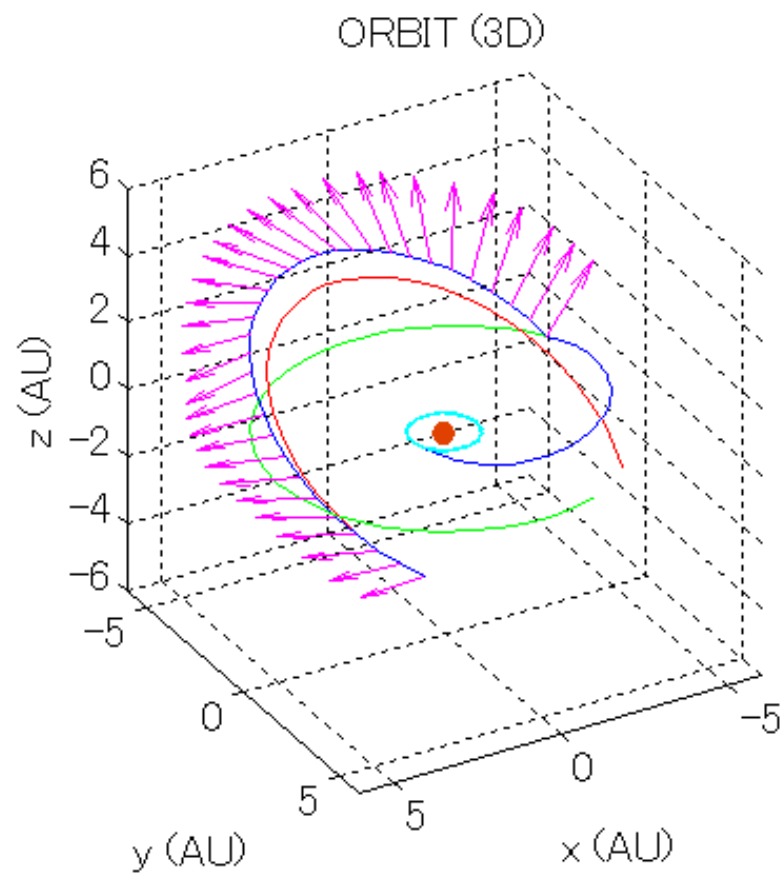
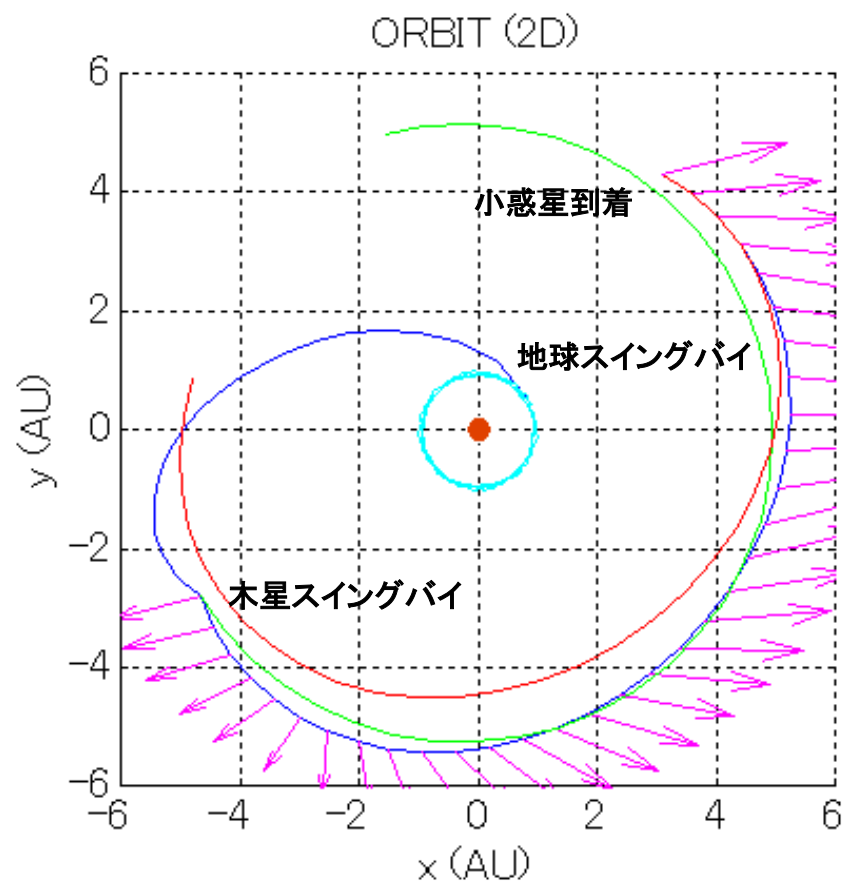


Cebrionesへの軌道例

地球スイングバイ → 木星スイングバイ → 小惑星到着

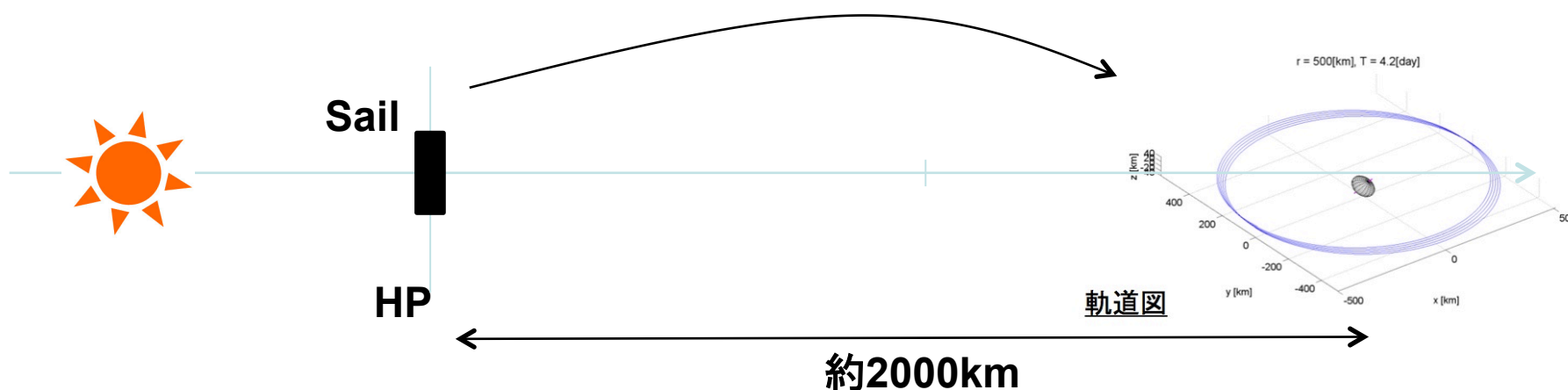


— Spacecraft — Earth — Jupiter — Asteroid → Thrust

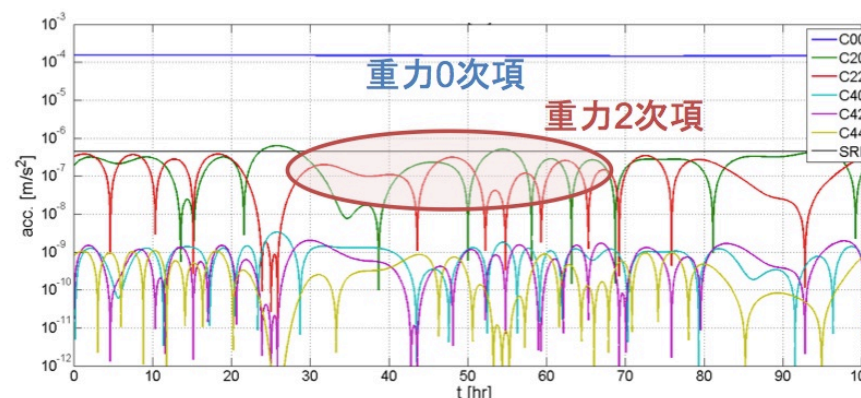
Cebriones 到着後の運用

(A) 太陽側約2000km のホームポジション(HP)でリモートセンシング観測

(B) 燃料節約+内部構造推定のため周回軌道に投入(高度< 500km)



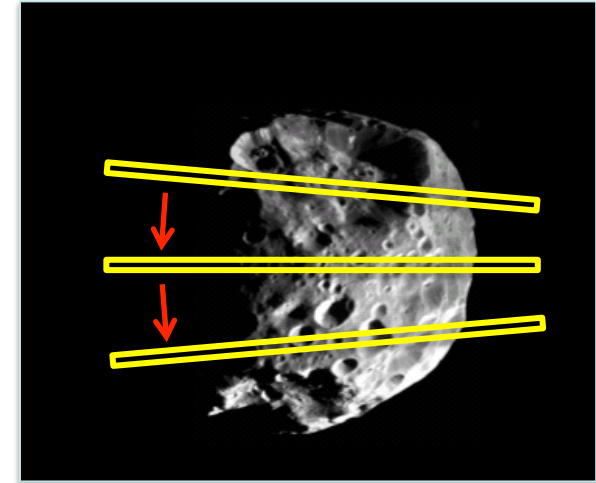
総滞在期間が16ヶ月あるためX,Ka 帯でのデータレート(500~ 1kbps)で必要な可視カメラおよび赤外線分光撮像装置の全観測データ(<500MB)をダウンリンク可能



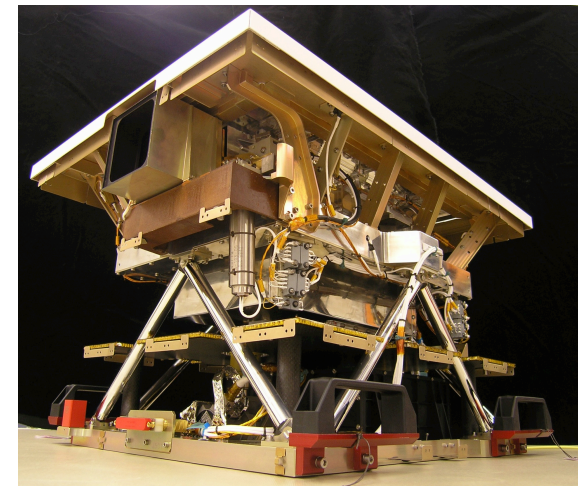
Cebriones の密度は 2000kg/m³
形状は三軸不等楕円体を仮定

赤外分光撮像装置での撮像分光

- 観測波長 : $\lambda = 1 - 5\mu\text{m}$
 - 1.4, 1.9, 2.2 ~ 2.4 μm 含水鉱物
 - 3 μm 氷
 - 3.4 μm 有機物
 - CO₂ ice/gas 4.2/4.3 μm
- 波長分解能 : $R(\lambda/\Delta\lambda) = 100$
- 画角(L) : 3°
- 画素数 : 512 x 512 array
- SNR~100
- 空間分解能 200m/pix@HP



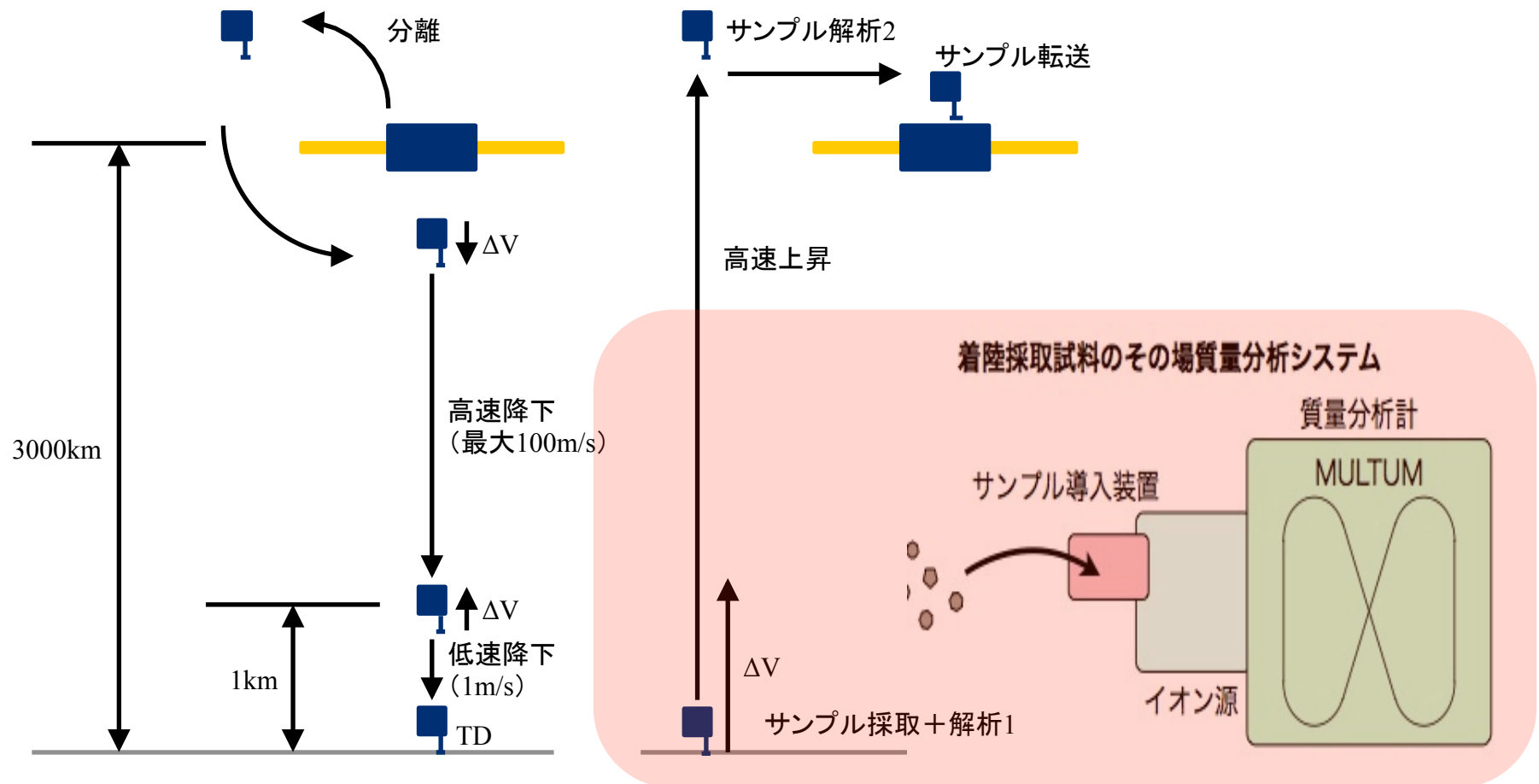
探査機の自転によるスリットスキャン



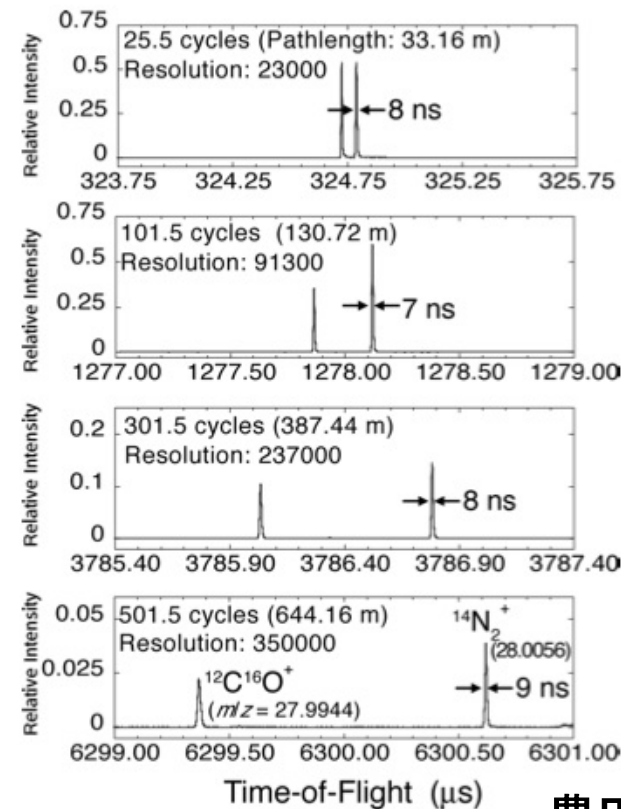
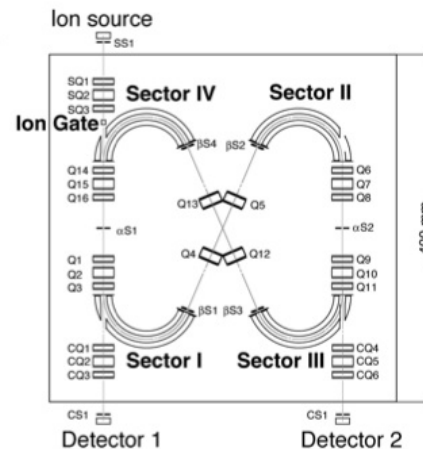
小惑星探査機Dawnに搭載された
撮像分光装置 VIR

子機によるサンプリング＋同位体測定

- ・子機は、RCSにより着陸を行う
- ・サンプリングは弾丸方式、pneumaticドリル、コンベックステープ等を検討中
- ・採取したサンプルの一部は、質量分析装置に導入してその場分析を行う
- ・残りのサンプルは、親機とランデブーして帰還カプセルに挿入する



MULTAN = ESAの彗星探査機Rosetta への搭載が検討された TOF 質量分析系のラボラトリーモデルの発展型



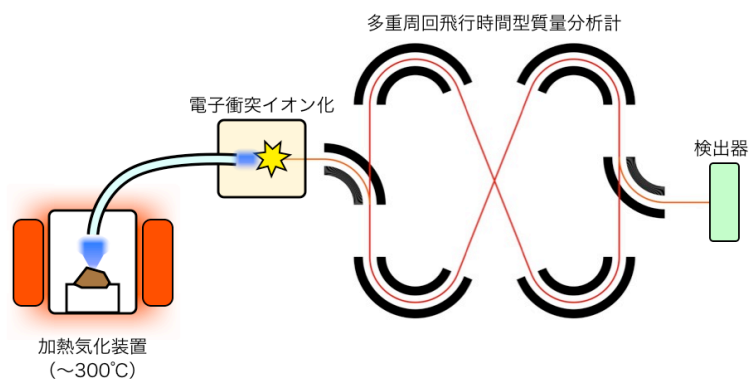
豊田 et al. 2012

- ・C/H/O/N の同位体を十分に区別できる質量分解能(>5000)
- ・ m/z レンジ: 2–1000 amu
- ・彗星サンプルリターンなどの国際共同ミッションへの搭載提案も検討中

キー技術となるサンプル導入装置の試験

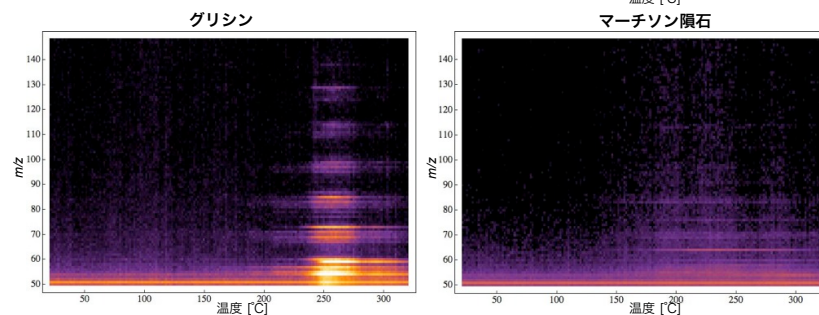
サンプル導入装置評価実験概要

- ・既存のGCと接続したMULTUM-Sを利用した加熱気化装置の評価実験。
- ・MULTUM-SのGC接続口に加熱気化装置を接続する。
- ・段階的に温度を上昇させサンプルから気化した成分を質量分析計で測定。
- ・加熱到達温度は300°Cまで。予備実験の結果から必要到達温度を検討予定。

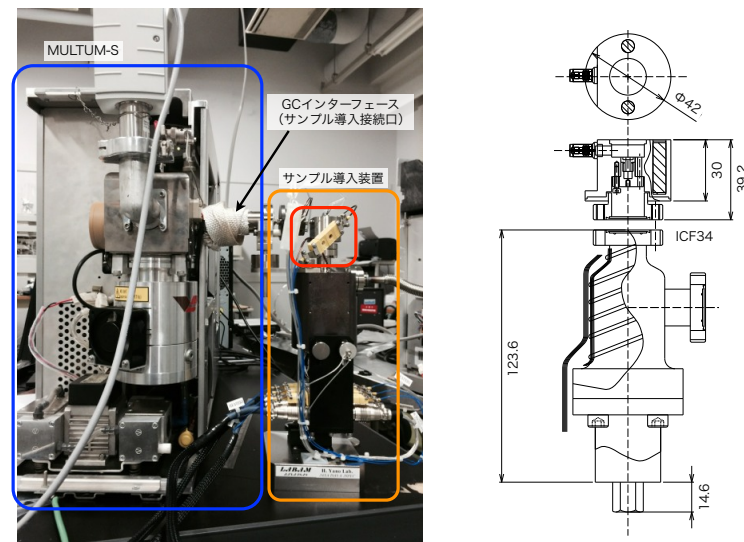


イオン強度の変化

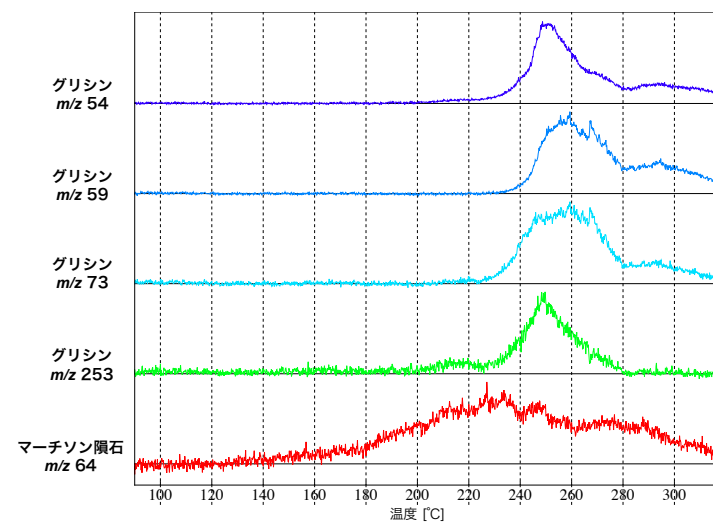
- ・サンプルを10°C/minで300°Cまで加熱して、その間の質量スペクトルを測定
- ・質量スペクトルは10Hzで取得可能
- ・グリシンは融点約230°C・分子量75



実験装置評概要



イオン強度の変化

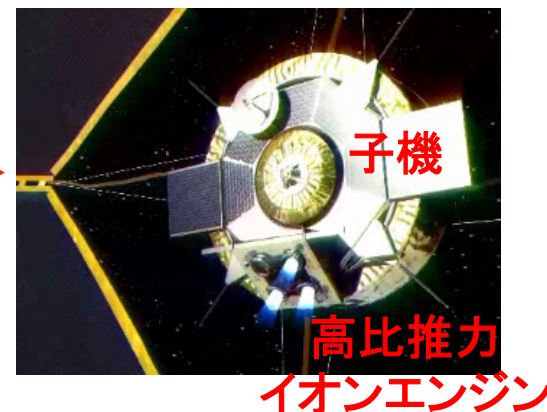
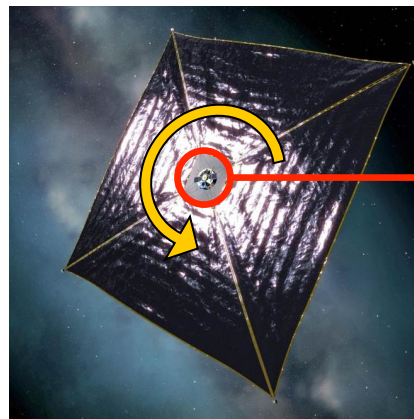


ミッションの特徴と独自性

はやぶさ／イカロス／はやぶさ2のヘリテージを最大限に生かした

- ・**世界初**の光子推進と電気推進のハイブリッド推進
- ・**世界最高**性能のイオンエンジン
- ・**世界初**の小惑星帯以遠での赤外背景放射観測
- ・**世界初**のトロヤ群小惑星探査
- ・**世界初**のトロヤ群小惑星その場分析＋サンプル採取
- ・**世界初**の外惑星領域往復
- ・**世界最高**速度の地球帰還カプセル

大型ソーラーセイル
& 薄膜太陽電池



子機
高比推力
イオンエンジン

本ミッションで実証する深宇宙探査技術

大型膜構造物の展開・展張



大型化(展開機構内径:2m, セイル面積:3000m²), 熱融着膜化,
軽量化(展開機構:280kg, セイル:180kg, 先端マス:40kg),
シングルスピン方式(スピンレート:0.1rpm)

薄膜太陽電池システム



大電力化(発生電力:5kW@5.2AU), CIGSの採用,
反り防止(実効面積減少率:5%以内@0.5rpm)

姿勢制御デバイス



耐宇宙環境性向上, 長寿命化

低推力推進系による軌道操作



光子推進と電気推進のハイブリッド航行

高比推力イオンエンジン



高比推力化(Isp:8000秒, 推力/電力比:15mN/kW),
長寿命化(運転時間:40000時間)

低温2液推進機関



低温動作(Isp:300秒@-50°C)

USO・ΔVLBI軌道決定・航法



遠距離高精度軌道決定技術

サンプル採取



子機によるサンプリング, その場分析, 親機への試料引き渡し

ランデブー・ドッキング



子機の航法誘導制御

超高速リエントリー



高速化(再突入速度:13~15km/s, Vinf:10km/s), 軽量化

膜面フェーズドアレーアンテナ



X帯以上の送受信, レトロディレクティブ機能(オプション)

研究体制

全体とりまとめの森以下、総勢約100名のALL JAPAN体制で研究を進めている

項目	人員敬称略
計画策定	森, 加藤, 白澤, 佐伯, 津田, 船瀬, 川口, 松浦, 中村, 矢野, 吉川, 米徳, 松本, 中条, 菊地, 寺元, 濱崎, 林ほか
セイル試作	加藤, 白澤, 森, 横田, 田中, 豊田, 細田, 大野, 松本, 中条, 濱崎, 林, 菊池, 菊地, 寺元, 水森ほか
展開機構試作	白澤, 森, 加藤, 奥泉, 小原, 川島ほか
膜材料	後藤, 横田, 宮内, 石田, 石澤, 宮崎, 松本, 寺元, ほか
膜構造物の収納・展開・展張	奥泉, 森, 白澤, 松永, 澤田, 名取, 古谷, 坂本, 宮崎, 勝又, 鳥阪, 高井, 佐藤泰, 門西, 松本, 井上, 長洲, 佐藤剛, 大野, 中条, 濱崎, 林, 菊池, 菊地, 寺元, 水森ほか
姿勢制御デバイス	船瀬, 管野, 佐藤泰, 白澤ほか
薄膜太陽電池	田中, 中園, 小山, 豊田, 白澤, 寺元, 嶋田, 横田, 加藤, 森ほか
理学観測機器	松浦, 藤本, 津村, 猿楽, 白旗, 新井, 矢野, 岡本, 長谷川, 平井, 藤井, 田中, 岩井, 奥平, 米徳, 村上, 郡司, 三原, 中村, 北里, 関根, 青木, 吉田, 吉川, 渡邊, 青木, 木下, 吉田, リカフィカ ほか
高比推力イオンエンジン	國中, 西山, 細田ほか
低温液推進系	羽生, 森, 川口ほか
サンプル採取	加藤, 白澤, 松永, 矢野, 森, 関根, 大野, 中条, 林, 寺元, ほか
超高速リエントリー	山田和, 山田哲, 藤田ほか
ランデブードッキング, 膜面フェーズドアレイアンテナ	川崎, 小林, 吉田, 坂井, 西川, 末松, Wu, Itoh, Lin, Huangほか
統合型燃料電池	曾根, 羽生, 川口ほか
気液平衡スラスタ	山本, 森, 中条ほか
IKAROSで確認された想定外の事象の反映	奥泉, 坂本, 古谷, 白澤, 森, 津田, 三桝, 池田, 船瀬, 佐伯, 竹内, 吉川, 市川, 森本, 佐藤泰, 山崎, 西澤, 佐藤剛ほか
IKAROSから得られるデータの分析	白澤, 三桝, 尾川, 竹内, 冨木, 戸田, 森, 津田, 佐伯, 米倉ほか

年次計画(～H25年度)

- ・H22, 23年度にH2Aロケット前提のミッションの検討を行い, システム成立条件を導出し, 最低限のミッション成立性を確認した.
- ・H24年度にミッションを見直し, 外惑星領域往復 & サンプルリターンミッションの検討を開始した.
- ・H25年度にトロヤ群サイエンスのミッションコンセプトを明らかにして候補天体を絞り込んだ. 子機が着陸し採取した試料を親機に引き渡す方式とした.

年次	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度
活動実績・ 到達目標	<ul style="list-style-type: none"> ・H2Aロケット前提のミッション検討(その1) ・技術要素の研究(その1) →統合型燃料電池の加圧閉ループ下での連続運転, 気液平衡スラストの燃料保持機構の改良ほか ・IKAROS成果の取り込み(その1) →IKAROSの10倍の面積の大型セイルの展開運動の成立性確認ほか 	<ul style="list-style-type: none"> ・H2Aロケット前提のミッション検討(その2) →システム成立条件の導出, 最低限のミッション成立性の確認ほか ・技術要素の研究(その2) →イオンエンジン放電室内の非干渉内部探針技術の確立, 低温2液推進系の燃料効率と着火応答性能の向上ほか ・IKAROS成果の取り込み(その2) 	<ul style="list-style-type: none"> ・外惑星領域往復 & サンプルリターンミッションの検討(その1) ・技術要素の研究(その3) →セイル・展開機構の試作, 膜面フェーズドアレーアンテナの試作ほか ・IKAROSで確認された想定外の事象の反映(その1) →膜面剛性の評価, 長期間のフリー運動の把握ほか 	<ul style="list-style-type: none"> ・外惑星領域往復 & サンプルリターンミッションの検討(その2) →トロヤ群サイエンスミッションのコンセプト確定, 候補天体の絞り込みほか ・技術要素の研究(その4) →巻き付け等を考慮したセイル設計の見直し, 展開機構の機能検証, サンプル採取, カプセルの初期検討ほか
到達(目標)TRL	3	3	4	4

年次計画案

次期中型計画として2020年代初頭の打ち上げを目指す。
2015年度中にミッション提案(MDR実施)を実施する予定。

＜研究・開発＞

[illegible]

＜打ち上げ・運用＞

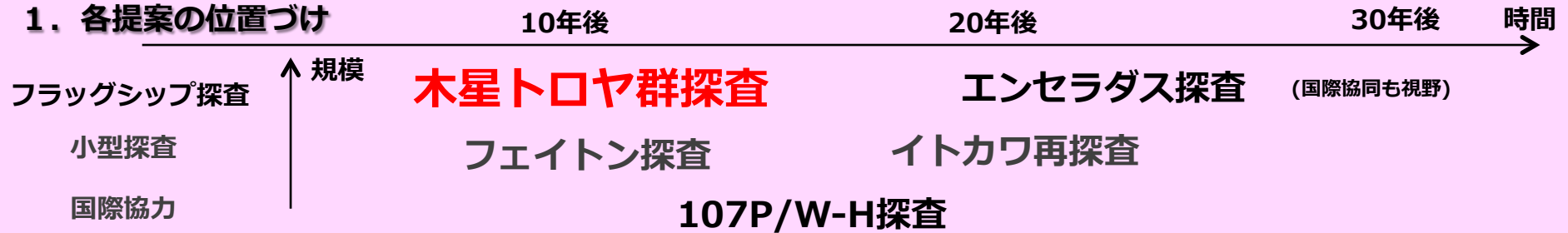
2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	...	2037	2038	... 2049
										Extra
▲打ち上げ (対象天体 により前後)		▲地球スイ ングバイ				▲木星スイ ングバイ		▲小惑星 到着		▲地球 帰還

理学・工学コミュニティにおける議論

- ・ 日本惑星科学会「来る10年」の議論の中で「生命に至る宇宙物質の進化」のフラッグシップミッションとして位置付けられた(次ページ参照)
- ・ 日本学術会議の「第22期学術の大型研究計画に関するマスタープラン(マスタープラン2014)」に「宇宙探査ミッションを支える宇宙技術実証プログラム」の一部として選定された
- ・ はやぶさ、はやぶさ2、イカロスに続く日本独自の外惑星領域往復および各種深宇宙探査技術の実証を目的としたWGとしてISAS工学委員会で高い評価を得ており、次の工学ミッションの有力候補となっている
- ・ クルージングサイエンスについては、光赤外線天文学連絡会で編纂を予定している「2020年代の天文学」に検討内容を報告

来る10年「生命に至る宇宙物質の進化学」の中期ビジョン

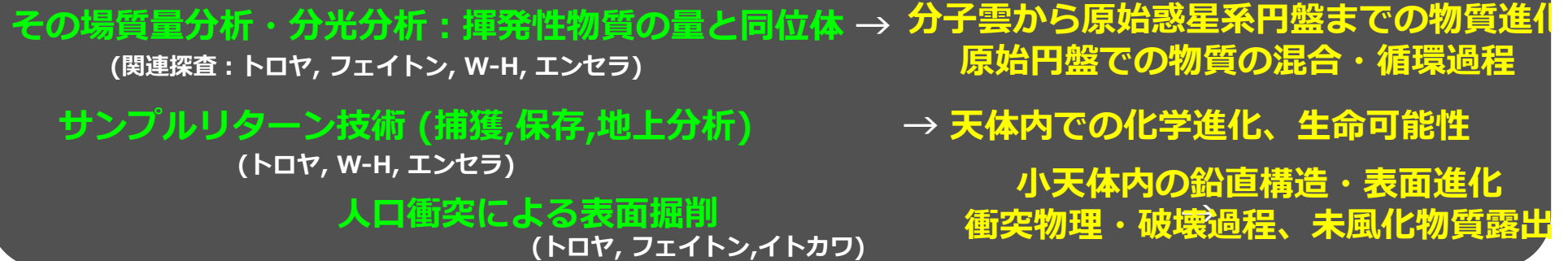
1. 各提案の位置づけ



2. 共同開発要素と共通目的

共同開発

共通目的



3. 10年後に目指すサイエンスとその波及効果

1. 物質科学 化学進化

なぜトロヤ群 (フェイトン) を10年後に目指す？
C型小惑星 (はやぶさ2, Osiris-ReX, Dawn), 木星族彗星 (Rosetta)

EKBOs (New Horizon) の結果を結び付ける探査

- ・ 原始太陽系円盤での揮発性物質・同位体分布マップ
- ・ 現在までの小天体の軌道と物質の進化トラック

期待される波及効果

→ 物質科学を取り入れた
新たな円盤モデルの構築

→ 地球の大気・海洋の起源
ハビタブル系外惑星の
持つ揮発性物質の量

2. 太陽系 構造の 決定要因

なぜトロヤ群を10年後 (エンセラを20年後) に目指す？

なぜ太陽系は今の姿になったのか？に答える探査

- ・ 太陽系と他の惑星系のダスト円盤の比較
- ・ 惑星移動説 (木星タイプII落下, ニースモデル) 検証
- ・ 巨大惑星形成末期の円盤内の温度と位置

→ 天文観測とのリンクによる
比較円盤進化学

→ 原始太陽系円盤の温度進化・
ガス散逸

→ 巨大惑星形成理論

国際協力

- 探査機および着陸子機に搭載する複数の観測機器を国際公募する予定。日欧米研究者間で国際トロヤ探査科学ワークショップを開催し、相互協力する環境が整いつつある。機器を搭載する宇宙機関からは運用・データ受信に関する協力を得られる可能性が高い
- 米国NRCがまとめたPlanetary Science Decadal Surveyで2013-2022年の間にNASAが実施する探査候補にトロヤ群マルチフライバイ+ランデブ(着陸なしリモートセンシングのみ)が含まれている。

米国ミッションの目的は、多数の天体を見ることで多様性を評価すること。着陸探査による「その場」分析+サンプルリターンにより、個別の天体の詳細情報を得る我々の提案とは相補的な関係にある。かりに米国ミッションが先行した場合でも、本提案の科学意義が失われることはない。

木星トロヤ群探査の国際状況

<欧州>

- ・ Cosmic Vision-M3最終選抜でMarco Polo-R落選。
- ・ 2014年はRosetta/Philae探査に注力。2015年はDawn (Ceres) に協力。
- ・ OSIRIS-Rex, はやぶさ2/MASCOTに欧州小天体研究者が参画。
- ・ Cosmic Vision-M4公募に、前回提案のマルチフライバイ案が出される可能性あるが、JUICE選抜により、しばらく木星圏探査が選ばれることは困難か？
- ・ Philae観測およびはやぶさ2打上げが成功すれば、DLRがセイル着陸機を担当するという国際協力の可能性が生まれる？

<米国>

- ・ Discovery13公募(RTG提供なし)が半年前倒しされ、2015年秋にAOが出される見込み。前回提案のマルチフライバイ案が再提出される可能性あり。
- ・ 2013-2022 New Frontierの5候補のひとつとして木星トロヤ群探査が推奨されている。一方、Flagship (Max-C~Europa) Disco13予算圧迫により、2016年AO発出予定が遅れる可能性が指摘されている。
- ・ Jim Bell+JPL検討のマルチフライバイ(6-8個？)+ランデブー(1個)行う”Odyssey”提案は再挑戦を決めている。サイエンスチームとして、セイルWGとの協力を模索。
- ・ トロヤ群天体観測のマシントimeを獲得した研究者に、セイル候補天体の観測を依頼可能(A. Rivkin, F. Marchisら。)

<その他の国>

- ・ 露、中、印その他から具体的なミッション提案は見えていない。

The Second Jupiter Trojan Exploration International Mini-WS Agenda Plan

SOC: Yano, Rivkin, Lamy, Vernazza

(Discussed on 2014/03/19)

Date: 2014/06/29 (Sunday) , full-day

Place: Helsinki (a hotel near ACM2014 venue)

LOC: Receives logistic support from ACM2014 LOC

Fee: 50–100 Euro per attendee

Expected Number: 20–30+

Agenda Plans:

Session-1: Major Science Debates

(Formation theory, Internal Structure & Material, Surface Spectroscopy)

Session-2: Ground Observation/Data Mining Collaboration & Results

Session-3: Updates of International Mission Opportunities

**(JAXA–Solar Power Sail, NASA–New Frontier vs. Discovery 13,
ESA–Cosmic Vision–M4, and Others?)**

Session-4: Possible Key Instrumentations

→All key speakers will be invited. (Jim Bell, Josh Emery, Fumi Yoshida, etc.)

Cf.: The First Mini-WS gathered 15 scientists and engineers from Europe, USA, and Japan in May 2013 at Nice, France.