

P 2.70: PhoENiX/SXISに向けた高精度軟X線Wolterミラーの開発研究

坂尾太郎¹, 松山智至², 山田純平², 井上陽登², 波多健太郎², 山口浩之², 萩原拓², 中村南美², 山内和人², 香村芳樹³, 末松芳法⁴, 成影典之⁴

* e-mail: sakao@solar.isas.jaxa.jp ; 1: JAXA, 2: 大阪大学・大学院工学研究科, 3: 理研/SPring-8, 4: 国立天文台

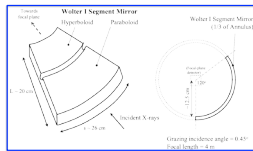
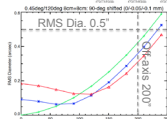
I. はじめに

- 将来の高空間分解能での高温コロナの軟X線撮像観測に向けた、高精度Wolterミラーの開発研究を進めている。
- 円環の一部(部分円環)を用いたミラーとすることで、ミラー表面への加工・計測のアクセスを容易とし、わが国の大学界・産業界に蓄積のあるナノ加工・ナノ計測技術を導入することで、太陽観測用Wolterミラーを短期・安価に国内製作する基盤技術の獲得をめざす。
- 2020年代半ばの打上げをめざす、PhoENiX小型衛星に搭載する軟X線撮像分光望遠鏡SXISへの当ミラーの適用を検討している。

II. 目標ミラー諸元

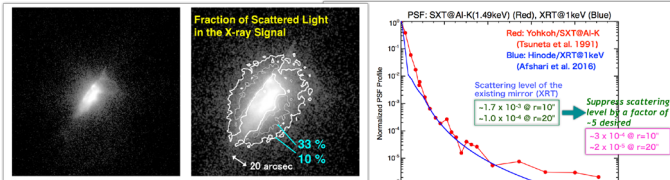
エネルギー帯:
0.5 ~ 10 keV
HPD角分解能:
< 1秒角(@2keV, 8keV)
低散乱性:
Off-axis 1分角で
PSFピークの $\leq 10^{-5}$
(@8keV)
幾何学的面積:
1.5 cm²程度(TBD)

Off-Axis
結像性能
(幾何光学
評価による)



目標外形寸法。最終的に目標とする衛星搭載ケースのもの(焦点距離4mの場合)。

- 本研究で目標とするミラー諸元を上にも示す。特徴は:
 - ✓ Chandraと同程度の高精度ミラーの国産開発
 - ✓ 太陽フレア粒子の非熱化過程解明の鍵を握る、~10 keVまでのエネルギーカバー
 - ...光子計測型検出器との組み合わせで**太陽フレア観測に新機軸**
 - ✓ 過去最高レベルの低散乱光性能 - 特にoff-axis角10''-20''の領域



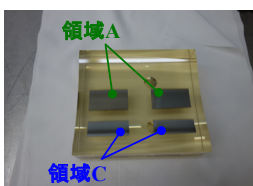
ポストフレアループ上空のX線信号に対する散乱光の混入率

III. ミラー試作

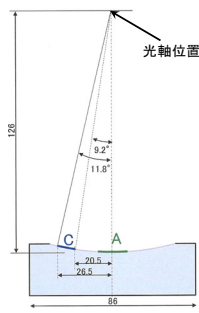
- 研磨方針の策定と試作研磨、X線評価計測による課題の抽出と研磨方針の改訂、というサイクルにより、着実に性能向上を進めている。
- 研磨・計測機とほぼ正対した右図Aの領域について、良好な結像性能を持つWolter面を創成したのにつき、**円環方向へのミラー有効領域拡大**をめざし、右図Cの領域の研磨とX線評価計測を実施した。

試作ミラー概要(領域C)

- ✓ 放物面・双曲面の各面それぞれ32.5 mm(光軸方向) × 6 mm(幅方向)の領域を精密研磨。傾斜角約10°。
- ✓ 斜入射角0.45°、焦点距離4m。
- ✓ 反射面は Ir 50 nm + Cr のコーティング。
- ✓ 形状修正研磨(MRF)+平滑化研磨。



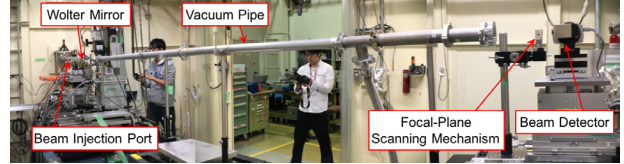
試作ミラー(成膜後)



試作ミラーの光軸直交面内の断面図

V. 試作ミラーのX線評価計測

- SPring-8/BL29XULにて8 keV X線を用いた結像性能評価計測。

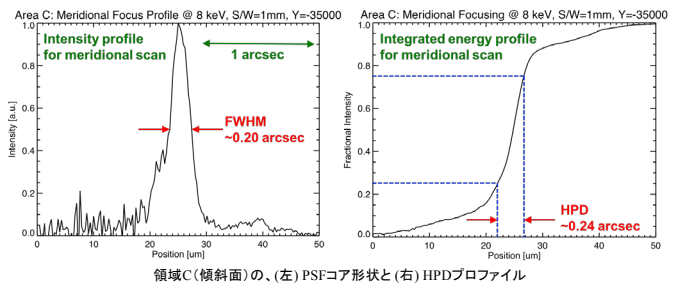


測定系の概観。

- 結像性能:

8 keVの平行X線に対して、傾斜角約10°の領域Cの結像性能は、ほぼ水平な領域Aに比べて下記のように多少劣るが、**良好な性能**を示した。
(【 】内は領域Aの性能)

- ✓ **FWHM ~0.20秒角** 【~0.1秒角】 [*: ほぼ回折限界値]
- ✓ **HPD ~0.24秒角** 【~0.2秒角】 ※数値はいずれも面外集光での値
- ✓ 面外集光において、50 mm程度の焦点距離ずれ(非点収差の存在)
 - Sag量で1 nm程度の形状誤差に対応
 - **非点収差は存在するが、結像性能を大きく損なわない**

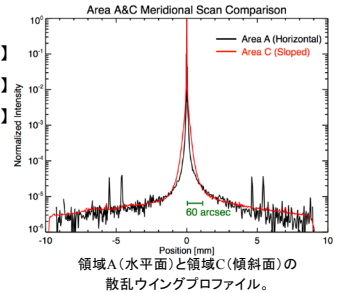


領域C(傾斜面)の、(左) PSFコア形状と(右) HPDプロファイル

- ✓ **散乱光レベル**

- ~1 × 10⁻³ @ 10'' off-axis [~3 × 10⁻⁴]
- ~2 × 10⁻⁴ @ 20'' off-axis [~5 × 10⁻⁵]
- ~1 × 10⁻⁵ @ 60'' off-axis [~1 × 10⁻⁵]

8 keV X線では目標に若干達していないが、**散乱光の主成分となる明るいポストフレアループからの~1 keV X線に対しては、ほぼ目標値に達している**と期待される。



領域A(水平面)と領域C(傾斜面)の散乱ウイングプロフィール。

VI. まとめと今後

- 現行の研磨・計測手法でミラー円環方向に傾き角10°程度の領域まで良好に加工できることを確認した。
- これにより、**円弧角20°までミラー有効領域を拡大する目処が立った**。複数(6枚)のWolterミラーを用いることで、PhoENiX/SXISに必要な1.5 cm²程度の幾何学的面積を確保することが可能。
- 現在、ミラー研磨・計測の高速化手法ならびに、ミラー精密保持手法の検討を進めている。

謝辞

本研究は、ISAS/JAXA宇宙理学委員会・戦略的開発研究経費、科研費・挑戦的萌芽研究24654053、同・基盤研究(A)26247031、およびISAS科研費獲得補助制度の支援を受けて進めている。