

# X 線偏光観測衛星 IXPE 搭載に向けた望遠鏡用サーマルシールドの開発 (2)

○三石 郁之<sup>1</sup>, 山口 友洋<sup>1</sup>, 柏倉 一斗<sup>1</sup>, 瀧川 歩<sup>1</sup>, 田村 啓輔<sup>2</sup>, 宮田 喜久子<sup>3</sup>, 田原 譲<sup>1</sup>, 玉川 徹<sup>4</sup>, 大西 崇文<sup>1</sup>, 立花 一志<sup>1</sup>, 立花 正満<sup>5</sup>, 村島 健介<sup>5</sup>  
<sup>1</sup>名古屋大学, <sup>2</sup>NASA/GSFC, メリーランド大, <sup>3</sup>名城大学, <sup>4</sup>理研, <sup>5</sup>株式会社カネカ

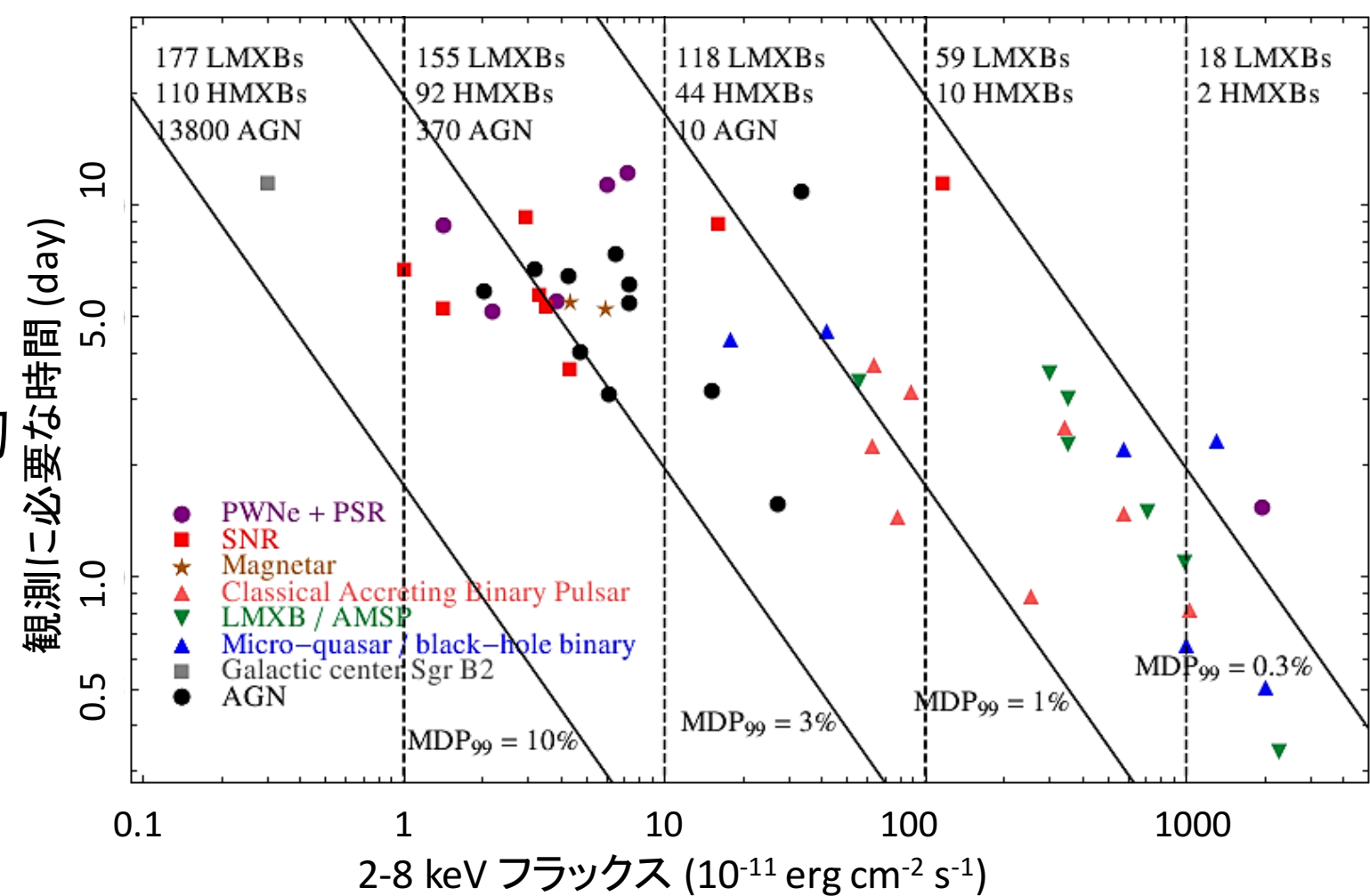
IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer) は、NASA/MSFC が主導し、2021 年度に打ち上げ予定の世界初高感度 X 線偏光観測衛星であり、我々は IXPE 搭載 X 線望遠鏡用サーマルシールドの開発を担当している。サーマルシールドの主目的は軌道上での望遠鏡内部の熱環境保持である。このサーマルシールドには熱制御機能はもちろんのこと、高い X 線透過率や打ち上げ・軌道上環境耐性も同時に求められる。これまで、デザイン検討・製作方法の確立および製作と性能評価を実施し、試作品が要求値を満たすことを確認し、2020 年 4 月にフライト品の NASA への納品が完了した。本ポスターではサーマルシールドの紹介やその製作工程、およびフライト品相当の小片サンプルを用いた評価試験の一部の結果を報告する。

## I. IXPE 衛星プロジェクト概要

### プロジェクト概要

- ・世界初の高感度 X 線偏光観測衛星 (NASA/MSFC リード, 日本から国際協力)
- ・2021 年 SMEX の枠組みで打ち上げ予定
- ・ミッション機器: X 線偏光計 + X 線望遠鏡 3 台
- ・ガス電子追跡型偏光計
  - ・2-8 keV, M.F. ~50 % @ 5 keV, 15x15 mm<sup>2</sup>
- ・電鍍全周ミラー
  - ・ <30 arcsec in HEW, 4 m focal length

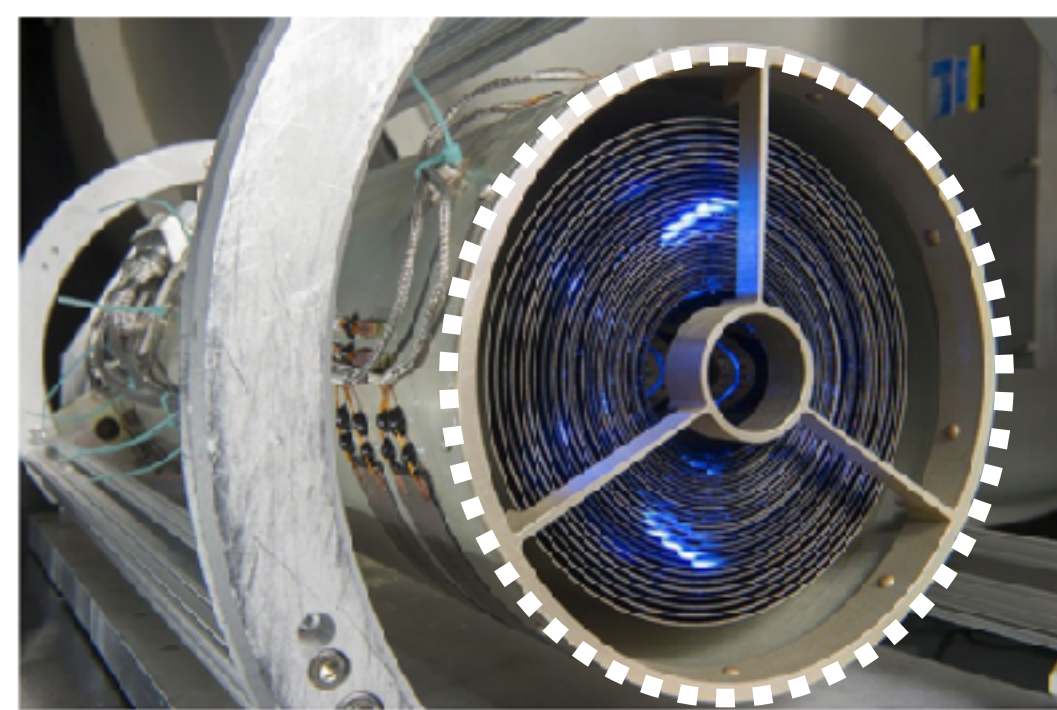
Martin C. Weisskopf, et al., Proc. of the SPIE, 2016



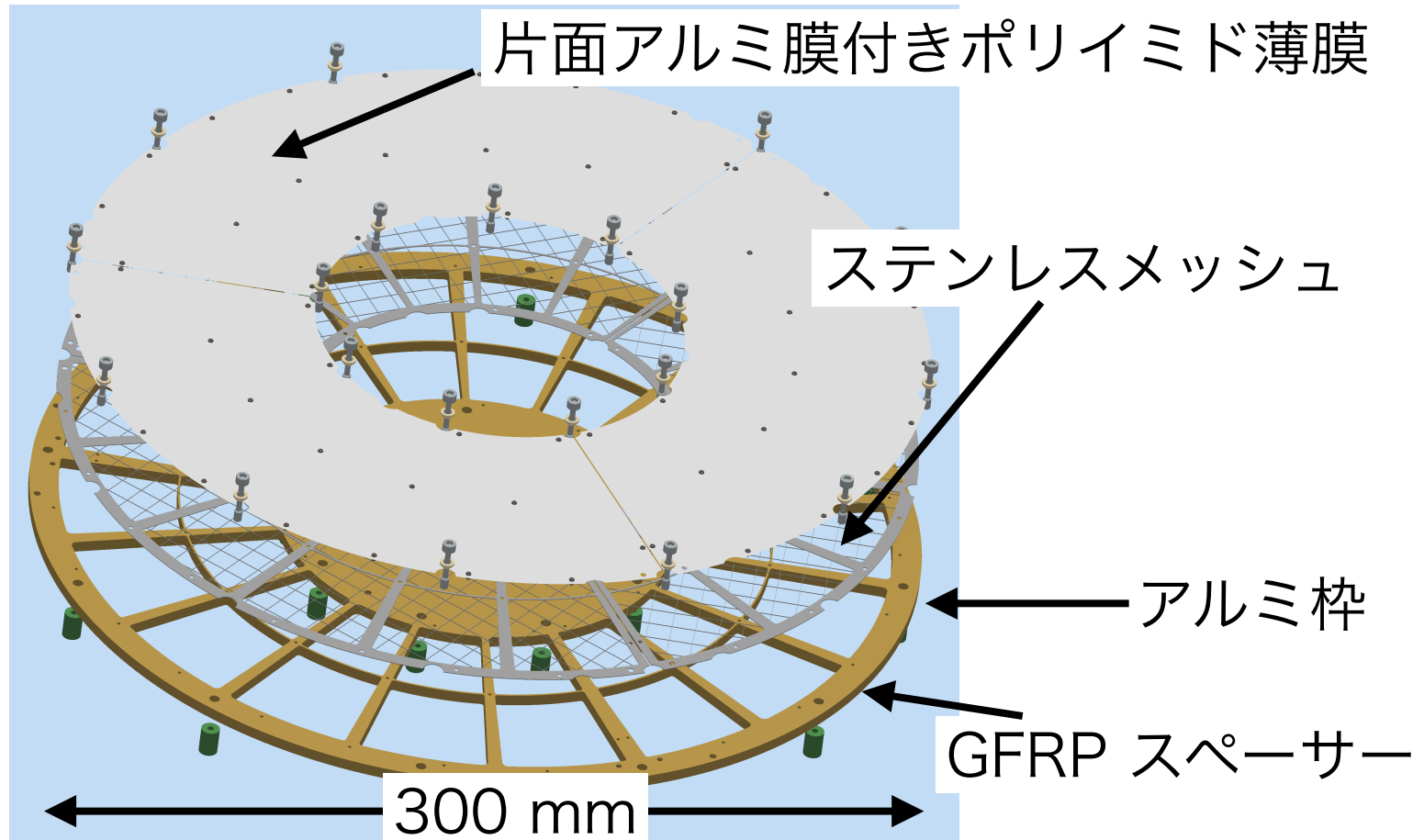
### 国際協力

- ・宇宙科学研究所の小規模計画として採択
- ・IXPE WG メンバー (11 名) を中心に活動
- ・理研と名大がハードウェア提供予定
  - ・理研: ガス電子増幅フォイル (P-025 早藤他)
  - ・名大: 望遠鏡用サーマルシールド

## II. IXPE 搭載望遠鏡用サーマルシールド



SRG 搭載硬 X 線望遠鏡 ART-XC 外観。点線部分にサーマルシールドが取り付けられる。



IXPE 搭載望遠鏡サーマルシールド EM デザイン図

IXPE 搭載望遠鏡用サーマルシールドは主に反射鏡の熱歪みを防ぐため、望遠鏡筐体の上下部分に取り付けられる。サーマルシールドは望遠鏡筐体および反射鏡形状を考慮しデザインされ、熱制御機能はもちろん、X 線透過率や様々な打ち上げ・軌道上環境耐性も同時に求められる。詳細なデザインと要求性能は次セクションで述べる。

## III. サーマルシールドへの要求性能

IXPE 搭載望遠鏡用サーマルシールドへの主な要求性能を以下にまとめる。

- ・熱制御機能 (Mirror Module Assembly 温度: 20 +/- 2 °C)
  - ▶  $0.10 \leq \alpha_{al} \leq 0.20$ ,  $0.03 \leq \varepsilon_{al} \leq 0.15$ ,  $0.20 \leq \varepsilon_{pi} \leq 0.40$
  - ( $\alpha$ : 太陽光吸収率,  $\varepsilon$ : 赤外線放射率, al & pi は各々アルミ面およびポリイミド面を表す)
- ・X 線透過率 ( $\geq 77$  % @ 1.5 keV)
- ・Falcon9 ロケットの打ち上げ・軌道上環境下での熱制御機能の保持 (振動・音響・熱・原子状酸素等への耐性)

## IV. サーマルシールドデザイン

サーマルシールドデザインを以下にまとめる。主にフィルム、フィルム支持用金属メッシュ、そしてフィルム・金属メッシュ支持用金属枠からなる。

### ■ 片面アルミ膜付きフィルム

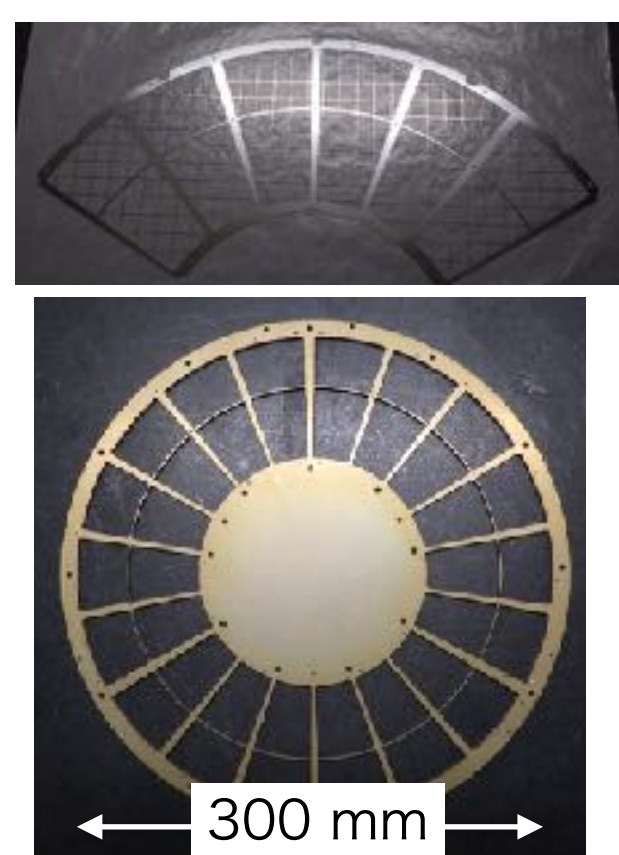
- ・耐熱性・機械強度の高いポリイミドを採用
  - ・IKAROS など実績のあるカネカ社製
- ・ポリイミドフィルムサイズ: A4, 厚さ: ~1.4  $\mu$ m
- ・熱制御のため片面にアルミ薄膜を成膜
  - ・アルミ膜厚: ~50 nm

### ■ フィルム支持用金属メッシュ

- ・強度の高いステンレスを採用
  - ・厚さ: 250  $\mu$ m, メッシュピクセルサイズ: 8 x 8 mm<sup>2</sup>, メッシュ線幅: 100  $\mu$ m
  - ・開口効率: ~97 %
- ・フォトリソで製作

### ■ フィルム・メッシュ支持用金属枠

- ・アルミ製。ただし腐食防止および接着剤との密着性向上のため表面はアロジウム処理を施してある
- ・ワイヤー放電加工で製作し、厚さ 4 mm, 直径 304 mm



アルミ成膜前後のポリイミドフィルム (上段左・右)、ステンレス製メッシュ (中段) とアルミ枠 (下段)

## VI. 製作フロー

サーマルシールドの製作フローを以下に示す。製作後、ベーキング試験や熱サイクル試験の実施が求められており、各々の温度は熱シミュレーションにて予想される軌道上でのフィルムの到達温度に +/- 10 °C のマージンを加え設定されている。アルミ成膜後は全工程を名古屋大学で実施している。

Step1: フィルムへのアルミ成膜



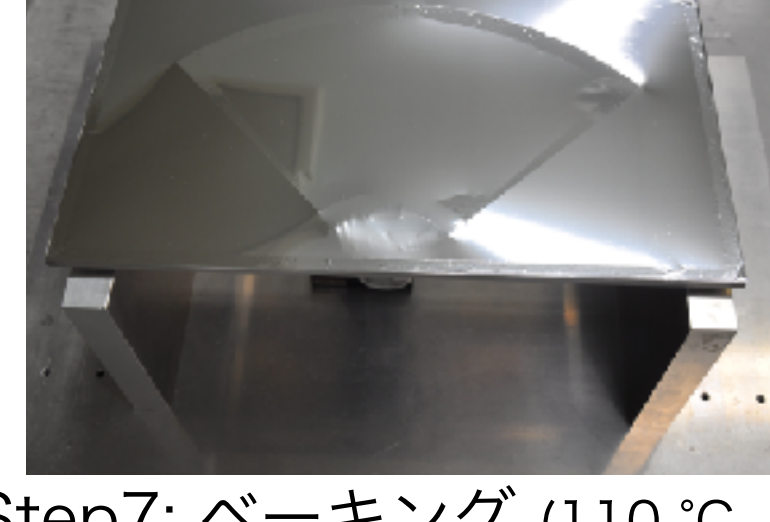
Step2: フィルムの枠取り



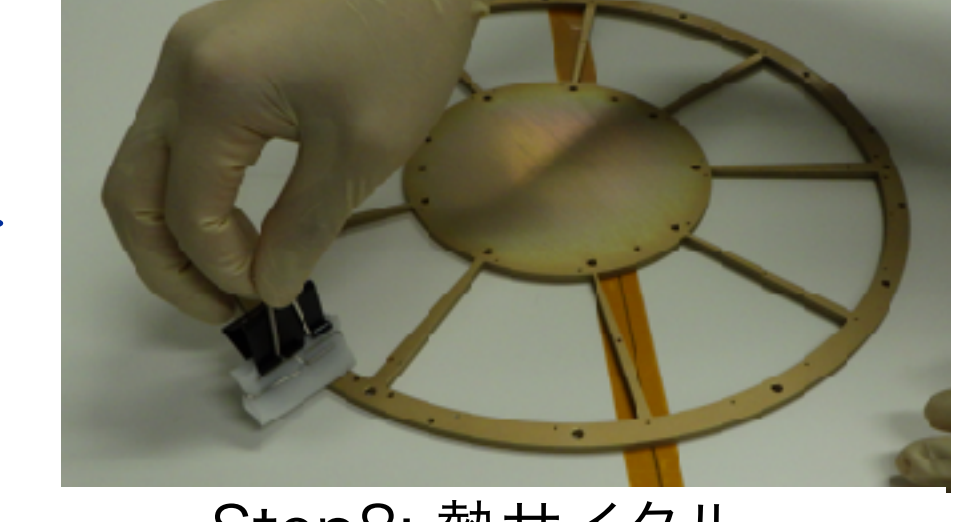
Step3: 接着剤溶液へのメッシュのディッピング



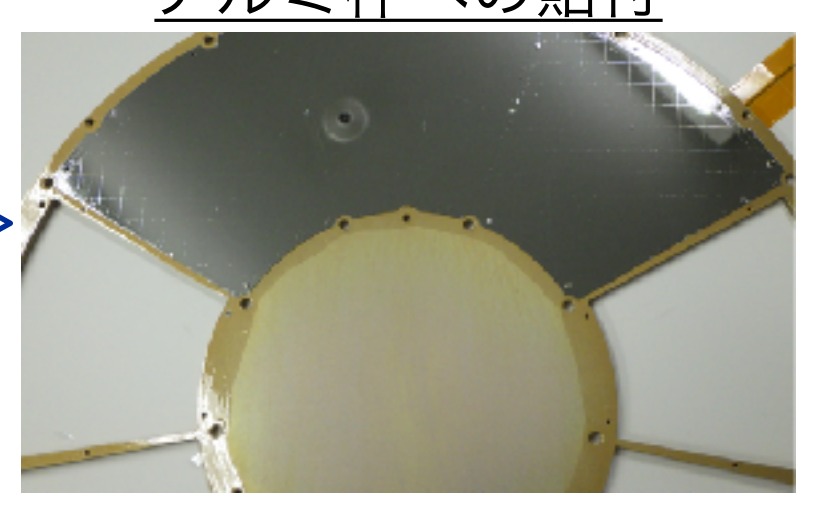
Step4: フィルムへのメッシュ貼付



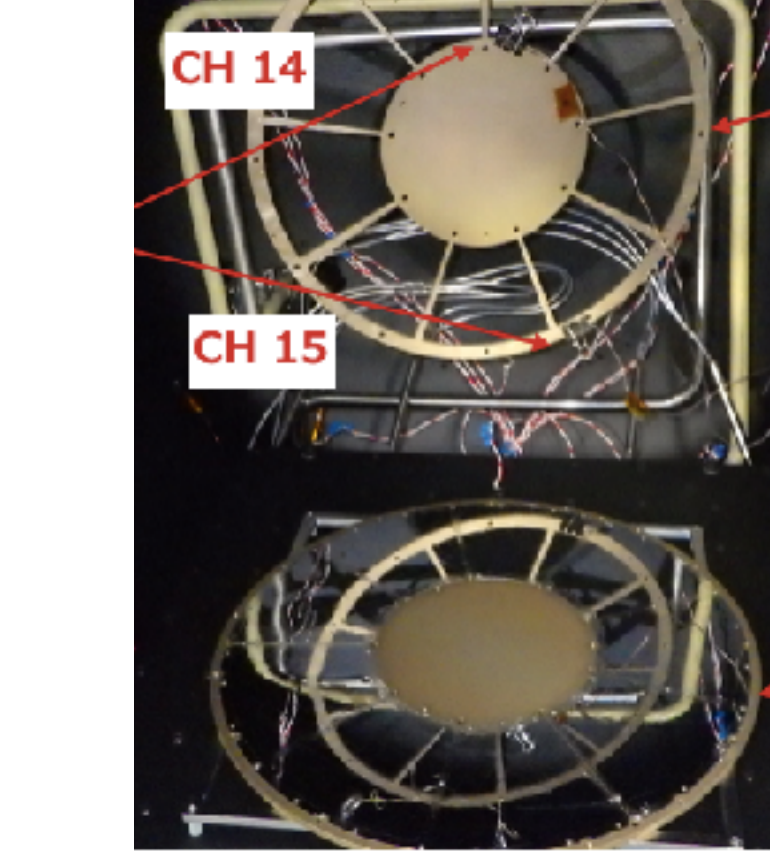
Step5: アルミ枠への接着剤塗布



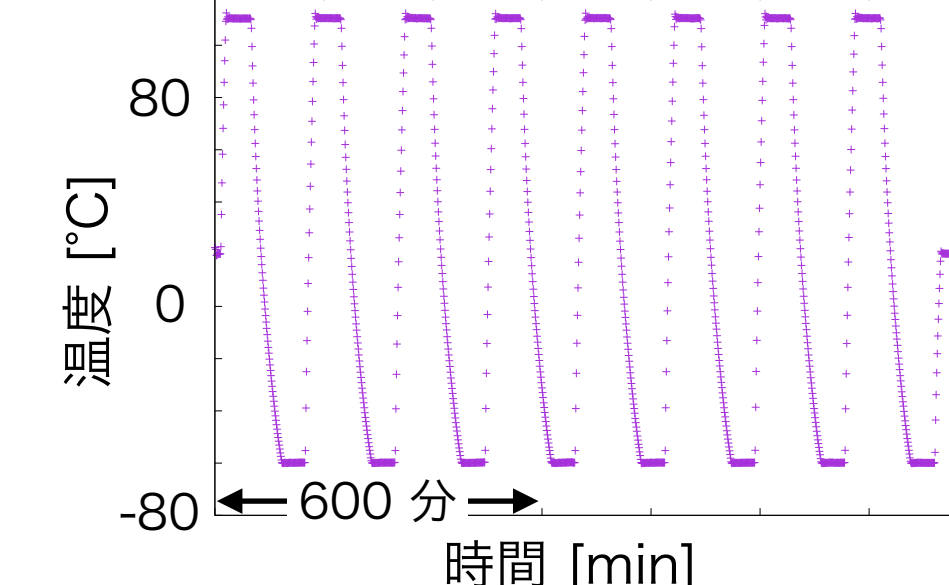
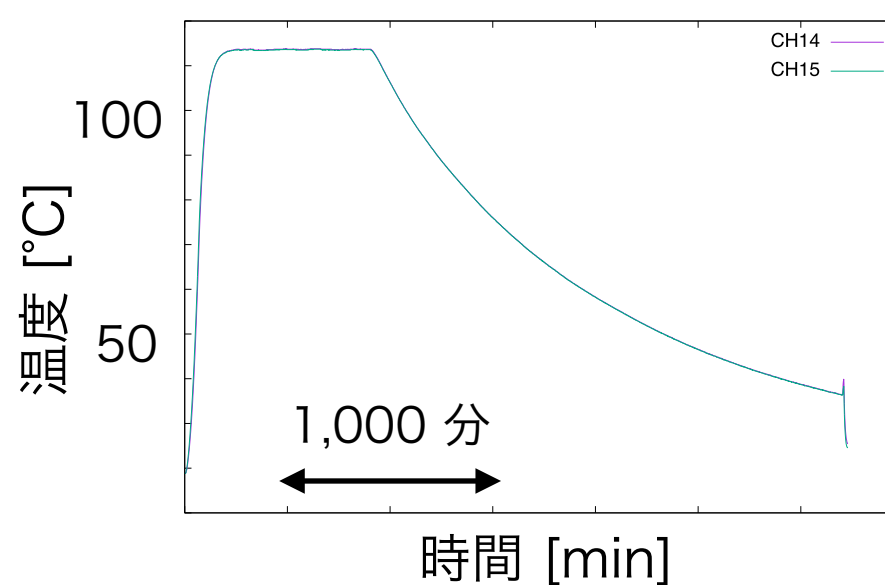
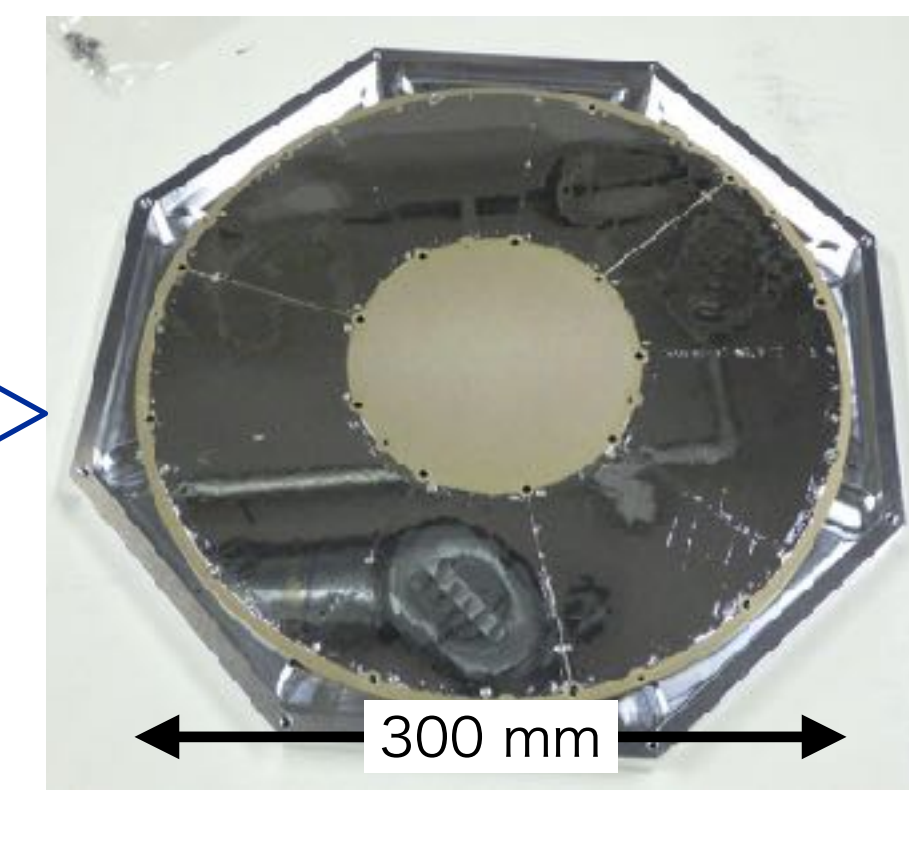
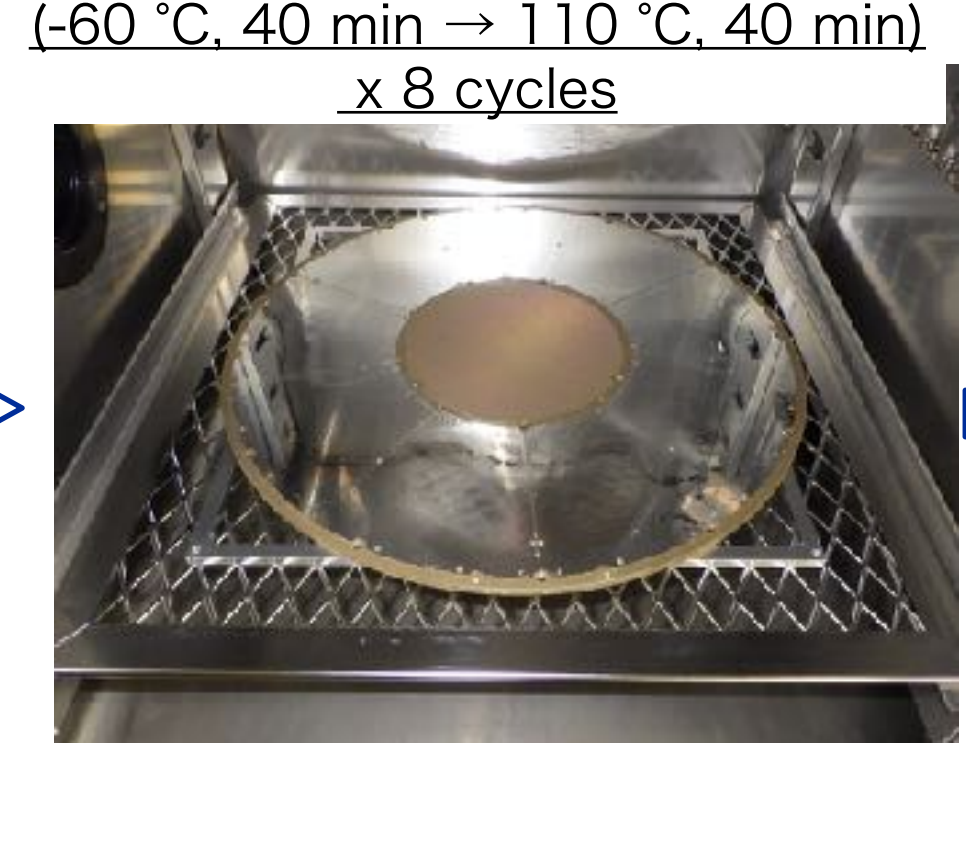
Step6: フィルム付きメッシュのアルミ枠への貼付



Step7: ベーキング (110 °C, 12 hrs)



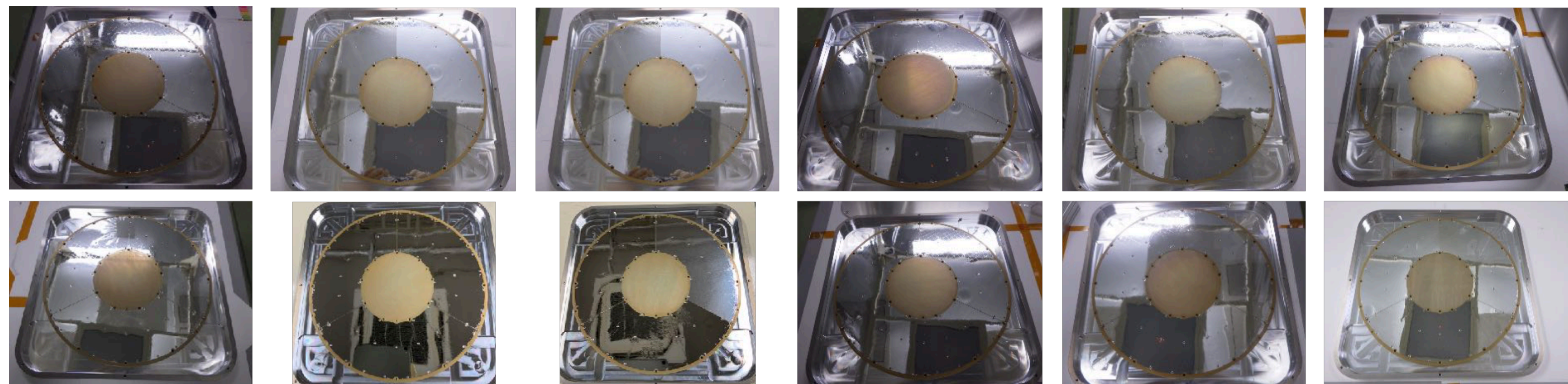
Step8: 熱サイクル (-60 °C, 40 min → 110 °C, 40 min) x 8 cycles



製作フローのまとめ。ベーキング・熱サイクル試験については、試験時の温度プロファイルも載せている。

## VII. 開発の現状と今後の展望

2020 年 4 月にフライト品の NASA への納品が完了。また、フライト品と同じ親フィルムから切り出した小片サンプルを用いて熱光学特性評価やピンホール頻度調査および X 線透過率測定試験等を実施。結果、フライト品と同等のサンプルに対しても要求値を満たすことを確認し、現在はデータレビュー中。



全 12 枚のフライト品サーマルシールドの外観写真

### ■ X 線透過率測定

フライト品と同じ親フィルムから切り出した計 12 枚の小片サンプルを用いて X 線透過率測定試験を宇宙研 27 m ビームラインにて実施。

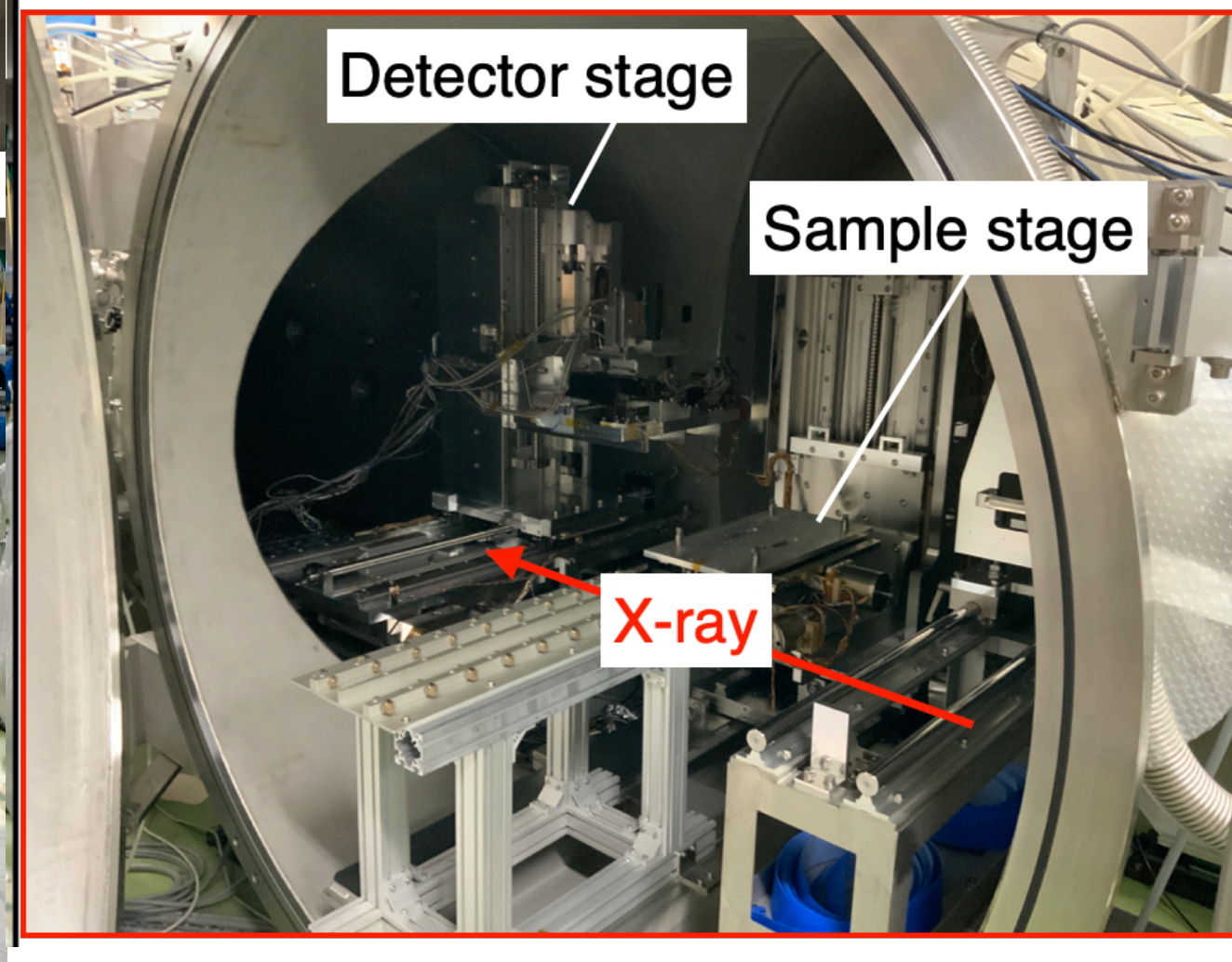
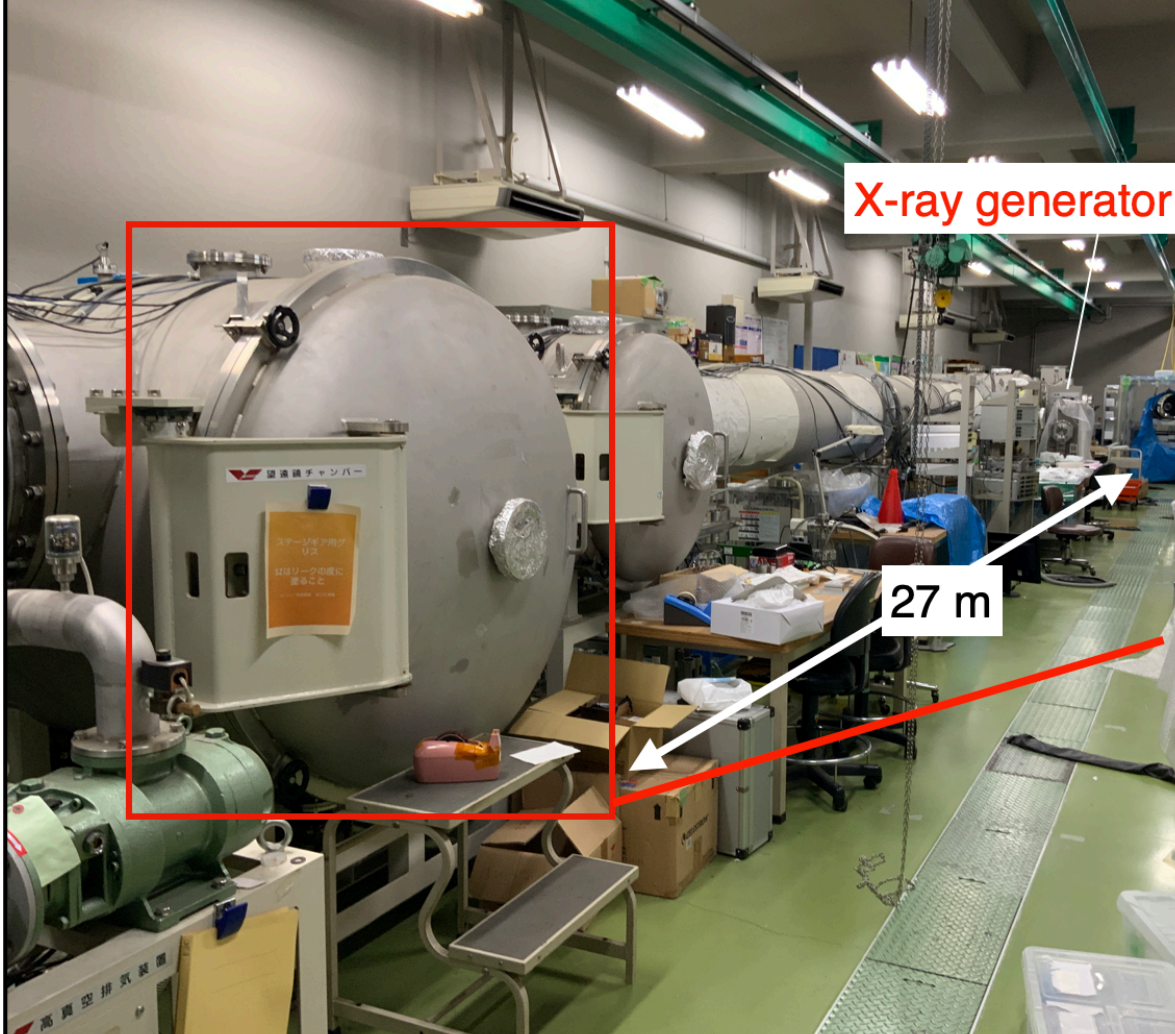
#### 測定条件

エネルギー [keV]	1.5 (Al Ka) / 4.5 (Ti Ka)
ビームサイズ [mm]	1.5 x 1.5
検出器	比例計数管
測定時間 [s]	100

透過率は 77-86 % @ 1.5 keV, >98 % @ 4.5 keV

→ おおむね機械的な厚さと一致

→ 要求値を満たすことを確認



小片サンプルの外観写真 (上) および宇宙研 27 m ビームライン設備の外観 (下)