

日本天文学会 2023 秋季年会 V211b

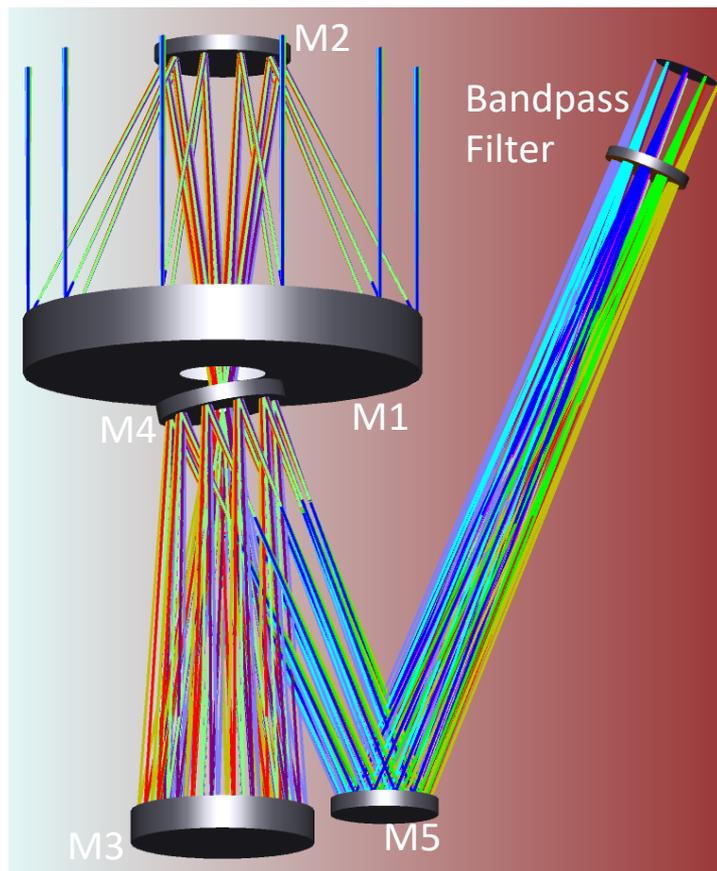


JASMINE望遠鏡光学系 の地上評価検証計画

末松芳法, 都築俊宏, 小原直樹(国立天文台), 磯部直樹
(ISAS/JAXA), 鹿島伸悟ほかJASMINE光学系検討チーム

概要

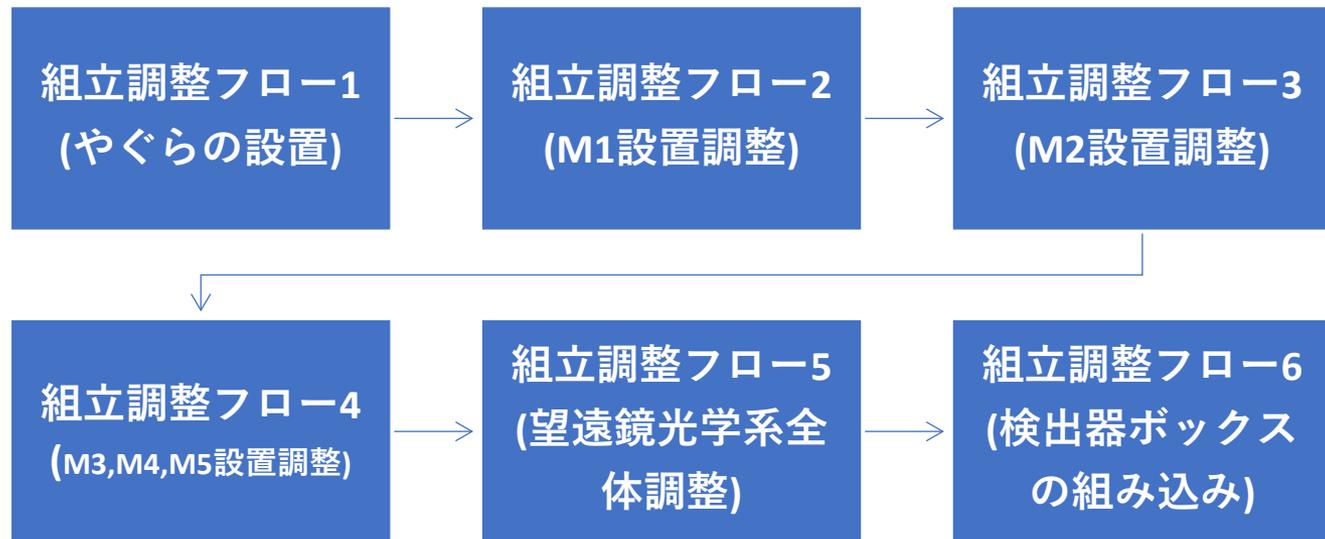
- ・ JASMINEは 銀河系中心領域恒星の超高精度位置天文観測とM型星周りの地球型惑星の探査を科学目的とする公募型小型衛星ミッション（3号機に選定）である。
- ・ この科学目的を達成するために、望遠鏡構造温度安定性を重視した口径36cm回折限界望遠鏡と波長1.0-1.6 μm バンドパスフィルター及び近赤外線検出器（画素数4k \times 4k相当）からなる観測装置を搭載する。
- ・ 恒星の超精密位置観測のため、望遠鏡には近赤外波長でのストレール比0.9以上の光学性能、軌道上での安定した画像ひずみ（望遠鏡歪曲収差、フィルター及び検出器起因の画像ひずみ）時間変化10 μas 以下が要求される。
- ・ 望遠鏡は光学性能の出しやすい軸対称3枚鏡（M1、M2、M3）コルシュ・タイプの光学系で、開口からの迷光、視野外背景光が検出器に達するのを抑える構造を検討。
- ・ 軌道上での安定した光学性能、画像ひずみ性能を保証するため、望遠鏡光学系・構造設計と合わせて、光学系組立及びアライメント調整手順、地上光学性能評価試験方法を確立することが重要である。望遠鏡光学系設計、望遠鏡光学系試験マトリクス、評価検証手順立案の進捗状況を報告する。



JASMINE望遠鏡光学系

アウトライン

1. 組立調整案



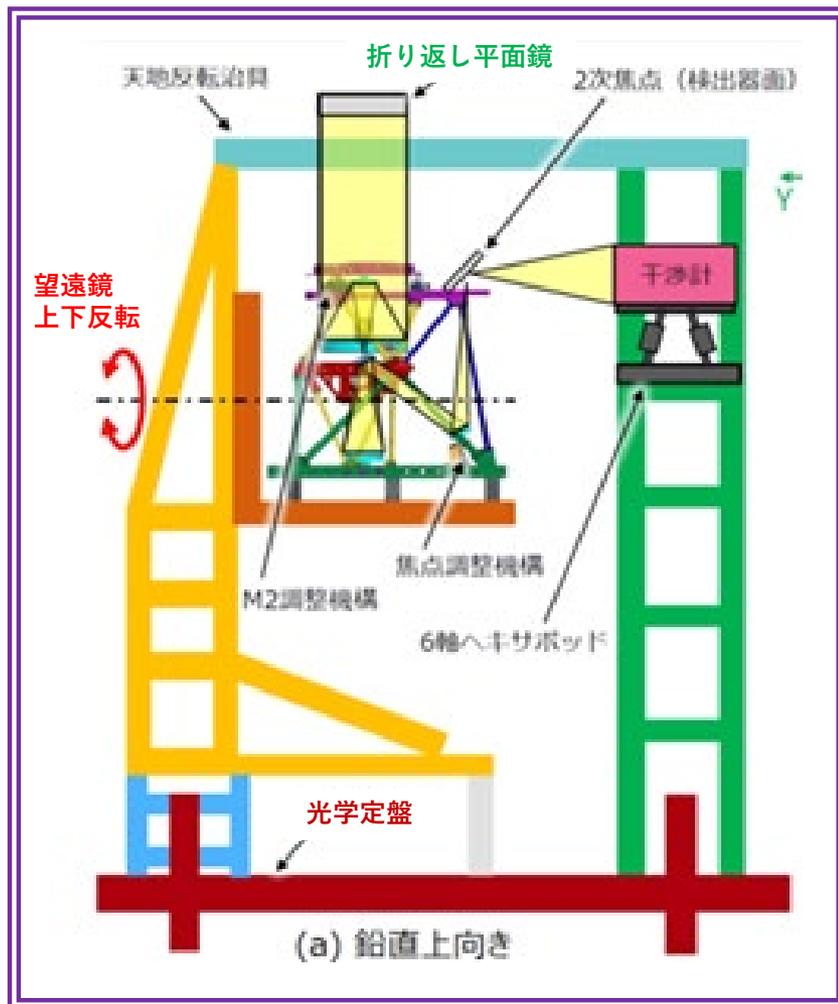
2. 光学性能試験案

組立調整案 フロー1 (やぐらの設置)

【1-1 やぐらの設置】

- ・ やぐらを**光学定盤**の上に設置する
 - ー やぐらは、望遠鏡の組立・光学系調整・光学試験に使用され、**望遠鏡上下反転**ができる機能を持つ
 - ー 望遠鏡と**折り返し平面鏡**は一体で上下反転できるようにする
(重力変形をキャンセルする測定のため)

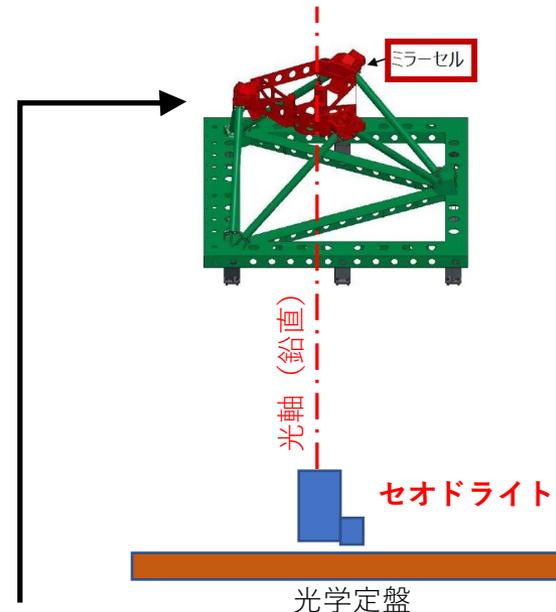
クリーンブース内 或いは
クリーンエアユニット環境内に設置



組立調整案 フロー2 (M1設置調整)

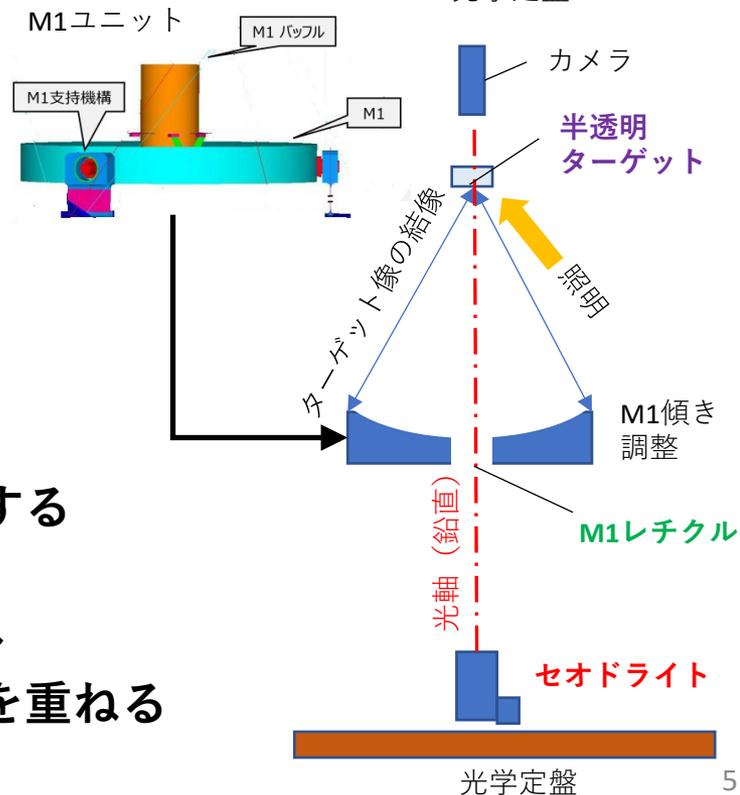
【2-1 M1ミラーセルの取り付け】

- ・ やぐらに**ミラーセル**を取り付ける
- ・ **セオドライト**を光学定盤上に鉛直指向設置する
→セオドライトの光を「光軸」と見立てる
- ・ ミラーセルの位置・傾きを調整する
- ミラーセル中心と光軸を一致させる。水平出し



【2-2 M1ユニットの取り付け、M1の位置調整】

- ・ M1ユニットを取り付ける
- ・ **M1レチクル**を用いて**M1頂点**を光軸に合わせる
(M1レチクルの例：
M1中央穴に+印のついた円筒をはめ込む)



【2-3 M1の傾き調整】

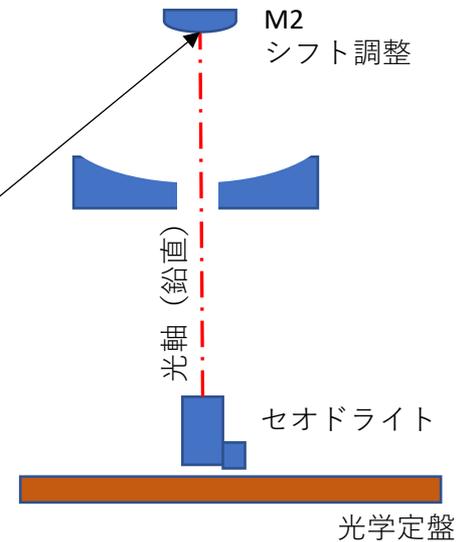
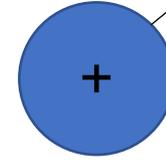
- ・ **半透明ターゲット**をM1曲率中心、光軸上に設置する
- ・ ターゲットの高さとM1の傾きを調整する
- 照明したターゲットを上からカメラで覗き込む
- M1により結像したターゲット像とターゲットを重ねる

組立調整案 フロー3 (M2設置調整)

【3-1 折り返し平面鏡、M2ユニットの取り付け】

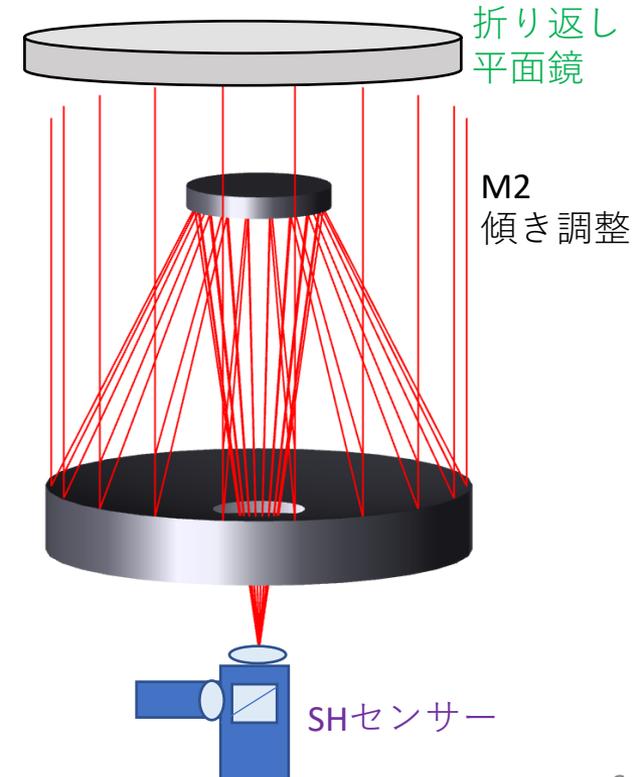
- ・ **折り返し平面鏡**を望遠鏡開口上に設置する
 - 傾き調整にセオドライトの光を使用する
 - M2設置の後に行っても良い
- ・ M2ユニットを望遠鏡構造に組み込む

M2レチクル
のイメージ



【3-2 M2の光学調整】

- ・ 位置調整を行う
 - **M2レチクルを用いてM2頂点を光軸に合わせる**
(M2レチクルの例：M2の頂点に+印をケガキ)
- ・ 傾き調整を行う
 - 鉛直上向き、光軸上2次焦点に**SHセンサー**を設置
 - コマ収差が最小になるよう調整する
(大きな傾きを取る程度？重力変形による2次焦点ずれの補正が必要？要検討)



組立調整案 フロー4 (M3, M4, M5設置調整)

【4-1 M4, M5の取り付け】

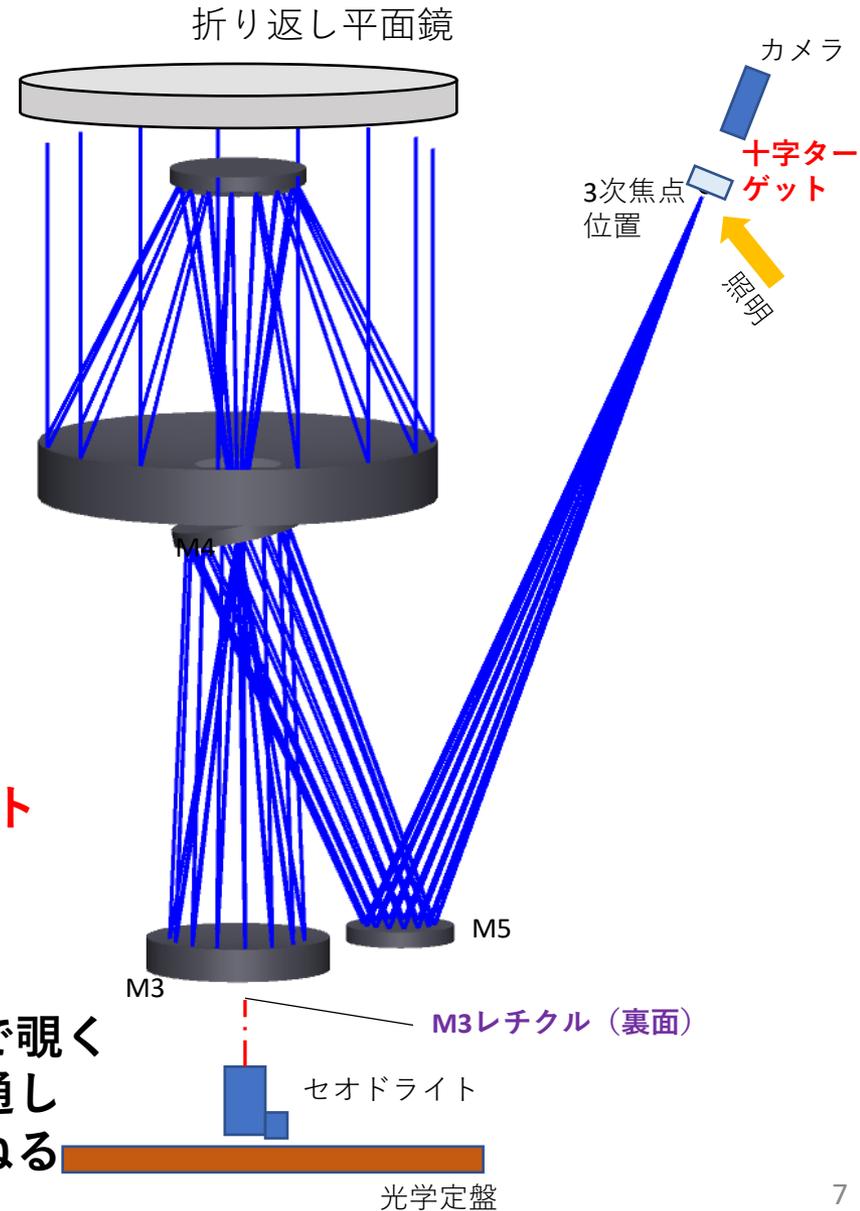
- M4、M5を中心穴、外周を用いて、所定の位置、傾きに機械精度で設置する

【4-2 M3の取り付け】

- M3レチクル (裏面) を参照し、M3を所定の位置、傾きに調整する

【4-3 M4, M5の粗調整】

- M1と同様の手法を使用する
- 所定の3次焦点位置に半透明の**十字ターゲット**を設置する
- M4, M5の傾きの調整を行う
 - 照明した十字ターゲットを上からカメラで覗く
 - 折り返し平面鏡による戻り光が望遠鏡を通し結像するターゲット像とターゲットを重ねる

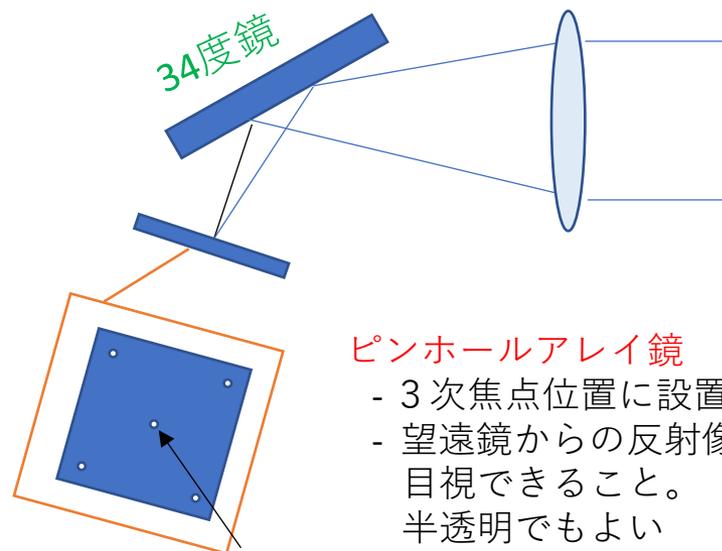


組立調整案 フロー5 (望遠鏡光学系全体調整)

【5-1 望遠鏡光学系全体調整】

- ・ **ピンホールアレイ鏡**を水平に設置する
- ・ **34度平面鏡**をその後方に設置する
- ・ ヘキサポッド付き**SHセンサー**を水平に設置する
- ・ **視野中心ピンホール**からわずかにずれた位置の反射光を使ってSHセンサー光の焦点を調節する
- ・ 視野中心ピンホールにSHセンサー光を通し、コマ、アス収差が最小になるよう、M2、M3、M4、M5の傾きを調整する
(視野端も必要？ 上下反転測定が必要？ 検討中)

- (1) コリメータ付き**SHセンサー**
- (2) 球面参照面付き**干渉計**

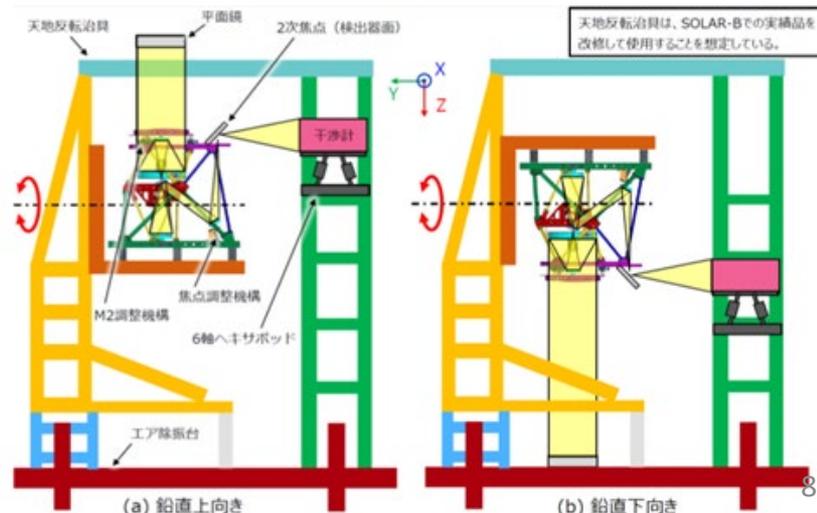


- ピンホールアレイ鏡**
- 3次焦点位置に設置
- 望遠鏡からの反射像が目視できること。
- 半透明でもよい

視野中心ピンホール

【5-2 全系波面収差、ケラレ量の取得】

- ・ SHセンサーを**干渉計**に交換する
- ・ 視野中心、視野端を測定。干渉計瞳像を用い望遠鏡視野にけられがないことを確認する
- ・ 視野中心にて上下反転測定。無重力での波面精度、焦点位置を導出する
- ・ 望遠鏡光軸を表すアライメントキューブを取り付ける。光軸とのずれを測定する

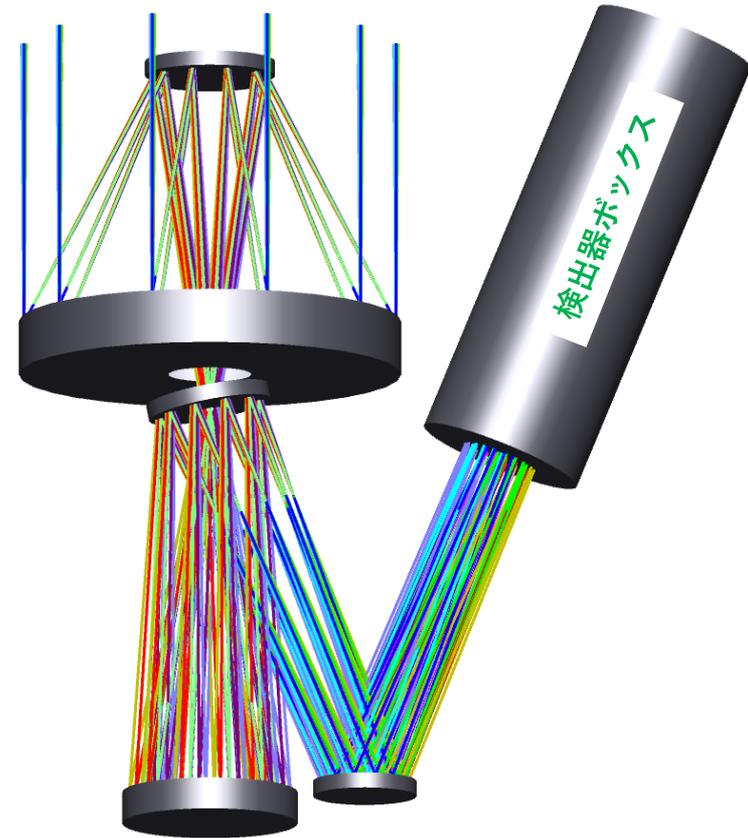


組立調整案 フロー6 (検出器ボックスの組み込み)

【6-1 検出器ボックスの組み込み】

- ・ 検出器ボックス単体試験の結果をもとに、真空・温度変化を考慮した焦点位置を算出する
- ・ **検出器ボックス**を上記の焦点位置に合うように機械精度で設置する

・ この後、赤外光、真空冷却下での結像結果をもとに検出器の位置・傾きの微調整を行う

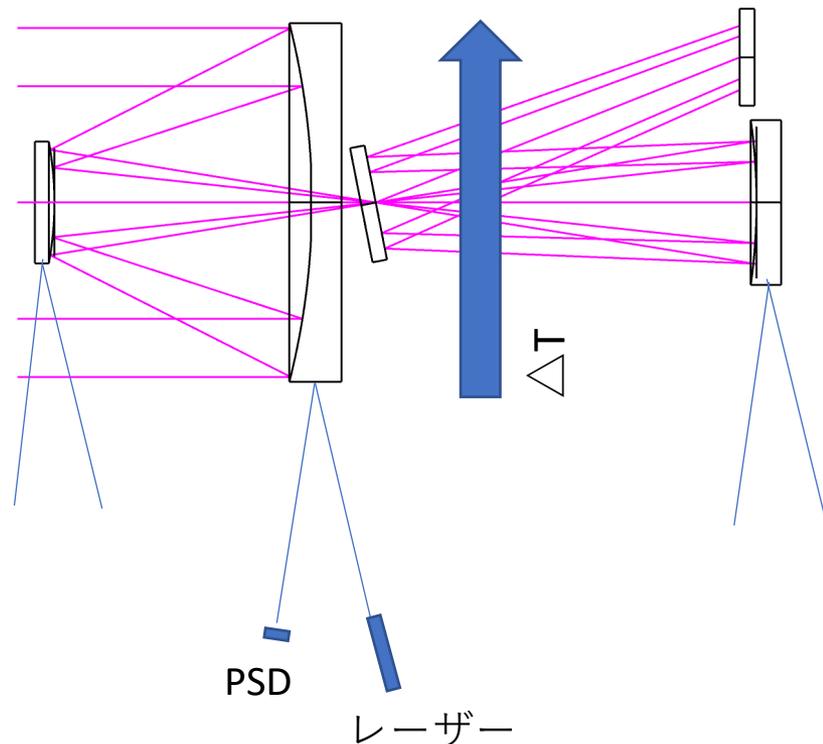


熱変形による歪曲収差変化試験案

歪曲収差の変化測定方法案：
非軸対称な温度変化を与えて、M1基準で
M2、M3鏡の位置ずれ、傾き変化測定
(側面の反射光変化 (レーザー + PSD 或
いはオートコリメータ及びレーザー測距
系))

検出器使わないので、空气中で測定

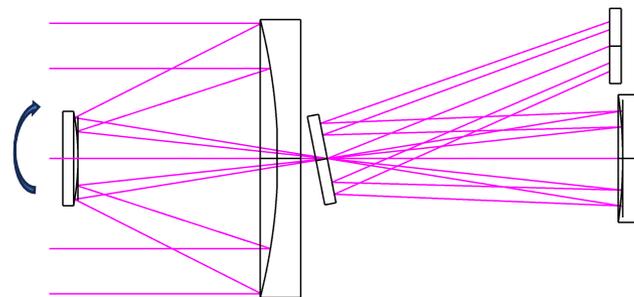
得られた変位を光学設計に反映し、光線
追跡ソフトにより、像ひずみの変化を解
析的に導出・評価する。



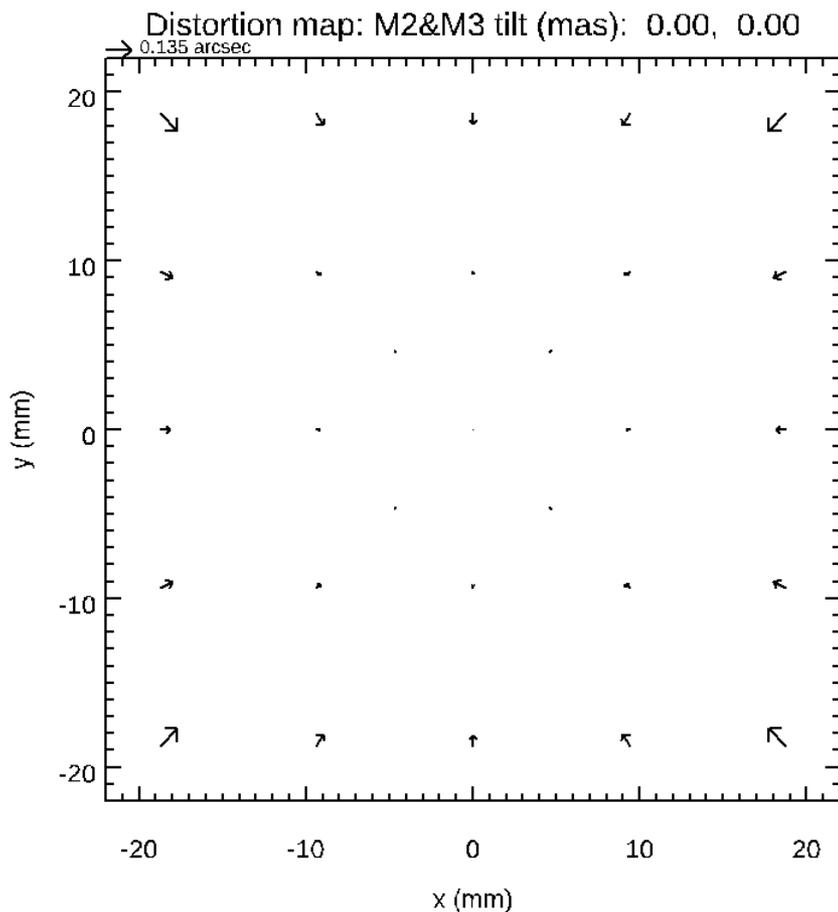
歪曲収差変化試験: 解析例

M2 tilt $\theta_x=14.4 \text{ mas}$ ($4 \cdot 10^{-6} \text{ degs}$)

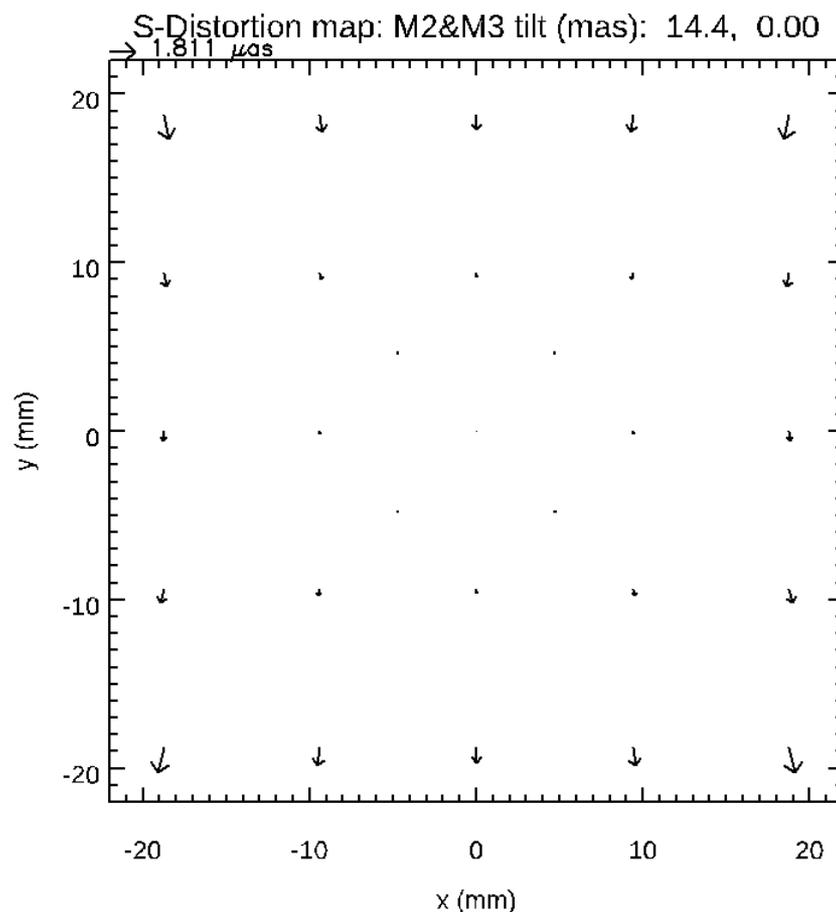
視野端で歪曲収差最大で
 $1.8 \mu\text{as}$ 変化



元の歪曲収差マップ



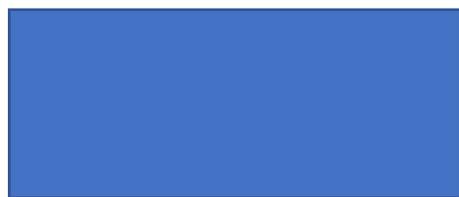
歪曲収差変化分マップ



望遠鏡光学系E2E試験案

- 真空チャンバーを準備（JAXA筑波光学チャンバー？簡易真空チャンバー製作？）
- 望遠鏡を水平置き設置。望遠鏡アライメントキューブにより光軸水平だし。
- $\Phi 50\text{cm}$ 光学窓付きフランジ・傾き調整、焦点調整機構付き $\phi 40\text{cm}$ コリメータをチャンバー外部に設置。
- 真空・温度・焦点位置の確認
- 既知のデフォーカス（M5の焦点調節機構想定）を与え、Phase Diversity法により、波面測定（重力変形の影響を考慮）。ベストフォーカス調整も行う。

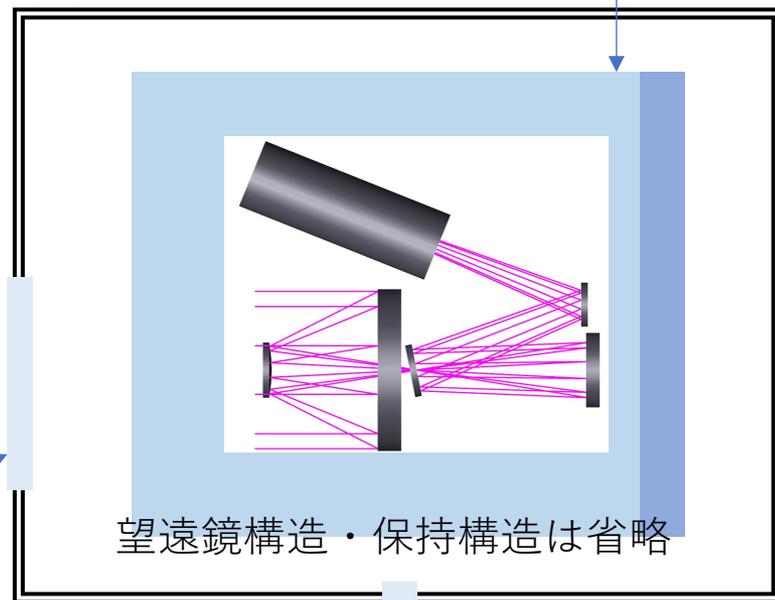
$\phi 40\text{cm}$ コリメータ



$\Phi 50\text{cm}$ 光学窓

アライメントキューブも見えるように

簡易真空チャンバー L字望遠鏡設置台



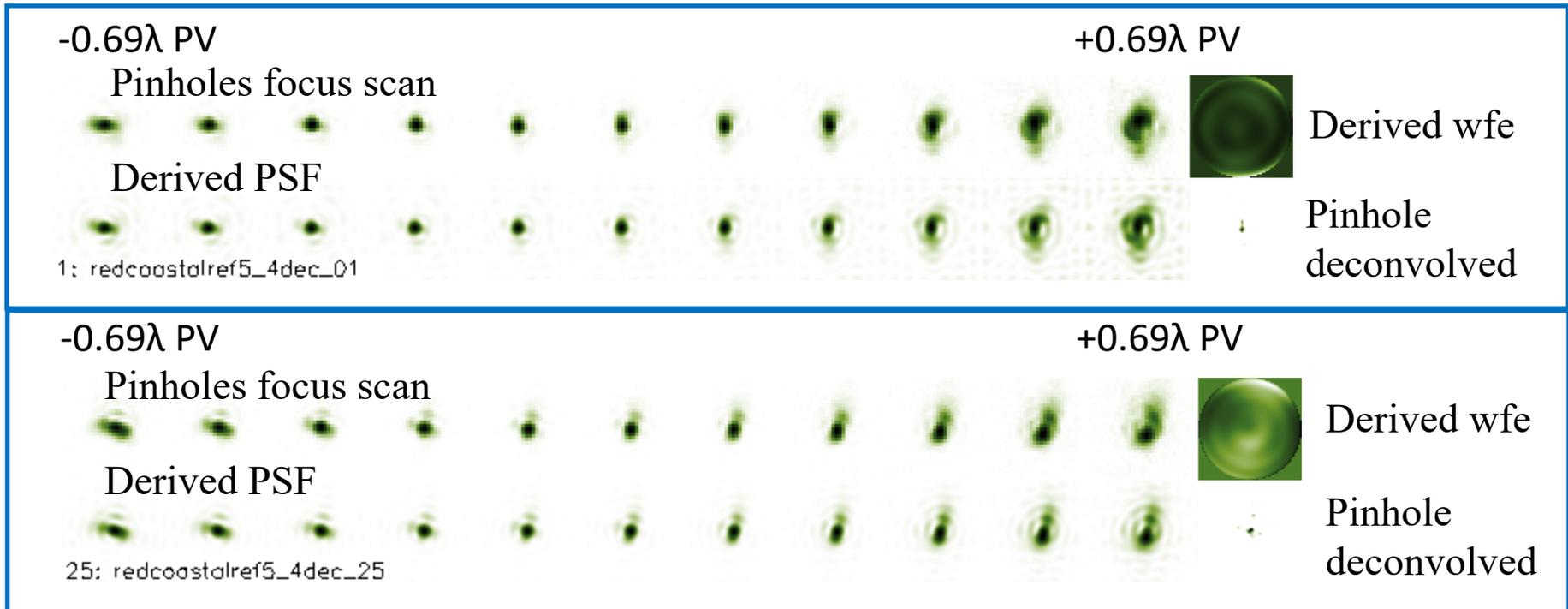
望遠鏡構造・保持構造は省略

$\Phi 5\text{cm}$ 光学窓

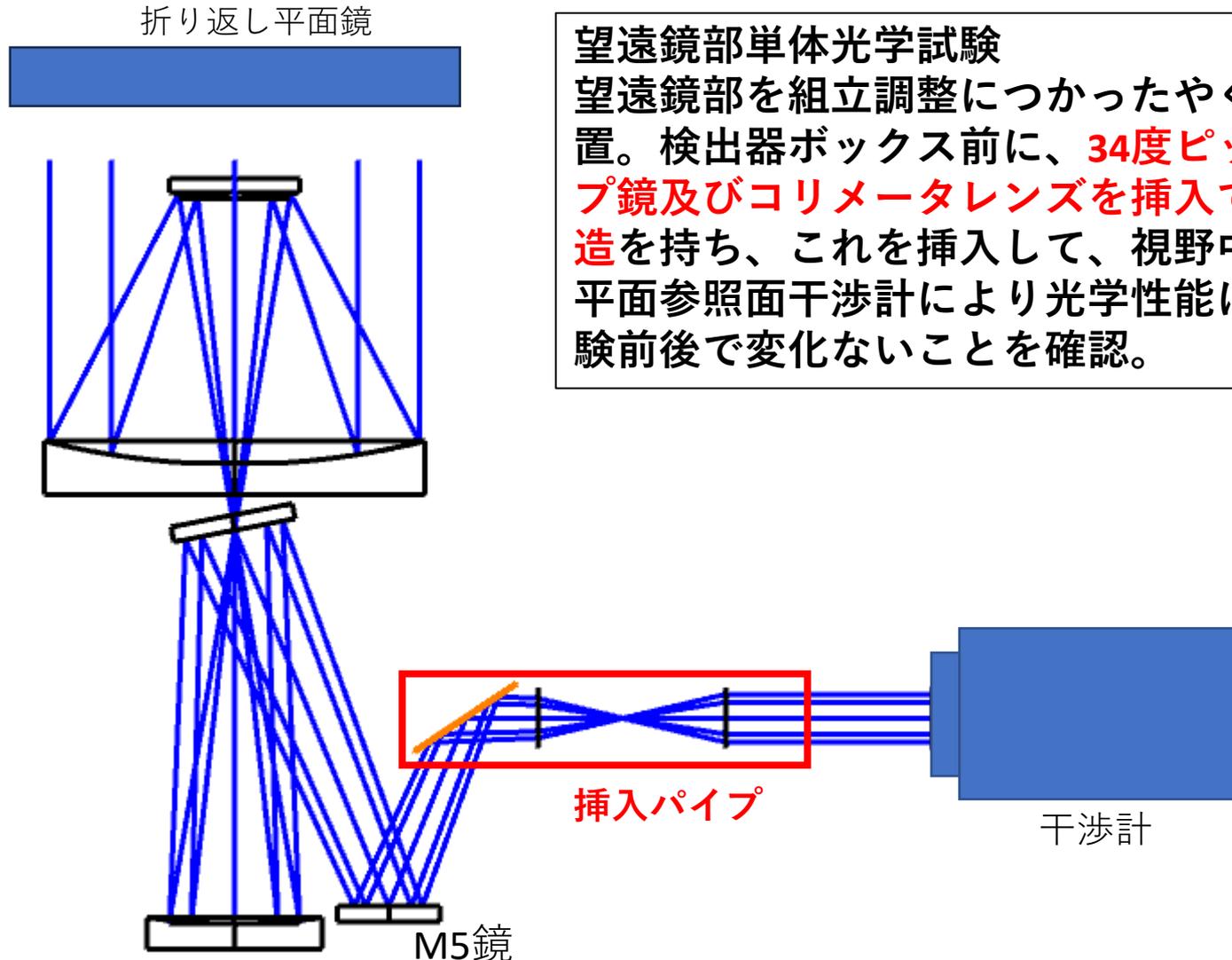
アライメントキューブ測定用

Phase Diversity法による光学性能評価

既知のデフォーカス量（ $\pm 1\lambda$ 程度）を与えた撮像データを、波面誤差がゼルニケ直交関数で表せると仮定して、メリット関数を最小になるよう、ゼルニケ係数を求める。



望遠鏡部環境試験前後の健全性試験案



望遠鏡部単体光学試験

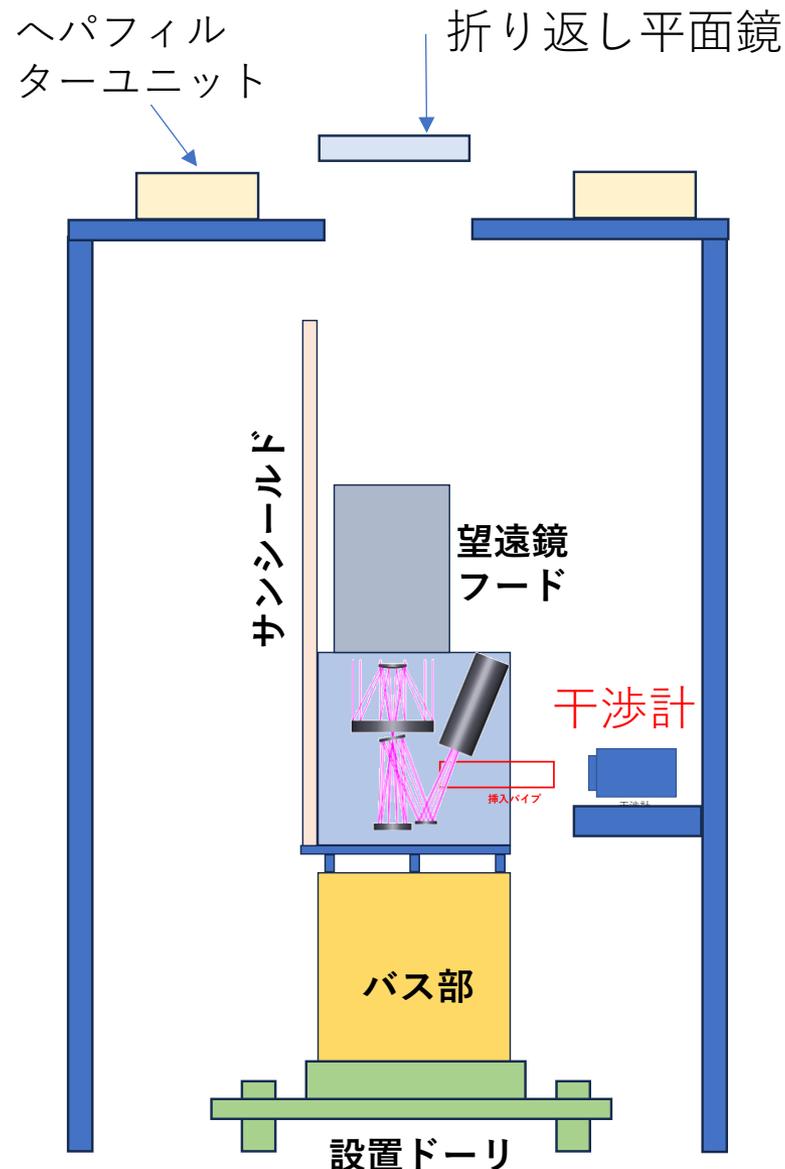
望遠鏡部を組立調整につかったやぐらに設置。検出器ボックス前に、**34度ピックアップ鏡及びコリメータレンズを挿入できる構造**を持ち、これを挿入して、視野中心にて、平面参照面干渉計により光学性能に環境試験前後で変化ないことを確認。

システム環境試験前後の光学系健全性試験案

衛星バスに載った望遠鏡を光学測定できるやぐら（クリーンブース化することで、保管時のコンタミ防止にも使える）。微小擾乱の光学測定兼用。

検出器ボックス前に、**34度ピックアップ鏡及びコリメータレンズ**を挿入できる構造を持ち、これを挿入して、視野中心にて、平面参照面干渉計により光学性能に変化ないことを確認。

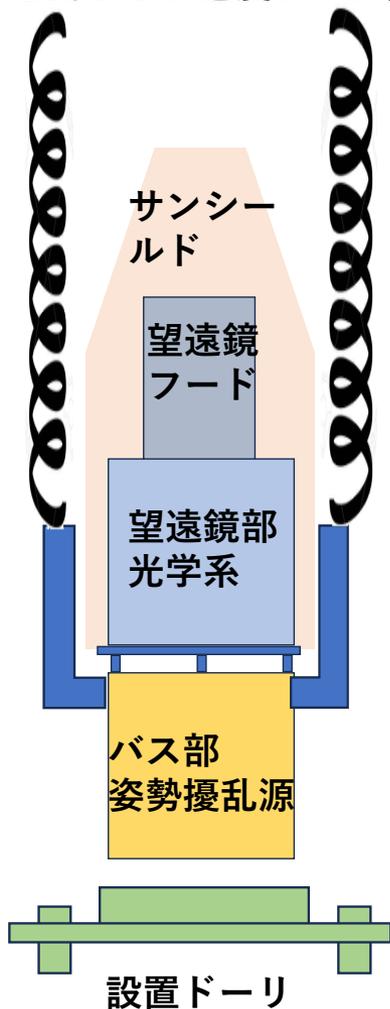
別オプションとして、システムが用意するであろう衛星ドローリで横倒しにして、**平面鏡設置台、干渉計設置台**を置いて干渉計測定するのもよい。この場合、微小擾乱光学測定も同じ配置で、平面鏡なしで直接開口からレーザーを入れる。加速度センサー測定のとくと衛星望遠鏡の向きが90度異なるので解釈に注意が必要。



微小擾乱試験案

加速度センサーによる測定

望遠鏡光学系に加速度センサー取り付け
(MTM時)
衛星ばね吊り
擾乱源を動かし加速度データ高速取得



レーザー光による光学測定

衛星床置き
擾乱源を動かしレーザー光の位置ずれを
PSDにより高速取得

