

高角分解能多重薄板積層型X線望遠鏡の研究・開発

早川 彰, 井上 智暁(都立大), 伊藤 啓(宇宙研), 林 篤志, 清水 智央, 石田 学(都立大), ほかISAS XRTチーム

1. はじめに

X線望遠鏡には極端な斜入射光学系が必要となるため、高い角分解能と広い有効面積を同時に実現するのは困難とされてきた。しかし、初期宇宙や遠方の天体の詳細な観測には、大面積と高角分解能をあわせ持った望遠鏡の存在が不可欠である。日本の5番目のX線天文衛星Astro-E2に搭載されるX線望遠鏡は、レプリカ法を採用することで厚さ170μmという非常に薄い反射鏡を、多数枚密に積層することにより広い有効面積を実現している。しかし、薄い反射鏡を用いることによる鏡面形状の劣化や、密に積層することによる位置決定精度の低下により、角分解能は光学系の設計値である19秒角から1.8分角程度まで大きく低下してしまっている。それを承け、我々は多重薄板積層型の望遠鏡に改良を加え、大きな有効面積を保持したまま反射鏡鏡面形状と位置決定誤差を同時に補正する事ができる新しい反射鏡支持方式の開発を行っている。

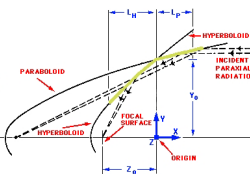
本ポスター講演では、新支持方式による角分解能の向上の可能性について説明し、現状と問題点、今後の課題について論じる。

2. X線望遠鏡とは？

- 1) X線はほとんどの物質で屈折率-1となり、極端な斜入射(≦3°)でなければ全反射を得られない。
→ 回転放物面と回転双曲面からなるWolter-I型光学系を採用。
- 2) 斜入射光学系(Wolter-I型光学系)を採用しているため、有効面積が小さい。



- 反射鏡を同心円状に多数枚配置することで解決。
- Astro-E2に採用されているような、反射鏡を薄くし、非常に多数枚積層した望遠鏡を、**多重薄板型X線望遠鏡**と呼ぶ。



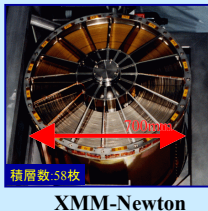
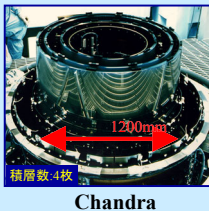
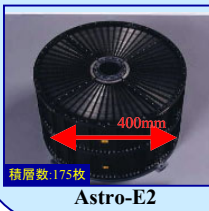
3. X線望遠鏡の種類と性能

Wolter-I型光学系を採用している代表的なX線望遠鏡として下図に示した3つの衛星の望遠鏡をあげることが出来る。以下に各望遠鏡の長所と欠点を挙げる。

- Astro-E2(XRT) ... 反射鏡の製法にレプリカ法を用いることで薄い反射鏡を実現し、かつ、**多重薄板型望遠鏡**を採用することで、角分解能は劣るものの、非常に**軽量で高い開口効率を実現**。
- Chandra ... ガラスから反射鏡を**直接研磨**することで**高い角分解能を実現**しているが、ガラスの基板を薄くすることが出来ないため非常に重い。これ以上の開口効率の向上、軽量化は不可能。
- XMM-Newton ... Chandra衛星に比べて**軽量、高開口効率**。また、Astro-E2に比べて**高い角分解能**を持つ。しかし、反射鏡基板が厚いためこれ以上の軽量化、高開口効率化は困難。

→ Astro-E2の特徴である**軽量、高開口効率**を維持しつつ、XMM-Newton、Chandraに匹敵する**高い角分解能**をもつ望遠鏡の開発を目指す！！

	Astro-E2	Chandra	XMM-Newton
角分解能	1.8分角	0.5秒角	15秒角
開口効率@8keV	~27%	~1%	~6%
重量	18kg	1484kg	437kg
積層数	175枚	4枚	58枚



4. 高角分解能化への指針

角分解能劣化原因

設計値(円錐近似)
~19秒角

~100秒角 → ~130秒角

Astro-E2に搭載されたXRTを例に取ると、角分解能劣化原因は反射鏡の**位置決め誤差**と**表面形状誤差**にわけることができ、この二つの形状劣化原因を取り除くことが出来れば円錐近似をしていることよって生じる**19秒角**までの改善が見込める！

(母線方向の形状に着目した図)



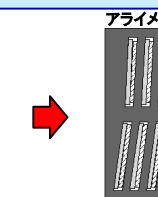
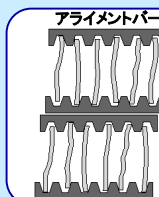
アライメントプレートによる反射鏡支持方式の導

- 反射鏡の位置決め誤差
➢ アライメントバーの位置決め誤差
➢ グループ(溝)内の遊びによる誤差
- 鏡面形状誤差
➢ 反射鏡表面の凹凸
➢ 反射鏡の真円度

4本のアライメントバーを上下一体型に変更！

弾性物質でスリット断面に押し付けて位置出し！

スリット断面を精密加工することで押し付けたときに同時に形状も補正！



同時補正が可能！！

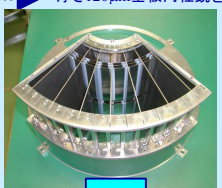
高角分解能と高開口効率を同時に実現！

テストハウジングの製作！

5. X線測定

測定

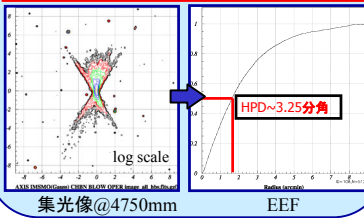
- 測定システム
- 反射鏡



測定結果

- 焦点距離：4834mm(設定値は4750mm)
- アライメントプレートの調整不足
- 角分解能 (HPD)：3.25分角@4750mm
- 円柱型反射鏡を使用

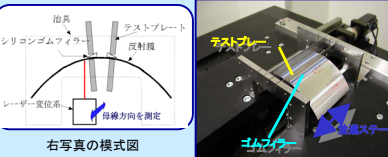
以後円錐反射鏡を製作し誤差補正効果を検討→“6.”



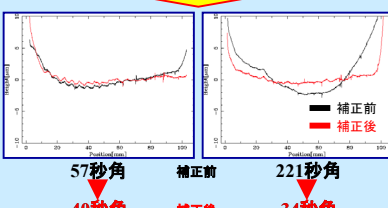
形状補正効果の検討

単スリットのみ開けたテストプレートを製作し、レーザー変位計を用いて形状補正効果を検討した。また、形状補正を起こしやすくするため、反射鏡基板はAstro-E2の150μmから120μmに変更した。

測定セットアップ



補正結果



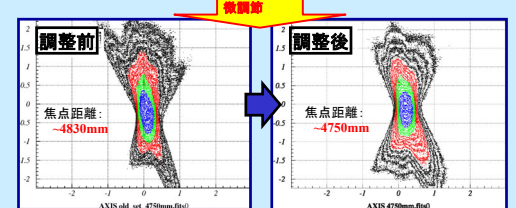
円錐近似を考慮しても<1分角の角分解能に相当！！

6. 誤差補正効果の検討

アライメントプレートの位置決

ハウジング組み上げ手順とプレートの位置決め方

- ① 中板と外側の支柱
- ② プレートの配置
中板に突き当て、外側の支柱に添わずすることで、アライメントプレートの位置を決める。
- ③ 動径方向の微調整
スリットに反射鏡を通し、アライメントプレートを動径方向に微調整する。そして、スリットにゴムフィラーを入れ押し付ける。



平行可視光で求めた4750mmでのプレート微調整前後の集光像の変化。→ 像の対称性の向上 (円錐反射鏡を使用)

7. まとめと課題

まとめ

- アライメントプレートによる支持方式を導入したテストハウジングの製作
- 表面形状補正効果の検討 → 1分角を切る角分解能を達成
- アライメントプレート位置調整 → 焦点距離：~4830mm ⇒ ~4750mm(平行可視光測定)
- X線測定 → 角分解能(HPD)は3.25分角@4750mm(ただし、調整前の値)

課題

- ◇ プレート位置再調整と円錐鏡使用SetupでのX線再測定
- ◇ プレート動径方向の微調整が困難 → ゴムフィラー材の形状と挿入方法の検討
- ◇ プレート間隔の最適化の検討 → 補正効果の方位角方向への伝播の評価