区の開発を先ずは確実に進め、その後、然るべき時期に、フリーフライヤーと組合せた実験システム等の発展を考えて行くという考え方に軌道修正がなされていく。

宇宙ステーション計画の参加各国は、その後の宇宙ステーション計画の見直し検討の中で、人が活動する与圧系の優先度が高いとの判断から、与圧系については一定規模のシステム構成を維持したものの、曝露系については、与圧系よりも優先度が低いとの判断から、予算削減等大幅な計画縮小がなされている。

一方、我が国では、予算的には厳しい状況に見舞われてはいたが、与圧系と曝露系の両実験システムを保持したいとの強い信念のもとに計画の推進が図られた結果、当初計画と比較して小規模な見直しはなされたものの、大幅な見直しを行うことなく曝露部システムを完成することが出来た。

この結果、曝露部は、宇宙ステーションで電力、通信、熱制御のサービスを提供することが可能な、機能的に優れ、その規模も宇宙ステーションで最大な曝露部施設となった。それに加えて、視野が優れていることから、地球観測や天体観測の科学観測ミッションへの対応も期待されている。今後、我が国だけでなく、利用権の半分を有する NASA を含めて、観測プラットフォームや軌道上テストベッドとして活用されることが多いに期待されている。

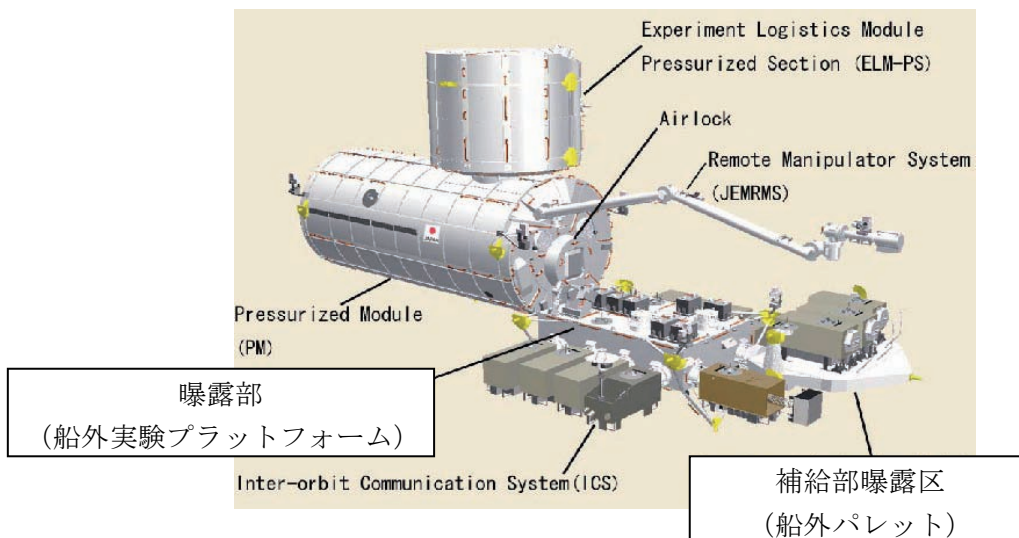
一方で、開発当初は活発に議論されていた、共軌道プラットフォームや宇宙工場概念は、宇宙ステーション計画の大幅な遅れに伴い、当初の熱気が冷めてしまった。SFU がこの概念に近いもので、一度フライトが実施されたものの、その後、この種の計画は継続されないまま現時点に至っている。

宇宙ステーションは、実験装置等を搭載し運用するためのバスと、装置等をそこに輸送するための手段が提供されることによって、簡便に、短い待ち時間で宇宙での実験機会が得られるという期待が大きい。しかし一方では、無人の衛星と比べて、有人であるが故に高い安全要求が課せられることから、それが制約になって実験ミッションの実現を難しくしているのも事実である。利用の普及と拡大を図るために、今後、安全要求を容易にクリアする方策を探る活動を行っていく必要があるだろう。

近年、地球環境変動や地球温暖化への関心の高まりから、多様な地球観測ミッションの実現が叫ばれている。多種類のセンサを用いた充実した観測のニーズに対応するために、プラットフォーム型の地球観測衛星システムが開発されてきた。そのようなプラットフォーム型の観測衛星との対比で見ると、JEM の曝露部システムは、そのバリエーションの一つとして開発がなされたもので、基礎概念はプラットフォームの思想を取り入れたものとなっている。衛星と曝露部のミッションは、ある意味で類似したところがあり、今後、両者の特徴を活かした観測計画や利用計画を推進することが求められるであろう。

## 6.2 曝露系モジュールの概要

きぼうの構成のうち、曝露部と補給部曝露区の概要を以下に示す。



### 6.2.1 曝露部

#### 1) 概要

曝露系モジュールは、恒久的な実験環境を提供する船外プラットフォームとしての曝露部と実験装置等の補給・輸送を行う補給部曝露区から構成されている。

曝露部は、宇宙(地球周回低軌道)の曝露環境の特徴である微小重力、高真空を活かした実験スペースを提供する。その特徴を活かして、科学観測、地球観測、通信、理工学実験などを実施することが出来る有人支援型の多目的実験プラットフォーム(テストベッド)となっている。曝露部は、与圧部に結合機構で結合されて運用され、実験装置を取り付けるポートが12箇所用意されている。実験装置、補給部曝露区、HTV 曝露パレット、衛星間通信システムを取り付けることが可能である。実験装置は軌道上交換が可能であり、多様な観測や技術実験を実施することが可能である。

曝露部は、実験のサポートや補給部曝露区、HTV 曝露パレットの運用を実施するために必要な電力を供給し、実験装置の熱管理(温度制御)をするための冷媒を循環させている。また、データのやり取りを自在に行うための通信インタフェースを有している。

実験装置は、曝露環境の特徴を活かした実験を行なう装置が搭載され、曝露部装置交換機構(Equipment Exchange Unit:EEU)によって結合される。

#### 2) 構成要素

曝露部の構成要素と特徴を以下に示す。

##### a) 構造系

曝露部の構造は、主にパネル、フレーム、STS(Space Transportation System)取付構造で



構成されている。

内部機器の E-ORU 化(EVA(\*1)対応 ORU(\*2))、視覚装置の曝露部設置、EVA 支援具等の要求変更があり、要求変更項目を取り込みつつ、設計の見直し、開発を実施した。

(\*1) EVA: Extravehicular Activity (船外活動)

(\*2) ORU: Orbital Replacement Unit(軌道上交換ユニット)

#### b) 機構系

機構系は、与圧部と結合するための曝露部結合機構 (EFBM)、実験装置を取り付けるための装置交換機構、軌道上交換ユニット (R-ORU、E-ORU) から構成されている。

##### ●曝露部結合機構 (EFBM) :

EFBM は、与圧部と曝露部を結合する機構である。引き込み機構を有し、モータの駆動でボルトを締める能動的な部分と引き込まれる側の受動的な部分で構成される。与圧部には能動部分が曝露部には受動部分が搭載される。

EFBM により電力系、通信制御系、熱制御系が接続され、与圧部から曝露部への電力供給や各種データの交換が可能となる。

##### ●曝露部装置交換機構系:

装置交換機構系は、実験ペイロードを結合・分離およびリソース供給するためのサブシステムで、EF 側結合ユニット (EFU)、ペイロード側結合ユニット (PIU)、EEU ドライバユニット (EDU) から構成されている。

EFU はロボットアームにより位置決めされた PIU を捕捉し、ロボットアームの抵抗荷重に打ち勝ってその位置決め誤差を吸収し、PIU と結合 (または分離) することができる。そのための 3 本の固定アーム、及びそれらを同期させて駆動するためのリンク機構、ボールねじ、歯車、モータ、固定アーム位置検出センサなどを備えている。

両機構 (EFU、PIU) の結合面には、実験ペイロードに電力、信号、熱制御用冷媒を供給するための電気・光コネクタ、及び流体コネクタが搭載されている。これらは、装置交換機構の機械的な結合、分離と同時に一括して着脱される。曝露部の限られたスペースに出来るだけ多くの EFU を搭載させるために、位置決めから着脱に至る駆動機構を単一にして、アクチュエータ 1 個で機能させる等、徹底的な小型・軽量化が図られている。

また、EFU/PIU 機構間に温度差がある場合、熱変形により必ずしも正常に結合しないことが分かり、ガイドピン及びガイド穴の接触部の形状変更を行うことにより技術課題を克服した。

##### ●軌道上交換機構 (ORU) :

曝露部上のコンポーネントは、コンポーネントが故障した場合でも ORU 単位で交換することにより復帰できるシステムになっている。曝露部上面に配置され、子アームまたは EVA により交換できる機構を R-ORU (ロボティクス対応 ORU) と呼んでいる。

この R-ORU の特徴は、2 本のボルトによって、構造締結とリソース結合を同時に行える点である。リソース結合のための QD (Quick Disconnect) のアライメント精度を維持しつつ、構造締結させることが開発上の技術課題であったが、アライメント調芯機能の設計・開発・改良を繰り返すことにより、技術的課題が克服されていった。

EVA 対応として、ボルトが締結状態にあるかどうかを目視で確認できる機能を持つビジュアルインジケータを有していることも有人宇宙機器の特徴である。

また、開発当初、ORU にはなっていなかったが、曝露部システムの信頼性向上のために ORU 化された。この時、曝露部上面および側面は R-ORU、視覚装置、EFU 等の機器が搭載されていたため、これらのコンポーネントの搭載場所として唯一残されていた曝露部下面に搭載されることとなった。曝露部下面はロボティクスのアクセスが不可能であるため、これらの ORU は EVA のみで交換できる ORU(E-ORU)とした。

E-ORU の特徴は、6 本の構造締結ボルトと 2 本のリソース結合ボルトが独立していることである。R-ORU の場合は、重量が 20kg 程度と比較的軽量であることから 2 本のボルトで打上げ荷重等に耐え得る設計となっているが、E-ORU の場合、60kg 程度であることから、6 本の構造締結ボルトにて荷重を受け持つ設計とした。

#### c) 電力系

電力系は、与圧部 PDU から電力供給を受け、EF-PDB により曝露部内の機器や補給部曝露区、曝露パレット、実験装置に電力を分配する。

また、実験装置へ保温用電力(サバイバル電力)を供給するサービスもあり、曝露部 SPB により、これらの電力が実験装置へ供給される設計となっている。

実験装置へは、EF-PDB から主電力を、SPB からサバイバル電力を供給する設計となっており、実験装置のサバイバビリティを確保している。

#### d) 通信制御系

曝露部の頭脳である曝露部制御装置(ESC)は、与圧部に搭載された制御装置(JCP)と通信を実施し、曝露部内の機器の制御を実施する。

ESC は曝露部上に 2 式搭載されており、冗長となっている。また、ESC と曝露部システムコンポーネントは RS422 通信で接続されており、ESC-a および ECS-b のそれぞれから曝露部システム機器を制御できる設計となっている。いわゆるクロスストラップ接続となっている。これにより、曝露部システムコンポーネントの片系が故障した場合でも、その系が完全に機能停止することは無く、a 系/b 系コンポーネントの混在起動パターンが実現可能になっている。

また、与圧部および実験装置との間の実験データ、画像、温度、圧力などのデータ交換を実施する。

#### e) 熱制御系

熱制御系は、フロリナート<sup>1)</sup>という冷媒液を循環させることで機器や実験装置からの熱を移送する能動熱制御系と、断熱材やヒータによって温度を維持する受動熱制御系からなり、バス機器や実験装置の運用のための温度環境を維持する。

<sup>1)</sup> 米国 3M 社で開発されたフッ素系不活性液体。優れた電気絶縁性と熱伝導性を持つ。

フロリナートは、水と比較して凍結温度が低く、マイナス 90 度ぐらいまで凍結することはない。曝露環境では、環境温度が低くなる可能性があり、これに対して、低温でも凍結しないことは、凍結時の配管等の破裂ハザード等に対して優れた性能を有していることになる。

曝露部の能動熱制御系で収集された熱は、与圧部の熱交換器に送られ、熱交換が行われる。

もし仮に、曝露部内の冷媒温度が低かった場合、この低温冷媒をそのまま与圧部の熱交換

器へ送り込むと、熱交換器内の水が凍結し、最悪、配管が破裂する恐れがある。このような問題に対しては、まず、曝露部内でのみ循環ループを形成し、低温冷媒をヒータ等により昇温し、規定温度(8 度)以上になったことを確認して、与圧部に移送することで問題を回避している。

受動熱制御系は、ヒータ制御装置(HCE)というシステム機器によって、ヒータ電力供給および温度モニタを行っている。HCE は、ほぼ完全冗長になっており、ヒータ電力供給機能または温度モニタ機能の片系が機能喪失しても、全く問題なくシステムを温度制御することが可能である。

#### f) 船外活動(EVA)支援系

曝露部の組立および保全において重要な役割を果たすのが船外活動(EVA)である。このため、曝露部上には様々な EVA 支援装置が設置されており、船外活動を円滑に行うためのサポートを行っている。

EVA クルーの手摺り/把手の役割を果たすハンドレール/ハンドホールドは、移動性評価を踏まえて、曝露部の様々な場所や機器に取り付けられている。EVA クルーはこれらの手すりを掴みながら、目的の場所まで移動することができる。

EVA クルーの作業足場を設置・固定するためのワークサイトインタフェース(WIF)が曝露部上に設置されており、曝露部上の EVA クルー作業性およびアクセス性を良くしている。

### 6. 2. 2 補給部曝露区

#### 1) 概要

補給部曝露区は、実験装置や曝露部のシステム機器等を搭載し、曝露部へのシステム機器の補給や実験装置の移送、回収を行なう。スペースシャトルに搭載されて ISS に輸送された後、ロボットアームにて曝露部に結合される。補給部曝露区に搭載されている実験装置は、ロボットアームにより、曝露部に移送される。

また、実験が終了した装置は、ロボットアームにて曝露部から取外され、補給部曝露区に戻された後、スペースシャトルに搭載されて地上に回収される。

#### 2) 構成要素

補給部曝露区の構成要素と特徴を以下に示す。

##### a) 構造系

補給部曝露区の構造は、実験装置を搭載した状態で、打上げ/回収および軌道上でかかる荷重条件を考慮して設計されている。実験装置との構造的な支持点位置の柔軟性を考え、フレームを格子状に配置している。また、スペースシャトルのペイロードベイ(貨物室)に補給部曝露区を搭載するためにトラニオンが 5 箇所設置されている。

#### b) 機構系

機構系は、実験装置を搭載する際に固定させるための実験装置取付機構(PAM)と曝露部や補給部与圧区に補給部曝露区を結合するのに用いる装置交換機構(PIU)から構成されている。

実験装置取付機構(PAM)は、スペースシャトルによる打上げ・回収時に実験装置を補給部曝露区に固定するとともに、軌道上でロボットアームを用いて実験装置を移動させる時に実験装置の取付け・取外しを行なう機構である。補給部曝露区側に能動部分があり、実験装置側に受動部分であるトラニオンが取り付けられている。また、実験装置へ保温用の電力を供給するためのアンビリカル(電気コネクタ)接続機構が装備されている。

#### c) 電力系

打上げ時には、スペースシャトルから、軌道上では曝露部から電力供給を受け、補給部曝露区のシステム機器や補給部曝露区に搭載された実験装置に電力を分配する。

#### d) 通信制御系

補給部曝露区に搭載された制御装置(ECU:Electronic Control Unit)が与圧部の制御装置(JCP)と通信を行い、補給部曝露区の状態や搭載されている実験装置の温度や取付け機構(PAM)の状態監視を実施する。また、PAMの動作をコントロールし、搭載される実験装置の温度制御も実施する。

#### e) 熱制御系

全体を断熱材(MLI)で覆うのと温度管理が更に必要な箇所にはヒータを設置している。また、実験装置にもヒータが設置されており、温度管理を実施することが可能となっている。

#### f) 船外活動(EVA)支援系

曝露部と同様、船外活動(EVA)の対応を目的にハンドレール/ハンドホールドを補給部曝露区上に設置している。EVAクルーはこれらの手すりを掴みながら、目的の場所まで移動することができる。

### 6.3 曝露系モジュールの開発とその特徴

曝露部/補給部曝露の特徴として、実験装置や機器の交換をロボットアームにて実施する上で、多数の機構を有している。

また、機構等に問題があった場合に、宇宙飛行士のバックアップによって、装置交換を行い、運用を継続出来る様にするため、宇宙飛行士の船外活動に対応した設計とする必要があった。

機構については、コンセプト検討と並行して、要素試作を実施し、問題点の洗い出しを行った。固体潤滑剤は、曝露環境で使用するために、耐放射線に優れた無機質のバインダーのものを選定した。無機質のバインダーの固体潤滑剤は、施工が難しく、工程確立に労力を要した。また、水分を吸いやすい上に、水分を吸うと性能が大幅に低下することから、厳しい

湿度管理を行う必要があることが分かった。その後、基本設計の実施、エンジニアリングモデル(EM)の製作/試験を実施した。EMの開発においては、新規の設計であったため、要求仕様を達成することが難しく、試作を数回の繰り返した後に、要求仕様を達成することが出来た。プロトタイプモデル(PFM)でも新たな問題が確認され、新規の開発であるがために苦戦を余儀なくされた。フライトモデル(FM)では、機構を多数(例えば、装置交換機構は13式)製作し、試験を実施する必要があった。同一性能で品質を確保するために、工場に専用のラインを作り対応した。当時としては、宇宙製品の量産アイテムは少なく、ライン化をすることは、エリアも取るので議論があった。社内で生産部門と喧々諤々議論し、製品のばらつきを防ぎ、効率的に作業を実施するために、ラインを設置することにした。ライン化を図ったことにより、製品のばらつきを防止することが可能となったと考えている。

我が国独自開発であるが故に開発上課題の解決は容易ではなかったが、最終的に要求性能を満足出来る機構を開発することが出来た。また、軌道上でも機構は所定の機能を満足し、問題無く作動した。

宇宙飛行士の船外活動に対応した設計については、設計の妥当性について、モックアップを製作し、水槽試験にて設計へのフィードバックを実施した。水槽試験は、当初、NASAや米国企業のサポートを受けて実施し、実施方法の技術蓄積を行った。筑波宇宙センターに水槽が出来、国内で試験が実施できるようになった後も、最初は米国企業のサポートを受けて試験を実施した。試験は開発段階で4回、運用確認で2回であった。

最終的には、計画立案、モックアップ設計、製作、試験実施を我が国だけで実施できるまで、レベルアップが図れた。設計への反映は、試験の度に数多く摘出され、その都度反映を行った。シャトルのエンベロープ制約から、スペースが限られているなか、機能的な要求の実現と船外活動要求をどう実現して行くか、困難を極めた。しかし、これらの試験を複数回実施することにより、より運用し易い、機器配置を達成することが出来、軌道上でも問題無く運用することが出来た。

#### 6.4 設計・製造からの経験と教訓

曝露部/補給部曝露区は、我が国に取って、開発実績のない初めての大規模な曝露環境対応の有人施設であった。

これらの大規模な施設の開発を意識し、実験装置やフリーフラーヤーの開発を通じて、マネジメントと技術の両面で体制整備とレベルの向上が図られた。

技術面では、有人対応/安全設計について、シャトル実験装置の開発を通じて、ベース作りを行うと共に NASA 要求の本質を理解するところから始め、一定のレベルに到達することが出来たと考えている。NASA 要求(2 故障許容等)を満足させるべく、安全評価解析、設計への反映を実施した。また、有人施設での使用にあたり、電子部品要求審査、使用材料審査について、膨大で細かなデータの提示を行って来た。ここで得られた不具合解析手法については、航空エンジン、プラントの開発に応用されている。

曝露環境対応にするための技術として、機構設計と要素技術として潤滑技術が必要であった。機構については、メカトロ技術者と結集してコンセプト作りを実施し、宇宙での制約や要求を考慮して、独自の技術で開発にあたった。ここで獲得した機構技術は、航空機エンジン

等の回転体の開発や車両ターボ等の使用環境が厳しいシステムに応用されている。

曝露部は、大電力を供給し排熱を出来るようにするために、受動型熱制御に加えて、流体ループを用いた能動熱制御を用いることにした。能動熱制御の開発にあたっては、衛星の推進系設計技術と原子力開発で培った熱管理設計技術を組み合わせることで達成した。また、与圧部向けに、与圧部熱制御系を並行して開発し、能動熱制御の共通的な技術の獲得とレベルアップに努めた。ここで獲得した能動熱制御技術は、プラント等の熱設計に応用されている。

プロジェクト管理については、NASA の業務の進め方、管理方法を取り入れ、まずは実験装置の開発で管理のベース作りを行い、その後、曝露部/補給部曝露区の開発で問題点を修正しつつ実施した。ここで獲得したプロジェクト管理は、航空エンジンの開発等で採用されている。

電気系についても、実験装置の制御措置で得た技術をベースに、国内の宇宙用の電気機器を開発したメーカーと協力して、電子分配機器、通信制御機器の開発を実施した。

曝露部/補給部曝露区の開発経験は、HTV 曝露パレット等の開発に応用されている。曝露パレットは、補給部曝露部と同様、物資の輸送を目的に開発されてきており、カーゴインタフェースの設計や機構の開発実績がうまく適用されている。また、曝露部とのインタフェースについても、補給部曝露区で一度、設計/調整を実施しており、課題の識別、解決が効率良く実施された。

JEM 曝露部で開発した技術は、探査用のローバに機構技術等が適用できる。能動熱制御や受動熱制御技術は、曝露環境で使用するシステムの必須項目であり、JEM で獲得した技術が適用できる可能性がある。

開発に参加した当初は、シャトル実験の経験すらない状況で、ロケット/衛星開発も米国の支援を受けて実施しているのが実情であった。それから、25年の歳月を経て、宇宙ステーション計画の中で、最大の規模の曝露部施設を完成することが出来た。開発の当初は、NASA や米国企業から支援を受けたが、開発の後半は我が国のみで開発を実施した。

技術基盤が確立していない状況を解決するため、社内の研究所にてデータの蓄積を図った。しかしながら、その様な活動で解決出来る予想範囲を超える事象が多々発生したが、最終的には、かなりの労力と時間を費やして全ての課題を解決に結び付けることが出来た。設計、製造、試験と言う、開発の過程での問題解決を経て獲得した技術が、真の技術であり、貴重な財産であると考えている。

国際共同プロジェクトであるが故に建設計画は、国際調整が必要となった。建設計画は、計画の度重なる変更やシャトルの事故等により、当初計画から大幅に遅れることになった。これにより、設計確認のための試験が十分実施でき、高い品質の製品を開発することが出来たと考えている。

一方、利用の観点では、計画が延びたことにより、実験機会を中々得ることが出来状況が続いてしまった。これにより、実験提案者の関心が薄れて来たのも事実であると考えてい

る。

宇宙ステーション計画が、2020年頃まで運用期間を延長が見込まれる中で、宇宙ステーションで唯一の本格的曝露実験の環境を提供出来る曝露部を我が国として建設したことにより、多様な実験の実施と、その成果の獲得が期待できると考える。

現状は、利用関係でも、曝露部利用の枠組みは、充実していると言えない面があり、利用の活性化の観点で、枠組みの再構築が期待されたと考える。

JEM「きぼう」の開発が完了し、HTVの開発も完了した今、苦勞してきぼうで獲得した技術を向上させるためにも、次に続く有人プロジェクトの立ち上げが望まれる。

## 第7章 JEM(きぼう)の利用促進並びに利用推進活動の変遷



## 目次

7.1 はじめに.....	7-3
7.2 宇宙ステーション・JEM(きぼう)の利用促進活動と利用推進活動の変遷 .....	7-6
7.2.1 JEM(きぼう)の開発着手と利用促進活動(昭和60年(1985)頃～平成4年(1992)頃) .....	7-6
7.2.2 宇宙環境利用に対する利用インフラ基盤の整備と利用促進活動 .....	7-15
7.2.3 宇宙環境利用の裾野拡大と利用分野の開拓(科学研究及び応用化研究) .....	7-23
7.2.3.1 宇宙開発事業団を中核とした利用研究の推進活動(その1) .....	7-23
7.2.3.2 宇宙開発事業団を中核とした利用推進活動(その2) .....	7-36
7.2.3.3 宇宙開発事業団を中核とした利用研究の推進活動(その3) .....	7-41
7.2.4 JEM(きぼう)利用の重点化・多様化への対応 .....	7-60
7.2.5 JEM(きぼう)利用の重点化・多様化・民間利用促進への対応.....	7-85
7.2.6 JEM(きぼう)の運用利用開始に向けた利用準備活動 .....	7-101
7.3 JEM(きぼう)利用推進(制度・推進方策)の変遷を踏まえた教訓 .....	7-123
7.3.1 JEM(きぼう)利用の促進・推進の変遷(概略の流れ) .....	7-123
7.3.2 今後のJEM(きぼう)利用の促進・推進の方向(「第四の段階」に対する配慮事項)	7-131

## 7.1 はじめに

本章では、国際宇宙ステーション(以下、「ISS」)における日本実験棟(以下、「JEM(きぼう)」)の利用を中核的な手段として位置付け構築が進められてきた我が国の宇宙環境利用が、どのような道筋を経て現在の「かたち」を持つに至ったのかを概観する。そのために、国と宇宙機関がこれまでに取り組んできた利用の促進及び推進の主要な活動を年代順に追跡し、それぞれが目指した目標、取り組んだ課題、残された問題等の把握を試みた。その上で、今後の JEM(きぼう)利用を効果的に進めるための利用促進及び利用推進の望ましい方向について、これまでの経験と教訓を踏まえて考察を行った。

国際協力プロジェクトとして進められてきたこの ISS 計画には、政治家、産学官の関係者、宇宙開発技術者、研究者等の利用者が多数関わり、ISS を利用する宇宙環境利用の分野も極めて多岐に亘る。しかも、計画の立ち上げから地球周回低軌道(以下、「LEO」)に JEM(きぼう)が姿を現すまでの約四半世紀の間に、世界の政治経済情勢が大きく変貌し、科学技術の急速な発展に伴って、科学研究や応用研究の主要課題と問題認識にも変化の波が押し寄せた。そして、その潮流が現在もなお続いている。その一方で、科学技術や人文社会科学の新たな展開に対応した新しい利用分野や研究領域も誕生した。このような周辺環境のダイナミックな変化に晒されて、宇宙環境利用は現在もなお変容し続けている。そのような状況の中で進められてきた宇宙環境利用の促進及び推進の諸活動について、これまでの施策が重視した視点と課題解決の方向を可能な限り要約し、その背景にある基本的な考え方等を抽出するように心がけた。

このための本章の記述方針としては、JEM(きぼう)の利用促進及び利用推進に直接的な効果や大きな影響を与えた「国の方針と施策」に着目し、それぞれが提示された年代を中心に、これまでの約 20 数年を幾つかの期間に分割、それぞれの期間における利用促進及び利用推進の施策並びに関連の活動を、宇宙環境利用を取り巻く環境条件とともに要約した。そのことによって、JEM(きぼう)の利用推進と利用促進の全体の流れ、問題の所在や本質等を一般の読者にも理解できるよう、分割した各期間の記述内容には、概ね、次の事に関する記述が含まれるように配慮した。

- ◆ ISS(宇宙ステーション)計画と JEM(きぼう)利用の「周辺環境」と「課題」
- ◆ 利用の促進及び推進の立場から見た、国の方針と施策の「要点」
- ◆ 国の方針と施策のうち、利用の促進及び推進のための新たな施策と制度の主な「特徴」
- ◆ 国の方針と施策に基づく、宇宙機関(NASDA/JAXA)の「活動と対応状況」の概要
- ◆ 宇宙環境利用の「進展」、新たな施策と制度等の「効果」、残された「課題」

上記の記述方針を採用するにあたって、JEM(きぼう)の利用促進及び利用推進の展開に直接的な効果や大きな影響を与えた「国の方針と施策」を把握するために抽出した「国の政策文書(宇宙開発委員会報告及び部会報告等)」を、第7章の目次対応(7.2.1 節～7.2.5 節)で表 7.1-1 に示した。(7.2.6 節以降は、「国の政策文書等」との直接の対応関係はない。)また、本章で用いる記法及び略語等の一覧を表 7.1-2 に示した。

尚、第2章には「宇宙ステーション計画参加全体概要と取り組みの経緯」が詳述されており、本章で記述する事象等を年代順に抽出する際の基準にしたのが第2章である。従って、昭和 57 年(1982)以降現時点に至るまでの年単位の ISS(宇宙ステーション)計画の進捗と JEM(きぼう)利用の進展並びに主要な事象の全体概要については、第2章を参照されたい。

表 7.1-1 目次の「各節」と「報告等」の対応

目次	報告書等の対応
7.2.1 節: 「JEM(きぼう)の開発着手と利用促進活動」(昭和60年(1985)頃～平成4年(1992)頃)	1. 「宇宙基地計画参加に関する基本構想」 宇宙開発委員会・宇宙基地計画特別部会 昭和60年(1985)4月 2. 「宇宙基地特別部会中間報告」 宇宙開発委員会・宇宙基地計画特別部会 昭和61年(1986)7月 3. 「宇宙ステーションの開発利用の本格化に向けて」 宇宙開発委員会・宇宙基地特別部会 昭和62年(1987)7月
7.2.2 節: 「宇宙環境利用に対する利用インフラ基盤の整備と利用促進活動」 －日本全体で宇宙環境利用を推進する体制の構築－(平成4年(1992)～平成8年(1996))	4. 「宇宙ステーション取付型実験モジュール(JEM)の利用の基本方針」 宇宙開発委員会・宇宙ステーション部会 平成4年(1992)5月 5. 「宇宙開発政策大綱」(第三次改訂)宇宙開発委員会 平成8年(1996)1月
7.2.3 節: 「宇宙環境利用の裾野拡大と利用分野の開拓」(科学研究及び応用化研究)－宇宙開発事業団を中核とした利用推進体制の構築と利用推進活動－(平成8年(1996)～平成12年(2000))	6. 「宇宙環境利用の新たな展開に向けて－宇宙環境利用の当面の推進方策－」 宇宙開発委員会・宇宙環境利用部会 平成8年(1996)7月 7. 「宇宙ステーションの民間利用の促進に向けて－応用化研究分科会報告書－」 宇宙開発委員会・宇宙環境利用部会 平成10年(1998)7月 8. 「我が国の宇宙開発の中長期戦略」 宇宙開発委員会・基本戦略部会 平成12年(2000)12月 9. 「国際宇宙ステーションの本格的利用に向けて－初期利用フェーズにおける推進方策－」 宇宙開発委員会・宇宙環境利用部会 平成12年(2000)12月
7.2.4 節: 「JEM(きぼう)利用の重点化と多様化への対応」－中央省庁再編後の国際宇宙ステーション計画の見直し(その1)－(平成13年(2001)～平成15年(2003)9月)	10. 「今後の宇宙開発利用に関する取組みの基本について」 総合科学技術会議・宇宙開発利用専門調査会 平成14年(2002)6月 11. 「我が国の宇宙利用推進の基本的方向と当面の方策」 宇宙開発委員会・利用部会 平成14年(2002)6月 12. 「我が国の宇宙開発利用の目標と方向性」及び「別紙3」 宇宙開発委員会 平成14年(2002)6月 13. 「我が国の国際宇宙ステーション運用・利用の今後の進め方(中間報告)」 宇宙開発委員会・国際宇宙ステーション利用専門委員会 平成15年(2003)6月
7.2.5 節: 「JEM(きぼう)利用の重点化と多様化並びに民間利用促進への対応」 －宇宙航空研究開発機構発足後の国際宇宙ステーション計画の見直し(その2)－(平成15年(2003)10月～平成18年(2006))	14. 「宇宙開発に関する長期的な計画」 宇宙開発委員会 平成15年(2003)9月 15. 「我が国の国際宇宙ステーション運用・利用の今後の進め方(最終報告)」 宇宙開発委員会・利用部会 平成16年(2004)4月 16. 「我が国の宇宙開発利用の基本戦略」 総合科学技術会議・宇宙開発利用専門調査会 平成16年(2004)9月

表 7.1-2 記法及び略語一覧 (ABC 順)

年号	:常に西暦と共に表記する。 例)平成 22 年(2010)、平成 22 年度(2010)
鍵括弧『…』	:参考文献からの直接の文章引用部分を表す。
AO	:利用募集案内
APRSAF	:Asia-Pacific Regional Space Agency Forum (アジア太平洋地域宇宙機関会議)
CSTP	:総合科学技術会議
ESA	:欧州宇宙機関
FMPT	:第一次材料実験
FS	:フイジビリティスタディ
H-II	:H II ロケット
IFSUSS	:International Forum on Scientific Uses of Space Station (宇宙ステーションの科学的利用に関する 国際フォーラム)
IML	:国際微小重力実験室
ISAS	:宇宙科学研究所
ISS	:国際宇宙ステーション(宇宙ステーション)
JAXA	:宇宙航空研究開発機構
JEM(きぼう)	:日本の宇宙ステーション取付型実験棟(きぼう)
JEM 与圧部	:JEM(きぼう)の船内実験室
JEM 曝露部	:JEM(きぼう)の船外実験プラットフォーム
JSF	:日本宇宙フォーラム
JSUP	:(財)宇宙環境利用推進センター
LCDE	:光通信実験装置(光通信実験ミッション)
LEO	:地球周回低軌道
MAXI	:全天 X 線監視ミッション
MEXT	:文部科学省
NASA	:米国航空宇宙局
NASDA	:宇宙開発事業団
PUP	:国内利用計画
SAC	:宇宙開発委員会
SEDA-AP	:宇宙環境計測装置(宇宙環境計測ミッション)
SFU	:宇宙実験・観測フリーフライヤ
SH	:スペースハブ
SM	:ISS のロシアサービスモジュール
SMILES	:サブミリ波リム放射サウンダ実験ミッション
STS	:Space Transportation System(スペースシャトル)
SSUAS	:Space Station Utilization Advisory Subcommittee (NASA の宇宙ステーション利用諮問委員会)
STA	:科学技術庁
TR-1A	:TRIA 小型ロケット
UI	:ユーザインテグレーション
WS	:ワークショップ
WG	:ワーキンググループ

## 7.2 宇宙ステーション・JEM(きぼう)の利用促進活動と利用推進活動の変遷

### 7.2.1 JEM(きぼう)の開発着手と利用促進活動(昭和60年(1985)頃～平成4年(1992)頃)

#### (1)「宇宙基地計画」立ち上げ時の状況

NASAは、昭和57年(1982)5月、順調に進展してきたスペースシャトル計画の後に続く大型プロジェクトとして宇宙基地計画の検討に着手、この計画を国際協力で推進するとして、同年6月、日本、カナダ、欧州諸国に、調査研究段階からの検討参加を呼びかけた。日本はこの宇宙基地計画への取り組みの方針を検討するために、同年8月、SACに宇宙基地計画特別部会を設置し、計画に参加する場合の日本の基本構想の検討を開始した。当時の宇宙基地は、「宇宙環境を利用する新しい科学、技術、産業を発展させ、学術研究の領域拡大と質の向上に貢献し、広範な宇宙活動の可能性を拓くLEOの恒久的な有人宇宙施設」と位置付けられていた。、広範な利用者の多様なニーズに応えることを目標に設計と開発を行い、21世紀にかけてその機能を発展させることを想定しつつ、1990年代の初頭にはLEOに打上げて運用利用を開始することを目指すとされていた。[7.2.1-3]

この宇宙基地計画への参加に関する当時の日本の検討は、宇宙基地の利用形態に関する調査検討(利用要求調査、ミッション解析、機能要求の明確化、それらに基づく宇宙基地のシステム構成案の検討)が中心であった。この目的から、宇宙基地計画特別部会で、宇宙基地を利用するテーマ(利用テーマ)と宇宙基地構成要素の開発を行う場合に想定されるテーマ(開発テーマ)について、国立試験研究機関、大学、民間などの専門家を対象にした幅広い調査が行われ、宇宙基地の利用に対する日本全体の潜在的なニーズを把握し、それに基づいて宇宙基地計画に対する日本の参加形態の案が取りまとめられた。(7.2.1節の最後に掲載した別紙7.2.1-1及び7.2.1-2を参照。)

当時の我が国にとって宇宙基地計画の意義は、①「高度技術の修得」、②「次世代の科学や技術の促進と宇宙活動範囲の拡大」、③「国際協力への貢献」、④「宇宙環境利用の実用化の促進」とされていた。[7.2.1-3] このために、宇宙基地計画への参加に対する産業界、大学、国立試験研究機関等の期待は大変に大きなもので、当時の有様は、昭和58年(1983)6月に開催された「スペースステーション講演会」の講演集「まえがき」からも推し量ることができる。[7.2.1-1] 当時、宇宙における実材料製造の可能性やその価値については、産業界を中心に広範な調査検討が行われ、産業の新規分野の開拓としても期待が膨らんでいた。

このような日本の各界、各層の大きな期待を背景にして、宇宙基地計画特別部会は、昭和60年(1985)4月、宇宙基地計画参加の基本構想[7.2.1-3]を取りまとめ、NASAの宇宙基地予備設計段階の活動に参加する際の国の方針が決定された。その後、予備設計段階における重要事項や開発段階以降の国の基本的な考え方を調査審議するために、SACに「宇宙基地特別部会」が設置され(昭和60年(1985)8月)、特別部会での検討を経て、宇宙ステーション計画(この当時から、宇宙基地が宇宙ステーションと呼ばれるようになる)への開発段階以降の参加が国の方針として決定された。[7.2.1-4]、[7.2.1-7](7.2.1節末の別紙7.2.1-2参照) この間、予備設計の進捗状況と利用要求(ミッション要求)の取扱い等について利用者に現状を報告し、利用者の技術要求を把握して予備設計に反映させることなどを目的に、昭和60年(1985)10月、宇宙ステーション利用計画WS(第1回)が開催され、予備設計期間中に2回のWSが開催された。その後WSは、平成3年(1991)までは年2回程度の頻度で、それ以後は年1回程度の頻度で継続

的に開催され現在(平成 21 年(2009))に至っている。WS の開催目的は、宇宙ステーション利用に関する我が国の状況、国際パートナーの状況、利用の促進及び推進の体制、宇宙環境利用(宇宙実験)の実施状況等の情報を利用者に提供して利用の理解を深めるとともに、利用の拡大を図るための利用者の意見をとりまとめ、宇宙ステーション利用計画等に反映させることであった。(宇宙ステーション利用計画 WS の開催概要については、8. 2 節及び 8. 3 節を参照。)

宇宙基地特別部会報告[7.2.1-7]は、その「まえがき」で、『今後ここに示された基本的考え方等に基づき、政府をはじめ我が国、産・学・官の総力を挙げて宇宙ステーション計画が強力に推進されることを望むとともに、宇宙ステーション計画を一つの踏み台として我が国の宇宙開発利用が大きく開花することを期待する。』と述べており、当時の宇宙ステーション計画への参加に対する関係者の期待の大きさが表れている。開発フェーズへの参加の段階で整理された宇宙ステーション計画への参加の意義は、①「宇宙科学の発展及び地球観測の推進への寄与」、②「宇宙環境利用の実用化の促進」、③「宇宙科学技術の高度化及びこれに伴う科学技術一般の振興」、④「国際社会への貢献」、という 4 項目に集約されていた。

その後、平成元年(1989)6 月、宇宙開発政策大綱(改定)[7.2.1-8]は、「宇宙開発活動における重点目標」に、宇宙環境利用の展開、及び有人宇宙活動の展開のための基盤の形成を掲げた。その中の「今後 10 年程度の間実施すべき宇宙開発活動」には、「宇宙環境利用の分野における宇宙開発活動」と「有人宇宙活動の分野における宇宙開発活動」の遂行方針、及び、宇宙ステーション等への物資の大量輸送需要に応えるために H-II 派生型ロケットを対応させる等の方針が掲げられていた。

## (2) 利用の促進及び推進に関する国の方針と施策

宇宙基地特別部会報告[7.2.1-7]は、昭和 62 年(1987)7 月、1)「搭載実験装置の開発」(初期段階における当面の対応)、2)「宇宙ステーションの運用利用」、3)「有人宇宙活動のための科学技術の推進」、及び 4)「総合的推進基盤の整備」について次の方針を示した。

### 1) 搭載実験装置の開発(初期段階における当面の対応)：

共通実験装置([注釈]<sup>1</sup>)は NASDA を中心に開発整備を行う。一方、利用者固有の実験装置は、原則的には、利用者自らがその負担で開発を行う。

### 2) 宇宙ステーションの運用利用：

宇宙ステーション計画に本格的に参加するにあたり、宇宙ステーションを「軌道上実験室」並びに「技術開発テストベッド」と位置付けて、国全体で対応すること。地上研究を含めた利用活動を体系的、総合的に推進すること。その際に、長期的展望に立ち、科学研究、応用研究等でバランスのとれた運用利用を実現すること。その上で、基礎科学研究並びに有人宇宙と宇宙環境利用のための基盤技術開発に、国の総力を挙げて取り組むなど、宇宙ステーションの運用利用の推進方策について次の方針を示した。また、運用利用計画の策定に当たって、「SAC」、「利用とりまとめ機関(各省庁、ISAS、JSUP)」、「NASDA」それぞれの役割が規定された。

---

[注釈]<sup>1</sup> 共通実験装置の定義：多数の利用が予想される汎用的実験装置及び我が国の科学技術振興上重要と考えられる基礎的、共通基盤の実験のための装置

項目	概要
①基本的考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「宇宙空間に浮かぶ開かれた実験室」及び「将来の宇宙インフラ構築のための基礎的諸活動の場」と位置付ける。</li> <li>◆ 国全体として対応する。</li> <li>◆ 地上研究を含めて、利用活動を体系的、総合的に推進する。</li> <li>◆ 長期的展望に立ち、科学研究、応用研究等でバランスのとれた運用利用を実現する。</li> <li>◆ 国際共同研究等に配慮する。</li> <li>◆ 特許、ノウハウの保護等に配慮する。</li> </ul>
②推進方針	<p>初期段階では、特に下記分野を重点的に推進する。その際に、NASDA は中心的役割を、国立試験研究機関、大学等は先導的役割を果たすことを期待。民間では、情報の収集・提供、宇宙利用に関する調査研究等について JSUP 等を中心に積極的に取り組むことを期待。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 基礎的科学的現象の解明に関すること。</li> <li>◆ 宇宙ステーション利用に係る基盤的技術に関すること。</li> <li>◆ 宇宙インフラ構築に必要な科学技術(有人サポート技術)に関すること。</li> </ul>
③宇宙実験等の推進(地上研究及び予備的宇宙実験)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 大学、関係省庁、民間企業は、宇宙実験に先立って、地上での体系的な研究活動を積極的に推進する必要がある。このために、「データベースの構築」、「実験手段(落下棟、航空機、小型ロケット等)の確保」等、研究基盤を充実させる必要がある。</li> <li>◆ NASDA は、上記の研究活動に資するために、実験手段等の充実に努め、自らも地上研究に積極的に取り組み、国立試験研究機関、大学等と協力して、我が国の宇宙環境利用技術基盤の確立を目指す。</li> <li>◆ 国立試験研究機関、大学等は、この分野の我が国全体の研究開発活動を増進させる役割を果たすべく、基礎的・先行的分野で、それぞれの研究開発活動を充実させる。</li> <li>◆ 宇宙ステーションでの本格的宇宙実験に備えるため、地上研究に加えて、宇宙の実験を通して技術・経験の蓄積を図る必要がある。そのために、我が国で計画中の FMPT や IML 計画への参加、SFU の活用等は極めて重要であり、このような実験機会の確保に国として努力する必要がある。</li> <li>◆ 国は、NASDA を中心としてデータベースの整備等を進め、上記の経験・成果等をデータベース化して利用者の便などに供する。</li> </ul>
④宇宙ステーションでの宇宙実験等の進め方(運用利用計画の策定)	<p>原則的に下記の考え方で我が国の宇宙ステーション運用利用計画を策定する。尚、運用利用段階の資金負担(利用経費負担)については、利用者の適正・応分の負担を原則として今後検討する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 関係省庁は、その所管において利用要求のとりまとめを行う。</li> <li>◆ ISAS は大学等における科学分野の利用要求のとりまとめを行う。</li> <li>◆ JSUP は、民間の利用要求とりまとめに関して中心的役割を果たすことを期待。</li> <li>◆ SAC は、宇宙ステーション運用利用に関し恒常的に調査、審議を行う場を設け、我が国としての全体運用利用計画のとりまとめを行う。</li> <li>◆ NASDA は、JEM 運用主体として、SAC のとりまとめ作業に協力する。</li> </ul>

## 3) 有人宇宙活動のための科学技術の推進:

宇宙ステーションを利用して獲得できる「宇宙医学、人間科学、生物学等」の知見は、無重量の障害を最小限度に留め、適切な対処療法を開発するための知識を提供し、ひいては基本となる生体のメカニズムを解明することにもつながる。このための知見獲得に向けて、次の課題が設定された。

- ◆ 「宇宙医学、人間科学、生物学等」の知見の蓄積は有人宇宙活動基盤技術の確立にとって不可欠であり、そのためにどのような実験を実施すべきか十分検討すること。(宇宙ステーションの実験を円滑に行うための準備として、地上予備実験についても検討すること。)

## 4) 総合的推進基盤の整備:

宇宙ステーション利用を総合的に推進する。このための①「SACの役割」、②「民間の宇宙ステーション利用活動の促進における国の役割」が、次のように規定された。

	概要
①SACの役割	宇宙ステーション利用の総合的推進を図る。そのため次の役割を設定。 <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 利用計画の策定方針、手続き、資金負担等について引き続き審議し、それに基づいて全体運用利用計画のとりまとめを行う。</li> <li>◆ 共通実験装置の選定を行う。</li> <li>◆ 「推進方針」で規定された分野の推進方策の審議等を行う。</li> </ul>
②民間の宇宙ステーション利用活動の促進における国の役割	次のことに対して所要の措置を講ずることにより、民間における新たな宇宙ステーション利用の創出、応用分野への発展を促進し、将来の民間における宇宙ステーション利用活動の展開に資する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 共通実験装置の開発。</li> <li>◆ 運用利用の「推進方針」で示された、「初期段階における重点分野の推進」、及び、「宇宙実験等の推進(地上研究、宇宙ステーション利用に向けた予備的実験)」。</li> </ul>

## (3) 利用の促進及び推進のための新たな施策と制度の主な特徴

特別部会報告[7.2.1-7]に基づいて、「国際社会への積極的貢献」、「自主開発能力の向上」、「国内ユーザの広範なニーズへの柔軟な対応」、「宇宙ステーションの発展への対応」という基本方針のもとに、宇宙ステーション計画の初期段階における参加形態(JEM(きぼう)のシステム構成)が決定され、JEM(きぼう)の開発、その利用に向けた様々な宇宙環境利用の基盤整備、制度と体制の構築等の準備活動が開始された。

一方で、宇宙ステーションの利用活動は、本来、利用者それぞれの創意工夫が基本になるが、欧米諸国と比べて宇宙環境利用の科学技術基盤が未整備で、宇宙実験に関するデータと経験の蓄積も乏しい日本の状況を踏まえて、「宇宙開発利用の総合的推進と実用化の促進」に向けた日本全体の取り組みが最も重視され、宇宙ステーションの初期運用段階における重点施策として、(2)の方針が設定された。

宇宙環境利用(宇宙ステーション利用)を促進するための基盤インフラと、宇宙環境利用(宇宙ステーション利用)の促進及び推進の体制は、それぞれの役割分担に応じて、日本全体として整備すること。この方向に一步踏み出したのが特別部会報告の特徴であった。特別部会報告は、



また、JEM の開発及び運用主体である NASDA が、日本全体の宇宙環境利用を促進するために必要不可欠な基盤整備の役割も担うとの方針を示し、「JEM 共通実験装置の開発整備」、「実験手段(落下塔、航空機、小型ロケット等)充実の努力」、「データベースの整備運用」、「我が国の宇宙環境利用基盤の確立に資する地上研究への取り組み」を NASDA の役割とした。

#### (4) 国の方針と施策に基づく宇宙機関の活動と対応状況

特別部会報告[7.2.1-7]を受けて、昭和 62 年(1987)11 月、NASDA は宇宙環境利用推進プロジェクトに着手した。プロジェクトの構成は、「プロジェクト管理及びシステムエンジニアリング」、「利用要求とりまとめ」、「共通実験装置の開発」、「地上設備の整備」からなり、JEM(きぼう)の利用準備を体系的に開始するための準備プロジェクトの性格を有していた。(第2章の「昭和 62 年の取り組み」参照。) 本プロジェクトは、平成 2 年(1990)12 月に、「宇宙ステーション開発プログラム宇宙環境利用プロジェクト」へと発展的に継承されるが、同プロジェクトは、①利用者支援システムの整備、②宇宙実験共通技術の開発、③小型ロケットによる実験、④実験系・共通実験装置の開発、及び⑤宇宙ステーション利用計画作成支援、の 5 つのサブプロジェクトから構成され、宇宙ステーション・JEM(きぼう)の運用利用の準備活動が、このプロジェクトを契機に本格的にスタートした。(「宇宙実験共通実験技術の開発」については8. 4節を、「実験系・共通実験装置の開発」については8. 5節を参照。)

一方、特別部会報告が示した「実験手段充実の努力」の一環として、上記③、②に対応するために、昭和 63 年(1988)、NASDA は宇宙実験用小型ロケット(TR-1A)を用いた微小重力実験システムの開発に着手し、宇宙実験手段の整備及び宇宙ステーションでの各種実験に必要な共通実験技術の開発を目的として、微小重力実験計画([注釈]<sup>2</sup>)[7.2.1-9]が実施された。この計画の目的は、短時間微小重力実験手段の確立、基礎的・基盤的な宇宙実験技術及び関連の科学的・技術的データの取得とされた。(「小型ロケットによる実験」の概要は8. 4. 6節を参照。)

また、データベースについては、宇宙環境利用に関わる情報を収集・蓄積し、JEM(きぼう)等の利用者に宇宙実験技術情報を提供して宇宙環境利用の促進を図ることを目的に、平成 3 年(1991)12 月に「宇宙環境利用データベース」の整備運用が開始された。

#### (5) 宇宙環境利用の「進展」、新たな施策と制度等の「効果」、及び残された「課題」

特別部会報告[7.2.1-7]に基づき、平成元年(1989)12 月、宇宙ステーション JEM(きぼう)の総合的な利用推進を図るために SAC に「宇宙ステーション部会」が設置された。そして、平成 2 年(1990)1 月から、「JEM 利用の基本方針」に関する調査審議が開始された。同時に、宇宙ステーション利用に関する専門的事項を検討するために、同部会に「利用分科会」が設置され、同年 4 月から平成 4 年(1992)4 月までの間、「JEM 利用テーマの募集・選定の方法」、「JEM 利用事前調査とその解析」、「JEM の利用促進方策」、「共通実験装置の選定」、「JEM の利用に係る費用分担」、及び、これらの検討のまとめとしての「JEM の利用の基本方針案」に関する集中的検討が順次行われた。その結果は、平成 4 年(1992)5 月、「宇宙ステーション取付型実験モジュール(JEM)の利用の基本方針」[7.2.2-1]として取りまとめられた。この「基本方針」が次節の7. 2. 2節

[注釈]<sup>2</sup> 微小重力実験計画：平成 3 年(1991)9 月 1 号機の打上げ、平成 4 年(1992)8 月 2 号機の打上げ、及び平成 5 年(1993)9 月 3 号機の打上げが順次実施された。

における主な話題になる。

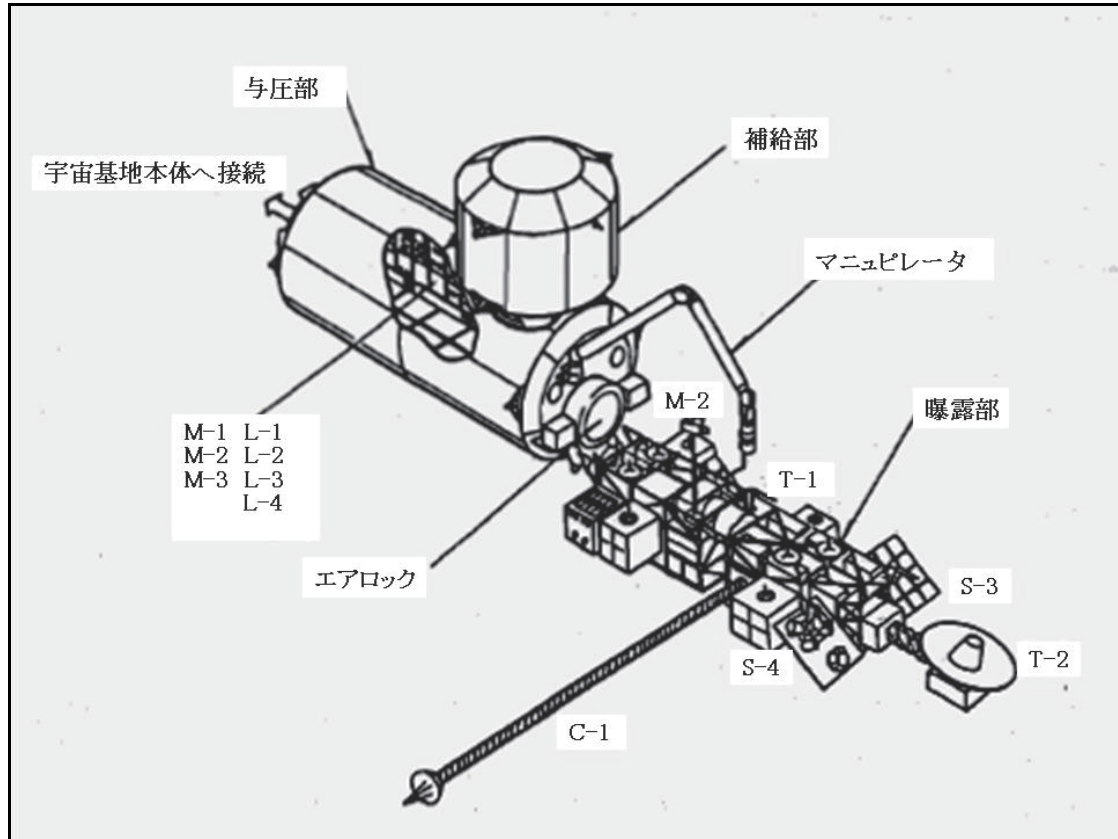
米国の宇宙ステーション計画の見直し(リストラクチャリング:第2章 2.3.3節~2.3.5節参照)により、平成3年(1991)8月、JEM(きぼう)の打上げ年度が平成10年度(1998)に変更されていた。この変更と、宇宙ステーション計画の利用計画策定プロセスの規約に準拠するために、平成10年度(1998)に開始を想定するJEM(きぼう)の利用テーマを、平成5年度(1993)には選定(一次選定)しておく必要があった。このことから、JEM(きぼう)の初期段階での利用に供するJEM 共通実験装置候補の検討が加速されていた。宇宙ステーション利用計画 WS における共通実験装置の検討と利用者の要望、JEM 利用事前調査における共通実験装置の要望を踏まえ、また、国際パートナーの実験装置の開発予定なども考慮して、NASDA は開発すべき共通実験装置の候補をとりまとめて利用分科会に報告(平成3年(1991)2月)、SAC は、これらの検討を踏まえて共通実験装置の決定のための準備を進めていた。

その一方で、世界の政治情勢は激変の最中であつた。平成3年(1991)12月、ソ連が崩壊して冷戦時代に幕がおりた。このことが数年後には、宇宙ステーション計画に極めて大きな影響を与える事態へと発展していく。

## 別紙 7.2.1-1 参加が考えられる利用テーマ(基本構想段階の利用テーマ分類)[7.2.1-3]

分野/テーマ名	概要
科学観測 S-1 天体観測プラットフォーム S-2 赤外線望遠鏡 S-3 高エネルギー宇宙線 S-4 ガンマ線バースト S-5 ラインガンマ線観測 S-6 X線望遠鏡 S-7 重力波検出用干渉装置 S-8 スペースVLBI S-9 太陽活動モニタ望遠鏡 S-10 サブミリ波天体観測	地球大気の影響を受けない宇宙空間の特性と宇宙基地の特性(有人、長期的施設など)を利用して、広い観測波長域にわたる天体観測及び支援技術の開発等を行う。
地球観測 E-1 レーザ測距 E-2 地球観測技術試験 E-3 大気圏観測 E-4 海洋情報即時通報システム E-5 地球観測データ処理装置 E-6 陸域観測	各種の複合センサ、大型センサ等の観測器および観測技術の開発及びフリーフライヤによる海洋観測、陸域観測等へ応用する。
通信 C-1 宇宙空間におけるRFI対策技術研究 C-2 大型アンテナの高精度鏡面制御系の機能試験 C-3 宇宙通信技術試験 C-4 重力安定型アンテナの機能試験 C-5 大型静止衛星組立、保守、技術開発試験	大型アンテナの組立、機能試験、さらには大型通信衛星の組立などを行う。
材料実験・製造 M-1 材料基礎科学実験 M-2 新材料製造実験 M-3 宇宙製造実用化実験	微小重力など宇宙環境を利用して、地上では得難い新材料の製造及びそれに必要な基礎科学、製造技術の実験を行う。
ライフサイエンス L-1 生物学 L-2 宇宙医学 L-3 生態系生命維持システム L-4 バイオテクノロジー	地上では得られない生体試料の分離、培養をはじめ、宇宙医学実験、閉鎖生態系実験等を実施して、宇宙環境下でのライフサイエンスの振興と実用化をはかる。
理工学実験 T-1 宇宙環境性能試験 T-2 大型アンテナシステム技術 T-3 大型構造物組立技術 T-4 宇宙エネルギー実験 T-5 宇宙ロボット技術 T-6 バスモジュールシステム技術 T-7 二次元展開太陽電池アレイ T-8 集光型熱機関発電機 T-9 液体貯蔵、移送技術 T-10 将来型宇宙発電システム	将来の宇宙技術の確立と宇宙基地の発展に必要な新しい宇宙技術の開発研究、太陽エネルギーの変換、利用の技術開発などを行う。

別紙 7.2.1-2 初期段階における日本実験棟の構想 [7.2.1-7]  
(ミッションのコードは別紙 7.2.1-1 を参照)



### 7.2.1 節の参考文献

- [7.2.1-1] 「スペースステーション講演会」 日本航空宇宙学会 昭和 58 年(1983)6 月
- [7.2.1-2] 「宇宙基地と宇宙利用」 日経エアロスペース別冊 昭和 59 年(1984)
- [7.2.1-3] 「宇宙基地計画参加に関する基本構想」 宇宙開発委員会・宇宙基地計画特別部会 昭和 60 年(1985)4 月
- [7.2.1-4] 「宇宙基地特別部会中間報告」 宇宙開発委員会・宇宙基地計画特別部会 昭和 61 年(1986)7 月
- [7.2.1-5] 「宇宙基地システム 利用技術の動向ー宇宙ステーション講演会報告」 日本航空宇宙学会誌 第 34 巻 第 385 号 63-71 昭和 61 年(1986)2 月
- [7.2.1-6] 「宇宙基地計画の現状と展望ー第 2 回宇宙ステーション講演会報告」 日本航空宇宙学会誌 第 34 巻 第 395 号 635-646 昭和 61 年(1986)12 月
- [7.2.1-7] 「宇宙ステーションの開発利用の本格化に向けて」 宇宙開発委員会・宇宙基地特別部会 昭和 62 年(1987)7 月
- [7.2.1-8] 宇宙開発政策大綱(改定) 宇宙開発委員会 平成元年(1989)6 月
- [7.2.1-9] 「宇宙環境利用研究システム/宇宙環境利用研究センター 成果報告書 第 3.2 章 宇宙実験用小型ロケット(TR-1A)プロジェクト」 宇宙開発事業団 平成 15 年(2003)9 月

## 7.2.2 宇宙環境利用に対する利用インフラ基盤の整備と利用促進活動

ー日本全体で宇宙環境利用を推進する体制の構築ー(平成4年(1992)～平成8年(1996))

### (1) 宇宙ステーション・JEM(きぼう)を取り巻く状況と課題

平成4年(1992)9月、スペースシャトル(チャレンジャー号)の事故で大幅に遅れていたFMPT(毛利宇宙飛行士搭乗)が成功裏に実施された。日本が宇宙環境利用(宇宙実験)に本格的に参入、数多くの研究者と技術者がスペースラブ利用の宇宙実験を体験して、宇宙実験データを多量に取得した最初の機会になった。これに先立つ同年5月、SAC宇宙ステーション部会は、宇宙ステーション・JEM(きぼう)の初期運用利用段階における利用の基本方針として、「JEM利用の基本方針」[7.2.2-1]をとりまとめた。その後、この基本方針に沿って、「日本全体で宇宙環境利用を推進する体制」の構築と利用促進体制の整備が進められ、平成62年(1987)7月の特別部会報告に提示されていたJEM(きぼう)利用の基本方針の幾つかが実施に移された。そのための具体的プロセスを定めたのが「JEM利用の基本方針」であった。

一方、宇宙ステーションを取り巻く国際情勢は、平成5年(1993)以降、激動期を迎える。平成5年(1993)2月、クリントン新政権は、自国の財政再建の一環として「宇宙ステーション計画の見直し」を指示、これを受けたNASAは「宇宙ステーション見直し検討チーム」を設置し、国際パートナーとロシアを巻き込んで「宇宙ステーション再設計」に関する大規模な検討が行われた。その検討の結果、同年12月までには、ロシアが参加する新宇宙ステーションの概念が具体化され(同年12月、ロシアを宇宙ステーション計画に招聘)、翌年(1994)早々には、新宇宙ステーション(国際宇宙ステーションISS)のシステム設計審査が実施されるなど、新計画への変更のプロセスが具体化する。その途上の平成5年(1993)8月には、米国の計画見直しの一環で、JEMの打上げ年度が平成11年度(1999)に延期されていた。その後、関係国の間で、新計画(ISS計画)に対応した宇宙基地協力協定の暫定合意がなされたのは、平成8年(1996)12月のことであった。この一連の計画見直しの結果、JEM(きぼう)の打上げは更に延期され、平成8年(1996)8月の段階で、平成12年度(2000)及び平成13年度(2001)の実施とされていた。

この激動期が、「JEM利用の基本方針」の設定直後の時期と重なった。計画見直しに伴うJEM(きぼう)打上げの度重なる遅延のために、我が国の宇宙環境利用にとって、「JEM(きぼう)利用に先立つ宇宙実験機会の確保」が喫緊の課題となっていた。IML-2(平成6年(1994)7月実施、向井宇宙飛行士搭乗)以降の新たな宇宙実験機会(JEM(きぼう)利用実験のための予備実験機会など)を確保するために、シャトル・ミール共同フライト(ロシア参加のISSの組立リスク低減を目的とした米ロ共同ミッション)の利用、スペースシャトル(搭載のスペースハブを含む)の利用、ロシアミールの利用など、可能な限り数多くの飛行機会を獲得して我が国の宇宙実験を早期に実施する、このための様々な努力が傾注されていた。

### (2) 利用の促進及び推進に関する国の方針と施策

平成2年(1990)1月に始まった宇宙ステーション部会は、平成4年(1992)5月、JEM(きぼう)の利用を総合的に推進するために、「JEM利用の基本方針」を部会報告[7.2.2-1]としてとりまとめた。その当時、JEM(きぼう)の運用利用の開始は、平成10年(1998)中頃からとされていた。部会報告は、JEM(きぼう)の運用利用の特徴を、①「極めて長期に亘る運用利用」、②「その機能や利用形態等が時間の経過に伴って変化」、③「不特定多数の利用者による利用」、及び④「国際

協力と国際調整のもとでの利用」とした上で、「JEM 利用の基本方針」として次の考え方を提示した。(以下、基本方針の骨子を示す。)

#### 1) JEM 利用計画策定:

主な利用分野を、「材料」、「ライフサイエンス」、「理工学・通信分野の研究」、「天体・太陽系観測及び地球観測」、「宇宙インフラ整備のための基盤的先進的な技術開発」と想定し、長期的な展望に立って我が国の JEM(きぼう)利用の具体的なニーズを踏まえ、各分野で基礎研究から応用研究のバランスのとれた利用を国全体として計画的、効率的に推進するとして、そのために、次の基本方針を示した。

項目	基本方針(骨子)
利用計画の策定	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 利用テーマは公募して選定。</li> <li>◆ 初期段階は、JEM(きぼう)及び共通実験装置等の機能検証と運用利用技術の実証に重点を置く。</li> <li>◆ 宇宙ステーション全体の運用条件や利用テーマ実施内容の変更等に柔軟に対応できるように利用計画を設定する。(JEM(きぼう)以外の施設や共通実験装置以外の装置利用にも配慮。)</li> <li>◆ 科学技術の進展に伴う利用ニーズの変化や、運用経験の蓄積に伴う機能、利用形態の変化に適切に対応するために、JEM(きぼう)利用計画の策定方針は適宜見直す。</li> </ul>
利用テーマの選定	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 選定の評価基準は、「高い科学技術上の意義」、「宇宙環境利用のための基盤的共通技術の開発への寄与」、及び、「提案者の研究遂行能力と実験テーマの実現性」とする。</li> <li>◆ 利用テーマの公募・選定の時期は、利用実施年を含め「7年前から」の公募開始と、「3年前まで」の利用テーマ選定(最終選定)とする。</li> <li>◆ STA 及び NASDA が AO を作成して公募し(AO の発出と回収は利用とりまとめ機関を通して実施)、SAC の「専門組織」が科学技術上の優位性評価を、NASDA が搭載性等の技術評価を行い、これに基づいて SAC が一次選定と利用テーマ選定(最終選定)を行う。</li> </ul>
利用計画策定における各機関の役割	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ SAC は、我が国の JEM 利用に関する重要事項の審議とりまとめと、利用テーマの選定を行う。</li> <li>◆ STA 及び NASDA は、利用テーマの公募と選定の作業支援を行う。また PUP を作成する。</li> <li>◆ 「利用要求とりまとめ機関(関係省庁)」は、所管する機関の利用要求のとりまとめを行う。(ISAS は大学等の利用要求とりまとめを行い、JSUP は民間利用の要求とりまとめを行うことを期待。)</li> </ul>

#### 2) JEM 利用の費用分担:

利用の費用は、利用者の適正、応分な負担を原則として、JEM(きぼう)の運用利用状況に応じて定める。その際に、JEM(きぼう)及び共通実験装置の機能性能を軌道上で検証し、運用利用技術を実証する必要があること、宇宙環境利用に伴うリスクが大きいこと、利用者負担を国際的に均衡させる必要があることを考慮の上で、次の「基本方針」並びに「今後の検討課題」を示した。

- ◆ 原則：利用者による適正、応分の費用負担。
- ◆ 当面の費用負担の考え方：初期段階は、JEM(きぼう)や共通実験装置の軌道上検証を実施する必要から、NASDA と利用者が共同で JEM(きぼう)を利用する。このために、利用者の費用分担はその役割分担に応じて設定する。一方、初期段階から利用者の主体的利用も想定されるが、この場合の利用者負担の設定は別途検討する。
- ◆ 本格的な利用段階における費用分担：利用者の主体的利用が想定される JEM(きぼう)の本格的利用段階における費用負担の考え方は、JEM(きぼう)及び共通実験装置の運用利用の進展状況を踏まえ、引き続き検討する。

3) 共通実験装置の開発・整備：

共通実験装置の範囲の定義、その選定並びに開発・整備について、次の基本方針を示した。

(表 7.2.2-1「共通実験装置候補」を参照)

基本方針(骨子)	
範囲	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 共通実験装置の「定義」は7. 2. 1節(2)[注釈]<sup>1</sup>と同じ。JEM(きぼう)開発の一環として、NASDA が「共通実験装置」の開発・整備を行う。</li> <li>◆ 「理工学・通信分野の実験装置」については、「汎用的な支援装置」のみを共通実験装置として開発・整備する。個別の実験機器は宇宙インフラ整備の技術開発を踏まえて、NASDA と利用機関が協力し、別途、開発・整備する。</li> <li>◆ 搭乗員を対象とする「宇宙医学実験」は、NASDA が関係機関の協力を得て一元的に実施する。これに必要な実験装置は、NASDA が別途、開発整備する。</li> </ul>
選定	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 開発スケジュール、開発コスト、将来の科学技術と宇宙環境利用研究の進展、国際調整等を考慮し、適切な数の実験装置を選定する。</li> <li>◆ 選定は、宇宙ステーション計画の進捗と利用テーマの公募結果を考慮し、機能要求が明確で変更の可能性の少ないものから順次段階的に行う。</li> <li>◆ 国際間での装置の開発分担とその共同利用も考慮する。</li> </ul>
開発・整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 共通実験装置の仕様設定に利用者のニーズを適切に反映するとともに、地上実験や我が国の宇宙実験等の成果を踏まえて、宇宙実験が連続的、系統的に発展するような装置の開発・整備計画とする。</li> <li>◆ 共通実験装置に自動化・テレサイエンス化の導入を図る。</li> </ul>

表 7.2.2-1 共通実験装置候補 [7.2.2-1]

材料分野	ライフサイエンス分野	曝露部共通
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 均熱炉</li> <li>◆ 温度勾配炉</li> <li>◆ 浮遊炉</li> <li>◆ 流体物理実験装置</li> <li>◆ 帯域炉</li> <li>◆ 溶液成長実験装置</li> <li>◆ 気相成長実験装置(曝露部)</li> <li>◆ 物理化学実験装置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 冷凍/冷蔵庫</li> <li>◆ 画像取得処理装置</li> <li>◆ 細胞培養装置</li> <li>◆ クリーンベンチ</li> <li>◆ 小動物実験装置(含む、水棲動物実験装置)</li> <li>◆ 小型遠心分離機</li> <li>◆ 実験用コンピュータ</li> <li>◆ 蛋白質結晶成長装置</li> <li>◆ 分光光度計/蛍光光度計</li> <li>◆ 電気泳動装置</li> <li>◆ 生体試料曝露装置(曝露部)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 簡易実験テーブル</li> <li>◆ 宇宙環境計測装置及び曝露試験装置</li> <li>◆ 汎用望遠 TV カメラ</li> <li>◆ 曝露部遠隔操作支援装置</li> <li>◆ 汎用冷却機</li> </ul>



## 4) JEM(きぼう)の利用促進方策:

宇宙環境利用(宇宙実験)には様々な阻害要因(「打上げコストが高い」、「長期の準備期間が必要」、「広範な知識・技術が必要」、「実験装置の種類が限られる」、「安全性や適合性の確保が必要」、「リソースが限られる」、「実験遂行に特別の技術・知見を要する」、「実験機会が限られる」など)が内在し、その克服には、宇宙実験に関する経験の蓄積が不可欠になる。

宇宙ステーションの本格的利用に向けて、「予備実験機会の確保」、「研究活動の拡大」、「宇宙環境利用に関する知見の拡大」など、我が国の宇宙環境利用の技術・経験の蓄積を図るために、「国としての総合的な利用促進方策を講ずる」として、そのために、次の基本方針を示した。

	基本方針(骨子)
地上研究及び宇宙実験の推進	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 地上研究を含めて、体系的・計画的に宇宙実験を推進する。</li> <li>◆ このために、「落下塔」、「航空機」、「小型ロケット」等を利用する予備実験機会を継続的に確保する。</li> </ul>
計画研究の推進	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 地上研究、予備実験、宇宙実験を体系的・計画的に推進する。</li> <li>◆ このため、有望な研究テーマを核にした、産学官の人材、技術、知見等を最大限に活用する「共同研究体制を基盤とした計画研究」を推進する。</li> </ul>
宇宙実験に係る支援技術の整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 宇宙実験には特別な技術や知見等が必要なことから、宇宙実験計画の策定等に必要な支援技術を整備・拡充する。</li> </ul>
知的所有権等の保護	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 応募テーマの内容と成果等の取り扱いにあたって、特許、ノウハウの保護に配慮する。</li> </ul>

## (3) 利用の促進及び推進のための新たな施策と制度の主な特徴

「JEM 利用の基本方針」には二つの特徴があった。「第一」に、初期段階の JEM(きぼう)の利用を推進するために、その利用テーマの募集・選定の実施方針を示したこと。その際に前提となる、費用分担の基本、共通実験装置の候補、共通実験装置等の軌道上検証と費用分担の関係など、募集・選定のガイドラインが設定されたこと。「第二」に、宇宙ステーション・JEM(きぼう)の本格的な利用に向けて、日本全体で、宇宙環境利用(JEM(きぼう)利用)の研究基盤を構築すること。このために、国として、「共同研究体制を基盤にした計画研究」の推進掲げたことであった。この二つの施策は、部会報告後、国(SAC、STA)及び NASDA 等の業務として、直ちに実施されることになる。

## (4) 国の方針と施策に基づく宇宙機関の活動と対応状況

「JEM 利用の基本方針」に基づいて、幾つかの利用促進方策が実施された。その主なものは、1)「第 1 回 JEM(きぼう)利用募集案内の発出」と「JEM(きぼう)利用テーマの一次選定」、2)「宇宙環境利用フロンティア共同研究プロジェクト」の開始、及び宇宙実験技術の高度化と予備実験機会の確保を目的とした「次期小型ロケット実験プロジェクト」の開始で、その概況は次のものであった。

## 1) JEM(きぼう)利用募集と利用テーマの一次選定:

SAC 宇宙ステーション部会に設置された利用分科会は、平成 10 年度(1998)からの JEM の運

用利用の開始に向けた第1回JEM(きぼう)利用テーマ募集に対して、「公募方針」と「選定方法」の検討を行った。この結果に基づいてNASDAは、平成10年度(1998)に打上げ予定のJEM(きぼう)与圧部及び搭載の共通実験装置の検証を目的に、「第1回JEM(きぼう)利用募集案内」を平成4年(1992)10月に発出した。(募集の対象分野は「材料」及び「ライフサイエンス」の分野であった。)

その後、利用分科会に分野別の専門家で構成された「JEM(きぼう)利用テーマ評価WG」が設置され、同WGが応募テーマの科学技術上の優位性評価を、NASDAが搭載性等の技術評価をそれぞれ実施。この二つの評価を基準にした利用分科会の総合評価に基づいて、SACは、平成5年(1993)7月、応募のあった208件から50件(材料分野29件、ライフサイエンス分野21件)をJEM(きぼう)の利用テーマ候補として一次選定した。

## 2)宇宙環境利用フロンティア共同研究 [7.2.2-2]、[7.2.2-3]:

将来の宇宙ステーション・JEM(きぼう)利用に向けて国立試験研究機関、特殊法人、大学、民間研究機関等のポテンシャルを最大限に活用した、共同研究体制を基盤とする計画研究を実施するために、平成4年(1992)6月、STA研究開発局の局議決定により、「宇宙環境利用フロンティア共同研究プロジェクト」(以下、「プロジェクト」)が開始された。

プロジェクトの対象分野は、計画研究の実施が有効とされた「微小重力利用(材料、ライフサイエンス)分野」、「有人宇宙技術分野」、及び「理工学分野」で、その効果的な推進のために、次の委員会等が設置され、運営された。(図7.2.2-1の推進体制参照)

委員会等	機能・役割等
研究推進委員会 (事務局:STA研究開発局宇宙利用推進室)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 有識者で構成</li> <li>◆ 研究計画、研究体制等プロジェクトの推進に関する基本的事項の検討(研究コア([注釈]<sup>3</sup>)の設置、研究コアの研究テーマ及び課題担当機関を、当該機関の了解の上で決定)</li> <li>◆ 研究の進捗を把握、必要に応じた基本的事項の見直し</li> </ul>
研究交流委員会 (分野毎に設置) (庶務:NASDAからの委託によりJSUPが実施)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 研究コアリーダー及び研究コア参加機関の代表者で構成</li> <li>◆ プロジェクトの具体的な推進のために必要な事項の検討</li> <li>◆ 同一分野の各研究コア間の密接な連絡の確保、関連の知見の共有</li> </ul>
研究コア実行委員会 (庶務:NASDAからの委託によりJSUPが実施)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 研究コアの研究実施のための必要な事項の調整</li> <li>◆ 研究計画の立案</li> </ul>

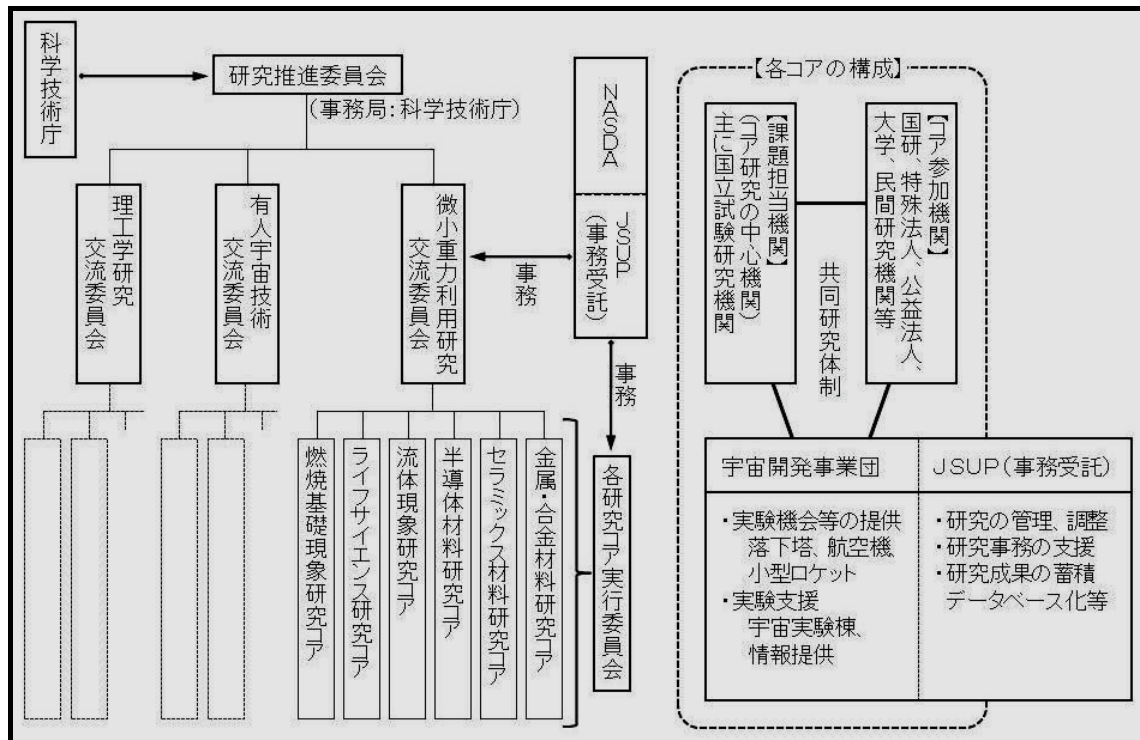
課題担当機関は、研究コアの中核として研究のとりまとめを担当し、NASDAとの間で共同研究契約を締結して研究を進めた。また他の研究コア参加機関は、JSUPとの共同研究契約により具体的な研究を進めた。研究の実施に当たっては、共同研究契約により、NASDAから実験技術及び落下実験、航空機実験、小型ロケット実験等の実験機会が提供された。このためにNASDAは、平成5年(1993)7月に、①JEM利用実験支援技術及び共通実験装置の要素技術開発(「宇宙実

[注釈]<sup>3</sup> 研究コア: ポテンシャルを有する研究機関を核にした共同研究等を推進する研究体制を「研究コア」、研究コアの中心となるべき研究機関を「課題担当機関」と呼んだ。(課題担当機関は主に国立試験研究機関が担当、その代表者を「コアリーダー」と呼んだ。)

験共通実験技術の開発)並びに実験運用技術の習得、②JEM 利用促進のための予備実験手段の確保を目的に、「次期小型ロケット(TR-1A)実験プロジェクト」を開始し、平成7年(1995)から平成10年(1998)にかけて4回の小型ロケット実験を実施した。(4回のうち最初の3回はフロンティア共同研究からの提案を受けて計15テーマを実施。最後の1回は、7.2.3節に述べる「宇宙環境利用研究会」が実験テーマを公募して実施。)[7.2.1-9]

図 7.2.2-1 宇宙環境利用フロンティア共同研究の推進体制

(平成4年(1992)6月時点の体制 [7.2.2-2])



JEM(きぼう)与圧部(船内実験室)の利用を想定する「微小重力利用研究分野」及び「有人宇宙技術分野」では、上記の体制・プロセスの下で計画研究が進められたが、JEM(きぼう)曝露部(船外実験プラットフォーム)の利用を想定する「理工学研究分野」では、分野の特徴(利用研究には個別実験装置の開発が不可欠等)から、一つの研究課題(「宇宙環境の計測とその部品材料に及ぼす影響の研究」)以外は「研究コア」の設置には至らず、「準備会」の活動に留まった。「課題担当機関」を中核に据え、広範な研究機関等の参加を得て共同研究体制を構築し計画研究を進めるとして開始されたプロジェクトであったが、STA 所管の国立研究機関等と一部の大学の参加に留まる状態で推移し(研究コアへの新規参入の明確な決まりがない等の課題があった)、平成9年度(1997)に本プロジェクトは終結する。

#### (5) 宇宙環境利用の「進展」、新たな施策と制度等の「効果」、及び残された「課題」

平成7年(1995)に入ると、宇宙ステーション計画変更(再設計)の嵐も一応収束し、ISS 計画の実現に向けて、米ロを含む関係国が大きく動き出していた。ロシアが参加する ISS の組立運用の潜在的リスクを低減するために、米ロ宇宙ステーション組立共同ミッション(ISS 組立に関する技術

の相互理解の増進)が設定され、その第 1 回目のフライト(スペースシャトルとミールとのドッキング)が、同年 6 月、成功裏に実施された。一方、我が国では、同年 3 月、H-II ロケット試験機 3 号機で SFU が打ち上げられ、JEM(きぼう)曝露部要素の長期曝露確認試験、フリーフライヤ利用の宇宙実験、赤外の天体観測ミッション等が実施され、翌年(1996)1 月、スペースシャトル(STS-72)に搭乗した若田宇宙飛行士が、シャトルのロボットアームで SFU を回収する作業を成功裏に達成していた。この当時、スペースラブの軌道上実験室を発展させた ISS の実験棟を「軌道上研究所(the Orbital Institute)」として位置付ける考え方が米国及び欧州で次第に定着し、我が国でも同様の考え方を導入する時代、すなわち、宇宙環境を利用した先端的な科学研究の成果を期待する時代が到来していた。

宇宙ステーション計画の見直しが一段落し、ロシアが加わる ISS 計画の新たな姿が見えてきた平成 8 年(1996)1 月に、「宇宙開発政策大綱」の第三次改訂[7.2.2-4]が行われた。第三次改訂では、「宇宙開発の基本方針及び進め方」の全面的な見直が行われ、その基本方針として、「独創的な科学研究及び技術開発の推進」、「経済的な宇宙活動の実現」、「宇宙環境保全への配慮」等が掲げられた。また、「宇宙開発の重点活動」として、宇宙環境利用活動の充実が掲げられ、JEM(きぼう)を我が国初の「軌道上研究所」として位置付けるとともに、宇宙環境利用の遂行方針として、「JEM(きぼう)の効率的利用や利用拡大に資するために、NASA を中核とする支援体制を整備する」という考え方が示されて、その後の JEM(きぼう)利用の研究体制構築のための強力なガイドラインが与えられることになった。「JEM利用の基本方針」で打ち出した「日本全体で宇宙環境利用を推進するための体制構築」から、JEM 利用の初期段階までに我が国の宇宙環境利用の研究基盤を構築し、先導的な宇宙環境利用研究によって、JEM(きぼう)の利用成果を確実に獲得するという命題が強く意識された。このために、当面(JEM(きぼう)の初期利用段階まで)、「NASA 中心の体制で集中的に宇宙環境利用研究を推進する」という方向に、国の方針が転換されようとしていた。

その方向に向かうための国の政策指針である「宇宙開発政策大綱(第三次改訂)」の骨子(宇宙環境利用に関する部分)は、次のものであった。

大綱の項目	概要(骨子)
◆ 宇宙環境利用活動の充実	◆ JEM は我が国初の「軌道上研究所」。 ◆ 「軌道上研究所」を中核に、宇宙と地上の研究活動が密接に連携した総合的研究体制を構築して、宇宙環境利用分野の研究と関連技術の開発を進める。
◆ 研究体制	◆ 将来の宇宙環境利用の成果を広範なものとするために、大学、国立試験研究機関、民間等の幅広い分野の研究者が、JEM(きぼう)利用の実験をはじめとした宇宙環境利用に参画する研究体制を整備する。 ◆ このために、NASA、大学、国立試験研究機関及び民間等においては、共同研究等により幅広い研究を進めるとともに、NASA自らも招聘研究員制度の活用等により主体的に研究を実施。
◆ 研究支援体制	◆ NASAを中核とする研究支援体制を整備し、研究者のニーズに対応した実験技術の開発、実験装置の安全性・搭載性の実証、研究成果に関するデータベースの整備、研究機関間の情報ネットワークの整備等を進める。

### 7.2.2 節の参考文献

- [7.2.2-1] 「宇宙ステーション取付型実験モジュール(JEM)の利用の基本方針」 宇宙開発委員会・宇宙ステーション部会 平成4年(1992)5月
- [7.2.2-2] 「宇宙環境利用フロンティア共同研究プロジェクトの推進について」STA 研究開発局 平成4年(1992)6月12日
- [7.2.2-3] 「宇宙環境利用フロンティア共同研究成果概要」 科学技術庁 宇宙開発事業団 宇宙環境利用推進センター 平成9年(1997)12月
- [7.2.2-4] 「宇宙開発政策大綱」(第三次改訂) 宇宙開発委員会 平成8年(1996)1月

### 7.2.3 宇宙環境利用の裾野拡大と利用分野の開拓(科学研究及び応用化研究)

—宇宙開発事業団を中核とした利用推進体制の構築と利用推進活動—(平成8年(1996)～平成12年(2000))

#### 7.2.3.1 宇宙開発事業団を中核とした利用研究の推進活動(その1)

—宇宙環境利用部会報告(平成8年(1996)7月)と新たな利用推進活動—

##### (1)宇宙ステーション・JEM(きぼう)を取り巻く状況と課題

平成6年(1994)3月に、ロシアが参加するISSのシステムを確定するためのシステム設計審査(SDR)が行われ(第2章「平成6年の取り組み」参照)、この時点で、ISSの組立て開始が平成9年(1997)末頃、JEM(きぼう)の組立て完了が平成12年(2000)末頃に設定された。このことにより、度重なる計画変更で延期が繰り返されてきたJEM(きぼう)の利用が、20世紀末頃から21世紀初頭には開始できる見通しが出てきた。

その一方で、微小重力利用研究の対象は、1980年代からの伝統的な微小重力利用分野([7.2.3-4]～[7.2.3-6]参照)に加えて、基礎科学(基礎物理学、基礎化学、及び基礎生物学)、バイオメディカル(基礎医学)、生命科学基礎の分野にも拡大し、より根源的な課題の探求を目指す傾向を強めていた。軌道上研究所ISSの微小重力環境を利用して、基礎科学研究にも本格的に取り組むという雰囲気が醸成されてきた。([7.2.3-1]～[7.2.3-3]参照) 臨界現象研究に関する低温物理学実験([注釈]<sup>4</sup>)や脳神経科学を迫るニーロラブ計画は、この状況を支持するための宇宙環境利用研究の好事例になり、基礎科学分野においても、宇宙実験で本格的な科学成果を獲得できることが示されつつあった。宇宙の原子時計実験に代表される微小重力利用の原子物理学実験([注釈]<sup>5</sup>)の分野も、臨界現象研究と同様に、広範囲の科学研究に波及する興味深い結果を生み出す実験領域であると認識されていた。欧米では、「軌道上研究所」ISSを活用して、これら最先端の基礎科学実験を行う準備活動が既に始まっていた。

---

[注釈]<sup>4</sup> 低温物理学実験: 「くりこみ群の理論」の実験的検証として有名なNASAの「He4の $\lambda$ 点実験」([7.2.3-1]参照)。液体He4の比熱が臨界点で対数発散するという予測を、静水圧の抑制される微小重力環境で実験的に検証した。(1991年)(参考:K.G.Wilsonは、「物質の相転移に関連した臨界現象に関する研究」で1982年にノーベル物理学賞を受賞) この成功は、低温物理学の分野での宇宙実験(微小重力環境の利用)の先駆けとして極めて意義深いものであった。この成功以降、キセノンを用いた気液臨界点実験(1993-1997年)や閉じ込めヘリウム実験(1997年)等が行われている。当時NASAは、微小重力環境を利用して低温物理学研究を体系的に進めるために、ISSの汎用施設「低温微小重力物理学実験装置」の開発を進め、この装置を利用した様々な基礎物理学実験(低温物理学実験)が計画されていた。([7.2.3-1]第4章参照)

[注釈]<sup>5</sup> 原子物理学実験: 重力のない世界での「レーザ冷却技術を用いた原子物理学実験」については、[7.2.3-2]を参照。(参考:S.Chu, C.Cohen-Tannoudji, W.D.Phillipsは、「レーザを用いて原子を極低温に冷却する技術(レーザ冷却技術)の開発」で1997年にノーベル物理学賞を受賞) レーザ冷却技術を用いた「宇宙原子時計」が実現すれば、これを相対性理論の検証や、超高精度な時刻基準が必要な様々な基礎物理学実験に利用できるほか、惑星間飛行の時刻基準としても利用できるなど、多様な利用の広がりが期待できると考えられている。重力が抑制された空間は、この実験に不可欠な環境を提供すると考えられていた。(原子も重力の作用で落下する!)

このような世界の状況に遅れることなく宇宙環境利用の有効性を早期に実証し、また、20 世紀末から 21 世紀初頭に迫った JEM(きぼう)の運用利用の開始に備えるために(個別の実験装置開発 [注釈]<sup>6</sup>)、我が国の宇宙環境利用研究の新たな推進方策が求められていた。

このような課題に対応するために、平成 7 年(1995)9 月、宇宙ステーション部会に替わる SAC の新たな常設部会として「宇宙環境利用部会」が設置され、同年 10 月から、「宇宙環境利用の総合的な推進方策」についての調査審議が開始された。「JEM 利用の基本方針」(平成 4 年(1992)5 月)以来、国及び NASDA によって、JEM(きぼう)の利用促進や利用推進につながる幾つかの方策が講じられてきたが、この基本方針では対処が難しい課題を克服するために、JEM(きぼう)の初期利用段階に向けて、「宇宙環境利用研究の総合的な推進方策」を新たに設定する必要があった。

## (2) 利用の促進及び推進に関する国の方針と施策

### 1) 宇宙環境利用部会の活動:

宇宙環境利用部会(以下、「部会」)は、平成 7 年(1995)10 月から、我が国の宇宙環境利用の本格化に向けて速やかに対処すべき推進方策を検討し、平成 8 年(1996)7 月に部会報告をとりまとめた。[7.2.3-11] 部会報告には、宇宙開発政策大綱(第三次改訂)の方針を踏まえ、①「宇宙実験で成果をあげるために不可欠な地上研究の推進」、②「多くの研究者の参画による有望なシーズの発掘」、③「広範かつ多様な分野のバランスのとれた ISS 利用の実現」という、JEM(きぼう)の利用研究の展開にとって鍵になる方策を具体化した、利用促進及び利用推進のための「当面の方策」が示されていた。

部会の調査審議の一環として、今後の宇宙環境利用研究の方向性や有望領域を展望するために、部会に三つの WG が設置され、「宇宙環境利用が有効な研究領域」についての検討が行われた。(「第 1 WG」:物質科学等の分野、「第 2 WG」:ライフサイエンス等の分野、「第 3 WG」:JEM(きぼう)曝露部利用の分野) 一方、この WG の検討に資するために、NASDA に「微小重力科学分野」、「ライフサイエンス分野」、「有人技術・宇宙医学分野」、「宇宙科学分野」、及び「宇宙技術開発分野」の各利用分野で、「宇宙環境利用の推進に係る検討委員会」が設置(平成 7 年(1995)11 月)され、「JEM 利用の重要領域候補」の検討が行われて検討の結果が WG に提示された。[7.2.3-4]~[7.2.3-9] (地球観測分野の JEM(きぼう)利用の検討[注釈]<sup>7</sup>) 7. 2. 3. 3 節に述べる「宇宙環境利用研究の研究シナリオ」との比較のために、WG が示した「宇宙環境利用が有効な研究領域」の骨子を「別紙 7.2.3-1」(本節の最後に掲載)に示しておく。

### 2) 部会報告の骨子(主要なポイント)[7.2.3-11]:

宇宙環境利用部会がとりまとめた「宇宙環境利用の当面の推進方策」は、平成 4 年(1992)5 月

---

[注釈]<sup>6</sup> 個別の実験装置開発: 個別の実験装置開発が必要な JEM(きぼう)曝露部(船外実験プラットフォーム)初期利用ミッションの選定とミッション開発については、これまで、募集・選定及びミッション開発の方策が示されていなかった。(「JEM 利用の基本方針」では「今後の検討課題」とされていた。)

[注釈]<sup>7</sup> 地球観測分野の JEM(きぼう)利用の検討: NASDA の既設委員会「地球環境観測委員会」に「宇宙ステーション計画 WG」が設置され、当該分野の「JEM 利用の重要領域候補」の検討が行われた。[7.2.3-10]

の「JEM 利用の基本方針」を大幅に見直す内容で、『宇宙ステーションでの活動と、地上での数多くの研究者による研究活動との連携により、双方が一つの研究所のように一体となって機能する「研究システム」の構築』を目指すこととされた。新たに構築する「研究システム」は、①「宇宙環境利用の可能性を引き出す公募型研究システム」、②「JEM 利用推進の中核を担う研究センター」、及び、③「フレキシブルな JEM 利用テーマの募集、選定」という、三つの要素から構成されていた。この三つの要素について述べた部会報告のポイント(骨子)は次のものであった。(図 7.2.3-1 参照)

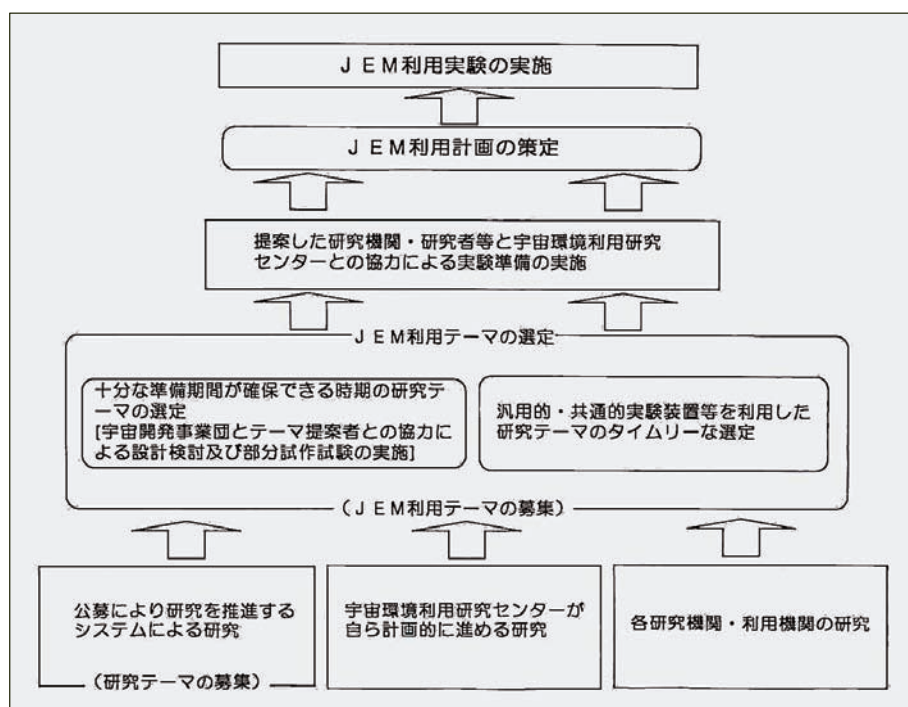
	施策(方針)の骨子
宇宙環境利用の可能性を引き出す「公募型研究システム」	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 宇宙環境利用の可能性を引き出して有意義な成果を挙げるために、公募により宇宙環境利用研究を推進するシステムを整備し、次の課題に取り組む。                         <ul style="list-style-type: none"> <li>①より多くの研究者が参画できる様々な研究の展開</li> <li>②産学官やこれまでの専門領域の枠を越えた研究者の協力連携の実現</li> </ul> </li> </ul> <p>この方針に基づいて、「宇宙環境利用フロンティア共同研究制度」に替わって、「<b>宇宙環境利用に関する公募地上研究制度</b>」が創設された。</p>
JEM 利用推進の中核を担う「研究センター」	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM(きぼう)利用に向けた研究推進の中核的役割を担う組織として、次の機能を持つ研究センターをNASDAに設置する。                         <ul style="list-style-type: none"> <li>①宇宙環境利用全体の牽引力となる研究の推進</li> <li>②JEM(きぼう)利用テーマとして選定された研究について、提案者と協働して、宇宙で実験して成果を得るまでの一連の研究の実施</li> <li>③宇宙実験に関わる技術や情報の提供等の研究支援の実施</li> </ul> </li> <li>◆ 研究センターは、研究の統括と指導を担う責任者を外部から招聘し、研究場所の分散化等、柔軟な運営を行う。</li> </ul> <p>この方針に基づいて、流動的研究組織である「<b>宇宙環境利用研究システム</b>」と、同研究システムの運営を担う定常組織の「<b>宇宙環境利用研究センター</b>」が、NASDAに設置された。</p>
フレキシブルな JEM 利用テーマの募集、選定	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 次の二通りの考え方で、JEM(きぼう)利用テーマの募集・選定をフレキシブルに行う。                         <ul style="list-style-type: none"> <li>①汎用的・共通的な実験機器を用いる研究テーマは、宇宙での実験実施の2年程度前に募集・選定</li> <li>②特別な実験装置の開発が必要になる等、実験実施までに十分な準備期間を確保することが必要な実験テーマは、宇宙での実験実施の3～6年前に募集・選定</li> </ul> </li> <li>◆ JEM(きぼう)利用実験として提案されたテーマは、NASDAに設置される委員会(産学官の研究者で構成)が選定する。(その結果はSACに報告される。)</li> </ul> <p>この方針に基づいて、「JEM利用の基本方針」で定められた「利用要求とりまとめ機関」は廃止され、「総合的な利用要求のとりまとめ」を行うNASDA理事長の諮問委員会として、「<b>宇宙環境利用研究委員会</b>」が設置された。(JEM利用テーマの新たな募集・選定の方針に基づき、「<b>JEM曝露部初期利用ミッション</b>」の公募、ミッション候補の選定が行われた。)</p>

JEM(きぼう)の初期運用利用段階における利用推進活動は、宇宙開発機関である NASDA が



中核的役割を担う。そのために必要な体制と制度を NASDA に一元的に整備するために、国として必要な措置を講ずるという考え方であった。また、宇宙環境利用研究の裾野を拡大し、JEM(きぼう)利用の有望な候補テーマを創出するために、公募による地上研究推進制度を創設する。さらには、JEM(きぼう)利用に向けた宇宙環境利用研究の推進の要の体制として、「JEM の利用要求を総合的にとりまとめる委員会」を新たに設置して SAC の役割を代替させ、JEM(きぼう)の利用推進を円滑に行うために、この委員会を NASDA が運営するというものであった。

図 7.2.3-1 JEM 利用に向けた研究の流れ [7.2.3-11]



### 3) 民間の宇宙環境利用:

民間による宇宙環境の商業的な利用については、基礎的な宇宙環境利用研究の成果を踏まえて具体化していくことが期待されることから、部会報告は、「民間利用の促進」について次の考え方を示すに留まった。(民間利用の促進については、平成9年(1997)10月、宇宙環境利用部会に「応用化研究利用分科会」が設置されて、初期利用段階における応用化研究の推進方策が検討され、分科会報告(平成10年(1998)7月)が示された。分科会報告及びその後の展開については、7.2.3.2節に概要を述べる。)

- ◆ 当面は長期的な視点に立って、民間の商業利用につながる環境を醸成する。このために、NASDAの共同研究制度や招聘研究員制度を活用して民間研究者の参加を促す。
- ◆ 民間研究者の参加を促進するために、宇宙環境利用の成果や技術情報を積極的に提供する。また、最終的な実験成果の公表を前提としつつ、評価・選定における秘密保持に配慮する。

### 4) 今後の検討事項:

部会報告は、「今後検討すべき課題」として次の事項を掲げた。(下記の課題のうち、「文化、

芸術、人文科学等の利用推進」については、当該分野の宇宙環境利用の進め方等の調査研究として、国際高等研究所への委託研究(「JEM の人文社会的利用方法についての調査研究」)が平成8年度(1996)から開始された。(第13章参照)

- ◆ 宇宙ステーションのより有効な利用のための運用利用の在り方(利用テーマの国際公募システムへの参画、利用に係る費用負担の考え方など)
- ◆ 共通実験装置の更新等を含む中・長期的な実験装置の開発・整備計画
- ◆ 宇宙ステーション以外の軌道上での宇宙環境利用機会の検討
- ◆ 宇宙に関わる文化、人文・社会科学等の推進(宇宙と人間との関係がより身近なものに感じられる文化、芸術、人文科学等の利用推進)
- ◆ アジア太平洋地域との国際協力の拡大
- ◆ 青少年や若手研究者が宇宙環境利用に参画する具体的方策

### (3) 利用の促進及び推進のための新たな施策と制度の主な特徴

部会報告に基づいて導入された宇宙環境利用の新たな推進策の特徴は、(2)項の「部会報告の骨子(主要なポイント)」で示した通りであるが、そのポイントを改めて要約すると次のものであった。

- ◆ JEM(きぼう)の利用推進に対して、「国全体で取り組む」というこれまでの基本方針を、当面(JEM(きぼう)の初期利用段階までと理解)は、「NASDAが研究推進の中核的役割を担う」という考え方に変更。
- ◆ このために、①宇宙環境利用研究の裾野を拡大するための「公募型研究システム(公募地上研究制度)」の創設、②「JEM利用推進の中核を担う研究センターをNASDAに設置(研究の指導・統括の責任者として外部から研究者を招聘し、招聘研究員制度を活用して流動的研究組織([注釈]<sup>8</sup>)を構築)、③SACに代わって「JEMの利用要求を総合的にとりまとめる委員会(NASDA理事長の諮問委員会)」をNASDAに設置、という三点セットでの施策の実施。
- ◆ 国は、上記の施策を具体化するための予算措置([注釈]<sup>9</sup>)を講ずる。

### (4) 国の方針と施策に基づく宇宙機関の活動と対応状況

平成8年(1996)7月以降、NASDAは部会報告を実現するための体制整備に着手し、SATは「宇宙環境利用に関する公募地上研究」の制度創設のために「平成9年度の宇宙開発計画の見直し要望」及び概算要求を行うなど、新たな利用促進及び利用推進のための準備活動が開始された。これらの準備活動のうち、ここでは、NASDAに整備された新体制等の特徴と設立当初の活動状況、及び平成9年度の予算内示を経て創設準備が進められた公募地上研究制度について、概要をまとめておく。

#### 1) 宇宙環境利用研究推進のためのNASDA新体制の構築:

[注釈]<sup>8</sup> 流動的研究組織: NASDAに設置する新たな研究組織は、招聘制度を活用した「流動的研究組織」とされたことから、NASDAのプロパー研究員の機構定員増には直結しなかった。また、新たな「宇宙環境利用研究センター」の設置でも、NASDAのプロパー技術職員の既存組織からの「定員振り替え」による組織構築がなされたために、これも機構定員増には直結しなかった。

[注釈]<sup>9</sup> 予算措置: 「公募地上研究制度の創設」(平成9年度)、及び「曝露部初期利用ミッションの開発」(平成10年度)に関して、STAは「宇宙開発計画の見直し要望」及び「概算要求」を行った。

平成8年(1996)10月1日付けで、NASDAの新たな研究組織として、①「宇宙環境利用研究システム(研究システム長:井口洋夫東京大学名誉教授)」(以下、「研究システム」)及び②「宇宙環境利用研究センター」(以下、「研究センター」)が、また、「JEM利用に向けて総合的に利用要求をとりまとめる委員会」の機能・役割を担うためのNASDA理事長の外部諮問委員会として、③「宇宙環境利用研究委員会(委員長:菅野卓雄東洋大学学長)」(以下、「委員会」)が設置された。その新組織の概要(機能・役割の概要)は次のものであった。

新組織の名称	機能・役割の概要
宇宙環境利用研究システム (研究システム) 図7.2.3-2参照	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 外部に開かれた理事長直轄の「流動的研究組織」。(外部研究者との共同研究、外部研究者を招聘した研究を実施。必要に応じて、研究者・技術者の研究チームを構成して研究を推進。)</li> <li>◆ 「宇宙環境利用研究」(宇宙環境利用の先導的又は共通基盤的な地上研究)、「JEM利用研究」(JEM利用テーマとして選定された研究)、「シャトル等利用研究」(スペースシャトル等の利用テーマとして選定された研究)、の三つの範疇の研究について、地上から宇宙で実験し成果を得るまでの一連の研究活動を体系的に実施。(図7.2.3-1参照)</li> </ul>
宇宙環境利用研究センター (研究センター) 図7.2.3-2参照	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 宇宙環境利用システム本部に設置された「定常組織」。</li> <li>◆ 研究システムの運営実施母体。(研究システムの研究活動に必要な事務的、技術的な支援を担う。)</li> </ul>
宇宙環境利用研究委員会 (研究委員会) 図7.2.3-3参照	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「宇宙環境利用研究の推進」に係る理事長の外部諮問委員会。</li> <li>◆ JEM等の利用に向けた宇宙環境利用研究を円滑・効果的に推進するために、以下の役割を担う。               <ul style="list-style-type: none"> <li>①JEM等の利用研究テーマの募集: NASDAが提供できるJEM等の利用機会を活用する利用研究テーマを公募するため、募集対象の研究領域、募集方針、評価選定基準等を設定する。</li> <li>②JEM等の利用研究テーマの選定: 応募のあった利用研究テーマについて、評価選定基準に則って科学的、技術的な評価を行い、利用研究テーマを選定する。</li> <li>③JEM等の利用研究の評価: 利用研究テーマの研究進捗状況(飛行準備状況)を適時評価し、飛行テーマとしての最終選定を行う。また、研究進捗状況並びに宇宙実験結果についても適時評価する。</li> <li>④その他、宇宙環境利用研究システムで実施する研究の推進: 研究システムが実施する地上研究について、研究課題提案の評価、その後の研究進捗の評価を行う。また、研究システムの研究推進に対して助言を行う。</li> </ul> </li> </ul>

## 2)NASDA 新体制のもとでの利用推進活動:

研究システム並びに研究センター(以下、「研究システム・センター」)、及び研究委員会は、互いに密接な連携を保ちながら、流動的研究体制や研究委員会の内部体制(「分野別専門委員会」等)を自立的に確立するなど、我が国の宇宙環境利用研究を牽引するための準備が進められた。(図7.2.3-2及び図7.2.3-3参照)

図 7.2.3-2 宇宙環境利用研究システム  
(平成 8 年(1996)10 月の設置時の構成)

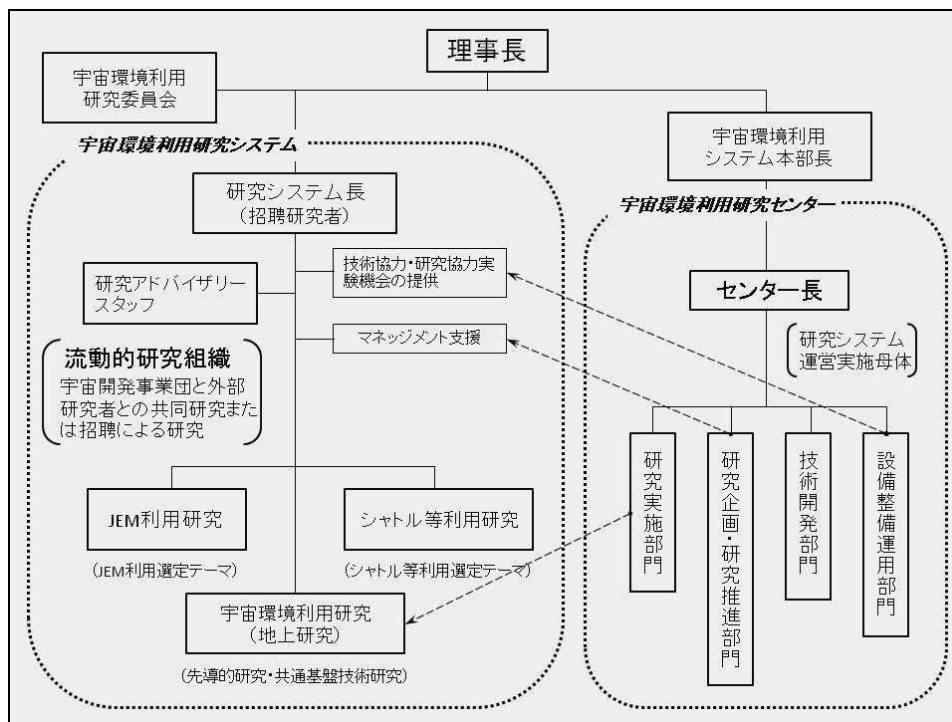
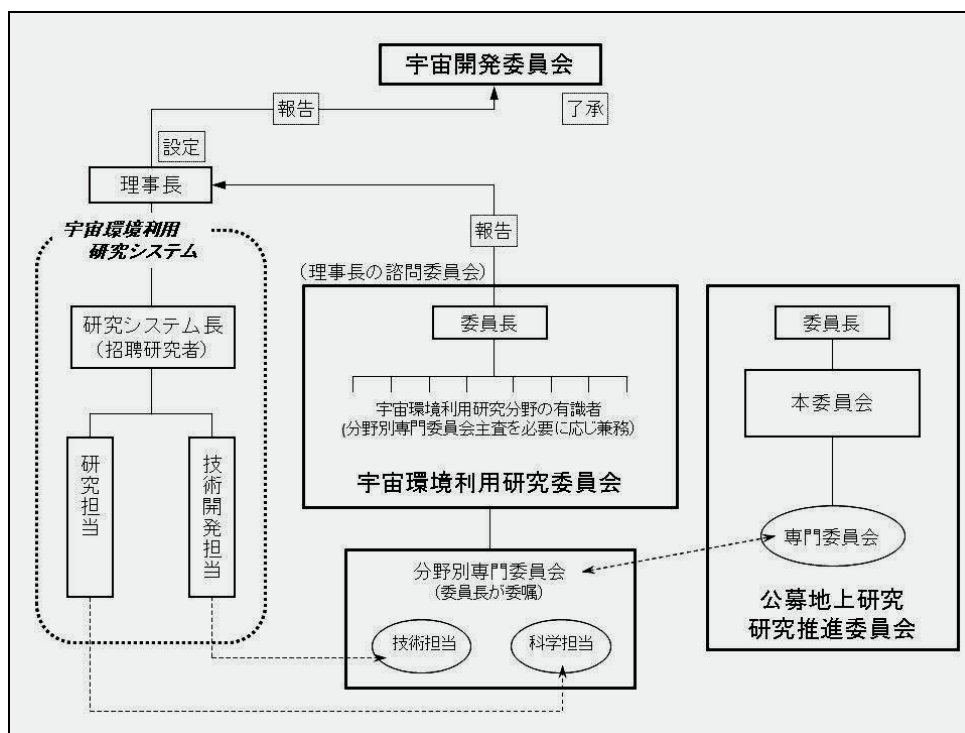


図 7.2.3-3 宇宙環境利用研究委員会の構成  
(「公募地上研究・研究推進委員会」及び「宇宙環境利用研究システム」との関係を含む)  
(平成 8 年(1996)10 月の設置時の構成)



研究システムでは、先導的研究([注釈]<sup>10</sup>)及び共通基盤技術研究を、「課題研究」、「準備研究」、「調査研究」の三つの範疇の研究([注釈]<sup>11</sup>)に区分し、宇宙環境利用研究の新規分野の開拓を進めていく。一方、研究委員会は、「微小重力科学専門委員会」([注釈]<sup>12</sup>)、「ライフサイエンス専門委員会」([注釈]<sup>13</sup>)、「宇宙医学専門委員会」の三つの分野別専門委員会[7.2.3-12]を設置して活発な調査活動(宇宙ステーション利用計画WSの分科会活動、研究コミュニティとの連携活動等)を進め、これらの活動を基盤にして、「研究シナリオ」のとりまとめ活動に積極的に取り組んでいった。

「研究シナリオ」とは、JEM 利用を中核として進める我が国の宇宙環境利用研究を戦略的に推進するために、宇宙環境を利用した研究分野の重点研究領域、その研究展望(研究の意義や価値)、開拓すべき新たな研究領域など、宇宙環境利用研究の方向性を示すためのもので、これにより、宇宙環境利用研究のコミュニティの育成、研究者の裾野の拡大、新たな研究テーマの創出等への貢献を狙うものであった。

ここで注目すべきことは、分野別専門委員会の活動が、3) 項に述べる「公募地上研究」の推進活動とも連携して、宇宙環境利用研究の裾野拡大や先端研究者のネットワークの形成を促し、科学研究の最先端の場で指導的立場にある研究者が、宇宙環境利用研究の推進に直接関わる仕組みが段階的に出来上がっていったことであった。(図 7.2.3-3 参照)

研究システム・センター及び研究委員会の活動状況については、「公募地上研究制度」の運営状況、及び7. 2. 3. 2節に述べる「先導的応用化研究」の活動状況と併せて、設置から平成12年(2000)末までの活動等を含め、20世紀中の活動概要として、7. 2. 3. 3節で活動概要の紹介を行う。

一方、待望の JEM(きぼう)曝露部初期利用ミッションの募集は、部会報告が定めた JEM(きぼう)利用テーマの新たな募集プロセス(「十分な準備期間が確保できる時期の研究テーマの選定」)(図7.2.3-1 参照)の設定と研究委員会の設置とによって、利用ミッション候補の募集・選定を行える環境が整った。当時、平成13年度(2001)又は平成14年度(2002)の打ち上げ・軌道上組

---

[注釈]<sup>10</sup> 先導的研究: 宇宙環境利用の有効性や科学的価値を先導的に示すための JEM 利用の準備段階の地上研究。([注釈]<sup>11</sup>の「課題研究」、「準備研究」、「調査研究」の三つの範疇に区分して研究が推進された。)

[注釈]<sup>11</sup> 三つの範疇の研究: 「課題研究」とは、宇宙実験(JEM 利用)提案に向け準備中の地上研究。(研究システムの正規の研究テーマで、研究委員会の評価(推薦)を受けて開始し、研究開始後は、適時、研究委員会の研究進捗評価を受ける。) 「準備研究」とは、正規の研究テーマとするために、研究手法や実験手段の実現可能性、代替案の検討等が必要な準備段階の研究。「調査研究」とは、有望な研究課題やテーマ発掘のために、その有効性、意義、研究手法、関連の研究状況、国内外の研究動向等についての調査検討を行う、調査段階の研究。

[注釈]<sup>12</sup> 微小重力科学専門委員会: 「物質科学」を中核にした広義の材料科学の分野で構成。本委員会には、後に、「基礎物理学(微小重力物理学)」及び「基礎化学」という、基礎科学分野の WG が追加設置された。

[注釈]<sup>13</sup> ライフサイエンス専門委員会: 「生物科学」及び「バイオテクノロジー」を中核とした「生命科学」の分野で構成。

立が予定されていたJEM(きぼう)曝露部について、その初期利用のミッション候補の募集が平成8年(1996)10月から開始された。同年11月、「曝露部初期利用募集に対する評価・選定の進め方(方針とプロセス)」を研究委員会(第1回)で決定した後、平成9年(1997)1月14日に応募を締め切り、研究委員会決定のプロセス(①「専門家によるピアレビュー」、②「NASDAによる搭載性・実現性評価」、③「研究員会に設けられた分野別専門委員会による書類審査と提案者面接審査」、④「研究委員会による全体調整・選定」)に従って、平成9年(1997)3月末に四つのJEM(きぼう)曝露部初期利用ミッション候補が選定されて、同年4月、SACに選定結果が報告されている。(応募総数72件から4件が採択された。詳細は第12章参照。)

候補ミッションの選定後、NASDAとミッション提案機関の共同研究として、実験ミッションの概念設計作業が行われ、これと並行して、STAは、平成10年度(1998)の宇宙開発計画の見直し要望(曝露部初期利用ミッション開発に対するNASDAと提案機関との共同事業)と実験ミッション開発のための概算要求([注釈]<sup>14</sup>)を行い、平成10年度の予算確定を待って、同年4月に搭載実験装置の開発が開始された。

### 3) 公募地上研究制度の創設:

部会報告で『公募により、広範な分野におよぶ数多くの研究者の参加の下に研究を推進する体制を整備する』との方針が示され、STAは、平成8年(1996)7月、宇宙開発計画の見直し要望(「宇宙環境利用に係る公募型地上研究」と概算要求を行った。創設された公募制度の概要(平成9年(1997)の制度創設当初)は次のものであった。[7.2.3-13]

	概要(骨子)
制度の目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 宇宙実験機会の飛躍的増大が見込めるJEM利用の時代には、広範な分野の研究活動と宇宙実験とを効果的に連結して、実験機会を最大限に活用することが望まれる。このためには、宇宙実験テーマを創出する多様な地上研究の存在が不可欠になる。</li> <li>◆ 本制度は、JEM利用の準備段階として、広範な分野の研究者に地上研究の機会を提供し、宇宙実験テーマの創出に資する、広範な地上研究の推進を目的とする。</li> </ul>
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 本制度の運営は、NASDAからJSFに委託して実施する。</li> <li>◆ JSFに有識者で構成される「公募地上研究推進委員会」を設置、同委員会はテーマ選定方針の検討、応募テーマの評価、研究の進捗状況及び研究成果の評価を行う。(図7.2.3-3参照)</li> <li>◆ NASDAはJSFと協力して研究支援を行う。</li> </ul>
公募の枠組み(主要部分)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「応募資格」: 日本国内の大学、国立試験研究機関、民間企業などに属する研究者または研究者個人。</li> <li>◆ 「研究形態」: 「JSFとの共同研究」、「JSFからの委託研究」、「JSFへの招聘研究」、これらのいずれの研究実施形態も可とする。</li> <li>◆ 「研究区分」: 新規アイデアの提案等の初期フェーズにある研究を「フェーズI研究」(年6百万円以下、1~3年間が原則)、JEM利用テーマ募集への応募を目指す本格的な宇宙環境利用の準備段階にある研究を「フェーズII研究」(年1千万</li> </ul>

[注釈]<sup>14</sup> 概算要求: ミッション提案機関の所管省庁も、NASDAとの共同研究分担(実験ミッションの開発分担)に対応して、STAと連携した概算要求を行った。

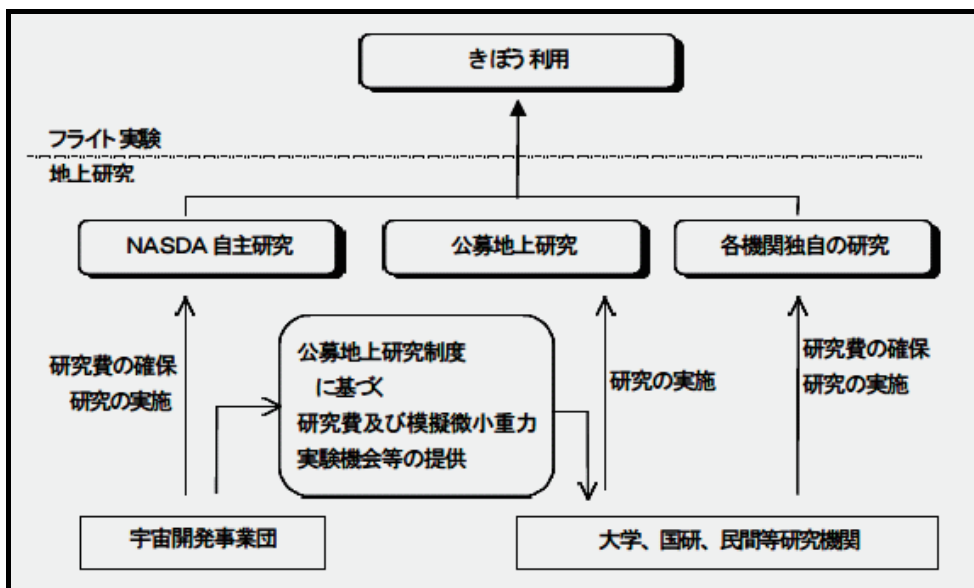
円程度～1億円以下、3年間が原則)とし、各区分に応じて研究支援を行う。

- ◆「募集の領域」：宇宙環境の特徴(微小重力、高真空、広い視野、宇宙放射線など)の利用に関連した地上研究テーマが対象。(例えば、部会報告に示された「別添1」の3分野13領域などであるが、これに限定せず、既成概念に囚われない斬新な発想やアイデアを募集。)
- ◆「研究テーマの選定」：公募地上研究の研究推進委員会に設置した専門委員会の行う、「科学技術上の評価」、「宇宙環境利用の有効性の評価」、「実施体制の評価」に基づいて、研究推進委員会が選定する。

制度創設の当初に設定された上記の「公募の枠組み」は、制度運営の経験の蓄積及びISS計画を取り巻く周辺状況の変化に対応して、その後、適時見直されていくことになる。(公募地上研究制度は、平成9年度(1997)から平成21年度(2009)まで実施された。その運営の変遷については、7.2.5節で述べる。)

公募地上研究制度は、JEM利用を中心とした宇宙環境利用を目指すNASDA以外の研究者に対して、宇宙環境利用の準備段階又は調査段階の地上研究を支援する制度であり、「NASDA自主研究」(研究システムが行う宇宙環境利用研究等)及び「各研究機関が独自に行う地上研究」とともに、JEM利用テーマ創出の源泉として機能することが期待された。(図7.2.3-4参照) この観点から、公募地上研究の制度運営では、①「宇宙環境利用の裾野拡大」、及び②「優れたJEM(きぼう)利用テーマの育成」、という二つの要請(公募地上研究制度の目的)を同時に満たすことが重視された。

図 7.2.3-4 公募地上研究制度の位置付け



ここで、第一の目的の「宇宙環境利用の裾野拡大」とは、これまで宇宙環境利用に関係してこなかった研究者を利用研究の世界に招き入れることで、微小重力、宇宙放射線、高真空、広大な視野など、LEOを飛行する宇宙船内外の特異環境(閉鎖環境、紫外線環境、約90分の早い日周期などを含む)を実験ツールとして活用する様々な利用研究の分野開拓につなげることで

あった。一方、第二の目的である「優れた JEM(きぼう)利用テーマの育成」は、JEM 利用テーマの選定方針と密接な関わりを持っていた。部会報告に示された JEM 利用テーマの募集・選定のプロセス(図 7.2.3-1 参照)を意味あるものとするには、利用の応募段階で、①共通実験装置を使用する場合には「当該装置利用の実験計画」が、②新規の実験装置を開発して宇宙実験を目指す場合には「当該装置の要求仕様」が、それぞれ求められることになる。この条件を満たすには、応募に先立って、それぞれの目的に適った事前検討(地上研究)が不可欠になる。公募地上研究制度の第二の目的は、この段階の地上研究を支援し、優れた JEM 利用テーマの創出を期するものであった。尚、平成 9 年度(1997)に開始した公募地上研究制度について、制度の開始から平成 12 年度(2000)までの 20 世紀中の活動を括って、7. 2. 3. 3 節にその制度運営の概況を示すことにする。



## 別紙 7.2.3-1(1/2) 宇宙環境利用が有効な研究領域 [7.2.3-11]

(物質科学等、ライフサイエンス等)

宇宙環境利用の研究分野	特化すべき研究領域(骨子)
<p>物質科学等 (物質科学、新材料創製、物理・化学現象の解明)</p> <p>当該分野には、実績ある研究、新たな研究、基礎研究、応用研究、独創的な研究など、様々な範疇の研究が含まれる。これらを、「宇宙環境利用の効果」という観点から、右の研究領域へと整理分類された。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 熱・物質の移動に関する重力に依存した現象の解明と制御</li> <li>◆ 微小重力下での系の均質混合と粒子位置制御を利用した現象の解明と新材料創製</li> <li>◆ 微小重力下で自重や静水圧効果が除去されることを利用した現象の解明</li> <li>◆ 無容器処理による現象の解明と新材料創製</li> <li>◆ 宇宙での超高真空環境の実現と材料研究への適用</li> </ul>
<p>ライフサイエンス等 (ライフサイエンス、宇宙医学、有人宇宙技術等)</p> <p>当該分野は、宇宙環境と生物・ヒトとの関わりに注目する観点から、現在広い関心を集めている研究、新しい視点からの研究、基礎的な知見の獲得を目指した研究、応用的な研究など、研究の裾野の広がりや研究対象の多様性が最も顕著な分野である。新たな研究手法への取り組み、基盤的研究の促進、数理・工学的アプローチや実験技術開発への積極的対応を想定し、右の研究領域へと整理分類された。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 生物の構造・機能に対する重力の影響の解明</li> <li>◆ 宇宙・地球環境での生物の適応性と生態系に関する研究</li> <li>◆ 宇宙放射線の物理的効果と生物・ヒトへの影響に関する研究</li> <li>◆ 宇宙環境が人体及び精神に与える影響とその対策に関する医学や人間工学の研究</li> <li>◆ 宇宙環境を利用した生物工学の研究と実験技術の研究開発</li> </ul>

## 別紙 7.2.3-1(2/2) 宇宙環境利用が有効な研究領域 [7.2.3-11]

(JEM 曝露部利用を目指した理工学・通信、宇宙観測、地球観測、宇宙インフラ整備のための基盤的・先端的な技術開発等) ([注釈]参照)

利用分野	概要(骨子)
理工学・通信、技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM 曝露部は、宇宙インフラの開発・利用に必要な共通技術の実証を行う場、また、宇宙環境を理解して利用の高度化を進めるために必要な技術データの収集・蓄積を行う場として、計画的・多面的な利用を進める。</li> <li>◆ 具体的な有望領域として、「ロボティクス・テレサイエンス関連技術」、「エネルギー関連技術」、「通信関連技術」、「構造物関連技術」、「熱管理・液体管理関連技術」、「宇宙環境計測・影響評価関連技術」等。</li> </ul>
地球観測	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 地球環境の破壊を阻止しこれを保全するには、現在の環境変化のメカニズムを理解し、これをモデル化してシミュレーション(将来予測)を行い、その結果に立脚した対策を講ずるというプロセスが求められる。そのためには、地球全体の環境の観測と監視が不可欠で、宇宙からの地球観測はそのための最も効果的なデータ収集手段を提供する。この目的で、効率的、効果的な地球観測を実現するには、長期的な観測シナリオを策定し、これに基づいて将来必要となる観測センサと観測システムの研究開発を計画的に進めることが重要。</li> <li>◆ JEM 曝露部は、このための軌道上テストベッドの役割を果たし、その特長を最大限に活用して技術開発と観測技術の実証を進めることが重要。</li> <li>◆ 地球観測センサや観測システムについては、技術的な難度の高い「大気観測ミッション」の実現が課題になる。このための技術開発・技術検証の場として JEM 曝露部の活用が期待される。</li> </ul>
宇宙観測	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 宇宙からの天体観測における JEM 曝露部の利用は、姿勢変動や視野の限界、高精度ポインティングの実現の限界や制約、有人システムに伴う安全性要求等、人工衛星利用と比較して不利な条件(制約)が課せられる一方で、観測装置(ミッション)の開発期間の短縮や定期的な輸送手段の確保、重要な観測イベントの時期に合わせた実験装置(ミッション)の搭載、実験装置の回収による実験内容の多様化や技術実証実験が可能等の利点を有している。このため、JEM 曝露部の有効利用は宇宙観測分野においても重要。</li> <li>◆ JEM 曝露部の利点を活かせる(初期段階の)具体的なミッションとして、「X 線天体の全天モニタ」、「ガンマ線バーストの全天探索」、「高エネルギー宇宙線の直接観測」、「太陽活動のモニタ」、「高エネルギー宇宙電子の観測」等の提案がなされてきた。</li> </ul>

[注釈] 当該研究分野は、元々、宇宙での研究や実験を目指したもの。「宇宙インフラ整備での JEM 曝露部の有効な活用」、「宇宙観測や地球観測それぞれの観測目的や観測シナリオの中で JEM 曝露部の特徴を活かした利用」を進める視点から、利用の方向性が整理分類された。

## 7.2.3.2 宇宙開発事業団を中核とした利用推進活動(その2)

－応用化研究分科会報告(平成10年(1998)7月)と民間利用の促進－

## (1)宇宙ステーション・JEMを取り巻く状況と課題

7.2.3.1節(2)項の「民間の宇宙環境利用」で述べたように、平成8年(1996)7月の部会報告は、民間の宇宙環境利用促進について、『当面は長期的な視点に立って、民間の商業利用につながる環境を醸成する』という方針を示していた。宇宙環境の商業的な利用は、宇宙環境利用研究の基礎的な成果を踏まえて具体化されるとの考え方が基本にあったからである。一方、欧米では、宇宙の民間利用を促進するための制度を整備し、ISSの民間利用促進に重点を置いた取り組みが積極的に進められていた。([注釈]<sup>15</sup>欧米における利用促進策)

ISS計画の進展と欧米の商業的利用に対する取り組みの動向を踏まえて、我が国も、ISSの民間利用への展開に遅れを取らないために、「応用化研究」の推進策を具体化する必要に迫られていた。([注釈]<sup>16</sup>応用化研究の定義)このために、宇宙環境利用部会に「応用化研究利用分科会」(以下、「分科会」)が設置(平成9年(1997)10月)されて課題の検討が進められ、平成10年(1998)7月に分科会報告[7.2.3-14]がとりまとめられた。分科会報告では、まず、「民間利用の促進に向けた宇宙環境利用の現状分析(推進の難しさの要因と分析)」として、次の認識を示していた。

要因	現状分析
科学的成果	◆ 宇宙環境利用の有効性実証が十分でない。(宇宙環境利用の投資効果の見極めが難しい。)
時間	◆ テーマの応募から実験実施までに長時間を要する。(成果を取得できるまでに、実験内容が陳腐化してしまう恐れある。)
制度	◆ 民間企業の研究は企業戦略に基づく目的研究である。(機密保持が困難では、優れた研究テーマの応募は難しい。)
利用手段	◆ 共通実験装置の利用のみが対象であれば、提案範囲が限られる。(結果に責任を持つためには、利用者の独自装置の持ち込み制度が不可欠になる。)
認知度	◆ これまでの宇宙環境利用の成果は、いまだに基礎研究段階に留まっている。(企業の経営者や研究者の宇宙環境利用に対する関心が低い。)

## (2)利用の促進及び推進に関する国の方針と施策

分科会報告は、前項の「難しさの要因」を取り除いて応用化研究を推進するために、宇宙環境

[注釈]<sup>15</sup> 欧米における利用促進策(1997年当時): 米国は、商業宇宙センター(CSC)という研究コンソーシアムを全国に16ヶ所設置、NASAは各CSCに対して毎年約百万ドルの補助金と無償の宇宙実験機会を提供、ISS利用のために30%の専用リソース枠(商業利用/技術開発)を割いていた。一方、欧州でも、宇宙の産業利用を開拓するための研究組合(RADIUS)プログラムを経て、微小重力応用プログラム(MAP)が推進されており(全欧で5センター体制)、研究体制、補助金、無償の実験機会提供など、米国CSCと概ね同様の制度の下で利用促進が図られようとしていた。(分科会報告[7.2.3-14])

[注釈]<sup>16</sup> 応用化研究の定義: 応用化研究とは、宇宙環境を利用する研究のうち、地上の生産活動等への応用を目的とした研究を指すものとし、そのような応用を目指す研究であれば、基礎的な段階の研究でも応用化研究に含めて考えるものとされた。(分科会報告[7.2.3-14])

利用の成果を地上に応用してその有効性を実証する「先導的な研究」を重点的、計画的に実施し、地上から軌道上実験を経て応用に至る一連の研究を体系的に推進するとして、そのための次の「基本的な考え方」を示した。

項目	基本的な考え方(骨子)
宇宙実験に伴う各種制約の改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 利用者の視点から、JEM 利用の迅速性と利便性の改善を図る。</li> <li>◆ このために、利用者の装置持込みを可能とする制度を設けるなど、従来からのテーマ選定方法を見直す。</li> <li>◆ 費用負担、秘密保持、知的所有権の扱いのガイドラインを示す。</li> </ul>
宇宙環境利用の有効性実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 当面、宇宙環境利用の成果を地上に応用してその有効性を実証する「先導的な研究」を重点的、計画的に実施、地上実験から軌道上実験を経て応用化達成に至る一連の研究を体系的に推進する。</li> <li>◆ そのために、産学官の密接な連携を図れる研究体制を構築する。</li> <li>◆ その際、特に、民間企業(ベンチャー企業を含む)の研究者のインセンティブを高める体制の構築に重点を置く。</li> </ul>

この考え方を具体化するための「当面の推進方策」として、「先導的応用化研究制度」を創設するとの方針が示された。(表 7.2.3-1(1/2)) 先導的応用化研究制度のポイントは、民間企業の研究者が参加する産学官の連携体制を構築すること、研究テーマは随時募集して選定すること、固有の JEM(きぼう)利用プロセスを設定して利用リソースを配分すること、研究はテーマ提案者等が NASDA と共同で実施することなどであり、欧米の施策と同様、一般の科学利用テーマの実施の流れと別枠で、NASDA が先導して成果創出を狙うものとされた。

表 7.2.3-1(1/2) 応用化研究推進の「当面の推進方策」  
(先導的応用化研究制度の骨子)

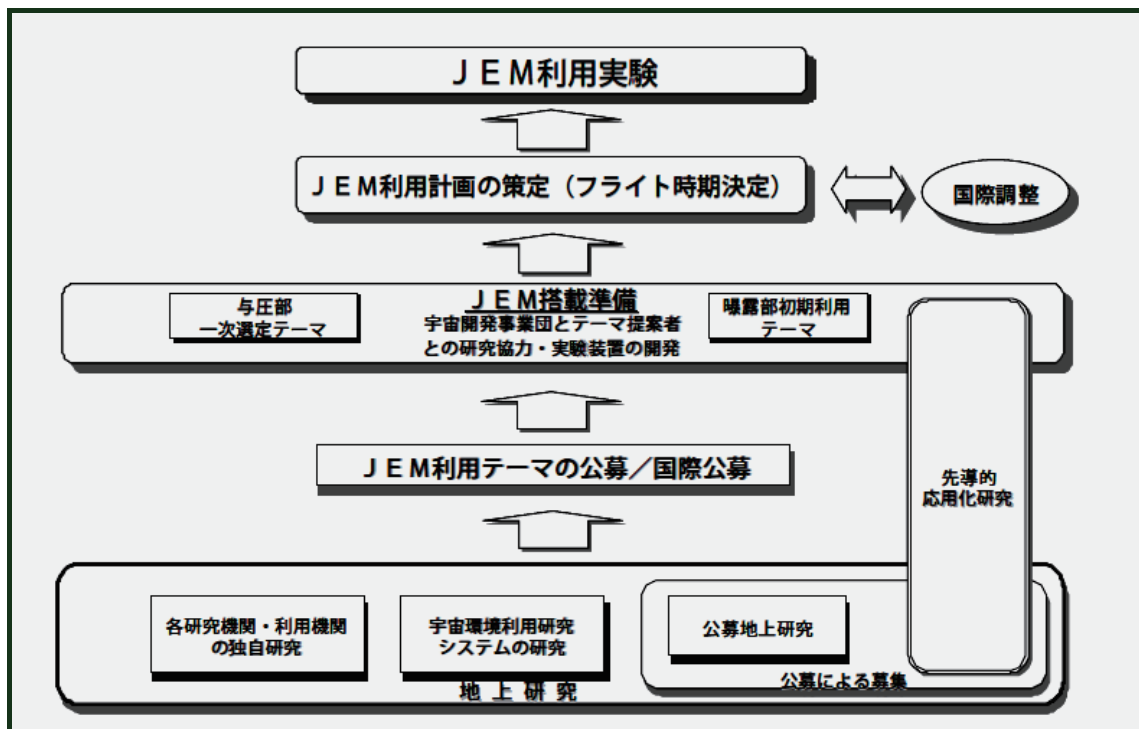
当面の推進方策	先導的応用化研究制度の骨子
有効性の実証を目的とした「先導的応用化研究」の推進	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 民間企業の研究者が参加する産学官の連携体制により、重点的・計画的に推進する。</li> <li>◆ 研究テーマは随時の募集・選定とし、選定は、地上への成果応用の可能性や知的所有権の獲得を重視した基準で行う。</li> <li>◆ 実験準備が整い次第、迅速にJEM利用が行えるプロセスを設ける。(図7.2.3-5「JEM利用プロセス」参照)</li> <li>◆ 先導的応用化研究のために、JEMの専用優先リソース枠を適切な時期に設定する。</li> <li>◆ 研究の実施に際して、国内共用試験設備等の利用が必要な場合には、その利用機会を確保する。</li> </ul>
「先導的応用化研究」の体制整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 研究は、テーマ提案者等がNASDAと共同で実施する。</li> <li>◆ 民間企業の研究者を統括責任者とする研究チームを設置する。</li> <li>◆ テーマの選定・評価はNASDAが実施する。(従前とは異なる方法により、商業機密保持に留意した体制で実施。)</li> </ul>
「先導的応用化研究」の当面の重点研究領域	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 当面次の四つの領域とし、必要に応じてNASDAで見直す。 1.「高機能性材料の研究」、2.「高性能半導体の研究」、3.「燃焼器の効率化・低公害化に関する研究」及び 4.「蛋白質結晶成長・構造解析」</li> </ul>

また、先導的応用化研究の制度運営においては、民間利用促進を強力に進めるためのに、費用負担、実験装置、秘密保持、及び知的所有権の取扱いについて欧米と同等水準の運営方針を導入するとされた。(表 7.2.3-1(2/2)) この新たな推進方策を付加し見直された「JEM(きぼう)利用プロセス」を図 7.2.3-5 に示す。

表 7.2.3-1(2/2) 応用化研究推進の「当面の推進方策」  
(先導的応用化研究制度の運営の方向)

当面の推進方策	運営方策の骨子
費用負担の考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 地上研究はテーマ提案者側にも応分の負担を求めるが、In-Kindでの負担も可とする。</li> <li>◆ JEM利用実験は利用者とNASDAが共同で実施する。(必要な費用負担の詳細は提案の評価時に決定する。)</li> <li>◆ 成果の地上への反映(製品化等の事業活動)は利用者側の負担を原則とする。</li> </ul>
JEM実験装置の整備	◆ 共通実験装置に限らず、利用者側の持込み実験装置を装着可能な汎用実験ラックを活用。(汎用実験ラックはNASDAで整備。)
秘密保持の考え方	◆ 商業的機密保持に関する取極め(Nondisclosure Agreement)を締結する。
知的所有権の取扱い	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 貢献度に応じてNASDAと共有。</li> <li>◆ 実施に当たっては、利用者が優先的に実施できることを考慮。</li> </ul>

図 7.2.3-5 JEM(きぼう)利用プロセスの見直し  
(「先導的応用化研究」の制度創設に対応)



## (3) 利用の促進及び推進のための新たな施策と制度の主な特徴

「先導的応用化研究制度」の主要な特徴は、①民間企業の研究者が加わった産学官の連携体制で、民間の宇宙環境利用を先導する実用化研究を戦略的に推進する、②科学研究テーマとは独立に異なる基準でテーマ選定を行う、③利用者の実験装置持ち込みを可能とする、④JEM(きぼう)の専用リソース枠を設ける、⑤秘密保持・知的所有権の取扱いに配慮する、などであった。民間の宇宙環境利用に対する阻害要因((1)項)のうち、宇宙環境利用への投資効果を具体的、例示的に明らかにすることが狙いであった。

## (4) 国の方針と施策に基づく宇宙機関の活動と対応状況

ここでは、平成11年(1999)4月、分科会報告に基づいてNASDAに創設された「先導的応用化研究制度」の概要について述べるが、JEM利用等の宇宙環境利用における応用化研究全般の状況は第11章に詳述されるので、ここでは制度概要に絞って紹介を行う。(「先導的応用化研究」の活動概況は、制度の開始から平成12年(2000)末までの20世紀の活動範囲を括って、7.2.3.3節にまとめる。)

## 1) NASDAの体制整備:

平成11年(1999年)3月、外部有識者を招聘して「宇宙環境利用応用化研究推進グループ(研究統括リーダー:澤岡昭大同工業大学学長)」(以下、「応用化研究推進G」)が設置され、同時に、同Gに外部有識者を加えた体制で「応用化研究テーマ選考評価委員会」(以下、「選考評価委員会」)が設置された。また、研究センターは、応用化研究推進Gと選考評価委員会の運営を担うこととされた。これにより、先導的応用化研究の推進体制が整った。

## 2) 先導的応用化研究制度の創設:

本制度が対象とする研究は、宇宙実験の成果を地上の製品開発等へ効果的に応用可能なことが明確で、その実施により、宇宙環境利用の有効性を早期に実証できる研究である。このような研究に対して、地上研究から宇宙実験を経て取得成果を地上の産業活動に応用するまでの一連の活動を、NASDAとの共同研究として実施する。そのための随時公募の研究推進制度として、「先導的応用化研究制度」が創設された。制度運営は、NASDAからの委託を受けたJSUPが担う。その際の原則として、本制度におけるNASDAとテーマ提案者との役割分担は次のものとされた。

先導的応用化研究の役割分担の原則	
NASDA	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 宇宙実験に向けた地上研究及び宇宙実験に必要な装置・技術の開発並びに支援</li> <li>◆ 宇宙環境利用のノウハウの提供と宇宙実験機会の確保・提供</li> <li>◆ 宇宙実験の実施</li> </ul>
提案者	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ NASDA分担以外の目的(宇宙実験の取得成果の産業応用)を達成するために必要な地上研究</li> <li>◆ 宇宙実験成果を地上の生産活動等に応用するまでの作業</li> </ul>

この先導的応用化研究の募集案内に記載された本制度の概要(骨子)を表7.2.3-2に示す。そのポイントは、同制度の趣旨に沿った明確な「研究開発シナリオ」が存在し「宇宙実験の位置付

け・役割」も明確なこと、NASDA側に負担割合の大きい経費分担の設定、機密保持と工業所有権の取扱いの明示などであった。

表7.2.3-2 先導的応用化研究制度の概要

(「先導的応用化研究」の募集案内(平成11年(1999年)4月)から抜粋)

募集案内の記載項目	制度概要(骨子)
研究テーマの要件	◆ 地上の生産活動に応用するための明確な研究開発シナリオが存在し、その中で宇宙実験の位置付け・役割が明確なこと。
研究及び費用の分担	◆ NASDA: 「地上研究」として、宇宙実験の実現に向けた研究、必要な装置開発・技術開発等。「宇宙実験」として、実験機会の確保・提供、実験実施等。(NASDAの費用負担は、1テーマあたり年7000万円以下。打上げ費用は別途NASDAが負担。) ◆ 提案者: 「地上研究」として、上記以外の目的を達成するための研究、成果の生産活動等への応用。
機密保持	◆ 機密保持が必要な事項を特定し、「機密保持契約」を関係機関間で締結して一定期間の機密保持を行う。 ◆ 特許関連情報は、一定期間非公開。
研究成果	◆ 成果が工業所有権等の対象になる場合は、原則として、貢献の度合いに応じて提案者とNASDA、JSUPとの共有。 ◆ 工業所有権等、成果を共有するものであっても、提案者は一定期間の優先実施が可能。
契約形態	◆ NASDAの委託を受けて、JSUPが代表研究者の所属する機関、及び研究チームに加わる機関と共同研究契約を締結。

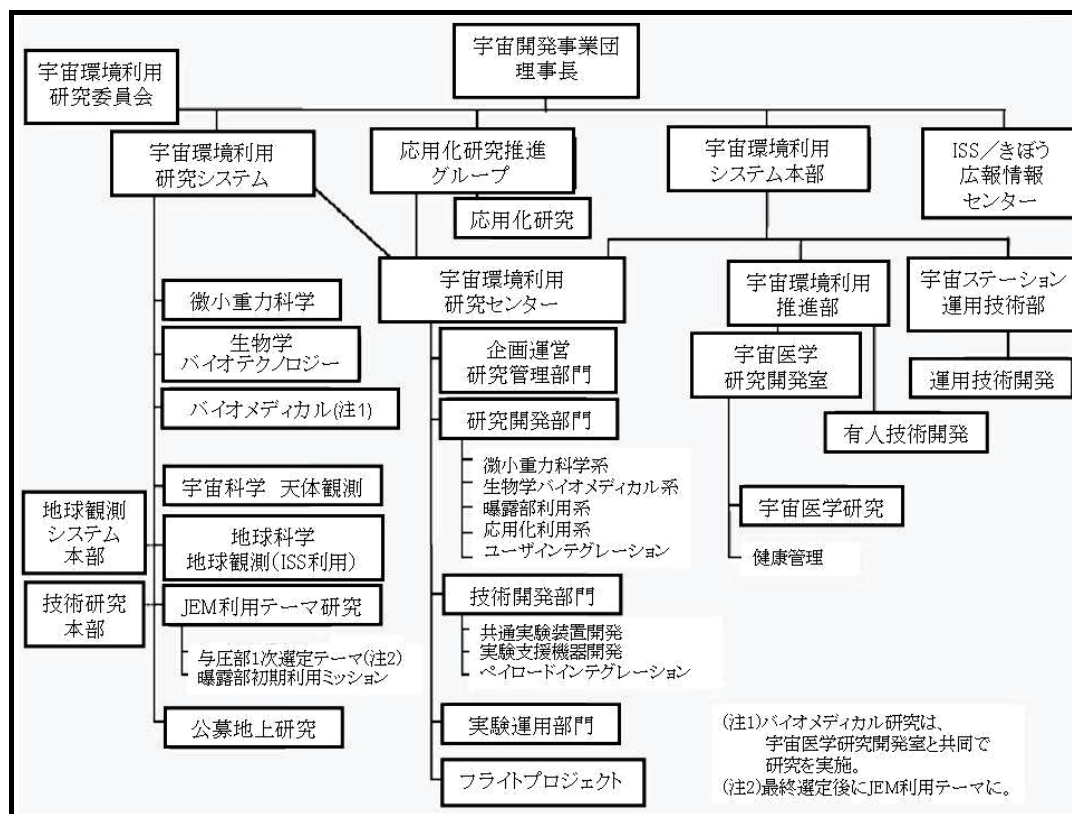
7. 2. 3. 3 宇宙開発事業団を中核とした利用研究の推進活動(その3)

—宇宙環境利用の推進活動と中央省庁再編直前の宇宙環境利用部会の総括—

20世紀の最後の年に当たる平成12年(2000)は、中央省庁の再編(文部省とSTAの統合によるMEXTの発足など)を目前にして、我が国の宇宙環境利用の促進及び推進の枠組みや仕組みが変化に向け動き出す年であった。この節目の時期に、宇宙環境利用部会は、同年4月から、JEM(きぼう)の初期利用段階における利用推進方策の検討を行っていた。平成8年(1996)の「宇宙環境利用の新たな展開に向けて—宇宙環境利用の当面の推進方策—」及び平成10年(1998)の「宇宙ステーションの民間利用の促進に向けて—応用化研究利用分科会報告書—」に基づいて実施されてきたNASDAの宇宙環境利用推進の実施状況とISSを取り巻く周辺状況等を踏まえ、これまでの推進方策の実施効果を確認するとともに、今後、さらに対応が必要な課題を設定するためのものであった。この年はまた、内閣府のSACがその役割を終えてMEXTのSACへと衣替えするに当たり、SACの長期戦略部会は、同年12月に、宇宙開発政策大綱に代わるものとして、「我が国の宇宙開発の長中期戦略」を部会報告としてとりまとめた。その報告の中で、JEM(きぼう)利用の目標が改めて整理されていた。

本節では、7. 2. 3 節全体の「まとめ」の意味で、(1)「NASDAの利用推進活動の概況」、(2)「長期戦略部会報告(平成12年12月)」[7.2.3-22]及び「宇宙環境利用部会報告(平成12年12月)」[7.2.3-23]の概要(骨子)をまとめ、7. 2. 4 節へのつなぎとする。

図 7.2.3-6 宇宙開発事業団のISS・JEM(きぼう)の利用推進体制  
(平成12年(2000)12月現在の状況)





## (1)NASDA の利用推進活動の概況

平成8年(1996)10月の新しい体制・制度の発足から平成12年(2000)末までのNASDA利用推進活動の概況を、平成12年(2000)末時点の状態代表させて要約する。対象は、「研究システム・センター」の活動状況、「研究委員会及び分野別専門委員会」の活動状況、「応用化研究推進G」の活動状況、及び「公募地上研究制度」の運営状況で、その際の参考として、平成12年(2000)末までに整備されたNASDAの「JEM(きぼう)の利用推進体制」を図7.2.3-6に示しておく。

## 1)研究システム・センターの活動[7.2.3-15]:

最初に、研究システムの活動の平成12年(2000)末の概況(取り組みの広がり)を表7.2.3-3に示す。

表 7.2.3-3(1/2) 宇宙環境利用研究システムの研究実施状況—宇宙環境利用研究等—

研究の範疇	研究課題の名称
課題研究	1. 化合物半導体均一組単結晶育成研究 2. 拡散現象のモデル化及び高精度拡散係数測定 3. マランゴニ対流現象モデル化研究 4. 骨芽細胞における細胞内シグナル伝達・遺伝子発現に及ぼす重力の影響
準備研究	1. 生体高分子結晶成長機構解明研究 2. 遺伝子情報の損傷修復と微小重力 3. 過冷融液の物性評価を含めた準安定相物質に関する総合研究 4. 燃料分散系の燃焼ダイナミクス解明研究
調査研究	1. 血管内皮細胞等を利用した重力感受・応答機構 2. 非平衡現象と重力相関
調査活動等	1. 宇宙ステーション等の人文社会学的利用に係わる調査研究 2. 微小重力を利用する基礎科学検討会・基礎化学検討分科会 3. 微小重力を利用する基礎科学検討会・基礎生物学検討分科会 4. Tuesday Evening Seminar (TES) 及び特別講演 5. 宇宙環境利用研究テキストブックの作成検討委員会

表 7.2.3-3(2/2) 宇宙環境利用研究システムの研究実施状況—きぼう利用研究—

実験ミッションの名称	開発するミッション機器	共同機関(代表)
全天 X 線監視ミッション	全天 X 線監視装置	理化学研究所
光通信実験ミッション	光通信実験装置	通信総合研究所
サブミリ波リム放射サウンダ実験 ミッション	超伝導サブミリ波サウンダ	通信総合研究所
宇宙環境計測ミッション	宇宙環境計測装置	NASDA(技術研究本部)

研究システムは、科学研究における宇宙環境利用の有効性を早期に提示するための「宇宙環境利用研究」(先導的または共通基盤的な地上研究)として、「課題研究」、「準備研究」、及び「調査研究」(各研究の定義は7.2.3.1節の[注釈]<sup>11</sup>を参照)を実施するとともに、これらを基盤にしたJEM(きぼう)利用戦略計画[7.2.3-16]の策定とその推進、宇宙環境利用研究の課題開拓

のための「調査活動等」を進めていた。研究の実施では、外部に開かれた流動的研究組織の長をを活かして、進捗に応じて外部研究者を招聘し、また、分野開拓の進展に応じて、外部専門家(研究者)の参画を得て研究会を組織するなど、適時、必要な体制を構築して利用推進活動に取り組んでいた。また、選定された JEM(きぼう)曝露部初期利用ミッション(第12章参照)については、ミッションの実施準備のために、ミッション提案機関と協定等を締結して提案者等を研究システムに招聘し、「きぼう利用研究」としてミッションチームを構成、提案機関との共同事業としてミッション開発を進めていた。

表 7.2.3-3(1/2)の「調査活動等」のうち、「宇宙ステーション等の人文社会学的利用に係わる調査研究」の成果は、第13章に述べる「宇宙環境利用の開拓—人文社会科学分野の取り組み—」へと発展して行く。「Tuesday Evening Seminar(TESE)」[7.2.3-17]は、研究システムの中核セミナーとしての役割を果たしていた。極めて広範な分野(理学から人文社会科学まで)の専門家と、宇宙環境利用の新たな分野開拓の議論や検討を行い、また、広範な関連分野の最新研究動向に関する情報の収集・交換を行う場になり、研究システムと外部研究者をつなぐ重要なパイプの機能を果たしていた。(TESE 自体は、平成 20 年度(2008)まで継続された。) また、「宇宙環境利用研究テキストブックの作成検討委員会」は、宇宙環境を利用して展開される科学研究の魅力についての「啓蒙書」を著作出版することを目的に設置された委員会(委員長:井口洋夫研究システム長)で、各分野の第一線の研究者等の参画を得て啓蒙書を完成させ、「宇宙環境利用のサイエンス」(裳華房、平成 12 年(2000 年))[7.2.3-1]として出版しその活動を終えた。

一方、研究システムの運営と技術開発を担う研究センターは、主として、実験技術開発及び実験装置開発の専門の立場から、宇宙環境利用研究やきぼう利用研究(JEM 曝露部初期利用ミッションの開発)に参画するとともに、調査活動等においては、「研究会」の一員として分野開拓や領域開拓の活動を進めるなど、研究システムと研究センターの一体化が進んでいた。この研究システムとの協働作業に加えて、研究センターが担った利用促進業務、実験プロジェクト業務、実験運用業務等として、平成 12 年度現在で次の業務が同時並行で進められていた。

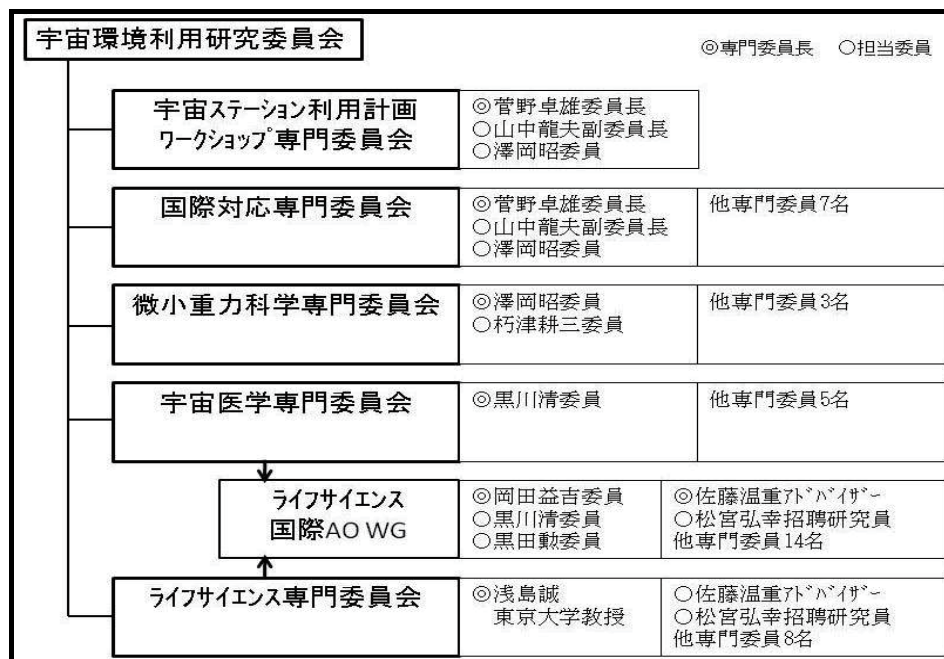
業務の名称	研究センターの業務の概要(研究システムの関連業務以外)
プリカーサミッション 及び JEM 実験運用	<u>フライトプロジェクト:</u> ◆ ISS米国実験棟の早期利用の中性子計測プロジェクト ◆ ISSロシアSM利用の微粒子捕獲・材料曝露実験 ◆ STS-107(SH)利用の高密度蛋白質結晶成長実験 ◆ STS-R2(SH)利用の溶液結晶成長観察実験 (SM:サービスモジュール、SH:スペースハブ) <u>JEM 実験運用プロジェクト</u>
船内実験室利用	<u>きぼう船内実験フライトテーマの実験準備:</u> ◆ 一次選定テーマUI ◆ ライフサイエンス国際公募テーマUI (UI:ユーザインテグレーション) <u>共通実験装置開発:</u> <u>きぼう第2世代実験装置の検討(要求仕様設定の技術検討)</u>
実験技術	<u>微小重力科学宇宙実験支援技術開発:</u> ◆ 基礎物性値測定技術 ◆ 熱物性対流シミュレーションシステム ◆ Gジッタの影響解析

実験技術 (続き)	<u>ライフサイエンス系宇宙実験支援技術開発</u> ◆ 水棲生物搭載技術 ◆ 積算型線量系解析技術 ◆ 重力生物学実験技術(クリノスタットの力学特性等)
利用促進活動	<u>宇宙環境利用研究会の運営</u> <u>ISS 利用計画ワークショップの開催運営</u> <u>フライト実験テーマの募集支援</u> ◆ 国際公募(ライフサイエンス及び微小重力科) <u>先導的応用化研究の促進</u> <u>公募地上研究の促進</u> <u>宇宙環境利用研究データベース</u>

2) 研究委員会及び分野別専門委員会の活動:

研究委員会は、設置以来、「JEM 利用に向けて総合的に利用要求をとりまとめる」ための活動範囲を順次拡大させ、利用推進活動を展開していた。研究委員会の活動方針は、ISS・JEM(きぼう)の利用を中心とした宇宙環境利用研究を充実させ、宇宙環境利用の拡大やその意義の確立に資する活動を重点的に進めることであった。その一環として、宇宙環境利用が有効な研究分野の育成と発展を期して、我が国の宇宙環境利用研究の重点的展開にとって望ましい方向を調査・検討し、これを分野毎の「研究シナリオ」としてとりまとめる活動に取り組んでいた。そのために、研究委員会に設置された分野別専門委員会及び WG の活動を充実させる取り組みが進められていた。(図 7.2.3-7「宇宙環境利用研究委員会及び専門委員会等の構成」を参照)

図 7.2.3-7 宇宙環境利用研究委員会及び分野別専門委員会の構成  
(第 5 回宇宙環境利用研究会提示資料[7.2.3-12])



研究委員会は、設置から平成12年(2000)末までに10回開催されたが(分野別の専門委員会は頻繁に開催)、その間の主な活動のジャンルは次のものであった。(大項目のみ提示)

- ◆ JEM等利用テーマの募集選定(JEM曝露部初期利用テーマ、TR-1A7号機実験計画、シャトルミールミッション生物学実験テーマ、STS-107実験テーマ)(国際AOへの対応を含む)
- ◆ 宇宙ステーション利用計画WSの開催(年1回)
- ◆ 分野毎の「研究シナリオ」構築(作成は専門委員会の活動による)
- ◆ 国際対応(ISS利用促進のための国際フォーラム(IFSUSS会合、SSUASのWS)等への対応)
- ◆ 研究システムの研究課題(課題研究・準備研究・調査研究)の設定承認と課題研究の中間評価の実施等の研究推進

研究委員会(及び分野別専門委員会)がとりまとめた「研究シナリオ」(微小重力科学研究、ライフサイエンス研究、及び宇宙医学研究)の概要を別紙 7.2.3-2(1/4)～(3/4)に示しておく。[7.2.3-18]、[7.2.3-19]、[7.2.3-20] («研究シナリオ»は本7. 2. 3. 3節の最後に掲載した。) これらの「研究シナリオ»は、最新の科学と技術の動向を踏まえて適時見直し(維持改訂)を行うこととされていた。また、平成 12 年(2000)末の時点で、宇宙環境利用が有効と考えられる「基礎物理学»の分野についても「研究シナリオ»の追加設定が研究委員会で議論されていた。その結果、平成 13 年(2001)10 月に、新たに「微小重力物理学研究シナリオ»として初版が制定されたので、ここでは別紙 7.2.3-2(4/4)[7.2.3-21](本7. 2. 3. 3節の最後の掲載)にこの概要も示しておく。これらの「研究シナリオ»の視点はそれぞれ次のものであり、この研究シナリオの考え方を基礎にして、公募地上研究の「重点研究領域»の設定が行われた。

#### 微小重力科学分野:

- ◆ 微小重力は、超高真空、超高温、超高压、高エネルギー放射線等と同様の環境因子である。これらの環境因子の利用により、これまでは困難であった「現象の理解」、「理論の検証」、「新機能材料の製造」などへの取り組みが可能になる。
- ◆ これらの環境因子を、現象解明などのツールとして利用することにより、新たな知識の獲得が期待できる。
- ◆ 微小重力利用が新理論の構築を促す要素は少なく、むしろ重力の抑制で実現する空間対称性を利用して、これまでの理論の検証、地上の対流現象の複雑さを回避した単純解析モデルの検証、対流を抑制した環境での熱物性値の高精度測定、及び材料の高機能化・高品質化等に向けた材料物性の把握等が可能になる。

#### ライフサイエンス分野:

- ◆ **多様性の尊重:** 生命現象は「様々な生物が示す多彩な現象»であり、研究対象について大きな自由度がある。このために、必然的に多様なアプローチと、参画する研究者の多様な発想が重要である。また、生命現象に関係する研究分野の進歩、実験技術の革新の速度が極めて速いために、体系的かつ長期的なシナリオを過度に固定することで将来の可能性を失う恐れがある。従って、地上の研究の進展に則して継続的にシナリオを見直すことが重要。(一般論として。)
- ◆ **現実的な問題:** ISS・JEM(きぼう)の最大の特徴は、微小重力及び宇宙放射線の環境を利用した「長期間継続する実験»であり、この特徴を最大限に活用する。
- ◆ **生物試料の選定:** 単に搭載性の観点からだけではなく、ゲノムシーケンスや蛋白質機能に関する網羅的情報の解析が組織的に行われている生物種を選択することが重要。

### 宇宙医学分野:

- ◆ 日本の宇宙医学研究の目標: 次の二つの目標を踏まえた研究シナリオの構築。①「宇宙環境を利用した日本の医科学研究の推進」: 宇宙は微小重力や放射線など地上と異なる環境を有している。進化の過程で獲得した重力環境への生体の適応や放射線被曝に対する影響についての理解を深めることは生命の基本メカニズムを解明する上で重要。②「宇宙環境が人間の生理や精神心理に与える影響の解明と対策の構築」: 人体の宇宙環境への適応及び地球帰還時の再適応と影響についての実態を把握し、そのメカニズムを理解し、さらに宇宙飛行士の健康とパフォーマンスを維持するための対策の構築が緊急の課題。
- ◆ 次の3つの基本的な考え方の尊重: ①日本が世界的にリードし、あるいは独創性が発揮される研究が軌道上研究として展開され、国際的に評価されること。②ヒトの宇宙滞在のために必要な医学研究課題の解決に貢献し、その成果を地上の医療活動に還元すること。③今後の有人宇宙活動の推進に貢献すること。
- ◆ 「宇宙医学研究」を、「基礎宇宙医学研究」(バイオメディカル研究)と「臨床宇宙医学研究」の二つに分類し、それぞれの取り組みを進める。(「臨床宇宙医学研究」は、NASDA宇宙医学研究の担当業務として整理する。)

### 微小重力物理学分野:

- ◆ 微小重力環境の利用: 微小重力環境の特徴は、「系の対称性が維持される」、「静水圧が抑制される」、「対流の抑制に起因した熱・物質輸送が抑制される」、「相分離が抑制される」、「自由浮遊が実現できる」などである。物理学の視点からは、「重力の制御」が行える環境を利用して、基本的な物理法則や自然原理の探求を行うこと。
- ◆ 我が国の特徴: 我が国では、非平衡系の輸送係数を平衡系のゆらぎを用いて定式化した「グリーン・久保の公式」、長波長のゆらぎに着目して動的臨界現象を説明した「モード結合理論」、臨界現象のサイズ依存性を利用して古典的な平均場理論を拡張した「コヒーレント異常法」など、統計物理学・凝縮系物理学・化学物理学における独創的な研究が展開されてきた。我が国のこの分野の研究レベルは極めて高く、研究者層も厚いので、これらの研究分野の特徴、実績、研究者の関心を反映した研究領域及び研究課題を設定することで、戦略的に微小重力利用の物理学研究の新規創設を目指す。
- ◆ 研究シナリオの当面の使い方: 新規の立ち上げ分野であることから、当面、公募地上研究における重点推奨研究領域に「微小重力物理学分野」を加え、研究者の裾野拡大や研究コミュニティの育成に寄与することを目指す。このための基本情報として、本研究シナリオを活用する。

### 3) 応用化研究推進 G の活動:

平成 11 年(1999)4 月に創設された先導的応用化研究制度に則り、同年 4 月から研究テーマの随時公募が開始された。応募状況と選考評価委員会による選考結果(採択)の概況(平成 12 年度(2000)末現在の状況)は次の通りであった。

分 野	応募数	選定テーマ (宇宙実験)	FS 及び 調査研究
「高機能性材料の研究」の関連	4	0	2
「高性能半導体の研究」の関連	2	0	1
「燃焼器の効率化・低公害化に関する研究」の関連	2	0	0
「創薬に向けた蛋白質結晶成長・構造解析」の関連	12	4	2
その他(通信、生体材料、測地応用、機構設計等)	6	0	0
<合 計>	26	4	5

先導的応用化研究制度のテーマ採択プロセスを図 7.2.3-8 に、また、選定テーマ(宇宙実験準備に入るテーマ)の概要を表 7.2.3-4 に示す。当時の選定テーマは、いずれも蛋白質の結晶成長実験を行うもので、STS-107(SH)利用の宇宙実験を目指して、提案者とJSUPの共同作業として、結晶成長の最適条件等を見出すための地上研究が進められていた。

図7.2.3-8 「先導的応用化研究」の推進活動

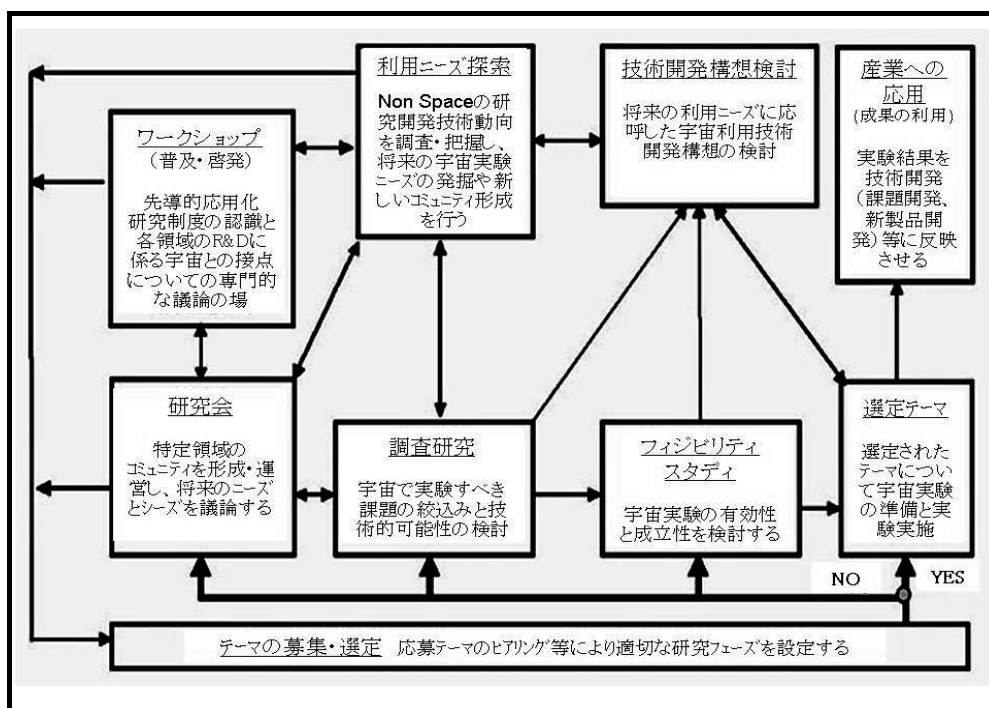


表 7.2.3-4 選定テーマ(宇宙実験)の概要(平成 12 年度(2000)末現在)

名称	概要
1. 睡眠物質及びアレルギー物質合成酵素の結晶成長実験と医薬品への応用(代表研究者: 大阪バイオサイエンス研究所・裏出良博)	睡眠物質及びアレルギー物質合成酵素の結晶化を目的に微小重力環境を利用した結晶成長実験を行い、結晶を把握して居眠り防止薬や抗アレルギー薬等の開発につなげる。
2. 新規抗寄生虫薬の結晶解析に基づく分子設計(代表研究者: 東京大学・北潔)	宇宙の微小重力環境で生成した蛋白質結晶の立体構造解析の結果を、新規の抗寄生虫薬開発につなげる。
3. 加齢性疾患の原因蛋白質に対する特異的阻害剤の創薬支援研究(代表研究者: 三菱化学・杉尾成俊)	加齢性疾患等の病因蛋白質の結晶化を目的に宇宙の微小重力環境を利用して結晶生成実験を行い、得られた蛋白質結晶の立体構造解析結果を医薬品開発につなげる。
4. 光受容膜蛋白質の結晶化研究(代表研究者: サントリー生物有機科学研究所・石黒正路)	宇宙の微小重力環境を利用して光受容膜蛋白質の結晶化を行い、得られた蛋白質結晶の立体構造解析の結果から、受容体の立体構造と機能を解明し、医薬品の合理的設計・開発に応用する。

選定テーマの宇宙実験準備に加えて、応用化研究推進 G、研究センター及び JSUP が連携して、次の推進活動が進められていた。

推進活動(図 7.2.3-8)	概要
先導的応用化研究 WS	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 先導的応用化研究に民間企業・産業界等からの多くの参加が得られるよう、そのための WS を主催。</li> <li>◆ 平成 12 年度は、燃焼分野、高機能性材料分野の WS を開催。</li> </ul>
研究会	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 民間企業・産業界の研究開発課題と、課題等に対処するための宇宙環境利用の有効性を討議し、情報交換を行う。</li> <li>◆ 平成 12 年度は、「シリコンの固液界面の状態と挙動の平衡的解析」、「微粒子・ナノ構造体・自己組織化」、「フラーレン材料化プロセス」、「燃焼」、「蛋白質結晶成長・構造解析」、及び「香り」の各研究会を開催。</li> </ul>
FS 及び調査研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「選定テーマ(宇宙実験)」として採択されなかった提案のうち、アイデアとしては優れており、宇宙実験に関する技術的課題を解決すれば短期間で「選定テーマ(宇宙実験)」として採択の可能性がある候補課題を対象にして、提案者と協働して FS を行う。</li> <li>◆ 平成 12 年度は、蛋白質結晶成長の 2 件について FS を実施。また、高機能性材料関係 2 件、高性能半導体関係 1 件、合計 3 件の調査研究を実施。</li> </ul>

#### 4) 公募地上研究制度の運営:

平成 9 年度(1997)に始まった公募地上研究制度の運営のポイントは、①「宇宙環境利用の裾野拡大」、及び②「優れた JEM(きぼう)利用テーマの育成」にあることは既に述べた。この二つを同時に満たすために、公募地上研究の研究推進委員会と NASDA(研究システム・センター)は、本制度の創設以来、公募地上研究の「研究区分」と「研究分野」について検討と工夫を積み重ねてきた。そのうち、制度創設当初の状態については 7. 2. 3. 1 節の(4)に概要を述べたが、その後の変遷(本制度開始[第 1 回募集]から終了[第 9 回募集]まで)を含めた全体像を図 7.2.3-9 に示しておく。(平成 12 年度(2000)は[第 4 回]に対応。)

変遷の全体的傾向は、募集の回数を重ねるに従って、第一の目的である「宇宙環境利用の裾野の拡大」に重きを置く運営方針から、第二の目的である「優れた JEM(きぼう)利用テーマの育成」(具体的な利用テーマの準備)を重視する運営方針へと段階的にシフトして行ったことである。利用分野の一般的な裾野拡大から、宇宙実験の成果を確実に、しかも早期に獲得する方向に重点を移して行くという自然な流れである。しかしながら、ISS 計画の度重なる遅延が、公募地上研究制度の運営にも大きな影を落とすことになる。公募地上研究制度からの支援を受けて宇宙実験のアイデア等を醸成させ、新規の宇宙実験課題が開拓されてきたものの、宇宙実験という次の段階の入り口に辿り着けない状況が待ち受けていたからである。特に、平成 16 年度(2004)以降の変遷の状況と公募地上研究制度の終焉(平成 21 年度(2009))の状況については、その当時の ISS・JEM(きぼう)を取り巻く政治経済情勢並びに社会情勢にも密接に関わっているので、7. 2. 5 節で、変遷を駆動した周辺環境条件及び事実関係にも触れ、その実情の整理を行う。

一方、本節の2)で述べた「研究シナリオ」については、研究委員会における微小重力科学、ライフサイエンス、宇宙医学分野の研究シナリオの設定を受けて、第 4 回公募(平成 12 年度)から、

研究シナリオの「重点研究領域」が募集案内に書き込まれるようになった。宇宙環境利用を目指す地上研究への新規参入者にとって、宇宙環境利用研究が有効な研究領域や JEM(きぼう)利用研究の方向性(重点課題等)が重要な参考情報として提示されたことになり、この観点で、「研究シナリオ」の構築は、宇宙環境利用研究の位置付けの明確化に大きく貢献したといえる。平成9年度の「第1回公募」から平成18年度の「第9回公募」の公募地上研究への応募・選定状況を表7.2.3-5にまとめておく。(同様に、表7.2.3-5には全体の状況が示されているが、本節の対象範囲は、「第4回公募」までの推移・変遷である。)

図 7.2.3-9 公募地上研究制度-「研究区分」と「研究分野」の変遷

平成9年度「第1回公募」から平成16年度「第9回(最終回)公募」までの変遷  
(平成12年度(2000)は「第4回公募」に対応)

	第1回 FY9	第2回 FY10	第3回 FY11	第4回 FY12	第5回 FY13	第6回 FY14	第7回 FY16	第8回 FY17	第9回 FY18
研究区分	フェーズII					課題計画研究	きぼう利用重点課題研究		
	フェーズI	フェーズIA				重点研究	次期宇宙利用研究		
		フェーズIB	フェーズIB			萌芽研究	宇宙利用先駆研究		
			フェーズIB萌芽的研究						
	落下施設・航空機利用研究								
研究分野	微小重力科学				微小重力科学 微小重力物理学		物理学・化学系		
	ライフサイエンス	生物科学				生命科学系 (3分科会を設置)			
		バイオメディカル							
	宇宙医学	宇宙医学							
	宇宙科学						宇宙科学・地球科学系※		宇宙科学・地球科学系※
	地球科学				地球科学※				
宇宙利用技術開発					宇宙利用技術開発※	宇宙利用技術開発※	宇宙利用技術開発※	宇宙利用技術※	
備考					※萌芽研究のみ		※落下施設・航空機利用のみ	※「きぼう」利用重点課題研究をのぞく	※「きぼう」利用重点課題研究、次期宇宙利用研究をのぞく

(公募地上研究の研究区分については、[注釈]<sup>17</sup>を参照。)

[注釈]<sup>17</sup> 公募地上研究の研究区分:

- ◆ **フェーズ II:** 「きぼう」の利用テーマ募集に応募する準備段階として、既に科学的な実験求が定義されていて、大規模な実験装置・実験供試体の要素技術開発や、応募に向けた詳細な実験要求(案)の作成等を目標とした地上研究。(年1億円以下、研究期間最長3年)
- ◆ **フェーズ I:** 宇宙環境利用の有効性や研究手法、実験手段について調査検討や地上実験を行うなど、宇宙環境利用に向けた新規のアイデア等の確立を目標とした地上研究。(年6百万円以下、研究期間最長3年)
- ◆ **フェーズ IA:** 科学的な実験要求を、地上実験や解析によって明確にすることを目標とした地上研究。実験手法等に係る要素試作試験を含むような比較的大規模な地上研究。(年3千万円以下、研究期間最長3年)
- ◆ **フェーズ IB:** 宇宙環境利用で実施が効果的と想定されるアイデアについて、確実なデータ取得等により、そのアイデアの確立等を目的とした、初期段階の地上研究。(年6百万円以下、研究期間最長3年)



表 7.2.3-5 公募地上研究における応募・選定の状況(全体概要:数値)

— 第1回(平成9年度)～第9回(平成18年度) —

応募テーマ数の推移										
研究分野	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	合計
物理学・化学系	139	77	79	77	87	48	57	47	46	655
生命科学系	216	158	172	229	219	151	118	146	121	1530
宇宙科学・地球科学系	20	17	11	11	21	15		11	9	115
宇宙利用技術	79	54	60	61	69	48	9	50	34	464
(合計)	454	306	322	378	396	260	184	254	210	2764

選定テーマ数の推移										
研究分野	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	合計
物理学・化学系	41	21	20	15	21	12	22	13	13	178
生命科学系	64	40	48	50	44	33	36	35	31	381
宇宙科学・地球科学系	6	4	5	4	4	4		2	3	32
宇宙利用技術	21	11	16	12	13	14	5	13	10	115
(合計)	132	76	89	81	82	63	63	63	57	706

- ◆ フェーズIB(萌芽的研究): 宇宙環境利用に対する萌芽的な研究の提案で、新規のアイデアや斬新な仮説の発掘に資するための地上研究。(総額 150 万円以下、研究期間 1.5 年程度)
- ◆ 課題計画研究: 「きぼう」利用につながる有望な研究課題を特定、この課題を、強力な研究リーダーのもとに複数の研究者(研究グループ)が戦略的に進める地上研究。(総額 1 億円以下、研究期間 2 年度)
- ◆ 重点研究: 「研究シナリオ」等で重点化された領域に特化した地上研究。(総額 1 千万円以下、研究期間 2 年度、但し、「地球科学」と「宇宙利用技術開発」は募集せず。)
- ◆ 萌芽研究: 宇宙環境利用の有望なアイデア等の発掘を目指した地上研究。(総額 300 万円以下、研究期間 2 年度)
- ◆ 「きぼう」利用重点課題研究: 「きぼう」第 2 期利用前半の宇宙実験に発展させることを目標に、「きぼう」の船内実験室を用いる宇宙実験公募への提案に向けて、「宇宙実験計画(案)」を作成する。(年 2000 万円以下、平成 18 年度～19 年度の 2 年度、または、平成 18 年度～20 年度の 3 年度、募集分野は物理学・化学分野、生命科分野。)
- ◆ 次期宇宙利用研究: 「きぼう」第 2 期利用後半の宇宙実験に発展させることを目標に、「きぼう」の船内実験室を用いる宇宙実験公募への提案に向けて、「宇宙実験計画(案)」を作成する。(年 1500 万円以下、平成 18 年度～19 年度の 2 年度、または、平成 18 年度～20 年度の 3 年度、募集分野は物理学・化学分野、生命科分野。)
- ◆ 宇宙利用先駆研究: 宇宙実験テーマ、又は、宇宙環境利用に資する技術に発展させることを目標に、宇宙実験テーマ提案や宇宙環境利用に資する技術開発に向けて、アイデアレベルの研究を具体化する。(年 200 万円以下、平成 18 年度～19 年度の 2 年度)

(2) 長期戦略部会報告及び宇宙環境利用部会報告の概要(骨子)

平成13年(2001)1月の中央省庁再編を控えた平成12年(2000)12月、SACの基本戦略部会は、宇宙開発政策大綱に代わるものとして、「我が国の宇宙開発の中長期戦略」[7.2.3-22]をとりまとめた。同じく宇宙環境利用部会も、最後の部会報告として、同年12月に「国際宇宙ステーションの本格的な利用に向けて-初期利用フェーズにおける推進方策」[7.2.3-23]をとりまとめ、平成7年(1995)9月の部会設置以来の活動を総括するとともに、今後の検討課題として、JEM(きぼう)の初期利用フェーズに向けて対処が必要な利用推進課題を列挙した。以下に、二つの部会報告の骨子を示して、21世紀のISS・JEM(きぼう)利用への橋渡しとする。

1) 基本戦略部会報告:

部会報告は、ISS・JEM(きぼう)の短期的・中長期的な利用の目標を、「社会経済への貢献」の視点から、改めて次のように整理した。

短期的目標	中長期的目標
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 民間活動も念頭に置いて、宇宙環境を利用した新たな材料や医薬品の創製等の可能性を明らかにする。</li> <li>◆ ISSの文化的・教育的な利用について、その可能性を明らかにする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 新薬品・新材料の創製やISS等の民間利用(商業ベース)など、新たな利用を進める。</li> <li>◆ 芸術家や人文・社会系人材のISS滞在など、自然科学分野にとらわれない利用を進める。</li> </ul>

同様に、「宇宙活動基盤の強化」の視点から、ISS・JEM(きぼう)の短期的・中長期的な利用の目標を次のように整理した。

短期的目標	中長期的目標
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM(きぼう)の運用利用体制を確立し、科学研究や技術開発を中心に利用を推進するとともに、利用分野や利用形態を多様化する。</li> <li>◆ 新たな科学技術実験のため実験装置を更新し、各分野で画期的な成果を取得する。</li> <li>◆ JEM(きぼう)の開発・運用・利用及びISSでの日本人宇宙飛行士の活動を通して、有人宇宙活動の支援なしには実施し難い先端技術の開発を行うとともに、有人宇宙活動の基盤的な技術を修得する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 有人宇宙活動により新しい宇宙ミッションの可能性を見出す。</li> <li>◆ 有人宇宙活動を支える高機能ロボットの開発等により、我が国の主体性を確立する。</li> <li>◆ ISSの軌道上活動拠点としての発展性を明らかにする。</li> </ul>

2) 宇宙環境利用部会報告:

部会報告は、JEM(きぼう)の初期利用フェーズに向けて対処すべき「課題」と、その際の「利用推進の基本的考え方」を提示、その概要は次のものであった。

初期利用フェーズに向けた課題	利用推進の基本的考え方
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ユーザが利用しやすい利用・運用体制の確立(利用しやすいシステムの確立)</li> <li>◆ 有意義な成果の創出(JEM(きぼう)の特色を生かす)</li> <li>◆ 利用分野・利用形態の拡充(JEM(きぼう)の潜在的な能力の十分な活用)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM(きぼう)利用の多様化(適切な形で民間活力および資金を導入、利用者負担による利用の促進)</li> <li>◆ 具体的成果の早期創出と利用者育成の両立(研究システムの自主研究、国際公募、先導的応用化研究による早期の成果創出、公募)</li> </ul>

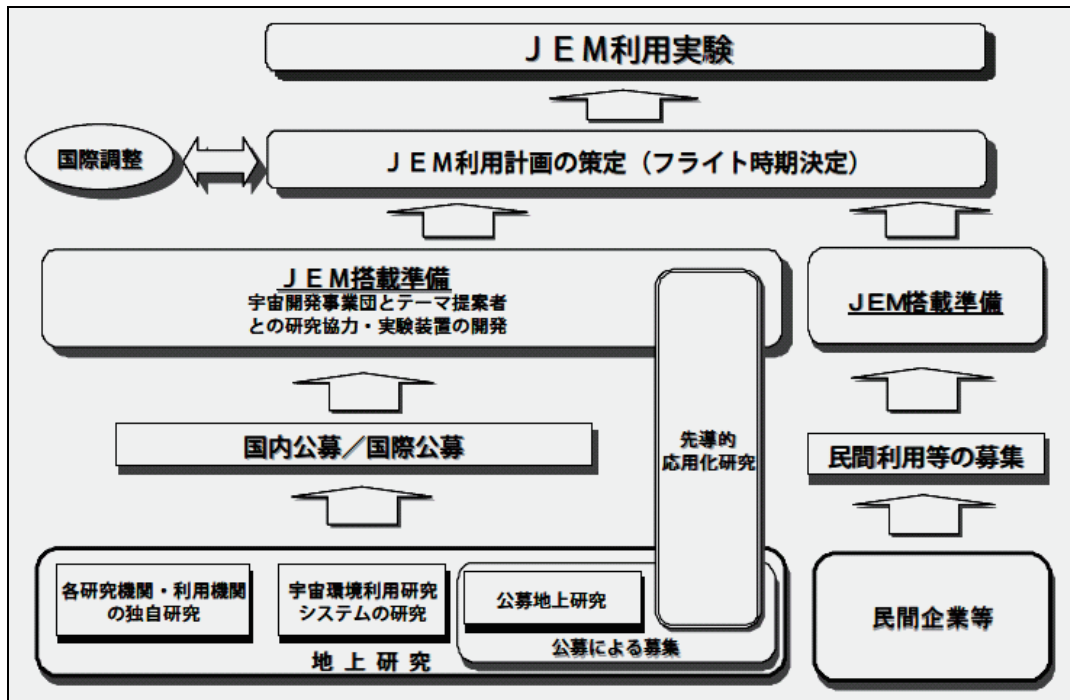
- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ISS利用に対する国際的動向への柔軟な対応(特に、商業利用の取り組みへの対応)</li> <li>◆ 国民の理解の増進</li> </ul> | <p>地上研究で育成された新たな利用者への利用機会提供、将来につながる様々なパイロットプロジェクトの試行等)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM(きぼう)利用プロセスの具体化</li> </ul> |
|---|---|

その上で、上記の課題に対応するために、JEM(きぼう)の初期利用フェーズにおける推進方策として、次の方向を示した。この課題への対処は、平成13年(2001)1月、MEXTに設置された「新宇宙開発委員会(SAC)」、及びそのもとに新たに設置された「利用部会」で調査審議されることになる。

尚、平成12年(2000)12月の時点で、JEM(きぼう)の打上げ予定は平成15年度・16年度(2003・2004)で、JEM(きぼう)の初期利用開始は平成16年度(2004)が予定されていた。

課 題	推進の方向性
民間利用の段階的な推進	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ NASDAは、「民間企業等の利用者負担によるJEM利用」を段階的に進める。</li> <li>◆ NASDAは、JEM(きぼう)利用料金を早急に定める。</li> <li>◆ JEM(きぼう)利用の迅速性を確保するため、「利用者負担によるJEM利用」では、原則、常時募集とする。</li> <li>◆ 応募の評価・選定では、ISS・JEM(きぼう)の安全基準等を満たすことは勿論、ISS商業利用の国際基準も満たすこと。</li> <li>◆ 先導的応用化研究をはじめ、幾つかのパイロットプロジェクトを試行し、その結果を踏まえて、順次、本格的な民間利用に移行する。</li> <li>◆ 利用者の費用負担や成果取得までの時間を短縮するために、比較的容易な利用機会も設定する。</li> </ul>
初期利用フェーズにおける利用・運用方針 (参考:図7.2.3-10)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 与圧部(船内実験室)利用テーマの公募は、「国際公募」、「先導的応用化研究」のみならず、「国内公募」も設定する。(国内公募は、当面は初期検証の終了した共通実験装置の利用が対象になるが、利用者の実験装置持ち込みも考慮する。)</li> <li>◆ 与圧部(船内実験室)及び曝露部(船外実験プラットフォーム)の利用テーマの公募では、民間企業等の需要がある場合、民間利用等による利用も確保する。(公募では、利用者負担を含む利用のガイドラインを定める。)</li> <li>◆ 各種公募に対するリソース配分は、我が国の利用全体として最大の成果が得られるよう、宇宙環境利用研究委員会が調整する。(NASDAの独自利用枠も、必要に応じて設定する。)</li> <li>◆ NASDAは利用者支援体制を強化し、利用者が利用し易い効率的な運用を実現する。</li> <li>◆ 共通実験装置の改良、次期実験装置の開発では、簡易な実験装置の導入も配慮する。</li> <li>◆ JEM(きぼう)の状況や利用成果を国民に周知するため、広報機能をさらに強化する。また、JEM利用の青少年教育プログラムなど国民参加プログラムを積極的に実施する。</li> <li>◆ 落下施設、航空機については、引き続きその利用機会を確保する。小型ロケットも、実験機会の確保が望ましい。また、必要に応じてスペースシャトルによる軌道上実験機会も確保する。</li> </ul>

図 7.2.3-10 初期利用フェーズにおける JEM 利用プロセス [7.2.3-23]



**別紙 7.2.3-2(1/4) 微小重力科学分野の研究シナリオの概要 [7.2.3-18]**  
(微小重力科学専門委員会)

微小重力利用の視点 (研究シナリオ構築の考え方)	研究シナリオの骨子 (重点研究領域)
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 微小重力は、超高真空、超高温、超高圧、高エネルギー放射線等と同様の環境因子である。これらの環境因子を利用することにより、これまでは困難であった「現象の理解」、「理論の検証」、「新機能材料の製造」などにこの環境を利用することが可能である。</li> <li>◆ これらの環境因子は、現象解明などのツールとして利用されることにより、新たな知識の獲得への大きな貢献が期待できる。</li> <li>◆ 微小重力利用が新理論の構築を促す要素は少なく、むしろ重力がないことにより生ずる対称性を利用し、これまでにある理論の検証、地上の対流現象の複雑さを回避した単純化したモデルの検証、対流という輸送現象を回避することによる現象の単純化及びこれによる熱物性値の高精度測定並びに材料特性の高機能化・高品質化等に利用されるものであろう。</li> </ul>	<p>JEM 利用研究シナリオの課題と方向性は、①「物質科学と材料工学(凝固、結晶成長、材料プロセッシング)」、②「熱物性値計測」、③「流体物理」、④「燃焼科学とその応用」、及びこれらを有機的に体系化したものであるが、これに現在の科学技術の動向を考慮して、次の二つの重点研究領域を設定する。</p> <p>1. <u>溶液・融液からの結晶成長</u>：      これまでの我が国の微小重力科学研究は、工業的な材料プロセッシングにつながる基礎研究と応用研究が数多く実施されてきた。従って、微小重力科学研究の分野で我が国の最もアクティビティの高い分野として「物質科学と材料プロセッシング」を挙げることができる。この研究領域には熱物性や流体挙動、結晶成長機構などの基礎的な研究から、情報通信技術の発展に必要な半導体単結晶育成などの応用研究まで極めて広範な研究が含まれている。(結晶成長機構解明研究は、蛋白質結晶育成手法の開発にもつながる。) これらを踏まえた「溶液及び融液からの結晶成長」を当面の研究目標に掲げる。</p> <p>2. <u>過冷凝固と準安定相研究</u>：      準安定相創成に関する研究は、微小重力環境を有効に利用したものであり、新材料創製の観点からも、可能性を秘めた領域である。ナノテクノロジーの重要分野の一つであるナノマテリアルについては大過冷却を利用した高機能材料作製が行われている。また我が国は特徴ある浮遊炉を開発しており、この利用を積極的に図り、新たな研究領域を切り拓くとの視点も重要である。これらを踏まえて、「準安定相研究」を当面の目標に掲げる。</p>

別紙 7.2.3-2(2/4) ライフサイエンス分野の研究シナリオの概要 [7.2.3-19]  
(ライフサイエンス専門委員会)

微小重力利用の視点 (研究シナリオ構築の考え方)	研究シナリオの骨子 (重点研究領域)
<p>◆ <u>多様性の尊重</u>: 生命現象は「様々な生物が示す多彩な現象」であり、研究対象について大きな自由度がある。このために、必然的に多様なアプローチと、参画する研究者の多様な発想が重要である。また、生命現象に関係する研究分野の進歩、実験技術の革新の速度が極めて速いため、体系的かつ長期的なシナリオを過度に固定すると将来の可能性を失う恐れがある。従って、地上の研究の進展に則して継続的にシナリオを見直すことが重要。(一般論として。)</p> <p>◆ <u>現実的な問題</u>: ISS・JEMの最大の特徴は、微小重力及び宇宙放射線の環境を利用する「長期間継続した実験」であり、この特徴を最大限に活用する。</p> <p>◆ <u>生物試料の選定</u>: 単に搭載性の観点からだけではなく、ゲノムシーケンスや蛋白質機能に関する網羅的情報の解析が組織的に行われている生物種であることが重要。</p>	<p>JEM 利用研究シナリオの課題と方向性は、①「重力感受に関する生命現象の解析」、②「重力の効果・影響解析」、③「微小重力環境でのバイオテクノロジー(蛋白質の結晶成長など)」、④「宇宙環境と生命の関わり解析」であるが、そのシナリオを実施するにあたり次の二つを重点研究領域として設定。</p> <p>1. <u>重力環境変化が発動する生体内反応カスケードの解明</u>: 一定不変の重力環境の下で進化してきた地球生物は、重力の作用を利用し、また克服することによって、その存在を保っている。生物は何らかの方法で感知した「重力の大きさや方向の情報」を様々な反応や分子を介して伝達し、機能を発現させる。重力への反応カスケードを、分子、細胞小器官、細胞、組織、個体といった生物を構成する各階層内に留まらず、階層をまたがって解明することが、生物と重力の関わりを理解するための第一歩になる。 生物反応の基本単位は分子的過程に還元される。微小重力環境での局所的な対流や沈降の抑制が化学反応速度に影響を及ぼす可能性がある。生体高分子やその複合体質量に作用する重力の効果は、熱運動によって無秩序に作用する力の効果を越えるレベルにあると考えられる。ある種の細胞は重力を能動的に感知するための細胞小器官を有している。細胞や組織のレベルでは重力が境界を通しての応力(法線、接線)として間接的に作用し、細胞骨格やイオンチャンネルなどを刺激する。このように感受された重力情報によって細胞や組織の生理機能が変化し、また神経系やホルモン等の伝達物質を介して遠方の組織にもその効果が現れるものと考えられる。重力の抑制された環境を利用してこのような全体の道筋を解析し、各過程の機構を詳細に理解する。</p> <p>2. <u>宇宙環境下での継世代による生物の総合的解析</u>: 環境変化に対する生物の応答速度は様々であり、地上環境下で生育した生物を宇宙環境に移しても直ちにその影響が現れるとは限らない。宇宙環境下で世代をまたがって各種のモデル動物を育成することにより、地上環境の影響を取り去ることができると期待される。その上で、宇宙環境の生物への影響を総合的に解析する。 資源の限られた軌道上でモデル生物を長期飼育するには多くの技術的困難が伴うために、初期には対象生物種や要求条件を限定して確実な技術を確立し、順次、生物種や観察・実験項目を拡大する戦略が有効であろう。(この観点から、技術的見通しが比較的確かな小型魚類などを3世代にわたって飼育し、発生過程や行動などにどのような変化が見られるかを総合的に解析することが有力な方法であろう。)</p>

**別紙 7.2.3-2(3/4) 宇宙医学分野の研究シナリオの概要 [7.2.3-20]**  
(宇宙医学専門委員会)

微小重力利用の視点 (研究シナリオ構築の考え方)	研究シナリオの骨子 (重点研究領域)
<p>◆ 日本の宇宙医学研究の目標: 次の二つの目標を踏まえた研究シナリオの構築。①「<u>宇宙環境を利用した日本の医科学研究の推進</u>」:宇宙は微小重力や放射線など地上と異なる環境を有している。進化の過程で獲得した重力環境への生体の適応や放射線被曝に対する影響について理解を深めることは生命の基本メカニズムを解明する上で重要。②「<u>宇宙環境が人間の生理や精神心理に与える影響の解明と対策の構築</u>」:人体の宇宙環境への適応及び地球帰還時の再適応と影響についての実態を把握し、そのメカニズムを理解し、さらに宇宙飛行士の健康とパフォーマンスを維持するための対策の構築が緊急の課題。</p> <p>◆ 次の3つの基本的な考え方の尊重:①日本が世界的にリードし、あるいは独創性が発揮される研究が軌道上研究として展開され、国際的に評価されること。②ヒトの宇宙滞在のために必要な医学研究課題の解決に貢献し、その成果を地上の医療活動に還元すること。③今後の有人宇宙活動の推進に貢献すること。</p> <p>◆ 「宇宙医学研究」を、「基礎宇宙医学研究」(バイオメディカル研究)と「臨床宇宙医学研究」の二つの分野に分類(「臨床宇宙医学研究」は、NASDA宇宙医学研究開発室の担当業務として整理する。)</p>	<p>ここでは、「基礎宇宙医学研究」に関する JEM 利用研究シナリオについて記述。</p> <p>基礎宇宙医学研究分野は、①骨、②筋肉、③循環器、④神経科学、⑤血液・免疫、⑥放射線医学、⑦生体リズム、⑧ヒューマンファクター、⑨代謝・内分泌、の各分野でそれぞれ重点課題が存在する。このうち、当面の JEM 利用研究として重点的に進めるべき研究課題は次のもの。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>骨カルシウム分野:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 微小重力における骨減少メカニズムに関する研究</li> <li>◆ 軌道上での生体情報(骨密度)モニタ法の開発</li> <li>◆ 微小重力が小動物の生体に与える影響の臓器別、集学的解析</li> <li>◆ 骨減少予防薬の検討</li> </ul> </li> <li><b>筋肉分野:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 微小重力における筋萎縮のメカニズムに関する研究</li> <li>◆ 萎縮筋再生のメカニズムに関する研究</li> <li>◆ 筋組成の個体差と、萎縮・再生の関連性に関する研究</li> </ul> </li> <li><b>循環器分野:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 微小重力下における循環調節機構の総合的解明(小動物を対象)</li> <li>◆ 非(低)侵襲的方法による軌道上での循環動態の変化及び地上への帰還後の起立性低血圧のメカニズムの解明(ヒト)</li> </ul> </li> <li><b>神経科学分野:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 重力環境変化が神経系に及ぼす影響の経時的解析(機能的、神経科学的、分子生物学的)</li> <li>◆ 姿勢、行動、眼球運動等の解析に基づく空間認識動態の研究</li> <li>◆ Virtual Reality を用いた、神経情報処理機構の研究</li> <li>◆ 前庭自律神経反射の研究</li> <li>◆ 各種 imaging 手法、脳磁図などを用いた高次脳神経機能の解析</li> </ul> </li> <li><b>その他(上記以外)の分野:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 短～中期宇宙環境下における分子・遺伝子レベルでの細胞・生体の変化の解析(ISS 利用の初期段階では、微生物、培養細胞、ヒトリンパ球、及び腸内細菌がサンプル候補)</li> <li>◆ 長期宇宙環境下における細胞・生体の可塑性の有無、及び遺伝的影響(宇宙環境が生体に及ぼす長期的影響の解析)</li> <li>◆ 宇宙滞在が生体リズム・睡眠に及ぼす影響</li> </ul> </li> </ol>

別紙 7.2.3-2(4/4) 微小重力物理分野の研究シナリオの概要 [7.2.3-21]

(微小重力科学専門委員会・微小重力物理学 WG)

微小重力利用の視点 (研究シナリオ構築の考え方)	研究シナリオの骨子 (推奨研究領域)
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ <u>微小重力環境の利用</u>:微小重力環境の特徴は、「系の対称性が維持される」、「静水圧が抑制される」、「対流の抑制に起因する熱・物質輸送が抑制される」、「相分離が抑制される」、「自由浮遊が実現できる」などである。物理学の視点からは、「重力の制御」が行える環境を利用して、基本的な物理法則や自然原理の探求を行うこと。</li> <li>◆ <u>我が国の特徴</u>:我が国では、非平衡系の輸送係数を平衡系のゆらぎを用いて定式化した「グリーン・久保の公式」、長波長のゆらぎに着目して動的臨界現象を説明した「モード結合理論」、臨界現象のサイズ依存性を利用して古典的な平均場理論を拡張した「コヒーレント異常法」など、統計物理学・凝縮系物理学・化学物理学における独創的な研究が展開されてきた。この分野の研究レベルは高く、研究者層も厚いので、これらの研究分野の特徴、実績、研究者の関心を反映した研究領域及び研究課題を設定することで、戦略的に微小重力利用の物理学研究の新規創設を目指す。</li> <li>◆ <u>研究シナリオの当面の使い方</u>:新規の立ち上げ分野であることから、当面、公募地上研究における重点推奨研究領域に「微小重力物理学分野」を加え、研究者層の裾野拡大や研究コミュニティの育成に寄与することを目指す。このための基本情報として、本研究シナリオを活用する。</li> </ul>	<p>宇宙環境利用研究システムが実施してきた調査研究「非平衡現象と重力相関」(平成 10 年(1998)11 月～)の調査検討結果に基づき、本研究シナリオがとりまとめられた。研究シナリオでは、重力相関が顕著に現れる「メズスコピック領域」から「巨視的領域」で生起する非平衡・非線形な物理現象に着目し、次の観点から微小重力環境(微小重力効果)を利用して、現象解明を目指すもの。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 実験試料を特定の空間領域に自由浮遊状態で長時間保持できる。</li> <li>◆ 流体試料の圧力・密度を実験試料の全領域で一様に保持できる。</li> <li>◆ 非平衡相分離、化学反応系において「拡散支配」の条件を実験試料の全領域で保持できる。</li> </ul> <p>その際、有望と考えられる研究の方向は次のもの。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 巨視的量子現象(ボース・アインシュタイン凝縮、量子核形成、ヘリウム結晶成長、量子液体の流体现象など)の原理的考察。</li> <li>◆ 臨界点ダイナミクス(ピストン効果などの臨界点近傍の動的な非平衡現象)の多様性と普遍性。</li> <li>◆ 複雑性をもたらす非平衡系(反応拡散系、化学反応の重力相関、パターン形成、複雑液体系のダイナミクス、無容器・無界面化学反応など)の科学原理。</li> <li>◆ 巨視的スケールのゆらぎの数理。(分岐理論、繰り込み群の理論、モード結合理論、非線形移流項の数理の実験的検証など)</li> </ul> <p>微小重力環境を利用してこれらの課題に実験的に取り組むには、現在の JEM 共通実験装置では対応が不可能であり、欧米と共同した取り組みの中で、実験環境を整備していく必要があるとの認識のもとに、当面、実験装置系アイデアを募ることも期待して、以下の領域を公募地上研究における推奨領域として掲げることとした。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>巨視的量子現象の原理的な探求</u></li> <li>2. <u>臨界点近傍のダイナミクスの多様性と普遍性の探求</u></li> <li>3. <u>非線形現象と非平衡熱力学過程の探求</u></li> </ol>



### 7.2.3 節の参考文献

- [7.2.3-1] 「宇宙環境利用のサイエンス」 井口洋夫監修 裳華房 2002
- [7.2.3-2] A World without Gravity, 292-304, Günther Seibert et al., ESA SP-1251, 2001
- [7.2.3-3] Space Stations Systems and Utilization, Ernst Messerschmid & Reinhold Bertrand, Springer, 1999
- [7.2.3-4] 「宇宙環境利用の推進に係わる検討委員会(微小重力科学分野)報告書」 宇宙開発事業団・宇宙環境利用推進センター・三菱総合研究所 平成8年(1996)3月
- [7.2.3-5] 「宇宙環境利用の推進に係わる検討委員会報告書/ライフサイエンス分野における宇宙環境利用の重要領域について」 宇宙開発事業団・宇宙環境利用推進センター・東レリサーチセンター 平成8年(1996)3月
- [7.2.3-6] 「宇宙環境利用の推進に係わる検討委員会報告書/宇宙医学分野におけるJEM利用の重要領域について」 宇宙開発事業団・宇宙環境利用推進センター・三菱総合研究所 平成8年(1996)3月
- [7.2.3-7] 「宇宙環境利用の推進に係わる検討委員会報告書/有人技術分野におけるJEM利用の重要領域について」 宇宙開発事業団・宇宙環境利用推進センター・三菱総合研究所 平成8年(1996)3月
- [7.2.3-8] 「宇宙環境利用の推進に係わる検討委員会報告書(宇宙技術開発分野)/JEM曝露部利用の重要領域について」 宇宙開発事業団・宇宙環境利用推進センター・宇宙技術開発株式会社 平成8年(1996)3月
- [7.2.3-9] 「宇宙環境利用の推進に係わる検討委員会報告書(宇宙科学分野)/JEM曝露部利用の重要領域について」 宇宙開発事業団・宇宙環境利用推進センター・三菱総合研究所 平成8年(1996)3月
- [7.2.3-10] 「地球観測分野における当面のJEM利用ミッション候補等の調査検討について」 宇宙開発事業団・リモートセンシング技術センター 平成8年(1996)3月
- [7.2.3-11] 「宇宙環境利用の新たな展開に向けてー宇宙環境利用の当面の推進方策ー」 宇宙開発委員会・宇宙環境利用部会 平成8年(1996)7月
- [7.2.3-12] 第5回宇宙環境利用研究委員会(平成10年(1998)10月8日開催)の提示資料(「宇研委5-4-1」の別紙1)(宇宙環境利用研究委員会/専門委員会等構成)
- [7.2.3-13] 「宇宙環境利用に係る公募地上研究制度(委17-5)」 宇宙開発委員会(平成9年(1997)5月21日)
- [7.2.3-14] 「宇宙ステーションの民間利用の促進に向けてー応用化研究分科会報告書ー」 宇宙開発委員会・宇宙環境利用部会 平成10年(1998)7月
- [7.2.3-15] 「宇宙環境利用研究システム/宇宙環境利用研究センター平成12年度年報」 宇宙開発事業団 平成13年(2002)6月
- [7.2.3-16] 「国際宇宙ステーション/きぼうの利用戦略計画ー宇宙開発事業団の利用戦略計画ー」 宇宙開発事業団 宇宙環境利用研究システム/宇宙環境利用研究システム本部 平成11年(1999)6月 (<http://iss.jaxa.jp/utiliz/pdf/doc10.pdf>)
- [7.2.3-17] 「Tuesday Evening Seminar (TES) 火曜日セミナーの11年を振り返る」 JAXA 特別資料 JAXA SP-09-013 2010.3
- [7.2.3-18] 「微小重力科学分野研究シナリオ」 宇宙環境利用研究委員会・微小重力科学専門委員会 (初版)平成11年3月 (第5版)平成14年3月

- [7.2.3-19] 「ライフサイエンス分野(生物学・バイオテクノロジー)研究シナリオ」 宇宙環境利用研究委員会・ライフサイエンス専門委員会 (初版)平成12年3月 (第2版)平成13年3月)
- [7.2.3-20] 「宇宙医学分野研究シナリオ」 宇宙環境利用研究委員会・宇宙医学専門委員会 (初版)平成11年10月 (第3版)平成13年3月
- [7.2.3-21] 「微小重力物理学分野研究シナリオ」 宇宙環境利用研究委員会・微小重力科学専門委員会・微小重力物理学ワーキンググループ (初版)平成13年10月
- [7.2.3-22] 「我が国の宇宙開発の中長期戦略」 宇宙開発委員会・基本戦略部会 平成12年(2000)12月
- [7.2.3-23] 「国際宇宙ステーションの本格的利用に向けてー初期利用フェーズにおける推進方策ー」 宇宙開発委員会・宇宙環境利用部会 平成12年(2000)12月

#### 7.2.4 JEM(きぼう)利用の重点化・多様化への対応

－中央省庁再編後の国際宇宙ステーション計画の見直し(その1)－(平成13年(2001)～平成15年(2003))

##### (1)宇宙ステーション・JEM(きぼう)を取り巻く状況と課題

中央省庁の再編に伴い、平成13年(2001)1月、政府の重要政策を審議決定する会議の一つとして、内閣府に総合科学技術会議(CSTP)が設置された。CSTPは、内閣総理大臣を議長に、科学技術政策の推進の司令塔として我が国全体の科学技術を俯瞰し、総合的かつ基本的な政策の企画立案及び総合調整を行うとされ、我が国全体の宇宙開発に関する重要政策の審議並びに総合調整についても、中央省庁再編前のSACの機能を担うことになった。

その後、同年10月に、CSTPに「宇宙開発利用専門調査会」(以下、「専門調査会」)が設置されて「今後の宇宙開発利用に対する取り組みの基本」等に関する調査検討が開始され、翌平成14年(2002)6月に、専門調査会報告「今後の宇宙開発利用に関する取り組みの基本について」[7.2.4-2]がとりまとめられた。同報告は、「人工衛星の開発利用のあり方」の中で、今後10年程度を見通して、①「安全の確保」、②「情報通信・測位」、③「地球環境監視」の3つの利用分野に重点的な資源配分を行うとの考え方を示し、その一方で「ISS計画」については、「利用計画の見直し(利用の重点化)」及び「運用・利用経費の大幅削減」という基本方針([参考]<sup>18</sup>)を示した。また、「長期を見据えた基礎的・基盤的研究開発」の中では、我が国の「有人宇宙活動の方向性」について、「ISS計画等の国際協力を通じて、着実な技術蓄積を行う」という基本方針([参考]<sup>19</sup>)を示した。

一方、平成13年(2001)1月にMEXTに設置された新宇宙開発委員会(SAC)では、CSTPの検討との連携を図りながら、宇宙開発利用の検討が進められていく。SACは、我が国の宇宙開発の長期的かつ基本的な方向を見定めながら、その中心的な実施機関NASDAの中期目標の基になる「宇宙開発に関する長期的な計画」等に関する事項を審議する任務を負い、常設部会として、「計画・評価部会」(宇宙開発における計画及びその評価に係る重要事項に関すること)、「利用部会」(宇宙利用の推進に係る重要事項に関すること)、「安全部会」(宇宙開発における安全の確保に係る重要事項に関すること)、及び「調査部会」(宇宙開発における事故・トラブルの原因究明及びその対策に関すること)の四つの部会が設置された。

そのうち利用部会では、平成13年(2001)6月から、「我が国の宇宙利用推進の基本的方向と当面の方策」の検討が開始され、SAC本会議では、計画・評価部会及び利用部会での検討状況[7.2.4-3]を逐次踏まえつつ、平成13年(2001)9月から、「我が国の宇宙開発利用の目標と方向性」に関する審議が開始された。これら一連の審議の結果とりまとめられたSAC報告「我が国の

---

[参考]<sup>18</sup> ISS計画に関するCSTPの基本方針([7.2.4-2]からの引用)：『21世紀中に人々が本格的に宇宙に活動領域を広げることが期待される中で、我が国は、ISS計画を通じ、有人宇宙技術を着実に蓄積する。日本実験棟については、関係国間の協議を踏まえつつ、確実に打ち上げる。また、民間活力による運用の効率化、優先度に応じた利用計画の見直しを行い、実験棟の運用・利用に要する経費を中心に大幅な削減に努める。』

[参考]<sup>19</sup> 有人宇宙活動の方向性に関するCSTPの基本方針([7.2.4-2]からの引用)：『有人宇宙活動について、我が国は、今後10年程度を見通して独自の計画を持たないが、ISS計画など国際協力を通じて、その活動に係る技術の蓄積を着実に推進。』

宇宙開発利用の目標と方向性」(平成14年(2002)6月)[7.2.4-4]には、CSTPの掲げた「フロンティア分野の推進戦略」を踏まえて、我が国の「宇宙開発利用の目的」を、①「国及び国民の安全の確保」、②「国民生活の豊かさと質の向上」、③「知的資産の拡大」とした上で、平成15年(2003)10月に発足する「新機関」(宇宙3機関の統合で誕生する宇宙航空研究開発機構 JAXA ([注釈]<sup>20</sup>))が取り組むべき「宇宙開発利用の方向性」が示されていた。そのうち「ISS計画の今後の進め方」については、次の方針が示されていた。([7.2.4-4]から引用)

『…我が国としてこれまで、JEMの開発をはじめ着実に計画の推進を図ってきた。一方、米国では、ISS計画の予算超過に端を発して、現在NASAにおいて各種見直しの検討([注釈]<sup>21</sup>)がなされている。また、宇宙飛行士のISSでの常時滞在が開始される中、民間企業の参加など、ISSの利用及び運用に関する検討が世界的になされている。このようなISS計画を取り巻く近年の環境の変化に対応し、利用計画の重点化、民間活力の導入による運用・利用体制の効率化等の検討を行うとともに、JEMの打上げを含むスケジュール及び資金計画について必要な見直しを行い、今後とも引き続き、安全で確実なJEMの打上げ及び有意義な運用・利用の実施に向けて、効率的・効果的にISS計画を推進していく。』

21世紀の始まりと同時に、ISS計画にとって再び厳しい時期が廻って来た。特に、①「NASAの予算超過問題を契機とした米国におけるISS計画の見直し検討」(そのことに起因するスケジュール見直しと利用開始の遅延) ([注釈]<sup>21</sup>)、②「ISSの利用拡大とその多様化の要請」、③「国内の厳しい財政事情」、④「国内の行財政改革」(中央省庁再編、宇宙3機関統合)という、内外の大きな情勢変化の波を受けて、ISS計画は翻弄されていた。(その波を増幅するかのようになり、平成15年(2003)2月1日のコロンビア号の墜落事故が重なった。その後約2年半に亘ってスペースシャトルは飛行することができず、JEM(きぼう)の組立てと利用開始が更に遅延することになる。)この状況の中で、安全確実なJEM(きぼう)の打上げ及び有意義な運用利用の達成に向けて、効果的、効率的にISS計画を推進するとの基本方針が、SAC報告([7.2.4-4]平成14年(2002)6月)で確認されていた。その一方で同じ報告は、「ISS計画の見直し」に関する検討課題(「利用計画」、

---

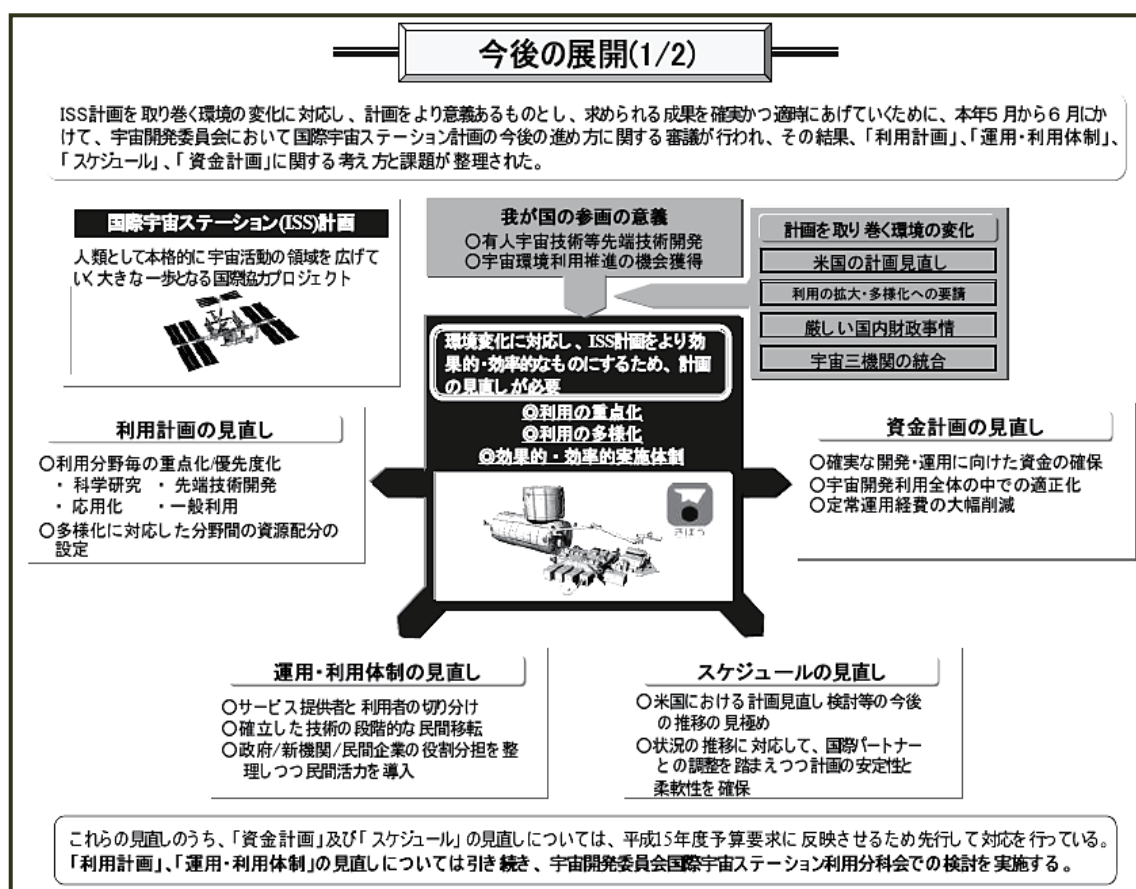
[注釈]<sup>20</sup> 宇宙航空研究開発機構 JAXA: 宇宙3機関統合については、文部科学省に設置された「宇宙3機関統合準備会議」が、平成14年(2002)3月に報告書「宇宙3機関統合後の新機関のあり方について」をとりまとめた。[7.2.4-5] それ以降、この方針に沿って、平成15年(2003)10月の統合と新機関発足に向けた準備が進められた。

[注釈]<sup>21</sup> NASAのISS計画見直しの検討: 主としてロシア参加を主要因とするISS計画の遅延等によって、米国のISS計画の予算は漸次増加していたが、平成13年(2001)2月、さらなる予算超過に対してこれを基本的に認めないとする米国政府の決定により、NASAは、ISS計画の予算問題解決のために、同年、NASA諮問委員会(NAC: NASA Advisory Committee)の下にISS開発管理能力とコスト評価のためのタスクフォース(IMCE: ISS Management and Cost Evaluation Task Force)を設置。このIMCEの検討とその答申に基づき、NACは、当面、米国基幹部分の完成を目指し、それ以降の計画については、平成15年(2003)秋頃を目処に、NASAのプログラム及び資金管理面での再評価を踏まえて定めるとの勧告を行うとともに、ISS利用研究の優先順位付けによる利用計画の見直し・利用領域の絞込みを行うことを併せて勧告した。これを受けてNASAは、生物物理研究局が所掌する(ISS利用・宇宙環境利用の)研究計画に関して、REMAP (Research Maximization and Prioritization Task Force)と呼ばれるタスクフォースを設置し、利用分野、優先順位付けの検討を行った。「NASAの利用計画の見直し検討(利用計画の重点化等)」は、このREMAPの検討と同類のものであった。

「運用・利用体制」、「スケジュール」、及び「資金計画」の見直し)についても指摘を行っていた。これに対して MEXT と NASDA は、資金規模の適正化を図るために、「スケジュール」(JEM(きぼう) 打上げ時期を含む)と「資金計画」の見直しを行い、同年 8 月に、JEM(きぼう)の打上げを約 2 年間延期(平成 17 年度(2005)から平成 19 年度(2007)への延期)することを決定していた。残された当面の検討課題は「利用計画」と「運用・利用体制」の見直しであったが、これについては、同年 11 月(「宇宙ステーション利用分科会」の設置時点)、MEXT と NASDA が 1 年程度かけてこれらの課題を検討することとされた。(図 7.2.4-1)

### 図 7.2.4-1 ISS 計画見直し検討の概要

(MEXT の CSTP における説明資料(平成 14 年(2002) 11 月 27 日付)から転載)



本節(7.2.4節)では、①平成 14 年(2002) 11 月に SAC 利用部会の下に設置された「国際宇宙ステーション利用分科会」(翌年 3 月に名称が「国際宇宙ステーション利用専門委員会」に変更)の検討概況(同委員会の「中間報告」の概要)、②同分科会の審議に対応するために同年 11 月に NASDA に設置された「宇宙環境利用検討委員会」及び「利用促進検討委員会」の検討概況、及び、③平成 13 年(2001)から平成 15 年(2003)9 月(宇宙 3 機関統合まで)までの NASDA における宇宙環境利用(JEM(きぼう)利用)の推進活動について概観し、激動期の利用推進活動の全体概要のまとめとする。(平成 8 年(1996) 10 月以来、NASDA に整備された「宇宙環境利用推進体制」の下で進められてきた利用促進及び利用推進の諸活動の「成果まとめ」も兼ね

る。)

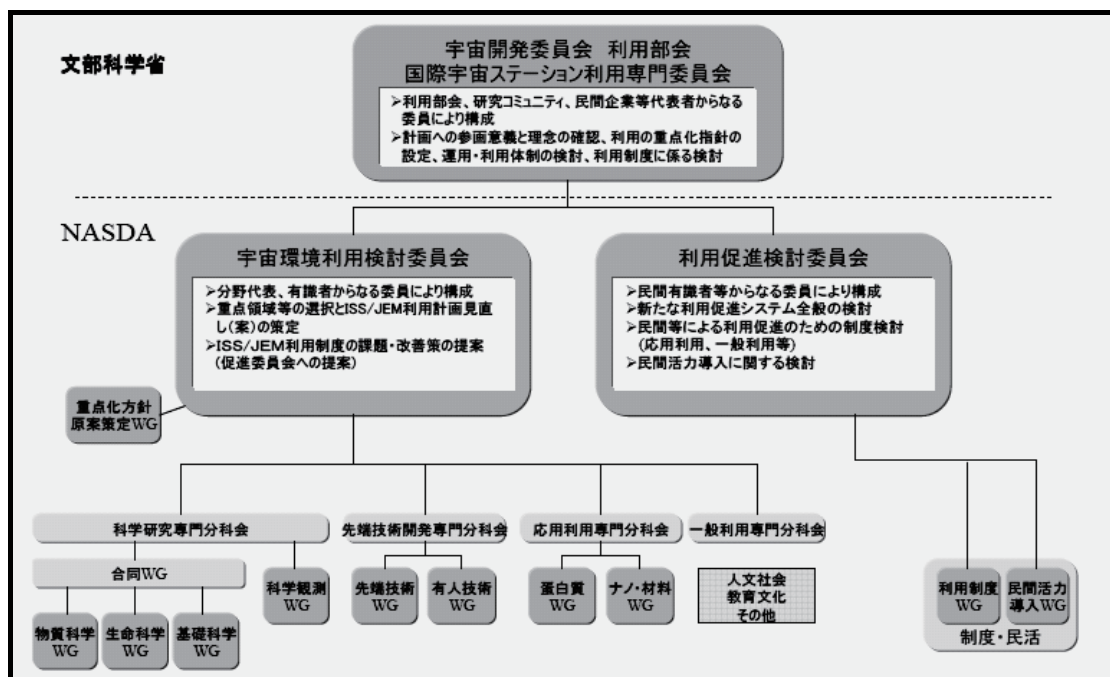
尚、利用部会における「ISS計画の見直し検討」は、平成16年(2004)4月の部会最終報告まで継続されたが、最終報告に関連する事項は「ISS計画の見直し(その2)」として、7.2.5節で概要をまとめる。

(2)利用の促進及び推進に関する国の方針と施策(ISS計画の見直し(その1))

ISS計画を取り巻く環境変化(図7.2.4-1参照)に対応するために、ISS利用専門委員会はISS・JEM(きぼう)の「利用計画(重点化等)」と「運用・利用体制」の検討を行い、平成15年(2003)7月に中間報告をとりまとめた。[7.2.4-11] このISS利用専門委員会での検討に必要な情報等を提示するために、NASDAは、平成14年(2002)10月、外部有識者で構成される委員会(「宇宙環境利用検討委員会」及び「利用促進検討委員会」、以下「NASDA委員会」)を設置、同委員会は図7.2.4-2の分担に従って検討を行い、ISS利用専門委員会にその結果を報告している。(NASDA検討委員会は、各分科会とWGでの検討を含めて、同年12月から翌年5月までの間に必要な検討を行っている。各分科会及びWGの報告は、宇宙環境利用各分野の当時の状況、ISS・JEM(きぼう)の利用推進に関わる課題等を知るための参考資料として有用である。[7.2.4-7]~[7.2.4-12]) 以下、ISS利用専門委員会とNASDA検討委員会の検討結果の概要(骨子)を示しておく。

尚、JAXA発足後、利用部会におけるJEM(きぼう)の利用制度等の検討に資するために、JAXAに「JEM民間利用制度検討委員会」(外部諮問委員会)が設置され、「JEM(きぼう)運用・利用体制」等に関する検討が継続された。その状況については7.2.5節で触れる。

図7.2.4-2 ISS・JEM(きぼう)の利用計画検討体制



## 1)ISS 利用専門委員会の中間報告 [7.2.4-12]:

ISS 利用専門委員会は、NASDA 委員会からの検討報告等を踏まえて、我が国の ISS 計画をより効率的かつ効果的に推進するための方策に関する中間的な検討結果を、平成 15 年(2003)7 月、中間報告としてとりまとめた。中間報告の内容は、「運用業務及び利用サービス提供業務における官民協働体制の構築」、「利用計画の重点化」、及び「利用推進のための新しい方策」に関するもので、その概要(骨子)は次のものであった。(JAXA 発足後、中間報告で設定された「今後、検討すべき課題」については、最終報告に向けて検討が継続された。)

検討事項	中間的な検討結果	最終報告に向けた検討課題
「運用業務」及び「利用サービス提供業務」における官民協働体制の構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM は、広く国民一般の利用に供される施設として、定常運用段階までには、民間を主体とした活動に移行することを見据える。</li> <li>◆ そのために、国、機構(JAXA)、民間がそれぞれの特徴を活かして有機的に機能する官民協働体制を構築する。</li> <li>◆ その際、官民の適切な責任とリスクの分担のもとに、段階的に民間活力の導入を進める。</li> <li>◆ これらにより、「利用サービスの向上」、「柔軟性の確保」、及び「運用期間全体の経費の最小化」の達成を期待する。</li> </ul>	<p>適切な官民協働体制構築に向けた具体的な検討の実施。(検討課題は次のもの。)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 国、機構(JAXA)が分担すべき具体的な業務の識別と設定</li> <li>◆ 官民の具体的な責任分担とリスク分担の設定</li> </ul>
利用計画の重点化	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 限られた資源で最大の効果を創出するために、実施可能な課題を総花的に行うのではなく、特に費用対効果の観点から、なお一層の重点化を進める。</li> <li>◆ 我が国の宇宙開発利用の目的並びに意義を踏まえて策定された指針に基づき、JEM 初期段階で重点的に推進すべき領域と課題を設定した。(NASDA 委員会の検討結果に基づく。)</li> <li>◆ 重点化によって、「費用対効果」の最大化を期待する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM 初期段階における利用資源の配分方針の決定</li> <li>◆ JEM 利用課題の選定と利用計画の策定</li> </ul>
利用推進のための新しい方策の実現	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 既存制度の「現状」と「課題」を整理し、限られた財源のなかで、求められる成果を早期、確実かつ継続的に創出するために必要な機能に留意しつつ、「既存制度の見直し」を行う。</li> <li>◆ また、利用者が利用料金を負担した上で、主体的に利用できる制度の新設等、利用の拡大と多様化につながる新たな方策を検討する。</li> <li>◆ このことにより、「確実かつ継続的な成果の創出」、「利用の拡大と多様化」、「財源の多様化」が実現されることを期待する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 利用推進制度の見直し(「公募地上研究制度」及び「先導的応用化研究制度」)</li> <li>◆ 利用拡大と財源の多様化に結びつく、具体的な方策の検討(新たな利用制度の創設等)</li> </ul>

## 2)NASDA 委員会の検討 [7.2.4-6]:

NASDA 委員会では、図 7.2.4-2 の分担に従って、ISS 利用専門委員会に報告並びに提案すべき事項の検討が集中的に行われた。ここでは、その検討結果の概要(骨子)をまとめておく。

◆ 利用の重点化 [7.2.4-13] ([注釈]<sup>22</sup>):

NASDA 委員会(宇宙環境利用検討委員会)は、「科学」、「先端技術開発」、「応用利用」の各専門分科会がとりまとめた利用重点領域(約 30 の利用領域)に基づき、JEM(きぼう)の初期段階で重点的に取り組むべき「6 研究領域」と「2 研究課題」を選択して、次の「利用の重点化(案)」(図 7.2.4-3 参照)をとりまとめた。

	重点領域・課題の案(図 7.2.4-3 の「A+」に対応)
「新たな科学的知見の獲得」を通じて国の発展に貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 重力感受遺伝子の働きの理解(「宇宙ゲノム科学」の研究領域)</li> <li>◆ 物質の凝集原理と相転移のメカニズムの理解(「臨界点ダイナミクス」の研究領域)</li> <li>◆ 全天X線モニタによる、宇宙の大構造マップの作成と宇宙誕生の謎解明への貢献(開発中のJEM曝露部初期利用ミッションMAXI)</li> <li>◆ 世界に先駆けたオゾン層破壊に関連する微量気体成分の実験的観測と、センサ技術の実証(開発中のJEM曝露部初期利用ミッションSMILES)</li> </ul>
「社会への成果還元」を通じて社会経済への発展に貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 結晶成長メカニズム解明と革新的結晶成長制御技術の開発(「高品質・高付加価値結晶成長メカニズム解明」の研究領域)</li> <li>◆ 船外プラットフォーム利便性向上のための技術開発</li> <li>◆ 構造機能解析のための高品質蛋白質結晶生成(課題)</li> <li>◆ 高性能光学素子用3次元フォトニック結晶成長(課題)</li> </ul>

この重点化(案)に、教育文化的利用(「一般利用分科会」の利用拡大方策の提言)、及び、企業等の民間利用にも利用資源を配分するとの考え方を取り入れて、ISS 利用専門委員会への提案(「ISS/JEM 利用計画見直し(案)」)が取りまとめられた。

◆ 有人宇宙技術開発:

有人宇宙技術開発の分野については、先端技術開発専門分科会の有人技術 WG で検討が行われた。「これまで我が国が修得した有人等の宇宙技術開発」及び「今後我が国が ISS 計画を通じて修得する有人等の宇宙技術」の技術体系を踏まえた上で、我が国の今後の有人宇宙技術開発の在り方と進め方が検討され、その結果が ISS 利用専門委員会に報告された。報告内容は、「シャトルミッション・JEM 開発を通じて蓄積した宇宙技術」、「ISS 計画を通じて修得する有人等の宇宙技術」([注釈]<sup>23</sup>)、「ISS 計画を、将来の有人宇宙技術開発のステップとして捉えた戦略的取り組み」等であった。

◆ 利用制度(創設と改善):

利用制度については、利用促進検討委員会の利用制度 WG で検討が行われた。宇宙環境利用の拡大や利用ニーズの多様化に対応するために、既存の利用制度を見直し、また、新たな利

[注釈]<sup>22</sup> [7.2.4-13]について: 参考資料[7.2.4-13]は、NASDA 委員会がISS利用専門委員会に提案した「ISS/JEM 利用計画見直し(案)」及び「分野別の中・長期展望」。このうち「分野別の中長期展望」は、分科会各 WG が、「利用の重点化」の検討を行う際にとりまとめた「宇宙環境利用の展望(宇宙環境利用シナリオ)」で、当時の分野毎の利用コミュニティの動向や見解が集約されている。

[注釈]<sup>23</sup> ISS 計画を通じて修得する有人等の宇宙技術: JEM(きぼう)運用利用、HTV 開発・運用、日本人宇宙飛行士の長期宇宙滞在等。

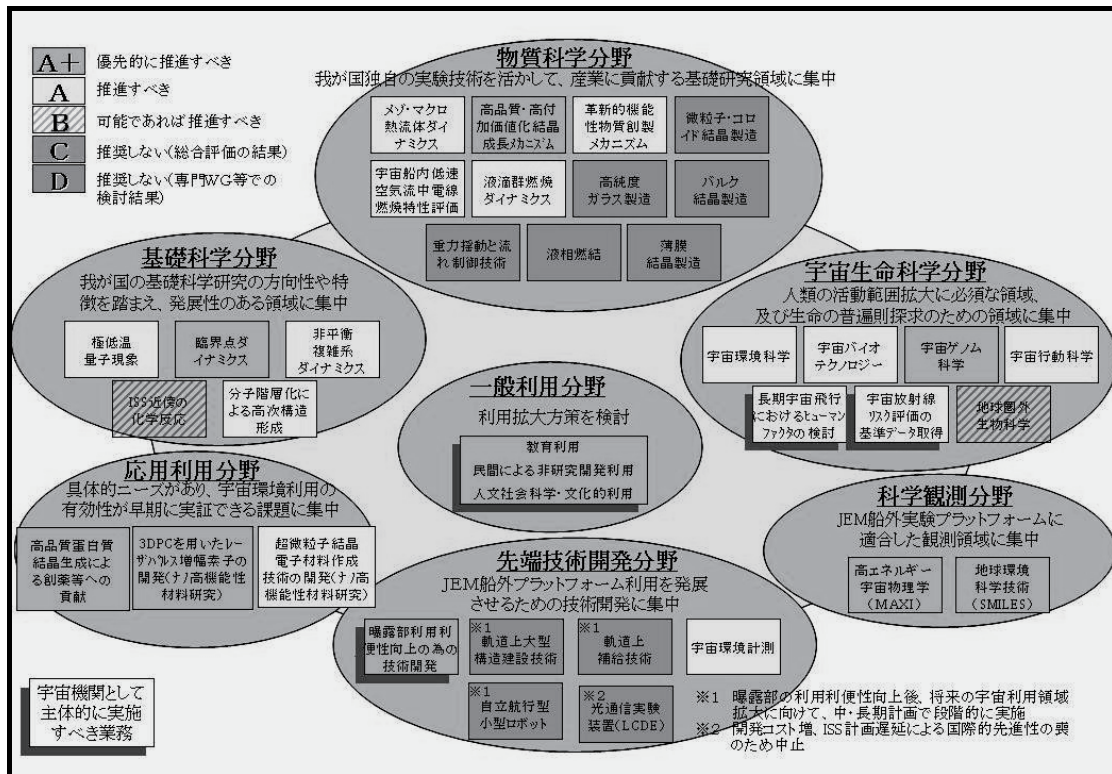


用制度の案を検討するものであった。検討結果は、中間報告への提言として ISS 利用専門委員会に報告がなされたが、平成16年(2004)4月の最終報告に向けて、機関統合後も検討が継続されることになる。検討結果の概要は次のものであった。

利用制度 WG での検討	検討結果の概要
新しい利用制度の導入	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 産業界、関係省庁の主体的な利用に対応するための「新しい利用制度」導入の必要性。</li> <li>◆ 検討課題は、利用料金の設定、成果のユーザ帰属、実施期間の短縮等。</li> </ul>
既存の利用制度の改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ <u>応用利用</u>：産学官の連携による効果的な研究チーム制度の新設</li> <li>◆ <u>一般利用</u>：教育現場との連携強化など、教育活動に宇宙環境利用を組み込むための制度・体制の整備</li> <li>◆ <u>科学利用</u>：確実なフライト実験の提案につながる公募地上研究制度の公募区分の見直し</li> <li>◆ <u>科学利用及び一般利用</u>：航空機・落下施設の利用に対する公募制度の創設、などの提案</li> </ul>

この検討を踏まえた「既存制度の改善」と「新しい制度の創設」の具体化、利用を促進するための「基本的環境の整備」(利用リソースの確保と配分メカニズムの整備、利用条件の明確化、体制の強化、財源の多様化、外国利用への対応など)が今後の検討課題とされた。

図7.2.4-3 宇宙環境利用検討委員会における利用重点化の総合評価結果



- ◆ 民間活力導入：  
民間活力導入については、利用促進検討委員会の民間活力導入WGで検討が行われた。定

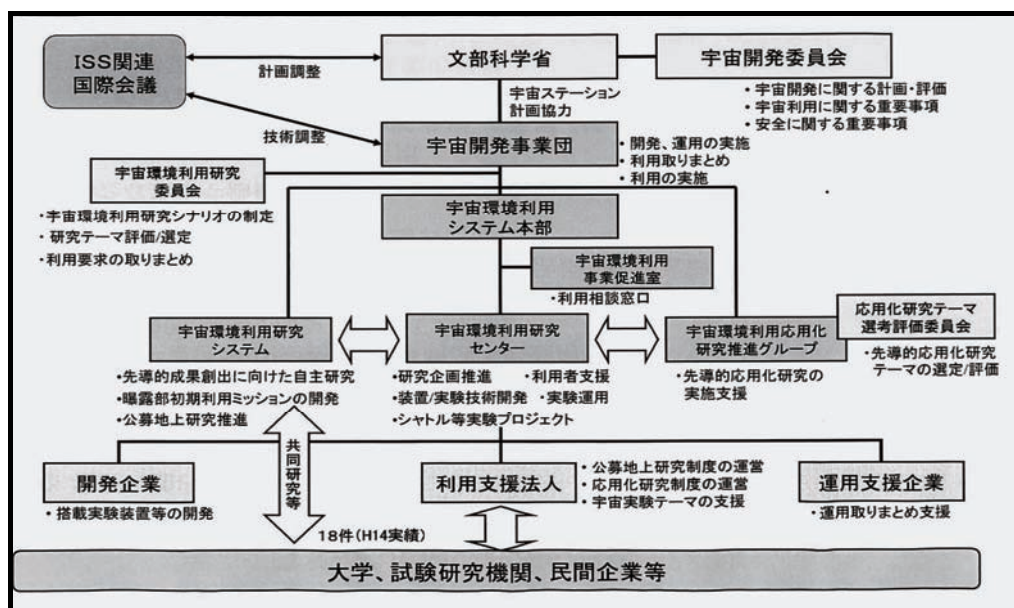
常段階における経費削減、利用のサービス向上と柔軟性確保のために、JEM(きぼう)運用利用、HTV 運用に民間活力を導入することについて検討がなされた。平成 15 年(2003)5 月末までの検討結果が ISS 利用専門委員会に報告されたが、実質的な検討は、平成 16 年(2004)4 月の最終報告に向け、機関統合後に継続されることになる。今後の検討課題として、「国・宇宙機関・民間企業の役割分担及びリスク分担」、「効果的な契約方式」、「民間参入を促進する環境の整備」などが挙げられ、業務の性質に応じた民間活力導入方策の明確化が求められることになった。

(3)NASDA の宇宙環境利用の推進活動 -宇宙三機関統合に際しての中間まとめ-

ISS利用専門委員会は、「運用業務」並びに「利用サービス提供業務」における官民協働体制の構築、利用計画の重点化、及び利用推進のための新しい方策について中間的な検討結果をとりまとめた。その活動が再開されたのは、JAXA 発足後の平成 15 年(2003)12 月に入ってからであった。一方、JAXA 発足を契機に、平成 8 年(1996)10 月に NASDA に設置され、約 7 年間に亘って活動してきた「研究委員会」、「研究システム」、「研究センター」という三つの宇宙環境利用研究の推進組織が、利用推進に関わる第一段階の任務を終え、新 JAXA では、第二段階としての新しい宇宙環境利用推進体制が始動することになっていた。次節(7. 2. 5節)で、新体制の下で進められた宇宙環境利用推進の概要を述べるが、本節ではその橋渡しとして、第一段階、すなわち NASDA 時代の宇宙環境利用推進活動について、その到達点の概要をまとめておく。

ISS 計画の度重なる遅延等のために、研究システムが取り組んできた宇宙環境利用研究(地上研究)を宇宙実験に結びつける飛行機会は、平成 15 年(2003)の時点でも得られていなかったが、第一段階の「まとめ」として、利用研究を中心に NASDA 時代の宇宙環境利用の推進活動を、平成 15 年 7 月時点を基準に、事実上即してまとめておく。[7.2.4-14] 尚、この時点における NASDA の宇宙環境利用推進体制は図 7.2.4-4 に示すものであった。

図 7.2.4-4 NASDA の宇宙環境利用推進体制



1)宇宙環境利用研究:

研究システムが実施した宇宙環境利用研究は、宇宙環境利用の有効性を示すための先導的な「目的研究」、或いは、宇宙環境利用の開拓に不可欠な「共通基盤的研究」で、宇宙実験に向けた地上研究の成熟度に応じて、「課題研究」、「準備研究」、「調査研究」に分類されていた。(研究分類は、7. 2. 3. 1節(4)の[注釈]<sup>1)</sup>を参照) このうち「課題研究」(化合物半導体の結晶育成、拡散現象研究、流体研究(マランゴニ対流現象の解明)、重力生物学研究(細胞の力学的刺激に対する応答など))は、微小重力の効果が最も顕著に現れる代表的な研究課題とされていたもので、宇宙環境利用の有効性を早期に提示するために、速やかな宇宙実験の実施を目指していた。また「準備研究」(蛋白質結晶成長、放射線生物影響研究、準安定相研究、燃焼研究、臨界現象研究)では、微小重力の影響を定量化するための実験技術の開発、微小重力利用の実験手法の確立などが中心課題になっていた。一方、「調査研究」(細胞の重力感受と重力応答、植物の重力感受と重力応答等)では、「生命の重力感受とその応答」の解明が主要な課題として位置付けられており、微小重力利用の実験組立や実験のアプローチを模索する取り組みが進められていた。これらの取り組みの概要を別紙 7.2.4-1(1/3)～(3/3)に示す。

この研究活動に加えて、宇宙環境利用(ISS 利用)の新たな研究領域を開拓するための「調査活動等」として、研究会及び検討会が適時、継続的に行われていた。特に、基礎科学分野(基礎物理学並びに基礎化学)、及び人文社会科学分野(芸術分野を含む)の取り組みは、JEM(きぼう)の初期段階以降を担う中核的な利用分野への発展を期待して、宇宙環境利用の新規分野の開拓としての活発な活動が進められていた。平成 15 年度(2003)上半期時点までの「調査活動等」の主な実施状況を別紙 7.2.4-2 に示す。

(別紙は、7. 2. 4節の最後に掲載してある。)

## 2) 宇宙実験プロジェクト:

平成 7 年(1995)以降の ISS 計画の度重なる延期のために、JEM(きぼう)の利用開始がなし崩し的に延期されるという事態に見舞われていた。JEM(きぼう)の利用開始の遅れによる宇宙環境利用への悪影響を少しでも緩和するために、NASDA は早期利用機会の獲得に向けて多大の努力を傾注していた。JEM(きぼう)の利用テーマを、他の飛行機会を利用して早期・代替的に実施し、その成果をもって JEM(きぼう)利用の促進につなげること。同時に、JEM(きぼう)利用に必要な実験運用技術の確立に資すること。さらには、JEM(きぼう)利用の先駆けとなる宇宙実験を実施すること。このことを目的に、ISS(ロシア SM)、スペースシャトル、ミールの利用機会を獲得して宇宙実験プロジェクトが実施され、また、小型ロケット(TR-1A)を利用した宇宙実験プロジェクトにより、実験技術の開発や JEM(きぼう)利用の予備的実験が実施され、これらが、JEM(きぼう)利用への橋渡しの役割を担っていた。この宇宙実験について、平成 4 年(1992)から平成 15 年(2003)の間に NASDA が実施した実験ミッションの一覧(総計 170 件の宇宙実験テーマを実施)を別紙 7.2.4-3 に示しておく。(別紙は、7. 2. 4節の最後に掲載した。) 尚、STS-107 宇宙実験プロジェクトとして実施された 20 件の実験テーマは、帰還時の事故のために実験試料を取得できずに終わった。

## 3) 「きぼう」利用研究:

公募で選定された船外実験プラットフォームの利用テーマ(JEM 曝露部初期利用ミッション)、及び船内実験室の利用テーマ(一次選定テーマと国際公募選定テーマ)の準備状況を、平成 15

年度(2003)上半期の時点の概況としてまとめておく。(「きぼう」利用研究として、研究システムで実験準備の取り組みがなされていた JEM(きぼう)利用テーマ。)

◆ 船外実験プラットフォーム利用:

平成9年度(1997)に初期利用ミッションの4テーマが選定され、ミッション開発に着手して5年余りが経過した平成14年度(2002)に、これら4ミッションの開発進捗状況等についての研究委員会の中間評価が行われた。(平成14年(2002)10月～平成15年(2003)3月の間に実施。表7.2.3-3(2/2)参照) 中間評価は、本節(1)で述べた JEM(きぼう)の「利用計画の重点化の検討」の時期と一致したが、次の状況を踏まえて、ミッション開発の継続の可否について中間的な評価がなされたものであった。①開発開始から5年余りが経過し、各ミッション装置の開発が概ね詳細設計完了段階にあったこと、②打上げ時期が、選定時の想定(平成13年(2001)～平成14年(2002))から大幅に遅延(平成19年度(2007))し、ミッションの科学的価値が損なわれる危惧があったこと、③JEM(きぼう)利用研究に対して財政状況悪化のインパクトが懸念されたこと。

中間評価のために、研究委員会に「観測ミッション評価専門委員会」及び「技術開発ミッション評価専門委員会」が設置されて専門的事項に関する評価が行われ、その結果に基づいて研究委員会の総合評価が行われた。評価結果は、研究委員会委員長から NASDA 理事長への答申として、平成15年(2003)3月19日付で提示されたが、概要は次のものであった。

ミッション名	評価概要
MAXI 及び SMILES (科学観測ミッション)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 観測開始が大幅に遅延しているものの、現時点でもミッションの科学的意義は十分に維持されている。平成19年(2007)ないし遅くとも平成20年(2008)に打上げ及び観測を開始することを目標に開発と観測データの利用に向けた研究を継続して推進すること。</li> <li>◆ 上記の打上げ及び観測開始時期が守れない事態が明らかになった場合には、ミッション意義の確保に与える影響は計り知れず、その場合には、ミッションの大幅見直し又は中止も念頭においた検討を行うこと。</li> </ul>
LCDE (技術開発ミッション)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 開発コストの大幅な超過が予想されること、打上げ時期の遅延により技術開発ミッションとしての世界的先進性の喪失が懸念されること、当初目標としていたミッション仕様と開発コストの制約等による実現可能な仕様との隔たりが非常に大きいこと等の理由により、現時点をもって開発を終結する。</li> <li>◆ 現時点までに実施された基礎研究等の成果は、将来の光通信技術の発展に有効なものであることから、これまでの研究成果を活用し、ISS利用インフラとしての光空間通信技術の利用可能性について、今後も継続的に検討を行うこと。</li> </ul>
SEDA-AP (宇宙環境計測および技術開発ミッション)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 開発は順調に進められており、既にフライト装置製作が最終段階にあることから、打上げに向けて開発を継続する。</li> <li>◆ SEDA-APは、技術開発ミッションとして提案されたテーマではあるが、搭載のセンサで取得される各種宇宙環境データは、宇宙技術開発や、宇宙科学研究に大いに貢献することが期待される。このために、データの公開や利用を促進すべく、積極的な取り組みを進めること。</li> </ul>

上記の中間評価結果に基づき、船外実験プラットフォーム利用に係る JEM(きぼう)利用ミッションは、科学観測ミッション(X線全天観測及び地球成層圏大気観測)2件、技術開発及び宇宙環

機計測 1 件の合計 3 件として、JEM(きぼう)の初期利用に向けて準備を進めることとされた。

◆「きぼう」船内実験室利用:

JEM(きぼう)利用一次選定テーマ: 平成 15 年度(2003)でテーマ募集から 10 年が経過し、さらに宇宙実験実施まで今後 3 年以上の時間を要することが想定されること等を踏まえて、研究委員会の専門委員会(微小重力科学及びライフサイエンス)でテーマの準備状況等の中間評価が行われた。中間評価までに「辞退中止」したテーマ(中間評価で中止が勧告され辞退となったテーマを含めて「辞退中止」と表記)、「早期実施済み」のテーマ、及び、JEM(きぼう)利用に向けて「準備中」のテーマの状況(平成 15 年(2003)7 月時点)を以下に示す。(JEM 利用一次選定テーマは、共通実験装置の検証を目的に、平成 10 年度(1998)の JEM(きぼう)利用を前提に、平成 5 年(1993)7 月に 50 テーマが一次選定されていた。)

利用する共通実験装置	準備中	早期実施済み	辞退中止	計
温度勾配炉	0	3	6	9
帯域炉(注釈)	2 [注]	0	3	5
流体物理実験装置	3	0	3	6
溶液結晶成長実験装置	5	1	4	10
蛋白質結晶成長実験装置	0	2	3	5
細胞培養装置/クリーンベンチ	4	4	7	15
(合計のテーマ数)	14	10	26	50

[注]「帯域炉」は将来の有望な利用が見込めないために、フライトモデルの開発は中止された。

ライフサイエンス国際公募選定テーマ: ISS でのライフサイエンス及び宇宙医学の実験を行うにあたり、ISS 計画に参加する各国宇宙機関が提供する実験装置等を相互に利用して、ISS での科学成果の最大化を図ることを目的に、国際的に実験テーマを募集・選定する「ライフサイエンス国際公募制度」が創設され、平成 9 年(1997)に第 1 回の公募が行われた。日本は第 2 回公募(平成 10 年(1998))から参加、第 4 回公募で平成 14 年(2002)1 月に選定されたテーマを加えて、日本のフライト候補テーマは合計で 12 テーマになっていた。そのうち、平成 15 年上半期の時点で 11 テーマ(第 2 回選定 4、第 3 回選定 1、第 4 回選定 6 の合計 11)について、フライト候補としての準備作業が進められていた。(1 テーマは継続困難により、準備作業を停止。)

微小重力科学国際公募選定テーマ: ライフサイエンス国際公募と同様、微小重力科学研究分野の国際公募の第 1 回が、平成 12 年(2000)9 月に行われた。平成 14 年(2002)1 月、日本のフライト候補テーマとして 5 テーマ(及び国外提案の共同研究 3 テーマ)が選定され、平成 15 年上半期の時点で、フライト候補としての準備作業が進められていた。

4) 宇宙環境利用研究委員会の活動:

設置(平成 8 年(1996)10 月)以来、平成 15 年(2003)7 月までの約 7 年間の研究委員会の利用推進活動の概況を以下に示す。(活動項目のみを列挙する。)

研究委員会の活動	内容(項目のみ)
利用研究テーマの募集・選定・中間評価の実施	◆ JEM曝露部初期利用テーマ・実験装置候補の募集・選定 ◆ TR-1Aロケット7号機の実験計画の募集・選定

(別紙 7.2.4-3 参照)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 宇宙放射線環境計測計画の生物実験テーマの募集・選定</li> <li>◆ JEM一次選定テーマの研究進捗評価</li> <li>◆ STS-107実験テーマの募集・選定</li> <li>◆ ロシアSMを利用した微小粒子捕獲実験・材料曝露実験試料の選定</li> <li>◆ JEM曝露部初期利用ミッションの中間評価</li> </ul>
利用研究テーマの飛行後科学評価の実施 (別紙 7.2.4-3 参照)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ TR-1Aロケット6号機実験の評価</li> <li>◆ TR-1Aロケット7号機実験の評価</li> <li>◆ 宇宙放射線環境計測計画の生物実験テーマの評価</li> <li>◆ ミール利用実験の評価</li> <li>◆ 宇宙放射線環境計測(STS-84、-89、-91)の実験評価</li> <li>◆ ニューロラブ計画(STS-90)の実験評価</li> <li>◆ STS-95([注釈]<sup>24</sup>)の実験評価</li> </ul>
研究シナリオ(関連の技術開発を含む)の設定・維持改定 (別紙 7.2.3-2(1/4)～(4/4)参照)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 微小重力科学分野研究シナリオ(初版:平成11年(1999)3月、第5版:平成14年(2002)3月)</li> <li>◆ 微小重力物理学分野研究シナリオ(平成13年(2001)10月)</li> <li>◆ ライフサイエンス分野(生物学・バイオテクノロジー)研究シナリオ(初版:平成12年(2000)3月、第3版:平成14年(2002)3月)</li> <li>◆ 宇宙医学分野研究シナリオ(初版:平成11年(1999)10月、第4版:平成14年(2002)3月)</li> </ul>
研究システムで実施する研究の進捗評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 研究システムの研究方針の評価(課題研究、準備研究、調査研究)(別紙7.2.4-1参照)</li> <li>◆ 研究システムの課題研究進捗評価(別紙7.2.4-1参照)</li> </ul>
宇宙環境利用研究のための国際対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 国際対応の推進(各国宇宙機関の諮問委員会間の意見交換、国際公募テーマ評価委員会への専門家の派遣、等)</li> </ul>
ISS 利用計画 WS の開催	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 第19回(平成9年(1997)7月)～第24回(平成15年(2003)7月)の7回を主催</li> </ul>

5) 先導的応用化研究:

「先導的応用化研究制度」が平成 11 年度(1999)に創設されて以来、応用化研究推進 G が提示した重点研究領域に対して、平成 14 年度(2000)までに応募のあったテーマの概況は次の通りであった。(平成 12 年末の状況は7. 2. 3. 3項(1)参照)

分野	応募数	選定テーマ (宇宙実験)	FS	調査研究
高機能関連材料	7	0	2	3
高性能半導体関連	2	0	1	0
燃焼関連	2	0	0	0
創薬に向けたタンパク質結晶及び構造解析関連	15	6	2	0
その他(通信・生体材料・測地応用・機構設				

[注釈]<sup>24</sup> STS-95: ニューロラブ計画に引き続きスペースハブ利用の宇宙医学及びライフサイエンス分野の宇宙実験ミッション。NASDA は、ニューロラブ計画に引き続き脳神経科学分野を中心とする宇宙医学・ライフサイエンス実験、JEM(きぼう)利用テーマの早期実施(植物実験、宇宙放射線の生物影響など)として7テーマを実施。(向井宇宙飛行士、グレン宇宙飛行士が搭乗。) その利用テーマ選定は、研究システムによって行われた。

計・再生医療など	7	0	0	0
<合計>	33	6	5	3

当時の選定テーマ(宇宙実験)は、いずれも医薬品開発等への貢献が期待される蛋白質結晶成長・構造解析のテーマで、微小重力を利用し、蒸気拡散法によって高品質な蛋白質の結晶育成を目指すものであった。このために割り当てられた飛行実験機会がSTS-107であったが、帰還時の事故で全ての実験試料が失われてしまった。([注釈]<sup>25</sup>タンパク質結晶生成実験プロジェクトを参照。)

「選定テーマ」の宇宙実験を実施する一方で、①先導的応用化研究WSの開催(各重点研究領域に関わる宇宙環境利用研究を促進するために、平成11年度(1999)から14年度(2002)で合計9回のWSが開催された)、②研究会活動の実施(各重点領域の候補課題に関する研究会活動で、平成11年度(1999)8回、平成12年(2000)度6回、平成13年(2001)度5回、平成14年(2002)度4回の開催実績を積み重ねていた)、③FS及び調査研究の実施(提案者と共同で5テーマについてFSを実施、また、研究会活動の発展として9テーマについて調査研究を実施)など、先導的応用化研究の推進のための取り組みがなされてきた。

それまでの活動の結果等から、宇宙環境利用に対する民間の関心やニーズが比較的顕著な分野と領域が見えてき。CSTPが設定した重点4分野(ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料)を念頭に置きながら宇宙環境利用分野の探索を進めること、必ずしも体系化されていない民間の多様な利用ニーズを発掘することなど、民間企業等の宇宙環境利用を促進するための新たな展開(施策)が求められていた。同時に、ISS利用専門委員会からも、先導的応用化研究制度の見直しが求められていた。

#### 6) 宇宙環境利用に関する公募地上研究制度の運営:

7. 2. 3. 3節の図7.2.3-9(公募地上研究制度-「研究区分」と「研究分野」の変遷)に、公募地上研究制度の変遷の鳥瞰図が示されているが、この図のように、平成9年度(1997)に開始された公募地上研究の推進の考え方を軌道修正したのが、平成14年度(2002)の第6回公募からであった。第1回から第5回の公募では、JEM(きぼう)の利用を中心とする宇宙環境利用研究の裾野拡大(研究者層の拡大と研究分野の開拓)に重点が置かれていた。しかし第6回公募では、①「宇

[注釈]<sup>25</sup> タンパク質結晶生成実験プロジェクト: 平成14年度(2002)から、先導的応用化研究制度とは別に、NASDAの独自プロジェクトとして、「タンパク質構造・機能解析のための高品質タンパク質結晶生成実験プロジェクト」が開始されていた。本プロジェクトの目的は、①宇宙環境利用の有効性の実証、②ISSを利用したタンパク質結晶生成技術の開発とそのプロセスの整備、③宇宙環境利用成果の早期創出(ポストゲノム時代での貢献)であり、ISSロシアSMを長期継続的に利用して(6回のSMの長期利用)、タンパク質の高品質な結晶生成技術を確立し、JEM(きぼう)利用における応用分野の成果創出と効率的な利用支援体制の整備を目指していた。このプロジェクトの結晶成長手法の特長は、「液・液拡散」及び「ゲルチューブ法」の採用で、これにより、従来主流であった蒸気拡散法の欠点(マランゴニ流れの発生)を排除することが期待されていた。この方法の有効性の比較と確認の一環として、STS-107に搭載された先導的応用化研究の蛋白質6種が、SM利用の第1回実験のタンパク質群の一部としてSMにも搭載されていた。(別紙2.4-3参照) そのSM利用の結果が、先導的応用化研究の成果創出につながったことを補足しておく。

宙実験に直結する重点課題の形成」、及び、②「研究シナリオと実現可能な実験環境を踏まえ中期的なISS・JEM(きぼう)利用課題の育成」、に重点が置かれることになった。

当時、ISS利用専門委員会における「利用推進のための新しい方策の実現」(ISS利用専門委員会の中間報告 [7.2.4-12])の検討の中で、先導的応用化研究制度と同様、公募地上研究制度についても、「規模や外部資金との役割分担等のシステムの見直しが必要」との指摘を受けていた。第6回の募集における上記の軌道修正は、この見直しの指摘を踏まえ、NASDAの自主的試みとして実施されたものであった。具体的には、第5回までの「フェーズⅡ/フェーズⅠ」の研究区分から、「課題計画研究/重点研究/萌芽研究」という研究区分(研究区分の定義は、図7.2.3-9の[注釈]<sup>16</sup>を参照)に変更し、JEM(きぼう)利用の初期・中期段階におけるきぼう船内実験室の利用テーマ創出に重点を置いた考え方が採用されていた。この重点化に対応して、きぼう船外実験プラットフォームの利用を目指す地上研究に対しては、募集の研究区分を制限する等、公募地上研究における資源配分の見直しが行われた。

宇宙環境利用研究を推進するための地上研究支援制度として平成9年度に発足した公募地上研究制度は、宇宙環境利用研究の裾野拡大という大きな役割を果たしていた。実際、毎回の公募で、応募者の半数以上が新規参入者であった。同時にまた、宇宙環境利用に向けて地上研究の質を高める役割も担ってきた。しかし、公募地上研究で成果を挙げた研究者が、宇宙実験の実施に対しても、引き続いて研究支援を受けるための適切な研究支援制度(宇宙実験の支援制度)が自明には対応しておらず、また、公募地上研究の終了時期と宇宙実験の公募時期の同期も取られていなかった。このため一般的には、研究を地上から宇宙まで一貫して連続的に実施するのに不可欠な研究支援制度は存在しない、という状態が続いていた。換言すれば、大学等の一般の研究者は、地上研究から宇宙で実験し成果を挙げるまでの一連の研究を円滑に遂行するのに必要な研究支援(科学研究費補助金等による研究助成)を獲得し難い状態に置かれていた。

JEM(きぼう)利用を目指した「公募地上研究制度」を、より広範な「宇宙環境利用研究の助成制度」にまで拡張することは、同制度の趣旨とその枠組みから不可能であったために、制度運営の工夫によって少しでも課題解決を図ることを念頭に置いて、公募地上研究制度の段階的な改革が試みられていた。第6回の募集方針の軌道修正も、この試みの一環であったことは既に述べた通りである。しかしながら、平成15年(2003)10月の宇宙三機関統合後の公募地上研究制度の取扱いについては、統合後の宇宙環境利用の推進体制の在り方と直接関係するために、平成15年(2003)の第7回公募は平成16年度(2004)に実施するとして、1年間は新規の募集は取り止めとなり、公募地上研究制度の運営上の諸課題はJAXA発足後の検討に委ねられることになった。

平成14年度実施の第6回公募地上研究の概要を図7.2.4-5に、第1回から第6回までの公募地上研究制度の変遷の様相を図7.2.4-6に示す。また、平成15年(2003)年2月現在で整理した、制度発足からの公募地上研究の成果を、表7.2.4-1(公募地上研究成果の宇宙実験への展開)及び表7.2.4-2(公募地上研究の成果(論文発表等))に示しておく。



図 7.2.4-5 公募地上研究制度の概要  
(平成 14 年(2002) 年度実施の第 6 回地上研究公募の案内から)

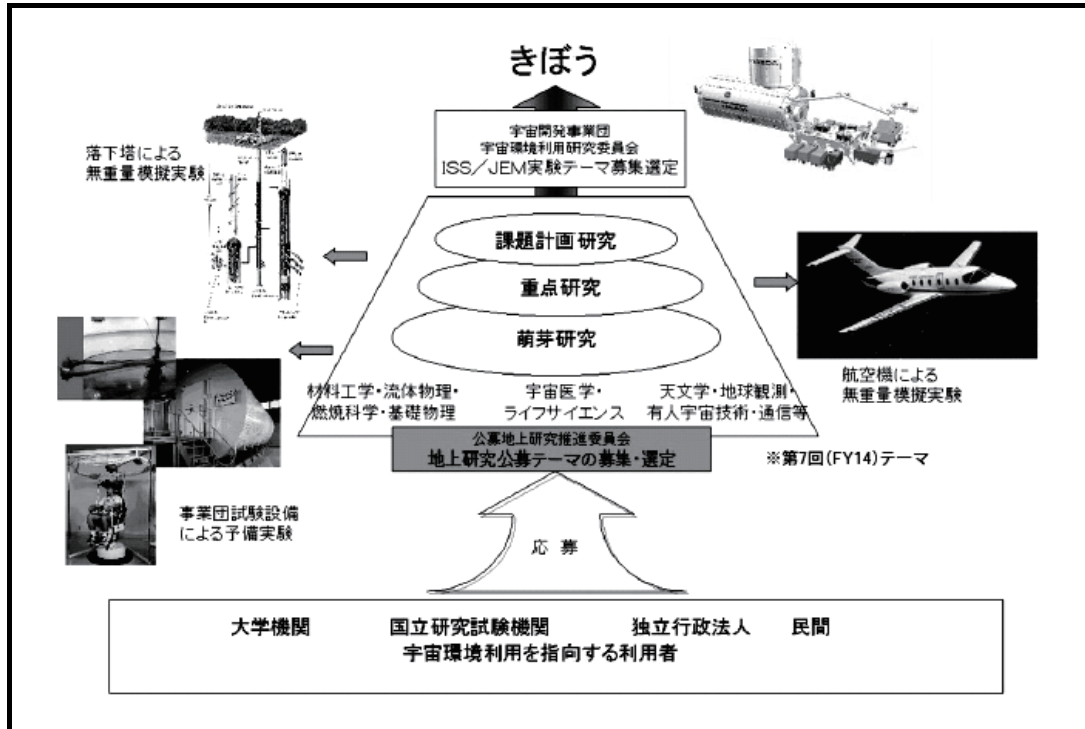


図 7.2.4-6 公募地上研究制度の変遷の様相  
(第 1 回～第 6 回)

	第 1 回 (FY09)	第 2 回 (FY10)	第 3 回 (FY11)	第 4 回 (FY12)	第 5 回 (FY13)	第 6 回 (FY14)
研究費 ↑	フェーズ II	フェーズ II	フェーズ II	フェーズ II	フェーズ II	課題計画研究 (課題領域のみ)
	フェーズ I	フェーズ Ia	フェーズ Ia	フェーズ Ia	フェーズ Ia	重点研究
		フェーズ Ib	フェーズ Ib	フェーズ Ib	フェーズ Ib	
			萌芽的研究	萌芽的研究	萌芽的研究	萌芽研究
	微小重力科学	微小重力科学	微小重力科学	微小重力科学 微小重力物理	微小重力科学 微小重力物理	微小重力科学 微小重力物理
	ライフサイエンス	バイオメディカル 生物科学	バイオメディカル 生物科学	バイオメディカル 生物科学	バイオメディカル 生物科学	バイオメディカル 生物科学
	宇宙医学	宇宙医学	宇宙医学	宇宙医学	宇宙医学	宇宙医学
	宇宙科学	宇宙科学	宇宙科学	宇宙科学	宇宙科学	宇宙科学
	地球科学	地球科学	地球科学	地球科学	地球科学	地球科学(*)
	宇宙利用技術開発	宇宙利用技術開発	宇宙利用技術開発	宇宙利用技術開発	宇宙利用技術開発	利用技術開発(*)

※萌芽のみ

表 7.2.4-1 公募地上研究成果の宇宙実験への展開

きぼう等の宇宙実験テーマ公募		募集年度	応募状況	応募総数	内、公募地上研究での活動が含まれる応募数(1)	採択数	内、公募地上研究での活動が含まれる採択数(1)
ライフサイエンス分野国際公募	第2回	平成10年度	代表研究者で応募	46	29	5	2
	第3回	平成11年度	代表研究者で応募	25	11	1	1
	第4回	平成13年度	代表研究者で応募	19	9	6	3
微小重力科学分野国際公募	第1回	平成13年度	代表研究者で応募	19	13	5	1
			海外テーマの共同研究者での応募	19	不明	3	2
STS-107ラットサンプルシエア実験		平成13年度	代表研究者で応募	17	9	9	6

注記※1)公募地上研究からの応募は、公募地上研究における代表研究者が応募したもののみ計上。公募地上研究において共同研究者となっている研究者による応募は含まれない。

表 7.2.4-2 公募地上研究の成果(論文発表数、特許申請数等)

研究分野	ポスター	講演	出版	投稿	特許申請	総計
微小重力科学	9	330	4	148	4	495
微小重力物理学	5	8	0	1	0	14
バイオメディカル	38	386	21	342	5	792
生物科学	8	59	3	60	5	135
宇宙医学	22	202	9	174	0	407
宇宙科学	2	36	1	13	1	53
地球科学	1	24	0	7	0	32
宇宙利用技術開発	12	270	12	102	15	411
総数	97	1315	50	847	30	2339

平成15年2月現在

## 別紙 7.2.4-1(1/3) 課題研究 [注1] ([7.2.4-14]参照)

課題名称	研究概要(目標など)
化合物半導体均一組成結晶育成研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 光半導体の基盤材料として期待される化合物半導体 <math>\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}</math> (<math>x = 0.3</math>) を対象に選び、微小重力環境 (<math>10 \mu\text{G}</math> 程度の残留重力の存在を想定) の下で、均一組成の混晶育成を可能にする革新的な結晶成長方法を考案する。</li> <li>◆ 考案した方法を用いて早期に宇宙実験を実施して 1G 環境では実現不可能な結晶育成の成果を確認し、その結晶を用いて地上でデバイスを試作、光半導体の基盤材料としての性能を確認する。 (この研究で考案された革新的な結晶成長方法は、代表研究者により「飽和溶融帯移動法」と命名された。)</li> </ul>
拡散現象のモデル化及び高精度拡散係数測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 拡散現象は、原子の相互衝突の積み重ねの結果として生ずる物質の輸送現象で、その本質の理解には、原子スケールの物理的描像が不可欠である。</li> <li>◆ 本研究は、①散乱実験や計算機シミュレーションを駆使した液体構造と原子ダイナミクスの関りの把握、②NASDA の高精度拡散定数測定技術(NASDA シアセル)を活用した微小重力環境(対流抑制)における高温融液の拡散係数の高精度測定、及び、③前2項の結果を総合した高温融液中の拡散機構の新たな物理モデルの創出、を目指すもの。</li> <li>◆ 実験材料は、産業上の重要性、物理化学上の関心から、ゲルマニウムを中心としたIVB 族物質の液体構造と拡散の関係の理解に焦点を当て研究を進める。</li> </ul>
マランゴニ対流現象モデル化研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 液体の自由表面において、局所的な表面張力の差(温度勾配や濃度勾配に起因)が原因で駆動される流れ(マランゴニ流れ)が対流にまで発展した流れの挙動(マランゴニ対流)を、微小重力環境における流れの計測実験から明らかにし、この現象をモデル化することを目指す。</li> <li>◆ 特に、流れ場の遷移(層流→振動流→乱流)の数値計算的再現(シミュレーションによる再現)、自由界面の動的変形と流れ場遷移の相関に着目して研究を進める。</li> </ul>
重力等の物理学的情報に対する細胞応答の研究(従来の「課題研究」と「国際公募の宇宙実験候補選定テーマ」の二つを統合した、新たな「課題研究」)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 宇宙環境(<math>\mu\text{G}</math>環境)への典型的な応答・適応の一例に、宇宙飛行士の骨量減少がある。</li> <li>◆ 本研究の目標は、骨量減少メカニズム、特に骨形成や骨吸収の現場で機能する個々の細胞が、どのようにして重力環境情報を取得し応答しているかを明らかにする。</li> <li>◆ このために、従来からの課題研究「骨芽細胞における細胞内シグナル伝達・遺伝子発現に及ぼす重力の影響」と、その成果を発展させた「力学刺激の細胞内生体信号への変換過程の研究」(国際公募選定テーマ)を統合し、体系的な研究を進める。</li> </ul>

[注1] 「課題研究」とは、宇宙環境利用の科学的な有効性を早期に示すことができると期待される研究課題で、研究システムに研究チームを設置し、NASDA の自主研究として実施する地上研究。

## 別紙 7.2.4-1(2/3) 準備研究 [注 2] ([7.2.4-14]参照)

課題名称	研究概要(目標など)
生体高分子結晶成長機構解明研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 微小重力環境が蛋白質の結晶化に及ぼす影響の明確化</li> <li>◆ 微小重力実験最適化手法(結晶育成方法)の構築</li> </ul>
遺伝情報の損傷修復と微小重力 (平成 14 年度で終了)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ スクレオチド除去修復に関する重力影響</li> <li>◆ 修復の素過程への重力影響</li> <li>◆ 実験技術開発(蛍光抗体法による微量物質定量法)</li> </ul>
過冷融液の物性評価を含めた準安定相物質に関する総合的研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 浮遊炉(高真空用静電浮遊炉、加圧雰囲気用静電浮遊炉、中性子散乱実験用静電浮遊炉、ガス浮遊炉)の開発・整備</li> <li>◆ 静電浮遊炉による計測・観察実験(融液の熱物性計測技術開発と実験)等</li> <li>◆ 準安定相物質科学研究(TR-1A 7 号機の浮遊実験の試料評価、ペロブスカイト系酸化物の過冷凝固研究など)</li> </ul>
燃焼分散系の燃焼ダイナミクス解明研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 液滴列火炎伝播モデルの基礎構築(平成 12 年度)</li> <li>◆ 火炎伝播モデルの高度化と数値解析手法の確立(平成 13 年度)</li> <li>◆ 小型ロケット実験計画の詳細化、数値解析、落下実験によるモデル検証</li> </ul>
臨界現象研究 (微小重力物理学研究シナリオで設定された研究領域「臨界点ダイナミクス」から、動的ピストン効果の実験的検証を当面のテーマとして抽出。)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 臨界点近傍における「動的ピストン効果」の実験的検証に向けた地上研究(地上実験装置の構築、ピストン波素過程の観測、シミュレーション解析)(実験試料:CO<sub>2</sub>)</li> </ul>

[注 2] 「準備研究」とは、「課題研究」の設定に向けて研究内容の絞込みと研究チームの構成などを行う段階の研究。研究システム長が適切と評価・判断した研究テーマについては、宇宙環境利用研究委員会の承認を得て、「課題研究」へ移行する。

## 別紙 7.2.4-1(3/3) 調査研究 [注3] ([7.2.4-14]参照)

課題名称	研究概要(目標など)
血管内皮細胞等を利用した重力感受・応答機構の解明	<p>◆ 生化学的及び分子生物学的アプローチにより、重力の感受・応答機構を細胞レベルで解明すること、特に、重力刺激の細胞への作用点を明らかにすることを目標に、関連文献の調査を踏まえて、「免疫学的手法を用いた細胞の観察」、「重力変化に反応する蛋白質の検討」、「重力によって変化する遺伝子の発現解析」、及び「重力変化に反応するシグナル伝達についての検討」を行うもの。</p> <p>(血管内皮細胞は、血圧や血流で常に伸展・ずり応力といった機械的刺激を受ける特殊な環境で生育しており、循環器系疾患の対策・予防の観点から、細胞変形による機械刺激応答性の分子メカニズムの解析が進んでいる。そこで、重力による刺激を一つの機械的刺激と捉え、血管内皮細胞を用いたこれまでの研究手法と解析手法の有効性について調査検討する。)</p>
植物の重力応答研究	<p>◆ 植物は特定の細胞内の小器官において重力を感受し、シグナル伝達を介して他の細胞、部位へ刺激を伝えることで形態を変化させ、環境適応の一つとして重力屈性応答を示すとされている。しかしながら、重力屈性反応のもっとも上流にある「重力感受」においては、応答の中心となる細胞内小器官、分子(遺伝子)の同定には至っていない。微小重力と(遠心器利用の)可変重力の環境は、これを同定するための最も優れた実験環境を与える。このための軌道上実験の実現に向けて、「重力感受のシグナルカスケード」を捉えるための宇宙実験の組み立てについて、調査検討を行うもの。</p>
宇宙医学分野におけるヒューマンファクターのための調査研究	<p>◆ 長期宇宙滞在におけるヒトの精神・心理・行動科学についての研究は、宇宙飛行士の健康管理の観点からも極めて重要な研究対象であるが、科学的に未知の部分が多く、現代医学の基本である evidence based medicine を対応させることが難しい。一方、航空分野の成功を踏まえて、有人宇宙システムに「ヒューマンファクター」(注釈参照)を導入する方向が既に採用され始めている。この取り組みを本格化させることを目標にして、「危機回避を目的とした手法」、「各種の評価・対処方法に対する妥当性・有効性」、及び「日本人の特性」について調査・検討を行い、その方向を探るもの。</p> <p>(注釈)ヒューマンファクターの定義:「機械やシステムを安全に、しかも有効に機能させるために必要とされる、人間の能力や限界、特性などに関する知識の集合体」(定義:黒田勲)</p>

[注3] 「調査研究」とは、宇宙環境利用が有効と考えられる、主として科学研究領域の研究テーマ(または課題)を発掘するための、テーマ探索段階の研究である。研究システム長が適切と評価・判断した研究テーマ(または課題)については、「準備研究」に移行する。

## 別紙 7.2.4-2 調査活動等 [注 4] ([7.2.4-14]参照)

課題名称	活動概要(目標など)
宇宙ステーション等の人文社会学的利用に係る調査検討	<p>中長期的視点に立って ISS の人文社会学的利用の可能性を広く検討し、当該分野での ISS 利用(宇宙環境利用)が目指すべき方向を明らかにすることを目標に、新規の利用分野開拓の一環として、平成 8 年(1996)から継続的に調査検討等を実施。これまでの活動概要は次の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ISS の人文社会学的利用法に係わる調査研究(国際高等研究所への委託研究として実施)(平成 8 年度～12 年度)</li> <li>◆ ISS を利用した新しい社会制度の構築に関する検討(国際高等研究所の自主研究への参加)(平成 13 年度～14 年度)</li> <li>◆ 21 世紀の宇宙開発・宇宙環境利用の問題－人文社会学からのアプローチ(国際高等研究所と NASDA/JAXA との協同の研究プロジェクト:平成 15 年度～平成 21 年度) 研究プロジェクトのまとめとして、平成 18 年 12 月に「宇宙問題への人文・社会科学からのアプローチ」国際高等研究所シンポジウム開催、平成 21 年 3 月に「宇宙と人間」東京シンポジウム開催。</li> <li>◆ 微小重力環境における芸術表現の未来(東京芸術大学との共同研究):芸術分野の「きぼう」利用実験へと発展。</li> <li>◆ 宇宙への芸術的アプローチ(京都市立芸術大学との共同研究):芸術分野の「きぼう」利用実験へと発展。</li> </ul>
基礎科学分野における微小重力実験テーマの開拓	<p>1980 年代の宇宙実験(微小重力利用する物質科学研究)は、「新材料創製の場」としての環境利用が中心であった。対流や浮遊沈降が抑制され拡散や界面現象の顕在化する環境場の中で、巨視的な流体現象を扱う。このため、流体力学が基礎にある科学とされてきた。</p> <p>その後、1990 年代の宇宙実験の進展から、微視的な現象に対する微小重力効果に注目した研究(低温物理学、原子物理学、凝縮系物理学)がなされるようになる。この結果、微視的な統計的ゆらぎと巨視的な物理現象の間に成立する普遍的な物理法則を探求する「基礎物理学」が、微小重力実験の重要な課題として設定されるに至る。</p> <p>さらに 2000 年代に入って、ナノサイエンス研究の勃興に伴い、ナノスケールの物質操作によって巨視的な構造を生み出すという、時間発展型の化学研究が宇宙実験の興味ある課題として認識されてくる。</p> <p>このような宇宙環境利用研究の動向を踏まえて、次の調査活動等を行い、我が国の宇宙環境利用研究の新規分野の構築に貢献した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 微小重力物理学研究シナリオ(原案)作成(別紙 7.2.3-2(4/4)参照)</li> <li>◆ 微小重力化学研究マップ作成(重要な研究領域として、「反応拡散系・コロイド・臨界流体などのメソスコピック系の化学」、及び、「宇宙空間での化学反応」に注目。)</li> <li>◆ 基礎科学研究者コミュニティの育成(「化学物理研究会」及び「量子低温研究会」の開催等)</li> </ul>

<p>Tuesday Evening Seminar (TES) 及び特別講演 [7.2.4-16]参照</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 平成9年11月から開始し、平成15年6月までの実績で167回のセミナー(原則、火曜日の夕方実施)と2回の特別講演が開催された。(TESは平成20年度まで継続。)</li> <li>◆ 研究システムの中核セミナーとして、研究システム・研究センター職員に研究成果等の発表機会を提供。</li> <li>◆ また、広範な分野(自然科学から人文社会科学まで)の第一線の外部の専門家を招き、宇宙環境利用研究の新たな分野開拓や分野内議論、広い分野の最新の研究動向に関する情報収集や意見交換する場を提供するなど、研究システムと外部研究者をつなぐ重要なパイプの役割を果たす。</li> </ul>
--	---

[注4] ここに掲げる「調査活動等」は、ISSを利用する新たな研究領域を検討するための調査活動で、啓蒙的な活動も含まれる。「研究会」、「検討会」、「セミナー」、「講演会」等として実施。

別紙 7.2.4-3 NASDA が実施した宇宙実験ミッション一覧 ([7.2.4-14]参照)  
(1990年代～2003年9月まで)

ミッション名	ミッション概要	実施時期 (日本時間)
第1次国際微小重力実験室 (IML-1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ NASA が国際協力で推進したスペースラブ利用の宇宙実験ミッション。14 か国が参加、16 種類の実験装置で 42 テーマを実施。</li> <li>◆ 日本の実験は 2 テーマ</li> </ul>	STS-42: 1992.1.22～1.31
第1次材料実験計画 (FMPT) (ふわっと'92)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ スペースラブを利用した日米の共同実験プロジェクト。(毛利宇宙飛行士が搭乗した日本初の本格的な宇宙実験ミッション。)</li> <li>◆ 日本の実験は、材料実験 22 テーマ、ライフサイエンス実験 12 テーマの合計 34 テーマ。(これに加えて、米国実験 7 テーマ、日米共同実験 2 テーマも実施された。)</li> </ul>	STS-47: 1992.9.12～9.20
第2次国際微小重力実験室 (IML-2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IML-1 に続いて、NASA が国際協力で推進したスペースラブ利用の宇宙実験プロジェクトで、13ヶ国7宇宙機関が参加。(向井宇宙飛行士が搭乗)</li> <li>◆ 日本の実験は、ライフサイエンス実験 8 テーマ、材料実験 4 テーマの合計 12 テーマ。</li> </ul>	STS-65: 1994.7.9～7.23
宇宙実験用小型ロケットプロジェクト (TR-1A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 第1次計画(1～3号機):「小型ロケットによる宇宙実験手段の整備」、及び、「ISS での各種実験に必要な共通宇宙実験技術の開発」を目的に実施。</li> <li>◆ 第2次計画(4～7号機):「ISS利用に至るまでの有力な予備実験手段」、及び、「宇宙環境利用の促進」として実施。(4～6号機は、宇宙環境利用フロンティア共同研究の促進のために利用、7号機は公募して研究委員会が選定したテーマを実施。)</li> <li>◆ 実験は 39 テーマ。</li> </ul>	TR-1A ロケット: 発射・回収日  1号機:1991.9.16 2号機:1992.8.20 3号機:1993.9.17 4号機:1995.8.25 5号機:1996.9.25 6号機:1997.9.25 7号機:1998.11.19
宇宙実験・観測フリーフライヤ (SFU)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ NASDA/STA、ISAS/文部省、NEDO/通商産業省の共同プロジェクトとして実施。</li> <li>◆ SFU は H-II ロケットで打ち上げられ、約 10 ヶ月の軌道上での宇宙実験実施後、STS-72 で回収。</li> <li>◆ 回収フライトには若田宇宙飛行士が搭乗。(STS-72 は、ISS 組み立ての予行演習としての役割も担う。)</li> <li>◆ NASDA は、気相成長基礎実験装置を搭載し 1 テーマを実施。(技術開発実験を除く)</li> </ul>	H-II: 打上げ 1995.3 STS-72: 回収 1996.1.11～1.20
第1次微小重力科学実験室 (MSL-1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ NASA が国際協力で推進した微小重力実験を推進するためのスペースラブ利用のシリーズ化されたミッションで、日本、欧州の 5 宇宙機関が参加し、主として微小重力材料実験を実施。</li> <li>◆ NASDA は大型均熱炉を用い、拡散実験に特化した宇宙実験を実施。</li> <li>◆ 日本の実験は 4 テーマ。</li> </ul>	STS-83:1 回目飛行 1997.4.5～4.9 (燃料電池不具合で早期帰還)  STS-94:2 回目飛行 1997.7.2～7.14



宇宙放射線環境計測計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ リスク低減のための米ロ共同フライトとして計画されたシャトル/ミールミッション(9回のフライト)のうち4回の飛行機会を利用し、ISSと同一軌道面(軌道傾斜51.6度)を飛行する宇宙船内の宇宙放射線環境を放射線モニタ装置(第1回～第4回フライト)、中性子モニタ装置(第2回フライトのみ)で実時間計測するとともに、算型固体線量計による線量計測(第3回フライト)を行う。同時に、宇宙放射線生物影響に特化したライフサイエンス実験を実施。</li> <li>◆ 日本の実験は21テーマ。</li> </ul>	<p>STS-79:1回目飛行 1996.9.16～9.26</p> <p>STS-84:2回目飛行 1997.5.15～5.24</p> <p>STS-89:3回目飛行 1998.1.23～2.1</p> <p>STS-91:4回目飛行 1998.6.3～6.13</p>
スペースハブ利用蛋白質結晶成長実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ スペースシャトル搭載のスペースハブ利用機会を購入し、微小重力利用の蛋白質結晶成長研究の推進を目的に、蛋白質結晶成長実験を実施。</li> <li>◆ 実験提案を公募。(蒸気拡散型蛋白質結晶実験装置の利用)</li> <li>◆ 日本の実験は10テーマ。</li> </ul>	<p>STS-84: 1997.5.17～5.24</p>
ミール利用実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ISS・JEM(きぼう)での宇宙実験に向けた技術蓄積を目的に、ミール宇宙ステーション利用の長期実験として、宇宙船の船内環境の把握(宇宙船内の微生物叢の計測)、宇宙線計測、及び、長期宇宙線被曝の生物影響に関する実験を実施。</li> <li>◆ 日本の実験は10テーマ。</li> </ul>	<p>ソユーズ' TM25 : 打上げ 1997.2.10</p> <p>ソユーズ' TM24 : 回収 1997.3.2</p>
ニューロラブ計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ニューロラブ計画は、1990年(平成2年)にブッシュ大統領が決定した「脳研究10年計画」に基づいて、NASAが米国立公衆衛生院(NIH)及びISS計画の国際パートナーとの協力による、スペースラブ利用の「宇宙環境における神経科学分野」の宇宙実験計画で、NASAは世界各国に実験装置の提供を求めるとともに、その実験テーマを国際的に公募した。</li> <li>◆ 米国、欧州、カナダ、日本など8カ国が参加。</li> <li>◆ 微小重力環境における水棲動物実験、発達実験、自律神経実験など8領域34テーマの実験を16日間にわたって実施。</li> <li>◆ 日本はFMPT及びIML-2での開発経験を活かして、海水型水棲生物実験装置を提供、基礎医学研究促進を目的として参加、実験は5テーマ。(その内4テーマは米国研究者との共同研究)</li> </ul>	<p>STS-90: 1998.4.18～5.4</p>
STS-95 宇宙実験計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ニューロラブ計画に引き続きスペースハブ利用の宇宙医学及びライフサイエンス分野の宇宙実験。(その他に、太陽観測衛星の放出・回収、極低温の要素技術実験が行われた。)</li> <li>◆ NASDAは、ニューロラブ計画に引き続き脳神経科学分野を中心とする宇宙医学・ライフサイエンス実験、JEM(きぼう)利用テーマの早期実施(植物実験、宇宙放射線の生物影響など)として7テーマを実施。(向井宇宙飛行士、グレン宇宙飛行士が搭乗。)</li> </ul>	<p>STS-95: 1998.10.30～11.8</p>

中性子計測プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ISS の宇宙環境がヒトに及ぼす影響について研究する国際共同プロジェクト(HRF プロジェクト Human Research Facility Project)の一環として、NASDA の中性子モニタ装置を米国実験棟に長期設置し、船内の中性子環境の計測を実施。(日本の装置の ISS 搭載はこの装置が最初。) 日本の実験は1テーマ(としてカウント)。</li> </ul>	<p>STS-102: 打上げ 2001.3.8</p> <p>STS-108: 回収 2001.12.17 (約 8 か月間の ISS 搭載)</p>
ロシア SM 宇宙実験プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「きぼう」利用開始に先立つ ISS の早期利用として、「微粒子捕獲実験及び材料曝露実験」(SM 外壁に曝露試料を長期設置)、及び、「高精細度テレビジョン(HDTV)カメラ利用実験(①医学実験、②広報実験、③「きぼう」利用多様化パイロットプロジェクト(CM 制作))」(ロシア人宇宙飛行士が HDTV で撮影した映像を取得)を実施。</li> <li>◆ 日本の実験 4 テーマ。</li> </ul>	<p>プログレス: 打上げ 2001.8.21</p> <p>ソユーズ: 回収 2001.10 ~ 2005.11 の間、計 6 回の帰還フライト</p>
STS-107 宇宙実験プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「きぼう」の利用開始に先立つ宇宙実験として、STS-107 利用の実験計画に参加。</li> <li>◆ 蒸気拡散法を用いた蛋白質結晶成長実験を集中的に計画。(公募選定による科学研究テーマ 5、先導的応用化研究選定テーマ 5、及び NASDA 技術実証テーマ 1、その他、蛋白質結晶成長実験を組み込んだ宇宙教育実験プログラム) その他に、ラットサンプルシェア研究を計画。</li> <li>◆ しかし、帰還時の事故により実験試料を喪失。(日本の実験 20 テーマ)</li> <li>◆ 上記に加えて、宇宙実験教育プログラム(高校生参加のタンパク結晶成長実験が行われていた。)</li> </ul>	<p>STS-107: 2003.1.17~2.1</p>
タンパク質構造・機能解析のための高品質タンパク質結晶生成プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ タンパク質構造・機能解析に関わる国家プロジェクトを推進する中核機関(文部科学省・農林水産省・経済産業省所管の研究機関、大学等)及びゲノム創薬に取り組む民間企業等(蛋白質構造解析コンソーシアム等)との協力により、地上の結晶育成では構造解析に必要な高品質単結晶が得られないタンパク質について、微小重力環境を利用してタンパク質の結晶生成実験を行い、タンパク質構造・機能解析に関わる研究やその応用利用に貢献することを目的として、平成 14 年度(2002)から平成 17 年度(2005)までの 3 年間、年 2 回、合計で 6 回の ISS ロシア SM 利用の飛行機会を確保して長期間の結晶生成実験を実施するプロジェクト。</li> <li>◆ 結晶成長方法としては、蒸気拡散法ではなく「液・液拡散法」を適用、結晶構造解析には大型放射光(スプリング 8 等)を利用するなど、宇宙における高品質タンパク質結晶生成と放射光を活用した構造解析の実施という、体系的な取り組みのスタートであった。</li> <li>◆ 第 1 回実施分として 36 テーマ。</li> </ul>	<p>(2003 年 9 月までの実施分を以下に示す。)</p> <p>第 1 回目の打上げ: プログレス: 2003.2.2</p> <p>第 1 回目の回収: ソユーズ: 2003.5.4</p> <p>第 2 回目の打上げ: プログレス: 2003.8.29</p>

#### 7.2.4 節の参考文献

- [7.2.4-1] 「宇宙環境利用研究システム／宇宙環境利用研究センター平成 13 年度年報」 宇宙開発事業団 特別報告 NASDA-SPP-020001 平成 14 年(2003)6 月
- [7.2.4-2] 「今後の宇宙開発利用に関する取組みの基本について」 総合科学技術会議・宇宙開発利用専門調査会 平成 14 年(2002)6 月
- [7.2.4-3] 「我が国の宇宙利用推進の基本的方向と当面の方策」 宇宙開発委員会・利用部会 平成 14 年(2002)6 月
- [7.2.4-4] 「我が国の宇宙開発利用の目標と方向性」及び「別紙 3」 宇宙開発委員会 平成 14 年(2002)6 月
- [7.2.4-5] 「宇宙 3 機関統合後の新機関の在り方(報告)」 宇宙 3 機関統合準備会議 平成 14 年(2002)3 月
- [7.2.4-6] 「国際宇宙ステーション利用計画及び運用・利用体制に関する宇宙開発委員会及び NASDA 委員会での検討結果(中間報告)」 宇宙開発事業団 平成 15 年(2003)7 月
- [7.2.4-7] (物質科学WGでの「ISS/JEM利用計画見直し」のための検討結果)
- [7.2.4-8] 「宇宙生命科学 中・長期的視点に立った利用シナリオ」 宇宙環境利用検討委員会 生命科学 WG 平成 15 年(2003)5 月
- [7.2.4-9] 「基礎科学 WG での「ISS/JEM 利用計画見直し」のための検討結果(報告)」 宇宙開発事業団 平成 15 年(2003)5 月
- [7.2.4-10] 先端技術開発専門分科会報告書－先端技術編－「きぼう船外実験プラットフォーム利用の意義と方向性について」 宇宙環境利用検討委員会 先端技術開発専門分科会 先端技術 WG 平成 15 年(2003)7 月
- [7.2.4-11] 「宇宙環境利用検討委員会 応用利用専門分科会報告書」 宇宙環境利用検討委員会 応用利用専門分科会 平成 15 年(2003)5 月
- [7.2.4-12] 「我が国の国際宇宙ステーション運用・利用の今後の進め方(中間報告)」 国際宇宙ステーション利用専門委員会 平成 15 年(2003)6 月
- [7.2.4-13] 「宇宙環境利用検討委員会における ISS/JEM 利用計画見直し(案)について」 宇宙環境利用検討委員会(ISS 利用専門委員会提示資料 ISS 6-2 平成 15 年(2003)5 月 16 日)
- [7.2.4-14] 「宇宙環境利用研究システム／宇宙環境利用研究センター 成果報告書」 宇宙開発事業団 特別報告 NASDA-SPP-030001 平成 15 年(2003)9 月
- [7.2.4-15] 「特集－国際宇宙ステーションの応用利用」(日本マイクログラビティ応用学会誌 Vol.25 No.2 2008)
- [7.2.4-16] 「Tuesday Evening Seminar (TES) 火曜日セミナーの 11 年を振り返る」 JAXA 特別資料 JAXA SP-09-013 2010.3

### 7. 2. 5 JEM(きぼう)利用の重点化・多様化・民間利用促進への対応

—宇宙航空研究開発機構発足後の国際宇宙ステーション計画の見直し(その2)—(平成15年(2003年)10月～平成18年(2006年))

#### (1)宇宙ステーション・JEM(きぼう)を取り巻く状況と課題

平成15年(2003)から平成17年(2005)も、ISS・JEM(きぼう)は厳しい環境に晒され続けていた。平成15年(2003)2月1日のコロンビア号事故でISSの組み立ては中断され、その再開は、事故の原因究明と対策処置が完了した、平成17年(2005)7月の再開フライトSTS-114(野口宇宙飛行士搭乗)まで待たなければならなかった。その間、宇宙飛行士の交代と必要物資の補給はロシア宇宙船に依存した状態が続き、その輸送能力の制約から、ISSには宇宙飛行士が2名しか滞在できない状態が続いた。利用面でも、最小規模の宇宙実験が実施できるのみであった。一方、事故発生の約1年前の平成13年(2001)1月、NASA諮問委員会は、ISS計画におけるNASAの予算超過問題に関連して、ISSを最終形態(搭乗員7人体制)にまで進めるか否かの判断を1～2年以内に出すこと等をNASAに勧告していた。その後NASAは、ISSの最終形態について国際パートナーと調整を続け、平成14年(2002)末には、搭乗員6～7人体制の確保が可能な最終形態の案についての合意に達していた。その合意から程なくして、コロンビア号の事故が発生した。

事故後、シャトルのフライト再開の見通しが得られた段階で、改めてISSの組み立てスケジュールの検討が再開されたが、その途上の平成16年(2004)1月、米国ブッシュ大統領は、ISS計画に極めて大きな影響を与える「米国新宇宙ビジョン」([注釈]<sup>26</sup>) (以下、「新宇宙ビジョン」)を発表した。新宇宙ビジョンがISS計画に関連して言及した事項は、①国際協定(政府間協定)の履行、②平成22年(2010)までにISSを完成、③その後シャトルは平成22年(2010)に退役、④新たに開発する有人宇宙船(CEV)でISSに搭乗員を輸送、などであった。新宇宙ビジョンを受けた国際パートナーの対応は、新宇宙ビジョンがISS計画に関わる政府間協定に影響を及ぼさないことを前提とした上で、今後のISS計画の実施に関する具体的な方策(シャトル退役後の輸送・回収手

[注釈]<sup>26</sup> 米国新宇宙ビジョン：将来の有人宇宙探査活動に関する米国のビジョン。人を輸送する新たな宇宙船を建造し、これを利用して月に新たな足場(活動拠点)を構築。月を拠点にして、地球以外の世界への新たな旅を準備するというもので、「宇宙を探査し人類の活動領域を太陽系全域に拡大する新計画」と題した、次の内容からなるブッシュ大統領の宇宙探査ビジョンであった。

1. 2010年までにISSを完成させる。(ISS国際パートナーに対する責務の完遂)
2. ISSは将来の長期宇宙滞在の研究、explorationの技術蓄積と位置付ける。
3. スペースシャトルは、安全確認後に飛行を再開させ、ISSの完成後の2010年に引退させる。
4. 新しい宇宙船として、ISSへの搭乗員輸送(地球周回低軌道)のみならず、深宇宙探査に対しても対応可能なCrew Exploration Vehicle(CEV)を2008年までに開発し、2014年までに有人初飛行を行う。
5. CEVは、スペースシャトル引退後、ISSにその搭乗員を輸送する能力も有する。
6. 2015年から2020年までの間に(有人ミッションにより)月に戻る。2008年までに一連の無人(ロボット)月探査ミッションを行った後、CEVにより長期月滞在ミッションを行う。
7. 月は、火星をはじめとする、より困難な有人宇宙探査ミッションを目指すための飛び石、拠点と位置付けられる。(地球より小さい重力下での打上げ、月資源の利用など。)
8. 月で得られた経験と知識を持って、火星及びその先への有人ミッションを行う。

段、6～7人体制の維持等)について、新宇宙ビジョンへのNASAの対応を見極めながら、国際間で検討し調整を行うというものであった。

NASA は新宇宙ビジョンを実行に移すために内部組織を見直し、ISS を、「多目的な軌道上研究所」という考え方から、「長期宇宙飛行のための科学的知見を獲得する場、宇宙医学研究や有人技術開発のテストベッド」という考え方に舵を切り、それまで続けてきた、宇宙環境を利用する基礎科学(基礎生物学、基礎物理学)や物質科学への国内の研究助成を取り止める方向を打ち出した。

欧州でもESAが、平成42年(2030)頃の有人火星探査を目標に、独自の宇宙探査計画「オーロラ計画」を検討していた。ESAはそれまでに、NASAのような大幅なISS計画の見直しは行っておらず、オーロラ計画につながる研究や技術開発を含む多様で広範な宇宙環境利用をISSで実現するという、ISSの位置付けを堅持していた。一方、独自の有人宇宙開発を進めてきた中国は、平成15年(2003)10月、有人宇宙船「神船5号」により初の有人宇宙飛行に成功し、引き続いて、独自の有人宇宙ステーション計画、有人月探査計画の検討を行うと宣言していた。このような有人宇宙開発に関する国家レベルの動きに合わせて、民間企業の宇宙ビジネスも動き始めていた。米国 Scaled Composites 社の有人宇宙船 Space Ship One による民間初の宇宙飛行が実現し、宇宙旅行など、有人宇宙飛行への夢と関心が広がろうとしていた。

このようなISS計画を取り巻く世界の激しい環境変化の中で、我が国でも、この変化に対応するための見直しや新たな取り組みの検討が進められていた。本節では、主として宇宙環境利用の推進制度の変遷という観点から、平成15年(2003)10月(JAXA発足後)から平成18年(2006)までの国の方針に対応したJAXAの活動概況をまとめる。

## (2)JAXA 発足に伴う「宇宙環境利用」及び「宇宙環境利用研究」の新たな推進体制 [7.2.5-1]

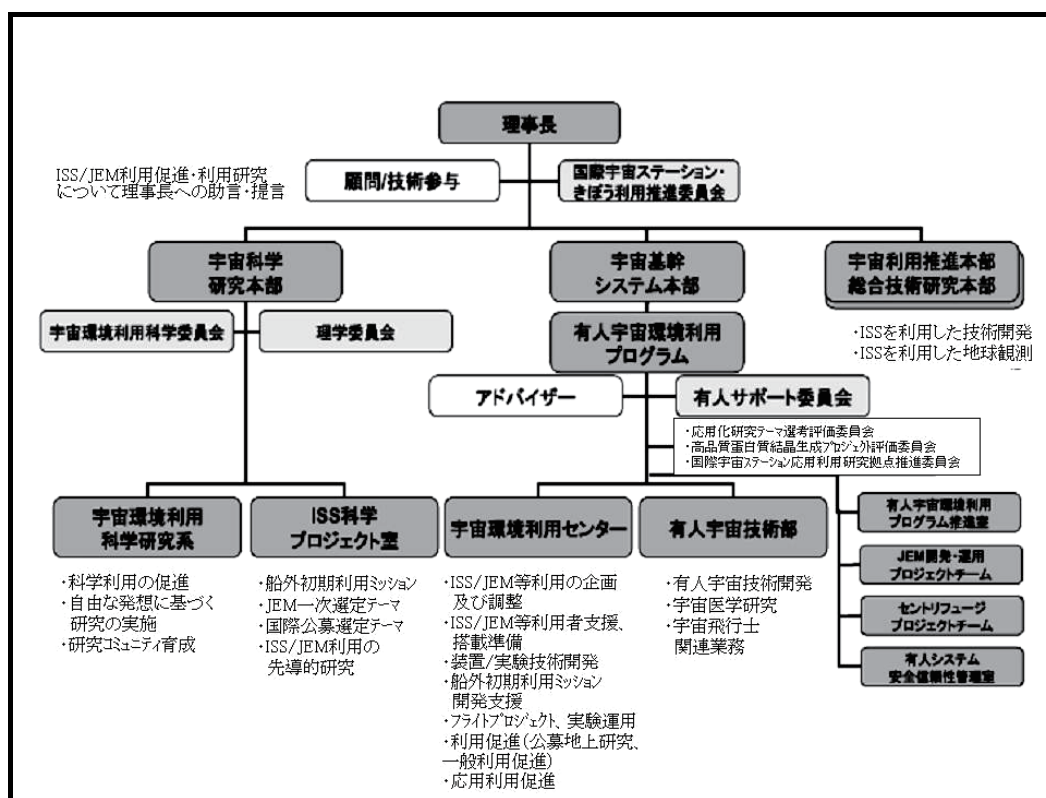
平成15年(2003)10月1日に宇宙三機関が統合されてJAXAが発足し、NASDA時代の宇宙環境利用の推進体制に大きな変更が加えられた。図7.2.5-1に、JAXAの宇宙環境利用関連業務の実施体制を示す。(NASDA時代については図7.2.4-4を参照。)

新体制では、宇宙環境利用科学研究(宇宙医学研究を除く)を、大学共同利用システムの中で推進する研究と位置付けて、宇宙科学研究本部(旧ISAS)に「宇宙環境利用科学研究系」を設置し、やはり同本部にISS・JEM(きぼう)利用の科学プロジェクトを実施する組織として、「ISS科学プロジェクト室」を設置した。NASDA時代には「宇宙環境利用研究システム」が担った役割と機能の多くを、この二つの組織が発展的に継承することになる。同時に、ISS・JEM(きぼう)の利用推進、応用化研究を含む宇宙環境利用全般の利用促進、実験装置開発並びに実験技術開発、フライトプロジェクト等を担う組織として、宇宙基幹システム本部(宇宙環境利用プログラム)に「宇宙環境利用センター」が設置された。

また、NASDA時代にJEM(きぼう)の利用要求を総合的にとりまとめる役割を担った「宇宙環境利用研究委員会」に代わって、新体制では、JAXA 理事長の諮問委員会として「国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会」(以下、「きぼう利用推進委員会」)が設置された。本委員会は、NASDA時代の宇宙環境利用研究委員会が担った業務のうち、個別科学研究分野の研究シナリオとりまとめ等に関わる業務(分野別専門委員会の活動を含む)及び宇宙環境利用研究システムの研究推進に関わる業務を除き、宇宙環境利用研究委員会の業務を継承して所掌することとされた。宇宙環境利用研究委員会が科学研究および応用化研究の利用要求とりまとめを実質的

な任務としてきたのに対して（[注釈]<sup>27</sup>：宇宙環境利用研究委員会の任務）、きぼう利用推進委員会は、ISS・JEM（きぼう）利用の総ての分野（科学研究、技術研究開発、宇宙利用、応用利用、宇宙医学、一般利用（教育・文化・人文社会・民間利用）、公募地上研究関連）の利用要求のとりまとめを担うことが、その任務として明記された。（「大方針の審議・答申」、「分野毎の詳細検討結果を踏まえた全体とりまとめ」など。）図 7.2.5-2 に、「きぼう利用推進委員会」の位置付けと任務（諮問事項等）を示す。

図 7.2.5-1 JAXA の宇宙環境利用推進体制

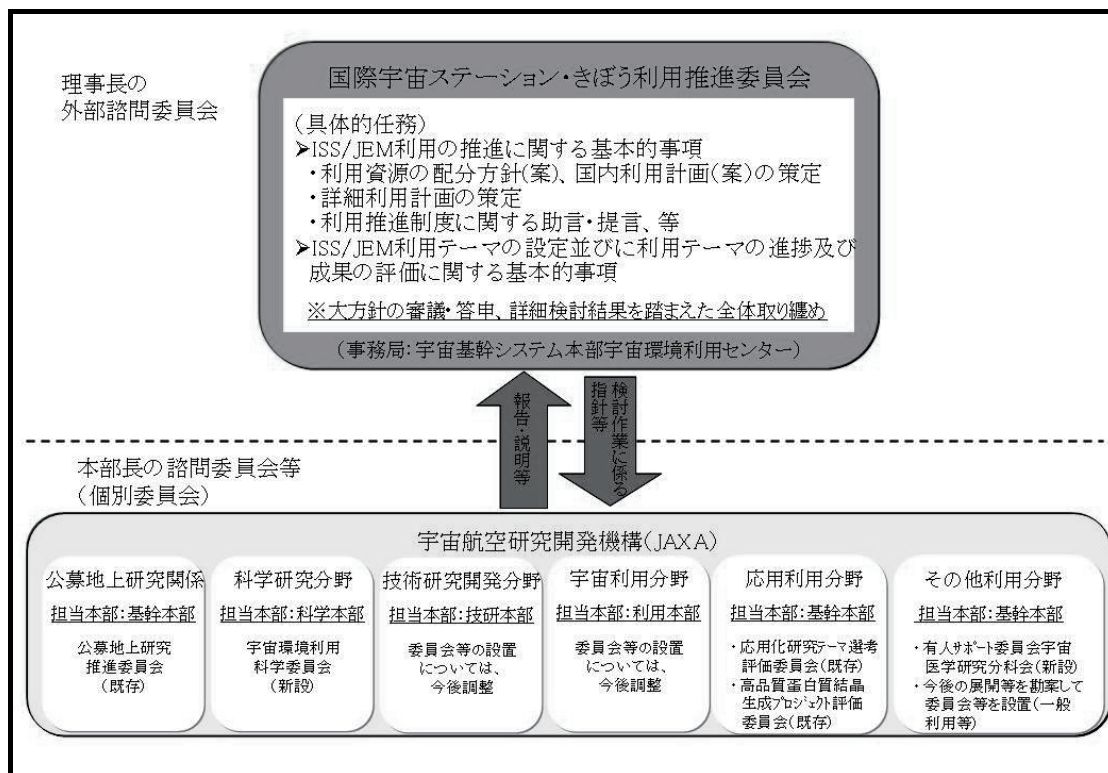


きぼう利用推進委員会の特徴は、宇宙環境利用研究委員会の「分野別専門委員会」が担ってきた機能を、JAXA の各事業本部に設置される委員会等に委ねるとした点であった。すなわち、利用者コミュニティ（研究者コミュニティ）との橋渡しの役割を果たしてきた分野別専門委員会の機能を、JAXA 各事業本部の実施責任（きぼう利用責任を含む）を明確にするというJAXA の経営方針から、それぞれの本部に設置される「本部長諮問委員会」がその機能を担うものとされた。その結果、宇宙環境利用研究のうち、微小重力科学分野（物質科学、基礎物理学、基礎化学等）及びライフサイエンス分野の専門委員会機能は、宇宙科学研究本部に設置された「宇宙環境利

[注釈]<sup>27</sup> 宇宙環境利用研究委員会の任務：「JEM(きぼう)の総合的な利用要求をとりまとめる委員会」と位置付けられた NASDA 理事長の外部諮問委員会。その設置趣旨から、科学研究と応用化研究以外の JEM(きぼう)の利用（例えば、産業利用、一般利用、NASDA の技術開発利用等）についても、原則的に、その利用要求をとりまとめる役割を担ってはいいたが、当時の利用要求の中心は科学利用および応用利用であり、宇宙環境利用研究委員会の活動も、これらの推進に重点が置かれていた。

用科学委員会」(大学共同利用システムの委員会として運営)が担うことになった。宇宙環境利用研究の中核分野の研究推進が、NASDA 時代の開拓型の先導的研究から大学共同利用の下でのボトムアップ型の研究班活動へと質的に変化することになった。この結果、同科学委員会と公募地上研究の研究推進委員会(平成 21 年度(2009)末で制度終了)の連携活動(研究推進における協働関係)が継承されなかった。

図 7.2.5-2 国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会の役割



宇宙環境利用科学委員会は、その下に物質科学、生命科学、基礎科学の「研究班」を構築、研究班 WG を単位とする研究者コミュニティの活動を支援する枠組みを整備して、研究者コミュニティの活動支援を行うとされた。(この活動は、大学共同利用システムにおける研究コミュニティ育成・支援制度と理解されている。)開拓型の先導的研究による研究推進と大学共同利用のボトムアップ型の研究班 WG 活動による研究推進では、基本とする考え方に相違があるが、その対比については7.3節で述べることにしたい。当時、宇宙環境利用科学委員会は宇宙科学研究本部の本部長に対して、「公募地上研究」と「研究班 WG 活動を通した研究者コミュニティの育成事業」の関係について、次の趣旨の意見表明を行っていた。[7.2.5-2]

『宇宙環境利用科学委員会では、宇宙環境の科学的利用に関心のある研究者を母集団とする分野ごとの研究班を構築し、研究班を単位とする日常的な研究活動のなかから具体的な実験計画を育成・発展させることを企図して、平成 15 年度は研究班の立ち上げを行った。本委員会は、今年度以降も引き続き、委員会の主導のもとに研究班活動の支援ならびに具体的な実験計画の創出を目的とする WG の構築を行い、以て、研究者コミュニティの育成を行うことを確認した。したがって、宇宙環境利

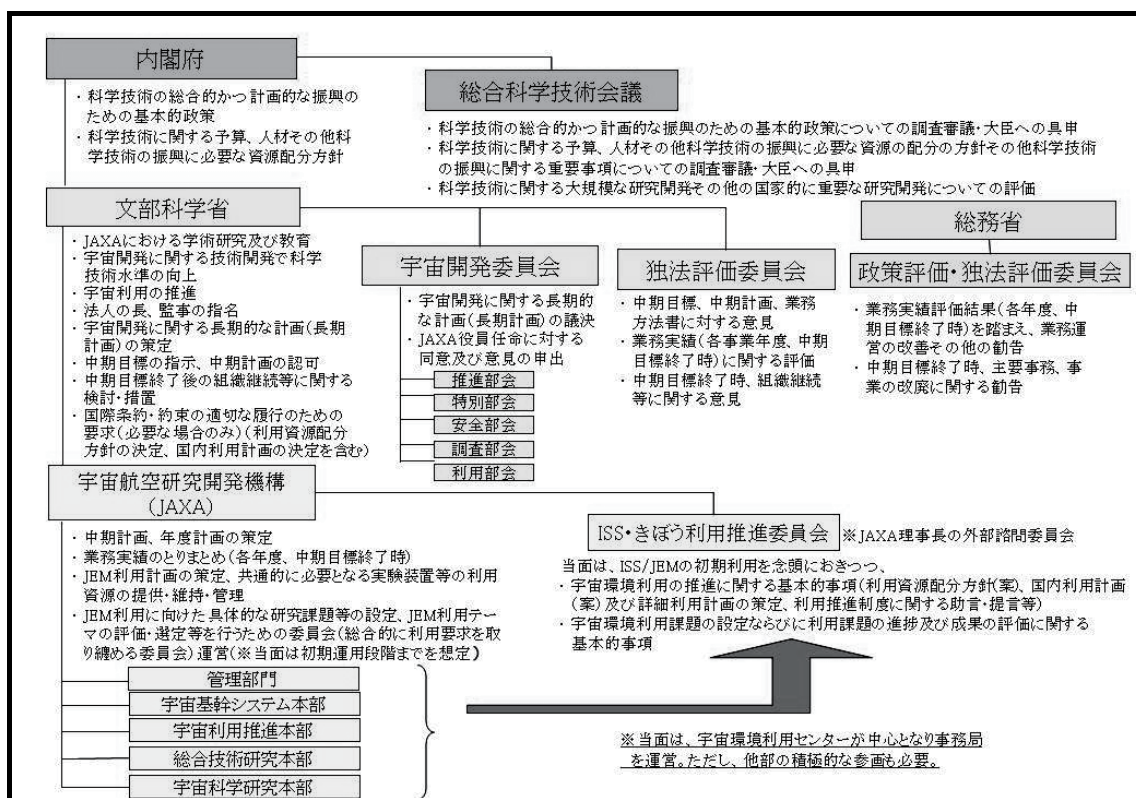
用科学委員会での研究者コミュニティ育成に係わる予算措置とISS利用推進と調和ある推進を提言する。』

宇宙環境利用科学以外の利用分野の利用促進及び利用推進については後述するが、科学研究の利用促進及び利用推進については、次節7.2.6節の「公募地上研究制度の変遷」の中で再度触れることにする。

(3) 利用促進及び利用推進に関する国の方針と施策

独立行政法人 JAXA の発足に対応した、「我が国の宇宙環境利用関係政府機関の役割分担」([注釈]<sup>28</sup>)の全体構成を図 7.2.5-3 に示す。ここでは、この役割分担に従って、平成 15 年(2003)から平成 16 年(2004)の間に提示された宇宙環境利用に関する CSTP と SAC の方針、及び SAC 利用部会 (ISS 利用専門員会)の最終報告について概要をまとめる。

図 7.2.5-3 政府機関の役割分担 (宇宙環境利用関係) (平成 15 年(2003 年)10 月時点)



[注釈]<sup>28</sup> 政府機関の役割分担: CSTP: ①科学技術の総合的かつ計画的な振興のための基本的政策についての調査審議・大臣への具申、②科学技術に関する予算、人材、その他科学技術の振興に必要な資源配分の方針その他科学技術の振興に関する必要事項についての調査審議・大臣への具申、③科学技術に関する大規模な研究開発その他の国家的に重要な研究開発についての評価。SAC: ①宇宙開発に関する長期的な計画(長期計画)の議決、②JAXA 役員任命に対する同意及び意志の申出。



## 1) 宇宙開発に関する長期的な計画 [7.2.5-3]と JAXA の中期目標・中期計画 [7.2.5-4]:

平成 15 年(2003)10 月の JAXA 発足を控えた 9 月、SAC は独立行政法人 JAXA の中期目標・中期計画(平成 15 年度から平成 19 年度)の基になる「宇宙開発に関する長期的な計画」(長期計画)を議決した。長期計画は、『我が国全体の宇宙開発を俯瞰しつつ、今後 20 年～30 年の宇宙活動を見通した上で、10 年程度の期間を対象とし、JAXA の果たすべき役割と業務の位置付けを定める』とされ、JAXA の中期目標・中期計画の基になる国の基本方針であった。その中で、「有人宇宙技術の修得」及び「ISS・JEM(きぼう)利用」に関する今後 10 年程度の方向性並びに我が国の有人宇宙活動のあり方について、『技術的な側面だけでなく、広く国民の意見を踏まえた検討を行うことが重要』との留意事項を指摘しつつ、次の方針が提示された。

長期計画の項目	概要(骨子)
有人宇宙技術の修得に係る方向性	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 国際協力に参加して、長期滞在による有人活動を行うことにより、将来迎えるであろう本格的な有人宇宙活動のために必要な基盤技術を、効率的かつ効果的に蓄積する。</li> <li>◆ 今後とも JEM(きぼう)の開発、組立及び運用並びに生命科学実験施設(セントリフュージ)の開発を確実に実施する。</li> <li>◆ HTV の開発・運用を通じて、将来の軌道間輸送機や有人宇宙活動のための基盤となる技術を蓄積する。</li> </ul>
ISS・JEM(きぼう)利用に係る方向性	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 人間が介在することで、実験中の制御や条件変更が可能となり、無人システムでは実現が難しい高度な実験や観測を実施する。</li> <li>◆ 船外施設を基盤技術開発のテストベッドとして利用する。</li> <li>◆ 多様な利用で成果の拡大を図るために、商業活動、教育等の利用を推進する。</li> <li>◆ 我が国が得意とし、国際競争力を維持できる分野に重点化する。</li> <li>◆ 宇宙での実験等で得られた知識・経験等を活かし、革新的な技術や付加価値を獲得することにより、民間の国際競争力の強化や新産業の創出を目指す。</li> </ul>

JAXA は SAC の長期計画に基づいて「中期目標・中期計画」(平成 15 年度から平成 19 年度)を設定したが、ISS・JEM(きぼう)に関する事項は次のものであった。

中期目標	中期計画
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM(きぼう)等に搭載する実験装置並びに共通的な利用技術の開発を行い、その軌道上実証を実施する。</li> <li>◆ JEM(きぼう)の初期利用段階で実施すべきテーマによる軌道上実験を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 船内実験室に搭載する細胞培養装置等の実験装置や、船外実験プラットフォームに搭載する全天 X 線監視装置等の実験装置を開発し、軌道上実証を行う。</li> <li>◆ 初期利用段階として選定されたテーマの軌道上実験を行う。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ISS・JEM(きぼう)で先端的な実験等を確実に実施するのに必要な利用技術の開発・蓄積を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 搭載実験装置の機能拡充や実験内容の具体化に必要な生物飼育技術、物性データ等を取得するための基盤技術を開発してデータを蓄積するとともに、利用の動向を踏まえ、ニーズの高い実験装置の提供に備える。</li> <li>◆ 実験運用技術の蓄積のために、JEM(きぼう)利用に先立つ宇宙実験を実施する。</li> </ul>

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 科学利用、応用利用、一般利用及び宇宙利用技術開発等の分野における宇宙環境利用を促進する。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 科学利用、応用利用、一般利用及び宇宙利用技術開発等の分野における宇宙環境利用を以下の方策により促進する。           <ul style="list-style-type: none"> <li>・優れた利用テーマの発掘を目的とした公募による研究支援制度を整備・運用する。</li> <li>・本制度で、ISS・JEM(きぼう)の軌道上実験につながる研究を支援し、短時間微小重力実験機会の提供により実験提案を検証するなどして、成果の創出を図る。</li> <li>・テーマの選定、研究実施後の評価は外部有識者を中心とする委員会が行う。</li> <li>・JEM(きぼう)利用に先立つ宇宙実験を実施し、その有効性を実証する。</li> </ul> </li> </ul> |
|--|--|

## 2) 我が国の宇宙開発利用の基本戦略 [7.2.5-7]:

CSTP の宇宙開発利用専門調査会は、平成 14 年(2002)6 月にとりまとめた「我が国の宇宙開発利用に関する取り組みの基本について」を国内外の状況変化([注釈]<sup>29</sup>)を踏まえて見直し、平成 16 年(2004)9 月、今後 10 年程度を見通した「我が国の宇宙開発利用の基本戦略」を策定した。我が国の宇宙開発利用の意義として「国家戦略技術としての重要性」、「我が国の総合的な安全保障への貢献」、「地球・人類の持続的発展への貢献及び国際社会における我が国の地位向上に貢献」を掲げた上で、次の方針(基本戦略)を示した。

『我が国は人工衛星と宇宙輸送システムを必要な時に、独自に宇宙空間に打ち上げる能力を将来にわたって維持することを、我が国の宇宙開発利用の基本方針とする。そのため、技術の信頼性の確保を最重要視し、基盤的技術を強化する。』

その上で、横断的推進戦略として、『ロケット技術などさまざまな要素技術を統合した宇宙輸送システム等を基幹技術と定義し、基幹技術を最重要分野として推進』、『宇宙を安全保障・危機管理分野で平和的に利用することは、我が国の総合的な安全保障に大きく貢献。我が国としての平和利用のあり方について議論する必要がある』の他、産業化の推進、アジア地域との協力強化などの国際戦略の多角化の必要性を挙げ、分野別の推進戦略の一つとして、ISS について次の考え方と推進方針を示した。

- ◆ ISS 計画は我が国の有人宇宙技術の蓄積や、新たな産業活動に発展しうる宇宙環境利用と新たな科学的知見の創造にとって不可欠。
- ◆ スペースシャトルの打上げ再開に対応し、JEM(きぼう)、HTV 及び生命科学実験施設の安全性・信頼性の確保に配慮しつつ、これらの確実な開発・打上げ並びに運用を進めていく。
- ◆ JEM(きぼう)の打上げや ISS 組立・完成の遅延、運用期間の短縮など、計画推進上想定すべき事態に対して、我が国の影響を最小限とするために、米国の新宇宙ビジョンの具体化による影響を見極めた上で、適切な対応を予め検討しておく。
- ◆ JEM(きぼう)の運用・利用における費用対効果を最大化するために、民間活力を可能な限り活かした積極的な利活用を推進する。(利用形態の選択肢を拡大し、民間等の利用の拡大と多様化を図るなど。)

[注釈]<sup>29</sup> 国内外の状況変化: H-II ロケット 6 号機の打上げ失敗、環境観測技術衛星の異常、及び、国外状況(米国の新宇宙探査ビジョン、中国における有人宇宙飛行の成功)

- ◆ 民間活力による JEM(きぼう)の運用の効率化、利用計画における有望な領域の開拓、重点化などを一層推進するとともに、JEM(きぼう)の利用・運用に要する経費を削減する努力を続け、限られたリソースで最大限の効果を上げることを目指す。
- ◆ アジア地域への国際協力の一環として、日本の ISS 利用枠を使用して、JEM(きぼう)に係る共同研究促進などの様々な取り組みを今後検討していく。

一方、長期的視野に立つ開発研究の方向性の中で、有人宇宙活動の取り組みについては、次の考え方と目標を示した。

- ◆ 我が国としては、当面独自の有人宇宙計画は持たないが、長期的には独自の有人宇宙活動への着手を可能とすることを視野に入れ、基盤的研究開発を推進。そのため、ISS 計画を通じた有人宇宙活動を今後も継続して実施する。(当面の目標)
- ◆ 当面の取り組みの成果を踏まえ、宇宙の多目的利活用に資する独自の有人宇宙活動を可能とするための必要な準備を進める。準備を進めるにあたっては、有人宇宙活動に関する我が国の将来の目標・ビジョンが、我が国としての明確な意思と戦略に結実していることを見極めた上で、独自の有人宇宙活動への着手の可能性を検討する。(長期的な将来展望)

### 3)利用部会 (ISS 利用専門委員会)の最終報告 [7.2.5-6]、[7.2.5-8]:

平成 14 年(2002)11 月から進められてきた ISS 計画の見直し検討(「利用計画」と「運用・利用体制」の検討)は、平成 15 年 6 月の ISS 利用専門委員会の「中間報告」を経て、JAXA 発足後に新たな検討体制(JAXA 設置の「JEM 民間利用制度検討委員会」、及び、MEXT 設置の「ISS 運用・利用民間活力導入検討チーム」)により、JAXA 及び MEXT の双方で検討が進められた。

JAXA 委員会の検討課題は、①「新しい利用制度」、②「多様な JEM 利用の促進方策」、③「民間の活力に期待した利用促進体制」であった。(JAXA 委員会の検討報告書[7.2.5-5]参照。本報告は ISS 利用専門委員会に報告され、同委員会の最終報告(案)に反映された。) 一方、MEXT の検討チームでは、JEM 運用関連業務(JEM 運用業務、JEM 利用サービス提供業務、HTV 打上げ・運用業務、及び搭乗員養成訓練・運輸訓練)に対して、①「官民協働体制構築対象業務の識別」、②「業務分担・リスク分担」、③「業務実施体制」、④「官民協働体制構築の手法」、⑤「官民協働体制構築スケジュール」が検討課題となった。検討の結果は、平成 16 年(2004)2 月以降の ISS 利用専門委員会に逐次報告され、専門委員会での審議を経て、CSTP の「我が国の宇宙開発利用の基本戦略」を踏まえつつ、平成 16 年(2004)4 月、「我が国の ISS 運用・利用の今後の進め方について(最終報告)」が利用部会報告としてとりまとめられた。

ここでは、利用部会報告(最終報告)について、「利用計画の重点化」(平成 15 年(2003)6 月の中間報告と同じ内容で、7. 2. 4 節(2) 参照)以外の部分について、その骨子を以下にまとめておく。(本節の(4)で、利用部会報告を踏まえて JAXA が実施した、「既存の利用制度の見直し」及び「新たな利用制度の創設」等の概要(骨子)について述べる。)

項目	概要(骨子)
運用業務・利用サービス提供業務における官民協働体制の構築	<p><u>基本的な考え方:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM 等の安全・確実な運用に配慮しつつ、運用期間全体の経費を可能な限り節減し、運用・利用に係るサービスの向上と柔軟性を確保した上で、利用の拡大と多様化を実現する。</li> <li>◆ そのために、国、機構(JAXA)、民間がそれぞれ特徴を活かして有機的に機能できる適切な官民協働体制を構築する。</li> </ul>

	<p><u>国・機構・民間の役割分担:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 国は、ISS 全体の運用計画に関する国際調整、予算確保、我が国の計画に関する政策的な方針設定を行う。利用については、JEM 利用資源配分の方針決定、国として推進する利用分野の重点領域と利用計画を定める。</li> <li>◆ 機構(JAXA)は、国の方針に基づく全体計画管理、安全審査並びに国が行う運用計画の国際調整支援等を行う。利用については、利用資源配分の方針に基づく JEM 利用の実実施計画の策定、共通的に必要となる実験装置等の利用資源の提供・維持・管理を行う。</li> <li>◆ 民間に期待される役割として、民間の自主性と創意工夫の尊重により、民間資金の導入も視野に入れ、民間の経営能力、技術能力及び市場開拓能力を活用すること。また、民間が定常業務を主体的に実施することにより、機構が研究開発業務に集中できることを期待。</li> <li>◆ 国及び機構の役割に係る業務を除いては、定常運用段階までに民間が主体的に業務を実施する体制に移行することを目指す。官民協働体制への移行は、定量的な効果を評価した上で判断する。移行は、技術の確立と習熟の程度を見極め段階的に行う。</li> </ul> <p><u>今後の検討事項:</u></p> <p>以下の課題を検討し、平成 16 年度(2004)中に事業者の選定方法・選定期間を明確化する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 詳細な業務分担・リスク分析</li> <li>◆ 効率化及び民間の事業性に係る評価</li> <li>◆ 具体的な契約方法・条件</li> <li>◆ 民間への確実な技術移転方法</li> </ul>
利用推進のための新しい方策の実現	<p><u>既存制度の見直し:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM利用開始前の利用機会の不足を補い、宇宙環境利用の成果を創出するために、定期的・継続的な宇宙環境利用機会の確保に努める。</li> <li>◆ 「公募地上研究制度」では、今後、初期利用を補強する課題の育成に重点を置くとともに、初期段階以降に宇宙環境利用の成果を創出できる研究を育成するよう見直す。</li> <li>◆ 応用利用分野では、応用展開に資する成果を継続的に創出するために、「先導的応用化研究制度」を発展的に解消し、大学、研究機関等における研究を企業等の利用や事業化に結びつけるために必要な支援を機構が行う。このため、産官学連携体制構築に向けた制度を新設する。</li> <li>◆ 教育利用等の推進については、国際協力も視野に入れ、これらの利用領域を継続的に促進するための環境を整備する。</li> </ul> <p><u>民間等による有償利用枠の創設</u></p> <p>JEM(きぼう)利用に係る一定の費用を負担すれば利用者が主体的に利用し、成果を取得できる制度を新設する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 有償利用については優先枠を設定する。(当初、我が国全体の利用資源の1割から3割程度が目安。)</li> <li>◆ 利用料金の設定は、施設供用の考え方にに基づき、利用に伴って追加的に発生する実費を利用者が負担することを原則とする。また、利用成果の社会還元・普及促進の観点から、成果の帰属と連動した段階的な料金体系を機構が設定する。</li> </ul>

- ◆ 民間の利用サービス提供事業者の導入に向けた検討を行う。
- ◆ 遅延や事故等、利用にあたって想定される具体的なリスク分担・対応方法の明確化、即応性が求められる利用要求に対する利用準備期間の短縮、利用にあたっての制約の緩和等について、必要な方策の検討を行う。

#### (4) 国の方針と施策に基づく宇宙機関の活動と対応状況

利用部会の最終報告の趣旨を踏まえ、JAXA は既存の利用制度(「公募地上研究制度」及び「先導的応用化研究制度」)の見直しを行うとともに、JEM(きぼう)の新たな民間利用を促進するための制度(「有償利用制度」)並びに官民協働体制構築に関する検討が行われた。そのうち、ここでは、既存の利用制度見直しを中心に検討結果の概要を紹介する。(「有償利用制度」の創設、及び「官民協働体制の構築に向けた検討」の紹介はここでは割愛する。「きぼう」有償利用制度の創設の経緯等とその現状については、<http://kibo.jaxa.jp/business/>を参照のこと。)

##### 1) 公募地上研究制度の見直し:

公募地上研究制度の見直しに対する利用部会最終報告の指摘内容は、平成 15 年(2003)6 月の ISS 利用専門委員会の「中間報告」の内容と同等のもので、①「JEM(きぼう)初期段階の利用テーマを確実に実施するための支援」、②「JEM(きぼう)利用開始までの間、成果の早期創出が期待される課題に対して利用機会を確保し提供」、③「JEM(きぼう)定常段階での利用を目指した有望テーマを計画的に発掘する」というものであった。

この指摘と予算節減の要請に同時に対応するために、JAXA(宇宙環境利用センター)の公募制度見直し提案が公募地上研究推進委員会で検討され、その検討結果(新募集方針)に基づいて、平成 16 年(2004)2 月 4 日に第 7 回の公募が開始された。[7.2.5-9] (この見直しは、平成 14 年度(2002)実施の第 6 回公募における見直しに続くものであった。図 7.2.4-5 参照。) この新募集方針は、JEM(きぼう)の実験環境の発展や利用分野の広がりを想定して、JEM(きぼう)の利用フェーズを「初期段階」、「中期段階」、「中期段階以降」に区分し、それぞれの段階に応じて実験テーマの候補が創出されるように「研究区分」の設定を工夫したもので、特に、初期段階のテーマ創出を期待する募集区分(きぼう利用重点課題研究)には予算を重点的に配分するという考え方が採用されていた。この新たな「研究区分」の概要は次のものであった。[7.2.5-9]

研究区分	見直し概要(骨子)
「きぼう」利用重点課題研究 (第 1 優先カテゴリー)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM 初期利用段階の実験候補となる研究課題の発掘を目標に、日本が提供する既存実験装置の利用を前提にした地上研究。</li> <li>◆ 本研究はフライトテーマ募集への応募が目標。</li> <li>◆ 研究費等は最大 3000 万円/年度、研究期間は最長 3 年度。</li> </ul>
次期宇宙利用研究 (第 2 優先カテゴリー)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM 初期及び中期利用段階の実験候補となる研究提案の発掘を目標に、日本が提供する既存実験装置のほか、海外の実験装置、次世代の実験装置(実験インフラ)の利用テーマ創出につながる地上研究。</li> <li>◆ 研究費等は最大 1500 万円/年度、研究期間は 2~3 年度。</li> </ul>
宇宙利用先駆研究 (第 3 カテゴリー)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM の中期利用段階以降に実験候補となる、若手研究者からの提案や、JEM 利用概念の拡大につながるアイデア段階の提案を対象とする地上研究。</li> <li>◆ 第 3 カテゴリーの研究募集に対しても、宇宙実験を目指すとする</li> </ul>

- 選定基準を設けて、科学研究費(萌芽研究)との峻別を図る。
- ◆ 研究費等は最大300万円/年度、研究期間は2年度。

上記の研究区分(募集区分)に加えて、成果の早期創出が期待される研究課題に対して利用機会(予備実験機会)を提供し、また宇宙環境利用の拡大にも資するために、「落下実験施設」と「航空機実験施設」の利用に特化した募集区分(研究費等:旅費程度、研究期間:1~2年度)も新設された。この見直しの状況と新方針の位置付けを図7.2.5-4に、公募地上研究制度の運営形態を図7.2.5-5に示す。

第7回公募に向けた制度見直しの新方針(図7.2.5-4及び図7.2.5-5)については、平成16年(2004)3月19日のきぼう利用推進委員会(第1回)で考え方等の承認は得られたが[7.2.5-9]、ISSという極めて長期に亘る計画の中で、ISS・JEM(きぼう)の有望な利用課題(宇宙実験テーマ)を継続的に創出するための研究支援制度の在り方(「地上研究」、及び、「宇宙で実験し成果を得るまでの一連の研究」を含む)については、本質的な課題(抜本的な対処が必要な課題)があるとの認識から、今後の検討課題に残された。(本件については7.2.6節で再掲する。)

図7.2.5-4 「中間報告」を踏まえた公募地上研究制度の見直しの考え方(概要)  
(第7回(平成16年度(2004))から第9回(平成18年度(2006))に適用)

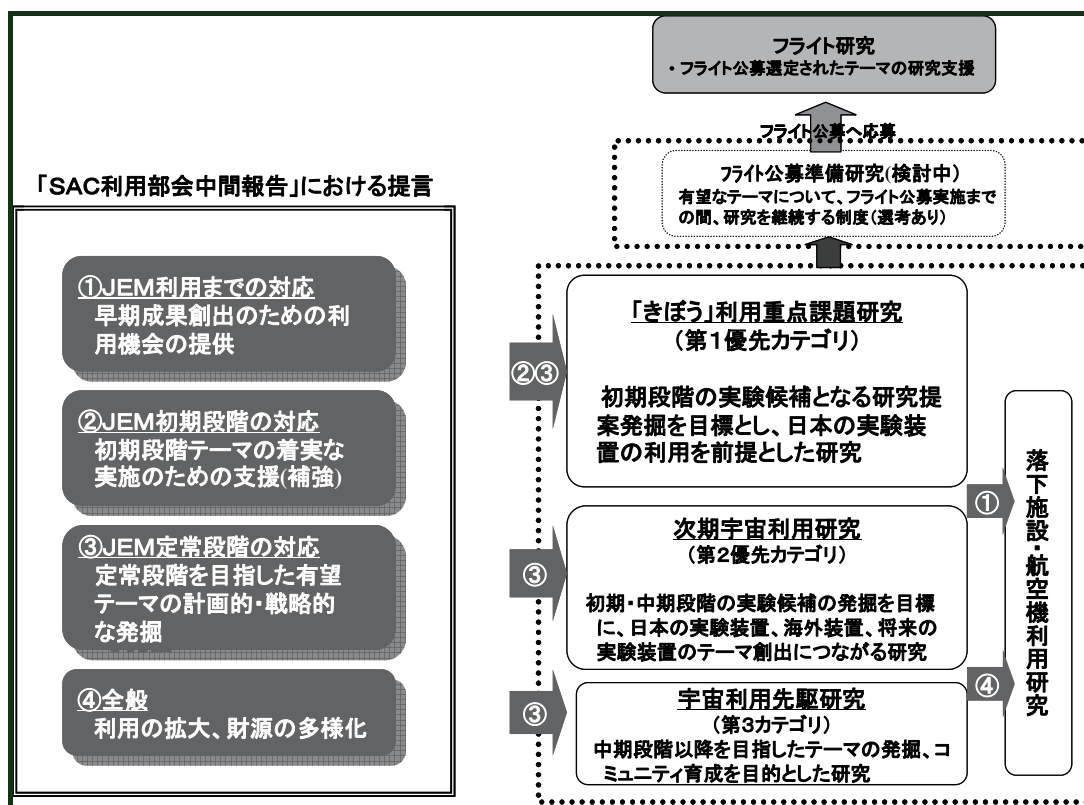
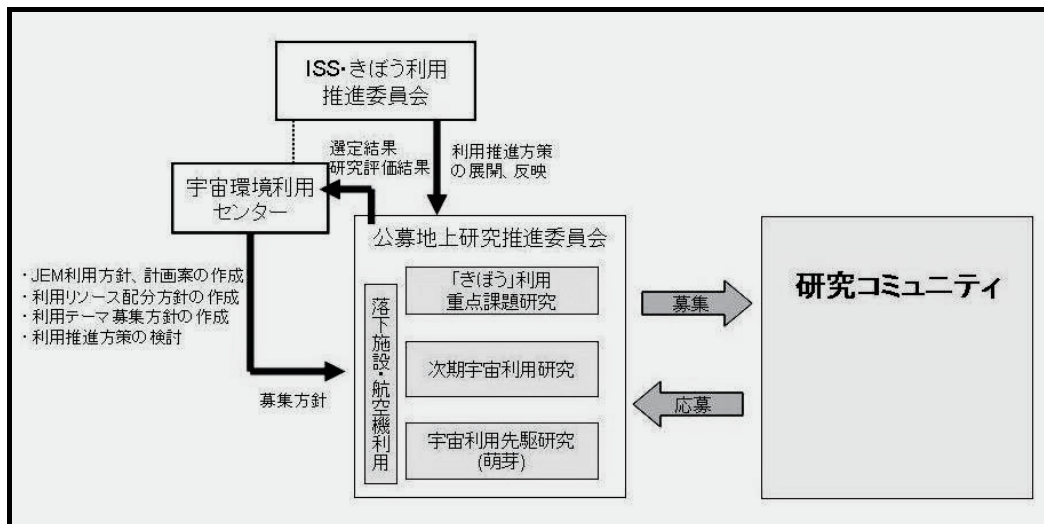


図 7.2.5-5 JAXA における「公募地上研究制度」の運営形態  
(制度運営は JAXA が JSF に委託して実施)



## 2) 新たな応用利用制度の創設:[7.2.5-5]、[7.2.5-10]

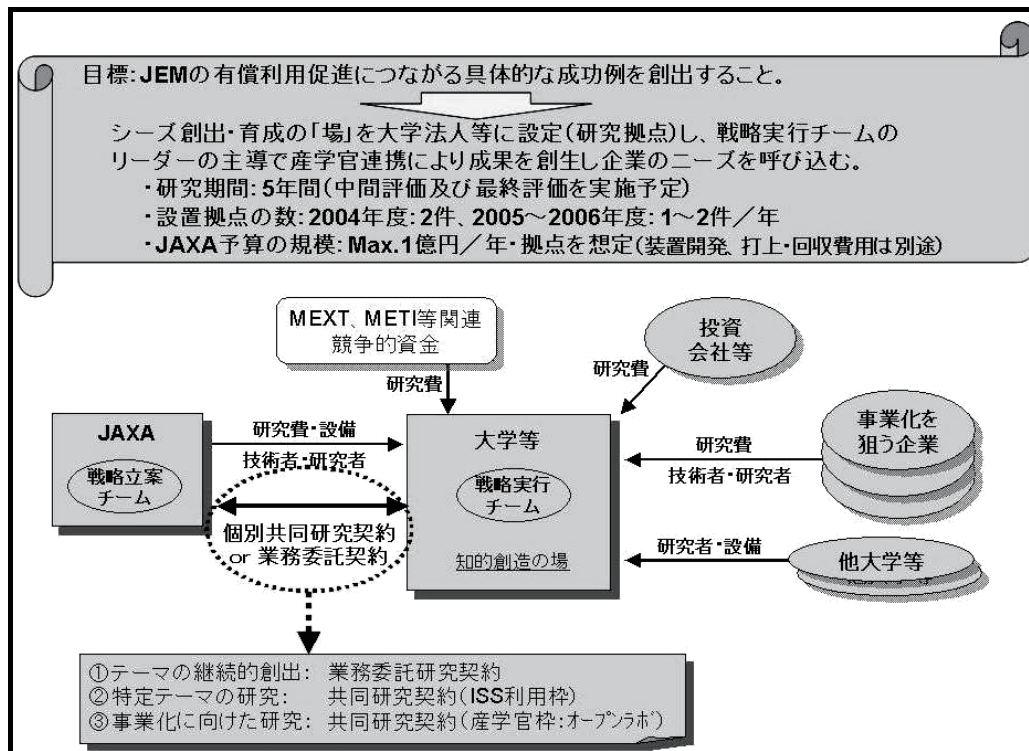
「先導的応用化研究制度」(7. 2. 3. 2 節、及び7. 2. 3. 3 節(1)の3)項を参照)は、「宇宙実験の成果を地上の生産活動や商業ビジネスに目に見える形で役立たせる」ことを目標に、平成 11 年(1999)4 月に創設された NASDA の応用化研究の推進制度であった。制度開始から平成 16 年(2004)4 月までの 5 年間で 34 件の応募があり、このうち 7 件が宇宙実験テーマとして採択された。(蛋白質結晶成長関連 6 件、フォトニック結晶成長 1 件) 蛋白質結晶成長関連のテーマはスペースシャトル(STS-107)を利用した結晶成長実験の実施に至ったが、シャトル事故のために成果を喪失。一方、同時に実施された ISS のロシア SM 利用の結晶成長実験には成功を収めていた。(7. 2. 4 節(3)項 5)の[注釈]<sup>25</sup>参照) また、フォトニック結晶成長は SM 利用の宇宙実験として実験準備中であった。

しかしながら、シャトル飛行の度重なる日程変更(当時の STS-107 のスケジュール変更)、シャトル事故による実験試料の喪失、ISS 計画遅延等の外因によって、平成 16 年(2004)当時、適時の宇宙実験機会の確保が困難な状況に立ち至っていた。このために、時間とコストを重要な判断基準にする民間企業の意識が宇宙環境利用から乖離してしまっていた。また、民間企業の研究開発に対する環境が変化したこともあり、先導的応用化研究への応募件数は漸減、当初の目的を達成することが困難な状況に立ち至っていた。この状況が顕在化してきた折に、利用計画見直し検討を行っていた利用促進検討委員会の利用制度 WG(7. 2. 4 節(2)の図 7.2.4-2 参照)で、新たな応用利用の促進方策(研究拠点構想)が議論され、ISS 利用専門委員会の中間報告に向け、その検討結果が同委員会に提言されていた。その後、JAXA に新たに設置された「JEM 民間利用制度検討委員会」で、「研究拠点構想」([注釈]<sup>30</sup>)が改めて検討され、その結果

[注釈]<sup>30</sup> 研究拠点構想: 『… 近年我が国を取り巻く経済状況から、民間が長期に亘り宇宙環境利用に取り組むのは困難となっている。また、民間は、個別の製品開発のための研究活動から、産学連

がISS利用専門委員会に提案された。(図7.2.5-6参照)

図7.2.5-6 応用利用推進方策の新たな概念



利用部会の「最終報告」に基づいて構築された新たな応用利用の推進体制は、第11章に解説されているので、ここでは概略に留めるが、JAXA に構築された応用利用の新制度(「ISS 応用利用研究拠点制度」、図7.2.5-7参照)の概要は次のものであった。

「ISS 応用利用研究拠点制度」の制度概要:

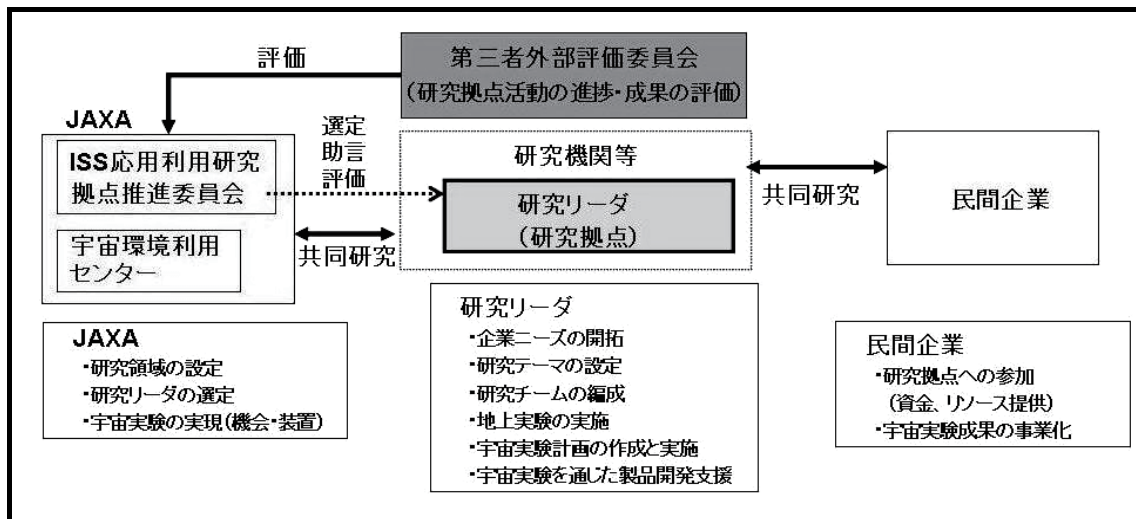
- ◆ JAXA(宇宙環境利用センター)は、宇宙基幹システム本部長の下に「ISS 応用利用研究拠点推進委員会」(以下「委員会」)を組織する。
- ◆ 「委員会」は、地上環境と比較して宇宙環境の優位性が見込める応用利用の「研究領域」を設定し、当該「研究領域」を主たる研究活動領域としている研究者の中から、「研究リーダー」としての役割

携による先駆的な知的財産や技術の創生に向けた取り組みを積極的に推進する方向に転換している。これらの状況に鑑み、今後は、研究開発による産学官の連携を推進している大学、研究機関等に研究拠点を置き、民間と連携して優れた知的財産や関連する技術を創生することにより、将来の JEM 利用につながる応用研究を推進することが望ましい。JAXA は、この新たな研究拠点に対して、宇宙実験機会の無償提供、宇宙実験技術・人材・研究費の提供などの支援を行う。また、研究拠点では、「中間報告」を踏まえ、「新材料の創製」及び「蛋白質の結晶成長」の2分野から着手することが望ましい。・・・この新たな研究拠点構想においては、優れた人材(研究リーダー)の発掘をはじめ、機動的な運営を行う必要があるため、JAXA 内に新たな有識者による応用利用戦略立案チームを設置することが望ましい。・・・』(〔7.2.5-2〕第4章「多様な JEM 利用の促進方策」から抜粋)



- ([注釈]<sup>31</sup>)を担える研究者を探索、適任者を「研究リーダー」として選定する。
- ◆ 研究期間は5年間(中間評価、最終評価を実施)、JAXAの予算規模は最大1億円/年・拠点を想定。(装置開発及び打上げ・回収費は別途) 設置拠点数は平成16年度(2004)2件、平成17年度(2005)～平成18年度(2006)に1～2件/年を想定。
  - ◆ JAXA(宇宙環境利用センター)は、「研究リーダー」の所属する研究機関等との共同研究契約により、当該研究機関等に「ISS応用利用研究拠点」(以下「研究拠点」)を設立、これを運営する。また、「研究拠点」を介して、民間企業との連携活動を展開する。「研究リーダー」は「研究拠点」を活動の拠点として、図7.2.5-6に掲げた研究活動を推進する。JAXAは、研究計画の一部をなす宇宙実験計画の推進(実験機会の確保、実験装置等の開発、宇宙実験の実施など)を担う。「研究拠点」との共同研究に参画した民間企業は、「研究リーダー」の支援を受けて、宇宙実験成果の事業化(製品化と実用化)を推進する。

図 7.2.5-7 ISS 応用利用研究拠点制度の推進体制



JAXAの「応用利用研究拠点推進委員会」は、「研究拠点」運営の一環として、宇宙実験実施の有効性についての判断を基準にして宇宙実験テーマの選定を行い、結果を「きぼう利用推進委員会」に報告、宇宙実験が実施に移される。1研究拠点あたりの資金計画は最大1億円以下とし、5年間を限度に共同研究を進めるとされた。このISS応用利用研究拠点制度によって選定された「研究拠点」(平成16年度(2004)現在)は次のものであった。[7.2.5-1]

研究拠点の名称等	研究目的
◆ [拠点名称]: 「蛋白質結晶生成」研究領域	◆ 微小重力を利用して1Å以下(サブオングストローム)の高分解能の構造解析・機能解析に必要な技術(精製・結晶化・回

[注釈]<sup>31</sup> 「研究リーダー」としての役割: 民間企業のニーズを発掘・開拓、これに応えるために、宇宙実験を要素として包含した研究テーマを設定。当該研究に取り組むための研究チームを編成し、企業とは共同研究により、地上研究を推進する。この活動を推進するための拠点(ISS応用利用研究拠点)は、JAXAが、「研究リーダー」の所属する研究機関等との共同研究契約により、その所属機関に設立する。「研究リーダー」は、地上研究から宇宙実験までの一連の研究計画、宇宙実験計画、及び、企業が宇宙実験の成果を製品開発等の事業化に適用するための支援計画を作成し、また、地上実験並びに宇宙実験等で得られた成果の知財化を行い、適宜論文発表等を行う。

<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ [リーダー]:大阪大学・蛋白質研究所・教授 中川敦史</li> <li>◆ [テーマ名称]:高分解能結晶を利用したサブオンゲストロームレベルの蛋白質構造・機能解析とその応用</li> </ul>	<p>折データ取得・構造解析・機能解析等に関する技術)を確立する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ この技術を活用して得られる、病因蛋白質(ウイルス・寄生虫・疾病関連)や機能性蛋白質の高分解能な構造データに基づき、原子間相互作用や分子の動き等の原子間相互作用機構を解明し、合理的な薬剤設計や蛋白質機能の的確な改質等に資する。</li> </ul> <p>応用例: 副作用の少ない医薬品の実現(抗ガン剤等)、テーラード薬の実現(個人にあった医薬品の開発)、蛋白質の機能の改良(触媒反応等の効率の向上)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ [拠点名称]:「新材料の創製」研究領域</li> <li>◆ [リーダー]:名古屋工業大学・ながれ領域・教授 木下隆利</li> <li>◆ [テーマ名称]:国際宇宙ステーションを利用した新素材の創成とその応用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 微小重力環境の特性を活かした自己組織化を基調とする新しい応用材料を創成する。</li> <li>◆ これを実施するに当たり、宇宙利用システム技術を確立し、下記の2テーマを実施する。             <ul style="list-style-type: none"> <li>①ナノテンプレートの創製と応用 (超撥水・撥油表面の開発と実用化、2次元ナノテンプレートの開発と実用化)</li> <li>②光学回路素子の自己組織的創成と応用 (高分子フォトニック結晶の開発、フォトニックスイッチの開発)</li> </ul> </li> </ul> <p>応用例: 涙液交換をより円滑にしたコンタクトレンズ、汚れの付きにくいディスプレイ、曇らないフロントガラス、光の電池、光スイッチ</p>

### 7.2.5 節の参考文献

- [7.2.5-1] ISS 科学プロジェクト室/宇宙環境利用センター平成 16 年度年報 宇宙航空研究開発機構 特別資料 JAXA-SP-05-005 平成 17 年(2005)10 月
- [7.2.5-2] 「宇宙環境利用科学の推進および ISS・JEM 利用促進に関する答申」国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第 2 回)提示資料(ISS/JEM 委 2-5) 平成 16 年(2004)6 月 11 日
- [7.2.5-3] 「宇宙開発に関する長期的な計画」宇宙開発委員会 平成 15 年(2003)9 月
- [7.2.5-4] 「JAXA 中期目標・中期計画」(平成 15 年度～19 年度)
- [7.2.5-5] 「誰もが利用できる「きぼう」へ」宇宙航空研究開発機構 JEM 民間利用制度検討委員会 平成 16 年(2004)4 月
- [7.2.5-6] 「我が国の国際宇宙ステーション運用・利用の今後の進め方について(最終報告)」宇宙開発委員会・利用部会平成 16 年(2004)4 月
- [7.2.5-7] 「我が国の宇宙開発利用の基本戦略」総合科学技術会議・宇宙開発利用専門調査会 平成 16 年(2004)9 月
- [7.2.5-8] 「宇宙開発委員会 ISS 利用専門委員会における検討状況」国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第 1 回)提示資料 ISS/JEM 委 1-7 平成 16 年(2004)3 月 19 日
- [7.2.5-9] 「第 7 回地上研究公募テーマの募集について」国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第 1 回)提示資料 ISS/JEM 委 1-4 平成 16 年(2004)3 月 19 日
- [7.2.5-10] 「新たな応用利用制度の検討状況について」国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第 3 回)提示資料 ISS/JEM 委 3-11 平成 16 年(2004)10 月 13 日

### 7.2.6 JEM(きぼう)の運用利用開始に向けた利用準備活動

—第1期利用の運用利用開始に向けた利用準備と第2期以降に向けた取り組み—  
(平成18年(2007)～平成20年度(2008))

#### (1)宇宙ステーション・JEM(きぼう)を取り巻く状況と課題

コロンビア号の事故から約2年半が経過した平成17年(2005)7月26日、ISSへのスペースシャトルの飛行が再開された。NASAは再開フライトの準備の一環として、ISSの組立てに必要なスペースシャトルの飛行回数を削減するための「ISS完成形態」の検討を進めてきたが、平成17年(2005)9月30日、国際パートナーにその検討状況を次のように説明した。[7.2.6-1]

- ◆ 今後のISSへのスペースシャトル飛行回数は最大で18回とする。
- ◆ 国際パートナーの実験棟組立に必要な基盤整備の上げを優先、その後直ちに、国際パートナーの実験棟を打ち上げる。
- ◆ 日本の実験棟JEM(きぼう)は、予定している3便全てを打ち上げる。
- ◆ JEM(きぼう)打上げ費用の代替として日本が開発中の「生命科学実験施設(セントリフュージ)」は、NASAの「新宇宙探査計画」には必要ないと判断し、打上げは取り止める。

「生命科学実験施設を打上げない」というNASAの決定は、軌道上研究所としてのISSの科学的価値を低下させることにつながり、特に、生命科学分野(宇宙医学分野を含む)の研究者に極めて大きな衝撃を与えた。関連学会等を通じて世界の研究者から決定見直しの要望がNASA並びにISS計画参加の各国宇宙機関に提示されたが、ISSの組立計画に生命科学実験施設が再度組み込まれることはなかった。

スペースシャトルの飛行再開と退役までの飛行回数の確定に伴って、ISSの完成形態とその組立スケジュール等が明確になり、平成18年(2006)3月に開催された宇宙機関長会議で次のことが確認された。[7.2.6-2]

- ◆ ISSの完成形態(図7.2.6-1参照)(生命科学実験施設、ロシア科学電力モジュール、AMS等の打上げ中止に伴う9フライトの削減を含む)
- ◆ 今後の16回のスペースシャトル飛行で、2010会計年度(米国)の初期にはISSの組立を完了。
- ◆ 欧州のコロンバスモジュール、日本のJEM(きぼう)の打上げ順を繰り上げて実施。
- ◆ 平成18年(2006)7月のシャトル飛行で搭乗員(2人体制から)3人体制を実現、その後、平成21年(2009)には6人体制に移行。

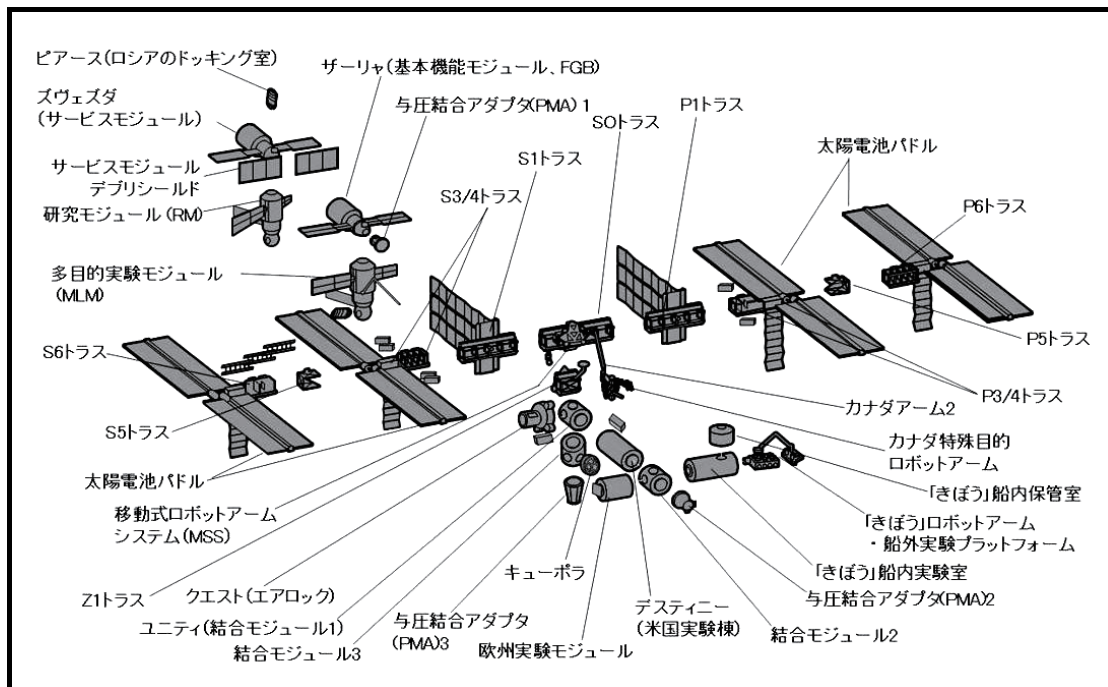
平成18年(2006)3月時点でのJEM(きぼう)等の打上げ予定は、“1J/A”(船内保管室を輸送)及び“1J”(船内実験室及びロボットアームを輸送)が平成19年度(2007)の実施予定、“2J/A”(船外実験プラットフォーム及び船外実験パレットを輸送)が平成20年度(2008)の実施予定とされた。また、HTV-1([注釈]<sup>32</sup>)が平成21年度(2009)の打上げ見込みという状況であった。[7.2.6-2] (実際のJEM(きぼう)関連の打上げ実施日は[注釈]<sup>33</sup>。)

[注釈]<sup>32</sup> HTV-1: H-IIBで打ち上げるHTV1号機でJEM(きぼう)に設置する実験装置を搭載。

[注釈]<sup>33</sup> 実際のJEM(きぼう)関連の打上げ実施日: 平成20年(2008)3月11日に“1J/A”(船内保管室)、同6月1日に“1J”(船内実験室とロボットアーム)、平成21年(2009)7月16日に“2J/A”(船外実験プラットフォーム、船外パレット、船外実験装置MAXI及びSEDA-AP)、そして同年9月11日に「HTV技術実証機」(船外実験装置SMILES搭載)が、それぞれ打上げられた。

図 7.2.6-1 ISS の完成形態 [7.2.6-2]

(平成 18 年(2006)3 月 2 日開催の宇宙機関長会議における NASA 提示資料から)



一方で、平成 18 年(2006)9 月現在の JEM(きぼう)と HTV の開発及び打上げ準備の状況、運用システムの準備状況は次のものであった。[7.2.6-2]

	準備状況
船内実験室	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 平成 15 年(2003)5 月～6 月に、TKSC から KSC へ輸送。</li> <li>◆ 平成 16 年(2004)3 月まで輸送後機能試験を実施、その後機能維持中。</li> <li>◆ 打上げ約 1 年前からシャトル搭載に向けた作業を再開の予定。</li> </ul>
船外保管室、船外実験プラットフォーム、船外パレット、及び、ロボットアーム	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ TKSC で機能維持中。</li> <li>◆ 打上げ約 1 年前から KSC への輸送・打上げ準備作業を開始する予定。</li> <li>◆ 船内保管室、ロボットアームは平成 18 年度(2006)KSC へ輸送の予定。</li> </ul>
JEM 運用管制システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 運用管制システム及び手順検証・訓練のためのシミュレータの開発完了審査を平成 17 年(2005)3 月に実施。</li> <li>◆ JEM 衛星間通信システム(ICS:船外実験プラットフォームに設置)と運用管制システムのインターフェイス確認試験を実施中。</li> </ul>
運用準備	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM の運用文書・手順書等を整備中、運用管制要員を訓練中。</li> <li>◆ 平成 17 年(2005)10 月～11 月に、無重量環境試験設備を使用した JEM 及び HTV の船外活動設計・運用手順検証試験(第 6 回)を実施。</li> <li>◆ JEM 運用初期の補用品を整備中。</li> </ul>
HTV の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 詳細設計審査(CDR)#2 を平成 18 年(2006)3 月に完了。</li> <li>◆ 技術実証機(HTV-1)の製造を本格化。</li> <li>◆ HTV 運用管制システムの詳細設計審査(CDR)を平成 17 年(2005)5 月に完了し、ソフトウェア開発を実施中。</li> </ul>

「JEM(きぼう)利用計画の見直し」として平成15年度(2003)から本格化した、JEM(きぼう)利用の重点化・多様化・民間利用促進等に関する SAC の調査審議は、利用部会報告(平成16年4月の最終報告)をもって一段落し、その後は、利用部会報告の方針を具体化するために、JAXAにおいて「既存利用制度の見直し」、「有償利用制度の創設」、「官民協働体制の構築」のための検討が進められた。公募地上研究制度の運営見直しとともに、先導的応用化研究制度を発展的に解消して ISS 応用利用研究拠点制度を新たに創設する状況については、前節(7.2.5節)で概要を述べた。平成18年度以降、引き続き JAXA では、「有償利用制度」と「官民協働体制構築」の具体的な検討と制度構築が進められたが、説明は割愛する。[\(http://kibo.jaxa.jp/business/を参照\)](http://kibo.jaxa.jp/business/)

一方、平成20年(2008)5月21日、議員立法で宇宙基本法が成立した。同法は同年8月27日から施行され、内閣総理大臣を本部長とする宇宙開発戦略本部(以下、「戦略本部」)が内閣に設置された。戦略本部は、その後、宇宙基本計画を策定するための調査審議を行い、平成21年(2009)6月2日、戦略本部決定として我が国初の「宇宙基本計画」が策定された。[7.2.6-3] 宇宙基本計画における ISS 計画の取扱い等については、我が国の「有人宇宙プログラム」並びに「JEM(きぼう)利用」等の項で言及がなされているが、今後特に、平成28年(2016)以降の ISS 運用延長の関わりで、戦略本部の判断決定が求められることになる。その際に、宇宙基本計画における ISS 計画の位置付けが改めて検討されることになるが、ここでは言及しない。([注釈]<sup>34</sup>ISSの運用利用延長)

このような周辺状況の下で、「JEMの第1期利用」(利用開始から2年間程度の期間)の実験実施準備、「JEMの第2期利用」(第1期利用に続く2年間程度の期間)の実験テーマの募集・選定等の実験準備が進められて行くが、本節では、平成18年度(2006)から平成20年度(2008)における「JEM(きぼう)の利用開始に向けた準備状況と課題」について概観する。尚、JEM(きぼう)の利用期間の呼称については、平成20年(2008)～平成22年(2010)中頃を「第1期」、平成22年(2010)中頃～平成24年(2012)頃を「第2期」、平成25年(2013)頃～平成27年(2015)頃を「第3期」と呼ぶようになっていたので、以後この呼称を用いる。

## (2) JEM 第1期利用に対する準備及び JEM 利用に向けた取り組みの状況

### 1) 利用計画策定方針:

利用部会の「JEM(きぼう)利用計画の重点化方針」を踏まえ、きぼう利用推進委員会(平成17年(2005)3月25日開催)で「JEM 第1期における利用計画策定方針」[7.2.6-4]が設定された。方針は、「搭載実験装置」、「分野別のリソース配分方針」、「分野別の方針」からなり、その概要

---

[注釈]<sup>34</sup> ISSの運用利用延長: 宇宙開発戦略本部は、平成22年(2010)8月27日、SACの「国際宇宙ステーション特別部会」での調査審議を踏まえて、『我が国としては、平成28年以降もISS計画に参加していくことを基本とし、今後、我が国の産業の振興なども考慮しつつ、各国との調整など必要な取組を推進する。また、将来、諸外国とのパートナーシップを強化できるよう、宇宙ステーション補給機(HTV)への回収機能付加を始めとした、有人技術基盤の向上につながる取組を推進する。』として、平成28年(2016)以降もISS計画に参加していくことを決定した。(2020年頃までの5年間のISS運用利用の延長。)

<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/utyuu/kettei/100827/suisin.pdf>

は次の通りであった。

	利用計画策定方針
搭載実験装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 船内実験：細胞ラック、流体ラック、勾配炉(温度勾配炉)ラック、高精度 TV カメラ</li> <li>◆ 船外実験：宇宙環境計測ミッション機器(SEDA-AP)、全天 X 線監視装置(MAXI)、超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES)</li> </ul>
分野別のリソース配分	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 科学利用分野：準備中のテーマを平成 22 年(2010)半ばまでに実施するため、60%程度の利用リソースを確保。</li> <li>◆ 応用利用、技術開発、一般利用：新しい分野の利用開拓として、各々、5~10%程度の利用リソースを確保。</li> <li>◆ 有償利用：5~15%程度のリソースを段階的に配分。</li> </ul>
分野毎の方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 船内実験室を利用する科学分野については、テーマの実施順位を設定。(利用部会報告を踏まえる。)</li> <li>◆ 応用利用、技術開発、一般利用の分野については、実施計画を具体化し、きぼう利用推進委員会に報告。</li> <li>◆ 有償利用については、実施の枠組み・体制を整備してテーマの具体化を図る。</li> </ul>

2)ISS・JEM(きぼう)の利用計画(骨子)：

国際調整を経た利用計画の設定及び調整の状況は、JEM(きぼう)の船内実験室の利用開始を半年後に控えた平成 20 年(2008)2 月の時点で、次のものであった。(「ISS/JEM 委 9-5-2」の一部を転載。)[7.2.6-5]

◆ 利用計画の設定状況

2010年度半ばまでの第1利用期間に完了することを目標に、利用計画の調整を進めている。

－ インクリメント 16&17 (2007年10月～2008年9月)

- ・本期間における実施内容について、国際合意済み。
- ・船内実験室(1J)の打上げ、機器等の検証終了後(2008年夏)より、利用リソースが割り当てられるため、リソースが少ない活動や国際協力を中心に実施予定。

	船内科学	技術開発	一般利用	有償利用	国際協力
課題数	3	2	8	選定中	2

－ インクリメント 18&19 (2008年10月～2009年9月)

- ・詳細運用利用計画について国際調整を実施中。
- ・2009年春頃からの6人体制、HTVIによる補給などにより、本格的な利用が可能。

	船内科学	船外実験	応用利用	技術開発	一般利用	有償利用
課題数	7	3	1	3	4	選定中

－ インクリメント 20以降 (2009年10月～)

- ・今後、国際調整を実施予定

	船内科学	船外実験	応用利用	技術開発	一般利用	有償利用
課題数	8	3	3	2	未定	今後予定

◆ 応用利用、技術開発、一般利用、有償利用の検討状況

－ 各分野の取組状況、第1期での計画等については、資料「JEM利用に向けたJAXAの取組み状況(ISS/JEM委9-6-1)」にて報告。

## 3) 科学利用分野の概況:

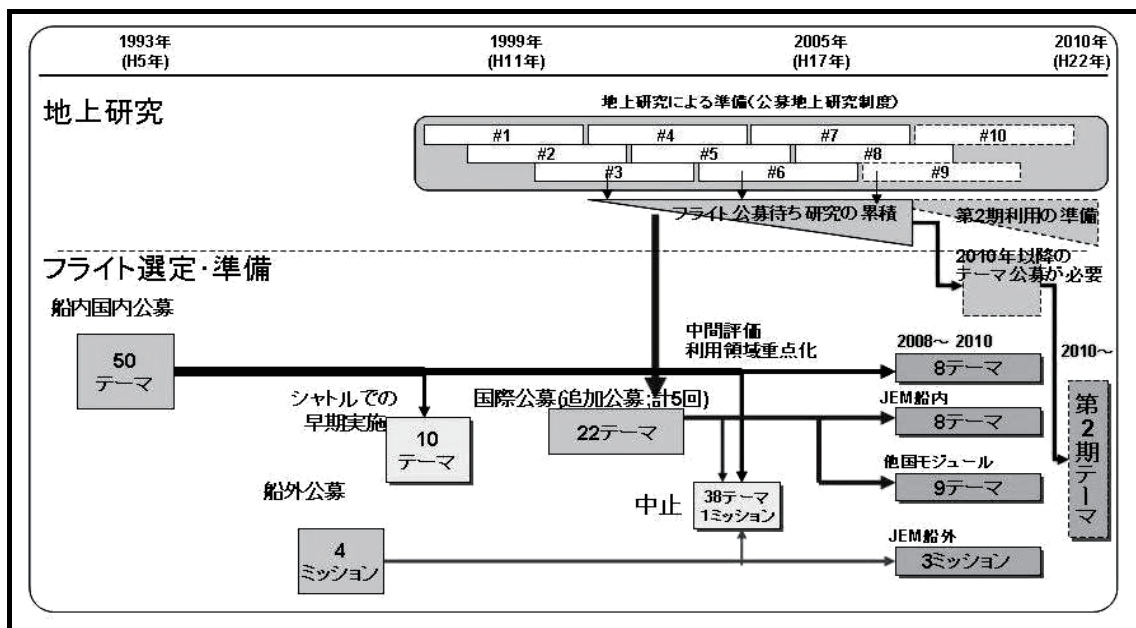
科学分野(「生命科学」、「物質・材料科学」、「曝露環境利用」(天体・地球等の科学観測))の利用テーマ準備状況(平成5年(1993)～平成20年(2008))は次の通りであった。(利用テーマ準備の歴史的な変遷を理解する助けとして図7.2.6-2を参照。)[7.2.6-6]

利用テーマ/分野	準備状況(歴史的経緯を含む)
第1期科学利用 (船内実験 科学利用の領域)  科学利用分野: ①流体物理 ②結晶成長 ③界面科学 ④重力生物学 ⑤放射線生物学 ⑥植物生理学 等	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM の運用利用開始(平成11年(1998)頃を想定)から半年程度で実施する利用テーマを募集、平成5年(1992)7月、SACは50件を一次選定。</li> <li>◆ その後、ISS計画の見直し等による計画の遅延に対応するために、一次選定テーマの中から、シャトル利用の実験条件(最大2週間の実験期間、共通実験装置以外の装置利用)に適合可能なテーマを抽出し、研究委員会の最終選定を経て、シャトル利用早期実験として10テーマを実施。</li> <li>◆ ISS計画の遅延によるJEM利用開始時期の不確定性のために、国内における本格的なテーマ公募は見合わせ、それに替わって、各国際パートナーが準備する装置を国際的に相互利用する国際公募に平成10年(1998)から参加。研究委員会は、国際公募で選定された22件も第1期の科学利用テーマとして追加選定。</li> <li>◆ 平成14年(2002)、研究委員会は一次選定テーマ等の中間科学評価を実施。(中間科学評価の結果、及びISS計画の遅延等により、JEM利用テーマ候補38件が辞退又は中止に。)また、平成15年(2003)に、ISS利用専門委員会でJEMの利用計画重点化の検討が行われた。</li> <li>◆ ISS計画見直しで利用可能なリソースが減少(平成18年(2006)3月時点)した場合でも、当時準備中であった実験テーマ(JEM利用16件、JEM以外の利用9件、合計25件)は、ISS利用可能リソースにより、2010年半ばまでには実験を完了できる見通しを得ていた。</li> </ul>
第1期科学利用 (船外実験 科学観測の領域)  科学観測分野: ①天体観測 ②地球大気観測 ③宇宙環境計測 等	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM曝露部初期利用ミッション(JEMの運用開始から3年程度の間実施する実験ミッション)が公募され、研究委員会は、平成9年(1997)3月、4課題を選定。当時の利用開始時期は、平成13年度(2001)又は平成14年度(2002)を想定。その後、ミッション開発の予算認可を経て、ミッション開発に移行。</li> <li>◆ ミッション開発の進捗と、ISS計画の遅延によるミッションへの科学的影響を評価するために、平成14年(2002)、研究委員会は中間科学評価を実施。この結果、1ミッション(光通信実験ミッション)の中止を決定。JEMの利用計画重点化を検討していたISS利用専門委員会に報告。</li> <li>◆ 平成18年(2006)の時点で、1ミッション(宇宙環境計測ミッション)は開発完了、2ミッション(全天X線監視ミッション、超伝導サブミリ波リム放射サウンドミッション)は装置開発中という状況であった。いずれも、JEM船外実験プラットフォームの軌道上設置とともに、実験を開始できる見通しを得ていた。</li> </ul>

(「研究委員会」:NASDA時代の宇宙環境利用研究委員会)



図 7.2.6-2 JEM 利用(科学利用分野)のテーマの準備状況  
(平成 18 年(2006)9 月現在の状況) [7.2.6-6]から転載



4) 科学利用分野以外の分野でのJEM利用に向けた取り組みの概況:

応用利用、有人技術開発(技術開発)、有人技術開発(宇宙医学生物学研究)、一般利用(教育、文化利用、アジア利用)、有償利用のJEM(きぼう)利用に向けた取り組み概況(平成20年(2008)2月現在)は次の通りであった。[7.2.6-7]

◆ 応用利用分野:

宇宙環境利用の産業応用への有効性を実証するために、JEM(きぼう)利用に至るまでの宇宙実験機会を活用した宇宙実験計画の推進、JEM(きぼう)利用第1期における実験計画の準備(応用利用拠点系の実験計画)が進められていた。具体的には、これまでのISS(SM)利用を通じて宇宙環境利用の有効性が示されつつあった蛋白質結晶生成を中心に、ナノ材料の領域についても、産業界、研究機関と連携して宇宙環境を利用した研究開発を継続的に実施し、宇宙実験で得られた成果を地上の製品開発等に应用するなど、地上活動への貢献を目指した取り組み(応用利用研究拠点の活動)が進められていた。また、JEM(きぼう)の新しい応用利用の方向を様々に模索し議論するための場(きぼう利用フォーラム)を形成し、新規のJEM(きぼう)応用利用ミッションを創出するための取り組みも開始されていた。その準備状況は次の通りであった。

利用機会/取り組み等	実験計画等
JEM(きぼう)利用に先立つロシア SM の利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ タンパク質結晶生成宇宙実験計画(平成 19~20 年度上期)</li> <li>◆ 3次元フォトニック結晶生成宇宙実験計画(平成 16~20 年度上期)(先導的応用化研究)</li> <li>◆ 蛋白質構造解析(応用利用研究拠点/大阪大学)(平成 16~20 年度)</li> </ul>
JEM(きぼう)の第1期利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 新素材の創製(応用利用研究拠点/名古屋工業大学) 「2次元ナノテンプレートの創製」及び「高機能フォトニック結晶の創製」</li> <li>◆ 界面ダイナミクス(応用利用研究拠点/東京理科大) 「ナノ多孔質性材料(ナノスケルトン)の創製」</li> </ul>

	(平成 20 年度、21 年度に宇宙実験)
新しい応用利用分野 推進の取り組み	◆ 新しい JEM 利用ミッションの創出を目指す場を形成 (平成 21 年度、「きぼう利用フォーラム」としてスタート) <a href="http://kiboforum.jaxa.jp/about/index.html#top">http://kiboforum.jaxa.jp/about/index.html#top</a>

◆ 有人技術開発(技術開発):

宇宙環境利用の高度化を支える技術のうち、LEO の JEM(きぼう) 環境の有効利用と、JEM(きぼう) の船内放射線環境を評価するための技術開発に特化して、JEM(きぼう) の第 1 期利用の当面の準備が進められていた。具体的には、高精細度 TV システムによる高精細度映像取得と、JEM(きぼう) の船内放射線環境評価のための定常的なデータ取得で、その準備状況は次のものであった。

技術開発項目	概要
高精細度 TV システム	◆ 多様な高精細度映像取得ニーズに対応(当面の用途は、民間の利用、宇宙飛行士の健康管理、実験データの取得、教育や広報用映像の取得) ◆ NASA との協力で「撮影&伝送システム」を ISS に搭載、平成 20 年に 2 つ目のシステムを JEM に搭載
きぼう船内定点放射線環境モニタリング	◆ 宇宙実験提案者に対する JEM(きぼう) 船内の放射線環境情報の提供、及び、宇宙飛行士の個人被曝線量管理の高精度化 ◆ JEM(きぼう) 船内の定点に 12 個の受動型積算線量計を設置 ◆ 平成 20 年度から計測を開始、年 1~2 回の回収/交換で、継続的に線量を計測

◆ 有人技術開発(宇宙臨床医学研究、及び宇宙基礎医学研究(宇宙医学生物学研究)):

本格的な長期宇宙滞在の開始、ISS 以降の有人探査計画を見据えて、従来から進めてきた臨床医学研究に加えて、基礎医学研究(宇宙医学生物学研究) ([注釈]<sup>35</sup>) への取り組みに着手した。JEM(きぼう) 第 1 期利用の準備状況は次のものであった。

研究分野	概要
宇宙臨床医学研究	◆ <u>5 分野で重要課題</u> ([注釈] <sup>36</sup> ) を設定、地上研究及び ISS での研究を準備中

[注釈]<sup>35</sup> 宇宙医学生物学研究: 平成 19 年(2007)4 月に JAXA に宇宙医学生物学研究室(向井千秋宇宙飛行士が室長)が設置され、有人宇宙技術開発の一環として、基礎医学研究(宇宙医学生物学研究) への重点的な取り組みが開始されている。その目的は、長期宇宙滞在が人体に与える影響を研究して医学的リスクを軽減し、より安全で効率的な宇宙滞在の実現を目指すこと。このために、ヒトを対象にした医学的課題に取り組むとともに、モデル生物を用いて生体に及ぼす宇宙環境の影響とその発生メカニズムの解明、有効な医学的対策の確立などを目指して、基礎生物学的課題(バイオメディカル研究)にも取り組んでいる。当面は、ISS に長期滞在する際の健康管理技術の向上を主な目的に据えているが、将来の月・火星等の有人宇宙探査も視野に入れた研究活動も開始されている。同研究室が取り組んでいるのは、「生理学的対策」、「精神心理支援」、「放射線被曝管理」、「軌道上医療」、及び「船内環境」の 5 つの研究領域である。

([http://www.jaxa.jp/article/interview/vol47/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/article/interview/vol47/index_j.html) 参照。)

[注釈]<sup>36</sup> 5 分野の重要課題: 宇宙医学分野の研究対象(臨床及び基礎)として、①「生理的対策」、②「精神心理支援」、③「放射線被曝管理」、④「軌道上医療システム」、及び⑤「宇宙船内環境」の 5 分野で重点課題が設定されている。

	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 生理対策(骨量減少・尿路結石予防)、放射線被曝管理(受動型個人線量計の軌道上検証、バイオドシメトリ)、軌道上医療システム(HDTV利用、小型デジタルホルター心電計の軌道上実証、生体リズム研究)への取り組みを準備中。</li> </ul>
宇宙医学生物学研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 第2期利用での宇宙実験、地上研究、第3期に向けた宇宙実験などを想定し、基礎医学研究(バイオメディカル研究)の視点から5分野の最重要課題を検討中</li> <li>◆ 宇宙医学生物研究を総合的、計画的に推進するための拠点の構築</li> </ul>

◆ 一般利用:

宇宙飛行士による軌道上での簡易実験などの科学教育ミッション、人文社会科学分野(芸術分野など)のパイロットミッションの実施を通じて、より多くの国民の科学・技術や宇宙開発への関心を喚起し、国民のJEM(きぼう)利用への参加を実現する。また、アジア諸国によるJEM(きぼう)での研究・利用ミッションの実現に向けて、地上研究や予備実験手段の利用での協力から、JEM(きぼう)を利用した宇宙実験での協力へと段階的に発展させる。このための準備状況は次の通りであった。

分野	概要
教育利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 科学教育ミッションの準備: JEM第1期利用のJEM教育利用ミッション。植物種子、ミジンコ卵などをJEMに搭載、地上回収後に学校・科学館等に配布し、宇宙環境に晒されたものと地上のものについて、生育等の比較実験を行う。</li> <li>◆ 学生航空機実験コンテストの実施: 学生の宇宙環境利用の理解・関心を喚起し、人材育成にも寄与することを狙い、第5回コンテストを実施。応募45テーマから、選定委員会で採択された5テーマについて、航空機実験を平成19年(2007)12月に実施。</li> </ul>
文化利用 (文化・人文 社会科学利用)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 文化・人文社会科学利用パイロットミッションの実施: JEM第1期利用として、宇宙環境を利用する文化・人文分野のアイデアを募集、<u>選定委員会</u>([注釈]<sup>37</sup>)において、応募24件から宇宙実験候補として10件を選定、その後の中間評価を経て、JEM第1期利用の宇宙実験として準備中。</li> <li>◆ 連詩: 大岡信氏監修で、宇宙・地球・生命をテーマにした連詩を、公募(国内外)と寄稿(詩人、著名文化人)で編纂、完成した連詩をDVDに記録してJEMに打上げ保管。第1回は平成18年時実施、現在2回目を実施中。</li> </ul>
アジア利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM利用の拡大と多様化に資するため、JEM第2期以降に、アジア地域とのJEM利用の共同研究・共同利用ミッションを実施すべく準備中。</li> <li>◆ 現状の取り組み: ①JEM利用に向けたFSの実施、②APRSAFの宇宙環境利用分科会の活用、③アジア宇宙飛行士(マレーシア、韓国)のISS搭乗時の協力、④アジア地域の学生を対象とした学生航空機実験コンテストの実施など。</li> </ul>

◆ 有償利用: 利用部会報告に基づいた JAXA での検討により、次の取り組みを進め、JEM(きぼう)の利用開始当初(平成20年6月以降)から実施するテーマを公募中。

有償利用の目的	有償利用の進め方
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM(きぼう)利用者の多様化・拡大を図り、その利用を促進</li> <li>◆ 利用者が利用料金を支払うことにより、JEM(きぼう)の利用成果が利用者</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 平成20年度及び21年度の実施分: JEM(きぼう)利用開始当初からの実施を実現するために、JAXAが早期にテーマを公募</li> <li>◆ 平成22年度からの実施分: ISSの6人体制の実現</li> </ul>

[注釈]<sup>37</sup> 選定委員会: 文化・人文科学パイロットミッション選定委員会(外部有識者で構成)

に属する枠組みを構築

見通しが確認できた段階で、公募により「きぼう有償利用とりまとめ企業」を選定(平成 20 年度後半予定)、選定された民間企業が自主事業として実施  
[http://kibo.jaxa.jp/business/jigyosha\\_bosyu/](http://kibo.jaxa.jp/business/jigyosha_bosyu/)

### (3)JEM 第 2 期利用に対する準備

ISS・JEM(きぼう)の軌道上設置と運用開始の時期が確定したことに伴い、2010 年中頃から始まる JEM(きぼう)の第 2 期利用に向けて、これまで見送られてきた利用テーマの国内公募を再開すべき時期になっていた。(平成 18 年(2006)9 月時点の概況は図 7.2.6-2 参照。) その募集方針および利用方針(利用の方向性)の設定は、ISS・JEM(きぼう)を取り巻く環境(本節(1)項)を踏まえつつ、次の条件を考慮することが前提とされた。[7.2.6-8]

- ◆ ISS 関連経費の強い削減要求
- ◆ 第 2 期利用の開始まで約 4 年(ISS の運用終了まで 6 年程度)
- ◆ スペースシャトルの退役による実験輸送量の激減(実験装置は 500kg/年、実験試料等は 500kg/年、特に、実験試料の回収は極めて制約的)

平成 15 年(2003)に行われた NASDA 宇宙環境利用検討委員会の「利用重点化の検討」及び「各利用分野の中長期展望の検討」(第 7. 2. 4 節(2)項参照)、JAXA 発足後の「宇宙環境利用科学委員会の研究班 WG」の活動実績([注釈]<sup>38</sup>)及び「公募地上研究の成果」([注釈]<sup>39</sup>)等を

---

[注釈]<sup>38</sup> 「宇宙環境利用科学委員会の研究班 WG」の活動実績：研究班 WG 設置の概況は 7. 2. 5 節の(2)項に示したが、その活動状況と実績(平成 20 年度の時点)は次の通りであった。(以下、[7.2.6-9]から転載。)

『概要： JAXA 設立の翌年度の平成 16 年以来、JAXA 宇宙科学研究本部・宇宙環境利用科学委員会は、大学共同利用システムにより、物質科学、基礎科学、生命科学および関連する技術開発の各分野の研究者コミュニティの活動を支援し、以って宇宙環境利用科学の一層の発展に資するため、研究班 WG の枠組みを整備し、推進して来た。この活動は、研究活動提案を持つ研究グループを、国内研究コミュニティに対し公募するものであり、対象の研究分野は、宇宙環境利用科学委員会の研究班の構成に沿って物質科学、基礎科学、生命科学および宇宙環境利用技術開発の各分野である。研究班 WG の採択数は年々増加、今年度(平成 20 年度)は、96件が採択され、参加研究者数は、1000 人余となっている。活動目標も、関連研究者により広く議論を行うものから、ISS・きぼう利用実験を含む、宇宙環境利用実験を具体的に目指したものまで、広範となってきている。』

『研究班 WG 設置件数の実績： H16 年度(JAXA 発足の翌年)44 件、H17 年度 60 件、H18 年度 69 件、H19 年度 92 件、そして H20 年度 96 件。』

[注釈]<sup>39</sup> 公募地上研究の成果：公募地上研究からの ISS・JEM(きぼう)利用実験等の宇宙実験テーマ創出件数(平成 21 年 12 月時点の実績)

踏まえて、JAXA の JEM 利用推進体制（[注釈]<sup>40</sup>を参照）の協力連携の下で、平成 18 年（2006）夏頃から JEM（きぼう）の第 2 期利用についての本格的な検討が開始された。検討された方針案等は、きぼう利用推進委員会（[7.2.6-8]第 7 回・平成 18 年（2006）12 月 25 日開催、及び [7.2.6-10]第 8 回・平成 19 年（2007）4 月 27 日開催）で討議及び審議され、その結果等が反映されて、平成 19 年（2007）7 月、きぼう利用推進委員会の方針として、「きぼう」第 2 期利用の方向性 [7.2.6-11] が取りまとめられた。

ここでは、「きぼう」第 2 期利用の方向性（利用の取り組み方針、利用促進方策、利用の目標と課題、分野毎の目標と方向性など）と、この方針のもとで実施された「きぼう船内実験室第 2 期利用に向けた候補テーマの募集」及び「きぼう船外実験プラットフォーム第 2 期利用に向けた候補ミッションの募集」の概況をまとめる。この「第 2 期利用の方向性」では、「利用の取り組み方針」及び「利用促進方策」に関して、公募地上研究制度と研究班 WG における研究コミュニティ育成方針とを両立させることができず、後に課題を残すことになる。この状況については、本節の（4）で触れることにする。

#### 1) 第 2 期利用の取り組み方針:

第 2 期の利用の取り組み方針として、利用形態に応じた 3 つの方針①コミュニティに開かれた利用、②JAXA が計画的・重点的に進める利用、③有償利用が導入された。その概要は次のも

「きぼう」などの宇宙実験テーマ公募		応募状況	応募数	内、公募地上 研究関連提案	採択数	内、公募地上 研究関連提案
ライフサイエンス・宇宙医学分野国際公募	第2回 (平成10年度)	代表研究者 で応募	46	29	5	2
	第3回 (平成11年度)	代表研究者 で応募	25	11	1	1
	第4回 (平成13年度)	代表研究者 で応募	19	9	6	3
	第5回 (平成16年度)	代表研究者 で応募	7	5	5	1
	第6回 (平成21年度)	代表研究者 で応募	21	14	5	5
微小重力科学分野国際 公募	第1回 (平成13年度)	代表研究者 で応募	19	13	5	1
		共同研究者 で応募	19	不明	3	2
STS-107ラットサンプル シェア実験	(平成13年度)	代表研究者 で応募	17	9	9	6
船外実験プラットフォーム 利用候補ミッション募 集	(平成19年度)	代表研究者 で応募	33	21	11	8
船内実験室候補テーマ 募集	(平成19年度)	代表研究者 で応募	73	57	14	10
	(平成21年度)	代表研究者 で応募	68	44	19	15
計			347	216	83	57

[注釈]<sup>40</sup> JAXA の JEM 利用推進体制: 7. 2. 5 節の図 7.2.5-2 の本部長の諮問委員会等(個別委員会)のうち、主として「公募地上研究関連」、「科学研究分野」、「応用利用分野」、「宇宙医学分野」、「一般利用分野」、及び「有人宇宙技術開発」の委員会等を指す。

のであった。

利用形態	取り組みの方針
コミュニティ に開かれた 利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 第2期の目標・方向性に合致する提案を公募する。</li> <li>◆ 選定は、きぼう利用推進委員会に分科会(与圧部分科会([注釈]<sup>41</sup>)と曝露部分科会([注釈]<sup>42</sup>))を設置して実施する。</li> <li>◆ 選定後は、JAXAは提案者と協働してJEM(きぼう)の利用実験準備を進める。</li> </ul>
JAXAが計 画的・重点 的に進める 利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 応用利用、一般利用については、JAXAは領域・方針等を提示し、これに合致する提案を行った利用者の参加を求め、JEM(きぼう)の利用実験準備を進める。</li> <li>◆ JAXAビジョン([注釈]<sup>43</sup>)が推進する宇宙医学、技術開発等の利用については、JAXAは課題と目標を設定し、外部研究者と連携しつつ、JAXAが自ら利用する。特に、臨床宇宙医学につながる宇宙医学生物学研究については、JAXA内に、外部研究者と連携した新たな研究体制を構築する。</li> <li>◆ JEM(きぼう)利用実験の実施に当たっては、きぼう利用推進委員会に提案し、審査を経て実験準備を進める。</li> </ul>
有償利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 有償利用サービス提供企業が窓口となり、民間企業の創意工夫により有償での利用を拡大する。</li> </ul>

## 2) 利用促進方策:

公募地上研究は、平成9年度(1997)の発足から平成19年度(2007)までに9回の地上研究公募を実施し、延べ約700件の地上研究を支援してきた。(7.2.3.3節の表7.2.3-5参照)その支援の成果が宇宙実験のテーマ創出に寄与してきた状況は[注釈]<sup>39</sup>に示されているが、実際、平成19年(2007)及び平成21年(2009)の船内実験室の第2期利用候補テーマ採択の70%以上が公募地上研究経験者で占められており、特に、生命科学系研究でのJEM(きぼう)利用への広がり大きな成果であったといえる。一方では、[注釈]<sup>38</sup>に示したように、宇宙環境利用科学委員会の下で宇宙環境利用科学研究班WGが平成16年度(2004)に発足、宇宙環境利用科学研究におけるコミュニティ活動が活発化して、平成18年度(2006)には研究班WGの設置数が68、研究者が延べ560人という状態にまで拡大していた。この状況のもとで、「今後のJEM利用促進方策(案)」[7.2.6-10]がきぼう利用推進委員会に提案され、利用促進方策として次の考え方が提

[注釈]<sup>41</sup> JEM与圧部分科会: 「第2期利用の方向性」に基づき、「第2期与圧部利用の候補テーマの募集・選定」、及び「与圧部の利用に係る検討調整(装置を含む)」を行い、きぼう利用推進委員会に報告する。(外部委員として、きぼう利用推進委員会、公募地上研究推進委員会、宇宙環境利用科学委員会外部委員からの数名の専門家、JAXA内部委員として、宇宙科学本部等の専門家数名で構成。平成19年(2007)4月27日開催の第8回きぼう利用推進委員会で設置を決定。)

[注釈]<sup>42</sup> JEM曝露部分科会: 「第2期曝露部利用の候補ミッション選定における総合的な順位付け」、「選定後のフェーズA検討作業状況および検討結果の評価」を行い、きぼう利用推進委員会に報告する。(外部委員として、きぼう利用推進委員会、公募地上研究推進委員会、理学・工学委員会外部委員からの数名の専門家、JAXA内部委員として、宇宙科学本部、総合技術研究本部等の専門家数名で構成。平成18年(2006)12月25日開催の第7回きぼう利用推進委員会で設置を決定。)

[注釈]<sup>43</sup> JAXAビジョン: 平成17年(2005)4月、我が国の宇宙・航空の中核的研究機関のJAXAが、今後20年後までの我が国の宇宙航空分野の望ましい姿及びその実現に向けた方向性をビジョンとして提案したもの。(http://www.jaxa.jp/press/2005/04/20050406\_sac\_vision\_j.html)

示された。

- ◆ 地上研究に限定した研究支援制度を、フライト実験準備の枠組みにまで発展させる。
- ◆ JEM(きぼう)利用の新たなアイデア・発想の発掘を目的に、萌芽段階の地上研究を支援する枠組みを設定する。
- ◆ 上記を踏まえ、公募地上研究制度の担ってきた機能をそれぞれの枠組みに発展させた、新たな制度へ移行する。

公募地上研究制度を発展的に組み替え、JEM の利用形態に対応して「地上研究」から「フライト実験準備」へと発展する研究を連続的、効果的に支援できる新たな利用促進制度を模索する試みであった。(この課題については、本節の(4)で再び取り上げる。)

### 3) JEM(きぼう)第2期利用の目標と課題 [7.2.6-11]:

日本として定常的に利用可能な軌道上拠点である JEM(きぼう)の特長を活かして、先端技術の実証や新しい利用の可能性を拓く場として最大限にこの環境を活用し、科学や技術のイノベーションを育む。この観点を重視して、「第2期の利用の方向性」は次のものとされた。

- ◆ 第1期の結果を見込んだ方向性を分野毎に設定、これを第2期でさらに発展させて成果の創出を期す。同時に、これまでの地上研究活動を通じて社会への貢献が期待される多様な領域で、JEM(きぼう)利用を実現する。
- ◆ 第1期に整備した実験装置を可能な限り活用する。同時に、従来の装置では実施が困難な分野の利用を実現するために、新たな利用インフラを追加整備する。
- ◆ これまでの利用促進活動で利用者の裾野が拡大し、第2期利用の候補テーマ群が既に育成されていることから、従来の地上研究支援の充実を中心とした利用推進方策から、フライト実験を確実に実施するための準備支援活動を充実させ、同時に、コミュニティによる主体的な研究活動と連携して萌芽を支援する。
- ◆ 分野毎のコミュニティとの連携や推進体制を考慮し、第2期利用に向けた宇宙実験実施に至るプロセス、役割分担を再構築する。
- ◆ JEM(きぼう)以外の実験手段も効果的に活用する。また、国際的な研究協力を推進することにより、実験装置、リソース、利用手段等の多様化を図り、効果的な成果創出を目指す。
- ◆ JEM(きぼう)の第2期利用の活動を通じて、広範な分野で国内外の人材育成に貢献する。同時に、有人による宇宙利用の可能性実証と先端技術開発を通じて、次期の有人活動に向けた期待感、信頼感を醸成することに配慮する。

この方針を踏まえて設定された、JEM(きぼう)第2期利用(期間:平成22年(2010)～平成24年(2012))の「目標と課題」は次のものであった。尚、第2期利用における「期待する利用分野の概要」については、本節末の別紙 7.2.5-1(JEM(きぼう)第2期利用一分野別の目標、方向性、及び具体的な候補課題等一)に示しておく。

目 標	課 題
◆ 第1期利用の活動を発展させ、社会や国民に支持される様々な利用成果を社会に還元する。	◆ 極限環境を利用した基礎科学の開拓と新たな知見の獲得 ◆ 我が国の科学技術における政策的課題の解決 ◆ 宇宙環境や有人活動を利用したイノベーションの創出
◆ 長期的な宇宙開発の方向性及び諸外国の動向を踏まえ、	◆ 将来の有人月探査等において鍵になる有人技術等の研究とその技術検証にJEM(きぼう)等を活用

将来の宇宙開発利用活動で日本の国際的地位を確立し、発言力を確保する。

◆ JEM(きぼう)の曝露環境を活かした、特長ある科学観測ミッションや最先端技術の実証を世界に先駆けて実施

#### 4) きぼう船内実験室第2期利用の候補テーマ [7.2.6-12]:

「きぼう第2期利用の方向性」を踏まえて、第2期利用前半期にJEM(きぼう)の船内実験室を利用する科学分野の候補テーマの募集が行われた。(平成19年(2007)7月25日に募集案内が発出され、同年9月28日に応募が締め切られた。) 応募総数は73件(生命科学46件、物質科学27件)であった。その後、与圧部分科会([注釈]<sup>41</sup>)での応募テーマの評価選考を経て、平成20年(2008)2月6日、きぼう利用推進委員会で14件の候補テーマが選定された。選定された候補テーマの概要は次の通りであった。

分野(提案数)	領域	課題(提案の数)
生命科学(8)	生命の重力感受・重力応答の理解につながる基礎生物学(植物)の領域	◆ 植物の抗重力反応機構(1) ◆ 植物の重力屈性・水分屈性(1)
	将来の有人宇宙飛行に向けて医学生物学の観点から重要な知見の得られることが期待される領域	◆ 骨関連(骨代謝制御、骨形成制御)(2) ◆ 宇宙環境(放射線・微小重力)がもたらす世代を超えた環境影響(1) ◆ 微小重力における循環動態変化と機械刺激受容(1) ◆ 宇宙船内の微生物モニタ(1)
	蛋白質結晶生成の領域	◆ 蛋白質の構造解析(1)
物質科学(6)	高品質材料創製につながる結晶成長メカニズム、対流現象解明の領域	◆ 結晶成長メカニズムの解明関連(2) ◆ 半導体結晶の高品質化をもたらす結晶化手法、表面張力対流現象解明(2)
	燃焼現象のモデル化の領域	◆ 燃焼メカニズム解明(1)
	将来宇宙機の熱管理技術開発の領域	◆ 沸騰・二相流を用いた高効率排熱技術(1)

平成20年度(2008)に実験計画を作成し、同年度末にフライト実験準備段階への移行判断を行うとされた。選定の際の各分野の選定総括は次のものであった。

- ◆ **生命科学分野**: 宇宙環境を利用しなければ地上では実現不可能な研究テーマであるのみならず、一般の科学研究としての価値や新規性の面から、科学的に意義が高く成果創出の期待できるテーマが重視され推薦された。
- ◆ **物質科学分野**: 科学的に意義が高く、日本が国際的にリードし、成果の地上波及効果も期待できるテーマが推薦された。

#### 5) きぼう船外実験プラットフォーム第2期利用の候補ミッション [7.2.6-13]:

第12章に、きぼう船外実験プラットフォーム第2期利用候補ミッションの募集・選定及びミッションの説明がなされるので、ここでは、曝露部分科会([注釈]<sup>42</sup>)で評価選考された候補ミッション(ポート専用利用3候補、ポート供用利用8候補、平成19年(2007)4月に選定)の概要のみを示しておく。



	ミッション名	ミッション概要
ポ ー ト 占 有 利 用	(1) Extreme Universe Space Observatory onboard JEM/EF (JEM-EUSO)	超高エネルギー宇宙線によるシャワー粒子が大気中で発生する蛍光を観測して、入射粒子のエネルギーと到来方向を決定し、その発生源を明らかにする。
	(2) 高エネルギー電子、ガンマ線観測装置 (CALET : CALorimetric Electron Telescope)	高エネルギー宇宙線中の電子、ガンマ線の観測から、宇宙電子の起源、暗黒物質の探索を行うとともに、原子核粒子の観測から宇宙線の加速機構を明らかにする。
	(3) ADR 極低温システムの開発とそれを用いた量子液体の微小重力実験	従来の冷凍機と比べて信頼性維持と小型化が図れる連続型ADR (断熱消磁冷凍機)の技術実証、及び、それを用いた液体ヘリウム、固体ヘリウムの製造と物性物理学実験を実施する。
ポ ー ト 供 有 利 用	(1) 宇宙インフレータブル構造の宇宙実証	インフレータブル (気密な袋を気体で膨らませる) 構造の展開及び長期運用特性を、軌道上の実環境で実証する。
	(2) 大面積宇宙ダスト・デブリ計測	衝突電離型計測器により、微粒子の速度、質量をリアルタイムで計測し、ダストの起源 (太陽系、星間、人工物) を識別して、速度、質量分布、フラックス、時間変化を分析。
	(3) 地球超高層大気撮像観測	地球超高層 (80km 以上) の大気光を可視、近赤外、紫外の領域で 1 年間に渡り観測し、大気光の水平方向の分布を、季節変動を含めて測定することにより、まだ明らかになっていない超高層領域におけるエネルギーと物質の輸送過程を解明する。
	(4) スプライト及び雷放電の高速測光撮像センサ	高速測光撮像センサを用いて、雷放電及びスプライト現象を観測し、雷放電の時間空間分布、スプライトの構造と雷放電との関係、スプライト・落雷と地球ガンマ線との関係を解明する。(スプライト:落雷に伴い高度 40~90km の上空で発光する現象)
	(5) 宇宙環境計測ミッション装置 (SEDA) - II	軌道上の放射線環境を計測し、搭載機器の軌道上誤作動、不具合の原因究明に資するデータを取得し、将来機器設計へ反映。
	(6) 「きぼう」曝露部を使用した再生型燃料電池の実証	燃料電池と水電解装置を組み合わせた再生可能な燃料電池を微小重力環境下で実証する。固体高分子形燃料電池が宇宙にて使用された例はない。
	(7) たんぽぽ (地球と宇宙空間の微生物と有機物の双方向伝播)	世界最高性能のエアロゲルを使用した軌道上の微生物や有機物の捕集曝露実験により、微生物の宇宙空間への脱出生存、有機物の地球への搬入の可能性を評価する。
	(8) EVA 支援ロボットの実証実験	伸展開およびテザーを用いた独創的な移動方法により、ロボットの移動、外観検査等、EVA 支援に必要な機能を実証する。

#### (4) 第 2 期利用に向けた新たな利用促進方策と今後の課題 [7.2.6-11]、[7.2.6-14]

利用部会報告(7. 2. 5 節参照)を踏まえて、JAXA は、JEM(きぼう)利用を促進するための新しい方策を打ち出した。いずれも、JEM(きぼう)利用の拡大と多様化に対応するための方策で、「公募地上研究制度の見直し」、先導的応用化研究制度を発展的に見直した「応用利用拠点制度の創設」、「有償利用制度の創設」などであった。また、制度の見直しや創設の活動以外でも、本節(2)の4)項([7.2.6-7]参照)で述べたように、応用利用分野(きぼう利用フォーラム

[7.2.6-15]([注釈]<sup>44</sup>)など)、有人技術開発分野(宇宙医学生物学研究[7.2.6-16]([注釈]<sup>35</sup>)、一般利用分野(教育利用、文化・人文社会科学利用[7.2.6-17]([注釈]<sup>45</sup>)、アジア利用)の各分野で、新たな取り組みが始められていた。

国内の厳しい財政状況に対応するために、ISS利用専門員会でのISS運用利用の今後の進め方が検討されていた平成15年度(2003)の段階で、定常段階のJEM(きぼう)の運用利用経費を節減する国の方針(約600億円/年から400億円/年への対応、その結果、利用経費が約60億円/年の範囲に制約)が既に決まっていた。(JEM(きぼう)運用利用経費の節減:[注釈]<sup>46</sup>)この

---

[注釈]<sup>44</sup> きぼう利用フォーラム: NASDA時代の平成14年(2002)、JEM(きぼう)一般利用者の宇宙環境利用事業への参入を支援するために「きぼう利用相談室」が設置され、潜在的需要の調査、利用事業に係る外部との情報交換、利用希望者に対する相談窓口の機能を果たした。JAXAになってから、JEM(きぼう)の一般利用者に対する本格的な利用促進活動の一環として、平成20年(2008)、「きぼう利用相談室」を発展的に引き継いだ「きぼう利用プロモーション室」が設置され、潜在的需要に関する調査や情報・意見交換のための講演会やセミナーを開催、またWEBやメールマガジンを通じて、JEM(きぼう)利用に関する情報発信を行う活動が本格的に開始された。さらに平成21年(2009)、組織の枠を超えた多様な人材の発想、経験、技術などの交流を通じて新たな「ことづくり」を創出し、これをJEM(きぼう)利用につなげるために、JEM(きぼう)利用ミッションを検討する場(セミナー、講演会、研究会など)を提供する「きぼう利用フォーラム」が開設されて現在に至っている。「きぼう利用フォーラム」の活動概況は<http://kiboforum.jaxa.jp/index.php>を参照。これら民間のJEM(きぼう)利用促進活動の概況は、第11章に取り上げられている。

[注釈]<sup>45</sup> 文化・人文社会科学利用: ISSを、「宇宙からの情報発信拠点」として、また「人文社会科学の実験空間」と位置付け、地球規模の問題解決に貢献できる「人文社会科学的インフラ」として、また、身近な宇宙環境利用の実現に貢献できる「文化的・教育的インフラ」として利用する。このための調査研究や課題研究を広く展開する取り組みが、NASDA時代の平成8年(1996年)から続けられてきた。調査研究「宇宙ステーション等の人文社会科学的利用法の検討」(NASDAから国際高等研究所への委託研究)、課題研究「21世紀の宇宙開発・宇宙環境利用の問題」(国際高等研究所の自主研究、NASDA/JAXAは研究参加)等が、人文社会科学分野の取り組みの流れであった。JEM(きぼう)利用の本格的利用開始の時期に、これら人文社会科学分野の研究活動を総括(平成21年度時点)し、同時に、この活動を広く一般国民にも知ってもらうために、平成21年(2009)3月、東京シンポジウム「宇宙と人間-未来を拓く人類の活動領域の拡大-」が開催されている。[7.2.6-18]、[7.2.6-19]

この活動の前半期の国際高等研究所への委託研究の課題のうち、芸術分野(絵画、彫刻、音楽)の利用検討が、東京芸術大学及び京都市立芸術大学とNASDA/JAXAとの共同研究へと発展し、その活動が基礎になって、JEM(きぼう)利用の第1期における「文化・人文社会科学利用」の「パイロットミッション」が企画された。本パイロットミッションの課題は、「宇宙からの視点や「微小重力環境」を活かした芸術表現」で、この課題をパイロットミッションとして実施するためにテーマが募集され、外部有識者からなる選定委員会で実施テーマが選定され、JEM(きぼう)第1期利用から、国際的にも極めてユニークな宇宙実験が実施されている。(http://iss.jaxa.jp/utiliz/epo/index.html 参照。)これら人文社会科学分野における取り組みは、第13章に取り上げられている。

[注釈]<sup>46</sup> JEM(きぼう)運用利用経費の節減: JEM(きぼう)の定常段階における運用利用経費が、従来の長期資金上で想定していた約600億円/年から約400億円/年への削減が国の方針として平成15年(2003)に決定されていた。この当時は、平成13年(2001)のNASAの予算超過問題を契機としたISS計画の見直し、平成15年(2003)2月のシャトル事故等の影響で、ISSの最終形態(搭乗員6~7人体制)の見直しも想定されており、定常段階におけるJEM(きぼう)利用の規模も(搭乗員3人体制の前提で)縮減されることが懸念されていた。我が国の財政状況を踏まえた予算節減への対処の要

ために、第2期以降のJEM(きぼう)利用の拡大と多様化にどのように対応できるか、資金面からの限界が懸念されていた。そのような状況の中で、有償利用制度の創設は、利用資金源の多様化につながる利用促進方策の一つとして期待されていた。

しかし、利用の拡大と多様化は、「共通実験装置」の時代から「個別実験装置」(利用者が自らの責任で開発・利用する実験装置)の時代への転換を意味する。この転換を支える実験装置開発の経費は、JEM(きぼう)利用の原則から、JAXAが単独で予算計上できる経費ではない。その一方で、第2期利用の実験装置整備の考え方として、本節(3)の1)項で取り上げた「きぼう」第2期利用の方向性[7.2.6-11]では、次の方向(想定)が提示されていた。

- ◆ 第2期では、第1期の実験装置(船内実験室に3基の実験ラック、船外実験プラットフォームに3基のペイロードを設置)を可能な限り稼働させて利用する。
- ◆ 現時点(平成19年(2007))で想定される輸送能力の状況を踏まえ、平成22年(2010)以降毎年500kg程度の実験装置を1基、平成25年(2013)年までに船内及び船外装置として2基ずつとして、計4基の装置を新規追加することを想定。
- ◆ 船内の新規実験装置(候補)は、これまでの利用要求とりまとめの結果に基づき、水棲生物実験装置(サブラックレベル)、多目的実験ラック、静電浮遊炉(1実験ラック)。
- ◆ 船外実験プラットフォームにおける第2期利用ミッションとして、科学研究及び技術開発の2つの利用分野を想定。第2期利用の公募で選定された候補ミッションについて、ミッション開発に向けた概念設計等の検討を行い、この結果を踏まえて開発着手の判断を行う。

利用の拡大と多様化が進むであろう第2期以降のJEM(きぼう)利用では、共通実験装置から個別実験装置への流れが益々加速する。宇宙環境利用が利用分野の開拓や利用の有効性実証の時代から、多様な実験環境の一つとして、地上(研究)の実績を踏まえた日常の(研究)活動の延長上で利用される時代を迎えようとしているからである。換言すれば、JEM(きぼう)利用の責任を、初期利用段階までのようにNASDA/JAXAが一元的に担うのではなく、利用者それぞれが担う時代が到来しようとしている。このために、国の軌道上研究施設としてのJEM(きぼう)を、日本全体としてどのように活用するのか、JEM(きぼう)の実験環境をどのように進化させるのか、利用者それぞれの個別実験装置の開発整備をどのように促進するのか、新たな利用促進方策の検討が求められている。このような環境の変化や進展に対応するために、JEM(きぼう)利用に関してこれまでNASDA/JAXAが担ってきた役割を見直し、国としての対処の方向を新たに定める必要がある。同時に、今後のJEM(きぼう)の利用成果を最大化するために、様々な利用ニーズに対応できる「最適な利用システム」について、国レベルのコンセンサスを踏まえた、国、利用者(利用機関)、及び宇宙機関JAXAそれぞれの責任と取り組みが求められることになる。

この将来に向けた課題は7.3節で総括することにして、本(4)項では、第2期利用段階に特化して、平成18年度、19年度になされた利用促進方策の議論と今後の検討につなげるべき課題についてまとめておく。

---

請に加えて、JEM(きぼう)の利用規模の縮減も検討の対象になり、約400億円の上限が設定された。この結果、JEM(きぼう)利用の予算規模は約60億円/年の規模に抑制されることになった。平成21年度(2009)の実績では、利用経費60億円の4割弱が、船内・船外実験装置の開発整備に充たされていたが、JEM(きぼう)の新たな利用ニーズや利用の多様化に応えられる予算規模ではなかった。

1) 第2期利用に向けたJEM(きぼう)利用促進方策 [7.2.6-8]、[7.2.6-10]、[7.2.6-11]:

利用形態に応じたJEM(きぼう)利用の取り組み方針(本節(3)の1)項)、公募地上研究制度の見直し結果(図7.2.5-4及び図7.2.5-5)とこれまでの成果実績([注釈]<sup>39</sup>)、研究班WGの活動実績([注釈]<sup>38</sup>)、新たな応用利用制度(応用利用研究拠点)の展開(図7.2.5-6、7.2.5-7及び[注釈]<sup>30</sup>)、及び有償利用制度の創設([http://kibo.jaxa.jp/business/jigyosha\\_bosyu/](http://kibo.jaxa.jp/business/jigyosha_bosyu/))を踏まえ、きぼう利用推進委員会で推進方策(検討案)が審議され、JEM(きぼう)利用の利用促進策について、次のコンセンサスが得られていた。(図7.2.6-3)

図7.2.6-3 今後のJEM利用促進方策(検討案)

([7.2.6-10] ISS/JEM委8-4-2から一部改変)

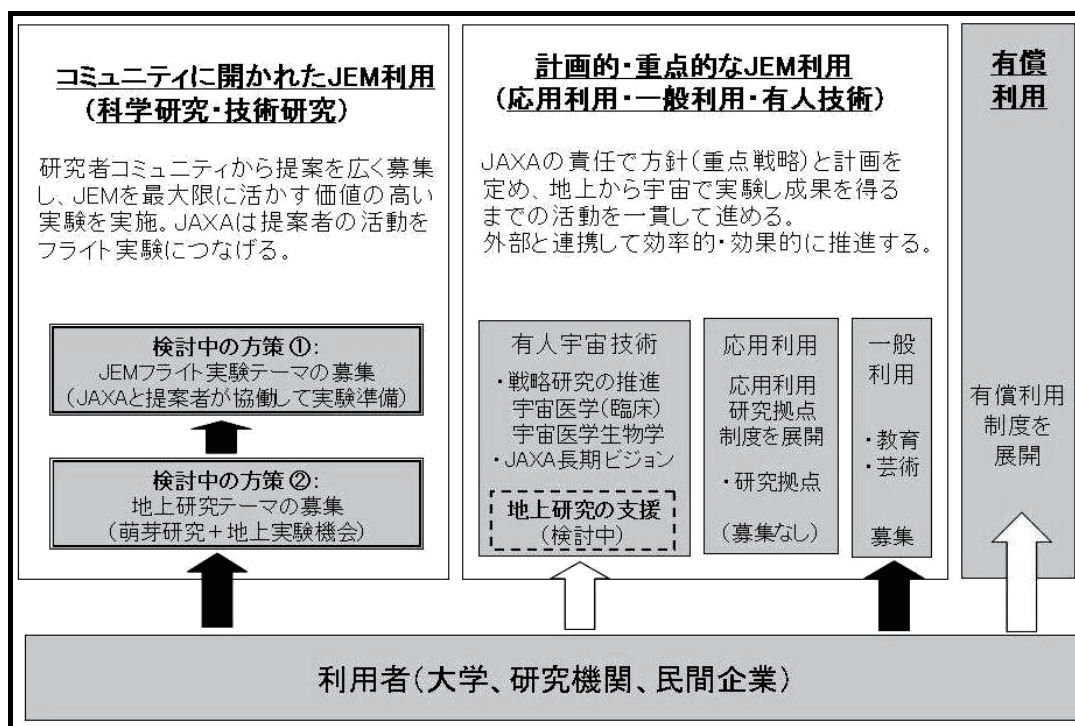


図7.2.6-3のポイントは、「コミュニティに開かれたJEM利用(科学研究・技術研究)」(宇宙医学・バイオメディカル研究を除く)に対し、公募地上研究に代わる「研究支援制度」を導入すること。具体的には、①研究班WGの研究活動に、公募地上研究の「宇宙利用先駆け研究(萌芽)」予算の一部を振り向けること、②JAXAとフライト実験のテーマ提案者とが協働して宇宙実験準備を行えるよう、公募地上研究の「きぼう利用重点課題研究」と「次期宇宙利用研究」の予算を振り向けること(提案者に実験準備のための研究費を支援すること)であった。上記の研究班WGとの連携に加えて、公募地上研究の大きな柱に育った宇宙医学・バイオメディカル研究分野の研究者に対して地上研究支援を継続して維持し、質の高い宇宙実験候補の母集団を確保すること。このために、公募地上研究の「宇宙利用先駆け研究(萌芽)」予算の一部をJAXAの宇宙医学生物学的研究の研究支援(新規に創設を想定)に組み入れること。これらの措置により、公募地上研究制度がこれまで担ってきた機能を、それぞれの枠組みへ発展的に組み替えること。図7.2.6-3の検討案には、JAXAの発足に伴って新たに構築された宇宙環境利用の推進体制(図7.2.5-1)

を機能させ、利用部会報告の趣旨も満たし、同時に、JEM(きぼう)の利用促進のための地上研究等の支援制度を見直す案でもあった。しかしながら、JAXA の内部調整等の課題から、この検討案が実現することなく、平成 21 年度の公募地上研究制度の終了の年度を迎えてしまう。

この研究支援制度については、様々な利用ニーズに対応できる「最適な利用システム」の在り方、実験環境(実験装置)整備の考え方等に関する検討の一環として、JEM(きぼう)の第 3 期以降の利用を対象に、今後、国レベルでの検討がなされる必要がある。

## 2) 宇宙科学研究の推進に関する SAC の検討報告(宇宙環境利用における学術研究) [7.2.6-20]:

宇宙環境利用科学(宇宙環境利用における学術研究)の考え方及び進め方が、SAC の計画部会宇宙科学 WG 報告として、平成 18 年(2006)12 月)にとりまとめられたので概要を紹介しておく。その趣旨は、宇宙環境利用における「ボトムアップ研究」と「トップダウン研究」の相違を認識し、今後の JEM(きぼう)利用の促進方策の検討に活用することにあつたが、本報告を踏まえた宇宙環境利用科学としての「新たな施策の検討」は、その後、なされてはいない。

- ◆ 宇宙科学研究の進め方: 宇宙科学研究はすべての科学分野を対象とする幅広い研究活動であり、個々の研究者の自由な発想により主体的に進められることが極めて重要。一方、宇宙科学研究の実現には組織化された大勢の研究者、技術者の共同作業が不可欠。この二つを両立させるために、JAXA・ISAS では、プロジェクト研究方式が採用されている。(プロジェクト設定段階でその目指すところについて十分に議論を尽くし、プロジェクト発足後は目標実現に向けて主体性と独創性を発揮する。)
- ◆ プロジェクト研究の重点分野選考に関する基本方針: 次の視点を重視。①世界で広く認められている重要な科学目標を有していること。②目標及び実現手段において、高い独創性を有していること。③技術面及び予算面で高い実現性を有していること。④国際競争と協力の中で、我が国の独自性と特徴が明快であること。⑤我が国が既に世界第一級にある分野を伸ばすとともに、萌芽的な研究を生み出す余地を十分に残すことで、新しい学問分野を開拓することにも留意すること。
- ◆ 宇宙環境利用における学術研究(宇宙環境利用科学): 長期的な目標のみ列挙(次の通り)。

分 野	長期的な目標
生命科学: (生命科学における諸課題を 解明する)	◆ 地球環境を相対化する視点を持ち、生物進化を含めた生命現象の普遍的な原理を解明する。
物質科学及び凝縮系科学: (可変重力環境での実験によ って、重力に起因する現象を 明確化し、未だ明らかにされ ていない諸課題を解明する)	◆ 微小重力下という特性を利用し、重力に起因する攪乱を除去あるいは制御することにより初めて顕在化する諸現象を実現し、物質科学の根源的原理の確認を通じて、さらなる新物質創製と新機能発現の設計原理に対する指針を得る。 ◆ 「物質の機能と構造の相関の解明」、「物質の凝集原理の解明」、「相転移のメカニズムの解明」、「高速化学反応の伝播挙動の解明」、「流体不安定現象の解明」が目標。

## 別紙 7.2.5-1 JEM(きぼう)第2期利用

-分野別の目標、方向性、及び具体的な候補課題等-

分野とその目標/方向性	具体的な候補課題(概要)
<p>物質科学及び凝縮系科学:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 微小重力環境の特性を利用して、重力に起因する攪乱の除去あるいは制御によって初めて顕在化する諸現象を可観測とする。このことによって、物質科学の根源的原理を確認し、新物質創成と新機能発現の設計原理に関する指針を得る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 物質の凝集原理の解明(結晶成長機構解明)</li> <li>◆ 物質の機能と構造との相関の解明(高温融体熱物性、高機能材料創生)</li> <li>◆ 流体不安定現象の解明(流体科学の探求、熱流体現象の解明)</li> <li>◆ 相転移メカニズムの解明(基礎科学)</li> <li>◆ 高速化学反応の伝播挙動の解明(燃焼科学)</li> </ul>
<p>生命科学:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 生命が誕生して進化し今日に至る進化の営みが、一定不変の1Gという重力環境で進行し、多様で複雑な生命の仕組みが出来上がった。地上とは異なる重力環境における生命の振る舞いの観察と解析から、地球上生命の仕組みの多様さや複雑さを理解する糸口を見出す。このことで、地上のライフサイエンス分野の重要課題として進められている「生命現象の総合的な理解」に貢献する。</li> <li>◆ また、地球軌道以遠の環境で人類が安全に活動する際に遭遇する諸課題の対策法を確立する。このために、宇宙生命科学の知見を集積するとともに、宇宙医学分野の活動と連携して、(生命環境維持や食糧調達を含む)生態系システムの構築に必要な環境生物学の知見を蓄積する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 生命への重力の影響、抗重力反応の解明(重力センサーとそのネットワークの解明): 生命が宇宙環境に応答・適応する基本的なメカニズムを遺伝子、分子レベルで解明することを目指す。</li> <li>◆ 宇宙環境における細胞・生理機能調節の解明(宇宙環境ストレス応答の基礎生物医学): 人間の活動領域を宇宙に拡大するために必要となる医学生物学上の科学的知見を蓄積し、より効果的な対策・解決法の確立を目指す。</li> <li>◆ 宇宙環境への生物の適応(宇宙環境の長期的影響、宇宙微生物学): 宇宙での世代交代に関わるクリティカルポイントを明確にして、将来の長期宇宙滞在に向けた基礎データの蓄積を目指す。また、宇宙船内微生物環境の健全性維持について必要な基礎データを蓄積するとともに、地球表面の環境条件に限定されない普遍的な生命の法則の探究を目指す。(地球生物学から宇宙生物学へ。)</li> <li>◆ 地球圏外生命探査、生物・生態工学系に関する取り組み(宇宙利用科学): 宇宙における生命の起源、進化及びその分布に関する理解を深めるとともに、閉鎖生態系による生命維持技術に関する知見を獲得する。</li> </ul>
<p>宇宙医学:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 将来の有人活動に向けて、宇宙飛行士の健康管理並びに有人宇宙技術開発に資する臨床医学研究を実施する。</li> <li>◆ また、さらなる長期宇宙滞在に向けた医療技術の開発に資するため、基礎医学・バイオメディカル分野については、生命科学分野の研究と連携して、具体的な課題に重点的に取り組む。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 生理的対策: 骨量減少予防薬の投与、加圧筋トレーニング法の軌道上医学運用への応用。</li> <li>◆ 精神心理支援: 自己ストレス評価法の適用、ストレスモニタリング手法の実証。</li> <li>◆ 放射線被曝管理: 血液による被曝影響評価、受動型個人線量計/エリアモニタデータの蓄積、能動型個人線量計/エリアモニタの実証。</li> <li>◆ 軌道上医療システム: 簡易型生体機能モニタ装置による健康管理データの蓄積、生体機能モニタの高度化、自動診断機能の実証。</li> <li>◆ 宇宙船内環境: 有毒ガスモニタ装置の実証、</li> </ul>

<p><u>船外プラットフォーム利用(宇宙科学、地球科学、宇宙環境利用科学、宇宙利用技術開発)</u>：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 宇宙の起源・進化・構造を探究するための軌道上からの天体観測(宇宙科学ミッション)、宇宙からの地表表層と大気の観測(地球科学ミッション)、微小重力を利用した物質科学・生命科学・基礎物理学の宇宙実験(宇宙環境利用科学ミッション)など、世界をリードする先端的なミッションの実施を目指す。</li> <li>◆ また、JEM(きぼう) 船外実験プラットフォームは、軌道上のテストベッドとして、搭乗員やロボットによる軌道上作業支援、エアロックの活用、電力・通信・排熱の利用など、軌道上サービス機能が充実している。この機能を活用して、宇宙開発利用の発展につながる先端的・基盤的な技術の開発を目指す。</li> </ul>	<p>微生物モニタの実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 天体観測、地球科学研究、材料・ライフサイエンス研究など、広範な科学研究を対象として、世界をリードする先端的なミッションを実施する。</li> <li>◆ ロボティクス、通信、エネルギー、構造物、有人技術をはじめとした様々な技術分野を対象にして、JEM(きぼう) 船外実験プラットフォームの利用に適した技術実証ミッションを実施する。</li> </ul>
<p><u>技術開発</u>：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 将来の有人活動に向けて、月面での有人活動等で自立性を確保するための基盤的要素技術の開発と実証を目指す。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 電源技術</li> <li>◆ 生命維持・環境制御技術</li> <li>◆ 宇宙服技術</li> <li>◆ 有人支援型ロボット技術など</li> </ul>
<p><u>応用利用</u>：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 社会的、経済的に価値のあるイノベーションの創出を目指す。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 微小重力環境での自己組織化による、地上では実現できないフォトニッククリスタル、ナノテンプレートなどの高機能性材料の産業応用。</li> <li>◆ 高品質な蛋白質結晶生成による構造解析や創薬等の産業応用。</li> </ul>
<p><u>一般利用</u>：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 科学に限らない様々な分野で、JEM(きぼう)の特長を活かして、子供から大人までが参画できる参加型の利用ミッションを生み出し、国民が宇宙開発に自らも参加しているという気持ちを醸成する。同時に、科学技術への関心を喚起し、教育等への活用も目指す。</li> <li>◆ また、人材育成、アジア協力への貢献を目指し、第1期で進めているアジア諸国によるJEM(きぼう)利用に向けた取り組みを段階的に進めて参加国を広げ、アジア諸国へのJEM(きぼう)の利用機会提供、JEM(きぼう)での研究・利用ミッション協力を継続的に展開する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 学生参加による軌道上簡易実験等の教育ミッションの実施。</li> <li>◆ 文化、人文社会科学パイロット実験等の実施。</li> </ul>

<p>有償利用:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>◆ 民間企業等による利用の多様化・拡大を促し、JEM(きぼう)の潜在的な価値を最大限に引き出す。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>◆ 高品質タンパク質結晶生成</li><li>◆ ナノ材料創製</li><li>◆ 映像利用</li><li>◆ 宇宙ブランド商品開発</li></ul> 他
---	---



### 7.2.6 節の参考文献

- [7.2.6-1] 「ISS 計画見直しの現状と対応の在り方」 国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第5回)提示資料 ISS/JEM 委 5-2 平成 17 年(2005)10 月 28 日
- [7.2.6-2] 「ISS 計画の現状」 国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第6回)提示資料 ISS/JEM 委 6-4 平成 18 年(2006)9 月 29 日
- [7.2.6-3] 「宇宙基本計画」 宇宙開発戦略本部 HP
- [7.2.6-4] 「JEM 初期利用段階における詳細運用利用計画策定方針について」 国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第4回)審議資料 ISS/JEM 委 4-2 平成 17 年(2005)3 月 25 日
- [7.2.6-5] 「JEM 第1期利用の準備状況」 国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第9回)報告資料 ISS/JEM 委 9-5-2 平成 20 年(2008)2 月 6 日
- [7.2.6-6] 「JEM 第1期利用の準備状況」 国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第6回)報告資料 平成 18 年(2006)9 月 29 日
- [7.2.6-7] 「JEM 利用に向けた JAXA の取り組み状況」 国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第9回)報告資料 ISS/JEM 委 9-6-1 平成 20 年(2008)2 月 6 日
- [7.2.6-8] 「JEM 第2期利用準備の進め方」 国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第7回)討議資料 ISS/JEM 委 7-2-1~7-2-3 平成 18 年(2006)12 月 25 日
- [7.2.6-9] 「科学分野における「きぼう」利用に向けた地上研究活動の状況」 国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第10回)報告資料 ISS/JEM 委 10-4-1 平成 20 年(2008)12 月 5 日
- [7.2.6-10] 「JEM 第2期利用の方向性」及び「第2期利用に向けた JEM 利用促進方策について」 国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第8回)審議資料 ISS/JEM 委 8-4-1 及び ISS/JEM 委 8-4-2 平成 19 年(2007)4 月 27 日
- [7.2.6-11] 「「きぼう」第2期利用の方向性について」(平成 19 年(2007)7 月、JAXA ISS・きぼう利用推進委員会)<http://kibo.jaxa.jp/experiment/theme/application/pm02/dai2kiriyou.pdf>
- [7.2.6-12] 「船内実験室第2期利用前半期の候補テーマの選定について」 国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第9回)審議資料 ISS/JEM 委 9-2 平成 20 年(2008)2 月 6 日
- [7.2.6-13] 「曝露部第2期利用候補ミッションの選定について」 国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第8回)審議資料 ISS/JEM 委 8-2 平成 19 年(2007)4 月 27 日
- [7.2.6-14] 「第2期における利用促進方策の見直し(討議)」 国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(第7回)提示資料 平成 18 年(2006)12 月 25 日
- [7.2.6-15] 「きぼう利用フォーラム」 <http://kiboforum.jaxa.jp/>
- [7.2.6-16] 「きぼう」の完成で期待される「宇宙医学」の発展(向井千秋インタビュー)  
[http://www.jaxa.jp/article/interview/vol47/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/article/interview/vol47/index_j.html)
- [7.2.6-17] 「文化・人文社会科学利用」 <http://iss.jaxa.jp/utiliz/epo/index.html>
- [7.2.6-18] 「宇宙問題への人文・社会科学からのアプローチ」 高等研研究報告書 0804(代表研究者/木下富雄) 平成 21 年(2009)3 月
- [7.2.6-19] 東京シンポジウム「宇宙と人間」 東京シンポジウムの記録 JAXA 特別資料 平成 22 年(2010)2 月 JAXA-SP-09-010
- [7.2.6-20] 「宇宙科学研究の推進について(報告)」 宇宙開発委員会計画部会・宇宙科学ワーキンググループ 平成 18 年(2006)12 月 21 日

### 7.3 JEM(きぼう)利用推進(制度・推進方策)の変遷を踏まえた教訓

#### 7.3.1 JEM(きぼう)利用の促進・推進の変遷(概略の流れ)

7.2節で概観してきたように、JEM(きぼう)利用を中核として進められてきた我が国の宇宙環境利用の促進及び推進の諸活動は、大雑把に要約すれば、次の三つの段階([注釈]<sup>47</sup>)を経て現在に至っていると見ることができる。「第一の段階」は、我が国の本格的な宇宙環境利用活動の促進に不可欠な「宇宙環境利用の基盤」を整備する段階(体制、制度、地上の実験支援インフラ等を含む諸実験手段の整備)、「第二の段階」は、宇宙環境利用の「研究基盤」を構築整備する段階(科学研究を中核とした先導的研究並びに応用化研究の分野開拓と裾野拡大、公募地上研究制度の創設と運営、利用研究コミュニティの育成等)、そして「第三の段階」が、宇宙環境利用の拡大と多様化に因應するために諸利用制度等を充実させる段階(民間利用促進のための利用制度の創設・整備、宇宙環境利用における官民協働体制の構築等を含む)であった。この一連の取り組みの底流には(宇宙基地特別部会報告[7.2.1-7])、我が国も世界の宇宙開発先進国に伍して宇宙環境利用に本格的に取り組むという国の基本方針があり、7.2.1節で引用したように、『今後ここに示された基本的考え方等に基づき、政府をはじめ我が国、産・学・官の総力を挙げて宇宙ステーション計画が強力に推進されることを望むとともに、宇宙ステーション計画を一つの踏み台として我が国の宇宙開発利用が大きく開花することを期待する』という表現に、当時の国の基本姿勢と将来への期待を見て取ることができる。

しかしながら、世界に伍して宇宙環境利用を進めることへの期待が高まる一方で、宇宙環境利用の促進には、避けて通れない本質的な課題が待ち受けていることは、当初から明確に認識されていた。実際、SACが「JEM(きぼう)利用の基本方針」[7.2.2-1]を示した当時(平成4年(1992)5月)、宇宙ステーション利用に対する課題認識は、①「極めて長期に亘る運用利用」、②「その機能や利用形態等が時間の経過に伴って変化」、③「不特定多数の利用者による利用」、及び、④「国際協力と国際調整のもとでの利用」というもので、我が国の宇宙環境利用の取り組みにとって、未経験の難題ばかりであった。さらには、LEOの恒久的な有人宇宙施設としての宇宙ステーション(ISS)の利用には、「ISSを単に科学研究や技術開発の場として利用するだけでなく、人類の未来開拓のための様々な試みを実践する場として利用する」[7.3-1]という、壮大な理念が暗黙のうちに埋め込まれていた。実際、冷戦構造が終焉してロシアが宇宙ステーション計画に加わってからは、人類の活動領域を地球の外に拡大するための「人類史的活動の扉」を開くことがISS利用の本質的な課題であるという意識が、急速に醸成されていく。訓練された宇宙飛行士のみが活動する特殊な場という観念から抜け出し、地上の生活と仕事の場を宇宙空間に自然に拡張すること、総ての国の人々が等しく宇宙環境利用活動から恩恵を享受できること、そして、地上活動の延長として誰にでも宇宙環境を利用する機会が与えられること。このような考え方が違和感なしに受け入れられる環境が育まれていく。宇宙環境利用の促進及び推進の「第四の段階」は、このような状況の実現を促進する段階と捉えるのが自然であり、そのために、この段階に対する

---

[注釈]<sup>47</sup> 三つの段階：ここで述べる、宇宙環境利用の促進及び推進の「三つの段階」は、時間的に重なりがなく、「第一の段階」から「第三の段階」へと一段ずつ歩みが進められて来た訳ではない。その状態は互いに重なり合って相互に影響を及ぼしつつ進められてきた「施策の発展段階」と理解する必要はある。その観点から、現時点は、「第三段階」に入った状況であるといえる。

政治の関与並びに宇宙機関が果たすべき役割は、必然的に、「第三の段階」までのものとは異なるものになるはずである。

宇宙ステーション計画では、「第三の段階」への取り組みが本格化するまでに概ね四半世紀の時間が経過した。この間、地上の技術革新(特に生命科学、ナノテク及び情報技術)によって、総合的な科学研究(特に生命科学分野)が大きく進展し、科学研究と技術開発の関心分野が急激な変革と激しい競争の波に晒され、その状況が現在も続いている。その結果、科学と技術における宇宙環境利用の意義、価値、必要性も変化し続けてきた。宇宙ステーション利用に関する当初の課題認識(①から④)に本質的な変化はないものの、宇宙環境利用の対象自体が、10年前と現時点とは異なってきた。[7.3-2] これからの10年では、同様の変化がさらに加速し、宇宙環境利用の意義や価値に対する認識の変化が広範囲に及ぶことを想定しておかなければならない。その一方で、ISSにおける有人宇宙活動の進展や高度化に伴って、有人宇宙活動や宇宙環境利用に対する国民の意識にも変化が出始めた。開拓段階における様々な利用から、付加価値の高い本格的な利用、地上への明確な成果還元を掲げた利用、国民参加の利用、そして商業的な有償利用の世界へと、宇宙環境利用の対象が拡大かつ多様化し、「地上活動の自然な延長として、利用者それぞれが創意工夫を尽くして宇宙環境利用活動を進める」という、新たな段階を迎えようとしている。この状況を見ても、先に述べた「第四の段階」が実際に到来していることが示唆される。この「第四の段階」で、ISS・JEM(きぼう)利用を中核にした我が国の宇宙環境利用の諸活動をどのように開花させるのか、この段階の宇宙環境利用の目標設定を如何なるものにするのか、その方向性を改めて見定める必要が出てきている。

これまでに登ってきた三つの段階は、開拓段階の先導的利用から発展段階の不特定多数の利用へ、研究手段としての利用から実用段階の活用へ、官学の利用から民間利用へと向かう、我が国の宇宙環境利用活動を開花・促進させるための国と宇宙機関の取り組みであった。しかしながら、『宇宙ステーション計画を一つの踏み台として我が国の宇宙開発利用が大きく開花することを期待する』とした当初の目標が、利用の促進及び推進の三つの段階を経て実現できたか否かの評価を現時点で下すことは難しい。四半世紀に亘って継続されてきた宇宙ステーション計画は、想定外の政治経済情勢の変化の大波に何度となく晒され、二度のシャトル事故にも遭遇し、その結果として、度重なる計画の見直しや利用開始の遅延という事態に直面し、計画の遂行が困難と思える事態を幾度となく経験してきた。この外的な環境条件の変化に加えて、1990年代と引き続く2000年代のそれぞれ10年間に、地上の技術革新の流れや先端研究の動向の影響を受けて、宇宙環境利用が目指す方向も1980年代とは異なるものになってしまった。宇宙開発利用によって開花させるべき当初の想定が霞んでしまい、基礎的で根源的な課題(利用研究の対象)がより強く意識され、同時に、様々な宇宙環境利用(いわゆる人文社会科学分野の利用や民間利用など)が注目される状況が出始めている。宇宙環境利用が本質的かつ有効な科学研究や技術開発の領域が自然淘汰によって特化(重点化)され、これとは逆の流れではあるが、狭義の科学や技術には囚われない様々な宇宙環境利用のアイデアが芽を出し始めている。この状況は、「人類の活動領域の拡大」、「地上の生活と仕事の場を宇宙空間にまで自然に拡張する」という視点からすれば、宇宙環境利用の進展にとって極めて自然な方向と見ることができる。しかしながら、現段階では、これらの活動が国の促進施策や宇宙機関の促進活動に依存せず、自立的に進められる状態には至っていない。宇宙環境を利用する活動、その利用を開拓する試みは、人類史的規模の活動であるがゆえに、確固とした理念に基づく国の関与並びに宇宙機関

の支援(先導的開拓)が今後も求められると思える。それでは、これまでの ISS・JEM(きぼう)の利用促進及び利用推進の諸活動の結果(第一の段階から第三の段階)を踏まえて、第四の段階においては、どのような方向を目指すことが適切なのであろうか。

平成 20 年(2008)8 月から JEM(きぼう)の第 1 期利用が始まった。また、平成 22 年(2010)以降の新たな利用促進の考え方[7.2.6-11](7. 2. 6節、特に「第 2 期利用の方向性」)に基づいて選定された第 2 期利用テーマの実験準備が進められている。同時に、「第 3 期利用」並びに「第 3 期以降(2016 年以降の ISS の運用継続)」[7.3-3]の検討も開始されている。([注釈]<sup>34</sup>「ISS の運用利用延長」を参照。)このような周辺状況の中で「第四の段階」の利用促進並びに利用推進の方向性を考察するために、ここでは、「第一の段階」から「第三の段階」の利用促進及び利用推進の活動のポイント(7. 2節の表の再掲)を要約しておく。そして次節では、第 7 章のまとめとして、筆者の経験(主として「第二の段階」から「第三の段階」)等に基づく「学習と教訓」という観点から、「第四の段階」における利用促進及び利用推進の方向性並びに課題を列挙することにした。

1) 第一の段階(昭和 62 年(1987)～平成 8 年(1996)):我が国の本格的な宇宙環境利用活動の促進に不可欠な「宇宙環境利用基盤」を整備する段階

宇宙環境利用は、本来、利用者それぞれが創意工夫を尽くして利用活動を行なうことが基本になる。しかし、宇宙ステーション計画への参加を決定した当時(昭和 62 年(1987))、欧米諸国に比べて宇宙実験の経験とデータの蓄積が乏しく、また、宇宙環境利用の科学技術基盤が未整備であった我が国の状況を踏まえて、宇宙ステーション計画への参加を決定する段階で、宇宙ステーションの運用利用の基本方針として、次の方向が示されていた。[7.2.1-7]

項目	基本方針のポイント
基本的考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「宇宙空間に浮かぶ開かれた実験室」及び「将来の宇宙インフラ構築のための基礎的諸活動の場」と位置付ける。</li> <li>◆ 国全体として対応する。</li> <li>◆ 地上研究を含めて、利用活動を体系的、総合的に推進する。</li> <li>◆ 長期的展望に立ち、科学研究、応用研究等でバランスのとれた運用利用を実現する。</li> <li>◆ 国際共同研究等に配慮する。</li> <li>◆ 特許、ノウハウの保護等に配慮する。</li> </ul>
推進方針	<p>初期段階では、特に下記の分野を重点的に推進する。その際、NASDA は中心的役割を、国立試験研究機関、大学等は先導的役割を果たすことを期待。民間では、情報の収集・提供、宇宙利用に関する調査研究等について JSUP 等を中心に積極的に取り組むことを期待。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 基礎的科学的現象の解明に関すること。</li> <li>◆ 宇宙ステーション利用に係る基盤的技術に関すること。</li> <li>◆ 宇宙インフラ構築に必要な科学技術(有人サポート技術)に関すること。</li> </ul>
宇宙実験等の推進(地上研究及び予備的宇宙実験)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 大学、関係省庁、民間企業は、宇宙実験に先立って、地上での体系的な研究活動を積極的に推進する必要がある。このために、「データベースの構築」、「実験手段(落下棟、航空機、小型ロケット等)の確保」等、研究基盤を充実させる必要がある。</li> <li>◆ NASDA は、上記の研究活動に資するために、実験手段等の充実に努め、自らも地上研究に積極的に取り組み、国立試験研究機関、大学等と協力して、</li> </ul>

	<p>我が国の宇宙環境利用技術基盤の確立を目指す。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 国立試験研究機関、大学等は、この分野の我が国全体の研究開発活動を増進させる役割を果たすべく、基礎的・先行的分野で、それぞれの研究開発活動を充実させる。</li> <li>◆ 宇宙ステーションでの本格的宇宙実験に備えるため、地上研究に加えて、宇宙の実験を通して技術・経験の蓄積を図る必要がある。そのために、FMPT や IML 計画への参加、SFU の活用等は極めて重要であり、このような実験機会の確保に国として努力する必要がある。</li> <li>◆ 国は、NASDA を中心としてデータベースの整備等を進め、上記の経験・成果等をデータベース化して利用者の便などに供する。</li> </ul>
宇宙ステーションでの宇宙実験等の進め方(運用利用計画の策定)	<p>原則的に下記の考え方で我が国の宇宙ステーション運用利用計画を策定する。尚、運用利用段階の資金負担(利用経費負担)については、利用者の適正・応分の負担を原則として今後検討する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 関係省庁は、その所管において利用要求のとりまとめを行う。</li> <li>◆ ISAS は大学等における科学分野の利用要求のとりまとめを行う。</li> <li>◆ JSUP は、民間の利用要求とりまとめに関して中心的役割を果たすことを期待。</li> <li>◆ SAC は、宇宙ステーション運用利用に関し恒常的に調査、審議を行う場を設け、我が国としての全体運用利用計画のとりまとめを行う。</li> <li>◆ NASDA は、JEM 運用主体として、SAC のとりまとめ作業に協力する。</li> </ul>

この基本方針を具体化するために、「JEM(きぼう)利用の基本方針」[7.2.2-1]が策定され、「JEM(きぼう)利用計画の策定」、「JEM(きぼう)利用の費用分担」、「共通実験装置の開発・整備」、及び「JEM(きぼう)利用の促進方策」についての基本事項が決定され、必要な促進並びに推進の方策が実施に移された。そのうち、「JEM(きぼう)利用の促進方策」については、「国として総合的な利用促進方策を進める」として、次の基本方針が示されていた。

	利用促進方策のポイント
地上研究及び宇宙実験の推進	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 地上研究を含めて、体系的・計画的に宇宙実験を推進する。</li> <li>◆ このために、「落下塔」、「航空機」、「小型ロケット」等を利用する予備実験機会を継続的に確保する。</li> </ul>
計画研究の推進	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 地上研究、予備実験、宇宙実験を体系的・計画的に推進する。</li> <li>◆ このため、有望な研究テーマを核にした、産学官の人材、技術、知見等を最大限に活用する「共同研究体制を基盤とした計画研究」を推進する。(宇宙環境利用フロンティア共同研究制度)</li> </ul>
宇宙実験に係る支援技術の整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 宇宙実験には特別な技術や知見等が必要なことから、宇宙実験計画の策定等に必要な支援技術を整備・拡充する。</li> </ul>
知的所有権等の保護	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 応募テーマの内容と成果等の取り扱いにあたって、特許、ノウハウの保護に配慮する。</li> </ul>

## 2) 第二の段階(平成8年(1996)～平成15年(2003)) : 宇宙環境利用の「研究基盤」を構築整備する段階

宇宙ステーション計画の見直し(ロシア参加のISS計画)が一段落し、ISSの組立て開始が平成9年(1997)末頃、JEM(きぼう)の組立て完了が平成12年(2000)末頃に設定され、延期が繰り返されてきたJEM(きぼう)の利用が、20世紀末頃から21世紀初頭には実現できる見通しが出てきた。一方、1990年代中頃までに、微小重力利用の研究対象が1980年代からの伝統的な分野

(材料・流体・ライフサイエンス)に加えて、基礎科学(基礎物理学、基礎化学、及び基礎生物学)、バイオメディカル(基礎医学)、生命科学(基礎)の分野にも拡大し、微小重力環境を提供できるISSの軌道上研究所を利用して、基礎科学研究に本格的に取り組むとの機運が醸成されてきた。

世界のこのような状況に遅れをとることなく、また、宇宙環境利用の有効性を早期に実証して21世紀初頭から始まるJEM(きぼう)の本格的な利用開始に備えるために、我が国の宇宙環境利用研究の新たな推進方策が求められていた。「JEM(きぼう)利用の基本方針」が狙った「日本全体で宇宙環境利用を推進する体制を構築する」との考え方のみでは克服が難しい課題に対処するとともに、間近にせまった初期段階におけるJEM(きぼう)利用の成果獲得を至上命題として、先導的な宇宙環境利用研究を推進し、宇宙環境利用の有効性を早期に提示することが喫緊の課題であると強く意識されていた。このために、当面、すなわちJEM(きぼう)の初期利用段階については、「国全体として対応する」という考え方から、「NASDAを中核とした体制で集中的に宇宙環境利用研究(科学研究が中心)を推進する」という考え方に方針転換がなされた。[7.2.3-11]そして、この命題を達成するための国の新たな取り組みが進められたが、そのポイント(三点セット)は次のものであった。

	取り組みのポイント
宇宙環境利用の可能性を引き出す「地上研究」の推進制度の創設	◆ 宇宙環境利用の裾野を拡大し、優れたJEM(きぼう)利用テーマを育成するために、「宇宙環境利用に関する公募地上研究制度」を創設する。
JEM 利用の中核を担う「研究センター」の設置	◆ 我が国のJEM(きぼう)利用研究の中核を担う研究推進組織として、NASDA に「宇宙環境利用研究システム」(理事長直轄の流動的研究組織)を設置する。 ◆ 同研究システムの運営を担う定常組織として「宇宙環境利用研究センター」を併せて設置する。 (初期段階での成果創出の責任はNASDAが担う)
「JEM(きぼう)の利用要求を総合的にとりまとめる委員会」の設置	◆ SACの役割を代替するものとして、「JEM(きぼう)の利用要求を総合的にとりまとめる委員会(「宇宙環境利用研究委員会」)」をNASDA理事長の諮問委員会として設置する。

上記に加え、我が国における「民間の宇宙環境利用」の萌芽のために、欧米の流れから遅れをとることのないよう、国の施策として「先導的応用化研究制度」を創設、宇宙環境利用の先導的研究(民間利用を目指した宇宙環境利用の有効性実証)として、次の取り組みが開始された。

[7.2.3-14]

	制度のポイント
有効性の実証を目的とした「先導的応用化研究」の推進	◆ 民間企業の研究者が参加する産学官の連携体制により、重点的・計画的に推進する。 ◆ 研究テーマは随時の募集・選定とし、選定は、地上への成果応用の可能性や知的所有権の獲得を重視した基準で行う。 ◆ 実験準備が整い次第、迅速にJEM利用が行えるプロセスを設ける。 ◆ 先導的応用化研究のために、JEMの専用優先リソース枠を適切な時期に設定する。 ◆ 研究の実施に際し、国内共用試験設備等の利用が必要な場合には、その利用機会を確保する。

- |                     |   |
|---------------------|---|
| 「先導的応用化研究」の<br>体制整備 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 研究は、テーマ提案者等がNASDAと共同で実施する。</li> <li>◆ 民間企業の研究者を統括責任者とする研究チームを設置する。</li> <li>◆ テーマの選定・評価はNASDAが実施する。</li> </ul> |
|---------------------|---|

3) 第三段階 (平成 12 年 (2001) ~平成 20 年 (2008)) : 宇宙環境利用の拡大と多様化に応えるための諸利用制度等を充実させる段階

21 世紀に入り ISS 計画は厳しい環境に晒されていた。困難の最大の要因は ISS 計画に対する NASA の予算超過問題と ISS 計画の度重なる遅延であった。同時に国内的にも、JEM(きぼう)利用の拡大と多様化に対する要請、中央省庁の再編、宇宙三機関の統合、厳しい財政事情に伴う利用予算の削減(それに対応するための利用計画の重点化)、運用利用予算の削減を可能にする運用利用体制の見直し、新規の財源を生み出す新たな利用制度(有償利用制度)の創設など、さまざまな課題に直面していた。

行政的な観点からすれば、ISS・JEM(きぼう)利用を中核として進める我が国の宇宙環境利用が、科学利用・応用化利用から一般利用・民間利用へと向かう流れは望ましいことであったが、実際には、JEM(きぼう)の打ち上げスケジュールの遅延に伴う対処(宇宙環境利用の遅れを補うための実験機会の確保)、財政状況の悪化に伴う利用予算の削減、やはりスケジュール遅延に伴う利用テーマの見直し(再評価)、中央省庁の再編及びその後の宇宙三機関の統合に伴う新たな宇宙環境利用推進体制の構築など、様々な環境変化への対応に迫られ、重点化と称して JEM(きぼう)利用の規模を縮小したり、経費削減の観点から地上研究支援制度を見直したり、利用予算獲得の分散化を図る方策を工夫することが求められた時期であった。

上記の諸課題に対して、宇宙三機関統合の直前の平成 15 年 7 月の段階で、「運用業務及び利用サービス提供業務における官民協働体制の構築」、「利用計画の重点化」、及び「利用推進のための新しい方策」について次の国の方針(中間的検討結果)が取りまとめられていた。[7.2.4-11]

項目	中間的な検討結果	最終報告に向けた検討課題
「運用業務」及び「利用サービス提供業務」における官民協働体制の構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM は、広く国民一般の利用に供される施設として、定常運用段階までには、民間を主体とした活動に移行することを見据える。</li> <li>◆ そのために、国、機構(JAXA)、民間がそれぞれの特徴を活かして有機的に機能する官民協働体制を構築する。</li> <li>◆ その際、官民の適切な責任とリスクの分担のもとに、段階的に民間活力の導入を進める。</li> <li>◆ これらにより、「利用サービスの向上」、「柔軟性の確保」、及び「運用期間全体の経費の最小化」の達成を期待する。</li> </ul>	<p>適切な官民協働体制構築に向けた具体的な検討の実施。(検討課題は次のもの。)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 国、機構(JAXA)が分担すべき具体的な業務の識別と設定</li> <li>◆ 官民の具体的な責任分担とリスク分担の設定</li> </ul>
利用計画の重点化	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 限られた資源で最大の効果を創出するために、実施可能な課題を総花的に行うのではなく、特に費用対効果の観点から、なお一層の重点化を進める。</li> <li>◆ 我が国の宇宙開発利用の目的並びに意義を踏まえて策定された指針に基づき、JEM 初期段階で重点的に推進すべき領域と課題を設定した。(NASDA 委員会の検討に基づく。)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM 初期段階における利用資源の配分方針の決定</li> <li>◆ JEM 利用課題の選定と利用計画の策定</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 重点化によって、「費用対効果」の最大化を期待する。</li> </ul>	
利用推進のための新しい方策の実現	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 既存制度の「現状」と「課題」を整理し、限られた財源のなかで、求められる成果を早期、確実かつ継続的に創出するために必要な機能に留意しつつ、「既存制度の見直し」を行う。</li> <li>◆ また、利用者が利用料金を負担した上で、主体的に利用できる制度の新設等、利用の拡大と多様化につながる新たな方策を検討する。</li> <li>◆ このことにより、「確実かつ継続的な成果の創出」、「利用の拡大と多様化」、「財源の多様化」が実現されることを期待する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 利用推進制度の見直し（「公募地上研究制度」及び「先導的応用化研究制度」）</li> <li>◆ 利用拡大と財源の多様化に結びつく、具体的な方策の検討（新たな利用制度の創設等）</li> </ul>

その後、新宇宙機関 JAXA への体制移行を経て、平成 16 年(2004)4 月、「我が国の ISS 運用・利用の今後の進め方について」[7.2.5-6]が利用部会報告としてとりまとめられた。この部会報告以降、「国際宇宙ステーション特別部会－中間とりまとめ－」[7.3-3](平成 22 年(2010)6 月)まで、SAC において、ISS 運用利用の進め方等に関する部会レベルの報告は出されていない。

	今後の進め方の概要
運用業務・利用サービス提供業務における官民協働体制の構築	<p><u>基本的な考え方:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM 等の安全・確実な運用に配慮しつつ、運用期間全体の経費を可能な限り節減し、運用・利用に係るサービスの向上と柔軟性を確保した上で、利用の拡大と多様化を実現する。</li> <li>◆ そのために、国、機構(JAXA)、民間がそれぞれ特徴を活かして有機的に機能できる適切な官民協働体制を構築する。</li> </ul> <p><u>国・機構・民間の役割分担:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 国は、ISS 全体の運用計画に関する国際調整、予算確保、我が国の計画に関する政策的な方針設定を行う。利用については、JEM 利用資源配分の方針決定、国として推進する利用分野の重点領域と利用計画を定める。</li> <li>◆ 機構(JAXA)は、国の方針に基づく全体計画管理、安全審査並びに国が行う運用計画の国際調整支援等を行う。利用については、利用資源配分の方針に基づく JEM 利用の実実施計画の策定、共通的に必要となる実験装置等の利用資源の提供・維持・管理を行う。</li> <li>◆ 民間に期待される役割として、民間の自主性と創意工夫の尊重により、民間資金の導入も視野に入れ、民間の経営能力、技術能力及び市場開拓能力を活用すること。また、民間が定常業務を主体的に実施することにより、機構が研究開発業務に集中できることを期待。</li> <li>◆ 国及び機構の役割に係る業務を除いては、定常運用段階までに民間が主体的に業務を実施する体制に移行することを目指す。官民協働体制への移行は、定量的な効果を評価した上で判断する。移行は、技術の確立と習熟の程度を見極め段階的に行う。</li> </ul> <p><u>今後の検討事項:</u></p> <p>以下の課題を検討し、平成 16 年度(2004)中に事業者の選定方法・選定期間を明確化する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 詳細な業務分担・リスク分析</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 効率化及び民間の事業性に係る評価</li> <li>◆ 具体的な契約方法・条件</li> <li>◆ 民間への確実な技術移転方法。</li> </ul>
利用推進のための新しい方策の実現	<p><u>既存制度の見直し:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ JEM利用開始前の利用機会の不足を補い、宇宙環境利用の成果を創出するために、定期的・継続的な宇宙環境利用機会の確保に努める。</li> <li>◆ 「公募地上研究制度」では、今後、初期利用を補強する課題の育成に重点を置くとともに、初期段階以降に宇宙環境利用の成果を創出できる研究を育成するよう見直す。</li> <li>◆ 応用利用分野では、応用展開に資する成果を継続的に創出するために、「先導的応用化研究制度」を発展的に解消し、大学、研究機関等における研究を企業等の利用や事業化に結びつけるために必要な支援を機構が行う。このため、産官学連携体制構築に向けた制度を新設する。</li> <li>◆ 教育利用等の推進については、国際協力も視野に入れ、これらの利用領域を継続的に促進するための環境を整備する。</li> </ul> <p><u>民間等による有償利用枠の創設</u></p> <p>JEM(きぼう)利用に係る一定の費用を負担すれば利用者が主体的に利用し、成果を取得できる制度を新設する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 有償利用については優先枠を設定する。(当初、我が国全体の利用資源の1割から3割程度が目安。)</li> <li>◆ 利用料金の設定は、施設供用の考え方に基づき、利用に伴って追加的に発生する実費を利用者が負担することを原則とする。また、利用成果の社会還元・普及促進の観点から、成果の帰属と連動した段階的な料金体系を機構が設定する。</li> <li>◆ 民間の利用サービス提供事業者の導入に向けた検討を行う。</li> <li>◆ 遅延や事故等、利用にあたって想定される具体的なリスク分担・対応方法の明確化、即応性が求められる利用要求に対する利用準備期間の短縮、利用にあたっての制約の緩和等について、必要な方策の検討を行う。</li> </ul>

上記の方針等に基づき、JAXA では、既存の利用制度(「公募地上研究制度」及び「先導的応用化研究制度」)の見直し、JEM(きぼう)の新たな民間利用を促進するための制度(「有償利用制度」)並びに官民協働体制構築に関する検討が行われた。公募地上研究制度については、ISS・JEM(きぼう)利用の促進に寄与するための制度運営の見直しが継続的になされたが、同制度の発展的継続の考え方を集約するに至らず、平成18年度(2006)の第9回募集を最後に公募地上研究制度は終わりを向かえる。一方、応用化研究については、先導的応用化研究制度の課題を克服するために新たな「ISS 応用利用研究拠点制度」が発展的に創設され、現在に至っている。また、民間等による有償利用という新しい利用促進概念については、JAXA におけるその後の検討により、「きぼう」有償利用制度が創設され、現在に至っている。新たな利用分野として「教育利用」、「文化・人文社会科学利用」、「アジア利用」の分野についても、新たな取り組みが開始されて現在に至っている。

### 7. 3. 2 今後の JEM(きぼう)利用の促進・推進の方向(「第四の段階」に対する配慮事項)

前節で、ISS・JEM(きぼう)の利用促進及び利用推進に対するこれまでの取り組みを、便宜的に「三つの段階」に区分し、その発展段階として「第四の段階」の定義を試みた。これらの区分は筆者の考えによるもので、一般的合意が得られた上での整理ではない。実際には、各段階の促進策等が互いに独立して存在したのではなく、互いに重なり合いつつ、重点の置き処を先の段階に移しながら実施された施策であったと理解する必要がある。敢えてこのように区分した理由は、促進策等の特徴を浮かび上がらせるのが容易であったからである。この観点から、「第一の段階」(宇宙環境利用基盤の整備)、「第二の段階」(宇宙環境利用の研究基盤の構築)、及び「第三の段階」(諸利用制度の充実と民間利用の促進)という区分を用いた。国(政治及び行政)の視点からすれば、①「共通の利用基盤を整備する段階」から「創意工夫に基づいた個別の利用者の利用」へ、②「利用開拓」から「実利用」へ、そして、③「官の利用」から「民の利用」へという、宇宙環境利用の拡大と多様化を下支えするのに必要な流れを先導するための施策の区分として、自然な成り行きに沿った、考え易い発展段階の定義ではないかと思える。

「第一の段階」の促進及び推進の方策は、主として宇宙機関の役割として、宇宙ステーション計画の初期の段階から集中的な取り組みがなされた。一方、「第二の段階」の取り組みは、我が国の宇宙環境利用の発展を実質的に決定付ける研究基盤の構築という、ソフト面の取り組みであったから、宇宙環境利用の特徴と将来への展開を考えれば、必然的に「日本全体での取り組み」が不可欠であった。しかし、このことは、新規の分野開拓に対応可能な有力な研究ポテンシャル(第一線の研究者及び研究指導者)の発掘と、そのもとでの強力な研究推進体制の構築という、本質的でかつ時間を要する難題でもあったために、日本全体での取り組みは容易には進展しなかった。そのために、宇宙環境利用研究の新たな分野開拓を行い、その意義や価値を先導的に示すことを至上命題として、当面の利用推進活動、すなわち JEM(きぼう)の初期段階までの利用促進及び利用推進の諸活動を、「日本全体での取り組み」から「NASDA を中核とした取り組み」へと大きく舵を切った。これが、平成 8 年(1996)年 7 月の「宇宙環境利用の新たな展開に向けて—宇宙環境利用の当面の推進方策—」[7.2.3-11]に示された推進方策であった。7. 2. 3. 3 節で概要を述べたとおり、「宇宙環境利用研究システム(流動的研究体制)による先導的研究(地上研究)の推進」、「公募地上研究による利用研究分野の裾野拡大」、及び「宇宙環境利用研究委員会による利用推進活動の展開」の三点セットで構成された推進方策は、我が国の宇宙環境利用研究の立ち上げ段階の取り組みとして相応に機能し、各推進策(三点セット)が相互に連携して、期待された役割を果たした。この先導的な取り組みには、平成 10 年(1998)7 月の「宇宙ステーションの民間利用の促進に向けて」[7.2.3-14]に示された、先導的応用化研究の取り組みも含まれる。

しかしながら、この「第二の段階」の取り組みは、度重なる ISS 計画の遅延と JEM(きぼう)利用開始の先送りのために、初代の先導的研究課題(地上研究)とその発展としての宇宙実験を、予定した 20 世紀末ないしは 21 世紀のごく初頭までに完遂させることができずに時間が経過してしまう。その結果、本来、流動的研究体制として構築され、時代の先端を行く新たな先導的研究の課題に次々と取り組む、このために研究体制を順次一新させて研究を推進するという、流動的研究体制の利点を活かすことが出来なくなってしまった。すなわち、度重なる計画遅延のために、初代の流動的研究体制が固定化してしまい、新規の課題に着手する実質的な機会を逃してしまった。その結果、共通実験装置利用の時代から個別実験装置利用の時代へと飛躍する道を開く

ことも出来ず、地上の研究の急激な革新と進展に宇宙環境利用研究が対応できないなど、先導的な宇宙環境利用研究の推進にとって深刻な事態を招いてしまう。具体的には、宇宙環境利用研究システムの「調査研究」の成果を先導的研究に発展させる機会を逸してしまい、また、公募地上研究で提案のあった斬新で有望な研究課題をタイムリーに宇宙実験に発展させるなど、先導的成果を示す機会を逸してしまったことである。その結果、新規分野の第一線の研究者を宇宙環境利用に引き留めておくことが難しい状況に立ち至った。さらには、このような膠着状態の最中に行われた宇宙三機関統合の結果、宇宙環境利用研究が、それまでの課題開拓型の先導的研究の推進から、大学共同利用としてのボトムアップ型の研究推進へと半ば強制的な移管がなされ、課題開拓型の研究として有望視されていた宇宙環境利用研究の芽が摘み取られてしまった。地上研究と比較して、宇宙実験では長い実験準備期間が必要にもかかわらず、1回の実験機会では限られたリソース配分しか得られない。このために、通常、個々の宇宙実験単独で体系的な結果を獲得することは難しく、これを回避するために、実験をシリーズ化(体系化)して実施する研究のシナリオ(体系的な研究及び宇宙実験の戦略)が不可欠になる。個々の宇宙実験成果を独立に幾つ並べても、大きな結論を導く科学的成果を得ることは一般的には難しいからである。生命科学や物質科学などの宇宙環境利用の科学研究(スモールサイエンス)では、一般論として、課題開拓型の先導的研究を体系的に実施する戦略を重視しないと成果創出は難しい。この観点から、平成15年(2003)10月の宇宙三機関統合に際して、宇宙環境利用研究システムを完全に廃止し、宇宙環境利用の科学研究の実施並びに推進の機能の全てを、当時の宇宙科学研究本部に移管したことが適切であったかについては疑問が残る。日本学術会議で、学術におけるボトムアップ型研究(従来)とトップダウン型研究の特長を踏まえつつ、「ヒトゲノム計画」にみられるような、トップダウン型の大規模研究計画の必要性が主張されている。[7.3-4][7.3-5] この議論と全く同様に、宇宙環境を利用する科学研究(学術研究)の振興に対しても、ボトムアップ型研究を基礎としたトップダウン型研究の推進([注釈]<sup>48</sup>)を的確に具体化するための強力な施策が求められることになる。それと同時に、国並びに宇宙機関が、戦略的、体系的に推進すべき宇宙環境利用の研究課題(技術開発課題を含む)についても、組織の責任と特長を生かした柔軟な取り組みが可能となるような、新たな推進策が求められていると思える。

上述のように、実際には「第二の段階」の取り組みの途中段階で、我が国の宇宙環境利用の推進体制が大きく変化した。途中段階の出来事の第一は、平成13年(2001)1月の「中央省庁の統合」による体制変更、その第二は、「宇宙三機関統合」による体制変更で、後者については、宇宙科学研究本部の「ボトムアップ型の研究推進」への移管として触れた通りである。この移管に加えて指摘しておきたいのは、SACの機能と役割の変更に対応して、「宇宙環境利用を総合的に取りまとめる委員会」の機能と役割の見直しがなされなかった点である。([注釈]<sup>49</sup>) 国の責任

---

[注釈]<sup>48</sup> ボトムアップ型研究を基礎としたトップダウン型研究の推進：この推進には、これを実現するための「地上研究助成制度」と「宇宙実験支援制度(個別装置開発の経費の助成制度等を含む)」を新たに創設することが前提になるであろう。同時に、理化学研究所等の潜在的な大規模利用者が、独自の研究ポテンシャルを活用し、独自の価値観と視点で、戦略的に宇宙環境利用研究に参画できる道(特に予算措置の道)が確保されることも重要になる。

[注釈]<sup>49</sup> 「宇宙環境利用を総合的にとりまとめる委員会」(平成8年(1996)年7月の宇宙環境利用部会報告)：JEM(きぼう)の利用要求とりまとめに関するSACの責任と役割を代替するために、NASDA理事長の諮問委員会として、平成8年(1996)年10月、宇宙環境利用研究委員会が設置された。本

体制の変更(旧 SAC から、CSTP および新 SAC)に対応した委員会の責務の変更、すなわち、「利用要求とりまとめ」の機能・役割・位置付け等について、少なくとも新 SAC の場での議論がないままに、「宇宙環境利用研究委員会」から「きぼう利用推進委員会」へと委員会の機能と役割が、形式的に、しかも内容が拡大した状態で、引き継がれた点である。この点に関連する課題認識は、7.2.5節(2)項で指摘したが、そのポイントは次のものである。すなわち、宇宙環境利用研究委員会の「分野別専門委員会」は、宇宙環境利用研究の各専門分野について、我が国の研究コミュニティを育成し、その利用要求等を集約する機能役割を果たした。一方で、きぼう利用推進委員会で、この分野別の専門委員会に相当するのが「JAXA 各事業本部の本部長の諮問委員会等」(図 7.2.5-2 参照)であった。しかし、この諮問委員会等は、本質的に JAXA 各本部の諮問委員会であり、日本全体の宇宙環境利用(研究)コミュニティを育成しその利用要求を抽出するための機能と役割を担うことはできないし、そもそも、その責任を負ってはいない。このために、きぼう利用推進委員会には、「日本全体の宇宙環境利用を総合的に取りまとめる」という役割は果たしえないと筆者は判断している。少なくとも宇宙三機関統合に際して、旧 SAC が定めた「初期段階までの NASDA 中心の宇宙環境利用の推進体制」[7.2.3-11]を、それまでの状況に対応して見直し、JEM(きぼう)の初期利用段階から定常利用段階への移行を視野に入れた、「我が国の宇宙環境利用の推進体制の在り方」についての国レベルの検討と調整が必要であったと思われる。宇宙環境利用の本来の姿や利用展望を将来に向かって提示する意味からも、この検討は是非とも望まれることであった。JEM(きぼう)は宇宙機関 JAXA の専有物ではなく日本国の軌道上資産であり、日本の国民が様々な視点から活用できる場としなければならないからである。(尚、現時点では、我が国の宇宙開発利用については、国の最上位の意志決定機関として、「宇宙開発戦略本部」が設置されているから、上記の検討は、SAC の検討の範囲には収まらないことになるであろう。)

上記の課題を引きずったままに進められた「第三の段階」の取り組みの中で、宇宙環境利用の将来展望と有人宇宙の発展の姿、それを実現するための公募地上研究制度の果たすべき役割などについての関係者の意見集約が出来なかったために、また、平成 28 年(2016)以降の ISS 運用延長([注釈]<sup>30</sup>参照)の議論が始まっていなかったために、公募地上研究の制度存続の必要性等に関する深い議論と検討の機会を逸してしまい、平成 21 年度末の制度終了を迎える。一方、先導的応用化研究制度の見直しについては、「民間利用の促進」を重視して進める国の方針に従って戦略的取り組みが進められ、先導的応用化研究制度から応用利用研究拠点制度への発展的移行と制度運営がなされてきた。しかしながら、ナノテクノロジーに関連した地上の技術革新の急激な進展に伴って、当初、微小重力利用における産業利用の柱と考えられてきた化合物半導体の結晶成長等(微小重力環境でのバルク結晶成長)に対して、民間企業の関心が薄れてしまい、新規の医薬品創製等に関連した蛋白質結晶生成の領域以外に、今後の産業利用の柱となるべき新たな有望分野を見出すための努力が傾注されている。その他の利用分野(一般利用、教育利用、アジア利用、有償利用等)については、新たな利用開拓や利用の展開に向けた取り組みが始まった段階であり、今後の進展を見守る必要がある。

以上の状況を踏まえて、また、平成 28 年(2016)以降の ISS の運用延長議論[7.3-3]も視野に入れて、「第三の段階」から「第四の段階」に向けた取り組みをどのように進めたらよいのか。その

---

委員会は、「宇宙環境利用を総合的に取りまとめる委員会」の機能と役割を担った。

検討に向けた筆者の認識を、これまでの経験を踏まえて以下に列挙し、第 7 章の「まとめ」とした  
い。

(1)「第四の段階」の目標の方向性:

- ◆ 我が国の「軌道上研究所」並びに「宇宙環境利用を実践する場」として、ISS・JEM(きぼう)を日本全体で活用するとともに、世界(特にアジア諸国)にも利用の道を開く。
- ◆ 利用者それぞれが創意工夫を尽くして ISS・JEM(きぼう)を活用した宇宙環境利用活動を主体的に進める。(それぞれの専門分野で、それぞれの責任で、地上の諸活動を宇宙へ拡大する視点を重視して、利用活動を展開する。)
- ◆ 宇宙機関 JAXA は、今後の有人宇宙活動のためのテストベッドとして ISS・JEM(きぼう)を最大限に活用し、世界と協働しつつ、我が国の特長を活かした有人宇宙開発を戦略的に推進し、科学技術と人文社会の両面から、人類の活動領域を宇宙に拡大するために必要な「調和した有人宇宙の基盤構築」を継続するとともに、日本ならではの分野・領域で国際貢献を達成する。

(2) 目標を達成するための促進並びに推進の当面の課題:

国の宇宙環境利用推進体制および利用者の宇宙環境利用への関心が、1990 年代と現時点とは大きく異なってきたことを踏まえて、今後 10 年程度の ISS・JEM(きぼう)利用(2020 年頃までの運用延長が前提)について、利用促進及び利用推進の観点からの主要な課題を列挙する。

今後 10 年の日本の宇宙環境利用活動を有意義に推進するために、これまでの宇宙環境利用活動の状況(地上研究と宇宙実験の結果を含む)を総合的に評価し、その上で、JAXA を中心とした現在の利用推進体制を適宜見直し、日本全体および世界(特にアジア)の宇宙環境利用の進展や有人宇宙活動の展開の可能性を視野に入れて、今後の日本としての宇宙環境利用の展開に備える必要がある。

- ◆ JEM(きぼう)を日本全体で活用し、その範囲を世界にも(特にアジア諸国)拡大するために不可欠な、「アイデア公募システム」並びに「採択アイデアへの財政的支援システム」の創設。  
(誰がどのように募集・選定し、これに対して、どのような財政的支援を与えるのか等。特に、大学及び中小ベンチャー企業等への対応が重要。財政的支援は、地上研究から宇宙で実験し成果を得るまでの一連の活動を対象にする必要があり、そのための各段階の進捗評価システムの確立も重要。現在の「きぼう利用推進委員会」は、この課題に対応するための責務を国から付託されていないし、それを実施できる体制にもなっていない。また、戦略的に ISS・JEM(きぼう)を利用するための基本方針の設定についても、国から責任を付託されていない。)
- ◆ JEM(きぼう)を日本全体で活用する一環として、大規模利用者(例:理化学研究所、放射線医学総合研究所、大学共同利用機関としての JAXA 宇宙科学研究所、その他の国の試験研究機関等を想定)が、組織レベルで、ISS・JEM(きぼう)利用をはじめとした宇宙環境利用(研究)を推進する際に不可欠な、計画設定から実施(予算措置等を含む)までのプロセスの構築。  
(各組織の計画設定、予算措置、業績評価等のプロセスを、国として認知することが重要。)
- ◆ 上記の二つの範疇の利用者の創意工夫の努力を具体化し、ISS・JEM(きぼう)利用の価値を最大にするために、その実験手段等の準備として、一般的には、「共通実験装置」から「個別実験装置」への転換が不可欠になる。この転換を実現するための国の施策。  
(上記二つの課題と連動した考察が必要。特に、大型の実験装置の開発が必要な場合の装置開発に対する責任の所在。)
- ◆ 上記の ISS・JEM(きぼう)利用を促進するための、「国」及び「宇宙機関 JAXA」の責任の果たし方。  
(国及び JAXA は、「第四の段階」で、ISS・JEM(きぼう)利用に対してどのような責任を果たすのか、

どこまでの利用者支援をするのか、そのために必要な人員並びに予算措置はどのようにするのか等。ISS・JEM(きぼう)利用の責任の果たし方の一つとして、ISS・JEM(きぼう)を有人宇宙開発のテストベッドとして活用し、国の方針に基づき、我が国の特長を活かした有人宇宙開発を戦略的に進めることが挙げられる。しかし、技術開発以外の利用促進(従来のUI業務等が典型例)については、そのために必要な予算・人員を対応させた上で、JAXAの責務が規定される必要がある。)

### 7.3 節の参考文献

[7.3-1] 宇宙開発事業団「外部評価委員会(宇宙環境利用)」報告書 平成10年(1999)

[7.3-2] 「宇宙問題への人文・社会科学からのアプローチ」高等研報告書0804 第2部第5章  
2.5節「宇宙環境利用の展望」(174P～178P) 平成21年(2009)3月

[7.3-3] 「国際宇宙ステーション特別部会－中間とりまとめ－」宇宙開発委員会・国際宇宙ステーション特別部会 平成22年(2010)6月

[7.3-4] 「学術の大型施設計画・大規模研究計画－企画・推進策の在り方とマスタープラン策定について－」日本学術会議 科学者委員会 学術の大型研究計画検討分科会 平成22年(2010)3月17日

[7.3-5] 「日本の展望－学術からの提言2010」日本学術会議 平成22年(2010)4月5日

## 第8章 宇宙環境利用研究を推進する仕組みと技術

### 概要

この章では、1990 年前後に始められた国際宇宙ステーションの利用要求取りまとめと、宇宙実験実施に必要な実験技術開発に付いて述べる。実験技術は実験装置との関わりも深いので、宇宙開発機関が開発した主な装置の開発過程や性能向上推移を概観する。また、国際宇宙ステーション参加パートナー間で適宜開催された利用ミッションに関する意見交換、情報交換、協力調整等の打ち合わせ会や活動状況を報告する。本章の記述に当たり、データベースは章の最後に参考文献として掲げた公開資料から大半入手している。



## 目次

8.1	初めに .....	8-3
8.2	利用要求取りまとめ .....	8-4
8.2.1	利用要求調査活動のはじまり .....	8-4
8.2.2	JEM 利用計画策定事はじめ .....	8-5
8.2.3	科学技術庁や NASDA の利用業務支援組織・団体 .....	8-7
8.2.4	他省庁(特に当時の通商産業省)の支援組織・団体 .....	8-7
8.3	宇宙ステーション利用計画ワークショップ .....	8-7
8.4	共通実験技術開発 .....	8-8
8.4.1	業務内容と体系等 .....	8-8
8.4.2	専門家(外部諮問委員会)からの意見聴取 .....	8-9
8.4.3	実験技術開発項目 .....	8-9
8.4.4	テレサイエンス, Tele-science .....	8-10
8.4.5	予備実験手段 .....	8-11
8.4.6	小型ロケット実験 .....	8-12
8.5	実験装置と実験技術 .....	8-13
8.5.1	宇宙環境利用研究のエンジン .....	8-13
8.6	国際調整活動 .....	8-23
8.6.1	MSWG: Multilateral Science Working Group .....	8-23
8.6.2	UTWG: Space Station/Spacelab Utilization Technology Working Group .....	8-23
8.6.4	IFSUSS: International Forum on Scientific Uses of Space Station .....	8-24
8.6.5	SSUAS: Space Station Utilization Advisory Subcommittee .....	8-24
8.6.6	SL-J IWG: Spacelab Japan Investigators' Working Group .....	8-24
8.6.7	SSLG(Senior Standing Liaison Group)、常設幹部連絡会義 .....	8-25
8.6.8	国際調整活動からの成果 .....	8-25
8.7	これまでの成果 .....	8-25
8.8	課題や提言 .....	8-26
	参考文献 .....	8-26

## 8.1 初めに

最初に宇宙環境利用研究の特徴を掲げる。即ち、  
 研究者とその研究室だけではクローズしない、  
 研究テーマ領域、テーマ群も膨大で、複数かつ多数の分野に跨る、  
 研究テーマ選定プロセスと体制が必要、  
 実験装置、実験技術が準備されていなければならない、  
 宇宙空間に実験室が存在する、  
 地上に管制センターが存在する、  
 実運用に携わる技術者が必要  
 地上での実験準備に技術者が必要、等々

主な点を書き出しただけでもこれだけある。従って、非常に簡単な実験を軌道上で実施するだけでも多くの手数を必要とし、宇宙実験そのものが大変 Labor Intensive な仕事であることが特徴といえる。これらの特徴を考慮すると、その実施遂行に当たっては、

科学研究目標の創出と事前検証、  
 事前に準備をしなければならない諸課題(技術や装置開発)、  
 研究者、宇宙開発機関、実務担当企業等のために環境整備、  
 等々多くの諸課題群をまず克服することが前提となることは言うまでもない。この宇宙環境利用研究を推進するための課題処理に必要な作業項目:機能項目と言ってもよい、を示す。これらは宇宙開発機関がプロジェクトやプログラムとして遂行する際に、WBS: Work Break Down Structure、と呼ばれている作業項目表に相当するものである。

### イ. 管理運営機構やマネジメント体制

政策・施策の審議や方針決定  
 体制、全体的なマネジメント  
 国際パートナーとの調整

### ロ. 科学研究領域検討やテーマの審議・選定プロセスと体制

利用要求取りまとめ  
 利用要求の調査、ワークショップの開催  
 研究テーマ募集・選定  
 実験研究テーマの地上準備作業  
 科学研究目標の創出

### ハ. 必要な技術群開発と体制の整備

インフラの整備  
 宇宙プラットフォーム(宇宙ステーション等)  
 地上管制センター、地上試験設備  
 人員(飛行クルーも含み)の訓練  
 宇宙環境利用推進プロジェクト  
 飛行実験プログラムとプロジェクト推進  
 技術開発  
 実験装置開発

## 宇宙実験実施技術(実験共通技術)開発

上記の WBS が宇宙環境利用促進と推進に必要な仕事群の概要であるが、本章で全て論じるわけではない。本章では筆者が関わった利用関係の極一部について述べるに過ぎず、適宜他の章を参照願いたい。例えば、「イ」の政策・施策の方針決定等、主として宇宙開発委員会の審議とそれによって定められ NASA/JAXA のプログラム変遷は7章に記述されていて、上に記す宇宙プラットフォームとは本書のメインテーマである国際宇宙ステーションのことで、その開発経緯、我が国の参加経緯は2章に詳し記述されている。厳密に言えば、宇宙環境利用研究がこの宇宙ステーションだけを手段とするものではない。ただし、本書で言う宇宙環境利用研究振興と推進活動はその完成と利用可能となることを全面的に当てにしていた。

## 8.2 利用要求取りまとめ

### 8.2.1 利用要求調査活動のはじまり

この節において、利用促進活動に関して、活動経緯の説明から始める。

我が国において調査活動が開始されたのは、昭和58年(1983)6月の宇宙基地計画特別部会中間報告を受けてであり、利用テーマについて国立機関、大学、民間企業等の専門家に利用要求調査依頼がなされている。上記の特別部会報告:宇宙基地計画参加に関する基本構想、が纏められるまでの間に、調査・ミッション解析等から約160件が提言され、利用要望38テーマ領域が分類された。この38分類は我が国の利用テーマ構想として、NASA User Requirements Data Baseの一部を構成するものともなり、上記の特別部会報告取り纏め(昭和60年、1985、4月)に基づき、宇宙ステーション全体、パートナー寄与分の予備設計が開始されることとなった。NASAへはミッション要求書が改定されたら、それを適宜送付している。

それまで(1985年以前)の利用要求の再調査、更新、詳細化を目指し、かつ利用の促進と拡大を図るため、昭和60年10月に第1回、11月に第回目の宇宙ステーション計画ワークショップを開催した。このワークショップが宇宙開発機関側から見て、利用要求の取りまとめに関しては中心的な役割を果たして来ている。また、利用者にとっても国の施策、宇宙開発機関の計画に関して情報を収集し、自らの研究活動に取り入れるための検討を思考する良い機会であったと思われる。

第一回ワークショップ開催後もミッション要求調査は継続され、38分類(テーマ領域)に関して、追加や再整理がなされ、昭和63年(1988)には「基準ミッション」が設定された。この基準ミッションに基づき、共通実験装置候補の検討と計画研究検討が開始され、利用再調査としてPre.AO (Preliminary Announcement of Opportunity, 募集のための事前調査)を発出した(1990)。その結果を基に共通実験装置選定を行い、その装置の機能検証を行うと言う名目で平成4年(1992)に第一次JEM(Japanese Experiment Module、我が国のモジュール、通称“きぼう”)利用テーマ募集(AO 発出)が行われたのである。計画研究検討の部分はフロンティア共同研究へと進化した。

先に述べたように昭和58年(1983)の宇宙基地計画特別部会中間報告を受けて、利用テーマの調査が行われたが、この時期に以下に掲げるように、多くに宇宙ステーション利用計画研究会が編成され、活発な調査研究・学習等の活動を行っている。例えば、次の様なグループが昭和59年(1984)に組織された。多くの活動は2年間で報告書を作成し終了している。

@宇宙基地計画研究会 昭和59年(1984)5月設立

昭和61年(1986)12月まで 石川島播磨重工業、東芝、三井物産等

@宇宙基地利用推進研究会 昭和 59 年(1984)6 月設立

昭和 61 年(1986)3 月まで 日産自動車(株)、(株)日立製作所、丸紅(株)外 38 社

@スペースステーション利用懇談会 昭和 59 年 8 月設立

協和発酵工業(株)、住友化学工業(株)、住友金属工業(株)、住友金属鉱山(株)、住友商事(株)、住友重機械(株)、住友電気工業(株)、日本電気(株)外 50 社

この懇談会は調査検討に止まらず、実際にスペースシャトル利用により、人工雪製造実験、水玉に鋼球を衝突させる実験等を実施して、宇宙実験により成果を上げている。当時はまだ定性的成果ではあるものの、地上と宇宙での差を広く映像で示したことは画期的なことである。

@スペースステーション利用研究会 昭和 59 年 9 月設立

長岡技術科学大学学長斎藤進六会長、三菱重工(株)、三菱電機(株)、三菱商事(株) 三菱総合研究所 外 86 社

@宇宙基地総合利用研究会

武蔵工業大学学長武藤義一会長、日商岩井 他 53 社

これらの調査研究会の活動結果を受けて、行政側・宇宙開発機関側が宇宙ステーション計画ワークショップを定期的開催(年 1-2 回)することとなり、「基準ミッション」作成へと発展して行った。

### 8. 2. 2 JEM 利用計画策定事はじめ

JEM 利用に向けた主なイベントを年次的に見るならば、調査研究会活動⇒第一回ワークショップ開催⇒基準ミッション⇒Pre AO⇒第1回目 AO、となっている。この昭和 63 年(1988)に設定された基準ミッションは当時の利用要求取りまとめのハイライトであると言える。これを設定するに際しては次のような考え方が採用されている。今日の視点から眺めても大変興味深いものである。

#### 天体・太陽系観測

「JEM の制約を踏まえて、高精度を要するミッションや大型の観測機器を要するミッションはフリーフライヤ等に搭載するものとし、その他のミッション要求をできるだけカバーするような代表的テーマを選定する。」

#### 地球観測

「極軌道衛星で十分なミッションは除外し、熱帯域を頻繁に観測するミッション(降雨、風、気温等)、有人支援を要するセンサー開発試験等を選定する。」

#### 理工学・通信

「JEM の機能確認、JEM における実験を効率的に行うための技術開発、将来の宇宙インフラストラクチャー開発の基礎となる実験の中から、JEM で実施可能なものを選定する。」

#### 材料

「商業生産用の装置、広大な高真空を利用した実験等は、将来の発展にゆだねるものとして、宇宙環境利用の有効性実証のため必要と考えられる基礎研究、応用研究テーマを選定。危険ガスを伴う実験は曝露部で実施するものとする。」

#### ライフサイエンス

「有人宇宙活動技術の取得、搭乗員の健康管理、バイオテクノロジーに必要な基礎研究のためのミッションを選定する。」

#### その他

「普及啓発用のミッション及び小規模ユーザーでも利用可能な小型簡易ミッションを選定する。」

実際に選定された基準ミッションの一覧を以下に示す。

#### 天体・太陽系観測

高エネルギー宇宙線観測、ガンマ線バースト、全天エックス線観測、全天ガンマ線観測、天体望遠鏡観測

#### 地球観測

降雨レーダーによる熱帯降雨観測、レーザーレーダーによる大気分布観測、垂直サウンダによる大気分布観測

#### 理工学実験

環境測定試験、曝露試験、構造物構築基礎試験、LSS 同定制御基礎試験、マイクロ波伝送基礎試験、太陽熱集光基礎試験、RMS 操作試験、RMS 地上遠隔操作試験、移動型コンピュータ試験、極低温推進薬貯蔵・移送試験

#### 通信

RFI 通信環境測定試験、大型通信アンテナ試験、将来型通信・データ処理システム試験

#### 材料実験・製造

液相での拡散、気相での拡散、液相における $\mu\text{g}$ 環境下の対流、気相における $\mu\text{g}$ 環境下の対流、融液における核生成、溶液における核生成、気相における核生成、融液成長における固液界面形状、溶液成長における固液界面形状、気相成長における固気界面形状、融液中の粒子の挙動、濡れ性測定、過冷却現象の解明、 $\mu\text{g}$ 環境下の基礎物理・化学現象、共晶系合金の一面方向凝固、粒子・繊維分散合金の生成、非混合合金の溶融凝固、バルクアモルファス金属の生成、半導体単結晶・無機単結晶の融液成長、高純度物質の生成、無機単結晶の低温溶液成長、薄膜・超微粒子の気相成長、バルク単結晶の気相成長

#### ライフサイエンス

原生動物、細胞性粘菌の分化、形態形成に関する実験、動物卵の受精と胚発生、形態形成に関する実験、植物培養細胞、組織、植物固体の成長、分化に関する実験、培養細胞の細胞内構造と細胞構築に関する実験、培養細胞の機能発現に関する実験、植物の重力屈性に関する生理学実験、動物の重力走行に関する実験、船内放射線の測定実験、宇宙放射線による胎仔被曝の影響に関する実験、宇宙環境下での微生物生存実験、カルシウム代謝に関する実験、内分泌・体液電解質の調節に関する実験、代謝調節における代謝、栄養に関する実験、神経科学の前庭神経系に関する実験、筋・骨格領域での心血管系機能に関する実験、運動生理学実験、微生物に関する実験、血液、免疫機能に関する実験、心理学、行動学に関する実験、宇宙臨床基礎実験、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 変換に関する実験、食糧生産実験、分離精製実験、細胞培養、物質生産実験、タンパク質結晶の生成実験

以上の基準ミッションを今日の実感で見ると余り具体性がなく、どのような論文を書くのか、書けるのかは分からない。ただ、ポイントは書き連ねられた研究課題領域が、宇宙環境利用には適当であると認識されたと言う事実である。

### 8. 2. 3 科学技術庁や NASDA の利用業務支援組織・団体

宇宙環境利用の振興と促進には宇宙開発機関だけ存在するのでは不十分で多くの支援機関や企業が必要なことは言を俟たない。当時科学技術庁やNASDAの支援で以下の様な団体が組織された。

@ (財)宇宙環境利用推進センター(JSUP:Japan Space Utilization Promotion Center)

昭和 61 年(1986)設立、平成 18 年(2006)まで

@ (財)日本宇宙フォーラム(JSF: Japan Space Forum)

平成 6 年(1994)設立、現在まで

@ダイヤモンドエアーサービス株式会社(Diamond Air Service,DAS)

平成元年(1989)設立、現在まで

@株式会社日本無重量総合研究所(Micro-Gravity Laboratory of Japan, MGLAB)

平成 2 年(1990)設立、現在まで

### 8. 2. 4 他省庁(特に当時の通商産業省)の支援組織・団体

通商産業省の支援の下では次の団体が組織された。

@株式会社宇宙環境利用研究所

昭和 61 年(1986)年設立、平成 6 年(1994)年まで

@ (財)無人宇宙実験システム研究開発機構

(Institute for Unmanned SpaceExperiment Free Flyer, USEF)

昭和 61 年(1986)設立 現在まで

@株式会社無重力実験施設(Japan Microgravity Center, JAMIC)

平成 3 年(1991)から平成 22 年(2010)6 月まで

### 8. 3 宇宙ステーション利用計画ワークショップ

#### a. ワークショップの開催経緯や役割と目的

宇宙ステーション利用計画ワークショップは昭和 60 年(1985)年に第 1 回目を開催し、その後毎年 1 回ないし 2 回開催し、平成 20 年までに 29 回を数えている。

ワークショップの役割は、宇宙ステーション計画の概要を広く周知する、其処で実施するであろう利用の実体を作成・準備することにあつた。第一回のワークショップを開催するに当たって、それまでに有志による半非公開の活動として行われたミッション構想調査、ミッション要求調査を纏めて、それをワークショップ参加者に初期値として提示し、それらをより良くしていくことと、新規の利用要求提案を参加者に求めて行くこととした。これにより、宇宙ステーション計画の公開性、宇宙ステーション利用の公開性が担保され、関心のある人は誰でも意見を具申できる、質問が出来るプロセスが確立した。以後、このワークショップは利用要求調査、利用者開拓、利用者支援等の面で中心的な役割を果たして来ている。

#### b. ワークショップのプログラム構成:全体会議と分科会

ワークショップの目的は行政府、宇宙開発機関から見ると、情報の開示伝達、宇宙ステーション計画への関心を高める、宇宙ステーション利用への勧誘、宇宙ステーション利用調査、等々があり、利用を考えている人達から見ると、振興施策の有無、利用上の制約や条件、テーマ募集の

有無、等々である。両者の関心・思惑が合致するようなアジェンダやプログラムを構成する必要があり、さほど難しい要求ではないが、適宜工夫を要する。主催者側代表は科学技術庁であり、運営の実務は宇宙開発事業団と宇宙環境利用推進センター(当該センターが設立された後は)が共同で実施していた。

上記の目的のためにはワークショップのアジェンダやプログラムはある一定のパターンに落ち着く。即ち、行政側、宇宙開発機関側からの報告や情報提示、利用者や利用者グループの希望や要望、課題や問題点の抽出、行政側・宇宙開発機関側、利用者等参加者全員のアクションアイテムを決める(決めなければならない時)こと、などから構成される。加えて、国際パートナーからの報告や研究活動の紹介も適宜はめ込まれている。これらは参加者全員による全体会議, Plenary Session, として行われる。専門性が高い議題に関しては分野毎の分科会を開催した。

#### c. 分科会;スプリンター、運営

専門性の高い議論をする場として、第一回ワークショップにおいても次の4分科会 , Splinter Session, を同時並行で開催している。即ち、観測(地球、科学)分科会、理工学・通信分科会、材料製造分科会、ライフサイエンス分科会、である。

### 8. 4 共通実験技術開発

国際宇宙ステーション計画全体の業務の中には大別して、システム開発とシステムの利用の二つがあった、現在でもそうであるが、システムのハード開発部分は終了し、システムの運用の時期になっている。

システム開発は JEM(Japanese Experiment Module)プログラム: 通称、「JEM プロ」、と言われるプログラムで、JEM システム開発、試験、打ち上げ、組立、運用を実施するプログラムである。本書においては、第2章、第3章、第4章、第5章、第6章、において記述・説明される部分であり、本章内では取り扱わない。

二番目にシステムの利用活動としての宇宙環境利用推進プロジェクト計画があり、その中に実務として当該名称: 共通実験技術開発、があった。利用活動において、政策レベルの変遷と経緯は前章:7章、で取り扱われている。この利用計画推進においては、以下の様な多岐に亘る業務を包含している。用語や業務の仕切りは時代とともに変化しており、多少遍歴しているが、基本的には以下の業務が計画書ベースでは 1990 年前後頃集大成されていて、以後今日に至るまで、延々と淡々と続けられていると考えてよい。前述したように、利用活動の政策レベルの変遷と概要は、前章:7章、で取り扱われている。

#### 8. 4. 1 業務内容と体系等

実験共通技術開発

解析技術

実験支援技術

地上実験技術

飛行実験技術

航空機実験環境整備、落下塔実験環境整備、

TR-IA ロケット実験

データベース化

テレサイエンス技術開発

利用要求取りまとめ

ニーズ把握、ミッション解析、ミッション要求取りまとめ、

運用要求、利用計画作成支援、実験計画作成、予備実験計画作成、普

及啓蒙、利用者支援

⇒これらの目的のため、利用計画ワークショップの開催

パートナーの二国間・多国間調整会議への参加、

利用テーマ募集(与圧部第一回 JEM 利用テーマ募集、1992-1993)、

共通実験装置開発:実験系設計、要素試作、

EM(Engineering Model)/PFM(Pre-Flight Model)製作と試験

地上施設設備の整備:実験棟整備や運用

プロジェクト管理:システムエンジニアリング管理、コンフィギュレーション管理、信頼性・品質管理、安全管理、資金管理、データベース情報管理、実験棟運用管理、委員会開催、審査会開催等

#### 8.4.2 専門家(外部諮問委員会)からの意見聴取

1987-1990年にかけて、利用ミッション検討と調査、利用要求調査、及び共通実験装置検討、技術検討へ専門家から意見を出して貰う場として、宇宙環境利用推進検討委員会(宇宙環境利用推進アドバイザーグループ)を設けている。その下で研究分野毎のワーキンググループ、分科会、を以下のように構成した。

材料系W/G:融体からの生成、溶液からの生成、気相からの生成

ライフサイエンス系W/G:分離精製、タンパク質結晶成長、発生と成長、放射線医学・生物学、代謝・栄養、神経生理

実験技術検討W/G:軌道上観察、物理現象シミュレーション、微小重力環境改善、遠隔実験技術[テレサイエンス]

その他W/G:実利用発展、理工学・通信、観測系(天体、地球)

実験装置アドバイザーグループ

これらのワーキンググループはワークショップの分科会とは別の活動であるが、両者は当然リンクしていて、このワーキンググループでの議論・討論結果がワークショップの場へ上げられている。これらの分科会は第一次 JEM 利用テーマ募集(1992)に先立つ「基準ミッション」作りにも意見を出している。

#### 8.4.3 実験技術開発項目

新規開発が必要なのは技術だけではなく、ハード(装置)の仕様、即ち能力でもあり、装置の能力と技術は一体であるから、技術だけを取り出して議論するには限界があるが、取り敢えず、便宜的に装置、ハードに付随した部分は取り除き、話を知識や情報としての技術に絞る。当時どのような技術項目が話題に上がっていたかを示す。

##### @材料分野

基礎 マランゴニ対流の測定と制御、熱拡散の結晶成長・凝固への影響、微小重力擾乱の結晶成長・凝固への影響

処理技術 材料と容器の適合性、核生成制御、無容器処理、試料攪拌、軌道上検査、高温処理、

環境制御 振動制御、真空測定、宇宙線モニター、

適合性評価 加熱、加圧容器安全基準、高温強度、耐食性基準

##### @ライフサイエンス分野

基礎 生体試料の溶液中挙動、生体試料溶液の物理化学特性、

処理技術 生物試料の保存、保管、輸送、生物試料の特殊処理、生物試料処理効



率化、試料の軌道上分析、  
 環境制御 環境汚染防止、廃棄物・排泄物処理、  
 適合性評価 動植物、人間のモニタリング、宇宙放射線の生体に対する影響、劇物・汚物の処理

@ 共通分野 遠隔実験技術 遠隔実験技術、自動化技術  
 極低温流体ハンドリング技術  
 サンプル・記録媒体回収技術  
 エネルギー活用技術

@ 基準作り

等が列挙されていた。

上記にリストアップされているマランゴニ対流の計測や分析・解析実験は、研究内容として研究者側もほぼ満足し、装置開発担当の宇宙開発機関側にも満足に近い成果を上げたのは2008年度に国際宇宙ステーションで行われた実験である。FMPT の時にもマランゴニ対流実験は実施したが、装置の実力からして十分な成果は上げ得ず、ある程度の成果を出すために実現に20年を要した長い道のりであった。

また、先のリストの中で材料基礎技術の基本は「その場観察技術」と認識され、この技術開発に多大な労力が注力されている。特に小型ロケット実験は「その場観察技術」を磨くために行なわれたと言って過言ではない。幸い、電子・情報技術の格段の進歩もあって流体の温度、濃度、流速やそれらの勾配等が精度高く計測可能になった。

技術開発が必要だと認識された上記の課題群にたいしての対処法は、我が国のモジュール「きぼう」とそれに搭載されている実験装置類については概ね確立されていると考えている。今日ではその面での更なる飛躍と、新規の装置開発が求められている。当然の事ながら、新しい科学に挑戦するには、その目的に合う装置や技術を準備しなければならない。装置と技術、科学目標は全て一体でなければならない時代になった。

#### 8.4.4 テレサイエンス, Tele-science

Tele-science とは Tele-presence、Tele-analysis、Tele-operation の三者を合わせたものとされていた。宇宙実験は操作を宇宙飛行士に任せ、研究者自身が行わない。操作者は研究者でなく、第三者である。このことは地上研究では考えられないことだ。第三者に研究者の経験、判断力、洞察力、データベースを如何に効率的に伝え、研究者がその場に居なくても問題にならないように出来るのかという質問に答えなければならない。

遠隔操作、Tele-operation、は人工衛星の管制で行っていて、コマンドを送り、テレメを見るというレベルでは問題ないと言い切れる。

遠隔分析、Tele-analysis、は内容によりけり、必ず出来るとは言えない。テレメを見て、不具合があるかないかを診断(判断)する程度なら問題ない。

Tele-presence は良い訳語を見つけれず、遠隔存在とでも直訳出来るが、日本語としての座りが良くない。言わんとするところは科学者が遠方に居ても、現象を身近に観察・判断できることとでも解釈が可能だ。実際には上記に示したように、その場に居合わせず、誰かに操作を頼むのであると、研究者の業界で一般的には自分自身は科学をやっていることにならないから、それでも自分で科学をやっていると言い張れるようにロジック(言い訳)を準備することが必要であった。

幸いにして、1990年代は電子機器の進歩が目覚ましい時代であった。現在もその延長上にあるが、1980年代から1990年代にかけては、測定機器、観測機器、記憶媒体、小型コンピューター(PCと呼ばれるもの)は日進月歩であれよあれよと言う間に出来なかったことが出来るようになっている。あらゆる面で実験精度が格段に上昇している。従って、1990年前後に問題視していた

課題は現在の宇宙実験において問題にはならなくなっている。即ち、Tele-operation や Tele-analysis は当然のこととなり、Tele-science なる用語は要あまり使われない時代になっている。

#### 8.4.5 予備実験手段

微小重力下で実験すれば良い結果が得られると分かっている、直ぐに宇宙へ持って行き実験が出来る訳ではないのと、宇宙で実施する実験を十分に地上で検討しておくことは必要であり、大切なことは論を俟ない。このため、短時間であるとは言え、各種の実験手段を宇宙開発機関側で準備した。宇宙環境利用の関係者には周知のことだが、多少の説明を加える。

航空機の放物線飛行により20-30秒の微小重力環境は得られる。また落下施設により数秒から10秒程度の微小重力環境を得ることもできる。やや長く取りたい時は、小型ロケットの弾道飛行を利用する。これによるとロケットの到達高度にもよるが3-4分から数分の微小重力環境を得ることが可能だ。これら三者の手段を用いても利用可能な微小重力環境が短いことで、宇宙で継続して実施できる微小重力環境の代替になるものではない。然しながら、それぞれの特徴を的確に掴み、予備実験として活用することは十分可能だ。

落下塔施設は時間が数秒間と一番短いので、利用可能な課題も限定的だ。唯一これを用いて科学的成果まで挙げているのは燃焼研究である。他の課題は、微小重力下に入った時、装置のスイッチが入るか等、ほんの短時間内での機能確認は出来る。また、流体の挙動や凝固開始等を観察することも場合によっては可能だ。ただ、現象を待っていて観察するというのは良策ではなく、微小重力下に入った瞬間、電界とか磁界をかけ、それにより現象が生起するかしないか等積極的に短時間を活用するような実験であることが望ましい。

航空機による実験は20-30秒あることと、人間が介在して装置等操作も出来るので、微小重力下で操作が必要な実験に向いている。ただ、微小重力環境は良くない、大体1gの100分の1程度なので、それ以下の環境を必要とする場合には向いていない。我が国では小型の航空機を使っている、主として実験用と言えるが、アメリカやヨーロッパでは大型の航空機を使い、宇宙飛行士の訓練に使っている。キャビンが広いと微小重力環境の宇宙空間を模擬した空間になるし、その場で宇宙服の作業性や宇宙飛行士が自分自身の体の動かし方を習得することが出来る。

小型ロケット実験は数分間とは言え航空機や落下塔に比べれば微小重力時間も長く取れるので、テーマによっては単なる予備実験に止まらず、科学的成果を出す実験となる可能性がある。従って、これまでの微小重力実験例としては宇宙実験に加えて、統計上はロケット実験結果も含めることが多い。

予備実験を行ってから、宇宙実験に繋げるのが良作であり、そうすべきであるが、やりたい予備実験が常に出来るとは限らない。ステップを踏んで実施した例を挙げると、IML-2で飛行したテーマ:「多元系化合物半導体融液の均一分散・混合」、ロケット実験でも「マランゴニ対流の発生とその制御」のタイトルの下で融液の挙動を観察している。また、それに先立ち、使用する装置を航空機実験で作動確認している。これら一連のロジカルな流れで宇宙実験に繋げる事が出来ると、科学的成果が上がるに止まらず、その経緯から多くの経験と教訓を学ぶことが可能となり、相乗効果は大きくなる。

最終的にはどれを航空機で開発するのか、どれを小型ロケットで習得するのかは大系として纏められている。その結果を図 8.4-1 に示す。主な装置開発経緯の概要は「8.5実験装置と実験技術」において説明する。

図 8.4-1 実験支援技術の体系<sup>1</sup>

実験支援技術分野と区分	実験計画技術	制御技術	プロセス基礎技術													実験効率化技術	後方支援技術	実験管理技術									
			共通基礎技術	材料・ライフ分野	材料分野基礎技術					分野基礎技術	ライフサイエンス																
					試料分離技術	材料・容器の適合性評価技術	μg物理現象シミュレーション技術	マランゴニ対流の測定・制御技術	μg擾乱評価技術			無容器処理技術	高温処理技術	試料攪拌技術	ガス処理技術				温度・測定制御技術	生物試料及び危険物操作技術	溶液操作技術	質量測定技術	バイオコンタミネーション防止技術	生体信号測定技術	軌道上実験の効率化	輸送・保管技術	軌道上解析技術
実験リソース最適化技術	宇宙環境予測技術	振動制御技術	真空測定・維持技術	宇宙線モニター技術	その場観察技術	試料分離技術	材料・容器の適合性評価技術	μg物理現象シミュレーション技術	マランゴニ対流の測定・制御技術	μg擾乱評価技術	無容器処理技術	高温処理技術	試料攪拌技術	ガス処理技術	温度・測定制御技術	生物試料及び危険物操作技術	溶液操作技術	質量測定技術	バイオコンタミネーション防止技術	生体信号測定技術	軌道上実験の効率化	輸送・保管技術	軌道上解析技術	再生処理技術	汚物処理技術	信頼性・安全管理技術	
μg実験の手段																											
航空機実験		○				○	○	○	○	○					○	○	○	○					○				
小型ロケット実験		○			○	○	○	○	○	○	○	○	○		○												

○印：当該技術開発項目に適合する予備実験手段を示す。

8.4.6 小型ロケット実験

ロケット実験は予備実験のカテゴリに入ってはいるが、数分間の微小重力環境が得られるため、学術的に価値のある実験を実施出来ることもあと申し上げている。然しながら、このロケット等を利用した短時間微小重力実験も、基本的に宇宙実験に先立つ予備的実験に属するもので、科学的成果を上げると言う観点では限界があったし、限界を見定めて使うことが重要であった。旧 NASDA 時代のロケット実験は 1980 年代の TT500 ロケット、1990 年代の TR-1A ロケットと 2 種類ある。どの様な実験がなされたか、また、その結果については参考文献[3]-5]に記載されているので、詳細はそれを参照して頂くとして、此处ではTR-1Aロケット用に開発された装置と実験技術の対応を図 8.4-2 に纏めておく。

図 8.4-2 開発すべき実験支援技術と実験装置の対応<sup>2</sup>

搭載実験装置 開発すべき 共通実験技術	観察技術 実験装置	流体物理 基礎特性 測定装置	微小重力 維持技術 実験装置	汎用 加熱装置	高温 加熱装置	温度勾配型 加熱装置
温度測定及び 温度制御技術	○	○	○	○	○	○
その場観察技術	○	○	○		○	○
高温処理技術				○	○	○
材料と容器の 適合性評価技術				○	○	○
微小重力の擾乱に よる影響評価技術	○	○	○			○
マランゴニ対流の 測定・制御技術		○				
物理現象シミュレ ーション技術	○	○	○			
振動制御技術			○			
試料分離技術			○			

[注釈]<sup>1,2</sup> 両図は参考文献[3]-5] TR-1Aロケット 1号機成果報告書に掲載されている。

TR-1A ロケットは 1991 年秋から 1998 年の秋まで、年 1 回、7 回ほど打ち上げられている。毎回 6 テーマが 6 装置を使って飛行実験を行っている。宇宙開発機関側プログラムの仕分けとしては、3 号機までは共通実験技術開発のため、4 号機から 6 号機まではフロンティア共同研究のめとして実施している。7 号機に関してはテーマを公募して実施した。

物質科学系の研究テーマ領域は溶融・凝固結果をみるもの、マランゴニ対流や結晶成長のようにプロセスと見るもの、のいずれかが多数で、その他に、微小重力維持、静電浮遊炉用の位置制御機能、燃焼、沸騰等の工学的研究テーマが加わっている。

結果を見る研究としては、拡散係数の測定、半導体や合金の出来具合を調べるものである。最終的な出来具合と、其処で分かる拡散係数とは関連していると説明を付けられるが、最終結果から全体のプロセス(途中の経過)を推定することは変わらない。途中の拡散係数まで見るため、均熱炉の凝固カートリッジを適宜分割して行く方法等(シアーセル法)も考案され、拡散係数の測定に格段の精度向上がもたらされた。

プロセスを見る研究は、それまでの研究がどうしても結果だけしか研究者が見ることが出来ず、研究が進まないと言う反省から、流体の挙動なり結晶の生成が時間軸に沿って正確に観察・測定しようとする技術開発優先の研究である。これは共通実験技術の箇所でも言及したように、装置の機能・性能を高めればそれなりに良い科学論文を書けるからに外ならない。このプロセスを見る研究と技術開発が TR-1A ロケット実験の大きな柱であった。

観察・測定パラメーターは、温度、圧力、流速、とそれらの空間的勾配が主なものである。性能的に研究者側の要求が満たされたとしても、加えてロケットに搭載できるよう、装置自体を小型化しなければならないこと、重量や消費電力を抑えること、機械的な環境(打ち上げ時や回収時)に耐えること、多くの課題をクリアしなければならないことがあった。

TR-1A ロケットプロジェクトは研究者と装置開発側(宇宙開発機関)と緊密に意見交換、情報交換を実施して研究内容、技術内容(装置開発運用等)全般のレベル向上に大変寄与したプロジェクトである。その成果は JEM 搭載用実験装置開発に繋がっている。技術と装置に関する説明は「8. 5 実験装置と実験技術」において記述する。

TR-1A ロケット実験は殆ど物質科学系(流体も含む)の実験であり、ライフ系実験は少数である。6号機と7号機で1テーマづつ、計2回、細胞培養の実験が飛行している。これらの研究内容についても既に言及した参考文献に記載されている。

ライフ系実験はどうしても長い微小重力時間が必要だから、ロケット実験のように数分では不十分な事が分かっていた。ただ、その短時間でも何か見出せないかというのが一つのポイントで、細胞を微小重力下にさらして、はたして変化が現れるだろうかという注目の実験である。勿論、それに加えて微小重力下で使用するデバイスの機能性能、装置は細胞そのものの各種環境への対応性(耐性)なども要注意項目ではあった。微小重力下にさらすと何か変化しそうだとの兆候は掴めるように報告されているが、いずれにしろ数分の短時間に装置の機能確認以上の科学的に有意義な実験を行うことは難しい。

## 8. 5 実験装置と実験技術

### 8. 5. 1 宇宙環境利用研究のエンジン

「はじめに」の箇所で推進には装置自体も含めた技術開発、運用技術が必要であると指摘した。また、「8. 4. 3 共通実験技術開発」においては技術開発項目を列挙してあり、全体的な説明をしてある。政策や方針、科学研究目的の議論をすることは大切ではあるけれど、装置や技術と言うエンジン: 言い換えると原動機や牽引車のこと、がないと何事も進まない。方針や政策も技術あつての話である。

始めに、実験装置と技術の役割を明確にしておく。その役割とは論文を書く機械である。言い換えると新たな知見を創造する機械である。以下に、我が国の論文を書く機械に関して、1980 年

代後半から1990年代前半の状況を説明しておく。

本節では、FMPTの時代から現在のJEMに至るまでの具体的な装置を取り上げ、どのような技術が注目されていたのか、我が国としてはどのような技術や装置を新しく開発して来たのか概観する。ただ、本節での着眼点は1990年度前半程度までの古い時期であり、1990年代後半以降の技術開発経緯と内容については報告書[3-2]により詳しく説明がある。

装置類の性能や仕様は巻末に掲げてある各種公開の報告書、JAXA小冊子、JAXAホームページ <http://idb.exst.jaxa.jp/microgravity/index.htm> に説明が既にある。詳しくはそれらを参照されたい。

この装置開発に関連しては、目的とした飛行プログラム:FMPT(First Materials Processing Testの略、1992年に飛行)[3-7]やIML-2(International Microgravity Laboratory Twoの略、1994年に飛行)[3-6]、等の概要、また地上研究として実施されたフロンテア共同研究[3-4]等の状況も記載することにより、理解は一層深まるものと思われたが、それらの記述や考察等の報告は本章に含めておらず、適宜参考文献をご覧いただきたい。

#### <宇宙実験装置開発事はじめ>

我が国宇宙実験はFMPTで始まったが、そのプロジェクトでは以下の装置を開発している。連続加熱型電気炉、高温加圧型電気炉、温度勾配型電気炉、イメージ炉、音波浮遊炉、液滴マニピュレーション実験装置、球結晶成長装置、泡挙動実験装置、マランゴニ対流実験装置、金属微粒子生成実験装置、有機結晶成長実験装置、無担体電気泳動装置、前庭機能実験装置、熱電気式恒温恒湿保持装置および関連実験器具、ハエ容器、酵素結晶実験キット、細胞培養実験キット、卵ラック、発光刺激実験システム、赤外線テレメータシステム、カビ成長箱、宇宙放射線モニタリング装置、顕微鏡、接写装置、データ記録ビデオシステム、等である。またNASAからは、身体機能測定装置、尿モニタリングシステム、の2点を借用した。これだけの装置類を開発したのは当時としては驚異的で、今日でも感嘆に値する。

以下に、FMPT時代に開発された主な装置が現在にJEMまで、如何に繋がっているかを示す。

#### <高温加熱炉>

FMPTプログラムにおける電気炉の中で最高温度:1600度、を出せた高温加熱炉はNASA側でも評判が良く、以後2回程飛行、計3回の飛行経験を重ねることが出来た。

高温加熱炉	⇒	高温加熱炉	⇒	改良型高温加熱炉	⇒	温度勾配炉
FMPT	⇒	IML-2	⇒	MSL-1	⇒	JEM

FMPTからIML-2へは何ら変更しておらず、全く同じハードウェアである。

IML-2からMSL-1(First Microgravity Science Laboratory)へはミッション要求に合わせて変更を行った。変更点は、拡散係数を正確に測定するために、熔融した試料の切断や接続を可能する機構(円盤の回転操作)を追加したこと、地上からのアップリンクで実験パラメーターの変更を可能としたこと、等である。

#### <非接触材料処理技術>

非接触処理とは材料に直接坩堝や作業腕が接しないから材料の熔融や凝固の観点では魅力的なテーマであった。勿論、地上即ち1-gの下でも、空気や磁気力で浮かせることは可能であるが、重力を相殺するための力(電力)が大きく効率良く行なうことは出来ない。従って、無重力空

間で物質の自重分を支える必要のない場所では、この方法が材料処理の本命となることは当然である。即ち、不純物等が混入するなどの容器の影響を除去できる、過冷却を実現できるので、過冷却利用による新しい素材の創造も期待できる、等ほかの方法によっては実現出来ないものだ。然しながら、材料の位置制御、加熱・冷却、観測等を正確・厳密に実現することは易しくはなく、技術開発要素は大きい。我が国においては以下のような取り組みの経緯となっている。JEM に搭載する浮遊炉の開発はこれからである。

音波浮遊炉                   ⇒                   静電浮遊炉                   ⇒                   浮遊炉  
液滴マニピュレーション実験装置  
FMPT                         ⇒                   TR-1A                         ⇒                   JEM

FMPT プロジェクトにおいては、音波により位置制御を試みガラス試料を溶融した。液滴マニピュレーション実験装置(LDF: Liquid Drop Experiment Facility)とは音波浮遊炉と同じく音波で液滴を操作する装置であり、加熱装置は付いていない。この装置は液滴の回転、移動、変形や加振を行なうもので、スペースラブ利用初期の頃から欧米でも関心の高かった装置である。

欧米諸国が音波浮遊と磁気浮遊の技術で先行していたため、同じ種類の装置で競争するのは技術開発においても新規性がないこと、また新しい科学を目指すことを目標に静電浮遊技術開発の道を選んだ。TR-1A ロケットでは位置制御の実験を実施し、技術的実現性を確認した。

JEM に向けての開発課題は概ね収束していて、設計・製造して宇宙空間でテストするだけが残っている。そういう意味で装置と技術は問題なく開発されている。後はこの浮遊炉を使った研究の価値如何になる。良いサイエンス、成果を出す科学研究(応用研究でも良い)課題選定が緊急の課題である。

#### <前庭機能実験装置>

FMPT で飛行した前庭機能実験装置とは単純に言えば鯉を 2 匹飼育する水槽のことである。普通の鯉のサイズに合うように円筒形のタンク(内径 12 センチ、長さ 30 センチ)を 2 本並べたものである。鯉の大きさは体長さ 25 センチ、350 グラム程度を想定していた。実験動物である鯉にはこの中で 1 週間程度辛抱してもらうとの想定である。鯉の様子は円筒タンクの軸方向(装置の前面)にある窓から観察する。この装置もその後以下の様に改良型、変更型が 2 回飛行している。

前庭機能実験装置 ⇒ 水棲生物飼育装置 ⇒ 海水型前庭機能実験装置 ⇒ 水棲生物実験装置  
FMPT                         ⇒ IML-2                         ⇒ Neurolab                         ⇒ JEM

FMPT から IML-2 への大きな違いはミッション期間が 1 週間から 2 週間へ延びたことである。元々 1 週間程度の飼育を想定していた装置を 2 週間持たせるようにしなければならない。取り扱い生物が、FMPT では鯉 2 匹であったが、IML-2 では金魚 6 匹、メダカ 4 匹、イモリ 4 匹になっている。それによる構造上の変更は 2 本の円筒タンクの内、1 本の円筒タンクはそのままとし、もう一つのタンク部分を弁当箱のような大きさである 4 本の着脱式水槽に置き換えたことである。この弁当箱を引き抜き中に居る実験動物を観察することになる。構造上の変更で、装置全体の機能:酸素供給、炭酸ガス除去、温度制御等、に大きな影響はないが、問題はミッション期間が 2 倍に延

びたので、排泄物(有機物)除去能力が十分であることが要求された。これが追加の技術開発課題であった。

FMPT の装置も設計上は生命維持装置が2週間程度は作動するとことになってはいた。しかし、鯉の排泄物除去のため、活性炭を使用しただけでそれ以外の処置はしていない。IML-2 用の装置では活性炭に加えて、硝化菌担持シボラックスを採用した。これにより 20 日近くにわたって水槽内のアンモンニャ濃度や亜硝酸濃度を下げることが可能となり、2 週間にわたるミッション実現に大きく貢献した。

ニューロラブミッションに提供した我が国の装置:海水型前庭機能事件装置、は基本的に FMPT の時のものと同じである。即ち、円筒タンク 2 個で構成されている。実験動物がガマアンコウとなったため、海水式に変更した。海水になったための技術課題は特にない。また排泄物除去に関しては、活性炭、珊瑚砂、硝化菌付きガラスビーズ等を使用し、26 日間以上の使用に耐える機能とした。

このニューロラブミッションにおける実験プロセス上のハイライトは、FMPT の時には鯉の脳波(耳石神経系信号)を記録するのに鯉の脳にセンサーを取り付け、ケーブルで信号を取り出した部分を改良し、実験動物ガマアンコウに約 50 グラム程度の発信機を取り付け、無線で電位計測装置や記録装置へ伝達する方法にした。これにより、ケーブル等が実験動物に絡まる等の危険性はなくなり、実験内容の高度化に寄与している。現時点で、JEM きぼうモジュールに向けてはこれまでの発展型である水棲生物実験装置を開発する予定とはなっている。

#### <細胞培養装置関係>

熱電気式恒温恒湿保持装置 ⇒ 恒温恒湿槽 ⇒ 培養細胞実験装置 ⇒ 細胞培養装置  
細胞培養キット                      細胞培養キット                      生物実験ユニット  
クリーンベンチ

FMPT                                      ⇒ IML-2                      ⇒ TR-1A                      ⇒ JEM

細胞実験を行なうには、細胞を入れる容器と、容器を一定の温度や湿度に保持する収納箱が必要になる。FMPT において熱電式恒温恒湿保持装置とは容器を収納出来る筐体を指す。その中では温度や湿度の制御、空気の循環等細胞の培養に適した環境を維持できる。この収納箱は細胞の長期培養に使うだけでなく、恒温恒湿が必要な生物やタンパク質の保存のためにも使われる。所謂家庭の冷蔵・温蔵庫機能として使用される。FMPT ではハエ容器、酵素結晶実験キット、卵ラックをこの中に保持した。英語名は TEI: Thermoelectric Incubator,である。Incubator の訳は孵卵器、保育器、細胞培養器の何れでもよいが、全てを兼ねる訳語がない。

細胞を入れる容器:細胞培養実験キットと呼ばれた、はやや特別な容器で、宇宙での実験が可能のように、液漏れが生じないように液の出し入れが出来ること、内部の攪拌が出来ること、外部から観察が出来ること、保護具やケース類による安全確保、等々多くの開発課題があった(FMPT の時は研究者側 0. が開発)。その容器には 2 種類あり、矩形型:17センチ X7センチ、厚みが 2 センチ、円形型:直径 10 センチ、厚み3.5センチ程度であり、手に取れる大きさである。

IML-2 における恒温恒湿槽とは FMPT の時の熱電気式恒温恒湿保持装置と同じものである。呼び名が変わっただけである。同じ細胞培養キットを使用した。

TR-1A で飛行したのは細胞培養キット部分だけである。ただ問題は数分内に培養液、刺激液

等を注入、排出を自動で行なわなければならない、その自動化である。自動化そのものは可能であるが、人間(宇宙飛行士)が目の前で見ながら注入・排出をするわけではないので、自動化と科学的成果の間の関係を見極めにくい。

JEM 用として現在飛行中の装置は、細胞培養装置、生物実験ユニット、クリーンベンチの 3 点セットになっていて、実験室機能が地上のそれに近づいている。細胞培養装置は細胞実験のみにしか対応できない。対象を細胞に特化した装置だからこの名称になっている。しかしながら、細胞に関する限り、これまでの経験や教訓が生かされた最先端の装置と言ってよい。恒温恒湿槽に相当するのは生物実験ユニットである。また、地上では普通に使われているクリーンベンチも準備した。

FMPT 時代の装置から JEM 搭載細胞培養装置に至るまで総合的にコメントしておく。細胞実験そのものは FMPT の時代から実施しているが、単に細胞培養キットを宇宙に持っていただけだった。細胞培養キットを恒温恒湿保持装置の中に保管しておくだけであった。この宇宙へ持って行くだけだと実験として不十分なのだ。それは何故か。

地上の実験、持って行くだけの宇宙実験の 2 点でデータを比較すると、その差が微小重力によるものか、その他の要因(例えば宇宙放射線)によるものかは厳密には分からない。従って、先の 2 点に加えて宇宙でも 1-g 環境の下で実験する。このためには遠心力等で 1-g を人工的に作り出す装置が必要となる。それを使つての実験が欠かせない。これら 3 点を抑えることにより、微小重力の影響とその他の影響とを分離できる。

我が国では、IML-2 を飛行させた時(1994)、我が国は FMPT で使用した実験装置と同じものを搭載した。FMPT の直後であり、新規装置の開発が間に合わなかったためである。当時、ESA の細胞培養装置には宇宙でも 1-g を出せる遠心型の培養装置を保有していて、彼等が我々から一日の長があると認識せざるを得なかった。我が国の細胞培養装置にはその種の機能がなかった。勿論、FMPT の装置設計が開始されたころ、その事が認識されていたかどうかは良く分からないが、結果的に、IML-2 においても装置改修は間に合わなかった。

#### <結晶を対象として観察技術開発>

観察とは結晶の成長を観察することもあり、流体の中や自由表面に発生するマランゴニ対流等を観察することも意味する。即ち観察対象が結晶なのか流体なのかの違いはあるものの基本的には計測と言う意味で同じである。結晶であれば、画像そのものが計測対象であるし、流体であれば流体中の流速、温度、密度とそれらの勾配を可視化し、画像として捉えることとなる。

まず、FMPT の時代に実験中の様子を知る画像と言うものは接写装置(カメラのこと)による静止画像かデータ記録ビデオシステムの画像(動画)しかなかった。接写装置による画像は多少の定量的議論に耐えうるが、ビデオ画像は定性的な様子見のためで、厳密な議論に供せるものではなかったことは言うまでもない。

当時は試料を地上に持ち帰り分析するのに精一杯で、実験中の様子など殆ど分からない実験であった。これでは科学的目標の達成度も低くなるので、実験プロセスの推移が分かるようにすることが必須と結論付けられた。この経緯で出て来たのが「その場観測技術」、「温度・濃度測定技術」である。結晶等を観察対象とした技術の推移は以下ようになる。

ビデオ、静止画像 ⇒ OBS ⇒ OBS-II ⇒ OBS-II 改 ⇒ SCOF



FMPT ⇒ TR-1A ⇒ TR-1A ⇒ TR-1A ⇒ JEM

OBS: Observation Experiment Equipment、観察技術実験装置

SCOF: Solution Crystallization Observation Facility、結晶観察装置

### 観察技術実験装置 I 型 (Observation Experiment Equipment Type-I) 原型

対象を結晶の変化(成長)に絞った測定系である。装置の機能としては、結晶正面からの観察、結晶側面からの観察が可能のように 2 系統の光学系を備えている。表面観察は正面と側面いずれからも振幅変調顕微鏡による。これは観察物体(結晶)の位相勾配(厚みの分布)をコントラストに変換して正面や側面を観察するものである。

共通光路方式 2 波長干渉顕微鏡は波長による屈折率の違いを利用して溶液の温度と濃度の 2 次元分布を測定する。これも表面方向と側面方向の 2 方向から測定する。取得した動画(カラー、パシクロ)は搭載 VTR に記録。

### 観察技術実験装置 II 型 (Observation Experiment Equipment Type-II)

原型の振幅変調顕微鏡による観察では高さがステップの平均高さしか求められないことと、リアルタイムの測定 に不向きであった。つまり、結晶表面の凹凸を光の干渉情報として干渉法で捉えようとする、高感度の顕微鏡では、単分子のステップを観ることはできても正確な高さを測定できない欠点と、短時間に生じる速度変化に対応できる計算ソフトがな等の欠点を持っていた。

上記の欠点を克服するため、位相シフト干渉法の採用を検討した。この方式では、2 光束干渉法で用いられた参照鏡を定位相ずらすことにより複数の干渉図形の強度分布を CCD 素子で捉え、演算により元の位相を復元 するものである。これにより 0.75nm の高さの単独成長ステップを計測可能となった。この値で通常の干渉法の 100 倍以上の検出能力であったが、データ 取得と処理が実時間で行えない問題が残っていた。

更にこれを克服するため、本装置では反射鏡を移動させるかわりに偏光板の回転角により位相をずらし、干渉した光を 3 光束に分割し偏光板を 45 度づつ回転させるために 3 枚の偏光 板で 3 つの異なる干渉図形を得る。この 3 つの干渉図形を 3 台の CCD カメラで同時に取得し信号処理することで位相分布を 1/30 秒毎に得ることが出来るように工夫した。

このため、干渉光を分割する波面分割光学系部分の構成は、3 台の CCD カメラが必要となっている。実際には市販の 3 CCD カメラを利用し、耐環境性を考慮して搭載した。以上の工夫により、偏光波面光学系を超小型化すること、手のひらに乗るサイズ、振動・温度に耐える、メンテナンス不要のリアルタイム位相シフト干渉計が完成し、この方法では世界で初めてとなる微小重力実験に供している。

### 観察技術実験装置 II 改修型 (Observation Experiment Equipment Type-II Revised)

この装置はコロイド実験に対応するため、計測部に成長粒径時間変化を計測する「低角光散乱装置」、粒子間距離を測定する「反射スペクトル計測装置」を装備している、名前は同じであるが先の II 型とは機能が違う別の装置である。

### 結晶観察系 (SCOF : Solution Crystallization Observation Facility)

JEM 搭載の結晶観察系はロケット実験等で試した技術の集大成と思えばよい。OBS 原型、OBS-II 型、II 型の改修型、の三種を並べてみて、どれにするのか、またはどれとどれを組み合わせるのかの問題となる。しかし、これまでに試した技術で無駄なものはなく、全て機能として準備

しておきたいものである。

SCOFは機能としてロケットで試した能力は全て揃っていると考えてよい。実験ミッションの大部分は全ての機能を使うわけではなく、一部の機能を使うだけと考えて良い。即ち、研究者が必要とする機能を選択して使えるようになっている。

<流体を対象とした観測技術開発>

MCU ⇒ FTX ⇒ FPEF

FMPT ⇒ TR-1A ⇒ JEM

MCU:Marangoni Convection Experiment Unit、マランゴニ対流実験装置

FTX: Fluid Dynamics Technology Experiment Equipment、流体物理基礎特性  
測定装置

FPEF: Fluid Physics Experiment Facility、流体物理実験装置

#### マランゴニ対流実験装置,MCU: Marangoni Convection Experiment Unit

我が国で最初にマランゴニ対流の実験に挑戦した装置である。この時は円筒状の固体パラフィン(試料寸法 25φ X25L ミリ)を宇宙へ運び、それを溶融して液柱にした。液柱形成装置を準備せずに行なうという、その事自体良いアイデアであったと思う。ただ、画像取得系の問題もあったと思うが、マランゴニ対流が生じているとの確証を得ることが出来なかった。実験系を綿密に組み立てると言う意味で準備不足であった。

このFMPTの時間題になったのは、マランゴニ対流の実験に限らず、イメージ炉の材料実験においてはビデオと静止画像取得用のカメラしかなく、定量的な評価を行なえる動画が取れなかった事である。

#### 流体物理実験装置-I型(FTX-I:Fluid Dynamics Technology Experiment Type I) 原型

本装置は、TR-1Aロケット1号機から3号機まで搭載された。主たる研究目的はマランゴニ対流の解明である。供試体部は液柱形成装置となる。

液柱形成は端面板二枚を離しながらその中に液を注入する。使用した液体はシリコンオイル、トレサーとしてはアルミニウム粉末かパール顔料・温感液晶である。マランゴニ対流を発生させるため、端面の冷却・加熱等温度制御が可能である。

観察機能としては、液柱断面観察部と液柱側面(表面)観察部の2系統の観測が行える。CCDカメラ2台で撮像する。液柱の最大寸法は15φ X50L ミリ(3号機は25ミリ)であった。長さは変えられるが直径は変えられない。マランゴニ対流の場合直径と長さの比、アスペクト比、が重要なパラメーターになるので、これが可変であることが要求される。

#### 流体物理実験装置II型(FTX-II:Fluid Dynamics Technology Experiment Type II)改良型

本装置は、TR-1A小型ロケットの4号機実験用として、原型を改修した。3次元観察が可能となるように、液柱円周方向にカメラを2台追加、即ち120°離して設置するので全円周から観察出来る。そして、端面(液柱の軸方向)からの観察系カメラ1台を追加して、液柱と内部とレーザーの観察に完璧を期した。液柱の寸法は50φ X50Lセンチである。これだとアスペクト比1を実現出来る。

3次元計測の要点としては、側面観測系は3台のCCDカメラで構成され、端面観察系は#1台の中心投影系CCDカメラで構成されている。

側面観察系では、液柱の気液界面での光の屈折が生じるため、液柱内の3次元位置を求めるためにはSnellの法則に基づいた光の屈折補正をする。端面観察系では、ディスク端面での光の屈折補正をする。

### 流体物理実験装置(Fluid Physics Experiment Facility, FPEF)

本装置もこれまでの技術開発成果を取り入れた集大成の装置である。本装置は供試体部を交換することにより、液柱のマランゴニ対流研究のみならず、沸騰、熱伝達・伝熱機構、濡れ性、燃焼、気泡挙動、等々多くの研究ミッションに対応できる。マランゴニ対流用供試体部では液柱寸法:30φ/50φ×60Lミリ、となっている。

マランゴニ対流実験ミッションの観察系としては、三次元トレーサ流速分布観察、二次元断面観察及び全体観察、表面温度分布計測、超音波流速計測機能(UVP)および表面流速計測機能を備えてある。

この原稿を書き終えた時点で、きぼうモジュールにおいてはマランゴニ対流実験が実施されていて、成果が出つつある。各実験テーマに投入される実験時間総数、変更パラメータの総数を、FMPT当時と単純に比較してみれば、100倍—1000倍になるもので、計測・処理系の技術が電子計算機の進歩と同じように向上してきたことが分かる。

#### <気泡除去技術開発>

微小重力下の液体容器や配管系に気泡が入り易いこと、また入ると取り除くことが難しいとは早くから知られていた。此处で当該技術開発に付いての経緯を概説しておく。

まず、FMPT(1992)について。FMPTの時飛行したのは泡挙動実験装置、BBU, Bubble Behavior Experiment Unit と呼ばれ、実験は気泡の除去を目的としたものではなく、単に気泡の挙動を観察しただけである。勿論、気泡周りの液体に温度勾配を付けたり、気泡に超音波を当てたりして、気泡の制御(移動)が出来るかも試している。

IML-2の飛行時(1994)に電気泳動装置に気泡が入り、実験そのものは何とか実施したものの、完全なデータを取れなかった。ヨーロッパの同種装置にも気泡が入っている。また、水棲生物飼育装置のメダカを入れた容器の中に大きな気泡が発生(混入)し、微小重力環境のためその気泡は一定位置にあって動かず、飛行中大方の頭痛の種であった。気泡はその後大きくはならず、大事には至らなかったが、問題の重要性は認識された。

これらのことがあったため、IML-2の飛行後に「気泡除去技術」開発を何社かの企業に委託して、その技術開発が可能かどうか検討してもらったことがある(地上での調査研究)。気泡の挙動予測、除去の仕方等多少の工夫をして実験も行った。結論的には、気泡も取れる時と取るのが難しい時があり、必ず除去したければ液体を全部交換しなければならないことになる。工学的・技術的に完全には解決していない。装置を設計する時に気泡が入りにくくするとか、入っても大きな影響が出ないようにする、取り除きやすくすることで問題を克服することとなる。

技術開発の一環でTR-1Aロケット実験も行なった。このロケット実験は年一回、1991、1992、1993年と連続して行なっていて、FMPTやIML-2の飛行と同時期である。FMPTやIML-2のハードや技術がやや時代遅れになりつつある時期だったのでロケット実験は技術を磨く貴重な機会となった。これらの飛行で使用した装置はBDH; Bubble Generation, Dynamics and Handling 微小重力維持技術実験装置、と呼ばれている。英語名と日本語名が対応していないが、この装置は気泡研究のための装置である。日本語名装置名称の由来は当該装置の供試態部が振動吸収材即ち防振材の上に乗せてあり、外乱の影響をある程度遮断してあるからである。

一連の実験における共通的主题は気泡の発生、成長および移動であったが、細かくは一回

目が沸騰気泡発生、二回目はg-ジッターの下での気泡挙動観察、三回目は気泡の操作、等々基礎研究の段階で気泡除去技術開発までたどり着いていない。然しながら、気泡に関する知見や経験が増えたことは確かである。

#### <結晶生成装置>

結晶成長関係の装置をしてみる。結晶を得ることの難しい物質から、その結晶を得るため、色々な方法が考案されているが、良く分からない状況でも試し方によっては結晶が得られ、それが経験則になっていることも多い。此处ではどのような試みがなされてきたか説明する。我が国におけるフライト装置の流れは以下ようになる。

OCF	⇒	OCF	⇒	OCC	
		酵素結晶実験キット			⇒PCRf
IML-1	⇒	FMPT	⇒	STS-95	⇒JEM
有機超伝導材	⇒	有機金属 & タンパク質	⇒	有機磁性体	⇒タンパク質

OCF: Organic Crystal Growth Experiment Facility、有機結晶成長実験装置

PCRf: Protein Crystallization Research Facility、タンパク質結晶生成装置

OCC: Organic Crystal Growth Chamber

IML-1 や FMPT の時には有機結晶の生成も試みた。装置は3室ある単純な容器で搭乗科学者が手回しで溶媒と試薬を混ぜる栓を回して開始するものだった。種結晶からの生成を期待したが、成功していない。当時は結晶生成最適化などの考え方はなく、研究者と技術陣双方の準備不足と言える。また、STS-95 シャトルミッションでは再度有機結晶に挑戦したが、上手くいかなかった。ミッションによってOCFやOCCと名称が異なるが同じ装置が飛行した。

FMPT の時は酵素結晶実験キット(研究者が技術開発)を使い、5種類のタンパク質実験を行っている。使用した酵素結晶実験キットは全長15センチ、直径4センチの円筒状容器である。手押しピストンで酵素溶液と溶媒を混合するものである。中央部に透明な窓があり、結晶の成長過程を観察できる。法式の分類法に従えば、静置バッチ法になるが、当時としてはかなり立派なキットであった。このキットを先に述べた恒温恒湿槽に設置して結晶成長を待った。

残念ながら、実験した全てのタンパク質に付いて結晶が得られたわけではないこと、また、結晶を得てもX線構造解析に供せたのは2種類程度であったこと、等成功率は芳しくなかったが、その後の我が国のタンパク質実験に多くの教訓を与えたミッションであった。

#### JEM搭載のタンパク質結晶生成装置(PCRf: the Protein Crystallization Research Facility)

本装置はこれまでの技術開発とNASAやESAの手法等から学び、良い点は取り込んだ集大成の装置である。これまでの説明においても記述したことであるが、纏めると結晶生成系は、本体に脱着可能なセルカートリッジ部、結晶生成の巨視的状态をモニターする観察部、および制御部から構成される。セルカートリッジは、蛋白質溶液、沈殿化剤溶液等の溶液槽(セル)が設けられた複数枚のディスクを摺動回転させることによって、液液界面式2液拡散法、膜介存式2液拡散法、静置バッチ法、蒸気拡散法等による結晶生成が可能である。

観察部には結晶生成の巨視的な状態を観察するためにCCDカメラが搭載され、全てのセルを観察可能である。制御部にはセルカートリッジの温度制御系、ディスク回転制御系、観察カメラのスキャン制御系等が含まれる。

また、次のような機能性能上の特徴がある。即ち、

a. 次項で述べるように多様な結晶化方式が可能で、5～9セル×6セルカートリッジ搭載可能。

b. 高分解能のカメラによる観察が可能で、温度制御はセルカートリッジ毎独立に可能。

結晶化方式としては、なるべく多くの研究者や利用者の便宜を考えて、幅広い要求や要望に応えられるよう配慮した。即ち、

多様な試料による試験要求に対応するため、セルカートリッジは蛋白質溶液や沈殿化剤溶液等の溶液槽(セル)が設けられた複数枚のディスクからなり、これを摺動回転させることによって、液液界面式2液拡散法、膜介存式2液拡散法、静置バッチ法、蒸気拡散法等による結晶生成が可能な構成になっている。セルカートリッジ部には6個のセルカートリッジが装着でき、それぞれ独立の温度制御が可能で、実験内容にあわせた結晶化法や溶液量等のセルを特別に製作して利用することも可能である。

#### <宇宙放射線計測>

人間が宇宙飛行する場合には、宇宙放射線の影響は無視できないので、宇宙開発の初期から宇宙放射線計測は重要な研究開発テーマであった。また、放射線の生物影響の研究も古くから関心が持たれ、放射線の検出材(センサー)と植物の種子や小動物、細胞を同時に搭載するミッションが多かった。

これまでの研究目的を見てみると、放射線計測技術開発と生物への影響研究と大きく2つに分けられる。分けられると言っても、両者はお互いに補完関係にあるのは当然で、どちらかだけで完結するものではない。然しながら、此处では一方の計測技術開発に関するこれまでの経緯を概観する。テーマとしては重要度が高いので、宇宙開発機関としても宇宙環境利用研究推進の初期から当該課題に関して検討を重ねて来ている。開発の経緯を時系列的に見てみると、

RMCD	⇒	RMCD	⇒	RRMD	⇒	RRMD-II	⇒	ガラス線量計	⇒	RRMD-III	⇒	RRMD-II
												RRMD-III
IML-1	⇒	FMPT	⇒	IML-2	⇒	STS-79	⇒	MIR	⇒	STS-89	⇒	STS-91
1992		1992		1994		1996		1997		1998		1998

RMCD: Radiation Monitoring Container & DOSIMETER

RRMD: Real Time Radiation Monitoring Device、原型

RRMD-II 改良型

RRMD-III 改良型続

我が国が宇宙での放射線計測と生物影響を調べ始めたのは IML-1 の時である。その時は RMCD という装置が飛行した。目的は高エネルギー重荷電粒子の飛跡、エネルギー量解析のための固体飛跡検出技術の開発、生物の発生、分化に及ぼす影響および遺伝的影響の解明、長期宇宙滞在時の放射線防護対策のための基礎データ取得、等々であった。

その後、多くのミッションが企画実施されたが、それらの目的も、これら最初の目的の延長上にある。放射線計測のためには、検出材と熱蛍光性ドシメータを装備し、生物種として、トウモロコシの種子、豊年えびの卵、枯草菌、等を搭載した。装置全体は 10 センチ立方程度のアルミニウム容器である。

IML-2 飛行の時には FMPT や IML-1 で飛行した RMCD を改修し新たに RRMD を搭載した。飛行後の解析で結果が分かるのではなく、名前の如くリアルタイムで計測する方式で、研究者側が開発した装置である。この RRMD がその後何回か飛行を重ねる改修続編の基礎となった装置である。FMPT から IML-2 への改修の基本は検出板 1 枚から 8 枚に増やし、入射粒子の入射方向、入射時刻、エネルギースペクトルを送信出来るようにした。検出可能開口角、電荷分解能、核種識別等性能的な考慮は研究者側が努力している。

その後の改修は、RRMD-II においては High LET の計測、RRMD-III においては Low LET の計測と、装置の能力を高めている。

現在、JAXAではこれまでの技術開発成果を集大成したPADLES(Passive Dosimeter for Life science Experiments in Space)を生物系研究者へ提供している。この装置は宇宙放射線の生物影響を研究する利用者が使用出来る。JAXAは宇宙飛行に供すること、飛行後解析の支援を行なう。詳しくは、[http://idb.exst.jaxa.jp/db\\_data/padles/NI008.html](http://idb.exst.jaxa.jp/db_data/padles/NI008.html)をご覧ください。

## 8. 6 国際調整活動

### 8. 6. 1 MSWG: Multilateral Science Working Group

このグループのメンバーは NASA, ESA, CSA, NASDA であった。宇宙ステーションの科学的利用に関して、国際間の共通的な課題を検討した。即ち、国際協力の一般原則、実験装置の開発分担や協力、Attached Payload、Logistic Support Equipment: LSE(実験支援装置)での協力、利用運用や PI: Principal Investigator(研究者)対応での協力について議論している。

1990 年当時 NASA において利用担当部局は OSSA: Office of Space Science and Applications (科学利用局)であった。後年、組織変更でこの局は OLMSA: Office of Life and Microgravity Sciences and Applications, となり、その局も 2003 年に消滅した。

平成 2 年(1990)から平成 4 年(1992)にかけて数回開催、最終報告書を作成している。

### 8. 6. 2 UTWG: Space Station/Spacelab Utilization Technology Working Group

このグループのメンバーは NASA, ESA, CSA, NASDA であった。初め NASDA は Observer として参加していた。

当該グループの検討課題は、スペースラブから宇宙ステーションへ利用の円滑な移行、宇宙ステーション用ハードウェア、技術のスペースラブでの検証、スペースラブハードウェアの宇宙ステーションへの転用、利用運用準備と練習、等々であった。

平成 2 年(1990)から平成 4 年(1992)に掛け、3-4 回開催している。このワーキンググループの活動の成果として平成 4 年(1992)年秋、その年度当初に完成した筑波宇宙実験棟において国際テレサイエンスワークショップの開催とデモンストレーション実験を行っている。

### 8. 6. 3 ISLSSPWG: International Space Life Science Strategic Planning Working Group

このグループのメンバーは NASA, ESA, DLR, CNES, CSA, NASDA, ISAS であった。

当該グループの検討課題は、宇宙におけるライフサイエンス実験の国際協力、即ち長期計画の共同作成、科学戦略構築の共同作業と共有方法、課題の抽出等々であった。

平成 1 年(1989)に第一回目の会合が開かれ、筆者の知る限り 1995 年まで大体年に 1 回開催

されている。1995年には筑波宇宙センターで会議を開催し、その場でグループとしてのサマリー(チャーター)を作成し、国際共同で宇宙ステーション国際パートナーが科学研究AOを発出することとした。その後も当該グループの活動は継続されて今日に至っている。

#### 8. 6. 4 IFSUSS:International Forum on Scientific Uses of Space Station

この会議のメンバーは各パートナーの科学諮問委員会であった。即ち、

NASA: SSUAS Space Station Utilization Advisory Subcommittee

ESA: SSUP Space Station Users' Panel

CSA: CACSUSS Canadian Advisory Committee for Scientific Use of Space Station

NASDA: JSAG Japanese Space Advisory Group

後になってロシアの諮問委員会も参加している。

IFSUSSは単純に言えば、宇宙ステーション計画を通して科学研究協力を推進する国際ワーキンググループである。

このフォーラムの歴史的概略の経緯は先行するNASAのタスクフォースから発展したものである。1984年3月(1983年12月と書いたものもある)にTFSUSS(Task Force on Scientific Uses of the Space Station)がNASA O SSA(Office of Space Science and Application)によって設立された。このタスクフォースの役割は科学コミュニティの立場をより明確に定義し、NASAがどのような宇宙ステーションを建設すべきか決めるのに協力しつつ、科学コミュニティからの意見を表明することであった。

#### 8. 6. 5 SSUAS: Space Station Utilization Advisory Subcommittee

これはNASA宇宙環境利用研究フライトプログラム担当局(前述のNASA O SSA/OLMSA)に付随した諮問委員会であり、メンバーはアメリカの大学の先生、企業の専門家等である。年に2回ほどアメリカ各地でこの委員会が開催され、委員会からの意見や勧告をNASAが受け取っている。

この委員会に各パートナーの諮問委員会メンバーなり利用関係担当職員も招待され、傍聴する機会が与えられた。また、この時に、諮問委員会の一部として上記のIFSUSSが開催され、諮問委員会同士の交流会にもなっていた。招待される時期は夏期が多く、SSUAS Summer Workshopへ参加と言う名目が通例だった。勿論、IFSUSSが単独で開催されることもあったし、我が国でも開催している。

#### 8. 6. 6 SL-J IWG: Spacelab Japan Investigators' Working Group

第一次材料実験、FMPT、はNASAのプログラムとしてSL-Jと呼ばれていた。我が国がスペーススラブを借りて宇宙実験を行うミッションであったが容積的にスペーススラブをすべて借り切るものではなく、半分はアメリカのミッションであった。研究者と開発機関側の意見交換会がIWGとして開催されていた。NASAの担当者、NASDAの担当者、日本側研究者、アメリカ側の研究者の4者からなる作業会である。NASA側即ちアメリカの研究者を世話する庶務掛はProject Scientistと呼ばれていて、その人がIWGの議長役だった。筆者は日本側研究者の世話係で(1988年以降)、議長の補佐役であった。

このIWGは飛行前には年2-3回開催されていた。飛行運用中はマーシャルスペースセンター地上管制所内で毎日の打ち合わせや調整の場となっていた。

### 8. 6. 7 SSLG(Senior Standing Liaison Group)、常設幹部連絡会義

この SSLG は 1979 年に我が国の科学技術庁長官と NASA 長官の間で合意された連絡会で、日米間のエネルギー以外の分野での協力を議論する場として設けられたと聞いている。相手が NASA だから、話題は宇宙に向けられることは当然で、この枠組みの下には日米二国間の宇宙関係における協力を議論する場とし宇宙活動計画会合が設けられた。即ち、仕組みは以下の三層構造になっている。中間の宇宙活動計画会合と分科会は年一回程度で、一緒に開催される(場所は東京かワシントン D. C.)ことが多く、その場で最上階の会議への提言を纏めるものである。

イ. SSLG 本会議、NASA 長官と科学技術庁長官

ロ. 宇宙活動計画会合、NASA 利用局(複数)の局長と研究開発局局長

Cooperative Space Activities Planning Group

ハ. 分科会、NASA 担当部局と日本側担当部局

Subgroup

天体物理や太陽系、地球観測、ライフサイエンス、微小重力科学

1990 年当時、天体物理関係の分科会は宇宙科学研究所 ISAS が担当し、それ以外は宇宙ステーション計画やスペースラブ利用ミッションの関連もあって NASDA が担当していた。筆者は 1990 年前後ライフサイエンス分科会担当者という立場で出席していた。当時は FMPT や IML(International Microgravity Laboratory)計画がまだ飛行していない前の状況で日本側からの科学研究者からの要望や要求をこの場で十分 NASA へ伝える必要があった。FMPT は NASA とのプログラム協力ではあったが、プログラム協力の場で科学の内容について議論をしていない。

FMPT の次の大きなミッション計画はなく、IML に相乗りすることが NASDA の希望であったし、その方針で動いて居た。その NASDA 側意向を NASA へ伝え、NASA 側の感触を探る場でもあった。それに加えて、我が国が IML のために分担開発出来そうな装置をアメリカの研究者や NASA に説明に行っている。アメリカの研究者が装置の利用について関心を持つことが前提で、我が国の研究者と共同利用すると言う名目で装置開発に進む取り決めであった。科学利用では両国が折半、装置は我が国が提供、飛行運用はアメリカ側の分担、と言う科学協力を含んだ飛行プログラム協力である。

### 8. 6. 8 国際調整活動からの成果

上に述べた数多い国際調整の場で、国際宇宙ステーション上の科学研究活動においても国際協力のスキームを作り上げた。

科学の国際協力においては参加パートナー諸国の研究コミュニティ全てが納得し、満足する進め方を目指すもので、協力活動の理想に近いものである。

### 8. 7 これまでの成果

FMPT と IML-2 ミッション、それらに続くシャトルミッションを通して、我が国に宇宙環境利用研究活動の基礎作りを行った。宇宙環境利用による新しい科学研究活動領域を立ち上げることが出来た。

共通実験技術開発、フロンティア共同研究、TR-1A ロケット実験においては研究と技術の融合が可能かどうかのテスト活動であった。研究者側も研究推進に必要な技術力向上に理解を示す結果となり、開発側も研究者の要望を適切に装置や技術に取り入れる手法と能力を向上させた。それらの諸活動と関係者の努力により、JEM 搭載実験装置類の機能性能が宇宙ステーション参加パートナーの中で遜色なく、論文を書く機



械として完成を見るに至った。

利用者の要求取りまとめ、利用調査等は行政側、開発機関側が利用の希望を把握する活動であった。研究者、技術者、行政側、関係者が意見交換する場(ワークショップ等)を設け、公平で透明な科学研究テーマの選定、必要技術の開発、装置類の開発を推進出来ている。

また、宇宙ステーション開発に参加しているパートナー諸国の担当開発機関、利用研究コミュニティが、意見交換や共同利用等を議論する場を相互に設け、科学利用、科学研究においても協力する仕組みが出来あがった(国際AO等)。現在は各パートナー諸国の研究者間の親密度、交流レベルも質的に向上している。

## 8.8 課題や提言

これまでの諸活動において科学研究者、宇宙開発機関の技術者は担当の職務を十分に果たして来た。然しながら、政策・施策立案、政策・施策の見直しプロセス、財政的手当て、等々上流で処理さるべき仕事が必要でも効率的に運営・管理されて来ていない。

今後はその問題点を国家・社会的に見直し、戦略的思考や敷衍の欠如による齟齬が現場の科学研究者や技術者へ及ばないような管理体制を構築すべきである。

行政機構、プロジェクト・プログラム管理部署、科学研究コミュニティ、技術開発担当部局や組織、等々;宇宙環境利用研究活動に参画する全てのプレーヤー、がネットワーク中心思考を取り入れ、全体として知的レベルの高い実行部隊となるよう関係者の自助努力を期待する。

## 参考文献

### 1) 調査研究会の報告書等

1. 先端技術開発専門分科会報告書—有人技術編—我が国における有人宇宙技術の習得と今後の展開、平成 15 年(2003)7 月、宇宙開発事業団
2. 平成 6 年度 JSUP 宇宙環境利用の展望、1995 年 3 月、財団法人宇宙環境利用推進センター
3. 共同研究成果報告書 宇宙ステーション技術に関する研究、平成 6 年(1994)3 月、航空宇宙技術研究所・宇宙開発事業団
4. 平成 5 年度 JSUP 宇宙環境利用研究会報告書—金属系材料研究会—、1994 年 3 月、財団法人宇宙環境利用推進センター
5. 平成 3 年度宇宙開発事業団業務委託 次期宇宙実験の調査検討(その2)、平成 4 年(1994)3 月、財団法人宇宙環境利用推進センター
6. 共同研究成果報告書 試料攪拌技術に関する調査研究、平成 3 年(1991)3 月、科学技術庁金属材料技術研究所 宇宙開発事業団
7. 平成元年度海外有人宇宙技術関連施設・設備調査報告書、平成 2 年(1990)10 月、宇宙開発事業団・有人サポート委員会
8. 昭和 61 年度宇宙開発事業団委託業務成果報告書、欧州における宇宙産業化に関する調査検討、昭和 62(1987)年 3 月、(株)野村総合研究所
9. 昭和 61 年度宇宙開発事業団委託業務成果報告書、宇宙環境利用システム開発に係る費用効果分析、昭和 61 年(1986)9 月、(株)三菱総合研究所
10. 昭和 61 年度宇宙開発事業団委託業務成果報告書、米国宇宙基地計画予備設計参加

(実験モジュールミッション要求の検討—その2のア)、1987年3月、財団法人 工業開発研究所

11. 宇宙基地利用推進研究会報告書 タイトルは無い、昭和61年3月、宇宙基地利用推進研究会
12. 宇宙基地計画研究会報告書、宇宙環境利用時代への期待と課題 宇宙基地計画と宇宙環境の利用に就いて、昭和61年12月、宇宙基地計画研究会
13. 宇宙基地計画研究会中間報告書、宇宙環境利用時代への期待と課題 宇宙基地計画と宇宙環境の利用に就いて、昭和60年5月、宇宙基地計画研究会
14. 我が国の宇宙開発中長期構想(ミッションモデル編)、昭和55年12月、長期構想ワーキンググループ(社内資料)

## 2) ワークショップ予稿集

### 2)-1 科学技術庁・宇宙開発事業団系ワークショップ

- ◆ 第一回 宇宙基地利用計画(ミッション要求)ワークショップ、昭和60年10月3-4日、宇宙基地計画の現状とミッション要求、東京開催 1985(在実験棟資料室)
- ◆ 第二回 宇宙基地利用計画(ミッション要求)ワークショップ、昭和60年11月20日、主要課題の討論、東京開催 1985(在資料室)
- ◆ 第三回 宇宙基地利用計画(ミッション要求)ワークショップ、昭和61年2月12-13日、主要課題の討論、東京開催 1986
- ◆ 第四回 宇宙基地利用計画(ミッション要求)ワークショップ、昭和61年7月29日、主要課題の討論 大阪市開催 1986
- ◆ 第五回 宇宙ステーション利用計画(ミッション要求)ワークショップ、昭和62年21月26-27日、東京開催 1987
- ◆ 第六回 宇宙ステーション利用計画(ミッション要求)ワークショップ、昭和62年7月27日、仙台市開催 1987
- ◆ 第七回 宇宙ステーション利用計画(ミッション要求)ワークショップ、昭和63年2月16-17日、東京開催 1988
- ◆ 第八回 宇宙ステーション利用計画(ミッション要求)ワークショップ、昭和63年9月22日、北九州市開催 1988
- ◆ 第九回 宇宙ステーション利用計画(ミッション要求)ワークショップ、Proceedings of 9th Space Station Utilization Workshop in Japan, Vol.1 & 2, Feb.2-3,1989、平成元年2月2-3日、東京開催 1989
- ◆ 第十回 宇宙ステーション利用計画(ミッション要求)ワークショップ、平成元年9月27日、神戸開催 1989
- ◆ 第十一回 宇宙ステーション利用計画(ミッション要求)ワークショップ、Proceedings of 11th Space Station Utilization Workshop in Japan, Jan.18-19,1990、平成2年1月18-19日 東京開催 1990
- ◆ 第十二回 宇宙ステーション利用計画(ミッション要求)ワークショップ、12th Space Station Utilization Workshop in Japan, Jan.29-30,1991、平成3年1月29-30日、東京開催 1991
- ◆ 第十三回 宇宙ステーション利用計画(ミッション要求)ワークショップ、平成3年9月6日、東広島市開催 1991(在宇宙実験棟資料室)
- ◆ 第十四回 宇宙ステーション利用計画(ミッション要求)ワークショップ、14th Space Station Utilization Workshop in Japan, Jan.21-22,1992、平成4年1月21-22日、東京開催 1992
- ◆ 第十七回 宇宙ステーション利用計画ワークショップ、予稿集、17th Space Station Utilization Workshop in Japan, Jan.18-19,1995、平成7年1月18-19日、東京開催 1995(筑波図書室)

- ◆ 第 18 回 宇宙ステーション利用計画ワークショップ、予稿集、18th Space Station Utilization Workshop in Japan, May 27-28,1996、平成 8 年 5 月 27-28 日、東京開催 1996 (筑波図書室)
  - ◆ 第 19 回 宇宙ステーション利用計画ワークショップ、予稿集、19th Space Station Utilization Workshop in Japan, July 1-2,1997、平成 9 年 7 月 1-2 日、東京開催 1997 (筑波図書室)
- 以下 29 回まで開催されている。予稿集等資料未確認。

2)-2 通商産業省系ワークショップとシンポジウム:宇宙環境利用国際シンポジウム

- ◆ IN SPACE'85 昭和 60 年 11 月 19 日(Abstract)
- ◆ IN SPACE'86 Oct.16-17, 1986
- ◆ IN SPACE'87 Oct. 13-14, 1987
- ◆ IN SPACE'88 Nov.29-30, 1988
- ◆ IN SPACE'89 Oct. 26-27 1989
- ◆ IN SPACE'90 Nov.21-22, 1990
- ◆ IN SPACE'91 Nov.14-15, 1991
- ◆ IN SPACE'94 Oct. 30-NOV. 1, 1994
- ◆ IN SPACE'95 Oct. 16-17, 1995
- ◆ IN SPACE'96 Nov. 11-12, 1996
- ◆ IN SPACE'97 Nov.18-19, 1997(Proceedings)
- ◆ IN SPACE'98 Sep.21-22, 1998

3) NASDA/JAXA 並びに法人・学術団体等の研究開発報告書等

3)-1 研究のサマリー

- ◆ 井口洋夫監修 我が国の宇宙実験—成果と教訓—、平成 17 年(2005)3 月、宇宙航空研究開発機構、日本マイクログラビティ応用学会 Vol.22 Supplement 2005
- ◆ 井口洋夫監修 要覧版 我が国の宇宙実験—成果と教訓

3)-2 システム研究報告

- ◆ 宇宙環境利用研究システム・宇宙環境利用センター 成果報告書、平成 15 年(2003)9 月、宇宙開発事業団

3)-3 研究発表会予稿集

- ◆ “きぼう”に向けて—平成 9・10 年度宇宙実験報告会 微小重力科学分野予稿集、1999 年 10 月 15 日、宇宙開発事業団
- ◆ “きぼう”に向けて—平成 9・10 年度宇宙実験報告会 ライフサイエンス分野予稿集、1999 年 9 月 19 日、宇宙開発事業団

3)-4 フロンティア共同研究

- ◆ 宇宙環境利用フロンティア共同研究成果概要、平成 9 年(1997)12 月、宇宙開発事業団 宇宙環境利用推進センター

3)-5 ロケット実験報告書

- ◆ TR-1A ロケット微小重力実験—1 号機実験成果報告—、平成 4 年(1992)5 月、宇宙開発事業団
- ◆ 宇宙開発事業団技術報告 TR-1A ロケット微小重力実験—2 号機実験成果報告—、1993 年 8 月、宇宙開発事業団
- ◆ 宇宙開発事業団技術報告 TR-1A ロケット微小重力実験—3 号機実験成果報告—、1994 年 11 月、宇宙開発事業団
- ◆ 宇宙開発事業団技術報告 TR-1A ロケット微小重力実験—4 号機実験成果報告—、

- 1996年8月 宇宙開発事業団
- ◆ 宇宙開発事業団技術報告 TR-1A ロケット微小重力実験—5号機実験成果報告—、1997年8月 宇宙開発事業団
- ◆ 宇宙開発事業団技術報告 TR-1A ロケット微小重力実験—6号機実験成果報告—、1999年8月 宇宙開発事業団
- ◆ 宇宙開発事業団技術報告 TR-1A ロケット微小重力実験—7号機実験成果報告—、2001年3月 宇宙開発事業団
- 3)-6 IML-2 等報告書
  - ◆ IML-2 第二次国際微小重力実験室 プレス用参考資料、1994年6月、宇宙開発事業団
  - ◆ 第二次国際微小重力実験室(IML-2)宇宙実験成果報告会予稿集、平成7年(1995)11月1日、宇宙開発事業団
  - ◆ 宇宙開発事業団技術報告 IML-2 宇宙実験成果報告、1996年3月、宇宙開発事業団
  - ◆ 宇宙開発事業団技術報告 IML-1 宇宙実験成果報告—第一次国際微小重力実験室、1994年5月、宇宙開発事業団
  - ◆ 宇宙開発事業団技術報告 第一次微小重力実験室(MSL-1)宇宙実験、1999年2月、宇宙開発事業団
- 3)-7 FMPT 報告書
  - ◆ 宇宙開発事業団技術報告 ふわっと'92 宇宙実験成果報告、1/2分冊、2/2分冊、1994年5月、宇宙開発事業団
  - ◆ 第一次材料実験 ふわっと'92 スペースラブ Jミッション プレスキット、平成4年(1992)7月、宇宙開発事業団
  - ◆ ふわっと 92 FMPT(第一次材料実験)ハンドブック、平成4年(1992)、宇宙開発事業団(取扱注意)
  - ◆ ふわっと92 宇宙実験成果報告会予稿集、平成5年(1995)12月6-7日、宇宙開発事業団
  - ◆ FMPT計画の記録「ふわっと'92の開発技術」、2007年3月、宇宙航空研究開発機構
- 3)-8 SFU 報告書
  - ◆ 宇宙実験・観測フリーフライヤ(SFU)ーの成果報告、1996年12月、文部省宇宙科学研究所、宇宙開発事業団、新エネルギー・産業技術総合開発機構、財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構
  - ◆ 宇宙科学研究所報告 特集第35号 SFU 実験報告(システム編)、1997年3月、宇宙科学研究所
  - ◆ 宇宙科学研究所報告 特集第36号 SFU 実験報告(搭載実験編)、1997年3月、宇宙科学研究所
- 3)-9 技術検討書
  - ◆ 宇宙実験テーマの搭載性に関する予備検討結果について、昭和55年3月、宇宙開発事業団 配布先指定 No.
- 3)-10 国際パートナーと協働作成文書
  - ◆ INTERNATIONAL FORUM FOR THE SCIENTIFIC USES OF SPACE STATION, 1987-1995
  - ◆ Toward Effective International Cooperation for Science on Space Station Freedom, The Final Report of Joint Science Utilization Study, December 1989, NASA, ESA CSA, NASDA
  - ◆ AN INTERNATIONAL STRATEGIC PLAN FOR SPACE LIFE SCIENCES(Draft) , March 1995, NASA, ESA CSA, NASDA, CNES, DLR
- 4) 政府機関報告書等

- ◆ 平成 22 年度の科学技術に関する予算等の資源配分方針、平成 21 年(2009)10 月 8 日、総合科学技術会議
- ◆ 宇宙基本計画、2009 年 6 月 2 日、宇宙開発戦略本部
- ◆ SSLG 第三回宇宙協力活動計画会合、平成元年(1989)10 月 24 日—27 日、於 東京 科学技術庁研究開発局宇宙国際課

## 5) 公開参考書籍

### 5)-1 宇宙環境利用活動一般

- 「1」 西口敏宏著 遠距離交際と近所付き合いー成功する組織ネットワーク戦略、NTT 出版 2007 年
- 「2」 西口敏宏著 ネットワーク思考のすすめーネットセントリック時代の組織戦略、東洋経済新聞社 2009 年
- 「3」 Gunther Seibert et al., A World without Gravity - Research in Space for Health and Industrial Processes - ESA SP-1251 June 2001
- 「4」 小田原修監修 軌道上実験概論 2000 年 4 月、日本マイクログラビティ応用学会
- 「5」 微小重力実験の基礎 1999 年 1 月 宇宙開発事業団 内部資料
- 「6」 宇宙環境利用の展望 2001 年 宇宙開発事業団
- 「7」 井口洋夫監修 岡田益吉・朽津耕三・小林俊一編集、宇宙環境利用のサイエンス 2000 年 3 月、裳華房
- 「8」 日本マイクログラビティ応用学会編 宇宙実験最前線ーDNA の突然変異から謎の対流出現までー 講談社ブルーバック B-1135、1996 年 8 月
- 「9」 藤森義典著 人類は宇宙へむかう 1995 年 9 月、日本機械学会 100 周年記念出版、テクノライフ、オーム社
- 「10」 栗木恭一著 宇宙環境の利用ー無重力でものをつくるー 1988 年 5 月、丸善株式会社

### 5)-2 宇宙ステーションシステムに関する文献

- 「1」 Ivan Bekey and Daniel Herman, Editors, SPACE STATIONS AND SPACE PLATFORMS -Concepts, Design, Infrastructures and Uses, AIAA 1985, B5 版、385 ページ
- 「2」 Gordon R. Woodcock, SPACE STATIONS AND PLATFORMS, Orbit Book Company 1986, A4 版、217 ページ
- 「3」 Ernst Messerschmid and Reinhold Bertrand, Space Stations - Systems and Utilization, Springer 1999, B5 版、565 ページ
- 「4」 狼嘉彰、富田信之、堀川康、白木邦明共著、宇宙ステーションと支援技術、コロナ社 2004 年、B5 版よりやや小型、247 ページ
- 「5」 James R. Wertz and Wiley J. Larson, SPACE MISSION ANALYSIS AND DESIGN, Space Technology Library 1999, B5 版よりやや小型版、969 ページ (ソフトカバーの本)
- 「6」 William E. Burrows, THIS NEW OCEAN The Story of the First Space Age, Random House 1998, B5 版 723 ページ
- 「7」 Vincent L. Pisacane and Robert C. Moore, Fundamentals of Space Systems, Oxford

University Press 1994, B4版、772 ページ

「8」日本実験棟「きぼう」総合報告書本篇(第一巻)、別編(第二巻、第三巻)、2010年3月  
宇宙航空研究開発機構、有人宇宙環境利用ミッション本部、JEM 開発プロジェクトチ  
ーム

5)-3 有人宇宙飛行に関する文献

「1」General Chuck Yeager and Leo Janos, YEAGER An Autobiography, Bantam Books, 1985

「2」Tom Wolfe, The Right Stuff, Bantam Books, 1979,

「3」国際共同ベッドレスト実験成果報告書、JAXA-SP-06-007, 2006;平成18年10月 宇  
宙航空研究開発機構

「4」関口千春他著 宇宙開発事業団編 宇宙医学・生理学、社会保険出版社 1998

「5」Arnauld E. Nicogossian, Carolyn Leach Huntoon, and Sam L. Pool, Editors, Space  
Physiology and Medicine, Lea & Febiger 1994

「6」Science in Orbit - The Shuttle & Spacelab Experience:1981-1986, NASA 1988

「7」Arnauld E. Nicogossian, Stanley R. Mohler, Oleg G.Gazenko and Analoly I. Grigoryev,  
Series Editors, Space Biology and Medicine, AIAA 1993

I Space and Exploration

II Life Support and Habitability

III Humans in Space Flight, Book 1 & 2

IV Crew Health, Performance and Safety

V Reference Materials

「8」C.J. Peters and Mark Olshaker, Virus Hunter - Thirty Years of Battling Hot Viruses  
around the World, Anchor Books 1997

「9」Preston Cloud, Oasis in Space - Earth History from the Beginning, W.W.Norton &  
Company, 1988

「10」Valentin Lebedev, Translated from Russian by Luba Diangar, Diary of a Cosmonaut -  
211 Days in Space, Phytoresource Research Inc. Information Service, Texas, 1988

「11」東昭著 生物の動きの事典、朝倉書店 1997

「12」大島泰郎著 宇宙生物学 - 銀河系のかなたに友を求めて、カッパブック、光文社  
1977

「13」Joan Vernikos 著、白崎修一訳、宇宙飛行士は早く老ける?、朝日新聞社、2006年9  
月 (Vernikosさんのホームページは <http://www.joanvernikos.com/>)

「14」Bioastronautics Roadmap, A Risk Reduction Strategy for Human Space Exploration,  
NASA/SP-2004-6113

(詳細は <http://bioastroroadmap.nasa.gov/index.jsp> を参照のこと)

「15」坂井三郎、太空のサムライ

「16」Edward D. Flinn, Lanb-on-a-chip finds jobs for Mr.Clean, AIAA Aerospace America,  
August 2007, Page 34-35

## 第9章 宇宙環境利用研究の経緯

### －生命科学分野－

#### 概要

宇宙開発の歴史は宇宙環境下での生物研究の歴史でもある。宇宙開発のためには、地球の生物が宇宙環境でどのように振舞うのかを知らなければならない。宇宙環境下での生物現象に関する様々な知見は、人類の宇宙進出に欠かせない技術情報であるに留まらない。宇宙環境下での生物研究は生命科学そのものの可能性を大きく広げるものでもある。急速な進展を続ける生命科学ではあるが、その対象とするものは宇宙全体から見れば極めて微小かつ特異な環境条件である地球表面の現象に限られている。宇宙環境利用は、この特殊な環境条件の周壁を取り払い、宇宙に普遍的な全く新しい生命科学を生み出すものである。

過去およそ半世紀の間に、宇宙環境下での様々な生物現象が観察され、地球上で誕生した生命が、35億年余の進化の過程で全く経験することの無かった宇宙環境にも見事に適応できる事実が明らかになった。さらに、地球生物は地上の環境下では決して表すことのなかった未知の能力を秘めている可能性も見出された。宇宙環境を利用して、微小重力等の地上では実現不可能な環境条件の下で生物現象を解析することにより、既存の生命科学分野の概念の枠内には収まらない、新たな生命科学の「宇宙」が開け、そこに単に産業応用に留まらず人類の活動全体の可能性が大きく広がるものと期待される。

ISSの運用開始によって宇宙環境を新たな創造活動に利用できる場と機会が手に入った。しかし、その場を活用して新たな生命科学を生み出すには、従来の地上における概念や方法論に囚われない全く新たな発想に基づいた実行上の具体的な技術が必要となる。そのためには、これまでの宇宙環境下での生命科学研究の経緯を、科学的側面からだけでなく、プロジェクト管理や実験技術とその運用等を含めて総合的な分析が欠かせない。ISSの完成を受けて為すべきこととして、単に壮大な夢を語るだけではなく、史上類の無いこの研究環境を使いこなすための実験技術を開発とそれを適用した着実な成果の積み上げが我々には課せられている。

## 目次

9.1 はじめに .....	9-3
9.2 日本の宇宙生物実験の歩み .....	9-4
9.2.1 FMPT 以前の宇宙実験 .....	9-4
9.2.2 スペースシャトル利用実験 .....	9-5
9.2.3 小型ロケット実験 .....	9-6
9.3 宇宙環境利用生命科学の各分野の課題と得られた成果 .....	9-6
9.3.1 宇宙医学 .....	9-6
9.3.2 重力生物学 .....	9-7
9.3.3 放射線生物学 .....	9-9
9.3.4 生物工学 .....	9-11
9.4 実験環境の整備 .....	9-11
9.4.1 基準ミッションと共通実験装置 .....	9-11
9.4.2 研究シナリオの検討 .....	9-12
9.4.3 国際宇宙ライフサイエンス戦略計画ワーキンググループ (ISLS-WG: the International Space Life Sciences Strategic Planning Working Group) .....	9-12
9.4.4 フロンティア共同研究(1992年度～1996年度) .....	9-13
9.4.5 公募地上研究(1997年度～2009年度) .....	9-13
9.5 実験装置・設備 .....	9-14
9.5.1 細胞ラック(細胞培養装置・クリーンベンチ) .....	9-14
9.5.2 水棲生物飼育装置 .....	9-15
9.5.3 CAM 施設の中止とその影響 .....	9-15
9.6 日本の研究者コミュニティ .....	9-16
9.6.1 日本宇宙航空環境医学会 .....	9-16
9.6.2 日本宇宙生物科学会 .....	9-16
9.7 今後の宇宙環境利用生命科学の展望 .....	9-17
参考文献 .....	9-19



## 9.1 はじめに

宇宙開発の歴史は宇宙環境下における生物研究の歴史でもある。米国と旧ソ連の間の宇宙開発競争は、実質的に宇宙空間への一番乗り競争であった。宇宙環境下での生存を保証するための生物研究は宇宙技術開発の中でも極めて重要な部分を占めていた。ISSで宇宙飛行士が活動する様子を目の当たりにできる現在の感覚からは想像し難いことかもしれないが、宇宙開発の黎明期においては宇宙環境下で長時間生活できることを確信させる根拠は極めて薄弱であった。そのため、宇宙での生存可能性を保証できる確証を得ようと様々な努力が続けられた。イヌやサルその他の生物を有人宇宙飛行に先駆けて宇宙に送るだけでなく、想定される宇宙環境条件を地上で部分的に模擬する方法等も開発され、それによってデータ収集が重ねられた。これらの研究から、酸素分圧や気温その他最低限の生命維持環境を整えさえすれば、微小重力環境下においてもある程度の期間は生存可能であるらしいとの状況証拠が次第に蓄積された。それでも、実際に宇宙飛行士を最初に宇宙に送り出す決断を下すのは決して容易なことではなかった。

人類初の有人宇宙飛行が成功し、宇宙環境下において少なくとも短期間の生存は可能であることが実証されると、次の課題は宇宙飛行士の健康状態を長期間にわたって維持することに移った。微小重力その他の宇宙環境因子は直ちに生命に危険を及ぼさないものの、平衡感覚、筋・骨格系、心・循環系その他各種の生理機能に地上とは異なる現象が現れることが次々に明らかにされた。また、宇宙放射線被曝の影響も大きな懸念事項となっていた。これらの課題に対する対応策の開発と、そのための基礎となる科学的データ取得を目的とした宇宙実験や関連する地上研究が米国や旧ソ連において組織的に進められた。

一方で、生命の起源や地球外生命の存否、生命の法則の普遍性等は人類の永遠の問いであるとも言える。様々な考察が古代から現在に至るまで数多くなされてきてはいるが、実証手段が無い限り、どのような理論も説得性を持ち得なかった。ロケット等の宇宙輸送手段によって、地球とは異なる環境条件下での実証研究の途が開けた結果、宇宙環境利用生命科学は漸く実験科学としての出発点に立つことができたのだと言えよう。

過去およそ50年の間に、様々な生物について宇宙環境下での観察が行われてきた。当初は単に動植物を宇宙環境下で生存させ観察するだけでも十分な価値のあるデータであった。それらのデータの蓄積により、地球上で誕生した生命が、35億年余の進化の過程で全く経験することの無かった宇宙環境にも見事に適応できるという驚くべき事実が明らかになった。それだけではなく、生物は地上の環境下では決して表すことのない全く未知の能力を秘めている可能性を強く示唆する現象も観察される等、従来にはなかった概念も形成されつつある。

宇宙環境は生命科学に全く新しい概念と手段を提供する。宇宙環境を利用することによって、地上では実現不可能な実験条件で生物現象を解析することが可能になり、そこから従来の生命科学の枠内には収まらない、全く新しい概念が生み出され得る。ISSの完成によって、宇宙環境を継続的に利用することが可能となった。この宇宙環境を有効に利用するためには、既存の概念に囚われない新たな方法論も必要になる。宇宙環境、特に微小重力に対応する実験器具・装置その他の実験技術、方法論には更に洗練させる余地は大いに残されている。地球上で進化したのは研究対象となる生物だけでなく、研究をする側の考え方や研究手法も同様である。厄介なことには、生命科学研究の考え方や実験技術の宇宙環境への適応能力は、研究対象である生物に比べて格段に劣ると言うのが本当らしい。これまでの宇宙環境利用の生命科学研究の成果

は、従来の地上での研究の延長上で達成されて来たと言える。ISSを利用して今後の研究を発展させるためには、既存の枠を超えた発想と、それに基づく新たな実験技術の開発が不可欠である。

これまでに宇宙環境を利用して行われた生命科学研究の個々の成果は原著論文として報告されており、日本の宇宙実験の概要についても既に纏められている[1, 2]。本稿では、科学的な内容については最小限に留め研究プロジェクト管理、実験装置・実験技術開発あるいは軌道上実験運用技術等を含めて、宇宙環境下での生命科学研究の短い歴史を、総合的に分析し、今後の進むべき方向性を探る。

## 9.2 日本の宇宙生物実験の歩み

### 9.2.1 FMPT 以前の宇宙実験

米国と旧ソ連による宇宙開発競争は有人飛行の実現を前提として始まっただけに、当初から生物実験や医学データ取得とは不可分の関係にあった[3-6]。一方、有人飛行とは無縁なところからスタートした日本の宇宙開発においては、生命科学分野と宇宙技術との接点は無いままであった。医学生物学分野の日本の研究者にとって宇宙実験機会に手が届くようになるまでには、第一次材料実験(FMPT)のテーマ募集を待たなければならなかった。この頃までには、世界の宇宙生命科学の研究は、初期の安全性確認のための技術データ収集や宇宙で観察される変化、すなわち宇宙環境への適応応答を発見する段階は終了し、宇宙環境下での宇宙適応応答の機構を解明するための基礎科学研究の段階を迎えていた。

日本における宇宙環境利用研究への組織的な取り組みが始められる以前から、海外の計画に参加して重要な役割を担ってきた日本人研究者が少なからず存在する。Kondo ら[7,8]は、1960年代のジェミニ計画における宇宙放射線への被曝影響調査として、電離放射線によるヒト白血球の染色体異常誘発の程度は微小重力下においても地上との間に有意な差はないことを明らかにし、アポロ計画の実行に関する一つの大きな懸念の払拭に貢献した。

1990年以前にも Ohira ら[9]はロシアのコスモス2044号で14日間宇宙飛行したラット後肢の筋組織について、ミオシン重鎖のアイソタイプや ATP 分解酵素活性を解析し、微小重力下の負荷消失によって遅筋繊維の減少だけでなく、遅筋繊維が速筋化することを明らかにした。また、沈降や浮力対流による擾乱がない微小重力環境を利用して、立体構造解析に適し高品位のタンパク質結晶を成長させる試みもなされている。Asano ら[10]はソユーズ宇宙線を使った COSIMA-2 計画において、ウシ膵臓由来のリボヌクレアーゼSの結晶成長実験を行い、微小重力で高品位の結晶が得られる可能性を証明した。



図 9-1 微小重力下でのニホンアマガエルの特徴ある姿勢を捉えたビデオ画像(部分)

[提供 TBS/JAXA]

1989年6月に東京放送(TBS)が当時のソ連宇宙ステーション MIR にジャーナリストを訪問させる際に行う実験テーマを募集した。そこに、ニホンアマガエルやカタツムリ等を用いた行動観察実験等が採択され、1990年12月にMIRでの実験が実施された。これらの実験は宇宙活動や地球環境問題への関心を高めることを第一義としており、必ずしも科学研究を目指したものではなかったが、脊椎動物の平衡感覚制御機構の研究上意味のある観察結果も得られている。ニホンアマガエルでは微小重力下において平坦な表面上では大きく背中を反らせる姿勢を取り後退運動する等の特徴的な行動が観察され[11]、また心房性ナトリウム利尿因子(ANF)関連物質の合成と分泌が脳の特定の箇所において変化する可能性等が示唆された[12]。チャレンジャー事故の影響でスペースシャトル打上げが大幅に遅れる中、結果的にこのMIRでの実験が先行することになった。このプログラムを通じて得られた宇宙実験の実施過程で生じる様々な困難に直面しそれを解決した経験や当時のソ連との間の米国の宇宙利用技術や進め方の違い等、以後の宇宙実験を進める上で実用上の参考となる情報が多く得られた等の効果もあった。

### 9. 2. 2 スペースシャトル利用実験

1990年代に幾つかの日本の企業等が、スペースシャトルの貨物室に搭載されたドラム缶型の容器(GAS: Get Away Special)に収納した実験装置での実験を試みている。1992年には欧州が開発したスペースラブを利用する第一回国際微小重力実験(IML-1)で放射線計測と休眠卵等への影響評価を実施した。これらは、いずれも宇宙実験の可能性を探り、経験を積むためのものであったと位置付けられよう。

FMPTはスペースラブを利用した日本初の本格宇宙実験として、当初1985年の打ち上げを目標に実験テーマの募集・選定が始められた。同時に実験装置の開発その他の運用準備も進められたが、チャレンジャー事故その他の事情によって計画は大幅に遅れ、飛行実験が行われたのは1992年であった。この遅れの間が生じた、人員の維持や経費の手当等に関する問題を解決するために様々な努力が払われた。また、一部では研究テーマそのものが陳腐化したため、研究計画の修正や研究チームの再編成等が行われた。他方、時間的余裕を活用して実験装置の機能再検証や運用方法の見直し等の改善も行われた[13]。FMPTでは生命科学分野では13テーマの実験が実施された[1, 2, 14]。続いてその2年後には第2回国際微小重力実験室(IML-2)においてほぼ同規模の実験が行われた[1, 2, 15]。IML-2では各宇宙機関が提供した実験装置を各国の研究チームが相互利用する形で国際協力の利点が最大限に活かされた。日本が提供する実験装置を利用する米国の研究者が日本に滞在して装置検証を行う等の交流も、宇宙実験装置開発や運用に関わる技術の向上に有益であった。

米国とロシアとの間でのソ連崩壊後の宇宙覇権を巡る駆け引きの中で企画された一連のシャトル・ミールミッションにおいては、宇宙放射線計測や放射線生物学、あるいはタンパク結晶生成実験等の日本の実験テーマが実施された。1998年には米国NIHがスポンサーとなって、脳神経科学分野を主体とした国際共同実験であるNeurolab(STS-90)ミッションが行われた。各国の研究者から提案を募集し、そのテーマに応じて国際研究グループを編成して共同実験するものであった。Neurolabの直後に研究者グループから再実験を求める強い要求が出され、それに応える形でSTS-95ミッションが半年後に実施された。日本からはISS実験の先駆けとしての位置付けで植物等に関する実験がSTS-95に搭載された[1, 2]。

FMPTとIML-2で行われたプロジェクトの進め方、開発された実験装置と運用方法、その過程

で得られた様々なノウハウ等、は良くも悪くもその後の日本の宇宙環境利用の原型となった。その後 STS-95 に至る一連のスペースシャトル利用実験の過程で、ISS に向けて宇宙実験の経験が更に蓄積されたが、1998 年以降は ISS 利用開始まで本格的な軌道上実験は行われず、その間に大きな空白が生じることとなった。

### 9. 2. 3 小型ロケット実験

小型の固体燃料ロケットを大気圏外に打ち上げておよそ260kmの高度まで弾道飛行させ、再突入までの約6分の微小重力を利用する実験が主として物質科学分野で行われていた。TR-1A の 6 号機に向けては、生物を用いた実験に不可欠な要件である打上げ直前の試料搭載(Late Access)と回収直後の取り出し(Early Retrieval)に対応させるため、アクセス・パネル付きの実験支援システムが開発された[16, 17]。

細胞が重力変化に応答する初期過程を観察するための培養細胞実験装置(CCE: Cultured Cell Experiment Equipment)は、小型ロケット TR-1A6号機(1997年)、7号機(1998年)に搭載された。CCE には細胞培養容器を合計24個搭載可能となっており、3容器1組でそれぞれ独立に一連の細胞操作(刺激薬剤を含む培養液及び固定液の注排出及び回収)を行う仕組みであった。スペースシャトル利用実験とは全く異なり、完全自動で細胞培養を行う新しい実験システムであったが、小型ロケット実験が打ち切られたため後継機は開発されず、コンセプトのみがISSの実験供試体である各種の生物実験ユニットへと受け継がれている。

## 9. 3 宇宙環境利用生命科学の各分野の課題と得られた成果

### 9. 3. 1 宇宙医学

アポロ計画に使用されたサターンV型ロケットの第3段を宇宙ステーションとして利用したスカイラブ計画において、宇宙環境への適応応答が体系的に整理された。前庭機能の失調、体液シフト、心循環系の失調、筋骨格系の萎縮等が最も明瞭に観察され、かつ有人宇宙活動に影響を及ぼすため、主要な研究課題となっている[4, 5]。

有人宇宙活動の分野では後発の日本であるが、宇宙医学研究においては特に航空医学の流れを引いた比較的長い歴史を持ち、地上模擬実験等による高い研究水準を維持している。しかし、実際の宇宙飛行中のデータ取得に関しては、個人情報保護その他倫理面での制約があり、自国の飛行士による宇宙飛行の実現を待たなければならなかった。また、宇宙飛行士の人数が極めて限られているため、統計的な解析にも限界がある。これらの問題点を地上研究や動物実験等の充実によって回避し、日本人宇宙飛行士が搭乗する機会を捉えての、緻密なデータ収集によって情報の蓄積を継続することは重要であり、その努力が続けられている[18]。

宇宙環境への適応応答の中でも、骨量減少は最も深刻な問題の一つと考えられている。骨量減少は、宇宙環境下でも徐々にしか進行しない反面、地球に帰還しても回復に長い期間を要する。骨組織は、骨芽細胞の働きによる造骨と破骨細胞の働きによる吸収のバランスで維持されているが、微小重力下で負荷が喪失するとバランスが吸収側に偏って骨組織からカルシウムが流出し、血中カルシウム濃度が上昇することが、宇宙飛行士のデータだけでなく、動物実験や地上での模擬実験等の結果からも明らかにされてきた。血中カルシウム濃度の上昇は腎結石の危険因子ともなる[19]。ISS への日本人宇宙飛行士の長期滞在に際しては、破骨細胞の働きを抑制するビスホスホネート製剤を予防的に投与するという画期的な試みが行われ[20]、極めて良い成績が得られつつある。

### 9.3.2 重力生物学

微小重力は地球低軌道環境で最も特徴的な条件の一つであり、生命科学分野においても焦点が当てられてきた。全ての生命活動は周囲の環境情報を取得し、その情報を処理することによって活動し、更にその結果環境に影響を及ぼすことで成り立っており、その環境情報の取得と情報処理の過程を明らかにすることは生物学の最も重要な課題の一つである。

重力生物学のほとんど全ての宇宙実験では、宇宙と地上、または軌道上での遠心加重、を比較することにより、生物の微小重力への応答の違いが重力の差に起因するものとして論じられてきた。その中でも特に注目すべき以下の成果が得られている。

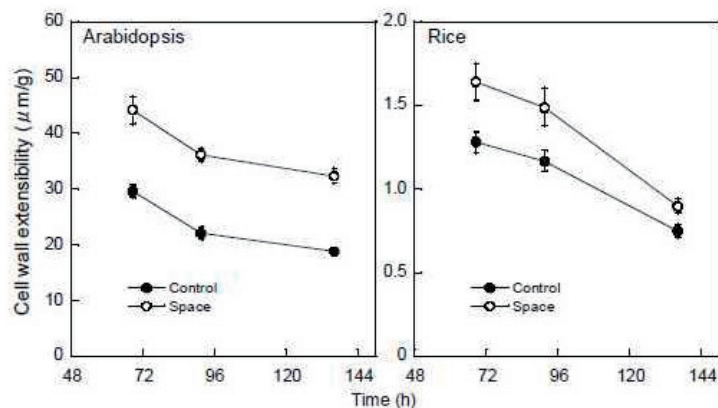


図 9— 抗重力応答の例

シロイヌナズナ胚軸(左)、イネ幼葉鞘(右)の伸展性。

宇宙では細胞壁が柔らかく伸びやすくなる。[24]

植物が根を下方に茎を上方に伸ばす重力屈性を示すことは進化論で有名なチャールズ・ダーウインによって始めて科学的な記載がなされて以来、膨大な研究が蓄積されてきたが、その仕組みには未だに多くの謎が残されている。生物が機械的な環境情報を生体信号に変換する過程の解明を阻害している主要な要因として、地上では機械的刺激をゼロにはできない点がある。その機械刺激ゼロの状態が実現可能な宇宙の微小重力環境下で、生物が機械的刺激を検出する仕組みを解明するのが宇宙で実験することの大きな意味である。植物は宇宙での維持や取り扱いが他の生物材料に比べて容易であり、特に重力屈性等の巨視的変化が明瞭に観測できることもあって、多くの宇宙実験が行われた。

重力の情報がない状態では、植物の芽生えは単に無秩序な方向に伸びるのではなく、本来持っている性質に基いた形作りを行う自発的形態形成を示す[21]。また、根が湿度勾配を検出してより水分の多い方向に伸びる水分屈性の能力を有している[22]。これらの性質は、地上では重力への応答が優越して観察が難しいが、微小重力下では明瞭に現れるため詳しく解析することが可能となった。またウリ科植物の芽生えにおいては根と茎の境界部の下側に生じるペグと呼ばれる突起が、重力によって誘導されるのではなく、本来両側に発達させる能力を持っておりそれ

が地上では上側で抑制されていたことが示された[23]。このことから、生物には重力のある地上では観察できない能力が数多く潜在しており、今後様々な生物現象を宇宙環境下で観察することによって、これまで想像もつかなかったような未知の能力が数多く発見されるとの期待が高まっている。

特定の組織細胞内にある沈降性アミロプラストと呼ばれる細胞小器官が植物の重力検出きだと考えられている。沈降性アミロプラストは重力場に応じて細胞内で偏在するが、宇宙では均等に分布する。また、植物ホルモンのオーキシン輸送タンパクの細胞内局在が変化することにより、直物体内でのオーキシンの輸送パターンに偏りが生じて(オーキシンの極性輸送)屈曲が引き起こされる。しかし、出発点であるアミロプラストの偏在と、最終的に屈曲を引き起こすオーキシン輸送タンパク局在変化との間にある複雑な分子過程は全く明らかになっていない。また支持組織を発達させる抗重力応答[24]においても機械的な環境情報を検知しているが、その詳細な分子機構も今後解明すべき重要な課題である。機械的な刺激を取り除くことが可能な宇宙環境は、生物が重力等の変化を生態信号に変換する過程を解析する研究において、重力屈性の分子機構の解明だけでなく、抗重力応答や動物細胞における機会刺激受容機構を理解するための鍵となる、地上では得られない情報を提供するものと期待される。

生命の最も重要な基本単位である細胞の研究は生物科学において不可欠なものとなっており、宇宙での研究においても主要な研究対象だと考えられている。さらに、制約条件の厳しい宇宙実験においては、試料が少量で済むことや一つの培養装置で多種類の細胞に対応できる等の実験運用上の利点もあって、これまでに多くの実験が行われ、今後も計画されている。多くの実験において、細胞は地上と異なった形態や性質を現すことが観察されている[25]。

培養細胞を用いた宇宙実験に当たっては留意すべき事項がある。生体から取り出した細胞を人工的に制御された環境下で培養することにより、各種の解析が可能になるが、一方では、実験上の人為的操作に起因した現象を観察してしまう危険が伴う。特に宇宙実験においては、研究者自身がある場で操作や観察することが困難なこと、実験手順を臨機応変に変更できないこと、再実験や繰り返し確認が容易ではないこと等の条件が加わる。このような問題点は、宇宙ステーションの完成により、従来の宇宙実験と比べて大幅に改善されたとはいえ、地上の実験室とは依然として大きな隔りがある。特に、重力等の機械的環境に対する細胞の応答を観察対象とする場合にスケール効果も考慮しなければならない。重力が働く質量は長さの三乗で小さくなり、電磁気力は距離の二乗に反比例して大きくなるため、直径数十マイクロンという細胞単独のスケールにおける物理的環境下では、重力よりも電磁気力の寄与が圧倒的に大きくなる[26]。このような環境下においても、個々の細胞が重力環境情報を何らかの方法で取得してそれに適切に応答していることはこれまでの観察結果から明白である。そのような細胞の能力の仕組みを解明すれば、平衡感覚や運動失調等の疾患その他薬物だけでは効果に限界がある疾患に対する根本治療が可能になる。また、再生医療の分野において、組織や臓器を立体的に構築させるためブレークスルーに繋がると期待される等極めて大きな可能性を秘めている。

実験材料として多くの利点をもつモデル生物の一つである C エレガンス(*Caenorhabditis elegans*)は非寄生性の小型線虫の一種であり、培養細胞に準じた取り扱いが可能なこともあって、宇宙実験にも利用されている。線虫を実験材料として2004年4月にISSで行われた国際共同実験に日本の研究者も参加した。特に、モデル生物としての線虫の利点を生かして、卵母細胞が成熟卵になる過程を観察した実験では、減数分裂のチェックポイント制御やアポトーシスが宇宙

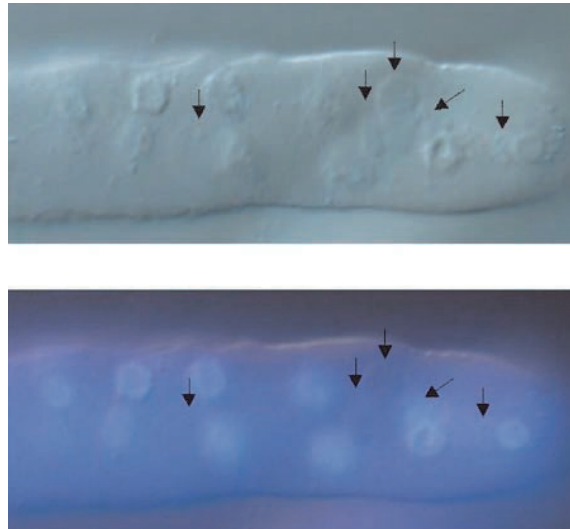
環境下においても正常に行われることが確認される[27]等の成果が得られた。

重力生物学は宇宙環境利用の生物学の中でも主要な課題であり、その範囲も純粋に基礎的な生物学だけでなく、宇宙飛行士の健康維持管理、地上の高齢者医療等のための基礎となる研究等に及ぶ。地上では達成不可能な無重力状態を利用した研究が数多く行われ、生物の生理や形態形成等に重力環境が大きく関与している証拠が積み重ねられてきた。しかし、宇宙環境は、重力を取り除くことができるという最大の利点を活用できる反面、薬剤や生理活性物質等の作用を研究する従来の生物学実験手法にそのまま重力を当て嵌めただけでは、誤った結論に至る危険性も除外できない[26, 28]。重力生物学研究を今後さらに発展させるためには、宇宙環境に適した研究手法の開発と実験手段の洗練にも更に注力することが重要になる。

### 9.3.3 放射線生物学

宇宙飛行士の健康に及ぼす宇宙放射線の影響は有人宇宙開発における大きな課題の一つであり、これまでの宇宙環境利用研究においても大きな比重を占めてきた。放射線生物学に係る研究は、宇宙放射線環境計測、モデル生物を用いた基礎研究に大別される。また宇宙放射線計測は宇宙飛行士の被曝管理として宇宙医学の一翼を担っている。宇宙環境での被曝の特徴として、多様な線種、低線量率での長期被曝、高 LET 粒子線によって引き起こされる障害とそれに対する修復機構の解析、微小重力環境との相乗効果の有無、有効な放射線障害防護策の開発等が主要な研究課題である。放射線生物学に関する宇宙実験はスペースシャトルから ISS の初期運用に至るまで数多く行われた。宇宙放射線による生体、特に遺伝子の損傷の検出、損傷修復に働くタンパクの機能解析、その他において注目すべき成果が得られている[29]。

地球低軌道における放射線環境は太陽活動に大きく依存する。更に、宇宙船の軌道によっても大きく変動する上に、宇宙船内では船殻による遮蔽効果とそこから発生する二次放射線が合わさった複雑な放射線環境になっている。このように、宇宙放射線は様々な線種が複雑に混じり合っており、その強度も時間的空間的にも様々に変化している。従って、放射線の影響を評価するためには宇宙飛行士や実験生物の宇宙放射線被曝量を同時並行で物理的に計測しておかなければならない。その為に様々な方式の放射線計測器具や装置が開発され使用されてきた。



宇宙環境下で卵から成虫に生育した *ced-1* 変異体の生殖腺に見出されたアポトーシス  
微分干渉顕微鏡画像(上段)および DAPI による核染色を重ねた像(下段). 矢印はDNA が分解消失した死細胞の残骸を示す[27].

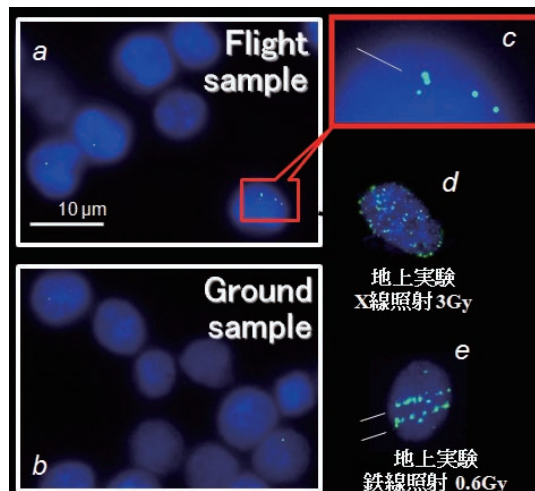


図 9-2 可視化された宇宙放射線損傷

従来は物理計測のみに依存していた宇宙重粒子線が始めて生きた細胞への損傷として捉えられた。DAPI によって青く染色された細胞の核内で、DNA の二重鎖切断箇所が  $\gamma$  H2AX 染色による緑色の点として見えている(a,c)。二重鎖切断の生じ方は地上での実験的照射(d,e)とは明らかに異なる。白線は重粒子線の方向を示す。[29]

PADLES (Passive Dosimeter for Lifescience Experiments in Space) は低エネルギー域の吸収線量を計測する熱蛍光線量計と、高エネルギー粒子線の飛跡から線エネルギー付与 (LET: Linear Energy Transfer) 分布と線量当量を算出する CR39 とを組み合わせるコンパクトな容器に格納した受動積算型線量計パッケージおよびデータ解析プロセスから構成される、ライフサイエンス宇宙実験のための宇宙放射線計測システムである。生物試料の近傍に設置する PADLES パッケージおよび宇宙飛行士が携帯する個人被曝線量計測用の CrewPADLES、宇宙船内計測用の AreaPADLES が運用されている[30]。

地上での照射による試験と構成に加え 1992 年の STS-42(IML-1)以来、可能な飛行機会を捉えて搭載され検証と改良が重ねられた。地上の重粒子加速器を用いた、様々な方式の線量計との国際比較や、人体とその内臓を模したファントム内部に設置して ISS の船内や船外で計測する国際共同実験が行われた。これらの国際比較実験の結果から、PADLES システムの性能と信頼性が確認された。

1998 年の STS-95 以降、培養細胞等の生物試料が受けた放射線の計測データの提供が行われている。「きぼう」運用開始時から、CrewPADLES を用い JAXA 宇宙飛行士の宇宙放射線被曝管理、および AreaPADLES による船内放射線環境計測が継続的に行われている。また、生物試料だけでなく、ハイビジョンカメラ用撮像素子に生じる白傷の原因が主として太陽陽子線にあることを解明する等の成果あった[31]。

実時間放射線モニタ装置 (RRMD: Real Time Radiation Monitoring Device) は宇宙船内に達する高エネルギー粒子線を実時間計測するための装置で、1994 年の STS-65 (IML-2) に搭載された。改良型の RRMD-II は 1996 年に STS-79 で高 LET 荷電粒子測定に成功し、更に 1997 年 STS-84 において RRMD-III により荷電重粒子の低 LET 領域を重点的に測定した。1998 年の



STS-91 では、RRMD-II、RRMD-III、積算型線量計測システムである PADLES との比較実験が実施され各測定方式の妥当性が証明された[32]。ボナー球型中性子検出器(BBND: Bonner Ball Neutron Detector)は 1998 年に STS-89 (S/MM-08)に搭載され、陽子線と中性子線を弁別が可能である等、計測方法の妥当性が確認された[33]。2001 年には計測データを処理・記録する制御装置を付加して ISS の米国実験棟内での計測を実施した。これらの宇宙放射線計測装置は、国際協力の中で、各国の各種装置との比較実験も行われ、線種やエネルギー分布等に偏りなく高精度の測定が可能なが実証された。

#### 9.3.4 生物学

FMPT が計画された当時は、微小重力条件が生物工学的に利用できるとの期待が高く、大量培養や有用な生体物質の大量生産に関する種々の技術開発が試行された。しかし、容易には所期の成果が得られず、そのために基礎検討の積み重ねが必要なこと、および飛行実験を繰り返す機会を得ることが困難であることが認識されたため、唯一有効性が示されたタンパク質結晶成長を除いてその後は衰退した。

タンパク質結晶成長は、スペースシャトル、MIR 宇宙ステーション、ISS ロシアサービスモジュール等での実験が重ねられた。同時に、地上での技術改良も進められ、「きぼう」内において蛋白質結晶生成装置(PCRF)を用いた実験継続的に行われる様になった。その内容は第11章に詳述されている。

生体を構成する様々な物質を電場に通し、その電荷に応じて分離や解析する電気泳動法は生命科学の研究に不可欠な技法である。これを微小重力下で行えば、電場を安定に保持するゲル等の担体が不要なため、細胞その他の懸濁物質を扱うことができるのに加え、ジュール熱に起因する浮力対流が抑制されてより高精度の分離が可能になると期待された。1970 年代半ばから 2000 年頃にかけておおよそ 20 回の宇宙実験が試みられた。標準的な無担体電気泳動に加えて等電点電気泳動、等速電気泳動、等電集束法等に対応する装置も作られた[34, 35]。

いくつかの実験例では、微小重力の有効性を強く示唆する結果が得られたが、一方で微小重力に起因する別の障害も明らかになった。微小重力下では浮力対流が抑制される代わりに、電気浸透や電磁流体力学的効果等が顕在化して結果に悪影響を及ぼした。運用面でも多くの問題が発生した。浮力が働かないために何らかの原因によって電気泳動槽内に発生または混入した気泡が容易には排出されずに留まる不具合や泳動試料の微生物汚染等が報告されている。また、分離、解析対象となる細胞が、微小重力その他の宇宙環境に応じて表面荷電を変化させた可能性や、打上げや回収の過程で適切な培養条件や保存条件の維持が困難であったために試料が変質した可能性等も課題となった。

ほぼ同時期に高度化が進み急速に普及したセルソーター、フローサイトメーターによって、細胞等の粒子状の試料を分離精製あるいは解析する目的での無担体電気泳動の需要は減少したとも言えるが、細胞表面の電氣的性質の解析研究のためには依然として有効な手段であり、今後の宇宙実験に向けた新たな活用方法の開発が期待される。

### 9.4 実験環境の整備

#### 9.4.1 基準ミッションと共通実験装置

それぞれの実験テーマの要求に基づいて装置が設計されるスペースシャトル(スペースラブ)ミッションとは異なり、恒久的な宇宙ステーションとしての ISS では既設の実験装置を各実験テーマ

で利用するかたちとなるため、共通実験装置の概念が導入された。共通実験装置は、多くの実験テーマで共通して要求される機能、例えば顕微鏡観察、無菌環境の維持、温度の維持等に対応し、個々の細かい実験要求に対しては、専用の実験供試体を設計製作して対応する方式が採用された。ここで言う実験供試体とは細胞培養ユニット等の実験装置のことであり、生物科学分野には馴染み難い呼称ではあるが、物質科学分野との共通の基盤に立って名付けられたものである。

様々な実験要求に広く対応させるために、モデルとなる実験テーマが基準ミッションとして想定された。その想定に基づき、細胞培養実験と小型の動植物を飼育栽培に対応するための細胞培養装置とクリーンベンチを装備した細胞実験ラックが ISS 向けに開発された。

#### 9.4.2 研究シナリオの検討

宇宙環境利用生物科学・バイオテクノロジーおよび宇宙医学研究の推進戦略を協議し、必要な提言を行うことを目的として、宇宙環境利用研究委員会にライフサイエンス専門委員会および宇宙医学専門委員会が平成 10 年度に創設された。各分野の研究シナリオ、重点とすべき研究領域、および宇宙ステーションに設置すべき次期共通実験装置等に関して、検討が進められた。その内容は、国際宇宙ステーション利用計画ワークショップやウェブサイトを利用して公開され、各分野の研究者からの意見を反映して、各分野の当面の研究シナリオ初版として 1999 年度に纏められ、2002 年には生物科学第 3 版、宇宙医学第 4 版がそれぞれ発行された[36, 37]。

生物科学・バイオテクノロジーのシナリオ[36]では、萌芽的な新規の研究や研究のすそ野の拡大を阻害しないとの前提の下に、重点的に検討すべき研究分野、研究の方向性、考え方が示された。以下の各分野について、その特徴や課題と今後の方向性を検討し、推奨される生物試料、想定される研究課題が提示された。これらの課題の中から、重点的に推進するため以下の二領域が抽出された。

1. 重力環境変化が発動する生体内反応カスケードの解明
2. 宇宙環境下での継世代による生物の総合的解析

この重点化を受けて、細胞ラックの開発の促進とともに、次期実験装置としての水棲生物飼育装置開発に根拠を提供した。但し重点化とは言え、指定された領域は極めて広いものであり、ボトムアップ的な独創性のある実験提案の機会を十分に保証するものであった。

一方、宇宙医学のシナリオ[37]では、骨量減少のメカニズム解明、軌道上における生体情報モニター法の開発、小動物を用いた宇宙環境適応応答の臓器別修学的解析、骨量減少予防薬の検討の 4 項目を重点研究として推進することが示された。

これらの重点研究にのために優先して開発すべき実験装置として、ビデオカメラモニター付小動物飼育装置、サンプル保存用冷凍庫、軌道上の骨密度等解析装置(超音波等)、画像診断(X線透視・撮影)装置、超微量生体(血液、尿、唾液)試料による生体機能解析装置が提示された。

#### 9.4.3 国際宇宙ライフサイエンス戦略計画ワーキンググループ (ISLS-WG: the International Space Life Sciences Strategic Planning Working Group)

1980 年代を通じて ISS 参加各国の宇宙機関は生命科学分野での二国間あるいは多国間協力プログラムを数多く実施した。これらの様々な国際協力プログラムの成果を踏まえて、将来の国際研究協力をさらに効率的に推進するための戦略計画を協調して策定するワーキンググループが 1990 年に設立された[38]。当時の宇宙開発事業団、米国 NASA、欧州宇宙機関(ESA)、カナ

ダ、フランス、ドイツ連邦がメンバーとなった。

ISLS-WG が中心となって宇宙実験テーマを共同募集募集することが 1995 年に合意された。1997 年に第 1 回の募集が行われたが、この時は日本国内の体制が整わなかったために参加を見送った。第 2 回以降 2010 年までに 5 回の募集が行われた。募集に際しては、ISLS-WG の各メンバー機関が提供可能な宇宙実験装置を提示し、それを利用した研究テーマを各国でそれぞれ募集した。各メンバーの宇宙機関によって持ち寄られた提案は国際科学評価パネルにおいて、科学的意義や宇宙実験を行う必然性について審査され、続いて使用される実験装置を提供する宇宙機関を中心とした技術評価パネルで宇宙実験への適合性が評価された。各国からの宇宙実験提案を国際科学評価パネルで審査することによって、日本の宇宙生命科学研究が高い水準にあることが客観的に証明されることにもなった。国際公募で選定されたテーマの中で準備が整ったものから順次、スペースシャトルや ISS の初期利用の機会を捉えて実施され、ISS の本格運用へと引き継がれた。

#### 9. 4. 4 フロンティア共同研究(1992 年度～1996 年度)

宇宙開発委員会宇宙ステーション部会報告「宇宙ステーション取り付け型モジュール(JEM)の利用の基本方針」(1992 年 5 月)を踏まえて、宇宙環境の利用を促進するための「宇宙環境利用フロンティア共同研究」プロジェクトが実施された[39]。このプロジェクトでは、国立試験研究機関、特殊法人、民間研究機関等のポテンシャルを最大限に活用し、共同研究体制を基盤とする体系的・計画的な研究が行われた。計画研究の実施が有効と考えられた微小重力利用(材料科学、生命科学)、理工学および有人宇宙技術の 3 分野が対象となった。

整備された落下実験施設、航空機による放物線飛行、小型ロケット等の微小重力実験機会を有効に活用し、有望な研究テーマを核とした産学官協力による体系的・計画的な研究が志向された。また、宇宙環境利用研究を支えるために必要な各種実験技術の開発も行われた[40]。これらの成果は(財)宇宙環境利用センターによって整理され、同財団の解散後は JAXA が運営する宇宙環境利用研究データベース(<http://idb.exst.jaxa.jp/>)上で公開されている。

#### 9. 4. 5 公募地上研究(1997 年度～2009 年度)

フロンティア共同研究は有望な研究テーマについて所期の成果が得られたものの、トップダウン型の計画研究としての性格から、潜在的研究ニーズの具現化や宇宙環境利用研究の裾野の拡大等に対する効果等には改善すべき点もあった。この点に対する反省も踏まえ、宇宙環境利用に関する公募地上研究が 1997 年度に新たな制度として開始され、(財)日本宇宙フォーラム(JSF)が(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)からの委託を受けて運営した。これは「宇宙環境利用の研究コミュニティの育成」、「ISS 利用を目指した有望な研究テーマの発掘」を目的としたユニークな研究助成制度であり、「きぼう」が完成し本格運用が始まった 2009 年度まで実施された。

地上の一般的な生命科学の研究分野では特に重要視されていない分野横断的な考え方や、微小重力という特殊な環境を実験ツールとして活用する斬新な発想等を育み、有望な宇宙実験テーマを創出することを目的に研究助成を行った。研究テーマは一般に広く公募し、各分野の第一線の専門家による評価パネルを設けて、選定、中間、終了後の各段階で科学的評価を行った。これにより、それまでは自身の研究領域が宇宙とは無縁だと考えていた多くの研究者が宇宙環境利用の有用性と可能性に目を向けることとなり、研究コミュニティが大きく広がった。

2002 年の第 6 回公募からは、公募地上研究のそれまでの成果を体系的に発展させ、ISS 利用の科学的な価値を明らかな形で示すことが期待される模範的な宇宙実験テーマを設定するため

の募集区分として「課題計画研究」が設定された。これはそれまでの研究実績に基づいて ISS 利用の最も有望な計画研究の課題を定義し、これに対してグループ研究の提案を求めた。生物科学分野においては、「微小重力を利用した細胞レベルでの重力応答について」とした課題が設定され、関連する研究テーマ群を計画研究として連携させたグループ研究を募集した[41]。

第1回から第8回までの募集の結果、総数2402件の応募に対して612件のテーマが採択され、その内の生命科学分野については応募が1403件、採択が343件であった。この研究の成果として生命科学分野で公表された報告書の総数は2310本で、そのうち査読付きの原著論文は773本であった。単に論文数のみに注目した場合、この成果は一般の生命科学分野と比較して決して十分とは言えないとの批判もあり得るが、全く新しい研究領域の展開とそのための研究手法の開発が行われたことの価値は十分に評価されるべきであろう。

### 9.5 実験装置・設備

宇宙環境利用の生命科学研究には実験装置に依存する度合いが高いという特異性がある。近年の生命科学分野全般も、最新式の高度で複雑な実験装置に依存する面があるが、宇宙実験における装置依存はそれ以前の問題である。地上で使い慣れた実験器具や装置のほとんど全ては宇宙では全く使用に堪えない。地球で進化した生物は宇宙環境にも驚くほどの適応性を示すが、地上の実験室で進歩した生物実験技術は宇宙環境には全く適応できないのである。地上の実験室であれば、試験管に入れるだけの溶液も、宇宙実験では厳重な密封容器に入れなければならない。溶液を別の試験管に移す操作には、複雑な送液機構が必要になる。地上の生物実験室で簡単な器具を用いて何気なく行うような実験操作であっても、宇宙環境下では大掛りな実験装置に依存することになる。その実験装置も地上の実験室で見慣れたものからは大きくかけ離れた、むしろ航空機の設備に近いもので、例えば電子部品は宇宙での安全性と信頼性を保証された認定品でなければならず、操作面のスイッチ類も航空機の操縦席のコンソールと見紛うようである。

FMPT 向けの生命科学系実験装置は主として三菱重工業株式会社名古屋航空機製作所において開始されたが、その後同社の神戸造船所に移管された。このような装置を開発するに当たって、研究者と装置製作者の間の意識の隔たりが極めて大いのは当然であった。装置を開発するためには、先ず研究者から必要な条件を提示しなければならないが、ともすれば例えば「細胞が正常に培養できること」という類のものになってしまう。装置の設計に必要な数値を求めても、地上の培養用恒温器のカタログ仕様値以上のものは期待できない。培養実験はもとより、地上の培養機器製作の経験もない技術者に対して実験に必要な条件を数値として伝えるのは研究者にとって極めて困難であり、逆に装置の製作者にとっては提示された数値の裏にある意味を理解するのは極めて困難であった。このような出発点から、相互の努力が積み重ねられ、宇宙実験の実施に至った[13]。

#### 9.5.1 細胞ラック(細胞培養装置・クリーンベンチ)

日本で最初の宇宙用細胞培養装置は FMPT 向けに開発された熱電式恒温恒湿維持装置 (TEI: Thermo-Electric Incubator) である。TEI には高温用 (TEI-HT) と低温用 (TEI-LT) がある [13]。TEI-HT はニワトリ胚の発生実験のための文字通りの孵卵器であるが、同時に動物細胞培養にも対応するため 37°C に設定された。TEI-LT はショウジョウバエとタンパク結晶成長実験に合わせて 20°C であり、相対湿度は双方とも 60% とされた。IML-2 実験では、恒温と低温の両モード

に対応し、更に哺乳動物由来培養細胞向けに炭酸ガス濃度を制御するように改良した恒温恒湿槽 (TEI) が搭載された[15]。

ISS 向けの細胞培養実験装置 (CBEF) には、2個の炭酸ガス濃度制御付きの恒温恒湿槽が設けられ、その一方に加重対照実験用の遠心機が組み込まれている。

宇宙船内では普通の水であっても危険物となるため、水溶液を多く扱う生物実験では隔離された箱の中に手袋を差し入れて実験操作を行う。このための作業スペースに、観察用の位相差顕微鏡装置を組み込み、更に、培養条件下で顕微鏡観察を継続できるように、作業スペース内の温湿度を制御できる仕組みとなっている。

#### 9. 5. 2 水棲生物飼育装置

基礎医学研究において標準的な実験動物といえばマウスやラットであり、宇宙実験においてもこれらの生物を用いるための装置開発が宇宙先進国において進められて

いた。これに対して、スペースシャトル実験を計画するに当たり、後発の日本が特徴を活かすことが可能な分野として、魚類を用いた実験が提案された[14, 42]。各国、特にカナダや欧州においても水生生物実験装置が作られているが、その性能や規模および宇宙実験の実績において、日本が大きくリードしている。

日本人にとって魚が如何に身近であるとはいえ、それを宇宙で飼育することは全く別問題であり、実験装置の開発は困難を極めた[13]。宇宙船内で魚を保持するための最低限の要求条件は水密性の維持、効率的なガス交換、飼育水からの汚物除去である。これらの機能を限られた空間内で実現した上で、実験要求を満たす装置の開発が要求された。STS-47 (1992 年) に前庭機能実験装置 (VFEU)、STS-65 (1994 年) に水棲物飼育装置 (AAEU)、STS-90、STS-95 (1998 年) で海水対応型前庭機能実験装置 (VFEU) が打ち上げられた。

スペースシャトル向けの水棲生物実験装置の開発と運用で蓄積された技術と経験を基盤として、ISS 向けの水棲生物実験装置 AQH が開発された[43]。AQH は、「きぼう」内の多目的ラック (MSPR: Multi-Purpose Small Payload Rack) に取り付けられ、メダカやセブラフィッシュ等の小型魚類を 90 日間飼育可能である。発生生物学等の分野で実験動物として広く使われているメダカを 3 世代に亘って宇宙で飼育することで、脊椎動物が宇宙で長期生存するため基礎情報が得られるものと期待されている。

#### 9. 5. 3 CAM 施設の中止とその影響

2005 に開催された日本宇宙生物科学会の第 15 回大会において、ISS に取付けられるセントリフュージ施設 (Centrifuge Accomodation Module: CAM) についてのシンポジウムが生まれ、その計画存続を求める要望書が NASA 長官を含む関係先に宛てて提出された。海外においても研



図 9- 「きぼう」内の細胞ラック

[提供: NASA/JAXA]

究者コミュニティーを中心にして存続を求める運動が展開されたが、努力も虚しくCAM開発は中止された[44]。

CAMは直径2.5メートルの人工重力発生装置、生物実験操作用の隔離装置であるライフサイエンスグローブボックス(LSGB)、各種動植物用の飼育装置ラック、冷凍冷蔵庫(MELFI)、その他収納ラック等を装備した重力生物学研究に特化した実験モジュールである。CAMの2.5m遠心機は最大4個の飼育装置を搭載し、生物に0.001Gから2Gの重力を付加できるように計画された。CAMの開発は米国で行われていたが、1998年に人工重力発生装置およびモジュールの建設を宇宙開発事業団が担当し、その経費はスペースシャトルによる「きぼう」の打ち上げ費用と相殺するとの合意が日米間でなされた[45]。

CAMは2006年にUF-7で打ち上げられる計画で建設が進められた。しかし、2005年の1月宇宙機関長会議においてシャトルの飛行を28回から16回に減らし2010年に退役させること、ロシアの科学実験用電力供給設備とCAMの打ち上げを中止するとのNASAの計画変更が了承された。ほぼ完成していたCAMの人工重力発生装置を始めとした内装設備は解体され、主要部品は他に再利用された。CAMの外殻のみがJAXAの筑波宇宙センターで屋外展示されている。

CAM施設中止の影響は、単に大型の人工重力発生装置が利用できなくなったというだけで済ませられるものではなかった。大規模な飼育設備、隔離された広い作業スペース、大容量の低温保管庫等を備えた生物科学の総合実験室ともいえるCAM施設の中止によって生物学や基礎医学研究を支える研究環境が大きく損なわれたといえる。特に、基礎医学分野で主要なモデル動物として広く使用されているラットやマウスを用いた実験が極めて困難になったため、ISSで実施可能な研究テーマの範囲が極端に狭まることになった。更に、人工重力発生装置内で十分な期間予備飼育し、打ち上げ時の加速度等によるストレスから回復したマウス等の生物を実験に使用することによって高精度のデータを取得する等のより高度な利用に発展させる途も閉ざされたことになる[44]。

加えて、スペースシャトルの退役によって地上に回収できる物資の量が極端に減るため、宇宙実験試料を地上で詳しく解析することが極めて困難となる。軌道上での解析が如何に進歩したとしても、地上に回収した試料を更に詳しく解析することの必要性は決してなくなるものではない。そのため、軌道上での解析能力を高めることだけでなく、新たな試料回収手段を実現するための努力が急迫の課題となっている。

## 9.6 日本の研究者コミュニティー

### 9.6.1 日本宇宙航空環境医学会

1955年に日本航空医学心理学会として発足し、1977年に日本宇宙航空医学会(Japan Society of Aerospace and Environmental Medicine; JSASEM)と改称された。当初は航空医学が中心であったが、その後の宇宙開発、海洋開発、環境医学の進歩に合わせて発展し、これらの特殊環境下で生じる人体生理上の問題や適応現象を科学的に解明することを目指している。また、閉鎖環境における心理や、航空機事故等における人的ファクターについての調査研究等も活動範囲としている。学会誌(宇宙航空環境医学 Japanese Journal of Aerospace and Environmental Medicine)を年4回刊行している。

### 9.6.2 日本宇宙生物科学会

日本において宇宙生命科学が公的に認知されたのは、科学研究費総合研究に宇宙に関連

するいくつかの課題が採択された 1986 年度であるといえよう[46]。その研究に参加した研究者等による呼びかけもあって、日本宇宙生物科学会 (Japanese Society for Biological Sciences in Space; JSBSS) が 1987 年に創設された。その後、年1回の学術集会開催、年 4 回の学術誌 (Biological Sciences in Space; BSS) 刊行等の活動を通じて、宇宙生物科学およびそれに関連する分野の学術研究を振興するとともに、会員相互および国際的な連絡を図る活発な活動を続けている。

日本の研究者にとってそれまで単なる願望に過ぎなかった宇宙環境下での生物研究に実際に手が届くようになったことで、当初は過大とも言える期待がよせられた。しかし、スペースシャトル事故の影響等により FMPT の実施が大きく遅れたことや、宇宙では思い通りの実験操作は困難なこと等の厳しい現実が認識されるとその熱も沈静化し、宇宙実験計画についての検討、地上予備実験結果の報告、宇宙実験の結果報告とそれに対す議論等、堅実な活動が続けられている。宇宙生物科学の性格上、幅広い分野の研究者や技術者から構成されるため、分野を超えた多彩な情報が得られるというメリットがあり、特に一般の生命科学と比較して極めて特殊な条件である宇宙環境とその利用方法に関する情報が得られることがこの学会の最大の存在意義である。反面、特定の分野に関しての詳細や批判等専門的な議論が甘くなり易い点を警戒し、研究水準を高く保つ努力を忘れてはならない。

宇宙環境利用の生命科学の発展のためには、これらの学会の活動が更に活発になることが期待される。

#### 9. 7 今後の宇宙環境利用生命科学の展望

宇宙飛行士が ISS に常時滞在している今日においては、地球生物が宇宙環境への適応能力を有することに何の疑問も抱かれないが、宇宙環境利用の生命科学を考える上では、これは決して当然ではないことを認識しておくべきであろう。地球生物が宇宙環境下でも生存できることが初めて実証されたのは、宇宙への輸送手段が実現したわずか50年前のことに過ぎない。地球生物が宇宙に進出する可能性については、古代から様々な議論がなされていても、人類の歴史を通じてそれは単なる想像の域を出ることはなかった。宇宙開発の先人たちの挑戦によって初めて実証が可能になったのである。それ以降、現在に至るまでに、様々な生物が宇宙に送られてきた。宇宙生物実験で得られた観察結果は、何れも他の手段では決して得ることができない極めて貴重な証拠であることを十分に認識し、そこから正しく情報を引き出す努力を怠ってはならない。

近年の生物学や医学に関する知識の増大と技術の進歩は目覚ましい。しかし、別の見方をすれば、それらは宇宙の片隅の取るに足りないほど微小な地球表面という極めて特殊な環境下でのみ通用する知識や技術でしかない。現在の生命科学には物理科学のような基本原理は備わっておらず、知られている生命の法則も、地球を離れてどこまで通用するのかを示す客観的証拠を皆無である。宇宙に普遍的だとみなすことができる法則を扱う物理科学と生命科学とはこの点において大きく異なっている。とはいえ、少なくともこれまでに行われた宇宙での観察結果は、地球の生物が持続的な微小重力等の宇宙環境に対する適応能力を潜在する可能性を強く示唆している。地球の生物が 35 億年以上とも言われる年月をかけて適応してきた環境とは無縁なはずの条件にも対応できるという事実は、我々が未だに生物が有する様々な能力のほんの一部しか把握できていないことを意味している。生物が潜在する新たな能力の発見は、単にそれが各種の

産業等に応用できるというに留まらず、様々な分野において人類の活動の可能性を大きく広げ得るものである。ここに宇宙環境利用の生命科学研究に力を入れるべき最大の理由がある。

地球上では達成不可能な環境条件を利用して、普遍的な生命の原理に迫ろうとする宇宙環境利用の生命科学研究が目指すところは壮大ではあるが、現実に行うためには解決すべき事柄が数多くある。ISS の完成によって、宇宙での研究環境が格段に向上した。ISS の完成は宇宙での研究環境に大きな変化をもたらした。生命科学研究の方も大きく変化しない限り、その進歩は期待できない。従来の宇宙実験のやり方をそのまま継続しても、多くは得られないのは明白である。

ISS が画期的な宇宙実験室であるとはいえ、それを地上の研究室の価値基準で見るとは依然として宇宙に特有な厳しい制約条件に縛られた著しく不自由な環境であることに変わりはない[47]。しかし、これは ISS にたとえどのような巨費を投入したとしても、地上の研究室で行うのと同じ研究を ISS で実施するのが不可能なのは自明である。すなわち、ISS で地上と同じ実験操作を行おうとすることが間違いである、というよりも、ISS で行う研究を旧来の生命科学研究の延長上に発想すること自体が根本的な誤りだと言わざるを得ない。ISS 上では宇宙生命科学研究を発展させるためには、全く新しい価値基準に立った目標設定と、それを達成するための有効な研究手法・実験技術を開発しなければならない。

新しい価値基準と言っても決して無から出発する必要はない。そのための素材は、これまでの宇宙環境下での観察結果や、その過程で得られた各種の経験の中に存在している。第一に考えるべきことは、繰り返しになるが、地球生物が宇宙環境にも適応できることが決して当然ではないことを認識し、これまでに得られた宇宙環境下での観察結果の重要性を正當に評価することである。宇宙と地上とで差が認められなかったデータは捨てるのではなく、そこに肯定的な価値を見出さなければならない。第二は科学的な側面だけに注目するのではなく、実験技術や装置の開発等の技術的側面や、実験計画の調整、実験の運用棟の開発プロジェクト的側面にも等しく目を向けることである。互いに極めて異質で多種多様な専門性を持つ多数の技術者・研究者による協働が不可欠な宇宙生命科学研究においては、どのような些細で低俗な問題であっても、結果の成否に関しては高度な挑戦課題と同等あるいはそれ以上の影響を及ぼし得る。逆にこのような問題を克服したプロジェクト運用から生み出させる価値観とノウハウは他分野にも応用可能であり、産業競争力向上にも貢献し得る。第三は、生物中心の考え方に帰ることである[28]。

近年の生命科学研究は還元主義的手法の適用によって大きく進歩した。生物そのものの追及を避け、DNA や各種のタンパク等の分子を中心とする研究の進め方である。例えば、生物の機能に関する各種のホルモン、増殖因子あるいは神経伝達因子等といった物質に注目してその「活性」を研究することが広く行われている。絶えず活動していて定まった捉え所が無い生物現象ではなく、実体のある分子を基準にすることで安定した結果が保証され、それによって、生命科学研究は大きく進歩した。しかし、実際にはその「活性」は生物の側が応答した結果であり、その物質が保有する性質ではない。生体を構成する無数とも言える分子の「活性」を知ることは重要であり、更に研究を加速しなければならないが、それだけでは生物を理解することはできそうにないことも認識されつつある。

物質が持つ「活性」なのか生物の応答であるのかは、地上の生命科学研究においては単に言葉上の問題であると言えないこともない。しかし、宇宙環境はこのような物質と単純に入れ替える訳には行きそうもない。宇宙環境特に微小重力に「活性」があるとは表現できないであろう。例えば神



経伝達因子の研究は成り立っても、宇宙環境の研究では生命科学にはなり得ない。少なくとも宇宙環境利用の生命科学に関しては、生物を中心に置いた新たな研究方法を組み立てる必要に迫られている。宇宙環境利用の生命科学のために、生物を中心にした新たな研究方法を構築できれば、他の生命科学分野が当面している還元主義的な方法の限界を打破する力にもなり得るであろう。

#### 参考文献

- [1] 宇宙航空研究開発機構(2005)我が国の宇宙実験－成果と教訓－(井口洋夫監修) 日本マイクログラビティ応用学会誌 **22** Suppl.
- [2] Japanese Society for Biological Sciences in Japan (2001) Space Life Science Experiments from Japan 1987-2000. *Biol. Sci. Space* **15** Suppl.
- [3] Loftus, J.P., Hammer, L.R. (1961) Weightlessness and Performance - A Review of the Literature. ASD Tech. Rep, 61-166, USAF.
- [4] Johnston R.S., Dietlein L.F., Eds. (1977) Biomedical Results *from* Skylab, NASA-SP377
- [5] Burnazyan, A.I., Gazenko, O.G. (1983) A Manual on Space Biology and Medicine. Meditsina, Moscow
- [6] Calvin, M., Gazenko, O.G., Eds. (1975) Foundations of Space Biology and Medicine Vol. II Book 1: Ecological & Physiological Bases of Space Biology & Medicine. NASA Scientific and Technical Information Office
- [7] Bender, M.A., Cooch, P.C. and Kondo, S. (1967) The Gemini-3 S-4 Space flight -Radiation Interaction Experiment *Radiation Reserch* **31**,91-111
- [8] de Serres, F.J., Miller, I.R., Smith, D.B., Kondo, S. and Bender, M.A. (1969) The Gemini-XI S-4 Spaceflight Radiation Interaction Experiment II. Analysis of Survival Levels and Forward-Mutation Frequencies in *Neurospora crassa*. *Radiation Research* **39**: 436-444
- [9] Ohira, Y., Jiang, B., Roy, R.R, Oranov, V., Ilya-Kakueva, E., Marini, J.F., Edgerton, V.R. (1992) Rat soleus muscle fiber responsesto 14 days of spaceflight and hindlimb suspension, *J. Appl. Physiol.*, **73** Suppl.: 51S-57S.
- [10] Asano, K., Fujita, S., Senda, T., Mitsui, Y. (1992) Crystal growth of ribonuclease S under microgravity. *J. Crystal Growth*, **122**: 323-329
- [11] A. Izumi-Kurotani, M. Yamashita, Y. Kawasaki, T. Kurotani, Y. Mogami, M. Okuno, A. Oketa, A. Shiraishi, K. Ueda, R.J. Wassersug and T. Naitoh (1994) Behavior of Japanese tree frogs under microgravity on MIR and in parabolic flight *Advances in Space Research* **14**: 419-422
- [12] Feuilloley, M., Yon, L., Kawamura, K., Kikuyama, S., Gutkowska, J., Vaudry, Dr.H. (2004) Immunocytochemical localization of atrial natriuretic factor (ANF)-like peptides in the brain and heart of the treefrog *Hyla japonica*: Effect of weightlessness on the distribution of immunoreactive neurons and cardiocytes *The Journal of Comparative Neurology* **330**: 32 - 47

- [13] 宇宙機関システム本部有人宇宙環境利用プログラム (2007) FMPT 計画の記録「ふわっと92の開発技術」宇宙航空研究開発機構特別資料 JAXA-SP-06-011
- [14] 宇宙開発事業団 (1994) ふわっと'92 宇宙実験 成果報告。NASDA-TMR-940002 Vols. 1, 2.
- [15] 宇宙開発事業団 (1996) IML-2 宇宙実験成果報告 NASDA-TMR-960004
- [16] 宇宙開発事業団 (1999) TR-IAロケット微小重力実験 —6号機実験成果報告— NASDA-TMR-990004
- [17] 宇宙開発事業団 (1999) TR-IAロケット微小重力実験 —7号機実験成果報告— NASDA-TMR-000014
- [18] 関口千春 (2006)日本における宇宙医学の歴史—宇宙開発事業団を中心として— 宇宙航空環境医学 **43**,95-111
- [19] Whitson PA, Pietrzyk RA, Sams CF. (1999) Space flight and the risk of renal stones. *J Gravit Physiol.* **6** : 87-8.
- [20] Ohshima, H., Tachibana, S., Mukai, C., Kohri, K., Nakamura, T., Matumoto, T. (2009) Space Bone Loss and Prophylactic Use of Bisphosphonate for Station Astronauts. 27th ISTS, Tsukuba, Japan. 2009-p-02
- [21] Hoson, T., Saiki, M., Kamisaka, S., Yamashita, M. (2001) Automorphogenesis and gravitropism of plant seedlings grown under microgravity conditions. *Advances in Space Research* **27**: 933-940
- [22] Takahashi, H., Mizuno, H., Kamada, M., Fujii, N., Higashitani, A., Kamigaichi, S., Aizawa, S., Mukai, C., Shimazu, T., Fukui, K., Yamashita, M. (1999) A Spaceflight Experiment for the Study of Gravimorphogenesis and Hydrotropism in Cucumber Seedlings. *J. Plant. Res.* **112**: 497-505.
- [23] Takahashi, H., (1997) Gravimorphogenesis: gravity-regulated formation of the peg in cucumber seedlings. *Planta* **203** Suppl. 1, S164-S169.最上善広(2005)宇宙で生物学実験 学術の動向 **2005.9**, 17-21
- [24] Hoson, T., Soga, K., Mori, R., Saiki, M., Nakamura, Y., Wakabayashi, K., Kamisaka, S. (2002) Stimulation of Elongation Growth and Cell Wall Loosening in Rice Coleoptiles under Microgravity Conditions in Space. *Plant and Cell Physiol.* **43**: 1067-1071.
- [25] Vunjak-Novakovic, G., Searvy, N., de Luis, J. Freed, L.E. (2006) Microgravity Studies of Cells and Tissues. *In Annals of the New York Academy of Sciences Vol. 974 Microgravity Transport Processes in Fluid, Thermal, Biological and Materials Sciences.* pp. 504-517.
- [26] Albrecht-Buehler, G. (1991) Possible Mechanisms of Indirect Gravity Sensing by Cells. *ASGSB Bulletin* **5**: 3-10.
- [27] Higashitani, A., Higashibata, A., Sasagawa, Y., Sugimoto, T., Miyazawa, Y., Szewczyk, N.J., Viso, M., Gasset, G., Eche, B., Fukui, K., Shimazu, T., Fujimoto, N., Kuriyama, K., Ishioka, N. (2005) "Checkpoint and physiological apoptosis in germ cells proceeds normally in spaceflown *Caenorhabditis elegans*." *Apoptosis* **10**, 949-954.
- [28] 高沖宗夫(2008) 生物記号論から見た重力医学生物学 **Biological Sciences in Space** **22**:193-199

- [29] Takahashi, A., Nagamatsu, A., Su, X., Suzuki, M., Tsuruoka, C., Omori, K., Suzuki, H., Shimazu, T., Seki, M., Hashizume, T., Iwasaki, T., Ishioka, N., Ohnishi, T. (2010) The First Life Science Experiments in ISS: Reports of “Rad Gene” –Space Radiation Effects on Human Cultured Cells– *Biol. Sci. Space* **24**: 17-41.
- [30] 永松愛子、村上敬司、俵裕子、向井千秋 (2009)国際宇宙ステーション「きぼう」から月面有人探査まで—宇宙放射線に関する技術開発と基盤研究について— *日本マイクログラフィティ応用学会誌* **26**:296-302
- [31] 永松愛子、俵裕子、熊谷秀則、北城圭一 ISSにおけるPADLES線量計測 長谷川信行編 宇宙環境利用科学委員会平成20年度研究班ワーキンググループ「月面における人類の活動に向けた線量計測」第1回会合報告書 pp41-50 (2008)早稲田大学理工学研究所
- [32] Tawara, H., Doke, T., Hayashi, T., Kikuchi, J., Kyan, A., Nagaoka, S., Nakano, T., Takahashi, S., Terasawa, K., Yoshihara, E. (2002) LET distributions from CR-39 plates on Space Shuttle missions STS-84 and STS-91 and a comparison of the results of the CR-39 plates with those of RRMD-II and RRMD-III telescopes. *Radiation Measurements* **35**: 119-126.
- [33] Matsumoto, H., Goka, T., Koga, K., Iwai, S., Uehara, T., Sato, O., Takagi, S. (2001) Real-time measurement of low-energy-range neutron spectra on board the space shuttle STS-89 (S/MM-8) *Radiation Measurements* **33**: 321-333
- [34] Bauer, J., Hymer, W.C., Morrison, D.R. Kobayashi, H., Seaman G.V. Weber G. (1999) Electrophoresis in Space *Advances in Space Biology and Medicine* **7**:163-212.
- [35] Hirokawa, T., Ikuta, N., Ishikawa, M., Murakami, R., Hayakawa, S. (2000) Free-flow isotachopheresis under micro-gravity. *Biol. Sci. Space* **14**:260-261
- [36] 宇宙環境利用研究委員会 ライフサイエンス専門委員会(2002) ライフサイエンス分野(生物科学・バイオテクノロジー) 研究シナリオ 第3版 平成14年3月  
[http://iss.jaxa.jp/utiliz/pdf/lis\\_scenario\\_3\\_705.pdf](http://iss.jaxa.jp/utiliz/pdf/lis_scenario_3_705.pdf)
- [37] 宇宙環境利用研究委員会、宇宙医学専門委員会 (2002) 宇宙医学分野 研究シナリオ第4版 <http://iss.jaxa.jp/utiliz/pdf/med4.pdf> 平成14年3月
- [38] J Vernikos, P R Ahlf (1998) The International Space Life Sciences Working Group *Journal of gravitational physiology* **5**:177-180.
- [39] 科学技術庁研究開発局 (1992) 「宇宙環境利用フロンティア共同研究プロジェクトの推進について」(平成4年6月12日)
- [40] 科学技術庁、宇宙開発事業団、(財)宇宙環境利用推進センター (1998) フロンティア共同研究 成果報告
- [41] 伏島康男、福井啓二、嶋津徹 (2002) 公募地上研究における課題計画研究の取組み *Biological Sciences in Space* **16**, 111
- [42] 森滋夫 (1994) 宇宙へ飛んだ鯉—エンデバーの宇宙実験— リバティ—書房
- [43] Uchida, S., Masukawa, M., Kamigaichi, S. (2002) NASDA aquatic animal experiment facilities for space shuttle and ISS. *Advances in Space Research* **30**:797-802.
- [44] 中野完 (2005) 国際宇宙ステーション (ISS)・セントリフュージ計画 平成17年度宇宙環境利用の展望 99-124

- [45] 長友正徳 (2002) 国際宇宙ステーション・セントリフュージ施設の開発状況について  
*Biological Sciences in Space* **16**: 124-125.
- [46] 野村民也(1987)宇宙における生物学、農学の展開。1986 年度科学研究費総合研究(B)報告書、宇宙科学研究所
- [47] 宇宙航空研究開発機構、日本宇宙フォーラム (2006) 宇宙実験を計画するために

## 第10章 宇宙環境利用研究の経緯

### -物質科学分野-

#### 概要

わが国の物質科学系における宇宙環境利用は、米国においてスカイラブやスペースシャトルを利用した研究の成果が出始め、また、宇宙材料プロセスや宇宙の産業化を推進すべきという米国での動きに強く影響されて開始された。初期においては、企業からの期待も高く、また、当時の通商産業省も産業応用を念頭に、宇宙環境利用に深くコミットしていた。JAXA が研究者の協力のもとに実施した、第一次材料実験(FMPT)から国際宇宙ステーション(ISS)に至る、宇宙環境利用研究の流れを概観する。これまでの宇宙科学や宇宙工学とは異なる、微小重力科学という科学の新しいフィールドが誕生した。優れたいくつかの研究成果を紹介し、この分野の将来の発展について論じる。

## 目次

10. 1 はじめに - 宇宙環境利用材料研究が始まるまで - .....	10-3
10. 2 重力加速度依存物理化学への発展 .....	10-5
10. 3 実験手段と宇宙環境利用シナリオ .....	10-5
10. 4 宇宙実験の主な成果:世界的に注目される実験 .....	10-9
10. 5 国際共同ミッション .....	10-14
10. 6 微小重力科学実験の特徴 -システム工学的アプローチの必要性- .....	10-15
10. 7 宇宙環境利用のテーマの将来 .....	10-16
10. 8 制度・予算 .....	10-18
参考文献 .....	10-19

### 10. 1 はじめに - 宇宙環境利用材料研究が始まるまで -

わが国における宇宙環境利用科学研究の開始は、第7章に詳しく紹介されているとおり、宇宙開発委員会での議論に基づく政策決定によるものである。アポロ計画による月探査を成功裏に実施した米国では、1981年4月に予定されたスペースシャトルによる初の宇宙往還飛行を目前にして、宇宙の産業化(Industrialization of Space)[10-1]が宇宙開発の次のターゲットとして取り上げられ、政府と産業界の役割、宇宙での材料プロセス(Materials Processing in Space: MPS)[10-2]、さらに、宇宙での製造(Space Products)[10-3]などが議論された。この考え方を強く後押ししたのが、MITのWittらによってアポロ・ソユーズ計画の一環として実施された、成長縞と呼ばれる欠陥のないInSb単結晶育成実験[10-4]であろう。これにより、無重力状態においては、無欠陥の結晶が育成できるというストーリーが独り歩きを始めたと言ってよい。成長縞が導入されなかった理由として、当時は、宇宙において浮力対流が抑制されていたとされていたが、現在では、これ以外に、マランゴニ効果が抑制されていたことも、原因として指摘できよう。MPSおよびSpace Productsの概念は、宇宙開発委員会第二部会における報告書[10-5]においても、資料として触れられている。宇宙での製造あるいは宇宙工場という概念は、宇宙環境の民間利用の促進という動きとも相俟って、その後、日本の学会においても取り上げられるようになってゆく[10-6、10-7]。

わが国においても、宇宙の微小重力環境に大きな関心を寄せるチャレンジ精神の旺盛な研究者の支援を得て、科学技術庁は宇宙環境利用計画をスタートさせることになる。これに先立つ1957年に、熊谷と磯田は地上ではあるが自由落下による微小重力状態を利用して、燃焼の基礎研究を実施しており、わが国の微小重力科学研究の嚆矢と言える[10-8]。金属材料技術研究所の高橋は、スカイラブ3および4号機(1973および1974年)を用いて、SiC ウィスカー複合材料生成の研究を行なった[10-9]。大林はヨーロッパのスペースラブミッション SL-1において、微小重力下でオーロラを発生させることを試みた[10-10]。

このような状況のもと、日本マイクログラビティ応用学会が急遽作られ、1982年12月に菅野卓雄学会長名で大蔵省主計局長あてに、スペースシャトルを利用した第一次材料実験計画の早期実施が要請された。正式な学会としての発足は翌年3月であり、1984年には会報の第1号を発刊している[10-11]。

一方、基礎科学研究の強い伝統を有するヨーロッパでは、早い時期から宇宙環境を科学研究の場として捉えている。1986年に英国ヨークで開催の第8回結晶成長国際会議において、「Heat and Mass Transport in Earth and Microgravity」と題するシンポジウムが生まれ、「宇宙の無重力は特別なものではなく、対流が抑制される微小重力環境での結晶成長は、地上での結晶成長における熱物質輸送を考え直す良い機会を提供している」、とのメッセージを発信し、「米国は宇宙を工場として考えているが、我々は重力加速度が異なる極限の環境での科学研究を行う」という声が研究者から聞こえてきた。言い換えれば、地上の結晶成長も宇宙での結晶成長もNavier-Stokesの式において重力加速度 $g$ を変数とすることにより普遍的に取り扱えるという認識である。1991年に旧ソ連のペルミからモスクワまでを、カマ河からボルガ河へと船で移動しながら宇宙実験についてディスカッションするInternational Symposium on Hydromechanics and Heat/Mass Transfer in Microgravityが開催された。その会議の中で、ESAにおける宇宙実験の責任者であったWalterが「Finding in space, Production on earth」という言葉を用い、過剰な期待感が高まる宇宙実験のあり方に警告を発した。

国内の企業の動きについて着目すると、経団連が設置した「宇宙基地計画参加推進特別部会」、さらには、グループ企業内ごとに商社を中核にして宇宙基地の民間利用を検討する研究会が設けられた(7.2.1. 参照)。科学技術庁だけではなく、産業界を所管する通商産業省においても宇宙環境を新しい産業の場として捉え、宇宙環境利用による材料開発を促進すべきと、1986年には民間企業の協力のもと、科学技術庁と通商産業省共管の(財)宇宙環境利用推進センター(JSUP)が発足した。宇宙先進国である米ソ以外に、スペースラブを利用したヨーロッパでの宇宙材料実験 SL-1[10-12]および SL-D1[10-13]の成果も報告され始めており、これに刺激され1985年には(社)日本電子工業振興会において、エレクトロニクス材料の結晶成長研究を宇宙の微小重力環境下で実施することを検討するための「宇宙環境利用専門委員会」(委員長:前川 電子技術総合研究所材料部長)が設けられ、エレクトロニクス産業の研究技術者を集めて詳細な検討がなされた。この成果は1986年3月に「宇宙環境と結晶成長技術」(61-M-249)[10-14]として報告された。

1986年5月には、政府保有のNTT株式の売却益を利用した資金を用い、大蔵省、経済産業省、郵政省が共管する(財)基盤技術研究促進センター(KTC)が出資する、(株)宇宙環境利用研究所(STC)が発足した。通商産業省宇宙産業課の指導のもと、石川島播磨重工業(株)を幹事会社として、電子機器メーカー5社(東芝、日本電気、日立製作所、富士通、三菱電機)が参加し、民間企業による宇宙環境利用研究が本格的にスタートした。宇宙環境を利用した材料および材料プロセス研究に、大学、国立研究所および民間企業の各分野から関わってゆく体制が出来上がった。これらの一連の動きは、欧米からわが国に向けられた「基礎研究ただ乗り論」に対抗する意味合いも有していた。エレクトロニクス産業界では、規模こそ小さいが、通商産業省の指導のもとに設立された「超エルエスアイ研究組合」、や「光技術共同研究所」に続く材料系の共同研究組織として理解された面もある。一方、米国からは、国による産業界への支援に対する圧力が高まっており、KTCによる出資という形を取ることに至った。エレクトロニクス産業界が関与したKTC案件は、STC以外に(株)日本電子化辞書研究所(EDR)、(株)国際電気通信基礎技術研究所(ATR)などがあつた。

宇宙環境利用は一種のフィーバーであつたが、宇宙開発に係わる官僚や技術者と、材料研究者との間には、当初から温度差があつたのも事実である。それは、システムの開発と材料の研究開発における本質的な方法論の違いに起因するであろう。宇宙開発は謂わば「森」を見る性質のものである。サブシステムや部品を当初の設計から変更し、別のものを投入しても、システムとして機能しプロジェクトとして成功すれば評価される。一方、材料の研究開発は「樹」を見ている。一度、その材料に注目して研究開発を始めたら、結論が出るまでは、その材料から離れることはありえない。研究開発の結果が実用に結びつくかを確認するには、何度も繰り返して実験を行える機会の確保が重要である。この繰り返し実験の機会が、宇宙環境利用実験では本質的に担保されにくいものと、材料研究者には直感的に認識された。また、専門が異なれば仕方ないことであるが、宇宙開発関係者が主張する「宇宙では無転位無欠陥の結晶が得られる」というようなメッセージに、多くの材料研究開発技術者が大きな違和感を抱いたことも否めない。半導体結晶に転位が導入されるか否かは、重力加速度や対流の問題ではなく、臨界剪断応力という材料固有の物性値の問題だからである。

しかしながら、材料および材料プロセスの基礎研究、さらに、熱物質輸送を研究する立場からは、地上では殆ど定数に近い重力加速度が可変なマテリアル・プロセス・パラメータになること



は、大変魅力的であり、材料や結晶成長のような材料プロセス、流体力学、熱物性測定、燃焼科学など、物質科学の基礎研究の場として、宇宙環境の利用は極めて魅力的な場として映り、この分野に参入した研究者は少なくない。

### 10. 2 重力加速度依存物理化学への発展

物質科学系に共通な宇宙環境利用の最大の魅力は、これまでは地上において  $g = 9.80\text{m/s}^2$  という定数として扱われてきた重力加速度を変化させ得る手段が可能になったことである。すなわち、物質科学分野におけるパラダイム・シフトとも呼ぶべきものである。図 10-1 に示すように、微小重力環境の利用が可能となることにより、これまでは理論的には認識されていても実現が殆ど不可能であった、i. 無静圧、ii. 無対流、iii. 無接触浮遊が容易に実現でき、この結果、iv. 物体中の物質分布が変化、v. 物体における物質輸送が変化、vi. 物体における熱伝達が変化、vii. 物体の自重による変形が減少、さらに、viii. 界面現象の顕著化を実験的に期待できるようになった。これらが扱う諸科学の領域としては、伝熱工学、熱物性、金属製錬、磁性材料、半導体結晶成長、蛋白質結晶成長、化学工学、燃焼などがある。これに加えて、低温物理、プラズマ結晶、コロイド結晶など、基礎物理化学と分類されるものも該当する。微小重力環境は、これら、既存のサイエンスの分野からみればツールである。その共通の部分は流体力学であり、これを共有するサイエンスの体系を微小重力科学と呼ぶことができる(図 10-2 参照)。重力加速度を長時間にわたり地上の  $10^{-4}$  程度に小さくできる宇宙環境は、この新しい科学に相応しい場所を提供している。同時に、地上の重力加速度よりも大きな加速度が物質科学に及ぼす効果についても関心が高まった。

### 10. 3 実験手段と宇宙環境利用シナリオ

地上の実験室内において重力加速度を変化させることは不可能である。大がかりな、宇宙ステーションやスペースシャトルを利用する実験を遂行、あるいは準備するためには、いずれの国においても国家による公的な研究支援を必要としている。我が国における本格的宇宙環境利用研究の最初の例が、スペースシャトル利用の材料科学および生命科学実験 FMPT(第一次材料実験)であり、この準備のために実施された小型ロケット実験 TT-500 シリーズであった。研究としては大規模になる宇宙実験の場合には、事前の周到な準備が必要であり、仮説に基

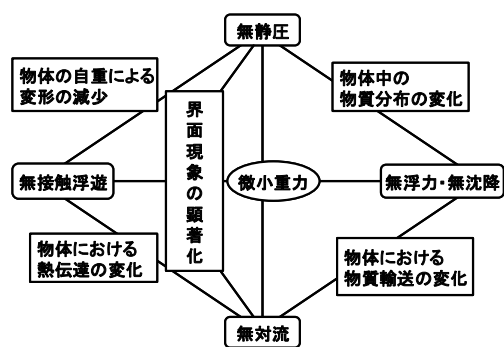


図 10-1 物質科学および材料プロセス科学と微小重力環境との関わり

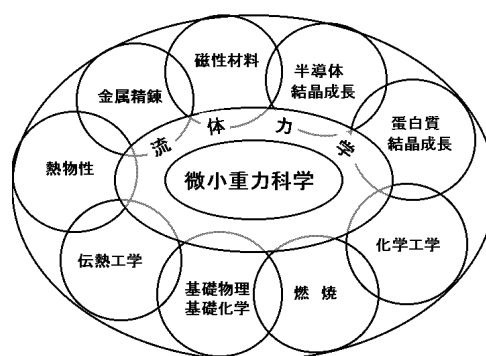


図 10-2 微小重力科学と既存の物質系諸科学の体系との関わり

づき真に微小重力環境の効果が得られるポイントを抽出して検証実験を行い、データを得る必要がある。これを支援する制度として、当初は、科学技術振興調整費や宇宙基地利用予算、次いで、宇宙環境利用フロンティア共同研究、公募型地上研究、先導的応用化研究、さらには宇宙環境利用科学委員会研究班ワーキンググループなどの様々な制度が設けられた。研究者はこの資金に支えられ地上準備研究を行い、さらには、小型ロケットや航空機の放物線飛行、落下施設を利用しつつ準備を進めてきた。当時の通商産業省地域技術課が主体となって運用した、上砂川の地下無重力実験施設(落下坑)は、燃焼のような短時間で現象が進むような現象の基礎研究に威力を発揮し、短時間であっても完結した優れた成果を導くことが可能であった。

1992年に国際宇宙ステーションの研究テーマの募集が行われた。同時に、宇宙環境利用フロンティア共同研究[10-15]がスタートし、宇宙ステーションでの研究を目指して、航空機の放物線飛行利用による20秒間の航空機実験、また、小型ロケットTR-IAによる6分間の微小重力実験機会が提供されるようになった。同時に1990年には、通商産業省の所管として北海道上砂川の炭坑の縦坑を利用して建設された地下無重力落下実験施設(JAMIC)が稼働を開始し、微小重力実験の機会が確保され、わが国の微小重力実験が活発に行われるようになった。

FMPT終了後、リソース配分を最適化すべきとの見地から、テーマを選択して優先順位をつけて実施すべきであるとの考えが導入された。1996年7月には「宇宙環境利用の新たな展開に向けて—宇宙環境利用の当面の推進方策—」ならびに1998年7月には「宇宙環境利用の民間利用の促進に向けて」が発出された。微小重力科学のコミュニティでは、澤岡昭東工大教授、東久雄大阪府大教授を迎えて議論がなされ、重点的に研究を行うべき物質科学の領域が議論された。宇宙環境利用研究における「体系化」という概念も導入された。2000-2003年における中央省庁再編、宇宙開発事業団、宇宙科学研究所、航空宇宙技術研究所の3機関統合の時期においては、宇宙環境利用研究委員会においても研究シナリオ(利用戦略)が熱心に議論された。

一方、1988年に(株)宇宙環境利用研究所がドイツの小型ロケットTEXUSを利用して微小重力実験を開始した頃より、日本マイクログラビティ応用学会で活動する研究者を中心に、旧NASDA、(株)宇宙環境利用研究所、大学、科学技術庁、通商産業省宇宙産業課などから、個人の資格で有志が集まり、宇宙環境利用研究のあるべき姿について、侃々諤々とホンネでの議論がなされた。これにより、省庁の壁を越えた、宇宙環境利用に携わる研究者、技術者、政策立案者間の情報交換が可能となり、ヒューマン・ネットワークが形成されるに至った。

1996年にNASDAは、分子科学研究所名誉教授(東京大学名誉教授)井口洋夫をリーダーとして迎え、宇宙環境利用研究システムを発足させた。これまでのように、NASDAは実験装置を開発して運用するだけの機関から、みずから微小重力科学研究をも行う組織に変容したと言える。米国ではNASAが、また、ドイツにおいてもドイツ航空宇宙センターDLRが自ら研究者を擁して研究を推進している。これらの研究者は率先して国際会議で発表し、学会でもリーダー的な役割を演じている。NASDAがみずから研究を行う人材を抱えた効果は大きく、研究を通じて学位を取得した開発部員が、システム技術者と研究者との間に存在する文化や言葉の大きなギャップを理解、克服し、研究プロジェクトをマネジメントし、宇宙ステーション時代の宇宙環境利用研究を成功裏に導いている。

宇宙環境利用システムが自ら実施した研究として、第7章表4.3にあるように、小型ロケットTR-IA やスペースシャトルによるMSL-1 ミッションを利用した高温融体の拡散定数測定実験が特筆できよう(図10-3)[10-16,10-17]。半導体固溶体結晶成長、マランゴニ対流、燃焼、ダストプラズマなどの研究において、地上においても成果を挙げ、宇宙ステーションを利用した研究につながっている。JAXA は、微小重力下において静電浮遊装置を用いて高温融体の熱物性測定を行う技術の開発を行っている[10-18]。静電浮遊を用いることにより、無容器浮遊が可能となるので、地上においても高温融体の熱物性の測定が広範な温度領域で可能になる。図10-4に、静電浮遊法によって、密度、表面張力、粘性率などの測定が可能となった物質を示す[10-18]。タングステンやレニウムのように、これまで報告がされていない超高温融点材料における熱物性計測が可能になったことは特筆すべきことである。

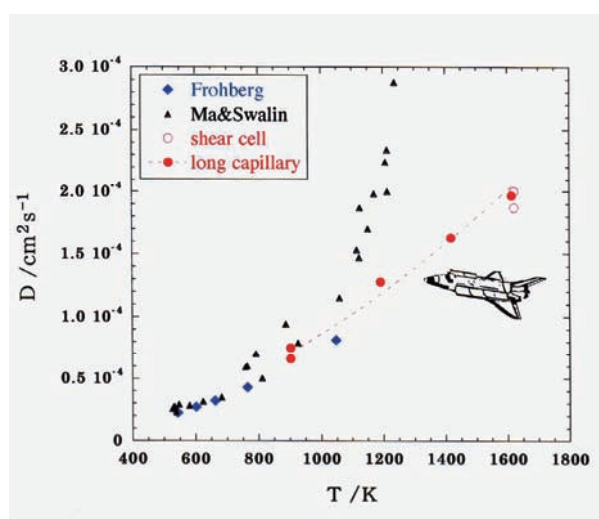


図10-3 無重力下でのズ融体の拡散定数測定実験 [10-16,10-17]

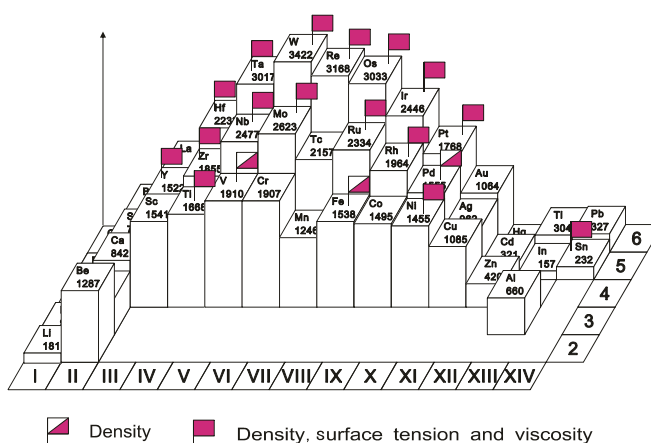


図10-4 静電浮遊炉による高融点金属融体の熱物性測定状況 (地上研究) [10-19]

大学、国立研究所、民間企業、さらには、NASDA 自らが行なった、地上準備研究をも含む微小重力実験を通じ、この時期に、微小重力科学研究という概念が形成されていった。微小重力科学のみならず、地球観測、天文物理などの概念と国際宇宙ステーションという概念が重なりあう部分に、宇宙ステーションを利用した科学が存在し、軌道上実験室が定義されることになった。

中央省庁再編ならびに宇宙3機関統合による JAXA 発足(2003年10月)により、さらにはスペースシャトル・コロンビア号事故(2003年2月)の影響を受け、国際宇宙ステーション計画の見直し、文部科学省・JAXA において行われた。宇宙環境利用科学研究は、宇宙環境利用センターと宇宙科学研究本部に分かれて遂行されることとなった。宇宙科学本部は従来の宇宙科学研究所を主体としており、宇宙環境利用科学もその所掌となった。宇宙科学研究本部に宇宙環境利用科学委員会が設けられた。その中に物質科学系と生命科学系の研究班ワーキンググループが構成され、研究者を支援することとなった。宇宙環境利用科学委員会においては、物質科学分野にあつては、結晶成長メカニズムのモデル化、熱およびエネルギー技術の高度化、環境調和型の燃焼技術の確立のための微小重力科学研究の推進が議論された。また、基礎科学分野においては、マクロ量子現象、非平衡複雑系ダイナミクス、スペースケミストリーの確立などが議論された。

従来の宇宙科学研究所は、大学の機能を有する全国共同利用の研究機関であった。宇宙科学研究は、外部の大学研究者をも含む共同提案のもと、採択されれば宇宙科学研究所がリードして実施されてきた。これをボトム・アップ研究と称していた。研究の提案者と、予算を獲得して実施する者が同一であり、予算が承認された時点で実態としては、トップ・ダウン型の研究となつてゆく。一方、宇宙環境利用科学は、提案者は主として外部の研究者であり、このミッションを実現可能な段階に仕上げてゆく役目を負うのが JAXA の宇宙科学研究本部(ISAS)であり、宇宙環境利用センターである。ボトム・アップ組織を構成するのが研究班 WG であり、JAXA 研究者を含むものの、圧倒的多数は JAXA 外の大学等に属する研究者である。この研究班WGに属する研究者から提案されたフライト実験を、宇宙環境利用科学研究委員会が審査し、選定されたものはプロジェクト化されることになり、JAXA の予算によってフライト実験化される。すなわち、この時点からトップ・ダウン型の研究となる。選定は ISAS に共通な、以下の基準に基づくことになっている。

- ①世界で広く認められている重要な科学目標を有していること。
- ②目標及び実現手段において、高い独創性を有していること。
- ③技術的及び予算面で高い実現性を有していること。
- ④国際競争と協力の中で、我がの独自性と特徴が明快であること。及び、
- ⑤我が国が既に世界第一級にある分野を伸ばすとともに、  
萌芽的な研究を生み出す余地を十分に残すことで、  
新しい学問分野を開拓することにも留意すること。

従来の宇宙科学研究が宇宙環境利用研究と大きく異なる点は、前者の場合には提案から実施までを同一の機関内の研究者が多く関与するのに対し、宇宙環境利用研究の場合にはアイデア創出段階では多くは JAXA が関与することがなく、この点は宇宙環境利用研究の特徴であり、宇宙科学研究者の理解を得られにくい点であった。因みに、JAXA にとっては外部機関である国立天文台のミッション「ひので」の場合であっても、国立天文台も ISAS も東京大学の協

力講座という意味では、研究者同士は同一機関にいと云える。

また、国際宇宙ステーション上での実験実施とその準備においても、予算は、国際宇宙ステーション日本実験モジュール「きぼう」の運用を所掌する宇宙利用センターと、宇宙科学研究所本部に別れて与えられており、研究者には少なからぬ戸惑いとなっている。

スペースシャトル打ち上げ再開により、国際宇宙ステーションへの日本実験モジュール「きぼう」の搬送が実施され実験装置も運び込まれ、1992年に募集を行った第1次選定提案テーマにおける国際宇宙ステーション利用研究が開始された。「きぼう」の運用開始を受け、第2期利用テーマ(前半および後半)のテーマ募集が行われ、公募地上研究などを通じて準備を重ねてきたテーマが選択されつつある。

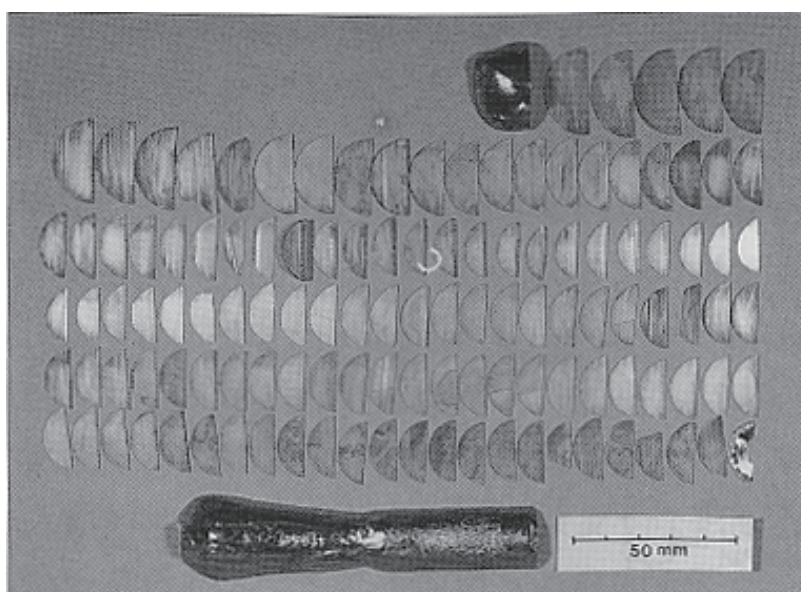


図 10-5 第一次材料実験 (FMPT) において、スペースシャトル上でフローティング・ゾーン法により育成された InSb 結晶 [10-22]

#### 10. 4 宇宙実験の主な成果:世界的に注目される実験

これまでのわが国における宇宙環境利用研究を俯瞰的に眺め、かつ、lesson learned を加えて総括した「我が国の宇宙実験 -成果と教訓-」と題する詳細な報告が、日本マイクロ重力イ応用学会誌 vol. 22 の Supplement として 2005 年に刊行されている[10-20]。

FMPT において実施された、結晶成長を中心とした 14 件の材料実験について、日本結晶成長学会誌の「無重力下における結晶成長」と題する特集号に、論文として報告されている [10-21]。ロケットや人工衛星の打ち上げなど、システムの開発を主な業務としてきた NASDA と、原子分子の視点で研究を行う材料科学研究者とは文化や思考法が著しく異なっており、様々な戸惑いや相克を乗り越えて行われた実験であった。システム開発者と材料研究者との思考法の違いは、洋の東西を問わず存在する問題である。注目すべき研究として、中谷らの InSb 結晶のフローティング・ゾーン法による育成がある。密度が大きく表面張力の小さな InSb メルトを、形状比(高さ/径)の大きな背の高い液柱として保持することは困難であるが、図 10-5 に示すように、微小重力下においては地上の場合と比べて大きな形状比の液柱を形成すること

に成功している[10-22]。藤原らは、 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$  固溶体半導体結晶成長において、スペースシャトル上の  $10^{-4}\text{G}$  程度の微小重力状態では、拡散支配の状況を作り出すことが困難であり、成長の開始から終了までの間で組成を均一にすることができなかったことを報告している[10-23]。

宇宙科学研究所(文部省)、宇宙開発事業団(科学技術庁)、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO 通商産業省)および無人宇宙実験システム研究開発機構(USEF 通商産業省)と、当時の3省庁4研究実施機関が協力して1995年3月にH-IIロケット3号機により打ち上げられ、若田飛行士によって1996年1月にスペースシャトルに回収された、宇宙実験・観測フライヤー(Space Flyer Unit)では、主として産業界を中心に実用材料の結晶成長の研究がなされた。このうち4件の研究成果について、日本マイクログラビティ応用学会誌に特集として論文が掲載されている[10-24]。三菱電機の越智らは化合物半導体  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$  結晶を気相から成長させ、地上実験との丁寧な対比を行い、宇宙の微小重力状態において物質輸送が拡散支配になっており、均一な膜厚のエピタキシャル成長結晶が得られるとしている。また、住友金属鉱山の飯野らは、II-VI族化合物半導体 CdTe 単結晶を微小重力環境で融解再成長させる方法で育成し、微小重力下では容器と接触することがないために、地上の結晶成長では問題となっている双晶と呼ばれる欠陥が発生しない結晶を得ており(図6参照)[10-25]、民間企業が実施した微小重力科学研究にも注目に値するものが少なくない。

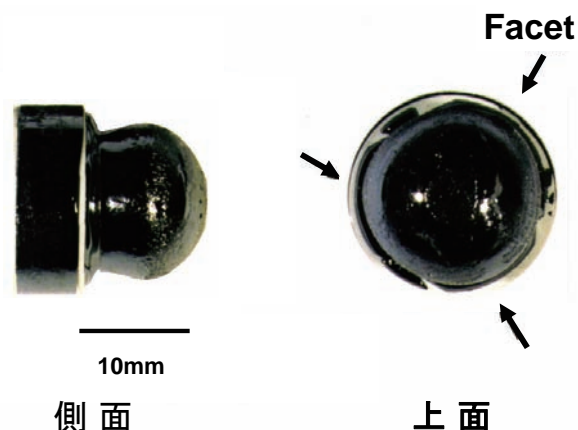


図 10-6 宇宙実験・観測フライヤー(Space Flyer Unit)上で育成された CdTe 結晶 [10-24]

結晶成長学の基礎を扱う研究が、宇宙ステーション日本実験モジュール JEM(きぼう)で2008年から実施された。図 10-7a は宇宙ステーション上の実験装置“Ice Crystal Cell”において成長する板状の重水  $\text{D}_2\text{O}$  結晶を、板面と平行な方向から観察したものである。対流が抑制された静かな環境では、板のエッジの部分(氷結晶ではプリズム面という)が、上下対称な形状になっているのが理解できる。図 10-7b は結晶成長の様子を位相シフト干渉法によって観測したものであり、成長する結晶の前面に結晶化熱の放出が見られる[10-26]。

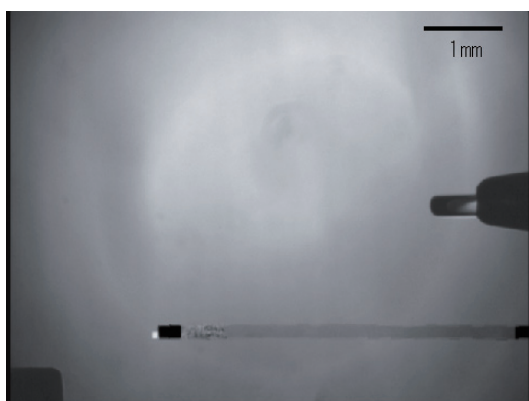


図 10-7a 国際宇宙ステーション・日本実験モジュール (JEM) 上での (重水 D<sub>2</sub>O) の結晶成長[10-26]



図 10-7b 宇宙ステーション上での過冷却重水からの結晶成長における、温度場の位相シフト干渉法による観察 (結晶化潜熱の放出が観測できている [10-26])

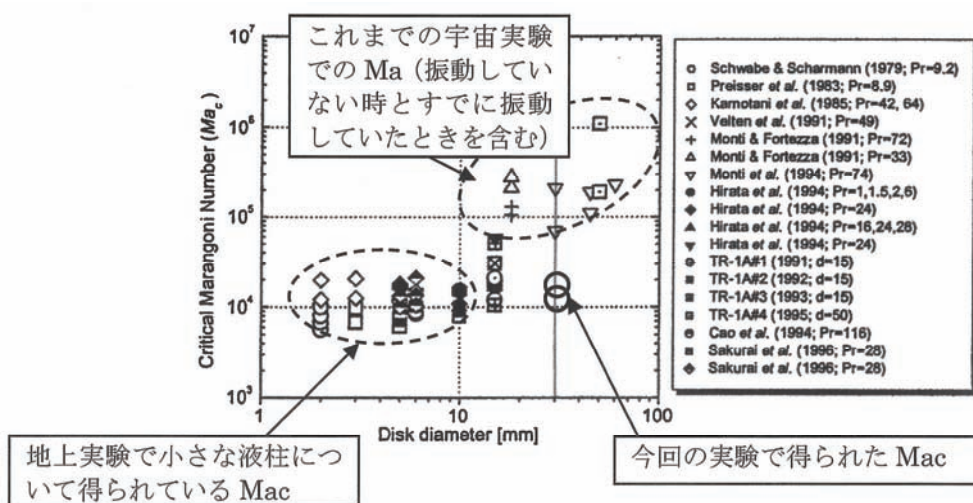


図 10-8 国際宇宙ステーション日本実験モジュール (JEM) 上での液柱マランゴニ対流の実験結果[10-27]

氷の結晶成長と同様に、宇宙ステーション日本実験モジュール JEM(きぼう)での実施を目指して長らく準備し、2008 年に実施されたテーマとして、液柱マランゴニ対流の研究がある [10-27]。マランゴニ対流は、液体表面における温度差や成分の濃度差に起因する表面張力差が駆動力となる流れである。化学工学の様々なプロセスや、高温の場合には半導体の結晶成長や溶接などにおいて重要な役割を演じている。地上においては重力加速度に起因する浮力対流が優勢であるため、これを分離して調べることは困難であるが、微小重力環境は理想的な実験の場である。注目すべき課題は、マランゴニ対流の不安定化、すなわち、マランゴニ数で定義されるマランゴニ対流の状態が閾値を超えると、速度や温度場が非軸対称になり振動や回転を生ずる非線形現象である。特に、その閾値 (critical Reynolds number) や、不安定化後の温度場や速度場の非軸対称性を示すモード波数と液柱の形状との関係については、未

知の部分があった。液柱マランゴニ対流が不安定化する臨界マランゴニ数(閾値)は、形状比(液柱高さ/液柱径)によって決まるという理論があるが、最近のロケット実験では必ずしもそうではなく、液柱径に依存するという結果も得られていた。河村らは、液柱径も大きく従って液柱高さも大きな液柱を作り、宇宙ステーション「きぼう」上において流れが不安定化するマランゴニ数を丁寧に調べた(図 10-8)[10-27]。不安定化を生ずる臨界マランゴニ数は、液柱径に依存するのではなく、理論どおり形状比に依存していることを示した。ロケット実験のような短時間の観測では、流れが落ち着いて定常化する前の振動流を観測し、臨界マランゴニ数を決めていた可能性がある。

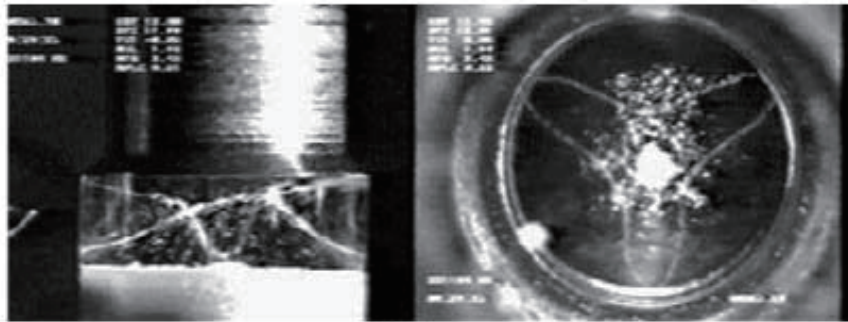


図 10-9 微小重力下での液柱マランゴニ対流における粒子凝集構造  
(マランゴニ対流は波数  $m=3$  (3 回対称) の不安定性を示している [10-28] )

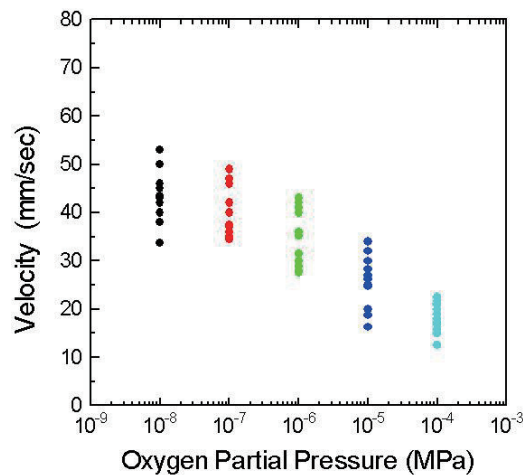


図 10-10 熔融半導体シリコンのマランゴニ対流の速度における雰囲気酸素分圧依存性 [10-30]



宇宙ステーションでの実験準備の過程で、ドイツ・ギーゼン大学の Schwabe 教授らと共同でドイツの小型ロケット TEXUS による実験を実施し、マランゴニ対流の不安定性に伴って出現する PAS (Particle Accumulation Structure) 構造を観察している。これを図 10-9 に示す[10-28]。シリコン・オイルを用いた液柱マランゴニ対流の研究は、宇宙ステーションの第 1 期利用においても、西野らによって実施されている[10-29]。

産業技術として実用的な系である半導体結晶成長時の、熔融シリコンのマランゴニ対流については、小型ロケット TR-IA や航空機が作る微小重力状態を利用して、振動流における温度振動の観察や流速の観測がエックス線透視技術によってなされた[10-30]。金属性融体のマランゴニ対流を可視化観察した世界最初の成果である。図 10-10 に示すように、熔融半導体におけるマランゴニ対流は、雰囲気酸素分圧に敏感であることが実験的に示された。これは、シリコン融液の表面張力の温度係数が雰囲気酸素分圧に対して依存性を示すからである。

重力加速度の影響を大きく受ける二相流および沸騰現象は、宇宙環境利用実験の重要なテーマの一つであり、準備が進められている[10-31、10-32]。

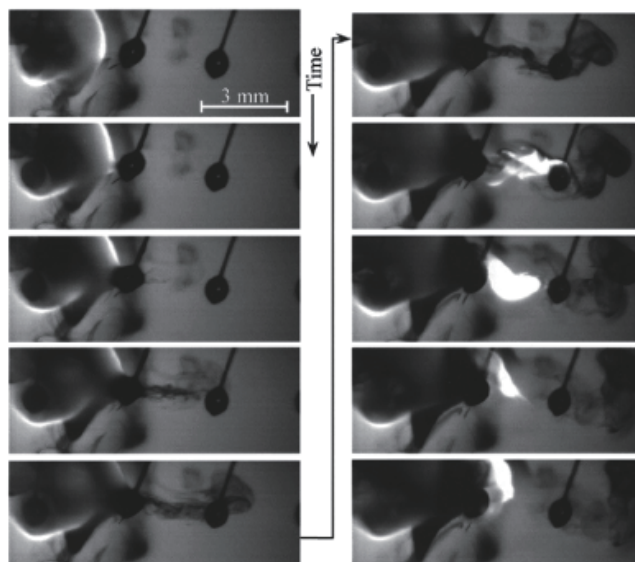


図 10-11 落下実験施設の 10 秒の微小重力状態を利用して観察された、高圧下でのデカンの液滴列燃焼 [10-33]

燃焼は反応と熱物質移動を伴う重力加速度の影響を受け易い現象である。世界で最初に微小重力環境下で燃焼実験を行ったのは、1957 年当時、東大に在職していた熊谷である [10-8]。以後、多くの燃焼に関する研究が微小重力状態を利用して実施されてきた。特に、短時間で現象が生ずることから、落下実験施設において数多くの実験がなされてきた。図 10-11 に落下実験施設の 10 秒の微小重力状態を利用して観察された、高圧下でのデカンの液滴列燃焼の様子を示す[10-33]。液滴列の燃焼メカニズムとして、温度勾配の中に置かれた液滴表面には強いマランゴニ対流が発生し、これに引っ張られて存在する高温のデカン・ガス・ジェットが低温側に隣接する液滴に集中して温度を上昇させ、燃焼を継続するというメカニズムが提案されている。スペースシャトルや宇宙ステーションでの火災は、宇宙飛行士の人命に関する重

要な問題である。火災源として電線の過熱を想定した研究が進んでいる。対流の抑制された微小重力下では火災は進展しないであろうとの仮説に反し、拡散のみで熱が伝播することから、却って微小重力下では燃焼温度が高温になることが明らかになりつつある[10-34]。

### 10.5 国際共同ミッション

宇宙環境を利用する研究は、本質的に実験機会が少ない。すなわち、微小重力環境を作り出せるプラットフォームは大がかりであり、シャトルも国際宇宙ステーションの利用も、NASA との協力関係が前提である。1986年にスタートした(株)宇宙環境利用研究所の場合には、計画そのものがドイツのスペースラブプログラム SL-D2 に参加することであった[10-35]。併せて小型ロケット TEXUS による微小重力実験機会も利用され、地上では対流の存在による精密測定が困難な半導体 InSb 融液の熱伝導率測定が実施された(図 10-12 参照)[10-36]。この研究では共通実験装置を使う限り、clear cut な成果を出すことは不可能との考えに基づき、研究者による仕様に基づく装置開発を MBB/ERNO が開発し、これを用いて実験がなされた。

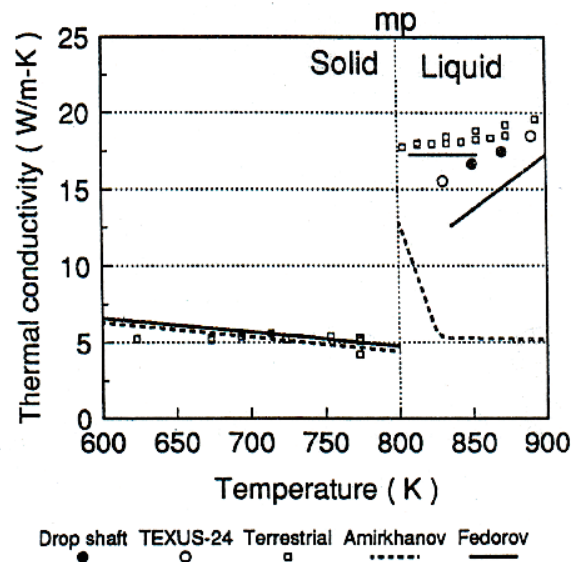


図 10-12 小型ロケット TEXUS-24 および上砂川落下実験施設で測定された InSb 融液の熱伝導率 [10-36]

1988年から実施された科学技術振興調整費による日独交流は、宇宙環境利用研究において一歩先を進んでいたドイツにおけるあり方を学ぶ良い機会となった。これにより、様々なテーマにおいて日独協力が進んだ。Ⅲ-V族化合物半導体結晶の液相エピタキシャル成長における第二種成長縞の発生は、この分野における大きな課題であった。ドイツの Benz 教授らがスペースラブ SL-1 および SL-D1 で実施した結晶成長実験の結果を、この問題に同様に興味があった東大の西永教授が解析を行ない、日独共著の論文が刊行されている[10-37]。沸騰や伝熱の領域ではミュンヘン工科大学の Straub 教授と、燃焼分野では落下塔を有するブレーメン大学の Rath 教授のグループと、さらには NASA の研究グループをも加えて共同研究が実施

された。マランゴニ対流の分野では、ギーセン大学の Schwabe 教授との共同研究が実施された[10-28]。ベルギー自由大学の Shevtsova 教授は、宇宙ステーション日本実験モジュール「きぼう」に搭載の流体物理実験装置を利用したマランゴニ対流の研究に参加する。

ヨーロッパの施設を利用する例としては、電磁浮遊方式による高温融体の熱物性測定において、ヨーロッパの研究者と日本の研究者との共同での計画実施を挙げることができる。2001年の国際宇宙ステーション実験テーマの国際公募において、ヨーロッパ実験モジュール Columbus に搭載される電磁浮遊装置 MSL-EM を利用する半導体融液の熱物性測定テーマ提案「SEMITHERM」が、日本の研究者も共同提案者となり採択されている。これは、2011 年以降に実施される[10-38]。さらに、本装置の二次利用テーマとしての「THERMOLAB-ISS」にも、日本側からも共同して提案されており、地上の産業プロセスの改良に役立つ、合金や半導体などの高温融体熱物性計測実験が、国際共同実験として計画されている[10-39]。国際宇宙ステーションの建設と運用自体は、国際共同のもとに実施されている。貴重な実験機会を活かすべく、日本が準備する装置を外国研究者が、また、ヨーロッパの実験装置を日本の研究者が利用するというように、国や地域を越えた国際共同利用研究も始まりつつある。

研究者による学会活動は日本マイクログラビティ応用学会を中心に、日本結晶成長長学会、応用物理学会、日本機械学会、日本熱物性学会、日本金属学会、日本鉄鋼協会など、それぞれの研究者が属する学会で活発に行なわれている。さらに、COSPAR や IAF-IAC などの国際会議においては学術委員の送り込み、わが国で開催された ISPS-2007 においては、日本マイクログラビティ応用学会を挙げて運営に当たった。ほかにも、日中、日韓などの二カ国間での研究集会がある。世界において微小重力科学を扱う学術誌としては、ドイツの Microgravity Science and Technology とわが国の日本マイクログラビティ応用学会誌のみである。わが国のこれまでの微小重力科学研究の実績をもとに、世界に情報を発信し、かつ、貢献もすべく、同誌の英文化が検討されつつあり、我が国の最先端の科学研究の成果を世界に発信するプラットフォームとなることが期待されている。

#### 10. 6 微小重力科学実験の特徴 -システム工学的アプローチの必要性-

宇宙環境を利用する微小重力科学研究の特徴は、

- i. 実験機会に制限があること、
- ii. 実験実施に膨大な費用がかかること、
- iii. 実験実施に関係するステークホルダーの数が多なこと、

などであり、宇宙環境利用といえども宇宙開発などの大規模複雑な系を取り扱うツールとしての、システム工学の方法論を用いることが求められる[10-40]。宇宙環境利用科学研究は、テーマとしては、宇宙の微小重力環境を利用するに相応しいことが求められ、実験提案書は納税者、資金提供者や関係機関に対して説得性のあるものであることが求められる。システム工学の言葉で言えば、要求の明確化である。提案してから実施までに時間がかかることを考えると、時間が経過しても、尚、陳腐化しないテーマであることが必要である。実験室系の研究と異なり、全てが一研究者や一研究室でクローズできない。アイデアは実験提案者 (principal investigator) によるものとしても、これを実現成功させるためには、プロジェクト・マネジメントが必

要となる。PI(Principal Investigator)となる研究者は、ターゲットを明確にし、研究者とは文化的背景や、価値観、思考体系の異なる、装置メーカー、エージェンシーにおける運用者とコミュニケーションを円滑にし、研究の目的を達成するためのリーダーシップが求められる。さらに、マスコミや官庁との対応も必要となる。

#### 10. 7 宇宙環境利用のテーマの将来

宇宙ステーションの利用が可能になり、本格的な長期の微小重力環境を利用した物質科学系実験が可能になった。マランゴニ対流や氷の結晶成長において、優れた成果が得られつつある。提案から15年以上が経過してはいるが、研究の内容を丁寧にブラッシュアップすることを続けてきたからこそ、宇宙ステーションではレベルの高い研究が実施できている。これらの成果を世界に発信してゆくことは、わが国の高いレベルの科学(basic science)のプレゼンスを、グローバル示してゆくことになる。また、高温融体の物性測定のようなテーマは、人類共通の知であると共に産業プロセスの改良に役立つ科学(engineering science 分野)である。

宇宙ステーション実験の準備段階で、宇宙環境利用フロンティア共同研究や、公募地上研究制度による研究資金によって、航空機や小型ロケット、さらには落下実験施設を用いたが研究がなされてきた。ロケット、航空機、落下実験施設などの短時間の微小重力状態を利用した実験だけで、完結した成果が得られている場合もある。この経験を経て、注目する現象における応答速度の違い、あるいは、要求される微小重力加速度の質に依存して、さらには、宇宙飛行士の介在を必要とする操作や技術支援が必要かどうかという観点から、ツールが使い分けられるべきとの考えが明確になってきた。コストも大きなファクタである。国際宇宙ステーションのような環境は、長期に亘って微小重力環境が得られるが、人が存在するという点から実験および装置に関して、安全確保のための要求が高い。宇宙飛行士に依存せずに観察と制御を確保するために活用されている技術が、テレサイエンスとテレコマンドである。物質系の実験はこれが比較的容易に実現できるが、生命系の実験では一般に困難である。宇宙飛行士が存在することによる安全性や重力加速度の変動の問題を回避し、高品質の微小重力環境を長期に得ようとするれば、無人回収衛星の利用が理想的であろう。

重力加速度依存現象の物理という新しい領域は、宇宙開発が牽引した新しい分野である。この様子を図 10-12 に示しておく。この新しいジャンルに魅力を感じた研究者が、微小重力科学の世界を開拓すべく日夜、努力している。必ずしも、宇宙へ行かなくても、小型ロケット、航空機、落下実験施設の利用から新しい科学の世界が開けることの認識が必要である。

物質系の微小重力科学においては、重力加速度の存在や変化の有無によらず支配原理は共通である。地上において成立する物理学の規則や法則は、宇宙環境においても成立する。特に、力学においては、重力加速度の効果を無視できる宇宙環境においては、地上の重力加速度環境下よりも、現象を純粋に捉えることが可能となる。このことから物質を扱う微小重力科学研究のテーマの場合には、宇宙環境を利用する必然性について徹底的に議論され、研ぎ澄まされた内容であることが要求されることになる。したがって、科学にブレークスルーをもたらす(教科書を書き換えるような)研究成果が必然的に得られることになる。

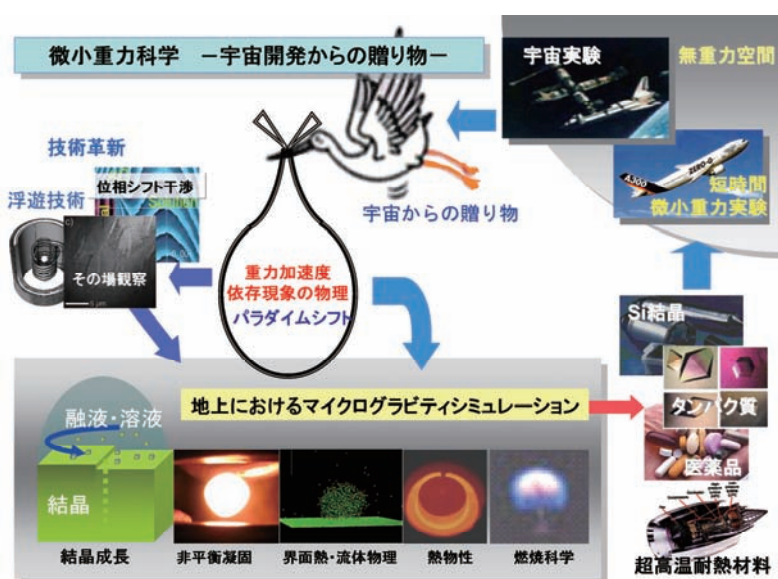


図 10-12 宇宙環境利用微小重力科学研究のイメージ、地上の科学技術との  
かかわり

微小重力環境の特性を活かした研究テーマとしては、流体(液体, 気体)を扱う提案が、科学的に意義がある。その中で密度の大きい液体を扱うテーマが、最も重力加速度の影響を受けるので、この分野を期待すべきである。世界的に未だ答えが与えられていない、液滴噴霧生成機構を取り扱うテーマが、我が国の流体力学の研究者から提案され、不安定化に対する新しいモデルを提案しようとしている[10-41]。このテーマは、工学的視点からは噴霧燃焼の基礎的な問題として、また、サイエンスとしては、所謂、ミルククラウン生成(coronet formation)の際の基礎的課題をも包含する。表面張力と重力加速度が拮抗する現象(Weber 数が支配する)だからであり、微小重力環境の特徴を活かす研究と言える。実験実施が実現すれば、我が国のサイエンスのレベルの高さを世界に示してゆけることになるので期待したい。

研究の本質は人であり、そのアイデアである。提案の評価は評価者の持つ既存の価値基準でしか行えない。エージェンシーとしては実現可能性に注目する。また、予算の大小の情報に左右されることもある。今後も様々な提案がなされるであろうが、天才的なひらめきのアイデアを見逃すことのないようにしたいものである。

たんぱく質の結晶成長研究は、物質科学と生命科学を結ぶ領域にある。創薬などの観点からの研究も進められている。分子の結晶への取り込みを分子オーダーで解明可能にする位相差顕微鏡技術や、結晶成長のその場巻観察を可能にする蛍光たんぱく技術の進歩は、宇宙の微小重力環境の特質を活かした研究である。この分野にも、我が国は優れた研究者を擁しており、継続的に大きな成果が期待できる。

一方、生命科学の場合には、重力加速度が存在し、空気と地球磁場によって放射線から保護された地上において生命が発展したことから、生命体がどのように重力加速度を感じ、これを情報処理し重力加速度の変化に対して適応しているのかについては、殆ど解明されず研究の緒についたと言うべきであろう。一方、DNA の放射線損傷をどのように修復していくかなどにつ

いては、国際宇宙ステーション上において、漸く解析が開始され、成果が出始めている。生命体の挙動の非線形を考慮すると、宇宙環境を利用した研究の対象は無限に存在すると言っても過言ではない。宇宙生命科学研究に、物質科学の基本となっている物理学および化学の考え方を導入することにより、その synergy 効果による新たな発展が期待できよう。

宇宙環境を利用する実験的研究において、特に考慮すべきは実験装置である。極限状態での動作が保証され、安全性を確保した上で、限られた予算と開発期間内で、優れた成果を出す実験装置が求められる。ここで、研究者は自分の目的をフルに達成できる「専用装置」を希望する。一方、エージェンシー側は高額な開発費用がかかるが故に、複数の研究者が利用可能な「共通実験装置」を望むことになる。大きな矛盾である。ESA の報告書は、宇宙実験の本質は数ではなく質であると述べている[10-42]。が、現実的には、この条件を満たすことは容易ではない。共通実験装置として成功しているのは、ドイツが開発しスペースシャトルや、さらに、宇宙ステーションでも実験を行なう予定の無容器電磁浮遊装置であろう。「無容器」であるが故に、試料を取り替えながら、多種類の試料を浮遊溶解、物性計測、凝固実験が可能である。この装置を利用する研究では、伝統的に sample share という考えが定着しており、一つの試料について、複数の研究者がその専門に着目した研究を行う仕組みができあがっている。我が国が提案している静電浮遊炉は、金属しかプロセスできない電磁浮遊装置に代わり、半導体や絶縁体などの電気伝導度の低い試料でも宇宙で安定に浮遊させることが可能であることから、外国からもその開発の状況が注目されている。搭載されれば sample share の考えに則り、実験が進められよう。

#### 10. 8 制度・予算

宇宙環境利用研究は、あらゆる視点から困難な研究と言える。一部の小型ロケット実験を除けば、輸送手段であり実験室であるスペースシャトルを米国に依存してきたことが最大のネックである。宇宙工場という概念を持ち込んだことによる、当初からのボタンの掛け違いや、スペースシャトルの二度に亘る事故(チャレンジャー、コロンビア)による計画の遅れなど、様々な要因が各方面に与えた影響は大きく、安全性の見直しを含め、結果として費用増大として跳ね返ってきている。しかしながら、長期に微小重力環境を発生させるプラットフォームは国際宇宙ステーション以外にはない。すなわち、全地球市民のための、最先端の科学の研究の場である。宇宙環境利用研究の意義と、そのプラットフォームの重要性については、広い視点から学術会議から発信されているところである[10-43、10-44、10-45]。

この最先端の科学において継続的に優れた研究成果を出してゆくためには、国際的な協調・協力が必要である。国内的には、長期に亘る予算確保と人材の育成である。宇宙開発では、これまで、機器開発、運用、利用に対し、それぞれ 1/3 ずつ資源が投入され、これに相応しい成果がもたらされてきた。しかしながら、国際宇宙ステーションに関しては、開発に投じた金額に比べ利用への資源投入が少なすぎる。宇宙ステーションで国際的に通用する科学成果をだし、先頭ランナーとして走り続けるためには、それに見合った投資が必要である。研究に二番手は許されない。

## 参考文献

- [10-1] “The Industrialization of Space”, ed. Richard A. Van Patten, Paul Siegler and Edward V. B. Stearns, *Advances in the Astronautical Sciences vol. 36*, Proceedings of the 23rd Annual AAS Meeting, Oct. 18-20, 1977, San Francisco, CA., (1978).
- [10-2] Neumann, R. J., in “The Industrialization of Space”, ed. Richard A. Van Patten, Paul Siegler and Edward V.B. Stearns, *Advances in the Astronautical Sciences vol.36*, Proceedings of the 23rd Annual AAS Meeting, Oct. 18-20, 1977, San Francisco, CA., (1978) 349.
- [10-3] Hammel, R. L., and Walts, D. M., in “The Industrialization of Space”, ed. Richard A. Van Patten, Paul Siegler and Edward V.B. Stearns, *Advances in the Astronautical Sciences vol.36*, Proceedings of the 23rd Annual AAS Meeting, Oct. 18-20, 1977, San Francisco, CA., (1978) 363.
- [10-4] Witt, A. F., Gatos, H. C., Lichtensteiger, M., Lavine, M. C. and Herman. C. J., *Journal of Electrochemical Society*, vol. 122 (1975) 276.
- [10-5] 宇宙開発委員会第二部会, “宇宙開発委員会第二部会報告書(その1) 付属資料”, 昭和54年6月19日.
- [10-6] 山中龍夫, 日本航空宇宙学会誌, vol. 34 (1986) 18.
- [10-7] 日本金属学会, 「夢の材料ファクトリー宇宙特集号」, “までりあ” vol. 33, No.8, (1944).
- [10-8] Kumagai, K. and H. Isoda, *Proc. Combust. Inst.*, 6 (1957) 726-731.
- [10-9] Takahashi, S., *AIAA Journal*, vol.16, (1978) 452.
- [10-10] 日本マイクログラビティ応用学会誌, 「我が国の宇宙実験-成果と教訓-」, vol.22, (2005) 179.
- [10-11] 澤岡昭, 日本マイクログラビティ応用学会誌, vol. 20 (2003) 92.
- [10-12] *Proc. 5th Europ. Symp. Mat. Sci. Microgravity*, Schloss Elmau, 1984 ESA SP-222.
- [10-13] *Proc. Norderney Symp. Sci. Results of German Spacelab Mission D1*, August 1986.
- [10-14] 宇宙環境利用専門委員会, 「宇宙環境と結晶成長技術」(61-M-249), 1986. 社団法人日本電子工業振興会.
- [10-15] 小山正人, 日本マイクログラビティ応用学会誌, vol.15, (1998) 10.
- [10-16] Itami, T., Masaki, T., Aoki, H., Munejiri, S., Uchida, M., Matsumoto, S., Kamiyama, K. and Hoshino, K., *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 312-314 (2002) 177.
- [10-17] Uchida, M., Itami, T., Kaneko, M., Shisa, A., Amano, S., Ooida, T., Masaki, T and Yoda, S., *J. Jpn Soc. Microgravity Appl.* vol.16, (1999) 38.
- [10-18] T. Ishikawa, J. Okada, S. Ogawa, and K. Murakami, *J. Jpn Soc. Microgravity Appl.* vol.26, (1999) 348.
- [10-19] 石川毅彦, Paradis, P.-F., 正木匡彦, 宇宙利用シンポジウム第22回論文集 (2006), 128-131.
- [10-20] 日本マイクログラビティ応用学会誌, 「我が国の宇宙実験-成果と教訓-」, vol.22, (2005) pp.211-250.
- [10-21] 日本結晶成長学会誌, 「特集: 無重力下における結晶成長」, vol.21 (1994). pp.384-472.

- [10-22] 中谷功,高橋聰,西田勲夫,日本結晶成長学会誌,vol.21, (1994) 430.
- [10-23] 藤原伸介,龍見雅美,荒木高志,入倉正登,松本和久,村井重夫,白川二,日本結晶成長学会誌,vol.21, (1994) 411.
- [10-24] 日本マイクログラビティ応用学会誌,「SFU 特集」,vol.14, (1997) pp.211-250.
- [10-25] Iino, T., Matumoto, H., Kajigaya, T., Tanana, A. and Sakai H., J. Jpn Soc. Microgravity Appl. vol.15, Supplement II, (1998) 466.
- [10-26] 古川義純,横山悦郎,吉崎泉,依田眞一,田中哲夫,島岡太郎,曾根武彦,友部俊之,日本マイクログラビティ応用学会誌,vol.27,(2010) 24-31.
- [10-27] 河村洋,西野耕一,大西充,松本聡,日本マイクログラビティ応用学会誌,vol.25, (2008) 676.
- [10-28] Schwabe, D., Tanaka, S., Mizev, A. and Kawamura, H., Microgravity Sci. Technol. 18, (2006) 117.
- [10-29] 西野耕一,河村洋,大西充,上野一郎,松本聡,鈴木諒,鈴木翔平,日本マイクログラビティ応用学会誌,vol.26, (2009) 379.
- [10-30] Azami, T., Nakamura, S. and Hibiya, T., J. Electrochemical Society, 148 (2001) pp.G185-G189.
- [10-31] 野村知志,洪定杓,今井良二,川崎春夫,石塚博祿,藤井清澄,鈴木康一,新本康久,大田治彦,日本マイクログラビティ応用学会誌,vol.26, (2009) 376.
- [10-32] 澤田健一郎,酒井崇,馬場宗明,新本康久,大田治彦,浅野等,河南治,鈴木康一,川崎春夫,石塚博祿,日本マイクログラビティ応用学会誌,vol.26, (2009) 377.
- [10-33] Kobayashi, H., Park, J., Iwahashi, T. and Nioka, T., Proc. Combust. Inst., vol.29 (2002), 2603.
- [10-34] 藤田修,京野嵩,城戸安裕,伊東弘行,中村祐二,日本マイクログラビティ応用学会誌,vol.26, (2009) 374.
- [10-35] 宇宙環境利用研究所試験研究の成果 - 技術資料 - “微小重力環境を用い化合物半導体結晶成長に関する材料プロセッシング技術開発”,(株)宇宙環境利用研究所.平成6年3月.
- [10-36] Nakamura, S. and Hibiya, T., Microgravity Science and Technology, vol. 6, No.2 (1993) pp.119-122.
- [10-37] A. Danilewsky, K. W. Benz and T. Nishinaga, J. Crystal Growth, 99 (1990) 42.
- [10-38] T.Hibiya, M. Watanabe, S. Ozawa, T. Tsukada, High Temperature Material Processes, .27, (2008) 449.
- [10-39] 渡邊匡人,小澤俊平,水野章敏,日比谷孟俊,田川俊夫,塚田隆夫,杉岡健一,福山博之,小畠秀和,田中敏宏,吉川健,安田秀幸,景山大郎,石川毅彦,H. J. Fecht,R. Wunderlich ,E. Ricci,E. Arato, Space Utiliz Research 26 (2010).
- [10-40] 石川正道,日比谷孟俊 [編],マイクログラビティ,アドバンスト エレクトロニクス シリーズ,I-7,(1994),第6章,培風館.
- [10-41] 梅村章,鈴木順介,大坂淳,新城淳史,姫野武洋,菊池政雄,村上敬司,柴崎浩一,市川智洋,宇宙利用シンポジウム(第27回),2011年1月24日,25日,JAXA-ISAS.



- [10-42] “Assessment of the Results of Fluid Science and Materials Science Experiments Conducted during the Spacekab-1 Mission”, European Space Agency (October 1985).
- [10-43] 日本学術会議(物理学委員会・基礎生物学委員会・応用生物学委員会・地球惑星科学委員会・化学委員会・総合工学委員会合同 基礎科学の大型計画のあり方と推進方策検討分科会) 対外報告「基礎科学の大型計画のあり方と推進について」平成 19 年 4 月 10 日.
- [10-44] 日本学術会議(基礎生物学委員会・臨床医学委員会・物理学委員会・総合工学委員会・機械工学委員会・電気電子工学委員会合同,重力加速度依存現象の科学・生命科学検討分科会) 報告「宇宙環境利用の新たな時代を目指してー 物質科学および生命科学における宇宙環境利用の視点からー」平成 20 年(2008 年)9 月 4 日.
- [10-45] 日本学術会議 要望 「宇宙科学推進に関する要望」平成 21 年(2009)4 月 7 日.

## 第11章 先導的応用化・実用化研究の経緯

## 目次

11. 1	先導的応用化・実用化研究の全体概要 .....	11-3
11. 2	先導的応用化研究制度の策定.....	11-6
11. 2. 1	ISS 計画への参画の頃の民間企業の取り組みと期待.....	11-6
11. 2. 2	先導的応用化研究策定時の日本の民間企業利用の課題.....	11-6
11. 3	平成 11 年時点の ESA, NASA の民間企業利用に関する状況 .....	11-7
11. 3. 1	ESA の状況.....	11-7
11. 3. 2	MAP(The Microgravity Applications Promotion) Program について.....	11-8
11. 3. 3	NASA の状況.....	11-9
11. 3. 4	CSC について.....	11-9
11. 4	先導的応用化研究制度の推進.....	11-10
11. 5	ロシア・サービスモジュールを利用した宇宙実験の実施 .....	11-11
11. 5. 1	タンパク質結晶生成宇宙実験計画の概要.....	11-12
11. 5. 2	実験成果とその展開について .....	11-12
11. 5. 3	三次元フォトニック結晶生成宇宙実験計画.....	11-19
11. 5. 3. 1	三次元フォトニック結晶生成宇宙実験計画の概要 .....	11-19
11. 5. 3. 2	三次元フォトニック結晶生成宇宙実験結果概要.....	11-19
11. 5. 3. 3	Lessons learned .....	11-20
11. 6	ISS 応用利用研究拠点推進制度.....	11-20
11. 6. 1	「タンパク質結晶生成」大阪大学(リーダー:中川敦史教授) .....	11-22
11. 6. 2	「新素材の創製」名古屋工業大学(リーダー:木下隆利教授) .....	11-24
11. 6. 3	「界面ダイナミクス」東京理科大学(リーダー:阿部正彦教授) .....	11-25
11. 7	きぼう利用を通じた新たな応用利用推進に向けた取り組み.....	11-25
11. 7. 1	きぼう利用高品質蛋白質結晶生成実験計画 .....	11-25
11. 7. 2	JEM 応用利用推進委員会の設置.....	11-26
11. 8	きぼう利用フォーラム活動の推進 .....	11-28
11. 9	今後の取組みについて .....	11-30
11. 9. 1	応用利用分野における成功例の分析 .....	11-30
11. 9. 2	今後の展開方策について .....	11-32
	参考文献 .....	11-32

### 11.1 先導的応用化・実用化研究の全体概要

宇宙環境利用における「応用化研究」とは、地上の生産活動等への応用を目指した宇宙環境利用研究と定義されている。即ち、宇宙環境を利用して獲得された成果を産業応用するための実用化研究で、産業応用を目指す研究であれば、基礎的な段階の研究も応用化研究に含めて考えている。通常人口に膾炙されている「基礎研究」「応用研究」「製品化研究」を経た実用に至る流れの中に、宇宙環境をツールとして組み込んで実用的な成果を創出する取り組みを表現している。ISS・JEM(きぼう)の利用を中核として進められてきた、我が国の応用化研究の推進と宇宙環境利用への産業界の参加促進のために、平成11年度から今日までに実施してきた取り組みとその状況について、「応用利用分野の状況」として総括的にまとめるのが本章の目的である。本節では、まず、我が国の応用利用分野の取り組みの全体概要を鳥瞰する。そのため、図11.1-1に、応用利用分野として、これまでに取り組んできた宇宙環境利用の推進活動や促進活動の全体的な流れ(推移と変遷を含む)を示す。図には、これらの活動の拠り所となった「我が国の科学技術政策」(基本理念と基本姿勢を含む)、それを踏まえて策定された「産業利用の推進並びに促進に関する宇宙開発委員会の施策」、この施策に基づいて実施された宇宙機関(NASDA/JAXA)の利用推進並びに利用促進の方策、その主要な時間的な流れ(推移と変遷)が示めされている。(図中にある参照項数字は、以下の本章の各節番に対応している。)以下、図11.1-1の内容について概説しておく。

第1期科学技術基本計画は、社会的・経済的ニーズに呼応したR&Dの推進と知財を生み出す基礎研究の積極的な振興を基本的方向として示し、政府研究開発投資として5カ年総額で約17兆円規模を掲げて競争的研究開発資金の拡充、ポスドク1万人計画など講ずべき施策が取りまとめられた。宇宙開発委員会はこの基本計画期間中に、時限的に応用化研究利用分科会を設置して、社会的・経済的ニーズに直結する成果創出の主たる担い手である民間企業の利用促進を図るために、科学研究目的とは異なるテーマ選定・プロセスを設定して当面宇宙環境利用の有効性を実証する先導的な応用研究を実施することを定めた。また、基本計画最後の年の平成12年12月には宇宙開発委員会報告として、将来の産業育成に繋がるような新たなパイロットプロジェクトを推進することが示されている。

次いで、第2期科学技術基本計画は、新たに科学技術政策の基本的方向として目指すべき姿を「3つの基本理念」として示した上で、基礎研究の推進と国家的・社会的課題に対応したR&Dの重点化等による科学技術の戦略的重点化を掲げるとともに、科学技術システム改革を進める各般の施策を示した。我が国の緊縮財政の最中でもあったため、重点化の戦略的取り組みが進められ、宇宙開発委員会でもその取り組みに呼応した重点化施策の議論が進められた。平成14年6月の宇宙開発委員会報告では、産業界や関係省庁のR&D利用を促進するための有効性実証を推進することとされるとともに、具体的な重点対象として、当時文部科学省の国家プロジェクトとして開始した「タンパク3000プロジェクト」に象徴されるように、ポストゲノム時代におけるタンパク質構造解析に向けた結晶生成ニーズへの対応が示された。

また、平成16年6月には、JAXAにおける重点化対象検討案を調査審議し、応用化研究分野では、ISSロシアモジュール利用等の早期の利用機会の確保を図り、タンパク質結晶生成実験及び高性能光学素子用3次元フォトニック結晶生成実験計画の実施が示された。

第3期科学技術基本計画では、第2期の抽象的な理念を継承しながらも、科学技術、経済、社会をめぐる世界的情勢変化と今後の展望を踏まえて科学技術が目指す具体的な政策目標が6

項目の大目標と、その各々を構成する12の中目標が設定されている。この期間における宇宙開発委員会は、ISSに関する施策の具体的な調査審議はなされていない。しかしながら、JAXAでは応用利用推進委員会を見直し、当該基本計画で示された「社会・国民に支持され、成果を還元する科学技術」に呼応した取り組みの検討が開始されている。また、平成20年6月に「宇宙基本法」が制定され、同年8月に内閣府に宇宙開発戦略本部が宇宙開発の一元的な核としての機能を果たすために設置された。平成21年8月には「宇宙基本計画」が設定され、宇宙開発利用の新たな取り組みに沿ってJAXAも宇宙利用に軸足を置いた各種の取り組みが進められているところである。以下で、これら政策の推移と変遷に対応した具体的な取り組みを示す。

先導的応用化研究制度は平成11年度から開始され、そのテーマ及び利用推進に係る調査審議を所掌する先導的応用化研究テーマ選考委員会が設置された。

この制度の要点は、テーマ提案者が民間企業か、もしくは大学関係者の場合は必ず研究成果を応用する民間企業を含む体制であることが必須であるとされたことと、採択時にあたっては宇宙実験実施までを一本化した計画として選定したことである。

当時は宇宙実験機会がスペースシャトルに限られており、使える実験装置はシャトル搭載タンパク質結晶生成装置のみであったため、そのスタートをタンパク質結晶生成実験に絞って着手した。しかし唯一の設定されたSTS-107フライトミッションは、度重なる実験の遅れと最終的にはコロンビア号の事故による実験成果の喪失に終わり民間企業の利用を先導する成果創出には至らず、宇宙実験の不確実性に対する企業側への求心力の維持が課題とされた。

そこで平成16年度からは、先導的応用化研究制度を見直して、応用利用研究拠点による推進が設定されるとともに、選考委員会は応用利用研究拠点推進委員会と見直された。この制度は、ISS計画の遅延による民間企業の乖離を防ぐ為に、時間と費用対効果を重視する民間企業が参加し易い様にするのが見直しにあたっての要件であった。そのため企業研究の求心力がある研究リーダーを選考し、その者が所属する大学を拠点として地上研究での積極的な特許取得と、応用へのシームレスな取り組みが可能となる体制にした。

一方、先導的応用化研究制度で生み出された蛋白質構造解析のためのタンパク質結晶生成宇宙実験計画、三次元フォトニック結晶生成宇宙実験計画の推進は当該委員会にて推進するとともに、外部有識者からなるプロジェクト外部評価WGを設置してその内容を評価した。このうちタンパク質結晶生成宇宙実験シリーズは今日取り組まれている数多くの宇宙実験の中でも、その成果が数多く応用に繋がるものとして注目されてきており、今日きぼう船内実験が継続的に実施されている。

また、平成18年12月から当該委員会は応用利用拠点だけではなく、社会・国民に支持される様々な利用成果を社会に還元することを目指して新たな応用利用推進方策をJAXAに提言することを目的として、新たな委員を追加してJEM応用利用推進委員会として見直された。

平成22年現在JAXAは拠点制度で生み出された名古屋工業大学、東京理科大学の宇宙実験計画、及びきぼう利用タンパク質結晶生成実験計画を実施しているが、平成22年3月15日に開催されたきぼう利用推進委員会にて、平成22年度からの応用利用分野の推進は、第3期以後のきぼう利用フェーズに対して社会に還元する成果創出を目指した新しい取り組みとミッション創成を目指すこととされ、JEM応用利用推進委員会に新しい委員を加えて、この取り組みに向けた体制及び推進方策を調査審議している。

科学技術政策	<b>第1期科学技術基本計画</b> ●R&Dの基本的方向性 ・活力ある豊かな国民生活の実現 ・人間が地球・自然と共存しつつ持続的な発展を可能に ・生活者のニーズに対応し、安心な社会を構築 ・基礎研究の積極的振興		<b>第2期科学技術基本計画</b> ●3つの理念 ・新しい知の創造 ・知による活力の創出 ・知による豊かな社会の創生 ●基本方針 ・重点的な資源配分 ・世界水準の優れた成果の出る仕組みの追求と、そのための基盤への投資の拡充 ・科学技術の成果の社会への還元 ・科学技術活動の国際化		<b>第3期科学技術基本計画</b> ●3つの基本理念 ・人類の英知を生む ・国力の源泉を創る ・健康と安全を守る ●基本姿勢 (1) 社会・国民に支持され、成果を還元する科学技術 (2) 人材育成と競争的環境の重視		<b>第4期科学技術政策とイノベーション政策の統合</b>							
宇宙開発戦略本部	▼宇宙基本法 (FY20.6) ▼宇宙開発戦略本部 (FY20.8) ▼宇宙基本計画 (FY21.6)													
宇宙開発委員会	▼応用化研究利用分科会報告 (FY10.7)	▼SAC報告 (FY12.12)	▼SAC報告 (FY14.6)	▼利用部会 (FY16.6)	▼ISS特別部会 (FY22.6)									
	先導的応用化研究以外にも、将来につながるような様々なパイロットプロジェクトを推進する。 科学研究目的とは異なるテーマ選定・プロセスにより、当面、有効性実証のための先導的な応用化研究を実施する。		産業界や関係省庁によるR&D利用を促進するため、宇宙環境利用の有効性を実証するための取り組みを推進する。特にポストゲノム時代における蛋白質構造解析・機能解析のための蛋白質結晶育成のニーズに期待。		ISSのロシアモジュール利用等の早期の宇宙実験機会を確保し実施する。 ・構造機能解析のための高品質蛋白質結晶生成 ・高性能光学素子用3次元フォトニクス結晶開発									
関連国家プロジェクト	タンパク3000プロジェクト			ターゲットタンパク研究プログラム										
きぼう利用	★コロンビア事故										第1期利用	第2期利用		
FY(平成)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
JEM応用利用推進委員会								改編	FY18.11- 11.7.2参照		11.9参照			
先導的応用化研究制度	FY11.4-FY16.9 11.4参照													
宇宙実験計画														
高品質蛋白質結晶生成宇宙実験	先導的応用化研究制度の研究会における研究テーマ群から重点課題として選定 (FY14.6/15.6)。		▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼		FY14.7-FY18 11.5.1参照		▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼		FY20- 11.7.1参照					
3次元フォトニクス結晶生成宇宙実験	研究拠点を核として、企業が参画しやすい制度への見直し(FY16.6)。		▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼		FY16.4- 11.5.3参照		▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼							
ISS応用利用研究拠点推進制度	研究拠点を核として、企業が参画しやすい制度への見直し(FY16.6)。		▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼		FY16.10- 11.6参照		▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼		推進委員会に機能を移転 ・ISS応用利用推進研究拠点推進委員会					
蛋白質結晶生成	▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼		FY16.12- 11.6.1参照		▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼									
新素材の創成	▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼		FY16.3- 11.6.2参照		▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼									
界面ダイナミクス	▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼		FY18.5- 11.6.3参照		▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼									
きぼう利用フォーラム	▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼		FY20.6- 11.8参照		▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼ ▼									

図 11.1-1 応用利用分野の取組み事項と変遷

## 11. 2 先導的応用化研究制度の策定

宇宙開発委員会は、国際宇宙ステーション(以下 ISS と記す)の民間企業の利用促進の方策を検討するために、宇宙環境利用部会の下に応用化研究利用分科会を設置して調査審議を進め、平成10年7月に「宇宙ステーションの民間利用の促進に向けて」が報告された。これが我が国の民間企業の ISS 利用への参加促進政策の具体的な施策の第一歩であった。

JAXA(当時 NASDA)はこの報告を受けて「先導的応用化研究制度」を策定し、平成11年4月から民間企業の利用を促進する新たな取り組みに着手した。この制度以降、ISS 計画の遅延等に伴う計画変更や、社会状況の変化、及び科学技術政策の変遷に呼応しつつ、民間企業の ISS への参画の促進方策を適宜見直して来た。

### 11. 2. 1 ISS 計画への参画の頃の民間企業の取り組みと期待

我が国における最初の宇宙実験は1973年の米国スカイラブ計画への参画であり、その後、小型ロケットを用いた微小重力実験は1980年より1983年まで6回実施された。

日本は1982年には米国提唱の国際宇宙ステーション(ISS)計画への参加の検討を国レベルで始め、1985年4月に宇宙開発委員会宇宙基地計画特別部会において「宇宙基地計画参加に関する基本構想」をとりまとめ、5月に「日米科学技術協定」の下、日米間での宇宙ステーション計画予備設計了解覚書が署名され、本格的に ISS 計画に参加した。その後、日本は、国際社会の大きな変化の中で、着実に ISS 計画を遂行してきた。

産業界では、宇宙環境利用に関して、1984年5月に三井物産、石川島播磨重工業、東芝の3社での「宇宙基地計画研究会」設立のための覚書の締結を皮切りに、丸紅、住友商事、三菱商事、日商岩井などの商社を中心に研究会を設立し、200社を超える企業が宇宙ステーションの利用に向かって検討を始めた<sup>1)</sup>。また経団連も1985年11月に、これらの研究会の横断的組織として、宇宙基地計画参加推進特別部会を設置した。

これらの研究会では、従来の宇宙産業、即ちロケット/衛星メーカーだけでなく、医薬品、半導体製造業などにつながる宇宙環境利用を含めた新たな宇宙産業の市場に参画しようとする企業からなり、各研究会では、我が国の宇宙産業の現状調査、宇宙環境利用に伴い新規に宇宙産業への参入が見込まれる業種の調査等の実施、さらには材料・ライフサイエンス・通信観測・宇宙技術エネルギー等の分野別に部会での検討のほか、講演会による啓蒙活動や米国への視察団派遣による調査を実施した。

このような活動により、従来の企業グループの枠を超えて、参画企業の間で交流が進展し、宇宙の商業化時代到来に備え、ニーズ及び事業化の可能性について研究が行われた<sup>2)</sup>。

各研究会は、1986年の(財)宇宙環境利用推進センター、(株)宇宙環境利用研究所の発足、(財)無人宇宙実験システム研究開発機構の形成、及び日本の ISS 計画への本格的参画開始により、当初の役割を果たし活動は発展的に休止した。

### 11. 2. 2 先導的応用化研究策定時の日本の民間企業利用の課題

我が国の本格的な宇宙実験は1992年の第1次材料実験(FMPT:First Material Processing Test)が最初であり、これ以降、スペースシャトルを利用し実験(STS-65,83,94,79,84,89,90,91)等に参加して宇宙実験の経験が蓄積されてきた。FMPTでは、材料系22テーマ、ライフ系12テーマの34テーマが選定された。これらには、化合物半導体材料や無機材料の新素材創製や生体

材料の分離・調整技術の向上など、産業応用に繋がるテーマが含まれていた。

FMPT 以降もスペースシャトルを利用した民間企業の利用実験が行われてきたが、宇宙実験の主要な担い手となる民間企業等における宇宙利用分野への関心は一般に低い。それは以下に示す事由と考えられ、利用研究への参画の促進を図るには、これらの改善が必要であった。

- ・民間企業にとって宇宙環境利用研究への投資効果が見極められない。
- ・利用実験はテーマの応募から実験実施までにあまりに長時間を要する。
- ・特許に係る成果の取り扱いやデータ公開・非公開義務、及び情報管理・機密保の面で、現在の制度のままでは優れた企業研究テーマの応募を期待することに無理がある。
- ・共通実験装置の仕様を超える実験は困難であり、新たな利用テーマ提案の範囲を狭めている。
- ・宇宙環境利用研究そのものが、産学官を問わず一般の研究者に対してあまり周知されていない。

先導的応用化研究制度は、このような状況を解決するための第1歩として策定された。この策定及び運営にあたっては、当時の ESA, NASA の民間企業利用に関する状況を調達する必要もあった。そのため直接、現地において得た状況を11. 3に示す。

### 11. 3 平成 11 年時点の ESA, NASA の民間企業利用に関する状況

#### 11. 3. 1 ESA の状況

欧州は、1991年(平成3年)からRADIUS(Research Association for the Development of Industrial Use of Space)プログラムが実施された。この取り組みは微小重力研究の有力分野で経験のある先導的科学研究組織を認定して、そこを通じて宇宙産業以外の産業界に対して、 $\mu G$  から有用な成果を得られると想定する研究プロジェクトを発足させることであった。科学プログラムとの相違点は産業から実験テーマを提案させることであり、産業ユーザーは潜在的な産業応用に繋がらなければ投資することは考えられないため、ESA は Seed Money を選定された組織に対して、大学と企業からなる研究組織の形成を支援するために提供されていた。

選定された先導的研究者は、企業に興味を持たせて、 $\mu G$  の関連する研究プロジェクトを設定して In Kind(人材、材料、試験設備)もしくは資金投資を仕向けることとし、その見返りとして科学的データ、技術支援、財政支援(投資先の探索)、知的財産権取得のための法的支援を提供することであった。RADIUS プログラムは3段階のフェーズとして Pilot(先導)フェーズ、その後には Pre commercial(商業前)フェーズ、Full Commercial(完全商業化)フェーズを設定した。

1994年(平成6年)当時先導フェーズで設定された対象は、以下の7件であった。

- ① Dispersion and fluid physics(Canada with Belgium, Italy, Norway, and UK)
- ② Protein crystallization, purification(France with Denmark and Italy)
- ③ Zeolites(The Netherlands with Belgium and France)
- ④ Crystal growth(Freiburg University of Germany with France)
- ⑤ Human physiology and Bone physiology in Particular(MEDES of France with The Netherlands and Switzerland)



- ⑥ Cell and molecular biology(Hubrecht Laboratory of The Netherlands)
- ⑦ Dispersion and colloids(Fraunhofer ITA of Germany)

これらの各対象は、1996年に先導フェーズとしての $\mu G$ 利用の可能性検討結果が評価され、1997年から新たにMAPプログラムとして分野とそれを代表組織として再設定された。それらは上述した①～⑦のうち④、⑤が継続されるとともに、新たに以下の3件が設定された。

- ・パリ高等師範学校;新型原子時計性能研究
- ・ブリュッセル自由大学 $\mu G$ 研究所;石油回収関連拡散係数精密測定
- ・TBD;生物学的巨大分子結晶化研究とタンパク質3次元構造解析研究

### 11. 3. 2 MAP(The Microgravity Applications Promotion)Program について

MAPプログラムは、ある分野の研究から製品化に至るまでの一貫した地上での研究開発が行える施設、人材配置を行っている共用施設利用に向けた運営である。設立時には今後の(予算獲得を含めた)利用候補・場所となりうる機関に話を持ちかけ、有限責任者的に名前を連ねる。設立時には、金銭的な支援はないものの、ある程度まで研究が進み宇宙実験が必要となると、有限責任者であるESA、CNES等への宇宙利用申請を出す仕組みである。企業側も得意とする製造装置等をIn Kind的に納入すれば、その企業が持っていない他の試験設備を利用できるだけでなく、大学等の研究者からの技術的アドバイスを無料で得られるというメリットを享受できる。

ISSの利用推進に係る商業利用推進室が平成11年9月にESAに設置され科学、応用及び商業利用に係るユーザー全てに対応することになっていた。商業化については、ESAとして明確なガイドライン(指針)や対象については明らかになっていなかった。

MAPそのものは、ISS商業利用に直接つながることを目標としているのではなく基礎的 $\mu G$ を利用した研究が産業界(Industry)に役立つものであることを保証することと、応用面を充実させることとであり、基本となる思想は「RESEARCH NEEDS NOT BE LISTLESS TO BE FUNDAMENTAL」;「基本的な研究であるからといって不必要であると考えする必要はない」である。

MAPプログラムに係る予算については、ESAは宇宙実験に必要なその資金を当てることとしており、宇宙実験に必要な試験インフラ、装置及び宇宙実験に必要な事項について資金を配算し、基礎的な研究費については、ヨーロッパ共同体(EC/EU)各国から、大学や国立研究所への研究費が配算される。これらは、研究実施を取りまとめる代表組織(Leader Center)に一本化されて用いられる。

予算規模については、EU/各国などから基礎研究費として、ESAのMAPへの1プロジェクト予算規模は300K /年である。宇宙実験を含めた計30件のプロジェクト総予算規模は25M /年相当である(ESA)。

MAPにおける研究テーマの選定プロセスは、サイエンス(基礎科学)面での評価に加えて、応用面については、別途のクライテリアにもとづきESAが選定する。この様に、「基礎研究」とその応用の可能性の連携のありそうな充実したテーマを選定することとしていた。

### 11. 3. 3 NASA の状況

1984年に米国議会は、NASAに宇宙活動での最大限の商業利用の模索と推進を要求すべく、NASA法に宇宙商業利用条項を付加することを立法化させたことを受けて、1984年、NASAのBeggs長官の指揮の下、商業プログラム局(CODE-C)を設置するとともに、1985年からCODE-Cを中心としたCCDS(Centers for Commercial Development of Space)と呼ぶ大学・研究機関を核とし、企業群を含めたコンソーシアム形態をとる非営利団体の研究組織を設立した。NASAのCCDSの管轄局は1992年に先端コンセプト&テクノロジーオフィス(CODE-C)、1994年に宇宙アクセス&テクノロジーオフィス(CODE-X)と変更となったが、1996年にCODE-Xが解体され宇宙開発・商業研究局(CODE-UX)に移管された時点で、名称もCCDSからCSC(Commercial Space Center)と変更となった。

1985年以降26センターが設立されたが、途中で発展的に9センターが解消され、当時は17センターが実活動を続けている。1985年から1998年までの参加団体総数は186団体であり、その内訳は民間企業117、大学等47、政府系研究機関16、その他6である。

### 11. 3. 4 CSC について

CSCは米国内の大学もしくは政府系研究機関に設置されており、大学等の一部門として位置付けられている。CSCの運営・研究推進は、年間100万ドル程度のNASAからの補助金、及び民間企業等会員からの会費、寄付金、研究者派遣、施設提供等で賄われているがその詳細についてはCSCの各センターによって違っている。NASAのCSC活動評価は5年を1サイクルとしており、活動開始後3年目の中間審査、5年目の最終審査を経て、NASAの補助金継続の可否が最終的に決定される。

また、NASAは商用利用の可能性とその分野、将来の商用利用の呼び水となり得るパスファインダープロジェクト(先導的利用案件)の例を調査した。

調査の結果、ISSの商用利用市場はいまだ未成熟であり、いかなる市場調査も推測の域を脱し得ないということが判明した。現時点におけるISSの商用利用市場は、調査の対象となるものではなく育成されるべきものであると言える。

調査方法としてKPMGは、1994年版Commercial Space Transportation study (CSTS) Reportにある各市場を対象とし、宇宙航空業界、金融機関、起業家、政府関係者からなるCommercial Space Ventures Advisory Team (CSVAT)を結成して調査を行った。

短期的に商用利用が実現する可能性が高い分野としては、従来の研究開発分野ではなく、エンターテインメント、教育、広告の分野であることがわかってきた。これらの分野は、ISSを科学技術ミッションの為に利用するものではないものの、費用面で将来の研究開発分野のコストの抑制に寄与し得ること、又ISSの存在をアピールする点で意義があると考えられる。

ISSの商用利用を阻害する要因とその解決策についての調査も実施され、以下が特定されている。

- ・利用料金が確定していないことにより、民間の利用者が投資収益率(ROI)を算出できない。(現在のシャトルでは非常に高くつく)
- ・非宇宙航空業界におけるISSに対する理解の不足は、CSCの活用とマーケティングの実施が必要である。
- ・現法制度の制約と安全性確保に起因するフライトまでの長期間化に対しては、制度の明確化と

利用運用上の制約条件の緩和・フライトまでの期間の短期化が必要である。

この他、官民の協力体制の構築と、利用運用の効率化の為に窓口を1社に絞ることが必要であるとの結果を得た。また、パスファインダープロジェクトの例としては、以下が示されている。

- ・ シャトル打ち上げ回数増加によるコストの低減と商用利用への機会提供
- ・ 宇宙技術のテストベットとしての利用
- ・ 商用フリーフライヤー機会の提供
- ・ MPLM カーゴ・ラック・プロセス・サービスの提供による輸送費用の低減
- ・ SPACECAM-AERCam技術の提供-画像・番組サービスへの転用

以上の国内外の状況を参考にして先導的応用利用化研究制度は策定された。

#### 11.4 先導的応用化研究制度の推進

宇宙開発事業団(現 JAXA)は平成 11 年 4 月より先導的応用化研究制度を開始した。この制度は、NASDAが民間企業の研究者を大学等の研究者、及び宇宙実験技術者が支える体制を構築し、一気に宇宙実験を実現して成果を企業が速やかに応用できるようにした。そしてこのチームが創出する成果が、所謂ショウケースに並ぶことで、その成果を見て民間企業が新たに自らも宇宙実験を通じた成果の創出挑戦をしたくなるような環境を整備する狙いがあった。

先導的応用化研究制度の特徴は、以下の4点である。

- ・ 地上研究から軌道上実験を経て取得データの応用に至るまでの一貫した研究を産学官の連携体制により、重点的かつ計画的に実施する。
- ・ 研究テーマは随時募集・選定し、評価基準は科学技術上の意義に加えて、軌道上実験の成果が地上の製品開発等へ応用される可能性や知的所有権取得の可能性を重視した基準とする。
- ・ 軌道上実験の必要性が確認され、実験条件・実験手順の確認等の準備が整い次第、迅速にISS利用実験を実施出来るようなプロセスを設定する。
- ・ 利用者と関係機関の間で秘密保持が必要な事項を特定し、その内容にアクセスする人数を最小限とするとともに、商業機密保持に関する取決め(Nondisclosure Agreement)を締結し、一定期間の秘密保持を義務づける。

しかし、先導的応用化研究を実施している頃、我々が直面した問題は多々あった。これらは単に制度の不備に起因するものではなく、民間企業としての経営的な側面から時間と成果のトレードオフ、及びISS利用技術の制約に集約される。整理すれば以下になる。

- ・ 宇宙実験遅延により、時間とコストを重要な判断基準とする企業 R&D 活動と宇宙実験プロセスに乖離が生じた。

- ・実験計画と得るべき目標を確定し、その後の計画変更は基本的に行わなかったことが、企業側の融通性や自在性を減少させ、宇宙実験遅延の影響が大きくなった。
- ・企業のニーズと宇宙環境の特徴を生かせる領域の掘り起しが出来たが、成果の創出、ISSの産業利用の発展のためには、宇宙実験システム制約の中でも要求に応えられる更なる技術開発が必要であること。

この制度が施行されている間の宇宙実験機会は、結局スペースシャトルに限られ、研究会からの新しい利用の要望に呼応できる状況にはなく、ISS完成の目途も中々具体的にならない状況下で、唯一タンパク質結晶成長の実験ミッションが現実的であった。このミッションの実施にあたっては、アラバマ州立大学バーミングハム校で開発された、蒸気拡散法によるシャトル搭載装置を使わなければならなかった。

このミッションで選定されたたんぱく質は、全て創薬・医療応用への応用を目指す対象であり、必然的にタンパク質の発現量も極めて少なく、必要量の確保に困難を極めた。そして、このミッションは度重なる遅延を経て当初の計画から3年遅れて漸く打ち上げられたものの、回収機となったコロンビア号の事故によりその成果は喪失した。

従って具体的な成果は創出できなかったが、11.5及び11.6に示す宇宙実験計画を生み出した。その背景には次のような教訓と環境の変化がある。即ち教訓としては、度重なる実験実施の遅延と実験装置の性能と使い勝手の悪さに、その見直しの必要性を日ごろ痛感していたNASDAは、特に期日を守ることができる確実な実験機会と、打ち上げ回収手段の確保、及び装置が無ければ一切の成果は出ないことを思い知ったこと。

また環境の変化とは、当時の世界の科学技術の中でタンパク質構造研究とその応用や、ナノ材料への期待が大きく進展しており、先導的応用化研究制度の下での、各種研究会や、企業・府省庁へのヒアリングを通じた検討を行った。そしてこれらの対象と宇宙実験は、大がかりな道具立てを必要としない、軽く・小さく・簡単な操作で済む装置であり、また微小重力の効果が有効になる、弱い相互間力による秩序形成に起因する現象が基調になっている点で相互に利点が相補的なものであるとの確信を得て、創薬応用に向けた高品質タンパク質結晶の生成や、界面ダイナミクス、及び均質なサブミクロンサイズ微粒子の自己組織化による実験構想の具体化に発展していった。

#### 11.5 ロシア・サービスモジュールを利用した宇宙実験の実施

ISS計画の推進に伴い、日本は先導的応用化研究での教訓と、環境の変化からロシアとの協力調整を進めて、プログレス打ち上げ・ソユーズ回収を利用した、ISSロシア・サービス・モジュール、USラボ等での宇宙実験の定期的な利用を具現化できる状況となる時期を迎えることとなった。

また、先導的応用化研究制度を通じて、民間企業利用に資するための具体的な宇宙実験計画が2つ立ち上がった<sup>4)</sup>。

- ・高品位タンパク質結晶成長宇宙実験計画
- ・3次元フォトニック結晶成長宇宙実験計画

### 11. 5. 1 タンパク質結晶生成宇宙実験計画の概要

新薬開発やタンパク質機能解析研究では、活性部位の検討にあたり、精度の高いタンパク質構造データが必要になるが、データ取得に必要となる高品質なタンパク質結晶を生成することは容易ではない。そこで、対流や沈降が抑制され、地上に比べて高品質な結晶を生成できる宇宙環境は、極めて重要な役割を果たす。

平成 14 年 6 月の宇宙開発委員会報告書「我が国の宇宙開発利用の目標と方向性」<sup>5)</sup>において、蛋白質結晶育成分野で宇宙実験機会を確保し早期に成果を創出することが報告され、H14 年 7 月から当該実験計画を開始した。

ロシアサービスモジュールでの9回の宇宙実験を通じ、タンパク質結晶生成技術及び宇宙実験プロセス等を確立し、338 種類、2529 サンプルのタンパク質の宇宙実験を実施した。利用者のタンパク質においても有効な成果が得られており、例えば、アレルギーや睡眠に関わるタンパク質や寄生虫に関連するタンパク質、環境ホルモンを分解する酵素等の利用者のタンパク質は、これまでにない高分解能な構造データを宇宙実験で生成した結晶から取得し、疾病に対する新薬開発などのステップに進んでいる。タンパク質の立体構造に基づく応用は、社会に極めて大きなインパクトをもたらす対象である。

今後、本実験計画で得られた技術、プロセス等の成果を十分に活用し、「きぼう」の本格的な利用に向け、タンパク質結晶生成実験を継続して進めるとともに、インパクトのある有効な成果の創出に向けた外部との連携により、宇宙実験での成果による社会への貢献を目指すこととし、本実験計画は将来にわたって展開し得る重要な橋頭保を築いた。

### 11. 5. 2 実験成果とその展開について

ロシアサービスモジュールを利用したタンパク質宇宙実験計画は、先導的応用化研究制度の推進で得た教訓と、今日その進展が著しいタンパク質構造解析とその応用への取り組みに対応するべく設定した計画である。前者は確実に繰り返して実施可能な宇宙実験機会の確保と充実した JAXA 技術支援を前提とし、後者ではタンパク質構造解析に必須でありながら地上ではボトルネックとなっている高品質結晶化を宇宙では可能とすることを実証することを目指すことで、際立った成果創出に繋がった点が評価されている。

以下の各項について、外部委員からなる評価委員会で議論された内容を示し、今後の応用利用分野への取り組み検討に際して、成功例としてアナログに活用することとしている。

(1) ISS を利用した高品質タンパク質結晶生成技術は、どこまで確立できたのか。

・微小重力の効果を引き出し、高品質な結晶を得るために下記の技術を確立した。これらの技術は、ISS 応用利用研究拠点(大阪大学)が開発し、「きぼう」での実験に引き継がれている。

- －結晶の高品質化に重要なタンパク試料の精製技術の向上(図 11.5.2-1)
- －微小重力の効果の事前評価と効果向上のための溶液条件検討(図 11.5.2-2)
- －サブ Å レベルの回折データを取得するためのビームライン強化(図 11.5.2-3)
- －高精度な構造解析のための、異なる分解能のデータセットをマージする技術の開発

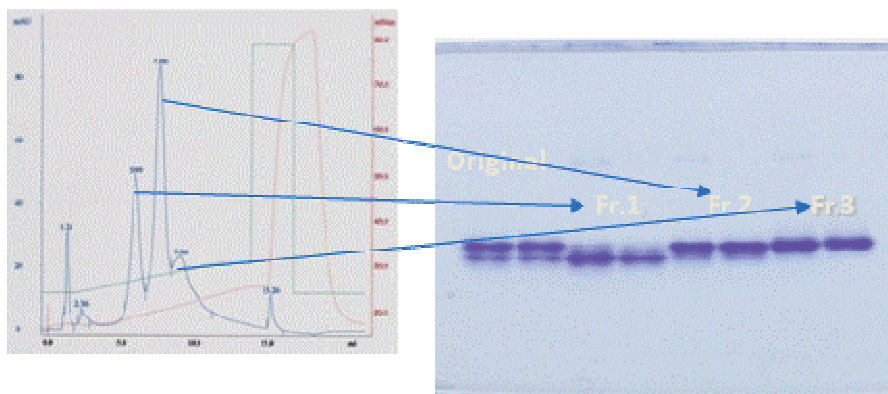


図 11.5.2-1 従来のサンプルを高精製カラムで3つのフラクションに分離

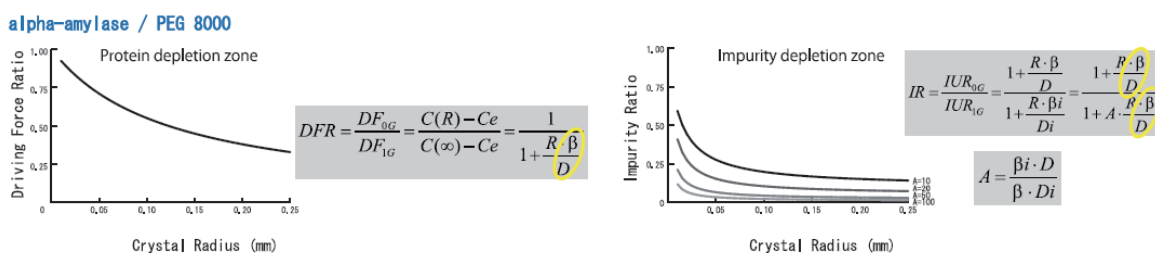


図 11.5.2-2 微小重力環境の有効性を評価するためのシミュレーション  
(拡散係数 D とタンパク質分子の結晶への取り込み係数 β より評価)

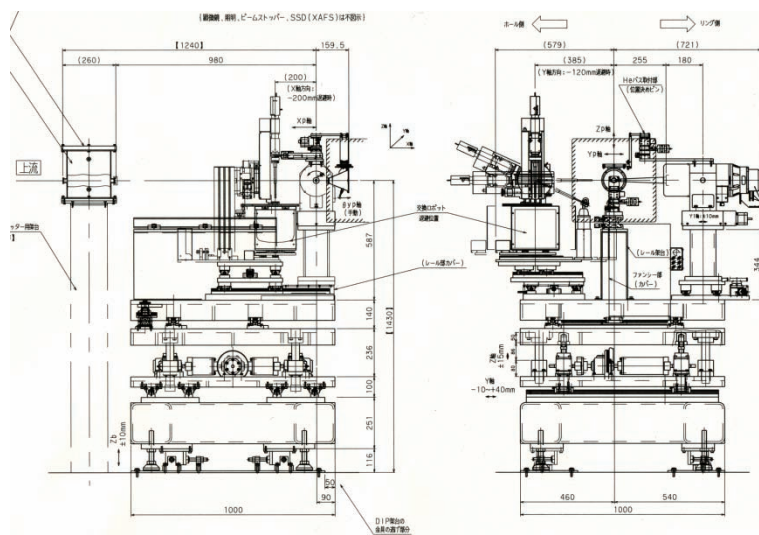


図 11.5.2-3 ビームラインに高精度ゴニオメータを導入し、光学ベンチを改修

(2) ISS を利用したタンパク質結晶生成の有効性はどこまで検証できたのか。

宇宙実験ごとに試料の安定性の確認から宇宙実験、回折データ取得までの一連の技術を整備し、各回ごとに宇宙での結晶生成率は高まり、地上で十分に条件を検討したタンパク質では、80%程度の確立で単結晶を生成できるようになった。また、宇宙実験で得られた結晶のうち約 6

割は、地上で生成した結晶よりも分解能が向上している。(図 11.5.2-4,5)

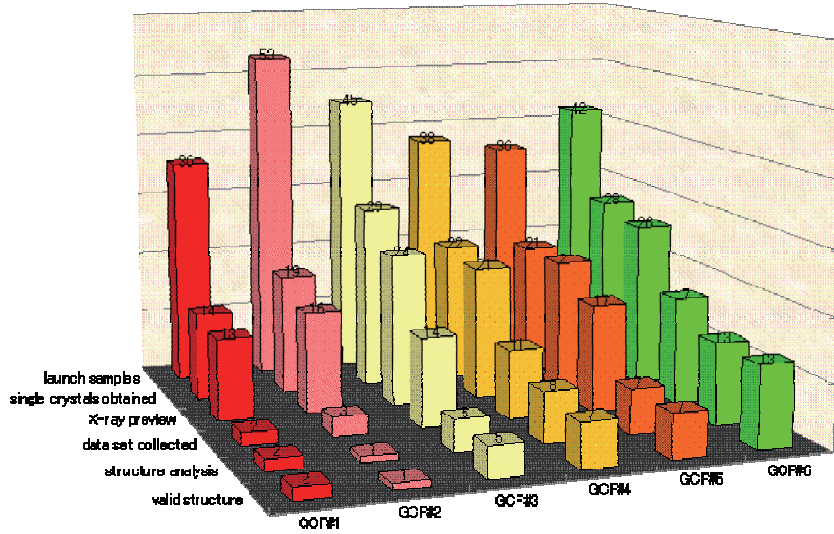


図 11.5.2-4 ロシアサービスモジュールを利用した実験の第 1 回から 6 回までの搭載タンパク質数から、宇宙で結晶生成したタンパク質、X 線実験に供した数、データセット取得数、構造解析数、有効な成果創出数を示す。

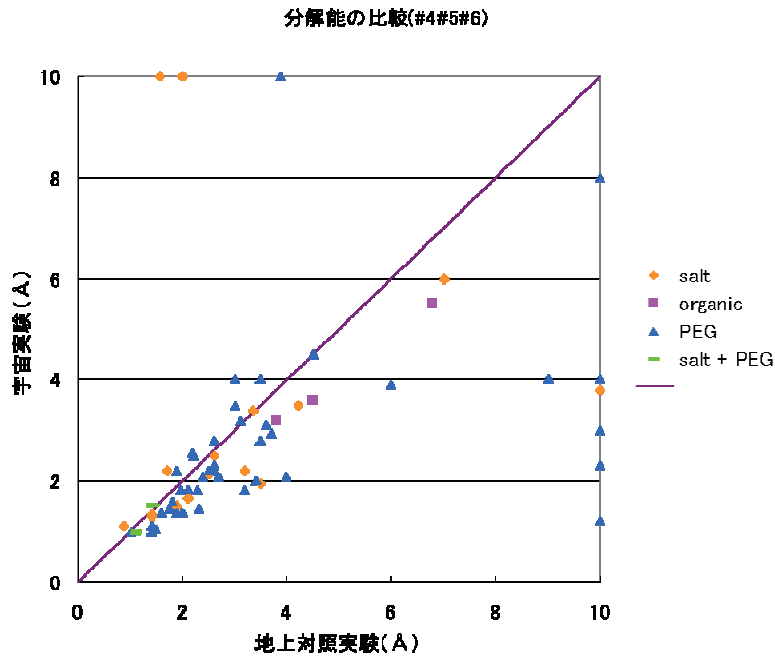


図 11.5.2-5 宇宙実験と地上実験での分解能の比較(ロシアサービスモジュールを用いた第4～第6回目の宇宙実験からのデータ)

(3) 宇宙実験による結晶生成は利用者の研究に貢献したと判断し得るか。

宇宙実験を行ったサンプルのうち、特に、宇宙実験を繰り返し行ったサンプルは利用者の研究に大きく貢献する対象があった。主な実験例を下記に、貢献したポイントを図中に示す。

(A) 疾病に関連したタンパク質:

- ① H-Protein (高グリシン血症関連タンパク質): 0.79 Å (図 11.5.2-6)
- ② L-PGDS (睡眠、肥満関連タンパク質): 0.98 Å (図 11.5.2-7)
- ③ H-PGDS (筋ジストロフィーに関連するタンパク質): 1.10 Å (図 11.5.2-8)
- ④ インフルエンザ菌由来 PBP4 (抗生物質関連タンパク質): 1.70 Å (図 11.5.2-9)

(B) 工業利用可能な機能性タンパク質:

- ① ナイロンオリゴマーを分解するタンパク質: 1.08 Å (図 11.5.2-10)
- ② セルロースを分解するタンパク質: 0.92 Å (図 11.5.2-11)

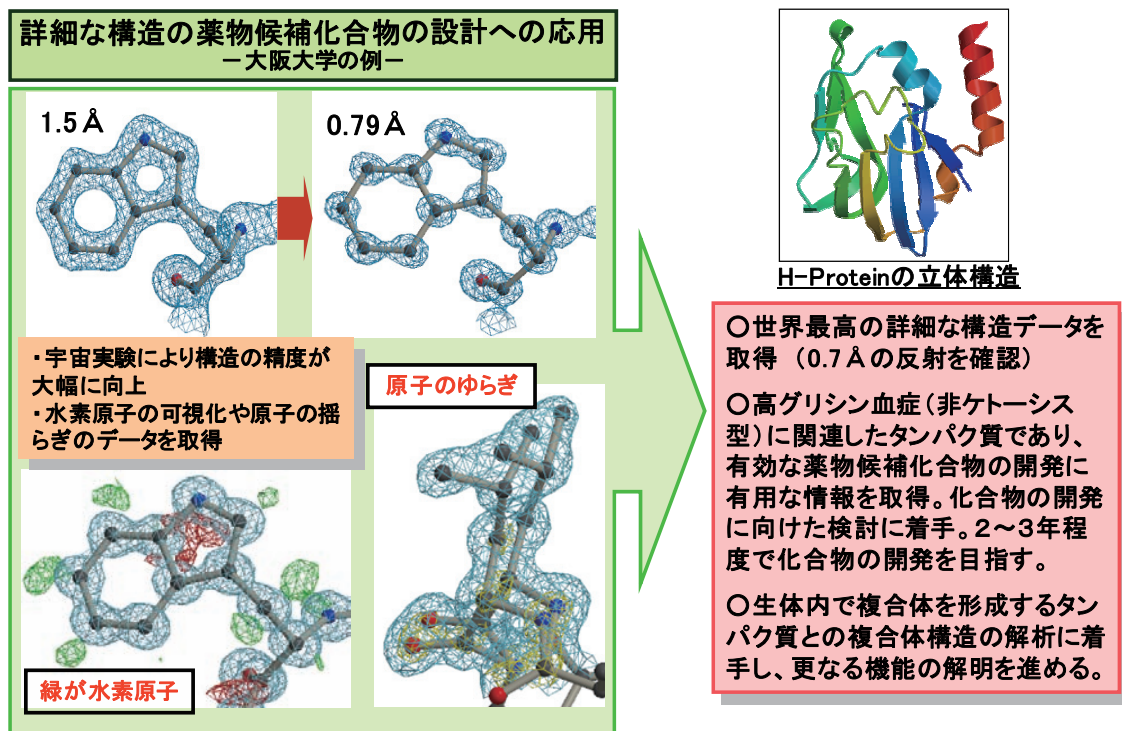
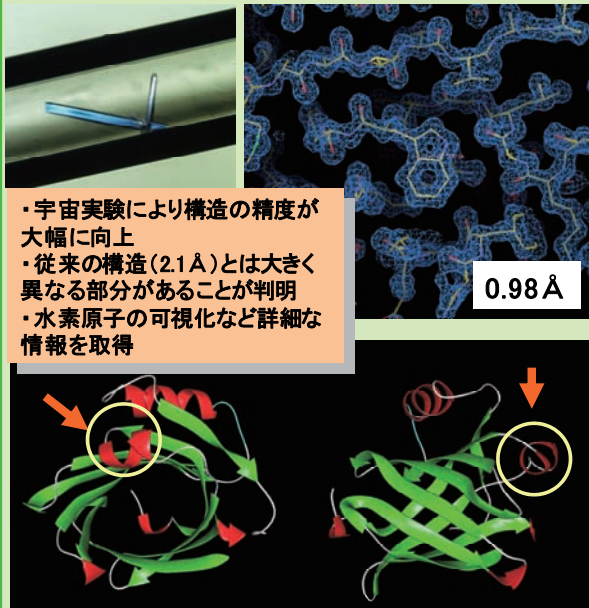


図11.5.2-6 成果例:H-Protein (高グリシン血症関連タンパク質)



**詳細な構造の薬物候補化合物の設計への応用**  
—大阪バイオサイエンス研究所の例—



0.98 Å

- ・宇宙実験により構造の精度が大幅に向上
- ・従来の構造(2.1Å)とは大きく異なる部分があることが判明
- ・水素原子の可視化など詳細な情報を取得

**リポカリン型プロスタグランジンD2合成酵素 (L-PGDS):**  
中枢神経系、生殖器官、循環器系で発生し、生理的睡眠の調節や脂肪細胞の分化に作用

- 世界最高の詳細な構造データ(0.98Å)を取得
- ワイルドタイプでは初めて構造解析に成功
- 副作用の少ない睡眠薬や肥満防止に関連した薬物候補化合物の開発に有用な情報を取得。化合物開発に向けた検討に着手。2年程度で化合物の開発を目指す。

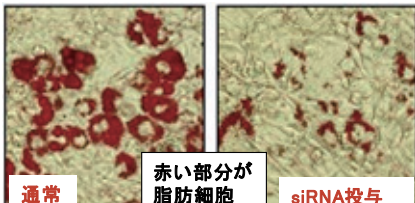
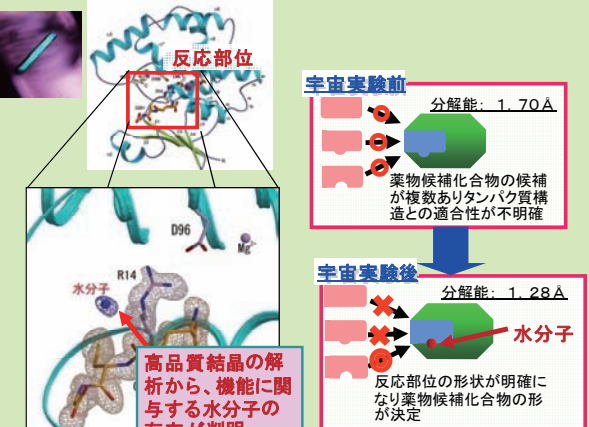


図11.5.2-7 成果例:L-PGDS(睡眠、肥満関連タンパク質)

**詳細な構造の薬物候補化合物の設計への応用**  
—大阪バイオサイエンス研究所の例—



反応部位

宇宙実験前 分解能: 1.70Å

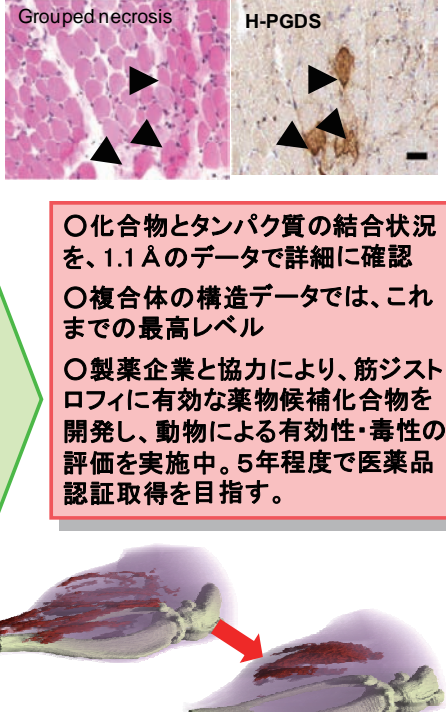
薬物候補化合物の候補が複数ありタンパク質構造との適合性が不明確

宇宙実験後 分解能: 1.28Å

水分子

反応部位の形状が明確になり薬物候補化合物の形が決定

- ・高品質な結晶による構造解析の結果から、機能に関与する水分子の存在が判明
- ・タンパク質の反応部位の形(鍵穴)が明確化
- ・鍵穴に合致する薬物候補化合物(鍵)が設計可能に



Grouped necrosis H-PGDS

- 化合物とタンパク質の結合状況を、1.1 Åのデータで詳細に確認
- 複合体の構造データでは、これまでの最高レベル
- 製薬企業と協力により、筋ジストロフィーに有効な薬物候補化合物を開発し、動物による有効性・毒性の評価を実施中。5年程度で医薬品認証取得を目指す。

図11.5.2-8 成果例:H-PGDS(筋ジストロフィーに関連するタンパク質)

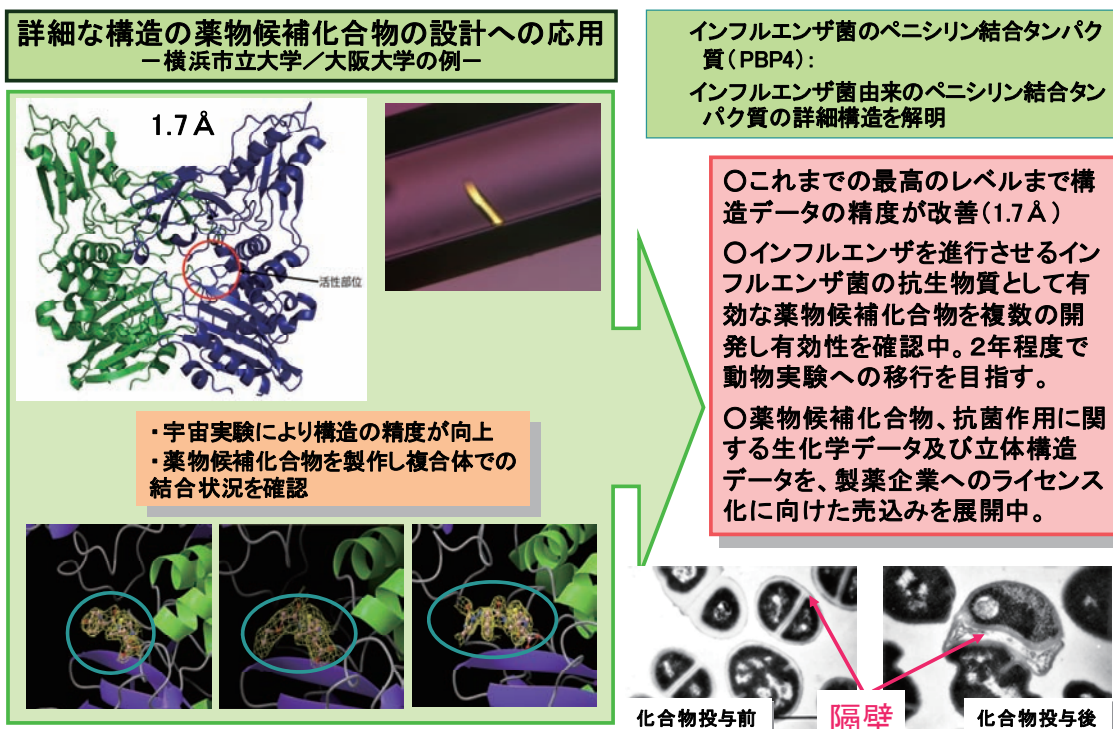


図11.5.2-9 成果例:H インフルエンザ菌由来 PBP4(抗生物質関連タンパク質)

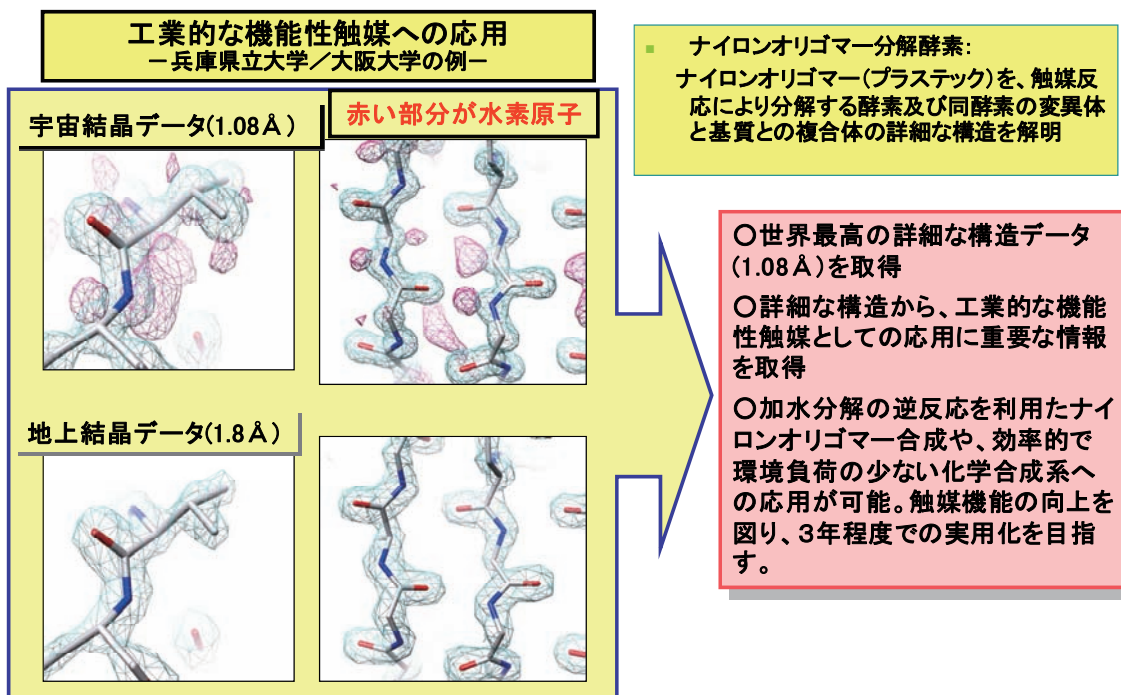


図11.5.2-10 成果例:ナイロンオリゴマーを分解するタンパク質

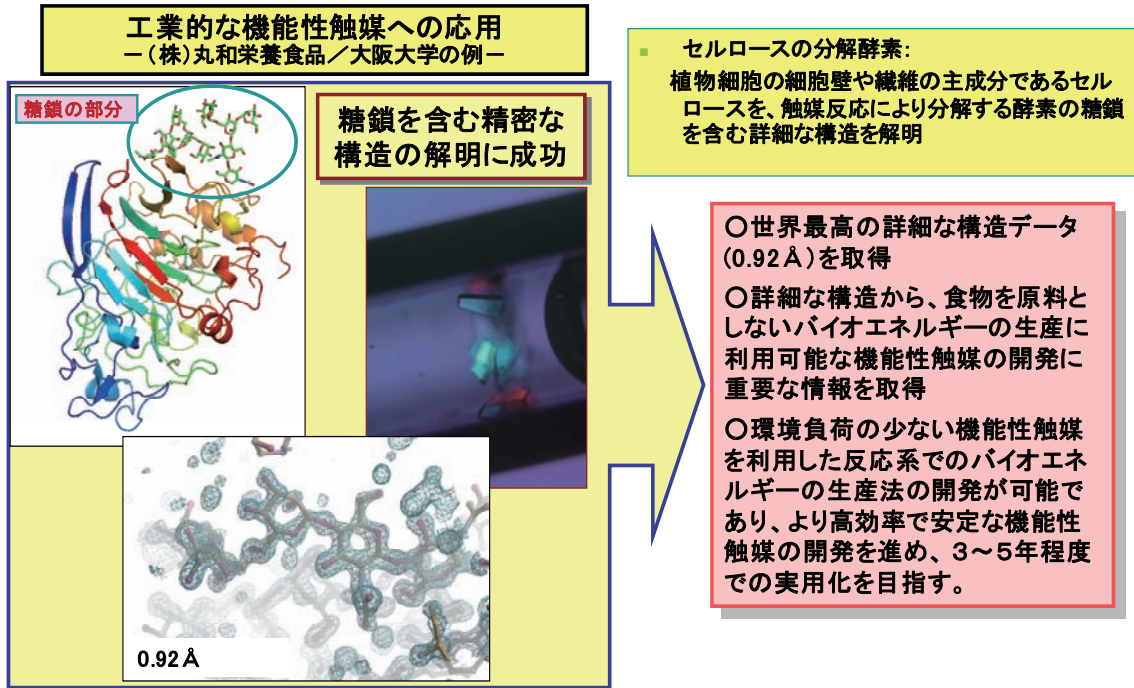


図11.5.2-11 成果例:セルロースを分解するタンパク質

(4) 今後のきぼう利用に係る課題

これまで JAXA は日本独自の結晶生成技術((図 11.5.2-12)など、ISS を利用して高品質なタンパク質結晶を生成する技術、プロセスを整備してきた。今後は、微小重力環境を利用して創出した高分解能な構造解析データを如何に具体的な創薬や、環境・エネルギーに関わる触媒や酵素の開発に結び付け行くかが、その体制作りも含めて課題である。

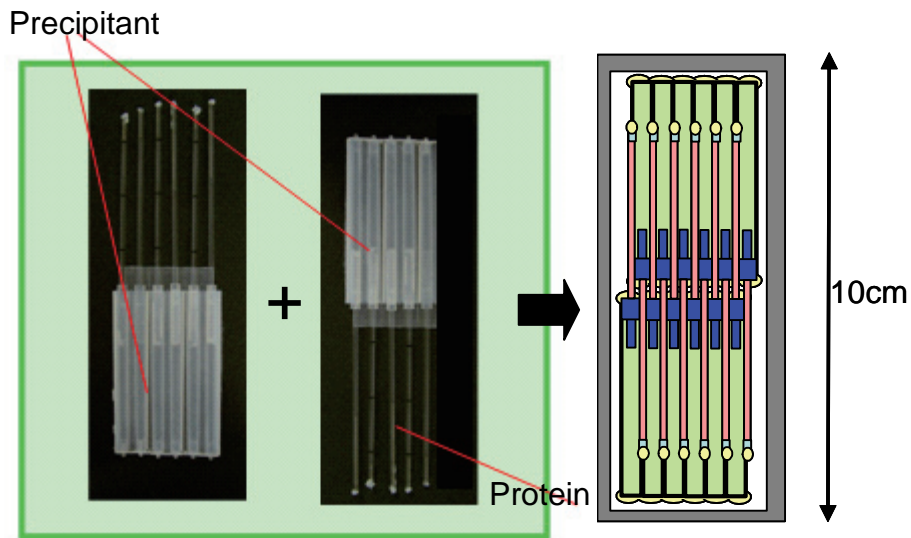


図 11.5.2-12 JAXA が開発したタンパク質結晶生成セル JCB(JAXA Crystallization Box)の外観図。1つのセルで最大 12 種類のタンパク質を搭載できる。

### 11.5.3 三次元フォトニック結晶生成宇宙実験計画

#### 11.5.3.1 三次元フォトニック結晶生成宇宙実験計画の概要

「光」の伝播を制御する新素材として盛んに研究が行われている「フォトニック結晶」開発のうち、コロイド微粒子を均一に配列させ、センチメートル角サイズの3次元のフォトニック結晶を生成するという、これまでにない全く新しい素材開発を行っている。地上では重力沈降の影響を受けるため、結晶格子は重力方向に歪みが生じてしまい、光学素子として利用するためのコロイド結晶は生成できないが、ISSでは沈降・対流によって生ずる擾乱の影響が極めて少ないため、これを実現できる。

宇宙開発委員会利用部会中間報告書「我が国の国際宇宙ステーション運用・利用の今後の進め方について」(H15年6月)<sup>6)</sup>において、応用利用分野の重点課題として選定され、平成16年3月のISS・きぼう利用推進委員会において、本実験計画を審議し了承され、H16年4月から当該実験計画を開始した。図11.5.3-1に装置のイメージを示す。

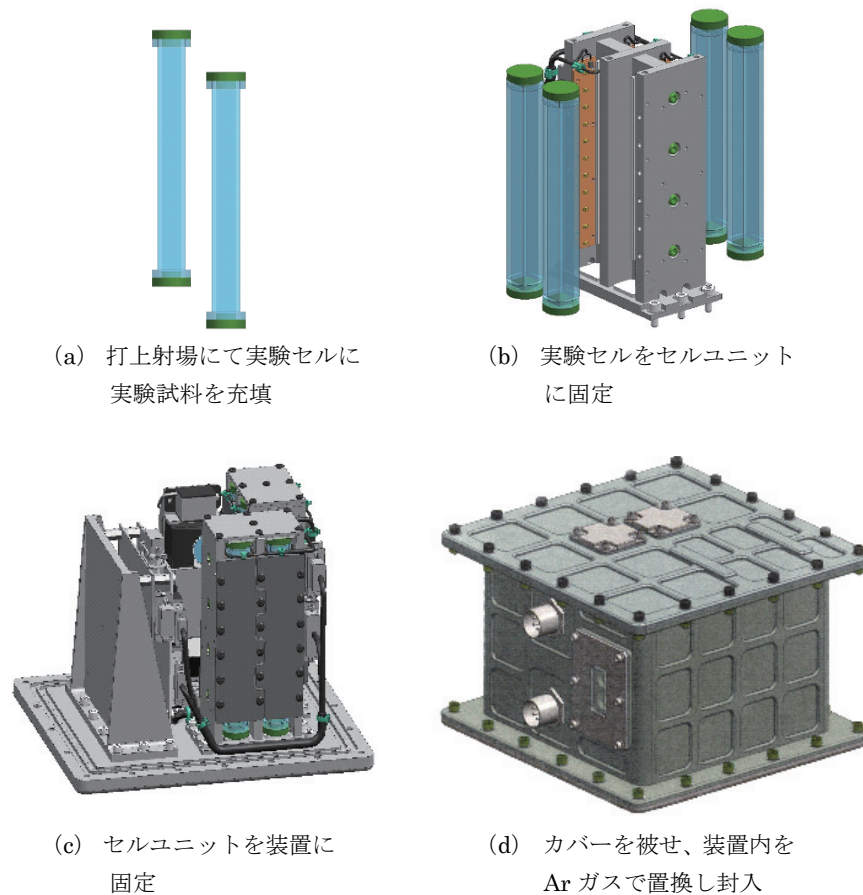


図 11.5.3-1 3次元フォトニック結晶生成実験装置のイメージ

#### 11.5.3.2 三次元フォトニック結晶生成宇宙実験結果概要

平成16年から2回の宇宙実験計画を実施し、第1回の宇宙実験では、宇宙実験システムの実現性を確認できたとともに、地上実験の結晶と比較して格子間隔の均一性の向上が確認できた。また、シリカ微粒子で、格子間隔の均一性に優れたmm角サイズの多結晶を宇宙実験で初めて

取得することに成功した。(図 11.5.3-2)

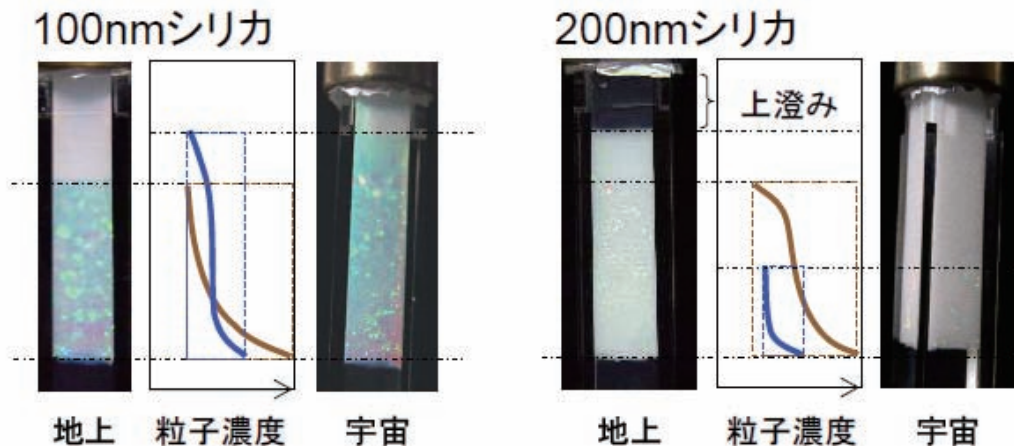


図 11.5.3-2 宇宙実験により地上では実現困難な 200nm サイズのシリカ微粒子による均一結晶が生成した。

しかしながら、第二回目の実験では、実験サンプル内に発生したコロイド溶液の隔壁からの漏れにより、大部分のサンプルは実験ができなかったため、その原因を追究しているところである。

一回目の実験、及び実験が成立したサンプルからの成果に基づき、地上実験や今後の ISS・「きぼう」利用を通じて、光産業における技術革新がもたらされることが期待される可能性を検討する必要がある。

宇宙実験に向けた塩基拡散法に関する地上研究での成果、即ち、コロイド結晶の大型化の技術の進展はめざましいものがある。当初は微結晶が主体の結晶構造体しか生成しなかったが、現在では、地上で重力勾配はあるものの、 $1 \times 1 \times 3$ cm の大型単結晶ができ、熱成長の手法も発見された。

また、平成 12 年当時に出した特許(応力をかけることで、波長分散を発生させて分光するというもの)が、今年の7月末に特許化された。

### 11. 5. 3. 3 Lessons learned

宇宙実験がドライバとなって、宇宙実験を成功させるために地上試験で種々の発見があり、結果的に塩基拡散法で cm クラスの大型単結晶を地上で創製できる技術蓄積があった。しかしながら、結晶化の技術の開発を中心に研究が進んでいたため、微粒子の基礎物性が結晶化に及ぼす影響は解明されておらず、微粒子の自己組織化をコントロールできるレベルには至っていない状況である。

商品化に向けては、物づくりの観点から、材料の基礎データを十分取得し、結晶化プロセスの不確定要因の抽出を行い、それらの不確定要因を一つ一つ解決してゆく必要がある。

## 11. 6 ISS 応用利用研究拠点推進制度

「きぼう」が産業界にとって有効な研究開発の手段と認識されるためには、現行の ISS 利用で企業が注目する成果を出し続けるとともに、「きぼう」初期利用の民間企業利用を円滑に推進できる準備が必要であった。

平成 16 年6月の宇宙開発委員会利用部会報告書<sup>7)</sup>で、先導的応用化研究制度を発展的に解消し、応用展開に資する成果を継続的に創出する、産官学連体制の構築が示された。

基礎と応用を融合する場を設けるとともに、シーズ/ニーズを勘案して宇宙実験の優位性を見極め応用につなげるためには、それに相応しい能力を有する人材の存在が重要である。そのために企業を対象とした研究テーマの公募方式から、宇宙実験の優位性を見込める「研究領域」を設定し、その人材を領域の「研究リーダー」として選定する方式に見直すこととした。研究領域の設定及び人選にあたっては、これまでの先導的応用化研究の実施を通じて得られた教訓を最大限に活用した。

大学等研究機関との共同研究であれば、宇宙実験機会の大幅な遅延や失敗が生じて、地上研究を通じて成果を得られることから、企業は安心して参加できることを重要なポイントである。

ISS 応用利用研究拠点推進制度<sup>8)</sup>は以下の役割により推進した。選定された「研究リーダー」は、具体的な企業ニーズを喚起・発掘し、企業との共同研究等を推進する。JAXA は企業との連携のための「ISS 利用研究拠点」を「研究リーダー」が所属する研究機関等に設置し、「ISS 利用研究拠点」における宇宙実験の実現に向けた宇宙実験装置開発及び宇宙実験に必要な作業を実施する。図 11.6-1 にその体制図、図 11.6-2 にプロセスを示す。

これまでの国内外の宇宙実験の対象や成果の状況、及び研究課題の状況、特に産業応用にに向けて進められている研究との接点を調査し、以下の 3 件が研究領域として設定された。

- ・高品質タンパク質結晶生成
- ・新材料創成
- ・界面ダイナミクス

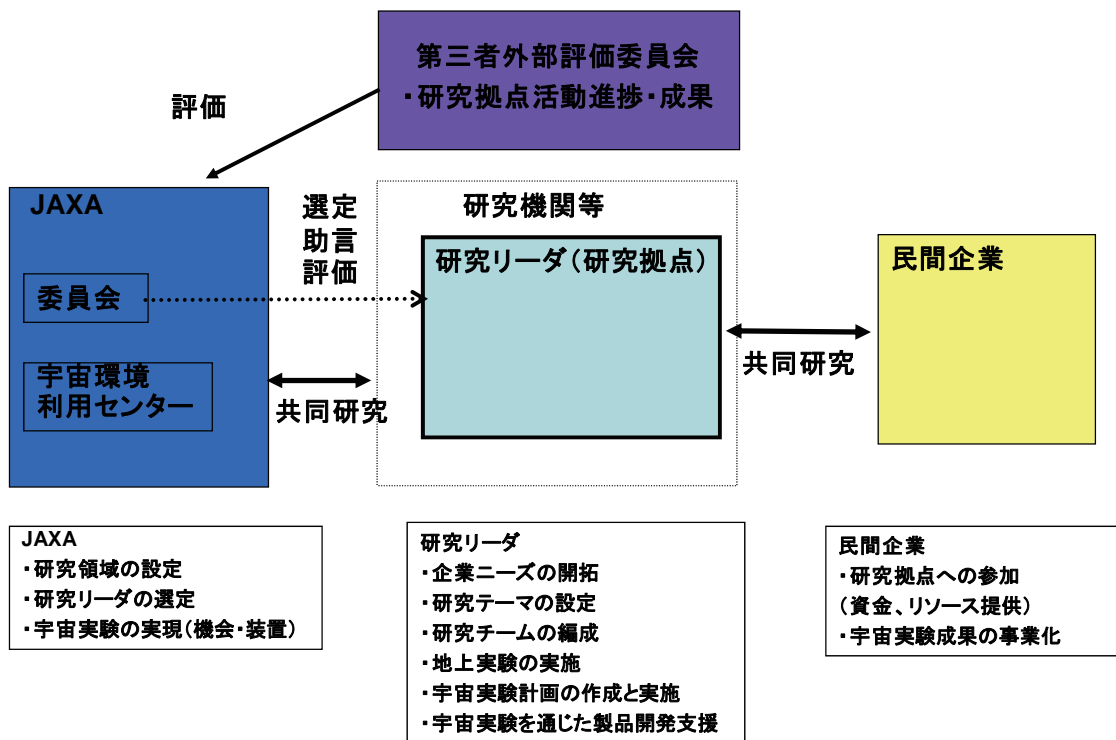


図 11.6-1 JAXA・研究機関・企業の関係

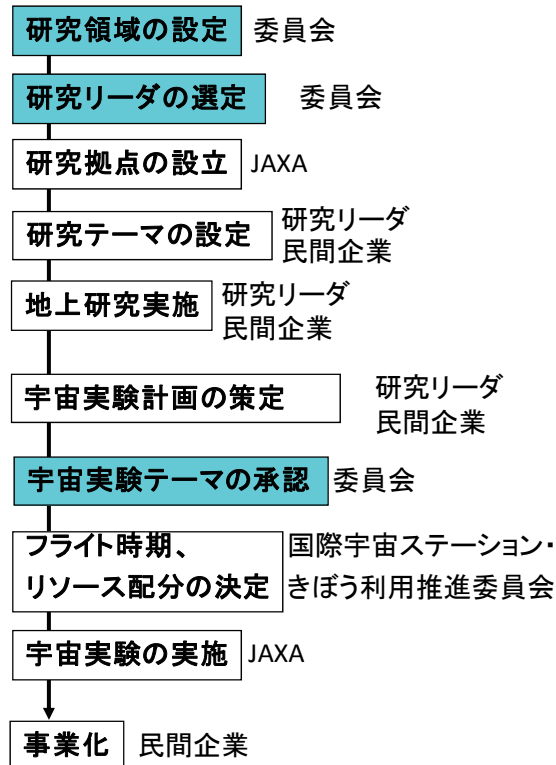


図 11.6-2 ISS 応用利用研究拠点推進制度の選考プロセス

#### 11. 6. 1 「タンパク質結晶生成」 大阪大学(リーダー: 中川敦史教授)

「病因タンパク質」や「機能性タンパク質」を対象とし、合理的な薬剤設計やタンパク質の機能改質等に向け、サブオングストローム(1 Å 以下)レベルの高分解能なタンパク質の構造解析・機能解析の技術を確立し、応用成果の創出を図る。これまでに4回の実験を実施し、多くの成果を創出した。ここで創出された技術は今日継続的に ISS で実施されている宇宙実験に全て生かされて用いられている。成果の概要を図 11.6.1-1、成果例を図 11.6.1-2、に示す。

目標	達成
<p>超高分解能構造解析技術の確立</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 高品質結晶作製技術の開発</li> <li>• BL44XUの機能強化と利用</li> <li>• 高品質結晶はJAXAが宇宙実験で定常的に生成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高品質結晶作製のためのサンプル調製から結晶化条件の最適化までの要素技術の開発とスキームを構築した</li> <li>• 広いダイナミックレンジを有する二次元検出器を利用したビームラインの高度化により0.7 Å分解能以上の高分解能のデータ収集が可能になった</li> <li>• 宇宙実験を効果的に行い、そのタイミングにあわせてのデータ収集が可能となった</li> </ul> <p style="text-align: center;"><a href="#">当初計画の目標を達成</a></p>
目標	達成
<p>有用タンパク質に関する超精細構造生物学成果の取得と応用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 複数の有用タンパク質を対象としてサブオングストローム構造生物学を応用</li> <li>• 成果の企業への売り込み</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• H-protein(非ケト型高グリシン血症関連タンパク質)</li> <li>• NYHY(ナイロンオリゴマー分解酵素)</li> <li>• inf PBP4(ペニシリン結合タンパク)</li> <li>• inf RNA polymerase(インフルエンザウの治療薬の開発へ)</li> <li>• Cellulase(タンパク質工学への応用)</li> <li>• 構造解析の成果の売り込みについてノウハウを得た</li> </ul> <p style="text-align: center;"><a href="#">成果の取得は当初計画目標を達成</a> <a href="#">成果の売り込み・応用は現在進行中</a></p>

図 11.6.1-1 成果の概要



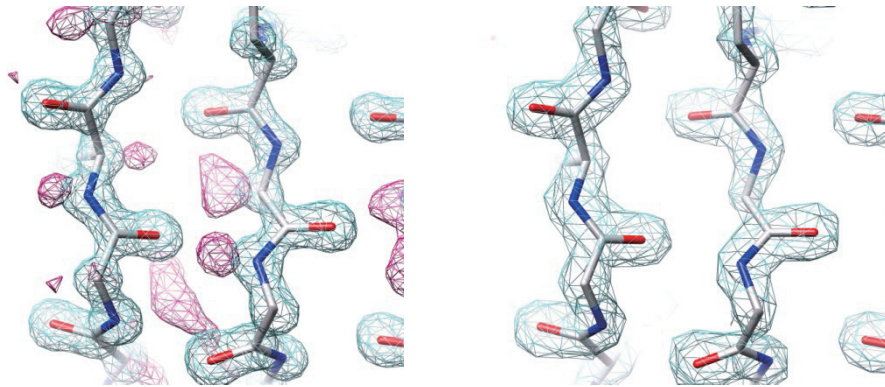


図 11.6.1-2 高分解能な電子密度図の例。左が宇宙実験で得られた結晶:1.1Å、右は地上:1.8Å。宇宙実験では水素原子の電子密度図(赤で表示)も識別可能。

11. 6. 2 「新素材の創製」名古屋工業大学(リーダ:木下隆利教授)

「きぼう」にて、テンプレートを創製し、地上でそれを転写して生産に用いるという新しい構想の下で、ナノメートルスケールでのポリペプチドやブロック共重合体形成の自己組織化を利用したテーマを実施し、地上では創製できない超撥水撥油加工テンプレート及び、環境モニタリング素子などの創製を目指している。(図 11.6.2-1)

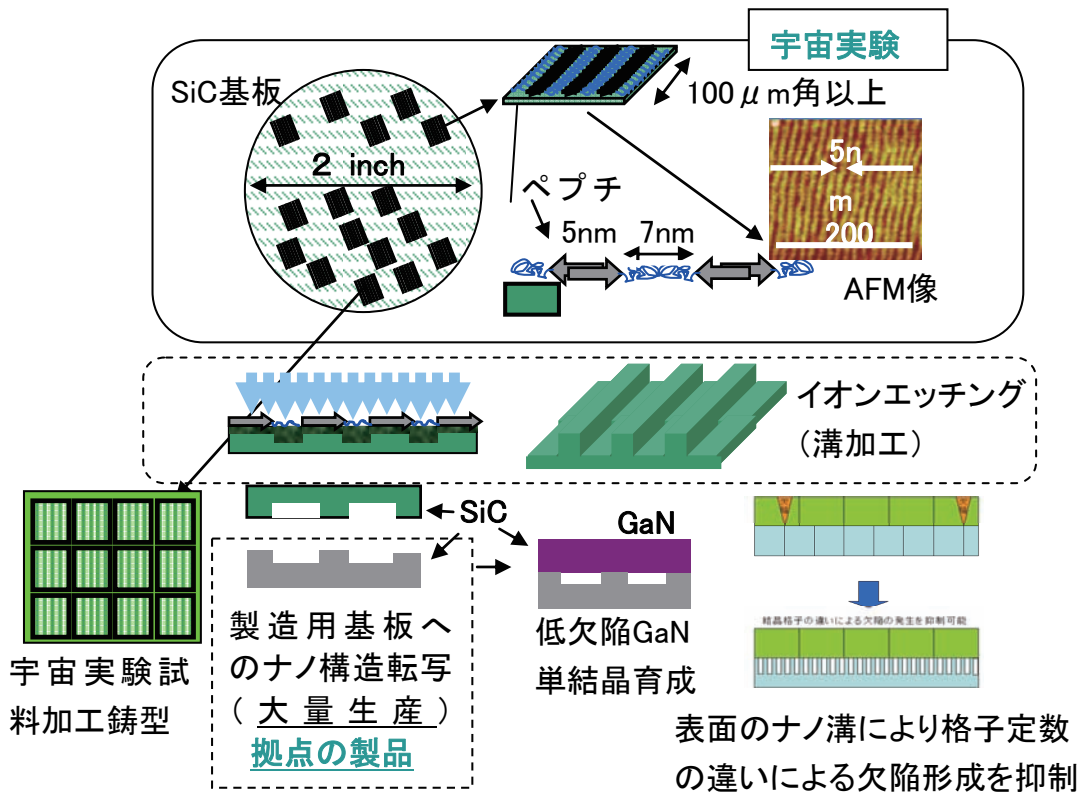


図 11.6.2-1 宇宙実験成果の製品化構想

### 11. 6. 3 「界面ダイナミクス」東京理科大学(リーダ:阿部正彦教授)

界面活性剤の自己組織化等を利用して、「ナノスケルトン」という新しい機能性ナノ骨格構造体を創製することを目指している。この新材料は、既存製品の性能を凌駕する高機能光触媒や、重油をガソリンに変える機能材料等、様々な商品開発での利用が期待されている。(図 11.6.3-1)

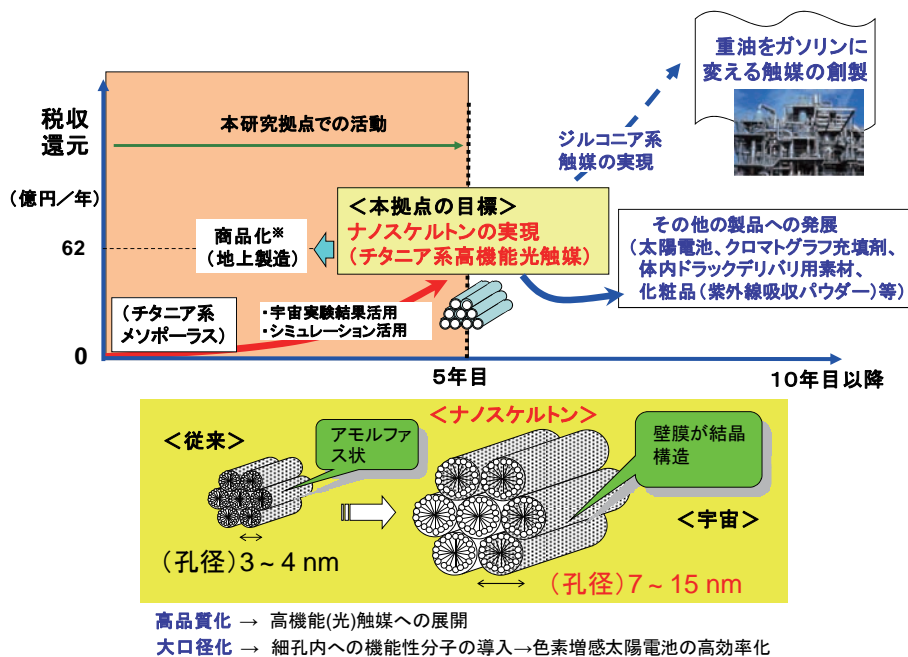


図 11.6.3-1 宇宙実験成果の製品化構想

## 11. 7 きぼう利用を通じた新たな応用利用推進に向けた取り組み

### 11. 7. 1 きぼう利用高品質蛋白質結晶生成実験計画

2009年7月から、「JEM利用高品質タンパク質結晶生成実験計画」としJEMを利用した本格的な実験を開始している。この実験は、JEMでのタンパク質結晶生成のための実験環境を整備・検証すると共に、確実に安定した飛行機会を確保し、宇宙実験を継続して実施することにより、社会問題の解決に繋がるタンパク質のJEMでの応用成果の創出を目的としている。

現在の計画では、半年毎に6回の宇宙実験機会を設定し、以下のような枠組みで、タンパク質を選定し、宇宙実験を実施している。

#### ① 国のプログラムとの連携による利用

文部科学省が進める「ターゲットタンパク質研究プログラム」の各研究チームを対象に、同プログラムで設定された重要なタンパク質について成果の創出を図り、当該プログラムの推進に寄与する。

#### ② 重点利用

きぼうを利用し、社会的な問題の解決につながる成果の創出や、タンパク質研究に不可

欠な宇宙での結晶生成技術の開発を目的とし、以下の課題に関連するタンパク質を対象に、社会貢献等が期待されるタンパク質の結晶生成・構造解析を行い、応用成果を創出する。

a. 社会ニーズにつながる成果創出タンパク質

- ・画期的な医薬品の開発につながるタンパク質
- ・難病治療薬、オーファンドラッグ、感染症薬の開発につながるタンパク質
- ・廃棄物の分解にかかわる酵素の開発につながるタンパク質
- ・エネルギー生産にかかわる酵素の開発につながるタンパク質

b. 先端的な技術開発に貢献するタンパク質

- ・膜タンパク質の結晶生成技術
- ・化合物-タンパク質複合体の結晶生成技術
- ・超大型分子タンパク質の結晶生成技術

③ 先導利用

これまでに蓄積してきた宇宙実験に関連する各種技術・ノウハウを適用し、JEM での重要な成果を創出することを目的として、産業への応用や科学技術への寄与が期待できる、様々な分野の新たなタンパク質を対象に利用の拡大を図る。

④ 民間企業等の有償利用事業

JAXA が進めている有償利用制度の 1 分野として、登録された有償利用事業者からの依頼により、民間企業等のタンパク質の結晶生成を実施し、産業活動に貢献する。

⑤ 国際協力による利用

- a. JEM での確実なタンパク結晶生成実験を実現するため、FSA との協力により本実験を共同で実施する。
- b. JAXA が重点的に進めるアジア諸国との国際協力の一環と、将来的なユーザの拡大を目指し、当面は、タンパク実験の利用を希望している、マレーシア国立宇宙局 (Malaysian National Space Agency, ANGKASA) に利用機会を提供する。

この計画が設定された鍵は、日本側が実験装置及び軌道上での運用を分担し、ロシア側がプログレス補給船での打上とソユーズ宇宙船での回収を分担する形態で、且つ、ロシア側に全体の三分の一の実験リソースと放射光施設 (SPring-8) での回折実験機会を提供する形で、無償でのバーターによる協定を締結し実験を実施している。このような協力の形態は、ロシア側も初めての経験であり、ロシア国内の科学プログラムの設定に時間を要したが、新しい形での協力関係を構築することができた点にある。

## 11. 7. 2 JEM 応用利用推進委員会の設置

### (1) ISS 応用利用研究拠点推進委員会の見直し

これまでの応用利用分野は、科学技術政策や、民間企業の動向に応じて第1期利用を対象と

するミッションを設定して来たが、第2期利用フェーズ以降の利用推進にあたって、リリース及び技術的制約の下での国家プロジェクトや地域イノベーション等との連携体制による利用戦略を検討する必要性があり、委員会を見直すこととされた。

ISS 応用利用研究拠点推進委員3名(委員長含む)に加え、新たに科学技術政策に係る有識者(中西委員)及びビジネス創成に係る有識者(谷口委員)の2名を委員とする。

委員長:

澤岡昭(大同工業大学長、応用利用研究拠点推進委員長)

委員:

西郷和彦(前東京大学院教授、化学生命工学専攻、現高知工科大学 環境理工学群 教授、応用利用研究拠点推進委員)

新村信雄(前茨城大学大学院 教授、応用粒子線科学専攻、応用利用研究拠点推進委員)

中西友子(東京大学大学院 教授、応用生命化学専攻、文科省基本計画特別委員)

谷口郁子(イムノエイト(株)社長、文科省基本計画特別委員、経営者:世界優秀女性企業家賞受賞(米国 NPO 主催))

## (2) 新たな応用利用推進委員会の見直しについて

今日、新成長戦略をはじめ第四期科学技術計画案等の政策では、グリーンイノベーションとライフイノベーション分野に重点がおかれており、現在、それぞれの分野に対応し、以下の委員構成となっている。

### (a) グリーンイノベーション

- ・西郷委員(化学工学)

### (b) ライフイノベーション

- ・新村委員(蛋白質結晶・構造解析)
- ・中西委員(植物生理学)
- ・谷口委員(医薬事業創成/ベンチャー育成)

一方、それらの推進にあたり、第4期科学技術基本計画において以下の方策が示されている。

- ① 出口を見据えた体系的な研究開発
- ② 社会システムまで視野に入れた実証事業の展開
- ③ イノベーションの創出を促す新たな仕組み

そのため、応用利用分野の第3期以降の新しいミッション創成に向けた重要課題を設定するため、JEM 応用利用推進委員会の委員を追加した。

(a)きぼう利用の有望な課題例の一つである、環境問題に対応するバイオマス再生利用や、次

世代新材料創製などの識者であり、前述の方策①、②に対応する委員として以下の2名。

- ・伊藤忠商事 理事・先端技術戦略研究所所長 松見芳男氏  
(新産業創成、バイオマスに係る有識者)
- ・物質材料研究機構 トヨタ次世代自動車材料研究センター長 長井寿氏  
(出口を見据えた研究開発マネジメント、産業応用につながる新材料創製研究統括)

(b)方策③に対応する委員として、ベンチャー的斬新な発想を持ち、想像力あふれ、イノベーション創出や新たな課題の設定に関する経験の深い識者。

- ・株式会社ロボ・ガレージ社長 高橋智隆氏  
(イノベーション創出、ロボティクスに係る有識者)  
—米タイム誌で代表作「クワイ」が「最もクールな発明」に選定(2004年)  
—米ポピュラーサイエンス誌で「未来を変える33人」の1人に選定(2004年)

今後のきぼう利用に係る応用利用戦略の鍵は、如何にして社会に役立つ具体的なミッションを創出できるのかであり、利用成果が社会や産業的な利益に直結するだけではなく、地球的・人類的課題(食糧問題、地球環境問題、エネルギー、医療など)に対応した取り組みに、きぼう利用が貢献できる仕組みと対象を検討することになる。

#### 11.8 きぼう利用フォーラム活動の推進

「きぼう」が持つ可能性を最大限に活かして、社会を革新する産業・経済活動を実現する対象を見出すために、潜在的な「きぼう」利用アイデアを広く掘り起こすために、大学や企業の枠を越えた多様な人材が参集して、多様な発想、経験、技術などの情報交換や技術交流を通じて、新しい「きぼう」利用の方策を議論、検討できる仕組みを設定した。

この仕組みでの活動は、新しい「きぼう」利用ミッションの創出を目指し、幅広い「きぼう」利用ミッション案を検討する場とし、各利用への橋渡し、窓口機能を担うことである。また、JAXAは、「きぼう」利用に繋がる可能性のある有望な構想毎に、研究会を編成して、意義、目的、達成目標、技術課題等を明確にしたミッション案を創出する。(図 11.8-1)

きぼう利用フォーラムの会員数は、平成22年7月の時点で920名であり、編成された研究会は、13件である。研究会の目標や内容から、きぼう利用への期待や考えを分析すると、最も注目されているのは有人滞在施設活用の視点である。内容のポイントは宇宙飛行士の心理面を含む健康や体調管理技術や、新しい宇宙医学研究である。

その例を挙げれば、新しい睡眠計測とその応用、機能的食糧開発研究、次世代排泄技術、空間認識の感覚と建築学応用、鍼灸科学とその応用、宇宙での調理技術革新など、宇宙開発における有人技術開発の革新がそのまま地球上で暮らす人間の生活のイノベーションをもたらすことを想定した構想である。

また、人文社会科学の視点からの新しい着想や、メディア媒体の新しいコンテンツとそのため  
の技術、そして人文社会科学と工学との融合による生活環境への革新に繋がるアイデアを基調  
に、新しいきぼう利用ミッションを検討する対象もある。一方きぼう日本実験棟の存在を核に、人  
類の宇宙展開に係る工学、宇宙科学、地球科学、社会文化、産業、メディアに係る有識者からな  
る宇宙生存学とも言うべき新たな学問領域の創設を図る研究会もある。

これらのうち、既に京都伝統工芸へのインスピレーションを創出するミッションと、無重力における  
人間の距離感覚と対話への影響を見るミッションが、第二期人文社会科学ミッション候補として採  
択されておりその成果に期待しているところである。

きぼう利用フォーラム活動のアドバンテージは、JAXA にとっては全く新しい視点からの利用構  
想の発掘と、これまでに宇宙開発とは全く関わりのなかった産業界、教育界、学術団体、学生、  
宇宙開発への関心を持つ個人などへのきぼう利用の存在の浸透が効果的に実施できる点にあ  
る。そしてその鍵は、地域や各界の指導的役割を担う者への積極的な働きかけと、その者の持つ  
人的ネットワークを通じた有機的な活動の展開にある。

そして、参加者にとっては直接 JAXA 及び宇宙開発に携わる者との交流が可能となり、参加を  
通じて新しい領域の人材とも繋がることで、きぼう利用フォーラムの参加による新たな事業展開に  
つながる可能性がある。

JAXA きぼう利用プロモーションは、きぼう利用フォーラムを通じてきぼう利用構想を発信すると  
ともに新しい利用のマーケティングリサーチにも活用し、広く国民からの応援や支持を維持しつ  
つ斬新な利用構想を育成してその実現に繋げていくことにしている。

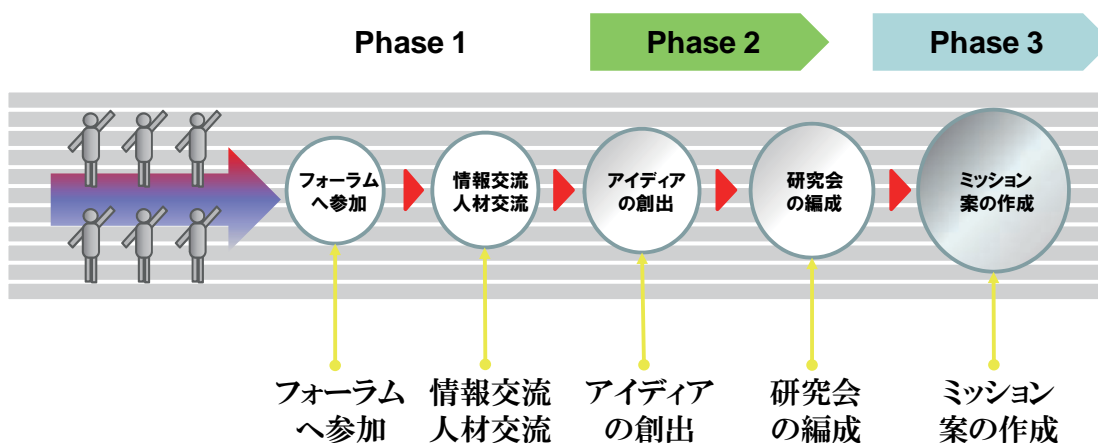


図 11.8-1 きぼう利用フォーラムの活動の流れ

### 11.9 今後の取組みについて

先導的応用化・実用化研究は、平成10年度から準備が開始され、今日までに約10年を費やしてきた。その間、様々な科学技術政策の変化やそれに伴う国家プロジェクトとの連携を図りながら、国際宇宙ステーション計画のスケジュール見直しに対応して具体的な宇宙実験機会を確保しながら進められて来ており、その成果もタンパク質結晶生成宇宙実験計画により漸くその光明を見出してきたところである。この10年間の取組みが目指したことは、R&Dの成果を社会に実装する役割の中心を担う民間企業にとって、きぼう日本実験棟の利用を経由することで、その役割が一層イノベティブに推進し得ることをJAXAが主体となってその可能性を実証することであった。

平成21年6月に宇宙開発戦略本部で策定された「宇宙基本計画」では、国際宇宙ステーション計画は「有人活動プログラム」として規定された。そこには「豊かな国民生活の質の向上」を筆頭の見出しに掲げて、向こう5カ年の開発利用計画として、特に創薬・医療分野や、食料、エネルギー、ナノ材料などの社会のニーズに対応した実用化に繋がる成果創出や、衣食住や高齢化社会における排泄の問題への対応のような、より快適な生活の実現など生活に密着した利用を推進することが記載されている。この様な指針は、従来の宇宙開発委員会での審議に基づく方向性には一切触れられてはおらず、具体的に取り組むべき重点課題として今後JAXAが主体的に推進すべき対象としてその推進方策を具体的に設定する必要がある。

科学技術政策そのものが、社会ニーズとの関わりで研究開発成果の社会への実装を効果的・効率的に推進していく仕組みとそのための環境整備にその力点が置かれていることは、2004年12月15日に米国から出された「パルミサーノレポート」をその端緒として、日本でもこのレポートに追随する形で「イノベーション」が議論され始め、今日の第4期科学技術基本計画案に具体的な取り組み策が示されていることで明らかになっている。しかしながら、既に2年前に開催された第9回JEM応用利用推進委員会では、「きぼう日本実験棟の利用を通じて、地球生活に役に立つ成果の創出を目指す」ことを、その目標に掲げて、広くその斬新なアイデアを募り、実現に向けた対応を図る方策を進めてきている。

#### 11.9.1 応用利用分野における成功例の分析

応用利用分野で具体的な成果を上げている「タンパク質宇宙実験計画」が何故、如何にして具体的に顕著な研究成果を創出したのかをアナロジーとして分析し、今後の応用利用の成果創出につながるポイントを整理すれば以下の4点になる。

1)当該分野の第一人者(勝部幸輝 大阪大学名誉教授)が積極的に関わったこと。

-2000年初の世界のプロテオミクスの急激な進展を考慮し、SPring-8のもつ特徴を最大限生かすために、宇宙実験の狙いを結晶の大型化から高品質化へシフトし、対象となる創薬等の研究のボトルネックの解消に宇宙実験が有効であることの実証に着手した。

-第一人者の人的ネットワークを活用して、関連する先導的研究者への理解・周知の働きかけができた。

2)大阪大学蛋白質研究所(中川敦史教授)を拠点として、必要な技術開発体制(大阪大学、横浜

- 市立大学、兵庫県立大学、コンフォーカルサイエンス、丸和栄養食品)を整備したこと。  
 -関連する人材を集約し、超高精度な構造解析に必要となる結晶生成技術、回折データ取得技術、及びデータ処理技術を整備するとともに、応用に直結する詳細な構造データを得た。  
 3)宇宙実験の対象とする利用技術開発が単純な仕組み、軽量、小容積でその利用準備が容易であったこと、また継続した宇宙実験を計画したこと。  
 4)ユーザ開拓のポイントとして、国のプロジェクト等と連動して宇宙実験が地上研究の一つのツールとして組み込まれることを明確にして、専門家の理解を拡大したこと。

これらのうち、最も重要なポイントは、その対象が革新に繋がるものであり、その狙いが明確でかつボトルネックに有効な手段として寄与出来得る対象であることと考えている。

タンパク質結晶生成実験の技術開発の変遷を図 11.9.1-1 に示す。

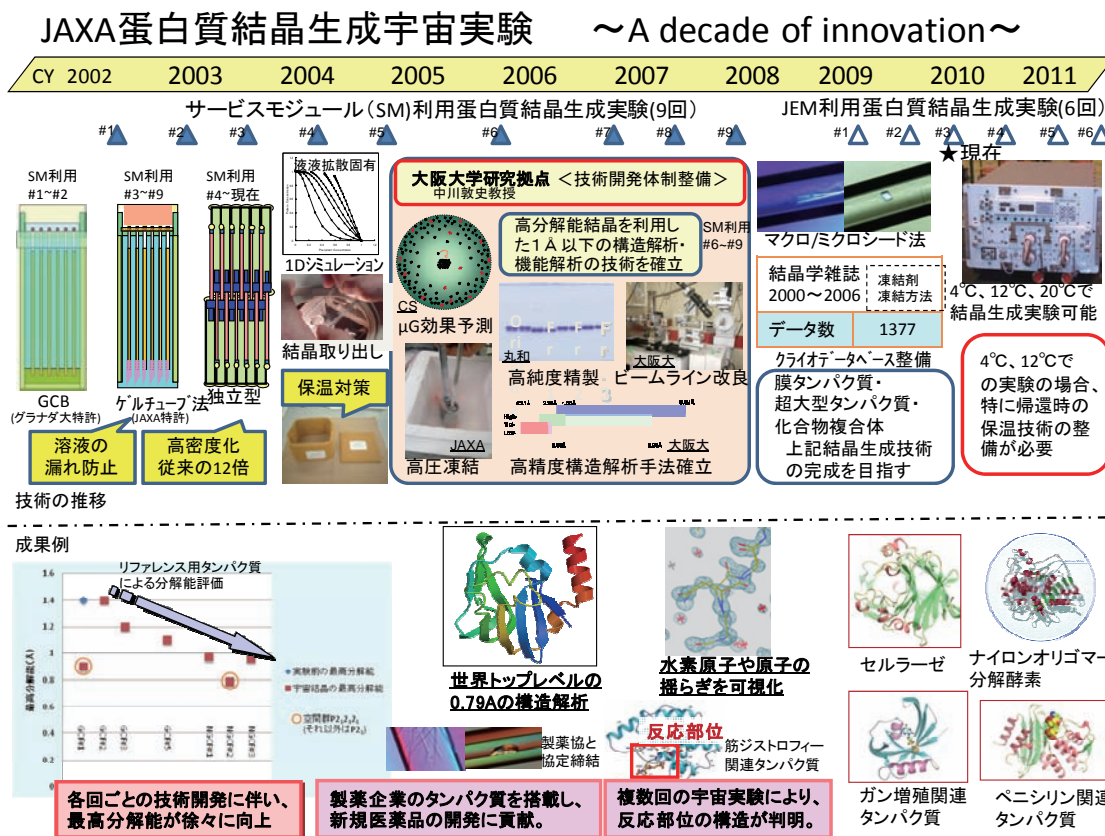


図 11.9.1-1 タンパク質結晶生成実験計画の技術開発

最初の1, 2回目の宇宙実験での溶液漏れや、3回目の帰還時温度上昇など、宇宙実験を行い始めて明らかになった技術的課題への対応として、新規結晶生成セルの開発や断熱材の開発、また、液液拡散法での結晶生成条件のシミュレーション技術の開発を通じて、宇宙実験の基盤となる技術を確立でき、得られる結晶の品質も向上していった。

また、6回目から9回目までのサービスモジュールを利用した宇宙実験では、大阪大学に拠点を設置し、より高品質な結晶を宇宙で生成する技術、及びその結晶を利用して高精度な構造解析を行うための技術を蓄積し、原子レベルのデータも得られるようになった。



現在も、宇宙実験で結晶が生成しにくいタンパク質のためのシーディング技術や膜タンパク質や超大型タンパク質の結晶生成技術の開発も行っており、今後は、社会的に重要である、医療に直結するタンパク質や、環境・エネルギー問題の解決に資するタンパク質の機能・構造解析への貢献を狙う。

#### 11. 9. 2 今後の展開方策について

今後、JAXA が推進する重点課題は、宇宙基本計画に定められた対象から設定される。特にこれまでに実績のある技術を基調に、応用利用推進研究拠点方式により推進されることになるが、きぼう船内実験室、船外プラットフォームを最大限活用して、社会生活と密着な食糧問題、高齢者問題、創薬・医療やエネルギー・環境の各分野から、宇宙開発利用・きぼう利用が有効な対象を実施するリーダーの探索が鍵であり、JST,NEDO 等のファンディングエージェンシーが開拓した研究成果の社会実装に有効に寄与する対象からの探索や、きぼう利用フォーラムを活用した情報発信や人材発掘を通じて具体的に推進されることを期待している。

##### (1) カテゴリー

###### 1)きぼう船内実験室の利用

- ・新材料、磁性材料
- ・幹細胞

###### 2)きぼう船外プラットフォームの利用

- ・技術実証
- ・地球観測センサー等の開発

###### 3)有人活動施設として、社会生活の革新につながる利用の推進

- ・排泄技術
- ・睡眠技術

##### (2) 新規テーマ開拓の方策

- ・各対象分野での第一人者への働きかけ、産業界ユーザーの開拓
- ・地上実験から、きぼう利用、社会還元を一貫して行うことのできる体制の整備
- ・「きぼう」利用の狙いと社会還元手法の明確化

#### 参考文献

##### 報告書

- 1)宇宙開発委員会宇宙環境利用部会「宇宙ステーションの民間利用の促進に向けて-応用化研究利用分科会報告書-」平成 10 年 7 月
- 2)宇宙環境利用検討委員会応用利用専門分科会「宇宙環境利用検討委員会応用利用専門分科会報告書」平成 15 年 5 月
- 3)宇宙開発委員会利用部会中間報告書「我が国の国際宇宙ステーション運用・利用の今後の

進め方について」平成 15 年 6 月

- 4) 宇宙開発委員会報告書「我が国の宇宙開発利用の目標と方向性」平成 14 年 6 月
- 5) 宇宙開発委員会利用部会報告書「我が国の国際宇宙ステーション運用・利用の今後の進め方について」平成 16 年 6 月
- 6) 宇宙開発委員会「国際宇宙ステーション利用計画における応用利用分野の新しい施策について」平成 16 年 11 月

#### 書籍

- 1) 日経アエロスペース別冊「宇宙基地と宇宙利用」(1984 年)117 ページ
- 2) (財)宇宙環境利用推進センター「創立十年史」(1996 年 6 月発行)37 ページ

## 第12章 JEM 曝露部利用(科学と技術開発)への取り組み

## 目次

12.1	はじめに .....	12-3
12.2	国際宇宙ステーション計画参画に向けて(1982年～) .....	12-5
12.2.1	スペースステーションタスクチーム(1982年～1983年) .....	12-5
12.2.2	宇宙開発委員会宇宙基地特別部会中間報告(1983年) .....	12-6
12.2.3	SFU 搭載実験装置 EFFU(1984年～1995年) .....	12-8
12.3	JEM曝露部利用テーマ選定に向けて(1987年～) .....	12-9
12.3.1	「宇宙ステーションの開発利用の本格化に向けて」(1987年) .....	12-9
12.3.2	国際宇宙ステーションリデザインまで(1987年～1993年) .....	12-10
12.3.3	フロンティア共同研究と公募地上研究(1992年～2002年) .....	12-10
12.4	曝露部初期利用ミッションの公募選定と装置開発(1996年～) .....	12-12
12.4.1	曝露部初期利用ミッションの公募から選定までの経緯 .....	12-12
12.4.2	JEM 曝露部共通バス機器部(APBUS)の開発 .....	12-14
12.5	JEM曝露部初期利用ミッションの開発と中間評価(2002年～) .....	12-16
12.6	ISS 利用重点化の議論で示されたJEM曝露部利用の方向性(2003年) .....	12-19
12.6.1	宇宙開発委員会宇宙環境利用特別部会によるISS 利用重点化の議論 .....	12-19
12.6.2	JEM曝露部利用重点化検討(2003年) .....	12-19
12.6.2.1	JEM 曝露部利用方向性の議論 .....	12-19
12.6.2.2	科学観測分野における重点化 .....	12-20
12.6.2.3	先端技術開発分野における重点化 .....	12-20
12.7	JEM 曝露部2期利用候補の募集と選定(2007年～) .....	12-24
12.8	おわりに .....	12-26
	参考文献 .....	12-28

## 12.1 はじめに

『(略)・・・1984年に入って起って来た大きな動きとしては米国のスペースステーション計画がある。これは・・・(略)・・・将来の宇宙時代への出島となることを目指している。我が国及びヨーロッパ連合の協力が要請されており、スペースからの天文学にとって有効な基地となつてゆくことが期待される。・・・(略)』

これは1985年の天文月報に掲載された日本学術会議天文学研究連絡委員会による記事からの抜粋である。ガリレオ・ガリレイの光学望遠鏡による観測が開始されてから400年の歴史を持つ天文観測において、つい半世紀前までは可視光域での観測手段しかなかった。しかし1960年代には電波天文学が発展し、1970年代には人工衛星によるX線、宇宙線の観測が本格化したことによつて、天体観測領域は急速に広がった。振り返れば、1985年の我が国の国際宇宙ステーション計画への参画決定は、このように目覚ましい天文観測技術の進歩の潮流の中であつたと言える。地球大気科学に目を向けると、1985年は南極大陸上空のオゾンホール発見によつて、ローカルな大気観測からグローバルな大気観測への移行の重要性が認識されるようになった時代であると言えるであろう。

1985年に日本が国際宇宙ステーション計画への参加を表明した時点で、JEM<sup>1</sup>曝露部の構想はほぼ決まっていた。それは、与圧部の端部に宇宙空間に曝露されたプラットフォームである曝露部と、実験装置の取り付けや交換などを行うロボットアーム、そして与圧部と宇宙空間との機器の出入れを可能とするエアロックを装備するというものである(図12-1)。当時計画されていた利用法は、曝露部からの科学観測や軌道上での部品交換や組み立てを行える利点を活かした宇宙用部品の宇宙環境性能実験の他、大きな空間を必要とする大型アンテナの組み立て等の理工学実験であつた。

計画開始当初“FREEDOM”と呼ばれていた国際宇宙ステーションは、“リフェージング”や“リストラクチャリング”といった変遷を経て、最終的に“リデザイン”によつて“ISSA<sup>2</sup>(後にISS)”と呼称が変更されることになる(1993年)。ロシアの参加によつてISSの地球周回軌道傾斜角は28.8°から51.6°という高緯度に変更され、JEMの搭載位置もISSの後方から前方へ変わった。この時、開発コスト削減の観点から米国や欧州の担当するモジュールの規模は大幅に縮小されたが、日本のJEMだけは当初計画した形態や規模を維持した。

リデザインの結果ISSの完成予定時期は当初計画の1992年から2002年以降に10年延期されることとなったが、ISSの潜在的ユーザにとつて、この遅延による落胆は大きかつた。それにもかかわらずISS建設スケジュールの遅延はその後も繰り返され、最終的にはその完成予定時期は2010年までずれ込む結果となる。しかしながらこのリデザイン以降、ISSの軌道上建設に向けた活動は本格化し、その後JEMも当初の基本コンフィギュレーションを失うこと無く開発が進み、現在に至っている(図12-2)。

ISSは、計画の遅延を繰り返しながらも1998年には待望の軌道上建設が始まった。そして2009年にはJEM与圧部と曝露部が軌道上のISS本体に組み付けられ、更にHTV<sup>3</sup>による物資補給運用も

<sup>1</sup> JEM : Japanese Experiment Module

<sup>2</sup> ISS(A) : International Space Station (Alpha)

<sup>3</sup> HTV : H-II Transfer Vehicle

開始された。現在 JEM 曝露部上では初期利用ミッションとして選定された MAXI<sup>4</sup>、SMILES<sup>5</sup>、SEDA-AP<sup>6</sup>の3種の科学観測ミッションの運用が行われ、地上では第2期の曝露利用ミッションの準備がすすめられている。

JEM 曝露部の軌道上運用が開始された現在、JEM 曝露部を利用した観測や実験成果への期待は更に高まっている。しかし、初期利用ミッションが観測データを順調に地球に送り届けている現在においても(図12-3)、利用テーマの募集や初期利用ミッションの開発過程で見えてきた JEM 曝露部利用上の様々な課題は未だに多く残されている。この課題が放置されれば、2期利用ミッション以降の利用も初期利用ミッション同様の厳しい開発と運用を強いられる結果ともなりかねない。

半世紀前のペンシルロケットの実験に始まった我が国の宇宙開発の歴史において、日本製大型ロケット H-II/B で日本製の無人貨物輸送船 HTV を打上げ、国際協力によって建設された有人宇宙基地 ISS を構成する日本製実験施設 JEM に様々な観測・実験装置を届け、ISS に滞在する日本の宇宙飛行士が様々な科学観測や実験を行うという、半世紀前には想像もつかなかった世界が現実のものとなっている。しかしながら、ISS 計画参加当初に期待された利用構想を実現するための道のりは、今まさにスタートしたばかりである。JEM 曝露部の機能と無限に広がる宇宙空間を最大限に活かした科学観測、理工学実験の実現と発展の一助となることを期待して、宇宙ステーション計画参加検討から現在に至るまでの変遷を、曝露部利用に焦点をあて筆者の視点で纏め、その利用促進に向けた提言を試みた。

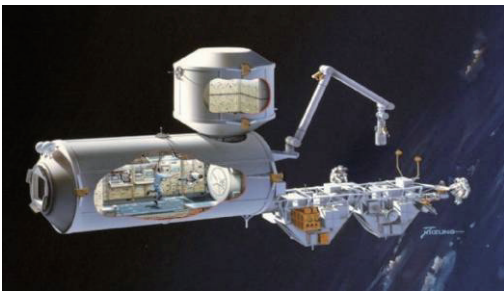


図12-1 1985年当時のJEM構想

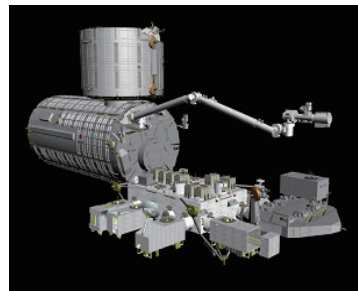
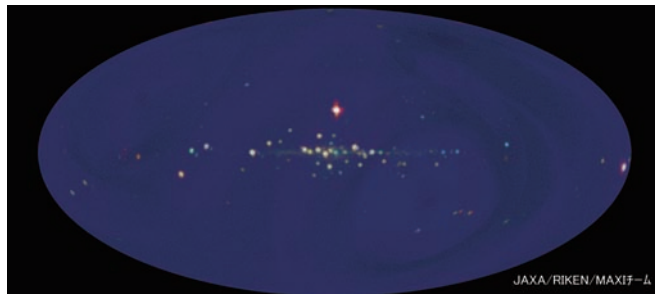


図12-2 JEM最終形態

図12-3  
MAXIによって取得された  
全天X線観測画像



<sup>4</sup> MAXI : Monitor of All-sky X-ray Image

<sup>5</sup> SMILES : Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder

<sup>6</sup> SEDA-AP : Space Environment Data Acquisition - Attached Payload

## 12.2 国際宇宙ステーション計画参画に向けて(1982年～)

### 12.2.1 スペースステーションタスクチーム(1982年～1983年)

日本の国際宇宙ステーション計画検討開始は、1984年のレーガン米大統領年頭教書による各国への国際宇宙ステーション計画参加呼び掛けの約2年前、1982年に遡る。NASAを訪問した当時の科学技術庁長官にNASA長官が宇宙基地構想の相談を持ちかけ、これを受けた日本政府は同年8月には科学技術庁に宇宙開発委員会宇宙基地特別部会を発足させた。この特別部会が軸となつて、オールジャパン体制による国際宇宙ステーション参加構想の検討が各機関(大学、研究機関、民間企業等)に展開され、その意見交換と統合検討のための“スペースステーションタスクチーム”が結成された。この時NASAでは、1982年5月に設置した“宇宙ステーションタスクフォース”によつて、以下の条件を前提にしたミッション解析(利用構想検討)を進めていた。

#### <NASA 宇宙ステーションタスクフォースの検討条件>

- 宇宙基地は科学(観測、探査)、応用(材料、実験)、商業的利用、宇宙運用(衛星打ち上げ、回収等)の活動を行う。
- スペースシャトルで建設する。
- 1980年代～2000年までの運用期間とする。
- 宇宙基地は低軌道の恒久的有人基地である。
- 通信手段はTDRSS<sup>7</sup>を使用する。
- 当面は1基のみとする。

この情報をもとに日本のタスクチームにおいても、システムコンセプトの検討と併行してミッション解析を進めた。このミッション解析は、以下に列記した国際宇宙ステーション利用上の利点を前提として、検討参加者による自由な発想のもとでの活発な議論の中で進められる方式をとり、その結果は宇宙基地特別部会における検討資料として纏められている(1983年5月スペースステーションタスクチーム発行の「Mission Model Study for Space Station」)。

#### <ミッション解析の前提となった国際宇宙ステーション利用上の利点>

- 宇宙や地球に対する広い視野を確保できる。
- 大型構造物の建設や宇宙基地周辺を自在に利用できる広い空間がある。
- ロボット操作、リモート操作等の様々な軌道上有人支援を受けることができる。
- 他の宇宙機との協調運用を行うことが出来る。

タスクチームでは、このミッション解析の結果として多くの利用提案を創出したが、同時に以下を国際宇宙ステーション利用の必要条件とした。

- 高精度の姿勢安定性
- 汚染の無い環境
- 冷媒供給
- 電力供給
- 十分な実験容積と重量の確保

<sup>7</sup> TDRSS : Tracking and Data Relay Satellites System

## 12. 2. 2 宇宙開発委員会宇宙基地特別部会中間報告(1983年)

タスクチームの検討結果を踏まえて1983年6月、宇宙開発委員会宇宙基地特別部会の中間報告が纏められた。利用テーマは科学観測、地球観測、通信、材料実験・製造、ライフサイエンス及び理工学実験の6つに分類された。また、ミッション解析と併行して実施されていた開発テーマ(システム検討)との関係が整理・分類された。分類された結果を表12-2に、それに基づいて作成された宇宙基地システムアーキテクチャを図12-4に示す。

表12-2、図12-4に示されるように、日本が国際宇宙ステーション計画参加を表明する以前の検討結果では、宇宙ステーションは有人基地取り付け型モジュールと無人のサブサテライト型プラットフォーム及び作業用宇宙機(テレオペレータ)で構成されることを想定していた。科学観測の内、宇宙ステーションによる擾乱や姿勢変動があまり影響しない高エネルギー宇宙線観測等は有人基地の取り付け型モジュールで、擾乱や姿勢変動の影響を受けやすい天文観測は無人のサブサテライト型プラットフォームで実施することが想定された。また、地球観測(陸域観測、海洋観測、大気観測)の内、搭乗員によるリアルタイムの解析や操作、判断が要求されるものは有人基地で、有人基地から放出される汚染ガスや運動攪乱の影響を回避したいミッションは無人のプラットフォームで実施することを期待した。通信分野においては、有人基地としての支援を受けた大型通信衛星の組み立てや打上を有人基地で、理工学実験においては軌道上で観察できるメリットを利用した実験を有人基地で行い、有害物質の放出や危険性の伴う高エネルギー実験を無人のプラットフォームで行う、等の考えがベースラインとなった。

このように、日本が宇宙基地計画への参画を決定する1985年より2年前の、まだ将来の国際宇宙ステーションの構成や形態、それに取り付けられる日本実験モジュール JEM の利用形態が分からない状態の中で、ミッション解析により、ミッションとシステム形態(有人、無人)との適合性や、ミッションを遂行するために必要な運用条件について基本的な考え方が示されつつあった。



表12-2 利用テーマ(ミッション提案)と開発テーマ(宇宙基地システム)の関係

		開発テーマ	
		宇宙基地取り付け型モジュール (有人)	サブサテライト型プラットフォーム (無人)
利用 テーマ	科学観測	◎天体観測 (高エネルギー粒子観測等)	◎天体観測 (赤外線、可視光、サブミリ波、X線観測等)
	地球観測	海洋観測、陸域観測、大気圏観測 (搭乗員の解析、判断を必要とするもの)	海洋観測、陸域観測、大気圏観測 (排ガスの汚染、運動攪乱等を嫌うもの)
	通信	大型通信衛星組み立て・打ち上げ	
	材料実験・製造	◎材料実験、材料製造実用化 (搭乗員の操作、常時監視等を必要とするもの)	◎材料実験の一部 (良質の微小重力環境を必要とするもの) 材料製造実用化(同上)
	ライフサイエンス	◎ライフサイエンス実験、バイオテクノロジー実用化(搭乗員の操作、常時監視を必要とするもの)	◎ライフサイエンス実験の一部 (良質の微小重力環境を必要とするもの) バイオテクノロジー実用化(同上)
	理工学実験	◎宇宙技術開発	◎宇宙エネルギー実験

注1) ◎は宇宙基地初期段階(概ね1990年代前半)から実施することを検討すべきテーマである。  
注2) 本表は利用テーマの主要要求条件をもとに、取敢えず考えられる利用テーマと開発テーマの組み合わせを示している。

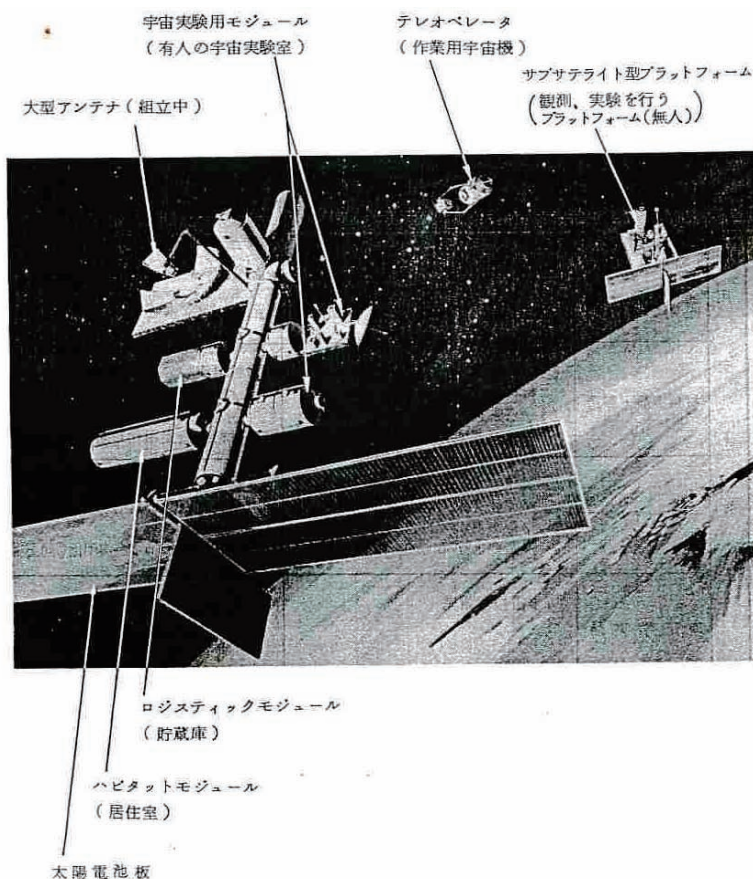


図12-4 日本の初期検討段階(計画参加決定以前)の宇宙基地システムアーキテクチャ

### 12. 2. 3 SFU 搭載実験装置 EFFU(1984 年～1995 年)

米国レーガン大統領が年頭教書演説で国際宇宙ステーションの建設を表明した直後の1984年2月、宇宙開発委員会は宇宙開発政策大綱の第一次改訂において宇宙実験・観測フリーフライヤ(SFU<sup>8</sup>:図12-5)を今後15年間に実施すべきミッションに追加した。このSFUは、前項で記述した宇宙基地構想の構成要素としてのフリーフライヤーである無人サテライト型プラットフォームとは関連の無い独立ミッションであり、当時の科学技術庁(実施担当機関 NASDA<sup>9</sup>)、文部省(同左 ISAS<sup>10</sup>)及び通商産業省(同左 USEF<sup>11</sup>)が開発運用資金を折半し、共同利用する形態のフリーフライヤーであった。SFUはH-IIロケットで打ち上げ有人往還機であるスペースシャトルで回収するミッションで、スペースシャトルでの回収のためにはNASAの安全審査に合格する必要がある。SFUに搭載されたEFFU<sup>12</sup>(図12-6)は、将来のJEM曝露部利用の基幹技術要素である結合機構技術と能動熱流体ループ、CFRP<sup>13</sup>構造及びGDEF<sup>14</sup>(気相成長結晶生成実験)を日本で初めてスペースシャトルという有人往還機に搭載して打上と回収を行うという、有人安全性設計を実証することを主目的としたミッションであった。このSFU及びEFFUの経験によって、日本の宇宙開発技術における有人安全性の基礎を学ぶことができたと言える。

#### <SFU/EFFUで習得した有人安全設計技術>

- FDIR(Failure Detection Isolation and Recovery) : 異常を検知し、分離し、復旧させる機能
- Failure Tolerant : 不具合発生によって機能を喪失させない設計
- Fail Safe : 不具合が発生しても危険な状態に遷移しない設計
- Fracture Control : 破壊力学的強度余裕を十分に確保した状態を、材料選定、非破壊検査、プルーフ試験及び打上直前までの製品管理によって保証する構造信頼性管理手法
- Hazard Control : 想定される不安全要因を識別し、その原因を排除するための設計、試験、検査、管理及び打ち上げ後の運用に至るまで追跡管理する手法

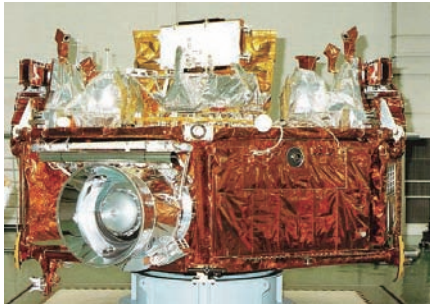


図12-5 SFU



図12-6 EFFU

<sup>8</sup> SFU : Space Flyer Unit

<sup>9</sup> NASDA : National Space Development Agency

<sup>10</sup> ISAS : Institute of Space and Aeronautical Science

<sup>11</sup> USEF : Institute for Unmanned Space Experiment Free Flyer

<sup>12</sup> EFFU : Exposed Facility Flyer Unit

<sup>13</sup> CFRP : Carbon Fiber Reinforced Plastics

<sup>14</sup> GDEF : Gas Dynamics Experiment Facility

12.3 JEM曝露部利用テーマ選定に向けて(1987年～)

12.3.1 「宇宙ステーションの開発利用の本格化に向けて」(1987年)

1983年6月の宇宙基地特別部会中間報告が発行された時点では、国際宇宙ステーションの利用構想や利用テーマは多岐に渡っていたが、その一方で有人宇宙基地取り付け型日本実験モジュール(JEM)の基本コンセプトはほぼ固まりつつあった。

宇宙開発委員会は、日本の国際宇宙ステーション計画参加表明の準備に向け、JEMの利用テーマに関する調査を1983年と1985年の2回に渡って実施し、その結果を1987年7月の宇宙開発委員会宇宙基地特別部会報告「宇宙ステーションの開発利用の本格化に向けて」の中に纏めた。1983年の宇宙基地特別部会報告では6つの分野に分類されていた曝露部利用ミッションは科学観測、地球観測、通信、理工学実験の4つの分野に絞り込まれ(表12-3)、予備設計段階のJEM曝露部システム要求検討のためのモデルミッションと位置付けられた。

以下、この宇宙基地部会報告の中の宇宙科学発展や地球観測の推進への寄与に対する期待に関する記述を抜粋する。

『宇宙科学の発展及び地球観測の推進への寄与:

宇宙ステーションは、軌道上の恒久的観測所として、地上では実現できない長期間の天体・宇宙観測を可能とするとともに、月・惑星・深宇宙等への大規模な科学探査を行うための前進基地としての役割を果たし、さらに地球及びその周辺の長期的観測を通じて地球資源の有効利用、環境保全、防災等に資する。また、組み立て・修理・補給等の宇宙ステーションのサービス機能によって、科学衛星及び地球観測プラットフォーム等の大型化及び長寿命化が可能となり、これらを利用して、各種の理工学実験及び観測等を効率的に行えるようになる。』

表12-3 宇宙ステーション計画参加当初の曝露部ミッション要求(テーマ数)

	科学観測	地球観測	通信	理工学実験
ミ シ ヨ ン テ マ ( 提 案 数)	天体観測プラットフォーム(2)	レーザ測距(4)	宇宙空間における	宇宙環境性能試験(16)
	赤外線望遠鏡(2)	地球観測技術試験	RFI 対策技術開発(3)	大型アンテナシステム技術(4)
	高エネルギー宇宙線(2)	(17)	大型アンテナ高精度鏡	大型構造物組み立て技術
	γ線バースト(1)	大気圏観測(3)	面(1)	(12)
	ラインガンマ線観測(1)	海洋情報即時通報	制御系の機能試験(1)	宇宙エネルギー実験(16)
	X線望遠鏡(1)	システム(10)	宇宙通信技術試験	宇宙ロボット(14)
	重力派検出用干渉装置	地球観測データ処理	(8)	バスモジュールシステム技術(7)
	(1)	装置(4)	重力安定型展開アンテ	2次元展開太陽電池アレイ(1)
	スペースVLBI(2)	陸域観測(2)	ナの機能試験(1)	集光型熱機発電機(6)
	太陽活動モニタ(1)		大型静止衛星組み立	液体貯蔵移送技術(7)
サブミリ波天文観測(1)		て保守技術開発試験	将来型宇宙発電システム(4)	
オーロラ及びSARアーキ撮像		(3)		
装置(1)				

### 12. 3. 2 国際宇宙ステーションリデザインまで(1987年～1993年)

宇宙開発委員会が2回目のJEM利用ミッション調査を行った1985年10月から僅か3ヶ月後の1986年1月、スペースシャトルチャレンジャー号の事故が発生した。これに対して米国内では、“困難を克服して”ステーション計画を成功させるという気運が強く、国際宇宙ステーション計画の中断の懸念が広がることは無かった。しかしながら、1987年7月の宇宙基地特別部会の報告が発行された時点において、既にチャレンジャー事故から約1年半が経過していたにもかかわらず、まだスペースシャトルの運用は再開されていなかった。

スペースシャトルの運用が中断されている間でも(1986年～1988年)、日本におけるJEMの基本設計は進められていた。一方、米国では宇宙ステーション予算の増加に対する議会の風当たりの強さから、リフェージング(1987年～1989年)、リストラクチャリング(1990年～1991年)とステーションの基本構成の見直しを繰り返し行っていた。そのため、ISS計画に携わっていた多くの技術者、科学者の間では、一体宇宙ステーションの建設は何時から開始出来るのか、疑心暗鬼にならざるを得ない状況が続いた。特にJEM曝露部の利用検討においては、利用分野の絞り込みは行ったものの、“次の一歩”に踏み出せない状況が続いていた。

国際宇宙ステーションの建設に向けて多少なりとも前進の気配を感じるには、1993年のリデザイン完了まで待つ必要があった。レーガン大統領が1984年の年頭教書にて“10年以内に恒久的有人宇宙ステーションの建設”を提唱した“期限”にあと1年に迫っていた。このリデザインによって国際宇宙ステーション計画には1985年に参加の協定を結んだ日、米、欧、加に1991年にソ連邦の崩壊により独立国家共同体となったロシアが新たに加わり、その呼称もフリーダム(FREEDOM)からアイエスエス(ISS)(リデザイン後間もなくは、リデザインにおけるトレードオフスタディの3形態 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ の中から $\alpha$ を選定したという意味からアイエスエスエー(ISSA)と呼んでいた)に変更されることになる。FREEDOMからISSへの変更は、ロシアが参画したということだけではない。地球周回の軌道傾斜角は米国からの運用のみを考慮していた28.8度からロシアからの運用も可能な51.6度になり、ISS本体からJEMに供給される電力リソースが減少し、その見返りとしてJEMの取り付け位置もISSの後方から前方に変更された。この変更は、結果的にJEM曝露部をISSの汚染環境から最も離れた位置に設置することになり、さらに軌道傾斜角の増加はMAXIやSMILESといった全天観測や地球全周観測を目標としていたミッションにとっても好都合な条件となった。

### 12. 3. 3 フロンティア共同研究と公募地上研究(1992年～2002年)

ISSのリデザイン以降、日本においてもJEM曝露部利用に向けたミッションの募集と研究支援体制が動き出した。1987年の宇宙基地特別部会報告が発行された時点でのJEM曝露部利用の位置付けは、以下のようなものであった。

- 軌道上の恒久的観測所
- 月・惑星・深宇宙等大規模な科学探査の前進基地
- 地球資源の有効利用、環境保全、防災等に資するための地球の長期的観測所
- 科学衛星・地球観測プラットフォームの大型化、長寿命化のための組み立て、修理、補給サービス拠点

この時点ではまだ、1983年に纏められた宇宙基地特別部会中間報告でのあらゆる可能性を視野に入れた利用構想が踏襲され、ISS運用形態と利用構想との整合が取れているとは言い難かった。

1992年に開始されたフロンティア共同研究の詳細は第7章に詳述されているので本章では割愛するが、あらゆる可能性を視野に入れた利用構想と運用制約の多いISSの運用形態との乖離に対する議論が、天文学や地球科学の有識者を交えて活発に行われた。このフロンティア共同研究制度は1997年には発展的に解消し、研究システム制度、公募地上研究制度と引き継がれていく。1996年(平成8年)に発行された宇宙環境利用部会報告では、フロンティア共同研究成果に基づき、JEM曝露部利用を前提とした新たな宇宙インフラストラクチャ構想の必要性や人工衛星利用に比較したJEM曝露部利用の利点を見出すことに重点を置く、という現実を考慮に入れた利用構想への転換が図られた。この曝露部利用の新たな方向性はISSという新たな軌道上実験の場を利用した無重量科学や宇宙医学と言った新たな科学研究領域の創生が期待された与圧部利用とは対照的であった。

以下1996年7月の宇宙環境利用部会報告「宇宙環境利用の新たな展開に向けて」より、JEM曝露部利用に関する記述を抜粋する。

『 JEM 曝露部利用を目指した理工学・通信、宇宙観測、地球観測、宇宙インフラストラクチャ整備のための基盤的・先端的な技術開発等については、もともと宇宙での研究や実験を指向したものである。このため、材料・ライフサイエンス分野等とは異なり、公募により研究を推進するシステムで推進すべき領域として、宇宙との複合領域となる新たな研究領域を設定する必要はない。むしろ、以下に示すそれぞれの分野は活動において、宇宙インフラストラクチャ整備のための JEM 曝露部の有効な活用を全体的な観測目的や観測シナリオの中で JEM 曝露部の特徴を生かした利用等の視点から具体的な構想をまとめていくことが重要である。

#### (1) 理工学・通信、技術開発等の分野

宇宙インフラストラクチャの開発・利用に必要な共通技術の実証とデータ収集の場

##### ① ロボティクス・テレサイエンス関連技術

自動化、自律化ロボット実験のような未知かつリスクな実験の場としての利用

##### ② エネルギー関連

無線エネルギー伝送、太陽熱エネルギー、電力貯蔵等の技術実験

##### ③ 通信関連

大容量通信実験、超高速衛星通信技術、次世代衛星通信要素技術実証

##### ④ 構造関連

地上で出来ない実証、新しいコンセプトの構造物の軌道上実験

##### ⑤ 熱管理・液体管理

大容量熱移送や極低温冷却、熱輸送用液体や極低温液体輸送技術実証

##### ⑥ 宇宙環境計測・影響評価関連

宇宙ステーション周辺の宇宙環境データの取得

##### ⑦ その他

極低温物理現象実験、軌道・姿勢制御、スペースデブリ捕獲用テザー衛星技術

#### (2) 地球観測

以下の JEM 曝露部利用の利点を活かして、観測センサー技術の実証

##### ① 衛星では高度維持が難しい比較的低高度の長期維持

- ② 主要な緯度範囲をカバーする軌道傾斜角(51.6度)
- ③ 制約の少ない重量・電力リソース
- ④ 軌道上交換、保守を利用した開発初期段階の機器の軌道上検証

(3)宇宙観測

以下の JEM 曝露部利用の利点を活かして、天体観測、宇宙科学観測の実施

- ① 観測装置の開発期間の短縮
- ② 定期的輸送手段の確保や実験装置の回収
- ③ 重要な観測イベントの時期に合わせた実験装置の搭載

』

12.4 曝露部初期利用ミッションの公募選定と装置開発(1996年～)

12.4.1 曝露部初期利用ミッションの公募から選定までの経緯

(1) 曝露部初期利用ミッションの公募

1996年7月に宇宙開発委員会宇宙環境利用部会がとりまとめた「宇宙環境利用の新たな展開に向けて—宇宙環境利用の当面の推進方策—」において曝露部初期利用テーマ募集に関する以下の考え方が示された。これを受けてNASDAでは曝露部初期利用ミッションの公募を行った。この時点でJEM曝露部の打上時期は2001年度が予定されていた。

- ① NASDAの宇宙環境利用研究委員会が評価・選定を行うこと。
- ② 募集の時期は装置開発期間を考慮すること(打上げ3～6年前に募集)。
- ③ 曝露部利用の多様性を示すため、4つの利用カテゴリ(表12-4)毎に各々1つの曝露部上の装置取付けポートを割り当てること。

表12-4 宇宙開発委員会の示した4つの曝露部初期利用のカテゴリ(1996年)

	利用カテゴリ	カテゴリの定義
1	曝露部を利用した先端的な科学研究の実施	宇宙ステーションの特徴を活かした科学研究による人類共通の利益となる知見や知識の獲得、知的フロンティアの拡大に資するテーマ
2	宇宙インフラストラクチャ構築のための先端的・基盤的技術の開発	宇宙開発を効率的かつ安定的に展開していくために必要な共通基盤的システムの構築に向け、長期的な観点から着実に実施すべき技術開発に資するテーマ
3	新たな宇宙利用の創出に向けた利用ミッションの実証	利用ニーズの高度化や多様化に対応するため、独創的なアイデアや技術的難度の高い技術の実証を目指すテーマ
4	共同利用プラットフォームとしての多くの利用ニーズへの対応	より多くの研究者の宇宙開発への参画や独創的な研究開発を促すための共同利用型の活動を展開するテーマ

(2) 評価と選定

JEM 曝露部初期利用ミッションの評価選定プロセスを図12-7に示した。募集においては分野の絞り込みは行っていないため、評価は微小重力科学分野、ライフサイエンス分野、宇宙医学(有人技術)分野、宇宙科学(天体観測)分野、地球科学(地球観測)分野、宇宙利用技術開発分野の6つの分野別専門委員会にて行われた。

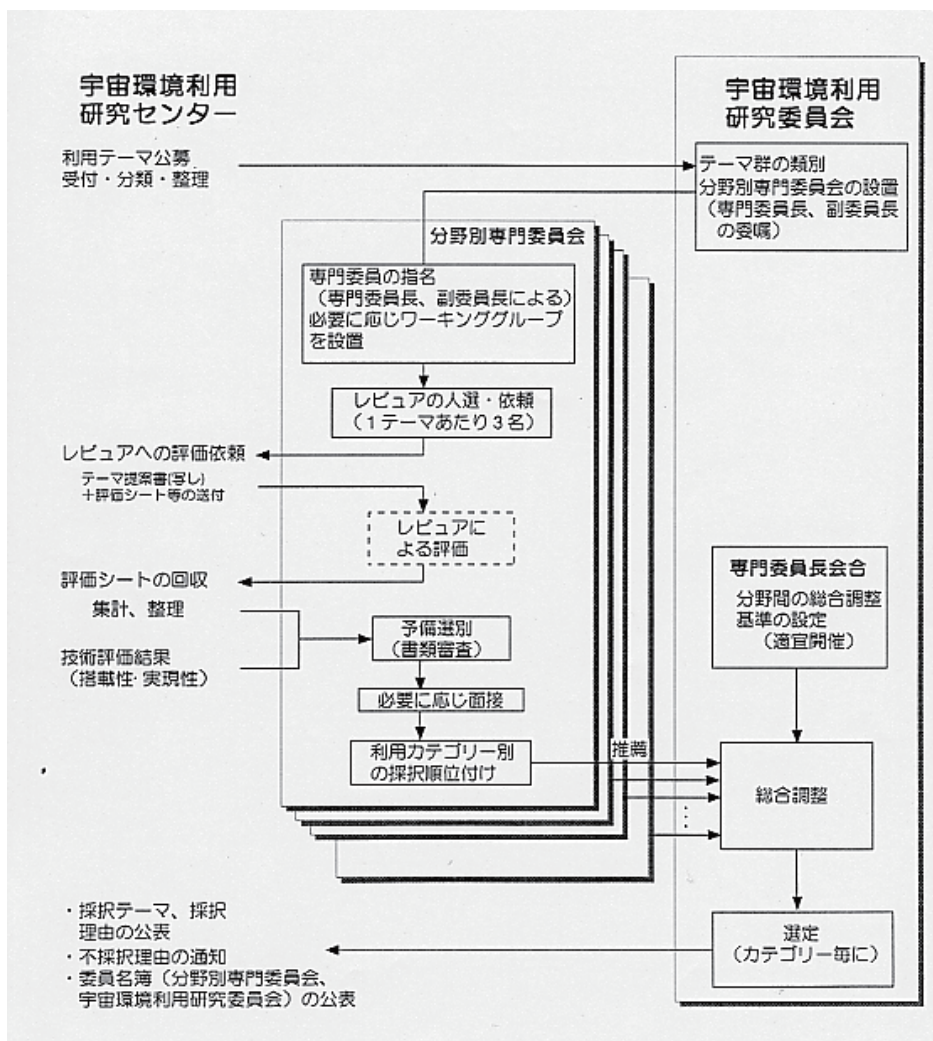


図12-7 曝露部初期利用ミッション募集に対する評価・選定プロセス

(3) 選定結果

JEM 曝露部初期利用ミッション候補4テーマ選定結果の概要を表12-5に示す。微小重力科学分野、ライフサイエンス分野、宇宙医学分野の応募テーマについては審査の結果、分野別専門委員会からの推薦テーマは無かった。今後はこの4テーマが搭載候補として打上を目指した開発を進め、JEM の開発進捗と打上機会との整合を考慮しつつ、最終的に打上げミッションを決定して行くこととなる。

表12-5 JEM曝露部初期利用ミッション候補選定結果

カテゴリ	「曝露部を利用した先端的な科学研究の実施」	「宇宙インフラストラクチャ構築のための先端的・基盤的技術の開発」	「新たな宇宙利用の創出に向けた利用ミッションの実証」	「共同利用プラットフォームとしての多くのニーズへの対応」
利用テーマ	全天X線天体の長期・短期変動の研究	光通信実験	超伝導技術を用いたサブミリ波リム放射サウンダの軌道上実証並びに地球大気環境の実験的観測	宇宙環境の計測とその部品・材料に及ぼす影響に関する研究
実験装置	全天X線監視装置 (MAXI)	光通信実験装置 (LCDE)	JEM搭載用超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (JEM/SMILES)	宇宙環境計測センサ (SEDA)
選定理由 (科学的及び技術的意義)	前例の無い高感度での全天X線観測は、JEM搭載予定の2000年初頭に於いては競合する計画は無く、天文学上非常に意義が高い。	レーザ光によるギガビット級超高速通信は宇宙インフラの基幹技術として重要であり、例え短時間でも大容量通信が実証されればその意義は大きい。	オゾン層の観測及びオゾンに与える影響が未だに解明されていない不活性ガス成分の観測意義は大きい。また、600ギガHz帯のサブミリ波観測技術及び4k機械式冷凍機技術のチャレンジ的意義が大きい。	本観測データと過去のデータを利用して宇宙環境モデルを構築する意義は大きい。これらのデータは公開データとして利用され、関連する科学研究にも有用データとして期待される。
選定理由 (成果獲得の確実性)	提案者は多くのX線観測衛星の経験を有しており、確実性、遂行能力共に十分に期待できる。	提案者は長い研究開発実績を有しており、十分な実力を有している。	提案者のグループは本観測技術に関する研究開発実績を有しており、十分な実力を有している。	搭載される観測センサは既に宇宙機搭載用として利用実績がある。

#### 12.4.2 JEM 曝露部共通バス機器部 (APBUS) の開発

フロンティア共同研究のアウトプットの一つとして、JEM 曝露部搭載実験を行うための共通実験装置/共通バスの概念が打ち出された。図12-8は1996年に発行されたJEM 曝露部初期利用ミッション募集要項に示されたJEM 曝露部のペイロード(実験装置)搭載概要図である。この図に有るように、JEM 曝露部には、直方体形状の実験装置がJEM 曝露部の周囲を取り巻くように整然と並ぶ形態を計画した。そして、JEMシステムの設計進捗に従う構造インタフェース、熱的インタフェース、ロボティックス(JEM ロボットアーム)によるハンドリングインタフェース等を考慮して、JEM 曝露利用ペイロードの形状は、直方体形状(1.8m×1m×0.8m)の包絡に収まることとなった。これは、国際宇宙ステーション計画参加を表明した当初に描いていた広い空間を利用した曝露環境利用形態とはかなり異なるものとなっていたと言わざるを得ない。更に、搭載ミッション装置の開発においては電力、通信、能動熱制御/受動熱制御と殆ど全ての設計において、以下のように従来の人工衛星の実績にもない、全く新しいインタフェースを適用する必要性が生じることとなった。JEM 曝露部を利用するためには、人工衛星開発にも適用されていなかった、未知の技術要素を適用する必要性が生じることとなったのである。



<JEM 曝露部利用特有のインタフェース例(図12-8参照)>

- 120VDC電源 (従来の人工衛星は、28VDCや15VDC)
- MIL-STD-1553B 通信I/F(従来の衛星はRS-485,488等)
- MLI<sup>15</sup>はβクロスを使用する(従来の衛星はカプトン等)
- 排熱用能動熱制御冷媒はフロリナート(人工衛星では能動熱制御実績無し)
- ロボティックスによるハンドリング衝突時に破損しない堅牢な構造及び機器が要求される  
(人工衛星は衝突の危険性を考慮した設計は特に無し)
- ミッション装置の主構造は、補給部曝露区結合機構、JEM曝露部結合機構及びロボティックスハンドリング用グラブルフィクスチャを所定の位置に装備し、それぞれの結合状態での強度、剛性要求を満足させる(人工衛星は、ロケット搭載インタフェースのみ)

JEM 曝露部の利用者が本来の実験目的に加えてこれらの JEM 適合性を確保する煩わしさを回避する目的で、NASDAは、JEM 曝露部共通バス機器部(APBUS<sup>16</sup>) (図12-10)を整備し、希望するユーザに提供 できるシステムを整備した。APBUSはJEM 曝露部との搭載インタフェースを確保した主構造体(MST<sup>17</sup>)、電力I/F装置(PDAP<sup>18</sup>)、通信I/F装置(APRT<sup>19</sup>)、ヒータ制御装置(HCE<sup>20</sup>)、受動熱制御材(PTCS<sup>21</sup>)及びマスト伸展機構(EMA<sup>22</sup>)を利用者の利便性のために提供する共通実験バスである。これによって電力や通信リソースの利便性はある程度確保出来たが、天体や地球を観測する視野の確保や、広い空間利用に関する課題解決には至らなかった。

<sup>15</sup> MLI : Multi Layered Insulation

<sup>16</sup> APBUS : Attached Payload BUS

<sup>17</sup> MST : Main Structure

<sup>18</sup> PDAP : Power Distributor for Attached payload

<sup>19</sup> APRT : Attached payload Remote Terminal

<sup>20</sup> HCE : Heater Control Equipment

<sup>21</sup> PTCS : Passive Thermal Control System

<sup>22</sup> EMA : Extension Mast Assembly

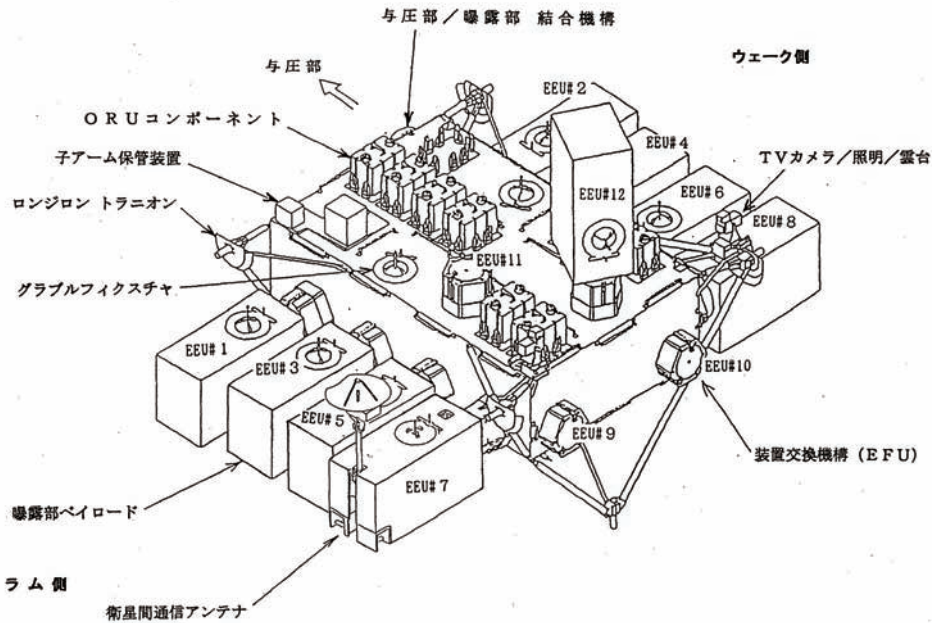


図12-8 JEM 曝露部のミッション装置搭載例

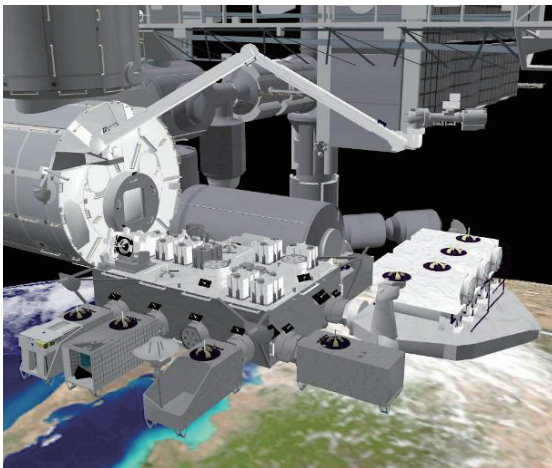


図12-9 JEM 曝露部利用イメージ(CG)

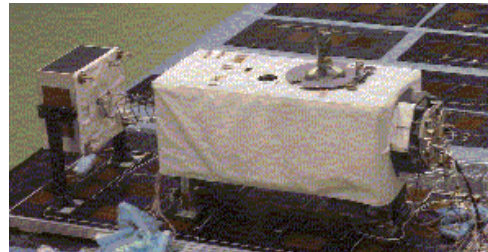


図12-10 APBUS(SEDA-AP)

12.5 JEM曝露部初期利用ミッションの開発と中間評価(2002年～)

初期利用ミッションの開発着手から約5年を経過した2002年10月の時点でも、JEM建設予定時期の遅延は相変わらず繰り返されていた。そして度重なる遅延とともにISSやJEMとのインタフェースに関する多くの技術課題も顕在化し、いずれのミッションも開発は難航していた。そこで、NASDA 理事長の諮問委員会である宇宙環境利用研究委員会が実施主体となり、2002年10月から2003年3月までの約半年間をかけ、今後の初期利用ミッションの開発・利用の方向を定めるための「JEM曝露部初期利用ミッション中間評価」を実施することとなった。中間評価のクライテリアを表12-6に示す。この中間評価は、研究委員会のもとにMAXI及びSMILESについて評価を行う観測ミッション評価専門委員会とSEDA-AP及びLCDEについて評価を行う技術開発ミッション評価専門委員会に分かれて実施された。中間評価時点での各ミッションの開発状況と課題を表12-7に

示す。

表12-6 JEM曝露部初期利用ミッション中間評価のクライテリア	
科学的又は技術的な意義	① 独創的、先端的であり、科学又は技術の発展に貢献するか。 ② 科学的に新たな知見が獲得されるか。 ③ 先端的・基盤的技術の獲得が可能か。 ④ 2001年又は2002年に宇宙実験を行う必要性が高いか。
その他 評価項目	1. JEM曝露部利用の意義(必要性、有効性) 2. 成果獲得の確実性(予備研究、技術開発裏づけの有無) 3. 研究及び開発遂行能力(開発能力、開発体制整備能力) 4. 波及効果(他の分野への波及、社会生活向上への貢献)

表12-7 中間評価時点における各ミッション装置の開発状況	
MAXI (図12-11)	<p>科学的意義: 従来に比べ感度の優れた全天X線監視観測により、全天にわたる宇宙の動的状態の解明に寄与</p> <p>開発状況: ほぼ計画通り。JEMの姿勢条件確定していない。</p> <p>目標性能/仕様:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2~30keVの位置感应型ガス比例計数管式検出器及び0.5~10keV領域の検出感度をもつ国産X線CCDによる全天監視観測。</li> <li>・感度は「かに星雲」の強度の12000以上。</li> <li>・X線源の位置を決める空間分解能は0.1度以上。</li> <li>・変動天体は90分以内にインターネットで世界に速報。</li> <li>・「かに星雲」の強度の1200以上の変動天体に対して0.5-30 keVのX線スペクトルの観測。</li> </ul> <p>問題点・課題:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>打上げ時期が遅延すると、米国、ESAの同様ミッションとの競合が発生。特に2009年以降はMAXI観測意義が大幅に損なわれる可能性あり。</u></li> <li>・ <u>打上げ時期の遅延により研究開発体制の維持が困難となる。</u></li> <li>・ <u>打上げ遅延は理研チームに認可されているMAXI高度化のための予算の継続が困難になる</u></li> </ul>
SMILES (図12-12)	<p>科学的意義: 中層大気微量気体の3次元グローバル観測によりオゾン層破壊及び地球温暖化のプロセス解明に寄与。</p> <p>開発状況: 若干遅延している。開発経費超過の恐れあり。JEMの姿勢条件が確定しない。</p> <p>目標性能/仕様:</p> <p>オゾン、ClO、HCl、BrOなど微量気体の高度分布測定。                      測定精度: 3%(オゾン)、10%(ClO、HCl等)                      高度分解能: 3km程度</p> <p>問題点・課題:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>打ち上げ時期の大幅遅延、外国衛星の活躍により、オゾン層破壊研究へのSMILESのインパクトが相対的に低下。</u></li> <li>・ <u>技術実証についても、先進性のインパクトが低下。</u></li> <li>・ <u>開発予想コストの当初計画からの超過。</u></li> <li>・ <u>実用地球観測衛星への発展の見通しの停滞。</u></li> </ul>
LCDE	<p>技術的意義: 有人プラットフォームにおけるGbpsクラスの小型/軽量光通信装置を、地上光ファイバ通信デバイス技術を応用し低コストで実現</p> <p>開発状況: 遅れている。開発費超過の恐れあり。JEMの姿勢、擾乱環境が確定していない。</p> <p>目標性能/仕様:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2.5Gbpsの光通信をISS~地上間で実証</li> <li>・ 光通信装置用デバイスの耐宇宙環境性評価</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 高精細画像伝送のデモンストレーション</li> <li>▪ 距離2km 以内の大きさ 1cm 以上のデブリ検出</li> </ul>
	<u>問題点・課題:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ JEM曝露部上の振動擾乱対策</li> <li>▪ 開発コストの超過</li> </ul>
SEDA-AP (図12-10)	<u>技術的意義:</u> 宇宙環境計測、宇宙天気予報、APBUS技術実証 <u>開発状況:</u> 問題なし <u>目標性能/仕様:</u> NEM-BB、APBUS以外は過去に宇宙機搭載実績あり <u>問題点・課題:</u> 打上遅延はALOSやETS-8との同時データ評価が不可能となる。

初期利用ミッションの中間評価は、各ミッションの開発コストや技術的課題、ISS 計画の遅れ等様々な要素を勘案して行う必要があったことから、非常に難航した。そしてこの中間評価も最終段階に差し掛った 2003 年 2 月、スペースシャトルコロムビア号の事故が発生し、JEM建設スケジュールの遅れに対するJEM利用関係者の不安はピークに達した。以下に抜粋するJEM曝露部利用の意義と有効性に関する評価結果からその様子を垣間見ることができる。

『<JEM 曝露部初期利用ミッション中間評価 :JEM 曝露部の意義と有効性に関する評価>

我が国のISS利用の特徴としてJEMに備えられた曝露部は、もしその利用を適切に行うならば、多くの先進的研究や開発が可能であり、当初目的が設定したように、わが国が科学と技術の発展において大きな貢献をなし得るチャンスを提供するものである。曝露部における有人機能の活用についても、ロボットアームを活用した機器設定・交換や、船外活動による修理・回収等の自明なものに加えて、様々な経験の蓄積の中から、軌道上の人間活動の新たな発展が生まれてゆくと期待される。

曝露部を利用して種々の科学観測や技術開発のミッションを進めるといふ当初の方針に関しては、科学観測の初期ミッションに関する現状を評価した結果、大幅な遅れにより影響を受けつつあるものの、これ以上の遅延などがないならば、国際的にも優れた成果を問うことが出来る状況にあると期待される。しかしながら、度重なる全体計画の遅延やISS経費の大幅な削減による影響は、科学的・技術的先進性を保つため長期的・計画的推進が不可欠である科学観測ミッションには、極めて深刻な影響を及ぼしていることを指摘しなければならない。

今後、そうした視点に基づいてJEM計画を有効に進めることが出来なければ、我が国のISS科学観測や技術開発ミッションは、将来にもわたって重大な損失をこうむることは、避けられないであろう。

なお、現在我々が直面している困難は、日本の宇宙開発が欧米並みの水準に達し、新しい宇宙利用の時代を切り開くためには避けられないプロセスであり、必ず克服されねばならない課題である。もし曝露部初期利用が有効に遂行されるならば、その経験は、今後のISSの定常フェーズを通じて、多様に拡大する宇宙活動の重要な基礎となるであろう。』

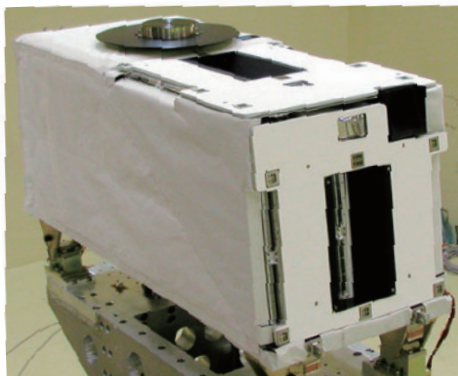


図12-11 MAXI

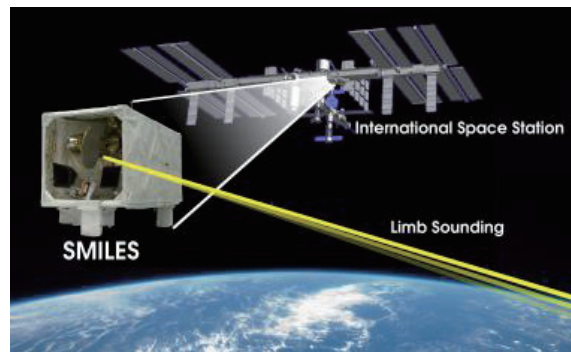


図12-12 SMILES

## 12. 6 ISS 利用重点化の議論で示されたJEM曝露部利用の方向性(2003 年)

### 12. 6. 1 宇宙開発委員会宇宙環境利用特別部会による ISS 利用重点化の議論

ISS 建設計画の度重なる遅延による宇宙開発予算の超過が懸念される中、宇宙開発委員会は、米国 NASA が ISS 利用研究の優先度付けによる利用計画の見直し(REMAP<sup>23</sup>)を開始したことを受け、2002 年 6 月 26 日の「我が国の宇宙開発利用の目標と方向性」において ISS 利用重点化による選択と集中を図るための検討を行うこととした。これを受けて、NASDA は以下の方針決定と取り組みに着手した。

- JEM 打上げスケジュールの延期(約 2 年)の決定
- ISS 利用/運用予算の削減(年間600億→400億目標)を前提とした定常利用/運用資金計画の見直し検討
- 宇宙開発委員会利用部会の下での「宇宙環境利用検討委員会」を設置し、新宇宙機関移行(2003 年 10 月、NASDA,ISAS,NAL が統合して JAXA となった)後の体制下における利用分野毎の利用重点化方針についての検討を開始

利用重点化の議論の中で、12. 5項で示した中間評価の結果も考慮し、表12-5の4ミッション候補テーマの内 MAXI、SMILES、SEDA-AP の3ミッション候補の打上げを正式に決定した。

## 12. 6. 2 JEM曝露部利用重点化検討(2003 年)

### 12. 6. 2. 1 JEM 曝露部利用方向性の議論

検討委員会では、「科学観測ワーキンググループ」と「先端技術ワーキンググループ」に分かれて JEM 曝露部初期利用ミッションの選定に加えて、それぞれ科学観測分野、先端科学技術分野における将来の曝露部利用の方向性についての詳細な議論を行った。特に、JEM 曝露部の利用に関しては、ISS の他の参加国には無い、以下に示すような特徴と利点をどのように引き出して有効に活用すればよいか、活発な議論が行われた。

- JEM 曝露部は、我が国が国際宇宙基地建設計画への参加を表明した当時、欧米には無い以

<sup>23</sup> REMAP : :Research Maximization and Prioritization Task Force

下の特徴を有した我が国独自の軌道上実験設備であった。

- ・ 天体や地球への広い視野と宇宙曝露環境利用を目的とした本格的設備
  - ・ リソース(電力、通信、排熱等)、ロボティクス、エアロック、カメラ、船外活動等の充実した実験支援機能
- その後欧米も、曝露環境における科学ミッションの重要性を認め、トラス上などに曝露実験設備を設置する計画であるが、我が国の JEM 曝露部に較べリソースの供給や利便性等で大きく劣る。
- 曝露部の利用は我が国の宇宙利用に対し、以下のような貢献が期待される。
- ・ 地球、宇宙空間への視野や宇宙曝露環境を利用した科学観測への貢献
  - ・ 宇宙技術開発に向けた軌道上テストベッドとしての貢献
  - ・ 更なる宇宙進出への拠点としての貢献

#### 12. 6. 2. 2 科学観測分野における重点化

科学観測ワーキンググループとしては、ISS の51.6° という高緯度周回軌道を利用したMAXI やSMILESに代表される、ISS の姿勢変動等による影響を大きく受けない全天やグローバル監視/観測ミッションが適し、宇宙科学観測ではX線・ $\gamma$ 線の全天モニタ観測、高エネルギー宇宙線観測等、高エネルギー宇宙物理学における観測プラットフォームとしての利用が期待されるという結論を導いた。地球科学観測分野ではJEM曝露部の有する支援機能と軌道上環境を有効に活用し、新規の観測センサー並びに観測システムの軌道上テストベッドとしての利用が有効である、という結論が導き出された。すなわち観測運用よりも、将来的には無人機に搭載されて運用されるセンサー等の開発や軌道上実証としての利用が有利であると考えられた。

#### 12. 6. 2. 3 先端技術開発分野における重点化

以下は先端技術WG<sup>24</sup>報告書からの抜粋である。

##### 『(1)JEM曝露部の有効な利用形態

先端技術WGでは、まずJEM曝露部の技術的特性と公募地上研究採択テーマの調査結果に基づく利用要求を考慮に入れて、有効な利用形態の検討を行った。

従来の利用形態(JEM曝露部の有する1ポートに1実験テーマ)では一つのテーマを実施するための資金規模が大きく、開発に要する期間が非常に長くかかり、多くの潜在的ユーザに利用機会を提供することは困難であろう。JEM曝露部利用の意義を確固たるものとするためには、以下のように利用の形態を考慮した支援機能/設備を整備することが重要である。

##### ① 要素技術開発での利用形態

要素技術開発として分類したものは部品、材料、デバイスレベルの評価/実証をテレメトリデータによって行うものや、宇宙曝し後の供試体の変化を外観目視や地上回収によって評価するものである。

これらは供試体の規模が小さく、供試体毎に曝露部利用ペイロード形態として準備することは非効率的である。要素技術評価/実証をJEM曝露部を利用して効率的に実施する上では、これ

<sup>24</sup> WG : Working Group

ら供試体の搭載場所とリソース供給/データ取得の為の機能及び観察用カメラを有し、供試体を軌道上で交換(EVA<sup>25</sup>又はロボティクス支援による)可能な「要素コンポーネント評価用プラットフォーム(仮称)」の整備が有効であると考えられる。

また、EVA活動を頻繁に行うことは安全性や活動時間等の制約が多く、非効率的であることから、軌道上における供試体の着脱が可能な精細作業用ロボットを利用インフラとして整備することが有効である。

#### ② サブシステム技術開発での利用形態

サブシステム技術開発に分類されたものは、搭載技術そのものがコンポーネントまたはサブシステムとして機能的にクローズしているものであり、要素技術に比較して実験規模が大きいことが想定される。また、一次データ処理や供試体内部の制御や試験環境保持機能(低温冷却等)はサブシステム供試体内に保有していることが想定される為、供試体を搭載する主構造部と、システムユニークな仕様のリソース(電力、通信、排熱)と研究者が習熟しているリソースインタフェースとの媒体となる機能(電力1次分配、通信インタフェース用GW<sup>26</sup>、マルチプレクサ、データレコーダ、2次流体/排熱系等)を支援機能として整備することにより、効率的な開発/軌道上試験が可能となると思われる。

また、サブシステムの軌道上試験における不具合処置(交換)やコンフィギュレーション変更を可能にする為の、精細作業用ロボットアームの整備が有効である。

また、機構系サブシステム(伸展/展開を伴うもの)の軌道上評価/実証においては、その状況を目視で確認できる高精細カメラモニタリング機能や、伸展部や遠隔部のダイナミックな特性(加速度等)を取得する為のテレモニタリング機能等の支援機能整備が有効であると思われる。

#### ③ システム技術開発での利用形態

システム技術開発においては、軌道上で動作するための機能性能を全て供試体が有しており、供試体の規模も大きいことが想定される。支援機能としては、打上げ、曝露部結合、RMSハンドリング用インタフェース機器(既に整備済み)が有効と思われる。

#### ④ 観測データ利用での利用形態

観測データ利用を目的とする研究においては、観測場所に於ける環境条件(真空度、放射線、プラズマ、高エネルギー流子束等の軌道上自然環境)及び観測位置における軌道/姿勢等の高精度な情報、振動擾乱等の影響の把握や緩和、更に周辺物との干渉(視野、電磁干渉、外部汚染等)回避が要求されることが想定され、これらの情報を取得/提供する為の支援機能(地上予測&軌道上)の整備が必要と考えられる。尚、宇宙環境(放射線、プラズマ、原子状酸素、中性子)については、既に取得計画が進んでおり(初期利用ミッション:SEDA-AP)、観測位置における姿勢や微小振動擾乱、真空度、外部コンタミの高精度情報の取得/提供が必要である。

### (2) 先端技術開発の効率的・計画的開発への貢献

JEM曝露部利用は、宇宙環境に曝露された状態で観測や実験を行うことから、人工衛星利用との相違や利点が求められる。WGでは、人工衛星利用に比較したJEM曝露部利用の特徴とそれ

<sup>25</sup> EVA : Extra Vehicular Activity

<sup>26</sup> GW : Gate Way

を活かした技術貢献策について方向性を示した。以下は先端技術WGによる報告書からの抜粋である。

① JEM曝露部の軌道上リソース供給機能による貢献

- ・ JEM曝露部は電力、通信、排熱等のリソースを供給する機能を持っており、観測/実験装置の軌道上への打上げの際の人工衛星バスシステム相当(推進系、太陽電池パドル等)が不要となり、打上げ総重量や総開発経費のミッション機器に占める割合を増加させることができる。

② 軌道上支援機能(エアロック、ロボットアーム、有人支援)による貢献

- ・ JEM曝露部が有するエアロック(船内外の機器の搬出入用)、ロボットアーム(軌道上での実験装置や、構成機器等の移送用)を有効に活用することにより、必要最小限の単位での機器の交換や修理等が可能となる。
- ・ これらの軌道上支援機能により、従来の人工衛星利用による軌道上技術実証では実現し得なかった軌道上での目視観察、交換/修理等が可能となる。

③ 軌道上交換機能による打上げ/回収形態多様化への貢献

- ・ JEM曝露部の軌道上環境を用いた技術実証/開発プロセスにおいて、軌道上交換機能を用いることにより、必要最小限の単位での打上げ/回収が可能となり、技術開発/実証の効率化に貢献することが期待される。
- ・ 従来の人工衛星等宇宙機の開発においては、ロケットによって打上げられる際の振動や音響といった厳しい機械環境に耐えることが前提となり、軌道上装置を設計する際の制約の大部分はこの機械環境条件による。与圧環境での打上げ/回収とエアロックによる船内外搬出入が可能であるJEM曝露部利用においては、与圧環境でのみ使用できる発泡剤やジェル等を打上げ/回収時の緩衝材/振動吸収材として利用することにより、軌道上交換機器や試料の機械環境条件を大幅に緩和することが可能となる。これによって、JEM曝露部の利用者は軌道上での利用や実験に主眼を置いた装置設計/開発に専念できる。これは装置開発経費の大幅な削減を可能とし、利用の効率化と利用領域の拡大に大いに貢献する。』

これらの検討結果から、先端技術WGでは表12-9のような優先順位付けが行われた。



表12-9 先端技術WGの結果によりJEM曝露部利用優先順位

優先順位	領域名称	領域の概要	目標	展望 (将来の応用化、発展性等)	選定理由	領域の有望課題	備考
1	曝露部利用機能検証及び利用利便性向上のための先端的基盤技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型軽量リソース(電力、通信、控熱等)中継装置及び軽量化搭載構造及び軌道上試料/装置交換技術、テlemetryモニタリング技術</li> <li>JEM曝露部利用実験装置の効率的計画的な打上げ手段の研究/開発</li> <li>精細作業用小型ロボットアームの研究/開発</li> </ul>	次期曝露部利用テーマ募集までには、概念検討/基本設計を完了し、フライト公募。曝露部組立て後2年~3年以内に整備利用開始が目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型軽量高性能宇宙機バス技術への応用が可能</li> <li>様々な形態の曝露部利用実験に対応したバリエーションを確保でき、先端技術のみならず、観測、一般、応用利用分野の積極的利用に貢献</li> <li>将来の宇宙インフラや、有人宇宙探査に向けた広範な先端技術への応用が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曝露部利用利便性を大幅に向上させる</li> <li>テーマ実験装置の開発負担軽減に貢献</li> <li>一般利用を含む広範なユースへの利用様会の提供が可能となる</li> <li>宇宙機、宇宙インフラ等に必要先端技術の発展に貢献</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>要素/コンポーネント評価用実験プラットフォーム</li> <li>打上げ/回収手段多様化技術(専ら環境、曝露環境それぞれの特徴を利用した打上げ/回収技術)</li> <li>小型高精細ロボットアーム</li> </ul>	


優先順位	領域名称	領域の概要	目標	展望 (将来の応用化、発展性等)	選定理由	領域の有望課題	備考
2	HTVの発展的利用	ISS補給後のHTV機体を用いた、微小重力実験や、JEM曝露部との協調運用実験	中期利用	JEM曝露部利用実験との協調利用により、技術実証範囲の拡大に寄与	JEM曝露部利用実験の可能性を広げると共に、従来の宇宙機運用技術の基礎データを得る	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ通信(光通信)や捕捉追跡/ライダのターゲット、協調飛行試験</li> </ul>	利用基盤技術との連携
3	軌道上熱管理技術	宇宙用小型高性能ラジエータ技術の開発	曝露部利用ヘイロードバス技術としての利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>曝露部利用ヘイロードバス技術として応用可能</li> <li>将来の宇宙機バス技術として応用可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曝露部利用利便性向上に貢献</li> <li>将来の宇宙機技術の発展に貢献</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型高性能ラジエータ</li> </ul>	利用基盤技術との連携

優先順位	領域名称	領域の概要	目標	展望 (将来の応用化、発展性等)	選定理由	領域の有望課題	備考
4	軌道上高精細画像取得技術	曝露空間におけるHD画像取得技術	軌道上要素コンポーネント評価実験プラットフォームへの搭載	取得された画像の利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>軌道上評価、監視能力の向上</li> <li>一般利用への応用</li> </ul>	曝露環境用HDカメラの開発	利用基盤技術との連携 取得画像データ利用に関する一般利用ニーズとの連携が望まれる。
5	軌道上大型構造物建設技術	軌道上展開/収納、分解/組み立て、溶接技術	中期利用	宇宙大型構造物建設技術への応用	将来の宇宙利用領域拡大のための技術確立に貢献する	軌道上展開/収納、分解/組み立て要素/サブシステム技術実証	要素技術実証が必要

優先順位	領域名称	領域の概要	目標	展望 (将来の応用化、発展性等)	選定理由	領域の有望課題	備考
6	軌道上補給技術	軌道上に於ける、電力、推進薬、流体等の補給技術	中期利用	宇宙機・探査機等の発着拠点としての利用	宇宙利用領域拡大に向けた基礎技術	・軌道上流体補給技術	要素技術実証が必要
7	自立航行型小型ロボット技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>自立航行型小型ロボットによる、ISS/JEMの監視、保全、データ収集技術</li> <li>ISS近接構造物や設置支援ロボット</li> </ul>	後期利用	従来の宇宙大型構造物建設技術へ貢献 従来の宇宙探査技術への応用	・将来の宇宙利用領域拡大に向けて必ず必要となる技術	・ISS/JEM監視、データ中継用飛行ロボット	要素技術実証が必要

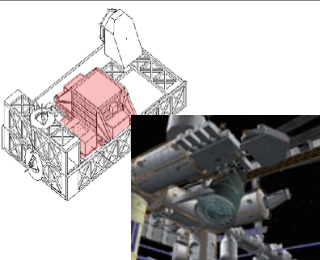
12. 7 JEM 曝露部2期利用候補の募集と選定 (2007年～)

2007年には、初期利用ミッションの経験とJEM曝露部利用重点化の議論を踏まえつつ、第2期利用の募集を開始した。第2期利用の募集は、利用重点化の議論に基づく下図利用コンセプトから、ポート占有ミッション及びポート共有ミッションについて行っている。



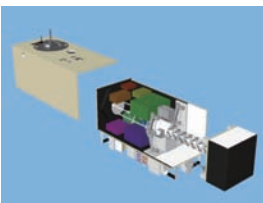
**ポート占有ミッション(標準形態)**

- ・ミッション機器を標準ペイロード形態に搭載して曝露部に取付。
- ・HTV曝露ハレットに搭載して打上げ、廃棄。
- ・ミッション期間: 最大数年
- ・合計500kg程度



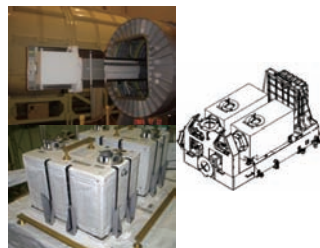
**ポート占有ミッション(大型形態)**

- ・標準ペイロード形態を超えた機器を曝露部に取付。
- ・HTV非与圧キャリアを占有して、打上げ、廃棄
- ・ミッション期間: 最大数年
- ・最大2.5t程度(HTV搭載機構を含む)



**ポート共有ミッション(混載)**

- ・複数のミッション機器を標準ペイロードに混載して曝露部に取付。
- ・HTV曝露ハレットに搭載して打上げ、廃棄。
- ・ミッション期間: 最大数年
- ・数10kg×5個程度、計200kg程度(ミッション機器のみ)



**その他小型ミッション**

- ・下記の多様な曝露環境を利用  
?エアロック固定  
?子アーム固定  
?曝露部上の仮置き場  
?HTVハレット等への取付
- ・HTVで打上げ、廃棄、若しくはソユーズ等で回収
- ・ミッション期間: 最大数ヶ月
- ・数10kg
- ・電力、通信等のリソースが限定的

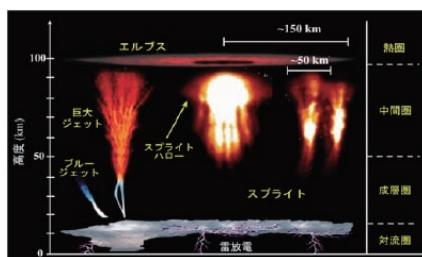
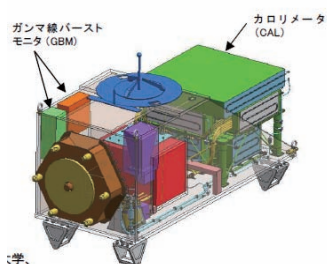
図12-13 JEM 利用重点化を反映した JEM 曝露部募集形態

この結果、表12-9に示す応募があり平成22年度時点で図12-14の5ミッション((1)CALET、(2)SPRITE、(4)IMAP、(5)REXJ、(6)SIMPLE、および「たんぽぽ」(有機物・微生物の宇宙曝露と宇宙塵・微生物の捕集))の開発が進められている。また、(6)の EUSO については概念検討が進められている。

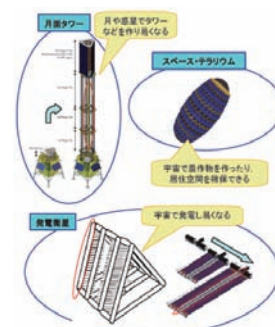
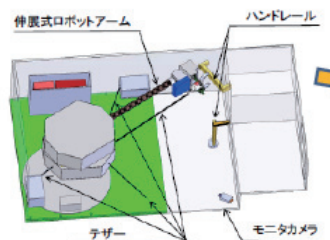
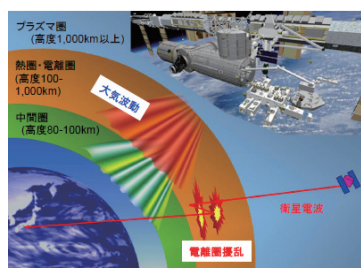
表12-9 曝露部2期利用応募テーマ数

	科学	技術開発	合計
ポート占有	6(2)	5(1)	11(3)
ポート共有	10(3)	12(2)	22(5)
合計	16(5)	17(3)	33(8)

[注釈] ( )内の数値はJAXAの提案ミッション数。



- (1) CALET<sup>27</sup> (宇宙線観測)      (2) SPRITE<sup>28</sup> (放電現象観測)      (3) EUSO<sup>29</sup> (エネルギー粒子観測)



- (4) IMAP<sup>30</sup> (高層大気撮像)      (5) REXJ<sup>31</sup> (ロボット)      (6) SIMPLE<sup>32</sup> (膨張構造)

図12-14 JEM 曝露部2期利用ミッション選定候補

<sup>27</sup> CALET : Calorimetric Electron Telescope

<sup>28</sup> SPRITE : sprite

<sup>29</sup> EUSO : Extreme Universe Space Observatory

<sup>30</sup> IMAP : Ionosphere, Mesosphere, upper Atmosphere and Plasmasphere Mapping Mission

<sup>31</sup> REXJ : AstRobot Experiment on JEM-KIBO

<sup>32</sup> SIMPLE : Space Inflatable Membrane Structures Pioneering Long-Term Experiment

## 12.8 おわりに

日本が国際宇宙ステーション計画参加の検討を開始した1982年から、曝露部初期利用ミッションの軌道上運用を開始した2010年現在までの約30年の歴史を振り返った。この内、筆者が宇宙ステーション計画に携わったのは1990年以降であり、それ以前の状況は当時携わっておられた諸先輩（主として第2章の執筆者である齋藤勝利氏や第7章の執筆者である清水順一郎氏）のご指導によるところが大きい。

本章全体を通して感じていただけるように、JEM曝露部利用に向けた検討の歴史は、JEM曝露部を利用した科学観測や理工学実験テーマの議論以前の「JEM曝露部をどのように利用するか」という議論と試行錯誤の歴史といっても過言ではない。

12.2項で詳述したように、宇宙ステーション計画参加に向けた日本のタスクチームによるミッション解析の段階では、宇宙ステーションは、擾乱は大きい宇宙飛行士による常時アクセスが可能な有人基地と、宇宙飛行士による頻繁なアクセスは不要だが汚染や擾乱を嫌うミッションを中心として実施する無人サテライトプラットフォームで構成されることを想定していた。そして広い空間、広い視野といった特徴を活かした自由な発想に基づく多くのテーマが提案されていた。しかしその2年後、日本が宇宙ステーション計画参加を表明した時点での宇宙ステーション構想は有人基地一基であり、この時点で既に天文観測、地球観測における擾乱や排ガスの影響が懸念事項となっていた。それから約15年の歳月を経て、JEM曝露部は最大10個のミッションペイロードが電力や通信、能動排熱といった運用リソースの提供を受けながら同時運用を行えるシステムとして具体化された。更にミッションペイロードは軌道上での自在な交換や入れ替えを前提とした共通化が図られた。

このように多様な機能を有する曝露部が実現したにも関わらず、曝露部を利用する側にとっては、形状や物理特性に対する厳しい制限や人工衛星でも経験しなかった新規かつ複雑なインタフェースという新たな課題が生まれた。これらは初期利用ミッション装置開発コストの増加やミッションの縮小といった課題として顕在化した。SMILESは規定の包絡内に収めるために大気観測用アンテナのサイズを10cm縮小し、観測可能な分子種を制限せざるを得なかった。初期利用ミッションとして実現に至らなかった大容量光通信実験装置(LCDE<sup>33</sup>)は、同じ曝露部上に搭載されるシステム装置である衛星間通信アンテナによる擾乱対策の目途が得られなかったことも開発断念の一因であった。曝露部ミッション装置の共通コンポーネントとして開発したAPBUSは当初長伸展フレキシブルマストの実証を計画していたが、最大伸展長1mの高剛性マストに変更せざるを得なかった。

しかし、初期利用ミッションで顕在化したこれら曝露部利用上の課題は、曝露部の軌道上テストベッドとしての運用方法を工夫することで十分に解決が可能である。今後同じ初期利用ミッション装置を開発する機会があれば、その際にはミッションの縮小や仕様の変更を回避することも可能となるであろう。現在曝露部利用の前提となっている様々な制約の大部分は必ずしも“曝露部というハードウェア”の能力や性能に起因しているものではない。むしろJEM曝露部そのものは様々な形態での利用を可能とする十分なキャパシティを有している。今後利用経験を積み重ねることによって、JEM曝露部の性能を熟知した臨機応変な運用が可能となれば、曝露部利用の可能性は無限に広がり、結果的にミッション装置開発コストの低減にも繋がる。既に軌道上で運用を行っている初期利用ミッション装置が故障や不具合に遭遇した際、曝露部利用に期待していた軌道上での原因究明や修

<sup>33</sup> LCDE : Laser Communication Demonstration Experiment

理が行えるような技術的チャレンジへの取り組みが重要である。“守り”ではなく“攻め”の利用を目指すことによって本来目指していた JEM 曝露部利用形態を具現化することができる。

現在国際間では ISS の運用期間を現行の 2015 年から 2020 年以降まで延長するための協議が行われている。この運用期間延長を重荷とせず日本の観測科学や理工学の発展に期待されるものとするためには、自由な発想による積極的ミッション提案と、それを受け入れるシステム運用技術の挑戦との両面からの取り組みが必要である。

## 参考文献

- [12-1] 齋藤勝利、宇宙ステーションの開発と利用、(財)国際衛星通信協会 (1990)
- [12-2] 齊藤成文他、宇宙基地と宇宙利用、日経エアロスペース(別冊) (1984)
- [12-3] 狼嘉彰他、宇宙ステーション入門、東京大学出版会 (2002)
- [12-4] 日本学術会議天文学研究連絡委員会、天文学・宇宙研究の動向と我が国の対応、天文月報 1985年3月 (1985)
- [12-5] NASDA、JEM 曝露部初期利用募集案内、NASDA (1996)
- [12-6] NASDA、我が国の宇宙開発の基本方針における有人宇宙開発の考え方、NASDA (2003)
- [12-7] 宇宙環境利用検討委員会、「ISS/JEM 利用計画見直し」のための検討プロセス及びその結果、NASDA (2003)
- [12-8] NASDA、JEM 曝露部初期利用ミッションの選定経緯と NASDA による開発支援の状況について、NASDA (2002)
- [12-9] 宇宙環境利用研究委員会、JEM 曝露部初期利用ミッションの中間評価結果について、NASDA (2003)
- [12-10] 宇宙開発委員会、宇宙開発政策大綱 1996年1月24日改訂、宇宙開発委員会 (1996)
- [12-11] 宇宙開発委員会宇宙環境利用部会、宇宙環境利用の新たな展開に向けて—宇宙環境利用の当面の推進方策—1996年7月、宇宙開発委員会 (1996)
- [12-12] 宇宙開発委員会宇宙基地特別部会、宇宙基地特別部会報告「宇宙ステーションの開発利用の本格化に向けて」昭和62年7月、宇宙開発委員会 (1987)
- [12-13] JSUP、第8回宇宙ステーション利用計画(ミッション要求)ワークショップ予稿集昭和63年9月22日、JSUP(宇宙環境利用推進センター)(1988)
- [12-14] 宇宙開発委員会宇宙基地計画特別部会、米国宇宙基地計画への参加に関する検討(中間報告)、宇宙開発委員会宇宙基地計画特別部会 (1983)
- [12-15] Space Station Task Team、MISSION MODEL STUDY FOR SPACE STATION、宇宙開発委員会宇宙基地計画特別部会ワーキンググループ (1983)
- [12-16] 宇宙環境利用検討委員会、先端技術開発専門分科会報告書—きぼう船外実験プラットフォーム利用の意義と方向性について—、宇宙環境利用検討委員会先端技術開発専門分科会先端技術ワーキンググループ (2003)

## 第13章 宇宙環境利用の開拓

### —人文社会科学分野の取り組み—

## 目次

13.1	はじめに.....	13-3
13.2	人文社会科学分野の調査研究の取り組み .....	13-6
13.3	ISS・JEM(きぼう)の文化・人文社会科学利用 .....	13-13
13.4	宇宙環境利用における人文社会科学分野の今後の展望 .....	13-14
	参考文献 .....	13-15



### 13.1 はじめに

宇宙環境を人文社会的に利用するとは、一体、どのような活動であるのか。また、人類の活動領域を宇宙に拡大する取り組みの中で、人文社会科学分野への期待とは、一体、どのようなものなのか。この「二つの設問」についての現時点の認識([注釈]<sup>1</sup>)を最初に紹介しておきたい。それは、科学技術面における宇宙環境の利用活動と一対をなす、人類の活動領域を地球の外に拡大するために不可欠な活動であり、次の考え方に立脚したものである。

人類の活動領域を宇宙に拡大する取り組みは、人間が本質的に持っている「無限の好奇心」と「パオイニア精神」に駆動された活動である。この精神面の本質に支えられて、人類の宇宙進出の「精神的な基盤」が形成され、これを土台にして、宇宙環境を利用する諸々の活動が展開される。まず、宇宙進出の最初の段階では、「宇宙空間への展開の基礎的分野」における取り組み(自然科学系と人文社会科学系の取り組みの階層)がなされる。ここでは、人類にとって新しい環境である「宇宙環境」が如何なる「実体」を持つのか、この環境が、地球で育まれてきた生命全般、特に人間の心と体にどのような影響を与えるのか、そのような環境を人類の生存圏として活用する方策はあるのかなど、宇宙環境の特徴を様々な観点から把握するための取り組みが進められる。その発展として待ち受けるのが、「宇宙空間への展開の応用的分野」における取り組み(応用科学、工学、技術開発、社会学、国際政治学等の取り組みの階層)の段階である。この段階では、科学技術のさらなる発展に伴って、地球から月に至るシームレスな空間領域(地球周回低軌道(LEO)を含む)として定義される「地球圏」を、人類の活動圏や生活圏として活用するための活動が展開される。地球の外にまで人間のある規模の集団生活の場が拡大し、地球社会とのつながりを維持しつつ、様々な産業活動も展開される。いわば、人間が宇宙空間で社会生活の営みを開始する段階である。そして、そのような活動が目指す未来が、「宇宙の未来」(人類の福祉、宇宙の調和、さらに遠くへなど、未来社会を構築するための人類の様々な取り組みの階層)として定義される段階である。

人類の宇宙進出を支える研究と技術開発、それに伴う思考様式や価値観の発展段階、宇宙社会の構築に至るまでの段階を、このような「階層構造」の形式で表現したのが図 13-1 で、「宇宙に対する人類の取り組み」の全貌を鳥瞰するために、木下富雄氏([13-1]の研究代表者)がとりまとめた概念図である。この中に、宇宙における「人文社会科学分野」の位置付けと期待が盛り込まれており、「宇宙の未来」に至る各段階で、人文社会科学分野が担うべき「二つの役割」が明示されている。(木下氏の講演記録[13-2]も参照。)

その「第一」は、「宇宙空間への展開の基礎的分野」としての人文・社会科学が果たす役割である。「(基準系の喪失と相対化([注釈]<sup>2</sup>)による)価値観の変化」、「国際関係の再構築」、「新芸

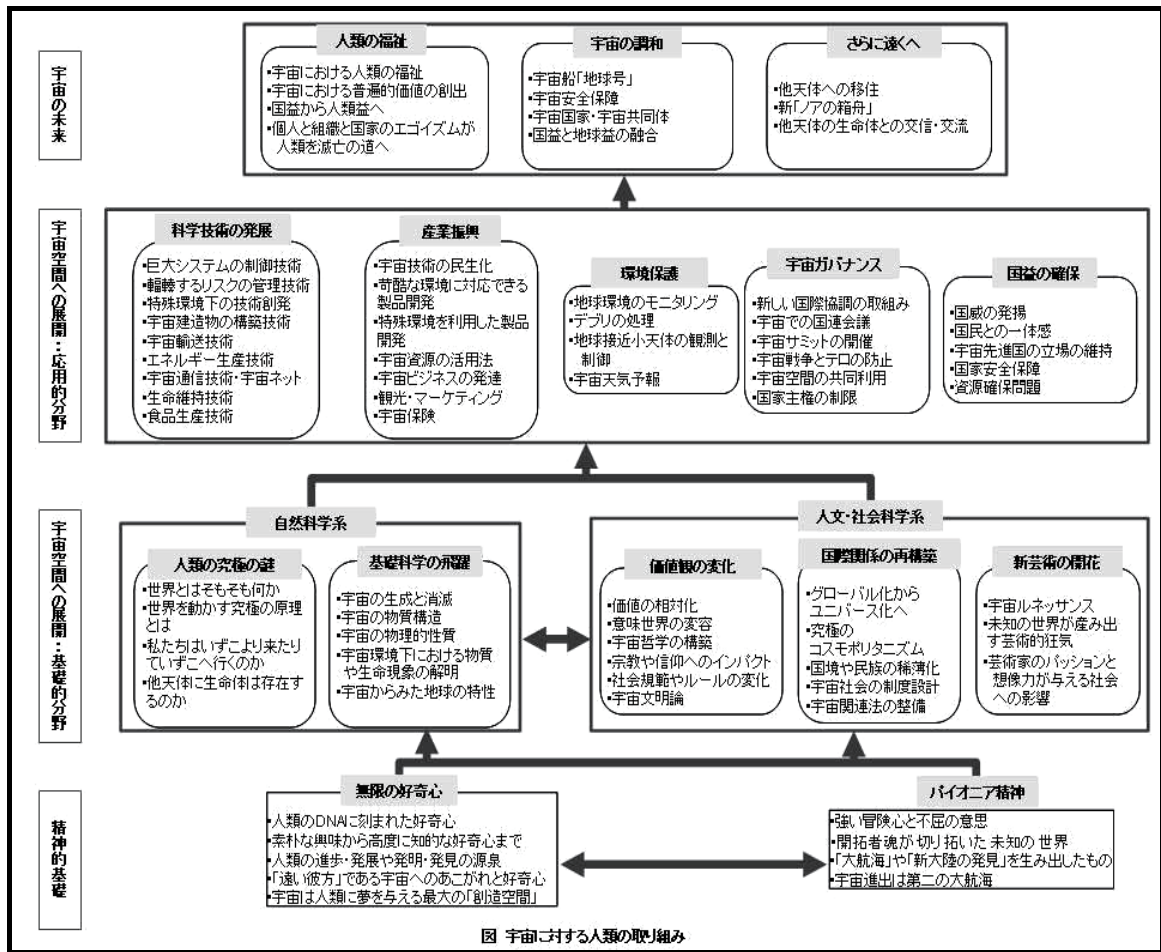
---

[注釈]<sup>1</sup> 人文社会科学分野への期待(現時点の認識): 宇宙への人類の取り組みの発展段階に応じて、この分野の位置付け並びに役割と期待が拡大する可能性がある。このために、当該分野の利用に関する定義で、「現時点の理解」という表現を用いている。

[注釈]<sup>2</sup> 基準系の喪失と相対化: 人間は「意味的存在」である。その「意味」は一義的には決まらずに、「基準系」と「その中での動き(運動)」によって相対的に決まるものである。宇宙空間(LEOの微小重力の世界)では、基準系の根幹である重力が微小になり、視覚系も地球に比べて遥かに弱くなる。す

術の開花」という三つの観点から、「新しい社会:宇宙」が持つ非物質面の特徴を浮き彫りにし、「宇宙環境によってもたらされる人間の心の変容」を様々な視点から探究する役割である。宇宙は、物質空間として巨大なだけでなく、人類に夢を与える「創造空間」としても巨大である。人類の宇宙進出の初期の段階で、この「創造空間」の本質と潜在力を、この三つの観点から探究することによって、「宇宙への人類の活動領域の拡大」の人類史的な意義と、「人類の未来開拓」における宇宙の価値を明らかにできるのではないかと期待である。

図 13-1 宇宙に対する人類の取り組み  
([13-1]の図 7.8-1 から転載)



「第二」は、「宇宙空間への展開の応用的分野」としての「人文・社会科学分野」が果たす役割

なわち、自己定位のための基準系が二つとも失われることになる。基準系喪失に起因する様々な現象の例が、「等質視野」、「自由運動」、「空間識失調」、「錯視現象」などである。基準系の喪失に伴う困難性は、物理的世界に留まらず、精神的世界にも波及する。基準系が無いことは、世界が相対化することでもあるから、これが「意味世界」に与える影響は大きい。

宇宙空間という相対化された世界の影響は、視覚や重力の基準系が失われるという「身体的意味」に留まるものではない。それは、政治的イデオロギー、宗教的イデオロギーといった精神的な基準系にも変更をせまることになる。([13-2]の木下富雄氏の講演録(スライド)から転載。)

である。宇宙空間に実質的に進出する段階では、人間の社会生活の場が宇宙空間に構築される。このための準備段階、すなわち、宇宙空間における社会的な営みを準備する段階で、「新しい社会:宇宙」に適用されるべき、固有の宇宙社会規範(宇宙ガバナンス)を構築することが求められる。「新しい社会:宇宙」は、人類にとって未知の空間であり、地球社会で適用されている諸制度(法律、規則、及び体制)等を踏まえながらも、「新しい社会:宇宙」に固有な社会制度を新たに設計し創設する必要がある。人類の「調和と持続的な発展」を担うための、宇宙の社会制度や規則を新たに構築すること。そのためには、人文社会科学分野における諸々の実験的な取り組み、すなわち、「新しい社会:宇宙」の成立過程を人為的に操作して最適性を解析評価する等の「宇宙社会実験」が不可欠になる。この壮大な「宇宙社会実験」に、人文社会科学分野の専門家が主体的に参画し、これを主導することが求められる。このための多様な実験空間が、宇宙進出の各段階で提供される。さらに、そこで得られる諸々の成果は、地球社会の成立過程を実験的に検討するためにも活用できる。また、民族、宗教、文化、習慣の違いを乗り越えた、「対話とコンセンサスで形成される未来の地球社会」の成立条件に対しても、本質的な示唆を与えてくれるに違いない。「新しい社会:宇宙」では、「国益と人類益の調和」や「地球益の優先」に対応した、「調和と持続的な発展」の方向を見通せる規範が求められる。また、「宇宙での産業振興」に対しても、人類益と地球益に立脚した調和の規範を見出すことが期待される。国家レベルの価値観を宇宙レベルの価値観の中で相対化し、「人類益」並びに「地球益」という観念を確立して、これを人類の宇宙進出の明確な理念の一つに掲げることへの期待である。

以上が、宇宙における人文社会科学分野の役割と期待である。本章で紹介する「宇宙での人文社会科学の取り組み」の方向性は図 13-1 の流れに沿うもので、現時点は、「宇宙空間への展開の基礎的分野」における取り組みが進められている段階である。

この状況の中で、平成 20 年(2008)と 21 年(2009)は、日本の有人宇宙開発と有人宇宙活動にとって記念すべき年になった。宇宙ステーション(ISS)計画に正式に参加した昭和 62 年(1987)から 20 年以上の歳月を経て、ついに待望の日本実験棟 JEM(きぼう)の軌道上組立が完了し、ISS の構成要素として、地球周回軌道(LEO)を飛行する日本の「軌道上研究所」が姿を現した。そして現在、ISS 計画という国際協働事業の下で、日本の有人宇宙活動と、ISS・JEM(きぼう)を利用する日本の様々な分野の宇宙環境利用(宇宙実験)の活動が本格的に開始されている。

本章では、本節で述べた、図 13-1 の「人文社会科学分野の位置付け」についての認識を確立するまでの約 10 年間の調査研究([注釈]<sup>3</sup>)の活動を概観し、その活動の発展として、現在、パイ

---

[注釈]<sup>3</sup> 宇宙ステーション等の人文社会学的利用に関する調査研究 (7.2.4 節の「別紙 7.2.4-2」参照): 中長期的視点に立って ISS の人文社会科学分野における利用の可能性を広く検討し、当該分野での ISS 利用(宇宙環境利用)が目指すべき方向を明らかにすることを目標に、新規の利用分野開拓の一環として、平成 8 年(1996)から継続的に調査検討が実施された。その活動状況は次のものであった。

- ◆ ISS の人文社会学的利用法に係わる調査研究(国際高等研究所への委託研究として実施)の実施。(平成 8 年度から平成 12 年度)
- ◆ 宇宙における新しい社会制度構築に関する調査検討の実施。(国際高等研究所の自主研究、NASDA の参加)(平成 13 年度から平成 14 年度)

ロットプロジェクトとして進められている芸術分野の宇宙環境利用の取り組み(芸術実験)を紹介する。その上で、「宇宙と人間-未来を拓く人類の活動領域の拡大-」における人文社会科学の将来展望について考察することにした。

### 13.2 人文社会科学分野の調査研究の取り組み

人文社会科学分野(特に、芸術、文学、宗教、哲学、心理学、社会学、法学、国際政治)を対象に、宇宙環境利用(具体的には ISS・JEM(きぼう)利用)の潜在的可能性の調査検討が始まったのは、今から約15年前(平成7年(1995)頃)のことであった。その当時から現在に至るまで、この分野の体系的取り組みは世界的に見てもほとんど例がなく、日本独自の取り組みであったといえる。宇宙環境利用の中では最も若い分野であるが、有人宇宙の「理念」を明確にして、国民の支持を得つつ、国民参加型の有人宇宙開発を進めるために、最も重要な分野であった。

平成7年(1995)の当時、ソビエト連邦の崩壊で東西冷戦の時代が終わり、その後、国際政治の新しい秩序が形成されていく時代であった。その大変革の影響をまともに受けて、それまで西側先進諸国の団結の象徴とされてきた「宇宙ステーション計画」がロシア参加の「国際宇宙ステーション(ISS)計画」として再定義され、「国際平和と国際協力の象徴」として、ISS計画の理念と意義が強く意識された時代でもあった。その当時、ISSを軌道上研究所(the Orbital Institute)と呼び、この軌道上施設を活用して、生命科学、宇宙医学、微小重力科学(当時、物質科学のことを微小重力科学(microgravity sciences)と呼んだ)、基礎物理学を中心とした $\mu G(10^{-6}G)$ 利用の科学研究を効果的に推進して早期の成果創出を図るために、国際共同研究の推進や、参加各国がそれぞれ整備する実験装置を国際的に共同で利用する方策が議論され、ISS参加各国が共同で運営する宇宙環境利用研究の国際公募制度が創設された時期でもあった。(第7章7.2.2節及び7.2.3節参照)

この当時、宇宙環境利用への人文社会科学分野の取り組みに対する日本国内の状況は次のものであった。まず、平成5年(1993)12月の宇宙開発委員会(SAC)長期ビジョン懇談会(第2分科会)の審議で、「有人宇宙活動の人文・社会系学問等への広がり促進し、広範な分野で有人宇宙活動の成果の活用を図る」という考え方が提示され、平成7年(1995)頃から、人文社会科学分野における宇宙環境利用の潜在的可能性の検討が開始された。その後、平成8年(1996)7月のSACの宇宙環境利用部会報告([注釈]<sup>4</sup>)を踏まえて、宇宙開発事業団(NASDA)から国際

- ◆ 「微小重力環境における芸術表現の未来」(東京芸術大学との共同研究)[13-5]、及び「宇宙への芸術的アプローチ」(京都市立芸術大学との共同研究)[13-6]の実施。(平成12年度から平成15年度)その後これが芸術分野のJEM(きぼう)利用パイロットプロジェクト(芸術実験)へと発展。
- ◆ 「21世紀の宇宙開発・宇宙環境利用の問題-人文社会学からのアプローチ-」の実施。(国際高等研究所の研究プロジェクト。NASDA/JAXAは研究プロジェクトに参加)(平成15年度から平成21年度)研究プロジェクトのまとめとして、平成18年12月に国際高等研究所シンポジウム「宇宙問題への人文・社会科学からのアプローチ」を開催、平成21年3月には東京シンポジウム「宇宙と人間-未来を拓く人類の活動領域の拡大-」[13-2]を開催。

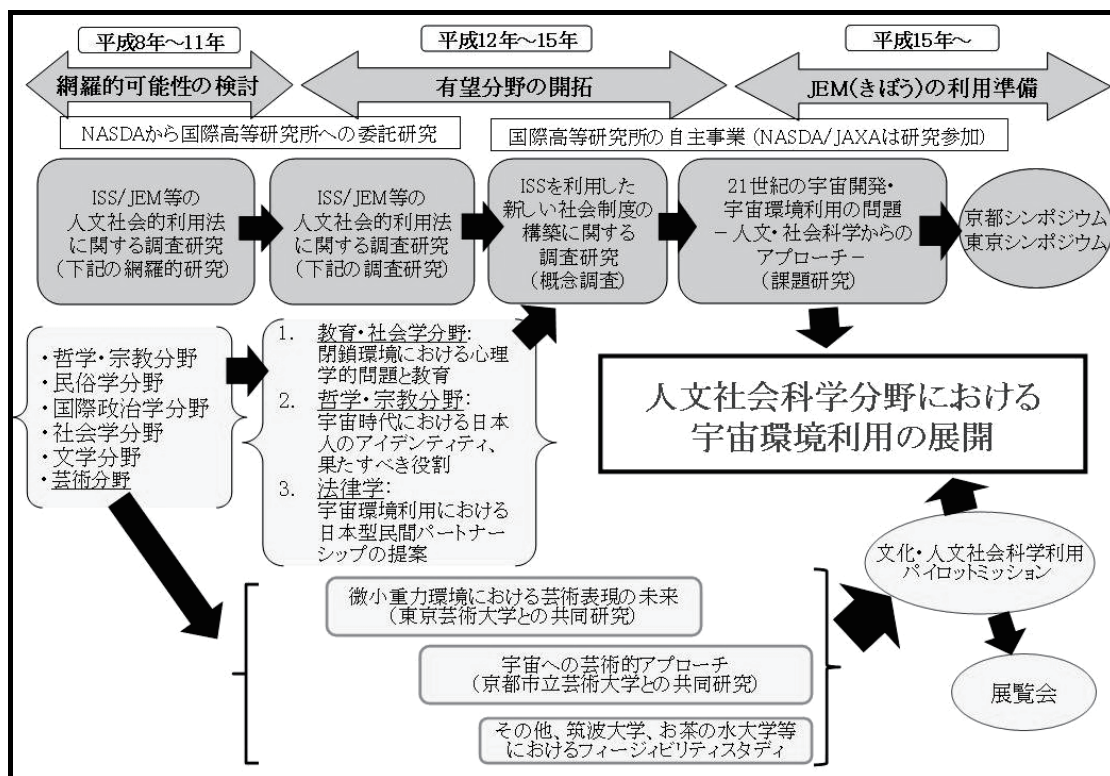
[注釈]<sup>4</sup> 宇宙環境利用部会報告(平成8年(1996)7月): 部会報告の「今後検討すべき課題」として、「宇宙環境利用を契機とした宇宙に関わる文化、人文・社会科学等の推進」として、『宇宙と人間との関係がより身近なものに感じられる文化、芸術、人文科学等に係る活動の実施を推進するとともに、こ

高等研究所への受託研究として、「JEM(きぼう)の人文社会的利用法に係わる調査研究」が開始された。[13-3] この調査研究を進めるに当たっての当時の考え方は、「ISSを単に科学研究や技術開発の場として利用するだけでなく、人類の未来開拓のために、様々な試みを実践する場として利用する」というものであった。人間の本質や社会の仕組みを探究する人文社会科学分野の専門家が、人類の宇宙進出の意義や宇宙環境利用の可能性を広く検討し、宇宙という「新しい世界」が持つ非物質面の特質や、人類の活動領域を宇宙に拡大する際の基本理念を明らかにしようとする、日本固有の取り組みであった。この考え方は、その後、NASDA 外部評価委員会(宇宙環境利用)報告書[13-4]に示された次の考えを先取りし、その具体化に取り組んだ先駆的な活動であったといえる。

『ISS 計画は人類の挑戦的営為における大いなる前進である。それは国際協力の象徴であり、最先端の知識のみならず人類の精神及び経験を発展させるものである。従って、ISS によって得られる諸々の成果は、総ての国や総ての人々により分かち合う必要がある。

宇宙環境利用とは、単なる ISS の運用や宇宙実験の実施に留まるものではなく、人類の活動領域を惑星地球の外に拡大するという意味を伴うものである。啓蒙活動、教育や広報を通じて、この意味が広く認識されるよう努力することが求められる。これを実施するに当っては、精神との関わりや世界規模の連携を考慮することが重要になる。ISS 計画を、科学的成果を求める場とするだけでなく、全人類への有形無形の貢献の場とすることが望まれる。』 ([13-4]から関連部分を転載。)

図 13-2 人文社会科学分野における宇宙環境利用に関する検討(調査検討)の流れ



これらの活動に関わる人材の育成に努めることが重要である』、との考え方が提示された。

未開拓のフロンティアの探求は人間の本能であり、これを追及する ISS 計画によって、新たな科学的知見がもたらされ、巨大科学や宇宙技術への人々の信頼感が醸成される。それに留まらず、調和した地球社会の建設の基礎となる精神面や社会面の経験が大いに育まれるに違いない。上に引用した考え方は、有人宇宙活動拠点の先駆けである ISS の持つ本質的な意義について述べたものと理解される。ISS 計画は、人類が調和した未来を形成するための国際協力の在り方について、大いなる指針を提示する。合意に基づく国際協調の基本姿勢の遵守、開発や運用における国際協働の考え方、国籍や文化的基盤の異なる多国籍の搭乗員が共同生活を行う際の基本ルールの在り方、科学研究や技術開発における国際協力の経験蓄積などが、人類の未来開拓に大いに役に立つ。そして、人類が有限な地球で共生するために必要な基本理念のプロトタイプを提供する。多国籍の搭乗員が、ISS という孤立した狭い閉鎖空間で長期の共同生活を行える条件を見出すこと、このことが現在の地球の様々な社会問題を解決するための示唆を与えるという考え方である。

平成 8 年(1996)から開始された人文社会科学分野の調査研究の活動全体を鳥瞰した、「人文社会科学分野における宇宙環境利用に関する検討(調査検討)の流れ」を図 13-2 に示すが、そのうちの主な活動について、以下に概要をまとめておく。

#### (1) 国際高等研究所の調査研究 (ISS/JEM 等の人文社会的利用法に係わる調査研究)

平成 8 年(1996)度から開始された国際高等研究所の調査研究(NASDA からの受託研究)では、宇宙環境の人文社会的利用法について次の四つの課題が選択され、それぞれ研究グループが構成されて選択課題に関連した宇宙環境利用(JEM 利用)の可能性についての検討(課題(テーマ)候補の探索)が行われた。その課題選択に当たっての考え方は、その後の人文社会科学分野における宇宙環境利用の取り組みの方向性を定める選択として重要でなので、その概要を以下に紹介しておく。[13-3] (課題4:「宇宙探査に関する問題/衛星画像による地球史」(歴史地理学)については、本章の考察対象からは外れた内容になるので解説を省略した。)

課題名称	課題探索の方向性(概要)
課題1 宇宙への芸術的 アプローチ	<p>自然科学が、危機的な状況にある地球環境の改善と人類の未来展望の構築に寄与することに疑いの余地はない。しかし近代、分断されがちだった科学技術と人文社会科学の新たな結合の方向を見出し、それによって、あらゆる生命への深い共感に支えられた地球人としての自覚形成を促すことは是非とも必要である。これを満たすものこそ本研究の主眼である。すなわち:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 芸術は太古から今日まで人間の意識以前の感情や感覚に結びついたものである。従って宇宙という新しい環境においても、芸術活動の可能性と意義が失われるものではない。</li> <li>◆ これまでの既成概念を宇宙空間の研究によって打破し、人間の本質を全く新しい角度から検証する。</li> <li>◆ この研究プロセスこそが、従来の民族や文化的枠組を越えた芸術的コミュニケーションの探求として、新しい創造活動を生み出す。</li> </ul> <p>上記の観点から、「宇宙時代における芸術」を目指した調査研究の課題として次のものが設定され、調査検討の取り組みが進められた。</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>① ART-芸術領域の研究</li> <li>② HUMAN-知覚・認識・行動領域の研究</li> <li>③ アート・プロジェクトの研究</li> </ul>
<p><b>課題2</b> 微小重力空間の芸術表現の未来</p>	<p>課題は、「人間は宇宙でどのような感情を持って生きるべきか」としたい。芸術が未来にどのような安らぎと高揚を与え、人々を励ますかという「芸術表現の未来」について創造活動を行いたい。将来までを見通すと三つの世代があろう。第一世代は地球へ戻ることを前提とした宇宙飛行士、第二世代は第一世代と第三世代の間の人々、第三世代は宇宙に永住する人々。今回は第一世代で取り組む。</p> <p>上記の方向性を踏まえ、次の研究課題が設定され、調査検討の取り組みが進められた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 人間に関する諸課題(微小重力空間で人体を取り巻く基準の変化、人間生体の表現への影響、微小重力空間への表現適正の変化、微小重力空間での五感の優位性の変化)</li> <li>② 創作に関する人間の身体的行動(姿勢変化の諸影響)</li> <li>③ 視覚的受容とその一般論的研究</li> <li>④ 触覚的受容とその一般論的研究</li> <li>⑤ 芸術表現にかかわる創作意欲など、心理的受容に関する研究</li> <li>⑥ 地球で生まれた概念が微小重力空間で如何に変容するかの実験的考察(例:茶道、立華)</li> </ul>
<p><b>課題3</b> 宇宙時代における人生観・世界観</p>	<p>宇宙飛行士は冷静な科学者・技術者であっても、精神面では鉄の心臓を持つスーパーマンではない。宇宙において、人生観、自然観、そして宗教観がどのように変容するのか共同討議を重ねたい。</p> <p>上記の観点から、下記を対象に広範囲な調査検討が進められた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 意識・心身の変容</li> <li>② 言語の変容</li> <li>③ 宗教的概念の変容</li> <li>④ 行動様式の変容</li> <li>⑤ 宇宙感覚と自然感覚及び神秘感覚との比較</li> <li>⑥ 人間の居住様態の検討</li> </ul>

調査研究は、研究グループでの討議、人文社会科学分野の有識者との意見交換や有識者のヒアリングを織り交ぜながら、平成8年度(1996)～平成12年度(2000)に亘って実施され、網羅的可能性の検討結果(平成8年(1996)度から平成11年(1999)度の検討結果)として、次の方向が示された。([13-12]～[13-16])

分野と課題	当面の検討の方向性(検討結果の概要)
<p><b>課題1</b> 宇宙への芸術的アプローチ:  自己の存在意義を問い直すために、「心」の姿にせまる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「環境」は、人間の「認識や感覚」、「感情や記憶」、「世界観や自然観」に決定的な影響を与え、人はその影響を「芸術」として表現してきた。宇宙という新たな環境も、人間の存在基盤に直接的に作用し、その現実感(リアリティ)を変容させずにはおかない。</li> <li>◆ 宇宙環境における芸術の可能性の探究は、これまでの芸術の概念と機能を問い直し、その表現形式の解体と再編、融合と拡大をもたらす。人間存在の本質を新たな角度から検証することにもつながる。</li> <li>◆ この探求プロセスは、従来の文化的な枠組みを越えて、芸術と諸科学、異質</li> </ul>

	な知と感性の交流を触発し、新たな創造活動の領域形成を促す。同時に、「宇宙時代における新しい文化の着床点」を明らかにすることにもつながるものである。
課題2 微小重力空間の 芸術表現の未来：  「安らぎ・高揚」を 与える宇宙芸術表 現とは。	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「宇宙への人々の想い」は、いつの時代にも、その時代を生きた人々の世界観を背負い、先取りした芸術表現の中に、その「想い」を見出すことができる。</li> <li>◆ 宇宙時代の始まりの象徴である ISS の生活に「感性参加」することによって、「人間は宇宙空間でどのような感情を持って生きるべきか」を考え、その方向性を見出す。</li> <li>◆ 芸術(表現)が未来にどのような安らぎと高揚を与えて人々を励ますのか、「感性参加」による創作活動を通じて、さまざまな角度からこの課題を考察する。</li> </ul>
課題3 宇宙時代における 人生観、世界観：  人間の「心の世 界」の実相にせま る。	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 「宇宙進出」によって人間の精神活動に如何なる影響が現れるのか。(影響を蒙るのか。)</li> <li>◆ 多くの人々が、宇宙滞在を疑似体験できることを想定し、さらには、簡便な訓練を経て実際に宇宙空間に行けることを想定した場合に、その宇宙滞在体験者の心理や意識が、どのように変化し衝撃を受けるのか。その変化や影響に普遍性はあるのか。人種・民族の違いや宗教・文化的な背景の相違が異なった反応をもたらすのか。</li> <li>◆ この観点から、「意識・心身の変容」、「言語の変容」、「宗教概念の変容」、「行動様式の変容」、「宇宙感覚と自然感覚、及び神秘感覚の比較」、並びに「人の居住様態」が検討課題になる。</li> </ul>

また、今後のISS・JEM(きぼう)の人文社会的利用の可能性に対する調査検討の方向性に対し、長期的視点に立脚した「二つの視点」の重要性が指摘された。[13-16]

- ◆ 「第一の視点」は、人文社会の専門家による「学術研究」としての調査研究である。その具体的な取り組みとして、平成8年(1996)度～9年(1997)度に、「芸術」、「哲学」、「地球史」を選んで調査検討が行われ、新しい方向が見え始めてきた分野(芸術)もある。このような分野については、利用課題の具体化に向けてさらに検討を継続することが求められる。しかしながら、人文社会の分野で最も困難な研究課題は、「宇宙環境がもたらす人間の心の変容」を探究することである。その方向を見出すには、これまでに得られた自然科学や医学分野の研究成果も参照しながら、幅広い課題の選択と調査検討が必要になる。
- ◆ 「第二の視点」は、学術研究ではなく、我々の「日常生活の中から自然に生み出される宇宙環境利用」である。それは丁度コロンブスのアメリカ大陸発見に対比すべきものであろう。コロンブスがアメリカ大陸を発見したという知らせを聞いた人々は、大陸に行って見たいと憧れたに違いない。しかしそれは、特別な人々を除いて不可能なことであった。一般の人々の期待は、「発見の声を聞きたい」と思うことであったであろう。当面の宇宙環境利用についても、一般の人々から同様の声を聞くことが多い。「出来ることならば宇宙へ行って美しい地球を見てみたい」、「その体験を通して新しい人生に取り組みたい」という言葉である。これが、もう一つの人文社会的利用として位置付ける課題であろう。

平成12年(2000)度には、それ以前の網羅的な課題探索の調査検討の中から、①哲学・宗教学分野(宇宙時代における日本人のアイデンティティ、果たすべき役割)、②法律学分野(宇宙



環境利用における日本型民間パートナーシップの提案)、及び、③教育・社会学分野(閉鎖環境における心理的問題と教育)という、個別領域内の課題探索が行われた。[13-7] 一方、芸術分野(課題1及び課題2)については、平成12年(2000)に、人文社会科学分野のISS・JEM(きぼう)利用の先駆けとして、具体的な宇宙実験の課題検討を行うためのNASDAとの共同研究の取り組みが開始される。その概要については(3)で触れることにする。

平成8年(1996)度から平成12年(2000)度の国際高等研究所における調査研究の総括のとして、ISS・JEM(きぼう)の人文社会科学利用の意義と活動の方向性(一般論としては「人類の宇宙進出とこれに伴う宇宙環境利用についての人文社会科学の面からの意義と活動目標」)について、次の視点が示されていた。([13-3]、[13-9]、[13-16]を参照)

人文社会科学利用の意義	活動の方向性(概要)
人類の持続的発展に貢献できるような、新たな倫理観、世界観、地球観の創出や、新たな文化の芽生えを促す。	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 地球から離れた ISS からの視点を持つことは、地球の有限性の認識、人類中心主義からの脱却、地球人・人類共同体としての意識の醸成に極めて有効。</li> <li>◆ ISS は人間が恒常的に生活できるミニチュアの宇宙社会。このミニチュア社会を実験空間に見立て、そこで繰り広げられる多民族・多文化の人間の生活が、調和し安定する条件を見出す。</li> <li>◆ このための実験は、地球人としての新たな倫理観の醸成に貢献できる可能性がある。</li> </ul>
人間の感性、精神活動のフロンティアを開拓する新しい人文社会科学の展開を促す。	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 人類文明は地上の1G環境を前提に発展してきた。21世紀に人類の宇宙進出が本格化する時代には、これまでの地上の常識を覆す微小重力環境での新たな文化の創出が想定される。</li> <li>◆ ISS はこれら新しい宇宙文明の第一歩であり、微小重力環境や相対化された地球という視点は、これまでとは全く異なる新しいフロンティアとして、人文社会科学の発展に寄与できる。</li> </ul>
科学技術と人文社会科学の「新たな総合」を促す。	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ これまでの多くの科学技術プロジェクトとは異なり、ISS 計画は上記のような点で、文理融合型の研究といえる。</li> </ul>

## (2) 国際高等研究所の自主事業 (ISS/JEM 等の人文社会科学利用の「調査研究」と「課題研究」)

平成13年(2001)以降、それまでの調査研究の成果を踏まえて、ISS・JEM(きぼう)等の人文社会科学利用に関する「課題研究」(国際高等研究所の自主事業)の準備が始まった。平成13年度は、教育・社会学分野で、「ISS・JEM(きぼう)を利用した人類平和のための実験的研究」[13-8]が行われた。その後、ISS が提供する宇宙の居住空間を実験環境として活用するという着想で、「人類の未来」を担う新しい社会制度(紛争処理、倫理、法律等)の構築に関する実験的研究の方法論の検討が行われた。そして、その検討結果を発展的に引き継ぐ形で、国際高等研究所の課題研究「21世紀の宇宙開発・宇宙環境利用の問題～人文社会学からのアプローチ～」が平成15年度(2003)から開始された。[13-9][13-8][13-9] NASDA/JAXA は、この課題研究に研究参加する形で、国際高等研究所と協働して調査研究を進め、その成果が、「宇宙問題への人文・社会科学からのアプローチ」(高等研報告書 0804)[13-1]として取りまとめられた。この課題研究の取り組みのポイントは、①宇宙は人類の価値観をどのように変えるか(特に、宇宙への進出は人類に何をもたらすか)、②宇宙で人間はどのように生活するか、③宇宙のガバナンスをどのように構築するかであり、次の考え方に沿って進められた研究であった。[13-1][13-2](研究の方向性

は本章の冒頭(第13.1節及び図 13-1)に示した考え方。)(下記の表は、[13-2]の関連資料(木下富雄氏の発表資料)を一部改変)

研究の動機 付け(目的)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 人類最初の宇宙進出は1961年のガガーリンによる地球周回飛行。「地球は青かった」何よりも特筆すべきは、1969年のアームストロングとオルドリンによる月面着陸。「地球人」が「宇宙人」になった歴史的瞬間</li> <li>◆ これによって人類は、地球の外側から、地球と宇宙とを客体視・相対化する術を獲得した。この意味は非常に大きく、このことが本研究の出発点。</li> <li>◆ それから約50年、宇宙開発は発展の一途を辿っている。(その大部分は自然科学と工学・技術開発分野の発展) その理由は、宇宙へ人を輸送し、宇宙に滞在させ、宇宙から無事に帰還させるための「生存技術」を、宇宙で生活し仕事をするための技術(「生活技術」)に優先させる必要があったから。</li> <li>◆ しかし、最近になって状況が変化し始めた。訓練された宇宙飛行士だけでなく、一般人も宇宙に行ける可能性が出てきた。(宇宙旅行の募集、宇宙ホテルの建設など) 探検や冒険の時代が過ぎ、宇宙が人々の普通の生活に入り込む時代を迎えようとしている。</li> <li>◆ この傾向が加速されれば、遠くない将来、宇宙に小さいながら「市民社会」が成立する。そして、社会が成立すれば、そこから新しい政治や経済や文化が必然的に生まれる。</li> <li>◆ しかも、この社会は、多様で無秩序な人びとの集合体であろう。そこでは、苛酷な宇宙空間のリスクを前提に、国際的なガバナンスシステムの構築が必要不可欠になる。</li> <li>◆ 同時に宇宙空間では、その物理的特性に影響され、人々の認識や価値観に大きな変化(心の変容)の生じることが予想される。</li> <li>◆ ここで<b>人文社会科学の出番</b>が到来する。</li> </ul>
研究で対象にした宇宙の定義	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ この研究で扱う宇宙は、全宇宙ではなく、時間的、空間的に境界を設ける。</li> <li>◆ 境界設定の条件は、エネルギーと水の確保、及び地球との連絡の可能性。</li> <li>◆ 空間的には「生存圏」の範囲、具体的には月面とLEOの宇宙施設(ISS)を想定。</li> <li>◆ 時間的には現在から今世紀末ごろまでの世界を想定。</li> <li>◆ 生活形態のイメージは、月面基地やLEOの宇宙ステーションに建設された「ミニアチュア都市」「リゾート地」など。</li> </ul>

### (3) 芸術分野の取り組み

国際高等研究所の調査研究のうち、課題1「宇宙への芸術的アプローチ」(京都市立芸術大学の研究グループ)及び課題2「微小重力空間の芸術表現の未来」(東京芸術大学の研究グループ)は、調査研究の成果を踏まえ、人文社会科学分野のISS・JEM(きぼう)利用の先駆けとして、具体的な宇宙実験課題の検討に進み、その一環として、平成12年度(2000)以降、NASDAとの共同研究の取り組みが開始された。その概要は次のものであった。[13-3][13-9]

#### ◆ 「宇宙への芸術的アプローチ」(京都市立芸術大学):

平成13年(2001)から平成15年(2003)の3年間、彫刻の福嶋敬恭教授を代表研究者として、約8名の芸術家が集い、「KOKORO Project」が進められた。ISS・JEM(きぼう)は、科学技術と人文社会科学を「総合」する試みを通して、地球の生命と文明に対する新たな視点や、宇宙時代における人類の新たな生命観、自然観を醸成する契機になるものと想定し、宇宙での芸術実験を目指した取り組みが進められた。

人間がかつて経験したことのない宇宙は、人間の本来の姿を探るのに相応しい場所である。人間の宇宙への進出が、人間の生命観、自然観や世界観を変容させ、それに伴って芸術においても、「人間とは何か」、「自分とは何か」、「芸術の本質は何か」を問い直すことになった。このことによって新しい心の哲学が始まると考え、「KOKORO Project」として、様々な実験が検討された。(①心の場、②宇宙庭、③手の取る宇宙、④干菓子プロジェクト、⑤微小重力環境の「ライナスの毛布」、⑥ISSにおける長期居住空間の提案、⑦液体による造形実験)

◆「微小重力空間の芸術表現の未来」(東京芸術大学) :

平成12年(2000)から平成14年(2002)の3年間、彫刻の米林雄一教授を代表研究者として約17名の芸術家が集い、「四つのプロジェクト」が実施された。プロジェクトは、何れも、人類が宇宙からの視座を得ることで、地球に対する理解が深まり、自然と人間、心、感性、宇宙観などを改めて考え直すことにつながる課題との理解で進められたものであった。

- ① スペース「間」プロジェクト(狭い閉鎖空間ISSでの居住の在り方を、日本の茶室をヒントに、日本独特の空間・時間に対する「間-MA」という感性から迫った課題。)
- ② 国境を越えるアート(ISSから地球を眺めるという視点は、宇宙に浮かぶ地球を包括的に実感させる。この宇宙からの視点、また地球から宇宙を眺める視点を基に、地上の枠組みを超えた芸術表現を探るという課題。)
- ③ ビーナズプロジェクト(これまでの造形は地上の重力環境下で発想し制作された。人体造形も重力下で進化した人体が対象であった。しかし、微小重力環境で人体のフォルムが変化するにつれて、人体美がどのように変わっていくかの実験研究により、「人体の美」を追求する。)
- ④ 宇宙観の歴史(人間が宇宙を通してどのように人間存在を捉えようとしてきたかについて、西洋の宇宙観、東洋の宇宙観をテーマとして調査研究を行う。)

上記の共同研究の成果は、JEM(きぼう)の第1期利用での芸術実験につながっていく。この概要については、次節(13.3)で再度言及する。その他、ここでは具体的な説明は割愛するが、JEM(きぼう)利用を目指した芸術分野の取り組みとして、「アートの効果的活用に関する試行的プロジェクト」(平成14年、逢坂卓郎教授(当時、武蔵野美術大学))、「無重量環境における東アジア古代舞踊の試み」(平成14年、石黒節子客員教授(お茶ノ水大学))、「スペースダンス～或る日、宇宙で」(平成16年、福原哲郎氏)等、宇宙での芸術実験に向け、芸術家等からの課題提案がNASDA/JAXAに寄せられていた。[3-9][3-10]

### 13.3 ISS・JEM(きぼう)の文化・人文社会科学利用

ISS・JEM(きぼう)を、「宇宙からの情報発信拠点」として、また「人文社会科学の実験空間」と位置付けて、地球規模の問題解決に貢献できる「人文社会科学的インフラ」、身近な宇宙環境利用の実現に貢献できる「文化的・教育的インフラ」として利用する。このための調査研究や課題研究を国内外に広く展開する取り組みが、NASDA時代の平成8年(1996年)から続けられてきた。調査研究「宇宙ステーション等の人文社会科学的利用法の検討」(NASDAから国際高等研究所への受託研究)、課題研究「21世紀の宇宙開発・宇宙環境利用の問題」(国際高等研究所の自主研究、NASDA/JAXAは研究参加)等が、ISS・JEM(きぼう)の人文社会科学利用を創出するための課題(テーマ)探索の取り組みであったことは、既に述べた通りである。ISS・JEM(きぼう)の

本格的な利用を開始する時期に、この人文社会科学分野の調査研究活動を総括(平成 21 年度時点)し、同時に、この活動を広く一般国民にも知ってもらうために、平成 21 年(2009)3 月、東京シンポジウム「宇宙と人間—未来を拓く人類の活動領域の拡大—」が開催された。[13-1]、[13-2]

この前半期の国際高等研究所への受託研究課題のうち、芸術分野(絵画、彫刻、音楽)の利用検討が、13.2 節で概説したように、東京芸術大学及び京都市立芸術大学と NASDA/JAXA との共同研究へと発展し、その活動が基礎になって、ISS・JEM(きぼう)の第 1 期利用における文化・人文社会科学利用分野の「パイロットミッション」が企画された。パイロットミッションの課題は、「宇宙」からの視点や「微小重力環境」を活かした新たな芸術表現の創出で、この課題をパイロットミッションとして実施するためにテーマが公募され、外部有識者からなる選定委員会で実施テーマが選定された。これらのテーマは、ISS・JEM(きぼう)の第 1 期利用として、国際的にも極めてユニークな宇宙での芸術実験として実施されている。[3-11] その採択課題には、京都市立芸術大学及び東京芸術大学と NASDA/JAXA との共同研究で育成された課題が含まれていた。(http://iss.jaxa.jp/utiliz/epo/index.htm を参照。)

#### 13. 4 宇宙環境利用における人文社会科学分野の今後の展望

宇宙における人文社会科学分野への期待は、第13. 1節の図 13-1「宇宙に対する人類の取り組み」の解説で総てが尽くされているが、「今後の展望」として改めて取り上げることにはしたい。

「第一」に、人類が経験する「新しい社会:宇宙」が持つ非物質面の特徴、すなわち、芸術、文学、宗教、哲学、心理学、社会学、法学、国際政治の視点で捉えた「新しい世界:宇宙」の特徴を浮き彫りにすることにより、人類の活動領域を宇宙空間にまで拡大することの意義、そこに内在する人類史的な意味、そして宇宙に進出することの価値を明らかにすること。このことによって、地球人の総てが共有できる、有人宇宙の理念や本質的な意義を提示すること。そのために必要な知的基盤を整えること。芸術実験で既に例示されているように、知的基盤の整備に有効な宇宙環境利用を企画し、芸術家、哲学者、宗教家、社会学者を含む人文社会科学分野の専門家が、ISS・JEM(きぼう)に滞在する機会を提供し、専門家の視点から、「新しい社会:宇宙」の特徴を明らかにすることが望まれる。人文社会科学分野の今後の展望における第一の課題は、人文社会科学分野の専門家を宇宙に送り出し、これまで地上研究として取り組んできた人文社会科学の課題の実践的研究に踏み出すこと。

「第二」は、中長期的な課題であるが、「新しい社会:宇宙」に適用されるべき諸々の規範(宇宙ガバナンス)について、国際協力で思考実験を開始し、「新しい社会:宇宙」の成立過程を人為的に操作する等の宇宙社会実験計画の概念についての検討を開始すること。この実現には、現在の世界情勢を考えると、極めて実現が難しい課題ではあるが、ISS の人文社会科学実験プロジェクトと位置付けて、ISS 計画の中で取り組む方向を模索すること。

宇宙における人文社会科学分野の展望として、現在の芸術実験等を深化させる方向は、自然な流れとして、「提案のアイデアベース」で考えていくべきことではあるが、より本質的な課題についての戦略的な「宇宙環境利用における人文社会利用の柱」が求められるところであろう。

## 参考文献

- [13-1] 「宇宙問題への人文・社会科学からのアプローチ」 高等研報告書 0804 第1部「宇宙は人類の価値観をどのように変えるか」第4章「宇宙進出は人類に何をもたらすか」(木下富雄)(PP.65-92)平成21年(2009)3月
- [13-2] 東京シンポジウム「宇宙と人間」東京シンポジウムの記録 JAXA 特別資料 平成22年(2010)2月 JAXA-SP-09-010
- [13-3] 宇宙航空研究開発機構特別資料(JAXA-SP-07-021):「ISS・きぼうの人文社会科学的利用-平成8年(1996)~平成19年(2007)の活動の軌跡(記録)-」(2008年3月)
- [13-4] 宇宙開発事業団:「外部評価委員会(宇宙環境利用)報告書」(平成10年度(1999))
- [13-5] 共同研究成果報告書(東京芸術大学・宇宙開発事業団):「微小重力環境における芸術表現の未来-宇宙と人間の関わりの探求に向けて-」NASDA-TRM-030003(2003)
- [13-6] 共同研究成果報告書(京都市立芸術大学・宇宙開発事業団):「宇宙への芸術的アプローチ」<http://iss.jaxa.jp/utiliz/spaceculture/report/aas/index.html>
- [13-7] 「宇宙環境利用研究システム/宇宙環境利用研究センター平成12年度年報」宇宙開発事業団 平成13年(2001)6月
- [13-8] 「宇宙環境利用研究システム/宇宙環境利用研究センター平成13年度年報」宇宙開発事業団 特別報告 NASDA-SPP-020001 平成14年(2002)6月
- [13-9] 「宇宙環境利用研究システム/宇宙環境利用研究センター 成果報告書」宇宙開発事業団 特別報告 NASDA-SPP-030001 平成15年(2003)9月
- [13-8] ISS 科学プロジェクト室/宇宙環境利用センター平成16年度年報 宇宙航空研究開発機構 特別資料 JAXA-SP-05-005 平成17年(2005)10月
- [13-9] 平成18年度 宇宙環境利用の展望(第7章「宇宙における文化・人文社会科学的利用」)(財)資源探査用観測システム・宇宙環境利用研究開発機構 平成19年3月
- [13-10] 宇宙航空研究開発機構特別資料:「宇宙文化の創造」、JAXA-SP-06-008(2006)
- [13-11] 芸術分野の“きぼう”利用宇宙実験:<http://iss.jaxa.jp/utiliz/spaceculture/>  
(以下、受託研究の成果報告書)
- [13-12] 平成8年度 宇宙開発事業団委託業務成果報告書「JEMの人文社会的利用法に関わる調査研究」-その1- 国際高等研究所(1997.3)
- [13-13] 平成9年度 宇宙開発事業団委託業務成果報告書「JEMの人文社会的利用法に関わる調査研究」-その2- 国際高等研究所(1998.3)
- [13-14] 平成10年度 宇宙開発事業団委託業務成果報告書「宇宙ステーション等の人文社会的利用法に係わる調査研究」国際高等研究所(1999.3)
- [13-15] 平成11年度 宇宙開発事業団委託業務成果報告書「宇宙ステーション等の人文社会的利用に係わる調査研究(その2)」国際高等研究所(2000.2)
- [13-16] 平成12年度 宇宙開発事業団委託業務成果報告書「宇宙ステーション等の人文社会的利用に係わる調査研究(その3)」国際高等研究所(2001.3)

## 第14章 国際宇宙ステーション利用の今後の展開

## 目次

14.1 「きぼう」の軌道上組立完成と我が国のISS計画の進捗.....	14-3
14.2 ISS計画参加の意義・目標に照らして .....	14-4
14.3 今後のISS利用の展望.....	14-6
14.3.1 ISS/「きぼう」の利用・運用延長について.....	14-6
14.3.2 「きぼう」利用の展開.....	14-7
14.4 まとめ.....	14-14

## 14.1 「きぼう」の軌道上組立完成と我が国の ISS 計画の進捗

### (1) 「きぼう」組立フライト

2008年(平成20年)3月11日午後3時28分(以下、全て日本時間)、土井宇宙飛行士ら7名が搭乗したスペースシャトル・エンデバー号による STS-123(1J/A)ミッションにより、日本実験棟(JEM:愛称「きぼう」)の打上げ第1便として「きぼう」の船内保管室が打ち上げられた。船内保管室は同3月14日にISSの第2結合部(ハーモニー)に無事取り付けられた。

同年6月1日午前6時2分、スペースシャトル・ディスカバリー号により「きぼう」打上げの第2便目として、「きぼう」軌道上要素の中核を成す船内実験室と「きぼう」ロボットアームが打ち上げられた。船内実験室は星出宇宙飛行士らによってISSに取り付けられ、ロボットアーム、実験室ともに正常に起動が完了した。

これにより、船内で様々な宇宙実験を行う環境が整い、宇宙での長期間にわたる微小重力環境での「きぼう」の利用が始まった。同時に、JAXAの筑波宇宙センターから「きぼう」の状態を24時間体制でモニタし、指令を送る地上運用管制が始まった。1985年のISS計画開始以来、全てのISS参加機関の要素が軌道上で本格的に稼働すると同時に、米国、ロシア、カナダ、欧州、及び日本の各々の運用管制センターから実時間運用管制を行う体制が整った。

2009年7月16日午前7時3分、スペースシャトルエンデバー号(STS-127, 2J/Aミッション)により、「きぼう」第3便目として船外実験プラットフォームの打上げられた。長期滞在中の若田飛行士による「きぼう」船内実験室への取付けが行われ、同7月19日午前11時23分にその機能が正常であることを確認した。これにより、「きぼう」日本実験棟は船内及び船外の実験環境を有する我が国初の恒久的な軌道上実験施設として完成し、船外実験を含む「きぼう」のフルスケールでの利用が始まった。図14-1は、現時点での「きぼう」の外観であり、船外実験プラットフォームには、MAXI, SMILES, SEDA-AP, 衛星間通信システム(ICS)、及び HREP(NASA ペイロード)が取り付けられている。

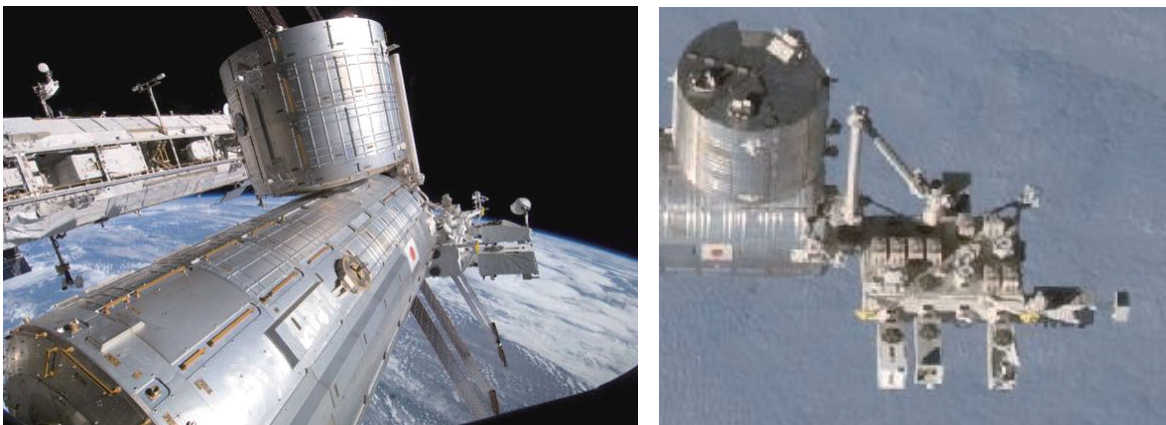


図 14-1 軌道上の日本実験棟「きぼう」

### (2) 日本人宇宙飛行士の長期滞在の開始

この間、2009年3月18日から約4.5ヵ月に亘り、若田宇宙飛行士による我が国初のISSでの



長期滞在が行われた。引き続き、野口宇宙飛行士、古川宇宙飛行士、星出宇宙飛行士の ISS 長期滞在を実施・計画している。また、山崎宇宙飛行士によるスペースシャトル・ディスカバリー号 (STS-131 ミッション) への搭乗も予定しており、日本人宇宙飛行士が次々に長期滞在ミッションやシャトルフライトに挑むこととなる。

### (3) 宇宙ステーション補給機技術実証の成功

ISS に物資補給を行う我が国の宇宙ステーション補給機の技術実証機 (HTV-1) については、2009 年 9 月 11 日午前 2 時 01 分に予定どおり種子島宇宙センターから H-IIB ロケットで打上げられ、9 月 18 日に ISS のロボットアームで把持され、ISS のハーモニーに結合した (図 14-2)。HTV-1 は、搭載した船内・船外の全ての物資の ISS 側への移送等を終え、11 月 2 日大気圏に再突入し、約 52 日間のミッションを成功裏に完了した。HTV は引き続き、2015 年度まで原則として毎年 1 機の打上げを計画している。

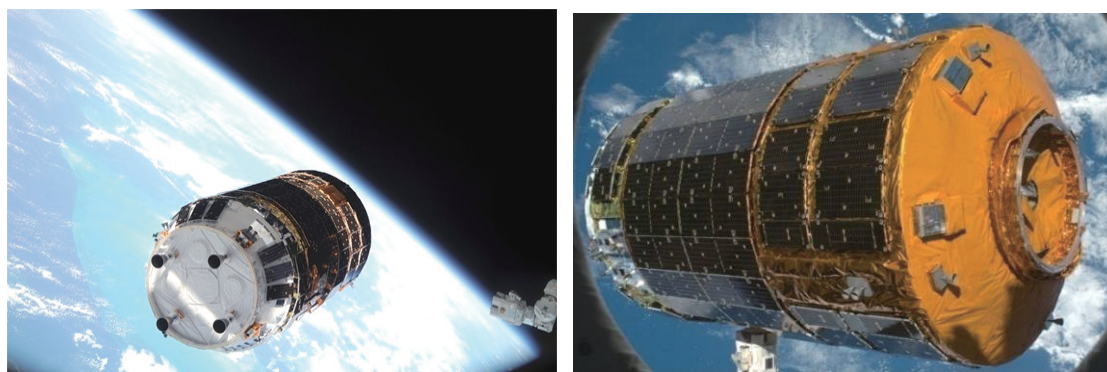


図 14-2 ISS に飛行中の HTV 技術実証機 (HTV-1)

ISS 計画については、第 2 章で述べられたとおり、我が国は 1982 年より ISS 計画参加に関する検討を開始し、1985 年より JEM の予備設計に着手した。ここまで計画が進展するあたり、本書の各章で述べられているように、長期間にわたって非常に多くの方々が我が国の ISS 計画・有人宇宙活動・宇宙環境利用の推進やそのための国際的な枠組み構築等に尽力されており、現在の状況はその努力や技術蓄積の賜物であることを理解していただけたらと思う。

## 14.2 ISS 計画参加の意義・目標に照らして

宇宙開発委員会では、これまで、宇宙環境利用の意義、ISS の位置付け、ISS 計画参加の意義等を取りまとめてきた。これらは、1987 年 7 月の宇宙基地特別部会報告書「宇宙ステーションの開発利用の本格化に向けて」、1996 年 7 月の宇宙環境利用部会報告書「宇宙環境利用の新たな展開に向けて—宇宙環境利用の当面の推進方策—」、2004 年 6 月利用部会報告書「我が国の国際宇宙ステーション運用・利用の今後の進め方について」等に記述されているが、2004 年の報告書では、以下 (枠内) に示す参加の意義と目標が設定された。現在、きぼうの運用・利用の初期段階であり、我々はこれらの目標の達成に向けて、邁進しているところであるが、現時点での達成状況、技術等獲得状況を振り返ってみたい。

### (1) 有人宇宙技術をはじめとする広範な技術の高度化等の促進

国際宇宙ステーションの建設・運用・利用においては、軌道上での大型構造物の組立て技術、大型システムの運用管理技術、宇宙輸送技術、ロボット技術等の様々な有人宇宙技術を含む先端技術が活用される。我が国が、国際宇宙ステーション計画を通じて得ることのできるこれらの先端技術は、将来、我が国に必要となる宇宙開発技術への応用を可能とするのみならず、地上での他の分野におけるシステムの開発・管理・運用をはじめとする広範な技術の高度化を促進させるものである。

現時点までの「きぼう」の開発、運用、HTV の技術実証および宇宙飛行士の育成と活動を通じて、国際水準の基盤的な有人宇宙技術は獲得できたと考えられる。ISS 運用段階では、日本のH-IIB ロケットでHTVを継続的に打上げることで、日本の宇宙輸送技術の向上に大きく貢献するものである。また、これらの実施を通して、大規模で安全なシステム開発とその運用に必須のシステムズ・エンジニアリング及び大規模プロジェクト・マネジメント手法を獲得してきている。

### (2) 経済社会基盤の拡充

宇宙活動を通じて得られた知見や技術を、地上での研究や開発活動に反映することにより、飛躍的な技術革新や新技術の創出が促進される。新材料や医薬品創製技術等に代表される宇宙環境利用のもたらす成果や生産技術は、新たな付加価値を有する産業活動へと発展し、経済社会基盤の拡充に寄与する。

日本の大学、研究所・民間企業等の優れた提案の中から厳選したテーマを実施し、産業応用を目指す。現在のところ、タンパク質結晶化実験や高機能の新素材の創製に成果が見込まれている。さらには有償利用による新たなビジネスの創出を目指している。また、宇宙の予防医学(骨量と筋量の減少など)を高年齢医療に応用することも研究している。

### (3) 新たな科学的知見の創造

宇宙環境における活動を通じて、宇宙や生命の起源、地球の諸現象等に関する普遍的な知識・知見を獲得することや、地球上では実現し得ない現象の発見等により新たな科学的理論の展開を見ることは、人類共通の知的資産となる新しい科学的知見を創造するとともに、人々の探求心を醸成し、あるいは未知への挑戦心を涵養するなど、新たな文明・文化の源として、国の発展を促す観点から意義が大きい。

生命科学では宇宙における生物の進化と環境適応能力の探究、物質科学では重力に関連した物質の本質・原理の追究、さらに宇宙科学における新たな発見など、世界をリードする科学成果の創出を目指し、公募(競争)において科学的意義が高いと評価された優れた宇宙実験を実施している。また、地球科学において、地球大気や宇宙線の観測を通して、地球環境変動の観測を実施し、データ公開等を実施している。これらを通じ、科学の発展や知見の蓄積に貢献している。

### (4) 国際協力の推進

科学技術創造立国を目指す我が国が、独自に保持する技術力を活用すること等により、国際社会における我が国の役割に対する期待に応えていくことは、国際宇宙ステーション参加各極にとどまらず、アジア地域等も含めた諸外国との友好関係を維持・促進し、広範な協力活動の円滑な推進に繋がるという意味からも大きな意義を有する。

ISS 計画参加により、宇宙先進国による国際協力の枠組み構築に参画することで、国際的合意

形成の場でのリーダーシップや影響力を獲得している。また、国際協力の場合での日本の実行力の認知や信頼を獲得してきた。

さらに、ISS 計画を通して、世界で活躍できる人材(国際交渉力を持つ人材、国際標準で仕事ができるエンジニア、日本人宇宙飛行士)を育成してきたが、有人宇宙開発における日本人の国際的な活躍は、国民の自信と希望につながるものと期待している。

また、同報告書では、ISS 計画参加の目的として以下が設定されている。

我が国が、国際宇宙ステーション計画へ参加する目的は、宇宙活動を通じて、これらの意義に添えていくことにある。現時点において独自の有人輸送手段を持たず、有人宇宙活動の実績の乏しい我が国にとって、国際共同プロジェクトの枠組みを活用して、既に実績を有する他国とともに宇宙活動を行っていくことは、我が国が単独で活動する場合に比して、はるかに効率的かつ効果的な技術の蓄積と成果の創出を図ることが可能となる。

このようにして、我が国は効率的ではあるものの、数千億円規模の予算を投入し、有人宇宙技術をはじめとする様々な技術や恒久的な自らの軌道上実験施設を獲得してきた。次の課題は、今後これら活用し発展させていくことで、これまでの投資をより実りあるものにしていくことである。

### 14. 3 今後の ISS 利用の展望

#### 14. 3. 1 ISS/「きぼう」の利用・運用延長について

ISS については、現在、2016 年以降の運用・利用延長について、各国の宇宙機関が各国政府に働きかけている状況である。

我が国においては、文部科学省・宇宙開発委員会の下に国際宇宙ステーション特別部会が設置され、2010 年 4 月 30 日に第 1 回会合が行われた。ISS 計画参加の今日的意義、2016 年以降の ISS 利用・運用継続判断等に係る審議が行われ、6 月に宇宙開発委員会としての中間とりまとめが行われた。本特別部会の設置趣旨は以下のとおりである。

#### 国際宇宙ステーション特別部会の設置について(第 1 回会合資料 ISS1-1-1 より)

国際宇宙ステーション(ISS)は、計画提唱から四半世紀を経て、間もなく完成の時期を迎えようとしている。我が国初の有人施設である日本実験棟「きぼう」は、2008 年より 3 回に分けて打ち上げられ、2009 年 7 月に完成し、本格的な利用段階に入ったところである。

ISS 計画の運用については、その主要な役割を担う米国は、当初、2015 年までの運用を前提とする計画を検討していたが、本年 2 月に米国議会に提出された航空宇宙局(NASA)の 2011 年度予算案において、少なくとも 2020 年まで運用を継続することを発表した。その後、NASA は ISS 参加各極に対し、早期に政府間での合意を形成するよう要請した。実施機関レベルでも、3 月 11 日に日本で開催された ISS 参加各極の宇宙機関長会議(HOA)において、2016 年以降の運用継続に向けた方針を確認し、今後各政府内で合意をとるための必要な手続きを踏んで行くことを共同声明として発表した。

以上の状況から、国際的な動向に則して、我が国としても早期に 2016 年以降の ISS 運用に関する考え方を明確化し、できる限り早期に政府としての判断を行う必要がある。その判断に当たっては、ISS 計画を担当する文部科学省としての考え方を明確にする必要があるため、文部科学大臣の要請に基づき、宇宙開発委員会の下に国際宇宙ステーション特別部会を設置して、科学技術・イノベーション、国際協力、運用コスト、教育的効果等多面的な観点から調査審議を行うこととする。

### 14.3.2 「きぼう」利用の展開

「きぼう」の利用計画については、現在実施している第1期利用フェーズ(2010年度前半まで)に続き、きぼう船内利用として、第2期利用フェーズ(2012年頃)までの科学利用分野の実験候補テーマが選定されている。船外利用ミッションについては、2013年頃までに打ち上げるポート共有・占有ミッションが計画されている(図14-3)。

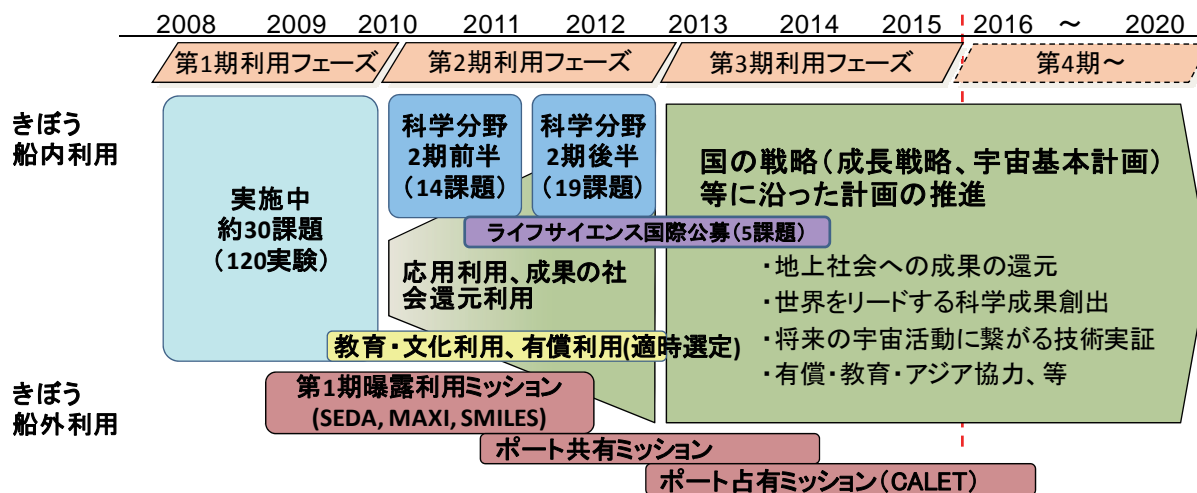


図 14-3 「きぼう」利用計画の設定状況

今後の計画については、昨年度より、国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会(JAXA 理事長の諮問委員会)において、2013年頃(第3期利用フェーズ)以降の「きぼう」利用の方向性・設定方針について検討している。以下、検討の概要を示す。

#### (1) 「きぼう」利用の在るべき姿

今後のきぼう利用方針を設定するにあたり、2020年(又は2015年)頃の状態として、検討の前提として以下の目指すべき姿を想定した。

- 1) 「きぼう」の利用成果が、具体的な形で社会の役に立っている。
  - ▶社会的問題解決等を通じた社会への貢献
  - ▶我が国の科学・技術の発展や産業基盤の強化への貢献
  - ▶教育・文化利用や有償利用など多様なニーズへの対応
- 2) 将来の宇宙開発利用(有人活動、地球・天体観測、新たなミッション等)に向けた技術の蓄積・実証の場として活用されている。
- 3) 「きぼう」が国際的なプレゼンス確保や国際協力の推進に貢献している。

#### (2) 第3期利用方針検討の考え方

第3期利用フェーズ以降の方針検討にあたり、以下の状況を考慮して進めることとしている。

- 1) 第2期利用計画設定時(2007年)からの進展

- きぼうが完成し、(これまでのように待たせることなく)利用できる状態にある。
  - きぼう第1期利用(2008年～2010年)が始まり、フィードバックが可能(必要に応じた第2期利用方針の見直し、第3期利用方針へ反映等)。
- 2) 国の戦略、方針等として以下を踏まえる。
- 新政権による「新成長戦略」(基本方針が2009年12月30日に閣議決定)。グリーンイノベーション、ライフイノベーション、アジア戦略等が柱となっている。
  - 科学技術基本計画の第4期(2011～2015年度)計画策定の動向。
  - 宇宙基本計画(2009年6月2日)

これらの状況を踏まえ、図14-4に示す分野について検討を進めている。以下、検討の概要を示す。

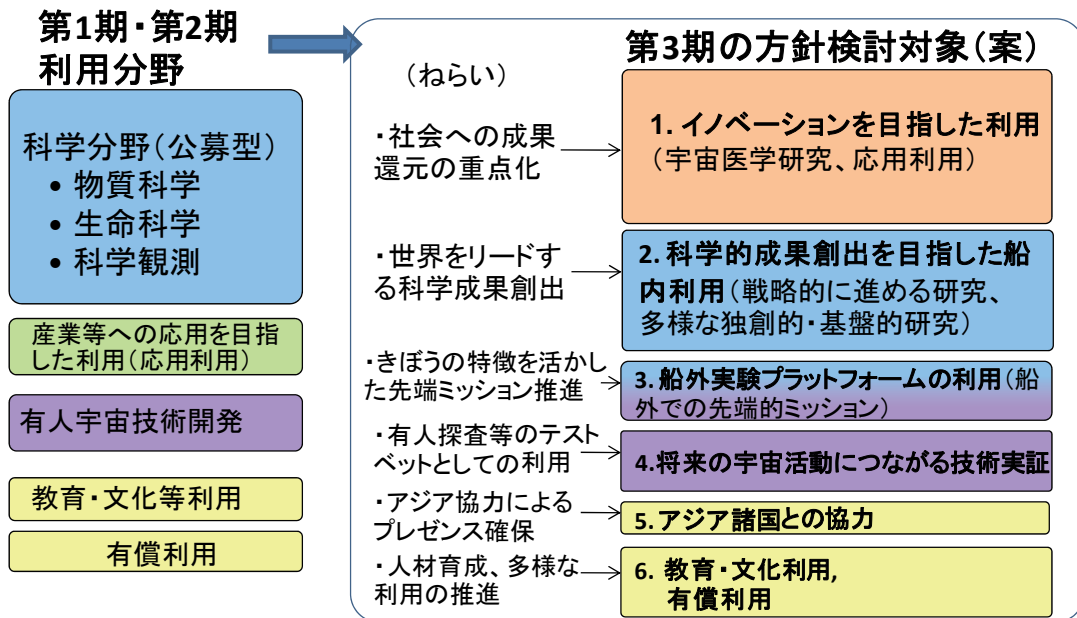


図14-4 第3期利用計画検討の方向性

1) イノベーションを目指した利用について

健康、環境等に係る社会的問題解決に向けた宇宙環境利用として、以下のアプローチで検討している。また、ライフイノベーション、グリーンイノベーション等(新成長戦略)に対応し、宇宙実験・宇宙医学研究成果を地上のイノベーションにつなげる仕組み(体制)構築について検討する必要がある。

- ① 宇宙医学研究など JAXA ニーズに基づく成果について、社会還元を推進する(宇宙での骨量低下対策、遠隔医療等)。
- ② JAXA がこれまで進めてきた先導的宇宙実験技術を基に、社会ニーズに応用する(高品質タンパク質結晶による創薬等)。

## 2) 科学的成果創出を目指した利用について

「きぼう」を利用した世界をリードする科学成果創出に向け、以下の取組みを検討している。

- ① 戦略的な利用の推進。そのための領域・課題、体制を新たに設定する。
  - 国の戦略・方針等への貢献や、JAXAとして戦略的に推進すべき宇宙実験課題等の検討を踏まえ、ISS・きぼう利用推進委員会で決定する、等
  - 外部研究機関(パワーユーザ)とのきぼう利用連携協力締結により、優れた研究を推進するための実施体制構築
- ② 広範・多様な独創的・基盤的(ボトムアップ)研究を引き続き推進
  - これまでの科学分野公募を踏まえた、第3期の公募テーマ選定・選定後の実験準備プロセス等を検討する。例えば、技術的難易度等の異なる多様な提案への柔軟な対応(フィージビリティ検討の実施)、公募地上研究制度終了後の地上予備検討機会確保・提案者の裾野拡大への取組みなど。

また、「きぼう」を含むISS全体として優れた科学的成果やイノベーションを創出するためには、様々なISS利用分野での国際協力の推進や国際的な利用コミュニティの形成が不可欠である。国際協力による利用成果の創出・アピールのため、宇宙機関長会議(Heads of Agency: HOA)等の場で、JAXA理事長からも以下のような取組みの重要性を述べている(図14-4~6)。

- ① ISS参加国が一体となった科学研究の推進(ボーダーレス)
- ② ISSを利用した国際協力による地球規模の問題解決(環境問題等)への取組み
- ③ ISS全体としての成果とりまとめとアピールの強化

## 3) 船外実験プラットフォームの利用について

以下の観点から、「きぼう」船外実験プラットフォームを活用した、第3期以降の船外利用方針を設定すべく検討している。

- ① 「地球圏観察・診断ステーション」(宇宙基本計画)に対応する、ISS/「きぼう」と地球観測衛星等の連携による、地球規模の課題である気候変動、環境変動への対応に資する地球総合診断など。
- ② 極限エネルギー等の観測ミッション
- ③ 将来の宇宙活動につながる技術の実証ミッション(宇宙太陽光発電の軌道上技術実証など)
- ④ 国際協力による優れたミッションの推進(図14-5参照)、等

## 4) 将来の宇宙活動につながる技術実証

将来の宇宙活動に必要な先端的技術課題(宇宙技術開発のテストベットとしてのISS/きぼう利用)について、今後の有人計画や月探査計画等の状況を踏まえ検討する。また、HTVを発展させた物資回収機による帰還(回収)技術実証等について検討している(図14-7, 8参照)

5) 国際協力の更なる推進・アジア諸国との協力

大規模な国際協力プログラムとして計画が進められ、完成間近となったISSにおいて、その利用面でも国際協力を推進する。具体的には、ISS 全体としての利用成果創出に向け、上記 1)～3)項等の実現の手段として、ISS 参加国による更なる国際協力を進める(図 14-4～6)。

さらに、アジア唯一の ISS 計画参加国としてアジア諸国との協力を推進する国の方針を踏まえ(「宇宙基本計画」等)、具体的な「きぼう」におけるアジア協力利用分野として、アジア諸国との二国間のきぼう利用協力、及び多国間協議の場を活用した協力を推進する。

6) 教育・文化利用・有償利用

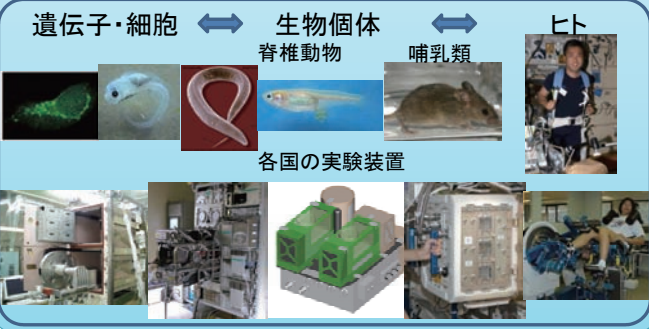
「地球人育成への貢献」、「人類未来の開拓への貢献」、「宇宙利用における新しい価値の創出」を生み出すことを目標に、引き続き教育分野及び文化・人文社会科学分野の利用を促進する。また、有償利用事業を引き続き推進する。

図 14-9 に上記を踏まえた今後のきぼう利用計画の展開を示す。

**国際協力により、各国の研究能力・施設を横断的・最大限に活用し、ISS全体として優れた宇宙環境利用研究成果の創出を目指す。**

**ライフサイエンス・微小重力科学分野の国際戦略  
会合(ISLSWG, IMSPG)の活動を通じて、横断的な  
科学研究を推進。**

- 実験装置等の科学利用協力、国際共同チームの編成
- ISS共有成果の創出(放射線、船内環境計測等)
- 研究者コミュニティ間の情報共有・活性化



**HTV、「きぼう」船外を利用して、  
最先端・大型の観測ミッションを  
推進。**

- 大型ペイロード(トン級)が搭載可能なアコモデーションを共同で検討し、ユーザコミュニティに提示。

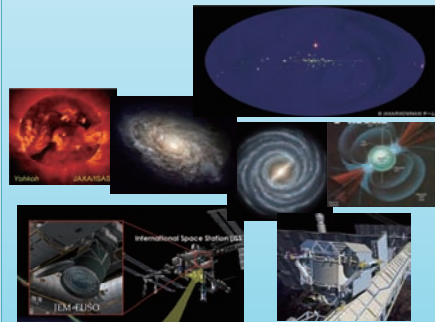
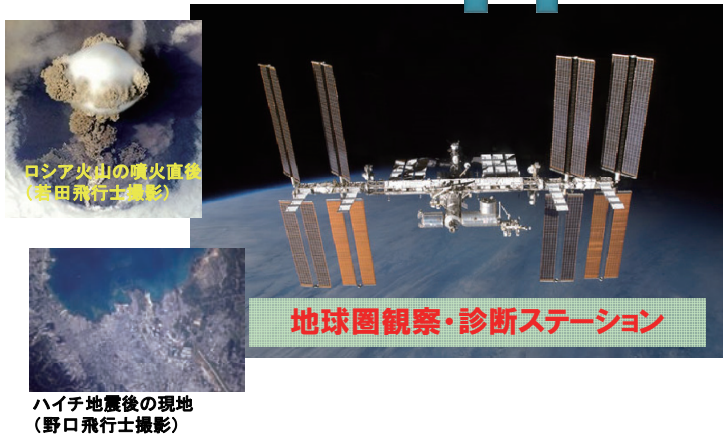


図 14-4 ISS 参加国が一体となった科学研究の推進(ボーダーレス)

**HTVとISS船外/きぼう船外実験プラットフォームの利用機会を使って、地球規模の環境問題に向けた観測ミッションの国際協力を提案。**

地球規模で起きている事象を宇宙飛行士がISSから定期的に実況中継。  
(有人だからすぐにできること)

地球問題への課題解決に、各国が連携して取り組み、ISSを最大限にアピール。  
(「地球総合診断」の場として活用)



- 例
- 観測結果のISSから世界への発信
  - CO<sub>2</sub>計測用ライダー
  - 風速計測用ドップラーライダー
  - 森林火災モニタ用大フォーマット赤外カメラ
  - 氷雲計測用サブミリ波走査放射計

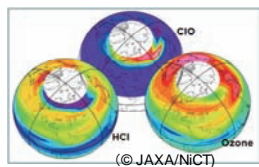


図 14-5 ISS を利用した国際協力による地球規模の問題解決(環境問題等)への取り組み

**各国の持つ実験成果をISS共有の財産としてアピール。そのための情報共有、情報公開を強力に推進。**

**Program Science Forumによる主要な活動**

- ISS利用計画・成果に関する国際シンポジウム(情報公開、普及活動)
  - 2009年4月@日本
  - 2009年11月@日本
  - 2010年3月@日本(HOAミニシンポ)
- ISS横断的な成果のとりまとめ
  - 小冊子、リーフレットの編集、印刷
  - ISS成果の論文等のリスト化
  - 研究内容等の一元的データベース化
- 論文誌・学会との連携



図 14-6 ISS 全体としての成果とりまとめとアピールの強化



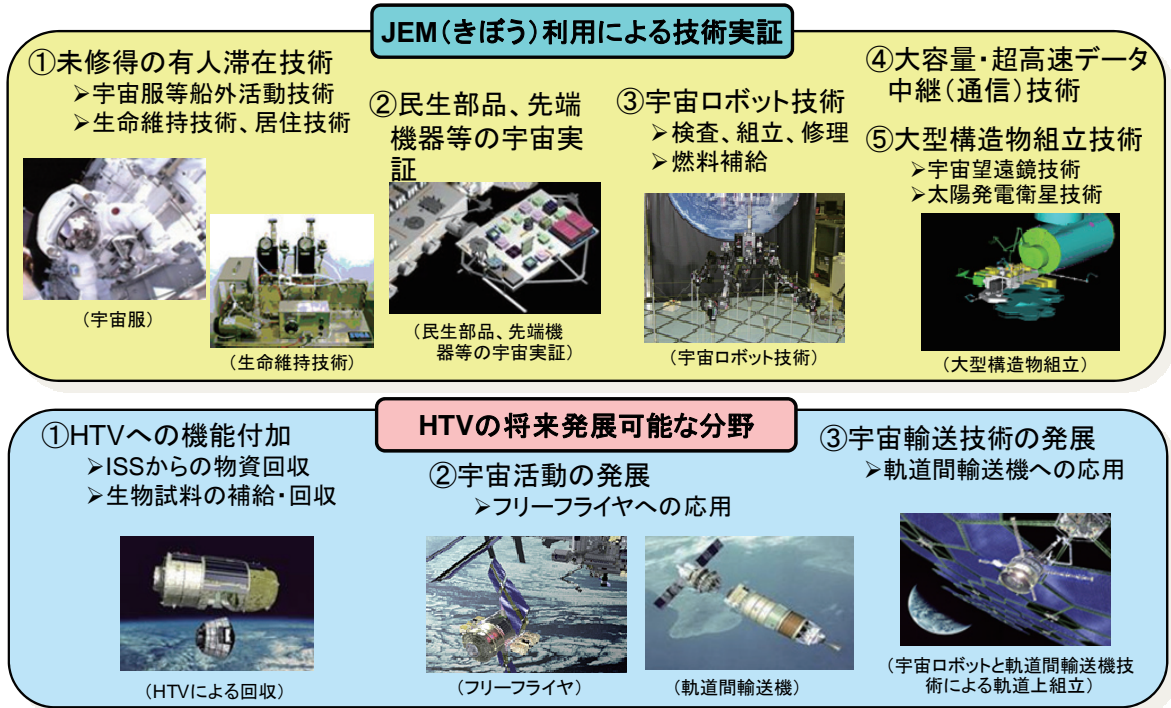


図 14-7 ISS を利用した今後の技術実証と HTV の発展可能性

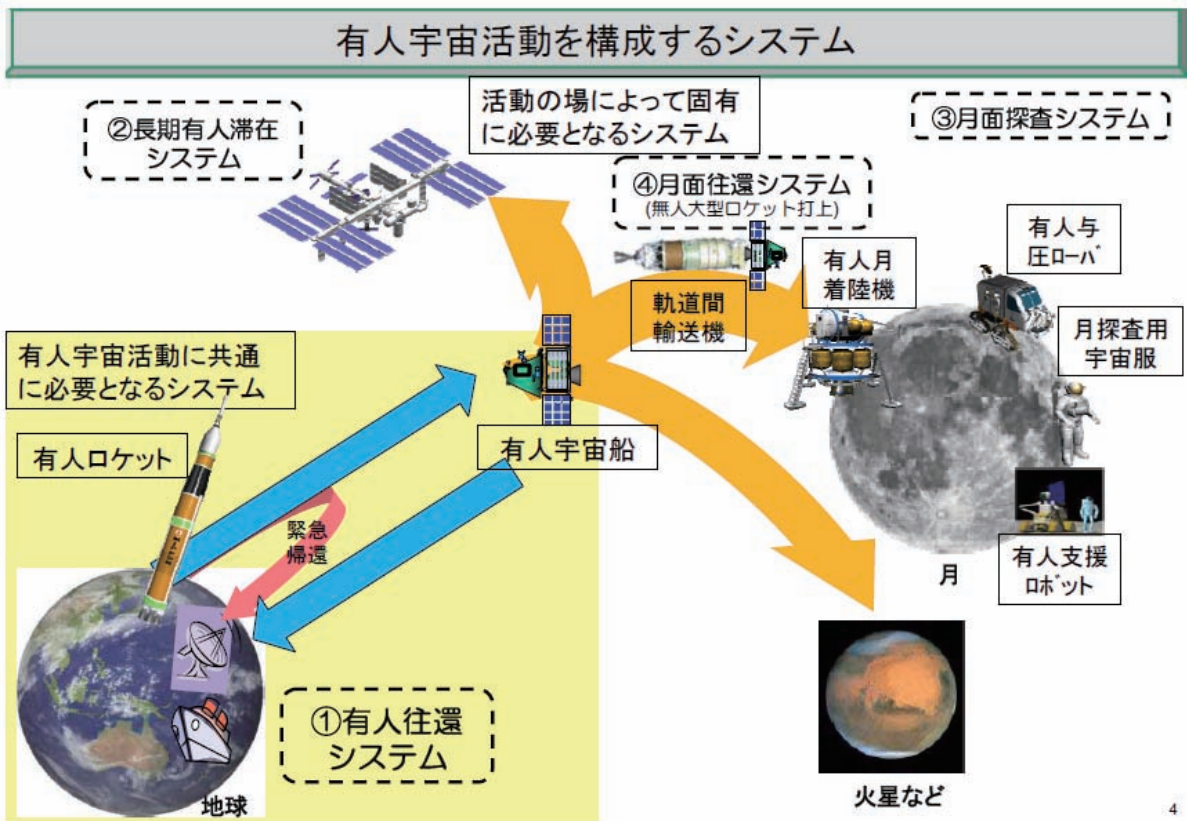


図 14-8 有人宇宙活動を構成するシステム(第 6 回月探査に関する懇談会資料より)

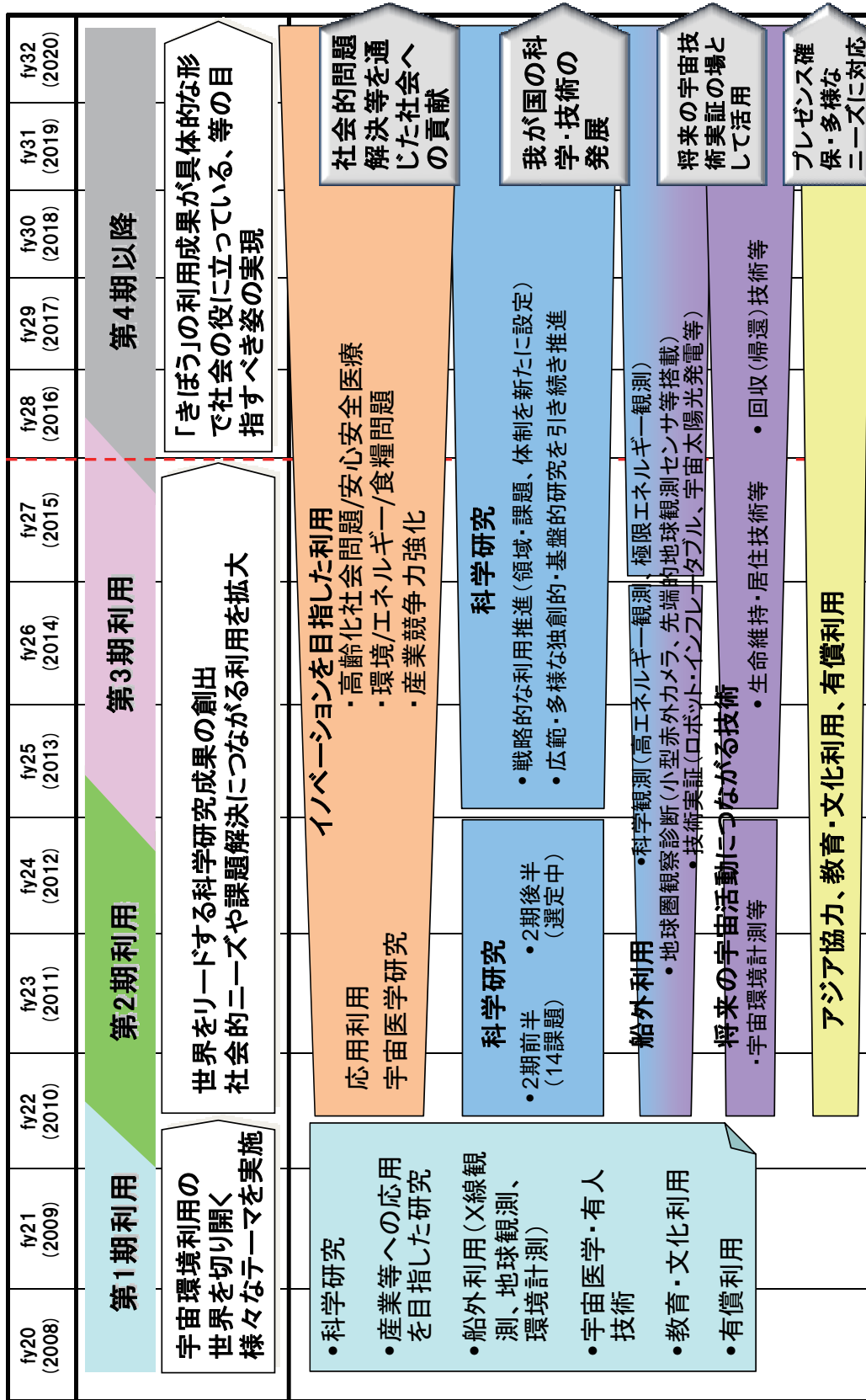


図 14-9 「きぼう」利用計画の展開

#### 14.4 まとめ

本章では、国際宇宙ステーション利用の今後の展開として、まず、「きぼう」の完成、日本人宇宙飛行士の長期滞在開始、宇宙ステーション補給機(HTV)の技術実証機の成功など、これまでのISS計画に係る努力や技術蓄積の成果の一つとして、現在の状況を示した。また、特にISS・きぼう利用の観点から、今後の展望(検討状況)を述べた。

ISS計画については、14.3.1項で述べたように、国レベルで2016年以降の利用・運用延長について議論され、2010年6月に宇宙開発委員会国際宇宙ステーション特別部会による中間とりまとめが行われた。

さらに、2010年8月、内閣総理大臣を本部長とする宇宙開発戦略本部において、「当面の宇宙政策の推進について」(平成22年8月22日、宇宙開発戦略本部決定)として、「我が国としては、平成28年(2016年)以降もISS計画に参加していくことを基本とし、今後、我が国の産業の振興なども考慮しつつ、各国との調整など必要な取組を推進する。」ことが決定された。さらに、同決定では「また、将来、諸外国とのパートナーシップを強化できるよう、宇宙ステーション補給機(HTV)への回収機能付加を始めとした、有人技術基盤の向上につながる取組を推進する。」こととされている。

また、将来の有人宇宙活動を含む月探査計画については、宇宙開発戦略本部の月探査に関する懇談会で議論され、「我が国の月探査戦略～世界をリードするロボット月探査と有人宇宙活動への技術基盤構築～」(平成22年7月22日、月探査に関する懇談会)として、報告書がとりまとめられた。

これまで、ISS計画・有人計画を推進してきた立場からは、本書で述べたような様々な分野での検討・交渉・技術蓄積・成果等を踏まえ、国の方針に方針に基づき、ISSにおける宇宙環境利用や有人技術基盤の蓄積等の分野が今後も更に発展していくことを期待する。

## 付 録

NASDA 時代の副本部長経験者等への  
最終稿レビュー依頼の概要

## 1. 最終稿レビュー依頼の趣旨

実験棟 JEM(きぼう)の開発をもって参加した国際宇宙ステーション(ISS)計画、その JEM(きぼう)の軌道上組立てが 2009 年7月に完了し、現在、その実験環境を利用した宇宙実験等の本格的な取り組みが進められている。ISS 全体の組み立ても、2011 年の前半には全ての作業工程が最終的に完結する。

この ISS 計画は、その参加検討の開始から軌道上での JEM(きぼう)の運用利用が実現するまでに、実に四半世紀もの歳月が費やされ、今後、少なくとも 10 年は ISS の運用利用が継続される状況が待ち受けている。この壮大な、国際協力による有人宇宙開発計画について、これまでの歴史的な事実関係を可能な限り正確な記録として残し、また、このような長い歴史の流れの中で、当事者として体験した事柄を教訓等として残しておくこと、これが「ISS 計画参加活動史」(以下、「活動史」)の編纂趣旨であった。現在、計画参加に至るまでの諸活動、ISS 計画の推進並びに JEM(きぼう)の利用推進や利用促進の諸活動、初期段階の JEM(きぼう)運用利用の諸活動等に主体的に関わってきた(主として宇宙機関の)当事者の多くが、定年退職等で現場を離れ、新たな現役世代が JEM(きぼう)の運用利用を担う時代が到来している。

このような状況を踏まえて、既に現場を離れた各時代の当事者(責任者)へのアクセスが可能なうちに、上述の趣旨に沿う「中間まとめ」の資料として、これまでの主要な活動のエッセンスを、関係者は勿論のこと、一般の人々にも入手可能な記録として残すとともに、今後の JEM(きぼう)の利用、特に、その利用推進や利用促進に対して、これまでの経験と教訓が活かせるように、また、ISS と同様の将来の大型国際協力プロジェクトへの参加検討における参考情報として役立つようにという趣旨で、平成 20 年(2008)12 月、「活動史」の編纂作業が始められた。その編纂・編集作業の概要は、「編集委員会の開催録」に記載されている。

「活動史」最終稿の準備が整った平成 22 年(2010)12 月の段階で、これまでの四半世紀のそれぞれの時代に、宇宙開発機関の立場から、計画推進の現場で責任を担ってきた NASDA 時代の(宇宙ステーション本部等)副本部長等を経験した諸先輩の方々に、「活動史」最終稿の通読をお願いし、「活動史」に記述されている事実関係に異論がないか否か、先輩諸氏が体験した事柄で追加記述すべき事項がないか否か等について、意見やコメント等を頂く。その結果を踏まえて、必要な場合には、校正段階で最終稿の加筆・修正等を行う。このような趣旨で、NASDA 時代に責任を担った方々に、「活動史」最終稿のレビューをお願いした。お願いしたのは、村山英敏、宮澤政文、米山一彦、鈴木和夫、斉藤勝利(本書執筆分担者)、高松英男、白木邦明(本書執筆分担者)の副本部長経験の方々に、及び、森下保廣、斉藤紀男、祖一紀雄の宇宙実験グループの部長等経験の方々にであった。(敬称略)

## 2. レビュー結果の概要

レビューをお願いした多くの方々から、「今後の計画並びに利用推進活動等に参考にすべき貴重な資料」との総合所見を頂いた。また、一般の理解を容易にするために、ISS と JEM(きぼう)の全貌を示す「写真」や「イラスト(CG)」を、「活動史」の導入部に掲載してはどうかとの提案も頂

き、その対応として、「活動史」の冒頭部分に写真等を掲載することにした。

一方、個々の記述等に関して、幾つかの指摘及び提案を頂いた。その主なものは、各章で、「読み易さ・分かり易さ」にバラツキがあるという指摘、及び、「活動史」の全体的な理解の助けになる図表（ISS 計画の「目的・意義の変遷の歴史」を示す図表、利用については JEM（きぼう）利用を中核とした宇宙環境利用の「意義・目的の変遷」を示す図表）を本文に追加してはどうかとの提案であった。この提案に対しては、第 1 章（総括章）にこれらの「変遷」の概略を示す図表（「ISS 計画参加と宇宙環境利用の意義・目標」の変遷）を挿入することにした。また応用化研究についても同様の趣旨の提案があり、第 11 章に「応用化研究の変遷」を示す図表を挿入することにした。

利用に関係する章の全般的事項としては、現在進行中のプロジェクトであることから、現時点の担当者・当事者の努力を後支える意味からも、今後の利用推進活動に直接的な影響を与える事柄の記述については「表現を慎重に」という指摘を頂いた。この点については、「活動史」の編纂趣旨が、宇宙機関の立場から見た「客観的な事実」と、宇宙機関の当事者として体験した「経験と教訓」を記述するという立場であることを踏まえた上で、若干の見直しを行った。さらに、NASDA という「特殊法人」の立場から、IGA・MOU 等の国際交渉（政府間交渉）に関わることの難しさについて書き残しておくべきとの指摘も頂いた。本件については、当時の NASDA 担当者が国際交渉の場で実際に苦労したことであるが、突き詰めると、日本全体の宇宙開発体制における NASDA の位置付けに起因する問題であり、この体制問題を殊更論じることが「活動史」編纂趣旨に必ずしも適うものではないと考え、「活動史」の第 3 章に、「IGA・MOU 上、他極の実施機関とは異なり、日本の実施機関である NASDA が政府機関ではないために、日本のみ特殊な体制を敷くことになった」との事実関係を述べおくに止めさせていただいた。

また、「活動史」の「参考文献」の取得可能性について明確にしておくべきとの指摘も頂いた。「活動史」は、JAXA 特別資料として出版されるもので、「本書及びその内容についての問い合わせは、JAXA 情報システム部 研究開発情報センターまで」という、通常の問い合わせルートに従い、必要に応じて、情報提供等の対応がなされる。その際に、「参考文献」として掲載された資料のうち、「一般図書」（一般で購入可能なもの）は読者側で対処すべきものであるが、一般には取得が難しい「資料」については、その都度、情報提供等の対応を JAXA 側が行うことになる。（本書の一般原則として、「参考文献」は、一般開示が可能な文献である。）これは JAXA 出版の一般原則であるので、本文中では本件を明記はしていない。

最後に、「活動史」に記述されている「客観的な事実」と「経験と教訓」の今後の扱いに関して頂いた指摘である。特に JEM（きぼう）の利用については、少なくとも今後 10 年は継続されるために、利用推進等について、時代背景とその推進策、並びに、その際の経験と教訓を、JAXA の現役世代に確実に引き継ぐことが肝要というもの。この課題については、「活動史」出版後に、JAXA の利用業務の当事者（現役世代）に、適宜、伝達する機会を設けるように関係者への働きかけを行うことにしたい。また、ISS の計画推進（第 2 章、3 章）についても、同様の趣旨で、JAXA 関係者への伝達機会を設けることを働きかけたいと考えている。

### 3. まとめとして

本書で扱った中心の話題は、ISS の「計画推進の歴史」と JEM（きぼう）の「利用の促進及び推進の歴史」並びに「利用の将来展望」であった。JEM（きぼう）を中核として進められてきた宇宙環

境利用(研究)の成果についても、定量的な評価を踏まえた「まとめ」と「展望」が記述されることが望まれた。しかしISS計画の度重なる遅延の結果、JEM(きぼう)の利用が、その準備段階に約20年もの歳月が費やされ、やっと平成20年(2008)8月に念願のJEM(きぼう)利用が開始された段階で、今後10年はJEM(きぼう)利用が継続されるという状況に置かれている。本来は20世紀のうちに、JEM(きぼう)の初期の利用段階が終了し、21世紀初頭には、定常的な利用段階を迎えるはずであった。しかし、利用が10年近くも遅延したために、「活動史」は、ISS・JEM(きぼう)の利用を中核とした宇宙環境利用の「総括」ではなく、「中間まとめ」と「今後の利用展望」という位置付けになっている。利用の準備段階だけに着目しても、結果として、20年以上に亘って、社会や政治経済の地球規模の変動の波に直接晒され、それに挫けることなく様々な努力が傾注されてきた活動であった。このために、限られた紙面と時間の制約から、「活動史」が扱うべき話題の選択には幾多の紆余曲折があり、結果として現在の形に収まったものであった。この意味で、レビューをお願いしたNASDA時代の先輩諸氏からは、「活動史」としての望ましい形や内容に関する所見や指摘も頂き、ここで改めて先輩諸氏の通読の労に感謝の意を表したい。

頂いた指摘の幾つかは、「活動史」の校正段階で取り込んだが、取り込めない事項もあり、これについては、将来、取りまとめられるであろうJAXAとしてのISS・JEM(きぼう)利用並びに宇宙環境利用の総括に反映されることが望まれる。それまでの間、また、「総括」の編纂に当たっての参考資料として、「活動史」が有効に活用されることを願う次第である。

執筆者略歴

(あいうえお順)

### 伊藤 道夫

1958年広島県生まれ、東京大学大学院工学系研究科修了。

宇宙開発事業団入社後H-Iロケット開発に従事。その後国際宇宙ステーションのリデザイン活動を経てJEM与圧部システム設計を担当、現在の与圧部仕様を固めた。その後1996年より宇宙環境利用センター/利用システム主任研究員としてJEM曝露部初期利用に向けた研究開発に従事。現在有人プログラムシステムズエンジニアリング室技術領域リーダー。

主な研究・活動分野：飛翔体力学、構造複合材料、有人宇宙機システム設計、宇宙環境工学。

### 井口 洋夫

1927年広島市生まれ、東京大学理学部卒。東京大学D.Sc., ノッチンガム大学Ph.D., D.Sc.

東京大学教授、分子科学研究所教授、所長、岡崎国立共同研究機構長、国際高等研究所副所長、宇宙開発事業団宇宙環境利用研究システム長を歴任。宇宙航空研究開発機構顧問(2010年3月退任)。

主著：「有機半導体」(1964 槇書店)。「宇宙環境利用のサイエンス」(2000 裳華房、井口洋夫監修、岡田益吉、朽津耕三、小林俊一編集)。

主な研究：有機物質の物性化学、宇宙環境利用科学。

### 小野 義雄

1941年大阪市生まれ、名古屋大学工学部航空学科修士課程卒。

三菱重工業(株)名古屋航空宇宙システム製作所、中菱エンジニアリング(株)大江事業所、宇宙航空研究開発機構を経て、現在、有人宇宙システム(株)技監。

主な研究・活動分野：ロケットのシステムおよび構造設計、小型宇宙往還機(HOPE)と再突入実験機(OREX)のシステムおよび耐熱構造設計、きぼうの与圧系開発マネジメント。

現在、ロケット構造系の技術評価およびきぼう搭載実験装置の安全評価。

### 小林 智之

1953年福井県生まれ、名古屋工業大学工学部I部機械工学科卒。

日本国有鉄道を経て、宇宙開発事業団(現宇宙航空研究開発機構JAXA)入社後「宇宙往還輸送システム」の「耐熱構造研究開発」業務を皮切りに、JAXA研究開発計画管理、国際宇宙ステーション利用計画推進、産学官連携推進に従事。

現在、有人宇宙環境利用ミッション本部宇宙環境利用センター技術領域リーダー(利用促進担当)。国際宇宙ステーションに取り付けられた日本実験棟「きぼう」の産業界の利用促進



及び新しい利用分野・テーマの開拓に取り組んでいる。

### 齋藤 勝利

1944年長野県生まれ、名古屋大学理学部卒。

科学技術庁宇宙開発推進本部総理府技官、宇宙開発事業団発足(1969年)で移籍、各種国産ロケットの設計、米国からのロケット設計技術導入、将来型宇宙技術の研究開発等、以後、スペースシャトル利用実験計画の立上げ、宇宙ステーション/JEM 計画(当初から組立て開始頃まで)推進、宇宙開発事業団理事(2003年6月退任)。

主著「宇宙ステーションの開発と利用」(財)国際衛星通信協会(1990年)。

主な研究開発・活動分野:宇宙輸送系、有人拠点系システム設計、関連ソフトウェアの研究開発、宇宙実験や将来型各種宇宙システム、計画立案、立上げ、プログラムマネジメント。

### 佐藤 雅彦

1963年生まれ(盛岡市出身)、学習院大学法学部卒。

宇宙開発事業団企画室副主幹、契約調査課長、ジョージワシントン大学宇宙政策研究所客員研究員、文部科学省宇宙政策課調査員・宇宙3機関統合準備室室長補佐等を歴任。

現在、宇宙航空研究開発機構総務部法務課長、慶応義塾大学非常勤講師・グローバルセキュリティ研究所上席研究員他。

国際宇宙法学会、国際法学会、空法学会、コスト評価分析学会他所属。

主な研究・活動分野:宇宙法、宇宙政策、コストマネジメント。

### 清水 順一郎

1946年生まれ(東京都出身)、東京工業大学応用物理学科卒、ノースウエスタン大学数学科修士課程修了。

宇宙開発事業団入社後、ロケット飛行安全解析、技術試験衛星システム解析、ロケット飛行解析、筑波研究企画(所長付き)、宇宙環境利用推進(宇宙実験/利用研究)を担当、宇宙環境利用研究センター長、筑波宇宙センター所長を歴任、現在、宇宙環境利用センター参与。

著書等:「宇宙環境利用のサイエンス」(共著、2000 裳華房)、「宇宙問題への人文・社会科学からのアプローチ」(共著、2009 国際高等研究所)、「ロケット推進工学」(共訳、平成7年山海堂)。

主な研究開発・活動分野: 応用解析(運動解析、確率解析)、宇宙環境利用の科学。

### 白川 正輝

1966年香川県生まれ、豊橋技術科学大学大学院博士後期課程システム情報工学専攻修了、博士(工学)。

宇宙開発事業団宇宙環境利用推進部、宇宙航空研究開発機構宇宙環境利用センター、

HTV プロジェクトチーム、事業推進部等において、搭乗員養成訓練、宇宙環境利用、国際宇宙ステーション計画調整等に係る業務に従事。マサチューセッツ工科大学客員研究員、内閣府政策統括官(科学技術政策担当)付参事官補佐等を歴任。

現在、宇宙航空研究開発機構宇宙環境利用センター技術領域リーダー。

### 白木 邦明

1946 年福岡県生まれ、九州工業大学工学部卒、カリフォルニア工科大学大学院修士課程修了、九州大学大学院博士後期課程修了。

宇宙開発事業団 宇宙環境利用システム本部JEMプロジェクトマネージャ、参事(宇宙環境利用システム本部副本部長)、宇宙航空研究開発機構宇宙基幹システム本部国際宇宙ステーションプログラムマネージャ、執行役等を歴任。

現在、宇宙航空研究開発機構理事。

主著：「宇宙ステーションと支援技術」(2004 年コロナ社、共著)

### 高沖 宗夫

1948 年大阪府生まれ、大阪大学理学部卒、京都大学理学博士。

武田薬品工業(株)中央研究所研究員、ハーバード医学校研究員、三菱重工業(株)神戸造船所等を経て現在宇宙航空研究開発機構主幹研究員。

主な研究・活動分野：宇宙生物学。

### 日比谷 孟俊

1945 年生まれ、慶應義塾大学工学研究科修士課程応用科学専攻修了、工学博士。

NEC 基礎研究所主席研究員、(株)宇宙環境利用研究所、東京工業大学大学院総合理工学研究科客員教授、首都大学東京大学院システムデザイン研究科航空宇宙システム工学専修教授を歴任。慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科教授。

日本マイクログラビティ応用学会会長、日本結晶成長学会副会長を歴任、IEEE フェロー。

主著 「マイクログラビティ」(オーム社、共編著)、Crystal Growth Processes Based on Capillarity (John-Wiley, 共著) など。

主な研究・活動分野：材料科学、材料工学、材料プロセス、微小重力科学、システム工学。

### 藤森 義典

1939 年佐賀県生まれ、東京大学工学部卒、イリノイ大学 Ph.D.。

航空宇宙技術研究所グループ長、宇宙開発事業団特任参事、国際宇宙大学教授等を歴任、現在宇宙航空研究開発機構客員。

日本機械学会名誉員並びにフェロー、AIAA Associate Fellow。

主著 「人類は宇宙へ向かう」(オーム社)。

主な研究・活動分野: 確率論的構造動力学、宇宙機器システム工学、大型構造物構築法、宇宙実験計画法、宇宙ミッション企画運営法、宇宙システム未来学。

### 村上 淳

1956年広島県生まれ、東京都立大学工学部土木工学科修士課程卒。

(株)石川島播磨重工業 宇宙開発事業部、(株)IHIエアロスペース 宇宙技術部を経て、現在、(株)IHIエアロスペース 営業部。

主な研究・活動分野: 衛星用推進系開発および構造設計、きぼうの曝露系、実験装置開発マネジメント、HTV曝露パレット／補給ラック開発マネジメント。

現在、宇宙分野での営業活動を実施。

### 吉村 善範

1955年福井県生まれ、東京大学工学部卒。東京大学大学院工学系研究課程修士修了。

宇宙開発事業団、宇宙実験グループ宇宙基地推進室、ヒューストン駐在員事務所、総務部企画調整課、米国ジョージワシントン大学宇宙政策研究所客員研究員、米国下院科学技術委員会インターン、計画管理部宇宙実験プログラムオフィス、科学技術庁研究開発局調査国際室長、情報化推進部企画調整課長、システムズエンジニアリング推進室長、ワシントン駐在員事務所長を歴任。

現在、有人宇宙環境利用ミッション本部 宇宙環境利用センター センター長。

## 編集委員会の開催録

### 1. 編集委員会の構成

本書の企画は当初の趣意書を基に、編集委員会の場で審議・討論を行い、全員の総意により執筆の具体化を図ることとした。編集委員会の構成は次の通りである。

編集委員長：井口洋夫

編集委員：伊藤道夫、井口洋夫、小野義雄、小林智之(2009年12月以降)、齋藤勝利、佐藤雅彦(2009年12月以降)、清水順一郎、白川正輝、白木邦明、高沖宗夫、日比谷孟俊、藤森義典、村上淳(2009年8月以降)、山中龍夫(2009年12月まで)、吉村善範、渡辺高根(2009年7月まで)、[あいうえお順]

事務局：藤森義典(2010年3月まで主、4月以降副)、  
清水順一郎(2010年3月まで副、4月以降主)

### 2. 編集委員会の開催過程

本書の編纂にあたっては、2008年12月に第1回目の編集委員会を開催している。この第1回編集委員会開催に至るまでの5-6カ月間は、準備期間として編集委員になって頂く方々には個別に編纂趣旨を説明する時間に当てている。趣旨説明に対しては要望や注文をお受けすることが多かったが、編集委員会開催までには各位にご賛同を得ている。

編集委員会は、2008年12月から2010年3月まで、13回、2010年度は5月、6月に1回づつ、総計15回開催した。

当初の編纂趣旨は宇宙ステーション計画参画業務や宇宙環境利用研究からの経験と教訓に重きを置いていて、それに沿う執筆形態を審議していた。編集委員会全体の合意が形成され、各章執筆の方向性が定まったのは2009年の夏頃であった。

2009年夏以降、執筆者(多くは編集委員を兼ねる)が執筆担当章を書き始めることとなった。同年の秋口には本書の概略が具体的に見えて来た。その時点で、一部の編集委員から本書全体の構成に関して、各章の記述内容・脈絡に関して意見が出された。それは、経験と教訓を書くにしても、それらのベースとなる事実関係、イベントの年代記的記述部分を充実させる必要があるのではないか、纏められる経験と教訓の背景を読者に分かり易くする必要があるのではないか、と言うものであった。

編集委員会としてはこの意見を取り入れ、2009年の秋から冬にかけて、本書を出来る限り充実させる方向へ舵を取った。その結果、追加の作業が発生した。即ち、編纂趣旨の改定を行い、それに伴い内容(章)の追加や記述方針の修正を行うとともに、執筆者へは担当する章に関する事実調査や事実関係の確認作業を依頼した。それら審議・作業途中での軌道修正のため、全体の原稿が揃ったのは2010年7月であった。初期の本書完成目標期日:2010年3月、より遅れることとなったが、幸いに編集委員会の役割は成功裏に終了した。

## 編集後記

本書の各章執筆は、JAXA、大学、企業に勤めている方々や、既に現役を退いた方々など、これまで ISS 計画の推進、JEM(きぼう)の開発、宇宙環境利用を始めとした JEM(きぼう)の利用推進、宇宙環境利用研究等に深く関わってきた多彩な方々をお願いした。多くの職場では、仕事が変わったり、職掌が変わったり、役職が変わったりする人事異動があるのが普通だ。異動の際には、前任者から後任者へ「引き継ぎ書類」が渡されることが大体習慣になっている。

本書は、これまでの事実関係と経験や体験が収められている、言わば、「引き継ぎ書類」を目指したものである。引き継ぎ書類の書式は決まっていはいない。日記風でもよし、メモ書き風でもよし、何がどのように書いてあっても構わない。それが事実や経験に裏打ちされたものであることが重要ではあるが、公式書類であることは稀であろう。ただ、それを手渡された後任者の参考になるものでなければならないという要求があるだけだ。

引き継ぎ書類は過去の歴史であり、未来への指南書でもある。よく歴史から教訓を学ぶと言うように、過去は将来への羅針盤であり、そこに、知恵、知識、情報の源泉を求めることができる。歴史から学ぶこととは「先を読みとる力」を涵養することに外ならない。

本書が目指したものが、部分的であれ、そのことが実現されたかどうかは読者の判断にお任せしたい。然しながら、本書編集方針を議論している最中に我が国の実験モジュール JEM(きぼう)が ISS に組み付けられるのを目にした編集委員会としては、我が国が 1980 年代に掲げた ISS 計画参画への意義や目標の多くの部分が既に達成されていると観察している。もちろん、ISS・JEM(きぼう)を利用した科学的成果や学術的成果の創出はこれからであり、今後の関係者の努力を期待したい。

本書は、2 年ほど前に編集委員会を構成して編纂計画の検討を開始して以来、紆余曲折を経てようやく完成を見るに至った。編集事務局を担当した者として喜びに堪えない。

編集委員会は 2008 年 12 月に開始して、完成まで 15 回を数えている。2009 年 12 月まで編集員であった山中龍夫氏には数々の貴重なご意見を頂いた。同氏に此处で御礼申し上げます。また、当初、編集委員であった渡辺高根氏は 2009 年 7 月に後任者(村上淳氏)と交代した。同氏にも合わせて御礼申し上げます。

また、本書の最終稿が整った 2010 年 12 月の時点で、ISS 計画を推進した NASDA で、実質的な責任を担ってきた先輩諸氏に、本書のレビューをお願いした。その状況については、本書の最後の「付録:NASDA 時代の副本部長経験者等への最終稿レビュー依頼の概要」で、その概要をまとめた。年末から年始の忙しい時期にもかかわらず、分厚い原稿を通読し、貴重な指摘や提案等のご意見をいただいた。此处で改めて御礼申し上げます。

最後に、本書の原稿校正等について、校正原稿のとりまとめと管理、フォント統一、フォーマットの統一、図の改編や修正、図表のページへの当てはめ等、極めて煩雑な作業を宇宙環境利用センターの伊師里美氏が一手に引き受けてくれた。同氏の努力がなければ、本書の完成がいつになるか定かではなかった程にご苦労をおかけした。末尾ながら、編集委員会として御礼申し上げます。

平成 22 年 12 月 1 日、藤森義典・清水順一郎記

宇宙航空研究開発機構特別資料 JAXA-SP-10-007

---

発行 平成23年2月28日  
編集・発行 宇宙航空研究開発機構  
〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7-44-1  
URL : <http://www.jaxa.jp/>  
印刷・製本 (株)ピー・シー・シー

---

本書及び内容についてのお問い合わせは、下記にお願いいたします。


宇宙航空研究開発機構 情報システム部 研究開発情報センター  
〒305-8505 茨城県つくば市千現2-1-1  
TEL:050-3362-6224 FAX:029-868-2956

---

© 2011 宇宙航空研究開発機構

※ 本書の一部または全部を無断複写・転載・電子媒体に加工することを禁じます。



リサイクル適性   
この印刷物は、印刷用の紙へ  
リサイクルできます。