

3. 宇宙産業及び科学技術の 基盤の維持・強化

3. (1) 宇宙輸送システム

中期計画(1/2)

宇宙輸送システムは、我が国が必要とする時に、必要な人工衛星等を、独自に宇宙空間に打ち上げるために不可欠な手段であり、我が国の基幹ロケットであるH-IIAロケット、H-IIBロケット及びイプシロンロケットの維持・運用並びに「新型基幹ロケット」の開発をはじめとして、今後とも自立的な宇宙輸送能力を保持していく。具体的には、以下に取り組む。【再掲】

なお、平成26年度補正予算(第1号)により追加的に措置された交付金については、地方への好循環拡大に向けた緊急経済対策の一環として災害・危機等への対応のために措置されたことを認識し、ロケットの信頼性向上に必要な技術開発に充てるものとする。【再掲】

また、平成27年度補正予算(第1号)により追加的に措置された交付金については、喫緊の課題への対応として衛星による公共の安全確保の一層の推進のために措置されたことを認識し、新型基幹ロケットの開発及びロケットの信頼性向上に必要な技術開発に充てるものとする。【再掲】

①基幹ロケット

ア. 液体燃料ロケットシステム

我が国の自立的な打ち上げ能力の拡大及び打ち上げサービスの国際競争力の強化のため、平成32年度の初号機の打ち上げを目指し、ロケットの機体と地上システムを一体とした総合システムとして「新型基幹ロケット」の開発を着実に推進する。

また、現行のH-IIA/Bロケットから「新型基幹ロケット」への円滑な移行のための政府の検討を支援する。【再掲】

H-IIAロケット及びH-IIBロケットについては、一層の信頼性の向上を図るとともに、技術基盤の維持・向上を行い、世界最高水準の打ち上げ成功率を維持する。

H-IIAロケットについては、打ち上げサービスの国際競争力の強化を図る。そのため、基幹ロケット高度化により、衛星の打ち上げ能力の向上、衛星分離時の衝撃の低減等に係る研究開発及び実証並びに相乗り機会拡大に係る研究開発を行う。【再掲】

イ. 固体燃料ロケットシステム

戦略的技術として重要な固体燃料ロケットシステムについては、打ち上げ需要に柔軟かつ効率的に対応でき、低コストかつ革新的な運用性を有するイプシロンロケットの研究開発及び打ち上げを行う。今後の打ち上げ需要に対応するため、打ち上げ能力の向上及び衛星包絡域の拡大のための高度化開発を行う。

また、安全保障、地球観測、宇宙科学・探査等の様々な衛星の打ち上げニーズに対応し、「新型基幹ロケット」の固体ロケットブースターとのシナジー効果を発揮するとともに、H-IIA/Bロケットから「新型基幹ロケット」への移行の際に切れ目なく運用できる将来の固体ロケットの形態の在り方について検討を行う。【再掲】

I. 1. 宇宙安全保障の確保の同名項目の再掲内容については斜体で示す。

中期計画(2/2)

②宇宙輸送系技術開発

LNG(Liquefied Natural Gas)推進系関連技術について、実証試験の実施を視野に入れた研究開発を実施する。また、高信頼性ロケットエンジン、再利用型宇宙輸送システム、軌道上からの物資回収システム、軌道間輸送システム等の将来輸送技術について、引き続き研究開発を行う。

③打ち上げ射場に関する検討

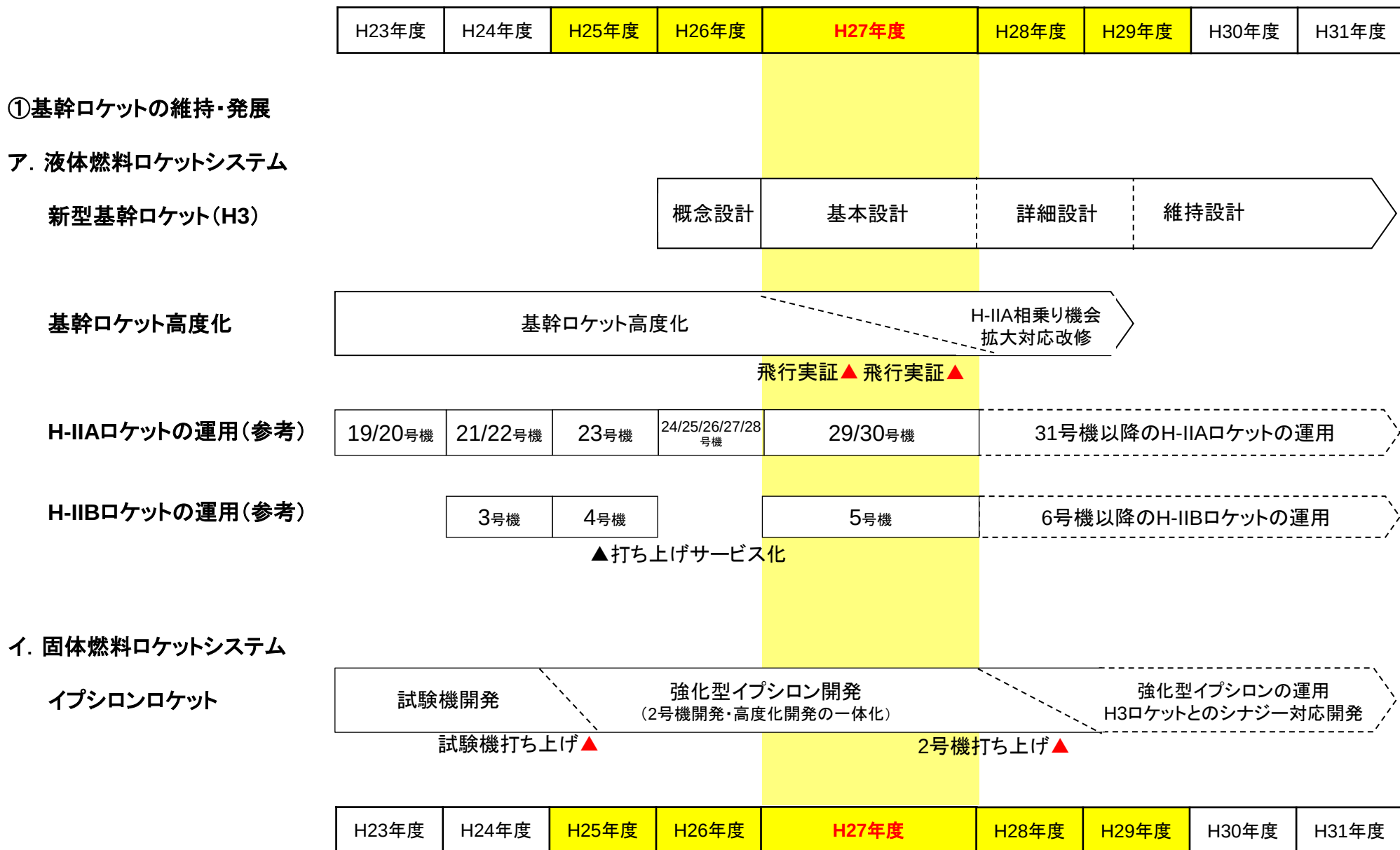
我が国の宇宙システムの抗たん性の観点から政府が行う射場の在り方に関する検討を支援し、その結果を踏まえ、機構が所有・管理する打ち上げ射場について必要な措置を講じる。【再掲】

I. 1. 宇宙安全保障の確保の同名項目の再掲内容については斜体で示す。

財務及び人員に関する情報（注1）

平成 年度	予算額 (千円)	決算額 (千円)	人員数(人)
25	—	211,177,437 の一部	約470 の一部
26	—	207,856,661 の一部	約480 の一部
27	48,919,865	44,107,209	約160
28			
29			

- 注1:
- 平成26年度以前の決算額はJAXA全体の数値。
 - 平成26年度以前の人員数は「宇宙利用拡大と自律性確保のための社会インフラ」全体における本務従事者数の数値。
 - 平成27年度の予算・決算額はセグメント「宇宙輸送システム」の数値。セグメント毎の詳細はⅢ項に記載。
 - 平成27年度の人員数は常勤職員の本務従事者数。



① 基幹ロケットの維持・発展

ア. 液体燃料ロケットシステム

1) 我が国の自立的な打ち上げ能力の拡大及び打ち上げサービスの国際競争力の強化のため、平成32年度の初号機の打ち上げを目指し、ロケットの機体と地上システムを一体とした総合システムとして「**新型基幹ロケット**」の基本設計を実施する。

実績：政策文書「**新型基幹ロケット開発の進め方**」(平成26年4月3日、宇宙政策委員会)で定められた、(1)政府衛星を他国に依存することなく独力で打ち上げる能力を保持すること(**自立性の確保**)、及び(2)利用ニーズを踏まえた高い信頼性及び競争力のある打ち上げ価格と、柔軟な顧客対応等を可能とする宇宙輸送システムとすること(**国際競争力のあるロケット及び打ち上げサービス**)、の実現に向けて、H3ロケット(※) **総合システムの基本設計を実施**した。

(※) 平成27年7月2日、文部科学省宇宙開発利用部会に名称をH3ロケットとする旨報告

- ① 総合システムを構成する各システム(ロケット、地上施設設備、打ち上げ安全監理)の設計等を行い、2015年7月に文部科学省宇宙開発利用部会でロケット機体形態の選定結果を報告し、**H3ロケットの基本構成**を定めた。
- ② H3ロケット基本構成を踏まえ、各サブシステム・機器の構成要素である**ロケット機体(衛星フェアリング、推進薬タンク、エンジン部等)の構造様式、アビオニクス構成、結合・分離方式を含む固体ブースタの基本仕様、第1段エンジン(LE-9)及び第2段エンジン(LE-5B-3)等の基本仕様を設定**した。
- ③ また、上記の基本仕様の設定に必要な**要素試験(LE-9エンジンの燃焼器ならびに原型液体水素ターボポンプ単体試験、LE-5B-3フィージビリティ燃焼試験等)**を実施し、次年度以降に予定している開発試験(LE-9実機型燃焼試験、LE-5B-3認定試験等)に向けて設計データの取得と課題の抽出を行った。
- ④ さらに、イプシロンとのシナジー効果を発揮するべく、固体ロケットブースタについて、設計に差異のあるノズルの一部コンポーネントを除く、モータケース、推進薬、燃焼パターン等について**最大限の設計共通化を図ることができ、開発と運用の効率化の目途**を得た。

効果：総合システムの基本設計を完了したことで、2020年代に以下を実現し、我が国の自立的な宇宙輸送系を発展させていくことの具体的な見通しを得た。

- ① 打ち上げ価格の低減とインフラ維持コストの低減により、宇宙輸送システムの運用・維持に関する政府支出を大幅に抑えることができる。
- ② H3ロケットの国際競争力を高めることで民需を獲得し、産業基盤を維持・発展するための打ち上げ機数を確保することができる。



2) また、現行のH-IIA/Bロケットから「新型基幹ロケット」への円滑な移行のための政府の検討を支援する。

実績：宇宙基本計画における「現行のH-IIA/Bロケットから新型基幹ロケットへの円滑な移行について検討を行い、2015年度末をめぐりに結論を得る（文部科学省）」を受け、H-IIA/Bロケットによる打ち上げサービス事業と、H3ロケットの開発と打ち上げサービス事業を担うプライムコントラクトである三菱重工株式会社とともに以下を検討し、文部科学省の第25回宇宙開発利用部会（平成28年2月2日）に報告し、文部科学省の了承を得た。

（1）宇宙基本計画 工程表の政府衛星の打ち上げ計画に則り、各関係機関の現時点での意向を踏まえ、以下の考え方を基に移行計画（H3、H-IIA/Bのミッション割当て案）を具体化した（下図参照）。

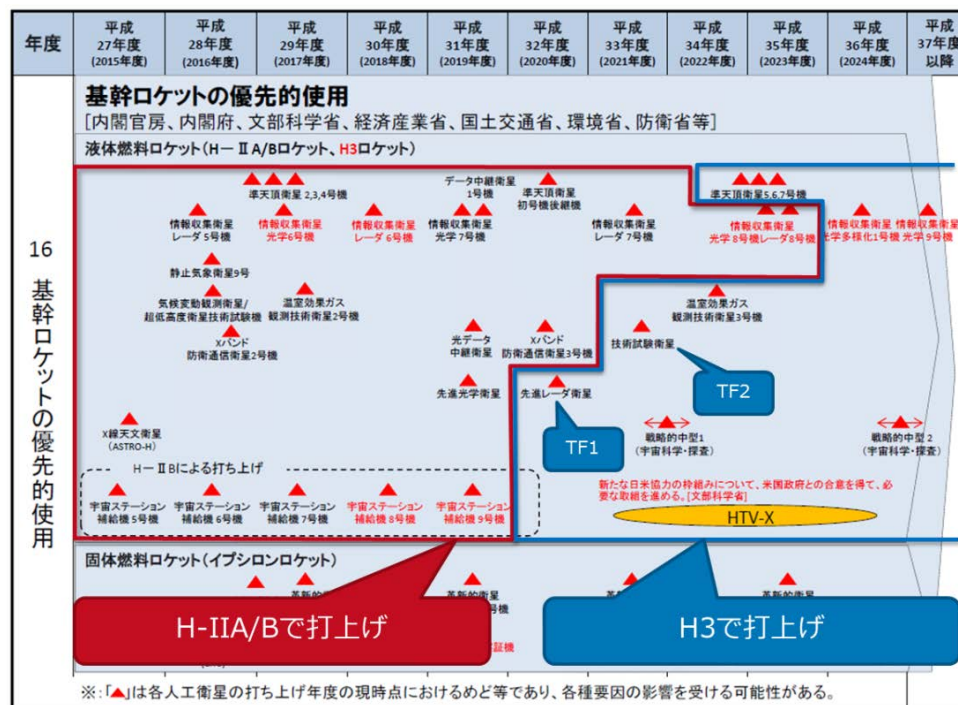
- ① H3の運用が確立するまで、H-IIA/Bを並行して運用する。
- ② H-IIA/Bのフェーズアウト時期は、H3試験機2号機打ち上げの1年後以降で、H3の運用開始が判断できる時期（運用開始の条件等については別途整理）とする。
- ③ H3の製造・運用が安定するまで、情報収集衛星は信頼性の高いH-IIAに割り当てる。
- ④ H3のテストフライトの割り当ては文科省の計画に従い、1号機を先進レーダ衛星、2号機を次期技術試験衛星とする。

（2）H-IIA/Bロケットのフェーズアウト計画（最終号機のバックアップ品の準備、専用治工具の処置にかかる方針等）。

なお、上記内容は文部科学省により、内閣府宇宙政策委員会の第14回宇宙産業・科学技術基盤部会（平成28年3月8日）にて報告された。

効果：現行のH-IIA/BロケットからH3ロケットへの移行方針を早期に具体化することにより、移行期においても政府衛星を他国に依存することなく打ち上げる能力を保持できる見通しを得た。

H3、H-IIA/Bのミッション割当て（案）
（元の図は平成27年12月8日付工程表より抜粋）



2)さらに、国際競争力を強化し、かつ惑星探査ミッション等の打ち上げにより柔軟に対応するため、基幹ロケット高度化の機体製造を進め、飛行実証を行う。また、ロケットの衛星相乗り打ち上げ能力を向上させるための開発を行う。

実績:

1. 基幹ロケット高度化の開発及び機体製造を完了し、H-IIA29号機30号機での飛行実証を成功させ、開発成果を実運用に移行できる状態とした。

(1) 静止衛星打ち上げ性能の向上 —開発目標を超える能力向上—

H-IIAロケット第2段の改良による静止衛星打ち上げ性能向上に係る飛行実証を成功させた(H-IIA29号機)。さらに、軌道投入精度等の衛星顧客要求を全て満足し、開発目標を超える打ち上げ能力を獲得した(別紙2)。現行の設計を変えず、機能の付加により軌道投入方法の工夫を可能とした本開発によって、信頼性の高さはそのままに従来は世界の静止衛星の7%程度しか打ち上げられなかったところを、約50%の静止衛星を打ち上げ可能とした。(別紙3)

(2) 衛星搭載環境の緩和 —世界一衛星に優しい搭載環境を実証—

衛星の搭載環境を緩和する低衝撃型衛星分離部の飛行実証(H-IIA30号機)を行い、設計通りの世界一衛星に優しい搭載環境を実証(別紙4)。顧客の求めに応じて提供可能な状態とした。さらに開発成果のイプシロンロケットへの適用が計画されるなど、基幹ロケット共通の技術基盤の向上に貢献した。

(3) 地上レーダ不要化に向けた航法センサの開発

—レーダと同等の測位性能を実証。実運用に向けた順調な進捗。—

機体搭載型の飛行安全用航法センサは、世界でも米国が使用しているのみであり、これに次ぐ飛行実証を実施(H-IIA29号機)。実証フライトで、レーダ追尾と同等の高い測位性能を示し、所要の性能を発揮できることを確認した(別紙3)。これにより、老朽化が進む地上レーダ設備を不要とするための見通しを得た。

2. ロケットの衛星相乗り打ち上げ能力向上に向けた設計検討を進め、システム構成を設定した。

効果:

1. 基幹ロケット高度化の開発成果を適用した商業衛星打ち上げに成功し、リスクを回避する傾向の強い打ち上げサービス市場に対して商業衛星の打ち上げ能力を実証した。これまで世界の静止衛星の7%程度しか打ち上げられなかったところ、約50%の静止衛星を打ち上げ可能として高緯度に位置する種子島射場の打ち上げ能力のハンディキャップを克服し(別紙1、2)、H-IIAは本格的な国際市場への参入が可能となった。三菱重工に対する海外顧客からの応札要望が増加するとともに、本年3月には、基幹ロケット高度化開発の成果を用いたH-IIAロケットがUAEの火星探査機の打ち上げを受注するなど、平成27年度は日本の基幹ロケットの商用化元年となった。H-IIAロケットの性能向上による需要拡大は、産業基盤の強化につながり、日本の宇宙産業の弾みとなるとともに、H3を含めた基幹ロケットの発展に向けた大きな布石となった。

2. ロケットの衛星相乗り打ち上げ能力向上を実現することにより、効率的に2つの主衛星を異なる軌道に投入することが可能となり、打ち上げ費用を抜本的に低減することが可能となる。



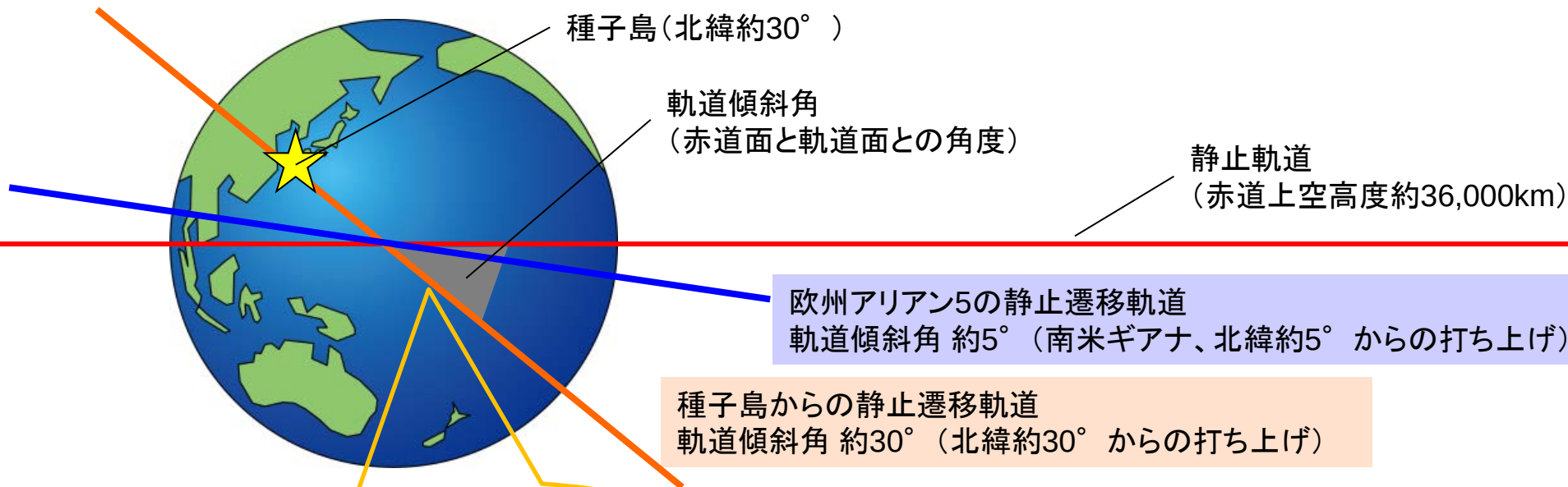
組み立て中のH-IIA29号機。
長時間飛行に備え、太陽光入射による機体温度上昇を抑えるために2段機体白色塗装をするなど、性能向上のための工夫が施されている。



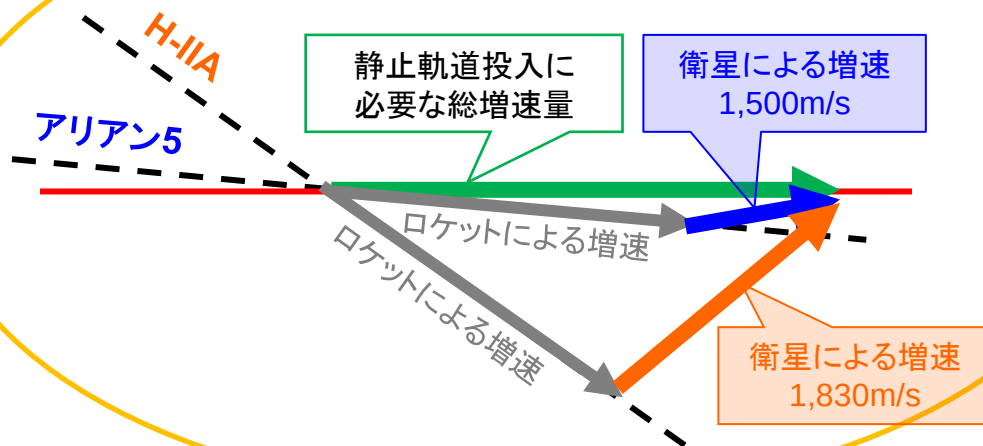
宇宙空間を飛行中のH-IIAロケット(イメージ)。
高度化開発により約5時間、地上から36,000kmの距離でも飛行できるようになった。

(別紙1) 高緯度に位置する種子島射場の打ち上げ能力のハンディキャップ

➤ 打ち上げ射場による静止遷移軌道の違い



➤ 静止遷移軌道の違いからくる衛星負担の違い



▶ アリアン5ロケット(ギアナ打ち上げ)

より静止軌道に近い赤道付近の射場から打ち上げることで、衛星側の増速量負担(≒軌道投入のための燃料負担)は小さくなる。

▶ H-IIAロケット(種子島打ち上げ)

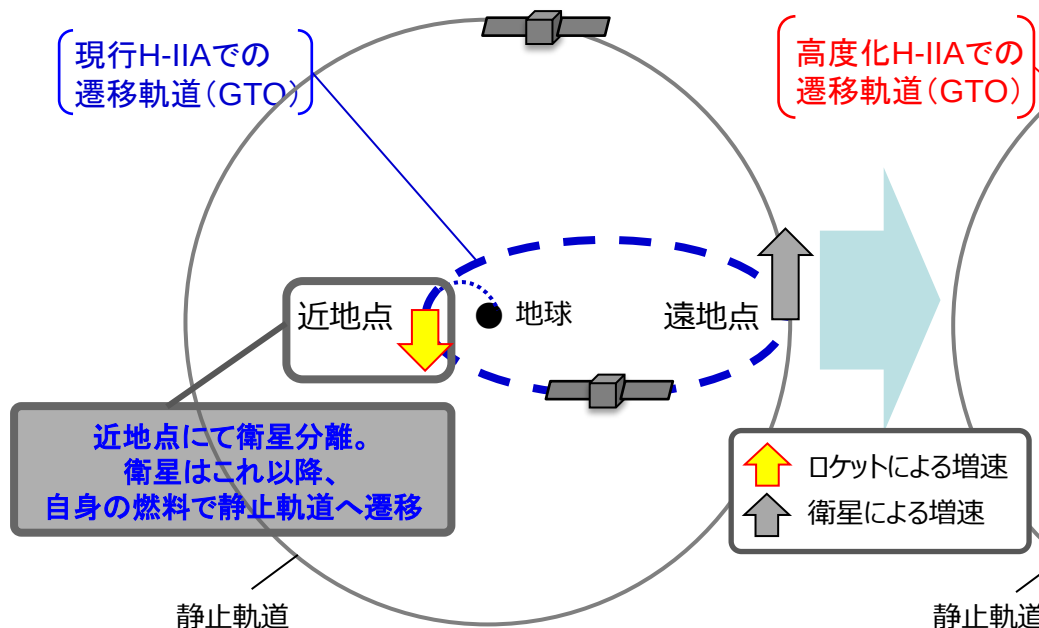
種子島(北緯約30度)から打ち上げるため、アリアン5で打ち上げる場合と比較して、衛星が負担する増速量(≒軌道投入のための燃料負担)が大きい(約330m/s)。

⇒ **衛星にとっての負担大。**

(別紙2) 静止衛星打ち上げ性能の向上の開発内容と飛行実証結果

➤ 静止衛星打ち上げ性能の向上

現行H-IIA



高度化H-IIA

世界の商業衛星は、赤道付近から打ち上げるロケット(アリアン5等)を基準に衛星側増速量を設定している。これらの衛星をH-IIAで打ち上げる場合の打ち上げ能力を向上する。

ロケットが遠地点まで衛星を運び、従来よりも静止軌道に近い軌道に衛星を投入。衛星側の燃料負担を従来よりも抑えられる。

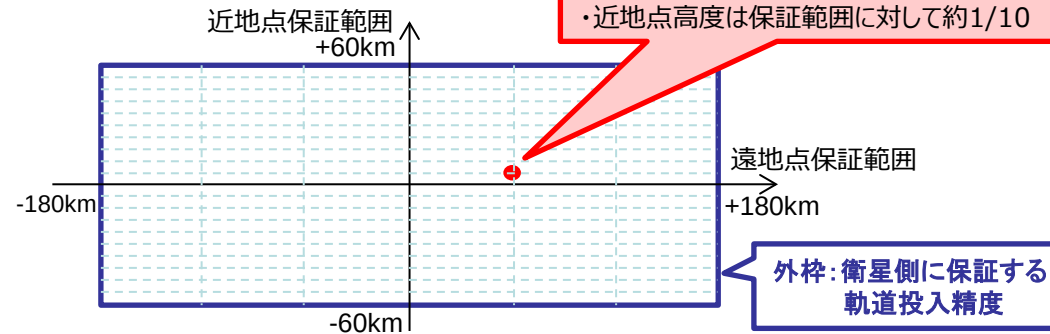
飛行実証結果ー打ち上げ能力のさらなる向上ー

ロングコーストGTO打ち上げ能力($\Delta V=1,500\text{m/s}$)

	打上能力	開発目標(エクストラサクセス)
H2A204	4,900kg	4,600kg (4,700kg)
H2A202	3,050kg	2,900 kg (3,000kg)

エクストラサクセスも超える打ち上げ能力向上を達成

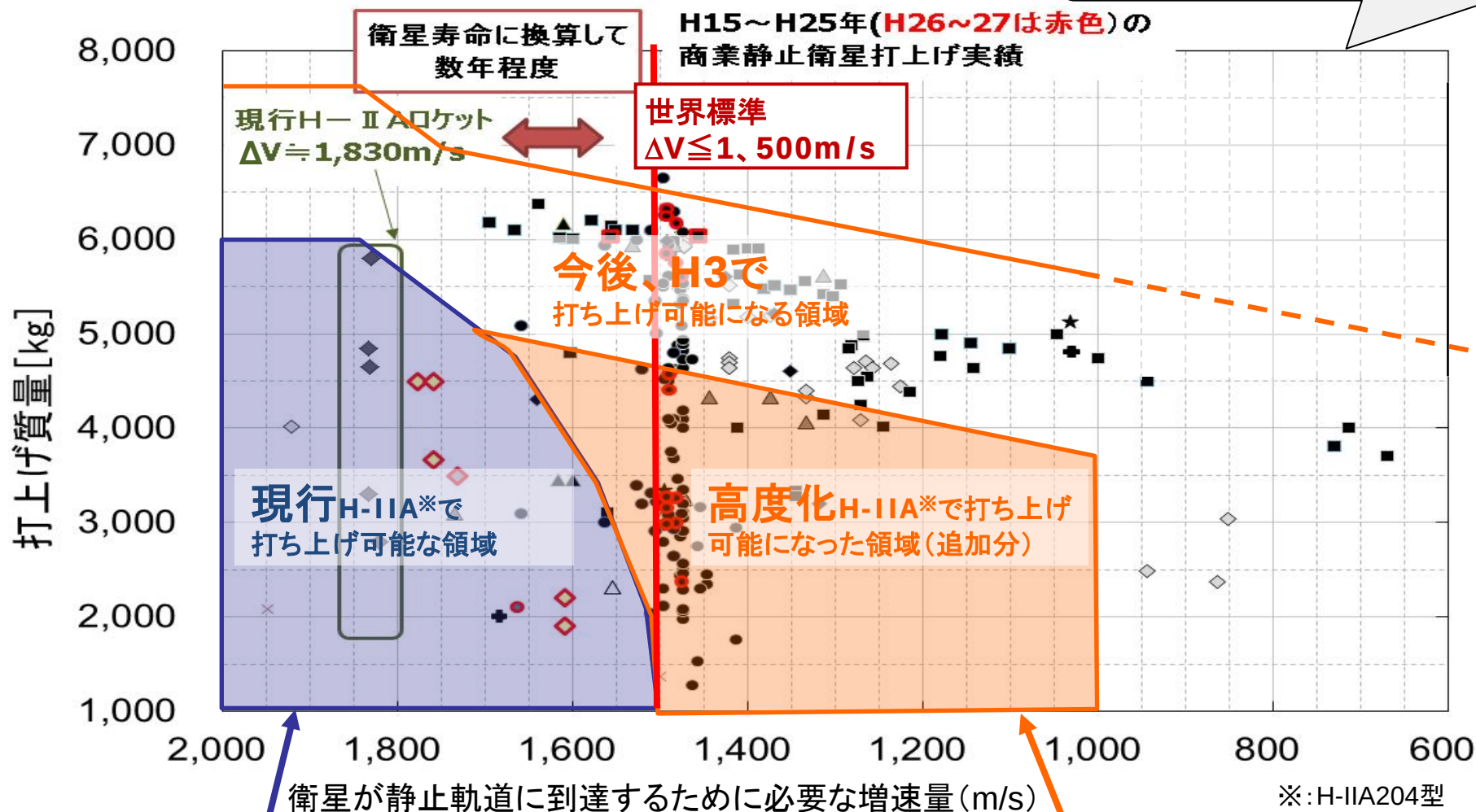
ー高い軌道投入精度ー



※ 軌道傾斜角は、保証 ± 0.2 度に対して、1/20以下の結果

(別紙3) 静止衛星打ち上げ性能の向上 ー世界の衛星打ち上げ市場ー

縦軸は打ち上げる衛星の質量、
横軸は軌道到達のための衛星側燃料負担を表し、
過去に打ち上げられた衛星をプロットしている。



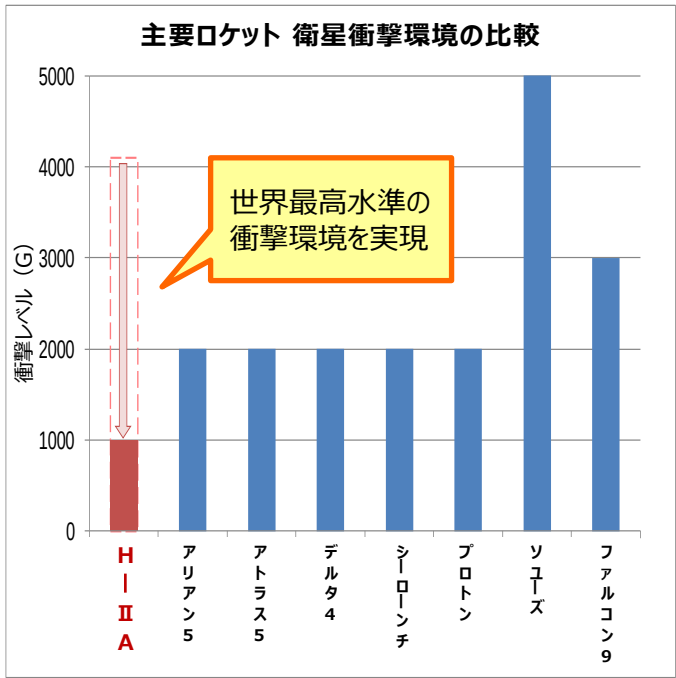
現行のH-IIAロケットでは、商業静止衛星の
7%程度しか打ち上げられなかった。
(過去に打ち上げられた商業静止衛星の機数での換算)

高度化

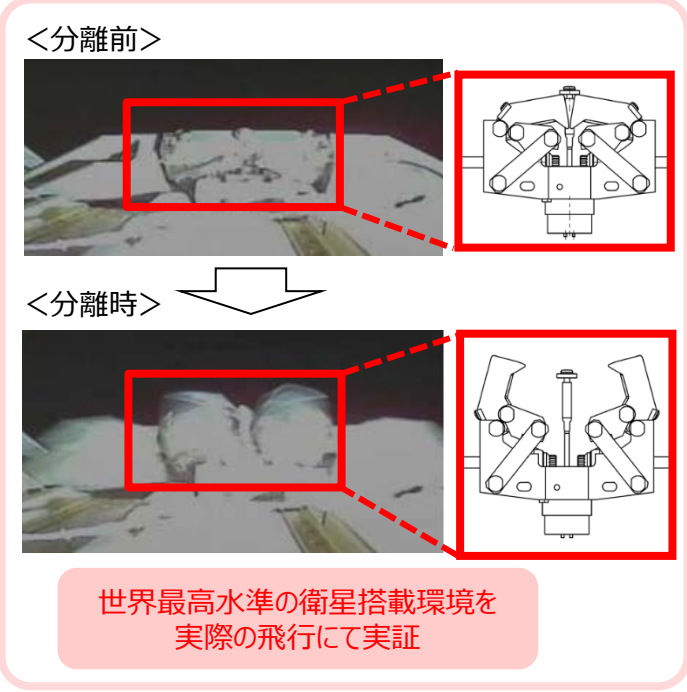
基幹ロケット高度化対応により、
約50%の静止衛星を打ち上げ可能とした。

(別紙4) 衛星搭載環境の緩和と地上レーダ不要化に向けた航法センサ開発の開発内容と飛行実証結果

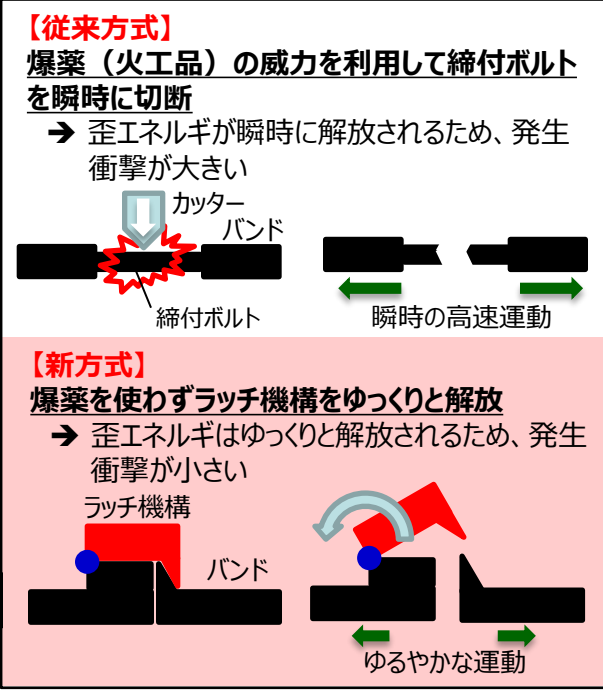
➤ 衛星搭載環境の緩和



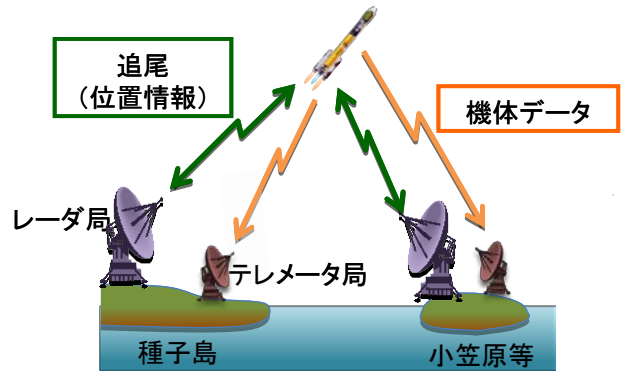
飛行実証結果



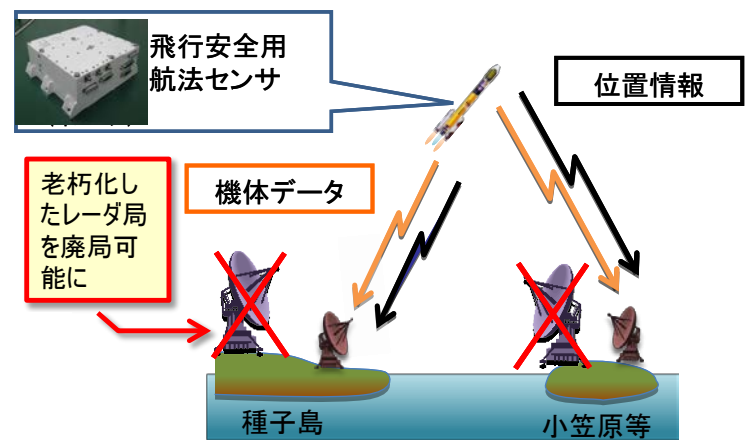
【参考】分離方式の新旧比較イメージ



➤ 地上レーダ不要化に向けた航法センサ開発



現行のレーダ局を用いた飛行安全管理



航法センサを用いた飛行安全管理

3) 基幹ロケット(H-IIAロケット及びH-IIBロケット)について、一層の信頼性の向上を図るとともに、部品枯渇に伴う機器等の再開発を引き続き進め、開発した機器を飛行実証する。打ち上げ関連施設・設備については、効率的な維持・老朽化更新及び運用性改善を行う。

実績:

JAXAでは、H-IIA/Bロケット運用に関して、以下のような取り組みを行っており、平成27年度も天候等の外的要因以外での延期はなく、全ての打ち上げに成功し、H-IIAでは通算30機の打ち上げ、民間移管後20機の打ち上げ実績(H-IIA/B合わせて)を積み上げ、H-IIAの打ち上げ成功率は97%台に達し、H-IIBの打ち上げ成功率は100%を維持している。

1. 信頼性向上/運用性向上に係る取り組み

H-IIA/Bロケットの民間移管以降もJAXAは継続的に改良・改善を行ってきており、その結果、打ち上げに影響を及ぼす不具合が減少するなど信頼性・確実性が一層向上している。さらなる安定した打ち上げ運用のための取り組みで、平成27年度は特に以下を実施した。

(1) **打ち上げ間隔が空いた打ち上げ**(H-IIBロケット(5号機): **2年ぶり**、H-IIAロケット204型(29号機): **9年ぶり**)に対して、**確実な打ち上げのため点検を強化**し、それぞれ求められた日時での打ち上げに成功した。H-IIB5号機は、**海外の国際宇宙ステーション補給機打ち上げが相次いで失敗し物資補給が危ぶまれるなかで、国際宇宙ステーションへの補給を完遂**した。H-IIA29号機は、**基幹ロケット高度化飛行実証、初の海外商業衛星の打ち上げを完遂**した。

- ① H-IIB5号機の打ち上げ前には、久しぶりのH-IIBであることから、老朽化更新などの設備面の変化や、作業者の入れ替えや作業方法の変更があることを念頭に、主にH-IIB特有の設備に対して、設計に立ち返った点検や設備保全方法・運用手順の点検を実施した。
- ② H-IIA29号機の打ち上げ前には、204型特有の技術や初号機実証(11号機)以降にJAXAが継続的に行ってきた改良・改善が29号機のロケットシステム全体に適切に反映されているかという点に着目した特別点検を実施した。

(2) 高い信頼性を誇る日本のH-IIA/Bロケットは、不具合による打ち上げ延期は各国と比べて非常に少ないが、**種子島の湿潤な気候もあって雷などの天候による延期は多い**ため、JAXAは長年にわたり雷雲に関する研究を続けた。**フライト中の誘雷の予測手法をレーダ観測を付加することで高度化**し、試験運用を経てH-IIA30号機から雷の制約条件の見直しを行った。これにより、**雷雲による打ち上げ延期をこれまでの半分程度に減らす**ことが可能となった(本制約の適用により、過去氷結層(雷雲)で延期した11回のうち5回は打ち上げ可能)。



「こうのとり5号機」に搭載する緊急物資を運んだ飛行機が種子島空港に到着し、物資を取り出す様子。



平成27年度に打ち上げた基幹ロケット。
全て形態が異なる。

実績(つづき):

2. 部品枯渇に伴う機器等の再開発

H-IIAロケットの部品・材料の部品枯渇リスクを回避するため、機器の再開発を進め、順次飛行実証を行っている。

3. 打ち上げ関連設備の維持・老朽化更新・運用改善

蓄積したデータベースを活用して不具合の発生傾向を分析し、優先順位を付けた老朽化更新計画を立て、限られたリソースで効率的な維持・老朽化更新を行っている。

効果:

1. 初の商用衛星であるカナダの通信放送衛星「Telstar12VANTAGE」および国際宇宙ステーション補給機「こうのとり」という注目度の高い2つの打ち上げを予定日に確実に実施したことは、我が国の基幹ロケットであるH-IIAロケットの信頼性の高さを世界に示した。本年3月には、H-IIAがUAEの宇宙機関(※1)から中東初の火星探査機の打ち上げ輸送サービスを受注(海外顧客からの4件目の打ち上げサービス受注)。H-IIAロケット選定にあたっては、世界で最も信頼性が高いロケットの一つであることとオンタイム打ち上げ率の高さを評価したと現地で報道されている(※2)。
2. 天候による延期も減らすことで、衛星顧客が要望する日時での打ち上げの確実性が更に増し、基幹ロケットの運用性の向上ならびに顧客サービスの向上につながった。

※1: MBRSC : Mohammed bin Rasid Space Centre

※2: GULF NEWS 2016.3.22.記事“UAE Mars Hope mission to launch from Japan”にて、MBRSCの副長官がH-IIA選定の理由を問われた際にそのように回答。

ベンチマーク:

H-IIA/Bロケットの打ち上げ成功率は97.1%と世界水準を維持、過去5年のオンタイム打ち上げ率※は93.3%と世界水準を凌駕している。海外ロケットの打ち上げ成功率は、アリアンV(ES/ECA)98.3%、アトラスV98.4%、デルタIV96.8%(左記のロケットの平均98.0%)であり、過去5年のオンタイム打ち上げ率※は、アリアンV(ES/ECA) 75.0%、アトラスV 76.3%、デルタIV 64.5%(左記のロケットの平均73.8%)。

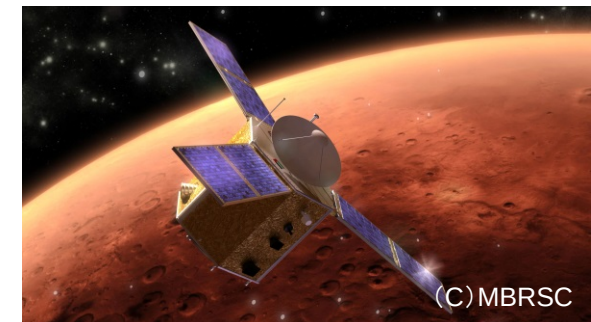
※過去5年間の打ち上げにおいて定められた日時に打ち上げられた割合。(天候など外部要因による延期を除く。)



H-IIA29号機より分離される、商業衛星「Telstar 12 VANTAGE」。我が国で初めての海外商業衛星打ち上げに成功。



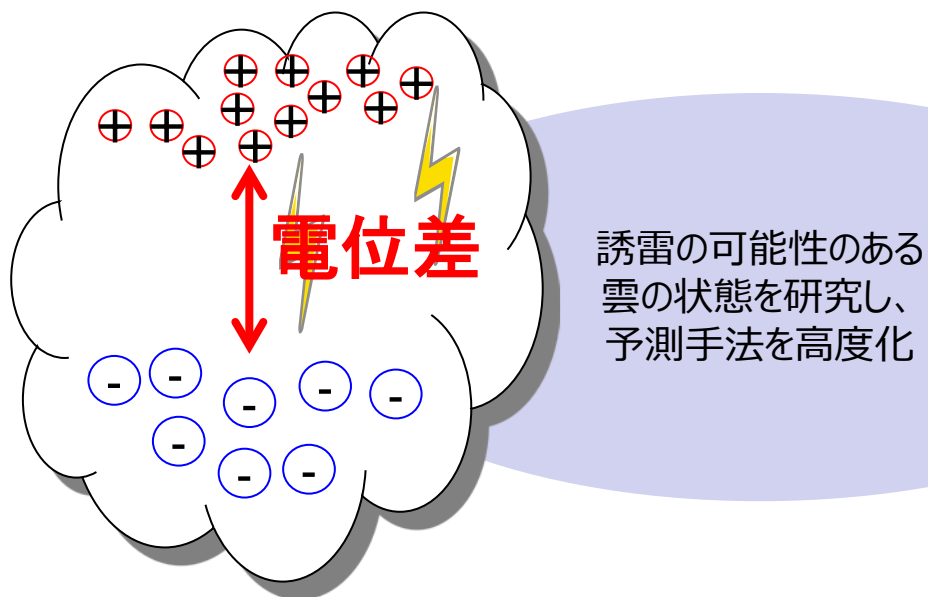
H-IIB5号機によって打ち上げられ、ISSに到着した「こうのとり」5号機。物資補給が危ぶまれるなかで補給ミッションを完遂。



H-IIAが打ち上げサービス受注したUAEの火星探査機。信頼性の高さが受注の決め手に。

【補足】 新しい誘雷の予測手法の開発による気象制約の緩和

1. 誘雷の可能性のある雲の状態



2. 誘雷の予測手法

(1) 雲の厚さ(従来よりの予測手法)

雲の厚さが現行制約以下の場合、十分安全であることを確認。

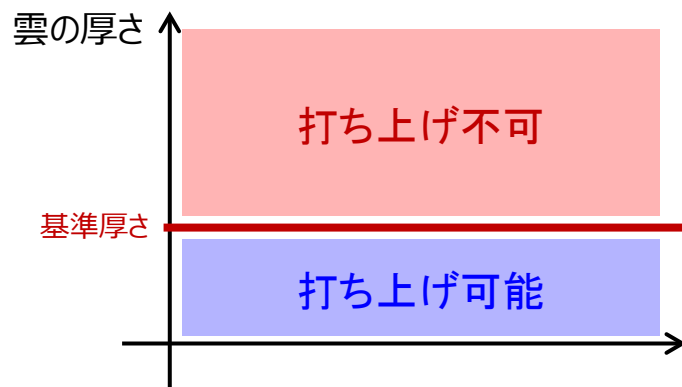
(2) レーダ反射強度(新規適用※)

レーダの反射強度が基準値以下の場合、十分安全であることを確認。

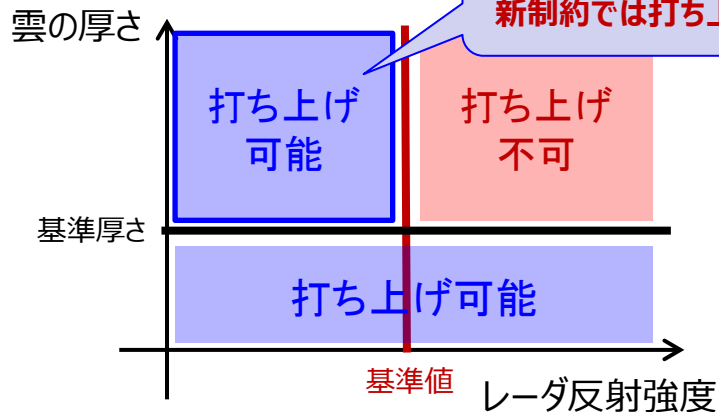
※: 29号機まで3機の試験運用を経て、30号機より適用

- ① これまで雲の厚さだけで予測していた誘雷の可能性を、より精度高く予測できるようになった。
- ② 結果として、雷雲による打ち上げ延期をこれまでの半分程度に減らすこととなった。

【旧制約】



【新制約】



旧制約では打ち上げ不可だが、新制約では打ち上げ可能になる。

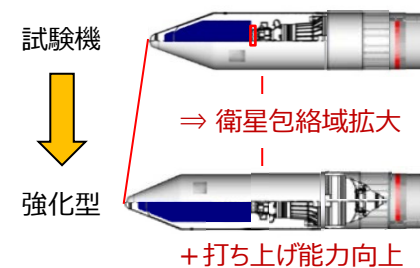
①基幹ロケットの維持・発展 イ. 固体燃料ロケットシステム

1) 戦略的技術として重要な固体燃料ロケットシステム技術の維持・発展方策として、低コストかつ革新的な運用を可能とするイプシロンロケットの2号機の開発及び製造を実施する。
また、今後の打ち上げ需要に対応するため、打ち上げ能力の向上及び衛星包絡域の拡大のためのイプシロンロケットの高度化開発として、2号機以降への適用を目指して、2段固体モータ及び構造の改良を行う。

実績: ジオスペース探査衛星(ERG)やASNARO-2等の今後の小型衛星需要への柔軟な対応を可能とする強化型イプシロンロケット(右上図)を開発し、ERG打ち上げ用機体である2号機機体を製造した。開発の目的は打ち上げ能力向上(30%向上)と衛星包絡域(衛星搭載スペース)拡大にあるが、開発のカギは構造・推進・電子機器の高性能化のための技術革新(※)と2段大型化・エクスポート化(2段をフェアリング内から外へ)にある。

- ① 2段モータ地上燃焼試験(右下図)を実施し、以下の技術開発を完了した。
 - (a) 2段固体モータ(推進技術): これまで三層構造であった断熱材を一体構造化することで軽量化を達成(**継続的研究開発による断熱材の軽量化**)。
 - (b) 2段モータケース(構造技術): 設計を根本から変えた新規設計の薄肉(軽量)構造の実現により、軽量化を達成(**複合材を用いた薄肉設計技術の確立による軽量化**)。
- ② 1段機器搭載構造(構造技術)については、複合材を用いて一体構造化を図り、性能向上を達成(**軽量化のカギを握るCFRP一体構造の実現**)。
- ③ 電力分配器(電子機器技術)については、ロケット固有の厳しい安全要求に汎用部品を適合させる新たな技術の開拓により、軽量化を達成した(**汎用部品の活用を可能とするロケット技術の高度化**)。

(※) 構造力学・材料特性などの物理現象への知見を深めたうえで、安全上の制約に対する対応策を構築するなど、根源にさかのぼった検討を行うことで、設計の自由度を増やし、適用可能な部品・材料の幅を広げるもの。



2段モータ地上試験@能代

効果: 民間衛星を含めた今後想定される小型衛星需要に対して幅広く効率的に対応する態勢を、**2年で達成**した。それによりERGや小型月着陸実証機(SLIM)の科学成果の最大化に貢献することができ、さらにはH3にも適用可能(**イプシロンからH3へのシナジー**)とした。

2) さらに、アビオニクスの改良などによるさらなる低コスト化の研究を実施する。

また、安全保障、地球観測、宇宙科学・探査等の様々な衛星の打ち上げニーズに対応し、「新型基幹ロケット」の固体ロケットブースターとのシナジー効果を発揮するとともに、H-IIA/Bロケットから「新型基幹ロケット」への移行の際に切れ目なく運用できる将来の固体ロケットの形態の在り方について検討を行う。

実績: H3ロケットとのシナジー効果を最大限に引き出すため、固体ロケットブースターについて、設計に差異のあるノズルの一部コンポーネントを除く、モータケース、推進薬、燃焼パターン等について**最大限の設計共通化を図ることができ、開発と運用の効率化の目的を得た。**

効果: H3ロケットとのシナジー効果により、**開発の効率化が図れると共に、運用段階においてはまとめ製造による生産性向上および治具共通化等による基盤維持費の削減等が期待**できる。

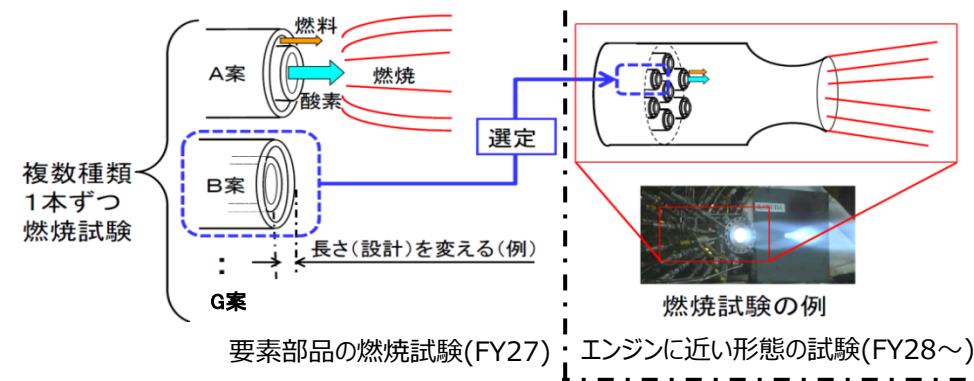
②宇宙輸送系技術開発

LNG (Liquefied Natural Gas) 推進系関連技術について、実証試験の実施を視野に入れた研究開発を実施する。軌道上からの物資回収システム、再使用型宇宙輸送システム、軌道間輸送システム等の研究を進める。

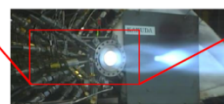
実績：

(LNG推進系関連技術)

1. 液化天然ガス (LNG) 推進系は、液体水素と比して貯蔵性に優れるほか、漏洩や爆発の危険性が少なく安全性などの面で優れており、将来のロケットや軌道間輸送機などでの利用が見込まれる。LNG推進系に関するJAXAの実績は、平成24年度までの研究開発において基盤技術 (LNG推進系に関するシステム設計、解析、アブレータ冷却方式燃焼室、推進薬取扱等) を獲得した。
2. その成果を踏まえ、世界トップレベルの性能 (他国のエンジンの比推力設計値340~365秒に対し、目標比推力370秒) を目指して、再生冷却方式燃焼室に取り組むこととし、燃焼室内へ燃料と酸素を噴射する要素部品であるエレメントを複数種類製作して燃焼試験 (単一エレメント燃焼試験) を行い、最も性能が優れ、かつ目標性能を達成する見込みのあるエレメント設計を選定した。また、燃焼試験結果をもとに解析ツールの検証を行い、設計/解析技術の向上を進めた。27年度の要素試験で選定した設計をもとに、エンジンに近い形態 (複数のエレメント) での燃焼試験を今後実施し、目標性能の実証を行う。



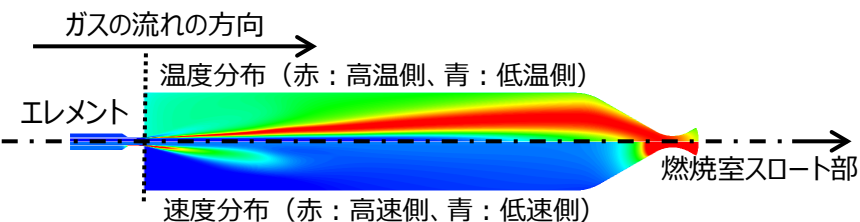
燃焼室内へ燃料と酸素を噴射する要素部品であるエレメントの設計選定ステップ



燃焼試験の例

エンジンに近い形態の試験 (FY28~)

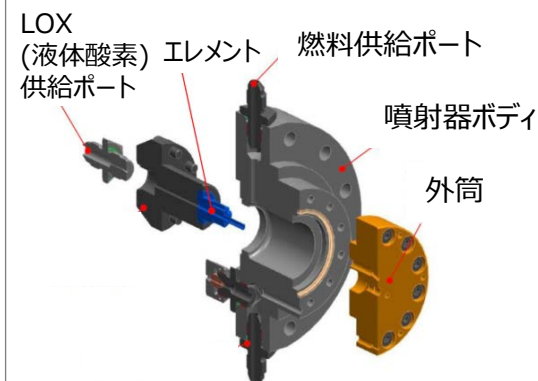
FY28以降では複数のエレメントで構成する燃焼器を試験で使用する計画



エレメント燃焼試験を模擬した解析結果

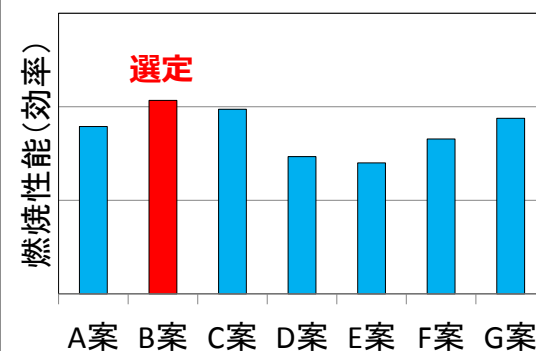
単一エレメント燃焼試験結果をもとに解析ツールを検証。(左図上半分が温度分布、下半分が速度分布を示す。)

単一エレメント燃焼試験用供試体



FY27実施の要素試験では1本のエレメントで構成した燃焼器を使用

燃焼試験から算出した各エレメントの性能比較

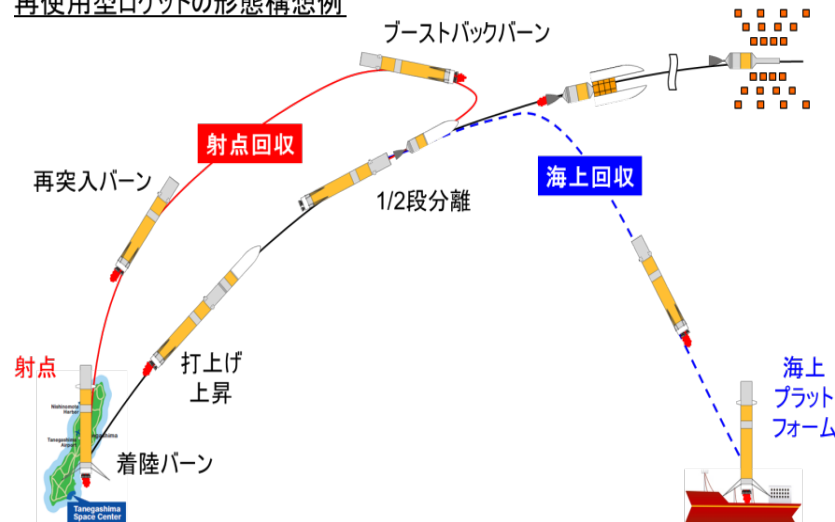


エレメントの複数設計案の中から最も燃焼性能が優れていたB案を選定

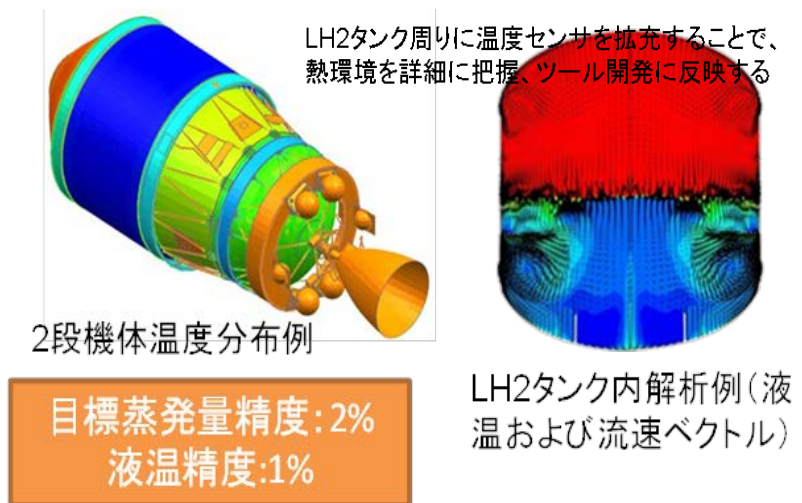
実績(つづき): (将来輸送システム)

1. 再使用型輸送システム(ロケット)については、再使用技術による輸送コスト低減に向け、システム形態や飛行シナリオ、必要となる要素技術の検討を進めた。その結果、H3ロケットで開発を進めている我が国独自の大推力エキスパンダーエンジンの再使用化と寿命向上、日本の複合材料技術を活かした使い切り2段構造の軽量化が低コスト化を実現する上で有効な方策であることを見出し、具体的な研究目標を設定した。
2. 将来の再使用型輸送システム(エアブリーザ)については、平成26年度までの成果を踏まえ、主要な課題(炭化水素燃料の燃焼特性、エンジン制御則の検討、機体・エンジンの構造様式、材料の検討、空力性能の向上)やシステム検討を進めるとともに、外部ニーズも取り込んだオールジャパンとして共有可能な技術ロードマップの検討を行った。その中で、炭化水素燃料の燃焼・冷却特性の把握などの技術課題を明確化し、実験によるデータ蓄積と特性の数値モデル化等により課題解決を行う道程を整理し、エアブリーザ実証機の実現に向けた検討を加速させた。
3. 軌道間輸送システムについては、課題である長期間ミッションに伴う極低温燃料の蒸発量を低減して、既存の輸送システムインフラより効率的な宇宙輸送を目指した検討を進めている。目標蒸発量精度2%に向け、H-IIAロケット(30号機)のフライトを活用して様々な入熱パスに対する温度データを取得して解析モデル高度化の指針を得た。

再使用型ロケットの形態構想例



H-IIAロケット(30号機)におけるデータ取得の事例



効果:

新型基幹ロケット等につづく次の宇宙輸送技術の確立を目指した検討を行い、主要な技術の成立性確認等を進めることにより、我が国の宇宙輸送能力の維持・発展につながる将来輸送システムの実現に向けた技術的な可能性を得た。

③打ち上げ射場に関する検討

我が国の宇宙システムの抗たん性の観点から政府が行う射場の在り方に関する検討を支援し、その結果を踏まえ、機構が所有・管理する打ち上げ射場について必要な措置を講じる。

実績:

現在、政府において射場の在り方検討に向けた調査検討会が設置され、論点整理に向けた検討が実施されている。JAXAに対する協力要請に基づき、検討会に委員を派遣するとともに、射場維持に関するJAXAの取り組み等の情報提供を行っている。

3. (2) 宇宙科学・探査

中期計画(1/3)

人類の知的資産及び我が国の宇宙開発利用に新しい芽をもたらす可能性を秘めた革新的・萌芽的な技術の形成を目的とし、宇宙物理学、太陽系科学、宇宙飛翔工学、宇宙機応用工学及び学際科学において、長期的な展望に基づき、また、一定規模の資金を確保しつつ、我が国の特長を活かした独創的かつ先進的な宇宙科学研究を推進し、世界的な研究成果をあげる。

なお、平成27年度補正予算(第1号)により追加的に措置された交付金については、喫緊の課題への対応として衛星による公共の安全確保の一層の推進のために措置されたことを認識し、ジオスペース探査衛星(ERG)の開発に充てるものとする。

①大学共同利用システムを基本とした学術研究

宇宙科学研究における世界的な拠点として、研究者の自主性の尊重、新たな重要学問分野の開拓等の学術研究の特性に鑑みつつ、大学共同利用システム※を基本として国内外の研究者の連携を強化し、宇宙科学研究所を中心とする理学・工学双方の学術コミュニティの英知を結集し、世界的に優れた学術研究成果による人類の知的資産の創出に貢献する。このために、

宇宙の起源とその進化についての学術研究を行う宇宙物理学、

太陽、地球を含む太陽系天体についての学術研究を行う太陽系科学、

宇宙飛翔技術及び宇宙システムについての学術研究を行う宇宙飛翔工学、

宇宙機技術、地上システム技術、及びその応用についての学術研究を行う宇宙機応用工学、

宇宙科学の複数の分野にまたがる、又は宇宙科学と周辺領域にまたがる学際領域、及び新たな宇宙科学分野の学術研究を行う学際科学

の各分野に重点を置いて研究を実施するとともに、将来のプロジェクトに貢献する基盤的取組を行い、また、人類の英知を深めるに資する世界的な研究成果を学術論文や学会発表等の場を通じて提供する。

また実施にあたっては、新たなプロジェクトの核となる分野・領域の創出、大学連携協力拠点の強化、大学研究者の受入促進、及び人材の国際的流動性の確保により、最先端の研究成果が持続的に創出される環境を構築する。

※大学共同利用機関法人における運営の在り方を参考にし、大学・研究所等の研究者の参画を広く求め、関係研究者の総意の下にプロジェクト等を進めるシステム

中期計画(2/3)

②宇宙科学・探査プロジェクト

大学共同利用システム等を通じて国内外の研究者と連携し、学問的な展望に基づいて科学衛星、国際宇宙ステーション(ISS)搭載装置及び小型飛翔体等を研究開発・運用することにより、①に掲げた宇宙物理学、太陽系科学、宇宙飛翔工学、宇宙機応用工学及び学際科学の各分野に重点を置きつつ、大学共同利用システムによって選定されたプロジェクトを通じて、我が国の独自性と特徴を活かした世界一級の研究成果の創出及びこれからを担う新しい学問分野の開拓に貢献するデータを創出・提供する。その際、宇宙探査プロジェクトの機会も有効に活用する。

なお、太陽系探査科学分野については、効果的・効率的に活動を行える無人探査をボトムアップの議論に基づくだけでなく、プログラム化も行いつつ進める。プログラム化においては、月や火星等を含む重力天体への無人機の着陸及び探査活動を目標として、特に長期的な取組が必要であることから、必要な人材の育成に考慮しつつ、学術的大局的観点から計画的に取り組む。

また、探査部門と宇宙科学研究所(ISAS)でテーマが重なる部分に関しては、機構内での科学的な取組についてISASの下で実施するなど、適切な体制により実施する。

具体的には、以下に取り組む。

ア. 科学衛星・探査機の研究開発・運用

- | | |
|--------------------------------------|------------------------|
| (a) 磁気圏観測衛星(EXOS-D) | (b) 磁気圏尾部観測衛星(GEOTAIL) |
| (c) X線天文衛星(ASTRO-E II) | (d) 小型高機能科学衛星(INDEX) |
| (e) 太陽観測衛星(SOLAR-B) | (f) 金星探査機(PLANET-C) |
| (g) 水星探査計画／水星磁気圏探査機(BepiColombo/MMO) | |
| (h) 次期X線天文衛星(ASTRO-H) | (i) 惑星分光観測衛星 |
| (j) ジオスペース探査衛星(ERG) | (k) 小惑星探査機(はやぶさ2) |

に係る研究開発・運用について国際協力を活用しつつ行うとともに、将来の科学衛星・探査機や観測機器について、国際協力の活用及び小規模プロジェクトでの実施も考慮しつつ、研究を行う。これらのうち、金星探査機(PLANET-C)については金星周回軌道への投入を目指し、次期X線天文衛星(ASTRO-H:宇宙の進化におけるエネルギー集中と宇宙の階層形成の解明を目指す。)、惑星分光観測衛星(極端紫外線観測による惑星大気・磁気圏内部と太陽風相互作用の解明を目指す。)、ジオスペース探査衛星(ERG:放射線帯中心部での宇宙プラズマその場観測による相対論的電子加速機構の解明を目指す。))及び小惑星探査機(はやぶさ2:C型小惑星の探査及び同小惑星からの試料採取を目指す。))については打ち上げを行う。また、水星探査計画／水星磁気圏探査機(BepiColombo/MMO)については、海外の協力機関に引き渡し、打ち上げに向けた支援を行う。また、次世代赤外線天文衛星(SPICA)をはじめ、戦略的に実施する中型計画、公募型小型計画及び多様な小規模プロジェクトに係る検討を行い、その結果を踏まえ、必要な措置を講じる。

中期計画(3/3)

②宇宙科学・探査プロジェクト(つづき)

イ. 国際宇宙ステーション(ISS)搭載装置及び小型飛翔体等に関する研究

ア. に加え、多様なニーズに対応するため、国際宇宙ステーション(ISS)搭載装置や小型飛翔体(観測ロケット及び大気球)による実験・観測機会を活用するとともに、再使用観測ロケットや革新的な気球システムの研究などの小型飛翔体を革新する研究を行う。

ウ. 観測データや回収サンプル等の蓄積・提供

宇宙科学プロジェクト及び宇宙探査プロジェクトにおける観測データや回収サンプル及び微小重力実験結果などの科学的価値の高い成果物については、将来にわたって研究者が利用可能な状態にするためのインフラ整備を引き続き進め、人類共有の知的資産として広く世界の研究者に公開する。

「はやぶさ」、「はやぶさ2」及び「かぐや」を通じて得られた取得データについては、宇宙科学研究等の発展に資するよう提供するとともに、将来の宇宙探査等の成果創出に有効に活用する。

財務及び人員に関する情報(注1)

平成 年度	予算額 (千円)	決算額 (千円)	人員数(人)
25	—	211,177,437 の一部	約590 の一部
26	—	207,856,661 の一部	約580 の一部
27	22,116,394	22,345,116	約290
28			
29			

注1:

- 平成26年度以前の決算額はJAXA全体の数値。
- 平成26年度以前の人員数は「将来の宇宙開発利用の可能性の追求」全体における本務従事者数の数値。
- 平成27年度の予算・決算額はセグメント「宇宙科学・宇宙探査」の数値。
セグメント毎の詳細はⅢ項に記載。
- 人員数は常勤職員の本務従事者数。

① 大学共同利用システムを基本とした研究

(a) 宇宙科学研究所の研究系を中心とした研究

宇宙科学研究における大学共同利用研究所として、研究者の自主性の尊重及び研究所の自律的な運営のもと、宇宙科学研究所に集う国内外の研究者と連携協力し、宇宙科学研究所の研究系を中心に以下の活動に取り組み、人類の英知を深める世界的な研究成果の創出を目指すとともに、その研究成果を国際的な学会、学術誌等に発表し、我が国の宇宙科学研究の実施・振興に資する。

具体的には、以下の研究を推進する。

- 宇宙の起源と進化、宇宙における極限状態の物理的理解を目指した宇宙空間からの宇宙物理学及び天文学
- 我々の太陽系・様々な系外惑星の構造及び起源と進化、並びに地球を含めた生命の存在できる環境の理解を目指して太陽系空間に観測を展開する太陽系科学
- 宇宙開発利用に新しい芽をもたらし、将来において自由自在な科学観測・探査活動を可能とするための宇宙飛翔技術及び宇宙システムについての学術研究を行う宇宙飛翔工学
- 宇宙開発利用に新しい芽をもたらし、将来において自由自在な科学観測・探査活動を可能とするための宇宙機技術、地上システム技術、及びその応用についての学術研究を行う宇宙機応用工学
- 宇宙環境利用研究等の宇宙科学の複数分野又はその周辺領域にまたがる学際領域、及び新たな宇宙科学分野の学術研究を行う学際科学

【1】特筆すべき研究成果

年度計画で定めた研究を推進し、以下の特筆すべき研究成果を得た。

① 金星周回軌道への投入、及び金星の大気大循環現象の理解へ【金星探査機「PLANET-C」】

金星探査機「あかつき」は、平成27年12月7日に姿勢制御用エンジン噴射を計画どおり実施し、**金星周回軌道への投入に成功した。**(JAXAプレスリリース 平成27年12月9日)

金星周回軌道へ投入するため、機体軽量化のための酸化剤の廃棄や、設計想定以上の熱入力対策として姿勢の向きを工夫する等、様々な工夫を凝らしながら運用してきた。

また、破損したと推定される推進系の残された機能を同定し、利用できる推進系による投入計画の策定と、軌道計画立案、さらに、投入できた場合の当初観測計画の実行可能性検討等、5年の間に膨大な再投入計画を粘り強く検討し、今回軌道投入に成功した。

金星周回軌道投入直後から、順次観測機器を立ち上げ、様々な波長での試験観測を実施。観測機器の立ち上げは順調であり、ミニマムサクセスに相当する観測を実施した。

中間赤外カメラ(LIR)により金星の雲の温度分布を捉えた結果、**南北両半球にまたがる弓状の構造**という、過去に報告例のない現象を発見した。金星では東から西に時速400kmもの風が吹いているにもかかわらず、ほぼ静止しているこの現象は、金星大気の理解における新たな発見である。

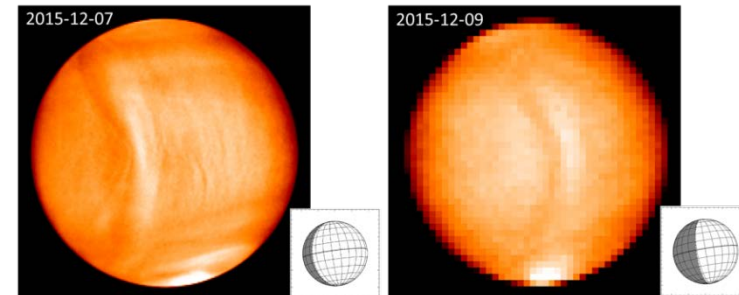
高解像度の金星大気シミュレーションを行い、**金星極域の気温分布を再現し、かつ、メカニズムを特定**することができた。これは、惑星大気大循環の普遍的な物理を理解する上での大きなステップである。(Nature Communications 平成28年2月)

金星は、地球とほぼ同じ大きさで隣どうしの惑星であるが、金星表面の環境は、地球とは全く異なることが知られている。金星の雲層高度の極域には、極近傍が温暖でその周りを冷たい大気が囲むという、地球では見られない気温分布があり、長年の謎であった。

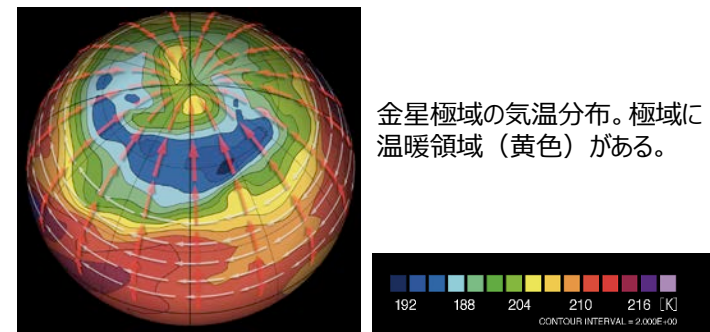
「あかつき」搭載の中間赤外カメラ(LIR)などの搭載カメラの観測により、今後、金星の大気・気象への理解をさらに深めることが期待できる。



軌道投入時の管制室の様子



中間赤外カメラ(LIR)で撮影した金星。南北両半球にまたがる弓状の構造が見える。



金星極域の気温分布。極域に温暖領域(黄色)がある。

② 「はやぶさ2」による地球スイングバイ【小惑星探査機「はやぶさ2」】

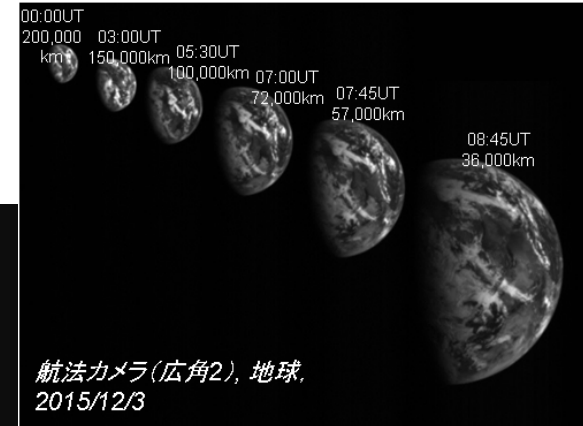
打上げから1年後の平成27年12月3日、「はやぶさ2」は地球スイングバイに成功した。目標天体である小惑星「Ryugu」に向かうための予定の軌道上を順調に航行していることを確認した。
(JAXAプレスリリース 平成27年12月14日)

小惑星への往復飛行で莫大な燃料を必要とする探査機にとって、地球の重力を利用した地球スイングバイという省エネ航法を用いることで、イオンエンジン噴射1年分の燃料を節約することができる。

また、JAXAの探査機で初めて標準装備した「DDOR (Delta Differential One-way Range) 技術」を生かし、従来のレンジ・ドップラー法※に比べておよそ10倍の軌道決定精度を実現した。これは、電波星と探査機との間の相対的な位置関係を観測して位置決定する技術であり、JPL (ジェット推進研究所) の軌道決定精度と同等レベルの精度が得られた。今後、精密な軌道決定を必要とする深宇宙探査等に活用される。

さらに、近赤外分光計 (NIRS3) による地球・月の分光観測を行い、地球の大陸 (豪州、アフリカ)・海洋 (インド洋、太平洋)・南極の観測を行い、将来の系外惑星直接分光観測のリファレンスとなる基礎データとなる近赤外スペクトルを取得した。

※地球からの奥行き方向で探査機の位置を計測する技術



(右) : 12月4日13:09 (JST) 光学航法望遠カメラ (ONC-T) によって撮影した地球。

(左) : 地球スイングバイ当日の地球観測

③ X線天文衛星「ひとみ」(ASTRO-H) の打上げ【X線天文衛星「ASTRO-H」】

X線天文衛星「ひとみ」(ASTRO-H) は、平成28年2月17日17時45分00秒 (日本標準時) に打ち上げられ、ロケットからの分離及び太陽電池パドルの展開が正常に行われたことを確認した。また、その後の軌道計算の結果、所定の軌道へ投入されていることを確認した。
(JAXAプレスリリース 平成28年2月17日、18日)

打上げ後、計画どおり、軟X線分光検出器 (SXS) の冷却や、伸展ベンチ (EOB) の伸展等の初期機能確認を実施し、科学成果創出のための目標性能達成を確認した。

しかし、初期機能確認フェーズ中である3月26日に、衛星の運用異常が発生し、衛星からの電波を受信できない状態となった。JAXAをあげて不具合の全容解明を行うとともに、衛星状態の把握に努め、衛星の機能回復に向け全力を尽くしてきた結果、「衛星正常状態」から「姿勢異常」が発生し、「物体の分離」に至るメカニズムをほぼ確定し、今後衛星が機能回復することは期待できない状態にあると判断し、原因究明に専念することとした。(JAXAプレスリリース 平成28年4月28日)

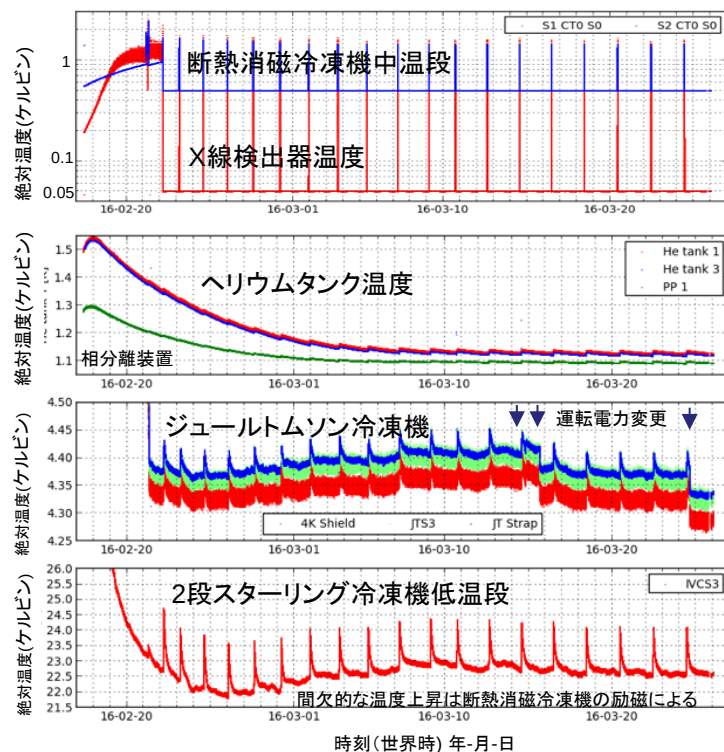


(上) : H-II Aロケット30号機打ち上げの様子

(下) : ASTRO-H分離後の様子

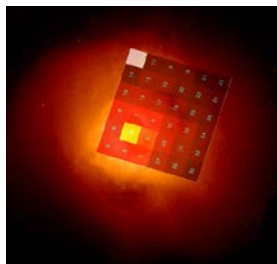
X線天文衛星「ひとみ」(ASTRO-H)搭載のX線分光検出器(SXS)による成果【X線天文衛星「ASTRO-H」】

冷却システムの軌道上動作



- 2月22日に断熱消磁冷凍機を励磁し、検出器温度は50ミリKに到達した。その後、約2日に1回の頻度で再励磁し、3月26日まで50ミリKを維持したことを確認している。
- ヘリウムタンク温度と相分離装置の温度差から、ヘリウム蒸発レートは約35マイクロg/s、従ってヘリウムタンクへの熱入力は約730マイクロWと見積もられる。(設計ノミナル値は 750マイクロW)
- これと打ち上げ前のヘリウム充填量から機械式冷凍機の経年変化を加味して、液体ヘリウム寿命は4.2年と見積もられた。(要求は3年以上、設計ノミナル値は3.5年)

ペルセウス座銀河団の観測成果(クリティカルフェーズ・初期確認フェーズ)

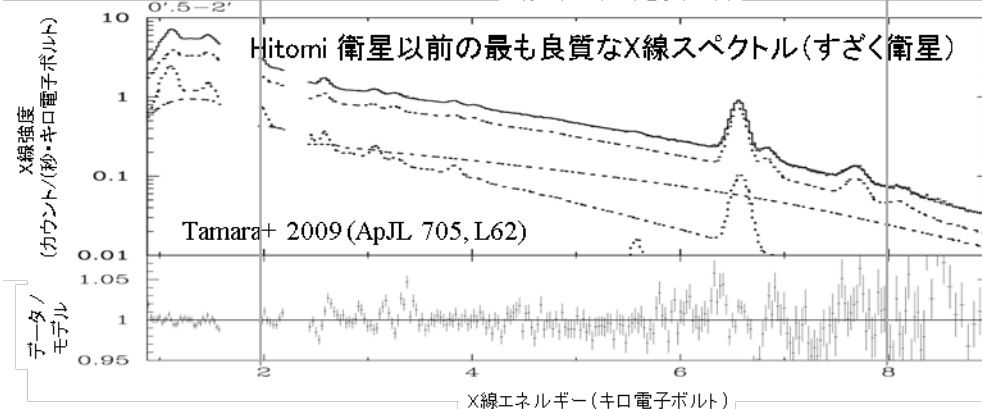
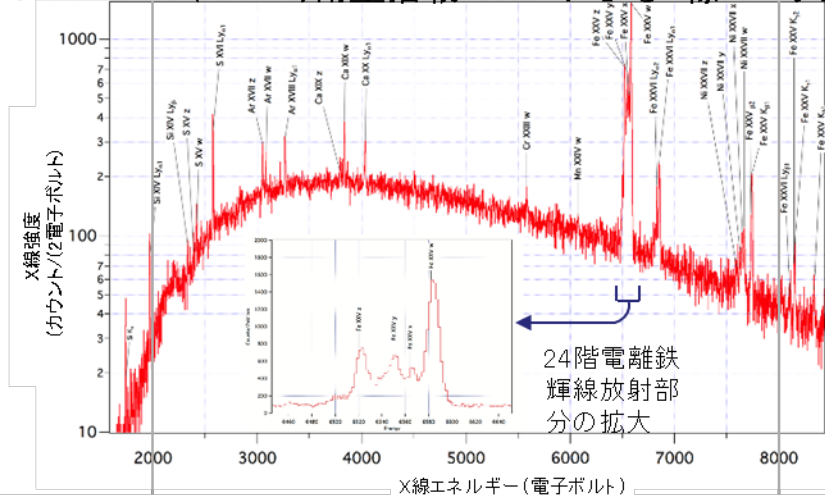


ひとみ衛星 SXS の35ピクセルX線強度マップ

- 米国チャンドラ衛星のX線像に重ねて表示。どちらもX線の強度を擬似カラー表示している。
- SXSの視野はペルセウス座銀河団の60キロパーセック四方の領域をカバー
- 左上の白いピクセルは使用していない。

注: SXSはX線入射口のゲートバルブを閉じていた。3キロ電子ボルト以下でX線強度が下がっているのは、ゲートバルブ上のベリリウム窓を通して観測していたため。

ASTRO-H (Hitomi)衛星搭載 SXS によるX線スペクトル



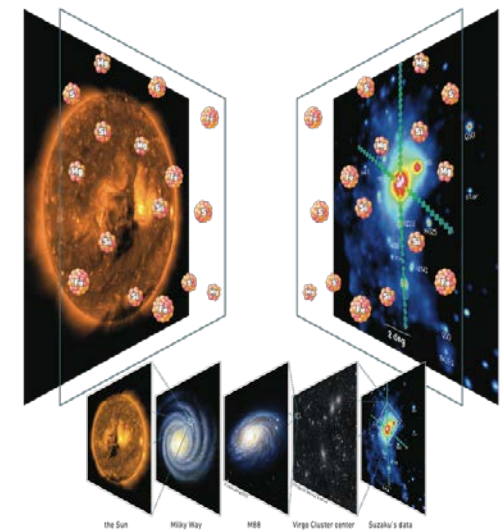
- 軌道上で地上試験と同等のエネルギー分解能(5.9キロ電子ボルトのX線に対し半値幅4.9電子ボルト)を確認し、これまでの観測装置の分解能(半値幅120電子ボルト)では分解できなかった輝線の微細構造を史上初めて直接観測することに成功した。
- この結果から、この銀河団の中心領域の高温プラズマの視線方向の速度分散を 164 ± 12 km/sと決定した。これによって、銀河団プラズマの力学平衡に運動エネルギーが大きな寄与をしていないことを初めて示した。(平成28年4月論文投稿済)

④ 宇宙がどのようにして現在の姿になったのか【X線観測衛星「ASTRO-EII」】

X線天文衛星「すざく」の観測により、おとめ座銀河団の軽元素の（鉄に対する相対）組成比が、太陽や我々の銀河系にある多くの星の組成比とほぼ同じであり、おとめ座銀河団の外側まで一様であることがわかった。これまで、鉄が一様に存在することはわかっていたが、起源の異なる軽元素の一様分布がわかったのは今回が初めてである。（*The Astrophysical Journal Letters* 平成27年10月、JAXAプレスリリース 平成27年10月20日）

銀河団の元素を一様に混ぜるには時間がかかることから、これらの軽元素は今から100億年以上前の、宇宙が激しい星形成を起こしていた時代に作られ、銀河間空間にまき散らされたと考えられる。

地球上の生命に必要な元素が、100億年前の宇宙の銀河間空間に太陽系と同じように存在していたということは、生命の材料は宇宙に普遍的に存在していたことを意味する。このような元素の一様分布は、宇宙がどのようにして現在の姿になったのかを理解する手がかりを与えてくれる結果である。



おとめ座銀河団（右上）で計測された元素組成が太陽（左上）と同じであることがわかったことから、宇宙の様々なスケール（下）での元素組成も太陽と同じと考えられる。

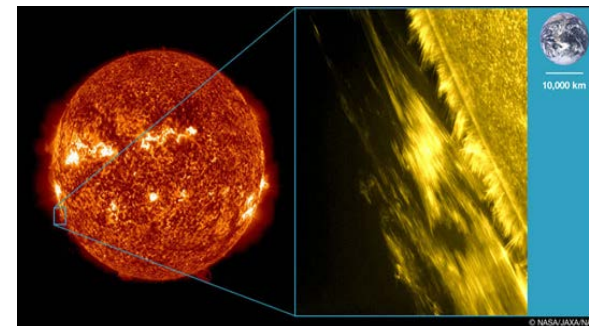
⑤ 太陽コロナ加熱問題へのアプローチ【日米太陽観測衛星「SOLAR-B」「IRIS」の共演】

日・米の太陽観測衛星「ひので」と「IRIS」による共同観測の結果に、スーパーコンピュータによる数値シミュレーションを組み合わせることで、波動の熱化現場を太陽コロナ中で捉えることに世界で初めて成功した。（*The Astrophysical Journal* 平成27年8月）

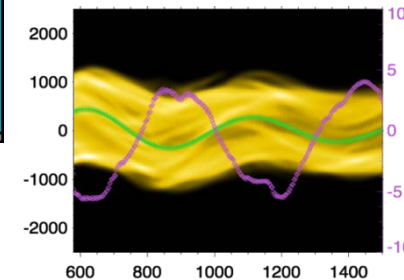
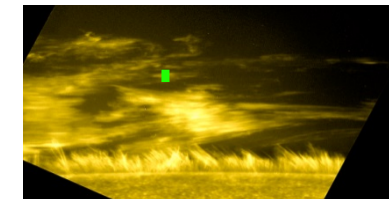
太陽コロナは 約100万度の高温ガスから成るが、太陽表面は 6000度程度しかなく、高温が維持されるメカニズムがわかっていない。これはコロナ加熱問題と呼ばれ、天文学における未解明物理学のひとつである。

太陽コロナの加熱過程は、「ひので」が捉えた磁力線の波動だけでは解明できないため、日・米の太陽観測衛星「ひので」と「IRIS」による共同観測を実施し、太陽大気の運動を詳細に調べた。

この研究により、波のエネルギーから熱のエネルギーへの変換過程を実証的に調べることが可能であることを示し、今後、波動によるコロナ加熱問題解明への研究が進むと期待される。



（左）：NASA太陽観測衛星SDOによる太陽全面画像
（右）：「ひので」が撮影した太陽プロミネンス。プロミネンスが細長い筋状の構造であることがわかる。
© NASA/JAXA/NAOJ



緑色の領域のプロミネンス震動を、「ひので」とIRISで同時観測し、波動散逸を同定した。

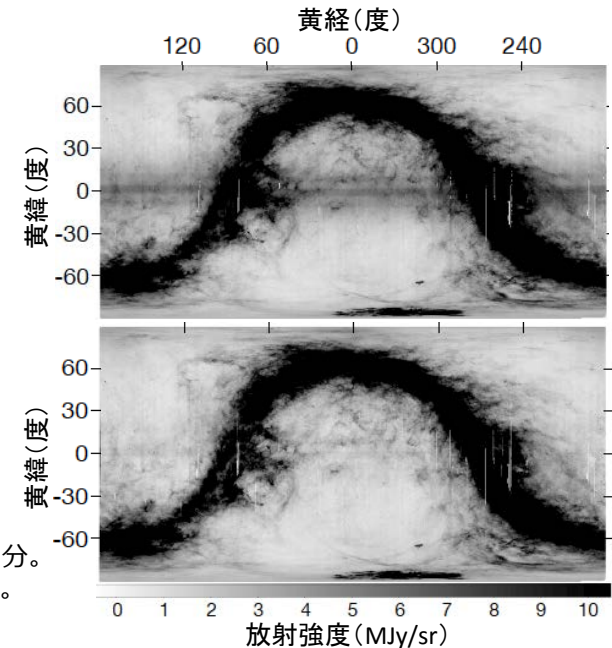
⑥ 「あかり」による黄道放射モデルの構築【赤外線天文衛星「ASTRO-F」】

平成26年12月に公開した「あかり」遠赤外線全天イメージマップを元に、太陽系内のダストによる赤外線放射「黄道放射」の空間分布モデルの構築を行った。これまでの観測に比べて数倍高い「あかり」の空間解像度を生かし、放射成分に含まれる微細な構造を再現できた。

(Publication of the Astronomical Society of Japan 平成28年2月accepted)

黄道放射は、宇宙からの赤外線放射のうち支配的成分の一つであり、銀河系内あるいは赤外線宇宙背景放射の詳細観測には黄道放射成分の取り除きが重要となる。今回のモデルは、太陽系ダストの研究だけでなく、黄道放射の差し引き残差をこれまでの1/10程度まで低下させることができた。今後、黄道放射成分の取り除きが可能となり、より精度の高い赤外線観測が可能になる。

※図：上図が現在公開中の「あかり」遠赤外線全天マップ。中央付近の水平方向の縞模様が黄道放射成分。
下図が本研究で作成した黄道放射モデルを差し引いたもので、背景の赤外線放射がはっきり見える。

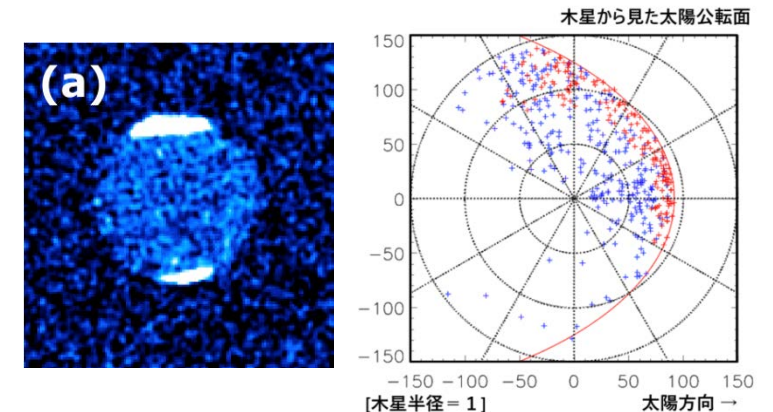


⑦ 木星周辺宇宙空間の理解【惑星分光観測衛星（SPRINT-A）】

欧米の大型X線望遠鏡（XMM-Newton衛星、Chandra衛星）と「ひさき」の同時観測を実現し、X線オーロラの観測を行った。その結果、X線オーロラの発光強度は太陽風の速度と相関を持ち、かつ、その起源は磁気圏の境界層領域にあることが判明した。すなわち、太陽風と木星との相互作用に原因があることを示し、非熱的粒子の成因の解明へ前進した。(Journal of Geophysical Research 平成28年2月accepted)

木星の極域には、地球に比べて3桁も高いエネルギーを持ったイオンが木星大気に降り込み発光させるX線オーロラが知られる。このような高いエネルギーを持った電子の木星磁気圏で生成される物理的メカニズムは、まだ解明されていない。

今後のNASA木星探査機「JUNO」、および「ひとみ」と「ひさき」の共同観測により、木星磁気圏の理解がさらに深まることが期待できる。



(左) : Chandra衛星で観測されたX線オーロラ

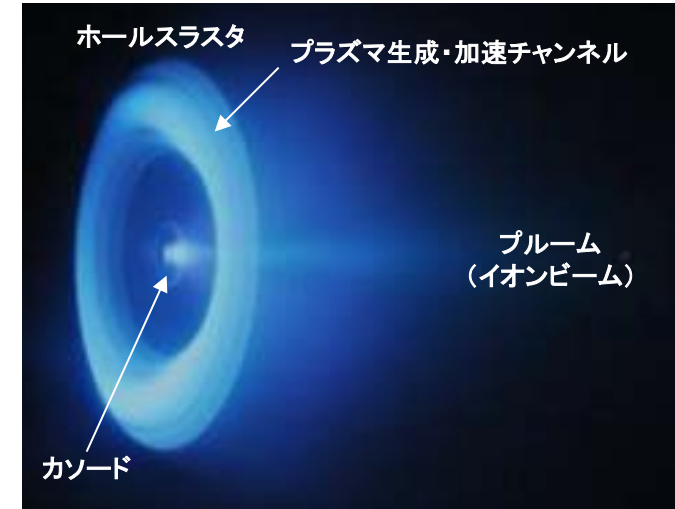
(右) : X線オーロラ発光領域を磁力線モデルで投影した発光起源領域(赤・青色のX印)と木星磁気圏の境界線(赤線)を木星から見た太陽公転面に記した図。同時に、太陽風パラメタへの依存性を求めた。「ひさき」による長時間観測が太陽風への依存性を検証するという研究の形そのものを可能にした。

⑧ 産業・ミッション競争力の強化へ【ホールスラストの研究開発】

大電力ホールスラストヘッドを新規に設計製作し、スラストヘッドへの投入電力5.7[kW]にて、推力383[mN]・比推力1780[s]を**58%の高い効率にて達成**するなど、世界トップクラスの高性能を達成した。今後、このスラストヘッドを大型静止衛星の軌道遷移や惑星探査に適用することで、**機器搭載比率(ペイロード率)を向上させ、産業・ミッション競争力を高めることができる。**(Asian Joint Conference on Propulsion and Power 平成28年3月)

新規製作したスラストヘッドは、他国に比べて幅広いレンジで動作することを目指しており、単位電力あたりの推力に優れた大推力モードや、将来の静止衛星や惑星探査等に求められる高比推力モードなど、様々な用途を1台のスラストヘッドで実現可能であることを実験的に示した。

※ホールスラストは、右画像に示されるように円環状のプラズマ生成・加速チャンネルに半径方向磁場と軸方向電界を印加する際に生じる「ホール電流」を特徴とし、チャンネル内で生成されるキセノンイオンを静電的に加速・噴射することで推力を得る。

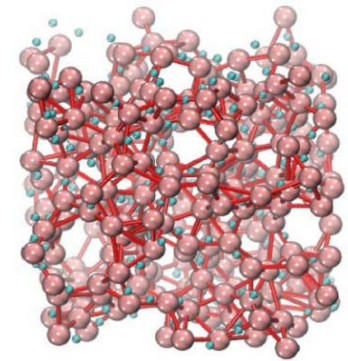
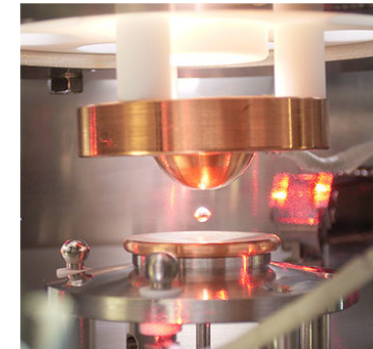


6 kW級ホールスラストの地上試験の様子
(はやぶさ2搭載イオンエンジンの4.5倍の推力)

⑨ 静電浮遊炉利用による溶融ホウ素の電子構造測定に世界で初めて成功

「静電浮遊法」と大型放射光施設 SPring-8を用いて、**溶融したホウ素の電子構造を解明することに成功した。**これにより、これまで理論的には金属ではないかと考えられていたホウ素融体が、実は金属ではなく、半導体的性質を強く持つことを明らかにした。(Physical Review Letters 平成27年4月、JAXAプレスリリース 平成27年4月)

溶融状態のホウ素については、2,000℃を超える高い融点と、ホウ素の融体を保持する容器が存在しないことが障害となり、その性質は良く分かっていなかった。本成果により溶融状態の物性の正確な理解が可能となり、新たな材料開発につながる。



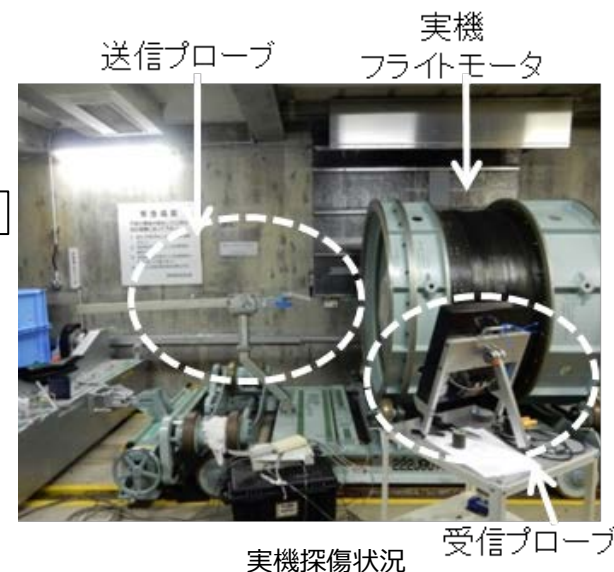
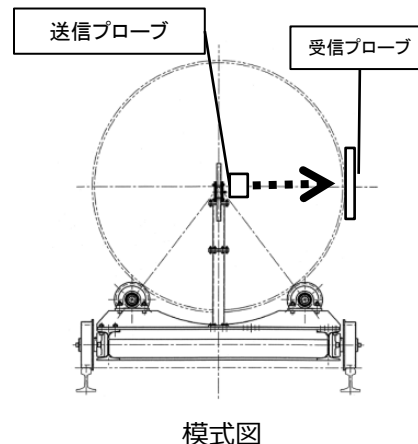
(左) : 静電浮遊法で浮遊する試料
(右) : SPring-8で得られたデータから解析した溶融ホウ素の電子構造

⑩ イブシロンフライトモータの新たな検査技術の実現【イブシロンロケットの研究】

実機3段フライトモータの品質保証を、従来の放射線透過試験に代わり、初めて超音波探傷試験により実施した。これにより、**大型設備の維持・更新が不要となるとともに、試験時間が従来の2/3に削減された。**（安全・安心な社会を築く先進材料・非破壊計測技術シンポジウム 平成28年3月）

固体ロケットモータは実機による作動試験が困難であり、これまで放射線透過試験により品質保証を行ってきたが、それには大型設備と多くの検査過程が必要だった。

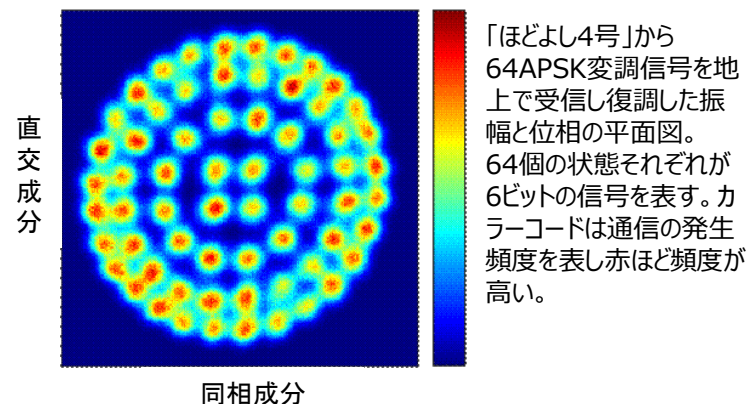
超音波探傷試験による品質保証は、推進薬という超音波を透過しにくい試験体を深傷するための技術の積み重ねで実現したものである。今後イブシロンロケット3号機以降は、2、3段モータすべてに新規開発の品質保証方法を適用する計画である。



⑪ 小型衛星を用いた高速テレメトリ伝送で世界最高速度を達成

衛星からの高速データ通信に関して、東京大学の「ほどよし4号」衛星とISASの3.8mアンテナとの間で、「64APSK変調」という方式で通信できることを実証し、**100kg以下の超小型衛星としては世界最高の通信速度を達成した。**このデータ通信方式は静止衛星では使用実績あるが、ドップラ周波数シフトが大きい地球周回衛星で実証したのは世界で初めてである。（東京大学プレスリリース平成27年9月3日、第59回宇宙科学技術連合講演会 平成27年10月）

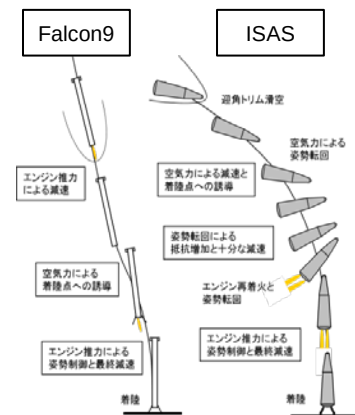
従来、超小型衛星は衛星能力に制約があることから、本格的な観測などには不向きであると考えられていた。しかし今回、「64APSK変調」という方式を用いて505メガビットでデータ伝送を行う方式を開発し、データ伝送量のハンデキャップを克服できることを示した。



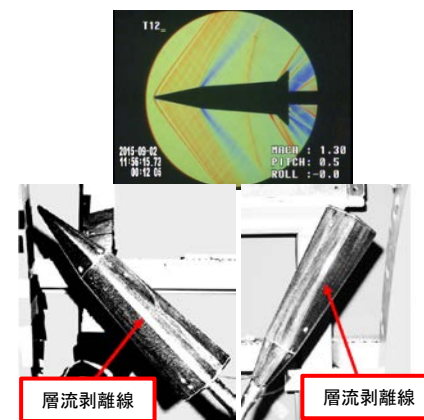
⑫ 燃料消費を最小限に抑えた再使用システムの開発【再使用観測ロケットの研究】

再使用観測ロケットの実現に向け、燃料消費を最小に抑えた帰還着陸方式を考案。最適制御シミュレーションを用いて帰還時の推進剤消費量を比較し、空気を最大限に利用して十分な減速を得ることで**帰還飛行における燃料消費を最小限に抑えることができる可能性**を示した。（平成27年度宇宙航行の力学シンポジウム 平成27年12月）

米国の民間企業が開発したロケット「Falcon9」は、主にエンジン推力を用いて減速および着陸地点への誘導を行うため、多くの推進剤を消費する。本研究では着陸に必要な推進剤を最小限とする宇宙輸送システムの飛行方式を考え、風洞試験により帰還飛行における空力特性データを取得して着陸前の姿勢運動を解析した。



エンジンと空気力による減速帰還飛行方式の違い

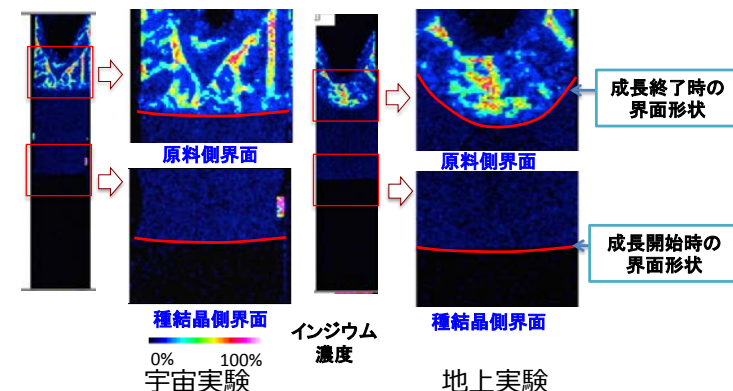


風洞試験による空力特性の取得

⑬ 「きぼう」利用による化合物半導体結晶成長の新たな可能性発見

「きぼう」搭載の温度勾配炉を用いた化合物半導体結晶成長実験後の試料を分析した結果、**結晶成長プロセスにおいて、対流を強く抑制すれば、結晶の高品質化及び成長の高速化が起こる可能性**を示した。特に成長の高速化は、微小重力環境では物質が拡散のみで輸送されるので、**地上に比べて結晶の成長速度が遅くなるはずという従来の一般的考えでは説明できない現象**である。（npj Microgravity 平成27年8月）

地上に比べて微小重力環境では、得られた結晶中の成分濃度がより均一化し、欠陥が少なくなるなど高品質化が起こり（右図）、加えて結晶の成長が速くなることを見出した。この成果は、**地上では困難とされる赤外線素子用高品質バルク半導体結晶の育成技術開発へ向けて、大きな手掛かりを与えるものである。**



【2】他の主な研究成果

- ① 銀河団や銀河の進化には、暗黒物質が重要な役割を果たしている。今回、現在軌道上を運用中のX線天文衛星の中で最も感度が高い「すざく」の9年間の観測から、187視野実観測時間で8750時間（約1年分）のデータを抜き出し、銀河起源の放射、非X線バックグラウンドをモデル化し、0.5-7 keVという領域でこれまでで最も厳しい暗黒物質からのX線輝線放射の上限値を得た。
(Publications of the Astronomical Society of Japan 平成27年9月) <宇宙物理学研究系>
- ② 国立天文台「すばる望遠鏡」に搭載された超広視野主焦点 (HSC)等を用いて、従来は観測が困難だった超大光度の塵に覆われた銀河 (Dust Obscured Galaxy; DOG) の探査を実施。その結果、超大光度DOGを新たに 48 個発見した。見つかった銀河の赤外線光度は太陽の10兆倍以上になると推定され、可視～赤外スペクトルの特徴から、銀河の中心部には超巨大ブラックホールが存在すると考えられる。本研究は、日本、台湾、プリンストン大学等の研究者が参加する国際プロジェクトにおける初の科学成果である。
(Publications of the Astronomical Society of Japan 平成27年10月すばる特集号、国立天文台プレスリリース 平成27年8月26日 (ハワイ現地時間)) <宇宙物理学研究系>
- ③ 従来の遠赤外線画像センサの問題点であった、ゲルマニウム製のセンサ部とシリコン製の読み出し集積回路 (ROIC) 部との熱膨張係数の差に起因する冷却サイクルに対する脆弱性を、常温活性ウエハ接合技術を用いてセンサ部をシリコン支持基板と一体化することで解決した。すでに開発済みの極低温・極低消費電力動作が可能なFD-SOI CMOS ROICと組み合わせることで、遠赤外線でも近中間赤外線と同様に多画素画像センサチップの開発が可能となる。平成29年度を目標に、遠赤外線では世界最多となる32x32の画素センサチップを開発中。
(Journal of Low Temperature Physics 電子版 平成28年2月) <宇宙物理学研究系>
- ③ 月の内部構造は、月の起源と進化を理解する重要な鍵である。本研究では、アポロ月震データと最新のGRAILによる測月データとを組み合わせることで月の内部構造を推定し、その結果、従来考えられていたより、マントル下部の軟らかい層がより厚く、その密度がより大きいことを示した。この密度は、チタンを多く含む玄武岩とよく似ている。月の進化初期段階でチタンが多く含まれる層がマントルの上部に作られた後に、マントル層構造が反転した可能性が指摘されてきたが、本研究の結果は、この仮説を支持するものである。
(Geophysical Research Letters 平成27年9月) <太陽系科学研究系>
- ④ 平成27年12月にイプシロンロケット第二段モータの真空燃焼試験を実施し、性能確認に十分なデータを得ることができた。本試験成功は、事前の綿密な技術検討と高度な設計手法を用い、各種機能試験を積み重ねることで、大がかりな設備増設なく、低予算で実現することができた。この成果は、大規模な燃焼試験の安全性・信頼性向上に貢献するものである。

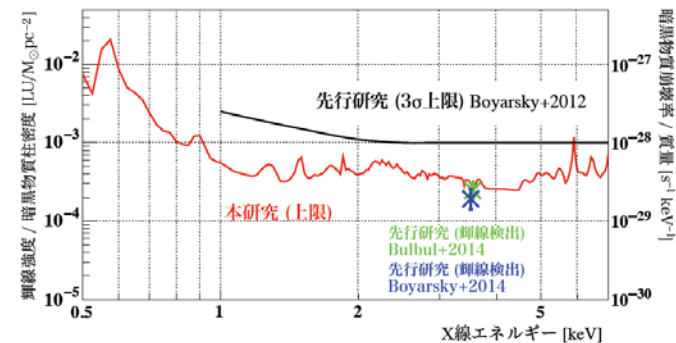


図: 赤線が我々の感度、黒線がこれまでの上限値 (①)

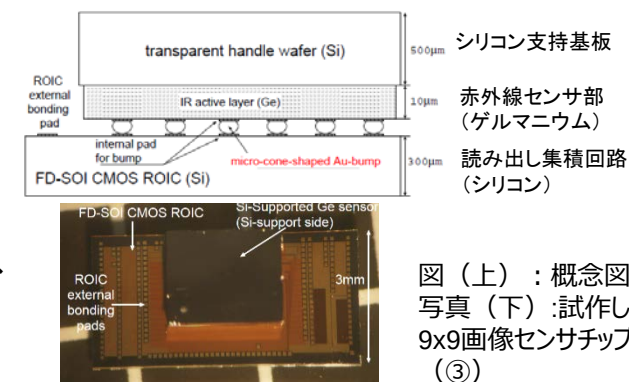


図 (上): 概念図
写真 (下): 試作した
9x9画像センサチップ
(③)

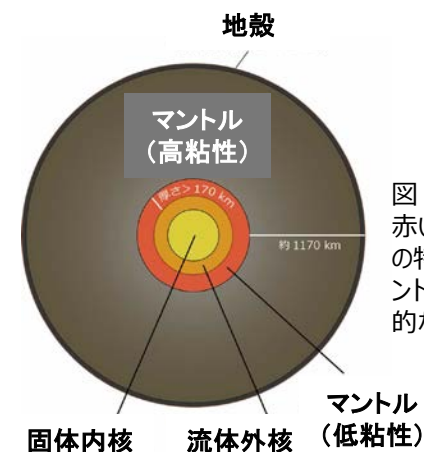


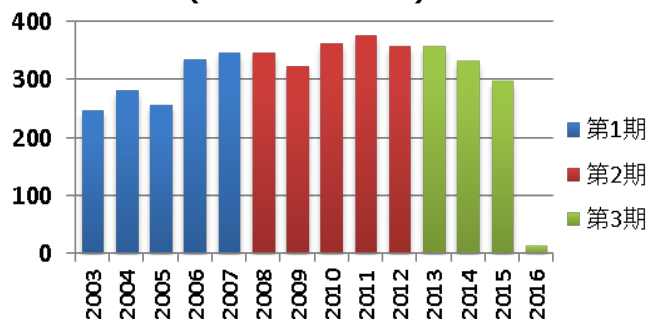
図: コアの外側にある
赤い部分が、今回、その
特性が決定されたマ
ントル下部にある流
体的な層。(④)

【3】平成27年度 研究成果の発表状況等

	実績	備考
1.今年度の研究成果		
(1)査読付き学術誌掲載論文	298編(平成27年)	Web of Science調べ(参考1)
(2)ISAS衛星を使った論文の学術誌掲載	Science 0編 / Nature 1編(平成27年度)	Web of Science調べ(参考1)
(3)学術賞受賞	H27.5 2015 O'Ceallaigh Medal* H27.8 流体科学研究賞 H28.3 日本天文学会欧文研究報告論文賞 H28.3 ゴールドメダル賞(読売テクノ・フォーラム) 等	* 国際純粋・応用物理学連合(IUPAP)
2.高被引用論文数	51編(平成28年3月現在)	Web of Science調べ(参考2)
3.国際共著率	研究分野平均 52%(平成15年度-27年度)	(参考3)
4.外部資金獲得額※	約13.6億円	(参考4)
5.学位取得者数	63名(修士51名、博士12名)	(参考6)

※FY26 JST先端計測分析技術・機器開発プログラムにおける開発課題「革新的超広角高感度ガンマ線可視化装置の開発」について、事後評価の結果、「**S評価**」(最高評価)を獲得した。達成目標を全て達成するだけでなく、短期間で達成し、製作した超広角コンプトンカメラが実用的な観点からも現存する測定器の中で最も期待できる装置であることが高く評価された。

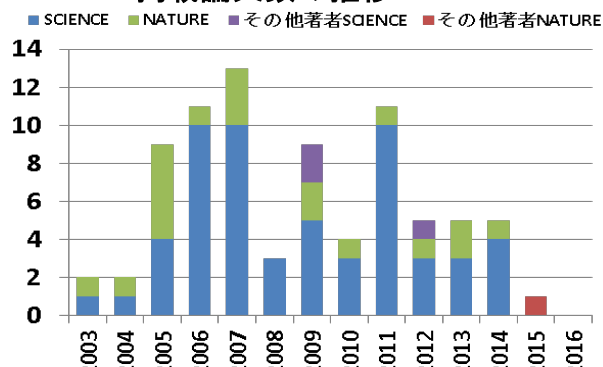
(参考1) ■ 論文数の推移(注1)
Number of papers
(Web of Science)



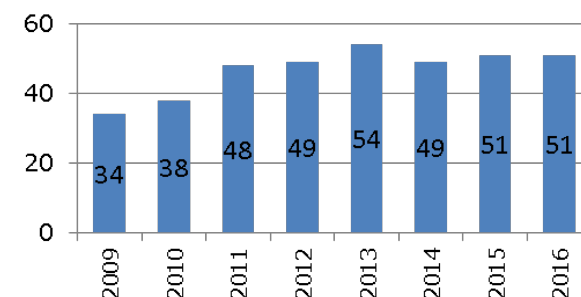
(注1) ISASの研究者を共著者に含む論文の中で、Web Of Science(WOS)が調査の対象としている学術誌に掲載された論文のみの数。従って、全査読付き論文数よりも少ない。また、集計は年度ではなく暦年。(平成28年3月末現在)

(注2)「その他の著者」とは、ISASの研究者を主著者または共著者に含まないものを指す。

■ Science及びNature
掲載論文数の推移(注2)



(参考2) ■ 高被引用論文数の推移(注3,4)
(Web of Science)



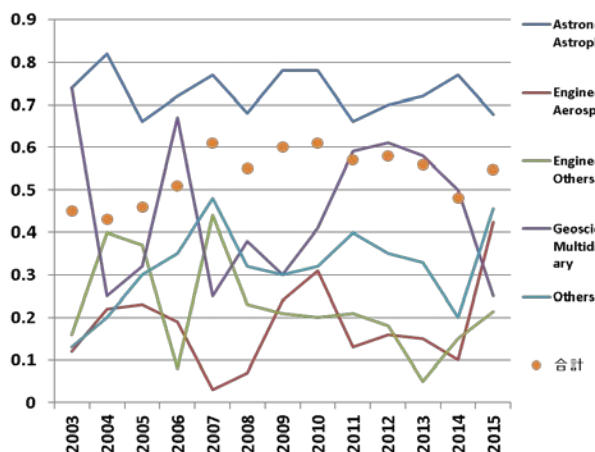
(注3) 文系を含む全学術領域を22分野に分け、分野および出版年毎に分けたサブグループ毎に引用数を順位化し、上位1%に入る論文の数。対象は過去10年に出版された論文。

(注4) 調査対象は、平成28年3月1日に更新されたESIデータに基づく、平成18年1月1日～平成27年12月31日までに出版された論文。また、集計は年度ではなく暦年。(2016年3月現在)

研究分野別の国際共著率の推移

(出版年:平成15年～平成27年)

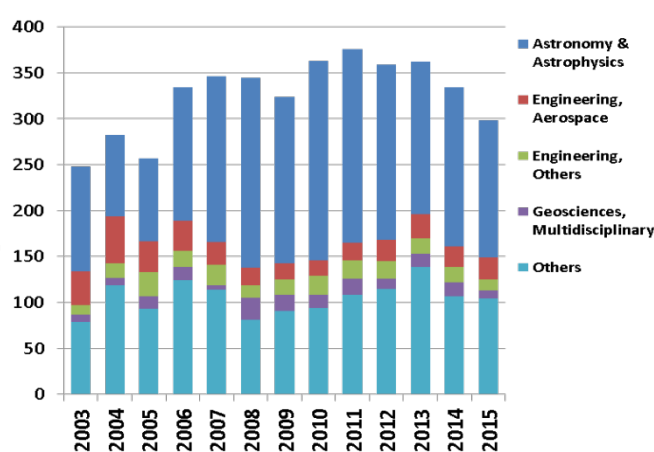
特に天文学分野において、高い国際共著率を維持している。



- 研究分野: Astronomy&Astrophysics(宇宙物理・天文学)、Engineering,Aerospace(宇宙工学)、Engineering,Others(その他の工学)、Geosciences,Multidisciplinary(地球・惑星科学)
- 打上げ実績: 2003年はやぶさ/2005年すざく、あかり、れいめい/2006年ひので/2007年かぐや/2010年あかつき

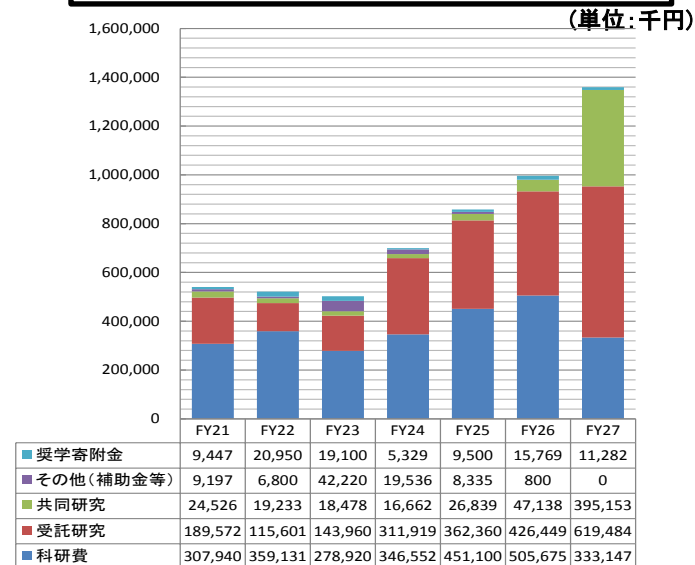
研究分野別の論文数の推移

(出版年:平成15年～平成27年)



外部資金獲得状況 (FY21～FY27)

内閣府ImPACT関連等の受託研究費や共同研究費の獲得額が大幅に増加した。



- 受託研究には、科学技術振興機構(JST)の競争的資金制度含む

ISAS衛星の生み出した論文数(平成27年 著者地域別分析)

(平成27年12月初旬 Web of Science調べ)

宇宙科学研究所(ISAS)の衛星に関連する論文(注5)は、ISAS主著・共著の論文に比べて、ISAS外の機関から非常に多く出版されている。
これは、ISAS衛星が広く世界の科学的成果の創出へ貢献していることを示す。

(注5) 検索対象:トピックまたは謝辞に衛星プロジェクト名の記載がある論文。非査読論文も含む。

- ISAS衛星関連論文: ISAS衛星に関連した論文。調査対象としたISAS衛星は、19衛星等プロジェクト(あかり、あかつき、あけぼの、Geotail、はやぶさ、はやぶさ2、ひので、ひさき、IKAROS、かぐや、れいめい、すざく、ようこう、ひとみ、BepiColombo、SELENE-2、SPICA、ERG)。
- 使用データベース: Web of Science Core Collection
- 論文出版年度/検索対象: 1981年～2015年(右表は2015年のデータ)

2015年論文数 437	ISAS主著	23		
	ISAS共著	50	機関(降順)	
			Nagoya University	5
			Seoul National University	4
			Waseda University	3
			Tokyo Institute of Technology	3
			その他	35
	その他	364	地域別(降順)	
			中国科学アカデミー	20
			NASA	10
			ロシア科学アカデミー	7
			京都大学	7
			その他	320

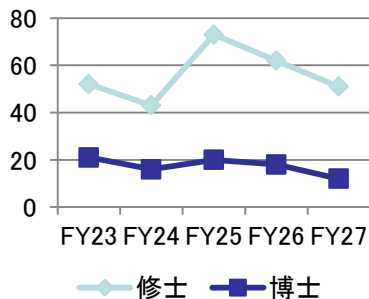
(参考6) ISAS 学位取得者状況

大学院生に実践的な研究現場を提供し、人材育成、技術者養成に着実に貢献している。

■ 学位取得状況

学位取得年度	平成25年度			平成26年度			平成27年度		
	修士	博士	小計	修士	博士	小計	修士	博士	小計
総合研究大学院大学	1	10	11	2	2	4	0	2	2
東京大学大学院	38	8	46	24	9	33	31	6	37
特別共同利用研究員	24	1	25	29	5	34	15	3	18
連携大学院	10	1	11	7	2	9	5	1	6
計	73	20	93	62	18	80	51	12	63

学位取得者人数推移



■ 学位取得者の進路

● 修士課程総数 51名

- 進学 11名 (博士課程進学 11名)
- 就職 39名
 - 一宇宙分野 8名
 - ・ 公共機関 3名 (JAXA)
 - ・ 民間企業 5名 (三菱重工業、富士重工業、他)
 - 一非宇宙分野 31名
 - ・ 民間企業 31名 (トヨタ自動車、丸紅(株)、他)
- その他 1名

● 博士課程総数 12名

- 就職 12名
 - 一宇宙分野 10名
 - ・ 公共機関 9名 (JAXA、他)
 - ・ 民間企業 1名
 - 一非宇宙分野 2名
 - ・ 民間企業 2名 ((株)東芝、他)

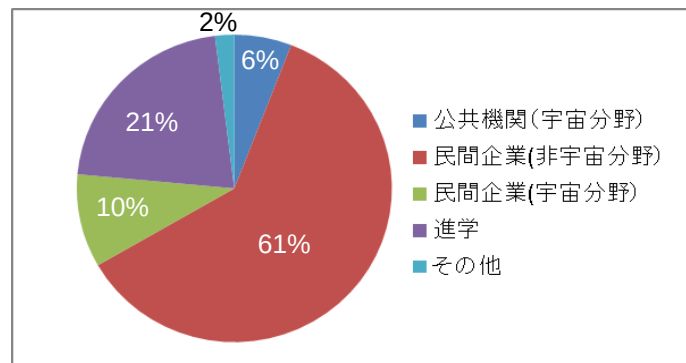
■ ポスドク研究員の在籍者数

JAXAプロジェクト研究員 30名

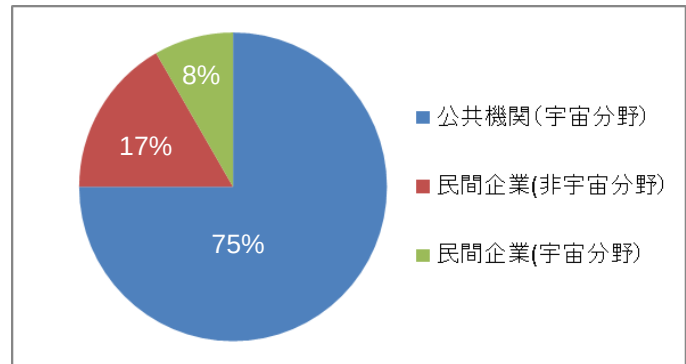
日本人26名(うち女性8名)
外国人 4名(うち女性1名)

日本学術振興会研究員 5名(うち女性0名)

修士



博士



① 大学共同利用システムを基本とした研究

(b) 最先端の研究成果が持続的に創出される環境の構築・運営

宇宙科学研究所を中心とした宇宙科学コミュニティにおいて、最先端の研究成果が持続的に創出されることを目指して、国際ナショナルトップヤングフェローシップの更なる推進、設置済みの大学連携拠点の運営、新たな大学連携拠点の設置検討、大学研究者や外国人研究者の受入環境改善の取り組みなど、環境構築を進める。

実績:

- ① 平成25年に設置した名古屋大学太陽地球環境研究所ERGサイエンスセンターに加え、理工連携による太陽系探査の戦略的な策定に寄与し、「宇宙科学・探査ロードマップ」を具体化する活動を推進することを目的とした**新たな大学共同利用連携拠点を公募**を経て選定し、**東京大学(超小型探査機開発拠点)及び神戸大学(惑星科学研究センター)**とそれぞれ協定を締結し、ISASと大学側で双方から資金を出し合い、日本全体として宇宙科学ミッションの創出と人材育成に取り組んでいる。
- ② ISASのサンプルリターン計画を地球外生命探査というより広い枠組みに位置づけ成果の最大化を図るため、東京工業大学・地球生命研究所(ELSI)との間で、連携協定を締結した。更に、アーカイブデータを活用した太陽系科学の推進に向けて、会津大学との間でも協定の締結を行った。
- ③ 国際ナショナルトップヤングフェローシップ制度について、新規フェローの採用選考を実施し、新たに2名の採用を決定した。世界の一線で活躍する優れた国内外の若手研究者を招聘することで、我が国の科学水準の更なる向上を目指す。
- ④ 宇宙科学研究所の教育職職員が、学術研究、プロジェクト、研究所運営、大学院教育などに総合的に取り組み、優れた成果を創出することができるよう所要の環境を整えた。具体的には、研究開発部門との連携強化や研究系の役割見直しを含む組織の大幅な見直し、教育職の総合的な考課を可能とする人事制度の導入、裁量労働制の導入を実施するとともに、女性・外国人の教育職職員の公募、クロスアポイント制度の導入、リサーチアドミニストレータの採用等の新たな取り組みにより優秀な人材を確保した。

(c) 大学共同利用システムの運営

- 個々の大学等では実行困難な規模の研究事業を実施し、全国の大学その他の研究機関の研究者に研究資源やインフラ、共同研究の実施などの大学共同利用の機能を実現するため、競争的環境を維持しつつ研究者コミュニティの意思決定を尊重して大学共同利用システムを運用する。
- 宇宙科学研究の中核拠点として大学等の研究者が十分活用できる場となるよう、大学共同利用システムの利便性を強化し、大学共同利用システムに参加する研究者(大学共同利用システム研究員)数を延べ400人以上とする。
- 研究成果の発表を通じて宇宙科学研究における学術研究の進展に寄与するため、シンポジウム等を20件以上開催する。

実績:

- ① ボトムアップを基本として、ミッションを創出する仕組みとして、宇宙理学委員会、宇宙工学委員会等の運営を行った。(採択研究件数:宇宙理学委員会25件、宇宙工学委員会24件、宇宙環境利用科学委員会7件等。)
- ② 大学共同利用システムに参加する研究者は延べ890人であった。(延べ400人を達成)
- ③ 大学等と共同で21件のシンポジウムを開催した。(20件以上を達成)(宇宙科学シンポジウム、宇宙環境利用シンポジウム等)

(参考) 大学共同利用システムの運営 <宇宙理学委員会>

戦略的開発研究の成果概要

目的:プロジェクトの準備段階であるWGが、ミッション提案へと進む上での障害となる技術課題を解決するための研究開発を行う。WGを対象に研究提案を公募し、審査を経て研究資金を配分、成果報告書はコミュニティで共有される。

実績と効果:成果の代表例は以下のとおり。

- ① 超広視野初期宇宙探査衛星(WISH)について、主鏡保持機構の低温光学試験を進めた。
- ② 太陽観測衛星Solar-Cについて、望遠鏡口径を1.4mから1mへと低減し、また、データ伝送方式の検討を行った。
- ③ 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測のためのLiteBIRDについて、低温下で超高感度のマイクロ波センサを稼働させる技術検討を行い、ミッション提案を行った。さらに、光学系設計、サイドロープ評価を進める等のフロントローディングを行った。
- ④ 火星大気散逸ミッションについて、中型計画規模に加え小型計画での実現性を検討した。
- ⑤ 位置天文学のための小型JASMINE衛星について、アライメント変動、鏡面精度変動について検討し、成立性検討を行った。
- ⑥ ESAの大型X線天文衛星Athenaに向けて、冷凍機システムのEM開発をミッション横断活動(CC-CTP)として定義し、2段スターリング冷凍機のEM開発について、長寿命化、低擾乱化を進めた。
- ⑦ 系外惑星研究のために、NASAのWFIRST-AFTA衛星に搭載する高効率な偏光観測装置の開発を行った。
- ⑧ NASA・GSFCと共同提案したX線偏光観測計画PRAXySについて、ガス電子増幅フォイルの試作を行った。
- ⑨ 火星表面探査車に搭載することを想定する生命探査顕微鏡に関して、蛍光減衰時定数計測による細胞・有機物・鉱物の識別原理実証を行った。

搭載機器基礎開発研究の成果概要

目的:創造的な宇宙科学ミッションを実現するために、そのアイディアのコアとなる搭載機器の萌芽的研究を行う。研究班員を対象に研究提案を公募し、審査を経て研究資金を配分、成果報告書はコミュニティで共有される。

実績と効果:成果の代表例は以下のとおり。

- ① 気球実験による反粒子宇宙線観測(GAPS)に必要な自励振動ヒートパイプの大型化、配管立体化において、GAPSで活用する上で解決すべき課題の原因となった物理現象をモデル計算から把握し、試験モデルの開発へとつなげた。
- ② 宇宙空間中の電磁波スペクトルを観測する波動観測機のアナログ部をチップ化し、小型化されたシステム全体の性能評価を行った。
- ③ 赤外線宇宙背景放射の分光観測に限られたリソースにおいても実現するため、近・中赤外用の線形可変フィルタ(LVF)を開発した。
- ④ レーザで試料を揮発させ分光によって元素組成同定を行うLIBSについて、K-Ar年代「その場」測定を目指し真空紫外領域におけるレーザプラズマ分光実験を行った。
- ⑤ 宇宙空間における天体・惑星観測のための放射線耐久性に優れた長寿命極端紫外光検出器を、CMOSイメージセンサの前段に極端紫外線にも感度のある増幅器を配置することで試作した。

これらの活動は将来のミッションを生み出すためのものであるが、その中間成果として、学会発表45件以上、学術論文5編、その他報告書2編が発表された。

(参考) 大学共同利用システムの運営 <宇宙工学委員会>

戦略的開発研究の成果概要

目的: 将来の工学ミッション提案(科学衛星、飛翔体)や科学衛星や飛翔体・宇宙輸送システムの革新を目指した要素技術研究を実施。

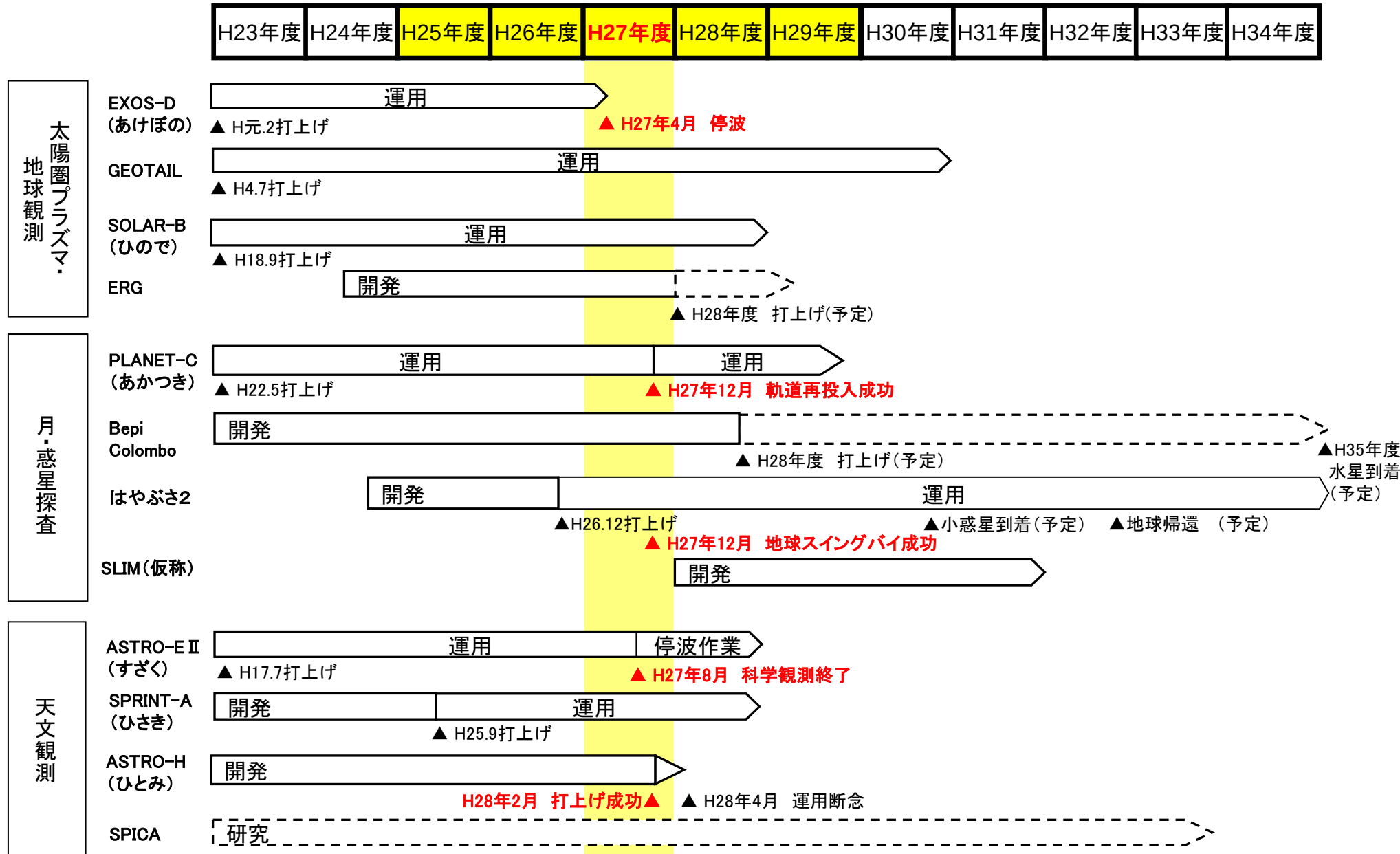
実績と効果:

外部発表の実績は、学術論文62件、国際学会発表172件、国内学会発表302件、受賞9件、招待講演9件、特許5件、著書1件、その他(プレスリリース等)30件。

代表例は以下のとおり。

- ① ソーラセイルWGでは、次期中型計画に提案しているソーラー電力セイル探査機による外惑星領域探査の実証ミッションの計画の精査と技術要素の開発研究をすすめ、次フェーズ(Phase-A1)に移行できる状況とした。
- ② 深宇宙探査機技術の研究WGでは、はやぶさの2倍の航行能力を持ち、惑星間のみならず重力天体周辺での多周回軌道遷移にも適用でき、コンパクトなアビオニクスを搭載する高性能電気推進宇宙機と、分離・回収可能な超小型探査機とが連携して流星群母天体である太陽系始原天体の先進的フライバイ探査を行う工学・理学連携ミッションDestiny+を公募型小型計画に提案した。
- ③ 多偏波合成開口レーダ(SAR)の革新的小型化の研究では、100kg程度のピギーバック打ち上げが可能な小型衛星に搭載できる合成開口レーダ開発の目途付けができ、内閣府の革新的研究開発プログラムImPACT計画に採択された。平成27-30年度に実証モデルを開発する計画。また、ほどよし4衛星で地球周回としては世界初となる64APSK変調、505Mbpsの高速通信を実証した。
- ④ 柔軟構造体を利用した先進的大気圏突入飛翔体の研究開発WGでは、大学とISASの連携により展開型飛翔体という独創的なアイデアを成長させて直径0.8m柔軟エアロシェルを開発し、測風気球を利用した事前実証試験に成功し、超小型惑星探査用大気圏突入ミッションへの大きな可能性を示すことができた。
- ⑤ 先進的固体ロケットシステム技術実証WGでは、将来のイプシロンロケットの高度化を目標に、イプシロン2号機3段モータで超音波試験法を確立、時間短縮で品質保証を実施。2段地燃モータで、超音波試験及び放射線試験(γ線)を試行、コンティンジェンシー対応と次期SRBへ適用可能性が開けた。また、高エネルギー物質原料の低コスト合成手法の研究の一環として、アンモニウムジニトラミドの合成に代替アルコールが適用可能であることを確認し、合成に要する時間70%減、原料コスト15%減となる可能性を見出した。
- ⑥ ハイブリッドロケットの研究WGでは、独自のA-SOFT境界層燃焼型ハイブリッドロケットの飛翔実証実験のミッション要求/システム仕様・開発体制・リスク・プロジェクト計画を明らかにし、小規模プロジェクトに提案するための準備を整えた。
- ⑦ れいめい衛星に搭載されたりチウムイオン電池の宇宙環境における劣化特性の取得やIKAROS長期運用によるソーラーセイルの運動特性取得・運用技術の向上等、ミッションを終了した宇宙機を使うことで、少ないリソースにより効果的な成果創出が行われた。

マイルストーン（※年度別の事業内容については、今後の予算等の状況により変更がありうる。）



ア. 科学衛星・探査機の研究開発・運用

(a) 以下の科学衛星の運用等を行う

■ 金星探査機(PLANET-C)の金星周回軌道への再投入に向けた着実な運用、再投入の実行

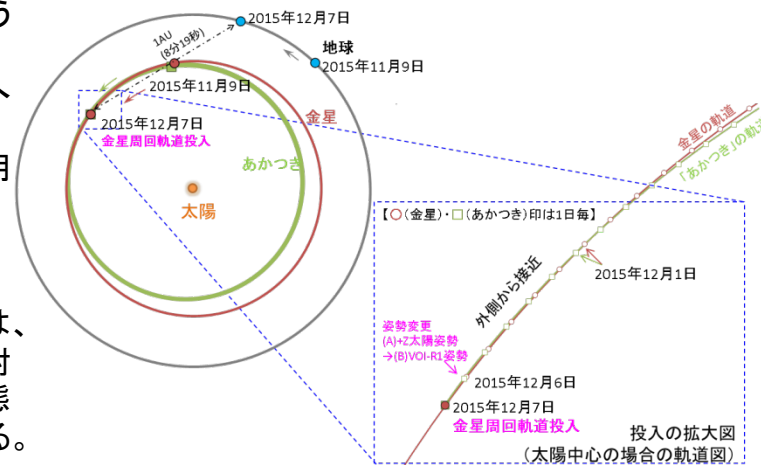
実績:

- ① 金星周回軌道への投入を確実に実行するため、平成27年7月から軌道の微修正を行うとともに、姿勢制御用スラスターの性能確認を行った。
- ② ★ 平成27年12月7日に姿勢制御用エンジン噴射を計画どおり実施し、金星周回軌道への投入に成功した。その後平成28年から始まる観測運用の為、機器調整を続けている。
- ③ 軌道投入後、探査機温度や観測機器の状況を確認し、平成28年度初めに定常的な運用を始める見通しが得られた。

効果:

- ① 平成27年度査読付き論文数:1編 / 査読付き論文の累計数:18編
- ② メインエンジンを損傷し軌道投入に失敗した探査機が、改めて軌道投入に成功したのは、世界で初めてのことである。軌道投入失敗から5年の間、設計条件以上の熱環境への対策や、再び訪れる軌道投入機会に向けた10万通りを超える軌道計算等、想定外の事態へ慎重な対応を行った。この貴重な経験は、今後の探査機運用に生かされるものである。
- ③ 衆・参議院本会議における安倍総理の施政方針演説の中で言及された。また、読売テクノロジーフォーラムより、ゴールドメダル賞(特別賞)を受賞した。

★:【1】特筆すべき研究成果に掲載したもの



金星周回軌道投入時の軌道図(太陽中心)

■ 小惑星探査機(はやぶさ2)の小惑星到達を目指した着実な運用

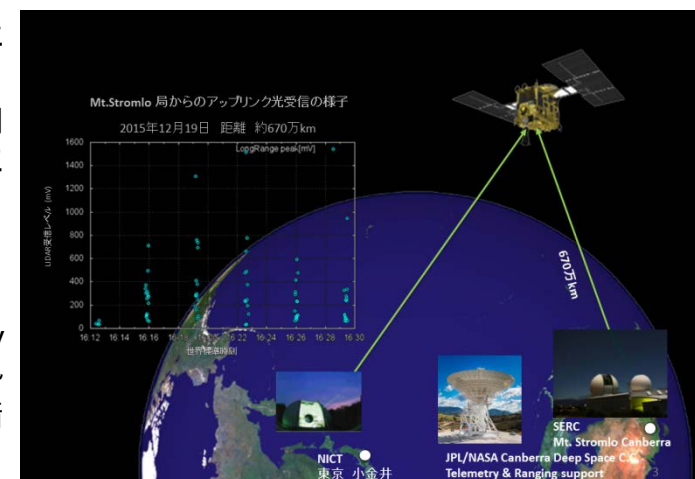
実績:

- ① ★ 平成27年12月3日、地球スイングバイに成功。探査機の状態は正常で、目標軌道を順調に航行していることを確認した。最終的な軌道誘導精度は約300mで、十分高い精度を達成した。
- ② 小惑星へのタッチダウンにおいて、距離を計測する際に使われるレーザー高度計「LIDAR」を用いて、探査機-地球間での光リンク実験を実施した。LIDAR開発に携わった千葉工業大学、国立天文台、情報通信研究機構に加え、豪州宇宙環境研究センターの協力のもとで実施した。

効果:

- ① 平成27年度査読付き論文数:12編 / 査読付き論文の累計数:40編
- ② LIDARによる光リンク実験の結果、タッチダウン運用に必要なLIDARの健全性を確認し、1Way(片道)の光リンク確立に成功した。惑星探査機との光リンク確立には、精密な軌道予測と姿勢制御が必要であり、希少な実験成功例である。この成果は、将来の深宇宙レーザ測距と高精度軌道決定に向けた技術蓄積となる。

★:【1】特筆すべき研究成果に掲載したもの



LIDAR光リンク実験の図

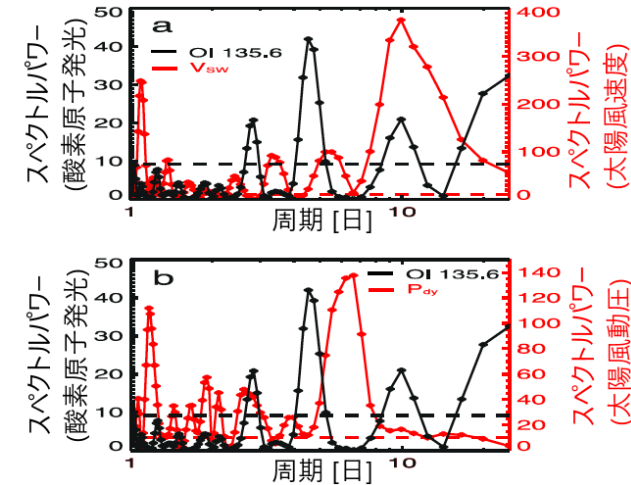
■ 惑星分光観測衛星 (SPRINT-A) の運用、及び金星や火星、木星などの遠隔観測

実績:

- ① 木星、金星等の惑星科学観測を実施するとともに、惑星観測好機ではない期間を利用して、極端紫外線分光観測という特長を生かした銀河団や超新星残骸などの天体観測を実施した。
- ② X線観測衛星 (Chandra、XMM-Newton、すざく) との木星協調観測を実施した。

効果:

- ① 平成27年度査読付き論文数:5編 / 査読付き論文の累計数:14編
- ② 観測成果が国内外共に注目されており、地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 等、国内外での学会・シンポジウムでSPRINT-A特別セッションや特別分科会が開催された。
- ③ 朝側の金星電離圏発光について長期間にわたる観測により周期的変化を初めて捉えた。この周期は太陽風変動周期とは独立したものであることを示し、金星環境での電離圏と下層中性大気の運動量輸送等の物理的関連性を議論するうえで重要な結果である。 (*J. Geophys. Res.* 平成27年12月)



金星電離圏の変動 (黒) と太陽風変動 (赤) の周期の違い。スペクトルパワーは、ある周期の変動の強さを表す。

■ 太陽観測衛星 (SOLAR-B) の運用、及び国際コミュニティに開かれた軌道天文台としての太陽観測

実績:

- ① 世界に開かれた軌道上天文台として、NASAのIRIS衛星と連携した観測を定常的にを行い、国際コミュニティから観測提案22件を採択した。
- ② 「フレア」と呼ばれる太陽大気中で起こる爆発を最重点の観測ターゲットにおき、太陽表面の精密磁場観測やEUV/X線でのプラズマの診断を行った。

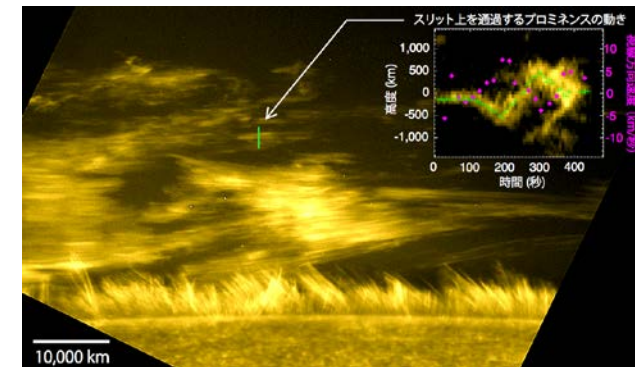
効果:

- ① 平成27年度査読付き論文数:90編 / 査読付き論文の累計数:981編 (平成27年12月時点)
- ② ★「ひので」可視光磁場望遠鏡-IRISの連携観測から、彩層プロミネンス構造の3次元的運動を初めて可視化。数値シミュレーションとの比較により、太陽コロナ構造で起きたエネルギー熱化の現場を初めてとらえた。これは、コロナ加熱問題の解明上重要な示唆を与える。 (*The Astrophysical Journal* 平成27年8月)
- ③ 「ひので」観測データを世界へ完全公開していることで、全世界における科学的成果創出への貢献度は依然として高い。

例) X線望遠鏡を用いた、X線ジェットの新たな形成機構の発見 (米国) (*Nature* 平成27年7月)

EUV分光撮像装置を用いた、低速太陽風源の候補の特定 (米国) (*Nature Comm.* 平成27年1月)

★: [1] 特筆すべき研究成果に掲載したもの



可視光磁場望遠鏡が観測したプロミネンスと(右上グラフ)微細な構造の3次元的運動

■ 磁気圏観測衛星 (EXOS-D) の運用、及び放射線帯・プラズマ圏及び極域磁気圏の粒子・磁場等の直接観測

実績:

- ① 放射線帯・プラズマ圏の粒子・プラズマ波動を中心とした観測を行ったが、多くの観測機器の放射線劣化による観測停止等の状況から、平成27年4月23日に停波し、26年2ヶ月という長期間の運用を終了した。

効果:

- ① 平成27年度査読付き論文数:4編 / 査読付き論文の累計数:316編 (平成28年3月時点)
- ② これまでにオーロラ粒子加速域の多様なデータを取得し、地球電離層がオーロラ現象を支配することを発見する等、ミッション目的に沿った成果を上げた。また、長期運用に伴ってさらにミッション目的を追加し、ヴァン・アレン帯の長周期変動を観測する等、当初目的以上の成果を上げた。大学院生による衛星運用への参加等、人材育成に貢献した。今後、平成28年度中に貴重な長期観測データをデータベース化する予定。



4月23日停波作業実施直後の管制室の様子

■ 磁気圏尾部観測衛星 (GEOTAIL) の運用、及び地球近傍の磁気圏尾部のプラズマの直接観測

実績:

- ① 磁気リコネクションの解明等を目的として、NASAのMMS衛星 (平成27年3月12日打上げ) との共同観測を開始した。磁気圏界面での磁気リコネクションの同時観測データを取得することに成功した。
- ② 打ち上げ (平成4年7月) から23年経過し、地球周辺の太陽活動周期 (約11年) の2周期を超えて均質な外部磁気圏の観測データを取得した。データ受信は日米双方で行われており、観測データは世界の研究者に広く公開している。観測データを用いた国際的な共同研究と科学的成果の創出を期待できる。

効果:

- ① 平成27年度査読付き論文数:30編 / 査読付き論文の累計数:1150編
- ② 地球磁気圏尾部における20年間の観測データを用いて、リコネクション中心部での粒子ダイナミクスの解明と磁気中性線の長さの推定に成功した。これはGEOTAILの長期にわたる観測データを活かした貴重な成果である。(Journal of Geophysical Research 平成27年10月)

■ X線天文衛星 (ASTRO-E II) の運用、及び国際公募によるブラックホール、銀河団など宇宙の超高温、極限状態のX線観測

実績:

- ① 第10期国際公募観測を実施したが、平成27年6月から衛星との通信が間欠的にしか確立できない状態が続いた。その後、復旧運用を行ったが、通信、バッテリー、及び姿勢制御の状況から、科学観測を終了することとした (8月26日)。今後、運用終了に向けた作業を実施する。5月末までの2ヶ月間の国際公募観測の観測数は約33件。

★:【1】特筆すべき研究成果に掲載したもの

効果:

- ① 平成27年度査読付き論文数:65編 (平成27年4月~9月の半年) / 査読付き論文の累計数:828編 (平成27年年9月末まで)
- ② ★ X線天文衛星 (ASTRO-E II) を用いて、おとめ座銀河団の長時間観測を実施した。このデータ解析により、鉄、マグネシウム、ケイ素、硫黄の元素量をおとめ座銀河団の外縁まで測定することに成功した。軽元素の分布が銀河団の外縁部まで一様であることがわかったのは今回が初めてである。(Astrophysical Journal Letters 平成27年10月/JAXAプレスリリース 平成27年10月20日)

(b) 以下の科学衛星の研究開発を行う

プロジェクト関係者や関連メーカーからの意見を踏まえ、**信頼性・品質保証向上のための標準を制定**した。この標準を研究開発中プロジェクトへの反映することで、宇宙科学プロジェクトの確実な実施に貢献した。また、プロジェクトの技術的・経営的審査に関し、審査期間の延長や審査体制の強化など**審査会の充実化**を図ることで、プロジェクトの確実な実施及び更なる研究成果創出に貢献した。

■ 水星探査計画／水星磁気圏探査機(BepiColombo/MMO)のフライトモデルの海外の協力機関(ESA)への引き渡し

実績:

- ① フライトモデルをESA/ESTECへ4月に輸送。4-6月に輸送後作業を実施し、ESAへ引渡しを完了した。また、ESA側モジュールと組み合わせた試験の準備を完了した。
- ② NASAの水星探査機「メッセンジャー」が平成27年5月に予定通り水星に落下しミッションを終了した。メッセンジャーの観測結果は多くの新たな疑問をもたらした。このため、BepiColomboとして、このことを反映してどのような観測を行うことが最良か、ESA側科学者と検討を開始した。

効果:

- ① 平成27年度査読付き論文数:3編 / 査読付き論文の累計数:36編
- ② ESA側モジュールと組み合わせた試験の準備を完了し、打上げに向けた重要なマイルストーンのひとつをクリアした。



(左) : MMOを相模原キャンパスから搬出する様子
(右) : ESA到着後の一般公開の様子 (左から、MPO、MTM (推進モジュール)、MMO)

■ 次期 X 線天文衛星 (ASTRO-H) のフライトモデルの製作、総合試験の実施、打ち上げ

実績:

★:【1】特筆すべき研究成果に掲載したもの

- ① 総合試験を継続し、熱真空試験、振動試験等一連の試験を行い、性能確認を行った。
- ② ★ 平成28年2月17日、H-IIAロケットF30号機にて打ち上げ、「ひとみ」と命名された。打ち上げ後、計画どおり、軟X線分光検出器(SXS)の冷却や、伸展式ベンチ(EOB)の伸展を行い、重要なシーケンスがすべて正常に実施されたことを確認した。また、SXSを50mKまで冷却し、エネルギー分解能が要求性能を満たしていることを確認した。
- ③ 初期機能確認フェーズ中である3月26日に、衛星の運用異常が発生し、衛星からの電波を受信できない状態となった。このため、理事長を長とする対策本部を設置し、JAXAをあげて不具合の全容解明を行うとともに、衛星状態の把握に努め、衛星の機能回復に向け全力を尽くしてきた。しかしながら、JAXAとして技術的に検討した結果、「衛星正常状態」から「姿勢異常」が発生し、「物体の分離」に至るメカニズムをほぼ確定し、今後衛星が機能回復することは期待できない状態にあると判断し、原因究明に専念することとした。(JAXAプレスリリース 平成28年4月28日) 全社的に取り組んでいる原因究明の中で、科学衛星の確実な運用に向けた課題が明らかになりつつある。

効果:

- ① 平成27年度査読付き論文数:126編 / 査読付き論文の累計数:680編(平成21年度から)

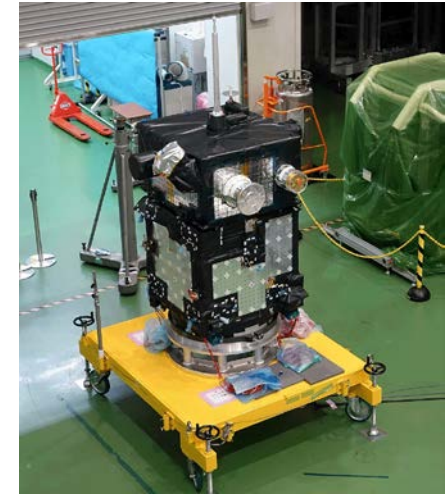
■ ジオスペース探査衛星(ERG)のフライトモデルの製作・試験

実績:

- ① 平成28年度打ち上げに向けて、フライトモデルの試験(4～6月:一次噛合試験、9月～2月:バス部・ミッション部個別での環境試験・校正試験、2月～:FM総合試験)を実施中。
- ② 波動粒子相互作用解析装置(S-WPIA)の処理プログラムの開発を行い、ミッション部総合電気試験を通して処理アルゴリズムの根幹部の動作確認を完了した。
- ③ データ解析研究環境の整備が進み、連携地上観測データに対する世界各国の研究者から多数のアクセスがあり、データ利用が進んでいる。

効果:

- ① 平成27年度査読付き論文数:19編(平成28年2月時点)／ERG関連の査読付論文の累計数:39編(平成18年～平成28年2月時点)*
* 主にERGに向けた地上観測網の整備、Van Allen Probes衛星との連携、データ解析環境整備などの成果を含む
- ② ERG衛星が搭載する波動粒子相互作用解析装置(S-WPIA)により、プラズマの波と粒子のエネルギー交換過程を解明し、バン・アレン帯高エネルギーのメカニズム解明及び「宇宙天気」の予測精度向上を目指す。



ミッション部・バス部結合後の
アライメント測定の様子

■ 次期赤外線天文衛星(SPICA)の研究

実績:

- ① 技術的・プログラムのにより実現性の高い計画案とするため、従来から検討してきたミッションの科学目的を維持しながら、ミッション内容の全面見直しを実施した。その結果、望遠鏡の口径をやや縮小し、日欧分担を見直した。
- ② 見直し後の計画について、国際科学評価委員会による評価を受け、SPICAのもたらす成果が2020年代後半においても十分な競争力をもつ高い価値のあるものであることが確認された。その後、日本担当部分(ペイロード部)を中心とする技術検討を実施した結果、実現可能な検討解を得た。日本担当部分の技術開発を進めた。
- ③ 再定義されたSPICA計画を、ESAのMクラスミッション公募「Cosmic Vision M-class」に提案することを日欧の研究者で合意した。

効果:

- ① 平成27年度査読付き論文数:15編 / 査読付き論文の累計数:109編
- ② 水素とヘリウムのみよりなる初期宇宙が重元素を含む現在の9宇宙となり、生命居住可能な惑星世界をもたらした過程の解明を目指す。



SPICA 国際科学評価 欧州で開催
(平成27年7月)

(c) 以下の将来計画等に向けた取り組みを行う。なお、太陽系探査科学分野については、効果的・効率的に活動を行える無人探査をボトムアップの議論に基づくだけでなく、プログラム化も行いつつ進める。プログラム化においては、月や火星等を含む重力天体への無人機の着陸及び探査活動を目指して、特に長期的な取り組みが必要であることから、必要な人材の育成の考慮しつつ、学術的大局的観点から計画的に取り組む。

- 世界第一級の成果創出を目指し、戦略的中型科学衛星に係る検討を進める。
- 特徴ある宇宙科学ミッションの迅速かつ高頻度な実現に向けて、将来の小型科学衛星ミッションの検討を進める。
- 将来の独創的かつ先端的なミッションの実現に向けて、海外ミッションへの参加を含む小規模プロジェクトを実施するとともに、さらなるミッションの検討を進める。

実績：

- ① 新宇宙基本計画の工程表が改訂され、**戦略的に実施する中型計画として「火星衛星サンプルリターンの調査研究」、公募型小型計画1号機として「小型月着陸実証機の開発」**が明記された。また、多様な小規模プロジェクトについて、平成28年度以降の取り組みとして「木星氷衛星探査計画(JUICE)」等の大型国際プロジェクトへの参画について積極的検討を進めることが追記された。(平成27年12月8日宇宙開発戦略本部)
- ② 昨年度宇宙科学コミュニティから集まった、各分野の「目標・戦略・工程表」の考え方を参考に、今後の宇宙科学・探査を戦略的に実行する際の方針として、「**宇宙科学実行戦略案**」を検討中である。また、実行戦略立案の中で、戦略的中型計画の候補として、火星衛星サンプルリターン計画(MMX)を具体化させた。さらに、小規模プロジェクト群を国際戦略ミッションの位置づけとし、今後海外大型計画への参画を重点化する方針とした。

上記に基づき、下記のとおり将来計画等に向けた取り組みを推進した。

■戦略的中型

- ① 1号機として、火星衛星サンプルリターン計画を候補に選定し、概念設計を進めた。ミッション定義に関しては、外部有識者を招いた国際審査を実施し、サイエンス面で高い評価を受けた。
- ② その他の候補(「LiteBIRD」及び「ソーラ電力セイル」)について、概念検討を実施中。平成28年度以降、準備チームを組織して、概念設計を進める計画である。

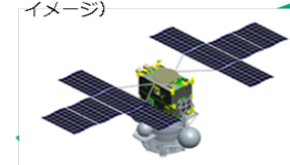
■公募型小型

- ① 1号機「小型月着陸実証機(SLIM)(仮称)」について、計画決定に向けた準備作業を進め、平成28年度から開発着手することとした。

■多様な小規模プロジェクト群

- ① 今後、海外大型計画への国際協力参画に重点化する方針とし、JUICEをはじめとする国際協力プロジェクトをISAS主導で立上げて実行する。

(検討中の探査機システム例：
イメージ)



試料サンプル回収



火星と衛星フォボス・ダイモス



火星衛星の起源決定
前生命環境の進化の解明

イ. 国際宇宙ステーション(ISS)搭載装置及び小型飛翔体等に関する研究

(a) ISS等の微小重力環境を利用した科学研究活動のため以下を実施する。

- ISS 日本実験棟(JEM)船内実験室などを利用した、流体科学、燃焼科学、結晶成長科学、植物生理学等の供試体開発、実験及び飛行解析
- JEM 船外実験プラットフォーム搭載の「全天X線監視装置(MAXI)」、「地球超高層大気撮像観測(IMAP)」及び「スプライト及び雷放電の高速測光撮像センサ(GLIMS)」の科学観測、観測データ処理、データ利用研究

実績:

- ① 流体科学、結晶成長科学、植物生理学、宇宙・地球観測等、宇宙実験・観測ミッションを推進した。(供試体開発4件/運用および解析6件/飛行後解析7件)
- ② 燃焼科学実験(Group Combustion)では、宇宙ステーション補給機HTV5号機での打上げ準備を行い、平成27年8月打上げ成功した。
- ③ 船外プラットフォーム搭載混載ミッションのIMAP/GLIMSの後期運用を継続。8月のHTV5号機の廃棄により当該ミッションを終了した。

効果:

- ① 平成27年度(4月～9月)査読付き論文数:5編(累計:735編)
- ② 地上処理系の向上研究を行い、品質・速報性を高めた。また、船内実験室利用の物理実験データの整備を進め、研究者のデータ利用を促進した。

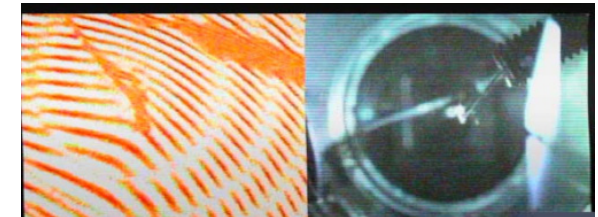
(b) 観測ロケットを用いた実験・観測機会を提供することを目的に、観測ロケットの制作・打上げを行うとともに、次年度以降の打上げに向けた設計・解析を進める。

実績:

- ① 2機の観測ロケット(S-520-30号機とS-310-44号機)の打上げに成功した。
- ② S-520-30号機の実験では、酸化物(アルミナとシリカ)の核生成実験に成功した。微小重力状態により発生させた酸化アルミニウム等の蒸気がゆっくり拡散し、核生成により生成した微粒子が同心円状に広がる様子を観測した。
- ③ S-310-44号機実験では、高度100km付近のSq電流系に向けてロケットを打上げ、高温層内のd電子の速度分布と電子密度の変化、電場、磁場等の観測に成功した。また、小型・軽量のコンフォーマル・コンパクトアンテナ(CCA)を開発、本ロケット実験でその有効性を確認した。
- ④ SS-520-3号機の打上げに向けた準備を着実に進めた。

効果:

- ① 平成27年度査読付き論文数: 4編 / 査読付き論文の累計数:106編(2003年以降)
- ② 酸化物の核生成実験の成功により、炭素質物質の核生成実験に発展させる目途が立ち、生命の起源につながる有機分子を含むより広範な物質進化から微惑星生成に至る宇宙ダストの核生成過程の解明へ前進した。(S-520-30号機実験)
- ③ プラズマ加熱現象の観測により、中緯度電離圏に発生する特殊なプラズマ現象の存在を明確に示すことができた。今後、電離圏下部に時折発生するプラズマの高温層の発生メカニズムの解明を期待できる。(S-310-44号機実験)

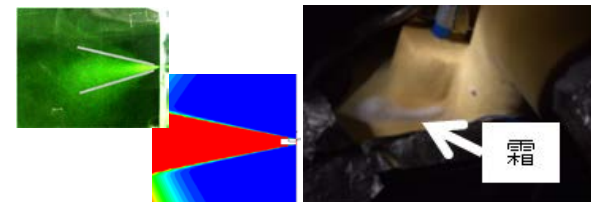


酸化アルミニウムの蒸気から宇宙ダスト(微粒子)が生成する様子。左画像の干渉縞の変化から、生成時の温度と濃度がわかる。左は二波長干渉縞画像、右は可視光画像。(S-520-30号機実験)

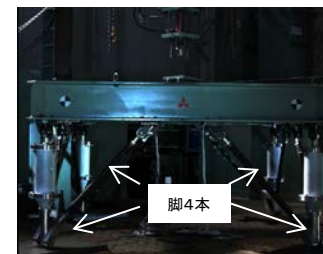
(c) 再使用観測ロケットの研究を行い、エンジン再使用や帰還飛行方式等の技術実証を進める。

実績:

- ① 運用間隔:最短24時間以内、機体再使用回数:100回、ペイロード:100kg、最高到達高度:100km以上を実現する再使用観測ロケットの実現に向け、下記の技術実証やシステム設計を進めた。
 - (a) 無酸素下(宇宙空間)で水素漏洩を検知できる水素検知センサを新規開発し、エンジンの故障検知を可能にする技術実証を実施した。また、ロケットの機体底部をエンジン毎の区画で仕切ることによって故障エンジンを同定する手法を確立した。
 - (b) 推進薬タンクの繰り返し充填環境下での断熱材劣化特性を把握することで、断熱材の最低使用可能回数30回以上の実現可能性を明らかにした。
 - (c) 着陸脚のシステム落下試験を実施することで、着陸時の衝撃吸収特性を把握し、機体システムの要求衝撃荷重を満足することを確認した。



水素漏洩解析及び機体 極低温推進剤タンク繰り返し充填による断熱材試験
実機大漏洩試験の実施



2.3 t 重錘落下試験による脚システム性能確認

効果:

- ① 平成27年度査読付き論文数:1編／ 査読付き論文の累計数:5編
- ② システム技術実証の進捗状況、再使用エンジンの制御について、第66回国際宇宙会議(IAC)で発表を行った。更に、再使用観測ロケット構想・計画について招待講演2件の発表を行った。

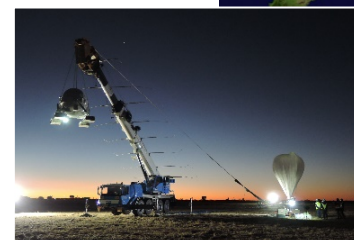
(d) 大気球を用いた科学観測や工学実験を実施するために必要な飛翔手段の開発・運用、及び革新的気球システムの研究を行う。

実績:

- ① 平成27年5月に、長時間飛翔、陸上回収を実現するオーストラリアでの気球実験をJAXAとして初めて実施。ガンマ線撮像観測を目的とする理学実験を実施、11時間30分に渡る長時間観測を実現した。
- ② 今後、定期的にオーストラリアでの気球実験を実施し、国内実験と相補的な飛翔機会を提供していくために、オーストラリア側との協議を進め、新たな枠組みの大筋を合意した。
- ③ 国内で実施予定であった3実験のうち、2実験を実施し、飛翔に成功した。1実験は実験機器の調整に時間を要したため、平成28年度以降の実施に向けた検討を行う。

効果:

- ① オーストラリア気球実験を継続的に実施する枠組みを構築したことで、国内では実現が難しい長時間観測や陸上回収を実現可能とした。今後、長時間観測や観測機器の回収を必要とする高統計、高感度による天文・宇宙線分野の先鋭的な研究が可能となり、幅広い分野の成果創出に貢献できる。
- ② 国内実験では、3年ぶりに成層圏大気観測を実施し、温暖化ガスの変化や大気循環の理解といった大気科学の課題に不可欠なモニタリングデータを提供した。



オーストラリア気球実験での放球の様子と飛翔軌跡

ウ. 観測データや回収サンプル等の蓄積・提供

科学衛星のサイエンスデータ及び工学データベースの運用・開発を進め、宇宙科学データを恒久的に保存すると共に利用者のデータ利便性を増進する。また、「あかり」データプロダクトの作成、「はやぶさ」回収サンプルのキュレーション及び試料分析についての国際公募作業等を引き続き進める。

実績:

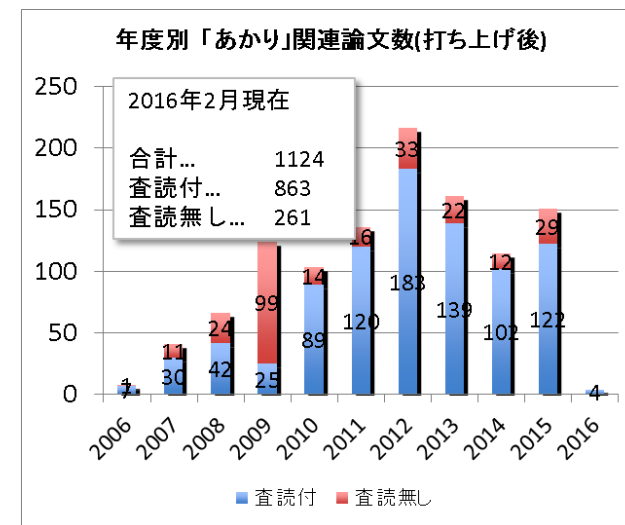
- ① 「あかり」の観測データについて、遠赤外線全天カタログ改訂版、中間赤外線全天イメージマップ、近赤外線分光カタログ、近赤外線撮像データの公開版を作成した。
- ② 「きぼう」船内実験データ、バイキング2号着陸船地震計データ、「はやぶさ」サンプル初期記載データ、「あかつき」軌道データを新たに一般公開した。
- ③ データ公開サービスの安定運用により、世界の研究者から年間で50テラバイト弱(昨年同等)のデータダウンロードを継続的に実現した。
- ④ 「はやぶさ」回収サンプルに関し、第3回国際研究公募を実施し、12件を採択し試料分配を進めた。(応募研究者延べ数は66名(日本20、海外46)) 詳細は次頁に記述する。



南天の夜空に輝く大マゼラン雲
© ESA/Hubble

効果:

- ① 「あかり」と、チリにあるヨーロッパ南天文台の超大型望遠鏡による観測データから、大マゼラン雲中の原始星(生まれたばかりの星)周囲に含まれる氷を分析し、メタノールの存在量が我々の住む天の川銀河と比べ小さいことが分かった。これは、銀河の環境によって、そこで起きる有機物の合成過程が異なることを示唆している。(Astronomy & Astrophysics 平成28年1月)
- ② 新規に公開された観測データは、システムティックに管理し、広く一般公開することにより、データ寿命や利用範囲の拡大に伴う成果最大化や、観測結果の第三者検証に貢献している。
- ③ 昨年度に遠赤外線全天イメージマップや近・中間赤外線撮像データを一般公開した効果もあり、「あかり」の公開データは、着実に多くの研究者によって活用されている。引き続き、「あかり」公開データの作成・評価作業と利用促進に努める。



「あかり」関連論文数の年度別グラフ

本論文数の統計は天文学論文データベース (ADS) から、AKARIをキーワードとして全文検索を行い、さらにAKARIデータを利用した論文であることを確認したもの。

「はやぶさ」、「はやぶさ2」及び「かぐや」を通じて得られた取得データについては、宇宙科学研究等の発展に資するよう国内外の研究者等に提供するとともに、将来の宇宙探査等の成果創出に有効に活用する。

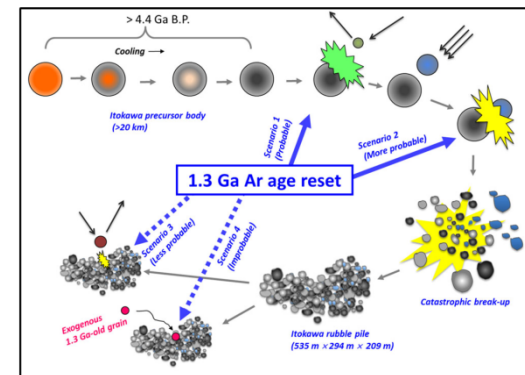
1. 「はやぶさ」を通じて得られた取得データについて

実績：

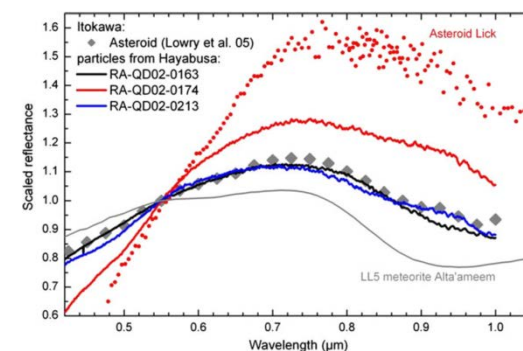
- ① 第3回国際研究公募12件の採択決定と試料分配を開始した。12件の採択者への分配試料数は、49粒子（これまでの分配粒子述べ数：69粒子（初期分析）、25粒子（NASA）、155粒子（国際研究公募））。これらのサンプル分析研究から、「太陽系における天体衝突史」及び「小惑星表面におけるプロセス（宇宙風化）」の解明が期待される。
- ② これまでの「はやぶさ」サンプル分析の成果をまとめると次のとおり。
 - － 初期分析において、「小惑星と隕石の関係」「太陽系小天体の形成史」「小惑星の表層年代」について新たな知見が得られた。国際公募研究に供するため、はやぶさ帰還試料（587粒子）のカタログを作成。最大の科学成果獲得のために、国際委員会での提案評価システムを確立した。専門委員会でのコンソーシアム研究等承認システムを確立し、JAXA研究者自らの科学成果創出できるようにした。これまでの国際研究公募の採択件数は45件。2011-2015のはやぶさ関連査読論文数は75件。主な成果として、「衝突破壊年代の推定」「非破壊測定による宇宙風化度の推定」がある（詳しくは「効果」を参照）。
- ③ 地球外物質研究グループが発足。3月より新グループ長が着任。キュレーション業務のアウトソーシング化を進めつつ、研究成果創出と人材教育を通して、地球外物質研究コミュニティの牽引役となれる体制を構築した。

効果：

- ① 国際AO研究から、小天体形成に関する新しい知見が得られた。はやぶさ帰還試料のAr-Ar年代推定法から、イトカワの母天体の衝突破壊イベントが約13億年前に起きたことが分かった（右上図参照）。イトカワ形成史の研究において、イベントの絶対年代を求めたのはこの研究が初めて。太陽系の歴史において小天体の衝突破壊イベントがかなり最近まで継続していた可能性を示している。（*Meteoritics and Planetary Science* 平成27年12月）
- ② はやぶさ帰還試料の個々の反射スペクトルを測定し、宇宙風化の進行度の違いを明らかにした（右図参照）。これまで、透過電子顕微鏡（TEM）を用いた、宇宙風化現象の研究は行われていたが、非破壊測定である、個々の反射スペクトル測定による研究は初めてである。これにより、スペクトル変化から見た宇宙風化の進行度と、TEM観察などからみた宇宙風化の進行度の比較や、希ガス分析などによる表面露出年代との関係の探求が可能になり、小天体表層物質進化の研究が進む。（*Meteoritics and Planetary Science* 平成27年9月）



Ar-Ar年代法では、固体試料の閉鎖系において、揮発系元素であるArが離脱するイベント年代が産出される。今回求められた13億年前のイベント候補の中のうち、母天体の大規模衝突破壊現象が最も可能性が高いことが分かった。



はやぶさ帰還試料3粒子個々の可視・近赤外反射スペクトル（赤、青、黒の実線）。地上観測の結果（黒ひし形）とよく一致する粒子（青、黒）だけでなく、より宇宙風化が進行した粒子（赤）があることが分かった。非破壊測定で、個々の粒子の宇宙風化進行度の違いが初めて取得可能になった。

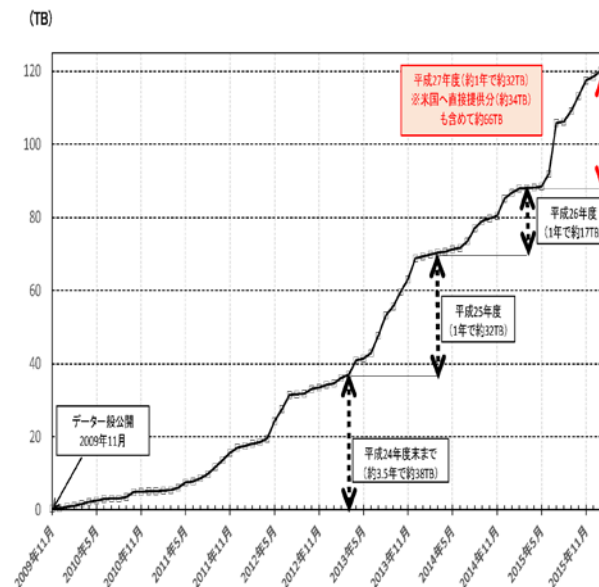
2. 「かぐや」を通じて得られた取得データについて

実績:

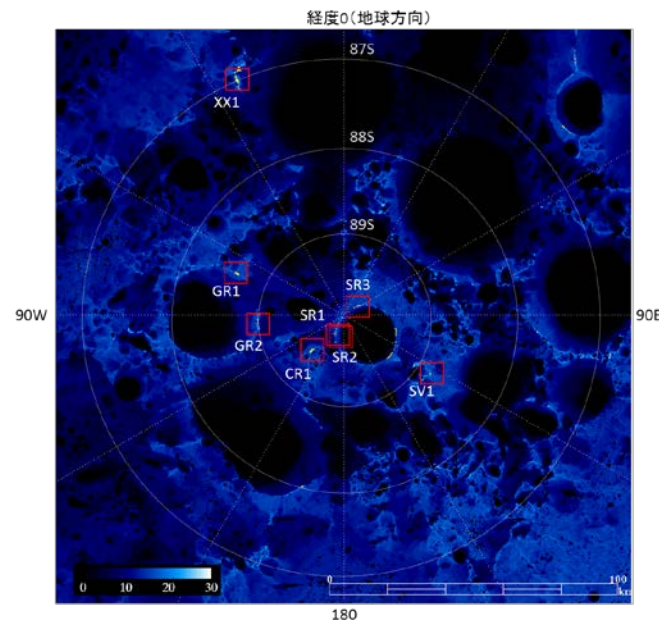
- ① 世界各国でのデータ利用及びより高いレベルの成果創出に貢献するため、「かぐや」観測データの高度な処理（例：月の全球に亘る分光観測の位置情報の精度改善など）を進め、国内および欧州、アメリカ、アジアなど84箇国の研究者等にデータを提供した。
- ② 着陸探査の候補地として国際的に注目されている極域について、「かぐや」等のデータから作成した詳細地形モデルを使用し、今後の月探査においてクリティカルな情報となる日照条件等についてスーパーコンピュータを用いた解析・評価を実施（右図）。

効果:

- ① 7,000千万点の「かぐや」観測スペクトルデータを解析した結果、月高地の地下10km以深の場所に高カルシウム輝石が多く分布することが明らかになった。この成果は、月誕生直後の物質分布・移動について情報を与えるものであり、月や惑星の起源と進化を理解するために重要な成果である。（*Journal of Geophysical Research Planet* 平成27年）
- ② 月極域の日照条件を解析した結果は、国際宇宙探査シナリオ検討や日米共同でのResource Prospectorミッションの検討に不可欠なものとして、重要な役割を果たした。



かぐやデータアーカイブシステムの累計ダウンロードデータ量。
平成27年度は公開後の6年間で最多の年間ダウンロード量を記録した。



宇宙探査シナリオ検討等で使用された月南極域の日照時間分布データ。
南極点を中心とする緯度87度以上の領域。
色は連続日照時間を表す（黒：0日，白：30日以上）。
赤い四角の7ヶ所が日照条件等が最適な探査候補地点。

プロジェクトの成功基準と達成状況一覧

衛星/センサ	ミニマム成功基準	フル成功基準	エクストラ成功基準	平成27年度の達成状況
ASTRO-E II	(運用期間最低半年) ■ 3種類の観測装置の中の少なくとも一つを用いた観測により、X線天文学研究にインパクトのある研究成果を得る。 ■ 上記を確実に達成するために、以下のいずれかの観測を半年間以上行う。 ・X線望遠鏡(XRT-I)とX線CCDカメラ(XIS)を組み合わせたシステムによりX線撮像観測を行い、同時にX線エネルギー分解能の半値幅として、6 keVのX線に対して約200 eV以下を達成すること。 ・X線望遠鏡(XRT-S)とX線マイクロカロリメーター(XRS)を組み合わせたシステムによるX線観測を行い、X線エネルギー分解能の半値幅として、6 keVのX線に対して約20 eV以下を達成すること。 ・アクティブシールドによるバックグラウンド低減処理が動作した状態で硬X線検出器(HXD)による硬X線観測を行うこと。	(運用期間最低2年) ■ 3種類の観測装置を用いた観測により、X線天文学研究に大きなインパクトのある研究成果を得る。 ■ 上記を確実に達成するために、以下の観測を2年間以上行う。 ・X線望遠鏡(XRT-I)とX線CCDカメラ(XIS)を組み合わせたシステムにより、X線撮像を行い、同時にX線エネルギー分解能の半値幅として、6 keVのX線に対して約150 eV以下を達成すること。 ・X線望遠鏡(XRT-S)とX線マイクロカロリメーター(XRS)を組み合わせたシステムによるX線観測を行い、X線エネルギー分解能の半値幅として、6 keVのX線に対して約10 eV以下を達成すること。 ・硬X線検出器(HXD)により硬X線観測を行い、15-50 keV、50-200 keVのエネルギーバンドで、それぞれかに星雲“からのX線の約1/1000、約1/50の強度のX線を検出する感度を達成すること。	■ フル成功基準を満たす最低2年の観測運用を行った後、さらに長期の観測運用を継続し、新しい天体や、新しい現象の発見を行う。	平成20年6月の宇宙理学委員会の運用延長審査において、「X線望遠鏡(XRT-S)とX線マイクロカロリメーター(XRS)を組み合わせたシステムによるX線観測を行い、X線エネルギー分解能の半値幅として6 keVのX線に対して約10 eV以下を達成すること。」を除いて、フル成功基準を達成したことが確認された。これに基づき、同審査において平成23年7月までの運用延長が認められた。続いて平成23年7月の運用延長審査では、平成27年7月までの延長が認められた。平成27年6月から衛星との通信が間欠的にしか確立できない状態となり、8月26日に観測運用を終了することとした。一方、これまで蓄積された膨大なデータの解析を続けている。

プロジェクトの成功基準と達成状況一覧

衛星/センサ	ミニマム成功基準	フル成功基準	エクストラ成功基準	平成27年度の達成状況
SOLAR-B	搭載観測装置による観測で太陽物理学研究にインパクトを与える観測・研究成果を得る。そのため、この成果が十分に期待できる以下の衛星性能、搭載観測装置性能を達成する。 ・衛星が太陽同期軌道を確保し、電源系・通信系・コマンドデータ処理系・姿勢軌道制御系等が観測条件をほぼ満足して、約8ヶ月間の最初の全日照期間にわたり継続的な観測を実施すること ・観測装置に関して、以下の3つのいずれかを達成すること —可視光・磁場望遠鏡が地上からの観測性能(約1秒角)を凌駕する空間分解能(0.5秒角以下)を達成すること —X線望遠鏡が「ようこう」軟X線望遠鏡を上回る空間分解能を達成すること —EUV撮像分光装置が10本以上の極紫外線スペクトル輝線で撮像観測を実施すること	3つの搭載観測装置の同時観測で太陽物理学研究に大きなインパクトを与える観測・研究成果を得る。そのため、この成果が十分に期待できる以下の衛星性能、搭載観測装置性能を達成する。 ・衛星が所期の観測条件をフルに満足し、3年間の主ミッション期間中(日陰期間中を除く)、継続的な観測を実施すること ・観測装置に関して、3つの望遠鏡全てで所期の性能を達成すること —可視光・磁場望遠鏡が回折限界分解能を達成し、ベクトル磁場の鮮明な画像を生み出すこと —X線望遠鏡が視野中心で空間分解能1秒角を達成すること —EUV撮像分光装置が全波長域で空間分解能2秒角、波長分解能4000を達成すること	3年間の主ミッション期間を超えて、太陽物理学研究にインパクトを与える観測を継続し、新たな研究成果を生み出しつづける。	搭載した3つの観測装置はいずれも、フル成功基準に記述された性能は問題なく達成しており、「ひので」(SOLAR-B)の科学成果は太陽物理学研究を一変させている。平成25年度6月に宇宙理学委員会によるミッション運用延長審査を受け、平成28年度末までの運用延長が認められた。なお、平成23年度4月の延長審査において、観測・研究成果の点で問題なくフル成功基準を達成している、と判断されている。現在も観測を継続し、エクストラ成功基準を達成しつつある段階である。

プロジェクトの成功基準と達成状況一覧

衛星/センサ	ミニマム成功基準	フル成功基準	エクストラ成功基準	平成27年度の達成状況
PLANET-C	雲が東西方向に1周する1週間にわたって、金星周回軌道上からいずれかのカメラによって画像を連続的(数時間毎)に取得し、全球的な雲の構造と運動を捉える。	雲領域の大気構造が変動する時間スケールである2年間にわたり以下の全ての観測を行う。 ・ 1μmカメラ(IR1)、2μmカメラ(IR2)、紫外イメージャ(UVI)、中間赤外カメラ(LIR)によって金星の画像を連続的(数時間毎)に取得し、3次元的な大気運動を明らかにする。 ・ 金星で雷放電が起こっているか否かを議論するために雷・大気光カメラ(LAC)を用いた観測を行う。 ・ 電波掩蔽観測により金星大気の温度構造を観測する。	以下のいずれかを達成する。 ・ 太陽活動度の変化に伴う大気構造の変化を捉えるため、4地球年を超えて金星周回観測を行う。 ・ 1μmカメラ(IR1)により金星の地表面物性あるいは火山活動に関するデータを得る。 ・ 2μm(IR2)カメラにより地球軌道より内側での黄道光の分布を観測する。	試験観測中に中間赤外カメラ(LIR)及び紫外イメージャ(UVI)による観測を行い、ミニマムサクセスに相当する観測を実施した。

プロジェクトの成功基準と達成状況一覧

衛星/センサ	ミニマム成功基準	フル成功基準	エクストラ成功基準	平成27年度の達成状況
SPRINT-A	以下の2つのいずれかを達成すること。 - 木星イオトーラスのSpectrumから背景電子温度を導出すること - 金星または火星の酸素イオンの流出率の上限値を求めること	以下の3つをすべて達成すること。 - 木星イオトーラスのSpectrumから背景電子温度を導出すること - 金星または火星の酸素イオンの流出率の上限値を求めること - 木星磁気圏へのエネルギー流入ルートを明らかにすること	以下の4つをすべて達成すること。 - 木星イオトーラスのSpectrumから背景電子温度を導出すること - 金星または火星の酸素イオンの流出率の上限値を求めること - 木星磁気圏へのエネルギー流入ルートを明らかにすること - 金星または火星の炭素イオンと窒素イオンの流出率の上限値を求めること	下記に示す通りエクストラ成功基準まで達成した。 - 木星イオトーラスのスペクトル観測から、イオトーラス領域の電子密度などの動径方向の空間変化を取得した。これにより、粒子加速の重要なステップとなる高温電子の内向き輸送の証拠を初めて観測的に捉えた。(平成26年9月Science誌掲載) - イオトーラス発光の周期変化からはっきりとしたイオ位相角依存が捉え、プラズマの流れを観測的に明らかにした。(平成27年12月J. Geophys. Res.誌掲載)

補足説明資料

プロジェクトの成功基準と達成状況一覧

探査機/センサ他	ミニマム成功基準	フル成功基準	エクストラ成功基準	平成27年度の達成状況
はやぶさ2				
【理学目的1】 C型小惑星の物質科学特性を調べる。特に鉱物、水・有機物の相互作用を明らかにする。	小惑星近傍からの観測により、C型小惑星の表面物質に関する新たな知見を得る。(※) 〈達成判断時期〉 探査機の対象天体到達1年後 (※)小惑星表面の分光データを10セット取得する。	採取試料の初期分析において、鉱物・水・有機物相互作用に関する新たな知見を得る。(※) 〈達成判断時期〉 試料回収カプセルの地球帰還1年後 (※)サンプルを100mg以上採取する。	天体スケールおよびミクロスケールの情報を統合し、地球・海・生命の材料物質に関する新たな科学的成果を上げる。 〈達成判断時期〉 試料回収カプセルの地球帰還1年後	まだ、達成状況を評価する時期ではない
【理学目的2】 小惑星の再集積過程・内部構造・地下物質の直接探査により、小惑星の形成過程を調べる	小惑星近傍からの観測により小惑星の内部構造に関する知見を得る。(※) 〈達成判断時期〉 探査機の対象天体到達1年後 (※)小惑星のバルク密度を±7%の制度で決定する。	衝突体の衝突により起こる現象観測から小惑星内部構造・地下物質に関する新たな知見を得る。(※) 〈達成判断時期〉 探査機の対象天体離脱時まで (※)生成されたクレータを中心として100m四方の画像データを空間分解能20cmで取得する。	衝突破壊・再集積過程に関する新たな知見をもとに小惑星形成過程について科学的成果を挙げる。 探査ロボット(小型ローバ／小型ランダ)により、小惑星の表層環境に関する新たな科学的成果を挙げる。 〈達成判断時期〉 試料回収カプセルの地球帰還1年後	同上
【工学目的1】 「はやぶさ」で試みた新しい技術について、ロバスト性、確実性、運用性を向上させ、技術として成熟させる。	イオンエンジンを用いた深宇宙推進にて、対象天体にランデブーする。 〈達成判断時期〉 探査機の対象天体到達時	・探査ロボットを小惑星表面に降ろす。 ・小惑星表面サンプルを採取する(※) ・再突入カプセルを地球上で回収する。 〈達成判断時期〉 試料回収カプセルの地球帰還時 (※)サンプルを100mg以上採取する。	N/A	同上 ただし、イオンエンジンを含めた搭載機器の初期機能確認を終え、計画通り2015年3月から巡航フェーズへ移行した。
【工学目的2】 衝突体を天体に衝突させる実証を行う。	衝突体を対象天体に衝突させるシステムを構築し、小惑星に衝突させる。 〈達成判断時期〉 生成クレーター確認時	特定した領域(※)に衝突体を衝突させる。 〈達成判断時期〉 生成クレーター確認時 (※)衝突目標点から半径100mの範囲	衝突により、表面に露出した小惑星の地下物質のサンプルを採取する。 〈達成判断時期〉 試料回収カプセルの地球帰還時	同上

3. (3) 有人宇宙活動

中期計画(1/2)

①国際宇宙ステーション(ISS)

国際宇宙基地協力協定の下、我が国の国際的な協調関係を維持・強化するとともに、人類の知的資産の形成、人類の活動領域の拡大及び社会・経済の発展に寄与することを目的として、国際宇宙ステーション(ISS)計画に参画する。

ISSにおける宇宙環境利用については、これまでの研究成果の経済的・技術的な評価を十分に行うとともに、将来の宇宙環境利用の可能性を評価し、ISSにおける効率的な研究と研究内容の充実を図る。また、ISSからの超小型衛星の放出による技術実証や国際協力を推進する。

なお、ISS計画への取組にあたっては、我が国が引き続き宇宙分野での国際的な発言力を維持することに留意しつつ、技術蓄積や民間利用拡大の戦略的実施等を効果的・効率的に行いつつ、費用対効果の向上に努める。また、平成32年までのISSの共通運用経費については、宇宙ステーション補給機「こうのとり」2機の打ち上げに加えて、将来への波及性の高い技術等による貢献の準備を行う。

さらに、政府が行う平成33年以降のISS延長への参加の是非及びその形態の在り方に関する、外交、産業基盤維持、産業競争力強化、科学技術等に与える効果と要する費用など、様々な側面からの総合的な検討を支援する。

ア. 日本実験棟(JEM)の運用・利用

日本実験棟(JEM)の運用及び宇宙飛行士の活動を安全・着実にを行うとともに、宇宙環境の利用技術の実証を行う。また、ISSにおけるこれまでの成果を十分に評価し、成果獲得見込みや社会的要請を踏まえた有望な分野へ課題重点化を行うとともに、民間利用の拡大や国の政策課題の解決に資する研究を取り入れることでJEMを一層効果的・効率的に活用し、より多くの優れた成果創出と社会や経済への波及拡大を目指す。具体的には、生命科学分野、宇宙医学分野及び物質・物理科学分野の組織的研究を推進するとともに、タンパク質結晶生成等の有望分野への重点化を行う。さらに、世界的な研究成果を上げている我が国有数の研究機関や、大学、学会などのコミュニティとの幅広い連携を強化する。船外実験装置については、宇宙科学及び地球観測分野との積極的な連携による利用の開拓を行う。

さらに、ポストISSも見据えた将来の宇宙探査につながる技術・知見の蓄積に努める。

加えて、ISSからの超小型衛星の放出等による技術実証や、アジア諸国の相互の利益にかなうJEMの利用等による国際協力を推進する。

中期計画（2／2）

①国際宇宙ステーション（つづき）

イ. 宇宙ステーション補給機（HTV）の運用

宇宙ステーション補給機（HTV）の運用を着実に行う。それにより、ISS共通システム運用経費の我が国の分担義務に相応する物資及びJEM運用・利用に必要な物資を着実に輸送・補給する。

②国際有人宇宙探査

今後国際的に検討が行われる国際有人宇宙探査に係る方策や参加のあり方については、政府において、他国の動向も十分に勘案の上、その方策や参加の在り方について、外交、産業基盤維持、産業競争力強化、科学技術等に与える効果と要する費用に関し、厳しい財政制約を踏まえつつ、厳格に評価を行った上で、慎重かつ総合的に検討を行うこととしており、当該検討を支援する。また、検討の結果を踏まえ、必要な措置を講じる。

特記事項

- 平成27年12月22日、日米両国政府が国際宇宙ステーション（ISS）に係る新たな日米協力の枠組み（「日米オープン・プラットフォーム・パートナーシップ・プログラム（JP-US OP3）」を構築することを主たる内容とする）について合意し、2024年までの我が国のISS運用延長への参加が決定された。

注1：

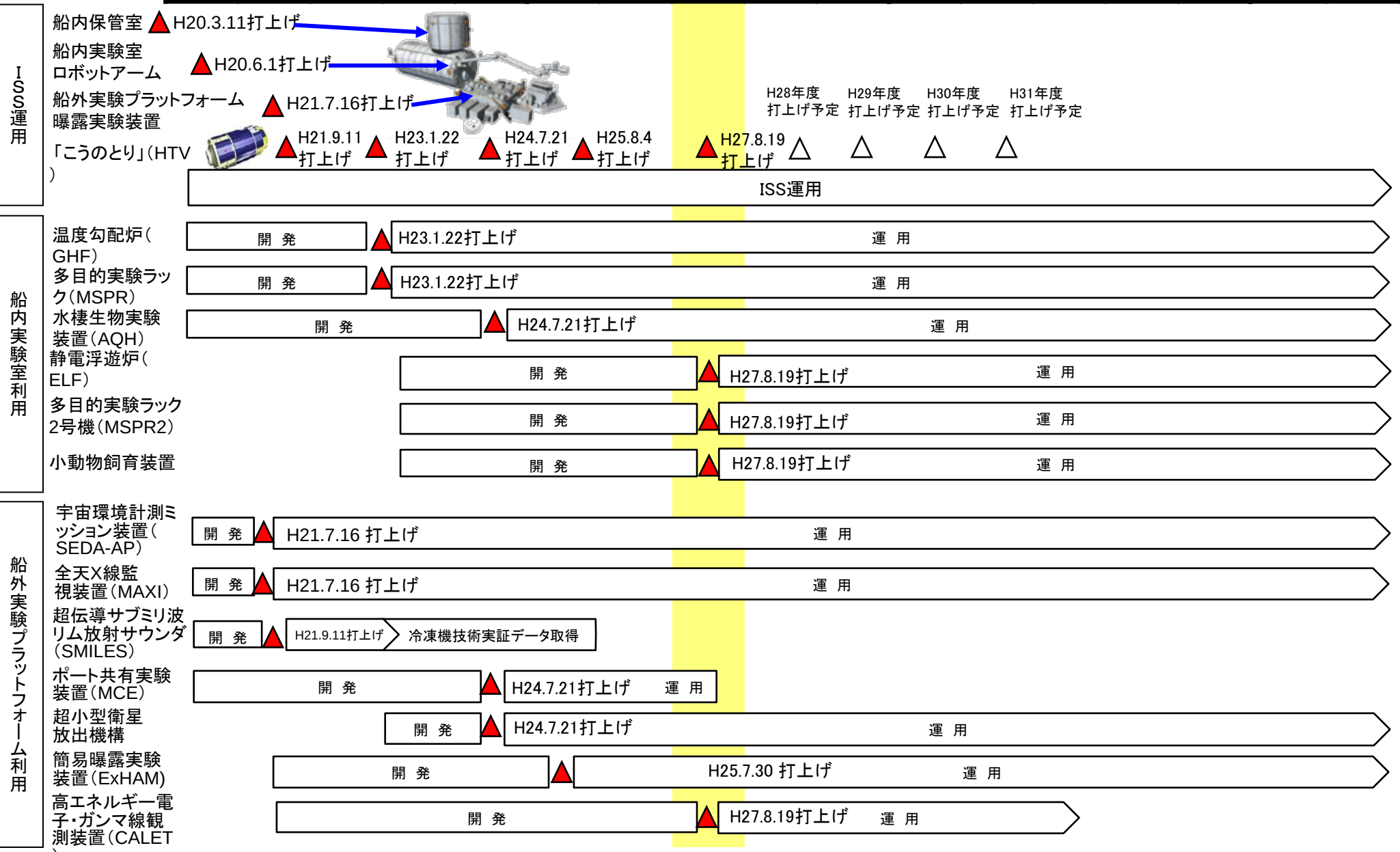
- 平成26年度以前の決算額はJAXA全体の数値。
- 平成26年度以前の人員数は「将来の宇宙開発利用の可能性の追求」全体における本務従事者数の数値。
- 平成27年度の予算・決算額はセグメント「有人宇宙活動」の数値。セグメント毎の詳細はⅢ項に記載。
- 人員数は常勤職員の本務従事者数。

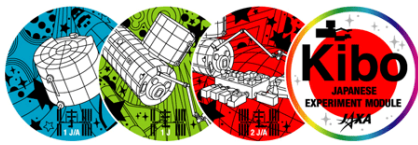
財務及び人員に関する情報（注1）

平成年度	予算額 (千円)	決算額 (千円)	人員数（人）
25	—	211,177,437 の一部	約590 の一部
26	—	207,856,661 の一部	約580 の一部
27	35,289,552	47,919,249	約230
28			
29			

マイルストーン

H20年度 (2008)	H21年度 (2009)	H22年度 (2010)	H23年度 (2011)	H24年度 (2012)	H25年度 (2013)	H26年度 (2014)	H27年度 (2015)	H28年度 (2016)	H29年度 (2017)	H30年度 (2018)	H31年度 (2019)	H32年度 (2020)	H33年度 (2021)	H34年度 (2022)	H35年度 (2023)	H36年度 (2024)
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------





平成27年度 有人宇宙活動実績の概要

中期計画

国際宇宙ステーション計画（ア.日本実験棟（JEM）の運用・利用 イ.宇宙ステーション補給機（HTV）の運用）

評価軸※1,2

A:我が国の国際的な
協調関係を維持・強化

B:人類の知的
資産の形成

C:人類の活動
領域の拡大

D:社会・経済の
発展に寄与

E:これまでの研究成果の
経済的・技術的な評価

F:効率的な研究と
研究内容の充実

評価指標※1

1.これまでの研究成果の評価と宇宙環境利用の可能性に基づく、効率的な研究と研究内容の充実

2.超小型衛星放出による国際協力

3.国際的な発言力維持、費用対効果の向上

4.平成32年までのISSの共通運用経費

5.政府が行う政府が行うISS運用延長に係る総合的検討の支援

6.JEMの運用、宇宙飛行士の活動、宇宙環境利用技術の実証

7.民間利用の拡大・国の政策課題の解決に資する研究を取り入れ、有望な分野へ課題重点化

8.研究機関・大学等との連携強化

9.宇宙科学、地球観測分野との連携による船外実験装置の利用開拓

10.将来の宇宙探査につながる技術・知見の蓄積

11.アジア諸国との国際協力の推進

12.HTV運用の着実な実施

13.国際有人宇宙探査に係る政府検討の支援



※1：評価軸と評価指標それぞれのキーワードを抽出して記載している。

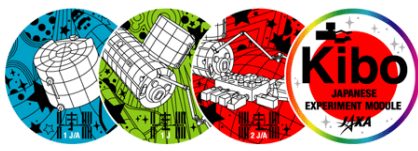
※2：評価軸は2つの項目が記載されており、最初の項目をA～D、2番目の項目をE～Fにブレイクダウンした。

活動実績（【 】内の数字は対応する評価指標）

- ① JEM利用成果の最大化に向けた、プロセス改善
【1,6,7,8,11】
- ② オンリーワン・ナンバーワンの実験環境をさらに高度化
【2,9,11】
- ③ 日本の存在感を高めた、油井ミッション/HTV5ミッション
【3,6,12】
- ④ チャンスを活用した、戦略的なJEM利用促進・情報発信
- ⑤ 将来の有人宇宙活動に向けた準備
【3,4,5,10,13】

数値で示す平成27年度の実績

- ① 油井宇宙飛行士の宇宙滞在日数：142日
（日本人の累積1,071日、米露に次ぐ世界第3位）
- ② HTVの連続成功機数：5機（成功率100%）
- ③ JEMで実施した実験テーマ数：35件（26年度：31件）
- ④ JEMからの超小型衛星の放出数：33機（26年度：30機）
- ⑤ 国の政策課題に資する新規研究テーマ数：3件（26年度：1件）
- ⑥ 国研との新規連携テーマ数：3件（26年度：1件）
- ⑦ JEMの有償利用・受託研究 新規契約件数：7件（26年度：10件）
- ⑧ 外部研究資金獲得額（契約額）：1.7億円（26年度：1.7億円）
- ⑨ 油井宇宙飛行士帰国報告会 参加者：7,000人超（過去最高）



① JEM利用成果の最大化に向けたプロセス改善

JEM利用成果の最大化を目的とし、実験テーマの選定から、軌道上実験の計画設定・運用および評価に至るプロセスを見直した。また、軌道上実験運用に対し、半年毎の戦略テーマを設定し、それに基づいて関係者が同じ価値観を共有して取り組む体制へと変革させた。

(1) 社会にインパクトを与える成果の創出に向けた、新たな実験テーマ選定プロセス

- JEM利用成果の最大化に向けて、以下2点を軸に利用推進方策の変革を図った。
 - (a) 国が進める科学技術イノベーション総合戦略に沿った課題解決型研究の発展への貢献
 - (b) 企業の投資判断済み事業への貢献による社会実証・産業応用の拡大
- 国の戦略研究を進める研究機関(産業技術総合研究所やAMEDなど)との連携で、3件の実験テーマを設定した。

国研との連携テーマ

難治性消化器癌のエピゲノム創薬に係るタンパク質群の構造解析 (大阪大(AMED採択課題))

うつ病・認知症、ガン等の末梢疾患の治療薬副作用による精神障害などに対する創薬と診断技術の開発 (産総研)

生体イメージング技術に係るタンパク質群の 構造生物学的研究 (産総研)

- 公募の選定においては、機構と提案研究者が共同で成果を最大化する観点から、「JAXAプログラム評価会」で経営的な視点の評価、外部有識者の「選考評価委員会」で科学的な視点の評価を行うプロセスに見直した。
- JEMでしか得られない社会的波及性の高い提案を重点的に進める方針を打ち出し、実験テーマの公募を行った結果、科学的に価値が高く、戦略的に出口の見通し・ビジョンを見据えた3件の有望テーマを選定した(応募総数63件)。

国の政策課題に資する研究テーマ

微量タンパク質変動検出による骨量減少原因タンパク質の同定

筋・骨格系疾患発症機構解明へ -重力センサー分子の同定-

ヒト幹細胞を用いて立体臓器を創り出す技術の開発

(2) 科学的成果の評価、事後評価結果の公表

- 科学的成果の厳格な評価に取り組み、事後評価済みの実験テーマ24件の評価結果を公表した。
- 今後行う事後評価については、中間評価(実験後1年程度を想定)と最終評価(同2年程度を想定)の2段階とし、その評価結果をただちに公開するようにプロセスを見直した。

(3) 「戦略テーマ」を設定し、実験運用体制を強化

- 半年間の軌道上実験計画(インクリメント)毎に、特徴を持たせた成果目標を明確にした「戦略テーマ」と実験の優先順位を設定し、成果の最大化を目指して、新設したインクリメント毎の利用マネージャを中心に開発チーム/研究チーム/運用チームの総力を結集して、リソース(打上/回収量、クルータイム)を柔軟に活用しながら、実験運用を推進する体制を構築した。
- その結果、米国民間輸送機の打上げ延期や緊急船外活動実施等の外的要因による度重なる計画遅延が発生するなかでも、当該インクリメントの戦略テーマ「健康長寿社会や産業界の新機能材料ニーズに応える新たな利用環境・実験技術の確立」のもとに、軌道上計画を速やかに変更し、優先度の高いマウス実験等の利用環境を構築することが出来た。

(4) 大学や企業等との連携強化

- 8つの大学と2つの研究機関が総括メンバーとなる研究チームの代表として、古川飛行士は医学研究提案「宇宙に生きる」を新学術領域研究に提案した。提案が採択され、5年間で10億円を超える大型の外部研究資金を獲得し、機構が主導して新たな学問領域を切り拓いた。
- 特殊環状ペプチドによる創薬開発プラットフォームシステムという世界に類を見ない技術で創薬研究開発の分野をリードするペプチドリム社と、高品質タンパク質結晶生成実験に関する複数年、複数ターゲットを対象とした包括的な有償利用契約(受託)を締結した。宇宙実験と結晶化率を向上させる精製技術等を組み合わせ、JAXAにしかないパッケージが、世界の市場を顧客とする創薬ベンチャーに高く評価された結果であり、優れた成果創出の期待とともに、JEM利用がベンチャー企業の事業スピードにも対応できることを示した。

(5) アジア諸国との連携強化

- アジア諸国によるJEM利用の期待が高まり、各国が主体的に自らが経費を負担するJEM利用実験を企画立案した。
- フィリピン政府支出による国家事業として大きく注目されている超小型衛星(DIWATA-1)の放出の他、マレーシアやシンガポール等の6か国でも超小型衛星放出、材料曝露実験、タンパク質結晶生成実験等で各国の事業としてのJEM利用の検討が進んでいる。

【補足説明資料】国の政策課題に資する研究テーマ

微量タンパク質変動検出による 骨量減少原因タンパク質の同定

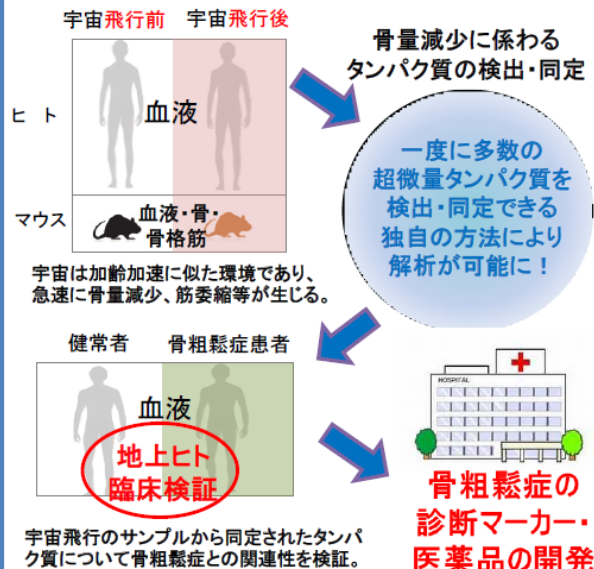
【実験テーマ：「きぼう」を利用した骨粗鬆症に係わるタンパク質の臨床プロテオーム研究】

成果の活用、目指すビジョン

- 骨粗鬆症の診断マーカー開発
- 骨粗鬆症の治療法開発

研究概要

- 生体には約2万のタンパク質が存在し、生命機能の制御に関与。
- 宇宙飛行による骨量減少、地上における骨粗鬆症にもタンパク質の異常が関わっていると予測。ただし、これまでは原因タンパク質の検出同定技術がなかった。



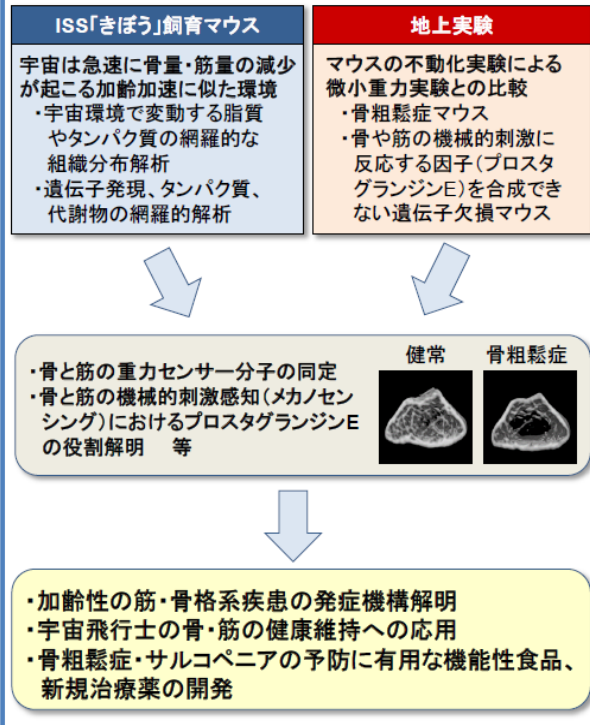
筋・骨格系疾患発症機構解明へ -重力センサー分子の同定-

【実験テーマ：新たな質量分析イメージングによる筋・骨格系疾患の発症機構解明】

成果の活用、目指すビジョン

- 加齢性の筋・骨格系疾患の発症機構解明
- 宇宙飛行士の骨・筋の健康維持への応用
- 骨粗鬆症・サルコペニアの予防・治療への応用

研究概要



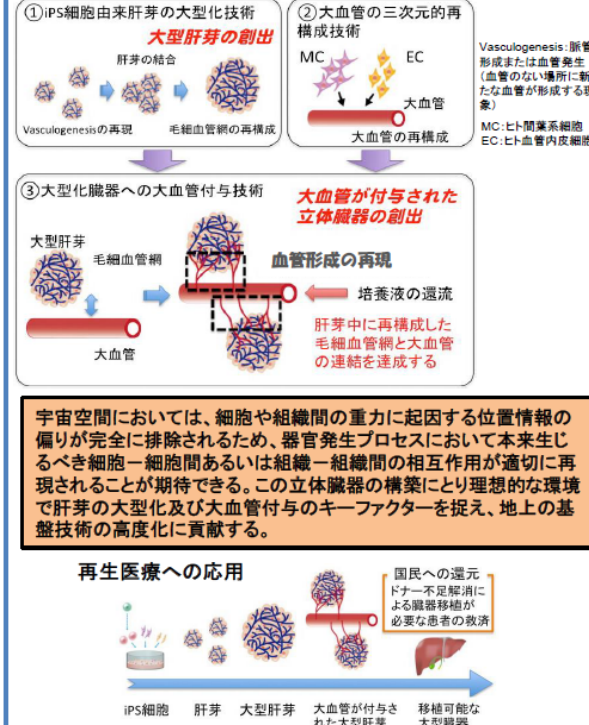
ヒト幹細胞を用いて立体臓器を 創り出す技術の開発

【実験テーマ：微小重力環境を活用した臓器創出を目指す三次元培養技術の開発】

成果の活用、目指すビジョン

- ヒトiPS細胞等を用いた再生医療技術の進歩に貢献
- ドナー臓器不足の解消

研究概要





【補足説明資料】機構が主導して切り拓いた、新たな学問領域

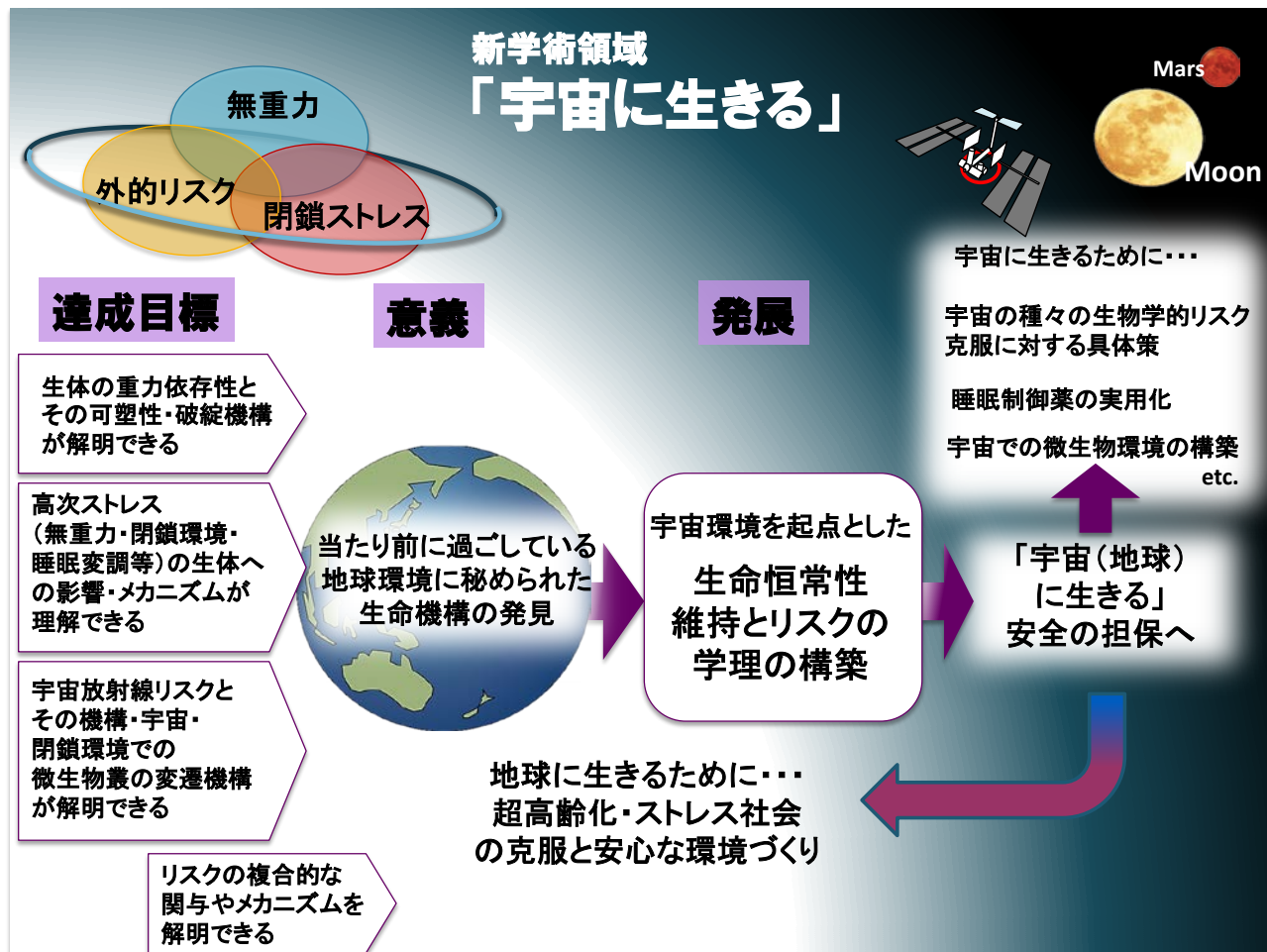
研究領域名：宇宙からひも解く
新たな生命制御機構の統合的理解

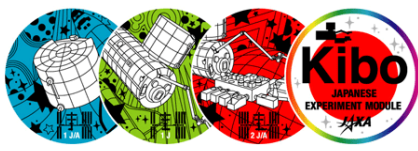
略称：宇宙に生きる

宇宙の極限環境におかれたとき、生命はいったいどこまで可塑性を持つのだろうか？宇宙という非日常的な極限的ストレスは相乗的に作用するのは？これらは宇宙で「より長く」滞在し、「より遠く」への到達をめざす上で知っておくべき課題です。

そこで本領域では、宇宙の極限環境から、生命体が有する可塑性と破綻を科学します。可塑性は外的変化に対して生命が有する適応・修復・頑強さ等による恒常性であり、破綻はその恒常性を破壊する不可逆的なダメージであり、長期宇宙滞在におけるリスクとなります。我々は宇宙の極限環境リスクとして、無重力、閉鎖環境、宇宙放射線および微生物環境リスクを重点的に取り上げます。

これらの問題に学際的なチームで臨むことによって、分子・細胞レベルからヒトの高次制御まで、統合的に理解することで、これらの要素の相互の関連や複合的効果等、未知の領域に挑戦します。さらには、そこで得られた知見を、地上での超高齢化・高ストレス社会を克服するための方策として応用することを目指しています。





② JEMのみが有するオンリーワン・ナンバーワンの実験環境をさらに高度化 (1/2)

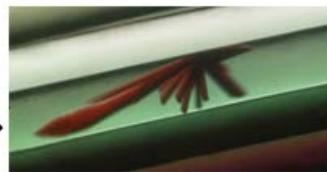
過去8年間のJEM利用経験をもとに、世界でJEMだけが唯一もっている機能を洗練、さらに新たな機能を付加し、実験環境を進化させた。

(1) 高品質タンパク質結晶生成実験の高頻度化

- 従来利用してきたロシア輸送機に加え、米国輸送機の打上げ・回収機会を利用した実験を開始し、高品質タンパク質結晶生成実験の頻度を年4回に倍増させる目途を得た。また、夏期のロシア輸送機でのバッグ搭載個数を2個から3個に増加させることとした。さらに、4℃実験用サンプルの搭載密度を5割増加させ、平成28年4月に打上げ予定の米国ドラゴン宇宙船8号機に搭載する準備を行った。
- ISSからの実験サンプル回収のため、HTV搭載型回収カプセルの技術開発を進めた。試作モデルの高空落下試験を北海道大樹町沖合にて実施し、パラシュートやカプセル着水後の浮き袋の作動の確認、および落下中のカプセルの速度、パラシュート展開時・着水時の衝撃等を計測し、今後の設計、開発に有益なデータを取得した。
- 良質なデータを短期間でユーザに提供するため、地上に回収した実験サンプルの解析作業についてもJAXAが支援を行う、実験のパッケージ化を進めた。2015年9月12日にISSから回収した実験のサンプルは、宇宙での結晶化状況を把握するため、9月15日にサンプルの取り出し並びに顕微鏡観察を実施した。また、JAXAが確保したSPRing-8の利用枠を使い、解析作業を実施し、研究者にデータを提供した。
 - 中央大学の研究グループは、新しい人工血液の研究のため、タンパク質の詳細な構造データを取得し、製品化に向けた安全性・有効性に関する知見を獲得することを目指している。今回の宇宙実験で得られた結晶は、地上検討で得られた結晶と比較して、サイズの大きな結晶が得られた。本研究の成果は大規模災害時の救急医療や少子化に伴う献血液不足を解決できる長期備蓄可能な人工血液の実現につながると期待されている。



地上検討で得られている結晶
(©中央大/JAXA)

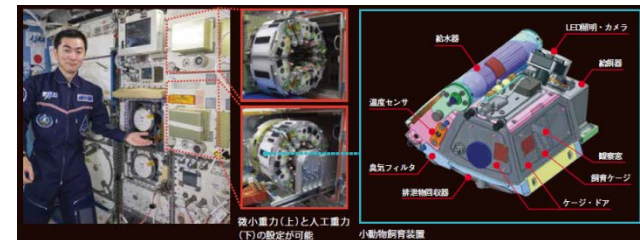


宇宙で得られた結晶 (顕微鏡観察画像)
(©中央大/JAXA)

人工血液の候補となるタンパク質の結晶画像

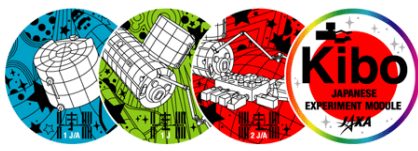
(2) 宇宙を使った医学・生命科学研究をフェーズアップさせる、小動物実験装置

- 医学・生命科学実験プラットフォームとしての定着を目指し、地上研究で一般的なマウスを扱えるよう、新たに小動物飼育装置を打上げ、整備した。この小動物飼育装置は、マウス12匹を1匹ずつ約30日間飼育することができ、個体ごとの観察が可能。また、同じ宇宙環境で飼育しながら、微小重力と人工重力(例えば1G)の2つの重力条件を設定する比較対照実験に活用される。この機能は、NASAのマウス飼育装置には無いものであり、微小重力の影響を正確に把握できる強みがある。
- また、他国に先駆けてマウスの生存回収を可能とする。このような哺乳類実験は世界で唯一JEMだけが行えるものであり、これまで行ってきた生物の細胞やメダカを使った基礎研究からよりヒトに近いマウスを使った橋渡し研究へと進化させることで、加齢現象研究(骨・筋・免疫低下)に貢献し、地上での健康管理や病気の予防に役立てていく。
- さらに、同時飼育個体数を増大させる検討に着手した。数を増やすことで、実験結果の信頼度を向上させ、小動物飼育装置を軸とした医学・生命科学研究の価値を高めていく。



(3) 酸化物等の高融点金属材料の高精度な熱物性値を測定する、静電浮遊炉

- 高融点材料研究の実験環境構築のため、静電浮遊炉を打ち上げ、組立を行った。
- 融点が3000℃にもなるような高融点材料を静電気力で炉の中に浮かせ、擾乱が少なく高純度を保った状態で過熱、溶融、冷却することにより、高精度な熱物性値(粘性、密度、表面張力)の取得や、過冷凝固を可能とする。地上では加熱できない高融点材料、特にタービンブレードなどに使われる酸化物を対象に、その熱物性の測定や過冷凝固現象を活用した新材料の創成が期待されている。



② JEMのみが有するオンリーワン・ナンバーワンの実験環境をさらに高度化 (2/2)

過去8年間のJEM利用経験をもとに、世界でJEMだけが唯一もっている機能を洗練、さらに新たな機能を付加し、実験環境を進化させた。

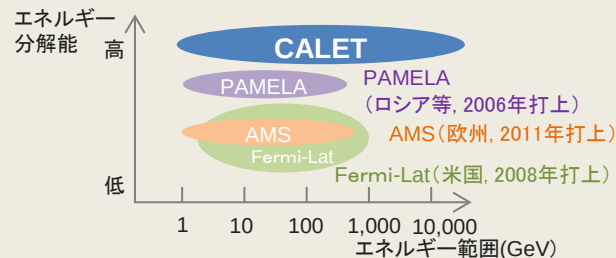
(4) 超小型衛星放出ミッションの高度化

- ブラジルのSERPENSなどの超小型衛星を33機放出し、サービス開始以降の総数を105機とした。
- 世界で唯一、JEMだけが提供できる「宇宙船内からの超小型衛星放出サービス」は、緩衝剤を入れたバッグで衛星をISS船内に輸送するために環境条件が緩やかなため、今やISSの強みの1つとなっている。先見性を持った日本の発想が、宇宙飛行士の作業を介在させることで成立させた、このサービスで、日本の存在感を一層高めている。
- 超小型衛星放出の需要増加に対応し、放出機構の能力向上型の開発を進めている。50kg級衛星の放出機構の開発を完了し、フィリピンの50kg級衛星DIWATA-1とともに打上げた。平成28年5月に放出を予定している。
- また、1度のミッションで最大6U※の衛星を放出していた能力を、平成28年度には2倍の12U、平成29年度には3倍の18Uに増加させる計画を進めている。
※ 超小型衛星の規格、1Uの大きさは10cm×10cm×10cm

(5) 高エネルギー電子・ガンマ線観測装置「CALET」

- JEM搭載全天X線監視装置(MAXI)に続く新たな天文観測ミッション機器として、高エネルギー電子・ガンマ線観測装置「CALET」をHTV5号機で打ち上げ、軌道上チェックアウトを完了し、観測運用を開始した。
- 世界に先駆けて、テラ電子ボルト領域の電子の直接観測に成功した。高エネルギー宇宙線の起源と加速のメカニズムや暗黒物質に関する新たな発見が期待されている。

CALETの電子観測性能と国際的優位性

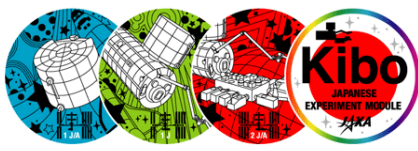


(6) JEM船外実験プラットフォームの多様化

- 簡易曝露実験装置(ExHAM)の1号機および2号機を打ち上げ、JEM船外実験プラットフォームに設置して、材料曝露実験の機会提供を開始した。このような曝露実験装置のISS船外への取付けと回収に必要であった、軌道上クルーによる船外活動が不要となり、宇宙の曝露環境を利用した実験機会を増やした。
- また、JEMエアロックの地上からの操作範囲を拡大し、宇宙飛行士の作業時間を削減することにより、JEMのエアロック使用機会を倍増させる目途を得た。
- 資源探査センサの技術実証を目的として経産省が開発しているハイパースペクトルセンサ(500kg級)をJEMに搭載するための技術検討を支援した。2018年度以降の搭載に目途をつけ、宇宙基本計画に定義された。
- 宇宙科学及び地球観測分野の利用開拓として、機構の宇宙科学研究所や研究開発部門、理研との連携を強化し、船外利用機会の積極的なプロモーションを開始した。

【補足説明資料】JEMの能力向上

	平成26年度末の能力	平成27年度末の能力向上の状況
高品位タンパク質結晶生成実験頻度	4℃実験用サンプル搭載密度：36サンプル/容器 頻度：年2回（ロシア輸送機のみ） 搭載個数：2バッグ/回	4℃実験用のサンプル搭載密度を5割増加させ、1容器あたり54サンプル搭載可能とした（平成28年4月打上げ） 年4回に倍増させる目途を得た（平成28年度より、米国輸送機の運用を開始） 夏期のロシア便のバッグ搭載個数を3個に増加させる目途を得た（平成29年度末開始予定）
超小型衛星放出能力	1度のミッションで最大6U なし	1度のミッションで最大18Uに倍増させる計画（平成28年度には12U、平成29年度には18U） 50kg級衛星の放出機構を打上げた。（平成28年4月放出予定）
簡易曝露実験装置(ExHAM)	なし	材料曝露実験の機会提供を開始した（1号機の実験を5月に開始、2号機の実験を11月に開始）
小動物実験装置	なし	重力条件を設定したマウスの比較対象実験装置を打上げ、整備した（平成28年度より実験開始予定）
静電浮遊炉	なし	高融点金属材料の熱物性値測定装置を打上げ、整備を開始した（平成28年度より実験開始予定）



③日本の存在感を高めた、油井ミッション／HTV5ミッション

米露の補給ミッション失敗によるISS運用継続の危機感が高まる中、NASAの緊急搭載品を載せたHTV5号機を種子島から打上げ、日本がISSの危機を救った。

(1) HTV5ミッションがもたらした「チームジャパン」の快挙

- 8か月の間に、米露3機のISS補給船が失敗するという前代未聞の危機的な状況を踏まえ、従来の安全確認に加えて米露ミッションの失敗を踏まえたHTV5号機の特別点検を実施した。HTV5号機は、8月19日に種子島宇宙センターからの打上げに成功した。
- HTV5号機のキャプチャーは、ISSでロボットアーム操作を務める油井飛行士と筑波のHTV運用管制チーム、NASAの管制室で通信役のリーダーを務める若田宇宙飛行士が連携し、日本人が要となってミッションを成功させた。
- HTVは5機連続で成功し、成功率100%を維持した。現在運用中のISS補給船で、失敗をしていないのはHTVのみとなり、ISS計画における日本の信頼と存在感を一層高めた。



油井飛行士がロボットアームでキャプチャしたHTV5号機

(2) NASAからの要請にこたえ、緊急物資を輸送

- 6月に発生した米国のドラゴン補給船7号機の打上げ失敗を受け、NASAから、喪失したISS水再生システム用交換部品をHTV5号機で緊急輸送するよう要請を受けた。
- ISSの運用継続が危ぶまれるなかで、打上げの18日前に種子島に到着したNASAの緊急物資を、エリアを追加確保して搭載するなど異例の対応をしつつ、打上げ延期させることなくHTV5号機の補給ミッションを成功させ、ISSの危機を救った。



打上げの18日前に到着したNASAの緊急物資



搭載エリアを追加確保

④チャンスを活用した、戦略的なJEM利用促進・情報発信

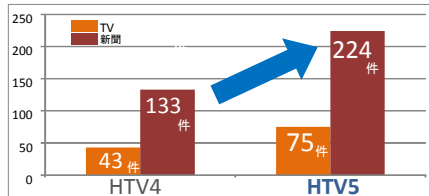
様々な機会を通して伝えたいメッセージを定めた広報戦略を設定し、進化したJEM利用とこれまでの研究成果の情報発信を行った。HTV5ミッションに関する報道は倍増し、高い認知率を得た。

(1) 倍増した、HTV5の報道件数

- 油井ミッションとHTV5ミッションの広報を効果的に連携させた。油井飛行士のISS長期滞在が始まり、HTV5号機への関心が集まる機会に、メディアへの運用管制室公開や記者説明会、映像の即時公開など、きめ細やかなメディア対応を行うことで、新聞やテレビで報道され易い環境を作った。
- また、HTV5号機に関するPRポイントを油井飛行士を通じて情報発信することで、HTVの優位な特徴の一つである「レイトアクセス(速達サービス)」の認知度を高めた。
- HTV5号機のキャプチャー時には、油井飛行士と若田飛行士がキャプチャー後のコメントを日本語で発信した(通常、ISSと地上との通信は英語で行う)。また、星出飛行士は、運用管制室の取材にきたメディアに対し、自身が行ったHTV3号機での経験をもとに説明を行った。その結果、HTV5号機に関する報道は、HTV4号機との比較で倍増した。



「こうのとりの」5号機で運ばれた
果物を浮かべる油井飛行士



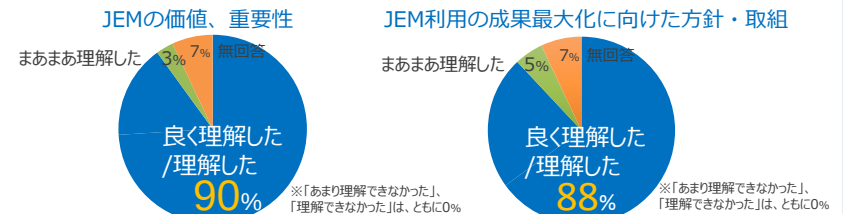
報道実績

(2) 研究成果の論文掲載

- 世界最大の広視野X線カメラを搭載し、全天のX線天体を監視することができる世界で唯一の全天X線監視通報を担う装置「MAXI」による観測結果に基づいて、ブラックホール近傍から出る規則的なパターンを持つ光の変動を初めて可視光で捉えることに成功した。X線連星における短時間の光度変動を説明する、これまでの理論に疑問を投げかけるもので、ブラックホール天文学の発展に寄与する成果として、京都大学・広島大学・理化学研究所とJAXAとの連名で英国の科学誌「Nature」に論文が掲載された。
- JEMで飼育した遺伝子組み換えメダカの骨組織を解析した結果により、微小重力で骨量が減少するメカニズムのひとつ(破骨細胞が無重力下で活性化→破骨細胞のミトコンドリアの形態異常)を世界で初めて明らかにした。この成果は、老人性骨粗鬆症の対策に繋がることが期待され、英国の科学誌「Nature」姉妹誌の「Scientific Reports」(オンラインジャーナル)で公開された。

(3) 過去最高の参加者を集めた、帰国報告会

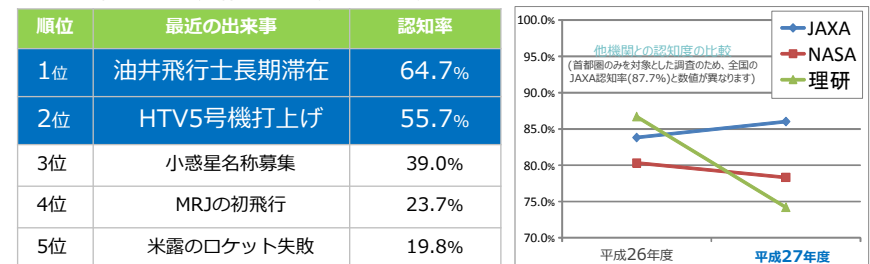
- より多くの人に直接話を聞いていただき、JEM利用や有人宇宙活動についての興味・関心を高めるため、機構としては過去に例のない2,000人規模のミッション報告会を開催し、全国6か所合計で7,000名を超える参加者を得た。
- 企画構成を従来の宇宙飛行士の体験を重点としたものから、JEMの利用を重点としたものに変え、伝えたいメッセージを具体化でわかりやすい説明で伝えた結果、JEMの利用価値や重要性、成果最大化に向けた機構の取り組みを多くの参加者に理解された。



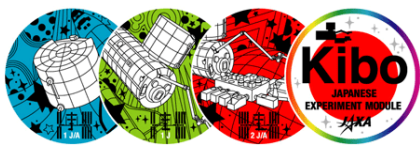
油井飛行士の帰国報告会アンケート結果

(4) 認知率トップ、油井飛行士のISS長期滞在

- 機構が実施した平成27年度「宇宙航空事業に関する国民の意識調査(調査時期:平成27年12月～平成28年1月)」において、航空宇宙に関する最近の出来事で、「油井飛行士の長期滞在」と「HTV5号機の打上げ」の2件が、1,2位を占めた。また、同調査で「JAXA」と聞いての認知率(再認知率)は87.7%となり、油井ミッションとHTV5ミッションの認知率が貢献したと考えられる。



平成27年度「宇宙航空事業に関する国民の意識調査」結果



⑤将来の有人宇宙活動に向けた準備

将来の有人宇宙活動を展開する上で必要となる中核的技術の研究開発を進め、国際的な競争力。また、HTV後継機の技術検討など、ISS運用延長(～2024年)にかかる政府の検討を技術面から支援し、政府の運用延長判断に繋げた。

(1) ISS運用延長参加決定とHTV後継機検討

- HTV後継機のご概念検討など、ISS運用延長(～2024年)に係る政府の検討を技術面から支援した。
- その結果、日米両政府がISSに係る新たな協力の枠組み「日米オープン・プラットフォーム・パートナーシップ・プログラム(JP-US OP3)」に合意し、2024年までのISS運用延長に日本が参加することが決定した。
- 将来の低軌道あるいは有人宇宙探査に活用することを想定したHTV後継機のミッション検討や開発着手に向けた準備を進め、HTVに比べ輸送単価を半減させる目途を得た。

(2) 将来の有人宇宙活動につながる中核的技術の獲得

- 有人宇宙システムの中核となる完全再生型生命維持システム(ECLSS)について、水補給ゼロ、消耗品ゼロの画期的なシステムの構築を目指し、国内の様々な分野の企業・大学との連携で研究を進めた。
- 国際宇宙探査の計画検討の一環としてISS参加国間で進めているECLSSの技術調整を日本で開催し、CO2吸着剤や還元触媒、水再生技術など、他国に対し日本が優位性を持つ技術を関係各国に示した。特に、日本独自の電気分解方式で、地上実証段階にある水再生装置は、他国から高い関心を得た。
- 空気再生技術について、圧力変化により短時間で二酸化炭素の吸脱着が可能な吸着剤(加熱・冷却方式のNASAより高性能・省リソース)、有毒ガスを発生せず250℃で反応する二酸化炭素還元触媒(NASAは600℃、一酸化炭素などを発生)について地上実証を行い、要素レベルで処理が適切に行えることを確認した。
- 有人宇宙探査に必須となる放射線防護の技術について、これまで取得した船内被ばく線量データに加え、新たに開発したJEM曝露部線量計でデータを計測した。今後、JEM船壁の遮蔽能力の評価や、将来の有人宇宙機の遮蔽・防護の最適化検討に活用していく。
- また、複数の遮蔽材料に対する数値シミュレーションを行い、ポリエチレンが最も線量低減効果の高い材料であることが分かった。放射線照射試験で遮蔽効果を実測し、取得した減衰特性データを数値シミュレーションモデルに反映した。
- 将来の有人宇宙探査を見据えた宇宙医学生物学研究として、4つの重点研究課題(骨/筋肉/前庭機能、免疫機能低下、長期閉鎖環境滞在、宇宙放射線防護)を設定し、研究を進めた。

【補足説明資料】将来の発展性を考慮した、HTX-Xのミッション検討

新型宇宙ステーション補給機 (HTV-X：仮称)

1. HTV-Xの開発計画

- 平成28年度より開発着手、平成33年度打上げ目標。
- このとりを継承し、ISS計画における物資補給の中核を担う。

2. 開発意義

- 将来へ発展性のある新しい技術・機能の獲得
- ISS計画参加経費の削減
- 国内産業基盤維持、産業競争力の強化
- 国際的な発言力の確保

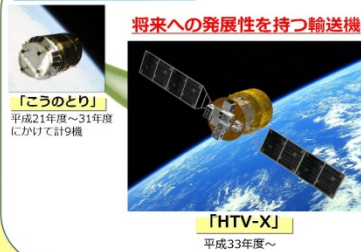
3. 技術的意義

このとり技術に一層の磨き

- 飛行機能を集約した汎用性の高いサービスモジュール
- 構造の最適設計による軽量化
- 最新のシステム設計手法による部品点数の削減
- 物資の搭載性の改善



4. HTV-Xの発展



国際宇宙基地協力協定の下、我が国の国際的な協調関係を維持・強化するとともに、人類の知的資産の形成、人類の活動領域の拡大及び社会・経済の発展に寄与することを目的として、国際宇宙ステーション(ISS)計画に参画する。

ISSにおける宇宙環境利用については、これまでの研究成果の経済的・技術的な評価を十分に行うとともに、将来の宇宙環境利用の可能性を評価し、ISSにおける効率的な研究と研究内容の充実を図る。また、ISSからの超小型衛星の放出による技術実証や国際協力を推進する。

なお、ISS計画への参画にあたっては、費用対効果について検討するとともに、不断の経費削減に努める。

ア. 日本実験棟(JEM)の運用・利用

日本実験棟(JEM)の運用及び宇宙飛行士の活動を安全・着実にを行うとともに、宇宙環境の利用技術の実証を行う。また、ISSにおけるこれまでの成果を十分に評価し、成果獲得見込みや社会的要請を踏まえた有望な分野へ課題重点化を行い、JEMを一層効果的・効率的に活用することで、より多くの優れた成果創出を目指す。具体的には、以下を実施する。

(a) JEMの運用



■ JEMの保全補給を含む軌道上運用継続による技術蓄積及びISS/JEMの利用環境の提供

実績: ① 国際間で調整した計画に基づき、JEMの運用を行い利用環境を安定的に提供した。

② JEM利用成果の最大化に向けて、時代の要請に応えた新たな利用環境を構築した。

効果: ① インクリメントマネージャ制を新たに導入し、半年間の軌道上実験計画(インクリメント)毎に、特徴を持たせた成果目標を明確にした「戦略テーマ」と実験の優先度を設定した。リソースを柔軟に活用しながら、成果を最大化する実験運用体制を構築した。その結果、米国民間輸送機の打上げ延期や緊急船外活動実施等の外的要因による度重なる計画遅延が発生するなかでも、軌道上計画を速やかに変更し、優先度の高いマウス実験等の利用環境を構築することが出来た。

② NASAの安全評価を必要とする運用手順書(ODF)のうち、使用頻度の高いJEMロボットアーム運用に係るODF評価権限の委譲をNASAから受け、ODF制定時間の3割短縮を可能にした。

■ 日本人宇宙飛行士のISS長期滞在の実施、ISS長期滞在に向けた訓練、及び健康管理の実施

実績: ① 油井宇宙飛行士は平成27年7月から12月までの約142日間ISSに長期滞在した。

② 大西宇宙飛行士のISS長期滞在訓練を実施した。

③ 金井宇宙飛行士は、ISS長期滞在(第54次/55次)に任命された。

④ 訓練及び健康管理を実施し、全JAXA宇宙飛行士の宇宙飛行士認定状態を維持した。

効果: ① 平成27年10月1日に、露米に続く世界第3位で日本人のISS累積滞在日数が1,000日を超えた。持続的なISS長期滞在を通じて、有人長期滞在技術を保有する限られた国として世界に存在感を示した。

② 油井飛行士自身が備える身体能力の高さに加え、従来NASA主導で行っていた帰還後のリハビリ・運動指導をJAXA主導で行うことで、想定よりも早く回復させた。

③ 金井飛行士のISS長期滞在任命により、選抜された全JAXA宇宙飛行士の宇宙飛行計画が決定した。

■ ISS宇宙飛行士に対するJEM訓練の実施

実績: ① HTV後継機の概念検討など、ISS運用延長(～平成36年)に係る政府の検討を技術面から支援した。

② ISSに搭乗指名された日本人及び国際パートナーのISS宇宙飛行士14人に対して、JEM及びHTVシステムの運用訓練を実施した。

効果: ① 14名の宇宙飛行士への訓練を完了し、インクリメント47(平成28年前半の約3ヶ月)までのJEM運用要員の準備を完了した。

■ ISS運用継続を受けたJEM運用計画の策定

実績: ① 我が国の平成36年までのISS運用延長参加の決定を受けて、JEM運用計画を策定した。

効果: ① 過去8年間の運用実績を踏まえ、2021年以降の運用も見据えた安定的な運用体制確保を目指し、JEM運用業務の見直しを実施した。

JAXA主体で全体計画管理体制を築く方針を立て、JAXAと業務請負業者の役割分担を見直すことで効率化を図り、平成28年度のJEM運用業務のコストは平成27年度と比べて約1億円削減の見通し。

② 日米両国政府が合意したISSに係る新たな日米協力の枠組み「日米オープン・プラットフォーム・パートナーシップ・プログラム(JP-US OP3)」に対応し、JAXA-NASA共同利用を促進した。

③ 将来の低軌道あるいは有人宇宙探査に活用することを想定したHTV-Xのミッション検討や開発着手に向けた準備を実施し、これまで培った技術と努力によりHTVに比べ輸送単価を半減させる目途を得た。

■ 日本人宇宙飛行士の搭乗に対する安全評価

実績: ① 油井飛行士が搭乗するソユーズ宇宙船(43S)の安全確認として、ロケットの専門家を含めた全JAXA的な協働体制で情報収集・調査や、独自分析等を実施し、安全評価を行った。43Sの打上げ/帰還において、安全上の問題は発生しなかった。

効果: ① プロGRESS(59P)の失敗を受けて、ロケットの専門家を含めた全JAXA的な協働体制で情報収集・調査や、独自分析等を実施した。この活動は、NASAが主催する43S飛行前審査会にて他極の安全対策に対する認識を正し、JAXAの指摘は他極から高く評価された。

② 有人安全技術の医療安全への適用に向けて、筑波大学病院と連携して、医療重大事故(患者の転落)を例に模擬安全審査を行った。その結果、転倒事故の防止対策として離床センサの確実な運用が識別され、その運用改善提案が正式に採用された。

■ 将来の無人・有人宇宙探査につながる技術・知見の蓄積

実績: ① ISS計画及び将来の有人宇宙活動を展開する上で必要となる宇宙医学生物学研究や基盤的技術研究を実施し、将来の無人・有人宇宙探査につながる技術・知見の蓄積を進めた。

効果: ① 有人宇宙システムの中核となる完全再生型生命維持システム(ECLSS)について、水補給ゼロ、消耗品ゼロの画期的なシステムの構築を目指し、国内の様々な分野の企業・大学との連携で研究を進めた。また、国際宇宙探査の計画検討の一環としてISS参加国間で進めているECLSSの技術調整を日本で開催し、CO₂吸着剤や還元触媒、水再生技術など、他国に対し日本が優位性を持つ技術に関係各国に示した。特に、日本独自の電気分解方式で、地上実証段階にある水再生装置は、他国から高い関心を得た。

② 空気再生技術について、圧力変化により短時間で二酸化炭素の吸脱着が可能な吸着剤(加熱・冷却方式のNASAより高性能・省リソース)、有毒ガスを発生せず250℃で反応する二酸化炭素還元触媒(NASAは600℃、一酸化炭素などを発生)について地上実証を行い、要素レベルで処理が適切に行えることを確認した。

③ 有人宇宙探査に必須となる放射線防護の技術について、これまで取得した船内被ばく線量データに加え、新たに開発したJEM曝露部線量計でデータを計測した。今後、JEM船壁の遮蔽能力の評価や、将来の有人宇宙機の遮蔽・防護の最適化検討に活用していく。また、複数の遮蔽材料に対する数値シミュレーションを行い、ポリエチレンが最も線量低減効果の高い材料であることが分かった。放射線照射試験で遮蔽効果を実測し、取得した減衰特性データを数値シミュレーションモデルに反映した。

④ 将来の有人宇宙探査を見据えた宇宙医学生物学研究として、4つの重点研究課題(骨/筋肉/前庭機能、免疫機能低下、長期閉鎖環境滞在、宇宙放射線防護)を設定し、研究を進めた。

(b) JEM の利用



■ JEMの利用を通じた宇宙環境利用技術の実証・蓄積

- 実績:** ① 小動物飼育装置のチェックアウト、静電浮遊炉の軌道上組立て、低温(4℃)でのタンパク質結晶成長技術の軌道上実証に向けた準備を完了した。
- 効果:** ① 小動物飼育装置は、マウス12匹を1匹ずつ約30日間飼育することができ、個体ごとの観察が可能。また、同じ宇宙環境で飼育しながら、微小重力と人工重力(例えば1G)のふたつの重力条件を設定する比較対照実験に活用される。このような哺乳類実験は世界で唯一JEMだけが行えるものであり、これまで行ってきた生物の細胞やメダカを使った実験からよりヒトに近いマウスを使った実験へと進化させることで、加齢現象研究に貢献し、地上での健康管理や病気の予防に役立てていく。

■ JEM利用実験の準備、軌道上実験の実施

- 実績:** ① 生命科学10件、宇宙医学・有人宇宙技術開発8件、物質科学2件、船外利用15件(計35件)の軌道上実験・観測を実施した。
② 高品質タンパク質結晶生成実験(打上げ、軌道上実験、回収)を2回実施した。
- 効果:** ① 総合力を駆使した体制に変革させた結果、米国民間輸送機の打上げ延期や緊急船外活動実施等の外的要因による度重なる計画遅延が発生する中でも、昨年度よりも多い35件の軌道上実験を実施した(平成26年度は、31件)。
② 高品質タンパク質結晶生成実験において、従来利用してきたロシアのISS輸送機に加え、米国のISS輸送機の利用を開始した。実験機会を増加させたことにより、実験の頻度を年4回に倍増させる目途を得た。

■ JEM船内・船外搭載実験装置の開発

- 実績:** ① ドラゴン補給船9号機(SpX-9)によるマウス打上げ、軌道上飼育、回収に向け、小動物飼育装置、打上・回収装置の準備を完了した。
② こうのとりの5号機(HTV-5)により打ち上げた簡易曝露実験装置「ExHAM」を船外プラットフォームに設置し、軌道上実験を開始した。
- 効果:** ① 加齢研究(骨、筋、免疫低下)に必要なマウス実験を行うための軌道上プラットフォームを整備し、マウス12匹を微小重力下／人工重力下での同時長期飼育し、比較対象実験を行うことが可能となった。また、マウスの生存回収をも可能とすることで、利用価値をさらに高めた。
② 簡易曝露実験装置「ExHAM」により、これまで宇宙飛行士が船外活動で取り付け/取り外しを行っていた実験装置を、**JEMのエアロックとロボットアームを活用して簡易に実施できる**ようになった。1号機により6件、2号機により4件の実験を実施し、**船外利用機会を倍増させた**。
③ 静電浮遊炉(ELF)等の新規実験装置を搭載する多目的実験ラック2号機をHTV-5にて打上げ、軌道上での組み立てを完了した。**多目的実験ラックの2台体制を構築して、新規の実験装置を運用する能力を倍増**し、JEM船内における利用環境を向上させた。

■ ISS運用継続を受けて策定した中長期利用シナリオに基づき、より多くの成果創出に繋がる利用計画の維持・改訂

実績: ① JEMでしか得られない社会的波及性の高い提案を重点的に進める方針を打ち出した公募を実施し、63件の応募を受けた。

効果: ① 国の戦略的研究に繋がる成果が期待できる重点募集区分として、「骨粗鬆症に関わるタンパク質の臨床プロテオーム研究」、「新たな質量分析イメージングによる筋・骨格系疾患の発症機構解明」、「微小重力環境を活用した臓器創出を目指す三次元培養技術の開発」の3件を選定した。

② 自由な発想に基づく独創的かつ先導的で、国際的に高い水準の成果が期待できる一般募集区分として、9件(生命科学6件、宇宙医学1件、物質物理2件)の実験テーマを選定した。

■ 生命科学分野、宇宙医学分野及び物質科学分野の組織的研究の推進、タンパク質結晶生成等の有望分野への重点化、並びに世界的な研究成果を上げている我が国有数の研究機関や、大学、学会などのコミュニティとの幅広い連携の強化による、JEM利用成果の創出と社会や経済への波及拡大

実績: ① 高品質タンパク質結晶生成実験において、基盤研究利用コースの定期募集(半年に1度)を開始した。また、日本医療研究開発機構(AMED)や産業技術総合研究所(AIST)との連携強化を進めた。さらに、打上げ機会の拡大に取り組んだ。

② 宇宙医学研究で、科研費の新領域学術領域研究(新領域提案型)で、「宇宙からひも解く新たな生命制御機構の統合的理解」(通称:宇宙に生きる)(平成27年度～31年度)が採択された。

効果: ① 高品質タンパク質結晶生成実験の定期募集により、JEM利用の頻度向上、定期性確保を実現した。

② AMED採択課題の「難治性消化器癌のエピゲノム創薬に係るタンパク質群の構造解析(大阪大)」、AISTの「生体イメージング技術に係るタンパク質群の構造生物学的研究」、「うつ病・認知症、ガン等の末梢疾患の治療薬副作用による精神障害などに対する創薬と診断技術の開発」を新たな実験テーマとする共同研究を開始し、有望かつ短期間での成果創出が期待できる戦略的機関との連携を強化した。また、創薬研究開発ベンチャー企業との包括的な有償利用契約を締結した。

③ 古川飛行士が代表研究者を務める「宇宙に生きる」の採択、共同研究の開始により、JAXAとして新たな学問領域を切り拓いた。

④ MAXIIによる観測の結果、ブラックホール近傍から出る規則的なパターンを持つ光の変動を可視光で初めて捉えることに成功した。X線連星における短時間の光度変動を説明する理論に疑問を投げかけるもので、ブラックホール天文学発展に寄与する成果として京都大学・広島大学・理化学研究所とJAXAとの連名で英国の科学誌「Nature」誌に論文が掲載された。

⑤ JEMで2ヵ月間飼育したメダカを分析し、無重力で骨量が減少するメカニズムの一端を世界で初めて明らかにした。無重力での骨量減少を解明する新たな手掛かりが得られ、動物モデルが無い老人性骨粗鬆(そしょう)症の原因解明に繋がるのが期待でき。この成果は、英国の科学誌「Nature」の姉妹紙のオンラインジャーナル「Scientific Reports」で公開された。

⑥ メダカの軌道上長期飼育(2ヶ月)の結果から、宇宙と地上で遺伝子発現が大きく異なる臓器(生殖器、腸)の特定や全ての臓器に共通で発現する遺伝子(免疫、酸化ストレス関連)を発見し、長期宇宙滞在における健康管理技術に繋がる成果として、共同研究者である東京大学と新潟大学の成果がPLOS ONE誌に掲載された。

■ 宇宙科学及び地球観測分野との積極的な連携による、JEM船外利用の開拓

実績: ① こうのとり5号機(HTV-5)で打ち上げた高エネルギー電子、ガンマ線観測装置「CALET」のチェックアウトを完了し、観測を開始した。

効果: ① 全天X線監視装置「MAXI」に続く新たな宇宙科学ミッションとして、「CALET」が世界に先駆けてテラ電子ボルト領域の電子の直接観測に成功した。

■ ISSからの超小型衛星の放出等による技術実証利用の促進

実績: ① ブラジルの「SERPENS」、千葉工業大学の「S-CUBE」(いずれも有償利用)の放出に成功した。

② 国連と超小型衛星放出に関する連携で了解覚書を締結し、衛星の募集を実施した。

③ トルコと超小型衛星放出及びExHAMミッションに関するLOI(Letter of Intent)を締結した。

効果: ① 「SERPENS」、「S-CUBE」等の放出により、2012年からの累計でJEMエアロックから105機の衛星が放出された。今後放出予定の、有償利用衛星4機、無償利用衛星5機の準備を進めた。

② 超小型衛星放出の需要に対応し、超小型衛星放出機構(J-SSOD)の能力を向上(6ユニット→18ユニット)させる計画を設定した。

③ 簡易曝露実験装置(ExHAM)1号機および2号機を打ち上げ、JEM船外実験プラットフォームに設置して実験を開始し、宇宙の曝露環境を利用した実験機会を増やした。

④ 多種多様な曝露実験を可能とする中型曝露実験アダプタ(i-SEEP)、放出可能な衛星バリエーションを広げる50kg級衛星放出機構を開発し、ISSに輸送した。

■ アジア諸国との相互の利益にかなうJEMの利用等による国際協力の推進

実績: ① 初の50kg級衛星放出となる東北大/北大/フィリピン科学技術省(DOST)開発の「DIWATA-1」(有償利用)の適合性確認試験、安全審査を完了し、JAXAへの引渡しを受け、シグナス4号機(OA-4)によりISSに打ち上げた。

効果: ① フィリピン政府は「DIWATA-1」を含む2機の超小型衛星打上げを国家事業として位置づけており、JAXAへの衛星引渡しの際には、DOST及びフィリピン大使館同席の記者会見・衛星公開を実施した。同国のメディア2社、日本のメディア21社が参加し、フィリピンの宇宙開発における日本の貢献をアピールした。



イ. 宇宙ステーション補給機(HTV)の運用

ISS 共通システム運用経費の我が国の分担義務に相応する物資及びJEM運用・利用に必要な物資を着実に輸送・補給することを目的として、以下を安全・着実に行う。

■ HTV5号機の打ち上げ及び運用

実績: ① HTV5号機は平成27年8～9月に打ち上げ及び運用を行い、ミッションを完遂した。

効果: ① 米国とロシアの補給機が相次ぎ失敗した中でのHTVの5機連続成功は、日本の高い技術力を改めて示すとともに、安定した運用は国際パートナーからの更なる信頼を得た。

② HTV4号機までの経験を経て成熟した射場での準備作業は極めて順調に進み、打上げまでにHTVが原因となるスケジュール遅れは無く、「宇宙の定期便」のキャッチフレーズにふさわしい物資輸送を行った。

③ 打上げの約1か月半前に発生した米国補給機の失敗後、**NASAからの緊急要請に応え、輸送計画を急きょ変更し、ISSの維持に不可欠な装置を輸送した。**これまでの協力で培った国際交渉力とHTVの高い柔軟性がクイックな対応を可能とし、**ISS運用継続危機の回避に貢献した。**

④ 物資輸送用バッグ(標準サイズ:502×425×248mmを1CTBとする)換算で、当初計画184CTB分の船内物資(国際標準実験ラック2台を含まず)の輸送計画に対し、190CTB分(計画に対して103%)の船内貨物を輸送し、HTVの能力を最大限に活用した。

⑤ HTV5号機ではISSに長期滞在中の油井飛行士が日本人で初めてHTVのキャプチャを担当した。地上では米国から若田飛行士が、日本からは「こうのとりの運用管制チームが支援し、油井飛行士の完璧なロボットアーム操作によるミッション成功を導き、**日本の宇宙技術力を結集した「チームジャパン」の総合力を示した。**

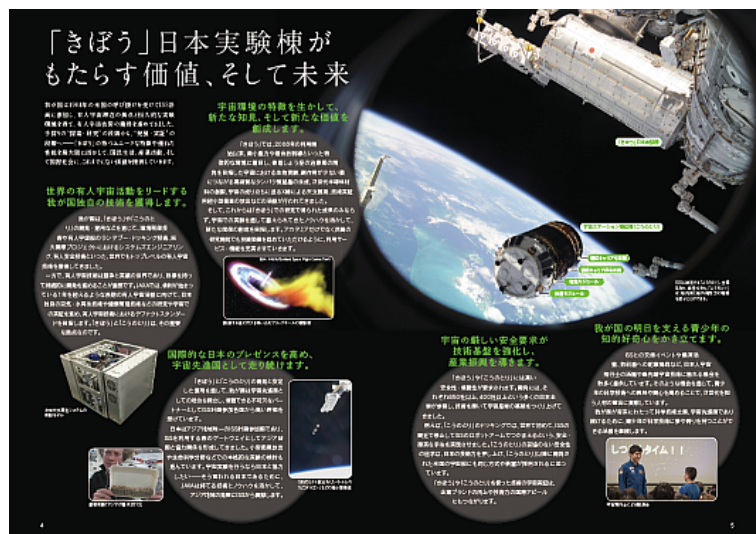
■ HTV6号機以降の機体の製作及び打ち上げ用H-IIBロケットの準備並びに物資の搭載に向けた調整

実績: ① HTV6号機以降の機体製造、打ち上げ用ロケットの準備、および運用管制や輸送物資に関するNASAとの調整を精力的に進めた。

効果: ① HTV6～9号機でISSバッテリー計24個を輸送する計画である。ISSバッテリーはISS運用に欠かせないものであり、輸送ができるのはHTVだけである。この重要物資を確実にISSまで輸送するため、日米が綿密に協力して、米国側担当のバッテリーと日本側担当HTVへの取付機構の製造状況やインタフェースの確認・調整、打上げ前の射場での作業手順の確認等の準備を進めた。

② ISSからの実験サンプル回収のためのHTV搭載型回収カプセルの技術開発を進めた。平成27年10月には、模擬模型の高空落下試験を北海道大樹町沖合にて実施した。小型回収カプセルの実現のために重要な機能の一部であるパラシュートやカプセル着水後の浮き袋の作動の確認、および落下中のカプセルの速度、パラシュート展開時・着水時の衝撃等を計測し、今後の設計、開発に有益なデータの取得ができた。

【補足説明資料】「きぼう」を利用した研究の内容・プロセス・評価結果を透明化し、公表



宇宙環境利用で得られた成果・得られる成果

「きぼう」を利用した実験・観測の結果、これまで以上に多くの成果が得られています。また、宇宙空間ならではの環境がもたらす新たな成果も期待されています。

健康長寿社会を支えます。

宇宙空間の特殊な環境は、健康や生活環境に与える大きな影響があります。宇宙空間での生活は、重力の影響を受け、骨密度の低下や筋肉の萎縮などが起こります。また、宇宙空間での生活は、ストレスの影響を受け、メンタルヘルスの問題が生じる可能性があります。宇宙空間での生活は、健康や生活環境に与える大きな影響があります。宇宙空間での生活は、重力の影響を受け、骨密度の低下や筋肉の萎縮などが起こります。また、宇宙空間での生活は、ストレスの影響を受け、メンタルヘルスの問題が生じる可能性があります。

豊かで安心・安全な暮らしを実現します。

宇宙空間の特殊な環境は、健康や生活環境に与える大きな影響があります。宇宙空間での生活は、重力の影響を受け、骨密度の低下や筋肉の萎縮などが起こります。また、宇宙空間での生活は、ストレスの影響を受け、メンタルヘルスの問題が生じる可能性があります。宇宙空間での生活は、健康や生活環境に与える大きな影響があります。宇宙空間での生活は、重力の影響を受け、骨密度の低下や筋肉の萎縮などが起こります。また、宇宙空間での生活は、ストレスの影響を受け、メンタルヘルスの問題が生じる可能性があります。

ものづくりで企業の競争力を高めます。

宇宙空間の特殊な環境は、健康や生活環境に与える大きな影響があります。宇宙空間での生活は、重力の影響を受け、骨密度の低下や筋肉の萎縮などが起こります。また、宇宙空間での生活は、ストレスの影響を受け、メンタルヘルスの問題が生じる可能性があります。宇宙空間での生活は、健康や生活環境に与える大きな影響があります。宇宙空間での生活は、重力の影響を受け、骨密度の低下や筋肉の萎縮などが起こります。また、宇宙空間での生活は、ストレスの影響を受け、メンタルヘルスの問題が生じる可能性があります。



新たな知的領域を切り拓きます。

宇宙空間の特殊な環境は、健康や生活環境に与える大きな影響があります。宇宙空間での生活は、重力の影響を受け、骨密度の低下や筋肉の萎縮などが起こります。また、宇宙空間での生活は、ストレスの影響を受け、メンタルヘルスの問題が生じる可能性があります。宇宙空間での生活は、健康や生活環境に与える大きな影響があります。宇宙空間での生活は、重力の影響を受け、骨密度の低下や筋肉の萎縮などが起こります。また、宇宙空間での生活は、ストレスの影響を受け、メンタルヘルスの問題が生じる可能性があります。



未来の宇宙を目指します。

宇宙空間の特殊な環境は、健康や生活環境に与える大きな影響があります。宇宙空間での生活は、重力の影響を受け、骨密度の低下や筋肉の萎縮などが起こります。また、宇宙空間での生活は、ストレスの影響を受け、メンタルヘルスの問題が生じる可能性があります。宇宙空間での生活は、健康や生活環境に与える大きな影響があります。宇宙空間での生活は、重力の影響を受け、骨密度の低下や筋肉の萎縮などが起こります。また、宇宙空間での生活は、ストレスの影響を受け、メンタルヘルスの問題が生じる可能性があります。

宇宙で得た技術を活用します。

宇宙空間の特殊な環境は、健康や生活環境に与える大きな影響があります。宇宙空間での生活は、重力の影響を受け、骨密度の低下や筋肉の萎縮などが起こります。また、宇宙空間での生活は、ストレスの影響を受け、メンタルヘルスの問題が生じる可能性があります。宇宙空間での生活は、健康や生活環境に与える大きな影響があります。宇宙空間での生活は、重力の影響を受け、骨密度の低下や筋肉の萎縮などが起こります。また、宇宙空間での生活は、ストレスの影響を受け、メンタルヘルスの問題が生じる可能性があります。

宇宙ステーション・きぼう 広報・情報センター

トップページ マンスリーニュース ライブラリ レポート＆コラム イベント お問い合わせ ENGLISH

トップページ > これまでに得られた成果

これまでに得られた成果 Results on Human Space Flight

「きぼう」利用の成果

得られた成果についてのプレスリリース

人類への恩恵

宇宙を感じる植物のしくみ

国際災害支援に関する宣言文

関連リンク

「きぼう」での実験
「きぼう」日本実験棟

これまでに得られた成果



軌道上の「きぼう」日本実験棟 (出典: JAXA/NASA)

「きぼう」を利用した内容・プロセス・評価結果の公表 (JAXA HPより)
<http://iss.jaxa.jp/kiboresults/>

成果報告書 (専門家向け)

- ファセットのセル状結晶成長機構の研究 (FACET)
実験成果報告書 [PDF 1.5MB] | 事後評価まとめ [PDF 222KB]
- 微小重力環境における高等植物の生活環 (Space Seed)
実験成果報告書 [PDF 2.2MB] | 事後評価まとめ [PDF 216KB]
- 高温下における部分予蒸発が液滴列燃焼と窒素酸化物生成に及ぼす影響 (PHOENIX)
実験成果報告書 [PDF 1.93MB] | 事後評価まとめ [PDF 224KB]

成果報告書、
評価結果
の一例

「きぼう」の意義・利用価値を分かりやすく伝える冊子から抜粋

3.（4）宇宙太陽光発電

中期計画
我が国のエネルギー需給見通しや将来の新エネルギー開発の必要性に鑑み、無線による送受電技術等を中心に研究を着実に進める。

財務及び人員に関する情報（注1）			
平成 年度	予算額 (千円)	決算額 (千円)	人員数(人)
25	—	211,177,437 の一部	—
26	—	207,856,661 の一部	—
27	358,394	308,409	—
28			
29			

注1： ・平成26年度以前の決算額はJAXA全体の数値。
 ・平成27年度の予算・決算額はセグメント「宇宙太陽光発電」全体の数値。
 セグメント毎の詳細はⅢ項に記載。
 ・人員数は常勤職員の本務従事者数を記載している。

マイクロ波無線電力伝送技術、レーザー無線電力伝送技術、大型構造物組立技術等の研究を行う。

1. マイクロ波無線電力伝送技術の研究

実績:

- 宇宙太陽光発電システム(SSPS: Space Solar Power Systems)における、送電アンテナの変形によるビーム方向制御精度劣化対策として、
- ① 送電アンテナに組み込んだパイロット信号受信アンテナの放射パターンの歪が主要因であることを試験で特定し、改善の方向性を見出した。
 - ② 平成26年度に実施した伝送実験にて課題とした、送電アンテナの変形を電子的に補正する際のデータ処理時間の短縮化を図るべく、電界強度測定時間及びCPUにおける演算処理間隔の短縮等により高速化を実現し、試験にてリアルタイムの変形補正が可能なことを実証した。
(平成26年度伝送実験時:90秒⇒今回:0.13秒に短縮)

効果:

- ① 送電アンテナの変形をリアルタイムで補正し、高精度に送電ビームを方向制御する技術の実現性を実証実験で示したことは、マイクロ波方式SSPSの実現に向けて大きく寄与するものである。
- ② この成果は、送電アンテナの変形補正技術が、送電アンテナと受電アンテナの位置関係が常に変化する移動体・飛翔体向けの無線送電に向けても適用できる可能性を示すものであり、送電効率の向上と応用面での安全確保の観点で、意義・価値が高い。

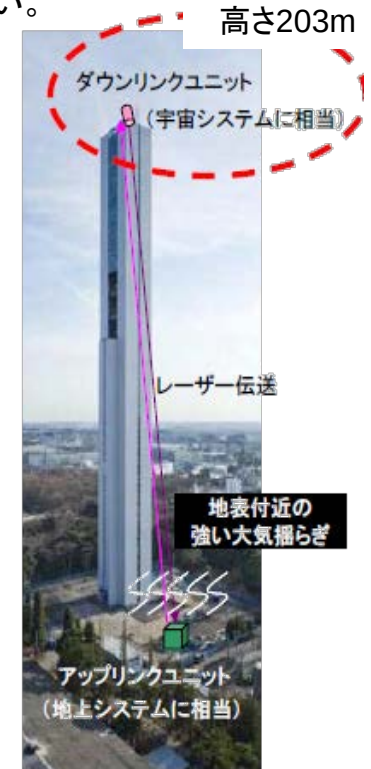
2. レーザー無線電力伝送技術の研究

実績:

- ① これまで実施してきた地上水平方向での距離500mの伝送試験では、実際の「上空から地上への伝送」と比較して、ビーム指向安定性が地表近くの大気擾乱の影響を過度に受ける懸念があった。このため、実際のレーザーSSPSの伝送経路を模擬する高塔(日立製作所G1タワー、上下の距離200m)の屋上-地上間のレーザーエネルギー伝送実験装置を開発し、平成28年3月にビーム方向制御精度を確認する予備的な試験を実施した。本実験により、上下方向の実験でも精度は水平方向の伝送時と同程度であったことから、上下方向でも相当の大気擾乱を受けることが分かった。詳細は検討中である。
- ② 日立製作所G1タワーにおける高出力レーザーエネルギー伝送実験時に用いる、InGaAs光電変換素子およびそれを組み込んだレーザー光／電力エネルギー変換装置を製作した。光電変換素子効率(42~49%)は、論文等で公表されている諸外国の素子効率に比肩する数値を達成した。

効果:

- ① G1タワーでの伝送実験を通じて、レーザービーム方向制御方法やビーム方向制御精度の計測・評価方法に関する知見を得、レーザー方式SSPSによる高精度・高効率なエネルギー伝送に必要な技術の開発が進んだ。また、要求仕様やその試験・検証に対する過度な要求を解消して、効率的かつ経済的な研究開発に寄与する。
- ② これらの技術は、レーザー方式SSPSに限らず、地上でのレーザー電力伝送や、移動体・飛翔体へのレーザー電力伝送にも適用可能であり、社会的な波及効果が期待される。



3. 大型構造物組立技術の研究

実績:

マイクロ波方式SSPSで送電アンテナとして使用する大型フェーズドアレイアンテナへの適用を目指した以下の2つの大型構造物の組立方法の研究を実施した。「電磁石による結合機構を搭載した展開構造物」に関しては、要素試作モデルを製作し、地上での展開実験で、最もクリティカルな自動展開・結合機構の概念実証を行った。

- ① 昨年度まで継続してSSPS向け大型構造物組立技術として研究を進めてきた「展開トラス組立技術」
- ② JAXAが考案し、3Dプリンタによる試作品の自作等を進め、特許出願した「電磁石による結合機構を搭載した展開構造物」

効果:

マイクロ波方式SSPSの巨大な送電アンテナを構築するためには、kmサイズの大型構造物を軌道上において無人で組み立てる技術が必須である。既存の技術としては、人工衛星に搭載した大型パラボラアンテナを展開する技術が存在するが、現在の技術では数十m規模が限度であり、kmサイズの大型フェーズドアレイアンテナへの発展性に乏しい。従来にない革新的な大型フェーズドアレイアンテナの自動構築技術の獲得は、マイクロ波SSPSの実現性を大きく高めるばかりではなく、衛星搭載用のレーダーや通信アンテナ等の性能向上にも寄与するものであり、その意義・価値は高い。

4. SSPS総合システム検討

実績:

SSPSという長期の目標に対して、研究開発・技術実証成果を早期に社会還元(社会実装)しながら進むことを主眼においた新しい研究開発シナリオの構想を「SSPS研究開発シナリオ(初版)」として具体化した。以下の4つの「社会実装」候補を選定し、JAXA内外の専門家を招いたWGにおいて、意義・価値や実現性・実現方法の検討を進めた。



大気中でのレーザー無線エネルギー伝送技術の実証

↓ (社会実装候補1)

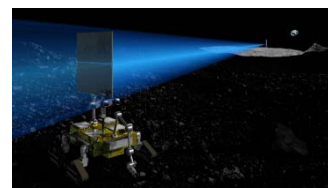
回転翼無人機への無線エネルギー伝送(レーザー)
バッテリーでは実現困難な連続滞空を可能とする。



長距離(km級)大電力(100kW級)のマイクロ波無線エネルギー伝送技術の実証

↓ (社会実装候補3)

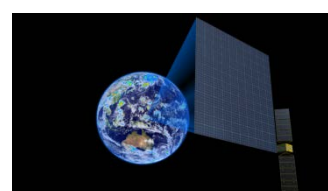
成層圏滞空型無人機への無線エネルギー伝送(マイクロ波)
電力収支を成立させ、情報通信・領域監視等の各種のミッションに貢献する。



宇宙環境(真空中)でのレーザー無線エネルギー伝送技術の実証

↓ (社会実装候補2)

月面探査ミッション探査機への無線エネルギー伝送(レーザー)
月面南極の永久陰領域内探査ローパーに着陸機からエネルギー伝送を行い、原子力電池無しでの探査を可能とする。



無人大型宇宙構造物の組立技術の実証

↓ (社会実装候補4)

静止降水レーダー(大型構造物組立技術)
静止軌道に30m級(暫定)のフェーズドアレイアンテナを展開し、常時・機動的な降水観測を可能とする。台風の発生メカニズム解明や気象予報・洪水予測の精度向上を実現する。

効果:

近年の社会状況の変化や競合技術の伸長等を踏まえ、早期の社会還元・社会実装をより重要視したSSPS研究開発シナリオへの転換を進めた。これにより、長期にわたる研究開発の途中段階でも、数多くの成果を広く社会に還元し、広いステークホルダーから支持を得つつ、社会全体としてのプレイヤーを増やし、関連技術への投資を拡大・推進しながら、SSPSの研究開発を進めることが可能となる。

3. (5) 個別プロジェクトを支える産業基盤・科学技術基盤の強化策

中期計画	
経済・社会の発展や我が国の宇宙航空活動の自立性・自在性の向上及びその効果的・効率的な実施と産業競争力の強化に貢献することを目的とし、コスト削減を意識しつつ、技術基盤の強化及び中長期的な展望を踏まえた先端的な研究等を実施する。 衛星システムや輸送システムの開発・運用を担う企業の産業基盤の維持を図るため、共同研究の公募や海外展示の民間との共同開催等、民間事業者による利用の開拓や海外需要獲得のための支援を強化する。 民間事業者の国際競争力強化を図るため、宇宙実証の機会の提供等を行う。また、このために必要となる関係機関及び民間事業者との連携枠組みについて検討する。具体的には、大学や民間事業者等が超小型衛星等を「テストベッド」として活用すること等による新規要素技術の実証等に資するため、小型・超小型の人工衛星を活用した基幹部品や新規要素技術の軌道上実証を適時かつ安価に実施する環境の整備を行い、イプシロンロケットを用いた軌道上実証実験を実施することを目指す。 企業による効率的かつ安定的な開発・生産を支援するため、衛星の開発に当たっては、部品・コンポーネント等のシリーズ化、共通化やシステム全体のコスト削減などに取り組むとともに、事業者の部品一括購入への配慮を促す。 また、宇宙用部品の研究開発に当たっては、部品の枯渇や海外への依存度の増大などの問題解決に向けた検討を行い、必要な措置を講じる。 海外への依存度の高い重要な技術や機器について、共通性や安定確保に対するリスク等の観点から優先度を評価し、中小企業を含めた国内企業からの導入を促進する。 また、我が国の優れた民生部品や民生技術の宇宙機器への転用を進めるため、政府が一体となって行う試験方法の標準化や効率的な実証機会の提供等に対し、技術標準文書の維持向上、機構内外を含めた実証機会の検討等を通じて貢献する。 基盤的な宇宙技術に関する研究開発を進めることで、プロジェクトの効果的・効率的な実施を実現する。また、我が国の宇宙産業基盤を強化する観点から、市場の動向を見据えた技術開発を行い、プロジェクトや外部機関による技術の利用を促進する。 具体的な研究開発の推進にあたっては、産業界及び学界等と連携し、機構内外のニーズ、世界の技術動向、市場の動向等を見据えた技術開発の中長期的な目標を設定しつつ、計画的に進める。 将来プロジェクトの創出及び中長期的な視点が必要な研究については、最終的な活用形態を念頭に、機構が担うべき役割を明らかにした上で実施する。	

財務及び人員に関する情報（注1）			
平成年度	予算額 (千円)	決算額 (千円)	人員数(人)
25	—	211,177,437 の一部	—
26	—	207,856,661 の一部	—
27	27,136,572 の一部	26,673,051 の一部	約290 の一部
28			
29			

注1：・平成26年度以前の決算額はJAXA全体の数値。
 ・平成27年度の予算・決算額はセグメント「横断的事項」全体の数値。
 セグメント毎の詳細はⅢ項に記載。
 ・平成27年度の人員数は常勤職員の本務従事者数を記載している。

衛星システムや輸送システムの開発・運用を担う企業の産業基盤の維持を図るため、共同研究の公募、海外展示の民間との共同開催、民間・関係機関等と連携した衛星及び衛星データの利用研究・実証等を通じて、民間事業者による利用の開拓や海外需要獲得のための支援を強化する。

民間事業者による利用の開拓や海外需要獲得のための支援を強化し、産業基盤の維持を図るため、以下の取組を実施した。

1. 海外需要獲得への貢献

目的:

- ① 潜在市場があり事業化が期待できる分野の技術を、企業と共同で開発し製品化を支援することにより、国際市場でのシェア／マーケットの拡大と産業基盤強化に寄与する
- ② 宇宙関連企業が多く集まるシンポジウム等に出展して日本の技術、国際競争力をアピールし、海外市場のニーズに沿った製品や情報提供サービスのマッチングを図ることにより日本の宇宙産業規模の拡大・基盤維持に貢献する
- ③ 開発支援や技術者育成、産業育成に関する付帯サービス(JAXAの開発管理、設計監理、安全管理、試験基準等に対する知見)を海外顧客等に提供することで、日本企業の海外展開活動を支援する

実績:

- ① 企業等による事業化や市場参入支援として、産業振興を目的に含む研究開発を推進し、企業から提案があり事業性の有望な「コマンド受信機」の開発に着手した。
- ② シンポジウムや国際会議等で日本の宇宙関連技術や機器を紹介し、企業間による具体的な商談46件(前年度27件)につなげた。
 (例) ▶ 産業振興を目的に企業と共同で開発したコンポーネントが欧州での展示会出展をきっかけに海外企業から初めて受注を獲得
 ▶ 第31回スペースシンポジウム(米国最大級の宇宙関連シンポジウム、出展参加日本企業9社)において日本貿易振興機構(JETRO)と初めて連携し、中小企業を含む我が国の宇宙関連企業の海外展開支援を強化
- ③ 日本企業の海外顧客向けの人材育成事業やJAXA施設の視察等に9件(前年度3件)対応し、企業が個社では網羅しきれない、日本の宇宙開発活動全般に係る実績や技術情報等を提供することにより、各社の海外受注獲得のための営業活動に貢献した。

衛星システムや輸送システムの開発・運用を担う企業の産業基盤の維持を図るため、共同研究の公募、海外展示の民間との共同開催、民間・関係機関等と連携した衛星及び衛星データの利用研究・実証等を通じて、民間事業者による利用の開拓や海外需要獲得のための支援を強化する。

2. 新たな衛星データ利用の開拓支援

目的:

- ① 衛星データの利用経験がない中小企業が、JAXA施策を通じてデータ解析技術を習得し、新規分野に参入することにつなげる
- ② 長年にわたり高い信頼性を有する衛星データをもとに民間事業者と連携・協力し、付加価値ある画期的なソリューションを展開して市場規模を広げ、新たな衛星データ利用分野を切り拓く

実績:

- ① 衛星データ利用の拡大・定着を目的とする「衛星データ利用ビジネス・インキュベーション施策」で、7件のパイロットプロジェクトを継続実施し、うち教育分野において中・高校生向けタブレット用アプリケーションのリリース及び防災利用での国際協力案件受注に寄与した。
- ② ALOSデータを活用した世界最高精度の 全世界デジタル3D地図を完成させ、事業者と協調して整備・利用拡大を実施した。
高品質の3D地図作成技術力や世界60カ国にわたるサービス提供を通じて、世界各国の社会基盤の高度化・効率化を支援し、日本の宇宙開発利用の普及啓発に大きく貢献したことが評価され、「第2回宇宙開発利用大賞 内閣総理大臣賞」を受賞した。

民間事業者の国際競争力強化を図るため、宇宙実証の機会の提供等に向けて、関係機関及び民間事業者との連携枠組みについて検討する。具体的には、大学や民間事業者等が超小型衛星等を「テストベッド」として活用すること等による新規要素技術の実証等に資するため、イプシロンロケットを用いた軌道上実証実験を実施することを目指し、小型・超小型の人工衛星を活用した基幹部品や新規要素技術の軌道上実証を適時かつ安価に実施する環境の整備を行う。

実績:

- 革新的衛星技術実証プログラムの成果の最大化を図るため、
 - ① JAXA内外の有識者からなる調整委員会を組織し、本プログラムが目指す価値を次の通りとし、募集・選定の条件、評価等の制度設計を行った。
 - － 衛星技術/競争力向上、イノベーション(新規宇宙利用)創出、宇宙産業の活性化
 - ② 平成29年度に計画している「革新的衛星技術実証1号機」に搭載する実証テーマを平成27年10月から11月にかけて募集し、32の応募テーマから右記の実証テーマ(計12件)を選定した。

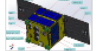
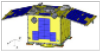
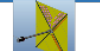
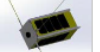
効果:

- 革新的衛星技術実証1号機搭載の実証テーマの実証によって、以下のような効果が期待できる。
- ① 新たな方式で開発中の民生部品(FPGA:構成変更できる集積回路)の宇宙適用を実証し、将来の衛星搭載部品の国産化、大幅な省電力、小型化、低コスト化貢献する。
 - ② 従来品や海外製品に対して大幅に機能性能を向上させたコンポーネント(軽量太陽電池パドル等)の搭載実績を得ることで、実用レベルの競争力を示し、国際市場におけるプレゼンスを高めることが出来る。
 - ③ 超小型衛星の新規利用ミッションを軌道上実証することで、超小型衛星を活用した新たなビジネスの創出、市場の拡大が実現出来る。

【革新プログラムの主旨】

- ① 我が国の衛星関連機器・部品の価格競争力、性能、機能などを格段に向上する技術の実証
- ② 宇宙利用の拡大や新たなイノベーション創出が期待される技術・コンセプトの実証
- ③ これまで世界で行われていない新たな宇宙利用ビジネス構想により、国内外の市場を新たに創造する、または、それにより国内の人工衛星関連産業の活性化につながる可能性のある技術・コンセプトの実証

革新的衛星技術実証1号機実証テーマ

部品		
革新的FPGAの耐宇宙環境性能軌道上評価		日本電気(株)
コンポーネント		
X帯2-3Gbpsダウンリンク通信の軌道上実証		慶應義塾大学
革新的船舶情報受信システムの実証実験		(株)IH
グリーンプロペラント推進系(GPROCS)の軌道上実証		(一財)宇宙システム開発利用推進機構
粒子エネルギー spektrometer (SPM) の軌道上実証		
深層学習を応用した革新的地球センサ・スタートラッカの開発		東京工業大学
軽量太陽電池パドル機構		JAXA
超小型・省電力GNSS受信機の軌道上実証		中部大学
超小型衛星		
海外新興国への衛星開発教育支援により衛星利用及び海外市場を拡大するための地球観測マイクロ衛星の提案		慶應義塾大学
高空間分解能スペクトル撮像技術の確立による新規地球環境計測及び農林水産鉱業市場の開拓と海外衛星利用市場の拡大		東北大学
キューブサット		
3Uキューブサットによる高機能展開膜構造物の宇宙実証		東京工業大学
ルーナ-ホライズングロー撮影を目指した、パルスプラズマスラストによるCubeSatの姿勢・軌道制御と超高層大気撮像高感度カメラの実証		九州工業大学

企業による効率的かつ安定的な開発・生産を支援するため、以下に取り組む。

- 衛星開発に当たっては、宇宙用部品・コンポーネント等のシリーズ化、共通化やシステム全体のコスト削減を考慮した計画を立案する。

実績:

- ① 宇宙機向け通信ネットワーク規格「SpaceWire」の高速性を最大限に発揮でき、また、タイミング保証や再送制御などの高信頼化の機能を取り込んだ、宇宙／民生双方の用途に適用し得る SOI CPU をメーカと連携し開発を進めた。
- ② 地球観測衛星のミッションデータ伝送は、X帯(8GHz帯)による直接受信により実施しているが、地球観測衛星のデータ大容量化が想定されており、データ伝送高速化が必至である。先進光学衛星ではデータ伝送のさらなる高速化が可能なKa帯(26GHz帯)に移行する計画であり、後続の先進レーダ衛星でも共通的に使用できる共通設備として、Ka帯の地上受信局の整備計画を立案した。

- 部品メーカとユーザーメーカ間の協力強化による部品一括購入の促進をサポートするための環境を整備する。

宇宙用部品の枯渇リスク及び海外依存度について調査を行い、リスク低減策について検討を行う。また、宇宙用共通部品の安定供給体制を維持するため、認定審査等を遅滞なく行う。

実績:

- ① 機構主催の宇宙用部品連絡会を活用し、複数のシステムメーカが使用する宇宙用共通部品をまとめて購入する環境を整備し、POL(電源系部品)について複数社による共同発注を実現した。
- ② 宇宙用共通部品の海外での使用拡大のため、NASA及びESAと米欧認定部品との仕様比較作業をそれぞれ共同で行った結果、同等の技術要求であることが確認できた。
- ③ 宇宙用共通部品メーカに対して延べ55件の認定審査等を遅滞なく実施した。

効果:

以下により我が国の宇宙開発の効率の向上及び産業界の競争力強化を推進した。

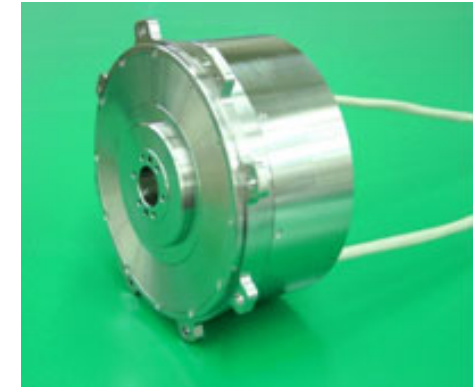
- ① 部品調達をまとめ買いするための環境整備により、部品生産効率向上、コスト削減に貢献した。
- ② 我が国の宇宙用共通部品が欧米で欧米の部品と同等に扱われる様にする基本合意がNASA/ESAとの間でできた。
- ③ 宇宙用共通部品の安定共有体制を維持した。

海外への依存度の高い重要な技術や機器について、共通性や安定確保に対するリスク等の観点から優先度を評価し、中小企業を含む国内企業を活用した研究開発を行う。

宇宙用高精度角度検出器

実績:

- ① 人工衛星のアンテナや観測センサの指向制御等に必須である角度検出器は、これまで海外品への依存度が高かったが、2003年度から多摩川精機(中小企業)と協力してJAXAの精密機構設計に対する知見を角度検出器の回転系の設計に反映し、国際競争力を有する開発仕様と宇宙環境耐性を実現させた(薄肉軸受の適用による軽量化、合成炭化水素グリースの採用による軌道上15年以上の長寿命化等)。本製品は、H28年3月に内閣府宇宙戦略室主催の第2回宇宙開発利用大賞において、宇宙航空研究開発機構理事長賞を受賞した。
- ② 現在、光通信などの将来ミッションにおいて、極めて精密なアンテナ等の駆動制御の要求に対応するため、2倍以上の高精度化(角度検出精度 ± 2.5 秒角)を目指した研究に着手している。



事例名: 「宇宙用高精度角度検出器の開発」

受賞者: 多摩川精機株式会社 スペースロニックス研究所

受賞理由: 人工衛星搭載アンテナや観測機器のポインティング機構などに使用する高精度角度検出器を、幅広い市場で実績を持つレゾルバ(電磁誘導方式の角度センサ)とR/D(レゾルバ/デジタル)変換器を組合わせた方式で、宇宙用途として新たに開発した。これにより、これまで国内で採用されてきた角度検出器の海外品を上回る高精度、高信頼性、低消費電力、小型・軽量化を実現することができ、近年の国内人工衛星に継続的に採用されるようになった。

効果:

近年の宇宙利用産業の高度化に伴い、高精度センサのニーズが多くなってきている。これまで国内の各種人工衛星(温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)、陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)、気候変動観測衛星「GCOM-C」等)への搭載実績があり、現在も引き続き新規の引合案件も出てきている。さらに高精度化が実現すれば、海外の宇宙市場においても競争力をもち、今後海外への拡販も期待できる。

項目	国産品	海外品	備考
検出方式	レゾルバ式	光学エンコーダ式	海外品の仕様は、最新を上段に、国産品開発時(2006年度)を下段[]内に示す。国産品は、現在においても、精度、分解能、消費電力で競争力を有する。
角度検出精度	± 5 秒角	同左	
分解能	21bit	21bit [18bit]	
質量	2.0kg以下	1.2kg [2.2kg以下]	
消費電力	1.6W以下	2.4W [5W以下]	
入出力	ディファレンシャル形式 (EIA RS422準拠)	同左	
			海外品との互換性確保

宇宙用高精度角度検出器の外観と主要諸元 (海外製品との比較)

我が国の優れた民生部品や民生技術の宇宙機器への転用を進めるため、政府が一体となって行う試験方法の標準化や効率的な実証機会の提供等に貢献すべく、以下に取り組む。

■ 整備した民生部品の宇宙転用ガイドラインの試運用を行い、実行課題等の整理と維持向上を図る。

実績:

- ① これまで輸入部品に依存していたリード付サーミスタについて、民生部品技術を基にした宇宙用への転用評価試験を実施し、宇宙用共通部品に転用できることを確認した。
- ② 試行により宇宙転用可能部品を宇宙用にするためのガイドラインの有効性が確認できたことから、H3ロケットの部品選定に係わる要求文書へ適用した。

効果:

- ① 国内の民生技術を活用することにより、これまで輸入品に依存していた部品の国産化を推進することで、納期短縮や輸入規制に伴う入手リスク等の低減が可能となるとともに国内産業基盤を強化した。
- ② コスト低減が大きな課題であるH3ロケットの部品選定に対し民生部品転用性評価を導入することで早期のリスク把握・低減を実現し、この視点からのプロジェクトの実現性に目途をつけた。

■ 機構内外を含めた実証機会の検討を行う。

サブミリ級デブリ観測システム

実績:

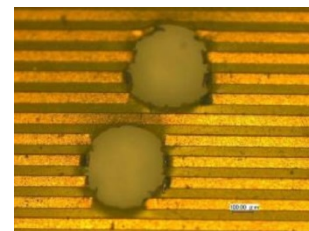
宇宙環境観測装置 (KASPER: Kounotori Advanced SPace Environment Research equipment) の一部として、民生のフレキシブルプリント基板の製造技術を応用したデブリセンサ (SDM: Space Debris Monitor) をHTV-5号機に搭載し、実証に成功した。SDM表面のポリイミドフィルムに、100 μ m周期で直線状の太さ50 μ mの導線パターンを形成し、デブリ貫通時に生じた破断導線の数よりデブリサイズを計測する。軌道上実証では、約100 μ mのサイズのデブリを計測することができた。

効果:

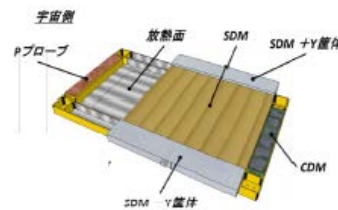
サブミクロスのデブリの分布状況を精度よく把握することが可能となり、デブリ防御対策の最適化やデブリ削減に効果的な規制や施策の検討に貢献する。なお、本デブリセンサSDMは(株)アストロスケールから受注を受けており、今後軌道上実証の機会が増える見込み。



SDM外観



地上高速衝突試験による衝突孔
(直径300 μ m粒子衝突時)



KASPERセンサ



KASPER搭載位置

■ 先端的な国産民生技術について、宇宙機器への転用に必要な評価技術等の研究を行う。

宇宙用小型パッケージの開発

実績：

民生分野で広く使われている高密度実装技術を用いることで従来の半分以上の少面積で同じ機能の部品を実装できる電子部品用パッケージ（小型パッケージ）を以下の新規技術の開発が成功したことによって実現に至った。

①耐放射線機能

低軌道小型衛星に対する民生部品活用の促進を目的に、民生用大規模集積回路（LSI）を使用する上で耐放射線対策として放射線遮蔽技術を適用して新たに開発した。この耐放射線防護機能の付加により、陸域観測技術衛星2号「だいち2号」（ALOS-2）相当の軌道における被ばく線量を半減化することに成功した。

②LSIチップ実装技術

多段ワイヤボンディングが可能な工法を新たに開発した。

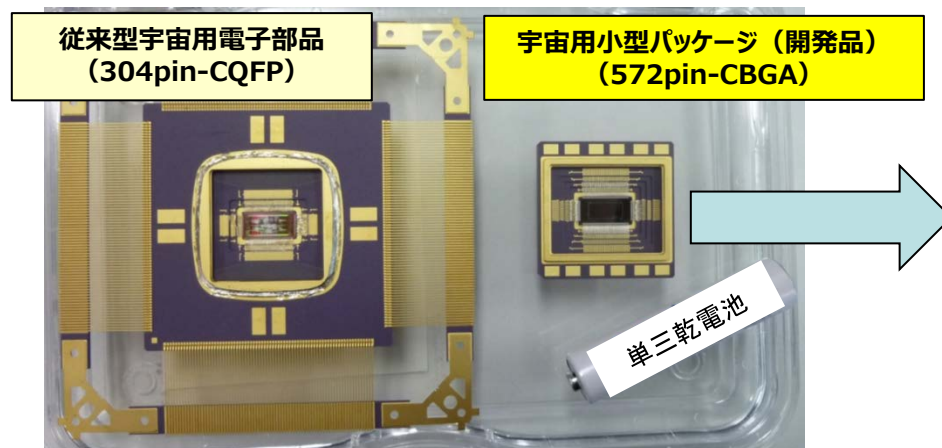
③ピン接続信頼性向上技術

プリント基板とパッケージの電気接続ピン（ボール）の接続信頼性向上のため、ボイドレスリフロー工法を実現した。

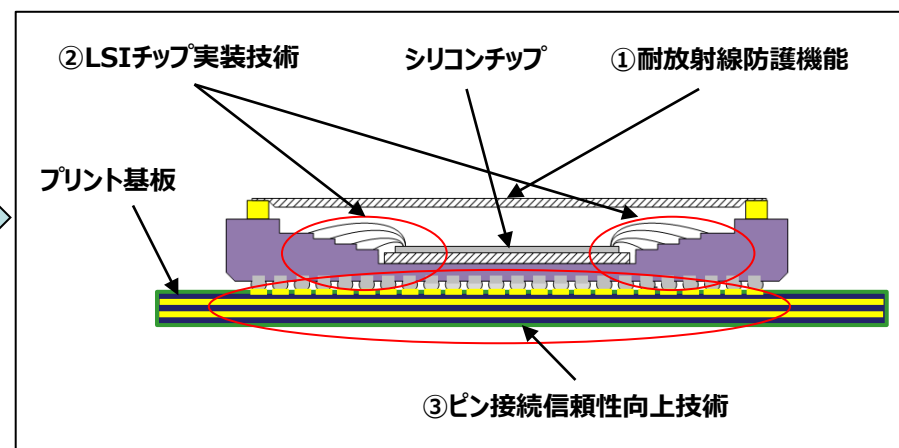
効果：

① システム/コンポーネントの小型化/軽量化による、産業競争力の強化。

② 今後拡大が見込まれる小型周回衛星に対するLSIの利用可能性を広げ、小型衛星等の性能向上、競争力強化に貢献する。



従来品と宇宙用小型パッケージの外観と大きさの比較
（従来品と比較して半分以上の面積で同機能性能を実現）



宇宙用小型パッケージ実現のために新たに開発した機能と製造技術

基盤的な宇宙航空技術に関する研究開発を進めることで、プロジェクトの効果的・効率的な実施を実現する。

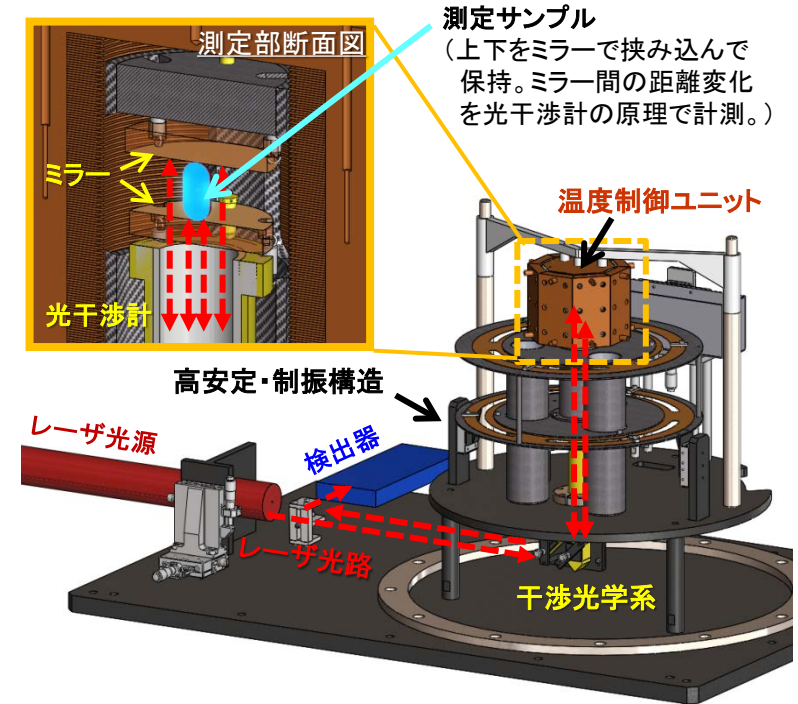
1. 超高精度熱膨張測定装置の開発

実績:

- ① アドバンス理工株式会社との共同研究を通じて、民間企業が培ってきた熱膨張測定、温度制御の技術および装置化ノウハウと、JAXAが研究開発を進めている微小熱変形測定、微小振動測定の技術および高安定構造の設計、評価の知見を融合。
- ② 実用化できる技術として従来からの計測精度を1桁向上させ、従来は国家計量機関（国立研究開発法人 産業技術総合研究所、アメリカ国立標準技術研究所(NIST)、ドイツ物理工学研究所(PTB)）の専用設備でなければ評価が困難であった $10^{-8}/K$ の熱膨張率を、誰でも購入可能な市販装置で測定できる基本技術を確立し、超高精度熱膨張測定装置の実用化の目途が得られた(JAXAオープンラボ公募制度による成果)。本共同研究の成果として、共同特許(3件)を出願中。

効果:

- ① 将来の宇宙用センサに必須となる極低膨張材料(熱膨張率が $10^{-7}/K$ 以下)の精密評価が可能となる。高品質な観測データを取得するためには構成部品の温度変化に対する高い安定性が必須であり、使用材料の物性を保証するための基盤技術である。
- ② 衛星メーカのみならず、ガラス・セラミックスなどの超低膨張材料・機能性材料や低膨張合金を開発している材料メーカへ展開し、材料レベルからの技術力向上が期待できる。宇宙分野に限らず精密機械産業の性能・競争力向上への貢献が期待できる。



技術検証用のプロトタイプモデル

基盤的な宇宙航空技術に関する研究開発を進めることで、プロジェクトの効果的・効率的な実施を実現する。

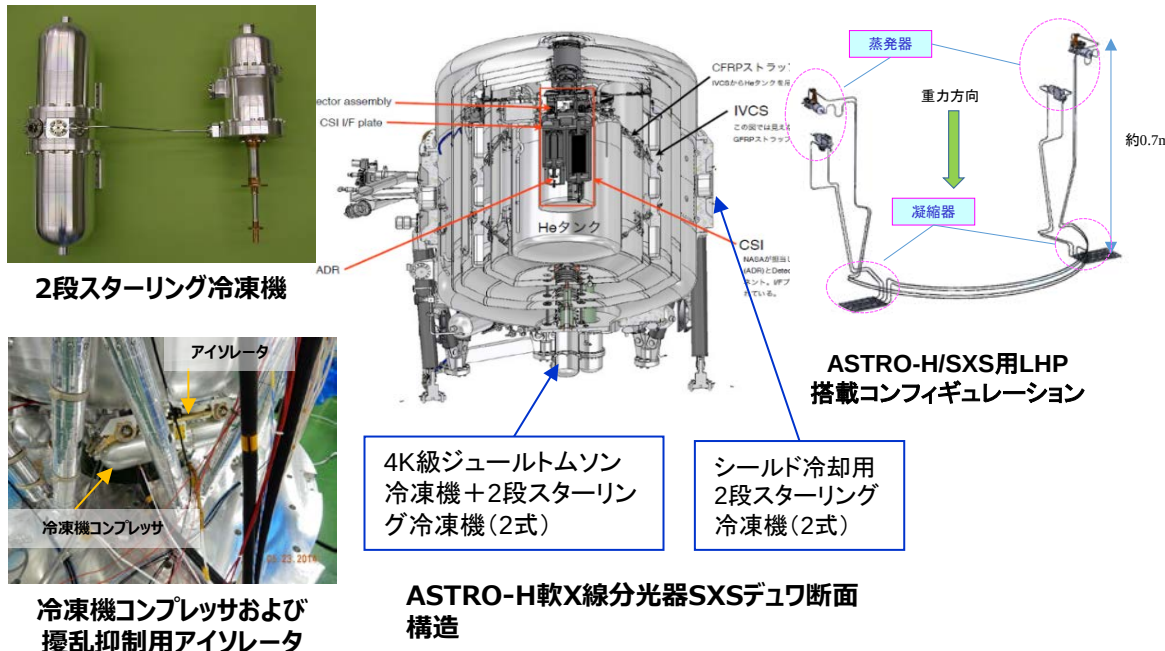
2. 次期天文観測ミッションに向けた機械式冷凍機および冷却システムの研究開発

実績：

- ① 4K級ジュールトムソン冷凍機の性能・信頼性を向上（冷却能力20mW@4.5K → 40mW@4.5K、要求寿命1.5年→3年、20K級2段スターリング冷凍機を予冷機に使用）。寿命評価試験をインハウス作業として継続実施中で、要求寿命3年を超える約4年間の動作時間を達成している。本冷凍機は、米国、欧州の同等冷凍機と比較するとトップクラスの冷却効率と小型軽量を誇る。
- ② 本冷凍機の発生擾乱伝達を抑制するための振動アイソレータを米国メーカと開発し、冷凍機高周波擾乱を低減した。
- ③ 総合的な冷却システム技術とすべく、ループヒートパイプ（LHP）を用いた冷凍機排熱システムを開発し、熱真空環境における性能実証および軌道上環境における起動手順を確立した。

効果：

- ① 冷凍機およびアイソレータ、排熱用LHPは、X線天文衛星ASTRO-H（ひとみ）／軟X線分光器（SXS）に搭載され、軌道上にて冷却性能が要求を満たすことを確認した。また、地上試験において冷凍機のみによる無寒剤（液体ヘリウム無し）冷却システムの性能を実証した。
- ② これらの技術は、次期天文観測ミッションAthena、LiteBIRD、SPICA等において概念設計のベースとなるもので、冷凍機技術については、欧州宇宙機構（ESA）主導の宇宙用冷凍機開発プログラムCC-CTP（Cryo-Chain Core Technology Program）における組み合わせ試験に参画中。



高性能冷却システムによるアウトカム

- ① 無寒剤冷却システムの実現
⇒ 冷却システムの小型軽量化・長寿命化
⇒ ミッション観測装置の高性能化と観測期間の長期化
- ② 次世代赤外線天文衛星SPICAの世界初の大型（口径3m級）・極低温（光学系6K以下）望遠鏡を実現
⇒ 欧州の赤外線天文衛星Herschel（口径3.5m、主鏡80K、FY2009打上げ）と比較して10倍以上の観測感度と3年以上の長期観測

サブケルビン冷却システムの比較例

	ASTRO-H/SXS (2016)	SUZAKU/XRS (2005)
要求寿命	3年（目標5年以上）	2年
重量	294kg	400kg
備考	- 冷凍機冗長機能あり - 寒剤（液体ヘリウム）枯渇後も冷却運用可能	冷凍機冗長機能なし

基盤的な宇宙航空技術に関する研究開発を進めることで、プロジェクトの効果的・効率的な実施を実現する。

3. ソフトウェアの設計過誤除去技術の強化

実績:

ソフトウェア高信頼化のため、設計結果に対する独立検証(IV&V:Independent Verification and Validation)技術の合理化、および設計段階での誤りを防止するモデルベース開発技術の研究開発を行った。

前者については、検証熟練者のみが合理的に行える検証観点の導出過程を構造化、可視化し、独立検証(IV&V)の合理化を熟練者でなくとも可能とし、熟練者視点での重要かつ問題の起こりやすい事象に特化した検証が可能となった。後者については、統一モデリング言語(UML: Unified Modeling Language)をベースとしてJAXAの持つ過去の過誤に関する知見に基づき、設計宇宙機用のオリジナル機能の開発、ソフトウェア構造の標準化を実施し、設計ハンドブックとして制定した。

上記、技術は、H-IIA基幹ロケット高度化、温室効果ガス観測技術衛星2号(GOSAT-2)等の実開発の場で適用している。

効果:

上記、設計過誤除去技術は、ソフトウェアの高信頼化に必要な技術であり、組み込みソフトウェア業界や自動車業界から引き合いが来ており、今後、国内、国際団体に提案を行うことにより、他業界でも普及する技術である。

【検証観点の合理的導出技術】

<アプローチ>

熟練者の思考過程の構造化・可視化(モデル化)

①目的/手段「論理構造」

- ☞ 何のために何をやるのか
- ☞ どの範囲が検証されるのか

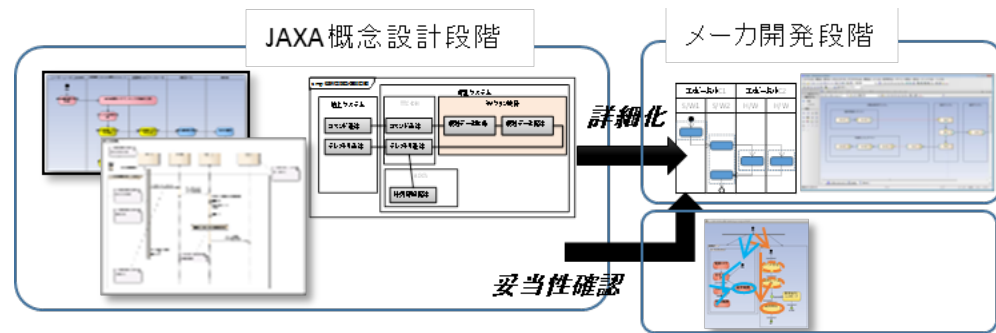
②手段導出「視点」

- ☞ 目的をどう切り口で捉えて達成しようとしているのか
- ☞ どういう前提をおいているのか

③「根拠」

- ☞ なぜその視点や手段が妥当であるといえるのか

本手法はGSN(Goal Structuring Notation)を元にJAXAで構造化に必要な分解視点(着眼点)を記述ルールとし改良を加えた手法



モデルベース開発技術

設計情報を関係者が正しく理解し、容易に認識合わせ(妥当性確認)を実現し、仕様抜け、過誤による重大不具合・手戻りを防止する

基盤的な宇宙航空技術に関する研究開発を進めることで、プロジェクトの効果的・効率的な実施を実現する。

4. 数値シミュレーション技術活用によるロケット・宇宙機設計開発への貢献

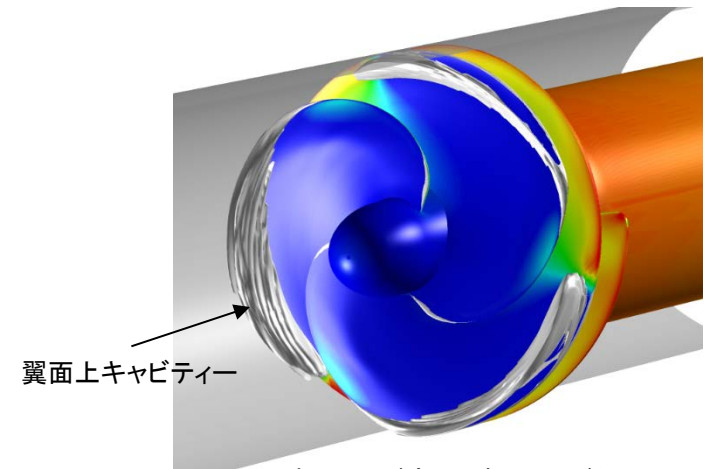
(1) H3ロケット設計開発への貢献:

実績:

上段エンジンの酸素ターボポンプインデューサの吸込み性能やキャビテーション不安定現象の改善を目的とした改良設計に関連して、インデューサの動特性(キャビテーション体積に対する圧力や推進薬流量の感度)を解析的に評価した。過去の要素試験データを元にキャビテーションモデルを見直して解析精度を向上させ、動特性算出法において従来必要であった補正係数を大幅に改善(解析誤差を半減)した。これにより、インデューサ動特性の精度良い評価を実現した。

効果:

従来はインデューサの動特性を要素試験により実験的に評価していたため、半年程度の試験期間と多額の費用が必要であったが、今回は数値シミュレーションにより解析的に動特性評価を実現できたため、上記要素試験を省略でき、期間短縮、経費削減に貢献するとともに、タンク及び配管系等の設計を約半年前倒して進めることに寄与した。インデューサの動特性を解析的に求める方法は世界的にも確立されておらず、本技術はJAXA独自の強みの一つである。



赤: 圧力が高い、青: 圧力が低い

インデューサキャビテーション解析結果例
(キャビティと翼面上圧力分布)

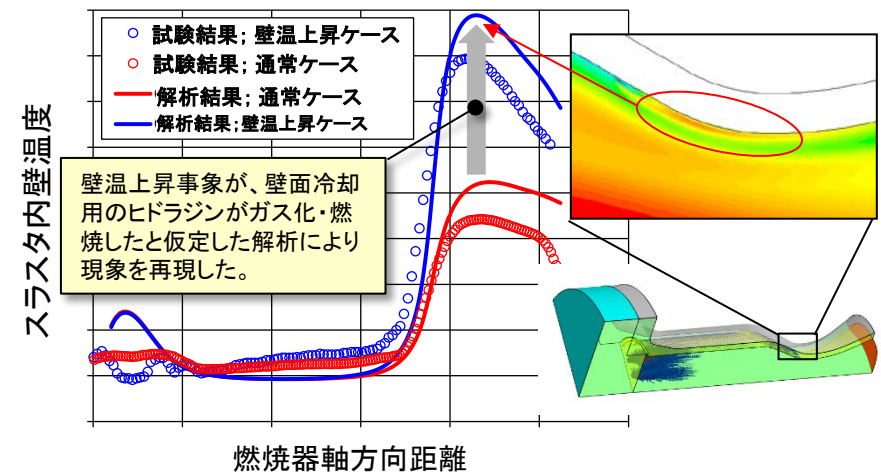
(2) 小型月着陸実証機SLIMの設計開発への貢献:

実績:

SLIM用セラミックスラスタの要素試験で計測された壁面温度上昇現象について、これまでスラスタ燃焼性能評価に使用していた壁面冷却モデルを改良し、当該現象がスラスタ内部の形状に起因するものであることを数値シミュレーションで再現した。

効果:

これまでは要素試験を繰り返して試験的に現象の把握を評価していたが、今回開発した数値シミュレーションにより解析的に現象の把握と予測を可能としたことで、SLIM開発における設計開発期間の短縮と費用削減に貢献した。



SLIMスラスタ燃焼解析結果
(壁面温度分布に関する試験値と解析値の比較)

基盤的な宇宙航空技術に関する研究開発を進めることで、プロジェクトの効果的・効率的な実施を実現する。

5. インターネット技術を活用した新たな宇宙機通信技術の開発(「遅延・途絶体制ネットワーク技術(DTN)」の技術開発)

実績:

本技術は、インターネット技術を応用することで、通信回線の遅延・断絶があってもデータ(情報)を損なうことなく送達可能となる技術であり、深宇宙ミッションをはじめとした将来の宇宙機通信に極めて有効な技術である。

自ら策定に携わったDTN技術に係る宇宙用国際標準通信規格(CCSDS規格)に基づき、ソフトウェア試作を行い、当該規格の国産化を実現した。さらに、成果として、通信規格の改善点について国際通信規格化団体(CCSDS)に提言し、当該技術の国際的な標準化活動に貢献した。

効果:

将来の国際協働探査環境にて想定される通信遅延・回線途絶に対応できるDTN技術のうち、核となる技術要素の実現に目処を立てた。また、2020年代の宇宙用国際通信規格として、探査データの確実な伝送を可能にすることが期待される。

6. 高精度軌道決定手法の確立

実績:

軌道決定精度の向上に寄与するアルゴリズム・機能の峻別を行い、改善効果の特に高い2つの機能(最新の地球重力ポテンシャルモデルの適用、GPS衛星の精密軌道暦及びクロックオフセットの改善)を運用システム(統合型軌道力学系システム:uFDS)に反映した。また、運用システムを用いて軌道決定精度の改善効果を評価し、低軌道衛星の軌道決定精度が、これまでの15~20cm(3D-RMS)から6cm(3D-RMS)に改善することを確認した。

(※海外衛星GRACEの軌道上データを用いた評価結果。軌道決定精度は海外機関の軌道暦との差異と定義。)

効果:

10cm以下の軌道決定精度が達成されたことにより、現行のALOS-2や将来のSARミッション(先進レーダ衛星等)におけるSAR観測データの干渉性が向上し、観測地点の地表変位を数mm~cmオーダーで把握することが可能となる。また、海面高度の計測や地球重力場の計測等、センチメートルレベルの軌道決定精度が必要となるミッションにも応え得る基盤技術を獲得したことになる。

また、我が国の宇宙産業基盤を強化する観点から、市場の動向を見据えた技術開発を行い、開発した機器等を衛星等に搭載する。

1. 宇宙用リチウムイオン電池

実績:

110/190Ah高性能リチウムイオン電池の開発を完了し、昨年度までに開発を完了した 42Ah/55Ahおよび150Ahセルと併せ、あらゆるサイズの衛星に対応可能なラインナップ化が完了した。また、H28年3月に内閣府宇宙戦略室主催の第2回宇宙開発利用大賞において、JAXAの電極材料の劣化性能、高容量化性能に関する知見及び評価データを開発に活かした宇宙用リチウムイオン電池が経済産業大臣賞を受賞した。また、右図(性能比較図)で示すような世界トップクラスの軽量かつ長寿命の設計が認められ、海外航空宇宙メーカー等から採用に向けた引き合いがきている。

事例名:「リチウムイオン電池による人工衛星電源の小型・軽量・長寿命化」

受賞者: 株式会社ジーエス・ユアサテクノロジー

受賞理由: 世界に先駆けて人工衛星用リチウムイオン電池を開発した。従来用いられてきたニッケル・カドミウム電池やニッケル水素電池と比較して、小型・軽量・長寿命化を実現したことにより、打ち上げコストの大幅な低減、運用年数の飛躍的な向上に貢献している。その結果、世界中の多くの衛星に搭載されている。

効果:

本製品は海外でも高い評価を受け、米国および欧州の人工衛星用電池市場への参入を果たすことに成功した。その結果、今日までに100機以上の人工衛星への採用実績を持ち、国際市場占有率が35%以上となるまでにシェアを伸ばした。また、150Ahセルの派生型(高出力化)が国際宇宙ステーションの交換用電池にも採用されている。

2. 薄膜セル応用軽量パドル

実績:

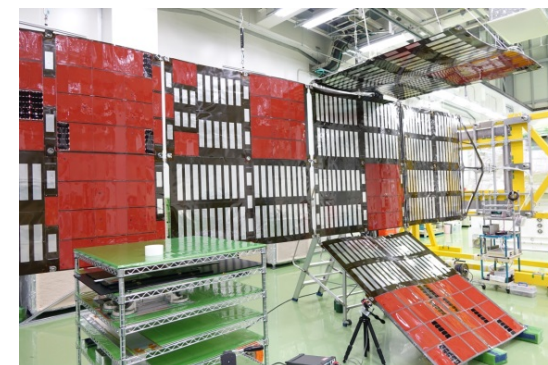
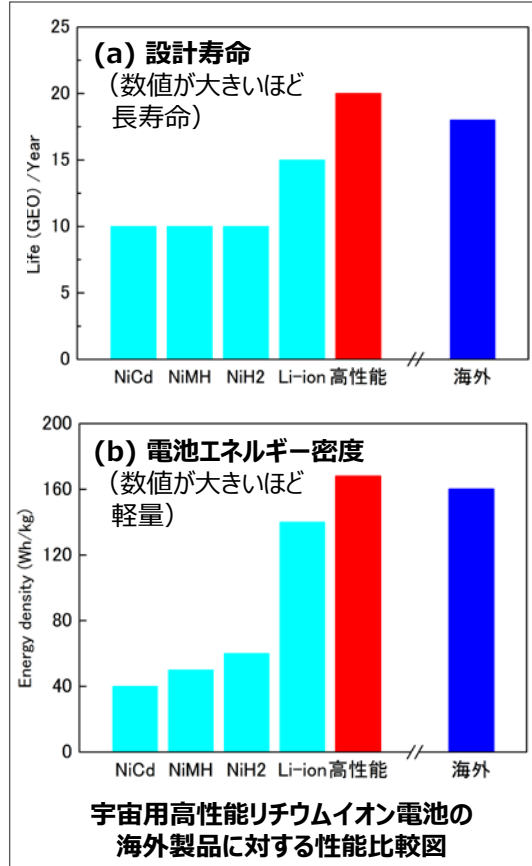
片翼6kW以上、出力重量比約160W/kg(現用製品の2~3倍)の太陽電池パドルの開発を完了。オール電化を含む商用衛星市場の大電力化要求を見越して、軽量、低容積かつ現行のパドルと代替可能な構造を実現し実用化した。欧米他社は現状100W/kg程度(高効率薄膜セルが実現していないため)。「革新的実証プログラム」小型実証衛星1号機の搭載実証テーマとして選定され、軽量パネル+新展開機構の実証を行う。

効果:

オール電化静止通信衛星を典型とした衛星の大電力化により、出力質量比が高く低容積の太陽電池パドルへの要求が高まっており、その要求に応えることで日本の宇宙産業の競争力強化・発展に寄与する。



宇宙用高性能
リチウムイオン電池
前列左から 42Ah, 55Ah
後列左から
110Ah, 150Ah, 190Ah



薄膜セル応用軽量パドル

また、我が国の宇宙産業基盤を強化する観点から、市場の動向を見据えた技術開発を行い、開発した機器等を衛星等に搭載する。

③GaNデバイスを用いたX帯固体電力増幅器(SSPA: Solid State Power Amplifier)

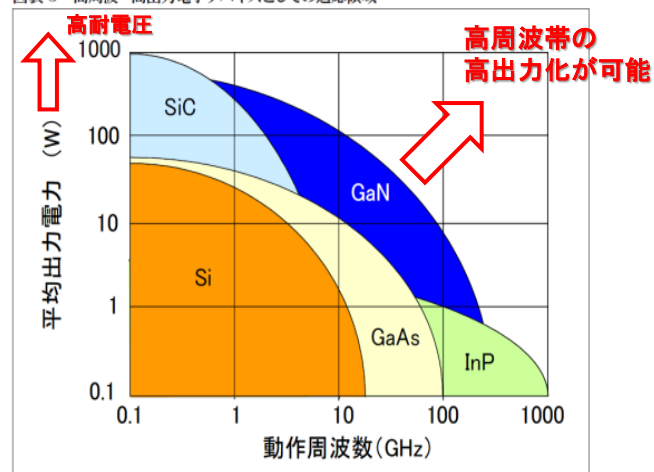
実績:

GaN(窒化ガリウム)の特徴である優れた耐電圧特性と高周波特性に着目し、世界に先駆けて衛星搭載用X帯(8GHz帯) GaN/SSPAを開発した。これによりGaAs(ガリウム砒素)を使用した従来の衛星搭載用X帯SSPAと比較して、同出力電力に換算して消費電力約17%減、質量約34%減を実現した(世界トップレベル)。JAXAの高速伝送システムの開発経験を踏まえ、振幅位相特性要求をGaNデバイス設計に反映することで、高性能化だけではなく、入出力非線形特性が小さいSSPAを実現した。

効果:

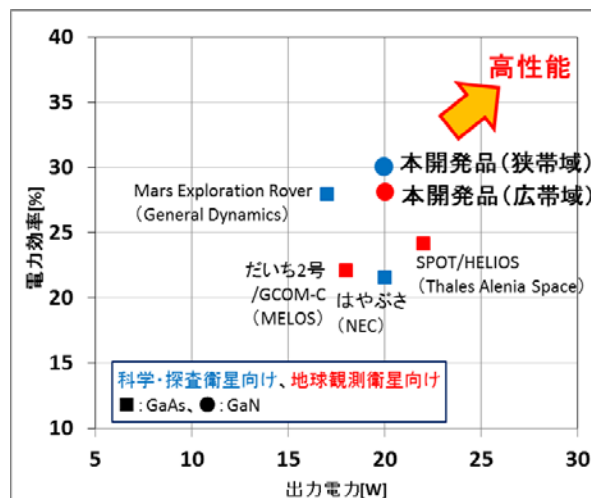
現状、8%強のシェア(年間所要台数を30台と仮定)を持つ従来のGaAs/SSPAと置き換えるとともに、本製品により海外市場における巻き返しを図ることで、商用衛星市場の15%以上のシェア獲得を目指す。既に欧米衛星メーカから、複数の衛星向けに引き合いを受けており、仕様、価格等の情報提供のやり取りをしている状況にある。

図表3 高周波・高出力電子デバイスとしての適応領域



科学技術動向研究センターにて作成

出典: 皿山 正二, “真のバルクGaN 単結晶の必要性と研究開発動向”, 科学技術動向2008年11号.
※赤矢印、赤字はJAXAが追記



衛星搭載用X帯SSPAの動向(出力電力vs電力効率)



GaNデバイスを用いたX帯固体電力増幅器(SSPA)外観

具体的な研究開発の推進にあたっては、産業界及び学界等と連携し、機構内外のニーズ、世界の技術動向、市場の動向等を見据えた技術開発の中長期的な目標を総合技術ロードマップに設定しつつ、計画的に進める。

実績:

研究開発の推進にあたっては、機構内外のニーズ、世界の技術動向、市場動向等を把握し、世界のベンチマークや特許などの知財を調査した上で、日本としての強みを発揮し、国際競争力が確保されるよう、企業側と協同して技術戦略を策定し、達成目標を共有した上で互いの役割分担を明確化して取り組んでいる。

国の施策や産業界の要請に対して、海外の動向も分析し、高い付加価値を生む研究開発目標と実施方針を研究戦略として設定した。

また、宇宙基本計画に基づき経済産業省が取りまとめた「コンポーネント・部品に関する技術戦略に関する研究会」等に参画し、研究開発状況の説明等を行った。

効果:

機能、性能の向上のみならず、企業が市場に投入することを目指して研究開発を進めることで、海外競争力を確保した製品作りが実現する。

部品・コンポーネントに関する技術戦略及び、併せて検討が行われた「部品及びコンポーネントに関する技術戦略ロードマップ」について内容の具体化及び制定に貢献した。

将来プロジェクトの創出及び中長期的な視点が必要な研究について、最終的な活用形態を念頭に、機構が担うべき役割を明らかにした上で実施する。

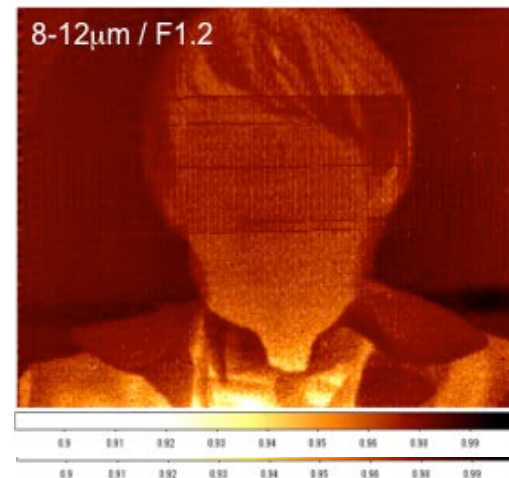
1. 赤外センサ(Type II超格子)

実績:

従来の赤外線センサに使われている検出素子のHgCdTe(水銀カドミウムテルル)は、ピクセル数を多くする大フォーマット化が難しく、さらに観測波長の制御や動作温度に関して制約があったが、これらの欠点を克服しながら、それに比肩する高感度の赤外エリアセンサ(Type II超格子)の開発に成功した。これにより赤外の大気窓領域に当たる波長範囲をほぼカバーでき、水蒸気、オゾンなどの大気特性取得および地球表層面の高精度絶対温度計測が可能となる。また、防衛装備庁とJAXAの研究協力テーマとして、本分野における継続的な研究協力が合意された。

効果:

1Mピクセルクラスの大フォーマットの設計がHgCdTeと比較して容易になり、さらに観測波長の感度特性の設計が容易になった。HgCdTeに比べてより高温環境での動作が可能なることから、センサ駆動時の冷却に必要な冷凍機をより小型化できるので、センサシステム全体の小型軽量化が期待される。また大フォーマット化により、これまで困難であった赤外域での高分解能センサの実現性が高まり、気象観測、災害観測、環境監視、惑星探査などの将来ミッションの高度化や創出に大きく貢献する。



TypeII超格子赤外センサによる撮影画像

2. クローズドサイクル希釈冷凍機システム(日仏国際協力)

実績:

クローズドサイクル希釈冷凍機技術を実現し、既存の冷凍機より高い冷凍能力を持ちながら軽量化および観測期間の大幅な延長(従来技術の2年から5年以上)をもたらす技術をフランス国立宇宙研究センター(CNES)と共同で獲得した。キーコンポーネントであるJAXA開発中の低吸込圧型³He圧縮機と、フランス開発中の希釈冷凍機低温部(分溜室、⁴Heポンプ)を結合し、世界初のクローズドサイクル希釈冷凍機システムの評価試験を行い、70mK 到達に成功した。この成果により、欧州の大型X線天文衛星Athenaや日本の宇宙背景放射観測衛星LiteBIRD等の次期ミッションで冷凍機システムの候補の1つに選定された。

効果:

宇宙大規模構造解明などを目指した高感度観測機器の実現には、低ノイズにするため1K以下の極低温環境が必要となる。本冷凍機によって、高い冷凍能力かつ軽量で長寿命な冷凍機システムの実現が可能となり、将来の宇宙科学に大きく貢献する。また、日仏間の対等かつ良好な関係の元、両機関の得意技術を生かした国際協力により成果を創出した好例となった。



クローズドサイクル希釈冷凍機システム地上実験モデル