

# ISAS 宇宙輸送系開発研究の中長期戦略

○徳留真一郎，野中聡，丸祐介（JAXA 宇宙科学研究所）

## 1. はじめに

JAXA 宇宙科学研究所では、2018 年度から所内工学委員会の諮問組織として宇宙輸送系専門委員会が設置され、宇宙輸送系分野の将来ビジョンの検討が行われている<sup>1,2</sup>。並行して検討が進む JAXA としての将来輸送系検討の活動と連携することによって、JAXA の中での ISAS の役割についても明確化しようとしているところである。

本稿で述べる中長期戦略は、2018 年度末にまとめられ、2019 年 11 月に改訂された「ISAS 宇宙輸送系のミッションシナリオ（案）」として今後 20 年程度の長期的視点で ISAS 宇宙輸送系分野の研究方針の提案を描いたものである。

## 2. ミッションシナリオ策定の考え方

平成 26 年に内閣府宇宙政策委員会で制定された「宇宙輸送システム長期ビジョン」<sup>3</sup>を出発点として、「宇宙科学研究所のミッション」<sup>4</sup>及び「宇宙科学の次期中長期計画をめぐる戦略シナリオ」<sup>5</sup>に則り、特に下記の 5 項目を念頭に ISAS 宇宙輸送系の開発研究の方針を中長期戦略として描くこととした。

### ① 貢献すべき相手：

宇宙科学コミュニティ，そしてその成果を活用する社会（産業界など）

### ② 貢献すべき相手のとっての価値：

中長期的な将来を見据えて、民間事業者が手を出せない先進的なシステム技術または要素技術によって、宇宙輸送系の本質的な課題を解決できること。また、JAXA 他部門，他研究機関，民間企業，大学との連携，協同によって実行する場合，大学共同利用機関の強みにより，卓越した成果の創出に貢献できること

### ③ ミッション（使命）：

多様な宇宙科学の世界をカバーする軌道間輸送ネットワークを構築する（仮設定）

### ④ 成果：

段階的にゴール＝戦略目標へ向かう道すがらの宇宙科学コミュニティや社会への貢献

### ⑤ 計画：

開発対象と開発体制の調整と識別，開発対象のロードマップ，実行組織の提案にまとめる

また、宇宙科学分野における輸送系の戦略的な開発研究活動を持続するためには、その意義、目的、成果について広く社会から理解や共感を得る必要がある。そのためにも、先進的なシステム技術や要素技術に係る開発研究の成果を、人類の宇宙活動領域の拡大に資する宇宙産業の振興に役立てるなど、社会に還元しその発展に大きく貢献することにも意識を向けるべきである。

## 3. ISAS 輸送系のミッションシナリオ

### 3-1 ISAS 輸送系のミッション

国の政策、打上げニーズ、国際有人宇宙探査、勃興する民間企業との関係、宇宙科学の次期中長期計画などを踏まえて、2 の②に示した価値を識別しミッションを仮設定した。

### 「多様な宇宙科学の世界をカバーする軌道間輸送ネットワークを構築する」

中長期のスコープを現在から 20 年程度と設定し、2040 年代以降に低軌道領域の輸送システムについて完全再使用化と高頻度運用が実現し、輸送コストが 1～2 桁程度低減されているという大前提のもとで中長期戦略を策定する。また輸送システム自身の進化・発展に応じて多様化してゆく宇宙科学の将来に対応するためには、進化と発展の自由度が大きい軌道間輸送ネットワークの構築こそ適切と考えられる。

もちろん、ISAS 輸送系として単独で行うのではなく、宇宙科学・探査以外の他の分野とも連携・協同しながら、同輸送ネットワークを構築していく。その中で宇宙科学の強みを活かした実施範囲としては、低軌道への高頻度繰返し輸送、エアブリーザ、電気推進、ソーラー電力セイル、柔軟エアロシェルによる再突入などのキー技術を獲得し、軌道間輸送ネットワークを構築するための道具立てを揃えることがイメージできる。

### 3-2 中長期戦略

上記ミッションを踏まえて、これから 20 年間の中長期戦略のシナリオを 3 段階に分けて策定する。すなわち、第 3 段階は戦略のゴール（戦略目標）である。

“二段式の再使用型宇宙輸送システム (TSTO) の本格運用が始まり、高頻度大量輸送の時代が到来する。人員や物資の運搬が賑やかになるに従い宇宙活動が活

性化され、軌道上の観測拠点や深宇宙探査拠点も本格形成されて、科学・探査の世界に新しいサイエンスが生み出される。さらなる宇宙活動の発展を約束する単段式の再使用型宇宙輸送システム(SSTO)の実用化へ向けた試験飛行が行われている。”

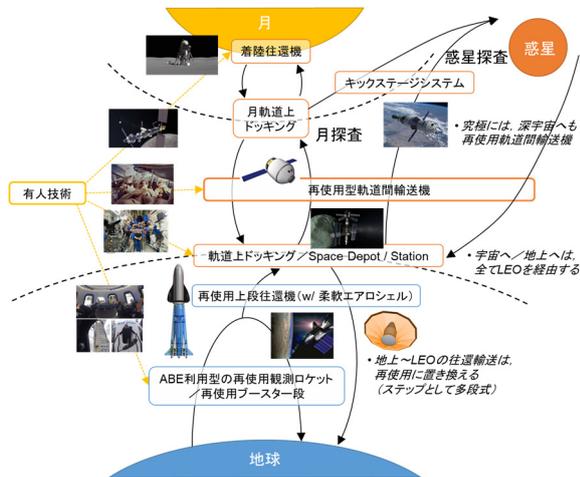


図1 ISAS 宇宙輸送系の長期戦略目標 (第3段階)

また現在を出発点とする第1段階は、第3段階からのバックキャストを意識しつつ、これまでの成果とこれから期待される研究成果に基づくフォアキャストによって描かれる中期戦略である。“2010年代末現在検討されている再使用技術の実用化が進み、観測、探査、技術実証の各ミッションの実行頻度が向上して、新しい科学や技術が創出されつつある。”

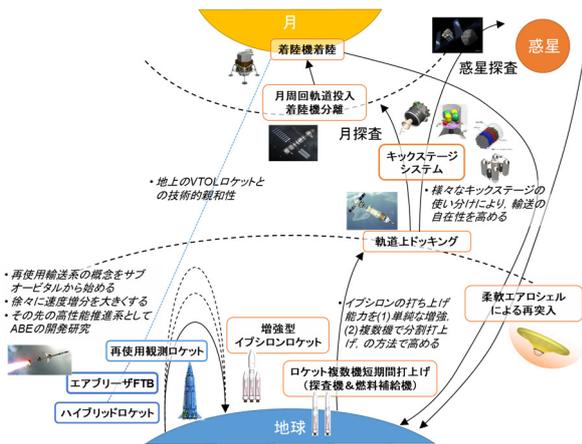


図2 ISAS 宇宙輸送系の中期戦略目標 (第1段階)

そして第2段階は、第1段階で期待される成果を第3段階へと繋げる長期戦略として描かれる。

“軌道宇宙輸送においても再使用化が進み、軌道上では再使用型軌道間輸送機の定常運用が始まる。使

い切り型と再使用型を適切に使い分ける段階である。科学観測や探査には様々な輸送オプションが用意され、より多様なニーズに応えられるようになる。人類の活動圏が外惑星域へ拡大し、日本も独自の有人宇宙活動に乗り出す。”

### 3-3 重点技術領域 (三本の柱)

中長期戦略のイメージに基づいて、ISAS 宇宙輸送系として重点的に取り組むべき技術領域を設定し、その領域内における開発対象と取り組む体制を識別した。

まず、重点的に取り組むべきシステム技術領域を特に三本の柱として設定した。

- 第一の柱は、宇宙開発利用発展のカギとして低軌道領域への高頻度大量輸送を目指す「再使用型宇宙輸送システム」である。第1段階で中核となる技術領域である。
- 第二の柱は、宇宙科学・探査ミッションの頻度と自在性を高める「深宇宙・軌道間輸送システム」である。その能力は、太陽系探査だけでなく天文分野からの要望を包含する。
- 第三の柱は、輸送系の開発研究に必須の飛行実験手段となる「小規模飛翔体システム (固体ロケットを含む)」である。多様化したユーザ欲求への対応が課題である。

### 3-4 開発研究のロードマップ

図4に前項の各技術領域に対する開発対象に対応する開発研究のミッションロードマップ案を示す。図中の①, ②, ③は、それぞれ中長期戦略のどの段階で取り組む対象かを示している。

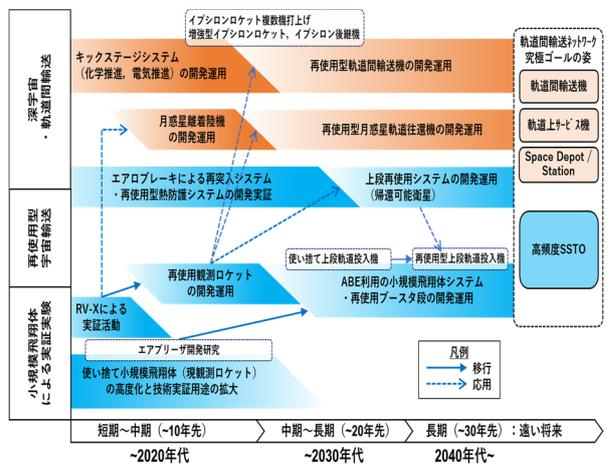


図4 開発研究のミッションロードマップ案

### 3-5 最初の10年で取り組むべき重点開発対象

これまでの技術成果そしてこれからの中期的視点で期待される研究成果について描かれた第1段階では、次の3つの対象に注力すべきである。

■ **イプシロンロケット+キックステージ**: 太陽系探査ミッションに対応する (C3=16km<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> の探査軌道に 500kg 程度の探査機を投入する程度の) 能力増強<sup>6</sup>について開発の見通しが立っており、引き続き探査コミュニティから強い要望が寄せられている状況である。現行イプシロンによる規模の小型探査機ミッションに対しては、キックステージの開発によって自在性と実行頻度の向上を図る。これから増える超小型探査機ミッションの高効率化を狙って、固体モータを比推力性能で大きく上回る先進的推進系を適用したキックステージ開発を進める。様々な特性をもつキックステージを揃えることで、将来の多様な探査機ミッションへの対応能力が向上する。

■ **再使用観測ロケット+エアブリーザ**: 中長期戦略第1段階の中核課題は、宇宙開発利用発展のカギとなる再使用型宇宙輸送システムの実現に向けた技術開発である。上述の通り、宇宙科学コミュニティユーザのほぼすべての欲求に応えることが可能な再使用観測ロケット<sup>7</sup>の開発を最初のステップとする。そして輸送効率と運用効率を大きく向上させるエアブリーザの開発研究を進め、それを適用した人類初の宇宙輸送機を完成させて、より高度なユーザ欲求に応じてゆく。図5に観測ロケットシステムの今後の戦略的な進化のイメージを示す。

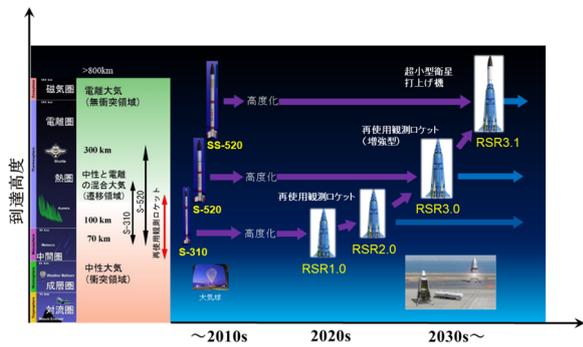


図5 観測ロケットの戦略的進化プラン

再使用観測ロケットで獲得された様々な技術は、再使用型上段システム<sup>8</sup>やISECGで検討されている重力天体への離着陸システム<sup>9</sup>に応用可能である。またエアブリーザ技術については、作動速度

域を極超音速域まで広げるための開発研究を行い、そのロケットエンジンに対する優位性を最大限に引き出す。図6にエアブリーザを適用した再使用観測ロケットの発展的開発とその成果の輸送系開発への貢献について示した。

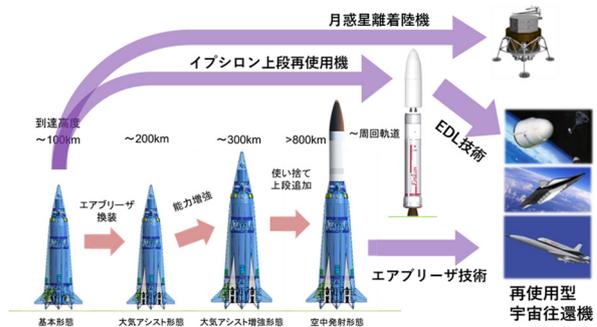


図6 再使用観測ロケットの戦略的進化と輸送系開発や探査への貢献

■ **大気圏再突入熱防護システム**: スペースシャトル以来、再使用型宇宙輸送システムの実現に向けたクリティカルな課題の一つが、多数回のフライトで使える再使用型の熱防護システム (TPS) の実用化である。ここでは、当該 TPS を正攻法によって研究する活動を立上げ促進することに加えて、空力加熱による熱入力を格段に下げて TPS の負担を減らすエアロブレーキシステム<sup>10</sup>も並行して検討することにする。エアロブレーキについては、ISAS 内で検討中のインフレータブルによる展開型柔軟エアロシェル<sup>11</sup>の利用を第一候補として、図6中の RSR2.0 以降の再使用観測ロケットへの応用を検討する。第2段階での実用を目指して、第1段階では一定レベルの技術実証を終える。

### 3-6 実行組織の検討

宇宙輸送系に係るリサーチグループ、ワーキンググループ、部門プロジェクト、JAXA プロジェクトを、本中長期戦略に基づいて有機的に繋げ効率的に実行するためのプラットフォームとなる組織を ISAS 内に設置することを検討している。

従来、各研究者が自由な発想でボトムアップ的に実行してきた研究室レベルの基盤研究、萌芽研究は、この組織の活動のスコープ外である。ただし、それらの研究について、宇宙輸送系専門委員会から有意なテーマとして追加すべきとの提言があれば、グループ内の各開発研究に適切に応用する。

#### 4. おわりに

本稿では、2018年度からISASの宇宙輸送系専門委員会で検討が開始されたISAS/JAXA宇宙輸送系分野の開発研究における中長期戦略について、ここまでのまとめを示した。当該中長期戦略の検討は本年度以降も継続的に実施され、設定された戦略目標へ向かう道筋について臨機応変かつ進化的に見直しを図られることになる。一方で、本稿のシナリオに対しては、具体的な成果と成果指標を設定した上で実行計画の具体化を進めたい。そのシナリオの一部については、本年度結成された新しい研究チーム等によってすでに具体的な取組みが開始されていることを付け加えておく。

#### 参考文献

- 1) 徳留真一郎, 野中聡, 丸祐介: ISAS 宇宙輸送系分野の中長期戦略: 第2回観測ロケットシンポジウム, JAXA 相模原キャンパス, 2019年8月5日。  
<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/bitstream/ais/933683/1/SA6000142002.pdf>
- 2) 徳留真一郎, 野中聡, 丸祐介: ISAS 宇宙輸送系の中長期戦略: 1M04, 第63回宇宙科学技術連合講演会, アスティとくしま, 2019年11月6日。
- 3) 内閣府宇宙政策委員会: 宇宙輸送システム長期ビジョン, 2016年4月3日。  
<https://www8.cao.go.jp/space/committee/kettei/vision.pdf>
- 4) 宇宙科学研究所: 宇宙科学研究所のミッション, 宇宙科学研究所ウェブサイト。  
<http://www.isas.jaxa.jp/about/vision/>
- 5) 宇宙科学研究所: 宇宙科学の次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ A 版, 2018年8月。  
[http://www.isas.jaxa.jp/home/rigaku/shiryō/roadmap/ISA-S-senryakusenario\\_verA.pdf](http://www.isas.jaxa.jp/home/rigaku/shiryō/roadmap/ISA-S-senryakusenario_verA.pdf)
- 6) 徳留真一郎, 齊藤靖博, 山本高行, 中谷幸司, 小野哲也, 原利頭, 餅原義孝: JSASS-2016-4010, 1A10 固体ロケットシステム将来形態の概念検討, 第60回宇宙科学技術連合講演会, 函館アリーナ, 2016年9月6日。
- 7) 野中聡, 伊藤隆: 再使用観測ロケット技術実証について, 第1回観測ロケットシンポジウム, JAXA 相模原キャンパス, 2018年7月18日。  
<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/bitstream/ais/897508/1/SA6000127028.pdf>
- 8) Tokudome, S., Yamashiro, R., Yamamoto, T., Ikaida, H., and Saito, Y., "Study of Upper-stage Reusable Launch Vehicle with Solid Rocket Booster," IAC-16-D2.4.5, 67<sup>th</sup> International Congress, Guadalajara, Mexico, 2016.
- 9) 宇宙航空研究開発機構国際宇宙探査センター: 国際宇宙探査の方針に係る JAXA における検討の状況について, 資料 26-2, ISS・国際宇宙探査小委員会, p.4, 2018年10月23日。
- 10) 山田和彦: 観測ロケット実験における回収システムの研究開発計画, 第1回観測ロケットシンポジウム, JAXA 相模原キャンパス, 2018年7月18日。  
<https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/bitstream/ais/897509/1/SA6000127026.pdf>