

HiZ-GUNDAM搭載広視野X線イメージャーにおける 光学系及び撮像素子候補品の性能評価

澤野 達哉¹, 李 晋², 荻野 直樹¹, 坂本 貴紀², 有元 誠¹, 三原 建弘³, 前田 良知⁴, 平賀 純子⁵, 由比 大斗⁵, 米徳 大輔¹

¹金沢大学, ²青山学院大学, ³理化学研究所, ⁴ISAS/JAXA, ⁵関西学院大学

概要

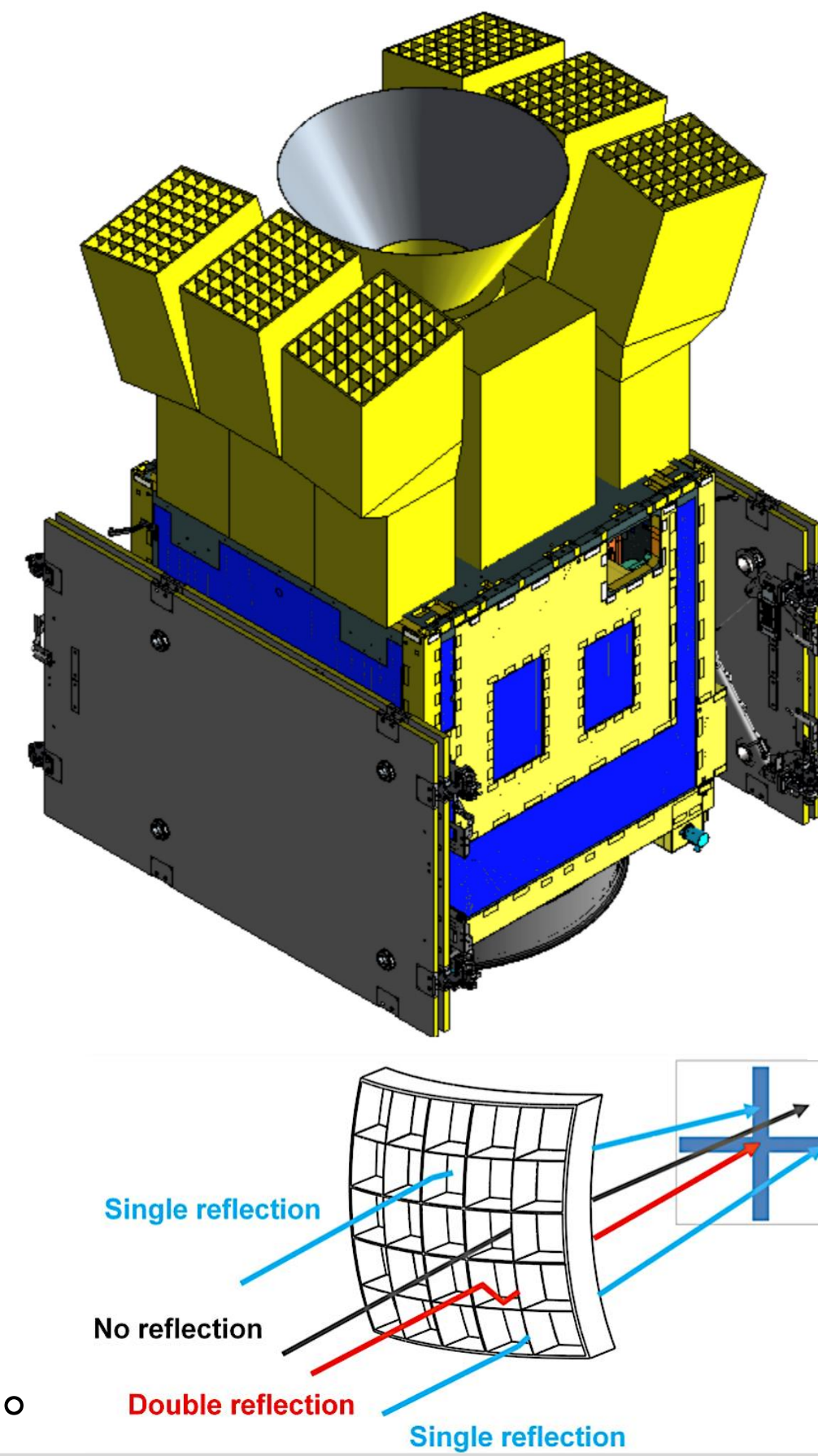
高赤方偏移ガンマ線バーストを用いた初期宇宙や重力波源の電磁波対応天体探査を主目的とした HiZ-GUNDAM において、軟X線領域で広い視野を高い感度で観測できるX線望遠鏡が鍵となる。この実現のため、ロブスターアイ光学系とX線イメージングセンサーを用いた望遠鏡の検討を進めている。本発表では、搭載候補品の光学系の結像実験、撮像素子の分光性能と放射線耐性試験、天体検出アルゴリズムの検討、それぞれの結果について報告する。

X線イメージャー諸元

表1. X線イメージャーに対する要求

	Requirements	Goal
Energy band	0.4 – 4 keV	0.2 – 4 keV
Sensitivity (for 100 s)	10^{-9} erg/s/cm ² *1	10^{-10} erg/s/cm ² *2
(for 1 s)	10^{-8} erg/s/cm ²	10^{-8} erg/s/cm ²
Field of view	0.85 steradian for *1 0.35 steradian for *2	1 steradian
Localization accuracy	5 arcmin	2 arcmin
Time resolution	0.1 s	0.01 s

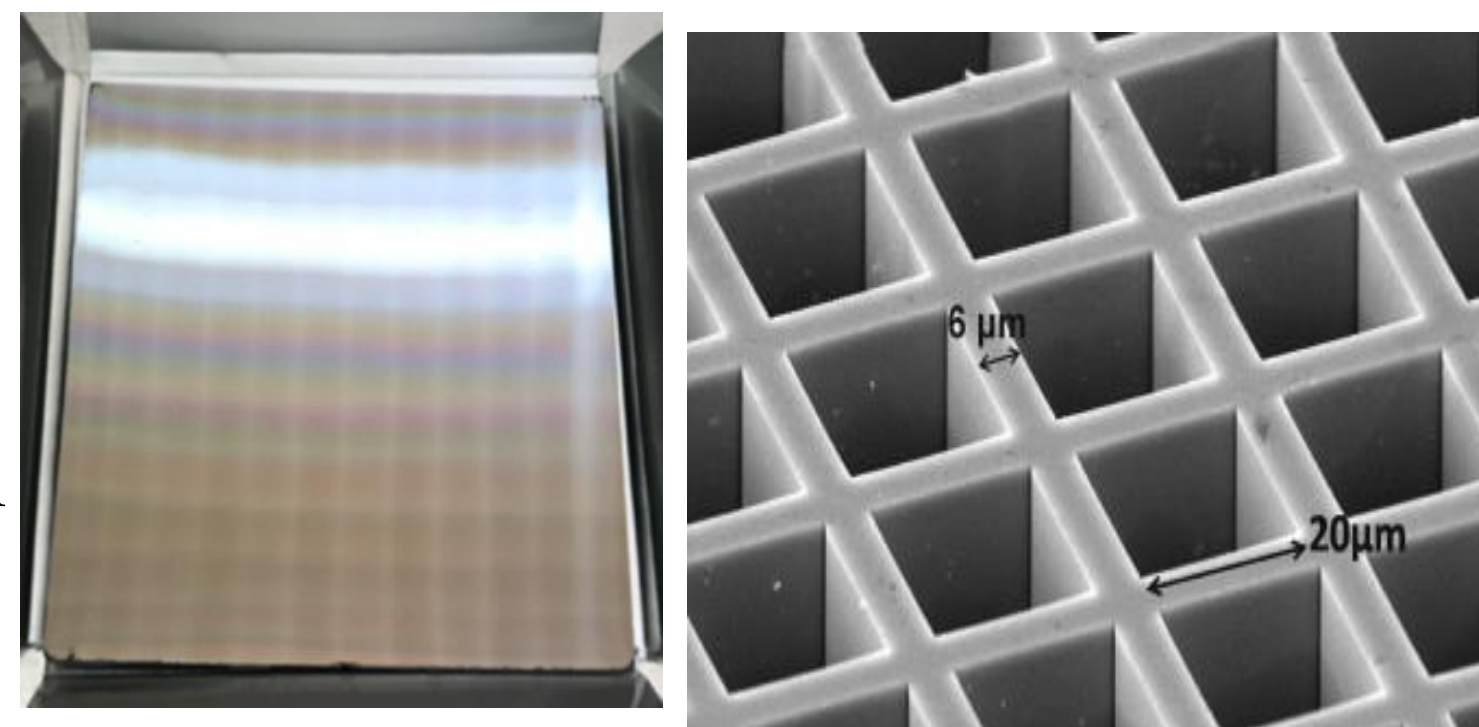
科学目的から軟X線帯域において広視野かつ高い位置決定精度が要求されている。これを満たす撮像システムとしてロブスターアイ光学系と2次元X線イメージセンサーを組み合わせた広視野X線イメージャーをベースプランとした。近赤外線望遠鏡の周りを6つのX線イメージャーが異なる視野を監視する。



光学系結像実験

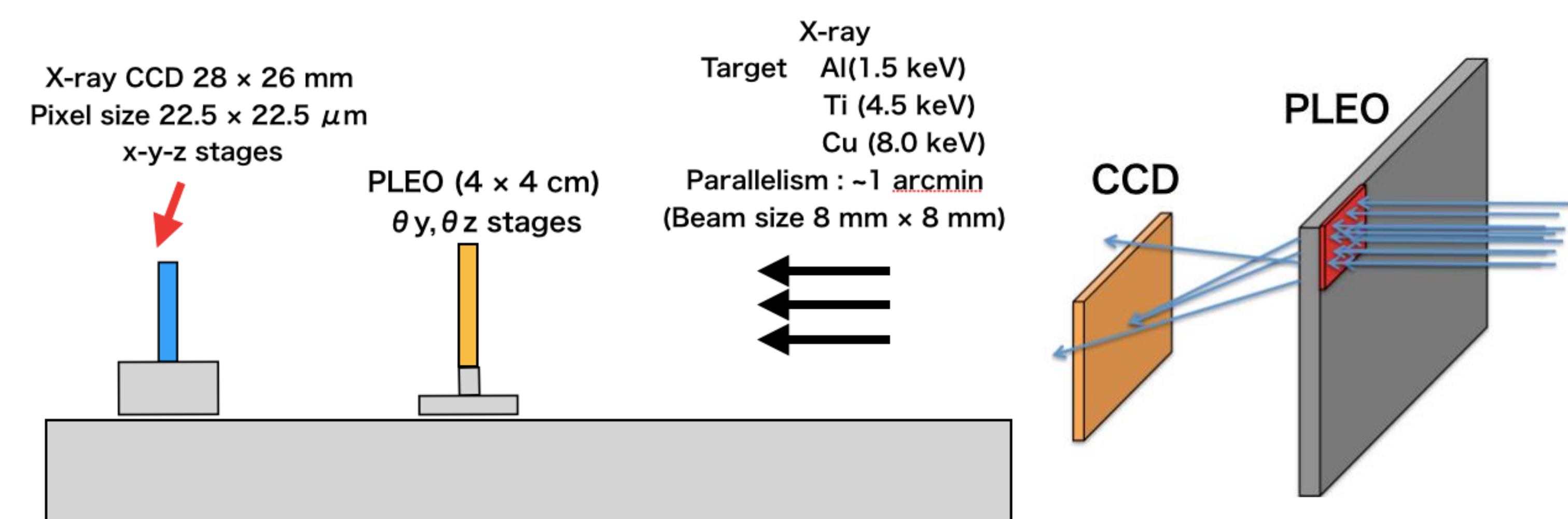
Photonis社製ロブスターアイ光学系(PLEO)

- Radius of curvature : 600 ± 90 mm
- Outer dimensions : 4×4 cm \pm 0.3 mm
- Plate thickness : 1.2 ± 0.02 mm
- Channel size dimensions : $20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$
- Channel pitch : 6 μm
- Channel wall coating : 25 ± 5 nm (Ir)
- Al film thickness on the input side : 70 ± 20 nm



宇宙科学研究所の30 m X線ビームラインを用いてPLEOの性能評価を行った。面積 4×4 cmのPLEO全体にビームを当てた場合のイメージを取得するため、実験は面積 8×8 mm、平行度およそ1分角のビームを25回スキャン照射した。

実験のセットアップ

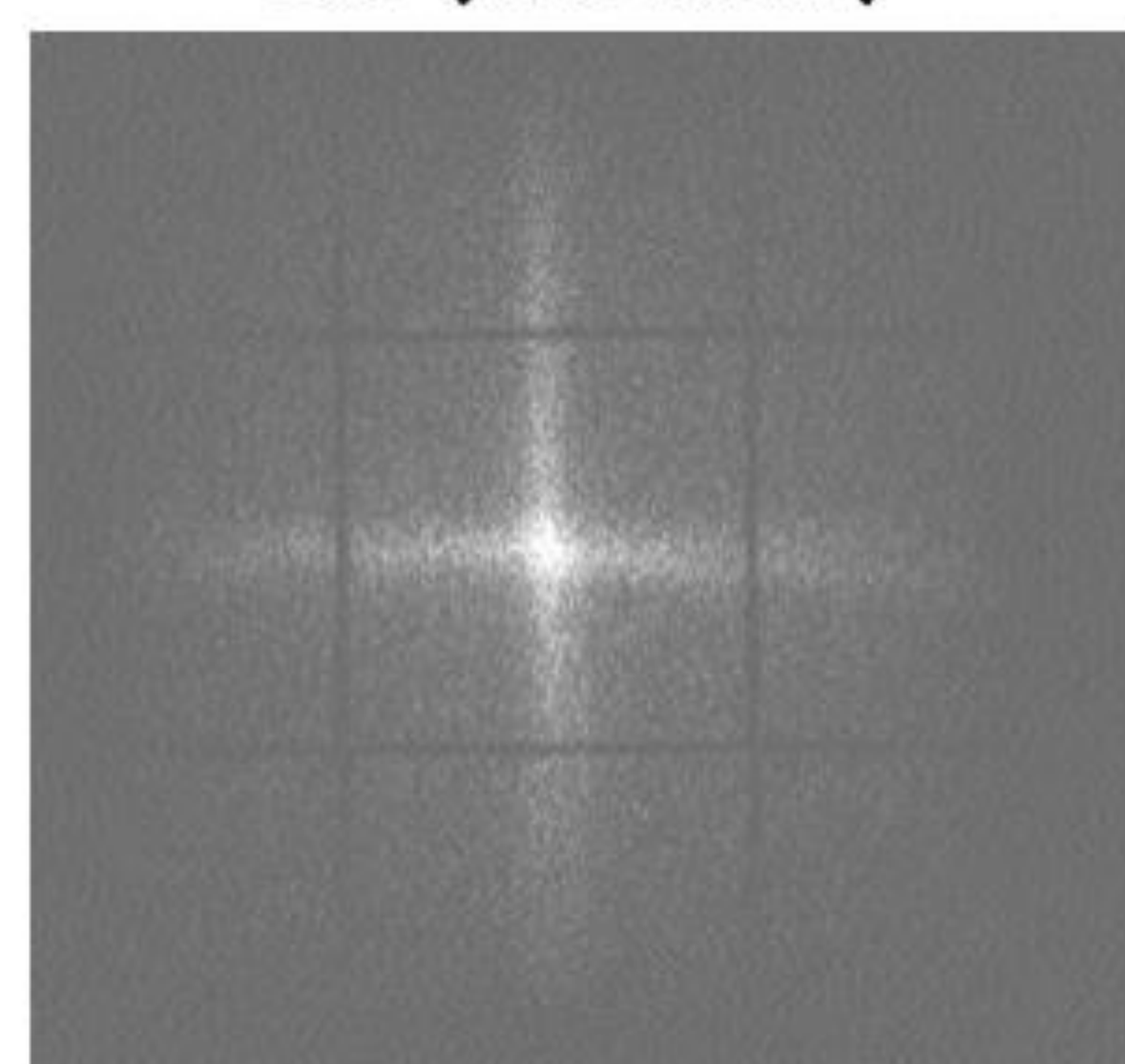
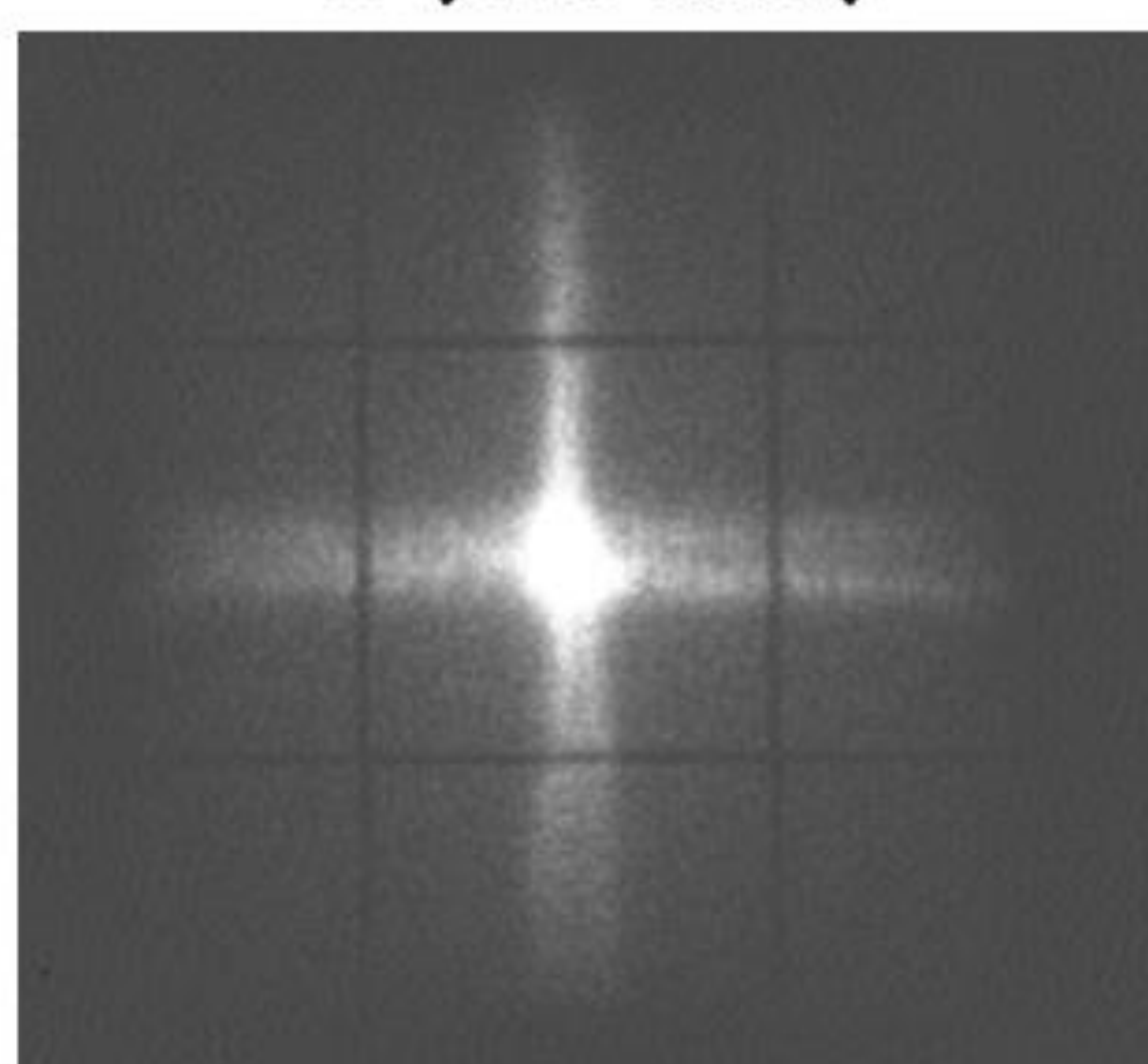


結果

- 実験の結果、PLEOは、平行なX線を、Angel (1979)で示されているように、十字に集光することがわかった。
- 4.5 keVと8.0 keVでの有効面積と、PSFの大きさを本実験から得ることができた。

Ti (4.5 keV)

Cu (8.0 keV)



4.5 keV : PSF 280 arcmin² (FWHM), Effective Area 1.1 cm² ($|x,y| < 1$ cm)

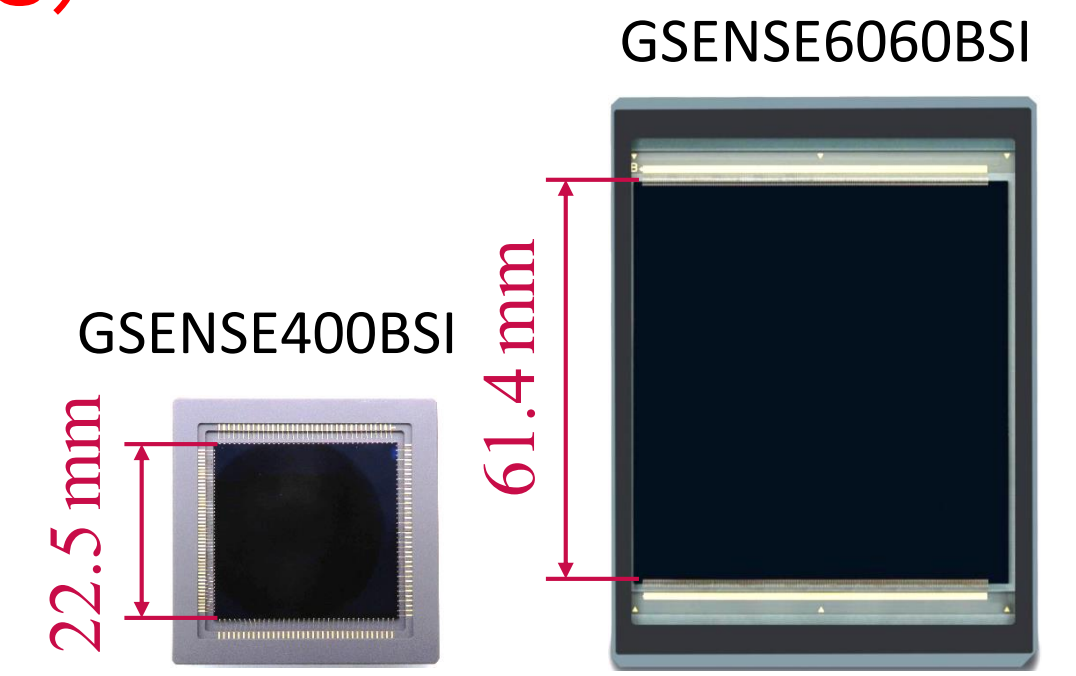
8.0 keV : PSF 100 arcmin² (FWHM), Effective Area 0.80 cm² ($|x,y| < 1$ cm)

X線イメージセンサー候補の性能試験

Gpixel社製CMOSイメージセンサー (CMOS)

表2. 搭載候補CMOSと試験に使用したCMOSの諸元

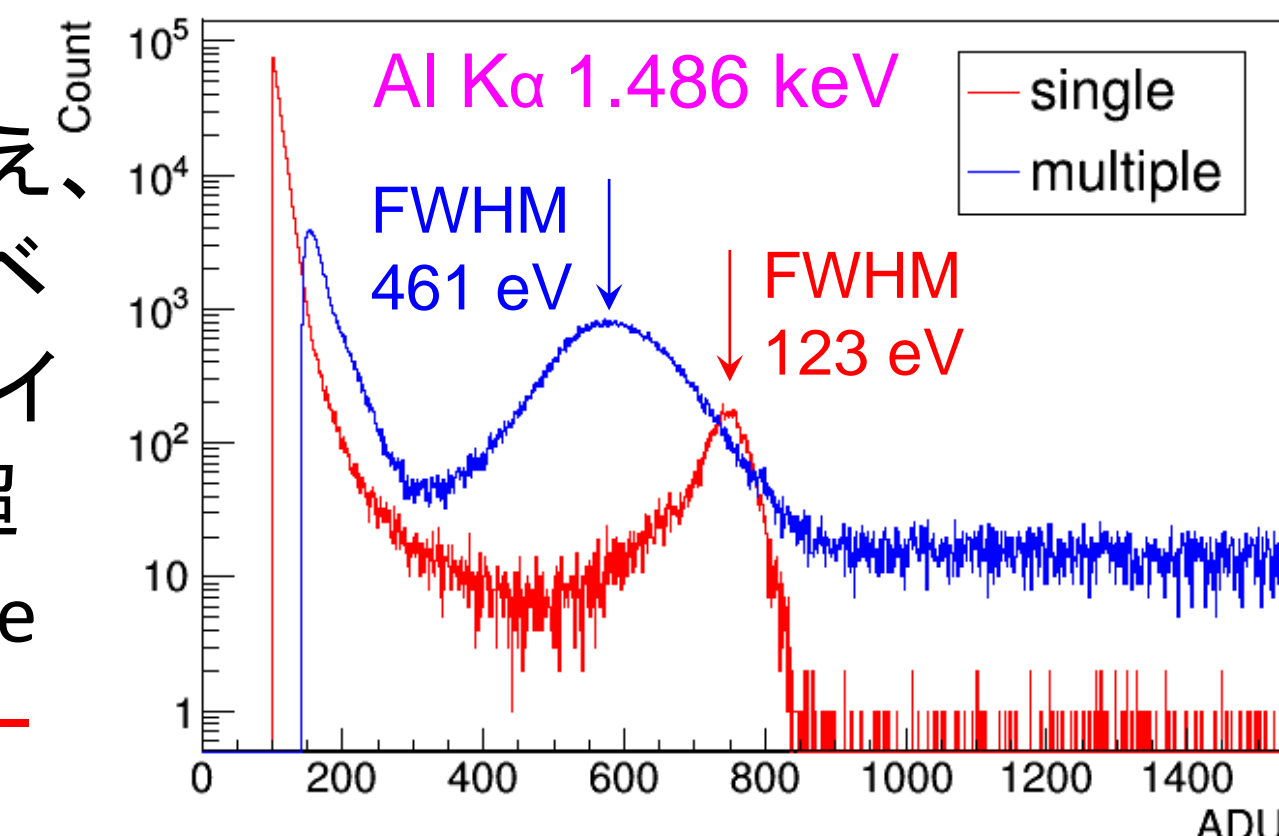
	GSENSE400BSI	GSENSE6060BSI
Imager size	22.5×22.5 mm ²	61.4×61.4 mm ²
Pixel size	$11 \times 11 \mu\text{m}^2$	$10 \times 10 \mu\text{m}^2$
# of pixels	2048×2048	6144×6144
Frame rate	48 fps	26.4 fps
Electric resistivity	Low	Low



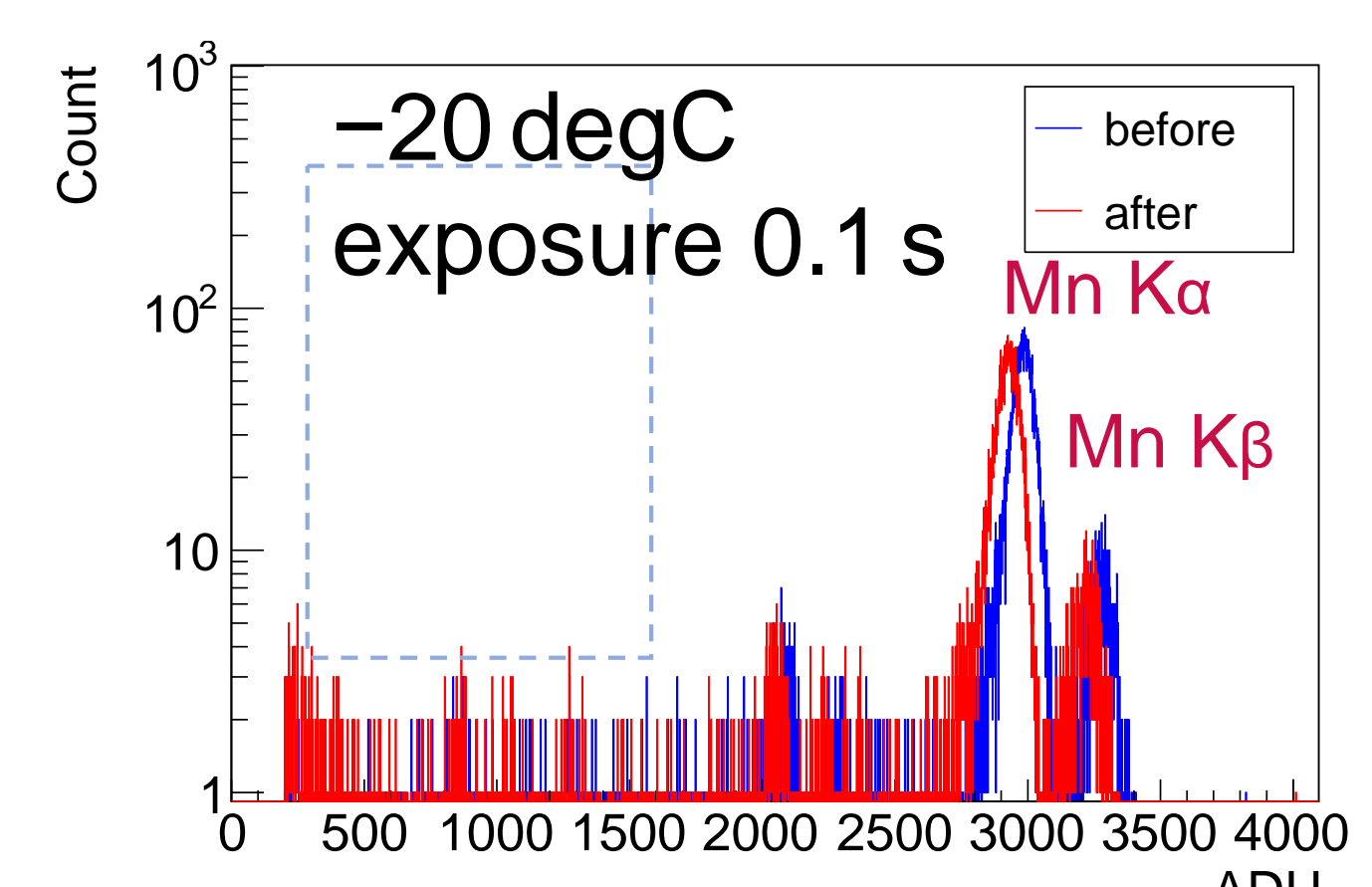
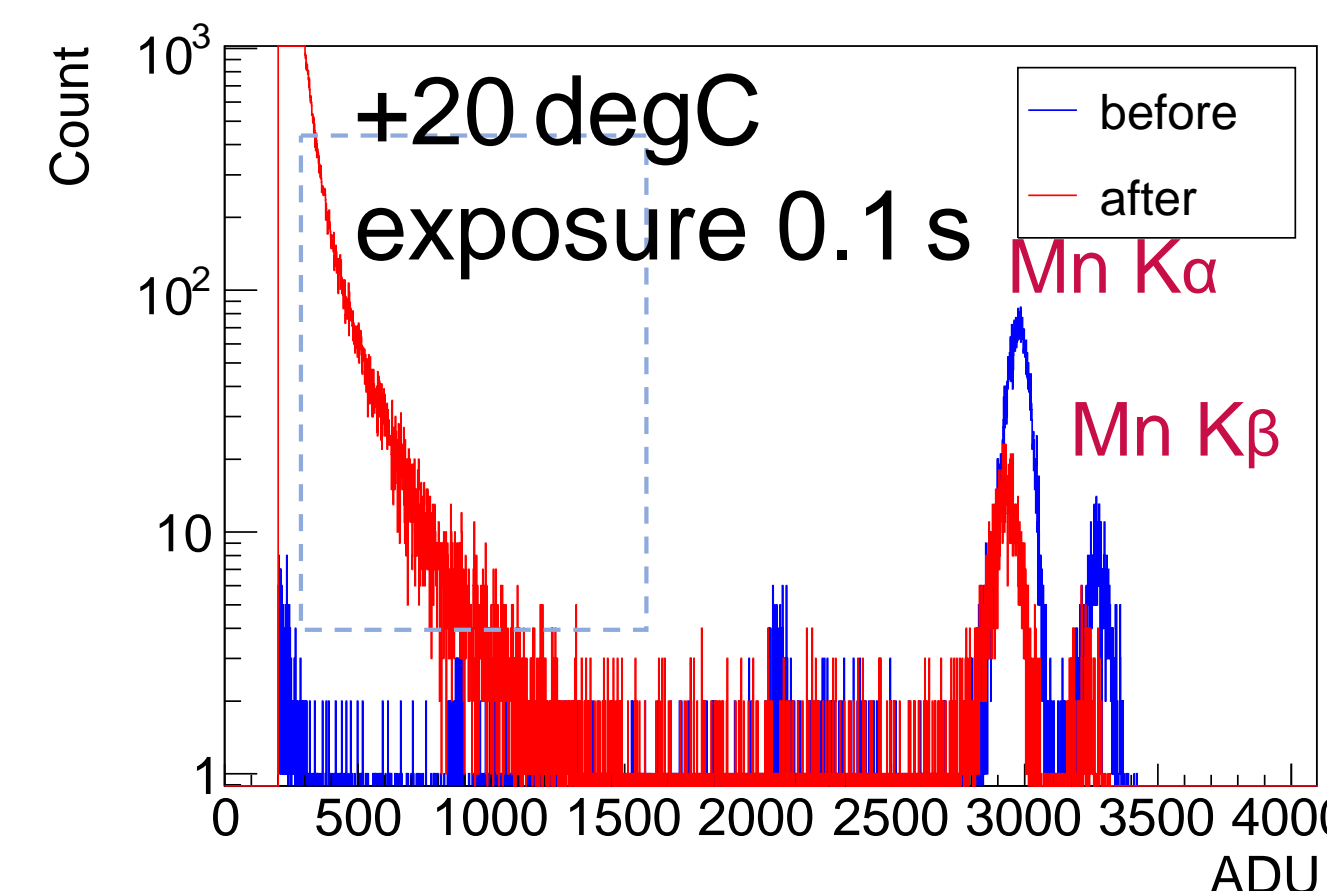
軟X線分光実験

真空環境下でX線発生装置Amptek Mini-XからのX線をアルミニウム板に照射して得たAl K線をCMOS GSENSE400BSIに照射した。

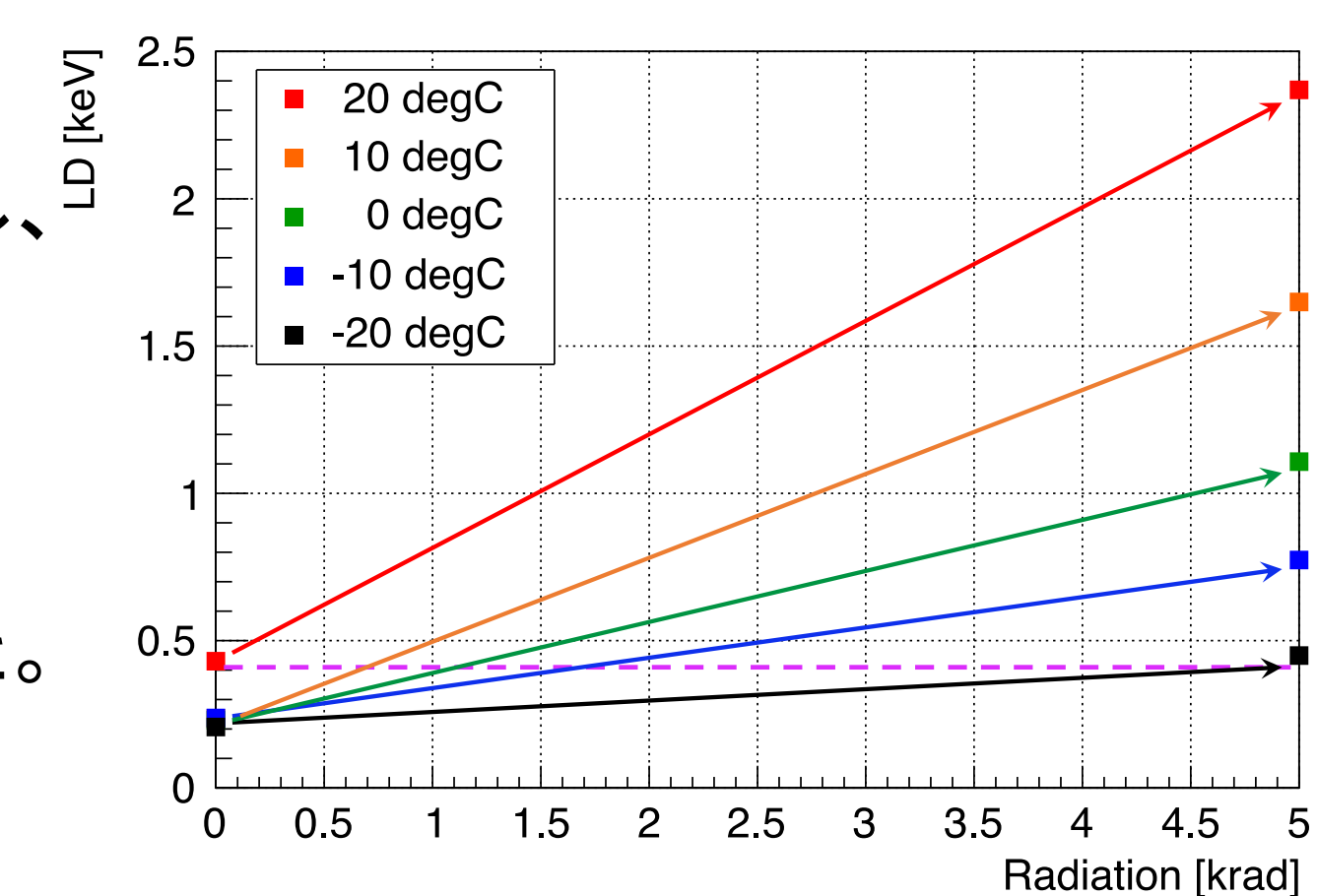
3x3ピクセルの中心ピクセルのADC値が閾値を超え、かつ周囲の8ピクセルの中で最大のものをX線イベントとして抽出した。中心のみ閾値を超えたsingleイベント、周囲の8ピクセルも閾値を超えた場合は超えたピクセルのADCをすべて足し合わせてmultipleイベントとした。結果、Al K α (1.486 keV)の光電ピークスペクトルを得ることができた。



100 MeV陽子線を用いた放射線耐性評価

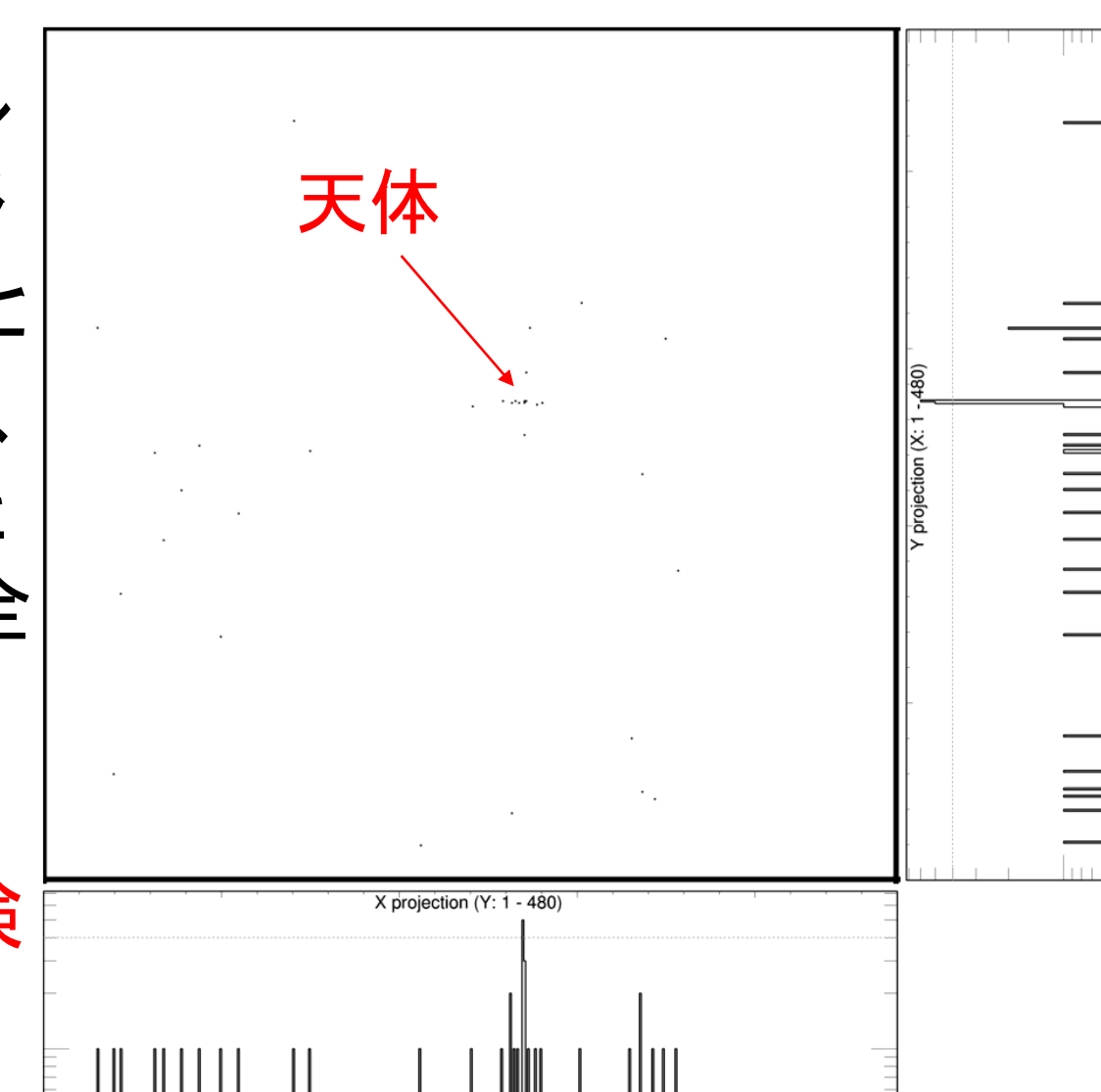


若狭湾エネルギー研究センターにて100 MeV陽子線を5 krad(軌道上6年分)照射し、放射線耐性を評価した。その結果、**-20 degCまで冷却することで放射後でも目標とする~0.4 keVのX線を検出できるノイズレベル(LD)に抑えられることが明らかになった。**



天体検出アルゴリズムと感度

モンテカルロ(MC)法を用いてX線点源天体の観測シミュレーションを行った。X線イメージャーは6モジュールが独立に観測するとし、1モジュール 24×24 deg²の視野を計算した。イベント数空間分布を3分角ビンの2次元ヒストグラムとしてMC法で得た後、X/Yの1次元に射影し、X/Yの両方で閾値を超えた場合にのみ天体検出できた。1秒積分と100秒積分で、それぞれ 24×24 deg²全領域の1次元射影を取る場合、サブ領域 3×3 deg²に分割して1次元射影を取る場合に比べて、検出効率と誤検知率を調べた。結果、**要求感度程度の天体は、誤検知率を0.23 alert/day (90% C.L.)を満たしながら検出可能なことが分かった。**



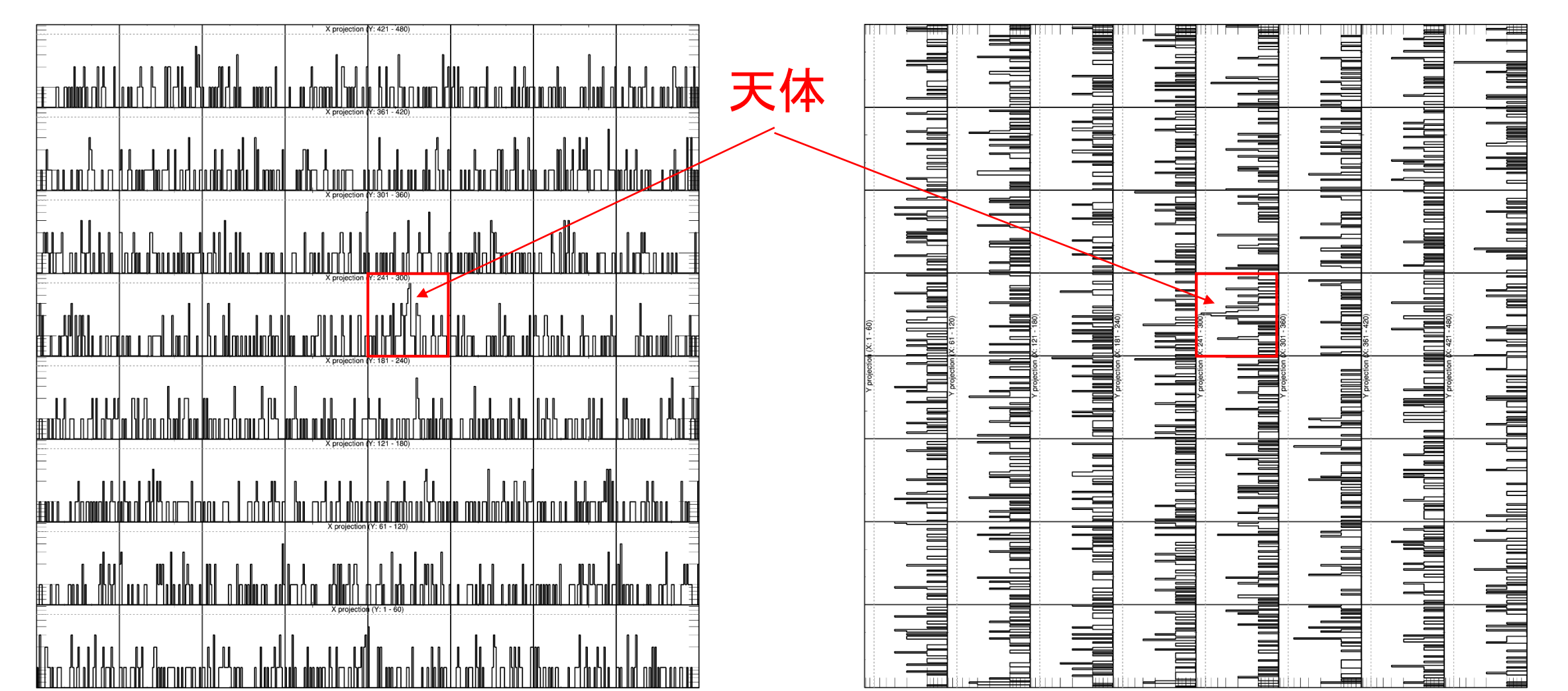
1秒積分カウントマップのMC1例

閾値 4 counts
検出効率 99.8%
誤検知率 4.6×10^{-7} (90% C.L.)
~ 0.23 alert/day (90% C.L.)

MC条件

バックグラウンドイベント
等方なX線背景放射 1×10^{-5} counts/s/arcmin²
天体イベント

- (1) 1秒積分 500 mCrab (1.5×10^{-8} erg/s/cm²), 5184000試行
- (2) 100秒積分 0.24 counts/s ($\sim 2 \times 10^{-10}$ erg/s/cm²), 51840試行



100秒積分カウントマップをX/Yでサブ領域ごとに射影した1次元ヒストグラムのMC1例

閾値 7 counts
検出効率 72%
誤検知率 4.4×10^{-5} (90% C.L.) ~ 0.23 alert/day (90% C.L.)