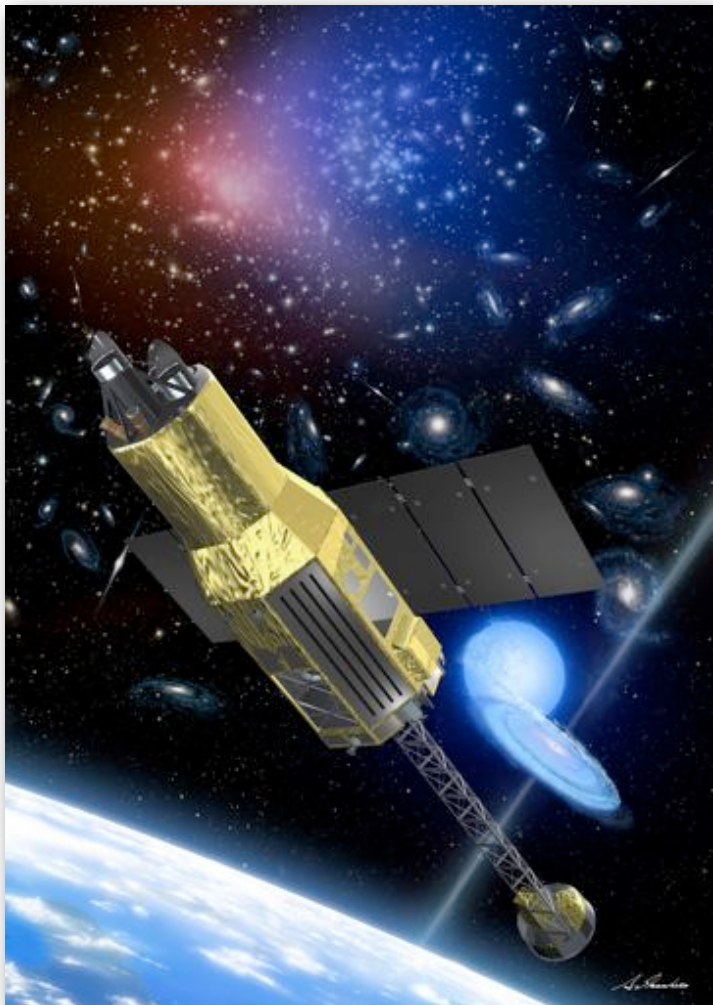


レプリカ反射鏡の結像性能 の向上

名古屋大学 Ux研 MI 加藤 大佳

ASTRO-H 搭載用 HXT

ASTRO-H完成予想図



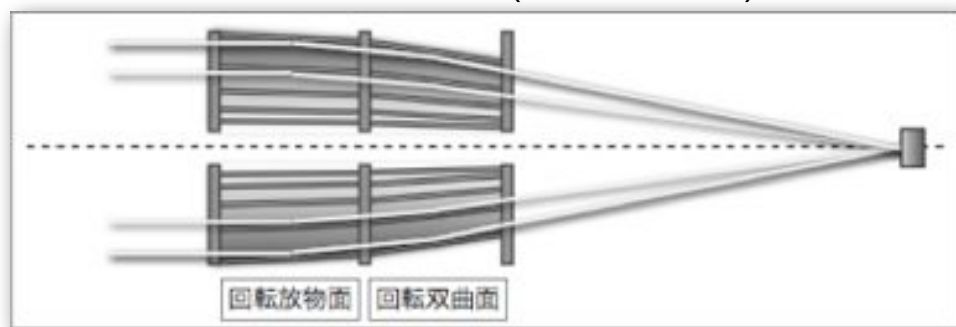
- ASTRO-H 搭載用硬 X 線望遠鏡 (HXT) を開発中
- ASTRO-H には2台の HXT が搭載される

HXT の設計パラメータ

口径	45 cm
焦点距離	12 m
エネルギー帯域	< 80 keV
有効面積 (30keV)	150 cm ²
視野 (30keV)	7 分角
結像性能	1.7 分角

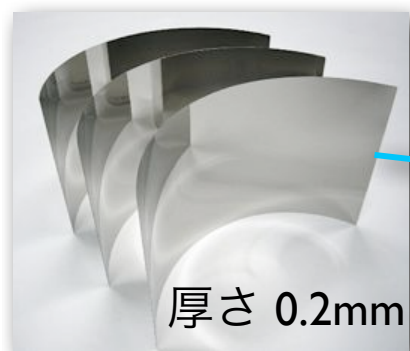
X線望遠鏡について

望遠鏡の構造 (Wolter-I 型)



Wolter-I 型光学系：回転放物面と回転双曲面を組み合わせ、X線を二回反射させて集光する。

硬X線望遠鏡 (SUMIT)



多重薄板型：反射鏡の厚さを薄くし、多数枚積層することで開口効率を向上させたものの。

多重薄板型光学系の利点と欠点

Wolter-I 型の X 線望遠鏡には多重薄板型と研磨型の2種類がある。

衛星搭載 X 線望遠鏡

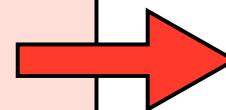
衛星名	Suzaku	Chandra
型式	多重薄板型	研磨型
望遠鏡重量 (kg)	20	1500
反射鏡厚 (mm)	0.17	20
反射鏡積層数	175	4
有効面積 (cm ²) (8keV)	250	100
結像性能 (秒角)	120	0.5

多重薄板型の利点

- ・重量に対して高い集光力
- ・研磨型に比べて費用も手間も少なく済む

多重薄板型の欠点

- ・枚数が多く、位置の調整が困難
- ・薄いため変形しやすい

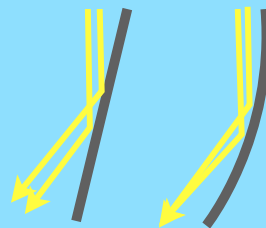


結像性能が劣化しやすいので、その向上が課題となる。

結像性能の劣化要因

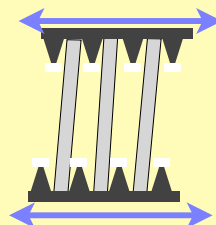
1. 光学系の円錐近似

回転2次曲面を円錐で近似しているために像が広がる。



2. 方位角方向の調整誤差

アラインメントバーの位置がずれることで、像が真円からずれる。



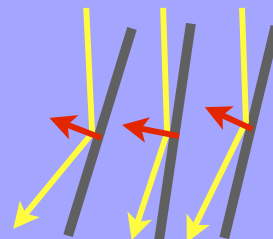
3. 反射鏡の鏡面形状誤差

反射鏡の法線方向に角度分布が生じ、像が広がる。



4. 反射鏡位置決め誤差

個々の反射鏡の平均法線がばらつき、結像位置がばらつく。
原因：アラインメントバーの溝の遊び + 鏡面形状誤差



ASTRO-H / HXT
要求性能：1.7'

0.3'

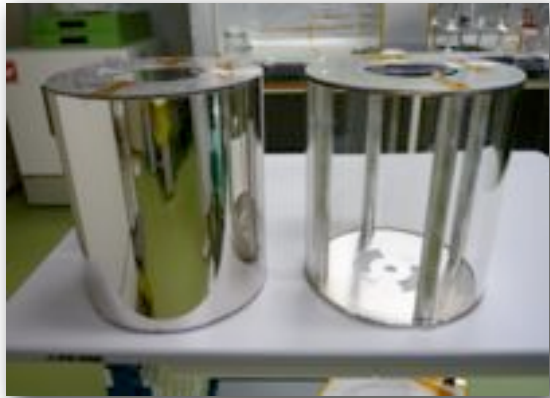
0.3'

1.2'

1.2'

レプリカ法による反射鏡製作

ガラス母型 (左：成膜後, 右：成膜前)



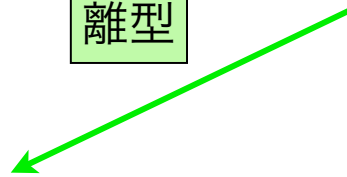
アルミ基板と接着



接着剤の硬化



離型



完成した反射鏡



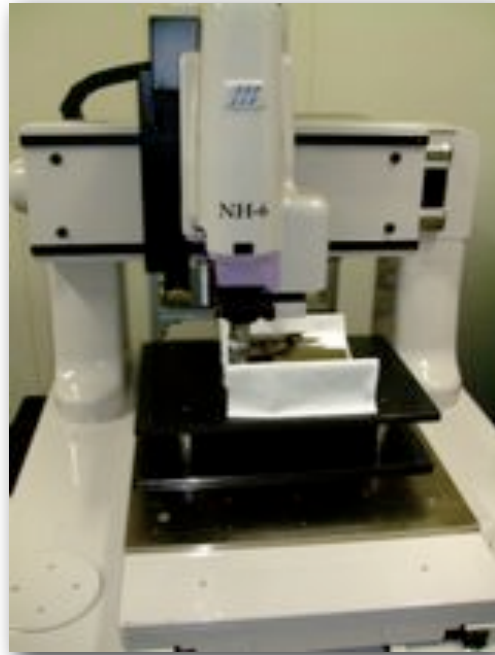
- ・ ガラス母型に Pt / C 多層膜を成膜し、1/3円錐型に成形したアルミ基板(厚さ0.2 mm)と接着
- ・ 接着剤の硬化後に基板を離型し、反射鏡が完成

利点：ガラス面の滑らかさを反映した鏡面になる。

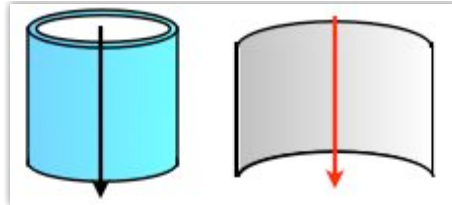
欠点：大きなスケールのうねりができる。

反射鏡の鏡面形状

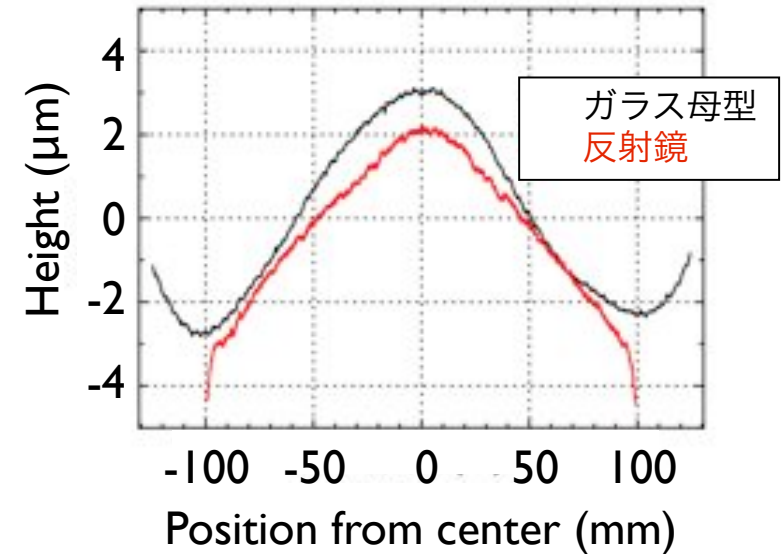
非接触式3次元形状測定装置



対応するラインを測定



ガラス母型と反射鏡の表面形状

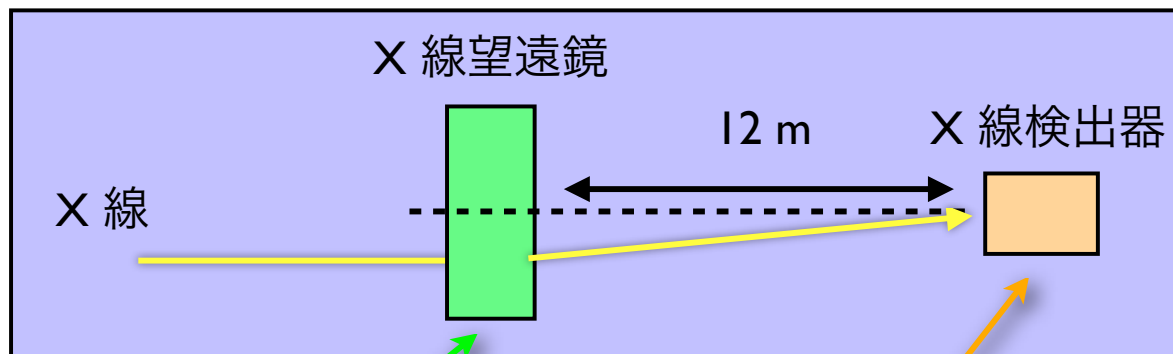


レプリカ法では、鏡面形状はガラス母型の表面形状によって制限される。



そのため反射鏡性能の向上には、表面形状の良いガラス母型を選別して反射鏡を製作する必要がある。

望遠鏡の性能評価



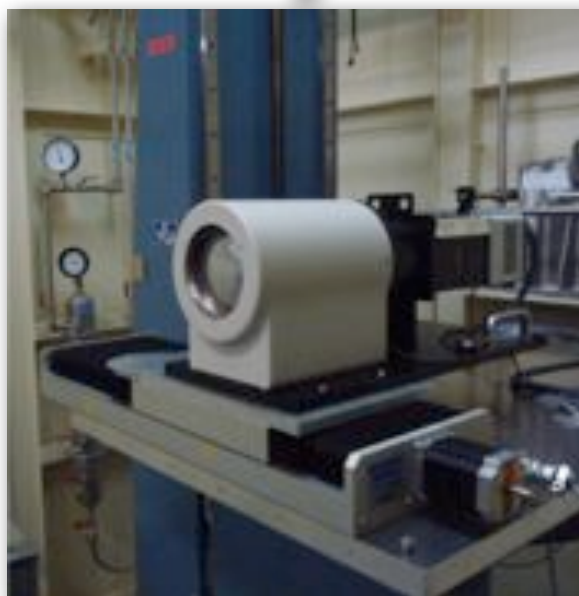
製作した反射鏡を望遠鏡に組み込み、放射光施設 SPring-8 において性能評価を行った。

使用したビームラインは BL20B2(全長 215 m, 臨界エネルギー 28.9 keV)。

測定には30 keV の X 線を使用した。



望遠鏡のセットアップ



撮像型検出器

望遠鏡の性能評価

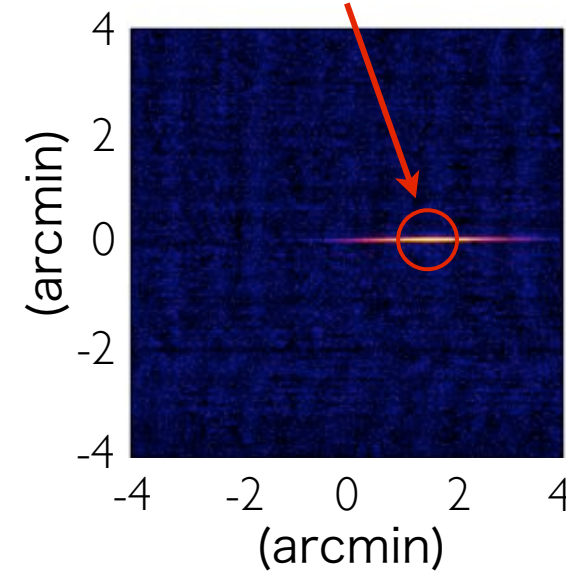
スポットイメージ測定

反射鏡の形状誤差による像の広がりを評価する。

微小な X 線ビームを照射し、円周方向に走査していく。



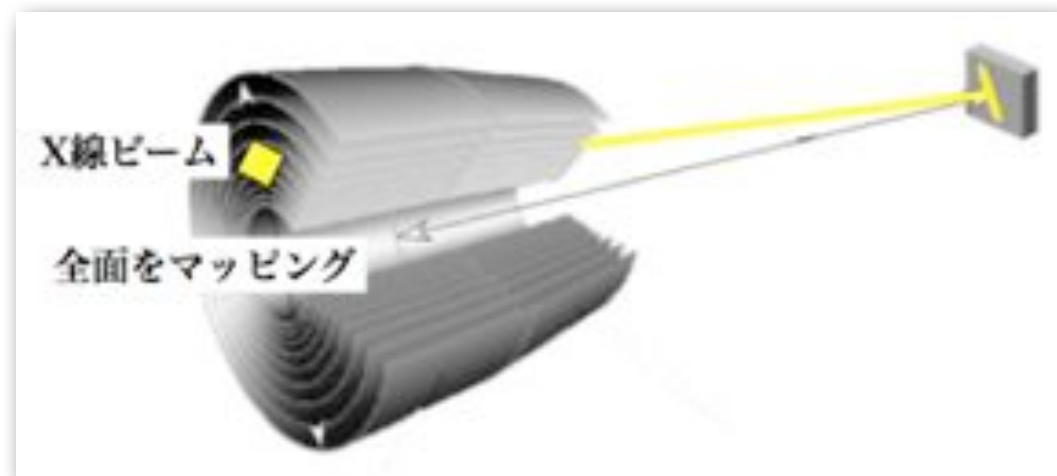
HPD : 全光量の50%が入る円の直径



全面測定(Raster Scan)

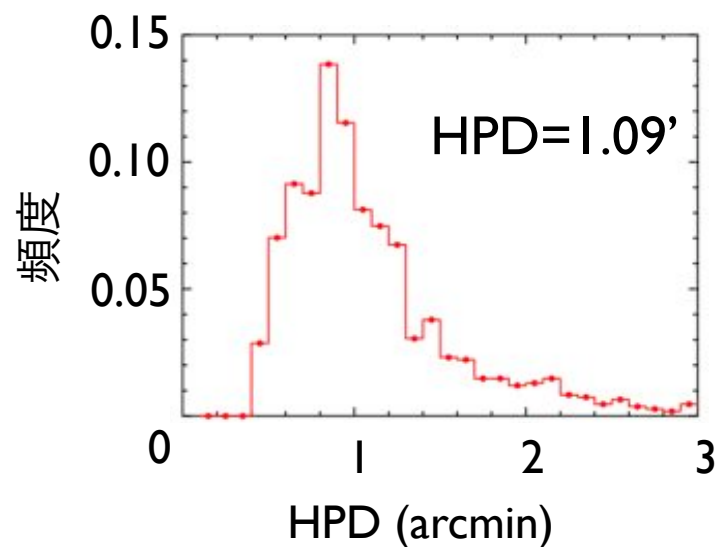
望遠鏡全体の性能を評価する。

10 mm 四方の X 線ビームを照射し、全面をマッピングする。

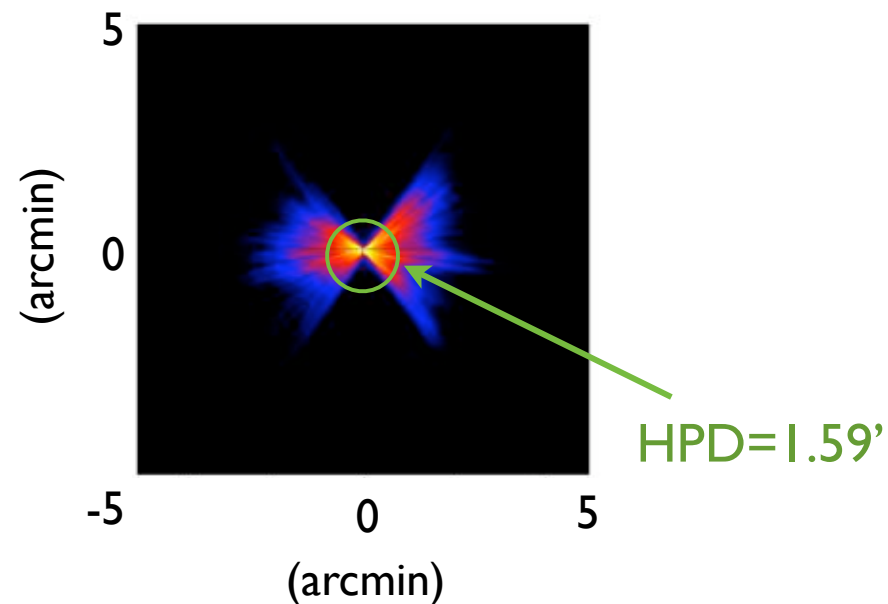


望遠鏡の性能評価

スポットイメージ測定結果



全面測定結果



半径105 mm 付近の10組の反射鏡について得られた結像性能(HPD)を示す。

SPring-8 (2010 Jun) での測定結果

円錐近似 (半径105mm)	方位角方向の 調整誤差	反射鏡の形状 誤差	反射鏡位置 決め誤差	各誤差成分か らの予想性能	実際に測定さ れた結像性能
0.06'	0.46'	1.09'	1.03'	1.57'	1.59'

まとめ

望遠鏡の結像性能を向上させるためには、反射鏡単体の性能を向上させる必要がある。

反射鏡の鏡面形状はガラス母型の表面形状によることから、形状の良い母型を選別して使うことで反射鏡の性能向上が見込める。

今回SPring-8 で性能測定を行った半径105mm 付近の反射鏡については、ASTRO-H / HXT の要求性能である1.7分角を達成している。