

超小型衛星搭載を目指した高感度 X 線観測装置の開発 (3) : 光線追跡シミュレーションによる反射鏡アライメント誤差の影響評価

○船濱 僚太¹ 吉田 有佑¹ 吉原 諒¹ 石田 大和¹ 田口 和樹¹ 田中 良磨¹ 中川 雄登¹ 宮原 大知¹ 安福 千貴¹ 吉平 圭徳¹ 叶 哲生¹ 石田 直樹¹ 加藤 渉¹ 安藤 花菜¹ 作田 皓基² 谷津 陽一³ 萩野 浩一⁴ 三好 由純⁵ 浅村 和史⁶ 山崎 典子⁶ 玉川 徹⁷ 成影 典之⁸ 井上 良隆⁹ Okajima Takashi¹⁰ 田村 啓輔¹⁰ 宮田 喜久子¹¹ 山口 豪太⁷ 毛利 柊太郎⁴ 久米 健大¹² 松澤 雄介¹² 今村 洋一¹² 齋藤 貴宏¹² 平栗 健太郎¹² 橋爪 寛和¹² 三村 秀和^{4,7} 三石 郁之¹ (1.名古屋大学 2.東北大学 3.東京科学大学 4.東京大学 5.名古屋大学/ISEE 6.JAXA/ISAS 7.理化学研究所 8.国立天文台 9.IMV 株式会社 10.NASA/GSFC 11.名城大学 12.夏目光学株式会社)

我々は、日米共同の太陽観測ロケット実験 FOXSI-4 において、世界初の太陽フレアの X 線撮像分光観測を実現した高角度分解能 X 線望遠鏡を開発してきた。打ち上げ後は、超小型衛星など低コスト・短期間で開発可能な超小型衛星等の小型飛翔体への搭載を見据え、高性能 X 線観測装置の開発を進めている (2025 年春季年会 吉原他)。本装置では、限られたリソースで有効面積を確保するため、シェル型反射鏡を同心円状に複数配置するネスト化構造を採用している。これまで独自の光線追跡シミュレータにより、理想配置された単一反射鏡および複数反射鏡全体の結像性能・有効面積を評価し、結像性能劣化の非光軸角依存性が大きいことを確認した (2026 年春季年会 石田他)。一方、実際の反射鏡組み合わせ工程では、光の入射方向に加え、各反射鏡の並進・回転方向のアライメント誤差についても結像性能や有効面積を劣化させる可能性がある。この影響を定量的に評価することは、反射鏡組み立て精度の要求値を決定する上でも重要である。

そこで今回我々は、まず反射鏡の並進方向のみのアライメント誤差が結像性能に与える影響を評価した。焦点距離 250 mm、全長 200 mm、口径 40 mm および 60 mm の 2 枚の反射鏡を対象とし、各反射鏡について、検出器面上の直交 2 軸方向に位置ずれを与えた。位置ずれは、アライメント誤差なしの場合の結像位置を平均値とし、各軸独立に与えた標準偏差 σ の正規分布に従うものとした。そのうえで、各反射鏡による結像を重ね合わせ、FWHM および HPD を指標として結像性能を評価した。その結果、 $\sigma=100\ \mu\text{m}$ の場合には FWHM・HPD (Half Power Diameter) とともに約 5 分角、 $\sigma=300\ \mu\text{m}$ の場合には約 10 分角、 $\sigma=500\ \mu\text{m}$ の場合には約 15 分角の劣化が見られ、結像性能の劣化はアライメント誤差の大きさに対して概ね線形に増加することが示唆された。

今回の評価では、反射鏡形状は理想的であると仮定した。今後は、反射鏡の形状誤差や回転方向の誤差を含めた、より実際の組み立てに近い条件で評価を進める。本講演ではアライメント誤差評価の手法と評価結果について報告する。