

# 硬X線望遠鏡搭載用レプリカ反射鏡の 結像性能の向上

名古屋大学理学研究科  
素粒子宇宙物理学専攻  
宇宙物理学研究室 Ux研  
修士課程1年 渡邊 剛



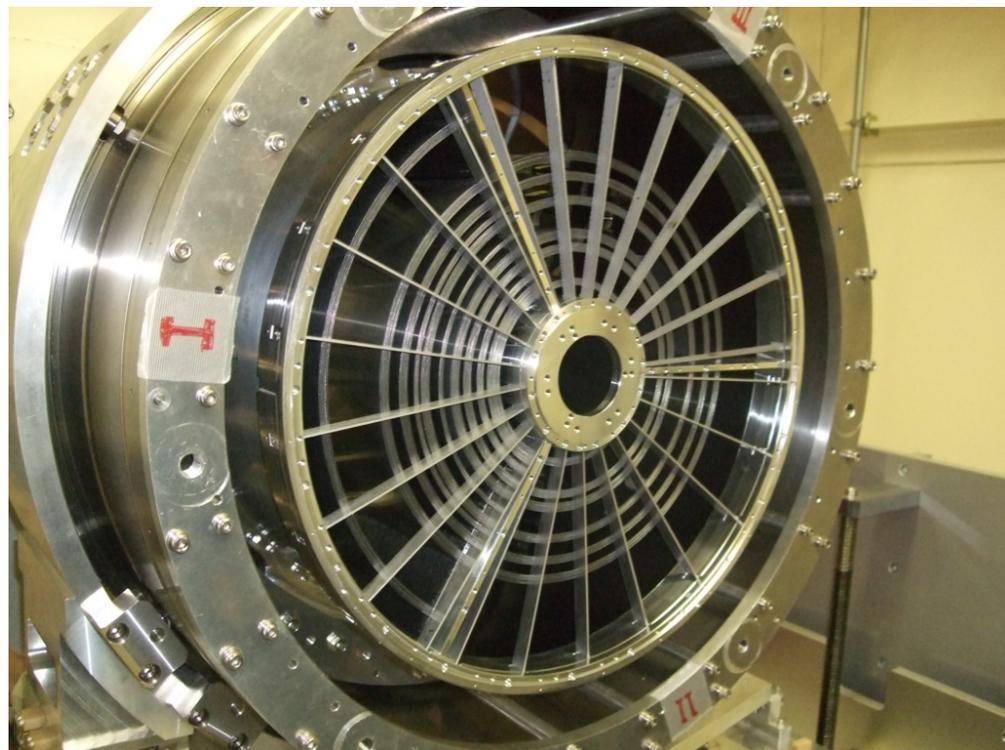
ASTRO-H

2014年打ち上げ予定  
すざく衛星に続く  
日本で6機目のX線天文衛星

口径：45cm

焦点距離：12m

2台の硬X線望遠鏡（HXT）を搭載



HXT

多重薄板型光学系を採用

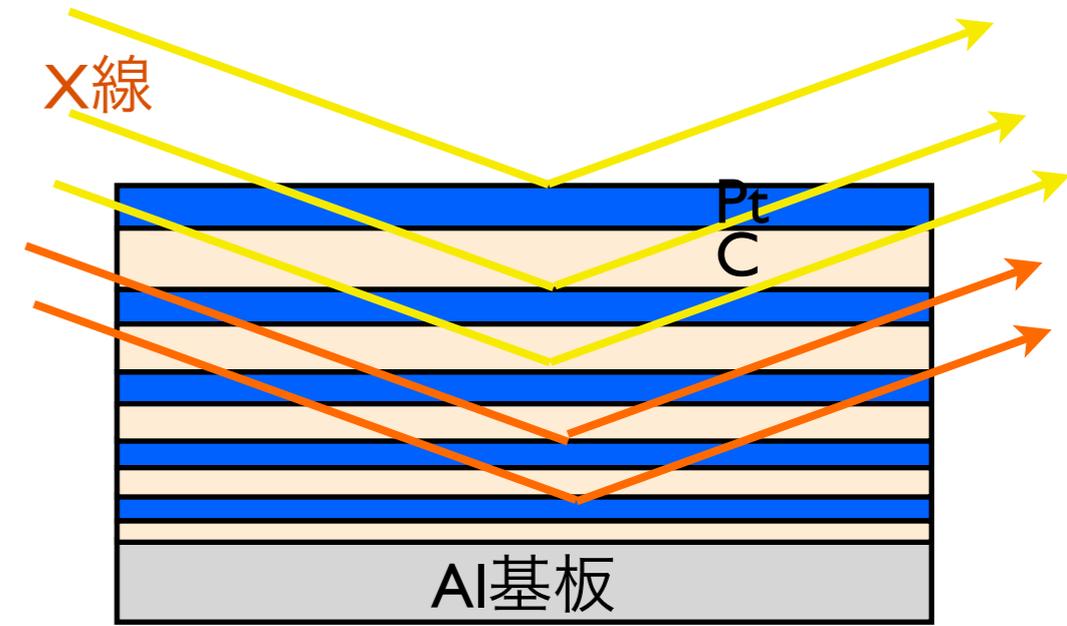
反射鏡総数：1278枚

# 反射鏡 (Pt/C 多層膜スーパーミラー)



長さ : 20cm  
厚さ : 0.22mm

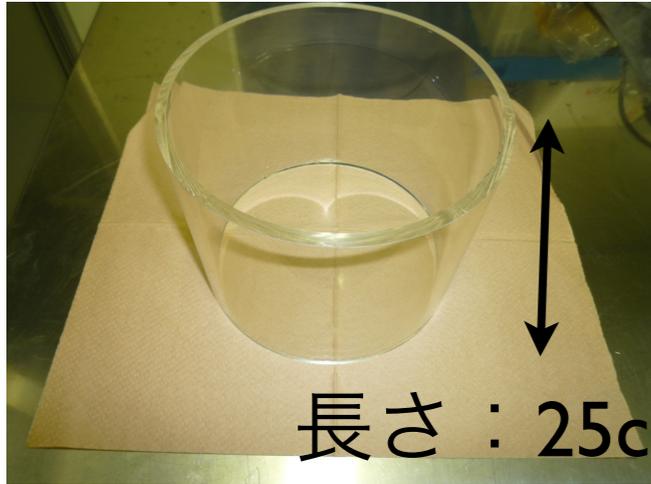
層の厚さ  
を変化  
させる



→広いエネルギー範囲で  
高い反射率を得る事ができる

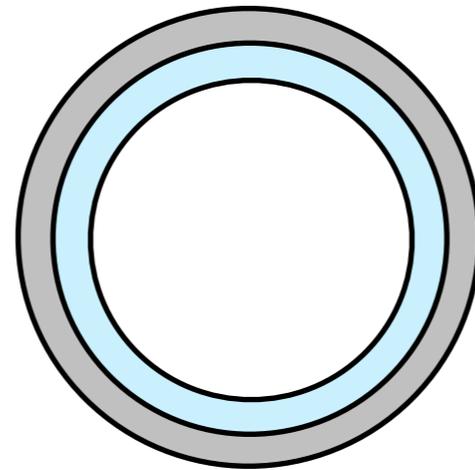
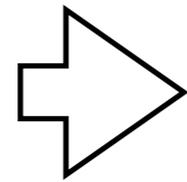
## 反射鏡製作 (レプリカ工程)

直径 : 製作する反射鏡の径によって変化

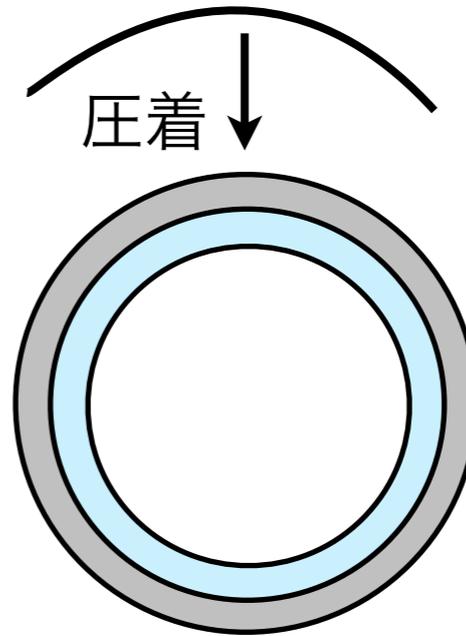
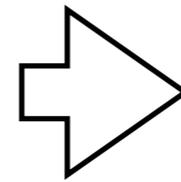


長さ : 25cm

形状の良い  
ガラス母型



ガラス表面に  
Pt/C多層膜を成膜



エポキシを  
塗ったAl基板

エポキシを塗った  
Al基板に多層膜を  
剥がしとる

# 結像性能 (像の広がりを表す指標)

HPD (Half Power Diameter)

: 焦点面上の全強度の50%を含む円の直径

多重薄板型望遠鏡

→ 集光力に優れるが反射鏡が薄く歪みや  
すいたため、結像性能が悪化しやすい

目標: 結像性能の改善

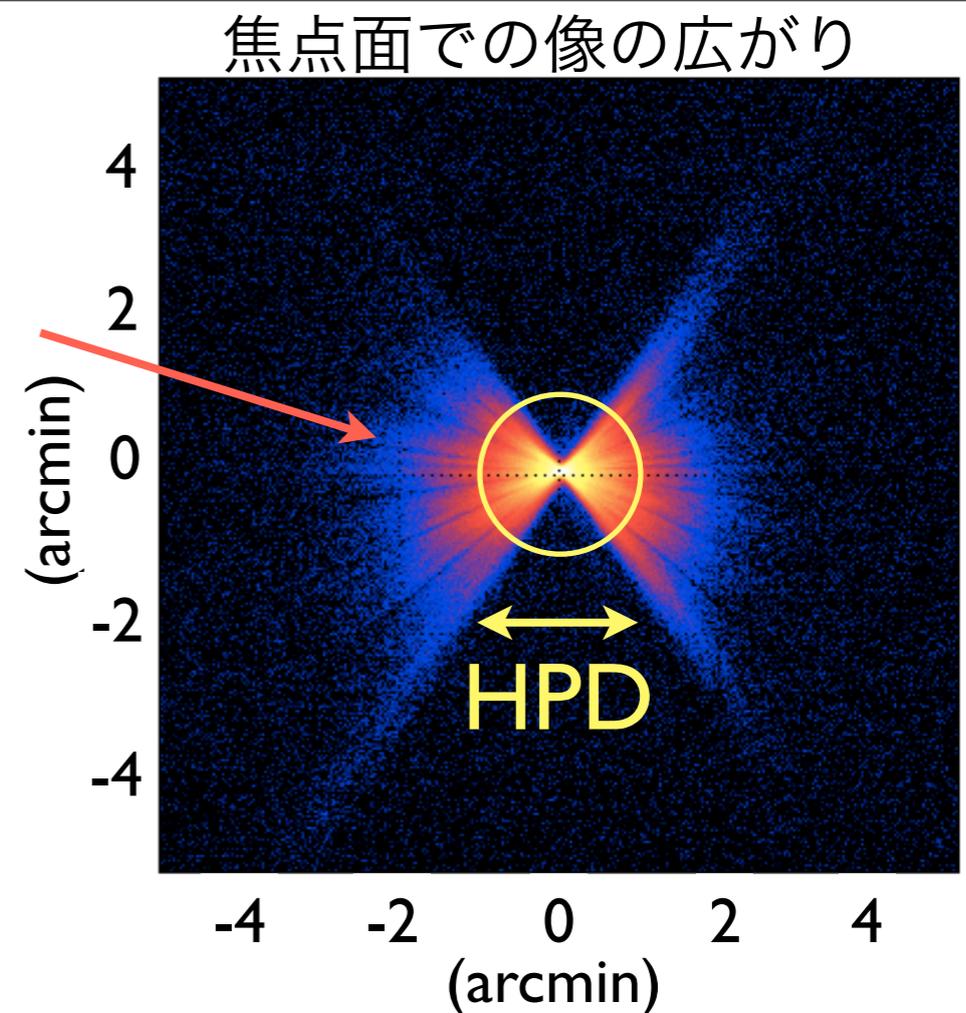
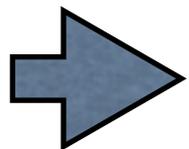
(ASTRO-H要求値: 1.7分角)

結像性能の主な悪化要因

→ 反射鏡単体の形状誤差

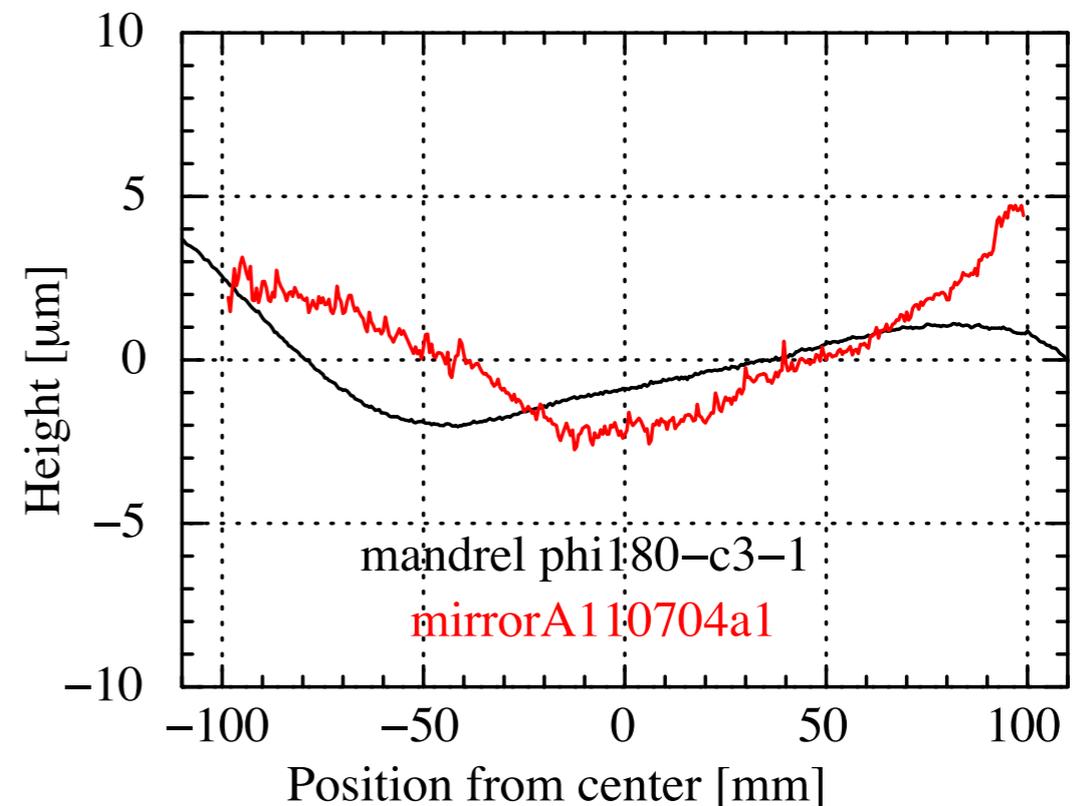
使用するガラス母型の表面形状に  
依存 (右図)

表面形状の良い  
ガラス母型が必要



ガラス母型と反射鏡の形状比較

NH6 measurement

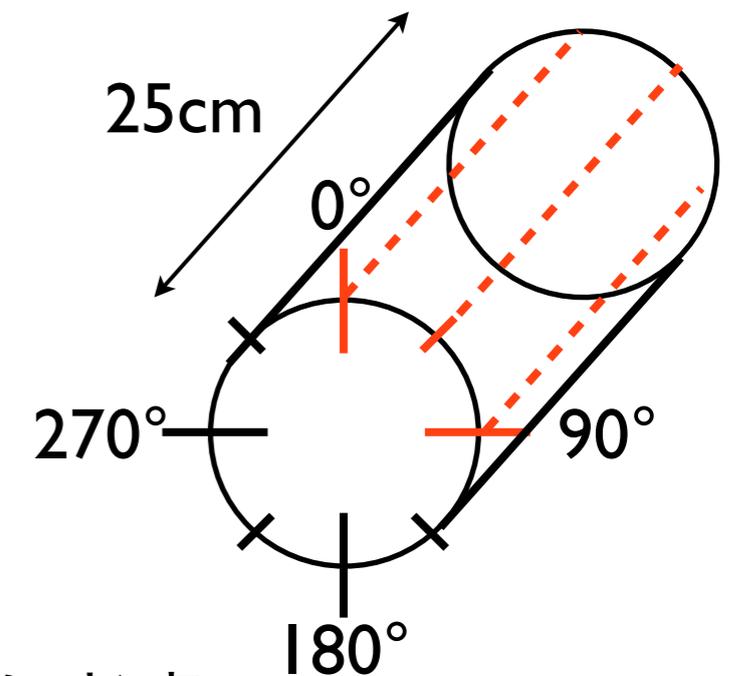


# ガラス母型の選別

- ・ 反射鏡（長さ20cm）製作には25cmのガラス母型の円周方向約120°を使用
- ・ 1つのガラス母型で2枚の反射鏡製作を行いたい（時間の効率化）



→形状の良い連続した3ラインが2カ所ある、25cmのガラス母型が必要



## 選別の流れ

- ・ 1.5m（購入時）のガラス母型の8ラインの形状を考慮
- 「隣り合う3ラインのHPDが1分角以下」を形状の良い箇所と決め、形状の良い25cm部分が多く得られるよう、1.5mのガラス母型を選別

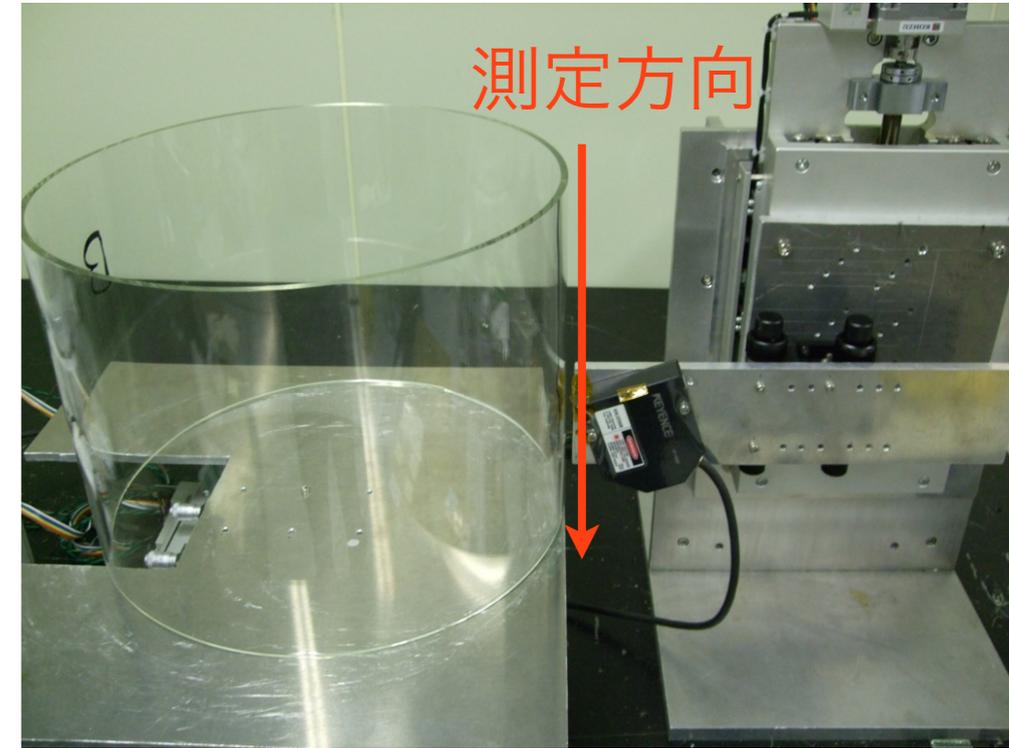
# 過去のガラス母型の選別方法

形状測定機（レーザー変位計）による、  
1.5mのガラス母型の選別

**利点**：定量的な形状評価が可能

**欠点**：測定に時間がかかる

測定機器の可動範囲が50cm以下



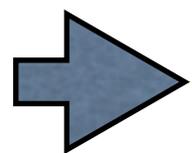
レーザー変位計による形状測定

## 現在のガラス選別の課題

歩留まり（2010年度） → **20/184**（基準を満たした数 / 総測定数）

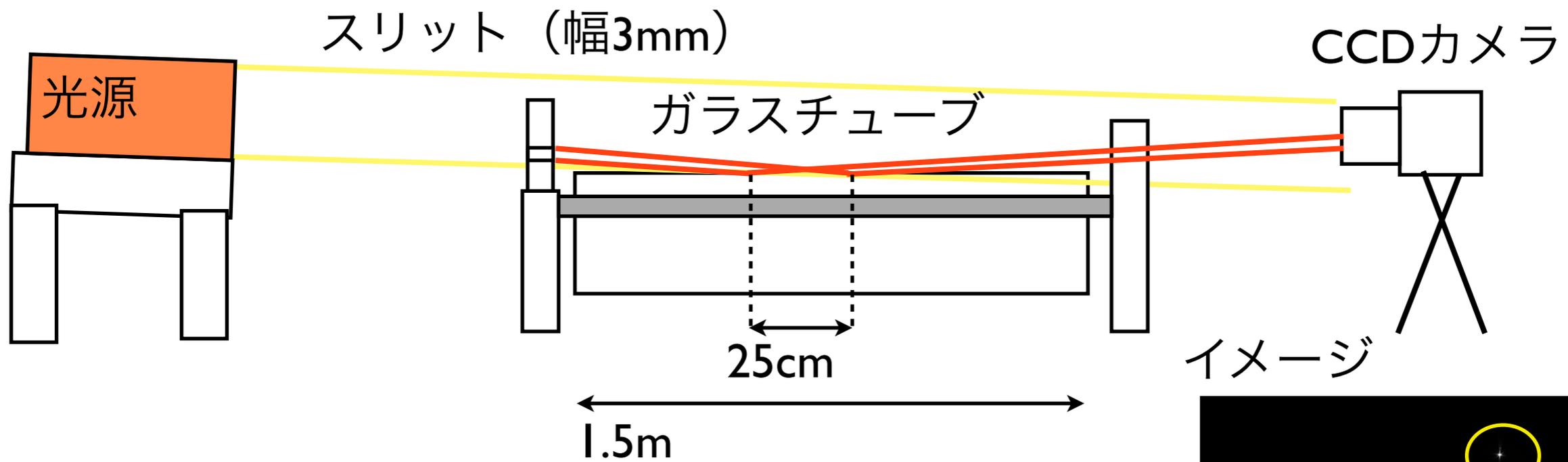
必要なガラス母型 → 約**75本**（約25種類の径、各3本ずつ必要）

→ 形状の良いガラス母型の数が少なく、大量の選別が必要



効率の良いガラス選別を行うために、  
可視光を利用した定量的な形状評価を行う

# 現在のガラス母型の形状評価方法（可視光評価）



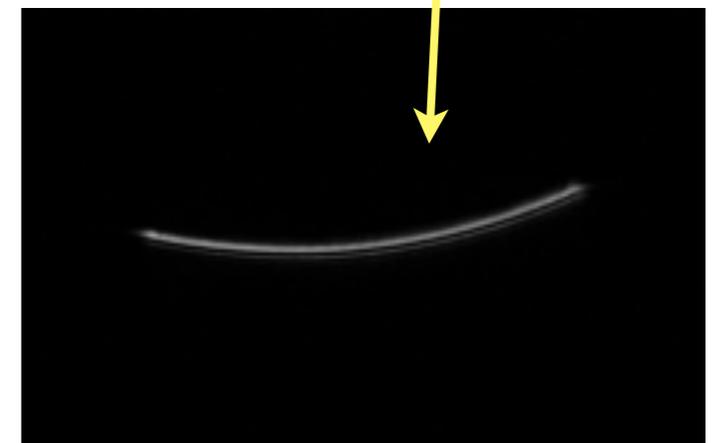
1.5mのガラス母型から形状の良い25cm部分を探す

→反射光の一部を切り出し、プロジェクションをとる。重心を求め、その重心からの累積度数が全データ数の半分となる幅を像の広がりとして計算し、1分角以下を良い形状とする。

**利点**：1.5mの段階で定量的な形状評価が可能  
測定時間が短い



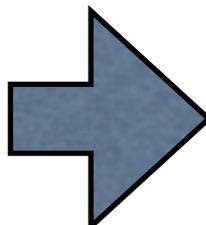
拡大図



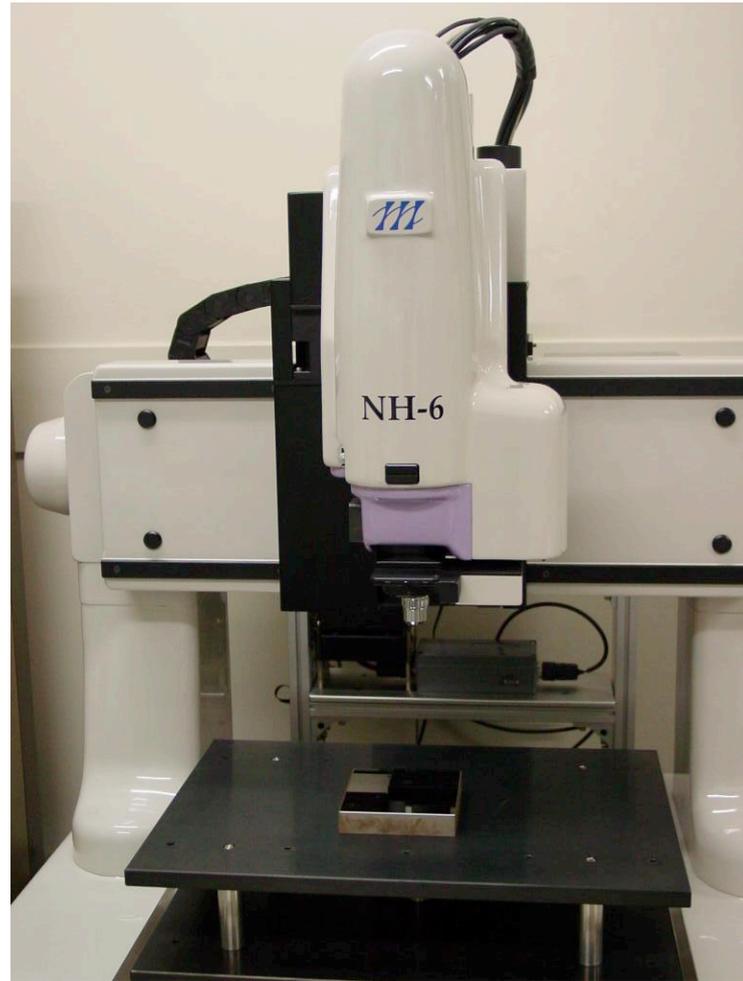
# 今回の実験の内容

- ・ 可視光により選別した25cmのガラス母型から反射鏡を製作
- ・ 製作した反射鏡の表面形状評価、また大型放射光施設SPring-8でX線による性能評価を行う
- ・ ガラス選別の結果と反射鏡の性能評価の結果を比較

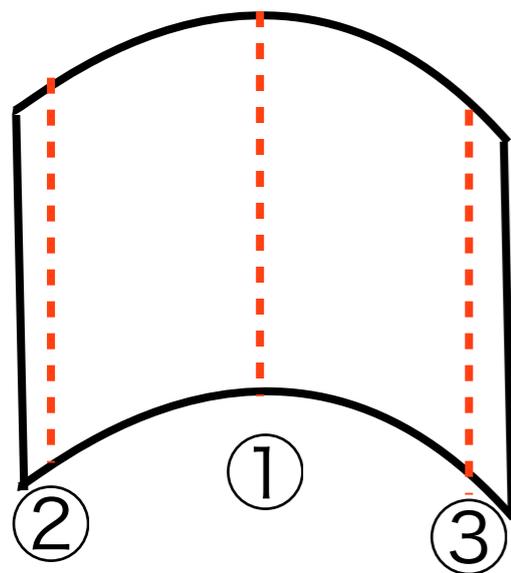
## 目的

- 
- ・ 可視光による母型の定量的な形状評価ができているか
  - ・ ASTRO-H/HXTの要求精度を満たした反射鏡ができているかを調べる

# 反射鏡の形状測定



NH-6 形状測定器



→製作に使用した  
ガラス母型と同じ  
3ラインを測定

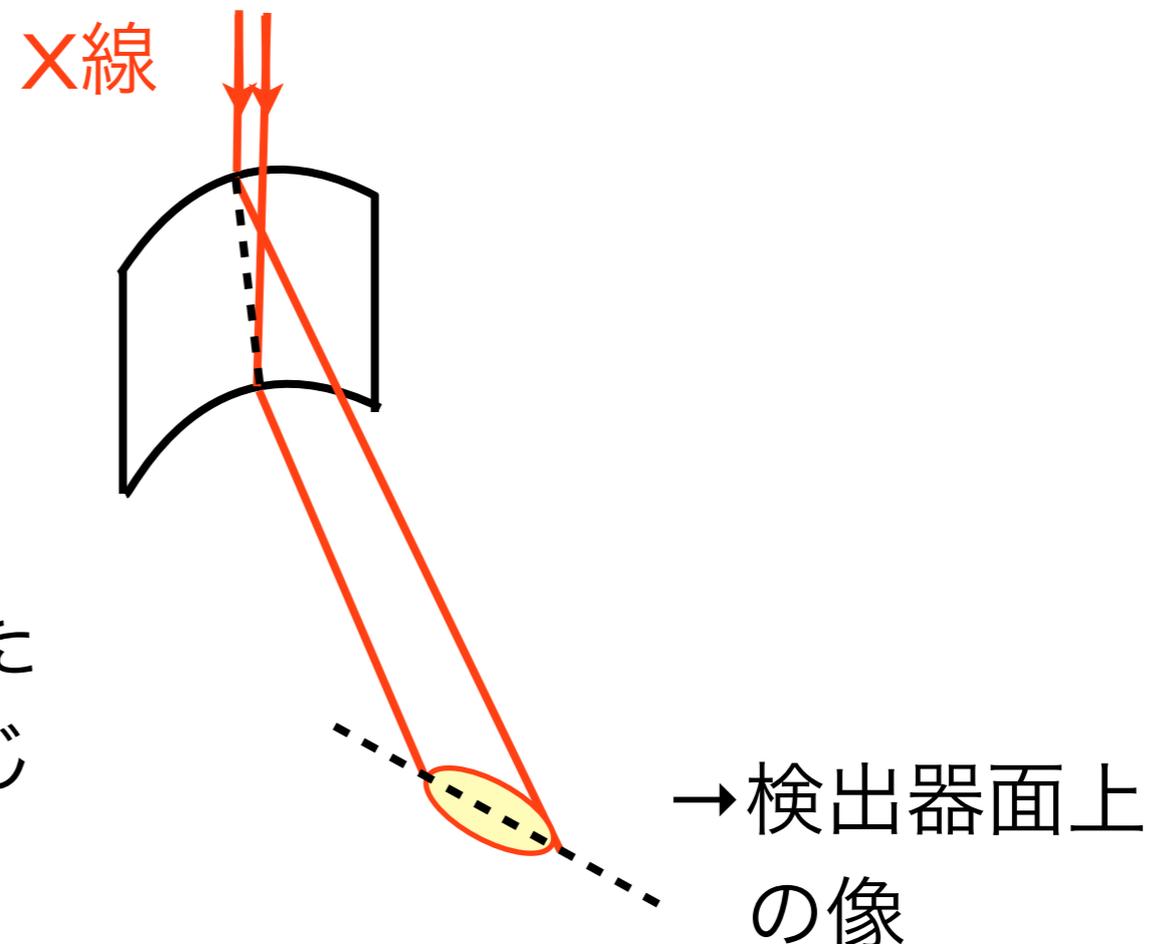
# 反射鏡の性能評価 (SPring-8)

## Spot image測定

(ビームサイズ0.6mm×0.6mm)

細いビームを当て、望遠鏡を移動させながら1枚の反射鏡全体を照らしていく

→反射鏡の表面形状による像の広がり、結像位置などを調べる



# 反射鏡の形状測定

ガラス母型の選別過程

1.5m (可視光評価)

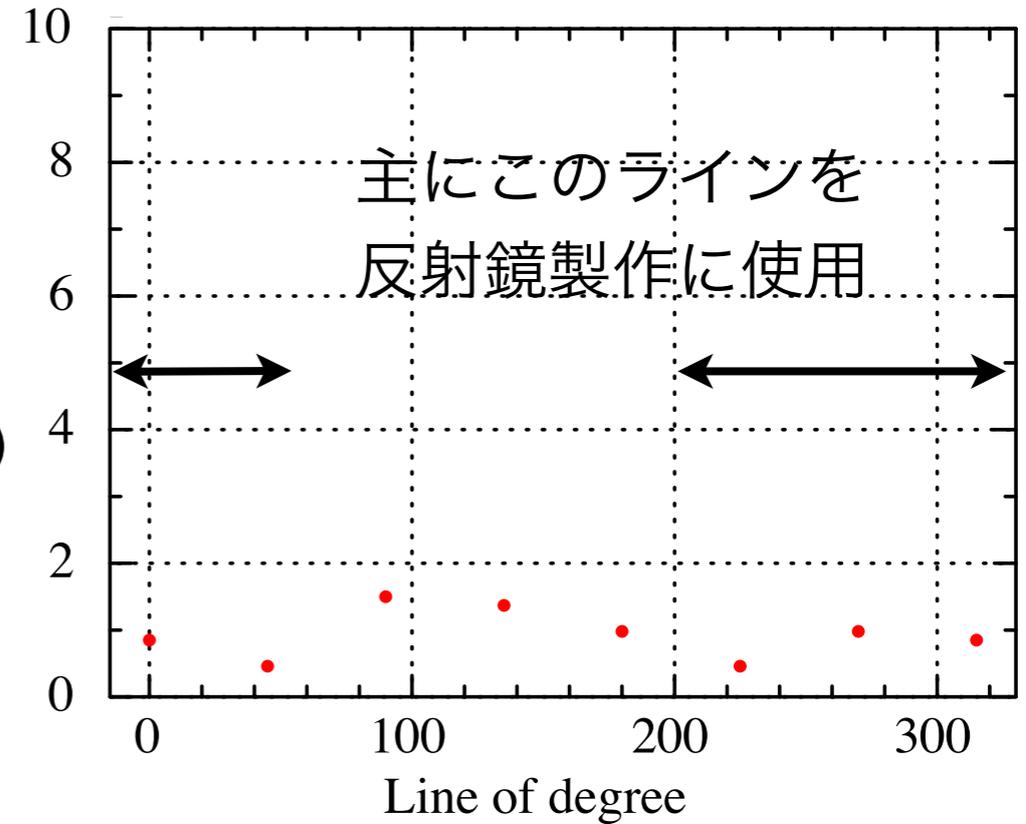
→25cm (可視光評価)

製作した反射鏡4枚の表面  
形状測定を行った

→反射鏡4枚のHPDの平均：**1.04**[arcmin]

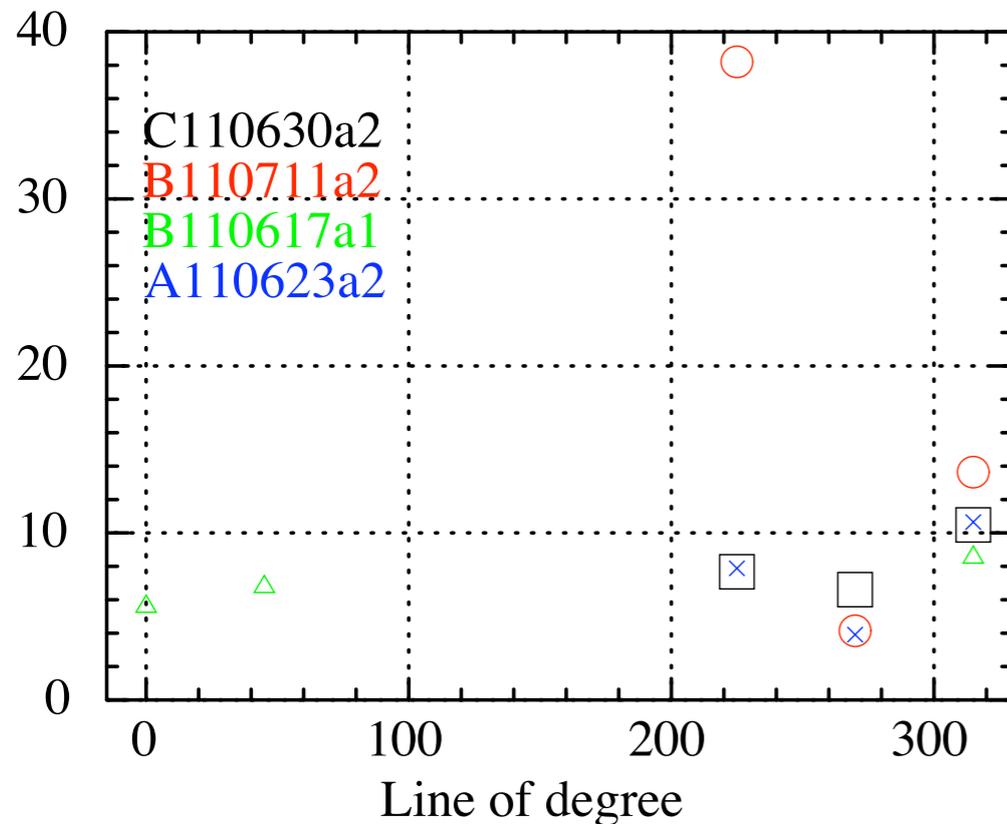
## 25cmガラス母型

像の  
広がり  
(arcmin)



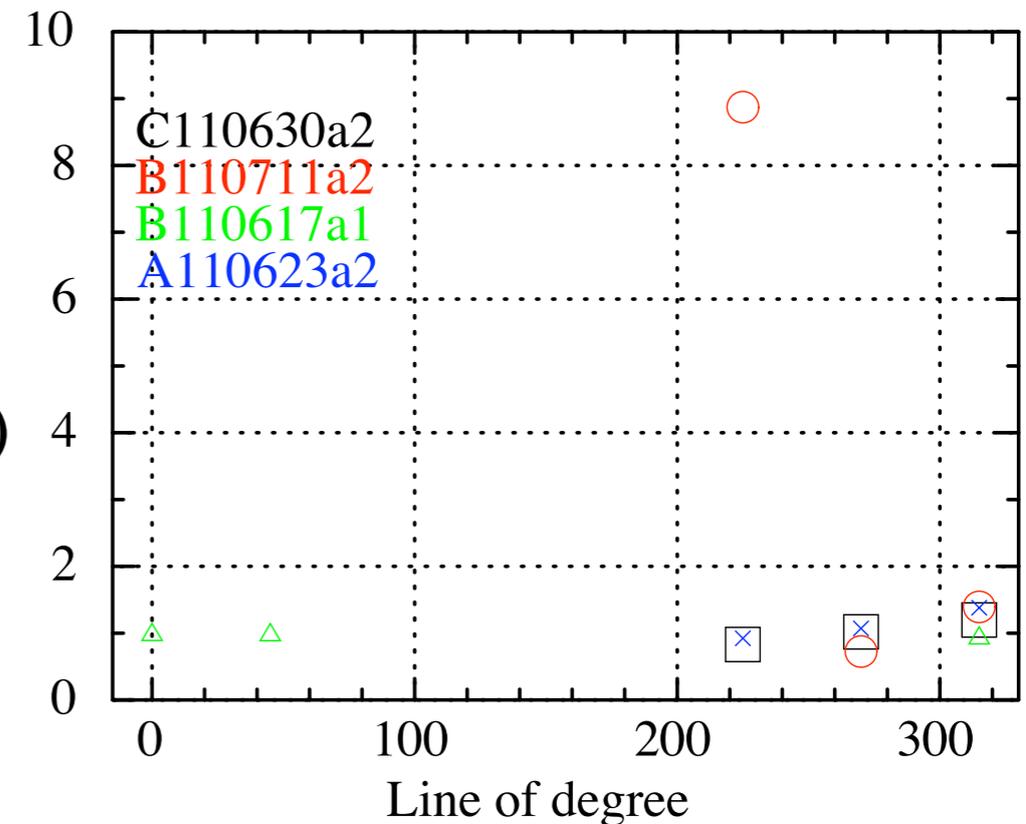
## 反射鏡 (PV)

PV  
( $\mu\text{m}$ )



像の  
広がり  
(arcmin)

## 反射鏡 (HPD)



# 反射鏡の性能評価 (SPring-8)

ガラス母型の選別過程

1.5m (レーザー変位計による形状評価)

→25cm (可視光評価)

Spot image測定

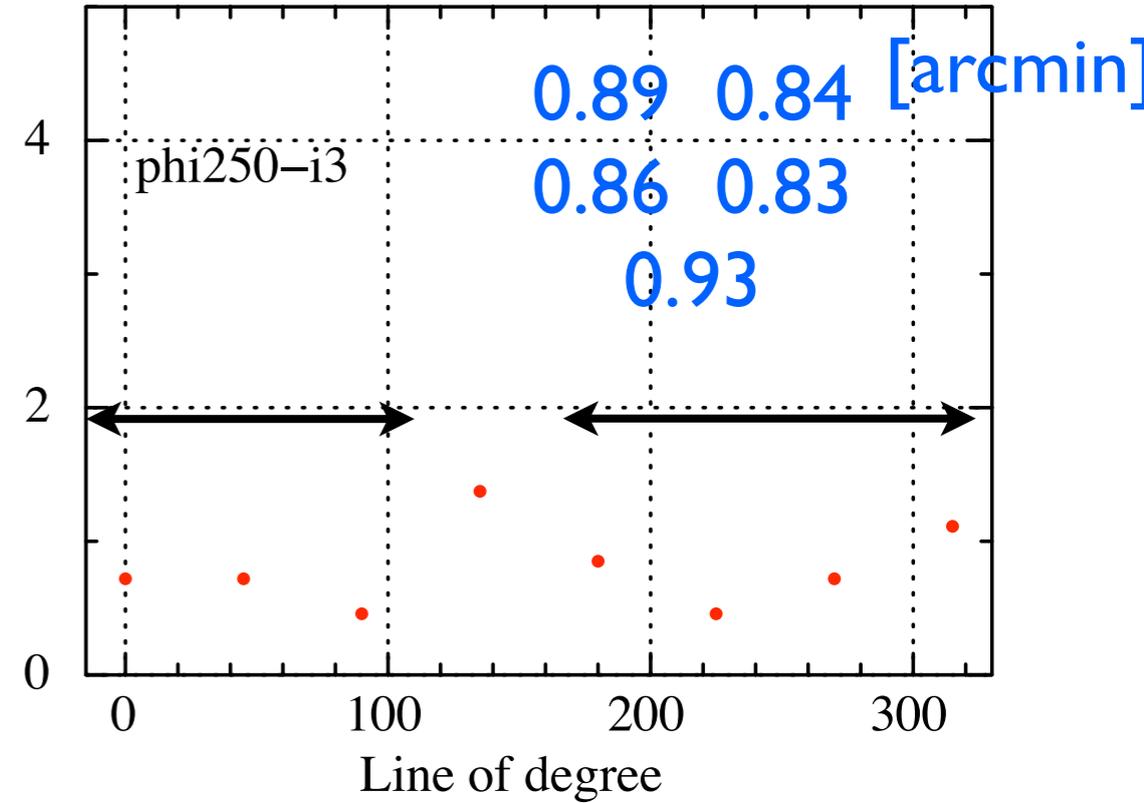
(ビームサイズ0.6mm×0.6mm)

→反射鏡10枚のHPDの平均 : **0.89**[arcmin]  
(目標値 : **0.85**[arcmin])

像の  
広がり  
(arcmin)

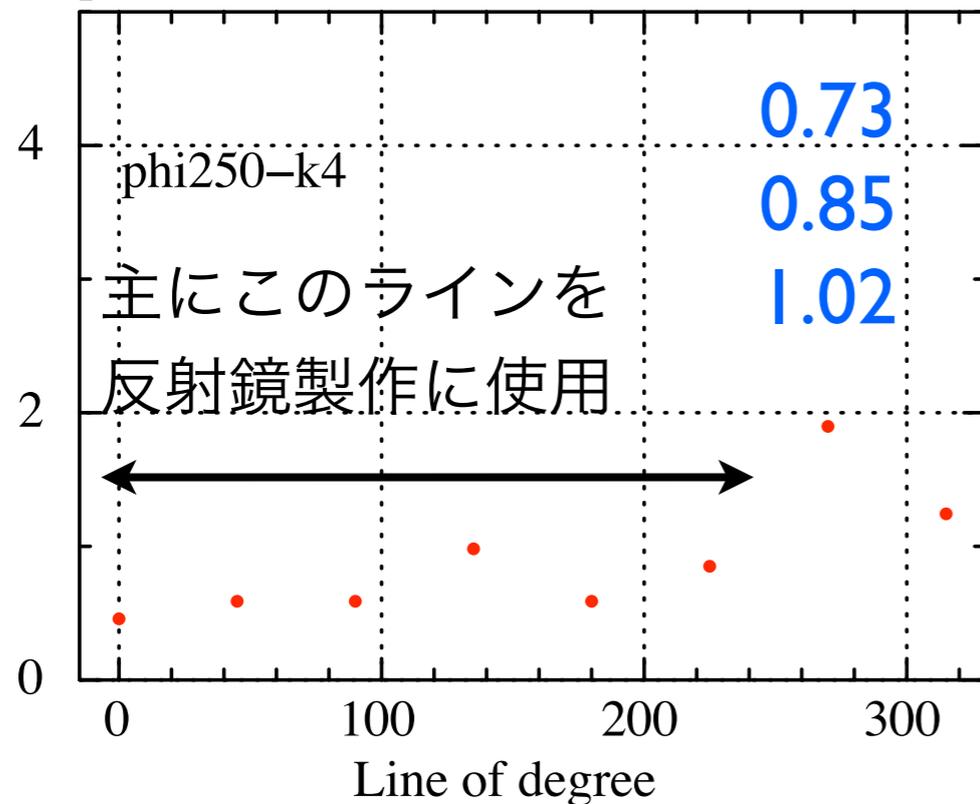
## 25cmガラス母型①

SPring-8  
での結果



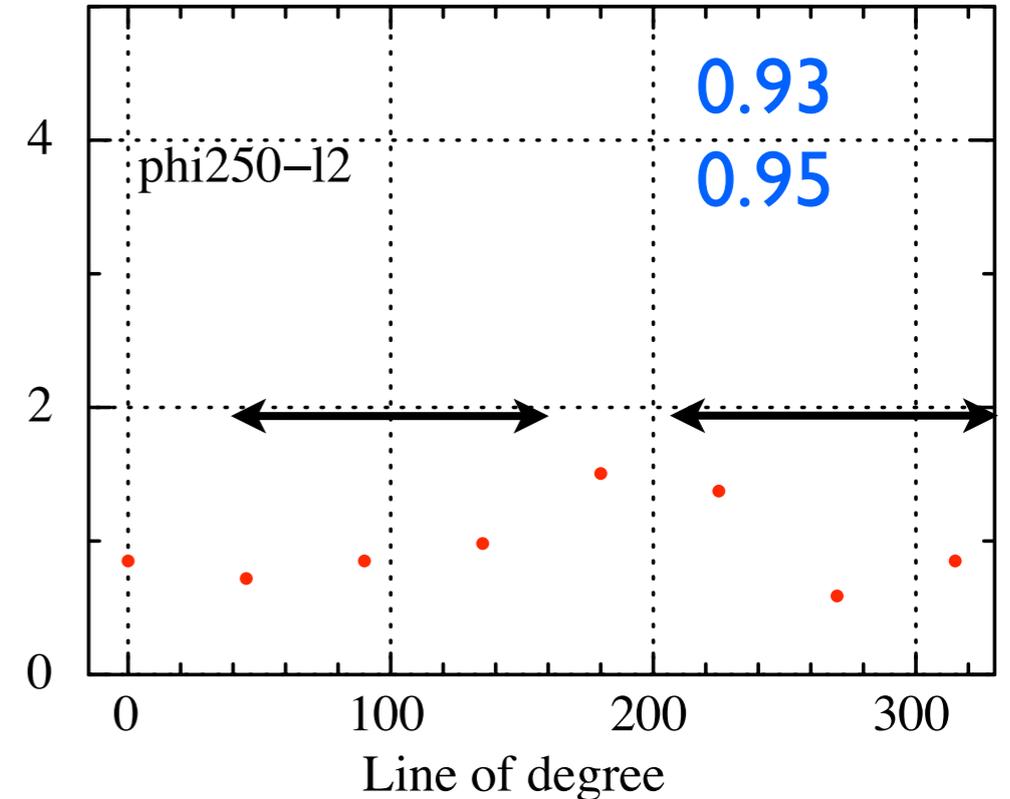
## 25cmガラス母型②

像の  
広がり  
(arcmin)



像の  
広がり  
(arcmin)

## 25cmガラス母型③



## まとめ

- ・ 可視光評価によるガラス母型選別
- ・ 選別した母型から製作した反射鏡の形状測定、SPring-8での性能評価を行った。

結果（反射鏡表面形状による像の広がり）

- ・ 形状測定の結果→**1.04**分角（1回反射）
- ・ SPring-8の結果→**0.89**分角（1回反射）  
**1.26**分角（2回反射）
- ・ 可視光評価で1分角以下を基準に選別した母型から、形状の良い反射鏡が製作できている
- ・ ASTRO-Hの目標値**0.85**分角を満たす反射鏡の製作ができている

## 今後の目標

今までは形状の良い母型の数が不足していた。今後は、現在のガラス選別方法により反射鏡製作を行い、ASTRO-Hの目標値を達成する。