

JAXA航空プロジェクトの教訓

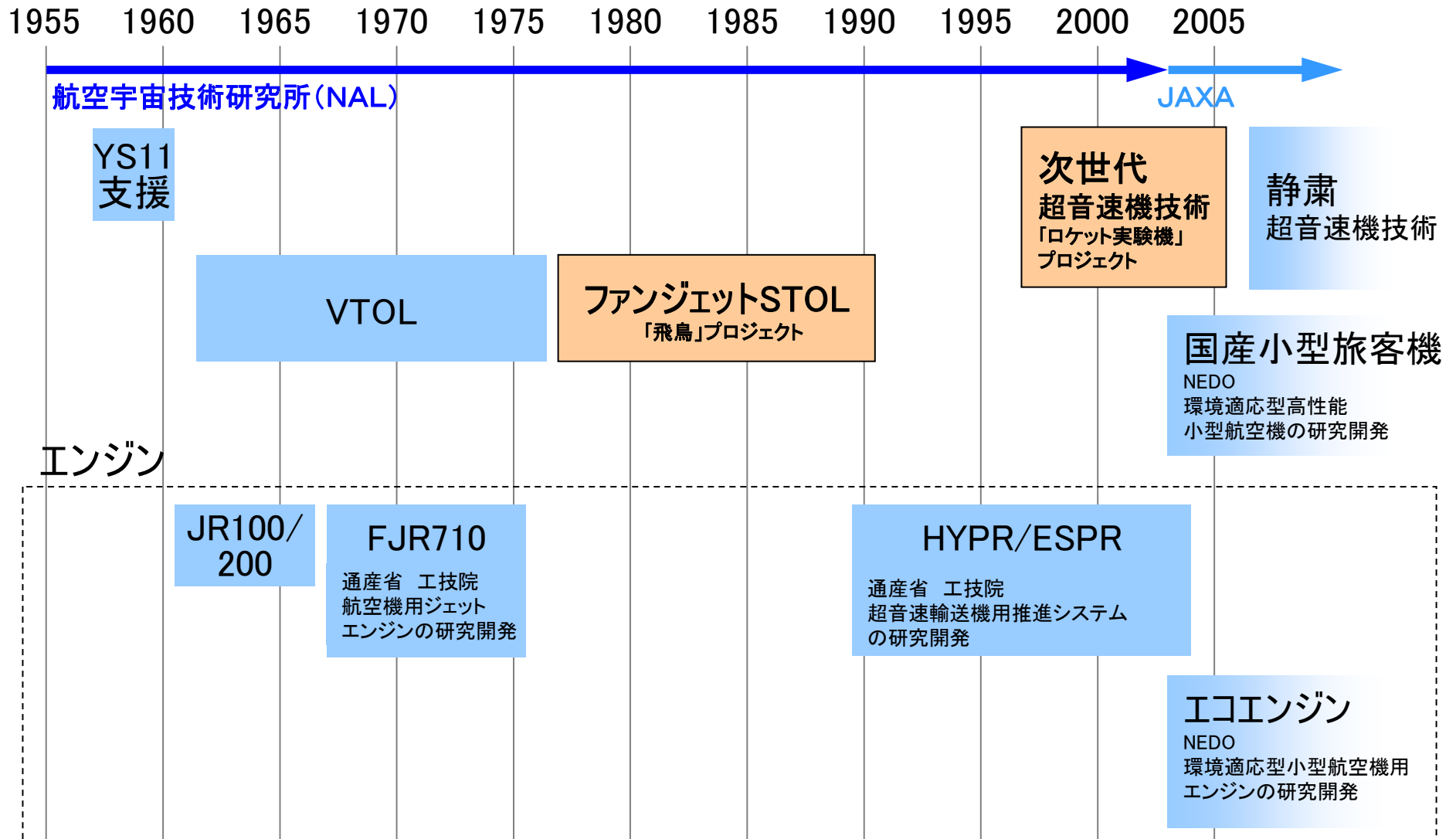
科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会 航空科学技術委員会
第3回 静粛超音速機技術の研究開発 推進作業部会

平成19年4月19日
宇宙航空研究開発機構

内容

1. JAXAにおける航空プロジェクト
2. ファンジェットSTOL実験機「飛鳥」プロジェクト
 - 2-1. プロジェクト立ち上げの背景
 - 2-2. プロジェクト概要
 - 2-3. プロジェクトの結果
 - 2-4. 得られた教訓
3. 次世代超音速機技術「ロケット実験機」プロジェクト
 - 3-1. 第1回飛行実験の概要
 - 3-2. 施した対策について
 - 3-3. 信頼性の確保について
 - 3-4. 得られた教訓

1. JAXAにおける航空プロジェクト



2. 「飛鳥」プロジェクト

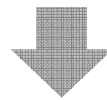


2-1. 飛鳥プロジェクト立ち上げの背景

■ 社会情勢～STOL機のニーズ

1960～70年代の社会情勢

- ①年々増加する航空輸送需要に対して、滑走路の短い地方空港では大型通常離着陸機の離発着ができず、輸送量が不足
- ②空港周辺の騒音問題により地方空港の拡張・新設が困難に



STOL(短距離離着陸)機への期待

建議(1975年、航空技術審議会)

我が国に適したSTOL輸送システムの具体的推進方策について

- ・・・このような実情を勘案すると、高速性を著しく損うことなく離着陸速度を低下させ、離着陸距離を短縮するとともに、騒音影響域を大巾に減少しうる輸送システム、すなわちSTOL輸送システムの技術を早急に確立することが必要とされる。

2-1. 飛鳥プロジェクト立ち上げの背景

■ 海外におけるSTOL機の開発動向

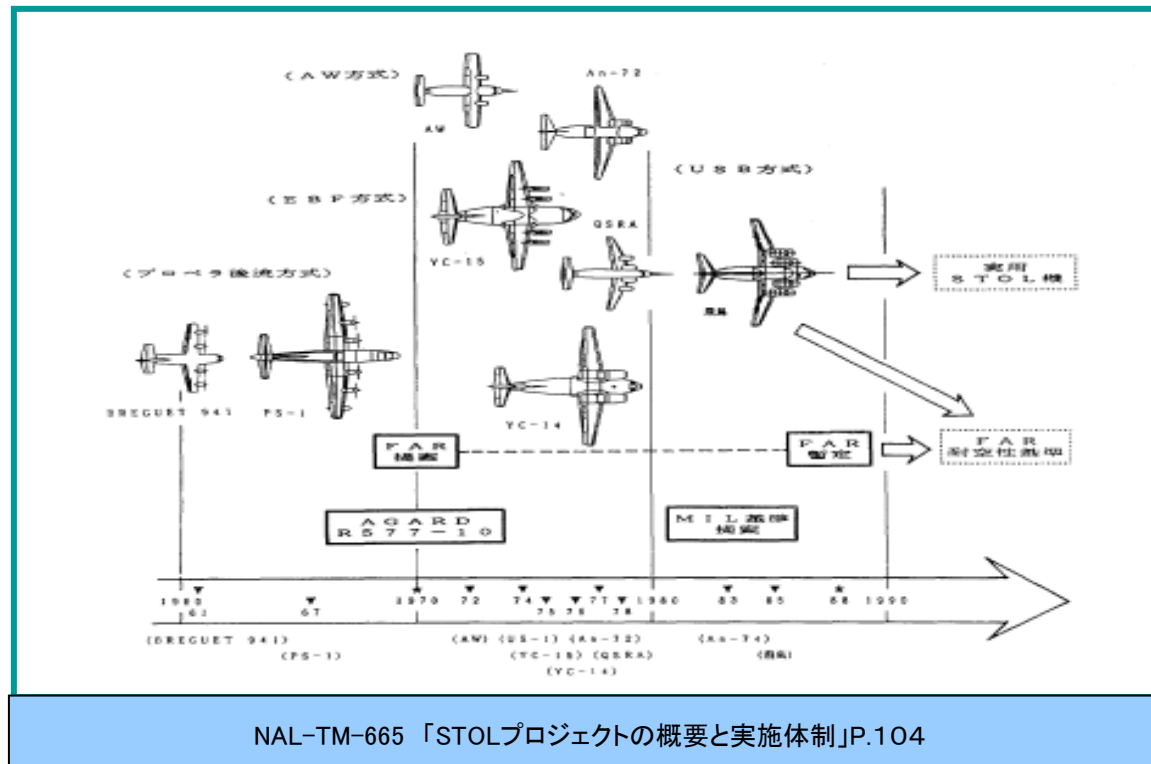
ターボプロップエンジンを用いたSTOL機

民間機：ブレゲー941(仏)、DHC-7(加)など（DHC-7は実用段階）

軍用機：PS-1哨戒飛行艇など

ファンジェットエンジンを用いたSTOL機

軍用機：YC-14及び-15(米)



NAL-TM-665 「STOLプロジェクトの概要と実施体制」P.104

2-1. 飛鳥プロジェクト立ち上げの背景

■ 国内におけるSTOL研究への取組み

・NALにおけるS/VTOL関連技術の研究

1962. 2. 10 V/STOL委員会設立

1970. 8. 24 単発STOL実験機(FA-200XS)離着陸試験(@福井空港)

1973. 5. 15 国産ジェットエンジン(FJR710-10)試作1号機完成

1975. 9. 1 STOL機体技術研究委員会発足

1977. 6. 7 STOLプロジェクト推進本部発足

・メーカーにおける研究経緯

STOL性能の技術的検討は行っていたが、実質的には1977年の飛鳥プロジェクト立上以降に作業を開始した。

VTOL技術の開発 1962～1977

(於:航空宇宙技術研究所 角田支所)



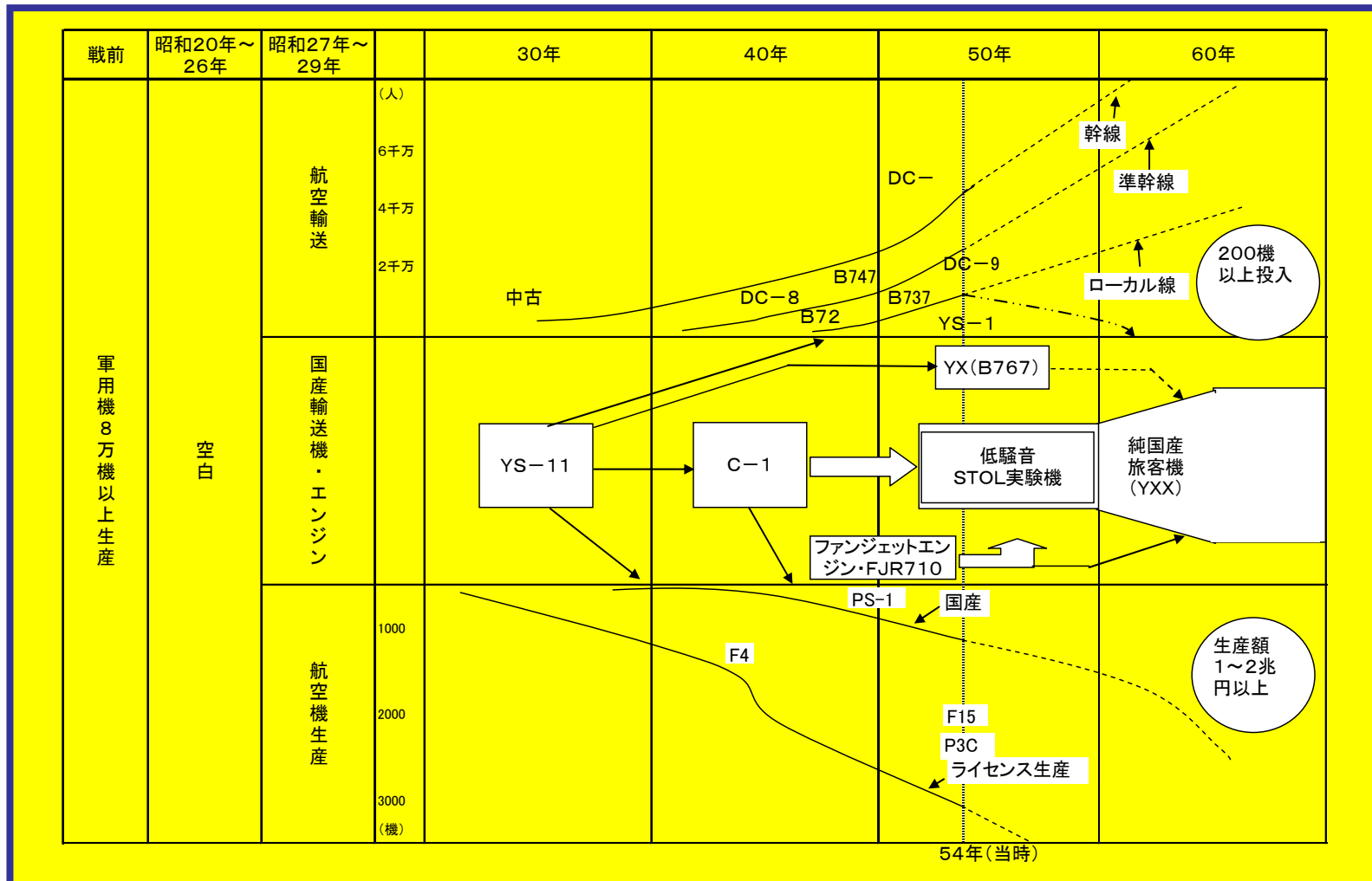
エンジンの開発 1967～1975

(経済産業省FJRプロジェクト)



2-1. 飛鳥プロジェクト立ち上げの背景

■ 国産STOL旅客機の開発にむけたロードマップ



2-2. 飛鳥プロジェクト

■ 目標

- ①ファンジェットSTOL機の実用化技術を確立すること
- ②コンピュータ飛行制御技術や新しい複合材利用技術など、航空機開発へ広く適用可能な新技術を実証すること



■ 実験機「飛鳥」

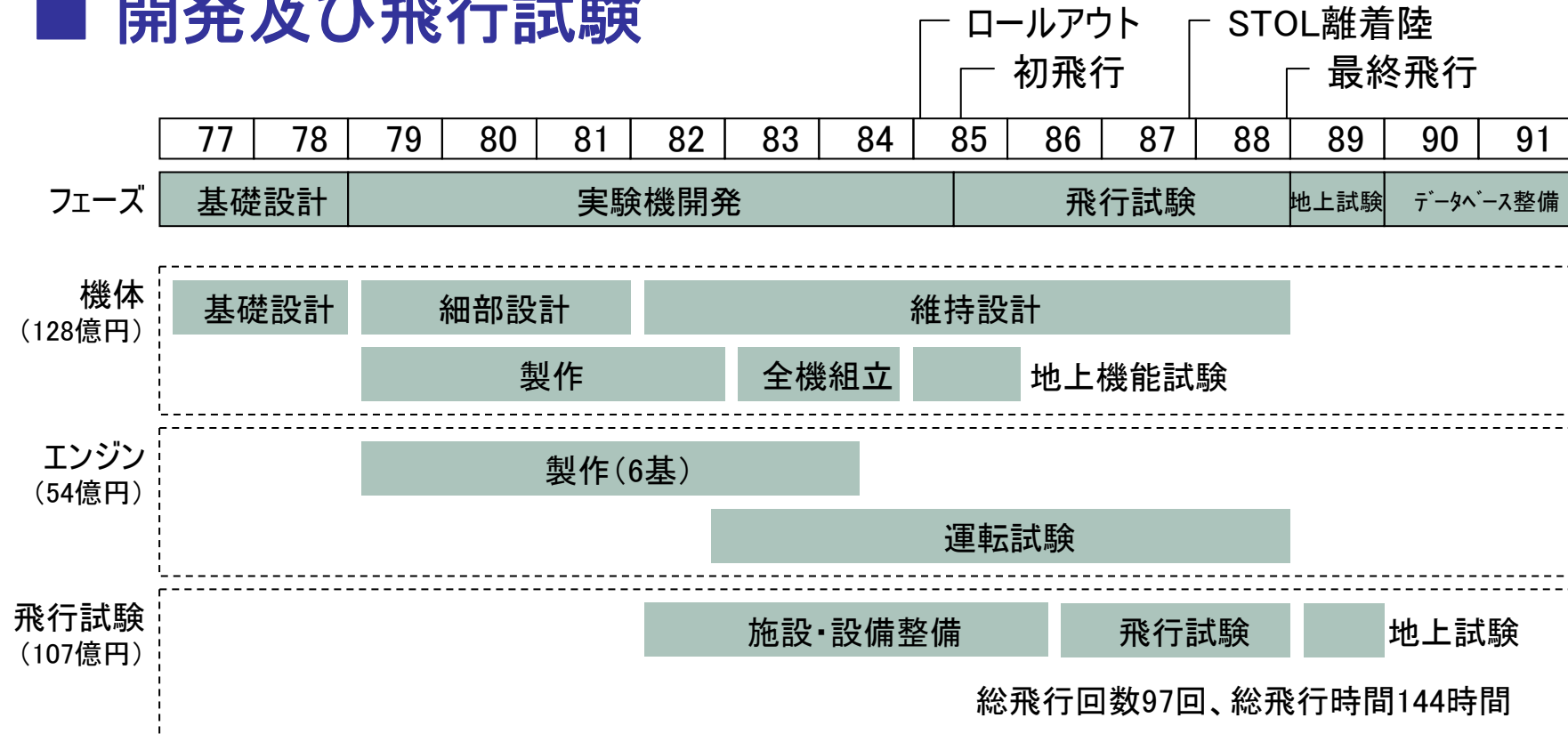
- ・国産ジェット輸送機C-1を原型母機とし、国産のFJR710型ジェットエンジンを主翼上面に4基搭載

- ・ 主要諸元

全長	29.0m	設計離陸重量	38.7ton
全幅	30.6m	エンジン	FJR710/600S×4基
全高	10.2m		

2-2. 飛鳥プロジェクト

■ 開発及び飛行試験



(※ STOLプロジェクト総経費 392億円、うち設備整備・技術研究 104億円)

2-3. 飛鳥プロジェクトの結果

■ 飛鳥プロジェクトに対する評価

「ファンジェットSTOL機の研究開発の実施計画の検討について」(諮問第1号)
に対する最終報告 (1991年、航電審)

- ・我が国の航空技術を大幅に向上させ、一部がすでに実用化に結びついており、今後の我が国の航空機開発に活用されるものである。
- ・今後の航空技術の研究開発において飛行実証は重要なものであり、我が国においても今後飛行実証を伴う航空技術研究開発が継続されることが望ましい。

2-3. 飛鳥プロジェクトの結果

■ STOL機の実用化について

「ファンジェットSTOL機の研究開発の実施計画の検討について」(諮問第1号)
に対する最終報告 (1991年、航電審)

- ・ STOL機の実用化が直ちに期待される状況にない。

社会状況

- ① 既存通常離発着機とSTOL機が共存するための管制が未整備。
- ② 多額な開発経費 (再設計費用等が数千億円)
- ③ 研究期間の長期間化による社会情勢の変化

- ・ 地方空港の滑走路の延長

1976年第3次5箇年計画

1991年第6次5箇年計画

(73,132億円)

ジェット対応空港 / 国内空港

19 / 71

49 / 83

- ・ エンジン技術の進歩による低騒音化

1978年 騒音基準適合証明制度の強化

2-3. 飛鳥プロジェクトの結果

■ 飛鳥プロジェクトの成果

① ファンジェットSTOL機に関する基本技術の確立

- ・USB方式による短距離離着陸技術

② 今後の航空機開発の基盤をなす各種新技術の実証

「飛鳥」で実証した要素技術の一例（⇒その後の発展）

- ・ 数値シミュレーション技術（初めての3次元全機周りCFD）
⇒ YXX以降の国産機開発における空力設計 ⇒ HOPE ⇒ NEXST1 実験機逆問題設計法
⇒ 鉄道（新幹線・リニア設計）へ活用
- ・ 複合材構造技術（耐熱複合材の実機初採用。CFRP研究の端緒）
⇒ FSX（防衛庁支援戦闘機）の主翼 ⇒ ボーイング787
- ・ 実用エンジン技術（TCに対応する信頼性試験手法の確立）
⇒ F3エンジン ⇒ V2500（世界で約5600基販売）国際共同開発 ⇒ GE-NX、トレント1000
- ・ コンピューター飛行制御技術・電気式操縦システム技術（FBW）
⇒ US-1A改、P-X/C-X

2-4. 得られた教訓

■「飛鳥」プロジェクトから得られた教訓

・技術開発成果の効果的な還元

STOL技術に限らず、様々な基盤技術(数値シミュレーション技術、風洞試験技術、飛行制御技術や構造・材料技術等)の研究を行ったことにより、このプロジェクトによって得られた。それらが、その後の我が国の航空技術基盤として、STOL機以外の航空機開発や国際共同開発に寄与したこと。

・航空機システムとしての技術実証

本プロジェクトにおける技術実証の価値は、離着陸から巡航までの航空機として全ての機能を有したシステムでの飛行実証をしたこと。

・複数回の飛行実験による技術蓄積

飛鳥プロジェクトにおける各種技術成果の多くが複数回の飛行実験を行ったことにより、その技術の実機適用性・実用性実証に寄与して、その後の我が国の航空機開発や国際共同開発で活用されたこと。

・技術開発プロジェクトであることの説明の重要性

JAXAの目的は、世の中に使ってもらえる技術に関する基盤的研究開発をすること(下記、機構法参照)で、その技術を産業界に渡すことであるが、プロジェクトの説明をする際には適切な対応が重要であること。

独立行政法人宇宙航空研究開発機構法(抄)(平成十四年十二月十三日法律第百六十一号)

(機構の目的)

第四条 独立行政法人宇宙航空研究開発機構(以下「機構」という。)は、大学との共同等による宇宙科学に関する学術研究、宇宙科学技術(宇宙に関する科学技術をいう。以下同じ。)に関する基礎研究及び宇宙に関する基盤的研究開発並びに人工衛星等の開発、打上げ、追跡及び運用並びにこれらに関連する業務を、平和の目的に限り、総合的かつ計画的に行うとともに、**航空科学技術に関する基礎研究及び航空に関する基盤的研究開発並びにこれらに関連する業務を総合的に行うことにより、大学等における学術研究の発展、宇宙科学技術及び航空科学技術の水準の向上並びに宇宙の開発及び利用の促進を図ることを目的とする。**

・社会情勢の変化等への柔軟な対応の重要性

プロジェクトの進め方において、社会情勢の変化(ICAO等における議論等)から乖離しないようようにすることが重要であること。

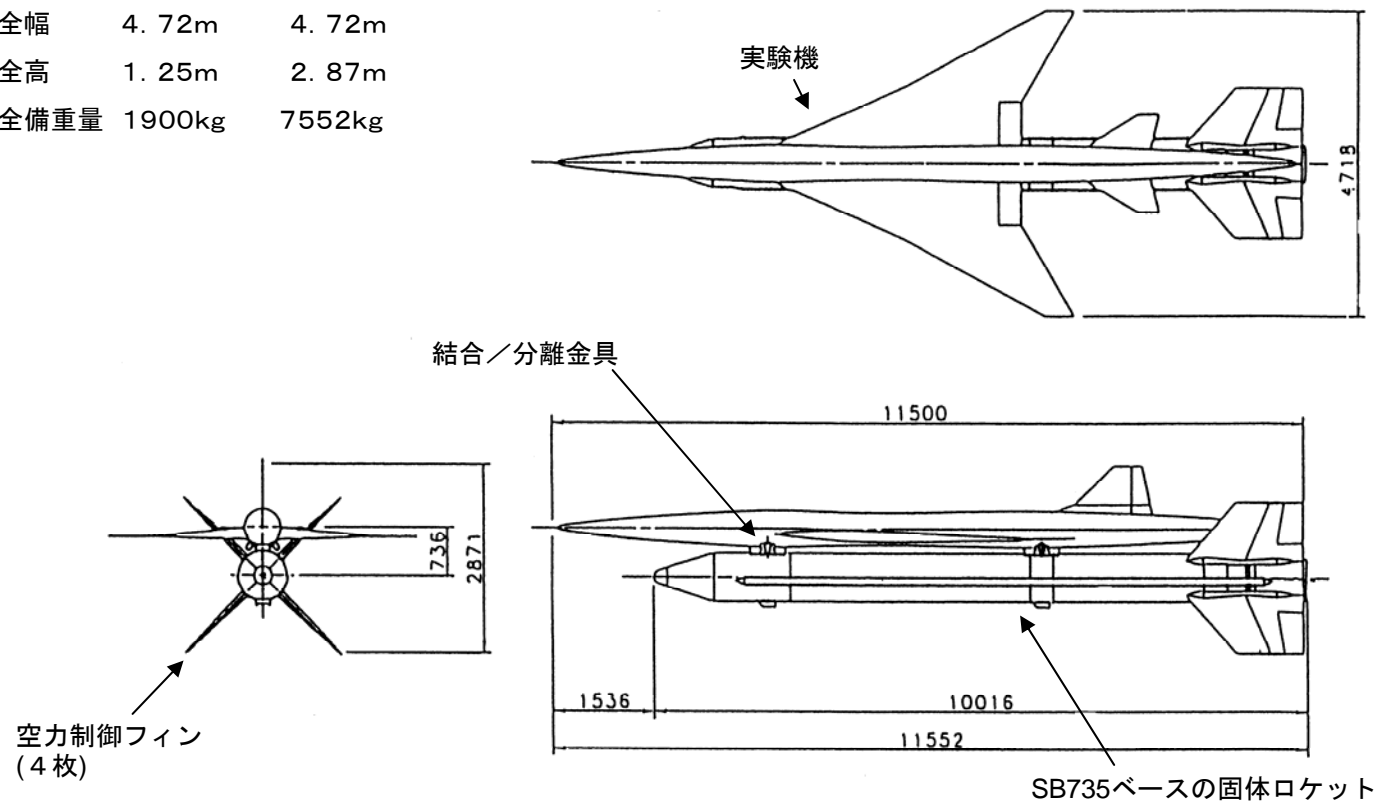
3. 「ロケット実験機」プロジェクト



3-1. 第1回飛行実験の概要

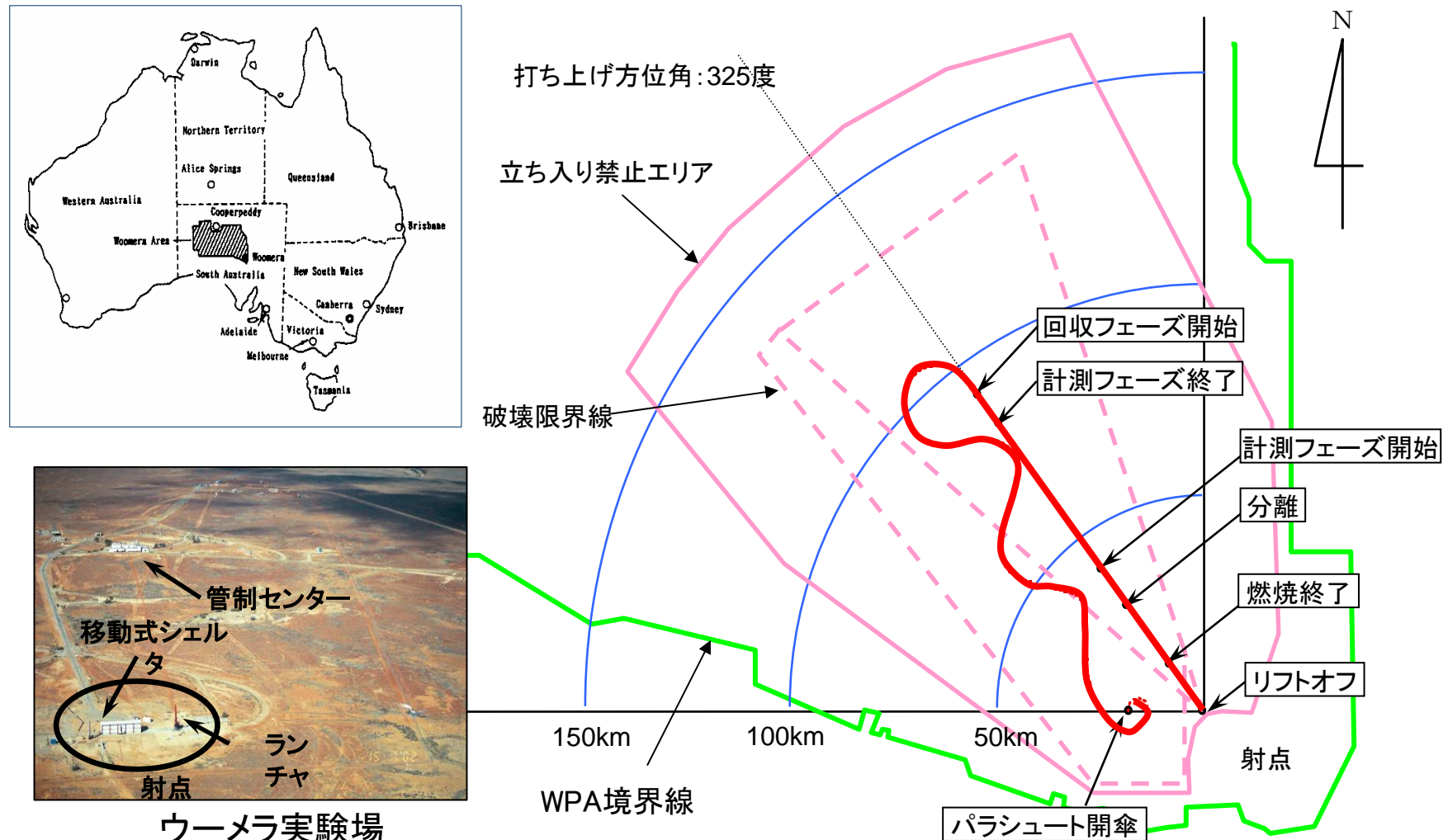
実験機と打ち上げロケットの結合形態

	実験機単体	打ち上げ形態
全長	11.50m	11.55m
全幅	4.72m	4.72m
全高	1.25m	2.87m
全備重量	1900kg	7552kg



3-1. 第1回飛行実験の概要

実験場および標準飛行経路



ウーメラ実験場
(WPA: Woomera Prohibited Area)

3-1. 第1回飛行実験の概要

事象の時系列

ロケットに点火、上昇を開始



直後に分離ボルトが作動



実験機がロケットから分離され落下を開始



ロケット尾部の安定翼が実験機の主翼に衝突



ロケットの制御部、ノズルの一部と共に4枚の安定翼の内3枚が脱落



実験機は射点内に裏返しの状態で着地



ロケットは、安定な飛翔を継続できず、空中で回転しながら
射点の南西約200mの位置に落下

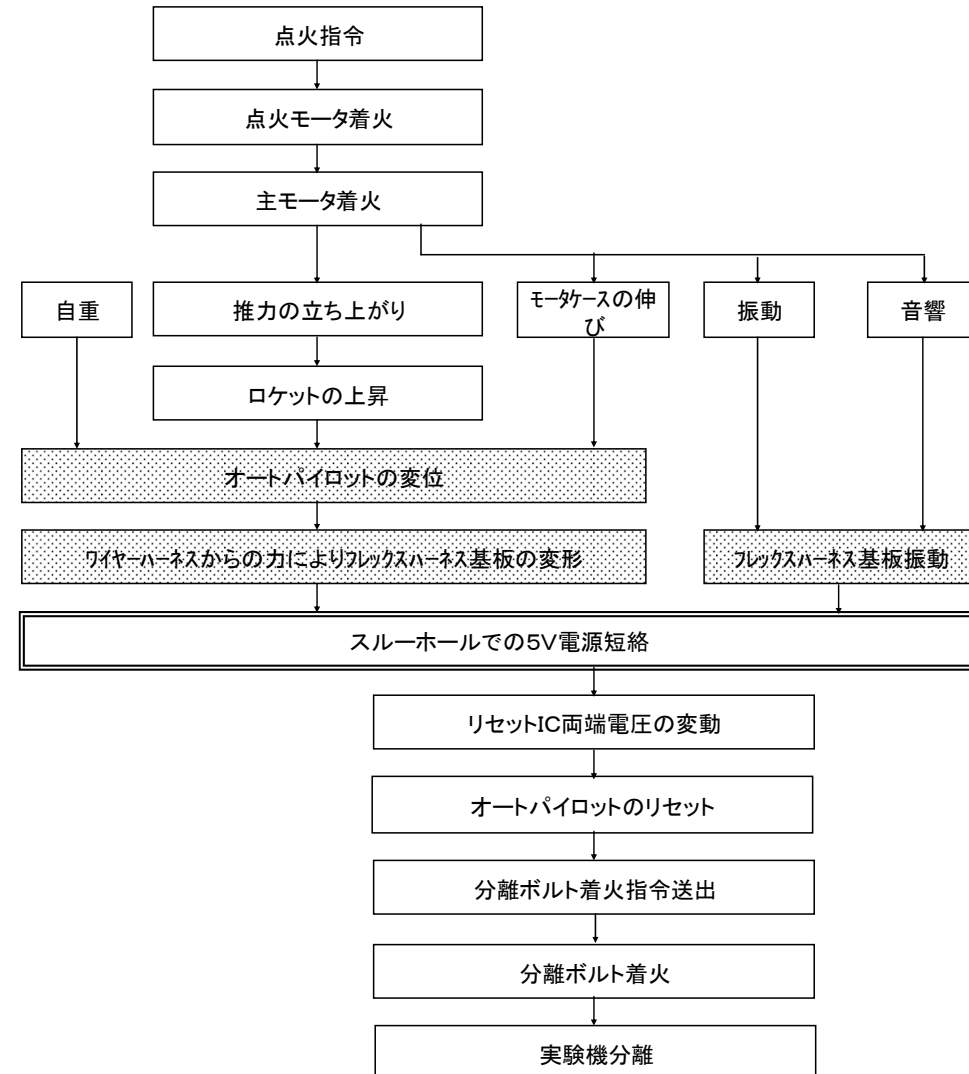
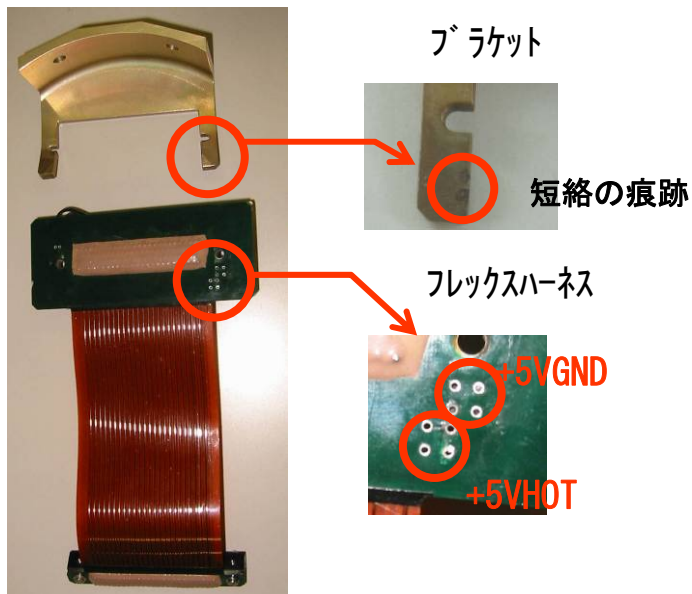


3-1. 第1回飛行実験の概要

事故の直接原因

直接の原因

ロケットの誘導制御コンピュータ（オートパイロット:AP）のフレックスハーネス基板上のスルーホールと、**ブラケット部**との発射振動等による一時的な**短絡**によって供給電源異常が生じ、これによりAPがリセットを起し、結果的に分離ボルトが作動したことが直接の原因。



3-2. 施した対策について

第1回飛行実験失敗に対する対処

原因調査委員会 平成14年7月～10月

対策検討委員会 平成14年11月～平成15年1月

マネジメントに関する提言

- 開発体制整備
- 品質・信頼性の確保

技術に関する提言

- 直接原因対策: カテゴリー I
- 技術的留意事項対処: カテゴリー II
- 信頼性安全性向上設計総点検: カテゴリー III

改修設計・製作

品質・信頼性の向上／確保

マネジメントに関する提言に対して:

- 開発体制の見直し
- 信頼性・品質管理チームの設置
- 受注者に対し、品質・信頼性保証を要求

技術に関する提言に対して:

- カテゴリー I および II : 全項目実施
- カテゴリー III : リスク回避事項は採用、性能向上に関する事項はリソース／スケジュールを勘案し総合的に判断

改修設計・製作の進め方、教訓:

- 改修設計の各段階において、外部およびJAXA全体から有識者・経験者を交えた改修設計会議を逐次開催。審査会、確認会で各ステップごとに改修内容を**確実に確認・確定**し、信頼性を向上した。
- 地上確認試験においては、実運用条件を模擬した機器単体から全機システムへの**ステップを踏んだ試験**を実施。**ハードウェアの確認の強化**、**試験立会の強化**を実施した。

3-2. 施した対策について

対策検討報告書にてプロジェクトに関する提言：

担当部門の責任を明確化した開発体制の整備、および全システムの品質・信頼性の確保。

受注者に対して：

(1) 信頼性保証要求を付加：

- ・旧NASDAの標準に基づく「信頼性プログラム標準」、「品質保証プログラム標準」、「コンフィギュレーション管理プログラム標準」に基づいた「品質保証計画書」を策定させ、信頼性確保の活動を改善。
- ・品証審査：受注者の品質保証活動内容の確認を行い、是正すべき点等を明確化／改善。

JAXAにおいて：

- (1) 開発体制を強化、責任を明確化：
プロジェクトマネージャ機能の充実
信頼性・品質管理チームを設置し、総合技術研究本部品質保証室と連携
ロケットシステム担当者を外部（IHIエアロスペース）より招聘
ロケット・宇宙機における電気システム経験者の参画
- (2) 宇宙関係経験者、宇宙機器専門のメーカーの技術者も改修設計会議に参画
- (3) ハードウェアの確認強化：宇宙機経験者を交えた、実験機、ロケット内部の搭載機器、配線（固縛方法）等の艤装状況を確認
- (4) 試験立会いの強化：技術確認試験、環境試験、機能試験に対し、JAXA技術担当者および受注者側技術担当者が立会い

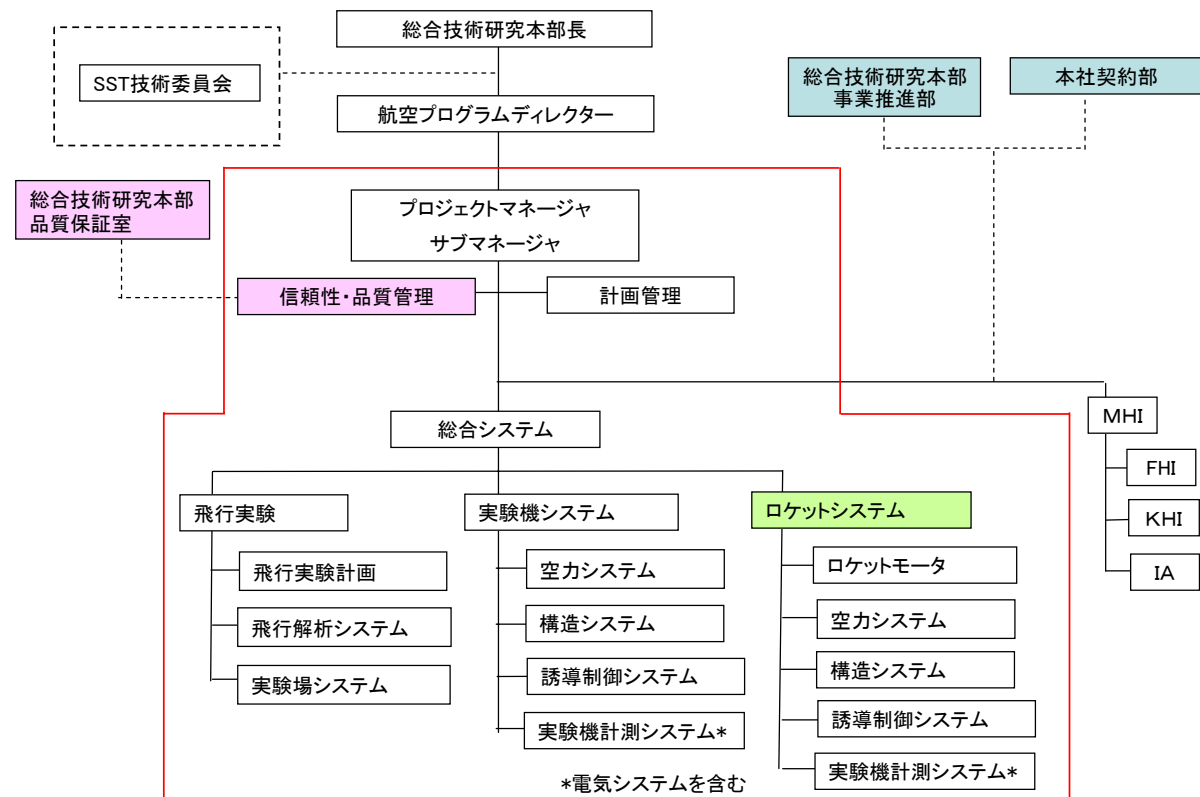
3-2. 施した対策について

責任体制を明確化し、以下の観点より**開発体制を強化**。

○**信頼性・品質管理チーム**
を設置し、総合技術研究
本部品質保証室と連携

○**ロケットシステム担当者**を
外部(IHIエアロスペース)
より招聘

○**ロケット・宇宙機における
電気システム経験者**
(旧NASDA)の参画



3-2. 施した対策について

「対策検討報告書」(平成15年1月15日)による改修項目の分類

- I. 失敗要因を引き起こした**直接要因**に対する対策
- II. **技術的留意事項**として対処が求められる項目
- III. 信頼性向上のための**設計総点検**の反映

全体システムを見直し: 構造、電気、システム解析、熱、実装、運用の観点から総点検
 宇宙関係経験者、宇宙機器専門メーカーの技術者も改修設計会議に参画

改修項目 の分類	サブシステム			項目数
	実験機	ロケット	地上支援設備	
カテゴリ- I	なし	オートパイロットに関する改修	なし	1箇所 (4項目)
カテゴリ- II	電気回路に関する改修 アンビリカルケーブル/コネクタに関する改修	電気回路に関する改修 非常飛行停止システムに関する改修	アンビリカルケーブル/コネクタに関する改修 ロケットストップに関する改修	7箇所 (33項目)
カテゴリ- III	実験成功信頼性向上 安全信頼性向上 回収信頼性向上	実験成功信頼性向上 分離信頼性向上	安全モニター信頼性向上	3箇所 (78項目)
合計				11箇所 (115項目)

3-3. 信頼性の確保について

概要

「対策検討報告書」(平成15年1月15日:対策検討委員会)の提言に基づき、**設計の総点検**を実施するとともに、設計、製造、試験の過程における**品質・信頼性を確保**。

- 外部有識者を交えた技術検討会を逐次開催、**総点検活動**を実施
- 信頼性・品質管理チームを設置。総合研究本部品質保証室と連携し、**信頼性管理を強化**。
- 受注者に、旧NASDAの「信頼性プログラム標準」、「品質保証プログラム標準」、「コンフィギュレーション管理プログラム標準」に基づいた「**品質保証計画書**」を策定させ、信頼性活動を強化し、「**品証審査**」により、活動内容を確認。
- 審査会、確認会で改修内容を**段階ごとに確認、確定**。
- 「総合技術研究本部システム安全審査要領」(総合研究本部品質保証室)に則り、**システム安全審査**を開催。
- 宇宙機経験者を交えた、実験機、ロケット内部の搭載機器、配線(固縛方法)等の艤装状況の**確認、および試験立会いの強化**。

3-3. 信頼性の確保について

信頼性プログラム計画

- a. **信頼性管理品目**を定め、重要な機器及び寿命、特性値管理を必要とする機器を識別、管理。

品質保証プログラム計画

- a. 製造工程における、スプライス、はんだなどの**特殊工程**については機体内部の状況確認を実施。
- b. 不具合管理については、製造時の**不具合(不適合)報告**として、発生毎にI-TAGを提出させ、管理。
- c. 試験の過程においては、I-TAGに加え、設計ミスや不具合の処置完了までを把握するため、**トラブルシュート・レポート**(TSR)により管理し、次工程(試験)へ進むことが可能か判断。
- d. 設計検証のための技術確認試験、環境試験、製品保証の機能試験を実施する際には、JAXA技術担当者および受注者側技術担当者が**立会い**。

コンフィギュレーション管理

- a. 技術変更については、**コンフィギュレーション管理委員会**の機能を持たせたシステム分科会において技術変更内容を承認。**改修項目管理表**等により管理。
- b. 次回飛行試験に供する搭載機器、複数ある**搭載機器、部品等の識別**を行い、製造、試験(単体、サブシステム、システム)時に管理。

3-4. 得られた教訓

ロケット実験機の第2回飛行実験は、平成17年10月10日に実施。航空科学技術委員会(平成18年2月2日-3月27日)においてその事後評価が実施され、以下のような評価を受けた。

今回開発、実証したCFD逆問題空力設計技術に関しては、「超音速機以外の航空機へも適用できる技術であることから、今後さらに改良が進み、広く航空機の設計に用いられることが望ましい」技術と評価された。

超音速自然層流翼設計技術に関しては、「層流遷移点の後退は、(中略)世界に例がないデータを取得したことから、国際的に高い評価を受ける技術であると認められる」とされ、世界初の試みを評価している。

成否の原因に対する分析として、「第1回飛行実験の失敗後に開発体制を見直し、品質・信頼性の確保に取り組んだ努力が、その後の飛行実験の成功に繋がった。(中略)また、リスク管理、安全マネージメントを徹底した一連の対処プロセスは高く評価できる。」としており、失敗以降に導入した管理手法の妥当性を評価している。

しかしながら、資金に対しては「最終総経費は、当初計画の倍以上であり、飛行実験の回数の減少を考慮に入れると、経費の面からは必ずしも研究開発が十分効率的に実施されたとは言えない」と、資金管理の効率化について指摘された。

また、飛行実験の回数についても、「実験回数が当初予定の4回から1回となった。この点の問題点および反省点を整理し、次回以降の研究開発に活かしていくことが必要」と必要回数の飛行実験実施の重要性を指摘している。

3-4. 得られた教訓

「ロケット実験機」プロジェクトから得られた教訓

- **超音速機に特化されない基盤技術の技術実証研究**

プロジェクトの目的として、対象を超音速機に限定しないCFD空力設計技術の確立という基盤技術に設定し、成果を得た

- **世界初・独自技術の技術実証**

超音速自然層流翼の設計技術という、世界初の独自技術を織り込むことにより、優位性を実証した

- **システム信頼性・リスク管理手法**

第1回飛行実験失敗以降に導入されたシステム信頼性・リスク管理手法を実践し、妥当性を示した

- **国際ワークショップや海外研究機関との共同研究等国際的な情報発信・協力への努力**

飛行実証成果に基づく国際ワークショップの開催などを通じ、わが国から世界に向けての情報発信の場を確保

- **コストオーバーラン**

プロジェクト開始時に於ける十分な技術検討がコスト管理において重要であることを経験。

- **航空機システムとしての技術実証の不足**

推進システムのない形態であり、実機の航空機システムとしては不足する部分があり、全航空機システムとしての実証が重要

- **品質管理体制や技術管理体制の不足(第1回飛行実験前)**

プロジェクト開始時における、システム信頼性・リスク管理が、システム工学に観点からも重要 27