

## 7. 平成 21 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、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2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

(B) に関しては「年 1 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 21 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。

なお、JAXA の科学衛星データの利用に関する科学衛星運用・データ利用センター運営委員会の報告についても別に記載した。

### a. 宇宙理学委員会（平成 22 年 4 月 7 日開催）

#### 評価を行ったプロジェクト一覧

平成 21 年度に宇宙空間にあり、運用を行ったもの：あけぼの、ジオテイル、れいめい、すぎく、あかり、ひので  
 打上げを目指し開発中のもの：PLANET-C, BepiColombo, ASTRO-G, 小型科学衛星 1 号機, ASTRO-H, SPICA  
 小型飛翔体を用いた観測研究・実験工学研究：(観測ロケット・大気球)  
 データ公開：科学衛星データ公開

#### 「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、平成元年の打上げ以来、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

平成 22 年 2 月 22 日、打上げ後満 21 年を迎えた。オーロラ撮像カメラ、電場観測機等一部の機器は、放射線による劣化により運用停止しているが、半数以上の観測機器は打上げ当初と同じ運用を継続している。

「あけぼの」の観測より、他衛星で行われていた「イベント観測」ではなく、多くのデータを使った統計に裏打ちされた、普遍的結論を導くことができた。さらに、「あけぼの」は、極域のオーロラ現象だけではなく、中低緯度の直接観測でも重要な成果をあげた。また、放射線帯を通過する軌道を生かし、理学的な研究だけでなく、衛星工学的にも有用性のある研究が進められている。

太陽活動の 2 周期 22 年分のカバーを目指して、平成 22 年度まで運用の延長が理学委員会から勧告されている。

### 宇宙理学委員会における評価

21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、長期観測による統計的、長期変動に関する研究は高く評価される。太陽活動の2周期にせまる放射線帯などの変動データは世界的にも価値が高く、広く使われる努力をお願いしたい。よって、平成21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

平成4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

経年劣化によって観測を終了した機器（HEP）を除き、全ての観測機器（磁場、電場、プラズマ波動、プラズマ、高エネルギー粒子）は打上げ後17年以上経た現在も問題なく観測を継続している。ジオテイル衛星は地球周辺宇宙空間における国際的な多衛星観測網の中で重要な役割を果たしている。

平成21年度は以下の運用を行った。

- ・米国NASAとの協力関係の下に国内局・米国DSN局にて衛星運用・追跡管制、データ取得を行った。
- ・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。
- ・平成21年に取得された新規データについて較正作業が進行中であり、NASA/GSFCにおい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る。

ジオテイル衛星は、米国、欧州とともに地球磁気圏の国際共同観測を行ない、磁気圏尾部を長期間にわたって網羅的な観測をしたことにより、磁気圏尾部のマクロ構造を解明している。平成21年度の顕著な科学的成果としては、熱的イオン生成に対する磁気双極子化に伴って現れる磁場変動の役割を明らかにしたことがあげられる。

### 宇宙理学委員会における評価

17年以上の期間にわたり、地球磁気圏尾部の構造とダイナミクスを解明することを目指して衛星を運用し、宇宙プラズマ物理学の研究進展に大きく貢献した事は高く評価される。人材育成や新しいミッションの展開へも貢献した。今後も、データが活用されるよう、現在取り組んでいるデータのアーカイブ化を是非完成させて欲しい。よって、平成21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。

## 「れいめい」プロジェクト

### プロジェクトの概要

オーロラ微細構造の観測を目指して、カメラ視野を磁力線フットプリント方向へ向け、オーロラ粒子と画像の同時観測（1kmスケールでは世界初）を行っている。また、カメラをリム方向を向け、オーロラ、大気光やスプライトの高度分布観測を実施している。

### 運用の状況のプロジェクトの成果

衛星全体は健全に運用されており、搭載観測機器のオーロラカメラ（MAC）、イオン観測器（ISA）は順調に観測を続けている。ただし、平成20年8月2日以降、ESA（電子観測器）異常のため電子計測がなされていない。

平成20年8月以降、下記観測を重点的に実施している。

- ・オーロラカメラ (MAC) による中緯度・低緯度における大気光・スプライトの多波長リム観測
- ・冬期間における地上レーダー・光学カメラとの共同による、極域イオン流出現象とカスプイオン降下現象の観測
- ・画像詳細モードによるオーロラ発光観測
- ・MAC と THEMIS 地上全天カメラ網との共同観測

平成 21 年度は、特に以下の成果をあげた。

- ・ディスクリットオーロラ微細構造の解明  
微細オーロラ生成メカニズムの解明,  
発光構造のドリフトとアルペン波
- ・ディフューズオーロラ微細構造の解明  
パルセーティングオーロラ,  
ブラックオーロラと内部磁気圏ダイナミクス

#### 宇宙理学委員会における評価

優れた観測データを出している。平成 21 年度には、成果の論文発表も順調に進んだ。よって、平成 21 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、平成 17 年 7 月 10 日に打ち上げられた。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

平成 17 年 8 月、冷媒であるヘリウムを失い、主観測装置の 1 つである X 線マイクロカロリメーターによる観測を行うことができなかったが、残された 2 つの観測装置はほぼ順調に作動しており、観測を続けている。

平成 21 年度には、第 4 期国際公募観測を実施した。さらに、第 5 期国際公募観測の公募、選択等を行った。

今年度の科学成果のハイライトとしては、以下をあげることができる。

- ・銀河団の外側のガスの温度・密度プロファイルを測定し、この高温ガスが静水圧平衡にないことを示唆した。
- ・銀河の外に大量のレアメタルを発見した。
- ・超新星残骸超新星爆発の直後に、1 億度程度にまで一度、ガスが暖められたことを示す化石を見出した。
- ・木星のまわりに大きく広がる硬 X 線放射を発見し、「逆コンプトン放射」の可能性を示唆した。

#### 宇宙理学委員会における評価

世界に開かれた X 線衛星として活躍し、順調に成果を出している。したがって、平成 21 年度には、年度目標を達成した。

### 「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、平成 18 年 2 月 22 日に打ち上げられた。

### 運用状況の概要とプロジェクトの成果

液体ヘリウム消費後の機械式冷凍機による近赤外線観測 (Post-Helium Mission) を継続している。平成 21 年度には、約 6600 回の指向観測を行った。ただし、冷凍機の性能劣化のために、平成 22 年 3 月には観測を中断した。

平成 21 年度の主たる成果としては、以下をあげることができる。

- ・全天サーベイによる赤外線天体カタログを平成 22 年 3 月に一般公開した。本カタログには計 130 万個の天体が含まれており、今まで使われてきた IRAS の点源天体カタログに比べて約 5 倍の天体が含まれている。
- ・宇宙の星形成史の理解が進んだ。「あかり」の観測により、100 億年前には現在の 20 倍以上の星形成率があったことが分かった。特に、超大光度赤外線銀河による星形成は現在の 500 倍以上であったことがわかった。
- ・活動銀河核探査を行い、これまで活動銀河核を持たないと思われてきた多くの銀河に、塵に隠された活動銀河核を発見した。

### 宇宙理学委員会における評価

赤外線天体カタログの出版は、従来の日本の天文学が行ってこなかった新たな分野の開拓であり、高く評価すべきである。確実に科学的成果をあげており、平成 21 年度目標は達成されたと評価される。

## 「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

平成 19 年 12 月末より発生した X 帯ダウンリンク不安定化事象のため、S 帯ダウンリンクへの移行作業を行い、伝送レートの低い S 帯においても十分なデータ量を確保するため、一日当たり 40 パス前後の受信を実施している。

平成 21 年度の顕著な科学的成果としては、以下があげられる。

- ・太陽光球面を上下に伝わるアルフベン波の定量的な検出・同定
- ・彩層大気中で進行する磁気リコネクション過程の定量観測

### 宇宙理学委員会における評価

世界の太陽物理研究をリードする良い成果を出していると評価できる。したがって、平成 21 年度の目標は達成されたと評価できる。

## Planet-C プロジェクト

### 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

平成 21 年 6 月～平成 22 年 3 月に FM 総合試験を実施、順調に終了した。現在、種子島宇宙センターにおいて、打上げ前フライトオペレーションを実施中である。また、運用、科学データ解析に関する体制の整備を進めた。さ

らに、国際協力、成果の報告を進めた。

#### 宇宙理学委員会における評価

打上げに向け、プロジェクトは順調に推移していると判断する。よって、平成 21 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。

### BepiColombo プロジェクト

#### 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 MMO/MPO の観測装置を担当する。

#### 年度計画に対する実施結果

[ESA の状況]

平成 21 昨年 10 月 31 日にシステム PDR が終了した。さらに、11 月の SPC (Science Program Committee) において、打上げ機体の Ariane-5 への変更、打上げ年度 2014 年への変更、総予算の増額が審議され承認された。

[JAXA]

7 月までに構造モデル試験を終了した。11 月-2 月に熱モデル試験を実施した。3 月から、サブシステム CDR を開始した。

#### 宇宙理学委員会における評価

Ariane5 への打上げ変更にも対応し、着実に準備が進んでいる。したがって、平成 21 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。

### ASTRO-G プロジェクト

#### プロジェクトの概要

地上電波望遠鏡群と協力して、口径約 35,000km 相当の VLBI を構成して電波天文観測を行う。HALCA=VSOP1 の 10 倍の解像度、周波数、感度で天体の電波写真を取得し、AGN ジェットの構造、磁場構造を撮像しその発生メカニズムの解明に迫る。ブラックホールの降着円盤、また原始星磁気圏などこれまで VLBI でも観測できなかった天体についても挑戦をする。

#### 年度計画に対する実施結果

平成 21 年度には、大幅なコスト超過に加え、大型展開アンテナを中心として重大な技術的な課題があることが発覚した。そのため、ASTRO-G プロジェクトチームに加えて、ASTRO-G 技術実証チームを組織、以下の技術課題の解決に取り組んだ。

- ・観測要求を満たす鏡面精度をもつ大型展開アンテナの実現性
- ・観測信号系：信号処理系の宇宙環境耐性
- ・姿勢制御系：高速観測姿勢制御
- ・精密軌道決定

#### 宇宙理学委員会における評価

技術的問題については、技術実証チームの活躍もあり、一定の進捗が見られたことは評価できる。ただし、プロジェクト全体としては、大きな技術的な課題があること、およびコスト超過が見込まれることから、年度目標を達成したと評価することはできない。



## ASTRO-H プロジェクト

### プロジェクトの概要

宇宙の大規模構造とその進化の解明，宇宙の極限状態の理解，非熱的エネルギー宇宙の探求，ダークマター・ダークエネルギーの解明を目指す，国際X線天文台衛星である。2014年度の打上げを目指している。

### 年度計画に対する実施結果

衛星の基本設計を行い，4回の設計会議を開催して段階ごとに進捗を確認した。硬X線望遠鏡や各搭載機器において実証実験が行われ実現性が確認された。すざくの成果を受けて，ASTRO-Hにて行うべき科学の検討が行うための国際会議を行った。ミッション機器個別の海外メンバーとの打ち合わせは，TV会議を利用してほぼ毎週開催した。

さらに，国民に理解しやすいミッションの目標・意義，プロジェクト進捗状況の補足説明資料を作成する事を目的として，ホームページの整備，パンフレットの製作，サイエンスカフェの実施などを行なった。

### 宇宙理学委員会における評価

着実な開発・基本設計を進めている。大型国際協力のモデルケースでもある。よって，平成21年度の年度目標を達成したと評価できる。

## 小型科学衛星1号機プロジェクト

### プロジェクトの概要

金星，火星，木星を極端紫外光（EUV）で観測することで，木星のイオトーラスのエネルギー収支機構の解明や，地球型惑星の太陽風との相互作用による大気流出機構の解明を目指す。小型科学衛星シリーズの1号機である。

### 年度計画に対する実施結果

- 平成21年1月に，小型科学衛星プロジェクトチームが発足した。21度の主たる成果を以下にまとめる。
- ・小型科学衛星『シリーズ』化への移行審査（9月）
  - ・MTM, TTM 製作開始前に設計確認会をサブシステム単位で実施後，全体確認会を実施。9月に全体会を実施した。
  - ・1号機+共通バス部・設計確認会全体会が承認され，詳細設計フェーズへ移行した。

### 宇宙理学委員会における評価

平成21年1月にプロジェクトに移行し，着実な開発・基本設計を進めている。平成21年度目標を達成したと評価できる。

## SPICA プリプロジェクト

### プロジェクトの概要

高感度の赤外線観測により宇宙進化の歴史を解明することを目的としたミッションで，口径3m級の望遠鏡を搭載し，6Kまで冷却して観測を行う。日本と欧州を中心とする国際協力体制で進めている。2018年度の打上げを目指している。

### 年度計画に対する実施結果

平成20年7月にプリプロジェクトチームが発足した。平成21年度の主たる活動成果は以下である。

[国内]

ミッション定義審査（MDR）で提示したミッションの科学的目的から，システム要求への展開を進めた。その過

程で、国内科学会議（6月、東大）と国際科学会議（7月、オックスフォード大）を開催した。  
上記を受けて、衛星の概念設計を進めた。その中で、コスト削減案にも対応し、望遠鏡口径の見直しを行った。

[欧州]

Assessment Phase を終了した。その結果を受け、Cosmic Vision Down Selection 過程に対応した。

#### 宇宙理学委員会における評価

着実な概念設計を進めている。平成 21 年度の年度目標を達成したと評価できる。

### 小型飛翔体を用いた観測研究・実験工学研究（観測ロケット・大気球）

#### 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生かして、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、大気物理、地球物理、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。

#### 運用状況の概要とプロジェクトの成果

観測ロケット活動としては、テザー実験を行う S-521-25 号機の準備を進めた。しかし、21 年夏期に内之浦宇宙空間観測所に落雷が発生し、設備が大きな被害を受けた。修理用部品の調達に約 1 年を要する事が判明したため、打上げを 22 年夏期に設定する方向で調整を行った。また、S-310-40 号機、S-520-26 号機の製作、および新型アビオニクスの開発を進めた。

大気球実験活動としては、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った。

#### 宇宙理学委員会における評価

大気球、観測ロケットなどの小型飛翔体等による頻度の高い打上げ機会を用いて大気物理、地球物理、天文学などの観測研究を実施し、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実施した。落雷事故は不可抗力であり、それによる打上げ延期はやむを得ないと判断される。よって、平成 21 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。

### 科学衛星データ公開

#### プロジェクトの概要

衛星運用から公開アーカイブズまでにわたる衛星データ処理システムの開発・運用を行う体制を整えるため、平成 20 年度から C-SODA (Center for Science-satellite Operation and Data Archive) が発足した。技術者と研究者が一体となり、科学衛星運用・利用体制を整理している。

#### 運用状況の概要とプロジェクトの成果

多くの科学衛星データを公開している。平成 21 年度の主たる活動は以下である。

- ・アーカイブ定常運用を安定に運用した。
- ・終了したミッションのデータ整備
- ・運用中の衛星の公開データ追加
- ・データミラー定常運用

**宇宙理学委員会における評価**

科学衛星データのより一層の活用のためには、本プロジェクトの役割は重要である。平成 21 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。

**b. 宇宙工学委員会（平成 22 年 4 月 2 日実施）**

評価を行った項目一覧

- ・小型飛翔体を用いた宇宙科学研究
- ・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

**小型飛翔体を用いた宇宙科学研究****概要：**

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 S-520 の打上げを行うとともに、観測ロケット S-310 の設計及び製作を行う。また、再使用観測ロケットの研究を行う。さらに、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・運用を行う。

**平成 21 年度の事業計画：**

1. 観測ロケット飛行中の空気抵抗と重力のない宇宙空間で、300m もの長さの電気を通すケーブル（導電テザー）を 2 分で伸ばしきる世界初の工学実験を目的として、宇宙導電テザーの伸展実験を行う予定だった観測ロケット S-520-25 号機は、実験装置調整等のため平成 22 年度に延期した。
2. 機能ごとに独立し、ユーザの要求に合わせてカスタマイズしていた従来方式から、バスの標準化と、さまざまなユーザの要求に対応可能なシステムの構築する観測ロケット用新型アビオニクスを引き続き開発している。
3. 大樹航空宇宙実験場等における、気球を用いた様々な観測や実験、及び気球開発の実施
  - ・大樹航空宇宙実験場において第 1 次（平成 21 年 5 月～6 月）に理学観測 2 実験、工学実証 1 実験、第 2 次（平成 21 年 8 月～9 月）に理学観測 1 実験、工学実証 2 実験を実施し、有効な理工学データを取得すると同時に、本格的なブーメラン飛翔（ジェット気流を用いて気球を太平洋沖合まで飛翔させた後に再上昇させることにより、気球が沿岸付近に戻るまでの最高到達高度での長時間実験を可能とする日本独自の気球飛翔法）を実施した。またヘリコプター吊下げによる実験装置の早期回収も実施するなど、大気球飛翔運用を着実に進展させた。さらに、実験準備完了後一週間に亘って JAXA 格納庫内のスライダ放球装置に観測器をセットした状態で待機することができ、大樹航空宇宙実験場の特長を活かした実験運営ができた。一方、予定していた 2 機の大気球による宇宙科学実験については、天候等の制約により平成 21 年度の実験を見送った。
  - ・スーパープレッシャー気球飛翔性能実験では、気球が完全に展開せず、一部のフィルムが折り重なった状態であったが、圧力气球を成層圏で水平飛翔させることができた。
  - ・世界で最も薄い 2.8 $\mu$ m 厚のフィルムを用いた中間圏下部を飛翔する高高度気球の開発のため、超薄膜ポリエチレンフィルムの機械的特性の把握を引き続き進めた。

**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 2009 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、2010 年 4 月 2 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（22 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. ソーラーセイル WG 戦略開発研究 (総合評価点: 4.26)

(2009 年度研究の概要)

高比推力イオンエンジン, 薄膜太陽電池, 薄膜材料, 大型膜面展開技術, 低温 2 液推進系, 推進系統合型燃料電池についての研究を実施し, ソーラー電力セイルミッションに向けた要素技術レベルを向上させることができた (TRL=3 相当).

(背景)

大型の惑星間輸送を担う 21 世紀の主力推進機関は, 早晚, 「原子力 (原子炉を指す)」による電気推進エンジンを駆動する機関になると予想されるが, 小型の宇宙機には原子力利用は重量的に非効率であり, 太陽電池を動力源とする電気推進が当面採用される. 近未来の中小型外惑星探査の形態としては, 薄膜展開型の太陽電池と高比推力イオンエンジンを組み合わせた, ソーラー電力セイルによるハイブリッド推進方式がもっとも有力な手段の 1 つとなる.

(目的)

本 WG では, 外惑星探査技術の獲得を目的としたソーラー電力セイルによる探査計画を立ち上げるべく, ミッションに必要な各種外惑星探査技術の研究開発を実施する.

(意義)

原子力など将来の推進機関を念頭におくと, 将来の外惑星探査においては, イオンエンジン等の設計点は, 従来の太陽電池による電源供給を前提とする場合 (Isp 3000 秒程度) と比べて格段に高比推力側へ移動することになる. 本計画によりソーラー電力セイルによるハイブリッド推進技術を確認し, 将来的に動力源としての原子力技術が確立したあかつきには, 太陽距離の制約が外れ, 一気に木星以遠の外惑星領域への探査が可能となるため, 本計画は, 我が国が外惑星探査を実施可能な技術を得るために必須の計画と言える.

(研究成果)

- ・光ファイバプローブを用いた新計測方式による, イオンエンジン引き出しイオン電流の失速現象解明
- ・推進剤投入方式の改良による高比推力イオンエンジンの失速抑制・推力増強に成功
- ・熱融着膜の大面積製造技術の開発, 熱融着ポリイミドのコーティングによる接着剤不要なセイル接合方法
- ・低熱線膨張率ポリイミドを用いた, カールしない薄膜太陽電池の試作→薄膜太陽電池の重量電力比向上
- ・非凍結新型推進剤による, 低温二液式推進機関の低温真空燃焼試験に成功 (世界初)
- ・低温二液式推進機関で使用する燃料/酸化剤を用いた推進系統合型燃料電池の駆動に成功 (世界初)
- ・大面積膜面のダイナミクス解析モデルの構築, インフレータブル方式等の超大型膜面展開方式の基礎実験
- ・気液平衡スラストの微小重力環境下での燃料保持性確認

(目標の達成状況)

高比推力イオンエンジン, 薄膜太陽電池, 薄膜材料, 大型膜面展開技術, 低温 2 液推進系, 推進系統合型燃料電池についての研究が進捗し, ソーラー電力セイルミッションに向けた要素技術レベルを向上 (TRL=3) させることができた.

## 2. プラズマセイルの研究開発 (総合評価点: 4.08)

(2009 年度研究の概要)

2011 年度に予定している「磁気プラズマセイル飛翔実証機提案」へ向けた研究開発を継続して実施した. 地上実験ならびに数値解析により, 20N クラスまでの磁気プラズマセイルの推力特性を評価した. また, プラズマセイル専用試験装置を開発し, 高精度な試験を通年で実施できるよう研究実施体制を強化した. 更には, 磁気プラズマセ

イル宇宙機の概念設計を実施し、H-II A 打ち上げによる木星フライバイミッションの可能性を示した。宇宙機搭載用超伝導コイルシステムの軽量化・高性能化が、磁気プラズマセイルミッションが成立するための鍵となることから、電源・コイル制御機器等要素技術の設計開発に着手した。

#### (背景)

太陽系を脱出して遙か彼方へ飛翔するためには、推進剤を全く利用せずに、太陽エネルギーを直接推進エネルギーに変換する宇宙推進が理想的である。しかし、こうした propellant-less propulsion は、宇宙機単位質量あたりの推力が小さくて、宇宙機の加速に 10 年もの長期間が必要となることから、太陽系外惑星以遠の探査ミッションには不向きと考えられてきた。近年、propellant-less 推進とプラズマ推進を組み合わせる事で、急加速と持続力のある加速を両立させる技術が注目されており、そのひとつが、磁気プラズマセイルである。

#### (目的)

磁場を帆（セイル）として太陽風プラズマのエネルギーを受け止めて宇宙機を推進させる「磁気プラズマセイル」の技術課題を抽出・解決して、太陽系内を高速に飛翔可能な「磁気プラズマセイル実証機」を提案する。

#### (意義)

既存の宇宙機推進システムにて太陽系外惑星以遠に飛翔する場合、著しくペイロード比が制限されるか、あるいは、非常に長いミッション期間が必要だった。磁気プラズマセイルが十分な性能（推力重量比と比推力）を発揮できれば、木星や土星などの外惑星到着に必要な時間が大幅に短縮されるだけでなく、太陽系外へのミッションが夢から現実のものとなる。

#### (研究成果)

##### 1. 磁気プラズマセイル (MPS) の推力特性に関する基礎研究

磁気プラズマセイル地上実験シミュレータ/数値シミュレータを再開発し、MPS の推力特性を評価した。

- ・高頻度かつ高精度の地上実験のため、直径 2m 長さ 3m のテスト空間を持つ磁気プラズマセイル地上実験シミュレータを新規開発した。
- ・磁気プラズマセイルの動作向上のための実験を重ね、プラズマジェットの高密度化により磁気圏拡大率は 7% まで向上した。また、試験用コイルと推力測定スタンドを再開発し、磁気プラズマセイル実機に相当する 0.1N クラスから 20N クラスまでのスケールモデル実験を実施した。更に、惑星間磁場が推力特性に与える影響と、磁気セイルの動的特性の調査を実施した。
- ・磁気プラズマセイル数値シミュレータにて、実機に近いイオンスケール磁気プラズマセイルの推力特性を明らかにした。

##### 2. 超伝導電磁石システムを搭載した宇宙機の設計

磁気プラズマセイルによる木星フライバイ探査機の概念設計を実施した。wet 重量が 850kg、木星までの飛翔期間が約 2 年の磁気プラズマセイル宇宙機全体の概念設計を実施した。

##### 3. 超伝導コイルシステムの要素技術の開発

超伝導コイルと、超伝導コイル電源の詳細設計に必要な、以下の基礎開発・試験を実施した（京大との共同研究契約）。

- ・サブスケール超伝導コイルの試験系開発
- ・200A/1V 安定化電源システム（磁気セイル実機搭載用電源）の概念検討
- ・イットリウム系線材超伝導線材の熱特性評価
- ・電源リップル特性が超伝導コイル特性に与える影響評価

(目標の達成状況)

3つの研究項目について、概ね目標を達成できた。ただし、磁気プラズマセイル動作時の推力がまだ不十分であり、今後は磁気プラズマセイルによる推力の更なる増大化について、重点的に取り組む必要がある。更に、搭載用超電導コイルシステムの軽量化・高性能化を含めた、磁気プラズマセイル宇宙機全体システム全体の最適化に取り組む。

### 3. ハイブリッドロケットの研究 (総合評価点: 3.65)

(2009年度研究の概要)

ハイブリッドロケットに関して以下の分野の研究開発に取り組んだ。

- A) 新燃料の開発と評価
- B) 燃焼現象の特性把握
- C) 要素技術の開発
- D) 数値解析コードの開発と検証
- E) 将来構想の検討

(背景)

固体ロケットや液体ロケットとは異なる特徴を持つハイブリッドロケットは1930年代から研究されているが、未だ実用化には至っていない。しかし、近年のロケットに対する要求である、低コスト化、高信頼性化、低環境負荷化に対する答えとして、ハイブリッドロケットが有望視されており、その実現が期待されている。

(目的)

- ・新たな燃料を開発し、その性能を評価する。
- ・ハイブリッドロケット特有の燃焼現象に関して実験的・解析的な研究を行い、その本質を理解する。
- ・ハイブリッドロケットの特徴を活かすための要素技術を開発する。
- ・ハイブリッドロケットの開発ツールとして利用できる数値解析コードを開発する。
- ・ハイブリッドロケットの特徴を活かしたミッションの将来構想を構築する。

(意義)

ハイブリッドロケットを実用化することができれば、次世代ロケットを実現する道を開くことができ、小型の宇宙輸送が頻繁に行われることにより、宇宙開発の促進に繋がる。

(研究成果)

- ・新燃料としてWAXおよびGAPを用いた燃焼実験を行い、その性能データを得た。燃料後退速度は、従来の5倍程度の結果が得られた。
- ・旋回流方式および衝突流方式について、実験的・数値解析的研究を行い、その燃焼現象のメカニズムについて、新たな知見を得た。
- ・再使用点火技術・推力変調技術・ノズルアブレーション対応技術・酸化剤気化技術に関して、実験を行い、その実用化の可能性を示した。
- ・旋回流を計算可能な解析コードを開発し、流体力学特性を明らかにした。境界層燃焼に関しても、解析コードを開発し、燃焼場を定性的に再現できるようになった。概念設計手法を開発し、最適設計手法の基礎を構築した。
- ・ハイブリッドロケットの特徴を活かしたミッションを検討し、いくつかの将来構想を明確にした。

(目標の達成状況)

- ・初期の目標は達成した。
- ・新たな燃料を用いた研究も実施しており、来年度の実施内容に反映できる。

#### 4. スペースプレーン技術実証機の開発研究 (総合評価点: 3.60)

(2009年度研究の概要)

スペースプレーンの開発研究を前進させるべく、揚力飛行体の極超音速飛行実験システムの開発を行い、これを用いて、スペースプレーンの実現に不可欠な基礎的技術の飛行実証を行うことを計画しているが、本年度は(1)マッハ2飛行実験(BOV3号機)に向けた研究、(2)マッハ5程度の極超音速飛行実験に向けた研究の2本立てで活動を行った。(1)では、2010年5月に希望しているフライト実験に向け、総合および要素単体の各種試験、飛行軌道計画、空力特性の確認試験等を実施した。(2)では、飛行実験システムの検討、実験機の空力形状の基礎特性取得、加速用ブースターロケットの検討(既存モーターの軽量化・大型化、小型モーターの概念設計)を実施した。

(背景)

- ・スペースプレーンの開発研究を前進させるためには、必要な要素技術の基礎研究の成果を、実機に近い形に統合し、これらを飛行実証できる飛行実験システムが必要である。
- ・本研究活動のベースとなるのは、科研費補助金(研究代表者: 橋本樹明)で開発研究された「高高度気球を利用した微小重力実験システム」の開発研究である。

(目的)

- ・揚力飛行体の極超音速飛行実験システムの開発を行い、
- ・これを用いて、スペースプレーンの実現に不可欠な基礎的技術の飛行実証を行うこと

(意義)

- ・将来宇宙輸送系に新規習得が必要な技術は多岐にわたり、またそれらをいかにインテグレーションできるかに対する見解により、将来宇宙輸送系の予想が大きく変化するが、本研究の活動により、空気吸込式エンジンを用いたスペースプレーンに対して、現実世界における技術的見通しを得た上で議論が可能となる。
- ・飛行実験を遂行する過程で得られる経験が蓄積される。

(研究成果)

##### 【マッハ2を目指した飛行実験機に関する研究】

- BOV#3のフライト準備作業を進めた(各種試験、飛行軌道計画や保安計画の検討など)

##### 【マッハ5を目指した飛行実験機に関する研究】

- システム系: 飛行実験軌道の検討を実施した。ブースターロケットとしては、固体モーターの他、ハイブリッドロケットを用いた実験飛行軌道を検討し、ハイブリッドロケットを用いた場合には、最高到達マッハ数が3程度となることを明らかにした。
- 空力系: 2種類の空力形状候補(HYTEXおよびウェーブライダー)の風洞模型を製作し、風洞実験を実施した。それぞれの基本的な空力特性を取得できたが、風洞設備の都合上、限られたマッハ数での性能取得となった。
- 構造系: 耐熱構造の案を検討した。また、試験方法について検討し、試験設備の準備を行った。
- ブースター系: 北海道大学で研究されているカムイロケットの本飛行実験のブースターとしての適用可能性検討を実施した。また、モーターケースのCFRP化について設計・解析を実施した。また、カムイロケットとは別に、モーターケース径 $\Phi$ 200mm、全長3m程度のハイブリッドロケットモーターの概念検討を実施し、性能や重量の概算を行った。

(目標の達成状況)

【マッハ2を目指した飛行実験機に関する研究】

総合シーケンス試験, 放球オペレーションリハーサル, 各種要素試験, 飛行軌道計画, 保安計画など, フライト準備作業を進めた. 2010年5月に希望しているフライト実験に向け, 現在も準備作業を精力的に進めている.

【マッハ5を目指した飛行実験機に関する研究】

ーシステム系: 飛行実験軌道の検討を昨年度から継続して行い, 飛行実験シーケンス計画上のポイントを抽出できた.

ー空力系: 2つの空力形状候補について, 風洞実験を実施し, 基本的な特性を取得したが, 風洞設備の問題で, 両者を定量的に比較するには至らず. 来年度, CFD解析も併用しながら両者の定量的な比較を行い, 飛行実験機の空力形状を決定したい.

ーブラスター系: ハイブリッドモーターの適用可能性について検討した. ある既存ハイブリッドモーターの大型化・軽量化の検討を実施し, また, 飛行実験機に搭載可能な全長3m・モーター径200mmのサイズのハイブリッドモーターの概念設計を実施し, 性能と重量を概算した.

5. 次世代小型標準バス技術の研究 (総合評価点: 3.73)

(2009年度研究の概要)

小型科学衛星シリーズの標準バスの発展, すなわち「ユーザビリティの一層の向上」を目的として, 自励振動ヒートパイプを用いた革新的な熱制御技術の研究, 固体潤滑方式を用いる低コストなリアクションホイールの擾乱特性評価, マルマンバンド衝撃模擬装置の製作, HAN系推進薬の急性経皮毒性の検証などの研究を実施し, 実際の標準バスへの搭載性や試験への活用に目途を得る成果が得られた.

(背景)

現在, ISASにおいて, 小型科学衛星シリーズの標準バスの開発が進められている. 当シリーズは2013年度(TBD)からの約5年間に3機程度の小型科学衛星を打ち上げることを計画している. 標準バスについては, 技術の陳腐化を防ぐため, 次期シリーズの開発開始時点で見直しをかける予定にしている. 次世代小型標準バス技術WGでは, この標準バスの見直しに備え, 必要な技術要素の蓄積を図るべく, 平成20年度から研究活動を行っている.

(目的)

本WGでは, 現小型科学衛星シリーズの標準バスの発展を研究の目的としており, トップ・キーワードとして, 「ユーザビリティの一層の向上」を掲げ, ①多様なミッションへの対応性に資する技術の研究群, ②低コスト化に資する技術の研究群, ③試験性・ハンドリング性の向上に資する技術の研究群, の三つの研究分類を設定している. 今年度は, ①~③に属する以下の四つの研究課題について, 成果創出を目指した.

(1) 先進的熱制御デバイスを採用した熱制御システムの検討と搭載性評価

(「熱設計フリー」の熱制御システム実現に向けた研究) [研究分類①]

(2) 固体潤滑方式を用いる低コストなリアクションホイールの擾乱特性評価[研究分類②]

(3) マルマンバンド衝撃模擬装置の製作[研究分類③]

(4) HAN系推進薬の運用性評価[研究分類③]

(意義)

標準バスのユーザビリティを向上させるという大目標に対して, 各サブシステムの先進技術を結集させ, システムとしてまとめ上げていくことにより, 次世代の小型科学衛星シリーズのフロントローディングを図るという観点で, 工学委員会下のWG研究として大きな意義がある.



(研究成果)

**【先進的熱制御デバイスを採用した熱制御システムの検討と搭載性評価】**

リザーバ制御自励振動ヒートパイプ(OHP)を衛星を模した直方体展開形状に実装し、発熱分布やリザーバ温度を変化させる試験を実施した。その結果、機器の発熱や外部熱環境が変化しても熱設計を変える必要のない、「熱設計フリーシステム」のコンセプトの実現可能性を初めて示すことに成功した。

**【固体潤滑方式を用いる低コストなリアクションホイールの擾乱特性評価】**

海外小型衛星用の低コストなリアクションホイールをレンタルして、擾乱特性を取得し、固体潤滑方式ということで想像していたより低い擾乱レベルを確認した(「ひので」のRWと同程度)。

**【マルマンバンド衝撃模擬装置の製作】**

前年度課題となった高周波特性の調査を行うとともに、ワイヤの固定に電磁石を用いる事により、繰り返しの容易な試験システムを確立した(インターバル15分を実現)。

**【HAN系推進薬の運用性評価】**

前年度の急性経口毒性に引き続き、急性経皮毒性の検証を行い、OECD 勧告に従ったラット実験の結果、LD50が2000[mg/kg]以上という、毒性が無いと判断できる結果が得られた。

(目標の達成状況)

目標A: 軌道や搭載機器の換装などに左右されない「熱設計フリーシステム」のコンセプトの実現可能性を示せたことにより、様々なミッションへの柔軟な対応性が向上した。

目標B: 衛星全体のコストの中で一定の割合を占めるリアクションホイールについて、低コストな海外品の特性や素性を把握することができ、低コスト化に向けた選択肢が広がった。

目標C: ミッション部・機器の衝撃試験を、簡易に実施可能なシステムを確立することができた。また、HAN系推進薬の低毒性を国際ガイドラインに則って確認でき、小型衛星への推進系搭載のしきいを下げることができた。

6. 月惑星表面探査技術WG(月着陸機に必要な要素技術の研究)(総合評価点:3.63)

(2009年度研究の概要)

将来のピンポイント着陸探査に必要な技術を、特に月着陸に焦点をあてて研究した。

具体的には、画像航法系、障害物検知系、誘導制御系、着陸衝撃吸収系、ローバ系の研究を行った。いずれも、宇宙機に搭載できるリソースを考慮した、具体的な技術として、検討を実施しているのが特徴である。

(背景)

- ・小型月着陸実験機(SLIM)で、将来の月惑星探査に必須の技術として、ピンポイント着陸技術の実証が提案されている
- ・実証する技術の、第一次の概念研究は既に行われているが、具体的な実装可能性(例:搭載計算機の能力からかけ離れた画像処理能力を必要としないか?)をより明確にするとともに、実装性を踏まえて、より良い論理・手法の構築をする必要がある。

(目的)

将来の月惑星探査に必要な「降りたいところに降りる」着陸による探査のため必要な技術を、具体的に研究することが目的である。

(意義)

将来の月惑星探査では、「降りたいところに降りる」ことが必須となる。それに必要な技術の研究を、基礎的な概念検討レベルから、もう一步具体的な研究へと進歩させることは、月惑星探査分野の可能性を拓げることに直結する。

## (研究成果)

- ・(画像系 1) 月面上の着陸候補点を仮決定(北緯 14.1deg, 東経 303.2deg)し, そこに至るパスの地形情報を, 「かぐや」データから整備した
- ・(画像系 2) Haar-Like 特徴抽出 (= デジカメ顔認識機能等に利用) によるクレータ同定法について, 検討した
- ・(画像系 3) 影を用いた障害物検知アルゴリズム (= 当チームにて提案の手法) を FPGA 実装し, 処理速度・ロバスト性などの評価を開始した
- ・(着陸脚 1) 着陸パッドの接地時衝撃特性を取得する実験装置を試作し, 発泡アルミニウムなどの衝撃吸収材のフイージビリティ検討を実施し, 実際の衝撃吸収データを取得した
- ・(着陸脚 2) 耐衝撃性 CFRP を利用した衝撃吸収機構について, 検討を行った
- ・(誘導制御) ベースラインとなる誘導則を設定した
- ・(ローバ) 複数ローバによる協調作業の一例として, 小型ローバを 2 台試作し, ステレオ視による周辺環境の計測手法の検討を行った

## (目標の達成状況)

- ・(画像系) 今年度は, 手法の評価環境を整備するとともに, たとえば, Haar-Like 特徴でのクレータ表現方法について, 第 1 次の検討を行った. 来年度, 順次, 評価を実施しながら, より良い手法を研究したい.
- ・(着陸脚) 各衝撃吸収機構を評価するための試験装置を開発し, データ取得を開始した. 来年度は, 特に, 斜め衝突など, 実際に起こり得る状況を考慮した機構を検討するとともに, 能動的制御手法のブラッシュアップを行いたい.
- ・(誘導制御) ベースラインとなる誘導則を設定した. 実際の月面地形での航法誤差なども考慮したロバストな誘導則を確立したい.
- ・(ローバ) 複数ローバによる協調作業について検討を開始し, 小型軽量ローバを試作した.

## 7. 月惑星表面探査技術 WG (月惑星探査機搭載用着陸レーダの開発) (総合評価点: 3.48)

## (2009 年度研究の概要)

## EM 設計製作の前段階として着陸機航法誘導システムとのインターフェース検討

## (背景)

月惑星着陸用レーダは月着陸ミッションである SELENE-B 計画からの要請で, 2003 年より開発に着手した. 現在では SELENE-B 計画の検討を土台として, 着陸技術実証, 科学探査及び環境測定をめざす SELENE 後継機が計画されている.

## (目的)

月や惑星に着陸して本格的な科学観測や探査活動を行うためには, 分散誤差 100m 程度で複雑な地形の中にピンポイントで着陸する技術が要求されている. 本研究では, ピンポイント着陸を実現するために必須となる, 機体高度及び速度を測定する着陸レーダの開発を行う.

## (意義)

航空機及び特殊飛翔体用の高度計・速度計はほとんどが米国製のライセンス生産であり, 国内において設計開発されたものに関しても防衛用で我々がアクセスできる技術ではない. 米国には, Lunar Surveyor, Viking, Apollo, Mars Surveyor Program(MSP)に搭載された着陸レーダがあるが, 軍用機搭載用の高度計を改良して開発された経緯から, 外国への供給は厳しく制限されており, 着陸機が検討された SELENE 計画でも購入を断念せざるを得なかった経緯がある. このような状況の中で, 国内で着陸レーダを開発し, 惑星探査計画の自由度を確保することは重要なことである.

## (研究成果)

- ・テレメトリ・コマンド項目の検討と抽出を行った。
- ・開発および試験時にオプション追加されるテレメトリ項目について抽出した。
- ・SpaceWireを採用したI/Fとしつつ、他の探査機にて使用される可能性があるRS422等にも適用可能なH/W構成とした。

## (目標の達成状況)

本年度で着陸レーダの製作に必要な基礎技術を確認し、当初予定した目標は達成した。

さらに、本計画で確立された技術を基本骨格としてレーダのEMおよびFM製作を行うべく、RFPを実施し、開発担当メーカを決定した。

本年度にて開発を完了し、担当メーカに技術移転する。

## 8. 月惑星表面探査技術WG(表面移動探査技術の研究開発)(総合評価点:3.65)

## (2009年度研究の概要)

「観たいものを観る」自立型移動探査ロボットシステムの構築をめざして、以下の課題について検討し、有意な成果を得た。

- ・スマートマニピュレータの改良、振動抑制制御法の構築および実験的検討
- ・屋外実験による電源システムの評価、テレオペレーション、自己位置同定評価
- ・特殊地形探査ロボットの検討

## (背景)

深宇宙探査において、月・火星・衛星・小惑星などの惑星表面直接探査が盛んに検討されている。直接探査では、リモートセンシングでは得られない表面詳細観測、内部探査など可能なため、科学的意義が非常に高い。その実現のため、広範囲において、サンプル採取、センサの設置、掘削、その場分析を行う移動型探査ロボットが必要となっている。特に限られた期間において、安全確実に効率よく探査を行うシステムが求められている。

## (目的)

本研究では、将来の宇宙科学ミッションやプロジェクトの実現をめざし、惑星表面移動探査機システム(ロボット)を構築し、月惑星表面探査において「観たいものを観る」技術を確認することを大目的とする。その実現にあたって、小型軽量低消費電力化を実現する新型アクチュエータの研究開発、サンプル採取用スマートマニピュレータの開発、自律航法誘導システムの研究開発、テレサイエンスシステムの研究開発、特殊地形探査ロボットの研究開発を課題として進める。

## (意義)

本研究の成果は、月探査、火星探査、小惑星探査などの実ミッションに活かされる。個々の要素技術は、例えば、低消費電力型新アクチュエータは、伸展物の展開・収納やアンテナ・カメラなどのジンバル機構など広く宇宙ミッションへの応用が強く期待される。また、宇宙のみならず、災害地や火山地帯など地上技術への応用も期待できる。本研究は、宇宙探査ロボティクスとして体系化を行い、新しい分野の創出への第一歩という位置づけという意義もある。

## (研究成果)

2008年度までの成果をもとに、以下の改良および屋外実験、特殊地形探査システムの検討を行った。

- ・新型アクチュエータを用いた改良型スマートマニピュレータを試作し、評価を行った。また、振動抑制制御手法を構築し、その有効性を実験により確認した。サンプル採取支援システムを構築し、機能を確認した。

- ・平坦な地形での屋外実験を行い、太陽電池とバッテリーの併用による自立走行、テレオペレーション、サンプル採取実験を行い、評価を行った。
- ・クレータ内や崖などの特殊地形を移動可能な移動機構として、ユニークな多脚型ロボット、およびスクリュ型車輪を有する新しい移動メカニズムを考案し、設計検討および一部分試作を行った。

(目標の達成状況)

今まで研究開発を行ってきた要素技術を統合した自立型科学移動探査ロボットの改良を行い、平地ではあるが、屋外での走行試験を実施することができ、2009年度の所期の目標を達成できた。また新型アクチュエータの応用として、特殊地形探査ロボットの検討も行うことができた。

2010年度にハードウェアの一部改良とソフトウェアの追加などを行い、未知環境自然地形での総合評価試験を行う予定である。

9. 月惑星表面探査技術 WG (インフレータブル車輪の研究) (総合評価点: 3.42)

(2009年度研究の概要)

月・惑星表面を移動探査する車輪型移動ローバの走破性能を向上させるため、車輪径をエアにより拡大させるインフレータブル車輪に関して、以下の検討を行った。

- －膜材を貼った車輪の試作：膜材の選定及び膜材を張り合わせる方式をトレードオフ検討し、膜材を貼った車輪を製作した。
- －インフレーション装置を試作：タンクを破断させることにより、車輪内部にエアを導入させる小型機構を試作した。

(背景)

インフレータブル車輪とは、車輪表面に柔軟な膜材が貼ってあり、月や惑星表面に到着してから、車輪中にガスを注入することにより膨張させるものである。インフレータブル車輪は、軽量の小型ローバにおいて多くのメリットを有すると考えられるが、これまでのところ、実際にミッションに適用されたことがない。

(目的)

本研究提案では、月・惑星表面を探査する小型ローバにおいてインフレータブル車輪を適用するための基礎的な研究を行なうことを目的とする。最終的には、車輪やインフレーション装置の試作を行い、ローバとして組み上げることで、インフレータブル車輪の走行データを取得する。

(意義)

将来の月・惑星探査ローバミッションにおいて、高い走破性能を持つ小型ローバを実現できるメインの大型ローバの他にオプションとして、小型ローバの搭載が可能となれば、月・惑星表面探査のちょっとした工学実験が少ないリソースで可能となる。

(研究成果)

インフレータブル車輪の構成と製作方法の検討に関して、以下の通り実施した。

- －車輪の構成方法について検討し、試作モデルの構成を決定した。
- －用いる膜材について検討し、強度の点からベクトランを選択した。
- －膜材を縫って車輪の形状する方法を検討し、ビーチボール型の車輪が良いという結論を得た。
- －膜材を縫ってインフレータブル車輪を試作した。
- －タンクを破断することでエアを車輪内部に導入するインフレーション装置を試作した。



(目標の達成状況)

2009年度は、車輪およびインフレーション装置の試作まで実施することができたため、目標は100%達成できた。これらを組み上げ、実際の走行実験を2010年度に実施したい。

#### 10. 太陽発電衛星の研究 (総合評価点: 3.64)

(2009年度研究の概要)

1. 太陽発電衛星 (以下 SPS と略す) 要素の先端基礎研究: 形状記憶合金アクチュエータとパネル角検出デバイスを組み合わせたスマートアクチュエータを試作し、パネルの展開、パネル面制御機構の試験を行い、目標のパネル面展開維持精度5度以内を達成。
2. SPS 耐宇宙環境性の研究: 二段式軽ガス銃によるパネル構造への超高速衝突実験を行いプラズマの沿面伝搬をモデル化することができた。宇宙空間プラズマ環境を模擬したスペースチェンバーでの高電圧太陽電池アレイの実験を行い、パネル基板として二次電子放出率の少ない材料を使うことが放電防止に有効であるとの確かな知見を得た。
3. 小型の SPS 宇宙実験システムの検討: 小型衛星によるマイクロ波送電実験 (kW 級) のビーム強度の計算を行い、マイクロ波伝搬と制御について得られる成果を明確にした。

(背景)

SPS 構想は、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。昨年制定された宇宙基本計画でも研究開発すべきテーマとして取り上げられている。ただし SPS の実現には、その基礎となる技術について専門の研究者が自ら手を下して開拓的・先端的な研究を積み重ねて学術的な基盤を確立し、その技術的なフィジビリティを誰もが認めうる確固たるものにする必要がある。現段階で進めるべき SPS の理工学的研究課題は、(1) 大型構造、(2) 電力管理、(3) 無線送電、(4) 耐宇宙環境性、(5) 軌道上システム実証、である。この内、(3) マイクロ波送電については、経産省・関係大学・JAXA の連携による地上技術実証の段階に入りつつあるが、(1) (2) (4) (5) の研究は基礎研究の段階にある。

(目的)

本研究の目的は、上記 (1) (2) (4) (5) の課題に対応して、1) 軽量アクチュエータによる新発想の二次元展開技術の確立、2) 発電と送電の電力インターフェイス及びレクテナアレイの高効率化、3) SPS 特有の薄板構造と高電圧利用に係わる耐宇宙環境性評価とそれに基づく設計ガイドラインの設定 (デブリ衝突、高電圧放電)、4) 次期フェーズで実施すべき小型の軌道上実証実験の概念検討、である。

(意義)

短期的には数 kW から数百 kW クラスの小型～大型衛星による軌道上実証実験に着手できるレベルの理工学的基盤の確立を行い、長期的には先端的かつ系統的な基礎研究と実証実験を積み重ねて実用レベルの SPS を実現するための学術体系を確立する。

(研究成果)

##### 1. 要素の先端基礎研究

軽量アクチュエータによるパネルの二次元展開技術: 形状記憶合金アクチュエータとパネル角検出デバイスを組み合わせたスマートアクチュエータを試作し、パネルの展開、パネル面制御機構の試験を行い、目標のパネル面展開維持精度5度以内、速度6°/分以上を達成。発電と送電の電力インターフェイス研究については太陽電池、バッテリー、マイクロ波回路の試作、調達までを実施。

##### 2. 耐宇宙環境性の研究

二段式軽ガス銃によるパネル構造への超高速衝突実験を行いプラズマの沿面伝搬のモデル化を達成。斜め衝



突についても臨界排出角度が $15^\circ$ 程度であることを見いだした。宇宙空間プラズマ環境を模擬したスペースチェンバーでの高電圧太陽電池アレイ（最大電圧 1000V）の実験を行い、パネル基板として二次電子放出率の少ない材料を使うことが放電防止に有効であるとの設計基準に繋がる知見を獲得。

### 3. 小型の宇宙実証実験システムの検討

テザー方式の小型実証の安定（ $5^\circ$ 以内）に必要なテザー長を求めるとともに、小型衛星によるマイクロ波送電実験（kW 級）のビーム強度の計算を行い、マイクロ波伝搬と制御について期待される科学的・技術的成果を明確にした。

#### （目標の達成状況）

要素の試作検討の内、二次元展開については予定通り目標の展開、平面維持技術の獲得を達成。レクテナの高効率化については他機関での本格的な計画がスタートしたため、発電と送電の電力インターフェイス研究に変更し、部品レベルまでの準備を実施した。耐宇宙環境性の研究については、超高速衝突、高電圧実験ともに実験データ取得だけでなく物理現象の機構まで踏み込むことができ目標を達成。システム検討についても定量的な検討段階に達し目標を達成。全体として当初目標を達成した。

## 11. $N_2O$ /エタノール推進系の研究（総合評価点：3.63）

### （2009年度研究の概要）

引き続き、内作された推進系 BBM による推力 2kN 級試作推進系の地上燃焼試験を行い、並行して繊維強化セラミックス SiC/SiC のガス透過特性の取得および推進剤供給系の軽量化候補材料の  $N_2O$  に対する適合性評価を試行した。その結果、最長 30s 間の燃焼試験に成功して SiC/SiC 製燃焼器の使用限界温度を見極め、エンジン燃焼推進特性向上のための技術課題を抽出することができた。また、SiC/SiC 材の応用上の懸案となっているガス透過特性について定量的な情報を取得し、さらに ABMA-Type Impact Tester によって常圧低温液体  $N_2O$  浸漬条件下でのチタン合金（Ti-6Al-4V）、アルミニウム合金（A5083）、樹脂フィルムライナ材の材料適合性を実証することができた。また、次期固体ロケット PBS への適用を想定したサイジング検討を開始し、質量、艤装性の観点から実現性を評価した。

### （背景）

- ・宇宙活動活性化のため、自在に運用可能な即応型の宇宙輸送システムへの期待が高まりつつある。毒性の強い常温液体推進剤に依っていた軌道調整や姿勢制御のための宇宙推進系を、低毒性の推進剤に置き換えてシステムの運用性・自在性を向上させることは、その成立に大きく貢献できる可能性がある。
- ・先進的な即応型のシステム構築を目指して JAXA 内で研究が進められている次期固体ロケットシステム（イプシロンロケット）では、軌道投入精度を高めるための選択的手段として、小規模の液体推進系を搭載する Post Boost Stage（PBS）の採用が検討されている。
- ・将来の空気吸込み式エンジンや極超音速システムの実飛行試験では、固体ロケットでは実現困難な低加速度で軌道選択自由度が高く使いやすい飛行実験システム（FTB）が必要とされている。

### （目的）

- ・次期固体ロケット最終段への搭載を第一の目標として推力 2kN 級  $N_2O$ /エタノール推進系を技術実証する。
- ・液体推進系共通の先進的技術要素として、放射冷却式燃焼器の耐熱温度とロバスト性の向上に資する繊維強化セラミックス（SiC/SiC）材の適合性を評価する。高エネルギー物質である  $N_2O$  の利用技術の可能性を示す。

### （意義）

- ・次期固体ロケット Post Boost Stage 搭載推進系の無毒化および小型二液推進系技術の発展に貢献する。さらに、完全無毒の推進系技術を核とした宇宙活動の活性化に貢献する。

## (研究成果)

- ・従来の材料に比べて耐熱性、耐酸化性、じん性に優れる先進的な耐熱複合材料である繊維強化セラミックス SiC/SiC 製の放射冷却式燃焼器について、連続燃焼時間 30s までの燃焼試験により  $N_2O$ /エタノール推進系への適合性を評価した。サーモグラフィによる燃焼器外壁温度の計測結果に基づき、推定内壁温度 1600°C までの健全性を実証しさらにスロートエロージョンの発生により耐熱限界が同推定温度 1750°C 未満であることを確認した。以上の成果に基づいて、高開口比ノズルの SiC/SiC 燃焼器を設計した。
- ・噴射器に改良を加えながら広い運用条件の範囲で燃焼試験を行った結果、運用の観点からはエンジンの起動/停止シーケンスを確立し、推進性能および燃焼安定性の向上の観点からは SiC/SiC 燃焼器に適合する噴射器設計および運用条件について指針を示すことができた。新たな課題も抽出できたことから、目標の比推力性能や実用に耐える燃焼安定性を達成するためには、さらに的を絞った研究が必要であることが分かった。
- ・セラミック材 SiC をマトリックスとする繊維強化セラミックス SiC/SiC は、微細な空隙やクラックが存在することから気体の透過性を有する。実用上その程度を知ることは重要であるとの認識から ISAS に現有の試験システムを用いて試験片レベルでのガス透過特性の取得を試みた結果、定量データの取得に成功し、透過性低減のための指針を得ることができた。
- ・高圧で貯蔵・供給される液化  $N_2O$  の材料適合性について ABMA-Type Impact Tester による評価を試行した。常圧低温液体  $N_2O$  への浸漬条件下では、チタン合金 Ti-6Al-4V、アルミニウム合金 A5083、樹脂フィルムライナ材の 3 種類についていづれも発光・発火は観測されず適合性は良好との結果であった。
- ・第一の適用ターゲットとしている次期固体ロケット（イプシロンロケット）PBS を想定したサイジング検討を開始し、質量、艤装性の観点から実現性を評価した。衛星の軌道調整のみの場合、要求増速度が 100m/s と小さいため、従来のヒドラジンモノプロペラント推進システムや  $N_2O_4$ /ヒドラジン二液推進システムに比べておおよそ 25% 重くなるものの、ヒドラジンモノプロペラントシステムで想定されている艤装包絡域内に収まる見通しを得ることができた。

## (目標の達成状況)

BBM レベルのシステム技術としては大気燃焼の試験条件下で運用を含めた技術実証を達成した。

目標比推力性能の達成および燃焼安定性を保証する運用条件の範囲拡大を図るための的を絞った研究が必要とされる。また、さらに高空性能試験による低圧環境下での高開口比エンジンの技術実証も必要である。

## 12. 展開型柔構造による回収システムの研究（総合評価点：3.92）

## (2009 年度研究の概要)

展開型柔構造による回収システムの実用化に必要な技術要素について、いくつかの実証試験を実施した。インフレーター構造を有する飛翔体の展開、及び、低速領域での自由飛行の実証として、気球を利用したフライト試験を実施。また、高温高速環境下で使用可能なインフレーター構造の耐環境性実証試験として極超音速風洞試験を実施した。そして、それらの知見を元に、観測ロケット実験用の実験機の具体的な設計検討を開始し、大気圏突入実験に使用可能な柔軟エアロシェルを試作し、その評価を進めている。さらに、将来の実ミッションの一つとして火星探査機への応用検討も開始した。

## (背景)

近年、日本国内においても、宇宙ステーションでの定常的な実験の開始や多くの小型衛星の打ち上げなど、宇宙活動が活発になってきているが、これを継続的に支え、さらに発展させるためには、宇宙輸送システムの充実が必須である。しかし、宇宙からの帰還システムに関しては、国内には具体的な計画がない。そこで、日本独自の大気突入回収技術として、展開型の柔軟構造エアロシェルによる大気突入回収システムを提案する。

## (目的)

柔軟構造エアロシエルを利用した帰還回収システムを実際のミッションに使用できるレベルまで成熟させることを目的とする。本研究提案では、特に、大気球や観測ロケットを利用したフライト試験での実証を中心にして、システム全体として実証を目指す。実験機を開発、実験を運用する中で、実用化に際する課題や利点を明らかにし、それらの結果をもとに、具体的な再突入回収ミッションや惑星突入探査ミッションへの応用提案を行う。

## (意義)

柔軟構造体による大気突入システムが実用化されれば、日本独自の回収技術が構築され、さらなる、宇宙活動の活性化に貢献する。また、柔軟エアロシエルの技術は、地球再突入回収ミッションへの適用だけでなく、大気のある惑星探査ミッションへの応用も期待され、宇宙科学の発展にも寄与することが期待される。

## (研究成果)

- ・大気球を利用し、「小型インフレータブル飛翔体の展開及び自由飛行試験」を実施した。  
上空（真空環境）でリモートに展開するインフレータブル展開システムの実証  
自由飛行環境下でのインフレータブルトラスの構造強度に関する知見を取得  
低弾道係数飛行体の低速自由飛行環境下での飛行特性、及び、エアロシエルの挙動に関する知見を取得
- ・フレア型、及び、球状インフレータブル模型の極超音速風洞試験を実施した。  
フレア型エアロシエルの形状パラメータが空力特性や空力加熱環境にあたる影響についてのデータ取得  
高速高温環境下でのインフレータブル構造体についての耐環境性についての評価、実証した。
- ・上記の結果をもとに、観測ロケットによる大気圏突入用の柔軟エアロシエルの試作を行った。

## (目標の達成状況)

2009年度は、当初の予定どおり、気球実験の実施によりインフレータブル飛翔体技術を習得し、極超音速風洞試験によりインフレータブル構造の耐環境性の実証ができ、観測ロケットによる大気圏突入実証試験の実験機開発にむけた準備が整った。また、それらの知見にもとづき、観測ロケット実験用エアロシエルの試作も開始しており、本年度の目標は十分に達成された。また、惑星探査への応用検討も、当初の目標の一つであったが、火星探査計画(MELOS)への適用についても具体的に検討が開始されている。

## 13. 次世代圧力气球の開発（総合評価点：3.52）

## (2009年度研究の概要)

- ・市販品の距離画像センサーの計測可能距離を伸ばすため、受光装置のノイズの調査を進め、レーザー照射時に発生するノイズが主要であることを見出した。
- ・俵型の場合、展開時のねじれが存在しないことを実験的に検証、計測するため、直径3mのロープなしの俵型気球、および、対照実験のためのLobed-pumpkin型気球を製作した。
- ・上記問題の解決のため、数値シミュレーションで展開が不完全になる現象の再現に取り組み半球でのシミュレーションとすることで、定性的に不安定が存在することが確認された。

## (背景)

気球で長時間飛翔を行うためには、日没、日昇により体積変化がなくバラストが不要となるよう内圧をかけた圧力气球が有効である。圧力气球は、概念こそ1950年代に提唱されたものの、実用化が視野に入ってきたのはここ10年という生まれだての飛翔体であり、数多くの研究課題が残されている。現在、主流となっているLobed-pumpkin型の場合、展開の確実性、重量あたりの体積の点で最適解となっていないといった課題が残っている。

## (目的)

本研究の目的は、我々が新規に考案した俵型という新しい構造を有する気球の開発を進めると共に、今後の気球開発の道具となる、膜面シミュレーションの手法、膜面の物性評価の方法、膜面形状の計測方法を開発することにある。

## (意義)

俵型は現状のLobed-pumpkin型と比較すると、同一体積をより軽くできる解が存在していることが知られており、この実用化により、搭載機器重量の増加が期待できる。また、円筒部を延長することで容易に体積を変えられるため、搭載重量に合わせた最適化が大きな設計変更なしに実現でき、信頼性を担保しやすい。また、気球を評価する道具を開発しておくことは、今後の気球の開発の加速につながるものである。

## (研究成果)

- ・市販品の距離画像センサーの計測可能距離を伸ばすため、受光装置のノイズの調査を進めた。この結果、ノイズの主要な成分はレーザー照射時に発生するノイズであり、パルスレーザー電源から受光センサー電源に回り込んでいるものであることが判明した。現状の装置は3月末の気球膨張試験での形状計測に利用する。
- ・俵型は展開時のねじれが存在しないと原理から考えられているが、これまで実験的にこれを実証したことはなかった。また、俵型の円筒部をなくした形状がLobed-pumpkin型であり、俵型の円筒部が短くなると、どこかの時点でこの問題が生じる可能性が高い。これを実験的に検証、計測するため、直径3mのロープなしの俵型気球、および、対照実験のためのLobed-pumpkin型気球を製作した。展開試験を3月末に実施する。
- ・上記問題の解決のため、数値シミュレーションで展開が不完全になる現象の再現に取り組んだ。従来のシミュレーションでは回転対称を仮定し気球の一部のみで計算してきたのを、半球でのシミュレーションとすることで、定性的に不安定が存在することが確認された。

## (目標の達成状況)

当初は2009年度に体積5,000 m<sup>3</sup>の気球の飛翔試験を実施する予定であったが、気球実験場の移転、他の実験との干渉の都合により一年間の遅れとなっている。一方、さらなる大型化を行い、実際の実験で利用できるサイズでの実証までを当初の目標としてきたが、現在、大気球実験室で開発を進めてきたLobed-pumpkin型が満膨張時の展開が不完全となる問題を抱えており、この解決策として俵型の採用を検討している。したがって、さらなる大型化はプロジェクト側に任せ、当研究は小型気球での成層圏飛行の実証をもって完了する予定である。

## 14. 耐熱複合材の長期信頼性に関する研究 (総合評価点: 3.38)

## (2009年度研究の概要)

各種エンジンへの使用を検討している、以下に示す3種類の耐熱複合材料について、各種長期信頼性に関わる特性の取得ならびに特性向上について研究を実施する。

- (1) カーボン・カーボン複合材料 (C/C)
- (2) Si 含浸カーボン・カーボン複合材料 (C/C-SiC)
- (3) SiC 系複合材料 (SiC/SiC)

## (背景)

将来の再使用宇宙輸送機や衛星推進システムにおいては、CC 複合材や SiC/SiC 複合材といった耐熱複合材を無冷却で使用することが検討されている。しかし、これらの耐熱複合材料の長期信頼性に関しては、力学的特性、熱的特性、ガスリーク特性などの設計に必要なデータベースの整備は行われておらず、実際の適用までに整備する必要がある。



## (目的)

耐熱複合材料に関する研究はまだまだ限定的であり、エンジンへの適用を考え設計するに当たってはデータベースを構築してゆく必要がある。軽量、耐熱性、信頼性を要求する宇宙機のエンジンなどへの適用を検討しているが、設計に必要なデータは十分とはいえず、使用する我々が整備する必要がある。設計に有益であるばかりではなく、学術的な知見も不明確な点が多く本研究により多くのことが解明される。

## (意義)

新しい耐熱構造材料である耐熱複合材料は宇宙分野から適用が始まるものであり、JAXA において研究実施してゆかねばならない。当該材料の研究の実施なしでは諸外国を見ても、設計データを公開してくれる状態にはなく、このままでは次世代エンジンシステムをブラックボックスで購入しなければならない状態となりうる。

## (研究成果)

- ・ SiC/SiC 複合材料では、1300℃以上では強度、弾性率ともに低下し、1700℃では1/4程度となった。耐熱性は十分とはいえず、さらに耐熱性を向上した SiC 繊維を使用した複合材料の開発が必要である。
- ・ Si 含浸カーボン・カーボンは 2000℃以上の温度では引っ張り強度が2倍に増加することがわかった。CC 複合材料より低強度であるが、2000℃まで強度を維持することが分かった。
- ・ 炭素繊維のクリープ変形に伴う機械特性の変化を調査し、CC 複合材料のクリープ変形は炭素繊維により決定されていることがわかった。
- ・ Si 含浸カーボンカーボンのクリープ変形挙動の取得を開始し、CC 複合材料とほぼ変わらないことが分かった。
- ・ SiC/SiC 複合材料のガス透過性とその防止手法について検討した。密度を上げさらに表面に SiC をコーティングしたものでは CC では得られなかった低いガス透過性が得られた。

## (目標の達成状況)

Si 含浸 CC の機械特性とクリープ特性を取得した。(本年度目標)

SiC/SiC 複合材料の機械特性を取得した。(本年度目標)

SiC/SiC 複合材料のガス透過性についてデータ取得した。(本年度目標)

炭素繊維のクリープ変形に伴う機械特性の変化を取得し、CC 複合材料の高温機械特性がほぼ解明された。

## 15. 耐熱性ポリイミド樹脂による接手法の開発 (総合評価点: 3.42)

## (2009 年度研究の概要)

新規開発熱硬化型ポリイミド樹脂を用いたスキン/アルミハニカムコア、および CFRP ハニカムコアの接手法を開発するとともに、300℃までのフラットワイズ接着強度取得手法を開発する。今年度は、開発した接手法により比較的接着強度が低いスキンコキュア法で接着したハニカムパネルの常温から 200℃までのフラットワイズ試験が実施できた。また、フィルム接着剤の開発では課題が残っているが、ワニスを用いた接手法を開発し同時に獲得した理事長裁量経費も使用し、ALL ポリイミドサンドイッチパネルの開発に成功した。

## (背景)

衛星やロケットなどの構造体ではサンドイッチパネルなど接着構造が多用されている。接着構造の耐熱性を向上させることで、熱設計における温度マージンを拡大し構造体の信頼性を高めることが可能となる。高温で安定なサンドイッチパネルのコア/スキン間接着や接着構造物を開発し、衛星構造、飛翔体構造の耐熱性向上による高性能化を実現する。

## (目的)

これまでに、ISAS/JAXA の横田らにより非対称分子構造をもつビフェニルテトラカルボン酸二無水物 (a-BPDA)



を用いた画期的なポリイミド樹脂 TriA-PI が開発されている。本研究では、この優れた TriA-PI をベース樹脂としてアルミハニカムコア、CFRP コアと新規開発ポリイミド CFRP スキンを接着するポリイミド系接着剤の開発を行うことで、サンドイッチパネルや接着構造物の耐熱性を向上させる。

(意義)

これまでの内惑星探査衛星の開発 (Planet-C, MMO) において、スキナーコア接着剤の温度制約により 185℃を上限温度としていたが、これを 300℃にまで一挙に引き上げることができる。世界的に見ても 300℃まで安定して使用できる接着剤は存在しない。

(研究成果)

- ・本研究で開発したイミドオリゴマーワニスによる接着手法を用いて、ステンレス治具／パネル間の接着を確保し 200℃までのフラットワイズ接着強度の取得に成功した。今後 300℃までの試験を続行する。
- ・フィルム接着剤の開発を進め、各温度におけるオリゴマーの硬化反応の状況を的確に把握するとともに、フィルム強度とのバランスについて最適条件を調査したが、安定なフィルムで接着強度が発揮できるものは作製できなかった。
- ・イミドオリゴマーワニスを用いた接着手法では、一定の成果が得られた。別途獲得した理事長裁量経費で実施しているポリイミド CFRP ハニカムコアの製作や開発したコア／ポリイミド CFRP スキンの接着が本研究の成果により可能となった。

(目標の達成状況)

- ・高温フラットワイズ試験法の開発は、金属治具／スキン間の接着が課題となったが、今年度一定の技術的課題をクリアしたイミドオリゴマーワニスによる接着手法により、現時点において 200℃までの試験が成功した。今後 300℃までの試験を実施するが、技術的な課題は解決できている。
- ・イミドオリゴマーそのものを使用したフィルム接着剤の開発は困難であったが、イミドオリゴマーワニスを利用した接着では十分な接着強度が得られた。今後のフィルム接着剤の開発においては、イミドオリゴマーワニスを保持体に含浸する手法を模索する。

16. 固体ロケットモータの信頼性向上 (総合評価点：3.63)

(2009 年度研究の概要)

1. 定量的非破壊検査技術の研究  
S-310, S-520 モータ推進薬の非接触超音波探傷システムを完成した。  
FBG による固体モータの AE 計測を実施、ひずみ変動下での初めての連続 AE 計測成功。
2. 固体ロケット内部流れと関連現象の研究  
M-V で発現した内部流が作り出すロールトルクに関し数値／実験的研究を進め、特に小型モータを用いた計測実験の準備を実施した。
3. 加速度場における A1 燃焼特性の研究  
加速度試験用モータによるスラグ堆積量の定量化を行い、捕集水有無によるスラグ残留量の定量的解析を行った。
4. ノズル耐熱材料の高信頼性化  
高信頼性で軽量、低熱伝導のノズルライナー素材を開発した。KM-V3 クラスノズル用の炭素繊維プリフォームを製作した。

(背景)

固体モータの不具合に起因する近年の 2 回の打ち上げ失敗 (M-V#4 (2000/2), H-II A#6 (2003/11)) を受け、「経

験的」な設計や品質保証がなされてきている部分の多かった固体モータ全般に対し、「定量的」設計技術および品質保証技術を適用することが要請されてきている。

(目的)

- ・ 固体モータ全般に「定量的」設計技術および品質保証技術を適用するための学術研究を行う。
- ・ 研究成果は、すぐに宇宙科学研究本部の運用する実機ロケットへフィードバックし、実機ロケットの信頼性向上を図る。

(意義)

固体モータの抜本的な信頼性向上には、従来の経験的な設計や品質保証を定量的なものに替えていくことが必須である。これは、数値流体力学や非破壊検査技術の分野での最先端の研究を進めることにも繋がっている。

(研究成果)

1. 定量的非破壊検査技術の研究  
S-310, S-520 モータ推進薬の非接触超音波探傷システムを完成した。  
FBG による固体モータの AE 計測を実施、ひずみ変動下での初めての連続 AE 計測成功。
2. 固体ロケット内部流れと関連現象の研究  
M-V で発現した内部流が作り出すロールトルクに関し数値／実験的研究を進め、特に小型モータを用いた計測実験の準備。
3. 加速度場における AI 燃焼特性の研究  
加速度試験用モータによるスラグ堆積量の定量化を行い、捕集水有無によるスラグ残留量の定量的解析を行った。
4. ノズル耐熱材料の高信頼性化  
高信頼性で軽量、低熱伝導のノズルライナー素材を開発した。KM-V3 クラスノズル用の炭素繊維プリフォームを開発した。

(目標の達成状況)

1. 非破壊検査 S-310 品証システム確立 [今年度目標達成]  
[22-23 年度目標] 大型モータ適用のための探触子開発  
FBG による連続 AE 計測成功 [今年度目標達成]  
[22-23 年度目標] ひずみおよび AE 同時計測システム開発
2. 内部流れ 内部流れ-ロールトルク計測実験準備完了 [今年度目標一部達成]  
[22 年度目標] ロールトルク計測実験
3. 加速度場 スラグ堆積量計測測定 [目標達成]
4. 耐熱材料 密度 1.0 g/cm<sup>3</sup> のノズルライナー用 CFRP 素材の開発 [今年度目標達成]  
[22-23 年度目標] 軽量ノズルライナーの表面後退特性の取得と KM-V3 クラスノズルの開発

17. 新コンセプトによる極低温推進剤用複合材要素の研究 (総合評価点: 3.79)

(2009 年度研究の概要)

1. 新様式複合材配管の開発
  - 1-1 クレイライナ配管要素の試作: 軽量・高品質配管を試作, 1MPa 耐圧試験と LH2 液流し試験にパス
  - 1-2 電鍍ライナ配管要素の試作: パイプおよび配管試作, 液流し試験実施
  - 1-3 各種ライナの極低温力学特性取得: 基礎データ取得
2. 繰り返し再使用における断熱手法の検討: 発泡断熱材の劣化プロセス検討と、複合断熱材の開発

## 複合材真空断熱タンクの試作，真空二重槽構造の成立性の確認

## (背景)

- ・推進剤タンク重量はロケット構造中の大きな割合（一般に数十%）を占める。  
→ タンクの複合材化はロケットの構造重量削減に極めて有効である。  
DC-X, X-33 などがキャンセルされたなか，ISAS では複合材タンクの開発に成功してきている。
- ・一方，複雑形状のタンク周辺部材（配管類）は金属として残されたままである。
- ・極低温タンクの断熱材は再使用ロケットタンク重量の大きな割合を占めており，かつ繰り返し使用による劣化が著しい。

## (目的)

- ・各種複合材要素に柔軟に対応可能なライナー形成技術を獲得する。  
獲得したライナー技術による複合材配管要素を試作，評価する。
- ・従来の発泡断熱材の劣化メカニズムを明らかにする。  
その対策となる各種断熱構造を試験用タンクに施工し，評価する。

## (意義)

- ・将来輸送系・再使用型ロケットに複合材タンクは必須の技術である。

## (研究成果)

1. 新様式複合材配管の開発
  - 1-1 クレイライナー複合材配管要素の試作：軽量・高品質な配管を試作，1MPa の耐圧試験と LH2 液流し試験にパス
  - 1-2 電鋳ライナー複合材配管要素の試作：複合材パイプ（口金無し）試作，LH2 浸漬後リークチェックパス，口金つき配管試作，LH2 液流し試験実施，口金接合部でのリーク検出
  - 1-3 各種ライナーの極低温力学特性取得：基礎データ取得
2. 繰り返し再使用における断熱手法の検討
  - ・発泡断熱材の劣化プロセス検討
  - ・柔軟断熱材と発泡断熱材を組み合わせた複合断熱材の開発
  - ・複合材真空断熱タンクの試作，真空層両面のライナーによる真空二重槽構造の成立性を確認

## (目標の達成状況)

- 1-1 クレイライナー配管は，2 年越しで耐圧試験と液流し試験にパスする配管が完成  
今年度目標達成。  
次年度はエキストラの成果として実機搭載を目指す。
- 1-2 電鋳ライナー配管は，口金無しパイプは完成，口金つき配管は液流し試験時にリーク検出，完全な目標達成には至らず。  
次年度には目標達成をめざす
2. 発泡断熱材の劣化プロセス解明，複合断熱材のコンセプト検証で，今年度目標達成。次年度は複合断熱材の最適設計実施。  
複合材による真空二重槽の成立性確認により目標達成。次年度は真空断熱タンク的设计実施。

## 18. 水サイクルシステムを用いた宇宙機電源システムの研究（総合評価点：3.20）

## (2009 年度研究の概要)

水を作動媒体とする、エネルギーの貯蔵、発電、推進を統合した宇宙機用複合型エネルギー推進システムに関して、H21年度は前年度の成果をもとに燃料電池スタック、電気分解スタックの気液分離機能機能向上を目指した設計と試作を実施した。燃料電池スタックの電気機能試験を実施し、良好な性能を確認した。また、ロバストで信頼性を考慮した気液循環系の設計を行い、今年度は燃料電池周辺の構築に着手した。

(背景)

水を作動媒体とすることで、発電、電気エネルギーの貯蔵、高性能な水素・酸素推進系を組み合わせた人体に無害な複合システムを構成することができる。有人ミッションに対しては、生命維持のための水及び酸素供給が可能であり、また、月面基地におけるエネルギーシステム構築あるいは月面資源利用のための還元剤となる水素供給への発展も可能な多機能なシステムである。

(目的)

水を作動媒体とする、エネルギーの貯蔵、発電、推進を統合した新しい宇宙機用複合型エネルギー推進システムに関して、軌道上実証実験実現のために、研究者の自らの手による工学的基盤の確立を目的とする。

(意義)

本研究では衛星に搭載可能な水サイクル宇宙システムの研究開発を次期中期計画にアプライし推進するための要素試作実験による検討を行う。JEM 暴露部あるいは小型衛星による宇宙実証実験のための推進システムとエネルギーシステムを統合したシステムに関する実証実験規模、システムの要求仕様及び各サブシステムの要求仕様を明確にする。

(研究成果)

(1) 全体システム、ミッション検討

科学衛星への適用を検討した。  
循環系構築着手のためにシステムの具体化作業を実施した。

(2) 燃料電池/水電解

前年度の原理検証実験成果をもとに、微少重力環境用の外部拡散相を用い気液分離性向上を目指したスタックの設計と試作を実施した。性能評価を実施中である。水電解膜を試作を開始した。

(3) 推進系

従来結果のまとめを実施した。

(4) ガス貯蔵、循環システム

燃料電池周辺の循環系の設計と試作着手

(目標の達成状況)

燃料電池及び水電解のスタック開発、気液循環系に関してはスケジュールにのっとり進めている。リバーシブルセルの開発に関しては、予定通り開発に着手した。しかし、世界的動向を確認しつつ、計画を進める。推進系に関しては、メンバーの変更があったため、実現方法と分担を見直しながら開発を進める。

19. 先進型熱制御デバイスの研究 (総合評価点：4.08)

(2009年度研究の概要)

[自励振動ヒートパイプ] リザーバ付自励振動ヒートパイプの自律熱輸送制御性を初めて明らかにした。クロス自励振動ヒートパイプを試作し、これを熱真空試験に供して、発熱量や発熱分布に応じて熱輸送が自律的に制御されていることを初めて示した。

[ループヒートパイプ] 熱真空試験用の高性能小型 LHP 実験システムを新たに構築し、優れた熱輸送特性を熱

真空環境下で実証した。また、高性能小型 LHP の各種形状が LHP 性能に及ぼす影響を明らかにし、解析モデルの改良と、高性能化を実現した。ラジエータの急激な温度変化に対する動作のロバスト性を確認した。

#### (背景)

天文衛星、惑星探査機などの将来宇宙ミッションでは、少ないリソース下での極めて厳しい温度制御や極限熱環境下での温度制御技術が要求される。従来の熱制御方式では熱設計成立が難しい、少ない重量・電力リソースで「高温への対応」と「低温への対応」を同時に満足できる新しい熱制御技術などが要求されている。また高熱輸送デバイスの重力環境下での動作や熱輸送経路の機械的フレキシビリティ等、従来技術では実現困難な要求に対する対応が求められてきている。

#### (目的)

本研究では従来技術では実現できない「高い熱輸送能力」と「可変熱輸送能力」、「微小電力温度制御」、「熱スイッチ機能」を有する新しい二相流体ループデバイスを開発することを研究目的とする。また重力環境下での動作や熱輸送経路の機械的フレキシビリティ等の実現や実証も研究の目的とする。

上記高機能二相流体ループデバイスとしては、「ループヒートパイプ」および「自励振動ヒートパイプ」を研究対象とする。

#### (意義)

従来技術では実現困難な熱制御要求に対して、それを克服する熱制御デバイスを開発することにより、将来ミッションの実現にブレイクスルーをもたらすことができる。

#### (研究成果)

##### 【ループヒートパイプ (LHP)】

- ・熱真空試験用高性能小型 LHP 実験システムを新たに構築し、優れた熱輸送特性を熱真空環境下で実証。
- ・高性能小型 LHP の形状パラメータ実験により、各種形状が LHP 性能に及ぼす影響を明らかにし、解析モデルの改良と、小型 LHP の更なる高性能化を実現。
- ・LHP の熱流動制御（熱スイッチ、可変コンダクタンス、温度制御）を行うための制御モジュールの改良を図り、優れた制御特性を実験的に明らかにした。
- ・重力が LHP の動作特性に及ぼす影響を明らかにした。
- ・放熱部温度の変化が LHP の動作特性に及ぼす影響を明らかにした。

##### 【自励振動ヒートパイプ (OHP)】

- ・可変コンダクタンスヒートパイプをクロスで組み合わせたクロス可変コンダクタンス自励振動ヒートパイプを試作し、大気中試験及び熱真空試験に供して、このヒートパイプにおいて発熱量や発熱分布に応じて熱輸送が自律的に制御されていることを初めて示した。リザーバ付自励振動ヒートパイプが自律熱輸送制御性を有していることを初めて明らかにした。この性質を利用すれば熱設計フリーの衛星が実現可能である。また、リザーバの温度制御により、熱輸送特性を能動的に制御することも示した。
- ・地上重力環境下で可変コンダクタンス自励振動ヒートパイプがトップヒートモードで動作することを示した。

#### (目標の達成状況)

##### 【ループヒートパイプ (LHP)】

今年度の目標はほぼ達成した。

##### 【自励振動ヒートパイプ (OHP)】

今年度の目標は予想以上に達成した。



## 20. 先進軽量構造システムの研究（総合評価点：3.67）

（2009年度研究の概要）

科学観測目的を含む次世代の先進軽量構造システムとして高精度構造システムの開発及び超軽量構造システムの新たな可能性の開拓を目的として、以下の課題について開発・研究を行い、有意な成果を得た。

1. 超高精度構造スマートリフレクタの技術実証：低圧熱環境下でのアクチュエータの性能実証，軌道上形状モニタリング技術，システムの機械特性同定技術の開発，宇宙環境下での材料劣化特性評価
2. 超軽量構造システムの応用可能性と基盤技術開発：生命維持空間としての高圧インフレーション構造物の開発，複合膜面構造様式による超大型膜構造物の展開性能評価，大型柔軟構造の解析技術の高度化（マルチフィジックス解析，高速化，試験と解析のデータ同化）

（背景）

宇宙構造物の研究は、従来からNASAをはじめ多くの研究機関や大学・メーカーで実施されてきているが、次世代に向けたブレイクスルーとなる成果はまだ出ていない。その一方で、天体観測・地球観測衛星や月面・惑星探査などにおけるミッション内容の細分化、高度化に伴い、バス機器・ミッション機器の双方に関係する構造システムにおいても、年々、より高精度かつ高機能なものが要求されている。これらの要求に応える宇宙構造システムをその基盤技術や設計思想から早急に研究開発する必要がある。Caltechでは、2008年から総額2400万ドルで8年間に亘る研究組織“The Keck Institute for Space Studies”が設立され、産官学一体となって次世代の大型宇宙構造物の研究を始めている。

（目的）

本提案では、次世代の宇宙構造物の課題解決に向けて大型かつ軽量高精度な構造システムの実現を目的として、その基盤技術となる軽量、高精度、高剛性、高収納効率、耐宇宙環境性を有する先進構造システムの研究開発を行う。本提案は期間を3年間とし、その成果をもとに各種ミッションへの技術提案につなげる。

（意義）

本研究の成果は、科学衛星ミッションや大型構造物への利用にとどまらず、軽量・高精度の先進構造システム技術の体系化によって、さらに汎用的な知的材料・構造システムの宇宙への展開として活用が期待される。

（研究成果）

2008年度の研究成果を用いて、ミッションへの展開を見据えた先進的な軽量構造システムの将来像（スマートリフレクタ及び軽量膜構造）とその実現性について包括的な研究開発を実施すると共に、それらを支える基盤的な技術課題として軌道上運用技術と構造システムのモデル化/シミュレーション技術の研究開発を実施し、以下の知見を得た。

- ・超高精度スマートリフレクタの要素開発及び試験検証:スマート構造を用いた超高精度構造システムの検討結果をもとに、要素技術としての圧電アクチュエータによる形状・振動制御性能の低圧熱環境における実証を行った。また、長期運用時の各種構造材料の宇宙環境下（熱，真空，放射線等）での特性変化を試験的に検証した。加えて、軌道上における機械特性の同定技術の開発を行った。
- ・超軽量構造様式の応用可能性と基盤技術開発：生命維持空間としての適用を目指した大型かつ耐圧性に優れたインフレーション構造物を試作した。さらに、膜とインフレーション構造との複合膜面構造様式による軽量高剛性な超大型膜面構造物の要素試作を行い、展開性の評価を実施した。さらに、基盤技術として、軌道上の形状計測技術や、柔軟展開構造要素や、長期の構造機能（展開挙動・経年変化含む）特性の予測を可能とするモデル化及びシミュレーション技術に向けた大型柔軟構造の解析技術の高度化（マルチフィジックス解析，高速化，試験と解析のデータ同化）を実施した。

## (目標の達成状況)

大型軽量高精度な構造システムとして、2008年度に開発された要素技術を統合し、システム検討を通じて明確化された重点課題の研究開発が実施された。その結果、次年度実施予定のシステムとしての地上実証の準備が整ったと考えられる。一方で、ピンポイント（点）で実施してきた各種基盤技術は、個々の技術としては実用に向け十分なレベルに達しており、次年度以降はこれらを線や面としてつなげていくことで、新たな構造システムの応用展開を生み出す母体としつつ、汎用的な設計・開発支援の活動へ発展させていく。

## 21. 火星飛行探査システムに関する基礎研究（総合評価点：3.52）

## (2009年度研究の概要)

火星の広範囲な探査を目的とした飛行探査システムの開発に資するため、火星大気環境を模擬した実環境状態での低レイノルズ数風洞試験技術の整備、3次元翼の低レイノルズ数空力特性データベースの取得、軽量な飛行探査システムの実現に向けたマイクロ波エネルギー伝送駆動方式の3つの課題に取り組んだ。その結果、将来の火星飛行探査ミッションの成立性判断に必要とされる高精度な翼空力特性データの取得を可能にする実験装置と計測技術を確立することができた。

## (背景、目的、意義)

惑星大気中を飛行する探査機の開発には、要素毎にさまざまな不確定因子があり、それらの定量的評価が不可欠である。例えば火星大気中を飛行する低レイノルズ数翼は表面形状や大気乱れに極めて敏感であり、また、その安定性や舵効きに関するデータは殆ど存在していない。他方火星大気中では音速が低くなるためプロペラなどの翼端速度が音速に達しやすく、推進効率が地上より格段に悪化すると考えられる。この問題に対するアプローチとして近年LESなどの数値シミュレーションの発達が著しいが、これらコンピュータによる予測技術の信頼性を向上するには低レイノルズ数・高亜音速における検証データを提供する実験環境を整備しなければならない。さらに火星の飛行環境において、音速以下の低速飛行探査ミッションを行うためには、地球仕様以上に軽量化に配慮した探査システムの実現が必須である。その技術課題を克服する手段の一つとして、飛行に必要な燃料を搭載せずに、外部からのエネルギー伝送によって推進するという手段が考えられる。従来の電力供給法と並行して、このような検討を行い数値目標を明らかにすることは、将来の惑星探査ミッションの概念検討を行ううえで重要だと考えられる。このような背景に基づき、本研究では、火星大気環境を模擬した実環境状態での低レイノルズ数風洞試験技術の確立と空力特性のデータベースの取得、それに軽量な飛行探査システムの実現に向けたマイクロ波エネルギー伝送駆動方式の試作評価を行い、将来の惑星飛行探査ミッションの成立性判断に資することを目的とする。

## (研究成果)

## 1. 実飛行状態模擬のための火星大気風洞の低温化改修

作動気体をCO<sub>2</sub>に置換することで、より実際の飛行環境に近い条件で風洞試験を行う実験環境を整備した。試験可能範囲を詳細に調べた結果、現在想定されている火星探査飛行機の飛行領域が全て模擬できることを確認した。また、感圧塗料など火星大気環境で使用できる計測技術を新規に開発し、CFDの検証や試験機設計のための高精度翼型空力特性データを高い生産性で取得する体制を確立した。一方、エジェクターの作動特性についての基礎実験を行い、誘導効果を支配する相似法則を明らかにした。これにより、本風洞を低温化運転するための基本方針を策定することができた。

## 2. 3次元翼の低レイノルズ数空力特性

風洞及び曳航水槽を用いて、PIVおよび後流測定等により、比較的小さな迎角から翼上面で渦が形成され始めていること、迎角が大きくなるに従って誘導抵抗よりも形状抵抗の方が卓越するという特徴が明らかになった。

## 3. マイクロ波エネルギー伝送駆動方式の研究

アンテナ素子や整流回路の研究により、受信アンテナの効率、円偏波特性の改善を行い、受電性能の倍増、

また質量を半減させたレクテナの開発に成功した。またそのアレイ化によってマイクロブレーンの飛行に必要な受信電力が得られることを実証した。

(目標の達成状況)

- ・火星大気中の実飛行状態を模擬する実験技術を確立し、火星飛行機の高精度空力データ取得のための実験環境を整備した。MELOS計画に寄与する体制に目処を立てた。
- ・3次元翼の低レイノルズ数における特異な空力特性についての知見を深めた。
- ・軽量で性能向上したレクテナの開発に成功し、そのアレイ化による電力受信方法の実証を行った。

## 22. 高性能・低公害固体推進薬の研究 (総合評価点：3.38)

(2009年度研究の概要)

4つの研究アイテムを実施。

- ①高エネルギー物質適用推進薬の燃焼特性および燃焼ガスの塩酸定量化実験を実施
- ②高エネルギー物質としてのアンモニウムジニトラミド (ADN) 合成および物性研究
- ③高性能低コスト固体推進薬の実証研究 (TM-500-B0 大気燃焼試験の実施)
- ④低融点固体推進薬の研究

特に②については、先進性の高い技術分野を開拓し、世界に先駆けて酸化剤の物性改良技術の構築を進めた。

(背景)

わが国は、M-V ロケット開発期までに固体ロケット推進技術を高度化させており、世界トップクラスの設計技術を保有する。しかし、昨今の科学技術に対する環境負荷低減要求を背景に、固体ロケット燃焼ガスの低公害化 (HCl 低減) 技術が求められている。とりわけロケット射場周辺環境への負荷が指摘されている。一方、実用技術の分野においては、更なる低コスト化要求も強く、次期固体ロケット等の重要検討項目に挙げられている。

(目的)

本研究は、固体ロケット推進技術の更なる発展を狙って、燃焼ガスのクリーン化技術の構築、更なる推進性能向上を目指している。固体推進薬の組成改良による低公害化 (排出 HCl の低減) および高性能化に必要な基盤技術の構築を行う。合わせて現行の固体推進薬の低コスト化技術についても積極的に取り込み、観測ロケットおよび次期固体ロケット等への早期適用、実用化を指向している。

(意義)

固体ロケットおよび固体推進薬の研究は、世界的にも環境負荷低減および低コスト化に寄与する技術開発が中心となっている。わが国の実用固体ロケット分野においては、技術維持・向上が必要とされており、当該研究は学術分野ならびに産業基盤の強化に貢献している。高エネルギー物質研究については、わが国の先端科学技術との積極的な融合により、新技術創出の糸口を掴みつつあり、世界に先駆けた固体推進薬の革新的な技術開発を推進している。

(研究成果)

- ・HMX 系固体推進薬の燃焼試験を行い、燃焼ガスのサンプリングから塩酸低減効果を定量評価した。実用組成の推進薬と比較し、MgAl+HMX20%置換推進薬の塩酸排出量は最大で 65.3%低減していることを確認した。化学平衡計算結果よりも高い効果を示している。今後は性能面への影響を評価し、さらに塩酸低減効果を高める検討を実施する。
- ・低融点バインダの軟化温度、溶解温度は推進薬注型に対して適切な範囲に存在することが明らかとなった。熱分析の結果から 150℃以下で使用可能、推進薬組成の AP や Al との接着特性は良好と判断。燃焼速度は一般的

- な固体推進薬と同等の水準であったが、圧力指数は0.92~0.97の範囲にあり圧力感度が高いことが分かった。
- ・高エネルギー物質研究会を大学、研究機関、学会と連携して組織化した。当年は研究活動の方針を共有し、世界の研究動向調査、国内技術の調査を行うとともに、高エネルギー酸化剤の一つである ADN（アンモニウムジニトラミド）の合成研究に着手。
- ・産学連携により、低コスト高性能固体ロケットモータの研究を進めた。固体推進薬はわが国の基盤技術を活用し、さらに将来の低コスト化に向けた技術要素を盛り込んで研究開発を行った。一部、枯渇材料の評価試験も実施。

#### （目標の達成状況）

いずれの研究アイテムも計画通り実施し、成果を得た。昨年度に実施した HMX 推進薬の安全性検討結果を踏まえ、小型テストモータで燃焼試験を実施した。各種推進薬の燃焼ガスに含まれる塩酸の定量および比較検討を実施。塩酸低減効果を検証した。低融点バインダを用いた推進薬は熱分解特性および線燃焼速度特性の知見を得た。

高エネルギー物質の研究は、当初計画通り火薬学会公認で研究グループの組織化を達成した。国内研究者との目標共有を果たすとともに、世界の研究動向調査と高エネルギー物質の試作合成および物性検討まで実施した。また、大学の超先端技術の導入を行うことにより、高エネルギー物質の弱点である吸湿性の改善に向けた革新技術の糸口を掴んだ。

産学連携の研究を実施し、低コストで高性能な固体推進薬およびロケットモータの設計を実施した。実機大サイズの地上燃焼試験により枯渇材料対策を含めた諸性能評価を実施。

### 23. 次世代高性能推進系の研究（総合評価点：3.54）

#### （2009 年度研究の概要）

##### セラミックスラスタの高性能化

改良型インジェクタを試作、性能向上を確認した（Isp 6sec）

水噴射試験で CFD 噴射モデルの高度化を行った

##### 酸化剤ダイヤモンドタンク

耐 NTO 性を有する PTFE でダイヤモンドを試作、ダイヤモンドの作動を確認した

PTFE へのピンホール無し金メッキプロセスを開発、硝酸の非透過性を確認した

#### （背景）

今後の惑星探査機、特に着陸機の実現には、主推進系たる 2 液化学推進系の比推力向上と、液体を固定するダイヤモンドタンクの開発が必須である。我々はすでに材料耐熱性の高いセラミックスラスタを開発してきているので、そのポテンシャルを引き出す高温燃用のインジェクタが必要である。一方、燃料（ヒドラジン）ダイヤモンドタンクは実用化されているが、酸化剤（NTO）に関しては 1 回限りのステンレスダイヤモンドタンクしか存在していない。

#### （目的）

- ・高温燃焼用インジェクタを開発し、セラミックスラスタの高性能化を図る。
- ・酸化剤ダイヤモンドタンク成立のキーとなる酸化剤耐性を有するダイヤモンドを開発する。

#### （意義）

今後の惑星探査機、特に着陸機の実現には、2 液化学推進系の比推力向上と、液体を固定するダイヤモンドタンクの開発が必須である。



## (研究成果)

- ・セラミックスラストの高性能化  
改良型インジェクタを試作, Isp 6sec の性能向上を確認した  
水噴射試験で CFD 噴射モデルの高度化を行った
- ・酸化剤ダイヤフラムタンク  
耐 NTO 性を有する PTFE でダイヤフラムを試作し, ダイヤフラムとしての作動を確認した  
PTFE に金メッキを施し, 硝酸の非透過性を確認したが, 繰り返し曲げ試験後にはピンホール発生

## (目標の達成状況)

- ・改良型インジェクタは所定の性能を有することが確認できた — 本年度目標達成
- ・CFD モデルは水噴射試験で検証できた — 本年度目標達成
- ・PTFE でダイヤフラム作動を確認できた — 本年度目標達成
- ・PTFE へのピンホール無し金メッキプロセスを開発したが, 繰り返し曲げ試験後には硝酸腐食発生  
— 本年度目標は一部達成

## 24. SOI デバイスの研究 (総合評価点: 3.50)

## (2009 年度研究の概要)

目的 SOI プロセスを利用する部品技術の完成を目指すとともに, MEMS プロセスを利用する新しい部品小型実装技術を開発する。

内容 (1) 宇宙用 SOI-CPU を, ERG 等小型衛星データレコーダ用コントローラなどで要求される高速で動作させるために必要となる PLL を, 民生 SOI プロセスをベースに耐放射線化設計する。  
(2) ERG 等の小型衛星で必須となっているプリント基板の小型化のために, 民生 MEMS プロセスをベースにした新たな小型実装基板を研究開発する。

成果 (1) 設計した PLL の動作機能ならびに放射線耐性のシミュレーション検証を行い, 目標スペックを確認できた。  
(2) Si 基板両面ならびに積層基板上への実装実現性のレイアウト・プロセス検討を行い, 実現性の目処を得た。

## (背景)

先端科学ミッションを遂行するためには, 衛星・探査機に搭載する高機能・小型・低消費電力・耐放射線性を兼ね備えた半導体デバイスが不可欠である。このような最先端の半導体デバイスは海外からの輸入に大きく依存しているため, export license ならびにコストの観点から国産で製造することが強く求められている。

## (目的)

放射線試験とデバイスシミュレーションという学術に裏打ちされた耐放射線設計手法を研究し, 最先端の国内民生 SOI 製造プロセスを利用する半導体チップ製造技術を確立するとともに, 最先端の国内 MEMS 製造プロセスを利用する小型実装技術を確立する。具体的には, 国産の最先端半導体デバイスのフライト品を供するために, 部品技術と実装技術に関する次の 2 項目を目的とする。

- (1) 耐放射線性を強化したセルを開発して, 宇宙用セルベース ASIC を設計・製造できるようにすること。
- (2) MEMS 技術を利用して, 宇宙用小型 SOI-MEMS モジュールを設計・製造できるようにすること。

SOI: Silicon On Insulator, MEMS: Micro Electro Mechanical Systems

## (意義)

科学衛星・探査機に必要な半導体デバイスを独自に設計し安価に製造できる体制を構築して, 高度な科学ミッシ



ヨンの実現に貢献するという大きな意義がある。また、欧米では官民で精力的に行われている“半導体デバイスに与える放射線効果”という戦略研究を、我が国で発展させるという学術的意義も大きい。

(研究成果)

- 内容 (1) 宇宙用 SOI-CPU を、ERG 等小型衛星データレコーダ用コントローラなどで要求される高速で動作させるために必要となる PLL を、民生 SOI プロセスをベースに耐放射線化設計する。
- (2) ERG 等の小型衛星で必須となっているプリント基板の小型化のために、民生 MEMS プロセスをベースにした新たな小型実装基板を研究開発する。
- 成果 (1) 設計した PLL の動作機能ならびに放射線耐性のシミュレーション検証を行い、目標スペックを確認できた。
- (2) Si 基板両面ならびに積層基板上への実装実現性のレイアウト・プロセス検討を行い、実現性の目処を得た。

(目標の達成状況)

- ・ SOI-ASIC の両面実装ならびに 3 次元実装等の小型実装技術の目処を得たので、電気試験・環境試験で衛星・探査機への適用性を実証する段階となった。
- ・ SOI PLL の耐放射線化設計が完了したので、試作・放射線試験を行う段階となった。

25. リチウムイオン電池の安全性評価（並列接続運用）（総合評価点：2.96）

(2009 年度研究の概要)

小容量のバッテリーセルを並列-直列接続して構成したセル群の中に、故意に特性を低下させたセルを混入させ、それがセル群の特性に与える影響を調査した。

並行して、このようなバッテリーセル群を構成する際に、省スペース・軽量化に寄与できるラミネート電池の試作および初期特性評価を行った。

(背景)

惑星探査など重量制限の厳しいミッションに対しては、容量・重量の標準化されたバッテリーセルでは要求を満たすことが難しく、ミッション毎に最適化した容量のバッテリーセルを開発することは高コストにつながる。

(目的)

ミッションに対して必要十分な容量を持つバッテリーユニットを構成・運用する技術を獲得する。バッテリーユニットは、軽量かつ高い信頼性を持ち、しかも低コストであることが重要である。

(意義)

多様なミッションに対して、最適な容量を持ち、軽量・高信頼性・低コストのバッテリーユニットを提供することが可能になる。

(研究成果)

- ・ 4 並列×4 直列構成のバッテリーユニットの充放電サイクルは昨年度とあわせて 200 サイクルを超え、特段のアンバランスを生じずに使用できることがわかった。
- ・ 故意に劣化させたセルを混入させた場合でも、大きなアンバランスは生じなかった。
- ・ 通常の Al ラミネートおよび SUS ラミネートのリチウムイオン電池を真空中で充放電試験に供したところ、Al ラミネート電池は使用不能になったが、SUS ラミネート電池は問題なく充放電を行うことができた。
- ・ ラミネート材料に電子線を照射し、照射量と融着強度低下の定量的評価を行った。

## (目標の達成状況)

全ての目標を達成することができた。すなわち、スクリーニングなしの4並列×4直列構成でも安定した運用が可能なこと、一部のセルが劣化した場合でも運用が可能なこと、SUSラミネートリチウムイオン電池は拘束なしで真空中で運用可能なこと、を確かめた。

## 26. 宇宙用太陽電池の精密診断新技術の研究 (総合評価点: 3.83)

## (2009年度研究の概要)

宇宙用太陽電池の高効率化・長寿命化・高信頼性を図ることを目的とし、フォトルミネッセンス(PL)法による各種太陽電池の精密診断を行っている。多結晶Si太陽電池用基板中の酸素不純物の析出挙動ならびに鉄汚染効果をウェハースケールおよびミクロンオーダーで捉えることに成功し、変換効率の改善に重要な指針を与えることができた。また同太陽電池において今後の主原料となるソーラーグレードSi中のドナー・アクセプタ不純物の定量分析法を新に開発し、有効性を実証した。PL/ELイメージングより太陽電池の抵抗成分を見積もることができることを示した。

## (背景)

宇宙探査において探査機の電力供給源として太陽電池は不可欠のものであり、その高効率化・長寿命化・高信頼性は最重要検討項目である。これらに直接的な影響を与えているのが材料中の欠陥であり、その精密評価は不可欠である。

## (目的)

宇宙用の各種太陽電池の高効率化・長寿命化・高信頼性を図ることを目的とし、変換効率を低下させる原因となる欠陥の電子的性質・試料内分布状況を精密にかつ高速に評価することのできる、フォトルミネッセンス(PL)を利用した新しい診断技術を開発する。

## (意義)

本研究で開発を進めてきたPL法は、研究段階から実用化段階に入り、宇宙用だけでなく地上用の太陽電池にも広く利用されるようになり、昨今の環境・エネルギー問題への貢献が期待され、画期的な技術として大きな注目を集めている。

## (研究成果)

- ・多結晶Si太陽電池用基板中の酸素不純物の析出挙動ならびに鉄汚染効果を解析した。酸素は結晶中の小傾角粒界に優先析出し、特性を劣化させる。鉄汚染は試料全体のライフタイムを低下させるが、酸素の析出挙動には影響を与えない。
- ・ソーラーグレードSi中のドナー・アクセプタ不純物の定量を行うため、JISおよびSEMI規格の測定条件を高励起光強度化し、検量線を高濃度側へ拡張した。他の評価手法(SIMSおよびICP-MS)とクロスチェックを行い有効性を実証した。
- ・PL/ELイメージングより太陽電池の抵抗成分を見積もることができることを示した。CIGSセルを開放状態および短絡状態にして測定したPLイメージングと同セルをLEDとして動かさせたELイメージングの比較から直列抵抗成分のセル内分布を推定できることを示した。

## (目標の達成状況)

太陽電池用多結晶Si中の欠陥評価に関しては、従来、ライフタイムを下げる原因として小傾角粒界が候補に挙げられていたに過ぎなかったが、本研究により小傾角粒界への酸素の優先析出状況が可視化され、重金属汚染効果も明確にされ、当初からの欠陥の正体解明の目標に対しては、大きな進展が得られた。結晶中に高密度に存在する転

位自身の影響については次年度の課題とした。

不純物評価については、JIS および SEMI 規格の実験条件を変更することで高濃度側への拡張を図り、 $1015\text{-}1016\text{ cm}^3$  の濃度領域に適用可能であることを示した。誤差の低減については次年度の課題とした。

#### 27. 宇宙機帯電放電メカニズム（総合評価点：2.70）

（2009 年度研究の概要）

ソーラー電力セイルでは、ポリイミド膜面上に太陽電池を搭載し、大電力を得ることを計画している。太陽電池からの集電路を模擬してポリイミド膜面上に導電路を形成し、その絶縁耐性評価を行った。

（背景）

宇宙機の大電力化に伴い、発電・送電電圧は上昇の一途をたどってきた。バス電圧はかつて 28 V が主流であったが、現在は 50 V が一般的となり、さらに 100 V への移行が進んでいる。また将来のソーラー電力セイルや太陽発電衛星では数百 kW 以上の電力を扱う計画で、数百 V 以上の発電・送電電圧が必要になる可能性が高い。

（目的）

本研究は、宇宙機で高電圧を扱う際に懸念される、帯電・放電による事故を未然に防ぐ技術の獲得を目的とする。

（意義）

宇宙機において大電力・高電圧を扱う技術の基盤をつくり、将来登場するであろう大電力宇宙機の建設に寄与する。

（研究成果）

- ・ポリイミド膜面上に銅を蒸着して導電路を形成したテストパターンを製作した。
- ・テストパターンに真空中、電子線環境中で高電圧を印加し、絶縁耐性を評価した。

（目標の達成状況）

- ・EL および PL イメージングにより、放電が太陽電池パネルに与えるダメージを評価する手法を考案した。
- ・現状の宇宙機の設計では、特段の弱点がない限り致命的な放電の発生する可能性の低いことを、実験的に確かめた。

#### 28. Paradigm Shift to AI Enabling Design（総合評価点：2.75）

（2009 年度研究の概要）

水深 40m での自律機能地形マッピングを今年度の達成目標として AUV（自律水中探査機）の試作、ミッション機器の試作、および AI 機能を前提としたソフトウェアの試作を行い、予備的な海中フィールドテストを実施した。しかし、実験中に AUV に不具合が発生し、それが原因で AUV の継続使用困難な状態に陥った。急遽 AUV の 2 号機の試作を行い、予備的な海中フィールドテストの準備ができたところで時間切れとなった。

（背景）

地上オペレーションが常時可能ではない宇宙機にこそ、AI をはじめとした自律技術が必要とされるはずなのだが、ミッションコストの一層削減が求められる世論の影響で、高信頼性や品質管理・プロセス管理が宇宙開発でも以前にもまして重要視されつつあり、そもそも実利用ケースが少ない自律化技術については、宇宙機への適用のための開発はおろか、研究さえも多くないのが現状である。

自律化技術を今後発展させるためには、宇宙独自の研究開発だけでなく、実用に近い形で研究されている他の分野の成果を参考にし、宇宙との違いを橋渡しするという方法も有力な選択肢となりうる。そのような他の分野の一番候補は、「海中における自律型潜水調査機（Autonomous Underwater Vehicle: AUV）である。宇宙と海中は、ハー

ドウェアの違いは甚だしいが、ソフトウェアからみれば宇宙機との類似性は大きい。両者ともにオペレータの介在なしに内部電力を使って、6自由度運動を制御しつつ、通信容量に制約がある状況において、特定のミッションを実現させる必要があるからである。

#### (目的)

この研究では、次の2点を特徴として宇宙機の自律化技術の研究を行う。

まず、宇宙機に適用する自律化技術を3つのAI技術に絞ること。それらは多くの宇宙機で有益な機能である(Re)Planning, Scheduling, Monitoringである。

つぎに、研究するソフトウェア技術は実利用を視野にいたしたハードウェアシステムで検証を行うこと。ソフトウェアからみればAUVは宇宙機に近いので、AUVの試作機を作成し、その上で実利用を行う。

これにより、自律化技術の宇宙機適用の必然性と実システム適用に対する信憑性を担保しながら研究を進めることができる。

#### (意義)

研究の成果物は「実際に動作を確認する」ことができるような形態にまとめ、自律機能ソフトウェアの標準化とともに、リファレンスシステムの定義とサンプルソフトウェアを無償公開する。これにより、宇宙機への自律機能適用を検討するメーカー等に対して、現状のAI技術の妥当性、成熟度を確認する具体的ツールと指標を与えることができ、宇宙機の自律化のみならず、組み込みシステムへのAI技術の適用という活動の活性化に寄与することができる。

#### (研究成果)

本年度は、AUV初号機にミッション機器を搭載し、自律ソフトウェアの機能検証をする予定であったが、AUVが破損ため再試作を余儀なくされ、AUV2号機を試作した。それが今年度の研究成果の柱となる。

AUV2号機は、設計上の耐圧は5気圧以上であり、水深ならば50m以上潜行することが可能である。ミッション機器搭載のためのプラットフォーム機能(機械的接合部ねじ12本)、データ交換・電力用ケーブルのための水中コネクタを2箇所)が強化されている。

昨年度成果をそのまま実行できるOBCを搭載しているため、昨年度の成果物であるRTOS(T-Kernel)上で動作するJavaScriptエンジンは動作し、スクリプト型の計画ファイルの実行およびそれらの自律的書き換えは可能である。AUV研究分野では、自律化ソフトウェアとして「Subsumption」と「Schema」が一般的に使われるが、Schemaについては実行可能なものは準備されている。

ミッション機器として環境認識用モザイクカメラを試作した。しかし、地形マッピング用スキャナーについては、スキャナの首振り機構の耐水化および全体の含芯化の手順が確立していないため、試作が完了していない。

#### (目標の達成状況)

水深40mでの自律機能より地形マッピングを達成目標としてAUV(自律水中探査機)の試作、ミッション機器の試作、およびAI機能を前提としたソフトウェアの試作を行い、海中でのフィールドテストを実施した。しかし、実験中にAUVに不具合が発生し、継続利用困難な状態に陥った。急遽AUVの2号機の試作を行い、海中でのフィールドテストの準備ができたところで時間切れとなった。

環境認識用のカメラは試作できたが、地形マッピング用スキャナーの試作ができなかった。また、水深40mでの潜行試験も未実施のままである。

### 29-1. 次世代深宇宙通信技術(Ka帯深宇宙通信技術)(総合評価点:3.42)

#### (2009年度研究の概要)

2008年度試作Ka帯送信機の性能評価を実施した。そして、機能試験の結果をフィードバックして設計通り動作

するように各部の調整を行った。位相雑音特性と高速変調特性の評価を申請時の計画通りに実施した。その結果は、Ka 帯出力での位相雑音特性は X 帯トランスポンダの X 帯出力での位相雑音特性から殆ど劣化がなく、電波観測に十分な性能 (6.9 度, 1Hz~10MHz 積算) を実証した。また、高速 QPSK 変調時 (10Msps) の変調歪みは 6% [rms] と十分に小さいことも実証された。

#### (背景)

深宇宙通信において X 帯ダウンリンク回線を補強するため、次期小天体探査、太陽観測ミッション、火星探査ミッションにおいて Ka 帯の実用化が望まれている。一方、臼田後継の次世代局でも Ka 帯対応を目指しており、対応する搭載 Ka 帯通信機が必要である。そのため、2007 年度より JAXA 標準 X 帯トランスポンダに整合する搭載 Ka 帯送信機の開発を行っている。2008 年度にブレッドボードモデルを試作した。

#### (目的)

ブレッドボードモデルの機能、性能評価を実施する。機能確認を実施し、通信機としての動作確認と調整を行った後、位相雑音特性、高速変調特性を評価する。両者は、海外機関の Ka 帯通信機の性能指標に現れて、機関の技術水準の達成度を比較する好材料となる。

#### (意義)

Ka 帯ダウンリンク機能は、①データ伝送量の増大を通じてミッション成果の質・量を向上させ、また、②軌道決定精度を改善して軌道マヌーバの精度と安全性に貢献する。将来の深宇宙探査に無くてはならないバス技術であり、その技術確立の是非はミッション設計に大きな影響を与える。

#### (研究成果)

1. Ka 帯送信機 BBM の機能確認 (動作調整) を完了。
2. Ka 帯位相雑音特性として 6.9deg. (1Hz~10MHz 積算) の超低位相雑音特性を実現。
3. 高速 QPSK 変調特性として変調データレート 10Msps まで EVM 特性 6% 以下を実現。

#### (目標の達成状況)

Ka 帯送信機 BBM を完成させた。位相雑音特性として X 帯トランスポンダから劣化の少ない超低位相雑音特性を実現した。デジタル・アナログ両変調を搭載し、高速変調機能としてデータレート 10Msps まで対応可能である。一方、BBM から一段進めて小型・軽量化を図った EM 相当モデルの製作を本年度実施した。また、アナログ変調機能において  $\Delta$  VLBI に向けた広帯域トーン変調の品質評価を実施する必要がある。

### 29-2. 次世代深宇宙通信技術 (搭載機器間超広帯域 (UWB) 無線通信リンク) (総合評価点: 3.32)

#### (2009 年度研究の概要)

小型衛星サイズ (1 辺 50cm の立方体程度) のシールドボックスを衛星構体に見たて、外部リークの極めて少ない低損失多重反射環境での UWB 無線電波伝搬および OFDM 方式の UWB 通信規格 (MB-OFDM) における通信スループットのボックス内空間分布を実験で求めた。その結果、障害物のない理想的な内部空間では、UWB の周波数ダイバーシティ効果により電波伝搬のデッドスポットが生じないこと、電波吸収材の配置により低損失多重反射環境での遅延スプレッドの制御が可能なこと、遅延スプレッド制御 (10ns 以下) により殆ど損失のない通信スループット (80Mbps 以上) を実現できることを実証した。

#### (背景)

ロバスタなリンク特性を有する様々な近距離無線技術が登場している。超広帯域 (UWB) 通信技術もその 1 つである。我々は、宇宙環境、特に深宇宙環境では、UWB 通信技術普及で難点となっている地上サービスへの干渉は



問題にならないため、地上試験の方法、搭載機器との EMI および伝搬環境の課題をクリアすれば、UWB 通信技術は搭載機器間を無線化する有力な方式になると提案してきた。搭載機器間の通信の無線化は計装省略による軽量化、機器レイアウト自由度の増大など利点があり、特に小型衛星への活用が効果的である。

#### (目的)

UWB 通信の広帯域性は、閉鎖環境で見出し外の通信リンクを安定に確保する上で重要な役割をもち、リンク設計を容易にする。また高速伝送も可能にする。このような UWB 通信技術を宇宙環境へ適用し、搭載装置間を安定に、ロバストに無線リンクでつなぐ技術および設計手法を確立する。

#### (意義)

搭載機器間を無線で高速接続することによって、信号ライン計装が省略可能になる。これは軽量化に役立つ。また、高速信号伝送時の信号ケーブル間の干渉やケーブル長の制約などから解放されて、電源ラインの配置のみ考慮するだけで機器レイアウトを決定できるようになる。設計自由度が大幅に増し、近年注目を浴びる小型衛星開発など、機器配置で非常に困難を伴うミッションに大きな効果を得られる。

#### (研究成果)

1. シールドボックス衛星構体モデルによる内部 UWB 電波伝搬特性の測定。
2. シールドボックス衛星構体モデルと電波吸収材による内部 UWB 通信スループット特性の測定。

これらにより、UWB による衛星構体内部の電波伝搬はデッドスポットを生じず、周波数ダイバーシティ効果により良好な空間分布特性をもつこと、密閉度と遅延スプレッドは関連性があり電波吸収材により制御可能なこと、UWB 通信規格である MB-OFDM 方式によれば、遅延スプレッドを電波吸収材により 15ns 程度にまで抑制することで構体内至るところで安定に 80Mbps~100Mbps 以上のスループットが得られること、スループットの構体内での空間分布は、UWB 規格の HighBand (高周波側) と LowBand (低周波側) で中心波長の違いから異なる分布構造を呈すること、などを明らかにした。

総じて、これらのことは、今回の実験設定である密閉環境で障害物がない場合に、UWB 通信方式は内部の至るところで均一なリンク特性を有することが実証されたといえる。

#### (目標の達成状況)

超広帯域 (UWB) 通信により、密閉かつ障害物なしという条件で無線リンクの均一性を実験的に証明した。また遅延スプレッドというパラメータを電波吸収材により制御することで、設計通りに通信スループットが得られる事も実証した。目標達成には、より衛星構体内部に近い条件での無線リンクの均一性、またそのような条件でも遅延スプレッド制御が有効なことを検証する必要がある。加えて実用化のためには、無線リンク導入に伴う EMI の検証評価が今後必要である。

### 29-3. 次世代深宇宙通信技術 (次世代深宇宙信号処理技術) (総合評価点: 3.26)

#### (2009 年度研究の概要)

搭載通信機について、X 帯/Ka 帯搭載通信機ブレッドボードモデルから位相雑音の実測値データを収録した。雑音特性は、長時間 (数日間) 取得した時系列位相変動データから環境の温度変化の影響も考慮した統計的な時系列モデルとして抽出する。これら基礎データを条件を変えながら収集し、シミュレーションモデルを構築した後、QPSK 変調方式による伝送特性評価までを実施した。今回、実測に基づきモデル化した部分を取り込んだ伝搬路モデルと、従来からの白色ガウス雑音を適用した伝搬路での劣化の差はわずかであったが、実測データによるモデル化部分を増やし、より実際に近い深宇宙通信モデルでの評価を今後推し進める。

## (背景)

宇宙通信は、古典的な通信方式の上に成熟した技術として、単独で維持発展してきた。しかし、携帯電話や無線 LAN といった無線通信システム技術と一線を隔し、技術的な交流が持たないでしまったことから、最新の無線通信システム信号処理技術の活用では立ち後れてしまっている。そこで、無線通信システムの主流であるベースバンドデジタル信号処理技術を、低 S/N と低ビットレートという従来の無線通信システムには無い特徴を同時に有する深宇宙通信へ適用してみる。深宇宙通信特有の伝搬路モデルを構成して、既存の技術に付け加える改善が見つかるかもしれない。同じ手法は地球周回衛星へも適用可能である。

## (目的)

搭載深宇宙通信機器に固有の特長を抽出し伝搬路モデルへ取り込むことによって、携帯電話や無線 LAN といった無線通信システム技術で行われている、その固有の伝搬路モデルへベースバンドデジタル信号処理を最適化する技術を、深宇宙通信へ適用してみる。そして、その結果が実用的な改善に繋がるかどうかを判断する。

## (意義)

伝搬路の性質を考えて信号処理技術を最適化する技術を取り入れることができれば、従来の誤り訂正符号の技術に加えて更に深宇宙通信の回線品質を高めることができる。

## (研究成果)

1. X 帯トランスポンダブレッドボードモデル (BBM) を用いた X 帯 1WAY, 2WAY ダウンリンク搬送波信号時系列位相変動の取得と時系列モデルの構築。
2. Ka 帯送信機 BBM と X 帯トランスポンダ BBM による Ka 帯 1WAY, 2WAY ダウンリンク搬送波信号時系列位相変動の取得と時系列モデルの構築。

構築した位相変動についての時系列モデルを CoWare 社のシミュレータ SPD を用いたシミュレーションへ取り込み、QPSK 変調方式の伝送特性について数値評価可能であることを確認した。また、搭載機の出力位相変動だけでは、従来の白色ガウス雑音による近似の結果と差がないことを確認した。

## (目標の達成状況)

X 帯, Ka 帯について深宇宙伝搬路モデル (搭載通信機位相変動) を構築した。構築したモデルを取り込み通信伝送特性の評価を行うシミュレーション環境 (CoWare 社 SPD) を整備した。SPD へモデルを取り込み QPSK 変調方式について伝送特性の数値シミュレーションを行った。

30. 小型セイルプロジェクトの飛行機会を利用した $\Delta$ VLBI 実験

「X 帯 $\Delta$ VLBI 送信系の開発」(総合評価点: 1.85)

## (2009 年度研究の概要)

X 帯 $\Delta$ VLBI 送信系 FM の開発・性能評価, 及び, 地上デジタル VLBI 受信系の開発・性能評価を行った。

## (背景)

JPL において定常的に深宇宙探査機の運用に使われている $\Delta$ VLBI 技術 (DDOR) を、日本はまだ習得していない。はやぶさの re-entry や Planet-C の金星軌道投入も、JPL による全面的な DDOR 支援を受けて成り立っている。近年 ESA や中国も技術を習得しつつある。日本も早急に独自技術を獲得する必要がある。

## (目的)

高精度の DDOR を行うためには、探査機に複数のトーン信号を送信する機能が必須である。最も離れたトーン信号間の周波数差 (最大周波数間隔) が大きいほど、位置測定における角度分解能が高くなる。JAXA の従来の探査

機（はやぶさ、あかつき等）はトーン信号送信機能を有していないため、最大周波数間隔が 2MHz 程度しかなく、決定精度が低い。また、地上局からマルチトーンを送信して代用しているため運用性が悪い。そこで、X 帯  $\Delta$  VLBI 用マルチトーン送信機を開発し、IKAROS の飛翔機会を利用して搭載、実証実験を行う。最大周波数間隔は 28.8MHz、角度分解能が従来比 14 倍以上に向上する。

（意義）

深宇宙探査機の軌道決定精度の大幅な向上。軌道決定運用時間の短縮、簡略化。推薬の節約。エアロキャプチャーによる惑星軌道投入、惑星大気バルーン等の、高精度軌道決定が求められる新たなミッションの創出。

（研究成果）

- ・ X 帯  $\Delta$  VLBI 送信系の FM が完成し、IKAROS に搭載した。
- ・ 打ち上げ前各種環境試験前後に位相安定度や送信電力を確認し、所望の性能が得られている事を確認した。
- ・ 地上記録系は、世界で最高性能となる IF (512MHz) 4 系統から、計 16ch のベースバンド信号を 1Hz 単位の tuning で切り出し可能なデジタルベースバンドコンバータの開発に成功した。IKAROS のトーン切り出しに最適なシステムが実現した。

（目標の達成状況）

機上 X 帯  $\Delta$  VLBI 送信系の FM が完成し、所望の性能が得られている事が確認されたので、本研究の目的のかなりの部分は達成された。後は、軌道上で実証を行うのみである。実証実験を通じて問題点を抽出し、TRL を高めた。打ち上げ後の観測に向けて ESA に参加の打診をしており、現在契約作業の最終段階にある。3 月 20 日には、開発した新しい記録系を用いて、ESA の金星周回機 Venus express を用いた適合性確認のための国際実験を行う予定である。

### 31. SRDM の開発（総合評価点：3.42）

（2009 年度研究の概要）

SRDM の赤外放射特性の向上および太陽光吸収率の低減を狙い、以下を実施した。

- ① 新材料の探索（単結晶サンプルの作成と電気抵抗率の温度依存性の測定）の準備
- ② 材料の改質（PLD 法を用いた材料の改質）の準備
- ③ 多層膜の設計

（背景）

惑星間軌道や月面では、外部熱入力が大きく変化する。低温側でのヒータ電力、その源であるバッテリー容量および太陽電池セルの面積を削減するためには、自動的に外部熱環境との熱結合量を変化（ラジエータ面積もしくは赤外放射率を変化）させて自身の温度をコントロールすることが必要不可欠である。我々は、金属-絶縁体転移物質に着目し、低温で低放射率（金属的）、高温で高放射率（絶縁体的）となるような放射率可変素子（SRD）を提案し、開発を進めてきた。

（目的）

本研究では、金属-絶縁体転移物質（ペロブスカイト型 Mn 酸化物等）を応用した放射率可変素子の性能向上を図ることが目的であり、達成目標は以下の 2 点である。

- ① 赤外放射特性の性能向上（具体的な達成目標： $\Delta \epsilon_H > 0.5$ ）
- ② 太陽光吸収率の低減（具体的な達成目標： $\alpha_S < 0.15$ ）

## (意義)

探査機、月面機器のヒータ電力および熱サブシステム重量の削減だけでなく、電力系機器の重量削減が可能である。つまり、限られたシステムリソースの有効活用が可能。また、熱設計の自由度が増す。

## (研究成果)

## ①新材料の探索の準備

・ペロブスカイト型 Mn 酸化物を中心に、イオン半径とキャリア濃度をパラメータとして、新材料の探索準備を行った。多結晶ではなく、単結晶で安定した材料製作ができるとともに、電気抵抗率の測定を行う準備が整った。

## ②材料（ペロブスカイト型 Mn 酸化物）の改質の準備

・PLD 法によりペロブスカイト型 Mn 酸化物の緻密な薄膜を製作する準備が整った。

## ③多層膜の設計

- ・ $\alpha S = 0.15$  の多層膜が設計できた。
- ・ $\Delta \epsilon H = 0.46$  まで増加させる多層膜が設計できた。

## (目標の達成状況)

①新材料の探索の準備： 単結晶の製作を開始、探索準備が完了。

②材料（ペロブスカイト型 Mn 酸化物）の改質の準備： PLD による薄膜を試作、改質のための準備が完了。

③多層膜の設計： 設計を完了し、目標値に近づくことができたが、目標値には達していない。(①②によるサブストレートの性能改良が必要)

## 32. 衛星搭載用 QCM コンタミセンサ (総合評価点: 3.30)

## (2009 年度研究の概要)

HTV 相乗り小型実証衛星 SDS-3H への搭載を想定し、フライトモデル 3 式 (コンタミセンサ 1 個 + 原子状酸素モニタ 1 個 + 予備 1 個) を設計・製造した。SDS-3H に関する各種検討やインターフェース調整を行い、システム要求審査、概念設計レビュー会、計画審査会にミッション機器として参加し、ミッションを実現するための技術的な衛星システム設計解があることが確認された。

## (背景)

衛星搭載の各種推進系や有機系材料を発生源とする汚染物放射による、太陽電池・熱制御材・光学センサー・ミッションペイロードなどの性能低下や寿命短縮は大きな問題であり、汚染 (コンタミネーション) の程度の事前評価とともに軌道上での検証が望まれる。

## (目的)

衛星表面の汚染や原子状酸素による各種宇宙用材料損耗をモニターするための衛星搭載用小型軽量センサーとしての水晶振動子式微小天秤 (Quartz Crystal Microbalance: QCM) を自主開発すること。

## (意義)

QCM はきわめて微小な質量変化を捉えるセンサとして優れているが、米国の一企業による独占状態にある。自主開発により、コスト削減と設計のカスタマイズにより多様なミッションへの柔軟な対応が可能になる。

## (研究成果)

・SDS-3H ミッションの検討に参画し、電氣的インターフェース、機械的インターフェース調整のうえ、フライトモデルの設計を行った。



- ・フライトモデル製造に必要な水晶振動子の調達とポリイミドコーティングを行い、温度特性を取得の上、フライトモデルに組み込む振動子を選別した。
- ・フライトモデル3式の製造を行い、温度特性を取得した。
- ・昨年度製作のポリイミドコーティング QCM 発振部に対し、長期間真空動作試験、原子状酸素照射試験を行い、安定動作を確認した。

(目標の達成状況)

フライトモデルが完成し、本年度の目標は完全に達成された。SDS-3H ミッションについては、超低高度の衛星でミッションデータを降ろしきるためには姿勢制御を行う本格的な衛星システムが必要となり、詳細な技術検討の結果、ミッションの成立性は確認されたが、製造・運用コストが当初予想を大きく上回ることが判明し、費用対効果の観点からミッション継続は保留されることとなった。QCM については、SDS シリーズの他の衛星への適用など飛翔機会を模索し、それまではフライト品は保管することとなった。

### 33. 再使用高頻度宇宙輸送システムの研究 (総合評価点: 3.96)

(2009 年度研究の概要)

高頻度大量宇宙輸送を目指した研究として、航空機的に繰り返し飛行可能なシステムに必要とされる技術について研究開発を行った。機体システム知能化研究としてヘルスマネジメントのための搭載計算機と実フライト環境を模擬するリアルタイムシミュレータを構築し、地上運用効率化研究として運用自動化のためのハード/ソフト検討を行い、システムレベルでの実運用による実証に向けた準備を実施した。高頻度運用・システム高性能化のための要素研究として水素酸素 RCS、高度補償ノズル、タンク断熱材、極低温スロッシング、光ファイバセンサの各研究を実施し、システムへの適用に向けた基礎特性と課題を把握した。

(背景)

昨年度まで行われてきた先進的飛翔システムの基礎実験「再使用ロケットの研究」では、将来の宇宙輸送システム研究の第一段階として、繰り返し運用が可能な完全再使用型観測ロケットの実現を目指して開発研究を実施してきたが、「再使用観測ロケット技術実証プリプロジェクト」が立ち上がったことにより、これまで行ってきた「ロケットの再使用化」、「ロケットエンジンによる垂直離着陸」、「1日1回の繰り返し運用」などの研究はプロジェクト活動に引き継がれることとなった。しかしながら、究極のゴールは高頻度輸送が可能な SSTO (Single Stage To Orbit) であり、この実現のためには性能面での研究開発だけでなくロケットの高頻度繰り返し再使用化のためのシステム構築技術の研究など、技術的成熟度の低いもの、新しく取り組むべき課題などについてさらなる基礎的研究の実施が必要である。

(目的)

宇宙輸送システムの究極のゴールである SSTO による高頻度大量宇宙輸送を目指した研究の一環として、航空機的に繰り返し飛行が可能なシステムに必要とされる技術について研究開発を行う。具体的には、再使用のメリットを最も活かすことができる高頻度運用 (1日複数回) を目指して、水素を安全に取り扱い、高効率 (小人数、短時間)・超低コストを目指した地上運用手法と機体システムの知能化についての研究を行う。システムレベルでの実験運用を通じて技術課題の抽出と将来の本格的な高頻度運用システムの設計に必要な基礎データおよび来るべき水素社会に活かすことができる経験の蓄積を目指す。さらに機体軽量化やエンジン高性能化など SSTO の実現に欠かせないシステム高性能化のための基礎的な要素技術研究を行う。本研究提案は、再使用観測ロケットプロジェクトから、さらに将来の「高頻度運用が可能な SSTO」に向けた研究開発・技術開発を実施しようとするものである。

(意義)

太陽光発電衛星の建設など大量宇宙輸送を必要とする将来の輸送システムの構築に向けた普遍的な技術課題につ



いて取り組むことで将来の宇宙輸送システム研究および宇宙利用研究に広く貢献できる。宇宙輸送系の研究にとどまらず、来るべき水素社会に活かすことができる技術の確立を目指すことで、水素に関わる新たな産業の発展とイノベーションが期待できる。

(研究成果)

- ・機体システムの知能化研究として、機体の異常を自動検知・判断して機体保全を行うヘルスマネジメントのための搭載計算機（OBC）を構築し、機体搭載に向けた動作確認試験を行った。またハード/ソフトウェアを総合的に検証するためのリアルタイムフライトシミュレータを構築し、実フライト環境を模擬するための OBC との通信実験を行った。
- ・地上運用の効率化研究として、運用自動化のための地上系計算機（GSC）を構築し、実運用に向けた OBC とのインターフェース確認試験を実施した。また RVT 実験機の運用において改善が必要とされた高圧ガスの充てんやエンジン起動前の煩雑な操作、機体点検に関して、効率的な運用手法およびそれに必要なハードウェアについて検討し、実運用に向けて運用時間の短縮の見込みが得られた。
- ・将来の高頻度運用及びシステム高性能化に必要な要素技術研究として以下を実施した。統合推進系研究として SiC/SiC-CMC およびモノリシックセラミックス Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> の燃焼器による燃焼試験をあきる野実験場にて実施し、機体搭載に向けて長秒時燃焼、推力計測、2 スラスト同時燃焼等を行ったほか、統合推進システムとしてポンプなどの供給系に関し、軽量化、ガス化方法などを検討した。高度補償ノズルの研究として、今後の大型化および接合構造の製作、熱特性の観点から強化繊維として炭素繊維を選択し、地上燃焼試験において再使用性を評価するための C/SiC 複合材料ノズルを試作した。
- ・液体水素マネジメント技術要素試験として能代多目的実験場にて以下を実施した。極低温推進剤タンク断熱材研究として、液体水素を使用して断熱性能取得・性能劣化評価のための試験を行い、繰り返し使用による断熱性能の劣化のメカニズムを明らかにした。極低温スロッシング研究として、液体水素の液面挙動をポリカーボネート製容器により可視化し、同時に温度・圧力データを取得し、凝縮特性把握のための基礎データを取得した。光ファイバ水素センサ研究として、液体水素への暴露試験を行い、極低温環境下でのセンサ反応特性や感応膜の劣化を評価した。光ファイバセンサによる AE 計測を行い、ヘルスマニタセンサとして機体搭載に向けた基礎データを取得した。

(目標の達成状況)

本年度目標は機体システム知能化、地上運用効率化、要素技術の各研究に対してシステム地上燃焼試験において実運用による実証試験を行うことであったが、配算された本年度予算に限られたため地上燃焼試験は来年度以降に見送ることとした。テストベッド（RVT 機体）を用いたシステムレベルでの実運用による実証試験に向けて、機体システム知能化および地上運用効率化の研究において機体系および地上系ともにハード/ソフトウェアの検討および確認試験が進められ、地上燃焼試験を来年度実施できる状態にある。要素技術研究において機体搭載を目指したセンサの開発、タンク断熱材等について、システムレベルでの実証に向けての準備が整い、将来のシステム高性能化に向けた各要素研究は技術課題が明らかとなり、今年度の目標を達成している。

34. ケミカルペイロード技術に関する研究（総合評価点：3.58）

(2009 年度研究の概要)

初期型 LES に充填した F 型テルミットの反応制御技術を高度化させるとともに、反応温度や反応速度の異なる C 型、S 型の基礎技術を構築した。これらはリチウムだけでなく、ナトリウムやベリリウムなどの異なる元素のガス化を狙ったものであり、観測実験において必要となるものである。

S-520-26 号機以降で構想にある実験では、噴射口の材料変更を行い、機体頭胴部分離を行わない場合の改良設計が必要である。これに適した 3D-C/C ノズルの設計を行い、地上フルサイズ噴射試験によって設計の妥当性を確認した。

## (背景)

熱圏観測ミッションは、ISASの理工学連携により研究を進めている。当該ミッションでキーとなる装置がケミカルペイロードシステムであり、これは高高度の熱圏観測に必要なトレサガスの噴射を目的とした装置である。主な機能は、所定高度でのアルカリ金属元素などのガス噴射である。地上からはこのガスの太陽光共鳴散乱により発生した人工発光雲を観測する。当該装置は、FY2007のS-520-23号機フライトにおいては概ね成功を収めたが、設定時刻以外での微量噴射、点火～噴射遅れ時間のばらつきなど、技術的に解決すべき課題を有しており、システムとしては改良の余地が残されている。

装置は熱源に専用テルミット剤と空圧駆動式SAD装備点火系を装備する。独自開発の技術となっており、現在はわが国だけが当該技術を保有している。(装置の原理は1980年代にISROにて開発)

## (目的)

現有技術基盤の向上に加え、現行のリチウムや多様な化学種噴射に対応できる自在性を備えたシステム構築が望まれている。これにはテルミット剤(高温熱源)の組成や化学反応制御技術の獲得が必要となる。また、多様な噴射方式(短秒時噴射: Blob方式, 長秒時噴射: Trail方式)の技術基盤の構築も必要である。

## (意義)

ISAS宇宙物理学・工学および大学連携によって研究成果を得ており、装置の技術は他国が保有しておらず、わが国の独自技術として高度化を進めている。

## (研究成果)

- ①フライト実績があるF型テルミット剤に加え、より到達温度の高いC型組成候補を抽出
- ②高温・低燃焼速度型テルミット剤としてS型の組成候補を抽出(Trail型の候補)
- ③サブサイズの地上試験において、ナトリウムの噴射を実証
- ④耐熱型の噴射口設計技術および材料候補に関する知見獲得  
(S-520-26号機に向けての設計基盤を確立)

## (目標の達成状況)

計画通り研究を行い、所定の成果を得た。

- ①到達温度、燃焼速度の自在性獲得に向けたテルミット剤の組成候補の抽出
- ②金属ナトリウムのガス化、噴射の実現
- ③耐熱噴射口の材料および形状決定(S-520-26号機に反映)

## 35. エアロブレーキ宇宙機における磁気シールド技術の研究(総合評価点: 3.65)

## (2009年度研究の概要)

実験的には、小型アーク風洞により、磁気力の流れに対する効果を検証するとともに、その限界も明らかにした。さらに、その限界を克服するため、膨張波管風洞を用いた実験的検証を行い、磁気シールド効果を確認した。

登載型強磁場発生装置に必要な、固体窒素を用いた冷却方式によるクライオスタットを試作した。バルク超伝導材はこの中に嵌め込まれ、一体として、軽量の搭載型強磁場発生装置となる。この試作機に対して、冷却試験を行い、所定の温度まで冷却できることを確認した。さらに、着磁試験を行い、所定の磁場強さである5Tまで着磁できることを確認した。

## (背景)

エアロブレーキ宇宙機として総称する、惑星大気を高速飛行する飛行体は、地球低軌道から地表への帰還のみならず、惑星探査の突入プローブさらには、惑星探査の際のエアロブレーキなど、様々な応用があるものである。こ

のような飛行体では、惑星大気中の飛行時において飛行体前部に生じる強い衝撃波に誘起される高温大気により加熱を受けることになり、加熱からの飛行体の保護が設計における主要な課題となっている。

(目的)

近年、積極的に加熱を緩和することで耐熱構造体が設計上クリティカルでなくすることが検討されている。その一つの方策として、耐熱構造高温大気が弱電離していることを利用して、電磁力で流れを制御することにより、加熱自身を和らげることが検討されている。この技術は、磁気シールド技術として知られている。本研究では、磁気シールド技術の基礎を確立するとともに、その技術の実証として、観測ロケットを用いた飛翔実験を行うことを目的とする。

(意義)

この研究の結果は、さらに、エアロブレーキ技術として、惑星探査に利用されるばかりでなく、地球低軌道から地表への航行する機体へ応用することにより、より、安全な機体開発が可能となる。

(研究成果)

- ・搭載型強磁場発生装置の試作およびその性能把握
- ・Expansion Tube 風洞による磁気シールド効果の把握
- ・数値解析による磁気シールド効果の詳細把握

(目標の達成状況)

- ・搭載型強磁場発生装置の試作を行い、その強磁場発生性能を把握した。
- ・Expansion Tube 風洞による磁気シールド効果の把握を行い、衝撃層の拡大効果を把握し、さらに数値解析との比較検討を行った。

### 36. 超熱安定型軽量 CFRP 鏡の開発 (総合評価点：3.52)

(2009 年度研究の概要)

比強度・比剛性に優れる CFRP を用いて、軽量モデルミラーを作成した。作成した CFRP ミラー表面の表面荒さは初期の状態では 20nmRMS であり、高温、高湿などの劣悪な環境下に暴露させた後は 60nmRMS まで悪化したが、その後の試験にてさらなる悪化は見られなかった。赤外線のみラーとして実用化の可能性を示唆することができた。

(背景)

CFRP の衛星部材への適用に関して、近年 CFRP 製の鏡の開発が望まれている。周知の通り、ロケットの性能の面から衛星の重量は厳しく制限されている。現状、熱膨張率が小さいガラスが鏡の材料に用いられているが、ガラス製鏡を衛星に搭載すると、それに伴って制振機などが必要となり、結果的に鏡の直径は大きく制限されてしまう。鏡の直径は観測性能にクリティカルに影響し、例えば鏡の直径が 2 倍になると、観測解像度は 4 倍、観測対象物の同定までに必要な積分時間は 16 分の 1 になる。ガラス製の鏡と比べて重量を同等とした場合、CFRP 製の大型軽量鏡により観測性能は飛躍的に向上する。多くの衛星は時間の経過とともに温度が変化するが、面内の熱伝導率が CFRP はガラスよりも優れ、ミラー内温度差が抑えられるため温度変化に対しても安定した観測を行うことができる。

(目的)

CFRP 製のモデルミラーの試作と、その鏡面精度の長期保持能力の評価を研究の目的とする。

(意義)

表面荒さの保持能力を理解することができれば、必要な CFRP 鏡の保存条件などを理解することができる。

## (研究成果)

- ・20nmRMSの表面荒さを有するCFRP製軽量鏡を製作した。
- ・様々な環境にて、CFRP鏡を暴露させ、その表面荒さを測定した結果、60nmRMSに悪化したが、その後は安定してその荒さを保つことがわかった。
- ・精度をさらに一桁良くするために必要な新しい問題が浮き彫りになり、22年度にこの解決を目指す。

## (目標の達成状況)

現在、概ね計画通り開発が進んでいると言える。

## 37. 軌道上環境保全のための宇宙デブリ除去用軌道間作業機要素技術の検討（総合評価点：3.25）

## (2009年度研究の概要)

宇宙デブリ除去用軌道間作業機が、デブリの軌道離脱・廃棄を行いながら実施が可能なミッションの検討を行った。軌道間作業機要素技術として、姿勢制御系 Control Moment Gyro (CMG)、低毒性推進系、高比推力電気推進 (PPT) の研究を実施した。CMGでは評価関数 Surface Cost を導入した新しい駆動則を提案し、姿勢変更の高速化が可能であることを確認した。また、デブリアプローチ用小インパルスビットの一液式推進系、軌道離脱のための大トータルインパルス二液式推進系からなる一液式／二液式共用推進系の開発では、上記推進系を成立させる触媒層インジェクタ及び燃焼室の設計・製作を行い、一液式での噴射試験と、二液式のための推進剤噴霧化状態の評価を実施した。プラズマ化学推進系では、高気圧下での放電プラズマの維持・供給のため、LF放電と呼ばれる放電形態が有用であることを確認した。

固体推進剤電気推進 (PPT) では、その高エネルギー化、大推力化を図り、従来  $2\text{mN}\cdot\text{s}$  程度であった初期インパルスビットを  $6\text{mN}\cdot\text{s}$  以上に向上させることに成功した。

## (背景および意義)

2009年2月12日、米イリジウム社の通信衛星イリジウム33号（軌道高度776～779km、軌道傾斜角 $86.4^\circ$ ）とロシアの軍事衛星コスモス2251号（軌道高度783～821km、軌道傾斜角 $74^\circ$ ）の衝突のように、宇宙デブリによる深刻な軌道環境悪化は、将来の宇宙利用の重大な障害となる。宇宙デブリの空間密度がある臨界値を超えると宇宙デブリ同士の衝突が連鎖的に発生する「ケスラー・シンドローム」を引き起こし、宇宙デブリの生成頻度が消滅頻度を上回って宇宙デブリを加速度的に増殖させる事態を招く。このような宇宙デブリによる深刻な軌道環境悪化は、衛星を用いた通信や観測、情報提供などの劣化又は停止、天気予報の信頼性低下や情報通信の通信量低下による経済的損失を始めとする様々な被害をもたらす事態が想定され、宇宙デブリの発生防止だけでなく、積極的な宇宙デブリ除去による環境保全が必要になっている。

## (目的)

本研究では、その廃棄が考慮されていない低軌道衛星を除去するために、通信や画像解析による宇宙デブリの発見と宇宙デブリへのアプローチ、姿勢制御や捕獲機能による宇宙デブリの捕獲、そして宇宙デブリの軌道降下、といった一連の宇宙デブリ除去作業を積極的に行う軌道上サービス衛星（以下、宇宙デブリ除去軌道間作業機）の開発のための基礎研究を行う。同軌道間作業機は、1.宇宙デブリへのアプローチ、2.宇宙デブリの軌道／運動決定・捕捉・捕獲、3.宇宙デブリの廃棄の3つを実現するための要素技術と、それらをまとめる衛星システム化技術を必要とする。初年度に、上述1および3に必須の要素技術である推進系システムの評価、2に必須の制御系システムの研究を行う。また、中低高度間の小型軌道間作業機の新たなミッションの検討も行う。

## (研究成果)

軌道間作業機要素技術として、ミッション検討、姿勢制御系 Control Moment Gyro (CMG)、低毒性推進系、高比推力固体推進剤電気推進 (PPT) の研究を実施した。



ミッション検討では中低高度間の小型軌道間作業機の新たなミッションの検討を行い、デブリ除去衛星の軌道降下の特性を活かし、これまで継続的な観測が行われていない高度 100~200km 程度の超低軌道（高層大気）の観測ミッション（オーロラや宇宙線の理学的観測、或いは低軌道でのデブリ分布観測など）を検討している。

姿勢制御 CMG では評価関数 Surface Cost を導入した新しい駆動則を提案し、姿勢変更の高速化が可能であることを確認した。すなわち、特異点回避を角運動量空間上で行うことで、大域的に特異点を避ける手法における計算量の問題を克服しつつ準大域的な特異点回避を可能にした。かつ、従来の制御則と比べ、姿勢変更時間を 10% 程度低減できることを実験で示した。また、角運動量空間上での角運動量の軌跡を実時間で表示する制御・モニタリングソフトを開発した。

低毒性推進系に関しては、デブリアプローチ用小インパルスビットの一液式推進系、軌道離脱のための大トータルインパルス二液式推進系からなる一液式/二液式共用推進系の開発では、上記推進系を成立させる触媒層インジェクタ及び燃焼室の設計・製作を行い、一液式での噴射試験と、二液式のための推進剤噴霧化状態の評価を実施した。一方、HAN 系推進剤を用いたプラズマ化学推進では、今後想定される高気圧下での放電プラズマによる HAN の反応促進のために、LF 放電と呼ばれる大気圧放電方法を確立し、数 MPa になる実作動条件下でのプラズマ供給に新たな放電形態を確立した。また、その時の放電電力は数十 W のオーダーであり、十分にシステムとして成り立つことを確認した。

固体推進剤電気推進（PPT）では、その高エネルギー化、大推力化を図り、従来 2mN 程度であった初期インパルスビットを 6mN 以上に向上させることに成功した。PPT は電源等を含み 2kg 以下であり、今後の小型衛星の推進系として有望であることを確認した。

（目標の達成状況）

- ・上述のように中低高度間の小型軌道間作業機の新たなミッションの可能性が得られた。
- ・姿勢制御系 CMG：姿勢変更をより模擬できる状態を実現し、提案した制御手法の有効性を精度よく評価できた。
- ・推進系：各推進系ともに、設計を着実に実施し、試作後部品レベルの基本性能の評価あるいは性能評価試験に着手している。

### 38. 革新的デトネーション推進機構の研究（総合評価点：3.64）

（2009 年度研究の概要）

本研究では、「環状デトネーションエンジン」及び、「デトネーション共振機構」を提案し、その物理機構を実験、数値解析によって確認・解明する。これら二つのデトネーション発生器では、デトネーション開始機構を用いずに、極めて高い周波数（1kHz 以上）でデトネーション波を発生させることが可能である。この二つの物理機構を、高推重比・高推力密度・高推力制御性・広範囲の推力ベクトルを有する航空宇宙推進用エンジンとして応用する。平成 21 年度の成果は以下のとおり。(1) 矩形断面曲管内を伝播するデトネーション波の可視化実験によって、環状デトネーションエンジンの安定作動条件を実験的に解明した。(2) デトネーション共振機構に関しては、回転バルブ機構を用いて周波数依存性のない安定した推力生成に成功した。(3) 共振デトネーションエンジン機構へ発展させるためのパルスジェットエンジン観測装置を開発し、エチレン燃料での比推力測定に成功した。

（背景）

この 9 年間、デトネーション波を利用したパルスデトネーションエンジン（PDE）は、活発に研究され、水素燃料で比推力 4200sec の空気吸い込み式ジェットエンジン、水素酸素推進剤で比推力 190sec のロケットエンジンとなることが実験、理論解析、数値解析によって、主に広島大と申請者らの研究グループ [Endo et al., Journal of Propulsion Power (以下 JPP), 2004] や Caltech 研究グループによって解明された。さらに、推進剤を部分的に充填することで、格段に大きな比推力を獲得可能であることが申請者ら [Sato et al., JPP 2006], Caltech 研究グループによって示され、PDE 周囲の圧力が十分に低い場合は、ノズルによる定常流的な膨張加速効果が支配的となることが、

NASA, Caltech, Stanford 大によって、数値解析と実験で示された。さらに申請者らと Caltech グループは、部分充填効果の物理的本質を衝撃波管型弾道振子実験と数値解析で示した[Kasahara et al., AIAA Journal, 2008]。以上の PDE の基礎的特性を申請者らは、実証試験器 Todoroki を用いて確認し、世界初の PDE システム実証論文として JPP に発表した[Kasahara et al., JPP, 2009]。これまでの研究結果から、多種の推力増大効果を組み合わせると、PDE の比推力は空気吸い込み式エンジンで 6000sec 以上、ロケットエンジンとして（大気圧下であれば）400sec 以上が可能であると考えられる。2008 年 1 月には米国空軍研究所グループが PDE の飛行試験に世界で初めて成功した。現在、米国エンジンメーカー（GE, ロールスロイス, P&W）で研究開発が行われている。現在、米国 DARPA プログラムの一部としても採択され米国海軍艦艇用タービンエンジンへの実用化研究が行われている。

#### （目的）

本研究では、PDE よりさらに高度なデトネーションエンジンの開発を目標に設定する。デトネーション開始装置がなくとも、燃料にデトネーション波を安定的に伝播させることができ、かつ、高周波数（高推力密度）で作動する、デトネーション機構を追求する。本研究では、そのような作動が可能な、「環状デトネーションエンジン」及び「デトネーション共振機構」を提案する。また、実験、数値解析によって、これら二つのエンジンの物理機構を確認・解明する。また、実証試験機を用いてデトネーション共振機構及び環状デトネーションエンジンをテストし、その実現性を確認する。

2018 年度に、有人・無人宇宙機のメイン・姿勢制御用エンジンとしてこれら機構を実用化することを最終目標とする。

#### （意義）

「環状デトネーションエンジン」及び「デトネーション共振機構」の技術は、高推重比・高推力密度・高推力制御性・広範囲の推力ベクトル制御性を有する航空宇宙推進用エンジンとして応用できる。このエンジンは、構造が単純なため、単一のエンジンにて、空気吸い込み式からロケット式へ切り替え可能である。有人・無人宇宙機（小型衛星を含む）の加速・姿勢制御兼用エンジンとして実用化可能である。

#### （研究成果）

- (1) 矩形断面曲管内を伝播するデトネーション波の可視化実験によって、環状デトネーションエンジンの安定作動条件を実験的に解明した。環状デトネーションエンジン内のデトネーションの幾何形状を決定。内壁曲率半径がデトネーションセルサイズの約 40 倍以上であれば安定した。壁面の噴射ポートは、回折によるデトネーション波の減衰より、擾乱源としてデトネーション波を安定的に伝播させる機能があることが判明した。
- (2) デトネーション共振機構に関しては、回転バルブ機構を用いて周波数依存性のない安定した推力生成に成功した。低充填率（ $ff=0.1$ ）で、200 sec 程度の比推力を得た。
- (3) 共振デトネーションエンジン機構へ発展させるためのパルスジェットエンジン観測装置を開発し、エチレン燃料での比推力測定に成功した。ガソリンおよびエチレンを用いた可視化・圧力測定実験装置が完成。バルブ運動の観測に成功。圧力波との練成関係を調査した。

#### （目標の達成状況）

環状デトネーションエンジンに関しては、環状デトネーションエンジンの安定作動条件を実験的に解明することができ、また、噴射ポートがデトネーションの安定に寄与していることが判明したことは大きな目標達成である。一方向壁面実験に関しては、装置製作のみで、実施に至らなかった。よって環状デトネーションエンジンの研究は 90%の達成と考えている。

デトネーション共振機構に関しては、初期の計画では、共振機構そのものを一から設計することになっていたが、パルスジェットエンジン機構からアプローチする方法に切り替え、気体エチレンによる作動に成功し、バルブ運動の可視化と圧力波形の観測まで行うことが出来た。回転バルブ機構を用いて周波数依存性のないデトネーションジ

レットの安定生成に成功したが、数 100Hz まで回転数は到達していない。よって、こちらは 70%の達成と考えている。

2009 年度全体での目標達成度は 80%と判断した。

### 39. レーザ距離計のための光パルス検出 IC の開発 (総合評価点: 3.45)

(2009 年度研究の概要)

平成 20 年度製作デバイス (理事長裁量経費にて製作) の詳細評価を行い、この結果を反映したデバイスを設計製作する。

(背景)

宇宙機搭載用のレーザ距離計 (LIDAR:Light Detection And Ranging) は小惑星探査を含めた月惑星探査機や軌道上ランデブーには欠かすことのできない航法センサである。はやぶさの例では、長距離用 LIDAR と近距離用 LRF は接近着陸フェーズに必須のセンサーであるばかりでなく、はやぶさの例に見られるように重要な科学観測機器である。

(目的)

本提案では、サブミクロンアナログ集積回路技術を応用して光パルス検出のための専用 IC を製作し、A5 版サイズの基板 1~2 枚に展開されていた回路を 3mm 角のチップに統合、実装後の調整も格段に簡略化して開発期間を短縮するとともに、高精度化することを目的とする。

(意義)

本提案で開発しているデバイスは分解能 10cm 程度を目標としており、近距離用のセンサーとしても使用可能な時間分解能を有している。このデバイスの開発に成功すれば、長距離用 LIDAR の調整の簡略化と開発期間が短縮できるだけでなく、近距離用センサーとの部品の共通化も可能となる。更に、デジタルカウンタのクロックを補間するアナログ回路を実装することにより、デジタルクロックを高周波化することなく分解能を向上することが可能となる。

(研究成果)

- ・2008 年度に製作した第 2 次試作デバイス (LIDARX02) に関する詳細評価を実施した。  
入力信号のダイナミックレンジは 60dB 以上が確保されている。  
検出タイミングの入力信号レベルに対する依存性がやや大きい (数十 ns)。長距離測定用のゲインが高いチャンネルにおいてこの現象は顕著であるが、再現性はよいので、校正テーブルを持つことによって対応可能。
- ・LIDARX02 の評価結果を反映した第 3 次試作デバイス (LIDARX03) を設計・製作した。  
検出タイミングのずれを防ぐため、微分信号歪みを改善。  
初段アンプ高速化して立ち上がりを早めて、信号レベルへの依存性を低減。  
デジタル部の耐放射線性を増すため DICE-FF を採用。  
試作した 20 のデバイスは全数健全性が確認された。
- ・Co60  $\gamma$  線照射による TID 試験を LIDARX02 に対して実施して、耐放射線性能を評価した。  
高崎原研にて、30, 60, 120 kR を照射して試験した。30, 60kR についてはデバイスの全機能が正常であることを確認した。120kR については、デバイス内の一部のスイッチに異常が発生していることを確認した。要求 TID は 30kR 程度であるため、全く問題ないことが確認された。

(目標の達成状況)

- ・入力信号のダイナミックレンジ 60dB のゲイン調整機能とサブナノ秒のタイミング検出回路を 1 チップに実装

する。

→ゲイン調整機能とタイミング検出機能について1チップへの実装が実現している。

- ・デジタルクロックを数十 MHz に抑えつつ、サブナノ秒のタイミング検出機能を実現する。

→TAC 回路の実装により 30MHz のクロックで 1ns のタイミング検出に成功している。

- ・バス機器であるレーザ距離計に搭載可能なデバイスとして仕上げる。

→搭載環境試験（一部計画を前倒して実施）、および、周辺デジタル部の機能確定作業があり。

#### 40. 宇宙機搭載用高効率アンテナ一体型ハイパワー高周波集積回路の研究（総合評価点：3.90）

（2009年度研究の概要）

小型衛星等に搭載可能な S 帯・X 帯送信機として小型アンテナと回路部分のスペックを決定し、ハイパワー送信用回路特性測定器材を整える。回路系は、近年注目されているハイパワー（高出力）ワイドバンドギャップ半導体（GaN 等）、および、GaAs 等の化合物半導体を用いた高効率な S 帯で動作する小型 RF 送信用集積回路を試作する。さらに、送信用超高出力高効率回路と導波管による電力合成器とを組み合わせ、地上用の 200W 以上の全固体化大出力増幅回路の実現を検討する。

（背景）

電子通信機器の観点から、ハイパワー（高出力）デバイスおよびアンプ等の集積回路技術が遅れている。これは、設計技術のレベルアップと小型高性能化技術のコスト高に起因している。特に、けっして遠くない将来の小型衛星に対しては、衛星規模の縮小による太陽電池パネルの容量の低下と電子機器の低重量化とコンパクト化、アンテナのフェーズドアレー化、そして、これらシステムの低価格化の実現が、大きな課題として残っている。

（目的）

将来、小型衛星に搭載できる送信機高周波（RF）部の実現を目指した小型軽量アンテナ付マイクロ波ミリ波高効率集積回路とこれらを用いたフェーズドアレーアンテナの研究を行う。

（意義）

本研究は、近年ほとんど手がつけられていない、全固体化した搭載用小型軽量ハイパワー高効率送信機と高性能小型衛星に搭載可能なフェーズドアレーの実現に関する先進的な研究に位置づけられる。

（研究成果）

- ・回路（アンプ、移相器）

超高出力増幅器として、高出力半導体デバイスである GaN を用いた 180W 級出力の近地球用 S 帯固体ユニットプレートアンプを試作し、所望の出力を得た。これらを 6 合成して kW 級の固体アンプを検討した。また、C 帯フェーズドアレーアンテナ用小型デジタル 4bit 移相器を作製し、損失 10dB 程度が得られた。

- ・アクティブ集積アレーアンテナ用小型アンテナ

C 帯アクティブフェーズドアレーアンテナ用 16 素子小型平面アンテナを試作し、良好なアレーパターンが得られた。さらに、高出力アクティブ集積アンテナに 4bit 移相器を接続し、ビーム走査を実施し、アクティブフェーズドアレーアンテナの基本特性を確認した。

（目標の達成状況）

今年度は、高出力の半導体で注目されている GaN を用いた S 帯超高出力アンプを試作し、1 ユニットプレート当たり 180W の出力を得た。これは、固体アンプとしては超高出力の部類に属するもので、日本有数の高出力アンプである。また、C 帯では、衛星搭載を目的としたアクティブフェーズドアレーアンテナ用デジタル移相器として 4bit の移相器を LTCC 技術を用いて積層型とし、小型化を実現した。これにより、超小型のアクティブフェーズドアレー



ーアンテナの実現が有望となった。さらに、別途作製したアクティブ集積アンテナに上記移相器を接続し、ビーム走査機能を確認できたことは大きな進歩であった。

#### 41. フォーメーションフライト技術 WG (WG)

##### (2009 年度研究の概要)

フォーメーションフライト技術は、多様なミッション、多様な要求、多様な技術を含むものである。従ってその研究開発には、各ミッションからの要求獲得、また各本部や研究組織、大学等での研究開発動向を俯瞰的に眺めて、必要とされる技術がなにか、不足している技術はなにかを検討する必要がある。このために要すれば、ミッション・プロジェクト横断的、組織横断的、理工横断的に議論を行う場としての、フォーメーションフライト研究会（仮称）を開催する。

##### (背景)

- ・フォーメーションフライト技術は、新たな宇宙ミッションの可能性を拓く可能性があるとして注目されており、特に欧州を中心に開発や宇宙実証が進められている。
- ・我が国でも、「FFAST」や「DPF」、「SCOPE」等、フォーメーションフライトに関連したプロジェクト提案が既になされている。

##### (目的)

- ・いわゆるフォーメーションフライトといわれるミッションは実際には多種多様であるが、そこで必要とされる技術には共通のものもあると考えられる。
- ・そこで、複数のフォーメーションフライトミッションについて横断的に議論し、共通的に開発を行う要素技術があればこれを行うための議論の場を設けることを目的とする。

##### (意義)

- ・個別のミッション検討は各プロジェクト提案活動の中で行われており、これらを俯瞰的に議論できる場を設けることに本提案の意義があると考えている。
- ・また、共通技術としての開発が必要と考えられる技術項目が挙げた場合には、本 WG から予算申請を行い、その開発を進めることも視野に入れている。

##### (研究成果)

- ・本 WG の研究分担者らが関わっているフォーメーションフライトミッション「FFAST」ミッションについては、技術的成立性の検討などを進めた結果、小型科学衛星の 2 号機としてミッション提案を行うに至っている。
- ・また、同様にフォーメーションフライト技術と関連するミッションである「DPF」ミッションも、技術的成立性の検討などを進めた結果、小型科学衛星の 2 号機としてミッション提案を行うに至っている。

##### (目標の達成状況)

- ・上記の通り、本年度は各関係ミッション提案毎の個別の活動が中心であった。
- ・その成果としてはミッション提案という形となっているものの、これらを俯瞰するような共通的な技術開発等の提案にまでは至っていない。

### c. 宇宙環境利用科学委員会（平成 22 年 4 月 1 日）

○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」

宇宙環境利用科学委員会評価結果

JAXA 中期計画に従い、宇宙環境利用科学プロジェクトの委員会評価を行なった。ISS・きぼう利用プロジェクトが本格的な運用の段階に入った。宇宙環境（微小重力、高放射線等）を優位に活用できる環境と機会を得たことにより、物質基礎及び生命科学の分野できぼう利用の各種テーマの実験が実施され、マランゴニ対流実験、結晶成長研究等で世界一級の科学的成果が創出されている。ISS 利用、小型ロケット利用などによる目的とする宇宙実験を完了した。また、実施中の宇宙実験については高い科学的成果が得られ、適切な飛行解析が行われている。軌道上で発生したいくつかの不具合については適切な対応が行われた。開発中、準備中の宇宙実験テーマについては予定どおり計画が進められており、フライト実験実施予定に対して大きな問題は見当たらない。平成 21 年度の研究・開発は計画通り、順調に進捗しており、来年度の計画も妥当である。

総合評価：S

#### 2. 各プロジェクトの評価結果の詳細

##### 2. 1 物質科学・基礎科学分野

###### (1) 流体科学研究

MEIS についてはマランゴニ対流実験の第 2 シリーズの実験を平成 21 年 7 月より開始した。平成 20 年の第 1 シリーズに続くもので、高アスペクト比の液柱を対象とした実験を行い、三次元流速計測と表面流速計測という新たなツールを駆使して、地上では形成できない高アスペクト比液柱を形成するなど結果は予想以上の成果を見出している。液注は長くなるほど ISS 滞在中の宇宙飛行士の生活振動の影響を受けやすい。素早く液柱形成し、データを効率的に取得するための実験ノウハウの蓄積に苦心したが、課題を克服して広範なアスペクト比における振動流遷移条件の取得や定常流から振動流や乱流に至る振動流 3 次元構造の把握に関するデータ取得、表面流速分布と温度場の関係性に関するデータ取得等に成功した。10 月より実験開始予定であった第 3 シリーズ（粘性依存性の観察が目的）は試料カセットからの試料漏れにより実験を延期した。試料カセットは、帰還させ原因究明後に改修、再打上を検討中である。

Marangogni UVP/MaranGogniat については 11 月に実験開始予定であったが、供試体の不具合により、実験開始を延期した。野口宇宙飛行士による供試体の補修が 1 月に行われ、1 月下旬に補修結果の確認後、実験を再開した。

運用面でのさまざまな不具合や課題を克服しつつ着実な成果を上げている。データの解析も順調に推移している。利用できる装置や機会を全て使い一級の成果を目指して欲しい。

###### (2) 結晶成長研究

JEM では初めての結晶成長実験である 1 期利用テーマ 2 件の宇宙実験（Ice Crystal, Facet）のデータを解析中であり、その結果が注目されている。

Ice Crystal については（2008 年度に軌道上実験実施済み）はデータを解析を実施した。過冷却度のパラメータを変えた総実験回数は 134 回に及んだ。JEM で初めての結晶成長実験ということもあり、ダウンリンクされた画像データの時刻情報のずれがあることが発覚し、当該補正に時間を要した。現在時空間画像を精密解析中で過冷却度と成長速度の関係や熱拡散場などの解析を実施している。

Facet については 2009 年 4～6 月に軌道上実験を実施した。解析の過程で、干渉縞の不規則な揺れにより、実験データの精度が得られないことが判明し、この不具合解消のために光路カバーを製作した。濃度・温度分布の同時計測を行うために顕微干涉計を使ったが、その測定誤差は試料中の屈折率の僅かな変化にも敏感であ

る。従って、光学系や試料、周囲雰囲気振動を如何に抑えるのか、また ISS から伝送される画像品質やデータの整合性を如何にして確保するのかなど、データの質の向上に苦心した。2010年6月に光路カバーを打ち上げ、2010年度中に再実験を行う予定である。

Nano Step は2009年7月のプロジェクト移行審査で承認を受けた。その後、基本設計フェーズに入り、10月に基本設計審査を実施した。現在模擬試験を実施中である。試料セルを搭載する3軸セルステージ、セルの排熱等において試験を通して設計を工夫し、2011年7月に打上に備えている。

Hicari はカートリッジのフライトモデルを製作完了し、地上炉実験条件の宇宙炉への移行に着手した。宇宙炉はヒーターの長さが短いため、試料移動に伴う温度変動が大きく、地上炉の温度設定は参考にならず、実験条件を追い込むのに苦労した。2011年2月打上のスケジュールが明確になったこともあり、詰めの作業を加速させ着実に進めている。JEM では初めての半導体結晶成長実験なので、目標とする成果を得られるよう期待する。

### (3) 燃焼科学研究

TEXUS ロケット利用実験については、2009年11月に TEXUS ロケット 46号機を利用した部分予蒸発液滴列の燃焼実験を ESA との共同実験として実施した。本共同実験計画において、JAXA は実験計画の作成と搭載装置の開発を担当した。実験装置は問題なく作動し、部分予蒸発した燃料液滴列に沿った火炎伝播現象の観察および実験データの取得に成功した。また、TEXUS ロケット実験においては、低コストと高信頼性を両立させる観点から、要素実験技術にこれまで落下塔実験で用いられてきた技術を数多く採用した。これらはこれまでの地上研究における経験の蓄積と技術の向上をフライト実験に効果的に活用した模範といえ、慎重かつ着実な開発を進め良い成果を創出している。

Firewire については、2012年のフライト実験の合意を得て実験計画の詳細検討を実施中である。平成21年度は、実験装置要素試作品による落下塔実験などを行い、実験条件の最適化などを引き続き進めるとともに、試料送り出し・巻取り機構や観察装置の性能向上を工夫したなど着実に進捗している。XP 利用の先駆けとなる実験に期待したい。

Group Combustion については「きぼう」での軌道上実験を目指し、実験計画の詳細化と供試体の概念設計を進めた。燃料蒸気や燃焼ガスのフィルタによる除去試験により真空排気系との適合性を確認するなど、要素試験による技術課題の解決を実施した。また、親装置である多目的実験ラック (MSPR) /燃焼実験チャンバ (CCE) とのインタフェース調整を進めた。実験計画詳細化フェーズを実施中であり、準備は順調に進捗している。

噴霧燃焼メカニズムを解明して体系化するとともに、実用的シミュレーション構築・モデル化に向けた実験結果の解析を鋭意お願いしたい。

### (4) ダストプラズマ研究

荷電粒子系における臨界点の観察を最終目標として微小重力実験を実施中である。軌道上のダストプラズマ実験装置 PK-3 Plus を利用する実験をプロジェクトとして平成19年1月から開始した。これまでに、平成19年12月、平成20年7月、平成21年7月、平成22年1月の合計4回の宇宙実験を実施した。今年度は、軌道上装置 PK-3 Plus が装備する粒子のうち、2番目に大きい粒子を用いた実験を2009年7月に実施した。また、最大の粒子を用いた実験を2010年1月に実施した。7月の実験では、従来よりも臨界点に近づくことができたと推測される結果が得られたが、臨界点に近づくこと自体が世界初の試みであることが困難さを増している。これに対し、理論面、地上実験、地上実験および微小重力実験のデータ解析を同時に進めることで、より臨界点に近づくことができると期待される微小重力実験条件を見出すことができた。高い粒子数密度ではプラズマが消えやすいことが分かった。今後の課題としてはプラズマを消さずに高い数密度を達成する実験条件の探索が必要である。平成20年度から国際研究チームの枠組みで本格的宇宙実験を実施しており、進捗は順調である。先行するドイツマックスプランク研究所やロシア研究チームとの国際共同研究により我が国のプラズマ研究・基礎技術の向上に繋げてほしい。

### (5) 次期実験装置 (静電浮遊炉) 研究

JEM 搭載装置開発に向けた静電浮遊炉の開発のためにクリティカルな要素技術の検討が順調に進められて

いる。加熱レーザーの大幅な小型軽量化、省力化等に成功しており要素技術の開発に工夫が見られる。放射光実験で高温融体の電子状態に関する新規な科学的知見を得るなど今後の成果が期待できる。2009年度からは、有人宇宙環境利用ミッション本部と共同で多目的ラック搭載型の静電浮遊炉を開発することで調整を進めており、JEM搭載に向けた装置開発フェーズへの移行を強く期待したい。

## 2. 2 生命科学分野

### (1) 細胞生物研究 (CERISE, MyoLab)

CERISE (線虫) については2009年11月に打ち上げられ、軌道上実験を行った。本実験は宇宙環境で見出されている微小重力下での筋萎縮について、関連する遺伝子ならびにタンパク質の網羅的な発現変動を調べるとともに、筋タンパク質の分解系を抑制することで筋萎縮を回避できるか等について調査する。事前のクルーのオペレーションミスにより一部地上対照実験を再実施する必要があるが、予定されていた軌道上実験はすべて完了した。2010年2月に地上に帰還して、現在データ解析中である。

MyoLab (細胞) については2010年4月に打上げ予定で、フライトおよび地上作業の安全審査などの準備を進めている。ISSに備えられている装置等に不具合があった場合の対処方法を考慮し、国内リハーサル、射場リハーサル、キックオフミーティング、クルートレーニングや地上予備実験などにより、様々な不具合に対する対処法を準備した。細胞生物学テーマについては実験中のテーマも含めて、準備に余念がなく回収サンプルの結果解析に期待する。

### (2) 放射線生物研究 (RadGene, LOH, RadSilk)

RadGene /LOH については2008年11月に打上、2009年2月に実験実施、同年3月に回収を完了しており、予定通りの生物サンプルが得られた。RadGene では2009年度の飛行解析により、がん抑制遺伝子“p53”とそれに関連する遺伝子群の細胞の突然変異誘発メカニズム解析の中で宇宙での重粒子線による遺伝子損傷を初めて直接観察し、ガン化関連遺伝子群のアポトーシス、再生における働きを明らかにした。これは重粒子線治療の有効性を証明することにつながる成果である。また宇宙放射線の影響と微小重力の影響をたんぱく質の発現の差異により識別することができた。高エネルギー放射線の影響が遺伝子レベルで良く解析されている。論文も良く出されており世界的評価も高く順調である。

LOH については2008年11月打上げ、2009年度に実施した飛行後解析により、染色体レベルでの突然変異 (遺伝子の傷など) の誘発現象の LOH 解析による高感度検出に成功した。また放射線適応応答によって突然変異の誘発の程度を和らげる効果があることを見出した。さらなる実験結果解析に向けて着実な作業を進めて欲しい。

RadSilk については2009年8月打上、11月実験実施、12月サンプル回収済み。フライトサンプルの孵化～羽化までの解析を完了し休眠卵を使うことにより、他のサンプルでは困難な、生きた状態で低線量長期被曝実験に成功した。発生段階で放射線感受性が高い時期があることを地上予備実験で解明し、その時期に被曝させることによりさらに突然変異発生の解析精度を高めた。さらなる実験結果解析に向けて着実な作業を進めて欲しい。

### (3) 植物生理研究

Ferulate については2010年5月に打ち上げの予定である。2009年度は供試体詳細設計審査およびFM製作から装置グランドモデル各種適合性確認試験、射場リハーサル、クルートレーニング、フルシーケンスでの地上準備実験など打ち上げ準備を実施した。運用上の制約によりイネの打上から実験開始まで10日以上掛るため、安定した発芽率、芽生え伸長を確保するための地上実験を繰り返し、軌道上実験に最適な温度条件を決定した。また、打上ロットの種子による適合性試験を行い、問題ないことを確認した。

Hydro Tropi については2010年5月に打ち上げの予定である。Ferulateと同じくフルシーケンスでの地上準備実験など打ち上げ準備を実施した。軌道上実験のランタイムに合わせ、フライトモデルを使った培養試験を実施し、湿度勾配による水分屈性実験が実施できることを確認した。また、フライトモデルから溶出する可能性のある微量な金属や化学物質が生育に影響がなく、軌道上実験の実施に影響がないことを確認した。



CsPINs については2010年9月に打ち上げの予定である。2009年12月にSDR、2010年1月にプロジェクト移行審査会を実施した。オーキシンの排出に関してはタンパク質の局在を確認できた。Hydro Tropi で使用する水分屈性容器を一部改修したペグ形成実験容器の設計を行い、試験を行った。また、スペースシャトル退役後は、回収までの軌道上サンプル保管時間が長くなることが予想されるため、試料の耐久試験を行い問題ないことを確認した。

Resist Tubule についてはほぼ概念検討を終え、2009年度中のベースライン化、2010年6月にプロジェクト化して2011年度の打上げを目指している。CB顕微鏡による幼植物体の蛍光顕微観察について、科学的目的を達成するための十分なコントラストが得られなかったため、外部ポートを利用した高感度冷却カメラによる観察を検討した。CBのインターフェース条件を満たす高感度カメラの選定、蛍光顕微観察容器の試作・改良、高画質化のための画像処理ソフトの開発など、与えられた条件下で可能なすべての対策が試された。その結果、地上実験装置で得られる最良の画質は得られないが、実験要求を満たす性能を得ることができた。抗重力反応の体系的機構解明に向け順調に進捗している。

### 2. 3 きぼう船外実験プラットフォーム利用科学観測分野

2009年7月にきぼう船外実験プラットフォーム搭載による、全天X線監視装置(MAXI)運用を始めに、各種観測ミッション運用が開始されている。運用には各種の制約はあるものの、ISS曝露施設利用の有効性を実証し、関係機関と連携したデータ活用により、世界初の科学的成果と地球環境問題解決への貢献が期待される。

#### (1) 全天X線監視装置(MAXI)

MAXIは2009年7月のシャトルミッションによる輸送とJEMきぼうへの取付け後、8月に搭載機器の立ち上げに成功した。全ての機器が初期健康診断に合格した後すぐに観測データの取得を開始し、X線検出器が目標性能を達成していることを実証した。世界の研究コミュニティが天体の増光・変動現象を発見し追監視する能力が、MAXIの登場により向上した。今後5年間以上の運用を目標とし、理化学研究所との共同研究により、成果が効率的に生まれることが期待される。また、ISS曝露施設利用の有効性を内外に証明することも期待される。

#### (2) 超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES)

装置本体及び運用システム・地上データ処理システムの開発を2009年7月までに完了し、HTV初号機での打上げに成功した。ISSへの取り付け後に稼働を開始し、11月より本格的に地球大気観測を開始。高次データ処理結果の検証、2010年1月に研究者向けのデータ提供を開始した。

### 2. 4 国際協力推進

インド及び中国と回収衛星を利用した宇宙科学協力実験の共同実施に向け、両国と基本合意に至っている。今後、テーマスケジュール等について詳細検討を進めることとしており、実験機会が拡大することが期待される。インドとは微生物培養実験を2010年後半に宇宙実験を実施予定であり、中国とは結晶成長実験を2011年以降に実施予定である。今後とも国際協力推進とアジア諸国との連携の方針が確認された。

#### d. 科学衛星運用・データ利用センター(C-SODA)運営委員会(平成22年3月29日開催)

H21年度は委員の任期(二年)の最初の年になり、今期は特に様々な分野における宇宙データ、衛星データの利用に見識の深い方々を委員として迎えた。宇宙科学研究本部以外からは、天文学、太陽物理学、月惑星科学、太陽地球系物理学、地球観測、それぞれの分野においてデータ利用の専門家である7人の委員を選定した。今回の委員会にはそのうち6人、および宇宙科学研究本部内から6人が出席した。

昨年度の委員会でも話題になったことだが、C-SODAの業務の中には衛星運用、ネットワーク、計算機管理のように定められたことを着実に進むべき部分と、広い科学的見地に立ったポリシーを定めて進めるべき衛星データ利

用促進に関する部分があり、外部委員会は主に後者に係るべきものであるという意見があった。そのような背景で、今回の委員会では前者に関する評価は行わず、後者のみを議題とすることにした。C-SODAにおける科学衛星データ整備に関するドメインごとの現状報告と質疑応答のあと、JAXAの科学衛星データ利用促進に向けた今後の委員会活動の進め方について、活発な議論が交わされた。

NASAやESAと比べると、JAXAでは科学衛星のデータ整備にかかるリソースが手薄く、多くの科学成果を出しうるデータが、その整備が進んでいないがために十分に活用されていない事例が多々あるという認識を、委員の中で共有した。その一方、JAXAでも地球観測においては高いレベルでデータポリシーが定められていて、観測データに対しては十分使いやすい形にまで高次データ処理を施してアーカイブ化することが前提である、という指摘もなされた。

そして、この委員会の主な目的は、JAXAの科学衛星データの利用価値の重要性を各方面に知らしめること、また、科学衛星が取得した貴重なデータが十分整備されずに放置されるような状況が起きない仕組みを考えること、ということではほぼ意見が一致した。宇宙研におけるその実行組織がC-SODAになる訳で、当委員会はC-SODA全体の運営をドライブする委員会ではなく、C-SODAの実行するデータ整備関連業務のステアリングを行う委員会と位置づけることが望ましいという意見が出た。

上記の目的に向けた具体的な活動の第一歩として、約一年間かけて、国内外の科学衛星データの整備、利用状況を調査し、それに基づいた今後の科学衛星データ利用についての提言をまとめたレポートを作成することを、今期の委員会のミッションとすることとした。また、そのレポートの内容に実効性を持たせるためには、理学委員会へ提出することが有効で、当委員会を理学委員会の下に「データ専門委員会（仮称）」として再出発することが提案された。

なお、C-SODAの業務のうち、大学共同利用と直接関わる宇宙科学データ利用に関する委員会評価は、H22年4月7日に開催された理学委員会によっておこなわれた。