

はやぶさ2



國中 均、はやぶさ2プロジェクトチーム
(発表:吉川 真)

第13回宇宙科学シンポジウム, 2013/01/09, JAXA/ISAS

内容

- はやぶさ2の概要
- 現在の進捗状況
- サイエンス ←昨日の渡邊さんの講演

※詳しくは以下のポスター発表をご覧ください:

- P2-115 はやぶさ2のミッション解析とシステム設計(津田雄一、他)
P2-116 はやぶさ2近赤外分光計(NIRS3):目指すサイエンスと機器開発の現状(北里宏平、他)
P2-117 はやぶさ2搭載中間赤外カメラTIRの開発状況と科学目標(岡田達明、他)
P2-118 はやぶさ2ONCによる小惑星1999JU3の理学観測(杉田精司、他)
P2-119 はやぶさ2 レーザ高度計のサイエンス(並木則行、他)
P2-120 はやぶさ2SCI/DCAM3-Dによるサイエンス(荒川政彦、他)
P2-121 はやぶさ2サンプラー開発・製作の現状(橘省吾、他)
P2-122 はやぶさ2の衝突装置について(佐伯孝尚、他)
P2-123 はやぶさ2アストロダイナミクスチームの活動について(池田人、他)
P2-124 「はやぶさ2」電源系の設計及び開発状況(川崎治、他)

はやぶさ2の現状(2012年12月26日:記者公開)



3

はやぶさ2の現状(2012年12月26日:記者公開)



4

「はやぶさ2」の概要

小惑星サンプルリターンミッションの2号機。打ち上げ予定は2014年。目標天体は、C型小惑星1999JU3。

- 深宇宙往還ミッション
 - 高比推力イオンエンジンによる連続推力軌道
- 1999JU3の近接観測
 - 小惑星近傍に1.5年間滞在
 - 4基の着陸機、4基の観測機器
- タッチダウン／サンプリング運用の実現
 - 通常TD×2、ピンポイントTD×1(optional)を計画
- 人工クレーターの生成
 - 弾頭打ち込み(kinetic impact)により直径2m級のクレーターを生成
 - 小惑星の内部物質、構造に迫る科学を目指す

5

はやぶさ2の意義～なぜ2号機を目指すのか～ 「太陽系宇宙を拓き、日本の未来（人材・技術・科学・国際）を繋ぐ。」

「はやぶさ2」小惑星探査機は、未踏領域に進出し、人類の知の地平を太陽系宇宙に広げる。その過程で後進を育成し、科学・技術力を養い、国際協調に貢献し、日本の未来の創造へ繋げる。



■技術的意義～はやぶさ1号は成功だったか～

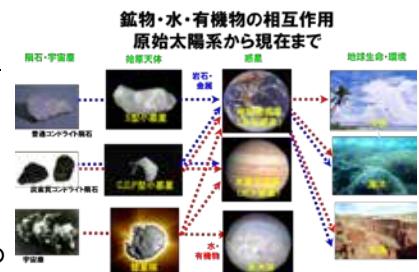
技術的に不完全であった「はやぶさ1」を改良し、探査機技術を次のステップへ高める。

- ・「はやぶさ」で試みた技術について、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。
- ・新しい挑戦として、衝突体を天体に衝突させる技術を確立し、天体地下の探査を行う。
- ・はやぶさ2により、日本独自の深宇宙探査技術を確立する。

■科学的意義～なぜもう一度小惑星に行くのか～

C型小惑星の探査により、太陽系誕生時に存在していた生命の原材料物質である有機物を調べることで、生命誕生の謎に迫る。

- ・約46億年前に地球が誕生したとき、地球を作った物質の中には鉱物に加えて水や有機物が存在していた。C型小惑星からのサンプルリターンにより生命の原材料になった物質を解明する。このことは、生命起源の探求の第一歩として重要である。
- ・小惑星イトカワのS型に続いてC型小惑星を調べることで、惑星系としての太陽系の起源・進化を解明する。

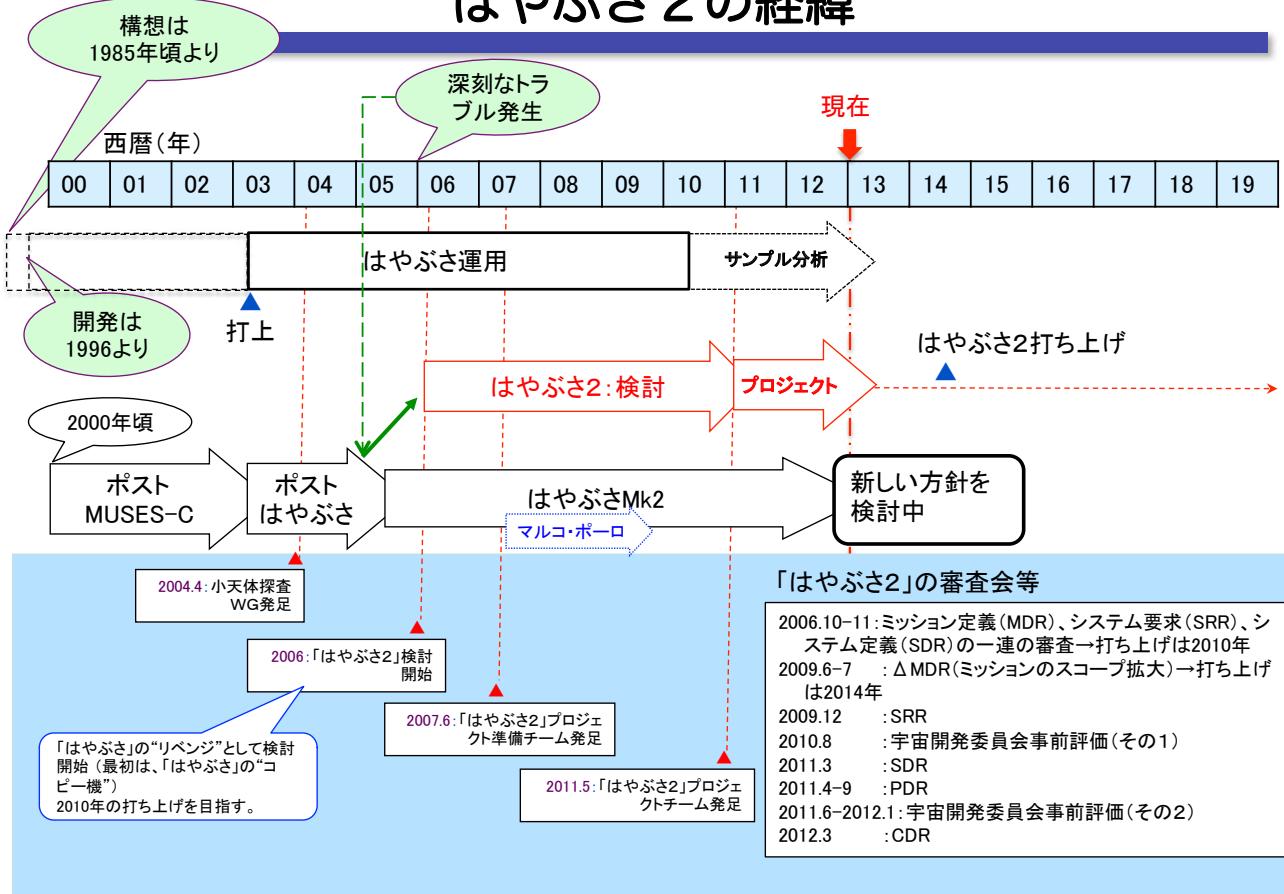


■探査的意義～人間（ロボットを含む）の活動領域の拡大～

「はや1」は小惑星が有人技術洗練の良き試験環境であることを知らしめた。小惑星環境データ取得や新たな知見は、有人火星探査に繋がるGERに対し日本に存在感・発言力を与える。

- ・往復探査技術を維持発展させて、水／希少金属／有機物などの天然資源に関する知見の蓄積と、宇宙領有権益の根拠。
- ・国際協働で有人小惑星探査に資する環境の把握（ダスト、プラズマ等）

はやぶさ2の経緯



7

ミッション要求とサクセスクライティア

理学目標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。 【ミニマム】近傍観測による知見、【フル】回収サンプルの分析
理学目標2	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。 【ミニマム】近傍観測による知見、【フル】人工クレータ生成による知見
工学目標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。 【ミニマム】小惑星ランデブー、【フル】サンプル採取、ローバー着陸、カプセルリエントリ
工学目標2	衝突体を天体に衝突させる実証を行う。 【ミニマム】人工クレータ生成、【フル】特定領域にクレータ生成 【エクストラ】クレータからのサンプル採取

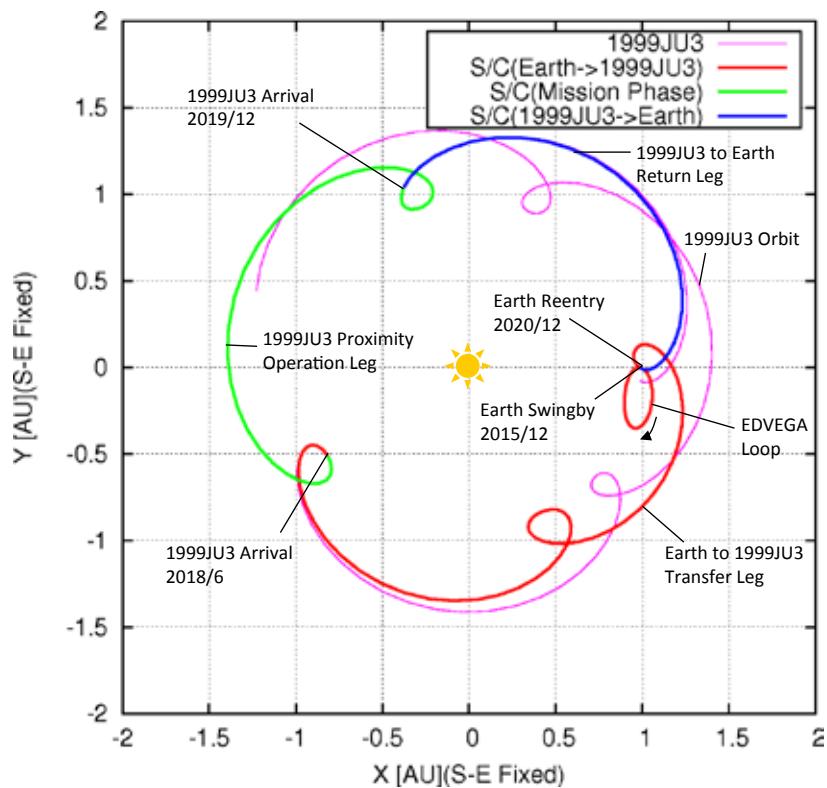
つまり、
往路+ミッションフェーズでミニマムサクセス、
地球帰還してやっとフルサクセス
のミッションである。

軌道計画

Earth Departure: 2014
Earth Swing-by: 2015/12
1999JU3 Arrival: 2018/7
1999JU3 Dep.: 2019/12
Earth Reentry: 2020/12

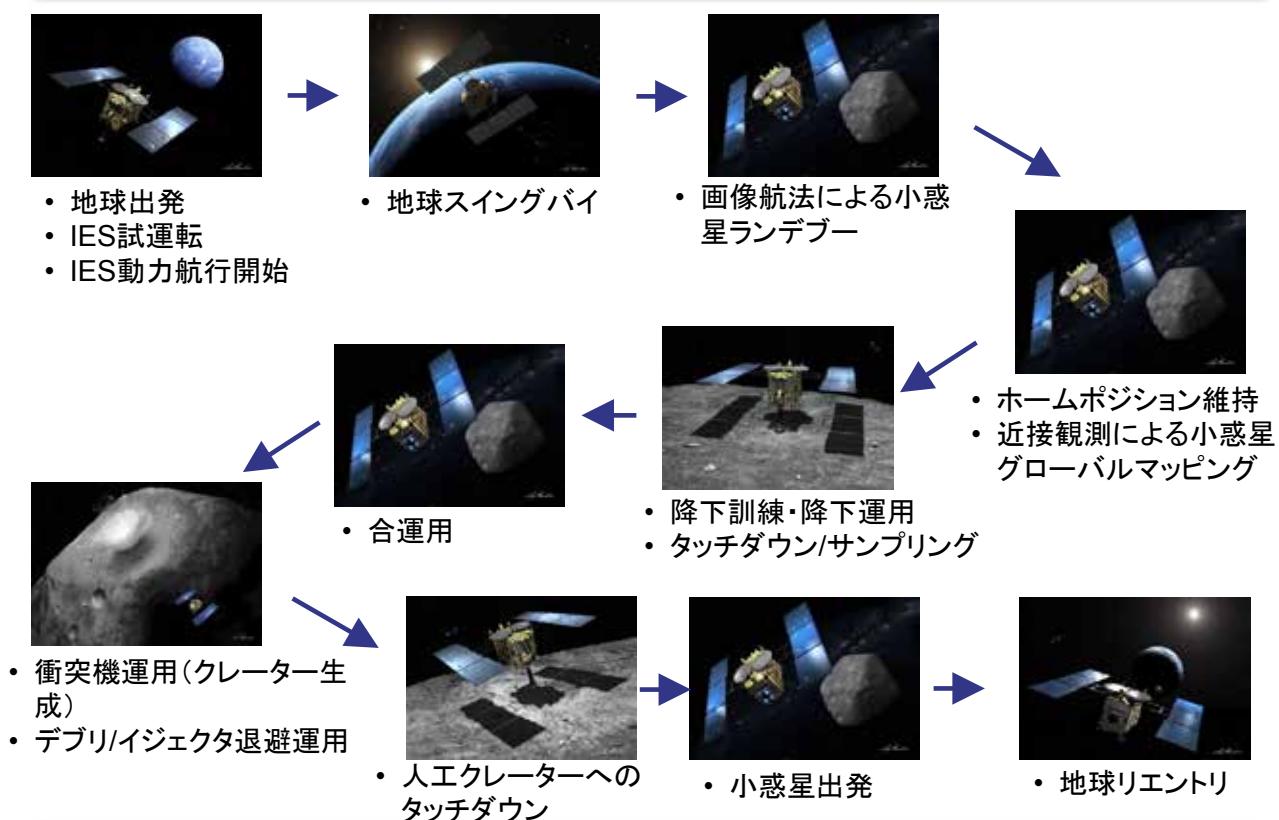
Departure C₃=21km²/s²
IES Total Impulse=2km/s
Reentry Speed=11.6km/s

Total Flight Time =6yr
(Cruising 4.5yrs)
Total Powered Flight Time
=1.5yr



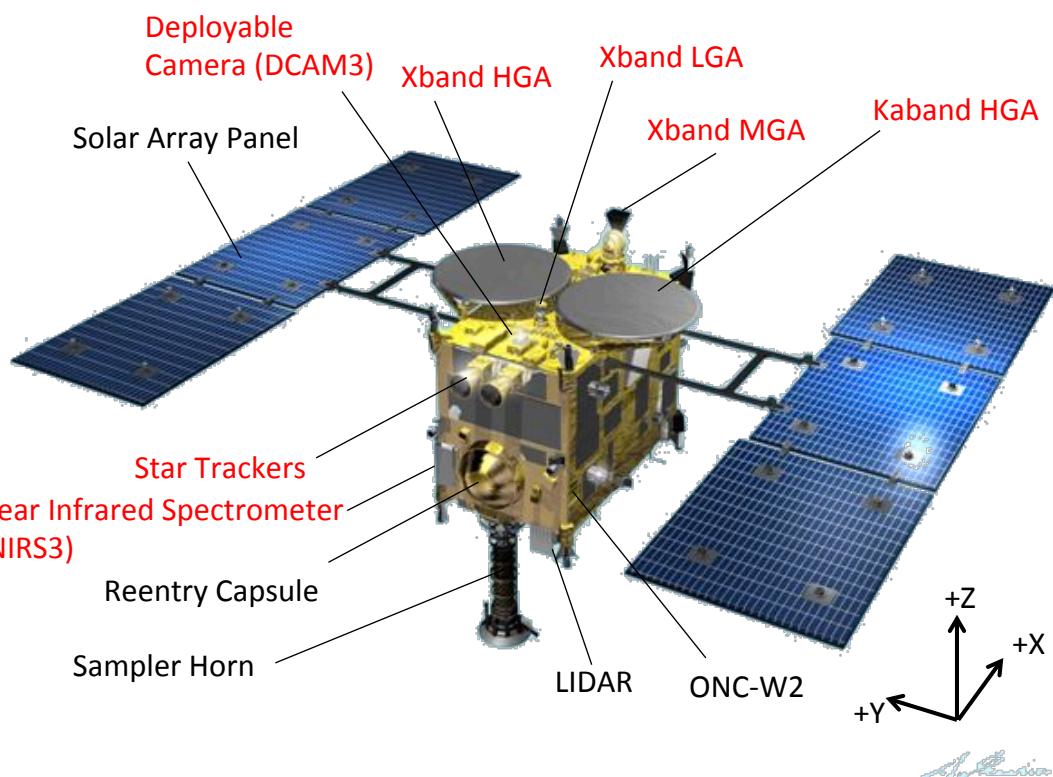
9

直列的なミッションシーケンス、さまざまな運用モード



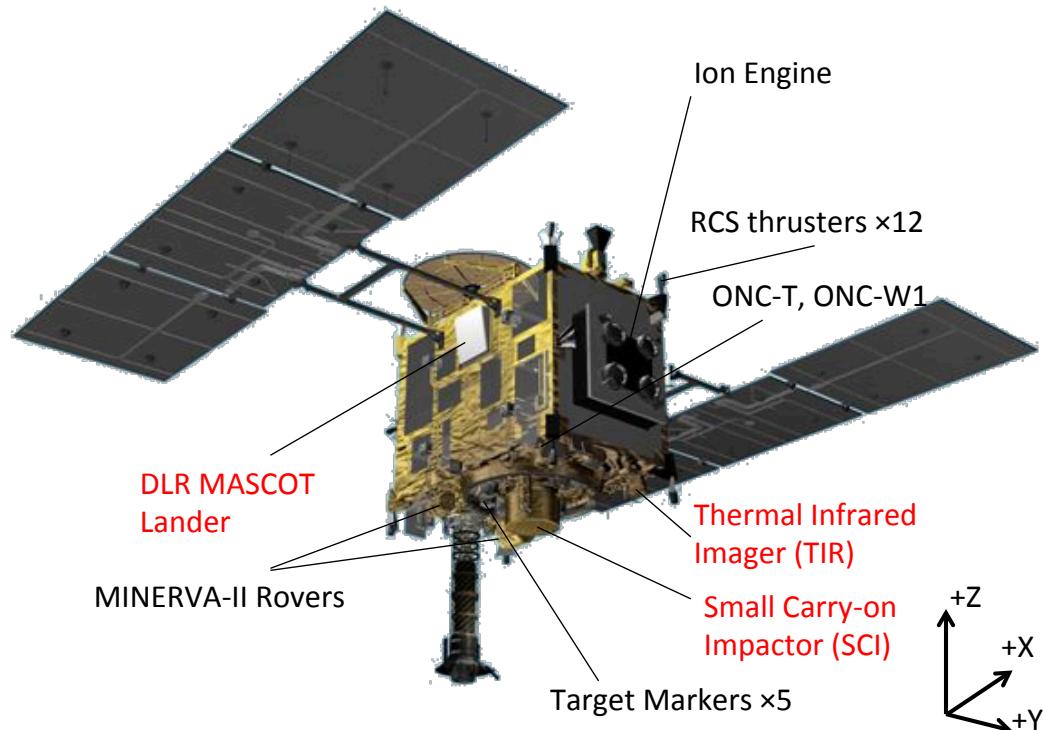
10

探査機外観(1/2)



11

探査機外観 (2/2)



12

探査機システムの仕様

構造	-1.6m×1.0m×1.4m(H) 箱型構造, 固定型太陽電池パドル×2翼 -質量 600kg(wet), 500kg(dry)	通信系	-X帯テレマ系 (コヒーレントXup/Xdown), 8bps-32Kbps, 完全2重冗長構成 -Ka帯高速テレメトリ系 (コヒーレントXup/Ka-down), 8bps-32Kbps -折り返し型/再生型測距システム -DDOR用トーン生成 -アンテナ: X-HGA, Ka-HGA, X-MGA(2軸ジンバル上に配置), X-LGA(×3)
データ処理系	-DHU-PIMバス方式(CPU:COSMO16) -自動化自律化機能 -データレコーダー 1Gbyte	電源系	太陽電池 -1.4kW@1.4AU, 2.6kW@1AU. 2次電池 -リチウムイオン2次電池 13.2AH. 電力系 -シリーズスイッチングレギュレータ方式, 50V バス
誘導航法制御系	-2重冗長化プロセッサ(CPU:HR5000S) -リアクションホイール(×4), IRU(×2), スタートラッカ(×2), 粗太陽センサ(×4), 加速度センサ(×4). -小惑星近接運用航法用センサ LIDAR, LRF, ターゲットマーカー(×5), フラッシュランプ -航法カメラ (ONC) Wide: ONC-W1, ONC-W2 (視野 54deg × 54deg, 1Mpix) Telescopic: ONC-T (視野 5.4deg × 5.4deg, 1Mpix, 5 band filter)	ミッションペイロード	-サンプラーホーン (SMP) -小型衝突機(SCI) -近赤外線分光計(NIRS3) -中間赤外カメラ (TIR) -ローバー(×3)(MINERVA-II-A1/A2/B) -着陸機(MASCOT, DLR提供) -分離カメラ(DCAM3) -再突入カプセル(CPSL)
推進系	化学推進系 -2液ヒドロジン方式 - 20N スラスター(×12.) 電気推進系 -マイクロ波放電式イオンエンジン(μ10) -最大推力 28mN, 比推力 2800sec. -スラスター数 4 (2軸ジンバル上に配置) -3基同時駆動(4/3冗長)		

13

はやぶさ1との違い(1/3)

■構造

- ・主構体の高さを+15cmアップ. 搭載機器の増加に対応.
- ・質量+90kg増加 (HY1=510kg, HY2=600kg)

■AOCS

- ・TD運用の改良と最適化, 自律化機能の見直し.
- ・冗長度向上による高信頼化
(待機冗長: AOCP/RW/STT, 機能冗長: ONC-E)

■RCS

- ・燃料／酸化剤系統の, 高圧系も含めた完全独立化(あかつぎ不具合に対する対処)
- ・熱制御の緻密化, 冗長性向上

■IES

- ・推力+20%増強, Ispははや1水準を維持

14

はやぶさ1との違い(2/3)

■データ処理系

- ・自動化自律化機能の強化
- ・緊急ビーコンモードの機能強化 (IKAROSの技術を活用)

■通信系

- ・X帯の完全二重冗長化
- ・Ka帯送信系追加によるテレメトリ高速化 (32Kbps)
- ・フルスペックDDORのサポート

■電源系

- ・搭載機器増加に伴う高電力容量化 (安定化電源電力容量 880W→1200W)

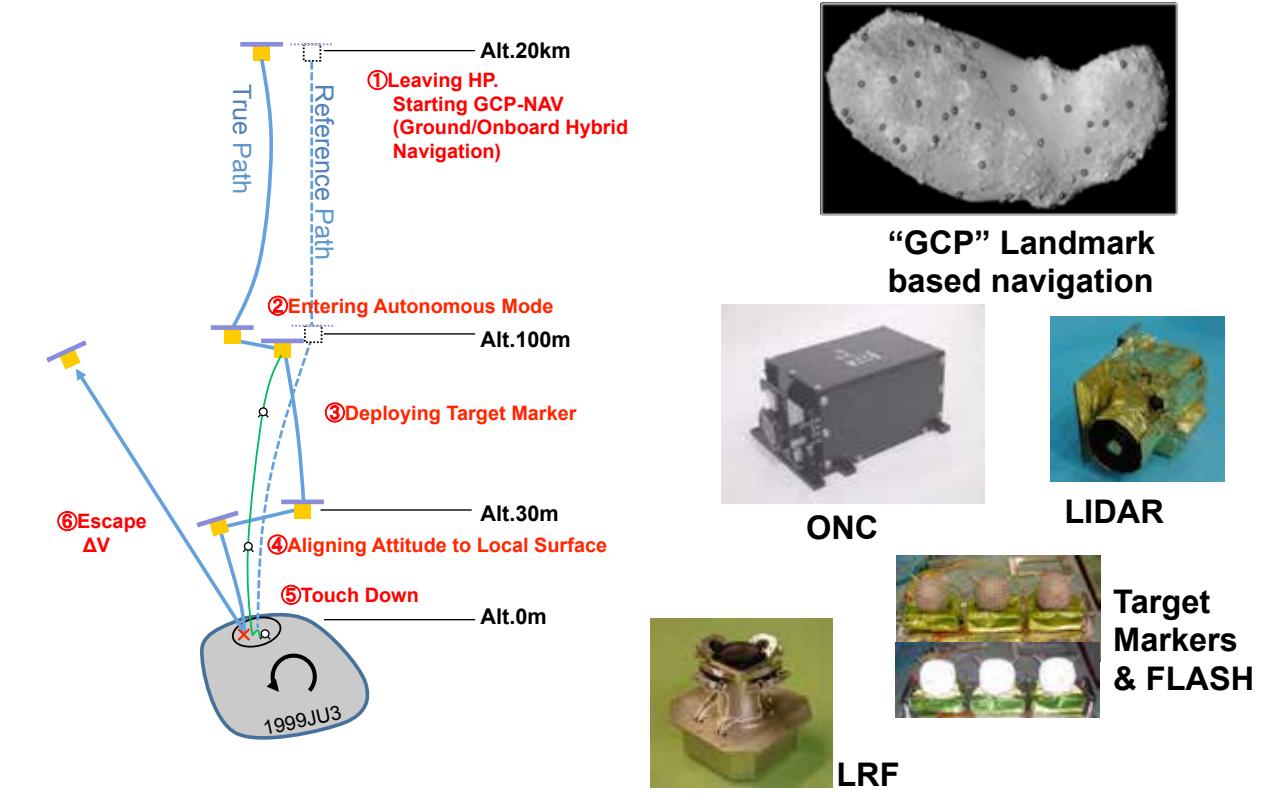
15

はやぶさ1との違い(3/3)

- ・ **サンプラーホーン(SMP)**
 - コンテナの3室化
 - 気密化のためのメタルシール化
 - 収量増加のための各部の機械設計の改良
- ・ **近赤外分光計NIRS3(Near Infrared Spectrometer)**
 - 新規開発品
 - 観測波長 1.7-3.4μm. (水の吸収体をカバー)
 - パッシブ冷却方式
- ・ **中間赤外カメラ(Thermal Infrared Imager)**
 - PLANET-C(あかつき)ヘリテージ機器
 - 観測波長 7-14μm. (熱分布計測, 含水鉱物吸収体をカバー)
- ・ **ランダー(MASCOT)**
 - DLR開発機器
 - 機器重量10kg
 - 地表接近観測機器を4種搭載 (MARA, MicroOmega, MAG, CAM)
- ・ **ローバー(MINERVA-IIA1/IIA2/IIIB)**
 - JAXAおよび国内の大学コンソーシアムにより開発
 - 1.5kg級ローバー×3基
- ・ **画像航法カメラ(W1/W2/T), LIDAR**
 - 航法とサイエンス観測の兼用
 - ONC: 小惑星相対航法/グローバルマッピング, LIDAR: 高度計/重力計測
- ・ **小型衝突機(SCI), 分離カメラ(DCAM3)**
 - 重量18kg (起爆装置+銅ライナー+エレキ), 弾頭質量2kg, 衝突速度2km/s.
 - 衝突イベントは分離カメラにより遠隔観測

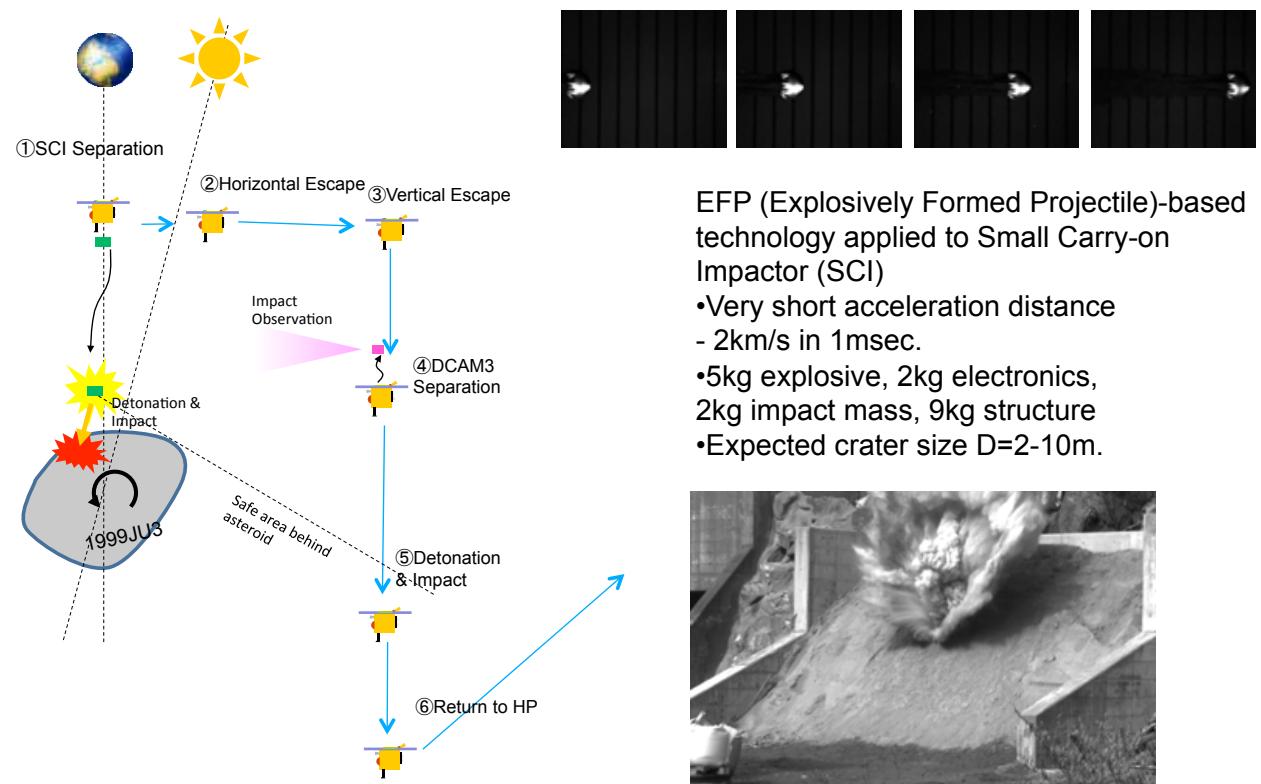
16

タッチダウン・サンプリング運用シーケンス



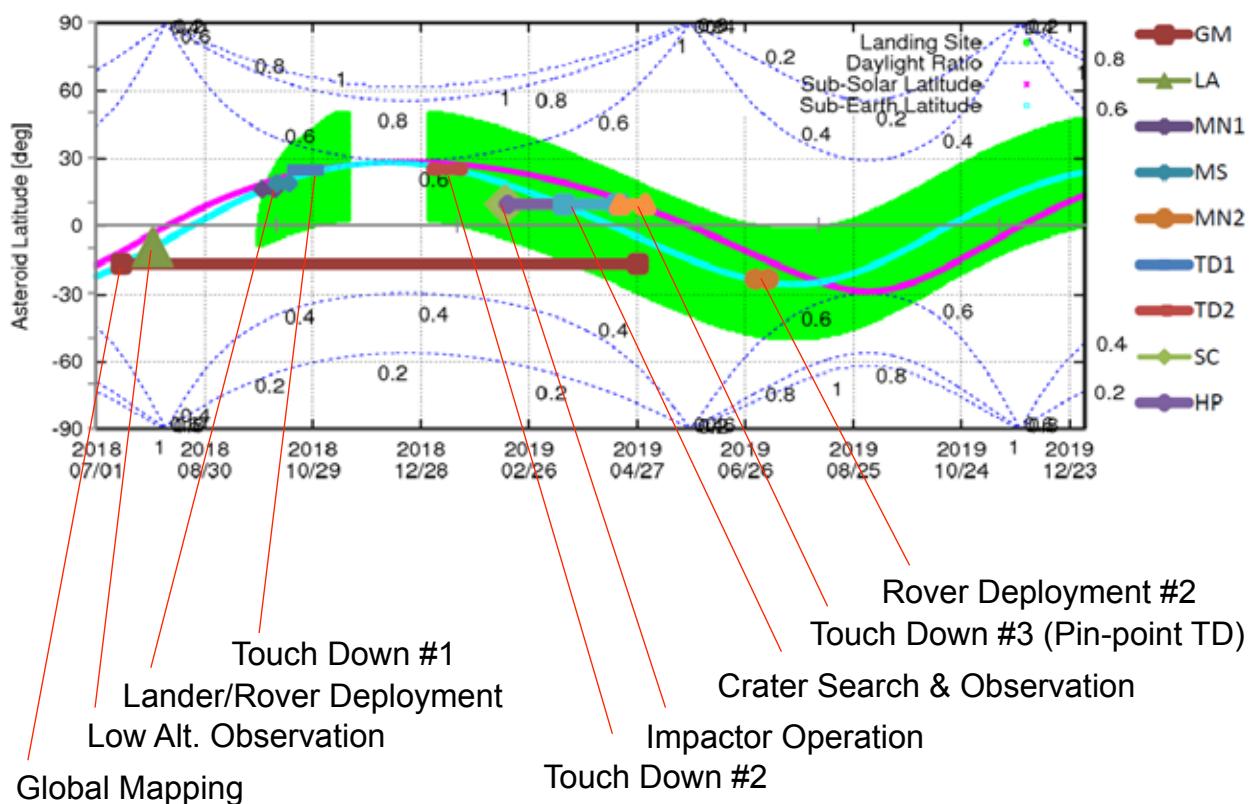
17

衝突装置運用シーケンス



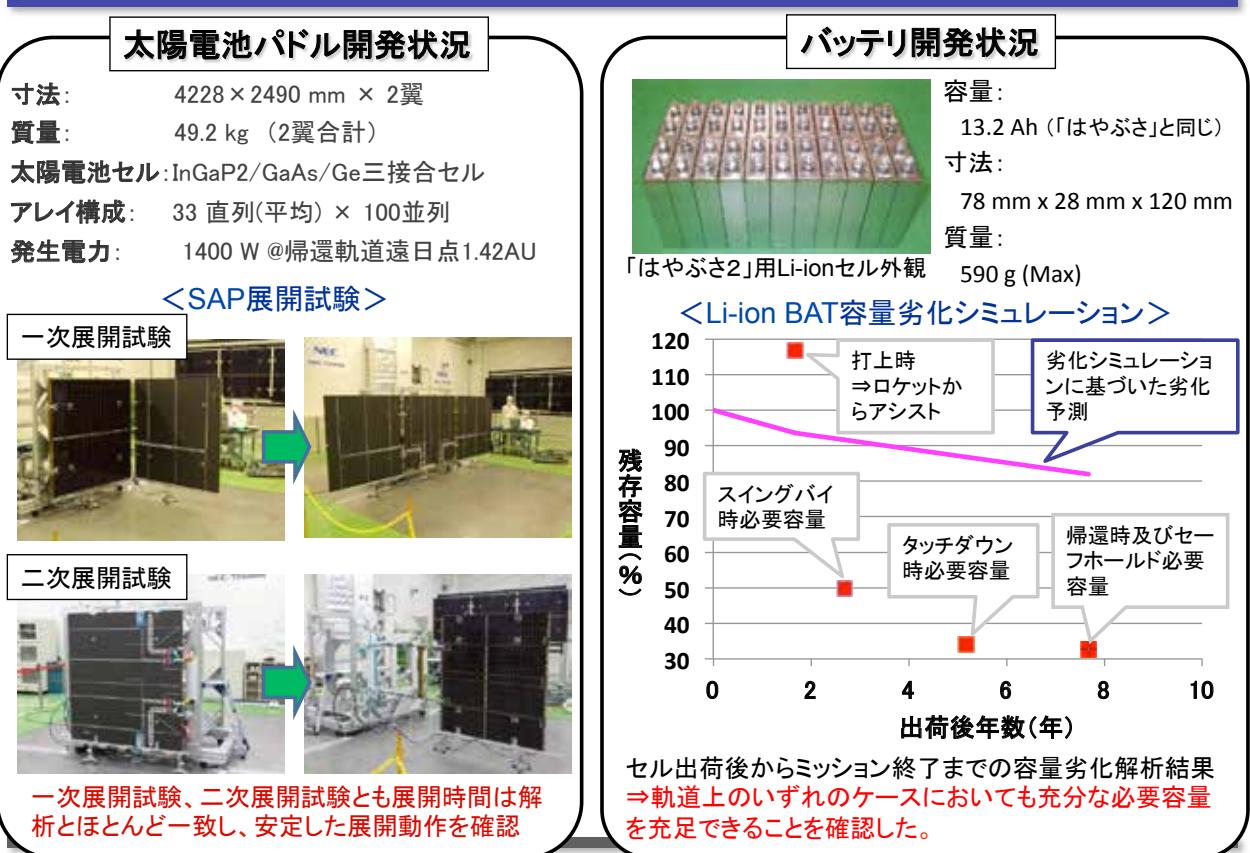
18

小惑星近傍運用の計画例 (自転軸=Mullerモデルの場合)



19

電源系(EPS)開発進捗状況



20

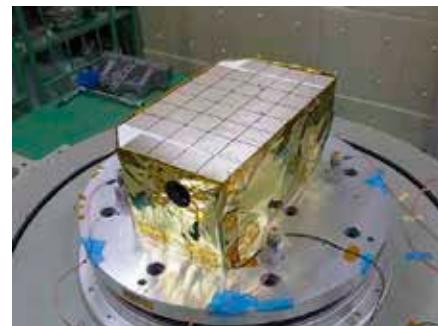
NIRS3: 近赤外分光計の開発状況

観測目的:

1.8~3.2μm帯の分光観測により、小惑星表面
の水・含水鉱物の検出を行う。

主な経過:

2012年2月 CDR: システムインターフェースの決定
2012年8月 ΔCDR1: 「エレキ部」のFM設計完了
2012年11~12月 EM総合S/N性能計測試験
2012年12月 ΔCDR2: 「センサ部」のFM設計完了
同上 DEインターフェース試験



「センサ部」(NIRS3-S)の振動試験

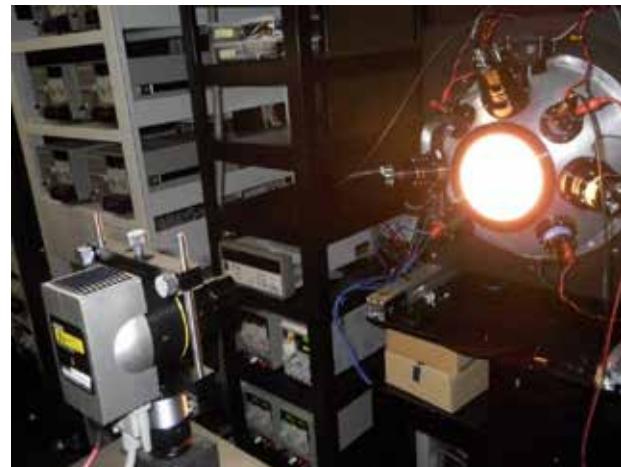
EMフェーズ(昨年1月以降)の主な課題と対策:

- 1) 「センサ部」の振動試験前後で、出力低下が発生した。
→光学系の固着強化等の対策により、再発しないことを確認した。
- 2) 検出器(InAsリニアイメージセンサ)の暗電流ノイズが大きいことが判明した。
→観測時温度の低下、マルチサンプリング(データ読み出し回数の増加)、
ピニング(周波数方向の積分)により、所要S/N(>50)を達成した。

21

ONCの開発状況

- 一次噛み合わせ試験に向け、3つのカメラ(W1, W2, T)ともFM品の仮本組立を実施中(アライメント合わせ、電気、光学性能試験含)
 - 1/30-2/4 総合試験(府中)
 - 2/5-4E 一次噛み合わせ試験参加(JAXA)
 - 5月 AOCS試験
 - 6月- 一次噛み合わせ終了後本組立(府中)
- 一部の科学較正試験を一次噛み合わせ前に実施。残りは単体環境試験後
 - 1/11-17 ONC-W2 (歪曲など)
 - 1/21-25 ONC-T (積分球など)
- DEとのIF試験は未実施
 - 社内かみ合わせを調整中



積分球の写真

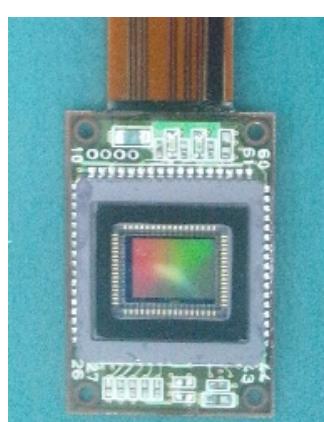
LIDARの現状報告

- PI水野、担当メーカーとの開発会議において、EM試験状況を確認している。
.(ほぼ毎月。前回2012/12/20。)
- サイエンスチームは、科学観測(アルベド、ダスト)のための試験装置を製作中(1月中に製作を修了し、3月の単体試験に供する予定)。
- 科学観測のための試験項目について再検討を進めている。
- PI-QLは接続試験を終了(2012/12/26)。GUIをJavaにて製作中。
- コアメンバーによる定例会を1-2週おきに開催して、情報交換を継続している(前回2013/1/4)。
- サイエンスチーム会合はほぼ毎月(次回2013/1/29)。

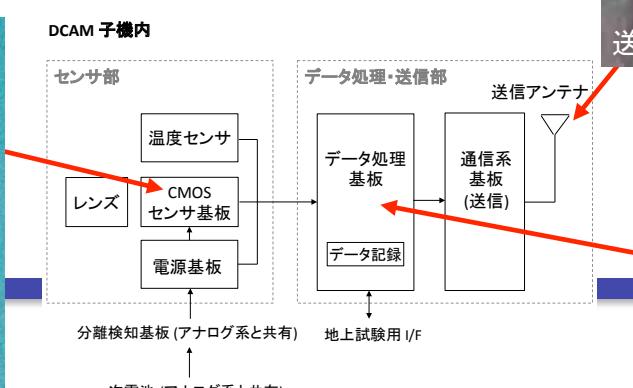
23

DCAM3-D (DCAM3 デジタル系) の進捗状況

各部 EM (FM 同等品) の製作を概ね完了し、機能性能確認試験を実施している。



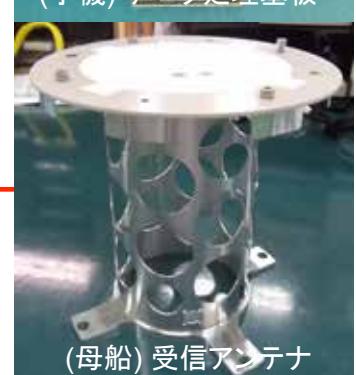
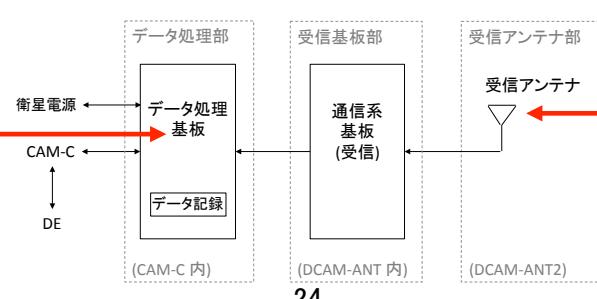
(子機) センサ基板



(子機)
送信アンテナ



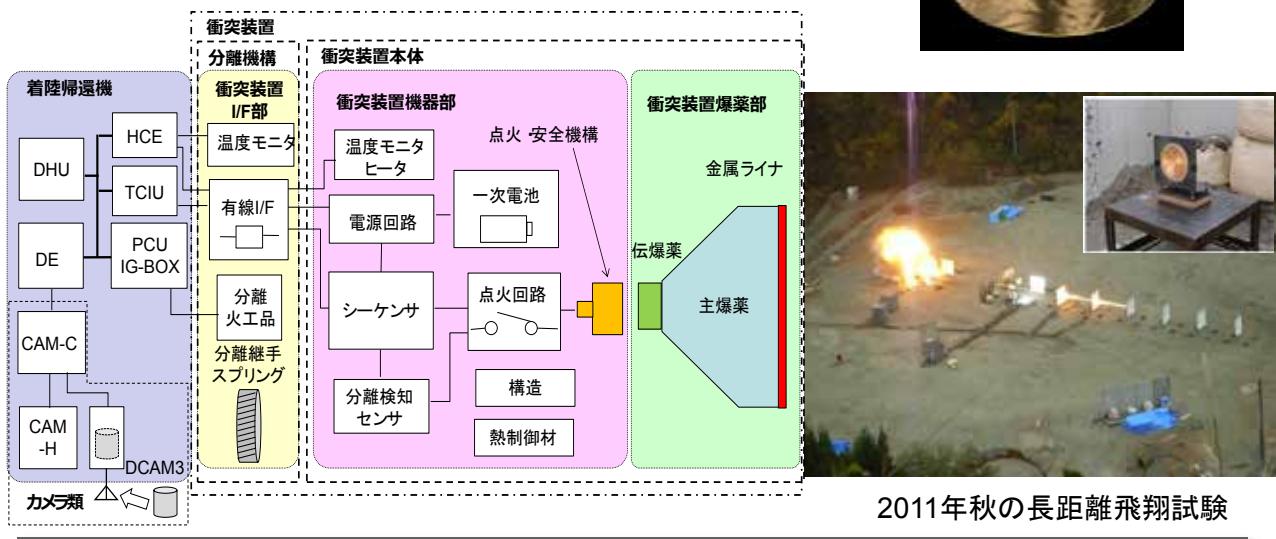
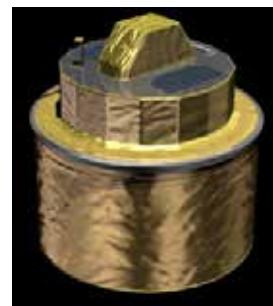
(母船) データ処理基板



(母船)
受信アンテナ

衝突装置の開発状況

- 開発状況: 現在各部のFM製造中
 - ◆ 分離機構: バンドキャッチャ改修後の試験準備中.
 - ◆ エレキ部: 一噛みに向け製造中.
 - ◆ 爆薬部: FM品填薬中. 2013年夏に長距離飛翔実験予定.



25

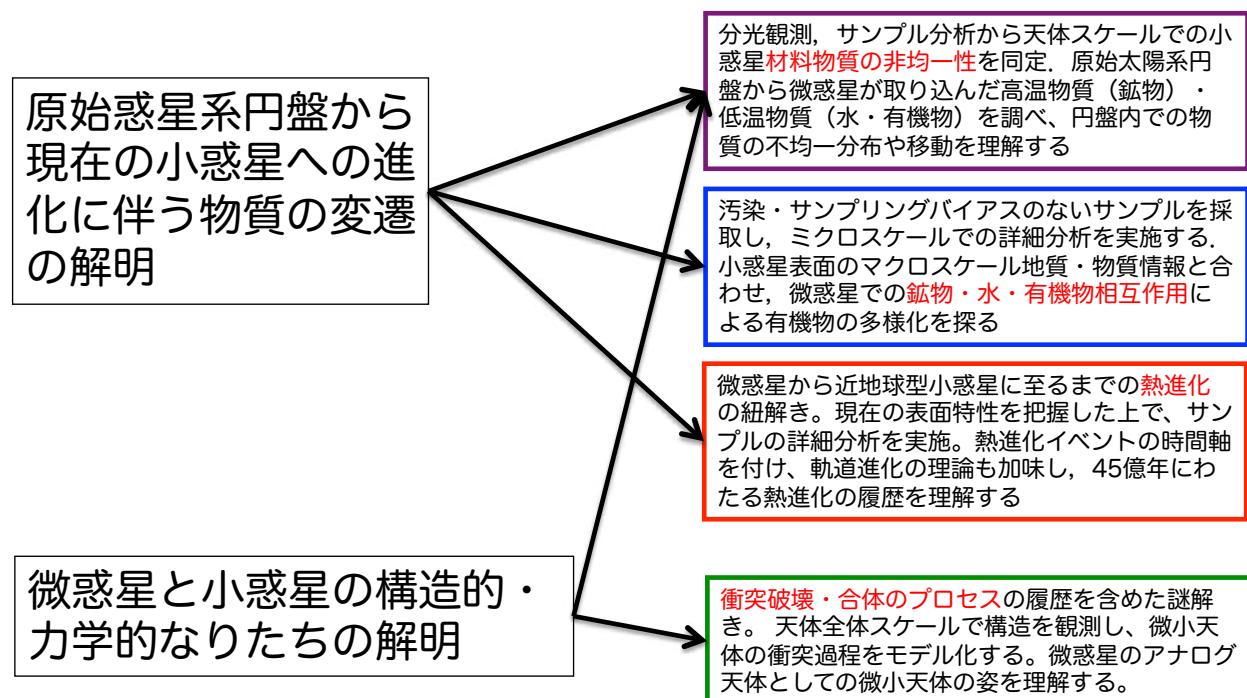
サンプリング機構の開発状況

- ・サンプラー・コンテナ
初号機と変更点がない箇所について製作開始. FM相当品1ヶ, 機械環境サーベイ試験に参加中. 合計4ヶ作成予定
- ・プロジェクト
地上試験用FM相当モデル(PM)6本が完成. 再利用可能のため, ガス収量, 照準等の試験に用いる(24発実験可能). 最終的にFM12本製作予定(3本FM, 3本FMスペア, 6本を性能試験, ガス採取等に使用)
- ・カートリッジ, プロジェクタイル
機械環境サーベイ試験に参加中. 地上試験用のカートリッジは適時火薬の入替を依頼(要1か月)
- ・サンプラー開封治具・手順
初号機開封時のつかみ換え作業の回数を減らす・真空中でコンテナ開封をおこなうことを目指し開発調整中
- ・汚染管理
輸送時の有機物汚染管理のため, アルミホイル(ペーク済み)+テフロンシート(0.1mm厚)に包む方針で輸送試験実施. 無機・有機汚染モニタキット設計済



26

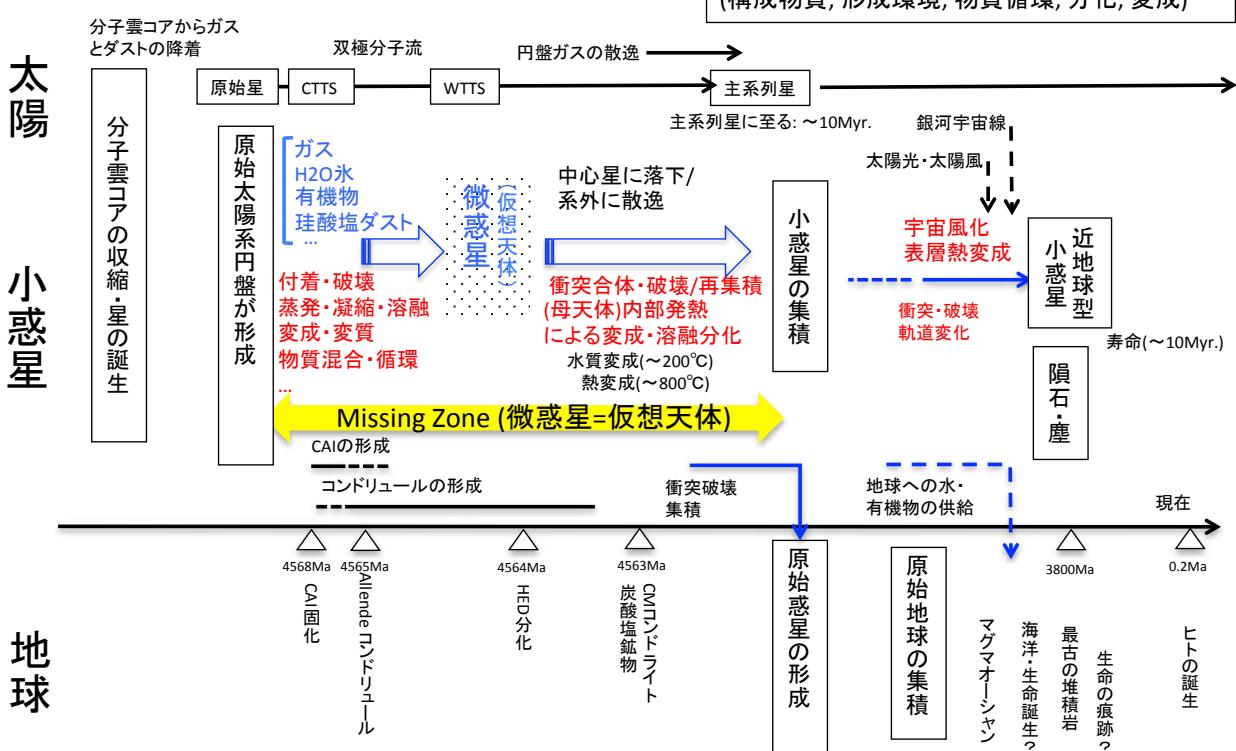
「はやぶさ2」のサイエンステーマ



27

太陽・小惑星・地球の歴史

小惑星に刻まれた初期太陽系内のイベントを紐解き、惑星形成過程を読み解く
(構成物質、形成環境、物質循環、分化、変成)



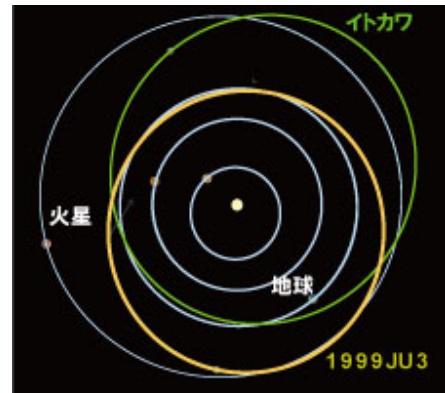
28

探査対象天体: 1999 JU3

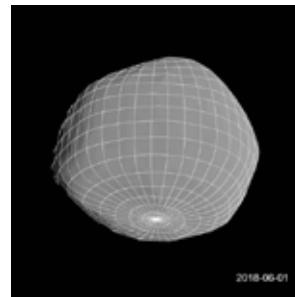
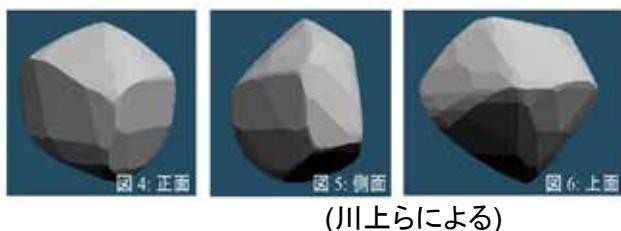
軌道

軌道要素	記号	値	備考
軌道長半径	a	1.18953 AU	
軌道離心率	e	0.19026	
軌道傾斜角	i	5.88404 deg	黄道面に対する傾き
近日点引数	ω	211.423 deg	
昇交点経度	Ω	251.617 deg	
平均近点角	M	226.571 deg	
近日点距離	q	0.96321 AU	= $a(1-e)$
遠日点距離	Q	1.41585 AU	= $a(1+e)$
公転周期	T	473.874 day	1.30 年

小惑星1999 JU3の軌道



推定された形状



(Muellerら
による。動
画は会津大
による)

29

探査対象天体: 1999 JU3

物理量

物理量	値	リファレンス
自転周期	0.3178 ± 0.0003 日 7.63 ± 0.01 時間	Kawakami et al. [*1] Müller et al. [*2]
自転軸の方向	(黄経, 黄緯) = $(331 \pm 10^\circ, 20 \pm 10^\circ)$ (黄経, 黄緯) = $(73^\circ, -62^\circ)$	Kawakami et al. [*1] Müller et al. [*2]
軸比	$1.3 : 1.1 : 1.0$	Kawakami et al. [*1]
大きさ	0.92 ± 0.12 m 0.87 ± 0.03 km	Hasegawa et al. [*3] Müller et al. [*2]
アルベド	$0.063 + 0.020/-0.015$ 0.070 ± 0.006	Hasegawa et al. [*3] Müller et al. [*2]
絶対等級 H	18.82 ± 0.02	Kawakami et al. [*1]
スロープパラメータ G	-0.110 ± 0.007	Kawakami et al. [*1]
タイプ	Cg	Binzel et al. [*4]
熱慣性	$500 \text{J/m}^2/\text{s}^{0.5}/\text{K}$ 以上 $200 \sim 600 \text{ J/m}^2/\text{s}^{0.5}/\text{K}$	Hasegawa et al. [*3] Müller et al. [*2]

*1. 川上恭子 et al. 2010, 日本惑星科学会誌『遊星人』 19(1), 4-11.

*2. Müller et al. 2011, A&A 525, A145.

*3. Hasegawa et al. 2008, Publ. Astron. Soc. Japan 60, S399-S405

*4. Binzel et al. 2001, Icarus 151, 139-149.

2011年から現在までの観測好機に行った観測とその結果

■ライトカーブの観測

- ・約15の天文台でライトカーブの観測が行われた。
- ・現在、自転軸の向きの再推定を行っている。 ←難しい

■スペクトルの観測：

- ・口径2.1m-10mの望遠鏡5台が可視近赤外分光観測を実施。各天文台とも複数回実施。自転位相80%以上をカバー。
- ・観測結果は相互に概ね調和的で、データ信頼性が向上。非常にフラットな典型的C型小惑星のスペクトルが、ほぼ全ての自転位相に対して観測された。強い0.7μm吸収帯は見えなかった。

注1：2.1m-10mの望遠鏡は、2.1m, 4.1m, 6.5m, 8m, 10mと、大きいものが多い。ただし、2.1mの結果は、かなりnoisy。

注2：弱い0.7μm吸収帯は否定できない状況。Vilas 2008のデータの詳細解析からは、2007/7月のデータに見られる0.7μm帯の信憑性を裏付ける結果が新しく得られた。

■その他

- ・熱赤外観測をSpitzer宇宙望遠鏡に観測依頼中。

ご協力いただきました天文台・観測者の皆さんに感謝いたします。

31

はやぶさ2の国際協力

米国



欧洲



豪州



- 1.豪州革新・産業・科学研究所/宇宙安全許可局
- 2.豪州国防省 空軍支援グループ
- 3.豪州検疫・税関

32

第1回HJST(Hayabusa2 Joint Science Team)会議:2012年11月26-27日



サイエンスチーム: **日本チーム(191名)**
MASCOT(34名)
+米国、豪州(TBD)

約45機関
(ほとんどは大学)

33

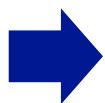
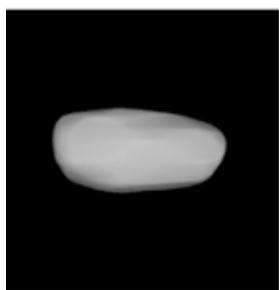
打ち上げまでのスケジュール

- | | |
|------------------|------------|
| 2013年1月～4月 | :一次噛み合わせ試験 |
| 2013年5月～9月 | :単体環境試験 |
| 2013年10月～2014年9月 | :FM総合試験 |
| 2014年10月～ | :射場作業 |
| 2014年12月 | :打ち上げ |

34

新たなる発見へ

「はやぶさ」の発見



微小NEO（地球接近小惑星）の概念が変わった！

「はやぶさ2」は？

