

はやぶさ2 プロジェクトについて

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プリプロジェクトチーム
吉川 真

目次



-
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. システム選定及び基本設計要求
 5. 開発計画
 6. リスク管理
 7. まとめ

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p54を参照)
- 2005(H17)年9月12日には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粉塵が採取された可能性あり)

0. はやぶさ2計画の経緯と位置づけ(2/5) 小惑星探査計画の立上げから「はやぶさ」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p.55参照)
- 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) 小惑星探査計画の立上げから「はやぶさ」まで



- 2009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年6月、「はやぶさ」地球に帰還。帰還カプセル内のサンプルコンテナを無事に回収し、初期分析作業を開始。

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) 」

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」ー太陽系と生命の起源・進化の解明

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、太陽系と生命の起源・進化を解明する。

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



1.2 目的

「太陽系と生命の起源・進化の解明」のために、

- 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(1/3)



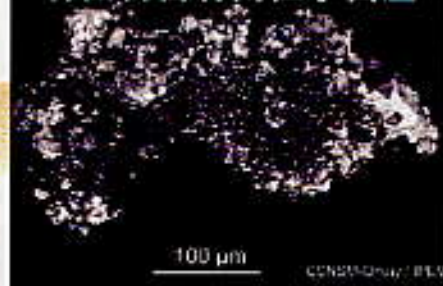
目的: C型小惑星の物質科学的特性を調べる. 特に
 鉱物・水・有機物の相互作用を明らかにする

- **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روس
 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。

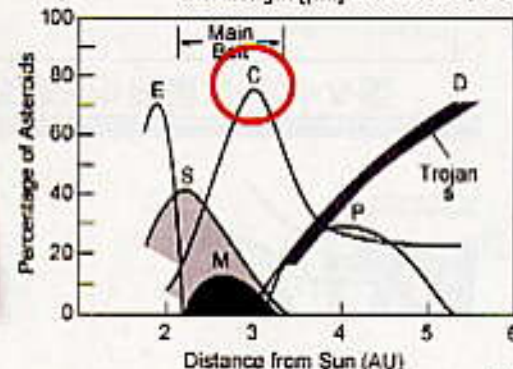
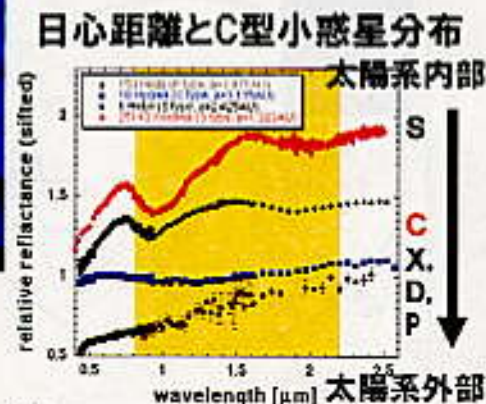
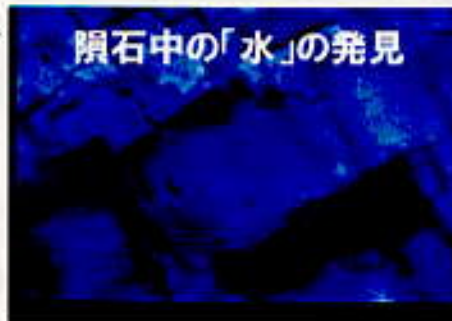
炭素質コンドライト隕石



有機物含有南極宇宙塵



隕石中の「水」の発見



探査技術:

確実な探査技術の確立(天体往復、試料採
 取、カプセル帰還の技術)が重要となる。

1. プロジェクトの意義・目的

1.3 期待される成果 (2/3)



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**

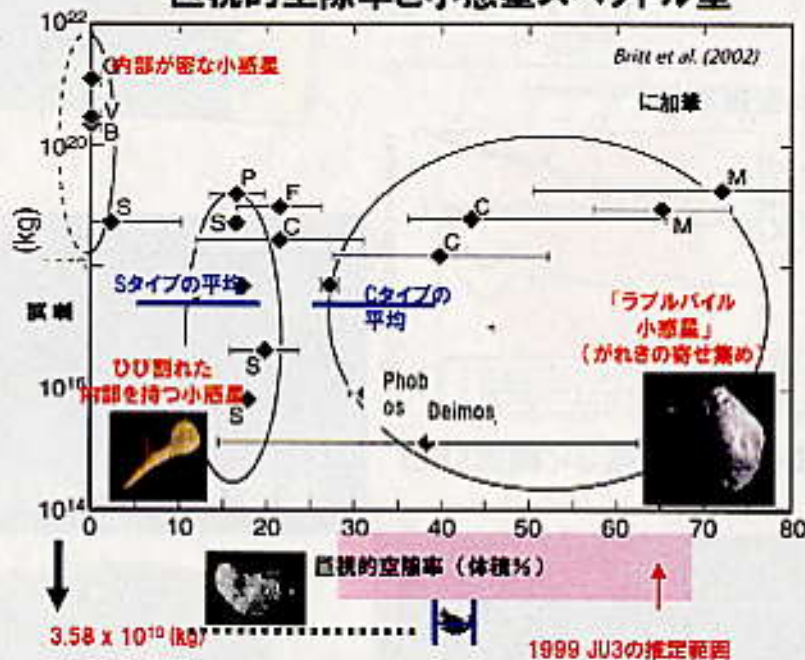
新鮮な地下物質の鉱物-水-有機物相互作用を調べることで、C型小惑星材料物質の進化過程について重要な手がかりが得られる。

→ 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。

探査技術:

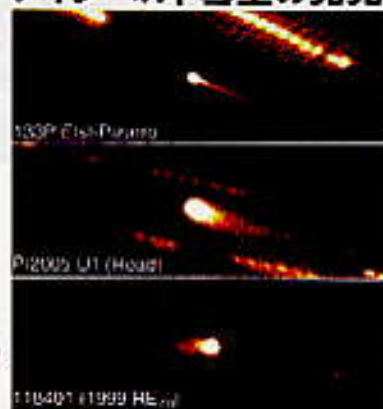
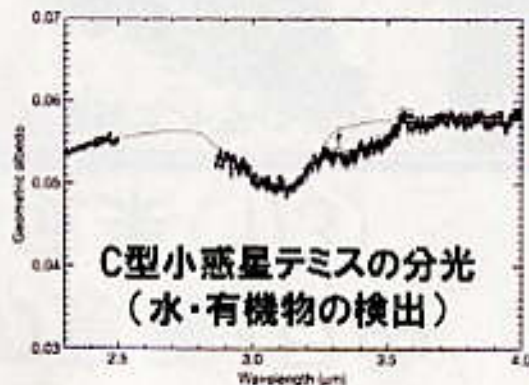
衝突装置を用いた新しい探査手法が、地下物質に対する成果を拡充する。

巨視的空隙率と小惑星スペクトル型



イトカワ(S)

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 (3/3)



目的:

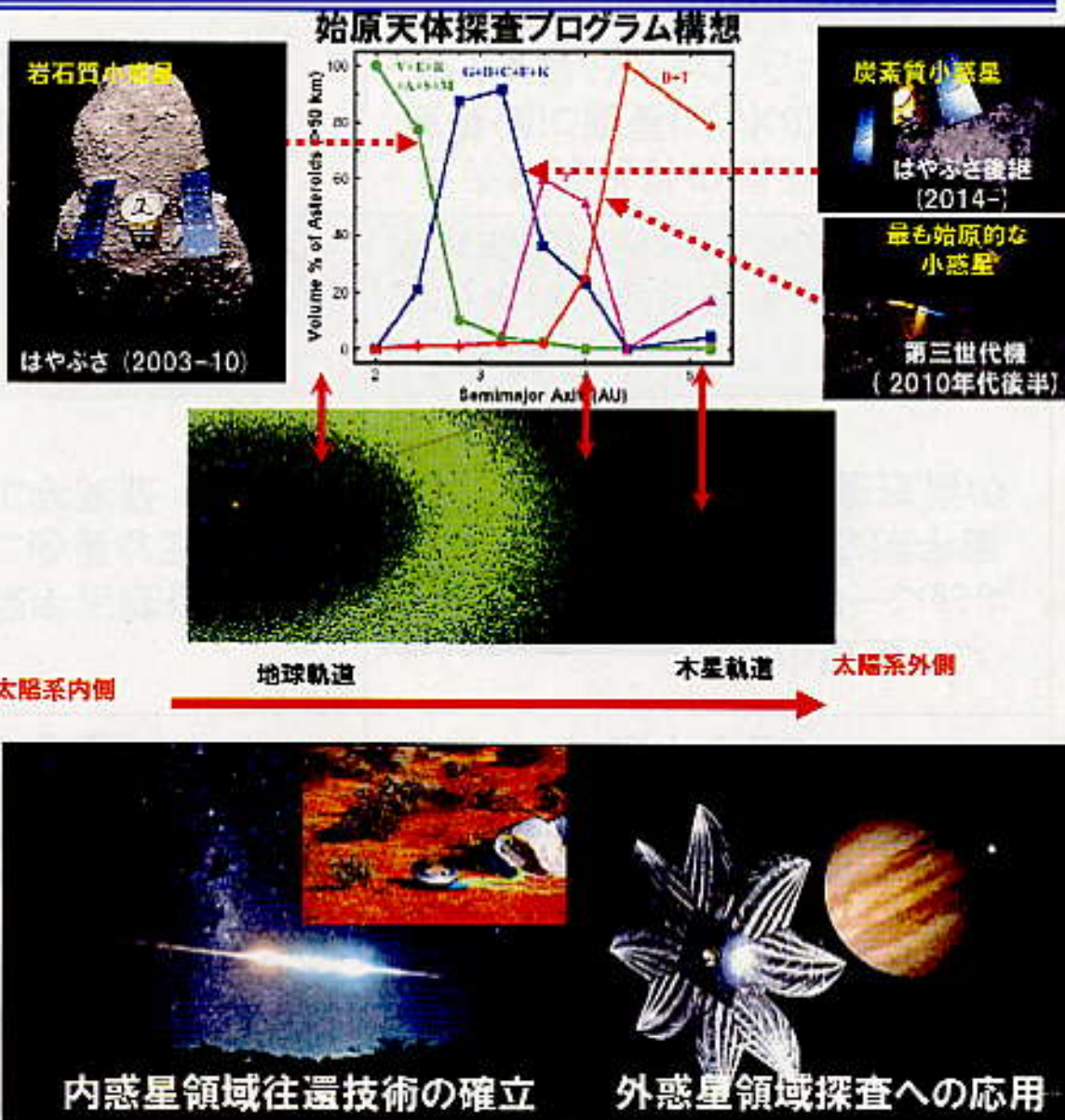
- 「はやぶさ」で試みた新しい技術について、ロバスト性、確実性、運用性を向上させ、技術として成熟させる。
- 衝突体を天体に衝突させる実証を行う。

● 「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。

● 将来の探査技術の基盤

これにより、地球近傍小天体や火星圏など内惑星領域の往復探査の継続的な実施と、木星圏など外惑星領域の日本独自の探査に挑戦できる、技術的・運用上の基盤が得られる。また、深宇宙港構想についてのアプローチともなる。



1. プロジェクトの意義・目的

1.4 「はやぶさ」と「はやぶさ2」の比較(1/2)



- 「はやぶさ」の技術確立に加え、新たな科学を目指す。

	はやぶさ	はやぶさ2
目的	 <p>深宇宙往復探査に必要な五つの工学実証</p>	 <p>C型小惑星サンプルリターンおよび確実な深宇宙往復探査技術の確立</p>
探査天体	S型小惑星	C型小惑星 (より始原的な小惑星。有機物や含水鉱物に富んでいる。)
ミッション機器	<ul style="list-style-type: none"> ・近赤外分光計 ・蛍光X線分光計 ・多バンド可視カメラ ・レーザー測距 	<ul style="list-style-type: none"> ・近赤外分光計の観測帯域を長波長側に変更し、水の検出を行う。 ・蛍光X線分光計から中間赤外カメラに変更し、熱慣性計測を行う。 ・衝突装置を追加し、地下物質を露出させる。
打ち上げ年	2003年	2014年

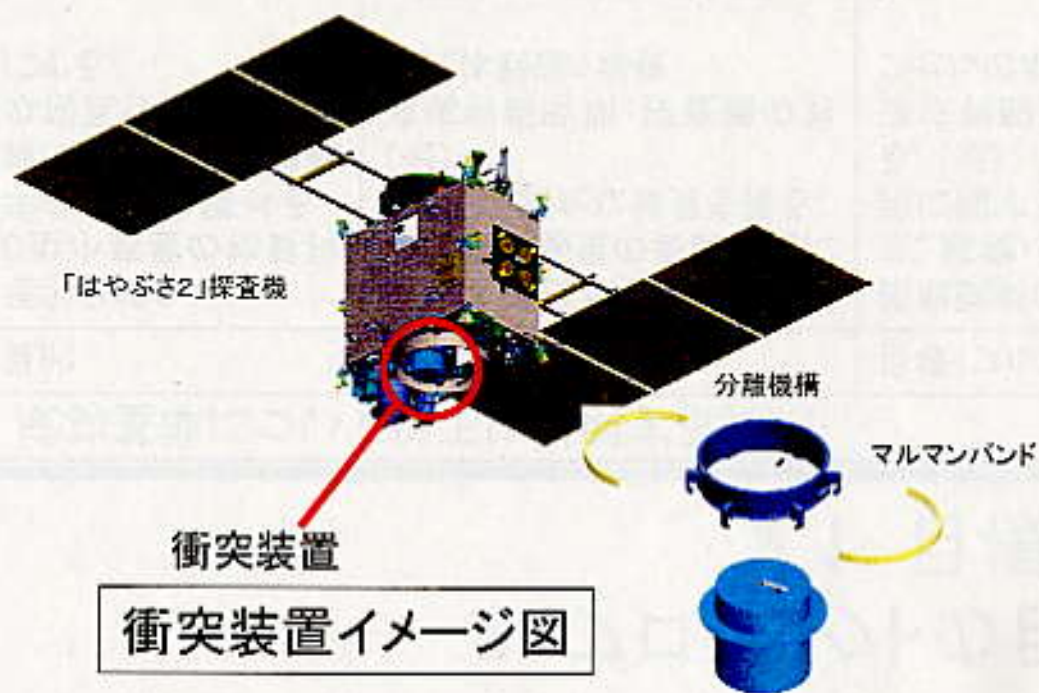
1. プロジェクトの意義・目的

1.4 「はやぶさ」と「はやぶさ2」の比較(2/2)



衝突装置(インパクト)概要

- インパクトを分離し、探査機が退避後に衝突体を発射、衝突する。
- 衝突体が衝突する前後の表面の変化から小惑星の内部構造を探索する。また、露出した地下物質のリモート観測を行う。
- 衝突体によって作られたクレーターからのサンプリングも行い、表層下の“新鮮な”物質を採取する。



内部構造、地下物質の観測を行い、露出した地下物質を採取する。



2. プロジェクトの目標(1/3)

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>

2. プロジェクトの目標(2/3)

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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 (3/3)

2.2 成功基準



JAXAのミッション定義審査にて確認した成功基準を参考までに以下に示す。

目的	目標(ミニマム)	目標(フル)	目標(エクストラ)
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。	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 実施主体：JAXA、はやぶさ2科学チーム	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 実施主体：JAXA、はやぶさ2科学チーム	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 実施主体：JAXA、はやぶさ2科学チーム
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。	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 実施主体：JAXA、はやぶさ2科学チーム	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 実施主体：JAXA、はやぶさ2科学チーム	・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。 ・探査ロボットにより、小惑星の表面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 実施主体：JAXA、はやぶさ2科学チーム
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 実施主体：JAXA	・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 実施主体：JAXA	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 実施主体：JAXA	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 実施主体：JAXA	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 実施主体：JAXA

3.「はやぶさ2」の開発方針

3.「はやぶさ2」の開発方針(1/4)



「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(1999JU3)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フィ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(2/4)



「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。主要な項目を次ページに示す。
- * 2007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。
- * 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(3/4)



「はやぶさ」ミッションからの教訓の取り込み(変更改善主要項目)

- システム： ヒータ動作詳細情報の出力、宇宙機管制の機能追加、など。
- 光学航法カメラ： モード割込時の問題回避、ホイールドライバの独立、など。
- 近赤外分光器： 蛍光X線分光計との同時観測、シャッタなど周辺も含めて改善、など。
- 蛍光X線分光計： 機上で線源による校正機能、デジタル処理能力の向上、など。
- イオンエンジン系：パルス型プラズマスラスタの採用検討、流量調整の独立化、など。
- サンブラ系： 試料採取量の増加、試料採取の確認方法、など。
- 航法誘導制御系：リアクションホイール冗長化、化学推進系ドライバの短絡故障対策、など。
- 電源系： 機器の冗長構成、短絡故障での波及抑止対策、など。
- データ処理系： 機器の部品変更、など。
- 化学推進系： A系/B系の配管を別ルーティングとする、遮断弁を個別化、など
- 小型ローバー： 通信、分離機構の改良、など。

3.「はやぶさ2」の開発方針(4/4)



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。
- (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。

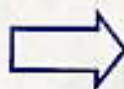
4. システム選定と基本設計要求

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、光学カメラ、赤外線分光計、LIDAR(距離測定)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。



サンプル分析



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。

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)



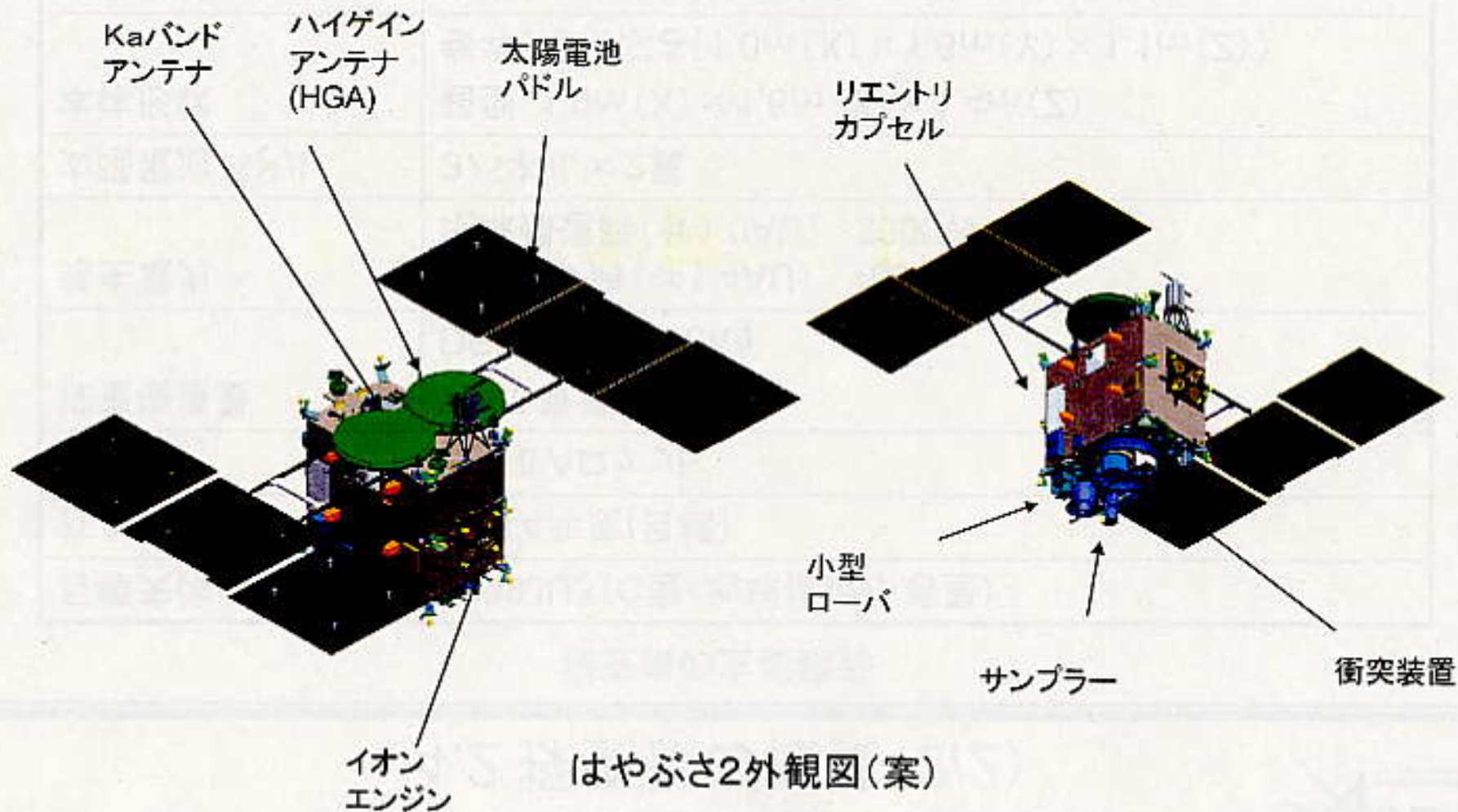
year	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	打上げ	地球スイングバイ			小惑星到着	衝突体の衝突 小惑星出発	地球帰還	詳細分析公募(*)



(*) 初期分析を1年間行った後、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)

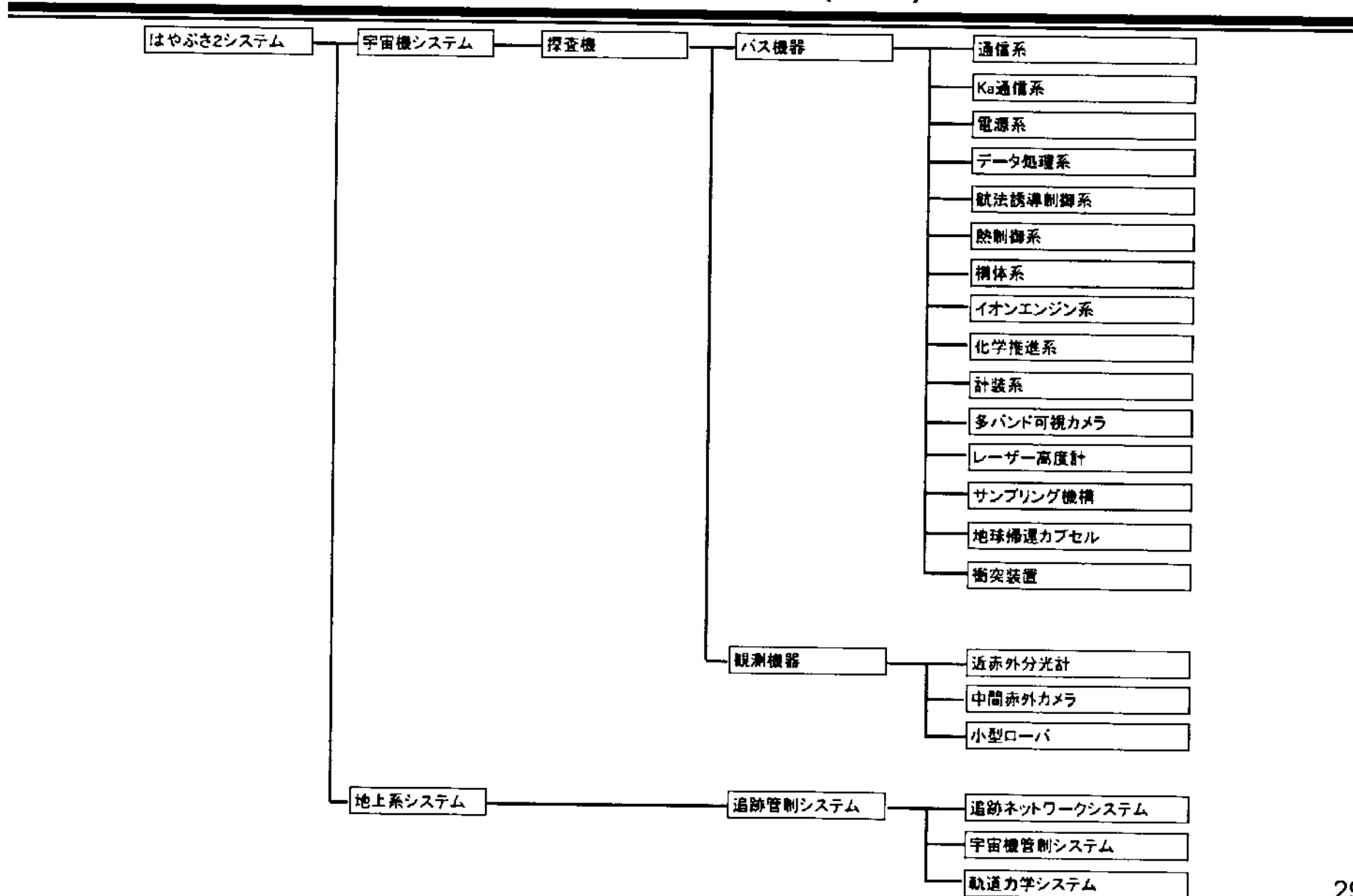


探査機の主要諸元

目標天体	1999JU3(C型・地球接近小惑星)
打上年度	2014年度(目標)
ロケット	H-IIAロケット
探査機重量	WET 重量 : 600Kg DRY 重量 : 500Kg
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
搭載観測機器	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、サンプリング機構、カプセル、小型ローバ

4. システム選定と基本設計要求

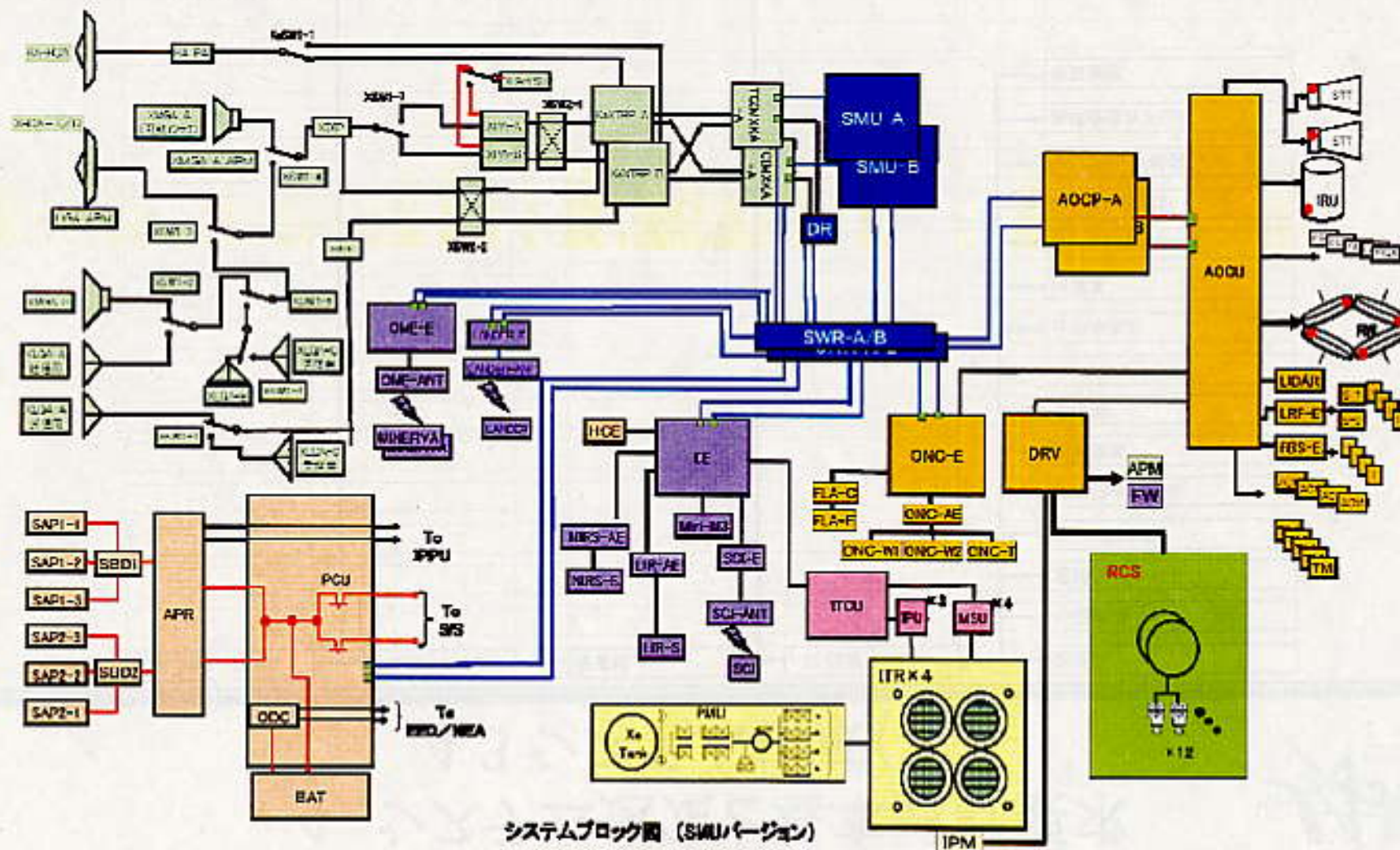
4.3 システム構成(1/2)



4. システム選定と基本設計要求

4.3 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

4.4 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

- ・軌道エネルギー(C3)は $9\text{km}^2/\text{s}^2$ 。これに適合する質量配分として、下記を設定する。
探査機質量(wet重量):600kg(ロケットインターフェースの重量は含まない。)

4. システム選定と基本設計要求

4.5 バスシステム設計要求



主要諸元一覧(バスシステム仕様、ミッションシステム仕様)

- 構造
 - はやぶさと同形式、総重量wet600kg以下。
- 航法誘導制御系
 - 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および20N RCS×12基
 - 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×1、広視野×2)、LIDAR、LRF、障害物センサー、ターゲットマーカー、フラッシュ。
- 推進系
 - 化学推進系: 2液ヒドラジン、調圧方式、スラスタ: 20N級12基
 - 化学推進剤タンク容量: 60kg
 - 電気推進系: $\mu 10$ イオンエンジン×4基。
 - Xe推薬容量: 80kg
- C&DH
 - 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)
- TT&C
 - Xup/Xdown、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ドップラーを可能とすること)
 - アンテナ構成: HGA1基、MGA2基、LGA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8kbps、最小8bps。
- Ka通信系
 - Ka帯を用いて、ミッションデータの送信を行う。
- 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、SAPIによりバス基本動作を賄う。SAPサイズ 2kW級。
 - 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
 - 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)
- ミッション系
 - サンプル機構/地球帰還カプセル 30kg
 - 搭載確定機器は、赤外分光計、中間赤外カメラ、小型ローバ。合計11.9kg以下。
 - 航法カメラ、LIDAR、LRFはサイエンス観測としても使用。
 - 衝突装置15kg。-Z面へ配置。ねじり分離方式

4. システム選定と基本設計要求

4.6 ミッション設計要求(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。 自由落下軌道の測定を行い、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。
サンプリング機構	着陸地点の小惑星表面試料を採取する。
地球帰還カプセル	採取した小惑星物質を地球に帰還させる。
衝突装置(**)	人工クレータをつくり、地下物質を露出させる。

* バス機器であるがサイエンス観測にも使用する。

** 科学観測、サンプリングを拡充させるための手段として用いる。

4. システム選定と基本設計要求

4.6 ミッション設計要求(2/2)



主要諸元一覧(ミッション機器仕様)

分類	項目	ノミナル機器				
		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
機械的I/F	サイズ	240 x 228 x 250 mm	240 x 130 x 130 mm	335 x 165 x 100 mm (分光器部のみ)	200 x 150 x 100 (Foodを除く)	φ180[mm] x 150[mm] (本体のみ)
	質量	3.7 kg	1.61kg (+ONC-AE 1.01kg and ONC-E 3.66kg)	約4.4kg	約4.0kg	約3.5kg(含むOME)
電気I/F	消費電力	17 [W](ヒータを除く)	<4.57 W (+ONC-AE <35W and ONC-E 26W)	30.5 W(TBD)	23.7 W(TBD)	5W(TBD)
データI/F	データ発生量	1pps(4Byte/s:測距2、強度1、ステータス1)	3MB/day. 特殊運用時は数10MBをDR記録。	21bps(25s毎に0.52 kB)	1MB/day(=7MB/week)程度。特殊運用時は数10MBをDR記録	
	必要回線速度		1Mbyte/sec以上(AMICA→DR)			
性能	計測概要	小惑星表面～探査機間の距離を測定	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、H2O/OHの存否、分布を計測する。	中間赤外スペクトル及び画像から温度と温度分布を計測する。	CCDカメラ×3(望遠、撮写) 温度計×6
	視野	1.7 mrad(0.097°)	5.7° x 5.7°	0.1° x 0.1°	5.7° x 5.7° (TBD)	47° x 36°
	空間分解能	—	2m/pixel@HP(高度20km)	35m@HP(高度20 km)	2m/pixel@HP(高度20km) (TBD)	—
	画素数	—	1024x1000	1 x 128	344 x 260	有効画素:768 x 494 出力画素:640 x 480
	観測波長範囲	—	1000nm、700nm、UV	1.7~3.4 μm (TBD)	8~12 μm	可視
	波長分解能	—	—	20 ~ 50 nm	≦1 μm幅	—
	その他	計測距離:50±1m - 50±0.01km 計測周波数:1Hz	—	—	観測温度範囲:220~400K (TBD) 絶対温度精度:1K	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自由落下計測を行うこと。	衝突前後に詳細な地形マッピング運用を行うこと。	センサ温度を-60°C以下(TBD)に制御できるようレイアウトを検討すること。	—	—
	TRL	6~8 (はやぶさのヘリテージ)	6~8 (Hayabusa/ONC, Planet-C/UVIのヘリテージ)	3 (検出器は新規開発)	6 (Planet-C/LIRのヘリテージ)	6 (はやぶさ/MINERVAのヘリテージ)

4. システム選定と基本設計要求

4.7 地上システム(1/2)

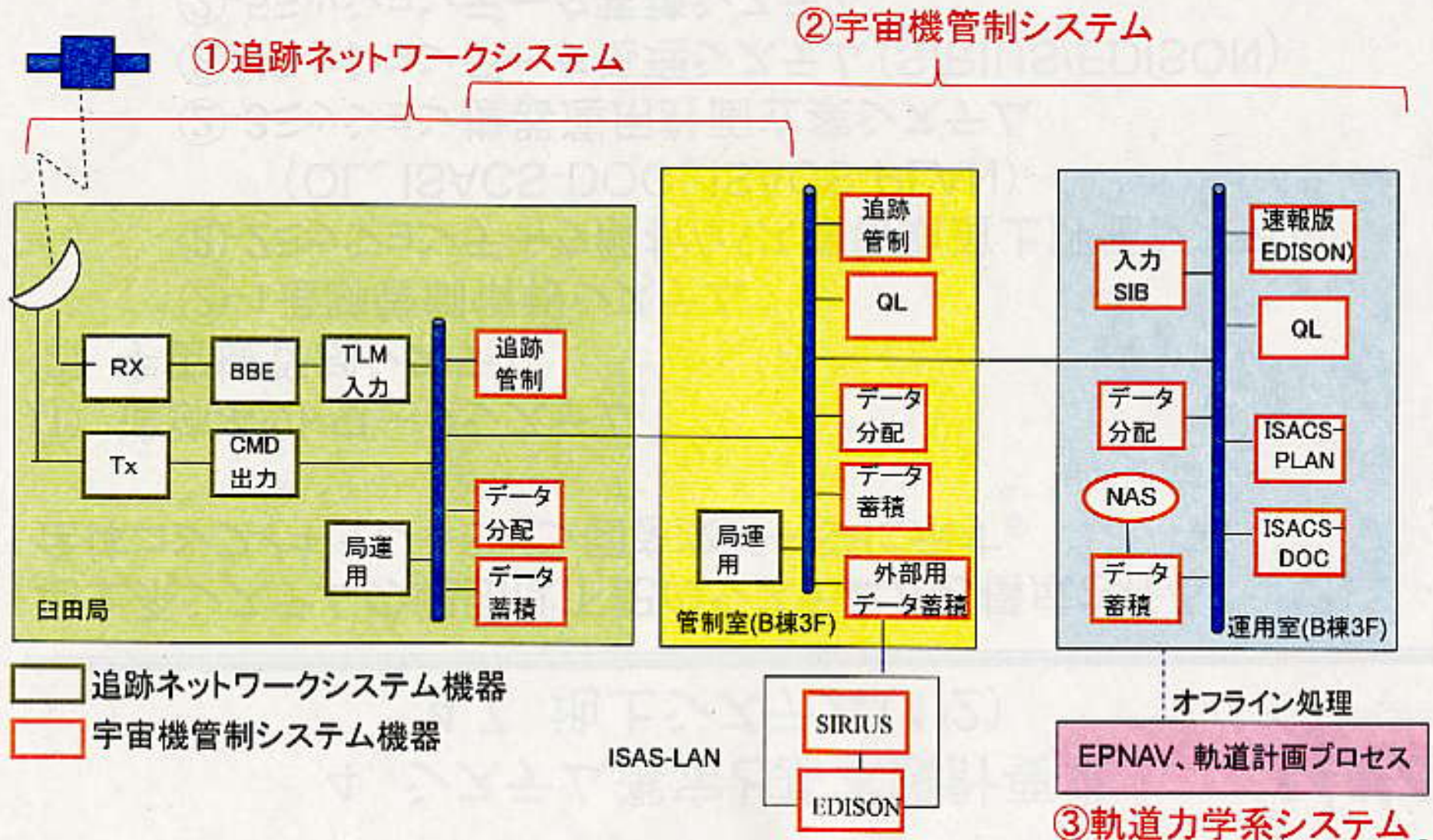


地上系システムの範囲は下記のシステムから構成される。
全体コンフィギュレーション図を次ページに示す。

- ① 追跡ネットワークシステム
- ② 宇宙機管制システム
 - ②-1追跡管制情報システム
 - ②-2ミッションデータ解析/バス機器軌道上評価システム
(QL、ISACS-DOC、ISACS-PLAN)
 - ②-3ミッション機器運用計画立案システム
 - ②-4ミッションデータ処理システム(SIRIUS/EDISON)
 - ②-5ミッションデータ蓄積システム
- ③ 軌道力学系システム

4. システム選定と基本設計要求

4.7 地上システム(2/2)



③ 軌道力学系システム

4. システム選定と基本設計要求

4.8 技術開発項目



- 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中間赤外カメラ
 - ④近赤外分光計
- 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、弾頭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、実現性はあると判断している。開発フェーズまでに、弾頭部の地上試験を実施することで、課題の抽出とリスクの低減を図る。
 - 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。開発フェーズまでに、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。
- 参考:各サブシステム毎の技術成熟度(TRL)をp.68以降に示す。

5. 開発計画

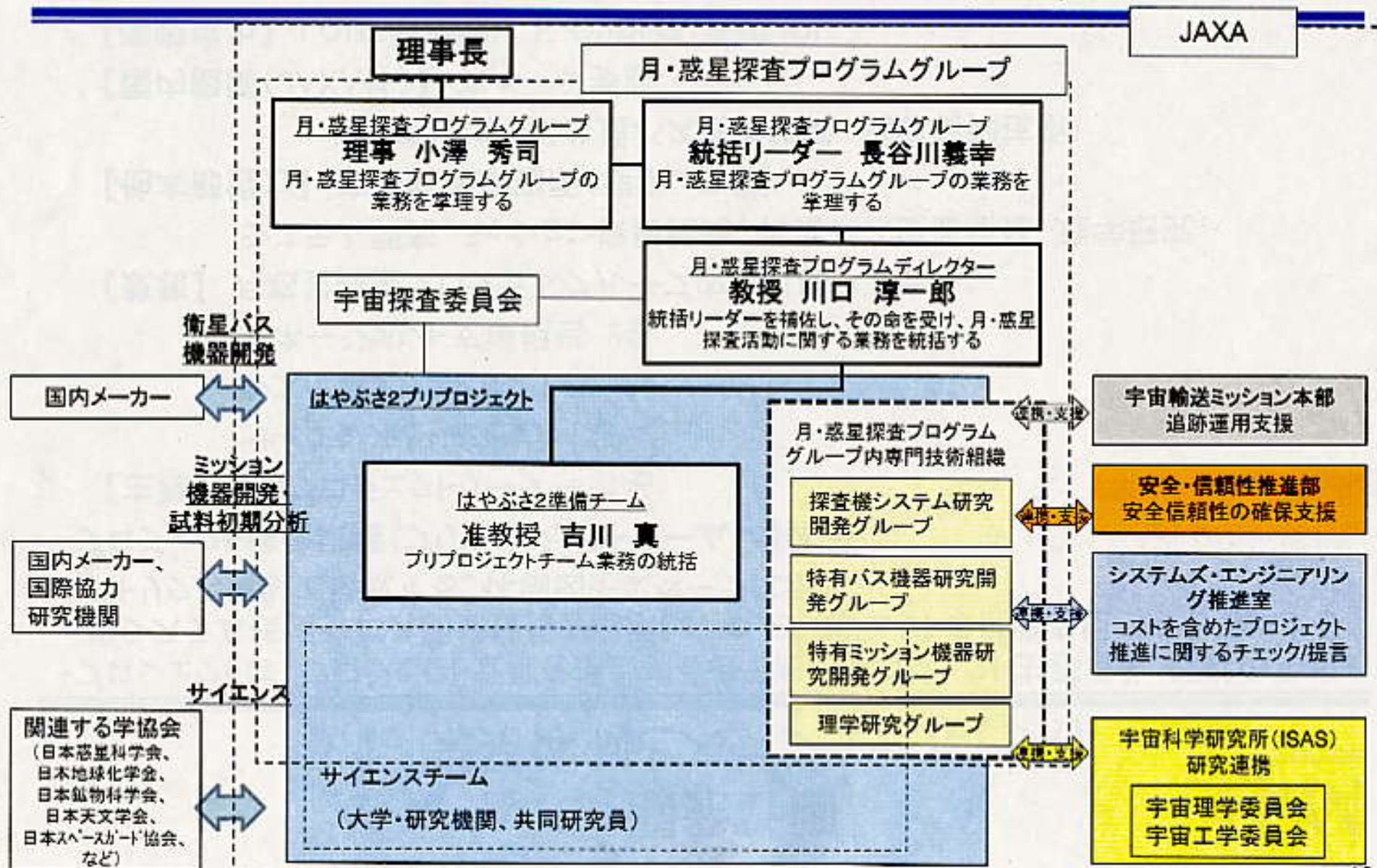
5. 開発計画

5.1 開発体制とスケジュール(1/4)

- ・プロジェクトは、プロジェクト管理を担当する若干名のプロジェクト主務者と、既存の宇宙機システム技術やバス開発技術を継承しつつ、プロジェクトの開発を担当する者によるマトリクス体制で構成する。体制図を次ページに示す。
- ・プロジェクト準備段階(プリプロジェクトチーム)の体制:
 - 【主務】 プリプロジェクトリーダー:1名
 - サイエンスとりまとめ:1名
 - システムとりまとめ:1名
 - マネジメント支援担当:2名
 - 【兼務】 月惑星探査プログラムグループ内マトリクス体制
 - システム開発、ミッション機器開発、特定バス機器開発、理学研究
 - 【他本部協力】 宇宙科学研究所(理学、工学)
 - 研究開発本部(共通バス機器技術、誘導制御技術)
 - 【国内機関(JAXA外)】 次ページ参照
 - 【国際協力】 LOI交換機関: ドイツDLR、米国JPL

5. 開発計画

5.1 開発体制とスケジュール(2/4)



5. 開発計画

5.1 開発体制とスケジュール(3/4)



プリプロジェクトチームの内訳(2010.07.1現在)

JAXA内: 34名

JAXA外: 64名(34機関)

所属人数	機関数	機関名
8	1	会津大学
6	1	国立天文台
5	2	東京大学, 日本大学
4	1	大阪大学
2	6	九州工業大学, 国立環境研究所, 東海大学, 日本スペースガード協会, 国立中央大学天文研究所, 岡山地球物質研
1	21	Friedrich Schiller University, Brown University, 愛知東邦大学, 茨城大学, 海洋研究開発機構, 京都大学, 広島大学, 福島工業高等専門学校, 産業技術総合研究所, 首都大学東京, 情報通信研究機構, 神戸大学, 総合研究大学院大学, 東京工業大学, 日本原子力研究開発機構, 福岡工業大学, 北海道教育大学, 北海道大学, 和歌山大学, NASA JSC, ハワイ大HIGP

5. 開発計画

5.1 開発体制とスケジュール(4/4)



年度	FY22	FY23	FY24	FY25	FY26
	FY2010	FY2011	FY2012	FY2013	FY2014
		▲プロジェクト移行		▲探査機納入	▲打上
スケジュール	概念検討	概念/基本設計	詳細設計	総合試験	射場
		設計	FM製作	一機/単体環境	

「はやぶさ」探査機の技術を最大限に継承することで、開発期間の短縮を図っている(変更箇所を最小限に限定)。

5. 開発計画

5.2 資金計画



「はやぶさ2」プロジェクトの資金計画は、探査機開発費(約148億円)^(注1)と運用費(約16億円)^(注2)で、合計約164億円を目標とする。

(注1)「はやぶさ」の教訓を反映した信頼性向上、衝突装置等の追加、原材料等の価格上昇によるコスト増のため、「はやぶさ」の設計活用等によるコスト減を相殺し、「はやぶさ」と比してコスト増となっている。

(注2) 地上系、ソフトウェア開発を含む。ただし、打上サービスおよび初期分析費は含まない。

参考：過去・現在の類似探査機開発費(打上費用除く)

- はやぶさ (日本、小惑星サンプルリターン、運用2003-2010年):
約127億円(運用費は含まない)
- スターダスト (米国、彗星塵サンプルリターン、運用1999-2006年):
約1.5億米ドル(180億円:1999年支出官レート)
- オシリス・レックス(米国、小惑星サンプルリターン、フェーズA検討中):
6.50億米ドル以下(611億円:2010年支出官レート)
- マルコポーロ (ESA、小惑星サンプルリターン、計画中):
約4.75億ユーロ(635億円:2010年支出官レート)

6. リスク管理

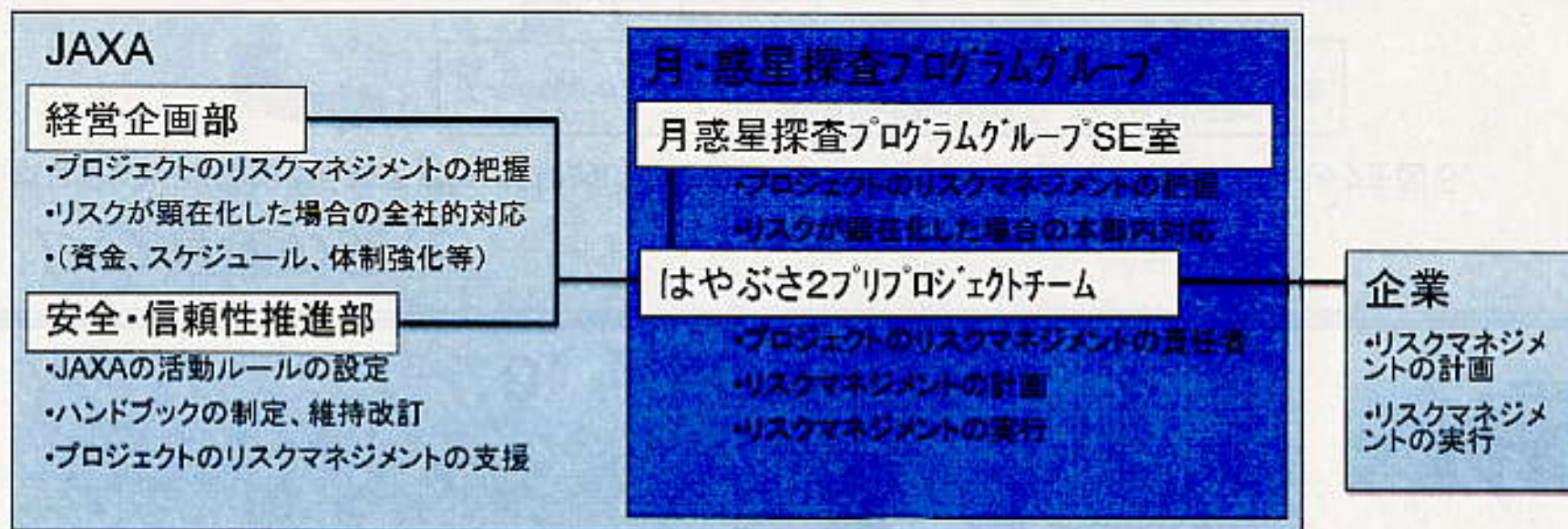
6. リスク管理(1/4)

(1) リスク管理方針

はやぶさ2開発のリスクについては、探査機の開発に係わるリスクを許容できる範囲に低減し、探査機開発を確実に実行するために、リスク管理は、RQA-A0002「科学衛星リスクマネジメント標準」に基づいて管理を行う。

(2) リスク管理の実施計画

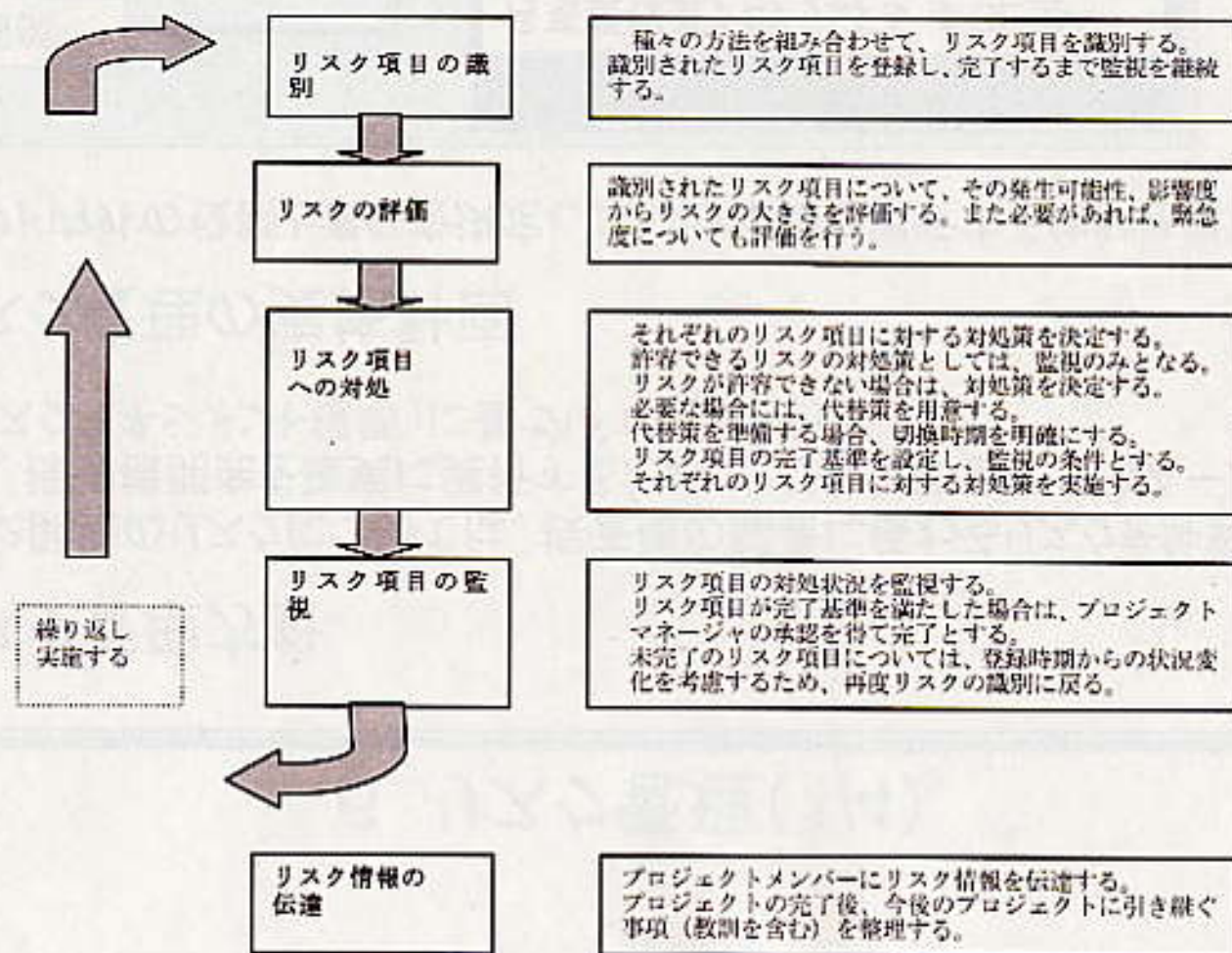
プロジェクト内外の役割と責任を決定し、リスク管理を実行する体制を構築する。



6. リスク管理(2/4)

リスク管理の実行

プロジェクトの開始から終了まで、継続的に以下のリスク管理を実行し、開発へのフィードバックを図る。



6. リスク管理(3/4)

リスク識別と対処方針

はやぶさ2リスク識別結果のうち、マネジメントリスク及び探査機に特有な技術リスクのうち主要なものの研究／開発研究段階での計画を以下に示す。

リスク項目	プロジェクト	開発研究段階での対処計画
H-IIAロケット打上げの遅延 【カテゴリ1】	ロケット	次回の打ち上げは5年以上先になるため、JAXA内関係部署との調整を密にして遅延を防止する。
探査機開発の遅延 【カテゴリ2】	探査機	開発作業項目をブレークダウンし、衛星開発の全フェーズでクリティカルパスを明確化するとともに、マスタスケジュール等でスケジュールの進捗管理を徹底して、スケジュール遅延を未然に防ぐ。
DSN局の支援確保 【カテゴリ2】	探査機	海外局が確保できないと運用に大きな支障がでるため、JAXA内外関係部署との調整を密にして遅延を防止する。

(注)

【カテゴリ1】: JAXA/プロジェクトのコントロールが困難な外的要因が主で、必要に応じ追加コスト、スケジュール見直しを要するもの

【カテゴリ2】: 内的要因が主で、研究段階でリスクとして識別されたもの

6. リスク管理(4/4)

リスク識別と対処方針

はやぶさ2プロジェクトリスク識別結果のうち、はやぶさ2システムに特有な技術リスクのうち主要なものの研究／開発研究段階での計画を以下に示す。

リスク項目	プロジェクト	開発研究段階での対処計画
衝突装置の開発 【カテゴリ2】	探査機	早期に設計を行い、EMの開発を実施する。探査機姿勢系と合わせた設計検討と地上検証を行う。安全設計についても早期に着手を行い、設計検討と地上検証を行う。
近赤外分光計の開発 【カテゴリ2】	探査機	早期に設計を行い、EMの開発を実施する。探査機姿勢系と合わせた設計検討と地上検証を行う。

(注)

【カテゴリ1】: JAXA/プロジェクトのコントロールが困難な外的要因が主で、必要に応じ追加コスト、スケジュール見直しを要するもの

【カテゴリ2】: 内的要因が主で、研究段階でリスクとして識別されたもの

7. まとめ

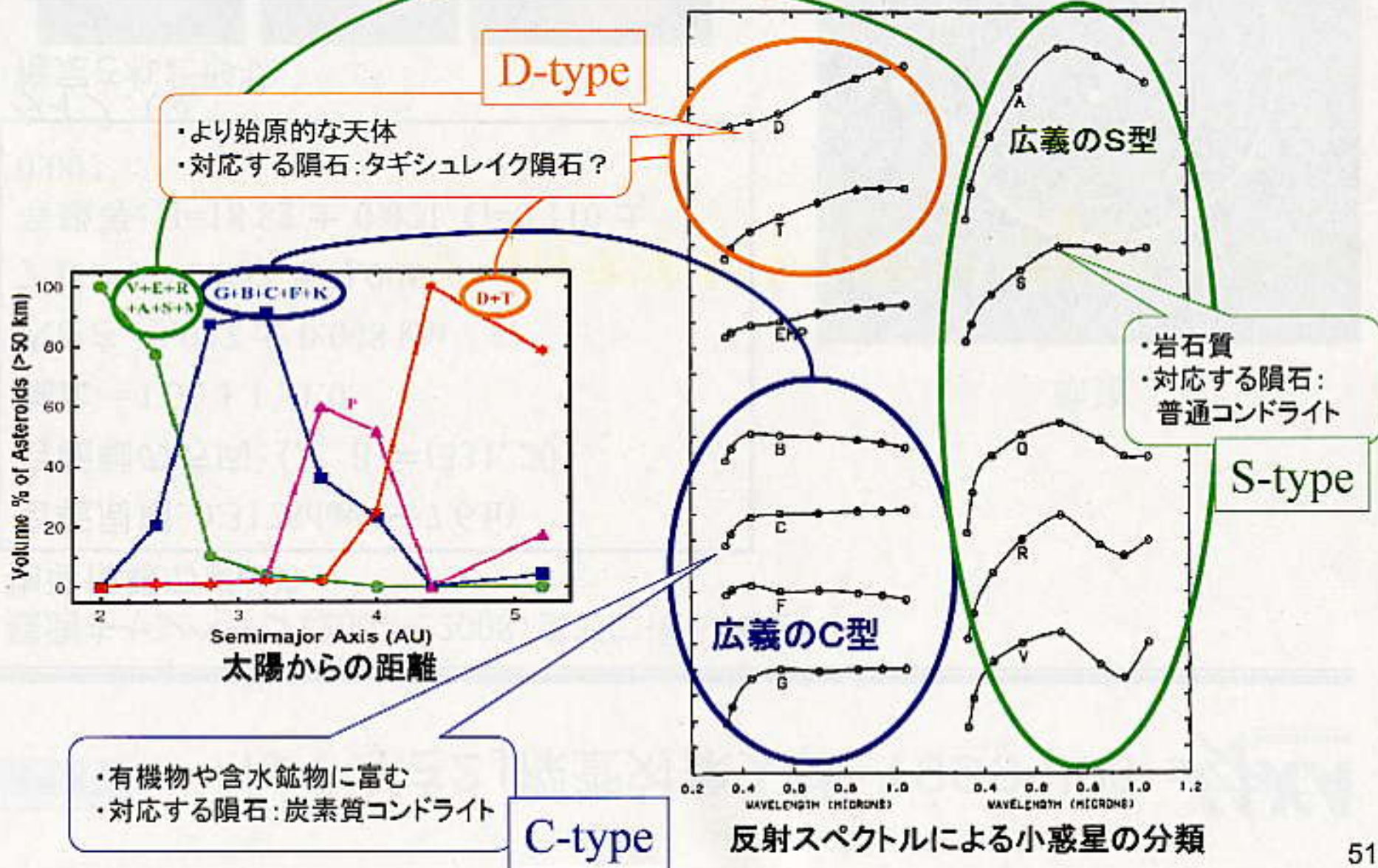


- はやぶさ2は、我が国の宇宙開発に係る政策に則って具体化されたものであるとともに、「太陽系探査科学の進むべき方向」(平成19年3月)に位置づけられたミッションであり、その科学的・技術的・社会的意義について明らかにした。(1. 意義・目的)
- はやぶさ2ミッションの意義に対応し、ミッションの目的および目標それぞれを設定した。(2. 目標)
- はやぶさ2は、はやぶさの成果を活用し、信頼性の確保のため既開発技術をベースとする。新規開発機器についてはキーとなる技術の機能性能を確認して、確実な開発を図ることを方針とした。(3. 開発方針)
- JAXA内および研究機関の実施体制を明確にした。(5. 開発計画)
- その他、システム選定及び基本設計要求、開発計画、リスク管理の各項目について開発研究移行段階における検討・実施状況を明らかにした。(4. システム選定および基本設計要求、5. 開発計画、6. リスク管理)。

以上から、はやぶさ2の開発研究段階への移行が可能である。

参考資料

小惑星の型について



観測キャンペーン(2007~2008)までに得られた
物理情報のまとめ

自転周期: 0.3178day (≒7.6 h)
 自転軸の方向: $(\lambda, \beta) = (331, 20)$
 軸比 = 1.3 : 1.1 : 1.0
 大きさ: 0.922 ± 0.048 km
 アルベド: 0.063 ± 0.006
 等級等: $H=18.82 \pm 0.021, G=0.110 \pm 0.007$

タイプ: Cg
 推定された形状



図4: 正面



図5: 側面

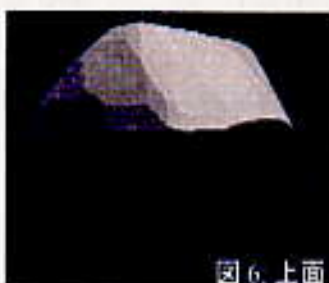


図6: 上面

(Kaasalainenらによる)

軌道



- ミッション目的がサンプルリターンであるので、探査機が往復可能な軌道にある天体である必要がある(ΔV が十分に小さい)。同時に、カプセルのリエントリー速度にも制限がある。「はやぶさ2」として仮定する探査機の規模は「はやぶさ」と同等であるため、イトカワ的な軌道のみが対象となる。
- 小惑星のスペクトル型、自転周期や自転軸の向き、大きさ、形状、表面の反射率などの物理データが分かっている必要がある。特に、自転周期は着陸の可否にとって重要であり、自転周期が短いものは不可。
- 「はやぶさ2」のミッション定義より、より始原的な天体の探査を行うことが理学的な目標となっている。具体的には、スペクトル型がC型の小惑星である必要がある。(S型の小惑星はすでに「はやぶさ」で探査したので理学的な新規性に欠ける。また、より始原的であるD型小惑星については、宇宙検疫の問題があり、現時点ではハードルが高い。)
- 以上を考慮すると、現時点では候補となる天体は、1999 JU3のみとなる。

軌道が算出されている小惑星：約46万個

↓

スペクトル型がわかっているもの：約3000個 【図1】 【図2】

↓

小惑星の自転周期：6時間以上 【図3】

↓

カプセルのリエントリー速度、探査機質量 【図4】

- ・リエントリー速度：12km/s以下
- ・探査機質量：600kg以下

探査対象天体絞り込みの過程-【図1】

参考資料

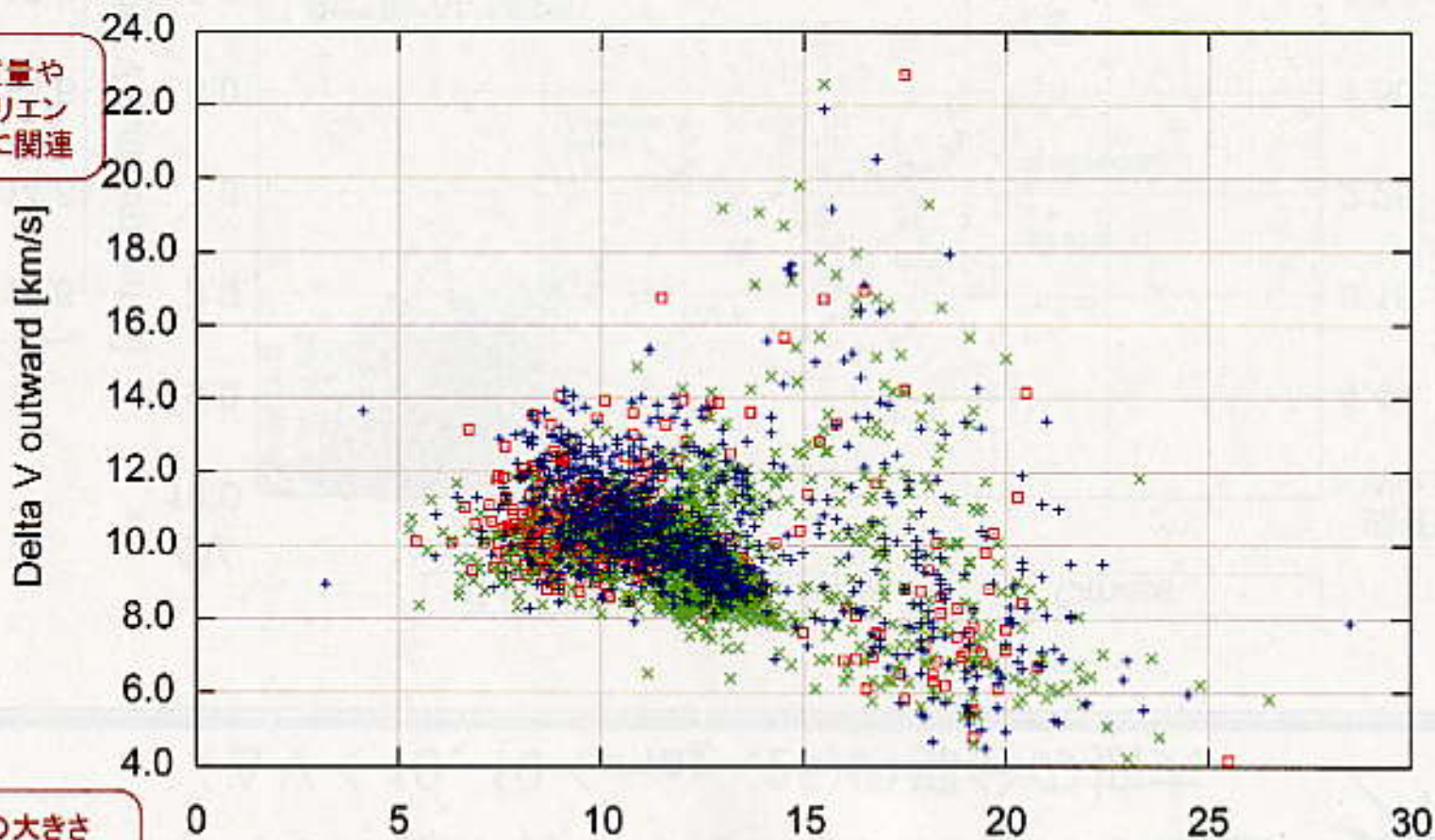
スペクトル型が分かっている3000個の小惑星



化学推進を仮定した場合の
行きの ΔV

C type \square S type \times Others $+$

探査機の質量や
カプセルのリエン
トリー速度に関連



小惑星の大きさ
の目安(アルベド
にも依存)

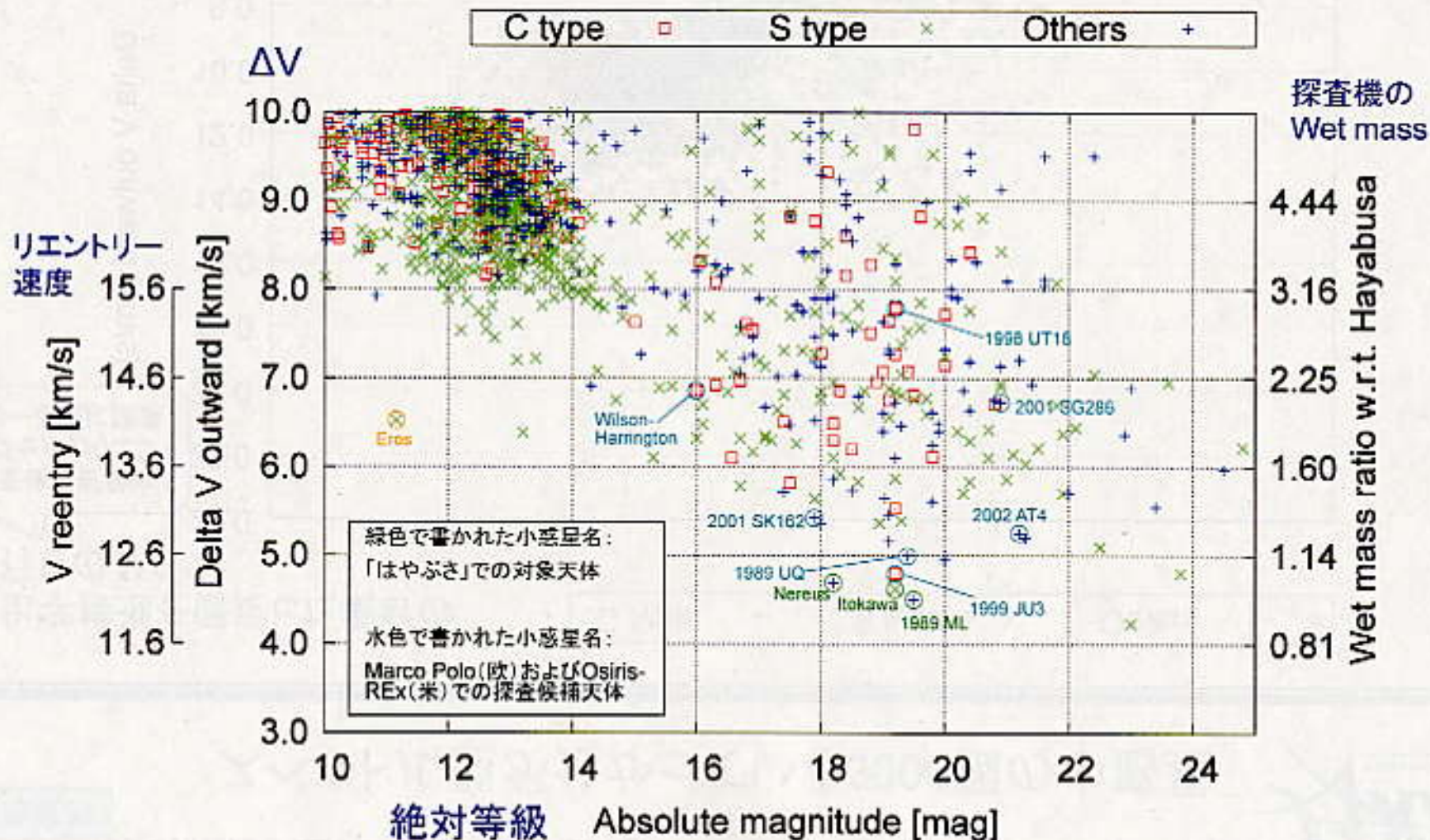
小惑星の絶対等級 Absolute magnitude [mag]

探査対象天体絞り込みの過程-【図2】

参考資料

スペクトル型が分かっている3000個の小惑星

($\Delta V < 10$ 、 $10 < \text{mag} < 25$)の部分の拡大



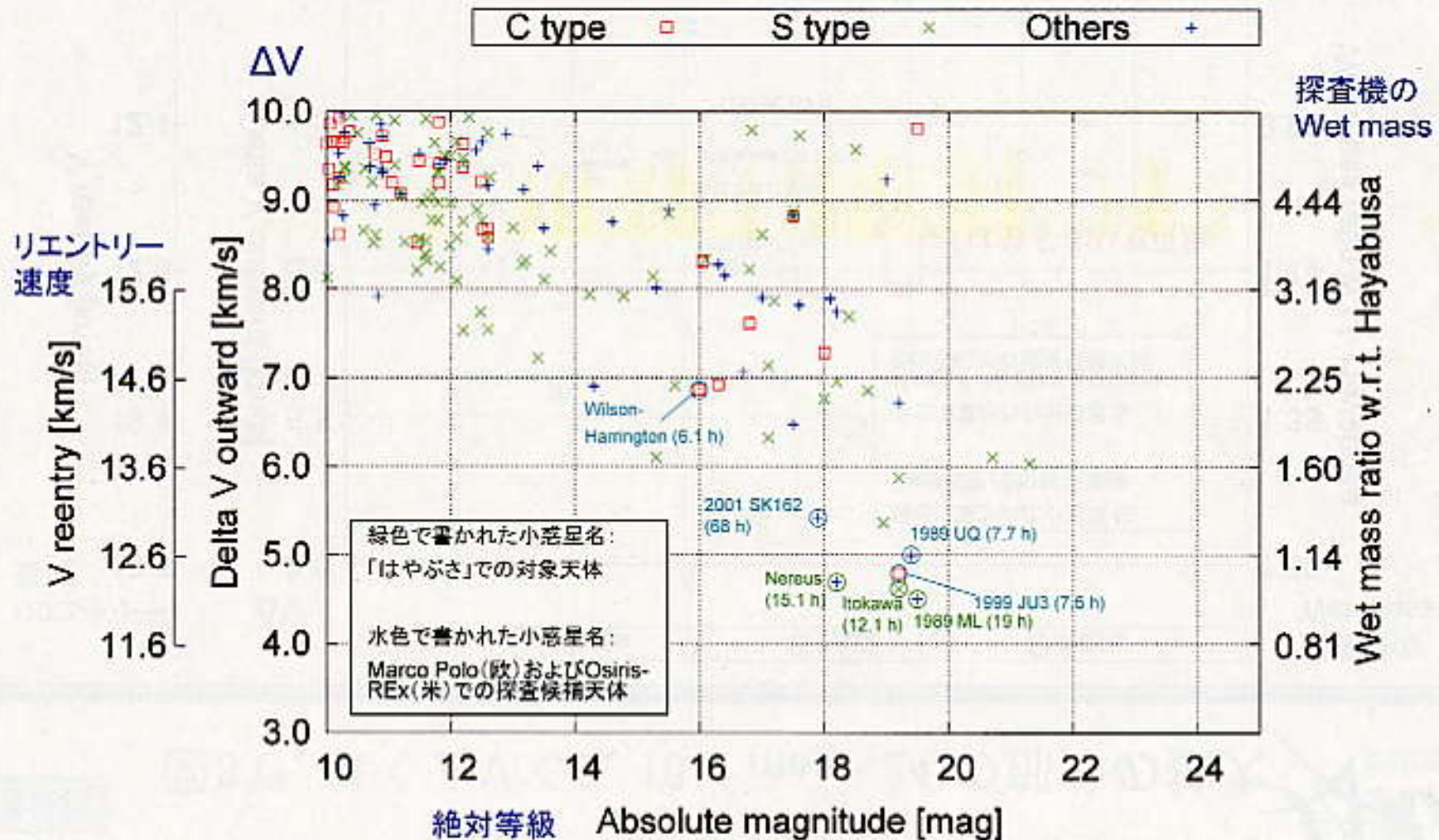
探査対象天体絞り込みの過程-【図3】

参考資料

さらに自転周期による絞り込み



図2で自転周期が6時間以上のものをプロット

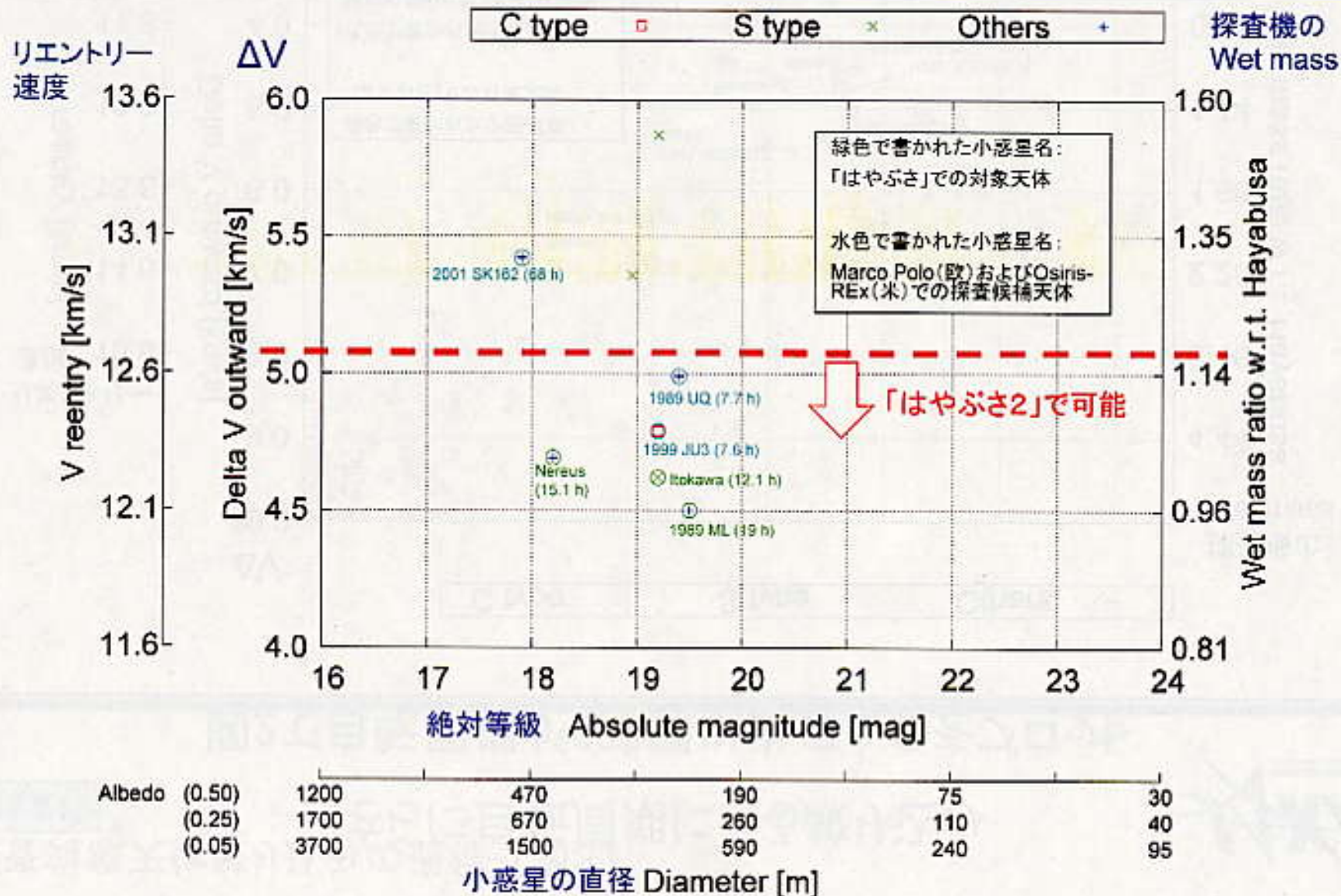


探査対象天体絞り込みの過程-【図4】

参考資料



図3で、 $(4 < \Delta V < 6, 16 < \text{mag} < 24)$ の部分の拡大



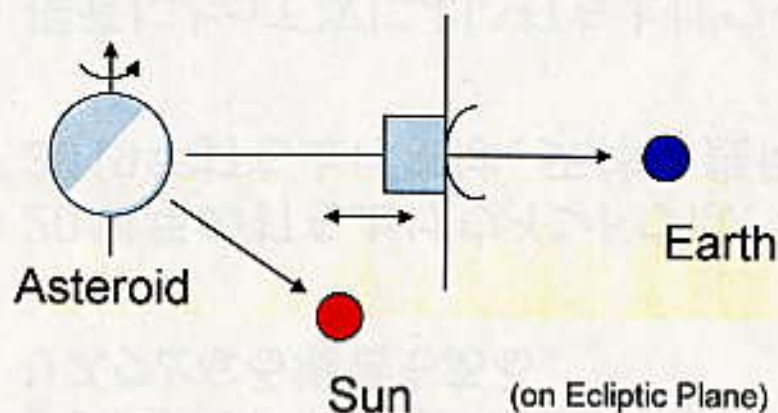
1999 JU3への打ち上げ好機が2014年であること



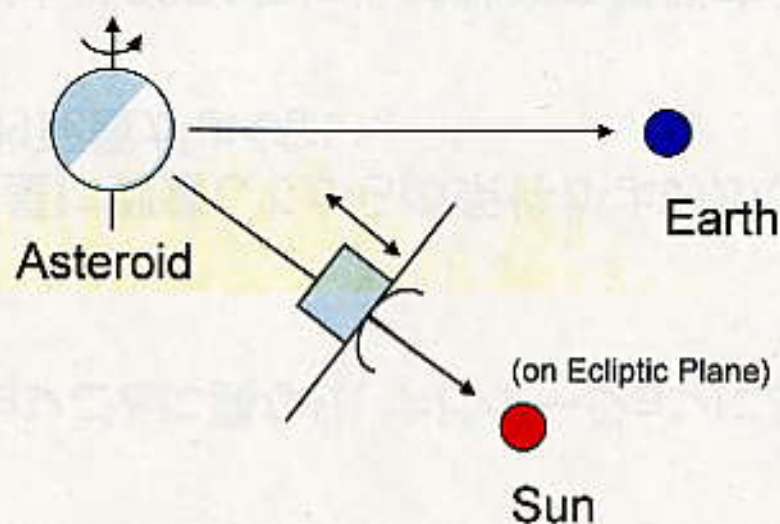
- 1999 JU3は、黄道面に対して、自転軸が横倒しに近いため、小惑星・探査機・太陽・地球の幾何学的位置関係によっては、永久日陰地域や地球からの永久非通信可能地域が存在する。仮に、タッチダウンできる地域がそのような場所にあった場合には、タッチダウンが行えないというリスクがある。
- タッチダウン時の影の付き方も、ミッションごとに異なり、ナビゲーションにとってリスクとなる場合もある。
- 2014年の打ち上げウインドウは、小惑星に到着してからの条件がよいが、2019年打ち上げでは、天体の幾何学的配置がよくない。
- 探査にとって次によい打ち上げウインドウは2024年に地球軌道を離脱するものとなり、2014年からは10年後となり、コミュニティーの維持は不可能となる。

太陽-対象天体-地球間の角度(SPE角)が大きいと 降下・着陸運用に大きなリスクが存在する

参考資料



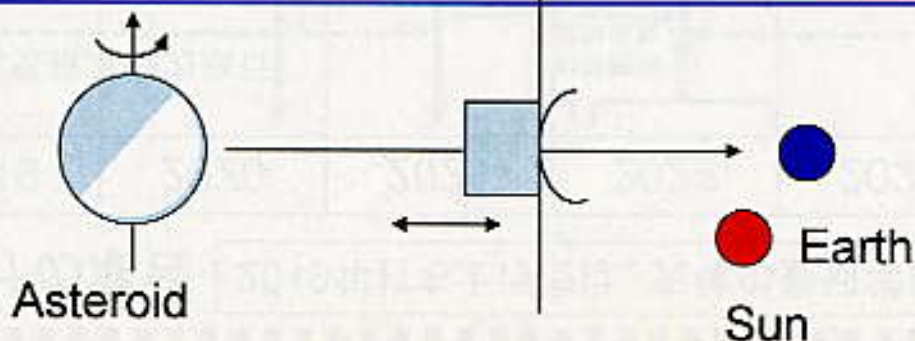
戦略-A：地球指向降下



戦略-B：太陽指向降下

電波情報で小惑星中心相対の航法情報は得られるが、太陽-対象天体-地球間の角度(SPE角)が大きいと、地形航法(レーザ高度計、地形情報)を校正できないため、リハーサルによる方策の確立は難しく、降下・着陸運用の信頼性は低く、リスクが高い。

永久日陰、永久交信不能域が存在すると、 降下・着陸運用に大きなリスクが存在する

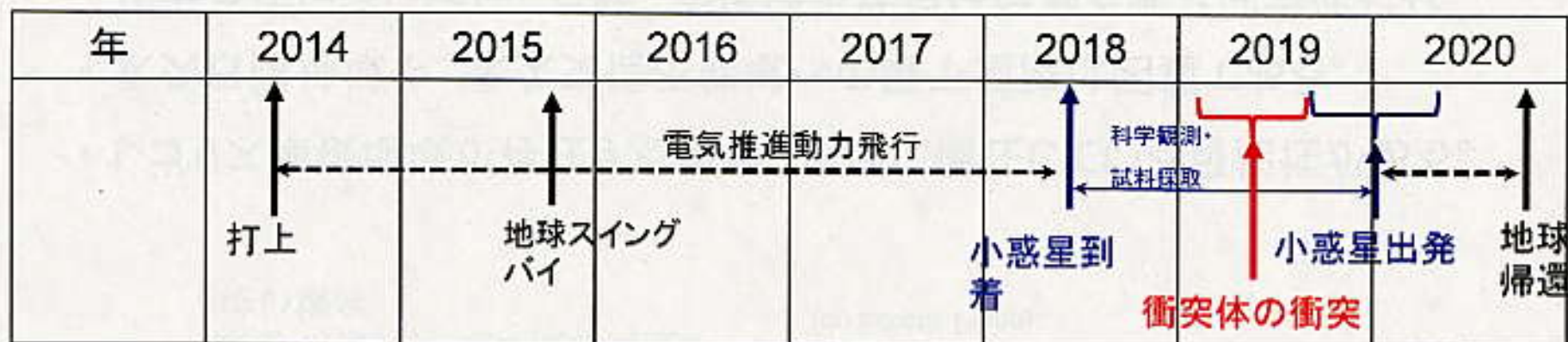


(太陽-対象天体-地球間の角度が
小さい場合.)

- レゴリス集積地域が存在する場合、極域に偏在している可能性がある。
- 永久日陰地域や、永久交信不能域への降下着陸は困難である。
- 片方の極については、日陰、交信域の確保は時期を選べば可能だが：

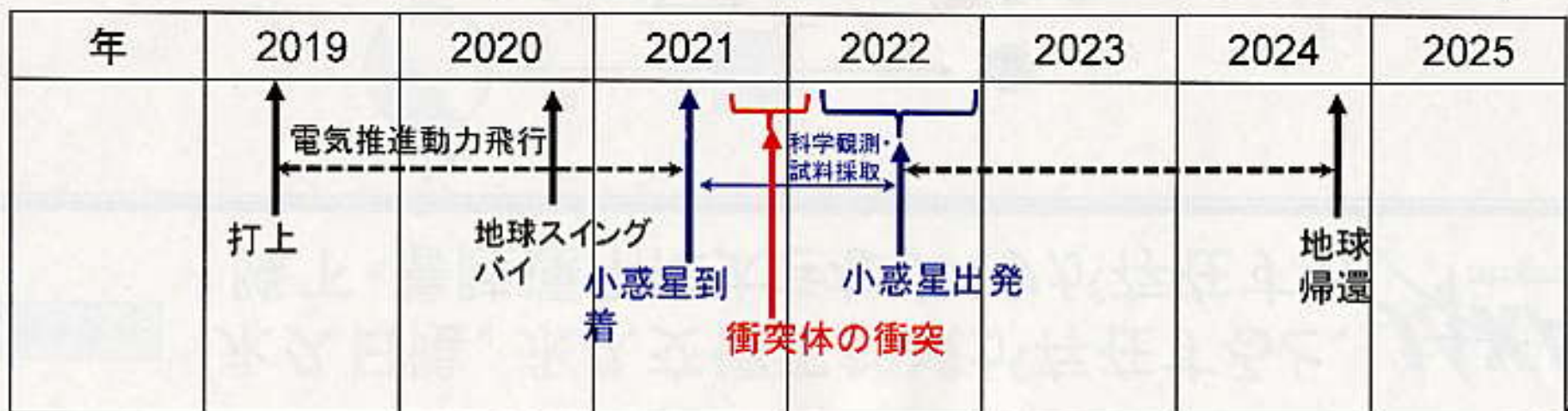
永久日陰、永久交信不能域が存在すると、(太陽-対象天体-地球間の角度が小さくても、)特徴地形が、自転に連れて出現・消失するほか、影の伸縮が大きく、地形航法を妨げ、降下・着陸は困難である。

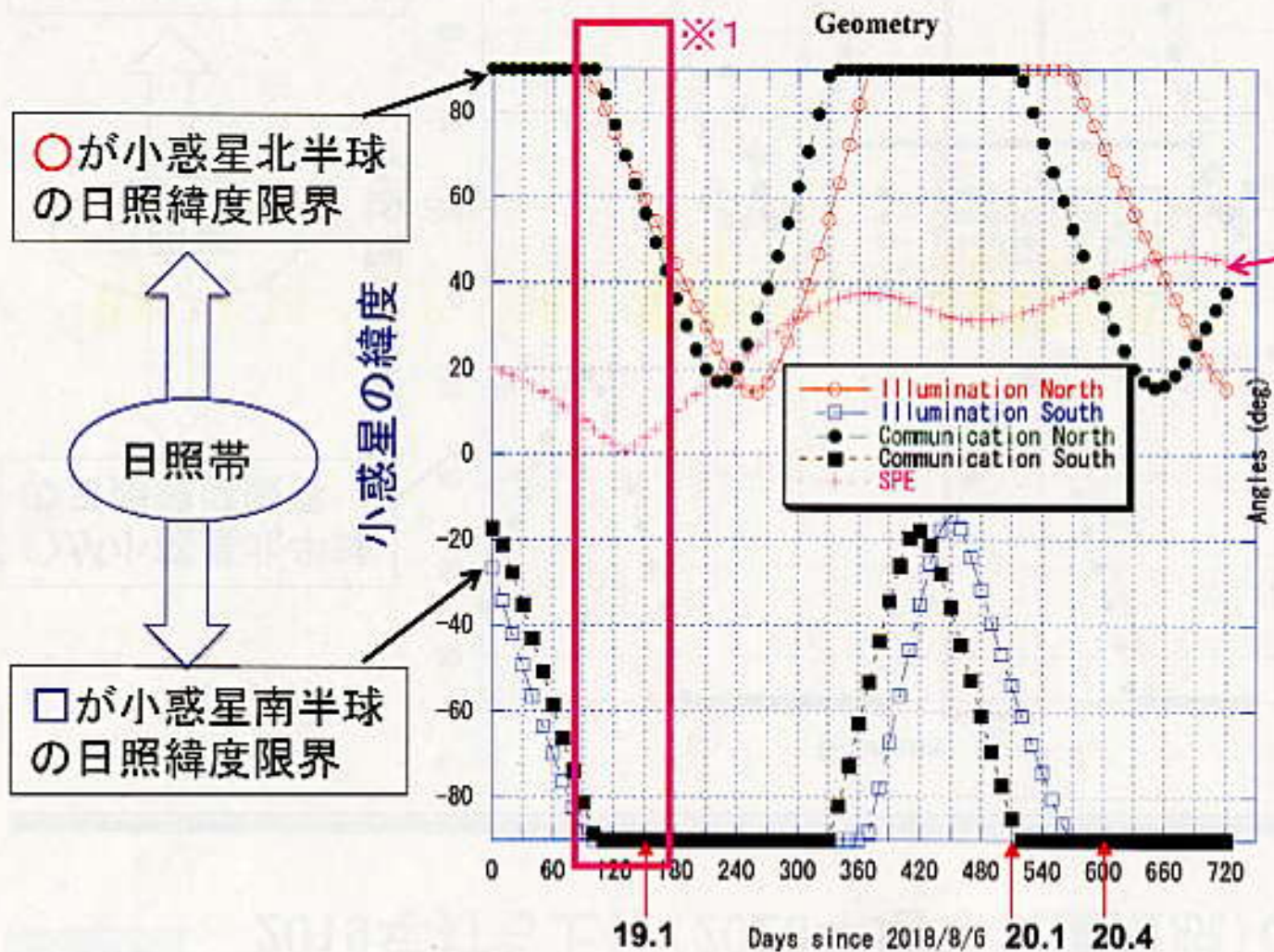
2014年打ち上げの場合



2019年打ち上げの場合

2019年打ち上げでは、天体の幾何学的配置上、ミッション困難





○が小惑星北半球の日照緯度限界



□が小惑星南半球の日照緯度限界

小惑星の緯度

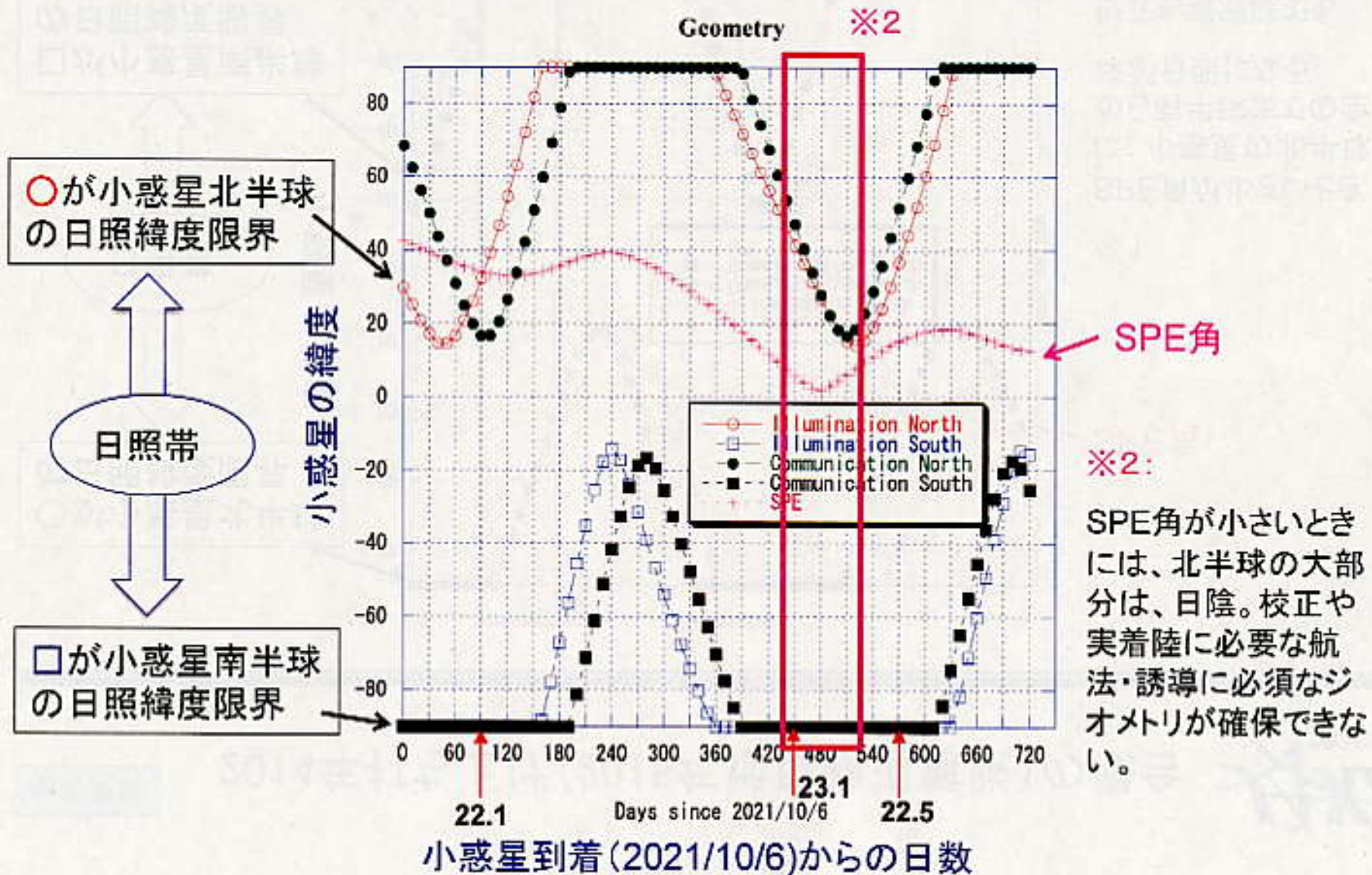
SPE角

※1:

SPE角が小さいときに、小惑星の北半球から南半球までの全球が日照になる。

校正も実着陸でも、航法・誘導に必須なジオメトリを確保できる。

小惑星到着(2018/8/6)からの日数



技術成熟度(TRL)

「特定の技術の成熟度の評価を行い、異なったタイプの技術の成熟度の比較をすることができるシステムティックな定量尺度」

表 JAXA/TRL基準の「レベル判定早見表」(スタンダード版)

	アイテムのレベル(*1)	環境	実証レベル	宇宙機搭載コンポーネントの場合の判定の目安
TRL9	実際のモデル	宇宙	ミッションの成功を通じた、「フライト・ブループリント」	・実際の運用条件の定常運用状態において、宇宙機システムの一部として、技術仕様で規定する機能・性能を実証
TRL8	実際のモデル	地上か宇宙	試験ないし実証を通じた「フライト認定」	・実際の運用条件において、宇宙機システムの一部として、初期機能確認が完了
TRL7	フライトモデル(FM)	宇宙(*2)	実証	・実際の運用にある程度近い運用条件において、宇宙機システムの一部として機能
TRL6	プロトタイプモデル(PM)	地上か宇宙(*3)	実証(フライトモデルとほぼ同一のコンフィギュレーション)	・QTが完了 ・事前実証用のフライトモデルで宇宙実証(小型衛星による事前宇宙実証等)
TRL5	エンジニアリングモデル(EM)	相当環境	実証(フライトモデルとは異なるコンフィギュレーション)	・開発試験完了
TRL4	ブレッドボードモデル(BBM)	実験室環境	検証	・コア技術の設計仕様の検証
TRL3	コンセプト実証のための機能モデル	----	クリティカル機能や特性の分析的及び実験的なコンセプト証明	
TRL2	テクノロジーコンセプトやアプリケーション	----	明確化	
TRL1	基本原理	----	観察、報告	

はやぶさ2の探査機の技術成熟度(2/3)



サブシステム	構成機器	開発実績	TRL	備考
通信系	HGA、その他	あかつき	6-8	平面型に変更 ポインティングメカニズム追加
Ka通信系	TRP、その他	きずな、商用衛星	6-8	
電源系	SAP、BAT、PCU、SBD、APR	はやぶさ	8	
データ処理系	DHU	はやぶさ/小型科学衛星	6-8	高速処理化
	DR	はやぶさ	6-8	容量増加
	その他	はやぶさ	8	
航法誘導制御系	ONC-W1	はやぶさ	6-8	JU3への適合化
	ONC-W2	はやぶさ	6-8	JU3への適合化
	ONC-T	はやぶさ	6-8	JU3への適合化
	LRF	はやぶさ	6-8	直下ビーム追加
	LIDAR	はやぶさ	6-8	枯渴部品対応
	WDE	はやぶさ	6-8	RW 4個に変更のため
	FLA	はやぶさ	6-8	枯渴部品対応
	TM	はやぶさ	6-8	JU3への適合化・再帰反射特性変更
	着陸航法ソフトウェア	はやぶさ	6-8	JU3への適合化、試料採取運用のロバスト化
	その他	はやぶさ	8	

サブシステム	構成機器	開発実績	TRL	備考
熱制御系		はやぶさ	8	
構造系	構造体	はやぶさ	6-8	構造体強化
	その他	はやぶさ	8	
電気推進系		はやぶさ	8	
化学推進系	配管系統	はやぶさ	6-8	配管経路の変更
	その他	はやぶさ他	8	
電気計装系		はやぶさ	8	
サンプリング機構	ホーン・プロジェクタ・搬送部	はやぶさ	6-8	機能追加・変更
	その他(キャッチャ・コンテナ)	はやぶさ	6-8	JU3試料に適合化
地球帰還カプセル		はやぶさ	8	
衝突装置	弾頭部	新規	4	予備実証済
	点火回路・安全機構・エレキ	新規	4-6	過去の衛星・ロケットの実績品の利活用
	分離機構	はやぶさ	6	はやぶさのカプセル分離機構相当
小型ローバ		はやぶさ	8	
理学観測機器	近赤外分光計	新規	3	はやぶさ搭載機器からの素子及び光学系の変更
	中間赤外カメラ	あかつき	6	温度範囲変更、フィルタ追加を検討中
	レーダ、蛍光X線分光計、小型ローバ(二機目)、ランダ	はやぶさなど	3-8	オプション機器
地上系		はやぶさ	8	

2009年12月24日 はやぶさ2 SSR科学技術評価委員会からの答申

- ・委員長： 塚本尚義
- ・委員： 18名(構成員は次ページ参照のこと)

抜粋：

「・・・ 結局のところ、独立衝突機による計画はその物理的不確定さからサンプルリターンミッションと融合するには困難が予想され、逆に、搭載型衝突体による計画はサンプルリターンを確実にし、小惑星の新鮮な内部物質探査(うまくいけばサンプル採取も)の可能性もあると結論された。そのため、「はやぶさ2」において搭載型衝突体を付加するというプリ・プロジェクトチームの結論は、極めて合理的であったと本委員会は評価する。・・・」

「・・・ 当委員会は、本計画のシステム要求は人類の根源的な疑問に解決の糸口を与える第一段階の実現可能なミッションとなっており、サイエンスコミュニティーに十分支援されていると評価する。・・・」

はやぶさ2 SRR科学技術評価委員

18名：JAXA10名(JSPEC3名)、大学8名、
理学8名(固体惑星2名)、工学7名、ジャーナリスト1名



委員(五十音順)	探査委員	理学委員	工学委員
坂本尚義(委員長)	○		
上野宗孝(幹事)			
海老沢研(幹事)		○	
藤本正樹(幹事)	○	○	
岩田隆敬			
上野誠也	○		○
佐藤殷彦	○	○	
杉田精司	○	○	
高島 健			
趙 孟佑			
常田佐久		○	
寺門和夫	○		
戸田知朗			
西田信一郎	○		
花田俊也			
日比谷孟俊			
村上 浩		○	
吉田和哉	○		

学協会関連

ミッションの要求の背景となる事項として、学協会から寄せられた支援の声明文、要望書を示す。

学協会	年・月・日	文書	主要コメント
地球電磁気・地球惑星圏学会	2006年12月4日	要望書 (1)	とくに世界初のサンプルリターンへの再挑戦として「はやぶさ2」を遅滞なく計画され、実行されようとしていることは、国民の期待に応えるという意味からも重要なことです。
日本鉱物科学会	2008年10月15日	声明文 (2)	現在世界の最先端にいる我が国が、このアドバンテージを最大限活かして「はやぶさ2」によるサンプルリターンミッションを主体的・継続的に行っていくことが極めて重要なことだと思われます。
	2009年7月	声明文 (3)	内部構造探査として極めて意義深い。 太陽系の物質科学的な研究にとって新しい時代の幕開けとなる。
日本地球化学会	2008年10月28日	声明文 (4)	小惑星試料を実験室内で再び手にする機会を実現することにより、世界から尊敬される科学技術立国日本の推進を強く希望する。
	2009年7月7日	声明文 (5)	C型小惑星の実体は何であるか突き止めることは、・・・その実現は夢でもあります。 太陽系外の銀河空間にいたる銀河規模の起源をもつもの。
日本スペースガード協会	2008年11月3日	声明文 (6)	スペースガードの視点で、「はやぶさ」に続く「はやぶさ2」の計画は重要な鍵となる。
	2009年7月7日	声明文 (7)	その(=衝突回避)ための基礎実験を行うことができ、スペースガードとして、高く評価することができます。

JAXA外からの評価・声明・要望

学協会からの要望(1)



2006年12月4日 地球電磁気・地球惑星圏学会・要望書(会長 本蔵 義守)

- ・学会員概数： 700名
- ・送付先： JAXA理事長 立川 敬二
- ・参照資料： 「JAXA 月惑星探査センターの新設に関わる要望書」

抜粋：

「・・・ 月・惑星探査のシリーズ化(はやぶさ2, セレーネ2, のぞみ2, などの実施)は, 技術目標の着実な実現のために重要であり, 高く評価できます。とくに世界初のサンプルリターンへの再挑戦として“はやぶさ2”を遅滞なく計画され, 実行されようとしていることは, 国民の期待に応えるという意味からも重要なことです。さらに, 探査のシリーズ化は, 研究対象の観測機会を大きく増すという点で, 科学的にも重要であります。・・・」

JAXA外からの評価・声明・要望

学協会からの要望(2)



2008年10月15日 日本鉱物科学会・声明文(会長 松原 聡)

- ・学会員概数： 1000名
- ・送付先： JAXA理事長 立川 敬二
- ・参照資料： 「宇宙航空研究開発機構の「はやぶさ2」計画に関する声明文」

抜粋：

「・・・S型・C型は最も代表的な反射スペクトルタイプであり、それぞれ普通コンドライト・炭素質コンドライト隕石に対応している・・・また、・・・太陽からの距離と関係を持って分布しており、太陽系の物質分布と構造を理解する上でも、大きな意味を持っています。・・・固体惑星探査におけるサンプルリターンという分野での国際競争の中で、現在世界の最先端にいる我が国が、このアドバンテージを最大限活かして「はやぶさ2」によるサンプルリターンミッションを主体的・継続的に行っていくことが極めて重要なことだと思われます。

・・・自然科学及び技術科学のコミュニティーの維持・連続性や次世代の人材育成を考えると是非とも本年度中に予算措置がなされ、「はやぶさ2」計画が速やかに実現されることを、強くお願いいたします。・・・」

JAXA外からの評価・声明・要望

学協会からの要望(3)



2009年7月 日本鉱物科学会・声明文(会長 松原 聡)

- ・学会員概数： 1000名
- ・送付先： JAXA理事長 立川 敬二
- ・参照資料：「はやぶさ2拡大ミッションについての声明文」

抜粋：

「・・・今回の拡大ミッションは内部構造探査として極めて意義深いものであると認識します。さらに、このような深さから物質が採取できた場合には、宇宙風化などを受けていない新鮮な物質がC型小惑星から回収される可能性があり、アポロ計画による月のサンプルリターンにも匹敵する画期的なものになると考えられます。・・・「はやぶさ2」拡大ミッションにより、隕石のみの研究では決して到達できない研究レベルへの到達がなされ、太陽系の物質科学的な研究にとって新しい時代の幕開けとなると確信します。・・・「はやぶさ2」の早期の実現を切にお願いするとともに、その成果を最大限に引き出すために、学会を挙げて協力することをお約束致します。」

JAXA外からの評価・声明・要望

学協会からの要望(4)



2008年10月28日 日本地球化学会・声明文(会長 蒲生 俊敬)

・送付先: JAXA理事長 立川 敬二

・参照資料: 「サンプルリターンプロジェクトの早期実現に向けた声明文」

抜粋:

「・・・(はやぶさ)回収サンプルの初期分析チーム(HASPET)には本学会の会員も少なからず参加しております。・・・サンプルリターンミッションが継続的に実施される事は、・・・社会的、経済的にも大きなプラス効果があると信じます。例えば、リターンサンプルの分析には最先端分析技術のイノベーションが必要不可欠であり、産業を活性化させる動機付け効果が大きいと思います。・・・

はやぶさ後継ミッションにより、小惑星サンプルリターン技術を日本の惑星探査の「お家芸」として確たるものとし、さらには小惑星試料を実験室内で再び手にする機会を実現することにより、世界から尊敬される科学技術立国日本の推進を強く希望するところです。こうした成果の積み重ねによって、固体惑星科学を含めた日本の宇宙科学が世界をリードすることを夢ではないと確信するとともに、日本地球化学会挙げてそうする努力を惜しまないことをお約束いたします。」

JAXA外からの評価・声明・要望

学協会からの要望(5)



2009年7月7日 日本地球化学会・声明文(会長 蒲生 俊敬)

- ・送付先: JAXA理事長 立川 敬二
- ・参照資料: 「はやぶさ-2実現に向けた声明文」

抜粋:

「…このミッションの目的であるC型小惑星の実体が何であるか突き止めることは、40年にわたる宇宙化学の最大の疑問であった「隕石のふるさとが小惑星かもしれない」に直接的な答えを与えることにもつながり、その実現は夢でもあります。…しかも、21世紀に入ってより、これらの微細鉱物は太陽近傍から太陽系外縁のみならず太陽系外の銀河空間にいたる銀河規模の起源をもつものである、この多起源の物質が顕微鏡で観察した一つの視野中に混在している事が初めて判明してきました。…世界の宇宙地球化学者の夢の実現に向けて、日本地球化学会挙げて協力を惜しまない事をお約束するとともに、「はやぶさ2」ミッションの実現を強く希望しておりますことをここに表明いたします。」

JAXA外からの評価・声明・要望

学協会からの要望(6)



2008年11月3日 日本スペースガード協会・声明文(理事長 高橋典嗣)

送付先: JAXA理事長 立川 敬二

学会員概数: 400名

・参照資料: 「「はやぶさ2」計画の実施を要望する声明」

抜粋: 「太陽系はその誕生から現在に至る生成過程において、天体の衝突を絶えず繰り返しており、地球はもちろんその例外ではありません。人類は幸いにも今までに大きな天体衝突現象をその歴史に留めていません。しかし小天体の衝突は近い将来においても起こり得る現象であり、しかもそれは地球上の生物に深刻な影響を及ぼし、多くの種の生存を危険にさらす可能性を持っているのです。

こうした、スペースガードの視点で、「はやぶさ」に続く「はやぶさ2」の計画は重要な鍵となると考えています。是非とも、「はやぶさ2」を実施していただきますよう、強く要望します。」

JAXA外からの評価・声明・要望

学協会からの要望(7)



2009年7月7日 日本スペースガード協会・声明文(理事長 高橋典嗣)

送付先: JAXA理事長 立川 敬二

学会員概数: 400名

・参照資料: 「はやぶさ2拡張ミッション実現に向けての声明」

抜粋: 「・・・天体の地球衝突問題を扱うスペースガードにとりましては、これは非常に重要なミッションとなりますので、改めて「はやぶさ2」に対する支援を表明いたします。・・・当然、衝突回避を行わないといけないこととなります。今回の「はやぶさ2」の拡張ミッションでは、そのための基礎実験を行うことができ、スペースガードとして、高く評価することができます。・・・スペースガードの活動として拡張された今回の「はやぶさ2」ミッションは、非常に重要かつ先駆的な課題であることから、日本スペースガード協会として是非ともその実現をお願いする次第です。」

JAXA外からの評価・声明・要望

2006年 はやぶさ後継機外部評価委員会



実施時期： 2006年9月13日～11月17日 計5回

委員会構成： 委員長： 水谷仁(ニュートンプレス編集長)

副委員長： 荒川義博(東京大学大学院工学系研究科教授)

政策関連委員： 3名(宇宙法、作家、教育)

探査技術委員： 6名(推進、材料、ロボティクス、精密、化学)

理学研究委員： 10名(惑星科学、鉱物学、天文学)

(うち日本惑星科学会会員は、水谷仁、海老原充、土山明、山本哲生、渡部潤一、井田茂、杉田精司の7名、占有率37%。)

・参照資料： 「はやぶさ後継機」外部評価報告書 水谷仁委員長 著

抜粋：「・・・C型小惑星はS型小惑星と並び、小惑星帯の主要な小惑星タイプで、有機物や水を多く含んだ物質からなり、太陽系の天体の中でもっとも始原的な天体のひとつであると考えられる。したがって提案されているミッションの実施が太陽系の起源を探る上で貴重な情報をもたらす事に疑いの余地はない。・・・」

「・・・以上の観点から、標記ミッションの提案は、高い科学的意義と、十分な技術水準のもとに設定されていることが確認でき、本委員会は全員一致の結論として、宇宙航空研究開発機構が早急に行うべき次惑星ミッションとして適当であると判定する。また、同時に、我が国で開発された「はやぶさ」型探査の主導性を維持すべく、本ミッションの速やかな実現を同機構に助言するものである。」

世界の太陽系小天体探査(1/2)



	1980	1990	2000	2010
フライバイ	1986<ハレー彗星> ベガ1号・2号、さきがけ、おいせい、ジオット、ICE 1985<ジャコビニ・ツィナー彗星> ICE	1991<ガスプラ>ガリレオ 1992<グリグ・シェレル彗星>ジオット 1993<イダ>ガリレオ 1996<マテルダ> ニア・シューメイカー 1999<プレリュ> ディープ・スペース1	2001<ボレリー彗星> ディープ・スペース1 2002<アンネフランク> スター・ダスト 2008<シュテインス> 2010<ルテティア> ロゼッタ 2004<ビルト2彗星> スター・ダスト 2005<テンベル1彗星> ディープ・インパクト	2015<冥王星> ニューホライズンズ 2011<テンベル1> NExT 2010<ハートレイ2> EPOXI
衝突				2019<1999 JU3> はやぶさ2
ランデブー・着陸			2000<エロス> ニア・シューメイカー	2014<チュルモフ・ゲラシメンコ> ロゼッタ 2011<ベスタ> 2015<セレス> ドーン
サンプルリターン			2005<イトカワ>はやぶさ (2010年帰還) 2004<ビルト2彗星> スター・ダスト(2006年帰還)	2018<1999 JU3> はやぶさ2

※年は天体に到着した(する)年を示す
 ※この他、火星衛星のフライバイ等あり

* はやぶさ2以外は、過去・現在に宇宙で運用されている探査プロジェクトのみを記載。

世界の太陽系小天体探査(2/2)



天体	国	探査機	図	結果および状況
冥王星・EKBO	米	New Horizons		フライバイ 2015年に冥王星・キロンをフライバイ観測。その後、EKBOフライバイを目指す。
小惑星	日	はやぶさ		ランデブー&着陸&サンプルリターン 2005年6月小惑星イトカワ到着、2010年6月地球帰還。
	米	Dawn		ランデブーx2 2011年にベスタ、2014年にセレスにランデブー。
彗星	欧	Rosetta /Philae		ランデブー&着陸 2008年シュテインス、2010年ルテティア、フライバイ。2014年にチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星到着、着陸。
	米	Stardust >NeXT		フライバイ&サンプルリターン 2011年テンペル第一彗星フライバイ。ヴィルド第二彗星フライバイ時に彗星塵を採集後、2006年1月、地球帰還。
	米	Deep Impact >EPOXI		フライバイ&インパクト 2005年テンペル第一彗星核に子機を衝突。2010年ハートレイ第二彗星フライバイ。

略語表(1/2)



ACM	Accelerometer		加速度計
AOCP	Attitude & Orbit Control Processor		姿勢軌道制御電子回路
AOCU	Attitude & Orbit Control Unit		姿勢軌道制御電子回路
APM	Antenna Pointing Mechanism		アンテナ指向機構
APR	Array Power Regulator		
BAT	Battery		バッテリー
CMD	Command		コマンド
DE	Digital Electric		デジタル回路
EDISON		-	衛星運用工学データベースの名称
EPNAV		-	電気推進による探査機誘導計画立案ソフト
FBS	Fan Beam Sensor		ファンビームセンサ
HGA	High Gain Antena		高利得アンテナ
IRU	Inertia Reference Unit		慣性基準装置
ISACS-DOC		-	科学衛星異常監視・診断システム
ISACS-PLAN		-	科学衛星異常監視・計画システム
Ka	Ka-band		Ka通信帯
KaSW	Ka-band Switch		Ka帯スイッチ
KaTRP	Ka-band Transponder		Ka帯中継器(トラポン)
LGA	Low Gain Antenna		低利得アンテナ
LRF	Laser Range Finder		レーダーレンジファインダー
MGA	Middle Gain Antenna		中利得アンテナ

略語表(2/2)



ODC	Ordnance Controller	火工品制御装置
PA	PreAmprifier	プリアンプ
PCU	Power Control Unit	電力制御器
QL	Quick Look	テレメトリ表示装置
RCS	Reaction Control System	推進系
RW	Reaction Wheel	リアクションホイール
RX	Reception	受信(回路)
SAP	Solar Array Panel	太陽電池パドル
SCI	Small Carried Impactor	衝突装置
SIB	Satellite Information Base	衛星情報データベース
SIRIUS	-	科学衛星テレメトリデータベースシステム
STT	Star Tracker	スタートラッカー
SW (SWT)	Switch	スイッチ
TLM	Telemetry	テレメトリ
TM	Target Marker	ターゲットマーカー
TRP	Transponder	中継器(トラポン)
TX	Transmission	送信(回路)
XDIP	Xband Diploer	ダイプレクサ、分波合波回路
XSW (XSWT)	X-band Switch	X帯スイッチ
XTRP	X-band Transponder	X帯中継器(トラポン)