

宇宙航空研究開発機構特別資料

JAXA Special Publication

航空・基盤技術と社会に関する懇談会報告(その2) (平成20年度)

－我が国とJAXA航空・基盤領域が抱える課題と考察－

Report of Advisory Group for the Social Relationship
on the Aeronautics and Basic Technology in JAXA

－Concern on problems of the Aeronautics and its fundamentals for the Nation and JAXA－

坂田 公夫^{*1}, 水野 洋^{*2}, 石澤 和彦^{*4}, 柴田 真^{*3}, 平岡 康一^{*3}, 本阿彌 眞治^{*5}, 堀之内 茂^{*2}
薄 一平^{*6}, 岩宮 敏幸^{*6}, 柳 良二^{*7}, 重見 仁^{*6}, 大貫 武^{*7}, 柳原 正明^{*6}, 是永 美樹^{*8}

Kimio SAKATA^{*1}, Hiroshi MIZUNO^{*2}, Kazuhiko ISHIZAWA^{*4}, Makoto SHIBATA^{*3}, Kouichi HIRAOKA^{*3},
Shinji HONAMI^{*5}, Shigeru HORINOUCI^{*2}, Ippei SUSUKI^{*6}, Toshiyuki IWAMIYA^{*6}, Ryoji YANAGI^{*7},
Masashi SHIGEMI^{*6}, Takeshi OHNUKI^{*7}, Masaaki YANAGIHARA^{*6} and Miki KORENAGA^{*8}

★1: 前JAXA理事

Former Executive Director, JAXA

★2: 航空プログラムグループ 超音速機チーム 客員

Associate, Supersonic Transport Team, Aviation Program Group

★3: 航空プログラムグループ 国産旅客機チーム 客員

Associate, Civil Transport Team, Aviation Program Group

★4: 研究開発本部 ジェットエンジン技術研究センター 客員

Associate, Jet Engine Technology Research Center, Aerospace Research and Development Directorate

★5: 研究開発本部 ジェットエンジン技術研究センター 客員 東京理科大学

Associate, Jet Engine Technology Research Center, Aerospace Research and Development Directorate
Professor, Tokyo University of Science

★6: 研究開発本部

Director, Aerospace Research and Development Directorate

★7: 航空プログラムグループ

Team leader, Aviation Program Group

★8: 前航空プログラムグループ

Former member, Aviation Program Group

(上記は平成21年3月時点の所属、役職である。)

2010年2月

February 2010

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

目 次

	(執筆者)
概要	1 (坂田)
はじめに	3 (坂田)
1. 我が国の航空機産業・技術の現状と課題の概要	5 (坂田)
2. 航空機市場の動向と考察	
2.1 旅客機の市場動向	14 (坂田)
2.2 小型機、ビジネス・ジェット、エア・タクシーの市場	17 (水野)
3. 航空基盤の拡充：JAXAにおける整備検討	
3.1 JAXAの風洞の現状と将来に担う整備(風洞ビジョンの試み)	37 (重見、柴田)
3.2 構造試験用大型設備について	46 (平岡、薄)
3.3 飛行実証設備としての小型ジェット機	58 (柳原)
4. 国産旅客機開発の現状とエンジンの研究開発提言	
4.1 国産機プロジェクトMRJとエコエンジンにおけるJAXA の関与	79 (坂田)
4.2 我が国の航空エンジンにおける課題と産業の将来像 (含：大型試験設備の整備構想)	84 (石澤、柳、坂田)
5. 超音速機技術の検討(継続)	
5.1 小型超音速旅客機概念検討の試み	106 (堀之内)
6. 人材育成と学術研究機関の役割変化	
6.1 人材育成に関する大学及び企業の状況	109 (本阿彌)
6.2 企業文化と哲学について(MOOG社の場合の紹介と考察)	116 (坂田)
おわりに	119 (坂田)
(補遺) 見学記録	120 (是永、水野、柴田)
(1) 日本航空 啓発安全センター見学記	
(2) 見学報告：三菱重工業名古屋航空宇宙システム製作所	

航空・基盤技術と社会に関する懇談会報告(その2)* (平成20年度)

—我が国と JAXA 航空・基盤領域が抱える課題と考察—

坂田公夫*1, 水野 洋*2, 石澤和彦*4, 柴田 真*3, 平岡康一*3, 本阿彌眞治*5, 堀之内茂*2,
薄 一平*6, 岩宮敏幸*6, 柳 良二*7, 重見 仁*6, 大貫 武*7, 柳原正明*6, 是永美樹*8

Report of Advisory Group for the Social Relationship On the Aeronautics and Basic Technology in JAXA*

— Concern on problems of the Aeronautics and its fundamentals for the Nation and JAXA —

Kimio SAKATA*1, Hiroshi MIZUNO*2, Kazuhiko ISHIZAWA*4, Makoto SHIBATA*3,
Koichi HIRAOKA*3, Shinji HONAMI*5, Shigeru HORINOUCI*2, Ippei SUSUKI*6,
Toshiyuki IWAMIYA*6, Ryoji YANAGI*7, Masashi SHIGEMI*6, Takeshi OHNUKI*7,
Masaaki YANAGIHARA*6 and Miki KORENAGA*8

Abstract

This is the Second report of Advisory Group for the Social Relationship on the Aeronautics and Basic Technology in JAXA of the Aerospace Research and Development, now and Aviation Program Group (APG) of JAXA. In 2007, the committee published the first report on the subject of concern for the appropriate management of the research works to be performed in JAXA APG and IAT(ARD, presently) in such a drastically changing circumstance around JAXA in the technology and the industry. and industrial sectors in the IAT and APG. The objectives of the committee are for giving the insight and basic idea for continuous improvement of the way and strategy for

*平成22年1月27日受付 (received 27 January, 2010)

*1: 前 JAXA 理事

Former Executive Director, JAXA

*2: 航空プログラムグループ 超音速機チーム 客員

Associate, Supersonic Transport Team, Aviation Program Group

*3: プログラムグループ 国産旅客機チーム 客員

Associate, Civil Transport Team, Aviation Program Group

*4: 研究開発本部 ジェットエンジン技術研究センター 客員

Associate, Jet Engine Technology Research Center, Aerospace Research and Development Directorate

*5: 研究開発本部 ジェットエンジン技術研究センター 客員 東京理科大学

Associate, Jet Engine Technology Research Center, Aerospace Research and Development Directorate
Professor, Tokyo University of Science

*6: 研究開発本部

Director, Aerospace Research and Development Directorate

*7: 航空プログラムグループ

Team leader, Aviation Program Group

*8: 前航空プログラムグループ

Former member, Aviation Program Group

(上記は平成21年3月時点の所属、役職である。)

operation of IAT and APG done by the executive director of those through the presentation of the emerging topics and discussion among the committee members. The topics, being dealt with in the committee, include the varying trends of the technology, industry, and market, and movement of the economics, social things and the worldwide trend of the technologies and productions, together with the human developments. This report describes the results of the research and investigation results done in 2007 and 2008 including the regional transports, SST, domestic development of the aero-engines, structural technologies, testing and evaluation infrastructures and so force. This report should be useful to the readers in JAXA and the aerospace industries for better planning, activities and management.

概 要

平成 18 年度から活動している(独)宇宙航空研究開発機構航空プログラムグループならびに総合技術研究本部(現研究開発本部)の「航空・基盤技術と社会に関する懇談会」(以下「航空基盤懇談会」と言う。)では、平成 19 年度に第一号の報告書 [1] を発行した。本報告はその第 2 号である。懇談会は平成 19 年度以降も引き続き、技術動向ならびに技術ニーズ動向、産業の現状と将来に向けた課題、世界の市場動向などを調査検討することを通して、JAXA 航空プログラムと基礎基盤技術領域の研究開発の、より適切な進め方をについて考察し、さらには我が国航空技術関係者に向けて、実効性の高い効果的な施策や計画、方策等についての提案を発信することを目指してきた。平成 19 年度から 20 年度にかけては、国産旅客機 MRJ のプログラムローンチや 150 から 200 席次世代機の検討、オープンロータエンジンの研究再開などの動きが活発に起こった。また、我が国の宇宙開発・活動を統合的に政策化し推進するための「宇宙基本法」の制定(平成 20 年 5 月)と宇宙開発戦略本部の発足は、JAXA の組織再編への展開が予定され、航空技術研究開発への影響も避けられない。さらに、平成 20 年半ばから始まった世界同時不況や、世界主要各国による航空機産業振興策の推進なども、我が国を厳しい環境に置くものとなっている。これらの、状況の調査分析、研究開発プロジェクトや、大型試験評価設備を含む技術基盤強化などの検討を引き続き進めてきた。特に、複合材技術の優位性確保、エンジン技術の動向とプロジェクト推進の必要性、防衛省などとの連携による技術基盤強化策の検討、今後の大型試験設備整備など、国の国際競争力強化のための方策の検討や市場調査、SST 等の研究を進めた。本稿はその一部を取りまとめたものである。

[1] 同報告 (平成 18 年度) ,JAXA-SP-06-018

はじめに

2008年3月、我が国航空機産業界永年の願いであった自主開発旅客機のプロジェクトMRJが三菱航空機(株)の設立とともに開始され、自主エンジン研究開発計画である「エコエンジン」計画も進行中である。JAXAが平成20年度のほぼ一年をかけて行ってきた、実験用小型ジェット機の導入と名古屋地区への飛行試験場の確保に向けた活動が、地方自治体や文科省、関係方面の協力により大きく前進し、MRJ開発への協働や支援が具体的に始まろうとしている。また、公的研究機関であるJAXA航空部門ならびに電子航法研究所(ENRI)においてそれぞれ将来ビジョンが策定され、日本航空宇宙学会からも本年、航空ビジョンが提示された。これらは、我が国の航空機・エンジン産業が担うべき我が国の産業の将来について、その発展と社会的意義の強化に向けた意思と、期待ならびに方向性を示すものと言える。しかし一方、平成20年後半から激しい世界不況が襲来して市場状況を含むあらゆるセクターの様相が一変するなど、航空機を取り巻く情勢を含めて、多くの事象が流動化している。

このような中でも、航空機産業と技術の将来性を重視する海外主要国では、国を挙げて積極策を実施に移しつつあり、現今の不況下という条件を含めて、我が国の航空機・エンジン技術と産業を取り巻く環境は日増しに厳しくなっている。米国大統領による2006年12月の「国家航空技術総合政策」“National Aeronautics Research and Development Policy”と2007年のPlan(推進計画)がその代表であり、フランスにおいては、サプライチェーンを含む航空機産業の不況下における競争力維持強化のため、工業会から研究開発推進、資金援助、雇用維持を政府に対して強い要望が出され、政府における施策が検討が進められている。

これらを踏まえ、今後の我が国の産業と技術にとって必要な方策、事柄は何か、また、我が国の特質と優位性はどうか、などの問いを自ら発して、航空基盤懇談会の2年目、3年目の活動として、多様な角度から様々な対象について調査検討、研究を重ねてきた。風洞、構造試験、エンジン試験等の大型試験評価設備のあり様、世界不況をまたいだ市場動向、そして我が国航空技術政策の総合化の必要性などを取り上げた。本報告はその主要な部分をとりまとめたものである。これらの情報あるいは提案が、関係方面に参考になるとともに、ここに流れる我が国航空機・エンジン技術と産業の将来に向けた意思や期待が、それぞれの企業、研究機関において、一つでもまた少しでも実現の方向に向けて動き出すことを強く願うものである。

本報告へのご意見、ご質問を頂くことは、これからの研究に、また、我が国の航空機・エンジン分野の今後にも極めて重要なことと考える。読者の積極的なアプローチをお願いしたい。連絡先は下記の通り。

航空基盤懇談会事務局

連絡先： (独)宇宙航空研究開発機構 調布航空宇宙センター 調布飛行場分室

次世代 C1 号館 204 号室

住所：〒181-0015 東京都三鷹市大沢 6-13-1

代表 坂田公夫 sakata_kimio@yahoo.co.jp

JAXA 担当 柳 良二 yanagi.ryoji@jaxa.jp

事務担当 是永美樹 miki-mob@nifty.com

1 我が国航空機産業と技術の現状と課題の概要 [2]

― 市場の拡大と航空機産業の活路、そのための課題 ―

航空機は地球規模での国際的な人と物資の輸送の中核をなしている。現在では、産業活動や文化交流のツールとして不可欠なものであるに留まらず、世界各国の活動を維持する基本的なインフラとして航空輸送が定着していると言えるのである。殊に我が国においては、地勢的な意味でも貿易を中心とする経済構造であることから、その航空輸送は世界有数の量と質を誇り*1、国の政治、経済、産業、国民の生活と活動を支える基本的な輸送手段として発展している。今後も我が国をはじめ、世界的な国際活動は大きく広がって行くであろうし、そのための航空輸送は、最も重要な国際輸送手段として今後も拡大することは間違いない。特に21世紀がアジアの時代と言われる如く、産業と経済活動の拡大、観光や人文交流などによる人々のモビリティの増大がこの地域で起こる。このための航空輸送規模は大きく伸展し、従って、我が国周辺での航空機市場が大きな拡大となることが予測されている。我が国の航空機産業はこのような情勢を受け、YS-11以来40年振りに三菱航空機によりリジョナルジェットMRJの自主開発が始まった。このことは、我が国の製造業が高度な製品である航空機の製造販売を行える力を持つに至ったということに加え、これからの世界にとって不可欠な高度技術による総合システムを我が国が提供するという、新たな世界貢献の展開でもあり、少し大袈裟に言えば、我が国の総合システム技術産業の国際的役割の高度化とも言えるものである。

このような自主開発機による世界への漕ぎ出しは、我が国航空機・航空エンジンの分野において長らく待望されてきたことであり、その成功には、直接の関係者による努力に加え、これを支える国を含む多様な仕組み作りが有機的かつ効果的に行われることが求められる。本報告は、以下の取り巻く環境と現状の考察を経て、我が国の航空機・エンジン産業と技術の将来像としてのビジョンを検討し、これに照らした施策、技術、人材などに関わる調査を行った上で、今後への可能な提案を行おうとするものである。

*1 現時点で世界5位と評価出来る。(2005年までは2位)

1.1 我が国航空機産業と技術の意義

我が国にとって航空機産業と技術は下記の4点に於いて重要な意味を持つ分野である。

- ① 我が国の基本である国際交流と貿易を確保するために、航空輸送は我が国に不可欠の手段であり、また同時に、航空機が果たす世界平和への貢献は極めて重要である。
(高度な交通輸送手段の確保)
- ② 我が国の持続的発展のために必要な産業高度化における中核的役割として期待されている。(産業高度化の担い手)
- ③ 航空機・エンジンが果たす科学技術的貢献は極めて高く、産業と技術における波及効果が高い。(科学技術先導の役割)
- ④ 技術セキュリティならびに国の安全保障を確保するための不可欠な分野である。
(セキュリティ確保)

特に、我が国の高度技術産業立国としての地位の確保向上のため、航空機・エンジン産業および技術を産業高度化の中核とすることは、この論の支柱となる趣旨である。貿易立国でもあり、高度技術産業に依存する我が国においては、持続的な技術先進性を確保することが命題である。近年の中国、韓国、インド、ブラジルなどの台頭やロシアの技術復権に対して、自動車、電気産業依存を脱却して、産業構造を高度化する必要に迫られている。このことは、後発国の追い上げに会っている家電や自動車などのコンシューマ直結型製品から、高度な技術を要する大型公共システムへと経済の担い手を変革し、

全く新しい産業のあり方が求められていることを意味する。高度技術集約型の総合機械システムであり、総合的な社会システムを構成する航空機・エンジンは、その最大の担い手として強く期待されている。

1.2 我が国航空機・エンジン産業と技術の現状

(1) 我が国の航空機・エンジンのマーケットシェア

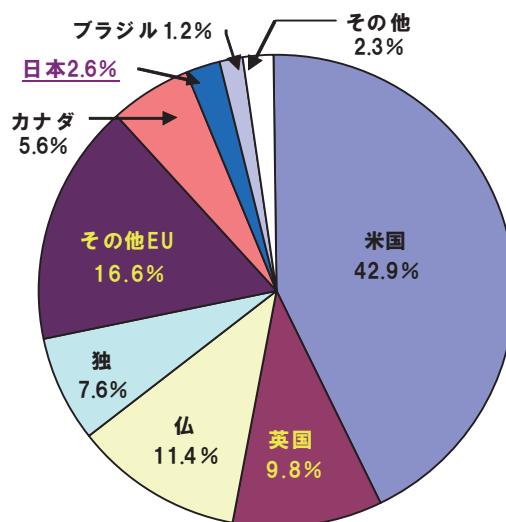
不況を脱しつつあるアジアでは、今後 20 年間で航空機市場が大幅に拡大する予測が明らかになってきている。そんな中で我が国の航空機・エンジン産業と技術の現状はどうかと言えば、既に現在世界の主役を演じている欧米との格差は極めて大きい。

図 1.1(a)は世界の航空機産業の生産高比較であり、図 1.1(b)は各エンジンメーカーの世界シェアである。どちらも、米国企業が群を抜いて大きい。欧州も規模を合計すれば、産業全体も、エンジンにおいても遜色はない。それに引き比べて、我が国は産業全体で米国の 13 分の 1、航空機・航空用エンジンどちらも、そのマーケットシェアは世界の数%に過ぎない。我が国の GDP が世界の 10%程度で米国の約 3 分の 1 であること*1 と比較すれば、航空産業の実績は高度技術立国を目指す我が国における期待値の 4 分の 1 でしかなく、航空機分野の経済貢献度が小さいことが分かる。(図 1.2)

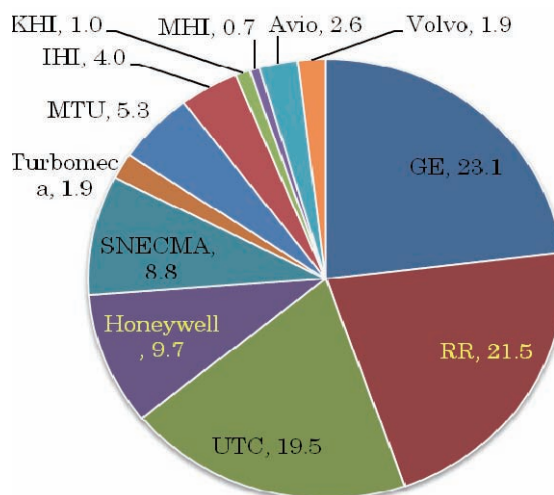
さらに、航空機用エンジンでは世界の 6 %

程度で、ドイツの MTU とほぼ同規模で、どちらも Safran 社傘下である SNECMA と Turbomeca を擁するフランスには大きく離されている。また、後述の柳、石澤による航空機用エンジンの項に詳しいが、利益率で見ると海外メーカ、特にエンジンでは GE (19%)、PWA (17%)、RR (13%) と 3 社が高く、日本を含む他のメーカのそれは 7 から 8%程度の低い値に留まっている。このことは、最終商品としてのブランドを有している企業の優位性とも見られる。

*1 2008 年実績で我が国 GDP は 4,923 億ドル、米国は 14,264 億ドル。



(a) 航空機産業の世界シェア



(b) 航空エンジン産業の世界シェア

図 1.1 我が国の航空機・エンジン産業の世界シェア

日本のGDPは世界の10~8%

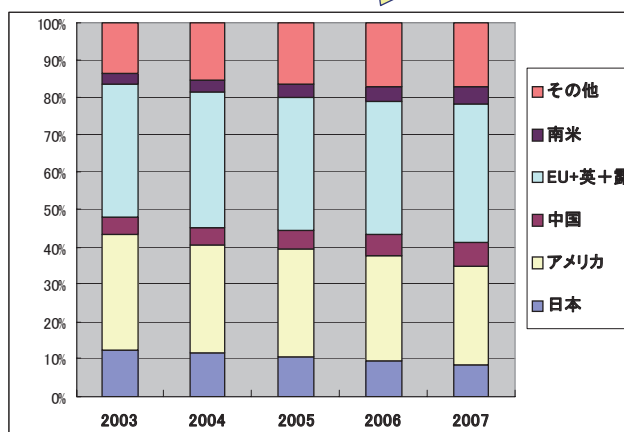


図 1.2 我が国 GDP の世界シェア

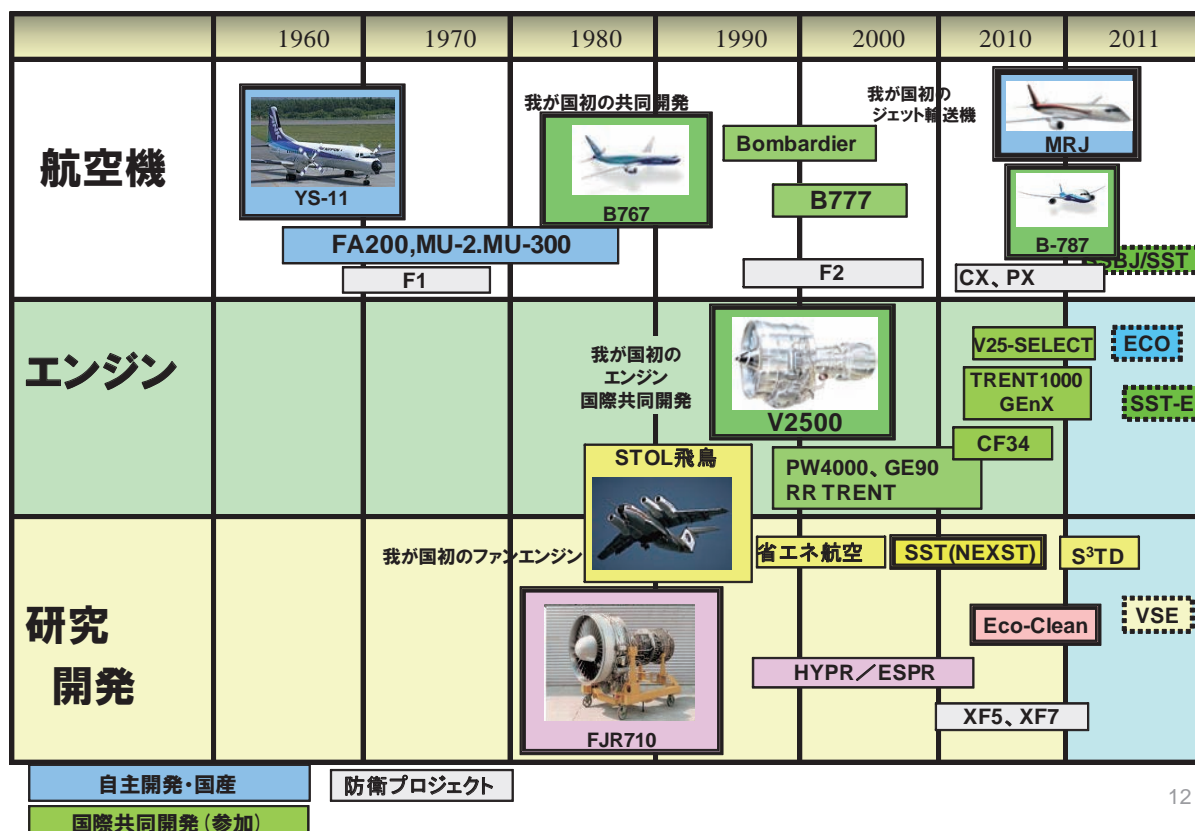


図 1.3 我が国大戦後の航空機・エンジン開発と研究開発

(2) 我が国航空機・エンジン産業と技術の現状とライフサイクル完結の意義

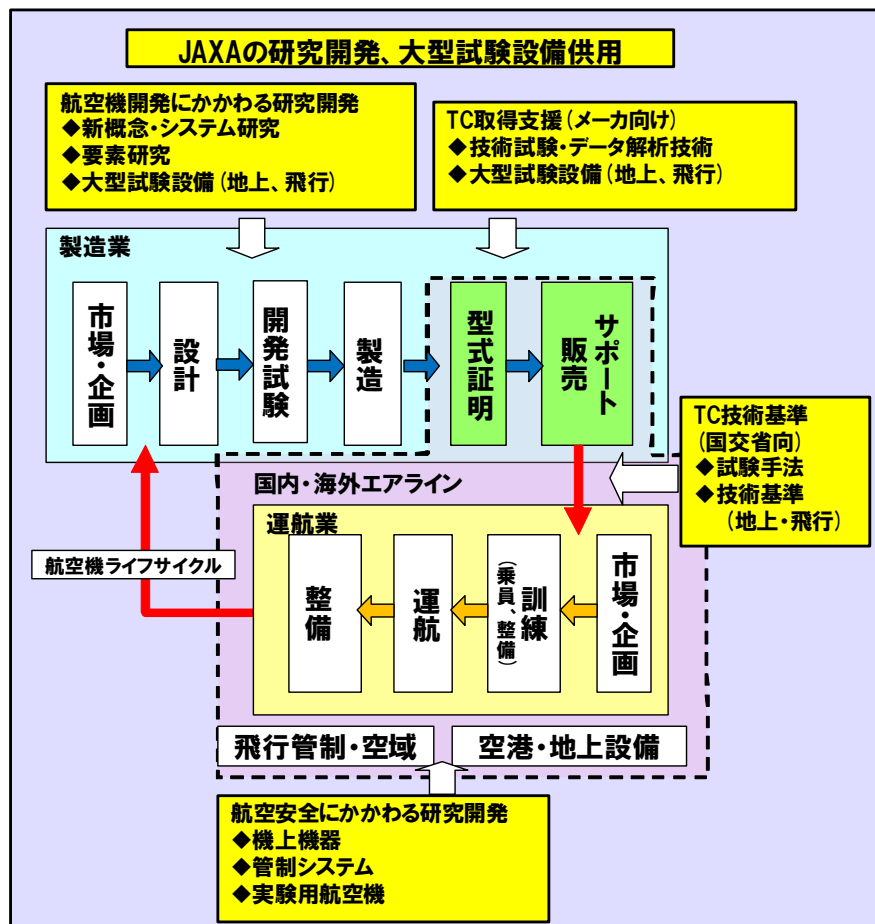
図 1.3 は我が国の航空機・エンジンの研究開発と開発の歴史を概観したものである。第二次大戦後の空白の7年の直後にはYS-11の開発とそれに引き続く小型機の開発などがあったが、それらの赤字撤退の後には国際共同開発で技術力を涵養し、産業活動を維持する努力が傾注され、防衛長期の開発運用を除き、自主開発は姿を消した。航空エンジンにおいては戦後の修理や防衛エンジン活動の後、当時の航空宇宙技術研究所が中心になったFJR710の研究開発とそれに引き続くSTOL実験機飛鳥の開発飛行実験で世界に技術力を示した後に実現したV2500の国際共同開発が、注目されるが、やはり自主開発エンジンは、防衛用のエンジンを除いていまだに存在しない。

しかし、技術的には着実に向上してきていると言える。スケジュールに2年の遅れがあるとは言え2010年にはEISとなる革新的なB787では、その複合材構造を我が国のメーカーが担当し、全体の35%を分担する。特に主翼の複合材化は世界初であり、我が国はその技術の開拓者となっている。また、エンジンに於いても、GE90、GEnX、Trent1000などの最新鋭エンジンの開発製造に、低圧タービン、燃焼器、あるいは高圧圧縮機翼などの部材を担当して、その存在感を高めてきている。

何より特筆すべきは、2008年3月に決定された三菱航空機のMRJ開発である。省エネ性と快適性をうたった我が国40年ぶりの旅客機の自主開発であり、我が国初のジェット旅客機である。これは、これから市場が拡大すると予測されている100席以下の短中距離機、即ち、リジョナル機である。自主ブランドによる完成品の市場投入は、市場との直接対話を意味し、特に製品の型式証明という認証を取得し、製品寿命全期間というライフサイクル全体が商品であるような航空機・エンジン産業にとっては、その条件の有無は決定的な違いがある。図 1.4 に示すように、完成品を市場に販売することによって、その後の保守

修理、部品供給など、製品ライフサイクル全体をビジネスとすることとなり、顧客、即ちエアラインなどからの機体・エンジン保守、修理、クレーム対応、改修、改良などに対応した要求やデータを獲得出来、これに引き続く製品への反映により、市場をより確実に確保することが出来る。

また、図 1.5 に示すように、部品点数を見ても、航空機および航空エンジンが機械システムの中で群を抜いて多く、複雑であることが分かる。総合技術インテグレーションの必要な高度社会システムであることが分かる。



(3) 政策、行政環境

航空機・エンジンが先端

図 1.4 航空機のライフサイクルと研究・基盤・支援

技術の研究開発と大型試験評価の技術基盤に支えられ、航空機・エンジン産業の国際競争力における技術の果たす役割が極めて大きい分野である。そして、技術基盤の整備、技術移転、あるいは型式証明や耐空証明における安全技術基準、大型試験による技術実証や評価など、さらには防衛技術の共用や技術移転などにおいて、政策や推進・管理行政など国の役割は極めて大きい。米国を始め、最近の欧州機構においても、政策の役割の重要性の認識の元に、強力な施策展開を行っている。しかし、我が国においては、これまでのこの分野における政策の登場や、その推進力は必ずしも強力なものではなかった。我が国の行政機構を見ても、法制上、確固とした分権構造であって、総合的な国の役割を効果的に果たすには、府省をつなぎ、連携を強化する工夫と努力を必要としていると言える。

図 1.6 は 2008 年現在の航空技術と産業を取りまく行政的ならびに施策的環境を表現したものである。国の行う航空機機・エンジンの研究開発は、文部科学省の JAXA の役割が大きい、このほか、産業界を対象とする経産省活動や、国交省による航空安全や管制に関わ

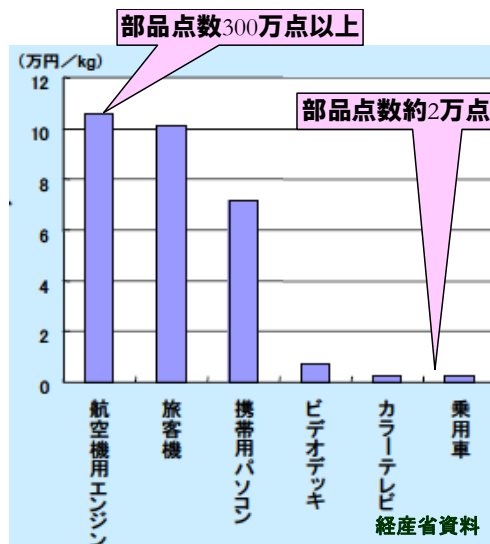


図 1.5 機械の重量単価と部品点数

る活動、防衛省の装備に対応する先行研究や開発研究が同時に行われている。

JAXA は1955年の航空技術研究所設立時に唯一の公的な航空技術に関する試験研究機関として設置され、大型試験設備の供用を含む公的役割が

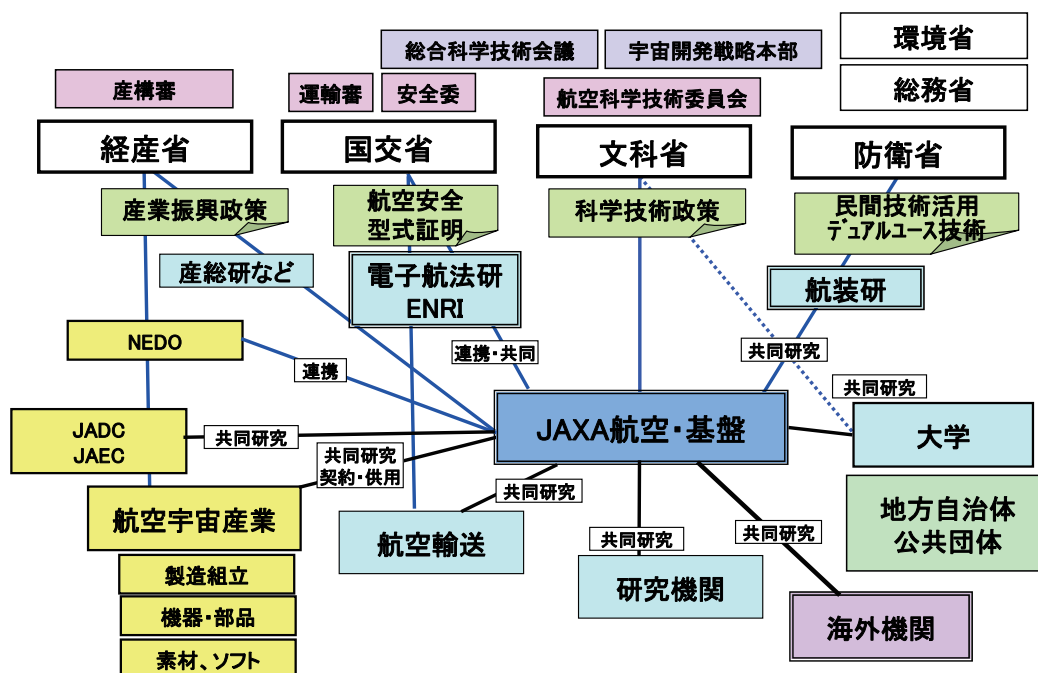


図 1.6 我が国の航空関係の行政環境

課せられている。しかし、文部科学省所管の科学技術政策だけでは航空技術に関する活動はカバーしきれるものではなく、技術の使い手であり、技術課題の生まれる元でもある製造産業あるいは運輸産業との連携や、航空機の認証（TC）の技術基準や技術人材、防衛技術のデュアルユース活用などのように、行政の枠組みを超えた活動が必要になる。これは、図示するように、関係線が極めて多様に結びついていることに表される如く、技術や研究者・技術者の流れ、あるいは交流は省の枠を超えて行われなければならないということである。

公的機関を有効に生かす、あるいは研究開発課題の選定、技術成果の活用、研究開発体制の有効な構築、何れをとっても、行政の枠を超えたものが必要であり、このため、航空機・エンジン、運航に関わるあらゆる活動を通した一貫した技術政策が求められる。このことは、多くの国が、運航と防衛を含めた技術政策、人材育成などを有機的に総合的に行うことが出来るように、推進・調整委員会などの仕組みや NASA の様に大統領府の元で管理するなどの方法をとっていることに表れている。

1.3 我が国の航空機・エンジン産業と技術の課題

上記の現状を踏まえ、国のこれからの産業と科学技術、国民の安全安心、環境適合性の向上などの目標を実現するために課せられる我が国の航空機・エンジン分野の課題を以下まとめる。

(1) 現状分析の整理

現状の再分析を行えば以下の通りとなる。

- ① 民間産業において、自らが必要とする航空機およびエンジンの自主開發生産を、航空機にあって YS11 以来、エンジンにあっては戦後全く行っていない。
- ② 世界共通で運用される航空輸送保安システムについて、その基本技術、基本システムの提供者としての役割を殆ど果たしていない。
- ③ 従って、航空機・エンジン・管制システム何れにおいてもシステムインテグレーションの経験が殆ど無い。

- ④ このことから、我が国産業および技術は、マーケットアクセスの機会が無く、コマーシャルベースにおける情報、人材、人的ネットワーク、ノウハウ、何れにおいても蓄積がない。
- ⑤ また同時に、民間部門で自主開発製造が行われていないことは、行政の役割である型式証明 (TC) や技術基準、安全・環境基準などにおける自主的な開発・蓄積が少なく、そのための技術および人材の基盤が脆弱であることを意味する。
- ⑥ ただし、製造の分野では、機体・エンジン何れも国際共同開発、生産分担を蓄積し、拡大してきており、特に、製造・生産技術は海外からも高く評価され、国際的な競争力も有している。B787 における 35% の製造分担や、V2500, GEnX 国際共同開発の実績など、近年の複合材構造・生産技術、あるいはエンジン部品製造技術などはその代表例である。
- ⑦ また、防衛用の戦闘機、輸送機、哨戒機、ヘリコプタ、それらのエンジンの自主開発と製造の経験を有している。これは、コストなどの競争力や民間機としての TC などには関与してはいないが、システム開発において経験とポテンシャルを有していることを示す。

(2) 次に、航空機需要動向や市場動向から、以下のような考察が出来る。

- ① 今後 20 年で世界の航空輸送需要は 2 倍以上、アジア域では 3.5 倍の拡大予想があるが、国際競争の激化から、中国、インド、ロシアなどの台頭を凌駕することが必要となる。
- ② 70 席から 120 席、短中距離機の需要増大するため、この機種が競争分野として表面化する。
- ③ 省エネルギー性、低 CO2 を含む環境適合、低騒音などの対人環境性の課題がきわめて大であり、これに対応する技術要請が強まる。
- ④ 戦略の問題でもあるが、技術の多様性とシステム要求の多様化が底流としてあり、これに対する航空機形態、巡航速度、搭載ペイロード、航続距離、利用形態、V/STOL 性などの多様性への対処の検討が必要である。

(3) 国の役割

公的な大型総合システムであり、システムの公共性と安全性確保を含めて、国際競争に打ち勝ってはじめて産業として成立する産業・技術である航空機・エンジンの分野における国の役割は以下の 6 点である。

- ① リスクの高い先端技術の研究開発の実施・推進
- ② 大型試験設備の整備運用と技術評価基盤の整備
- ③ 航空機・エンジンの型式証明、耐空証明
- ④ 航空輸送における安全管理と輸送システムの構築
- ⑤ 防衛システムと技術の取得・管理と適宜の技術移転
- ⑥ 人材の育成・教育システムの整備運用

またさらに、航空輸送政策との連携も必須である。しかし我が国においてこれらは十分認識されておらず、また、輸送と製造、研究開発さらには防衛との連携はまことに不十分と言わねばならない。また、必然のことであるが、航空機・エンジンが国際商品であり、国際競争力無くしては商品の実現はない。上記の国の役割を担うことが、産業にとっての国際競争力の一部をなすことになる。即ち例えば、研究開発の推進は企業における技術リスクを低減し、大型試験設備の供用は、産業自ら高額な設備を整備運用することなく、開発システムの性能を検証し、信頼性や TC 対応のデータを得られることになる。

(4) 公的試験研究機関の現状と課題

上記の国の役割で論じた、特に①と②の機能は、JAXAをはじめとする公的研究開発機関が担うこととなる。もちろん、③ないし④においても、技術開発あるいは試験評価の必要な事項については、これら公的試験研究機関が担う必要がある。国内の機関は図1.6に示したが、各国の代表的な研究・試験機関を表1.1にまとめて示した。

これら公的試験研究機関の役割は下記の通りである。もちろん国や技術状況などによりその有りようは変わる。

- ① 先進的、萌芽的研究を自ら行って、国の航空技術の先端を担う。
- ② 実験機による飛行実証など、開発技術の実証。
- ③ 設計基準や安全基準などの技術の標準に必要なデータベースを整備。
- ④ 行政が行う安全や環境規制・管理に対応した技術検討・試験研究。
- ⑤ 大型試験設備を運用して国の技術基盤としての技術評価、産業への試験支援。
- ⑥ 航空産業政策、技術政策に必要な調査研究。
- ⑦ 技術コンサルタント。
- ⑧ 高度な技術／研究業務を行う人材育成。

以上だが、これらのうち、①と⑤は最も直接的に我が国の航空機・エンジン産業の国際競争力につながる。このため、資金、技術、時間のいずれも他産業より多くの資源が必要とされる航空機・エンジン産業の育成の中核に当たる技術分野として、高度に戦略的な計画推進が求められる。しかし、以下にまとめる我が国の公的研究機関である(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)の現状は、欧米に比べて大きく立ち後れていると言わなければならない。

- a) 研究所の研究者数、予算いずれも極めて小規模である。
- b) 産業と技術の基盤をなす風洞、エンジン試験設備などの大型試験設備の基数、規模ならびに航空機の機数、能力が他に比べて見劣りがするとともに、高レイノルズ数風洞やエンジン高空性能試験設備などの大型実用設備が整備されていない。
- c) スーパーコンピュータとCFDなどの応用技術は世界的に見ても一流である。
- d) 行政上文部科学に位置付けられており、産業政策や防衛技術との連携には課題が残る。さらに、中国の最近の強化策についても注視しなければならない。

表 1.1 各国の試験開発機関

国	機関名	役割・位置付け、特徴・規模など
米国	NASA	航空研究者約 1700 名、技術者約 1000 名、予算 400 億円から 600 億円 自主研究、プロジェクト研究、大学民間との共同研究、そして、委託研究などを進める米国唯一の国家航空宇宙研究所。大型設備では、実機サイズまで整備された Ames と Langley の大型風洞と Glenn のエンジン試験設備。飛行試験設備として、Dryden 飛行センターを中心とする小型低速機から大型輸送機、超音速機、SR-71 に至る 90 機あまりの実験機保有と関連地上設備は極めて強力。X シリーズの実施現場として他に類を見ない蓄積を有する。
	AEDC／WPAFB	軍の施設。世界最大の規模を誇る風洞とエンジン試験設備を有し、民間への貸し出しなどにより産業支援の役割を果たし、産業の基本的な競争力を形成している。
	大学など	MIT、ワシントン州立大学、ウィチタ大学、カルスパンなどの大学や独立機関がいくつか存在し、風洞、構造試験などの一部を分担すると共に人材育成、自主・受託研究を進めている。
仏国	ONERA	航空宇宙技術の基礎研究と防衛技術研究、風洞・コンピュータを中心とする大型試験設備運用。民間との共同研究。Paris、Toulouse、Modane、Lilly などに研究所および試験設備が分散配置。研究者約 2000 人(航空 1000 人程度)、予算約 200 億円(受託研究費を含む)。大型風洞はヨーロッパ共用風洞になっている。
	CEPR	仏軍の施設。米国に次ぐ規模を有するエンジン大型試験設備で、欧州の強みの基盤を形成。現在では、利用を世界に開放している。
ドイツ	DLR	ドイツの航空宇宙と波及分野の研究開発並びに宇宙技術とシステム開発を実施する機関。元国立研究機関をとりまとめているヘルムホルツ研究センターに属し、交通・宇宙の分野を分担。基礎から応用まで幅広く研究。研究者 4000 人(航空 1500 人程度)、政府予算 80 億ユーロ(135 億円)、政府助成研究 60%、受託研究など外部資金 40%で活動。
	ETW	ヨーロッパ共有の世界最大の高レイノルズ風洞。旅客機開発のための世界標準風洞。英仏独西伊が出資・運用。
	IABG	欧州向けの航空機、衛星の請負試験を行う半官半民組織。A380 など大型機体構造試験、衛星スペースシャトル試験など。
英国	Qinetiq	元 RAE(王立航空研究所)と国立ガスタービン研究所(NGTE)を母体に、DRA(防衛航空試験研究所)、DERA(防衛試験評価機構)と変遷した後、2001 年に民営化され、国防省との連携を保ったまま、エネルギー、パイオなど多様な研究を受託する民間の総合研究開発会社となる。航空の役割は縮小。
カナダ	NRC	国立試験研究機関 NRC の 20 余りある部門の一つ、Institute for Aerospace。NRC4200 名の職員のうち、航空宇宙の人員は 500 人程度。空力、製造技術、フライト、ガスタービン、構造・材料の 5 部門からなり、自主研究、受託研究、受託試験、コンサルを実施。9m 風洞、1.5m3 音速風洞、エンジンテストセル、エンジン・機体アイシング設備、大型鍛造設備、レーザ加工機などを有する。
ロシア	TsAGI(中央流体力学研究所)、VIAM(全露航空機材料研究所)、CIAM(中央航空機エンジン研究所)、GosNIIAS(国家航空機システム研究所)、LII(飛行試験研究所)、モスクワ航空大学	下記はいずれもソ連時代に設置された航空技術研究機関。一時衰退したが、2000 年プーチン大統領、首相の元で強化策検討 <u>TsAGI(国家中央航空宇宙研究センター)</u> 大型風洞、エンジン風洞が主。2009 年に機体試験設備整備。 <u>SIBNA(シベリア航空宇宙研究所)</u> 飛行特性、機体構造など機体全体と飛行試験を主に分担。大型機体試験設備、実験機数機を有する。 <u>VIAM(全露航空機材料研究所)</u> 金属、複合材、ポリマーなど機体とエンジンの構造材料研究、AlTi、Ti 材、ポリマー材などの開発。電子顕微鏡や材料試験装置などを有す。 <u>CIAM(中央航空エンジン研究所)</u> 唯一のエンジン研究所。エンジン設計も行う。要素、エンジン全体、材料、燃焼、希薄流流体、ラムジェットなどの研究。博士、博士候補などが多い。エンジン航空試験設備、ラムジェット試験設備、アイシングエンジン試験設備、プロペラエンジン試験設備など。 <u>GosNIIAS(国家航空機システム研究所)</u> 我が国の電子航法研と JAXA 飛行センターが融合したような研究所で、博士などが多い。 <u>飛行試験研究所(LII: Letno- Issledovatel' skii Institut)</u> 実験機を数機有する。飛行技術・新型機研究、事故調査、パイロット養成。 <u>モスクワ航空大学(MAI)</u> 1930 年設立。研究所の機能を有し、教授 2000 名、研究者 4000 名、学生 14,000 名の大きな研究・教育組織。活動の詳細は不明。
中国	中国航空総合研究所	北京にある総合研究所で、技術標準化研究などを担当。476 名(上級 126 名)
	成都飛行機設計研究所	航空機の設計・試験を分担 1,700 名(上級 390 名)
	中国ガスタービン研究所	エンジン開発、エンジン高空性能試験設備運用 2,000 名(上級 300 名)
	瀋陽飛行機設計研究所	戦闘機の開発設計 2,000 名
	その他	電子航法、材料、ヘリコプタ、精密製造などの研究所あり、総勢で上記に加えて 6,000 名の職員がいる。上級研究者と言える数は約 1,000 名と見られる。
インド	航空技術研究所(NAL)	500 人ほどの実証機試作も手がける研究機関。
日本	JAXA 航空プログラムグループ 研究開発本部 (調布センター)	航空宇宙に関する基礎技術、技術実証の研究と大型試験設備の供用を目的として、1955 年に総理府航技研として設置、2003 年に宇宙開発事業団、宇宙科学研究所と統合して JAXA となる。研究者約 250 名、予算約 150 億円(人件費含む)。空力、構造、複合材、CFD、エンジン技術、飛行制御、飛行試験などの基盤部門と、輸送機、超音速機、環境エンジン、航空安全、無人機などのプログラム分野により研究を推進。設備では、6m 大型風洞、2m 遷音速風洞、10t クラスエンジン地上試験設備、複合材基礎試験設備、実験用航空機 3 機を有して技術評価と設備供用を行う。最近では、MRJ 支援研究、エンジン開発支援研究、超音速実験機技術実証などを進めるとともに TC 支援、事故調研究、防衛省共同研究などを行う。
	電子航法研究所	研究者約 60 名、予算約 30 億円。衛星、地上レーダー設備などによる運航、管制、飛行安全技術研究。
	防衛省研究所	航装研を中心に航空関係研究員約 200 名。防衛装備の開発支援研究と試験を任務。大型試験設備として北海道千歳に 3 音速風洞、5t 級エンジン高空性能試験設備、ラムジェット試験設備を保有。

[第1章参考文献]

- (2) 坂田、航空ビジョン講演会講演集、航空宇宙学会、2008.09 など
- (3) 航空宇宙工業会「航空宇宙産業データベース」平成20年度版、2009.01

2. 航空機市場の動向と考察

2.1 旅客機の市場動向

世界の航空機・エンジンメーカーやエアラインは2007年時点で旺盛な需要拡大予測を立てていたが、2008年後半からの世界同時不況の影響を受け、予測を大きく見直した。結論から言えば、不況脱出を約2年と予測し、その後の航空輸送需要の成長は、2007年予測を上回るほどの拡大となるとしている。

2.1.1 航空機の需要予測

図2.1は我が国の航空機開発協会(JADC)が2009年6月に、それまでの予測を改定して公表した2028年までの航空機の需要予測であり、後述するBoeing社などの海外企業による予測にも大きな違いはない。即ち、①不況の影響は約2年であり、この間の需要はほぼ横ばいである。②その後の20年間は年率4.5から5%の需要拡大があり、③特にアジア域の成長が著しい。④機材では150席から200席クラスの輸送機の市場が最も大きく、次に新たな市場として100席前後の小型機需要が生まれる、とするものである。また同

時に北米を中心にビジネス機の買い換え需要が高まるといふ予測も依然としてしっかりしている。この時期に合わせた機材の投入に、製造業も輸送業も企画経営の鋭敏な力が試される時期ではないかと言えよう。

図2.2はBoeing社が2008年の大不況到来後に予測した将来市場における重要なファクタを示している。今後20年で世界経

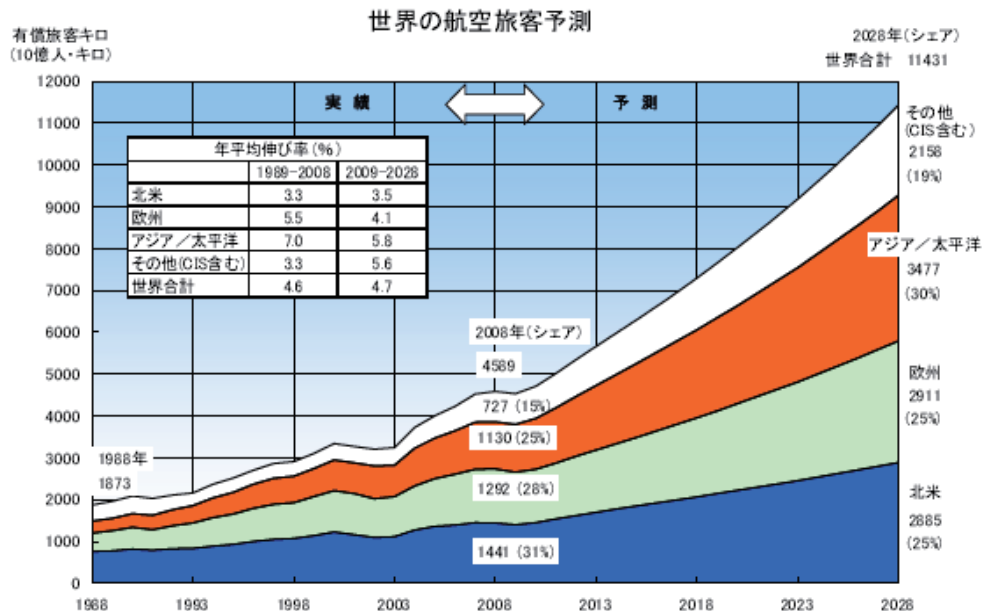


図 2.1 世界の航空旅客輸送の将来需要予測(2009 年 J ADC)

Airplanes in service 2008 and 2028			Demand by size 2009 to 2028			Key indicators 2008 to 2028		Demand by region 2009 to 2028		
Size	2008	2028	Size	New airplanes	Value (\$B)	Growth measures		Region	New airplanes	Value (\$B)
Large	870	1,070	Large	740	220	World economy	3.1%	Asia Pacific	8,960	1,130
Twin aisle	3,510	8,080	Twin aisle	6,700	1,510	Gross domestic product (GDP)		North America	7,090	680
Single aisle	11,360	24,230	Single aisle	19,460	1,420	Airplane fleet	3.2%	Europe	7,330	800
Regional jets	3,060	2,220	Regional jets	2,100	70	Number of passengers	4.1%	Middle East	1,710	300
Total	18,800	35,600	Total	29,000	3,220	Airline traffic Revenue passenger- kilometers (RPK)	4.9%	Latin America	1,640	150
						Cargo traffic Revenue tonne- kilometers (RTK)	5.4%	R&CA*	1,050	90
								Africa	620	70
								Total	29,000	3,220

*Russia and Central Asia.

図 2.2 Boeing による輸送需要予測のキーファクタなど

済規模が3%程度に成長し、これを受けて航空輸送は5%の拡大を達成すると言う前提と見込みである。まず、機材の規模では、B737クラスの単通路型中小型輸送機の需要が最大であり、次にB787クラスの2通路型の中型機が現在の2.2倍となると予想している。

一方リジョナルジェットは余り大きくはならないと言う予測だが、それでも2,100機の新規需要を見込んでいる。この予測はこれまでの4000機とした予測より小さな値であるが、最近中国が行った独自の中国国内市場の予想では、以前の予測値よりもかなり大きく、リジョナルクラスだけで1,500機を見込んでいる。これらを合わせると、我が国がMRJを今後の発展の橋頭堡にしようとする中において、市場の将来性は十分に大きいと言える。また、地域需要ではなんと言ってもアジア域が群を抜いて大きな値を示している。世界輸送需要が年率4%程度で成長する中で、アジアは5%以上の成長が見込まれ、その世界シェアが現在の約25%から35%以上に拡大し、買い換えではなく新機材導入が大きな市場を形成する。Boeingの試算ではアジア太平洋路線の需要が8,960機、1,130B\$となり、世界全体の金額規模で35%に達するとしている。アジア市場が世界を牽引する形とあってよいが、将来アジアの航空機メーカーがどれ程その市場に食い込んでいるかが注目される。

図2.3は現在の地域別輸送量分布と、Rolls Royceが2009年に予測した地域別シェアだが、これではアジアの拡大が他地域より大きく、シェアも、2008年の27%から2028年には世界の37%に拡大するとしている。何れにしてもアジアが大きな市場であると予測していることに変わりはない。これは、中国・インドを中心とする大人口国の経済成長が強力に牽引するためである。このことは、我が国の周囲で大きな市場のダイナミズムが作用することを意味しており、我が国の航空機・エンジン産業がどのような役割を果たすかが問われることにも通じるのである。即ち、日本の膝元の巨大な将来市場に対応する商品開発であり、市場獲得戦略である。これはまた、我が国の産業全体がアジア域の産業発展と社会の成長に対応してどう変化し、どう進むべきかに対する答えの一部にもなるべき課題である。

2.1.2 エンジンの需要動向

図2.4はRolls Royce社が世界不況後に見直して2009年春に発表した航空エンジンの将来需要予測であり、エンジンの規模別に需要台数が整理されている。結果は06年予想を大きく変更するものではないと結論付け、150人から200人乗りのB737/A320クラスに搭載する推力2万2千ポンドから4万5千ポンド(10トンから21トン)のエン

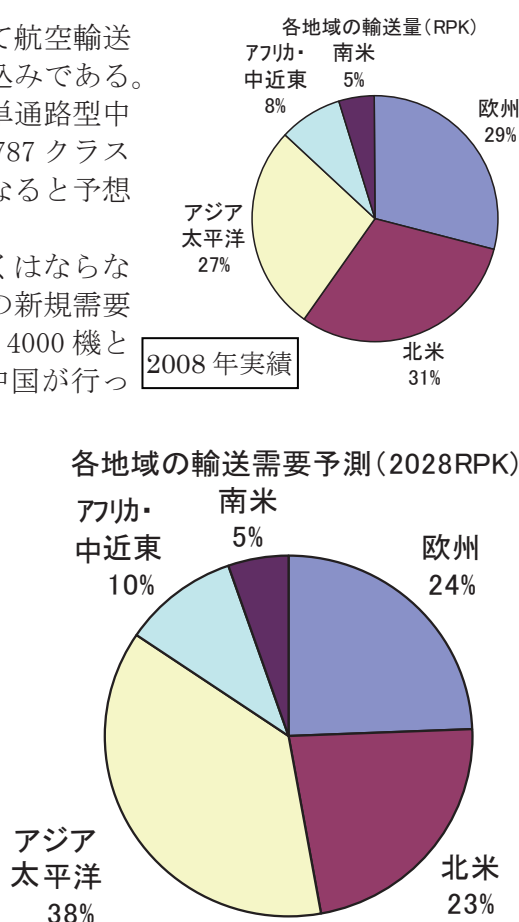


図2.3 地域別の航空旅客輸送の現在と将来需要予測(2009年 Rolls Royce 予測)

ジンが最大の市場を形成するとしている。即ち、現在の V2500 エンジンの大きさである。需要規模は、20 年間に 3 万台以上、金額で 460b\$ (約 45 兆円) に達するとしている。単純な試算をしても、現在の我が国のエンジン産業の 100 年分に相当し、規模の大きさが分かる。このサイズの市場の 1 / 10 を獲得するだけでも、我が国のエンジン産業が現在の 1.5 倍になる勘定である。

また一方、エコエンジン推力相当の 1 万ポンドクラスを見ると、その市場はビジネス機を含めて、台数では 2 万ポンドクラスに匹敵するかなりの規模に上り、金額でも 110b\$ に達する決して小さくない規模である。しかし、ビジネス機には市場の安定性に問題があるといわれ、一形態のエンジンの出荷台

数が限られ、従って、エンジン型式のバラエティも幅広く必要であるなど、特徴のある市場である。この市場を相手にするためには、顧客の多様なニーズに対応する多品種少量生産を実現する必要がある。

139,000 engine deliveries 2009-2028

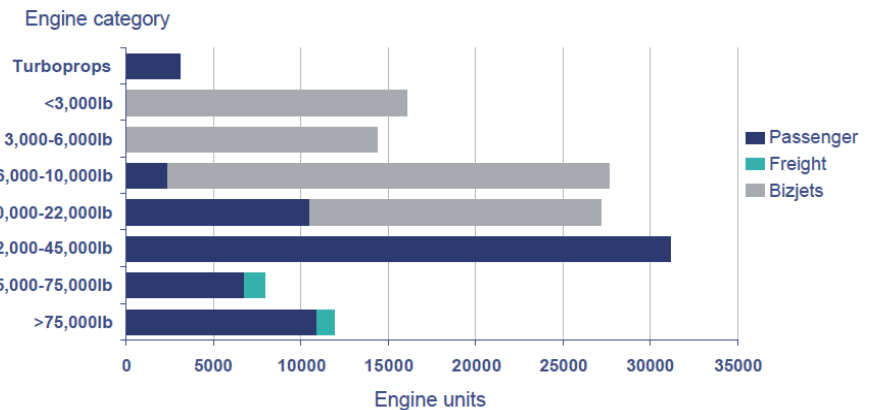


図 2.4 世界の航空エンジン需要の拡大
(2009-28 年 : RR 社予測)

Engine delivery value 1989-2028

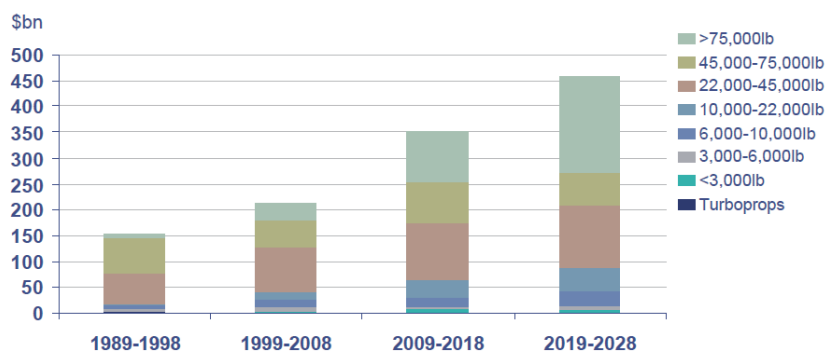


図 2.5 世界の航空エンジン市場の規模(金額)
(2009 年 RR 社予測)

2.2 小型機、ビジネス・ジェット、エア・タクシーの市場動向

まえがき

- ・ 我が国の民間航空技術の研究・開発は航空旅客として利用者が断然多い商用航空輸送システム関連が主体である。即ち、航空会社が運航する100席以上の大型旅客機や30~100席のリジョナル旅客機、或いはこれ等を運航するためのインフラなどに焦点が当り、いわゆる小型機或いはゼネラル・アヴィエーションに関する研究は少ない。
- ・ 小型機が最も普及している北米でも、商用航空利用者の方が断然多いという点は同様である。小型機材の年間の飛行回数はエア・タクシーの8500機が600万回、残りの十数万機で1650万回、合計2250万回であるから、1回3~4人としても全利用者は1億人以下、しかもその平均飛行距離は200~300kmであろう。一方、商用機の6,000機は650万回飛行し、8億人を平均1700kmも輸送している。それでも長年NASAは小型機の研究を続けてきた。
- ・ また昨今の商用運航では従来の大型機材主体のHub & Spoke運航一辺倒から直行便を重視した小型機材によるPoint to Point運航が増え、更には商用運航を補完するビジネス・ジェットの利用が増えている。即ち、航空機技術の進歩で小型機材の経済性が改善されるに伴い、旅行者は利便性の高い小型機材を指向してきている。
- ・ これは鉄道や乗合バスよりタクシーが、最終的には自家用乗用車が至便であるのと同じである。自動車産業では乗合バスより自家用乗用車の売上が圧倒的である。ここではこのような視点を念頭に、小型航空機の現状と今後の市場動向を解説する。

2.2.1 民間航空機市場

民間航空機市場全体における小型機の位置づけを見るために、総合的な市場分析を行っているForecast Int'l社の2006~2015の予測を表2.2.1と図2.2.1および図2.2.2に示した。

表 2.2.1 民間航空機市場 需要予測 2006-2015 (Forecast Int'l社)

	機数、(%)		販売額；\$ Billion、(%)	
大型旅客機	7862	12.4	765.2	72.5
リジョナル旅客機	3528	5.6	87.0	8.3
ビジネス・ジェット	12629	20.0	158.7	15.1
ゼネラル航空機	26625	42.2	18.3	1.7
回転翼機	12478	19.8	25.0	2.4
合計	63112	100.0	1054.2	100.0

これによると今後10年間で63,000機余の機材が出荷され、機材数では大型およびリジョナル旅客機を含む商用機が18%で、ビジネス・ジェット、ゼネラル航空機(ピストン機とタ

一ボプロップ機)および回転翼機といった小型機材が 82%を占めているが、販売額では逆に商用機が 80%強で小型機は 20%弱である。この様子を図 2.2.1 及び図 2.2.2 に示した。

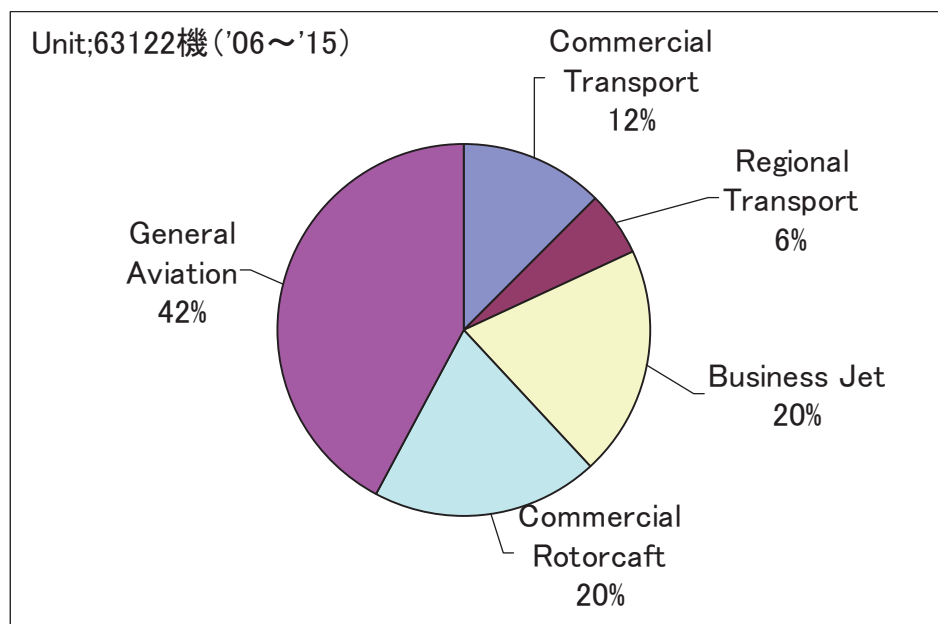


図 2.2.1 [1] The Market for All Civil Aircraft
(Unit Production, Market Share 2006-2015)

(1) 商用機

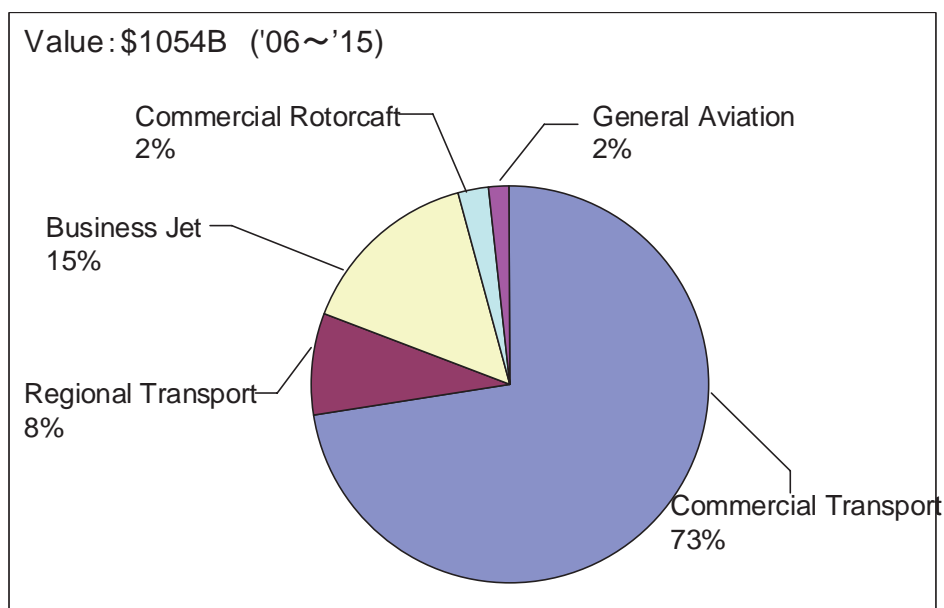


図2.2.2 [1]
The Market for All Civil Aircraft (Value of Production, Market Share 2006-2015)

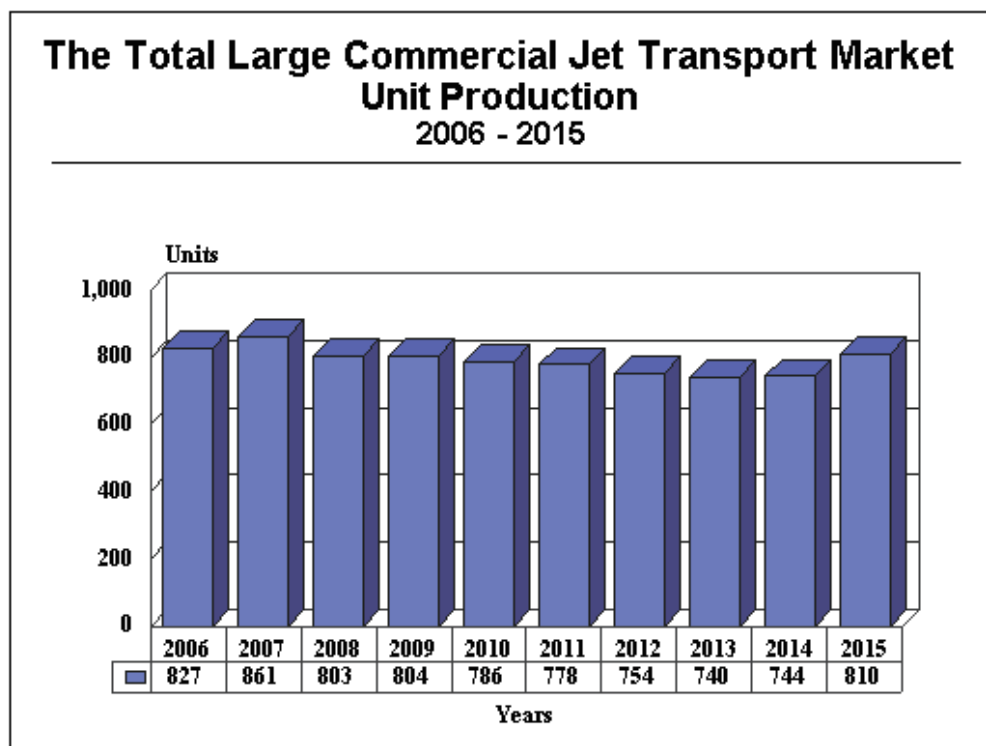


図 2.2.3 [1]

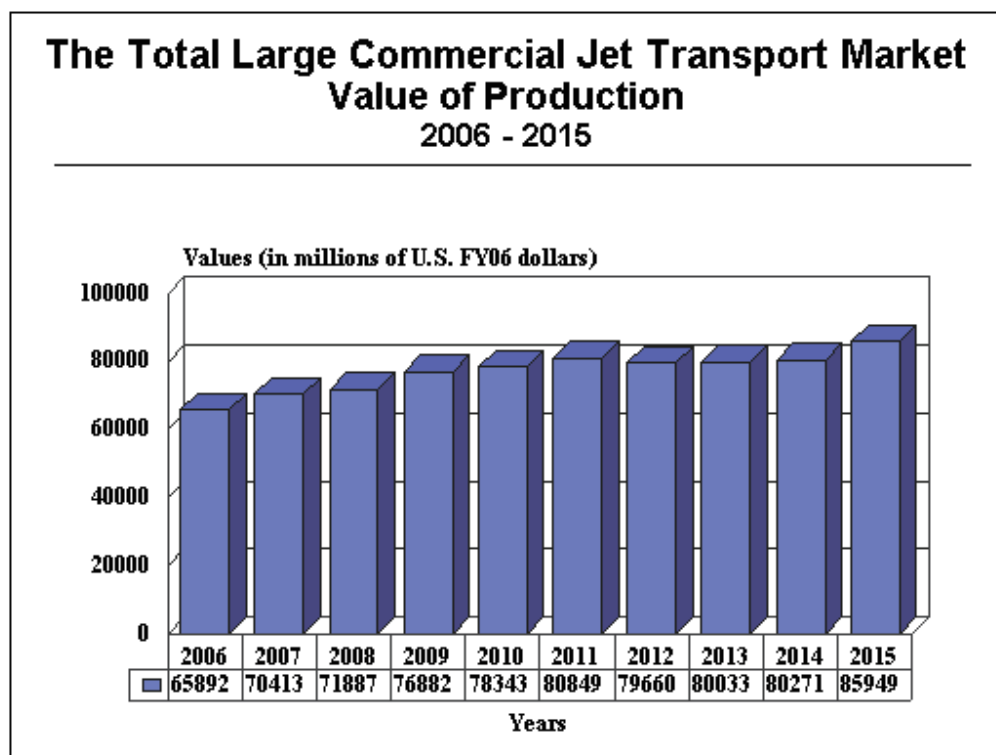


図 2.2.4 [1]

この分野は 100 席以上の大型旅客機と 30~100 席のリジョナル機に大別されるが、いずれ

も航空会社による商用運航に供される機材である。なお後者には以前に生産された 10~30 席の機材も僅かながら運航されているが、現在は生産されていない。

(a)大型旅客機

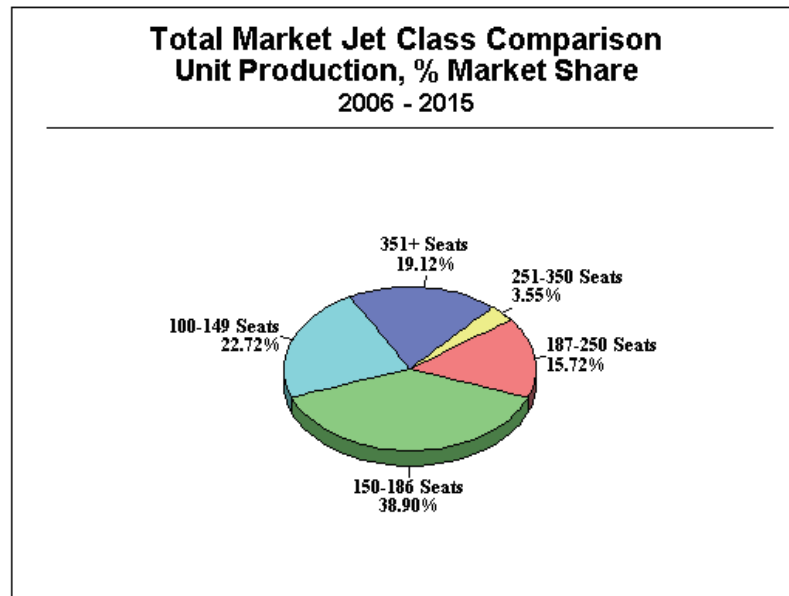


図 2.2.5 [1]

- ここでは現在 Airbus と Boeing の 2 メーカーだけで、最近の両社の市場シェアはほぼ拮抗している。2001 年の同時多発テロ以来低迷していた旅客需要が 2005 年頃より復活して、航空会社は 2007 年までの 3 年間に 6000 機もの大型旅客機を発注した。しかし、

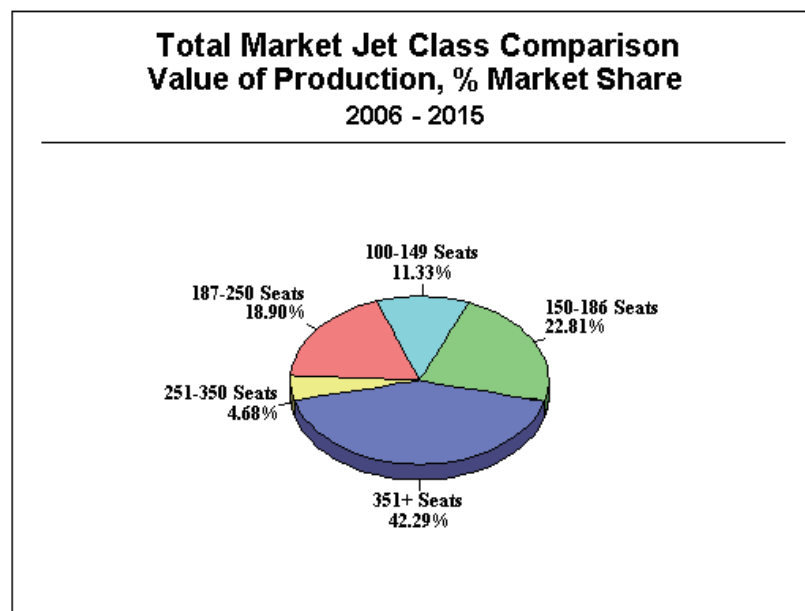


図 2.2.6 [1]

世界中にサプライ・チェーンを展開しているメーカー側の生産能力は急激な拡大・縮小は困難で、毎年の出荷予測は図 2.2.3 の如くほぼ 800 機弱に平滑化されている。ただ徐々に平均的機材サイズは大型化していくので、年間販売額は図 2.2.4 のように \$ 60B から \$ 80B に漸増してゆく。なお地域的には中国や印度を含むアジア太平洋地域の伸び率が大きく、これまでの最大市場であった北米やそれに続く欧州を凌ぐことになる。

- ・ またサイズ別には図 2.2.5 および図 2.2.6 のように、機数で 100～149 席および 150～186 席の 1 通路型機が 60%強、187 席以上の 2 通路型が 40%弱であるが、販売額では前者が 34%、後者が 66%となっている。(b)リジョナル機

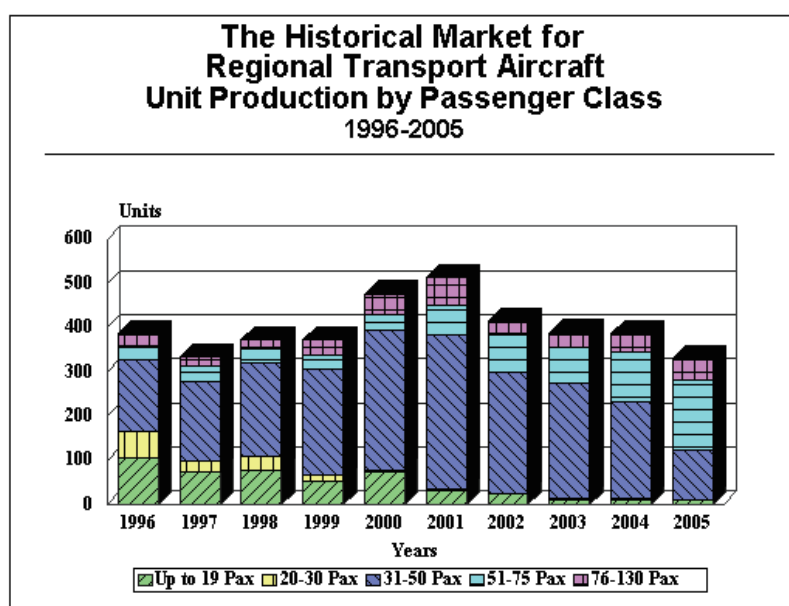


図 2.2.7 [1]

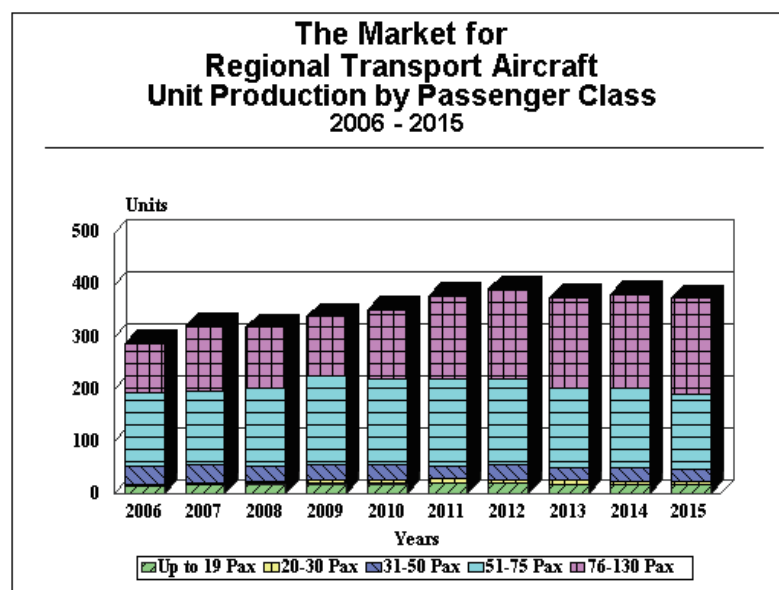


図 2.2.8 [1]

- この分野は図 2.2.7 に見られるように過去には 31～50 席機を中心に 19 席までの小型機材から 100 席クラスまで多くの機種が供給されていた。しかしその後、Fokker、BAE、SAAB、Beech などが撤退し、現在は Bombardier、Embraer および ATR だけが残って、その供給機材も 50 席以上が主体となってきた。更に今後は自国での需要をベースとする中国 AVIC I やロシアの Sukhoi(統合航空機メーカー OAK の 1 部門)および世界市場を目指す三菱重工などが新規参入を図っているが、いずれも 70～90 席機から始めて、100 席をこえる機体までを視野に入れている。その需要機数予測を図 2.2.8 に、販売額予測を図 2.2.9 に示した。なお過去には 70 席以下の小型リジョナル機は殆どター

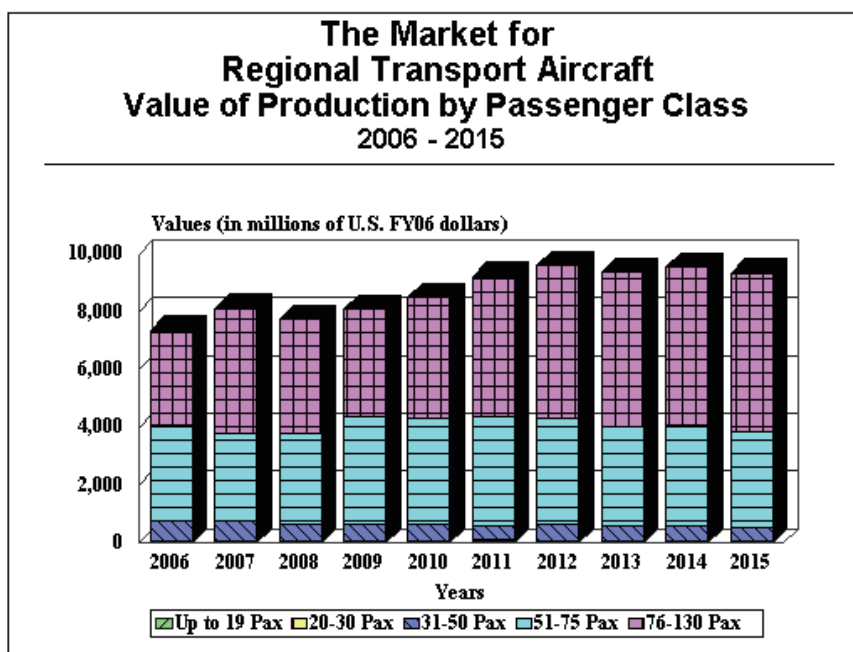


図 2.2.9 [1]

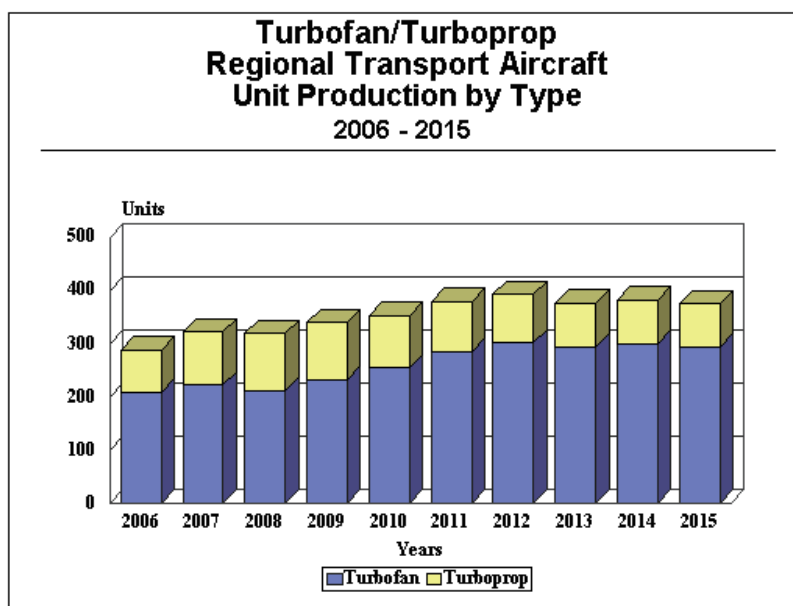


図 2.2.10 [1]

ボプロップであったが、Bombardier がビジネス・ジェット機を改修した 50 席の CRJ-100 を、Embraer がターボプロップ機をジェットに改修した 35～50 席の ERJ-135/145 を導入して以来、この分野もジェット機が優勢になってきた。ただ昨今の燃料高騰で燃費の良いターボ・プロップ機もやや盛り返していて、図 2.2.10 および図 2.2.11 に示すように機数で 20～30%、販売高で 10～15%は占めている。

(2) 小型機

- ・ 正規の機種分類はないが、ここでは 10 席程度以下で主として個人や企業が私的に運航する機材を指して小型機と呼んでいる。ただ最近ではこのような機材により不特定多数を顧客とするエア・タクシー事業や機材の共同所有者を募って運航を受託するフラクショナル・オーナーシップ事業が盛んになってきた。ここでは小型機をジェット・エンジン装備のビジネス・ジェット、ターボプロップ或いはピストン機のプロペラ推進によるゼ

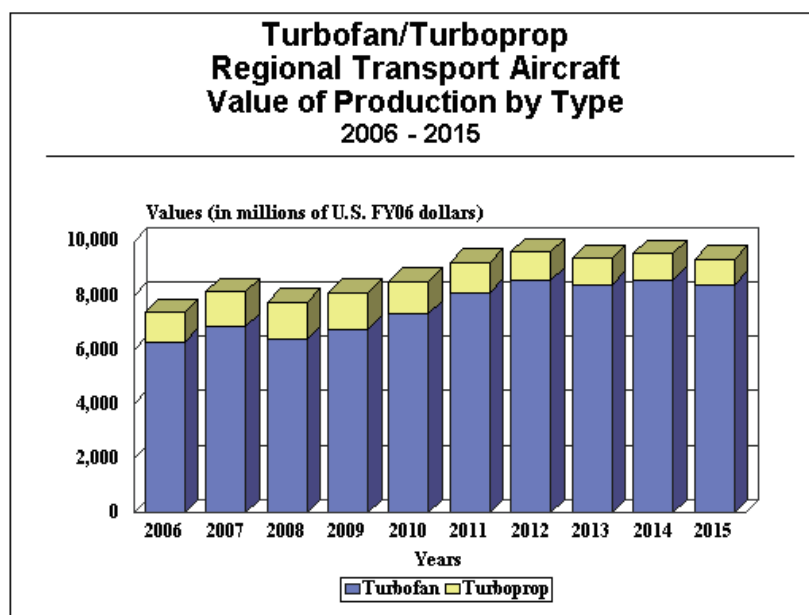


図 2.2.11 [1]

Annual New Manufactured General Aviation Airplanes Units and Billings (1994-2006) Worldwide

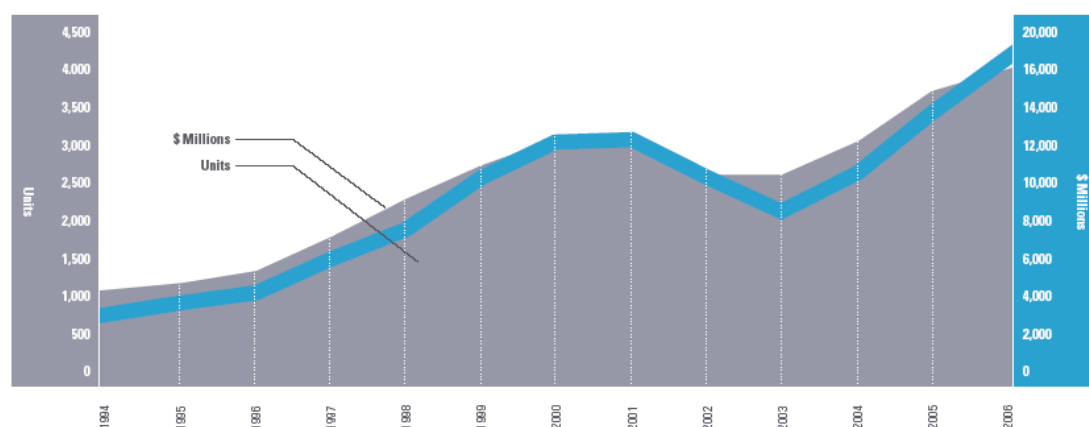


図 2.2.12 [2]

ネラル航空機および回転翼機の 3 種に分けて解説する。

- ・ アメリカの GAMA(General Aviation Manufacturers Association)がピストン機、ターボプロップ機およびビジネス・ジェットの世界統計データを出している。これによると図 2.2.12 に見るように、1990 年代中期より増勢に転じていたゼネラル航空機の出荷は 2001 年の同時多発テロにより一旦縮小したが、2004 年より回復に向かった。
- ・ 2006 年は総出荷機数 4042 機で前年比 13%増となったが、特にビジネスジェットは 18%増の 885 機に達した(表 2 参照)。小型機全体の 80%がカナダの Bombardier を含めた北米が生産されており、70%が北米で運航されている。(なお GAMA の統計はビジネス・ジェットを含めてゼネラル航空機と呼び、回転翼機は含んでいない)

表 2.2.2 [2]

<世界の小型機の生産>

2006 VERSUS 2005 SHIPMENTS OF AIRPLANES MANUFACTURED WORLDWIDE

	2005	2006	CHANGE
Pistons	2,465	2,750	+11.6%
Turboprops	365	407	+11.5%
Business Jets	750	885	+18.0%
Total Shipments	3,580	4,042	+12.9%
Total Billings	\$15.1B	\$18.8B	+24.1%

小型機の生産地域 (2006 年)

	Worldwide	USA	生産地域	
Single-engine Piston	2508	2208	北米	3239
Multi-engine Piston	242	79	南米	27
Turboprop	407	256	欧州	660
Business Jet	885	859	その他	62
Total	4042	3146	合計	4042

- ・ なお図 2.2.13 及び図 2.2.14 には過去に米国で生産されたゼネラル航空機の機数と販売額の経緯が示してある。1970 年代までは年間 1 万機以上が出荷されていたが、PL 法を悪用した莫大な補償訴訟の敗訴が続き高額保険が必要となって、極く小型の機材を生産するメーカーの撤退が相次ぎ、1980 年代初期から出荷は急落した。一方でホームビルド機が盛んになった。49%相当をメーカーがキットで販売し、51%相当を個人が組み立てるホームビルドであれば P L 法の対象とならない。その後 P L 法が改正され保証責任期間が短くなったことと、当時登録された 20 万機もの極く小型の機材の老朽化によ

り代替需要が見込めることから、これらの機材の生産が大幅に増大する可能性がある。

(a) ビジネス・ジェット

- ・ 通常は最小の Very Light Jet(VLJ)から商用機を転用した最大の Large Airplane Type までの8種に分類される。以下に開発中も含めて各種の代表的機種を示した。

○ Very Light Jet (VLJ)

Shipments of Airplanes Manufactured in the U.S.

Annual New U.S. Manufactured General Aviation Unit Shipments (1974-2006)

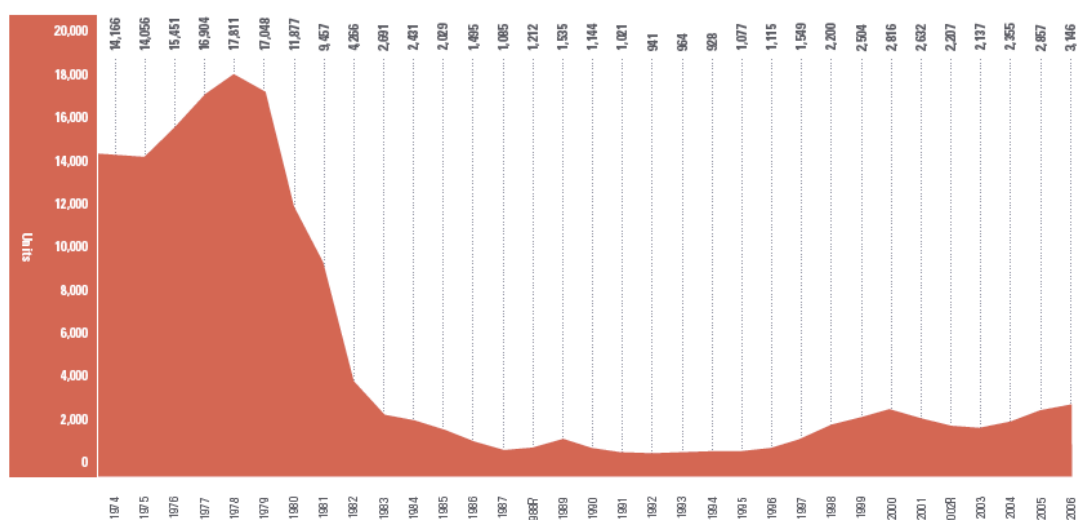


図 2.2.13 [2]

Annual New U.S. Manufactured General Aviation Unit Billings (1974-2006)

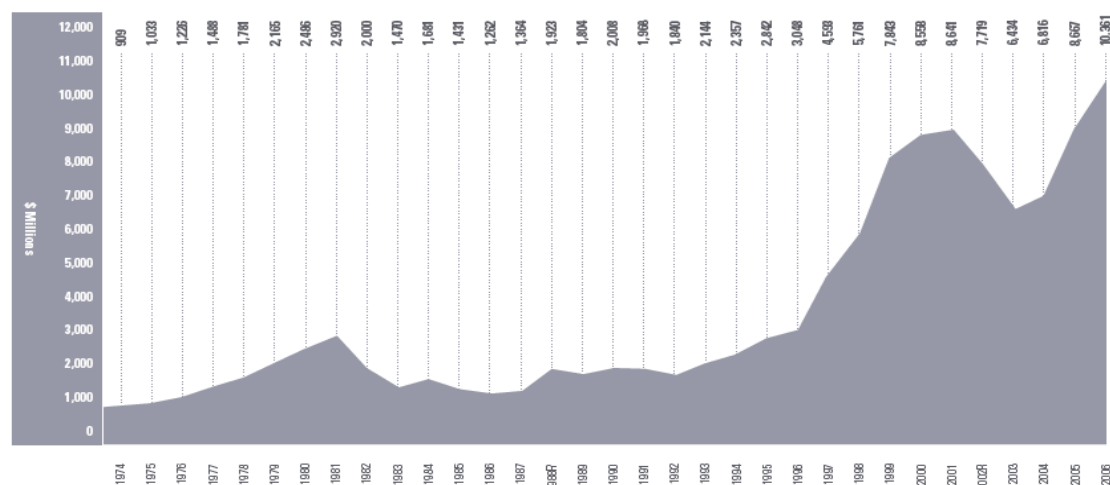


図 2.2.14 [2]

Cessna Citaion Mustang ; TC 取得済、300 機受注 (臨時トイレ)、
Eclipse 500 ; TC 取得済、2500 機受注 (トイレなし)
Adam A700 ; 飛行試験中、282 機受注 (カーテン仕切りのトイレ)、
Embraer Phenom100 ; 設計中、100 機受注 (個室トイレ)
Honda Jet ; 実証機あり、100 機以上受注
Diamond D-Jet ; 計画中

○ Light Business Jets

Bombardier Learjet 40/40XR, Cessna Citation Bravo/Encore/Encore+
Cessna CJ1+/CJ2/CJ2+/CJ3, Embraer Phenom 300, Grob SP,
Beech Premier I / I A、Hawker 400XP, Sino Swearingen SJ30-2

○ Light Medium Business Jet

Bombardier Learjet 45/45XR, Cessna Citation XLS

○ Medium Business Jet

Bombardier Learjet 60/60XR, Cessna Citation Sovereign/X, Dassault
Falcon 50EX、Gulfstream G100/150, Beech Hawker 800XP/850XP

○ Super Mid-Size Business Jet

Bombardier Challenger 300, Embraer Legacy 600, Gulfstream G200,
Beech Hawker 4000

○ Large Business Jet

Bombardier Challenger 604/605, Dassault Falcon 2000/2000DX/2000EX
Gulfstream G350

○ Long-Range Business Jet

Bombardier Global 5000/Express, Dassault Falcon7X/900DX/900EX
Gulfstream G450/G500/G550

○ Large Airliner Type

Airbus ACJ, Boeing 737 BBJ/BBJ2/BBJ3

- 各分類に対する Forecast Int'l社の2006~2015に亘る年々の需要予測の機数を図2.2.15に、販売額を図2.2.16に示した。全体では12,629機、1,587億ドルであるが、現在最も注目を集めているのは最小のVLJで、新規参入メーカーが主体で'06~'07の出荷機数は僅かであるが、今後急増して'12以降は600機/年を超え、全体の1/3以上の4,300機に

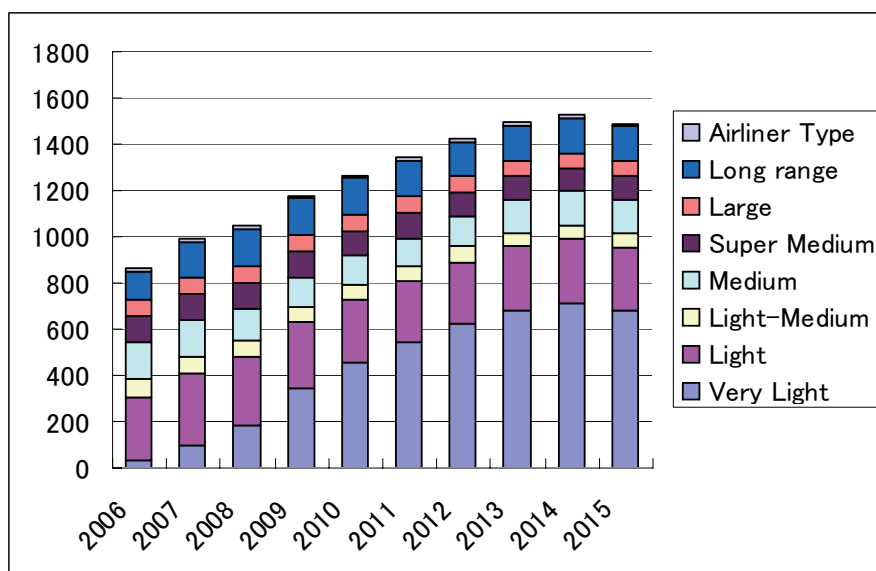


図2.2.15 [1]

The Market for Business Jet Forecast Unit Production by Segments2006-2015

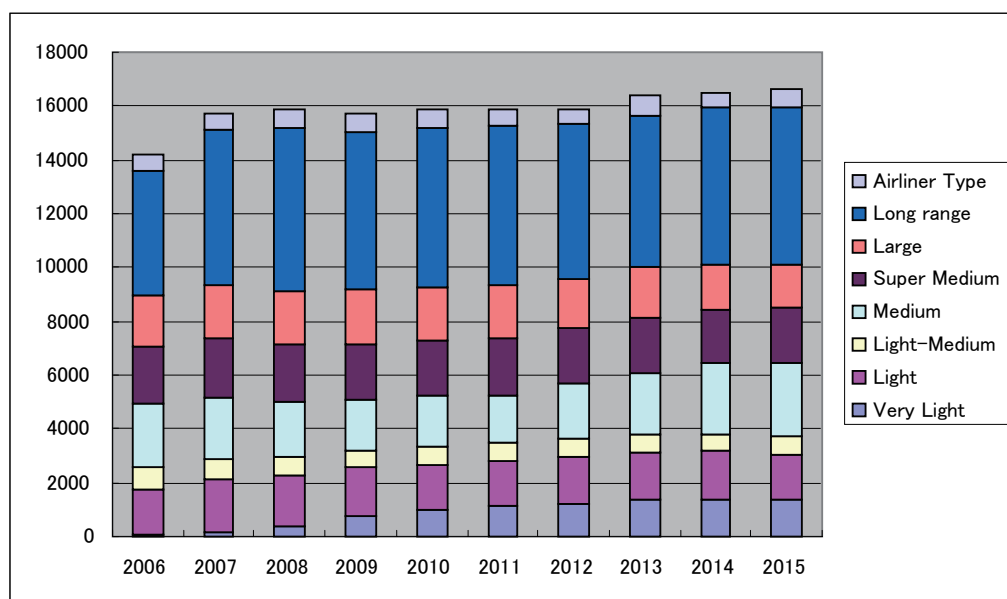


図2.2.16 [1]

The Market for Business Jet Forecast Value of Production by Segments2006-2015

達すると予測されている。但し、安価が謳い文句で 1 億円そここの機体も多く、販売額では小型機全体の 5.5% を占めるだけである。販売額で最大の分野は Long-range Business Jet で機数では 12% 弱の 1,500 機だが販売額は 36% を占める。これ等の様子を図 2.2.17 及び図 2.2.18 の円グラフに示した。

- ・ VLJ で最も有名なのはビル・ゲイツも出資しているとされる Eclipse 500 で、既に型式

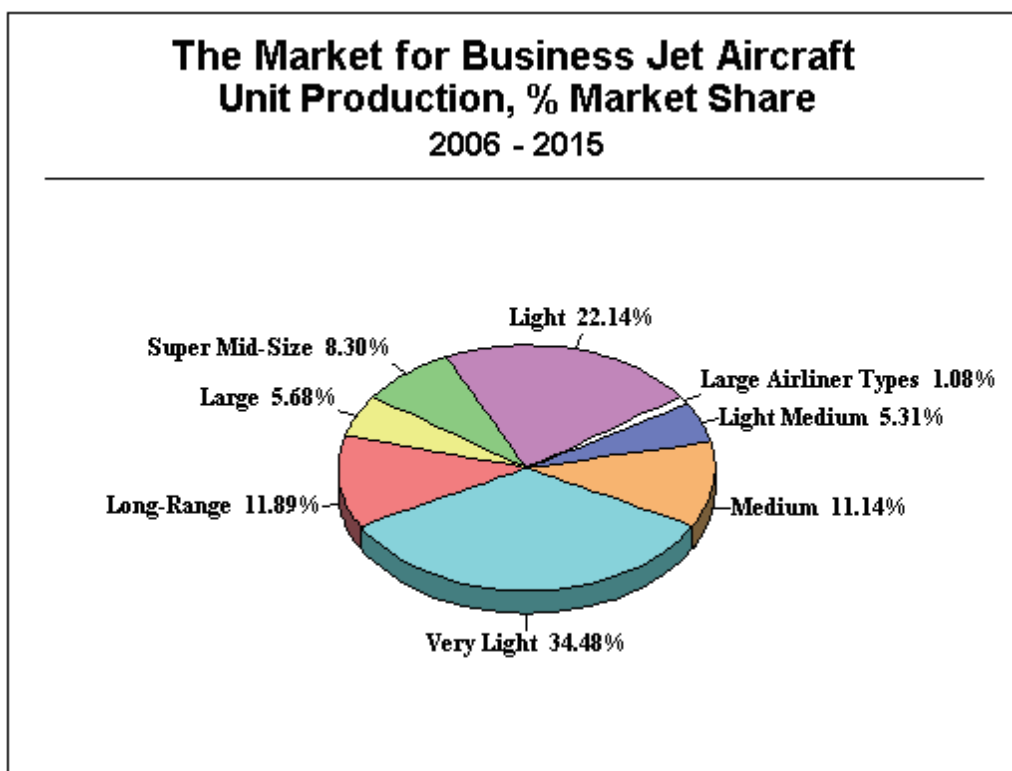


図2.2.17 [1]

証明を取得して'07 末よりエアタクシー業者への納入が始まっているが、2,500 機以上を受注しているらしく、VLJ 全体では 3,000 機以上の受注残がある。FHI では Eclipse 500 の主翼生産を担当しているが、安価な機体を大量に生産する点で乗用車の生産方式に近いといわれている。VLJ を含むビジネス・ジェット利用急増の要因とそのために解決すべき問題点とを以下に纏めた。

(b) ビジネス・ジェット利用急増の要因と問題点

利用者

- 大空港の混雑、面倒な保安検査、手荷物の取扱
- 定期航空の空路混雑による遅延、不便な乗り継ぎ
- 社員の安全確保
- BJ の柔軟なスケジュール、直行、(全米 5400 空港)

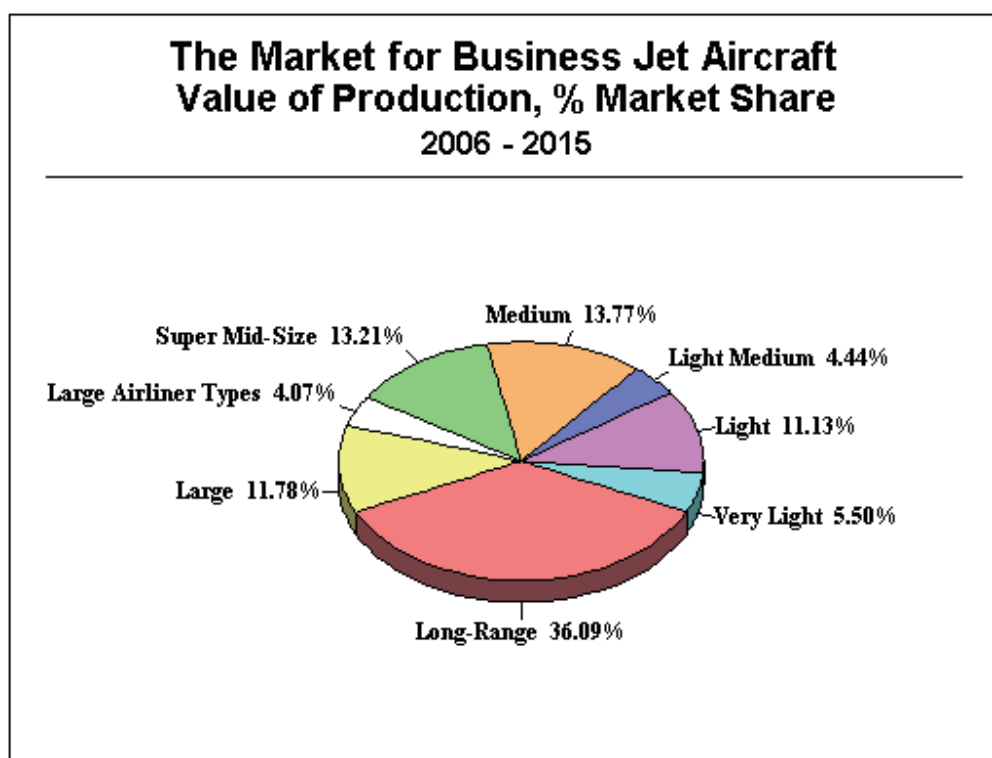


図2.2.18 [1]

- 時間を空費せず短期間に多地域の訪問可能
- BJ 内の静かで、生産性の高い環境
- 耐空性基準/運航基準の強化による安全性の向上
- 企業役員/富裕層の玩具⇒生産性向上の道具/通常の航空交通手段

運航者

- Air Taxi ; Per-seat (乗合)、On-demand (随時)、Point-to-point (直行)
- On-demand charter (随時貸切) Fractional Ownership (部分所有者を募り運航を受託する事業 ; 発注残の 30-35%を占める) Club card, Jet card といった会員制などの多様な利用法の提供
- Internet の発達で利用の容易化 (運賃、予約)
- 航空会社と BJ 運航者の連携 (Hub 空港⇒Local 空港)

メーカー

- 多様な機種の開発/生産
- 優れた小型エンジンや先進 Avionics の出現
- 特に安価な VLJ の開発 ; Eclipse-500、A700、Phenom100、Mustang、
- D-Jet 等で今後 10 年の BJ 出荷機数の 1/3 を占めると予測

問題点

- 不規則に発生する旅客需要に対応する On-Demand 運航では、機材の生産性を

高める Air Taxi 運航スケジュール設定が損益の鍵

- 十分な操縦士数の確保（Air Taxi 運航には 1 機 5 名の操縦士が必要）
- 必要な空港へのアクセス（至便な大空港では混雑回避のため小型機のアクセス制限が多い）
- 管制料の高騰（ゼネラル・アヴィエーションは全米運航の 18%を占めるも管制コストの 5%しか負担していない。採算に苦しむ航空会社は公平な分担を求めている）
- LP 法、税法、保険料の変更
- 環境規制や安全基準の強化

(c) ゼネラル航空機

- ・ ゼネラル航空は航空会社の大型機による商用航空と対比させて、小型機材やその私的運航全体を指す場合もあるが、ここでは小型固定翼機のうちビジネス・ジェットを

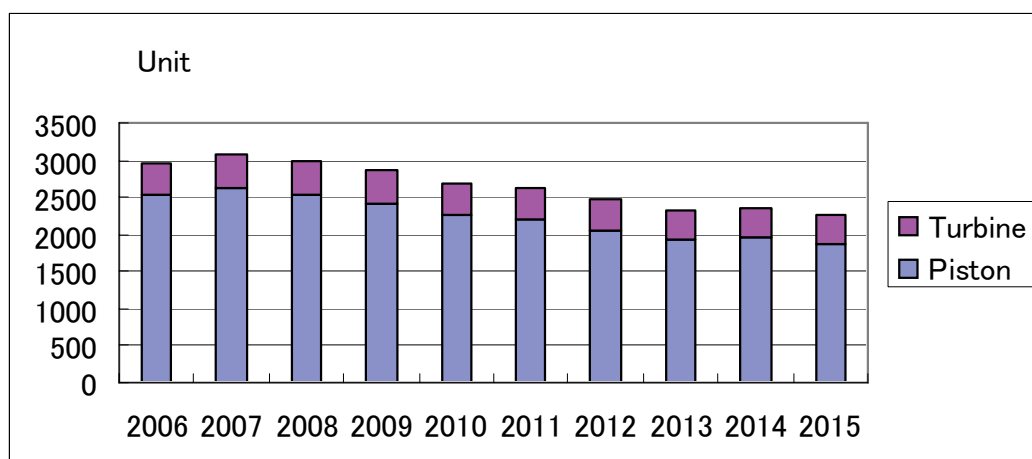


図2.2.19 [1]

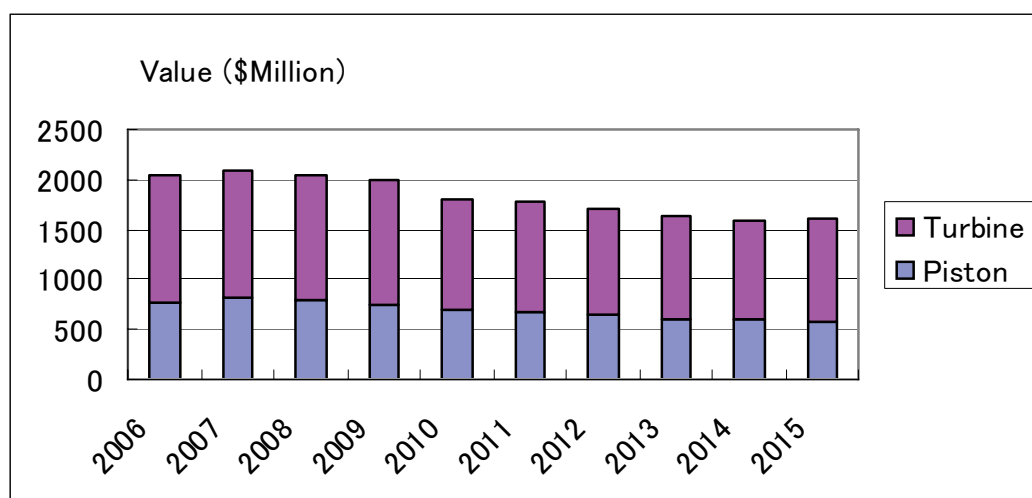


図2.2.20 [1]

除く、ターボプロップ機とピストン機を指す。

- 表1のForecast Int'l社の2006~2015需要予測では年平均3,000機弱が出荷され、商用機や回転翼機も含む全機数の42%、固定翼だけでは53%を占めて圧倒的に多いが、販売額は年間20億ドル程度で民間機全体の1.7~1.8%に過ぎない。
- 図2.2.19および図2.2.20に示すように、年々の出荷機数は2006年の3,000機から2015年の2,200機に向けて漸減の傾向にあるが、これは前節のビジネス・ジェットの漸増に対応するものである。なおターボプロップ機が機数で約20%、販売額で65%を占めている。

(d) 回転翼機

- 表1のForecast Int'l社の2006~2015需要予測では年平均1250機程度で、民間機全体の20%に相当するが、販売高では2.4%である。年々の出荷は図2.2.21および図2.2.22

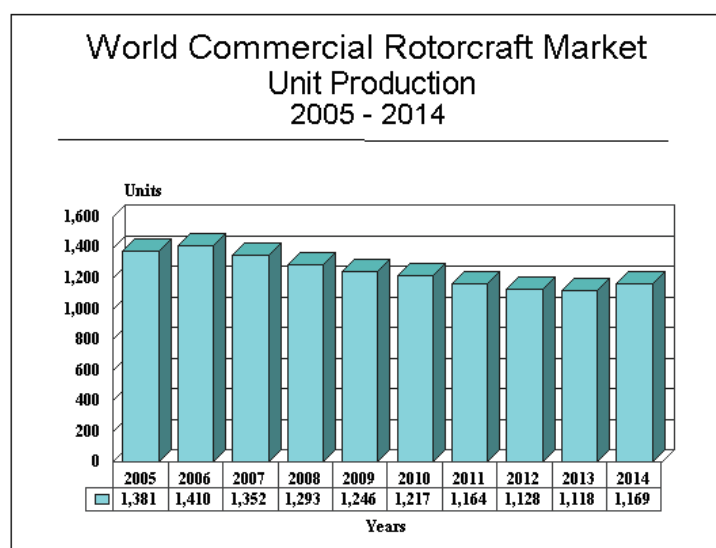


図2.2.21 [1]

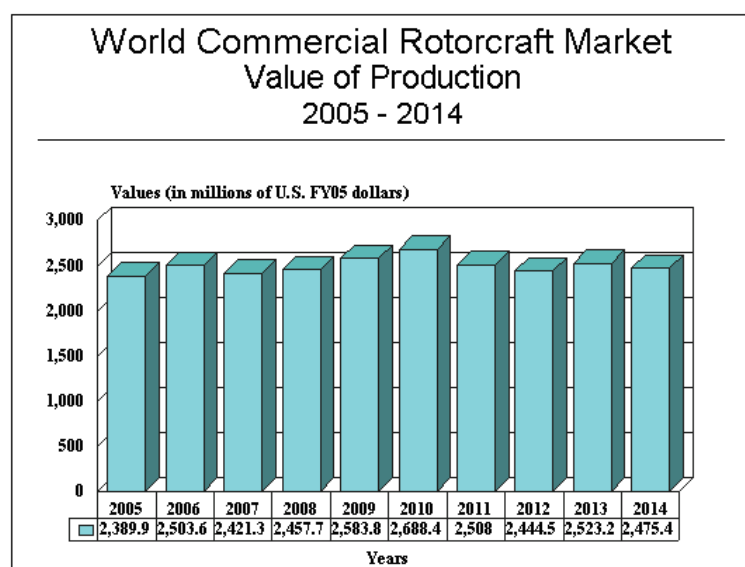


図2.2.22 [1]

に示すように 2006 年の 1400 機程度から漸減し、10 年後には年 1,200 機弱となるが、販売額はほぼ 25 億ドル/年と安定している。

- ・ 低い経済性と高騒音の欠点を改善すべく努力されているが、結果は思わしくなく伸び悩んでいる。現在開発中のティルト・ローターBA609 が成功すれば、市場は一変する可能性がある。
- ・ Robinson 社が生産するピストン機材が出荷機数では 44%を占めるが、販売額は 7%弱。一方で出荷機数が 21%程度の Euro-copter の機材が販売額では 30%弱で第一位である。

2.2.2 小型機の運航

(1) 小型機材の世界分布

- ・ 1994 年の ICAO の小型機材統計では世界で 26 万機弱が登録されており、図 2.2.23 で示すように北米が圧倒的で 70%を占める。(この統計には回転翼機、ホームビルト機、滑空機、気球は含まれていないが、次節の FAA の統計には含んでいる)

ICAO Overview of International General Aviation Information (1994)

欧州	36100
アフリカ	6050
中東	580
アジア太平洋	11500
北米	185890
中南米	18600
合計	258720

世界の小型機分布;258,720機(1994)

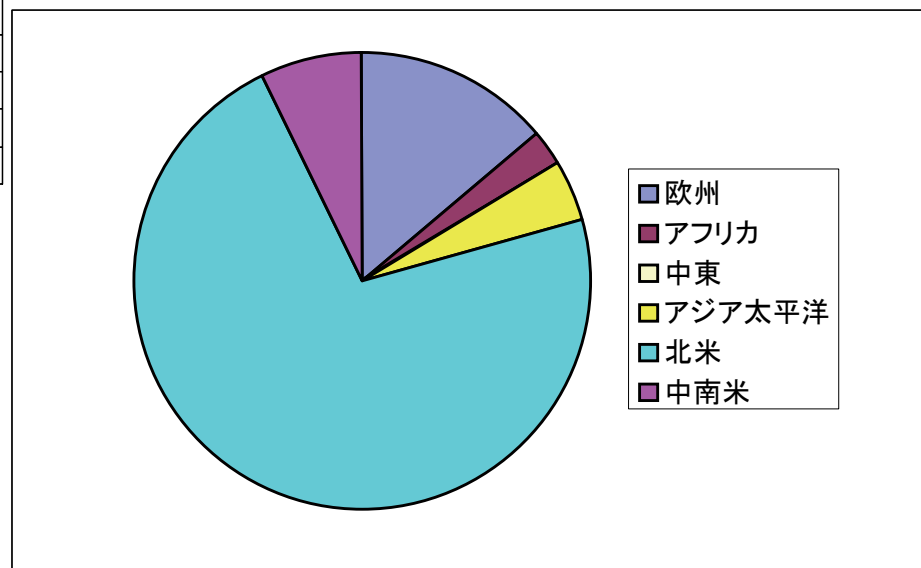


図2.2.23 [3]

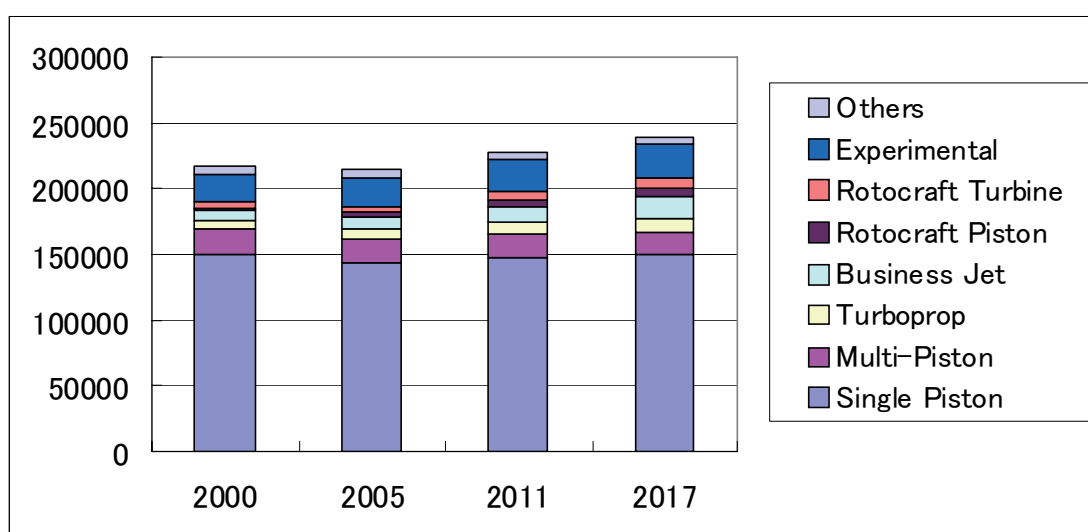
(2) 米国での小型機材の運航状況

- ・ 米国で登録されている小型機材とその利用状況について、FAA の統計を図 2.2.24 に示した。FAA はプライベートに運航するものを General Aviation と呼び、不特定多数の顧客を有償で輸送するものは Air Taxi と呼んでいる。2005 年の小型機 22 万機のうち

17万機は Single Piston で、Business Jet は徐々に増えてはいるが1万機弱である。その他は Turboprop(ターボプロップ機)、Rotorcraft(回転翼機)、Experimental(ホームビルト)、Others(滑空機、気球)。

- このうち Air Taxi に使用されているのは 8375 機で、その内訳は Piston ; 2,927、Turboprop ; 1,421、Turbojet ; 2,107、Rotorcraft ; 1,840、Experimental ; 80 である。
- なお、この Air Taxi 用 8375 機には出発地点に戻る観光の Air Tours ; 613 機、医療事業用の Air Medical ; 976 機を含んでおり、本来の Air Taxi 用は 6,926 機である。

US Active General Aviation and Air Taxi Aircraft



US Fleet by Type and Use (2005)								
	Total	Personel	Business	Corporate	Instruct.	Aerial	Others	Air Taxi
Piston	167603	121295	21371	2012	11384	5625	2989	2927
Turboprop	7942	1300	1868	2372	70	718	193	1421
Turbojet	9822	720	834	5508	25	4	624	2107
Rotorcraft	8729	1368	529	522	1246	2498	726	1840
Experimental	23628	21151	899	139	394	178	787	80
Others	6763	5573	23	0	280	298	589	0
Total	224487	151407	25524	10553	13399	9321	5908	8375

注; Air TaxiはFAR Part;135による運航、その他はPart;91による運航

図2.2.24 [4]

(3) 小型機の運航基準

- 民間機運航に関してほぼ世界標準となっている米国 FAA の運航基準には FAR Part-91、-121、-135 の 3 種がある。安全性要求で最も厳しいのは大型機の商用運航に関する

Part-121、次いで小型機の有償運航に関する Part-135 で、Part-91 は個人や企業の私的運航に関するもので最も緩やかである。厳密な適用範囲は下記を参照されたいが、例えば Part-121 や-135 で要求される着陸滑走路長は同じ機体でも Part-91 の $1/0.6=1.67$ 倍が要求される。また Part-135 では Part-121 では許されない 1 名の Pilot の運航が認められる場合があり、Pilot 経験年数や必要な保険額の要求が低いなどの差がある。

(4) 米国 FAA の運航基準

i) FAR Part-91 ; General Operating and Flight Rules

- 総ての航空機の私的運航

ii) FAR Part-121; Operating Requirement; Domestic, Flag and Supplemental Operations

- 国際(Flag)および国内運航；ジェット機および 9 席以上または有償荷重 7,500lb 以上の飛行機による有償定期輸送
- Supplemental 運航；不特定多数に対する有償運航で、30 席以上、有償荷重 7,500lb 以上、特定の 10-30 席プロペラ機または 1-30 席ジェット機による、日時や路線を定めぬ輸送、貨物だけの輸送或いは旅客チャータ輸送

iii) FAR Part-135; Operating Requirement; Commuter and On-demand Operations, and Rules Governing Persons on board such Aircraft

- Commuter 運航；ジェット機以外の 9 席以下または有償荷重 7,500lb 以下の飛行機或いは回転翼機による、最低 1 路線で週 5 便以上の定期輸送
- On-demand 運航；有償運航で、① i) 公共輸送ではジェット機を含む 30 席以下或いは有償荷重 7,500lb 以下の飛行機、ii) 非公共輸送では 20 席以下或いは有償荷重 6,000lb 以下の飛行機、或いは iii) 回転翼機による、日時や路線を定めぬチャータ輸送、② ジェット機以外の 9 席以下または有償荷重 7,500lb 以下の飛行機或いは回転翼機による週 5 便以下の定期輸送、③ 有償荷重 7,500lb 以下の飛行機或いは回転翼機による貨物輸送

- ・ 米国と欧州での小型機運航基準の差異が問題となる。本来の Air Taxi 以外に Charter 運航、Fractional Ownership 運航、会員制運航など種々の形態があり、例えば Fractional Ownership は米国では機材の部分的所有者の私的運航とみなされ Part-91 が適用されるのに対して、欧州では不特定多数の顧客に対する有償飛行とみなされ、Part-135 相当が適用される。大西洋横断などの飛行では米欧間の基準統一が望まれる。

2.2.3 議論

(a) キャプストーン計画

- ・ FAA が広域での小型機の航空管制効率向上を目指した実証試験；キャプストーン計画

を実施している。アラスカで地上と周囲の機体とを電波通信で互いに監視しながら飛行管理するシステム。交通を道路や鉄道に依存するのでは無駄が多く、小型航空機に頼るのが最も効率が良いアラスカのような、広大な地域に人口が散在している場所には適しているが、日本がこれを真似するのに意味があるのか疑問→

- ・ キャプストーンは当面は小型機が対象だが、将来は大型機まで展開したいと言うマインドでやっている。どこが展開できるのか探っている状態。今のアメリカでやっている技術をそのまま日本に持ってこようとしても日本では使わないと言う事で終わってしまう。例えば人工衛星と連携するとか研究中。

(b) 小型機の航空管制

- ・ 米国で 22 万機もある小型機はどうやって離発着しているのか→
- ・ 北米にはヘリコプターを含む世界で 26 万機の小型機材の 70%以上が存在するが、年間の飛行回数はエア・タクシーとして運航される 8500 機が 600 万回、残りの十数万機で通常飛行が 950 万回と出発地に戻る観光/訓練飛行が 700 万回、合計 2250 万回で 1 機当りの飛行回数は商用機より格段に少ない。商用機は世界で 15,000 機の 40%、6,000 機が 650 万回飛行している。空港での業務は離発着でこの 2 倍。一方、空路上の管制業務は、小型機は低空/近距離が多く、平均 1700km も飛行する商用機を含めた中では 18%(殆どがエアタクシーと思われる)とされている。

(c) 日本でのゼネラル航空を研究する意義

- ・ 全米ではエアラインが運航する空港が約 500、その他に 5000 もの飛行場があつて、旅客が大空港の混雑を避けて小型機で Point-to-Point の飛行ができるなど、小型機利用の余地が大きい。しかし、空港が少なく国土の狭い日本ではビジネス・ジェット利用の余地があるのか。調布などでは駐機場もない。JAXA として貢献できることは何か検討してみる必要がある→
- ・ 小型航空機も今後更に飛躍的に性能や安全性の向上が図られ、経済性が改善されるなら、その世界的市場規模は商用航空機市場を上回る可能性が十分にある。まずはエア・タクシーやフラクショナル・オーナーシップといったビジネスモデルによる普及であろう。長期的には、離発着速度を十分低くした V/STOL やヘリコプターのように狭い広場からの離発着を可能とすると同時に、操縦も極めて容易にして自動車運転なみに操縦免許がとれるような個人用機材、或いは Pilotless 航空輸送システムが開発されるなら、現商用航空機市場どころかその 20 倍の乗用車市場に匹敵する市場が開けるのも夢ではない。
- ・ このような機材やシステムは北米のように広大な地域に人口が分布している場所での需要が先行するかも知れぬが、狭い上に鉄道や道路が発達している我が国でも、山岳や海に隔てられた都市間を自由に素早く直結できる小型航空機の利便性は十分に発揮できる。勿論、これらのためには自動車に対する道路と同じように空域管制や空港などのインフラ整備は必要であるし、機材は乗用車と同様に殆ど整備不要でなければならない。
- ・ こう考えてくれば、小型機分野にも研究テーマはこと欠かない。また小型機ゆえに思い

切った先進技術を採用し易いことは、商用機にはないカナード形態が多く見られたり、全複合材機体の嚆矢となってきた例を見れば明らかであろう。 <以上>

- 出典： [1] Forecast Int'l 社
[2] GAMA (General Aviation Manufacturers Association)
[3] ICAO 1994
[4] FAA

3. 航空基盤の拡充：JAXAにおける整備検討

ここでは、JAXA基盤領域が抱える課題として、我が国の航空技術研究と開発に資する大型試験設備の整備について検討した。産業の自主開発指向の高まりから、その基盤としての大型試験インフラの重要性が議論され始めた。我が国の風洞、エンジン試験設備、機体構造試験設備、あるいは、実験用航空機などは、大型開発がなかったこともあって、先進国からは大きく遅れている。そこでここでは、これら国のインフラとしての構想あるいは検討そして、計画についてここにまとめておく。特に、飛行試験能力については、これまで長い間懸案であったが、MRJ開発を機に小型ジェット機の導入実現に一步踏み出したことを紹介する。

3.1 JAXAの風洞の現状と将来に担う整備(風洞ビジョンの試み)

(1) JAXA の風洞の現状とそれらの今後

風洞技術開発センターは低速から極超音速まで、さらに高エンタルピ風洞もあわせて、総数11基の風洞を管理運用している(図3.1.1)。高エンタルピ風洞は宇宙から大気圏への再突入する際に経験されるような高エンタルピ状態を模擬することを目的の一つとしているため、流れの速度もそこから連想されるような極超音速であると考えられがちであるが、実際には、流速は前者で超音速、後者では亜音速である。これらの風洞は、アーク加熱や誘導プラズマ流によって高エンタルピ状態を実現するための風洞である。

これら11基の風洞のうち6.5m×5.5m低速(LWT1)、2m×2m低速(LWT2)、2m×2m遷音速(TWT1)、1m×1m超音速(SWT1)の4基は特に利用頻度が高く、1.27m極超音速風洞(HWT2)と合わせて、センターの主要風洞となっている。

JAXA(旧NAL)の風洞整備の歴史は古く、NALの発足した1955年直後からTWT1の検討が始まり、5年後の1960年度に竣工している。その後1961年度にSWT1、1965年度にLWT1と、主要風洞が次々と竣工している。風洞の要素をなす制御機器や計測機器など電子機器の寿命は短く、風洞に求められる技術の多様化は頻繁であるため、風洞の老朽化、陳腐化を防ぎ、新しい機能を取り入れるための改修が必須である。図3.1.2は各風洞の整備の時期とその後の改修の歴史を示している。改修は行われたものの、その範囲や規模が小さく、現在老朽化の危機にある風洞として、6.5m×5.5m低速(LWT1)と0.5m極超音速風洞(HWT1)が挙げられる。図3.1.3は11風洞の現状と、今後の改修等の方針を模式的に示したものである。

(2) 高レイノルズ数風洞

図3.1.4に示すのは、横軸マッハ数、縦軸レイノルズで表した平面中に占める中型旅客機の離着陸時および巡航時の運航領域である。同時に中型静粛超音速機のそれも示してある。さらに、JAXAの主要風洞、世界の高レイノルズ数風洞の試験可能範囲も示されている。

この図から、中型旅客機を実レイノルズ数で風洞試験するには、JAXAの風洞では能力不足で、ETWクラスの風洞が必要であることがわかる。また離着陸時の低速試験に限定すれば、測定部の大きさ5.5m級、総圧5.5気圧級の風洞があれば、必要試験域をカバーできることが分かる。図3.1.5は、JAXA2m×2m遷音速風洞及び世界の主要風洞の試験範囲を図示したものである。明らかに、JAXAの2m×2m遷音速風洞はレイノルズ数が足りない。我が国に実機レイノルズ数の出せる風洞を建設するバックグラウンドは無いだろうか。現在、世界中で中型機の巡航時のレイノルズ数を出せる風洞は2つしかない。アメリカのNTFとヨ

ヨーロッパの ETW である。図 3.1.6 は北米、欧州、そしてアジア・太平洋地域の 2004 年における航空旅客数と 10 年後の 2014 年における予想の数字を示している。アジア・太平洋地域が最も急速に成長すると予想されている。3 極化する航空輸送情勢に合わせて、実機レイノルズ数風洞をもアジアに（日本に）整備することは道理にかなったことと考えられる。風洞技術開発センターでは、平成 16 年度に、我が国に低温高レイノルズ数風洞を整備するとしたら、どのような風洞になるかという検討を行った。図 3.1.7 はその結果として考案された風洞で、我が国で開発するのは 90 人乗り程度までのジェット機であろうという想定の下、測定部の断面は $1.2\text{m} \times 1.2\text{m}$ になっている。

一方、同じ実機レイノルズ数風洞でも、低速の離着陸時の性能把握を目的とする風洞の検討を平成 18 年度に行った。こちらの風洞は 5.5 気圧の加圧型で測定部断面 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 、低騒音風洞という要求を負わせてある。初期段階で得られた形状を出発点に、整備費の低減を満たすために行われた形状変更（小型化）の経緯が図 3.1.8 に示されている。

この風洞に近いスペックを持つ実存の風洞としては、英国 Farnborough にある QinetiQ の 5m 風洞がある。測定部断面が $4.2\text{m} \times 5.5\text{m}$ (図 3.1.9 参照のこと) で、3 気圧まで加圧できる。半裁模型を使うとほぼ実機レイノルズ数が出せる低速風洞として、ボーイングが盛んに使っていると聞く。図 3.1.10 はその平面形である。これ以外の加圧型の低速風洞としては、NASA Ames の 12 フィート圧力風洞、ONERA Le Fauga の F1 風洞などがある。図 3.1.11 に上記 3 風洞の測定部形状とスペックの比較を示す。

(3) 我が国の航空基盤の将来を担う風洞整備

現在 JAXA の保有する風洞は、多くが建設後 40 年から 50 年経過しており、老朽化に対する処置が必要なことは言うまでも無く、それ以上に機能として新しい要求に答えられていないものもある。すなわち今後、現有の風洞でユーザの要求を満足させ続けられるかどうかは疑問であり、我が国が自前の航空産業の発展を目指すならば、航空基盤の将来を担うような風洞を整備することが課題となるであろう。上に 2 つの高レイノルズ数風洞について言及したが、この主の風洞を整備するとなれば、これら 2 つが対象となるであろう。

新しい風洞を整備するとなった場合、それに対する要件として以下の 4 点が数えられる。

- ・ 新規性：今までの風洞でできなかったことができること。
- ・ ニーズ：JAXA、航空宇宙産業界（国内、国外）からのニーズがあること。
- ・ 牽引力：航空技術を牽引して発展させる力のあること。
- ・ 経済性：現実的な建設費・運営費で建設・運用できること。

2 つの風洞はいずれも膨大な建設費を要するものであり、両方同時に建設すると言うわけには行かない。そこで、両者の間にプライオリティーをつける必要が生じる。以下に上に述べた 4 つの要件に照らして、2 つの風洞を比較し、最終的にどちらの建設が優先されるかの結論を導きたい。どちらも必要な風洞であると言える。一方、現段階で不確実な点はどちらの風洞にもある。しかし、敢えて現段階で順位をつけるのであれば、CFD の将来性、防衛省三音速風洞の存在、産業界のニーズの強さなどを根拠に、加圧型低速高レイノルズ数風洞をまず整備するべきであろう。

低温遷音速風洞	加圧型低速風洞
●これまでできなかったことができるか。	
・実フライトレイノルズ数の空力特性データが得られる。 ・ P_o を一定にして、マッハ数、レイノルズ数を設定できるので、模型の変形による空力特性の変化を抽出できる。	・実フライとレイノルズ数の低速特性、騒音特性のデータが得られる。
●航空宇宙産業界からニーズがあるか？	
・実フライトレイノルズ数試験への関心は極めて高く、ニーズは大きい。	・高揚力装置周りの流れと騒音に関する関心は大きく、実フライトレイノルズ数で実験することのニーズは大きい
CFD との関連	
・巡航時の機体まわりの流れの CFD は、高 Re 数であっても、遠くない将来実行されそうな見込み。	・高揚力装置や脚などの周りの複雑な流れの CFD は当分信頼できるレベルになりそうもない。
●航空技術を牽引する力があるか？	
・風洞自身、極低温の窒素を作動流体とするなど、従来の概念を超えており、速度、温度、圧力の制御技術が必要になる。また付随して断熱方法、湿気混入防止法、筐体の伸縮対策など、新しい技術が数多く必要になる。 ・今まで得られなかった実フライトレイノルズ数の風試結果の生産拠点として、技術の中心となり得る。	・加圧型を採用しているという点で、原理的に旧来の風洞と大きな違いはない。 ・加圧型風洞での騒音計測は世界的にも初めてであり、新しい技術が試みられ、開発される必要がある。 ・複雑な離着陸時の空力、騒音特性への関心が続く限り、技術の中心となり得る。
●現実的な建設費、運営費で建設・運用できるか？	
・測定部 1.2m×1.2m クラスで建設費 160 億円と見積もられている。 ・もう少し大きくしたり、液体窒素の製造プラントを付加したりすると 400 億円程度？ ・液体窒素の費用が高く、運営費を膨大なものにしている。	・当初の贅沢仕様で 700 億円。 ・工夫と妥協の結果 400 億円程度？ ・低騒音風洞にするため、ファンの前後に消音器を入れると流れの抵抗が増大し、ファンを回す電動機の電気代が膨大な金額になる(殆どが基本料金)。低騒音モードにしなければ、電力の使用料は大幅に抑えられる。
どちらの風洞も、建設費は数百億円になる。運営費も、従来の延長線上には無い。	

(4) 結語

風洞は航空機開発のための基盤設備であり、開発用の風洞を持つということは、その国(国家連合の場合もある)に航空機の開発能力があるという証である。わが国は JAXA に一連の開発風洞群を持ちながら、今まで航空機の開発にそれらを十分に活用する機会に恵まれなかった。しかし、三菱重工業が国産小型旅客機 MRJ の開発を決定したことは防衛省機に開発が偏

ってきたわが国に、新しい民間機開発の機運をもたらすことが予想される。風洞はますますその活躍の場を広げられるであろう。そして、わが国ではまだ夢として語られている実機レイノルズ数風洞の実現へ向けて、道が開けることを期待してやまない。

*図の出典：風洞センターの藤井啓介研究員、森田義郎前セクション長、ほか

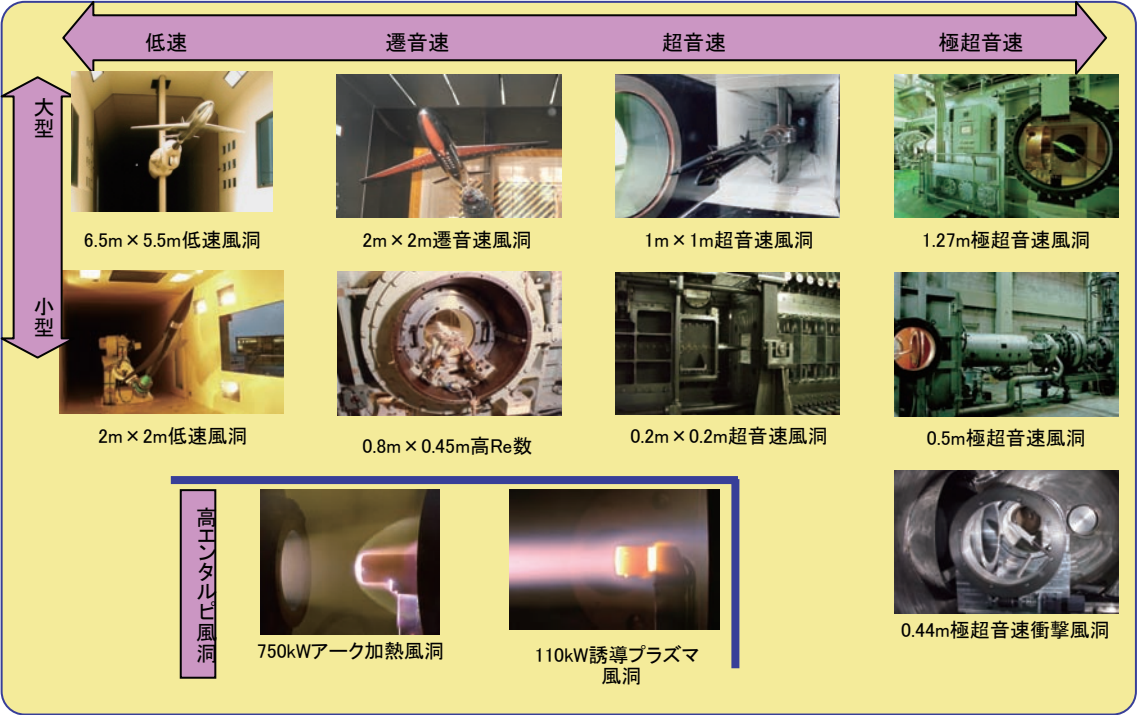


図 3. 1. 1 JAXA 風洞技術開発センターの風洞群

種類	大きさ	年度	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
低速風洞	① 6.5m × 5.5m			▼竣工						▽改修		
	② 2m × 2m				▼竣工						▽改修	
遷音速風洞	① 2m × 2m	▼竣工						第一次大改修			第二次大改修	
	② 0.85m × 0.4m					▼竣工				▽改修		
超音速風洞	① 1m × 1m	▼竣工				▽消音棟増設			▽改修		▽改修	▽改修
	② 0.2m × 0.2m								▼竣工			
極超音速風洞	① 0.5m		▼竣工									▽改修
	② 1.27m								▼竣工			
	③ 0.44m(衝撃)		▼竣工						▽移設改修			
高エンタルピ風洞	① 750kWアーク加熱						▼竣工(450kW)		▽改修(750kWへ)			
	② 110kW誘導プラズマ加熱											▼竣工

図 3. 1. 2 風洞群の竣工と改修の歴史





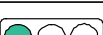


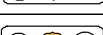

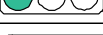

風洞	現 状	今 後
LWT1	 需要大、老朽化対策必要。	緊急度の順に要素の老朽化対策を実施し、新しい風洞へつなげる。
LWT2	 需要大、試験要求に合わせた使い方可能。	音響風洞化実施中。低騒音化を図り、音響計測を中心とした多目的風洞へ。
TWT1	 需要大、改修に一部積み残しの不安あり。	精度の向上を実現させ、我が国の基準風洞としての地位を確保(新風洞実現後も)。
TWT2	 需要低下、高Re数遷音速という特質を活かし切れていない。	現状維持。
SWT1	 需要中程度。下流部改修中。	一通り、必要な改修が完了するので、静粛SST風試などで活躍する見込み。
SWT2	 (研究用)	現状維持。
HWT1	 潜在需要はあるが老朽化が著しい。	宇宙輸送の展望が開けるまで、細々と老朽化対策を進める。
HWT2	 設備は健全だが需要減。	現状維持。
HST	 (研究用)	(研究用)現状維持。
AWT	 他本部や外部の需要も生じてきた。	現状維持。
PWT	 発展途上の新しい設備。	現状維持。

図 3.1.3 風洞群の現状と今後

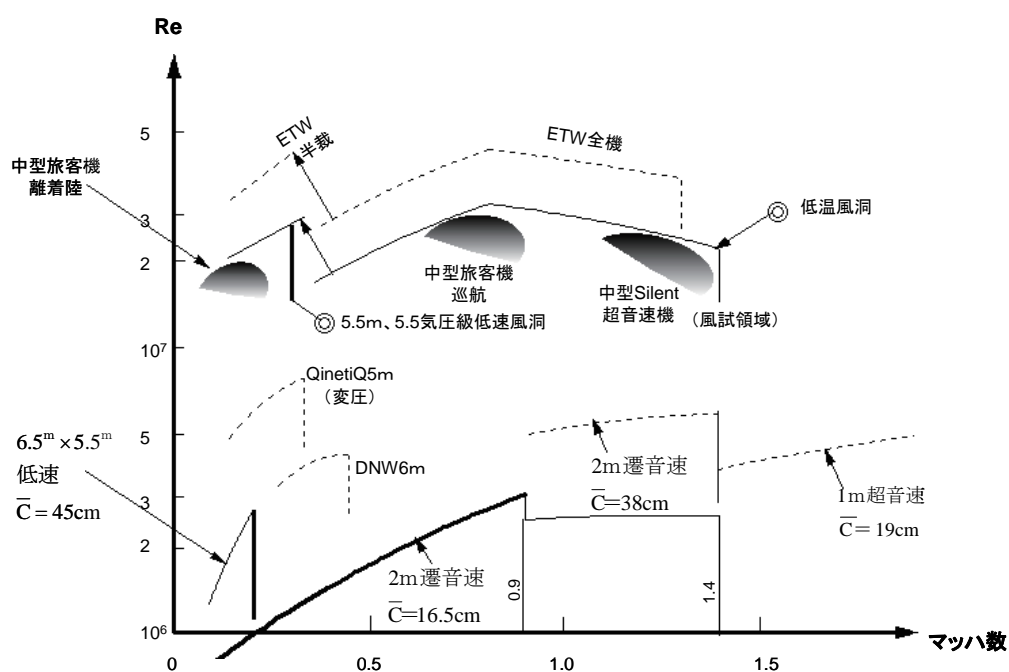


図 3.1.4 JAXA 遷音速風洞と世界の主要風洞の試験可能範囲

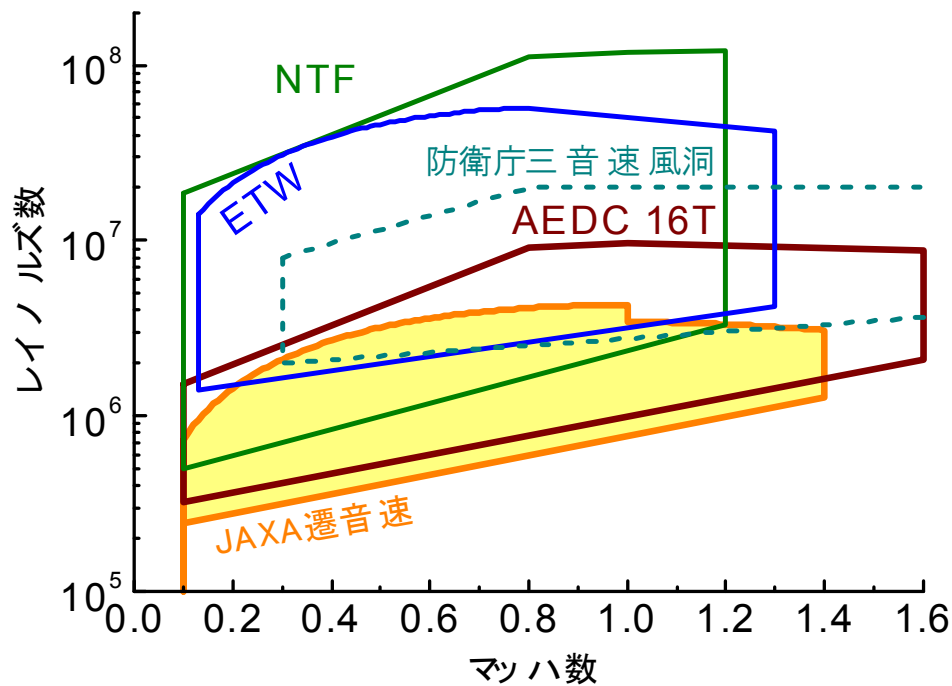
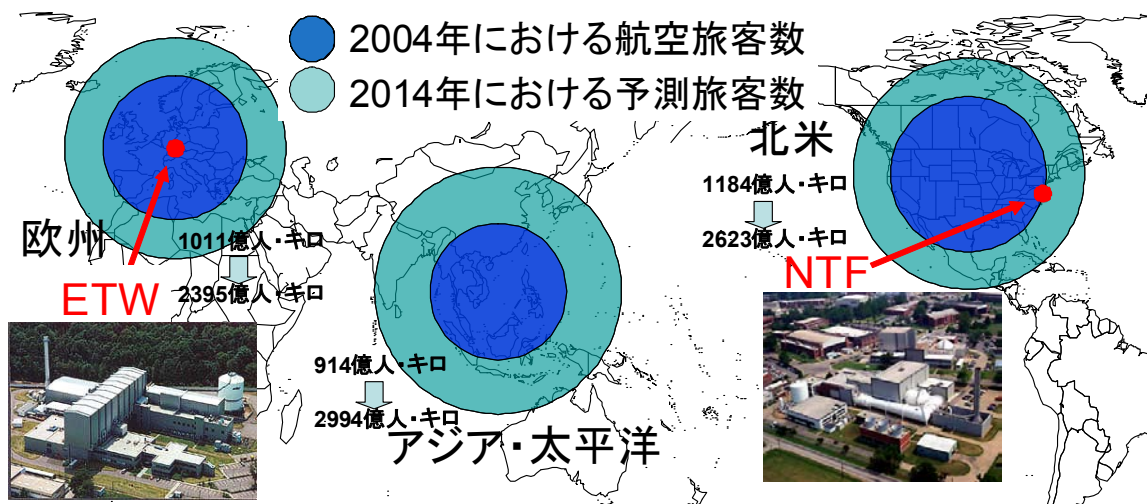


図 3.1.5 航空機と風洞試験レイノルズ数

わが国が整備すべき実機レイノルズ数試験設備の 世界における位置づけ



- ・欧州・北米においては実機レイノルズ数試験設備がすでに存在。
- ・アジア・太平洋地域においては実機レイノルズ数試験できる設備が存在しない。
- ・3極化する航空輸送の情勢の中でアジアの中核として旅客機の自律的開発実施のためには実機レイノルズ数風洞を「アジア標準風洞」として整備する必要がある。

図 3.1.6 我が国が整備すべき実機レイノルズ数風洞の世界における位置づけ

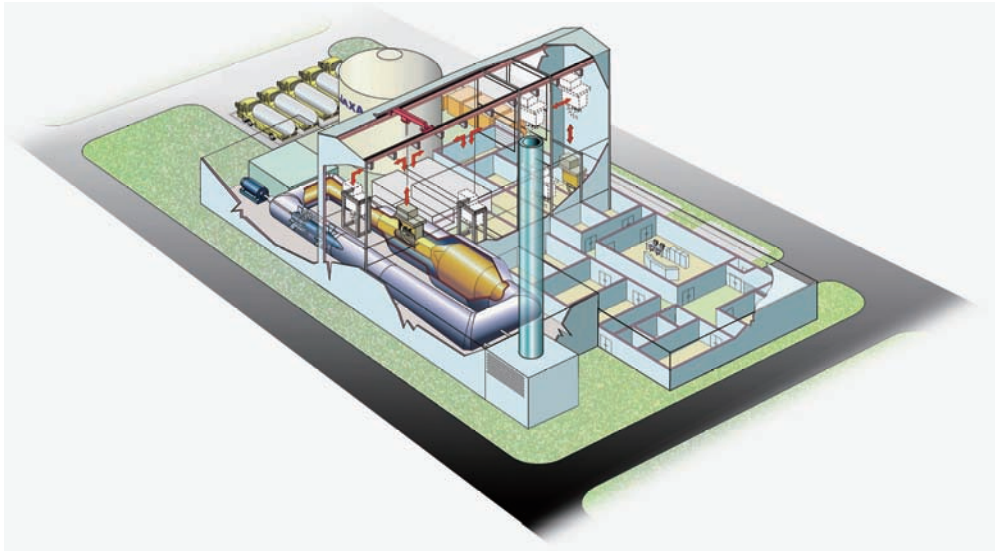


図 3.1.7 我が国に整備を期待する低温遷音速風洞

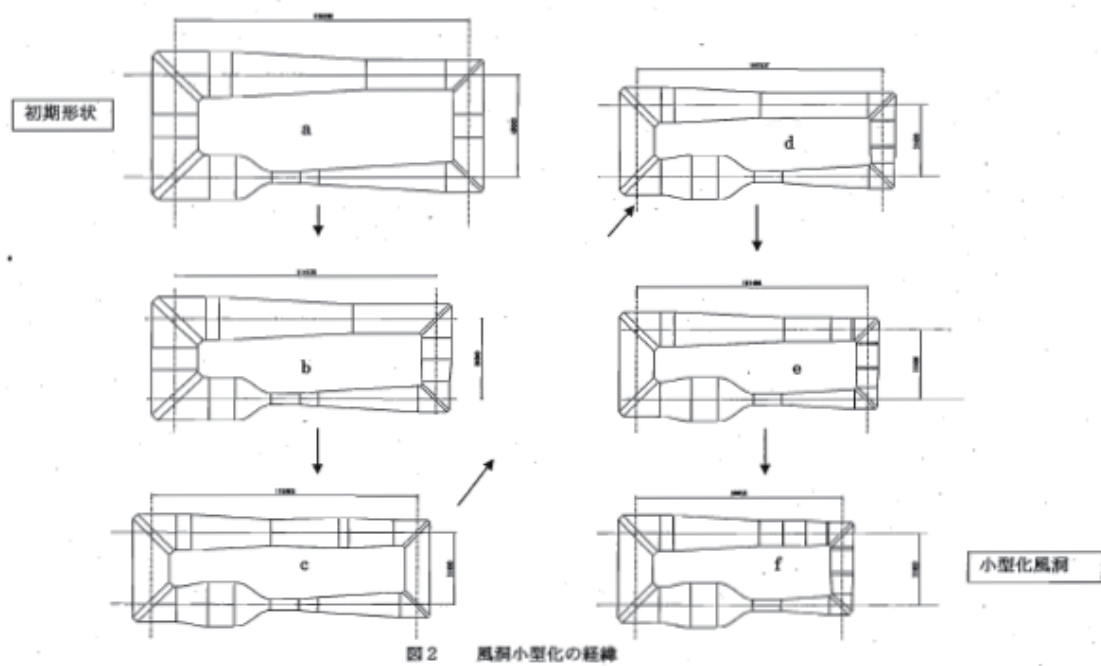


図 3.1.8 加圧型低騒音低速風洞の平面形状の検討

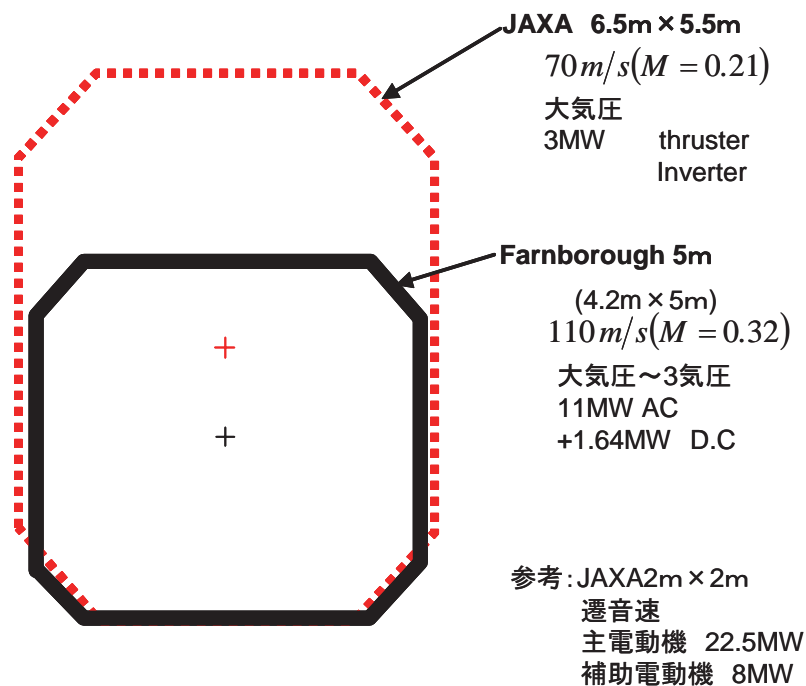
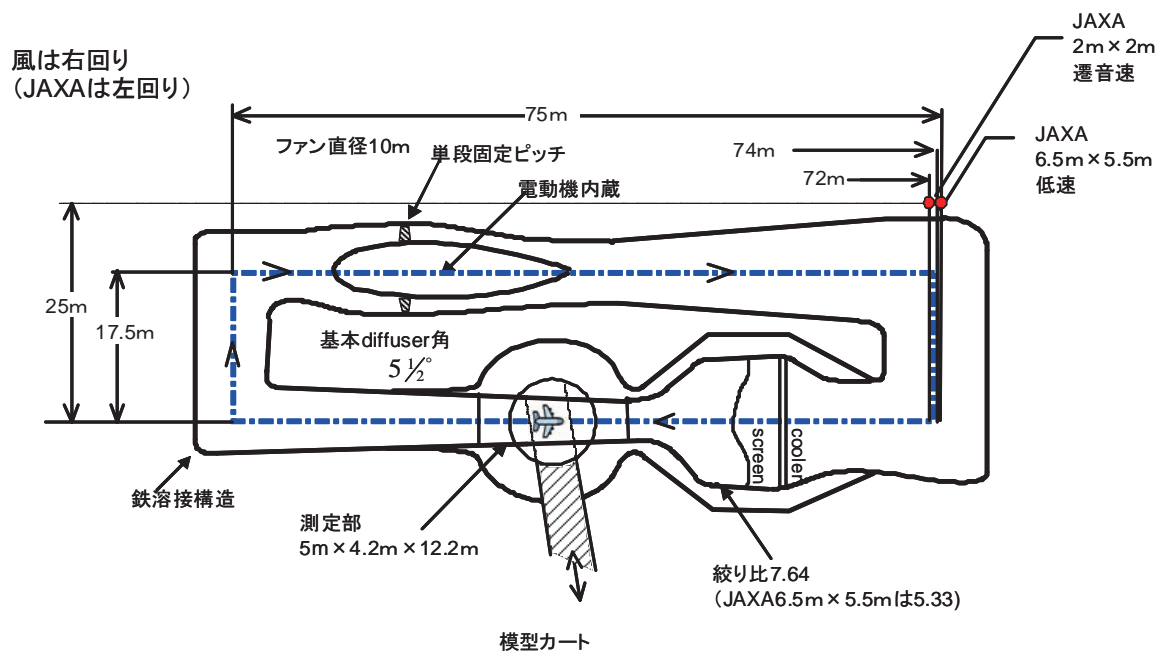


図 3.1.9 測定部断面の比較



風洞平面形 風路中心線でJAXA風洞と比較

図 3.1.10 Qineticの加圧型5m風洞の平面形

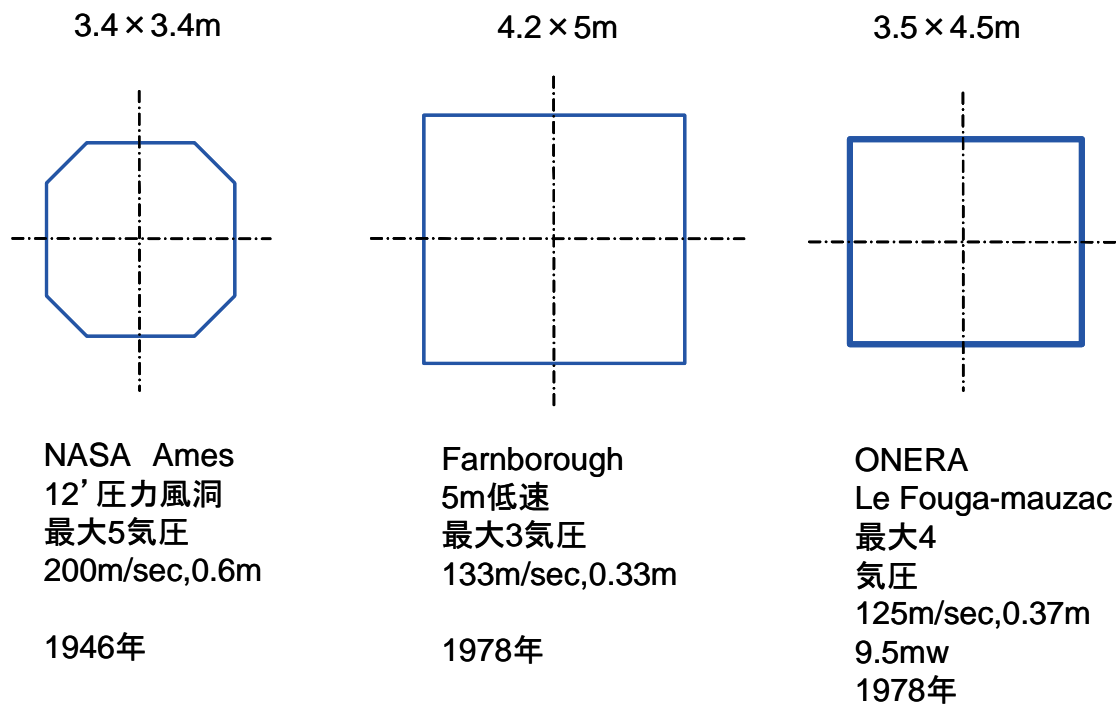


図3.1.11 代表的な加圧型風洞の測定部断面比較

3.2 構造試験用大型設備について

はじめに

JAXA に保有が期待される構造試験用大型設備について、B777 の全機構造試験資料、および、YXX 開発時に検討した全機疲労試験用大型設備についての資料を基にした検討結果を纏める。

今後の我が国の航空機産業が全機開発を行ってゆくことを考えれば、JAXA が保有を期待される構造用試験設備として次の設備が考えられる。

①複合材開発試験に伴う設計許容値設定試験用設備

②全機静強度・疲労強度試験用設備

このうち、①については、すでに MRJ 複合材開発支援に利用されている複合材技術開発センター保有の環境槽付を含む 2kN~3000kN の油圧試験装置(一部ネジ式)30 台があり（平成 21 年 1 月現在）、将来要求される開発ペースに対応できるだけの本数があるかどうかはさらに検討を要するが、当面は対応可能と考えられる。

②については、構造技術開発センター保有の、負荷制御装置と油圧源各 3 セット、50kN~2000kN の油圧アクチュエータ 15 本があるが、後述するように少なくとも油圧アクチュエータ本数は全く足りていない。

本論では、手元にあった B777 の全機構造試験レポートと、YXX 開発時の全機疲労試験用構造試験装置資料に基づき、JAXA が保有を期待される全機構造試験設備について可能な範囲で検討する。

3.2.1 B777 における全機構造試験

手元にあった参考文献[1]、[2]を基に B777 における全機構造試験の概要と用いた設備を纏める。

B777 における全機構造試験は、Everett 工場において全機静強度試験と全機疲労試験が図 3.2.1 に示すように 1994 年から 1996 年にかけて、別々の機体で実施された。これらについて纏める。

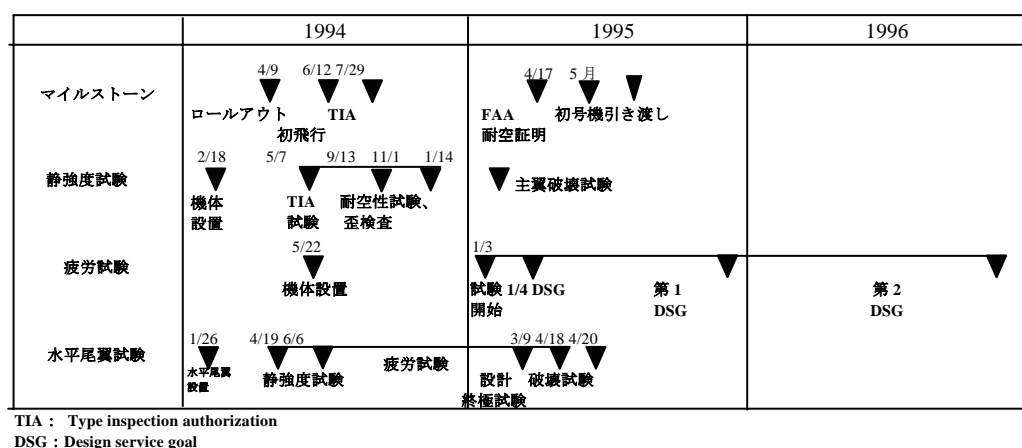


図 3.2.1 B777 における全機構造試験日程

(1) 全機静強度試験

全機静強度試験供試体は第2号機を使用し、図3.2.2に示すように全機のうち、右翼については高揚力装置と舵面を取り除いている(固定前縁付)。左翼は実機と同じで、特にオプションの wing fold(翼端折りたたみ機構)をつけた。また、エンジンまわりは両翼ともストラットまで、エンジン本体はダミーで置き換えている。

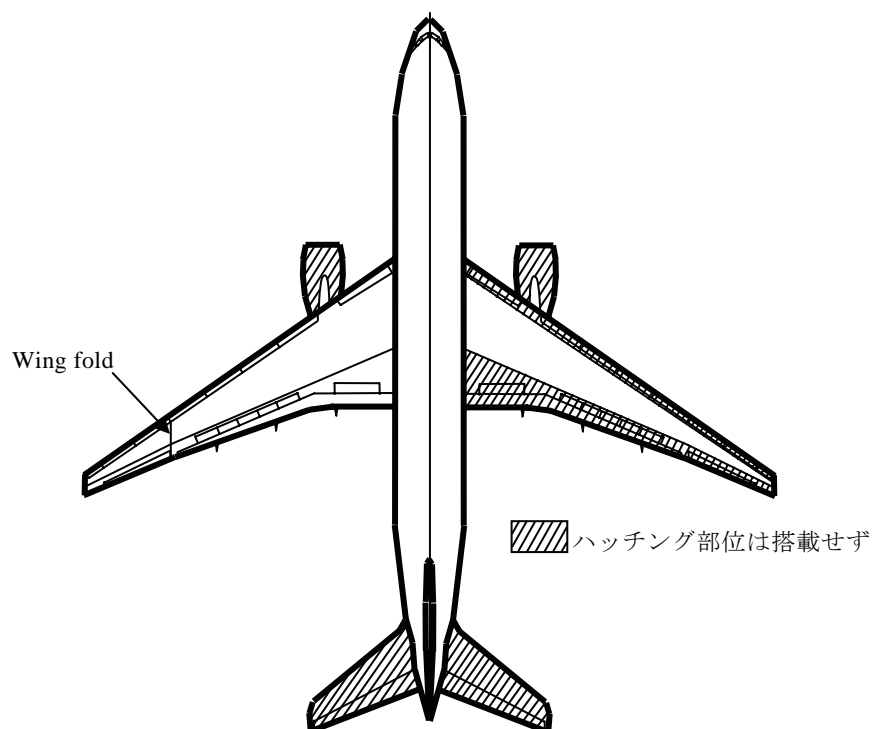


図 3.2.2 全機静強度試験供試体

主翼および垂直尾翼への負荷治具は、いずれも前後桁のリブ位置に fitting を取付け、ここから負荷している。各動翼にはその表面に tension あるいは compression pad が接着され、そこから負荷された。

垂直尾翼はそのまま取り付けたが（ただし舵面無し）、水平尾翼は別に試験している。これは、垂直尾翼が通常4点又は6点で胴体構造に取り付けられ、取付部が不静定であり、胴体取付部の変形により垂直尾翼内力分布が影響されるのに対して、水平尾翼はピボット2点、アクチュエータ取付部1点の3点支持で静定のため、胴体構造の変形が水平尾翼内力分布に影響せず、剛な試験治具に取り付けて試験が出来るためであろう。

試験は36in(約90cm)厚さのスラブ(通常鉄筋コンクリート製)40,000平方フィートの床面を持つ屋内で実施され、主脚への反力負荷装置取付のため、86in(約2.2m)持ち上げて支持された。

荷重は最大96の荷重負荷チャンネルと12の反力負荷チャンネルにより負荷した（合計108チャンネル）。他に機体の破壊に備えてエネルギー吸収システムも各所に設置した（詳細不明）。

内力分布は 4,300 チャンネルの歪みゲージ（常時 1,500 チャンネルをモニター）、変位は 200 基の電子変位計で計測した。

試験荷重は、まず、制限荷重まで段階的に負荷し、その間に永久変形のないことを確認、最終的に growth potential を見極めるため、終極荷重を超えて主翼の破壊荷重を確認した（終局荷重の 103% で左右翼がほぼ同時に破壊）。図 3.2.3 は 2.5g 運動荷重（制限荷重）時の様子である。終局荷重時の翼端変位は 24feet（約 7.2m）であった。

（2）全機疲労試験

B777 は損傷許容性設計なので、疲労試験は要求されないが、初期に疲労破壊が発現しやすい箇所を特定するため、また、点検・整備技術を開発・確認するため、全機疲労試験を行った。また、当時問題となり始めていた、wide spread fatigue damage（WFD）が発生しないことを確認することもそのミッションのうちに加えられている。20 年間を想定した設計寿命（DSG：design service goal、短距離機は 40,000 飛行回数）の 2 倍を試験した。

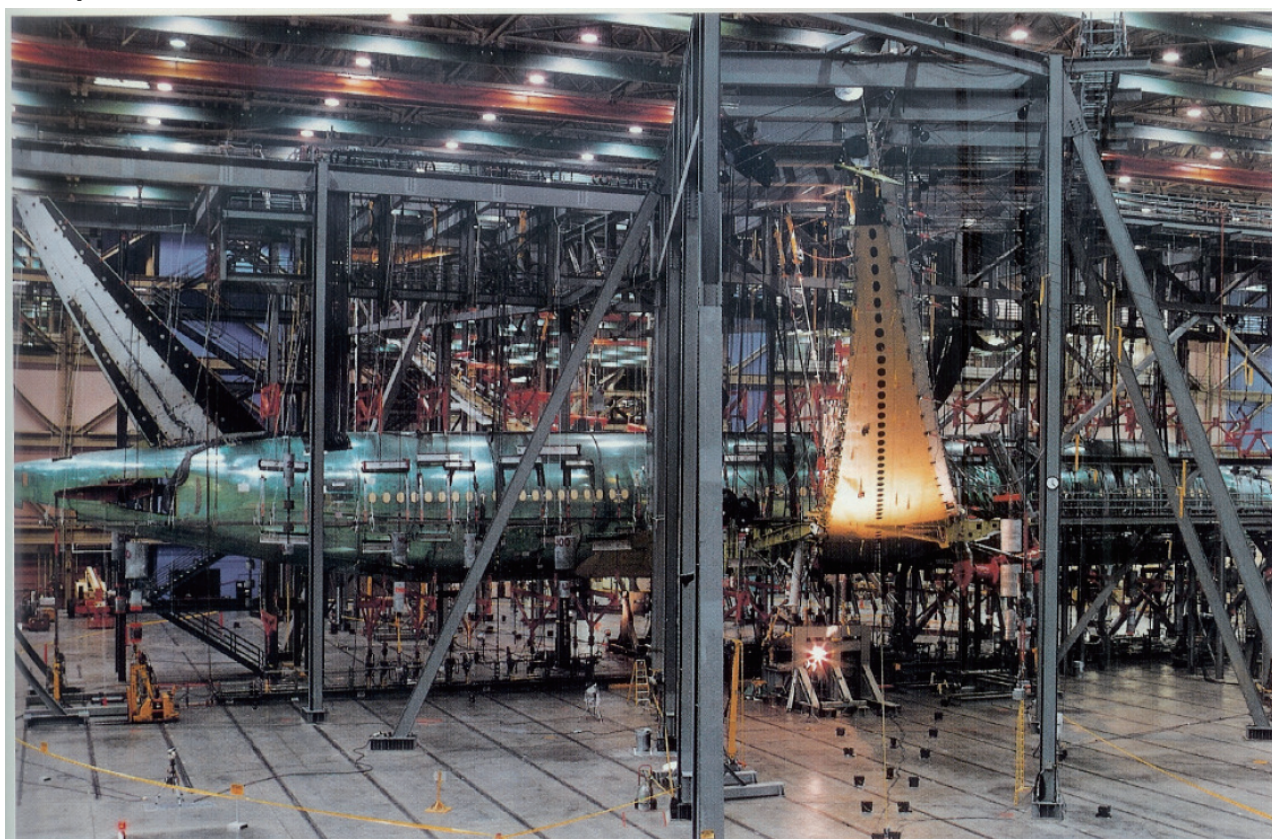


図 3.2.3 全機静強度試験における 2.5g 運動荷重(制限荷重)負荷時の状況(許可を得て文献[2]より転載)

全機疲労試験供試体はほぼ全機静強度試験供試体と同じであるが、大きな違いは右翼にオプションの wing folding 機構をはじめ、各操舵面を含む（内側フラップは無し）。垂

直尾翼は舵面付。また、水平尾翼とともに内側フラップが別試験となっている。エンジンまわりは同様である（図 3.2.4 参照）。

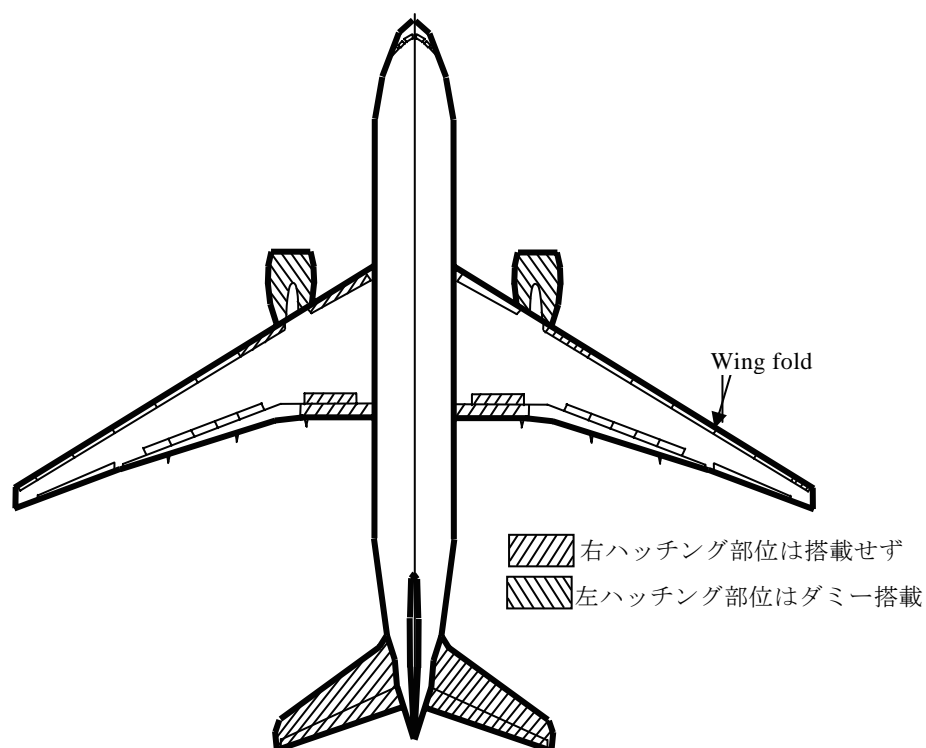


図 3.2.4 全機疲労試験供試体

試験実施場所は屋外で、同様の 50,000 平方フィートに及ぶスラブの上に架構を組み立てて行われた（図 3.2.5 参照）。機体は脚を接地した状態で試験された。



図 3.2.5 全機疲労試験状況(許可を得て文献[2]より転載)

荷重負荷装置は全機静強度試験と同様、約 100 本の油圧アクチュエータにより負荷された。その負荷位置を図 3.2.6 に示す。油圧源は 3,500psi で毎分 100gallon 吐出可能の 250 馬力油圧ポンプ 13 台であった。試験は 1 日 24 時間通して実施した。代表的な飛行プロフィールを図 3.2.7 に示すが、これを平均 4 分で負荷した。律速となる胴体与圧荷重 (8.6psi) は 1,500 馬力の空気圧縮機 (吐出量毎分 46,000 立方フィート) 2 台で 1 回の与圧負荷を 15 秒以内に加圧することが出来た。

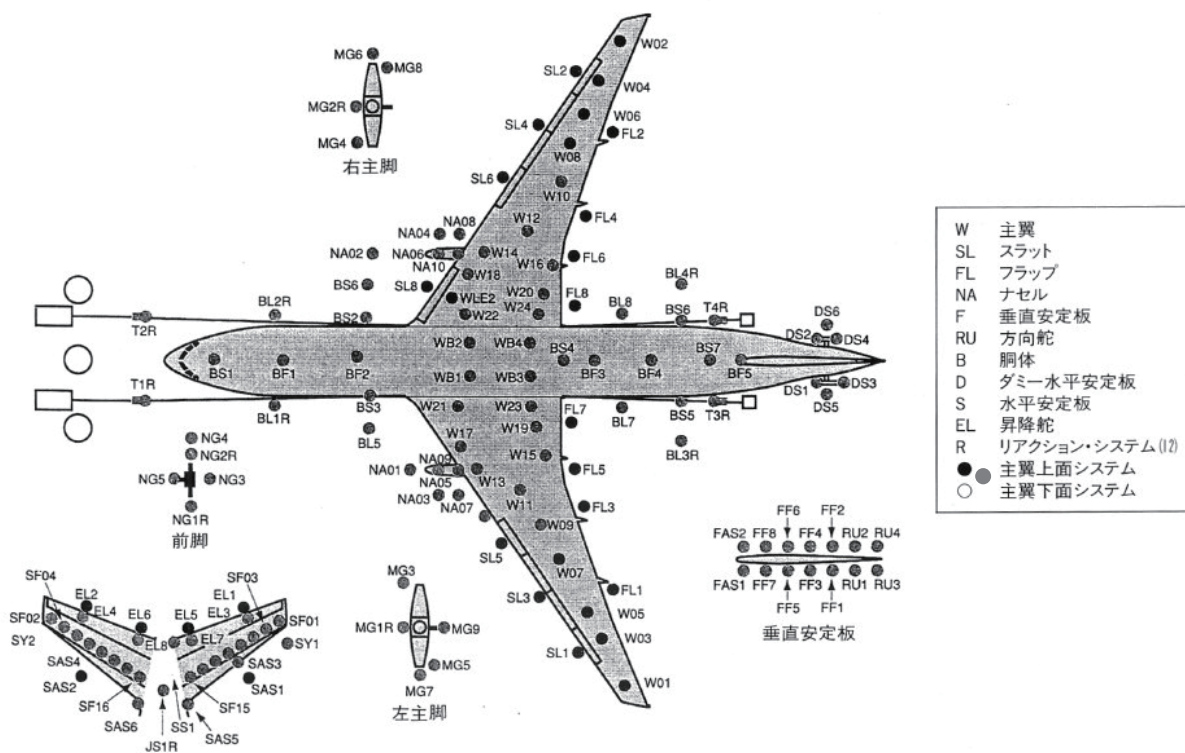


図 3.2.6 全機疲労試験負荷位置(許可を得て文献[2]より転載)

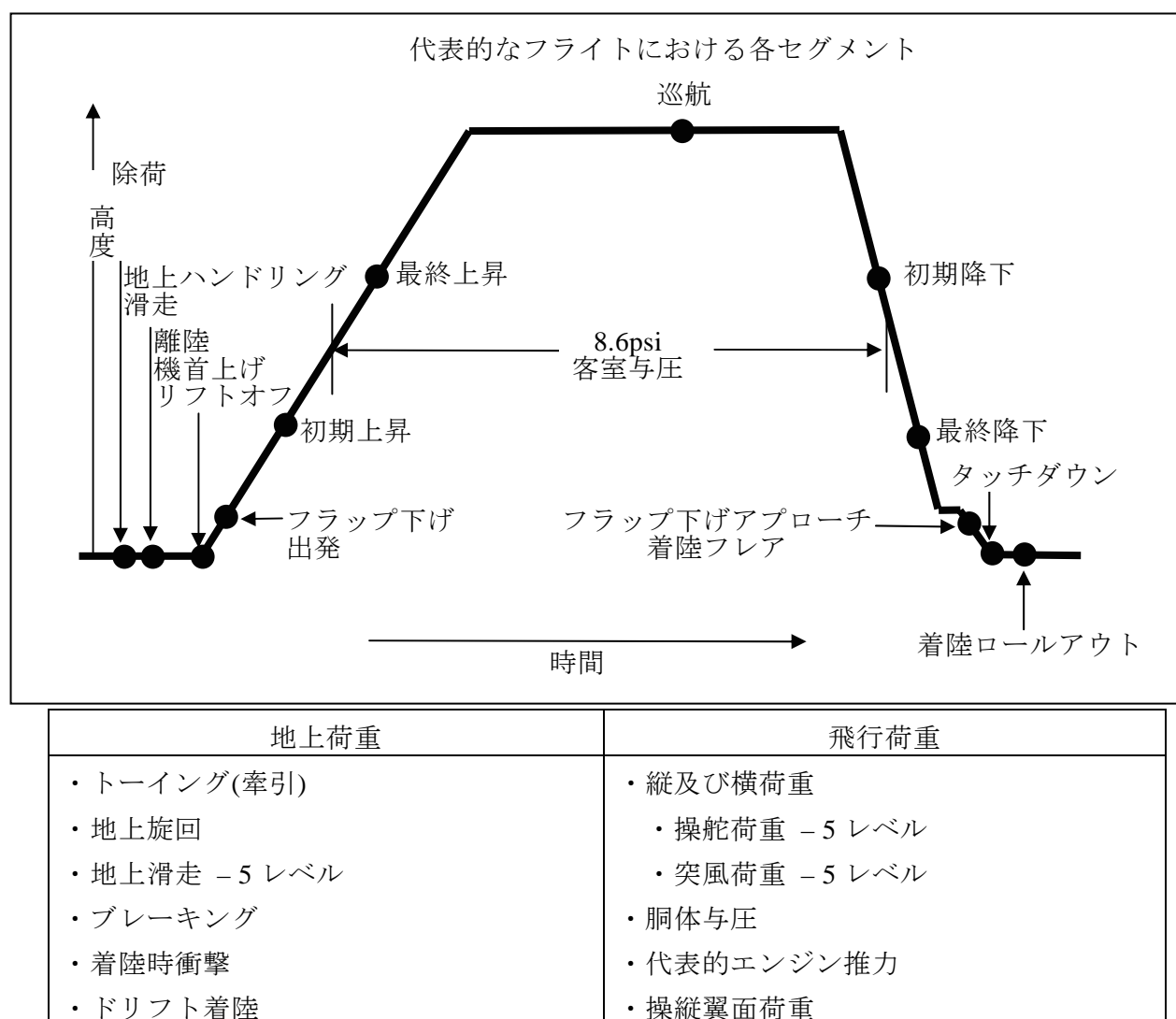


図 3.2.7 代表的な飛行プロファイル

(1) YXX 全機疲労試験用大型試験設備

YXX 開発ではボーイングとの対等開発をうたい、その象徴として日本で全機疲労試験を実施するべし、との通産省（当時）の意向により、全機疲労試験に必要な装置を検討した。試験場所を NAL（当時）の調布構造試験場とし、前もって必要な試験装置の一部を NAL が予算措置を講じて導入したが、YXX 開発計画は流れてしまった。現在構造技術開発センター保有の設備がその名残である。

この時の検討詳細が手元がないが、負荷装置製作会社の見積もりを元に纏めた費用内訳の結果がある。

ここでは、B777 と同じく、水平尾翼とフラップを全機とは別の一箇所で行うことに

しており、さらに脚についても本体と同じ場所（NAL 調布分室）で別に試験するとし、それぞれに対する費用を算出している。油圧アクチュエータは総計 119 本となっており、B777 よりも多い位である。

この資料を末尾に添付する（添付資料 1）。

(2) JAXA が保有を期待される全機構造試験設備

全機構造試験用設備としては、静強度および疲労強度試験を同時に実施することから、いずれをも保有することが要求されると思われる。今までの航空基盤懇談会の議論で、対応する機体規模を現在の MRJ に対する後継機を含めおおよそ 150 人乗り程度としているので、全機疲労試験用装置については 3. の資料がそのまま使用できる。ただし、アクチュエータ容量その他、見積りの元となった諸元についての資料がないが、それらについては今後さらに検討するとして、とりあえず昭和 62 年（1987 年）当時の費用を、日米の物価上昇率を用いて現在に置き直してみる。静強度試験装置についてはとりあえず、疲労強度試験装置と同等程度と考える。

図 3.2.8、9 は日米の消費者物価上昇率である。これらを用いて対 1987 年物価倍数を算出したのが図 3.2.9 である。ただし日本の 2003 年以降についてはデータがないのでこれを 0 とした。米国については 2007 年分について不明のため、2006 年度と同値とした。これによれば、対 1987 年物価倍数は日本で 1.17 倍、米国で 1.79 倍となる。この数値を使用し、さらに現在の為替レートを 120 円/\$として、添付資料 1 の表を現在価格に置き直すと図 3.2.10 になる。

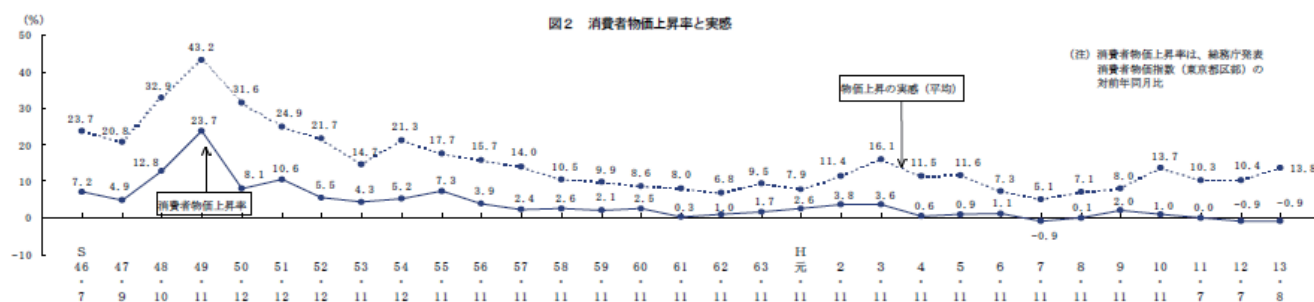


図 3.2.7 日本の消費者物価上昇率

米国物価上昇率(http://www.tbs.co.jp/newsi_sp/alacarte/060823.html)

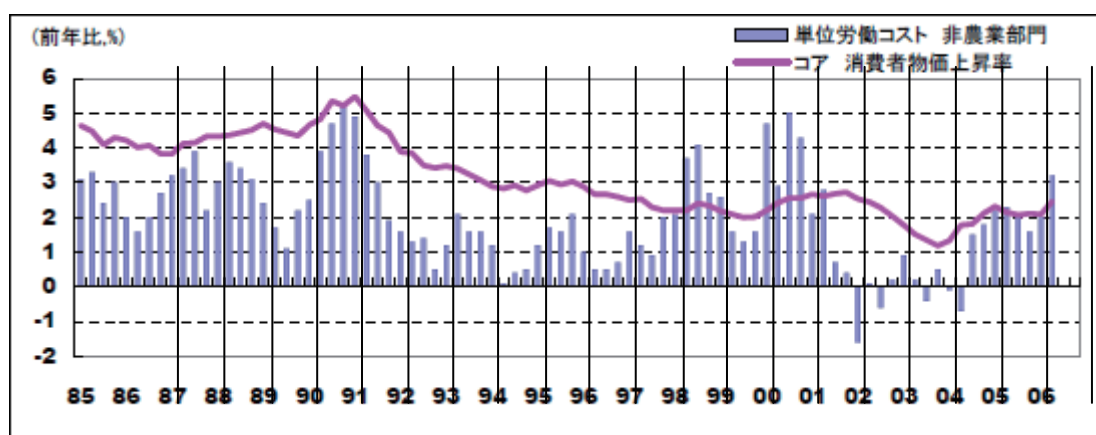


図 3.2.8 米国の消費者物価上昇率

年度	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
日本	1.0	1.7	2.8	3.8	3.8	0.8	0.9	1.1	-0.9	0.1
米国	4.3	4.7	4.6	5.5	4.0	3.4	2.9	2.9	2.8	2.5

年度	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	対 87 年 比倍率
日本	2.0	1.0	0.0	-0.9	-0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.17
米国	2.2	2.2	2.3	2.6	2.5	1.8	1.4	2.3	2.1	2.1	1.79

図 3.2.9 日米の消費者物価上昇率(%)

試験装置名	本体		脚		水平尾翼		フラップ	
	百万円	k\$	百万円	k\$	百万円	k\$	百万円	k\$
負荷制御装置 ・アナログ装置・デジタル装置・ソフトウェア	102.2	852.0	43.0	358.0	52.6	438.6	0.0	0.0
油圧負荷装置 ・アクチュエータ・ポンプおよび配管	468.9	3907.6	49.4	411.7	69.2	576.4	9.9	82.3
データ収集・解析装置 ・アナログ・デジタル・ソフトウェア	107.4	895.0	43.0	358.0	64.4	537.0	0.0	0.0
オプション ・変位検出器・緊急停止装置・オレオ制御装置	253.5	2112.2	23.0	191.5	40.2	334.7	6.2	51.9
胴体与圧装置 ・コンプレッサ・タンク・冷却器(日本製)	56.2							
合計	988.2	7766.8	158.3	1319.2	226.4	1886.7	16.1	134.3
費用総計	1389.0		百万円		11107.0		k\$ ※	

※胴体与圧装置分を含まず

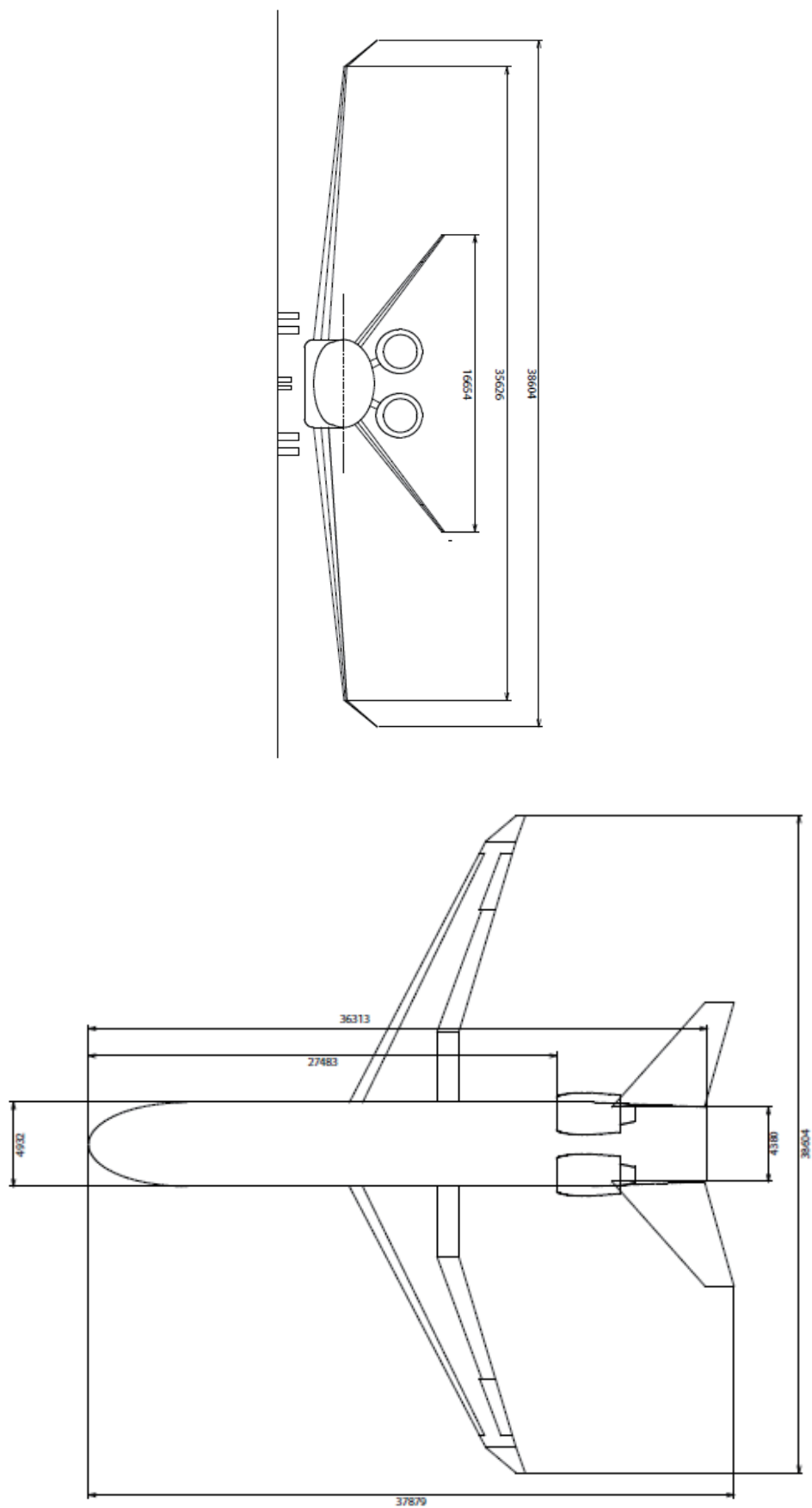
図 3.2.10 全機疲労試験装置 2007 年価格推計(全機静強度試験も同等と考える)

装置とともに、試験場も要求されと考えられる。現在の構造試験場は有効間口約 45 メートル、奥行き約 50 メートル、主天井クレーンのガーター下面から床までの高さが約 13m (佐藤構造技術開発センター長情報) とのことなので、図 3.2.11 に示す JAXA150D 程度の大きさ (7J7 もほぼ同程度) の全機疲労試験ならば実施可能と思われる。静強度試験を同時期に並行実施するには JAXA 内には場所がないと思われ、各社内に場所を確保して、試験装置を貸し出すことになろう。

以上

<参考文献>

- [1] Seidel, Bernhard W., “B777 Full-Scale Static and Fatigue Structural Tests”, AIAA 95-0466, AIAA, '95
- [2] 青木謙知ほか、“ボーイング 777”、エアワールド別冊 1996 年 1 月、エアワールド社、'96



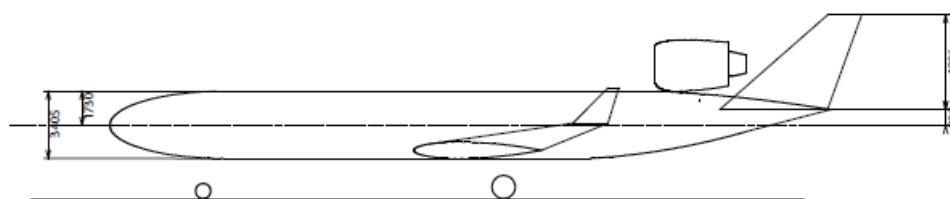


図 3.2.11 JAXA150D 三面図

添付資料 1

全機疲労試験装置 1987 年価格(見積もりベース、@160 円/\$)

試験装置名	本体		脚		水平尾翼		フラップ	
	百万円	k\$	百万円	k\$	百万円	k\$	百万円	k\$
負荷制御装置 ・アナログ装置・デジタル装置・ソフトウェア	76.2	476	32	200	39.2	245	0.0	0.0
油圧負荷装置 ・アクチュエータ・ポンプおよび配管	349.3	2183	36.8	230	51.5	322	7.4	46
データ収集・解析装置 ・アナログ・デジタル・ソフトウェア	80	500	32	200	48	300	0.0	0.0
オプション ・変位検出器・緊急停止装置・オレオ制御装置	188.8	1180	17.1	107	29.9	187	4.6	29
胴体与圧装置 ・コンプレッサ・タンク・冷却器(日本製)	48							
合計	742.3	4339	117.9	737	168.6	1054	12	75
費用総計	1040.8		百万円		6205		k\$ ※	

※胴体与圧装置分を含まず

3.3 飛行実証設備としての小型ジェット機

3.3.1 背景

我が国の航空技術研究については、研究では JAXA を中核として、CFD (Computational Fluid Dynamics, 計算流体力学)、構造健全性保障、飛行制御等の技術について成果を挙げる一方、航空機産業についても機体構造部品はもとより、アビオニクス(航空電気電子)計器、アクチュエータ、精密航法装置等の機能部品、機械・電気・電子装備品についても高い実績と潜在能力を有している。また、航空機要素技術開発においても、これら相互のポテンシャルを活かし、最適空力形状設計技術、構造モニタリング技術、コックピット・ディスプレイ技術、FBW (Fly by Wire, 電気式操縦方式) 技術、LIDAR (Light Detection and Ranging, 突風検知装置) 等の安全運航技術等については、これら相互のポテンシャルを生かし、世界を先導して研究成果を実用化の段階に進めつつある。これらの背景の下、現在 JAXA では、我が国航空技術の発展及び航空産業の活性化を目指し、以下の航空技術研究開発を推進しているところである。

- ① 静粛超音速研究機、国産旅客機高性能化及び全天候・高密度運航技術の3つのプロジェクトを戦略重点科学技術として推進
- ② 国土交通省が行う民間旅客機のTC (Type Certificate, 型式証明) 審査の手法や基準等に対する技術提案や知見を提供
- ③ コックピット・ディスプレイやLIDAR等の航空機要素技術開発において世界を先導する研究を展開し、その成果を民間に技術移転することで産業界を支援

このような航空技術開発を行う際の一過程である「飛行実証」に必要となる環境について、JAXAは我が国唯一の公的航空研究機関として、プロペラ機及びヘリコプタを用いて研究開発してきたところであるが、現在の民間航空輸送の主力であるジェット機に係る技術の飛行実証の研究開発については立ち遅れており、上記研究開発の実施に支障を来している状況である。また、民間航空機産業については、売上高は1兆円を超え、その内の防需比率は50%を切るところに来ている。しかしながら、装備品の売り上げについては、ジェット機に係る技術の飛行実証に対応できていないこと等から、1990年頃をピークに1,000億円(約50%)近く減少している。

3.3.2 飛行実証の必要性

図3.3-1に、航空機(システム)及び装備品(要素)の開発の一般的な流れを示す。航空技術の研究開発では、航空機、装備品を問わず、各種解析を含む設計作業とそれに基づく製作が行われ、引き続き、地上での機能・性能試験やシミュレーションを行った後に、実飛行環境での「飛行実証」により機能・性能の実証が行われる。このプロセスを経てTRL (Technology Readiness Level, 技術成熟度)が6(地上実証)から7(実環境実証)に上がる。

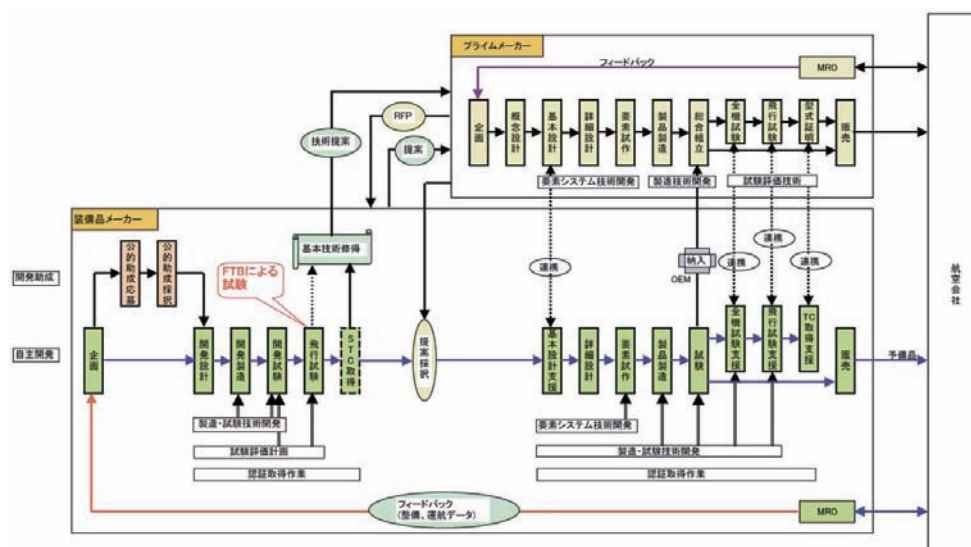
航空機、特に今日の民間航空機開発では、安全性・信頼性の確保が市民社会生活に直結することから、運航開始後の不具合対策も含めて厳格な基準適合性を高度に保証するとともに、機体開発に極めて巨額の経費と長い期間を要する。このため、機体成立性及び開発遅延のリスクを極小化することが必要とされ、要素技術に至るまで、高い完成度と信頼

性及びそれを裏付ける十分な飛行実証及び実績が求められている。

また、JAXAにおける航空技術研究開発の使命として、完成した技術を民間に移転し、実用化させることにより、我が国航空技術及び航空産業界の発展を図ることを目指している。このためには、JAXAの研究開発成果についても、技術移転に至る前段階で、民間航空機に適用可能な完成技術としての実証実績が求められる。加えてプロジェクト研究についても飛行実証を行うことによりシステムの信頼性を高め、成果を確実なものにすることが可能となり、その後の発展に繋ぐことができる。この意味で、開発プロセスにおける最終確認にあたる飛行実証の意義は極めて高い。そのため、システム、要素を問わず、航空技術開発では必ず行われる過程であり、世界的に、飛行実証を経て初めて実用性のある技術として成果が認められる。

この飛行実証のための環境の構築及び飛行実証の実施に必要な「飛行実証技術」は、開発対象技術の根幹を完全に把握した上で、実証条件の決定・策定、データ取得・解析を行う高度な技術的知見を要するため、飛行実証技術自体が航空技術研究開発のための重要な基盤技術である。仮に飛行実証を自国において実施することなく、他国に依存して行う場合を考えると、このような基盤技術を蓄積する機会を失い、長期的に見れば外国との航空技術の格差を招くことになると共に、評価実証する新規技術自体の核心部分が海外へ流出することになる。加えて、実証に関連する技術情報は極めて貴重な知的財産であるため、実証技術の情報はもちろん、実証対象技術の評価に直接関連する情報についても引き渡されない可能性があり、大きな国損を生じることになる。このような観点から、JAXAを含めて航空技術主要国の公的航空研究開発機関では、飛行実証技術を国家の基盤技術とすべく、その開発と蓄積に例外なく注力している。

なお、このようにして国内に確保された飛行実証環境は、各国とも公立研究開発機関自らの成果の飛行実証に活用するとともに、国内の航空産業の開発成果の飛行実証を受託する等の形で有償での供用を行い、自国の航空技術の発展に寄与している。



(出典:平成17年度日本航空宇宙工業会(SJAC)装備品専門委員会活動報告,2006年4月)

図 3.3-1 航空機及び装備品の開発の流れ

3.3.3 JAXAにおける飛行実証の具体的な必要性

3.3.1項に記したように、JAXAでは我が国航空技術の発展及び航空産業の活性化を目指し、静粛超音速研究機、国産旅客機高性能化及び全天候・高密度運航技術の3つのプロジェクトを国家戦略重点科学技術として推進するとともに、また、コックピット・ディスプレイやLIDAR等の航空機要素技術開発において民間への技術移転による産業界支援を目標に世界を先導する研究を展開しているところである。これらの技術研究開発は、以下の飛行実証を実施する段階に至っている。

3.3.3-1 静粛超音速研究機（航空プログラムグループ）

静粛超音速研究機（以下、静粛機）は、水平離着陸／超音速飛行／完全自動無人機という我が国未経験の高度なシステムである。飛行成立のための要となる航法、飛行制御アルゴリズム等については、このような実験機に対する現実的な制約の中では、設計想定外のバグの地上試験による発見は困難で、機体喪失につながるリスクを抱えた試験となる。この対策として、搭載機器の事前飛行実証が有効であり、その実施はHOPE（H-II Orbiting Plane, H-II 打ち上げ型有翼回収機）プロジェクトの一環として実施されたALFLEX（Automatic Landing Flight Experiment, 小型自動着陸実験）やHSFD（High Speed Flight Demonstration, 高速飛行実証）フェーズIの成功につながっている。初フライトでトラブルが発生する無人機は多いが、その多くの場合で事前飛行実証を省略しており、これを実施することにより回避できたトラブルも多い。このため、静粛機の飛行試験の成功には、適用する新規技術について、有人機を用いた飛行（機器トラブル発生時にも安全な対応が可能）により事前に機能及び性能を評価・確認し、開発に反映させることにより安全・信頼性を確保することが必須である。このような搭載機器の事前飛行実証には、以下のような高度な飛行実証技術が必要である。

- ・ 評価の基準となる高精度な計測技術

機器の校正試験に相当するものであり、比較基準データを提供する原器となる高精度計測系が必要である。これは通常の航空機の飛行には不要な精度であるため、飛行実証の目的に特化して開発することになる。

- ・ 大量のデータを収集・記録する技術

通常の航空機では、事故解析等に必要となる最低限のデータしか記録しないが、飛行実証では、複数のデータの整合性の確認等が必要であり、膨大な項目数で、かつ長時間に亘る大量データを、しかも事後の解析に適した形態で収集・記録する必要がある。これも飛行実証に特化した機能である。

- ・ 実証に要求される経路を正確に飛行する高精度誘導制御技術

地上システムとの電波リンク確認等の飛行において、事前に定められた飛行経路を正確に追従飛行することが必要である。これも通常の航空機の飛行では不要な要求であり、これを実現するための自動誘導制御機能、もしくはパイロットに適切な操縦指示を与えるコックピット表示機能を、やはり飛行実証に特化して開発することになる。

次に飛行環境について、まず高度範囲に関しては、実飛行時の大気環境（大気密度、温度等）の再現が、GPSの対流圏遅延、電波伝搬誤差の評価等において重要である。また、飛行実証の大きな目的の一つに機体と地上システムの電波リンク確認があるが、電波リ

ンクは機体と地上システムとの相対位置が重要であり、飛行環境として静粛機の飛行空間を包含する飛行が要求される。そのため、静粛機の最高飛行高度である 14,000m に 1,000m の余裕を含め、地上から高度 15,000m 程度までの高度範囲が必要である。一方、速度環境に関しては、静粛機の最高速度はマッハ 1.6 であるが、エア・データ・センサ等、速度が重要なパラメータとなる評価項目の超音速域（マッハ 1.2 以上）での特性は、地上試験・解析によって高精度の推定が可能であるため、飛行実証では、地上での推定が困難な遷音速域（マッハ 0.8～1.2）の特性を取得することが望まれる。しかしながら、戦闘機を除く民間航空機で飛行可能な速度域はマッハ 0.8 程度までである。宇宙往還機の研究等での経験によると、遷音速域を一部含む速度 0～マッハ 0.8 のデータが取得できれば、マッハ 1.6 までの特性を実用上問題ない精度で推定可能と考えられるため、本飛行実証での必要速度範囲は、速度 0～マッハ 0.8 とする。以上のことから、本飛行実証の飛行実証環境として、以下の範囲を確保することが必須である。

- ・ 高度 : 0～15,000m（静粛機の最高飛行高度である 14,000m に 1,000m の余裕を含む）
- ・ 速度 : 0～マッハ 0.8（通常のジェット機の世界範囲）

3.3.3-2 国産旅客機高性能化（航空プログラムグループ）

MRJ（三菱リージョナル・ジェット）は、YS-11以来40年以上途絶えている我が国独自の民間旅客機開発計画である。そのため、国家プロジェクトとしての立ち上げに向けて関係行政機関・産業界が努力しているところであり、特に国にあつては、4省連絡会議等の場において、一致して協力することが申し合わされている。このような中、本計画では競合他機に対する差別化技術の適用という観点から多くの新規技術の研究開発が行われているため、我が国唯一の公立航空技術研究機関であるJAXAに対して、その開発・実証を技術面から支援することが強く期待されている。このような背景からJAXA航空プロジェクトの一つとして国産旅客機高性能化技術研究が、MRJの開発主体である三菱重工業との共同研究として推進されている。この一環として、以下の飛行実証及び飛行実証技術の研究開発を行うことが必要となっている。

- ・ 国産旅客機搭載の新規技術の機能・性能・信頼性確認

フライ・バイ・ワイヤ制御技術（パイロット操縦操作をデジタル信号化し、飛行制御計算機の支援による先進飛行制御を可能とする技術）等、高度な研究開発要素を含む新規技術について、その機能及び安全性を飛行実証によって評価・確認する。新規技術を実際の機体に搭載した際のデータの獲得は、無人機技術開発を含む将来の研究開発に役立たせるために非常に貴重な機会である。

- ・ 民間機開発における飛行データ解析手法を含む飛行試験手法の確立

民間旅客機の開発飛行試験において、システムとしての航空機的设计機能・性能を評価・実証（データ収集・解析を含む）する手法について、特にジェット機の飛行環境における実績は我が国ではSTOL実験機「飛鳥」以来、長年途絶えている。このため、今後、民間輸送の主力であるジェット機に対応した研究開発を行う上で、飛行実証の基盤技術としてJAXAに蓄積しておくことが必須である。なお、これらの事前飛行実証はMRJ開発のリスクの低減に直結するものであり、プロジェクトの成功に大きく貢献することになるため、MRJ開発主体である三菱重工業も、JAXAに対して、これらを責任を持って実施す

ることを強く要望している。

以上のような国産旅客機高性能化に向けた飛行実証には、3.3.3-1項の静粛超音速機にかかる飛行実証と同様、以下の機能が必要である。

- ・ 評価の基準となる高精度計測機能
- ・ 大量データの収集・記録機能

また、当然のことながら民間旅客機の飛行範囲を包絡する以下の飛行実証環境が必要である。

- ・ 高度 : 0~12,000m / 速度 : 0~マッハ0.8

3.3.3-3 全天候・高密度運航技術（航空プログラムグループ）

20年後には日本の航空交通量は現在の1.5倍になると予想され、それによる空港周辺での運航遅延は現状より10分以上増加し、これにともなう損失は2兆円とされている。加えて運航の安全性・利便性の維持が困難になることも予想される。JAXAでは、それを解決する技術を提案することを目標に、DREAMS (Distributed and Revolutionary Efficient Air-traffic Management System, 分散型高効率航空交通管理システム)の研究開発を国土交通省や国際機関と連携しながら進めている。DREAMSは、航空輸送の利便性、環境適合性等を維持しつつ、高密度かつ安全な運航を行う技術であり、高密度・安全運航を実現するための各技術課題に対して、目標レベルの達成を飛行実証するとともに、その成果を技術基準として取り纏め、国際規格策定に貢献することを目標としている。このDREAMSに加え、JAXAでは全天候・高密度運航技術の研究開発として、ヒューマンエラー防止技術及び乱気流検知技術(LIDAR)の研究開発を実施しているところである。ヒューマンエラー防止技術は、運航品質保証技術に関する開発成果を運航会社に導入し、人的ミスによる航空機事故を防止することが目的であり、乱気流防止技術は、最近10年間に国内で発生した旅客機の死傷事故の過半数が乱気流に起因していることに鑑み、約10km手前から大気中のチリにレーザを反射させて前方の乱気流を検知することにより、乱気流域を回避し、航空死傷事故を防ぐ技術である。

これらの研究開発対象に対し、以下の理由により飛行実証を行うことが必須となっている。

- ・ DREAMSシステム

本システムの機能実証(多数の航空機が同時運航する空港付近での定時性確保の評価)には、電波リンクの通信品質の影響を再現する必要がある、これは地上のシミュレータでは模擬できないため、DREAMSシステムを搭載した航空機を実際に飛ばすことが不可欠。

- ・ ヒューマンエラー防止技術

航空機における乗員の不安全行動には対象機体の運動性が大きく影響するため、不安全行動の抽出(計測)には、対象機体の運動を再現する必要がある、地上での実証は不可能。

- ・ 乱気流検知技術(LIDAR)

大気中のチリの反射率(後方散乱係数)は高度上昇に伴い急減するため、民間旅客機

の巡航高度(10~12km)での実環境で、かつ民間旅客機の巡航速度において機能実証を行うことが必要。

これらの飛行実証には、以下の機能及び環境が必要である。

- ・ 飛行状態を高精度に計測する機能

DREAMSシステム飛行実証において、高密度運航時の経路保持あるいは機体相互間隔の保持を評価するため、高精度の計測機能が必要。

- ・ 大量データの収集・記録機能

DREAMSシステム飛行実証では、衛星データを活用するとともに、複数機間でデータ通信を行い、高い密度の運航を実証する。この機能を評価するためには、これらの大量データを収集・記録することが必要。

- ・ 高度 : 0~12,000m / 速度 : 0~マッハ0.8 を包絡する飛行環境

乱気流検知技術の実証は、実際の民間旅客機の飛行高度及び飛行速度で行う必要がある。

3.3.3-4 民間旅客機のTC審査基準確立 (航空プログラムグループ/研究開発本部)

国土交通省業務の一つとして、国産機のTC審査があるが、我が国では長年に亘って民間旅客機の開発が途絶えており、TC審査試験に係る知見の蓄積が失われている。これまでJAXAは、旧NALの時代から、YS-11等の型式証明にあたって、基準が無い技術分野の耐空性評価方法に関して、国土交通省から委託を受け、JAXAの業務として実施してきた。現在も、新構造材料技術及び先進操縦技術及びヒューマンファクタ技術に係る適合性証明に関する調査研究の委託を受け、実施しているところである。40年ぶりの国産旅客機であるMRJについても、採用される最新の技術及び安全・環境基準に係る適合性証明について、同様に試験手法、評価基準を確立することが必要である。操縦関連等の技術に関しては、実際の飛行中の評価なしに試験手法、評価基準を策定することはできない。例えば着氷の影響を評価する試験に関しては、その試験条件に関する基礎データが現状存在しないため、事前に系統的な飛行により、着氷状況を観察・計測して、そのデータから試験条件を策定しておくことが必要である。このようなデータベースは航空技術研究開発の基盤データとなるものであり、今後のJAXAの活動に大きく貢献するものである。このような飛行実証には、国産旅客機高性能化にかかる飛行実証と同様、以下の機能及び環境が必要である。

- ・ TC審査基準確立に用いる高精度計測機能

航空技術研究開発及び今後の我が国民間航空機の開発における基盤データであり、精度及び信頼性の極めて高いデータの取得が必須である。

- ・ 大量データの収集・記録機能

着氷に関する大量のデータベースの蓄積等のため、多項目かつ長時間の大容量データを系統立てて記録する機能が必要である。

- ・ 高度 : 0~12,000m / 速度 : 0~マッハ0.8

民間旅客機の飛行範囲を包絡する環境で実施する必要がある。

3.3.3-5 ジェット機要素技術研究開発（研究開発本部）

JAXAでは、安全で豊かな国民社会に資する航空技術開発として、コックピット・ディスプレイ、突風検知装置LIDAR等の要素技術研究開発を実施しているが、その最終目標は研究成果を主として国内の民間航空機・機器産業に技術移転し、実用航空機に適用することにより、航空輸送の安全と利便性を向上させるとともに、航空産業の活性化に貢献することである。

このような新規開発の航空技術を実用機に適用するには十分な飛行実証・実績が積み上げられていることが要求されるが、この段階をすべて民間企業が行うことは経営的に不可能であり、ボーイングやエアバス等の寡占的企業でさえ実行されていない状況にある。したがって、JAXAの研究開発成果を民間へ技術移転する時点で飛行実証し、実証方法を含む技術を確立させておくことが必要である。現在、JAXAはプロペラ機を保有して飛行実証を実施しているが、主要な市場であるジェット機搭載に必要な実証ができないため、民間への技術移転が十分に進んでいないのが実状実情である。航空産業の活性化に貢献する可能性が高いJAXA独自の優位技術であるにもかかわらず、現状ではこの原因により技術移転、実用化が進んでいない例を以下に示す。

例1) JAXAでは、コックピット・ディスプレイに関して高密度・高精度運航を実現する誘導表示技術を開発し、その成果は世界的にも注目されているが、このような運航の主たる応用対象であるジェット機での飛行実証の機会を得ることができず、B737旅客機やG-4 ビジネスジェット等による飛行実証を数多く実施しているNASAの同様の研究に比べて成果のアピールに成功していない。

例2) JAXAが開発した突風検知装置LIDARは民間航空機の乱気流による事故解消が期待され、エアバス社も注目しているところであるが、その適用先である民間ジェット機が飛行する高々度、高速での設計性能実証が必要となっており、プロペラ機による実証結果だけでは実用開発に移行することができないままである。

次に、JAXAから産業界に移転された技術あるいは産業界が独自に開発した技術が、民間航空機に採用されるためには、製品化の段階においても飛行実証が必要であるが、ジェット機技術については飛行実証が不可能な状況にある。現在の我が国航空機器産業の低迷の原因として、機体メーカーのサブシステム化要求への変化に対する対応の遅れがあるが、その背景として国内でのジェット機にかかる飛行実証環境の欠如も大きな要因である。参考1に、現在の我が国の民間航空機器産業の現状を、また以下に飛行実証ができなかったために民間航空機での採用の機会を逸した例を示す。

例3) HUD (Head Up Display, ヘッド・アップ・ディスプレイ) やTCAS (Traffic alert and Collision Avoidance System, 空中衝突防止装置) 等の航空機要素技術の研究開発で、研究開発の初期においては我が国が世界を先導していたが、国内に飛行実証手段がなく、実証が進まないでいた結果、実機適用として成果が結実せず、製品化を海外に独占された。

以上のように、航空機要素技術の飛行実証は、JAXAの要素技術研究開発にとって必要であるだけでなく、我が国民間航空機産業にとっても早急な実施が強く望まれている。

この飛行実証には、以下のような機能が必要である。これらの必要な理由は、3.1項

の静粛超音速機の飛行実証と同じである。

- ・ 要素技術の評価基準となり得る高精度なデータを提供する計測機能
- ・ 評価対象データ及び基準データの双方を含む大容量データを収集・記録する機能
- ・ 評価に必要な飛行経路を正確に飛行する誘導制御機能

また、飛行実証環境としては、当然のことながら要素技術の適用対象となる民間ジェット機の飛行範囲を包絡する下記の環境が必要である。

- ・ 高度：0～12,000m / 速度：0～マッハ0.8

図3.3-2にジェット機要素技術飛行実証のロードマップを示す。コクピット・ディスプレイ、突風検知装置LIDAR等、JAXA及び要素技術メーカーが研究開発中の要素技術を飛行実証し、その成果をもって今後開発予定のA350XWB、B737-X、MRJ発展型等での採用の実現により、産業界の活性化を目指す計画である。

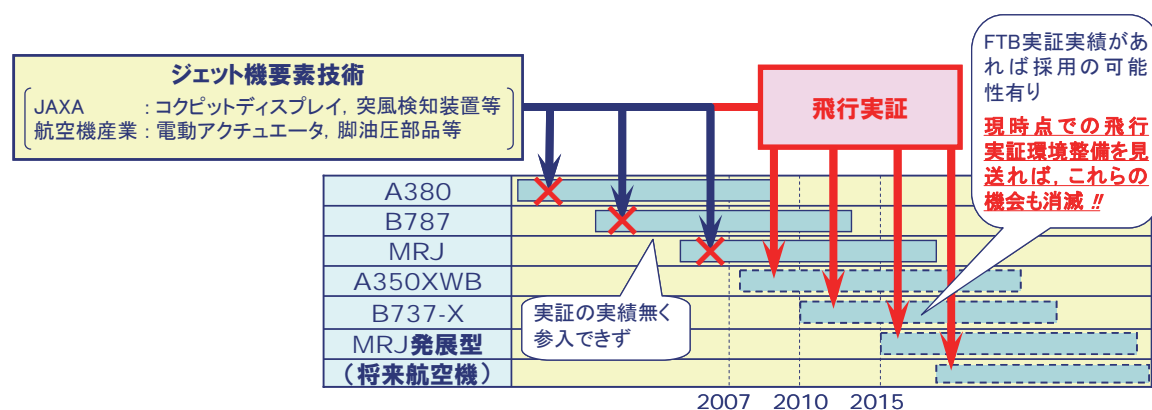


図3.3-2 ジェット機要素技術飛行実証ロードマップ

3.3.4 飛行実証に必要な機能と具体的方策

3.3.4-1 前記の飛行実証に必要な機能

3.3.3項に示した5つの喫緊の飛行実証は実飛行環境における実証であるため、航空機の活用が必須である。また、いずれの実証においても、各々に述べたように、使用する航空機には以下の機能が要求される。

- ・ 高精度航法・誘導・制御／計測機能

通常の航空機では不要な高精度のデータ計測（機体位置・速度等）／誘導制御を実現する機能。航空機システム、あるいは航空機サブシステムを含む機器評価の際の評価基準として必須である。

- ・ データ収集・記録機能

計測された大容量データを収集・記録する機能であり、データ収集と解析を目的とする飛行実証では当然のことながら必須の機能である。

- ・ 高性能パイロット表示機能

3.3.3-1項や3.3.3-5項の機器評価、地上システムとの電波リンク確認等の際

に、要求飛行（指定された経路を高精度で追従）を実現するため、パイロットに適切な指示を表示する機能。

・ 評価機器搭載機能

3.3.3項のいずれの飛行実証についても、評価対象機器を搭載するには機体に穴を開ける等の大改造が必要であり、一般の民間機に後付けにより搭載することは不可能である。当初から各種機器搭載を前提とした改造を施し、アタッチメント等を用意することが必要である。これらの機能は一般の航空機には備えられていないため、大規模な改造を施し、これらの機能を備えた特殊な航空機の使用が必要である。

飛行実証には、このように飛行実証に特化した種々の改造を施した航空機、すなわち「FTB (Flying Test Bed, 飛行試験母機)」の使用が必須である。参考2にFTBの概要を示す。

また、前記の飛行実証に必要な環境について、3.3.3-1～3.3.3-5項の各々に述べた条件をまとめると、以下の要求となる。

- ・ 高度 : 0～15,000m / 速度 : 0～マッハ0.8

JAXAでは、飛行実証の重要性に鑑み、プロペラ機及びヘリコプタのFTBを開発・運用してきたが、表3.3-1に示すように、この領域での飛行実証は現有のプロペラFTBやヘリコプタFTBでは不可能であり、ジェット機のFTB、すなわち「ジェットFTB」の使用が必要である。我が国にはこの領域での飛行実証を実施する手段を有していないため、上記の飛行実証を実施するためには、ジェットFTBを用いた飛行実証手段を確保することが必要である。

表3.3-1 飛行実証環境

最高高度	最高速度	
15,000m	マッハ 0.8	要求
7,500m	マッハ 0.2	ヘリコプタ
5,000m	マッハ 0.3	プロペラ機
15,500m	マッハ 0.81	ジェット機

3.3.4-2 ジェットFTB飛行実証の具体的方策

ジェットFTB飛行実証手段の確保には、以下の4つの方策が考えられる。

i) 海外のジェットFTBの使用

JAXAあるいは我が国の民間航空機産業が利用可能な海外の航空技術研究開発用ジェットFTBとしては米国NASA及びCalspan, 欧州DLR, NLRの機体等が考えられ、使用料を支払うことによりユーザとしてこれらを使用することは可能である。しかしながら、そこには以下の問題点が存在し、リスク及び費用に見合った効果が期待できない。

- ・ FTB運用者は、安全上、搭載評価される技術の内容を熟知しておく必要があるため、ユーザは搭載技術の詳細を開示する必要がある、新規技術の核心部分が海外へ流出する。
- ・ 逆に、ユーザとして飛行実証により取得されたデータを評価する際にはFTBの基本技

術情報（例えば評価基準データの精度及びその根拠）を知ることが必要であるが、それらはFTB所有者の知的財産となるため、必要情報が全ては開示されない可能性が高い。

- ・ 欧米のFTBは、ボーイング、エアバス等の開発技術及び軍事技術の飛行実証に経常的に使用されているため、外部ユーザ、特に海外ユーザへの解放は限定された期間に限られ、必要な時期に適宜使用することが困難である。
- ・ 高度な最新技術を海外に持ち出すことになるため、外為法等により制限が加わる可能性が高い。
- ・ 準備期間を含め、FTB運用者と極めて長期に緊密かつ頻繁に技術調整を行い、また試験立会いが必要であり、費用面でも人員配置の面でもきわめて負担が重い。

ii) 国内の民間航空機産業が自らジェットFTBを開発・運用

仮に企業が、特定の航空機開発に特化した目的等でFTBを開発・所有する場合を想定すると、その開発及び運用に係る基本技術情報は企業の重要な固有財産であるため、JAXAを含む部外者への公開は期待できず、その結果、部外者の使用には著しい制約が課されて、成果は極めて限定的なものに留まると予想される。

なお、現時点において我が国の航空産業は、FTB自体、あるいはFTBの供用やFTBを用いた飛行実証の受託が商品となる程には成熟しておらず、採算ベースに乗ることは想像できない。そのため、民間航空機産業が自ら営利目的で汎用ジェットFTBを開発・運用することは事実上不可能である^{注)}。

iii) 国（経済産業省等含む）が国内の民間企業にジェットFTBの開発・運用を委託

FTBに必要な個別の機能の開発には極めて高度な要素技術が必要であると共に、これらを統合してFTBとして完成させるシステム技術も民間では実績が少ない高度な技術である。また、その運用にあつては、実証対象の技術毎にその内容を十分に把握して必要な飛行実証環境を適切且つ正しく設計・決定する研究開発能力が必要である。ダイヤモンド・エアサービス等、国内の民間航空運送事業者・使用事業者に、そのような研究開発能力を要求することは実質的に不可能であるため、JAXAが再委託を受けて実施する形が想定される。また、静粛機等、JAXAプロジェクトに対応するためには機体仕様が極めて特殊となるため、結局JAXA専用機とならざるを得ない。結果的に、本来JAXA 独自でも可能なFTBの開発・運用を高額な間接経費を支払って民間企業に委託することになる。

iv) JAXAがジェットFTBを開発・運用

JAXAにおいては、これまでのプロペラ／ヘリコプタFTBの開発・運用実績があり、ジェットFTBの開発・運用に必要となる高度な要素技術／システム技術が蓄積されているため、ジェットFTBの開発・運用が可能である（ただしジェット機向けに技術向上は必要）。また、JAXAが所有するジェットFTBをJAXAが運用することの利点として、JAXAが必要とする時に時宜にかなった活用が可能となり、研究開発の推進に大きく貢献できるとともに、我が国の民間企業がジェットFTBを使用する際にも、公的機関であるJAXAが運用することにより、基本技術情報の公開が可能であり、航空産業の活性化への大きな貢献が期待で

注) 米国の Calspan は民間として FTB を運用しているが、元は公立機関であり、公立機関の先導により米国では航空機産業が成熟し、このような民間レベルの活動が実現したもの。欧州を含め、米国以外ではこのような例は無い。

きる。

なお、飛行実証設備としてのジェットFTBは、各種の高度技術を集約したものであって、風洞設備、エンジン試験設備、材料・構造試験設備等と同様、航空技術研究のための高度大型試験技術・設備と位置づけられるものである。このことから、欧米主要国においても航空技術研究における基盤技術力及び国際競争力の国家的基盤として、例外なく公的機関において開発・運用しており（参考3参照）、自らの研究成果の飛行実証に活用すると共に、自国の航空産業の飛行実証を（有償）受託し、産業支援を行っている。

以上のとおり、ジェット FTB飛行実証技術を国外に依存することは不適切であり、また、その開発・運用を民間で実施することも極めて非効率かつ困難である。iv) 項に示したように、我が国唯一の公的航空技術研究開発機関であり、かつFTBの開発・運用の実績を有するJAXAがジェットFTBについても開発・運用を行うことが適当である。参考4に、JAXAが開発・運用すべきジェットFTBに適した機体の候補を示す。

3.3.5 結論

以上の検討結果から、以下のように結論する。

戦略重点科学技術としてJAXAが推進中の静粛超音速研究機、国産旅客機高性能化及び全天候・高密度運航技術の3つのプロジェクトを確実に成功させるとともに、ジェット機要素技術研究の成果を実用化可能なレベルに引き上げるため、JAXAは、これまでの飛行実証技術の蓄積を活用し、現在の航空輸送の主力であるジェット旅客機の運用領域である高速・高空域における飛行実証技術について研究開発を行う必要がある。

その方策として、当該飛行実証に必須な飛行環境の生成能力及び精密測定技術等を組み合わせたシステムであるジェットFTBについて、JAXAがこれまでのプロペラ及びヘリコプタFTB開発・運用の実績を活用し、開発・運用を行うことが妥当である。

参考1 我が国民間航空機産業の現状

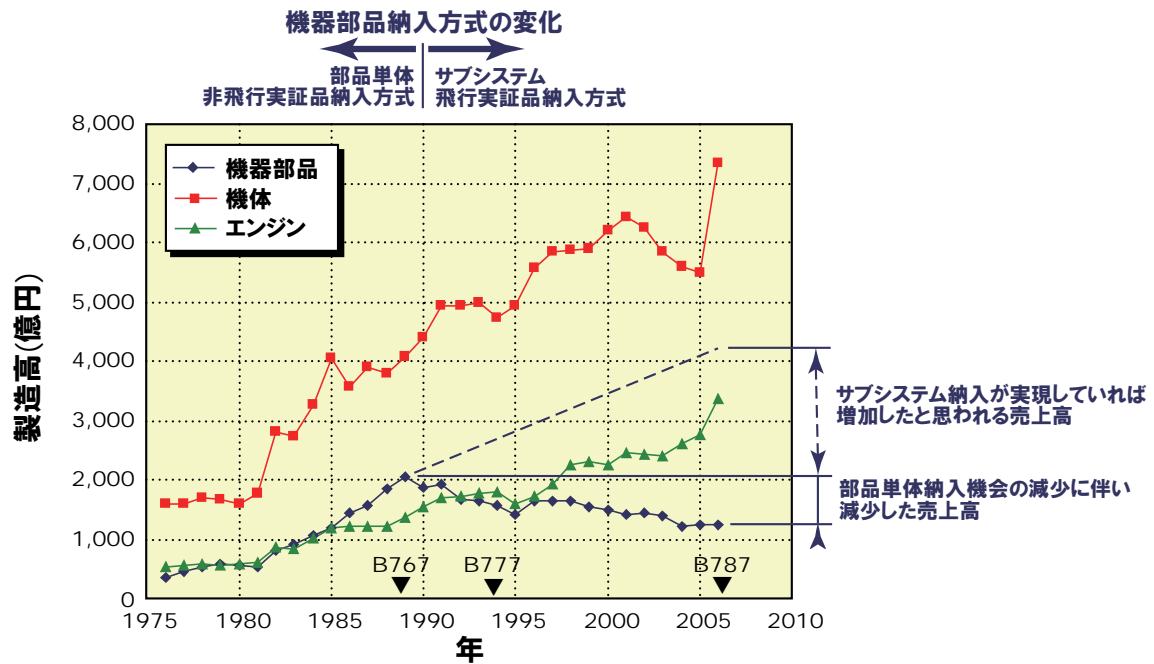
図A1-1に我が国の民間航空機産業における製造・修理高の推移を示す。機器部品の製造高

は1990年の2,000億円から2006年の1,200億円へと低落し、機体関連(4,500億円→7,200億円)、エンジン関連(1,500億円→3,500億円)に比べ、その低落は際だっている。この間の防衛予算は横ばいと考ええると、低落の多くは海外民需の落ち込みといえる。

具体的な例として、我が国航空機産業を支えてきた装備品メーカ(カヤバ、小糸製作所、島津製作所、ナブテスコ、東京航空計器、横川電機等)は、過去のB737～B767においてはアビオニクス機器、コクピット表示機器、脚油圧部品、舵面駆動機器等の主要部品を多数納入していたが、B777では主要機器は大幅に減少し、B787では電源ラック、内装部材等の飛行実証不要の部材のみとなっている。(H19.6.6/SJAC-JAXA航空交流会資料より)

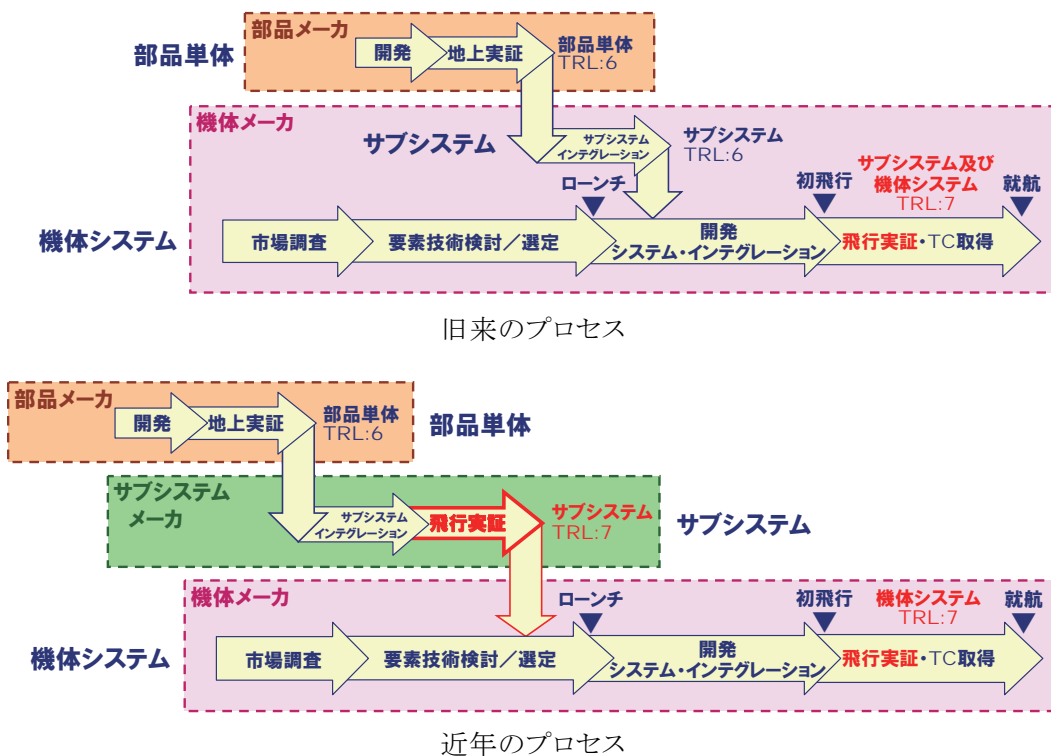
この原因として、航空機開発のプロセスの変化が挙げられる。図A1-2に示すように、航空機要素技術の研究開発成果の民間旅客機への採用には、旧来(B767開発の頃まで)は、要素技術メーカが地上実証レベル(TRL:6)の部品単体(LCD:Liquid Crystal Display, 液晶ディスプレイ等)を機体メーカ(ボーイング、エアバス等)に採用を提案し、機体メーカが機体開発と並行してサブシステム(LCDを組み込んだコクピット・ディスプレイ・システム等)化と実環境実証(TRL:7)を行う方式であったが、近年(B777開発の1990年頃から)はリスク分散の観点から、サブシステム・メーカがサブシステム化した上で飛行実証を行い、機体システムメーカに採用を提案する形が主流となってきた。すなわち、要素技術メーカには、サブシステム化技術の蓄積と、そのサブシステムを飛行実証する手段の確保という2つの課題が発生した。そこで要素技術メーカは、サブシステム化技術の獲得のため、防衛庁(現防衛省)機を対象にサブシステム開発に進出し、サブシステム・メーカとしての実力を蓄積してきた。こうして開発されたサブシステムは、防衛庁との協力により同庁機を用いて飛行実証を行い、納入に成功している(東京航空計器、ナブテスコ、島津製作所、横河電機、古野電気等)。この実績を基に、民間航空機メーカに対しても開発したサブシステムの採用を提案してきたが、防衛庁機での実績は民間航空機の世界では評価されず、また対象となる民間ジェット機の飛行環境における飛行実証を行う手段も我が国には存在しないため、実証・実績不足により参入が実現していないのが現状である(図A1-3参照)。このように、我が国には、ジェット機の飛行環境における実証を行うための手段がないことが上記の売り上げ低落の直接的原因であることが指摘されている(平成17年度日本航空宇宙工業会(SJAC)装備品専門委員会活動報告, 2006年4月)。

なお、部品単体について、飛行実証手段を有する海外のサブシステム・メーカへの売り込みを行ってきているが、基本的にはサブシステム・メーカは自社あるいは傘下企業開発の部品を採用するため、その納入機会が減少し、それに伴い売上高は減少している。LCD等、我が国の独自の特長ある優位技術により強みを発揮しているものがあるが、付加価値の小さい部品単体であり、その額はLCDで数億円の規模に過ぎず、不可価値を高めるサブシステム化が必要である。

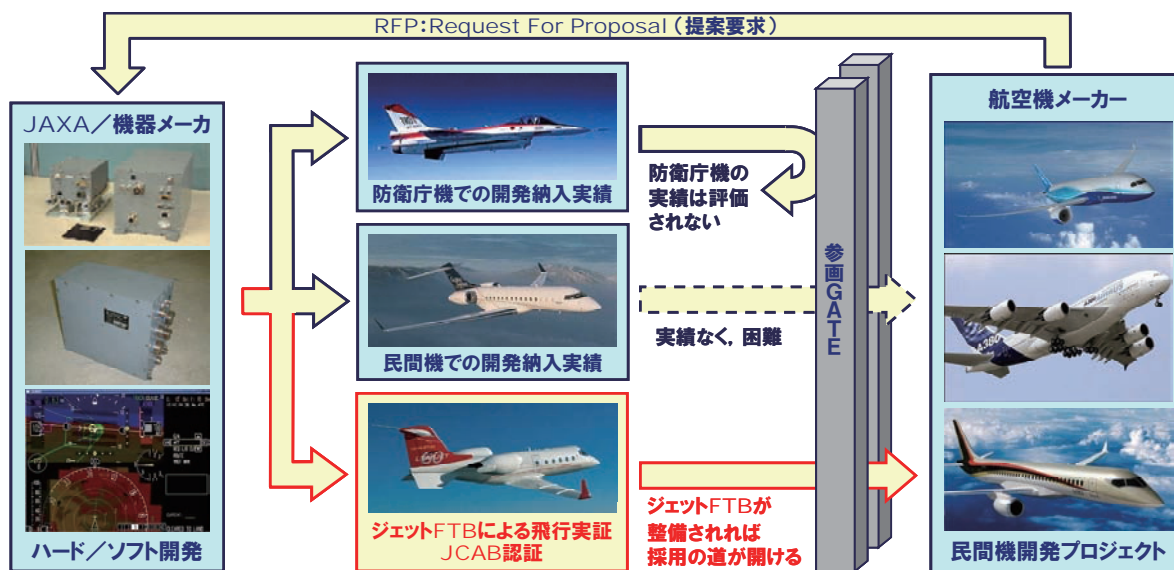


(出典:「日本の航空機工業(資料集)」, H19.7 日本航空宇宙工業会)

図A1-1 航空関連 製造・修理高の推移



図A1-2 航空機開発プロセスの変化



図A1-3 航空機搭載機器の実機採用までの流れ

参考 2 FTBの役割及び必要技術

A 2.1 FTBの役割

FTB (Flying Test Bed, 飛行試験母機) にはジェットFTB, プロペラFTB, ヘリコプタFTBがあるが、いずれも航空技術について、実飛行環境 (飛行高度, 速度) において、以下の試験・評価・実証を行い、TRLを7 (実環境実証=飛行実証) に引き上げる試験システムである。

i) 航空機要素技術の評価・実証

航空機要素技術 (特に搭載アビオニクス機器, ソフトウェア) の新規研究開発成果の機能・性能評価・確認を実施し、TRLを7に引き上げる。この中にはTC取得試験も一部含まれる。民間航空機への要素技術採用には、このプロセスの実施が必須条件として要求されている。

ii) IFS (In Flight Simulation) 試験

FBW-FTBに可能なミッションであり、航空機システム開発における事前飛行実証として、地上シミュレーションと同じく、飛行前の航空機の飛行性・操縦性、あるいは搭載機器 (特にパイロットインターフェース) の事前評価等を行う。地上シミュレーションに比べ、体感 (加速度) や視界が“模擬”ではなく“実物”であることから、より信頼性の高い評価手法として世界中で実施されている。新規航空機の開発に際しては、地上シミュレーションに引き続いて実施されるものであり、ボーイング社ではNASAの、エアバス社ではDLRのFTBを用いた試験が実施されている。また、航空機事故調査においても、故障機の飛行模擬を行い、実飛行データとの比較評価を行うことにより、事故原因の確定に活用される。

iii) 新規飛行試験法の研究開発

上記の要素技術評価試験や、TC取得試験等のための、新たな飛行試験手法の研究開発である。新しい技術の飛行実証に際しては、旧来の試験手法では実現できないことが多いため、これもFTBによる重要な役割となっている。なお、以下の役割については、通常の航空機でも実施可能であるが、FTBの特長機能を活用することにより、質の高い成果が実現する。

iv) 試験環境提供

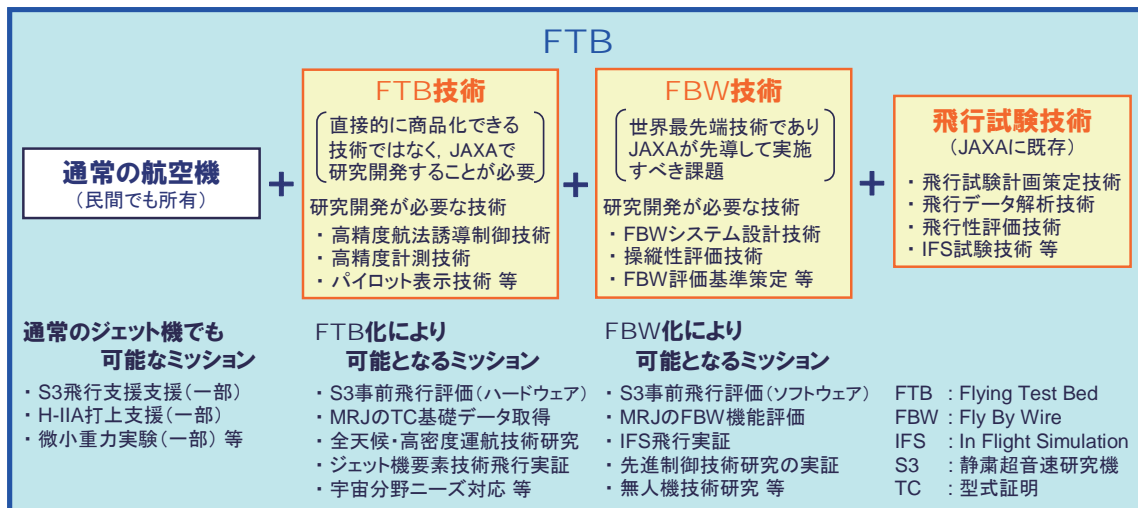
微小重力実験等。FTB機能により、より精度の高い微小重力環境が実現する。

v) 各種観測

大気観測, 地表観測, 天体観測 等。FTB機能により、より精度の高い飛行経路保持要求に対応可能となる。

A 2.2 FTBの必要技術

FTBは、図A 2-1に示すように、通常の航空機に、FTB技術, FBW技術, 飛行試験技術を付加した高度な試験システムである。

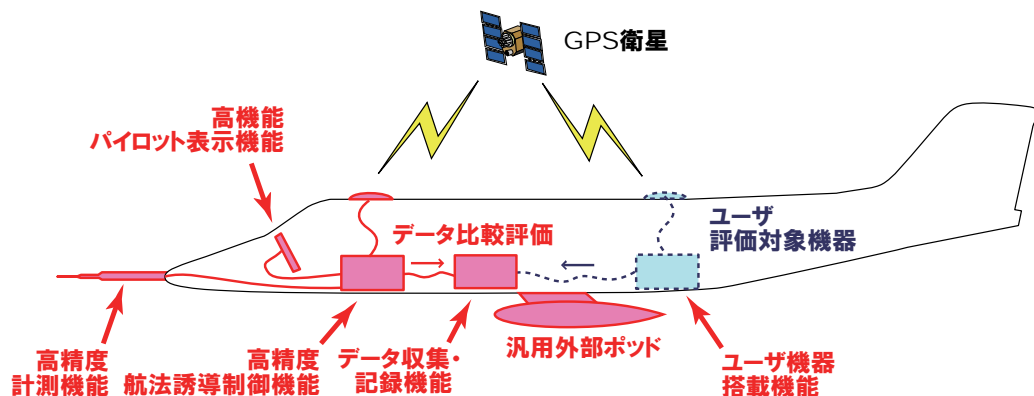


図A2-1 FTBの全体イメージ

● FTB技術

FTBとは、図A2-2に示すように、通常の航空機に、以下のような機能を付加し、飛行実証用に特化改造した機体である。

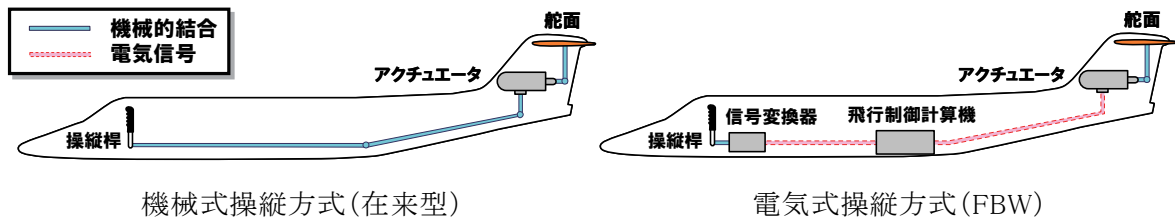
- ・ 高精度航法・誘導・制御／計測機能：通常の航空機では不要な高精度のデータ計測（機体位置・速度等）／誘導制御を実現する機能。ユーザ機器の評価基準として必須である。
- ・ データ収集・記録機能：計測された大容量データを収集・記録する機能。
- ・ 高性能パイロット表示機能：機器評価、観測飛行などの際に、ユーザ要求飛行（指定された経路を高精度で追従する等）を実現するため、パイロットに適切な指示を表示する機能。
- ・ ユーザ機器搭載機能：ユーザの評価対象機器搭載には機体に穴を開ける等の大改造が必要なものが多く、一般の民間機に後付けにより搭載することは不可能。FTBでは当初から各種機器搭載を前提とした改造を施し、アタッチメント等を用意する。
- ・ 汎用外部ポッド：ユーザ評価機器や観測機器を、機体改造を行わずに簡易に搭載するためのポッド。



図A2-2 FTBのイメージ

● FBW (Fly by Wire, 電気式操縦方式) 技術

FBWとは、図A2-3に示すように、在来の機体ではパイロット操縦操作を機械的（ケーブル、リンク機構等）に舵に伝達するのに対し、これを電気信号に変換、電線により舵に送り、操縦するシステムである。軍用機における生存性の向上及び運動性の向上を目的に発達してきたものであり、飛行制御計算機の支援により、パイロットの負担軽減や、高度な飛行が実現した。また設計段階から計算機支援を前提とすることにより、航空機設計の自由度が増大する。軍用機及び大型民間機では一般化しつつあるが、現状で、小型民間機の採用例は希である。これは、費用対効果の問題と、FBWを前提とした操縦性評価基準の設定等の研究課題が残されているためである。FTB にとっては、その大きな役割であるIFS 飛行試験（次項参照）、先進飛行制御系の研究、無人機技術研究、FBW技術の研究・評価（小型機用FBW 技術研究、操縦性評価基準の策定等）等を実施するために、FBW化が必須である。



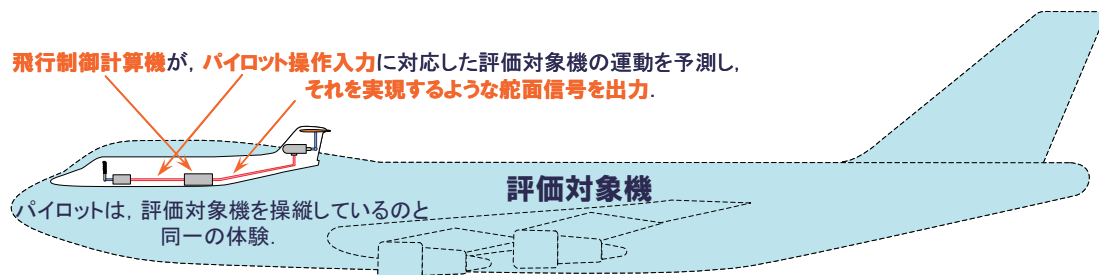
図A2-3 FBWのイメージ

● IFS (In Flight Simulation, イン・フライト・シミュレーション) 技術

IFSとは、FBW機能を用いた飛行試験法の一つであり、別の機体の操縦を空中で模擬するもの。飛行制御計算機が、パイロット操縦入力に対応した評価対象機の運動を予測し、その運動を実現するよう舵面を操作、パイロットは評価対象機を操縦するのと同様の体験を行う。これにより、地上シミュレーションと同じく、飛行前の航空機の飛行性・操縦性、あるいは搭載機器（特にパイロットインターフェース）の事前評価等が実現する。地上シミュレーションに比べ、実際に飛行することによる“緊張感”，体感（加速度）及び視界が“模擬”ではなく“現実”であること等から、より信頼性の高い評価手法として世界中で実施されている試験法である。図A2-4にIFSのイメージを示す。

JAXAのFTB（プロペラ機）によるIFSの実績

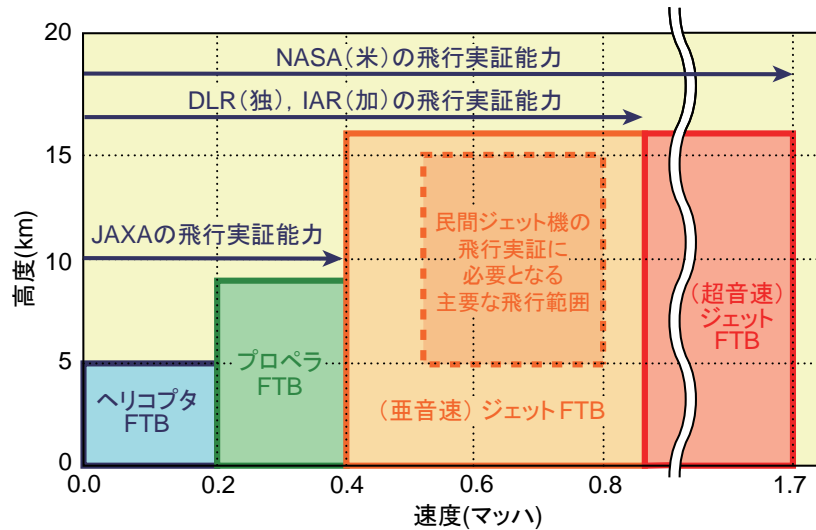
- ・ STOL実験機「飛鳥」開発時の事前評価
- ・ B747御巣鷹山墜落時の尾翼破損状態での飛行模擬・評価（事故調査委員会受託業務）
- ・ メガフロート評価のための大型機シミュレーション（運輸省関連受託業務）等



図A2-4 IFS のイメージ

参考3 世界の主要航空研究機関の飛行実証能力

JAXAでは、プロペラFTB、ヘリコプタFTBを開発、運用しているところであるが、現在の民間航空輸送の主力であるジェット機に係る実証等を実施するには、図A3-1の(亜音速)ジェットFTBと示した環境が必要である。欧米の主要航空研究機関は、例外なくジェットFTBを運用し、この環境での飛行実証能力を有している。図A3-2～3-4に、欧米の航空研究機関が運用するジェットFTBを示す。



図A3-1 世界の主要航空研究機関の保有する飛行実証環境

NASA (米) 主要な機体のみ

Boeing 747SP "SOFIA"

導入：2007

用途：赤外線天文学用観測機

Boeing 757-200

導入：?

用途：革新運航システム等の研究開発実証

McDonnell Douglas DC-8

導入：1991?

用途：観測センサ開発、地上・大気観測、衛星観測センサ実証

Martin WB-57F

導入：?

用途：高々度観測

Lockheed ER-2

導入：#1-1981, #2-1989

用途：高々度観測

S-3B Viking

導入：?

用途：氷結環境・対策技術研究

Gulfstream III

導入：2003

用途：無人機技術研究他

Learjet 25

導入：?

用途：航空技術研究開発、リモートセンシング

McDonnell Douglas F/A-18

導入：?

用途：アクチュエータ試験、FBL実証他

McDonnell Douglas F-15B

導入：1993

用途：エンジン、構造試験他

図A3-2 NASAの主要なジェットFTB

Calspan (米)	<p>F16 "VISTA"</p> <p>導入：1995 用途：<u>航空技術研究開発</u>(USAF) IFS (In Flight Simulator)</p> 	IAR/NRC (加)	<p>Dassault Falcon20</p> <p>導入：？ 用途：<u>航空技術研究開発</u> (<u>航法・誘導・制御・センサ等</u>) 地球科学研究 微小重力実験他</p> 
	<p>LearJet 24/25</p> <p>導入：#1(LearJet24) 1981 #2(LearJet25) 1991 #3(LearJet25) 2006 用途：<u>航空技術研究開発(共用設備)</u> IFS (In Flight Simulator)</p> 		<p>Lockheed T33</p> <p>導入：1960年代？ 用途：<u>高速・高荷重環境実証実験</u></p> 

図A3-3 米国・カナダのジェットFTB

DLR (独)	<p>VFW614 "ATTAS"</p> <p>導入：1970年代？ 用途：<u>航空技術研究開発</u> <u>IFS (In Flight Simulator)</u></p> 	<p>Airbus A320</p> <p>導入：2006 (FTB-IFS改修中) 用途：<u>航空技術研究</u> (ATTAS後継機)</p> 	FAAM (英) NLR (蘭)	<p>BaE146-301</p> <p>導入：2004 用途：大気観測用共用設備</p> 	
	<p>Dassault Falcon20</p> <p>導入：？ 用途：航空科学研究</p> 	<p>Gulfstream G550 "HALO"</p> <p>導入：2006 (FTB改修中) 用途：航空科学研究 (Falcon20後継機)</p> 		<p>Cessna 550 Citation II</p> <p>導入：？ 用途：<u>航空技術研究開発</u></p> 	
Enviscope (独)	<p>Learjet 35A</p> <p>導入：1997 用途：各種観測プラットフォーム</p> 	SAFIRE (仏)	<p>Dassault Falcon20GE</p> <p>導入：2006 用途：航空科学研究供用設備</p> 	GEOPHYSICA-EEIG (欧・露)	<p>Geophysica-M55</p> <p>導入：1995 用途：高々度観測用共用設備</p> 

図A3-4 欧州のジェットFTB

参考4 ジェットFTB候補機の一例

ジェットFTBの候補となる機体の一覧を表A4-1に示す。この結果から、ジェットFTBの要求仕様を満足する機体を抽出し、開発、運用の検討のための候補機の一例としてCessna社のCitation Sovereignを選定した。図A4-1にCitation Sovereignの概要を示す。

表A4-1 ジェットFTB候補機

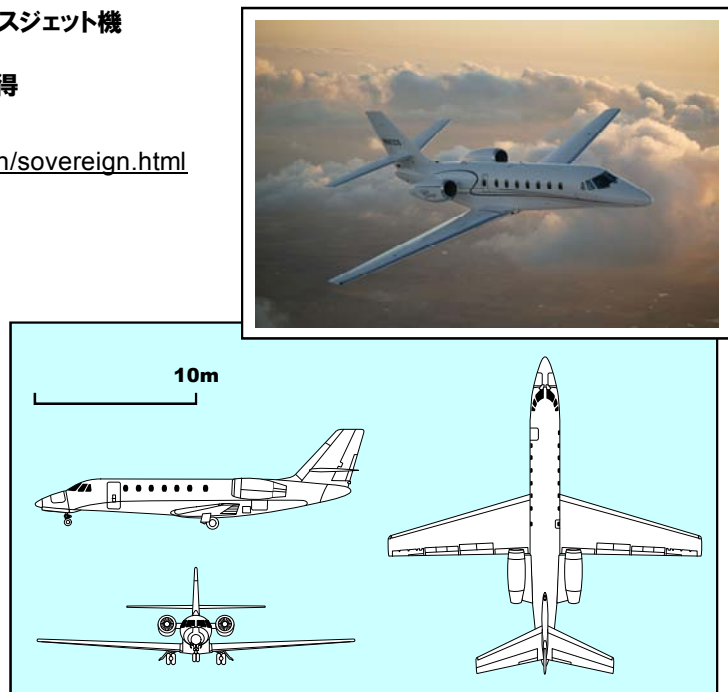
		望ましい		要求仕様を満たす		要求仕様を満たさない							
項目		最大運用速度 (M)	運用高度 (ft)	上昇時間 (min/ft)	航続距離 (NM)	航続時間 (hour)	ペイロード (lbs)	実験用電力 (VA)	キャビン寸法 (HxWxL(m))	アビオニクス	APU	防水方式	空力データ
要求仕様	望ましい		≥ 50,000		≥ 1,500				H ≥ 1.7, L ≥ 5.0	Proline 21級			
	必須	≥ 0.80	≥ 46,000	≤ 15/37,000	≥ 1,000	≥ 3 (@FL400/M0.78)	≥ 1,700	≥ 6,400	H ≥ 1.5	Primus 1000級	○	電熱	開示
メーカー	機種												
Learjet	60XR	0.810	51,000	13/37,000	1,742	○	1,820	○	1.74x1.81x5.39	Rockwell Collins Proline 21	○	電熱	開示
	45XR	0.810	51,000	15/37,000	1,557	○	1,887		1.50x1.56x6.02	Honeywell Primus 1000	○	電熱	開示
	40XR	0.810	51,000	15/37,000	1,367		2,139		1.50x1.56x5.39	Honeywell Primus 1000	×	電熱	開示
Cessna	Sovereign	0.800	47,000	14/37,000	2,277	○	2,680	○	1.73x1.68x7.70	Honeywell Epic	○	電熱	開示
	XLS+	0.750	45,000	15/37,000	1,130		2,250		1.73x1.68x5.64	Rockwell Collins Proline 21	○	電熱	
	Encore+	0.755	45,000	13/37,000	1,050		2,350		1.46x1.46x5.27	Rockwell Collins Proline 21	×	電熱	
	CJ4	0.770	45,000	18/37,000	1,325		2,100		1.45x1.47x5.29	Rockwell Collins Proline 21	×	電熱	
Hawker	900XP	0.800	41,000	17/37,000	2,600		2,030		1.75x1.83x6.50	Rockwell Collins Proline 21	○	電熱	非開示
	400XP (MU300)	0.780	45,000	18/37,000	750		2,015		1.45x1.50x4.72	Rockwell Collins Proline4	×	電熱	開示
Gulfstream	G150	0.850	45,000	17/37,000	2,335		2,400		1.75x1.75x5.40	Rockwell Collins Proline 21	○	防水ブーツ	

- ・ 米国セスナ社製 双発中型ビジネスジェット機
- ・ 2002年2月 初飛行
- ・ 2004年6月 FAA型式証明取得
- ・ 2004年末 デリバリー開始

<http://www.cessna.com/citation/sovereign.html>

基本仕様

乗員		2
最大客席数		12
最大離陸重量		13,744 kg
ペイロード重量		1,200 kg
機体	全長	19.35 m
	全幅	19.24 m
	全高	6.20 m
キャビン	長さ	7.70 m
	幅	1.68 m
	高さ	1.73 m
最大巡航速度		マッハ 0.80
最大運用高度		14,300 m
航続距離		5,341 km
エンジン		PW306C-2基



図A4-1 Cessna Citation Sovereign

3.3 項に現れる略語

ALFLEX	: Automatic Landing Flight Experiment (小型自動着陸実験)
CFD	: Computational Fluid Dynamics (計算流体力学)
DREAMS	: Distributed and Revolutionary Efficient Air-traffic Management System (分散型高効率航空交通管理システム)
FBW	: Fly by Wire (電気式操縦方式)
FTB	: Flying Test Bed (飛行試験母機)
HOPE	: H-II Orbiting Plane (H-II 打ち上げ型有翼回収機)
HUD	: Head Up Display (ヘッド・アップ・ディスプレイ)
IFS	: In Flight Simulation (イン・フライト・シミュレーション)
LCD	: Liquid Crystal Display (液晶ディスプレイ)
LIDAR	: Light Detection and Ranging (ライダ: 光検出・測距)
MRJ	: Mitsubishi Regional Jet (三菱リージョナル・ジェット)
STOL	: Short Take-Off and Landing (短距離離着陸)
TC	: Type Certificate (型式証明)
TRL	: Technology Readiness Level (技術成熟度)
TCAS	: Traffic alert and Collision Avoidance System (空中衝突防止装置)

4. 国産旅客機開発の現状とエンジンの研究開発提言

本章では、現在推進されている国産旅客機開発計画としての MRJ 開発とエコエンジン研究開発に対する国立試験研究機関としての JAXA の関与、あるいは貢献について簡単にとりまとめると共に、いまだに十分に明らかになっていない航空用エンジン分野の将来像に対する提案の一つを紹介する。

4.1 国産機プロジェクト MRJ とエコエンジンにおける JAXA の関与

4.1.1 MRJ 開発と競合機

前述の通り、航空機及び航空エンジンのマーケットは大きく拡大し、この時期に自主開発機を投入することは自然である。課題は、ビジネスとしての成功と将来への持続的な発展への展望である。その重要な要素は、技術優位性の確保と開発販売における自主と国際共同のバランスであると言える。また、技術では、優位で将来性のある要素技術、システムインテグレーションを高いレベルで行える技術、ならびに国際共同開発においても重要性の高い技術を的確に獲得し、さらに伸ばし続ける仕組みを有することである。

関連して戦略的事柄を整理すると以下の事項をあげることが出来る。

- ◆ 産業の国際競争力は、技術、資金、人材、情報、国際関係などの総合力から形成されるが、研究開発機関の技術基盤も競争力の重要な要素である。
- ◆ システムを作り上げ、日常の運用からの情報をくみ上げて改善を行い、良い製品を創成するための産業構造としての総合力が必要。
- ◆ 特に我が国に不足す運航、整備、技術と運航管理に至る力の獲得が必要。
- ◆ MRJ など実機開発で始めて本格化する航空機、エンジンの型式証明の的確で円滑な実践。このうち、実開発プロジェクトである MRJ は、これからの我が国の航空機産業の行く末を占う基本的な活動であり、獲得しなければならない期待成果である。

マーケットスタディ(第2章)により、今後20年間で大きく市場が伸びる機体セグメントであると考えられている。このため、これまで50から70席に留まっていたリジョナル機が、70から110席に拡大すると共に、我が国を始め、中国とロシアが開発者として参加してきている。表4.1が2008年現在開発または開発着手されているMRJ競合機と目される機体の諸元である[1]。いずれも90席から120席の範囲にある。

表 4.1 MRJ とその競合機

Airplane Type	MRJ90	E175	CS100	ARJ21	SSJ100
Manufacturer	MJET	Embraer	Bombardier	Avic	Suhoi
LxWxH (m)	36.0x29.7x10.0	36.2x28.7x10.6	35.1x39.4x10.7	36.4x27.3x8.4	29.8x27.8x10.3
MTOW(kg)	41,450	52,290	54,931	43,600	42,520
Engine Thrust(kgf)	PW-1000G 7,650	CF34-10 8,392	PW-1000G 10,350	CF34-10 8,392	SaM146 7,875kg
Range (km)	1,610~3,320	4,077	3,334	2,225~3,700	2,950~4,420
Cruise/Max. Mach	0.78/0.82	0.82	0.78/0.82	0.82	0.78
Seats	86-96	108-122	110	98-106	98
Cabin (HxW) Arrange	2.01x2.31 1-aisle,2+2	2.00x2.74 2+2	2.21x3.45 2+3	2.03x3.24 2+3	2.0x3.24 2+2
EIS	2013	2007	2013	2010	2010
Feature	CO2 -20% Noise -13dB Composites Comfort 125機受注(2009)	FBW 運用 Cabin comfort 実績	CO2 -20% Noise -12dB DOC -15%	Low Price 初飛行完了 国内受注	Low Price 既に国内受注 100機?

4.1.2 JAXA 内の研究開発成果の適用をはじめとする関与

航空機産業を有するどの国に於いても、国立試験研究機関をはじめ、国の関与があつてはじめて産業が成立していると言っても過言ではない。我が国では未だ産業による開発において国が推進役になった例は少なく、特に機体開発で JAXA が具体的な新技術の開発を分担した例は少ない。YS-11 開発における後半の段階や、ターボファンエンジン技術の研究開発などが目立つ例であるが、常時新機材開発を行っている海外に比べて、その例が少ないのは仕方ないことかも知れない。

しかし、MRJ (図 4.1.1) は我が国が 40 年ぶりに行う旅客機開発であり、初めてのジェット旅客機開発である。そこで、JAXA 航空と基盤の領域では計画の当初より JAXA の関与を積極的に推進してきた。この結果次にあげる事項が、JAXA の分担となって、実際そのいくつかは既に成果を上げている。

- (a) CFD 技術を用いて、低騒音化、高巡航性能、離着陸性能確保のための技術開発に参加
- (b) いくつかのコックピット技術、マン・マシンインターフェース技術、航法技術などを背景として、人に優しいコックピット開発に関与
- (c) 空力性能と低騒音技術の評価のための新しい風洞試験技術の提供
- (d) 複合材技術の提供による尾翼などの開発と試験
- (e) 飛行性能、飛行安全性評価のための飛行試験技術の提供
- (f) 国交省の行う TC 認証のための技術提供、協力

これらの開発参加、技術提供、大型試験実施などは、航空機開発にとって、技術的高度化を実現するばかりでなく、技術の信頼性を高め、開発コストを抑え、また、国として必要な航空機の商品価値の認定、即ち型式証明の付与に多大なる貢献があるものと期待される。これらは、出遅れた我が国の航空機開発・販売を国際競争力にあるものとするための、40 年ぶりの努力の一端である。図 4.1.2 はこの連携における JAXA 関与の技術項目を图示したものである。



図 4.1.1 MRJ 外観 (MJET 提供)



図 4.1.2 MRJ 開発における JAXA 関与の技術項目

4.1.3 航空機型式証明(Type Certificate :TC)と JAXA の関与について

前述のように、MRJ の開発に必須であり、YS-11 以来行って来なかったことに、民間旅客機の型式証明(TC)がある。TC は開発国の責務として発行するものであり、その行政責任は国土交通省にあるが、その技術判断においては、公的機関である JAXA の役割も大きい。これは、JAXA 航空基盤部門の前身である航空宇宙技術研究所(昭和30年の発足当時は航空技術研究所)の発足に当たって、昭和30年(1955年)当時に各所(各省庁)に散らばっていた航空技術に関する試験研究機能を統合し、一元的に試験研究開発を実施することを法制として定義し、総理府に所属させて行政的にも位置づけた[2]。従って、当時の運輸省運輸研究所の航空機関連技術部門も統合された。このため理論上、TC や耐空性などに関わる技術試験と研究的行為は航技研に機能が移ったことになる。実際に YS-11 開発では、航技研の試験研究機能が整った1960年代には、主に調布飛行場分室において、機体構造部門と飛行実験部門が協力している。

MRJ の TC に対しては、航技研が2001年に独法化され、2003年に JAXA に統合されるなどの変遷を経ているため、法体系上の位置付けが多少曖昧になってきている。また、40年以上 TC に関与してこなかったこともあって、体制や責任分担などを再構築する必要があった。JAXA の TC の役割については未だに確定しない部分を残すが、前述(第3章)の実験用小型航空機(Jet-FTB)の導入は新たな協力・連携の具体的な現れであり(第3章3節)、国交省との人材交流もその一環である。また、風洞試験、機体構造試験などにおける役割も分担することになる。実際の連携協力の内容の検討には、国交省の FAA との連携による機能拡大と JAXA の技術力、人材、設備などを考慮して、両者の効果的な連携を構築することが必要である。現時点では JAXA からは、①人材の提供(これには JAXA の人材育成の意義も検討)、②飛行試験における事前飛行手法検証と試験協力、③複合材などの独自技術による開発部位の

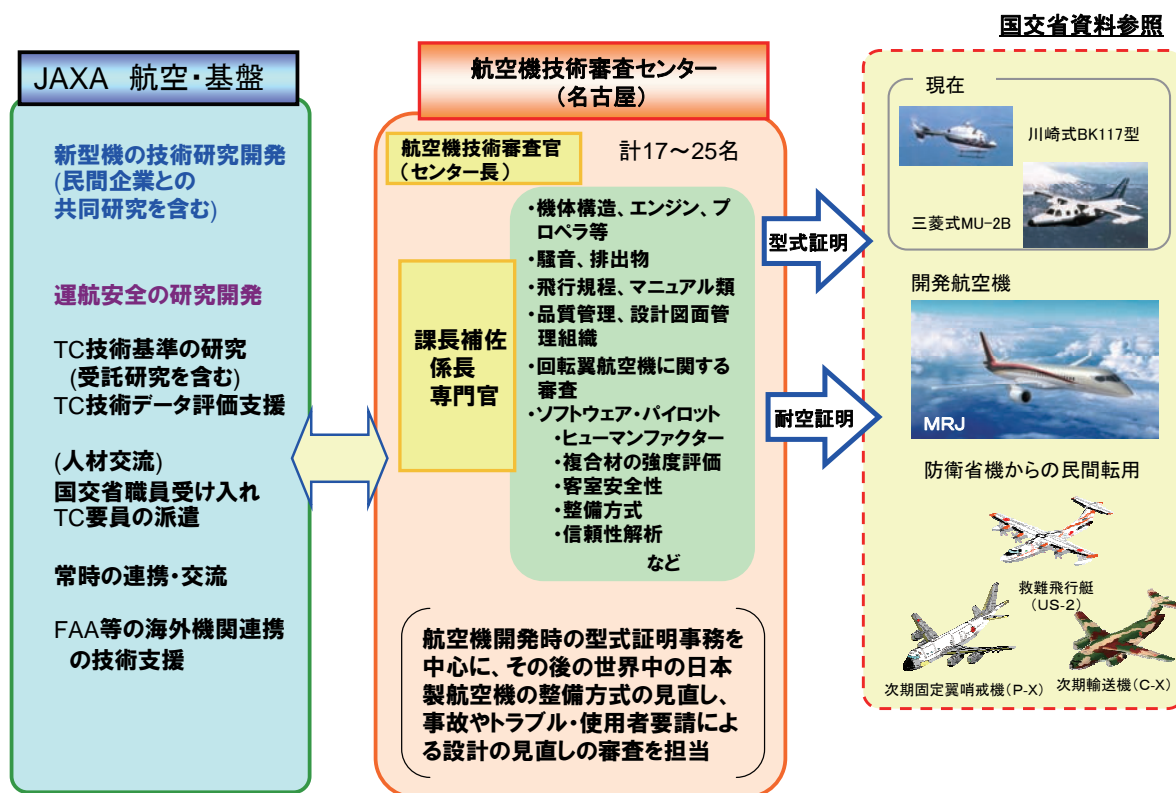


図 4.1.3 TC に関する国交省(名古屋センター)の役割と JAXA の協力

確認試験、④その他必要な連携のための情報交換、などを提供することとしている。図 4.1.3 は、連携の体制を図解したものである。国交省の関係人員が 2008 年現在 17 名、2009 年度に 25 名を実現し、MRJ の TC 作業の最盛期でも 50 名程度となるものと思われる。この体制はこれまでに比べ極めて充実しており、関係者の努力に敬意を表したい。しかし、これまでの経験が薄いために内容には課題があり、この規模における米国の 100 人体制に比べれば、彼我の差は否めず、MRJ 認証と共に今後の国を挙げた能力向上に期待されるものである。また、中国 ARJ の 50 人体制に比べれば、その陣容はほぼ同等であろう。両国とも米国 FAA との BASA (2 国間協力協定) により協力を得ている。我が国では、前述の航技研の設立経緯からも JAXA の協力は極めて大きな意義を持つ。

4.1.4 エコエンジンと JAXA 技術そして今後

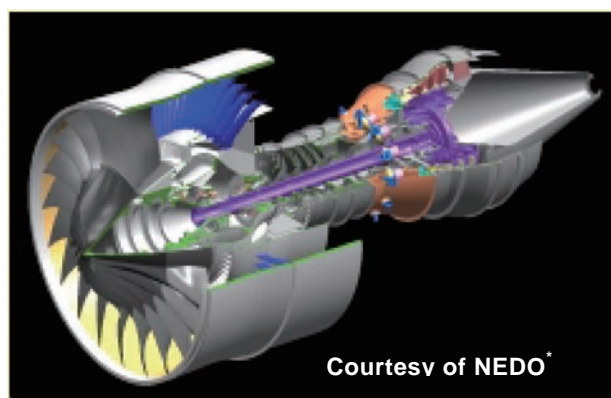
我が国のジェットエンジン産業の自立と拡大振興を目的として経産省が 2003 年に立ち上げた「環境適応型小型エンジンの研究開発」通称「エコエンジン」は、市場エンジンの少ない 4-5 トンクラスの小型機用、ビジネス機用のターボファンエンジンの領域に我が国の地歩を築くという狙いで始められた。技術的には、小型ながら他に真似の出来ない高いレベルの技術を投入したエンジンを作り上げることを目指し、得意とする CFD 技術によるファン・圧縮機の空力設計、シンプル構造の低 NOx 燃焼器、エンジン高温・高圧化、低騒音化技術、整備性向上などを、それぞれの要素技術研究を通して取り入れている。JAXA はそれらの新技術の多くに関与し、さらに次世代エンジン技術の高度化のための研究を進めている (図 4.1.4)。燃焼器では、参加する民間企業である IHI、KHI、MHI の 3 者競争による技術レベルアップをも企図した。これらの研究開発の成果は、我が国の RSP (Risk sharing partner) としての技術力向上と、自立してエンジン開発と販売を目指すことの出来る、エンジンのインテグレーション技術を含む総合技術力の涵養が期待されている [3]。

しかし、我が国の産業がエンジンの自主開発販売を実現するためには、少なくとも以下の諸条件が不足している。

- (1) ATF や大型要素試験など必要な大型試験設備が無い。
- (2) ブランドを完結するために必要な技術、製造、運用などのための人材が不足。
- (3) MRJ のような、エンジン開発の国家プロジェクトが提案されていない。また、我が国における意志の統一に欠ける。

もちろん、事業に必要なこのほかの、資金、経験人材、企業実績などの不足要素は数えれば切りがないが、将来を見極めれば、一步でも前進するための技術力をはじめとする能力向上に努めなければ事は始まらない。

一方、これらの問題は、エンジン技術の複雑さ、高度さから来ているとも言える。まさにエンジンは一日にして成らずであって、設計法、製作法、品質管理法、試験評価法と言った技術能力の獲得をはじめ、課題の克服のための、構想力、多角的な人材の獲得などに向けて、多面的な方策を必要とする。RSP を通じて先輩企業の経験や知見を学び、自主研究により競争力のある独自技術を獲得し、JAXA をはじめ、民間企業だけでなく官学民総合的な人材の育成やポテンシャルの向上を図らなければならない。このような高い総合力が必要な分野であるからこそ、航空エンジン産業を自立的に保有している国が、米国とイギリスに限られているとも言える。フランスもドイツも努力は重ねており、徐々に力を付けているが、これらには未だ及ばない。さらに、中国が 2020 年代に自主エンジン生産国に成ることを宣言しており [4]、また、ロシアも、冷戦時代の栄光とその後の凋落を超えて、再び航空技術大国になる道を探っている。我が国が科学技術立国であり、高度先端技術による高付加価値製品を生み出す製造業を重視している国であれば、航空エンジンはそのうちの最も高度な機械技術製品の産業として、基本に据えるべきであると考えられる。



後発である我が国でも十分に市場に適合する独自技術の育成

- コンピュータ活用の空力設計
- 高い燃焼器技術、低NO_x
- 新技術ファンと小型高圧圧縮機
- 複合材の適用

■ システム技術

排気の低騒音化
システムインテグレーション
ライフサイクルマネージメント技術
コンピュータ利用技術
など

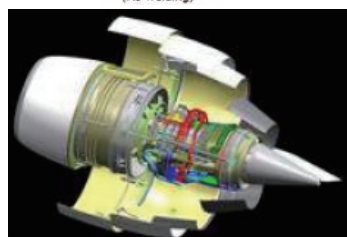
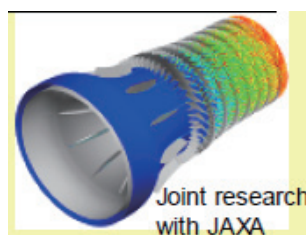
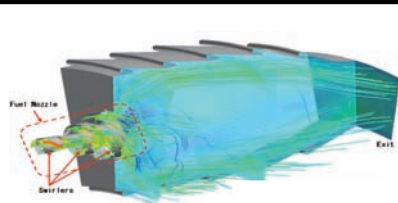
■ 低NO_x燃焼器

軽量、シンプルな低NO_x燃料噴射燃焼器

■ 低CO₂技術

エンジンの高温化、高圧化、
要素効率向上、設計効率向上など

エコエンジン目標		将来目標
NO _x ICAO CAEP4 :	-50%	-80%
Noise ICAO chap.4 :	-20dB	-30dB
CO ₂ Emission :	-10%	-10%



■ 整備性、デジタル技術
デジタルモックアップなどの
活用でエンジン整備性の向上

図 4.1.4 エコエンジンとその優位技術、JAXA の貢献(特に低 NO_x、低 CO₂ 技術)

[第4章1節参考文献]

- (1) 坂田、航空ビジョン講演会資料、航空宇宙学会、2008.09
- (2) 「総理府設置法」昭和30年7月
- (3) NEDO ホームページ「環境適応型小型航空機用エンジン研究開発」2008
- (4) Aviation Week and Space Technology, 2009

4.2 我が国の航空エンジンにおける課題と産業の将来像

(含:大型試験設備の整備構想)

ここでは我が国が目指すにふさわしいと考える航空エンジン産業将来像として、産業と技術の高度化と規模拡大の目標を設定し、これに対応した自主開発と国際共同開発の規模と内容を検討したうえで、これを可能にするための課題について、研究開発計画と必要な研究開発用エンジン大型試験設備を考察する。

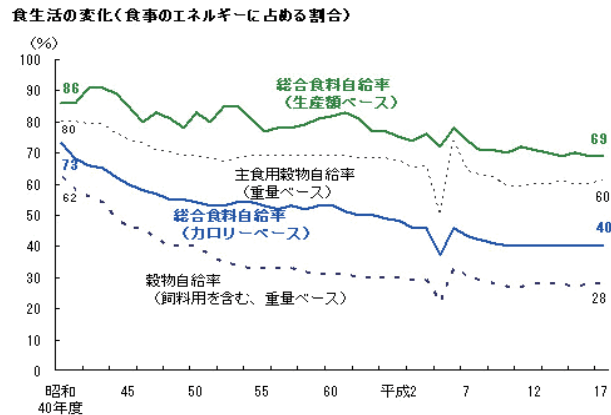


図4.2.1 日本の食料自給率

出展：農水省HPより

4.2.1. 我が国の産業現状と技術立国

我が国の経済構造を考えると、食糧自給が低いこと、資源・エネルギー源が寡少であることなどの特徴から、貿易による産業付加価値で成長してきた国であることが分かる。食料自給率は、平成17年度統計で生産額では69%あるが、カロリーベースでは40%にすぎない(図4.2.1)

[1]。そして、エネルギー自給率は4%しかない(図4.2.2)[2]。

この様な中であって、日本が自

主要国のエネルギー自給率とエネルギー効率(2001年)

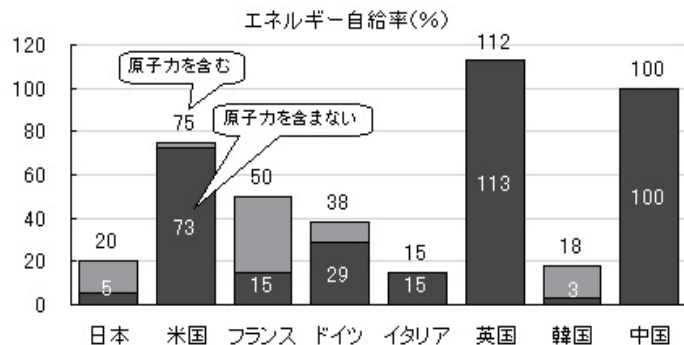


図4.2.2世界のエネルギー自給率

出展：社会実情データ図録HPより

給自足で生活できる人口は江戸時代の3千万人とも第2次世界大戦前夜の6千万人とも言われているが、現在の日本の人口は、1億2千万人である(図4.2.3)[2]。この、食料自給率、エネルギー自給率の低さにもかかわらず、我が国が現在の人口を支えてこられたのは、弛まざる技

人口の超長期推移

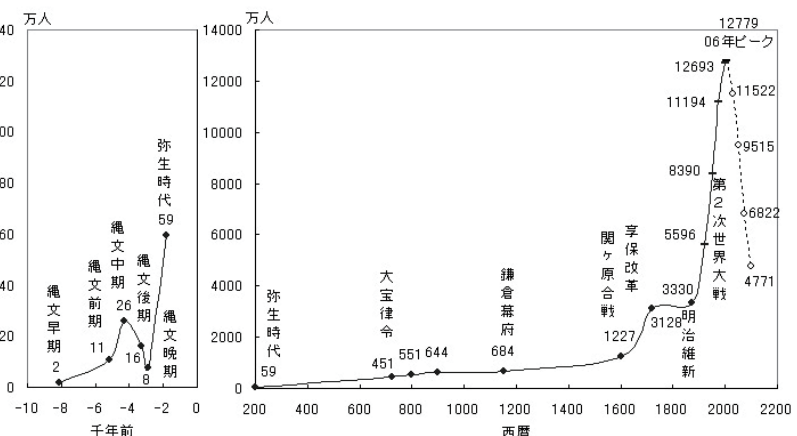


図4.2.3日本の人口推移

出展：社会実情データ図録HPより

術革新によって、常に輸出額を輸入額より上回らせてきたからにはほかならない。

従って、基本的な意味において我が国の国力と経済は、貿易黒字と大きく関係している。しかし、それは平成16年度の12兆円をピークに、17年度8.7兆、18年度7.9兆と年々減少し続けている(図4.2.4) [3]。そして、2008年から09年の世界的な経済不況は我が国の経済に大きな打撃を与えた。今後の経済構造がどう変動するかは明確ではないが、資源がなく、農業産品も自給が不可能な域にある我が国が、貿易を抜きに経済を構築することはあり得ないとする。

現時点で輸出に最も寄与しているのが輸送用機械である自動車(乗用車14.6%)である。バス・トラック・部品も加えれば、21%近くとなっている。かつて産業の米と言われた半導体は、6.5%であり、電気機械全体でも21%にしかすぎない。ちなみに、分類別では、①食料品0.5%、②原料品1.2%、③鉱物性燃料0.9%、④化学製品9.0%、⑤原料別製品11.5%、⑥一般機械19.7%、⑦電気機器21.4%、⑧輸送機器24.2%、⑨その他11.6%である。また、輸入は①食料品8.5%、②原料品7%、③鉱物性燃料27.7%、④化学製品7.3%、⑤原料別製品9.7%、⑥一般機械9.3%、⑦電気機器12.8%、⑧輸送用機械3.4%、⑨その他14.3%となっている。

少々乱暴な比較ではあるが、輸出額と輸入額の差額が我が国の収益とすると、輸送機械が他を圧倒していると言えなくもない。これは、自動車に代表される輸送機械

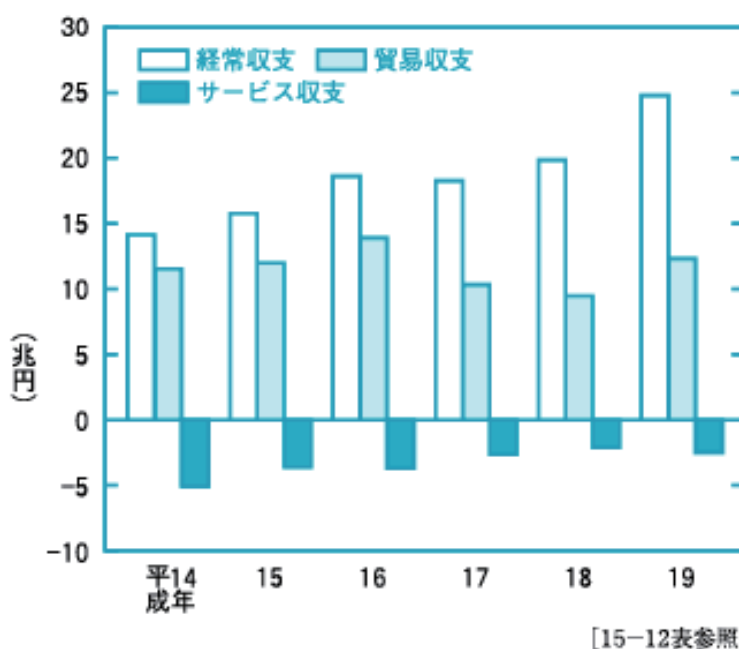


図4.2.4 我が国の国際収支 (統計局「日本の統計2009」)

は、高度な多くの機械産業に支えられた、付加価値の高い機械技術製品であるからと言えよう。従って、今後の将来にわたって我が国の生活水準を維持し続けるには、輸入に頼らざるをえない食料とエネルギーを購入し続けられるだけの輸出の確保が必要不可欠であり、その輸出品として最も有望な産業製品の 하나가輸送機械であると言えよう。即ち、常に高度技術力を涵養し、他の工業技術先進国に対して優位に立てる高付加価値があり、且つ容易に他からの追随を許さない製品を作り続ける技術立国が将来の我が国とりえる唯一の道であるといえる。

4.2.2. 我が国の今後の基幹産業としての航空エンジン産業

ここで言う「基幹産業」は、国際収支の上で重要な役割を担う産業の一角として我が国の経済を支える産業であることと、技術的にも、システムの重要性からも、わが国のセキュリティや根幹をなす産業あるいは分野であることを意味する。前の章で述べた様に、今後の経済状態においても、我が国の現在及び将来の人口を維持し、かつ一定の生活水準を維持して行くには、常に他国に追い抜かれない国際競争力のある技術による、高付加価値製品あるいは技術を輸出する事が必要である。

過去、その技術は鉄鋼であり、造船であり、電気機器であったが、今は自動車をはじめとする輸送機械に移ってきている。現在は、自動車がその大半を占めているが、先に、鉄鋼、造船、電気機器の歴史に学べば、自動車も韓国等の発展途上国の追い上げもあり、世代交代が起こる可能性が高く、次の技術集約産業を国策として育てておく必要がある。

高度な技術集約産業を考える時、航空エンジン産業もその一つである。航空機は戦前からその国の技術力の尺度を測る産業として位置付けられて来たが、今でも、その位置は動いていない。

(海外の巨大エンジンメーカの現状)

現在、民間航空機用のジェットエンジンの開発ブランドを有している企業は、GE、RR、P&W と Honeywell の4社であり、それらの母国は、米国、英国2カ国である。防衛用エンジンまで入れると、ロシア、フランス、日本があり、そして中国とインドが元の技術をロシアなどに依存しつつも、自主生産している。一方航空機では、カナダのボンバルディアやブラジルのエンブラエルがリージョナルジェットを開発製造、販売して成功しており、中国とロシアがリージョナル機を開発し(2008年)、2009年には初飛行を終えて、販売に移行している。これに加え、この両国共に更に大きい150席級の旅客機の開発にも着手しつつある。しかし、民間機用エンジンは、いまだ前記の米英2カ国に独占されている状況が続いている。

これは、技術とインフラの高さなどに根ざす特殊性と言える。航空エンジンにはその性能と信頼性、安全性を保証するために極めて高度で多様な技術とその実証が必要とされる。部品素材レベルでは、超耐熱合金、アルミ合金、チタン合金、セラミックス、さらには複合材を用いた、複雑形状の多種の部品が使われ、このための溶接、電解加工、レーザ加工、切削、研磨、溶射、接着などと多様で高度な加工法が適用される。これらを一つのエンジンとしてインテグレートするには、品質管理、検査・試験法、CAD活用、そして、制御監視に不可欠なソフトの搭載に至るまで、大変広い裾野の技術と関連産業を必要とし、一朝一夕では実現が困難である。また、複雑かつ膨大な部品やコンポーネント、サブシステムを国際分業により製造し、組み立てて行くための、生産と品質のマネジメントも重要な技術課題である。さらに、その開発に必要な研究開発においては、基礎から実用に至るまでの段階を的確に研究機関と大学、産業が連携して技術蓄積を図る必要があり、これに用いる大型試験設備そのものにも高い技術と莫大な資金が必要と

される。また、エンジン産業が製造販売を通して、これに必要であった研究開発投資、設備投資を含む投下資金の回収も長期にわたり、エンジンライフサイクル全般にわたった長期間を必要とする。この様に、産業が一つのエンジンシリーズの開発から利益に至るまでに必要とされる技術、設備、人材、そして資金が、その販売利益に比べて大きいことも特徴である。

これらを満たして産業として育っている欧米では、実際には産業政策や防衛として国が大きく関与している。米国では民生技術を目的とする NASA やアーノルドなどの軍の国立試験研究機関がその役割を果たし、イギリスの王立航空研究機関 (RAE) と国立ガスタービン研究所 (NGTE) を前身とするキネティクス (Qinetique Ltd) 及び DRA、フランスの国防省中央航空推進試験所 CEP r など、航空エンジンが基幹産業化している国では、国公立の研究試験機関が設置され、設備を整備運用している。ソ連時代のロシアにおいても、中央エンジン研究所 (CIAM) がその役割を果たしていた。このためにこれらの国では国が政策的支援を行って航空エンジン産業に基盤を与え、現実にはそれらの設備の保有自体が産業の国際競争力の一端を形成している。(現在欧州では大型エンジン試験設備は CEP r に統合されている。)

(我が国航空エンジンメーカーと技術の現状)

我が国の現状と課題については、既に第1章ならびに本章4.1において分析し議論したが、ここでは、ジェットエンジンに関する課題を以下専ら議論したい。我が国は、第2次世界大戦後に航空活動が完全に禁止された7年間に、世界の航空界はピストンエンジンによるプロペラ式航空機からジェットエンジンの時代へと大きな転換が始まっており、昭和27年に航空産業の再開となった時には、我が国の戦前の航空エンジン技術で使えるものは殆どなかったほど遅れてしまっていた。さらに、航空エンジンの研究開発は、その試験設備の整備から始まって膨大な費用が必要なため、当時の日本ではその開発は困難であった。我が国ではまず、米国空海軍のジェットエンジン補修受託から航空エンジン活動を始め、順次オーバーホール、ノックダウンによるエンジン製造に展開し、さらに国の資金による防衛用エンジンの試作研究に着手した。そして、昭和30年に T-1B 練習機用の J3 エンジンの国産開発が開始される一方、米国のエンジンメーカーとの技術提携により、F-104J 戦闘機用の J79 ターボジェット、P-2J 対潜哨戒機/PS-1 飛行艇用の T64 ターボプロップや、各種ヘリコプター用の T58 ターボシャフトエンジンなどが国産化されることにより、エンジン技術のキャッチアップが図られた。また、国の研究開発として旧航技研 (NAL) において、JR100、JR200 などの VTOL 機用リフトエンジンの試作研究が行われ、独自の技術力の獲得・向上が図られた。

これらを基盤として、1971年に当時の通商産業省工業技術院の大型プロジェクト制度のもとで、高バイパス比ファンエンジンの研究開発がスタートし、そのプロジェクトで試作された FJR710 エンジンは我が国のエンジン業界を再興するのに大きな役割を果たした。試作エンジンの高空性能試験を行った英国の NGTE での試験により、我が国

の高度な技術力を英国に示す結果となり、英国のロールスロイス社から、イコールパートナーとして、エンジン共同開発の話が持ち込まれ、XJB 計画として日英共同開発のエンジン開発がスタートし、RJ500 というエンジンの製作まで行った。

その後、RJ500 の搭載を目指していた機体が大きくなり、市場も座席数の増大を要求していることから、エンジンの大型化が必要となり、米国のプラット・アンド・ホイットニー社、独国の MTU 社、イタリアのフィアット社が加わり、V2500 という推力 12ton クラスの

エンジン開発に発展した。そのため、V2500 エンジンを製作するための国際共同会社（IAE 社）が設立され、我が国（J A E C）も 23% を IAE 社に出資し、対等の株主の一角を占めている。V2500 中型エンジンは、エアバス A320 シリーズやボーイング MD-90 に搭載され、既に 4,000 台が出荷されており、オプションも含めると 5,500 台を受注するベストセラー機となっている。このクラスでは GE と SNECMA 連合が開発した CFM-56 エンジンと市場を二分している。

以上の歴史的背景に基づき、我が国の産業規模は現在、図 4.2.5(図 1.1 b の再掲)に示すように世界の 6 位以下、3 社合計でも 5.7% 程度のシェアに留まっている。売り上げのトップは 1.7 兆円の GE、2 位が 1.6 兆円の RR、3 位が 1.4 兆円の UTC、そして 0.7 兆円のサフラン（スネクマ社）である。我が国の 70% シェアを誇る IHI でも、世界的に見れば残念ながらフランス・スネクマ社の売り上げの 40% 程度と遠く及ばない。

このような現在の状態を超えて、航空エンジン産業を欧米先進国並みの基幹産業に育てるためには、意を決して、国の主導で大型のエンジン研究開発を推進し、大型研究と開発ならびにエンジン耐空性の証明のための試験にも用いる、各種の大型エンジン試験設備群を整備運用する必要がある。このような設備群は、欧米諸国において産業の基本的な国際競争力の一端をもなしていることにも留意しなければならない。

4.2.3. わが国が目標とすべき航空エンジン自主開発と国際共同開発の拡大

航空エンジン産業を我が国の基幹産業とすることを目標とするからには、自力で航空エンジンの開発・販売を実現するが必須である。そこでここでは、一定程度の経済力の

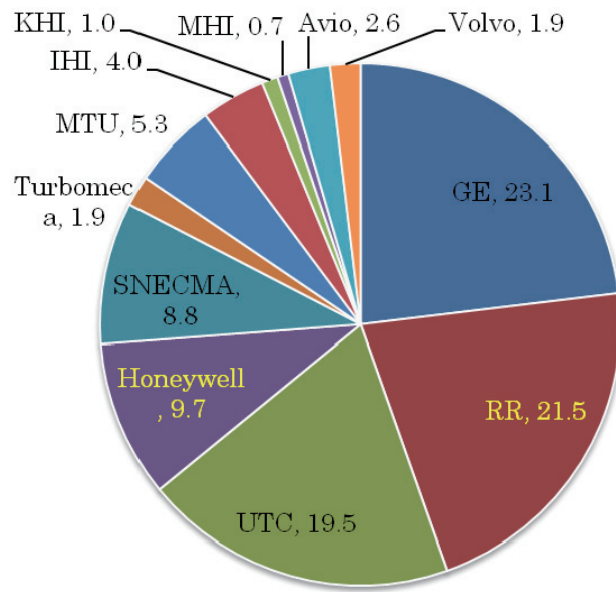


図 4.2.5 世界の航空エンジン会社の売り上げ
(図 1.1 b の再掲)

源泉を形成し、技術の先導役を実現する我が国エンジン産業の将来像を明らかにするために、自主開発候補となる目標エンジンを検討し、それを実現するために保有すべき技術力、整備すべき大型試験設備などの基盤をどう持つべきかを考察する。

(1) エンジン市場動向から見た目標とする自主開発エンジンの検討

図 4.2.6 は、現在運用されているエンジンの推力(重量トン)別の台数分布である。これによれば、小型の方では、カナダのボンバルディアやブラジルのエンブラエルEmbraerの小型リジョナル機に使用されている双発機の 5ton クラスのエンジンが一つの山を作っている。次には 6ton クラスから 7ton クラスには 3 発機のボーイングの機体が出てくるが、これ

は JT8D という往年の名機であり、今後姿を消してゆく。次の山は 8ton から 12ton の所にあり、この中に、世界の航空機を 2 分するボーイングとエ

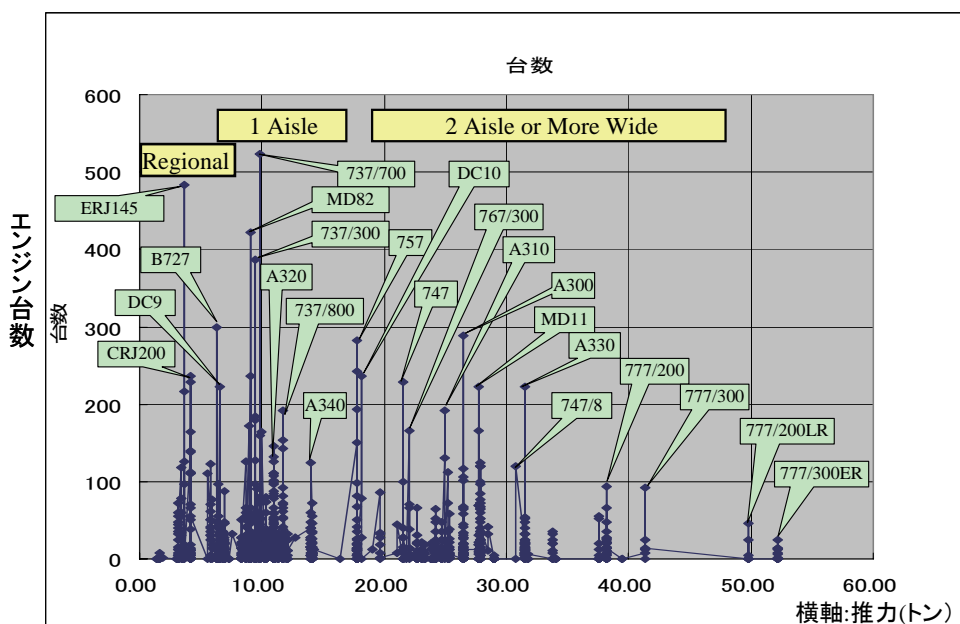


図 4.2.6 推力別エンジン運用台数

アバス社の 1 通路機体（狭胴機体）であるボーイング 737/300 シリーズや A320 など、大手航空機メーカーの最小クラスの機体が入ってくる。次の推力 15ton の機体は A340 であり、18ton の所には、ボーイングの 1 通路機体（狭胴機体）としては、最大の B757 が入ってくる。20ton 以上では大型機ではあるが 4 発機の B747 が 22ton 程度に山を作っており、それ以上は双発機で大型の B767 や A300 等が、30ton クラスまで各推力別に山を作っている。30ton 以上のエンジンを搭載する機体は限られており、その殆どが大型双発機の B777 シリーズで占められている。このエンジンの台数を小推力エンジンから大推力へと累積した台数グラフが図 4.2.7 である。グラフはまず小型リジョナルである 5ton のところで立ち上がり、その後 6ton から 7ton まで上昇した後、10ton 前後に急速な増加を見せ、11ton のところで総エンジン台数の半分である 15 千台に達し、12ton の 1 万 7 千台のところで一息つき、次に 15ton、18ton の所で階段状に増加して

20ton 以上は緩やかに台数を増やしていき 28ton の B767 で立ち上がった後は、ゆっくりと 50ton に向かっていく。

これから、まず我が国がボーイングやエアバスの主力旅客機に搭載されるエンジンを開発対象とするためには、小さくとも 12ton 程度のエンジンを独自で研究開発出来る自前のエンジン試験設備を持つことが必要であることがわかる。これらは全て 1 通路の小型狭胴機用のエンジンであり、今後もこのクラスの市場は安定的に拡大すると見られている。

またさらに、客室の居住性が重用視されてくると 1 通路型でも胴体幅の

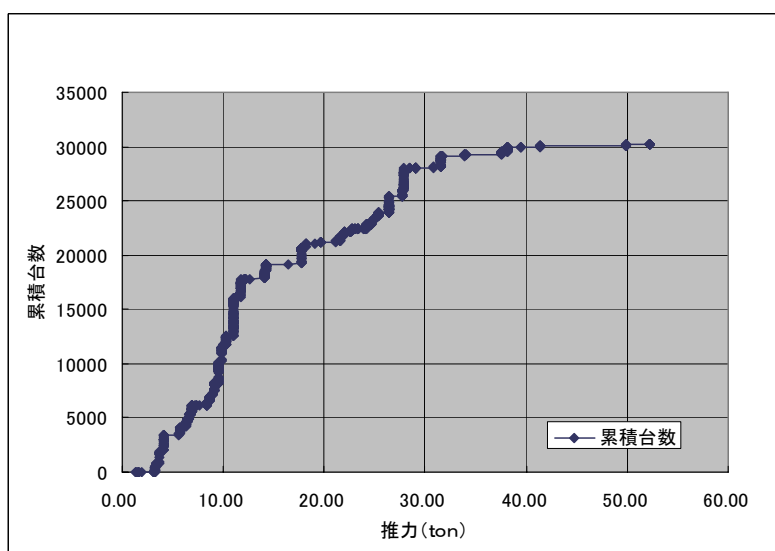


図 4.2.7 現在の運用エンジンの累積台数

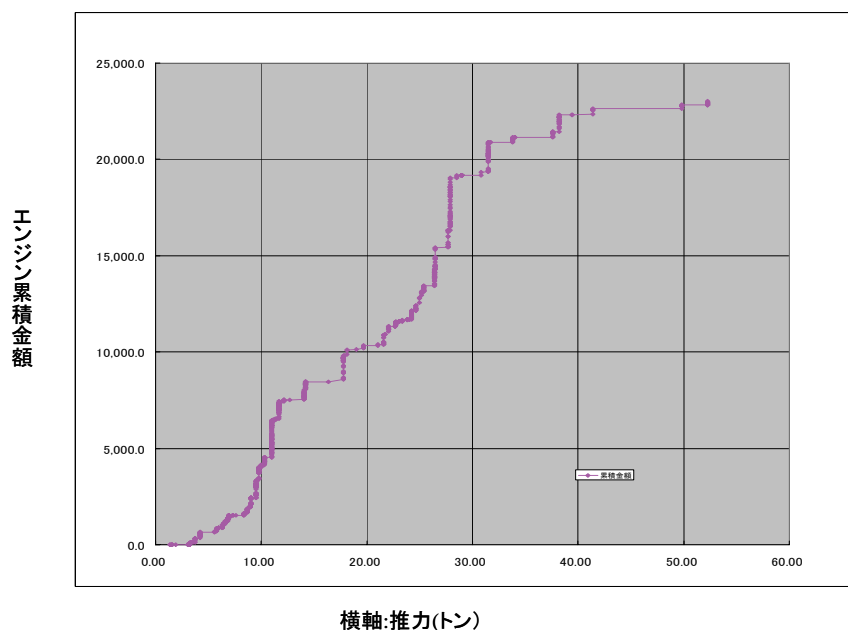


図 4.2.8 現在のエンジン運用台数による試算累積金額

広い、A321 や B757 クラスの 17ton のエンジン開発能力が必要になる。さらに広胴機への搭載を考えれば、B767 や B747 クラスの 20ton 強のエンジンの自力開発にもつなげる設備も視野に入れる必要性が出てくる。

産業規模を評価するためにエンジンの販売価格を仮定してマーケットヴァリューを試算してみる。ここではほぼ平均的な値として推力 1ton 辺り 5 千万円として累積金額を表すと図 4.2.8 の様になる。世界の飛行中の全エンジンの換算総額値は 22.5 兆円であり、その半分である 11 兆円までのエンジン推力規模は 22ton となっている。産業としてエンジンを考えるには、推力よりも売上高が重要である。この金額換算のグラフを

見ると、5 ton クラスの規模では、その市場は1兆円程度であり、基幹産業たり得る市場規模ではないため、後述するエコ・エンジンプロジェクトの成果にも、エンジンとしての展開と技術としての応用性を考えなければならない。少なくとも基幹産業と呼ぶためには、世界の市場で量と質の両面で相当な存在感がなければならない。その意味で可能ならば 20ton 級までのエンジン開発能力を保有したいものである。

一方このグラフにより、15ton から 18ton の推力レベルのエンジンの市場が開いている事がわかる。即ち、その間のエンジンが無い事を示している。よって、我が国の最初のエンジン設備計画としては、この辺りの推力値のエンジンの自国開発能力を持つことが一つの戦略的な選択肢となる。特に、今後の 20 年間は中国やインドなど総人口 20 億人が航空機の乗客として台頭することを考慮すれば、狭胴機の広胴化が進む可能性もあり、この 18ton クラスのエンジン開発能力の獲得は重要であると考えなければならない。少なくとも 15ton から 18ton クラスのエンジンの自国開発能力があれば、ボーイングやエアバスの機体への搭載エンジンの自国開発が可能となり、それを足がかりにより大型エンジンの国際共同開発における発言力が増すものと考えられる。

図 4.2.9 は、Aviation Week 誌が発表した、今後 20 年間の商用航空機の市場拡大予測であり、これを用いて、これまでの考察に加えて将来市場の動向から適切なエンジン規模を検討する。これによれば今後 20 年間の新規需要機数は 28,600 機であり、現在の運航総機数 18,230 機に対して、その 2 倍の 36,420 機が運航されていると言う予測につながる。しかもその内、2 万 1 千機がリジョナル機と 1 通路狭胴機で占められると考えられている。この 1 通路狭胴機の広胴化（座席幅の拡大や居住空間の広さを確保する為）も視野に入れば、先の A321 や B757 のエンジンである 18ton クラスを目標とする事が、最も今後の航空エンジンの基幹産業化に適した選択と言えるであろう。特にこのクラスでは、2010 年代後半から 2020 年代に向けて、A320 や B737 の後継機の開発が予想されており、これらに搭載する革新的なエンジンの開発が必要となることから、時期的にも絶好の機会といえることができる。

以上のような考察から、自主開発エンジンの最終的には 20 トンクラスのエンジンを目指すべきふさわしい規模であると考ええる。しかし一気に整備運用が出来るほど、現状から 20 トンクラスを目指すことは容易いことではないであろう。特にこのための設備、



図 4.2.9 Aviation Week 将来予測

技術力、基盤の獲得は容易ではないが、将来のターゲットとして、発展の可能性を含んで今後の基盤の整備あるいは研究開発の推進が必要となる。

(2) RSP (Risk Sharing Partner) における産業拡大方策

エンジン丸ごとの自主開発の推進と同時に、高度な要素技術や材料技術を適用した国際共同開発の主要な RSP (Risk Sharing Partner) としての事業拡大による産業全体の規模拡大も、現実的な意味において大変重要である。これは、全機のインテグレーションではなく、最先端の技術を用いた大型、超大型のエンジンの一部について、海外メーカに伍して競争力のある要素技術、製造技術により分担するものである。

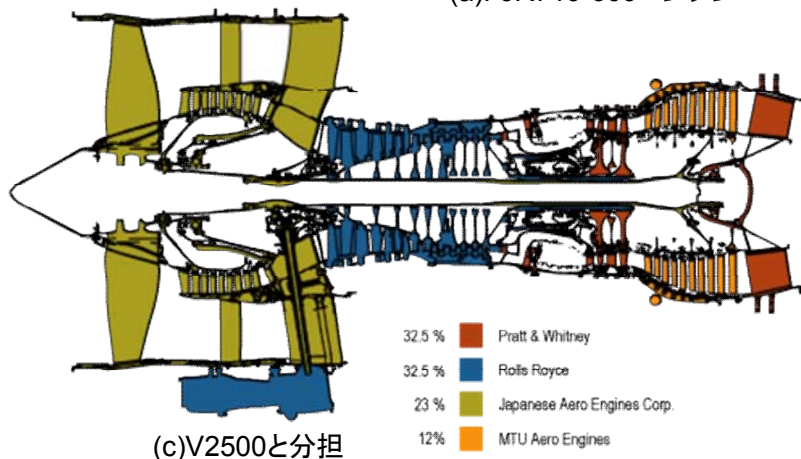
現在、我が国がリスクシェアリングパートナーとして参画しているエンジンには、GE 社との CF34, B777 用の GE90、そして我が国機体メーカーも参加する次期最新鋭機である B787 用のエンジンである GEnx や Trent1000 がある。また、開発製造を対等分担しているエンジンとして、IAE 社 (P&W, RR, MTU, JAEC の共同出資) の V2500 がある(図 4.2.10)。V2500 エンジンにおいて我が国が、曲がりなりにも対等な国際共同開発の一員となっているのは、何と云っても FJR710-600 エンジンの研究開発の成果であり、これをさらに確実にしたのが、本エンジンを搭載して実験飛行



(b)STOL実験機飛鳥



(a)FJR710-600エンジン



諸元	型式	V2500-A1	V2500-A5	V2500-Q5
推力(千ポンド)		25	33(最大)	28(最大)
ファン直径(インチ)		63.0	63.5	63.5
バイパス比		5.4	4.5	4.7
ファン・圧縮機(段数)		1+3+10	1+4+10	1+4+10
燃焼器形式		アニュラ型	アニュラ型	アニュラ型
タービン(段数)		2+5	2+5	2+5

エンジンスペック

図 4.2.10 V2500とFJR,飛鳥〔6〕〔7〕

に成功した STOL 実験機「飛鳥」の実績があるからである。

エンジンの担当部位は、いずれもファンや低圧タービンなど低圧系が中心であるが、C F 34 では圧縮機の一部にも参画している。しかし、最も技術力が必要で、且つ、ライフサイクル的に最も売り上げに寄与する燃焼器と高圧タービンにはまだ参入出来ない。航空エンジン（ガスタービンエンジン）の特長として、ファン、圧縮機、燃焼器、タービンなどの主要構成要素は、適切なリグ試験設備があれば、夫々独立して開発することができ、世界の技術動向に対応した先進的な要素技術を開発することが出来る。そして、必要に応じて大きさを適切にサイジングして高圧圧縮機、燃焼器及び高圧タービンの3大要素を組み合わせれば、先進的なコアエンジン（ガスジェネレーター）が開発できる。このコアエンジンに別途開発したファンおよび低圧タービンを組み合わせると、任意のバイパス比を有するターボファンエンジンが開発できることになる。これは、ビルディング・ブロック方式またはコアエンジン方式と言われ、ガスタービンエンジンの大きな長所であり、この利点を最大限活用すべきである。

一般的には、圧縮機、燃焼器、タービンからなるコアエンジン技術さえ獲得し、堅牢な自国性コアエンジンを確保出来れば、ファン、低圧タービンを変える事に拠って、その派生型を作る事は可能である。また、サイズもスケーリングにより、推力を増減させる事が可能となる。また、販売後のサポートビジネスで売り上げが確保される補用部品の供給でも、高温高圧部であるコアエンジンを握っていることは、企業における重要な戦略事項である。

現在、原油価格が高止まりをし、さらに将来の価格上昇も予測されることから、航空各社はより低燃費のエンジンを求めており、多少の速度の低下はあっても燃費の良いエンジンを求めているところもある。その為、航空エンジン各社は現在の5程度のバイパス比を増加させることが必須であると認識し、GE90の9を越えてバイパス比10以上を目指した超高バイパス比エンジンが次期主力エンジンになると考えている。特に欧州の省エネ、グリーン航空機プログラムは、オープンロータの技術研究促進を訴えている活動には注目すべきである。このため、GE90で一步先を行っているGE社は複合材ファン技術を武器にしており、P&W社は、大直径ファンの低回転数と低圧タービンの高回転数とのギャップを埋めるため、低圧タービンとファンの間に減速歯車を採用したギアドターボファン技術を完成させようとしている。RRは、二軸または三軸形態のエンジン技術をさらに磨きをかけるとともに、オープンロータに関心があり、ファンをコアエンジン後部に持ってくるアフターファンも模索しているようである。

これらのエンジン技術動向を的確に把握し、その最先端に遅れることなく我が国の優位技術を伸ばして、より高いレベルのRSPを実現し、質的にも、量的にも産業の高度化に貢献することが期待されている。

4.2.4. エンジン研究開発プロジェクトの重要性

欧米の先進メーカーが超高バイパス比の低燃費ターボファンエンジンを開発できる背景には、産官学および軍民一体となって営々と継続している国家プロジェクト^{*1}により

※註1: アメリカの国家プロジェクトとして継続的なエンジン技術開発には現在進行中の VAATE も含めて、

以下のようなプロジェクトがあり、各エンジンメーカーに試作を行わせながら世界の最先端のエンジンを輩出してきた。これはエンジン技術で世界をリードすることは自国および同盟国の安全保障を維持する上で不可欠であるという国家戦略に基づいてきた。最近はコスト低減も開発目標に加わっている。

ATEGG (Advanced Turbine Engine Gas Generator)

JTDE (Joint Technology Demonstrator Engine)

IHPTET (Integrated High Performance Turbine Engine Technology)

VAATE (Versatile Affordable Advanced Turbine Engine)

革新的な要素技術の開発によって習得・経験した高度な技術力およびこれを裏付ける実機運用実績があることを忘れてはならない。これらの国家プロジェクトは必ずしも特定の仕様を持つエンジンの開発を目指すものではなく、各主要要素の技術を 10～15 年先に到達すべきレベルに引き上げておくことを目標としている。これにより開発された各先進要素はビルディング・ブロック方式により結合されて実証エンジンとしての試験は行われるにせよ、特定のエンジンではなく、より広範で汎用性の高い高性能エンジンを目指しているのである。航空機市場の厳しい要求に応じるためには、各要素の技術を弛まなく進歩させ続ける必要がある。

しかし、我が国では FJR710 エンジンが、「飛鳥」搭載のために耐空性・耐環境信頼性試験を行い、短距離離着陸実証機のエンジンとして十分にその目的を果たした後、日英共同の RJ500 から V2500 エンジンへの発展に引き継いだに留まり、独自技術をさらに磨くための民間エンジンの研究開発を推進して来なかった。このため、その後日々進む世界の実用エンジンの開発の流れに遅れを取る結果になってしまった。同時に、技術のショーケースとも言えるエンジン技術実証がなかったことにより、我が国の先端技術あるいはインテグレーション技術を世界に示す機会を逸し、RSP で参加する企業を相手にしてのみ企業展開が出来るということとなってしまった。結果として、FJR のように他国企業からの対等な国際共同開発の申し出もなく、我が国からパートナーを捜しに行くということもない。

平成 15 年以降進めている環境適応型小型航空機用エンジンの研究開発（エコエンジン）が [8]、自主エンジン開発を目指すプロジェクトとして NEDO の補助金で進められているが、目標エンジンがかなり小型の推力 5 ton の技術実証用エンジンであり、また、JAXA などの国の研究機関が直接参加出来ない補助金の形式で推進されている。これらの計画推進は、基礎力の不足する我が国に必要な基盤強化策が含まれておらず、また、先行先進技術の産業移転、即ち利益を生む実用化としても、十分な考慮がなされて

いない。施策が不十分であると言わざるを得ない。

2007年度よりエコエンジンは実証用エンジンを試作する第3期に入ったが、その後商用化するには、機体メーカーや航空会社の意向に合わせた、推力等の最適化などの変更を行うとともに、日本独自に型式証明の取得、更にはプロダクト・サポートが必要になるが、現在の我が国の研究開発体制では、海外メーカーとの共同開発を行わない限り、その可能性には、ははなはだ疑問が残る所である。

一つのエンジンの開発が成功裏に完了したことで、研究開発の手を緩めてはならないのである。むしろ、その時点で、例えば10年先を目指した先進的な要素の開発に着手せねば、世界の市場に追随することすら覚束ない。我が国のような国では、まずは先行するエンジン大企業に迫り着けと言うことが目標だが、さらに大きく発展すべき将来を見越して効果的な研究開発を行っておくことが何より肝要である。また一方、エンジン・インテグレーションを行える機会は、今のところ防衛省の独自エンジン開発に限られており、選ばれた分野での技術の継続性は保たれているが、民間エンジンで必要な、競争力を有するエンジン全体開発技術を獲得して、先進技術で発展させると言う機会は30年前のFJR710の後にはまだない。これには国家プロジェクトが行われてこなかったことが大きい。その結果、日本国民に要素技術向上のための継続的な研究開発の真の重要性を理解させる機会を失って来たとも言える。また、HYPR/ESPRプロジェクトも、先端技術を豊富に取り込んで実施され、目標マッハ数が2.5から5と超音速にあり、海外メーカーにも注目されるようなアトラクティブなプロジェクトであったが、そのフライヤブルなエンジン開発を含まなかったために、研究成果が十分に実エンジンで実用化されるには、未だ課題を残したまま終了となっている。

このような日本特有の環境および業界の競争の中で我が国が新規に参入するには、何か独自のアイデアによる新しい形の低燃費エンジンの研究開発あるいは、得意で国際競争力のある要素・材料技術をコアにしたエンジン技術の研究開発を行う必要がある。新しい我が国のエンジンのセールスポイントとなる鍵技術を実証するエンジンの研究開発プロジェクトこそが、先に述べた設備整備を必要とし、これらの国有エンジン試験設備を導入するための最も大きな国民に対する説明ともなるであろう。

4.2.5. 我が国が航空エンジンを基幹産業化した時に予想される年間生産高

ここでは、エンジンプロジェクトが実機エンジンを生み出し、目標通りに産業を大きく育てる結果として、どれ程の経済規模になるかを、簡単に考察する。

先に述べたように現在15tonから17tonのエンジンを搭載した1通路型の狭胴機は一万機あり、2万台のエンジンが日々飛行している。またAviation WeekやBoeing社などの予想に拠れば、今後の20年間で狭胴機は21,000機の新規需要が見込まれ、それに搭載されるエンジンも42,000台と計算される。これを先の仮定である推力1ton当たりのエンジン価格を5千万円とすれば、現役エンジンが10兆円、今後の20年間

に市場に投入されるエンジンが 20 兆円と計算される。さらに、現役のエンジンはメンテナンスコストがかかり、これをエンジンの価格と同程度と見る事が出来る。

すると、エンジンの寿命が 20 年とすると、

- | | |
|------------------------------|-------|
| (f) 現役エンジンの買い換え需要が | 10 兆円 |
| (i) そのメンテナンスコスト及び予備エンジン価格が | 10 兆円 |
| (u) 今後の 20 年で市場投入される新たなエンジンが | 20 兆円 |
| (e) その新たなエンジンのメンテナンスと予備エンジンが | 10 兆円 |

と計算され、この合計 50 兆円を 20 年間で割ると、年間 2.5 兆円の市場が、狭胴機のみで出現する事になる。

よって、この狭胴機のエンジンで世界の 40%のシェアを確保出来れば、その売り上げは年間 1 兆円となって、現在の SNECMA を超える規模となり、またさらにこのシェアを 30%と低く見積もった上で、RSP による売り上げを同等規模と評価すれば、総計で 1.0 から 1.3 兆円産業に成長することとなる。別の研究で航空機産業の波及効果を 100 倍とした結果を援用すれば、100 兆円規模の高度技術産業への波及があると考えられることも出来、大きな産業変革となることが予想される。

4.2.6. 目指すべき自主開発エンジンの検討

以上の考察から、我が国の自主開発エンジンの目標として、将来市場で最大のクラスである 15 トン級以上の高バイパス比の中型エンジンが適切であると考ええる。また、RSP としての国際共同開発では、先端要素技術を持って主体的に参加する事における役割分担の将来概念として、限りなく企画、概念設計、市場研究まで遡って力を発揮し、主体性、利益率、将来展開などを高いレベルで得られる位置づけが目標となる。以下さらに自主開発エンジンの可能性を考察する。

現在ベストセラーを続けている CFMI 社 (GE、SNECMA 共同出資) の CFM56 を例にとって検討する。このエンジンは、CFM56-2A、2B、2C、3、5A、5B、5C、7B と 7 種類に大別され、さらにそれぞれが数種類の派生型を有しており、最小の 7B18 の 8.85ton から 5C4 の 15.42ton までの幅広い範囲をカバーする多様性を展開し、主に B737 シリーズに搭載されている。今後、中国、インドと言った人口大国が世界経済に大きな力を発揮する時であり、広大な国土と航空輸送の未発達地域であることから、その市場の将来性は極めて高い。しかし、その使用形態や必要機材がどのようなものになるかは、まだまだ未知数なところがすくなくない。即ち、席数、エンジン推力、エンジン特性などにバラエティが必要だと考えられる。

この様な場合、CFM56 のように、常に航空会社が希望するサイズやスペックのエンジンを比較的短時間に供給する必要が出てくる。それに成功したのが CFM56 であると言えなくも無い。もちろん、これと競合し、同様に A320 シリーズに採用されて成功した、我が国が参加する V2500 エンジンもほぼ同様である。即ち、常に技術レベルを高

度に保ち、市場の動きを察知し、航空会社の要求する技術あるいはシステムを見定める企業の取り組みが重要であり、それと同時に企業の開発、改良を支える基礎的基盤的技術の不断の向上努力が不可欠であることである。

以上のように見てくると、中核となるエンジン市場を把握し、あるいは戦略的に選択し、その基礎となるエンジンコアの開発と技術の基盤を整備しておくことが重要である。我が国にとって、現在のポテンシャルからは少々の跳躍が必要ではあるが、15ton級の中型ターボファンを中核に据えた開発販売に乗り出すことが、自主開発エンジンとして最も効果的であると考えられる。

4.2.7. エンジンライフサイクルと我が国における研究開発

(1) 航空エンジンのライフサイクル

航空エンジンの研究・開発・量産から保守点検、修繕、改修などを含む運用・サポートに至るライフサイクルにおいて、設備の役割を含めた国と JAXA の役割について考察し、研究開発と設備の有り様を検討する。

航空エンジンのライフサイクルは、少々詳しく分析すると以下のような事柄で構成されている。いずれも研究所と企業が、その持てるリソースとノウハウを傾注して取り組むべき項目で占められている。

- (ア) 計画設計（市場調査／機体計画・客先要求／オペレーションリサーチ／開発投資計画）
- (イ) エンジン仕様の設定・開発計画の立案
- (ウ) 概念設計（適用要素技術／耐空性・環境適合性・信頼性・経済性等の要求）
- (エ) 詳細設計（設計標準・教訓集／材料規格／製造規格）
- (オ) 試作（製造工程／品質管理）
- (カ) 単体試験・運転試験／検査・評価（試験・運転設備／検査・試験評価技術）
- (キ) 型式証明取得（技術検証／技術開発へのフィードバック）
- (ク) 量産（製造・検査・品質管理方法の確定）
- (ケ) 運用（整備・運転マニュアル類／不具合調査・解析・対策／教訓集の整備）
- (コ) エンジン整備、耐空性保証
- (サ) 不具合改修、耐空性保証
- (シ) 改良設計（先進要素技術）→成熟→派生型への発展
- (ス) リサイクル

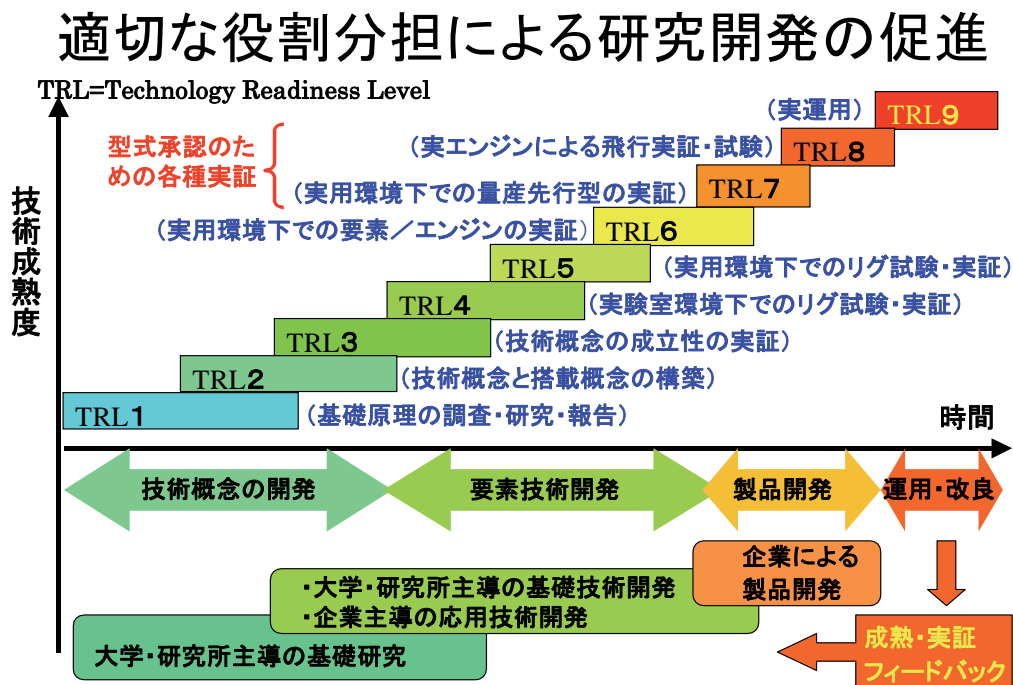
国が整備すべき航空エンジン用大型試験設備群の規模と機能・性能の設定として、これまでの検討を用いれば、規模としては18tonから20tonを視野に、当面15tonクラスのエンジンの開発に必要な設備が目標となる。

(2) ライフサイクルに対応した技術成熟度（TRL）の位置づけ

図 4.2.11 に航空エンジンに関する技術成熟度(TRL)と研究開発の役割分担の概念を示す。企業の行うエンジン開発と製造、運用、保守の段階は、技術成熟度（TRL = Technology Readiness Level）で見ると、いずれもTRL 7（プロトタイプが運用環境下で実証済み）～9（実エンジンが実運用環境下で飛行実証済み）という型式証明取得を目標とした高いレベルにあることが分る。逆の見方をすれば、市場の要求により3～5年で量産に至る必要のある製品開発においては、TRL 6以下の技術成熟度では、機体側が必要とするエンジンを必要なタイミングで開発できないと言うことができる。また、企業では集中的にリソースを投入せねばならず、製品開発が連続的に行われた場合、TRL 6以下、特に、上記でアンダーラインを施した要素技術の開発にまでリソースを割きがたいという状況が生じることになる。しかし、技術進歩の動向に対応した先進技術を常にTRL 6レベルに保ち続けていなければ、市場要求に即応してTRL 7以上の製品開発にも進めない、即ち、量産に至るようなエンジンの開発ができないという事態になり、悪循環が生じる。従って、先進技術のTRL 6以下の技術開発をどのように行うかが企業のみでは解決できない大きな課題として残っているといえる。

(3) TRL6以下の技術開発とJAXAの研究開発における役割

図 4.2.11 から、公的試験研究機関である JAXA 航空が担当すべき仮題の技術成熟度は



TRL 6 以下と考えることが出来る。その技術研究開発を分類すると以下のようなになる。

図 4.2.11 技術開発の役割分担

- ・TRL5～6：技術実証の段階（ATE EG/IHPTET 等）
- ・TRL3～5：リグテストなどによる技術開発
- ・TRL2～4：フィージビリティ実証のための研究
- ・TRL1～2：基本的技術研究

これを大きく括って、どこが主導的に実施するべきかを割り振ると、以下のようになる。

- ・TRL1～2：原理・法則に関する基本技術・技術概念の開発；大学・研究所主導
- ・TRL3～6：基礎技術（大学・研究所主導）・応用技術（企業主導）の開発

JAXA の行うべき技術開発としては、実エンジンへの発展を目標とした TRL3～6 の要素技術の開発を担当する事が最も期待される業務であることが判る。

具体的には、ファン・圧縮機・燃焼器・タービンの開発・リグ試験（高空試験を含む）およびエンジン（テストベッド）への組み込み試験、ガスジェネレーターの試験（高空試験を含む）

(4) 産官学の緊密な協同作業と将来動向の的確な把握

TRL1～2 の基本技術の開発を経て TRL3～6 の基礎・応用技術開発に至る研究開発においては、常に TRL7～9 の実機開発で開発するべきエンジンに適用できる技術の開発に注力することが必要である。そのため、産官学が緊密に連携を保ちながら、世間の動向を的確に見極めて将来あるべき航空エンジンの姿についての共通認識を持ち、そのエンジンに必要な TRL1～2 および TRL3～6 のレベルの技術開発として何時までに何をすべきかを十分に協議して真に役に立つ技術の開発に取り組むべきであると考ええる。

行政官庁で言えば、文部科学省、経済産業省、国土交通省、防衛省等、広範に亘る調整が必要となるが、JAXA が航空エンジン研究開発センターという位置付けで、この取りまとめを行うのが望ましいと考える。以上の設備整備には、筆者試算により3千億円規模の資金が必要と考えられる。また、産業の進展によるが、産官(学)協力で試験センターを設置することも考えられる。エンジンではないが欧州ドイツの IABG や米国 NASA や DARPA の大型設備を民間出資の会社が運用している例などが参考になる。

4.2.8. エンジンの研究・開発に必要なエンジン試験設備の検討(大型試験設備の整備構想)

(1) 設備の意義

エンジンの研究開発・開発・技術評価などには、大型で技術的にもレベルが高く、高価な設備が幾つか必要である。エンジン自体を要素技術の実証用として用いるエンジンテストベッド、高空飛行状態を地上で模擬するエンジン高空試験設備、エンジンの環境性や耐空性を実証する屋外試験設備などである。エンジン産業を有する国々では、防衛目的も考慮して国としてこれら大型試験設備を整備し、運用している。これは、産業から見れば、国際競争力として機能することになる。欧米では、大型の設備に加え、基礎

研究や供用出来る試験研究設備を必要な技術レベルの状態に維持し、整備運用し、それに必要な研究者、技術者を国が養成準備して、民間企業の研究開発、あるいは防衛システムの開発に備えている。実際、必要な大型試験設備を競争相手国からの借用を前提にして自主開発を進めることは不可能である。こちらの目指している製品の仕様を相手国に知られるばかりでなく、エンジンに適用する独自の先端技術あるいは機微に属する競合技術やセールスポイントを相手先に教えてしまうことになるからである。孫子の、敵を知り、己を知れば百戦危うからず、に従えば、相手に手の内を見せない事がもっと重要である事は言を待たないであろう。

図 4.2.13 に大雑把ではあるが、概念として捉えるためにエンジン大型試験設備の保有状況を、その試験応力を指標として比較してみた[9]。米国が断然優れているが、RRと SNECMA を擁する欧州も試験能力は高い。また、中国も今後の計画ではこれに匹敵する設備の整備を検討しているという。

以下、これまでの考察に基づいて設備構成と仕様、規模などのガイドラインを検討する。これまで指摘してきた様に、我が国には、FJR 以来民間エンジン開発プロジェクトが無かったため、必要なエンジン試験設備が不足しているのが現状である。特に、高空性能試験設備(ATF)は、推力 1ton 弱の超音速機用 ATF(JAXA)と推力 5ton の低バイパス比エンジン(超音速エンジン)用 ATF(防衛省)を保有するだけで、小型エコエンジンクラスでさえ、運転試験が可能な ATF は無い。我が国は、航技研の設置と共にエンジン関連の試験設備の整備にも着手したが、何と言っても、レシプロエンジン駆動のプロペラ推進からジェットエンジンへの変革の時期に何も出来なかった我が国では、ほぼ無の状態からの整備だったこともあり、また、風洞を優先して整備し、何とか形を作るのに精一杯だったこともあって、エンジン設備の整備は後手に回った。このことは、当時の航空技術委員会のエンジン部門委員だった八田桂三教授がいみじくも生前に述べられていた(昭和 50 年頃)。そのため、鍵を握るエンジン高空性能試験設備は言うべくもなく、全機エンジンを試験評価する設備は当時一つも整備できなかった。これも、現在の状況に影響を与えている。

(2) JAXA 航空エンジン研究開発部門に国として設置すべき大型試験設備

上記の技術開発を行うために JAXA に設置すべき試験設備等は、以下のようなものと考えられる。これらは、TRL6 以下の要素試験などに使用すると共に、企業が行う TRL7 以上の実エンジンの型式証明を目標とした開発試験にも転用できる能力と機能を有するものとする。

① 試験供試用エンジン(エンジンテストベッド)

実際に運用され、データが整っている既存エンジンを母機エンジンとして、圧縮機、燃焼器やタービン、制御機器などの開発要素の技術実証をエンジン内で行うもの。(例えば、V2500、CF34 または防衛省 F3 や F7 など) 技術的な観点からは、改修や設計の

容易さから国産エンジンが望ましい。

② 地上エンジン試験設備(テストセル)

20 トン級、試験室内=高さ 7m X 幅 6m、計測点 800 点

地上静止状態でエンジンの性能、機能を確認する基本的な総合試験設備。エンジン製造業にも組み立て後の最終試験に用いるため、保有することが多いが、試験研究用には計測や試験条件などで多様性と精度が要求される。

③ 屋外エンジン試験設備

20 トン級、高さ 6m、周囲クリア、整地面積約 1ha。

鳥打ち込み装置、水(雨水・海水)吸い込み装置、横風装置、入口整流装置、FOD 打ち込み装置、結氷試験装置、騒音計測装置など。

エンジン耐環境性・信頼性を実証するための全機試験を行う設備。騒音試験、異物吸い込み試験、鳥の打ち込み試験、豪雨時の雨水吸い込み試験、横風試験、エンジンアイシング試験など。設備そのものはそれ程高価ではないが、十分に広い敷地など設置環境に大きな資源が必要である。

2009 年現在、防衛省が北海道大樹町で次期対潜哨戒機用の小型高バイパスターボファン F-7 の耐環境試験に用いている屋外試験設備(図 4.2.12)は、推力 5 トン級と大きくはないが、これらの試験要素を備えており、防衛省によるエンジン試験が終了する平成 22 年以降の民間エンジンの技術開発に向けた活用が強く期待されるところである。航空基盤懇談会としては、本試験設備を JAXA が保有し、自らの研究開発に用いると共に民間へ供用する設備として運用するのが最も望ましいと考えている。

④ エンジン高空性能試験設備(ATF)

入口条件=温度: $-55^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 、圧力: $0.5\text{ata} \sim 1.5\text{ata}$ 、

空気流量=400kg/sec 以上

飛行マッハ数=0.3~2.0

供試エンジンの高空飛行状態で性能、機能、高空着火などの信頼性を確認するための地上試験設備。圧縮、加熱、冷却、送風などに大きなエネルギーが必要で、仕組みも大変大きく複雑になるため、多大な資金が必要とされる。超音速エンジンの高速試験では、インテークからノズルまでをトータルに性能を出す必要もあり、超音速風洞の形態となることもある(米国 AEDC 保有のエンジン風洞)。



図 4.2.12 屋外エンジン試験設備
(防衛省提供)

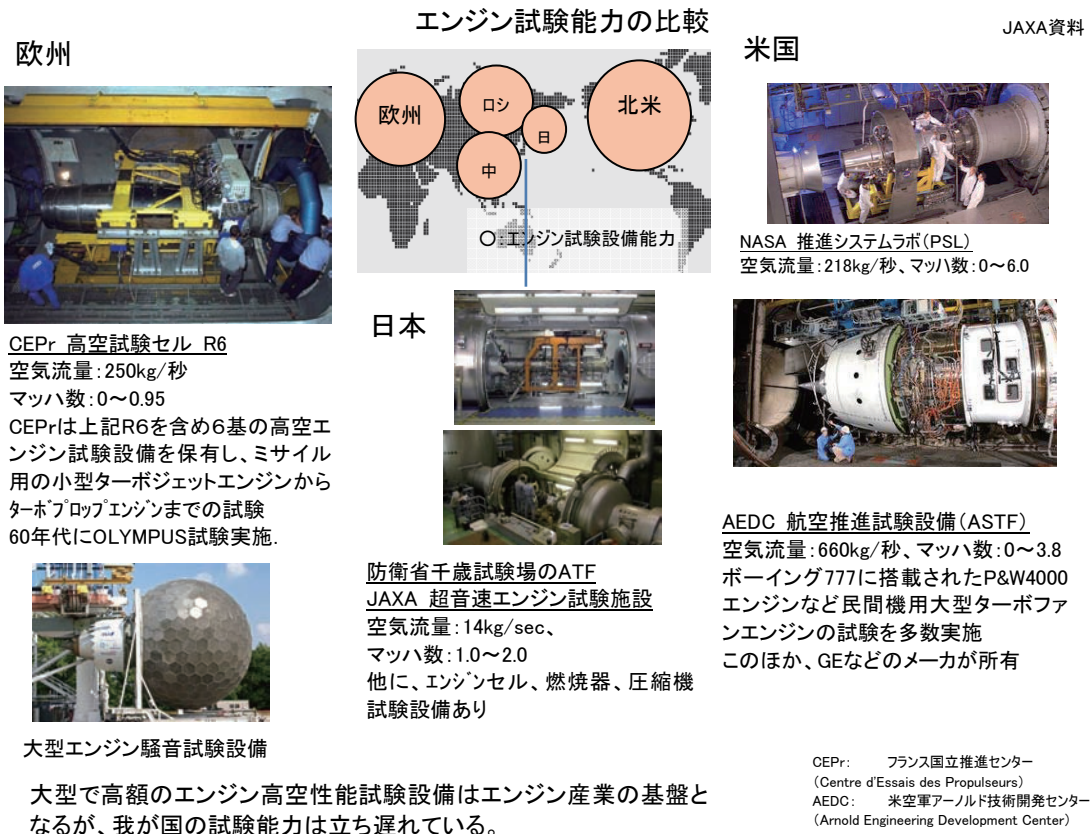


図 4.2.13 現在のエンジン試験設備の能力比較 (概要) [9]

⑤ ファン・圧縮機要素試験設備

ファン=直径 2m、動力 20MW クラス、空気流量 400kg/sec

圧縮機=多段圧縮機、動力 50MW クラス、空気流量 50kg/sec

電動機あるいはタービンによる軸駆動。性能計測、内部流計測。安全性のために、デイスターションや動翼破断試験なども行われる。

⑥ 燃焼器リグ(要素)試験装置

セクターおよびアニュラー燃焼試験

空気流量 60kg/s、入口圧力 60ata、レーザ可視化計測装置、排気処理、騒音処理

⑦ タービンリグ試験装置

多段タービン、高圧タービン/低圧タービン試験、70MW クラス、入口加熱(1600℃以上)、動力計測、内部流れ計測、伝熱計測

⑧ フライング・テストベッド (FTB)

供試エンジンを主翼下などに搭載できた上に、計測記録装置のための十分なスペースが確保でき、必要高度、必要マッハ数の飛行試験が可能な機体。我が国自主開発機であれば XC-2、XP-1、あるいは MRJ が候補となる。既に防衛輸送機 C-1 は FJR、F3 および X F 7-10 の FTB として用いた実績がある。しかし、その専用機を我が国は持

ったことがない。

4.2.9. もう一つの考察＝「アジアのエンジン試験センター」構想

今後の中国、インド等の台頭を考慮すれば、我が国の航空エンジン産業及び国の航空エンジン関連研究機関もこの、アジア経済圏を抜きには語る事は出来ない。そして、前章に記したように、年間1兆円を越える航空エンジン輸出額を確保するためには、当然我が国は技術力で、このアジア経済圏の中心に位置しなければならない。このことは、とりも直さず、先に示した我が国の国立航空エンジン研究所(現在は JAXA エンジンセンター)を、アジア経済圏諸国の航空機研究機関の中核的存在にすることを意味している。

これを発展させ、行政や政治から少し離れた機関にする、即ち中立的なものにしてアジアの各国が使い易いようにすることも考えられる。即ち、航空エンジンの技術が集約されるセンターとしてまた、指導的立場を獲得する技術センターとして、この「アジアのエンジン試験センター」が実現することも、技術的、あるいは産業戦略的に大変大きな意味を持つてくる。

将来的に民間エンジンの日本主導型のシェアの大きい共同開発を行う必要がある。それには、抜本的な国家戦略的な開発プロジェクトを立ち上げる必要がある。その一つが、これからの市場と人材の発展地域であるアジア戦略である。

国家戦略として航空エンジンを日本の戦略製品と位置付け、少なくともアジアにおいて先端技術の先導役となってアジア産業育成を進め、同時にアジア連合の産業力を世界に通用させるための指導的立場となる、と言った施策が有効であると考えられる。

日本の産業では、エレクトロニクスの世界では開発途上国に追い付かれ、また、最後までトップクラスであった自動車産業でさえ、開発途上国が進出してきているのに加え、あらゆる分野で人件費の安い開発途上国に生産拠点を移設して国内の「ものづくり」の力は衰退の道を歩んでいる。この中であって、航空用ガスタービンの分野は図 4.9 に示すように世界のエンジンメーカーのトップ 10 には日本以外のアジア諸国が含まれていないことから見て、日本はまだ追従を許さぬ域にいてと思われるので、差別化を図るための有望な産業であると考えられる。日本では団塊の世代の退職、アメリカなどではベビー・ブーム世代の退職などで、航空産業の人材が漸減しつつあり、補充もままならない状態にあると聞く。それに対してインドや中国では合わせて毎年何万人という航空関係を専攻した学生が卒業している。アウト・ソーシングとしてこれらの卒業生がアメリカなどの航空産業で働き、その技術力を高めつつある。また、これらのアジアの国の経済成長率も高いものがあり、いずれは、技術的にも経済的にも航空エンジンの独自開発の道に進むものと推定される。まだ間に合うこの機会に国家戦力として航空用ガスタービンで日本の優位性を維持するための開発体制を整備することが肝要と考えられる。

海外メーカーまたは政府機関からの受託事業として、外国企業が開発したエンジンの

ATF 試験を請負うなども検討すべきであろう。但し、エンジンの用途や技術によっては、武器輸出の問題をクリアにしておく必要がある。

- ・中国、台湾、韓国、インドなどのアジア域における開発エンジンの型式証明取得支援
- ・欧米（含ロシア）の開発エンジンのピーク処理

4.2.10. この章の結び

以上述べて来たように、我が国経済の安定を保ち、さらに、少しでも生活の質を高め、ゆくためには、常に高度技術産品を輸出して貿易黒字を確保する必要がある、その輸出する製品は他の追随を許さない高度に付加価値の高い技術産業であることが必要であり、航空エンジン産業は、その一つの解答を与えるであろう。今後の 10 年から 20 年の間に設備投資と新たなアイデアのエンジン開発に 5 千億円から 1 兆円規模の投資が必要になるかもしれないが（新エンジンプロジェクトに 2000 億円、その後の実用機開発に 3000 億円、技術力を常にアップする為の研究開発と整備維持に 2000 億）それは、年間 1 兆円超の輸出産業の創出と、技術波及効果の産業創成を国民に還元し、その後の日本の経済を支える基幹産業へと成長することが期待されよう。また、

これからの 20 年間は、中国やインド、アジア諸国が国際経済に一举に入り込む 20 年であり、ここで、商機を逸する事は、我が国が 21 世紀を勝ち残る事を非常に困難にすることを意味している。

航空機・エンジン技術は、実用システムとして産業化され、あるいは、防衛システムにおいて活用されることが使命であり、科学技術的研究の成果を的確に取り入れて高度なシステムとして作り上げねばならない。さらにこれに加え、安全性や信頼性を保証するための技術基準に合致する必要がある、このための大型試験設備による技術評価と認定が求められる。これらをクリアした製品でなければ国際競争力を保持することができない。従って行政の枠組みでいえば、科学技術の文科省、産業の経産省、安全基準と運輸の国土交通省、そして防衛省の 4 省にまたがる活動であって、これらを束ねる的確な施策と方針によって研究開発と基盤整備が行われねばならない。これらの 4 省の枠組みは、そっくり政策と実施の枠組みになっており、これらをまとめ、相互に整合して推進するためには、内閣総理大臣がリードする内閣府に、航空関係の新たな施策と行政の枠組みがつくられる事が望ましい。多くの航空産業先行国ではこのような司令塔が存在して、教育人材育成にいたるまで多方面にまたがる航空技術と産業について、国として取りまとめ、推進し、また、管理がなされている。これによって航空は、基礎から応用、科学技術から防衛、あるいは、インフラ整備運用から産業国際競争力の基盤形成にいたるまで、国の関与が強化されている分野である。そして、産業構造の変革を余儀なくされている我が国においては、現在の日本を支えている自動車産業などの既存基幹産業に代わって、あるいは、それらに加わって新たな基幹産業として航空機産業が飛び立つ決心をする時期は、今において他は無いのである。

第4章2節の参考文献

- (1) 農水省 HP
- (2) 社会実情データ図録(<http://www2.ttcn.ne.jp/honkawa/>)
- (3) 統計局「日本の統計 2009」
- (4) 坂田「空の日宇宙の日講演会(平成21年度)」資料、航空技術協会 2009.09.17
- (5) Aviation Week and Space Technology, 2009
- (6) 「航空宇宙技術研究所史」平成15年4月
- (7) IAE/JAEC 資料(2008)
- (8) NEDO ホームページ、及び、JAXA 航空プログラムグループ HP
- (9) JAXA 航空プログラムグループ資料、2008

5. 超音速機技術の検討(継続)

5.1 小型超音速旅客機概念検討の試み

はじめに

JAXA においては静粛超音速研究機計画や空力、材料・構造、推進等の分野での要素技術研究を進めている。これらの研究成果がどのように機体全体の性能に影響を及ぼすのかを見通すために、超音速ビジネスジェット (SSBJ) や小型 SST の機体概念 (図.5.1.1) を検討し、その効果を評価し研究目標値を設定することを試みてきた。



図.5.1.1 超音速機概念検討例

(1) 要求仕様

① 高速性能

亜音速機では東京—上海間が日帰り可能な限界であるが、小型 SST が実現できればシンガポール、インドまでもが日帰り圏として拡大することが可能となる (図.5.1.2)。

かつて東京—大阪間に新幹線が開通し、東西の経済圏が日帰り可能となり大きな経済発展を支えたのと同じ効果が東アジア全域で期待できる。このためには航続距離 3,500nm、巡航速度マッハ 1.6~2.0 が必要。

② 環境への配慮

(ア) ソニックブーム

米国では陸地上空での超音速飛行は禁止されている。低ブーム技術が確立できれば従来の超音速機のソニックブームを半減することが可能となり、50 席クラスの小型 SST ならば陸上超音速飛行が許容される可能性がある (図.5.1.3)。

(イ) 空港騒音

ICAO の騒音基準 Chapter 4 では 3 条件 (離陸上昇、側方、進入) 合計で Chapter 3 (図.5.1.4) -10dB 低減が要求されており低騒音化技術が必要である。

JAXA では低騒音ノズルの研究を進めるとともに、推力偏向による騒音低減の研究を進めている。推力偏向による騒音低減は、騒音が最大となるの領域を地面から遠ざけることによる効果であり (図.5.1.5)、3 つの騒音条件の合計では -15dB もの騒音低減が図れる可能性がある。

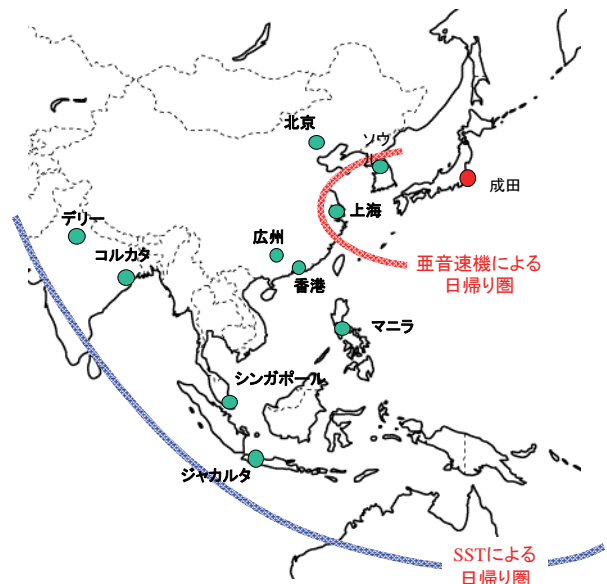


図.5.1.2 SST による日帰り圏の拡大

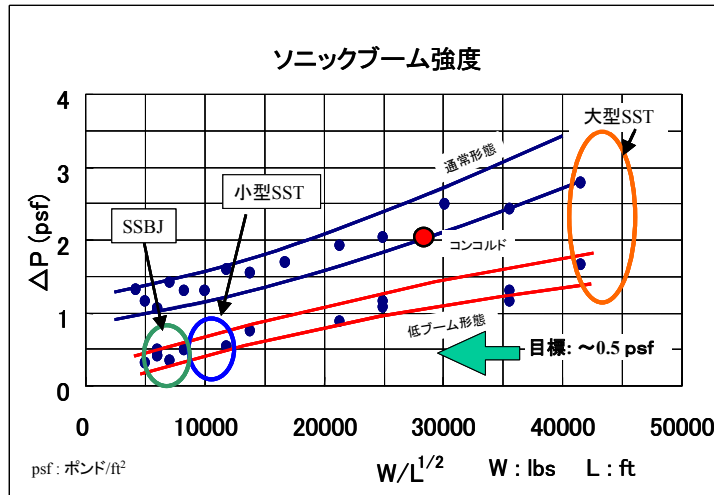


図.5.1.3 ソニックブーム強度と機体規模

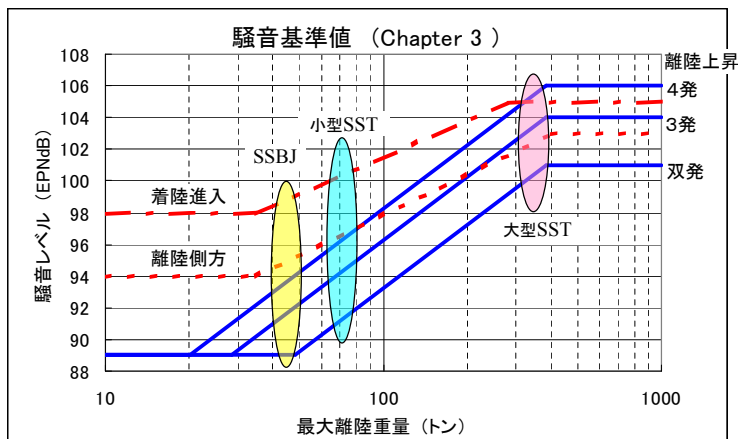


図.5.1.4 ICAO 騒音基準

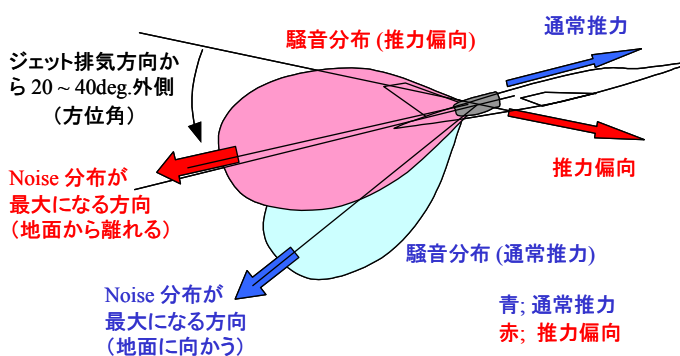


図.5.1.5 推力偏向による騒音低減の可能性

(ウ) オゾン層

オゾン層への影響は米国 NRC 報告書ではマッハ 2 以下の小型／中型超音速旅客機では排出指数 EI が 15 (g/kg) 以下を目標とされているが、将来的には 5 以下が国際的な共通認識と言える。またオゾン分布の少ない巡航高度の選択も重要である

③ 経済性

亜音速機に比べて燃料費が大きい事と機体価格が高い事によるオーナーシップコストが大きいために運航経費は割高になる。燃料費低減については、空力技術による揚抗比の改善、機体重量の軽減、低燃費エンジン実現などの研究開発は必須である。

(2) 機体の計画例

JAXA で行っている要素技術の目標設定や成果の評価を行うために機体概念例を設定した。その例を図 5.1.7 に示す。

この機体は陸上超音速飛行が可能となり得る低ブーム特性を達成するために全備重量は 70 トン以下、空港騒音は ICAO- Chapter 4 を満足し得るよう低騒音ノズルと推力偏向方式などの低騒音化技術の採用、オゾン層に対しては低 NO_x 燃焼器などのエンジン技術を前提とし、燃費特性はコンコルドより 50%の改善を目標とする小型 SST である。

(3) まとめ

世界の航空輸送の伸びは今後約 5%の年率で増加する見込みである。

この航空輸送需要を支えるのは、経

済性の高い亜音速旅客機による大量・低運賃輸送と、次世代 SST による高速・高利便性輸送であると考えられ、両者が補完しあいながら多様性のある航空輸送システムとして発展していくことが期待される。

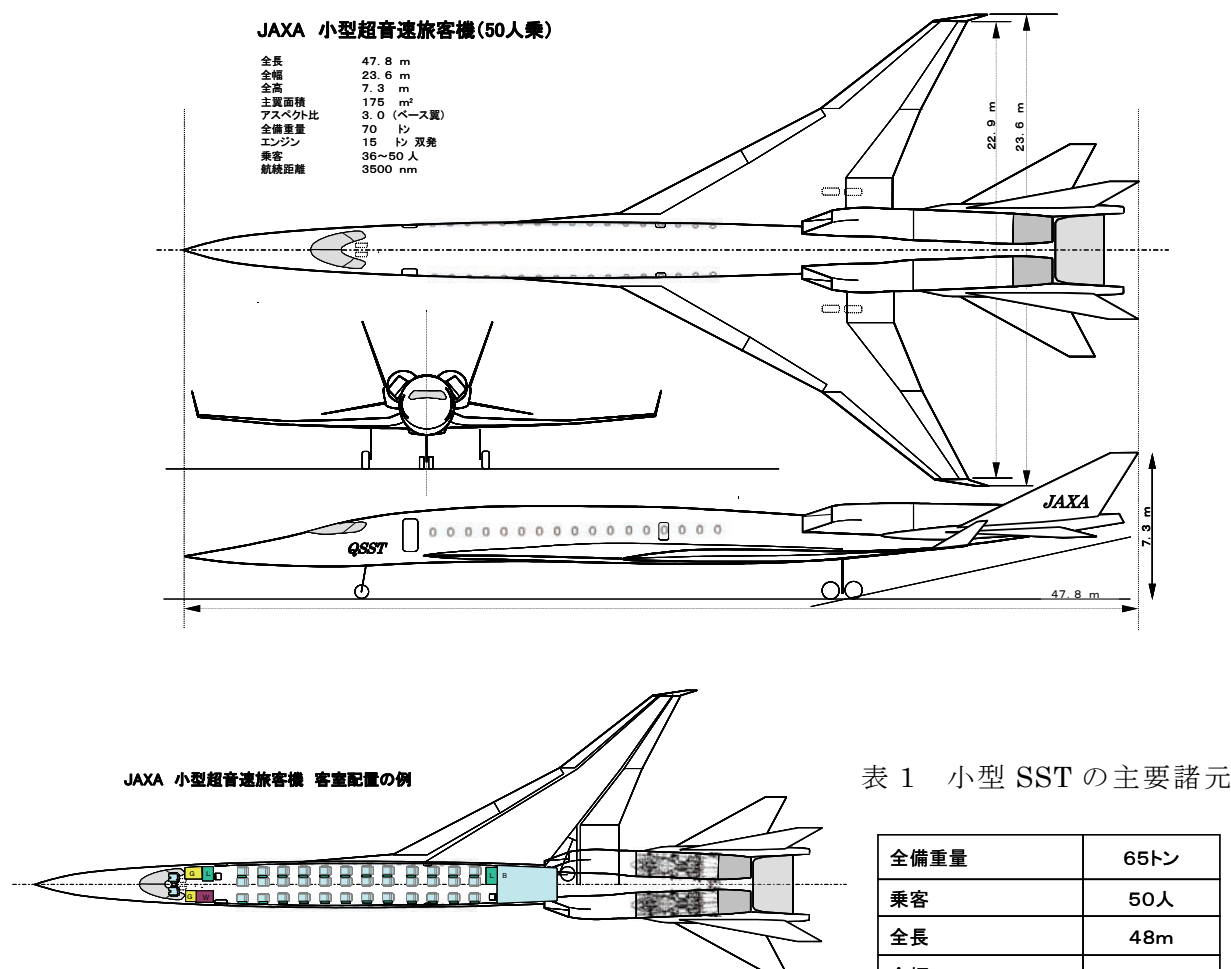


図 5.1.7 小型 SST の機体概念図

表 1 小型 SST の主要諸元

全備重量	65トン
乗客	50人
全長	48m
全幅	24m
巡航速度(マッハ)	1.6~2.0
航続距離	3500nm
離陸必要滑走路長	8000ft
着陸必要滑走路長	6500ft

参 考 資 料

- [1] 日本航空宇宙工業会：平成 13 年度次世代航空機等開発調査「超音速輸送機開発調査」成果報告書，平成 14 年 3 月
- [2] NASA 高速研究計画(HSRP)総括-NRC 報告書，2001.3
- [3] 堀之内茂：次世代超音速機の将来展望、日本流体力学会誌ながれ 25 巻 4 号（2006）
- [4] 堀之内茂：低ブーム SSBJ の概念設計について、JAXA-RR-05-045
- [5] 堀之内茂：推力偏向による超音速機の騒音低減効果について、第 45 回飛行機シンポジウム、2007.10 月

6. 人材育成と学術研究機関の役割変化

人材育成は大学、企業、研究機関、いずれの組織においても最も重要な活動の一つであり、その内容や方法は高度化や有効性のもとに常に変化し続ける。「人の成長はどんな機会にも存在する。」とよく言われるが、高度な研究を成し、企業目的を豊かに実現し、あるいは人の教育に十分な能力を発揮するためには、一定の知的教育と手法の体得、さらには人々やグループでの信頼を得る素養が必要である。特に航空技術の様に高度な知的集積分野ではその科学技術的能力の取得は不可欠である。そのためによく考察された人材の育成が必要とされる。

しかし、我が国ではこれまで、大学、大学院修了の人材が十分に実際の知識や、マネジメント能力を備えていないとの批判がある。研究機関における人材育成が計画的に体系的に行われていなかったとも指摘され、また一方企業においては、必要とする業務能力のみを有する人材を企業労働力として求め、その多くを OJT で確保するに留まって、より広い観点での育成を行っていないとの指摘もある。実際、我が国の技術系人材は、歴史と実績のある海外の諸国に比べ、その国際性、概念の提示力、大きな構想力に乏しいと言う評価があり、我が国の知的人材育成に大きな難問を投げかけられている。

我が国が航空の分野で世界と競合連携をしながら目指す発展を遂げるためには、人材の育成確保を抜きに考えることは出来ない。そこでここでは前報 [1] の大学における人材評価の変遷に続いて、大学が取り入れられた新たな評価制度を通して、学生教育と研究人材について考察するとともに、最近の企業の研究所による人材の考え方の変遷について紹介する。

6. 1. 人材育成に関する大学及び企業の状況

6. 1. 1. 大学の状況

国立大学の国立大学法人化(平成15年10月1日法律の施行、平成16年4月1日設置)に伴い、国公立大学は、教育研究、組織運営及び施設設備に関し7年以内ごとに認証評価機関による外部評価を受けることが義務付けられた。これは、学校教育法第69条の3第2項及び学校教育法施行令第40条に基づくものである。文部科学省は、評価機関として、国立大学の評価に対し大学評価学位授与機構、公立・私立大学に対し大学基準協会、ならびに日本高等教育評価機構を認証している。平成18年度以降、各認証機関による大学の外部評価が本格化している。

外部評価の概要を以下に述べる。受審大学は、認証機関が定めた評価基準項目について、目標を設定し、それらの目標に対する達成度を自己点検し、自己評価書、あるいは自己点検書を作成する。例えば、どのような人材を育成することを目標としているか、また、その目標が達成されているか否か、達成されていない場合、改善策の検討ならびに実施状況などを自己点検書に纏めることが求められている。認証機関から委嘱された評価委員は、評価基準項目毎に達成度を評価し、大学設置基準に適合する機関か否かを総合的に判定する。表1に2つの認証機関が設定した評価基準を示す。かなりの項目が重複し、実質的に大きな相違はない。特に目立つ点は、学士課程と大学院課程の教

育内容および方法、教育の質の向上および改善のためのシステム、学士課程と大学院課程のファカルティデベロップメント(FD)の活動に関する項目である。研究活動に対する評価はなされるものの、教育活動に対する評価の比重が非常に高いことがわかる。さらに、大学は、学部・学科の教育目標、ならびに目標に沿った教育内容と教育方法を社会に対して明示することが求められている。そこで、大学は、ホームページでシラバスを公開し、各教員がどのような科目と内容をどのような方法で教え、どのような基準で採点して、可否を判定しているかを公開している。このようにして、全教員の研究教育活動、ならびに一般教養科目を含むすべての科目のシラバスを外部から容易に検索することができ、大学教育の透明性を確保することにより教育改善につながると期待されている。ここ5年の間、大学は、学部教育の質の向上に向けた各種取り組みを余儀なくされている。

次に、大学院修士課程ならびに博士課程の状況について述べる。研究開発に従事する人材育成に関し、従来に比べ、大学院修士課程において、より体系的な人材育成プログラムに改めることが求められている。平成18年3月31日に改正され、4月1日に施行された新しい大学院設置基準の骨子を以下に記す。

- ① 人材養成の学則等への明示
- ② 授業及び研究指導の方法及び内容並びに一年間の授業及び研究指導の計画の明示
- ③ 教員の適切な役割分担と連携体制の確保（例えば、主指導と副指導教授体制）
- ④ 教育上の目的を達成するために必要な授業科目の開設、学位論文の作成等にかかわる研究指導の計画策定、体系的な教育課程の編成
- ⑤ 教育課程の編成の際、専攻分野に関する高度の専門的知識及び能力の修得並びに当該専攻分野に関連する分野の基礎的素養の涵養への配慮
- ⑥ 学修の成果及び学位論文に係る評価並びに修了の認定の際の成績評価基準の明示とその実施
- ⑦ 授業及び研究指導の内容及び方法の改善を図るための組織的な研修・研究(FD活動)

施行後、3年経過し、大学基準協会が毎年3月末に公表する大学評価結果報告書によれば、直ちに対応できる項目⑥と⑦は既に実施に移され、項目①と②については、学内の学務処理に時間を要し、さらに、教育方法や教員組織に関する項目③④⑤は、改善にかなりの時間を必要とする状況にあることがわかる。

表1 認証機関における評価基準

大学評価学位授与機構		大学基準協会			
基準		基準	大学学部	基準	大学院
1	大学の目的	1	大学学部の理念・目的及び学部の目的・教育目標	1	大学院研究科の使命及び目的・教育目標
2	教育研究組織	2	教育研究組織		
5	教育内容及び方法 学士課程、大学院課程	3	学士課程の教育内容・方法	2	修士課程・博士課程の 教育内容・方法
4	学生の受入れ	4	学生の受入れ	3	学生の受入れ
3	教員及び教育支援者	5	教員組織	4	教員組織
6	教育の成果				
		6	研究活動と研究環境	5	研究活動と研究環境
8	施設・設備	7	施設・設備	6	施設・設備
		8	図書館及び図書・電子媒体等		
		9	社会貢献	7	社会貢献
7	学生支援	10	学生生活への配慮	8	学生生活への配慮
11	管理運営	11	管理運営	9	管理運営
10	財務	12	財務		
		13	事務組織	10	事務組織
9	教育の質の向上及び改善 のためのシステム	14	自己点検・評価	11	自己点検・評価
		15	情報公開・説明責任	12	情報公開・説明責任

さらに、高等教育機関の教育改革に対する文部科学省の取り組みについて述べる。中央教育審議会の答申により、学士課程教育の確立や高等教育の質の向上が求められ、そして教育再生会議の第2次報告書では、世界トップレベルの教育水準を目指す大学院教育が提唱されている。これらの要望に基づいて平成20年度の文部科学省による国公立大学を通じた大学教育改革の支援(財政支援項目)を以下に示す。予算編成において人材育成の比重が高いことがわかる。

平成20年度予算額：680億円（平成19年度予算額：615億円）以下カッコ内は平成19年度の予算額を示す。

(1) 国公立大学を通じた大学教育改革の支援

(ア) 人材養成目的の明確化を踏まえた高等教育の質の向上

- ① 質の高い大学教育推進プログラム【新規】 → 各大学等のポリシーの明確化とPDCAサイクルの確立など組織的運用により教育の質向上に向けた様々な取組みを支援するとともに、広く社会に情報提供を実施

(イ) 社会的ニーズに対応する人材養成と大学の多様な機能の展開

- ① 社会人の学び直しニーズ対応教育推進プログラム予算額：20億円(18億円) → 各大学等における教育研究資源を活用し、社会人の学び直しニーズに対応した教育プログラムを展開

する優れた取組みを支援

- ② 新たな社会的ニーズに対応した学生支援プログラム 予定額:16 億円(予定額(16 億円) → 新たな社会的ニーズに対応した優れた学生支援の取組みを支援
- ③ 専門職大学院等における高度専門職業人養成教育推進プログラム 予定額:14 億円(13 億円)→ 教職大学院などの専門職大学院等における教育方法等の充実に資する取組みを支援
- (ウ) 大学の国際化と国家戦略としての留学生政策の推進
 - ① 大学教育の国際化加速プログラム 予定額:20 億円(18 億円) → 高等教育の国際競争力の強化及び国際的認知度の向上及び国際的に活躍できる優秀な人材の育成を図るため、大学等が行う教職員や学生の海外派遣の取組みや海外の大学との積極的な連携等を行う取組みのうち、特に優れた取組みを支援
- (2) 世界最高水準の卓越した教育研究拠点形成と大学院教育の抜本的強化
 - (エ) グローバル COE プログラム 予定額:340 億円(158 億円) 「21 世紀 COE プログラム」の成果を踏まえ、世界的に卓越した教育研究拠点の形成をより重点的に支援
 - (オ) 21 世紀 COE プログラム 予定額:39 億円(220 億円) (新規公募なし)
 - (カ) 大学院教育改革支援プログラム 予定額:51 億円(35 億円) → 社会の様々な分野で幅広く活躍する高度な人材養成のため、大学院における優れた組織的・体系的な教育の取組みを支援
- (3) 地域振興の核となる大学の構築
 - (キ) 戦略的大学連携支援事業【新規】 予定額:30 億円(新規) → 国公私の複数の大学による多様で特色ある大学間の戦略的な連携の取組みを支援
- (4) 大学・大学病院が連携した医師等の養成システムの推進
 - (ク) 大学病院連携型高度医療人養成推進事業【新規】 予定額:15 億円(新規)
 - (ケ) がんプロフェッショナル養成プラン 予定額:19 億円(14 億円)
 - (コ) 社会的ニーズに対応した質の高い医療人養成推進プログラム 予定額:9 億円(13 億円)
- (5) 産学連携による高度人材育成と教育プログラムの充実・強化
 - (サ) 産学連携による実践型人材育成事業 予定額:7 億円(5 億円) → 実践型人材の育成を目指し、大学等において、産学連携による新たな教育プログラムの開発を実施
 - (シ) 先導的 IT スペシャリスト育成推進プログラム 予定額:8 億円(8 億円) → 世界最高水準の IT 人材として求められる専門的スキルを有し、企業等において先導的役割を担う人材の育成拠点形成を支援(新規公募なし)

グローバル COE プログラムに見られる世界的な研究拠点の形成に対しては予算額の面でかなりの期待が寄せられている。第 1 期の 21 世紀 COE ならびに第 2 期に入るグローバル COE プログラムでは複数の研究チームが連携することにより、世界的な教育研究拠点の形成を目指すことになる。

従来の大学の研究室においては、教授と大学院生の師弟関係に基づいた縦型の教育がなされていた。しかし、予算規模の大きいプログラムでは、複数の研究室あるいは研究グループの連携が不可欠となり、若手研究者の教育は複数の研究指導者によりなされる。このように従来にない予算措置が講じられ、研究の高度化と有為な人材の育成を制度化する色々な試みが全国の大学で実施されている。

従来の大学の研究室における人材育成の方式は、先生と学生との師弟関係に基づいた縦型教育が基本であった。このような縦型教育では、教育の質、人材育成の成果は、教授個人の能力に依存し、大学という組織の枠で見ると、必ずしも系統的なシステムとなっていない。学生は、系統的な教育システムの中で教育を受けることが望ましいという考え方に変わりつつある。

6.1.2. 企業の人材育成の新たな形態

企業における人材育成について、特に、中央研究所の役割の変化を中心に述べる。

従来、企業における人材育成は OJT に代表される縦型教育であったが、これに代わって、企業の研究開発を担う研究所における人材育成に新たな動きが見られる。ここ数年の間に開設あるいは統合された研究所の例を示す¹。

(1) 2006 年 4 月 富士フィルムホールディング

「異分野の知を融合し、独創的な技術による新規事業の創出」を目指し、異分野の研究者たちを 1 つの建物に集め、コラボレーションを推進し、研究者同士の交流を増大させる。

異なる分野の境界領域となる研究テーマを手がける「フィージビリティチーム」や「プロジェクトチーム」を設置し、異分野の研究者に同じ目標を持たせることで、話す“言語”を一致させ、技術融合のポテンシャルを引き出す狙いがある。

(2) 2006 年 4 月 セイコーエプソンイノベーションセンター

情報機器事業本部の研究開発部門、本社の研究開発部門、開発支援部門、知的財産部門など約 1000 人の社員をイノベーションセンターに集約し、「コラボレーションにつなげるために、考えられることはすべてやる」

(3) 2006 年 5 月 ロートリサーチビレッジ京都

長年培ってきた評価・分析技術や製剤技術をバックボーンとして、さらに次世代型の研究開発を推進すべく、ベンチャー企業や国内外研究者との共同研究／若手研究者を中心とした組織横断的な基礎研究などにより、多様な知識や手法を融合させ、一歩先の顧客満足の創出を推進。

(4) 2006 年 5 月 日産先進技術開発センター(NATC)

系列企業より「もの」提供から、知恵の提供に変えることが狙いである。

(5) 2007 年 10 月 住友 3M コーポレートリサーチラボラトリ(CRL)

「研究室にこもるだけで収益に結びつく技術、製品は生みだせない」顧客を呼び込んで自社技術を包み隠さず見せて研究開発に顧客の要望を反映させるために設置。

¹ 日経ビジネス、2006 年 12 月 11 日号、2007 年 6 月 7 日号ほか

(6) 日立中央研究所

「新しい技術をお客様と一緒に育てていく“協創”を研究開発のキーワードに掲げ、顧客企業と協力することで、新技術は商品として進化する」。「研究者にとって一番つらいのは、どこに技術の出口があるのか見えないことだ。顧客の視点から、何が必要なのかを指摘してもらってこそ花開く技術がある」(福永所長談)。

以上の例に見られるように企業の中央研究所の役割が変化し、ここ数年の動向を見ると、横断的な人材の集約化を通して、新たな研究開発形態を模索しようとしている。新規事業の基盤を創出することが狙いであり、併せて、研究者同士の知識の共有と融合によるイノベーションの創出を目指しているように見える。研究者相互の研修と言う機能を持たせ、横型教育による人材育成の新たな方式であり、ある種の教育モデルの構築と考えられる。なお、横型教育による人材配置では、中心なり軸となる開発コンセプトが明確でないと、単なる寄り合い所帯となる危険性を抱えることになる。

この他、企業における人材育成で無視できないのが、最近の就職状況である。厚生労働省による新規学校卒業就職者の就職離職状況調査によると、大卒入社 3 年以内で転職する割合は 2000 年 35.6%に達し、1992 年の 23%と比較すると、1.5 倍に達し、大幅な増加傾向にあることがわかる。このように若手人材の目的や志向が多様化している現状では、企業は、新たな人材育成モデルを模索あるいは構築する必要性を感じている。

6.1.3. 学会における人材育成(日本機械学会)反映

学会における人材育成の取組みについて触れると、(社)日本機械学会能力開発促進機構より平成 20 年 6 月に発表された大学院教育に関する提言「修士論文の位置づけと達成度評価」を以下に示す。

科学技術立国を目指す我が国にとって技術革新をリードしていく人材の確保は国家的な重要課題であり、その主たる供給元となる工学系大学院の重要性は今後益々増大する。産業構造および技術開発における国際化の進展と多様性の要求の中で大学院は変革が求められており、産官学による議論が行われている。

日本機械学会でも 2004 年度に大学院教育懇談会を設置し、大学院教育のあり方について独自の議論を行ってきた。その活動の一環としてアンケートを実施し、大学院教育に対する産業界と大学の意識を明らかにした。そして、2005 年度年次大会ワークショップでの議論を通し、「コースワークの強化と体系的な履修」「産学間連携教育の強化」などの必要性を提言した。

これらの提言の背景認識や問題意識は、中央教育審議会の答申や文部科学省の要綱におけるそれらとも大筋一致し、大学院教育改革はこの方向に歩み始めている。しかし、大学院教育懇談会では、改革に向けた具体的施策を実行していく上で、その足掛かりとして、現在の大学院教育の中心をな

論文研究、特に修士課程における論文研究のあり方を議論することが重要であることを提言し、2007年度年次大会ワークショップにおいて教育という視点からの修士論文研究の位置付けを明確にすることの必要性を確認した。

以上のように、産官学間の議論によれば、大学院教育におけるコースワークの強化と体系的な履修、ならびに修士課程における修士論文研究の位置付けを明確にすることが提唱され、大学院教育は従来と方向転換することが期待されていると結論付けている。

6.1.4. おわりに

日本の殆どの大学・研究所の研究組織では、プロジェクト研究や基盤研究が主な方式であり、人材育成の観点からみると、室単位の縦型教育の色彩が強い。このような状況にあつて、JAXAの人材育成に関しては、異なる部署や外部との交流を通して、横型教育が実施できるのか。異なる部署間、あるいは異なる機関との研究連携組織を運営することが可能か。早稲田大学や東京大学航空学科との包括協定による連携を目指す際、JAXAが目指す目標を大学院教育の中に体系的に取り入れ、学生に伝える(教育する)ことが可能か、また、JAXAの研究者のリカレント教育を大学院教育の中に位置づけられるかが、今後の検討課題である。

大学および企業における人材育成の取組みについて述べた。社会がグローバル化し、絶えず世界を意識した研究開発が求められる中で、人材育成の新たな枠組みを早急に取組むことが不可欠であり、大学、企業での模索が始まろうとしている。独立行政法人化したJAXA航空研究本部においても人材育成が喫緊の重要課題であり、横型教育と縦型教育を統合したタペストリ教育システムの構築を目指した取組みが期待される。

6.2 企業文化と哲学について (MOOG社の場合の紹介と考察)

JAXA (独法) であっても、その組織に課せられた目標を達成し、目的を実現するためには、的確な組織運営によって構成メンバーが生き生きと能力を発揮し、生み出した高い成果を共有することが必要である。民間企業では、多くの企業が社是や会社理念などでそのような組織目的や、哲学を社員に理解させるための考えや、規範を表現している。企業目標を効果的に達成するだけでなく、一つの有機的で構成員の人生の重要な部分を形成する社会として会社や機構を意味のあるものにするためには、このような表現は必要である。また、意図的な組織理念の表現だけでなく、企業や研究所の歴史の蓄積によって構成員 (社員、研究者) が遺伝子の様に共有するに至った有用な伝統が組織文化として定着することもある。これらは、人材の育成とも密接に関係する。即ち、人材育成のための概念や哲学の基本の一つとなるものである。しかし、これを単なる社是やスローガンではなく、その企業が持つ文化として、あるいは社員が共有する価値観として、社長が提示し、常にそれを磨いている例は、多くはない。そこで、より充実した成果と、構成員の意識の向上、さらには構成員にとって価値のある社会としてその組織が機能するために努力している外資系企業の例を紹介し、組織企業文化について考えてみたい。

MOOG 社という米国を本拠地として、日本ムーグ社を含む世界 33 カ国に展開する航空宇宙部品製造業では企業文化という小冊子を社員に配っている。ムーグ社は、航空宇宙用の弁、計測器、衛星スラスタなどを生産し、世界全体で年商 1.9 億ドル従業員 8,800 人の国際企業であり (2008 年)、米国ワシントン DC 近くに創業者 Moog が開設した総本社がある。この会社では、組織理念や行動規範を分かり易い言葉で記述し、周知することに強く意識している。創業者が持っていた考えや価値観をもとに、永年の会社の成功の蓄積、人材育成や企業活動の根本を形成するに至った「企業文化」と名づけ、ことある毎に提示している。

MOOG 社の文化と哲学

次が、社員に配っている Moog 社のパンフにうたっている「企業文化」に書かれている文言である。

私たちの価値観を列記すると下記ようになります。

社員がお互いに信頼しあうことが絶対に必要です

能力は王様です

私たちは更なる努力をし続けます

私たちは全員一致団結して、与えられた仕事に取り組みます

それは私がやりますよ

解決策を見つけ出すのであって、責任転嫁するものではありません

コミュニケーションは絶対不可欠です

形式張ったことは役に立ちません

私たちは変化に適応できなければならないし、変化に対応していつでも変われるようであればなりません

仕事への取り組み姿勢は報われなければなりません
仕事は楽しめる経験でなければなりません
あなたの私生活は重要です

私たちが目指していることは次の通りです

業界で最も優れており、お客様に賞賛され、同業他社がうらやむような製品を作ります。
私たちの製品は最新の技術を活用し、それを有効に使ったものにします。
お客様がテストする必要がなく、テストしようとも思わない製品を提供します。
私たちとしてできる納期をお客様に提示して、約束通りに納品します。
お客様の仕事に本当に役に立つサポートとサービスをお客様に提供します。
財政的安定を維持し、成長をサポートし、新しい技術を確かなものにし、株主に魅力ある利益還元ができるようにするために、利益を追求します。
教育、環境、文化のいろいろな活動において、私たちの様々なコミュニティを支援する責任ある企業市民となります。
ムーグの全ての社員に、ムーグの価値観を反映した、厳しくもやりがいがあり報われる仕事を経験してもらいます。

以上が私たちの目標です。いつも全てを達成できるとは限りませんが、これが私たちの大いなる希望です。私たちは、ムーグがグローバル企業として名実ともに成功するために、目標をはっきり視野に入れ、適材適所と、正しい取り組み姿勢で実行していきます。

このMoog社のパンフには、冒頭に社長からのメッセージが書かれ、内部にはそれぞれの文化表現、哲学表現についての解説が書かれている。例えば、社長からは、

「他に例を見ない当社独特の企業文化こそ、私たちの唯一無二の最も重要な財産であると考えています。・・・(中略)・・・第一には、・・・ひとまとめの価値観・・・、第二には、・・・ひとまとめの規則であります。(下線著者)」

と述べて会社精神を明確に提示している。

この社長前文のもとに企業文化として、「信頼」「能力」「努力」と言った価値観を与え、「一致団結」「率先」「責任」「コミュニケーション」「目的指向の柔軟性」「変化」とする行動尊重を示し、「努力評価」「楽しむ姿勢」「私生活優先」と述べていく。これらは何れも、販売実績を上げるとか、特許を出すとか、あるいは、受注実績や利益と言った言葉からは無縁である。これらは、プロジェクトチームにも、学校教師にも、また、ボランティア団体でも通用する言葉でもある。チームには信頼、目的を達成するための能力と努力、一致団結、責任等々、いずれも集団で何かをやり遂げるための基本原則に近いものである。また、社長の言う「ひとまとめの規則」が重要かも知れない。即ちこれらの中に規則遵守などと言う言葉は出てこないからである。かえって、形式に縛られずに変化に順応して目的を達成しようという姿勢を重視している。

ここでは特定企業の文化の中身やその成果について深く詮索するものではない。重要なことは、JAXAでも、企業でも、目的を持ち、目的から演繹される目標を自ら、あるいは管理組織の監督の下で定義し、その達成に向けて努力するという組織に於いては、そこに働く人々の目的意識を充実させ、目標を明確に分与し、成果を適切に評価して、これらの実現に向けて組

組織行動を起こすことが、組織の活動である。そのための、行動規範や価値観、喜びや連帯感を共有し、醸成することがどうしても必要欠くべからざる事である。これをどう実現するかという解の一つに、成功企業の「企業文化」という概念があると考えてここに紹介した。

われわれ「航空基盤懇談会」のメンバーは、企業経験者、研究所経験者、組織管理経験者、それらの現役などから成り、「我が国の航空機産業と技術の発展、拡充に必要な、基盤のありようを、主に公的機関である JAXA 航空基盤領域から考察し、研究し、提言する。」という任務を自らに課して活動を行っている。この目的は、近年の我が国航空機産業の発展指向、即ち、MRJ の自主開発、エコエンジンの研究開発などによって明らかになりつつある、拡大すべき航空機産業の我が国における役割への期待を受けて、ますます研究の幅と深さを持つ必要性に迫られて来ている。そのため、企業文化などの考察にも手がけてみることとなったものである。

おわりに

航空基盤懇談会としてその報告第2号をようやく完成させた。第1号を平成18年度に出して以来、3年ほど掛かったことになる。この間に航空機・エンジン技術の分野には大きな変革があった。その代表的なものは、平成19年の三菱重工業によるMRJ開発開始であり、我が国における航空機産業への期待の高まりであり、そしてさらに、平成20年のリーマンショックに始まる世界的大不況の襲来である。航空機の将来マーケット予測も大きく変化した。より強い地球環境保全への議論によって、CO2削減の要求も以前にも倍して強化されている。またこの間、中国の航空機分野における台頭も顕著になった。ARJ開発の進捗や2020年以降を目指した航空機・エンジン産業の育成など、国の旺盛な経済成長に乗った強気の政策や計画が打ち出され、この分野の新しい潮流ともなろうとしている。このように、我が国の航空機技術と産業を取り巻く環境は極めてダイナミックな変化に富み、非常な勢いで複雑化している。

防衛と国際分業の一端の分担によって成長してきた我が国の航空機産業は、現在に至って、アジア域の産業と経済の発展を背景として、まずは産業構造の変革が求められ、次に来るべき大型の航空輸送需要拡大への対応という新たな環境に強く影響を受けて、大きな曲がり角に来ており、目標と方策の転換が迫られている。そこで、そのための施策における技術分野で最も大きな存在であるJAXAの有り様を中心に、この報告書ではいくつかの研究結果と、将来に向けた提案をまとめた。研究には将来市場や技術動向、超音速機技術あるいは人材育成などについて掘り下げている。また、提案には、航空機技術と産業の将来について、施策的な変革時期にあることを指摘し、基盤整備や研究開発のありようなどに触れ、さらには、エンジンプロジェクトの様に大きな将来を作り出そうとする意欲的な提案も提示した。本報告に述べたいいくつかの事柄によって関係者の積極的な議論を起こし、今後の大きな未来創成につなげたいと希求するものである。

ここに、この研究ならびに検討にご協力頂いたJAXA担当者、行政ならびに民間企業の関係者の方々に厚く御礼申し上げますと共に、今後の議論が活発化することを関係諸方にお願いし、少しでも趣旨の実現に向けて進むことを切に祈る次第である。

本研究は継続しており、今後も関係者との議論、内外の情勢把握、幅広い技術動向調査、多角的な研究などをメンバーの精励によって進め、より充実した内容の報告を行って行きたいと考えている。

(補遺) 見学記録

A(1) 日本航空安全啓発センター見学記

2007年6月21日に航空基盤技術懇談会メンバーで日本航空安全啓発センターを見学したのでここにまとめる。

この施設は日本航空の社外有識者からなる諮問機関「安全アドバイサリーグループ」の提言に基づき、1985年8月におきたB747の悲惨な事故の教訓を風化させないために、日本航空グループ社員の安全教育及び安全意識の確立を主な目的として、2006年4月に開設されました。一般にも公開して広く社会の航空安全に役立てようとするもので、日本航空社内では同時に発足した「安全中枢組織」である安全推進本部に所属して、安全啓発センター長をはじめとする3名のスタッフが案内業務を含む運営・維持管理に当たっています。

この事故は二十数年前に発生したもので、非常に衝撃的だったので未だに記憶に新しい方も多いでしょうが、1987年6月に発表された事故調査報告書によると事故の概要は次のようです。日本航空所属の登録番号JA8119ボーイング式747SR-100型は1985年8月12日、同社定期123便として羽田から伊丹に向けて飛行中、伊豆半島南部の東岸上空に差し掛かる直前の18時25分ごろ異常事態が発生し、約30分迷走した後18時56分ごろ、群馬県御巢鷹山中に墜落、大破炎上した。乗客509名(幼児12名を含む)及び乗員15名、計524名が搭乗しており、520名が犠牲となった。重傷を負った乗客4名が険しい山中に飛散した残骸の中から奇跡的に救助された。

また同報告書には事故原因を次のように記しています。本事故は、事故機の後部圧力隔壁が損壊し、引き続いて尾部胴体・垂直尾翼・操縦系統の損壊が生じ、飛行性の低下と主操縦機能の損失をきたしたために生じたものと推定される。飛行中に後部圧力隔壁が損壊したのは、同隔壁ウエブ接続部で進展していた亀裂疲労によって同隔壁の強度が低下し、飛行中の客室与圧に耐えられなくなったことによるものと推定される。亀裂疲労の発生、進展は1978年に過激な着陸による尾部接地で損傷した同隔壁の不適切な修理に起因しており、それが同隔壁の損壊に至るまでに進展したことは同亀裂が後の点検整備で発見されなかったことも関与しているものと推定される。

前出の「安全アドバイサリーグループ」の「実物は重要な教科書」との提言で安全啓発センターの123便事故残存部品展示室には、事故の直接原因とされる最初に損壊した後部圧力隔壁(第1図)や引き続き損壊した後部胴体(第2図)及び垂直尾翼(第3図)などの残存機体部分、また事故原因解明に重要なデータを記録していたコックピットボイスレコーダーやデジタルフライトレコーダー、さらには当時のマスコミ報道や事故現場の写真などが展示されている。また隣接する航空機事故資料室には、これまでに日本航空が起こした事故や世界の主な航空機事故の資料が展示されています。事故の原因や対策についても説明を加え、航空機の安全性向上の歴史について学べるようになっています。



第1図 後部圧力隔壁 (2分割)



第2図 後部胴体



第3図 破壊された垂直尾翼の一部

展示室には、激しく揺れながら迷走する機内で乗客たちが認めた遺書などもあり、航空事故の悲惨と安全運航の重要性を再認識させられます。ここでは当然、安全運航の立場からの展示になっていますが、航空機の研究・開発や生産する我々の立場での教訓を見出すことも可能です。直接の原因は先の報告書にあるように、後部圧力隔壁の誤った修理に起因する構造の亀裂疲労破壊です。問題の修理ミスは過激な着陸で損傷した後部耐圧隔壁の下半分を新造した部品で交換し、上半分と結合した部分で発生しました。修理作業をしたのは機体メーカーが派遣したチームですから、運航会社としては修理領収検査でなぜ修理ミスを発見できなかったのか、またその後の整備点検でミスに起因する亀裂の進展をなぜ発見できなかったのかが教訓になります。

その説明のため、修理法で指示された（正しい）結合法と実際の（誤った）結合法の断面模型が準備されていて、見学者が手で触れて直接比較できるようになっています。3 列のリベットを跨ぐべきスプライス・プレート（結合用当て板）が実際には 2 列分の幅しか有効でなく、あとは単なる充填材の役目をしているだけでした。組み立ててしまうと両者の境界はフィレット・シールに隠れて目視できなくなるので、修理ミスも亀裂の進展も発見できなかったのです。

スプライス・プレートは新造した隔壁下半分の寸法がもう少し大きければ、元来不要なものでした。上半分と結合するのにエッジ・ディスタンス（リベット孔から部材端までの距離）が不足したため必要になったのです。不足した理由は後部胴体の変形の影響などと推定されていますが、仮に若干のトリム代（寸法調整用の余裕）があれば、他の場所と同じ正規の結合組立ができたはずです。圧力隔壁は直径が 4,560mm という大きな組立品で、これに対するエッジ・ディスタンスは僅か 5～6mm といった程度です。

航空機を製造する立場からはここに一つの教訓があるように思えました。一般に板金部品の精度は余り高くないので、組立てるときしばしば現場合わせで調整が必要となるため、トリム代を残しておくのが習慣でした。しかしこの方法は職人的な人手がかかるだけでなく、機体としての寸法精度にも影響するので、最近では板金部品でも単体および組立品での精度向上が進められ、トリム代などを残さずにピタリと組立てる方向になりました。ところが新造機でなく事故機のように運航中の損傷を修理するような場合には、僅かながら変形している大きな本体に修理用の正規部品がピタリとは取り付かなかったようです。

最近の航空機は A380 や B787 の写真を見ると分かるように、大型化や軽量化のため機体の変形が著しく大きくなりつつあります。そのため変形量を正しく見積もったり、計測したりすることが大変重要で、飛行中、地上駐機中、ジャッキアップした時、組立治具上 などの機体変形は構造設計者や生産技術者ならずとも気になることです。これからはこのような機体変形の取扱い方の重要性が増して行くと思われます。

事故は一つの原因だけでは起こらずに、そこに至る不幸な連鎖によって起きると言われています。複雑かつ高度化された現代のシステムにおいて、その不幸な連鎖を断ち切るのはそれぞれの立場の人が誠実に各自の職務を遂行する以外にありません。特に航空安全は過去の事例からの教訓の積み重ねで築かれてきました。それぞれの立場、それぞれの視点から過去の事例を考え直してみる、これが「安全啓発センター」のような施設の役割の一つだとも思います。JAXA 航空部門、特に航空機システムを研究開発の対象とされる航空プログラムグループの諸兄で未だの方は、是非一度このセンターを訪問されて、自らの視点で教訓を見つけ出して、航空安全の推進に貢献されることを勧めます。

最後にこの事故で得た教訓を見事に生かした例を紹介します。1989 年 7 月 19 日、アイオワ州上空 37,000ft を飛行中の DC-10-10 の胴体後部の中央エンジンが爆発し、3 重の油圧操縦系統の総てを失いました。非番で偶然乗り合わせた操縦士が 4 年前の日本航空の事故を研究し、エンジン推力だけでの操縦法をシミュレータで経験していました。彼が事故機のスロットルを握り、機長と協力して同州スウシティ空港の滑走路端に着地させることに成功しました。右翼端を接地した機体は滑走路を横滑りして横転、大破し、乗員と乗客 296 名のうち 111 名が亡くなりましたが、185 名の命が救われました。

（報告者；、水野 洋）

A(2) 見学報告：三菱重工業名古屋航空宇宙システム製作所

航空基盤懇談会 MHI 大江工場 787 主翼センター、MRJ モックアップ見学会

(訪問日時) 2007 年 9 月 20 日 (木) 14:00—17:00

(訪問場所) 三菱重工業名古屋航空宇宙システム製作所大江工場

(訪問者) 柴田 真、水野 洋、本阿彌眞治、石澤和彦、平岡康一、岩宮敏幸、
是永美樹

(MHI 側対応者) 梶浦技師長、巽部長、河村次長、阿部主席部員

訪問目的

ボーイング787主翼組立工場とMRJのモックアップを見学し、意見交換を行う。

概要説明

三菱重工の会社概要説明を受けた。

- ・ 受注高 29,420 億円、売上高 27,921 億円 (連結ベース)
- ・ 航空宇宙部門 受注高 4,500 億円、防衛 62%、民間 34%、宇宙 4%、名航 59%、名誘 34%、長崎 5%

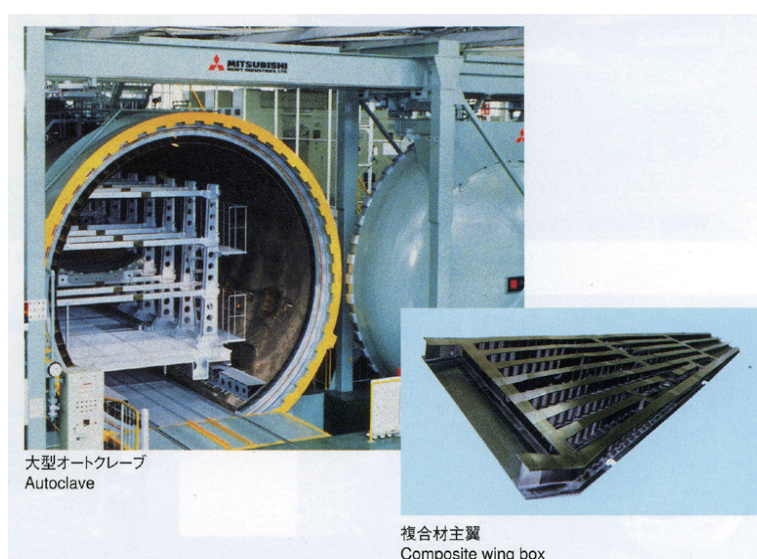
B787 の概要説明

- ・ Point to Point の需要に応える機体。
- ・ 50%複合材、燃費 20%、運航コスト 10%減、居住性の向上。
- ・ 日本のシェア 35%、MHI は主翼ボックスを担当 (長さ 30m、幅 6m)。
- ・ 主翼製造工程の説明。

MRJ の概要説明を受けた。

- ・ 次世代リージョナルジェットのスランダーを目指す。
- ・ 2012 年からの 12 年間で想定される需要 3,700 機の 1/3 を獲得することが目標。

見学



大型オートクレーブ & 787 主翼



世界最大のオートクレーブ

MRJ モックアップ 787 主翼



MRJ モックアップ



MRJ 概念図

質疑応答

➤ 787 主翼

- ・ コストを下げるにはオートクレーブなどの自動化が必要ではないか→オートクレーブをもう 1 機入れて自動化も考えている。
- ・ 織密度—日本は高い
- ・ 複合材—自動車産業にも適用（経産省は次は自動車を考える）
軽量化
- ・ エネルギー問題—航空機と車のバランス、ヨーロッパでは規制を厳しくし、エアバスが対応している。

➤ **MRJ モックアップ**

- ・エアバスはヨーロッパの大学にかなりお金をつぎ込んでいる。
- ・ヨーロッパは産官学の連携が進んでいる（大学は民間企業と同様のテーマに取り組んでいる）。
- ・アメリカはミリタリーにお金をつぎ込んでいて、民への国の投資は少ない。
- ・MHI も MRJ で産官学連携ができると思う。一どこまで追いつけるかが課題だ。
- ・風洞、CFD について一実機を飛ばした時にどの程度合うか、JAXA の協力が必要。
- ・空力分野でかなり良いデータを持っている（NEXST-1 でも）。MRJ では空力での心配はしていない。
- ・風洞、CFD に飛行データが欲しい（JAXA 側）。自由に使える（データの蓄積）。シリーズ化する時に活かせる→カスタマに対してアピールできる。
- ・最終章の試験は JAXA と共に考えている。
- ・人材交流、データの共有が重要と考える。
- ・ブラックボックスにするつもりは無いので共同でやりたい。
- ・JAXA の人間は研究者だから、やれば発表したい、しかし制限がかかっていて発表が出来ない、何とかならないか。→中国や韓国を意識しセキュリティ上やむをえない。仕事の形態を変えるしかない。

➤ **感 想**

- ・MRJ にも複合材主翼の適用を検討中。しかしコスト面から困難さがある。1 機 24 億が 40 億円位に膨らむのではないかと観測。
- ・787 についてはまだ複合材の特性を活かしきっていない、複合材を従来の合金と同じ形で造ったに過ぎないと思える。より深い特性を活かした研究開発によって軽量化ならびにコストダウンが実現するのではないかと考えた。