

赤外線位置天文観測衛星 JASMINE: 計画および 開発検討の進捗状況

2025年3月19日

鹿野良平, 郷田直輝, 和田武彦, 大澤 亮(国立天文台),
片坐宏一, 河原 創, 磯部直樹, 高橋 葵, 臼井文彦, 近藤依央菜(宇宙研/JAXA),
山田良透(京都大), ほかJASMINE チーム

JASMINE計画の概要

科学目標 Science Objectives

■ SO1: 【銀河系中心核構造の探究】

➤ 位置天文観測

年周視差精度: **25 μ as** ~ 125 μ as

固有運動精度: 25 μ as/y ~ 125 μ as/y

■ SO2: 【地球型系外惑星の探索】

➤ トランジット惑星探索

トランジットシグナル ~ **0.3%**

JASMINE衛星

■ 口径36cm 超高安定望遠鏡

■ 国産赤外線センサ (InGaAs)

- 2k \times 2k画素 \times 4

- 観測波長: 0.9-1.6 μ m

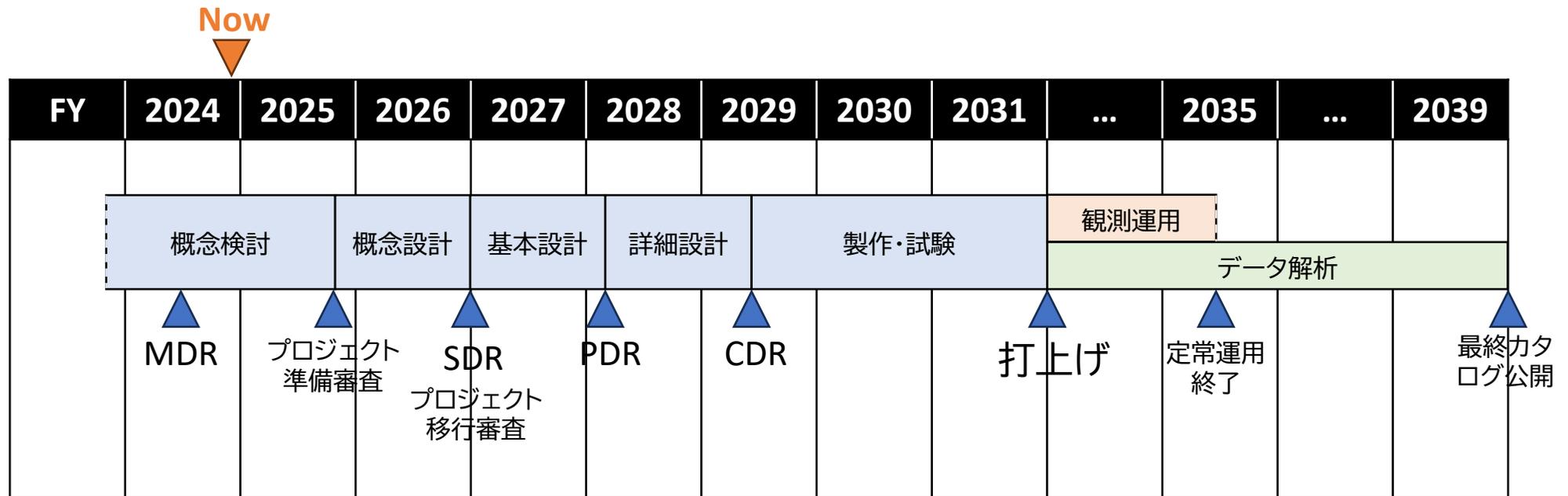
■ 衛星重量 ~600kg(wet)

■ イプシロンSロケットにて打ち上げ

■ 太陽同期軌道、高度~550-600km 3年間観測

スケジュール概要

JASMINEは、ミッション定義審査(MDR)を2024/7に完了。
現在はプリプロジェクト化に向け、コスト・リスク低減のための活動を実施中。



科学目標S01：銀河系中心核構造の探究

(1) 銀河系中心核ディスク(NSD)の解明

- ▶ 形成時期 (←ミラ型変光星)
 - **バー構造の形成時期**
- ▶ 軌道構造 (→重力場ポテンシャル)
- ▶ 内部バー構造の存在？
 - **中心巨大ブラックホールの成長**
- ▶ NSD内での場所毎の星形成史

(2) 中心核楕円構造の解明

- ▶ 古典的バルジ or 巨大BH落下による“熱的緩和状態” or ?
 - **銀河系初期進化**

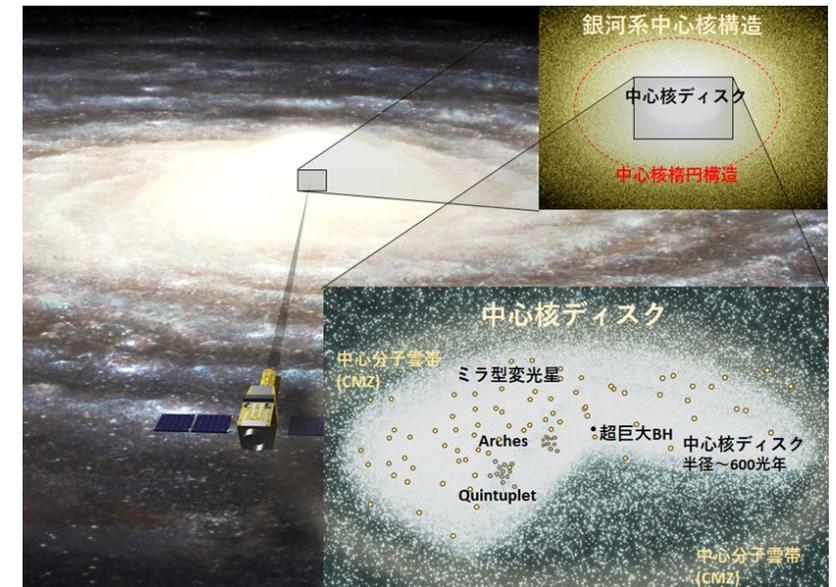
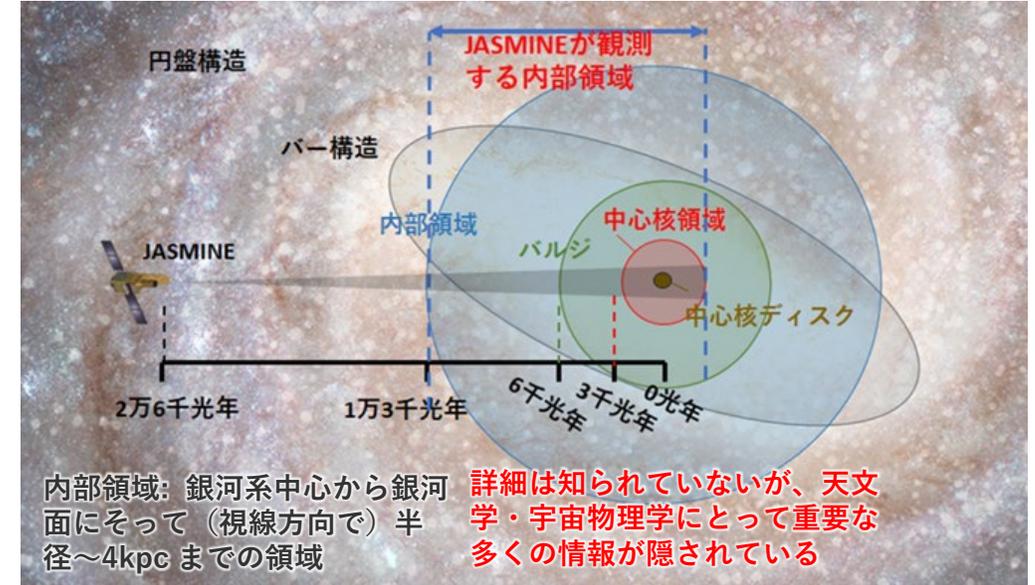
その他：

- ・ 内部領域内でのバルジ・バー・(内部)円盤など、各種構造の探究
- ・ 中心核領域 & 内部領域内での、宇宙解明の鍵を握る天体の探索

天文学・宇宙物理学の
多岐に亘る分野に関わる

- ▶ ダークマター探究
- ▶ X線連星系探究
- ▶ 磁場構造探究

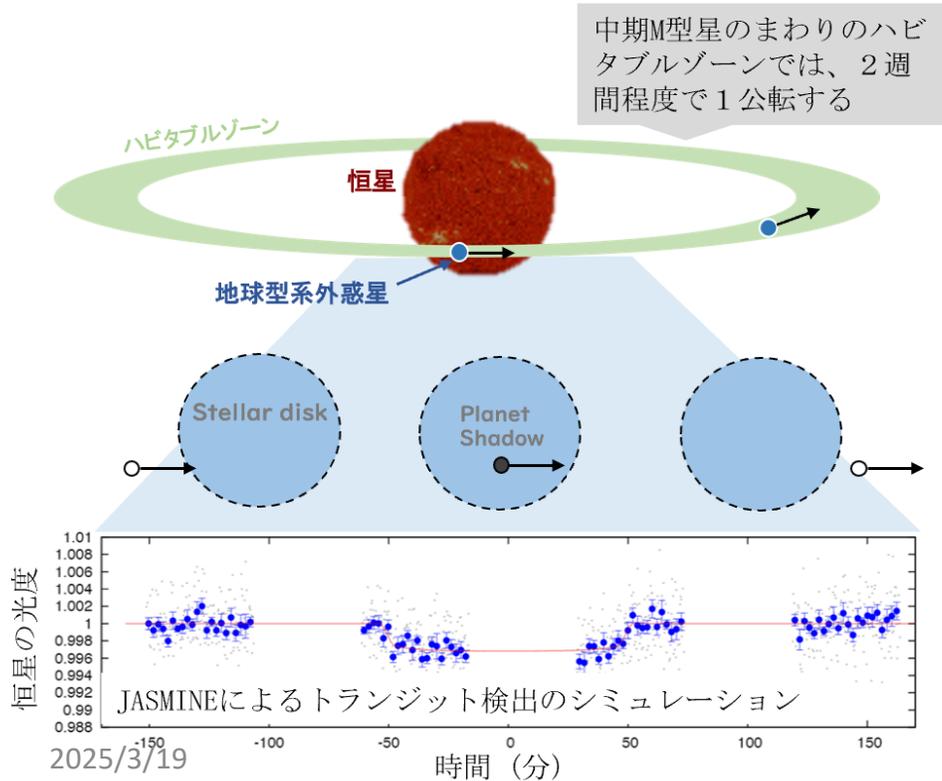
ブラックホール探索
星団の探索



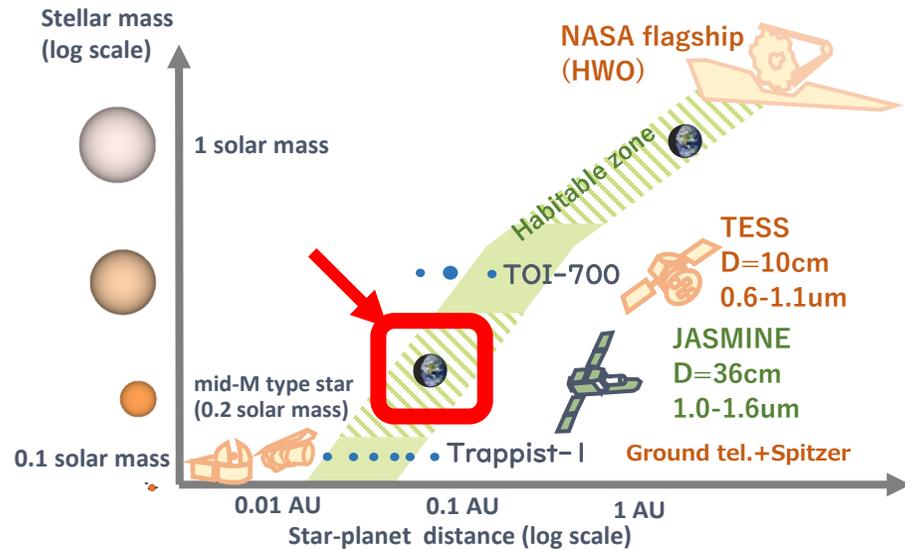
科学目標S02：地球型系外惑星の探索

▶ 生命探査として、系外惑星の大気中の生命の痕跡
“バイオシグニチャー”を探りたい

▶ 生命探査の重要な第一ステップが、
生命居住可能領域に位置する
大気分光観測が可能な惑星の発見
→ 「トランジット惑星探索」



▶ JASMINEのターゲットは“中期M型星まわり”
トランジットシグナルが小さく(～0.3%)、星も暗いので、
安定して高測光精度観測を行える中口径望遠鏡が必要。

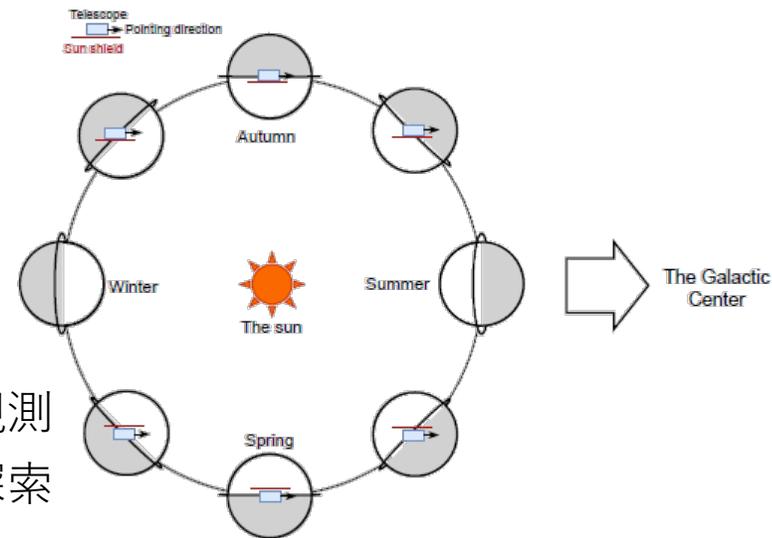
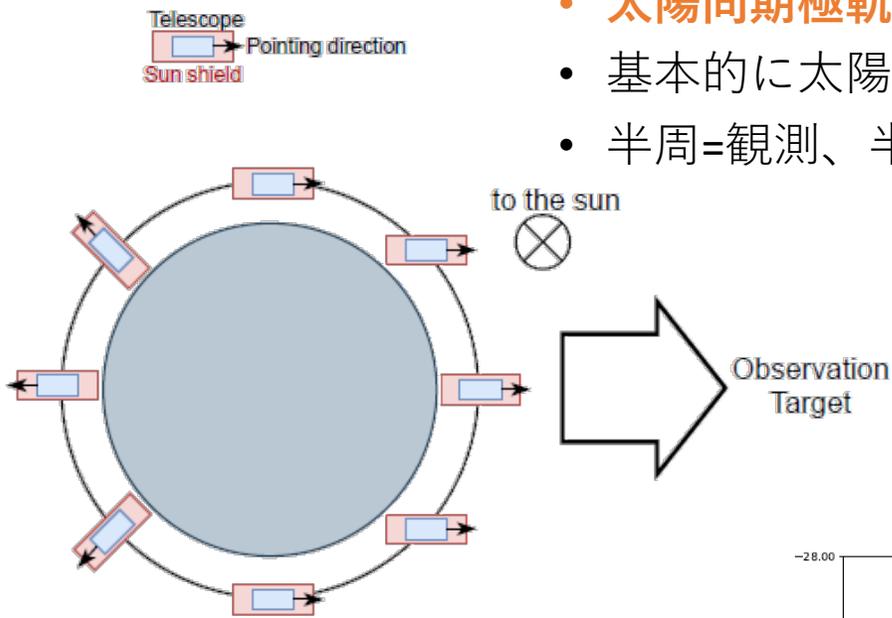


早期M型星まわり：
トランジットシグナルはとても小さい(～0.1%)が、
比較的明るいため可視の小口径宇宙望遠鏡(e.g. TESS)で可能。

晩期M型星まわり：
星は暗いが、トランジットシグナルが大きい(～1%)ので、
大口径な地上望遠鏡が有利。

観測運用

- **太陽同期極軌道**を周回
- 基本的に太陽は側面照射
- 半周=観測、半周=地球回避

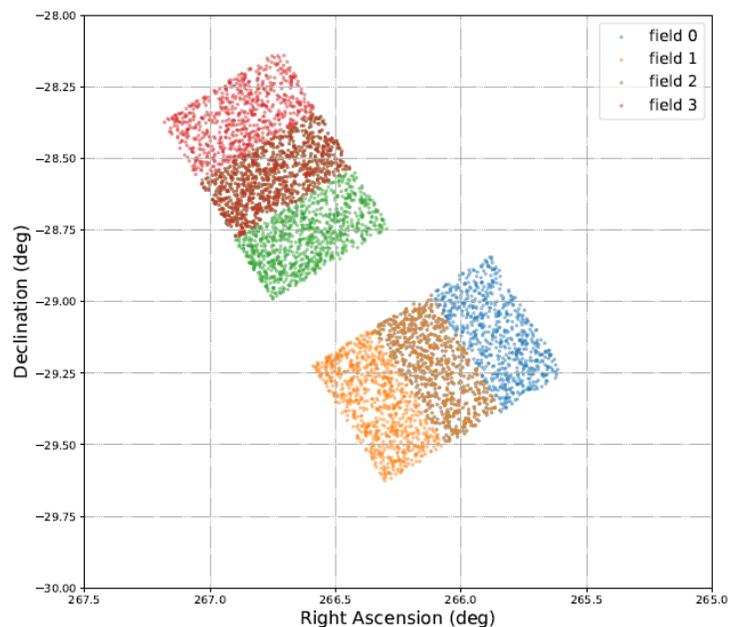


基本としては、

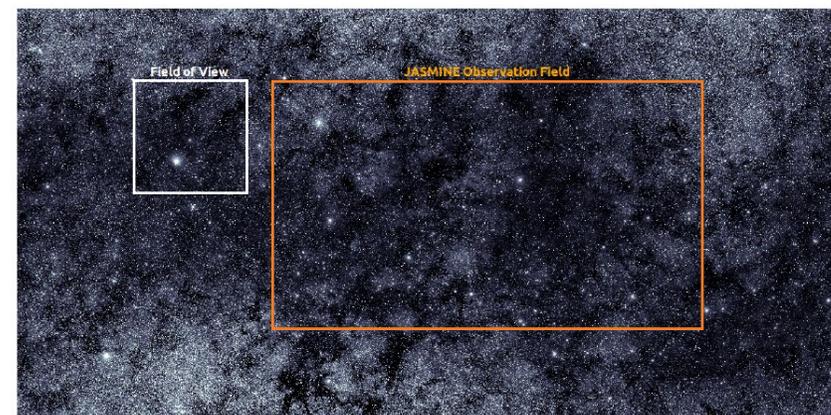
- 春秋：位置天文観測
- 夏冬：系外惑星探索

- 視野は銀経銀緯に沿わせる
- 半周中に4つの指向方向を観測 (<1日で観測領域をカバー)
- 画像歪み補正のため、銀緯方向・銀経方向に重ねる

2025/3/19



(参) **観測領域**と視野サイズ



JASMINE観測装置

位置天文のためのデータ解析の流れ

高精度位置天文観測(e.g. $25\ \mu\text{as}$)のためには、**良い観測装置**と**適切なデータ解析**が必要。

適切なデータ解析ため、以下の装置性能が必要：

- 撮像をしている間、**指向性能が安定**していること
- 広い視野にわたり光学性能(特にPSF)が良好で
一様であること → **コルシユ光学系**
- 時間的に光学性能(特に画像歪み)が安定している
こと → **望遠鏡の熱的安定性**

Step0 (機上処理):

12.5 s(TBD)毎に撮像し、対象の星(~ 12000 個)の
周囲 **9×11 画素**を切り出し、**可逆圧縮**。

400
mas/pixel

Step1:

PSFが全ての星で同一だとみなすことで**effective PSF法**にて、星像位置を **~ 0.01 画素**の精度で算出。

~ 4 mas

Step2:

短時間では星が動かないと仮定して、隣り合い重なり合う視野の撮像データから**画像歪みを算出**し、理想的な観測装置による星像位置を算出。

0.04 mas
= 40 μas
(25 μas)

Step3:

星の動きは単純(e.g. 年周視差と固有運動)と仮定し、多数回 **N** の撮像データにて**ランダム誤差を**
 $1/\sqrt{N}$ で減少させ、位置天文パラメータを算出。

観測装置：望遠鏡Sub-System

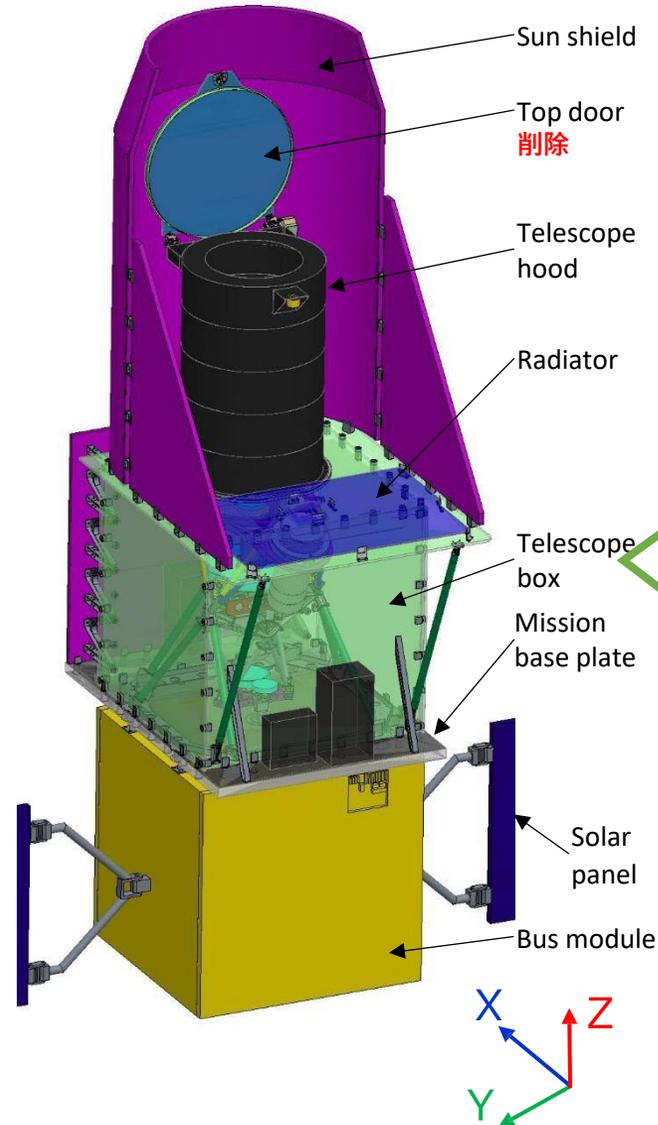
高性能・高安定な望遠鏡の開発

- 像面湾曲の無い**コルシュ光学系**
- ゼロ熱膨張材の使用：
 - 鏡材：**クリアセラム**
 - 構造：**低温ゼロインバー(IC-LTX)**
- 望遠鏡ケースによる一定温度に**保温**
- 熱環境が安定する**太陽同期極軌道**

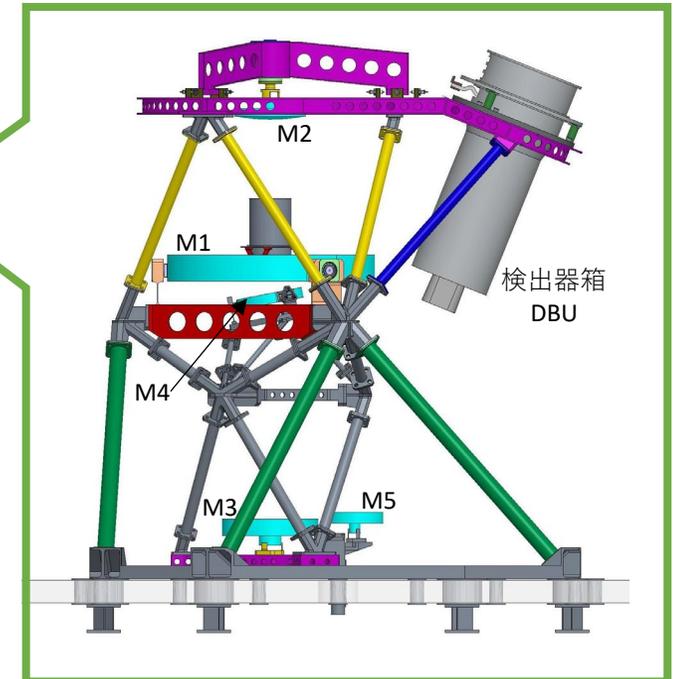
検討項目

- 画像歪みは安定化できているか？ → **STOP解析**
 - メーカー：構造・熱解析(**ST**)で熱変形を算出した。
 - PJチーム：光学性能(**OP**)を評価中。
- 組立&試験検証計画の具体化
 - 打上げ前に高安定性をどのように確認するか？
 - 検出器SSを結合後の光学性能確認の計画は？
 - メーカーと作業や責任をどう分担するか？
- その他
 - 散乱光削減のための「黒」探し
 - 系外惑星探索時の温度環境
 - 焦点駆動機構@M5
 - 重量削減、など

2025/3/19



光学系	コルシュ光学系
口径	36 cmφ
焦点距離	4.37 m
視野	0.55° × 0.55°
波面精度	Strehl ratio ≥ 0.9 @波長1.3 μm



観測装置： 検出器Sub-System

2重構造での断熱構造と
2段階の無振動な検出器冷却系

- ラジエータで200Kまで冷却
- ペルチェ素子でさらに173Kに冷却

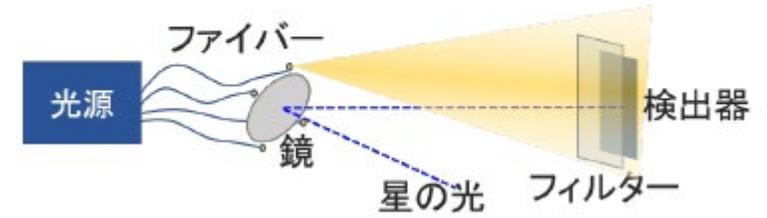
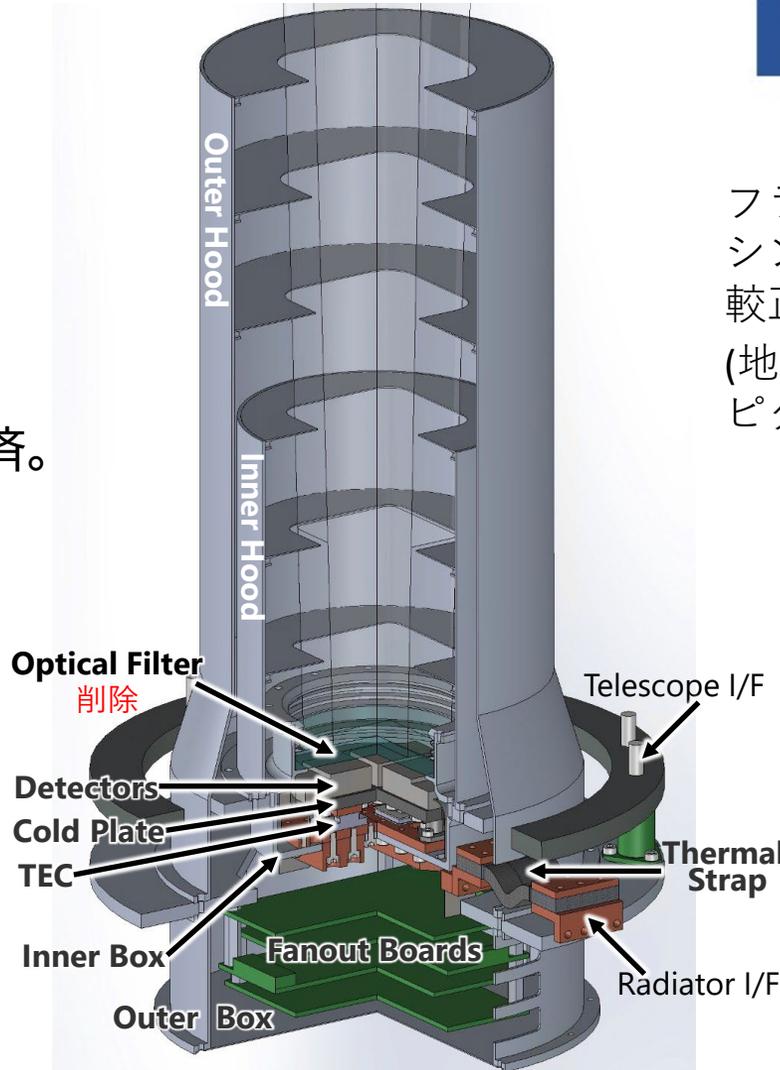
検討項目

- ラジエータの放熱性能の向上
→ 放熱面確保や観測姿勢検討など
- ペルチェ素子： 候補品の冷却性能は実測済。
→ 衛星搭載品としての性能評価へ
- Thermal Strap(ラジエータへの排熱)：
グラファイトシートの熱伝導性能は評価済。
→ フライト部品としての設計へ
- エレクトロニクス：
 - 検出器性能試験と並行した
検出器駆動エレキの開発。
 - 衛星バスの統合SMU(か相当品)
での機上データ処理の処理時間評価。

SMU: Satellite Management Unit

2025/3/19

検出器箱DBU

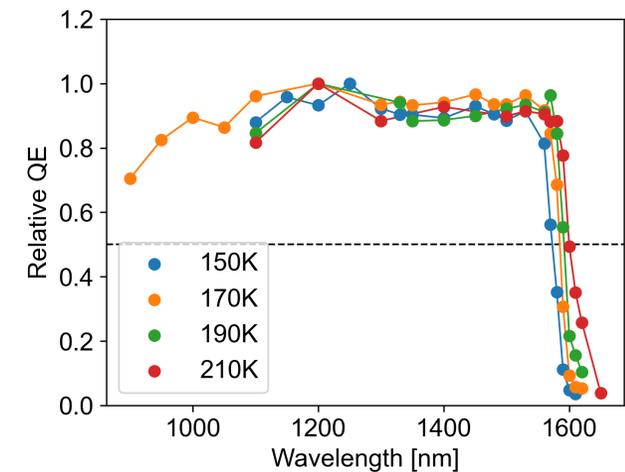
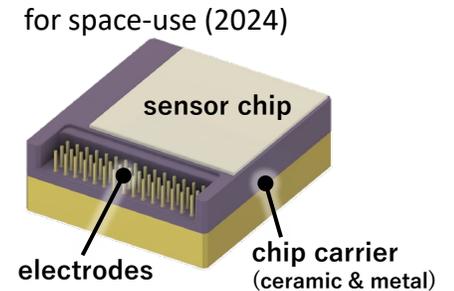
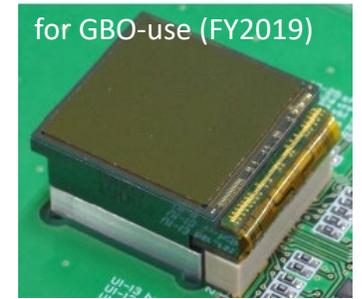


フラット補正のため、M5鏡近傍に
シングルモードファイバー(SMF)による
校正光源を設置予定
(地上試験では2本のSMFの干渉で、
ピクセル位置ズレなどを測定予定)

検出器	InGaAsハイブリッド CMOSセンサー、4個
画素	10 μm (~ 0.5 秒角相当) 1952 \times 1952画素/素子
観測波長	0.9 \sim 1.6 μm
撮像頻度	12.5 s (TBD)

国産InGaAs赤外線撮像センサ

- 2019年度に国立天文台が浜ホトと**地上天文台用**として**1.3k×1.3k-InGaAsセンサ**を開発(Nakaya et al. 2020)。
- 2021年度から、**衛星搭載用**としてInGaAsセンサを浜ホトと改良中：
 - **大フォーマット化**: 1.3k×1.3k画素 → **2k×2k画素**
 - **InP基板除去**: 宇宙線による蛍光反応のノイズ除去
 - 読出し回路の**耐放射線化**
 - **衛星搭載可能なパッケージ化**: 2面バツタブル化含む **FY2024**
 - **可視光除去**
 - **グローバルシャッター化** } JASMINE用(設計完了→2025-2026製作予定)
- センサ性能検証はJAXA宇宙研にて実施中
 - 128×128画素の初期試作は検証完了(Miyakawa et al 2024, SPIE)。
 - 現在、2k×2k画素の検証を実施中。
- 機械環境試験と放射線照射試験も実施予定。

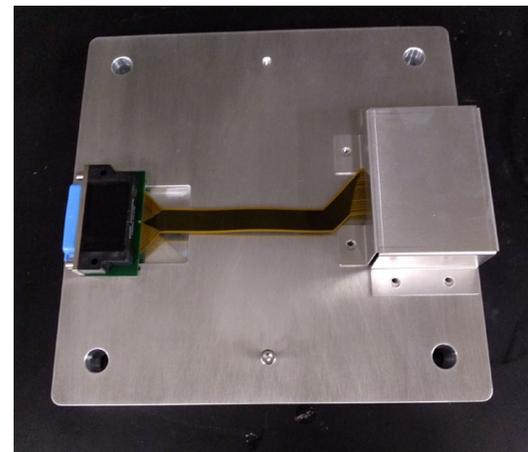


国産InGaAs赤外線撮像センサ

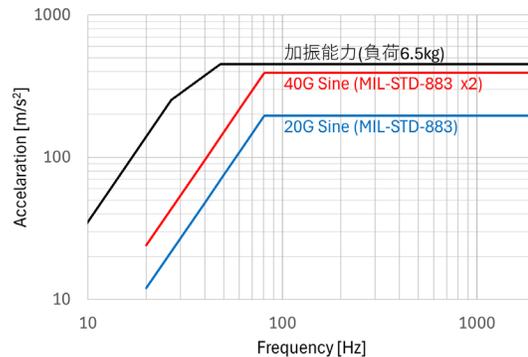
機械環境試験

- 2025年4月の実施を想定
- 宇宙研D棟/小型振動試験器
- 試験レベル:
 - #1: 20G Sine-Sweep
 - #2: 40G Sine-Sweep

供試体と取付治具



試験レベル



2025/3/19

放射線照射試験(重粒子線)

- 2025年5月21-22日
- 東北大RARiS/サイクロトロン
- 要求: LET閾値 ≥ 30 MeV/(mg/cm²)
- 照射核種:
 - $^{20}\text{Ne}^{4+}$ (LET=7.4)
 - $^{40}\text{Ar}^{8+}$ (LET=17.6)
 - $^{84}\text{Kr}^{17+}$ (LET=41)

Total ionizing dose ≥ 24 krad は
先行試作品で実施済。

- Co60ガンマ線照射: 2020/9/18
東工大コバルト照射施設
- 8MeV陽子線照射: 2021/6/18
QST高崎量子応用研究所

大気中での照射試験
@東北大RARIS



11

まとめ

- JASMINE: 【銀河系中心核構造の探究】&【地球型系外惑星の探索】
- ミッション定義審査(MDR)を2024/7に完了。
現在はプリプロジェクト化に向け、コスト・リスク低減のための活動を実施中。
- 高安定・高性能な望遠鏡を開発すべく実現性検討中。
 - 望遠鏡SSと検出器SSの設計・検討
 - 組立・試験検証計画の検討、など
- 国産InGaAs赤外線撮像センサを開発中。
- データ解析手法も継続して開発検討中。
 - Gaiaの知見の活用: ハイデルベルク大ARIなどとの国際連携研究

2025年8月 宮城教育大学(仙台)での開催予定で

JASMINE Consortium Meeting 2025