

宇宙科学の次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ

A 版

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所

2018年8月1日

改訂記録

符号	承認年月日	改訂箇所	改訂内容、理由等
初版	2018/3/28		
A	2018/8/1	<ul style="list-style-type: none"> • p6 • p8 • p12 • p14 • p17 • p14, 18 • p22 • p23 • p25 • p27 • p28 • p30 • p6 • p8 • p12 	<p>7/6: 図 1 - 1 を最新版に更新</p> <p>XARM から XRISM への名称変更の注意書きを追記</p> <p>図 3 - 1 の after を最新版に更新</p> <p>図 4 - 1 にイラスト©山田亨を追記</p> <p>図 4 - 2 にイラスト©NASA, ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)を追記</p> <p>X 線天文衛星代替機 (XARM) を X 線分光撮像衛星 (XRISM) に書き換え</p> <p>図 4 - 9 にイラスト©池下章裕を追記</p> <p>図 4 - 10 にイラスト©NASA, ESA を追記</p> <p>図 4 - 11 に©池下章裕を追記</p> <p>図 4 - 15 に© Airbus DS を追記</p> <p>図 4 - 16 にイラスト©池下章裕を追記</p> <p>図 4 - 18 にイラスト©池下章裕, NASA を追記</p> <p>2/18: 図 1-1 を最新版に更新</p> <p>図 1-3 を最新版に更新</p> <p>3.1 科学ミッション立案の仕組みの変革内の、提案の強化、 JAXA による Brush Up の内容を最新版に書き換え</p> <p>図 3-1 を最新版に更新</p>

目次

序章	4
第1章 本文書の位置づけ	5
第2章 宇宙科学の次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ立案・実施の基本的考え方	9
第3章 科学ミッション立案の仕組みと実行方策の変革	11
3.1 科学ミッション立案の仕組みの変革	11
3.2 科学ミッション実行方策の変革	13
第4章 宇宙科学の中長期方針 ～次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ～	15
4.1 宇宙物理分野の次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ	15
4.1.1 着目すべき主要事項	15
4.1.2 解明方法	15
4.1.3 実施に際しての方針	18
4.1.4 第四期中期(FY2018-2024)中の実施を想定するミッションが担うもの (宇宙物理分野の次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ詳細)	19
4.2 太陽圏科学・惑星科学分野の次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ	23
4.2.1 着目すべき主要事項	23
4.2.2 解明方法	23
4.2.3 実施に際しての方針	25
4.2.4 第四期中期(FY2018-2024)中の実施を想定するミッションが担うもの (惑星科学分野次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ詳細)	26
4.3 宇宙工学分野の戦略的シナリオ	29
4.3.1 宇宙工学の長期的な目標	29
4.3.2 アプローチ:実施に際しての方針	30
4.3.2.1 太陽系探査と宇宙観測のための宇宙工学技術とその戦略	31
4.3.2.2 小型・高頻度な技術実証ミッションとこれを支える衛星バス技術	32
4.3.2.3 JAXA 輸送プログラムと将来宇宙輸送系 ～太陽系のモビリティ確立と究極の低コスト輸送を目指して～	33
4.3.2.4 宇宙科学を超えた試み ～イプシロンシステムの広がりと小型・超小型衛星プログラム～	33
4.3.3 第四期中期(FY2018-2024)中の実施を想定するミッションが担うもの	33
第5章 まとめ	36

序章

宇宙および地上からの宇宙探査について、世界の主要先進国だけでなく、中国・インド・UAE を含めた国々や、Space-X や ispace 等に代表される民間企業も関与を深めており、これまでにない質的な状況の変化が起きている。これからの 20 年は、惑星科学だけでなく天文学を含めた広い意味での「探査の時代」となると考えられる。米国や欧州は、それぞれ Decadal Survey と Cosmic Vision を策定し、理論・シミュレーション・地上実験などを糾合し、宇宙探査をパッケージとして総合的かつ戦略的に進めている。

これまで日本において宇宙研のミッションは、研究者によるミッション提案の中から、競争的プロセスにより、その都度最適なミッションを理・工学委員会が選考し、実質的にその選考結果をそのまま実施してきた。これにより、例えば、惑星科学分野では、水星、金星、火星、小惑星に向かうミッションを次々と実現するなどの成果を生み出してきた。

しかし、この方法では、以下の課題が顕在化していくことが危惧される。

- ① 「日本の宇宙科学が、世界のベンチマークのもとで、全体としてどこに向かおうとしているのか？」について、宇宙科学コミュニティ自ら長期的なロードマップを持たず、関係者や国民が、日本の宇宙科学の将来についての描像を共有できない懸念のあること
- ② これまで実現してきたミッションは選定時点での最適解であったものの、ミッションの相互関連に乏しく、開発のための資金や体制等の分散を招く懸念があること
- ③ ミッションの高度化・大型化に対応して、長期にわたる戦略的な技術開発がますます必要となっているが、それが行いにくいこと
- ④ ほとんどのミッションが国際協力により実現されている状況で、ボトムアップのプロセスだけでは国際協力の機動性確保がしにくくなっていること

このため、ボトムアップによるミッション立案を基本としつつも、技術とサイエンス両面におけるプログラム化による戦略的なミッション実施の必要性が増している。この課題認識のもと、宇宙基本計画の工程表の「宇宙科学・探査」の考え方もも整合した今後 20 年程度の宇宙科学の「次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ(本書)」を策定し、宇宙科学分野におけるプログラムの全体像や目的の明確化を図り、宇宙探査を総合的かつ戦略的に進めていくことが重要である。

本書の制定により、一定の予見性を確保し、一連の技術開発と科学成果の創出を戦略的に行うことが可能となる。また、外国宇宙機関に、JAXA が今後 10～20 年間を見据えて、どのようなことを考え、どのような長期的な技術開発を行っているかを示すことで、新たな国際協力の可能性が開けていく。

なお、本書は、ボトムアップによるミッション提案等に基づき、適宜維持更新していくことも重要である

第1章 本文書の位置づけ

予てから宇宙科学・探査ミッションのプログラム化を推進する議論は継続的に実施してきており、本文書もその延長線上に位置する。平成 25 年に宇宙科学・探査部会に提示した「宇宙科学・探査ロードマップについて(図1-2)」で JAXA から提示した、戦略的中型(300 億円程度)・公募型小型(100-150 億円規模)・小規模(10 億円/年程度)というカテゴリーは、平成 27 年 1 月に制定された宇宙基本計画の工程表(図1-3)の「宇宙科学・探査」に取り込まれ、現在に至るまで維持・改訂が行われている。その工程表の「宇宙科学・探査」では、上記3つのカテゴリーで進める将来計画について、時期だけを示し具体的なミッション名は今後確定していく事としている。これらの将来計画を魅力あるものにしていく手段の一つが本文書であり、関連する文書と併せて本文書の位置づけを以下に整理する(図1-1)。

上述の宇宙科学・探査ロードマップについての検討の中で、平成 26 年 12 月末にコミュニティへの「研究領域の目標・戦略・工程表提供のお願い(いわゆる RFI: Request for Information)」を実施し、翌 27 年 1 月末に、コミュニティから各分野で検討されているミッション案について、優先度を識別した網羅的な回答を受けた(42 のコミュニティから 39 件の回答)。

その回答を踏まえて、宇宙科学研究所では、概要的なロードマップの議論から一歩進めた具体的な戦略立案に関する基本的な考え方と各分野の実行戦略として、平成 28 年 5 月に「コミュニティからの目標・戦略・工程表から、宇宙科学の実行戦略へ」を取りまとめた。

なお、今後は、この取りまとめに相当する議論を宇宙理学・工学委員会がその下部組織である「宇宙科学の今後 20 年の構想を検討する委員会(20 年委員会)」と連携して行い、「宇宙科学に関する中長期的な構想(仮称)」が策定されることになっており、コミュニティと ISAS で実施している活動を網羅的に記載する事を想定している。

本文書は、それらをインプットとし、工程表の「宇宙科学・探査」における戦略的中型・公募型小型・小規模の3カテゴリーの将来ミッションの具体化に繋げることをアウトプットとするという意図の下に、宇宙科学研究所が発行するものである。その為に RFI に対するコミュニティ各分野からの網羅的な提案等を基に、本文書の第 2 章に記載する戦略的な考え方に基づいて宇宙科学研究所において洗練し、具体化された短中期の構想を支えている背景となるストーリー(次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ)として 4 章に記載する。よって本文書は、コミュニティと ISAS で実施している活動の全てを網羅的に詳細に記載する性質のものではなく、例えば、宇宙科学を支えるイプシロンロケット等輸送系研究開発や、ISS をプラットフォームの中心とする宇宙環境利用分野等、宇宙科学工程表に明示的に記載されない項目は詳細には記載していない。

なお、本文書に記載する次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオは、中長期計画の制定に際してのベースラインとなることも想定している。第四期中長期計画（FY2018-2024）は本書と整合した内容になっているが、第五期中長期計画の制定に際しては、そのベースラインとなるべく本書を適切に維持・改訂していくことが重要であり、毎年度末に更新することを想定している。

また、ミッション選定は然るべきプロセスで行われるため、その過程において本文書は参照されるものの、本文書に記載されることが必ずしも選定を保証するものではなく、また、記載されないことが落選に繋がるものでもない。本文書の記載内容は、戦略的中型計画へは具体的なミッション候補を、公募型小型計画へはミッションの方向性を提示するものではあるが、ミッションの選定に際しては上述の考え方に則り公募を行うこととしている。

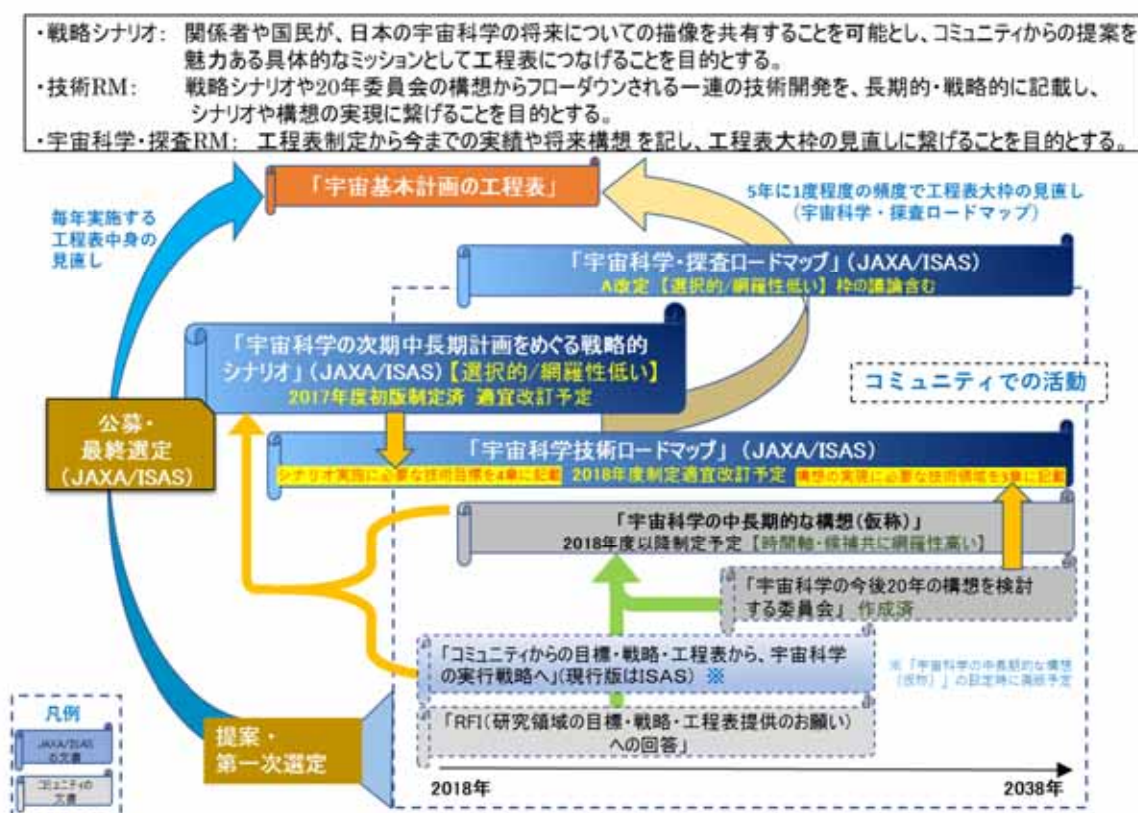


図: 1-1 本文書と関連文書/活動等の位置づけ

Ⅲ. 今後の宇宙科学・探査プロジェクトの推進方策

宇宙科学における宇宙理工学各分野の今後のプロジェクト実行の戦略に基づき、厳しいリソース制約の中、従来目指してきた大型化の実現よりも、中型以下の規模をメインストリームとし、中型(H2クラスで打ち上げを想定)、小型(イプシロンで打ち上げを想定)、および多様な小規模プロジェクトの3クラスのカテゴリーに分けて実施する。

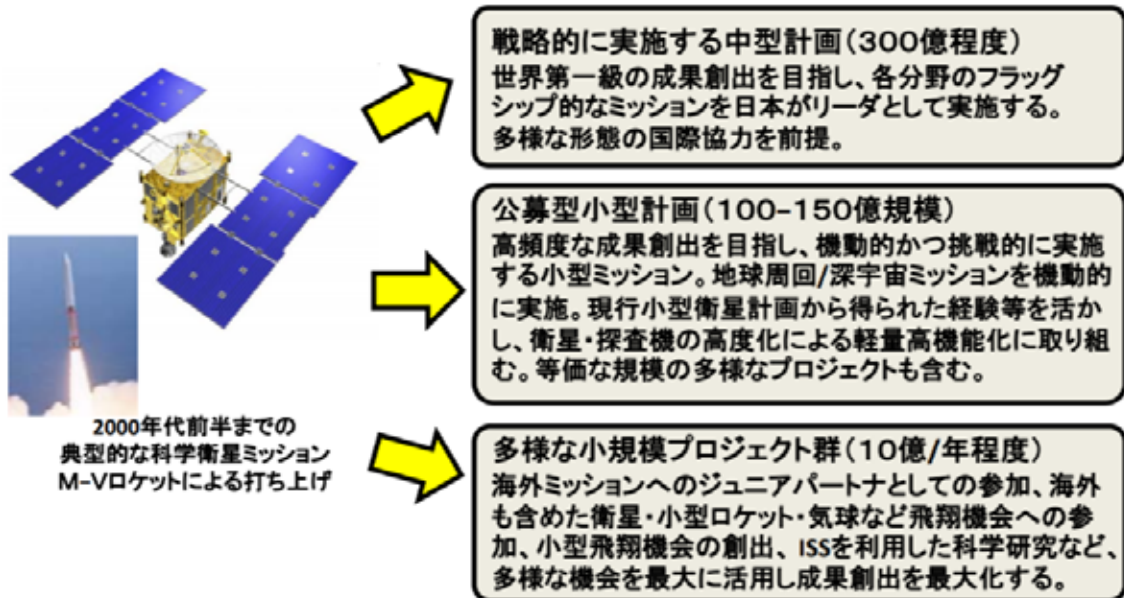
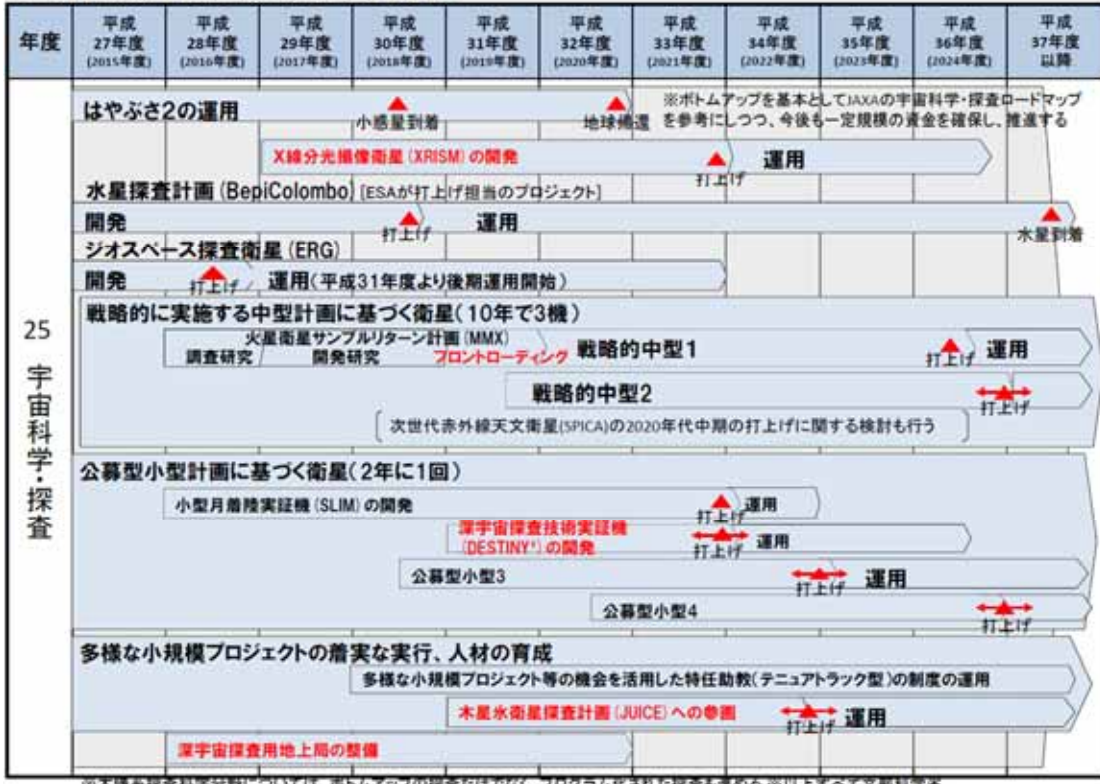


図: 1-2 H25/9/19 第7回宇宙科学・探査部会提示 JAXA 資料「宇宙科学・探査ロードマップについて」より抜粋

4. (2)① ix) 宇宙科学・探査及び有人宇宙活動



25 宇宙科学・探査

成果目標
 【基盤】 学術としての宇宙科学・探査について世界的に優れた成果を創出し人類の知的資産の創出に寄与するとともに、我が国の学術研究と宇宙開発利用を支える人材を育成する。

2018年度末までの達成状況・実績

- はやぶさ2について、小惑星リュウグウに到着し、世界初となる探査活動等を着実に実施した。
- 水星探査計画 (BepiColombo) について、欧州宇宙機関との国際協力の下、打上げを実施した。
- X線分光撮像衛星 (XRISM) について、2021年度の打上げを目指し引き続き開発を進めた。
- 戦略的中型計画1の候補である火星衛星サンプルリターン計画 (MMX) について、2024年度打上げを目指し、開発研究を継続した。
- 公募型小型計画に関して、小型月着陸実証機 (SLIM) について、2021年度の打上げを目指し開発を進めるとともに、公募小型計画の具体化に向けた開発研究を進めた。
- 欧州宇宙機関が実施する木星氷衛星探査計画 (JUICE) への参画等、小型衛星・探査機やミッション機器の開発機会を活用した特任助教 (テニュアトラック型) の制度を導入し、採用を開始した。

2019年度以降の取組

- 宇宙科学・探査の着実な実施に向け、プログラム化を進めるとともに、フロントローディング (開発スケジュール遅延やコスト増を招く可能性のあるキー技術について一定の資源を投入して事前に実証を行う) を実施する。
- はやぶさ2について、小惑星リュウグウでのタッチダウン・サンプルリターンを進める。
- X線分光撮像衛星 (XRISM) について、2021年度の打上げを目指し引き続き開発を進める。
- 小型月着陸実証機 (SLIM) について、2021年度の打上げを目指し開発を進める。また、火星衛星サンプルリターン計画 (MMX) について、2024年度の打上げを目指してフロントローディングに取り組む。
- 戦略的中型計画2の候補ミッションの技術検討等を進めるとともに、深宇宙探査技術実証機 (DESTINY+) といった公募型小型計画の具体化に向けた取組等を推進する。
- 欧州宇宙機関が実施する木星氷衛星探査計画 (JUICE) への参画等、小型衛星・探査機やミッション機器の開発機会を活用した特任助教 (テニュアトラック型) の制度を引き続き進める。

図: 1-3 宇宙基本計画工程表 (平成 29 年度改訂: 同年 12 月 12 日 宇宙開発戦略本部決定)

※X線天文衛星代替機 (XARM) は 7 月 1 日より、X 線分光撮像衛星 (XRISM) に名称変更

第2章 宇宙科学の次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ立案・実施の基本的考え方

2.1 理念と実施方針

宇宙科学の次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ(本文書)は、世界最高水準の宇宙科学ミッションで、人類の知の探求に顕著な貢献を行うことを理念とし、以下を考慮して進める。

- 大局的・戦略的・国際的観点から宇宙科学の次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオを整えることで、ボトムアップを尊重しつつもプログラム化を進める。
- 広い分野の機関と連携し、立案から開発・飛翔実験・運用まで、理学と工学が一体となり一貫して行う。

2.2 ミッションの実現方針

ミッションの実現方針は、宇宙基本計画工程表や JAXA が提示した「宇宙科学・探査ロードマップについて」の考え方に基づき、以下を基本とする。

- 世界を先導する事が期待されかつ実行可能な分野においてはフラッグシップ的ミッションを戦略的に進める。
- 一方で小型低コスト・高頻度かつ機動的な宇宙科学ミッションを持続的に実行する。
- 宇宙科学の保有する小型飛翔機会や海外も含めた多様な飛翔機会などを積極的に活用する。

2.3 ミッションの具体化・実現に際しての考慮事項

ミッションの具体化・実現に際して考慮すべき事項として以下が挙げられる。

- コミュニティからのボトムアップによるミッション創出を基本としつつ、限られたリソースでそれらミッションを実現し成果創出の最大化を図るためには、以下の方策を柔軟かつ効果的に組み合わせ、戦略的に計画していくことが重要である。
 - ・戦略的に日本が独自に開発し、ミッションを実行する。
 - ・日本がミッションを主導し、海外の観測機器等も活用する。
 - ・国際間や米欧等が主導する大型ミッションに日本も積極的に参加・関与することにより、観測・探査データへの早期アクセスを確保する。
 - ・国際宇宙探査等、政策的な探査が行われる場合には、それらとの効果的な連携・整合を図る。
- 上記の国際連携に際しては、米欧日三極間を主軸とした国際協調と相互補完により効率的なミッション計画を立案し実行する。
- 宇宙工学技術の開発においては、敢えて未知の研究・活動領域に挑むことにより、極限状態等での関連する広範な科学技術を牽引する役目があることに留意すべきである。

- リソースが必要で一国での対応では限界がある大型ミッションに対しては、日本のキー技術を携えた国際協力を主軸を置き、日本の斬新な発想の実現・検証、新たな観測手法や波及効果が大きい技術の開発等には主導的役割を担うなどの方針とする。
- 海外ミッションに参加してサイエンスデータを効果的に獲得するためには、科学・探査ミッションに不可欠なキー技術のうち、日本が既に獲得し世界をリードしている技術を維持し、より挑戦的に発展させるとともに、当該技術によって継続的に海外・国際ミッションに関与していくことにより、世界での優位性を保つことが極めて重要である。
- 長期的な視点での取組が必要な宇宙探査等について、ミッション創出だけでなく、その実現に必要な技術課題を抽出し、技術開発戦略を設定し計画的に開発を行うことが重要である。
- 長期的な取組が必要なミッションについては、必要な人材の育成にも考慮する。

コミュニティが提案したミッション等について、上記の考慮事項も十分に踏まえて戦略的・計画的に具体化し、海外機関と効果的に調整していくためには、JAXA とコミュニティが有する技術的知見・経験によるミッションの技術的実現可能性評価、情報収集能力による海外の最新の政策・取組状況・技術状況などのベンチマーク、主要海外宇宙機関との宇宙科学だけでなく幅広い連携協力関係や交渉能力による効果的な調整等を活用していくことが極めて重要である。

第3章 科学ミッション立案の仕組みと実行方策の変革

今までの宇宙科学ミッションは、選考機会ごとに状況に応じた最適選考を実施してきたが、統一的な全体像が共有されていなかったため、局所最適の可能性があり、その時々の方針の選定をしたとしても、長期的にみて戦線の分散を招いていることが懸念される。また、JAXAとしても有人探査を含む国際宇宙探査と整合性のある長期的なシナリオが必要である。

これらの状況を踏まえ、ボトムアップと国際的なベンチマークに留意しつつ、宇宙科学分野における戦略・長期的なシナリオの立案とプログラム化の推進を行う。

3.1 科学ミッション立案の仕組みの変革

科学ミッション立案の仕組み変革に際しては、提案の強化と JAXA による洗練を行うことにより、プログラム化の推進をはかる(図3-1)。

・提案の強化:

理工学委員会からのミッション創出提案に加え、国際連携を含む JAXA 先導の提案や国際有人宇宙探査等政策課題への対応も加味しつつ相互作用させることで、ミッション提案の強化を図る。

・JAXA による Brush Up (フロントローディング):

ISAS が JAXA 内で連携して、成立性評価(キー技術の研究開発等によるフロントローディング含む)と開発計画の具体化、国際調整機能、維持改定を行う「次期中長期計画をめぐる戦略的シナリオ」との整合性確認などを行う機能を強化することで、提案ミッションの実現性向上・開発リスク低減化を図る。

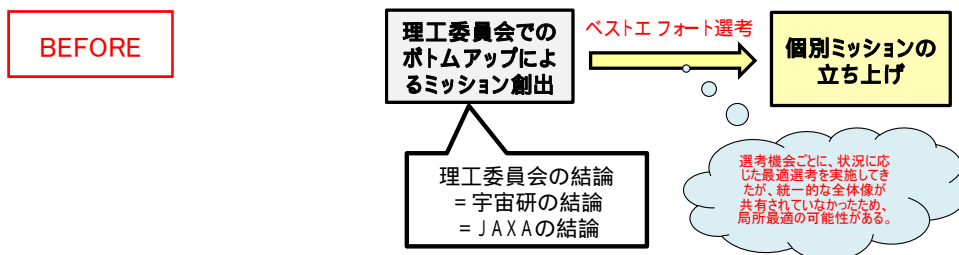
萌芽段階での成立性評価と実行計画の具体化の方策として、ミッションコンセプト段階で技術検討を行う JAXA in-house の機能(Concurrent Design Facility (CDF)等)をシステム技術ユニット等と協力して新たに確立する。そこでは、ミッション探求フェーズの後期にあるプロジェクト候補を対象に、ミッションコンセプト実現の技術的トレードオフ検討を行い、開発要素の明確化やリスクを把握する。これにより、これまで2年程度の時間を要していた検討を1ヶ月程度で行うことをめざす。

さらに、ボトムアップによるミッション提案、特に新規分野からの提案を促進し、JAXA だけにミッション実行機能を集中させるのではなく、より広い範囲からの興味に基づく要求に応えることを可能にすべく、大学共同利用連携拠点の更なる拡大・充実を行う。

また、フロントヘビー(事前検討の充実・強化)型組織への改革の為に、プロジェクト準備フェーズの前段階に「ミッション定義段階」・「ミッション探求段階」を定め、ミッション意義価値の向上・技術的リスクの低減・調達マネジメント計画(適正な競争環境を構築するための契約相手方の選定基準・方法、契約条件(責任関係)、権利・義務、等)の策定・経費措置等の活動を行う。その中で、ミッション探求段階における「ミッション提案・公募審査」を理工学委員会の役割と整理する。

・プログラム化の推進

上記を通し、宇宙基本計画工程表に整合した個別ミッションの立ち上げを促進するとともに、それらミッションに必要な技術やさらに将来的に必要な革新的技術について開発戦略の設定と実施を行うことで、長期的な視点での取組が必要な宇宙探査等について、ミッション創出と技術開発を両輪として進め、プログラム化を推進する。



AFTER

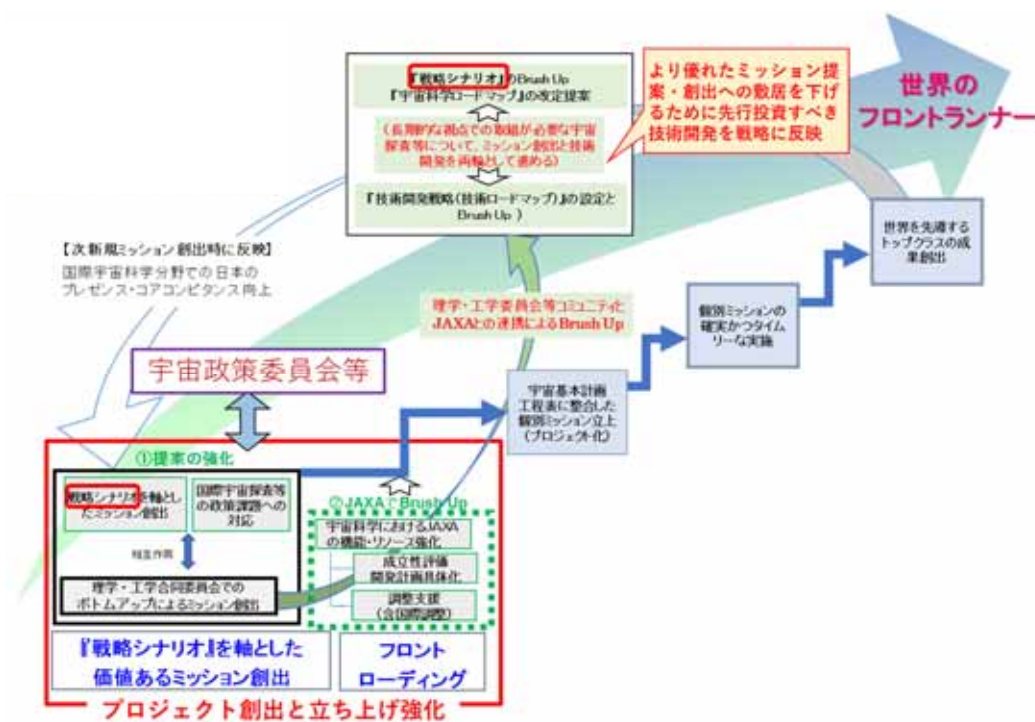


図:3-1 科学ミッション立案の仕組み改革

3.2 科学ミッション実行方策の変革

科学ミッション実行方針の変革に際しては、従来通りのコミュニティとの連携をベースに、従来の制約に囚われずに、国内外機関との連携を含めて、世界最高水準を目指す(図3-2)。

従来以上に JAXA 全体のリソースを活用する具体的な方策としては、一般職と教育職の一層の連携、戦略的中型ミッション等のつくばでの実施による人材と施設の最大活用等である。

また、中型・小型及び多様な小規模プロジェクトを通じて宇宙科学・探査分野の特性を踏まえた人材の育成強化を図る(図3-3)。特に、小規模プロジェクト等の機会を活用した特任助教(テニュアトラック型)制度について試行する。本制度は、特任助教として、小規模プロジェクト等を5年程度担当し、研究成果とともに技術力、マネジメント能力も評価するテニュア審査により、無期の教員として雇用するものであり、JUICE から試行する。

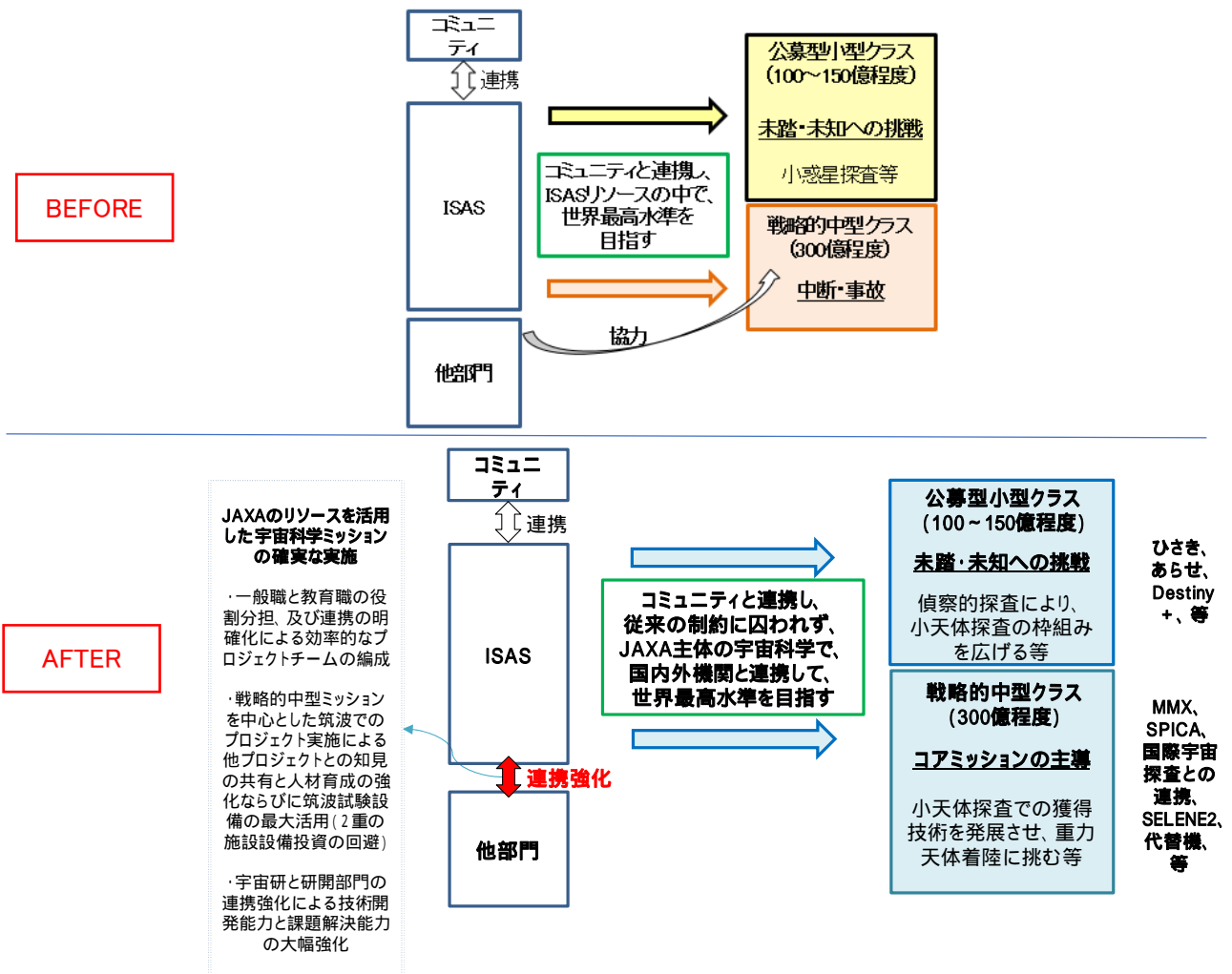
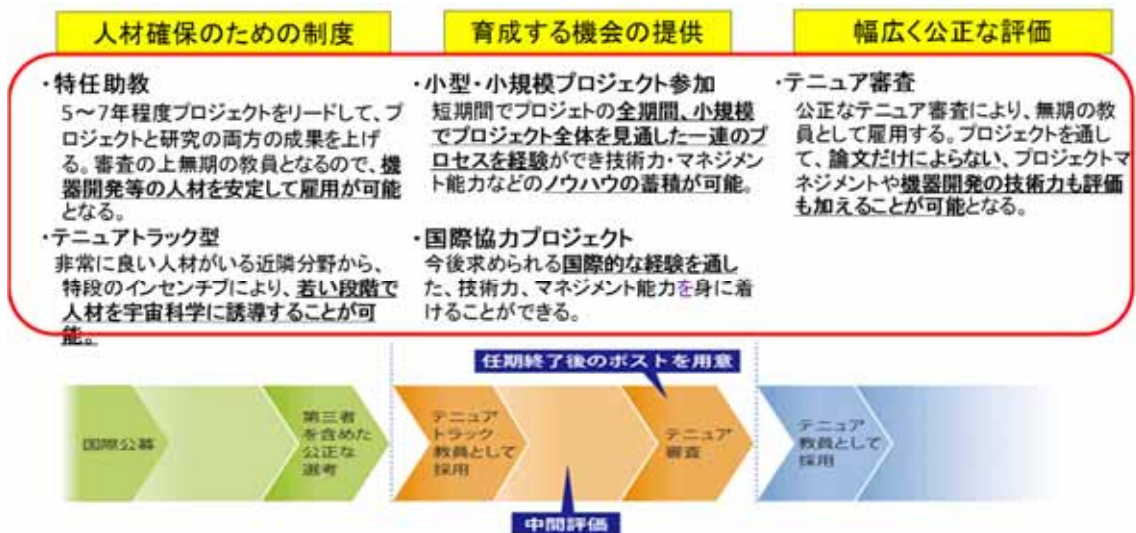


図:3-2 科学ミッション実行方針の改革



図：3-3 小規模プロジェクト等による人材の育成の強化