

CCD検出器XIS

幸村孝由 (工学院大) 松本浩典 (京大) XIS-team

Outline

1. XIS の概観

1. X 線 CCD の原理
2. X-ray Imaging Spectrometer (XIS)
3. XISの基本的性能
4. XISカメラシステムの概観
5. FI CCDとBI CCDの違い

2. データプロセス

1. 観測モード
2. 観測モードの選び方

3. キャリブレーション

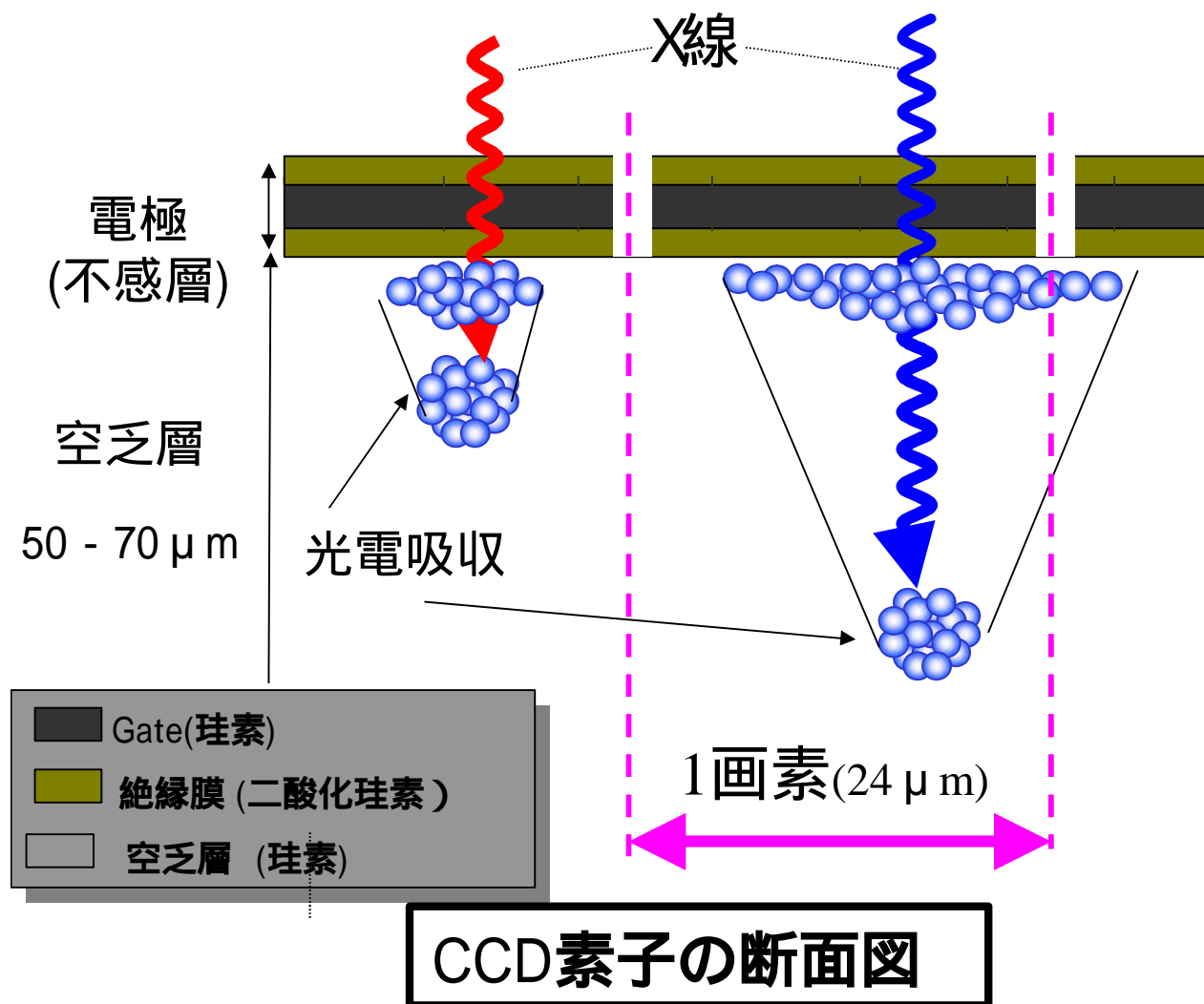
1. キャリブレーションの目標精度
2. Astro-E2打ち上げ後は？
3. 軌道上でのキャリブレーション

4. まとめ

I XISの概観

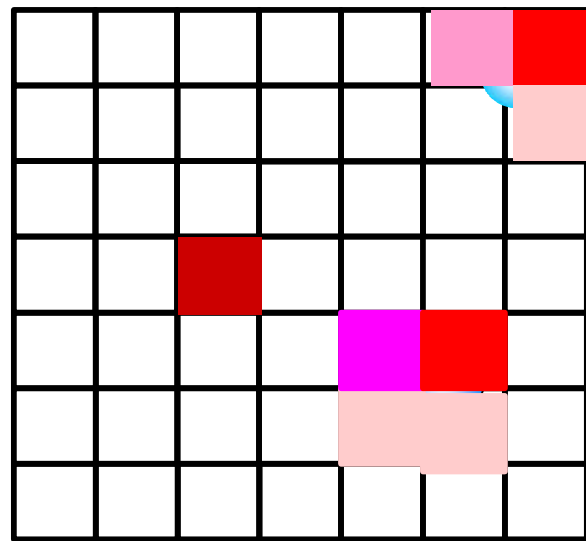
1. X線CCDの原理

X線CCD ~ 半導体検出器を並べた物



- X線CCDに、X線光子が入射すると、空乏層で光電吸収されX線のエネルギーに比例した数の電子(数百～数千個)が生成する。この電子を電極部に集め、電子数に相当する電気信号として計測し、**入射X線のエネルギーを決めることができる**。また、可視光に比べX線光子数は少ないため、どの画素にいつX線が入射したかという**入射位置と到達時間も決めることができる**。

- 可視光の場合は、生成される電子数は精々1個程度であり、エネルギー分解能がない。

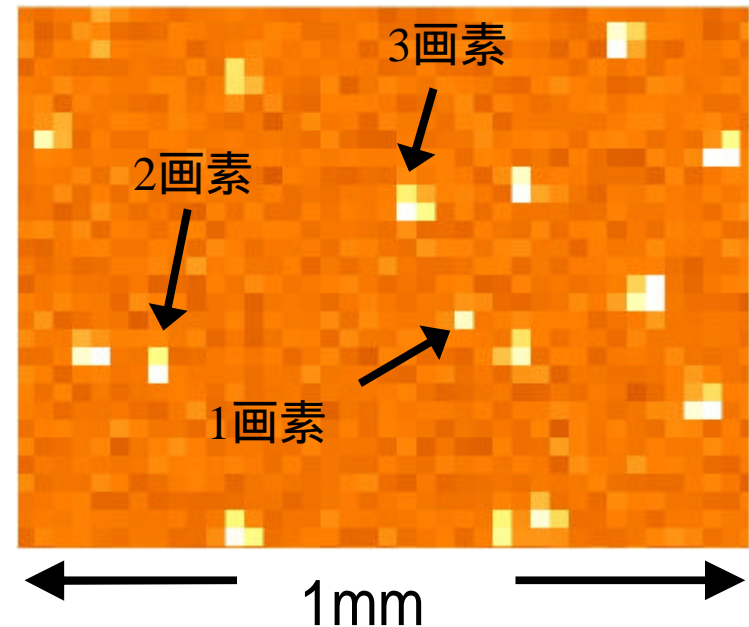


電子雲



X線イベント

X線イベント

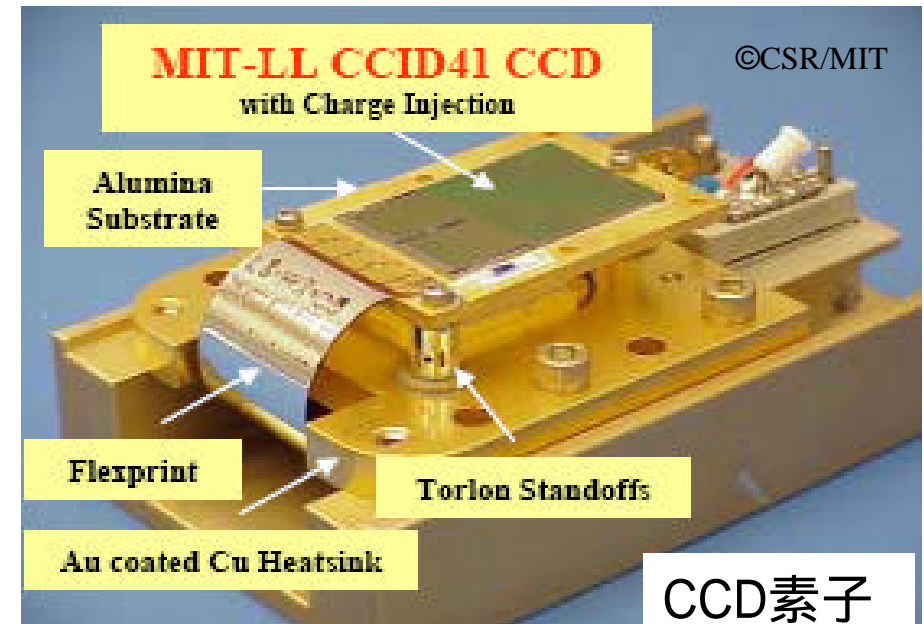
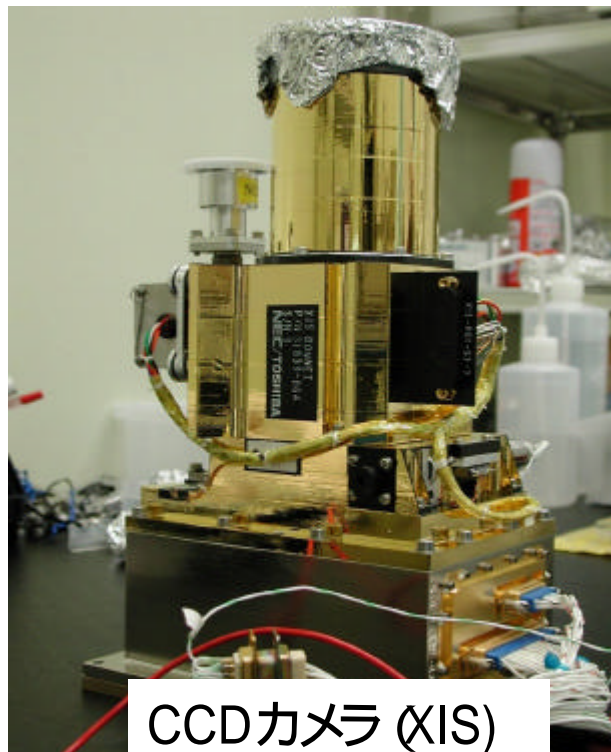


X線CCDのX線イベント(実物)

- 電子は、電極まで引かれて電気信号として検出されたときにはある程度広がってしまい、生成された電気信号 (X線イベント) が複数画素にまたがって検出される。X線イベントの広がり方にはいろいろなパターン (グレード) がある。
- また、1回の露光時間中に、1つの画素 (正確には、その周囲の画素も関与) に2個以上のX線光子が同時に入ること **パイルアップ** と呼ぶ。パイルアップが起こると、その複数の光子をまとめて1つと数えてしまうので、あたかも高いエネルギーの光子が入射したかのように見える。

2. X-ray Imaging Spectrometer

1. X線望遠鏡の焦点面検出器であるX線CCDカメラの総称。
2. Astro-E2 では唯一X線撮像が可能。
3. X線CCDカメラは合計4台搭載し、全てフレーム転送型CCD。
4. JAXA、京大、阪大、MITに加え立教大、愛媛大、工学院大が開発を担当



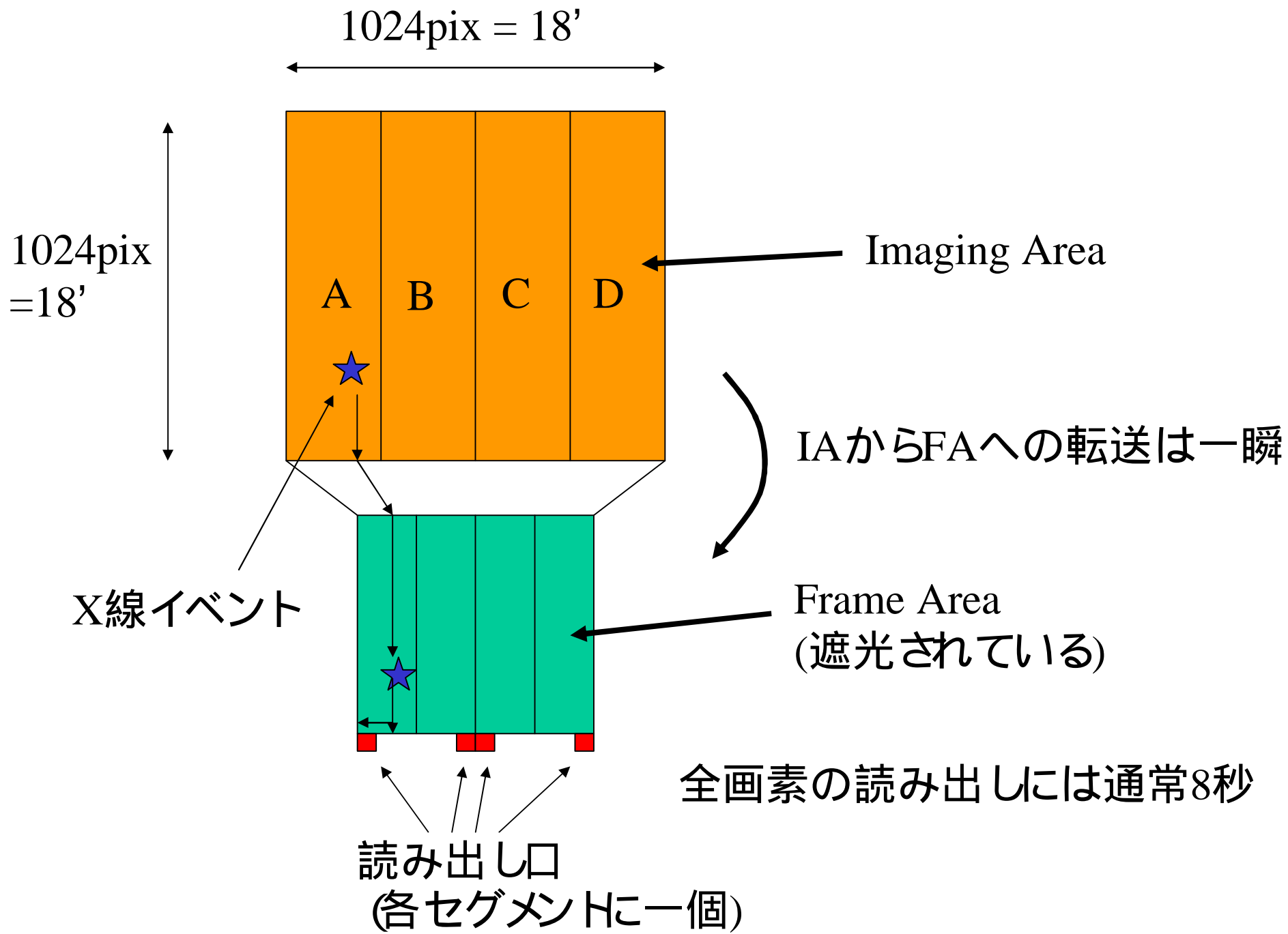
3. XISの基本的性能

- エネルギー分解能
130eV @ 6 keV
- 有効面積 (XRT の有効面積、XISの検出効率をかけた値)
340 cm² (FI), 390 cm² (BI) @ 1.5 keV
150 cm² (FI), 100 cm² (BI) @ 8 keV
- 空間分解能
2 arcmin (Half Power Diameter)
- 時間分解能
8 s (Normal mode)
7.8 ms (P-sum mode)

- XRSより大きな有効面積 (FIとBI 4台の合計)
- HXDと組み合わせ広いエネルギー範囲の連続X線の決定に非常に有力
- 中程度のエネルギー分解能の分光でXRSをサポート

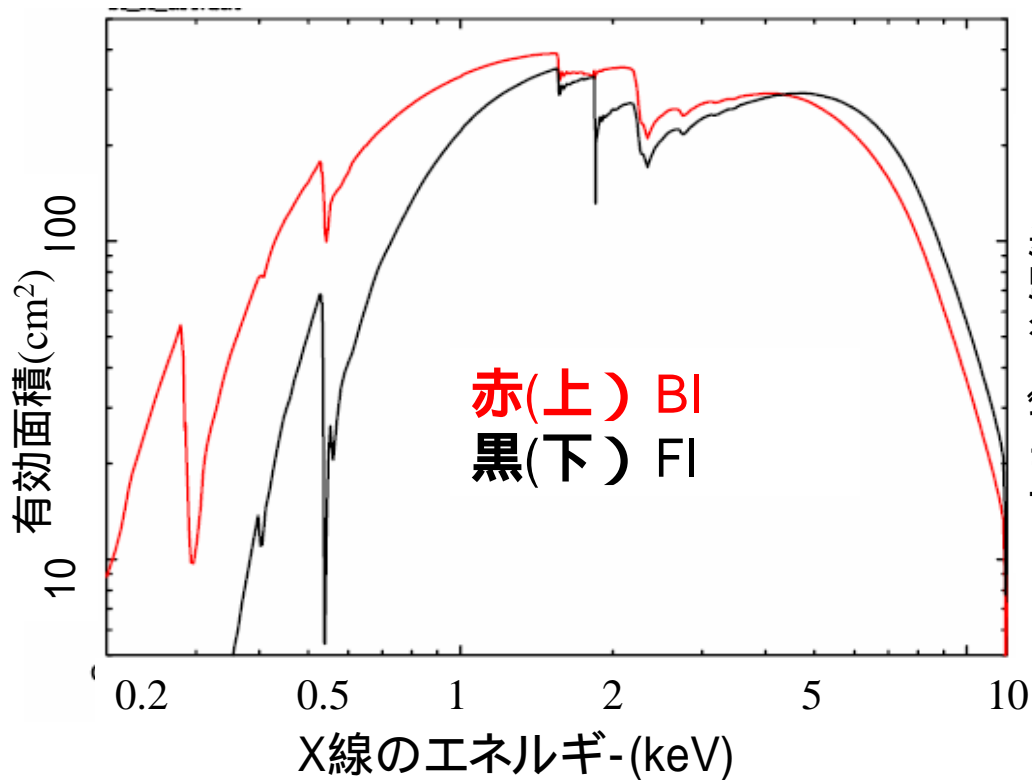
4 .XISカメラシステムの概観

構造	フレーム転送型 (FI-CCD/BI-CCD 各2台を予定)
画素サイズ	24 μ m \times 24 μ m
画素数	1024 \times 1024 画素 (1画素 1 ' \times 1 '相当)
読み出し口	4 node
視野	18 ' \times 18 '
露光時間	Normal Mode 8秒 (P-sum Mode 7.8ミ秒)
較正用線源	^{55}Fe
可視光遮断膜	アルミニウム1200A+ポリイミド1000A

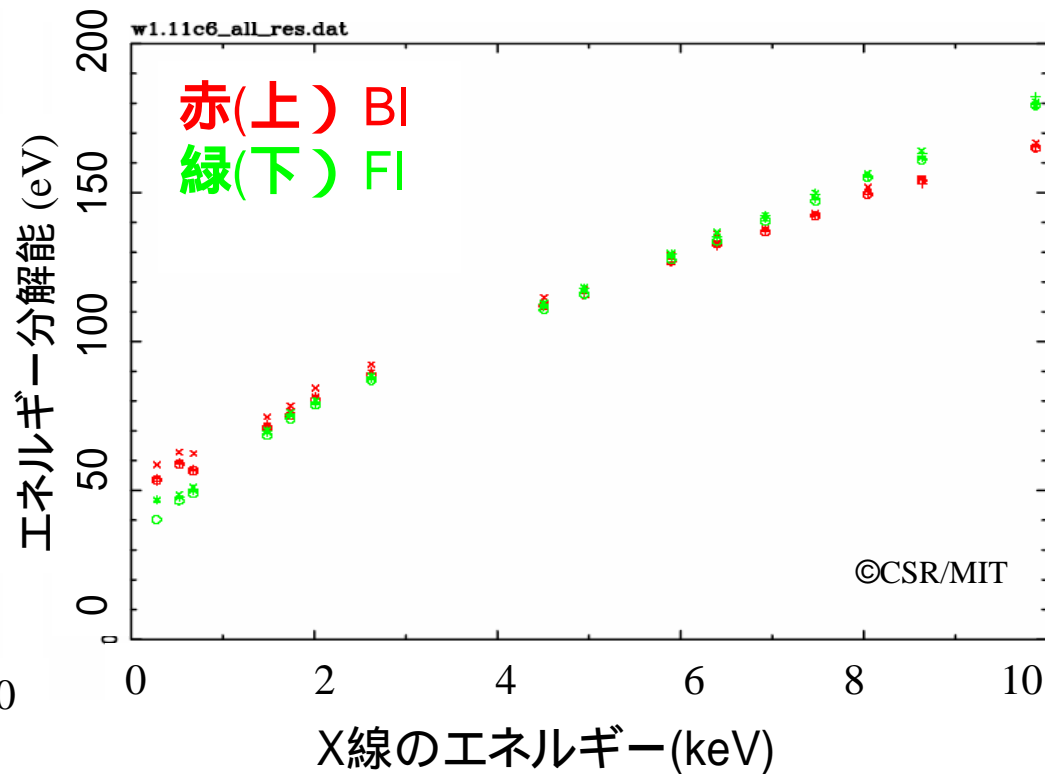


5. FI CCDとBI CCDの違い

- 1. **表面照射型**(FI : Front Illuminated) CCD 2台
BIより高エネルギー側で検出効率が良い。
- 2. **裏面照射型**(BI : Back Illuminated) CCD 2台
FIより低エネルギー側で検出効率が良い

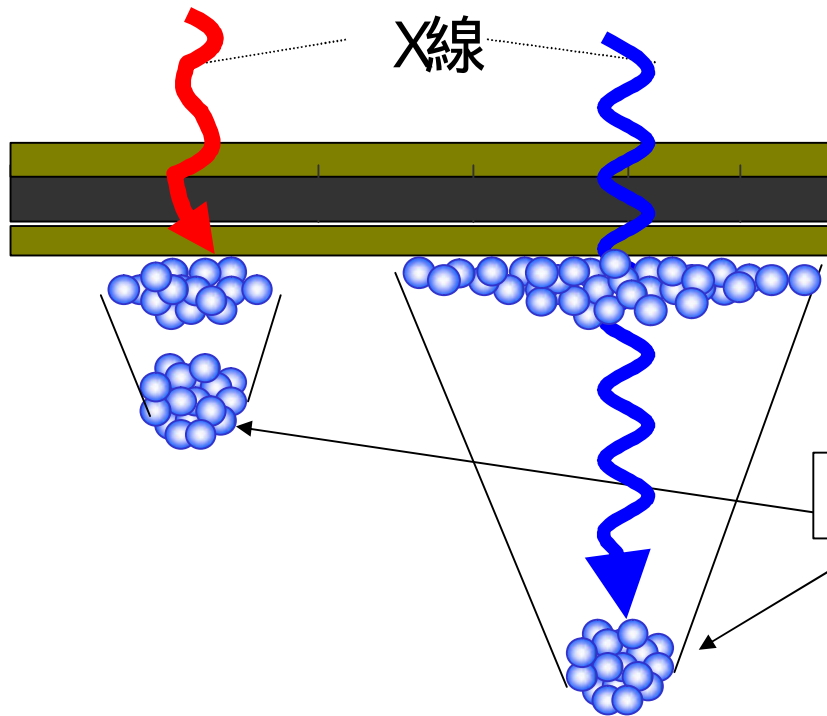


検出効率の比較



エネルギー分解能の比較

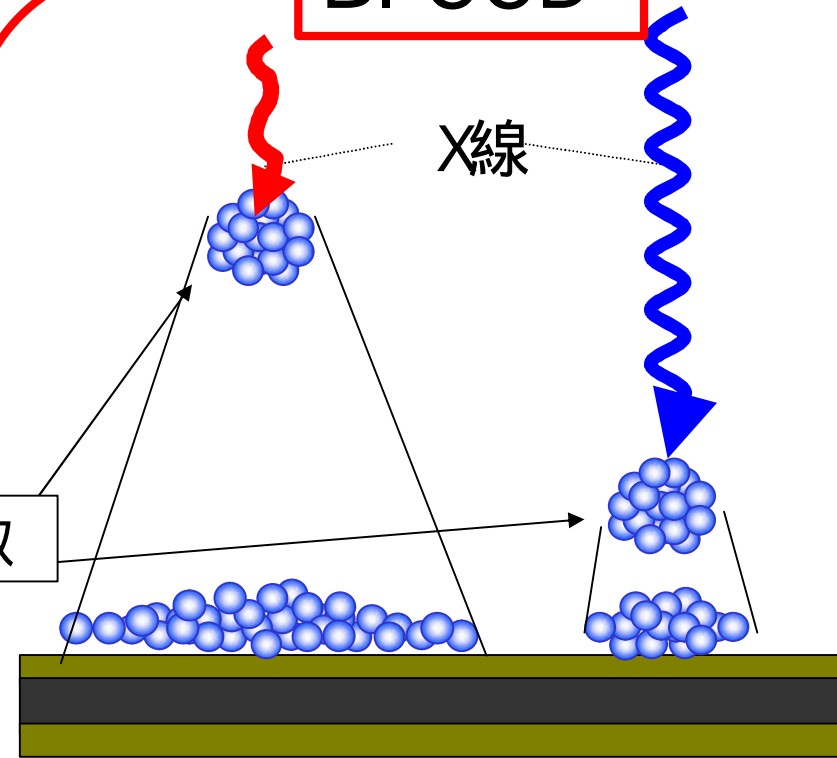
FI CCD



X線の入射方向に電極があるため、エネルギーの低いX線にとって電極部が遮蔽物になり空乏層まで到達できない

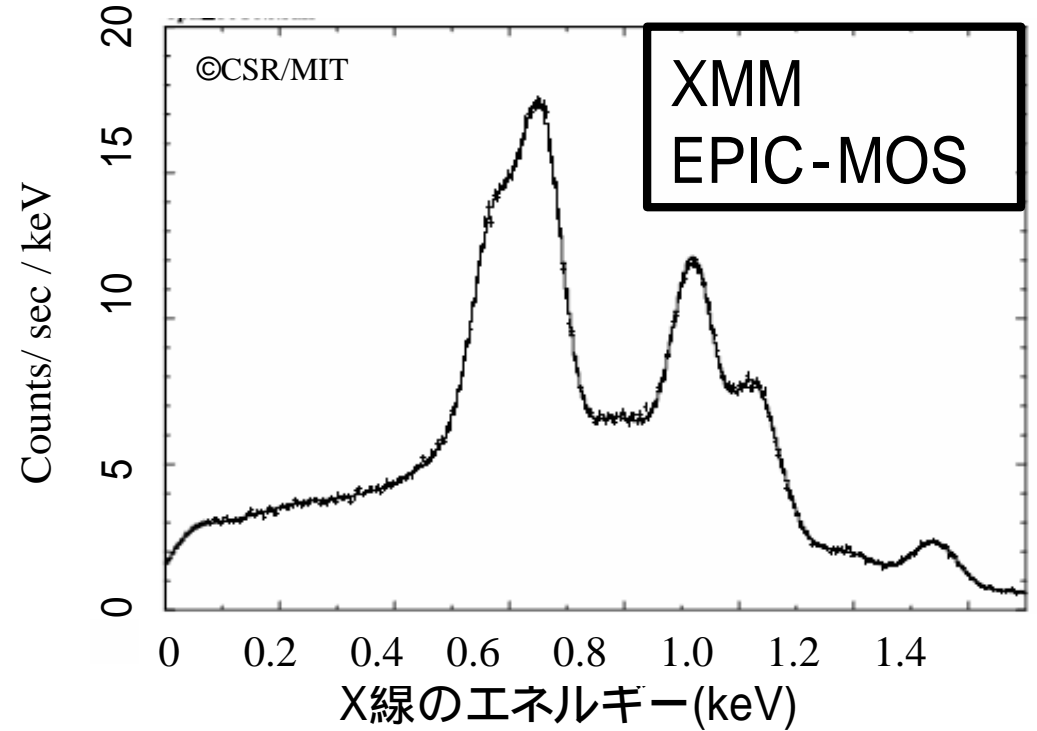
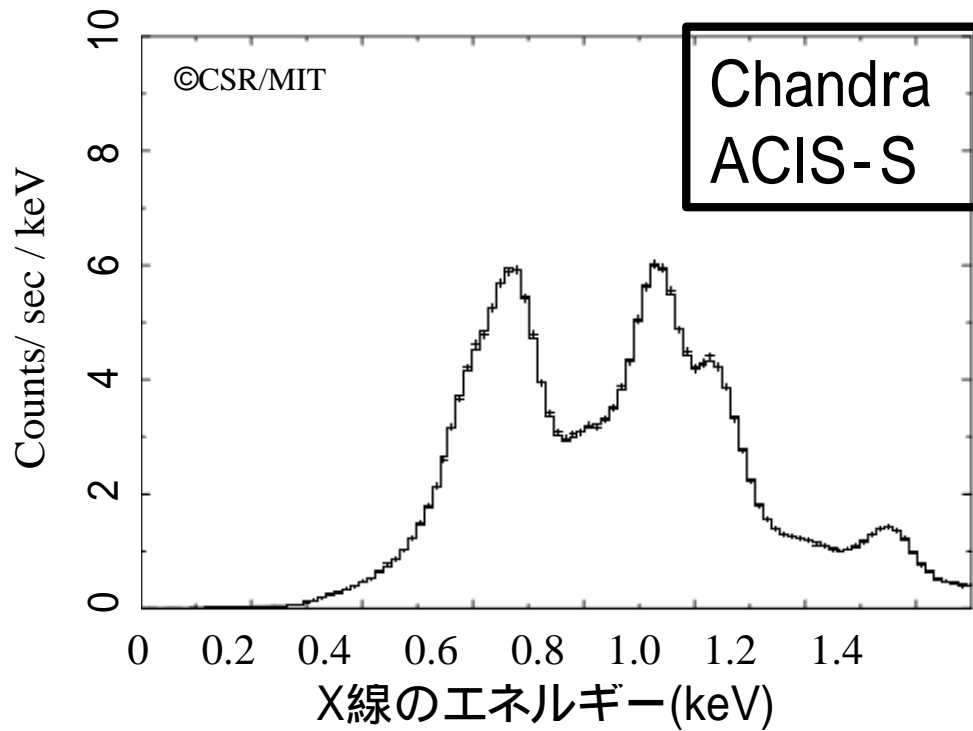
➡ **低エネルギーで検出効率が低い**

BI CCD

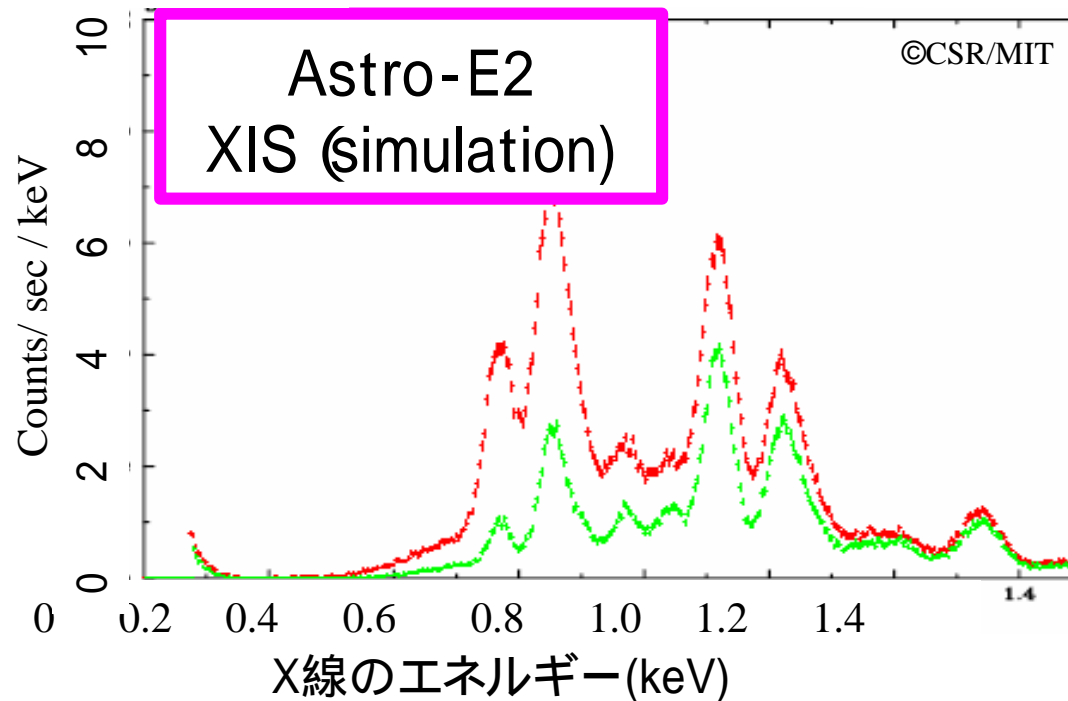


X線の入射方向に電極がないため、エネルギーの低いX線にとって遮蔽物がなく、直接空乏層に到達できる

➡ **低エネルギーで検出効率が高い**



?XISとChandra、
XMM-Newton
搭載X線CCDの比
較 (Chandra、
XMM-Newton
はGratingを使わな
い場合)



- XISは、7keV以上ではXMMを凌ぐ最大の有効面積をもつ。
- ? XIS-BIのエネルギー分解能は、ACIS-Sより優れている。

II データプロセス

1. 観測モード

観測提案者は露光時間などを指定する Clocking mode を選ぶことができる。

Clocking Mode	特徴
Normal	画像が取れる 標準的なモード
P-sum	画像は取れないが 読み出しが速い

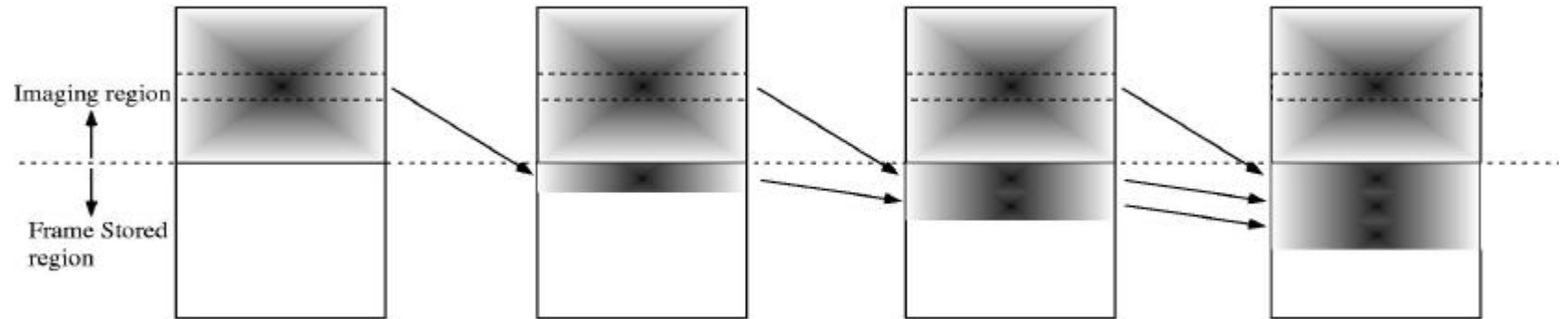
参考: Clocking mode(電荷転送方法)

Normal (No option)	標準観測モード、 露光時間8秒 (全ピクセル読み出しに8秒かかる)
Normal (Burst option)	8秒の露光中、ある時点で一度蓄積電荷を捨て、残り時間を再度露光することにより、実効的に露光時間を短くする
Normal (Window option)	全1024×1024画素中、一部の画素領域だけ読み出して、露光時間を短くする
Parallel Sum	最小露光時間7ミ秒 全1024×1024画素の2次元情報のうち、縦方向の画素情報を積算し、横方向のみの1次元情報として処理 (イメージ情報は失われる)

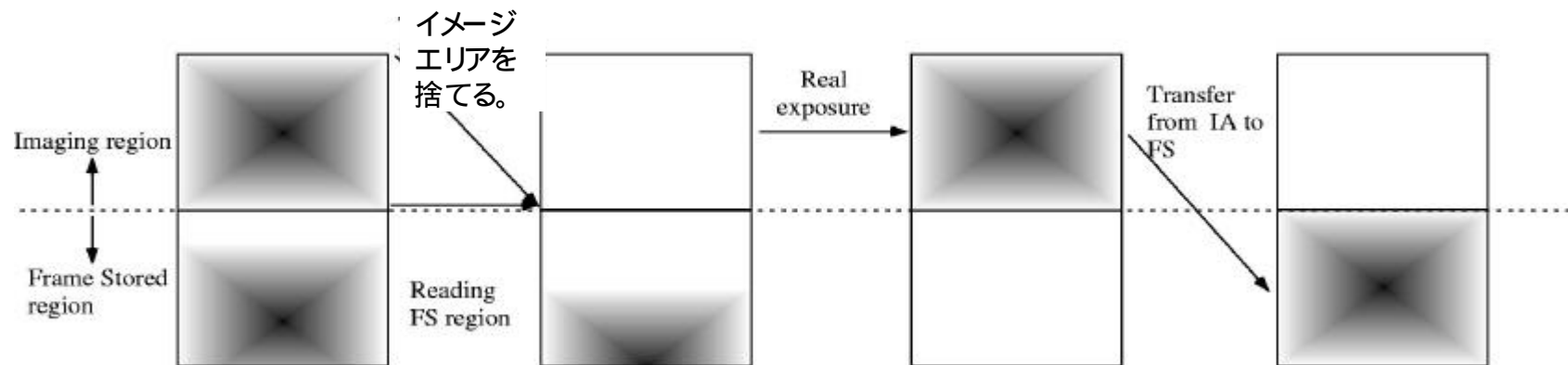
極めて明るい天体の観測、速い時間変動の観測以外は、普通はNormalを選んでください。

特殊なモード

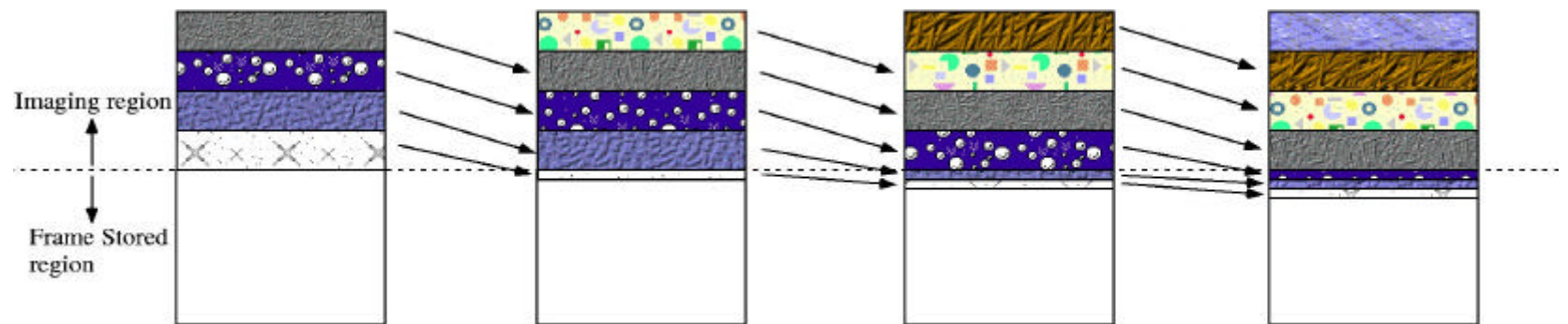
Normal+
Window



Burst



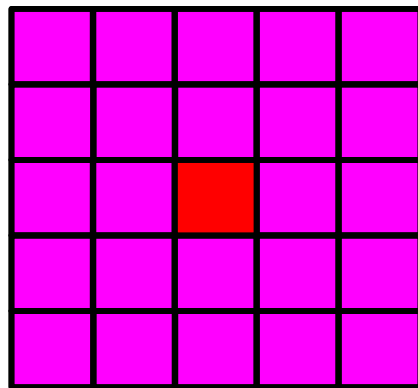
P-sum



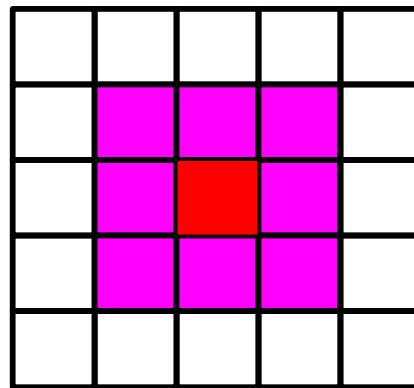
参考: Editing mode (X線イベントの記録方法)

5×5	X線イベントを含め25ピクセルを記録する
3×3	X線イベントを含め9ピクセルを記録する
2×2	X線イベントを含め4ピクセルを記録する
timing	X線イベントの周り最大2ピクセルを記録する

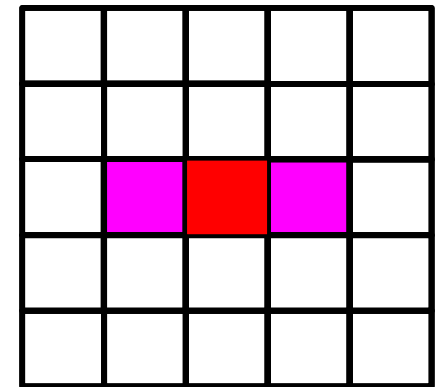
timing modeはP-sum mode と組み合わせる



5x5モード



3x3モード



Timingモード

2. 観測モードの選び方

- 普通は default の観測モードを使用
 - Clocking mode : **Normal mode (with no option)**
(高時間分解能が必要な観測を行う場合はP-sum modeを使用)

- 観測天体が点源で、**10c/s以上なら**、パイルアップの影響が深刻。
 - Clocking mode : **Normal mode + Window and/or Burst option**
あるいは
P-sum mode (イメージ情報は失われる)

パイルアップ

- XIS の場合、XRT の PSF が CCDピクセルより十分大きいため、Chandra やXMM ほど深刻な影響はない。
- 広がった天体なら問題になることはほとんどない。

技術資料(Technical Description) をよく読んで観測に必要なモードを検討して下さい。疑問があれば ae2a01@astro.isas.jaxa.jp までお尋ねください。

III キャリブレーション

1. キャリブレーションの目標精度

エネルギースケール ¹	0.1% @ 6keV
エネルギー分解能 ²	1% @ 6keV
検出効率 ^{3,4}	5% @ 10keV

1. ラインの中心エネルギーがどの程度の精度で決まるか？
2. ラインの幅(FWHM)はどの程度の精度で決まるか？
3. ゲート厚 6%, 空乏層厚 5%の決定精度
4. XRTを含まない、XISのみの検出効率

- この他のキャリブレーション項目
絶対時刻の精度などは打ち上げ後、Crabパルサーなどを使って
キャリブレーションを行う

打ち上げ後、放射線損傷のためにXISの性能はどんどん変化します！

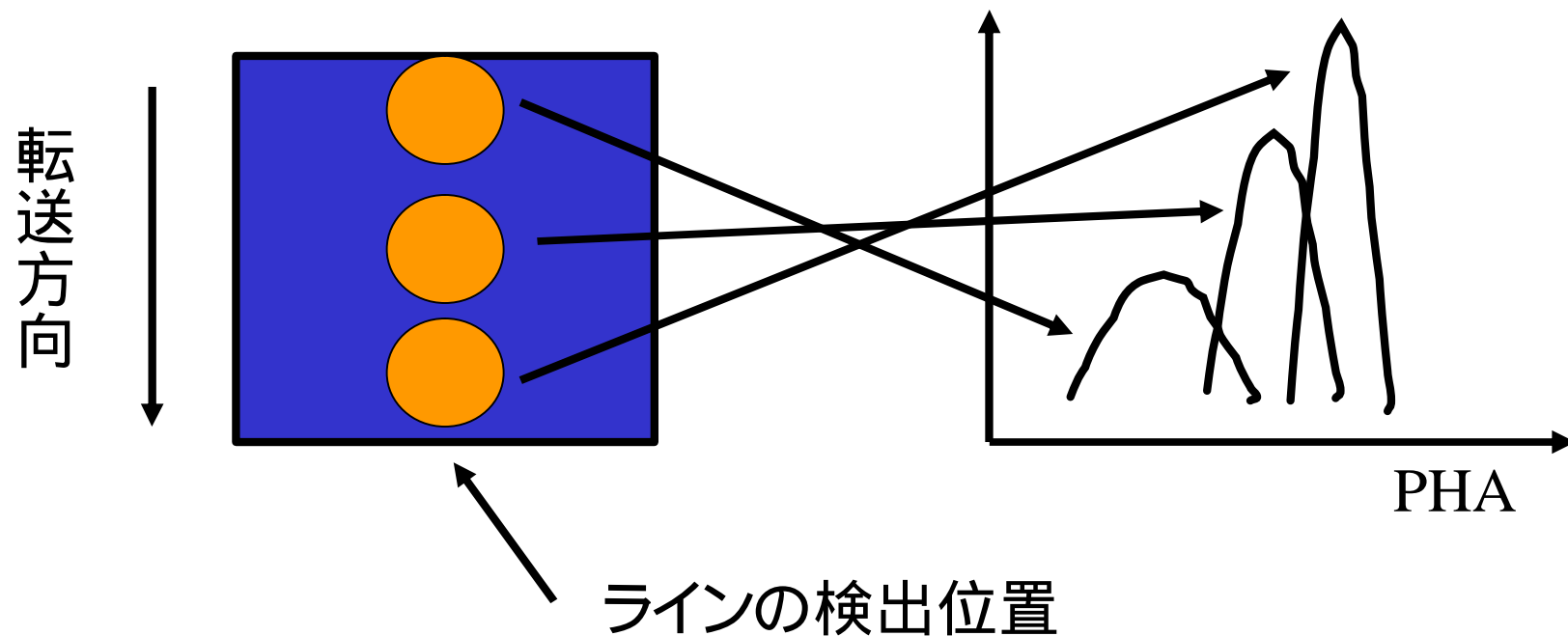
2. Astro-E2 打ち上げ後は？

XISは宇宙線による放射線損傷で、打ち上げ直後から徐々に性能が劣化します。

特に.....

- Charge Transfer Efficiency (CTE) **が悪化する。**
電荷転送が完全でない。
転送する度に、少しずつ電荷が減る。

したがって、打ち上げ後も定期的に性能をチェックする必要がある。



•CTEについて

- 転送回数が多いほど、電荷がこぼれるので、ラインの中心エネルギーは見かけ上低くなる。これはCTEがわかれば補正可能。
- 電荷がこぼれ落ちるのは確率過程なので、転送回数に従いラインも太る。これは補正できない。

3. 軌道上でのキャリブレーション

- 打ち上げ直後に標準天体を観測
 - E0102-72, Cas A ... **エネルギースケール、分解能の測定。**
 - Crab ... **有効面積、タイミングを測定。**
 - Eta Carina ... **低エネルギー側の検出効率**
- さらに打ち上げ後半年毎に標準天体を観測
- CCD隅の⁵⁵Fe較正線源による CTE のモニター
- 電荷注入法による、CTEのモニター

これらにより、随時XISの性能をモニターし、そのシステムティックエラーも評価。web などを通じて出来る限り迅速にユーザーに最新情報を届ける予定です。ユーザーは、標準のソフトウェアで最新のキャリブレーション結果を取り込んだ解析ができます。

まとめ

XISは

- 有効面積が大きく連続X線スペクトルの測定に威力を発揮
- 中程度のエネルギー分解能のスペクトル測定でXRSによる分光をサポート
- 18' × 18'の視野でイメージング

- Chandra/Newtonに比べて
低バックグラウンドで
エネルギー分解能もよい

- > 7keVではNewtonよりも大有効面積