



# FFAST搭載硬X線望遠鏡

## の開発現状



松本浩典、國枝秀世、古澤彰浩、宮澤拓也、森英之 (名古屋大学)、  
常深 博 (大阪大学)、他 FFAST WG

Abstract:

Formation Flying Astronomical Survey Telescope (FFAST) 用の硬X線望遠鏡 (Hard X-ray Telescope; HXT) の開発の現状を報告する。FFAST用HXTは、Pt/C多層膜スーパーミラーによるブラッグ反射を利用した、口径450 mm, 焦点距離 12 m のX線望遠鏡である。基本的にはASTRO-H HXTのデザインを踏襲している。必要なフォイル全数の製作は終了した。2014年12月に、大型放射光施設 SPring-8 BL20B2において、1セグメント分の光学調整、および性能測定を行った。

### 1. FFAST用硬X線望遠鏡

FFAST HXTへの要求性能は、エネルギー 30 keV のX線に対し、有効面積  $150 \text{ cm}^2$ 、結像性能2分角 (Half Power Diameter; HPD) である。設計の基本となるのは、ASTRO-H ミッションのために開発された HXT で、準備度の高い基盤技術を利用している。望遠鏡は多重薄板型の Wolter-I 型円錐近似光学系で、反射鏡面には、周期長を傾斜化させ帯域を広げた設計の、Pt/C 多層膜スーパーミラーを使用する。反射鏡はアルミ薄板基板を用いたエポキシレプリカ鏡、多層膜設計は多層膜ブロック法を用いた衛星用設計を使用する。これらはASTRO-H HXT に使用される技術と同一である。

口径と有効面積の最適化設計について以下に記す。図 1に口径を固定した場合の有効面積の焦点距離依存性を示す。全反射が有効な 10 keV 以下のエネルギーでは、有効面積は焦点距離にほとんど依存しないことがわかる。これは、全反射条件を満たす限り、入射角によらず高い反射率が得られるためである。しかし 30 keV と 60 keV では、多層膜のブラッグ反射率は入射角と反比例に近い相関を持つので、焦点距離を伸ばし入射角を減少させることが本質的に重要であることが判る。次に図 2に、重量(つまり口径)をパラメータとして口径と有効面積の関係を示す。10 keV 以下では全反射が有効であるので、重量を追加し口径を増せば有効面積は増加する。しかし 30 keV、60 keVでは、重量をある程度より増大させても面積の増加の鈍ってくる様子が見られる。これらの傾向を総合的に判断すると、ASTRO-H HXT と同じ口径で技術の共通化をはかることが最適であることがわかる。

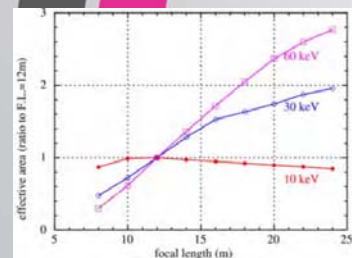


図1: 望遠鏡フレーム外径が40 cm の場合の、焦点距離と有効面積の関係。

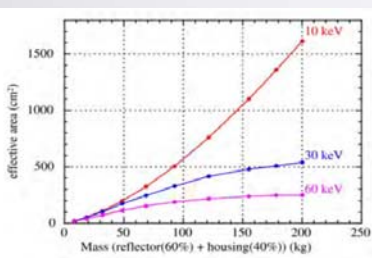


図2: 重量と有効面積の関係

以上の検討などから、ASTRO-H HXT とほぼ同一の望遠鏡を用いることで FFASTの要求を達成できることがわかった。新規開発要素もなく、開発期間の短縮、製作コストの低下という点からも、望遠鏡部分についてはこれが最適解である。FFAST HXTの仕様および設計値を表1に、有効面積のエネルギー依存性を図3に示す。

表 1: FFAST HXTの仕様と設計値

項目	値
光学系	Wolter-I 型円錐近似
石板	1
重量	90kg (計装、固定治具、サーマルシールド、マージンを含まず)
口径	内径 $\phi 120 \text{ mm}$ , 外径 $\phi 450 \text{ mm}$
焦点距離	12m
Plate Scale	$3.5 \text{ mm arcmin}^{-1}$
反射鏡長さ	$200 \text{ mm} \times 2 \text{ 段}$
反射鏡厚み	220 $\mu\text{m}$
種層数	213
入射角	$0.070^\circ - 0.29^\circ$
反射コーティング	Pt/C 多層膜スーパーミラー
エネルギー帯域	$< 80 \text{ keV}$
有効面積	$> 260 \text{ cm}^2 @ 20 \text{ keV}$ $> 150 \text{ cm}^2 @ 30 \text{ keV}$
結像性能	$< 2.0 \text{ 分角}$

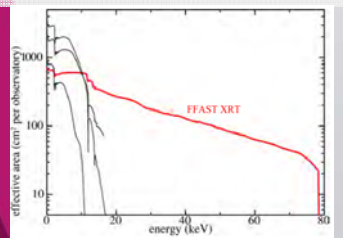


図3 FFAST HXTの有効面積と、他のミッションの XRT との比較。値はミラー部分のみで、検出器部の検出効率が含まれていない。20 keV 以下の細線は、5 keV での面積が高い順に XMM-Newton、すざく、Chandra、高エネルギー X 線まで伸びた赤太線が FFAST HXT。:

### 2. FFAST HXTの製作状況

2014年12月の時点で、名古屋大学 理学部 物理学科 Ux研の施設を用いて、FFAST HXTに必要な反射鏡フォイルの全数の製作は完了した。また、ハウジングの製作も完了した。

FFAST HXTは、円周方向に3分割されており、1/3周分を1セグメントと呼ぶ。HXTを組み上げるには、フォイルをハウジングに入れ、X線をあてて結像の様子を見ながら、アライメントバーの位置を調整する必要がある(光学調整)。アライメントバーとは、図4の放射状に見えるバーで、反射鏡フォイルの位置を決めているものである。光学調整には、大型放射光施設 SPring-8 BL20B2 で実験を行う必要があるが、1回に割り当てられるビームタイムでは、1セグメント分の光学調整しか行うことは出来ない。そこで今回は、1セグメント分の組み上げを行った(図4)。



図4: 1セグメント分が完成した FFAST HXT。

2014年12月4日~6日、12月9日~12日にわたり、SPring-8 BL20B2 を用いて、FFAST HXTの光学調整および性能評価を行った。HXT、X線検出器(シンチレーター、もしくはイメージインテンシファイア)をそれぞれステージにのせ、10mm x 10mmのビームでHXT全面を走査する(図5)。X線反射像を見ながら、ピエゾ素子でリアルタイムでアライメントバーを調整し、HXTの各場所からの反射像のばらつきを $\pm 10 \mu\text{m}$ 以内に揃えることに成功した。これは、角度にすると $\pm 0.3$ 分角以内に相当する。

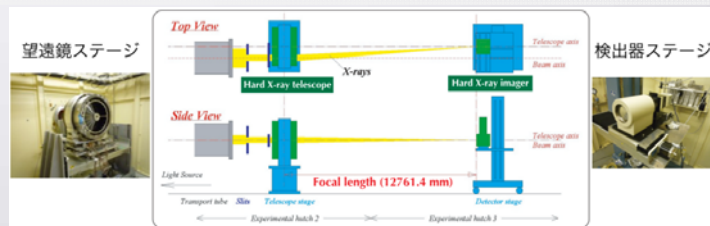


図5: SPring-8 BL20 B2 での実験のセットアップ

光学調整に続き、HXTの性能測定を行った。測定項目は、有効面積のX線入射角依存性(vignetting)、光軸での角度分解能と有効面積などである。ここでは、角度分解能と有効面積について報告する(図5)。30 keVと50 keVのX線ビームで、焦点面像を取得し、これを用いて Encircled Energy Function (EEF)、有効面積を評価した。その結果、図5に示すような値が得られた。参考までにASTRO-H HXT 2台目のセグメント1では、30keVで HPD 1.84' EA 60.0  $\text{cm}^2$ 、50keVで HPD 1.72' EA 27.6  $\text{cm}^2$  である。ASTRO-H HXT とほぼ同等の性能が出ていると言える。

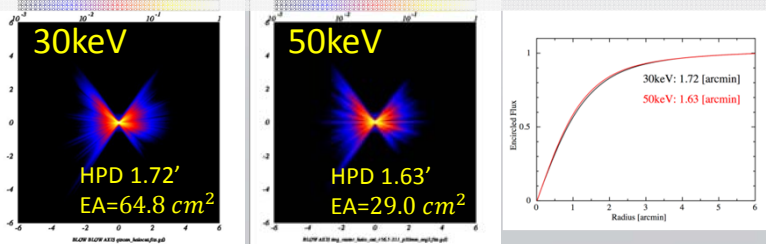


図5: FFAST HXT 1セグメントの性能測定。(左) 30keVでの焦点面像、(中) 50keVでの焦点面像、(右) Encircled Energy Function (EEF)。