

FFAST 検出器衛星搭載 SD-CCD の性能評価



森浩二、青山翔一 (宮崎大学)、常深博、上田周太郎、繁山和夫、穴吹直久、中嶋大、林田清 (大阪大学)、尾崎正伸 (ISAS/JAXA) 他 FFAST WG

FFAST (Formation Flying Astronomical Survey Telescope) は、1-80 keV の硬X線領域における広天域走査を目的とした小型衛星ミッションである。望遠鏡衛星と検出器衛星の編隊飛行をおこない、硬X線観測に有利な長い焦点距離を実現する。検出器衛星には、SD-CCD を搭載する。SD-CCD は、完全空乏化したX線 CCD にシンチレータを直接接着することで、100 keV まで感度を持つ撮像分光素子である。ここでは、SD-CCD を異なるビンングモードで動作させた性能評価実験の結果について報告する。

SD-CCD (Scintillator Deposited CCD)

- SD-CCD とは、X線CCDに直接シンチレータを接着することで(図1)、10 keV 以上の硬X線に対する高い感度とCCDの優れた位置分解能を両立した硬X線撮像分光素子である(図2)。
- 軟X線が CCD 空乏層部で直接検出(空乏層イベント)される一方で、硬X線は CsI シンチレータでの吸収時に出る発光をCCDで捉えることで間接的に検出(CsI イベント)される(図3)。

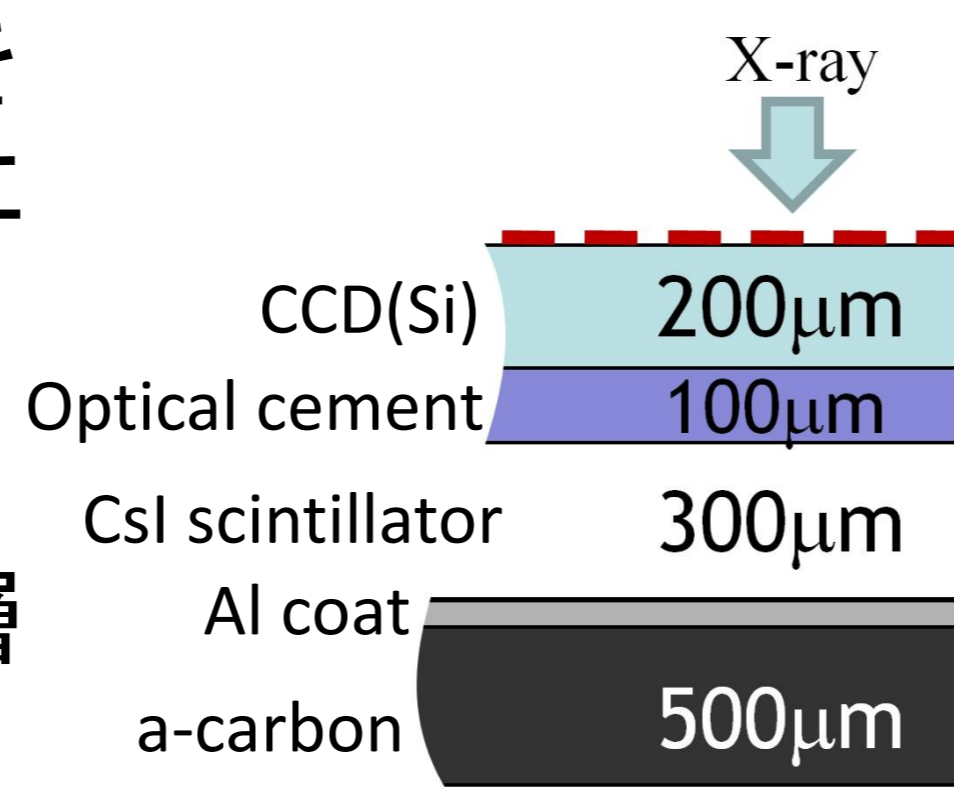


図1: SD-CCD の構造

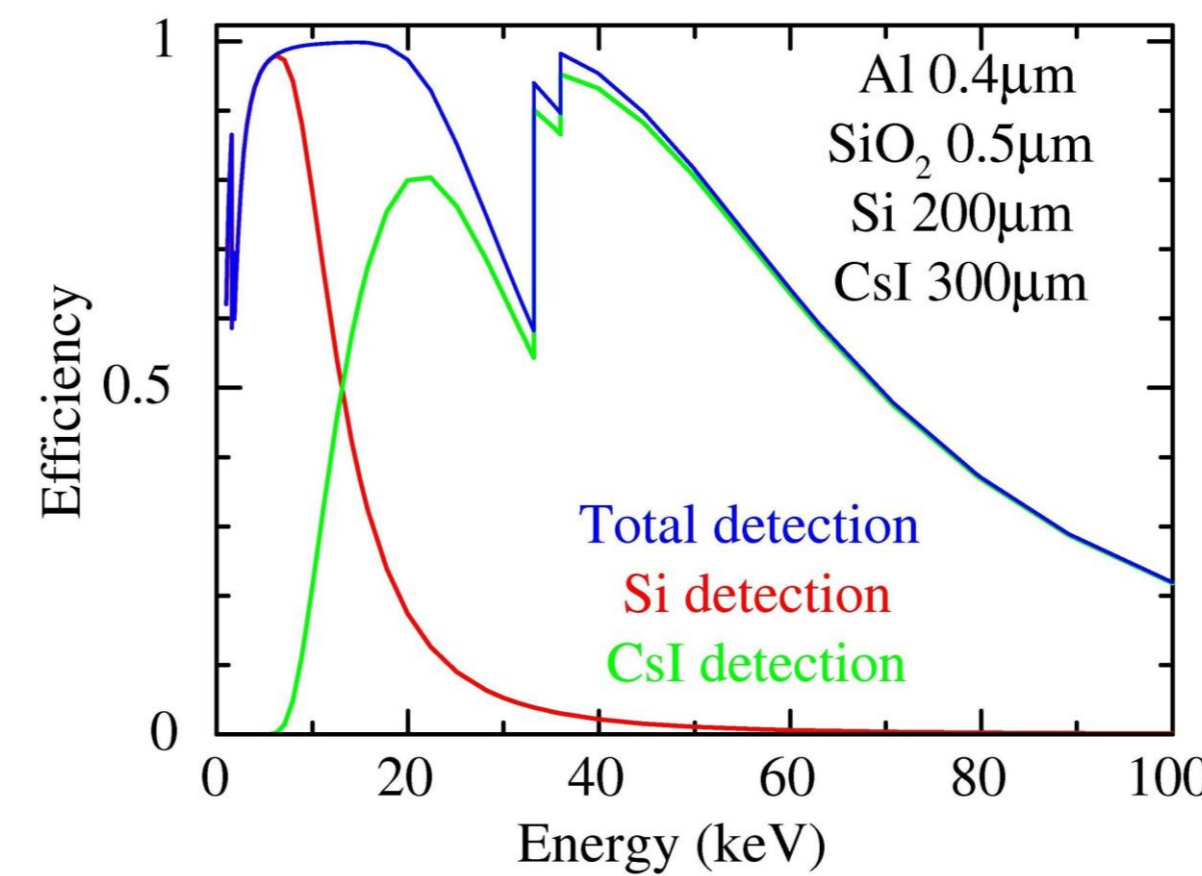


図2: SD-CCD の検出効率

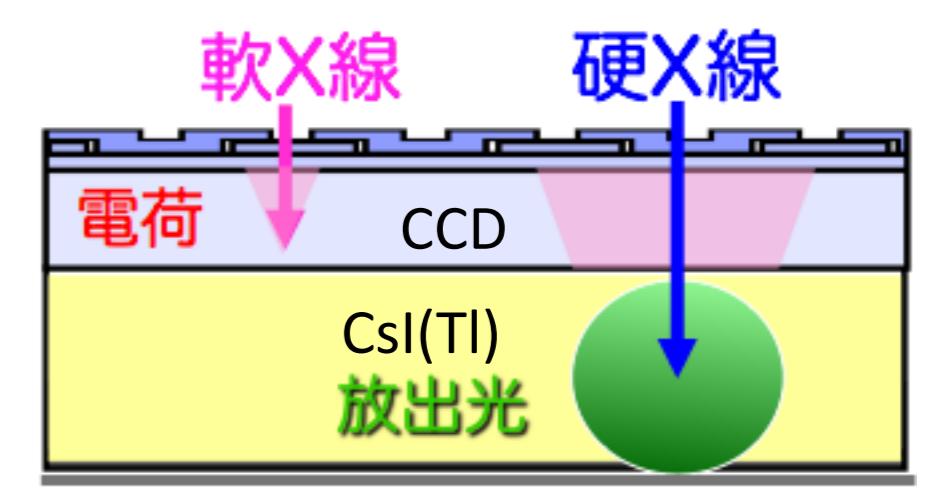


図3: SD-CCD におけるX線検出の概念図

- 「空乏層イベント」と「CsI イベント」で、検出される電荷の量(波高値)と広がり(閾値を超えるピクセル数)が異なることを利用し(表1)、2種類のイベントを区別する。
- 上記の違いを考慮して、16x16 binning モード および no binning モード で性能評価実験をおこなった。較正線源には ¹⁰⁹Cd を用いた。

表1: イベントの特徴

	空乏層イベント	CsI イベント
電荷量	大(~274 e-/keV)	小(~40e-/keV)
広がり	小(~8μm)	大(~200μm)

16x16 binning mode

- 16x16 ビンングの実効ピクセルサイズは240μm なので、空乏層イベントは1ピクセル内に収まるが、CsI イベントは3x3ピクセルに広がる(図4)

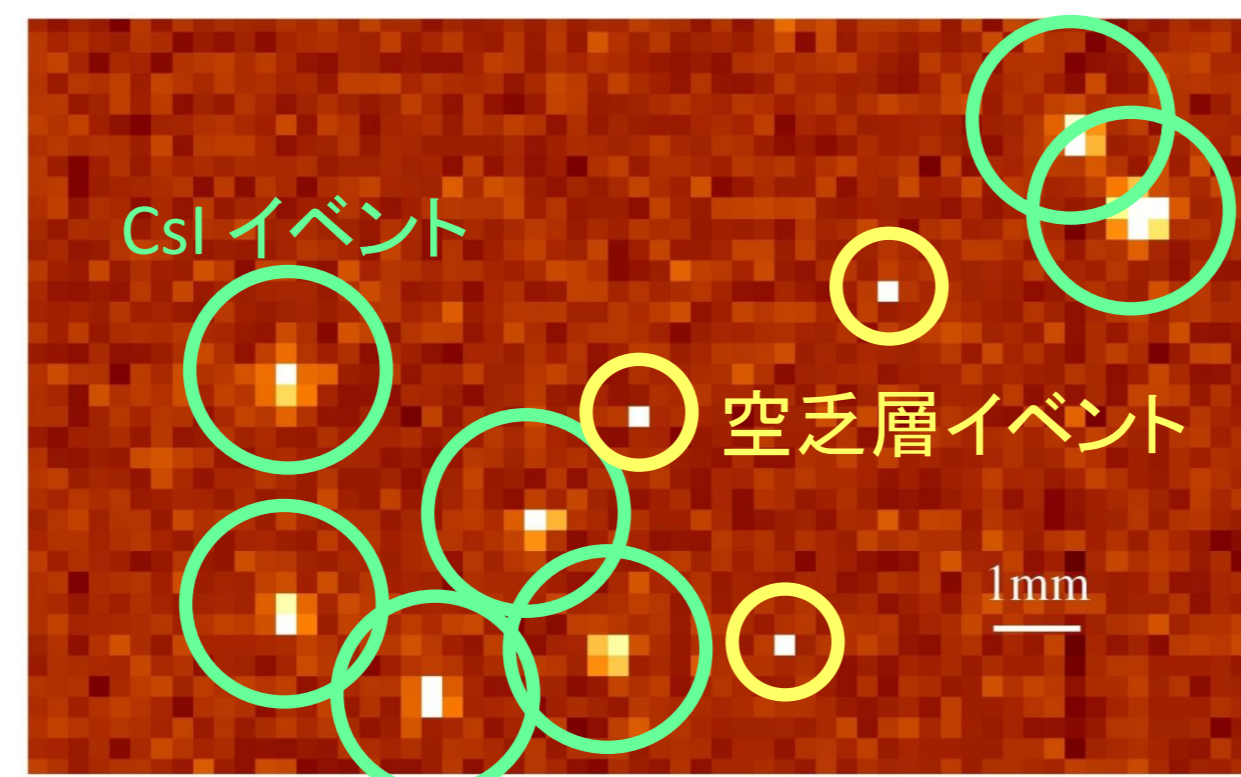


図4: 16x16ビンングで撮像した画像の部分拡大図

- ¹⁰⁹Cd のスペクトルには、22,25 keV の空乏層イベントに加え、3.5 keV 付近に CsI イベントが見える(図5)

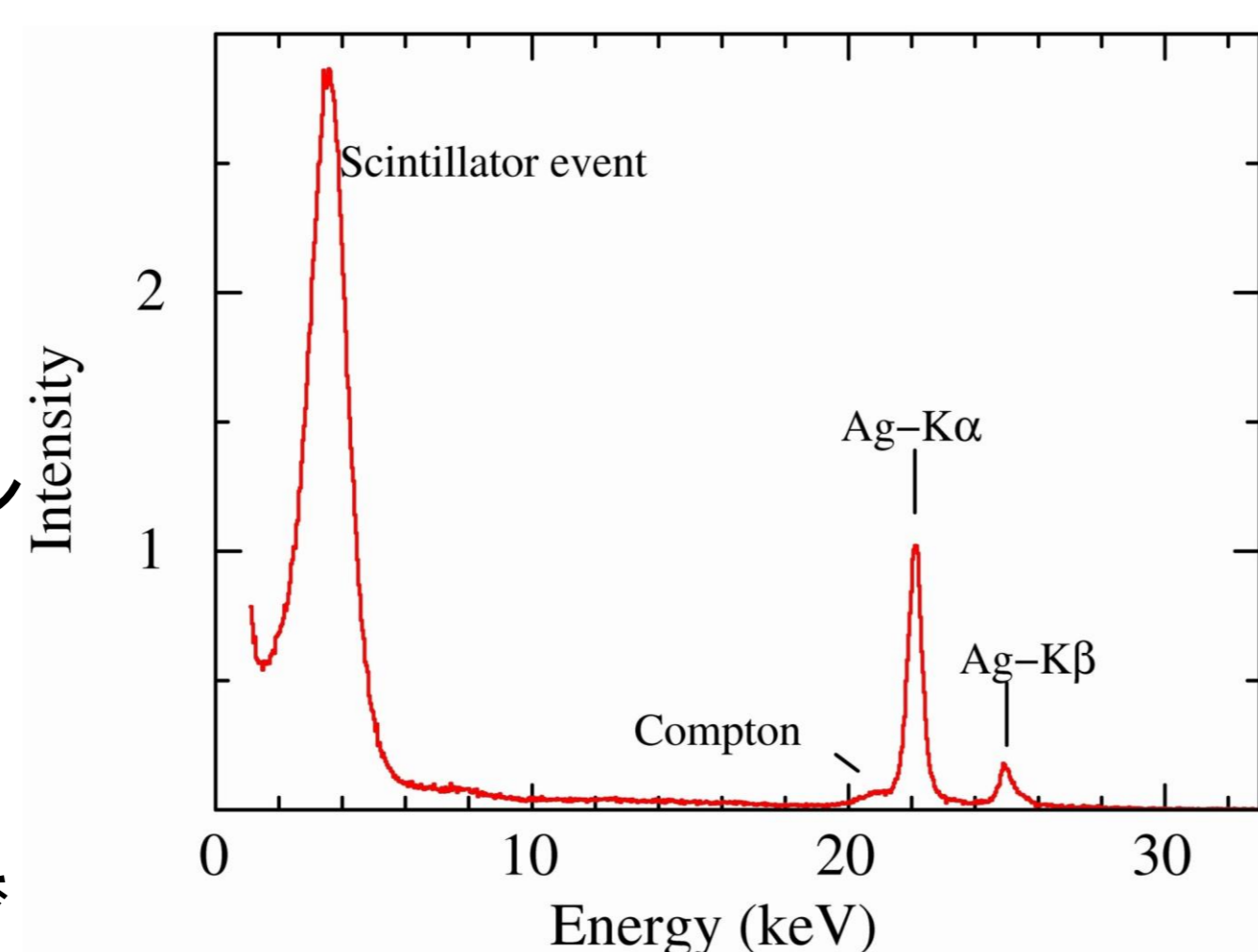


図5: 16x16ビンングモードで取得した¹⁰⁹Cdのスペクトル

- 空乏層イベントとCsI イベントの比は検出効率からの予想値(1:7)と矛盾なし
- CsI イベントの波高値は期待される最大の電荷量相当であり、CsI 裏面の Al コートが効果的であることがわかる

- ビンングによるノイズレベルの増加と、30 keV を超える空乏層イベントの波高値が飽和する点が課題

No binning mode

- 空乏層イベントの硬X線に対する応答をみるため、ビンングなし(15μm辺)でCdを斜入射させてデータを取得(図6)

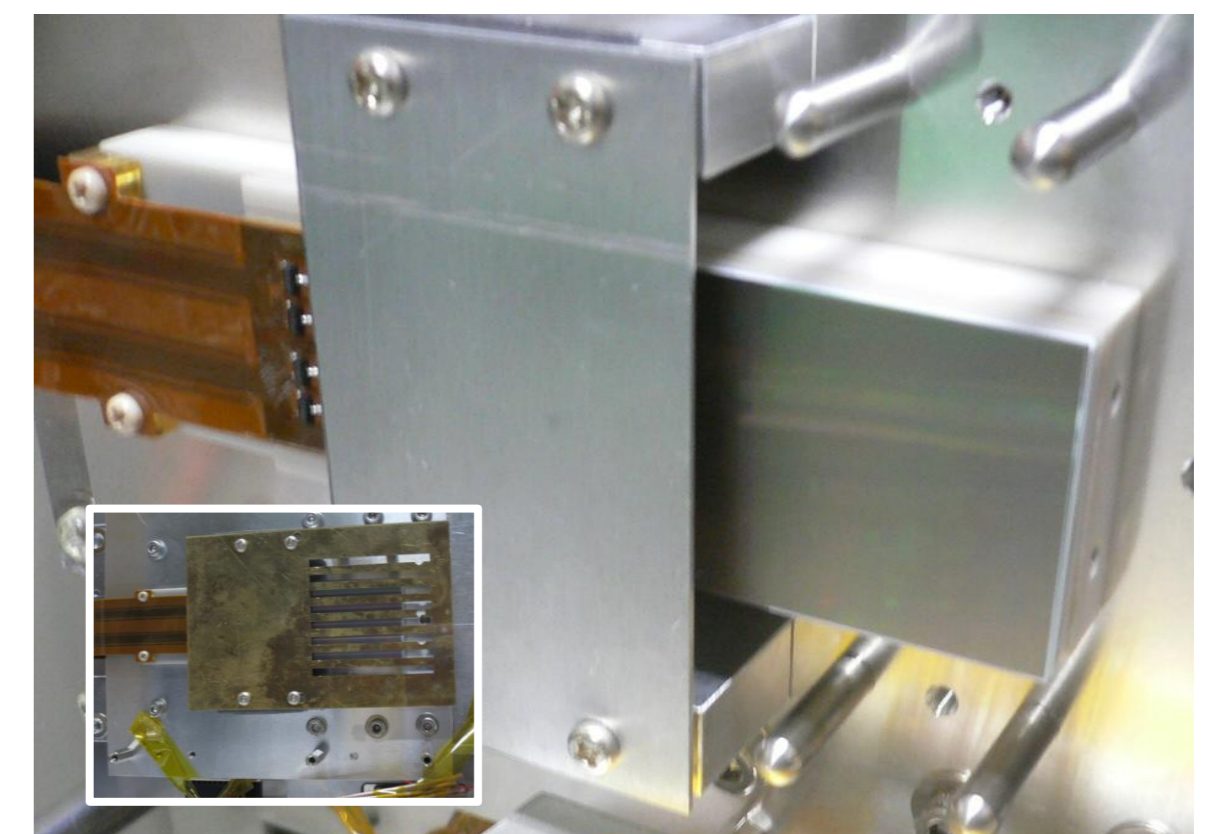


図6: SD-CCD (全体)と斜入射させるための真鍮ガイドをとりつけたセットアップ写真(挿入図)

- 複数ピクセルにまたがるため、波高値の飽和が回避できる
- 斜入射は、実質的な空乏層厚増加による検出効率の増加を意図

- 空乏層イベントとして、¹⁰⁹Cd の「Ag-Kα,β」「88keV核γ線」と、その二次X線を明確に検出(図7)

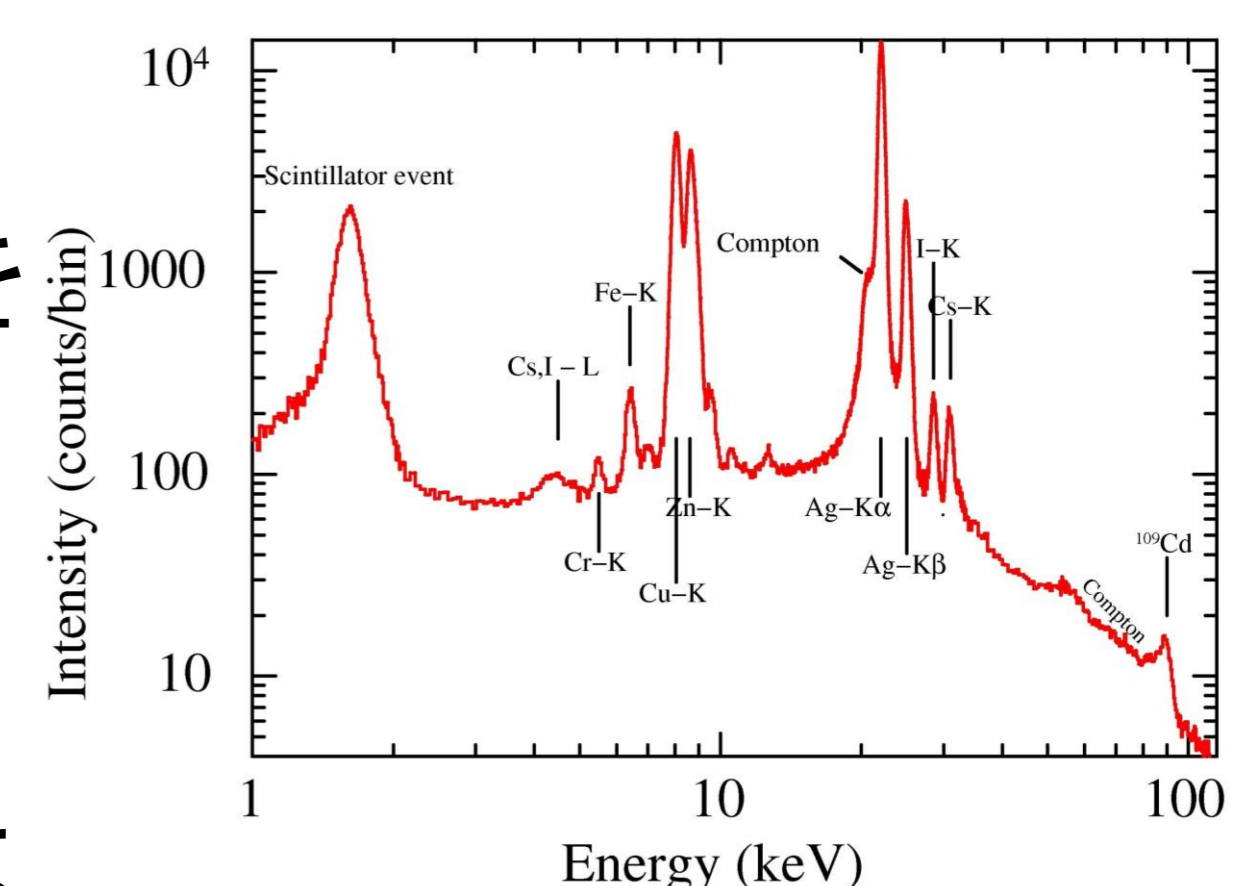


図7: ビンングなしで取得した¹⁰⁹Cdのスペクトル

- 88 keVに至るまで、よい線形性を保持していることを確認

- CsI イベントの検出数は16x16ビンングの~1%で、波高値は約半分の1.7KeV

- ほとんどのCsI イベントが未検出であり、発光も半分のみ回収

Summary

- FFAST 検出器衛星に搭載される焦点面検出器の素子としてSD-CCDの性能評価をおこなった
- 16x16 ビンングモードでは、CsI シンチレータ部で捉えたX線に対するSD-CCDの応答が期待通りであることを確認した。一方で、CCD空乏層部で捉えたX線には、検出に対してエネルギー上限値が存在した。
- No ビンングモードでは、CCD部が88 keVに至るまでよい応答を示すことを確認した。一方で、シンチレータ部で捉えたX線はほとんど検出できなかった
- 今後は、CCD空乏層・シンチレータのどちらで捉えたX線でも効率よく処理するイベント検出手法を構築していく