

4. プロジェクトチームの研究活動

a. GEOTAIL プロジェクトチーム

II-4-a-1

「GEOTAIL」の運用

技術参与	向井利典	名誉教授	上杉邦憲	教授	中谷一郎
名誉教授	西田篤弘	名誉教授	鶴田浩一郎	教授	早川 基
教授	川口淳一郎	助教授	橋本正之	助教授	齋藤義文
助教授	松岡彩子	助教授	篠原 育	助教授	笠羽康正
教授	前澤 洵	教授	中村正人	助教授	高島 健
助手	浅村和史	助手	長谷川洋	助手	横田勝一郎
助手	山崎 敦	技術職員	齋藤 宏		

磁気圏観測衛星「GEOTAIL」は、1992年7月24日に米国フロリダ州ケープカナベラルからデルタIIロケットで打ち上げられた日米共同プロジェクトの衛星である。その研究目的は、地球磁気圏尾部の構造とダイナミクスおよび磁気圏の高温プラズマの起源と加熱・加速過程を明らかにすることである。この目的のために、特有の軌道計画が実行された。1994年11月までの2年余りの期間は月との2重スウィングバイ技術などを駆使して衛星軌道の遠地点が常に地球磁気圏の尾部に来るように制御され、地心距離で210倍の地球半径までの広範な磁気圏尾部領域をくまなく探査した。1994年11月以降は、磁気圏サブストームなどの研究のため、衛星軌道の遠地点距離を30倍の地球半径に下げ、現在に至っている。なお、衛星軌道の近地点距離は9-10倍の地球半径で、この近地球軌道は昼間側の磁気圏境界面や地球前面の定在衝撃波やその上流域などの観測に適したものになっている。近地球軌道に入ってから、本影持続時間が3時間程度にもおよぶ長時間日陰が発生しているが、その対処のための特別なOPを用いて問題なく切り抜けている。

搭載観測装置としては日米双方から合計7個、即ち、磁場計測装置 (MGF)、電場計測装置 (EFD)、2組 (日米各1組) のプラズマ計測装置 (LEP, CPI)、2組 (日米各1組) の高エネルギー粒子計測装置 (HEP, EPIC) およびプラズマ波動観測装置 (PWI) である。日本側が主任研究者の観測装置にも部分的に米国NASAから提供された要素も含まれているので観測装置の約1/3が米国製、残りの2/3が日本製である。さらに、日本製の観測装置にはヨーロッパ (ドイツ, ESA) 提供のものも一部に含まれている。日本側の観測装置は、宇宙科学研究本部を中心に、東京大学、京都大学、早稲田大学、立教大学、名古屋大学、金沢大学、富山県立大学、愛媛大学、などの研究者の協力のもとに開発された。衛星運用やデータ解析には観測装置開発に携わったメンバー以外にも多数の研究者が参加し、数々の研究成果が得られている。これまでに出版された「GEOTAIL」関連の原著論文数は700編以上 (外国人の筆頭著者も含む、国際的な査読付き論文誌に掲載されたもの) である。

2006年度末現在で打ち上げ後14年8ヶ月を経過したが、(当初からの計画に従って) 衛星の運用管制は宇宙科学研究本部が責任をもち、データ受信は日米双方で行っている。米国JPLの深宇宙ネットワーク (DSN) 局で受信されるデータ (搭載のデータレコーダーに記録された24時間連続データ) はNASAゴダード宇宙飛行センターで一次処理され、Key Parameter Dataは世界中の研究者に公開されている。また、高時間分解能のプラズマおよび磁場データは宇宙科学研究本部の科学衛星データベース・システム (DARTS) から一般公開されている。(宇宙科学情報解析センターの項を参照のこと。) また、IACGにおける協議を軸に、米国の「WIND」、 「POLAR」の両衛星、ESAの「CLUSTER-II」などとのISTP共同観測も精力的に行われている。

2006年度末現在も衛星の状態は良好であり、搭載科学観測機器はほぼ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事は世界的に高く評価されているが、さらに最近では宇宙天気予報等の観点から「GEOTAIL」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続けている。国際協力による磁気圏多点観測網の中での責務を果たすため、2006年度には以下の項目について「GEOTAIL」の運用が行われた。

- ・ 米国 NASA との協力関係の下に国内局・米国 JPL の深宇宙ネットワーク (DSN) 局にて衛星運用・追跡管制およびデータ取得を行った。
- ・ 米国 NASA ゴダード宇宙飛行センターとデータ交換を行い、日米双方で取得したデータを共有している。現在では日米のデータ交換は SINET の日米回線を通して行われており、DSN 局で受信されたデータは受信後、平均約 3 日以内に宇宙科学研究本部の SIRIUS データベース・システムに登録される。
- ・ 日本側の観測機のデータの一部については、日本側で較正され、主任研究者から公開許可が出た後、宇宙科学研究本部の公開用科学衛星データベース (DARTS) システムから公開される。公開データセットについては、米国 NASA ゴダード宇宙飛行センターに転送し、太陽地球系物理学分野における国際標準フォーマット (CDF 形式) に変換する、データ交換の流れが進められている。「GEOTAIL」の公開データが国際標準フォーマットに対応したために、国際的な共同研究の利便性が向上することとなった。
- ・ 衛星管制装置 MS-175 の老朽化に起因する衛星運用のリスクを回避する為に 2005 年度から MS-175 装置の更新作業を実施していたが、2006 年 12 月に衛星実機に対してのコマンド送信、OP サブ計画の送信試験などを行い、試験結果が良好であったことをもって GEOTAIL 用の新衛星管制装置の開発を終了した。2007 年 2 月中より衛星運用を新管制装置にて定常運用を行っている。
- ・ 2006 年 11 月 23 日に搭載磁力計 (MGF) の 1 つのセンサー (MGF-FO) のゲインレンジコントローラが故障し、正常なデータが得られなくなった。このため、冗長系をなすもう 1 つのセンサー (MGF-FI) を主観測装置に切り替えた。この間、データは継続して取得されており、観測には影響はなかった。

上記の衛星運用項目以外にも、先に述べたように、米国、欧州とともに地球磁気圏の国際共同観測を行なうことによって、着実に科学的な成果を上げ続けている。2006 年中に国際的な査読付き論文雑誌に掲載された「GEOTAIL」関連論文の数は 42 本になり、打ち上げ後、14 年以上を経た現在も科学的な活動は衰えていない。

「GEOTAIL」はこれまで、磁気圏尾部のプラズマシート領域におけるプラズマ加熱や加速過程についてイオンの運動論的効果の重要性を初めて実証的に示してきた。また、静電孤立波の発見など宇宙プラズマ中の波動-粒子相互作用研究の新しい展開のきっかけを作る、など、単独の観測結果で世界第一級の研究成果をあげているが、最近では海外の衛星観測と協力して磁気圏多点観測網の中の重要な一点として磁気圏のグローバル・ダイナミクスの研究に寄与する側面が増してきている。「GEOTAIL」の科学的研究活動の詳細や成果報告については、宇宙プラズマ研究系の項などに関連記述があるので、そちらを参照されたい。

b. あけぼのプロジェクトチーム

II-4-b-1

「あけぼの」の運用

技術参与	向井利典	助教授	松岡彩子	助教授	齋藤義文
助教授	篠原 育	助教授	笠羽康正	助教授	阿部琢美
助手	浅村和史	助手	長谷川洋	助手	横田勝一郎
教授	前澤 洸	教授	早川 基		

「あけぼの」は、1989 年の打ち上げ以来 18 年以上にわたり、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。

「あけぼの」は内之浦宇宙空間観測所にて運用・追跡・データ取得を行っている。平成 18 年度は日曜を除くほぼ毎日、1~2 パスの運用を行った。平成 18 年 4 月から平成 19 年 3 月までの実績は総計約 430 パスであった。(1 パスの時間は季節によって変わり、20 分~1 時間 10 分の間である。) また、スウェーデン宇宙公社と協力し、オーロラに特に関連した極域におけるデータを取得する目的で、エスレンジ局でのデータ取得を行った。平成 18 年 4 月から平成 19 年 3 月までの実績は総計 560 パスであった。取得したデータは CD-ROM に保存して宇宙科学研究本

部に送付し、SIRIUS（テレメータのデータベース）に格納した。

「あけぼの」打ち上げ以来衛星を運用してきた内之浦局 10 m アンテナ及び周辺機器の老朽化が激しいため、34 m 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。さらに、エスレンジ局で取得したデータの輸送は、従来の CD-ROM による搬送から平成 19 年 1 月に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。

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。「あけぼの」のデータの一部は、サイエンスデータベース（SDB）および 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 本が出た。

II-4-b-2

内之浦局における「あけぼの」VLF アナログデータ記録システムの改良および南極における VLF データ取得

助教授 松岡彩子 金沢大 笠原禎也

「あけぼの」打ち上げ以来、内之浦局における U バンド VLF アナログデータは DAT デッキで記録していた。平成 18 年 6 月に、これをサウンドボード搭載のパーソナルコンピュータに置換し、DVD-RAM に記録する形式に変更した。この入れ替えに伴い、従来アナログ形式で記録していた VLF-WBA データが、内之浦局でリアルタイムにデジタル化可能となり、それ以降の解析効率向上につながった。

また、平成 18 年 4 月から 19 年 1 月にかけて、昭和南極基地上空において、データレコーダに VLF 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。

II-4-b-3

「あけぼの」衛星の研究計画策定

技術参与	向井利典	助教授	松岡彩子	助手	浅村和史
助教授	阿部琢美	NICT	小原隆博	金沢大	笠原禎也
東北大	熊本篤志	東工大	長井嗣信	NICT	三宅 互
名大・太陽地球環境研究所	三好由純				

2010 年度までのプロジェクト延長を申請し、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に基づいて審査を受けた。

22 年間に長期変動する磁気圏の描像の解明 太陽の大規模磁場の極性の反転の周期である 22 年間のデータを取得することにより、太陽の全ての局面における磁気圏の観測を完結する。放射線帯外帯電子がどのように相対論的エネルギーにまで加速されるのか、太陽風に起源を持つ磁場や電場がどのようにプラズマ圏の形成に関っているのか等を解決するための研究を行い、放射線帯、プラズマ圏はどのように形成され、また衰退するのかという疑問にこたえていく。

近年打ち上げられた衛星・地上との同時観測 2005 年打ち上げの「れいめい」衛星や、2007 年打ち上げの米国 THEMIS 衛星と、異なる高度において同時観測を行うことによって、オーロラ発光に関する現象が、地球に近くにつれて発達・変化していく様子が観測できる。2007 年夏期打ち上げ予定の SELENE 衛星によるプラズマ撮像と、あけぼの衛星による局所的なその場プラズマ観測を組み合わせることによって、プラズマ圏やイオン流出の全体像と鍵になるプロセスの同時観測が可能となる。同一磁力線上における地上との同時観測によって、磁気圏-電離圏間の、プラズマの流入・流出や電磁的な相互作用が明らかになる。これらの研究によって、磁気圏と電離圏がどのように影響を及ぼしあっているのかという課題にこたえていく。

c. はやぶさプロジェクトチーム

II-4-c-1

小惑星イトカワの質量や軌道についての研究

助教授	吉川 真	大学院学生	池田 人	NTS	小湊 隆
NTS	松岡正敏	富士通	大西隆史		

「はやぶさ」は、小惑星イトカワ近傍で3ヶ月間ほど探査を行ったが、そのときの「はやぶさ」の追跡データや光学情報を用いて、イトカワの質量の推定を行った。その結果、得られた密度は、想定される岩石よりもかなり小さいことが分かった。このことは、イトカワの構造を推定する上で重要な情報である。また、イトカワの軌道にも誤差があるが、その誤差をより小さくすることができないかの検討も行っている。

II-4-c-2

「はやぶさ」後継機による探査の検討

助教授	吉川 真	教授	川口淳一郎	教授	藤原 顕
助手	安部正真	助教授	岩田隆浩	助手	川勝康弘
助教授	田中 智	助手	森 治	助手	矢野 創
助教授	吉光徹雄	愛知東邦大	高木靖彦	会津大	出村裕英
茨城大	野口高明	東 大	宮本英昭		

「はやぶさ」に続く小惑星探査ミッションについて検討を行っている。「はやぶさ」に続く小惑星ミッションとしては、「はやぶさ」とほとんど同じ探査機でサンプルリターンを行う「はやぶさ2（仮称）」と、より進んだサンプルリターンを行う「はやぶさ Mk2（仮称）」の2つが検討されている。ここでは、特に「はやぶさ Mk2」について、どのような新規技術が使えるのかどうか検討を行ってきた。主な検討課題としては、サンプリングの手法、着陸機ないしローバによる探査、そして内部構造の探査が挙げられる。ミッションの提案ができるところまで、検討を進める予定である。

II-4-c-3

再突入飛翔体の飛行及び回収に関する研究

教授	稲谷芳文	教授	石井信明	助手	山田哲哉
----	------	----	------	----	------

はやぶさカプセルは2010年夏に再突入回収される予定であり、飛行安全、回収オペレーション計画策定のため、再突入飛翔体の飛行、着地点の解析シミュレーション等の研究を行っている。

II-4-c-4

惑星大気突入用小型耐熱カプセルの検討

教授	稲谷芳文	教授	石井信明	助手	山田哲哉
----	------	----	------	----	------

将来の惑星大気突入ミッションやサンプルリターンなどの再突入／回収ミッションでは、過酷な熱空力加熱環境に耐えることのできる小型カプセルの設計、開発が必要となる。このため、耐熱材料単体の開発に加え、これを構造的要素として考えた上で、実際のカプセルに反映させなければならない。金星気球、火星ペネトレータ、小惑星サンプルリターンなどを例に、必要最小限のシステム構成を考え、機械的・電気的インターフェース等の課題を研究している。

II-4-c-5

小型カプセル用パラシュートの研究

教授	山上隆正	教授	稲谷芳文	教授	石井信明
助手	井筒直樹	助手	山田哲哉	九工大 助教授	平木講儒

惑星探査用小型カプセルやサンプルリターンカプセルには減速のためパラシュートが必要になるが、比較的形状に柔軟性のあるパラシュートを周囲に配置することで、カプセル中央部に搭載機器や観測装置のための搭載スペースを確保することができ、カプセル内部の空間を有効活用するとともにカプセルをより小型化することができる。地上でのパラシュート放出試験、落下試験、風洞試験等を高速ビデオなどを使って計測し、トーラス（ドーナツ）状に収納されたパラシュートを確実に展帳するために必要なパラシュート放出エネルギーや放出速度など、パラシュートや放出機構の設計に反映させるべく研究を行っている。

d. ASTRO-F プロジェクトチーム

II-4-d-1

「あかり」(ASTRO-F) の開発、打上げと運用

教授	村上 浩	教授	中川貴雄	教授	松原英雄
客員教授	芝井 広	名誉教授	奥田治之	名誉教授	松本敏雄
助教授	紀伊恒男	助教授	片坐宏一	助教授	山村一誠
助手	金田英宏	助手	松浦周二	助手	和田武彦
宇宙航空プロジェクト研究員	塩谷圭吾	招聘職員（研究員）	巻内慎一郎	招聘職員（研究員）	白井文彦
宇宙航空プロジェクト研究員	大山陽一	宇宙航空プロジェクト研究員	板 由房	宇宙航空プロジェクト研究員	岡田陽子
宇宙航空プロジェクト研究員	後藤友嗣	招聘職員（研究員）	大藪進喜	招聘職員（研究員）	山内千里
招聘職員（研究員）	白旗麻衣	招聘職員（研究員）	上水和典		
非常勤招聘職員（研究員）	今井弘二	開発員	長谷川直		
派遣職員	成田正直	宇宙利用推進本部	度会英教		
外国人客員研究員	Chris Pearson				
助手	大西 晃	教授	名取通弘	助手	奥泉信克
教授	田島道夫	助教授	曾根理嗣	助教授	廣瀬和之
助教授	峯杉賢治	教授	斎藤宏文	教授	山本善一
教授	山田隆弘	教授	橋本樹明	助手	川勝康弘
京大・生存圏	山川 宏	助教授	澤井秀次郎	教授	石井信明
主幹開発員	廣川英治	技術職員	中部博雄	主任開発員	志田真樹
派遣職員	井上浩三郎	名大・理	川田光伸	名大・理	渡部豊喜
名大・理	川村晶子	名大・理	大坪貴文	NICT	藤原幹生
科学技術振興機構	平尾孝憲	東大・理	尾中 敬	東大・理	石原大助
ぐんま天文台	高橋英則	東大・総合文化	上野宗孝	東大・教養	土井靖生
早大・教育	馬場 肇	国立天文台	松尾 宏	名古屋科学館	野田 学

学術振興会外国人特別研究員 Woong-Seob Jeong

学術振興会外国人特別研究員 Woojung Kim

第 21 号科学衛星「ASTRO-F」は、従来にない角分解能と広い波長域で赤外線領域の天体サーベイを行い、天文学上最重要の天体カタログを制作するとともに、銀河、星・惑星系の誕生と進化を明らかにすることを目的とする。2006 年 2 月 22 日午前 6 時 28 分に M-V ロケット 8 号機により打上げられ、「あかり」と名付けられた。「あかり」は有効径 68.5 センチメートルの液体ヘリウム冷却望遠鏡と、赤外線カメラ（IRC: Infrared Camera）、遠赤外サーベ

イヤー (FIS: Far-infrared Surveyor) の二つの観測装置を搭載し、全赤外線領域で観測を行う。極低温冷却系は、液体ヘリウムと機械式冷凍機 (2段スターリングサイクル冷凍機) を併用したシステムであり、従来の軌道赤外線望遠鏡よりも少量の液体ヘリウムで長期の観測期間 (1年以上) を実現する。「あかり」は、打上げの後3月4日までに衛星搭載推進系により高度約700 kmの太陽同期極軌道に投入され、4月13日には望遠鏡開口部の蓋を開けて試験観測を開始、5月8日より本観測に移行した。衛星の運用は順調であり、2006年度末の時点で全天の80%以上のサーベイを終了している。極低温冷却系も順調であり、液体ヘリウム冷却による観測は、最短でも2007年9月初旬まで継続できる見込みである。液体ヘリウム消費後は、機械式冷凍機のみにより近赤外線観測を継続する。

またESA及び韓国・英国・オランダの研究機関と共同で開発したデータ解析ソフトウェアは、実際の観測データに適用して、改良・最適化を行なった。2007年度には本格的なデータ解析を実施予定である。

II-4-d-2

「ASTRO-F」搭載遠赤外サーベイヤー (FIS: Far-infrared Surveyor) の開発

教授	村上 浩	教授	中川貴雄	客員教授	芝井 広
教授	松原英雄	助教授	紀伊恒男	助教授	片坐宏一
名誉教授	松本敏雄	名誉教授	奥田治之	助手	金田英宏
助手	松浦周二	助教授	山村一誠	招聘職員 (研究員)	白旗麻衣
大学院学生	鈴木仁研	大学院学生	安田晃子	大学院学生	小林久人
大学院学生	齋藤年伸	名大・理	川田光伸	名大・理	日比康詞
名大・理	渡部豊喜	科学技術振興機構	平尾孝憲	国立天文台	松尾 宏
宇宙利用推進本部	油井由香利	名古屋市科学館	野田 学	東大・総合文化	土井靖生
東大・理	高橋英則	NICT	藤原幹生	静岡大	廣本宣久
共同研究学生	村上紀子				

2月に打ち上げに成功した「あかり」(ASTRO-F) に搭載された FIS (Far-infrared Surveyor) は、遠赤外領域での全天サーベイ観測を行うことを主な目的としている。このサーベイ観測の特徴は、従来のサーベイ観測よりも感度・角分解能を画期的に向上させようとしていることである。そのために、遠赤外線検出器として Ge:Ga 2次元アレイ検出器、極低温で動作する低雑音エレクトロニクス、各種光学系の開発が行われた。また、分光観測を行うためのフーリエ分光器の駆動機構、光学系の開発が平行して進められた。

前年度までに開発は完了し、今年度は最終的な性能確認試験、衛星に組み込んだ後の性能・機能確認試験、打上後の観測シーケンスの策定、取得データの解析方法の確立などを行った。打上後の性能確認においてもすべての機能が正常に動作するとともに、感度やノイズなどについても予定の性能を達成していることが確認できた。観測の準備は完了したといえる。

II-4-d-3

「ASTRO-F」遠赤外線全天サーベイのデータ処理システムの構築

教授	中川貴雄	助教授	山村一誠	助手	金田英宏
		招聘職員 (研究員)	卷内慎一郎	招聘職員 (研究員)	山内千里
		外国人客員研究員	C. P. Pearson	外国人客員研究員	W. S. Jeong
		学振特別研究員	高木俊暢	宇宙航空プロジェクト研究員	後藤友嗣
				茨城大・大学教育研究開発センター	馬場 肇
				ロンドン大学インペリアルカレッジ	M. Rowan-Robinson
		ロンドン大学インペリアルカレッジ	D. Clements	ロンドン大学インペリアルカレッジ	L. Wang
オープン大学	G. J. White	オープン大学	S. Serjeant	オープン大学	E. Figueredo
サセックス大学	S. Oliver	サセックス大学	R.S. Savage	SRON 研究所	Do Kester
ソウル大学	H.M. Lee	ソウル大学	S.H. Oh	ソウル大学	K.S. Jeong

「ASTRO-F」に搭載される遠赤外線サーベイヤー FIS によって行われる全天サーベイ観測データは、データ処理パイプラインシステムによって統一的に処理された後、遠赤外線天体カタログとして世界中の天文学者に公開され、研究に用いられる。このデータ処理システムの開発は、国際協力の枠組みの中で進められており、2001年度から具体的な活動を行っている。2006年度は、フライトデータの実際の処理を行うとともに、実データをもとにプログラムの最適化を図り、ノイズレベルの削減などに成功した。2006年10月に海外メンバーも含めて集中的な作業を行った。

II-4-d-4

「ASTRO-F」全天サーベイの指向決定システムの開発

教授	中川貴雄	助教授	紀伊恒男	助教授	山村一誠
		東大・理	石原大助	ヨーロッパ宇宙機構	A. Salama
		ヨーロッパ宇宙機構	P. García-Lario	ヨーロッパ宇宙機構	C. Stephenson
				ヨーロッパ宇宙機構	C. Alfageme

「ASTRO-F」の全天サーベイのデータを処理・解析し、赤外線天体カタログを作成するためには、サーベイ中の観測指向方向を正確に決定する必要がある。このため、「ASTRO-F」には焦点面スターセンサ (FSTS) が搭載されており、さらに中間赤外線サーベイデータも使い、データを衛星バス部の姿勢決定系から得られる衛星姿勢情報と合わせることで、望遠鏡の指向方向を決定する。このシステムの作成は、ESA との国際協力の下にヨーロッパスペース天文学センター (ESAC) との共同作業として進めている。2006年度には、実データを用いた処理系・姿勢決定系の評価、プログラムの最適化、初期的な焦点面アライメントの決定などを行った。

II-4-d-5

「あかり (ASTRO-F)」搭載赤外線カメラ (IRC : Infrared Camera) の開発

教授	村上 浩	教授	中川貴雄	教授	松原英雄
客員教授	芝井 広	助教授	片坐宏一	名誉教授	松本敏雄
助手	和田武彦	宇宙利用推進本部	度會英教	招聘職員 (研究員)	上水と典
		宇宙航空プロジェクト研究員	板 由房	宇宙航空プロジェクト研究員	大山陽一
外国人客員研究員	金 宇征	東大・理	尾中 敬	東大・総合文化	上野宗孝
東海大・工	若木守明	東大・理	石原大助	共同研究学生	左近 樹
共同研究学生	藤原英明	大学院学生	石垣美歩	大学院学生	丹下 勉

「あかり (ASTRO-F)」に搭載される赤外線カメラ (IRC) は、近赤外から中間赤外をカバーする3チャンネルより構成される。近赤外領域では 512×412 素子の InSb アレイ検出器、中間赤外では 256×256 素子の Si:As アレイ検出器を用い、従来にない広視野かつ高角分解能によって、広域サーベイ観測を行うものである。

2006年度は、ASTRO-F が無事打ち上げられ「あかり」と命名された後、IRC の試験観測を行い背良好な性能を実証した。軌道上で新たに、地球光の迷光やフラット画像の変動なども問題も発見されたが、ほぼ予期されたとおりの性能で、順調に天文観測を実行することができた。

II -4-d-6

「あかり (ASTRO-F)」搭載赤外線カメラ (IRC) による全天サーベイ観測モードの性能実証

教授	松原英雄	教授	村上 浩	教授	中川貴雄
客員教授	芝井 広	助教授	片坐宏一	名誉教授	松本敏雄
助手	和田武彦	助教授	山村一誠	宇宙利用推進本部	度會英教
		宇宙航空プロジェクト研究員	板 由房	宇宙航空プロジェクト研究員	大山陽一
東大・理	尾中 敬	東大・総合文化	上野宗孝	招聘職員 (研究員)	上水和田典
学振特別研究員	金 宇征	共同研究学生	左近 樹		
東大・理	石原大助	共同研究学生	藤原英明		

あかり (ASTRO-F) 搭載の赤外線カメラ (IRC) は視野を固定して撮像を行うことを目的とした観測装置であり、 256×256 画素の中間赤外線画像センサーを搭載している。本研究では、遠赤外線サーベイヤー (FIS) に加え、この IRC の中間赤外線画像センサーでも全天サーベイ観測を行うための「サーベイ観測モード」の軌道上性能実証を行った。前年度までに、サーベイ姿勢時の視野が刻々と移り変わる環境でも良好な性能を発揮できる、特殊な工夫を施した、新しいセンサー駆動方法の開発、および観測方法の最適化・観測データ管理システムと解析パイプラインの作成を行った。2006 年度は、IRC の試験観測を軌道上で行い、観測方法、データ管理システム、そして解析パイプラインが期待どおりの性能を持つ事を確認した。

II -4-d-7

「あかり」観測スケジューリング方針の検討

招聘職員 (研究員)	白井文彦	招聘職員 (研究員)	大藪進喜
教授	松原英雄	助教授	山村一誠
東大・教養	土井靖生	教授	中川貴雄
客員教授	芝井 広	東大・理	尾中 敬
外国人客員研究員	Chris Pearson	ヨーロッパ宇宙機構	Alberto Salama

「あかり」の観測スケジュールを、衛星運用の制約条件に適合させつつ、可能な限り観測提案者の要求に応えるように調整を行った。実際の運用が行えるように全体の計画の見直しを行い、1 年間で全天の 80% 以上を覆う全天サーベイと約 3500 件のポインティングを両立させる観測計画を立案した。

II -4-d-8

「あかり」観測提案投稿システムの構築

招聘職員 (研究員)	白井文彦	助教授	山村一誠
客員教授	芝井 広	東大・理	尾中 敬
名大・理	大坪貴文		

「あかり」の観測提案の募集、内容更新のために、ウェブベースの投稿システムを構築し、運用してきた。特に 2006 年度は、ターゲットリストのフォーマットチェック機構の改良や、実際の衛星軌道情報を元にした天体の観測機会を確認するビジビリティツールの開発を行った。

II-4-d-9

「あかり (ASTRO-F)」運用計画作成ソフトの開発とその運用

助教授	紀伊恒男	招聘職員 (研究員)	大藪進喜	招聘職員 (研究員)	白井文彦
宇宙航空プロジェクト研究員	板 由房	宇宙航空プロジェクト研究員	岡田陽子	招聘職員 (研究員)	白旗麻衣
招聘職員 (研究員)	卷内慎一郎	助教授	山村一誠	助 手	松浦周二
助 手	和田武彦	東大・教養	土井靖生	名大・理	川田光伸
東大・理	石原大助				

赤外線天文衛星「あかり」の観測計画は、効率よく全天サーベイ観測とポインティング観測を実施するため、あらかじめ長期観測計画がスケジュールされている。運用計画作成では、この長期観測計画をもとに実コマンド作成を行なう。しかし、緊急時や衛星メンテナンスなどの非常時コマンドの作成にも対応する自由度の高い運用計画作成のシステムが必要となる。

前年度までは、「あかり」打ち上げまでの期間にコマンド作成ソフト ISACS-PLN の環境整備とその周辺ソフトの開発の基本部分を完了し、初期運用でその実証をした。今年度は、その基本部分をもとに、実観測運用の実績に即したコマンド作成システムの再構築、チューニングを行ない、並行して作成されたコマンドのチェックシステム、運用者や観測関係者への観測運用情報の公開システムの開発を実施した。運用計画作成に関連した事故や観測への支障はなく、順調に経過している。

また、運用計画作成の実績から、衛星・地上系のリソースを最大限活用した効率の良い観測計画の条件の長期観測計画スケジュールリングへの提案し、より効率的で安全な衛星運用方法の改善などをおこなった。

II-4-d-10

「あかり」長期運用計画の策定

招聘職員 (研究員)	白井文彦	招聘職員 (研究員)	大藪進喜
助教授	紀伊恒男	東大・教養	土井靖生
非常勤招聘職員 (研究員)	今井弘二		

「あかり」観測スケジュールリングの結果から、実際の衛星運用コマンド作成に使える形に変換するための日々の更新作業を行ってきた。観測内容の最終確認を提案者との間で行った上で、衛星の運用制約条件に抵触せずかつ可能な限り最適化されるように観測計画を調整した。

II-4-d-11

「ASTRO-F」データアーカイブの構築

教 授	中川貴雄	助教授	山村一誠	助 手	松浦周二
助 手	和田武彦	助 手	田村隆幸	招聘職員 (研究員)	卷内慎一郎
招聘職員 (研究員)	山内千里	招聘職員 (研究員)	大藪進喜	招聘職員 (研究員)	白旗麻衣
		宇宙航空プロジェクト研究員	板 由房	宇宙航空プロジェクト研究員	大山陽一
		ヨーロッパ宇宙機構	A. Salama	ヨーロッパ宇宙機構	E. Verdugo
		ヨーロッパ宇宙機構	C. Alfageme	ヨーロッパ宇宙機構	R. Lorente

「ASTRO-F」の観測データを研究者に配布するためのシステムの構築を行った。システムは、テレメトリデータからのデータ作成、データ解析ソフトウェアパッケージの開発、観測者の処理の指標となる見本データの作成、データパッケージの作成、データベースへの登録、観測データリストの作成からなる。2006年度は、指向観測データの観測提案者への配布準備を進め、2007年3月から公開を始めた。今後、全天サーベイデータカタログの配布、一般公開の作業が予定されている。

II -4-d-12

「ASTRO-F」データユーザズマニュアルの作成

助教授	山村一誠	客員外国人研究員	Chris Pearson
宇宙航空プロジェクト研究員	板 由房	宇宙航空プロジェクト研究員	大山陽一
東大・理	尾中 敬	ヨーロッパ宇宙機構	A. Salama
ヨーロッパ宇宙機構	E. Verdugo	ヨーロッパ宇宙機構	R. Lorente

「ASTRO-F」の観測者が、データの処理・解析を適切に行うために、観測装置の詳細な特性と、データ処理ソフトウェアの使用方法を詳細に説明したマニュアルを作成した。この文書は、打ち合せ前に作成した「Observer's Manual」を改訂したものである。2007年3月のデータ配布開始と同時に配布を始め、その後も必要に応じて微少な改訂を行っている。

II -4-d-13

「あかり」搭載冷却系の軌道上での性能評価と運用最適化

教授	中川貴雄	教授	村上 浩	助教授	紀伊恒男
名誉教授	松本敏雄	助手	金田英宏	宇宙航空プロジェクト研究員	塩谷圭吾
招聘職員	成田正直	筑波大	村上正秀		

スペースから高感度の赤外線観測を行うためには、望遠鏡、焦点面観測装置の全てが、極低温にまで冷却されなければならない。「あかり」衛星では、そのために、2段式のスターリング冷凍機と超流動液体ヘリウムを用いたハイブリッド冷却系を世界で初めて採用した。

「あかり」衛星は2006年2月に打ち上げられた。打ち上げ以来の初期フェーズにおいて、冷却系の冷凍機の運転、液体気体相分離用ポーラスプラグの切り替えなどを、状況に応じて最適化して行った。その後、2006年4月から、開口蓋を開け、観測を開始した。観測期間中、冷却系の軌道上性能を評価し、正常に動作していることを確認した。

II -4-d-14

「あかり」搭載 SiC 望遠鏡の軌道上での焦点合わせと光学性能評価

教授	村上 浩	教授	中川貴雄	助手	金田英宏
助手	和田武彦	宇宙航空プロジェクト研究員	塩谷圭吾	東大・理	尾中 敬
宇宙航空プロジェクト研究員	板 由房	外国人客員研究員	金 宇征		
学振特別研究員	高木俊暢	共同研究学生	左近 樹		

世界で初めて宇宙用に冷却 SiC 鏡を採用した「あかり」望遠鏡は、副鏡を光軸方向に動かすことで焦点を調整できる機能を持っている。「あかり」打ち上げ後、実際に軌道上で得られた最初の近赤外線カメラの星像は、焦点がぼけていたので、データ解析とモデル解析をもとに、副鏡を動かす方向と距離を決め、2回の駆動を行った。その結果、無事に焦点を調整できた。その作業手順、および、最終的に得られた軌道上での光学結像性能をまとめ、論文に投稿した。

II -4-d-15

「あかり (ASTRO-F)」搭載 STT の初期化モード移行異常、冷却器異常への対応

助教授	紀伊恒男	教授	村上 浩	教授	橋本樹明
助手	川勝康弘	助手	坂東信尚	主幹開発員	廣川英治
		招聘職員 (研究員)	大藪進喜	宇宙航空プロジェクト研究員	板 由房
宇宙航空プロジェクト研究員	岡田陽子	招聘職員 (研究員)	白旗麻衣	招聘職員 (研究員)	巻内慎一郎

赤外線天文衛星「あかり」搭載の STT (Star Tracker: 恒星姿勢計) は打ち上げ後、軌道上で (1) 予期せぬ初期化モードへの移行、(2) ペルチェ冷却器の動作不能、の二つの異常が発生した。この原因究明と対策を行なった。

前者は機上星検出ソフトに不具合があり、特定の画像パターンで機上ソフトが異常動作する事が原因と特定された。しかし、機上ソフト修正のためには長期間の観測停止が必要であった。観測系の冷媒の寿命に限られる「あかり」では機上ソフトの改修はせず、搭載機能として持っていた自律コマンド機能を用い、初期化モードに移行した場合に自律的に通常モードに復帰する設定をすることで、対策した。また、これに伴い運用方法も変更した。その後、この対策で観測への支障も最小限に抑え、順調に推移している。

後者は、熱設計に不具合があり、バルチェ素子を動作させるトランジスタに想定外の熱負荷がかかった事が故障の原因と推定された。冷却不能でも STT の機能・性能上の影響は大きくない事を確認し、冷却 OFF の状態で運用を継続している。

II-4-d-16

「あかり (ASTRO-F)」姿勢制御系の軌道上運用の最適化

助教授	紀伊恒男	教授	村上 浩	教授	橋本樹明
助手	川勝康弘	助手	坂東信尚	主幹開発員	廣川英治
		招聘職員 (研究員)	大藪進喜	宇宙航空プロジェクト研究員	板 由房
宇宙航空プロジェクト研究員	岡田陽子	招聘職員 (研究員)	白旗麻衣	招聘職員 (研究員)	巻内慎一郎

赤外線天文衛星「あかり」は打ち上げ運用時の太陽面異常により、精・粗太陽センサともに使用不能となったことが分かった。このため、姿勢制御を組み替える必要が生じ、前年度に地球センサとジャイロのみを姿勢計として用いたセーフホールド姿勢制御を新たに開発した。今年度は、新規開発のセーフホールド姿勢制御の機上実証試験を実施するとともに、状況に最適化した設定・運用を確立した。新規開発のセーフホールド時の機上姿勢決定系は常時働いており、そのデータを用い性能評価を行ない特性を理解し、姿勢異常時のバックアップとして問題ない事を確認した。

このほかに、太陽センサに依存しない望遠鏡開口部蓋開け時の姿勢制御を検討し、実施した。また、定常姿勢も、当初ノミナルで使用することになっていた精太陽センサに依存しない、STT とジャイロのみを姿勢計とする制御をもちいており、その性能評価を行ない、その結果を受けて高精度化と高安定化のために運用・設定の最適化をした。この成果に伴い、観測データ解析にもちいる地上姿勢決定に必要な補正の基礎データも取得し、その評価も実施している。

II-4-d-17

「あかり」(ASTRO-F) によるヴェガ型星の研究

教授	村上 浩	教授	中川貴雄	助教授	片埜宏一
助教授	山村一誠	助手	和田武彦	開発員	長谷川直
宇宙航空プロジェクト研究員	塩谷圭吾	大学院学生	小林久人	科学技術振興機構	平尾孝憲
名大・理	深川美里	名大・理	大坪貴文	東大・理	石原大助
		東大・教養	上野宗孝	茨城大・理	岡本美子
		自然科学研究機構・国立天文台	山下卓也	自然科学研究機構・国立天文台	田村元秀
				英国 Open University	Glenn J. White

ヴェガ型星は、主系列星でありながらその周囲に塵円盤を持ち、その赤外線放射が観測されるものであり、惑星形成の最終段階、あるいはその痕跡を見ていると考えられている。「あかり」の全天サーベイにより新たなサンプルを含む多数のヴェガ型星を観測し、塵円盤の起源、塵の分布等、あるいはその消失過程を系統的に研究し、惑星形成過程の理解を目指す。またポインティング観測によっても近傍のヴェガ型星を観測し、これまで観測されていない暗い赤外線放射までを検出することを目指す。2006年には、「あかり」搭載赤外線カメラ (IRC) が検出した赤外線源と恒星の予備的な同定により IRC の星検出能力を確認した。また IRC、及び遠赤外線サーバイヤー (FIS) によるポインティング観測データに対して、暗い塵円盤の赤外線放射を捉えるのに必要なデータ処理方法の検討を行なった。

II -4-d-18

「ASTRO-F」FISのための遠赤外線強度較正天体の検討

助教授	山村一誠	開発員	長谷川直
名大・理	大坪貴文	国立天文台	関口朋彦
マックスプランク研究所	Th. Mueller	カリフォルニア大学バークレー校	M. Cohen

「ASTRO-F」遠赤外線サーベイヤ (FIS) のために、遠赤外線領域における輻射強度較正標準天体を確立する作業を行っている。標準天体としては、小惑星を中心に、恒星、惑星を用いる。2003年頃より、標準天体の候補について、地上観測などの情報を収集していたが、2006年度は実際の観測データからの較正天体のデータの抜き出しと評価を行い、利用出来る天体について精密な天体放射計算に基づいたモデルスペクトルを作成、実データに適用して評価を行っている。

II -4-d-19

「あかり」衛星による近傍銀河の星間ダストの研究

教授	中川貴雄	助手	金田英宏	大学院学生	鈴木仁研
東大・理	尾中 敬	客員教授	芝井 広	共同研究学生	左近 樹
ぐんま天文台	高橋英則	東大・理	石原大助	東大・教養	土井靖生

約80個のさまざまなタイプの近傍銀河に対し、「あかり」によって、近～遠赤外線の撮像観測、および近～中間赤外線での分光観測を、系統的に行うプログラムを進めている。これは、星間空間のさまざまな物理環境下でダストの特性がどう変化するか、星生成や銀河進化との関わりなどを、系統的に調べるものである。2006年度は、近傍渦巻銀河 M101 や NGC2841, NGC2976, さらに LMC などを観測し、遠赤外線撮像で得られたダストの空間分布の構造などの成果をまとめ、初期成果論文として投稿した。また、渦巻銀河 NGC6946 の中間赤外線分光観測から、芳香族炭化水素のバンド強度比の空間変化を発見した。近傍楕円銀河 NGC4589 や NGC1316 などの結果についても、国内・外の研究会で発表した。

II -4-d-20

「あかり」衛星による大光度赤外線銀河/活動的銀河核の観測

教授	中川貴雄	教授	松原英雄	助教授	紀伊恒男
助手	松浦周二	助手	和田武彦	助手	金田英宏
宇宙航空プロジェクト研究員	塩谷圭吾	招聘職員 (研究員)	白旗麻衣	宇宙航空プロジェクト研究員	大山陽一
招聘職員 (研究員)	大藪進喜	東大	尾中 敬	東大	川原公明
国立天文台	今西昌俊				

「あかり」衛星による大光度赤外線銀河/活動的銀河核の観測的研究を進めている。特に2006年度には、IRC 分光観測を進め、UGC05101 と呼ばれる赤外線銀河では、その中心に、活動的銀河核によって温められていると思われる高温の分子ガスがあり、その周りをスターバースト、濃い低温分子ガスが取り巻いていることを明らかにした。また、FIS による大光度赤外線銀河のイメージング観測も進め、その空間的な広がりについて制限を与えた。

II -4-d-21

「あかり」遠赤外線サーベイヤ (FIS) 分光モードの解析ソフト作成と軌道上性能評価

宇宙航空プロジェクト研究員	岡田陽子	名大・理	川田光伸	名大・理	村上紀子
名大・理	大坪貴文	ぐんま天文台	高橋英則	大学院学生	安田晃子
教授	中川貴雄	客員教授	芝井 広		

「あかり」FIS の分光モード (フーリエ分光器; FTS) のデータ解析には、撮像モードにはない特殊な過程が多くある。2006年度は、その解析手法を議論しながら解析ソフトを作成し、観測者への公開には至っていないものの、一通りのデータ整約を行なうプログラムが完成した。性能評価期間および Director's Time では、データ較正と軌道

上性能評価のための観測計画を立て、実行した。また、公募観測の観測者へのユーザーサポートも行なった。

II-4-d-22

「あかり」中間赤外線カメラ（IRC）スリットレス分光による減光曲線の研究

宇宙航空プロジェクト研究員	岡田陽子	東大・理	尾中 敬	助手	金田英宏
ぐんま天文台	高橋英則	東大・理	石原大助	東大・理	左近 樹

「あかり」IRCを用いて、銀河面をスリットレス分光し、星を抜き出して2MASSのデータと組み合わせることにより、減光曲線を導き、その環境依存性からダスト進化を探るという研究の第一歩として、スリットレス分光のデータ解析を行なった。その初期解析結果は、ぐんま天文台でおこなわれた研究会で発表した。明るい星だけで解析を行なうと、星に固有の色の影響で誤差が大きくなることがわかり、次の段階として、より暗い星のスペクトルの抽出に取り組んでいる。

e. LUNAR-A プロジェクトチーム

II-4-e-1

月ペネトレータの開発

教授	早川 基	助教授	田中 智	助手	早川雅彦
教授	藤村彰夫	助手	白石浩章	月探査ワーキンググループ	

この計画は世界に先駆けて月に複数台のペネトレータを送り込み、これによって無人科学観測ステーションを月面上に設置し、内部を地震波と熱流量により探査することを目的としている。これにより月内部構造を明らかにし、月の起源・進化を解き明かす第一歩の重要な情報が得られるものと期待される。

II-4-e-2

月探査用高感度地震計の開発研究

助教授	田中 智	教授	藤村彰夫	助手	白石浩章
大学院学生	山田竜平	研究員	横田康弘		

ペネトレータによって月面に設置される超高感度・小型・軽量・耐衝撃地震計センサーを開発している。この地震計のプロトタイプは小型の電磁式海底地震計であったが、開発の進んだ現在ではレアメタル磁石の採用や、新しい磁気回路、コイルボビン形状、巻線の太さや巻き数など諸々の改良を加えている。これらはペネトレータ貫入実験で耐衝撃性が確認され、良好な結果を収めつつある。

II-4-e-3

月探査用熱伝導率計の開発研究

助教授	田中 智	教授	藤村彰夫	助手	早川雅彦
-----	------	----	------	----	------

月面は熱伝導が極めて悪いレゴリスで覆われている。このレゴリス中の熱流量を知るためにはレゴリス中の温度分布と熱伝導率が必要である。ペネトレータによって月面に設置される高性能・小型・軽量・耐衝撃熱伝導率計センサーについて開発研究を進めている。ペネトレータの内部発熱に伴うレゴリスの温度場の乱れを数値シミュレーションによって推定し、実際のレゴリス温度分布を精度良く測定するための研究も行っている。

II -4-e-4

ペネトレータ搭載月震観測システムの自然地震に関する観測研究

助教授	田中 智	教授	藤村彰夫	東工大	小林直樹
助手	白石浩章	大学院学生	山田竜平	名大	山田功夫
研究員	横田康弘				

ペネトレータ貫入試験で耐衝撃性が確認されたモデルに搭載されている月震観測システムに対して国内の地震観測所において自然地震を観測する試験を行っている。観測システムは月震計センサーだけでなく、計測回路系、ジンバル機構系およびデータ処理通信系から構成され、月面に設置後の観測運用を模擬するためLUNAR-A母船に搭載される通信系システム相当品を使って試験を実施している。月内部で起こっているような極微小な振幅レベルの地震（脈動）を観測して解析処理を行ったところ、常時連続観測を行っている広帯域地震計や物理探査用短周期地震計に比肩する良好な波形データを得ている。

f. SELENE プロジェクトチーム

II -4-f-1

「SELENE」の開発

プロジェクトマネージャ	滝澤悦貞	主任開発員	南野浩之	主任開発員	中澤 暁
教授	佐々木進	主任開発員	松本秀一	主任開発員	佐藤 章
教授	加藤 學	主任開発員	田山 聡	主任開発員	大嶽久志
サブマネージャ	高橋道夫	主任開発員	前島弘則	助教授	岩田隆浩
主幹開発員	吉田恭治	主任開発員	小西久弘	助教授	田中孝治
主幹開発員	矢嶋季郎	主任開発員	佐々木健	助教授	橋本正之
主任開発員	高野 裕	助手	飯島祐一		

月周回衛星「SELENE」は、月の起源と進化を探る月の科学の発展を図るとともに、将来の宇宙活動に不可欠な月の利用可能性の調査のためのデータ取得及びこの活動を行う上での基盤となる技術の開発を目的とする衛星であり、H-II Aロケットによる2007年度の打上げを目指している。「SELENE」は、高度100kmの極・円軌道を周回する主衛星と、二つの小型衛星から構成される。主衛星は、搭載された観測機器によって月の全球マッピングや磁場の観測などのさまざまなミッションを行う。さらに二つの小型衛星に搭載された観測機器と連携し月全球の重力場の観測を行う。また月周回軌道上での姿勢・軌道制御技術、熱制御技術等の基盤技術の開発・蓄積を行うとともに、ハイビジョンカメラによる「地球の出」動画像等の撮影・放映による国民の理解増進を図る。

2006年度は、衛星システムのプロトフライト試験を実施し、観測機器を搭載した状態での機能・性能及び耐環境性を確認した後、衛星システムを種子島宇宙センターに輸送した。

II -4-f-2

「SELENE」バスシステムの開発

プロジェクトマネージャ	滝澤悦貞	主任開発員	高野 裕	主任開発員	佐々木健
教授	佐々木進	主任開発員	南野浩之		
教授	加藤 學	主任開発員	松本秀一	主任開発員	中澤 暁
サブマネージャ	高橋道夫	主任開発員	田山 聡	主任開発員	佐藤 章
主幹開発員	吉田恭治	主任開発員	前島弘則	助教授	岩田隆浩
主幹開発員	矢嶋季郎	主任開発員	小西久弘	助手	飯島祐一

月周回衛星「SELENE」のバスシステムとしては、月面高度100kmの極軌道への投入及び1年間の月面観測運用に必要な電力供給、通信、熱制御、姿勢軌道制御を行うための機能性能が要求される。

2006年度は、衛星システムのプロトフライト試験を通じて、バスシステムの機能・性能、耐環境性の確認を実施した。

II-4-f-3

「SELENE」搭載観測機器の開発

プロジェクトマネージャ	滝澤悦貞	サブマネージャ	高橋道夫	主任開発員	大嶽久志
教授	佐々木進	主任開発員	前島弘則	助教授	田中孝治
教授	加藤 學	主任開発員	小西久弘	助手	飯島祐一
教授	早川 基	主任開発員	中澤 暁	研究員	小林正規

月周回衛星「SELENE」では、月の起源と進化を探る月の科学、月の環境計測等を行う月での科学、月から地球電磁気圏や惑星電波の観測を行う月からの科学を実施する観測機器を搭載する。

2006年度は、衛星システムのプロトフライト試験を通じて、観測機器の機能・性能の確認を実施した。

II-4-f-4

「SELENE」の追跡管制システムの開発

プロジェクトマネージャ	滝澤悦貞	主任開発員	岩名泰典	開発員	二ノ宮賢治
サブマネージャ	原 英雄	開発員	米倉克英	開発員	野村信人
主任開発員	山田 敦				

月周回衛星「SELENE」の追跡管制運用は、相模原に整備する月ミッション運用・解析センター（SOAC）の追跡管制システム及び筑波宇宙センターに構築する軌道力学系システム、白田・内之浦局及び相模原共通設備、新GN局、NASA 深宇宙ネットワーク（DSN）を用いて実施する。

2006年度は、各システム内インテグレーション、システムを組み合わせた系間インテグレーション試験、及び主衛星と組み合わせたEnd-to-End試験及び筑波試験局と主衛星及びVRAD衛星との間でS帯のTT&C適合性試験を実施した。また、NASA本部との間でDSNによる支援に関する協定の締結、NASA ジェット推進研究所（JPL）との間で運用技術調整（SELENE-NOWGなど）及び、DSNとの間でEnd-to-Endデータシステム試験を実施した。

II-4-f-5

「SELENE」ミッション運用・解析システムの開発

プロジェクトマネージャ	滝澤悦貞	サブマネージャ	原 英雄	助教授	田中孝治
教授	加藤 學	主任開発員	祖父江真一	助手	飯島祐一
教授	佐々木進	主任開発員	松井 快	開発員	星野宏和
開発員	小野寺勝彦	開発員	鳥居雅也	研究員	横田康弘
開発員	奥村隼人	研究員	山本幸生		

月周回衛星「SELENE」のミッション運用・データ提供は、月ミッション運用・解析センターに整備される追跡管制システムに加え、ミッション運用・L0/1データ処理システム及びL2DB・公開システム等のミッション運用・解析システムを用いて行われる。

ミッション運用・解析システムは、衛星からの全データの蓄積・提供、観測データの解析処理、保存及び公開、並びに観測データに関するユーザサービスを行なう。

2006年度は、システムを組み合わせて実施する系間インテグレーション、及び衛星システムと組み合わせたEnd-to-End試験を実施した。

また、NASAとの間で観測データの解析処理ソフトウェアの共同検証、解析協力およびデータ交換に関する協定を結ぶとともに、技術、運用面の調整を行なった。

第1回の国際サイエンスチーム会議などを開催し、観測データ解析処理等に係る研究者間の調整を支援した。

II -4-f-6

「SELENE」運用のための臼田・内之浦局，相模原地上系の整備

プロジェクトマネージャ	滝澤悦貞	教授	高野 忠	助手	飯島祐一
教授	佐々木進	助教授	加藤隆二	開発員	米倉克英
教授	山本善一	助教授	田中孝治		
教授	加藤 學				

臼田 64m アンテナ及び内之浦 34m アンテナは，「SELENE」のクリティカルフェーズの運用管制と X 帯高速ミッションデータの受信に使用される。また，臼田 64m アンテナは，2 機の子衛星のテレメトリ受信，測距及びコマンド送信にも使用される。

2006 年度は，主衛星用 TT&C シミュレータを用いた S 帯適合性試験，臼田局に整備する QPSK 復調装置と主衛星との間で X 帯ミッションデータ適合性試験，及びリレー衛星及び VRAD 衛星との間でテレメトリ／コマンドバンド信号の適合性試験，4way Doppler シミュレータを用いた計測系との適合性の確認を行った。なお，統合追跡ネットワーク技術部により臼田局 S 帯設備が更新されるため，次年度に再試験を予定している。

II -4-f-7

「SELENE」小型衛星：リレー衛星 (Rstar) / VRAD 衛星 (Vstar) の開発

プロジェクトマネージャ	滝澤悦貞	サブマネージャ	高橋道夫	主幹開発員	吉田恭治
主幹開発員	矢嶋季郎	主任開発員	南野浩之	主任開発員	佐藤 章
助教授	岩田隆浩	主任開発員	佐々木健		

リレー衛星 (Rstar) 及び VRAD 衛星 (Vstar) は，「SELENE」の 2 機の小型衛星であり，月の重力分布の観測に使用される。

2006 年度は，衛星システムのプロトフライト試験を通じて，小型衛星の機能・性能及び耐環境性の確認を実施した。

g. ASTRO-E IIプロジェクトチーム

II-4-g-1

「すざく」の運用

教授	満田和久	東大・理	牧島一夫	阪大・理	常深 博
教授	高橋忠幸	埼玉大・理	田代 信	阪大・理	鳥居研一
教授	堂谷忠靖	理 研	三原建弘	金沢大・理	藤本龍一
教授	石田 学	理 研	玉川 徹	金沢大・理	米徳大輔
助教授	山崎典子	理 研	寺田幸功	愛媛大・理	栗木久光
助教授	国分紀秀	名大・理	國枝秀世	愛媛大・理	寺島雄一
客員助教授	林田 清	名大・理	小賀坂康志	広大・理	深沢泰司
助 手	尾崎正伸	名大・理	古澤彰浩	広大・理	水野恒史
助 手	前田良知	名大・理	田村啓輔	NASA/GSFC	Chris Baluta
助 手	中澤知洋	都立大・理	石崎欣尚	NASAゴダード宇宙飛行センター	
助 手	田村隆幸	東工大・理工	片岡 淳	他「すざく」チーム	
助 手	渡辺 伸	青山大・理工	山岡和貴		
特別研究員	江副祐一郎	京大・理	鶴 剛		
特別研究員	竹井 洋	京大・理	松本浩典		
宇宙航空プロジェクト研究員	篠崎慶亮				
宇宙航空プロジェクト研究員	内山泰伸				
宇宙航空プロジェクト研究員	村上弘志				

2006年度は、第1期公募で採択された観測提案に従い、「すざく」の運用を行った。この間の「すざく」の運用は概ね順調であり、ほとんどの観測について計画通りのデータを取得する事ができた。しかし、一部の観測では予定した運用が実施できず、以下のような対策を取った。ひとつ目は、衛星上の姿勢決定ソフトの改良である。衛星は、2台の星姿勢系を使って自分の姿勢を決定する。2006年度の「すざく」の運用中に、姿勢決定ミスが4回あり、そのうち1回では衛星が安全モードに移行してしまった。原因を調べたところ、荷電粒子による偽信号のために、星姿勢系での姿勢決定に誤りが生じたためである事が判明した。荷電粒子による偽信号を除去するアルゴリズムに不十分な点があったためである。そこで、2007年2月に機上の姿勢決定ソフトを更新し、姿勢決定ミスが生じないようにした。その後、同様の現象は発生していない。二つ目は、データレコーダの誤動作である。データレコーダは、3枚のメモリ基板を搭載しており、合計で6ギガビットの容量を達成している。この3枚のメモリ基板は、エンドレステープのようにサイクリックに使用できる設計になっている。ところが、3枚目の基板から1枚目に戻る時に、うまく戻らない現象がまれに発生するようになった。調査の結果、メモリ基板選択回路の問題である事がわかり、常に最初の基板から記録を開始する事で対処できる事が判明した。現在は、観測に支障なくデータレコーダが使用できている。3つ目は、天候対策である。「すざく」の追跡に利用している内之浦局は、台風の通り道にあたり、また、近年落雷被害が増えている。とくに、落雷による地上局の故障が発生した場合、受信が長期にわたってできなくなり、運用への影響が大きい。そこで、落雷による送受信器やアンテナに対する被害を最小限にとどめるよう、受信局の建家のアースを強化する工事を行った。これにより、避雷針から地中へ流れ込む電流が、途中で送受信器等の機器へ回り込む被害を減らす事ができると期待される。

II-4-g-2

「すざく」搭載 X 線望遠鏡 XRT の較正

教授	石田 学	首都大・理工	石崎欣尚	京大・理	森 英之
助手	前田良知	首都大・理工	窪田 廉	名大・理	國枝秀世
大学院学生	岡田俊策	首都大・理工	鈴木真樹	名大・理	小賀坂康志
大学院学生	井上裕彦	首都大・理工	大澤武幸	名大・理	古澤彰浩
大学院学生	中村良子	首都大・理工	林多佳由	他「すざく」XRT チーム	
大学院学生	鈴木健介	首都大・理工	白田渉雪		

2005年7月10日に打ち上げ成功した「すざく」にはXIS(X線CCDカメラ)を焦点面検出器とするX線望遠鏡(XRT)が4台搭載されている。実際の観測データから天体の情報を引き出す為には望遠鏡の応答関数が必要である。我々は打ち上げ以来行なわれてきた多数の較正用天体の観測結果を再現できるように光子追跡シミュレータを調整することで、高精度な応答関数の構築を進めている。本年度は特に、標準光源である「かに星雲」の観測データを用いて、XISの視野全体に亘って有効面積の較正を行った。その結果、「すざく」の標準的な観測方向であるXISノミナル、HXDノミナル方向で「かに星雲」のスペクトルのベキと視線方向の吸収が、過去の衛星で得られた標準的な値とコンシステントになるところまで追い込んだ。この状態で「かに星雲」からのX線フラックスも過去の衛星の観測から決められた標準値と2%の精度で一致した。またX線フラックスは視野全体に亘り10%以下の精度で較正できていることも確認した。この解析結果を光子追跡シミュレータに取り込んで、望遠鏡の応答関数を作成するソフトウェア(xissimarfgen)の開発も行った。これは望遠鏡の応答関数を作成する標準ソフトウェアとして、世界中に散らばる「すざく」ユーザのデータ解析に利用されている。

II-4-g-3

「すざく」搭載 X 線 CCD カメラ XIS の運用

教授	堂谷忠靖	京大・理	鶴 剛	理 研	馬場 彩
客員助教授	林田 清	京大・理	松本浩典	理 研	平賀純子
助手	尾崎正伸	京大・理	森 英之	マサチューセッツ工科大学	
宇宙航空プロジェクト研究員	村上弘志	阪大・理	常深 博	他「すざく」XIS チーム	
京大・理	小山勝二	阪大・理	鳥居研一		

X線CCDカメラ(X-ray Imaging Spectrometer, XIS)は、「すざく」搭載X線望遠鏡の焦点面検出器のひとつで、合計4台(表面照射型3台、背面照射型1台)が搭載されている。XISは、X線CCDを用いた撮像型検出器で、高い位置分解能と広い視野、適度なエネルギー分解能を兼ね備えている。XISカメラのベース部とアナログ回路部はマサチューセッツ工科大学が担当し、カメラのボンネット部とデジタル信号処理系は日本側が担当している。2006年度は、第1回一般公募の観測期間にあたるため、個々の観測天体に最適化されたモードでXISの運用を行った。これと並行して、(1)放射線損傷によるエネルギー分解能の劣化に対処するため、電荷注入を用いた運用の開始、(2)XIS運用手順の簡素化と自動化、(3)XIS2の異常調査、を行った。X線CCDは、軌道上では徐々に性能が劣化して行く事が知られている。これは、宇宙線等の高エネルギー粒子によりシリコン結晶中に格子欠陥が作られ、その格子欠陥に電子が捕獲されてしまうためである。その対策として、XISではCCDに周期的に電荷を注入し、格子欠陥をこの注入電荷であらかじめ埋めてしまう事ができるようになっている。2006年9月にこの電荷注入法を試験し、エネルギー分解能がほぼ打ち上げ時の状態にまで回復する事が確認されたので、通常観測で電荷注入法を使用する事にした。電荷注入によるエネルギー分解能の回復は世界で初めて用いられた方法で、これにより、長期にわたって良好なエネルギー分解能が維持できる。一方、XISは多様な動作モードを備えており、観測提案者の複雑な要求にも応えられるようになっているが、逆にこれが運用を複雑にする要因にもなっていた。そこで、これまで使われた動作モードを元に、XISで使用可能なモードを必要最小限にし、また、それらのモードが簡便にコマンド計画に取り込めるよう、運用ソフトの改訂を行った。XISは順調に観測を続けていたものの、2006年11月9日、1台のセンサー(XIS2)に異常が発生した。その後の調査で、CCDの撮像領域の電極でショートが起き、多

量の電荷が溢れ出したために、撮像領域の過半で正常なデータが取得できなくなっているらしい事が明らかになった。予備機を用いた再現実験も含めて、原因調査を実施中である。背面照射型 CCD を含めた、残り3台の XIS は正常に動作を続けており、現在はこの3台で観測を継続している。

II-4-g-4

「すざく」搭載 X 線 CCD カメラ XIS の較正

教授	堂谷忠靖	京大・理	小山勝二	阪大・理	田和憲明
客員助教授	林田 清	京大・理	鶴 剛	阪大・理	蓮池和人
助手	尾崎正伸	京大・理	松本浩典	阪大・理	内野雅広
宇宙航空プロジェクト研究員	村上弘志	京大・理	森 英之	工学院大	幸村孝由
外国人特別研究員	Sachindra Naik	阪大・理	長井雅章	理 研	馬場 彩
大学院学生	市川喜徳	京大・理	中嶋 大	理 研	平賀純子
大学院学生	村澤 哲	京大・理	山口弘悦	宮崎大・工	森 浩二
大学院学生	穴田貴康	京大・理	兵藤義明	マサチューセッツ工科大学	
大学院学生	加藤菜々子	京大・理	内山秀樹	他「すざく」XIS チーム	
京大・理	小澤 碧	宮崎大・工	前野将太		
立教大・理	北本俊二	阪大・理	常深 博		
立教大・理	辻本匡弘	阪大・理	鳥居研一		
立教大・理	武井 大	阪大・理	勝田 哲		

XIS は、CCD を用いた撮像型の検出器で、X 線反射鏡の焦点面検出器として合計4台が搭載されている。4台のうち1台は、背面照射型の CCD を搭載しており、低エネルギー側で高い検出感度を誇っている。残り3台は、表面照射型の CCD である。2006 年度は、放射線損傷による特性変化の較正、可視光遮断膜へのコンタミ量の較正、バックグラウンドの再現を中心に較正解析を行った。X 線 CCD は、宇宙空間では放射線損傷により、徐々に特性が劣化して行く事が知られている。2006 年度には、この劣化に対応するため、新たに電荷注入機能を用いた観測を9月から実施した。これに伴い、XIS の較正情報も電荷注入に対応したものに更新する必要がでてきた。一方、電荷注入を行わない観測も、断続的に2006年度末まで行われたため、電荷注入がない場合のエネルギー分解能の較正も並行して行った。これらの較正にあたっては、内蔵の較正線源の他に、銀河中心領域やペルセウス座銀河団など、輝線が強く広がった放射がある天体の観測データを使用した。この結果、電荷注入により、エネルギー分解能はほぼ打ち上げ当時の値にまで回復する事、一方、ゲインは縦転送方向に対してノコギリ波状の複雑な振る舞いを示す事が判明した。そこで、ノコギリ波状のゲインの変化を補正する手法を開発し、解析ソフトに組み込む作業を開始した。XIS には、CCD に可視光が入射するのを防ぐため、可視光遮断膜が備え付けられている。XIS による観測開始直後から、衛星内部のコンタミガスが可視光遮断膜に蓄積し、低エネルギー側の感度が徐々に劣化している事がわかっている。そこで、較正天体である 1E0102-72 を定期的に観測し、コンタミ量の変化をモニターしている。2006 年度後半には、コンタミの蓄積がほぼ収まり、一定値に近づきつつある事が判明した。なお、コンタミ物質の組成については、炭素と酸素の原子数比 6 : 1 で近似できるものの、時間変化している可能性もあり、詳細解析を進めている。また、視野以上に広がった超新星残骸や、昼地球の観測から、コンタミが視野中心で厚く、視野の外側では少ない事が明らかになった。この厚さの非一様性とその時間発展をモデル化し、解析ソフトに組み込んだ。XIS のバックグラウンドについては、夜地球のデータから、その再現性を調べた。その結果、バックグラウンド強度は衛星位置の地球磁場強度（正確には、遮断硬度）に依存して変わることがわかった。そこで、遮断硬度によって分類したバックグラウンドデータベースを作成し、観測時の遮断硬度に対応してバックグラウンドを再合成する方法を開発した。この方法を簡単に利用するためのツールを製作し、公開した。

II -4-g-5

「すざく」搭載硬X線検出器HXDの運用

教授	高橋忠幸	大学院学生	牛尾雅佳	広大・理	高橋弘充
助教授	国分紀秀	大学院学生	勝田隼一郎	埼玉大・理	田代 信
助手	中澤知洋	大学院学生	小高裕和	理 研	寺田幸功
助手	渡辺 伸	大学院学生	石川真之介	理 研	玉川 徹
大学院学生	田中孝明	東大・理	牧島一夫	金沢大・理	村上敏夫
大学院学生	田村健一	東大・理	川原田円	金沢大・理	米徳大輔
大学院学生	岸下徹一	広大・理	深沢泰司	青山大・理工	山岡和貴
大学院学生	武田伸一郎	広大・理	水野恒史	他「すざく」HXD チーム	

硬X線検出器 (Hard X-ray Detector, HXD) は、「すざく」のミッション機器のひとつで、10-600 キロ電子ボルトの宇宙硬X線の観測を目的とした装置である。HXDは「井戸型フォスウィッチカウンタ」と呼ばれ、バックグラウンドを非常に低くおさえる工夫をした日本独自の検出器である。井戸型フォスウィッチカウンタではシールド部を井戸型に加工し、その中に検出部を埋め込む構造になっており、小さな検出部が、そのほとんどの立体角をアクティブなシールドによって囲まれるために、従来のものに比べてバックグラウンドを除去する性能が圧倒的にすぐれている。この検出装置の井戸型のコリメータの底には、信号検出用GSOシンチレータがおかれ、30キロ電子ボルトから600キロ電子ボルトを担当する。その前には、厚さ2ミリのシリコン半導体検出器がおかれ、10キロ電子ボルトから60キロ電子ボルトまでのエネルギー範囲をカバーする。

HXDは、2005年8月により科学観測を開始した。64個のシリコン検出器、36本のシンチレーション検出器は観測期間中、ほぼ全て正常に動作を続けているが、PINシリコン検出器のうちの2個のイベントレートが急増する現象が発生したため、印加電圧を500Vから400Vに下げることに対応した。これによる性能の変化はほとんど見られていない。軌道上での衛星温度変化に対応して、半導体検出器のノイズが多少変動するが、適切なレベルに閾値を設定することで熱ノイズの影響を受けないようにすることが出来ており、この状態でも10キロ電子ボルトまでの観測帯域が確保出来ている。これまでの初期観測の結果、特に10-50キロ電子ボルトと100キロ電子ボルト前後のエネルギー帯域において、これまでになく世界で最も低い検出器バックグラウンドを達成している事を確認した。HXD開発チームが中心となって、現在でも軌道上での健全動作の確認を毎日継続するとともに、検出器特性の変化に応じたパラメータ調整などを進めている。

II -4-g-6

「すざく」搭載硬X線検出器HXDの較正

教授	高橋忠幸	大学院学生	牛尾雅佳	広大・理	高橋弘充
助教授	国分紀秀	大学院学生	勝田隼一郎	埼玉大・理	田代 信
助手	中澤知洋	大学院学生	小高裕和	理 研	寺田幸功
助手	渡辺 伸	大学院学生	石川真之介	理 研	玉川 徹
大学院学生	田中孝明	東大・理	牧島一夫	金沢大・理	村上敏夫
大学院学生	田村健一	東大・理	川原田円	金沢大・理	米徳大輔
大学院学生	岸下徹一	広大・理	深沢泰司	青山大・理工	山岡和貴
大学院学生	武田伸一郎	広大・理	水野恒史	阪大・理	能町正治

他「すざく」HXD チーム

2005年度に打ち上げられた「すざく」に搭載されている硬X線検出器 (Hard X-ray Detector, HXD) は、10-600 キロ電子ボルトの宇宙硬X線を観測する日本で最初の本格的な衛星搭載機器である。2005年8月より、定期的に「かに星雲」などの標準天体の観測を実施し、検出器のエネルギー応答を較正してきた。これらのデータや検出器バックグラウンドに含まれる特徴的な硬X線の構造を元に、電子回路系のゲインの確認をし、数度の温度変化に伴う検出器の特性変化を補正した。並行してデータ処理方法の最適化を進め、検出器バックグラウンドを最小にす

る方法を開発した。これらの較正結果から、HXDの検出原理を再現するモンテカルロシミュレータを構築し、これを用いて、検出器の応答関数を構築し、世界のユーザに公開した。これまでに、HXDで得られる「かに星雲」のスペクトルパラメータが、ベキ関数モデルでよく再現でき、そのパラメータは、これまでの観測装置で得られている値と大きく矛盾しない事も確認された。同時にこれらのデータ処理でも残る微弱なバックグラウンド信号の性質を調べ、軌道上環境などでパラメータ化することでこれをモデル化し、実際の観測時に差し引けるようにした。このモデルは世界に公開されている。バックグラウンドの成因についても、モンテカルロ技術を用いたフルシミュレータを構築し、軌道上の陽子、中性子、ガンマ線などによる影響の定量化を始めた。

HXDの側面のシールド検出器は、100キロ電子ボルトから数メガ電子ボルトという高エネルギーのガンマ線帯域で、全天を監視することが出来る。この特徴を活かし、ガンマ線バーストや太陽フレアなどに対するガンマ線モニターとしての動作も行っている。これまでに地上試験におけるデータを元にしつつ、ガンマ線バーストなどの突発天体の他の衛星との同時観測を活かして検出器応答の較正を行い、入射方向にもよるが、数メガ電子ボルトまでのガンマ線のスペクトルを評価できるようになった。また、HXDは軌道上でこのような突発天体を自動的に検出し、より詳細なデータを短時間記録するための回路を動作させており、これまでに100以上のガンマ線バーストの検出に成功した。これらの観測結果はインターネットを通じて世界に公開され、他衛星との同時解析も行われている。

II-4-g-7

「すざく」運用計画の作成

助教授 山崎典子 NASA/GSFC Chris Baluta

NASAゴダード宇宙飛行センター

2006年度は公募による観測提案に主に基づいて「すざく」の運用を行った。提案の受付は、NASAゴダード宇宙飛行センターで開発されたRemote Proposal Submission (RPS) システムを移植し、「すざく」の検出器に応じたモード選択を可能にするなどの設定を行った。RPSにより、観測情報の入力にはweb interfaceを介して電子的に行なわれ、その情報は、XML baseのデータベースであるObservation Data Base (ODB)に移行される。観測提案中にある、天体の座標、観測時間、観測条件などを考慮して、スケジュールソフトTimeline Assembler, Keyword-Oriented (TAKO)を用いて観測計画の立案を行う。運用計画は、天体と太陽の位置関係による観測可能時期、他波長・他衛星との同時観測、その他科学目的に応じた観測条件に対応する必要がある。また、衛星の軌道上の位置による観測効率を計算し、実効的な観測時間が要求時間を満たしつつ、衛星運用に無駄がでないような立案が必要である。スケジュールソフトTAKOを用いて、「すざく」の運用計画の作成を行ない、提案された天体について観測計画を立案し、ほぼ予定通りの観測効率を達成することができた。また突発現象である、 γ 線バースト、ブラックホール候補天体やX線パルサーからのX線増光について5件の即時観測提案をうけ、急遽運用計画の変更を行い観測を行った。

II-4-g-8

「すざく」パイプライン処理システムの開発

教授	海老澤研	都立大・理	石崎欣尚
助教授	山崎典子	理 研	寺田幸功
助手	尾崎正伸	京大・理	上田佳宏
助手	田村隆幸	京大・理	松本浩典

NASAゴダード宇宙飛行センター

「すざく」で得られたデータは、SIRIUSに蓄えられる時系列順の生パケットから観測天体単位毎に切り出され、搭載装置毎に分類・再構成されたのち天文学の標準的なデータ形式であるFITS形式に変換され配布される。観測装置データの解析は、検出器チームによる較正や維持管理作業も含め例外無くこの配布FITSファイル(FFF: First Fits File)が出発点となる。配布の際には更に天文学的な解析に必要な基本的な較正まで施された上で、権利

を持つ研究者だけが解読できるよう個別に暗号化されて公開される。日米共同ミッションである「すざく」のデータは日米同時に公開されるので、一連の処理プロセスは較正段階以降は両国で並列に行なわれるが、その結果が一致している事が保証されなければならない。

これを実現する為、SIRIUSからのデータ切り出しと FITS 形式への変換、必要な較正を行なうソフトウェア群を開発した。較正ソフトウェアは NASA ゴダード宇宙飛行センターの協力を得て「あすか」解析ツールでも採用された FTOOLS 形式に準拠しており、研究者が独自に再較正作業をできる事が保証されている。また、これら一連の作業をある部分は米国側ソフトウェアを利用しながら逐次行なうソフトウェアのアーキテクチャを設計し、構築している。このシステムはソースコードが公開されているか互換系が複数存在するライブラリと OS のみを利用しており、パイプライン処理マシンの将来の更新にも容易に対応できる。逐次処理は ODB を核として進行管理される。これにより、観測立案からデータ配布までの観測ライフサイクルを通して一箇所ですべて状況把握ができるシステムになっている。公募観測のデータは、1年の占有期間が過ぎると公開されるため、今年度はアーカイブデータの公開に向けても準備を進めた。

h. SOLAR-B プロジェクトチーム

II-4-h-1

「ひので」の開発および初期運用

教授	小杉健郎	助教授	曾根理嗣	助教授	坂尾太郎
助教授	清水敏文	助教授	松崎恵一	主任開発員	太刀川純孝
		客員教授	渡邊鉄哉	宇宙航空プロジェクト研究員	久保雅仁
		宇宙航空プロジェクト研究員	成影典之	宇宙航空プロジェクト研究員	宮腰剛広
国立天文台	常田佐久	国立天文台	末松芳法	国立天文台	一本 潔
国立天文台	中桐正夫	国立天文台	原 弘久	国立天文台	鹿野良平
国立天文台	勝川行雄	国立天文台	坂東貴政	教授	山田隆弘
教授	山本善一	教授	田島道夫	教授	橋本樹明
教授	石井信明	助教授	峯杉賢治	助教授	廣瀬和之
助教授	坂井真一郎	助教授	澤井秀次郎	助教授	戸田知朗
助教授	加藤隆二	助手	大西 晃	助手	豊田裕之
助手	坂東信尚	助手	竹内 央	システム開発部	中部博雄
主幹開発員	廣川英治	主任開発員	志田真樹	開発員	中塚潤一
主任開発員	斎藤 宏	開発員	長江朋子	開発員	餅原義孝
主任開発員	周東晃四郎	派遣職員	井上浩三郎		他「ひので」チーム

「SOLAR-B」は、可視光を用いた太陽表面磁場の精密測定と X 線及び極紫外線によるコロナの撮像および分光プラズマ診断観測を通じて、太陽の表面からコロナにわたる磁氣的活動や加熱の全貌をとらえ、宇宙プラズマの素過程や太陽地球間宇宙環境に影響を与える磁氣的活動の源を調べることを目的として開発された。可視光望遠鏡は日米共同開発の口径 50cm のグレゴリアン望遠鏡とその焦点面観測装置であり、回折限界分解能 0.2 秒角で太陽表面の磁場ベクトルを精密測定する性能を誇る。X 線望遠鏡、極紫外線撮像分光装置もそれぞれ日米、日英米の国際共同開発で、「ようこう」や SOHO 衛星に搭載された同種観測装置を大幅に上回る性能を誇る。

2006 年 7 月までに衛星システムの最終試験を相模原キャンパスで行い、7 月末に内之浦宇宙空間観測所に衛星を搬入した。輸送後の動作機能試験および衛星推進系の最終処置を行った後、9 月から衛星のロケットへの組み込み作業・フライトオペレーションに臨んだ。「SOLAR-B」は、2006 年 9 月 23 日 6 時 36 分（日本標準時）に M-V ロケット 7 号機により打上げられ、初期投入軌道に予定どおり投入され、「ひので」と命名された。衛星はロケットから分離後、打上げからおよそ 17 分後に太陽捕捉を完了、その後太陽電池パドル展開・太陽再補足完了した。その

後計4回の軌道マヌーバを実施し、最終的に、高度約680km、傾斜角98.1°の太陽同期極軌道に投入された。姿勢制御系の機能・性能確認の後、3つの望遠鏡の電源投入およびドア開けを行い、10月下旬より試験観測を開始した。試験観測からすべての望遠鏡が非常に高い解像度など所定の性能を有していることが確認され、また試験観測の段階から、様々な新しい科学研究を発展できる優れた太陽画像データが得られている。

II-4-h-2

「ひので」搭載可視光望遠鏡 (SOT) の開発と初期運用

助教授	清水敏文	国立天文台	常田佐久	国立天文台	一本 潔
国立天文台	末松芳法	国立天文台	勝川行雄	教授	小杉健郎
他「ひので」SOT チーム					

日米国際協力で「ひので」搭載可視光望遠鏡の開発を進めた。国立天文台のSOLAR-Bプロジェクト室メンバーを主力部隊とする日本側が望遠鏡の光学系部の開発を担当し、米国 (NASA, Lockheed Martin Advanced Technology Center, High Altitude Observatory) 側が焦点面検出器部の開発を担当した。有効口径50cmのグレゴリアン焦点望遠鏡にチップチルト鏡によるコリレーショントラッカ機能を備え、回折限界分解能0.2秒角を達成する。焦点面検出器はベクトル磁場及び速度場の精密測定を実現すべく、2系統のフィルタグラフ系と1系統のスペクトロポラリメータ系を並列し、光球面で太陽磁場の基本エレメントのひとつひとつを分解して追跡することができる。

打ち上げ後2006年10月27日に汚染防止用のドアの展開運用を行い、試験観測を開始した。日本側が担当した望遠鏡部は回折限界分解能0.2秒角の優れた性能を軌道上で有していることが確認され、またチップチルト鏡も予定どおりに動作し、0.01秒角 (1 σ) よりも優れた像安定度を実現させていることを確認した。これらの優れた性能で、今までにない良質の太陽観測データを取得している。

II-4-h-3

「ひので」搭載X線望遠鏡 CCD カメラの開発

教授	小杉健郎	助教授	坂尾太郎	助教授	松崎恵一
国立天文台	常田佐久	国立天文台	鹿野良平	国立天文台	原 弘久
国立天文台	熊谷收可	国立天文台	田村友範	国立天文台	中桐正夫
他「ひので」チーム					

「ひので」X線望遠鏡の焦点面CCDカメラは、(1)長波長の軟X線 (XUV光) にまで感度を持たせるために裏面照射型CCDを採用、(2)放射冷却により軌道上でCCDを \sim -80 $^{\circ}$ Cまで冷却可能、かつCCDのベーク機能を持つ、(3)斜入射X線光学系の結像特性を活かす焦点調節機構 (CCD可動機構)、などの特長を持つ。このCCDカメラは国立天文台との密接な協力のもとに開発を進めてきた。本CCDカメラは、昨年度、米国にて望遠鏡鏡筒部 (米・スミソニアン天文台担当) と結合された。その後、米国内での光学性能試験を経て国内に輸入され、宇宙科学研究本部にて衛星総合試験に供されている。本年度は、昨年度から引き続き総合試験を継続し、予想される打上げ環境・軌道上環境での健全性・正常性を確認した。衛星打上げ後もCCDカメラは、設計値を上回る良好なCCD冷却性能・温度安定性能をはじめ、所期の性能を示している。

II-4-h-4

「ひので」搭載X線望遠鏡の開発

教授	小杉健郎	助教授	坂尾太郎	助教授	松崎恵一
国立天文台	常田佐久	国立天文台	鹿野良平	国立天文台	原 弘久
他「SOLAR-B」チーム					

国立天文台および米国スミソニアン天文台 (SAO) と協力して、「ひので」に搭載するX線望遠鏡 (XRT) の開発を進めてきた。この望遠鏡は、「ようこう」に搭載された軟X線望遠鏡と比べて、太陽コロナ中の100万度程度の低温プラズマにも感度を持つこと、2倍以上の高空間分解能化 (1秒角) を図っていること、などの特徴を持って

おり、日本側は焦点面 CCD カメラの開発を担当している。

「ひので」は、宇宙科学研究本部での衛星総合試験を経て、9月23日（日本時間）に打ち上げられた。XRTは10月下旬より観測を開始し、空間分解能をはじめ、所期の性能を発揮して観測運用を継続している。

II-4-h-5

「ひので」搭載極紫外線撮像分光装置（EIS）の開発及び製作

客員教授 渡邊鉄哉 教授 小杉健郎 国立天文台 原 弘久
他「ひので」チーム

「ひので」搭載の極紫外線撮像分光装置（EIS）は、特定の極紫外域における高感度を利して、彩層／コロナ／同遷移層の分光診断を、高い時間分解能で行うことのできる観測機器である。この機器の開発・製作は、基本となる日英協力に基づいて進められているが、米国が日米協力を通じて、分光素子及びその駆動機構等の開発・製作を担当し、更にノルウェイが地上支援系、データ解析ソフトの開発等を通じて参加する多国間国際協力により成り立っている。2006年9月23日に衛星は打上げられ、10月28日のファーストライト後、所期の性能を達成していることが確認されている。現在、初期90日観測を実施しつつあり、太陽コロナ・遷移層の分光診断につき、その性能をアセスしているところであるが、プロミッシングであることが判明している。

II-4-h-6

「ひので」ミッションデータプロセッサ（MDP）の開発と初期運用

助教授 松崎恵一 教授 小杉健郎 助教授 坂尾太郎
助教授 清水敏文 他「ひので」チーム

3つの搭載望遠鏡の観測を制御し、観測データを収集・圧縮・編集する機能を有する。衛星総合試験にて良好な動作が保障されていることを確認し、フライトオペに臨んだ。打ち上げ後の軌道制御が完了した後に、一部観測機器のヒータ運用を行うために、電源投入し、正常な動作を確認した。10月に観測望遠鏡が立ち上がった後、望遠鏡の観測の制御および取得データの収集・圧縮・編集機能が予定どおりに動作していることを確認した。

II-4-h-7

「ひので」運用体系の構築および運用支援ソフトの開発

教授 小杉健郎 助教授 清水敏文 助教授 松崎恵一
助教授 坂尾太郎 客員教授 渡邊鉄哉 宇宙航空プロジェクト研究員 久保雅仁
宇宙航空プロジェクト研究員 成影典之 宇宙航空プロジェクト研究員 宮腰剛広
国立天文台 坂東貴政 国立天文台 下条圭美 他「ひので」チーム

「ひので」の観測計画は、月例運用会議、週間運用会議、および毎日開催されるデイリー運用会議を通して、観測ターゲットの決定および観測目的の計画立案を実施している。「ひので」が指向する観測ターゲットおよび観測目的を考慮し、各観測望遠鏡の観測当番「チーフオブザーバ」が撮像シーケンスの立案を行う。望遠鏡からの運用要求は、ORL（Operation Request Language）言語でコマンド実行計画を表現した運用要求ファイル、および観測シーケンスを制御する搭載装置にメモリマップとしてロードする観測テーブルを表現したメモリマップファイルである。すべての望遠鏡からの運用要求、観測ターゲットの変更のための姿勢変更コマンドの計画ファイル、および衛星共通機器に対する計画（アンテナ制御、搭載データレコーダ制御）のための各種「イベント」ファイルは、専用ツール ISACS-PLN でコンパイルすることで、最終的に統合されたコマンド計画の作成を行う。取りまとめは「チーフプランナー」が行う。これらの運用システムの構築、各種計画ファイルの作成のための運用支援ソフトの開発、「ひので」運用に最適化した ISACS の各種設定作業を行い、初期運用以降運用に使用している。運用システムの設計思想として、運用の軽負荷をさせつつ、かつ安全な運用を目指したチェック機能を取り入れたソフトの開発を行い、可能な限り自動化を施したシステム構築を行った。

II-4-h-8

「ひので」運用のための海外局運用システムの構築

教授	山田隆弘	教授	小杉健郎	助教授	清水敏文
開発員	長江朋子	主任開発員	周東晃四郎	他「ひので」チーム	

「ひので」の打ち上げにおいて、打ち上げ直後の初期周回における運用（太陽指向、太陽電池パドル展開）がミッション成立上重要である。この運用はすべて衛星にあらかじめセットしたコマンド計画によって時間で自動実行されるが、想定外の場合を考慮して、複数の地上局にて、衛星と内之浦宇宙空間観測所管制室を結び、衛星の状態監視およびオフノミナル時にはコマンドのリアルタイム実行を行えるシステムを構築する必要がある。地上局として、USC局アンテナ以外に、JAXA統合追跡ネットワークの新GN局（海外4局および国内局）、NASA/GSFC管轄のワロップス局とサンチャゴ局（チリ大学）、およびスバルバード局にて、「ひので」打ち上げおよび初期運用にて追跡支援を行う体制を構築した。新GNおよびスバルバード局についてはSLE（Space Link Extension）によるリアルタイムのテレコマ運用が可能となり、またワロップス及びサンチャゴ局（チリ大）の受信データはほぼリアルタイムで伝送するシステムをNASAと共同で準備し、管制室で状態監視を可能とした。また、定常運用においてスバルバード局で受信したX帯テレメトリ（データレコーダ再生データ）の伝送のために、インターネットで自動的に相模原に伝送するシステムを準備した。

II-4-h-9

「ひので」科学データの処理フローの構築

助教授	松崎恵一	助教授	清水敏文	国立天文台	下条圭美
主幹開発員	加藤輝雄	開発員	関 妙子	他「ひので」チーム	

「ひので」の打ち上げに備え、科学データの処理フローの構築を行った。「ひので」搭載望遠鏡が取得した科学データは、USCおよびスバルバード局（ESA支援）1日計約14-19パスでダウンリンクされ伝送される。すべてのデータはいったん相模原のデータ分配・蓄積に蓄積される。科学運用の目的のために、データ蓄積経由でテレメを取得し、科学解析用データ形式（FITS）のリフォーマット化されたデータを作成する。また、マージ処理などを行い時系列にデータを並び替え、SIRIUSシステムにテレメデータが登録される。最終的に科学解析に供せられるリフォーマット化データはSIRIUS経由でのテレメを使用する。リフォーマット化データは、ISASおよび国立天文台でアクセスできる他、DARTSシステムでデータ検索やデータ取得をすることができる。

i. INDEXプロジェクトチーム

II-4-i-1

「れいめい」衛星の定常運用

助手	浅村和史	助手	山崎 敦	開発員	永松弘行
AES	小川啓太	東北大・理	小淵保幸	東北大・理	坂野井健
東北大・理	井野友裕	立教大・理	平原聖文	開発員	坂井智彦
助手	福田盛介	助手	福島洋介	助教授	坂井真一郎
助教授	水野貴秀	教授	齋藤宏文	INDEXプロジェクトチーム	

「れいめい」はXMLをベースとした統一的な運用手順書/コマンド作成ソフトウェアに加え、搭載計算機のプロトタイプモデルや各種ダイナミクスシミュレータを用いるコマンドの事前検証システムを整備し、少人数でも柔軟かつ安全な運用を実現している。また、極軌道衛星に有利な北欧の民間地上局（SvalSat局、Tromso局）を利用し、効率的な観測データ、衛星監視データのダウンリンクを行っている。

II-4-i-2

「れいめい」衛星によるオーロラ発光・粒子の同時観測

立教大・理	平原聖文	東北大・理	坂野井健	助手	山崎 敦
東北大・理	小淵保幸	東北大・理	井野友裕	助手	浅村和史

「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620 km, 00:50-12:50 LT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（20～40 ms）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に対象を絞り、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。

II-4-i-3

「れいめい」衛星によるパルセーティングオーロラとブラックオーロラの画像-粒子同時観測

東北大・理	坂野井健	助手	浅村和史	立教大・理	平原聖文
東北大・理	小淵保幸	東北大・理	井野友裕	東北大・理	岡野章一
極地研	江尻全機	助教授	笠羽康正	助手	山崎 敦
教授	齋藤宏文				

小型科学衛星「れいめい」搭載多波長オーロラカメラ（MAC）により、N2+1NG（428 nm）、OI（558 nm）、N2 1PG（670 nm）のオーロラ発光分布が空間分解2 km/pixel、時間分解120 ms（典型値）で取得されており、これと同時のオーロラ粒子計測との比較により、かつてない詳細なオーロラ微細構造が明らかにされている。本研究では、パルセーティングオーロラならびにブラックオーロラ現象に着目し、30例以上について解析を実施した。この結果、パルセーティングオーロラ、ブラックオーロラいずれも内部プラズマシート領域で発生しており、間欠的な電子降下と対応することがわかった。また、これによく対応して、100 eV以下の低エネルギー電子の間欠的な振り込みも見られた。この低エネルギー電子の候補は、間欠的に磁気圏に侵入したマグネトシート電子の可能性はある。したがって、パルセーティングオーロラやブラックオーロラ現象は、内部磁気圏ダイナミクスのモニターになりうる。また、N₂⁺の上昇流に伴う共鳴散乱を捉えた。さらに、EISCAT / ESR、北米THEMIS地上ネットワーク等との共同観測が実施された。

II-4-i-4

「れいめい」衛星プラズマ電流モニターによる飛翔体近傍プラズマパラメータの観測

極地研	岡田雅樹	立教大・理	平原聖文	東北大・理	坂野井健
助手	浅村和史				

2005年8月に打ち上げられた小型科学衛星「れいめい」（INDEX）は、オーロラ帯の背景プラズマパラメータ

(密度, 温度) を高い空間解像度で観測を行う測器として, インピーダンスプローブによる簡易型のプラズマ電流モニター (以下 CRM) を搭載している. CRM は, 衛星構体の電位による測定への影響を最小限にする為, 2つの電極センサーを1対として差動型とする方式も採用し, 衛星のラム側, 側面, ウェイク側にそれぞれ1対配置する事によって, ウェイク, 光電子等の影響を取り除く事が出来る様に考慮した設計となっている. 打ち上げ後の観測開始から順調にデータの取得を続けており, 取得された観測データはすべて DARTS システムの登録を行い, オーロラ物理研究のための利用に供されている.

II-4-i-5

「れいめい」衛星による波動加速されたオーロラ電子の研究

助手	浅村和史	名大・高等研究院	海老原祐輔	名大・太陽地球環境研究所	関華奈子
東北大・理	坂野井健	東北大・理	小淵保幸	東北大・理	井野友裕
立教大・理	平原聖文	助教授	笠羽康正		

「れいめい」衛星はオーロラ加速域よりも下部を飛翔している. このため, オーロラ電子と対応するオーロラ発光層とを同時に, そして加速構造による磁場変動などの影響を受けずに観測することができる. オーロラ加速領域の高緯度側によく見られる, 低エネルギー電子のエネルギー方向の時間分散構造は慣性アルフベン波によるものと考えられる. そのほとんどは Inverted-V と呼ばれる大規模オーロラ加速構造に重なって現れるが, 単体で現れる場合もある. このような場合, オーロラ発光層との対応をとると, Inverted-V の影響を受けずに慣性アルフベン波による加速構造のみを取り出すことができると考えられる. これまでのところ数例しか見つけていないが, 独立したライン状の構造中の渦構造の伝播などが捉えられている.

II-4-i-6

「れいめい」公開データベースの構築

助教授	笠羽康正	愛媛大	村田健史	助教授	篠原 育
助手	浅村和史	東北大・理	坂野井健	極地研	岡田雅樹

「れいめい」のデータを, 愛媛大学, 衛星チーム, PLAIN センターの密接な協力のもとで, 地球磁気圏データの標準フォーマットとなっている「CDF化」して公開するシステムを構築した. これと結合する形で, 愛媛大学で開発されている地球磁気圏標準データ解析ツール「STARS」の標準 Viewer の開発をあわせて行った. 衛星テレメトリデータから標準 Viewer に至る本システムは, 衛星横断的なコンセプトに基づいたもので, 今後の関係フィールドのデータベース構築の基礎となるものである.

II-4-i-7

「れいめい」磁気姿勢制御則の軌道上評価

教授	齋藤宏文	助教授	坂井真一郎	助手	福島洋介
----	------	-----	-------	----	------

「れいめい」衛星において新たに提案・設計された, 磁気姿勢制御則の軌道上評価を継続して実施した. 観測期間中の制御性能について長期間のデータが得られており, その評価を行った結果, 要求性能は十分に達成されることが明らかとなった. これにより, 効率的な磁気トルク発生則, 調整されたフィードバック制御器, および軌道上での残留磁気モーメント推定則を要素技術とする制御則の有効性を確認することができた. これは今後の小型衛星向け姿勢制御に対し大きな貢献となるものと考えている.

II-4-i-8

超小型 GPS 受信器の軌道上性能

教授	齋藤宏文	助手	福島洋介	助手	津田雄一
COE 研究員	佐伯孝尚	大学院学生	勝本幸子	学部学生	梶川泰広

車載用 GPS 受信器を宇宙用に改修した超小型 GPS 受信器を, 「れいめい」衛星では搭載している. この受信器の

軌道上性能を詳細に測定した。コールドスタートによる測位開始時間を、多数回軌道上にて実施し、最長で30分以内でコールドスタート測位が行われた。GPS測位データを用いた軌道決定を実施した。1分間の軌道決定値とGPS測位値の差(残差)を測定し、約1m程度である。これよりGPS測位値のランダム誤差は約1mであるといえる。以上の結果は、事前に行っていたGPSシミュレーター試験の結果とよく一致している。なお、このGPS受信器は民間会社から市販開始した。

II-4-i-9

リフレクタ付太陽電池パドルの軌道上性能評価

助教授	田中孝治	助手	三田 信	助手	奥泉信克
助教授	曾根理嗣	開発員	鷯野将年	教授	齋藤宏文

「れいめい」衛星では発電部にリフレクタ付高効率太陽電池パドル(2翼)を搭載している。定期的に発生電力評価のための電源系試験運用を実施し、発生電力のトレンドのモニタを行っている。電源系試験運用では、衛星の姿勢を太陽に正対した条件及び太陽方向に対して $\pm 25^\circ$ 傾けた条件において高負荷運用を実施し、発生電力の計測を行っている。また、S/Hモード移行時においてもシャント電流から発生電力の評価を行っている。1年半以上の軌道上運用においてリフレクタ効果の劣化は特でない。

II-4-i-10

れいめい搭載リチウムイオンバッテリーの寿命予測

AES	小川啓太	AES	武田康男	KTH	Shelley Brown
開発員	鷯野将年	助教授	曾根理嗣	助教授	田中孝治
助教授	廣瀬和之	教授	田島道夫	教授	齋藤宏文

「れいめい」では、世界で初めてラミネート式マンガン系リチウムイオン二次電池を使用している。軌道上での運用可能性の予測のため、衛星運用から先行した地上試験を平行実施している。両者の放電パターンを詳細に比較することにより、寿命予測手法およびデータのキャリブレーション手法の習熟を図っている。この結果をうけ、キャリブレーションを用いた来年度夏に迎える南極上空での運用シミュレーションを行い、放電末期電圧の推移予測とバッテリー運用の対応策から、運用が可能である見込みを得ている。

II-4-i-11

「れいめい」衛星搭載統合化制御計算機の軌道上評価

助手	福田盛介	総研大	高原卓也	助教授	水野貴秀
教授	齋藤宏文				

「れいめい」(INDEX)衛星は、姿勢制御やデータ処理など衛星制御に関わるほぼ全てのタスクを単一の計算機で処理するシステム構成を採っている。すなわち、そこに搭載された統合化制御装置(ICU)は、従来の科学衛星のAOCU, DHU, 及びHCEを統合したものに当たる。ICUでは、民生品のRISCプロセッサを三重多数決化して使用しているが、軌道上における放射線に起因するエラーは、事前の見積もりと比較して非常に頻度が少なく、安定した衛星制御を実現している。

II-4-i-12

超小型GPS受信器の軌道上性能

教授	齋藤宏文	助手	福島洋介	助手	津田雄一
COE研究員	佐伯孝尚	大学院学生	勝本幸子	学部学生	梶川泰広

車載用GPS受信器を宇宙用に改修した超小型GPS受信器を、れいめい衛星では搭載している。この受信器の軌道上性能を詳細に測定した。コールドスタートによる測位開始時間を、多数回軌道上にて実施し、最長で30分以内でコールドスタート測位が行われた。GPS測位データを用いた軌道決定を実施した。1分間の軌道決定値とGPS

測位値の差（残差）を測定し、約1m程度である。これよりGPS測位値のランダム誤差は約1mであるといえる。以上の結果は、事前に行っていたGPSシミュレーター試験の結果とよく一致している。なお、このGPS受信器は民間会社から市販開始した。

II-4-i-13

「れいめい」磁気姿勢制御則の軌道上評価

教授 齋藤宏文 助教授 坂井真一郎 東海大 白澤秀剛
東海大 高橋秀行

「れいめい」衛星では、最終組み立て状態の衛星に対し相模原キャンパスで実施された残留磁気モーメントの計測結果と、軌道上で衛星の運動から推定された残留磁気モーメントの推定値とが、大きく（1-2桁）異なるという現象が見つかり、日本からバイコヌール宇宙基地への輸送途中や、あるいは打ち上げ環境により、衛星残留磁気モーメントが大きく変化した可能性が考えられている。同様の現象は、過去の小型衛星や海外衛星などでも生じたという報告もあり、この原因について、再度コンポーネントの残留磁気モーメント計測なども実施しながら検討を行っている。

J. PLANET-Cプロジェクトチーム

II-4-j-1

金星探査機「PLANET-C」のプロトモデル開発

教授	中村正人	教授	石井信明	教授	佐藤毅彦
助教授	阿部琢美	助教授	今村 剛	助手	山崎 敦
ファンクションマネージャ	鈴木 睦	東大・教養	上野宗孝	宇宙航空プロジェクト研究員	福原哲哉
研究員	上水和典	助手	川勝康弘	助手	森 治
助教授	樋口 健	助手	奥泉信克	助教授	曾根理嗣
助教授	廣瀬和之	助手	大西 晃	助手	豊田裕之
助教授	戸田知朗	助教授	吉川 真		

金星の雲の下に隠された気象現象を最新のリモートセンシング技術により金星周回軌道から観測する探査機のプロトモデル開発を行った。このミッションにより、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、惑星の大気大循環の一般的な理解に迫る。平成18年度には、多波長にわたる観測装置の開発と、通信系、推進系、熱制御系、構造系、姿勢制御系、データ処理系など各サブシステムの開発を行った。

II-4-j-2

金星探査機「PLANET-C」搭載用近赤外カメラ（IR1）のプロトモデル開発

東大・理	岩上直幹	東大・教養	上野宗孝	研究員	上水和典
東大・理	杉田精司	東北大・理	坂野井健	神大・理	はしもとじょーじ
教授	中村正人	ファンクションマネージャ	鈴木 睦		

前年度までに実施した光学設計、構造設計、熱設計、エレクトロニクス設計、検出器の開発の結果を受けて、平成18年度にはプロトモデル開発を実施した。検出器からのデータの読み出し試験、画像データ処理装置（DE）とのインターフェース確認試験、遮光用バッフルの性能確認などを行った。

II -4-j-3

金星探査機「PLANET-C」搭載用近赤外カメラ（IR2）のプロトモデル開発

熊本大・教	佐藤毅彦	東大・教養	上野宗孝	研究員	上水和典
教授	中村正人	助教授	笠羽康正	助教授	今村 剛
東大・理	岩上直幹	ファンクションマネージャ	鈴木 陸		

前年度までに実施した光学設計，構造設計，熱設計，エレクトロニクス設計，検出器の開発の結果を受けて，平成18年度にはプロトモデル開発を実施した。検出器からのデータの読み出し試験，画像データ処理装置（DE）とのインタフェース確認試験，遮光用バッフルの性能確認，冷却下でのアライメント調整試験などを行った。

II -4-j-4

金星探査機「PLANET-C」搭載用中間赤外カメラ（LIR）のプロトモデル開発

極地研	田口 真	助教授	今村 剛	宇宙航空プロジェクト研究員	福原哲哉
教授	中村正人	東大・理	岩上直幹	東大・教養	上野宗孝
ファンクションマネージャ	鈴木 陸				

前年度までに実施した光学設計，構造設計，熱設計，エレクトロニクス設計の結果を受けて，平成18年度にはプロトモデル開発を実施した。検出器からのデータの読み出し試験，画像較正方法の研究，画像データ処理装置（DE）とのインタフェース調整などを行った。

II -4-j-5

金星探査機「PLANET-C」搭載用紫外撮像カメラ（UVI）のプロトモデル開発

北大・理	渡部重十	東北大・理	山田 学	助手	山崎 敦
東大・教養	上野宗孝	東北大・理	岡野章一	助教授	今村 剛
教授	中村正人	ファンクションマネージャ	鈴木 陸	東大・理	岩上直幹
ドイツ・マックスプランク研究所	H.U. Keller	ドイツ・マックスプランク研究所	W. J. Markiewicz		
		ドイツ・マックスプランク研究所	D. Titov		

前年度までに実施した光学設計，構造設計，熱設計，エレクトロニクス設計の結果を受けて，平成18年度にはプロトモデル開発を実施した。検出器からのデータの読み出し試験，画像較正方法の研究，画像データ処理装置（DE）とのインタフェース調整などを行った。

II -4-j-6

金星探査機「PLANET-C」搭載用雷大気光カメラ（LAC）のプロトモデル開発

東北大・理	高橋幸弘	東北大・理	吉田 純	極地研	堤 雅基
大阪府立大	牛尾知雄	教授	中村正人		

前年度までに実施した光学設計，構造設計，熱設計，エレクトロニクス設計，検出器の開発の結果を受けて，平成18年度にはプロトモデル開発を実施した。検出器からのデータの読み出し試験，データ処理装置（DHU）とのインタフェース調整などを行った。

II -4-j-7

金星探査機「PLANET-C」搭載用画像処理装置（DE）のプロトモデル開発

ファンクションマネージャ	鈴木 陸	東大・理	岩上直幹	東大・教養	上野宗孝
極地研	田口 真	北大・理	渡部重十	熊本大・教	佐藤毅彦
助教授	今村 剛	教授	中村正人		

撮像装置の制御や得られた画像の較正・圧縮などを行う専用の演算装置のプロトモデル開発を行った。「はやぶさ」に搭載された画像処理装置をベースにしつつ，衛星の軽量化のためにデータレコーダを新たにDE内に実装す

る，フラッシュメモリを実装するなど，新規設計を施した．各撮像装置および衛星バスとのインタフェースの試験を開始した．撮像装置の制御と画像処理を同時並行で実施するシーケンスを記述するプログラミング体系を整備した．

II-4-j-8

金星探査機「PLANET-C」の電波科学観測の検討と超高安定発振器の開発

助教授	今村 剛	教授	中村正人	教授	石井信明
東大・教養	上野宗孝	助手	奥泉信克	助教授	戸田知朗

金星大気の鉛直構造をさぐる電波科学観測のシステム検討を行った．また，この観測のために探査機に搭載する超高安定発振器（USO）の試作機の開発をドイツのTimetech社とともに行い，超高安定発振器と「PLANET-C」のトランスポンダーとのインタフェースの調整を行った．観測のために超高安定発振器に要求される安定度は達成できる見込みとなった．打ち上げ環境として規定されている正弦波振動レベルへの耐性を超高安定発振器が達成するために必要となる搭載方法や衝撃吸収機構について検討した．

k. BepiColombo プロジェクトチーム

II -4-k-1

国際共同水星探査計画「BepiColombo (ベピ・コロombo)」の予備設計 (衛星試作) : 2年目

		JAXA/BepiColombo プロジェクトマネジャー	教授	早川 基
		MMO プロジェクトサイエンティスト	教授	藤本正樹
		MPO サイエンスコーディネーター	教授	加藤 學
	プロジェクトオフィス	助教授	小川博之	助教授 曾根理嗣
		助教授	笠羽康正	助教授 高島 健
		助教授	松岡彩子	技術参与 向井利典
京大・生存圏研	山川 宏		教授	小野田淳次郎
京大・副学長	松本 紘		教授	川口淳一郎
開発員	下瀬 滋		教授	森田泰弘
開発員	伊藤文成	基幹システム本部		小沢正幸
主任開発員	太刀川純孝	東京理科大・基礎工		向後保雄
主任開発員	鎌田幸男	法政大・工		中野久松
開発員	川原康介		教授	前澤 洸
主任開発員	志田真樹		助教授	斎藤義文
開発員	市川 勉		助手	浅村和史
教授	小松敬治		助手	横田勝一郎
助教授	横田力男		助手	長谷川洋
助教授	堀 恵一		助手	山崎 敦
助教授	峯杉賢治	宇宙航空プロジェクト研究員		宮下幸長
教授	佐藤英一	共同研究員		島田延枝
助教授	廣瀬和之		教授	中村正人
助教授	水野貴秀		助教授	北村良実
教授	橋本樹明		教授	藤村彰夫
助教授	澤井秀次郎		助教授	岡田達明
助教授	加藤隆二		助教授	田中 智
教授	山田隆弘		助手	安部正真
助教授	吉川 真		助手	早川雅彦
助教授	久保田孝		助手	飯島祐一
教授	石井信明		助手	矢野 創
助教授	樋口 健		助手	春山純一
教授	國中 均		助手	大竹真紀子
助教授	後藤 健	受託研究員		北澤幸人
助手	大西 晃	COE 研究員		阿部新助
助教授	戸田知朗	COE 研究員		石黒正晃
主幹開発員	廣川英治	COE 研究員		長谷川直
教授	八田博志	学振特別研究員		見崎一民
教授	斎藤宏文		助教授	篠原 育
教授	田島道夫		教授	高野 忠
教授	山本善一	名誉教授		鶴田浩一郎

首都大学東京	小山孝一郎	早大・理工学総合研究所	宮島光弘
総研本部・副主任研究員	岡田(上田)裕子	早大・理工学総合研究所	道家忠義
総研本部	松本晴久	立教大・理	平原聖文
北大・理	日置幸介	立教大・理	柳町朋樹
北大・理	山本哲生	東海大・工	桜井 亨
一関工業高専	白井仁人	東海大・工	遠山文雄
東北工大・工	中川朋子	東海大・工	利根川豊
東北大・惑星プラズマ大気研究センター	森岡 昭	東海大・工	高橋隆男
東北大・惑星プラズマ大気研究センター	岡野章一	東海大・工	田中 真
東北大・惑星プラズマ大気研究センター	三澤浩昭	富山大院・理工学	藤 浩明
東北大・惑星プラズマ大気研究センター	坂野井健	富山県立大・工	高野博史
東北大院・理	小野高幸	富山県立大・工	石坂圭吾
東北大院・理	大谷栄治	富山県立大・工	岡田敏美
東北大院・理	土屋史紀	富山県立大・工	三宅壮聡
東北大院・理	熊本 篤	金沢大	長野 勇
宮城教育大・教	高田(有馬)淑子	金沢大・総合メディア基盤センター	笠原禎也
会津大・コンピュータ理工	出村裕英	金沢大院・自然科学	八木谷聡
会津大・コンピュータ理工	平田 成	金沢大・総合メディア基盤センター	井町智彦
獨協医大・医	野上謙一	金沢大院・自然科学	後藤由貴
埼玉県立大・保健医療福祉	柴村英道	福井工業大・工	大家 寛
総研大	西田篤弘	名大・太陽地球環境研究所	関華奈子
東工大院・理工	寺澤敏夫	名大・太陽地球環境研究所	家田章正
東工大院・理工	綱川秀夫	名大・太陽地球環境研究所	三好由純
東工大院・理工	中澤 清	名大・太陽地球環境研究所	小島正宣
東工大院・理工	長井嗣信	名大・太陽地球環境研究所	藤井良一
東工大院・理工	本蔵義守	名大・太陽地球環境研究所	片岡龍峰
東工大院・理工	井田 茂	名大院・理	山下廣順
東工大院・理工	松島政貴	名大院・環境	渡辺誠一郎
東工大院・理工	高橋 太	京大・生存圏研究所	橋本弘藏
東京工芸大・工	渋谷真人	京大・生存圏研究所	大村善治
東京大院・理	杉浦直治	京大・生存圏研究所	白井英之
東京大院・理	星野真弘	京大・生存圏研究所	小嶋浩嗣
東京大院・理	阿部 豊	京大・生存圏研究所	上田義勝
東京大院・理	吉川一朗	京大院・理	町田 忍
東京大院・理	宮本英昭	京大院・理	山路 敦
東京大院・理	岩井岳夫	京大院・理	能勢正仁
東京大院・新領域創成科学	杉田精司	京大院・工	柴田裕実
東京大・地震研	三浦弥生	京都産業大・工	筒井 稔
東京海洋大・海洋科学	大橋英雄	大阪大院・理	佐伯和人
電通大・電気通信	柳澤正久	大阪市立大・工	南 繁行
東邦学園大・経営	高木靖彦	大阪市立大・工	武智誠次
早大・理工学総合研究所	菊池 順	神戸大院・自然科学	向井 正
早大・理工学総合研究所	長谷部信行	神戸大院・自然科学	中村昭子
早大・理工学総合研究所	宮地 学	愛媛大・総合情報メディアセンター	村田健史

高知大・理	本田理恵	国立天文台	河野宣之
九州大・宙空環境研究センター	湯元清文	国立天文台	佐々木晶
九州大・宙空環境研究センター	河野英昭	国立天文台	荒木博志
九州大院・理	吉川顕正	極地研	江尻全機
九州大院・理	篠原 学	極地研	田口 真
熊本大・理	渋谷秀敏	極地研	岡田雅樹
鹿児島工業高専	野澤宏大	極地研	海老原祐輔
NICT	小原隆博	新領域融合研究センター	田中良昌
NICT	佐川永一	環境研	松永恒雄
NICT	長妻 努	海洋研究開発機構	杉原孝充
NICT	三宅 互	産総研	中村良介
NICT	中村雅夫	理 研	滝沢慶之
NICT	寺田直樹	(財)人リモートセンシング技術センター	塩見 慶
NICT	品川裕之	スウェーデン宇宙物理研究所	諸岡倫子
NICT	坪内 健	オーストリア宇宙研究所	中村るみ

1. 概要

BepiColombo 計画は、JAXA が「水星磁気圏探査機・MMO」、ESA が「水星表面探査機・MPO」を分担する初の本格的な日欧共同計画で、JAXA と ESA の国際協力の中心を担う。本計画は、ESA ではコーナーストーンミッションとして、JAXA では太陽系科学探査の基幹として、いずれでも最重要ミッションの1つである。両探査機は、一体で「ソユーズ・フレガート 2B」ロケットで打ち上げられ、水星到達後に分離、協力して観測活動を行う。「ベピ・コロombo (BepiColombo)」計画は、ESA と JAXA の大型国際共同により、未知の惑星・水星の磁場・磁気圏・表層・内部を初めて多角的・総合的に観測しようとするプロジェクトである。本計画の科学的意義は、以下の二つである。

- (1) 固有磁場と磁気圏を持つ地球型惑星は地球と水星だけである。水星の詳細探査は、「初の惑星磁場・磁気圏の詳細比較」の機会となる。「惑星の磁場・磁気圏の普遍性と特異性」の知見に大きな飛躍をもたらすことが期待される。
- (2) 水星は、磁場の存在と関係すると見られる巨大な中心核など特異な構造と歴史を持つ。その内部・表層の全球観測は、太陽系形成、特に「地球型惑星の起源と進化」の解明に貢献することが期待される。

本計画は、上記に最適化された2つの周回探査機、すなわち表面・内部の観測に最適化された水星表面探査機 Mercury Planetary Orbiter [MPO: 3軸制御, 低高度極軌道] と、磁場・磁気圏の観測に最適化された水星磁気圏探査機 Mercury Magnetospheric Orbiter [MMO: スピン制御, 楕円極軌道] から構成される。JAXA は、日本の得意分野を主目標とする MMO 探査機を担当する。ESA は「打ち上げ・惑星間空間の巡航・水星周回軌道への投入」および MPO 探査機を担当する。両探査機の観測装置は、日欧合同科学チームが開発・運用する。

磁場や磁気圏の様子がよくわかっている惑星は地球だけである。唯一の「磁場を持つ地球以外の地球型惑星」である水星は、初めての地球との詳細比較機会を提供する。この両者の比較は、磁場/磁気圏を巡る惑星環境の更なる理解に貢献するとともに、広く宇宙に存在する様々な磁気圏の特殊性・普遍性を知る大きなステップとなる。JAXA の担当する水星磁気圏探査機 Mercury Magnetospheric Orbiter [MMO]はこの解明に最適化されたもので、以下の特徴を持つ。

- ・ 軌道： 磁気圏全域をカバーするため、「夜側を包含しうる長楕円極軌道」をとる。
- ・ 姿勢： ワイヤアンテナ展開、粒子全方位計測のため、「スピン制御」とする。
- ・ 電磁干渉対策： 精密な磁場・プラズマ計測のため、帯磁・帯電・電磁ノイズ低減を図る。

磁場の存在は、半径の3/4を占める巨大な中心核を持つ水星の特異な構造に関係する。水星の特異な姿の原因は、原始太陽系星雲の最も内側で最後に固まったとされるこの天体の「初期」に遡ると考えられる。ESA の担当する

水星表面探査機 Mercury Planetary Orbiter [MPO]は、この解明に最適化されたもので、以下の特徴を持つ。

- ・ 軌道： 表層・内部・磁場を全球計測するため、「低高度極軌道」をとる。
- ・ 姿勢： 表層を高空間分解で計測するため、「3軸制御」とし、常時水星表面を指向する。

2. BepiColombo 全体計画

重量・コストの制約に起因する ESA 側のスケジュール遅延（プライムメーカー選定が、2005年に行われる予定であったところ1年間遅延した）に伴い、MMO 探査機及び観測装置等の設計・試作を2005～2007年度に行い、製作を2008～2010年度に行なうこととする。2010～2011年度の国内での総合試験、2011～2012年度に欧州での総合試験を経て、2013年8月に打上げとなる。

MPO・MMO 両探査機は、惑星間軌道で使用される電気推進モジュール（SEPM = Solar Electric Propulsion Module）、および水星への周回軌道投入に用いる化学推進モジュール（CPM = Chemical Propulsion Module）と結合させた、単一の「統合モジュール」として打ち上げられる。打ち上げは、ソユーズ・フレガート2B（現「ソユーズ・フレガート」の増強型）により、南米 Kourou 基地（仏領ギアナ）で2013年夏に実施する。複数回の月・金星・水星フライバイを含めた惑星間空間巡航は電気推進モジュール（SEPM）にて行い、2019年に水星に到着する。大きな推力を要する水星周回軌道投入は、SEPMの分離後に、化学推進モジュール（CPM）によって行う。この間の「統合モジュール」の制御・運用はMPOが司り、ESAによって実施される。JAXAが担当するMMO探査機は電源OFFに近い状態で（温度維持機能を除く）、最低限のヘルスチェック運用のみ実施する。

最初に投入される軌道は、MMOの周回軌道（高度：400x12,000 km, 周期：9.2時間）である。ここでMMOは起動され、十分なヘルスチェックの後に複合モジュールからスピン分離し、臼田64mによる独自の運用・観測活動を開始する。MPOは、再度の化学推進モジュール（CPM）の噴射によって更に高度を下げ、ほぼ円軌道（高度：400 × 1,500 km, 周期：2.3時間）に至る。これにより、MPO/MMO探査機は、同一軌道面を4倍の軌道周期で周回し、磁場連携観測などに寄与する。

<開発全体スケジュールと主要マイルストーン>

- ・ 2003年度 基礎研究フェーズ
- ・ 2004年度 フェーズA（研究フェーズ）
国際観測機器公募、内惑星熱真空環境シミュレータ製作など
- ・ 2005年度 フェーズB（予備設計段階：従来の「衛星試作」）
衛星システム検討、サブシステム設計/重要部試作、観測装置の設計/重要部試作、材料・観測センサー等の環境試験 などを実施
- ・ 2006年度 同上続き
衛星システム検討、サブシステム設計/重要部試作、観測装置の設計/重要部試作、材料・観測センサー等の環境試験 などを引き続き実施
- ・ 2007年度 同上続き
衛星システムの検討およびMTM・TTMの一部製造、サブシステムの熱構造設計確定およびSTM・EMの一部製造、観測装置の熱構造設計確定およびSTM・EMの一部製造、材料・観測センサーなどの環境試験 などを実施予定
- ・ 2008年度 フェーズC（設計・製作段階）：従来の「衛星製作」
年度前半からMMO探査機の熱構造モデルの試験@JAXA
- ・ 2009年度 同上続き
5月にMMO探査機の熱構造モデルのESA/ESTECへの輸送（ESA要求）
- ・ 2010年度 同上続き およびフェーズD（MMO総合試験@JAXA）
年度前半から FM一次噛み合わせ@JAXA
年度後半から FM単体環境試験@JAXA

- 年度末から FM 総合試験@JAXA
- ・ 2011 年度 MMO / FM 総合試験@JAXA
9月にMMO探査機のフライトモデルのESA/ESTECへの輸送 (ESA 要求)
母船総合試験@ESTEC (欧州宇宙技術センター)
- ・ 2012 年度 母船総合試験@ESTEC (欧州宇宙技術センター)
- ・ 2013 年度 射場作業, 打上げ (2013年8月予定)

表1 水星探査プロジェクト: 2006年度主要会合

2006	5月	ESA-JAXA インターフェース会合 第15回 (ISAS)
2006	6月	設計会議 第4回 (ISAS)
2006	6月	MMOサイエンスワーキングサブWG会合 第4回 (ISAS)
2006	8月	MMOパイロードI/F会合 第2回 (ISAS)
2006	9月	BepiColomboサイエンスワーキングチーム会合 第3回 (Padova)
2006	10月	ESA-JAXA インターフェース会合 第16回 (ESA/ESOC)
2007	1月	設計会議 第5回 (ISAS)
2007	1月	MMOサイエンスワーキングサブWG会合 第5回 (ISAS)
2007	1月	ESA-JAXA インターフェース会合 第17回 (EADS/Astrium)

3. MMO・MPO搭載観測機器チームの活動

2004年11月に, MMO・MPOの搭載観測機器チームが決定した。2006年度は昨年度に引き続き, この中で, 日本側の参加がある機器の設計・試作・試験等を実施してきた。また, 「BepiColombo科学ワーキングチーム (Bepi-SWT)」の会合が定期的に関われ, 探査計画の立案・実施に関わる全ての事象についてこの会合において議論, 決定されている。

MMO探査機は, 表2に示す5の観測装置チームによって, MPOとの共同も踏まえ以下の科学目標の達成を目指す。

- 固有磁場の成因の解明: 水星周辺の磁場を高い精度で計測し, 水星本体が有する固有磁場の成因を探るとともに, 水星本体・水星磁気圏の電流構造, 時間変動を解明する。
- 地球と異なる特異な磁気圏の解明: 電離層の有無, スケールの相違, 大きな太陽距離変化などを踏まえて水星磁気圏の構造・運動・高エネルギー現象を観測し, 地球との比較によってその物理過程の普遍性と特異性を明らかにする。
- 激しく変動する希薄な大気: 希薄大気の大規模構造・時間変動を観測し, その生成・消滅の物理機構を調べるとともに, 磁気圏・表層との相互作用を解明する。
- 太陽近傍の惑星間空間の観測: 直接観測可能な中で最も高マッハ数の衝撃波を観測し, そのエネルギー過程の解明を目指す。太陽系内部領域の惑星間空間ダストについて, Helios以来の観測を行う。

またMPO探査機は, 表3に示す11の観測装置チームによって, MMOとの共同も踏まえて以下の科学目標の達成を目指す。

- 鉱物・元素組成の解明: 表面からの赤外-可視, X線・ γ 線・中性子観測, 表面や大気の紫外分光, 中性粒子・プラズマ直接計測によって水星全球を詳細観測し, 太陽系の最も内側で起きた惑星の形成・進化に迫る。
- 巨大な鉄の中心核 (全体の3/4) の解明: 重力場の全球詳細マッピングを行い, 水星の特異な内部構造を明らかにする。
- 極の氷の存在検証: γ 線・中性子観測によって, 非日照域に存在する可能性のある氷などを検証する。
- 形成初期の姿を残す表面地形の解明: 全表面, 特にMESSENGERができない南半球の詳細地形撮像を行い, 表面地形の成因解明を目指す。

また、両探査機の連携によって以下のより有意義な観測が可能となる。

- a) **水星磁場の精密観測：** MMOによる「本体近傍～磁気圏・太陽風の磁場観測」と、MPOによる「本体近傍の磁場観測」の結合により、水星固有磁場の「二点同時計測による高精度決定」、および水星磁気圏の「編隊飛行による時空間分解」が初めて可能となる。
- b) **磁気圏-水星表層の直接相互作用の検出：** MMOによる「磁場・高エネルギー粒子（原因）の観測」と、MPOによる「表面からの原子・X線放射（結果）の検出」の結合によって、希薄大気（Naが主）の生成過程や表層風化と磁気圏活動との関連が初めて可能となる。

4. MMO 探査機の検討・開発状況

定期的に設計会議を開催している。また、衛星システム（基本文書作成、品質保証計画、対ESAモジュールI/F、MMO探査機詳細仕様など）、機械（分離機構など）、熱（熱数学モデル作成・解析など）、電気（電源など）、通信機器（HGA・MGA・XPA・トランスポンダなど設計）、推進系（熱検討など）、DH系（DMCなど）の詳細検討、設計および一部の試作をおこなっている。

1) BepiColombo 計画全体：ESA-ISAS 協力・分担体制の確立

日欧共同ミッションに必要な各種枠組み・文書整備をESA-JAXA間で進めてきた。2004年10月に締結されたLOA（Letter of Agreement）の有効期限（2006年末）はさらに6ヶ月延長し、2007年4月にMoU締結に向けた作業を行った。ESA側とは、BepiColombo-MMO間のI/F文書の確立、品質保証の基準・方法、相互の開発スケジュール調整など、多岐にわたる事項の検討・決定を実施してきた。また、ESA側のプライムメーカが決定し、キックオフ会議が2007年1月に開催された。

2) MMO システム検討：開発計画の総括と Critical Point の洗い出し

「MMO探査機の基本仕様決定」、「対ESA I/F」、および全体設計、リソース、運用計画、等にインパクトを有する技術要素に重点を置き、以下の検討・試作・試験を進めた。

① 機械設計

構造数学モデルによる固有振動解析を行い、各部分の構造設計を進めた。またESA側でロケットおよびESA側モジュールを組み合わせた結合解析およびノッチング条件解析を実施するためのインターフェース構造数学モデルを作成し提供した。

搭載機器のレイアウトの検討を行い、レイアウトを概ね確定した。推進系機器・配管のレイアウトおよびタンクの支持方法について検討を行った。HGA ASSY（HGA, ADM, APM, 導波管）のレイアウト、APMサンシールドおよびHGAのローンチロックの検討を行った。

太陽電池部（太陽電池セルおよびサブストレート）の熱構造設計を進めた。太陽電池部のトレードオフスタディを行い、熱的機械的要求を満たす熱構造の開発方針を定めた。

Spin分離機構については、BBM（Bread Board Model）を製作し、ヘリカルスプリングの特性取得試験、分離試験、静荷重試験、クランプバンド分離試験を実施、数学モデルのコリレーション、STM設計のための評価を行った。また、実機の分離挙動解析を実施し、ESAとのインターフェース調整を行っている。重量軽減のための検討も行った。

② 熱設計

各サブシステムから熱数学モデルを提供を受け、MMO探査機全体のシステム熱解析を実施し、結果を各サブシステムに提示、各サブシステムとの調整を始めた。近水点で南から北へ進む軌道が熱的に好ましいことが判明したため、MMOがその方向の水星周回軌道に投入されるようESA側との調整を行った。またインターフェース熱数学モデルを作成し、巡航フェイズの熱解析およびESAとのインターフェース調整を行った。機械設計の項で既に述べたように太陽電池部の温度解析を実施し熱構造設計を進めた。耐熱導電表面素材（MLI、白色塗料）の確立が急務である。耐熱MLIの設計を行い試作を開始した。白色塗料については内惑星熱真空環境シミュレータを用いて簡易評価試験を開始した。

③ 試験および運用法式の検討

ISAS・ESTECにおける試験，およびESA側・ISAS側における運用を矛盾なくかつスムーズに行うことを目指し，試験内容，スケジュール，シーケンス，データ・コマンドフロー，試験系・地上系構築などについて構想をまとめるとともに詳細を詰め，ESA側と調整・議論を行っている。

④ システム基本文書の作成

ESA-JAXA間のインターフェース文書であるMMO-ICD (Interface Control Document)，ESAの要求文書であるMMO-IRD (Interface Requirements Document)等確立するとともに，MMO設計仕様書，各設計基準書などの必要な文書の作成および適宜改版を行っている。各サブシステムとのI/F文書については，先端ITセンターとの協力を踏まえた電子化検討も行っている。

⑤ 安全信頼性検討

MMO PA計画を作成した。

3. MMO・MPO観測チームの活動

(1) BepiColombo Science Working Team (Bepi-SWT)

MMOプロジェクトサイエンティスト 教授 藤本正樹

MPOサイエンスコーディネーター 教授 加藤 學

2006年度のBepi-SWTを，ESAの主催によりイタリア・パドヴァで2006年9月に開催した。会議では(1)プロジェクトの進行状況報告，(2)各搭載機器の開発状況報告，(3)水星サイエンスに関する基調講演が行われたのち，(4)MPO，MMOについてSOWGを設置することが決定された。SOWGとは，取得されるデータの活用によるサイエンス実施企画を行うものである。これにより，ミッションの本格化，観測機器担当者だけでなく科学者コミュニティ全体がミッションに関与を始めることとなった。今後，年3～4回の開催となる。

(2) MMO Science Working Sub-Group (MMO--SWG)

MMOプロジェクトサイエンティスト 教授 藤本正樹

2006年度のMMO-SWGを，2006年6月と2007年1月にJAXA宇宙科学研究本部で開催した。後者では，第一回SOWG会合が開催された。データプロセッサユニット担当から活用できるリソースに関する説明があったのち，それに基づく観測機器開発チームからの第0次案が示された。その後，WG全体を4つのチームに分けて，改善案の検討を行った。その中から，「未知の世界である水星磁気圏では，水星軌道投入後1水星年はサーベイ・モードを用意して偵察観測を行い，その後の，より戦略的な観測計画へとフィードバックすべき」といった建設的提言が生まれている。今後，年3～4回の開催となる。

4. MMO・MPO 搭載観測機器チームの活動

MMO 探査機は、表2に示す5の観測装置チーム、MPO 探査機には表3に示す11の観測装置チームがある。

表2 MMO 探査機：観測機器チーム

名称 (人数)	観測内容	代表者／副代表者および機関	他の参加機関（国内）・参加国
MGF (35)	水星内部・磁気圏・太陽風の 磁場観測	W. Baumjohann (IWF, オーストリア) 松岡彩子 (JAXA)	Japan：東海大, 九州大, 東北工大, 熊本大, 東京工大, 東京大, NiCT Europe 他：ドイツ, イギリス, アメリカ
MPPE (65)	電子・イオン・高速中性粒子 のエネルギー・質量分析による 磁気圏・大気・太陽風探査	斉藤義文 (JAXA) J.-A. Sauvaud (CESR-CNRS, フランス) 平原聖文 (立教大) S. Barabash (IRF, スウェーデン)	Japan：京都大, 名古屋大・太陽地球環境研, 東京工大, 東北大, 東京大, 極地研, NiCT Europe：フランス, イギリス, イタリア, チ ェコ, ベルギー, ドイツ, スイス Others：アメリカ, 台湾
PWI (45)	電場, プラズマ波動, 電波電 子密度・温度計測による磁気 圏・大気・太陽風探査	松本 紘 (京都大) J.-L. Bougeret (LESIA, フランス) L. Blomberg (KTH, スウェーデン) 小嶋浩嗣 (京都大・生存圏研) 八木谷聡 (金沢大)	Japan：富山県大, 愛媛大, 京都産業大, 東北 大, JAXA Europe：フランス, スウェーデン, ノルウェ ー, フィンランド, ハンガリー, ESA
MSASI (20)	ナトリウム大気の撮像による 大気生成・消滅の探査	吉川一朗 (東大) O. Korabiev (IKI, ロシア)	Japan：立教大, 東北大, 東京工芸大, 極地研, JAXA
MDM (12)	水星・惑星間・恒星間ダスト の観測	野上謙一 (獨協医大)	Japan：東京海洋大, 早稲田大, 京都大, 大阪 市大, 国立天文台, JAXA Europe：ドイツ

表3 MPO 探査機：観測機器チーム（ γ 線チームは構成変更された）

名称	観測内容	PI/Co-PI（一部略）	他の参加機関（国内）・参加国
BELA	レーザー高度計による重力 場・内部構造の探査	N. Thomas (Univ. Bern, スイス) T. Spohn (DLR, Germany)	国立天文台
ISA MORE	電波精密測距による重力場・ 内部構造の探査	V. Iafolla (CNR-IFSI, Italy) L. Iess (Univ. Rome, Italy)	---
MERMAG-P	水星内部・磁気圏・太陽風の 磁場観測	K.H. Glassmeier (TUB, Germany) C.M. Carr (ICL, UK)	JAXA 他
SIMBIO- SYS	撮像および光・近赤外分光に よる表層地形・組成 地形・組成観測	E. Flamini (ISA, Italy) F. Capaccioni (INAF-IASF, Italy) 他5	---
MERTIS- TIS	赤外熱撮像	E.K. Jessberger (Univ. Munster, Germany)	
MGNS	ガンマ線・中性子計測による 表面組成	I. Mitrofanov (IKI, Russia)	長谷部信行 (早大：Co-PI), JAXA, 他
MIXS SIXS	X線計測による表面組成	G. Fraser (Univ. Leicester, UK) J. Huovelin (Univ. Helsinki, Finland)	JAXA 他
PHEBUS	紫外線分光による大気組成	E. Chassefiere (SA/IPSL, France) 岡野章一 (東北大), O. Korabiev (ロシア)	JAXA, 東京大, 他
SERENA	中性粒子・イオン観測による 表面・大気組成	S. Orsini (CNR-IFSI, Italy) 他	JAXA 他

<共通機器>

(1) MDP (ミッションデータプロセッサ)

助教授 笠羽康正 助教授 高島 健 他

MDPは、DPU[データ処理部・メモリ部]及びPSU[電源ユニット]・IPD[分配器]からなり、各センサーがシリアルI/F (SpaceWire)を介して接続する形をとる。今年度は、主に以下の作業を実施した。①安全信頼性要求を勘案して、電源・機構構造を抜本的に設計改善および確定を行った。②DPUの基本データフローを確定するとともに、それを基に回路設計・FPGA設計を深化させた。③標準データI/Fとして採用する「Spacewire I/F」の基本開発を引き続き実施した。④標準デジタルGSEとして利用する「SpaceCube」の開発を引き続き実施した。⑤DPUに搭載する標準OSとなる「T-Engine」の設計調整を引き続き行った。⑥低EMC DC/DCコンバーターの開発を引き続き実施した。

(2) 伸展物

助教授 笠羽康正 助教授 松岡彩子 他

WPT (ワイヤアンテナ, 電場センサー) およびMAST (磁場センサー保持) について、軽量化・耐熱化を目指した部材選定, 機械・熱設計, 機構部の一部試作・強度試験を引き続き実施し, 設計の大枠を確定しつつある。また伸展制御エレキであるMAST/WPT-Eの基本設計を引き続き実施した。さらに, 進展物制御シーケンスおよび制御手順について基本案をまとめた。

<地上系・データ処理>

(1) MMO 地上系の開発

教授 山田隆弘 助教授 戸田知朗
教授 早川 基 助教授 笠羽康正

MMOは水星に到達するまではESA側の探査機であるMPOの搭載機器として運用される。しかし、水星に到達した後は、MPOより分離され、単独の探査機として運用される。このような運用形態はユニークであり、このような運用を効率よく行えるような地上系の検討を行っている。基本的には、「のぞみ」で開発した地上系を基礎としつつも、ESA側のシステムとも適合するようなシステムを開発する予定である。今年度は、基本的なシステム構成の検討を行い、ESA側のシステムとも適合することを確認した。

(2) MMO データ処理系の開発

教授 山田隆弘 教授 早川 基
助教授 笠羽康正 助教授 高島 健

MMOに搭載されるデータ処理系の機能に関する検討を行っている。データ処理系は、ハードウェアとしては姿勢系と同一のシステムとして開発されるが、データ処理の機能に関しては、「はやぶさ」で使用したものを基礎としながらも必要な改修を行い、将来の科学衛星でも使用できるような汎用なデータ処理系の開発を目指している。「はやぶさ」との大きな違いは、データベースとしてSpaceWireを採用したことであり、SpaceWireの特性を生かしたデータベース方式の検討を行っている。また、別途開発中のSIB2の特性を生かせるようなデータ処理方式の開発も行っている。

<各チーム>

① MMO/MPPE & MPO/SERENA (プラズマ/粒子観測装置)

共通要素であるさらに、熱数学モデル作成・熱解析、熱シールド部設計、高圧部開発を進めるとともに、個別センサーにおいて以下の検討・設計・試作・試験を実施した。

[MEA (低エネルギー電子エネルギー分析器)]

助教授	斎藤義文	立教大・理	平原聖文
助教授	高島 健	助手	浅村和史
助手	横田勝一郎	技術参与	向井利典

水星磁気圏を理解する為には磁気圏に存在するプラズマの直接測定を行う計測装置が必須である。「低エネルギー電子エネルギー分析器 MEA (Mercury Electron Analyzer)」は数 eV から 30 keV 程度の低エネルギー電子のエネルギースペクトルを計測する観測装置であり、特に水星磁気圏構造の解明、荷電粒子加速機構の解明において重要となる観測装置である。MEA は水星で予測されている広い強度範囲にまたがって存在する電子フラックスを計測できるように、電気的な感度変更機能を有している。また、水星磁気圏で予想される高い時間変動に対しても観測を行えるように、衛星上に2台の観測器を用意して時間分解能を上げる事を予定している。水星周辺は熱的に厳しい環境であるため、観測器の発熱量は極力減らす必要があると共に、開口部からの熱入力を極力減らすように熱設計を行う必要がある。本年度は、衛星への搭載方法の詳細検討、太陽光シールドの設計、観測器の熱設計に等を行なった。

[MIA (低エネルギーイオンエネルギー分析器)]

助教授	斎藤義文	立教大・理	平原聖文
助教授	高島 健	助手	浅村和史
助手	横田勝一郎	技術参与	向井利典

水星磁気圏探査衛星 BepiColombo/MMO には、数 eV/q から 30 keV/q 程度の低エネルギーイオンのエネルギースペクトルを計測する観測装置「低エネルギーイオンエネルギー分析器 MIA (Mercury Ion Analyzer)」が搭載される予定である。MIA は (1) 水星磁気圏構造、(2) 水星磁気圏粒子加速機構、(3) 水星・太陽風相互作用、(4) 水星大気 (電離大気)、(5) 0.4AU における太陽風などの解明において特に重要となる観測装置である。水星周辺における低エネルギーイオンのフラックス強度は、107 程度の非常に広い範囲で存在することが推定されている。このため、MIA はトロイダルトップハット型の静電分析器であるが、通常の実験室に比べてはるかに広いダイナミックレンジを実現する必要がある。本年度は、この広いダイナミックレンジを実現するために必要となる粒子減衰グリッドの設計・検討や検出器部分の設計・検討を進めた。

[MSA (低エネルギーイオンエネルギー質量分析器)]

助教授	斎藤義文	立教大・理	平原聖文
助教授	高島 健	助手	浅村和史
助手	横田勝一郎	技術参与	向井利典

低エネルギーイオンエネルギー質量分析器 MSA (Mass Spectrum Analyzer) は、BepiColombo/MMO に搭載されるプラズマ/粒子計測装置 MPPE に含まれる観測装置の一つで、数 eV/q から 40 keV/q の範囲の低エネルギーイオンのエネルギースペクトルをイオン種毎に計測する事ができる。水星周辺空間には、水星表面を起源とすると考えられるナトリウムやカリウムの希薄大気が存在が地球からの光学観測で明らかになっており、これらの希薄大気は、太陽光によって電離され、水星磁気圏内で大きな役割を果たしていると考えられている。MSA はこれらの重イオン粒子を計測できるように高い質量分解能を有する必要があるため、LEF (Linear Electric Field) を用いた TOF (Time Of Flight) 方式で質量分析を行う。本年度は、感度調節機能のついた検出器の試験を進めた他、観測装置の電極構造の設計・最適化を進めた。

[ENA (高速中性粒子)]

助手 浅村和史 技術参与 向井利典 助教授 斎藤義文

水星周回探査衛星 BepiColombo/MMO 搭載用に高速中性粒子観測器を開発している。水星は自身の持つ固有強度が小さく、地表を取り巻く大気も極めて希薄であると考えられている。このため、太陽風や磁気圏プラズマ粒子が容易に地表にまで到達すると考えられ、結果として地表から二次的な粒子がたたき出される(スパッタリング)。スパッタリング過程によってたたき出された粒子は、降り込み粒子の運動量によって高いエネルギーを持ち得る。このことは光子や電子の衝突による脱ガス過程には見られない現象であり、エネルギー選別によってスパッタリング粒子を選択的に観測することが可能であることを示している。ほとんどが電的に中性であるスパッタリング粒子の観測により、磁気圏プラズマ現象のモニタリング、及び水星大気の生成過程にせまる。本年度は試験モデルの試作を行い、Sweden に送付した。Sweden にて観測器全体での試験を行っているが、初期結果は良好であった。

[HEP (高エネルギー電子・イオン)]

立教大・理 平原聖文 立教大・理 柳町朋樹
立教大・先端科学セ 小笠原桂一 助教授 高島 健
助手 浅村和史 助教授 斎藤義文

2006年度は、TOFユニットに使用されるMCP(Micro Channel Plate)アセンブリーの詳細設計を行った。詳細熱数学モデルの解析結果を用いて、センサー部が規定温度におさまるように構造の見直しと材料の選定を行っている。SSSD/MCPは、メカニカルモデルの製作を実施して、構造設計上問題ないことを確認した。薄膜保護に必要な音響シャッターの詳細設計を行い、衛星試験時のアクセス性の確保が可能であることを確認した。製作上必要となる高圧コンデンサー等の部品の検討・調達を行った。製作されたMCPアセンブリーの試験を行う地上実験装置環境の整備を行った。

② MMO/MGF (MMO 磁場計測器) & MPO/MERMAG-P (MPO 磁場計測器)

助教授 松岡彩子 東海大 遠山文雄
九大 篠原 学 情報・システム研究機構 田中良昌
MMO/MGF および MPO/MERMAG-P チーム

水星は固有主磁場を持つ、地球以外の唯一の地球型惑星である。水星の内部構造の解明や、水星磁気圏の研究のためには、高精度の磁場測定が必須である。水星磁気圏探査機 BepiColombo MMO には、5m の長さの伸展マストに2台の磁力計を搭載することによって、冗長性を取り衛星からの磁場の影響を評価しつつ、水星周辺の磁場を測定する計画である。2台の磁力計の1台はヨーロッパのグループによって、もう1台は日本のグループによって開発・製作される。平成18年度は、日本とヨーロッパのグループ間で情報を交換しつつ、磁力計の設計検討と試験モデルによる実証試験を行った。また、センサーの熱計算結果を元に、センサーの熱計装の改良を行った。2台の磁力計の同期信号の仕様を決定し、磁力計からMDPに渡すデータの仕様を検討した。検討結果に基づいてインターフェース仕様書(ICD)を改訂した。

水星磁気圏探査機 BepiColombo MMO には、冗長性および衛星からの磁場の影響の評価を目的として、2台の磁力計が搭載される。このうちの1台であるMGF-Iは日本のグループによって開発されている。平成18年度は、ブレッドボードモデルの性能や特性を詳細に検証し、エンジニアリングモデルの設計に必要なデータを得た。具体的には、①センサー感度(入力磁場に対する出力電圧の比)の高精度検証、②ピックアップ信号増幅回路の、増幅度の周波数依存性の詳細検証、③センサーおよびアナログ回路部の、ノイズ特性の詳細検証、④ $\Delta\Sigma$ 方式のA/D変換の、直線性・ノイズレベルの詳細検証、⑤Space Wire 通信方式に対応したインターフェース部の詳細検討、⑥A5サイズ基板1枚への実装を可能とする部品の検討と選定を行った。

③ MMO/PWI (プラズマ波動・電場観測装置)

京都大・副学長	松本 紘	京都大・生存圏研	小嶋浩嗣
金沢大院・自然科学	八木谷聡	助教授	笠羽康正

MMO/PWI チーム

PWI 内部機器におけるインターフェースをほぼ確立し、それぞれの機器の仕様が固まり、BBM の製作ステージに入った。また、平成 19 年度半ばの PDR に向けたスケジュールをチーム内で確認した (WPT・MAST については進展物の項を参照)。日本側担当の機器については、以下の通り。

[EWO (直流電場/低周波スペクトル・波形観測器)] 直流および交流電場測定用のプリアンプを同時にアセンブルした BBM の製作を行い、その特性を確認した。交流電場測定用プリアンプについては、この結果を踏まえ、使用部品の検討も行い、更に改良を加えたプリアンプ回路の設計を行い BBM の再製作を行った。直流電場のバイアス回路の検討および BBM 製作を行った他、フィルタ、アンプなどアナログ部の検討と BBM の製作を行った。また、オンボードで較正を行い、また、電界アンテナインピーダンスを計測する手法について検討を行い AM2P のシンセサイザを用いデジタル処理によって効率良くこれらのプロセスができるようなデザインを採用した。

[SC (磁場センサー)] 日本担当のサーチコイル LF-SC および、フランス担当の DB-SC の BBM を用いてフランスでその特性試験を行い、LF-SC と DB-SC の低周波コイルの特性が非常に良く一致し、また、満足できる性能が出ていることを確認した。

[ソフトウェア] オンボードで周波数スペクトルを算出するプロセスにおいて予測される処理時間等について検討を行った。その結果、低周波部分については、現状の FFT 処理のみでは処理しきれないことがわかり、引き続き検討を行うこととした。

[GSE] 単体試験、総合試験の際に PWI として使用する GSE の仕様について欧州の GSE とのコンビネーションも踏まえて検討を開始した。

④ MMO/MDM (水星ダスト計測器)

獨協医大・医	野上謙一	早大・理工学総合研究所	宮地 学
東京海洋大・海洋科学	大橋英雄	東京海洋大・海洋科学	平井隆之
東京海洋大・海洋科学	山本剛史	東京大院・工	岩井岳夫
京大院・工	柴田裕実	ファムサイエンス	藤井雅之
国立天文台	佐々木晶	大阪市立大・工	南 繁行
大阪市立大・工	武智誠次	大阪市立大・工	大西俊之
教授	藤原 顕	マックスプランク研究所	E.Grun
マックスプランク研究所	R.Srama		

東海村 HIT ダスト加速器で MDM-S プロトタイプ、フライトモデルと同型作成・試験、ピエゾ面の鏡面研磨、ピエゾの耐熱サイクル試験、ピエゾの長期高温耐久性試験、アンプ 2 種類の性能試験等を行った。国内二度 (東大 HIT 加速器, 7 月・2 月) および国外一度 (ドイツ・ハイデルベルグ MPI-K, 11 月) に加速器による検出器試験を行っている。

衝突ダストの検出素子であるピエゾセラミックス (PZT) 4cm × 4cm × 2mm を 4 枚、田の字型フレームに入れ、ダスト加速器 (東大 HIT, ドイツ MPI-K) からの高速微粒子 (1 ~ 60km/s) を用い、較正実験を行った。衝突角度 (0° ~ 60°) による出力依存性は 20% 程度と小さい。現在熱解析中であるが、PZT 素子には直接太陽光が当たるので 200℃ 前後まで上がる。PZT 素子の温度依存性の測定では、温度に比例し電気容量が増加するので出力は下がる。運用の際には PZT 素子の温度測定が必要となる。回路はアナログ部分、デジタル部分の作成を行い、PZT 素子 4 枚からのシグナル取り込みのロジックを検証している。課題であったノイズの低減も、4 枚の PZT 素子間のシグナル差分を取るにより大幅に減らせる見通しがたった。

⑤ MMO/MSASI (水星ナトリウム大気分光撮像装置)

東大・理 吉川一朗 MMO/MSASI チーム

設計の鍵となる、 10×10 画素の部分読出で50000/sec以上の撮像が可能なFillfactory社のCMOSイメージセンサの試験、および小型化・高波長分解能を達成する「ダブルエタロン型ファブリペロー干渉計」の設計・試験を引き続き行うとともに、迷光対策を含めた機器の基本設計およびシステムI/F決定を行った。

⑥ MPO/PHEBUS (紫外線分光器)

東北大・惑星プラズマ大気研究センター 岡野章一

東大・理 吉川一朗 MPO/PHEBUS チーム

未知の大気成分の検出を目的とするPHEBUSは、検出器の高感度化が課題である。光検出部に用いられるマイクロチャンネルプレート(MCP)の量子効率を向上させる研究を引き続き行うとともに、欧州側との共同設計・I/F確定作業を引き続き実施した。

⑧ MPO/MGRS (γ 線・中性子分光計), SIXS, MIXS (X線分光計), BELA (レーザー高度計)

早大・理工学総合研究所 長谷部信行 MPO/MGRS チーム

SIX, MIXS チーム BELA チーム

MGRSは、日口間で調整を行っていたが、日本からのハードウェアへの参加は見送られることとなった。X線分光計・レーザー高度計も、日本側からのハードウェア提供はない。いずれも欧州側での仕様検討等に参加しつつあり、試作・製作進行に伴い、今後は試験等への参加が必要となる可能性がある。

I. 観測ロケットプロジェクトチーム

II-4-I-1

S-310-37号機による下部電離圏の高電子温度層生成メカニズムの解明

観測ロケットプロジェクトチーム

下部電離圏(高度100~120 km)におけるプラズマ温度は通常約300K(絶対温度)であるが、冬季の午前11時頃に局所的に800~1,000Kまで上昇し、高電子温度層が生成されることが知られている。この特異現象を解明するために、観測ロケットS-310-37号機が開発された。ロケットは平成19年1月16日午前11時20分に内之浦宇宙空間観測所から打上げられた。高電子温度層が発生していることを地上からの電波観測により見極めた上で、S-310-37号機を打上げ、電子温度測定器、電場および磁場観測装置、中波帯電波測定器などを用いたプラズマ総合観測を行った。ロケットは最高高度約140 kmに達し、全ての観測を行った後、内之浦南東海上に落下した。電子温度測定器等による観測データから高度97~101 kmに高電子温度層の存在が確認され、さらに高い高度領域まで強い電子密度擾乱が観測された。

II-4-I-2

S-520-23号機による中性・電離大気観測と気象・海洋現象の多波長撮影

観測ロケットプロジェクトチーム

高度300kmまでの熱圏下部領域における中性・電離大気粒子および電場と磁場の直接観測を行うとともに、液晶チューナブルフィルタを用いて対流圏中の気象・海洋現象の超多波長撮影を行うことを目的として観測ロケットS-520-23号機の開発および製作を行った。S-520-23号機の打上げは、平成19年度夏期を予定している。

II-4-I-3

S-520 型ロケットの開発

観測ロケットプロジェクトチーム

S-520-22号機が1998年に、SS-520-2号機が2000年に打上げられたが、その後S-520型ロケットの開発は行われていなかった。今回S-520-23号機を開発するにあたって、主モータ用金属材料やノーズコーン用複合材料、尾翼等で使用する接着剤などの材料枯渇および入手が困難になったことなどの理由により、全般的に設計を見直した。モータケースの耐圧試験、ノーズコーンの強度試験など主要コンポーネントを試作して地上試験を行い、設計と解析の妥当性を検証した。今回の成果に基づき次年度に打上げを予定しているS-520-23号機用ロケット開発を実施している。

m. 大気球プロジェクトチーム

II-4-m-1

気球飛翔モニタシステムの開発

教授	山上隆正	教授	吉田哲也	助教授	斎藤芳隆
助手	井筒直樹	助手	福家英之	宇宙航空プロジェクト研究員	山田和彦
主任開発員	松坂幸彦	開発員	飯嶋一征		

大気球の飛翔管制を支援する航跡・ハウスキーピング情報の監視システムを開発するとともにこれらに関連する各種情報のデータベースシステムの構築を行っている。本年度は監視システムの信頼性の確立をはかるとともにLASCOS（低高度宇宙通信実験システム）との基幹システム共有化に向けてデータベース部およびデータ収集システムの改修を行った。

II-4-m-2

誘導型帰還システムの研究

宇宙航空プロジェクト研究員	山田和彦	教授	山上隆正	助教授	斎藤芳隆
助手	井筒直樹	助手	福家英之	主任開発員	松坂幸彦
主任開発員	鳥海道彦	開発員	水田栄一	研究員	秋田大輔
研究員	河田二郎	研究員	太田茂雄		

気球実験の終了後に安全かつ確実に観測器を回収すべく、パラフォイル等の飛行軌道を制御できるパラシュートを利用した回収システムの開発を進めている。本年度は、吊り下げ荷重150kg用の小型プロトタイプモデルを開発、製作し、実際の気球実験に搭載して実環境での動作確認とパラフォイルの基本的な飛行特性の取得を行った。今後、実用モデルの開発を進め、実際の観測試験で運用しつつ、大型化、高精度化、信頼性向上に対応していく予定である。

II-4-m-3

長時間気球飛翔用電源システムの研究

助手	福家英之	研究員	太田茂雄	教授	山上隆正
教授	吉田哲也	助教授	斎藤芳隆	主任開発員	松坂幸彦
主任開発員	鳥海道彦	開発員	飯嶋一征	特任担当役	瀬尾基治

スーパープレッシャー気球による長時間飛翔のための電源システムの開発を進めている。本年度は概念設計を行い、太陽電池とリチウムイオン電池を用いたシステム設計を図ると共に、試作機の開発を実施した。また、リチウムイオン電池については、本年度の気球観測実験においてブイの電源として搭載し、その性能評価も行った。

II -4-m-4

気球実験用衛星通信システムの研究

研究員	野中直樹	助教授	斎藤芳隆	教授	山上隆正
教授	吉田哲也	助手	井筒直樹	助手	福家英之
主任開発員	松坂幸彦	主任開発員	鳥海道彦	開発員	水田栄一
特任担当役	並木道義	宇宙航空プロジェクト研究員	山田和彦		
研究員	秋田大輔	研究員	河田二郎		

スーパープレッシャー気球による長時間飛翔の際、気球と地上基地との間の通信手段として衛星を用いた通信システムが必要となる。本研究は、その通信システムを構築し、気球と地上との間の安定したデータ通信を実現させる事を目的とする。本年度はシステムの概念設計を行った。インマルサット社が提供するBGAN衛星通信を用いる事とし、その際、必要となる衛星通信アンテナの指向制御部やデータ転送体系など、周辺の具体的なデザインを行い、試作システムの製作をすすめている。

II -4-m-5

係留気球を利用した落下微小重力実験システムの研究

研究員	秋田大輔	教授	山上隆正	教授	吉田哲也
助教授	斎藤芳隆	助手	福家英之	宇宙航空プロジェクト研究員	山田和彦

係留気球を利用した落下微小重力実験システムについて、初期的な検討を行った。係留気球を利用し一日に数回繰り返し運用することができれば、落下塔などの既存の設備に比べて長い微小重力実験時間を、より安いコストで構築できる可能性があり、概念設計と検討を進めている。

II -4-m-6

NUSMIT プロジェクトによる硬X線天体観測

名大	國枝秀世	名大	小賀坂康志	名大	古澤彰浩
名大	田村啓輔	阪大	常深博	阪大	宮田恵美
教授	山上隆正	教授	吉田哲也	助教授	斎藤芳隆
助手	井筒直樹	助手	福家英之	主任開発員	松坂幸彦
開発員	飯嶋一征	開発員	水田栄一		
				宇宙航空プロジェクト研究員	山田和彦
		研究員	野中直樹	INPE	Elisete R. dos Santos

X線観測の中でも20 keV以上のエネルギー領域は観測技術的な観点から高い感度での観測が十分に行われていない。位置検出型シンチレーション検出器とSDCCD検出器を搭載して新たに開発した、20-60 keVの硬X線を空間分解能1分で撮像できる多層膜反射望遠鏡（焦点距離8 m、重量1.2トン）のシステムを用い、ブラジルにおいて11月19日に気球実験を行った。放球は無事に行われ、検出器も順調に動作した。しかし、予想外の北風により気球は大西洋上に流されたため、やむなく、洋上に降下させた。得られたデータ解析を進めると共に、来年度以降の再実験に向け、システムの再構築を進めている。

II-4-m-7

温室効果気体の研究

東北大	中澤高清	東北大	青木周司	東北大	石戸谷重之
東工大	吉田尚弘	東工大	豊田 栄	宮教大	菅原 敏
東大・海洋研	蒲生俊敬	東大・海洋研	堤 真	名大・年代セ	中村俊夫
極地研	橋田 元	極地研	森本真司	極地研	山内 恭
環境研	町田敏暢	東大・RIC	巻出義紘	北大院	角皆 潤
主任開発員	本田秀之	開発員	飯嶋一征	宇宙航空プロジェクト研究員	山田和彦
研究員	秋田大輔	助 手	井筒直樹		

成層圏において温室効果ガスや酸素などの濃度および同位体比の鉛直分布や経年変化を測定することで、地球規模の温室効果気体の収支の定量化を計ると共に成層圏の物質輸送や化学反応過程の解明を目的に、6月3日に気球実験を行ない、各高度における大気のサンプリングに成功した。現在各成分の解析を進めている。

II-4-m-8

サブミリ波帯を用いた中層大気の研究

NICT	入交芳久	NICT	真鍋武嗣	NICT	落合 啓
教 授	山上隆正	助教授	斎藤芳隆	主任開発員	島海道彦
開発員	飯嶋一征				

大気中の微量成分から放射されるサブミリ波帯の電波を観測することで、その分布や生成消滅を感度よく計測することができる。我々は、ISSのSMILE計画に搭載することを念頭に、超伝導を用いた高感度装置を開発してきた。本年度は、検出器が短時間で微量成分を観測できる特性を生かし、成層圏オゾン破壊や上部成層圏水蒸気の存在量（地球温暖化）に大きく影響をあたえるHO₂ラジカルの日変化の観測を行う気球実験を9月4日に行った。オゾン、HClなどが観測されていることを既に確認しており、現在、微量成分であるHO₂ラジカルの解析を進めている。

II-4-m-9

宇宙線反粒子の研究

高エネルギー加速器研究機構	山本 明	高エネルギー加速器研究機構	野崎光明		
名誉教授	西村 純	教 授	山上隆正	教 授	吉田哲也
助 手	福家英之				

宇宙線反粒子の精密観測を通じて初期宇宙における素粒子現象を探求すべく米国と共同で気球実験を進めている。これまでよりも高精度のエネルギースペクトラムを得るべく、2004年12月に南極にて実施した8日半の気球フライトにより獲得したデータの解析を行っている。また、さらに長時間のフライトを2007年末に南極にて実施する計画であり、その準備を進めている。

II-4-m-10

北極域におけるオゾンの高度分布の研究

東北大	岡野章一
ドイツ・アルフレッドウェーゲナー研究所 (AWI)	Mareile A. Wolff
教 授	山上隆正

長期間にわたる北極上空成層圏オゾンの変動を調べることを目的として、東北大学において開発された光学オゾンセンサーを小型気球に搭載し、ノルウェー領スピッツベルゲン島ニーオルソンにあるKoldwey観測基地で放球し上部成層圏（高度40 km）までのオゾン高度分布の観測を行ってきた。観測可能な高度上限を高くしオゾン以外の大気微量物質の測定を可能とすべく、小型分光器の開発を進めている。小型分光器を薄膜型高高度気球へ搭載し、

より高い高度の観測や、NO₂といった他の微量成分の観測を行っていく予定である。

n. ISS 科学プロジェクト室

II-4-n-1

全天X線監視装置「MAXI」の開発

主幹研究員	松岡 勝	主任開発員	川崎一義	主任開発員	倉又尚之
主任開発員	上野史郎	開発員	富田 洋	開発員	石川真木
			宇宙利用推進本部地球観測研究センター開発員		片山晴善
	プロジェクト共同研究員		常深 博	プロジェクト共同研究員	河合誠之
	プロジェクト共同研究員		吉田篤正	プロジェクト共同研究員	三原建弘
	プロジェクト共同研究員		宮田恵美	プロジェクト共同研究員	片岡 淳
	プロジェクト共同研究員		根来 均	プロジェクト共同研究員	森井幹雄

「MAXI : Monitor of All-sky X-ray Image」は国際宇宙ステーションの日本の実験棟「きぼう」船外実験プラットフォームに搭載される観測装置で、理化学研究所との共同プロジェクトである。「MAXI」は国際宇宙ステーションの姿勢（軌道一周回で一回転）を利用して0.5～20 keVのX線天体を全天観測し、長期にわたる変動をモニターするとともに新星やバースト等の突発現象をインターネットを通じて世界中に速報を行う。「MAXI」は2種類のスリットカメラ（軟X線用のペルチェ冷却型X線CCDと、硬X線用のガス比例計数管を使用）を搭載するが、X線モニタ型の観測装置としてはこれまでで最大かつ最高感度の性能となる。2006年度はフライト用各コンポーネントの一次噛み合わせ試験を行いインターフェース設計に問題の無きことを確認した後、各コンポーネントのプロトフライト試験を順次実施している。また、地上におけるMAXIの観測データベースシステム及び運用システムの開発に着手し、データベースについては基本的な設計が完了した。また、MAXI運用システムについては、JEM（きぼう）運用管制システムとのEnd-to-End試験（フェーズ1）を実施し、1553B系通信系の確認を行った。

II-4-n-2

拡散現象のモデル研究

教授 依田真一 助手 正木匡彦

微小重力環境において高精度に測定される拡散係数を用いて、液体構造と拡散現象との関連をコンピュータシミュレーションを用いて研究している。

II-4-n-3

静電浮遊法を用いた高融点金属等の熱物性計測

教授 依田真一 主任研究員 パラダイ P.F.
助教授 石川毅彦 千葉工大 古池紀之

浮遊法により、従来の容器を用いる方法では測定困難な高融点金属やフッ化物等の液体状態の熱物性値を過冷却状態を含む広い温度範囲で高精度に測定する研究を進めている。得られた熱物性値は鋳造や溶接といった加工プロセスを最適化する際に必要な数値シミュレーションの基礎データとして重要である。平成18年度はオスミウム、テレビウム及びコバルト融液の密度、表面張力及び拡散係数の測定を実施した。

II-4-n-4

液体構造の計測

教授	栗林一彦	東大生研・教授	七尾 進
助教授	石川毅彦	東大・助手	岡田純平
助手	正木匡彦		

浮遊法により高温融体について過冷却状態を含めた幅広い温度範囲でその原子構造を計測する研究を進めている。平成18年度はSpring-8においてハフニウムやAlPdMn系合金等の液体構造データの取得に成功した。また、非弾性散乱用の装置を開発してシリコンのデータ取得に成功した。

II-4-n-5

静電浮遊法によるAlPdMn系準結晶の液相構造と物性の研究

助教授	石川毅彦	助手	正木匡彦	特別共同研究員	石川 亮
-----	------	----	------	---------	------

AlPdMn系準結晶について、その構造の起源を明らかにするため静電浮遊炉による液体状態の熱物性データの取得及びSpring-8での静電浮遊炉を用いた液体構造測定を行った。

II-4-n-6

静電浮遊炉による金属ガラス液体の熱物性計測

助教授	石川毅彦	東北大金研・助教授	横山嘉彦
招聘研究員	パラディ P.F.	千葉工大	古池紀之

ZrCuAl系金属ガラスを対象に静電浮遊炉による密度、表面張力及び粘性係数測定を実施している。

II-4-n-7

複雑系プラズマにおける自己組織化メカニズムの研究

教授	依田眞一	主任研究員	高柳昌弘	助教授	足立 聡
----	------	-------	------	-----	------

プラズマ中に微粒子が混在する複雑系プラズマにおいて、粒子が規則正しい構造を形成する際の支配的メカニズムの研究を行っている。平成18年度では、昨年度製作した実験装置を用いて、微粒子が規則的構造（クーロン結晶）を形成した際の平均粒子間距離を支配する要因を実験的に明らかにした。

II-4-n-8

均一組成結晶成長法の研究

助教授	足立 聡
-----	------

巨視的結晶成長数値シミュレーションにより、均一な結晶を得るための結晶成長法の研究を進めている。平成18年度では、微小重力利用時（熱対流の十分な抑制時）における熱伝導の影響に基づき、均一組成を得るための最適なコンフィグレーションを得ることに成功した。

o. M-Vプロジェクトチーム

II-4-o-1

高性能低公害固体推進薬の研究（先進的推進系の研究）

助手	羽生宏人	教授	嶋田 徹
----	------	----	------

マグナリウム（AlとMgの合金）の高い燃焼効率と、Mgによる燃焼ガスに含まれる塩素の固定化によって固体推進薬の高性能化および低公害化の両立を目論み、金属燃料成分にマグナリウムを適用した改良中和型固体推進薬の研究に取り組んでいる。あきる野実験施設において実施したφ110小型モータ燃焼試験の結果、M-Vロケット用

推進薬と互角の性能を発揮していることが明らかとなった。今後、製造安全性、材料物性など推進薬として必要な特性について評価し、実用化に向けた検討を進める。

II-4-o-2

非凍結型低温2液推進系の研究（ソーラセイルWG）

助手 羽生宏人 助手 森 治 教授 川口淳一郎

衛星搭載2液推進系の燃料は主にヒドラジンが採用されている。ヒドラジンは凝固点が高いため、運用の際にはヒータで加温して凍結を防止しなければならない。したがって推進系で必要とする電力の大部分はヒドラジンの管理に費やされているのが現状である。推進薬が非凍結型となれば上述した電力が削減されるため、衛星の構造重量軽減に効果的である。現在、ヒドラジン系低凝固点燃料とNTO系酸化剤の組み合わせによる新しい2液推進系の構築に向け検討を進めている。