

高角度分解能化を目指した 多重薄板型X線望遠鏡の設計と その性能評価

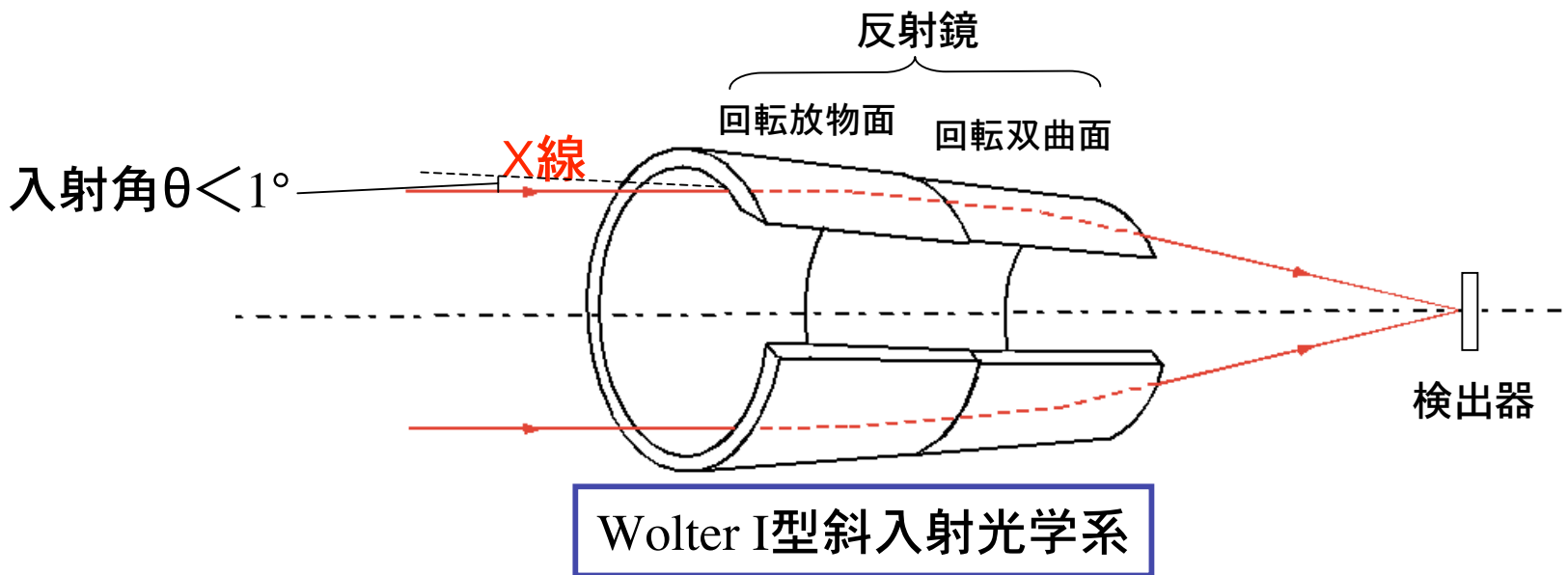
宇宙物理実験研究室

大熊 哲

目次

- 多重薄板型X線望遠鏡について
- 結像性能の決定要因
- 新しい反射鏡支持機構の導入
- 新しい望遠鏡の製作
- X線を用いた望遠鏡の性能評価

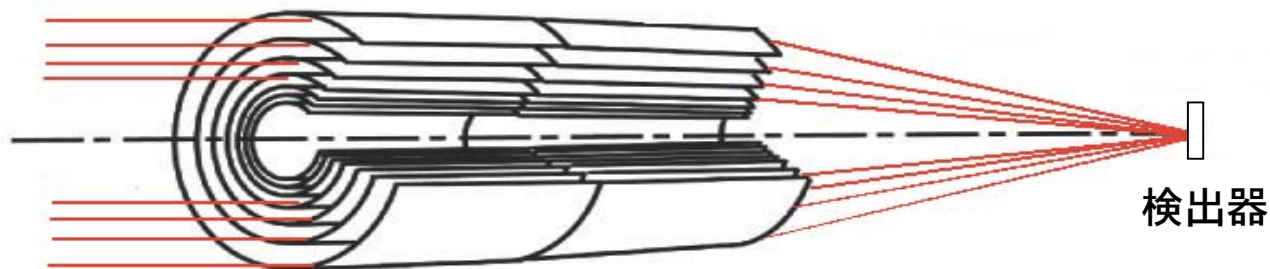
X線望遠鏡 (XRT) ……宇宙からのX線を集光・結像させる



見込む面積が小さいので集光できる光子が少ない

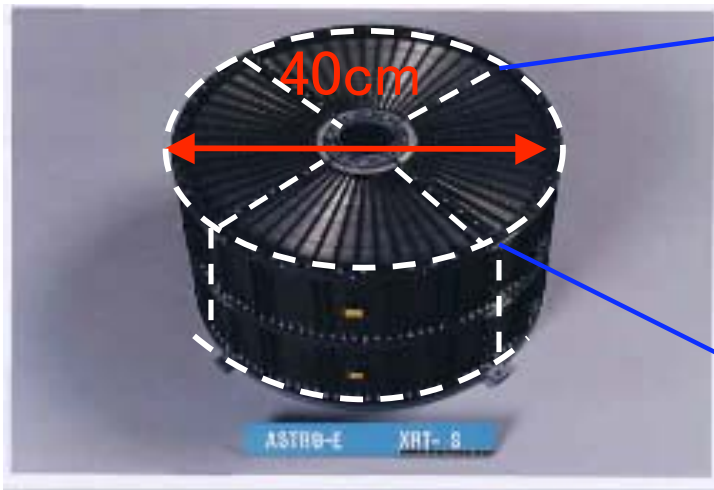
「多重薄板型」X線望遠鏡

……非常に薄い反射鏡を多数同心円状に並べたもの



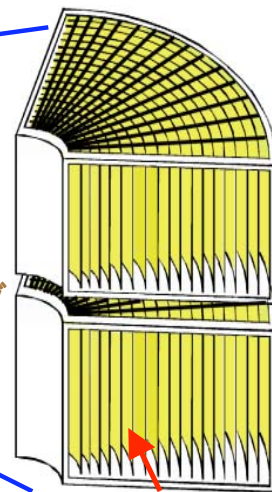
多重薄板型X線望遠鏡の構造

すざく衛星搭載X線望遠鏡



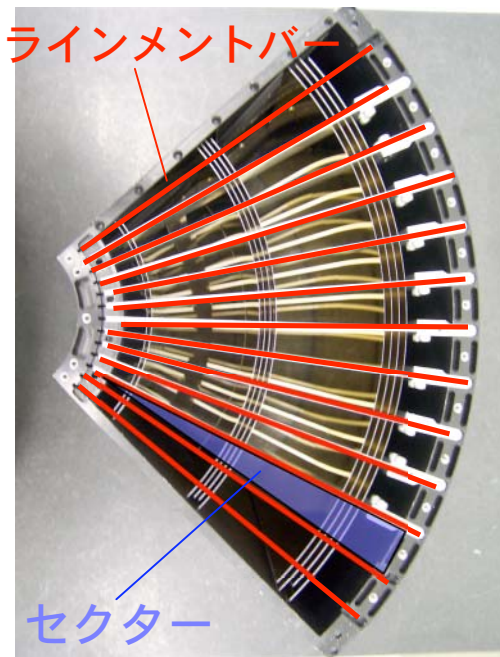
Quadrant

ハウジング



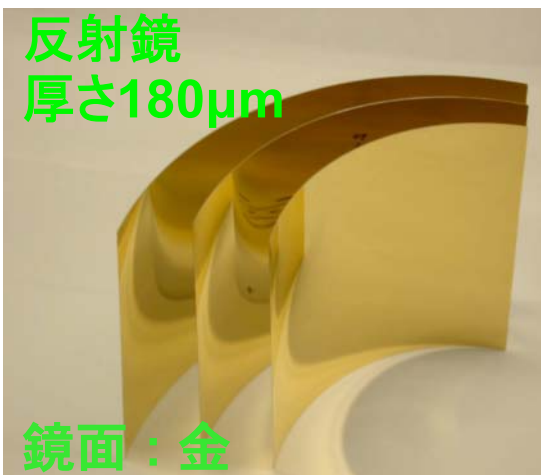
反射鏡175枚

アライメントバー



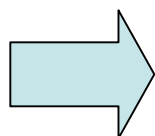
セクター

反射鏡
厚さ180 μ m



鏡面：金

円錐面で2次曲面を近似



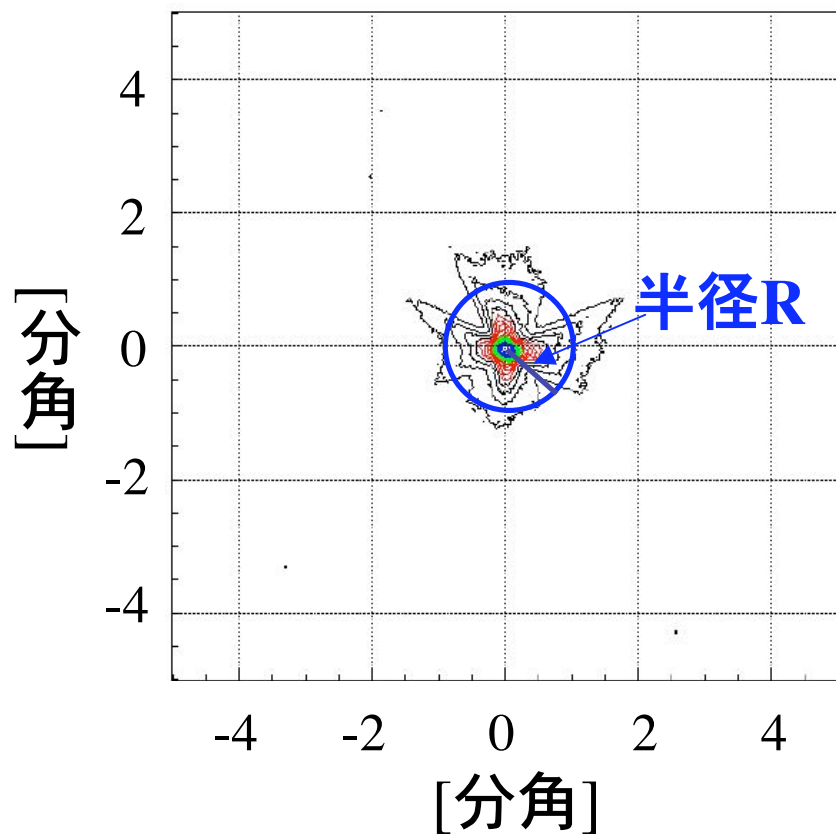
1点には集光せず
必ず広がりを持つ

反射鏡を見込む幅
~0.3分角

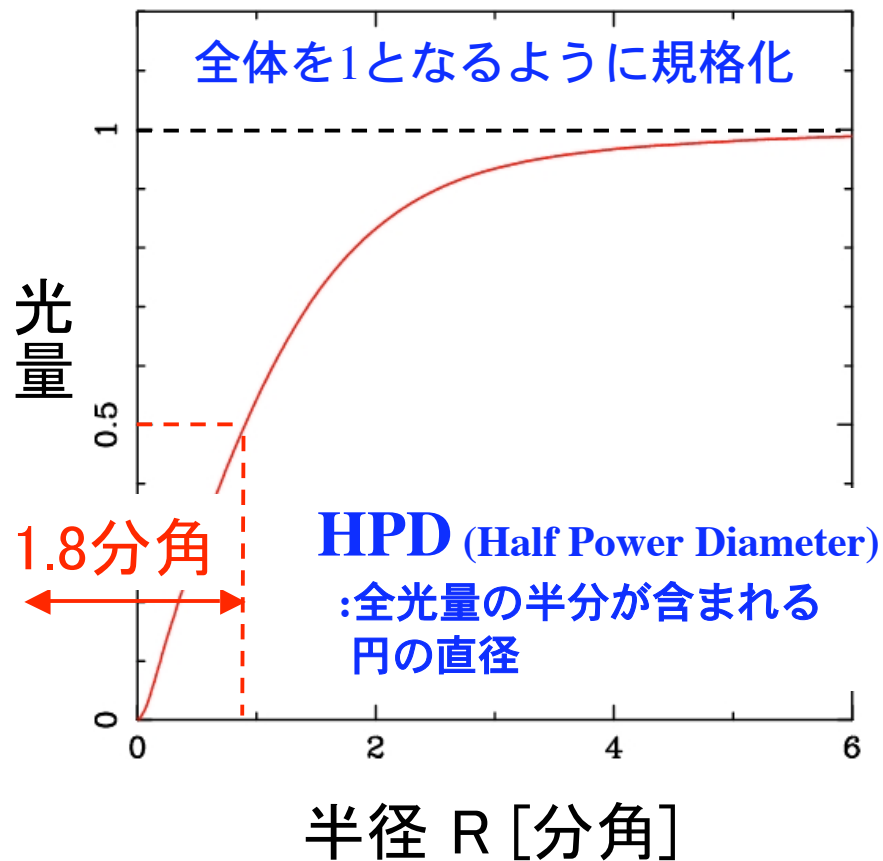
原理的な結像性能の限界

すざく衛星搭載X線望遠鏡の性能

焦点面でのイメージ



半径Rの円内に入る全光量

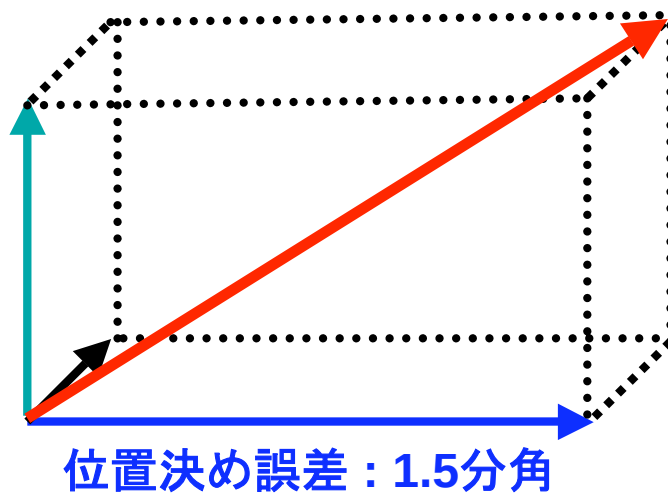


結像性能を決定する主要因



①反射鏡鏡面の形状誤差

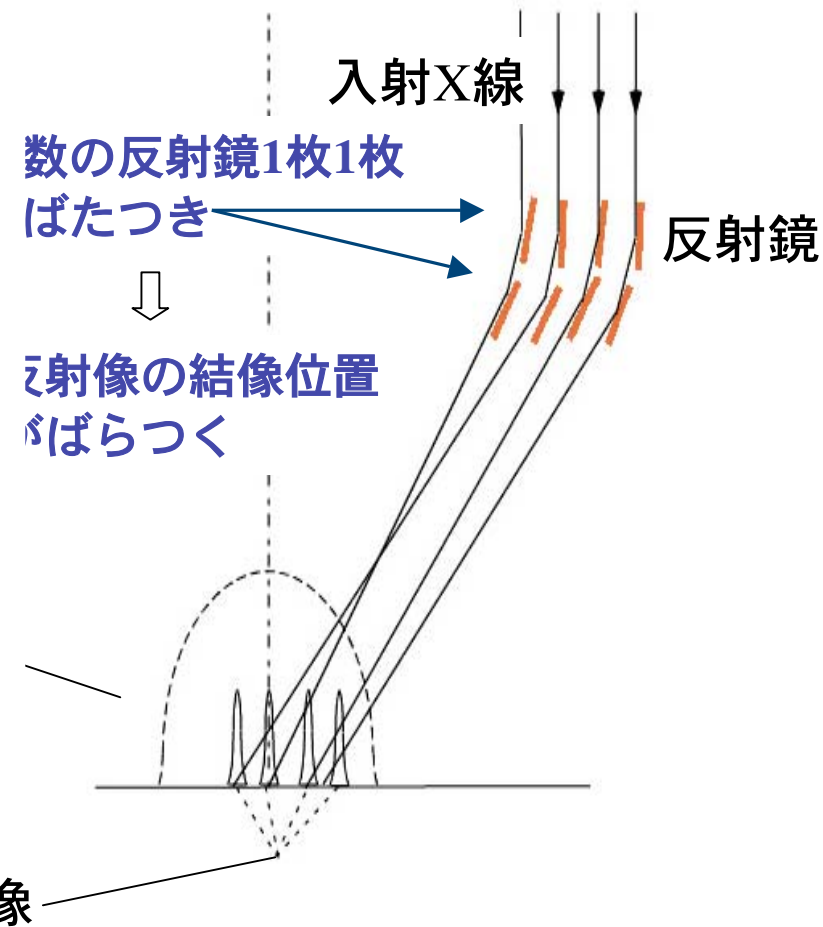
すざく搭載 : **1.8分角**



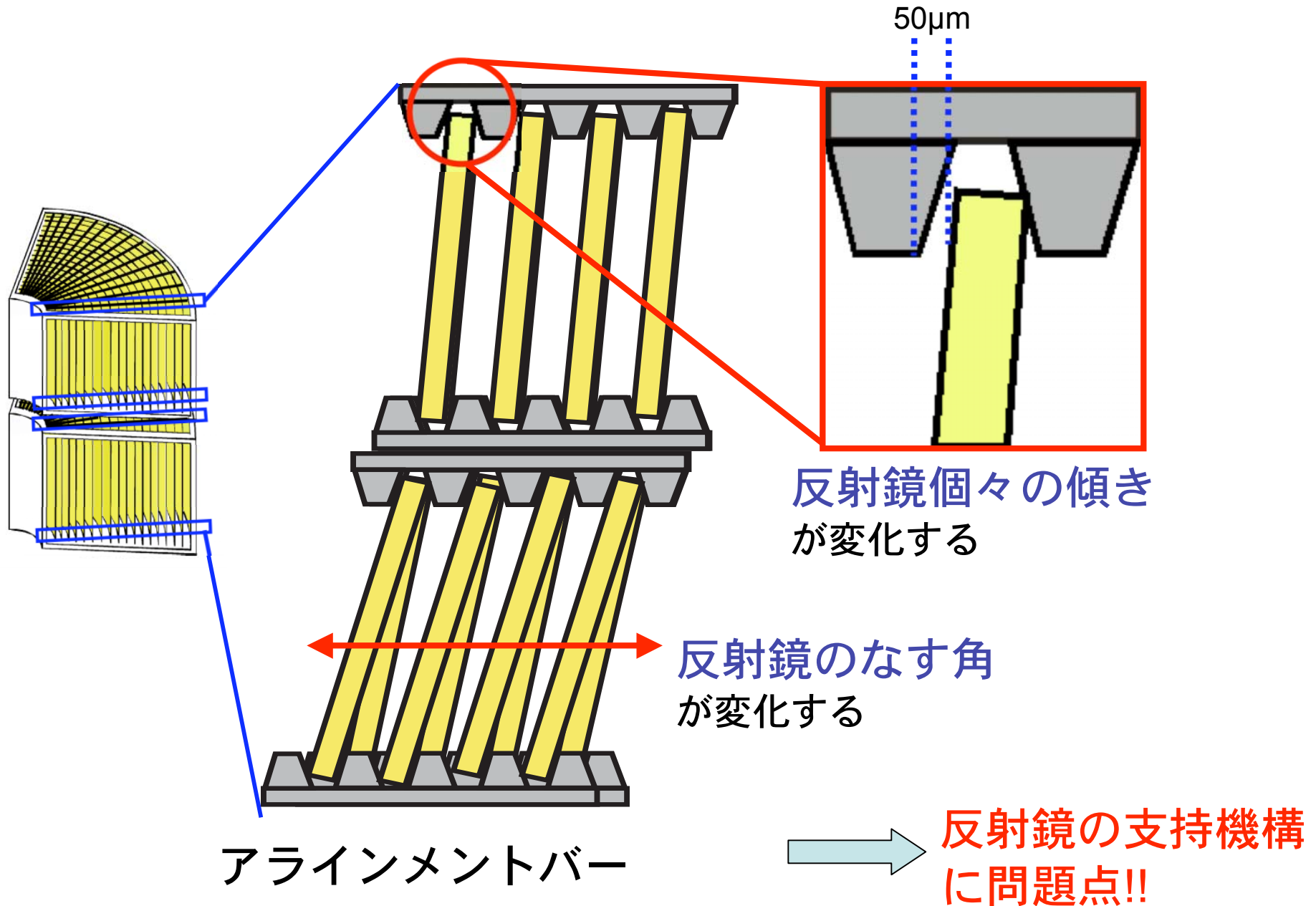
$$\sqrt{0.3^2 + 0.85^2 + 1.5^2} \sim \mathbf{1.8分角}$$

位置決め誤差を抑える！

②反射鏡の位置決め誤差



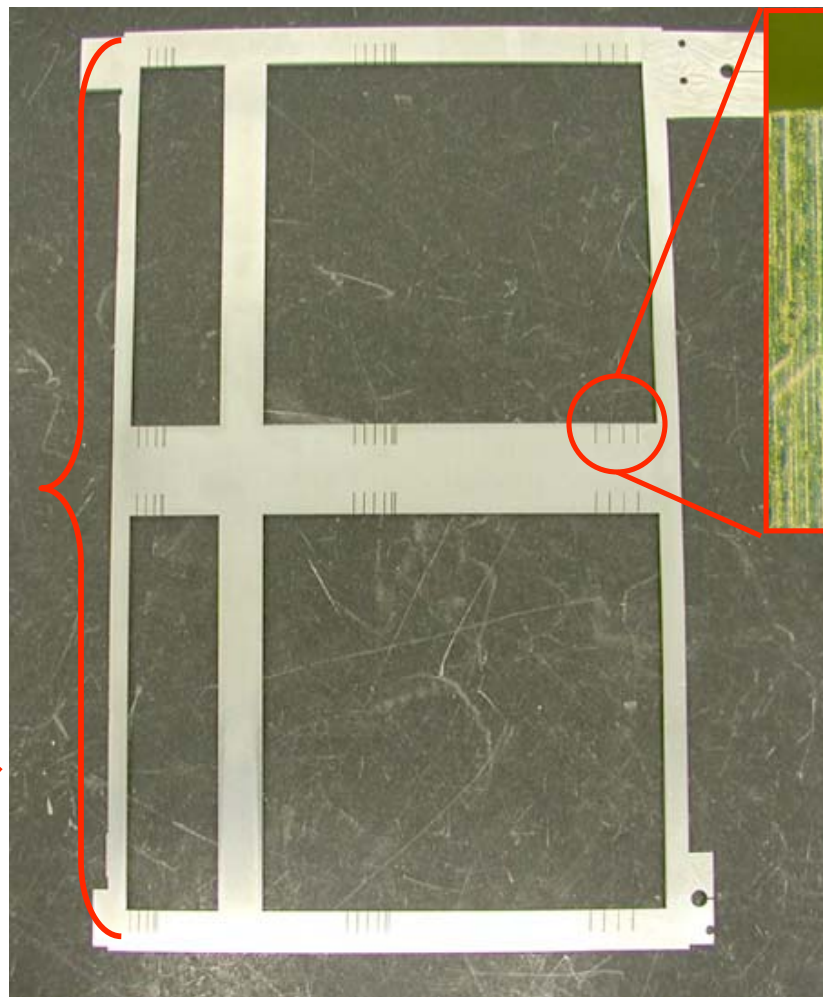
位置決め誤差の原因



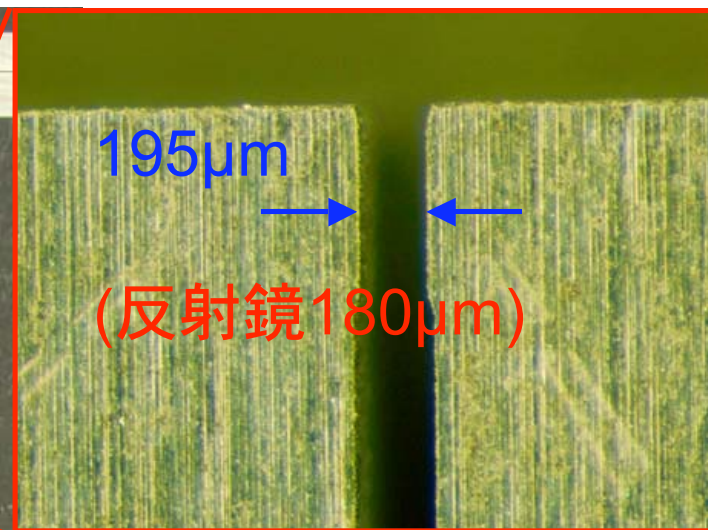
新しい反射鏡支持機構

上下段
一体型

反射鏡のなす角が
加工でのみ決まる

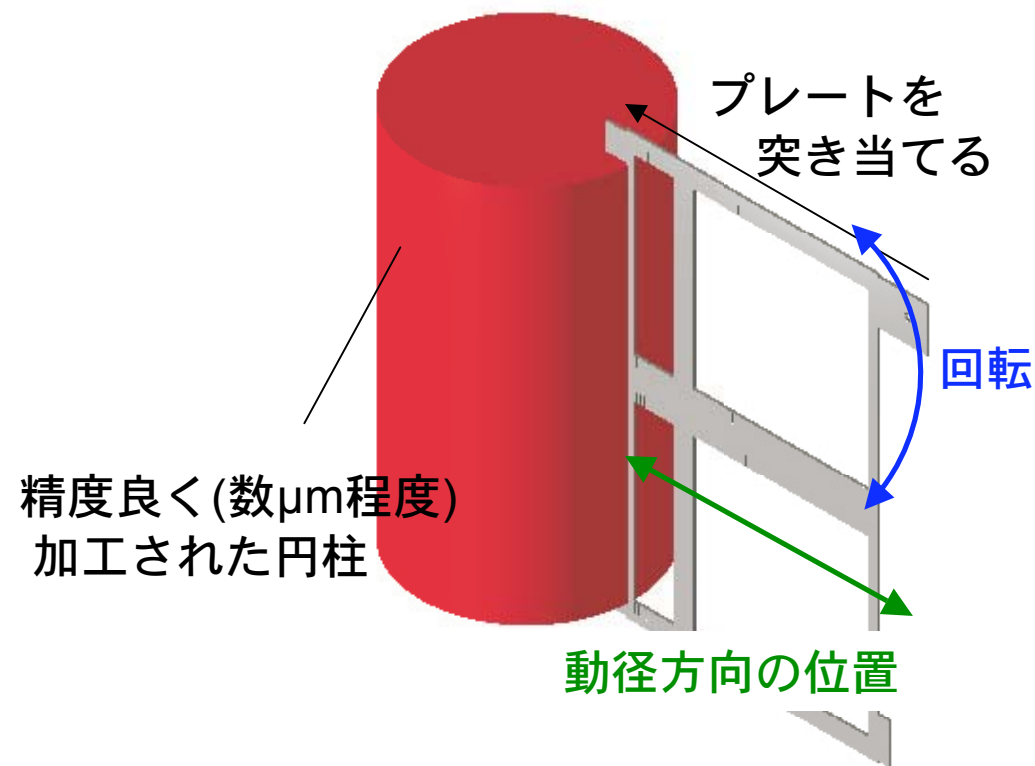


アラインメントプレート

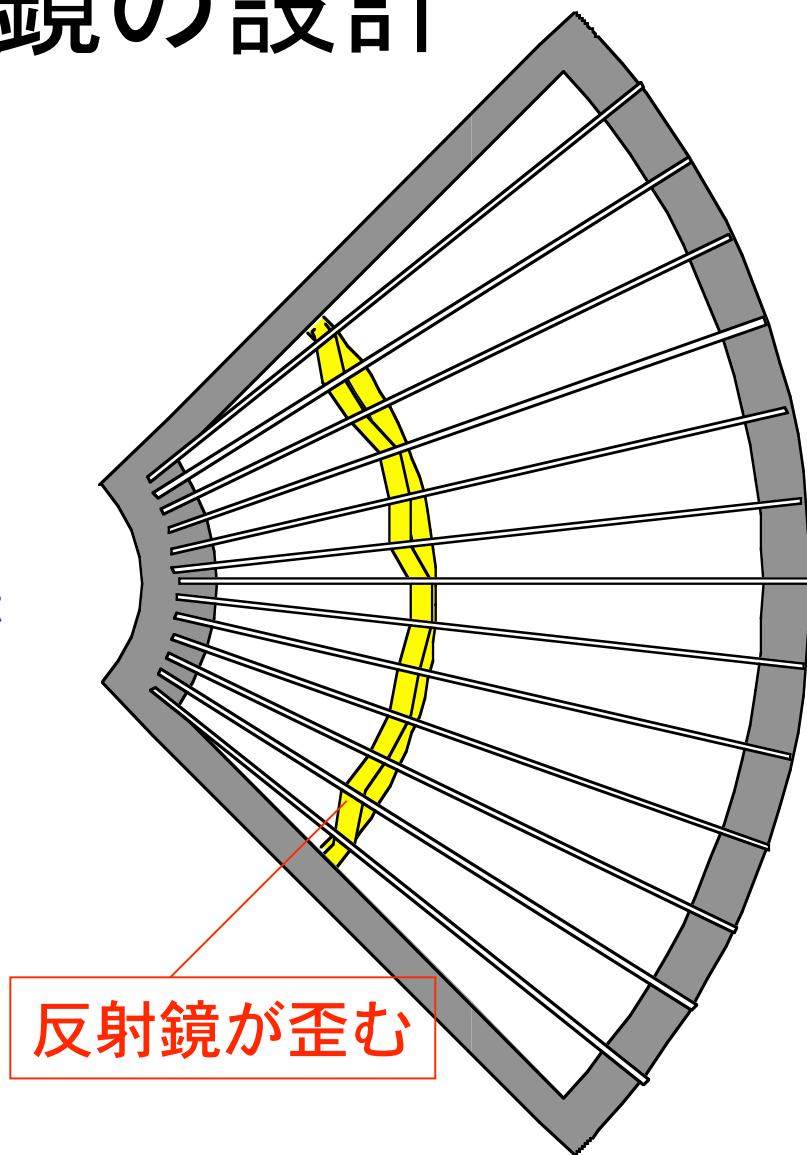


反射鏡個々の
ばたつきを抑える

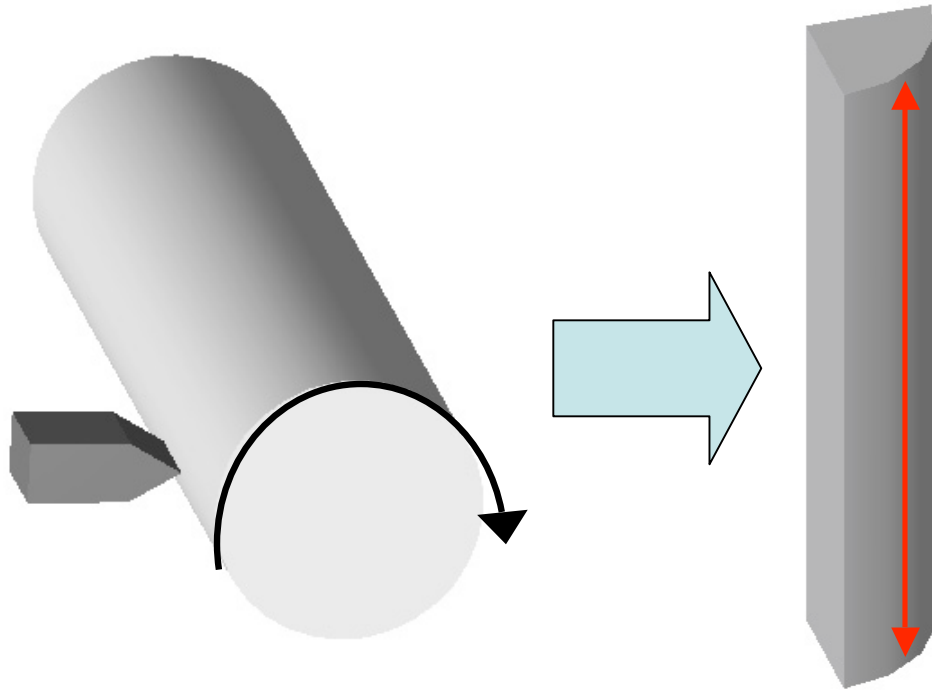
新しい望遠鏡の設計



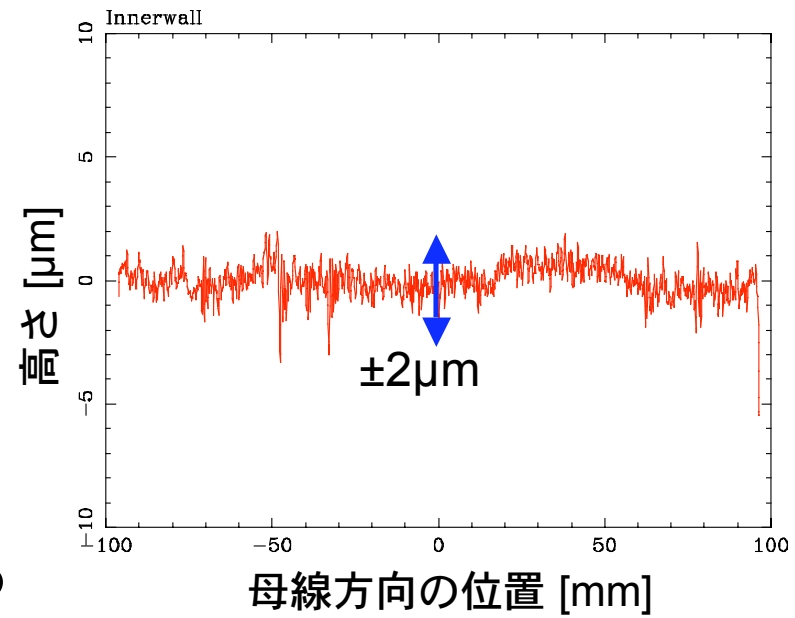
プレートの**回転**、**動径方向の位置**を
同時にかつ簡単に抑えることができる!!



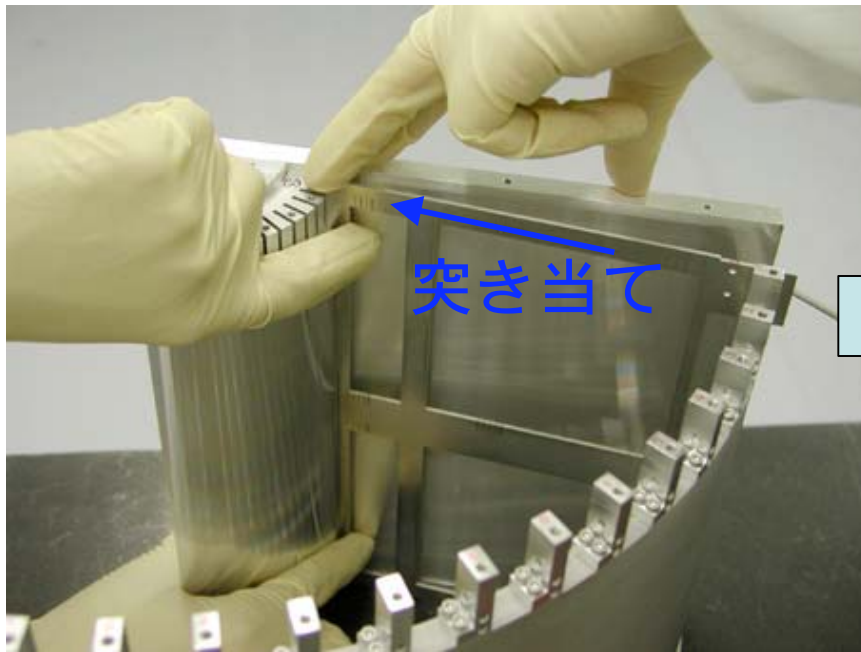
➡ 位置決め誤差、形状誤差に影響

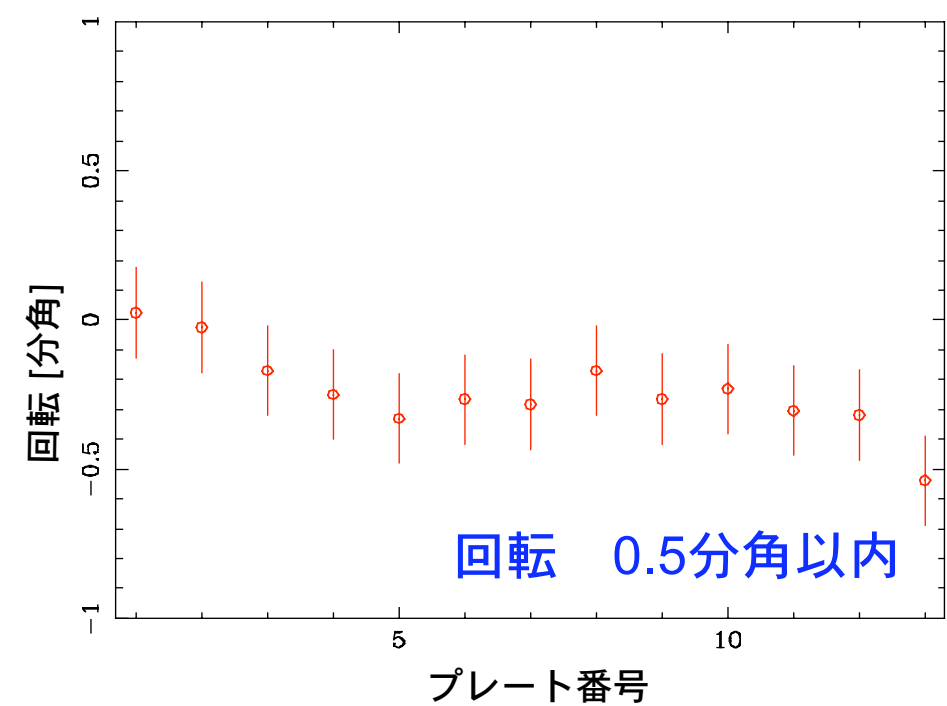
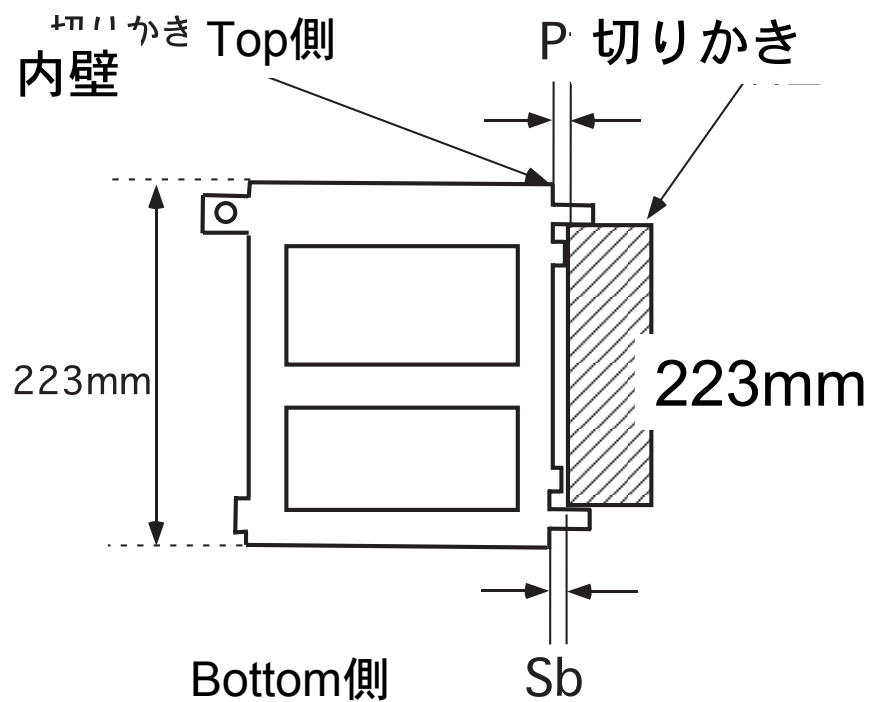
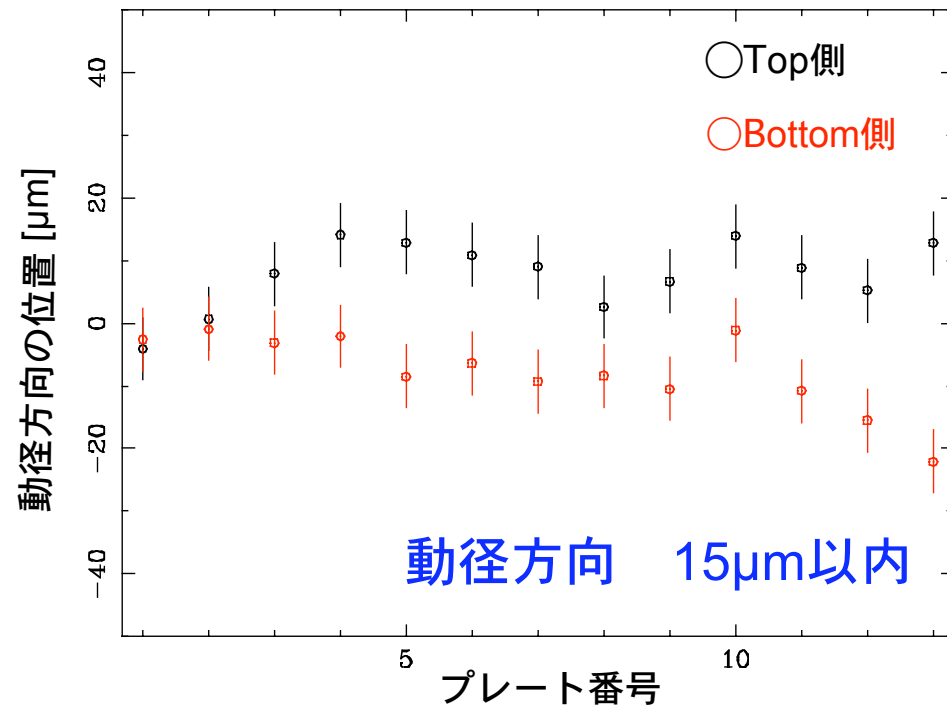
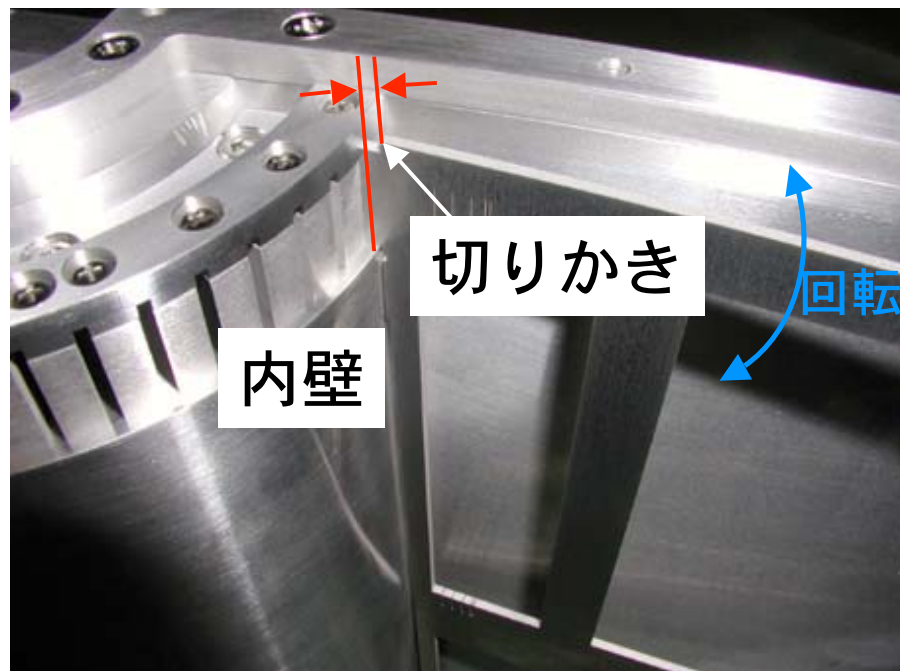


形状測定(0.1mmピッチ 20cm)

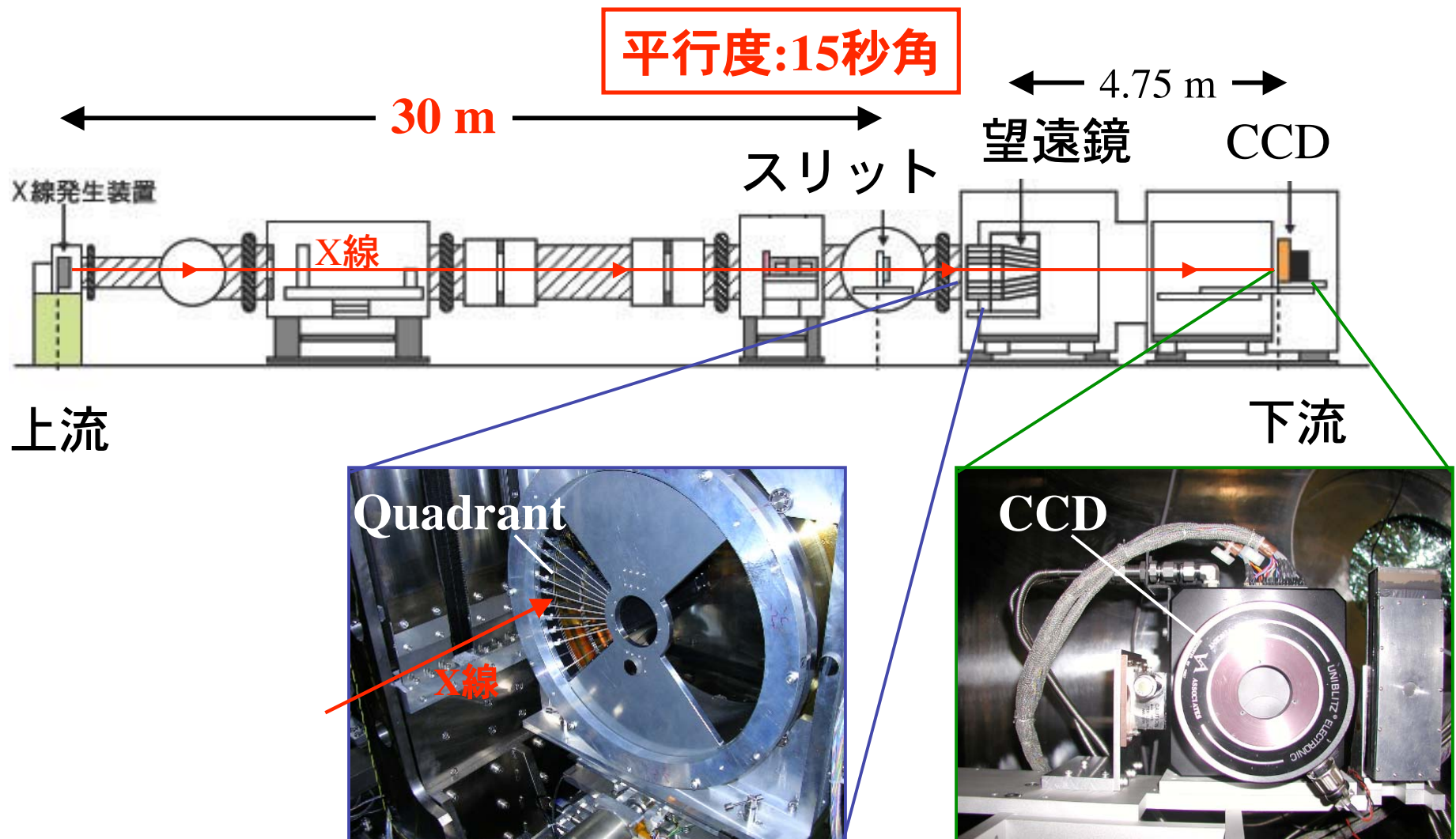


旋盤を用いて円柱を作る 4分割する



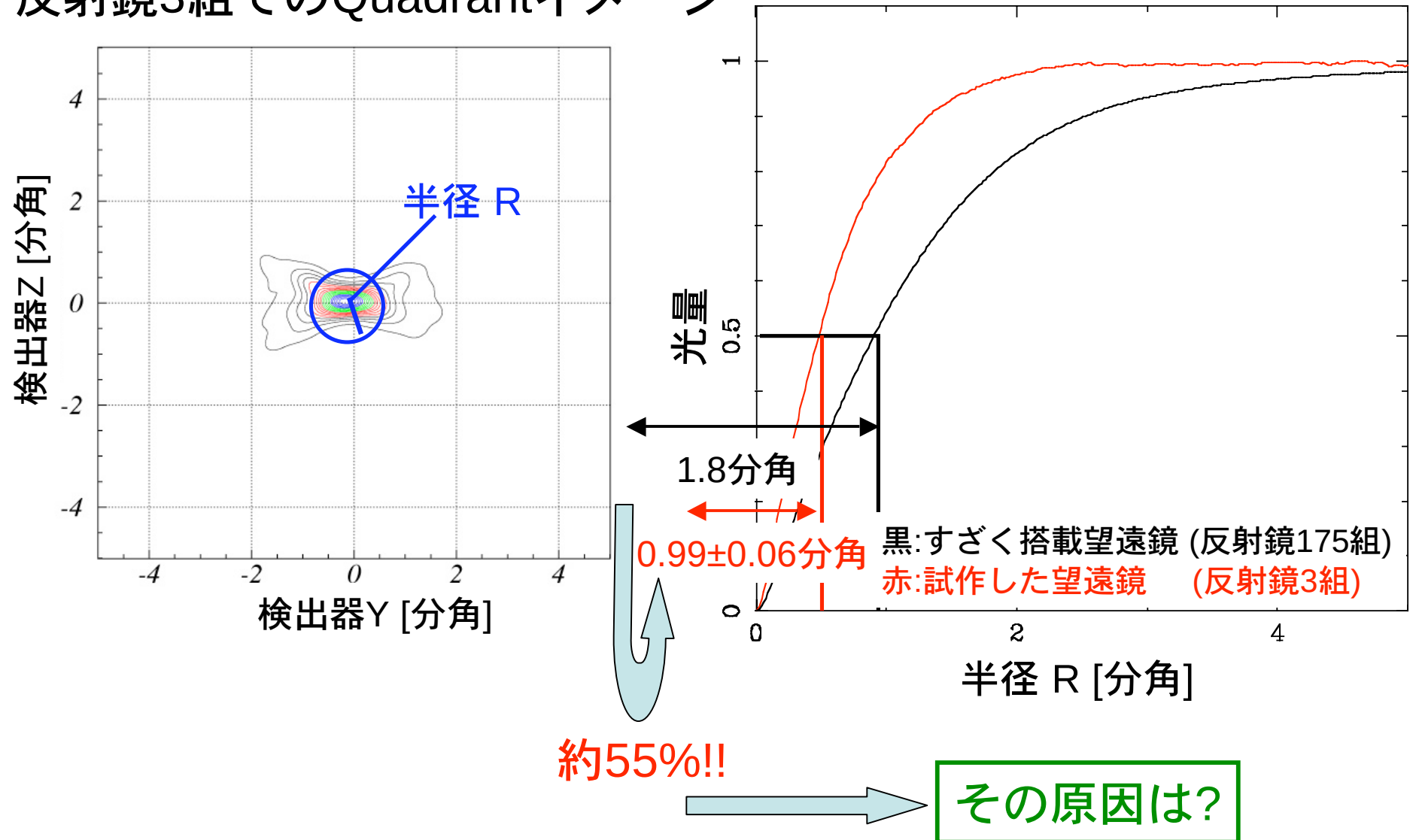


X線測定システム



X線イメージ

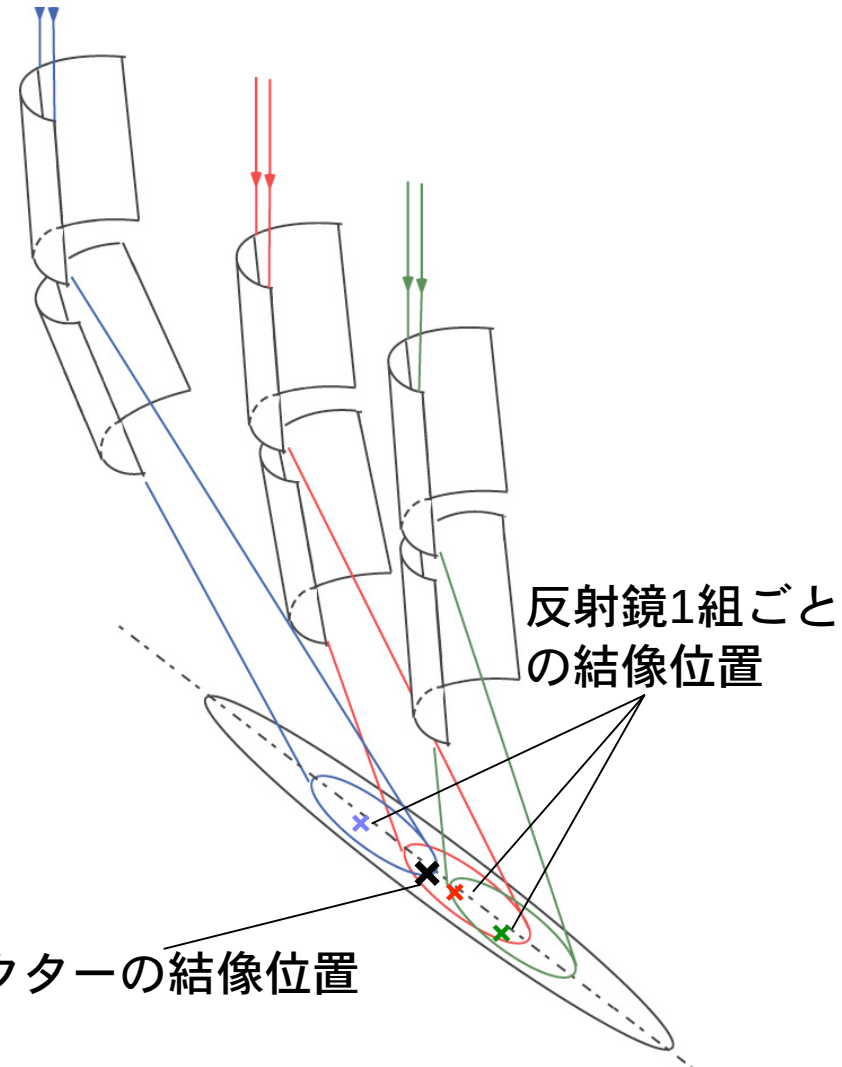
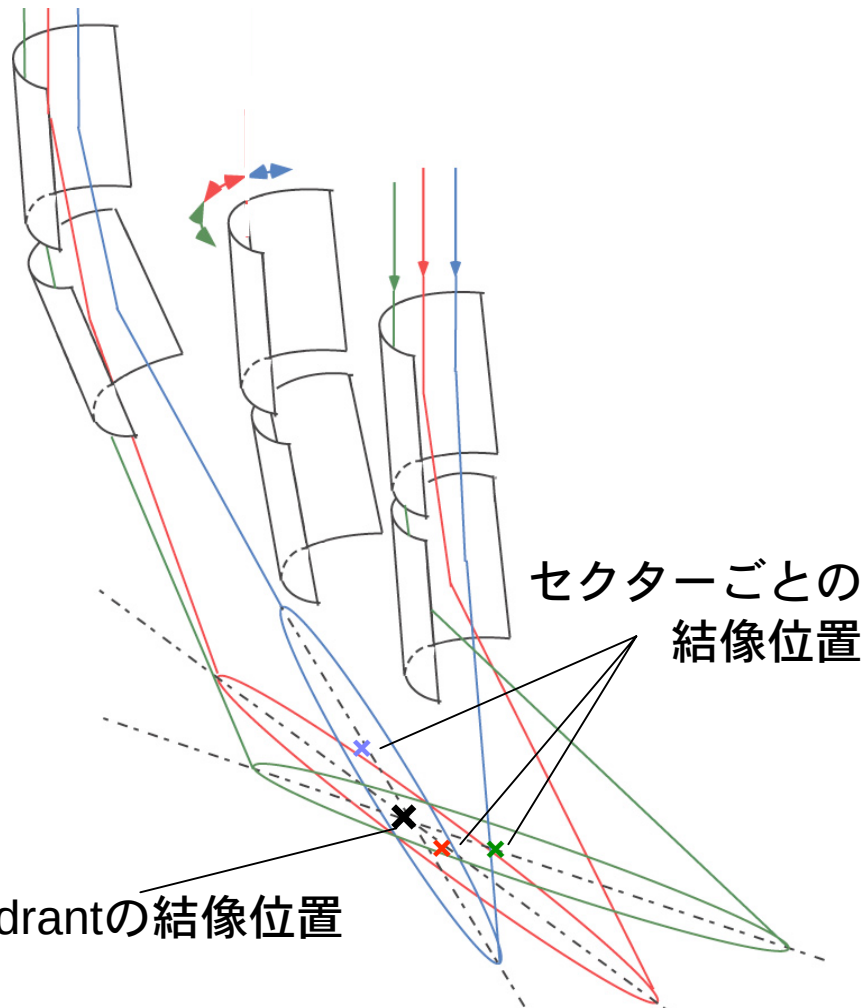
反射鏡3組でのQuadrantイメージ



結像性能決定要因の分離方法

位置決め誤差＝Quadrantの結像位置の周りの
反射鏡1組ごとの像のばらつき

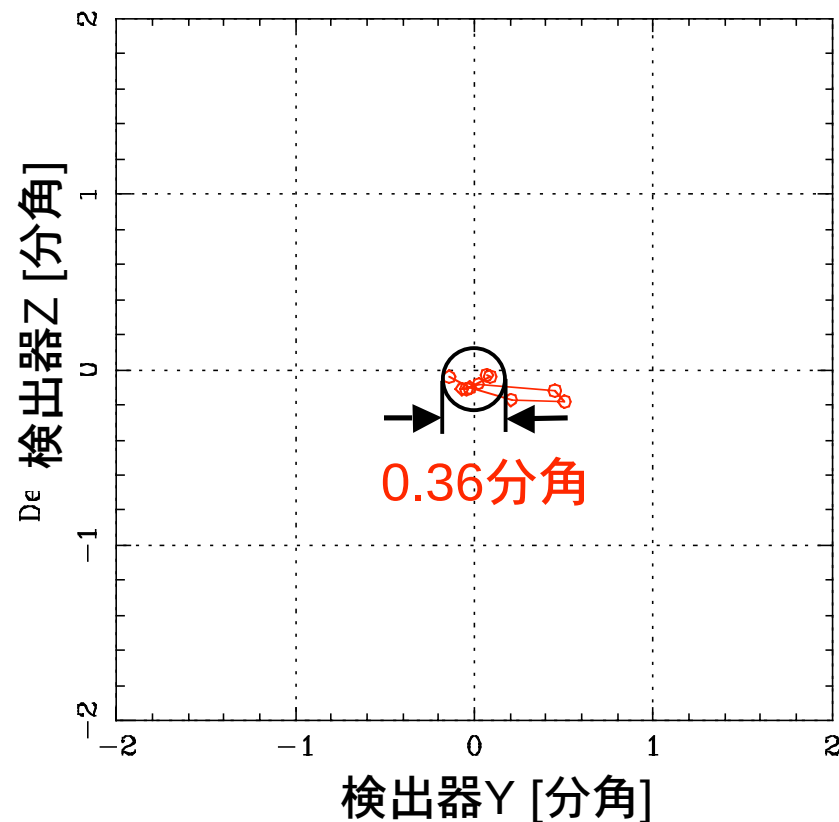
形状誤差＝反射鏡1組ごとの像の広がり



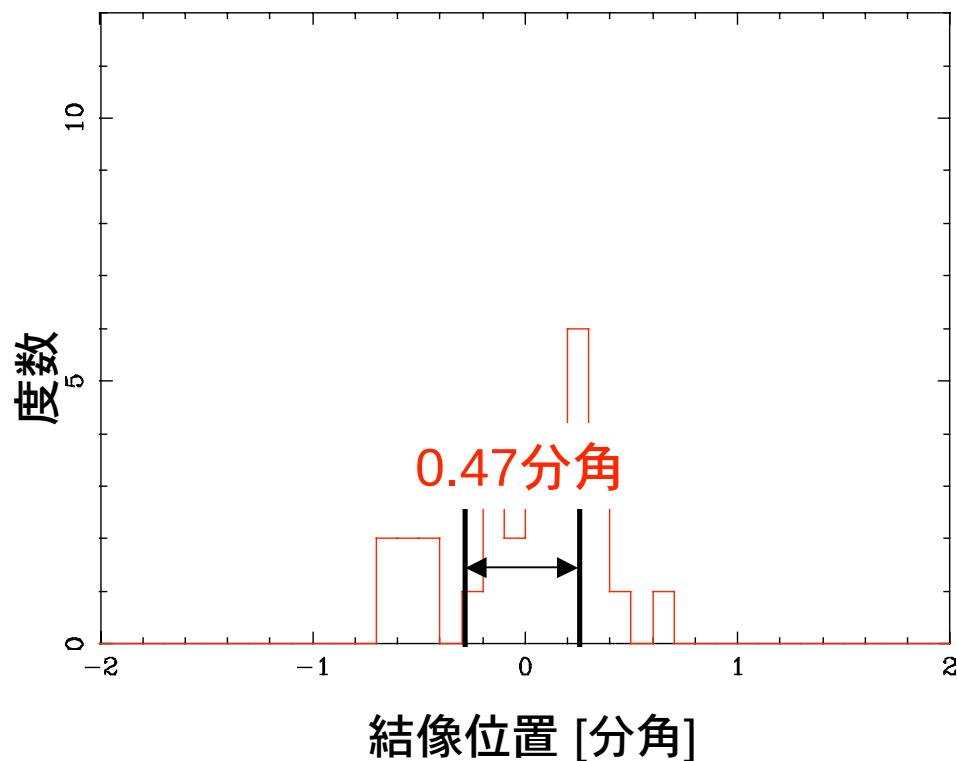
セクターごとの結像位置のばらつき

反射鏡1組ごとの結像位置のばらつき

セクターイメージのばらつき



反射鏡1組ごとのイメージのばらつき



セクターイメージのばらつき
反射鏡1組ごとのイメージのばらつき

2乗和



位置決め誤差

$$(0.36^2 + 0.47^2)^{1/2} = 0.59 \pm 0.06 \text{ 分角}$$

(すざく搭載：1.5分角)

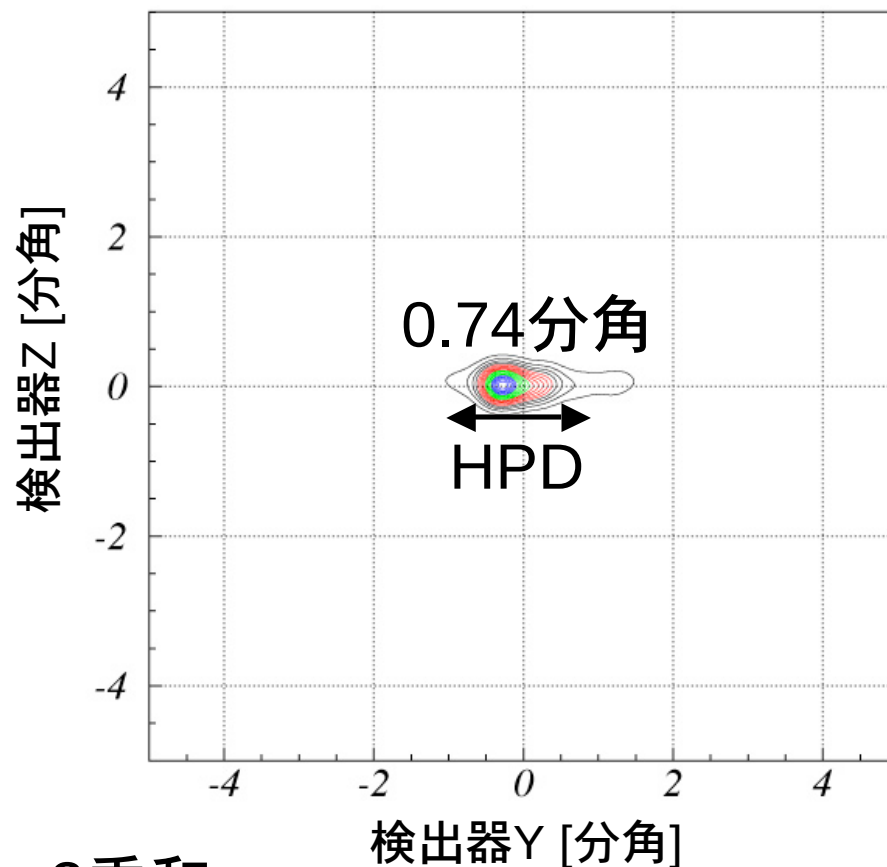
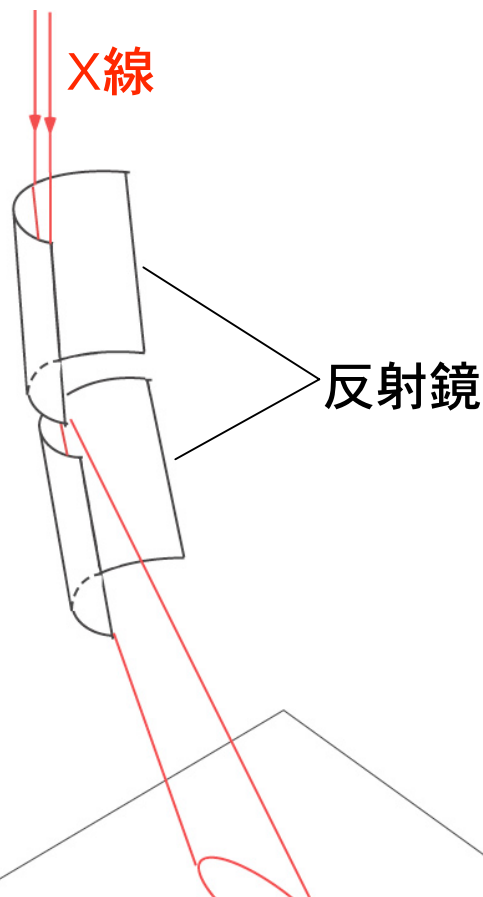
セクターイメージの
ばらつき

反射鏡1組ごとの
イメージのばらつき



約40%に!

反射鏡1組ごとのイメージの広がり



円錐近似による像の広がり (0.3分角)
形状誤差

2乗和

反射鏡1組ごとの
イメージの広がり(HPD)

形状誤差

$$(0.74^2 - 0.3^2)^{1/2} =$$

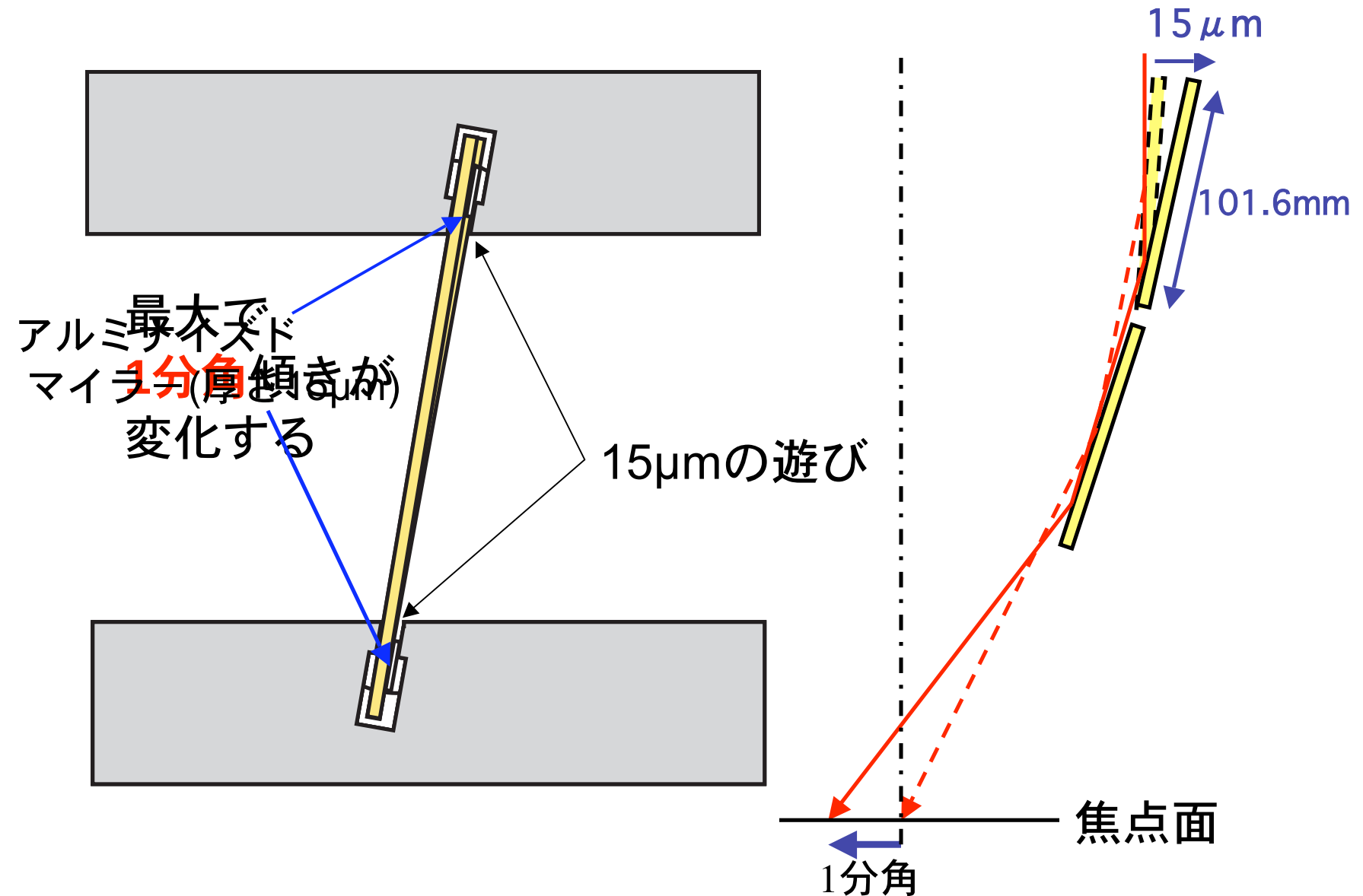
反射鏡1組の
像の広がり(HPD) 円錐近似による
像の広がり

0.68±0.06分角

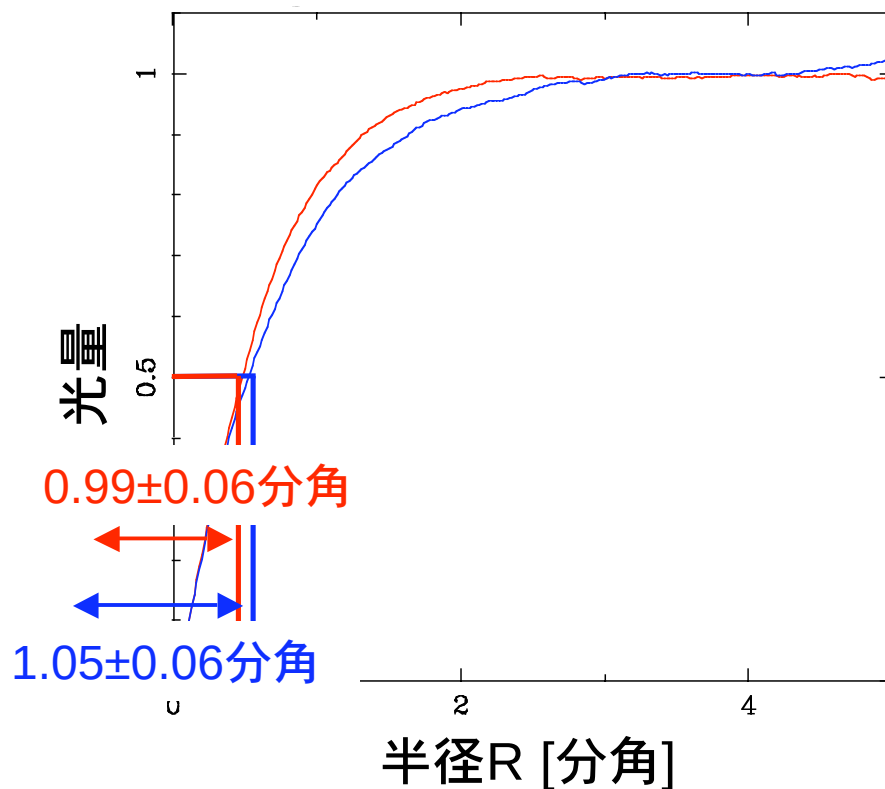
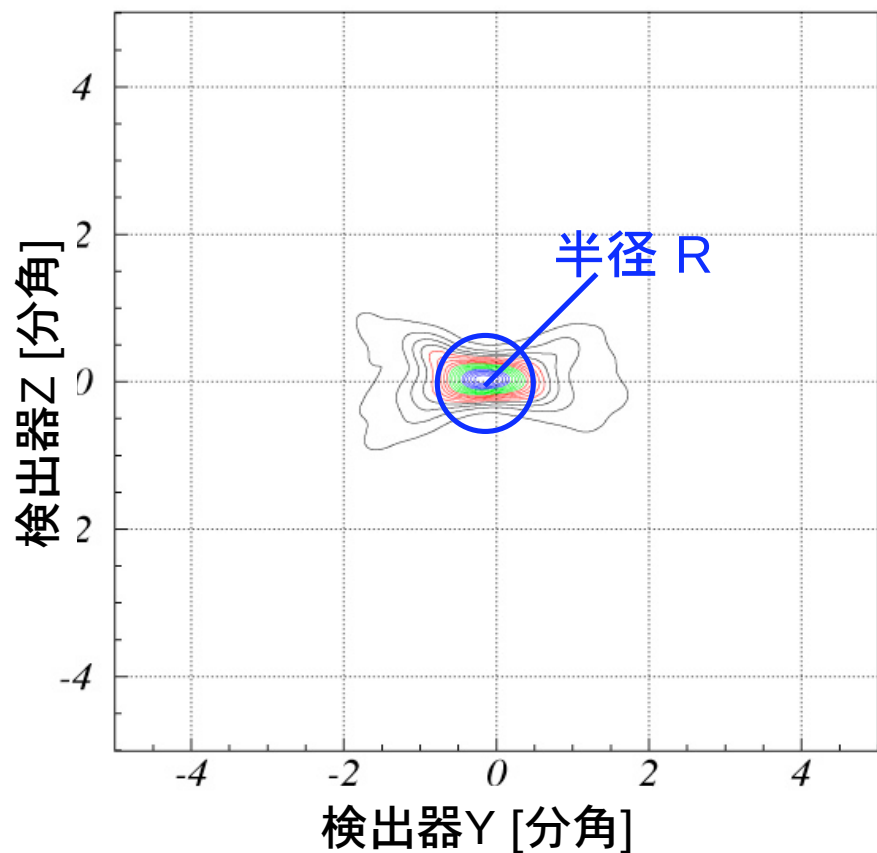
約80%に!

(すざく搭載 : 0.85分角)

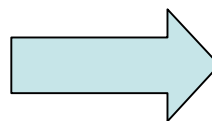
反射鏡の遊びを抑える工夫



反射鏡3組のQuadrantイメージ

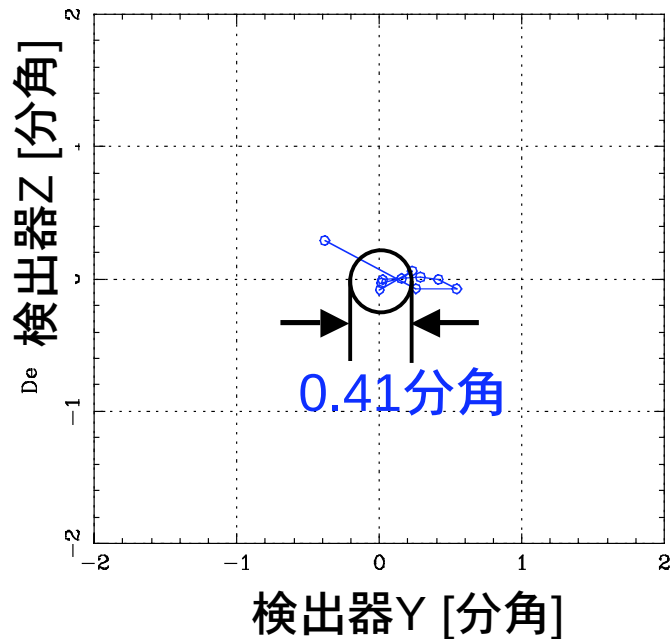


Quadrantの結像性能は
ほぼ変わらず

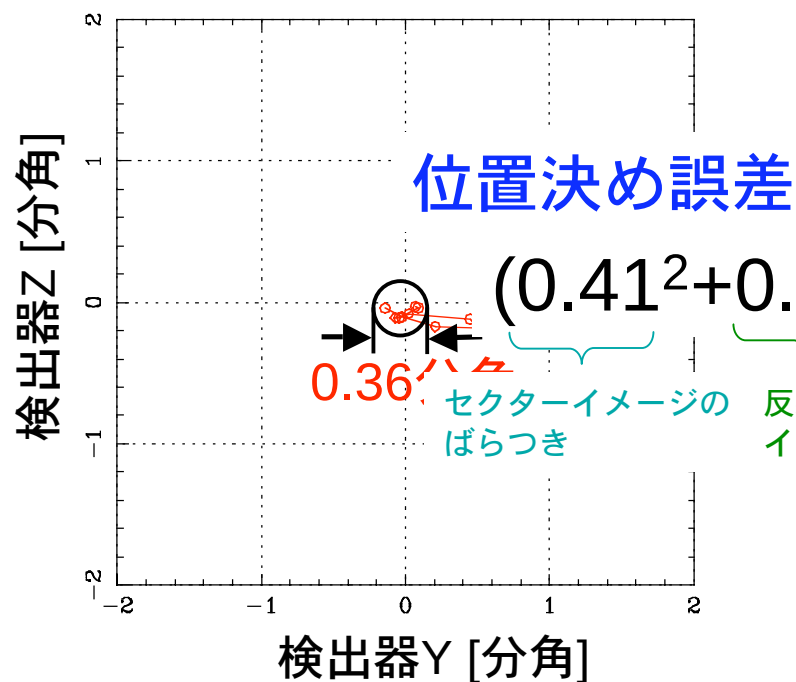
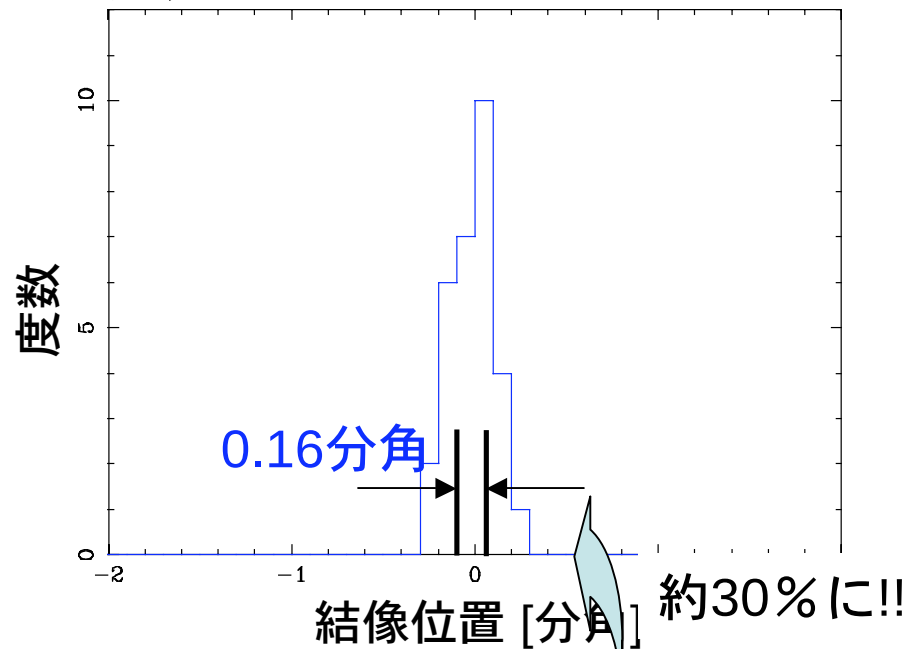


目的であった
位置決め誤差は？

セクターイメージのばらつき



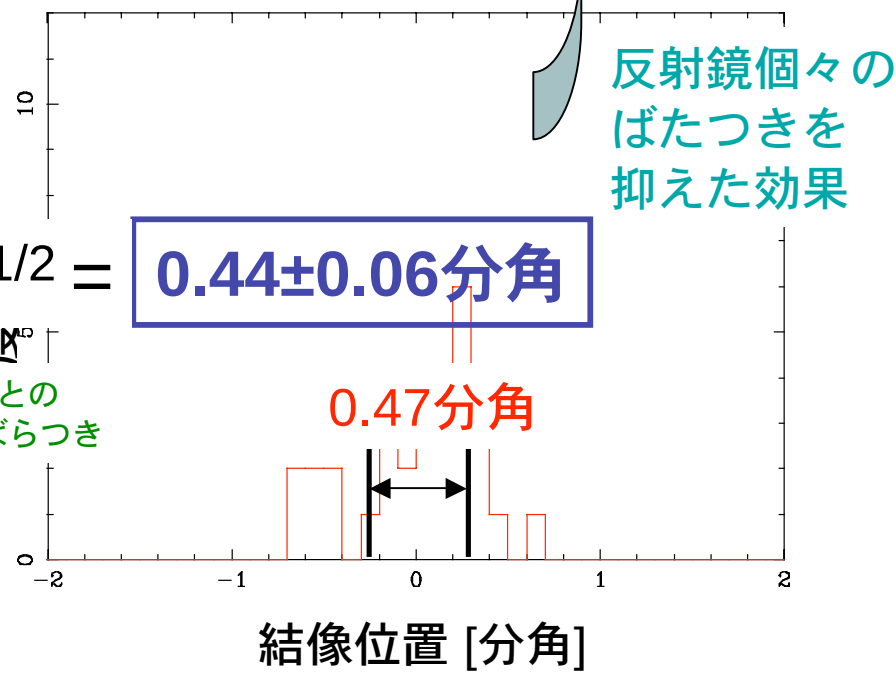
反射鏡1組ごとのイメージのばらつき



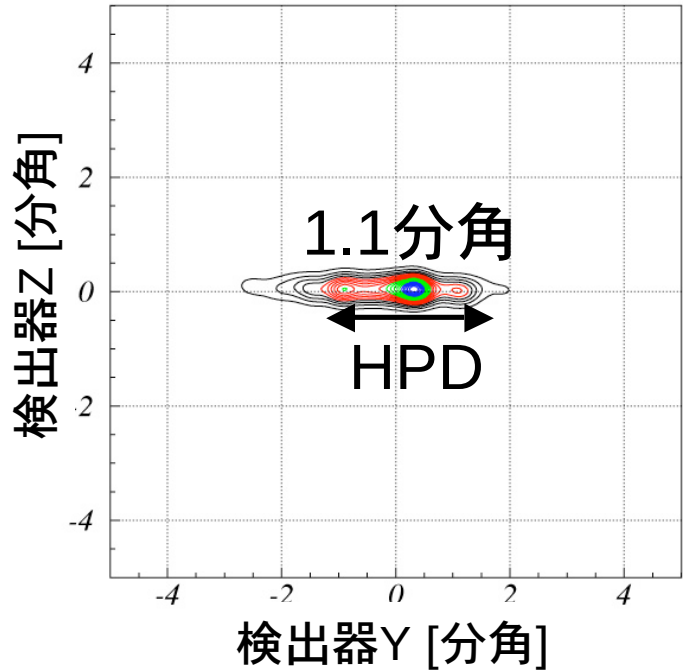
$$(0.41^2 + 0.16^2)^{1/2} = 0.44 \pm 0.06 \text{ 分角}$$

0.36分角 セクターイメージのばらつき

0.16分角 反射鏡1組ごとのイメージのばらつき



反射鏡1組ごとのイメージの広がり

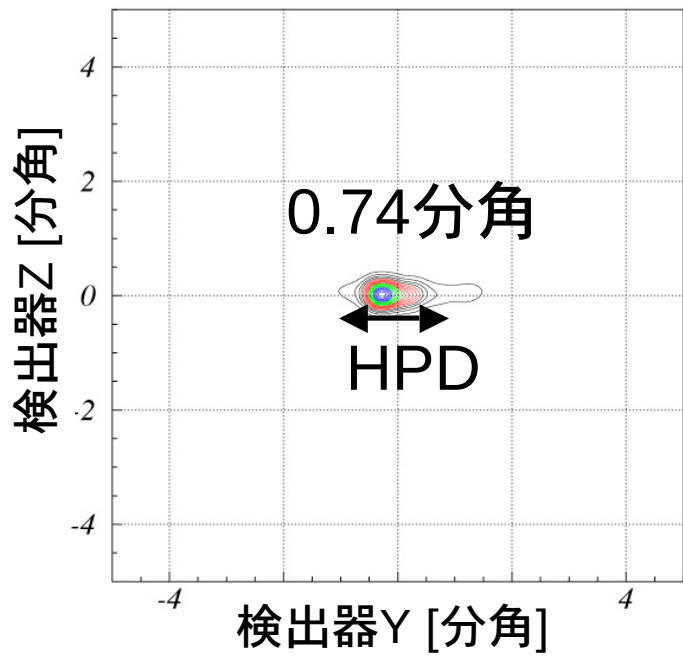


形状誤差

$$(1.1^2 - 0.3^2)^{1/2} = 0.91 \pm 0.06 \text{ 分角}$$

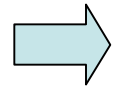
反射鏡1組の
像の広がり(HPD)

円錐近似による
像の広がり



位置決め工夫前
0.68±0.06分角

約125%に



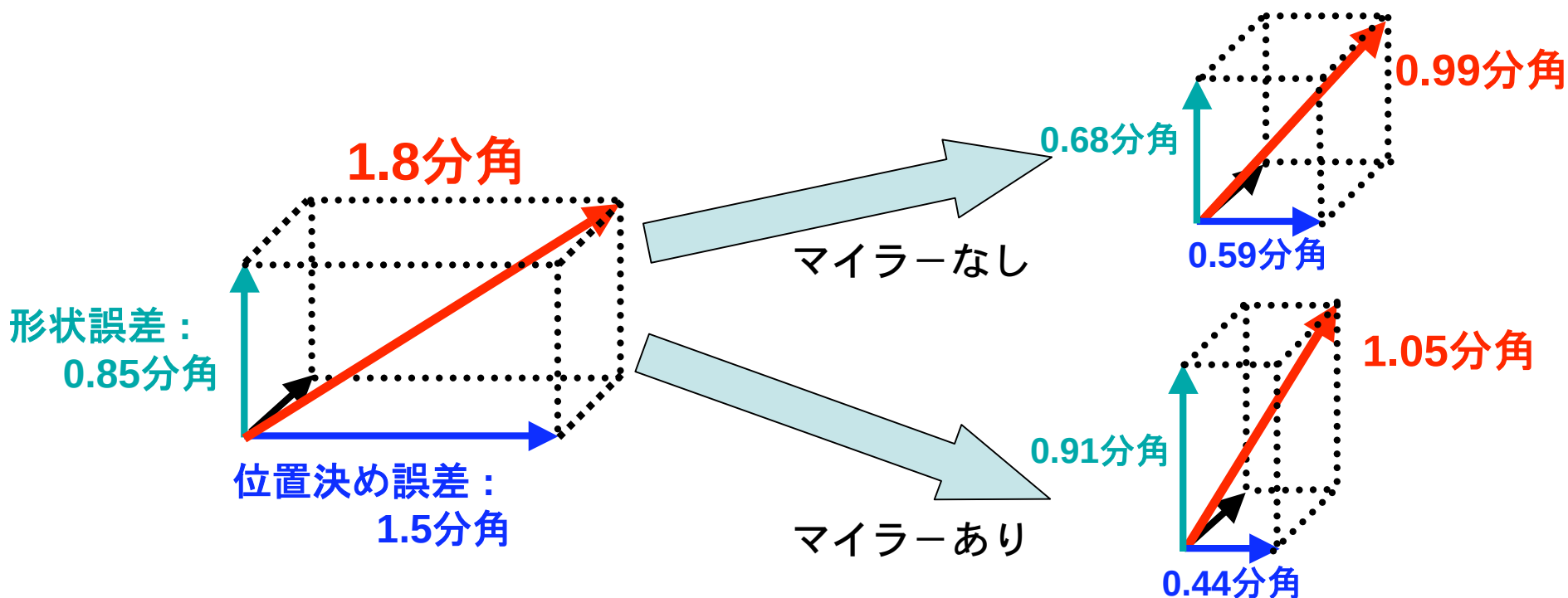
位置決めの工夫により
反射鏡に**ストレス**がかかり
形状が**歪んでしまった**

まとめ

- 新しい反射鏡支持機構「アラインメントプレート」
- プレートの調整が容易に行なえる望遠鏡の設計
- 反射鏡個々のばたつきを抑える工夫

結像性能0.99分角を達成!!

個々のばたつきは抑えられたが、形状に悪影響を与えてしまった



今後の展望

さらに良い結像性能を目指すためには

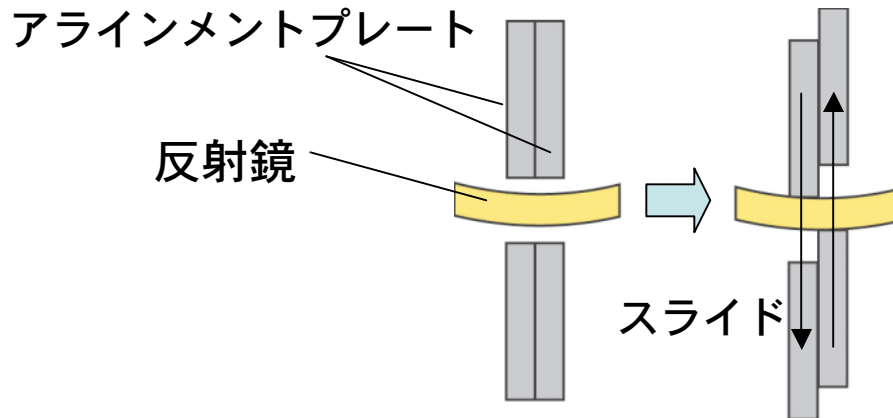
- 形状誤差の改善
0.5分角を切る結像性能の
反射鏡の製作

- 位置決め誤差の改善
形状を歪めずに反射鏡
個々のばたつきを抑える

物理的に形状の変化しにくい
反射鏡の製作

アルミより硬い金属
(ステンレス、Mg合金、etc)

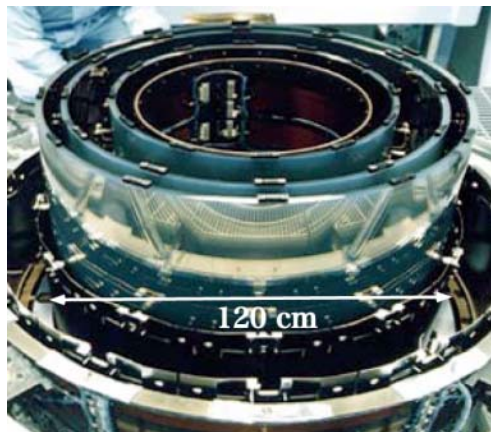
現在より厚い反射鏡



遊びを自由に変更できる

複数枚の反射鏡のばたつきを
一度に抑える

Chandra
(直接研磨)



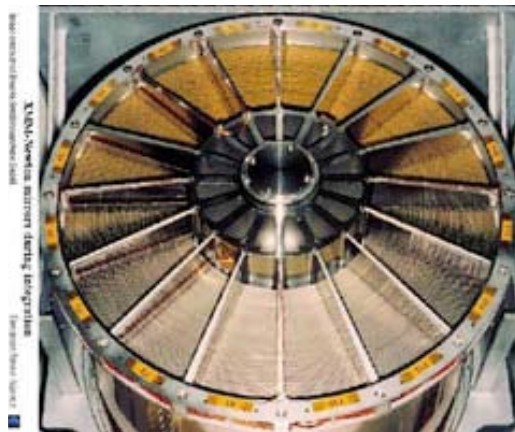
角度分解能

1kgあたりの有効面積

0.5秒角

$0.5\text{cm}^2/\text{kg}$

XMM-Newton
(電鍍法)



15秒角

$4.3\text{cm}^2/\text{kg}$

すざく
(レプリカ法)



1.8分角

$22.7\text{cm}^2/\text{kg}$