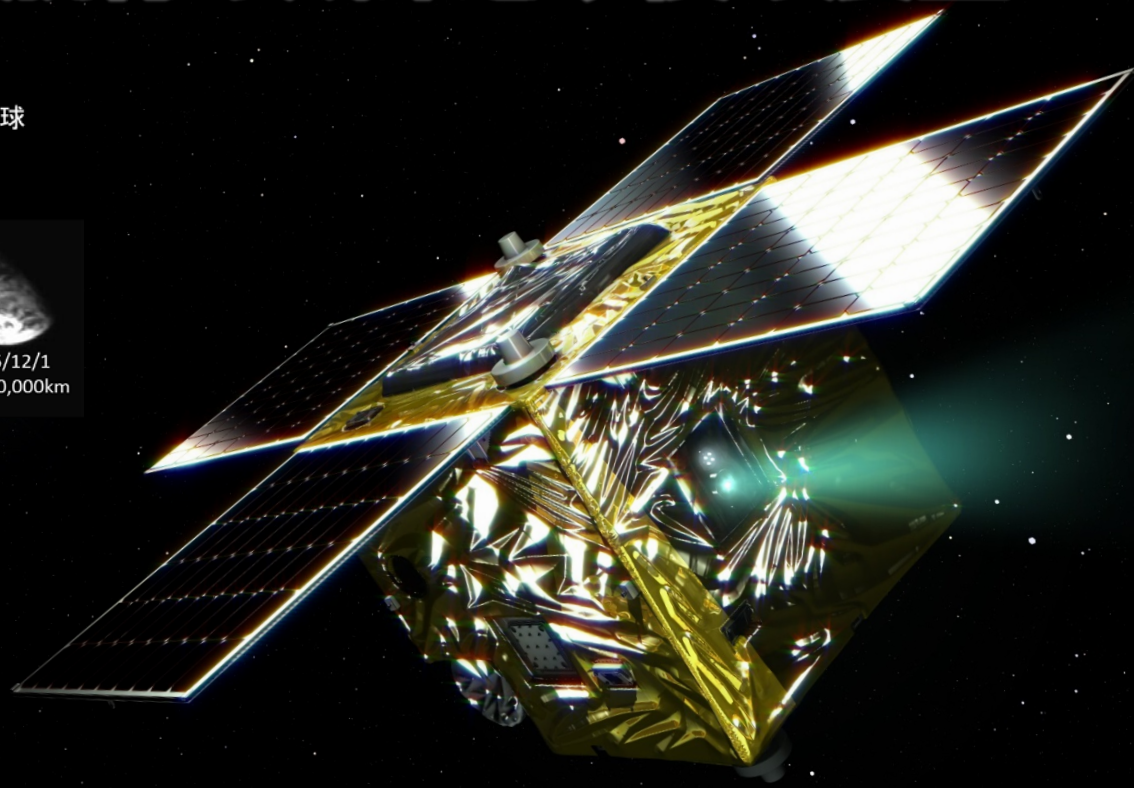
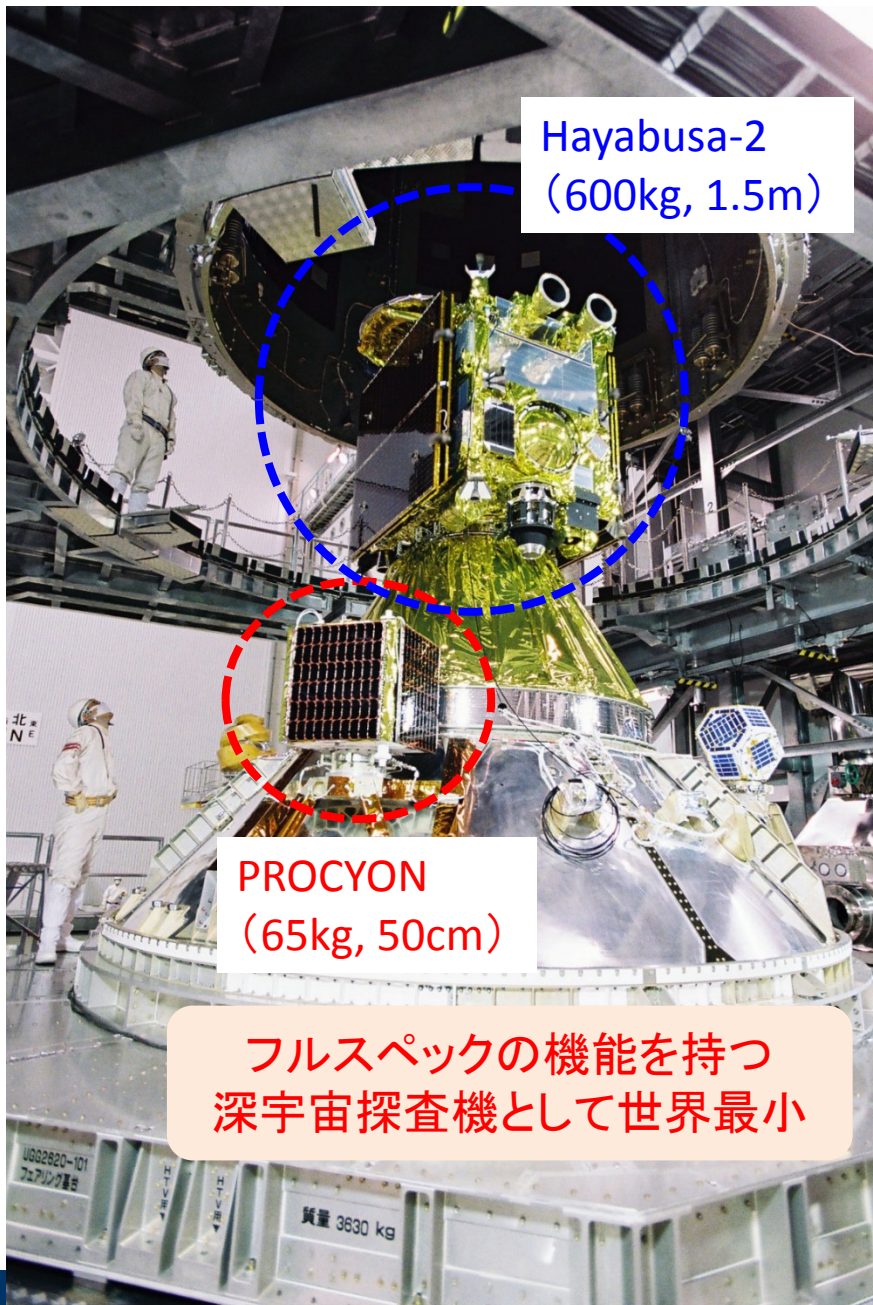


超小型深宇宙探査機PROCYONの 1年間の深宇宙航行の成果と今後の展望



○船瀬龍（東大）， 富木淳史， 川勝康弘（JAXA），
PROCYONプロジェクトチーム



発表内容

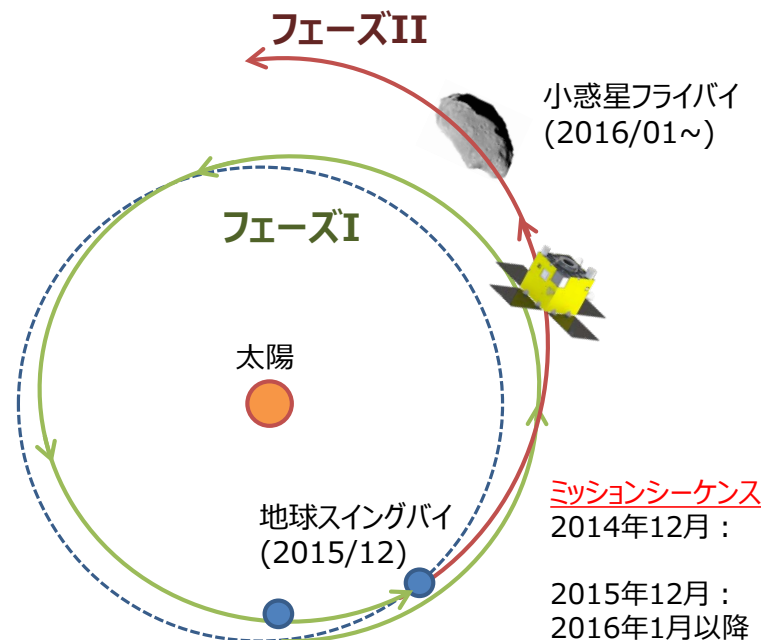
- PROCYONの概要
 - ミッション, 探査機仕様, 超短期開発方法
- PROCYONミッションの成果と今後の展望
 - 理工学ミッションの成果とその意義
 - 超小型探査機の国際動向

PROCYONのミッション

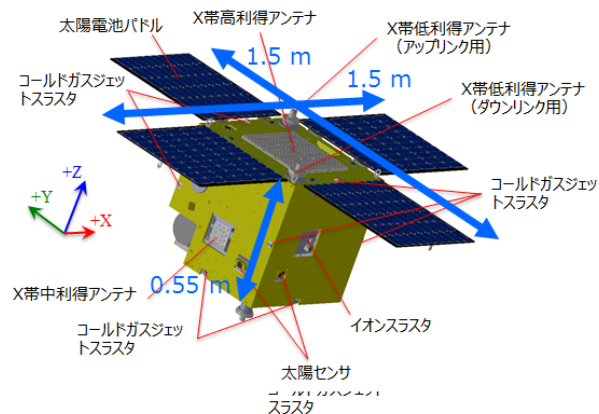
1. ノミナルミッション：
50kg級超小型深宇宙探査機バス技術実証
(電源・熱・姿勢・通信・軌道決定・軌道制御)
2. アドバンスドミッション：
高度な深宇宙探査技術の実証
(高効率通信アンプ・高精度VLBI航法・小惑星フライバイ観測)
3. 科学観測：
ジオコロナ(地球コロナ)の撮像

PROCYONミッションの概要

(Proximate Object Close flyby with Optical Navigation)

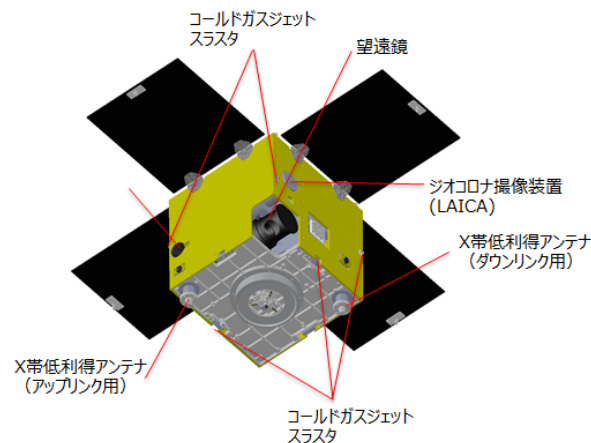
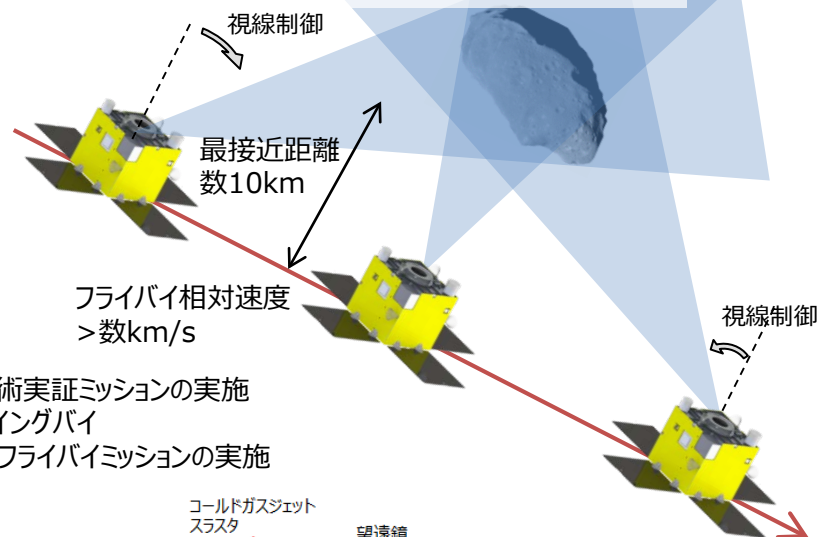


打ち上げ(2014/12/3)

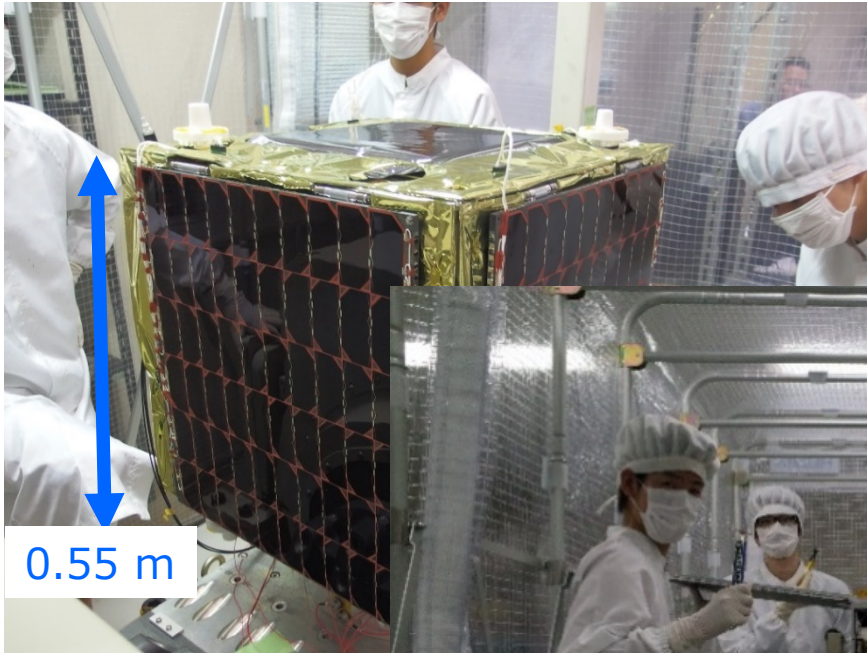


<小惑星に対する超近接・高速フライバイ観測の概要>

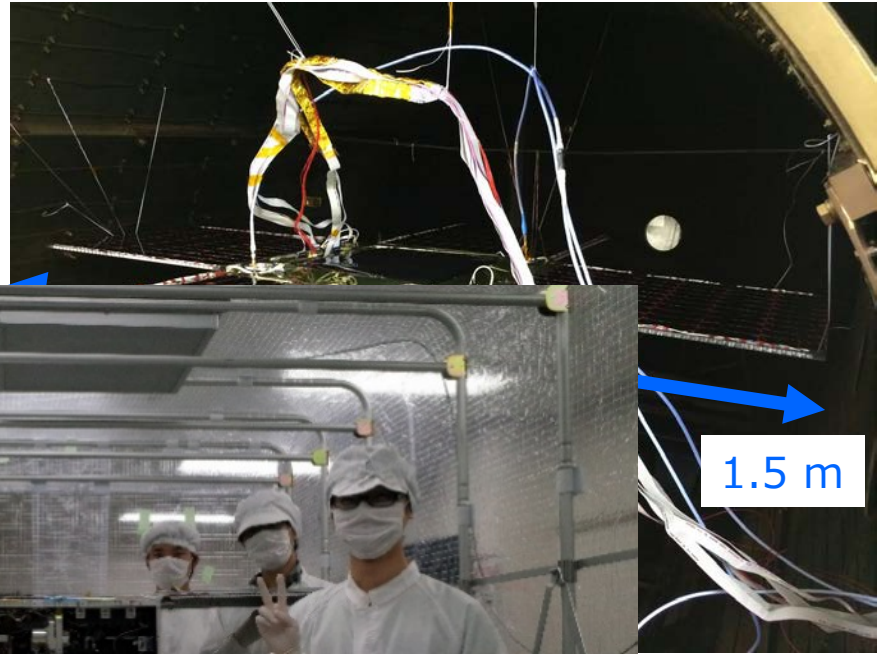
超近接距離でフライバイし、駆動鏡を用いた機上の画像フィードバック視線追尾制御により高分解能画像を取得する。



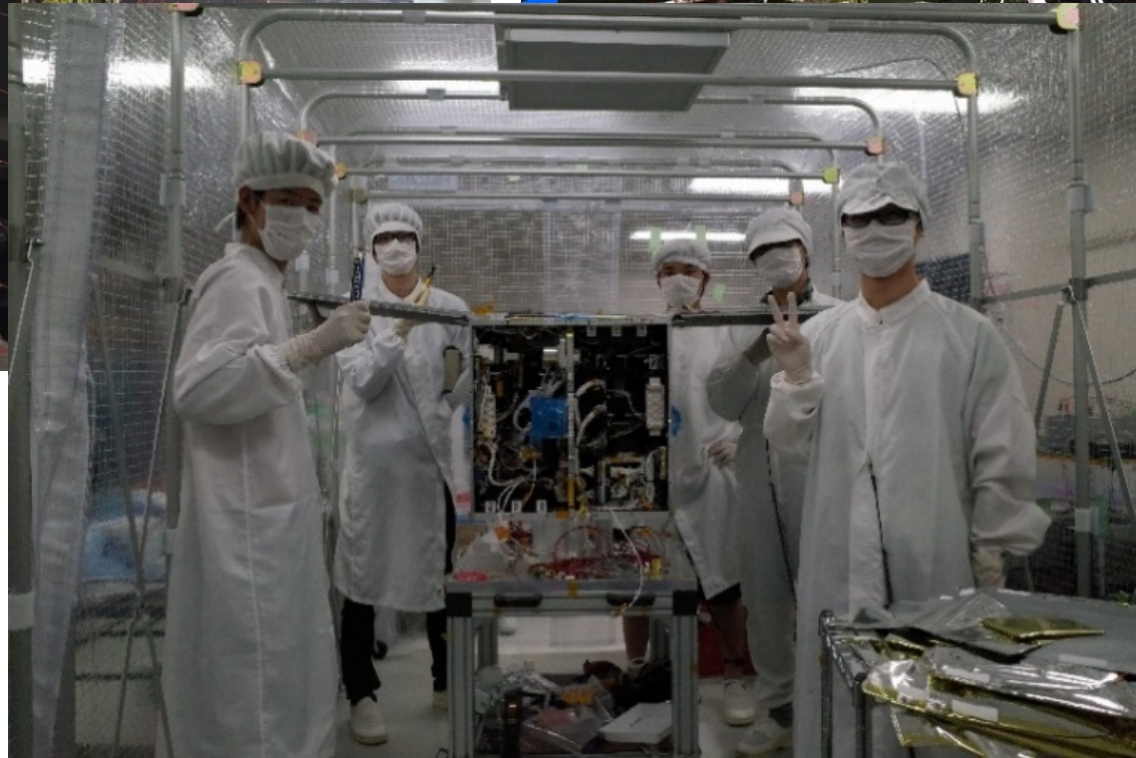
PROCYONの外観



(SAP収納状態)

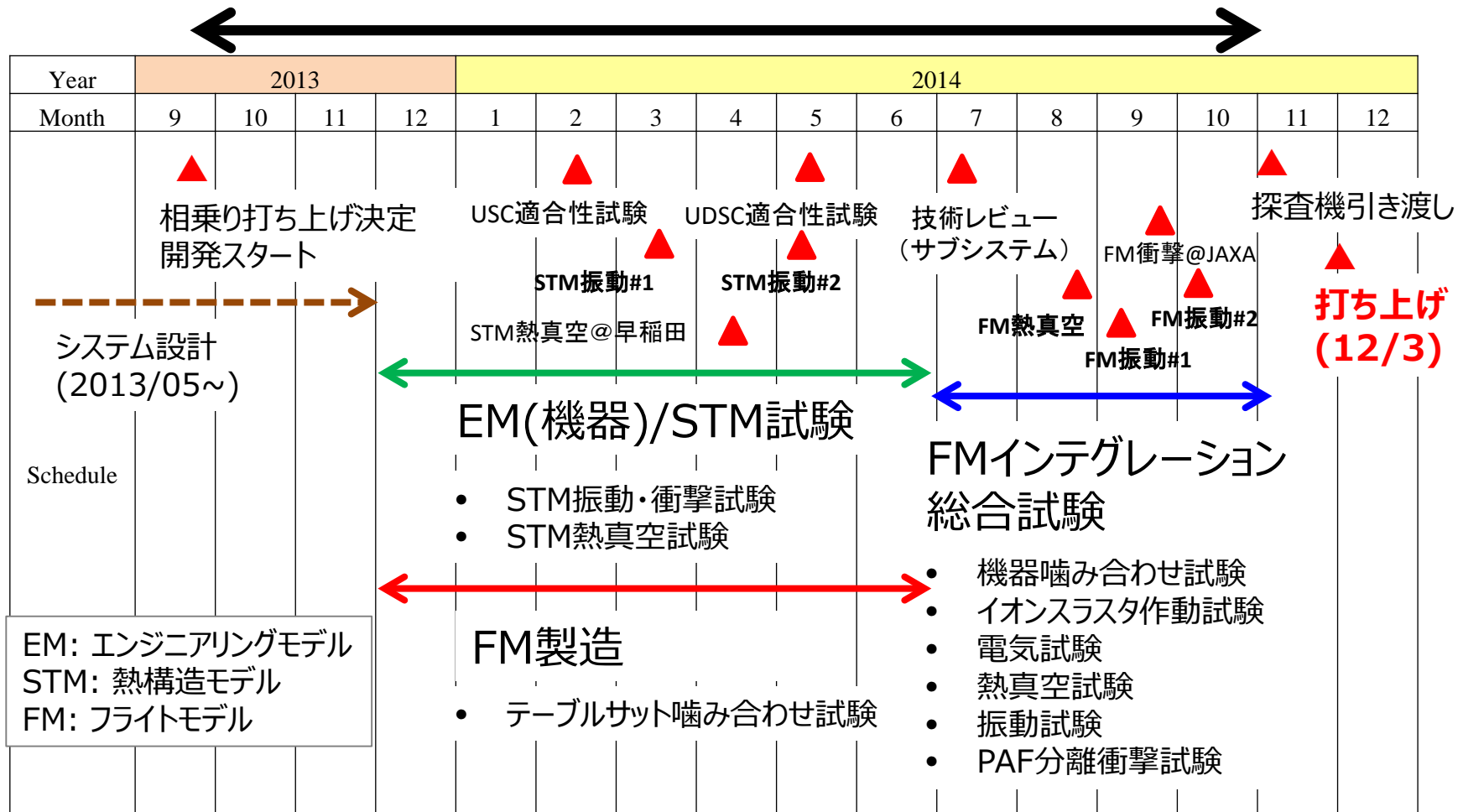


展開状態)



1年2ヶ月の超短期開発

1年2ヶ月という**超短期開発**を実現した 実現しなければならなかった

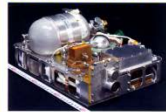


ほどよしプロジェクト開発のバス機器の流用・発展

超小型電気推進器

SMALL SATELLITE ADVANCED COMPONENTS LINE-UP

MIPS: MINIATURE ION PROPULSION SYSTEM



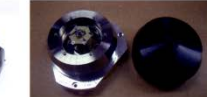
Dimm. L390 x W280 x H160 (mm)
Mass 6000 [g]
Power Consumption 30 [W]
Thrust Level 250 [μN]
Specific Impulse 1200 [s]
Total Impulse 12000 [Ns]
Total Velocity 240 [m/s] (50 kg S/C)
Ion Thruster Unit Ion Source + Neutralizer



REACTION WHEEL (WHEEL-RW0.3)



Micro Reaction Wheel
Nominal Torque >0.003 Nm
Dimm. (without flange) φ98 x H57 (mm)
Power 4.0W (Typ.)
Features
• Ideal for 50 to 100kg spacecraft
• Integrated Wheel Drive Electronics
• Low Power Consumption
• Excellent Shock & Performance



- ✓ 探査に限定しない超小型衛星/探査機バス
- ✓ 高頻度な軌道上成果のフィードバックによる信頼性向上
(軌道上実績を通じた設計のブラッシュアップによって設計起因の不具合を減らして信頼性確保する)

放射線に強い超小型高機能オンボード計算機

POWER CONTROL UNIT PCU



Mass 1500 [g]
Power 3.0 [W] (PCU+PDU)

DISTRIBUTION UNIT M-PDU



Mass 700 [g]
Power 3.2 [W] (max)

POWER DISTRIBUTION UNIT PDU



Dimm. L148 x W206 x H52 (mm)
Mass 1300 [g]
Power 3.0 [W] (PCU+PDU)

LITHIUM-ION BATTERY MODULE LIBM



Dimm. L250 x W67.5 x H99 (mm)
Mass 1530 [g]
Power 160 [Wh]

MAGNETIC TORQUER MTQ



Dimm. L92 x W188 x H53 (mm)
Mass 700 [g]
Power 0.5 [W]

FIBER OPTICAL GYROSCOPE FOG



Dimm. L150 x W135 x H45 (mm)
Mass 990 [g]
Power 3.7 [W]

REACTION CONTROL SYSTEM RCS



OPTICS



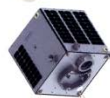
DEPLOY UNIT

LOW-COST

QUICKER DELIVERY

REASONABLE RELIABILITY

4 NANO-SATELLITES UNDER "HODOYOSHI" PROGRAM



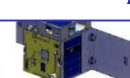
HODOYOSHI-1

Dimm. 503 x 524 x 524 (mm)
(major container)
Mass 60 [kg]
Downlink rate 10-20 [Mbps]
Power generation 50 [W]
GSD 6.7m@500km (multispectral)
Orbit Sun-synchronous
Altitude control 3-axis (Earth-pointing)



HODOYOSHI-2

Dimm. 55 [kg]
Mass 55 [kg]
Power generation 100 [W]
GSD 5m
Altitude control 3-axis (0.1deg accuracy)
Laser Communication Terminal
Store and forward Data Packet Decoder



Mass 60 [kg]
Downlink rate 10 [Mbps]
Power generation 50 [W]
GSD 40m and 200m
Store and Forward 500bps (MAX)
Altitude control 3-axis
H202 Propulsion System



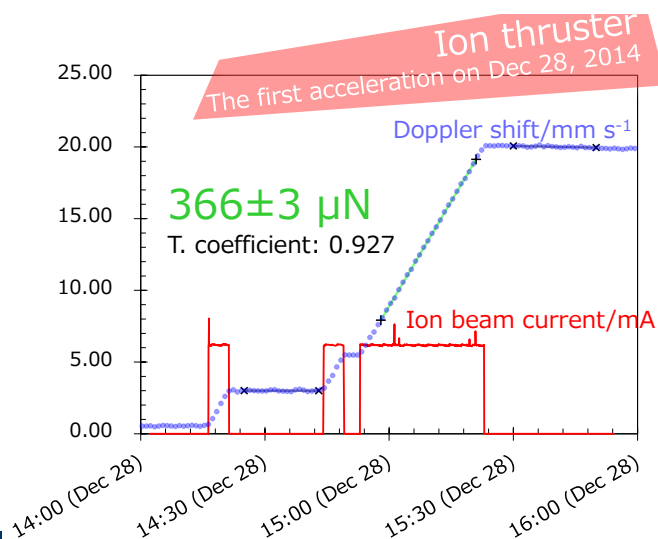
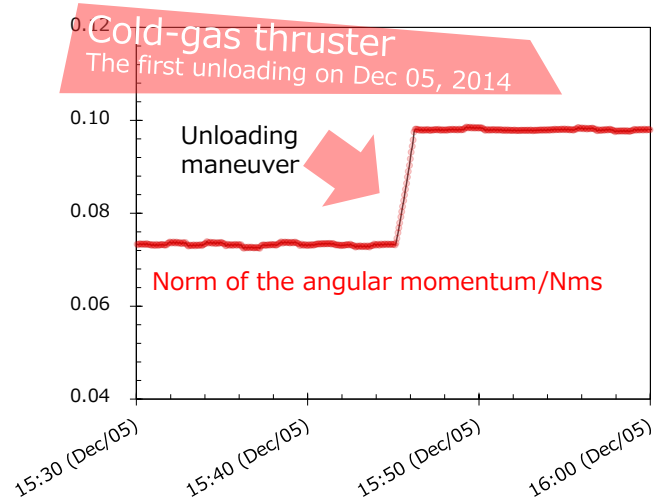
Mass 600 x 600 x 700 (mm)
Dimm. 66 [kg]
Downlink rate 10 [Mbps] (100Mbps as experiment)
Power generation 50 [W]
GSD 6m@600km
Store and Forward 500bps (MAX)
Altitude control 3-axis
Ion Engine Isp: > 1200sec

超小型の姿勢制御用機器 (RW, FOG, SS, MTQなど)

軌道上成果 (メインミッション)

50kg級超小型深宇宙探査機バスの実証

(打ち上げから2~3ヶ月で実施)

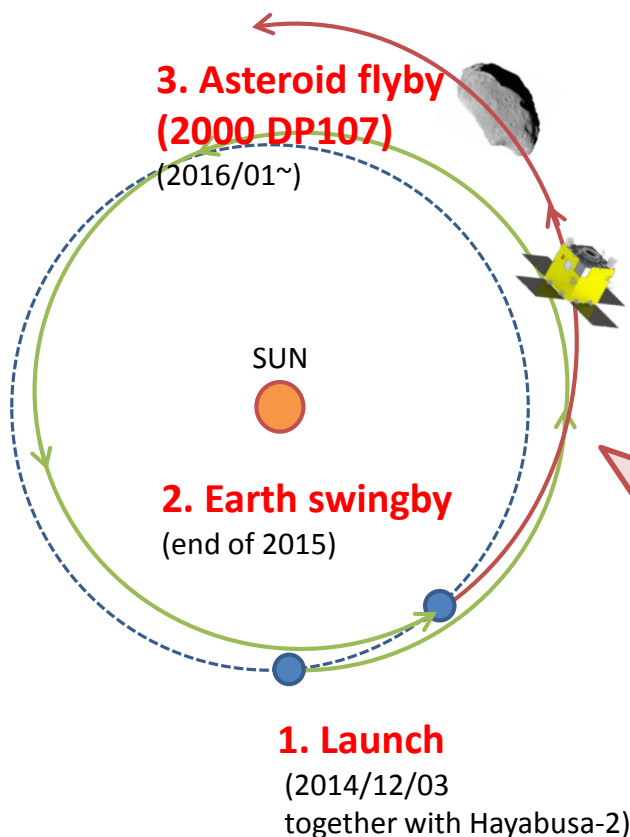


2)

- ✓ 発電・電力管理 (>240W)
- ✓ **深宇宙軌道に対応した熱設計**
(広範囲の太陽距離(0.9~1.5AU)と大きな発熱量変動(電気推進のon/off))
- ✓ 姿勢制御 (3軸, 0.01degの安定度)
- ✓ **深宇宙用の通信・軌道決定技術**
 - ✓ 高効率(GaN SSPA, >30%; 世界最高)
 - ✓ 高出力(>15 W; はやぶさ2等と同程度)
 - ✓ 精密軌道決定("Chirp DDOR")
- ✓ **深宇宙用の超小型推進システム**
 - ✓ RCS : アンローディング・TCM用(8基)
 - ✓ イオンスラスタ: 軌道変換用
(1軸, $I_{sp}=1000\text{s}$, 推力=300 μN , 最大 $\Delta V=400\text{m/s}$)

軌道上成果（アドバンストミッション）

先進的な深宇宙探査技術の実証と 深宇宙軌道を利用したサイエンス



[工学ミッション]

軌道変換

- 超小型イオンスラスターの長時間運転
- 地球スイングバイして小惑星フライバイ軌道へ投入

超近接フライバイ観測による小惑星の高分解能画像取得(<30km, <10km/s)

- 小惑星に対する光学航法・誘導
- 画像フィードバックによる視線方向の自動追尾制御

[理学ミッション]

- ✓ **ライマンα望遠鏡によるジオコロナの広視野撮像**

軌道上成果 (アト)

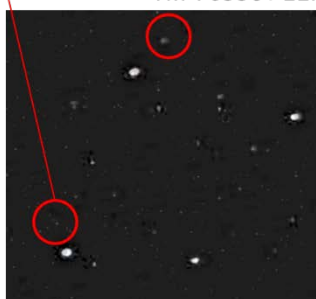
先進的な深宇宙 深宇宙軌道を利

TYC 6197-110-1: 11.8等級

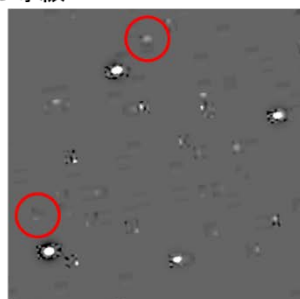
HIP76550: 11.23等級



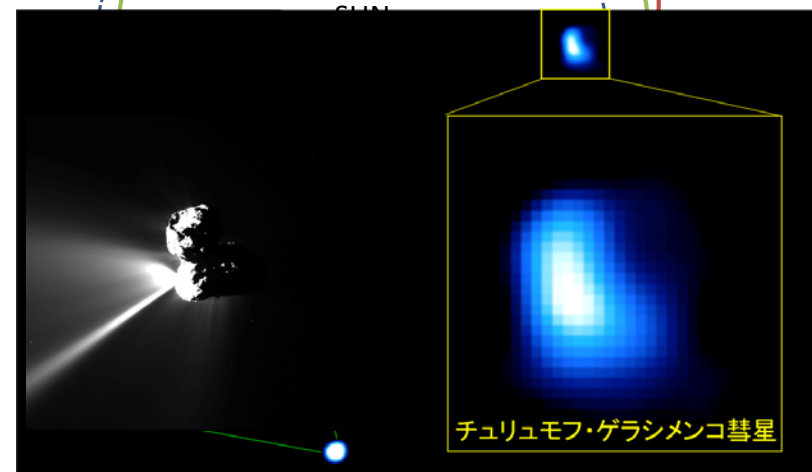
生画像20%



生画像80%

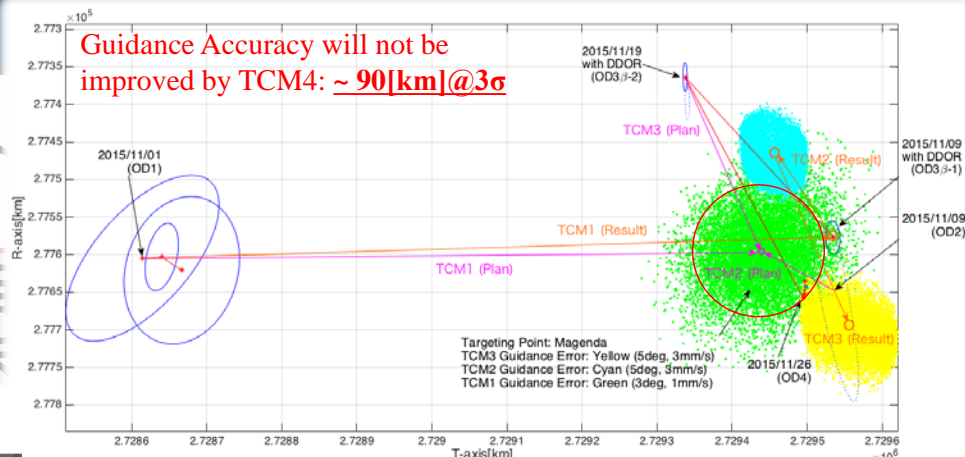


生画像100%

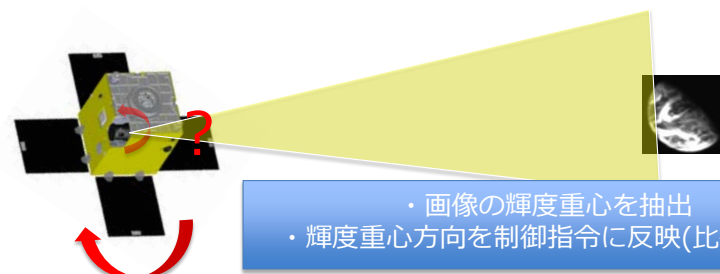


チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星

(2015/09/13, Rosettaの滞在中の彗星の水素ガス分布の撮像に成功)

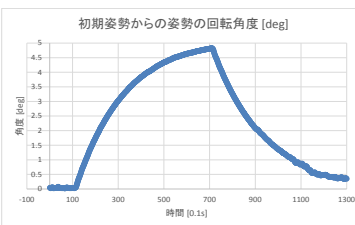


・地球を利用した 画像フィードバック自動追尾試験

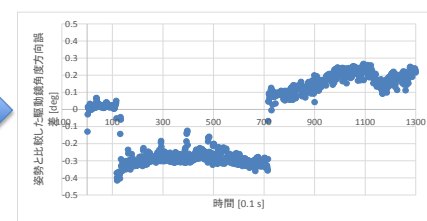


姿勢を望遠鏡
駆動軸周りに回転させる

望遠鏡回転駆動角度が
姿勢変化に追従するかを
テレメトリより解析



初期姿勢からの姿勢の回転角度



駆動鏡の追尾誤差角度

アライメント誤差等が残るものの、
0.4deg以内での自律追尾を継続することに成功している

軌道上成果

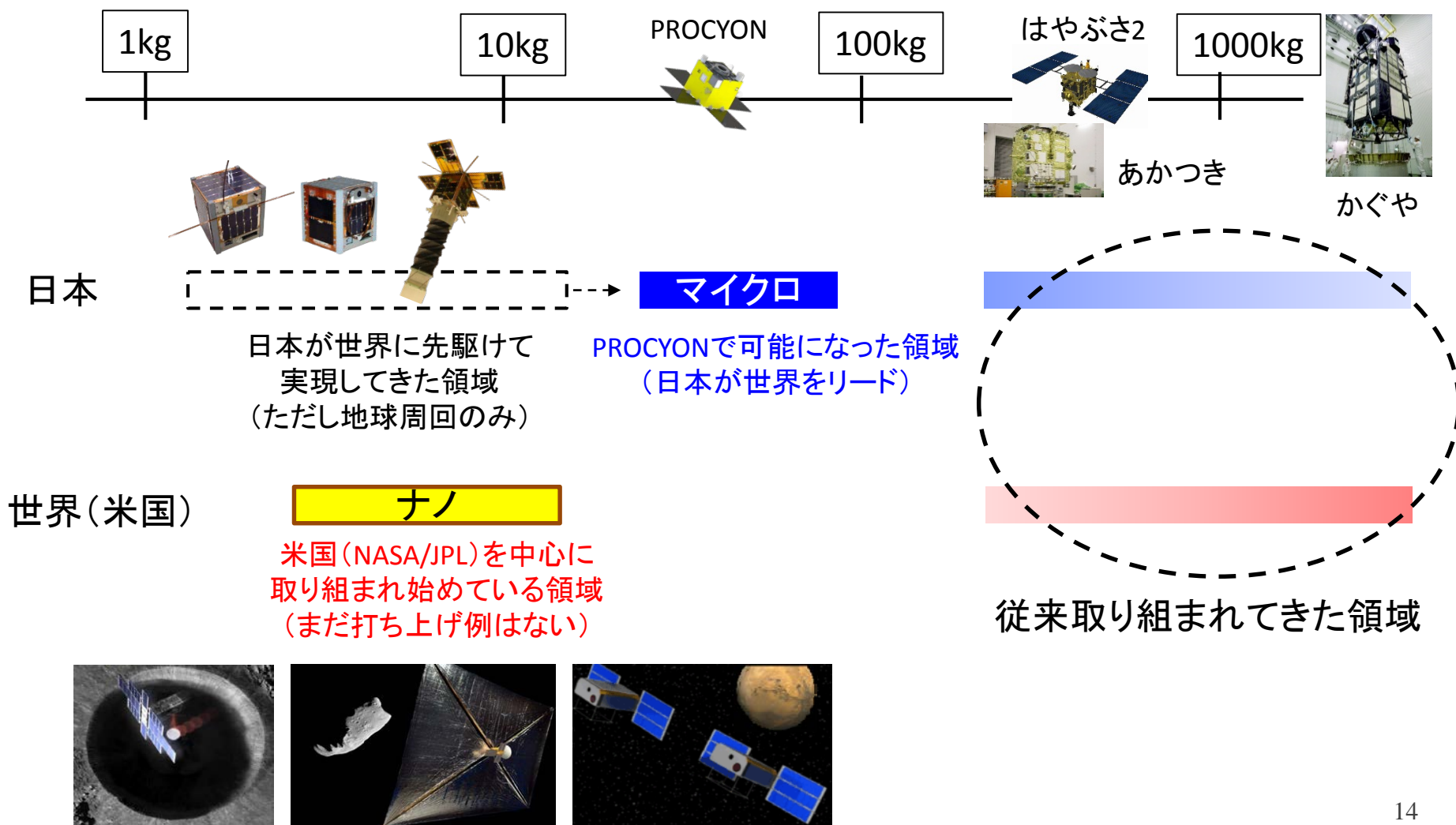
- 超小型探査機バスの実証：成功
- サイエンスミッション（ジオコロナ観測）：成功
- 高効率アンプ，高精度DOOR実験：成功
- 長時間の深宇宙軌道変換とそれに続く小惑星フライバイミッションを除いた，全ミッションに成功
- 超小型探査機がstand-aloneで深宇宙探査できる能力があることの実証，深宇宙探査の有効な手段となりえることを示すことができた。

PROCYONの成果の意義

はやぶさ2の相乗り機会を最大限活用し、低コストかつ超短期に以下を実現することができた。

- 今後の探査に使える新しい技術の迅速な実証
 - 高効率通信アンプ
 - 高精度DDOR軌道決定
- 理学観測成果
 - ジオコロナ観測
 - 彗星観測
- 50~100kg以下の低コスト・小型軽量な深宇宙探査手段の獲得
 - 世界初・世界最小の50kg級深宇宙探査機の実現

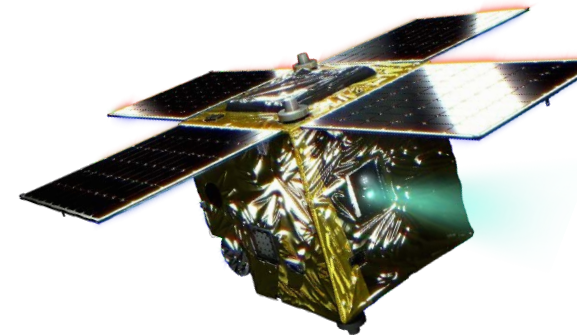
超小型深宇宙探査機の国際動向



超小型探査機の様々なミッション形態

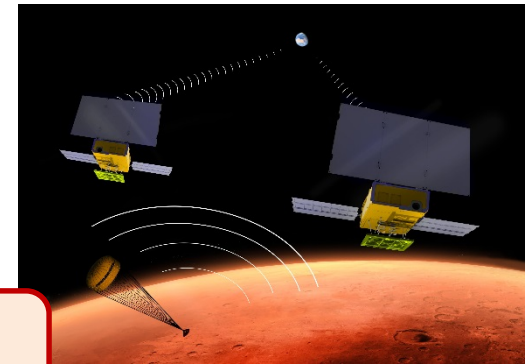
- **プリカーサー and/or 単独探査ミッション**

- リスクを取って、将来の大型計画のために未知の危険な環境の先行調査や新規技術の先行実証を行う
(ex. 有人探査のための事前環境調査, ランデブ/着陸探査の前のフライバイ先行探査)
- **マイクロ衛星クラス (～PROCYON級)** が適している？



- **主ミッションの補助・補強, 役割分担**

- 母船/子機構成
(ex. はやぶさ/MINERVA, InSight/MarCO, DESTINY/PROCYON-mini)
- **ナノ衛星クラス (CubeSat級)** が適している？



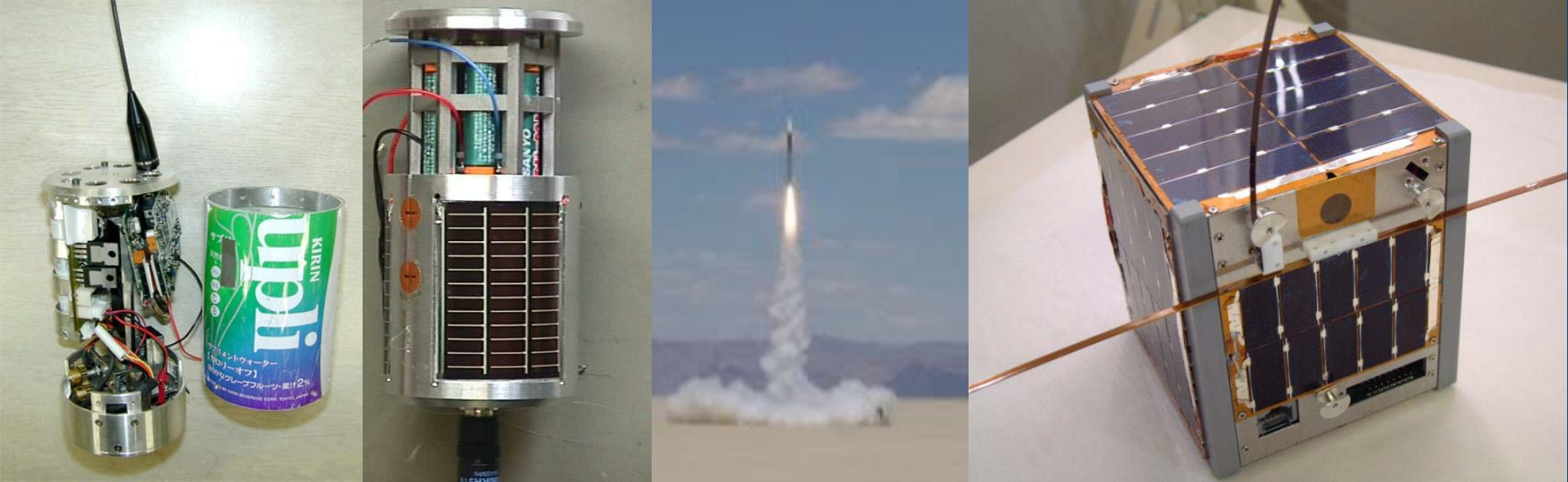
超小型探査機であっても、使い方次第で
“世界第一級の”(過去に例のない)成果は出せる

InSight/MarCO
(© NASA/JPL-Caltech)



発表のまとめ

- 東京大学とJAXAが、世界初となる超小型深宇宙探査機PROCYONを開発し、2014年12月に打ち上げに成功した（はやぶさ2との相乗り）。
- ノミナルミッション（超小型探査機バスの実証）を達成、アドバンスドミッションの一部も達成。超小型探査機がstand-aloneで深宇宙探査できる能力があること、**低コストで短期開発可能な深宇宙探査ミッションの有効な手段となりえること**を示すことができた。
- 50人以上の研究者/技術者/学生が開発に携わり、自ら手を動かして深宇宙探査機を作る経験ができたことは、**将来の中大型探査計画を支える人材育成**の観点でも大きな成果であった。
- 「高頻度に小型/超小型計画を実施する中で人材育成と技術実証成果が将来の中大型計画に貢献する」という、**小型/超小型と中型/大型が共存する好循環なサイクルの実現可能性**を示すことができたと考えている。
- 惑星探査機打ち上げへの相乗りという極めて貴重な機会を与えてくれたJAXA関係者に感謝します。今回のPROCYONだけにとどまらず、海外ミッションも含めて多種多様な相乗り機会等を最大限活用して、最大限のサイエンスリターンを得ることに今後も貢献していきたい。



Challenging new space frontier by small satellites

Intelligent Space Systems Laboratory, Univ. of Tokyo

