

II -4-d-4

マーズエクスプレスとの国際協力

助教授	早川 基	教授	前澤 洵	教授	向井利典
助教授	今村 剛	助教授	笠羽康正	助教授	齋藤義文
助手	高島 健	助手	松岡彩子	助手	吉川一朗

ESAの火星探査機であるマーズエクスプレスとの国際協力を推し進めている。平成15年度は「のぞみ」の観測が出来なかった為、マーズエクスプレスの全体会議、各観測器の会議・打ち合わせへ共同研究者を派遣する事により行った。今後はマーズエクスプレスの観測器チームに参加しデータ解析に協力することで、協力関係を維持していく。

e. はやぶさプロジェクトチーム

II -4-e-1

「はやぶさ」プロジェクトの推進

教授	上杉邦憲	教授	川口淳一郎
----	------	----	-------

「はやぶさ」プロジェクトチーム

将来の本格的なサンプルリターンミッションに備えるために打ち上げられた工学実験探査機「はやぶさ」の、運用面と国際協力の面での推進を行った。運用面では、ほぼ2ヶ月に1度の頻度または重要運用にさきがけての運用会議を開催し、プロジェクト全体での遂行方針を検討・実施してきた。国際協力面では、NASA側に運用状況の説明を行うとともに、DSNなど航法支援面での協力を推進し、また豪州での回収をめざして同国政府との間で協議を重ねてきた。

II -4-e-2

「はやぶさ」探査機の運用

教授	川口淳一郎	助教授	橋本樹明	助教授	國中 均
助手	西山和孝	助手	吉光徹雄	助手	津田雄一
助手	森 治				「はやぶさ」プロジェクトチーム

「はやぶさ」は我が国初の3軸安定型の惑星間探査機であり、かつ非常に運用パラメータの多いイオンエンジンを3台同時に運転するという複雑な運用を行っている。この業務では、定常的な運用体制に臨むチーム編成の定義や、運用時間の調整、軌道計画や軌道決定側とのインタフェースを整備し、確実な運用が実現されるよう、体制と作業の安定な確立をはかった。成果により、打ち上げ後1年間の運用は、ほぼ計画通りに進められ、安定な飛行を実現している。

II -4-e-3

IES (Ion Engine System) の飛翔データと地上試験との比較

教授	都木恭一郎	教授	川口淳一郎	助教授	國中 均
		助手	西山和孝	技術職員	清水幸夫

「はやぶさ」プロジェクトチーム

「はやぶさ」小惑星探査機を打ち上げた後、イオンエンジンIESを定常運転に移行させる過程において、地上試験では得難い飛翔データを取得することができた。さらに推力の実測に基づいて、性能評価を行い、地上データとの比較がなされた。年度末までに作動積算時間1万時間・ユニットを達成し、その間の作動データの履歴は地上耐久試験と対応させながら検討された。

II -4-e-4

「はやぶさ」におけるNASA/JPLとの軌道決定・航法共同運用

助教授 加藤隆二 助教授 吉川 真 技術職員 市川 勉
教授 川口淳一郎

「はやぶさ」ミッションでは、その運用においてNASA/JPLの支援を受けている。JPLの支援は、打ち上げやスイングバイなどの重要な軌道運用のときに計画されている。ただし、イオンエンジンが動作していないときのみ支援がなされるという取り決めにもなっている。「はやぶさ」打上げ時に、最初のJPLとの共同軌道決定が行われた。その結果、打上げから数日間については、JPLとISASの双方の軌道決定がほぼ同じものとなり、軌道決定が正しくなされていることが裏付けられた。またその後は、軌道修正が予定されたときにJPLとの共同での軌道決定を準備したが、実際には軌道制御なしで運用がなされたために、共同での軌道決定はなされなかった。ただし、JPLとISASの双方でトラッキングデータが取得されており、その比較検討作業が進められている。これは、今後の共同運用に備えてのものである。なお、「はやぶさ」のミッションでは、臼田局（64m）と内之浦局（34m）におけるレンジング方式が従来のものから異なることになった。そのために、「はやぶさ」搭載のトランスポンダーは、DSN局で対応できるモードに変更できるようになっている。

II -4-e-5

連続低推力下における惑星探査機の軌道決定の研究

助教授 加藤隆二 助教授 吉川 真 技術職員 市川 勉
教授 川口淳一郎

「はやぶさ」ミッションでは、電気推進による低推力ではあるが連続的な加速を使って、小惑星まで行って地球に戻ってくる。このような連続低推力のもとでの軌道決定というものは、世界的に見ても新しいものである。本年度は、実際に飛行している「はやぶさ」の観測データに基づいて、電気推進下での軌道決定や、電気推進による制御量の推定の研究を行った。

II -4-e-6

「はやぶさ」探査機の軌道計画運用

教授 川口淳一郎 「はやぶさ」プロジェクトチーム

「はやぶさ」打ち上げ後、1年間は地球の後を追うように太陽の周りを回り、その間にイオンエンジンにより軌道の離心率を大きくしながらエネルギーを蓄積している。2004年5月にスイングバイによって、それまでに蓄積したエネルギーを小惑星に向かう軌道方向へと振り向ける作業を行う。現在、これを実現するため、毎週、軌道決定値によって軌道計画を更新し、IESの運用を行っている。

II -4-e-7

「はやぶさ」探査機の自律化運用

助手 西山和孝 助手 吉光徹雄 助手 津田雄一
助手 森 治 教授 川口淳一郎
「はやぶさ」プロジェクトチーム

5月に打ち上げた小惑星探査機「はやぶさ」はミッション期間のほとんどにおいて、イオンエンジンによる増速を継続的に行う必要がある。運用に必要な人手、時間、費用を削減し、しかも安全確実な探査機の運行を実現するための運用システムの構築と改良に取り組んでいる。本年度は、短期軌道計画/コマンド計画立案ソフトウェア、各種テレメトリデータ解析ツールの新規開発と実運用への適用を実施し、のべ1万（時間×台）のイオンエンジン運転時間を達成した。

II-4-e-8

「はやぶさ」探査機の地上運用支援系の構築

助教授	橋本正之	技官	本田秀之	助手	吉光徹雄
助手	西山和孝	教授	川口淳一郎	助教授	橋本樹明
助教授	久保田孝	助教授	船木一幸	助手	津田雄一
助手	安部正真	助手	岡田達明	助手	矢野 創
助手	森 治				「はやぶさ」プロジェクトチーム

「はやぶさ」の定常運用に必要な地上支援技術について日々、検討を行ない、運用システムに反映している。「はやぶさ」は小惑星到着までの2年間、イオンエンジンを使用して惑星間を航行するため、地上側の負担をなるべく小さくする運用技術が必要である。このため、探査機の状態診断システムであるISACS-DOCを導入し、リアルタイムのテレメトリ情報だけでなく過去のテレメトリ値の時系列データや、軌道データ、レンジング・レンジレートなど地上系の情報も総合的に判断する自動診断を実現した。また、「はやぶさ」が小惑星到着後は、小惑星観測のスケジューリングやデータを地上に送信するための運用技術も必要になる。

II-4-e-9

「はやぶさ」探査機の姿勢軌道制御系運用

助教授	橋本樹明	教授	川口淳一郎
			「はやぶさ」プロジェクトチーム

「はやぶさ」の巡航時定常運用においては、イオンエンジンの推力ベクトルを所定の方向に向けるための姿勢（IES噴射姿勢）と地球をなるべく高速な通信回線を確立するための姿勢（リンク姿勢）との間を必要に応じて、リアクションホイールによる姿勢マヌーバで往復している。

II-4-e-10

「はやぶさ」探査機の通信系運用

教授	山本善一	教授	川口淳一郎
			「はやぶさ」プロジェクトチーム

「はやぶさ」には低利得アンテナが3個、中利得アンテナが2個、高利得アンテナが1個搭載されている。1週間に1度のコマンド運用日にはリンク姿勢になって中利得または高利得アンテナのいずれかを使用する。その他のレンジ運用日には、イオンエンジンを噴射するため探査機姿勢の制限の緩い、低利得アンテナを主として用いる。たくさんのアンテナがあるために、その系統図は複雑となる。Xバンドスイッチの切り替え順序等を誤ると機器を壊しかねないので、通常の運用では、マクロコマンドに登録された手順を使用している。

II-4-e-11

「はやぶさ」探査機の熱・電力解析運用

助手	大西 晃	教授	川口淳一郎
			ほか「はやぶさ」プロジェクトチーム

熱制御用のヒータ制御装置（HCE）は、従来のON/OFF制御方式と異なり、ピーク電力が発生しないようにヒータの消費電力を時間軸に対して平滑化する機能を有した制御方式が採用されている。この方式の最大の狙いは、軌道上で発生電力が最小で、かつ必要ヒータ電力が最大の場合でもロックアップ状態に陥らず、電力を常にイオンエンジンに供給可能にすることである。これまで、発生電力が比較的少なく、イオンエンジン3台運転の場合においても、HCEのヒータ抑制機能は正常に動作しており、探査機の温度も性能維持温度範囲に納められていることが確認されている。

II-4-e-12

「はやぶさ」探査機の太陽フレア影響解析運用

助教授	國中 均	助手	安部正真	助手	岡田達明
助手	高橋慶治	助手	西山和孝	教授	川口淳一郎

「はやぶさ」プロジェクトチーム

「はやぶさ」探査機は打ち上げ後、約半年経過した時点の10月末に史上最大の太陽フレア（X13規模）に遭遇した。SEUによるメモリの反転や太陽電池の発生電力の低下などの宇宙放射線による現象が観測された。幸いにも影響の程度は軽微であり、「はやぶさ」ミッション遂行に支障はない。関連するデータの解析は探査機の健康管理上重要であると共に、最新半導体の宇宙放射線への耐性やアニーリング特性に関し貴重なデータが取得されつつある。地球近傍と異なり深宇宙に観測点は希少であるため、太陽フレアに伴う放射線や宇宙プラズマ現象について科学データを提供することができる。

II-4-e-13

小惑星探査における自律航法の研究

教授	川口淳一郎	助教授	橋本樹明	助教授	久保田孝
----	-------	-----	------	-----	------

「はやぶさ」搭載カメラの画像情報をもとに小惑星にランデブーを行う光学航法の検討を行った。また、小惑星の未知表面への安全確実なタッチダウン手法の検討を行っている。凸凹した小惑星表面に安全に着陸するため、複数のレーザ距離センサを用いて、高度と相対的な姿勢を推定する手法について検討を行った。

II-4-e-14

小惑星タッチダウンサンプリングの研究

教授	川口淳一郎	助教授	橋本樹明	助教授	久保田孝
助教授	澤井秀次郎	教授	藤原 顯	助手	安部正真
助手	矢野 創	特別研究員	長谷川直	東北大	川辺 洋
		東北大	吉田和哉	東北大	西牧洋一

小惑星表面のサンプルを採取するために、サンプラーを搭載した探査機のタッチダウンに関する研究を行っている。サンプラーが小惑星表面に接触した際のダイナミクス及び探査機の姿勢への影響、接触したことを検知するセンサシステムについて検討を行った。また9自由度を有するロボットシミュレータによる実験結果を行い、シミュレーションとの比較検討を行い、タッチダウンシーケンスの確認を行った。

II-4-e-15

小惑星探査用グラフィカルシステムの研究

教授	二宮敬虔	教授	中谷一郎	教授	川口淳一郎
助教授	橋本樹明	助教授	久保田孝	助教授	澤井秀次郎

小惑星探査ミッションを行う仮想システムの構築を行う。小惑星および探査機の運動モデルを模擬するアステロイドシミュレータを構築し、タッチダウンシーケンスや画像処理などの評価を進めている。

II-4-e-16

小惑星の運動推定及び構造認識に関する研究

教授	川口淳一郎	助教授	橋本樹明	助教授	久保田孝
				大学院学生	飯塚浩二郎

小惑星のグローバルマッピングの研究を進めている。未知天体と探査機との間に相対運動がある場合に、画像情報と高度計による距離情報を融合することにより、運動および構造を認識する手法を検討した。

II-4-e-17

小惑星グローバルマッピング運用の検討・予備試験

教授	川口淳一郎	助教授	橋本樹明	助教授	久保田孝
		西松建設技研	齋藤 潤	会津大	出村裕英

「はやぶさ」搭載光学航法カメラ（ONC）による、小惑星グローバルマッピング（3次元構造復元）研究として、ONC（PM）を使用して模擬小惑星模型の撮像およびその画像処理によるステレオマッチングの評価を行った。これにより、撮像位相角、撮像枚数と生成される小惑星3次元モデルの精度の検討を行い、小惑星近傍での運用検討に役立てることができる。

II-4-e-18

小惑星探査ローバMINERVAの研究

教授	中谷一郎	教授	川口淳一郎	助教授	久保田孝
助手	吉光徹雄	東京大学	佐々木晶	電気通信大学	柳澤正久
		明治大学	黒田洋司	中央大学	國井康晴

「はやぶさ」に搭載されている小惑星探査ローバ「MINERVA」の探査シナリオ、自律行動計画、通信システム、移動機構、リリースシーケンスについて検討を進めている。打上げに向けてのチェック、「はやぶさ」飛行中のヘルスチェックを行った。また、砂地でのホッピングに関する確認実験を行った。

II-4-e-19

「はやぶさ」運用における日米科学協力

教授	藤原 顯	JPL/Caltech	D.Yeomans	教授	川口淳一郎
				「はやぶさ」サイエンスチーム	

探査機に搭載される科学観測機器のうち、光学カメラ、高度計、近赤外線分光器などを利用して、米国の研究者と探査対象小惑星の共同観測を実施する。また小惑星表面から採取し地球に持ち帰られるサンプルの分析においても米国研究者の参加を受け入れて共同で一次処理・分析を実施する。さらに一次処理後は米国側にもサンプルの一部を提供し、公募分析を実施する。探査対象小惑星の地上観測も日米の研究者の協力によって実施され、これまで、形状、大きさ、自転周期、自転軸の向き、表面物質などのさまざまな情報が明らかにされ、探査計画にその結果は反映された。現在、双方の研究者は定期的に協議を行い探査機の小惑星滞在時の具体的な観測計画を立案中である。また取得された科学データの公開方法などについても具体的に検討中である。

II-4-e-20

「はやぶさ」探査機の科学観測器軌道上キャリブレーション、初期運用

教授	藤原 顯	客員教授	向井 正	西松建設技研	齋藤 潤
助手	岡田達明	助手	吉光徹雄	助手	安部正真
教授	川口淳一郎			「はやぶさ」サイエンスチーム	

探査機に搭載されている科学観測機器のうち、これまで光学カメラ、近赤外線分光器、蛍光X線分光器、表面探査ロボットについて初期運用を実施し性能に問題ないことを確認した。特に光学カメラ、近赤外線分光器は、航行中に複数の惑星や恒星の観測をすでに実施し、機器間アライメント、感度特性などの軌道上キャリブレーションを行った。その結果は極めて良好である。またこの2つの観測機器は機器内にキャリブレーションランプを搭載しており、これらのデータを定期的に取得することで、性能の経年変化についてのデータも取得し続けている。蛍光X線分光器についてもX線天体の観測を行うと同時に背景X線輻射の観測を継続して行っている。現在、2004年5月の地球スイングバイ時における、光学カメラ、近赤外線分光器、蛍光X線分光器による、地球・月の観測計画を検討中である。

II -4-e-21

はやぶさ用サンプラー開発と微小重力天体上での衝突現象の研究

助手	矢野 創	教授	藤原 顯	研究員	長谷川直
助手	安部正真	大学院生	寺元啓介	東邦学園大	高木靖彦

2003年5月に打ち上げたはやぶさ探査機に搭載した、撃ち込み式小惑星表面試料採集装置（サンプラー）を開発し、打上げ20分後に宇宙空間でのホーン部の伸展を確認した。その後も地上試験と自由落下試験を併用しながら、小惑星表面のような微小重力環境における、粉体層への衝突現象によるクレーター形成や放出物の質量や速度分布に関する実験を行い、はやぶさサンプラーによる収量の評価や、小惑星表面の風化や地質進化に関する基礎研究を進めている。

II -4-e-22

「はやぶさ」サンプル等宇宙物質キュレーション・初期分析施設の概念設計

助手	矢野 創	教授	藤原 顯
----	------	----	------

「はやぶさ」試料分析検討委員会

2007年に「はやぶさ」探査機が地球に持ち帰る小惑星表面試料は、地球環境と反応していない微小なサイズの宇宙物質として、その取り扱い・初期分析・保管・汚染管理の基本的な考え方は、地表で採取される隕石やアポロ時代の月面試料と大きく異なる。我々はこれまで宇宙塵分析、半導体・有機EL製造、有機物・微生物研究、マイクロマニピュレーションなど多様な異分野の技術や成果を検討し、当面は「はやぶさ」試料のキュレーションに最低限必要な技術と施設、汚染管理の定量的な判断基準を明らかにし、実現に向けての開発項目を明らかにした。さらに地球帰還1年前にテストランを開始するタイムラインを立て、同上キュレーション・初期分析施設の概念設計を行った。その際、スターダストなど世界各国の現有ミッションおよび、我が国の「はやぶさ」以降のサンプルリターン構想の試料にも対応できるよう、発展の余地のある設計も心がけた。

II -4-e-23

「はやぶさ」搭載用蛍光X線スペクトロメータの開発と初期観測

教授	加藤 學	助手	岡田達明	研究生	白井 慶
COE研究員	山本幸生	大学院学生	荒井武彦	大学院学生	小川和律
客員教授	常深 博	立教大・理	北本俊二	阪大・理	宮田恵美
				教授	藤村彰夫

「はやぶさ」小惑星探査計画では、太陽系原始天体である小惑星のひとつ25143 Itokawa (1998SF36) にランデブーし、小惑星の近傍から小惑星の探査を行う。蛍光X線観測スペクトロメータは太陽X線が小惑星表面に照射することで励起される元素に固有なエネルギーをもつ蛍光X線を観測し、小惑星表面の主要元素組成を調べる。本機器は、エネルギー分解能の良好なCCDをX線検出器に用いること、極薄ベリリウム窓を使用すること、標準試料を用いて機上で太陽X線による蛍光X線励起の較正を行うことによって、エネルギー検出範囲の拡大、元素組成の決定精度の向上を図っている。2003年5月9日に打上げに成功し、以後は初期動作確認、宇宙X線の観測を行いながら機上での調整を進めている。

II -4-e-24

「はやぶさ」搭載用蛍光X線スペクトロメータの機上データ処理法の開発

COE研究員	山本幸生	助手	岡田達明	研究生	白井 慶
大学院学生	荒井武彦	大学院学生	小川和律	教授	加藤 學

「はやぶさ」搭載の蛍光X線スペクトロメータでは、テレメトリ回線の厳しい条件で最大限の科学的成果を引き出せるように、機上でのデータ処理方法の検討・試験・実装を行った。ハードウェア機能として、CCDの生出力の記憶、各画素の読み出しノイズや暗電流ノイズの平均値算出、X線イベント抽出を行う。SH-OBCを用いたソフ

トウェア処理として、グレード判定、ホットピクセル除去、ヒストグラム作成、データ圧縮、などを行い、データのCCSDS準拠のパケットを生成する。

II-4-e-25

「はやぶさ」での機上較正およびX線天体の観測とシミュレーション

大学院学生	荒井武彦	助手	岡田達明	研究生	白井 慶
COE研究員	山本幸生	大学院学生	小川和律	教授	加藤 學

「はやぶさ」は小惑星到着までの2年、小惑星出発から地球帰還までの1.5年の期間中に宇宙X線の観測を行うため、観測対象天体の選出と、観測予測シミュレーションを行っている。科学観測のほか、検出器の較正にも用いる。これまでに蠍座X1、ケプラー超新星残骸、かに星雲、IC443などのX線天体の観測を実施している。

II-4-e-26

「はやぶさ」における小惑星蛍光X線元素組成マッピング法の研究

助手	岡田達明	COE研究員	山本幸生	大学院学生	菊地宣陽
研究生	白井 慶	大学院学生	荒井武彦	大学院学生	小川和律
				教授	加藤 學

「はやぶさ」搭載蛍光X線スペクトロメータの観測視野は約3.5度であり、ランデブー時のホームポジションからほぼ小惑星全体を観測する。小惑星の自転によって自転位相による元素分布を調べることができる。任意形状の小惑星に対して、太陽X線を照射した場合に観測されるX線スペクトルの算出、逆問題として元素組成を推定する手法を考案し、解析ツールを構築している。

II-4-e-27

「はやぶさ」搭載蛍光X線スペクトロメータの熱設計と小惑星熱モデルの構築

助手	岡田達明	研究生	白井 慶	COE研究員	山本幸生
				教授	加藤 學

小惑星の形状、表面物性を与えた時の小惑星表面温度分布を算出するツールを作成している。一方、「はやぶさ」搭載蛍光X線スペクトロメータの熱モデルは単体熱真空試験、システム熱真空試験で検証している。探査機が小惑星タッチダウンを行う際に、小惑星からの熱放射を受けて温度上昇するプロファイルから、小惑星表面の温度特性を知ることができる。その際の温度シミュレーションを行っている。