

DIOS衛星搭載用4回反射型望遠鏡 FXT の開発の現状

桜井 郁也, 田原 譲, 滝沢 峻也, 馬場崎 康敬, 中道 連 (名古屋大学),
杉田 聡司 (愛媛大学), 前田 良知, 林 多佳由 (ISAS)

小型衛星 DIOS のX線光学系は、観測対象であるWHIM（中高温銀河間物質）が面輝度の低い広がった天体であることから $100 \text{ cm}^2 \text{ deg}^2$ 以上の大きな $S\Omega$ が求められる。我々は、これに適した光学系として4回反射型X線望遠鏡 FXT (Four-stage X-ray Telescope) の開発を行っている。FXT は、70cm の短焦点距離と直径 60cm の大口径を特徴とした、低輝度ガス観測に適した光学系である。今回、我々は直径 500mm 付近の大口径要素ミラーの製作を行った。この口径では4段目の反射鏡の円錐頂角が最大 34.4 度になるため、これまでの円筒ガラス母型を用いた要素ミラー製作方法では熱成形した円錐基板の形状をゆがめてしまう。そのため、円錐アルミ金型と薄板ガラスをレプリカ母型とする新たな方法を採用している。同時に、大口径反射鏡を搭載できる直径 600mm の新しいハウジングの製作を行い、各段の反射鏡支持の位置決め溝を一体化したアライメントプレートを用いる事で反射鏡の位置決め誤差の低減を図った。我々は、製作した望遠鏡ハウジングに直径 50cm 近傍の 4組の要素ミラーを組み込み、宇宙航空開発機構 (ISAS) のX線ビームラインでX線評価試験を行った。

DIOS 衛星 (Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor)

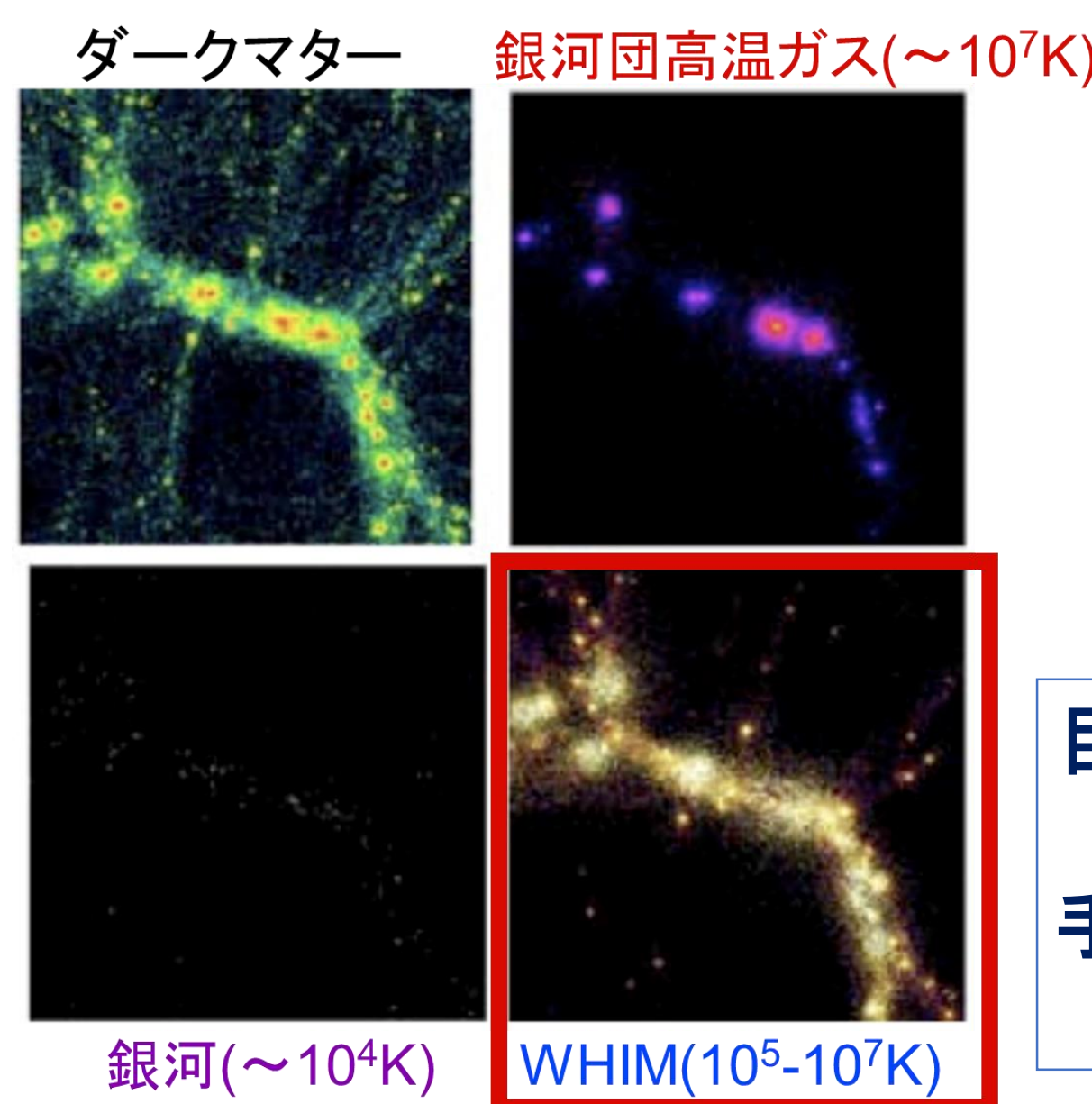


Fig 1: DIOS satellite

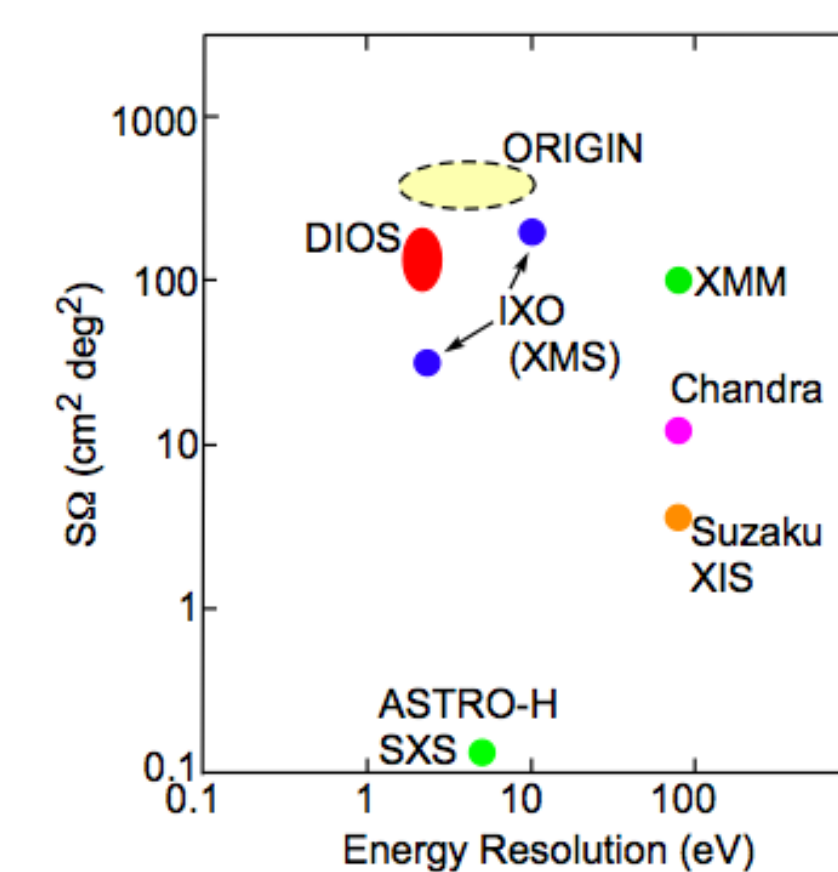
目的: 宇宙の大規模構造探索
ダークマター、ミッシングバリオンの分布を解明する。
手法: WHIM (Warm/Hot Intergalactic Medium) の分布観測
WHIMからの酸素輝線 (OVII, OVIII K α 輝線) を検出する。

観測上の問題点:

- 観測対象が拡散、面輝度が低い
→ 広視野、大有効面積の望遠鏡
- 銀河の豊富な放射輝線
→ 高エネルギー分解能の検出器

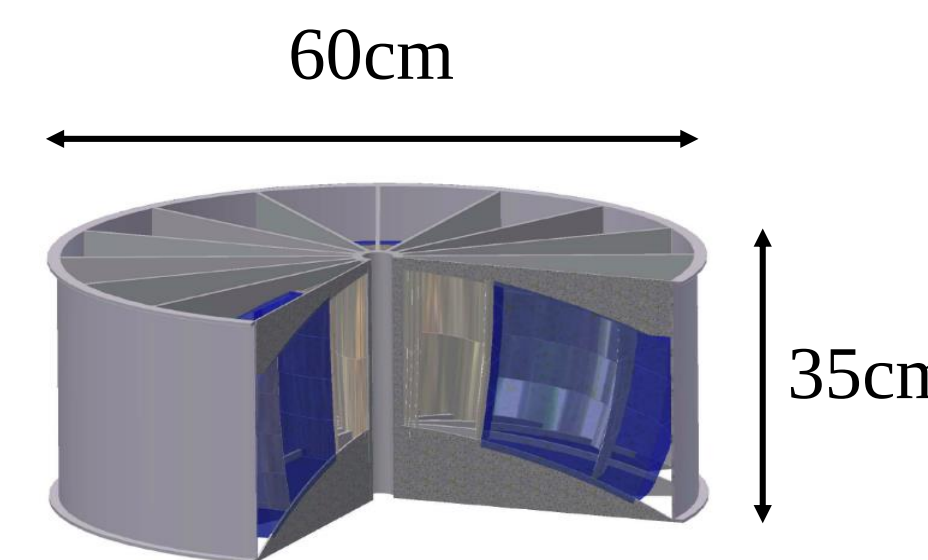
Effective area	> 100 cm ²
Field of view	50° diameter
GRASP (S Ω)	100 cm ² deg ² @ 0.6keV
Angular resolution	4' (16 x 16 pix)
Energy resolution	5 eV (FWHM) @ 0.3-1.5 keV
Energy band	0.3 -1.5 keV
Mission life	5 yr

Table 1: FXT baseline design parameters



FXT (Four-stage X-ray Telescope)

低輝度なガス観測に適した大きな GRASP を有し、短焦点の4回反射型光学系を採用する事で小型衛星への搭載を実現している。



XSA (TES X-ray spectrometer array)
TES型マイクロカロリメータ (ポスター P2-31,32,33)

FXT (Four-Stage X-ray Telescope)

Design and Performance

DIOS ミッションでは軟X線領域で大きな有効面積とGRASPが必要であり、拡張 Wolter- I 型光学系 (放物面-双曲面-双曲面-双曲面) を持つ4回反射型X線望遠鏡 (FXT) を採用している (Tawara et al., 2005)。また、実際のFXT 反射鏡製作では、「すざく」や「ASTRO-H」同様、円錐近似した光学系を使用する。

Focal length	70 cm
Diameter	60 cm
Mirror height	4 cm/stage
Mirror surface	C 25 Å + Ni 25 Å + Pt 300 Å
Nesting	36 (2-stage) + 41 (4stage) (Bounding for 20cm)

Table 2: Design parameters of DIOS-FXT

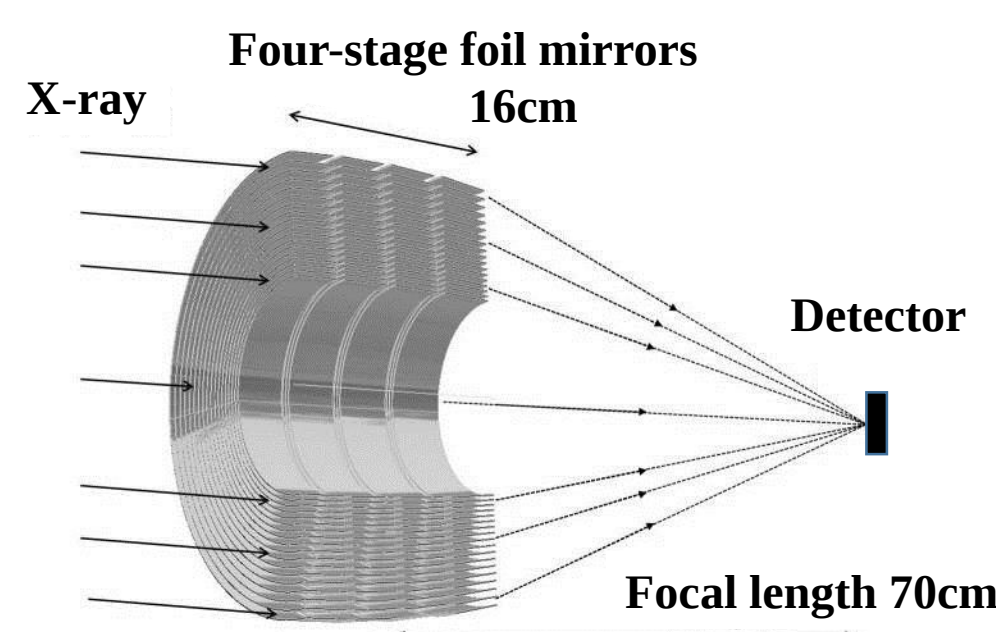


Fig 2: Schematic View of Four-stage telescope

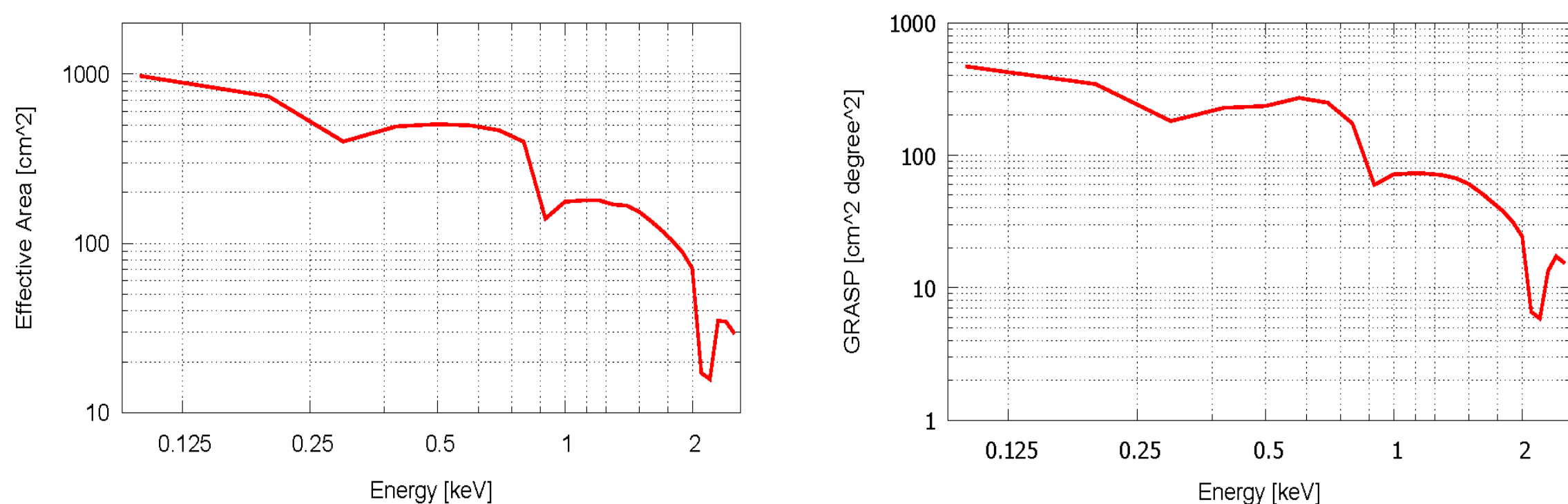


Fig 3: Calculated effective area and grasp using by detector 15 × 15mm²

FXT Demonstration Model

光学、X線試験評価用 FXT デモンストレーション 1/4 モデル (直径 60cm) の製作を行った (Fig 4)。ハウジング内部の要素ミラーの支持には、各段の反射鏡支持の位置決め溝を一体化したアライメントプレートを採用する事で反射鏡の位置決め誤差の低減を図っている。FXT デモンストレーションモデルには、小半径領域 (直径 ~18cm) と大半径領域 (~50cm) で各10組の要素ミラーの挿入が可能である。

Top View



Side View



Fig 4: FXT demonstration model

多段一体型
アライメントプレート

Optical and X-ray Measurement of FXT

Optical measurement

製作した FXT デモンストレーションモデルに直径 45cm の4段ミラー 1組を挿入、可視平行光を当て焦点位置での4回反射像の評価を行った (Fig 5)。その結果、我々は 角分解能の目標値 (Table 1) を満たす Half Power Diameter (HPD) = 4分角を得ることができた (Fig 6)。

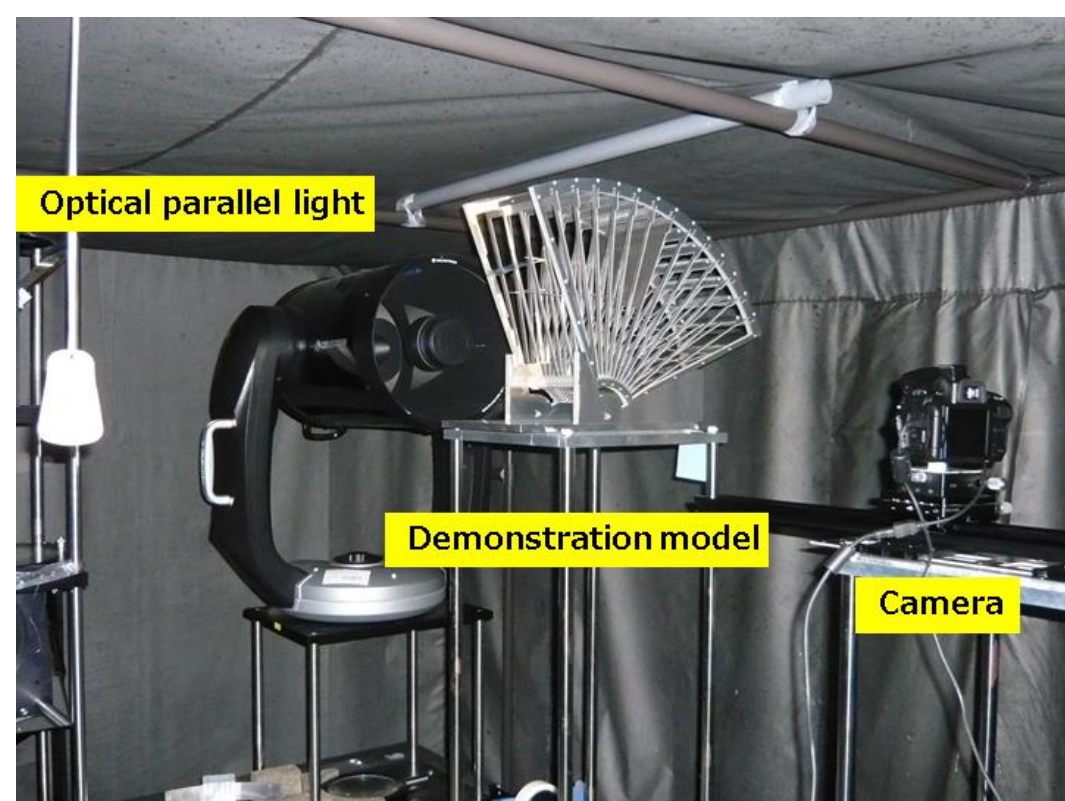


Fig 5: Optical test bench using parallel beam

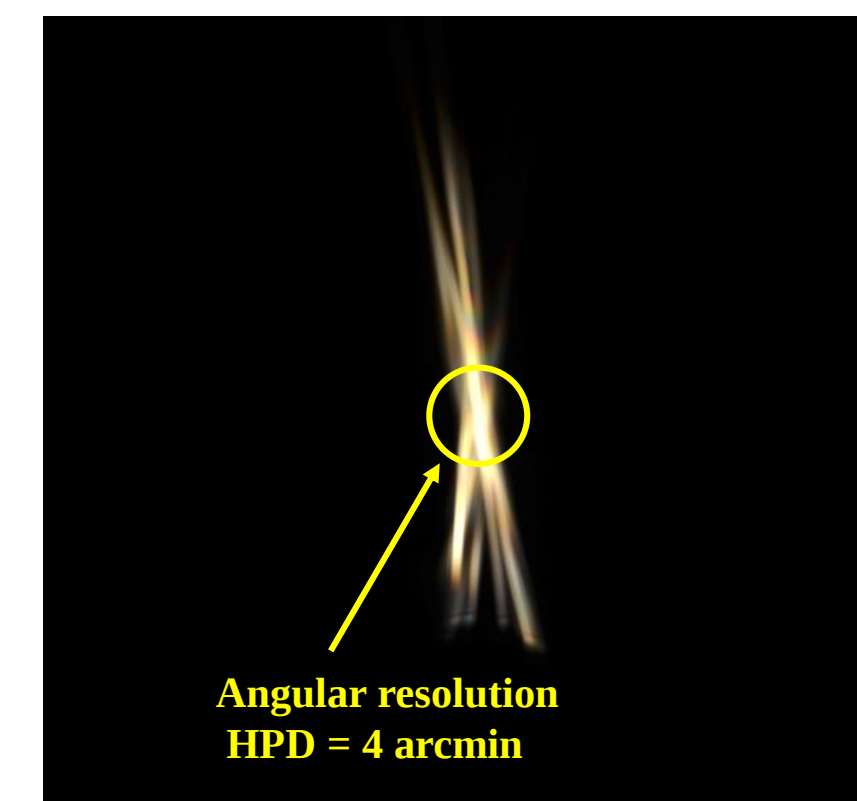


Fig 6: Optical Image on focal plane

X-ray Measurement at ISAS

2013年 10月10-14日、11月14-20日に ISAS X線ビームラインにて 1.5 keV (Al) のエネルギーで FXT デモンストレーションモデルに4組の要素ミラーを挿入してX線入射試験を行った。

- 光軸イメージの取得を行い、焦点距離が設計値 (700mm) と一致する事を確認した。
- 位置分解能の HPD は、16.5 分角と設計値より大幅に悪く、反射鏡の製作精度の向上が必要である事が確認できた。
- 現在、反射鏡製作に ASTRO-H チームの協力を得ることで精度の向上が確認できている。
- 4回反射の vignetting data を光軸から ±1度範囲で取得した。結果はシミュレーションとの比較を含め現在解析を行っている。

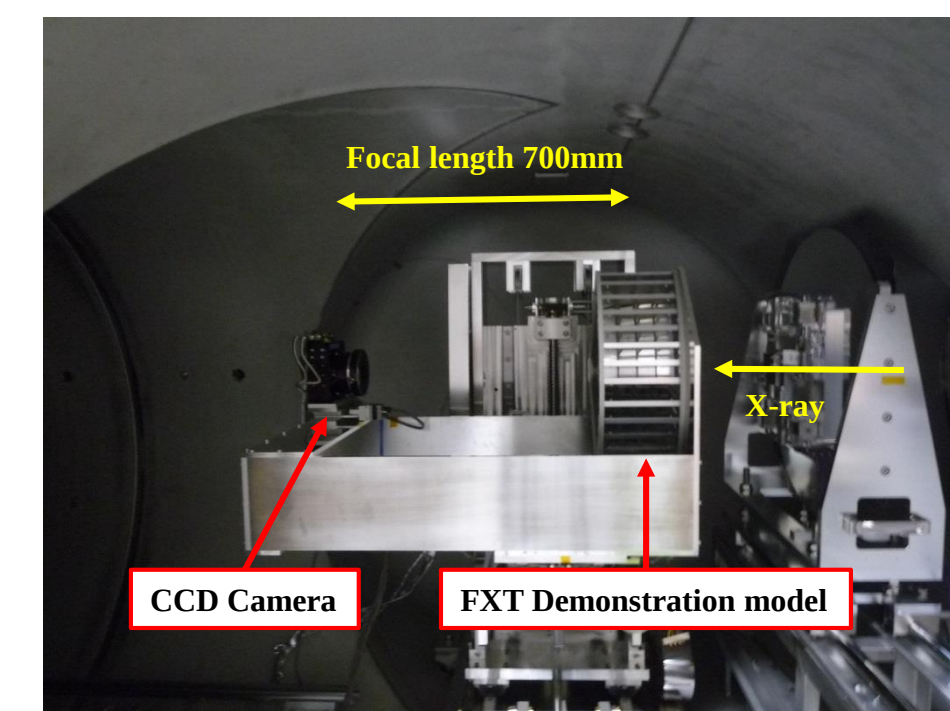
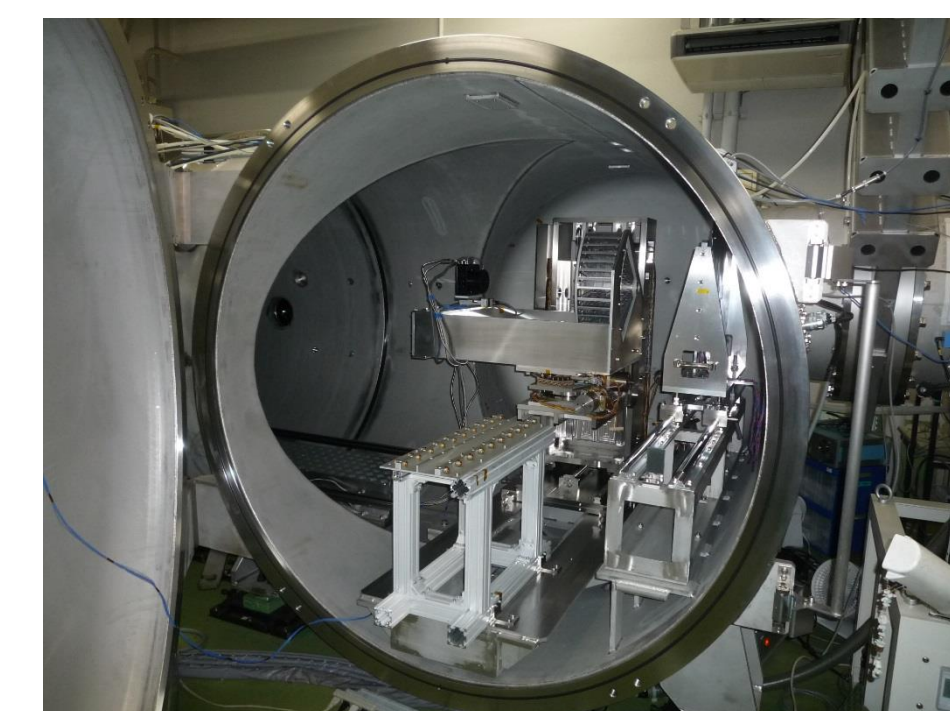


Fig 7: Setup of FXT in the Vacuum chamber

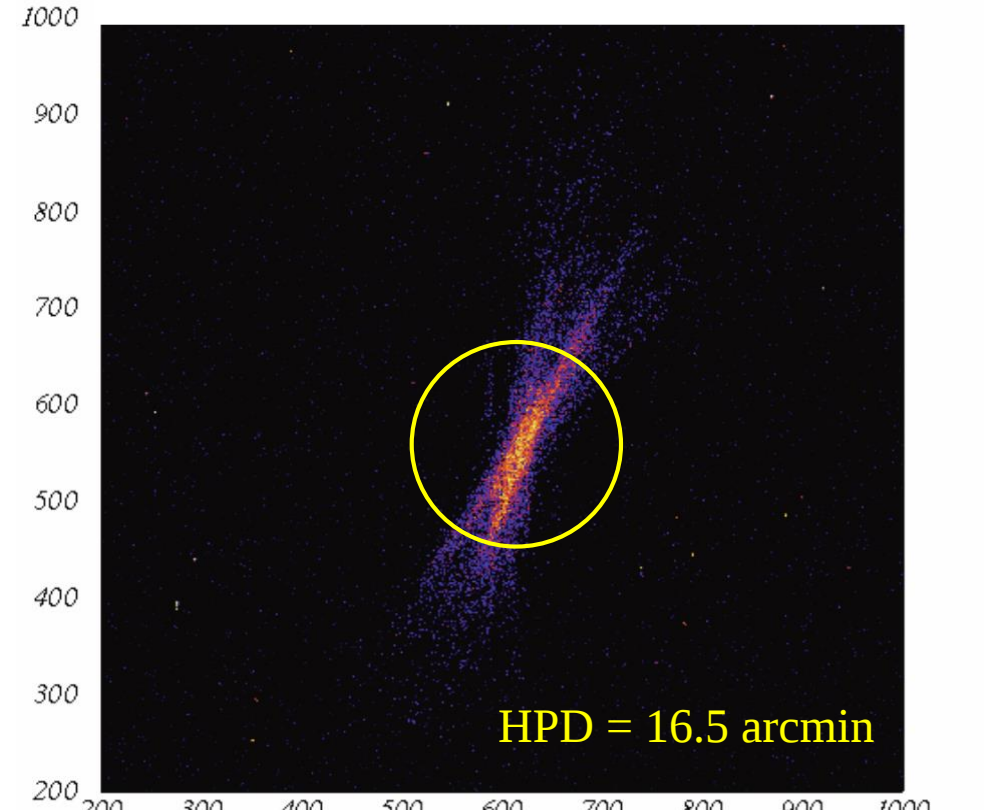


Fig 8: X-ray image of focal plane

Focal length	700 mm
Mirror Radius	220 – 240 mm
Height of mirror	40 mm/stage
Number of Nested Shells	4 sets
Reflection surface	Gold

Table 3: Mirror Parameters of FXT demonstration model