

g03-3: PhoENiXに向けた高精度軟X線Wolterミラー開発研究の現状

坂尾太郎^{*1}, 松山智至^{2,3}, 井上陽登³, 波多健太郎³, 萩原拓³, 中村南美³, 西岡柚香³, 田中優人³, 山内和人³, 山田純平^{3,4}, 香村芳樹⁴, 末松芳法⁵, 成影典⁵

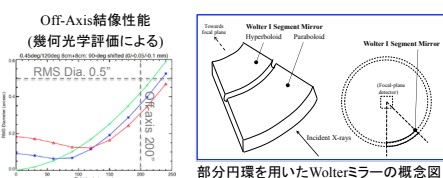
* e-mail: sakao@solar.isas.jaxa.jp ; 1: JAXA, 2: 名古屋大学・大学院工学研究科, 3: 大阪大学・大学院工学研究科, 4: 理研/SPring-8, 5: 国立天文台

I. はじめに

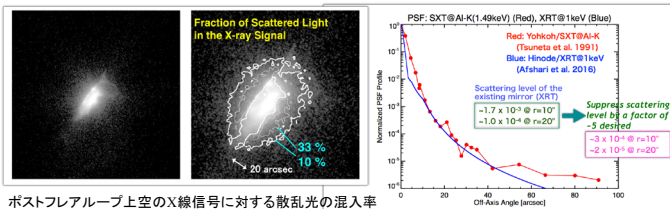
- 将来の高空間分解能での高温コロナの軟X線撮像観測に向けた、高精度Wolterミラーの開発研究を進めている。
- 円環の一部(部分円環)を用いたミラーとすることで、ミラー表面への加工・計測のアクセスを容易とし、わが国の大学界・産業界に蓄積のあるナノ加工・ナノ計測技術を導入することで、太陽観測用Wolterミラーを短期・安価に国内製作する基盤技術の獲得をめざす。
- 2030年代の打上げをめざす、PhoENiX小型衛星に搭載する軟X線撮像分光遠鏡SXISへの当ミラーの適用を検討している。

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:
~3 × 10⁻⁴ @ 10" (goal)
~2 × 10⁻⁵ @ 20" (goal)
幾何学的面積:
1.5 cm²程度



- 本研究で目標とするミラー諸元を上に表示。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レッジ
 - …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



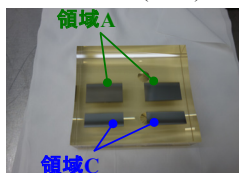
ポストフレアループ上空のX線信号に対する散乱光の混入率

III. ミラー試作と計測

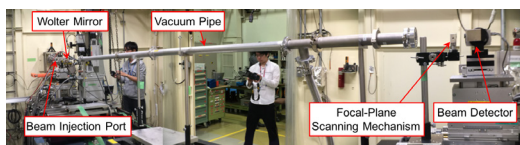
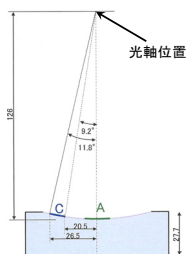
- 研磨・計測機とほぼ正対した右図Aの領域について、良好な結像性能を持つWolter面を創成したのにつき、**円環方向へのミラー有効領域拡大**をめざし、右図Cの領域の研磨とX線評価計測をSPring-8で実施。

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4 m。
- ✓ 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。



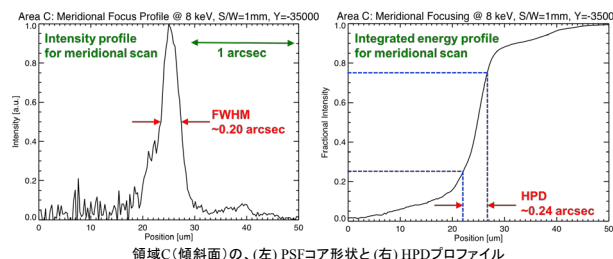
左: 試作ミラー(成膜後)
右: 試作ミラーの光軸直交面内の断面図



SPring-8/BL29XUL測定系の概観

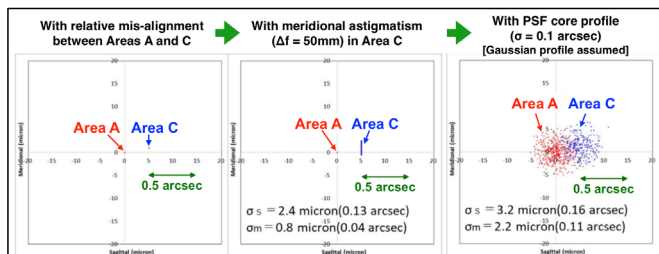
V. 試作ミラーのX線評価計測結果

- SPring-8/BL29XULにて8 keV X線を用いた結像性能評価計測を実施。
- 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に比べやや劣るが、**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



- ✓ 散乱光レベル
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。

- ✓ 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
 - 非点収差が若干存在するが、結像性能を大きく損なわない



領域AとCにX線を同時に照射した際に予想される焦点面の集光分布(検出器をミラーの設計焦点位置に置いた場合)。(左)領域A・Cの姿勢ずれ(同一円環上からのずれ)による集光分布。(中)領域Cに非点収差があることを加味した集光分布。(右)さらに領域A・CそれぞれのPSFコア形状をGaussianと近似して、像ボケ分を加えた集光分布。A・Cからの集光分布全体でもσ<0.2秒角(FWHM 0.3秒角程度)の結像性能が期待される。

- ✓ 別個に研磨した領域Cは領域Aに対して**同一円環上に良好に創成されており**、同時に研磨する際にはさらに良い一致が期待される。

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。
- ミラー研磨・計測の高速化手法とミラー精密保持手法の検討を実施中。

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。