

推進1-1-1

(平成23年推進5-1-2)

(平成23年推進2-1-7)

(平成23年推進1-1-3)

はやぶさ2 プロジェクトについて

2012年1月16日(C改訂)

2011年11月22日(B改訂)

2011年6月27日(A改訂)

2011年6月2日

宇宙航空研究開発機構

月・惑星探査プログラムグループ(JSPEC)

はやぶさ2プロジェクトマネージャ 吉川 真

(C改訂内容)

5. 2実施体制に サイエンスの体制 を追加。(p71) (※)

(※) サイエンスの体制のページ追加により、p71以降のページ番号が変更される。

◆ はやぶさ2の概要

0. はやぶさ2計画の経緯と位置づけ
1. プロジェクトの意義・目的
2. プロジェクトの目標
3. 「はやぶさ2」の開発方針

4. システム選定と基本設計要求
5. 開発計画
6. リスク管理
7. まとめ

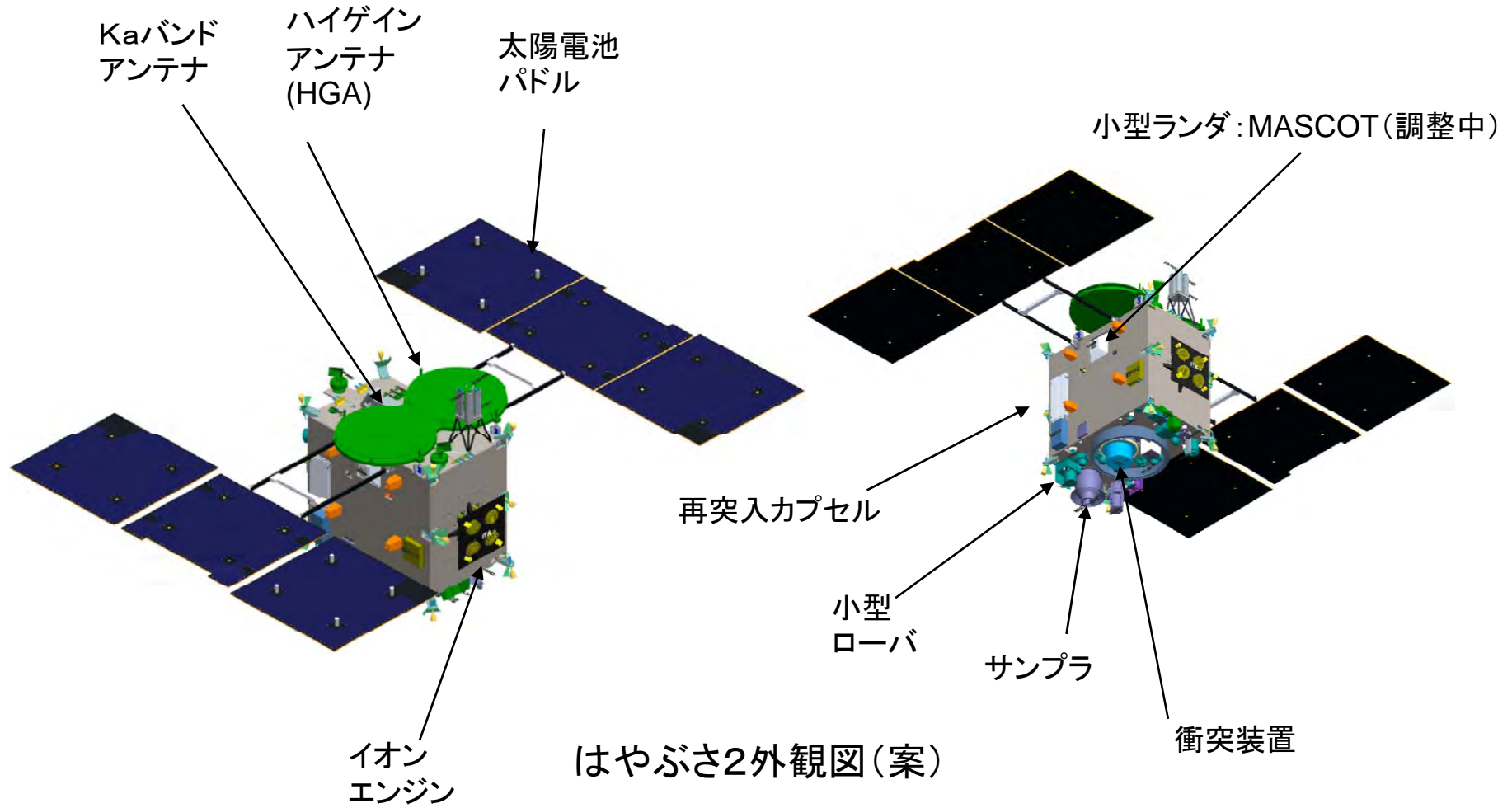
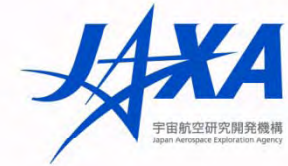
はやぶさ2の概要 (1/2)

- 「はやぶさ2」は、「はやぶさ」探査機の同型機に、「はやぶさ」の教訓を踏まえた改良、探査天体の違いへの対応、枯渇部品等の交換などを施した、電気推進動力飛行を行う探査機である。
- 打上げ後、地球スイングバイを経て、目的のC型小惑星にランデブーし、リモートセンシングによる観測の後、表面にタッチダウンをしてサンプルを採取し、地球に帰還するミッションを行う。
- リモートセンシング観測では、レーザー測距、多バンド可視カメラ、近赤外分光計、中間赤外カメラなどの機器を用いて、小惑星の特性を調べる。
- 探査ロボット(※)を小惑星に投下し、小惑星に関する新たな知見を得る。
- 衝突体の衝突による小惑星表面地形の変化や形成された人工クレーターなどを着陸帰還機が観測することで、小惑星の地下物質、内部構造、再集積過程に関する新たな知見を得る。

※探査ロボットとは、小型ランダや小型ローバを指す。

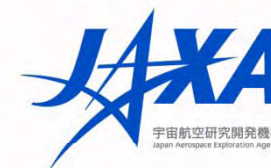
追加

はやぶさ2の概要(2/2)



0. はやぶさ2計画の経緯と位置づけ

0. はやぶさ2計画の経緯と位置づけ(1/5) 小惑星探査計画の立上げから「はやぶさ」まで



- 1985(S60)年8月、日本初の「小惑星サンプルリターン小研究会」を旧宇宙科学研究所(ISAS)が開催。
- 1996(H8)年4月、小惑星探査技術実証プロジェクト「MUSES-C」が開始。
- 2003(H15)年5月、MUSES-C(はやぶさ)探査機打上げ、運用開始。
- 2004(H16)年4月、JSPEC(当時・宇宙科学研究本部)の元に、「次期小天体探査WG」が正式発足。S型、C型、D/P型とより始原的な天体へ向かうプログラムの探査の科学・技術の検討を継続。(小惑星の型については参考資料を参照)
- 2005(H17)年9月12日にはやぶさが小惑星イトカワに到着。11月末までにリモートセンシングによる探査とサンプル採取を実施。サンプル採取は当初意図した形では実施できなかった。
 - 当初: 自律的に弾丸を発射し、試料採取。
 - 実際: 自律航法の問題により、弾丸が発射されなかった。
(着陸時に舞い上がったと想定される粉塵が採取された)

0. はやぶさ2計画の経緯と位置づけ(2/5) 「はやぶさ2」の最初の提案からプロジェクト準備審査まで

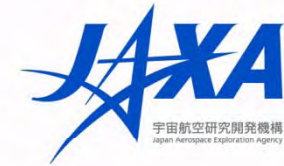
- 2006(H18)年初、確実に小惑星物質を採取するために「はやぶさ」同型機による新たなサンプルリターンミッション「はやぶさ2」を早急に立上げる検討が開始。探査天体として、C型小惑星である1999 JU3を選定。(詳細は参考資料を参照)
- 2006(H18)年4月、JAXA長期ビジョンに基づき「月・惑星探査推進チーム」(現JSPEC)を設置。同チーム内で「始原天体探査プログラム」を検討。
- 2006(H18)年10-11月、ミッション定義、システム要求ならびにシステム定義に関わる一連の技術審査を実施。
- 2007(H19)年6月、プロジェクト準備審査が行われ、2007(H19)年8月29日、プリプロジェクトに移行。
- 2008(H20)年11月、H2A相乗り打ち上げや、海外の廉価なロケットの利用など、経費節減について検討をしつつ、従来のミッションからスコープを拡大する検討を開始。
- 2009(H21)年6-7月、スコープ変更後のはやぶさ2計画について、外部評価を経て△MDR審査(ミッション定義審査)でミッション要求の妥当性が審査され、「小惑星探査機 はやぶさ2」プロジェクト準備審査(デルタ審査)で一部のスコープ拡大に伴う変更が決定。

0. はやぶさ2計画の経緯と位置づけ(3/5) システム要求審査からプロジェクト移行審査まで



- 2009 (H21)年12月、システム要求審査(SRR)を実施し、システム定義審査フェーズへの移行が了承された。
- 2010(H22)年6月、「はやぶさ」地球に帰還。帰還カプセル内のサンブラコンテナを無事に回収し、初期分析作業を開始。
- 2010 (H22)年8月、宇宙開発委員会のプロジェクト開発研究移行時の事前評価を受け、概ね妥当の評価を頂いた。
- 2011 (H23)年3月、システム定義審査(SDR)とプロジェクト移行審査を実施し、—システム開発仕様のベースラインの改訂
—「はやぶさ」のLessons & Learnedを探査機システムの設計に反映
—開発資金、スケジュールの更新、実施体制の構築
の妥当性を確認した。
- 同月、JAXA理事会において、「はやぶさ2」の、開発へ移行する準備が整っていることが確認された。
- 開発研究段階においては、宇宙開発委員会での開発研究移行評価における助言を踏まえ、システム全体について検討を深め、新規開発を要する機器についてフロントローディングを行い、実現性を確認した。
- 以上から、はやぶさ2の開発研究段階における作業が終了し、開発移行の準備が整ったため、宇宙開発委員会での開発移行の評価を受けることとする。

0. はやぶさ2計画の経緯と位置づけ(4/5) 「はやぶさ2」の位置づけ



宇宙基本計画
(平成21年6月2日閣議決定)

「(2) 研究開発プログラムの推進 F 宇宙科学プログラム

② 5年間の開発利用計画

・ 太陽系探査としては、太陽系の理解、地球(大気、磁気圏含む)の理解等に繋がる科学的成果の創出を目指し、太陽、月、地球型惑星(水星、金星、火星)、さらには木星やその衛星、小惑星などを対象として、…「はやぶさ」による小惑星からのサンプル回収への取組や…将来の水星探査計画「BepiColombo」、「はやぶさ」後継機等の研究開発を行う。

「9つの主なニーズと衛星開発利用等の現状・10年程度の目標:

【世界をリードする科学的成果の創出等(知的資産の蓄積、人類の活動領域の拡大)】

今後10年程度の目標のためにセンサや衛星等が達成すべき主要な目標:

…○太陽系探査(水星、金星、小惑星探査)…

10年程度の想定衛星:

ASTRO-G(電波)及びその他宇宙天文学ミッション(ASTRO-H(X線)、SPICA(赤外)など)、Planet-C(金星)、BepiColombo(水星)及びその他太陽系探査ミッション(SCOPE(磁気圏)、小惑星探査衛星(はやぶさ後継機)など)、月面着陸・探査ミッション、Ikaros他小型科学衛星(3機/5年) 」

0. はやぶさ2計画の経緯と位置づけ(5/5) 「はやぶさ2」の位置づけ

- 「太陽系探査科学の進むべき方向」(2007/H19年3月)より
月惑星探査推進チーム・太陽系探査ロードマップ検討小委員会報告

<始原天体探査プログラム>



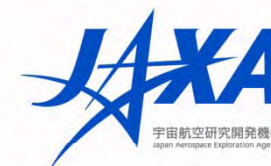
プログラムの 的探査

- ・太陽系の起源・進化を知るためには、代表的なタイプであるS型、C型、D型の小惑星を調査する必要がある。
- ・S型、C型、D型の順により始原的になり、太陽系の初期に迫ることになる。
- ・一般的にS型、C型、D型の順に太陽から(あるいは地球軌道から)遠ざかる傾向にあるので、サンプルリターンを行うには、より高度の技術が必要になる。

1. プロジェクトの意義・目的

1. プロジェクトの意義・目的

1.1 意義



1. 科学的意義

「我々はどこから来たか」ー太陽系の起源と進化、生命の原材料

地球、海、生命の原材料物質は、太陽系初期には同じ母天体の中で、互いに密接な関係を持っていた。この相互作用を現在でも保っている始原天体からのリターンサンプルを分析することで、太陽系の起源・進化の解明や生命の原材料物質を調べる (次ページ 注記参照)

2. 技術的意義

「世界をリードする」ー日本独自の深宇宙探査技術の確立

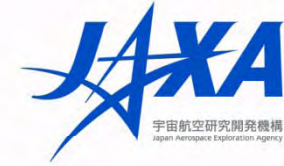
「はやぶさ」は世界初の小惑星サンプルリターンとして、数々の新しい技術に挑戦したミッションであった。その経験を継承して、より確実に深宇宙探査を行える技術を確立する。

3. 社会的意義

- 国際協力：科学観測データおよびリターンサンプルの詳細分析を国際的に実施することで、国際社会に貢献し、責務を果たす。
- 人材育成：世界をリードをする科学・技術を我が国で実践することで、科学技術立国を担う次世代の人材を育成する。
- 社会への還元：「はやぶさ」で得られた社会からの強い関心に引き続き応えらるとともに、実践的教育や文化的活動の機会を供給する。

1. プロジェクトの意義・目的

1.1 意義



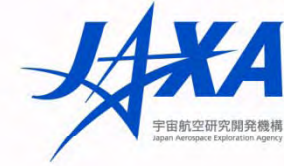
注:生命の起源については諸説あるが、地球形成時および形成後も、地球外物質は絶え間なく地球上に落下している。その始原物質中の有機物は、地球上の有機物(生命)の原材料となりうるため、生命につながる第一歩としての重要な意味をもっている。

また、始原天体中の有機物および有機物・氷の量比は地球に供給される揮発性成分(C、H、O、N)の組成を決めるため、地球上で生命の原材料から生命が誕生した環境(大気組成、酸化還元条件)に大きく影響する。

すなわち、始原天体中の有機物分析は、宇宙空間での生命材料物質の探究、および初期地球での生命材料物質の進化の解明につながるものである。地球上で採取された隕石から、揮発性成分である氷、有機物の存在度を定量的に決定することは地上での汚染の影響で難しく、汚染のないリターンサンプルの分析が必須である。

1. プロジェクトの意義・目的

1.2 目的



「太陽系の起源・進化の解明や生命の原材料物質を調べる」
ために、

- C型小惑星の物質科学的特性を調べる。特に鉱物・水・有機物の相互作用を明らかにする。
- 小惑星の再集積過程・内部構造・地下物質の調査により、小惑星の形成過程を調べる。

「日本独自の深宇宙探査技術の確立」のために、

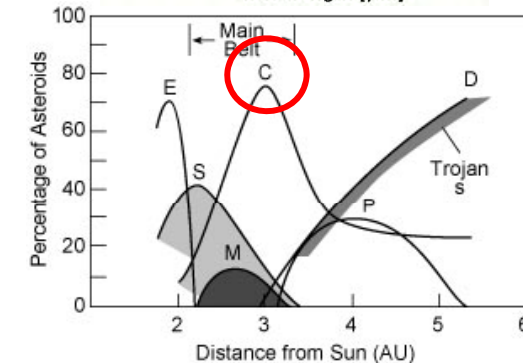
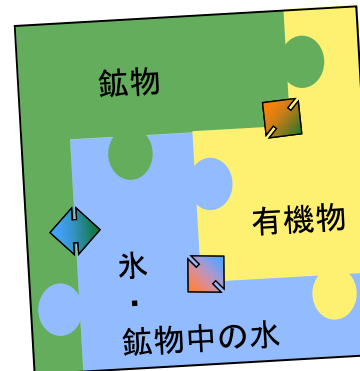
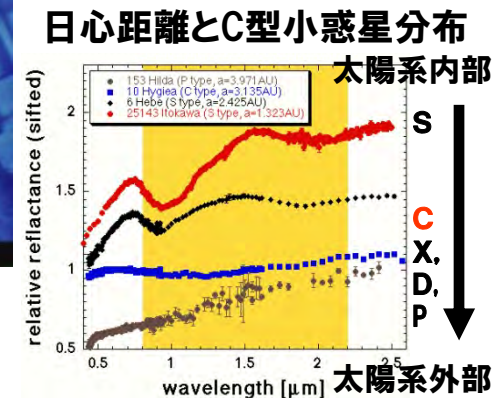
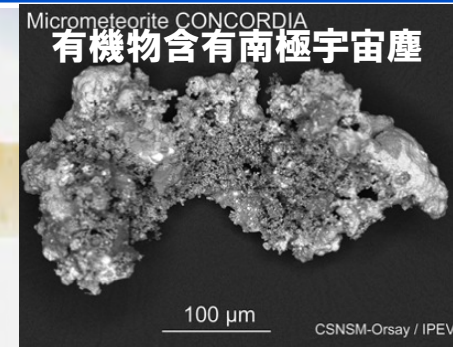
- 「はやぶさ」で試みた新しい技術について、ロバスト性、確実性、運用性を向上させ、技術として成熟させる。
- 衝突体を天体に衝突させる実証を行う。

1. プロジェクトの意義・目的

1.3 期待される成果(1/4)

目的: C型小惑星の物質科学的特性を調べる. 特に
 鉱物・水・有機物の相互作用を明らかにする

- **鉱物・水・有機物の相互作用**
 表層および地下の物質を採取し、小惑星起源の
 鉱物・水・有機物(生命前駆体)がミクロスケールでどのように相互作用し、共存しているかを探り、地球、海、生命との関連が解明される。
 - **太陽系・小惑星帯の物質分布**
 C型小惑星の構成物質を解明し、はやぶさの成果と合わせて、原始太陽系における日心距離と
 鉱物・水・有機物といった物質の分布が明らかになる。
- 成果を生み出す研究: 回収試料の熱変成、元素(同定・分布)、鉱物(同定・分布)、「水」の存否、有機物、同位体(C,H,O,N)、C型宇宙風化等の分析など。



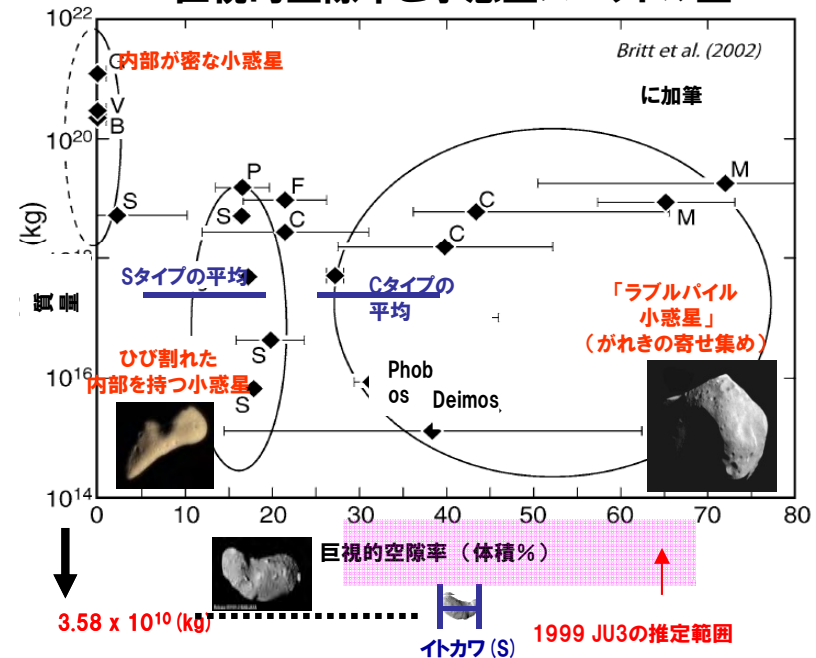
1. プロジェクトの意義・目的

1.3 期待される成果 (2/4)

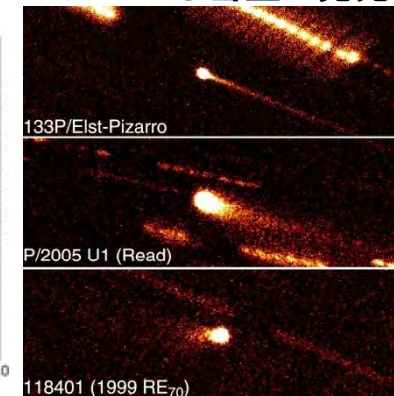
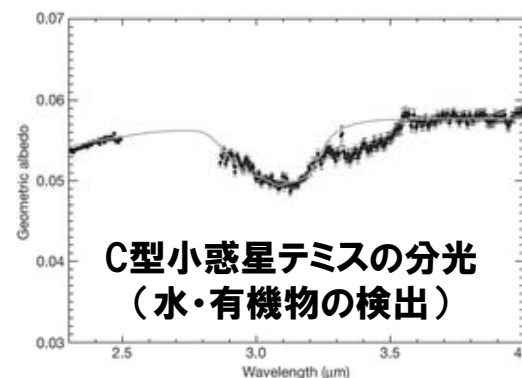
目的: 小惑星の再集積過程・内部構造・地下物質の調査により、小惑星の形成過程を調べる。

- **微小小惑星の内部構造、形成過程**
C型微小小惑星のマクロスケールでの表層地形、物性、内部構造を探索し、小惑星の形成過程について重要な手がかりが得られる。
 - **微小小惑星の地下物質**
新鮮な地下物質の鉱物-水-有機物相互作用を調べることで、C型小惑星材料物質の進化過程について重要な手がかりが得られる。
- 成果を生み出す研究: 重力・質量・密度・空隙率の導出、全球地形・鉱物分布、表面温度・熱慣性の測定、含水鉱物・有機物採取候補地点の選定、人工クレータ形状・地形、特徴地形の変化、再集積物の確認、新鮮な地下物質(水・含水鉱物・有機物分子種)など。

巨視的空隙率と小惑星スペクトル型



メインベルト彗星の発見



1. プロジェクトの意義・目的

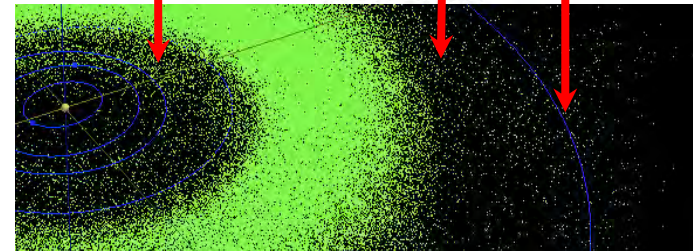
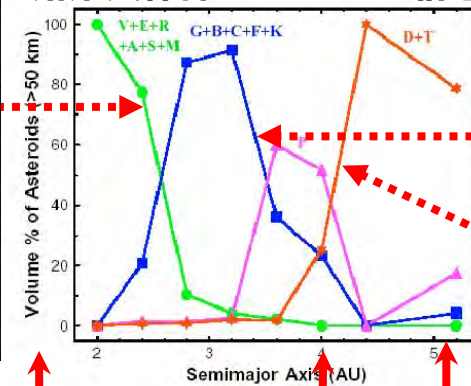
1.3 期待される成果 (3/4)

目的:「はやぶさ」で試みた新しい技術について、ロバスト性、確実性、運用性を向上させ、技術として成熟させる。

●「はやぶさ」技術の成熟

はやぶさで実証できた技術は継承し、修正点はロバスト性、確実性、運用性を向上させて、太陽系小天体の往復探査を行う技術が成熟する。また、オプションの新規開発機器としてKa帯通信系を搭載し、大量データ通信を行い、次代の大容量通信にも耐えられるようにする。

始原天体探査プログラム構想

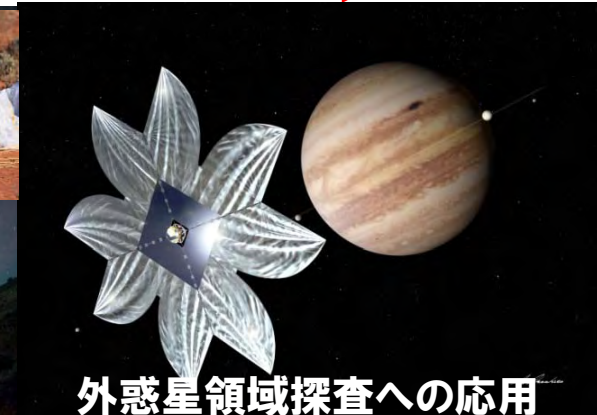


太陽系内側

地球軌道

木星軌道

太陽系外側



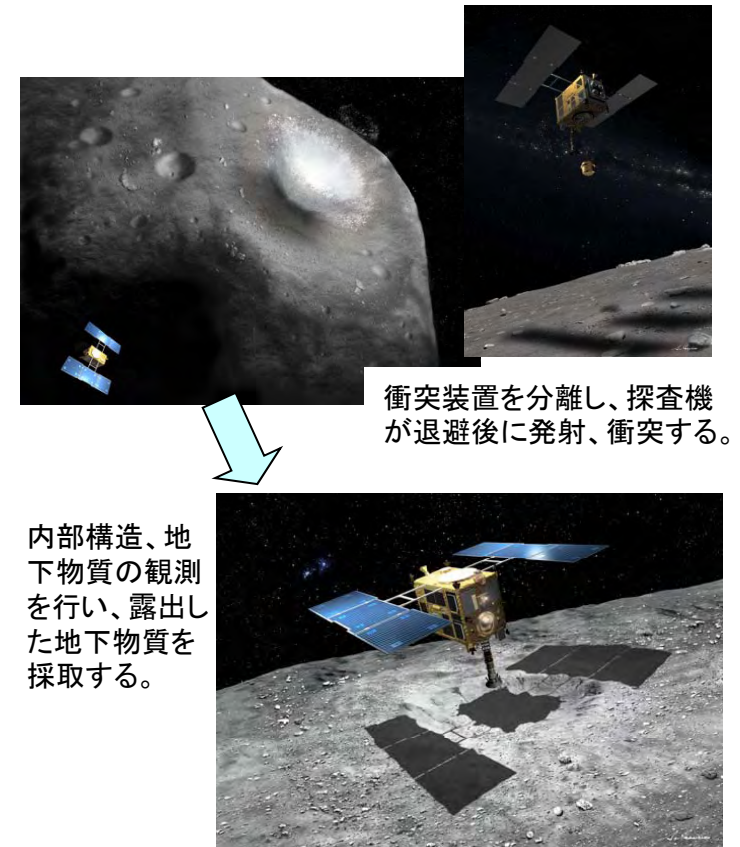
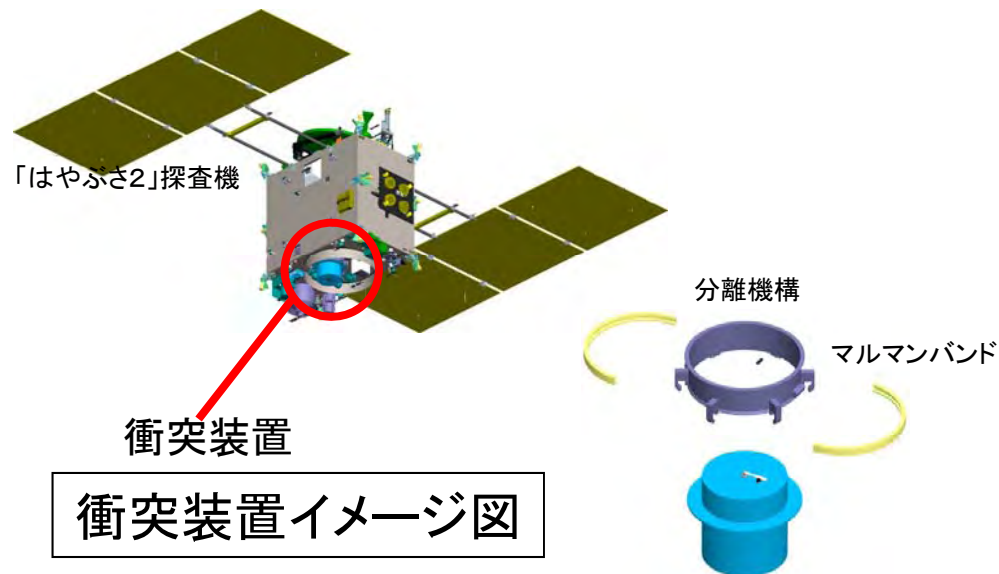
1. プロジェクトの意義・目的

1.3 期待される成果(4/4)

目的: 衝突体を天体に衝突させる実証を行う。

● 衝突体の衝突実証

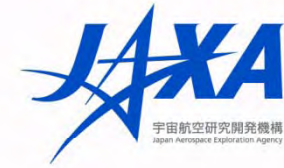
衝突体を小天体に衝突させ、新鮮な内部を表面に露出させることで、新たな知見を得る手段、方法を実証する。



2. プロジェクトの目標

2. プロジェクトの目標(1/2)

2.1 目標



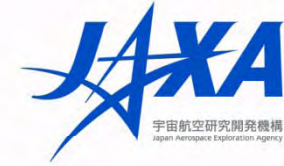
成功基準について以下に説明する。

目的	目標(ミニマム)	目標(フル)	目標(エクストラ)
<p>理学目的1 C型小惑星の物質科学的特性を調べる。特に鉱物・水・有機物の相互作用を明らかにする。</p>	<p>小惑星近傍からの観測により、C型小惑星の表面物質に関する、新たな知見を得る。(※) 達成判断時期: 探査機の対象天体到達1年後</p> <p>(※)小惑星表面の分光データを10セット取得する。</p>	<p>採取試料の初期分析において、鉱物・水・有機物相互作用に関する新たな知見を得る。(※) 達成判断時期: 試料回収カプセルの地球帰還1年後</p> <p>(※)サンプルを100mg以上採取する。</p>	<p>天体スケールおよびマイクロスケールの情報を統合し、地球・海・生命の材料物質に関する新たな科学的成果を上げる。 達成判断時期: 試料回収カプセルの地球帰還1年後</p>
<p>理学目的2 小惑星の再集積過程・内部構造・地下物質の直接探査により、小惑星の形成過程を調べる。</p>	<p>小惑星近傍からの観測により、小惑星の内部構造に関する知見を得る。(※) 達成判断時期: 探査機の対象天体到達1年後</p> <p>(※)小惑星のバルク密度を±7%の精度で決定する。</p>	<p>衝突体の衝突により起こる現象の観測から、小惑星の内部構造・地下物質に関する新たな知見を得る。(※) 達成判断時期: 探査機の対象天体離脱時まで</p> <p>(※)生成されたクレータを中心として100m四方の画像データを空間分解能20cmで取得する。</p>	<p>衝突破壊・再集積過程に関する新たな知見をもとに小惑星形成過程について科学的成果を挙げる。 探査ロボット(注)により、小惑星の表層環境に関する新たな科学的成果を挙げる。 達成判断時期: 試料回収カプセルの地球帰還1年後</p>

(注)探査ロボットとは、小型ランダや小型ローバを指す。

2. プロジェクトの目標(2/2)

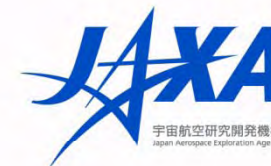
2.1 目標



成功基準について以下に説明する。

目的	目標(ミニマム)	目標(フル)	目標(エクストラ)
工学目的1 「はやぶさ」で試みた新しい技術について、ロバスト性、確実性、運用性を向上させ、技術として成熟させる。	イオンエンジンを用いた深宇宙推進にて、対象天体にランデブーする。 達成判断時期: 探査機の対象天体到達時	・探査ロボットを小惑星表面に降ろす。 ・小惑星表面サンプルを採取する。(※) ・再突入カプセルを地球上で回収する。 達成判断時期: 試料回収カプセルの地球帰還時 (※) サンプルを100mg以上採取する。	N/A
工学目的2 衝突体を天体に衝突させる実証を行う。	衝突体を対象天体に衝突させるシステムを構築し、小惑星に衝突させる。 達成判断時期: 生成クレーター確認時	特定した領域(※)に衝突体を衝突させる。 達成判断時期: 生成クレーター確認時 (※) 衝突目標点から半径100mの範囲	衝突により、表面に露出した小惑星の地下物質のサンプルを採取する。 達成判断時期: 試料回収カプセルの地球帰還時

2. プロジェクトの目標 (推進部会助言に対する回答)



サンプルを確実に採取するために、リスク評価を十分に実施し、想定される不具合の推定、その回避のための設計上の配慮、さらには不成功の場合の今後の小惑星探査ミッションの展開などについて検討すること。

回答:

サンプルを採取するまでの作業は一連のシーケンスになるので、打上げ時期からのリスクを「はやぶさ2リスク識別書」において評価し、想定される不具合の推定とシステムとしての対処を実施している。対処に必要な設計上の配慮は基本設計審査会(PDR)にむけて現在検討中である。

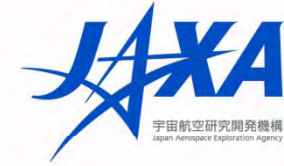
「はやぶさ」のLessons Learnedからの反映として、プロジェクトイルの射出コマンドを発行するまでのシーケンスの検証を十分に行う。想定しうる全てのシーケンスに対して可能な限りend-to-endの検証で実施する。シーケンスを見直す必要が発生した場合でも、はやぶさ2は小惑星到着後のミッション期間が長いため、事前に検証する時間は十分にあると考える。

今後の小惑星探査ミッションにおいてもサンプルリターンの科学的意義は高いので、不成功の場合でも、不具合原因を検証したうえで、はやぶさ2とは別方式のサンプリング手法を取り入れることも考慮に入れながら、サンプルリターンを中心としたミッション展開を行っていく。

なお、将来の太陽系外縁部を目指すような小惑星(始原天体)探査ミッションまで見据えて、分析装置を天体にもっていく“その場観測”の充実も必要である。そのため、はやぶさ2で行う、ランダ・ローバ技術やリモートセンシング技術の進展も更に進めることも検討する。

3.「はやぶさ2」の開発方針

3.「はやぶさ2」の開発方針(1/3)



「はやぶさ2」の開発方針

(1)「はやぶさ」探査機の技術を最大限に継承し、変更箇所を最小限に限定することによりリスクを低減し、低コスト化・開発期間の短縮を図る。「はやぶさ」からそのまま設計を引き継ぐものに関しては、FMを直接製作し、「はやぶさ」の試験基準を踏襲して試験を実施する。ただし、実施に際しては、設計変更(部品の変更、教訓(Lessons Learned)の反映)箇所の検証に対応した試験計画とする。

「はやぶさ」から変更を加える箇所は、主として下記の項目である。

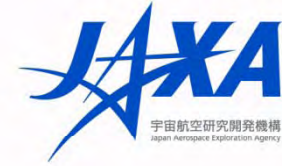
(1-1) 探査小惑星がイトカワと異なること(1999 JU3)に伴う設計変更

(1-2) はやぶさを開発した1990年代の設計、部品調達が不可能あるいは不合理な部分に対する変更

(2)「はやぶさ」で発生した不具合及び開発・運用段階で改善すべき事項を反映し、より高い信頼性を確保する。

(3) 新規に追加する機器及び機能向上が必要な機器については、技術熟成度(TRL)の向上が必要なことから、EMまたは部分試作モデルを製作し、キーとなる技術の機能性能を確認後、PFM(試験はPFTレベル)の製作またはリファーマッシュを実施したのちに、EFM(試験はFMLレベル)製作に進む。

3.「はやぶさ2」の開発方針(2/3)



「はやぶさ」ミッションからの教訓 (Lessons Learned) および他プロジェクト反映事項の取り込み

- * 「はやぶさ」ミッションからの教訓 (Lessons Learned) の取り込みは、2006(H18)年1月に実施されたプロジェクト内での検討会と、それを考慮して2006(H18)年10月~11月に実施された、はやぶさ2技術審査委員会の答申に基づき、改修点候補として絞り込まれている。これらの内容は、システム要求に反映している。
- * 2007(H19)年からの「はやぶさ」帰路運用から地球帰還・試料初期分析までに得られた新たな教訓のうち、システム要求の改善が必要なものについては、はやぶさプロジェクトと協力の上、開発研究フェーズ中に反映することとする。2010(H22)年、はやぶさプロジェクトからの教訓を受け、必須事項(不具合関連の対策)と改善事項(機能・運用性の改善など)に分類し、必須事項は全て、改善事項は費用対効果を考慮し、反映を行った。
- * 他プロジェクトの反映事項に関しては、他の科学衛星と同様に品証室から展開されている内容(信頼性推進会議の軌道上不具合分析情報)をシステム要求に取り込み、維持していく。

3.「はやぶさ2」の開発方針(3/3)

地上系システムの開発方針は以下の通り。

(1)「はやぶさ」探査機の地上系システムと基本的に同様のシステム構成とし、変更箇所を最小限に限定することにより、リスクを低減するとともに低コスト化・開発期間短縮を図る。

また、「はやぶさ2」固有のところも極力「はやぶさ」のシステムを活用して低コスト、短期開発化を図る。

(2)「はやぶさ」の運用段階で改善すべき事項に関しては、設計に反映し、運用性、信頼性を確保する。

4. システム選定と基本設計要求

4. システム選定と基本設計要求

4.1 ミッション概要(1/2)

打上げ



探査機によるリモートセンシング観測では、レーザー測距、多バンド可視カメラ、近赤外分光計、中間赤外カメラなどの機器を用いて、小惑星の特性を調べる。その後小惑星の近接観測、小型ローバ・ランダの投下、表面試料の採取を行う。

衝突体が小惑星に衝突する。



地球帰還

探査機が地球に戻り、カプセルを地上で回収する。

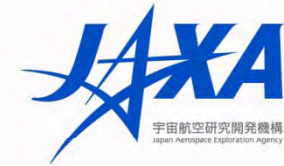


衝突体の衝突による小惑星表面地形の変化や形成された人工クレーターなどを探査機が観測することで、小惑星の地下物質、内部構造、再集積過程に関する新たな知見を得る。安全が確認できれば、人工クレーター近傍での試料採取にも挑む。

サンプル分析

4. システム選定と基本設計要求

4.1 ミッション概要 (2/2)

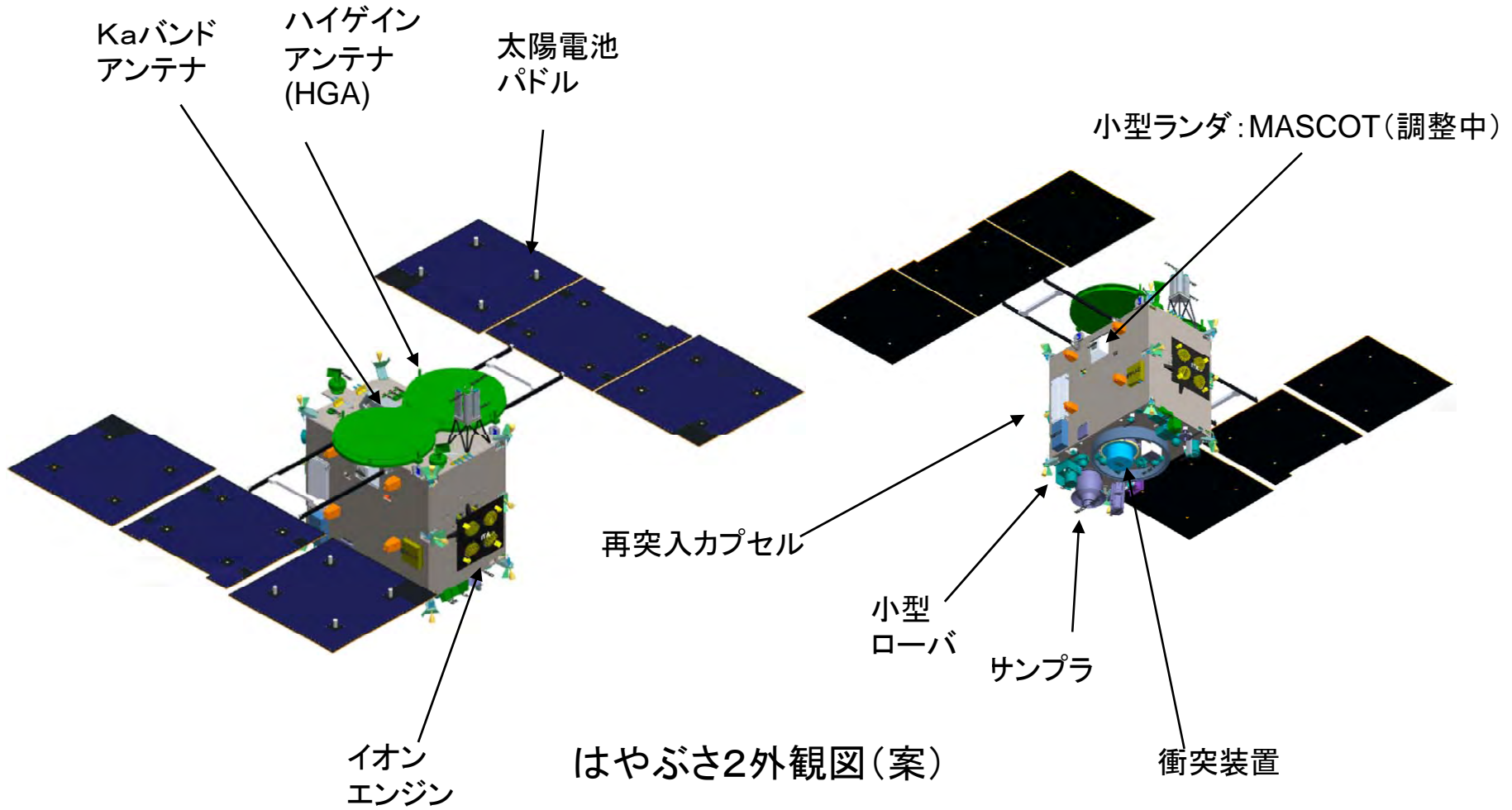


year	2014 (H26)	2015 (H27)	2016 (H28)	2017 (H29)	2018 (H30)	2019 (H31)	2020 (H32)	2021 (H33)
	打上げ	地球スイングバイ			小惑星到着	衝突体の衝突 小惑星出発	地球帰還	詳細分析公募(*)
	← 電気推進動力飛行				← 科学観測・試料採取		← 電気推進動力飛行	← 採取試料初期分析・キュレーション

(*) 初期分析を行った後、全世界の研究者に公開して詳細分析(公募)を行う。

4. システム選定と基本設計要求

4.2 探査機の概要(1/2)



4. システム選定と基本設計要求

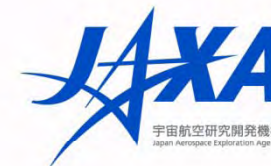
4.2 探査機の概要(2/2)

探査機の主要諸元

目標天体	1999JU3(C型・地球接近小惑星)
打上年度	2014 (H26)年度(目標)
ロケット	H-II Aロケット
探査機質量	wet 質量 :600Kg dry 質量 :475Kg
発生電力	ミッション時(@1.4AU) :1000W 地球帰還時(@1.0AU) :2000W
太陽電池パドル	3パネル×2翼
本体形状	箱型:1.0m(X)×1.6m(Y)×1.4m(Z) 参考;はやぶさ(1.0m(X)×1.6m(Y)×1.1m(Z))
姿勢制御	3軸モーメント姿勢制御方式
軌道	惑星間軌道

4. システム選定と基本設計要求

4.3 システムの総合特性



(1) 打上げ年度

- ・ 2014年度とする。

(2) ミッション期間

- ・ 1999JU3への到着は2018年6月、離脱は2019年12月(ノミナル)であり、ミッション期間は6.5年とする

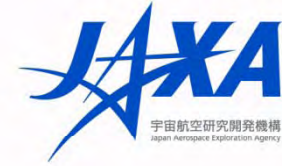
(3) ロケット

- ・ H-IIAロケット(標準型) 4Sフェアリングを前提とする。

(4) 質量

- ・ 探査機質量(wet質量): 600kg
(探査機質量は、イオンエンジンの能力により限定される。)

4. システム選定と基本設計要求 (推進部会助言に対する回答)



推進部会の助言

限られた費用の下で開発されるシステムであるだけに、ミッション達成の可能性・確率、サバイバビリティを、システム全体としてどのように高め確保するか検討すること。

推進部会の助言

宇宙ミッションでは宇宙放射線の影響、通信障害等の不測の事態で、どうしてもある程度の故障発生は避けられない。小型探査機ゆえの難しさはあるが、冗長性の追加及びロバスト性に関して十分検討すること。

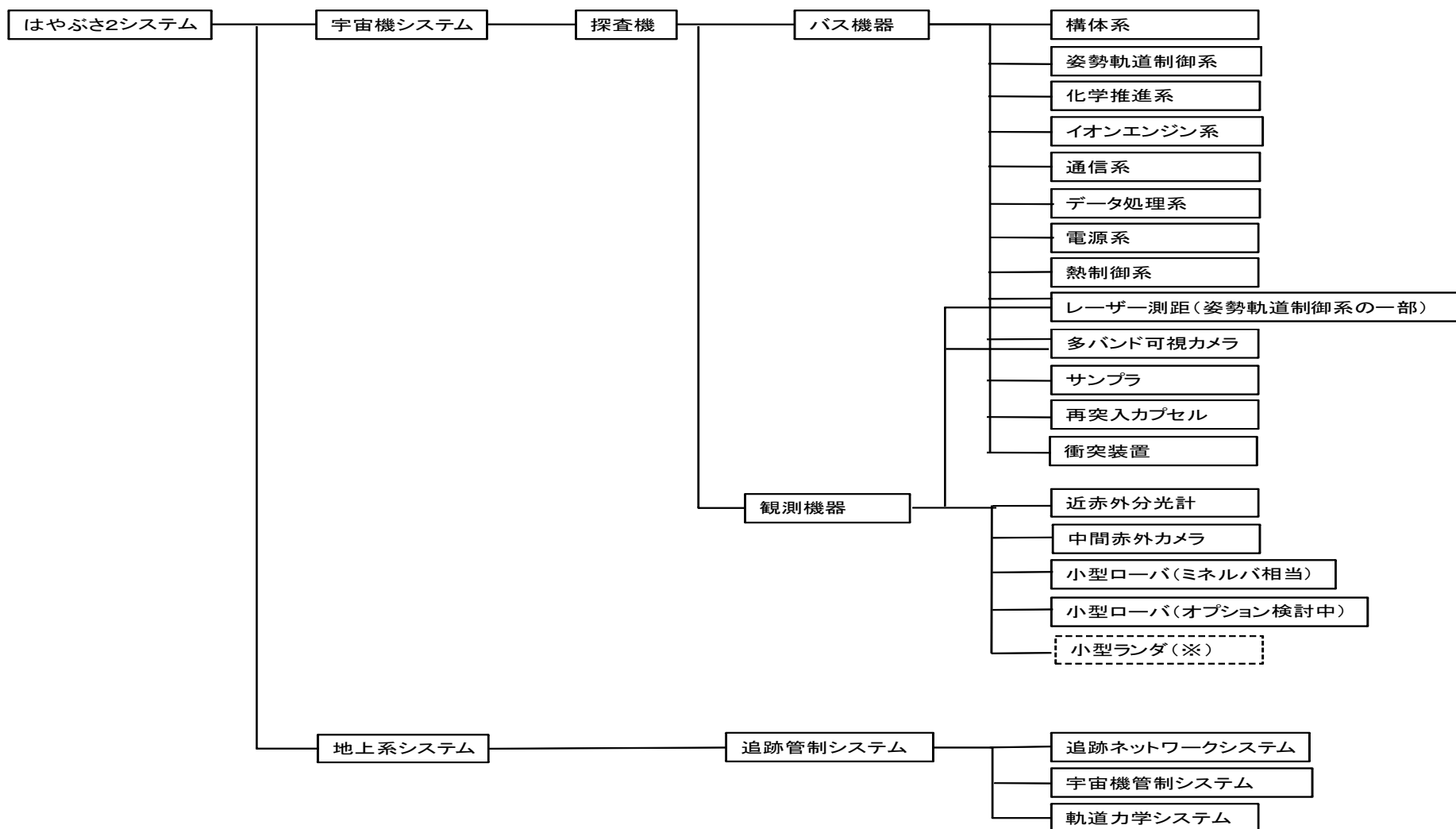
回答:「はやぶさ」に対してはやぶさ2は+100kgのdry質量増を計画しているが、そのうち50%を信頼性向上、残りの50%をサイエンス機器の増量に配分する。以下を行うことで、ミッション達成の可能性・確率、サバイバビリティをシステム全体として向上させる。

- ・ 機能冗長を含む冗長構成強化
(例:リアクションホイールの4台化、LRF(Laser Range Finder)の追加など)
- ・ システム構成の見直し
(例:推進系配管経路見直し)

なお、限られた費用に納めるために、「はやぶさ」の実績を活用する。

4. システム選定と基本設計要求

4.4 システム構成(1/2)

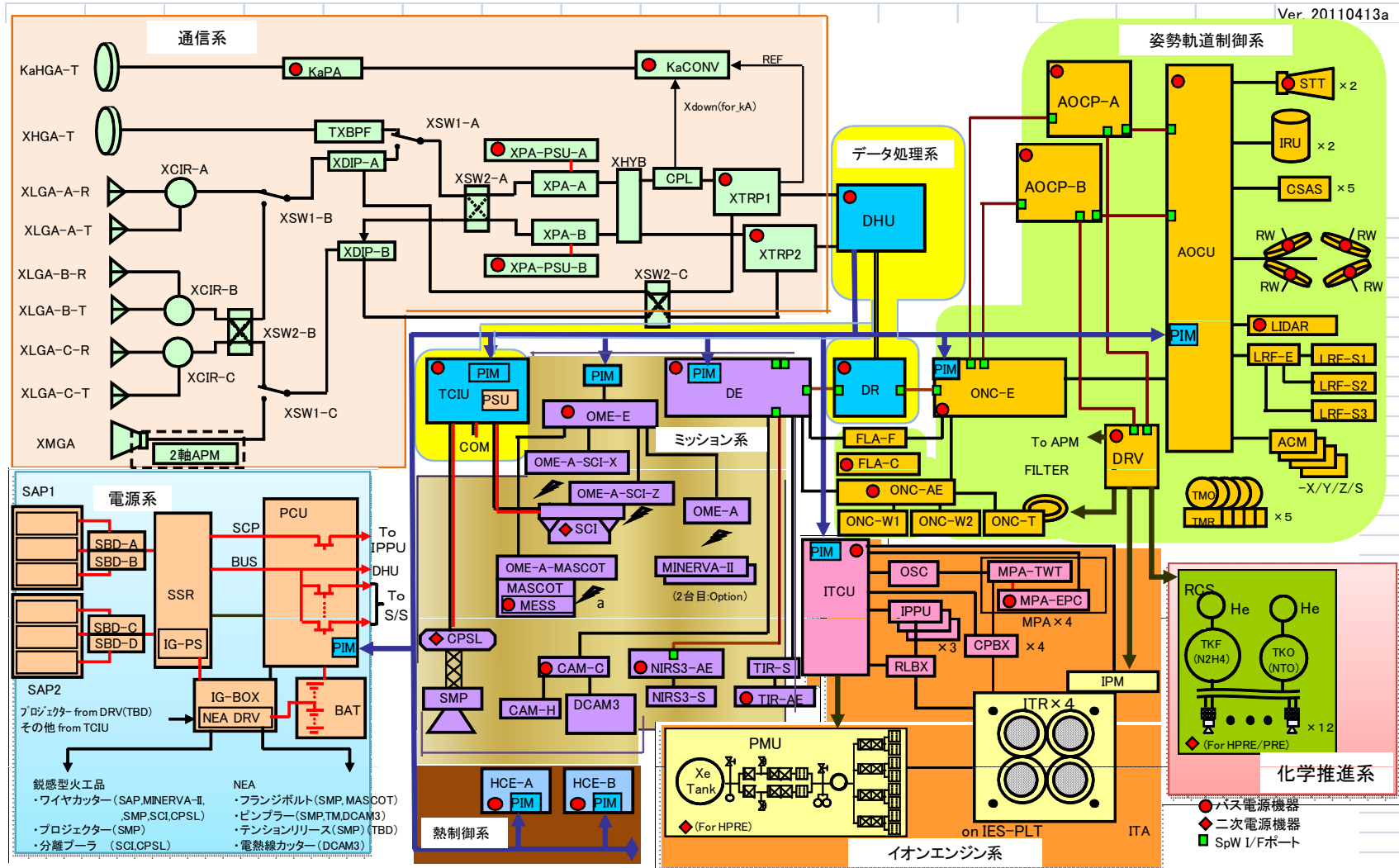


※ドイツDLR開発の小型ランダ搭載を調整中。

4. システム選定と基本設計要求

4.4 システム構成(2/2)

システム構成図を以下に示す。(参考)



4. システム選定と基本設計要求

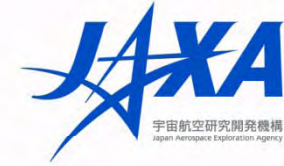
4.5 バス機器設計要求

バス機器主要諸元一覧

- 構体系
 - はやぶさと同形式、総質量wet600kg以下
 - 姿勢軌道制御系
 - 三軸安定方式、セーフホールドモード時: スピン安定化方式
 - RW×4
 - 姿勢決定: STT、CSAS、IRU
 - 誘導系、小惑星相対航法: 航法カメラ(狭視野=多バント可視カメラ、広視野×2)、レーザー測距、LRF、ターゲットマーカ、フラッシュ
 - 姿勢軌道制御系プロセッサは着陸航法誘導制御機能を有す。
 - 化学推進系
 - 化学推進系: 2液ヒドラジン、調圧方式、スラスト: 20N級12基
 - 化学推進剤タンク容量: 60kg
 - イオンエンジン系
 - 電気推進系: $\mu 10$ イオンエンジン×4基。
 - Xe推薬容量: 80kg
 - 通信系
 - Xup/Xdown及びXup/Kadown、地上系アンテナ: UDSC(臼田)、USC(鹿児島)およびDSN、運用局: SSOC(相模原)
 - コヒーレントトランスポンダ(レンジング、2wayドップラー計測を可能とすること)
 - アンテナ構成: HGA1基、MGA1基、LGA2ペアにより全方位をカバーすること。
 - ダウンリンクビットレート: 最大32kbps、最小8bps(X/Ka共に)
 - データ処理系
 - テレメトリ生成、コマンド処理
 - 自律化処理
 - DR(ミッション/HK共用)
 - 電源系
 - 初期運用、スイングバイ時の日陰およびターミネータ運用を除いて、SAPによりバス基本動作を賄う。SAPサイズ 1.4kW@1.4AU、2.6kW@1AU
 - 搭載2次電池: リチウムイオン電池23AH級。
 - SSR方式電源システム
 - 熱制御系
 - 0.9~1.4AUで熱収支が成立のこと。
 - HCEによるヒーター制御、温度管理(ヒーターチャンネル128ch)
-
- サンプラノ再突入カプセル 30kg
 - 衝突装置 20kg

4. システム選定と基本設計要求

4.6 観測機器設計要求(1/2)



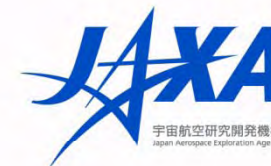
各観測機器の観測項目

観測機器	観測項目
レーザー測距(*)	小惑星の表面形状、荒さを計測する。 軌道の測定を行い、重力(小惑星質量)を導出する。
多バンド可視カメラ(*)	地形マッピング、鉱物分布を計測する。
近赤外分光計	水氷、含水鉱物の探索および分布の観測を行う。
中間赤外カメラ	表面温度と熱慣性を調べ、表面状態を明らかにする。
小型ローバ	微小重力天体上の移動技術実証。 表面温度を計測する。表面の撮影を行う。

* バス機器であるがサイエンス観測にも使用する。

4. システム選定と基本設計要求

4.6 観測機器設計要求(2/2)



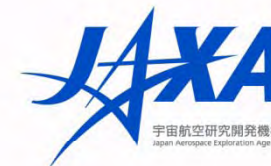
主要諸元一覧(観測機器仕様)

分類	項目	レーザー測距	多バンド可視カメラ	近赤外分光計	中間赤外カメラ	小型ローバ
性能	計測概要	小惑星表面～探査機間の距離を測定する	フィルタを用いて複数の波長帯の画像を取得する	3μmをふくむ波長範囲の分光を行い、水の存否を計測する	中間赤外画像から表面温度と熱慣性を計測する	小型カメラと温度計と搭載し表面の詳細地形と温度計測を行う
	視野	1.7 mrad(0.097°)	5.7° × 5.7° 撮像可能範囲6.35x6.35°	0.1° × 0.1°	12° × 16°	47° × 36°
	空間分解能	—	2m/pixel@HP(高度20km)	35m@HP(高度20 km)	18m/pixel@HP(高度20km)	—
	画素数	—	1024x1024	1 × 128	320x240(有効画素)	有効画素: 768 × 494 出力画素: 640 × 480
	観測波長範囲	—	ul,B,V,W,X,Pバンド他	1.8～3.2 μm	8～12 μm	可視
	波長分解能	—	—	20 ~ 50 nm	—	—
	その他	計測距離: 30 ± 1m - 25 ± 0.01km 計測周波数: 1Hz			観測温度範囲: 250～400K 相対温度精度: 0.5K 絶対温度精度: 5K	観測温度範囲: -200～200°C
その他	特殊要求 運用要求	ミッション運用期間中に軌道計測を行うこと。	衝突前後に詳細な地形マッピング運用を行うこと。高度1km以下で数枚以上、光学画像にて撮像する。	センサ温度を-80°C以下、光学系温度を-60°C以下に維持すること。2次元スキャン運用が行えること。高度1kmでスキャン運用が行えること。		

B

4. システム選定と基本設計要求

4.7 「はやぶさ」Lessons Learnedの取り込み

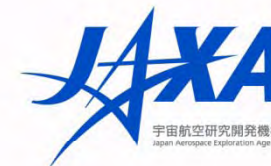


「はやぶさ2」開発方針に基づき、「はやぶさ」Lessons Learnedを取り込んで、設計に反映した。これにより信頼性、運用性を確保する。
 主要なLessons Learned反映事項を下記に示す。

反映項目	「はやぶさ」Lessons Learned / 「はやぶさ2」の変更点
【姿勢軌道制御系】 リアクションホイール(RW)の4台搭載	「はやぶさ」では、リアクションホイールが3台中2台故障したことを踏まえ、リアクションホイールを4台搭載し、冗長性を向上させる。
【姿勢軌道制御系】 恒星センサの2台化と精太陽センサの廃止	恒星センサを2台搭載し、姿勢決定精度を向上させるとともに冗長性を向上させる。その代わりに機能が重複している精太陽センサを廃止する。
【姿勢軌道制御系】 太陽電池パドル下の障害物センサを廃止	「はやぶさ」で発生した障害物センサの誤検知を反映して、同機能を廃止する。「はやぶさ」のタッチダウン運用実績から、障害物センサ非搭載でも地上からの遠隔誘導、搭載航法カメラ、LRF、ターゲットマーカ(TM)によりタッチダウン可能である。
【姿勢軌道制御系】 LRF(Laser Range Finder)の追加	「はやぶさ」運用経験から探査機直下をセンシングするLRFがあると有効であったとのLessons Learnedを踏まえて、LRFを1台追加し、3台搭載する。
【化学推進系】 化学推進系配管経路の見直し	「はやぶさ」のタッチダウンにおける燃料(ヒドラジン)漏洩を踏まえて、化学推進系配管ルーティングの主系/従系の分離を行い、冗長性を向上させる。
【サンプラ】 キャッチャーおよびコンテナ内壁の鏡面研磨	「はやぶさ」のキュレーション作業の経験を踏まえて、「はやぶさ2」ではキャッチャーおよびコンテナ内壁を鏡面研磨し、分解しやすく、また、微小試料の採集も容易にする。

4. システム選定と基本設計要求

4.8 はやぶさ2の技術成熟度と評価計画(1/3)

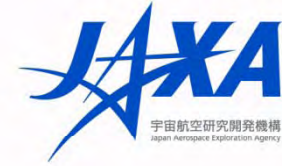


サブシステム	主要機能	実績等	はやぶさ(既存設計)からの変更点	海外機器	はやぶさ2での評価計画
構体系	機械環境の維持	はやぶさ	搭載機器が増えたためZ方向に150mm延長		PFM1段階開発方式。PFT試験を実施。
姿勢軌道制御系	姿勢軌道制御、マヌーバー、着陸航法誘導制御	はやぶさ	RWの4台化、恒星センサの2台化と精太陽センサの廃止、障害物センサ廃止、LRFの1台追加し3台搭載、姿勢軌道制御系計算機の2重冗長化、1999JU3への適合化、枯渇部品の変更	恒星センサ、リアクションホイール、慣性基準装置、粗太陽センサ	PFM1段階開発方式。PFT試験を実施。
化学推進系	姿勢制御トルク、軌道推進力の発生	はやぶさ	<u>主系/従系の配管ルーティングの空間配置の分離、あかつきの不具合対策反映により燃料・酸化剤調圧系分離</u>	高圧遮断弁、推薬弁	<u>タンクの認定試験を実施。他はPFM1段階開発方式。PFT試験を実施。</u>
イオンエンジン系	軌道推進力の発生	はやぶさ	高推力化		商用化製品を採用
通信系 (X帯)	X帯通信(UP/Down)	はやぶさ あかつき	枯渇部品対応としてHGAの平板アンテナ化、MGAの2軸ジンバル化、母船分離機器の母船側通信系共用化	X帯スイッチ サーキュレータ	PFM1段階開発方式。PFT試験を実施。
(Ka帯)	Ka帯のDown Link	きずな	枯渇部品対応	カブラ	PFM1段階開発方式。PFT試験を実施。
データ処理系	データ符号化、伝送、記録	はやぶさ 小型衛星	枯渇部品の変更、高速処理化容量増強		PFM1段階開発方式。PFT試験を実施。
電源系	日照時、日陰時の電力供給	はやぶさ あかつき	太陽電池セルの変更、電池の容量変更等	太陽電池セル	パドルは要素試験を実施。電池は試験用BATを製造し確認。他はPFM1段階方式

B

4. システム選定と基本設計要求

4.8 はやぶさ2の技術成熟度と評価計画(2/3)



サブシステム	主要機能	実績等	はやぶさ(既存設計)からの変更点	海外機器	はやぶさ2での評価計画
熱制御系	熱的環境の維持	はやぶさ 小型衛星	搭載機器増に伴い配置変更、ヒータ・ヒータ制御装置追加、ヒーター制御回路はピークパワー制御に変更		P F M 1 段階開発方式。P F T 試験を実施
レーザー測距	小惑星の表面形状・荒さ計測、軌道計測	はやぶさ	同等		P F M 1 段階開発方式。P F T 試験を実施。
多バンド可視カメラ	地形マッピング、鉱物分布計測	はやぶさ	1999 JU3 への対応		P F M 1 段階開発方式。P F T 試験を実施。
サンブラ	小惑星物質の採取	はやぶさ	収量増加対策、鏡面研磨仕上げ、1999 JU3 表面材料適合化		P F M 1 段階開発方式。P F T 試験を実施。
再突入カプセル	サンプルの回収	はやぶさ	枯渇部品の変更		P F M 1 段階開発方式。P F T 試験を実施。
衝突装置	クレータの生成	新規	新規		要素開発、P F M 開発方式。P F T 試験を実施。
近赤外分光計	水氷、含有鉱物の探索、分布の観測	新規	新規		E M - P F M 開発方式。P F T 試験を実施。
中間赤外カメラ	表面温度、熱慣性の観測	あかつき	1999 JU3 への対応		P F M 1 段階開発方式。P F T 試験を実施。
小型ローバー	微小重力天体上の移動技術実証	はやぶさ	部品の信頼性の向上		P F M 1 段階開発方式。P F T 試験を実施。

4. システム選定と基本設計要求

4.8 はやぶさ2の技術成熟度と評価計画(3/3)



- はやぶさに搭載されていなかった機器は以下の通りである。
 - ①衝突装置
 - ②Ka通信系
 - ③近赤外分光計
 - ④中間赤外カメラ
- このうち新規技術開発を要する機器は、衝突装置、近赤外分光計である。
 - 衝突装置は、爆薬部など実験室環境以上の実績はないが、他分野で実績のある技術であり、実現性はある。
 - 近赤外分光計は、コンセプト実証以上の実績がないが、はやぶさ搭載近赤外分光計からの機能向上(波長域変更)であるため、実現性はあると判断する。センサ及び周辺回路の試作を行い、課題の抽出とリスクの低減を図る。