

5. 平成18年度委員会評価結果

概要

宇宙科学研究本部では、年度の研究実績の評価をより透明性をもって実施するために、全国の宇宙科学研究者の代表が参加する研究委員会による「委員会評価」を実施している。

宇宙科学プログラムの年度評価は大きく二つに分けられる。

(A) 研究者の自主性を尊重した独創性の高い宇宙科学研究（研究系の所掌）

(B) 衛星等の飛翔体を用いた宇宙科学プロジェクトの推進

上記のうち (B) に関しては「年一回の委員会評価をすること」が中期計画に記載されている。ここで、「委員会」とは、それぞれのプロジェクトの性格により、宇宙理学委員会、宇宙工学委員会、宇宙環境利用科学委員会、のいずれかである。

それぞれの委員会で、平成18年度の実績について各プロジェクトより成果報告を受けて、評価を行った。

以下に各プロジェクトの成果報告及び委員会での評価結果を記載する。

a. 宇宙理学委員会（平成19年3月26日開催）

プロジェクト一覧

あけぼの、ジオテイル、はやぶさ（科学成果）、すざく、あかり、ひので（宇宙空間にあり運用中のもの）
SELENE, PLANET-C, BepiColombo, LUNAR-A（開発中のもの）

「あけぼの」プロジェクト

プロジェクトの概要：

「あけぼの（EXOS-D）」は、1989年の打ち上げ以来、順調に科学観測を続けている。電磁場・波動・プラズマ・放射線帯粒子などのデータを取得する9種の観測機器を搭載し、オーロラ現象等に関連する地球電離圏・磁気圏の観測および放射線帯の観測を行っている。

運用状況の概要とプロジェクトの成果：

- ・ 内之浦局10mアンテナを用いて運用・追跡・データ取得を行った。平成18年度1年間の運用実績は、総計約430パスであった。
- ・ スウェーデン宇宙公社と協力し、エスレンジ局でのデータ取得を行った。平成18年度の1年間の取得実績は総計約560パスであった。
- ・ 内之浦局及びエスレンジ局で取得したデータは、宇宙科学研究本部のSIRIUS（テレメータのデータベース）に格納した。
- ・ 「あけぼの」衛星を運用してきた内之浦局10mアンテナ及び周辺機器の老朽化が激しいため、34mアンテナでバックアップ運用が出来るように無線免許を取得し、地上施設の体制を整備した。
- ・ エスレンジ局で取得したデータの輸送は、平成19年1月に、従来のCD-ROMによる搬送からオンラインによる伝送に方法が変更され、データが迅速に利用できるようになった。
- ・ 2010年度までのプロジェクト延長を申請し、宇宙理学委員会で定められた既存衛星のプロジェクト延長に対する評価基準に基づいて審査を受けた。その結果、科学的成果が十分に期待できると評価され、宇宙理学委員会から宇宙科学研究本部へ対して2011年まで運用の延長が勧告された。
- ・ 「あけぼの」のデータの一部は、DARTSデータベースによって国内外の研究者に提供されている。平成18年度には、主に以下のような科学的成果があった。

- ・平成18年4月から19年1月にかけて、南極昭和基地上空において、データレコーダにプラズマ波動データを記録し、内之浦宇宙空間観測所において再生するキャンペーン観測を行った。
- ・平成18年10月から12月にかけて、極域のオーロラ現象に関連する観測を目的とする「れいめい」衛星との同一磁力線上でのイベント観測において、プラズマ粒子・磁場・波動のデータ取得を行った。
- ・平成18年には、査読論文16本が出版され、また大学・大学院生教育に利用され、博士論文3本、修士論文3本、卒業論文2本が出版された。

(宇宙理学委員会における評価)

18年以上にわたり、順調に科学観測を続けており、成果も出し続けている。また、太陽活動の1周期を超える放射線帯などの変動データは世界的にも価値が高い。平成18年度の実施結果は年度計画の目標を十分達成したものと評価される。

「ジオテイル」プロジェクト

プロジェクトの概要：

1992年7月に打ち上げられたジオテイル衛星は、日米共同プロジェクトとして進められており、衛星搭載の磁場、電場、プラズマ、波動、高エネルギー計測装置を用いて地球磁気圏周辺の宇宙空間で発生するプラズマ現象の観測研究を行っている。

運用状況の概要とプロジェクトの成果：

打ち上げ後14年8ヶ月になる現在も衛星の状態は良好であり、7つの搭載科学観測機器は順調に観測を続けている。これまで幾多の成果をあげ、宇宙プラズマ物理学の研究進展に大きく貢献したことは世界的に高く評価されている。

- ・最近では、宇宙天気予報等の観点から、ジオテイル衛星の観測は多衛星による国際共同観測の中で重要な位置を占めている。
- ・衛星に搭載されている観測機は順調であり、地球磁気圏において磁場、電場、波動、プラズマ粒子、高エネルギー粒子の直接観測を続けている。
- ・平成18年度には、磁気圏尾部領域をはじめとする地球周辺の宇宙空間に発生するプラズマ現象の解明を目指し、国際協力による磁気圏多点観測網の中で役割を果たす為、以下のジオテイル衛星の運用を行った。
- ・米国NASAとの協力関係の下にNASA DSN局における24時間連続観測データの受信、国内局（内之浦宇宙空間観測所、臼田宇宙空間観測所）において衛星運用・追跡完成、データ取得を行った。平成18年の1年間のDSN局での受信パス数は1166パス（1263時間）であった。
- ・米国NASA/GSFCとデータ交換を行い、日米双方で取得されたデータを共有した。平成18年度に取得、較正された新規データについては作業が進行中であり、NASA/GSFCにて国際標準フォーマット（CDF方式）に変換され、データ公開され世界での共同研究に供される。
- ・欧州ESAのCluster-II衛星をはじめ、NASA WIND、POLAR、ACE衛星などと共に国際共同観測計画を展開し、磁気嵐や尾部における磁気リコネクション現象などについて共同研究を進めた。

以上のように、平成18年度はジオテイル衛星の運用・データ処理は順調に行われ、着実に科学的な成果をあげている。

(宇宙理学委員会における評価)

14年以上の期間にわたり観測を行ってきており、宇宙プラズマ物理学の研究進展に大きく貢献した事は世界的

に高く評価されている。また、宇宙天気予報の前進にも大きな貢献をしている。平成18年度の実施結果は年度計画の目標を十分達成したものと評価される。

「はやぶさ」プロジェクト

プロジェクトの概要：

将来の本格的なサンプルリターン型探査に必須となる重要な工学技術要素を開発し、工学実験ミッションとしてこれらを実証する。具体的には、1) イオンエンジンを主たる推進機関とする惑星間の航行、2) 光学情報を用いた自律的な航法と誘導技術、3) 微小重量環境下における小天体表面試料の採取技術、4) サンプルを封入したカプセルを惑星間軌道から直接に地球大気圏に突入させ地上回収すること、の4大技術を開発・実証する。2003年5月に打ち上げられており、2005年11月20日および11月26日の2回小惑星イトカワに着地した。

運用状況の概要とプロジェクトの成果：

- ・ 小惑星イトカワの探査の結果、S型微小小惑星の特異な姿を初めて明らかにした。これは、微小小惑星の形成と進化の理解、ひいては太陽系天体の誕生と進化過程を理解する上での重要な情報となった。これらの成果は、平成18年度において、米国の科学雑誌「サイエンス」で特集されたり、各種の国際学会等での招待講演がなされるなど、国際的に紹介された。
- ・ 米国の National Space Society から Space Pioneer Award が授与された。これらのことにより、微小小惑星の重要性が認識され、欧米における小天体探査の計画立案に影響を与えた。
- ・ 運用に関しては、平成18年の3月から4月にかけては、探査機内の揮発性ガスの排出（ベークイング）後、イオンエンジンの駆動試験を行い問題が無いことを確認した。
- ・ 平成17年12月の姿勢喪失時の過放電によって故障したりチウム電池を充電するべく慎重な運用を平成18年の秋から平成19年の1月まで行い、平成19年1月半ばには、探査機内の資料採取容器を地球帰還カプセルに搬送し収納して、外フタを密閉することにも成功した。
- ・ その後、平成19年3月初めには、米国 JPL の支援も受けて精密軌道決定を行い、地球帰還のためのソフトウェアのアップロードも終了した。地球帰還に向けての運用については、巡航開始は平成19年の4月半ばであったが、イオンエンジンは平成19年2月から逐次運転を開始しており、年度計画の目標は達成できた。
- ・ 探査機のテレメトリデータ及びレンジ、ドップラーの追跡データについては、特に問題なく取得を行っている。

(宇宙理学委員会における評価)

年度計画に基づき運用を行い、地球帰還に向けての作業を着実に実施した。特筆すべき成果として、学術誌・各種の国際会議等での発表・招待講演のみならず、Space Pioneer Award の受賞や、科学雑誌「サイエンス」の特集など国際的な評価も高い。平成18年度の実施結果は年度計画の目標を十分達成したものと評価される。

「すざく」プロジェクト

プロジェクトの概要：

「すざく」はX線天文衛星であり、動的な視点から宇宙の構造形成やブラックホール周辺現象の理解を目指して、2005年7月10日打ち上げられた。打上げ後は、国際公募観測等による観測を進めている。

運用状況の概要とプロジェクトの成果：

- ・ 第一期国際公募観測（平成18年4月より1年間）を順調に行った。
- ・ 公募観測者向けの観測データの第一次処理、観測装置較正データベース、解析ソフトウェアの整備を行い、第一バージョンを平成18年8月に開始した。その後、必要に応じて順次改訂を行っている。
- ・ 平成19年4月から開始する第二期国際公募観測の観測公募を行い、ピアレビュー等を経て、観測天体を3月初旬に選定した。
- ・ 国際公募観測以外に、全体の観測時間の約8%の時間を使って、観測装置の軌道上較正のための観測、（公募の時点では予期できなかった）突発天体の観測も行った。
- ・ 初期観測（平成17年9月から平成18年3月）の科学的成果の一部が、日本天文学会欧文報告のすぎく特集号などの査読付き学術雑誌に掲載された（科学的成果27編、観測装置・ソフトウェア論文5編）。さらに数編の論文の掲載が決定している。
- ・ 平成18年12月には、すぎくの初期観測の結果を中心とする国際会議を行い、386名の参加者（うち海外から134人）があった。
- ・ X線CCDカメラについて、電荷注入による放射線劣化対策を世界で初めて軌道上で実施した（平成18年9月より、ほとんどの観測に対し実施）。これによって、打ち上げ直後に近いエネルギー分解能まで回復した。これに伴う観測装置較正データの改訂作業を行っている。

(宇宙理学委員会における評価)

年度計画に基づき、軌道上運用、第一期国際公募観測を順調に行った。平成17年度において観測装置1つを失ったものの、残る2つの観測装置による観測成果から、多くの論文が学術雑誌に掲載された。高エネルギー天文学の発展に貢献しており、平成18年度の実施結果は年度計画の目標を達成したものと評価される。

「あかり」プロジェクト**プロジェクトの概要：**

「あかり」は、超流動液体ヘリウムと機械式冷凍機により冷却した口径70 cmの望遠鏡を用いて赤外線天体のサーベイを行い、銀河、及び星・惑星系の形成と進化の過程を解明することを目的とする赤外線天文衛星であり、2006年2月22日に打ち上げられた。「あかり」による天体のデータは、チーム内での研究に使用された後、赤外線天体カタログとして、世界の研究者に公開される。

運用状況の概要とプロジェクトの成果：

- ・ 平成18年2月22日に打上げに成功し、その後初期運用、試験観測を経て、平成18年5月8日より赤外線源探査観測を開始した。
- ・ 平成18年11月には全天にわたる赤外線源探査観測（全天サーベイ）の第一回目を終了し、この時点で計画どおり全天の70%について赤外線源探査を完了した。
- ・ 観測装置はすべて正常に動作しており、平成18年度末現在、順調に運用、赤外線源探査観測を実施中である。
- ・ 欧州、韓国と共同で、実際に得られつつあるデータを用いて、データ処理ソフトウェアの評価と改良、最適化を行った。
- ・ 望遠鏡指向方向決定ソフトウェア（ESAとの共同開発）の改良を実施し、目標位置精度を達成していることを確認した。

カタログ制作とは別に、ポインティング観測による詳細観測データについても、標準のデータ解析ソフトウェア及びそのマニュアルとともに観測者に配布し、解析、天文研究を開始した。

(宇宙理学委員会における評価)

年度計画に基づき衛星を運用し、その結果赤外線サーベイ観測を実行した。平成18年度の実施結果は年度計画の目標を十分に達成したものと評価される。

「ひので」プロジェクト**プロジェクトの概要：**

可視光望遠鏡、X線望遠鏡及び極端紫外線撮像分光装置を組み合わせ、太陽大気の構造とダイナミックな磁気活動、磁気リコネクション過程、コロナの成因、ダイナモ機構などの宇宙プラズマ物理学の基本的諸問題を解明する。日・米（NASA）・英（PPARC）が3つの望遠鏡の製作を分担、欧州（ESA）も極域ダウンリンク局を提供して衛星運用に参加する。

運用状況の概要とプロジェクトの成果：

総合試験を平成18年7月にスケジュールどおり完了し、衛星飛翔モデル及び搭載各機器の開発を完了した。

- ・ JAXAと国立天文台の協力のもと、衛星のインテグレーション及び各種機能・性平成18年9月23日に予定どおり打上げを実施し、初期運用として、姿勢制御系の確立、衛星推進系を用いた太陽同期軌道への投入を計画どおり完了した。
- ・ 衛星バス系機器はいずれも良好に動作し、特に姿勢安定度は高分解能を狙う望遠鏡の要求を十分に満たす性能を達成した。
- ・ 国際協力パートナーとの緊密な連携・協同のもと、平成18年12月から可視光磁場望遠鏡（SOT）、X線望遠鏡（XRT）、極端紫外線撮像分光装置（EIS）の3観測機器による観測運用を開始した。
- ・ SOT、XRT、EISいずれも従来の飛翔体に搭載された太陽観測装置をはるかに上回り、極めて優れた性能を確認するとともに、順調に観測運用を継続している。
- ・ SOT：世界初の0.2秒角の観測を実証
- ・ XRT：太陽X線望遠鏡として世界最高の空間分解能を達成
- ・ EIS：海外の衛星と比較して3倍の能力を達成

(宇宙理学委員会における評価)

年度計画に基づき、飛翔モデルの開発完了及び打上げ、並びに運用及び観測を開始した。特に「可視光磁場望遠鏡（SOT）」では世界で初めて0.2秒角の観測を実証し、「X線望遠鏡（XRT）」については、太陽X線望遠鏡として世界最高の空間分解能を達成している。また、「極端紫外線撮像分光装置（EIS）」では海外の衛星と比較してもはるかに高い能力（3倍）を達成している。平成18年度の実施結果は年度計画の目標を十分に達成したものと評価される。

「SELENE」プロジェクト**プロジェクトの概要：**

月の元素・鉱物組成、地形・表層構造、環境、重力分布を月全域にわたり観測し、月の起源と進化の解明を目指す。また、取得した観測データは、「SELENE」以降の月探査計画の検討、月利用可能性の調査にも活用する。あわせて、月探査を体系的、継続的に進める上で必要となる基盤技術の開発を行う。

年度計画に対する実施結果：

- ・ 飛翔モデルの試験（電気性能試験，振動試験，音響試験，衝撃試験，熱真空試験）を完了し，所望の機能性能を満足することを確認した．これにより，月探査機「SELENE」飛翔モデルの開発を完了した．
- ・ 追跡管制系，ミッション運用系，データ蓄積・公開系から構成される地上系設備の開発を完了し，所望の機能性能を満足することを確認した．
- ・ ロケットに関しては，平成19年度夏期打上げに向けて飛行解析及び機体製作を実施している．
- ・ SELENE運用に用いる運用文書の作成，宇宙科学研究本部長が実施責任者となる追跡管制隊の編成など観測運用に向けた運用準備を計画どおり進めている．
- ・ SELENE及びNASAが有人月探査のためのデータを取得する月探査機LRO間で両ミッション達成に不可欠となる相互協力を行うことになった．

(宇宙理学委員会における評価)

平成18年度の実施結果は年度計画の目標を十分に達成したものと評価される．

金星探査プロジェクト「PLANET-C」**プロジェクトの概要：**

金星の雲の下に隠された気象現象を，最新の赤外線観測技術により金星周回軌道から観測する．これにより，地球気象学の常識を超えた高速の大気循環「超回転」を始めとする金星大気力学のメカニズムを解明し，地球気候変動理解の鍵となる惑星気象学の確立に資する．

年度計画に対する実施結果：**○プロトモデル及び飛翔モデルの開発**

- ・ 打上げロケットがM-VからH-IIAに変更になったことに伴い，衛星分離部を含むインターフェース条件の見直しを行った．燃料を含む探査機総重量を500kgに設定し，構造・熱設計を中心に平成17年度から開発を継続した．
- ・ 金星周回軌道では熱入力が大きく，探査機にとっては厳しい熱環境であるが，電力消費の低減や排熱の工夫により実現の見通しを得た．
- ・ 重量軽減のため機器の小型化の検討を行った．
- ・ 一部バス系サブシステムに関しては飛翔モデルのための詳細設計を開始した．
- ・ ミッション系信頼性向上のため，使用する電子部品の見直しも行った．

○サブシステムの仕様検討およびインターフェースの調整

- ・ 科学衛星に搭載されたバス系サブシステムの設計をベースに，新たに金星探査機に合わせた仕様検討や軽量化を行い，衛星システムとのインターフェース調整を実施した．
- ・ モーメントホイールに関しては基本設計確認会において，振動条件に対する懸念が指摘されたが，評価用の音響試験を急遽実施して現状のホイールで条件をクリアしていることを確認した．

○観測装置のプロトモデル開発

- ・ 金星の大気を多波長にわたって観測する5台のカメラに関する詳細設計を実施し，試作機で性能確認を行った．
- ・ 探査機からの電波科学観測に使用する超安定発振器については主として振動環境に対する評価を中心に設計を検討した．
- ・ 画像データ処理装置の仕様を確定し，テレメトリ・コマンドインターフェースについても詳細な検討を実施した．
- ・ 基本設計確認会を実施し，外部識者を含む委員によって探査機基本設計の妥当性についてのレビューが行われた．その結果，重大な問題はないとの評価がなされた．

(宇宙理学委員会における評価)

平成 18 年度の実施結果は年度計画の目標を十分に達成したものと評価される。

水星探査プロジェクト「BepiColombo」**プロジェクトの概要：**

欧州宇宙機関（ESA）との国際協力により、水星の磁場、磁気圏、内部、表層の多岐にわたる水星の謎の解明を行う。MPO（Mercury Planetary Orbiter）と MMO（Mercury Magnetospheric Orbiter）の 2 つの周回衛星から構成される。JAXA は MMO の衛星システムと国際公募により選定される MMO/MPO の観測装置を担当する。

年度計画に対する実施結果：**○探査機システム/サブシステムの予備設計・基本設計・試作**

- ・ 探査機予備設計の開始を受け、欧州宇宙機関担当部分とのインターフェースを含む衛星システム、並びに、構造系・熱制御系・電源系・通信系・推進系・データ処理系の詳細検討、基本設計及び一部の試作を、平成 17 年度に引き続き実施した。
- ・ さらなる信頼性確保のため、使用する電子部品の見直しも行った。

○観測機器の予備設計・基本設計・試作

- ・ MMO 及び水星表面探査機（MPO）の観測機器開発チームの中で、日本側からの参加がある観測機器の設計・試作・試験等を、平成 17 年度に引き続き実施した。

(宇宙理学委員会における評価)

平成 18 年度の実施結果は年度計画の目標を十分に達成したものと評価される。

「LUNAR-A」プロジェクト**プロジェクトの概要：**

ペネトレーターという新しい手段を用いて月面に月震計、熱流量計などの計測装置を設置し、月の内部構造を探る宇宙探査機「LUNAR-A」の飛翔モデルの開発と観測を行う。これにより、月の起源と進化に密接に関連した月の地震学的構造、熱的構造を理解するための情報が得られるほか、将来の月・惑星探査に貢献するペネトレータ技術を実証する。本プロジェクトでは、月面貫入時の 1 万 G を超す衝撃に耐え得るペネトレータの開発等で困難に逢着しており、平成 17 年度にはペネトレータ技術開発を主眼とした 3 年間にわたる新たな計画を立てた。

年度計画に対する実施結果：

- ・ 科学衛星 LUNAR-A 飛翔モデルを保管・維持するとともに、平成 18 年度実施したペネトレータ技術試験により、難航していたペネトレータの開発に目処がついた。
- ・ しかしながら、開発に 10 年を超える期間を要した結果、母船（衛星本体）の劣化が進んでおり、電子回路基板の腐食や電子部品の製造中止等により信頼性確保の点で大きな問題があること、JAXA における一連の事故以降の信頼性向上への取り組み及びミッションの確実な達成の観点からすると、LUNAR-A システムはリスクの高い設計であり、この母船を月探査へ使用することは難しいことから、LUNAR-A プロジェクトを中止することとした。

(宇宙理学委員会における評価)

平成 18 年度実施した技術試験により難航していたベネトレータの開発に目処がついたものの、開発に 10 年を超える期間を要した結果、母船（衛星本体）の劣化のため信頼性確保の点で大きな問題があること、JAXA における信頼性向上への取り組み及びミッションの確実な達成の観点からすると、LUNAR-A システムはリスクの高い設計であり、この母船を月探査へ使用することは難しいという宇宙科学研究本部の結論を了承した。

プロジェクトの中止に伴い、委員会評価は行わない。

b. 宇宙工学委員会（平成 19 年 3 月 29 日実施）**評価を行った項目一覧**

- ・ はやぶさ（宇宙空間にあり運用中のもの）
- ・ INDEX（宇宙空間にあり運用中のもの）
- ・ 小型飛翔体を用いた宇宙科学プロジェクト
- ・ さらに将来の宇宙科学研究プロジェクトに向けた先端研究

「はやぶさ」プロジェクト**プロジェクトの概要：**

将来の本格的なサンプルリターン型探査に必須となる重要な工学技術要素を開発し、工学実験ミッションとしてこれらを実証する。具体的には、1) イオンエンジンを主たる推進機関とする惑星間の航行、2) 光学情報を用いた自律的な航法と誘導技術、3) 微小重量環境下における小天体表面試料の採取技術、4) サンプルを封入したカプセルを惑星間軌道から直接に地球大気圏に突入させ地上回収すること、の 4 大技術を開発・実証する。2003 年 5 月に打ち上げられており、2004 年 5 月に地球スウィングバイに成功した。この、5) イオンエンジン加速と地球スウィングバイ併用の技法の実証も、「はやぶさ」計画での成果である。

運用状況の概要：

- ・ 「はやぶさ」は 2005 年 11 月の小惑星イトカワへの到着・タッチダウン完遂後、推進系喪失・通信途絶を経験したが、2005 年 3 月までに交信の回復およびキセノン・コールドガスによる姿勢制御法確立、スピン状態での地球指向姿勢の確立を行ってきた。
- ・ 「はやぶさ」は 2006 年 3 月から 4 月中旬までかけて、温度制御により探査機内部を昇温するベーキングにより、内部揮発性ガスの排出を実施した。
- ・ 「はやぶさ」は 4 月下旬から 5 月上旬にかけて、イオンエンジン B、D の駆動試験を実施し、イトカワ到着前から性能が変化していないことを確認した。
- ・ 「はやぶさ」は 2005 年 12 月の姿勢喪失時に搭載 2 次電池が過放電を経験し、11 セルのうち 4 セルが使用に耐えない状態であることがわかっていたが、残り 7 セルについて、2006 年 7 月から 9 月にかけて、搭載充電パイパス回路の特性を利用して正常なセルのみに充電する充電方策を考案・実施し、健全なセルへの充電を完了した。
- ・ 「はやぶさ」は 2007 年 1 月に、カプセル収納および蓋閉めの運用を実施した。この運用は、氷結したヒドラジンによる姿勢喪失や、前述のバッテリーの問題により予想される悪影響に対して、十分な検討と対策が施された後に実施された。これにより、タッチダウン時に採取されたと期待されるサンプルが、カプセル内に収容され、密閉されたことになる。
- ・ 「はやぶさ」は、これまでリアクションホイール 3 基のうち 2 基に不具合が生じていること、化学エンジンの燃料が全て喪失している状態となっていることを踏まえ、2007 年 2 月より、イオンエンジンの運転のための

新たな姿勢制御方式を採用することを念頭に試験を開始した。この結果をもとに、2007年3月より、イオンエンジンの運転を開始した。このイオンエンジンを運転する上では、その推力方向のアライメントを維持する姿勢制御機能の確立に時間を要したが、この方策にも目処が立った。

プロジェクトの成果：

- ・「はやぶさ」は、世界で初めて、微速のランデブーに成功したことはもちろん、超遠距離にて探査機の位置と姿勢を精密に測定・運用できることを証明し、正確に表面に降下・着陸できることを実証した。「はやぶさ」は世界で初めて、地球外天体に着陸後、再離陸した無人探査機である。
- ・「はやぶさ」の得た科学観測結果は、いずれも世界初の貴重なもので、初期成果は2006年6月2日付の科学雑誌サイエンスの特集号として刊行された。
- ・「はやぶさ」の工学的成果に対し、International Space Development Conference (ISDC 2006)にて、米国 National Space Society から Space Pioneer Award を受賞した他、国内においても文部科学大臣表彰、日本航空宇宙学会賞等を受賞した。
- ・「はやぶさ」は推進系、リアクションホイール等探査機の重要場機能の一部を喪失した状態であり、それらをカバーする対策・運用方式が日々創出され採用されている。これらは深宇宙探査機のオフノミナル運用に関する得がたい知見である。

今後の計画：

- ・「はやぶさ」の小惑星イトカワの観測・タッチダウン時のサイエンスデータのアーカイブ作業を実施しており、2007年度初頭に全サイエンスデータを公開できる予定である。
- ・「はやぶさ」は本年度の運用により、イオンエンジンの運転およびその際の姿勢制御方策に目処がついたので、2007年4月より、地球帰還に向けた本格的巡航運転段階に移行できる見込みである。
- ・「はやぶさ」の地球帰還は2010年6月を予定している。

小型衛星「INDEX」

プロジェクトの概要：

「れいめい」衛星プロジェクトは先進的な小型衛星技術を用いた衛星を開発し、オーロラの微細な構造撮像と粒子計測により、オーロラのダイナミクスを解明し、1) オーロラの微細構造とダイナミクスの解明、2) 小型三軸衛星技術の習得、3) 新規衛星技術の実証、4) 宇宙理工学の活性化を目的としている。

「れいめい」衛星は2005年8月の打ち上げ以後、様々な工学試験とオーロラ微細構造に関する新機軸の理学観測を順調に遂行している。当初、公式発表による衛星計画期間は1ヶ月、衛星システムとしての設計寿命は3ヶ月を見込んでいたが、2005年10月下旬に定常観測状態に入った後は、これまでの宇宙科学研究本部の多くの人工衛星計画と同様に大きな支障もなく、長寿命を予期させる安定した経過を示している。

オーロラ理学観測の特徴としては、「れいめい」衛星の軌道（高度約620km、00:50-12:50LTの子午面内の太陽同期）と姿勢制御系（3軸制御）に対し最適化された理学観測機器群を搭載したことで、高空間・時間分解能（1km・120ms）を持つオーロラカメラと全ピッチ角同時計測・高時間分解能（20～40ms）を実現したオーロラ粒子センサーにより、オーロラ微細構造観測に関しては世界初となる同時観測データが取得されつつある。

オーロラの大規模構造に関しては過去に何度も高々度極軌道衛星による観測がなされているが、地上で観測される様な多彩で変化に富むオーロラを捉えた例は皆無である。微細なオーロラ構造を作り出す降下電子やオーロラダイナミクスに伴う粒子加速に関しても、変化の激しい微細なオーロラ発光自体との対応を示す同時観測は存在しない。これらを踏まえ、「れいめい」理学観測では、オーロラ微細構造の解明に向けた世界的にも斬新な研究成果を得ることを目標に掲げ、打ち上げ直後かられいめい衛星運用・観測に鋭意取り組んできた。

「れいめい」理学観測成果は、多くのオーロラ物理学者がこれまでに強く望んだにも拘わらず過去の国内外の中型・大型衛星計画による総合観測では他観測機器との両立が困難なため実現し得なかった項目を対象を絞り、主に地上観測との共同研究を主軸に再検討を加え、小型衛星としての挑戦的要素と機動性を最大限に活用することにより初めて得られたものであり、独自性が高く世界的な注目を集めつつある。

プロジェクトの成果：

- ・ 3分角での三軸姿勢制御を実現した。
- ・ リチウムイオン二次電池、マルチジャンクションセルを用いて高効率化した太陽電池セル、小型GPSなどの先端的な工学技術を宇宙実証した。その運用実績は日々更新されている。
- ・ オーロラ発光層の構造と、磁気圏から降りこんでくるオーロラ電子の構造が微細なスケールで対応することを示した。
- ・ ブラックオーロラやパルセーティングオーロラ、アークなど、従来地上から観測され、対応するオーロラ粒子が観測されていなかったオーロラ微細構造について、オーロラ粒子構造・オーロラ撮像の同時観測に成功した。
- ・ 極域における重イオン流出に関して、窒素分子イオンの上昇流の観測に成功した。

小型飛翔体を用いた宇宙科学プロジェクト

プロジェクトの概要：

衛星や探査機に比べて機動的で迅速な飛翔実験機会の提供ができる長所を活かして、大気球、観測ロケット等小型飛翔体等による年数回程度の打上げ機会を用いて、高層大気物理、地球環境、天文学などの観測研究を行い、併せて飛翔手段の洗練及び飛翔機会を利用した機器の性能実証や飛翔体システム研究などの宇宙飛翔体に関する実験的工学研究を行う。

年次計画：

平成18年度から平成19年度にかけて、大気球、観測ロケット等による観測研究及び宇宙飛翔体に関する実験的工学研究を実施する。

平成18年度の事業計画：

1. 冬期の午前11時頃、高度100km付近に特異的に発生することが知られている高温度領域の現象解明を目的としてS-310-37号機を打上げる。
2. 高度300kmまでの中性・電離大気観測と液晶チューナブルフィルタを用いた気象・海洋現象の多波長撮影を目的としてS-520-23号機を製作する。
3. 大気球を用いて、地球物理、宇宙線、天文学などの観測研究を行うとともに、飛翔手段の洗練及び飛翔機会を利用した機器の性能実証や飛翔体システムの研究などの宇宙飛翔体に関する実験的工学研究を行う。

以上の年次計画に基づき、平成18年度には、以下の実験を行った。

1. 冬期の午前11時頃、高度100km付近に特異的に発生することが知られている高温度領域の現象解明を目的とした観測ロケットS-310-37号機の製作と、打上げによる実験の実施
 - ・ 平成19年1月16日、上空に特異現象（高温度層）が発生したことを地上からのレーダ観測により確認した上で、午前11：20、S-310-37号機を内之浦宇宙空間観測所から打ち上げた。
 - ・ ロケットの飛翔および観測装置の動作はすべて正常で、高度95～100kmに温度が700℃を越える高温度

領域が存在することが確認された。同時に、搭載機器によるプラズマ大気の総合観測により電離圏下部に発生した高温度領域生成メカニズムの解明に必要な観測データの取得に成功した。

2. 高度 300km までの中性・電離大気観測と気象・海洋現象の多波長撮影という 2 種類の理工学実験を目的とした観測ロケット S-520-23 号機を製作する。なお、打上げは平成 19 年度の夏期を予定している。
 - ・ 中緯度熱圏の高度 100～300km の領域において中性大気と電離大気の運動（非常に薄い高層大気の風）を観測し、大気中の運動量輸送過程を解明することを目的とする。
 - ・ このため、酸化鉄とアルミニウムを用いたテルミット反応によって発生する高熱量を使いリチウム金属をほぼ瞬間的に蒸気にして噴出する「リチウム噴出装置」を新規に開発した。本装置をロケットに搭載するために、耐振動・衝撃性の向上をはかると同時に、ロケット点火装置と同じ基準による安全装置を新規に開発、単体における性能評価試験を実施した。
 - ・ 一方、将来のより詳細な地球環境観測などを目指して、液晶フィルタを使った多波長撮像装置を開発した。同時に、ロケット回転位相に関わらずカメラを地上の 1 方向に向けることができるようなスピンドールの開発も行った。地上シミュレータを使った模擬試験によって動作確認を実施した。
3. 三陸大気球観測所等における、気球を用いた様々な観測や実験、及び気球開発の実施
 - ・ 三陸大気球観測所において第 1 次（平成 18 年 5 月～6 月）、第 2 次（平成 18 年 8 月～9 月）にわたり気球による 6 機の観測実験、2 機の工学実験および 3 機の気球飛翔性能試験を実施した。
 - ・ 観測実験、工学実験を行った 8 機の気球実験では、実施した観測や実験においてすべて良好なデータを取得し、所期の目標を達成した。
 - ・ スーパープレッシャー気球開発の一環として、容積約 2,000m³ の小型モデル気球 2 機の成層圏環境下における耐圧試験を気球飛翔性能試験として実施し、設計どおりの性能を確認した。この成果をもとに小型モデルでの開発を完了し、科学実験に供用可能な容積 300,000m³ のスーパープレッシャー気球実証機の開発を開始した。
 - ・ 世界で最も薄い 2.8μm 厚のフィルムを用いた容積 60,000m³ の気球飛翔性能試験 1 機を実施したが高度 15.6km で降下した。その後起こりうる原因の究明を行い、平成 19 年度に再試験を行う予定である。
 - ・ 日伯共同気球実験において、硬 X 線撮像望遠鏡観測 1 機を実施した。観測器重量 1,270kg の大型ペイロードを安全に放球することができ、天体観測を実施したが、予期せぬ高層風のため観測器の回収ができなかった。

さらに将来の宇宙科学研究プロジェクトに向けた先端研究

標記については 2006 年度宇宙工学分野において選定された以下の研究テーマにつき、2007 年 3 月 29 日開催の宇宙工学委員会において研究者が発表を行い、当日出席の委員（18 名）全員が評価を行った。評価は、①研究成果、将来への発展性、所要経費及びそれらを総合した結果を夫々 5 点満点で採点する（5：極めて優れている、4：優れている、3：普通、2：劣っている、1：極めて劣っている）方式で行った。以下に各研究成果概要と総合評価点の平均点（各委員の評価点の総和を委員数で除した値）を記す。

1. 先進的推進系の研究 A（総合評価点：3.71）

（研究の目的）

低公害性・安全性・簡便性・貯蔵性・低コスト性・高信頼性・高性能・発展性など、将来の宇宙開発の要求に応える先進的推進系（高性能・低公害固体ロケット、他）を開発する。

（完成した場合の効果）

高性能で環境にやさしく、またロケットノズルの焼損特性に優れる新たな固体ロケットを始め、上記特性に優れた新たな方式の化学推進ロケットの構成が明確となり、地上燃焼試験により技術実証される。その結果、現在の観

測ロケット (S-520, S-310 等) のための新型ロケットモータの基盤技術が確立することができる。さらに、観測ロケットに適用され、実績を積むことにより、より大型のロケットへの応用への視野が拓けるものと考えられる。

(研究の成果)

1) 高性能低公害固体推進薬の研究

マグナリウム (Mg/Al: マグネシウムとアルミニウムの合金) の高い燃焼効率, 優れた着火特性を応用した新しい固体推進薬の研究に取り組んでいる。この構想は, AP (過塩素酸アンモニウム) の粒度配合によって達成されるアルミニウムの燃焼効率向上を, Mg/Al の適量添加によって実現するものである。本年度は, これまでに得た研究成果に基づいて実機サイズモータの TM-500 を利用した地上燃焼試験を実施した。当該燃焼試験 (TM-500-M) の結果, 従来の固体推進薬にマグナリウムを添加した組成についても正常に燃焼することが確認された。また現在のところ, 推進性能をはじめ, ノズル特性等について詳細な解析を進めている。

2) N₂O / エタノール液体ロケットの研究

・ N₂O 触媒分解式点火器の製作と実験

RCS スラスタおよび点火器への応用を目指して, N₂O 触媒分解技術を適用した N₂O 一液式ガスジェネレータの基礎試験を昨年度に引き続き行った。本年度は, φ20 の触媒供試体を用いて系統的な触媒分解特性データの取得を行い, 実用点火器試作のための基本情報を得た。

・ N₂O / エタノール推進システム実証試験へ向けた BBM の設計検討

本実証研究の仕上げとして実施する推進系技術実証試験用供試体 BBM の概念設計検討を行った。BBM は次期固体ロケットシステム PBS への適用を意識した形態で, 推力 2.5kN をノミナルとした。さらに燃焼圧を 3 倍にすることにより FTB への適用を意識した 7.5kN 級エンジンの条件にも対応できるように基本仕様を決定している。次年度計画提案へ向けて設計の成立性も確認した。

3) GAP を用いたハイブリッドロケットの研究

ハイブリッドロケット用に GAP のガスジェネレータ試験および低燃焼速度材料 GAP + PEG (ポリエチレングリコール) のガスジェネレータ試験を行ない, 燃焼特性を取得した。また, これらのデータを基にして, 80 φモータを用いた GAP/GOX ハイブリッド試験の概念設計を行なった。

2. 固体ロケットモータの信頼性向上 (総合評価点: 3.81)

(研究の目的)

- ・「定量的」設計技術・品質保証技術を固体モータ全般へ適用し, 信頼性を向上させること。
- ・学術研究であるとともに実機へのフィードバックを行うこと。

(完成した場合の効果)

1) 定量的非破壊検査技術の研究

大型固体モータに対し, 従来の X 線探傷から超音波探傷へ移行することで, 結果の定量的評価 (サイジング), 欠陥検出確率評価とともに, 低コスト化が達成される。

2) 内部混相流と耐/断熱材焼損挙動予測技術の研究

実験データに基づく固体ロケット内部流の高度な解析手法を確立することで, 内部流と耐熱材焼損挙動の関係を理解し予測技術を構築することができる。

3) 推進薬注型挙動と燃焼特性予測技術の研究

推進薬製造時のスラリ流動・硬化挙動を評価し, それより得られる局所特性を燃焼及び推進性能解析に反映させることで, 従来にはない観点での予測を可能とし, 予測の精度を高める。それによって, 固体モータ単体の性能評価向上だけでなく, 固体燃料用途の拡大につながる新型グレイン形状の設計, 有意で効率的な推進薬許容欠陥寸法の評価, 将来の大型マルチブースタの実現性評価などが可能となる。

4) グラファイトスロート材の中型ロケットへの適用研究

3D-C/C材の低価格化は当分期待できないため、グラファイトの継続使用により低コスト化が達成される。

5) 高信頼性ノズライナー用CFRPの開発

ノズライナーの熱分解層や炭化層の機械特性を改善し、局所エロージョンが改善された、高信頼性CFRPが開発される。

(研究の成果)

1) 定量的非破壊検査技術の研究

従来のX線探傷から(空中)超音波探傷へ移行する一環の研究開発として、低周波空中超音波による超音波探傷透過法を開発、S-520およびS-310モータに対して適用性の実証を行い、今後の全自動探傷の基礎技術を確認した。また従来より開発してきた「黒鉛素材の超音波自動探傷検査方法」がJIS Z 2356:2006として制定された。

2) 内部混相流と耐/断熱材焼損挙動予測技術の研究

M-14モータ、SRB-Aモータの3次元内部混相流の数値解析を実施し、ノズルインレット部の焼損メカニズムの検討、およびノズル開口部の焼損メカニズムの検討を行った。M-14に発生するロールトルクを解析的に評価するとともに、TM-500M地上燃焼試験において、ロールトルク及び噴流の旋回流を計測した。

3) 推進薬注型挙動と燃焼特性予測技術の研究

注型解析・燃焼圧力予測解析の共通技術である、自由界面捕捉のための解析技術についての研究を実施し、3次元空間に対するコードを作成した。得られた成果を用いて、2次元燃焼圧力予測解析コードを作成し、局所燃速分布と、欠陥を含む場合について検証解析を実施し、解析の妥当性を確認した。

4) グラファイトスロート材の中型ロケットへの適用に関する研究

より大型のグラファイト素材の品質保証を行うため、アレイ型超音波探傷システムの開発を進め、TM-500用黒鉛スロートインサートの品質保証に適用した。

5) 高信頼性ノズライナー用CFRPの開発

新しいノズライナー用CFRP素材として、連続レーヨン系炭素繊維強化フェノール樹脂の開発を行い、14度コンカル形状のTM-500相当のノズルを作製し、マグナリウム推進薬地上燃焼試験で試験した。また紡績糸カイノール炭素繊維強化ポリイミド樹脂の開発を試みたが、成形の成功には至らなかった。

3. 先進的推進系の研究B(総合評価点: 3.79)

(研究の目的)

簡便性・低毒性・高性能など、将来の宇宙開発の要求に応える先進的衛星推進系を開発する。

(完成した場合の効果)

低毒性推進薬を用いた簡便な推進系は、地上運用の利便性を向上させ、低コスト、高信頼性の衛星推進系の実現に寄与する。

また、従来より高性能な推進系を自主開発することは、性能に余裕があることから衛星設計の自由度を高める効果の他に、いわゆるブラックボックス的な要素を減らす効果が期待できる。

(研究の成果)

1) 低毒性推進薬の研究

HAN系推進薬は、将来の衛星用1液式推進系の推進薬候補とされている。その特徴は、低毒性であるため取り扱いが簡便であり、かつ、比推力が高いため重量削減が可能、比重が重いためタンク容積の削減が可能、更に、凝固点が低いためヒータ電力削減が可能、という特徴を有する。その一方で、安定した燃焼が困難である、という負の特徴もあり、こそれが今までほとんど実用化されてこなかった原因となっている。

本研究は、HAN系推進薬に添加する成分に工夫をすることで、この問題の解決を目指すものであり、メタノ

ールを一定量添加することで安定した燃焼を試みている。本年度、実機形状に近いスラスタでの地上燃焼試験で、従来推進薬（ヒドラジン）と同等以上の比推力を実証した。

2) セラミックス系スラスタの研究

衛星用の2液スラスタでは、一般に、性能向上を目指すと同燃焼室の温度が高温とする必要があるが、燃焼室材料の限界があるため、それが性能のひとつの限界を構成する。実際、スラスタ燃焼においては、主流の燃焼の他に、燃焼室材料に向けて、フィルムクーリング分として未燃の推進薬を吹き付けるなどの工夫を行っている。

そのため、スラスタの材料を従来の金属材料から、より耐熱性能の高いセラミック材料などに変更できれば、性能向上が期待できる。

本研究は、このような背景の元、窒化珪素系セラミックス材料を用いたスラスタの開発研究を行うものである。

本年度は、改良設計されたスラスタの地上燃焼試験を実施したほか、スラスタ内部の燃焼反応の数値解析をスタートさせ、更にセラミックスラスタにメテオロイドなどが衝突した場合の影響評価も実施した。

全体として結果は良好であり、少なくとも従来スラスタと同等以上の性能であれば、セラミックスラスタの実用化に一応の目処を付けることができた。

4. 太陽発電衛星の研究（総合評価点：3.89）

（研究の目的）

太陽発電衛星は現代社会の最大の課題である地球環境問題・エネルギー資源問題を解決するための大規模な新エネルギーシステムとして大きな可能性を持っている。本研究では、この太陽発電衛星システムの中で最も重要な技術課題、(1)軌道上での発電機一体型大型パネルの展開と姿勢・形状維持、(2)発電機一体型パネルでの高効率のマイクロ波発生とそのビーム方向制御、について専門の研究者が自ら手を下して開拓的・先端的研究を行うことによりその基本技術を確認する。

（完成した場合の効果）

本研究により100 kWクラスの太陽発電衛星の軌道上実証プロジェクトに着手可能な理工学的基盤を確認できる。

（本年度の成果）

アクチュエータとして形状記憶合金を用いた二次元展開パネルのモデルについて、本年度は特に展開後の平面度維持制御を行うための機能を付加し、パネル展開及び展開後の面制御試験を行い良好な結果を得た。発電機一体型パネルでのマイクロ波の発生とその伝搬方向制御については、京都大学の研究者と協力して軽量で高効率・高出力アンプを試作試験するとともに、パイロット信号とローカル信号のミキシング機能を持たせたコンパクトなレトロディレクティブ回路の設計と試作試験を行った。また受電アンテナについてもカプトン薄膜基板上にレクテナアレイを蒸着して簡易で柔軟性を持つレクテナを試作しその受電特性を調べた。これらの研究と並行して実施した太陽発電衛星のシステム研究では、自在にその電力規模を拡張できるバス分離型テザー太陽発電衛星の姿勢安定性と電力ユニットの軽量化に関するシステム検討を行うとともに、太陽電池パネルやアンテナなどの薄膜構造物へのデブリ衝突に係わる実験的研究、及び、高電圧を使用する場合の太陽電池パネルと宇宙空間プラズマの相互作用の研究を行った。これらにより5年計画で実施している研究計画の第4年度分を全て完遂した。

5. 磁気プラズマセイルに関する基礎研究（総合評価点：3.95）

磁気プラズマセイルは、探査機周辺に巨大な磁気プラズマ帆を生成し、これと太陽風の相互作用により探査機の推進力を得ようとする推進システムである。本研究では、磁気セイルをプラズマ源と同時に運用して推進効率を高める磁気プラズマセイル（Magnetoplasma Sail）の実現を目指して研究を進めてきており、平成18年度には次のような成果が得られた。

1) 実機推力1Nクラスの磁気セイル周囲のプラズマ流を真空チャンバにて模擬するためのスケールモデル実験

を実施した上で、プラズマ噴射を伴う磁気セイル（磁気プラズマセイル）の実験室シミュレーションへと発展させた。

- 2) 理論解析ならびに数値シミュレーションによって、磁気プラズマセイル全系の大規模プラズマ解析とその推進性能最適化を進めた。
- 3) 磁気プラズマセイルによる重量1トクラス深宇宙探査機のプロトタイプ設計を行った。
- 4) 磁気プラズマセイルに必要な磁場生成用超伝導コイルシステムの概念設計を行うと共に、直径10cmの小型超伝導コイルを試作した。
- 5) プラズマ噴射を伴わない磁気セイル（ピュア・マグセイル）の検証を行うための150kg級小型衛星プログラムを検討し、このプログラムを実施するための磁気プラズマセイルワーキンググループを提案した。

6. 月惑星表面探査技術の研究（総合評価点：3.75）

6-1. 着陸レーダの研究開発

（研究の目的）

比較的重力の大きな月・惑星表面に高精度に着陸する際に必須となる探査機搭載用マイクロ波高度速度計、すなわち着陸レーダを開発する。

（完成した場合の効果）

月惑星探査機においては、周回軌道上からのリモートセンシング観測のみでは得られる情報に限界があり、着陸して天体表面を詳細に探査する意義は大きい。我が国においては、MUSES-C探査機において、重力の非常に小さい小惑星へ着陸する技術として、画像センサとレーザ高度計を使用した方式を開発した。しかしながら、月や火星などの重力の大きな天体への着陸には時間スケールの速い応答が必要であり、速度計の搭載が必須であるが、その技術は有していない。一方、米国、ロシアは、月あるいは火星への着陸の実績があるが（失敗も多い）、安全な着陸を実現するレベルであり、探査したい地点へのピンポイント着陸の技術は有していない。

こうした状況の中で、本研究は将来の月惑星表面への高精度着陸に欠かせない根幹技術である着陸レーダを開発するものであり、惑星科学の発展に大きく貢献するとともに、日本の技術力を諸外国に示すことになる。

（研究の成果）

4.3GHzのマイクロ波を用いたパルスレーダのBBMを試作して航空機に搭載してフィールド試験を実施している。試作したレーダは速度測定のために鉛直方向から約30°傾斜したビームを前後左右4ビーム、高度測定のために鉛直方向に1ビームを持ち、前後方向の速度及び高度を同時に測定する機能を持っている。

多層基板を使用したButler Matrix回路をアンテナ給電系に採用することで、前後2ビームから前後左右4ビームを形成してアンテナとしてFMと同等の機能を持ち、速度ベクトルの測定評価ができるよう改修した。信号処理においては、独自開発した複数点サンプル方式を既存の信号処理部に実装してFPGAに対する実装性を実証した。

上記BBMを実験用航空機に搭載し、熊本空港滑走路にて精度評価を行い、阿蘇外輪山周辺にて自然地形での動作評価を実施した。この結果、速度ベクトルの測定は要求精度（5%）内で可能であることを確認した。一方、より高い精度の測定を行うために、速度高度によって複数点サンプル方式と単点方式の切り換え運用が必要であることが明らかになった。自然地形における測定では表面形状の変化に対するロバスト性の確保が課題であり、今後周波数追尾機能の追加等の対策を検討する。また、着陸候補地点の地形、着陸シーケンスを考慮した飛行試験も今後の課題である。

6-2. 小型月惑星着陸機の研究

(研究の目的)

JAXAでは月着陸ミッションが検討されているが、着陸技術の開発・実証には地上試験だけでは不十分で、航法センサなどの試験を実際の月面に対して実施することが重要である。このような試験を行うための着陸実験機が、どこまで小型、低コストで実現できるかの検討を行い、そのために必要な新規技術の開発研究を行う。

(完成した場合の効果)

十分に小型・低コストの探査機で有効な実験ができるのであれば、大型月着陸探査ミッションに先行して、着陸実験を行うことが可能である。また、小型ペイロードを月面まで輸送する手段として、あるいは他の惑星探査機に搭載する小型着陸機としての使用可能性もあり、月惑星探査に対する敷居を下げる有効な手段となる。

(研究の成果)

これまでの検討で、GTO換算重量200～300kg程度の小型探査機で月面に準軟着陸させることは可能との見通しを得ていたが、そのためには特に推進系の新規技術開発が重要であるとの観点から、今年度は、500Nスラストのパルス燃焼試験と、酸化剤耐性のある膜素材の試験を実施した。パルス燃焼試験の結果、短時間のオンパルスにおいても安定した燃焼特性が得られ、高価で大型となる可変推力バルブを使用しなくても所期の性能が達成できることが確認された。また、酸化剤耐性試験においては、液晶ポリマーフィルムによる膜素材の劣化の傾向は見られず、大型で高価な金属ダイヤフラムに代わる素材として有力であることが確認された。

6-3. 表面移動探査技術の研究開発

(研究の目的)

太陽系の起源と進化の解明のため、月惑星表面の直接探査が強く求められている。そのため、月惑星表面を自由に移動して「観たいところを観る」表面移動探査技術が必要である。そこで、月惑星表面の広範囲において、サンプル採取やその場分析を行う移動型探査ロボットの開発研究を行う。

(完成した場合の効果)

移動型探査ロボットは、NASAが先行しているが、クレータや崖など科学者が探査したい場所を効率的に観測するシステムにはなっていない。小型軽量で自律探査できる移動型探査ロボットが開発されれば、大きな科学的成果が期待される。また深宇宙探査への新しい探査方法を確立できる。さらに、月面拠点や有人探査など将来のミッションへ支援が可能となる。

要素技術として、超音波振動による駆動アクチュエータの宇宙仕様化を行っている。これが実現できれば、小型軽量低消費電力なシステムを構築でき、多様なロボットシステムの構築、コストの低減、打上機会の増加、複数搭載による探査の質的向上が期待できる。また、従来のアクチュエータに比べ、小型軽量だけではなく、保持トルクを有しているため、無電力での姿勢保持が可能である。そのため、サンプル採取装置だけではなく、伸展物の展開・収納やアンテナ・カメラなどのジバル機構など宇宙ミッションへの応用が期待される。

(研究の成果)

超音波アクチュエータの駆動において、モータ周辺の熱により振動子の特性が変化し、超音波振動のマッチングポイントがずれるために回転数が変動するという問題があった。そこで、周波数変動幅の大きいドライバを開発し、回転数の変動に対処できることを確認した。

未知環境で時間遅れのある月惑星表面探査において、Non-Stopで操縦可能な知的テレドライブシステムを構築した。これは人間による知的な判断とローバ搭載コンピュータによる環境認識機能を融合したものである。屋内実験によりその有効性を確認した。また、画像データを処理するアルゴリズムについて検討し、特徴地形の認識およびマッチングを行う、相対的な自己位置同定手法および経路計画手法を構築した。

7. 月惑星上用途の伸展構造物に関する研究（総合評価点：3.72）

（研究の目的）

軽量・高剛性・高収納率で且つ長尺の伸展ができる単純な様式のインフレータブル1次元伸展構造物が月惑星上の用途として実現可能であることを示すことを目的とし、月面発電塔を例に取り、本年度は縮小モデルを試作した。

（完成した場合の効果）

月面および惑星面上で構造物を構築して観測機器の滞在拠点とすることにより、太陽系探査の科学観測や資源探査などの質的向上を図ることができる。例えば、月の極域に十分な高さの塔を建てると、昼夜を通して発電ができると考えられ、電力供給および通信の塔とすることができるため、越夜も可能な観測拠点とし得る。月惑星上の構造様式は、無人自動機械による展開構造物として建造されると考えられ、また当面は基礎工事なしで着陸機の上面から伸展する様式が効率的である。この伸展構造物には、軽量・高剛性が求められるのみならず、伸展機構部も軽量・省搭載スペース・省伸展電力であるべきであり、さらに、高信頼性のためには原理が単純であることも必要である。軽量・高剛性・高収納率で且つ長尺の伸展ができる単純な様式のインフレータブル1次元伸展構造物の原理を用いて、月惑星上の構造物を構築できるようになる。

（研究の成果）

設計の想定として、月着陸機の上面2m×2mの領域に搭載でき、月着陸機上搭載面で水平を得るためのジンバル機構も含めて重量100kg以内で、発電量1134W、太陽電池必要面積18m²（マルチジャンクションセルを仮定）、伸展長さ15mの塔として設計を行った。本年度試作では、ジンバルより上の本体部分の1/5スケールのモデルを製作した。

設計では、総重量約105kgとなり、設計条件をほぼ満たすことができた。

本年度の1/5スケールのモデル試作においては1/6 G環境を前提として力学的にも相似であるように設計した。試作モデルにより伸展機能を確認できた。これにより、インフレータブル1次元伸展構造物の原理を用いて月惑星上で構造物を構築できる可能性を示した。今後は、構造精度向上の検討、伸展に伴う重心移動や擾乱を伴う解析と試験、宇宙環境耐性の検討、水平ジンバル機構の製作と組合せ試験、発電塔と共用できる他用途との多目的化、なども含めて検討する必要がある。

8. 金星探査プローブの研究（総合評価点：3.94）

（研究の目的）

金星は、地表面温度740 K、地表面圧力90気圧であり、高度47 km～70 kmには硫酸性の雲が浮遊する過酷な環境をもつ惑星である。この金星に惑星間遷移軌道から直接に小型カプセルをエントリーさせ、熱交換型水蒸気圧膨張気球を放出し、その後、高度35 km（大気温度約200℃）にて定常浮遊する気球により2週間に渡る大気観測を行うというミッションを具体的に想定し、技術課題を明確化し、関連する基礎研究を行う。

（完成した場合の効果）

研究過程において獲得された知見・技術成果は、金星探査プローブの実現に資するのみならず、将来の惑星探査技術の共通の基盤技術としての応用性も広い。

（研究の成果）

カプセルの金星突入時の空力加熱予測コードの検証や、耐熱材料試験を行なうため、高温CO₂気流を発生する誘導加熱ヒータが開発され、排気系、計測系の整備が進み、その性能特性、作動エンベロープ、気流の分光データが取得された。

気球膜として種々のものを試作しガスバリア特性等を取得したが、表面にニッケル・ルテニウムメッキを施した

ベクトラを用い、内部に高吸水ポリマーを配して多層構造としたものの良好な性能が示された。熱交換を考慮した気球の膨張までの数値シミュレーション及び気球膜熱伝導実験の結果に基づき、長さ2 mのサブサイズ気球を試作し、能代多目的実験場における縦型高温熱風洞内で膨張実証に成功し種々のデータを取得した。また、ミッションを実現する際にキーとなる高温エレクトロニクスに関連し、実際にSバンド送信機の通倍回路部分を試作し、190℃のオープン内において数時間に及ぶ通倍機能の実証を果たした。

9. 粉体推進の研究（総合評価点：3.53）

（研究の目的）

液体や気体を推進剤とするスラスタは高性能であるが、無重力環境で燃料を移送するために高圧ガスを用いており、これに抗して駆動するバルブには常時ストレスが加わり、故障例に枚挙の暇がない。粉体は、物質相は固体であり、相変化を起こす液体や気体と比べ温度管理の許容範囲が広い。高圧を用いなくても高密度貯蔵が実現できる。固体推進剤の最大の問題点は「作動の断続」であるが、粉体を静電気や磁力を用いて、小口で供給する方式はブレイクスルーとなる。加速方式には、レーザーアブレーション・放電アブレーション・電磁加速・静電加速、さらに粉体に化学燃焼性の物質を用いてレーザーや放電で着火維持する方式も考えられる。この技術を具現化するための技術開発を実施する。

（完成した場合の効果）

地球周回にて小型衛星を応用する機運が高まっている。姿勢制御には磁気トルカを用いるのが一般的であるが、回転力だけでなく並進力も発生できる推進器が期待される。一方、深宇宙輸送技術が確保されると、磁場のない宇宙空間や惑星（金星や火星）に投入する小型プローブの有用性が着目され、姿勢制御に小型推進器が必須となる。粉体推進は、加圧システム不使用、保温のための待機電力が極小、推進剤の取り扱い性良好という特徴を有するため、小型衛星やプローブには最適である。国内に留まらず海外の深宇宙母船へのビジー搭載を可能にして、宇宙探査の多様性を促進する。

（研究の成果）

粉体を基盤に静電吸着させる装置を試作し、各種材料（トナー、活性炭、テフロン粉など）に関して試験を実施し、基礎データ収集をおこなった。さらに放電アブレーションを用いたPPT（Pulsed Plasma Thruster）方式によるテフロン粉の噴射を実施した。従来のPPTでは、固体推進剤からアブレーションにより少量の推進剤供給されるので、不必要に高比推力という短所があったが、本方式では顆粒のまま放出される成分を含むので、大推力化が期待される。

10. 宇宙探査エレクトロニクスの研究（総合評価点：3.98）

10-1. 宇宙用太陽電池の精密診断技術の研究

（研究の目的）

フォトルミネッセンス（PL）およびエレクトロルミネッセンス（EL）を利用した非破壊・高速の太陽電池の精密診断手法を開発する。

（完成した場合の効果）

宇宙用の多接合太陽電池およびCIGS太陽電池における複雑な層構造や、最も生産量の多い地上用太陽電池用の大型多結晶シリコン基板を非破壊かつ高速に評価することが可能になる。これにより、太陽電池の性能および信頼性の向上を図ることが可能になる。

（研究の成果）

「弗酸液浸PLイメージング法」を開発した（特許出願済）。従来法では、地上用シリコン太陽電池基板1枚あた

り品質確認に20分程度の時間を要していたが、この方法によるとわずか1秒以下で可能となり、高い分解能を維持したまま大幅な時間短縮に成功した。これにより、最近の環境・エネルギー問題への関心の高まりから需要が急伸している太陽電池の生産性向上や高効率化等、太陽光発電システムの大幅なコストダウンに大きく貢献することが期待できる。宇宙用太陽電池へも適用可能である。また、「PLイメージングによるセルのクラック検出法」を開発し（特許出願済）、衛星搭載用のパネルに装着された多接合（MJ）セルのクラック検出に極めて有効であることを示した。

10-2. 多層マイクロ接続基板の研究

（研究目的）

マイクロマシン加工技術を利用して、多層マイクロ接続基板技術を確立する。

（完成した場合の効果）

将来の観測衛星搭載センサーにおいて、センサーアレイの小型化および多チャンネル化が求められている。この課題を解決するためには、2次元アレイへの信号線や制御線、電力線などを3次元的に配置する技術が必要である。マイクロマシン技術を利用したマイクロスルーホール加工技術と常温接合技術を確立することにより、この3次元実装技術である多層マイクロ接続基板技術が完成する。

（研究の成果）

厚さ200 μm のSi基板に $\phi 120 \times 200 \mu\text{m}$ のマイクロスルーホールをDeep RIE（Reactive Ion Etching）技術を用いて形成した。次に、このマイクロスルーホール内壁に、通常の熱酸化によりシリコン酸化膜を、続いてバイアスパッタ技術を用いてAl薄膜を堆積した。このようにして形成した2枚のSi基板の開口部にAlパッドを形成した後、常温接合技術を用いてAlパッド同士を接合して、2層マイクロ接続基板を作製した。印加圧力を制御することにより歩留まり100%で、多層マイクロ接続基板を実現できるようになった。

10-3. 2次元走査型レーザーレーダの開発

（研究の目的）

マイクロマシン技術を適用して2次元走査可能で軽量高信頼性のレーザーレーダを開発することを目的とし、2次元走査型レーザーレーダの基礎技術である、2次元走査機構の開発、光学設計、マイクロマシンの設計製作、及びレーザー設計を行う。

（完成した場合の効果）

現在搭載されているレーザーレーダは1方向のみの距離計測であるが、惑星表面の詳細な構造を広範囲に捉える手段として搭載カメラによる撮像に加えて、レーザーレーダによる表面状態を含む地形情報は重要である。2次元走査の距離計測が実現すれば、探査機軌道や惑星の自転を利用して行っている表面地形のマッピング効率が飛躍的に向上し、航法、理学観測両面でたいへん有意義であるとともに、多点を測距するために測定の信頼性が向上する。

（研究の成果）

送信光学系に使用するMEMSミラーについて、耐環境性の検討、YAGレーザー用コーティングを実施して残留応力の影響を評価した。ミラー制御に対して α - β トラッカを付加したシングルゲート追尾を行うことで、要求精度0.5mradを実現した。また、熱真空試験を実施し、真空中ではミラーのQが高まり温度変化による共振周波数の変化が問題になることが明らかとなり、共振周波数の追尾が今後の課題である。

受信光学系に関しては、テレセントリック光学系、マイクロレンズによるリレー光学系を組み合わせた複数視野を持つ光学系とマイクロシャッターアレイを組み合わせた走査光学系を考案し、全面非球面レンズの製造難易度の高い光学系については試作してその性能を実証した。

10-4. 電源系

10-4-1. 将来衛星電源系の研究

(研究の目的)

次世代衛星への適用を目指した電源制御方式の検討を行った。

(完成した場合の効果)

次世代のエネルギーデバイスとして期待される燃料電池や電気二重層キャパシタ等を使用した衛星の電源設計が可能になる。

これらのエネルギーデバイスは、衛星電源質量の軽減や、長寿命化に寄与することが期待されているが、単セルあたりの出力電圧が低いため、バスへの電力供給時に昇圧する必要がある。逆に、太陽電池側からエネルギー供給を受ける場合には、従来のリチウムイオン二次電池等に比べて大きく降圧する必要がある。

よって、充放電いずれにおいても使用可能な高効率の昇降圧コンバータを設計することにより、それぞれにデバイスの長所を生かした簡易衛星電源、ひいては衛星のシステム設計が可能になる。

(研究の成果)

INDEX 相当の電力規模 (120W 相当) の衛星を想定し、2000F 級の電気二重層キャパシタを蓄電デバイスとして使用する場合の電源設計を試みた。

設計は完了しており、今後、基板製作／キャパシタとのかみ合わせ試験等が推奨される。

10-4-2. リチウム電池の安全性評価 (その1)

(研究の目的)

並列接続の電池の運用における問題点の抽出を行う。

(完成した場合の効果)

中小型のリチウムイオン二次電池を並列に接続し、擬似的に大容量のバッテリーとして使用することができる。小型のバッテリーを複数台並列に使用する場合には制御系をバッテリーの並列数だけ用意する必要があるが、本手法においては制御系を統合することができることから、電源系としての質量軽減が図られる。また、電池内部でのセル単位での不具合に対して、ロバスト性を向上させる可能性がある。

(研究の成果)

大型化する衛星バスの要求に対して、電力を蓄積／供給するためのバッテリーにおいては、これまで電池の大型化あるいは組み電池 (バッテリー) の並列接続により対応をしてきている。バッテリーを並列に接続する場合には、制御系統をそれぞれに付随させる必要があり、質量の増加を招く。また大型の電池においては、電池内部での熱バランス等により電池の性能劣化を誘発する恐れがある。これらの背景から、電池単体 (セル) としては小型のものを使用し、これを並列接続した上でバッテリーに組む手法があるが、比較的容量が大きいリチウムイオン二次電池のような低インピーダンスの電池を並列に接続し、セル間にバランスのずれが生じた際にどのような制御が適切であるかは評価が必要である。

今年度は、本検討のためにセルおよびバッテリーの製作を実施し、初期性能についての確認を実施した。この中では意図的に劣化を促進するセルを組み込んだバッテリーおよびオープン故障を模擬した要素を組み込んだバッテリー等を製作し、これらの劣化／不具合等がバッテリーを構成する他のセルにどのような影響を及ぼすか、評価した。

昨年度までに、オープン故障を模擬したセルを含むバッテリーにおいては、試験の継続が困難と思われる過負荷状態のセルが生じ、一部においては早期に試験を終了していた。その他、劣化を促進するセルを組み込んだバッテリーにおいては、昨年度内には顕著な劣化傾向あるいは他のセルとのアンバランス等が見られていなかったため試験を継続実施した。結果として、劣化促進セルの放電終止電圧の低下が顕著であり、バッテリー全体の特性にも緩やか

に影響を与えつつある傾向が現れつつあるが、これまでのところハザードに結びつく兆候等は見られていなかった。

今年度は、将来の大型衛星におけるバッテリー需要に対応可能なデータの取得をすすめる必要があることから、実際のバッテリー規模の容量を有する並列組みを有するバッテリー製作を実施するため、新規セルの製作を実施した。

10-4-3. リチウム電池の安全性評価 (その2)

(研究の目的)

大容量リチウムイオン二次電池の安全性にかかる知見をえるため、内部温度分布の直接計測を試みる。

(完成した場合の効果)

大容量リチウムイオン二次電池は、HTV や次期中小型衛星、準天頂衛星等への適用が図られている。

リチウムイオン二次電池では内部に温度分布の不均一が生じた場合、発熱により電解液の気化がすすみ危険な状態に陥る可能性がある。

ここで得られる知見から、衛星に大容量リチウムイオン二次電池を使用する場合の電源系の熱設計が正確に実施できるようになる。また、運用時の安全性について、知見が得られる。

(研究の成果)

50Ah, 100Ah, 175Ah のリチウムイオン二次電池を用意し、これらの内部外部の複数個所にシーズ熱伝対を設置し、温度の直接計測を行いつつ、電池の充放電試験を実施視した。特に、通常の容量測定とともに、低軌道衛星、静止衛星の運用をそれぞれ模擬した充放電サイクルを負荷として印加しつつ、発熱分布を直接温度計測により可能とした。

この計測データをもとに、電池の熱数学モデルの検証をあわせて実施した。

10-5. 宇宙機帯電放電現象メカニズム

(研究の目的)

宇宙空間を飛翔する宇宙機における帯電・放電現象のメカニズムを明らかにし、それらを抑制する技術を開発する。

(完成した場合の効果)

帯電・放電現象による事故の発生を抑制し、特に高エネルギー粒子やプラズマに曝される軌道を飛翔する宇宙機の信頼性向上が可能になる。また、将来の大電力宇宙構造物に必要とされる、数百V級の高電圧太陽電池アレイの実現が可能になる。

(研究の成果)

宇宙用 Si 太陽電池セルを用いて試験用クーポンパネルを製作し、プラズマチェンバー中で放電試験に課した。その結果、インターコネクタやセルエッジにおいてアーク放電が発生し、太陽電池セルの電気的特性が劣化した。本年度は、その原因を詳細に調査した。

まず電流電圧 (IV) 特性を測定したところ、劣化のモードは、並列抵抗成分の減少、直列抵抗成分の増加、ほぼ短絡状態の3種類に大別することができた。各劣化モードの原因を探るため、エレクトロルミネッセンス (EL) 法を用いて、太陽電池セルの評価を行った。その結果、並列抵抗成分の減少したセルでは、正負電極を数Ωの抵抗値で接続する電流リークパスがセルエッジに生じ、発生電力の一部が外部に取り出されていないことがわかった。短絡状態のセルでは電流リークパスの抵抗値が非常に小さく、発生電力のほぼ全てが取り出されない状態となっていた。直列抵抗成分が増加したセルについては、ELによる測定では変化が認められなかったため、調査を継続中である。

11. 柔構造減速装置による誘導型帰還システムの開発（総合評価点：3.75）

本研究では、飛翔経路を制御可能な翼型のパラシュート（パラフォイル）を用いた誘導型の帰還システムの開発を行っており、この技術の習得により、気球や観測ロケットの回収実験を容易にすると共に、将来の惑星探査ミッションへ適用することを計画している。本年度は、1) 昨年度構築した、データ収集系、制御信号生成系に加え、プーリーを用いた駆動系を構築し、全システムの構築を完了した後、2) 気球による投下試験により問題点の洗い出しを行い、3) それに基づいて開傘衝撃から駆動系を保護する改良を行い、4) 併せて、システムをモジュール化した。具体的には以下のとおりである。

- 1) 制御索を駆動するプーリーを製作した。これにより、全制御システムが構築できた。このシステムを用いて、車での曳航試験を行い、揚抗比の測定、制御索の引き量とバンク角の関係、動作時の制御索にかかる張力の測定を行なった。
- 2) 工学試験気球に搭載し、気球からの投下試験を行なった。この結果、パラフォイルの展開、および、滑空時の揚抗比の測定には成功したが、パイロットシュートでの降下が不安定であり、パラフォイル開傘時にゴンドラが左右に振られた際に、制御索に大きな張力がかかり、プーリーの軸継手が破損するという問題が生じた。
- 3) 上記の問題を解決するため、パイロットシュートをヘミスフロー傘にして降下を安定させ、開傘衝撃を制御索に伝えなくするブレーキロック機構、および、軸継手にトルクリミッターを入れる改良を行なった。
- 4) また、制御信号生成系を与圧容器に収納し、プーリー駆動機構を一体化し、パラフォイル用モジュールとして様々なゴンドラに汎用に利用できるシステムとして構築した。

12. 展開型柔構造による大気突入飛行体の開発（総合評価点：3.72）

（研究の目的、完成時の効果）

近年、惑星大気突入システムや回収システムの開発が必要となっている。これらのシステムに共通した技術のポイントは、大気突入時の空力加熱を避ける手段にあり、従来は、その一手段として耐熱構造が用いられている。しかしながら、耐熱構造重量が全体重量に占める割合は無視できず、何らかの方策が必要であった。その方策として、加熱そのものを低減して、必要な耐熱構造重量を低減する手法があり、具体的には、弾道係数を低減することで達成可能である。この研究では、弾道係数を低減するための方策として、軽量で収納性がよい展開型柔構造のエアロシェルを開発する。即ち、大気突入前に大面積の柔構造エアロシェルを展開し、機体の弾道係数を下げ、空力加熱が大幅に低減させることにより、熱防御構造にかかる負担を減らすことを可能とする。

このような機体の開発を行うため、以前から行われてきた基礎研究をもとに、実証研究まで進め、さらに、この種の機体を利用したシステムの概念検討を行う。

（研究の成果）

研究方針に沿って2004年度に実施された飛行実験（大気球を利用した落下試験）では、展開型柔構造の飛行体の飛行成立性を確認している。この飛翔試験では、展開が終了した最終飛行形態のみでの実験となっているため、本年度は、昨年度に引き続き、柔軟構造の展開のプロセスをも包含した飛翔実験を目指して、さらに確実な展開機構の開発を進めた。また、それと同時に、次の飛翔実験の準備を進めた。より確実な展開機構について、妥当な機構を開発し、展開試験を行った。また、それを用いた次の飛翔試験の準備として、データ処理部などの開発を行った。さらに、観測ロケットを用いた、実環境での飛翔実験の構想について検討し、提案書を作成して提案を行った。

13. 先進的飛翔システムの基礎開発実験（総合評価点：4.25）

1) 18年度の活動概要

電鋳によるCold Manufacture技術により製作された長胴型燃焼器を単体燃焼試験に供し、燃焼器の諸特性・性能を確認すると共にCold Manufacture技術の有効性を確認した。また燃焼器をターボポンプ、推進剤タンク、機体構体と組み合わせ、フライト時と同等のエキスパンダーサイクル推進系システムを構成し、システム燃焼

試験を実施した。単体試験の結果から予測された性能を達成し、動的応答性を考慮したエンジンシミュレーションモデルの有用性を確認した。また信頼性、運用性を向上させる観点で、水素側ターボポンプの改良方針を明確にした。

樹脂（LCP フィルム）ライナ付積層 CFRP 液体水素タンクの試作研究については、黒鉛組立ジグ方式について小型 EM タンク試作による製造方法の確立し、Ti/CFRP 接着構造の破壊力学的評価を取り入れた設計を完了、RVT#4 実験機を目指した PFM 試作研究を実施している。

GH₂/GO₂-RCS の 140N 級のフライト仕様スラスト要素での技術実証試験を行い、耐熱性能・推進性能・応答性の確認を行った。

再使用観測ロケットの機体規模や空力および推進性能をシステム要求としてまとめるため、飛行解析による飛翔性能の検討を行っている。風洞試験を行い空力特性を取得した他、性能向上のための高度補償ノズルの試作・コールドフロー試験をおこなった。

再使用観測ロケットシステムの故障許容設計・信頼性設計を進め、ヘルスマネジメントシステムの構想の検討をおこなった。

2) 電鋳技術を用いた Cold Engine Manufacture (燃焼器)

RVT で取り組んできた電鋳技術による噴射器要素および燃焼器の製造は、全工程を常温付近で行うことができるため残留歪や変形が発生せず、信頼性、耐久性の向上が期待出来る。また複雑な形状を持つ金属部品も一体構造で形成することが可能なため部品点数の低減、溶接箇所への減少および製造コストの低減に繋がる可能性もある。本年度は昨年度製作した長胴燃焼器の単体燃焼試験を実施した。しかし短秒時試験後に再生冷却溝入口部が詰まっているという不具合が発見され、補修を実施してから再度燃焼器単体試験を実施するという開発経過をたどった。補修後の燃焼室は所期の性能を発揮し、単体燃焼試験、エンジンシステム燃焼試験において広範な作動条件に耐えうることを確認した。

3) 長胴型燃焼器の単体燃焼試験

加圧供給方式であった従来の推進系を、将来の大型化に備えてターボポンプ供給方式とすることを計画している。既存コンポーネントの組み合わせによるエキスパンダーサイクルエンジン構築の可能性を見極めるため、熱交換量を増やす目的で新規開発した 8.1 kN 級長胴型燃焼器の単体燃焼試験を行った。本実験は、総合技術研究本部ロケットエンジン技術センター燃焼器・ノズルチームとの連携により実現したものである。試験は、広範な燃焼条件での燃焼推進性能データを取得するため、再生冷却部の冷却用と燃焼用の水素を独立に供給する独立冷却方式により実施した。試験結果は良好で、燃焼器の長胴化によって再生冷却部の熱交換量は従来型燃焼器の 2.5 倍、ノズル開口部内面形状の改良による効果を含め比推力は約 10% 向上したことを確認し、余裕を持ってエキスパンダーサイクルエンジンシステムを実現できる見通しを得ることができた。

4) ターボポンプ式エンジンのシステム燃焼試験

既存コンポーネントの組み合わせによるエキスパンダーサイクルエンジン成立の可能性を見極めるため、ポンプ単体試験と燃焼器単体燃焼試験の成果を踏まえて推進システムを組み上げ、能代多目的実験場の固体推進系設備を利用してシステム燃焼試験を行った。試験は、機体実装状態でのシステム性能および運用性を確認するため、タンク、エンジン、気蓄器を機体構体に組み込んだ実運用形態で実施した。試験結果は良好で、単体試験の結果から予測された性能を達成すること、および動的応答性を考慮したシミュレーションプログラムの有用性を確認した。また信頼性、運用性を向上させる観点から、水素側ターボポンプの改良方針を明確にすることができた。RVT 次号機の機体システムに適合するエキスパンダーサイクルエンジンの実現性を確認した。

5) 機体システム試作研究

RVT の機体交代をシステム地上燃焼試験に供するため、(i) エンジン大型化に対する機体フレーム構造改修、(ii) LH₂ タンク大型化に対する機体フレーム構造改修、(iii) エンジンマウント部構造の剛性向上対策、を行った。システム地上試験において、エンジン大型化に対する振動音響計測を行い、搭載機器に対する環境条件提示のための検討を行った。機体フレーム構造改修およびエンジンマウント部構造剛性向上により、システム地上燃焼試験は問題なく安全に実施され、音響レベルはエンジン出力最大でも 148dB であった。また、エン

- ジン大型化に対する脚構造検討を行った。
- 6) 樹脂ライナ付極低温複合材タンク
樹脂 (LCP フィルム) ライナ付積層 CFRP 液体水素タンクの試作研究を実施した。今年度は、黒鉛組立ジグ方式について小型 EM タンク試作による製造方法の確立、Ti/CFRP 接着構造の破壊力学的評価を取り入れた設計を完了した。PFM 試作研究に着手した。
- 7) 統合推進系研究と水素酸素 RCS の試作研究
主推進系の推進剤 (LOX/LH₂) で機体システムに必要な全エネルギーを賄う「統合推進系」の実現へ向け、GH2/GO2-RCS, APU, 電源供給システムの各要素技術課題に取り組んでいる。今年度は、昨年度に引き続き GH2/GO2-RCS の試作研究を行った。昨年度作成した 140N 級のフライト仕様スラスト要素での技術実証試験を行い、耐熱性能・推進性能・応答性の確認を行った。併せて軽量化を狙って試作したマルチプラグエキサイタおよび昇圧器一体型スパークプラグの正常な機能を確認した。この成果を元に、今度は搭載性を考慮した BBM モデル製作、実証試験に向けて準備を行っている。
- 8) 再使用観測ロケット空力飛行特性研究
RVT 実験機の発展として到達高度 100km 以上の弾道飛行を実現するために必要な機体規模や空力および推進性能をシステム要求としてまとめるため、飛行解析による飛翔性能の検討を行っている。解析には風洞試験により得られた空力特性を用いている。目標高度に達するために必要なエンジン比推力やそれを実現する高度補償ノズルの効果などについて検討を進めている。
- 9) 再使用観測ロケット帰還飛行特性研究
再使用観測ロケットの弾道飛行からの帰還などに備えて特に垂直着陸型のロケットの飛行方法に注目して機体の運動や空力特性を把握し、形状設計や操縦性に関する設計要求に転換するための基礎的な研究を継続して実施している。風洞試験による空力特性データの集積とそれらによる空力特性および飛行性能の評価を行った。帰還時の機体反転および着陸時の大規模逆噴射ジェットについて実験・数値解析により特性を把握し、機体の運動に与える影響、特に大規模剥離領域の非線形性や非定常性を定量化する試みを続けている。
- 10) 高度補償ノズル (デュアルベルノズル) の実証研究
地上から宇宙までの広い飛翔環境で運用される垂直離着陸型の宇宙輸送システムに従来型ロケットエンジンを用いる場合、着陸時の推力制御性を考慮するとノズル膨張比を低く抑えざるを得ないため、高高度でのエンジン性能を十分に引き出すことができない。「高度補償ノズル」は、飛翔環境に応じてノズル開口比を制御することによりエンジンの高比推力化を図る技術で、着陸時の推力制御性と、高高度での高比推力を両立するために必須の技術である。その中でも「デュアルベルノズル」は、蓄積された慣用ノズル技術を反映可能な、最も実現に近い高度補償ノズルと言える。JAXA 総合技術研究本部ロケットエンジン技術センター燃焼器・ノズルチームにおけるこれまでの研究の成果から、デュアルベルノズルでは、飛行中に、低膨張ノズルから高膨張ノズルへの流れの遷移が発生することが判っている。この遷移条件を任意に制御することは、複数基のエンジンを使用する再使用観測ロケットの安定した制御には必須となる。本年度は、遷移高度を高くするための流体的遷移制御機構 (二次気体噴射による) を設けた供試模型を製作し、コールドフロー試験を実施してその効果と課題を確認した。次年度は、制御機構の設計を改良しコールドフロー試験を実施し、制御性について確認するとともに、燃焼試験による熱的な影響を含む試験まで進めたい考えである。本研究は、総合技術研究本部ロケットエンジン技術センター燃焼器・ノズルチームとの連携により実施するものである。本年度の実験および数値計算の実務は当該チームが担当した。次年度以降、本格的なエンジンへの適用を目指して連携を強めていく。
- 11) 再使用観測ロケットシステム解析
観測ロケットの代替を目指して頂点高度 100km 以上への弾道飛行を行い発射点へ帰還するシステムへの発展を考え、RVT 実験機で得た機体システムの構築や推進系の繰り返し飛行運用に関わる知見を元に ①高頻度繰り返し飛行のための地上運用の検討、②故障許容設計と信頼性設計および高性能化のための検討、③姿勢転回と再着火のための空力特性と姿勢制御の検討、④着地条件の検討、⑤ヘルスマネジメント構想検討などを中心的な課題としてシステムを確定するための諸検討を行った。

14. モデル化技術を用いた衛星記述方式の研究（総合評価点：3.26）

（研究の目的）

衛星プロジェクトにも装置にも依存しない宇宙機データベースを開発するために必要となる標準モデルの構築を行い、その標準モデルに基づいた汎用宇宙機データベースの開発を行う。このためには、データベースの構造を宇宙機および宇宙機の取り扱いデータのモデルに基づいて規定する必要がある。本研究では、宇宙機の構成原理とコマンド・テレメトリデータの構成原理を標準モデルとして規定し、その標準モデルに基づいて宇宙機のデータベースを設計する。

（完成した場合の効果）

宇宙科学研究本部で「のぞみ」以降のすべてのプロジェクトで使用しているデータベース（衛星情報ベース）をさらに拡張することができ、衛星の運用手順や診断ルールまでも一体化したデータベースを構築できる。

（研究の成果）

宇宙機の構成原理およびコマンド・テレメトリデータの構成原理をモデルとして制定した。宇宙機のモデルの概要は以下の通りである。

- 1) 宇宙機は複数のサブシステムにより構成され、各サブシステムは複数の機能オブジェクトを保有する。
- 2) 各機能オブジェクトは、コマンドに基づいた操作を実行し、機能オブジェクトの状態をテレメトリとして通知する。
- 3) テレメトリデータの中には、各機能オブジェクトが正しく操作を行っているかどうかを示すデータが含まれており、そのデータの取るべき値は操作の実行をトリガーとした状態遷移図によって表現できる。

15. ディープサブミクロン CMOS を用いたデジタル・アナログ混載型集積回路技術による低電力アナログフロントエンド回路の開発（総合評価点：3.53）

（研究の目的）

本開発研究は、宇宙機における観測機器等に必要とされるデジタル・アナログ混載型集積回路に関するものである。いわゆるディープサブミクロン CMOS 集積回路技術を用いた高精度かつ高信頼性を有する集積回路の開発手法を確立するとともに、その設計資産の蓄積・応用を目的としている。

（完成した場合の効果）

低消費電力でありながら、高精度かつ高信頼性を有するデジタル・アナログ混載型集積回路の開発手法を確立することによって、将来の宇宙機における高度な観測機器を短期間でしかも一定の確実性を確保しながら実現することが可能となる。

（研究の成果）

平成 18 年度においては、MOSIS を経由して TSMC 社の 0.35 ミクロン CMOS プロセスを用いて、低雑音信号処理用デジタル・アナログ混載型集積回路の設計・試作開発を行った。設計においては、Open-IP として蓄積された設計資産を活用するとともに、新たに独自の低雑音増幅要素を導入した。これによって、予備的試験結果ではあるが、CdTe 検出器と結合した評価試験において、 ^{57}Co の 122 keV ラインガンマ線に対して 2.35 keV というエネルギー分解能を確認した。これは、本試作回路が最高水準にならぶ性能を有することを示唆している。本集積回路の技術は、X 線天文衛星における硬 X 線検出器、X 線-CCD 検出器、また光学センサーとして衛星搭載 LIDAR における APD 読出し回路、さらに地上観測用の高速・高感度 CCD 読出し回路等に展開することが可能である。

16. SOI デバイスの研究 (総合評価点: 3.99)

(研究目的)

セルベース論理LSIを設計する上で必要となる、LSIレベルの耐放射線化技術をシミュレーション、設計、試作、放射線試験等により検討する。

(完成した場合の効果)

宇宙機搭載用の耐放射性半導体デバイスを民生SOI技術を利用して開発している。これまでに、論理LSIをセルベース手法で製造するために必要となるセル群を設計して、セルライブラリとして整備した。LSIレベルの耐放射線化技術も確立することで、最先端の宇宙用半導体部品を安価に開発・製造できる体制となる。

(研究の成果)

LSIの動作周波数が大きくなるにつれて顕在化してきたSET (Single Event Transient) というあらたな放射線障害のメカニズムを理解して対策を講じるために、シミュレーションおよびASICの試作・放射線試験を行った。その結果、従来のmixed-modeデバイスシミュレーションという計算時間の長い手法に匹敵する精度で、SETパルス波形を予測できる新しいシミュレーション手法の開発に成功した。またASICの試作と放射線試験により、試作した論理回路中で発生するSETパルスの実測に成功した。

17. ソーラー電力セイルの研究 (総合評価点: 4.28)

ソーラー電力セイルは光子の運動量を利用した推進と、電気推進機関を組み合わせる航行する宇宙船である。直径約50mの超薄膜の太陽帆を軌道上で展開し、光子および高性能イオンエンジンを併用した推進機関による軌道操作と、太陽光エネルギーによる電力の確保など、将来外惑星探査で必須となる技術を実証する。2010年代の早期に本計画の実現を目指し、宇宙科学研究本部内の宇宙工学委員会下のワーキンググループにて、長期間にわたり検討を継続してきた。2005年12月には宇宙工学委員会より「宇宙工学分野の先端技術の確立を目指していることが高く評価され」、第25号科学衛星候補として推薦を受け着手可能と判断された。一方、2006年1月に実施された企画調整委員会では、「ソーラー電力セイルについては、その意義を認め(中略)、近い将来の着手に資するよう新たなステータスを与えることを考慮する。今後着実に準備が進められることを期待する。」との評価も受けている。

これらの経緯を踏まえ、ソーラーセイルWGでは、2006年度にソーラー電力セイル開発のフロントローディングとしての技術実証、かつ、単独ミッションとしても世界初・世界最先端の理工学ミッションを2つ提案した。一つは次期固体ロケット初号機でLunar-A構体を再利用した大型膜面展開実験であり、もう一つは小型探査機を用いた光子セイルによる近惑星フライバイミッションである。一方、海外でもソーラーセイルの研究開発が積極的に進められ、特にNASAはST-9計画において、2010年打ち上げ想定ソーラーセイル飛行ミッションを有力候補としている。これに対抗するため、H2Aピギーバックを用いた世界初のソーラーセイル加速実証ミッションも新たに提案し、この開発に着手したところである。

超高比推力イオンエンジンは太陽系大航海時代に欠くことのできない技術要素であることを踏まえ、非原子力の電力確保手段として薄膜電池を展開し、光子推進を併用する宇宙船は次世代の外惑星系探査機を先駆けるものである。ソーラーセイルWGでは、2006年度に2回の会合を開催し、膜面展開および電力セイル実験を実施することを決定し、結果について議論した。まず、大気球を利用した大型膜面展開実験(2006年8月)では、世界最大級のサイズ(差し渡し20m)の膜面を世界で初めて準静的に展開することに成功した。これにより、新たに導入した準静的進展機構が正常に機能することを実証した。一方、M-V-7号機のサブペイロードを用いた電力セイル実証実験(2006年9月)では、膜面は展開したものの、電力セイルに関するデータ取得には至らなかった。目下、原因を究明中であるが、新規開発した電力セイル、小型バス、姿勢制御系、気液平衡スラスタ、分散化HCE、ダストカウンタ等はH2Aピギーバックのコンポーネントとして移行できる見通しである。

個別技術検討としては、2003年度から戦略的開発研究費を投じて、種々の新規技術の開発を行っている。2006

年度には15kVでの高比推力イオンエンジンの研究, 2kW級15kV高電圧加速電源の試作, 統合型燃料電池の低温での燃料電池発電手法・供給手法の確立, 燃料電池スタックの開発, 低温2液推進機関にむけての新型混合燃料の燃焼・着火性試験, エントリプローブの耐熱材料開発・飛行環境模擬実験, カプセルの通信, 薄膜エロブレーキングの調査・検討, インターセプタの航法誘導制御シミュレーション, ドラム構造・集電機構の試作評価, 25micron×30m薄膜太陽電池への輻射冷却コーティング試作, オービター搭載・X線イメージャーの開発等を行った。

2007年度には, 2008年度に小型探査機計画をPhase-Aに移行するためのプロジェクト準備審査を受ける。また, 2007年度中にH2Aビギーバックの設計・製作の完了を目指す。さらに, 大気球実験を再度実施し, 実機サイズ(差し渡し40m)の膜面を展開する。同時にソーラーセイル構造グループによる研究会を開催し, 真空槽・スピントーブル・スケートリンク等を用いた展開・展張実験も検討する。

なお, 各大学・研究所等からの本WGへの参加者は24人にのぼる。また, 各種実験や研究会にも多数の参加があり, 大学共同利用機関としての役割を果たしてきたところである。

c. 宇宙環境利用科学委員会 (平成19年3月9日開催)

○中期計画の該当項目

「国際宇宙ステーションにおける宇宙科学研究」

1. 宇宙環境利用科学プロジェクトの委員会評価結果

ISS科学プロジェクト室が外部研究者と協力して推進した宇宙環境利用科学プロジェクトに関する平成18年度の活動について, 宇宙環境利用科学委員会による委員会評価を実施した。その結果は, 以下のように取り纏められ, 第13回宇宙環境利用科学委員会に報告・了承された。

評価: A

各プロジェクトは着実に成果を上げており, その進捗は良好である。また, フライト候補選定済みの与圧部利用テーマおよび船外実験プラットフォーム利用科学観測ミッションの準備状況に大きな問題はない。

2. 評価結果の詳細と対応

付表*に示す。

付表*. FY18 宇宙環境利用科学プロジェクト委員会評価 評価結果まとめ

生命科学分野

生命科学分野		指摘・コメント	進捗状況・評価結果	ISS 科学プロジェクト室対応
細胞生物研究	CERISE	宇宙実験の準備作業が順調に進捗している。宇宙実験に向けて着実に準備を進めること。	ベースライン化を実施し、実験計画書ベースライン版を制定。開発フェーズに移行し、サンプルホルダーの開発に着手。微小重力以外の環境因子や過重力の影響、運動性観察の実現性を確認した。宇宙実験の準備作業が順調に進捗している。	2008年のULF2搭載に向けプロジェクトを着実に遂行する。
	MyoLab	宇宙実験後に得られる解析結果を踏まえ、個体レベルでの応答と比較し、細胞の直接的重力感受応答研究の更なる展開を期待する。宇宙実験に向けての準備作業が順調に進捗している。着実に準備を進めること。	ベースライン化を実施し、実験計画書ベースライン版を制定。開発フェーズに移行し、細胞培養容器開発に着手し、適合性の確認、培養後の解析予備試験を進めている。宇宙実験に向けての準備作業が順調に進捗している。	2008年のULF2搭載に向けプロジェクトを着実に遂行する。
放射線生物研究	RadGene	飛行後解析結果を踏まえ、解析対象としている遺伝子群の研究の更なる展開を期待する。フライトに向けての準備作業は順調に進捗している。LOHとの合同宇宙実験に向けてプロジェクトを着実に進めること。	2008年7月の15Aフライトに向けての準備作業（供試体開発、地上実験等）を進めた。フライトに向けての準備作業は順調に進捗している。	2008年の15A搭載に向け着実にプロジェクトを遂行する。
	LOH	RadGeneとの合同実施に向け着実にプロジェクトを進めること。	宇宙実験と同様な条件下での予備実験により細胞培養バッグの適合性、細胞凍結の方法、凍結細胞の封入等を詳細に確認した。宇宙実験に向けた準備作業が順調に進捗している。	2008年の15A搭載に向け着実にプロジェクトを遂行する。
植物生理研究	RadSilk	宇宙実験実施に向け、カイコ卵ホルダーの製作作業を加速し、重力と放射線の相乗効果に関する研究結果も踏まえ、プロジェクトを着実に進めること。	カイコ卵ホルダーの検証モデルによる予備実験により適合性を確認した。重粒子線により影響される遺伝子群も同定。準備作業が順調に進捗している。	2008年の15A搭載に向け着実にプロジェクトを遂行する。
	Cell Wall, Resist Wall	打ち上げが迫っているため、作業を加速し遅延のないよう確実に進めること。	ベースライン化終了。2008年1月のIJ/Aフライトに向けて順調に進捗している。	2008年2月打ち上げを目指しプロジェクトを着実に遂行する。
	Ferulate, Hydro Tropi	早急にフライト機会を確保することが課題。	実験計画のベースライン化終了。	2009年のフライト実験を目指し、飛行機会の確保を目指す。
生命科学分野全般		各飛行実験テーマの準備状況については、特記すべき問題は識別されず、それぞれの飛行実験にむけた作業を着実に積み重ねていくことが適切である。ただし、植物生理研究をのぞく分野のいくつかのテーマにおいては、今後に関連する地上での研究の推進も含めて、その分野の科学において解明すべき中軸的な課題との関連をしめし、宇宙実験の成果を豊かなものにする事が望まれる。		

物質科学・基礎科学分野

		指摘・コメント	進捗状況・評価結果	ISS 科学プロジェクト室対応
流体科学研究	MEIS	国際公募 CI テーマにより確認された微小重力下での PAS 形成を, MEIS において体系的に理解することを期待する。打ち上げが迫っているので作業を加速させ遅延のないよう進めること。	表面観察系供試体の開発が終了。来年度の打ち上げに向けて準備を進めている。順調に進捗していると判断。	2008 年 2 月打ち上げ (1J/A), 8 月の実験実施を目指し, プロジェクトを着実に遂行する。
	McTEX	来年度は, 供試体納入に向けた機能試験, 環境試験を実施し, 宇宙実験に向けてプロジェクトを確実に進めること。	供試体の詳細設計の実施, 審査受審し製作フェーズに移行し, 製作・組み立て中。順調に進捗していると判断。	2009 年打ち上げ・実験実施を目指し, プロジェクトを着実に遂行する。
結晶成長研究	ICE FACET	宇宙実験に向けて着実にプロジェクトを進めること。	宇宙実験に向けた準備作業は順調に進捗。	2008 年打ち上げ (USFL2) 実験実施を目指し, プロジェクトを着実に遂行する。
	HICARI	GHF の打ち上げスケジュールを見極めながら宇宙実験に向けた作業を本格的に開始すること。実験試料の変更についてはベースライン化を行う際の審査会において評価を行うこととする。	GHF の打ち上げ凍結解除に向けてカートリッジの予備検討を開始し, 宇宙実験の準備作業を開始した。準備作業は順調に進捗している。	2009 年 HTV の打ち上げを目指し, 着実にプロジェクトを遂行する。
燃焼科学研究	Firewire TEXUS ロケット	Firewire テーマで使用する燃焼ダクトの設計においては, 実験結果に影響を与える流速分布の検証を確実にすること。2 つのテーマで重複しているメンバーも多いので, 2 つのテーマの効率的実施に努めること。また, 実験結果がどのように実用面につながるか解り易い説明に努めること。宇宙実験に向けた準備作業が順調に進捗している, 宇宙実験に向けて着実にプロジェクトを進めること。	宇宙実験に向けた準備作業が順調に進捗。	2008 年フライト実験, 2009 年 TEXUS ロケット実験を目指し, 着実にプロジェクトを遂行する。
ダストプラズマ研究		進捗は順調, ヨーロッパとの連携を取りながら, 着実に宇宙実験の準備を進めること。	平成 18 年 12 月にプロジェクト化。ラボモデルの構築, 臨界点への接近方法, 実験条件の設定等, フライト実験に向けて急速に立ち上げており, 順調に進捗している。	2008 年フライト実験を目指し, 着実にプロジェクトを遂行する。
次期実験装置研究	静電浮遊炉	装置開発着手に向けた作業を進めることを期待する。	ISS 用静電浮遊炉の検討, ユーザの拡大, 技術の高度化を着実に進めている。それらをまとめ開発提案書を作成するなど, 極めて多くの成果を挙げている。	装置開発着手に向けた作業を着実に進める。

MAXI I, SMILES

	指摘・コメント	進捗状況・評価結果	ISS 科学プロジェクト室対応
MAXI	<ul style="list-style-type: none"> ・ KSC への出荷まで1年, 打ち上げまで1年余となり, 今後, 特にスケジュール管理に留意するべきである. ・ MAXI の大きな科学目標ひとつである観測結果の速報は, X線天文学・高エネルギー宇宙物理学において意義の高いものである. データ処理・速報のための地上処理系開発, 速報体制の整備も着実に進めてほしい. 	平成18年度の研究開発は, 計画に対し, 着実に進捗している.	2008年(2J/A)打ち上げを目指し, 計画に沿って着実に開発を進める.
SMILES	<ul style="list-style-type: none"> ・ サイエンス推進について, 約2年後の打ち上げ, また, 予算的な制約等の困難もあるが, 惑星・地球大気科学の研究コミュニティの支持・支援を得て, 高度な科学的成果を上げるよう今後も注力してほしい. ・ 平成18年度の科学推進活動は, 予算的措置のない活動で, プロジェクトの構成要素としての要件を満たしていない. 従って, 本来, 本委員会評価の対象にならない. 打ち上げまで約2年と迫っている中で, 確実にL2地上系開発・検証実験等を進め, 意義ある科学的成果を得るためにも, 予算的措置を含む組織としてのバックアップが必須である. 	平成18年度のシステムおよびミッション部の研究開発は, 計画に対し, 着実に進捗している. また, 平成18年度より新たに取り組んだ, サイエンス推進活動については, 今後, SMILESによる大気科学研究を推進するためのコアとなる体制が出来た.	より高度な科学成果創出を目指し, レベル2処理系開発, 検証実験等に必要予算確保の調整を進めながら, 2009年打ち上げ(HTV-TF)に支障のないように開発を進める.