



# 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 $\mu$ as** ~ 125 $\mu$ as

固有運動精度: 25 $\mu$ as/y ~ 125 $\mu$ 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 $\mu$ m

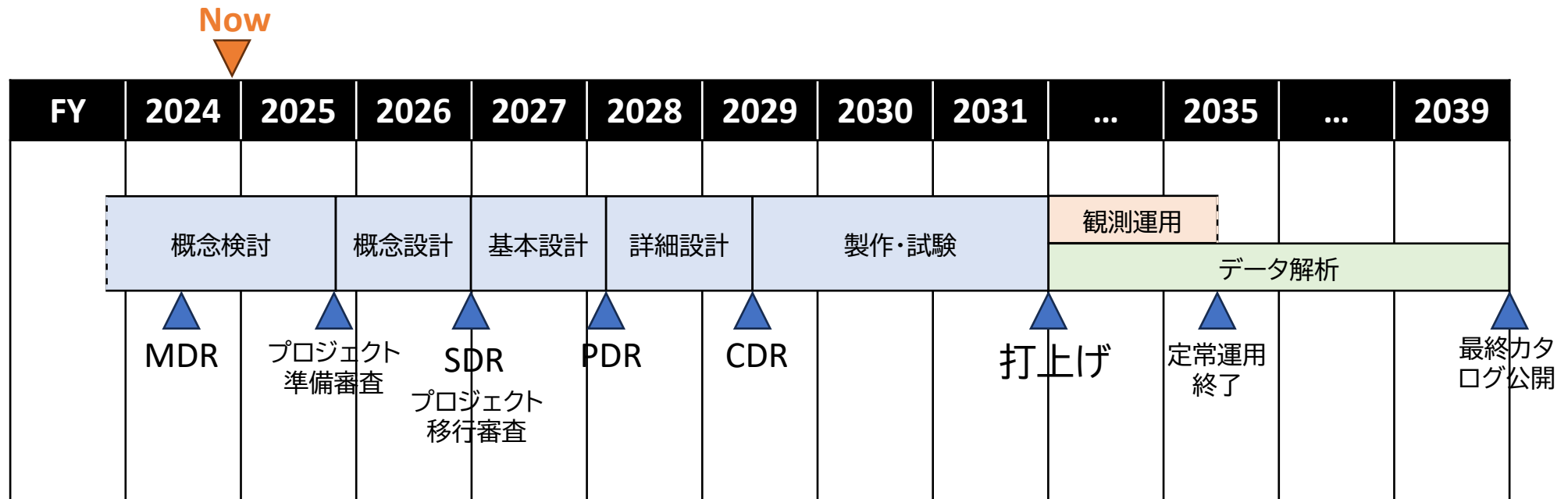
### ■ 衛星重量 ~600kg(wet)

### ■ 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**

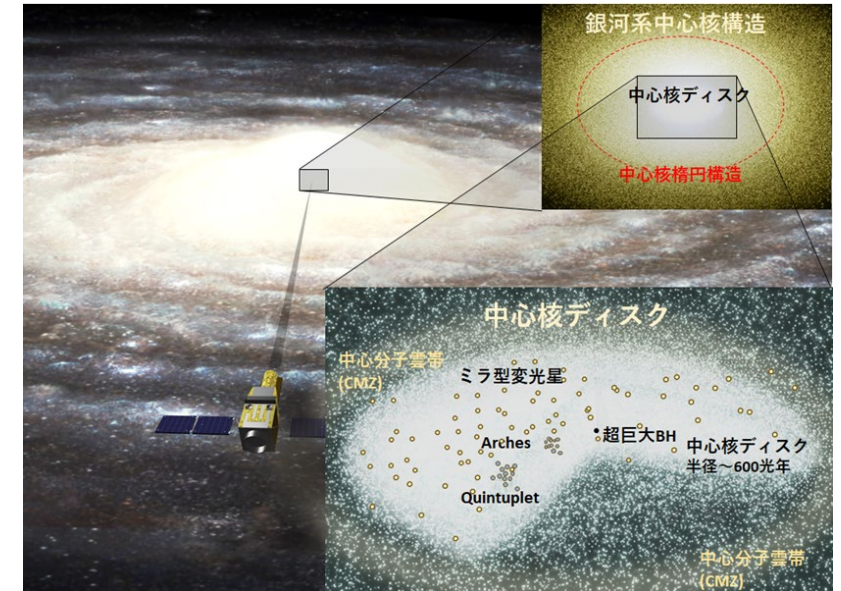
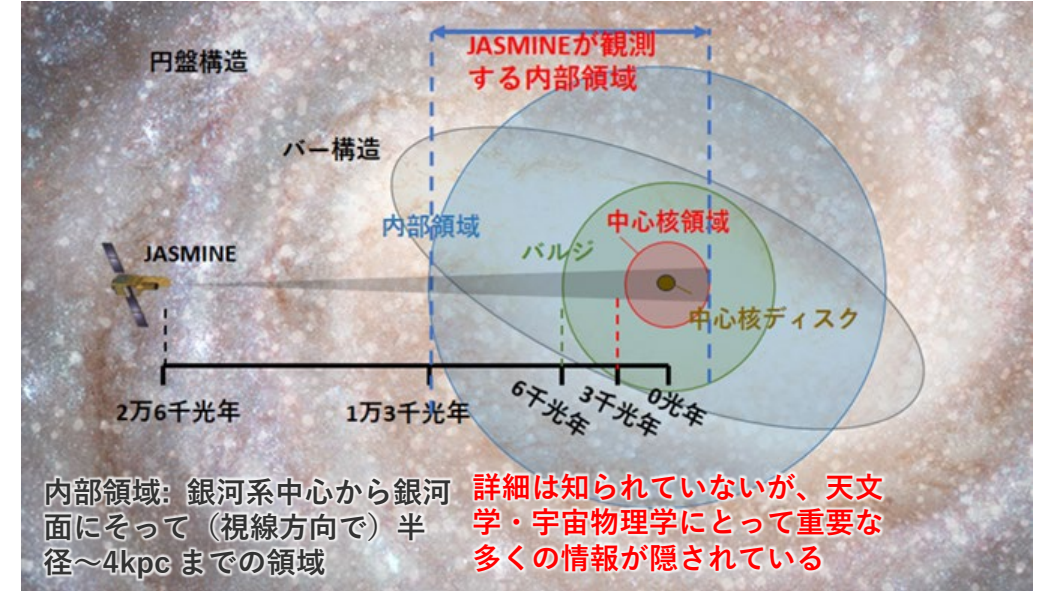
その他：

- ・ 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

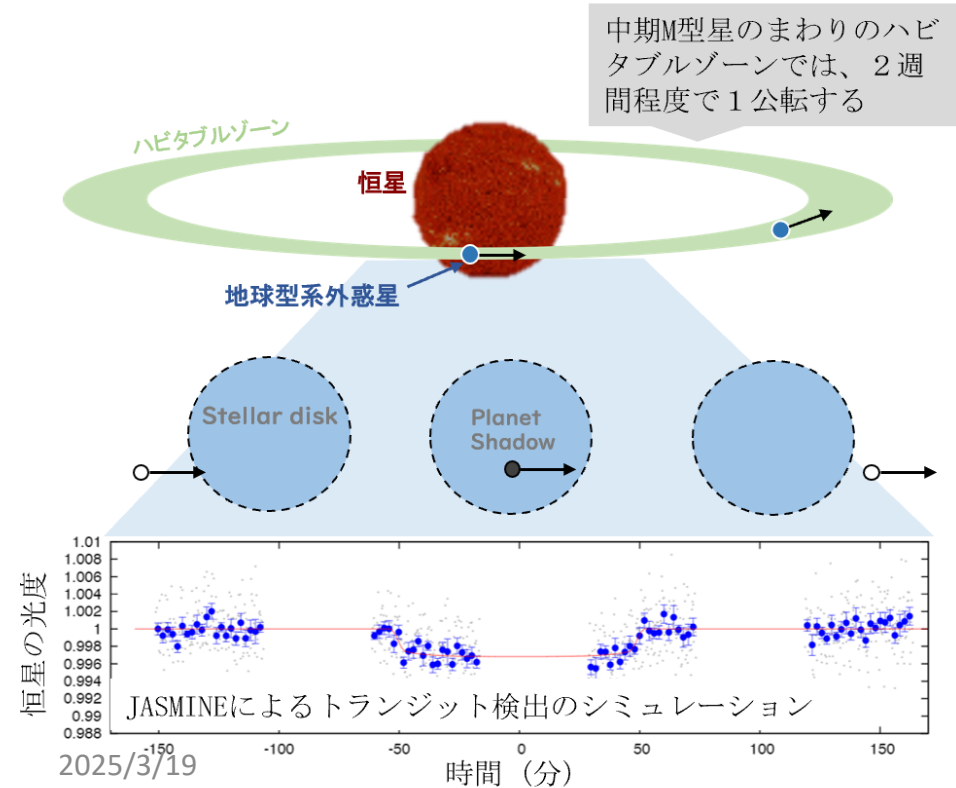
- ▶ ダークマター探究
- ▶ X線連星系探究
- ▶ 磁場構造探究

ブラックホール探索  
星団の探索

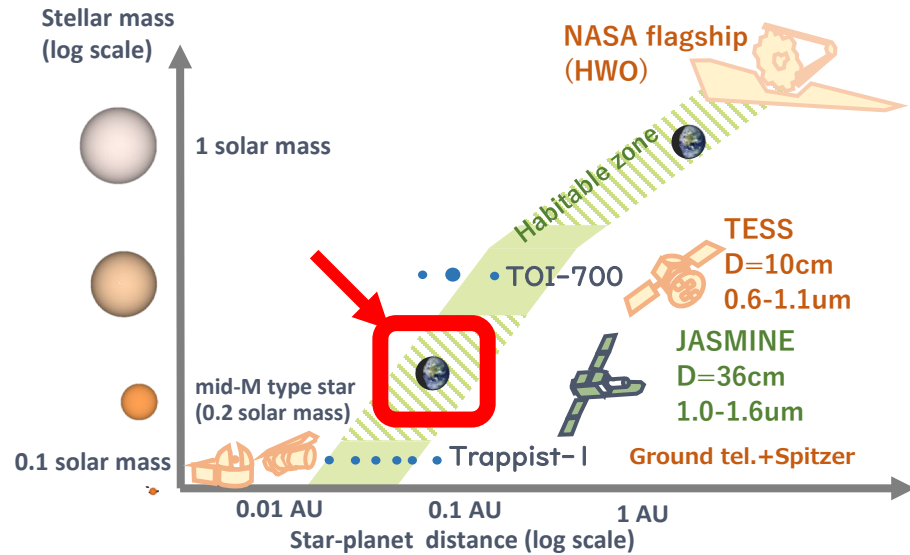


# 科学目標S02：地球型系外惑星の探索

- ▶ 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」



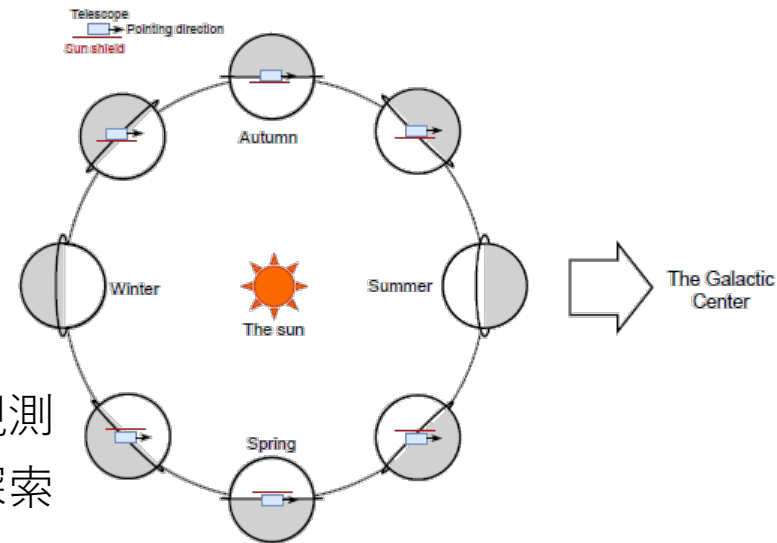
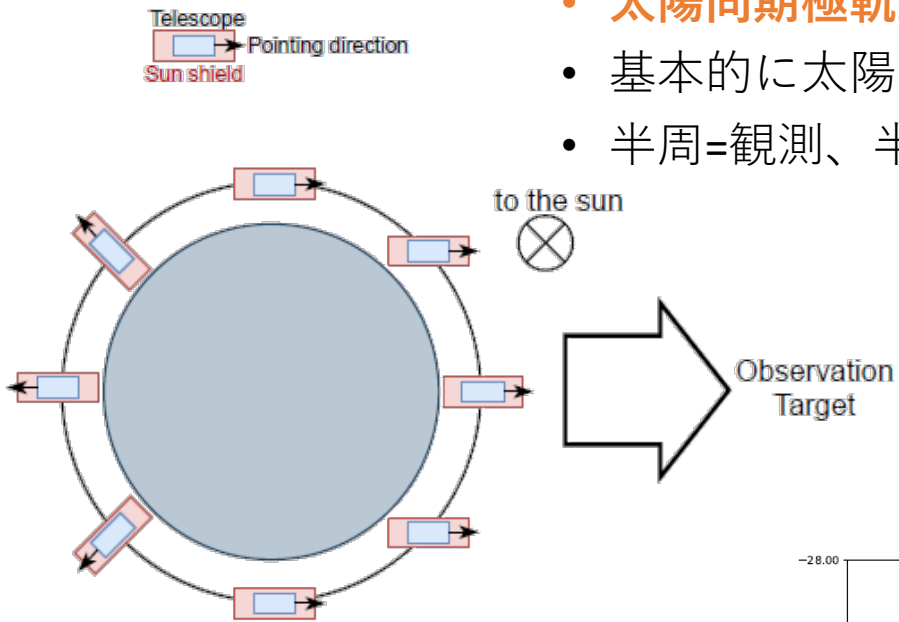
- ▶ JASMINEのターゲットは“**中期M型星まわり**”  
トランジットシグナルが小さく(～0.3%)、星も暗いので、安定して高測光精度観測を行える中口径望遠鏡が必要。



- 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

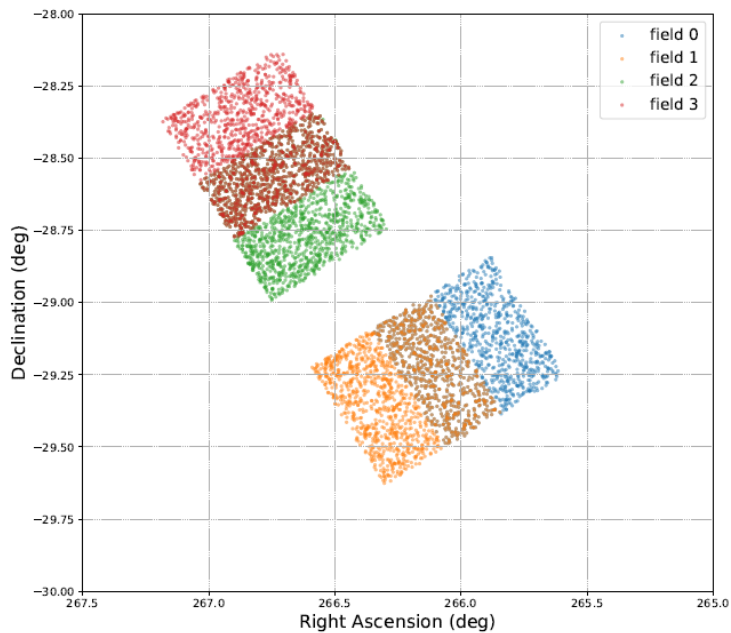


基本としては、

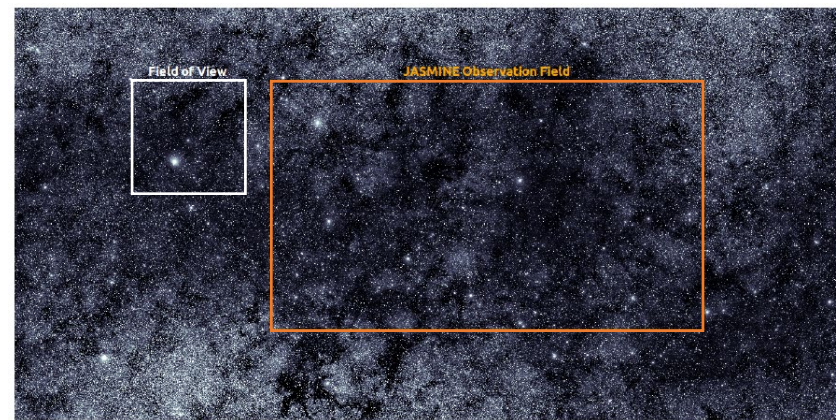
- 春秋：位置天文観測
- 夏冬：系外惑星探索

- 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( $\sim 12000$ 個)の  
周囲 **$9 \times 11$ 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 **$\sim 0.01$ 画素**の精度で算出。

$\sim 4$  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。

**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。

0.04 mas  
= 40  $\mu\text{as}$   
(25  $\mu\text{as}$ )

# 観測装置：望遠鏡Sub-System

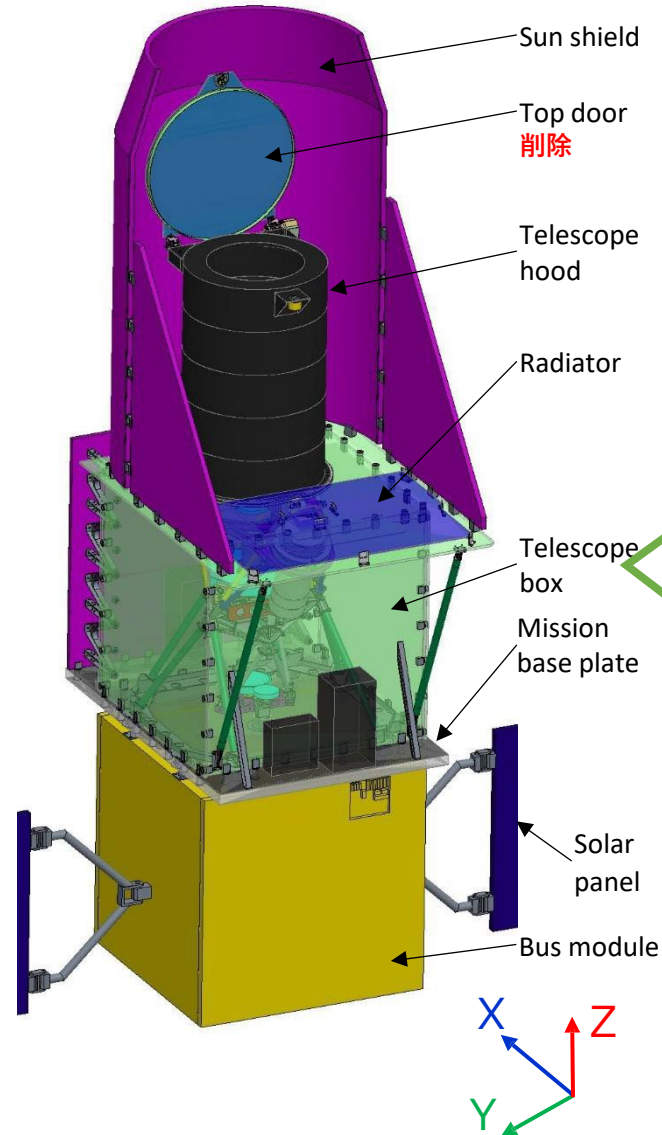
高性能・高安定な望遠鏡の開発

- 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**

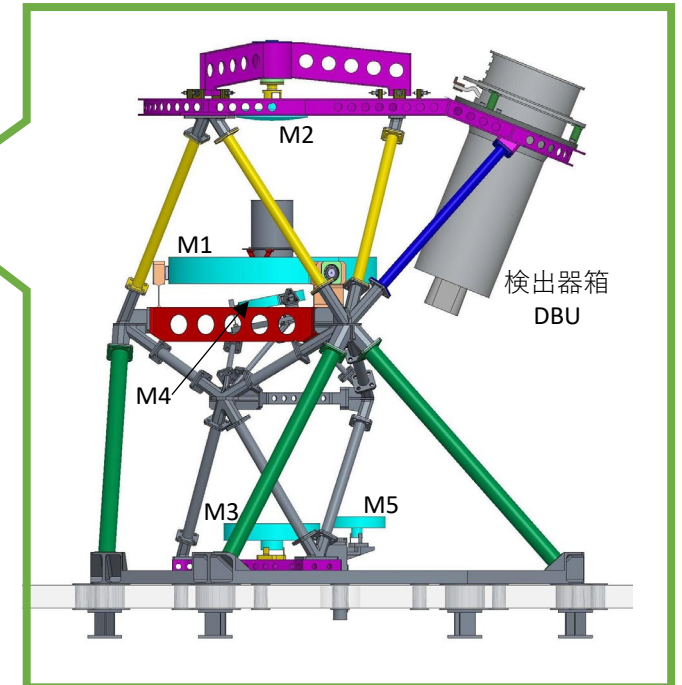
## 検討項目

- 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

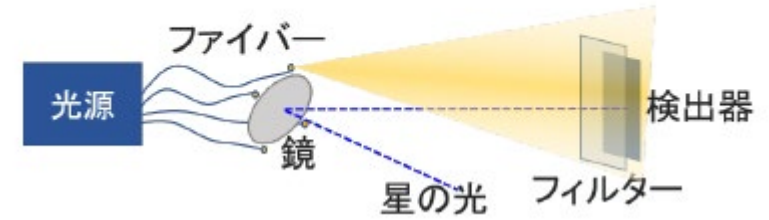
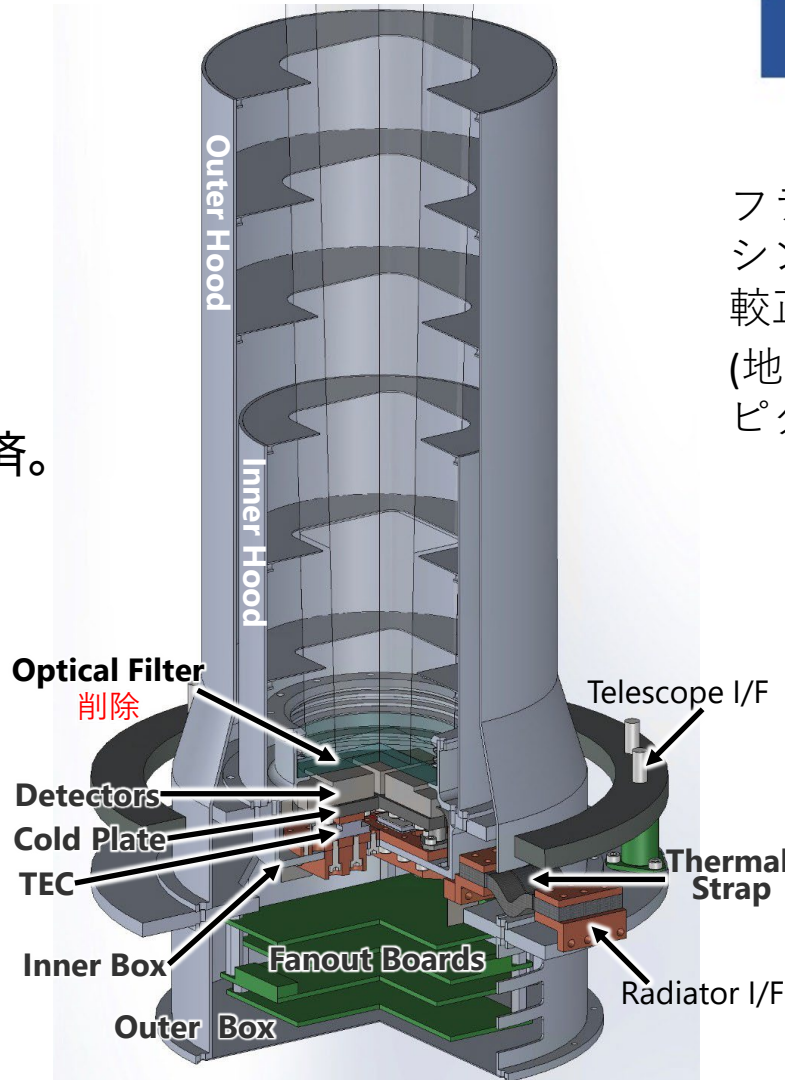
## 検討項目

- 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



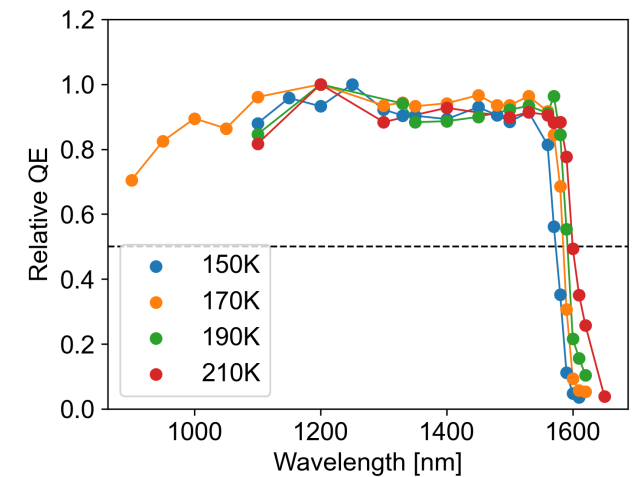
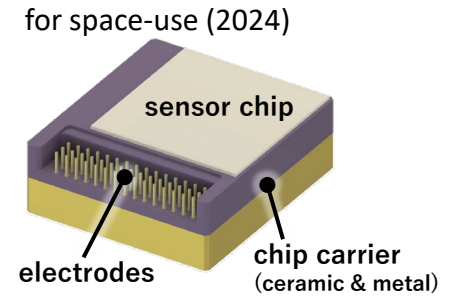
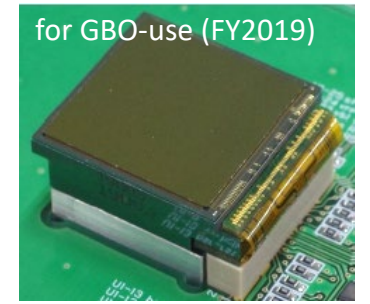
フラット補正のため、M5鏡近傍に  
シングルモードファイバー(SMF)による  
校正光源を設置予定  
(地上試験では2本のSMFの干渉で、  
ピクセル位置ズレなどを測定予定)

検出器	InGaAsハイブリッド CMOSセンサー、4個
画素	10 $\mu\text{m}$ ( $\sim 0.5$ 秒角相当) 1952 $\times$ 1952画素/素子
観測波長	0.9 $\sim$ 1.6 $\mu\text{m}$
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。

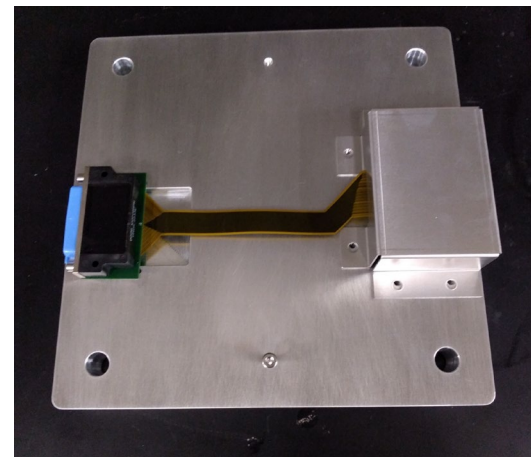


# 国産InGaAs赤外線撮像センサ

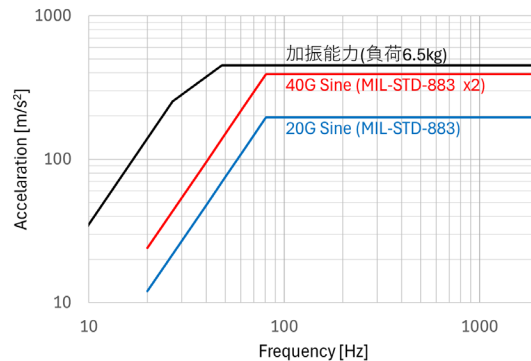
## 機械環境試験

- 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

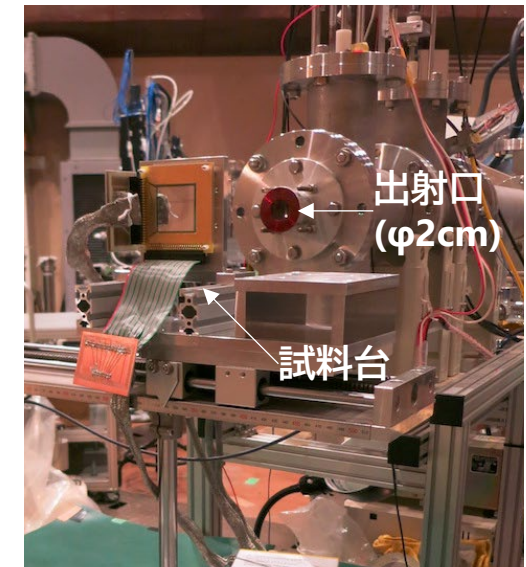
## 放射線照射試験(重粒子線)

- 2025年5月21-22日
- 東北大RARiS/サイクロトロン
- 要求: LET閾値  $\geq 30$  MeV/(mg/cm<sup>2</sup>)
- 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  $\geq 24$  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**