

JASMINEのシステム概要

2022年天文学会 秋季年会 Z202a

片坐 宏一, 臼井 文彦, 磯部 直樹, 河原 創 (ISAS/JAXA)
郷田 直輝, 鹿野 良平 (国立天文台), 山田 良透 (京都大学),
JASMINE プロジェクトチーム (ISAS/JAXA)

JASMINE (Japan Astrometry Satellite Mission for Infrared Exploration)

超高精度位置天文観測およびトランジット法による系外惑星探索

■ 位置天文学(アストロメトリ)

- ・ 超高精度位置天文観測(数万分の1秒角という超高精度)

⇒ 星の距離と運動を測定

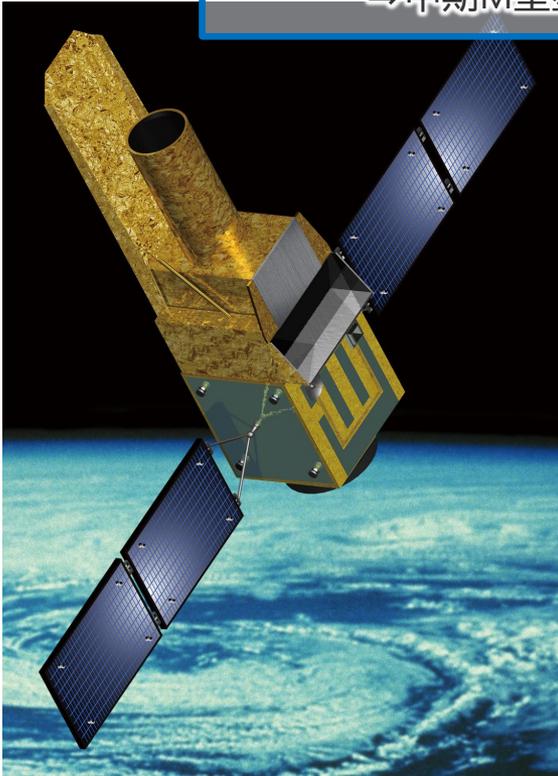
⇒ 天の川銀河の中心核構造と形成史／星の移動を引き起こす銀河構造の進化の過程

⇒ 人類誕生にも関わる天の川銀河全体の形成史を探求

■ 系外惑星探査

- ・ 高精度測光能力による時間軸天文観測

⇒ 中期M型星周りの生命居住可能領域にある地球型惑星を探査



- 口径36cm程度 超高安定望遠鏡
- 国産赤外線検出器 (InGaAs)
 - ・ 観測波長: 1.0-1.6 μ m、2k \times 2k画素 \times 4
- イプシロンSロケットによる打ち上げ
- 衛星重量550~600kg 程度
- 太陽同期軌道・高度550~600km以上、3年間観測

科学的要求

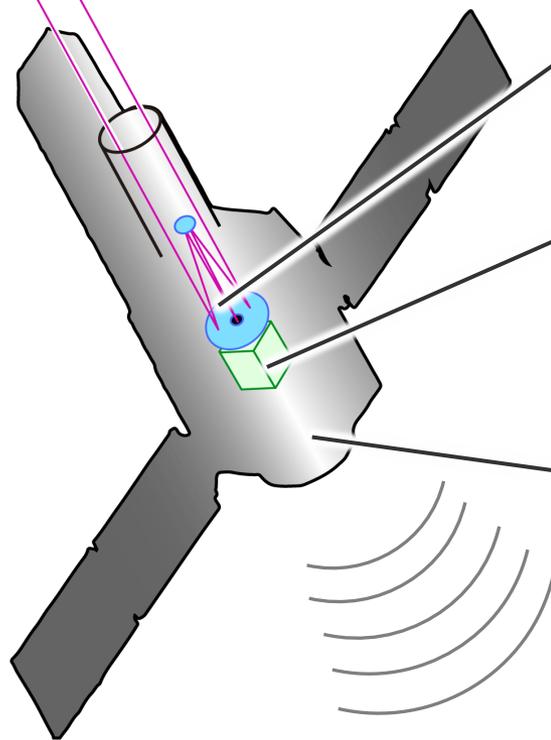
- 銀河中心領域の位置天文観測による中心核構造解明
銀河中心核バルジに属する天体集団⇒年周視差
相互の運動の測定⇒固有運動
- 中期M型星のハビタブルゾーンにある地球型惑星探査
精密測光の繰り返しによるトランジット観測

現実的な制限・制約

- 公募型小型計画
厳しいコスト制限
イプシロンロケットの利用が前提
- 新規開発で実現可能な技術
超安定望遠鏡
赤外線検出器
無擾乱冷却系

JASMINE開発の全体概要

サイエンス検討:研究者コミュニティ
(位置天文観測、系外惑星探査)



望遠鏡

- 設計、製造、組立:衛星メーカー
- 光学性能評価試験:
衛星メーカーの社内設備 or 国立天文台の設備

検出器サブシステム

- 国産InGaAsセンサ 2k x 2k 4素子を並べて使用
- 熱構造・冷却系のインハウス開発
- 検出器駆動・データ取得系
- デジタル処理系・搭載ソフト

衛星システム:衛星メーカー

地上局

- JAXA (今後調整)
- ESA (国際協力を今後調整)
- 民間局

運用

- 初期運用:衛星メーカー
- 定常運用: JASMINEチーム、請負業者

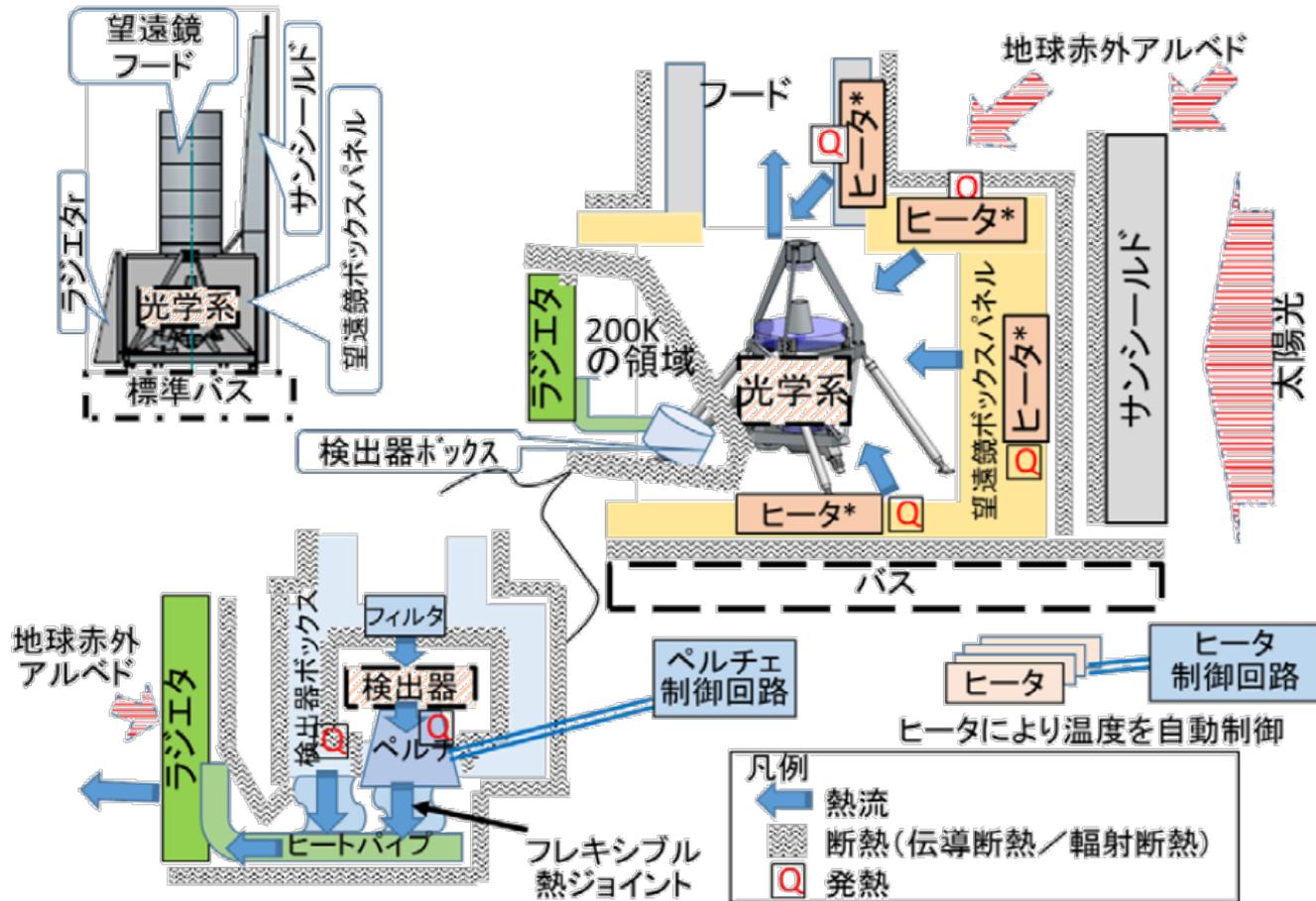
データ解析:JASMINEチーム

(国内外の研究者コミュニティメンバー)

超高安定な望遠鏡

Super Super Inver + クリアセラムによる望遠鏡

熱安定：「遠火でじんわり」

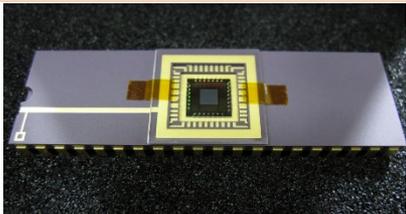


機能ブロック図(熱制御系)

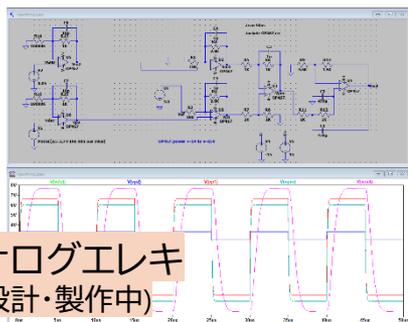
赤外線センサ(InGaAs)高性能化

- InGaAsセンサチップの基板除去・ARコートの実験、読み出し回路設計を実施
- 並行してデータ取得系の検討および性能評価試験用設備の準備を進めている。

読み出し回路試験用センサチップ

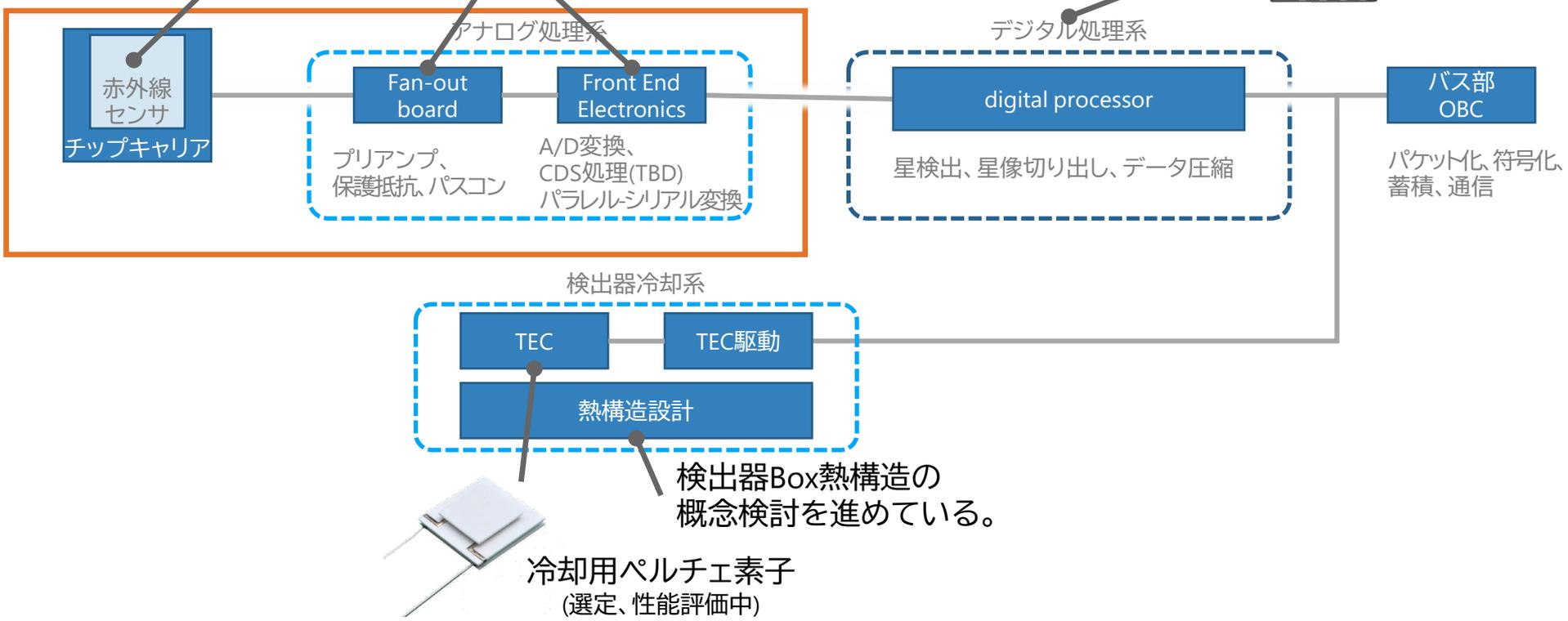


基板除去・ARコート済128x128試作センサチップ、2kx2k読み出し回路は現在製造中。



アナログエレキ
(設計・製作中)

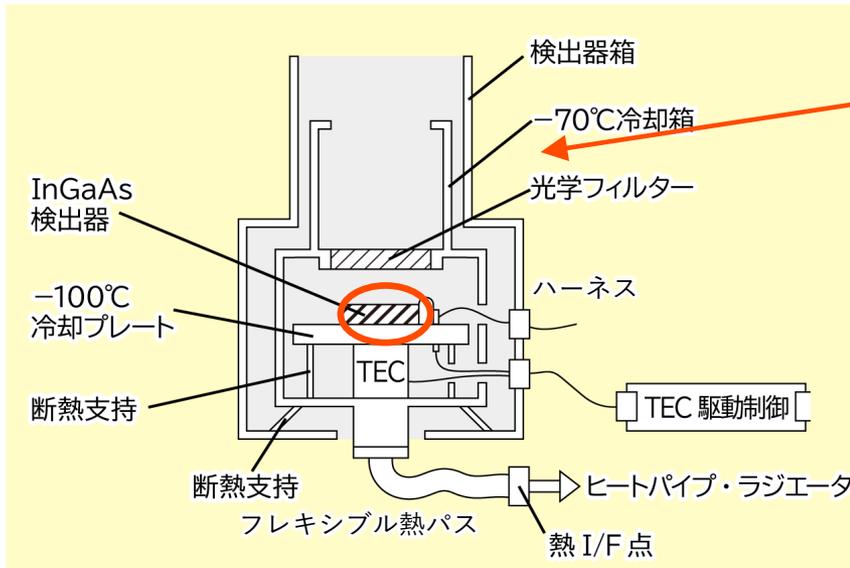
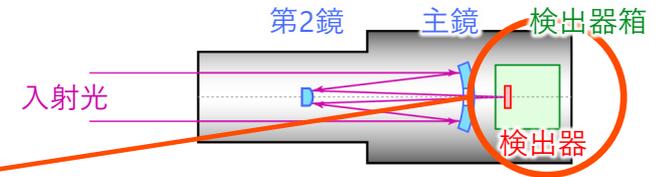
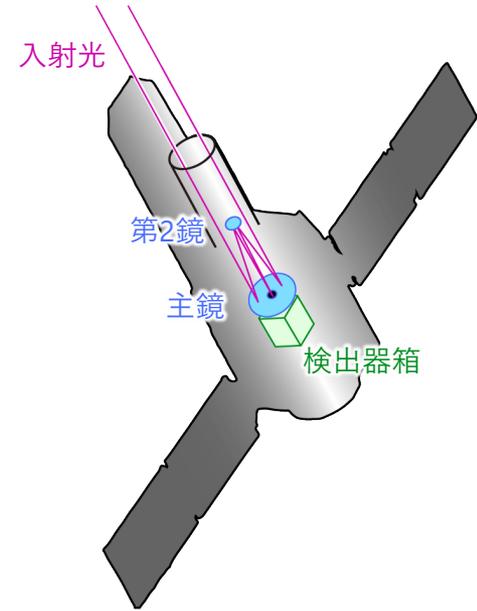
デジタル処理系ソフトウェア開発はPC上で行う。



無擾乱冷却系

熱構造の概念検討・TEC素子の試験を実施中

- Thermo-Electric Cooler(TEC)+ヒートパイプ
- 低温域(170K-200K : $\Delta 30\text{K}$)での応用
- 断熱構造、フレキシブル熱パス



軌道上データ処理とデータ転送

2k x 2k x 4素子の検出器 約10秒ごとに読出し⇒3.2 Mbyte/sec

軌道の半周回で観測 12 hour/day

⇒ 100Gbyte/day を優に超える

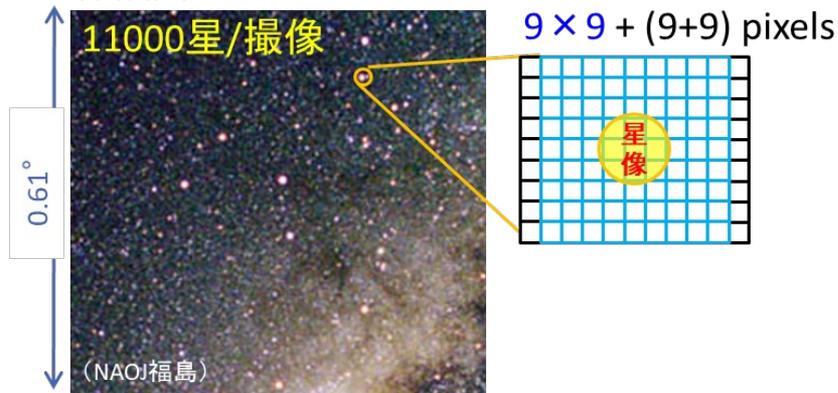
天文衛星に割り当てられたデータダウンリンク: Xバンド, 10 Mbps (M bit/sec)

たとえ地球上のすべての局を占有しても、全データは下せない！

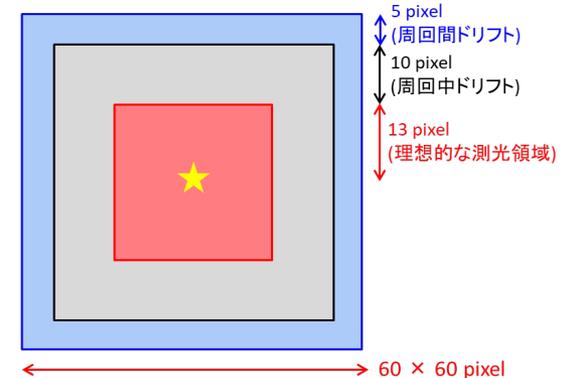
そこで、星周辺のデータだけを切り出し、さらに圧縮をして地上へ転送

切り出し・圧縮はこれからの開発課題

➤ 星像抽出モード



➤ 系外惑星モード



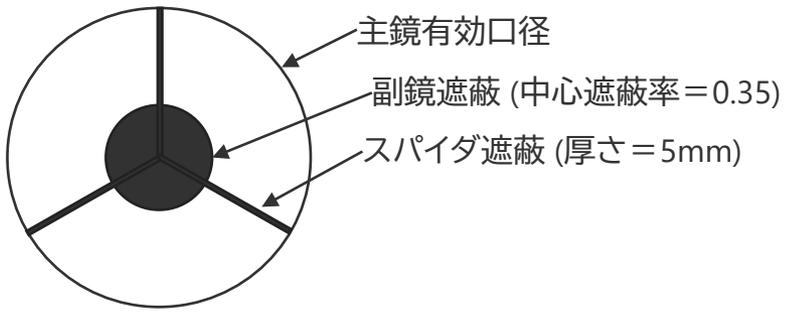
科学的要求を満たす、最小限のハードウェアを実現する

チームによる「総点検」(1/3)

- 望遠鏡口径および観測波長域の最適化のために、観測シミュレーションソフトウェアjasmine-imagesimを用いた系統的な最適化
- 実際に観測される状況を想定した星の明るさ(12-14.5等級)を設定して、視野内に400天体をランダムに配置した観測模擬データを作成した。これを用いて星像位置決定精度を評価した。

主鏡有効口径・開口形状(アパーチャ)

- PSF(Point Spread Function)を決めるパラメータとして導入。
- 主鏡有効口径は34-40cmの範囲を設定した。



衛星姿勢制御誤差 (姿勢安定度)

- 積分星像形状を決めるパラメータとして導入。
- 衛星姿勢制御誤差の絶対値は「ひさき」の実績値を参照、パワースペクトル密度は「ひので」の実績に基づいた周波数の-2乗則を仮定した。

波長特性・観測波長帯

- 「望遠鏡光学系効率」「フィルター効率」「検出器量子効率」をそれぞれ最新の値で導入。
- 光学フィルターについてはカットオン波長は0.9-1.1 μm の範囲を設定した。カットオフ波長は1.6 μm で固定とする。
- 検出器量子効率はFY2021の成果として良好な性能が得られていることを反映させた。

焦点距離・ピクセルサイズ・フラット

- 取得画像形状を決めるパラメータとして導入。
- 焦点距離=4369mmで固定とする。
- ピクセルサイズは開発中のInGaAsセンサとして10 μm とする。
- ピクセル間フラットは0-2%を標準偏差とする乱数で生成。

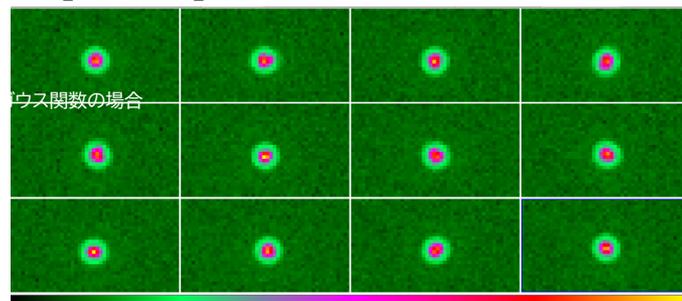
チームによる「総点検」(2/3)

- 一般に、位置決定精度の向上には光子数を稼ぎ、星像をシャープにする(最適化する)ことが重要である。このために口径は大きく、カットオン波長は短い方が望ましい。
- しかし、シミュレーションの結果、星像の位置決定精度を支配するのは以下の組み合わせであることが明らかとなった。
 - 星像の回折パターン・波長依存性
 - 衛星の姿勢安定度 (指向擾乱)
 - ピクセル間フラット (検出器の感度ムラ)
 - 検出器の読み出しタイミングのずれ

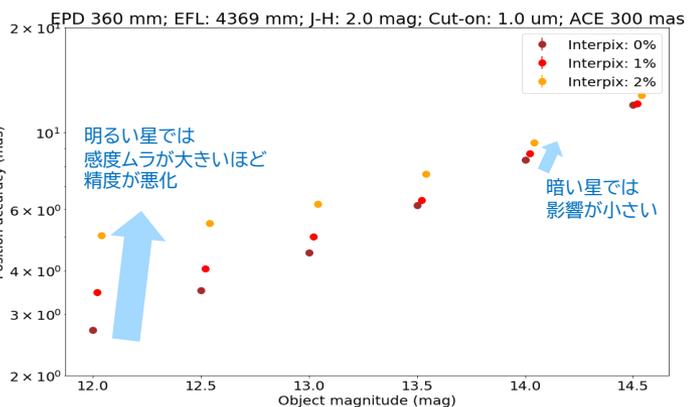


- 望遠鏡口径は**40cm**→**36cm**に縮小する。
- カットオン波長を**1.1 μ m**→**1.0 μ m**に広げて観測波長域は**1.0-1.6 μ m**とする。

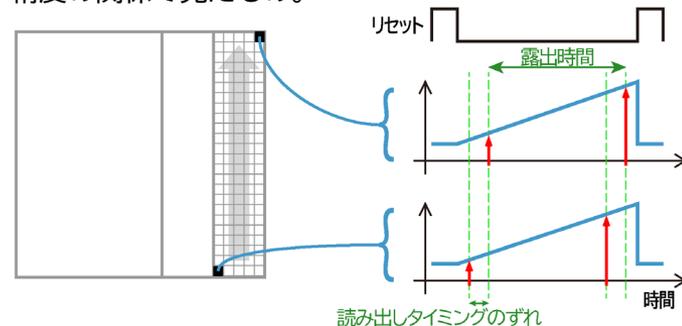
口径縮小により、望遠鏡バツフルの短縮化およびミッション部の軽量化・低重心化を図り、コスト低減を進める。



シミュレーションで得られた星像。衛星の姿勢安定度を考慮すると星像の形状が球対称から外れている。



ピクセル間フラットの影響を星の明るさ(等級)と位置決定精度の関係で見たもの。



検出器フォーマットと、1ピクセルの読み出しタイミング。200kHz (5 μ s/pix)で読み出す場合、1ch(123 \times 1968ピクセル)の中で最大1.2秒の読み出しタイミングのずれが生じる。

チームによる「総点検」(3/3)

■ 位置決定精度に影響を与える要因とその対策

要因	対策
星像の回折パターン	FY2021で検討した2枚鏡光学系は望遠鏡の全長に制約がある条件下では光学性能が不足するが、3枚鏡光学系では要求を満たす解が存在する。FY2022では3枚鏡光学系で構造成立性と組立調整方法の検討を進める。
衛星の姿勢安定度 (指向擾乱)	現時点での実績ベースの検討で許容範囲であることは確認した。ただし擾乱対策は重要であり、FY2022の衛星メーカの概念検討で継続的に議論を行う。
ピクセル間フラット	新たにシングルモードファイバー+SLD(もしくはLED)を搭載して、軌道上でのフラット感度補正(検出器の感度ムラ補正)を行う。
検出器の読み出し タイミングの違い	データ解析でモデル化が可能。ソフトウェア上の実装を検討する。
色分散	観測波長域を広げたこともあり、オプティカルバンドパスフィルターによる色分散の影響(結像位置のずれ)が懸念される。これはメニスカス形状のフィルターの採用を検討する。
その他 (マッピング方針)	Gaiaカタログが充実したことで軌道1周回で観測領域の全体をカバーする必要がなくなった。一方、現在のバスの仕様ではマヌーバ静定に最大180秒を要する。そこで、デッドタイムを減らすべく軌道1周回でカバーするのは観測領域の一部ずつとする方法に変更した。観測領域の最適化も再検討を実施中。