

輸送系に関する宇宙開発活動の
進捗状況及び成果
評価報告書

平成10年6月

宇宙開発委員会
計画調整部会 輸送系評価分科会

評価結果と今後へ反映すべき事項の要点

宇宙開発委員会は、輸送系について今後の研究開発の展開方法を検討するため計画調整部会にこれまでの研究開発の成果と進捗状況の評価を付託した。本輸送系評価分科会（以下分科会という）は、計画調整部会に設置され、外部専門家及び外部有識者を構成員として輸送系に関する詳細な調査・評価・審議を実施した。

分科会における評価結果とそれに基づいた今後へ反映すべき事項の要点を以下に示す。

評価結果の要点

これまでの輸送系の研究開発は、以下に示す各輸送系の評価結果概要に示す様に、全般的にはおおむね良好に進んできたと評価できる。

H-II ロケット開発結果の総合評価は、“おおむね良い”であった。技術水準も信頼性も高く、輸送系の我が国の代表と位置付けられ、世界の主要ロケットと比較できる優れたロケットである。開発着手時の1ドル＝240円から円高へ推移した影響、その他の要因もあって運用コストが諸外国のロケットに比し高くなっているが、“その他の要因”についてもコスト配慮を更に検討しておくことが、今後の輸送系開発の目標設定に向けて重要である。

H-II A ロケット開発進捗状況の総合評価は、“おおむね良い”であった。H-II で達成した技術を発展させ、多様な打上げ需要への対応と経済性向上が目標のロケットで、現在の目標よりも一層のコスト低下が実現すれば、我が国の宇宙開発、産業に新局面を切り拓く可能性がある。

M-V ロケット開発結果の総合評価は、“おおむね良い”であった。限られた予算の下、長い歴史の中で科学ミッションを深宇宙探査まで広げた点で評価が高いが、今後の固体ロケット技術の展開と経済性向上が課題である。

J-I ロケット開発結果の総合評価は、“やや劣っている”であった。宇宙開発事業団（以下NASDAという）が宇宙科学研究所（以下ISASという）の協力により既存技術を活用する小型ミッション打上げ用ロケットとして計画し、低開発費、短開発期間で計画通りに開発が進められたが、計画時に設定した運用コストは現状では高く、また打上げニーズの設定に無理があったと思われる。2号機の打上げは設計開始以来8年が経過する。小型ロケットは開発サイクルも短くその分効率化の進み具合も大きい分野であり、今後、更なる打上げニーズが出ることが望まれる。

HOP E-X 開発進捗状況の総合評価は、“良い”であった。多段ロケットに続く本格的宇宙時代における完全再使用型輸送系に向けての一段階として往還技術確立を目指す但那の先の計画がない。国民に対して社会的、経済的効果を明確にしながら将来計画について国民のコンセンサスを得る必要がある。

再使用型輸送系の研究（NASDA）の進捗状況の総合評価は、“おおむね良い”であった。将来計画がはっきりしない現在、問題点の抽出と研究開発体制の充実が課題であり、国際協力に備え自主技術の蓄積に向けて着実に推進すべきである。

将来輸送システムの研究（ISAS）の進捗状況の総合評価は、“良い”であった。完全再使用型輸送系に向けての基本技術の研究開発として着実なステップを踏んでいる。我が国の宇宙開発の中でどの様に位置付けられるのかを明解にしていくと共に、国際協力に備え自主技術の蓄積に向けて着実に推進すべきである。

スペースプレーンの研究（航空宇宙技術研究所（以下NALという））の進捗状況の総合評価は、“良い”であった。将来の必要技術を的確にとらえ、到達度も高い。スクラムジェットは、難しい技術で世界的に注目されているが、国家プロジェクトとしての認識を持つと共に国際協力に備え自主技術の蓄積に向けて着実に推進すべきである。

今後へ反映すべき事項の要点

(1) 研究開発実施体制について

今後の研究開発では運用性、運用コストも一層重要な目標とすべきである。運用性が重要な実用システムの開発では、民間を中心に進める体制も選択肢としてあり得、再使用型輸送系の開発でも国の総力を結集した開発体制が必要である。

(2) 国内協力、国際協力について

ISAS、NAL及びNASDAの3機関の協力にはバランスの取れた開発戦略があると思われ、更に学界、産業界もその戦略の元で共同研究を推進することが有効である。再使用型輸送系は国際共同プロジェクトになる可能性が高く、3機関の研究開発により技術蓄積しつつ国際協力を積極的に行うことを明確に打ち出すべきである。

(3) ビジョンと戦略について

我が国の輸送系全体の将来の姿を示すビジョンを明らかにし、それを基に輸送系の研究開発の戦略を明確にすることが必要である。

(4) 輸送系とミッションの対応について

輸送系は、ミッション実現のための手段であり、輸送系とミッションは十分に対応する必要がある。今後の宇宙開発委員会での開発是非判断におけるニーズ、コスト及びシステム選択の議論では開発実施機関提示データの客観的な評価が必要である。

(5) 輸送系における有人システムについて

これまで無人システムに重点を置いた研究開発であったが、開発実施機関の研究開発の状況等を見ると輸送系における有人システムへの取り組みに関してその必要性も含めて明解な議論を始めるべきである。

宇宙開発委員会
計画調整部会 輸送系評価分科会 構成員

分科会長	新岡 嵩	東北大学流体科学研究所教授 (燃焼、ロケット、宇宙利用)
専門委員	青木 芳夫	ソニー(株)光ディスク戦略室室長 (高分子物理、材料)
	新井 義男	(株)三菱総合研究所経営市場戦略研究センター 情報通信事業コンサルティング部研究部長 (通信、技術予測評価、市場予測評価、新事業戦略)
	久保田 徹	日本航空(株)整備本部技術部システム技術室長 (航空機整備技術)
	河野 通方	東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻教授 (燃焼、ロケット、宇宙利用)
	曾根 悟	東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻教授 (電気工学、鉄道)
	松本 三和夫	東京大学大学院人文社会系研究科社会学コース助教授 (科学技術の社会学、科学技術史)
	御手洗 善昭	旭化成工業(株)技術開発室推進薬グループ長 (高分子物性、固体推進薬)
	※宮崎 久美子	東京工業大学工学部経営システム工学科助教授 (科学技術政策)
	村上 正秀	筑波大学構造工学系教授 (低温工学、宇宙工学)
	八坂 哲雄	九州大学工学部航空工学科教授 (宇宙システム動力学、軌道力学、宇宙利用)
	※安田 靖彦	早稲田大学理工学部電子・情報通信学科教授 (電子情報通信工学、通信システム)

※計画調整部会構成員を示す。

なお、以下の外国人専門家を1週間、米国から招き、必要な討議を行った上で日本人構成員と同様に評価及び意見をいただいた。

Clark W. Hawk アラバマ大学ハンツビル校工学部機械工学科教授
推進系研究所所長
(ロケット推進系)

目 次

1. はじめに	1
2. 評価目的	2
3. 評価対象	3
4. 評価方法	3
5. 審議経過	6
6. 各輸送系の評価結果	7
H-IIロケット	7
H-IIAロケット	8
M-Vロケット	8
J-Iロケット	9
HOPE-X	10
再使用型輸送系 (NASDA)	11
将来型輸送システム (ISAS)	12
スペースプレーン (NAL)	12
7. 今後の輸送系の研究開発へ反映すべき事項	13
輸送系に関する宇宙開発活動の進捗状況及び成果の評価について	16
輸送系評価分科会の設置について	17
添付資料1 (説明資料抜粋)	19
添付資料2 (評価票)	69
添付資料3 (評価集計結果)	75
添付資料4 (輸送系全般に関する意見)	107

1. はじめに

輸送系は、宇宙開発の基幹となる技術であり、宇宙開発政策大綱（平成8年1月改訂）においても、「宇宙へのアクセスに必要な輸送系は、我が国が宇宙開発を自在に展開していくための基本であり、これまでの開発で培った技術力をさらに発展させる必要がある。」と記されている。

我が国は近年、使い切りロケットとしてH系、M系及びJ-Iロケットの開発を進めている。現在、大型ロケットとしてはH-IIロケットを使用しており、本年2月の5号機の打上げには失敗したものの、それまでH系ロケットとしては14機連続で打上げに成功している。さらに、H-IIロケットの信頼性を維持しつつ、多様な打上げ需要への対応と低コスト化を目指したH-IIAロケットの開発を進めている。また小型ロケットとしては、平成8年度に科学衛星打上げ用のM-Vロケット初号機打上げに成功すると共に、J-Iロケットの開発を進めている。一方、再使用型輸送系については、技術実証機として現在、宇宙往還技術試験機（HOPE-X）の開発を進めているほか、将来型の完全再使用輸送系に向けて研究が行われている。

目を海外に転ずるとまず、使い切りロケットについては、米国では軍及びNASA（National Aeronautics and Space Administration）で開発されたデルタロケット等の中・大型ロケットが、国のミッション打上げに使用され商業打上げも加わって、これまで多くの実績を積んできた。現在、空軍が主体となって、一層の運用コスト低減と中・大型ロケットのシリーズ化を目的としたEELV（Evolved Expendable Launch Vehicle）の開発が進んでいる。

欧州では、独自の輸送手段確保の目的でESA（European Space Agency）により開発されたアリアンロケットは、中型ロケットの商業打上げ市場で多くの実績を重ねており、現在ESAが開発した大型のアリアン5型ロケットへの移行も進めている。他にロシアのプロトンロケット、中国の長征ロケットも国で開発された後、世界の衛星打上げ市場に躍り出てきており、使い切りロケットは競争時代にある。

再使用型輸送系としては、米国は、スペースシャトルを部分再使用型輸送系としてNASAが運用しており、一方次世代のロケットベースの完全再使用型輸送系の研究開発もNASAを中心に開始している。欧州においては再使用型輸送系について幅広いシステムの研究をESAにおいて開始したところである。

以上の様な状況の中、我が国の今後の使い切りロケットに関しては、H-II

Ⅱ A ロケットのみならず小型ロケットについても、低コスト化が大きな課題となると考えられ、また再使用型輸送系については、近い将来、H O P E X の実証飛行後の展開を検討する必要があるものと考えられる。

このような大きな転換点を迎えるにあたって、宇宙開発委員会は、輸送系の研究開発の今後の展開を検討する時期に来ていると認識しており、この検討開始前にこれまでの研究開発をレビューし成功の要因、反省点等を明確にする必要があることから輸送系評価の実施を平成9年11月5日の宇宙開発委員会で決定した。それを受けた計画調整部会では、輸送系の専門家及びその周辺分野の専門家や有識者からなる分科会を設置し本評価に関する詳細な調査審議を行わせることとした。

分科会は、第三者の中立的な立場から厳正な評価を実施するため、次の様な方針で専門委員を構成した。

- 一 宇宙開発機関に過去10年程度所属していない。
- 一 各分野の学界、産業界の第一線で研究開発に携わっている専門家。
- 一 専門分野は宇宙輸送系に限らない理工学、人文社会学等の幅広い分野。

本報告書は、専門委員の評価、意見を分科会で審議し、とりまとめた評価結果及びそれに基づいた今後の研究開発へ反映すべき事項を示すものである。

2. 評価目的

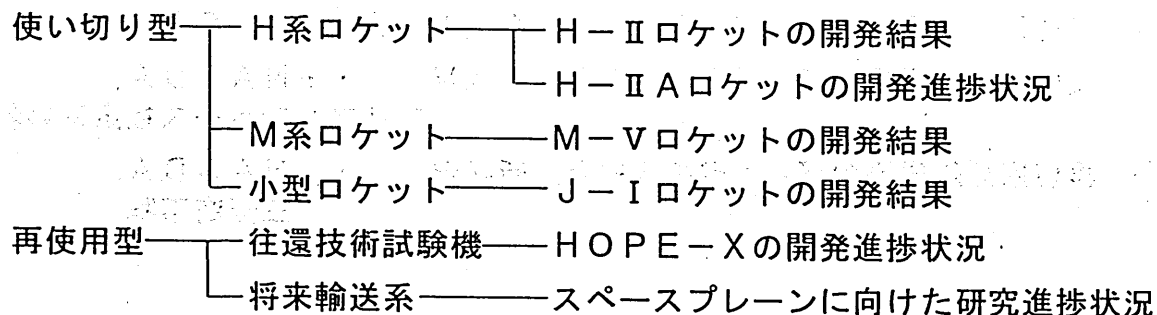
これまでの我が国における輸送系の開発結果と打上げ実績等及び研究開発の進捗状況等を振り返り、

- ・ 宇宙開発活動を安定的に遂行できる独自の技術力を確立する。
- ・ 宇宙開発活動を的確かつ自在に展開できるよう高度な技術力を保持する。
- ・ 将来の輸送系開発の基礎として発展性をもつ。

という輸送系本来の目的にかなっているか、成功の要因、反省点等を明確にすることが、本評価の目的である。

3. 評価対象

平成9年11月21日の計画調整部会で決定した評価対象は以下のとおり。



なお、平成10年2月のH-IIロケット5号機打上げでは、2段エンジン不具合により衛星の所定の軌道への投入に失敗したが、本評価は平成10年5月終了を目途としておりその原因究明結果を反映できないこと、また米国のデルタロケット、欧州のアリアンロケット他でも初期の20機程度で失敗を経験しているものの、失敗の反映・技術改良により信頼性を向上していることから本失敗は我が国の輸送系開発に大きな影響を及ぼすものではないとの前提で、H-IIロケットの評価を行った。

4. 評価方法

(1) 評価対象を明確にする説明

評価対象の内容をいろいろな観点から明確化（キャラクターゼーション）するプレゼンテーションを下記の分担で実施した。

プレゼンテーション資料の抜粋を添付資料1に示す。

輸送系の概要と輸送系開発の政策	・ 科学技術庁宇宙政策課 (以下宇政課という)
再使用型輸送系技術の政策と世界の中の位置づけ	・ 宇政課
H-IIロケットの開発結果	・ NASDA
H-IIAロケットの開発進捗状況	・ NASDA
M-Vロケットの開発結果	・ ISAS
J-Iロケットの開発結果	・ NASDA
HOPE-Xの開発進捗状況	・ NASDA・NAL
再使用型輸送系の研究進捗状況	・ NASDA
将来輸送システムの研究進捗状況	・ ISAS
スペースプレーンに向けての研究進捗状況	・ NAL

(2) 輸送系の周辺状況の提示

上記(1)により明確化された対象の評価に必要な周辺状況を提示した。

輸送系を利用する衛星等の開発現状と今後の展開・・・NASDA、ISAS

使い切り輸送系の研究開発の経緯と最新状況・・・NASDA、
アリアンスペース社東京事務所

再使用型輸送系の研究開発の経緯と最新状況・・・NASDA、
三菱商事(株)

(3) 評価項目と評価準拠

	評 価 項 目	評 価 準 拠
1	研究開発目標設定の妥当性 (打上げニーズ予測等含む)	設定時の我が国と世界の輸送系 と周辺技術の状況
2	研究開発計画（スケジュール、研 究開発経費、技術等）の妥当性	開発実績、設定時の我が国と世界 の輸送系の諸状況
3	研究開発成果の達成度	研究開発開始時の目標
4	他機関との協力体制	研究開発開始時の我が国の状況
5	国際協力	世界の輸送系研究開発の経緯と 最新状況
6	我が国の技術全体の中での先端性	我が国の宇宙開発の当時の状況と 現状及び社会の技術開発の流れ
7	我が国の技術全体の中での宇宙技 術全般及び他分野への波及効果	我が国の宇宙開発の現状及び社会 の技術開発の流れ
8	将来の発展性	世界の輸送系研究開発の経緯と 最新状況
9	総合評価	上記1～8項の総合

構成員並びに外国人専門家1名は、添付資料2に示す評価票に項目別評価を記入した。

(4) 上記(3)の項目別評価とは別に、輸送系の研究開発全般について以下の様な観点の意見を構成員並びに外国人専門家1名は、添付資料2に示す記入票に記入した。

- ①これまでの輸送系開発の政策について良かった点、反省点は何か。
- ②これまでの輸送系開発戦略、開発計画及び設計思想はどの様に写ったか。
- ③今後の輸送系の研究開発における留意事項。

(5) 評価結果の整理

上記(3)による構成員並びに外国人専門家1名の項目別評価の結果は広く分布しており、上記(4)による輸送系全般についての意見も多様で一部相反するものもある。

そこで分科会では、項目別評価結果と意見を整理する審議を行い、6章に示す評価結果及び7章に示す今後への反映事項を得た。

なお、開発コスト、運用コストについて議論する際の円／ドル換算値は、1ドル＝120円とした。

5. 審議経過

- 第1回 平成9年12月11日(木) 科技厅第7会議室
輸送系評価分科会について(宇政課)
輸送系に関する評価の進め方について(宇政課)
一評価項目と評価準拠及び評価票について了承
輸送系の概要と政策について(宇政課)
H-IIロケットの開発結果(NASDA)
H-IIAロケットの開発進捗状況(NASDA)
- 第2回 平成10年1月22日(木) 科技厅第7会議室
M-Vロケットの開発結果(ISAS)
J-Iロケットの開発結果(NASDA)
使い切り輸送系の開発経緯と最新状況(NASDA、
アリアンスペース東京事務所)
一アラバマ大学推進系研究所ホーク所長の参加について了承
- 第3回 平成10年2月13日(金) 科技厅第7会議室
HOPE-Xの開発進捗状況(NASDA・NAL)
再使用型輸送系の研究進捗状況(NASDA)
将来輸送システムの研究進捗状況(ISAS)
スペースプレーンに向けての研究進捗状況(NAL)
再使用型輸送系の開発経緯と最新状況(NASDA、三菱商事(株))
- 第4回 平成10年2月27日(金) ISAS相模原キャンパス
M-V3号機計器噛み合わせ試験視察
- 第5回 平成10年3月10日(火) 科技厅第7会議室
輸送系を利用する衛星等の開発現状と今後の展開(NASDA、
ISAS)
我が国の再使用型輸送系技術の政策と世界の中の位置付け(宇政課)
ホーク所長による評価 平成10年3月23日～27日
NASDA本社、ISAS相模原、科学技術庁
ホーク所長による評価のための討議と評価作業
- 第6回 平成10年4月16日(木) 科技厅第7会議室
項目別評価のまとめと意見
- 第1回 計画調整部会 平成10年4月24日(金)
分科会審議進捗状況報告
- 第7回 平成10年5月14日(木) 科技厅第7会議室
専門委員の評価の整理
- 第8回 平成10年6月10日(水) 科技厅委員会会議室
分科会報告書(案)について

6. 各輸送系の評価結果

各輸送系の評価について分科会での審議結果を以下に示す。なお、評価のカッコ内の表示は評価票による個人の評価の分散の幅を示している。また、構成員並びに外国人専門家1名による評価の集計結果は添付資料3に示す。

H-II ロケット

総合評価：おおむね良い（優れている～やや劣っている）

技術水準も信頼性も高く、輸送系の我が国の代表と位置付けられ、世界の主要ロケットと比較できる優れたロケットである。開発着手時の1ドル＝240円から円高へ推移した影響、その他の要因もあって運用コストが諸外国のロケットに比し高くなっているが、“その他の要因”についてもコスト配慮を更に検討しておくことが、今後の輸送系開発の目標設定に向けて重要である。

研究開発目標妥当性：おおむね適正（やや高い～適正）

静止2トン級打上げ能力は世界に遜色なく、また自主技術開発という政策は妥当。技術開発目標設定はやや高い。

研究開発計画妥当性：おおむね妥当（妥当～疑問あり）

ただし新規の自主技術開発が多い割に7年という開発期間の設定は、諸外国の開発の歴史（スペースシャトルの内SSMEの開発だけで10年、アリアン3の各段を延長し推薬量を増した程度のアリアン4型で6年）を見ても短過ぎるもので、実力と計画が不一致。

研究開発成果達成度：やや不足（達成～やや不足）

性能は達成したが、2度の不具合により開発スケジュールと開発コストが計画よりオーバーした。

他機関との協力体制：適正（適正～全面的疑問）

限られた分野ではあるが、各機関で協力している。

国際協力

：適正（適正～全面的疑問）

自主技術開発を目標としたため国際協力がなかったことは問題ない。ただし海外に既存技術があるのに自主開発を行ったのは国際的な運用コスト意識に相反するという意見もあった。

技術の先端性

：高い（極めて高い～普通）

自主技術開発としてのノウハウ蓄積を行っており、信頼性が高い点に先端性の高さを評価できる。

波及効果

：大きい（極めて大きい～小さい）

新規ミッション追求の可能性が出ている。高い技術を

獲得できたという心理的波及効果も大きい。

将来への発展性 : 大きい(極めて大きい～小さい)
H-II A ロケットでコストを下げる可能性につながる。

H-II A ロケット

総合評価: おおむね良い(優れている～やや劣っている)

H-II ロケットで達成した技術を発展させ、多様な
打上げ需要への対応と経済性向上が目標のロケット
で、現在の目標よりも一層のコスト低下が実現すれ
ば我が国の宇宙開発、産業に新局面を切り拓く可能
性がある。

研究開発目標妥当性: おおむね適正(適正～疑問あり)
長期の世界的情勢の分析を十分に行い、他国との競争
に耐え得ることは必要。

研究開発計画妥当性: おおむね妥当(妥当～疑問あり)
技術開発項目の設定と外国からの製造技術導入の兼ね
合いは妥当。

研究開発進捗度 : 妥当(妥当～やや不足)
推進系の開発は順調に進捗している様子。

他機関との協力体制: 適正(適正～疑問あり)
ただし基礎的研究を大学に委託して、幅広い技術育成
を図ることも重要という意見もあった。

国際協力 : 適正(適正～全面的疑問)
低コスト化に向けた海外の製造技術導入は適正。

技術の先端性 : 普通(極めて高い～普通)
技術的に先端性より経済性を強力に追求している。

波及効果 : 大きい(極めて大きい～小さい)
将来の多様なニーズに対応でき、かつ経済性最重要視
の考え方が浸透すれば大きな意義がある。

将来への発展性 : 大きい(極めて大きい～普通)
今後の宇宙開発のバックボーンとなり、国際競争力も
あるので国際協力の切り札となる。

M-V ロケット

総合評価: おおむね良い(優れている～やや劣っている)

限られた予算の下、長い歴史の中で科学ミッション
を深宇宙探査まで広げた点で評価が高いが、今後の
固体技術の展開と経済性向上が課題である。

- 研究開発目標妥当性：適正（やや高い～疑問あり）
科学衛星輸送系としての特質を生かした適正な目標。
- 研究開発計画妥当性：妥当と疑問ありに分かれた。（妥当～疑問あり）
低廉な開発費で従来技術を生かしつつ新規技術開発も取り入れており妥当。
新規技術を盛り込んだ割にスケジュールの立て方が甘く、設定した機体価格も諸外国と比べて高い。
- 研究開発成果達成度：達成（達成～全面的不足）
ただし打上げ能力の割に運用コストは諸外国のロケットと比べて高い。
- 他機関との協力体制：適正（適正～疑問あり）
ただし大学との協力は更にあり得たであろう。
- 国際協力：適正（適正～疑問あり）
- 技術の先端性：高い（極めて高い～普通）
推力方向制御、推力向上のために必要な将来技術を具現化している。
- 波及効果：大きい（極めて大きい～普通）
全段固体ロケットをここまで育てた功績は大きい。新しい研究観測分野への参入が可能になった。
- 将来への発展性：普通（極めて大きい～極めて小さい）
科学ミッション用として独自性があり、固体の簡便性を生かせる領域で期待できる。

Ｊ－Ｉロケット

総合評価：やや劣っている（優れている～劣っている）

NASDAがISASの協力により既存技術を活用する小型ミッション打上げ用ロケットとして計画し、低開発費、短開発期間で計画通りに開発が進められたが、計画時に設定した運用コストは現状では高く、また打上げニーズの設定に無理があったと思われる。2号機の打上げは設計開始以来8年が経過する。小型ロケットは開発サイクルも短くその分効率化の進み具合も大きい分野であり、今後、更なる打上げニーズが出ることが望まれる。

- 研究開発目標妥当性：適正（やや高い～全面的疑問）
小さなペイロードを打ち上げる小型・安価なロケットという発想の原点は適正。
- 研究開発計画妥当性：疑問あり（妥当～全面的疑問）
実用性重視の設計思想、既存技術活用の割に設定した

運用コストが高過ぎ、運用コスト低減に効く打上げ頻度の増加のための計画が具体化してない。

研究開発成果達成度：達成（達成～やや不足）

1号機の所期コストは達成。2号機用開発ではSRB-Aの適用によりコストを下げている。スケジュールの問題もない。ただし打上げニーズの掘り起こしが望まれる。

他機関との協力体制：適正（適正～全面的疑問）

異質の2つのロケット組み合わせる開発をISASの協力で進めた。

国際協力：適正（適正～全面的疑問）

既存技術をベースとした実用性重視のシステムであることから国際協力の必然性はない。

技術の先端性：普通（高い～低い）

既存技術の適用であり、先端性がないのは当然。

波及効果：小さい（大きい～極めて小さい）

ただし低コスト化が実現すれば、小型ミッションの輸送手段を得ることができ宇宙開発に貢献できる。

将来への発展性：小さい（大きい～極めて小さい）

2号機でコスト低下を図っており、さらに諸外国のロケットのコストに近くなれば発展するのではないか。

HOPE-X

総合評価：良い（優れている～やや劣っている）

多段ロケットに続く、本格的宇宙時代における完全再使用型輸送系に向けての一段階として往還技術確立を目指すとその先の計画がない。国民に対して社会的、経済的効果を明確にしながら将来計画について国民のコンセンサスを得る必要がある。

研究開発目標妥当性：やや高い（高すぎる～疑問あり）

往還技術確立を目標とする方針は妥当だが、本分野の技術蓄積がないことからやや高い目標と言える。

研究開発計画妥当性：おおむね妥当（妥当～全面的疑問）

HOPE-Xで飛行実証した後の使用計画を問い直し、どの様に技術継承するか検討が必要。

研究開発進捗度：おおむね妥当（妥当～やや不足）

OREX、HYFLEX、ALFLEX、他の各研究もHYFLEXの回収を除き、順調に進捗。

他機関との協力体制：適正（適正～疑問あり）

NAL、ISAS、NASDAすべての力が要求され

- 国際協力 : であろう。更に大学側の参加を求める方が良い。
: やや疑問あり（適正～疑問あり）
各国が同様のものを目指しているはずであるが、国際協力に関する動きが一切見られない。推進すべき。
- 技術の先端性 : 高い（極めて高い～普通）
材料等各分野で最先端技術が含まれている。我が国で未経験の技術開発に取り組んでいる。
- 波及効果 : 大きい（極めて大きい～普通）
多種多様な要素技術が含まれている。スペースプレーンへの道筋を明確にすれば航空産業に大きく波及する可能性もある。
- 将来への発展性 : 大きい（極めて大きい～小さい）
H O P E - X が成功してから将来の意味を考えるべきではない。今から将来何をするかを計画立てるべき。

再使用型輸送系（NASDA）

総合評価：おおむね良い（優れている～劣っている）

将来計画がはっきりしない現在、問題点の抽出と研究開発体制の充実が課題であり、国際協力に備え自主技術の蓄積に向けて着実に推進すべきである。

- 研究開発目標妥当性：おおむね適正（やや高い～疑問あり）
ロケット式SSTOを段階的に進め、スペースプレーンへ発展させる考えは各国共通であり、国際協力プロジェクトになり得る。そのための基礎を構築すべき。
- 研究開発計画妥当性：おおむね妥当（妥当～疑問あり）
システム研究レベルでは妥当。ただし具体的な研究開発計画は明確になっていない。
- 研究開発進捗度 : 評価不能
研究が開始されたばかりであり、現段階では評価不能。
- 他機関との協力体制：おおむね適正（適正～疑問あり）
3機関で目標を統一し、相互関係を密にしかつ各機関の役割分担は慎重に検討し明確にすべき。
- 国際協力 : おおむね適正（適正～全面的疑問）
国際協力の必要性を認識しているが、もっと明確にすることが必要。
- 技術の先端性 : 高い（極めて高い～普通）
再使用型輸送系は、日本の技術全体をリードすべき。
- 波及効果 : 大きい（極めて大きい～普通）
設定している新規技術は、他分野への影響多大。
- 将来への発展性 : 大きい（極めて大きい～大きい）
21世紀の宇宙時代に必要な技術である。

将来型輸送システム（ISAS）

総合評価：良い（優れている～良い）

完全再使用型輸送系に向けての基本技術の研究開発として着実なステップを踏んでいる。我が国の宇宙開発の中でどの様に位置付けられるのかを明解にしていくと共に国際協力に備え自主技術の蓄積に向けて着実に推進すべきである。

研究開発目標妥当性：適正（高すぎる～疑問あり）

将来をにらんだ適切なもの。ただし本技術の利用を前提とした全体計画を与えておくべき。

研究開発計画妥当性：おおむね妥当（妥当～疑問あり）

主役となる可能性を認識した適切な技術アセスメントが必要。

研究開発進捗度：おおむね妥当（妥当～やや不足）

ATREXエンジンの試験データは、その特性を明らかにするのに十分。

他機関との協力体制：おおむね適正（適正～疑問あり）

ただしNAL及びNASDAとの協力、メーカとどの様に進めるか、他大学との協力の可能性はないか、国家プロジェクトとしてまとめる観点は必要。

国際協力：おおむね適正（適正～疑問あり）

ドイツの技術も入っている。大々的に進めるべき。

技術の先端性：極めて高い（極めて高い～高い）

ATREXエンジンとそれを用いたフライバックブースタは先端技術である。

波及効果：大きい（極めて大きい～普通）

国家技術として強いインパクトがある。

将来への発展性：大きい（極めて大きい～普通）

21世紀の宇宙時代に必要な技術。フライバックブースタによる2段式スペースプレーンが実現すれば、かなりの打上げニーズがある。

スペースプレーン（NAL）

総合評価：良い（優れている～普通）

将来の必要技術を的確にとらえ、到達度も高い。スクラムジェットは難しい技術で世界的に注目されているが、国家プロジェクトとしての認識を持つと共に国際協力に備え自主技術の蓄積に向けて着実に推

進すべきである。

研究開発目標妥当性：やや高い（高すぎる～疑問あり）

複合推進系を持つスペースプレーンという目標は世界的に見ても最新研究。

研究開発計画妥当性：妥当（妥当～疑問あり）

研究開発進捗度：おおむね妥当（妥当～やや不足）

スクラムジェットで必要とされる性能は高く、現状では目標にまでは達していないが、その達成度は決して低くない。

他機関との協力体制：適正（適正～疑問あり）

ただし更に協力機関を増やして広範な課題として取り組むことが望まれる。

国際協力：おおむね適正（適正～疑問あり）

ただし世界各国との協調を大いに進めるべき。

技術の先端性：極めて高い（極めて高い～高い）

日本の宇宙開発の当面のゴールになり得る。

波及効果：極めて大きい（極めて大きい～普通）

信頼性の達成度次第で有人飛行の可能性も出てくる。

将来への発展性：極めて大きい（極めて大きい～普通）

21世紀の宇宙時代に必要な技術。スペースプレーンの国際共同開発で独自の役割を果たすことが望まれる。

7. 今後の輸送系の研究開発へ反映すべき事項

分科会での今後の輸送系の研究開発へ反映すべき事項を以下に示す。なお、ここに含まれない構成員並びに外国人専門家1名の意見は添付資料4に示す。

(1) 研究開発実施体制について

国が行う研究開発は、新規の技術開発成果を問われる傾向にあるため、これまでは運用性や運用コストよりも、技術開発に重点が置かれてきた。しかし我が国が、使い切りロケットについては国際水準の技術を獲得したことから、今後の輸送系の研究開発においては、運用性や運用コストも一層重要な目標とすべきである。

運用性等がより重要な実用システム開発では、実際に設計、製作、整備等を行う民間企業中心に研究開発を進める体制も選択肢としてあり得る。

将来の再使用型輸送系の研究開発に向けての先端的技術蓄積は重要で、国が中心となるべきであり、その中で関係研究機関、大学、あるいは企業が、幅広く基礎研究を分担する体制が望ましい。基礎研究の後、開発

段階に入ってから、それらを結集し、たとえば米国のロケット式単段完全再使用型輸送系の開発に見られる様に、民間も開発リスクを分担する体制も考慮しつつ戦略を検討することにより、新たなチャレンジの可能性が出てくるであろう。いずれにしても国の機関、学界、民間企業が参加する国の総力を結集させる様な開発を展開するには、強力かつ明確な権限と責任を持ったプロジェクトマネージャー制の導入を検討すべきである。

(2) 国内協力、国際協力について

NASDA、ISAS、NALはそれぞれの任務・役割のもと、分担・協力しあっているが、「3機関の更なる効率的運用」と「良い意味での競争を有意義にするための協力」を行うバランスの取れた開発戦略があると思われる。更に国内の産官学が別々に研究開発を行うよりも、前記の戦略の下で共同研究を推進することが有効である。その場合、有能な人材の育成も重要である。

将来の再使用型輸送系の開発は、国家プロジェクトに止まらず、国際共同プロジェクトになる可能性も高いと考えられる。現在、再使用型輸送系に向けて3機関が進めている研究開発により、高い技術力を蓄積しつつ、それを基にした国際協力を積極的に行うことを明確に打ち出すべきである。

(3) ビジョンと戦略について

各輸送系の研究開発目標は明確に示されているが、我が国の輸送系全体の将来の姿を示す“ビジョン”を明らかにする必要がある。我が国は、打上げ市場に全面的に参画するのか、輸送系で世界のリーダになろうという未来を描いているのか、それはどの分野なのかが明確には見えていない。

このようなビジョンがない中では、戦略を立てることが困難であり、実際に戦略が明確になっていない。我が国ではビジョンの代わりに宇宙開発政策大綱という長期方針を立てているが、それでも輸送系の戦略を立てる上で十分なものとは言えない。また一般的に開発計画では、各機関の研究開発内容と同時にビジョンに沿った全体的な方向も示す必要があるが、現在の宇宙開発計画には、その全体的方向が明確に示されていない。

このような中で3機関は、各々自主性を持って研究開発を進めていても、その進捗状況を確認し管理するのは困難であろう。

現在、我が国の宇宙関係予算は厳しく抑制されている。このような状況では、プロジェクトの縮小、優先度の高いプロジェクトへの絞りこみといった厳しい選択が必要になる。その際にもビジョンを明確にし、どのプロジェクトがビジョン実現により役立つかを見極めることが大切である。

(4) 輸送系とミッションの対応について

J-I ロケットの開発において想定していた小型衛星ミッションの多くは、H-II ロケットの実用化とそれに伴う衛星の大型化、予算制約の中での大型化による経済効率追求に伴い先送りされ、これまで具体化してこなかった。輸送系は、ミッション実現のための手段であり、輸送系とミッションが対応しなければならないことは当然である。

ロケット及び衛星の開発の是非を宇宙開発委員会が判断する際、政策的・技術的必要性、開発見通し等は議論されてきたが、J-I ロケットと小型衛星の状況を見れば、ニーズ、コスト及びシステム選択の議論における開発実施機関提示データの客観的評価が十分ではなかったことは否めない。今後の政策決定においては、この点を強化した客観的で厳正な評価が必要であり、その評価方法を検討すべきである。

(5) 輸送系における有人システムについて

宇宙開発政策大綱において、有人システムと無人システムのバランスについては「宇宙開発の推進に当たっては、我が国の宇宙開発における技術力、現状等を考慮して、今後とも無人システムに重点を置き、その高度化、高信頼性を追求する」と記述されている。また「完全再使用型宇宙航空機(スペースプレーン)に関する研究を進める」とあるが、有人とは明記されていない。ただし「将来の有人宇宙活動の展開に備えて、有人宇宙往還機に関する研究を進める」と記述されている。以上の様にこれまでの我が国の輸送系開発は、無人システムに重点を置いていた。

使い切りロケットについては、我が国は、国際水準の技術力を獲得し、現在は、コスト低減と高信頼性の両立に向けた技術開発を進めているが、世界的には有人技術が輸送系において、より重要な位置を占めていくものと考えられる。3 機関が進めている再使用型輸送系に向けての研究においても人員輸送を不可避と認識していると思われるため、我が国の輸送系研究開発における有人システムへの取り組みに関してその必要性も含めて明解な議論を始めるべきである。

輸送系に関する宇宙開発活動の進捗状況及び成果の評価について

平成9年11月5日

宇宙開発委員会決定

宇宙開発を計画的かつ柔軟に進めるため、次により調査審議を行う。

1. 調査審議事項

国内の関係各機関における輸送系に関する宇宙開発活動の進捗状況及び成果の評価

対象は、おおむね過去10年間における輸送系の研究開発活動とする。

2. 調査審議方法

1. の調査審議は、計画調整部会において行う。

審議に当たっては、「国の研究開発全般に共通する評価の実施方法の在り方についての大綱的指針」（平成9年8月7日、内閣総理大臣決定）の趣旨も踏まえることとする。

なお、平成10年度以降の宇宙開発の計画的推進に反映させるため、平成10年5月末までに終えることを目途に調査審議を行う。

輸送系評価分科会の設置について

平成9年11月21日

計画調整部会決定

1. 目的

「輸送系に関する宇宙開発活動の進捗状況及び成果の評価について」（平成9年11月5日宇宙開発委員会決定）に基づき、輸送系に関する宇宙開発活動の進捗状況及び成果の評価に必要な調査審議を外部専門家及び外部有識者により実施するため、計画調整部会に「輸送系評価分科会」を設置する。

2. 調査審議事項

下記の4項目に関する研究開発の進捗状況及び成果を対象とする。

- (1) H系ロケット（H-II及びH-IIA）
- (2) M系ロケット（M-V）
- (3) 小型ロケット（J-I）
- (4) 再使用型輸送系（HOPE-X及びスペースプレーンへの研究）

3. 構成員

別紙のとおり。

4. スケジュール

上記2については、平成10年4月末を目途に調査審議をとりまとめ、計画調整部会に報告する。

計画調整部会 輸送系評価分科会 構成員

分科会長 新岡嵩 東北大学流体科学研究所教授

専門委員	青木芳夫	ソニー(株)ミニディスク戦略室室長
	新井義男	(株)三菱総合研究所経営市場戦略研究センター 情報通信事業コンサルティング部研究部長
	久保田徹	日本航空(株)整備本部技術部システム技術室長
	河野通方	東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻教授
	曾根 悟	東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻教授
	松本三和夫	東京大学大学院人文社会学系研究科社会学コース助教授
	御手洗善昭	旭化成工業(株)技術開発室推進薬グループ長
※	宮崎久美子	東京工業大学工学部経営システム工学科助教授
	村上正秀	筑波大学構造工学系教授
	八坂哲雄	九州大学工学部航空工学科教授
※	安田靖彦	早稲田大学理工学部電子・情報通信学科教授

※計画調整部会構成員を示す。

添付資料 1（説明資料抜粋）

(S. 100-10000) 10000

我が国の輸送系開発政策

輸送系の歴史

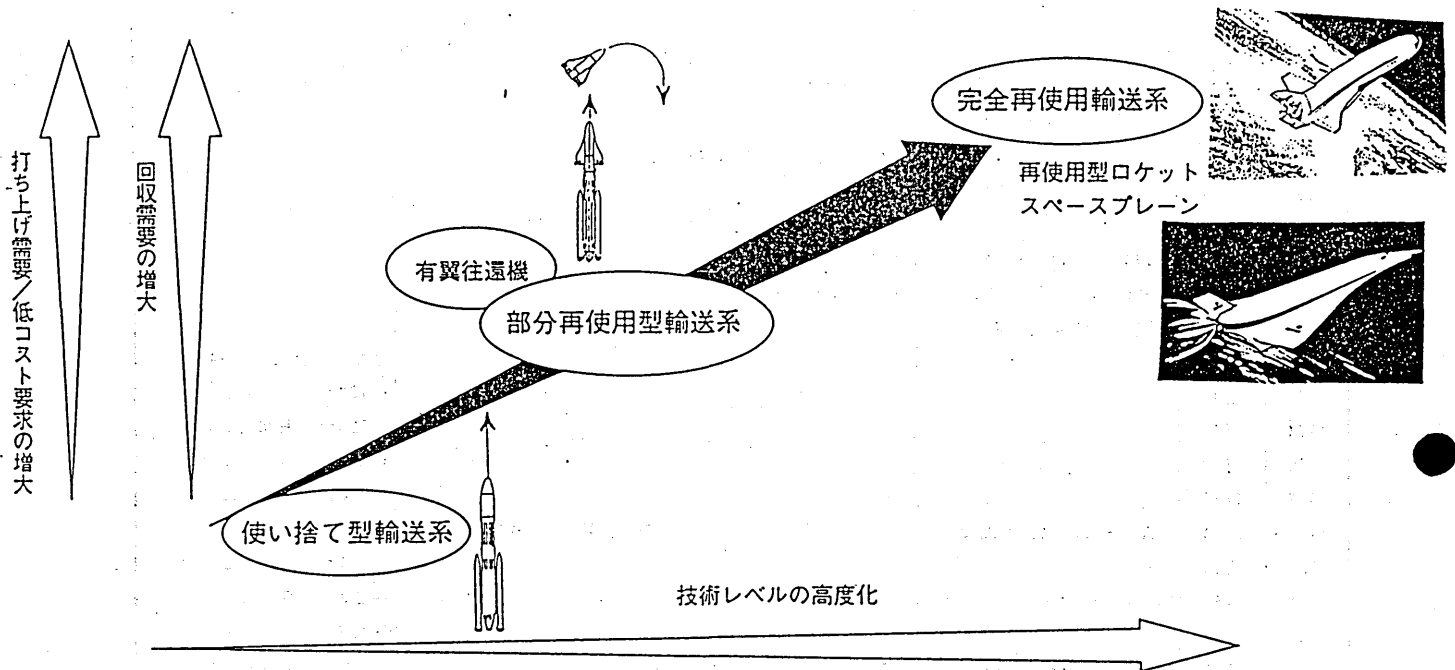
西暦	年	アメリカ	ロシア	ヨーロッパ	日本
1955	昭30				ベッセルロケット打上げ実験
1957	昭32		スプートニク1号(SS-6)		
1958	昭33	エクスプローラー1号(ジュピター)			
1959	昭34		ルナ2号月に命中		
1960	昭35	デイスカバラー-13号カプセル回収			
1961	昭36		ボストーク1号による有人飛行		
1962	昭37	マーキュリー-6号による有人飛行			
1965	昭40		プロトソケット1号機初打上げ	仏ティマンテA1号機打上げ	
1966	昭41	ジュミニと7ジエのドッキング	ルナ9号月に軟着陸		
1967	昭42	サターン5型ロケット1号機打上げ	コスモス無人ドッキング		
1969	昭44	アポロ11号による人間月着陸			
1970	昭45				おおすみ打上げ(L-4S)
1971	昭46				M-4Sロケット1号機打上げ
1974	昭49				M-3Cロケット1号機打上げ
1975	昭50				N-1ロケット1号機打上げ
1977	昭52				M-3Hロケット1号機打上げ
1979	昭54	宇宙ステーション・スカイラブ打上げ		7リブ1型ロケット1号機打上げ	
1980	昭55				M-3Sロケット1号機打上げ
1981	昭56	スペースシャトル・コロンビア初飛行			N-IIロケット1号機打上げ
1985	昭60				M-3Sロケット1号機打上げ
1986	昭61	スペースシャトル・チャレンジャー事故	宇宙ステーション・ミール打上げ開始		H-Iロケット1号機打上げ
1988	昭63	スペースシャトル打上げ再開		7リブ4型ロケット1号機打上げ	
1994	平6				H-IIロケット1号機打上げ
1996	平8				J-Iロケット1号機打上げ
1997	平9			7リブ5型ロケット2号機打上げ	M-Vロケット1号機打上げ

ロケットの打上げ能力分布

ロケット名称
低軌道打上能力 (kg)

		2 ton	10 ton
	小 型	中 型	大 型
アメリカ	Pegasus [] 375~460 Conestoga [] 890 Taurus [] 1,400	Delta II [] 5,090 Atlas II AS [] 8,640	Titan IV [] 17,700 Space Shuttle [] 24,400
ロシア	Start [] 360 Kosmos [] 1,400 Rokot [] 1,850	Soyuz [] 7,000	Zenit [] 13,740 Proton [] 20,900
ヨーロッパ		Ariane 4 [] 4,900~9,600	Ariane 5 [] 18,000
中国		長征 2C [] 3,200 長征 3A [] 7,200 長征 2E [] 8,800	長征 3B [] 13,600
日本	M-3S II [] 780 J-I [] 900 M-V [] 1,800		H-II/H-II A [] 10,500 H-II A [] 15,000

輸送系の技術発展の動向



輸送系各プロジェクトの開発経緯

FY	年度	H-II	H-IIA	M-V	J-I	HOPE-X
1983	S58	大規模試載				
1984	S59					
1985	S60					
1986	S61	開発着手				
1987	S62					
1988	S63					
1989	H元		大規模試載 (H-II派生型)	大規模試載 (M-V II大型機) 開発着手	大規模試載 (H-II派生型)	大規模試載 (有翼回収機の研究)
1990	H2					
1991	H3					
1992	H4				開発研究着手	
1993	H5	1号機打上げ			開発着手	
1994	H6					
1995	H7		大規模試載(H-IIA)		1号機打上げ	大規模試載(HOPE-X)
1996	H8		開発着手	1号機打上げ		開発研究着手
1997	H9					開発着手
1998	H10					
1999	H11		1号機打上げ予定			
2000	H12					打上げ予定

宇宙開発政策大綱における輸送系の記述

項 目	宇宙開発政策大綱 (昭和53年3月17日決定)	宇宙開発政策大綱 (昭和59年2月23日改訂)	宇宙開発政策大綱 (平成元年6月28日改訂)	宇宙開発政策大綱 (平成8年1月24日改訂)
基本的方向	・M系ロケット、N系ロケット、H系ロケットを開発。 ・これ以外の新たな機種の開発は行わない。 ・ロケットの応用能力の拡大に重点。	・同左 ・同左 ・必要に応じ複数衛星の同時打上げや派生型ロケットの利用を行う等ロケットの応用能力の拡大に重点。	・自主技術の維持発展、効率的な宇宙輸送システムの確立を前提として、今後の宇宙輸送需要に弾力的かつ的確に対応し得る宇宙輸送システムに関する技術の開発及び確立。 ・M系ロケット、H系ロケットを開発。 ・必要に応じ、複数の人工衛星等の同時打上げや派生型ロケットの利用を、適宜、組み合わせて対処。 ・将来の民間の人工衛星等の打上げ需要に適切に対応し得る体制の整備について検討を進める。	・拡大、高度化、多様化が進展する宇宙活動を効率的かつ自在に展開していくために、これまでの開発で培った技術力をさらに発展。
M系ロケット (固体推進薬)	・取扱いの簡便なシステムとして小型ミッションに活用。 ・性能・信頼性等の向上を図り、上段部ロケット、固体補助ロケット、軌道間輸送機等の分野での技術の応用領域の拡大に資する。	・同左 ・同左	・M-3Sロケット 信頼性の向上を図り、取扱いの簡便なシステムとして、中小規模の科学ミッションに使用。 1990年代以降における科学ミッションの進展に対応するため、大型化を図る。	・M-Vロケット 宇宙科学の安定的にかつ高度に推進するため、M-Vロケットの開発及び高度化を推進。 宇宙科学分野の中型科学衛星・探査機計画に使用。
N系ロケット (石油系燃料)	・N-Iロケット、N-IIロケット。 国産化を進めるとともに、順次標準化、共通化を図る。 1983~4年頃までに両者を統合し、H-Iロケットの実用化まで主力機として活用。	・H-Iロケットの実用化まで、N-IIロケットを主力機種として活用。	(終了)	(終了)
H系ロケット (液体水素燃料)	・H-Iロケット 低軌道で4~5トン程度、静止軌道で500~800kg程度の打上げ能。 1985年度頃から10年以上主力機として活用するために開発。またH-IIロケット、軌道間輸送機その他の1990年代の技術基盤の蓄積を目指す。	・H-Iロケット 静止軌道上で550kg程度の打上げ能。 1985年以降の人工衛星打上げ需要に応える他、1990年代の技術の基盤蓄積を目指す。 ・H-IIロケット 静止軌道上への2トン程度の打上げ能。 1990年代における大型人工衛星の打上げ需要に対応。 ・H-II派生型ロケット 必要に応じ複数衛星の同時打上げまたはH-IIロケット派生型の打上げの実施。	・H-Iロケット 同左 H-IIロケットの開発までに実利用ミッションに使用 ・H-IIロケット 静止軌道上への2トン程度の打上げ能及び複数人工衛星同時打上げ能。 1990年代における物資の打上げ需要に対応する主力機種として使用。 ・H-II派生型ロケット 将来の大量物資の打上げ需要に対応。	・H-IIロケット 更に信頼性の向上と高度化開発を推進。 打上げ需要に対応して利用。 ・H-IIAロケット 21世紀に向けて多様な需要に耐え、かつ大幅なコストの低減が可能な輸送手段として開発。 低軌道20トン(静止軌道に4トン)の打上げ能。
小型ロケット	なし	なし	・H-II派生型ロケット 静止軌道上への数百kg~1トン程度の物資の打上げ需要動向に即して対応。	・J-Iロケットの開発 コストの低減を図りつつ、小型衛星等の打上げに使用。
再使用型輸送系技術 (回収技術)	・1985年頃には高減速で、1990年頃には低減速での回収を可能とする技術の開発。	・基礎研究の推進及びその後の進め方の検討。	・宇宙ステーション等の運用開始に伴う物資の回収需要については、当面、諸外国の回収手段に依存。 ・将来の需要に対応するため、H-IIロケット打上げ型有翼回収機の研究を進め実用を目指す。	・宇宙往還技術試験機(HOPE-X)の開発 従来に比べ大幅なコスト低減が可能な再使用型輸送系の技術基盤育成の一環として開発及び飛行実験を推進。 ・H-IIAロケット、HOPE-X等の成果を踏まえ、無人有翼往還機を含む再使用型輸送機の研究の推進。必要に応じ開発に着手。 ・水平離着陸能を持つ完全再使用型宇宙航空機(スペースプレーン)に関する研究を推進。 ・将来の有人宇宙活動の展開に備え、有人宇宙往還機に関する研究の推進。

宇宙開発政策大綱における輸送系開発の 基本方針（その１）

- ・ 昭和５３年
 - － 広範多様な宇宙開発活動を安定的に遂行できるよう独自の技術力を確立していく。
 - － 宇宙開発活動を的確かつ自在に展開できるよう高度な技術力を保持していく。
 - － 我が国が自主的かつ安定的に各種の宇宙開発活動を展開するための手段としてロケット及びその応用技術を早期に習得し遅くとも１９９０年代には国際的な需要に対処できるようにする。
- ・ 昭和５９年
 - － 昭和５３年と追加及び変更なし。

宇宙開発政策大綱における輸送系開発の 基本方針（その２）

- ・ 平成元年
 - － 広範かつ多様な宇宙開発活動を自在に展開する観点からは宇宙開発を一層強力に推し進める必要がある。
 - － 自主技術の維持発展を図り、効率的な宇宙輸送システムを確立することは、我が国が広範かつ多様な宇宙開発活動を安定的に遂行していく上で、不可欠の前提。
- ・ 平成８年
 - － 独創的な技術及びシステムを開発する努力を拡充し、国際的水準の技術に厚みと幅を広げる。
 - － 宇宙輸送コストの大幅な低減を図るべく、格段の努力を傾注する。

H－Ⅱロケットの開発

昭和60年度第一部会(現在の計調部会) 審議

- ・ 審議内容(輸送系分科会)
 - － 大綱に静止軌道2トン程度の人工衛星打上げ可能なH－Ⅱロケット開発の記載あり。
 - － 1990年代の大型人工衛星打上げ需要に対処するため昭66年度(1991FY)に1号機打上げが必要。
 - － 昭和59年度の第二部会審議でコンフィギュレーションの議論がまとまっている。
 - － 上記に基づく概念設計結果とこれまでのエンジン等の研究により昭61年度からの開発着手は可能。
- ・ 審議結果
 - － 1990年代の大型衛星打上げ需要に対処するため2トン程度の静止衛星打上げ能力を有するH－Ⅱロケットを昭66年度に1号機打上げを目標に開発着手は妥当。

H－ⅡAロケットの開発

平成7年度計画調整部会審議

- ・ 審議内容
 - － 衛星打上げに加え宇宙ステーションへ物資補給など21世紀の宇宙開発活動を自在に展開するには、需要に柔軟に対処できる輸送手段が必要。
 - － ミッション即応性に優れ広範囲なペイロードに対応できるロケット開発が必要。
 - － 宇宙活動を活性化するため、輸送コスト大幅低減により打上げ機会を増やす必要がある。
- ・ 審議結果
 - － 宇宙ステーションへの補給・衛星打上げなどの需要に柔軟に対応でき大幅な輸送コスト低減可能なH－ⅡA初号機を平成13年度打上げを目標に開発着手は妥当。

小型H－Ⅱ派生型ロケットの開発研究

平成3年度計画調整部会審議

- ・ 審議内容
 - － 下記需要に応える低軌道1トン程度の打上げ能力を有する小型ロケットの開発研究着手が必要。
 - 世界的に通信及び宇宙環境利用等で低軌道への小型、簡便、安価な打上げ手段が望まれている。
 - H O P E 研究に関連して小型実験機を用いた実験のための適当な打上げ手段確保が必要。
 - － 輸送能力、コスト、即応性等から下記が適切。
 - 1段：H－Ⅱ固体ロケットブースタ、2段以上：M－3 SⅡ上段
 - H－Ⅰ計画で整備した射点利用
 - － 宇宙開発事業団と宇宙科学研究所の緊密な協力が必要。
名称検討、打上げミッション検討が必要。
- ・ 審議結果
 - － 小型、安価な打上げ需要に対応する低軌道へ1トン程度の輸送能力を有する小型H－Ⅱ派生型ロケットについて上記の開発研究着手は妥当。

J－Ⅰロケットの開発

平成4年度計画調整部会審議

- ・ 審議内容
 - － 人工衛星打上げはイリジウム計画、ライフサット計画等、低軌道への小型、安価な打上げ需要が増加
 - － H－Ⅱでは上記需要に迅速かつ柔軟な対処が困難な場合が考えられる。小型のJ－Ⅰの開発が重要。
 - － 宇宙往還機研究の一環として小型実験機による超音速飛行実験が必要。
- ・ 審議結果
 - － 小型、安価な打上げ需要に対応し低軌道へ1トン程度の輸送能力を有するJ－Ⅰロケットについて超音速飛行実験を実施する試験機1号機を平成7年度に打ち上げることを目標に開発着手は妥当。
 - H－Ⅱ及びM－3 SⅡ技術を組み合わせる。

M－Vロケットの開発 平成元年度第一部会審議

- ・ 審議内容（輸送系分科会）
 - － 1990年台以降にM－3SⅡでは打ち上げられない中規模科学衛星打上げ用ロケットが必要。
 - － 固体ロケットの経済性、簡便性を生かし、下記を踏まえMロケットの大型化を図ることは有意義。
 - 全段固体ロケット技術の維持発展
 - 鹿児島宇宙空間観測所で打上げ可能な範囲
 - 現有地上支援設備の最大限の活用
- ・ 審議結果
 - － 1990年代より21世紀初頭に至る科学観測ミッションに応えるためM－3SⅡでは打ち上げられない規模の科学衛星打上げ用ロケット（M－V）を平成6年度初号機打上げ目標で開発着手は妥当。

H O P E－Xの開発研究 平成７年度計画調整部会審議

- ・ 審議内容
 - ± ２０００年代初頭、宇宙開発活動の高度化、多様化及び量的拡大により地上と宇宙の双方向輸送ニーズ増大。
 - － 宇宙輸送技術は使い捨て型から再使用型へが国際的共通認識。
 - － 宇宙ステーション等へのサービス、宇宙環境利用実験・観測、軌道上サービスを可能とする「無人有翼往還機」実用化へ段階的な研究開発が適切。
- ・ 審議結果
 - － 「無人有翼往還機」の主要技術の早期確立を目的とするH O P E－Xを平成１２年度打上げを目標に開発研究着手は妥当。

H O P E－Xの開発 平成８年度計画調整部会審議

- ・ 審議内容
 - － 宇宙輸送系は、我が国が自在な宇宙活動を行うための基礎であり、宇宙活動活性化には輸送コスト低減が必要。
 - － 開発進捗状況を踏まえ、将来輸送系のあり方等について検討が必要。
 - － 熱防護材の再使用性の向上等、より先端的な技術開発の検討が必要
 - － H O P E－Xの技術開発の意義等について広く国民の理解を得る努力が必要。
- ・ 審議結果
 - － 大幅なコスト低減が可能な再使用型輸送系の技術基盤育成の一環でH O P E－XをH－ⅡAにより平成１２年度に打上げる目標で開発着手は妥当。

宇宙開発政策大綱における 再使用型輸送系技術の記述

我が国の再使用型輸送系技術の政策と世界の位置づけ

再使用政策－1

	宇宙開発政策大綱 昭和53年3月17日決定	宇宙開発政策大綱 昭和59年2月23日改訂	宇宙開発政策大綱 平成元年6月28日改訂	宇宙開発政策大綱 平成8年1月24日改訂
基本的方向	・M系ロケット、N系ロケット、H系ロケットを開発。 ・これ以外の新たな機種の開発は行わない。 ・ロケットの応用能力の拡大に重点。	・同左 ・同左 ・必要に応じ複数衛星の同時打上げや派生型ロケットの利用を行う等ロケットの応用能力の拡大に重点。	・自主技術の維持発展、効率的な宇宙輸送システムの確立を前提として、今後の宇宙輸送需要に弾力的かつ的確に対応し得る宇宙輸送システムに関する技術の開発及び確立。 ・M系ロケット、H系ロケットを開発。 ・必要に応じ、複数の人工衛星等の同時打上げや派生型ロケットの利用を、適宜、組み合わせて対処。 ・将来の民間の人工衛星等の打上げ需要に適切に対応し得る体制の整備について検討を進める。	・拡大、高度化、多様化が進展する宇宙活動を効率的かつ自在に展開していくために、これまでの開発で培った技術力をさらに発展。
再使用型輸送系技術	・1985年頃には高減速で、1990年頃には低減速での回収を可能とする技術の開発。	・基礎研究の推進及びその後の進め方の検討。	・宇宙ステーション等の運用開始に伴う物資の回収需要については、当面、諸外国の回収手段に依存。 ・将来の需要に対応するため、H-IIロケット打上げ型有翼回収機の研究を進め実用を目指す。	・宇宙往還技術試験器（HOPE-X）の開発 従来に比べ大幅なコスト低減が可能な再使用型輸送系の技術基盤育成の一環として開発及び飛行実験を推進。 ・H-IIAロケット、HOPE-X等の成果を踏まえ、無人有翼往還機を含む再使用型輸送機の研究の推進。必要に応じ開発に着手。 水平離着陸機能を持つ完全再使用型宇宙航空機（スペースプレーン）に関する研究を推進。 ・将来の有人宇宙活動の展開に備え、有人宇宙往還機に関する研究の推進。

宇宙開発の新時代を目指して (長期政策懇談会報告)

昭和６２年５月

- ・ ２１世紀を展望し長期的視点に立った宇宙開発のあり方
- ・ 宇宙開発展開の基本方向
 - － １９９０年代前半まで・・大型衛星及び大型ロケットに係る基盤的自主技術確立と定着
 - － ２１世紀初頭・・宇宙ステーションを中心とした宇宙インフラの開発、有人宇宙活動を展開
- ・ 将来の宇宙活動を進める基盤として整備するインフラ
 - － 恒久的有人宇宙ステーション、各種プラットフォーム及び軌道上作業機、軌道間輸送機
 - － 宇宙往還等人及び物資の輸送手段

宇宙開発の新時代を目指して (長期政策懇談会報告)

昭和６２年５月

- ・ 宇宙インフラストラクチャ開発のプログラム
- ・ １９９０年代前半まで
 - － Ｈ－ＩＩロケットの自主開発
 - － 既存ロケットの改良、多様な打上げ手段の整備・拡充
 - － 宇宙往還機の先行的研究
- ・ １９９０年代後半
 - － Ｈ－ＩＩロケットとその改良型を活用し物資を輸送
 - － 宇宙往還機の研究開発を進め、実験機の飛行
 - － 宇宙への発着場を整備
- ・ ２１世紀初頭
 - － 宇宙往還機の初期的運用を目指した開発

宇宙往還輸送システム懇談会報告

平成５年７月

- ・我が国の研究進捗状況、諸外国の情勢変化を踏まえた今後の我が国の宇宙往還輸送システムの研究開発の在り方
- ・２０００年代初頭の宇宙開発活動の展望
 - －「地球圏宇宙」からの情報/資源提供が高度化/多様化し量的に拡大
 - －地上との双方向の人員・物資の輸送ニーズ増大
- ・２０１０～２０２０年以降
 - －「地球圏宇宙」の範囲が月/惑星へ拡大
 - －人員・物資輸送の拠点となる低中高度軌道と地上の輸送ニーズ一層増大
- ・低コスト化、省資源化、デブリ防止→リサイクルシステム

宇宙往還輸送システム懇談会報告

平成５年７月

- ・宇宙往還システム研究開発の意義と必要性
 - －軌道上サービス(点検、修理、補給、交換、回収等)の展開は安定的ミッション遂行上有意義
 - －宇宙環境利用実験/観測の安定的遂行が可能
 - －宇宙ステーションへの物資輸送の研究開発が必要
 - －JEM有効活用、シャトル補完のため独自の宇宙往還輸送システムが有意義
 - －世界水準の大型ロケット技術確立に続くステップ
 - －フライバックブースタ等を備えた完全再使用型システムへ発展→輸送コスト大幅低減、リサイクルシステム実現
 - －研究開発により得られる先端技術は航空機を始めとした各種産業技術分野へ波及が見込まれる

宇宙往還輸送システム懇談会報告

平成５年７月

・我が国の宇宙往還輸送システムの形態

－ 無人システム

- ・軌道上サービス、宇宙環境利用←経済的、多大な効果
- ・無人往還輸送手段で独自の地位を築くことが可能

－ 有翼型

- ・ミッション面、運用面でのフレキシビリティ
- ・現状技術レベルを踏まえた適切な技術開発ステップ

－ ロケット打上げ型

- ・再使用型打上げシステム開発←技術リスク等負担大
- ・既存技術が活用できる

－ 将来への発展

- ・有人往還機、将来宇宙往還輸送システム(完全再使用型、スペースプレーン等)実現へのステップ

新世紀の宇宙時代の創造に向けて （長期ビジョン懇談会報告）

平成６年７月

- ・ 世界の宇宙開発の将来展望（３０年程度先）
 - － 地球環境変動の観測の高度化へ
 - － 宇宙技術による高度情報社会への成熟化へ
 - － 宇宙・太陽系の観測・探査の発展へ
 - － 宇宙環境を利用した生産活動へ
 - － より多くの人々が宇宙へ
 - ・ 次世代宇宙ステーション、月面有人活動←人類の行動範囲拡大のため国際的、計画的、継続的に維持
 - ・ 一般人による経済的な宇宙旅行実現を可能とする←航空機並に信頼性の高い有人輸送システムを国際共同開発

新世紀の宇宙時代の創造に向けて （長期ビジョン懇談会報告）

平成６年７月

- ・ 世界の宇宙開発の将来展望
宇宙への輸送手段などの一層の発展へ
 - － ２０１０年頃
 - ・ 世界全体の民生分野で年間１００回を越える打上げ
 - ・ 完全再使用型輸送機→コスト低減、宇宙環境保全
 - ・ 再使用型宇宙往還機→ステーションへの人員、物資の双方向輸送、低中高度軌道プラットフォームでの支援、修理
 - － ２０２０年頃
 - ・ 完全再使用型輸送機→月国際プロジェクトへ物資双方向輸送、静止軌道上交換・修理
 - ・ 水平離着陸有人宇宙航空機の実験機初飛行

新世紀の宇宙時代の創造に向けて (長期ビジョン懇談会報告)

平成6年7月

- ・ 無人輸送システムの開発の進め方
 - － H-II発展型・・・2000年頃低軌道20トン(静止4トン)
 - － 無人有翼往還機(HOPE)
 - ・ 今世紀を目処にHOPE試験機で基本技術確立
 - ・ 技術試験衛星によるHOPEに必要な技術開発
 - ・ HOPE試験機成果を委員会で技術面、政策面から評価・検討→HOPE実用化開発着手
 - ・ HOPE試験機を改修した実証機による飛行実験
 - － 無人再使用型輸送機
 - ・ H-II発展型、HOPEの技術開発成果を踏まえる
 - ・ 革新的設計思想、再使用型高信頼性エンジン、軽量・高強度機体
 - ・ 2010年頃実験機の飛行を目標

新世紀の宇宙時代の創造に向けて (長期ビジョン懇談会)

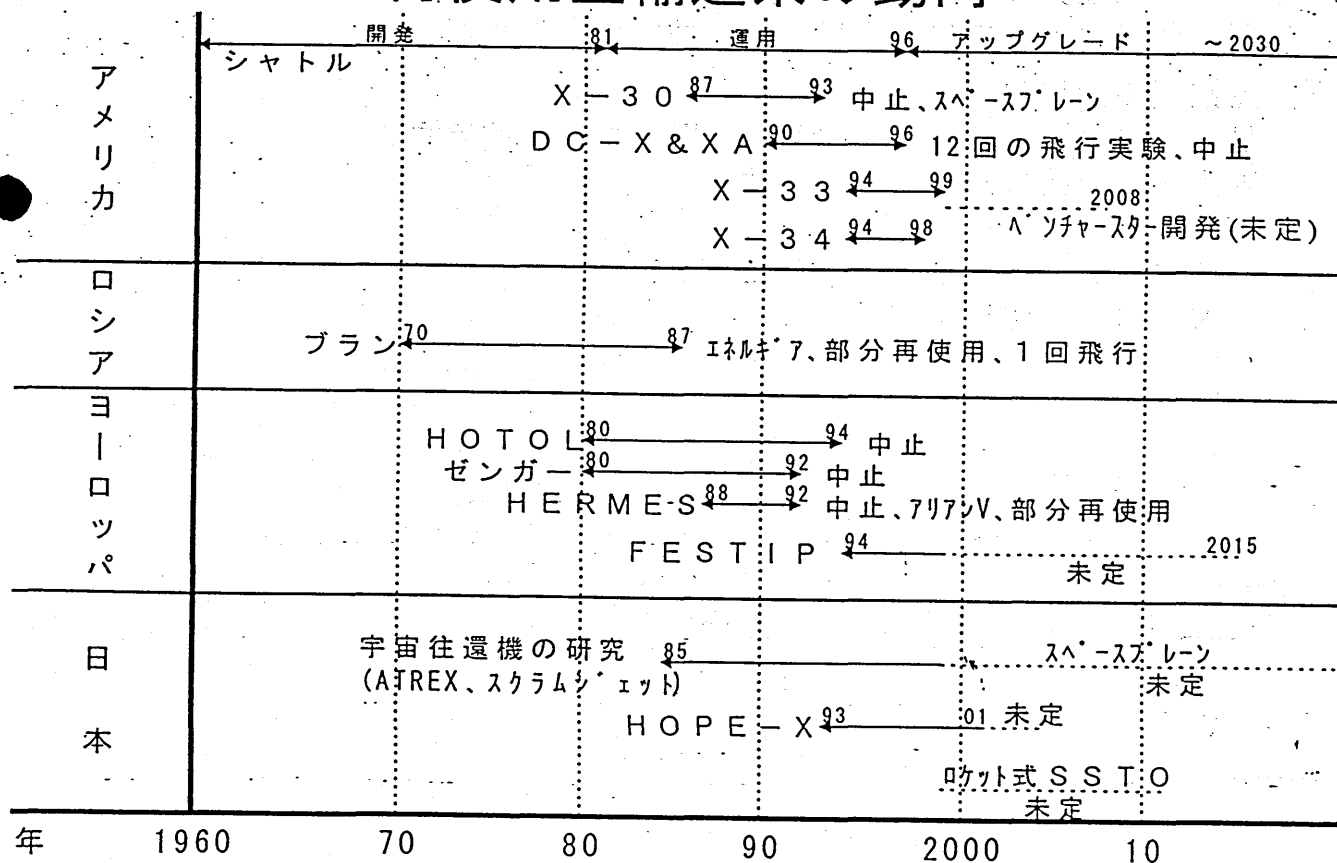
平成6年7月

- ・ 有人輸送システムの開発の進め方
 - － 当面の宇宙飛行士の輸送
 - ・ スペースシャトル利用、無人技術と有人技術の着実な育成と蓄積
 - － 将来の国際的な有人輸送システム開発
 - ・ HOPEの有人往還機への技術的發展性具体化←念頭に研究開発
 - － 一般人が訓練をせずに宇宙旅行、多くの人の夢の実現
 - ・ 水平離着陸能力を有するスペースプレーン(宇宙航空機) ← 2020年代、国際共同開発による実験機飛行を目標に基礎的・先行的研究を進める

宇宙輸送系の分類

- ロケット／スペースプレーン
 - － ロケット・・・大気の影響を少なくするため、できるだけ早く大気層を抜け出す→高G、現在の全宇宙輸送系
 - － スペースプレーン・・・大気を機体の揚力に利用し空気を吸い込み酸化剤にする→1 G以下、未実現
- 使いきり／再使用
 - － 使い切り型・・・打上げ毎機体を作るため運用コスト大、スペースデブリ不可避←現在の使用頻度では主流
 - － 再使用型・・・機体再整備により何度も使うため運用コスト低下可能、デブリ削減に有効←シャトルは部分再使用
- 多段／単段
 - － 多段・・・燃烧終了後の不要機体を切り離し重量を軽くしながら速度を増す→現在の全宇宙輸送系
 - － 単段・・・構造系/推進系技術の飛躍的性能向上要→未実現
- 有人／無人

再使用型輸送系の動向



注) 各国共にスペースプレーンに向けた基礎研究は推進している。

H-II ロケット開発結果

開発目標

目標の設定

H-II ロケットの開発は、昭和59年以降の宇宙開発政策大綱に規定されており、その開発目標は以下の通りである。

＜開発目標＞

- (1) 静止衛星軌道に2トン級の大型衛星を打ち上げる能力を持つロケットとする。
- (2) 1990年代の大型人工衛星打上げ需要に対応する主力ロケットとする。

上記の開発目標を達成するにあたり、宇宙開発委員会にて審議された開発方針を以下に示す。

＜開発方針＞

- (1) 我が国の自主技術により開発する。
- (2) 既開発の技術を最大限に活用することによって、早期開発を図ると共に開発費や実機運用コストの低減を図る。
- (3) 現在の種子島宇宙センターの立地条件で打上げ可能なロケットとする。
- (4) 主要システム及びサブシステムについて、性能等に余裕のある設計を採用し、また安全を考慮して、開発の確実性を図る。

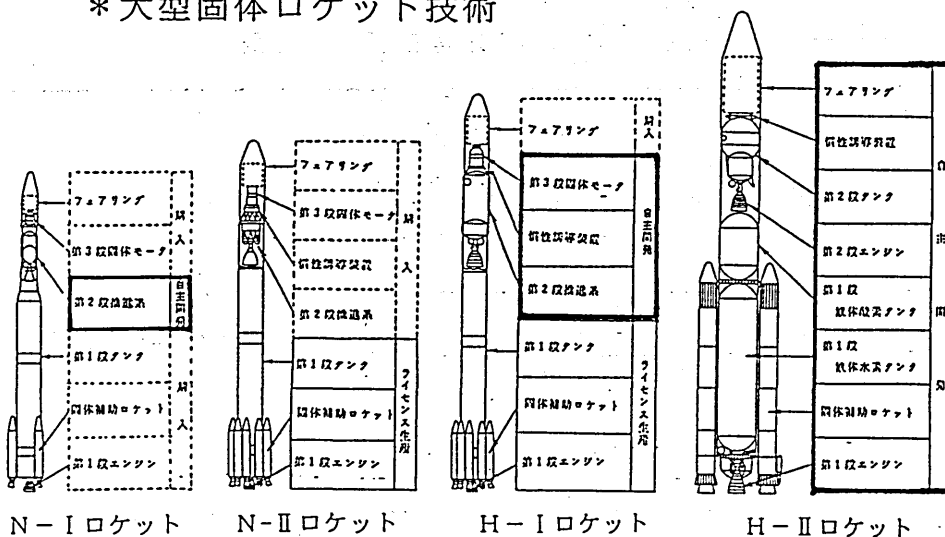
H-II ロケット開発の流れ

＜自主技術の確立＞

- (1) H-II ロケットでは、全段を自主技術で開発する。

＜既開発技術の活用＞

- (1) H-I ロケットの開発で取得した国内技術を流用する。
 - * 第2段の液体水素ロケット技術
 - * 慣性誘導技術
- (2) Mロケットの技術成果を十分に活用する。
 - * 大型固体ロケット技術



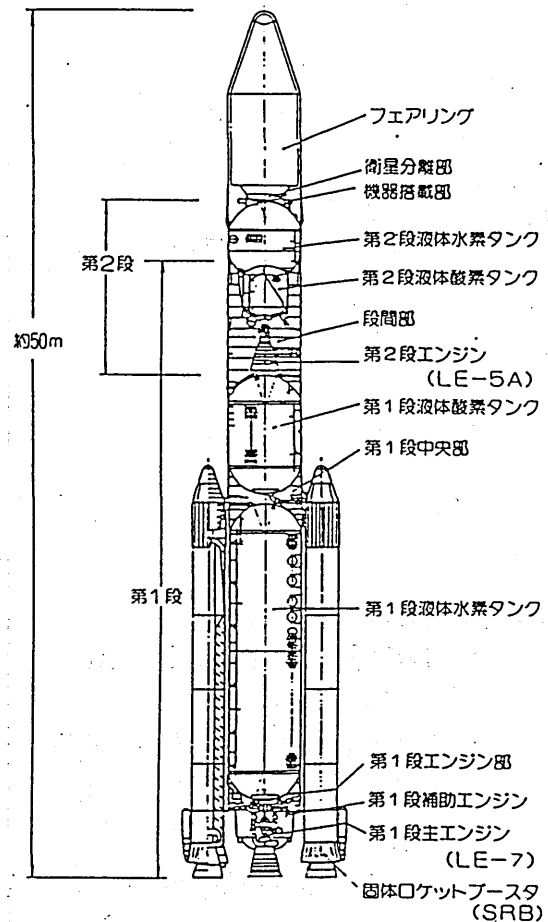
＜主要な開発要素＞

- (1) 衛星フェアリング
 - * 初の大型フェアリング
- (2) 第1段
 - * 初の大型推進系
 - * LE-7エンジン
- (3) 固体ロケットブースター
 - * 初の大型固体ロケット

主要構成

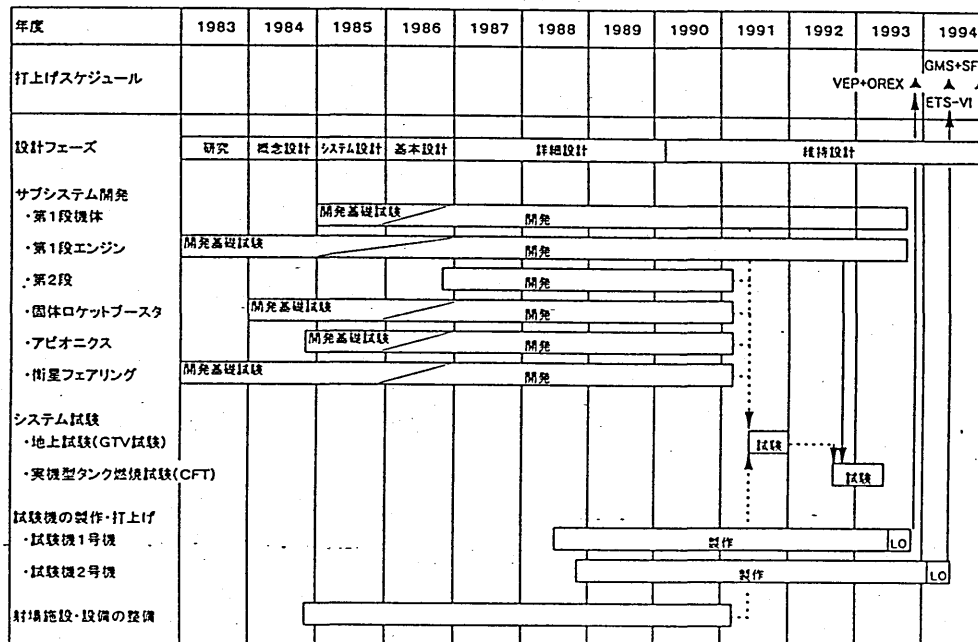
<主要構成>

- (1) 衛星フェアリング [新規開発]
 - * 初の国産大型フェアリング
 - * 各種フェアリングの開発
- (2) 誘導制御系機器 [H-Iの改良]
 - * 慣性誘導方式
 - * リングレーザジャイロの開発
- (3) 第2段 [H-Iの改良]
 - * 液体酸素・液体水素のロケット
- (4) 第1段 [新規開発]
 - * 初の国産大型推進系
 - * 液体酸素・液体水素のロケット
 - * 推力100トン級エンジンの開発
- (5) 大型固体ロケット (SRB) [新規開発]
 - * 国内最大級の固体ロケット



開発スケジュール

- (1) H-II ロケットの開発は、昭和61年度に着手した。
- (2) 開発期間は、当初計画では7年間であったが、完了までに9年間に要した。
- (3) 第1段主エンジンの開発遅れに起因して、開発計画が2度変更された。
 - * LE-7 エンジンのターボポンプ部 不具合対策・・・約1年間
 - * LE-7 エンジンの噴射器部 不具合対策・・・・・・・・約1年間



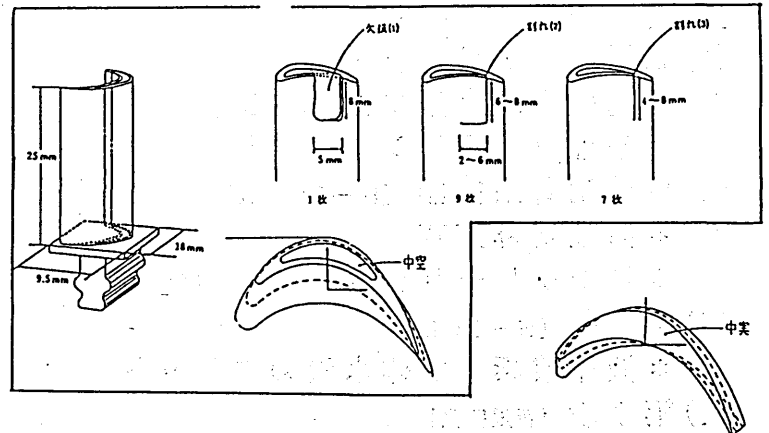
＜LE-7エンジンの不具合＞

(1) ターボポンプ部の不具合

＊タービン翼が振動で破損



＊中空翼を中実翼に改める。



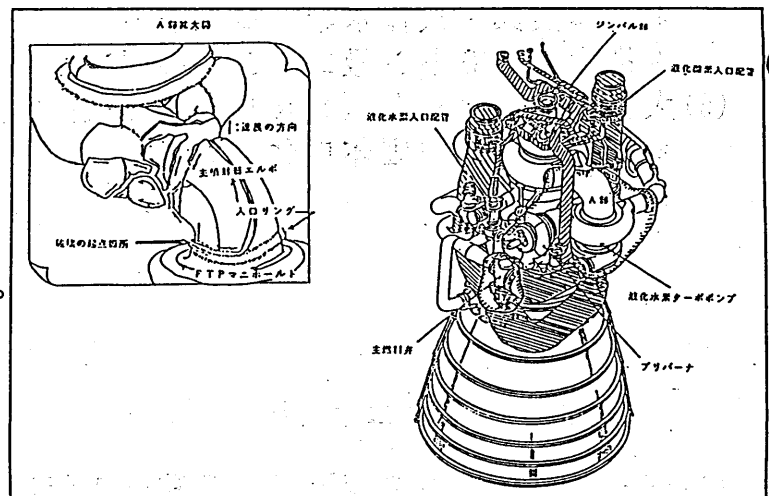
(2) 噴射器部の不具合

＊溶接部が熱衝撃で破損



＊溶接部の強度を向上する。

＊熱衝撃を緩和するために、
プリア-燃焼温度を下げる。
(エンジン推力の低減)



開発経費

＜当初計画＞

(1) H-II ロケットの開発は、総開発費約 2,000 億円で当初計画が設定された。

＜計画変更＞

(1) 開発計画の変更に伴い、約 700 億円の開発費が追加された。

- ＊エンジンの開発費、施設等の安全対策費の追加・・・約 480 億円
 - ＊ロケット全体の開発費の追加・・・約 130 億円
 - ＊試験機 2 号機の GTV 活用分以外の経費追加・・・約 90 億円
- (GTV: 地上試験用の H-II ロケット)

＜開発実績＞

(3) H-II ロケットの開発は、完了までに約 2,700 億円の総開発費を要した。

- ＊ロケットの開発費・・・約 1,810 億円
- (内 LE-7 の開発・・・約 900 億円)
- ＊射点設備等の整備費・・・約 520 億円
- ＊ロケットの製作費 (試験機 1 号機、同 2 号機)・・・約 340 億円
- ＊ロケットの打上げ費 (同 上)・・・約 30 億円

開発成果

宇宙開発政策大綱に定められた開発目標はほぼ達成した。

＜静止2トン級の大型ロケットの開発＞：技術基盤

(1) 大型人工衛星の打上げ技術を確立した。

＊軌道投入精度・・・試験機1号機：H-IIロケット性能確認用ペイロード

＊2トン級静止衛星・・・試験機2号機：技術試験衛星VI型

(2) 複数衛星の同時打上げ技術を確立した。

＊2衛星の搭載・・・試験機3号機：宇宙実験観測フリーフライヤ
＋静止気象衛星5号

(3) 次世代主力ロケット開発の技術基盤を構築した。

＊H-IIAロケットの開発基盤

＜1990年代の主力ロケット＞：インフラ整備

(1) わが国が打上げの自在性を持つH-IIロケットの運用環境を整備した。

＊H-IIロケットの生産設備の整備

＊H-IIロケットの発射設備の整備

(2) 実機運用コストは、円ベースでは目的をほぼ達成した。

しかしながら、為替レートが円高に変動したため、結果的にH-IIロケットの運用コストは、諸外国に比べて割高になった。

H-IIロケットの開発体制

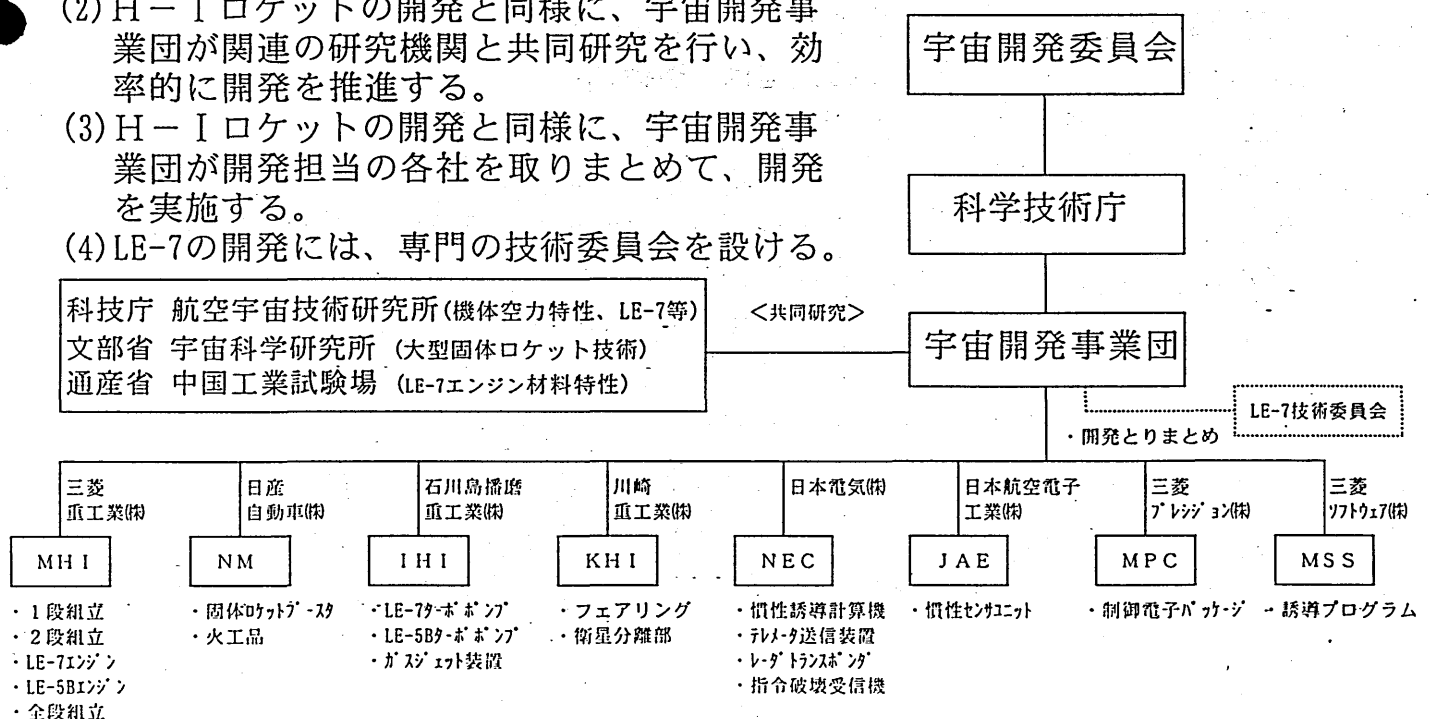
＜体制の方針＞

(1) H-Iロケットの開発成果が十分活用できるように、基本的にH-Iロケットの開発体制を踏襲する。

(2) H-Iロケットの開発と同様に、宇宙開発事業団が関連の研究機関と共同研究を行い、効率的に開発を推進する。

(3) H-Iロケットの開発と同様に、宇宙開発事業団が開発担当の各社を取りまとめて、開発を実施する。

(4) LE-7の開発には、専門の技術委員会を設ける。



H-II A ロケット開発進捗状況

開発目標

H-II ロケットの開発成果をもとに、以下の開発目的・開発方針を設定

<開発目的>

- (1) 2000 年以降の人工衛星打上げ、国際宇宙ステーションへの補給などの多様な輸送需要に効率的に対応するため、H-II ロケット輸送能力の向上を図る。
- (2) より効率的な我国の宇宙開発及び国際協力を推進するため、H-II ロケットと同等以上の信頼性を確保しつつ、打上げコストの大幅な低減化を行う。

<開発方針>

- (1) 静止軌道に 2 トンから 3 トン程度までの打上能力を持つロケットを開発し、ファミリー化を図る。将来的に簡単な改修にて、静止 4 トン級相当のペイロードにも対応できる発展性を考慮する。
- (2) システムの設計簡素化を図るとともに、整備作業にあたり自動化、効率化を可能とするように配慮したロケット・射点システムを開発する。

<想定打上げ需要>

下記打ち上げ需要予測結果に基づき、H-II A ロケットの輸送能力要求を設定

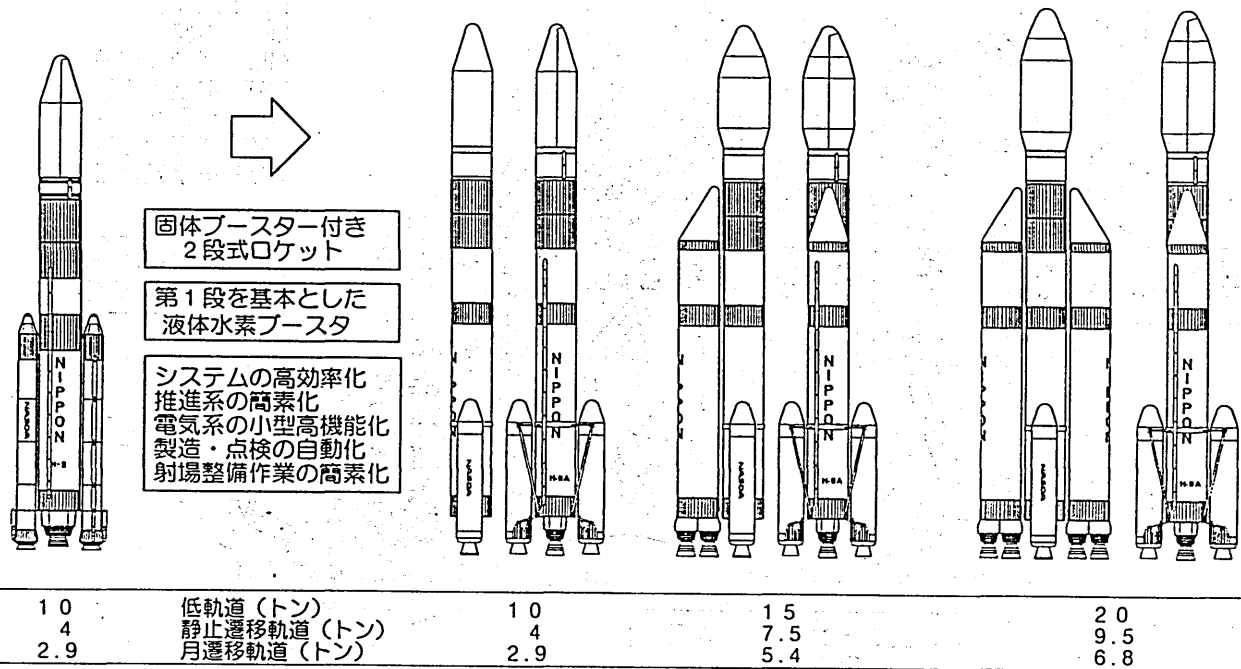
2000 年代初頭からの打上げ需要

- (1) 静止軌道打上げ需要（静止軌道 2～3 トン程度）
 静止 2～3 トン級衛星（衛星の大型化・多様化）
 静止 1.5 トン級衛星の複数同時打上げ
- (2) 低高度軌道打上げ需要（低軌道 10～15 トン程度）
 宇宙ステーション補給： 年間 1～2 機（低軌道 15 トン級）による物資補給
 宇宙往還技術試験機（HOPE-X）の打上げ
 地球観測衛星、低軌道小型衛星群（複数同時打上げ）の打上げ

更に将来にわたって予想される打上げ需要

- (3) 無人有翼往還機、低軌道プラットフォーム等の打上げ（低軌道 20 トン程度）
- (4) 月・惑星開発利用ミッションのための探査機打上げ（遷移軌道 7 トン程度）
- (5) 高度通信、地球観測用大型衛星打上げ（静止軌道 4 トン、極軌道～6 トン程度）

H-II A 設計構想



現行H-IIロケット

静止2トン級

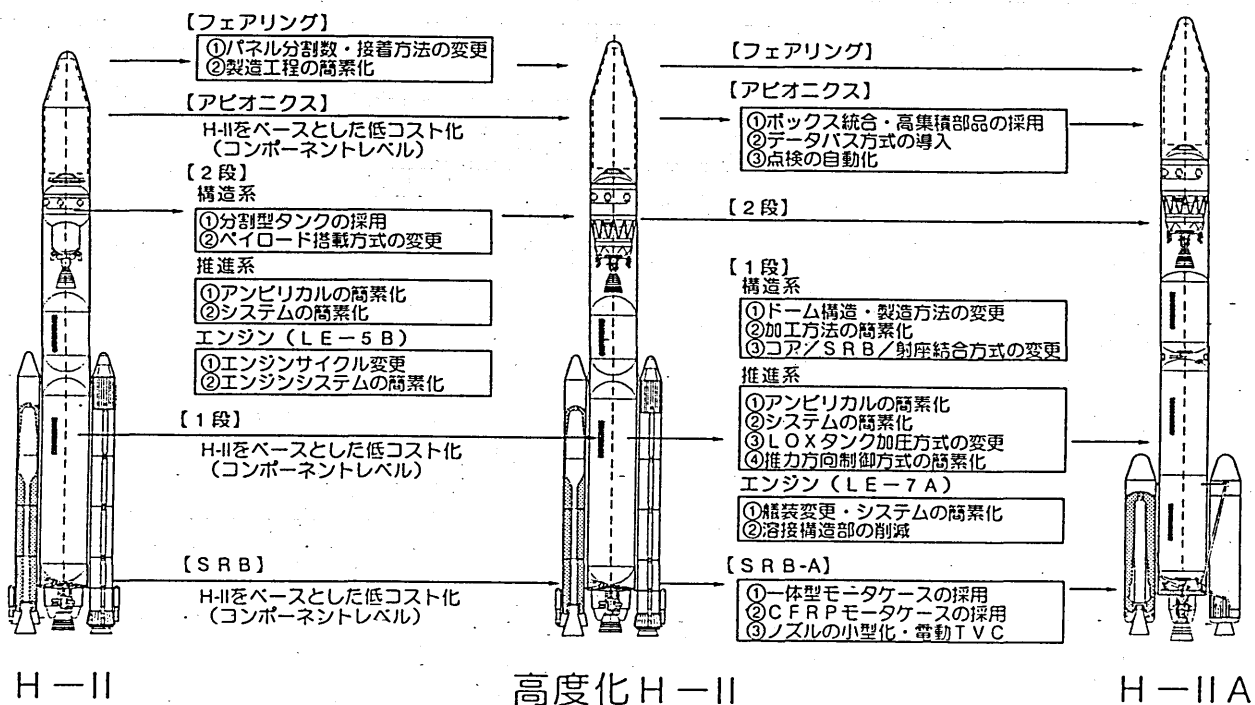
静止3トン級

(静止4トン級)

H-II A 計画

将来

H-II A 主要構成技術 (H-IIからH-II Aへの変更点)

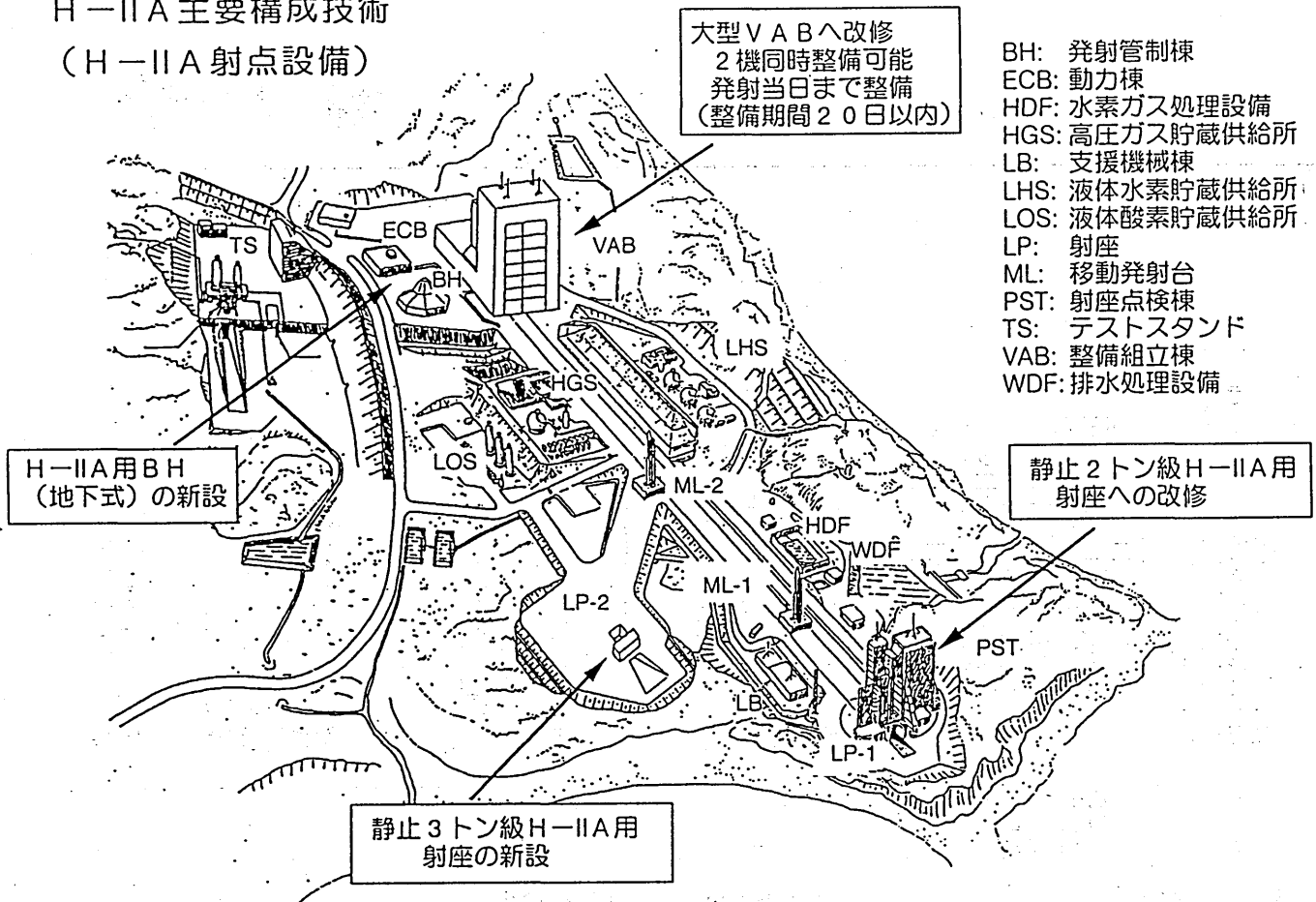


H-II

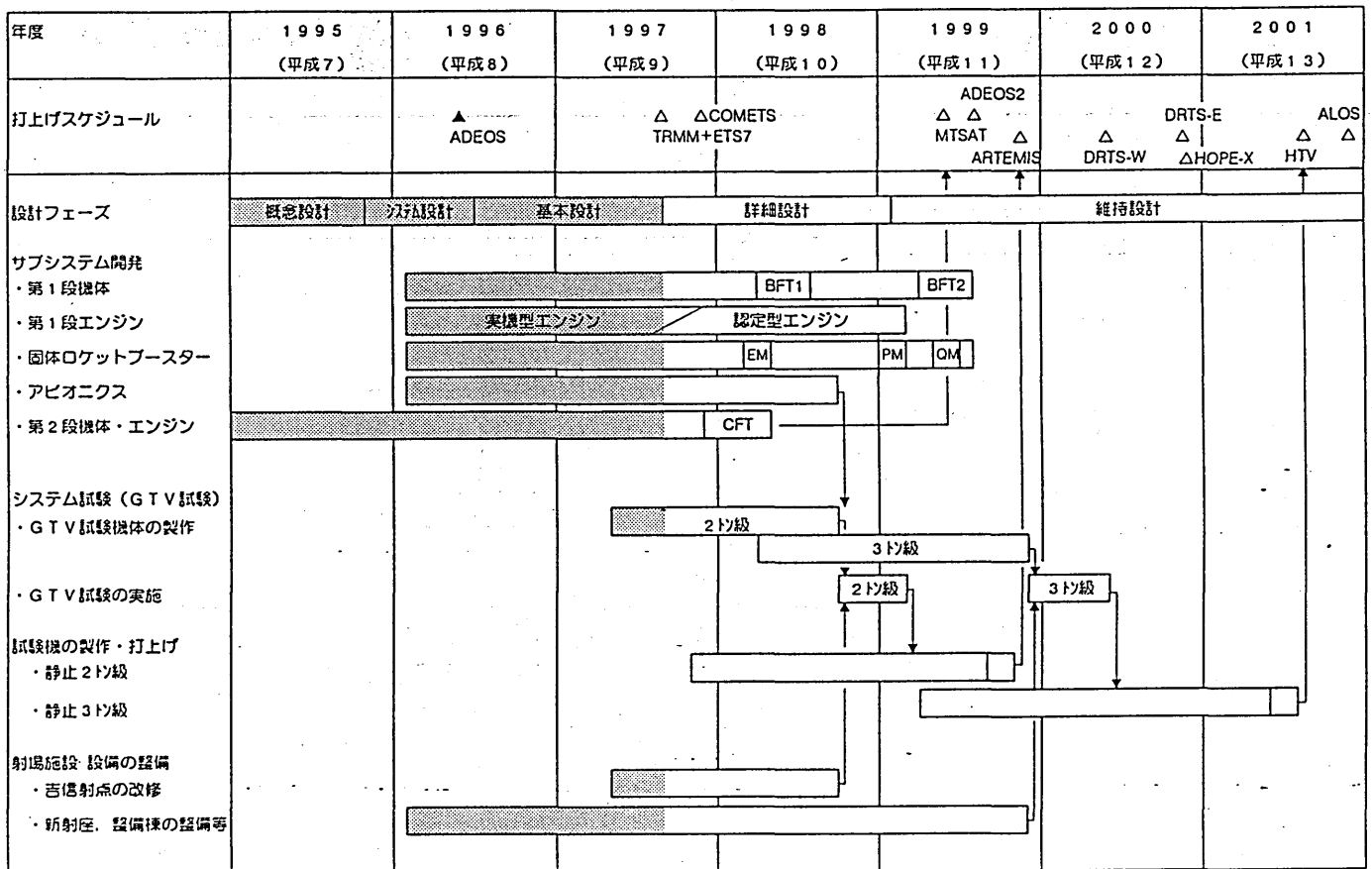
高度化H-II

H-II A

H-IIA 主要構成技術 (H-IIA 射点設備)



H-IIA ロケット開発スケジュール



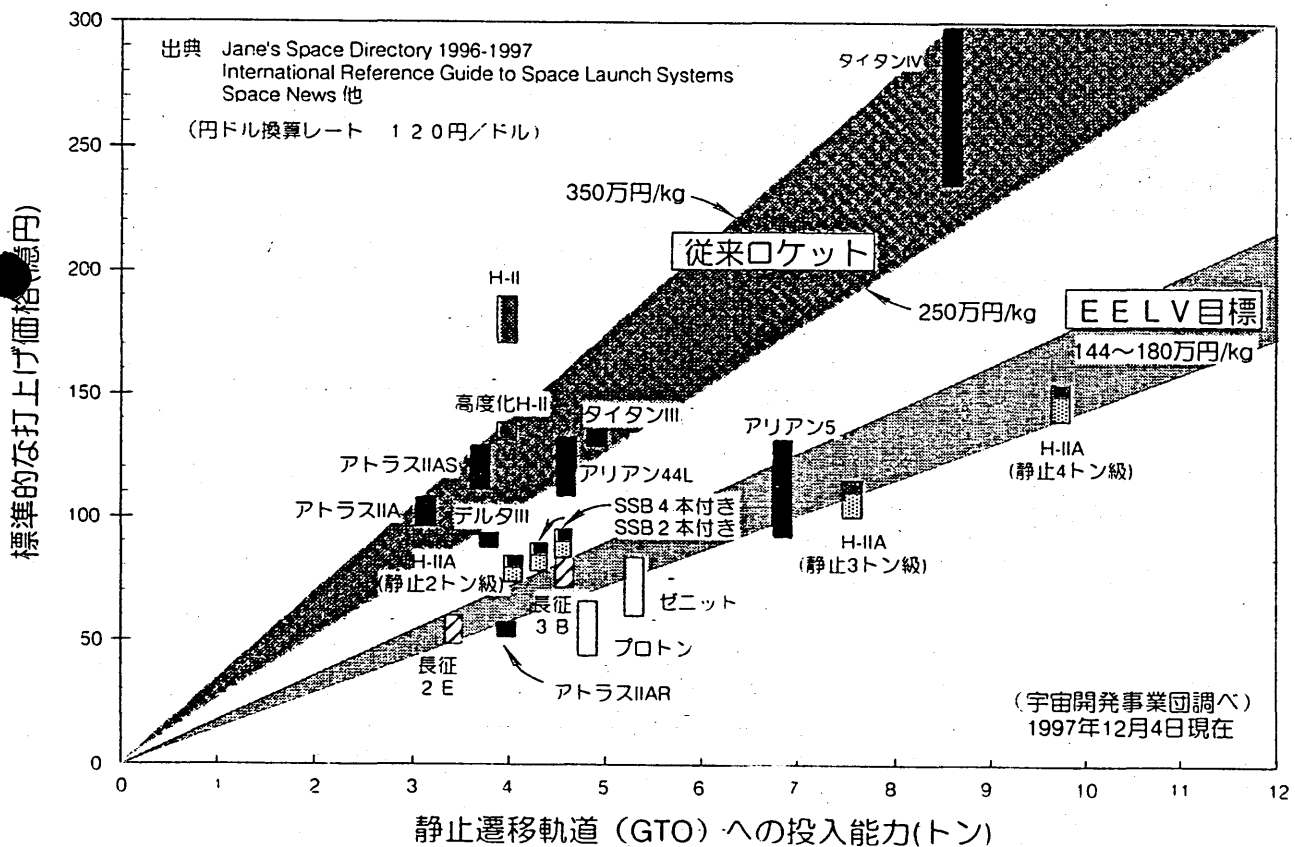
＜打上げコスト要求＞

H-IIロケット開発成果に基づくコスト低減化見通し、世界の打上げコスト動向に基づき、下記打上げコスト要求を設定

静止2トン級で 85億円以下 (H-II打上げコスト約190億円)
 静止3トン級で 115億円以下

参考：2000代の世界の打上げロケット

- ・米国 : スペースシャトル、EELV、(再使用型輸送系：RLV)
 - ➔ EELV(2種類)による輸送コストの大幅削減、打上機の整理統合
- ・ESA : アリアン5、アリアン4
 - ➔ アリアン5を中心とした商業運用の本格化、アリアン5発展型の開発
- ・ソ連 : プロトン、ゼニット、ソユーズ
 - ➔ ゼニット、プロトンロケット等の商業利用の本格化
- ・中国 : 長征3号B、長征2号E
 - ➔ 長征ロケットの商業利用の本格化



ロケット打ち上げ価格等の国際比較

M-V ロケット開発結果

開発目的

平成元年6月28日改訂宇宙開発政策大綱に下記が規定される

- ・1990年代以降における科学ミッションの進展に対応して使用するため、M系ロケットの大型化を図る。
- ・全段固体ロケット技術の最適な維持発展の観点を考慮。
- ・文部省宇宙科学研究所鹿児島宇宙空間観測所の射場における打ち上げ可能範囲。

開発前提

- ・1990年代以降の科学ミッションに対応して、該当する中規模ペイロード領域を対象とする。
- ・同領域における固体ロケットの経済性、簡便性を生かす。
- ・全段固体ロケット技術の維持発展を図る。
- ・宇宙科学研究所鹿児島宇宙空間観測所において十分な安全が保たれる機体規模とする。

設計方針

機体価格については宇宙科学研究所におけるほぼ年1機の打ち上げ頻度を可能ならしめる範囲にとどめる。

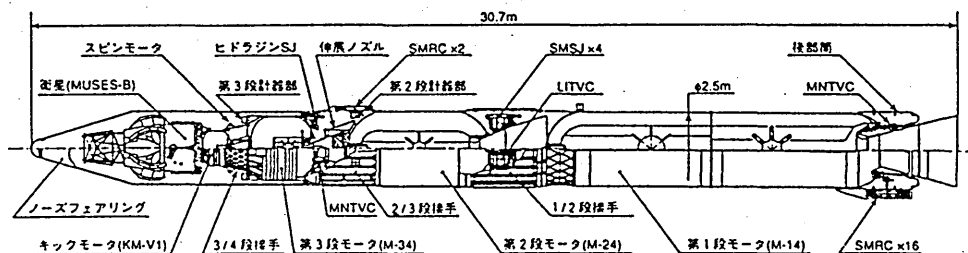
- ・機体構成の単純化を図る。
- ・固体ロケットの特性を生かし、重力損失を極力抑えること等の努力により、性能の向上を図る。
- ・現有地上支援設備の最大限の活用を図る。

機体概要

- ・M-Vロケットは全段固体の3段式ロケット
- ・低高度軌道(250km)に1.8tonの打上げ能力
- ・ミッションに応じてキックステージ(第4段)を搭載

M-V-1号機の機体諸元

- ・M-V-1号機はキックステージを搭載



MNTVC: 可動ノズル式推力方向制御装置 LITVC: 液体噴射式推力方向制御装置
SMRC: 固体モータロール制御装置 SJ: サイドジェット SMSJ: 固体モータサイドジェット

	第1段	第2段	第3段	キックステージ
全長 (m)	30.7	17.1	9.7*	6.0*
代表径 (m)	2.5	2.5	2.2	1.2
各段点火時重量 (ton)	139	51.9	14.1	2.4 (内衛星0.83)
各段推進薬重量 (ton)	72.0	31.4	10.1	1.4
平均真空推力 (ton)	393	127	30	6.0

* ノズル伸張時の衛星先端からの長さ

M-Vの主な新技術

- ・ファイア・イン・ザ・ホール技術
- ・第1, 2段モータケース到新マルエージ鋼
- ・CFRP製ノーズフェアリング/新開頭機構
- ・CFRP製第3段モータケース*
- ・高燃速推進薬
- ・高充填率グレイン設計
- ・3段モータ伸展ノズル*
- ・3段モータ スロート・プラグ式投棄型点火器*
- ・ファイバ・オプティカル・ジャイロ
- ・ロバスト制御則

註: CFRP = 炭素繊維複合材料

*M-3S-IIのキックモータで培った技術の発展適用

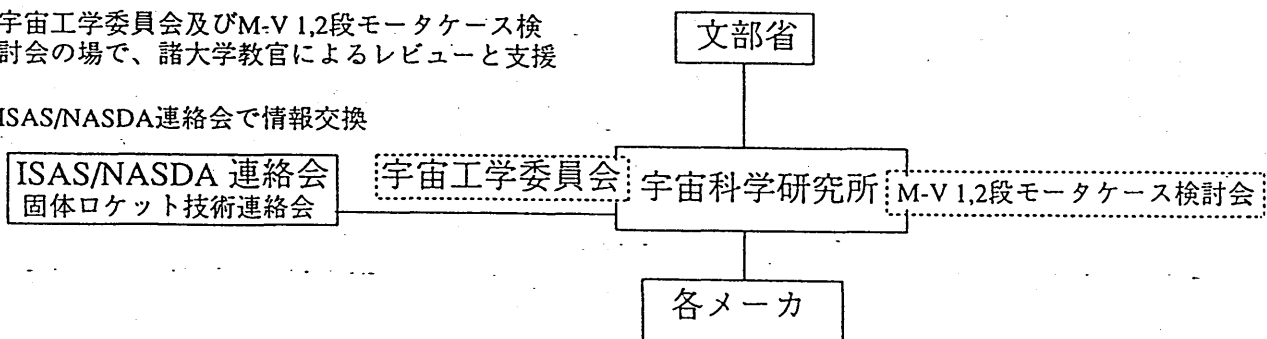
開発経緯

開発スケジュール

- ・1990年度に開発に着手
- ・初号機打ち上げは当初1994年度末の予定の所、1996年度末となった
- ・遅延は、下記2項目の問題解決に時間を要したため
 - ・新マルエージ鋼製モータケースの破壊
 - ・振動によるファイバ・オプティカル・ジャイロの出力変動

M-Vロケットの開発体制

- ・宇宙科学研究所が開発を実施、各メーカーが支援
- ・宇宙工学委員会及びM-V 1,2段モータケース検討会の場で、諸大学教官によるレビューと支援
- ・ISAS/NASDA連絡会で情報交換



開発結果

開発成果

- ・ほぼ計画通りのロケットが開発され、1990年代以降の諸科学ミッションの要求に応じることの出来、かつ、宇宙科学研究所鹿児島宇宙空間観測所において十分な安全が保たれる機体規模の打ち上げ手段が確立された
- ・開発時点での最新技術、研究成果を各所に織り込み、固体ロケット技術の維持発展に貢献した

設計方針達成度

- ・ほぼ年1機の打ち上げ頻度を可能ならしめる範囲の機体価格を維持した
- ・補助ロケットの省略、尾翼の省略等により機体構成の簡素化を達成した
- ・ファイア・イン・ザ・ホール技術、高燃速推進薬の開発導入により重力損失を低減した
- ・鹿児島宇宙空間観測所の地上支援設備は一部改修のうえ継続使用している

開発経費と打ち上げ経費

・開発時に設定したコスト

開発コスト	160億円
機体価格	55億円

・実績コスト

開発コスト	165億円
機体価格	64億円
1号機キックモータ等	4億円
打ち上げ作業、輸送費等	4億円

開発時に想定した打ち上げニーズと、打ち上げ実績及び予定

開発時に想定した打ち上げニーズ

- ・年1機程度の科学衛星／探査機

M-Vミッションの実績と予定

- ・1997年 M-V-1 MUSES-B／「はるか」を打上げ済
- ・1998年 M-V-3 PLANET-Bの打上げ予定（火星ミッション）
- ・1999年 M-V-2 LUNAR-Aの打上げ予定（月ペネトレータ）
- ・2000年 M-V-4 ASTRO-Eの打上げ予定（X線観測衛星）
- ・2001年度 M-V-5 MUSES-Cの打上げ予定（小惑星サンプルリターン）
- 2002年度 M-V-6 ASTRO-Fの打上げ予定（赤外線観測衛星）
- ・2003年度以降 M-V-7 SOLAR-Bの打上げ検討中（太陽観測衛星）
- ・以降多数のミッションを検討中

今後の計画

M-Vロケットの高度化、低価格化計画

- ・第2段ロケットモータ
 - モータケースの高性能複合材料製化 → 低価格化、高性能化
 - 高圧燃焼化 → 高性能化、低価格化
- ・ロール制御の廃止／簡素化 → 低価格化
- ・1/2段接手の簡素化 → 低価格化
- ・搭載機機の簡素化、低コスト化 → 低価格化
- ・第1段、第3段ロケットモータケースの高性能複合材料製化
 - 低価格化、高性能化

高性能複合材料製モータケースについては現在試作段階にある

J-I ロケット開発結果

開発目標

開発目的

J-Iロケットは、平成3年度に小型H-II派生型ロケットとして検討が開始され、平成4年度以降の宇宙開発計画で以下のような方針で開発研究を実施することが規定された。

「J-Iロケットは、小型、安価な打上げ需要に対応するため、低軌道へ1トン程度の輸送能力を有するロケットとし、H-IIロケット及びM-3S IIロケットの開発で得られた技術を組み合わせることとして開発研究を実施する」

<開発方針>

- (1) H-IIロケット及びM-3S IIロケットの開発で得られた技術を組み合わせ、宇宙科学研究所との緊密な協力の下、短期、低コストの開発を行う
- (2) 既存の施設設備(大崎H-I射点)等は最大限利用する

開発当初の小型ロケットのニーズ

- (1) J-Iロケットの開発当初には、右図のような小型のミッションが予測されており、低軌道へ数百kgから1トン程度の打上げ能力が必要と考えられた。

今後10年程度の間に予測される我が国の小型衛星等の打上げ需要

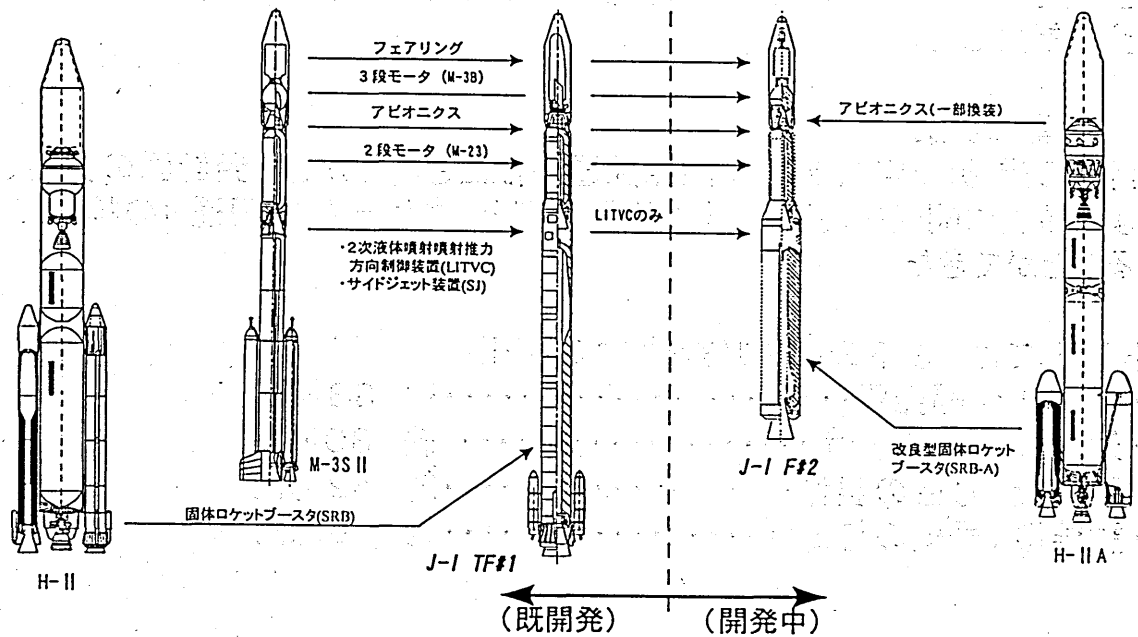
a) 宇宙ステーション等への長期有人滞在に関する研究として、国家的に検討されている生物実験のための無人回収型衛星	低軌道 1トン程度
b) 材料実験等のための無人回収型衛星	低軌道 100kg～1トン程度
c) 地球環境監視等のための小型地球観測衛星	低軌道(後者) 1トン程度
d) 移動体通信/測位等のための小型通信衛星	低軌道 数百kg
e) 防衛制、構造、空力等の要素技術実験用小型衛星等	低軌道 数百kg～1トン程度
・HOPE極超音速飛行実験(平成7、9年度頃実施見込)	弾道飛行 2トン

宇宙開発委員会資料より

- (2) 当時は世界的にもこのクラスのロケットは実用になっておらず、また宇宙科学研究所のM-3S IIロケットよりも大きな打上げ能力が必要であった。
- (3) これらをH-IIロケットを使用して打ち上げると、プロジェクトコストを抑えるには同時に多数の打上げが必要であり、迅速且つ柔軟な対応が困難であった。
- (4) また、HOPE等、国の技術開発ミッション等に対応するために必要な手段を確保する観点からも、大型のH-IIロケットとともに、独自の小型ロケットを持つことが適当と判断された。
- (5) 以上より、当時の国内の既存技術を結集して、J-Iロケットを開発することが決定された。すなわち、1段にH-IIロケットのSRB、上段にM-3S IIロケットの上段を組み合わせた固体ロケットを開発するものである。

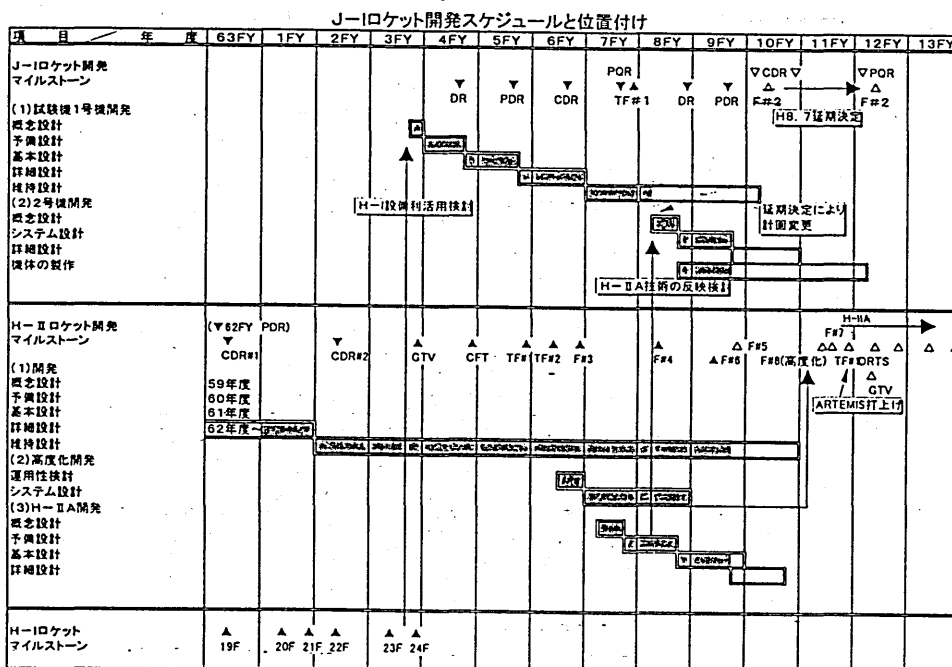
開発計画 開発項目

J-1ロケットは、低リスク、短期間の開発を行うため、既存の国内技術を十分に活用した。



開発スケジュール

- (1) J-1ロケットの開発は、平成4年に予備設計が開始され、当初予定通りの4年間で試験機1号機の打上げを実施した。
- (2) 2号機については、衛星側の事情により打ち上げが平成10年度から12年度に延期された。このため、H-II Aロケットの開発成果を反映して、システム変更を実施中である。



▼ 各種審査会
DR : 予備設計審査
PDR: 基本設計審査
CDR: 詳細設計審査
PQR: 認定試験後審査

▲ 打上げ等
GTV : 地上試験機
CFT : 実機型タンク燃焼試験
TF# : 試験機 * 号機
F# : フライト * 号機
* F : フライト * 号機 (H-I)

白抜きは計画を示す

開発経費

計画

J-1ロケットの開発は、試験機1号機打上げまでの総開発費約113億円が設定された。既存のロケットの組合せという方式により、非常に低コストな開発を計画した。

達成状況

開発の進捗に伴い、新たな開発課題が抽出されたが、開発計画の見直し等により順調に開発を終了し、また総開発費としては当初計画通りの枠内で収めることができた。

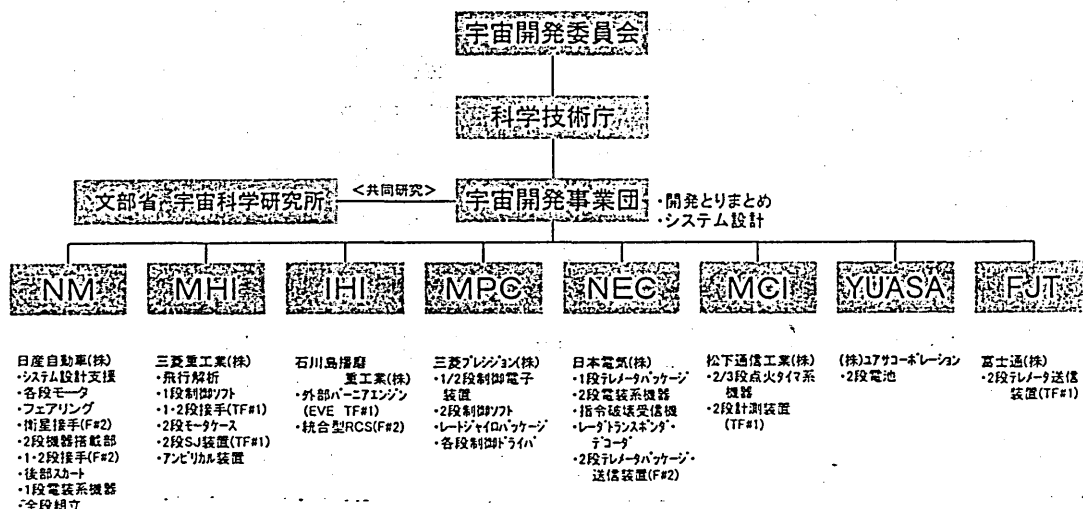
実績としては、以下のとおり(計約113億円)

- ・ロケットの開発費……………約 33億円
- ・射点設備等の整備……………約 30億円
- ・試験機1号機の製作……………約 42億円
- ・試験機1号機の打上げ……………約 8億円

開発体制

<体制の方針>

- (1)宇宙科学研究所の開発手法を引き継ぎ、宇宙開発事業団がシステム設計を行うとともに、開発担当の各社をとりまとめて、開発を実施した。
- (2)宇宙科学研究所と共同研究を行い、効率的に開発を進めた。



開発成果

- ・J-1ロケットは、当初の小型衛星打上げ手段の確保という開発目標に対して、2段式までの基本性能を確認した。
- ・国内2機関の協力の下、既存のロケットの有効な活用を進めることにより、4年間という短期間と低コストにより、当初計画通りの開発（約63億円）を行い、試験機1号機の打上げ（約50億円）に成功した。
- ・試験機1号機において、ロケットの設計上厳しい極超音速実験機の弾道軌道への投入に成功した。

今後の課題

以上より、世界的にも当初設定した低軌道1トン程度の小型衛星の需要は十分にあると考えられる（なお、通信系の低軌道周回衛星が最も機数の多いものであるが、これらは通常大型ロケットの相乗りで打ち上げられる為、その補完衛星の打上げに小型ロケットが使用されるものと想定される）。

また、国内の計画としては、ミッション実証衛星(MDS)シリーズとして、小型衛星の検討が継続されており、現在2号機まで計画されている（1号機はH-II Aの相乗り衛星として打上げ機会を得ているが、2号機は未定である）。

- (1)J-1ロケットは、2号機においてコストの低減を図るが、オリジナルロケットの開発開始から年数が経過していることもあり、その後に運用開始された世界のロケットと比べ高いものとなっている
- (2)また、H-II等の大型液体ロケットに比べ、軌道投入精度が悪く、またペイロード環境が厳しいなどの小型ロケットの共通の問題があり、有効な小型ロケットとしていくため、それらの改善を含むペイロードへのサービス向上が必要である。

平成10年度より、これらの考察を踏まえ、“衛星の要求に柔軟に応えられる安価な小型ロケット打上げシステム”の研究を始める計画である。

HOPE-X開発進捗状況

開発目標

意義・必要性

宇宙往還技術試験機 (HOPE-X)

宇宙往還技術試験機 (HOPE-X) は、

- 宇宙往還技術の確立を図るとともに、
- 再使用型宇宙輸送系の技術基盤を構築すること

を目的とした技術試験機である。

宇宙往還技術

- 従来のロケットが宇宙へ行くだけの一方向の輸送手段だったのに対し、地球に戻ってくる機能を付加した双方向の宇宙輸送技術
- 21世紀初頭における高度化・多様化する宇宙活動に対応する技術
 - 地球周回軌道上における宇宙機へのサービス（修理、交換等）
 - 宇宙環境利用実験／観測
 - 宇宙ステーション等への物資・人員の輸送・回収
- 有人の宇宙輸送システムを構築するために不可欠の技術
- 宇宙輸送システムを再使用するために不可欠の技術

再使用型宇宙輸送系

- 従来のロケットが1回の打上げで使い切ることにに対し、同じ機体を繰り返し使う宇宙輸送システム
- 再使用型宇宙輸送システムの開発により宇宙活動の展開にとって大きな課題である輸送コストの抜本的低減を実現
- 余裕ある設計により製作される再使用可能な宇宙システムの開発は耐久性・信頼性を向上
- 短期間・簡易な整備作業により再使用可能な宇宙システムの開発は運用上の柔軟性・対応性を向上

以上のような特徴を有する再使用型宇宙輸送システムは、将来的には、現在の航空機での旅行・輸送のように容易に宇宙にアクセスすることができ、さまざまな宇宙活動の可能性を拓く

開発計画

宇宙往還輸送システムに必要な技術

- 宇宙往還輸送システムは、打上げ、軌道投入～軌道離脱、大気圏再突入、極超音速～超音速～遷音速～亜音速飛行、着陸といった多様な飛行状態、広範な速度領域に対応することが必要
- このような宇宙往還輸送システムを開発していくためには、特に、空力、構造、熱防護、制御の要素技術が重要であるとともに、多様・広範な飛行領域に適合するようこれら要素技術を統合するシステム技術が重要
 - ・ 空力技術
 - 広範にわたる全速度域に対応する最適形状設計技術の確立
 - ・ 構造技術
 - 実飛行環境における実用規模機体の強度確保と軽量化を両立させる構造設計技術の確立と実証
 - ・ 熱防護技術
 - 実用規模機体の実飛行環境下における耐熱防護システムの設計技術の確立と再使用性の機能実証
 - ・ 制御技術
 - 全飛行フェーズを自律し、安定して飛行可能とする飛行制御技術の確立と実証
 - ・ システム技術
 - 要素技術の統合に必要なシステム技術の確立と再使用型宇宙輸送システムの運用基本技術の習得

飛行実験計画

- 我が国の宇宙往還輸送システムの研究開発を効率的かつ段階的に進めていくため、以下の3実験及び宇宙往還技術試験機（HOPE-X）について一連の飛行実験計画として位置づけ、実施してきている。

軌道再突入実験（OREX）

極超音速飛行実験（HYFLEX）

小型自動着陸実験（ALFLEX）

- 宇宙往還技術試験機（HOPE-X）は、これら各飛行フェーズに係る要素技術を統合し、実環境下での飛行実験により、システム技術として同時に確立するものと位置づけられる。

開発体制

- 宇宙往還輸送システムの研究開発にあたっては、有翼飛行等の航空機技術とロケットを始めとする宇宙技術とがともに必要。
- これに基づき、平成5年より、それまで行われてきた協力を拡充させ、航空宇宙技術研究所と宇宙開発事業団で共同チームを設置し、OREX、HYFLEX、ALFLEXを含めて一体的に研究開発を実施。

宇宙往還技術試験機 (HOPE-X)

(1) 開発進捗状況

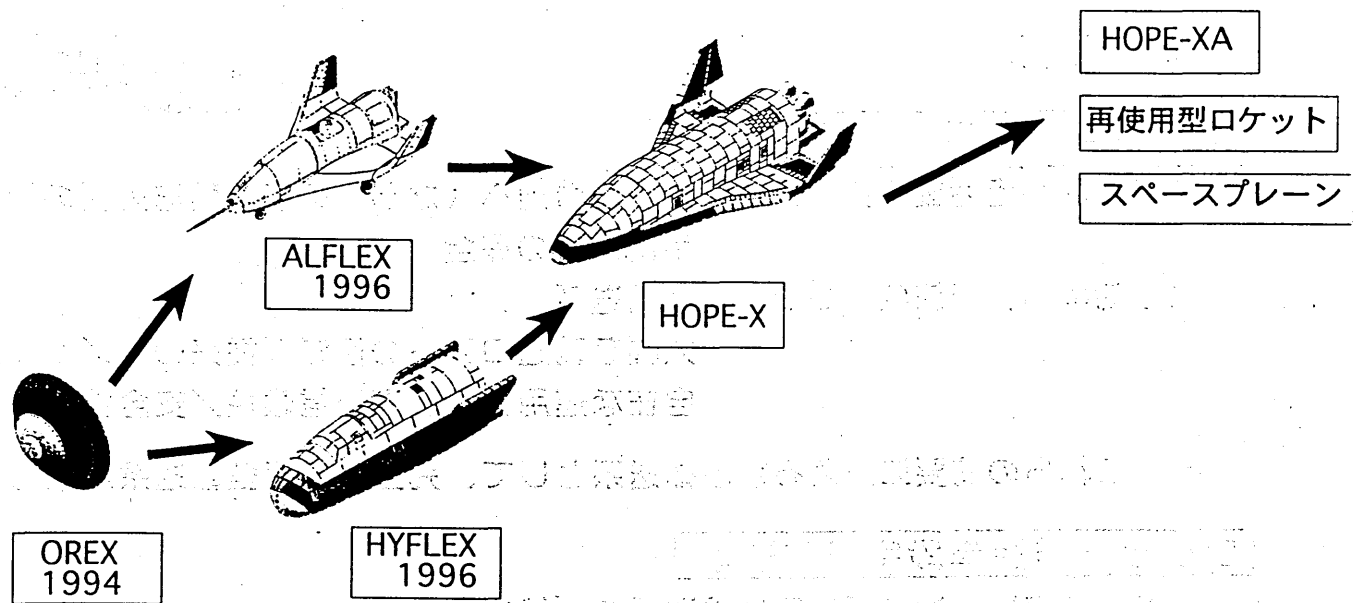
- 宇宙往還輸送システム懇談会報告書を受け、平成5年度より研究に着手。
- 平成8年度より開発研究に移行。
- 平成9年度より開発に移行。

(2) 開発費

- 研究段階
約130億円 (OREX、HYFLEX、ALFLEXを除く)
- 開発段階 約960億円

宇宙往還技術試験機開発スケジュール

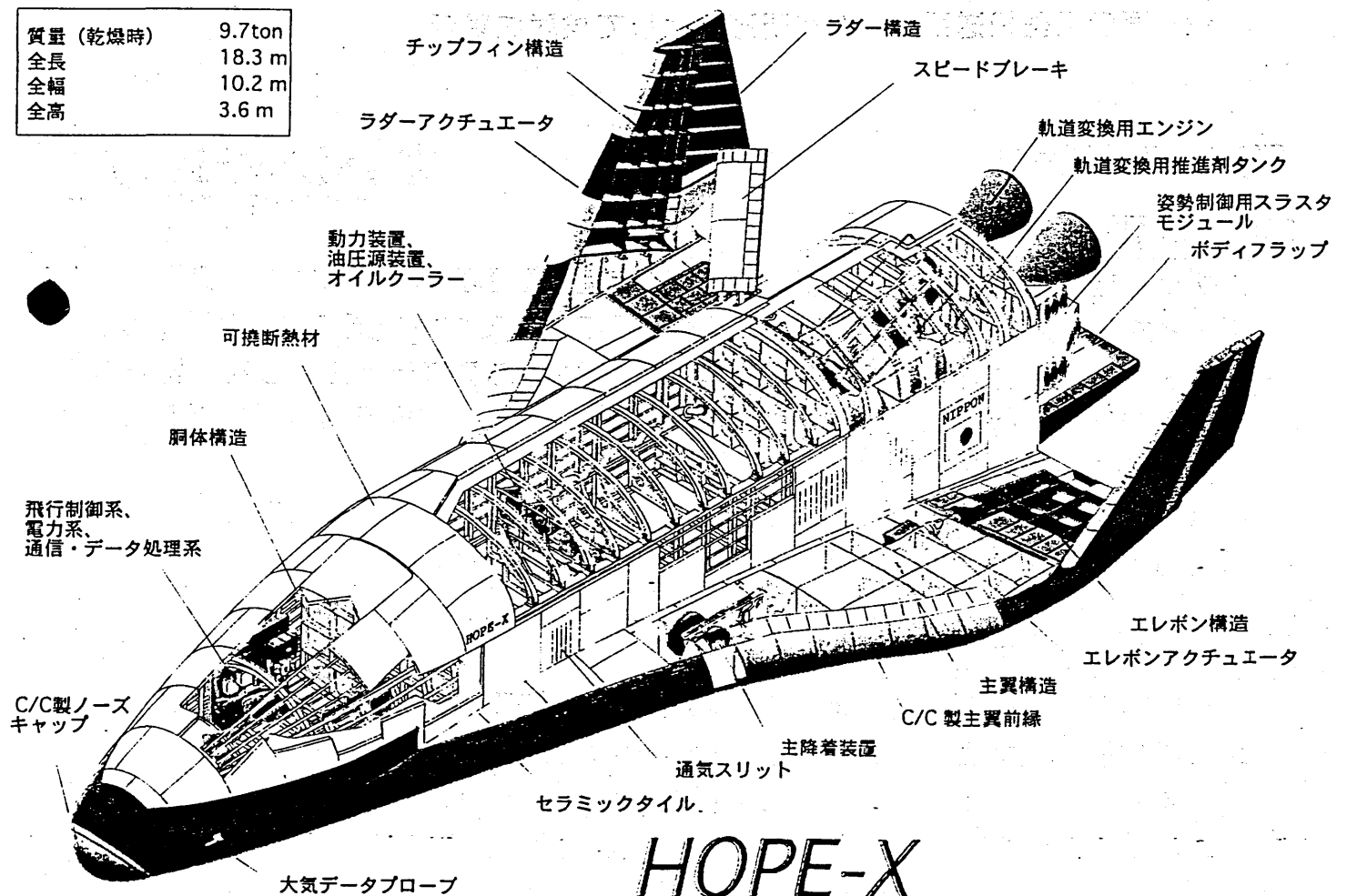
項目	年度	5	6	7	8	9	10	11	12
	月	4 6 8 10 12 2	4 6 8 10 12 2	4 6 8 10 12 2	4 6 8 10 12 2	4 6 8 10 12 2	4 6 8 10 12 2	4 6 8 10 12 2	4 6 8 10 12 2
主要イベント		▲ OREX		▲ HYFLEX	▲ ALFLEX				△ HOPE-X
(1) 設計フェーズ		研 究		開発研究		開 発			
(2) 開発試験		基礎技術試験		要素技術試験		開 発 試 験			
(3) 実験機開発								実験機製作	
(4) 施設設備整備						射場改修		着陸場整備	
OREX開発									
HYFLEX開発									
ALFLEX開発									



宇宙往還システム開発の流れ

主要諸元

質量 (乾燥時)	9.7ton
全長	18.3 m
全幅	10.2 m
全高	3.6 m



再使用型輸送系の研究進捗状況（NASDA）

意義・目標



将来宇宙輸送系への背景需要

- ・ 将来的な宇宙活動の拡大 ⇒ 地球低軌道へ（から）の宇宙輸送需要の増大
宇宙環境の保全
- ・ より効率的、経済的、かつ安全な輸送系
⇒ 大幅な輸送コストの低減（従来の1/10以下）
自在な運用性及び高い信頼性／安全性
- ⇒ これらの需要に応える宇宙輸送系として、完全再使用型輸送系が最も有力

ロケット推進単段宇宙輸送機

- ・ スペースプレーン（再使用型輸送系の最終的な目標）
水平離着陸可能、空気吸い込み式エンジン（ABE）搭載の単段宇宙航空機
⇒ ABE、軽量耐熱構造機体等の技術課題への長期的取り組みが必要
- ・ ロケット推進単段宇宙輸送機（中間段階の目標）
垂直離陸、水平（又は垂直）着陸、ロケットエンジン搭載の単段宇宙輸送機
⇒ 再使用型輸送系の早期実現形態として検討に着手

研究の進捗状況



検討用基準モデルの設定

- ・ ロケット推進宇宙輸送機の形式については、垂直着陸式、有翼式、リフティングボディ式等多数の候補形態があり、最適形式については今後更に検討の要がある。
- ・ NASDAで検討を進めるにあたっては、検討用の基準モデルとして、垂直離陸／水平着陸式の有翼単段宇宙輸送機を選定 ⇒ 現行開発プログラム成果（HOPE-X、H-IIA等）の最も合理的な発展融合形態
- ・ 基準モデルに対して、システム要求事項に関するガイドラインを設定し、技術課題を明確化 ⇒ 最重要技術課題：機体の軽量化、推進系の高性能化

基準モデルの検討結果

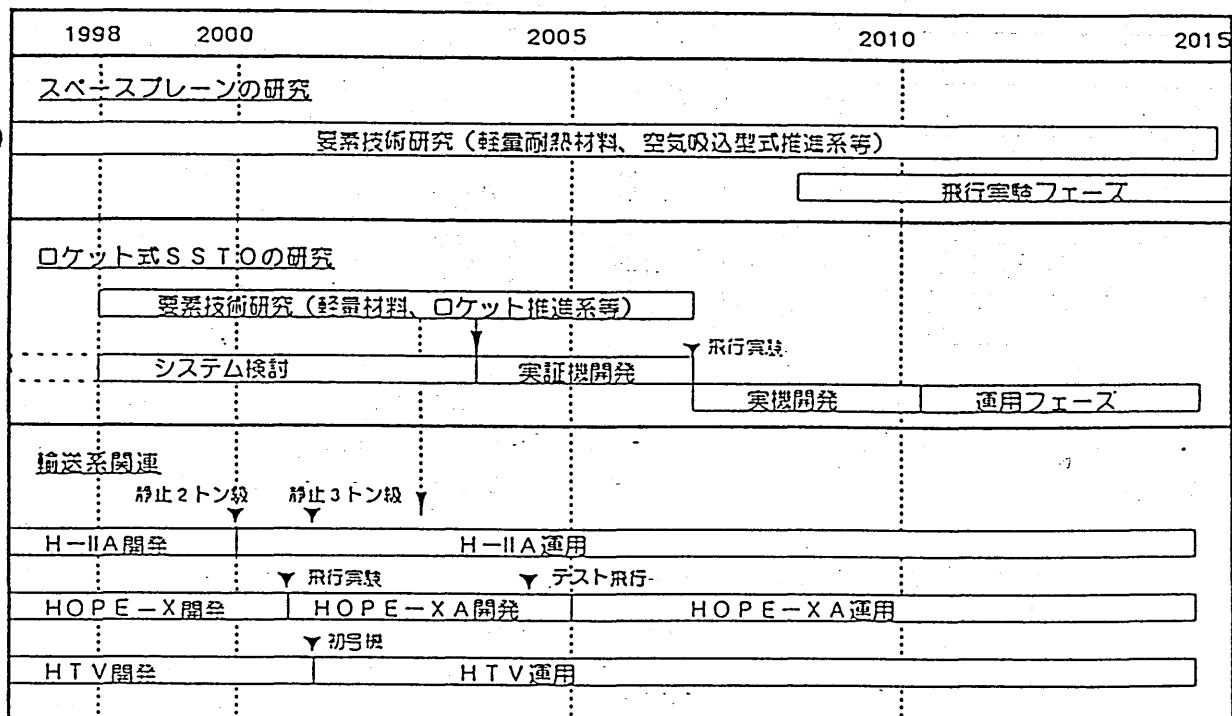
- ・ 従来材料技術に基づく算出機体重量に対し、全体で30%以上の軽量化と、推進系の高性能化（地上推重比の向上、比推力の向上）が必要
- 機体軽量化 : 複合材料の積極的な導入（常温部、極低温部、高温部）
- 推進系高性能化 : エンジンサイクルの最適化
高度補償ノズル（伸展ノズル、エアロスパイクノズル）等

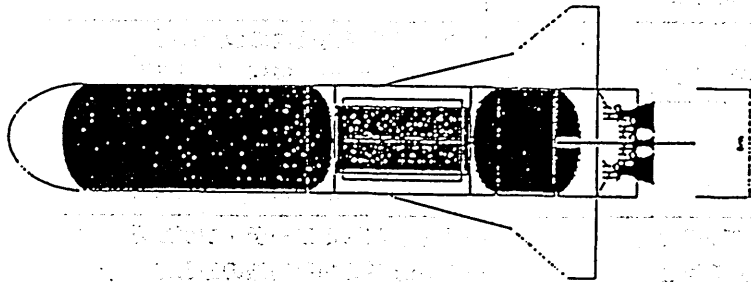
技術開発項目

再使用型輸送系の主な技術課題

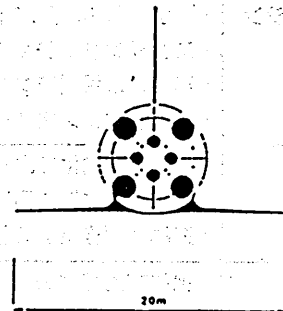
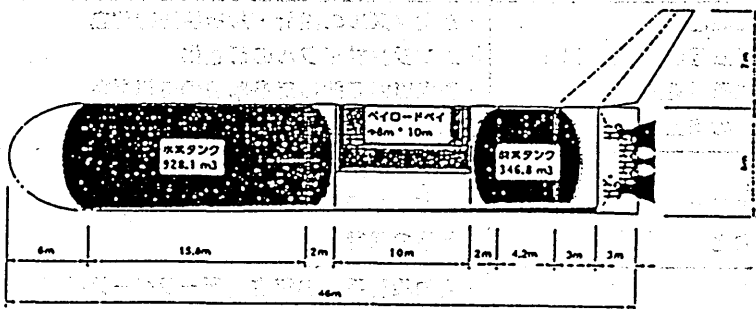
	システム成立のための対応策	技術課題
主構造部材	・ 複合材(CPI, C/Ep等)適用による軽量化 ・ 各部位における使用材料、構造形式の最適化	・ 大型複合材構造物の製造技術 ・ 複合材の成形、補修、検査技術
極低温タンク	・ 複合材(C/Ep等)適用による軽量化 ・ 断熱システムの最適化 ・ 製造コストの低減	・ 大型複合材タンクの製造技術 ・ 推進剤適合性のある材料の選定 ・ 複合材の成形、補修、検査技術
耐熱材料	・ 複合材(C/C等)適用による耐環境性、寿命向上 ・ メンテナンス性(検査、部品交換等)の向上 ・ 製造コストの低減	・ 耐水、耐酸化コーティング技術 ・ 熱防護材の積装方法の最適化
ロケットエンジン	・ 伸展ノズル、スパイクノズル等による高性能化 ・ エンジンサイクル変更等によるシステム軽量化、長寿命化 ・ 複合材適用(コンポーネント)等による軽量化 ・ メンテナンス性(検査、部品交換等)の向上	・ 新型ノズルの設計・解析手法の確立 ・ エンジンサイクルの最適化 ・ 使用環境に即した各部位の材料選定 ・ エンジンヘルス管理システムの構築
運用性	・ 点検の自動化による省力化 ・ 高度冗長化による運用性(信頼性)の向上 ・ 追跡管制作業等の各種支援作業の省力化	・ 機体ヘルス管理システムの構築 ・ 高度インテリジェント化された搭載電子機器部品の開発
空力設計	・ 機体空力特性の最適化 ・ 飛行経路及び飛行環境条件の設定	・ 空力設計手法の確立、データベース構築 ・ 風洞試験、CFD空力特性予測精度の向上
全機システム	・ ミッションに最適な機体形状の設定 ・ 推進系/構造材料系技術を反映した機体システムの最適化	・ 推進系と機体システムの適合性 ・ 構造設計/製作技術と機体システムの適合性

研究開発スケジュール案

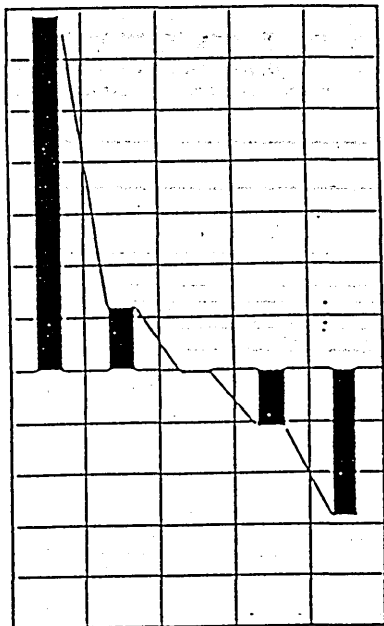




機体質量	500.0 ton
ペイロード質量	10.0 ton
液体空盛質量	50.0 ton
推進剤質量	440.0 ton
エンジン混合比	6.0
燃料質量	62.9 ton
酸化剤質量	377.1 ton
エンジン比推力	450 秒 (高圧張4基)
(LE-7A')	430 秒 (低圧張4基)



SSTD基準概念モデル主要機体規模



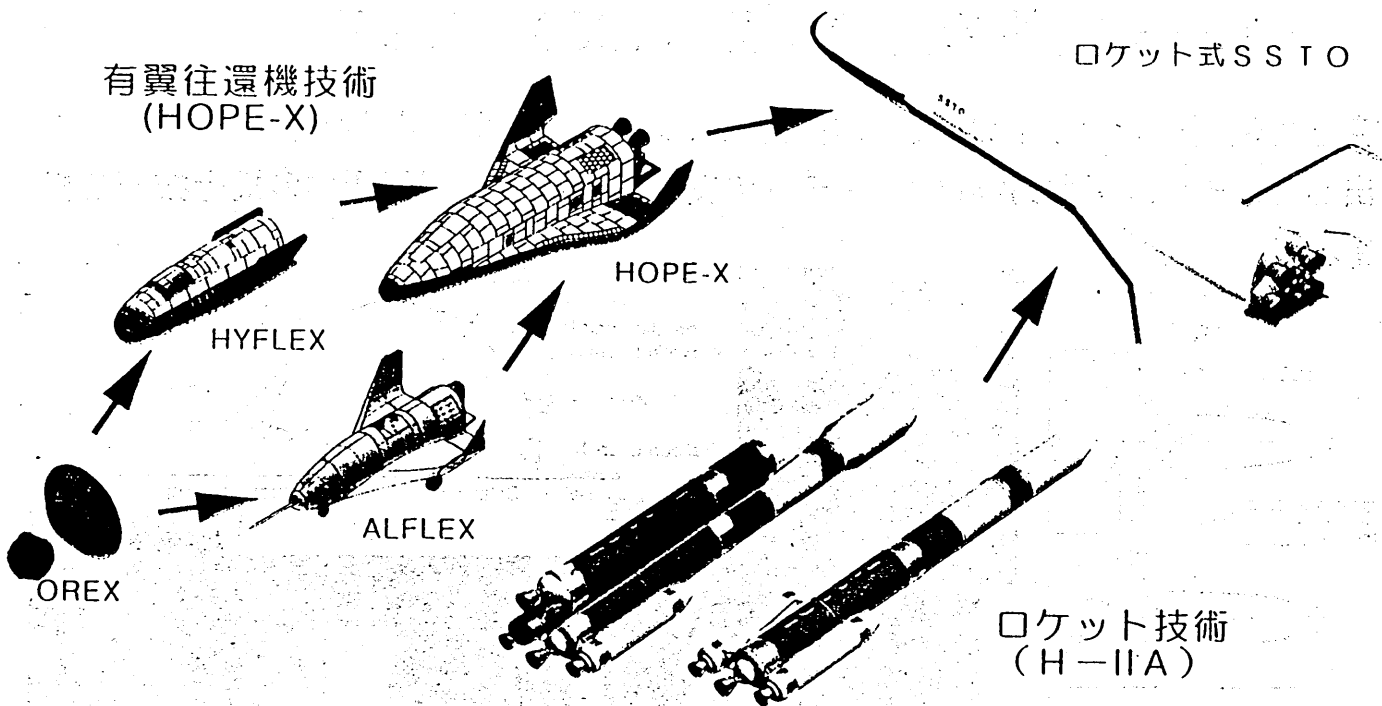
- ① 現行技術レベル
- ② + 機体軽量化
エンジン推力比:70
- ③ + 比推力向上
(10秒)
- ④ + 過冷却推進翼
(LOX:70K, LH2:14K)
- ⑤ + 3元推進剤
(LOX/LH2/RP-1)

システム成立のための機体軽量化要求 (%)
機体空盛重量 (仮算値) / 液体空盛重量 (要求値)

機体構造	1,040 ko
前部胴体 (含ペイロード)	5,090 ko
中部胴体	1,350 ko
後部胴体	1,310 ko
エンジンセクション	6,000 ko
翼構造	4,010 ko
水素タンク	2,160 ko
酸素タンク	5,230 ko
エンジン	10,660 ko
エンジン	4,580 ko
コモン	5,050 ko
推進系 (含RCS推進翼)	1,660 ko
補助動力系 (含アクチュエータ)	240 ko
誘導制御系	1,120 ko
計測通信系	2,000 ko
電池	
音障脚	
システム余裕	290 ko
機体空盛重量	51,790 ko
ペイロード重量	10,000 ko
推進剤重量	438,210 ko
合計重量	500,000 ko

ケース⑤における
機体重量評価結果

SSTD機体重量評価結果



再使用型輸送系へのアプローチ

輸送能力 10トン/低高度軌道 (LEO)

再使用回数 100回以上 (年20回)

輸送コスト 1億円/トン以下

ロケット式有翼SSTO

無人仕様

液体酸素/液体水素推進系

垂直離陸/水平着陸 (VTHL)

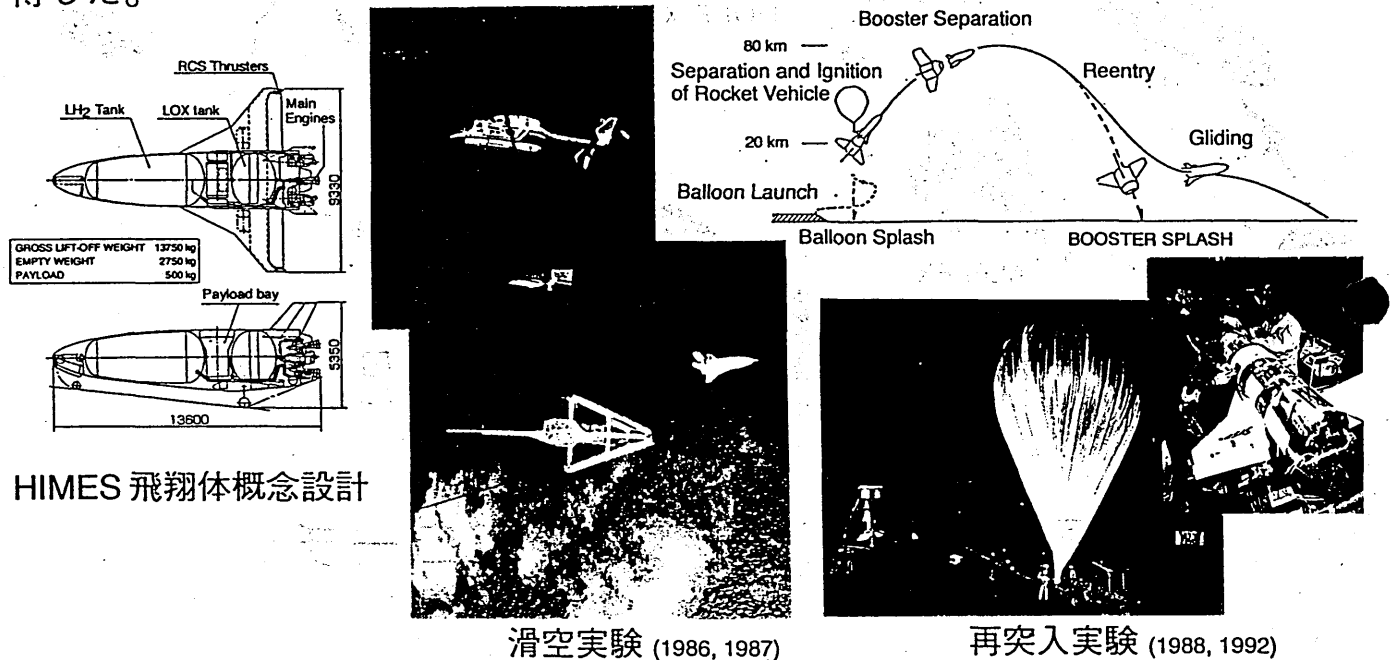
離陸重量 500トン

ロケット式SSTO基準概念モデル

将来輸送システムの研究進捗状況 (ISAS)

有翼飛翔体の開発研究 (1983~1992)

完全再使用型ロケットの概念設計を行い、システム構築に関わる様々な問題を抽出した。また、小型の飛翔体システムの実験を通じて有翼飛翔体の飛行技術を修得した。



完全再使用型宇宙輸送システムの研究

目標とするシステム形態

- ・ ロケット型再使用輸送システム —— ロケット SSTO
- ・ 空気吸い込み式輸送システム —— スペースプレーン

目指すべき運用形態 (完全再使用型輸送システムに求められる運用形態)

- ・ 効率的な再使用 —— CHANGE LAUNCH CULTURE
- ・ 航空機並の運用

ORBIT ON DEMAND

QUICK TURNAROUND

SAFETY / RELIABILITY

REGULATIONS

ロケット SSTO の実現に必要な技術課題

性能に関わる課題

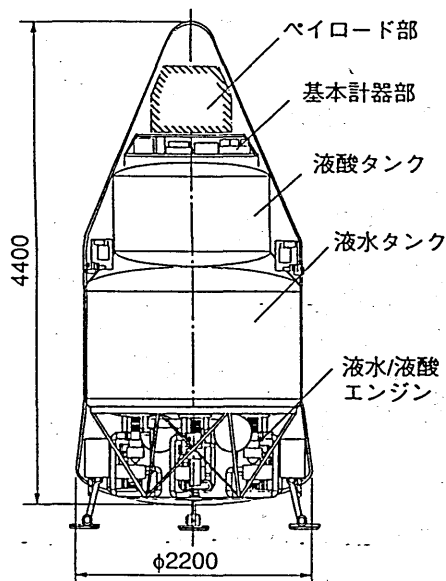
- ・ 推進システムの高性能化
 - 軽量エンジン／高 ISP ／高度補償ノズル
- ・ 軽量機体構造／材料
 - 複合材タンク／機体構造
 - 高性能軽量耐熱材

運用に関わる課題

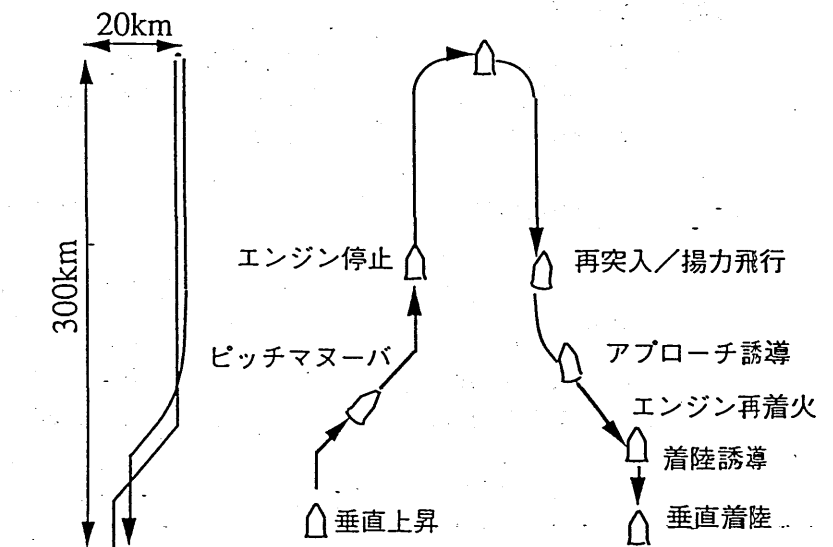
- ・ 推進システムの長寿命化
- ・ 単一燃料による主推進、補助推進、動力源システムの構築
- ・ 繰り返し使用／保守点検が容易なシステムの構築

完全再使用小型ロケットの開発計画

- ・ 科学観測やマイクロG実験などの利用による再使用運用の実証
- ・ ロケット SSTO のための技術習得の飛行実験



機体形状 (案)



飛行プロファイル (案)

スペースプレーンの背景

地上から宇宙空間に飛行する2つの道

1. 弾道軌道（チオルコフスキー、オーベルト、ゴダード等） 「ロケット」 実現している
大気の影響が少ない道
2. 空力軌道（ゼンガー等） 「スペースプレーン」 未だ実現していない
航空機のような形態で宇宙に飛行する方式
大気を機体の揚力に利用し、更に推進エンジンの酸化剤として利用している

宇宙開発の初期にはこの2つの方式が平行して試みられたが、空力軌道の方が多くの困難な問題を抱えていたため、弾道軌道が主流になった。

空力軌道の利点

(宇宙活動 : 軍事 → 民間)

揚力を利用した水平離陸による小加速度の上昇	→	乗り心地の向上
離陸や上昇中の事故からの回避が容易	→	安全性や信頼性の向上
水平離着陸による完全再使用	→	輸送コストを低減 環境の保全

空気吸込式推進の利点

従来のロケットの燃料消費の状態：高度50kmまでの大気圏内で全推進剤の約 60～80 %を消費し、1.5～2.0km/s程度の加速に留まっている。

飛行中に大気中の空気を吸込み、酸化剤として用いると推進剤の重量を大幅に軽減できる。
この軽減できた分をペイロードや機体の重量に振り向けることによって輸送能力を向上でき、また、安全性と信頼性を高めることができる。

ATREX エンジンの概要

エアーターボラムジェット(ATR)エンジン

低速飛行ではファンを用いて空気を吸込み、
高速飛行ではエンジンに飛び込む空気のラム圧力を利用して空気を吸込む、
複合エンジン

ATREXエンジン

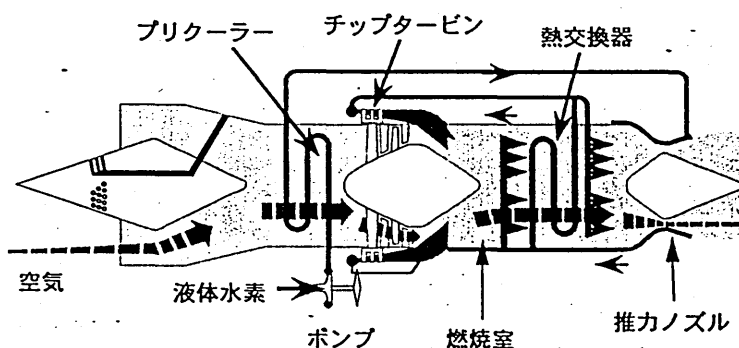
燃料：液体水素 エキスパンダーサイクル
水素を空力加熱や燃焼熱で再生加熱し、その熱膨張エネルギーでタービンを駆動し、
ファンを働かせて空気を吸込む形式

ATREXエンジンの性能

離陸から高度30km で
マッハ6 程度の速度まで
有効な推力を発生する
比推力は従来のロケットの
5～10倍 程度高い。

ATREXエンジンの応用

2 段式スペースプレーンの1 段目
の推進系に適する。

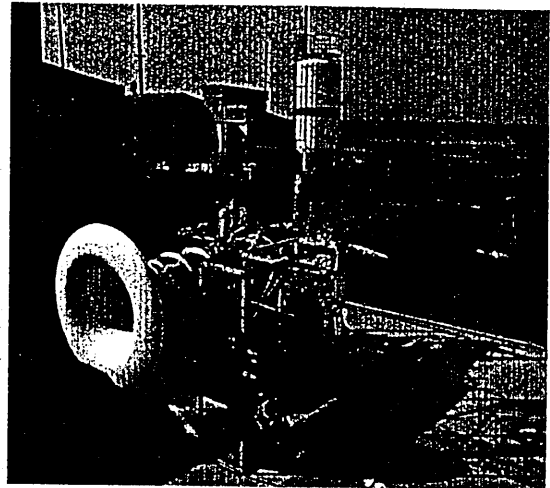


ATREXエンジンフロー図

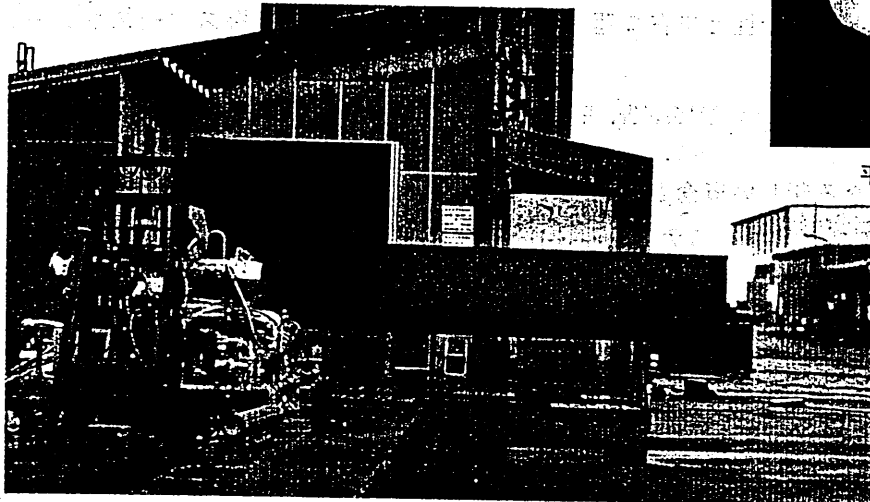


地上・静止状態における

ATREXエンジンの燃焼試験



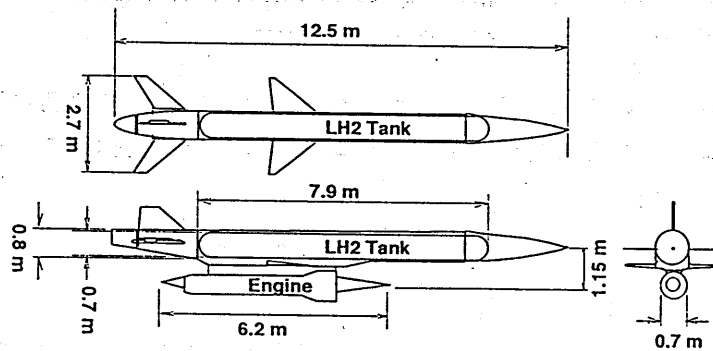
平成7年、プリクーラー付エンジン燃焼試験



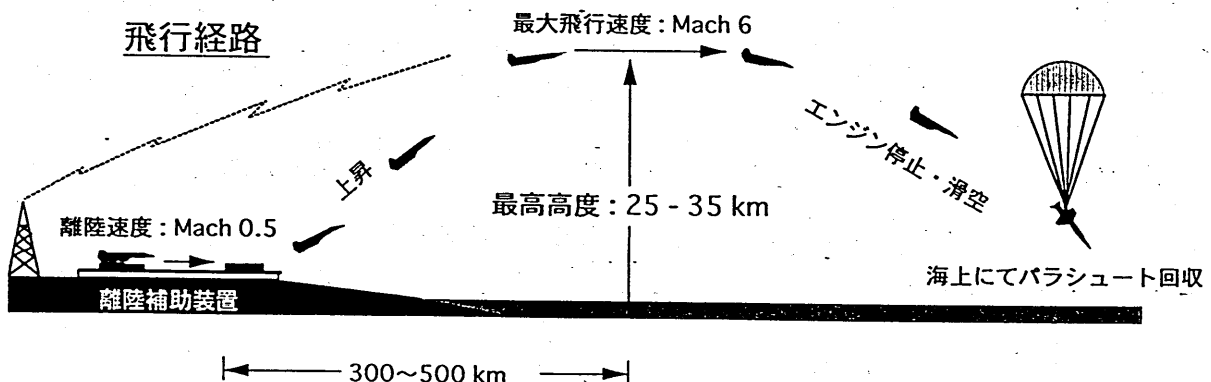
平成3年、エンジン燃焼試験

宇宙科学研究所能代ロケット実験場

ATREXエンジンの飛行試験



	重量 [kg]
機体構造	556
エンジン	370
推進材	189
離陸重量	1,488



スペースプレーンに向けての研究進捗状況（NAL）

スペースプレーン研究の背景及び目的

- 21世紀を展望して、有人を含む宇宙活動の高度化、多様化に向けた進展を支える宇宙インフラストラクチャーとして、大幅な輸送コスト低減とともに高い信頼性/安全性、運用の自在性を備えた宇宙往還システムの実現が不可欠。
こうした宇宙インフラの整備により、更なる輸送需要の拡大と新たな宇宙活動の創成が期待。
- 次世代システムへの諸要求に応える完全再使用型宇宙輸送システムの有力かつ最適な概念として、水平離着陸が可能で航空機なみの安全性と自在な運用性を有する単段宇宙航空機スペースプレーンを目標として設定。
(科学技術庁研究開発局再使用型宇宙輸送システム検討会報告、平成9年6月)
- スペースプレーン実現の鍵となる新しい概念と技術のブレークスルーを図るべく、航空宇宙技術研究所が中核となり (i) スペースプレーンシステム及び (ii) 推進(エアブリージングエンジン)技術について重点化して研究を推進。
- 本研究開発の推進は、21世紀の我が国の宇宙活動の自在性の確保とともに、我が国の先導的な技術ポテンシャルを蓄積することにより将来の国際的協力においてもデザインオーソリティーの確保につながる。

スペースプレーンのシステムコンセプト

水平離着陸能力を有する単段(SSTO=Single Stage To Orbit)方式完全再使用型有翼宇宙往還機であり、
航空機、宇宙輸送機及び軌道上宇宙機の機能を併せ持つ宇宙航空機

- 軌道への加速上昇時において、空気力の利用、空気の推進剤としての利用等(エアブリージングエンジンとロケットエンジンとの複合推進システムならびに有翼機体との一体化設計)により、システム加速能力の大幅な向上。
(ロケット推進に比べて有効比推力200秒以上向上、燃料比率80%以下に低減)
- 先進材料・構造設計による構造重量の軽量化。
(耐熱主構造(ホットストラクチャー)、極低温タンク構造(非軸対称形状設計による容積効率の向上)、現状比30%程度の重量低減)
- 運用の自在性(Orbit On Demand 能力等)、運用コストの低減、環境適合性の向上に向けて航空機的なオペレーション、コモナリティーの活用。
(煩雑な地上支援施設、垂直打上げ用のアセンブル塔の制約や使い捨て部分の排除(完全再使用型)等)
- 信頼性、安全性の向上を図るべく、エンジン等の故障を前提とした冗長設計、アボート能力の確保等航空機的な設計思想、研究開発基盤の活用。

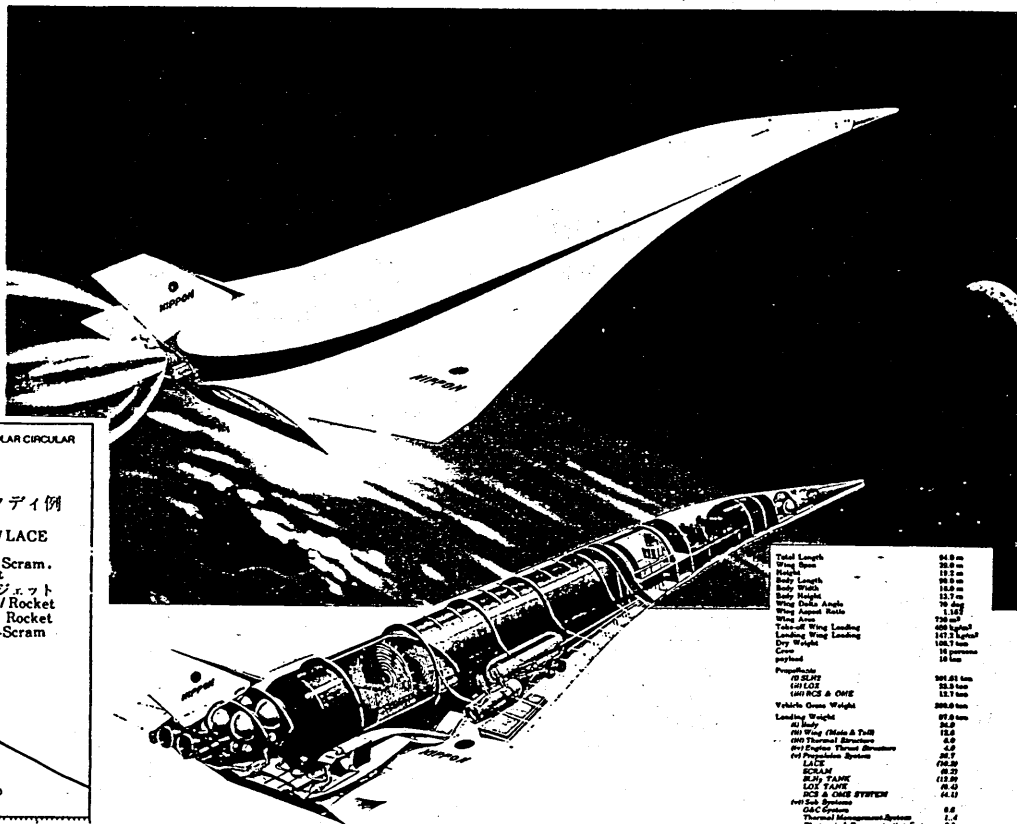
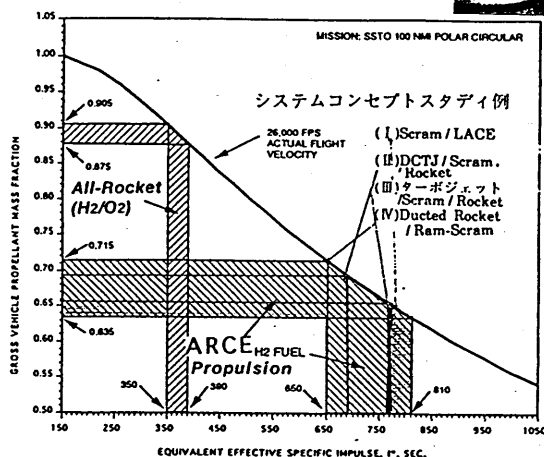
スペースプレーン研究の背景及び目的

- 21世紀を展望して、有人を含む宇宙活動の高度化、多様化に向けた進展を支える宇宙インフラストラクチャーとして、大幅な輸送コスト低減とともに高い信頼性/安全性、運用の自在性を備えた宇宙往還システムの実現が不可欠。
こうした宇宙インフラの整備により、更なる輸送需要の拡大と新たな宇宙活動の創成が期待。
- 次世代システムへの諸要求に応える完全再使用型宇宙輸送システムの有力かつ最適な概念として、水平離着陸が可能で航空機なみの安全性と自在な運用性を有する単段宇宙航空機スペースプレーンを目標として設定。
(科学技術庁研究開発局再使用型宇宙輸送システム検討会報告、平成9年6月)
- スペースプレーン実現の鍵となる新しい概念と技術のブレークスルーを図るべく、航空宇宙技術研究所が中核となり (i) スペースプレーンシステム及び (ii) 推進(エアブリージングエンジン)技術について重点化して研究を推進。
- 本研究開発の推進は、21世紀の我が国の宇宙活動の自在性の確保とともに、我が国の先導的な技術ポテンシャルを蓄積することにより将来の国際的協力においてもデザインオーソリティーの確保につながる。

スペースプレーンコンセプト

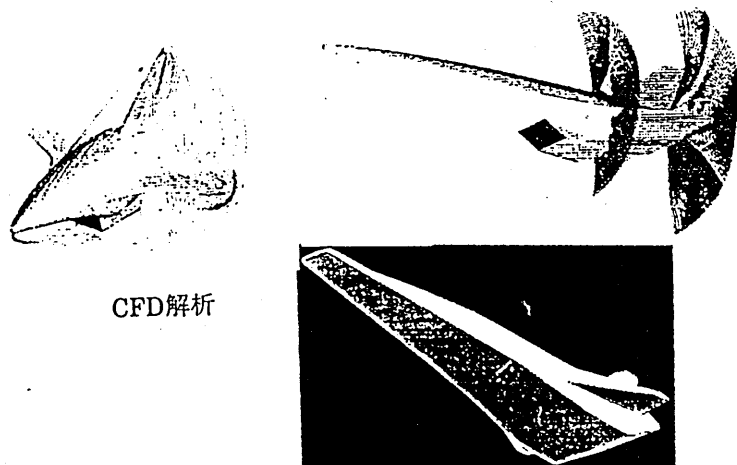
エアブリーザ／ロケット複合推進単段宇宙航空機

システム加速能力の向上



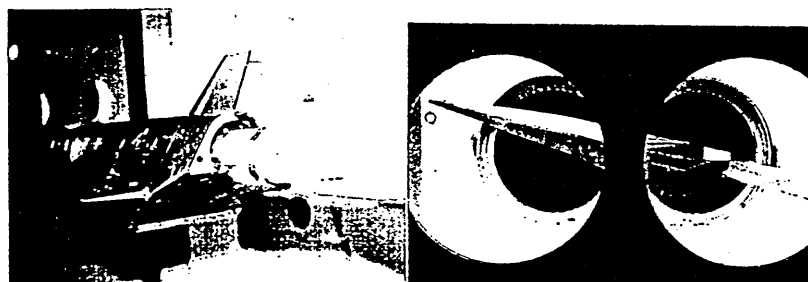
モデル主要諸元

スペースプレーンシステム設計におけるCFD技術の展開

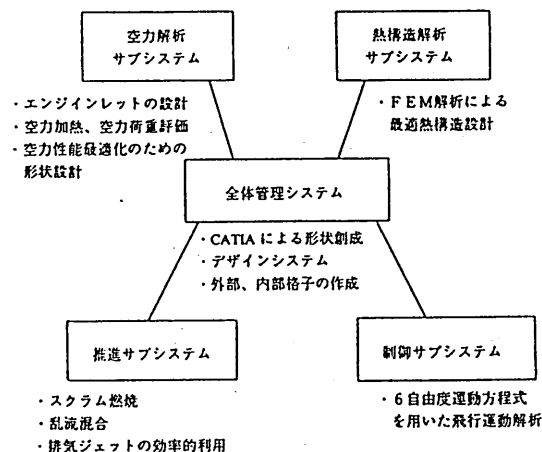


CFD解析

風洞試験 / CFDコード検証 (米国AEDC M=10風洞試験)



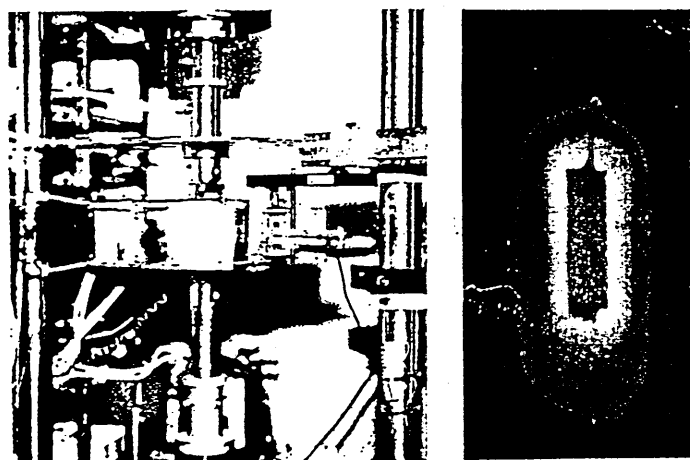
コンカレントデザインシステムの構築



- Multi-Disciplinary Optimization (多分野融合技術による最適設計) による設計コストの低減化と開発期間の短縮
- Multi-Disciplinary Real Time Simulationによる設計における高精度化と高効率化

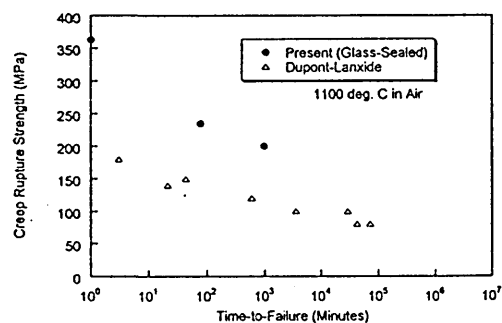
耐熱主構造(ホットストラクチャー)

耐酸化性耐熱高強度セラミックス複合材(チラノ三次元織物CMC)の開発
(ガラスシール、ジルコニウム含有型強化繊維)



高温大気中クリープ強度試験

Feature of This CMC: Si-Ti-C-O Fiber (Tyranno), 3-D Woven Reinforcement,
Converted Ceramic Matrix from Polymer, Glass-Sealed



Results of Creep Strength Tests at 1100° C in Air

高温クリープ強度

(世界最高の高温大気中クリープ強度を実証)

スクラムジェットエンジン性能試験

- サブスケールエンジンの設計・試作(平成3～5年度)
 - 要素研究成果を基に設計・試作を行った(図1)。
 - 空気流路内面形状が同一な無冷却エンジン、水冷エンジンの製作を行い、現在、液体水素冷却エンジンを製作中である。
- エンジン総合性能試験(平成6年度～現在)
 - ラムジェットエンジン試験設備によりマッハ数4、6及び8の飛行条件で現在まで約120回の試験を行い、以下の結果を得ている。

M4試験

- エンジンの風洞試験法を確立し、正味推力を得た。

M6試験

- 超音速燃焼を達成し、正味推力を得た。(図1)
- 空気加熱法の違いによるエンジン性能への影響を明らかにした。
- ストラット形態、燃焼分離部長さ等の推力発生への影響を明らかにした。

M8試験

- 水冷却エンジンの冷却性能の確認を行った。
- 超音速燃焼を達成し、推力増分を得た。

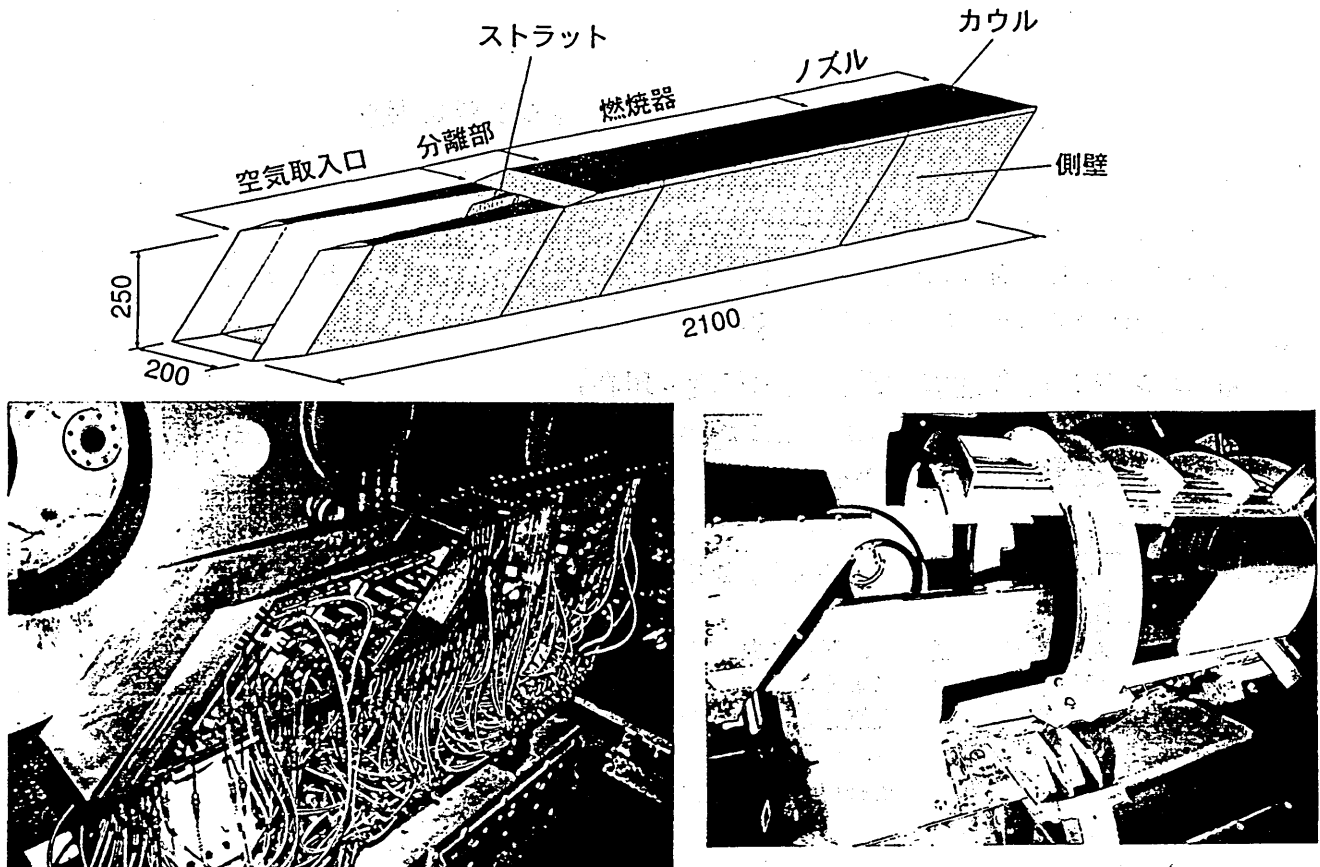
● サブスケールエンジン試験結果の到達度

- インレット空気捕獲率は、目標をほぼ達成している。
- 燃料当量比は、エンジンに入り込む空気を完全に消費しつくす1.0が目標であるが、
 - * M4、M6条件ではそれ以前にエンジン不始動に陥る。
 - 今後分離部(Isolator)長さの最適化を図る計画。
 - * M8条件では1を越えて作動可能であるが、発生推力が低い。
- 燃焼効率は、80%以上が設計目標であるが、特に現段階でM8条件では低い。
燃料噴射の適正化等を進めている。
- 最大推力発生は、現段階では設計値の30～70%にとどまっており、上記に併せ性能向上を図るべく研究を実施中。

● 今後の課題

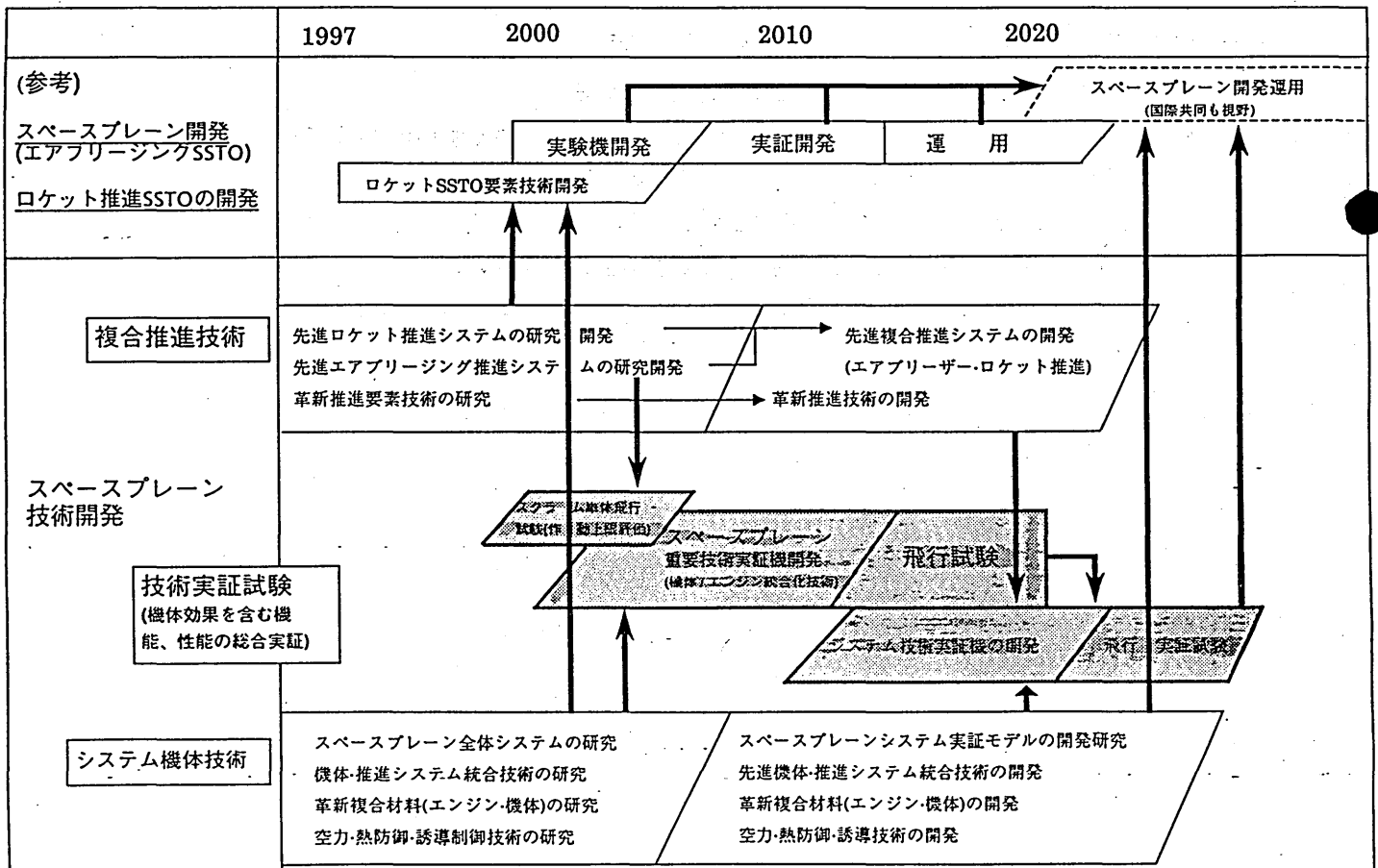
- 当量比1.0までの作動達成
- 80%以上の燃焼効率達成
- 推力性能向上
- RJTFを超える飛行範囲における作動
 - * 高温衝撃風洞の使用
 - * 数値宇宙エンジンの活用
 - * 飛行試験

図1 サブスケールスクラムジェットエンジン



今後の計画

再使用型宇宙輸送システム研究開発シナリオ



添付資料 2（評価票）

(FEB 41) 11 41 41

輸送系評価分科会 項目別評価票
構成員名：_____

評価対象：_____ロケット
(1/3)

(1) 研究開発目標設定の妥当性について

研究開発目標を設定した当時の我が国と世界の輸送系及び周辺技術の状況から見て、本輸送系の研究開発目標設定についてどの様に考えますか？

☐ 高過ぎる ☐ やや高い ☐ 適正 ☐ 疑問がある ☐ 全面的に疑問である
(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

(2) 研究開発計画の妥当性について

研究開発実績、成果及び計画設定時の周辺状況から見て、本輸送系の研究開発計画（スケジュール、研究開発経費、技術内容等）についてどの様に考えますか？

☐ 妥当 ☐ 疑問がある ☐ 全面的に疑問である
(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

(3) 研究開発成果の達成度について

研究開発目標と成果を見て、本輸送系の研究開発成果達成度についてどの様に考えますか？

☐ 目標を達成した ☐ 目標にやや不足である ☐ 目標に全面的に不足である
(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

(4) 他機関との研究開発協力体制について

研究開発開始時の我が国の技術の状況から見て、本輸送系の研究開発の他機関との協力体制についてどの様に考えますか？

☐ 適正 ☐ 疑問がある ☐ 全面的に疑問である
(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

(5) 国際協力について

世界の輸送系研究開発の経緯と最新状況から見て、本輸送系の国際協力についてどの様に考えますか？

☐適正 ☐疑問がある ☐全面的に疑問である
(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

(6) 我が国の技術全体の中での先端性について

我が国の宇宙開発の研究開発開始当時の状況と現状及び社会の技術開発の流れから見て、本輸送系の技術の先端性はどの様に考えますか？

☐極めて高い ☐高い ☐普通 ☐低い ☐極めて低い
(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

(7) 我が国の技術全体の中での宇宙技術全般及び他分野への波及効果について

我が国の宇宙開発の現状及び社会の技術開発の流れから見て、本輸送系の技術の宇宙技術全般及び他分野への波及効果はどの様に考えますか？

☐極めて大きい ☐大きい ☐普通 ☐小さい ☐極めて小さい
(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

(8) 将来の発展性について

世界の輸送系研究開発の経緯と最新状況から見て、本輸送系の将来の発展性の見通しについてどの様に考えますか？

☐極めて大きい ☐大きい ☐普通 ☐小さい ☐極めて小さい
(上記の評価根拠等コメントを記入下さい)

輸送系評価分科会 項目別評価票
構成員名： _____

評価対象： _____ ロケット
(3 / 3)

(9) 総合評価

本輸送系に対する総合的な評価を、どの様にお考えですか？

☐優れている ☐良い ☐普通 ☐やや劣っている ☐劣っている

(上記の評価根拠等コメントを記入下さい。また本輸送系に対する全般的な印象、意見等何でも記入下さい。)

輸送系評価分科会 自由意見記入票

構成員名： _____

下記について、各構成員の専門知識及び経験から判断してどの様にお考えになるか自由にご記入下さい。

(1) これまでの輸送系開発の政策決定について良かった点、反省点は何とお考えでしょうか？

(2) 輸送系開発戦略、開発計画及び設計思想はどの様に写りましたか？

(3) 将来の輸送系の研究開発における留意事項がありましたら御提案下さい。

添付資料 3（評価集計結果）

(REDACTED) (S) (U)

Ｈ－Ⅱロケット

研究開発目標設定の妥当性	高過ぎる 0	やや高い 4	適正 9	疑問あり 0	全面的疑問 0	
研究開発計画の妥当性	妥当 7	疑問あり 6	全面的疑問 0			
研究開発成果の達成度	達成 5	やや不足 8	全面的不足 0			
他機関との協力体制	適正 10	疑問あり 2	全面的疑問 1			
国際協力	適正 8	疑問あり 2	全面的疑問 1	評価不能 2		
我が国技術の中の先端性	極めて高い 2	高い 10	普通 1	低い 0	極めて低い 0	
我が国技術への波及効果	極めて大きい 2	大きい 8	普通 2	小さい 1	極めて小さい 0	
将来への発展性	極めて大きい 2	大きい 7	普通 3	小さい 1	極めて小さい 0	
総合評価	優れている 2	良い 4	普通 5	やや劣っている 1	劣っている 0	評価不能 1

(研究開発目標設定の妥当性)

- ① 自主技術獲得は、市場原理の導入に勝る。自主技術獲得の事実が今後の宇宙政策の柱となり得る。
- ② 打上げ能力目標の設定及び自主技術開発という政策は妥当である。静止２トン級は世界に遜色ない。
- ③ 自主技術に過信があった。
- ④ 若干高い技術開発設定。アリアンの様にブースタを容易なサイクルで中継ぎして二段燃焼サイクルにするのは無駄だったか。

(研究開発計画の妥当性)

- ① 計画遅れ、予算オーバは独自開発の困難さから糾弾されるものではない。米欧旧ソ連でも失敗を経験した。
- ② ７年という開発期間は諸国の開発の歴史を見ても短い。加えて高圧２段燃焼エンジン、大型液体水素タンク、地上作業関連の問題等日本では初めての技術の適用が多い。実力と計画が不一致である。
- ③ 目標設定を実現する過程で技術的要請が優先した様に見受けられる。スケジュール・経費の問題はこの結果

(研究開発成果の達成度)

- ① 為替の問題を除いても打上げコストは１機１７０億円でありやや不足。高度化開発に期待したい。
- ② 性能は達成したが、開発スケジュール及び開発コストは明らかに達成していない。
- ③ 打上げトータル平均コスト＝〔開発費＋運用費×打上機数〕／打上機数 等で利用度も含めて評価すべき。

(他機関との協力体制)

- ① 国家プロジェクトとして、特定テーマに対して公募型提案など大学側を巻き込むことはできた。
- ② 限られた分野であるが、技術委員会を設けており疑問は感じない。SRBでISASとの協力は評価できる。

(国際協力)

- ① 自主技術獲得、技術移転の困難さから元々国際協力はあり得なかった。協力より競争であったであろう。
- ② 国際的なコスト意識があったのに、外国技術を使わなかった（タンクの一体型ドームは米国で既に低コスト・高信頼性を確立していたのにわざわざオレンジピール式共通隔壁でリーク問題とコスト高を招いた）のは良くない。
- ③ 大型ロケットは自主技術の蓄積が重要である。

(我が国の技術全体の中での先端性)

- ① 技術・政策面で壁を越える契機となった。壁の向こうに市場原理の導入、新たな技術開発が開かれる。
- ② 自主技術であるため技術情報は入手しにくく、ノウハウの蓄積も必要。信頼性が高い点に先端性を評価できる。

(我が国の技術全体の中での宇宙技術全般及び他分野への波及効果)

- ① 国の宇宙開発への波及効果は大きい。新規ミッション追究の可能性が出てきた。ISASとの協調も深まる
- ② 心理的波及効果は極めて高い。打ち上げられた気象衛星、観測衛星による波及効果は極めて高い。
- ③ 商業衛星の打上げを海外に依存している現状から見ると波及効果は未だ小さい。
- ④ H-Ⅱで得られた技術をJ-Ⅰで使用したので波及効果はあったと言える。

(将来の発展性)

- ① H-ⅡAへ順調に発展させたい。宇宙開発が科学技術的側面のみならず実用面でも貢献できる途を開いた
- ② 世界の打上げ市場において主要ロケットと競争する場合、H-ⅡAでコストを下げるポテンシャルにつながる。
- ③ LE-7開発は将来の輸送系の展開に種々の選択を可能にし世界の第一級レベル保持を不動にしている。

H-II ロケット

(総合評価)

- ①本格的宇宙事業へ参入できる国際的パスポートを手に入れた。今後、経済性向上に向け発展させてほしい。
- ②不具合を隠蔽しない体質作りと不具合を徹底的に検討し尽くす体制が確立されていることが望まれる。
- ③世界の主要ロケットと比較できる優れたロケットである。設備も最新であり将来へ繋がる。
- ④この様な大きなプロジェクトをほぼ達成した点で高く評価する。高性能・信頼性は評価できる。
- ⑤我が国の宇宙開発技術を第一級のものとして世界に知らしめた象徴的存在として高く評価される。実質的に高い水準であるのみならず、信頼性も高く、輸送系の我が国の代表と位置付けられる。
- ⑥横軸に年代、縦軸に性能をプロットしたグラフは世界中に用いられ、いかにロケット輸送系が進展したきたが示される。LE-7については、この年代にはこの性能に来るはずだという位置には決してプロットされない。燃烧圧力、比推力、ノズルスカーツ熱流束等々である。これが研究開発目標で唱えた「余裕ある設計」であり、信頼性向上につながっているとしたら誰も異存を示さないであろう。世界中、特に大学の講義で利用されるグラフでLE-7が特異な位置にあるのは学生でも直ぐ奇異に感じるに違いないが、信頼性の高さを誇示する以外にない。信頼性が高くなれば「開発」ではなくなり、まさに我々が望む姿になると理解される。
- ⑦コストに関する目算が外れた最大の原因は円高への推移と説明されているが、コスト配慮が十分であったか再考することが重要。静止軌道2トン打上げが開発目標である時、最先端のSSMEに迫る高度な技術内容を持つ液酸・液水高燃烧圧スペック以外の形式でリスクを軽減しかつ運用コストを低く抑えることができた可能性がありはしなかったか。
 - ・ 重大な技術的困難さに2回遭遇し、それぞれ1年のスケジュール延期となったのは、いずれも燃烧圧の高さが原因。
 - ・ 結果的に燃烧圧を150気圧から135気圧に落とし、その分を推進剤の増量でカバーすることとなった。
 - ・ スペック設定は(1)全国産化、(2)射場の制約、(3)既存技術の利用、などすべて技術的な理由でなされている。
 - ・ スペック設定前にコスト面の検討がどの様に、どこまで為されたかについては明確な資料による説明はなかった。
(特にLE-7開発コストはSSMEだけで、有人仕様とは言え、5000億円とされる開発費と、運用コスト分析がどこまで行われ、H-II設計に反映されたか知りたいところ)

以下の要因があったと指摘できる。

- (1)国の開発であると新規技術が多く含まれる必要がある。純粋の商用目的開発とは自ずから異なる。
- (2)国の他の機関での研究などを取り込む様な意識が働く。(例：高圧ポンプ)
- (3)一定のコストレベルとなれば(国民に説明のつく程度で)それ以上の効率化を考慮しなくてもよい。

H-II開発を振り返ると当時の情勢としてはやむを得ない方策で実行され、その成果も顕著であると評価できる。ただし今後の目標設定については課題が残されている。(意見の留意事項に示す)

研究開発目標設定の妥当性



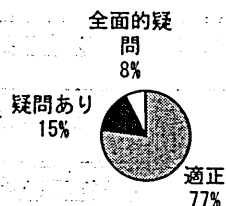
研究開発計画の妥当性



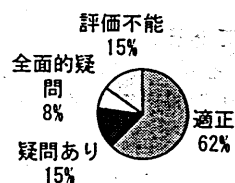
研究開発成果の達成度



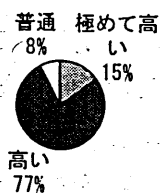
他機関との協力体制



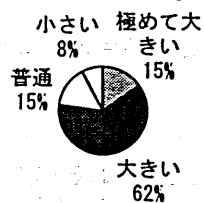
国際協力



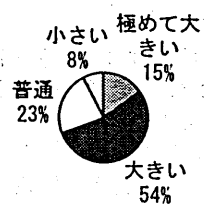
我が国技術の中の先端性



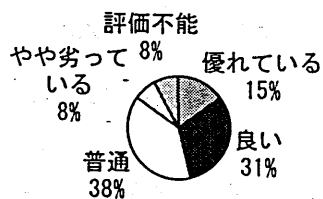
我が国技術への波及効果



将来への発展性



総合評価



Ｈ－ⅡＡロケット

研究開発目標設定の妥当性	高過ぎる 0	やや高い 0	適正 10	疑問あり 3	全面的疑問 0
研究開発計画の妥当性	妥当 9	疑問あり 4	全面的疑問 0		
研究開発の進捗度	妥当 6	やや不足 3	全面的不足 0	評価不能 4	
他機関との協力体制	適正 10	疑問あり 2	全面的疑問 0	評価不能 1	
国際協力	適正 8	疑問あり 2	全面的疑問 1	評価不能 2	
我が国技術の中の先端性	極めて高い 2	高い 3	普通 8	低い 0	極めて低い 0
我が国技術への波及効果	極めて大きい 1	大きい 11	普通 0	小さい 1	極めて小さい 0
将来への発展性	極めて大きい 3	大きい 6	普通 4	小さい 0	極めて小さい 0
総合評価	優れている 4	良い 2	普通 6	やや劣っている 1	劣っている 0

(研究開発目標設定の妥当性)

- ① Ｈ－Ⅱの1/2コストは甘い。Ｈ－ⅡＡ完成時には欧米は更に低コストに向かっているであろう。
- ② Ｈ－Ⅱの反省、実力再認識による多様なミッション対応、低コストは適正だが、日本の独自技術育成にも注力すべき。
- ③ 打上げコスト目標は、他国との競争に耐えうる。これは日本にとって必要なことである。
- ④ 人を運ぶことを考えないシステムでＨ－Ⅱの経験を活かすならコスト低減をもっと強く打ち出すべき。
- ⑤ 長期の世界的情勢の分析が充分であったかどうかは疑問が残る。3～4トン級衛星の要求が必ずしも明確ではない。

(研究開発計画の妥当性)

- ① 85億円を目標にしながら「それ以下におそらくできる」と言うのであれば具体的に目標を掲げるべき。
- ② 技術発達計画と外国からの製造技術導入は妥当。技術レベルからするとスケジュールも適当。
- ③ Ｈ－Ⅱの巨額投資に更に開発費が必要なのか？運用コストを更に低減すべき。費用対効果が疑問。
- ④ 低コスト化志向は評価でき、妥当性の定量的評価は難しいが、海外と比して充分妥当。
- ⑤ 経済化へのとりくみを民間ベースでやったらどれくらい違うか不明（米国の様な民間・競争下では意識面で異なる。）

(研究開発の進捗度)

- ① 推進系開発は順調な様だが、詳細な内容は不明。LE-5Aの事故原因究明が5B設計に反映されて開発成功が必要。
- ② 環境問題（固体ロケットブースタ）は今後の問題として残る。

(他機関との協力体制)

- ① 開発項目はNASDAがほとんどでNAL、ISASとの協力の必然性が不明確。
- ② 民生産業はコスト削減努力に世界に冠たる実績がある。そのノウハウを積極的にとり入れるべき。
- ③ 米国の様に問題点をブレークダウンして基礎的課題を大学に委託し幅広い技術の強い育成を行って欲しい。

(国際協力)

- ① 民間ベースの技術導入、購入は積極的に行うのが良い。
- ② ボーイング/スピクラフト社の一体型ドームやサイオコール社の複合材モータケース等外国技術の導入は適切。

(我が国の技術全体の中での先端性)

- ① 技術的には先端性より経済性の方を強力に追究している。
- ② コスト低減に主眼を置いた開発と外国の製造技術の導入は日本の航空宇宙産業の利益となる。

(我が国の技術全体の中での宇宙技術全般及び他分野への波及効果)

- ① 衛星打上げ等で東南アジア諸国に対する貢献策も考え得るであろう。
- ② エンジン技術の発展は将来の多様なニーズに対応できる。
- ③ 製造技術や材料における新技術や国外技術は航空宇宙以外の産業にも利益をもたらす。
- ④ 経済性最重要視の考え方が宇宙技術全般に浸透すれば大きな意義がある。

(将来の発展性)

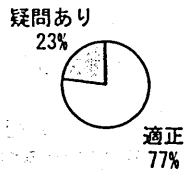
- ① 市場における国際競争力獲得と宇宙利用を核とする国際貢献。今後の輸送系のベースとして行くべき。
- ② Ｈ－ⅡＡのコストなら世界のロケットと互することは可能。ただしすでに市場を確保した強いライバルがいることから、競争するならそのつもりの決断をすべき。
- ③ 既存技術の有効な組み合わせや効率的利用・発展を工夫した点で今後の見通しや方法論に明るいものを感じさせる。
- ④ 今後の宇宙開発のバックボーンとなり、国際競争力もあるので国際協力の切り札となる。

H-II A ロケット

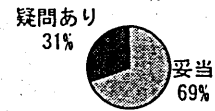
(総合評価)

- ①最大の目標がH-IIで達成した技術水準を下げることなく経済性を向上させることであることを明確にすること。
- ②完全な市場原理のもとに晒した場合、自立できない可能性がある。次世代の再使用型へ繋げられる配慮も必要。
- ③一層のコスト低下を目標にすべき。実現すれば我が国の宇宙開発、産業に新局面を切り拓く可能性あり。
- ④現在考え得る実用範囲は充分対応できる。
- ⑤現状では国際的に通用するシステム。スケジュールをキープすることが重要。
- ⑥開発費用削減、開発期間短縮などに配慮した目標設定は広く受け入れやすい開発計画と考えられる。信頼性向上あるいは確保にあたって特別な新規の提案がある様に見えないのが若干気になる。
- ⑦コストの大幅削減が目的でH-IIで開発された技術改良が中心で先端性に欠ける。国が100%負担すべきか。
- ⑧開発スケジュールの余裕が少ないことの理由が気になる。開発体制そのものにかかわる問題は存在しないのか。

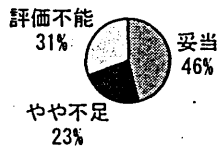
研究開発目標設定の妥当性



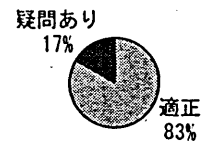
研究開発計画の妥当性



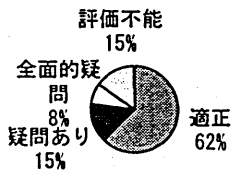
研究開発の進捗度



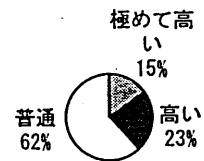
他機関との協力体制



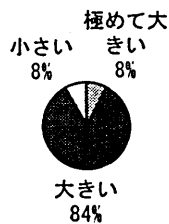
国際協力



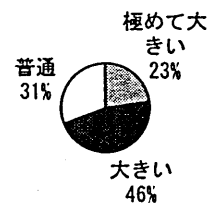
我が国技術の中の先端性



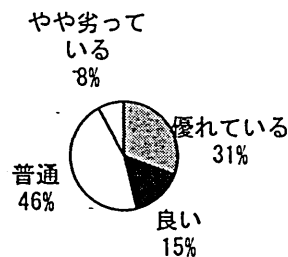
我が国技術への波及効果



将来への発展性



総合評価



M-Vロケット

研究開発目標設定の妥当性	高過ぎる 0	やや高い 2	適正 10	疑問あり 1	全面的疑問 0	
研究開発計画の妥当性	妥当 6	疑問あり 7	全面的疑問 0			
研究開発成果の達成度	達成 9	やや不足 3	全面的不足 1			
他機関との協力体制	適正 10	疑問あり 3	全面的疑問 0			
国際協力	適正 8	疑問あり 3	全面的疑問 0	評価不能 2		
我が国技術の中の先端性	極めて高い 1	高い 8	普通 4	低い 0	極めて低い 0	
我が国技術への波及効果	極めて大きい 1	大きい 6	普通 6	小さい 0	極めて小さい 0	
将来への発展性	極めて大きい 1	大きい 3	普通 6	小さい 2	極めて小さい 1	
総合評価	優れている 2	良い 7	普通 3	やや劣っている 1	劣っている 0	

(研究開発目標設定の妥当性)

- ①宇宙研究を行う研究所がロケットを持っているメリットは大。科学衛星輸送系の特徴を生かした適切な計画。
- ②ペイロード想定とコスト目標は妥当であったが、固体ロケット技術の発展として設定した新規技術が悪い方に作用した。
- ③科学衛星用ロケットの必然性は理解できるが、コスト目標の設定に疑問がある。
- ④固体ロケットの発展可能性と限界を見極めることが必要。
- ⑤全段新規開発する必要はあったのか。

(研究開発計画の妥当性)

- ①開発期間と予算のオーバは残念。新技術開発を盛り込んだ割にスケジュールの立て方が甘い。設定した機体価格も諸外国と比べて高い。
- ②低廉な開発費で従来技術を生かした開発。
- ③盛り込まれた新規技術開発は長期的に良い技術であるがコスト増をまねき、必要な開発だったとは言えない。

(研究開発成果の達成度)

- ①固体推進に関連する学会での発表も多く、広く技術を公開し討議している。
- ②低運用コストは重要。その点で打上げ能力の割に運用コストが高すぎる。開発コストをオーバし、スケジュールも2年遅れた。

(他機関との協力体制)

- ①東大工学部以外の大学、NALとの協力はあり得たであろう。
- ②低コスト化を図るための他のアプローチ（他機関との協力）がない固体ロケット技術である。
- ③J-Iプロジェクトと一体となったプロジェクトに出来なかったのか。
- ④NASDAと経済メリット、技術メリットを相互に享受できる協力であったか疑問が残る。

(国際協力)

- ①M-Vを核とした宇宙観測での国際協力が一層進むようになった。東アジア諸国の宇宙科学への参入も視野に入る。
- ②伸展ノズル等の新規技術開発は外国の国際的な先進技術導入でも良かった。

(我が国の技術全体の中での先端性)

- ①推力方向制御、推力向上のために必要な将来的技術を具現化している。

(我が国の技術全体の中での宇宙技術全般及び他分野への波及効果)

- ①これまで不可能であった新しい研究観測分野への参入が可能になった。
- ②軽量化のFRP採用、可動ノズル等航空宇宙分野へ波及大。全段固体ロケットをここまで育てた功績は大きい。
- ③打上げによる波及効果はH-IIもあるので疑問。ロケットと他分野の研究で波及効果としての役割は薄れている。

(将来の発展性)

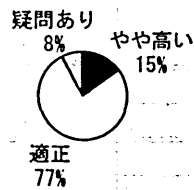
- ①科学観測用として単機能で良いが、排煙の地球環境への配慮が必要となるかもしれない。
- ②科学ミッションで独自性があり、固体の簡便性を生かせる領域で期待できる。
- ③国際的なロケットの低コスト化の中では運用コストが高すぎて生き残れない。コストダウンが可能なら発展性あり。
- ④更に大型の固体ロケットへの展開は考え難いので、発展性は小さいと言わざるを得ない。

M-Vロケット

(総合評価)

- ①低軌道1トン規模の実用目的にも対処できる様な検討が進めばI S A SとN A S D Aの協調にも一石を投じる。
- ②宇宙関連のR & Dに携わる人材供給源としてのI S A SにとりM-Vを成功裏に開発できたことは、内部の上昇気運維持に最も有効に作用している。(士気の高揚と連帯感の獲得)
- ③固体ロケット技術の維持発展という目的は世界レベルでは内容に乏しく、その目的のために開発における経済性追求を逃し、スケジュール遅れを招いた。
- ④限られた予算と長い国産ロケットの歴史を考えると科学ミッションを深宇宙まで広げることが可能にし、評価に価する。
- ⑤科学衛星用ロケットに特化し、コストダウンを是非達成し、今後の貢献を期待する。
- ⑥観測研究の分野では十二分に意義を認めるものの、打上げそのものについては、N A S D Aと更に共同研究を深めることで、費用と人的リソースを有効に使うことができるのではないか。
- ⑦全段固体ロケット技術の意義については良く整理すべきであり、同時にJ-Iロケットとの統合を検討すべき。
- ⑧いくつかの独創的技術で固体ロケットの課題をクリアした。もう一段の経済性が望ましい。
- ⑨限られた諸条件の中で適切な選択と優れた実績を上げている。M-VはI S A Sが取り扱う最大規模に達している感を否めない。今後の展開について熟慮する時期かも知れない。
- ⑩全段新規開発の理由がよく理解できない。部分的に既存技術は使えなかったか。
- ⑪固体ロケット技術としてますます育てるべき。

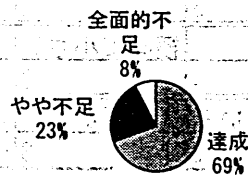
研究開発目標設定の妥当性



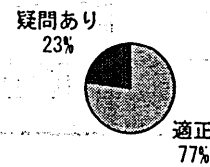
研究開発計画の妥当性



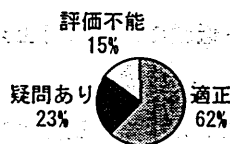
研究開発成果の達成度



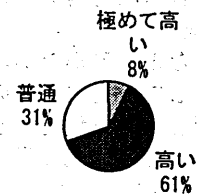
他機関との協力体制



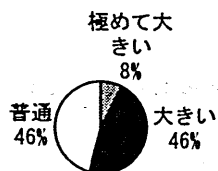
国際協力



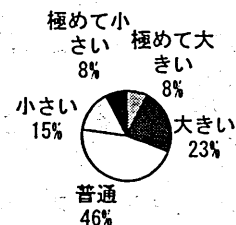
我が国技術の中の先端性



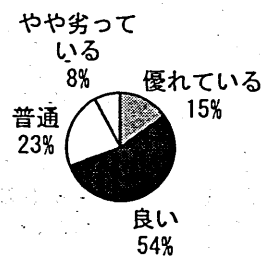
我が国技術への波及効果



将来への発展性



総合評価



Ｊ－１ロケット

研究開発目標設定の妥当性	高過ぎる 0	やや高い 1	適正 8	疑問あり 1	全面的疑問 3	
研究開発計画の妥当性	妥当 6	疑問あり 6	全面的疑問 1			
研究開発成果の達成度	達成 8	やや不足 4	全面的不足 0	評価不能 1		
他機関との協力体制	適正 10	疑問あり 0	全面的疑問 1	評価不能 2		
国際協力	適正 6	疑問あり 2	全面的疑問 1	評価不能 4		
我が国技術の中の先端性	極めて高い 0	高い 3	普通 7	低い 3	極めて低い 0	
我が国技術への波及効果	極めて大きい 0	大きい 3	普通 2	小さい 5	極めて小さい 2	評価不能 1
将来への発展性	極めて大きい 1	大きい 1	普通 4	小さい 4	極めて小さい 3	
総合評価	優れている 1	良い 1	普通 4	やや劣っている 3	劣っている 3	評価不能 1

(研究開発目標設定の妥当性)

- ①教科書的発想では小型ロケットを持つことが重要でも現実ニーズは大きくない。小規模ニーズを追求する姿勢がない現状では無用。必要ならM-3S II、M-Vを使える。開発費でM-V 2機打上げ可能。開発決定に疑問が残る
- ②既存技術の組み合わせは最もリスクの低いアプローチ方法として妥当。培ってきた技術蓄積での開発で適正。
- ③「安価」とする目標は当時でも疑問があったのではなからうか。

(研究開発計画の妥当性)

- ①チャレンジングなところがない。既存技術活用にしては打上費用が高過ぎ、コスト低減のための打上頻度増加もスコープにないとしたら何のための開発であったか問われるべき。
- ②コストもスケジュールも設定通り終了したことから計画設定は妥当と言える。
- ③実用性重視の設計思想の割に目標とした運用コストが、現在の諸外国の運用コストの中では高過ぎた。

(研究開発成果の達成度)

- ①2号機までしか打上計画がないことが、関係者間で祝福されない計画であったことを物語っている。
- ②1号機の所期コストは達成し2号機でコスト低減を図っているが、それでも世界のロケットの中では割高。試験機レベルまでの達成である。
- ③初号機の打上げは成功しており、2号機開発もスケジュールの問題はなさそう。ただし延期によるコスト増加に注意
- ④打上げ要求の掘り起こしが更に望まれる。

(他機関との協力体制)

- ①垂直発射と斜め発射といった打上技術の差と上段の最適化をI SASの協力で克服して開発を進めた。
- ②M-Vプロジェクトと早い段階で議論できなかったのか疑問。

(国際協力)

- ①先端的でもない実用重視システムでは国際協力の必然性はなく国内協力に徹した方が良い場合が少なくない。
- ②アジア諸国の運搬手段を持たない国々のミッション機器打上げに協力すべき。
- ③固体ロケットだけによる打上げは我が国特有の技術。国際的に売り出せないものか。

(我が国の技術全体の中での先端性)

- ①既存技術の適用であるため、先端性がないのは当然。
- ②技術的に新規性はあるが、他のロケットでも行えるもの。

(我が国の技術全体の中での宇宙技術全般及び他分野への波及効果)

- ①クリエイティブされるものも、インセンティブを与えるものも何も見あたらない。
- ②運搬手段の多様化、低コスト化に貢献できる。コストの安いロケットは宇宙開発に大きいインパクトをもたらす。

(将来の発展性)

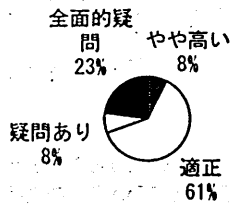
- ①小型ロケット需要はあるが、M-Vとの明確な差(独自性)がわかりにくい。M-Vとの統合も含めて考えるべき。
- ②現在の打上げコストは世界の中で適正ではない。小型ロケットの打上げビジネスに参入するのか明確ではないが、まず、小型ロケット市場に日本が入り込むのかを決めるべき。その後コスト低減方法を見つける努力が必要。

Ｊ－１ロケット

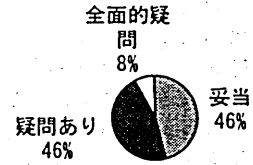
(総合評価)

- ①小型打上げ機の具現化がＪ－１では失望が大きい。本プロジェクトの必要性に議論の余地あり。
- ②低軌道１トンという打上要求は今後も確実にある。ただし実用ミッションでもＭ－Ｖで十分である。
- ③国の小型ミッション打上げ用として慎重に計画され実行されたが、打上げ実績が少なく、２号機でもコストが諸外国のロケットと比べて高い。
- ④ＩＳＡＳの固体ロケット技術を利用し、少ない開発費、短い開発期間で実現したところは評価できる。
- ⑤Ｍ－Ｖとの関係が整理されれば、かなり良い機種となる。
- ⑥目標設定の段階から無理があったと感じる。
- ⑦ＮＡＳＤＡとＩＳＡＳが協力し合って開発した実績が評価される。宇宙開発あるいは我が国の技術一般に与えるインパクトは大きかったとは言えないが、コスト低減、信頼性向上等、優れた実績を残している。この輸送系を利用した更なるニーズが出るのが望まれる。
- ⑧新規性に欠けている。小型であるため民間企業に技術移転し開発をまかせることも出来たのではないか。
- ⑨２号機が平成１２年であれば、設計開始以来８年が経過することになる。小型ロケットにおいては、開発サイクルも短くそのぶん効率化の進み具合も大きいはず。
- ⑩特別なミッションを持ったロケット開発であるので、その用途は限られたものになるのはやむを得ないであろう。
- ⑪当初予定されたミッションが延期等になったことは不幸なことであった。コスト低減に引き続き努めて欲しい。

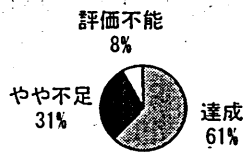
研究開発目標設定の妥当性



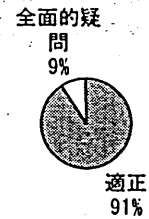
研究開発計画の妥当性



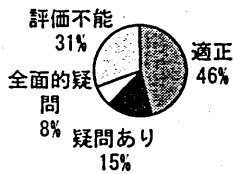
研究開発成果の達成度



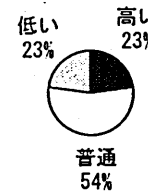
他機関との協力体制



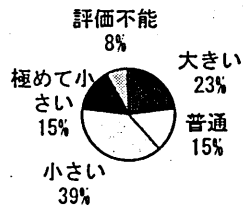
国際協力



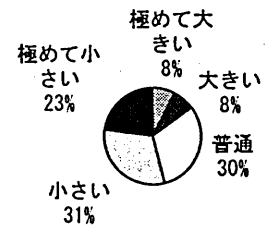
我が国技術の中の先端性



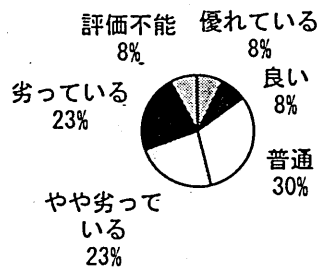
我が国技術への波及効果



将来への発展性



総合評価



HOPE-X

研究開発目標設定の妥当性	高過ぎる 2	やや高い 2	適正 7	疑問あり 2	全面的疑問 0	
研究開発計画の妥当性	妥当 9	疑問あり 3	全面的疑問 1			
研究開発の進捗度	妥当 9	やや不足 2	全面的不足 0	評価不能 2		
他機関との協力体制	適正 9	疑問あり 2	全面的疑問 0	評価不能 2		
国際協力	適正 5	疑問あり 5	全面的疑問 0	評価不能 3		
我が国技術の中の先端性	極めて高い 5	高い 5	普通 3	低い 0	極めて低い 0	
我が国技術への波及効果	極めて大きい 3	大きい 7	普通 1	小さい 0	極めて小さい 0	評価不能 2
将来への発展性	極めて大きい 2	大きい 6	普通 3	小さい 1	極めて小さい 0	評価不能 1
総合評価	優れている 2	良い 6	普通 2	やや劣っている 2	劣っている 0	評価不能 1

(研究開発目標設定の妥当性)

- ①実用的観点で再利用型の中継ぎとして往還技術確立を目標とし、本構想を将来の主役としない方針は妥当。
- ②本開発成果の適用が不明で行き場がない。米国のシャトル運用ではどの様に使うか、宇宙輸送系全体の中での位置づけが明確だが日本では明確でない。HOPE-Xで1回飛行実証した後の使用計画を問い直すべき。
- ③人員輸送を考えないことにもっと特色を出すべき。「我が国が独自の地位を築く」内容が本当にあるのか。
- ④無人全自動操縦は可能なのか、技術的な見通しはあるのか。
- ⑤技術習得を目指すのならば、具体的に目指すものを明確にして日本のプロジェクトとして全機関一致して進めるべき。
- ⑥再使用型へのステップとして意義は高い。
- ⑦この分野の蓄積された技術がなかったから目標がやや高い。

(研究開発計画の妥当性)

- ①輸送系全体の中で本技術がどの様に生かされ継承されていくかのイメージを早めに与えておくべき。
- ②技術開発プランは良く練られて、OREX、HYFLEX、ALFLEXといったステップも適切。HOPE-Xも次のステップ足りうる。スケジュール、コスト見積もりも妥当なもの。着々と進む中で実用HOPE打切り情報が出るのは疑問。
- ③最終的な実用まで描くには時期尚早。

(研究開発の進捗度)

- ①技術開発を主とする以上、頻繁な技術アセスメントが必要
- ②OREX、HYFLEX、ALFLEX、各研究もスケジュール通り進捗。着陸場も含めて機体開発が順調に進めば良いペース。
- ③HYFLEXの回収失敗は大きなマイナス。再突入の影響検証は実機回収が何よりも必要。

(他機関との協力体制)

- ①更に大学側の参加を求める方が良い。
- ②NAL、ISAS、NASDAすべての力が要求されるであろう。3機関の一つのプロジェクトとすべき。

(国際協力)

- ①着陸上場という観点だけでなく将来の再使用型を考えるために総括的に展開すべき。
- ②外国の飛行データをどの程度使えるか不明だが、これまでの実績が該当データの利用が十分であると示している。
- ③技術面より役割面で国際分野に疑問がある。NASAとの協力関係は本当に不要か。
- ④この分野の経験がある国と協力しても良かった。

(我が国の技術全体の中での先端性)

- ①往還技術としては評価が高いが、H-IIAに依存する再使用型技術では多くを望めない。自動操縦技術は先端的。
- ②材料等のいろいろな分野で最先端技術が含まれている。我が国で未経験の技術開発に取り組んでいる。

(我が国の技術全体の中での宇宙技術全般及び他分野への波及効果)

- ①再突入技術、自動操縦技術の確立により将来の大々的宇宙輸送時代での本格参入に技術的裏付けが与えられる。
- ②多種多様な要素技術が含まれており波及大。スペースプレーンへの道筋を明確にすると航空産業に大きく波及。

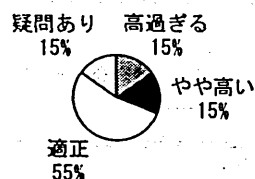
(将来の発展性)

- ①発展したければ将来何をするかを計画立てるべき。飛行実証してから、将来への意味を考えるべきではない
- ②実現を目指すのであれば無人による宇宙往還輸送手段がメリットあるかよく検証すべき。

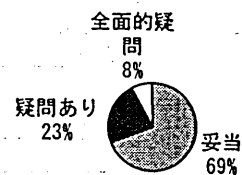
(総合評価)

- ①多段ロケット時代に続く本格的宇宙時代への参加に対して肯定的意志表示を行ったことになる。
- ②打上げ頻度が上がった場合には、再利用率が低く、主役たり得ない。
- ③実用化までに膨大な費用が必要で、国民に対してその社会的、経済的効果を明確にし、納得してもらう必要がある。
- ④段階的な開発ステップは好ましい。本テーマは良い計画だが、その先の計画がないことにより評価を下げざるを得ない。
- ⑤我が国の往還技術確立を目指すが、将来のスペースプレーンへのステップとして必要不可欠か疑問も残る。
- ⑥再利用機への技術課題をクリアするためのプロジェクトであることはそれなりの意義がある。コスト的不適切さは当初より配慮済みであったと感じる。
- ⑦国民には実用機(HOPE)を控えた開発であると受け取られており、開発側と納税者側の認識のギャップがある。実用機への移行を止める「決定」について国民のコンセンサスは得られていないと思う。報道では「財政的要請」とされているが、この間のプロセスはもっと公開し、公開の場でコンセンサスに導くことが必要であると感じる。
- ⑧重要かつ広範な技術開発が望まれるにも拘わらず、全体計画が少々規模が小さいように見える。今後の展開にもよるが、本腰を入れない様に見えるので活性化する工夫がほしい。「回収」について臆病になってしまっているかも知れない。ここで break through にしないと新展開がないかも知れない。
- ⑨再使用型宇宙機の基盤として大いに評価できる。
- ⑩技術先端性に優れ、発展性も大きい。制御、構造、材料、システム技術等への波及効果も高いと思われる。

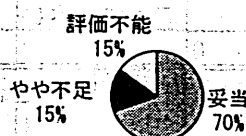
研究開発目標設定の妥当性



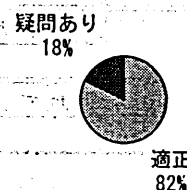
研究開発計画の妥当性



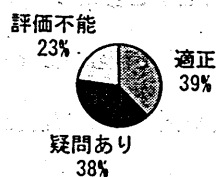
研究開発の進捗度



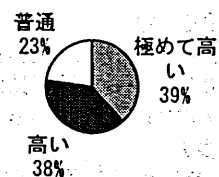
他機関との協力体制



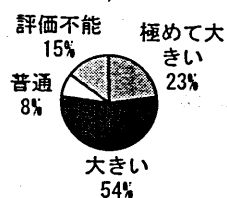
国際協力



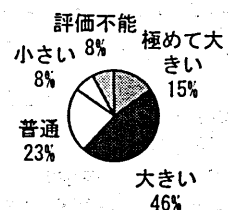
我が国技術の中の先端性



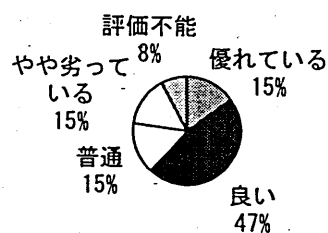
我が国技術への波及効果



将来への発展性



総合評価



再使用型輸送系(NASDA)

研究開発目標設定の妥当性	高過ぎる 0	やや高い 4	適正 7	疑問あり 2	全面的疑問 0	
研究開発計画の妥当性	妥当 8	疑問あり 4	全面的疑問 0	評価不能 1		
研究開発の進捗度	妥当 3	やや不足 2	全面的不足 0	評価不能 8		
他機関との協力体制	適正 7	疑問あり 4	全面的疑問 0	評価不能 2		
国際協力	適正 6	疑問あり 2	全面的疑問 2	評価不能 3		
我が国技術の中の先端性	極めて高い 3	高い 8	普通 2	低い 0	極めて小さい 0	
我が国技術への波及効果	極めて大きい 3	大きい 8	普通 1	小さい 0	極めて小さい 0	評価不能 1
将来への発展性	極めて大きい 3	大きい 10	普通 0	小さい 0	極めて小さい 0	
総合評価	優れている 1	良い 5	普通 4	やや劣っている 1	劣っている 1	評価不能 1

(研究開発目標設定の妥当性)

- ①計画全貌も位置づけも不明。大規模性が誘発する環境問題に配慮必要。将来のマスタープランとの認識に立つべき。
- ②ロケット式SSTOを段階的に進め、スペースプレーンへ発展させることは各国共通の考えであり国際協力プロジェクトになりうる。そのための基礎を構築すべき。
- ③「人員輸送を考えない」ことに関する国際的評価と、その上での国際貢献の見通しに関する見解が得られていない。
- ④コスト 1/10 とあるが、従来が高すぎるのであれば 1/10 の妥当性に疑問が残る。国際的な目標と合致してほしい。

(研究開発計画の妥当性)

- ①システム研究レベルで計画は妥当。開発が必要な技術は明らかにしたが、その展開方法がまだ明らかになっていない。
- ②コストを 1/10 に下げる計画が見えない。計画に不明確なところがまだ多い。
- ③開発コスト・人的資源配分等から SSTO やスペースプレーンとの関連を更に絞り込んだ上での研究開発が必要。

(研究開発の進捗度)

- ①研究を開始したばかりで評価不能。
- ①完全再使用を考えるべき。
- ②ペイロードの動向予測もされており、衛星への環境条件改善も考慮しておりシステム研究としては理解できる内容。

(他機関との協力体制)

- ①各機関の役割分担は慎重に検討し明確に定義すべき。
- ②3機関で目標を統一し、相互関係を密にした開発計画とすべき。
- ③材料、制御、解析など国内の研究所、大学に広く協力を求めることが重要。

(国際協力)

- ①国際協力の中で推進すべき。国際協力が必要と認識しているが、もっと明確にすることが必要。
- ②自主技術として育成すべき。

(我が国の技術全体の中での先端性)

- ①再使用型輸送系は日本の技術全体をリードするべき。

(我が国の技術全体の中での宇宙技術全般及び他分野への波及効果)

- ①複合材による極低温タンク、自動状態判定機能、高強度複合材等、他分野への影響は多大。
- ②スペースプレーンへの波及のみならず使い捨て輸送系の性能向上も考慮しているところは評価できる。

(将来の発展性)

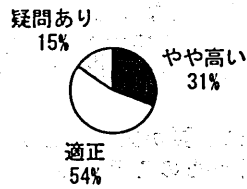
- ①潜在的には極めて大きいはずであるが、そのことを十分に認識している様に思われない。
- ②本推進系が実用になれば市場はあるが、日本が世界の打上げにどういう役割を果たしたいのかビジョンが欠けている。
- ③スペースプレーンへのステップとして発展性あり。
- ④21世紀宇宙時代には是非必要な技術で発展性は大いにある。

再使用型輸送系(NASDA)

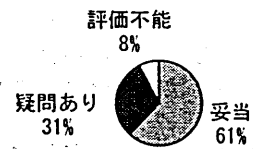
(総合評価)

- ①NASDAから出される計画は準国家的プロジェクトに対するマスタープランであってほしいが、この点で失格。
- ②計画を固定する時期ではない。基礎技術に対して開発管理とアセスメントを行いその後、マスタープラン策定の時期。
- ③初期に要素技術の予備的検討がなされて、課題設定、開発見積もりができる仕組みになっている。
- ④ロケット式SSTOからスペースプレーンへという開発ステップは妥当。ただし国際協力の内容を明確にすべき。2000年以降の衛星打上げニーズが減るとの予測があるが、その点に努力は必要と思うが、打上げニーズが減るとは思えない。
- ⑤最終目標がスペースプレーンならその中間段階でロケット式SSTOが本当に必要か更に検証すべき。
- ⑥研究課題は多く、今後の研究開発の結果を踏まえて実機システムへの判断を行うものであろう。
- ⑦スペースプレーンを含め、大学等の研究者は大いに期待している。部分的な研究分担によって研究層の拡大をはかるべき。
- ⑧自動車など熟成した産業界からも参加を募り実機のマーケット、コストレベル、開発体制を検討してはどうか。
- ⑨実機では国際競争力を問われるのは当然であり、一方研究開発は更に次の段階への広がりを持つであろう。両者は互いに整合しない面を持つので実機開発と要素研究を明確に分離する型で進めることを提案したい。
- ⑩問題点の抽出と研究開発協力体制の充実が当面の課題であり、これをリードする人材が望まれる。我が国に長い間根付かなかった人材であり、この視点からも本研究開発を見て欲しい。着実に進展させるべき。

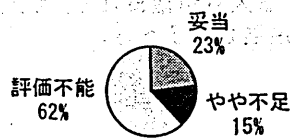
研究開発目標設定の妥当性



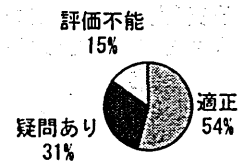
研究開発計画の妥当性



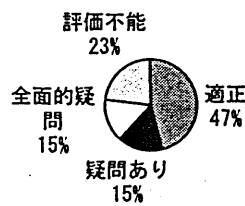
研究開発の進捗度



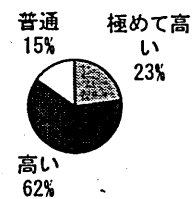
他機関との協力体制



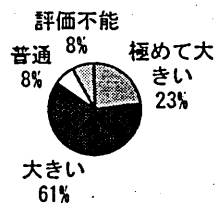
国際協力



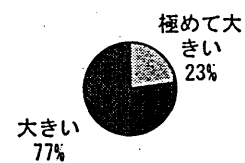
我が国技術の中の先端性



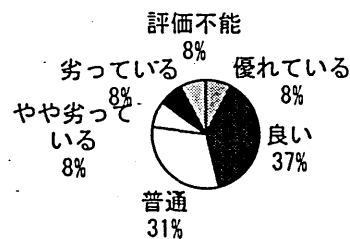
我が国技術への波及効果



将来への発展性



総合評価



将来型輸送システム(SAS)

研究開発目標設定の妥当性	高過ぎる 1	やや高い 2	適正 9	疑問あり 1	全面的疑問 0	
研究開発計画の妥当性	妥当 8	疑問あり 5	全面的疑問 0			
研究開発の進捗度	妥当 8	やや不足 1	全面的不足 0	評価不能 4		
他機関との協力体制	適正 9	疑問あり 4	全面的疑問 0			
国際協力	適正 10	疑問あり 2	全面的疑問 0	評価不能 1		
我が国技術の中の先端性	極めて高い 5	高い 6	普通 0	低い 0	極めて低い 0	評価不能 2
我が国技術への波及効果	極めて大きい 2	大きい 9	普通 1	小さい 0	極めて小さい 0	評価不能 1
将来への発展性	極めて大きい 1	大きい 10	普通 1	小さい 0	極めて小さい 0	評価不能 1
総合評価	優れている 2	良い 8	普通 0	やや劣っている 0	劣っている 0	評価不能 3

(研究開発目標設定の妥当性)

- ①本技術の利用を前提とした全体計画を与えておくべき。回収のための投資、マンパワーを考えると打上げ頻度から再使用観測ロケットはペイしないのではないかと。もっと先の大きなターゲットを主として考えるべき。
- ②ATREXエンジンを使ったフライバックブースタによる2段式スペースプレーンという選択は良い。
- ③2010年頃までに実機開発はかなり高い目標。
- ④将来をにらんだ適切なもの。若干総花的印象をもつが、現時点ではやむを得ない。

(研究開発計画の妥当性)

- ①広報活動があまり強くないように感じる。主役となる可能性を認識すべき。適切な技術アセスメントがなされていない。
- ②開発途中過程としてSST共同開発に参画し超高速航空機技術を習得し実用的リターンを得るべき。
- ③SSTOの必然性が不明確。
- ④エンジン開発に重点が置かれており、機体全体の検討は十分なされていない印象。

(研究開発の進捗度)

- ①ATREXエンジンのこれまでの試験データはその特性、良い点、欠点を明らかにするのに十分なものである。

(他機関との協力体制)

- ①もっと積極的協力が望まれる。メーカとどの様にやっていくかが重要な課題。他大学との協力の可能性はないか。
- ②NASDA、NALとの協力関係が見えない。国家プロジェクトとして各機関の技術をまとめるという観点が必要
- ③単一研究組織を構成して共同開発を行うべき。1機関だけでの研究としては大きすぎる。

(国際協力)

- ①大々的にやるべき。
- ②ドイツの技術を使い、ロシアのエンジニアも入っている。これらは相互にとって利益をもたらす良い関係になる。

(我が国の技術全体の中での先端性)

- ①ATREXエンジンとそれを用いたフライバックブースタは先端技術である。

(我が国の技術全体の中での宇宙技術全般及び他分野への波及効果)

- ①ATREXはユニークな技術であり、国家的技術として強いインパクトがある。

(将来の発展性)

- ①フライバックブースタによる2段式スペースプレーンが実現すればかなりの打上げニーズが出てくる。
- ②21世紀宇宙時代には是非必要な技術で、発展は大いにある。

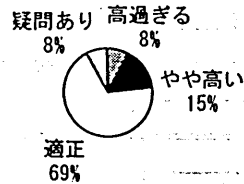
将来型輸送システム(ISAS)

(総合評価)

- ①推進システムとして一つのオプションに過ぎないのか主役を勤める可能性があるのか認識されていない様である。
- ②完全再使用型に向けての基本技術の開発として着実なステップを踏んでいる印象を受ける。
- ③エンジンは何であれフライバック1段ステージは運用コスト削減に効果的。TSTOというアプローチは実現可能なゴール。
- ④有人輸送が不可避との認識の下に進められているが委員会の「人員輸送は考えない」という方針が足を引っ張らない様に開発を進めてほしい。
- ⑤NASDAと大学の中間位置で明確な目的を持って基礎研究に取り組むことは有意義。
- ⑥目標をスペースプレーンに絞る。NASDA・ISAS・NALの統合開発体制を作る。SST開発研究を進める。
- ⑦飛翔実験を早期に行い、その結果で評価の最終判断を行うのが適当と考える。
- ⑧研究開発テーマとして適当なものが揃っているが、限られた予算で特徴を出す工夫があっても良い印象を持つ。総花的になされていると同時にATREXエンジンなど優れた成果を上げている。
- ⑨宇宙研の将来輸送系として考えているのか、我が国全体の輸送系の研究として取り組んでいるのか明確に見えてこないが、科学衛星ミッションを主体に考えているとすれば、種々難しい議論が出るかも知れない。
- ⑩空気吸い込み技術など技術革新を必要とし、技術波及は大きいと思われる。
- ⑪再使用観測ロケットの開発も評価できるが、関連技術の波及効果は大きい。

将来型輸送システム(ISAS)

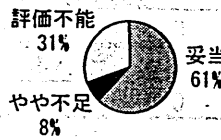
研究開発目標設定の妥当性



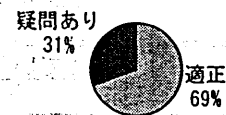
研究開発計画の妥当性



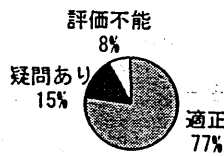
研究開発の進捗度



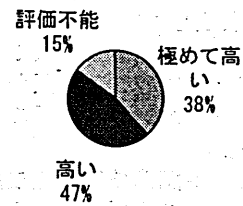
他機関との協力体制



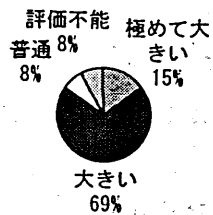
国際協力



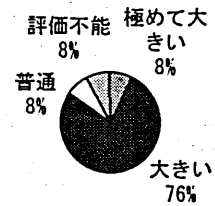
我が国技術の中の先端性



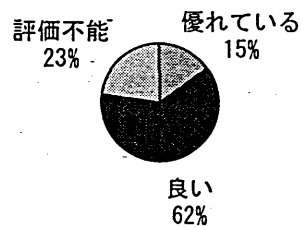
我が国技術への波及効果



将来への発展性



総合評価



スペースプレーン(NAL)

研究開発目標設定の妥当性	高過ぎる 1	やや高い 4	適正 7	疑問あり 1	全面的疑問 0	
研究開発計画の妥当性	妥当 11	疑問あり 2	全面的疑問 0			
研究開発の進捗度	妥当 6	やや不足 2	全面的不足 0	評価不能 5		
他機関との協力体制	適正 11	疑問あり 1	全面的疑問 1			
国際協力	適正 10	疑問あり 3	全面的疑問 0			
我が国技術の中の先端性	極めて高い 6	高い 6	普通 0	低い 0	極めて低い 0	評価不能 1
我が国技術への波及効果	極めて大きい 6	大きい 5	普通 2	小さい 0	極めて小さい 0	
将来への発展性	極めて大きい 5	大きい 6	普通 1	小さい 0	極めて小さい 0	評価不能 1
総合評価	優れている 3	良い 7	普通 1	やや劣っている 0	劣っている 0	評価不能 2

(研究開発目標設定の妥当性)

- ①無人の複合推進系を持つスペースプレーンという目標は世界的に見ても最新研究である。
- ②いつまでに何をしたいのか位置づけが不明。安全性を求めながら人員輸送は考えないのか。自在性がなぜ必要なのか。
- NALの目標が委員会の「人員輸送を考えない」という方針と異なるようにも思える。
- ③システム構成要素に不確定性が多く、システム実現性の根拠があいまい。

(研究開発計画の妥当性)

- ①スクラムジェットは必要不可欠でその研究開発スケジュールは十分。
- ②開発途中過程としてSST共同開発に参画し超高速航空機技術を習得し実用的リターンを得るべき。
- ③スクラムジェットエンジン実現の見通しに甘さがないか。

(研究開発の進捗度)

- ①スクラムジェット関連技術の達成度は決して低くない。エンジンと耐熱材の研究の目標を達成している。
- ②スクラムジェットに必要な性能達成は確かに難しいものの、その目標に達していないのは事実。

(他機関との協力体制)

- ①大学サイドとの協力は評価できる。
- ②NALの材料の研究、空力設計、エンジンの研究で取得したデータが他機関とどの様に共有されるのか不明。
- ③3機関を統合した研究開発計画として共同開発を行うべき。
- ④更に協力機関を増やすことが良いと考える。広範な課題として取り組んで欲しい。

(国際協力)

- ①どこで国際協力が行われているのか不明。世界各国への協調を本格的に呼びかけているようには見えない。
- ③国際協力を大いにすべきである。

(我が国の技術全体の中での先端性)

- ①各研究は先端技術であることは間違いない。日本の宇宙開発の当面のゴールになり得る。

(我が国の技術全体の中での宇宙技術全般及び他分野への波及効果)

- ①積極的な研究成果は、日本の技術力向上に影響がある。
- ②信頼性の達成度次第で有人飛行も可能性が出てくる。
- ③良い意味だけでなく目標設定に不適切さがあればマイナスインパクトが極めて大きくなる。

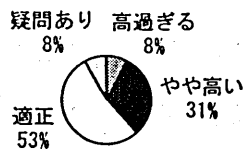
(将来の発展性)

- ①スペースプレーンの国際共同に独自の役割を果たしてほしい。
- ②21世紀宇宙時代には是非必要な技術である。
- ③成功裏に開発が進めば輸送系の選択幅は大きくなるので期待感を込めて見通しは大きいとしたい。

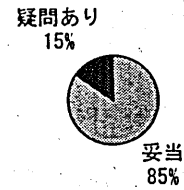
(総合評価)

- ①将来の必要技術を的確にとらえ、到達度も高い。一層の発展のために実験装置(風洞等)の新設を考えるべき。
- ②将来的研究であるもののデータ、モデル等が具体的で研究の進捗が伺える。
- ③NALの研究は世界が注目して進めている研究課題であり、一流のスクラムジェット用設備を持っていることから、将来、国際的な打上げで重要な位置を占めることができる。
- ④将来は人員輸送が不可避との認識の下に進めている節があるが、委員会方針の「人員輸送は考えない」が足を引っ張るおそれがある。
- ⑤NASDA・ISAS・NALを統合した開発体制を作る。中間段階としてSST開発研究を進める。
- ⑥要素(エンジン、材料)の研究を先行させることが重要。
- ⑦要素開発の不確定性を考慮してシステム構成のバリエーションを定量的に評価してほしい。
- ⑧国内のコンセンサスを得られる様、広範囲の協力を仰ぐことと、それらの技術の総結集を図る努力をお願いしたい。国際協力による開発も積極的に進めてほしい。このような協力体制を促進する強力な委員会ないしリーダーシップ体制が急務。
- ⑨国際協力を行いながら研究開発を進めるのは有効。また先進複合材料などにおいて官学の協力も積極的に推進すべき。
- ⑩国際共同開発でリーダーシップがとれるように(少なくとも重要な分野で)進めて欲しい。

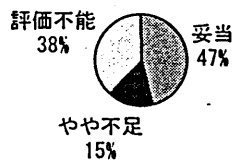
研究開発目標設定の妥当性



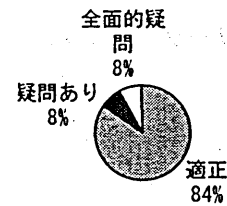
研究開発計画の妥当性



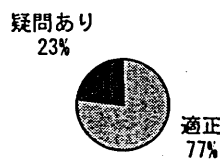
研究開発の進捗度



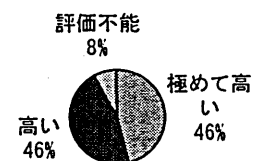
他機関との協力体制



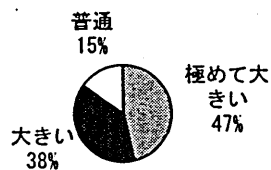
国際協力



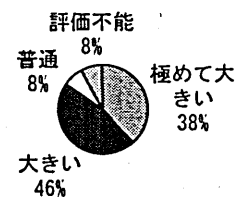
我が国技術の中の先端性



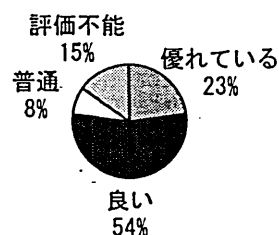
我が国技術への波及効果



将来への発展性

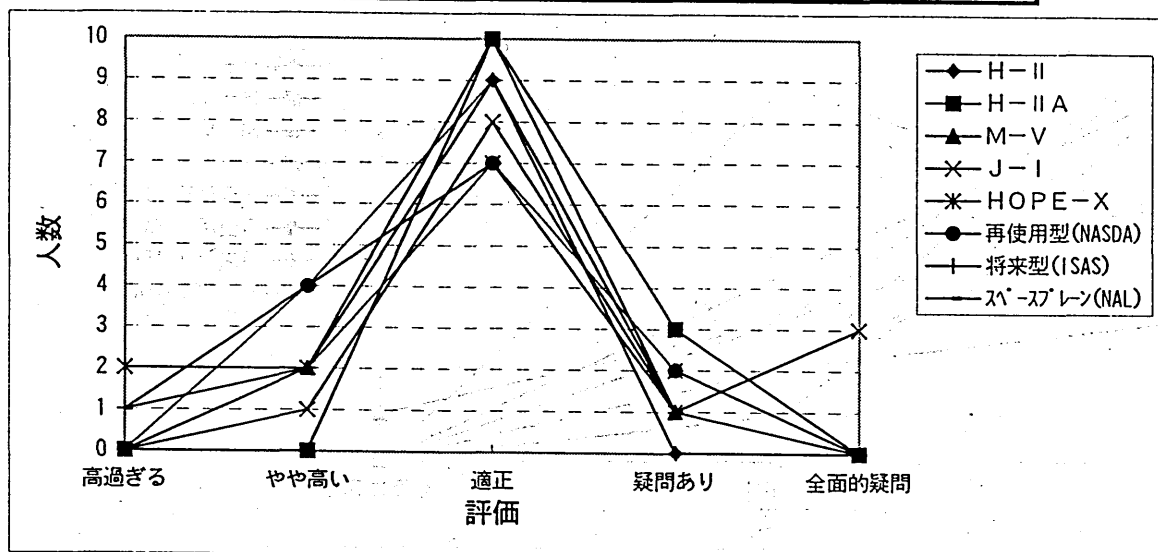


総合評価



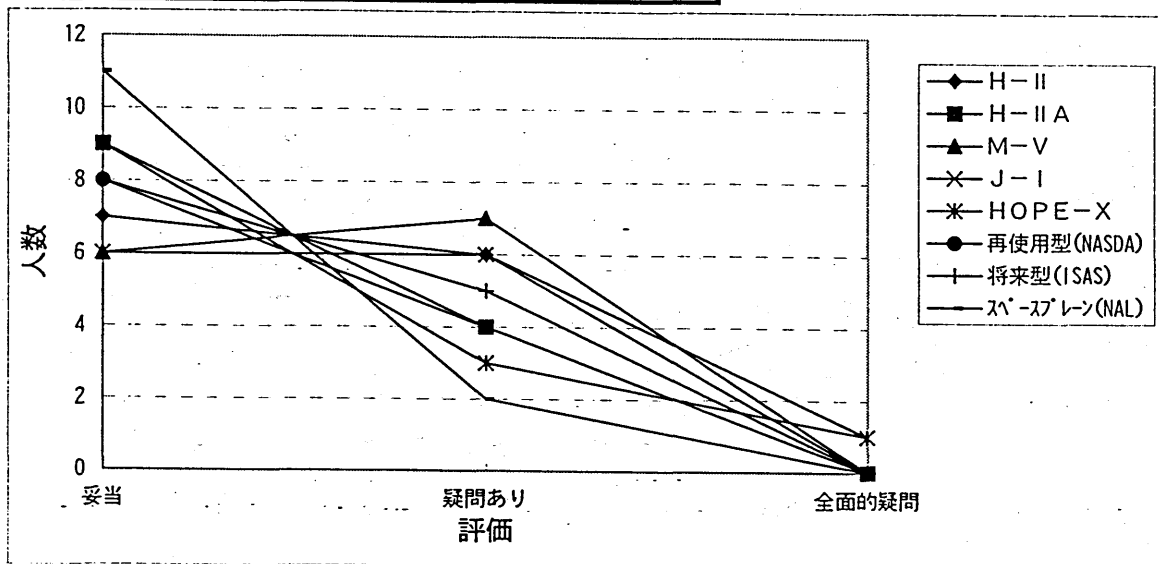
研究開発目標設定の妥当性

	高過ぎる	やや高い	適正	疑問あり	全面的疑問
H-II	0	4	9	0	0
H-II A	0	0	10	3	0
M-V	0	2	10	1	0
J-I	0	1	8	1	3
HOPE-X	2	2	7	2	0
再使用型(NASDA)	0	4	7	2	0
将来型(ISAS)	1	2	9	1	0
スペースプレーン(NAL)	1	4	7	1	0



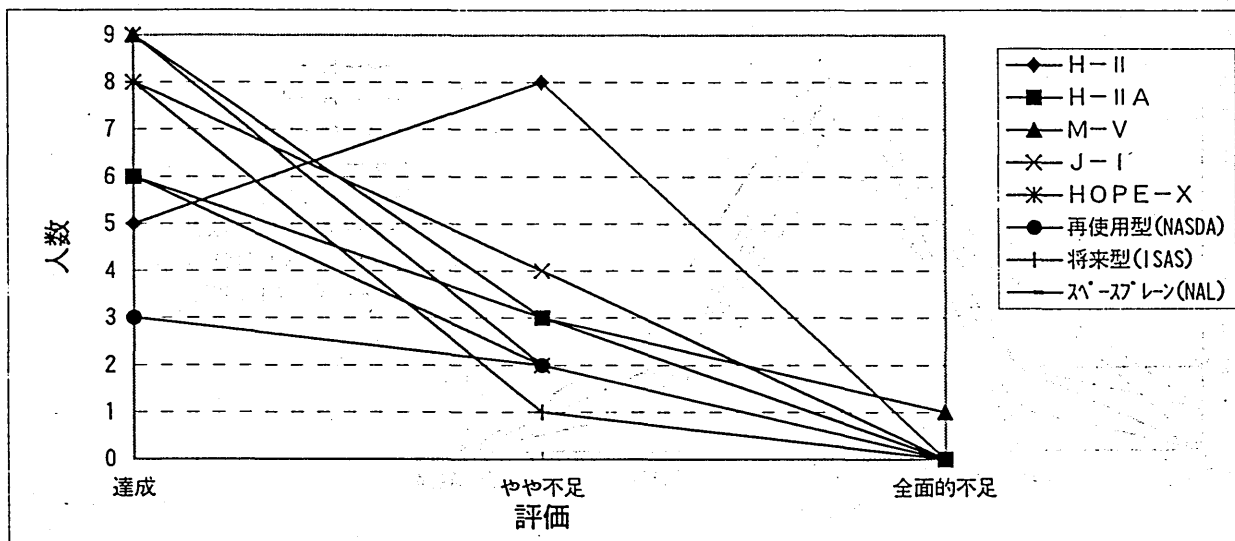
研究開発計画の妥当性

	妥当	疑問あり	全面的疑問
H-II	7	6	0
H-II A	9	4	0
M-V	6	7	0
J-I	6	6	1
HOPE-X	9	3	1
再使用型(NASDA)	8	4	0
将来型(ISAS)	8	5	0
スペースプレーン(NAL)	11	2	0



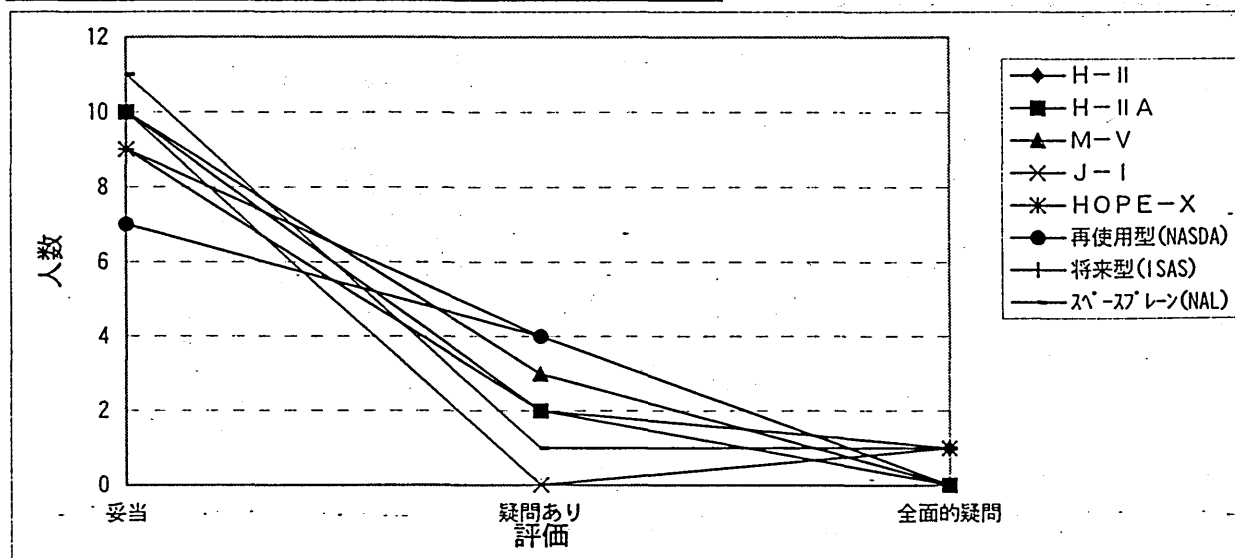
研究開発成果の達成度

	達成	やや不足	全面的不足
H-II	5	8	0
H-II A	6	3	0
M-V	9	3	1
J-I	8	4	0
HOPE-X	9	2	0
再使用型(NASDA)	3	2	0
将来型(ISAS)	8	1	0
スペース・ブレン(NAL)	6	2	0



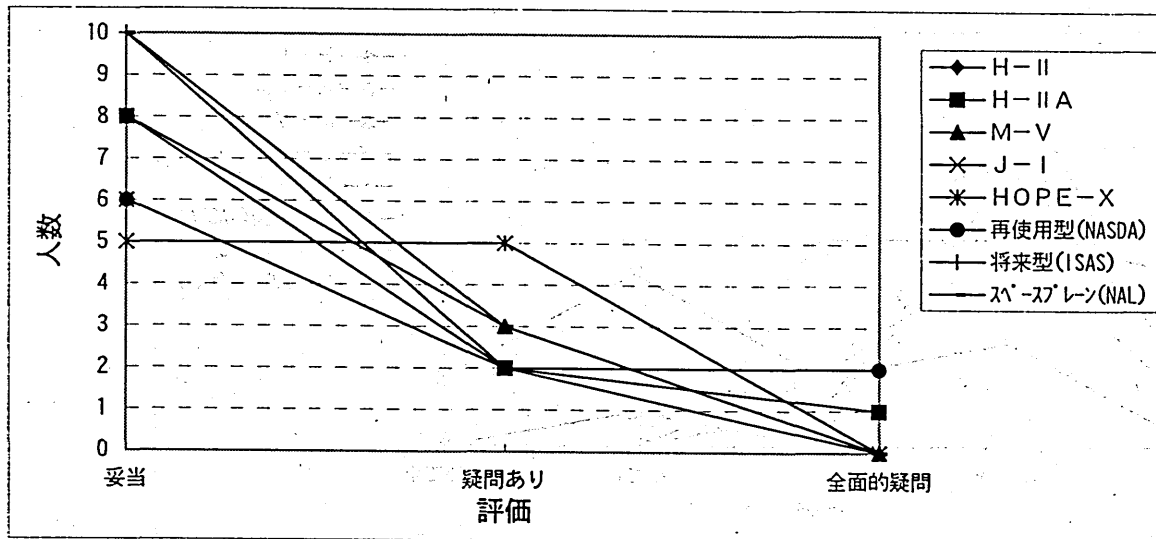
他機関との協力体制

	妥当	疑問あり	全面的疑問
H-II	10	2	1
H-II A	10	2	0
M-V	10	3	0
J-I	10	0	1
HOPE-X	9	2	0
再使用型(NASDA)	7	4	0
将来型(ISAS)	9	4	0
スペース・ブレン(NAL)	11	1	1



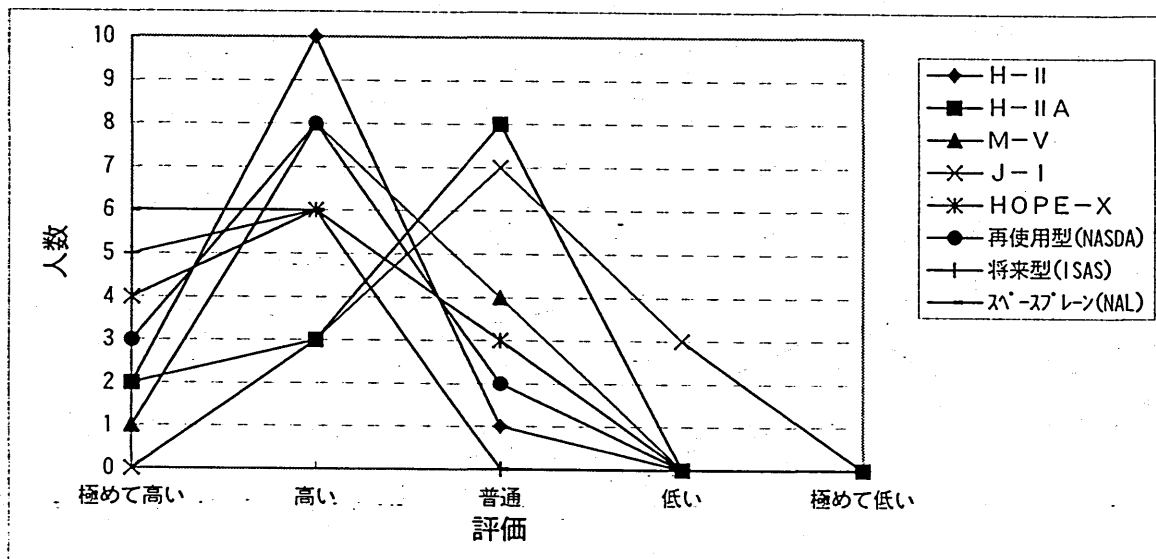
国際協力

	妥当	疑問あり	全面的疑問
H-II	8	2	1
H-II A	8	2	1
M-V	8	3	0
J-I	6	2	1
HOPE-X	5	5	0
再使用型(NASDA)	6	2	2
将来型(ISAS)	10	2	0
スペース・レーン(NAL)	10	3	0



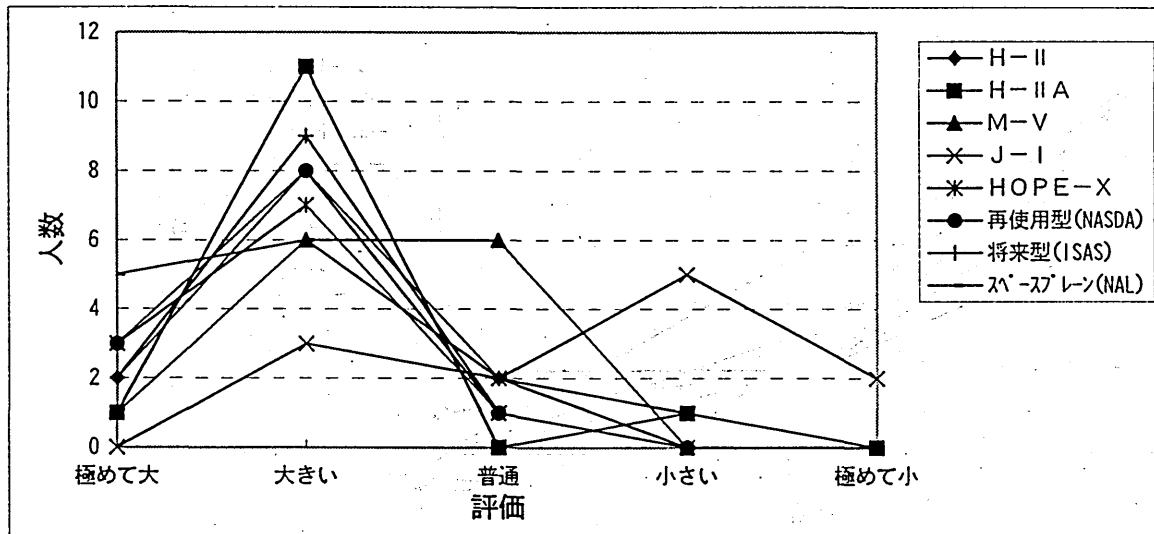
我が国技術の中の先端性

	極めて高い	高い	普通	低い	極めて低い
H-II	2	10	1	0	0
H-II A	2	3	8	0	0
M-V	1	8	4	0	0
J-I	0	3	7	3	0
HOPE-X	4	6	3	0	0
再使用型(NASDA)	3	8	2	0	0
将来型(ISAS)	5	6	0	0	0
スペース・レーン(NAL)	6	6	0	0	0



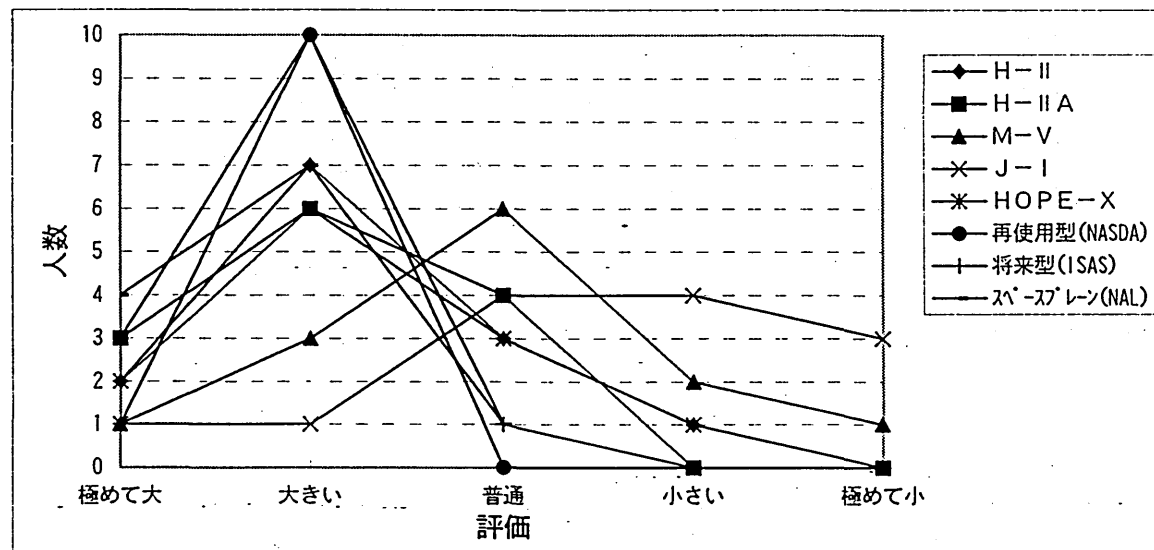
我が国技術への波及効果

	極めて大	大きい	普通	小さい	極めて小
H-II	2	8	2	1	0
H-II A	1	11	0	1	0
M-V	1	6	6	0	0
J-I	0	3	2	5	2
HOPE-X	3	7	1	0	0
再使用型(NASDA)	3	8	1	0	0
将来型(ISAS)	2	9	1	0	0
スペース・レーン(NAL)	5	6	2	0	0



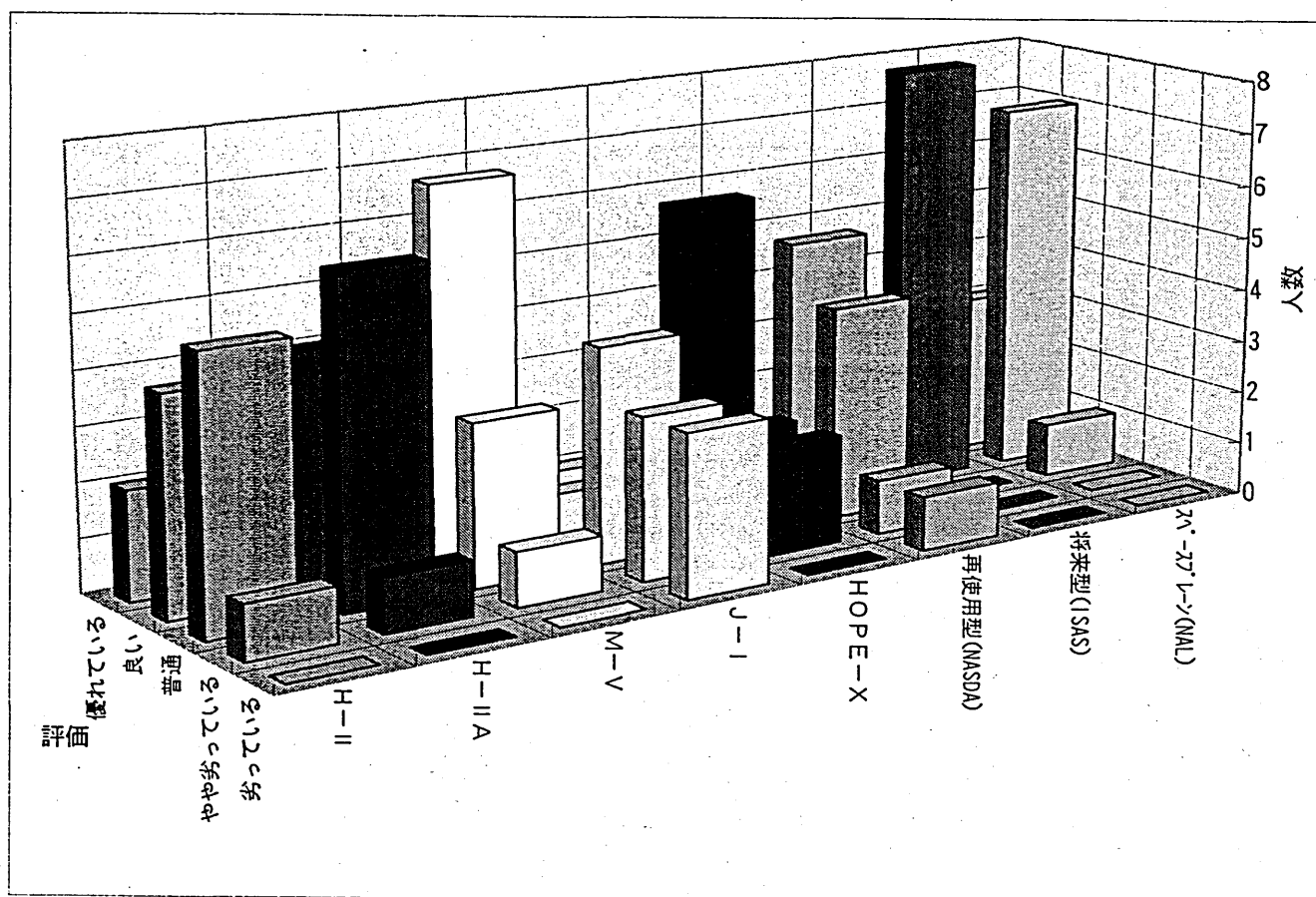
将来への発展性

	極めて大	大きい	普通	小さい	極めて小
H-II	2	7	3	1	0
H-II A	3	6	4	0	0
M-V	1	3	6	2	1
J-I	1	1	4	4	3
HOPE-X	2	6	3	1	0
再使用型(NASDA)	3	10	0	0	0
将来型(ISAS)	1	10	1	0	0
スペース・レーン(NAL)	4	7	1	0	0



総合評価

	優れている	良い	普通	やや劣っている	劣っている
H-II	2	4	5	1	0
H-II A	4	2	6	1	0
M-V	2	7	3	1	0
J-I	1	1	4	3	3
HOPE-X	2	6	2	2	0
再使用型(NASDA)	1	5	4	1	1
将来型(ISAS)	2	8	0	0	0
スペース・レーン(NAL)	3	7	1	0	0



添付資料 4（輸送系全般に関する意見）

SECRETARY OF THE ARMY

8章の提言に含まれない構成員並びに外国人専門家1名の意見をそのまま項目別に分け示す。

これまでの輸送系開発の政策決定について

(1) 各輸送系開発について

- ① H-IIを自主技術で開発するという政策決定は大いに評価でき、しかもほぼ成功裏にその目標を達成できたことを喜ぶたい。この事実は、日本の宇宙技術のレベルを示す有力な指標の一つと考えられるであろうし、今後の大規模宇宙開発への市場原理に基づく参入・あるいは国際協力の遂行にとり大きくプラスする。
- ② H-IIを自主技術で開発した事は良かった。その反面コストパフォーマンスを考慮しなかった点は反省すべき。H-II Aにおいて政策を変え、コスト削減、効率化を主な目標として取り上げた点も良いが、国民が理解出来たのであろうか。H-II、H-II Aに見られるような大きな方向性の変更より、最初から自主技術開発、コスト、効率化両面をバランス良く考慮しながら開発をすすめるべき。
- ③ H-II Aの運用費用は、H-IIの1/2以下の85億円以下を目標としている。これに対して、米国でのEELV等の開発における低コスト化の目標額等の動向を見ると、H-II Aの打上げ機会が完全に市場原理に晒された場合、85億円でも厳しい状況に直面すると予測される。一方で「必ずH-II Aは85億円よりも安い70億円台でできる」という説明があった。もしそうであるならば諸外国の動向も含めた厳密な解析・検討を行い、更に経済性を追求した最適な数字を目標とすべきである。
- ④ HOP E-Xの開発を、実用機としてではなく往還技術の取得目的に留め、実用的には再使用型の開発までの繋ぎ役として位置付けたことは正解である。
- ⑤ 世界レベルに追いつける分野としての選択が正しかった。航空機産業においては、当初より商業ベースでの議論を避けて通れなかったため、航空機全体としてプロジェクトを設けることが困難であった。一方、宇宙分野では、当初は商業ベースでの議論がなされず、宇宙科学発展及び技術開発のためのプロジェクトを実施することができた。この結果として、宇宙分野の輸送系技術は、世界レベルに追いつけるほど向上した。
国のプロジェクトとしての統合性がなく、費用や人的リソースの分散化を余儀なくされた。
- ⑥ 日本の限られたリソース（人、予算）を考えると、各プロジェクトの選

択と集中がもう少し必要であったと考える。(J-I、将来型輸送系等)

(2) その他、全般について

①社会情勢や世論の動向を勘案しながら流動的に方針が決められているのは評価できるが、それらをコントロールするための方策は不十分。

②知らず知らず米国の状況と比較してしまう習慣が身についていて、評価しようとする側にある種の色めがねがあることを認識せざるを得ない。その上に立って何か述べるとすれば、我が国の輸送系開発の政策決定はどうしても伝統的に臆病であるように見えて、諸外国の規模を見ながら我が国の計画を決定してきている様に見える。自らどう考えるかが不足している感を否めない。

輸送系開発戦略、開発計画及び設計思想について

(1) 各輸送系開発について

①これまでの輸送系開発に際しては、残念ながら明確な方針に裏付けられた戦略、開発計画及び設計思想があったとは感じられなかった。それにしては、HOPE-X、ATREXエンジン、スクラムジェットエンジン開発における個別の技術的達成度は高いと言える。しかしATREXエンジン、スクラムジェットエンジンに関しては、一般的な広報努力が不足している。それなしには十分な技術アセスメントの機会に恵まれないうことになる。高度な技術開発と市場競争力の付与とは異なる種類の達成目標なのであり、明確に区別されるべきである。H-IIとおそらくM-Vの開発は前者に関わるものでHOPE-Xを過渡期としてH-II A以降のプロジェクトは明らかに後者を目標とすべきである。H-IIからH-II Aへの切り替えを時流に遅れることなく決心したことは幸いであった。

再利用輸送系については、これが大量輸送時代の主役であるとの認識はなされているものの、それがどのような形態で実現すべきかの具体案についてはまだ定説はない。しかし明確な意図と方向性は今から感じられており、我が国においても同様の検討の開始が急務であり、ATREXエンジン、スクラムジェットエンジンといった個々のハードの開発とバランスを取りつつ進めるべきであろう。

②技術的にはファミリー化をはかっており、効率的な開発設計思想になっていると思われる。しかしながら、今後10年単位で、HOPE-Xへの取り組み、完全再使用型への研究が並行して進行すると思われるが、

資源の配分等に十分留意する仕組みが必要と考える。

③研究開発目標が「自主技術」、「コスト削減」、「既存技術活用」、「全新規開発」など輸送系によって異なり一貫性に欠けるように見える。

国が開発する場合は「自主技術」、「新規開発」のみとしその他の場合は民間企業に任せるべきではないのか。又、積極的に技術波及の事を考えていないように見受けられる。波及させるための努力（政策）が必要となる。

④個々のプロジェクトでは設計思想は良いと考えられている。プロジェクトの選択と集中がされれば、更に効率の良い結果になったと感じる。

⑤現在のところ、我が国の手法は正しいのかも知れない。米国ではまだ明確な道を示していないスペースプレーンについては、従って我が国では混乱し、種々総花的に研究せざるを得ず、戦略も進路も五里霧中とならざるを得ないかも知れない。明確な戦略を自ら決め得る技術の蓄積を図ることが出来ないだろうか。

将来の輸送系研究開発における留意事項

(1) 模範解答のない時代に向けて

我が国は、伝統的に長時間かけたコンセンサスを図る努力を行って諸計画を進めてきた。強力なリーダーシップのもとでプロジェクトを進める習慣がない。

輸送系について一度試みを行ってみるのは如何であろうか。これから世界のどこにも輸送系の模範的解答のない時代であるのであるから。

(2) 計画段階の調査と目標設定について

今後の新しい研究開発にあたっては世界的情勢の変化を考慮して計画段階の調査と目標設定について課題が残されていると考える。

I. 商用を視野に入れた新しい宇宙輸送手段の開発にあたっては、世界市場で競争力があるものとなるよう、計画段階で十分な検討が為されなければならない。

II. 技術的先進性は将来にわたっても重要であるので、さらに先のシステムを目指した技術開発は国において積極的に行うことが依然として必要である。

III. 商用の宇宙輸送手段は市場において外的な評価が自然に行われる。一方、将来を目指した国の技術開発には、そのような外的な自然評価機

構は備わっていないだけでなく、目標が長期であり先進的なものであればあるほど評価は難しい。従って、長期の研究に対する目標設定と評価には新たな具体的方法*の検討を行う必要がある。

* [例：一定規模以下の開発は定めた期間内は研究者の自由に任せ、その間の成果の達成度は研究者に自己申告させる、将来適用されるべきシステムへの効果の度合いを数値的に評価するなど]
我が国の宇宙開発では、いわゆる「開発」と「運用（あるいは利用）」の切り分けがあいまいであり、そのために問題が生じるとともに、担当組織も困惑している。リスクな先端技術が一方にあり、実用システムを作る段階では冷静にそれらの技術を取捨しうる体制が望ましいと考える。

(3) 再使用型輸送系に向けて

① H O P E - X 以降の再使用型輸送手段の開発にあたっては、準国家プロジェクト的展開をしてはどうか。中枢には N A S D A があたり、マスタープランの策定を行いプロジェクトの研究開発管理を行うと共に、R & D レベルにおいてはソフト的部分を担う。N A L と I S A S が応分の技術開発を担うことに加えて、特定したテーマに関する提案公募方式により学側の参加も推進する。また、この段階では、プロジェクト推進の指導原理は、市場原理に晒されても生き残り得る安価でかつ信頼度の高い打上げ手段の確保であり、国際協力・国際調達などを苦にしない国際的展開を図る必要がある。

学側に対しては、提案公募方式は、多くの刺激と活性化を促すことができ、資金的にも潤うというメリットが大きい。

日本列島の地理的条件からして、再使用型輸送機の発射場及び回収に際しての着陸場の選択は重要かつ困難な課題であり、速やかな検討着手が必要。

スペースプレーンについては、適切な広報活動を行うと共に、市場ニーズを早めに調査しておくべきである。

② 極めて身近な輸送系である民間航空機分野においては、世界レベルの技術は保持しながらも、商業ベースでの開発・生産を行う産業基盤は持ち得ていない。宇宙開発においても、いつまでも研究開発の範囲にとどまっているのか、または民間産業に大きなリターンを与えられるような戦略とするのかで、意義が大きく違ってくる。

現在の民間航空機（ジェット輸送機）の価格は1機あたり40～200

億円レベルであり、ほぼロケット1機あたりの運用コストと同じであるが、海外からの調達に頼らざるを得ない状況にある。今後のスペースプレーン開発までの長い道程の中で、SST開発により積極的に関わることで以下のメリットが得られるものとする。

I. スペースプレーンの基礎研究（航空機部分の習得）

II. SST共同開発という実用的中間目標を設定することにより、航空産業の育成を図る。

III. IIに伴い民間産業の協力（人、物、金）を得やすくなる。

③再使用型（NASDA）、将来輸送系（ISAS）、スペースプレーン（NAL）の三研究を一つのプロジェクトにし、効率化を図る。

(4) その他

①今後の高頻度打上げによる地球環境へのインパクトを適正に評価しておく必要がある。スペースデブリについては大々的議論が展開されているが、これはいわば自業自得的な性格を持つものに対し、打上げ機による大気汚染は不特定多数に対して被害を与える可能性がある。

②不具合を隠蔽しない、不幸にしてそしてそれが発生した場合には徹底した検討を行う、という不具合の発生が以後の発展に十分に活かされる様な体質と制度を確立しておく事が大切である。

③多少オーバーラップの開発分野があっても競争原理を導入すべきである。