

再使用型宇宙輸送システム検討会報告書の概要

平成 9 年 6 月
研 究 開 発 局
航 空 宇 宙 開 発 課

科学技術庁研究開発局において、平成 8 年 6 月以来 10 回にわたって開催した再使用型宇宙輸送システム検討会での検討結果を取りまとめたものであり、我が国が目指すべき完全再使用型宇宙輸送システムの概念及び研究開発の推進方策について提示。

○完全再使用型宇宙輸送システムの意義と必要性

- ・ 21 世紀における宇宙開発活動は量的、質的に伸展、「地球圏宇宙」が拡大。
- ・ そのためには、より効率的かつ安全な地球周回軌道への宇宙輸送系が必要。
- ・ すなわち、①大幅な宇宙輸送コストの低減、②高い信頼性／安全性、③自在な運用性、④宇宙への双方向輸送への対応、及び⑤環境保全、を実現し得る完全再使用型宇宙輸送システムが必須。
- ・ このような完全再使用型宇宙輸送システムの実現は、宇宙という空間を人類の活動圏にするとともに、さらなる宇宙輸送需要の拡大や新たな宇宙活動の創成を促進。
- ・ 完全再使用型宇宙輸送システムの研究開発は、①我が国の宇宙活動の自在性の確保、②先端的技術分野における我が国の技術的優位性とそれによる国際貢献、及び③技術波及効果の高さの観点から、常に質的に高い科学技術をその発展と繁栄の重要な基盤としている我が国にとって強力に推進すべきもの。

○再使用型宇宙輸送システムの研究開発動向

①我が国の研究開発動向

- ・ ロケット技術については世界的技術水準を取得。
- ・ 部分再使用型宇宙輸送システムである H O P E - X 計画が 2001 年の打ち上げを目途に推進中。
- ・ 完全再使用型宇宙輸送システムについてはスペースプレーンに関して推進技術の研究及びシステム研究を中心に航技研で実施中、また宇宙科学研究所等においても推進技術の研究やシステム研究を実施中。

②諸外国における研究開発動向

- ・ 米国においては、現行システムの 1/10 以下の運用コストを目指してロケット

推進による完全再使用型宇宙輸送機の研究開発が2000年代半ばの運用を目途に進行中。また2020年頃を目途に現行の1/100以下の運用コストを実現する次世代宇宙輸送機の計画を準備中。

- ・ 欧州においては、フランスがスペースプレーンを目標としたシステム検討及び重点技術開発の研究を推進、欧州宇宙機関としてもシステム概念検討を実施中。
- ・ ロシアでは、システム概念検討を実施中。

○我が国が目指す完全再使用型宇宙輸送システム

- ・ 有力かつ最適な完全再使用型宇宙輸送システム概念である単段宇宙航空機（スペースプレーン）が我が国の最終目標。
- ・ 一方、21世紀初頭からの宇宙輸送需要を勘案すれば、早期に輸送コストの大幅な低減は必要。しかし、21世紀初頭からのスペースプレーンの運用は技術的に困難。
- ・ そのため、スペースプレーンに比べて早期実現の可能性が高い、ロケット推進による単段宇宙輸送機を中間段階の目標として設定。

○我が国の研究開発の推進方策

①基本的考え方

- ・ 完全再使用型宇宙輸送システムの研究開発の意義・必要性を踏まえ、我が国として強力に推進。
- ・ 今後の技術や宇宙開発活動の伸展を踏まえた段階的研究開発。
- ・ 国内関係機関及び産学官の緊密な連携による効率的な研究開発。
- ・ 最終目標であるスペースプレーンの実現には、材料・構造技術分野と推進技術分野での技術革新が必要。材料・構造技術の革新はロケット推進単段宇宙輸送機の研究開発で図る。
- ・ スペースプレーンについては、国際協力による開発・運用を十分に念頭において、我が国独自技術と期待されるエアブリージングエンジン技術等推進性能の革新に向けた研究開発を中核として進め、2010年代前半に重要技術の実証を目的とした実験機開発・飛行試験を実施、さらに2020年代の運用に向けたシステム実証実験機の開発・飛行試験に移行。
- ・ ロケット推進単段宇宙輸送機については、HOPE-Xやロケット開発で取得する技術成果を十分に活用しつつ、2010年初頭の運用を目標として、材料・構造の軽量化技術を中心とした要素技術開発を進め、2000年代半ばにシステムの飛行実証を実施。
- ・ 2段式宇宙輸送機等の他のシステム概念については必要に応じて実施。

②具体的推進方策

(スペースプレーンの研究開発)

- ・重点研究開発課題は、①エアブリーザー／ロケット複合エンジン技術、②システム技術、及び③耐熱主構造技術。
- ・第1段階では、重点研究開発課題に関して地上試験を主体とした技術開発を行い、第2段階では推進システム／機体統合技術等システム統合化技術の飛行実証・評価試験を実施。さらにスペースプレーンの開発基盤の確立に必要なシステムレベルでの飛行実証段階へと移行。
- ・各段階において、ロケット推進単段宇宙輸送機の研究開発成果を有効活用するとともに諸外国の動向や技術の進捗を踏まえて、その後の指針を見直す。

(ロケット推進単段宇宙輸送機の研究開発)

- ・重点研究開発課題は、①材料・構造の軽量化技術、及び②再使用型ロケットエンジン技術。
- ・第1段階として、重点研究開発課題に関して要素技術の研究を進めるとともにHOPPE-X等の開発・飛行試験及び実利用を通じて運用技術等の蓄積と高度化。これらを踏まえて、システムの総合実証のための飛行実証実験を行い、2010年初頭の運用に向けた実用機開発に移行。
- ・各段階において、諸外国の動向や技術の進捗を踏まえて、その後の指針を見直す。

③研究開発用試験設備・施設の整備

- ・設備・施設の整備に当たっては、諸外国の設備・施設の有効活用、必要性等を十分に吟味して計画的に進める。
- ・我が国としての飛行試験場の確保／整備は緊要な課題。

④研究開発における連携・強力のあり方

- ・国の機関を核として、民間及び大学の緊密な連携が必要であり、その研究開発体制も含めた実施計画の具体化に向けて検討が必要。
- ・我が国の国際的地位にふさわしい技術的国際貢献を国際協力において果たすとともに、国際協力推進に必要な体制の整備や人的交流・意見交換等を推進。

⑤その他研究開発の推進に必要な条件整備

- ・我が国の完全再使用型宇宙輸送システム開発に係わる政策の策定や研究開発の評価等について、宇宙開発委員会に体制を整備し、取り組むことが適切。
- ・研究開発の資金調達について政府を中心として民間等との連携・協力を含めた方策の検討が重要。

以 上

検討会参加者

浅井	達朗	日産自動車(株)宇宙航空事業部宇宙技術部長
稲谷	芳文	宇宙科学研究所助教授
狼	嘉彰	東京工業大学工学部機械宇宙学科教授
久能	和夫	九州大学工学部航空宇宙工学科教授
(座長)久保田	弘敏	東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻教授
河野	通方	東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻教授
小林	繁夫	東京大学名誉教授
近藤	善郎	石川島播磨重工業(株)航空宇宙事業本部宇宙開発事業部 企画担当部長
柴藤	羊二	宇宙開発事業団計画管理部長
田中	康平	富士重工業(株)航空宇宙事業本部宇都宮製作所宇宙技術 室長
棚次	亘弘	宇宙科学研究所教授
谷内	朗	川崎重工業(株)航空宇宙事業本部航空宇宙事業部宇宙機 設計部主幹
野村	茂昭	宇宙開発事業団技術参与
パーク	チヨル	東北大学工学研究科航空宇宙工学専攻教授
樋口	清司	宇宙開発事業団企画室長
舞田	正孝	航空宇宙技術研究所宇宙研究グループ主任研究官
八柳	信之	航空宇宙技術研究所ラムジェット推進研究部長
山崎	勲	三菱重工業(株)名古屋誘導推進システム製作所副所長

(事務局)

科学技術庁研究開発局 航空宇宙開発課

情報交換及び意見交換を行った海外からの専門家

Dr. Nikolai Anfimov (TSNII MASH, Russia)
Prof. Claudio Bruno (Univ. of Rome, Italy)
Mr. William Claybaugh (NASA, U. S. A.)
Prof. Paul Czysz (Saint Louis University, U. S. A.)
Dr. Christian Dujarric (European Space Agency)
Mr. Donald Fulton (Boeing-Rocketdyne Division, U. S. A.)
Dr. William Gaubatz (McDonnell Douglas, U. S. A.)
Dr. Claude Johnson (CNES, France)
Dr. Heribert Kuczera (Daimler-Benz Aerospace, Germany)
Mr. Gerard Laruelle (Aerospatiale, France)
Mr. Roger Longstaff (Guest Associates, U. K.)
Prof. James Martin (Univ. of Alabama, U. S. A.)
Mr. Robert Pap (Accurate Automation Corp., U. S. A.)
Mr. Mohammad Sadjadpour (Boeing-Rocketdyne Division, U. S. A.)
Dr. Virgil Smith III (Sverdrup Technology, U. S. A.)
Mr. David Stallings (Sverdrup Technology, U. S. A.)
Mr. Eric Webb (British Aerospace, U. K.)

検討会経緯

平成8年 6月10日 第1回検討会

- (1) 再使用型宇宙輸送システム検討会の開催について
- (2) 各機関における取組について
- (3) 今後の進め方

7月 3日 第2回検討会

- (1) 海外における再使用型宇宙輸送システム技術について

9月19日 第3回検討会

- (1) 各機関、各人が考えている再使用型宇宙輸送システム開発のシナリオについて

10月21日 第4回検討会

- (1) 各機関、各人が考えている再使用型宇宙輸送システム開発のシナリオについて

12月 2日 第5回検討会

- (1) 再使用型宇宙輸送システム研究開発のシナリオに係る論点整理

平成9年 1月13日 第6回検討会

- (1) 再使用型宇宙輸送システム研究開発のシナリオについて

2月 3日 第7回検討会

- (1) 再使用型宇宙輸送システム検討会報告書骨子（案）について

(2月17日 第1回起草小委員会)

3月10日 第8回検討会

- (1) 海外専門家との情報交換及び意見交換

(3月19日 第2回起草小委員会)

(3月28日 第3回起草小委員会)

4月 4日 第9回検討会

(1) 再使用型宇宙輸送システム検討会報告(案)について

(4月14日 第4回起草小委員会)

(4月30日 第5回起草小委員会)

5月22日 第10回検討会

(1) 再使用型宇宙輸送システム検討会報告(案)について

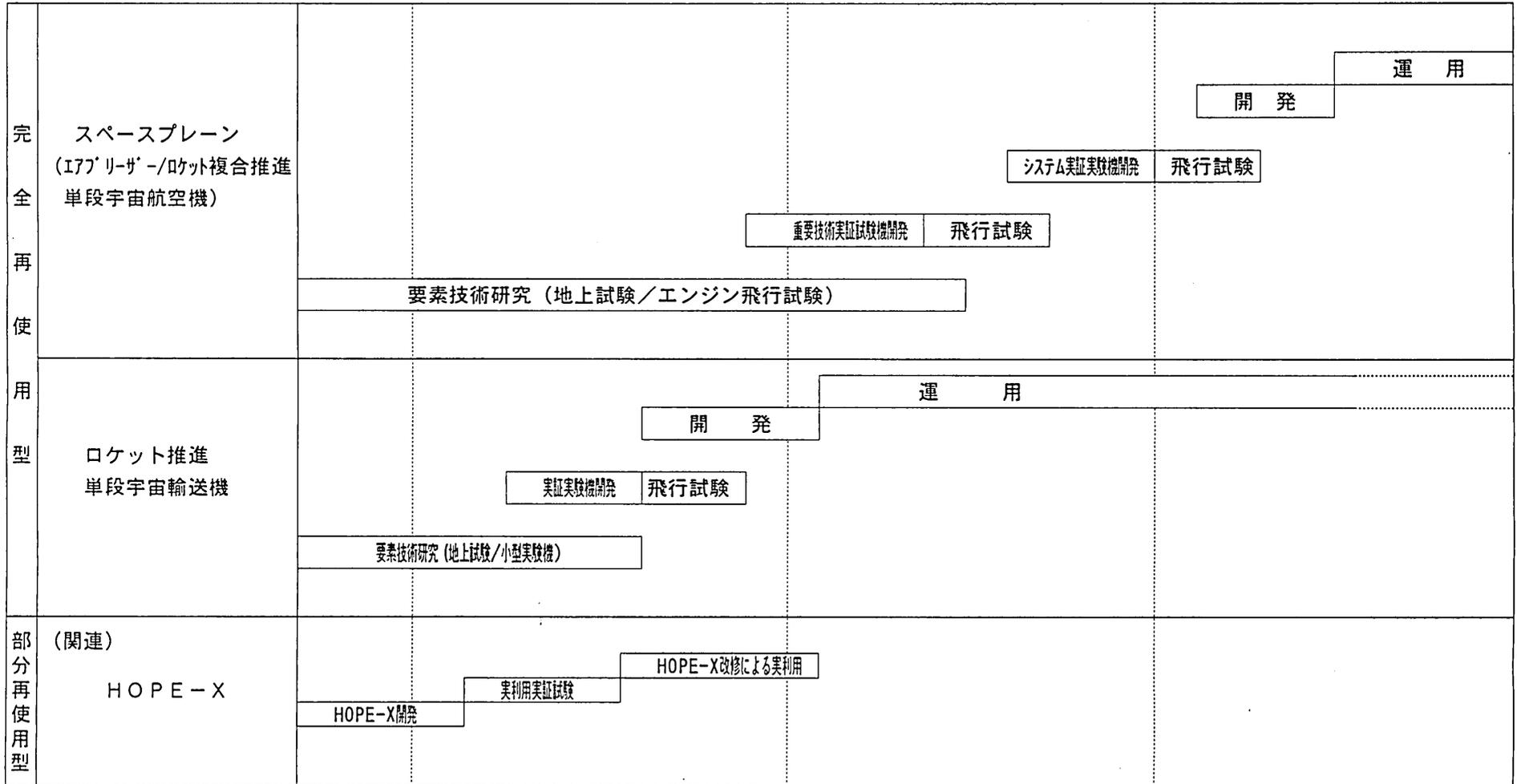
(西暦)

2000

2010

2020

2030



1-8-

図1 我が国の reusable 型宇宙輸送システムの研究開発シナリオ

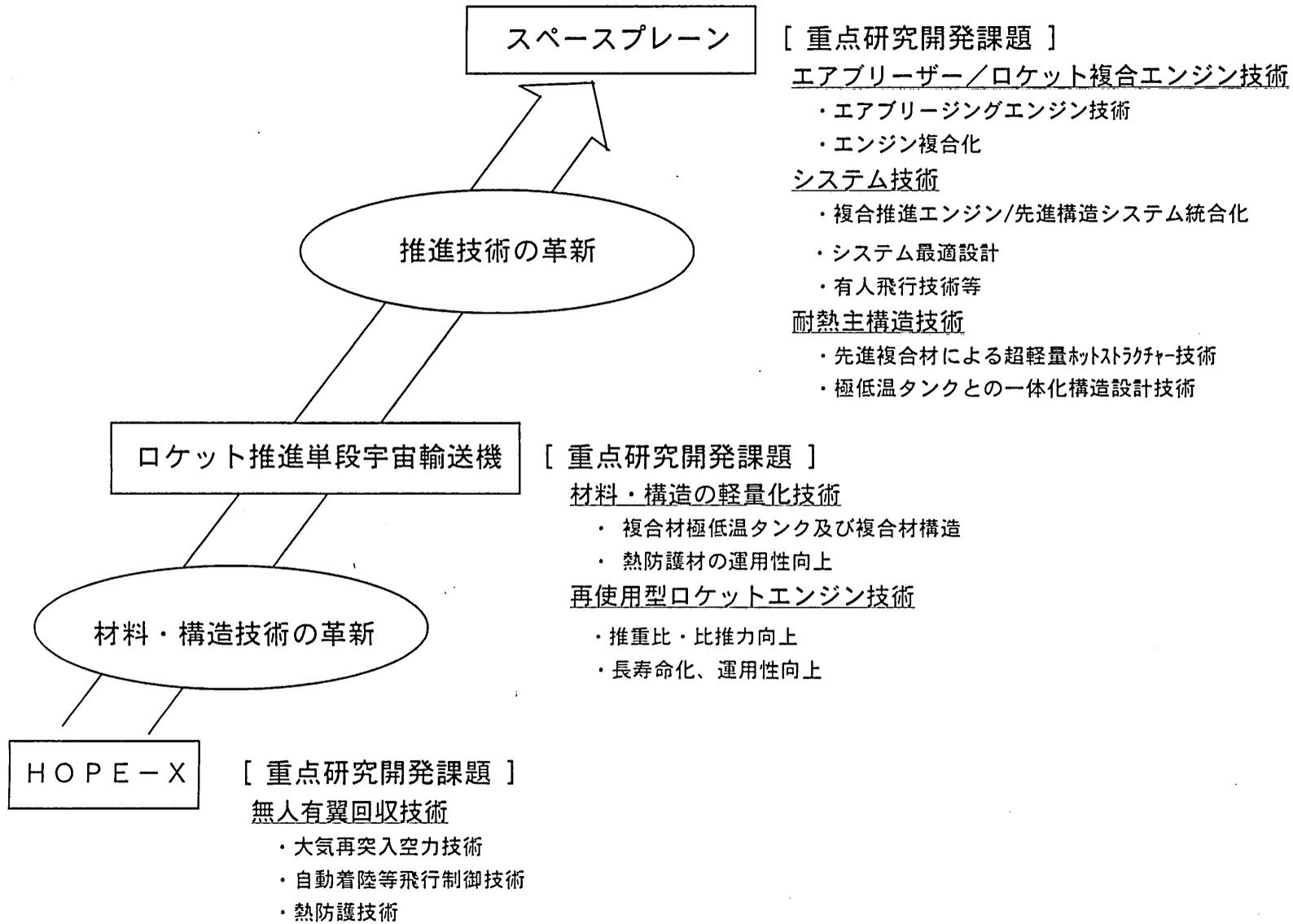


図 2 再使用型宇宙輸送システムの研究開発における重点技術開発フロー

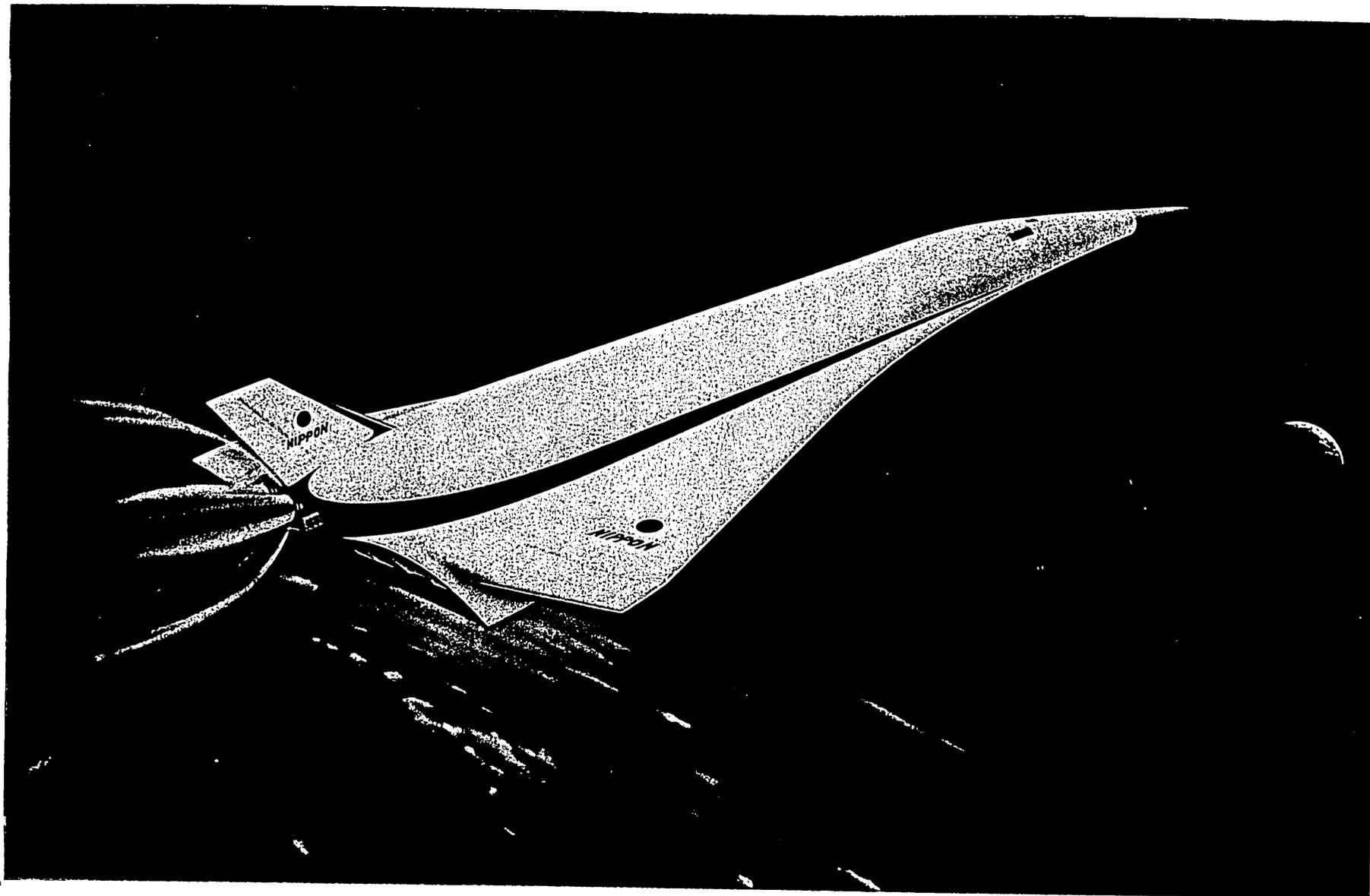


図3 スペースプレーンのイメージ

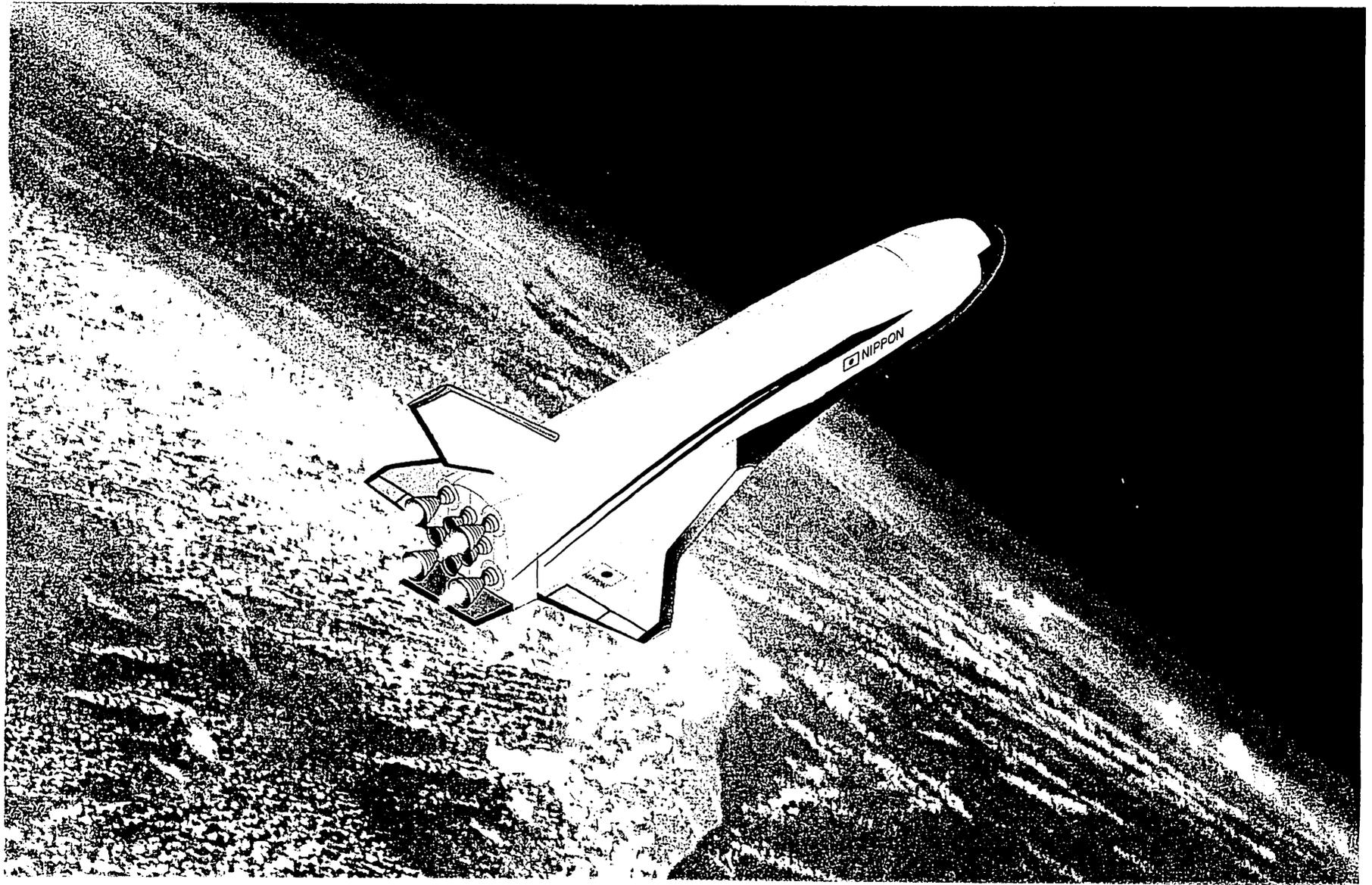


図4 ロケット単段宇宙輸送機概念の一例

再使用型宇宙輸送システム検討会

報告書

平成 9 年 6 月

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

目 次

はじめに

1. 完全再使用型宇宙輸送システムの意義と必要性
 1. 1 宇宙活動の将来展望
 1. 2 将来の宇宙活動における完全再使用型宇宙輸送システムの役割
 1. 3 我が国の完全再使用型宇宙輸送システムの研究開発の意義と必要性

2. 再使用型宇宙輸送システムの研究開発動向
 2. 1 我が国における研究開発動向
 2. 2 諸外国における研究開発動向

3. 我が国が目指す完全再使用型宇宙輸送システム

4. 我が国の研究開発の推進方策について
 4. 1 基本的考え方
 - (1) 基本方針
 - (2) 研究開発の進め方
 4. 2 具体的推進方策
 - (1) スペースプレーンの研究開発
 - (2) ロケット推進単段宇宙輸送機の研究開発
 4. 3 研究開発用試験設備・施設の整備
 4. 4 研究開発における連携・協力のあり方
 4. 5 その他研究開発の推進に必要な条件整備

おわりに

はじめに

我が国においては、昭和30年のペンシルロケットによる実験に端を発し、約40年にわたって宇宙輸送システムに関する研究開発を進めてきた。近年、H-IIロケット及びM-Vロケットの自主開発を成功裏に終え、我が国は使い捨て型宇宙輸送システムについて世界的技術水準に達しつつある。我が国としては当面、この現有システムを発展させ、利用していくこととなるが、一方で、21世紀に見込まれる多様な宇宙輸送ニーズに、より自在かつ経済的に対応するために革新的な宇宙輸送システムが必要であるとの認識が定着しつつある。

米国においては既にポストスペースシャトルも睨んだ次世代宇宙輸送システムの研究開発が進められており、欧州、ロシアにおいても将来型宇宙輸送システム構築に向けた取り組みが行われている。また、我が国においても、宇宙開発委員会長期ビジョン懇談会報告書「新世紀の宇宙時代の創造に向けて」（平成6年7月）及び宇宙開発政策大綱（平成8年1月24日改訂）において、水平離着陸能力を有するスペースプレーンを含めた、再使用型宇宙輸送システムの可能性及び必要性が提唱されている。さらに、その実現の第一歩として部分再使用型宇宙輸送機である宇宙往還技術試験機（HOPE-X）計画については既に着手したところである。

科学技術庁では、このような内外の状況を踏まえつつ、平成8年6月以来、科学技術庁研究開発局において、「再使用型宇宙輸送システム検討会」を開催し、今後我が国として取り組むべき完全再使用型宇宙輸送システムの概念の整理及びその研究開発の推進方策について、海外の専門家との情報交換及び意見交換も含め、検討を重ねてきた。

本報告書は、これまで10回にわたって行われてきた同検討会の検討結果を取りまとめたものであり、我が国が目指すべき完全再使用型宇宙輸送システムの概念及び研究開発の推進方策を提示するものである。

1. 完全再使用型宇宙輸送システムの意義と必要性

1.1 宇宙活動の将来展望

宇宙開発委員会長期ビジョン懇談会報告書にあるように、21世紀においては、様々な宇宙活動が量的に拡大し、質的にも高度化、多様化が進展すると考えられ、「地球圏宇宙」の広がりが期待される。

すなわち、2000年代には国際宇宙ステーションの運用が開始され、本格的宇宙環境利用に向けた研究・実験が進み、これを踏まえて宇宙環境利用の高度化を図るために低中高度軌道上のプラットフォームの開発・運用が進むと考えられる。また、基本的な「全地球観測システム」や地上の通信網と一体となった通信衛星システム等の構築に向けて、多数の衛星が低中軌道や静止軌道に打ち上げられるとともに、これらの運用に加えて、民間が独自に打ち上げる商業用衛星の運用も見込まれる。

2010年代には、宇宙ステーションなどへの双方向の人員や物資の輸送及び低中高度軌道上のプラットフォームなどへの支援・修理などの多様な輸送需要のさらなる拡大が予想される。

2020年代には、宇宙での生産活動の拠点として次世代の宇宙ステーションが開発・運用され、地上と宇宙ステーション間の人員及び物資の輸送が頻繁に行われるとともに、宇宙探査等の活動を行う月面システムや宇宙でのエネルギー生産システムが国際協力により構築される可能性がある。また、「全地球観測システム」は衛星の高機能化等により信頼性のある高度なシステムへと発展するとともに、静止軌道上での交換や修理なども行われていると予測される。そのため、これらの活動を支える人員・物資の宇宙輸送が見込まれる。

1.2 将来の宇宙活動における完全再使用型宇宙輸送システムの役割

先に述べたような将来の宇宙活動を人々の日常的活動の一部として行い、そこから得られる利益をより広く享受するためには、より効率的、経済的かつ安全な宇宙インフラストラクチャー、特に地球周回軌道への宇宙輸送系の整備が必要となる。すなわち、21世紀の宇宙輸送系には、現状の宇宙輸送システムに比べて、大幅な輸送コストの低減、高い信頼性／安全性及び自在な運用性が求められる。また、これまで地上から宇宙への一方向輸送需要がほとんどであったのに対して、宇宙ステーションの本格的運用等多様な宇宙活動が進展するにつれて、地上と宇宙との双方向輸送需要の増大が見込まれ、これに応えることが求められる。さらに地球環境はもちろんのこと、宇宙環境の保全にも一層配慮することが必要となる。

将来の宇宙輸送システムに求められるこれらの要求を解決するためには、完全再使用性を有する宇宙輸送システムが必須である。完全再使用型宇宙輸送システムは宇宙輸送コストの大幅な低減を可能とするとともに極めて信頼度の高い宇宙輸送を実現し、より経済的な宇宙活動の実現のためのインフラストラクチャーを提供することとなる。さらに有人宇宙活動の今後の発展に伴い求められる航空機並みの安全性と自在な運用性は一般人の容易な宇宙へのアクセスを可能とする。このような完全再使用型宇宙輸送システムの実現によって、地上と宇宙とが一体となった交通体系が確立され、宇宙という空間が地球の延長線上として完全に人類の活動圏の一部となると言える。また、宇宙活動が商業利用や民間投資の対象となり、さらなる宇宙輸送需要の拡大と新たな宇宙活動の創成を促すことが期待される。

1.3 我が国の完全再使用型宇宙輸送システムの研究開発の意義と必要性

上述のように、完全再使用型宇宙輸送システムは21世紀の宇宙開発活動の展開に当たり極めて重要な位置づけを有するものである。したがって、我が国が将来にわたって、我が国の宇宙活動の自在性を確保して円滑に宇宙開発活動を推進していくためには、その基盤となる宇宙輸送技術を維持・発展させることが必要不可欠であり、我が国として自在な運用が可能な完全再使用型宇宙輸送システムの保有を目指し、研究開発を積極的に推進していくことが必要である。

また、欧米及びロシアにおいても次世代宇宙輸送システムの構築に向けて、完全再使用型宇宙輸送システムの研究開発が進められており、技術立国を標榜する我が国として先端的技術分野における技術的優位性を将来において確保しつつ、国際的な貢献を果たす意味でも我が国が完全再使用型宇宙輸送システムの研究開発を積極的に推進することは意義深い。

さらに、このような宇宙輸送システムの研究開発においては、広範囲かつ高度な先端技術の統合が求められるため、極めて高い技術波及効果が期待される。そのため、様々な分野において新技術の創出に貢献するとともに、これらの新技術を利用した付加価値をもつ新しい産業を創成する可能性を秘めている。

このような意味において、完全再使用型宇宙輸送システムの研究開発は、常に質的に高い科学技術をその発展と繁栄の重要な基盤としている我が国にとって、強力に推進していくべきものであると考えられる。

2. 再使用型宇宙輸送システムの研究開発動向

2.1 我が国における研究開発動向

我が国は東京大学生産技術研究所のペンシルロケット開発以降、宇宙科学研究所と宇宙開発事業団を中心として使い捨て型ロケットの開発を行ってきており、M系ロケット、N系ロケットやH系ロケット等各シリーズの技術開発を通して、ロケット技術については世界的水準に達しようとしている。一方、再使用型宇宙輸送システムについては、部分再使用型宇宙輸送システムである無人有翼宇宙往還機の開発を目指して、航空宇宙技術研究所と宇宙開発事業団との共同で、各種飛行実験及び要素技術開発を進めており、2001年にはその技術試験機(HOPE-X)をH-II Aロケットにより打ち上げる計画となっている。また、航空宇宙技術研究所においてはエアブリージングエンジンのひとつであるスクラムジェットエンジンの研究開発を中心として、完全再使用型宇宙航空機(スペースプレーン)の推進技術及びシステム技術に関する研究、ロケットエンジンの再使用化及び高性能化のための要素研究を進めてきている。宇宙科学研究所においてはエアターボラムジェットエンジン等の推進技術開発や再使用型飛行体のシステム研究など将来輸送系技術の開発が進められている。大学及び企業等においても要素技術或いはシステムに関する基礎的及び応用的な研究が行われている。また再使用型宇宙輸送システムを利用した宇宙旅行等新しい民生分野での宇宙活動の展開の可能性についての検討も学協会等で行われている。

2.2 諸外国における研究開発動向

米国はスペースプレーンの開発を目的として、1986年、NASP計画に着手し、その実証機としてX-30の開発を目指したが、開発コストの不確実さ等により実証機開発については計画を断念するに至っている。その後、将来宇宙輸送系として、2010年に実現可能な輸送システムを前提にロケット推進による完全再使用型単段宇宙輸送機の方向性が示された。その技術実証を目的としたX-33計画ではリフティングボディ形式が採用され、1999年の飛行実験開始に向けて研究開発が進められており、現行システムに比べて1/10以下の輸送コストでの運用を目指した実用機開発が2000年代半ばの実現を目途に計画されている。一方で、現行のスペースシャトルの運用コストの低減を図るべく、その運用性の改善や信頼性の向上等を並行して進めている。さらにNASAのAST計画において、2020年頃を目途にエアブリージングエンジン搭載により、現行の1/100以下の輸送コストを目指して、

性能向上を図った次世代宇宙輸送機の計画についても準備されつつある。また、その一環としてHyper-X研究計画において、極超音速実験機を開発し、1999年にスクラムジェットエンジンの飛行試験を行う予定となっている。一方、少量の貨物輸送を目的とした小型完全再使用型宇宙輸送システムの研究開発も進められつつある。

欧州においては、フランスはスペースプレーンをリファレンスコンセプトとしたシステム検討及び重点技術開発を行うPREPHA計画を1992年から推進している。また、英国のHOTOL計画及びドイツのSÄNGER計画はともに単段或いは2段のエアブリージングエンジン搭載の宇宙輸送機構想であったが諸般の事情により国家プロジェクトとしての推進は中断あるいは縮小されている。しかしながら、将来、再使用型宇宙輸送システムは必要との認識から、欧州宇宙機関(ESA)は1994年より将来欧州宇宙輸送システム研究計画FESTIPを進めており、そのなかで様々な再使用型宇宙輸送システムの概念検討を実施している。

ロシアではOryol計画として、ESAのFESTIPと同様の将来宇宙輸送システムの検討が行われている。

3. 我が国が目指す完全再使用型宇宙輸送システム

先に述べた将来の宇宙輸送システムへの諸要求に応え得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は、水平離着陸が可能で航空機並みの安全性と自在な運用性を有するエアブリージングエンジン搭載の単段宇宙航空機（スペースプレーン）であり、これを我が国が目指す完全再使用型宇宙輸送システムの最終目標として設定すべきである。

しかしながら、スペースプレーンの実現には極超音速域まで作動可能なエアブリージングエンジン技術や軽量耐熱材料・構造技術等、様々な技術的ブレークスルーが不可欠であって、21世紀初頭からの運用は技術的に難しい。一方、地球環境監視、通信・放送分野等における低中高度軌道及び静止軌道への衛星の打ち上げや宇宙ステーションへの物資の輸送・回収など、21世紀初頭から見込まれる宇宙輸送需要を勘案すれば、その輸送コストの大幅な低減は緊要の課題であり、早期にこれに応える必要がある。そのため、材料・構造技術の革新が必要とされるものの、先行するH-IIAロケットやHOPE-Xの開発で得られるロケットエンジン技術や無人有翼回収技術等を基盤にしてスペースプレーンに比べて早期に実現可能なロケット推進による単段宇宙輸送機を中間段階の目標と設定することが妥当である。

また、今後の技術の進展や多様な宇宙輸送ニーズ等流動的な要素を含むことから、当面の研究開発に当たっては他のシステム概念（例えば、エアブリージングエンジン搭載の2段宇宙輸送機）についても視野にいれる必要がある。

4. 我が国の研究開発の推進方策について

4. 1 基本的考え方

(1) 基本方針

我が国の宇宙活動の自在性を確保する観点から、我が国として自在な運用が可能な完全再使用型宇宙輸送システムの保有を目指す必要があり、また先端的技術分野において技術的優位性を確保して我が国の国際的地位にふさわしい技術的国際貢献を果たすためにも、完全再使用型宇宙輸送システムの研究開発を強力に推進することが不可欠である。

完全再使用型宇宙輸送システムの研究開発は今後の技術や宇宙開発活動の進展に依るところが大きい。したがって、研究開発は段階的に進め、各段階で研究開発成果及び進捗状況の評価を行い、その後の指針を決めることが重要である。また、研究開発の効率的推進の観点から、国内関係機関及び産学官の緊密な連携の下に研究開発を推進することが肝要である。

最終目標であるスペースプレーンについては、先端分野の技術ブレークスルーに向けた長期間の研究開発が必要であり、また世界の輸送需要を対象としたよりグローバルな運用が求められる。このため、国際協力による開発・運用を十分に念頭において、我が国は欧米及びロシア等に先行した独自技術を開拓することを主眼に研究開発を推進することが適切である。

一方、中間段階の目標であるロケット推進単段宇宙輸送機の研究開発においては、HOPE-Xで得られる技術やこれまでに培われたロケット技術の成果を十分に活用した効率的な研究開発の推進が肝要である。

(2) 研究開発の進め方

上述の基本方針を踏まえて、我が国の完全再使用型宇宙輸送システムの研究開発については、以下の通りに進めることが妥当である。ただし、適宜、その研究開発の進捗状況並びに欧米及びロシア等の動向を踏まえつつ、その研究開発の指針の見直しを行うものとする。[図1及び図2参照]

スペースプレーンは、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である。図3にその概念イメージを示す。しかし、その実現には、機体構造重量の低減等の材料・構造技術の革新とともに、現在のロケットエンジンに比べて高い推進性能と信頼性を有するエアブリージングエンジン等推進技術の革新が不可欠である。材料・構造技術については後述するようにロケット推進単段宇宙輸送

機の研究開発においてその基本的ブレークスルーを図り、スペースプレーンの研究開発としては我が国の独自技術として期待されるエアブリージングエンジン技術等先進推進技術の中核とする研究開発を進める。次に、係る研究開発成果及びロケット推進単段宇宙輸送機の開発成果を踏まえて、重要技術の実証を目的とした実験機の開発・飛行試験を2010年代前半に行う。さらに2020年代の運用に向けて、スペースプレーンの開発基盤の確立を図るシステム実証実験機の開発・飛行試験に移行する。

一方、中間段階の目標としたロケット推進単段宇宙輸送機は、部分再使用型システムである無人有翼宇宙往還機を発展させた形態であり、これまでに豊富な実績のあるロケットエンジン技術及びHOP E-Xで得られる無人有翼回収技術等を基盤として早期に実現可能な完全再使用型宇宙輸送システムである。図4にその概念の一例を示す。しかしながら、ロケットエンジン推進により単段方式で地球周回軌道まで到達し、帰還するためには、機体及びエンジンの構造重量の徹底的な軽量化が不可欠である。そのため、材料・構造技術の革新が研究開発の中核となる。係る研究開発においては、2010年初頭の運用を目標にして、材料・構造軽量化技術を中心とした要素技術開発を進め、さらに2000年代半ばにシステム実証を目的とした飛行実証試験を行う。ここで得られる技術開発成果は最終目標とするスペースプレーンの開発基盤として活用される。

なお、2段式宇宙輸送機等の他のシステム概念については、今後の研究開発の進捗状況を踏まえて、必要に応じて研究開発を実施する。

4. 2 具体的推進方策

(1) スペースプレーンの研究開発

(重点研究開発課題)

材料・構造技術については、ロケット推進単段宇宙輸送機の技術開発においてその基本的ブレークスルーを図ることとなるが、加えてスペースプレーンの研究開発に固有な課題として、ロケット推進単段宇宙輸送機に比してより厳しい熱的環境への適合を可能とするセラミック系複合材等の耐酸化性・耐熱性に優れた先進複合材による超軽量耐熱主構造（ホットストラクチャー）等の研究開発が必要である。

推進分野の技術革新においては、エアブリージングエンジンとロケットとを複合化した推進システム（ARCE：エアブリーザー／ロケット複合推進エンジン）の開発が最重要課題であり、特にスクラムジェットエンジン等エアブリージングエンジン技術及びエンジン複合化技術の研究開発が不可欠である。こうした複合推進システ

ムはスペースプレーンの機体との統合化によりその性能向上が図られることから、前述の耐熱主構造等の技術とともに機体 / 推進エンジン、熱・推力管理 / 飛行制御等のシステム統合化に係る研究開発が不可欠となる。

また、こうした技術の成果を統合し、高い運用性、自在性、信頼性等の諸要求に応えられるスペースプレーンのシステム概念の確立は緊要な課題であり、空力 / CFD（数値流体力学）等による最適形状、形態設計技術も含めたシステム検討の推進が不可欠である。

(研究開発計画)

スペースプレーンの実現に向けて、以下の段階的な研究開発を推進する。すなわち、第1段階として、前節の研究開発課題について地上試験を主体とした技術開発を行うとともに、ARCE複合推進システムの概念を決定する上で必要なエアブリージングエンジンの有効な作動域の確認を目的としたエンジン飛行試験を行う。これらの技術成果とその評価を踏まえて、ARCE / 先進機体構造システムインテグレーション技術等のシステム統合化技術など重要技術の飛行実証・評価試験を行う第2段階に移行する。このような飛行実証には高い試験技術手法が求められることから、システム研究の一環として技術実証機の設計・検討を推進し、必要な試験技術の確立を図る研究開発も併せて行う。最終段階ではシステムレベルの実証を目指したシステム実証実験機の開発・飛行試験を行い、スペースプレーンの開発基盤の確立を行う。各段階において、先行するロケット推進単段宇宙輸送機の研究開発成果を有効に活用するとともに、諸外国の動向や技術開発の進捗状況等を踏まえ、その後の進め方を見直すこととする。

(2) ロケット推進単段宇宙輸送機の研究開発

(重点研究開発課題)

ロケット推進単段宇宙輸送機を実現するためには、構造重量の低減が最重要課題であり、そのために、構造部材としてプラスチック系複合材を多用する必要がある。複合材の成形、補修、検査技術の向上及び大型構造物としての製造技術の開発とともに、極低温推進剤タンクへの適用に必要な効率的な断熱手法、推進剤に適合した材料の選定等の研究開発を進める必要がある。また、熱防護材料については再使用化に向けてその運用性を向上させる必要があり、耐水、耐酸化コーティング等の技術開発による耐久性の向上、艀装方法の改善による取り扱い性の向上等が不可欠である。

ロケットエンジン技術については、従来のエンジンに比べて要素機器の長寿命化

を図るとともに、推重比、比推力及び信頼性を同時に向上させる必要がある。また、エンジンサイクルの最適化や複合材の適用によるエンジンの軽量化、伸展ノズルやエアロスパイクノズル等による性能向上を図る必要がある。

さらに、ロケット推進単段宇宙輸送機が有効に利用されるためには、従来のロケットに比べて運用性を大幅に向上させる必要があり、機体全体のヘルスマネジメントシステムの構築、メンテナンス性向上のための設計、整備作業の合理化等運用技術の研究開発が必要である。

(研究開発計画)

ロケット推進単段宇宙輸送機の2010年代初頭の実用化を目指して、段階的な研究開発を推進する。すなわち、第1段階としては、重点研究開発課題の技術開発を目的として構造材料の軽量化・耐久性技術や高性能かつ高信頼性を有する推進系技術等の要素技術の研究を進めるとともに、小型再使用実験機を用いて、これら重点技術等の実証や運用性に関する研究を行う。また、効率的に研究開発を進めるとの観点から、HOPE-Xの開発・飛行試験及び改修を施した機体による宇宙ステーションへの補給等の実利用を通して、機体の再使用性や効率的な運用技術等の蓄積と高度化を図ることが適切である。次に、これらの成果を踏まえ、第2段階として、ロケット推進単段宇宙輸送機技術の総合実証のために実機サイズによる飛行実証実験を実施し、その技術確立を図る。最終段階では、飛行実証実験の成果を受けて、実用機開発を進める。各段階においては、諸外国の動向や技術開発の進捗状況等を踏まえ、その後の進め方を見直すこととする。

4.3 研究開発用試験設備・施設の整備

前述の研究開発の推進には地上試験設備・施設が必要不可欠であり、研究開発の各段階で適切に整備していくことが望ましい。特に、我が国の関係機関が保有する地上試験設備は、欧米及びロシア等の先進諸国に比較して全体的に開発試験に必要な大型の試験設備・施設の能力が不足しており、関連する設備・施設の整備或いは既存設備の機能拡充が必要である。しかしながら、その整備に当たっては、諸外国が有する大型試験設備や施設の有効な活用、相互利用、研究開発における利用頻度や必要性を十分に吟味した上で、我が国の関係機関の間での共用はもとより、国際的にも開かれた試験設備として、その整備を計画的に進めることが必要である。

また、研究開発段階において行われる飛行実証試験においては離着陸場等飛行試験施設が必要となる。当面は既存の飛行試験場等の利用も含めて検討することとなるが、実運用段階では我が国として自在な運用が可能な離着陸場が必要となること

を勘案すれば、我が国としての飛行試験場の確保/整備が緊要な課題である。

4.4 研究開発における連携・協力のあり方

完全再使用型宇宙輸送システムの研究開発の効率的推進には、航空宇宙技術研究所、宇宙開発事業団、及び宇宙科学研究所の緊密な連携が不可欠である。さらに完全再使用型宇宙輸送システムは航空機要素を多く含むことから、航空技術基盤の高度化、統合化が不可欠であり、研究開発の推進においては航空機関連企業に蓄積されている航空機開発技術を有効に利用することが肝要である。また長期的な研究開発の推進には、本分野における優れた人材の育成も不可欠であり、大学等の教育研究機関が果たす役割も大きい。したがって、国の機関を核として、民間及び大学の緊密な連携の下にプログラムの各段階に応じて最も有効な研究開発体制を整備することが必要であり、研究開発体制も含めた実施計画の具体化に向けた検討が必要である。

我が国は宇宙開発の分野において、独自の技術開発により先導的・戦略的な技術基盤の構築を図り、その成果をもって我が国の国際的地位にふさわしい貢献を国際協力において果たすことが必要である。先に述べたように、完全再使用型宇宙輸送システムの最終目標であるスペースプレーンの開発・運用は国際協力により推進される可能性があり、これを念頭において我が国は独自技術の開発を積極的に行うとともに、国際的にも開かれたプログラムとして国際協力の推進に必要な体制の整備を進めることが重要である。また、当面は各国独自に研究開発が進められると考えられるが、その段階においても諸外国との人的交流等の推進を一層図るとともに、我が国から積極的に国際協力の方策等についての意見交換や協議の場を設けるように努めることが重要である。

4.5 その他研究開発の推進に必要な条件整備

我が国としての完全再使用型宇宙輸送システム開発に係わる政策の策定、研究開発の進捗状況及び成果の評価等については、宇宙開発委員会に体制を整備し、取り組んでいくことが適切である。

また、研究開発に必要な資金調達について、政府を中心として民間等との連携、協力も含め、その方策を検討していくことが重要である。

おわりに

以上、10回にわたる再使用型宇宙輸送システム検討会の検討結果をとりまとめ、我が国が目指すべき完全再使用型宇宙輸送システムの意義と必要性、その概念、研究開発の推進方策等について示した。完全再使用型宇宙輸送システムは21世紀の宇宙インフラストラクチャーとして、宇宙開発活動を支える上で必要不可欠なものであり、その研究開発は我が国の科学技術基盤の充実にとって重要である。また、完全再使用型宇宙輸送システムは我が国のみならず諸外国にとっても技術のフロンティア領域であり、宇宙活動それ自体の国際性にも鑑み世界の宇宙先進諸国との協力による開発・運用も十分に念頭において、我が国は先端的な技術分野における技術的優位性を確保しつつ、国際的に応分の貢献、責任を果たすように、その技術力を高めていかなければならない。このため、研究段階から政府を中心に十分な資金の確保を図るとともに、効率的な研究開発の推進のため、国内の産学官各機関の連携を一層強化し、先を見据えた研究開発体制の整備及びその下での研究開発の推進を強く求めるものである。

検討会参加者

浅井	達朗	日産自動車(株)宇宙航空事業部宇宙技術部長
稲谷	芳文	宇宙科学研究所助教授
狼	嘉彰	東京工業大学工学部機械宇宙学科教授
久能	和夫	九州大学工学部航空宇宙工学科教授
(座長)久保田	弘敏	東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻教授
河野	通方	東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻教授
小林	繁夫	東京大学名誉教授
近藤	善郎	石川島播磨重工業(株)航空宇宙事業本部宇宙開発事業部企画担当部長
柴藤	羊二	宇宙開発事業団計画管理部長
田中	康平	富士重工業(株)航空宇宙事業本部宇都宮製作所宇宙技術室長
棚次	亘弘	宇宙科学研究所教授
谷内	朗	川崎重工業(株)航空宇宙事業本部航空宇宙事業部宇宙機設計部主幹
野村	茂昭	宇宙開発事業団技術参与
パーク	チヨル	東北大学工学研究科航空宇宙工学専攻教授
樋口	清司	宇宙開発事業団企画室長
舞田	正孝	航空宇宙技術研究所宇宙研究グループ主任研究官
八柳	信之	航空宇宙技術研究所ラムジェット推進研究部長
山崎	勲	三菱重工業(株)名古屋誘導推進システム製作所副所長

(事務局)

科学技術庁研究開発局 航空宇宙開発課

情報交換及び意見交換を行った海外の専門家

Dr. Nikolai Anfimov (TSNIIMASH, Russia)
Prof. Claudio Bruno (Univ. of Rome, Italy)
Mr. William Claybaugh (NASA, U. S. A.)
Prof. Paul Czysz (Saint Louis University, U. S. A.)
Dr. Christian Dujarric (European Space Agency)
Mr. Donald Fulton (Boeing-Rocketdyne Division, U. S. A.)
Dr. William Gaubatz (McDonnell Douglas, U. S. A.)
Dr. Claude Johnson (CNES, France)
Dr. Heribert Kuczera (Daimler-Benz Aerospace, Germany)
Mr. Gerard Laruelle (Aerospatiale, France)
Mr. Roger Longstaff (Guest Associates, U. K.)
Prof. James Martin (Univ. of Alabama, U. S. A.)
Mr. Robert Pap (Accurate Automation Corp., U. S. A.)
Mr. Mohammad Sadjadpour (Boeing-Rocketdyne Division, U. S. A.)
Dr. Virgil Smith III (Sverdrup Technology, U. S. A.)
Mr. David Stallings (Sverdrup Technology, U. S. A.)
Mr. Eric Webb (British Aerospace, U. K.)

検討会経緯

平成8年 6月10日 第1回検討会
(1) 再使用型宇宙輸送システム検討会の開催について
(2) 各機関における取組について
(3) 今後の進め方

7月 3日 第2回検討会
(1) 海外における再使用型宇宙輸送システム技術について

9月19日 第3回検討会
(1) 各機関、各人が考えている再使用型宇宙輸送システム
開発のシナリオについて

10月21日 第4回検討会
(1) 各機関、各人が考えている再使用型宇宙輸送システム
開発のシナリオについて

12月 2日 第5回検討会
(1) 再使用型宇宙輸送システム研究開発のシナリオに係る
論点整理

平成9年 1月13日 第6回検討会
(1) 再使用型宇宙輸送システム研究開発のシナリオについて

2月 3日 第7回検討会
(1) 再使用型宇宙輸送システム検討会報告書骨子(案)につ
いて

(2月17日 第1回起草小委員会)

3月10日 第8回検討会
(1) 海外専門家との情報交換及び意見交換

(3月19日 第2回起草小委員会)

(3月28日 第3回起草小委員会)

4月4日 第9回検討会

(1)再使用型宇宙輸送システム検討会報告書(案)について

(4月14日 第4回起草小委員会)

(4月30日 第5回起草小委員会)

5月22日 第10回検討会

(1)再使用型宇宙輸送システム検討会報告書(案)について

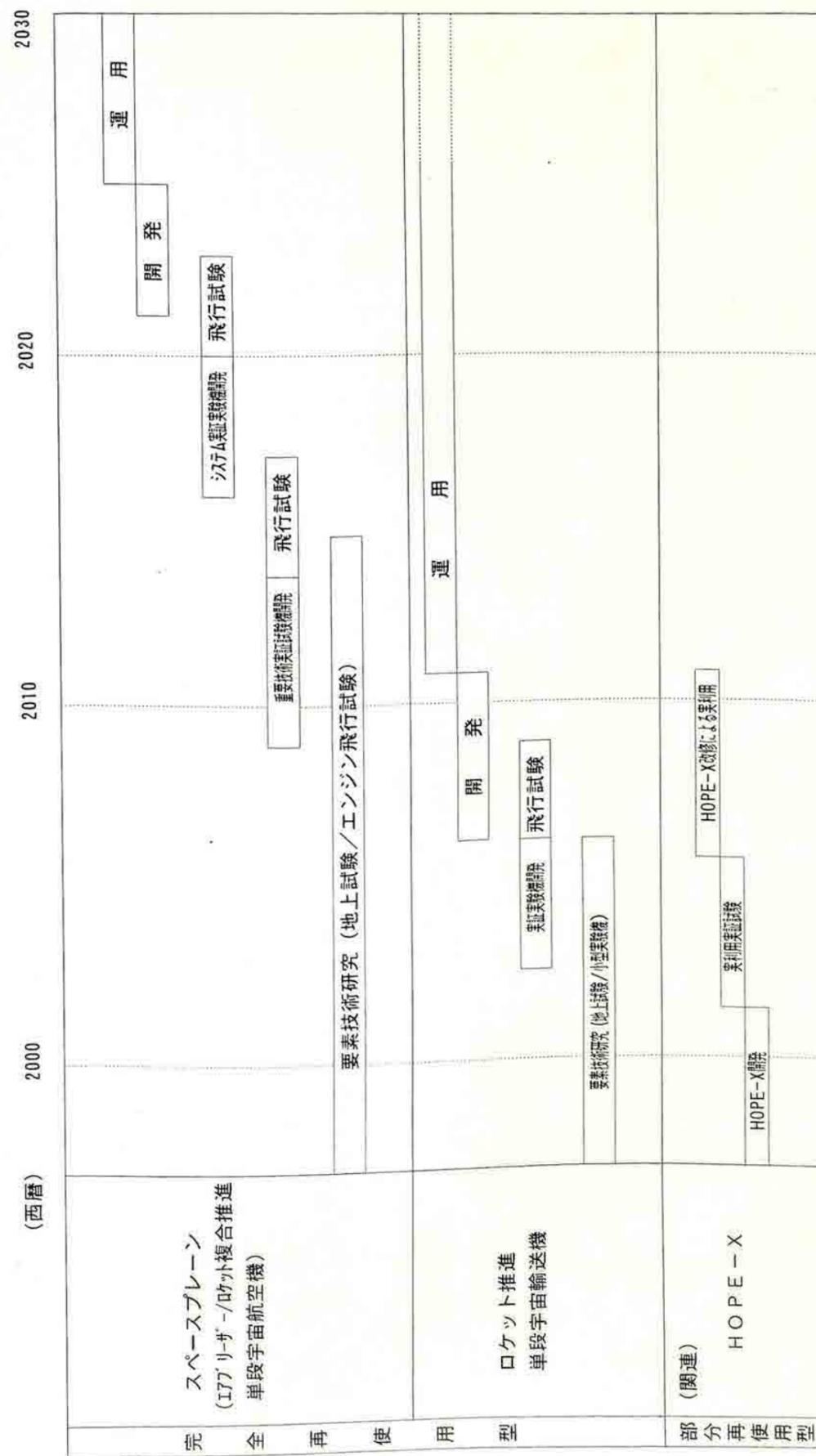


図1 我が国の再使用型宇宙輸送システムの研究開発シナリオ

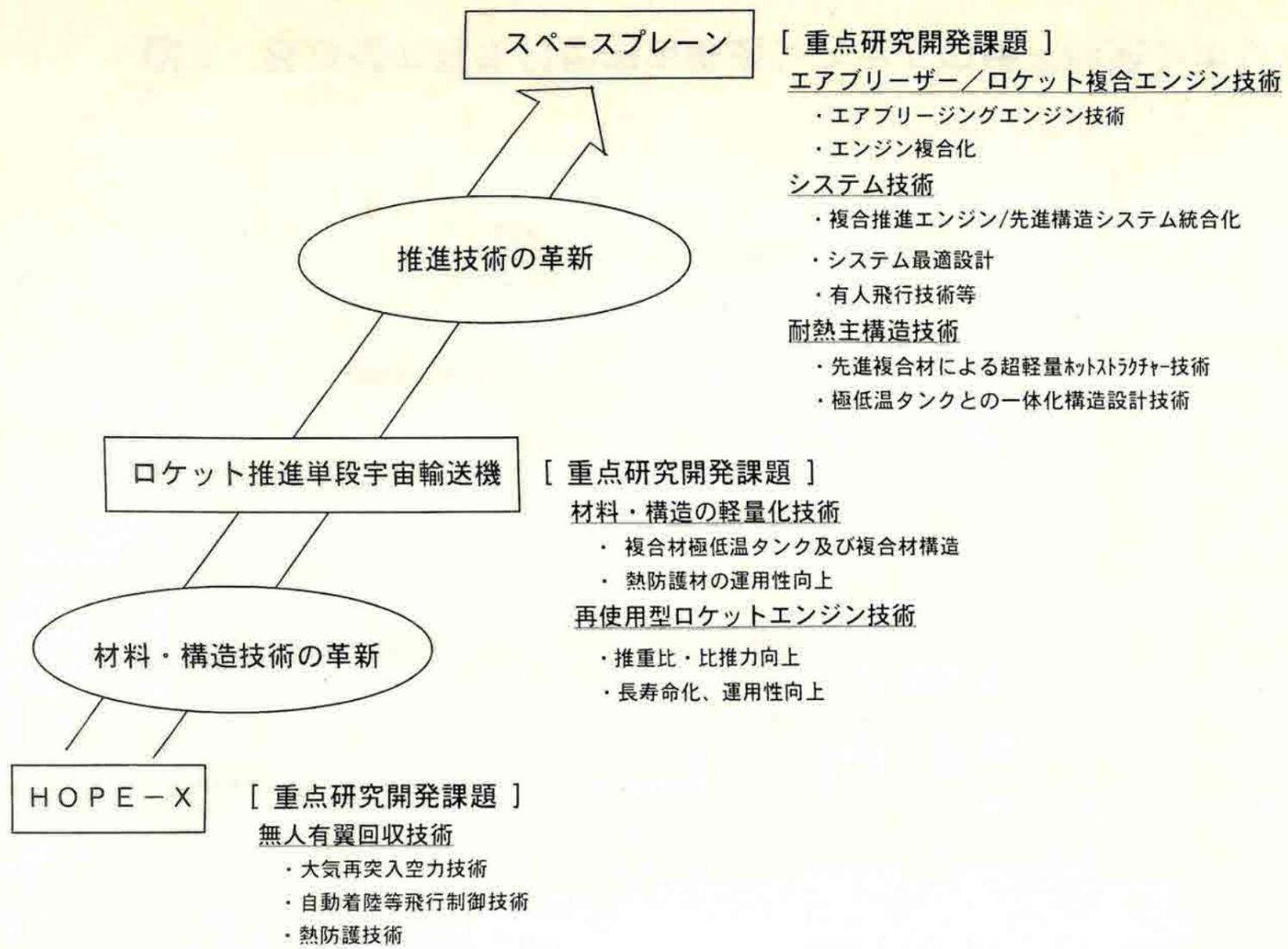


図2 再使用型宇宙輸送システムの研究開発における重点技術開発フロー

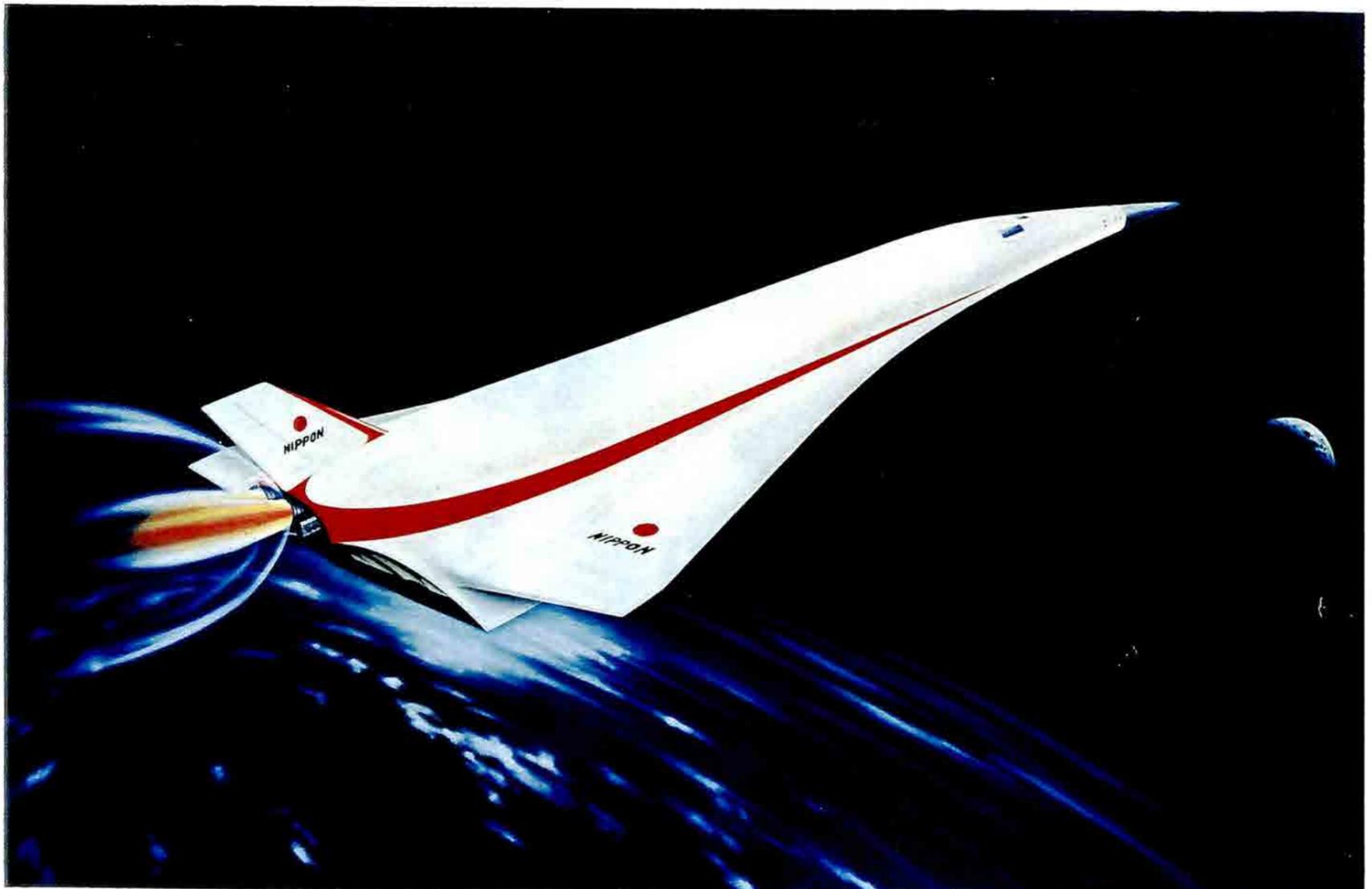


図3 スペースプレーンのイメージ

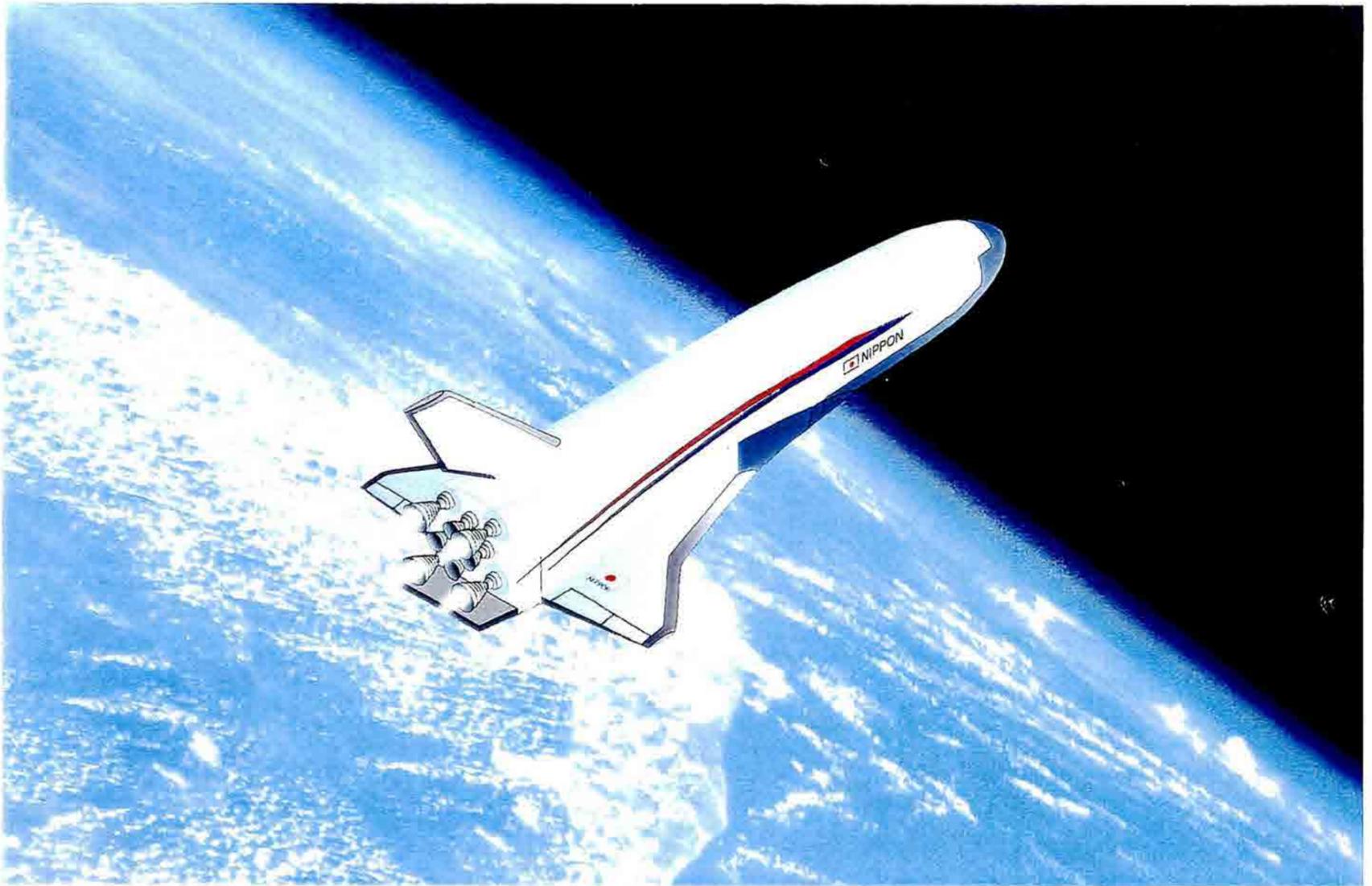


図4 ロケット単段宇宙輸送機概念の一例