



Hera搭載熱赤外カメラTIRIの科学と開発状況

Science and development of the thermal imager

TIRI on the ESA Hera mission

○岡田達明^{1,2}, 田中 智¹, 福原哲哉³, 坂谷尚哉³, 鳶生有理¹, 千秋博紀⁴, 荒井武彦⁵, 出村裕英⁶, 神山 徹⁷, 関口朋彦⁸, Hera TIRIチーム
¹JAXA宇宙科学研究所, ²東京大学, ³立教大学, ⁴国立環境研究所, ⁵千葉工業大学, ⁶足利大学, ⁷会津大学, ⁸産業技術総合研究所, ⁸北海道教育大学

Hera とAIDA計画

- ◆ 宇宙理工学の知識・技術を応用して、人類の潜在的脅威に備えるための“Planetary Defense”の機運が国際的に高まっている。
- ◆ 小惑星の地球衝突は、「大絶滅」級の巨大衝突（～10kmサイズ）こそ低頻度だが、「大都市圏消滅」級となる数10mサイズの衝突は、10²～3年に1回程度の頻度で起こる。
- ◆ これらは数m規模の探査機による軌道修正によって、衝突回避させることが可能と考えられる。
⇒その技術実証と、小惑星の素性の理解のため実施するのがAIDA。
- ◆ 小惑星探査Heraは、史上初の国際共同Planetary DefenseミッションAIDA (Asteroid Impact & Deflection Assessment) の一部である。
 - DART (NASA): Asteroid Impact Experiment
 - Hera (ESA): Asteroid Rendezvous & Cube-sat Experiments
 - Ground Observations: Support for the Mission

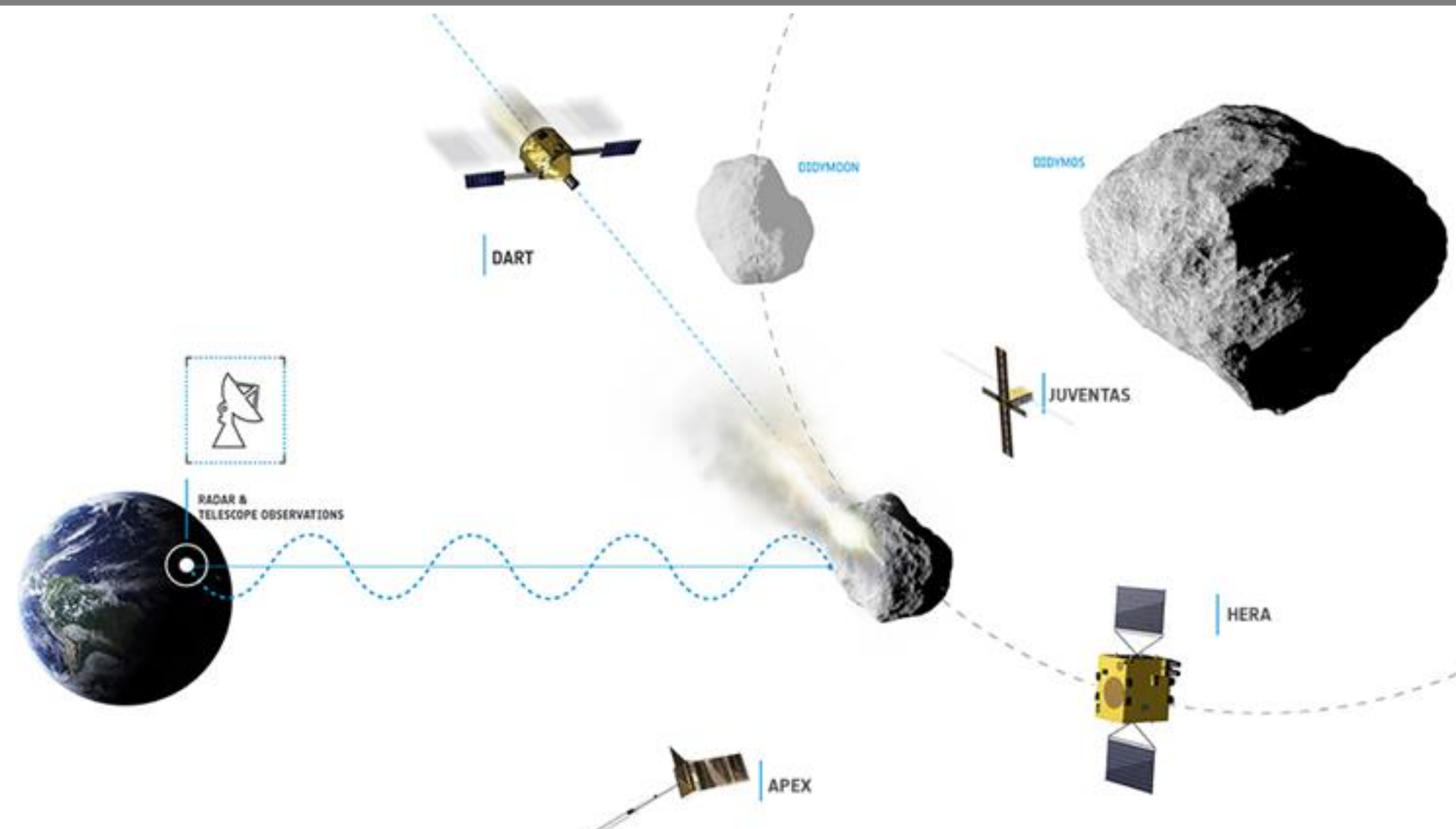


図1 : AIDAミッション概念図

直径 [ft.]	直径 [m]	衝突エネルギー [MT]	平均衝突間隔 [Yr]	補記
16	5	0	1	シテアリ (1947, D=2m?, 鉄隕石) ⇒クレータ径26m
33	10	0	10	チェリヤビンスク隕石 (2013, D=10m, 0.1MT): ⇒広島原爆の10倍
80	24	1	100	
160	49	10	1000	ツングースカ (1908, D=60~100m, 5~10MT): ⇒半径30~50kmの森林倒壊
460	140	300	20000	
1,000	305	2,000	70000	
2,000	610	20,000	200000	
3,300	1,006	100,000	700000	
3 miles	48,279	1,000,000	30 M	
6 miles	965,604	10,000,000	100 M	チョルブ (6600万年前, D=10~15km) ⇒クレータ径160km, 恐竜等絶滅に関連?

表1 : 隕石の大きさと衝突エネルギー、被害エリア

Hera Mission概要

- ◆ DART (2021年打上) が小惑星Didymos (S型、D~780m) の衛星Dimorphos (D~160m, P~11.9Hr) に2022年に衝突する。
- ◆ 地上観測によって衝突時の現象と、衝突後の軌道変化を調査する。
- ◆ HeraはDidymosにランデブーし、Didymosとその衛星を高度30kmから2km以下までの高度で約半年間にわたって観測する。特にDARTの衝突で形成された衝突痕の詳細観測、衛星の軌道詳細観測、および両小惑星のその場観測による素性の理解が重要項目である。
- ◆ さらに、6UのCubesat2機による接近観測を実施する。
- ◆ Heraの主な科学観測項目
 - S型小惑星Didymosの詳細観測 (SMASSではXk型)
 - Itokawa, Ryugu, Bennu などの共通点や相違点
 - 衛星 (探査される史上最小天体) の詳細観測
 - 岩塊/ラブルパイル、空隙率、Didymosと起源は同じか?
 - バイナリー系の力学特性、BYORPの基礎観測
 - バイナリーの形成過程と安定性
 - 宇宙衝突科学
 - Hayabusa2のSCIより2~3桁大規模な宇宙実験、SCIとの比較
 - 宇宙風化への表層状態の影響
 - 熱赤外撮像による表層状態と宇宙風化との関係の解明
- ◆ Heraの搭載観測機器
 - 可視近赤外マルチバンドカメラ (x2台) (AFC)
 - 熱赤外カメラ (TIRIなど候補)
 - レーザ高度計 (PALTなど候補)
 - Cubesat (分光カメラ、熱重量計) (Milani)
 - Cubesat (レーダ、重力計、加速度計、カメラなど) (Juvantus)

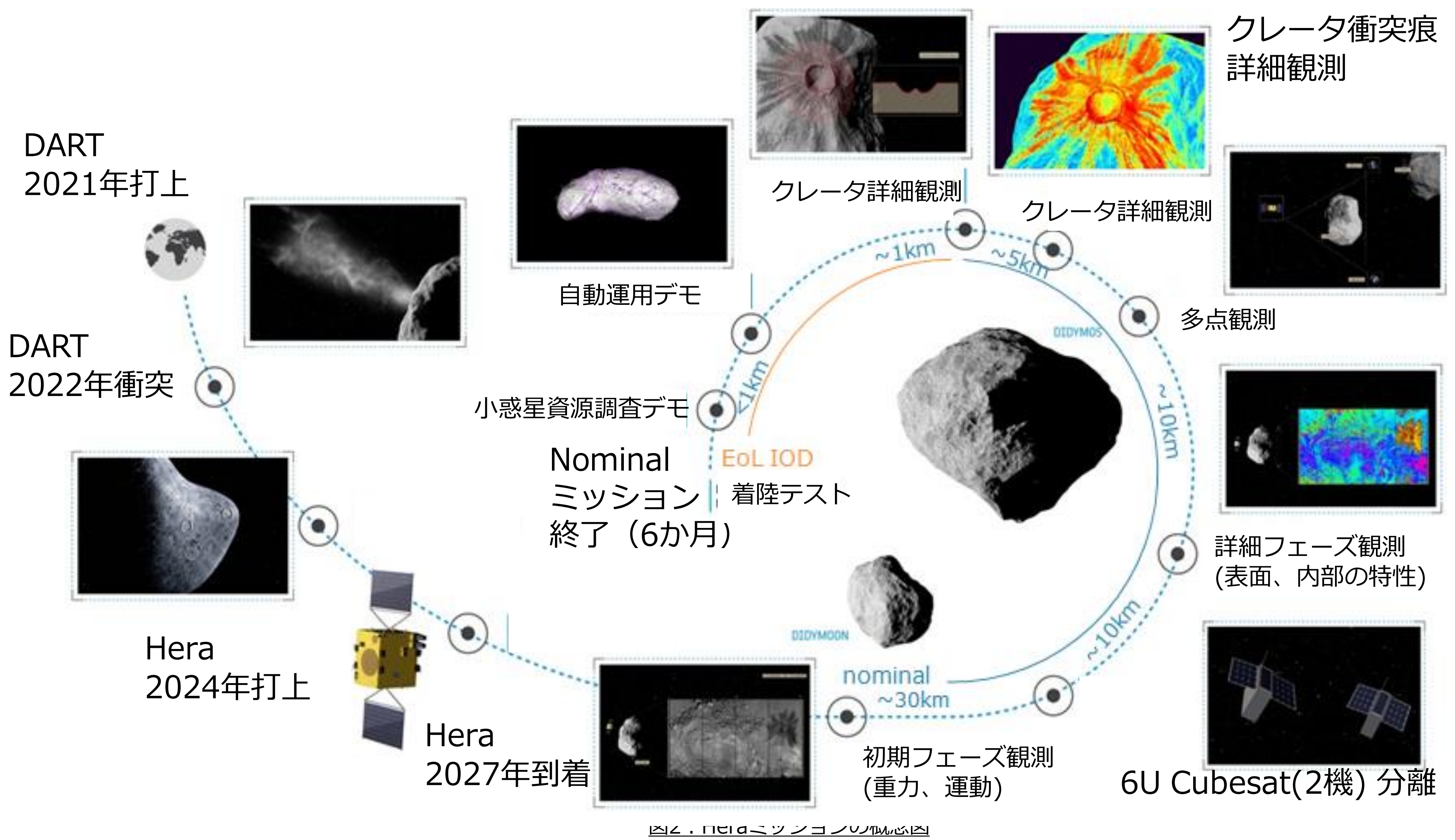


図2 : Heraミッションのタイムライン

熱赤外カメラ (TIRI = Thermal Infrared Imager)

- ◆ 2018年11月のHera全体会議において、カメラ (AFC) 以外の観測装置について議論があり、「はやぶさ2」TIRと同様の熱赤外カメラの搭載が強く推薦され、JAXA宛に搭載の打診があった。
 - 制約条件は以下の通り
 - リソース: < 5kg (目標 3.5kg), < 30W,
 - 搭載位置: 上部パネル外側に搭載、独立熱制御
 - 主ミッション期間: ~0.5年間 (現地)。
 - 総データ量: 15Gbit程度 (原提案は21Gbit)
- ◆ 「はやぶさ2」TIRによる小惑星Ryuguの観測実績や、その後の小規模衛星 (UNIFORM搭載BOL) の実績もあり、戦略的海外共同計画として検討中。
 - 概念検討を実施中である。
 - ESA側とも技術的議論を行い、I/F調整中
 - ESA側でもバックアッププランも準備している
- ◆ TIRIの基本仕様1 : 熱赤外カメラ (8~14μm)
 - 2Dボロメータ (1024x768画素) をベースとする。
 - 視野角は13.3x10.0 deg, IFOV~0.013deg/pix (4.6m/pix@20km)
 - 読み出しは30Hz、画像積算可能
 - フィルタ「閉」による遮光、基準温度測定
- ◆ TIRIの基本仕様2 : 熱赤外マルチ分光カメラ
 - フィルタホイール搭載による6波長以上の狭帯域フィルタ搭載
 - 地域ごとの物質の異同を調査できる

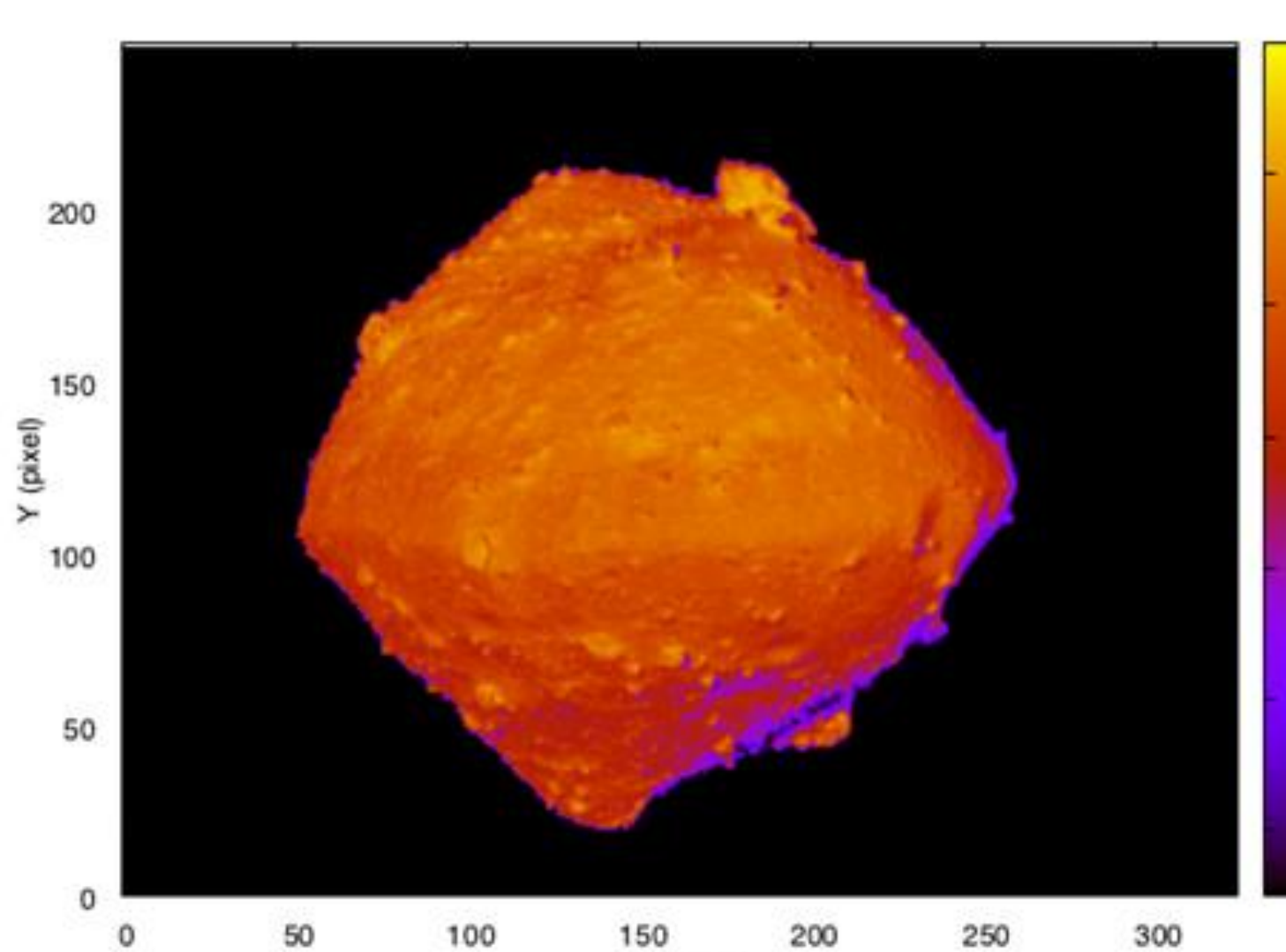


図3 : Heraミッションで期待される熱画像の例。(上)ははやぶさ2搭載TIRの8/1の中高度観測時の熱画像、(右)TIRによる4箇所の中高度からの超高分解能な熱撮像。いずれも世界で唯一無二の貴重な観測データである。

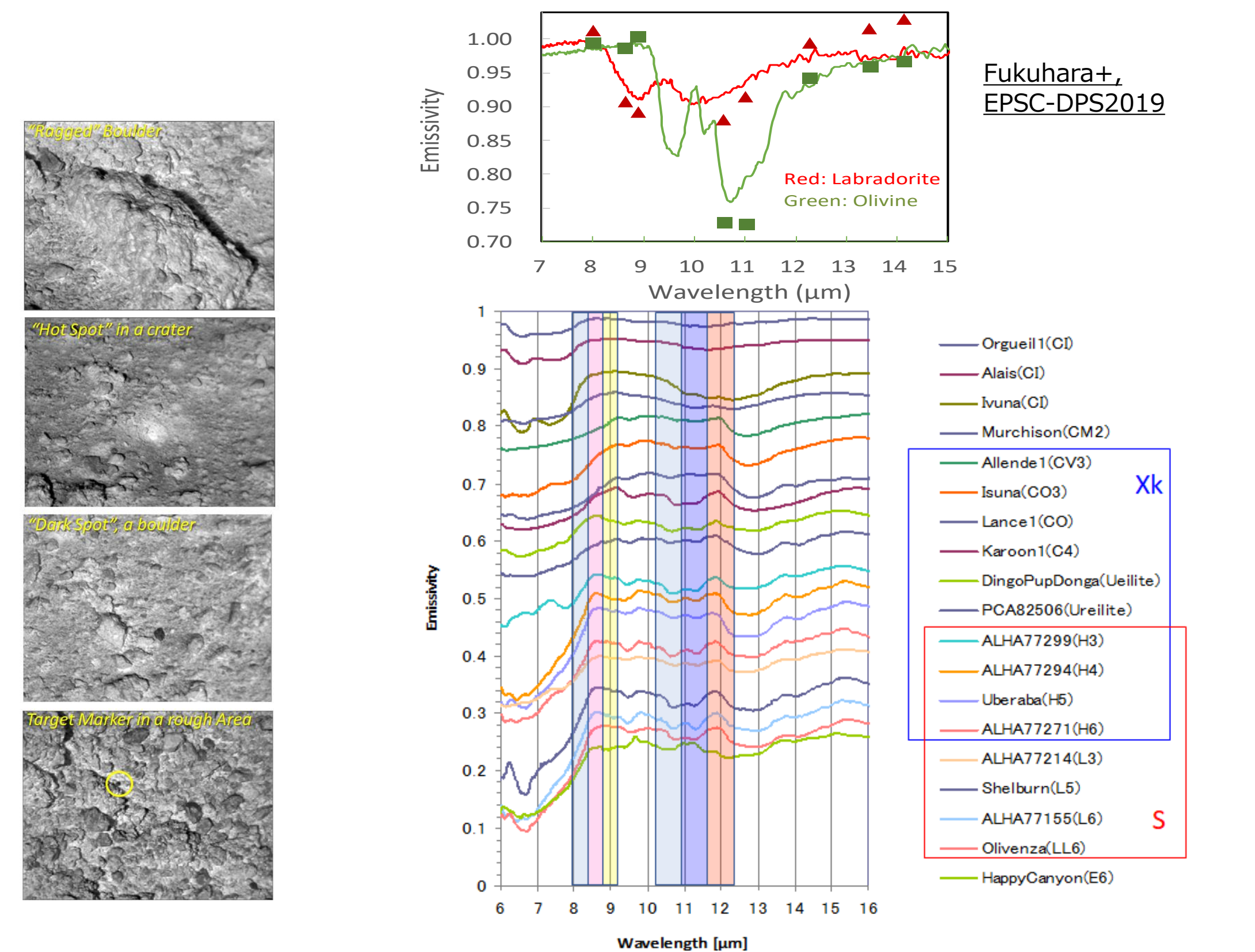


図4 : フィルタ分光でFTIR(線)をほぼ再現(上) 中間赤外分光によってS型の物質の分類が可能(下)

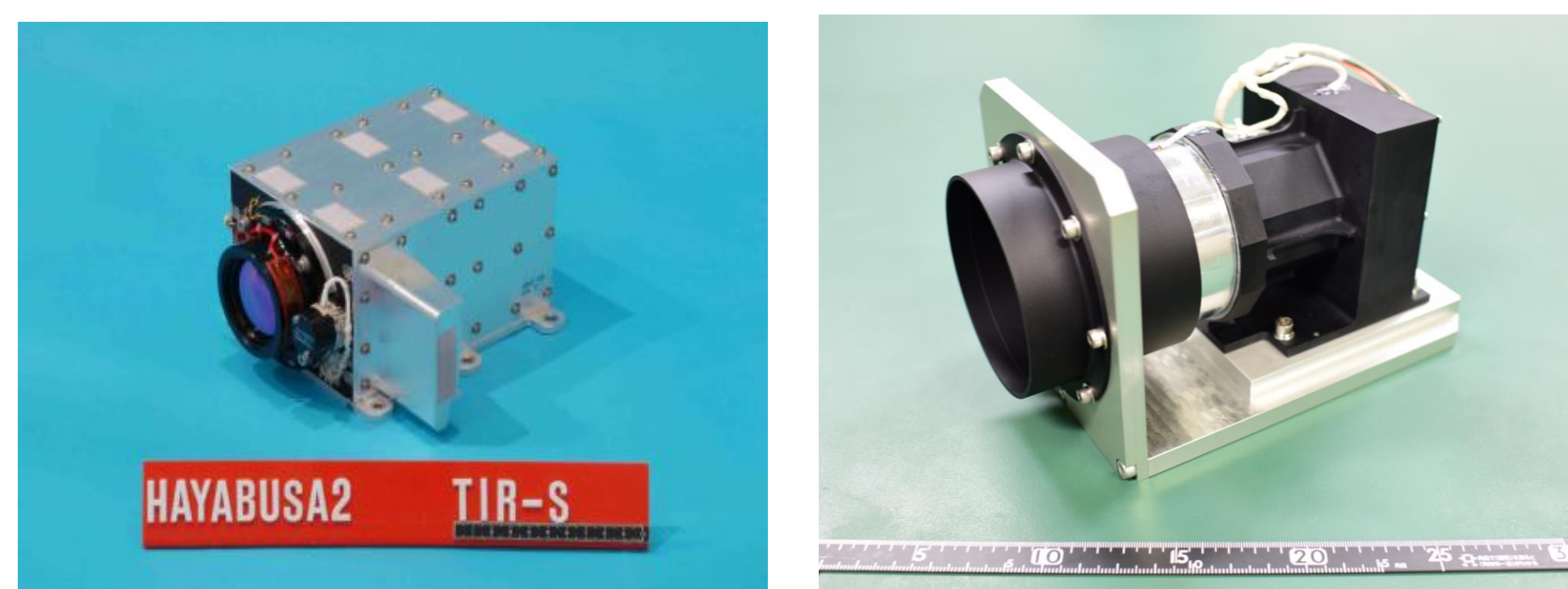


図5 : 「はやぶさ2」TIRの搭載品(左)とUNIFORM搭載BOL(右)。BOLに検出器の最新版を採用する予定。機上データ処理についてはTIRとエレキ (DE) で実施している方法論を継承。

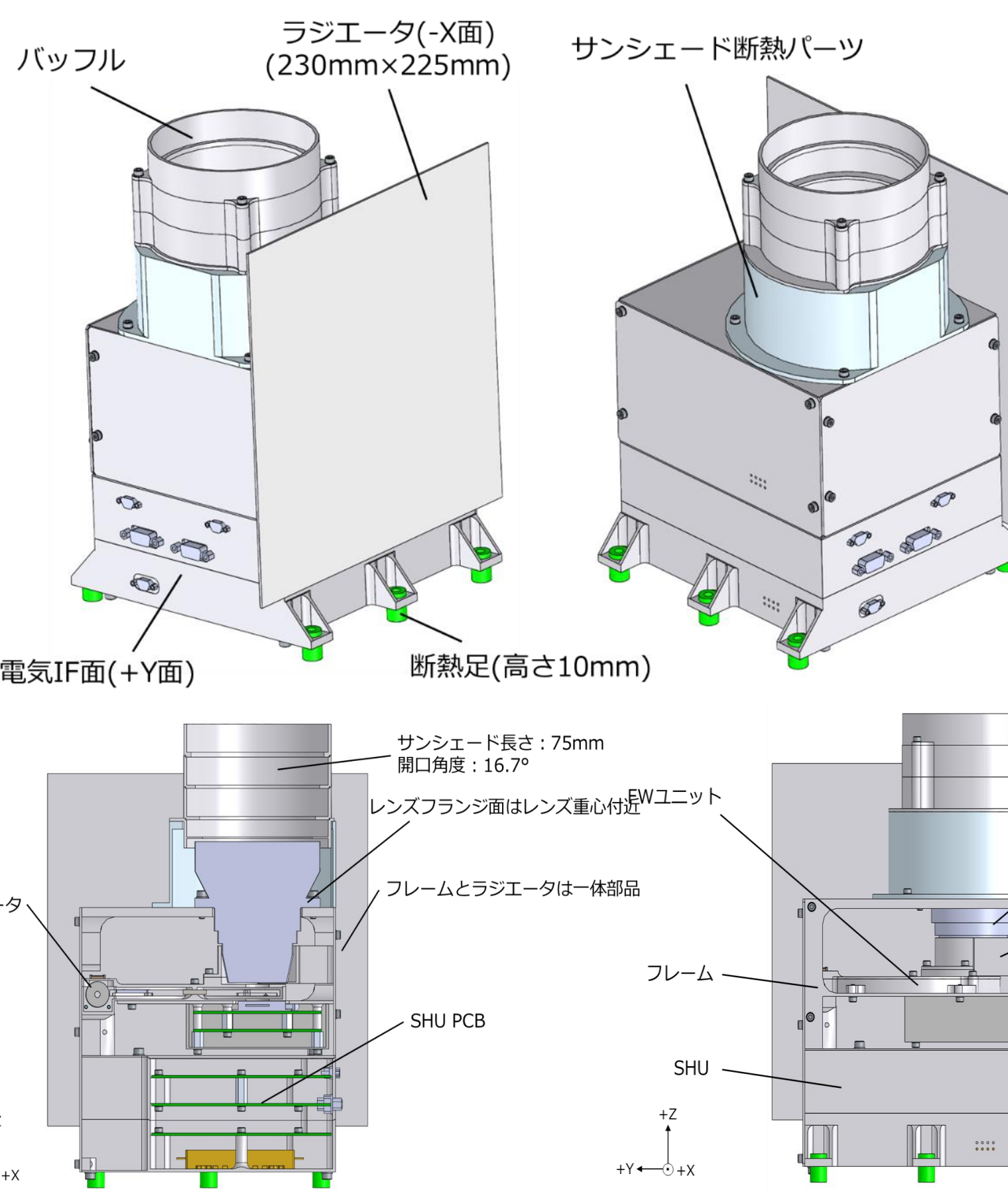
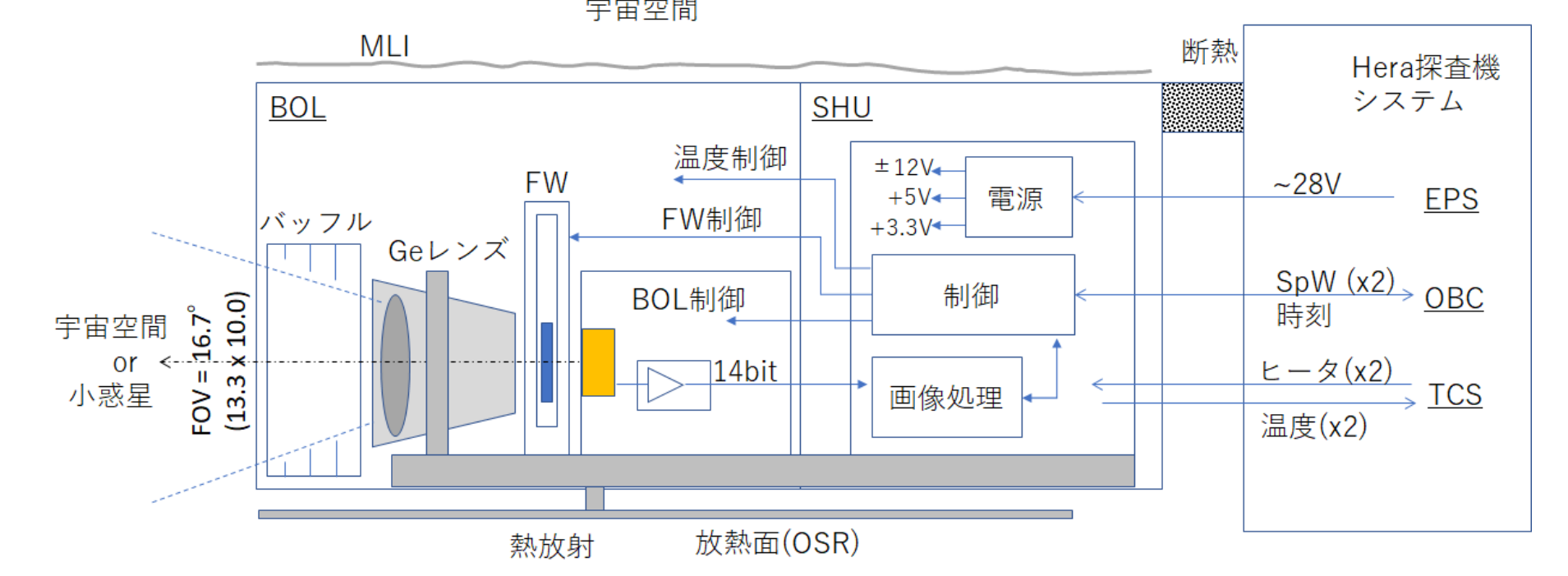


図6 TIRI概観、TIRI検出部の基本構成(左上)、内部校正(左下)、機能構成図(右上)、機器仕様(右下)が検討されている。



重量	4.0±0.5 kg (≦4.2kg)
電力	20 W (nominal) (≦30W)
検出器	ボロメータ (Lynred PICO1024)
画素数	1024 x 768 (17μm pitch)
視野角	13.3 x 10.0 deg
解像度	0.23 mrad (0.013 deg)
温度精度	< 3K
相対精度(NETD)	< 0.1 K
温度検出範囲	150 - 423 K
読出周期	30Hz