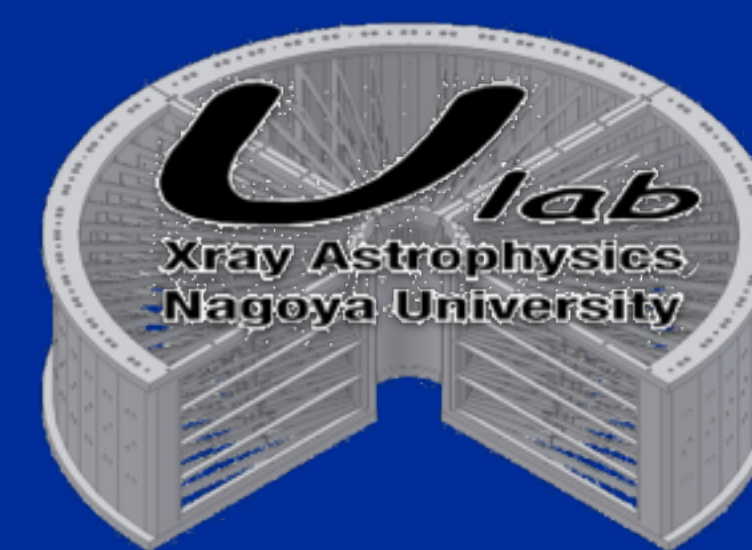


# PRAXyS 搭載用 X 線望遠鏡のためのサーマルシールドの開発

田原譲, 三石郁之, 二村泰介, 菅沼亮紀, 松本浩典 (名古屋大学), 玉川徹 (理研), 岡島崇 (NASA/GSFC)

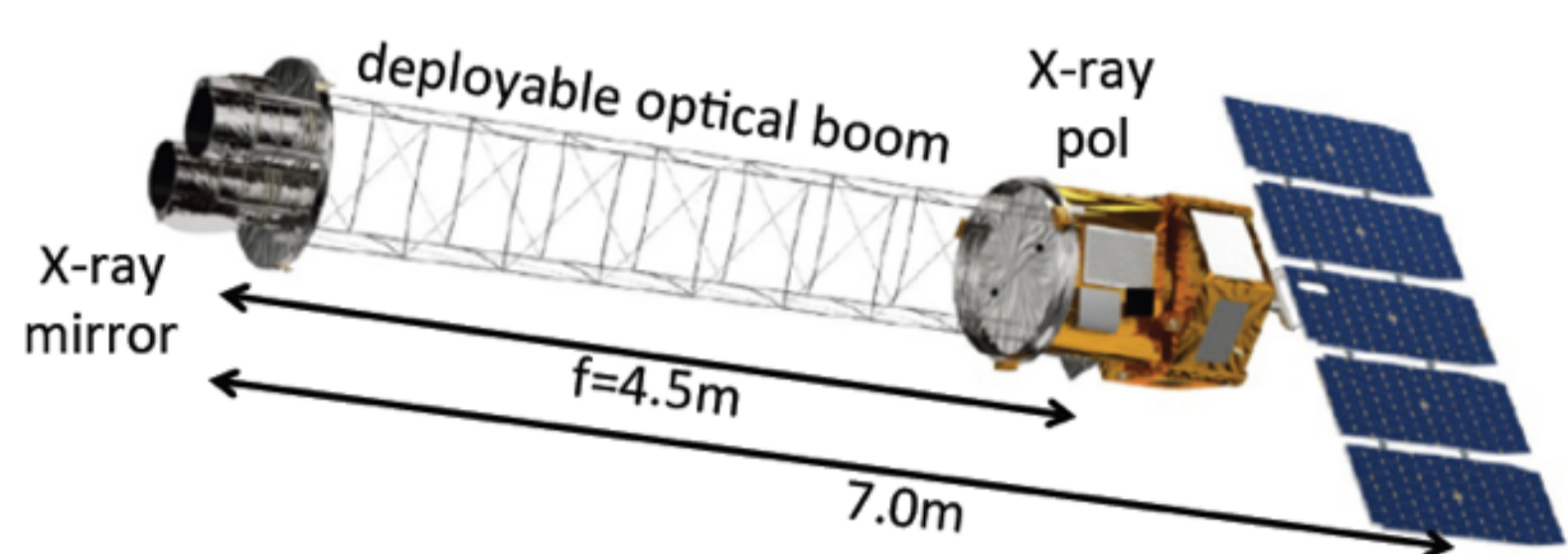


概要: PRAXyS は宇宙 X 線源からの X 線の偏光観測を高感度で行う、米国の小型エクスプローラーミッションである。日本からは検出器に用いられる GEM フォイルおよび X 線望遠鏡サーマルシールドの技術提供と、偏光観測のサイエンスの検討の両面で貢献すべく、共同開発に加わっている。サーマルシールドは高い X 線透過率を持ちながら、望遠鏡の軌道上温度環境を地上室温程度で様に維持し、ヒータ電力を抑える上で重要なコンポーネントである。PRAXyS では偏光観測のエネルギー下限が約 2 keV となっているため、サーマルシールド用フィルムの厚さは数ミクロンのものを使うことができる。一方で打ち上げロケット開頭時の空力加熱によりフィルム温度が 200 度を超える予想されている。そのため、新たにポリイミドフィルムを用い空力加熱に耐えるサーマルシールドの開発が課題である。入手したポリイミドフィルムやこれにコートしたアルミ膜質の評価、フィルム支持メッシュ、耐音響環境性能の評価装置の設計・製作およびこれを用いたサーマルシールドのプロトタイプの評価を進めており、現状を報告する。

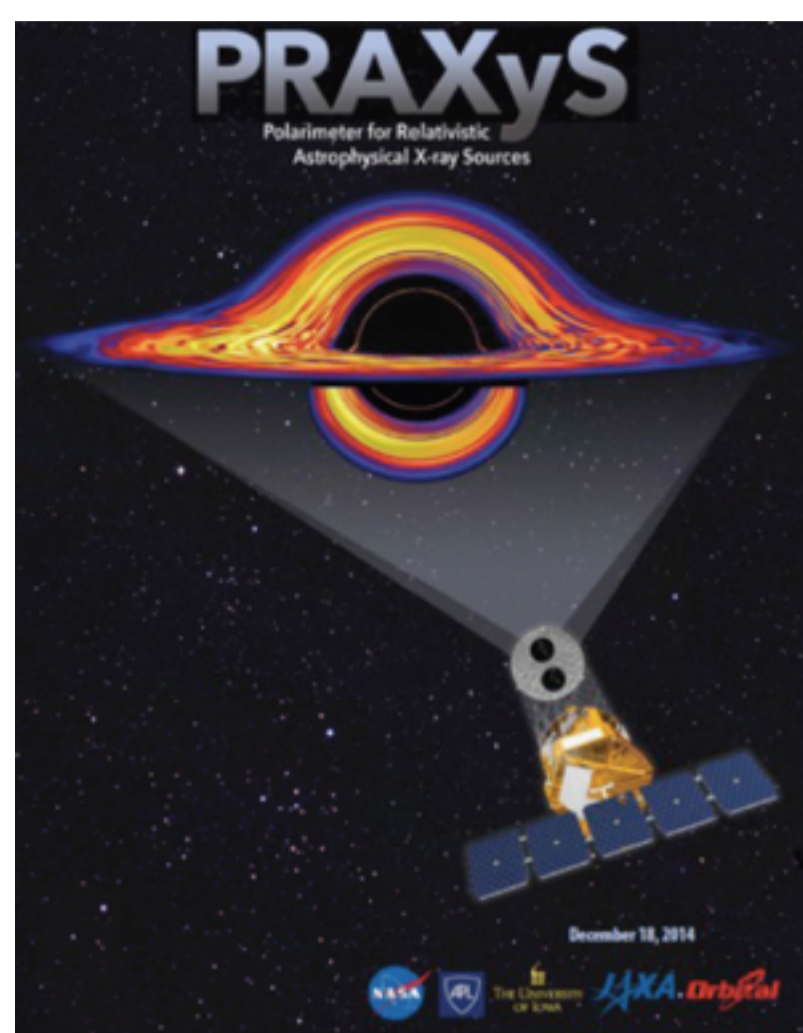
## I. PRAXyS 衛星プロジェクト概要

### PRAXyS 衛星プロジェクト概要

PRAXyS: Polarimeter for Relativistic Astrophysical X-ray Sources



口頭講演 S4-010 「X線偏光観測衛星 PRAXyS」 (玉川他)



2014/12 PRAXyS プロジェクト提案  
2015/07 PRAXyS プロジェクト採択 (Phase A) 3機が採択 (PRAXyS, IXPE, SPHEREx)  
2017/02 Phase B 選定 (予定) 3機→1機  
2020/08 打ち上げ (予定)

- プロジェクト概要**
- 世界初の高感度X線偏光観測衛星 (NASA/GSFCリード、日本から国際協力)
  - ミッション機器: X線偏光計 + X線望遠鏡
  - 「すざく」タイプのX線ミラー
  - 2-10keV, MDP=1% for 2 mCrab in 3.4x10<sup>6</sup> s
  - 0.1 rpm で光軸周りに回転
  - SWG 9ヶ月で23天体観測 + 15ヶ月のGO

- 国際協力**
- 理研と名大は Co-I institute
  - 理研: ガス電子増幅フォイル、名大: 望遠鏡熱シールド
  - 検出器校正、シミュレーション
  - 広大、阪大、京大が参加
- 日本側**
- JAXA 小規模プロジェクトB
  - プロジェクト化準備中

## II. 望遠鏡サーマルシールドの構造と配置



## III. 要求性能

### サーマルシールドに要求される性能

- X線偏光観測の有効なX線観測エネルギー帯の感度を確保すること (2 keV 及び 6 keV の X 線に対する透過率で規定、 TBD)
- 衛星熱設計に必要な熱光学定数 (太陽光吸収率、赤外線放射率) を有すること
- Pegasus XLの打ち上げ環境条件を満たすこと (振動・音響環境、熱環境)

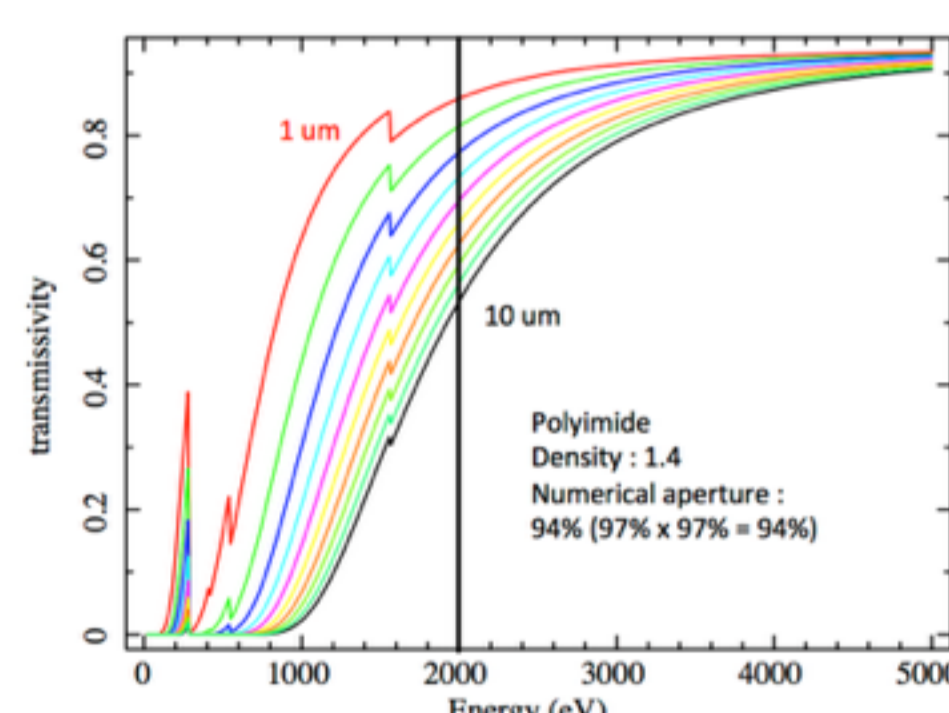
### 空力加熱について

- ロケット開頭時の空力加熱パワーは 0.6 W/cm<sup>2</sup> と予想されており、数十秒でサーマルシールド・フィルム部分の温度が 200 °C を超える可能性が指摘されている (GSFC 熱解析)
- メッシュ・ピクセルサイズ及びフィルム厚みの各種パラメータに対し空力加熱による温度上昇の熱解析を予定

## IV. フィルム・メッシュ・支持フレーム

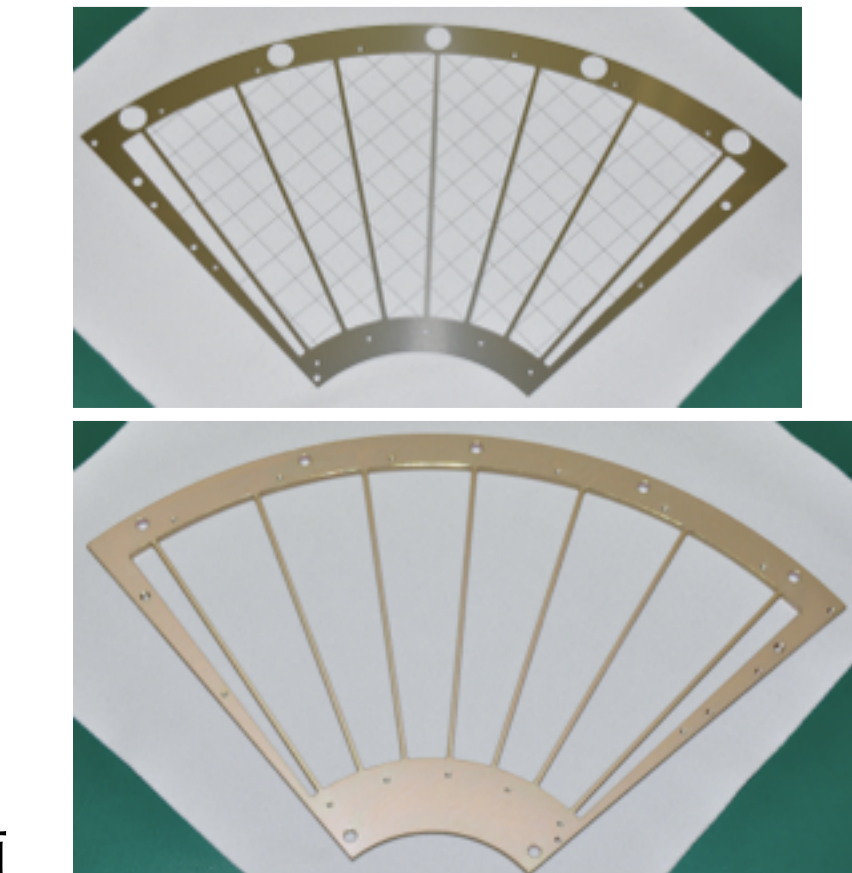
### ポリイミドフィルムおよびアルミコーティング

- 200°Cを超える耐熱要求の可能性があるためポリイミドとする
- IKAROS など実績のあるカネカに依頼
- 厚さ: ノミナル値 2.5 μm (1-5 μm の範囲で決定)
- ノミナル値の厚さにおける X 線透過率は 80 % @ 2 keV
- アルミコーティングは尾池アドバンスフィルムに依頼
- スパッタリングによりコーティング
- 熱光学定数 (太陽光吸収率 α 及び赤外線放射率 ε) の測定
- フィルムはラボ特注製作のため、機械強度、厚さとその一様性について品質管理が重要 (引っ張り試験、X線透過率測定)
- コーティングの際、付着したダストなどによるピンホールを避けるため、品質管理が重要



	α	ε
PI	0.325	0.362
Al	0.144	0.074

(PI: 2.8 μm, Al: 24 nm)



### フィルム支持メッシュ

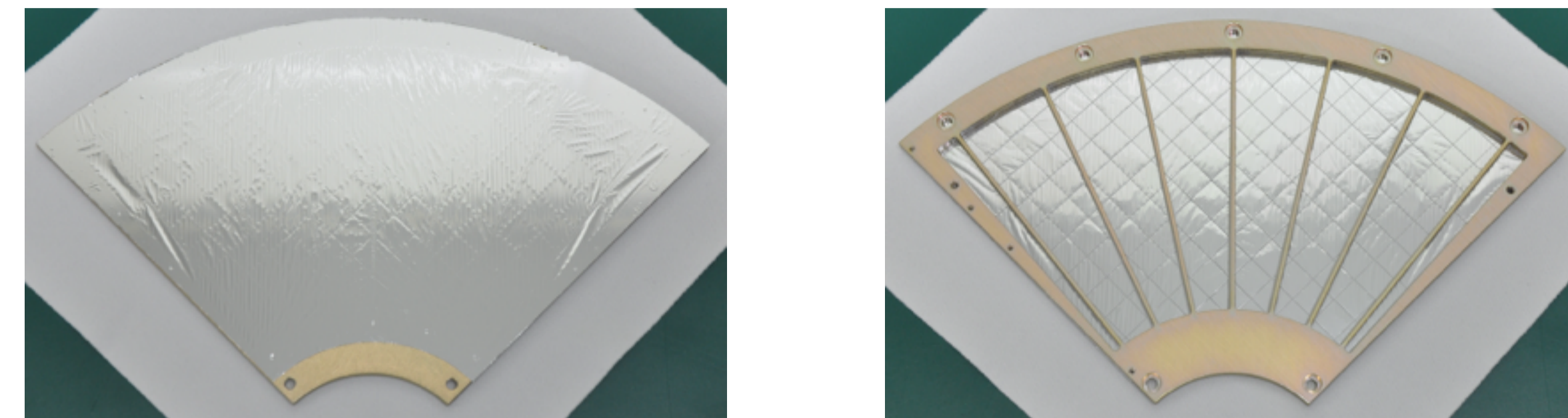
- SUS304 厚さ 250 μm、フォトリソで製作
- ピクセルサイズ: 3種類を検討 (6, 8, 10 mm 角)
- 線幅: 100 μm → 透過率 96, 98, 99%/枚
- 空力加熱の熱解析及び試作サーマルシールドの耐圧試験でピクセルサイズを決定
- 形状精度、特にピクセルの線幅を顕微鏡で確認

### フィルム・メッシュ支持アルミフレーム

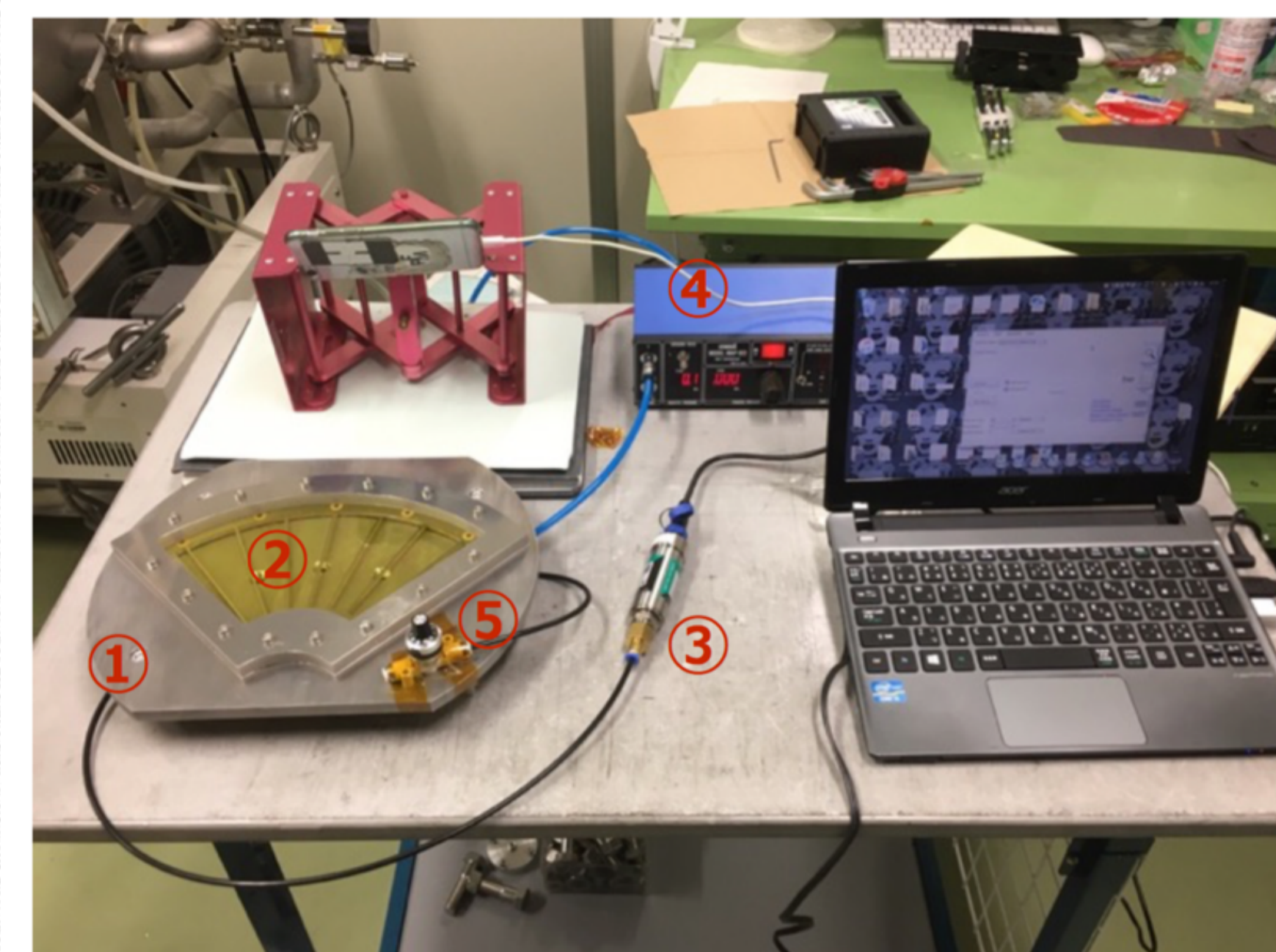
- アルミ厚は 4 mm、ワイヤカットで製作、表面はアロジウム処理
- フィルム付きメッシュをネジ及びエポキシ樹脂で固定
- 固定の品質管理: 加圧試験
- クアドラント間の隙間をアルミ板でカバー (X線迷光対策)
- カバーの取付時のフィルム破損リスクの低減が課題
- ボトムサーマルシールドの望遠鏡組み付け時のハンドリングが課題

## V. 耐音響環境性能の評価

### PRAXyS サーマルシールド・プロトモデル



### 加圧試験装置 (耐環境性能評価装置)



- ① 静加圧試験治具
- ② サーマルシールド
- ③ 圧力計
- ④ ディスペンサー
- ⑤ リークバルブ

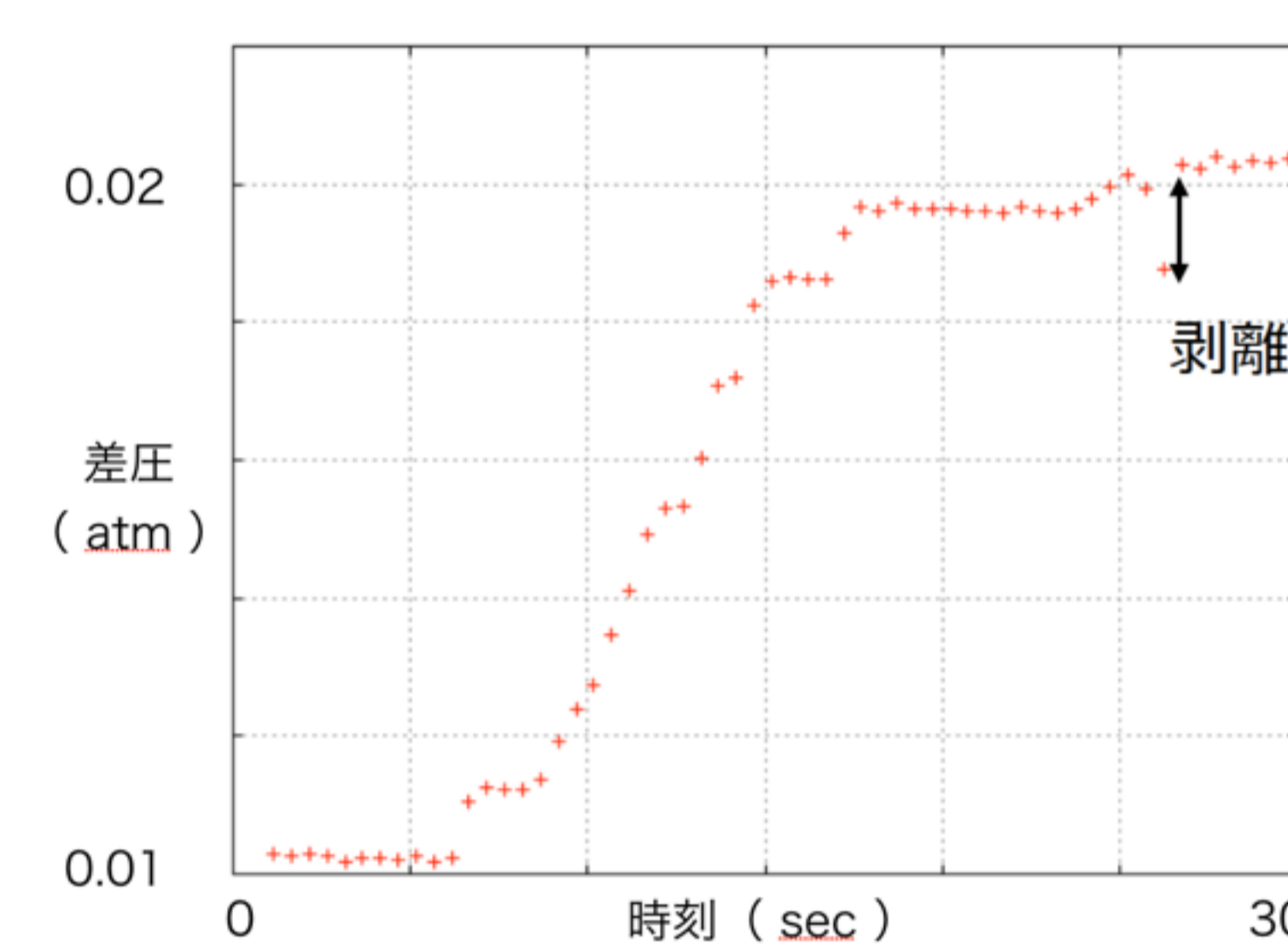
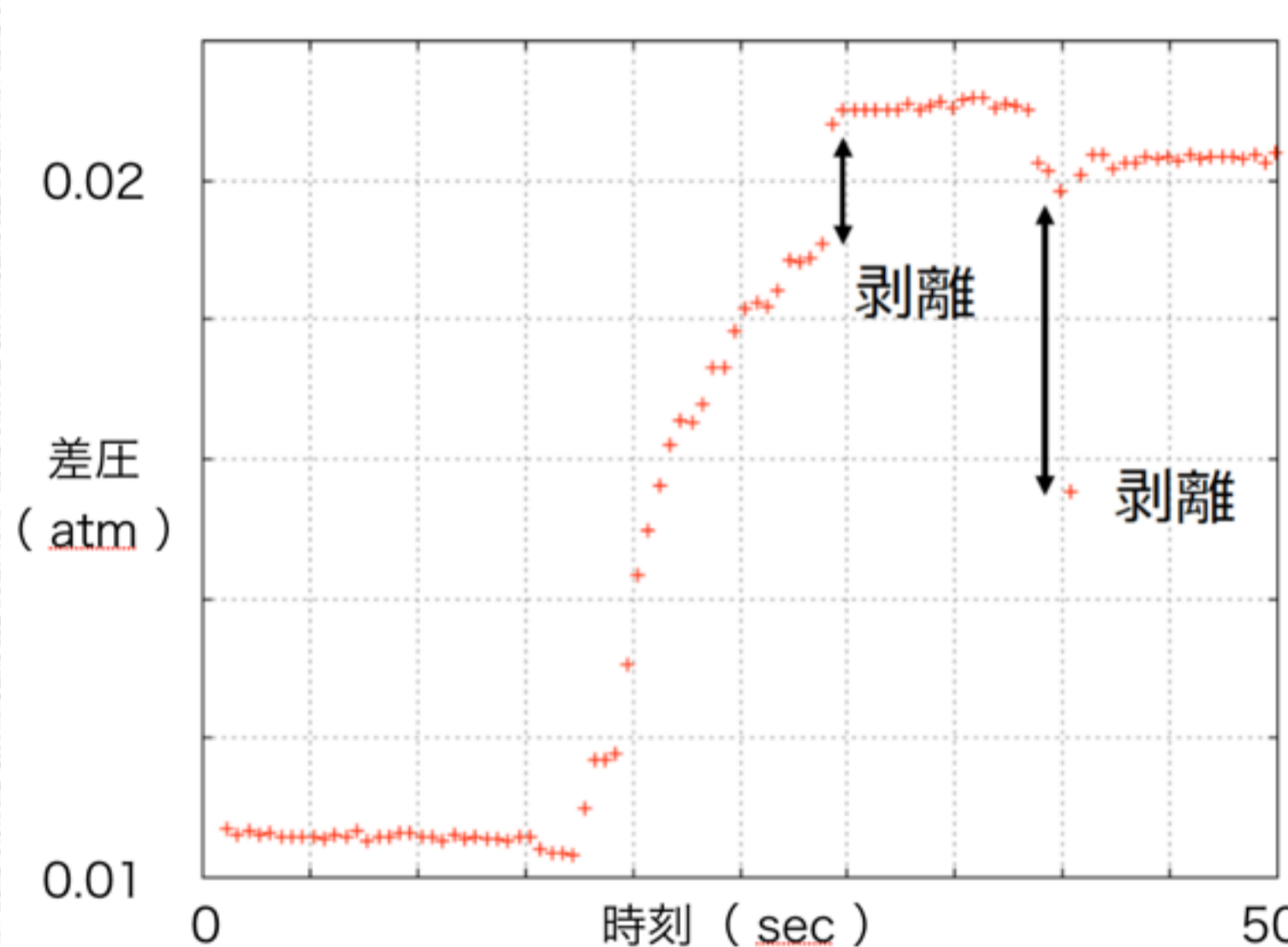
- \* ディスペンサーで空気の流入量を制御
- \* 圧力計は PC を用いてコントロール・モニター
- \* リークバルブを調節し、流出量を制御

### 加圧試験の目的

- メッシュのエポキシ固定品質の確認
- 音響環境耐性の確認
- 空力加熱に対する耐性の確認に加速試験の手段として利用
- 異なるピクセルサイズのメッシュにおけるサーマルシールドの破壊レベルの確認

6 mm 角メッシュ

10 mm 角メッシュ



- 6 × 6 mm および 10 × 10 mm メッシュ とともに 0.02 気圧付近でメッシュとアルミフレームが剥離
- \* メッシュの破壊レベルは 0.10 - 0.14 気圧、フィルムの破断は確認されなかった
- \* フィルムの引っ張り強度は 260 MPa
- NASA/GSFC が掲げる音響試験での音圧レベルは 0.002 気圧相当 → 6 mm 角および 10 mm 角メッシュともに音響試験の音圧レベルに耐えられる

## VII. まとめと今後

- PRAXyS 搭載用サーマルシールドでは打ち上げ時の空力加熱条件に合わせた設計を行い、この条件下でメッシュピクセルサイズをできるだけ大きくし透過率の向上を図ることが課題である。
- プロトタイプで加圧試験を行った結果、音響試験の音圧レベルに耐えうることがわかった。
- プロトタイプが打ち上げ時の空力加熱による温度上昇に耐えうかどうかは未確認である。
- 今後 Phase B への移行 (2017. 2) までにプロトモデルの各種試験により、メッシュサイズをはじめとしたフライトモデルのデザインを固める。

### References

[1] Jahoda, Keith M.; Black, J. Kevin; Hill, Joanne E.; Kallman, Timothy R.; Kaaret, Philip E.; Markwardt, Craig B.; Okajima, Takashi; Petre, Robert; Soong, Yang; Strohmayer, Tod E.; Tamagawa, Toru; Tawara, Yuzuru, "X-ray polarization capabilities of a small explorer mission", Proceedings of the SPIE, Volume 9144, id. 91440N 13 pp. (2014).

[2] Tawara, Y., et. al., "Development of ultra-thin thermal shield for ASTRO-H x-ray telescopes", Proceedings of the SPIE, Volume 8147, id. 814704 (2011).

[3] Tamagawa, T. et al. 「X線偏光観測衛星 PRAXyS の進捗状況」, ASJ meeting, V344a, 2016.