

# NASA 観測ロケット実験 CIBER-2 - 光学性能評価 -

○玉井 桃子, 松浦 周二, 橋本 遼, 中川智矢, 中畑 秀太, 花井翔 (関学),  
瀧本 幸司(JAXA), 佐野 圭, 中川 俊輔 (九工大), 津村 耕司 (東京都市大), 高橋 葵(ABC),  
和田 武彦 (NAOJ), Michael Zemcov (RIT), James Bock (Caltech/JPL),  
& CIBER collaboration

## NASA Sounding Rocket Experiment CIBER-2 - Optical Performance Evaluation -

○Momoko Tamai, Shuji Matsuura, Ryo Hashimoto, Tomoya Nakagawa,  
Shuta Nakahata, Sho Hanai (Kwansei Gakuin University),  
Koji Takimoto (JAXA), Kei Sano, Shunsuke Nakagawa (Kyushu Institute of Technology),  
Koji Tsumura (Tokyo City University), Aoi Takahashi (ABC), Takehiko Wada (NAOJ)  
Takehiko Wada (NAOJ), Michael Zemcov (Rochester Institute of Technology),  
James Bock (Caltech/JPL), & CIBER collaboration

### 1. 背景

CIBER-2(Cosmic Infrared Background Experiment - 2)とはNASAの観測ロケットを用いた日米韓台共同の国際実験であり波長  $0.5\text{-}2\ \mu\text{m}$  の宇宙赤外線背景放射(CIB : Cosmic Infrared Background)の観測を目的としている。CIBとは我々の銀河系外から届く赤外域での放射を足し合わせた積算光のことで、それを観測・解析することによって宇宙初期の天体を検出することが可能である。CIBER-2はこれまで2021年6月に第1回、2023年4月に第2回打ち上げを行ったが、第1回では観測装置の不具合で十分な性能が得られず、第2回では打ち上げ直後のロケット追尾システムのトラブルにより飛行中止措置が取られたため失敗、破損してしまった。我々日本チームが担当している望遠鏡部分は無事回収されたためそれを再構築し2024年5月の打ち上げに向けて準備を進めている。

### 2. CIBER-2 観測装置

観測装置は主鏡の口径が285 mmである反射望遠鏡と検出器を3台搭載した後置光学系が、クライオスタットと呼ばれる真空容器に格納される。また、観測装置全体はノイズ源となる熱放射による暗電流低減のために、液体窒素で $\sim 80\ \text{K}$ まで冷却を行う。観測装置上部に設置されているポップアップバッフルとシャッターは、上空で観測時に自動展開して望遠鏡への迷光を防ぐ役割がある。取得データ量は膨大でテレメトリ受信が困難であるため、オンボードメモリに格納し地上に着地後、観測器とともに回収する仕様になっている。

### 3. CIBER-2 光学系

図1に示すように、CIBER-2の後置光学系は Arm-S( $0.5 - 0.9 \mu\text{m}$ )、Arm-M( $1.0 - 1.4 \mu\text{m}$ )、Arm-L( $1.5 - 2.0 \mu\text{m}$ )と呼ばれる3波長バンドに分割され、検出器はTeledyne社のHdCdTeフォトダイオードアレイ(HAWAII-2RG6)を3台用いており、撮像・分光同時観測が可能である。3台用いているのは、広い波長域を1つの光学系でカバーすることは難しく3つの波長に分けてそれぞれに光学系を用意しているためである。

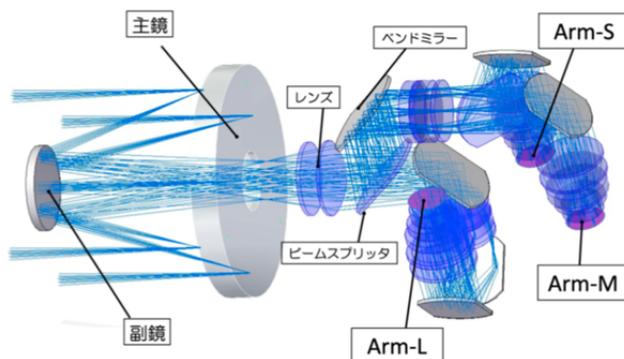


図 1. CIBER-2 光学系

### 4. 光学調整全体の流れと目的

次に、第3回打ち上げまでに行う望遠鏡の光学調整の流れについて述べる。光学調整の流れは大まかには、望遠鏡の再構築、低温フォーカス試験、振動試験前後の光学性能評価、打ち上げ前の光学性能評価の4ステップに分かれている。まず、望遠鏡のミラーを再切削とコーティングした後、元の状態と同じように組み立てる。(望遠鏡の再構築)その後以前の性能と比較するために望遠鏡単体でフォーカス試験を行い、確認ができたならCIBER-2本体に望遠鏡を組み込む。そして、CIBER-2全体で低温フォーカス試験をして焦点を検出器面に合わせる作業を行う。その後、振動試験で耐震性の確認を行い、最後に打ち上げ直前の光学性能評価を行う。

### 5. 望遠鏡の再構築と結像性能の確認

望遠鏡を組み立てた後(図2)、前回の打ち上げのときの結像性能と比べてどうなっているか確認するため望遠鏡単体でのフォーカス試験を行い、その結果を比較した。



図 2. 分解時(左)と組み立て後(右)

フォーカス試験の手法について述べる。以下の図 3 に示すように、検出器ピクセルより充分小さいピンホールとコリメータによりつくった平行光を望遠鏡に入射させ、検出器を光軸上で動かすことで Best Focus 位置での点像分布関数(PSF : Point Spread Function)を確認した。また、PSF はエンサークルドエナジーという手法によってその半径を計算する。エンサークルドエナジーとは、像の重心からある半径の円内に含まれる光量を規格化して表した量のことである。

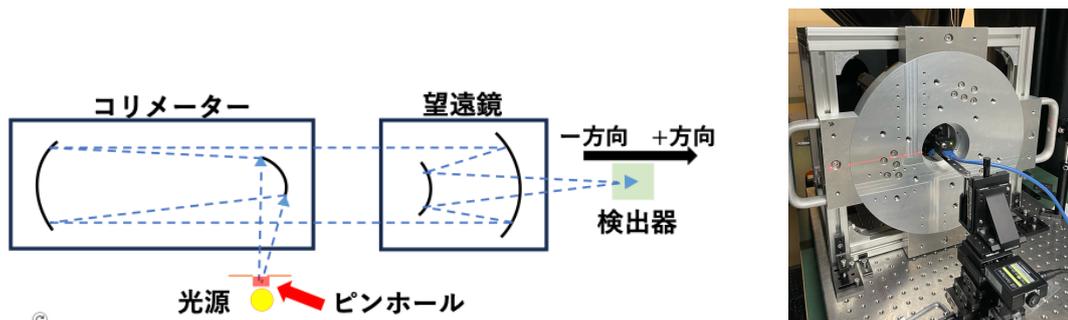


図 3. フォーカス試験の概念図(左)と実際の様子(右)

その結果、図 4 に示すように前回は焦点位置での PSF のエンサークルドエナジー 80% 半径は  $26 \mu\text{m}$  だったが今回もその値はかわらず  $26 \mu\text{m}$  となり、CIBER2 打ち上げ前の望遠鏡と比べて結像性能は変わっていないと判断し、次のステップに移った。

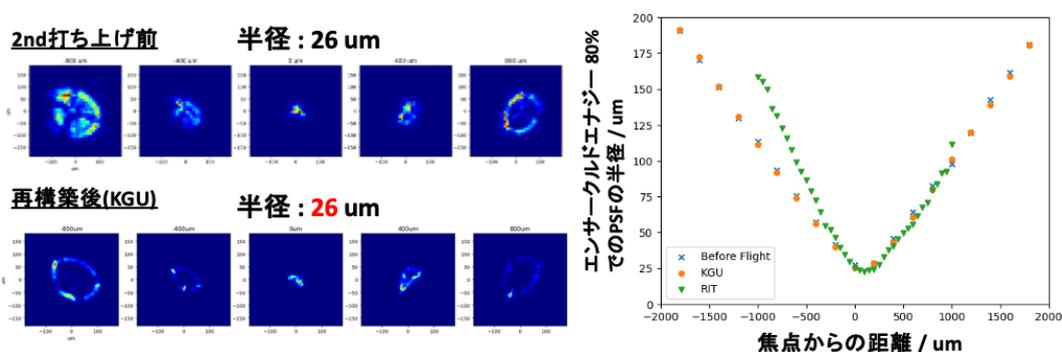


図 4. 常温望遠鏡単体試験  $400\mu\text{m}$ 毎スキャンの PSF(左)  
エンサークルドエナジーの結果(右)

## 6. 低温フォーカス試験と光学調整

次に、後置光学系と合わせた焦点を測定するため、望遠鏡を CIBER-2 本体に組み込み、窓を取り付け、真空引きと冷却を行なった後、光学調整を通して光学系全体での焦点を検出器面に合わせるために低温フォーカス試験を行なった。

低温フォーカス試験の手法を図 5 に示す。測定については、望遠鏡単体試験では検出器を動かしていたが、CIBER2 の検出器は自由に動かすことができないためステッパ

モータを用いて光源の位置を動かし、コリメータから平行光を CIBER-2 に対して入射することで焦点の位置を測定した。また焦点位置を変えるための光学調整については、副鏡にシムを挟み主鏡と副鏡の間の距離を変えるという方法で行なった。そうすることで、大幅に焦点位置を変えられるという利点がある。焦点位置と検出器面を合わせるために、この作業を数回繰り返し行なった。

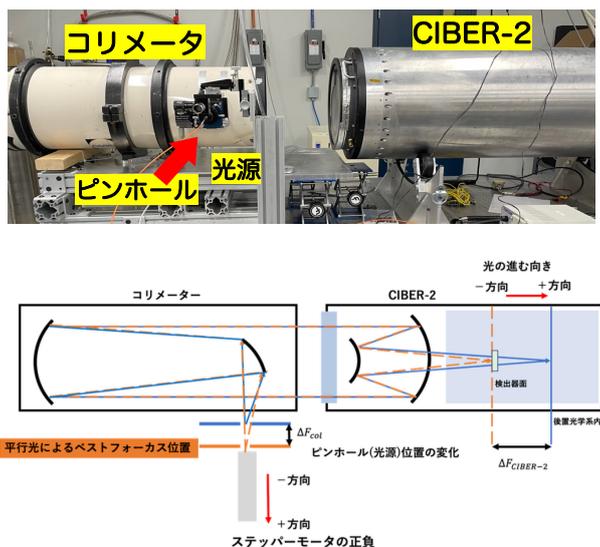


図 5. 低温フォーカス試験の様子(上)光学概念図(下)

結果、図 6 に示すように焦点位置と検出器面の距離が 0 に近づいた。約  $100 \mu\text{m}$  ずれているが、コリメータからの光の平行度の不定性と焦点深度を考慮し、許容した。

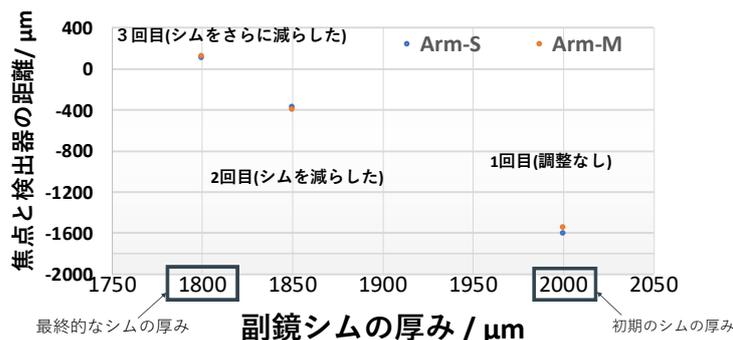


図 6. 低温フォーカス試験の結果

## 7. 振動試験前後の光学性能評価

次に、望遠鏡の耐震性を確認するために振動試験前後で低温フォーカス試験を行い、その結果を比較するが今回はまだ振動試験が行われていないため以下の図 7 に振動試験前みのスルーフォーカスでの PSF を示す。

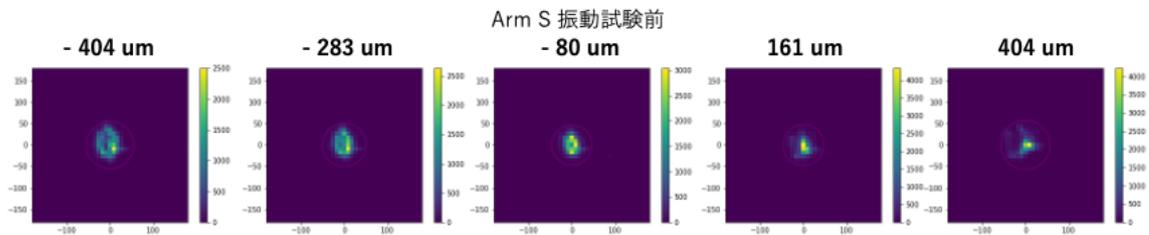


図 7. Arm-S での振動試験前の PSF

(中央画像が焦点位置、画像上の数値は検出器面からの距離を表す)

このように焦点位置と検出器の距離が振動試験前は $-80 \mu\text{m}$ だったがこれは Arm-S だけでなく他の検出器もほとんど同じ結果となった。今後、振動試験後のデータを解析・比較し必要に応じて対処し、打ち上げに臨む。

## 8. まとめ、今後の予定

4月よりホワイトサンズ実験場にて輸送後フォーカス確認試験・測光感度較正、スタートラッカーアラインメント、フライトシーケンスを行い、2024年5月5日に打ち上げ、回収予定である。

## 9. 参考文献

松見知香,2023年関西学院大学修士論文(2022年度).

松浦周二,CIBER-2計画とISAS観測ロケットによる宇宙赤外線背景放射観測の展望,第1回観測ロケットシンポジウム講演,2018.