

ピエゾ・アクチュエータを用いた X 線望遠鏡の光学調整

黒田 祐司

(名古屋大学理学研究科 宇宙物理学研究室 X 線グループ M1)

1 概要

我々の研究グループでは、2014 年打ち上げ予定の次期 X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載 硬 X 線望遠鏡 (HXT) の開発を行っている。ASTRO-H/HXT は、厚さ 0.2mm の薄型反射鏡を合計 1278 枚搭載する事で高い集光力を得る事の出来る望遠鏡である。このような望遠鏡を多重薄板型 X 線望遠鏡という。搭載される反射鏡は、アライメント・バーと呼ばれるクシの歯状の溝が刻まれた支持棒を用いて望遠鏡本体に支持される (Fig. 1)。

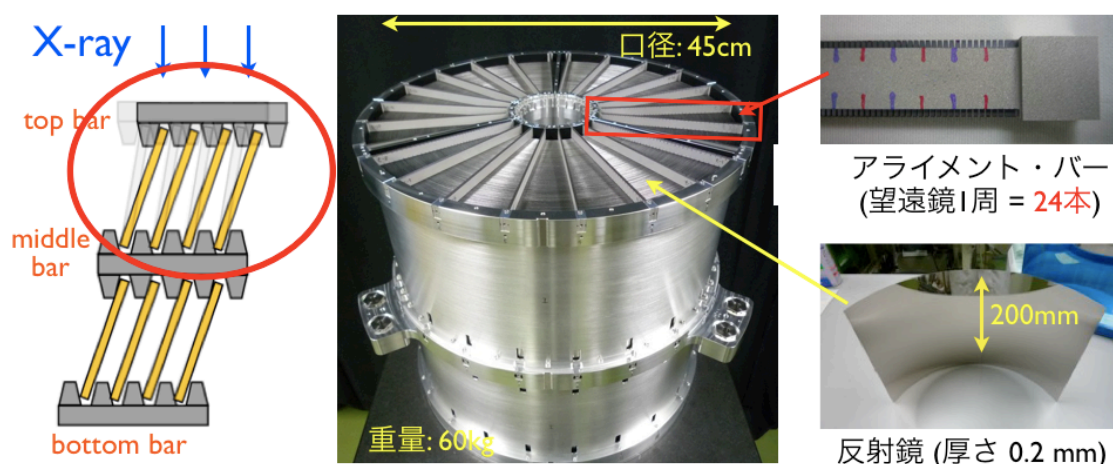


Fig. 1 硬 X 線望遠鏡、反射鏡、アライメント・バー (トラペより抜粋)

X 線望遠鏡の性能を示す指標の一つに結像性能がある。多重薄板型 X 線望遠鏡の開発においては、結像性能を向上させる事が重要な課題である。これを決める要因は幾つかあるが、一つには望遠鏡のアライメント・バー位置決め調整がある。

硬 X 線望遠鏡 (HXT) は上下 2 段に分かれて反射鏡が搭載され、反射鏡の上下からアライメント・バーを用いて支持する。望遠鏡組み上げ時のアライメント・バーはそれぞれ、動径方向に対して $100\mu\text{m}$ 程度の位置決め誤差をもっている。この誤差は、X 線の焦点面集光像に非対称な広がりを引き起こし、結像性能の低下を招く。そのためアライメント・バーの動径方向位置決め誤差に起因する集光像の非対称性を軽減することが重要であり、この調整は光学調整法を用いて行われる。

光学調整法は従来から用いられており、触針式変位計を用いてアライメント・バーの位置を取得し、これを設計位置へと手動調整するものであった。この方法では、アライメントバーの位置決め誤差を $15\mu\text{m}$ 程度まで低減できる一方で、全てのアライメント・バーの調整に 2 週間程度を要しており、調整の効率面が課題であった。そこで今回は、ピエゾ・アクチュエータを導入する事により、特に光学調整の効率化を目指した。

2 ピエゾ・アクチュエータ

ピエゾ・アクチュエータは、圧電効果を利用した精密位置決め装置である (Fig. 2)。PiezoMotor 社のピエゾ・アクチュエータは 4 本の legs と、その頂点に接触した 1 本の rod とで構成される。1 本の legs は圧電効果を示す素子 (圧電素子) の 2 枚張り合わせの構造を持ち、それぞれに独立な電圧を加える事が出来る。ここに加える電圧を制御し、legs の伸縮運動、屈曲運動を利用する事で、rod を押し出して位置決めを行う。

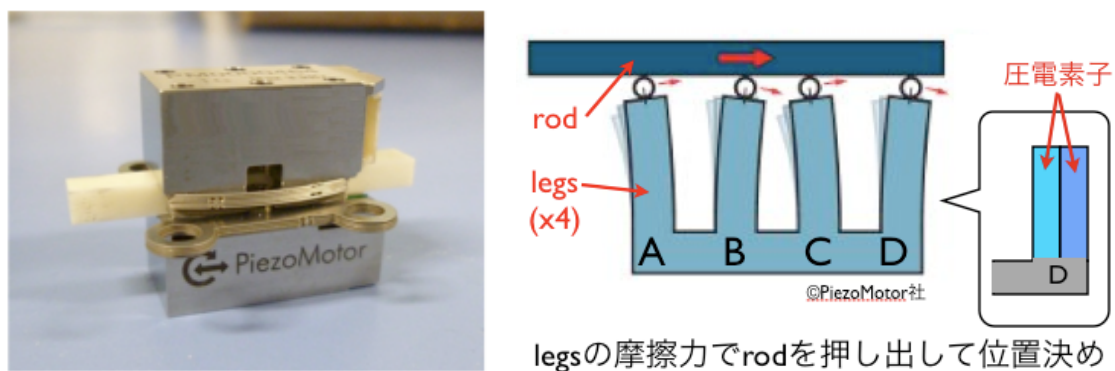


Fig. 2 ピエゾ・アクチュエータ (左) とその動作モデル (右)

ピエゾ・アクチュエータを望遠鏡外周に取付け、アライメント・バーと rod を専用のツメ状治具で固定する。これによりピエゾ・アクチュエータの動作とアライメント・バーの移動を連動して行う事が出来、バーの位置決め調整を電動的に行う事が出来る (Fig. 3)。

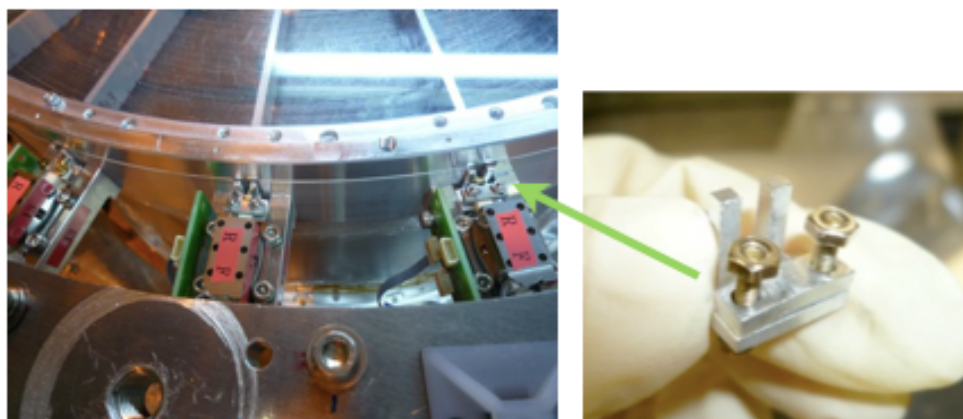


Fig. 3 望遠鏡外周に取付けられたピエゾ・アクチュエータ (左) と専用のツメ状治具 (右)

3 ピエゾ・アクチュエータを用いた光学調整

ASTRO-H 搭載 硬 X 線望遠鏡 (HXT) の光学調整は、兵庫県にある放射光施設 SPring-8/BL20B2 ビームラインに於いて、2012 年 4-5 月にかけて行われた。測定系のセットアップを以下に示す (Fig. 4)

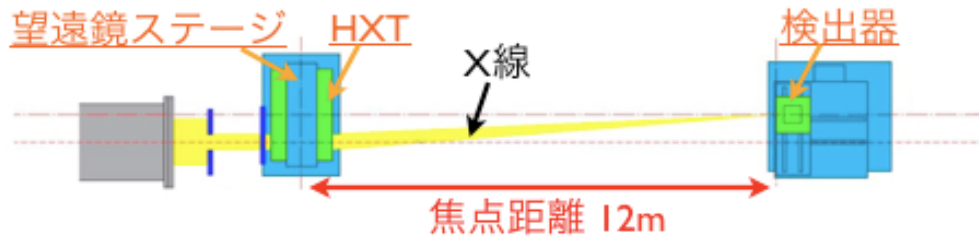


Fig. 4 測定系のセットアップ

光学調整の手順を次に示す。

1. ピエゾ・アクチュエータの取付け
2. HXT を望遠鏡ステージに搭載
3. 望遠鏡の機械軸出しを行い、平行 X 線が入射するように調整
4. アライメント・バーの位置測定、補正量算出
5. ピエゾ・アクチュエータを用いたアライメント・バーの位置調整

その後は、4. と 5. を繰り返す事で、アライメント・バーを規定の位置へと追い込む。

従来の光学調整法においてアライメント・バーの手動位置調整を行うためには、HXT を望遠鏡ステージから取り外す必要があった。このためアライメント・バーの調整を行うたびに、2. から 5. の手順を繰り返す必要がある事が、調整の長時間化を招いていた。ピエゾ・アクチュエータを用いた光学調整法では、HXT を望遠鏡ステージに取付けた状態での電動的なアライメント・バー位置調整が可能であり、調整手順の一部が省略可能である。

ピエゾ・アクチュエータを用いた光学調整の利点としては、以下の点が上げられる。

- 手動調整を行う場合、アライメント・バー位置調整の度に HXT を取り外す必要がある。今回はその必要がないため、2. と 3. の手順を省略できる。
- HXT に X 線を照射した状態でのアライメント・バー調整が可能となり、バーの影を見ながら位置調整が出来る。
- アライメント・バーの調整を電動的に行う事が出来るため、調整の再現性向上が見込める。

4 光学調整の結果

光学調整は、middle bar、bottom bar、top bar の順番で行った。ここでは、最終的な光学調整結果である、top bar の調整結果について述べる。

4.1 アライメント・バーの位置測定と補正量算出

HXT 開口面の扇形領域に X 線ビームを当て、方位各方向に回転させて測定を行う (Fig. 5)。ここで得られた各方位角の集光像から、像の重心位置と本来結像すべき検出器中心位置との差を評価する。ここで像の重心位置の検出器中心からのずれ (δr arcmin) と、アライメント・バーの移動量 ($\Delta \mu\text{m}$) の関

係は、

$$\Delta \mu\text{m} = 29.1 \times \delta r \text{ arcmin}$$

である。これをアライメント・バーの位置補正量とした。

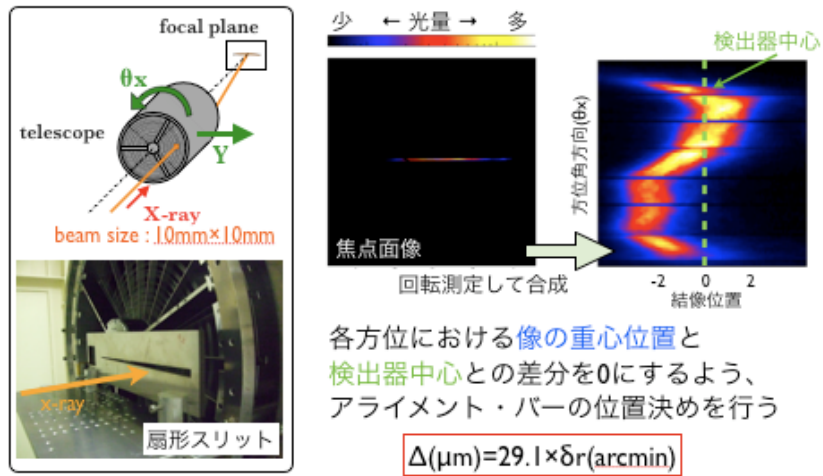


Fig. 5 アライメント・バーの位置測定と補正量算出 (トラペより抜粋)

アライメント・バーの現在位置は、アライメント・バーに設計された三角形の突起を用いて取得する。三角形の突起は望遠鏡中心に対してその位置が規定されている。HXT に X 線を照射した際の突起の影位置を取得し、これを規定位置に合わせるようにアライメント・バーの位置調整を行う。

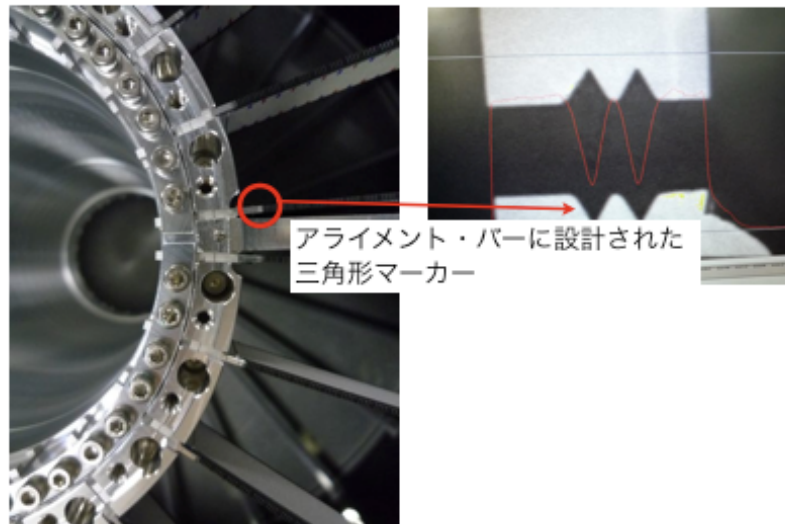


Fig. 6 アライメント・バーの突起 (トラペより抜粋)

4.2 調整結果

Top bar の調整結果を示す (Fig. 7)。アライメント・バーの調整を計 4 回行い、動径方向の位置決め誤差を $-0.2' \sim +0.3'$ に抑えた。また今回の調整は約 1 週間で終える事ができた。

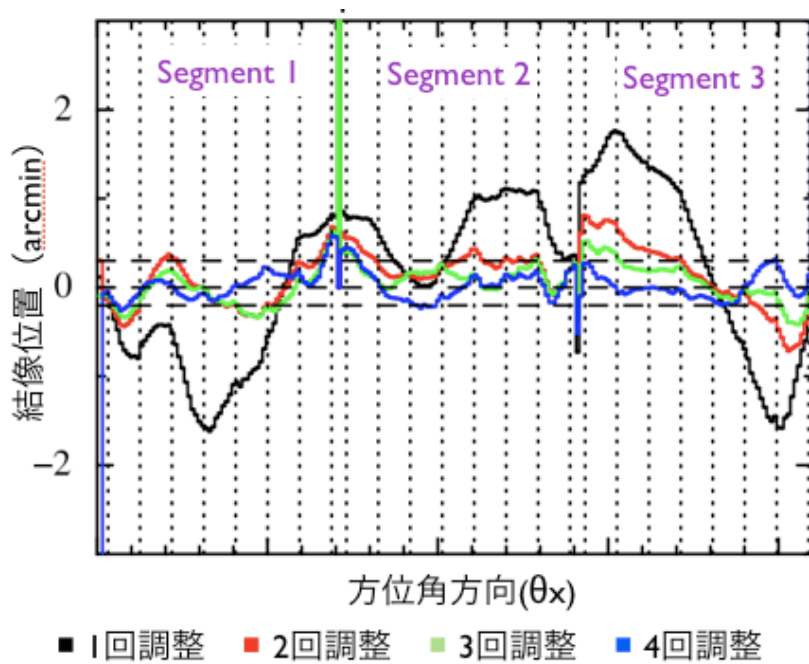


Fig. 7 top bar の調整結果

5 まとめ

従来の光学調整法において課題であった光学調整の効率化を目的として、ピエゾ・アクチュエータを用いて HXT1 号機の光学調整を行った。調整の結果、動径方向の位置決め誤差を $-0.2' \sim +0.3'$ に抑える事が出来、調整も約 1 週間以内に終える事が出来た。従来の調整では位置決め誤差 $\pm 0.5'$ 、調整期間が約 2 週間であったことと比較すると、ピエゾ・アクチュエータを用いた光学調整により、調整の効率化と高精度化を達成できたと言える。