

## ASTRO-H 搭載硬 X 線望遠鏡 2 号機の光学調整

佐治 重孝 (名古屋大学大学院 理学研究科)

### Abstract

現在、名古屋大学では X 線天文衛星 "ASTRO-H" に搭載する硬 X 線望遠鏡の製作を行っている。この望遠鏡の 2 号機について、光学調整を SPring-8 の BL20B2 で行った。

実際に望遠鏡に X 線を照射することで、像の位置から反射鏡の角度を求めることができる。その角度を設計値に合わせるようにして調整した。この調整は圧電素子を利用した "ピエゾアクチュエータ" を使い、反射鏡を支持しているバーを動かして行った。その結果、設計値からの反射角のずれは、望遠鏡開口部のどの扇形の領域についてもほぼ 0.2 分角以内に収まり、1 号機 (HPD=1.9 分角) と同等の結像性能を達成した。

### 1 硬 X 線望遠鏡

現在、名古屋大学では 2015 年打ち上げ予定の次期 X 線天文衛星 "ASTRO-H" に搭載する硬 X 線望遠鏡 (Hard X-ray Telescope, HXT) の製作を行っている。この衛星には HXT を 2 台搭載することになっており、今年、このうち 2 台目の組み立て・調整を行っている。

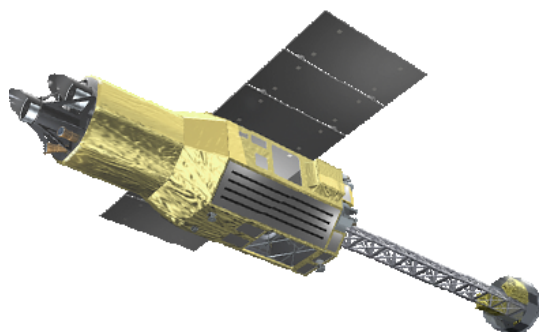


図 1: X 線天文衛星 ASTRO-H

硬 X 線は非常に透過力が強いので、可視光望遠鏡等で用いられる直入射光学系では集光することができない。そのため、X 線望遠鏡では非常に浅い角度で反射・集光する、図 2 のような斜入射・2 回反射の光学系が用いられる。

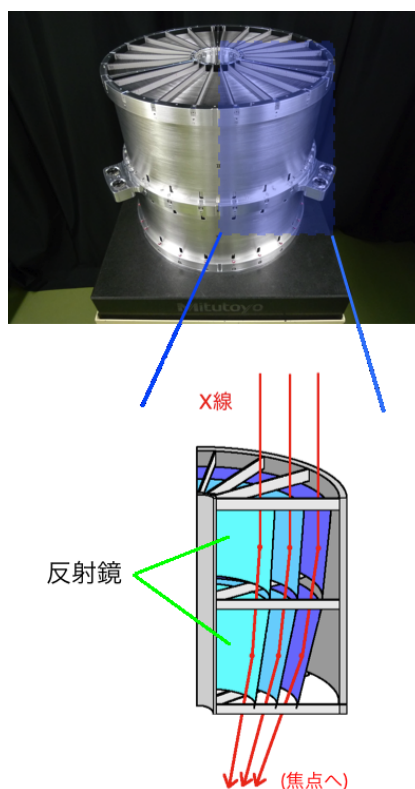


図 2: 硬 X 線望遠鏡 2 号機 (HXT2) と、その構造

理想的な光学系では 1 段目の反射鏡は回転放物面、2 段目は回転双曲面を用いるが、製作が困難であるため、HXT では両段とも円錐形となっている。また、薄い反射鏡を同心円状に 213 層重ねることで、大きな有効面積を実現している。これらの鏡は櫛状

のバーで上・中・下の 3 点で支持されている。(図 3、図 4)

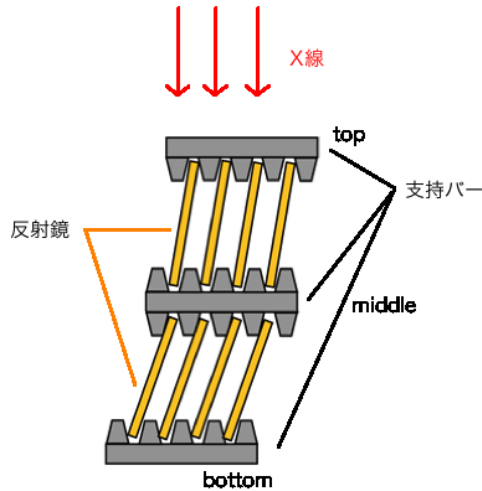


図 3: 反射鏡の支持方法



図 4: 支持バー：上下が歯の歯状になっている

理想的な望遠鏡では点光源からの平行光は 1 点に集められるが、実際には製作精度等のために像は有限の広がりをもつ。HXT において、この結像性能を劣化させる要因は大きく分けて以下の 4 つがある。

1. 光学系円錐近似  
反射鏡を、放物面・双曲面から円錐形に近似したことで像が広がる
2. 動径方向の調整誤差  
バーの動径方向の位置がずれることで反射鏡の傾きが変わり、像の位置が変化する
3. 反射鏡の鏡面形状誤差  
反射鏡の歪みにより、反射光が広がりを持つ
4. 反射鏡位置決め誤差  
支持バーの溝幅は反射鏡よりもやや広いため、遊びがあり、反射角にずれが生じる

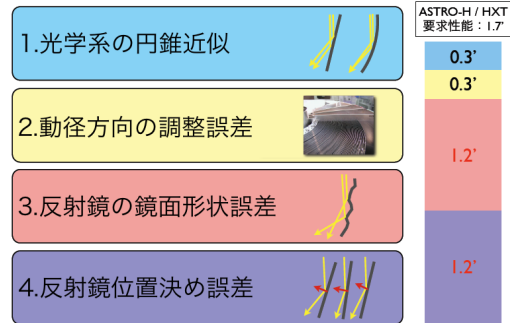


図 5: 結像誤差の要因

これらのうち、2.(動径方向の誤差)は望遠鏡を組み立てる段階で調整することが可能である。

HXT に求められる結像性能を満たすためには、この誤差による反射角のずれを 0.3 分角以内に抑えなければならない。これは、バーの位置を設計値から  $\pm 10 \mu\text{m}$  以内に収めることに相当する。これを組み立て時に達成することは不可能であるため、組み立て後実際に X 線を照射し、その反射像を見ながら適切な位置へ移動させる。

## 2 光学調整の方法

バー位置の調整は、大型放射光施設“SPring-8”の BL20B2 で行った。望遠鏡に X 線を照射し、反射鏡の角度が本来の位置からどれだけずれているかを測定、その結果に基づいてバーの位置を調整した。(詳しい過程は以下で述べる。)

調整は、ピエゾアクチュエータを用いて行った。

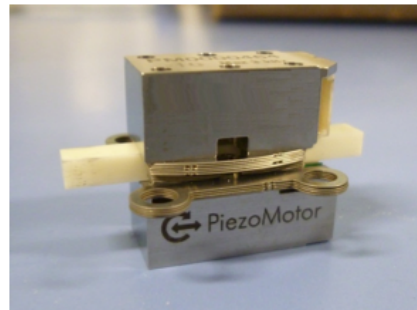


図 6: ピエゾアクチュエータ、肌色のロッドが左右に移動する

これは圧電素子を利用したアクチュエータであり、 $\mu\text{m}$  オーダーでの位置調整が可能である。このロッドの先端をバーに固定し、動径方向に動かすことで鏡の傾き調整を行う。バーの調整は、中央 → 下段 → 上段 (図 3 参照) の順に行った。

## 2.1 中段バーの調整

まず、中段のバーの位置調整を行った。バーについた突起が設計値と一致するように位置を調整した。(図 7)

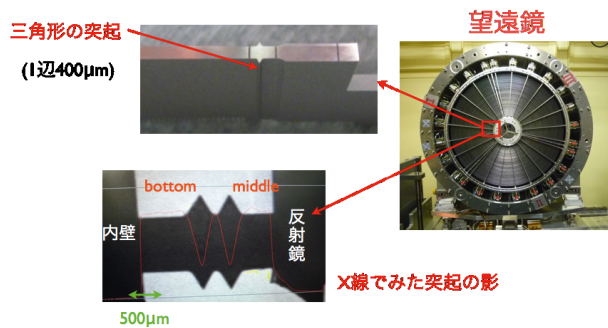


図 7: 突起の位置を設計値に合わせる

はじめに突起の位置を測定し、その結果を基に、ピエゾアクチュエータでバー位置を設計値に近づけるように移動させた。(図 8)

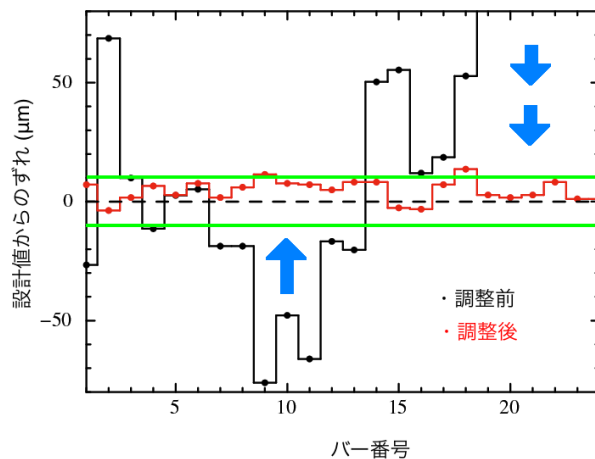


図 8: 中段バーの調整

黒線・赤線は、それぞれ調整前・調整後のバーの突起位置と設計値とのずれである。

調整前は最大で  $100 \mu\text{m}$  以上のずれがあったが、調整を行った結果、24 本のバーの位置は設計値に対してほぼ  $\pm 10 \mu\text{m}$  (図 8、緑線) 以内に収まった。突起の位置を測定する際に使用している検出器のピクセルサイズは約  $10 \mu\text{m}$  であり、これ以上正確に位置を決定するのは困難である。

## 2.2 下段バーの調整

中段のバーを固定した後、望遠鏡下面のバーを調整した。上下 2 段のうち下段のみ反射鏡が収められた状態で、その反射像を用いて調整を行った。望遠鏡の一部、扇形の領域に X 線を照射し撮像すると像は図 10 のようになる。反射鏡の傾きは、この像の左右の移動に反映される。

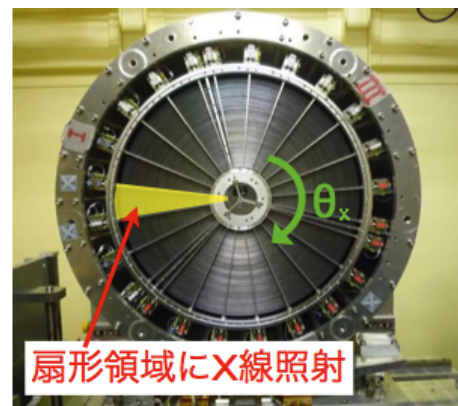


図 9: 望遠鏡と X 線照射領域

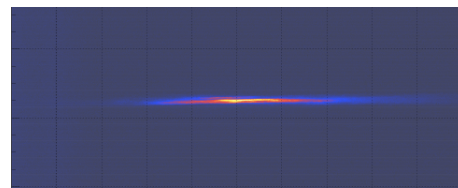


図 10: ある角度  $\theta$  で得られた像

この撮像を、望遠鏡を 360 度回転させながら行うことで角度ごとの像を得ることができる。(図 11)

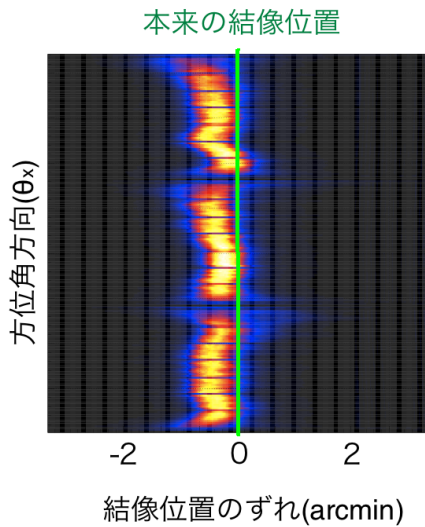


図 11: 下段バー調整前の反射像：全体的に右側へ動かす必要があることが分かる

像の左右方向の位置から、角度 ( $\theta_x$ ) ごとに鏡の傾きを逆算し、設計値とのずれを修正するようにバーの位置調整を行った。

調整の結果、反射角のずれはほぼ 0.3 分角以内に抑えられた。(図 12、赤線)

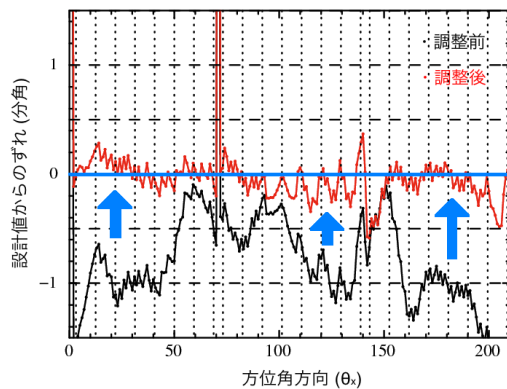


図 12: 調整前後の、像の重心位置；  
黒線は、図 11 の像の重心位置に対応する

### 2.3 上段バーの調整

中段・下段のバーを固定し、反射鏡を 2 段とも取めたうえで下段バーと同様の方法で調整を行った。

上段バー調整後の像の中心位置を図 13 に示す。

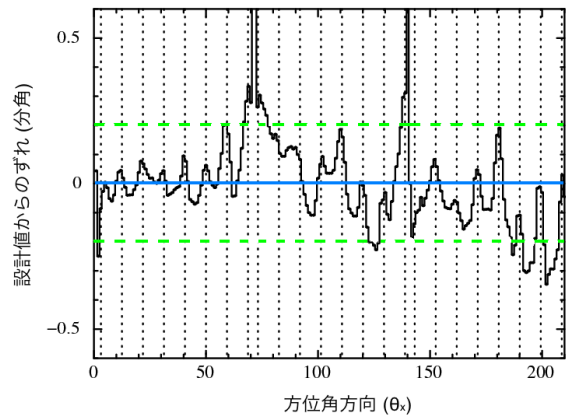


図 13: 上段バー調整後の像の中心位置

理想的な反射角からのずれは、ほぼ  $\pm 0.2$  分角に取められた。

## 3 調整結果

すべてのバーの位置の調整を行った結果、目標であった”反射角のずれ 0.3 分角以内”を、ほぼ全ての扇形領域で達成することができた。(図 13 参照)

昨年に同様の方法で調整を行った HXT1 号機と同程度の精度で調整できており、結像性能も、HPD(全光量の半分が入る円の半径)で 1.9 分角の 1 号機と同等の水準を実現した。

## 4 今後

今後は、望遠鏡の前面にプレコリメータ(光軸から大きく外れた余分な X 線の侵入を防ぐための装置)を搭載し、性能評価を行う。また、打ち上げ時に想定される振動や音響を実際にかかる試験を行い、異常が現れないことを確認する予定である。

そして、2015 年に HXT1 号機と併せて ASTRO-H に搭載され、打ち上げられる予定である。