

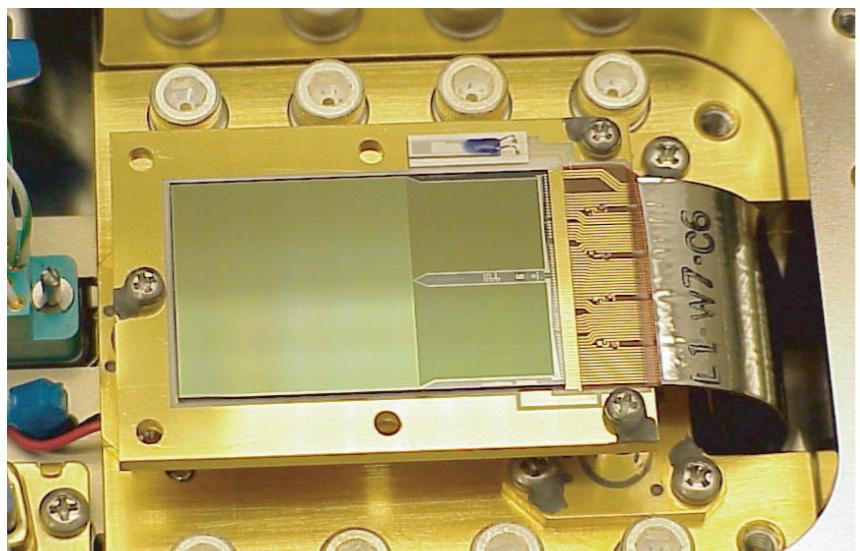
X線天文衛星搭載 ワイドバンドSOIピクセル検出器の開発

鶴 剛 (京大) **tsuru@cr.scphys.kyoto-u.ac.jp**

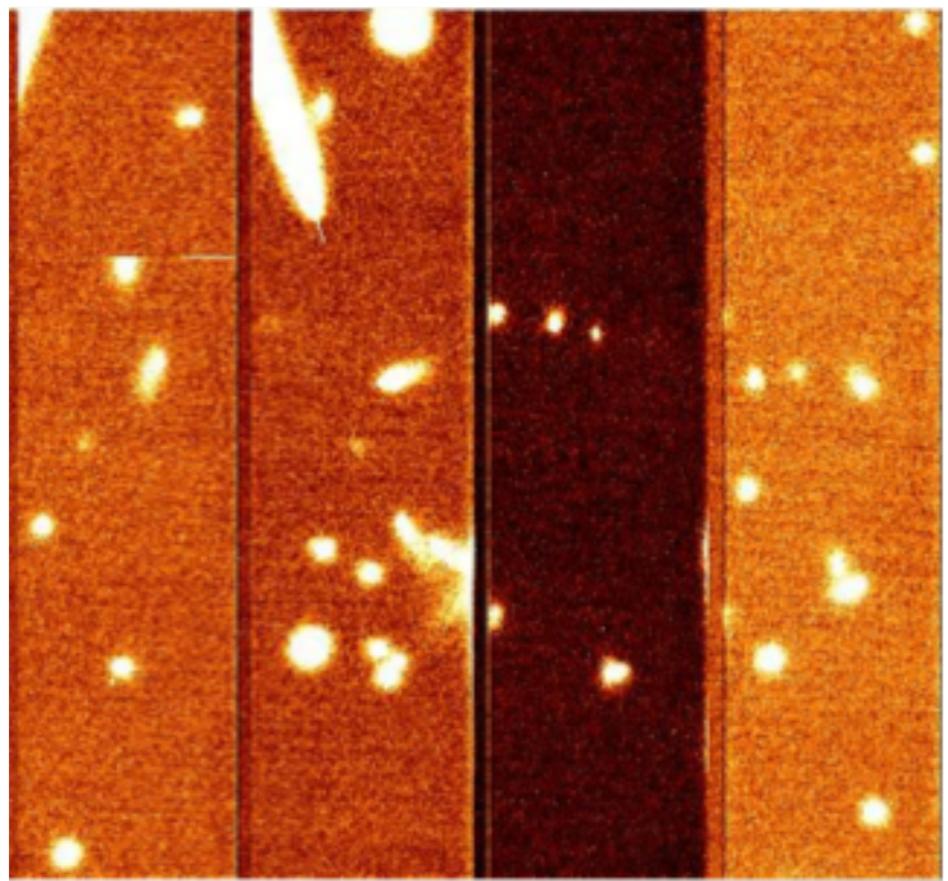
田中孝明, 中島真也, 松村英晃 (京大), 武田彩希,
新井康夫 (KEK), 森浩二 (宮崎大), 幸村孝由 (工学院)

X線CCD - スタンダード検出器

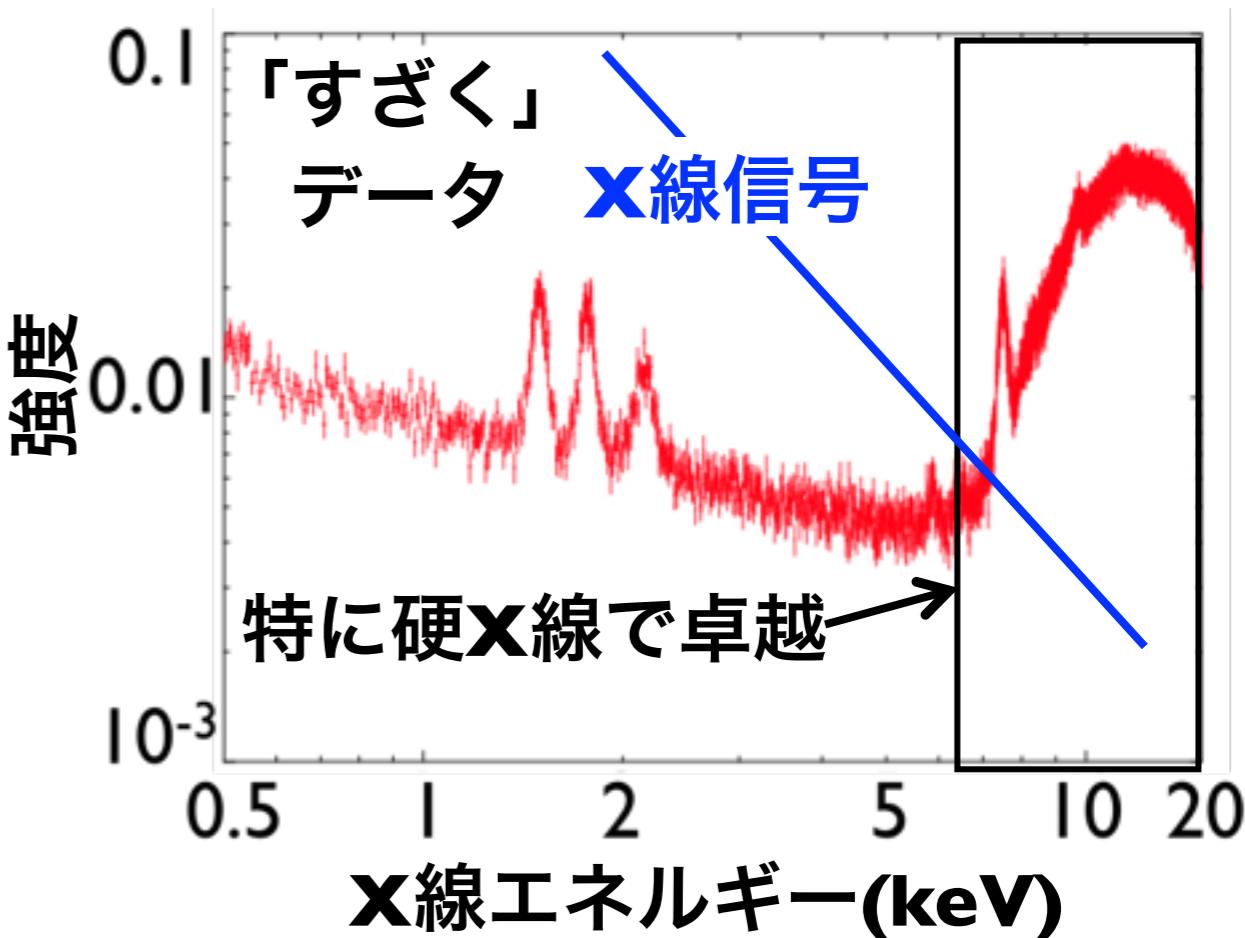
Suzaku 「すざく」 XIS



- 広視野(~20-30mm²)かつ精密撮像 (~30μm²)
- ファノ極限の精密分光 (ノイズ ~3e- rms)
- 読み出しが遅い(~sec) →
パルサーやBHの高速現象が観測できない。
- 非X線バックグラウンドが高い →
暗い (=遠方の) 天体が観測できない。



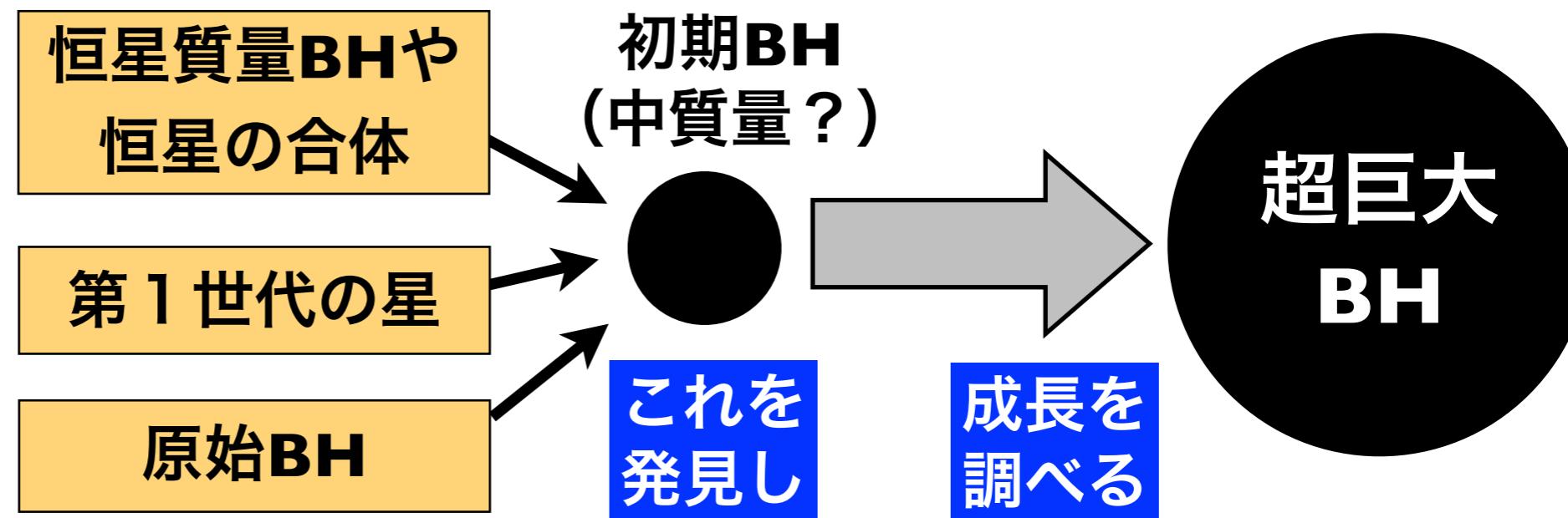
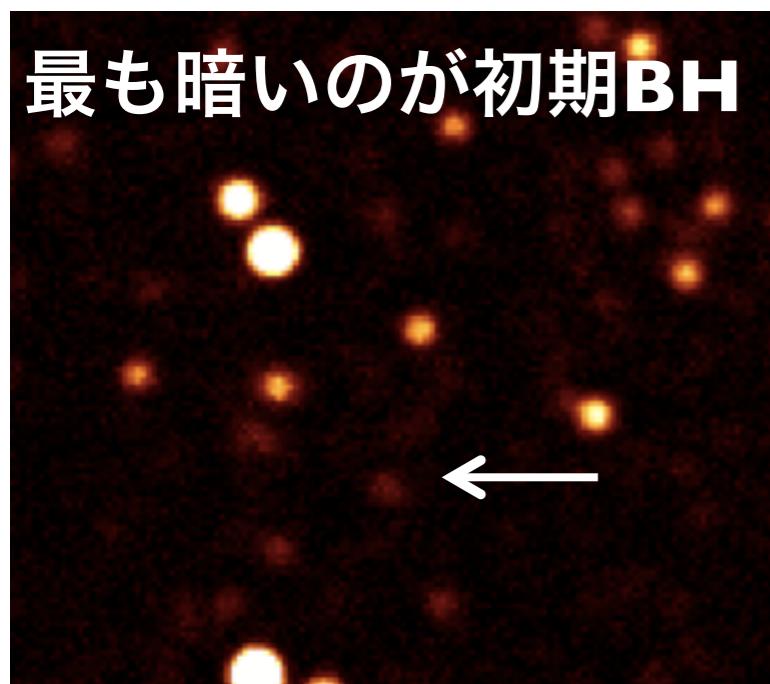
「すざく」X線CCDが軌道上で得た生イメージ
ほとんど非X線BGDの中でごく少数のX線を検出



非X線バックグラウンドのスペクトル
(X線ではないのにX線と誤解した)

X線の最重要課題 - CCDでは困難

• 宇宙最初期ブラックホールの発見とその成長



• 熱的プラズマの衝突による非熱的宇宙の誕生



低BGD・ワイドバンド(0.3-40keV)
精密分光撮像を実現する観測装置

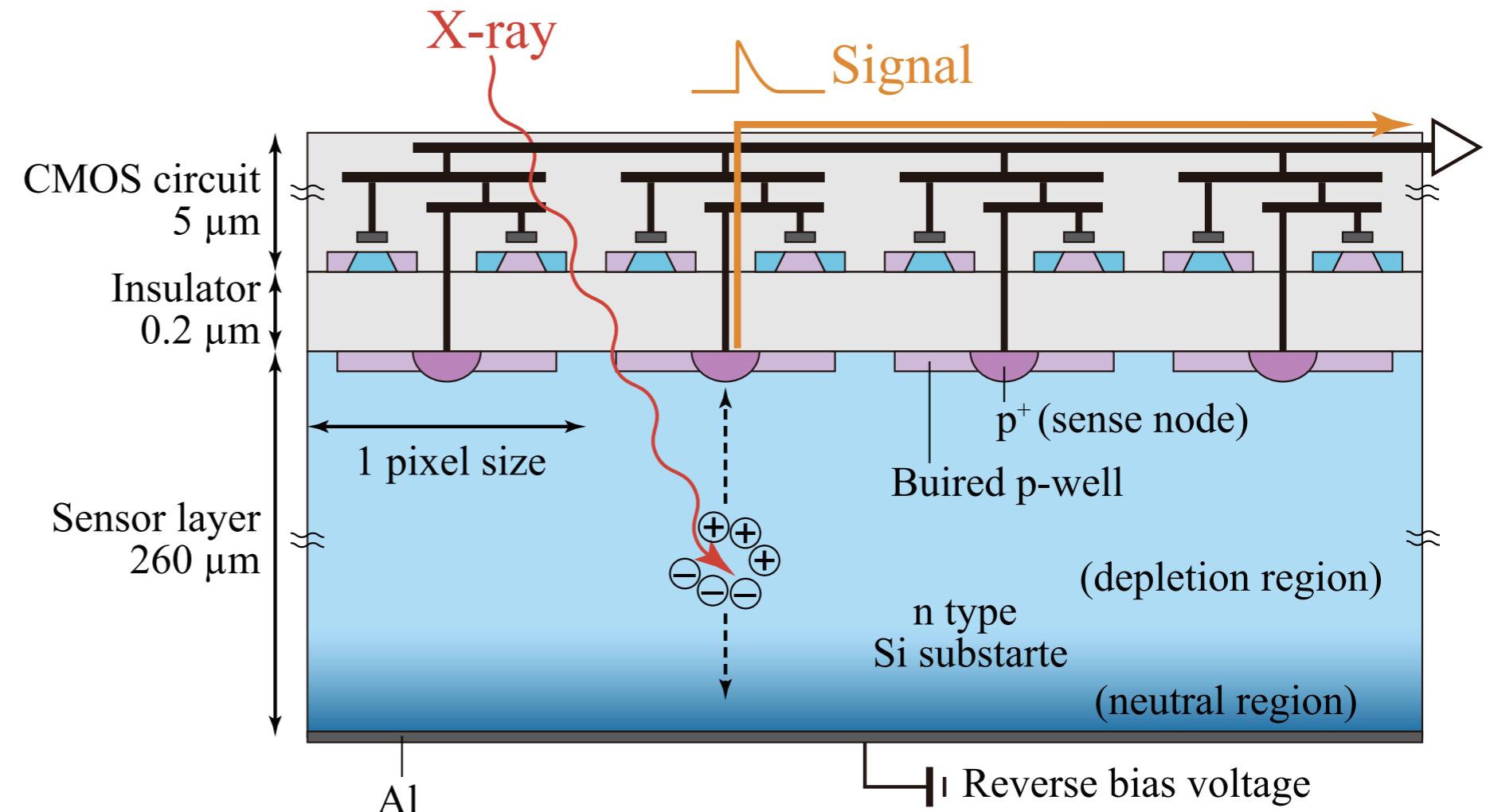
SOIPIX

SOIPIX: Silicon-On-Insulator **一体型**ピクセル検出器

高速CMOS回路
(低比抵抗Si)

絶縁体(SiO₂)

センサー部
(高比抵抗, 厚いSi)



高いX線感度と高度な信号処理を両立

各ピクセルにトリガoutput回路+アナログ読み出し回路

イベント検出のタイミングと位置を~1 μsecで検出

⇒反同時計数により非X線BGDを2桁下げる

X線SOIPIX – イベント駆動読み出し

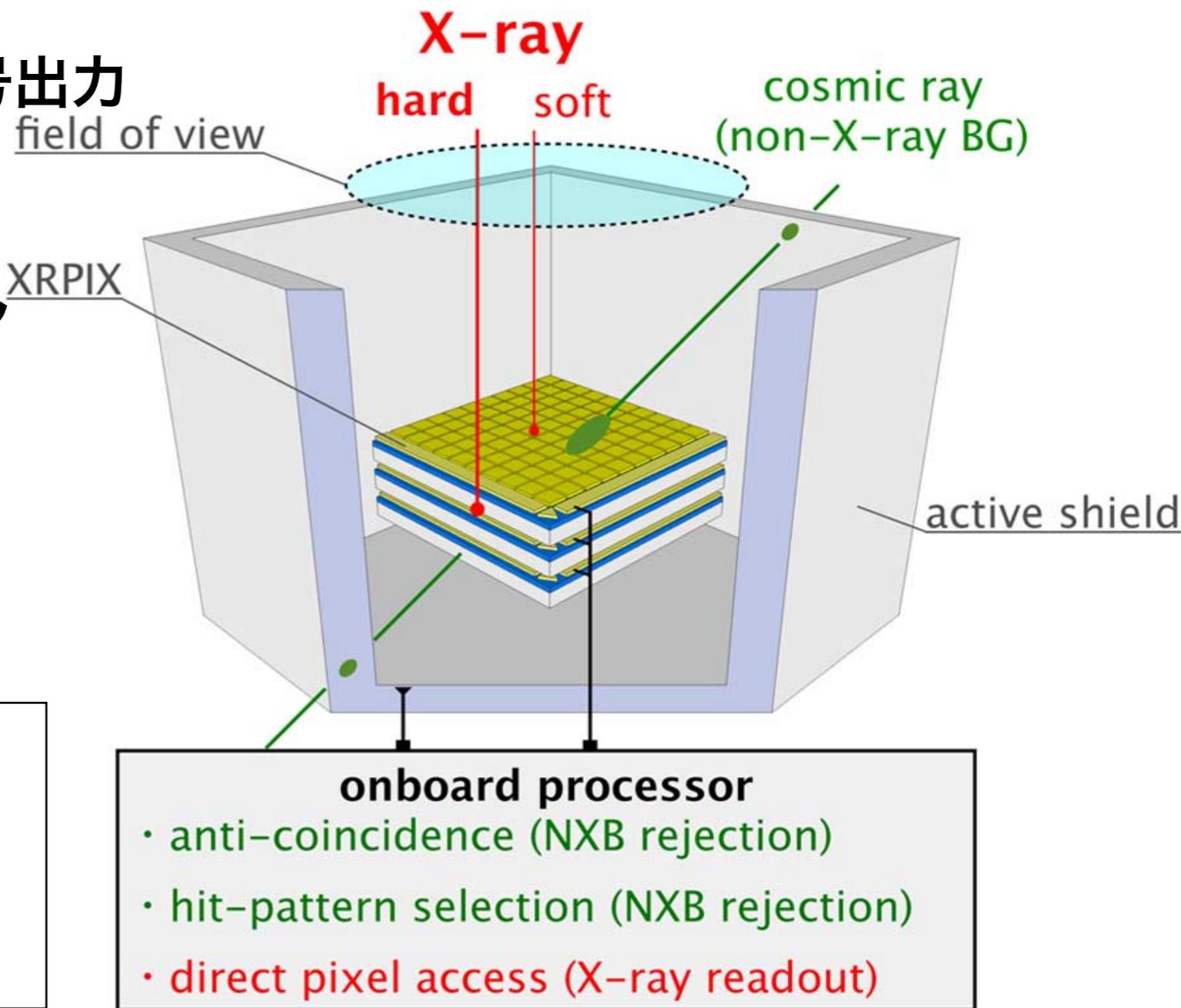
- イベントが到達した瞬間に**SOIPIX**がトリガ出力

- If アクティブシールドが同時信号出力
非X線**BGD** ⇒ 捨てる

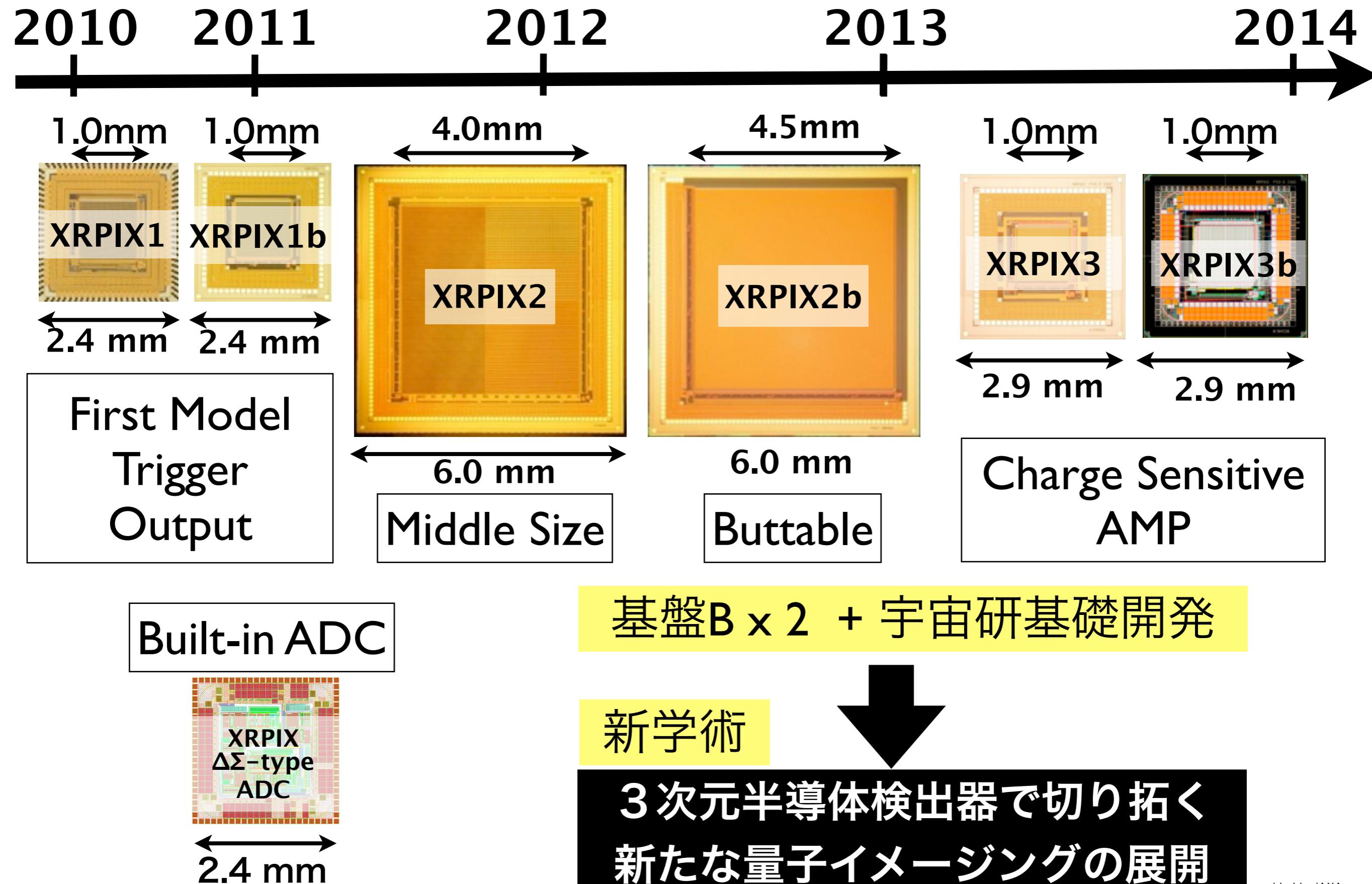
- If アクティブシールドに信号無し
X線 ⇒ アナログ信号読み出しへ

最大の特長=「イベント駆動」

撮像, 読み出しノイズ,
検出感度は**CCD**と同等 (以上)



開発の歴史 - 2008からスタート



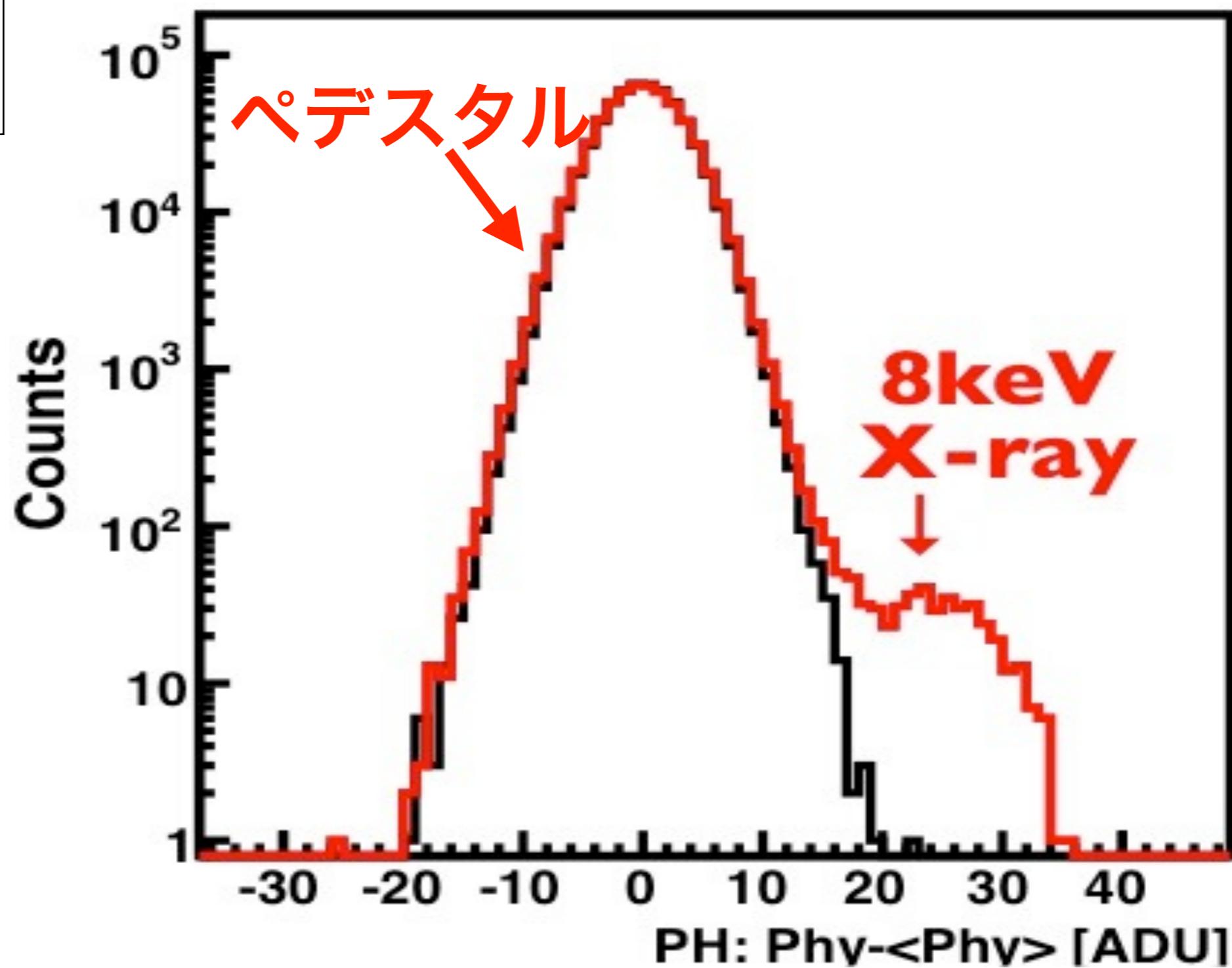
読み出しノイズ, エネルギー分解能

FY2009 基礎開発報告書

要求	10e (rms)
ゴール	3e (rms)

4年間の改良

- ピクセルCDS
- 寄生容量削減
- ピクセルCSA



読み出しノイズ, エネルギー分解能

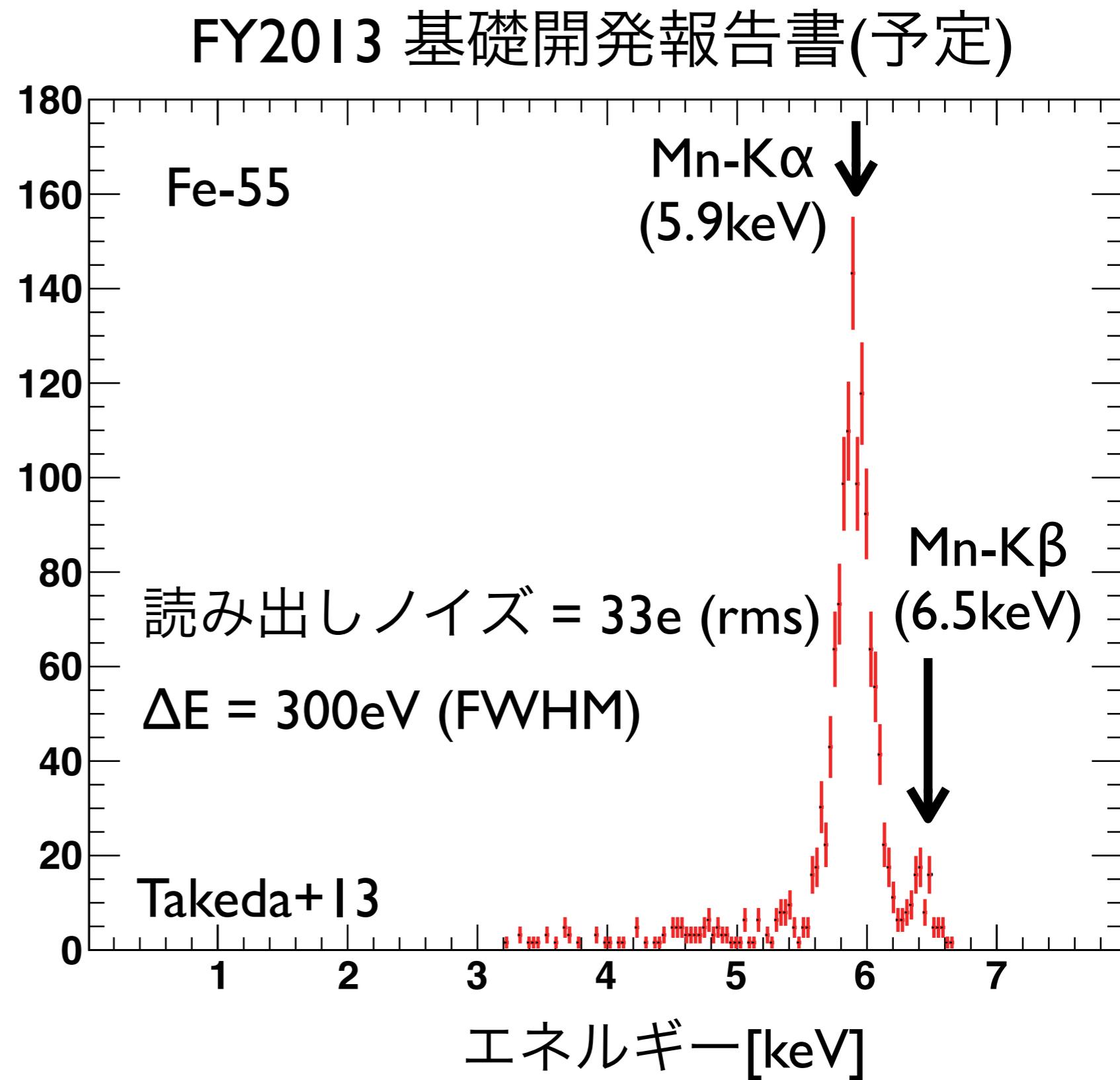
要求	10e (rms)
ゴール	3e (rms)

4年間の改良

- ピクセルCDS
- 寄生容量削減
- ピクセルCSA

今後

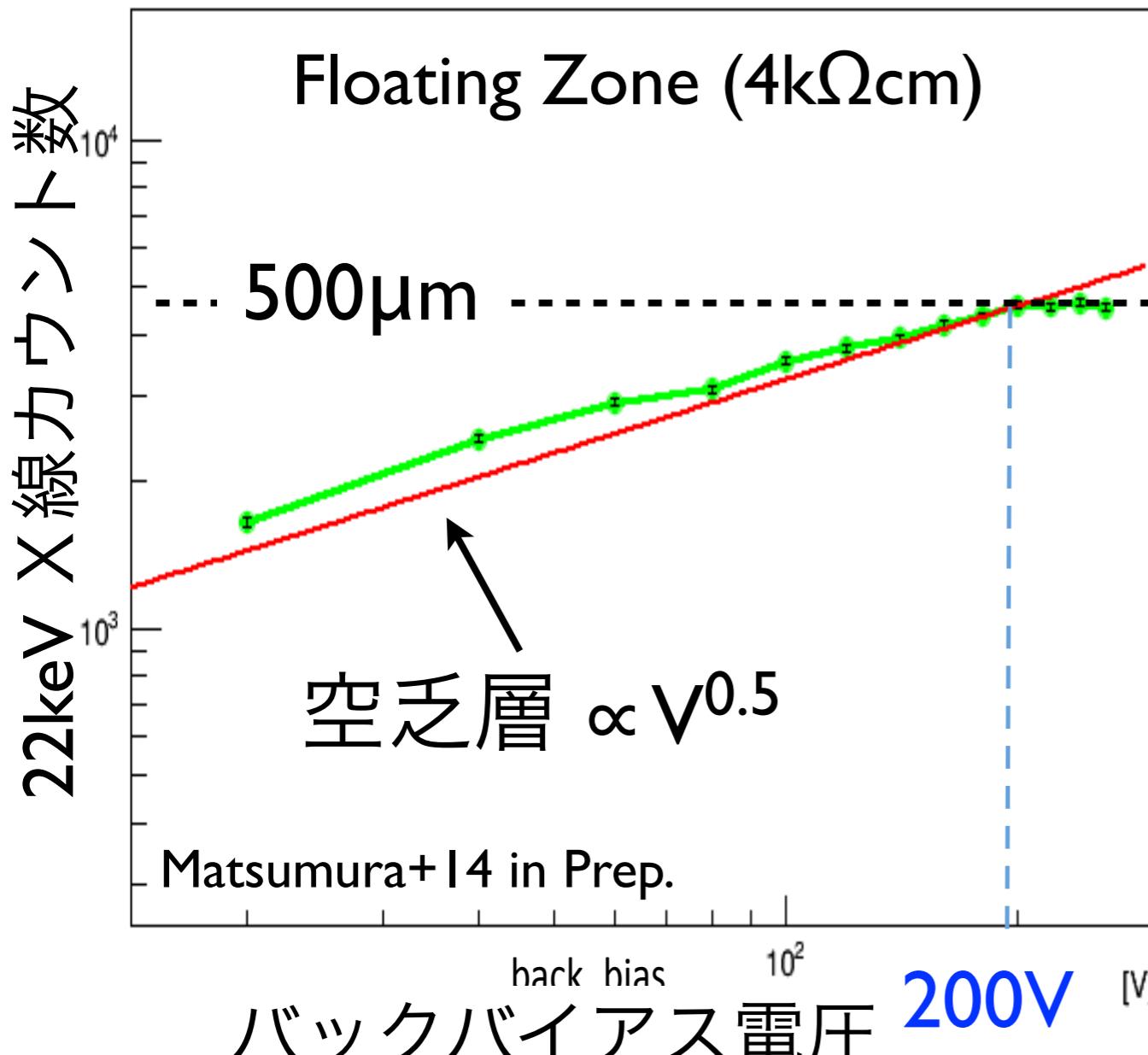
- CSA改良
- さらに寄生容量削減
- ピクセルADC



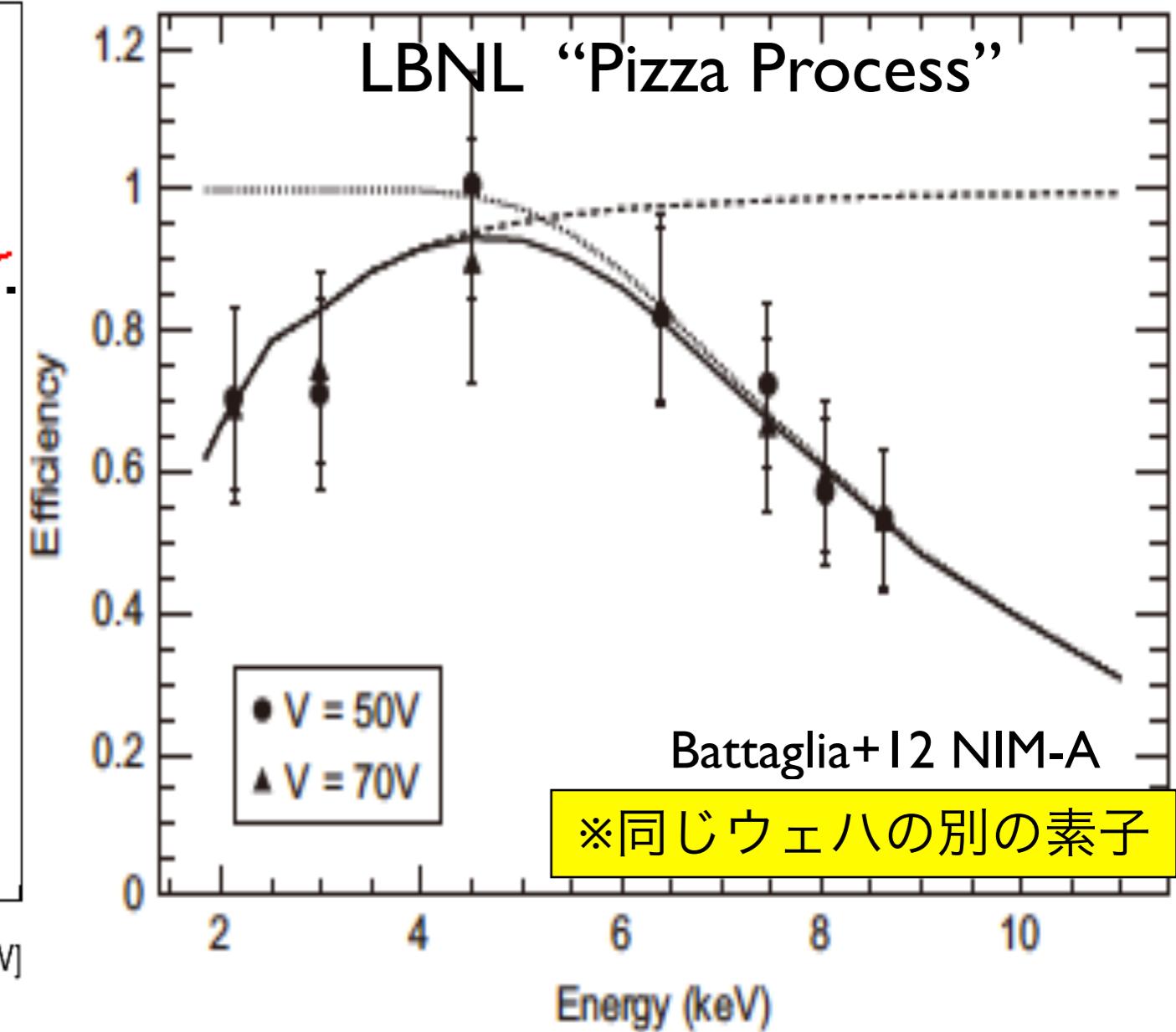
両面シリコンストリップ ~1keV. CCD, DEPFET ~140eV.

検出感度 - 空乏層500μm & 裏面照射

硬X線 = 厚い空乏層



軟X線 = 薄い裏面不感層

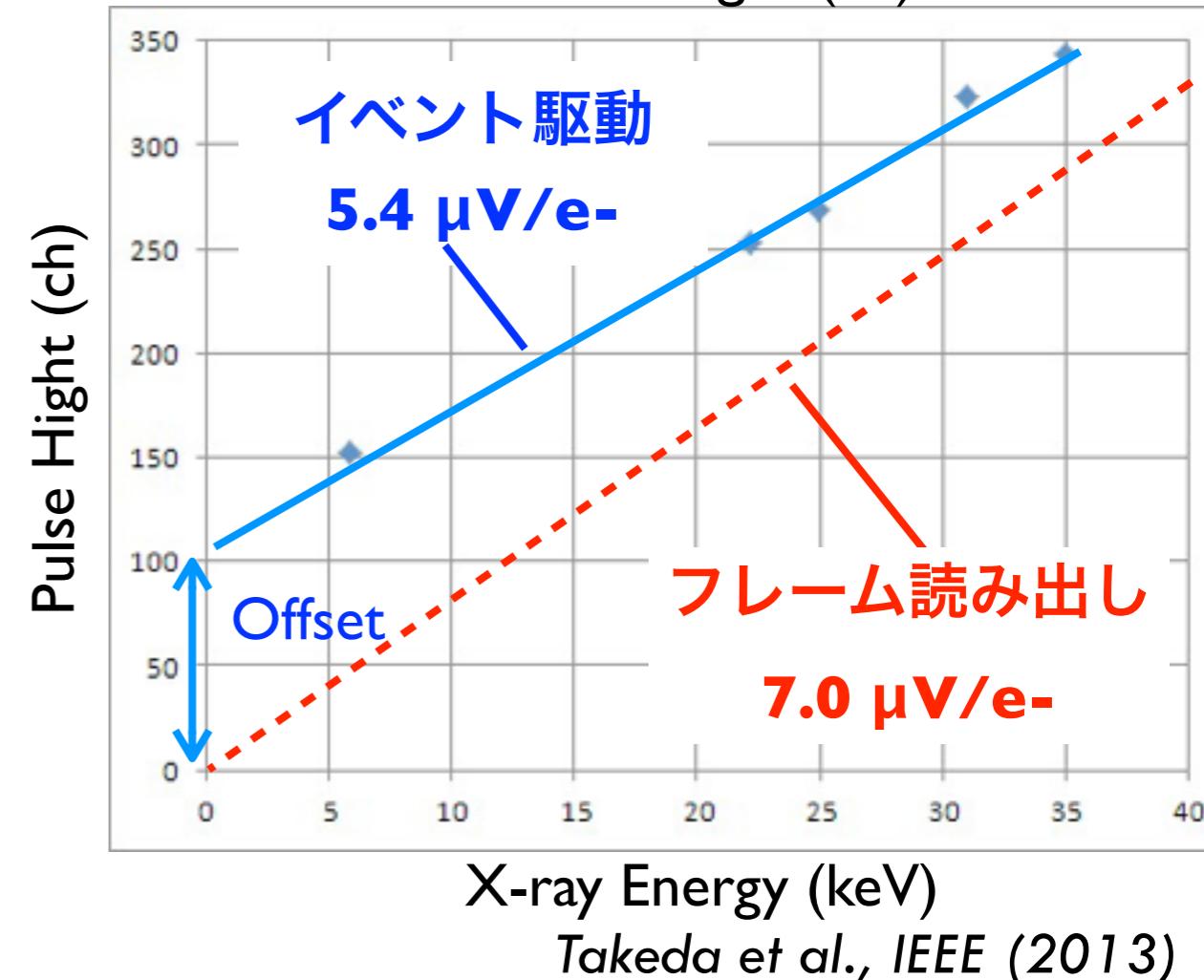
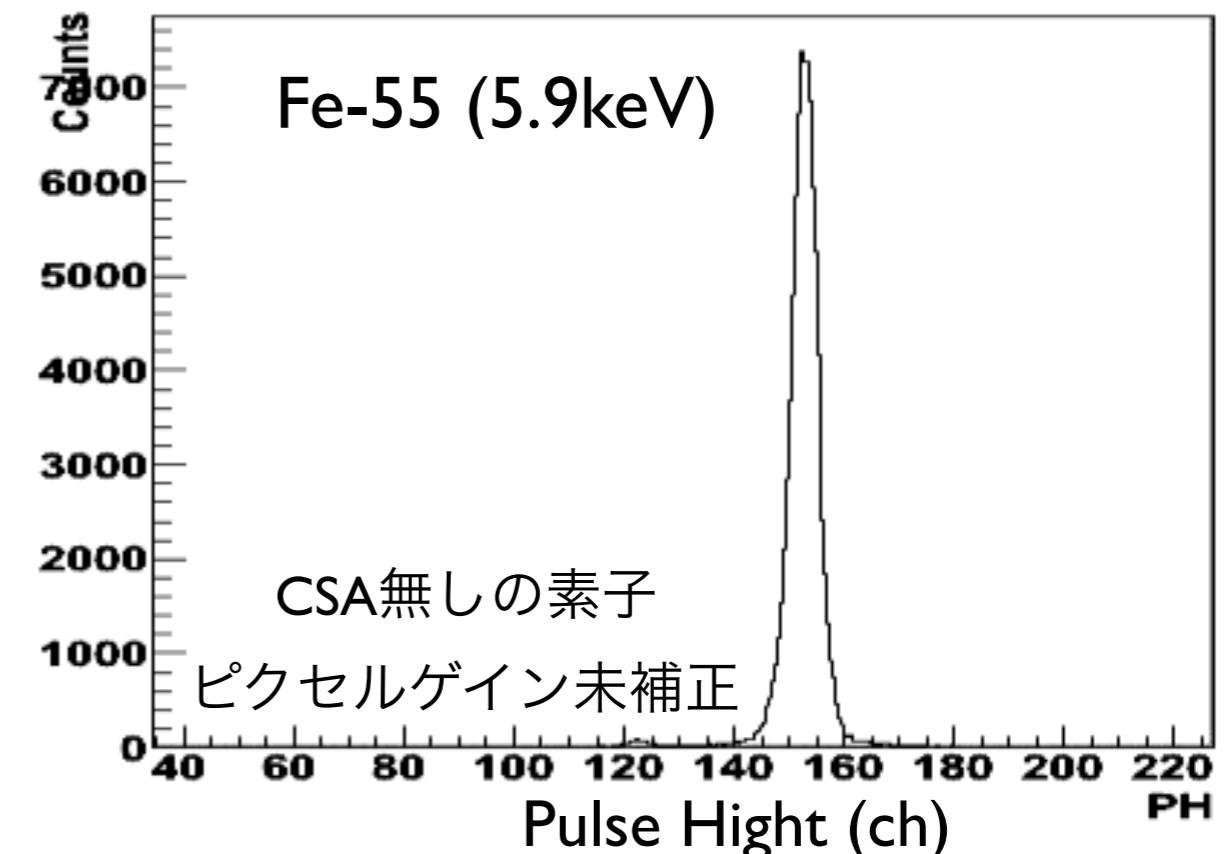
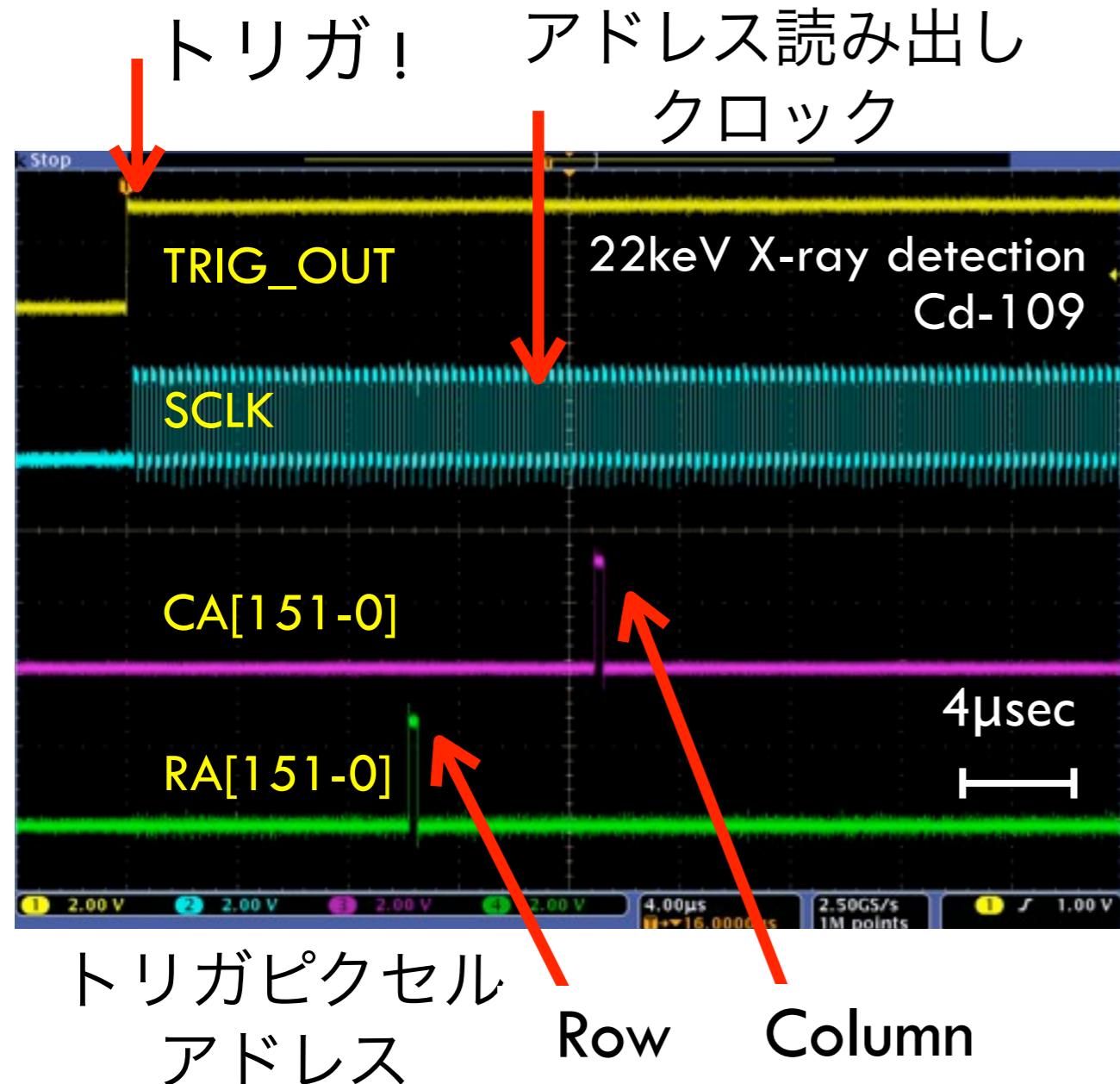


500μmの完全空乏
目標 ($>250\mu\text{m}$)は達成済み

$0.6 \pm 0.2\mu\text{m}$ (目標 $0.1\mu\text{m}$)

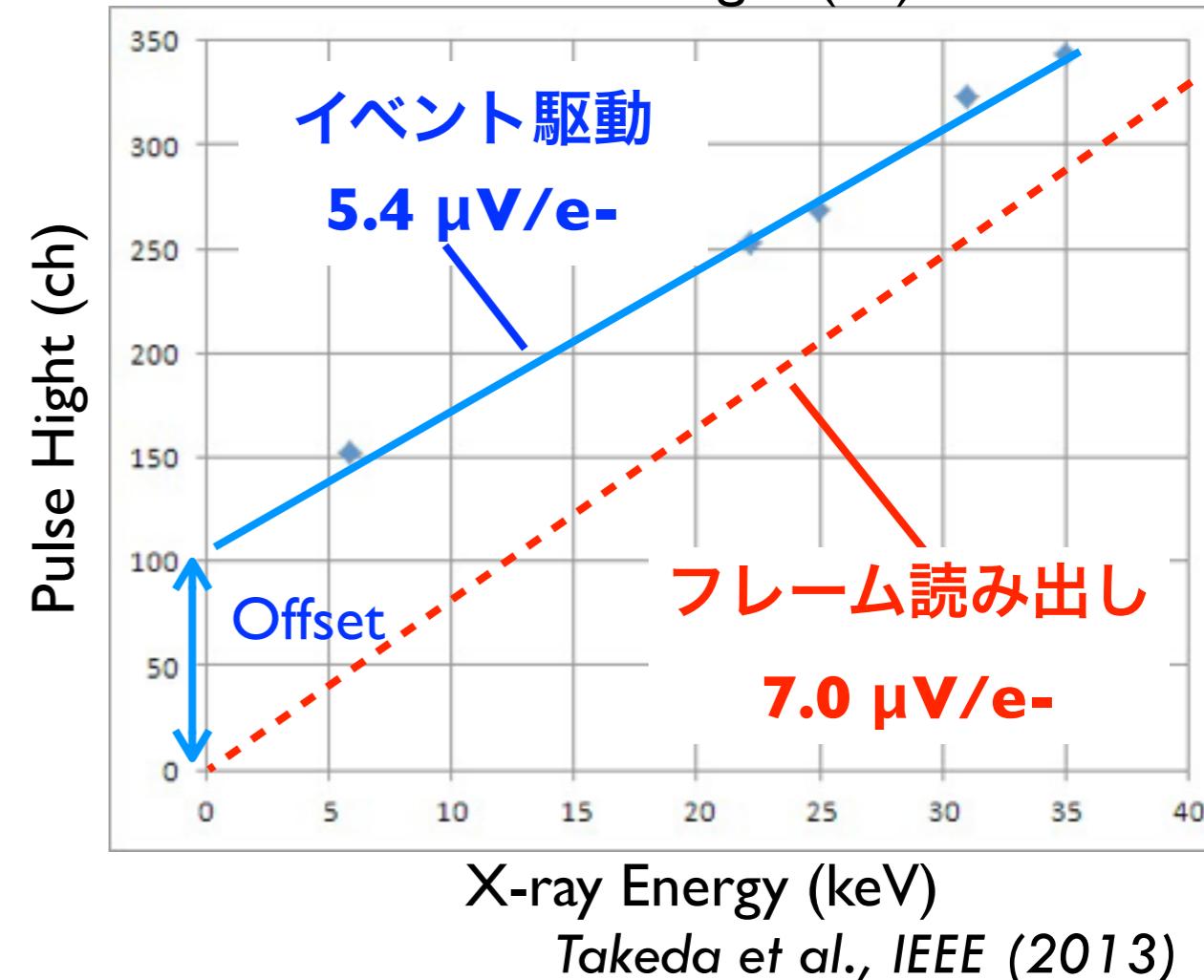
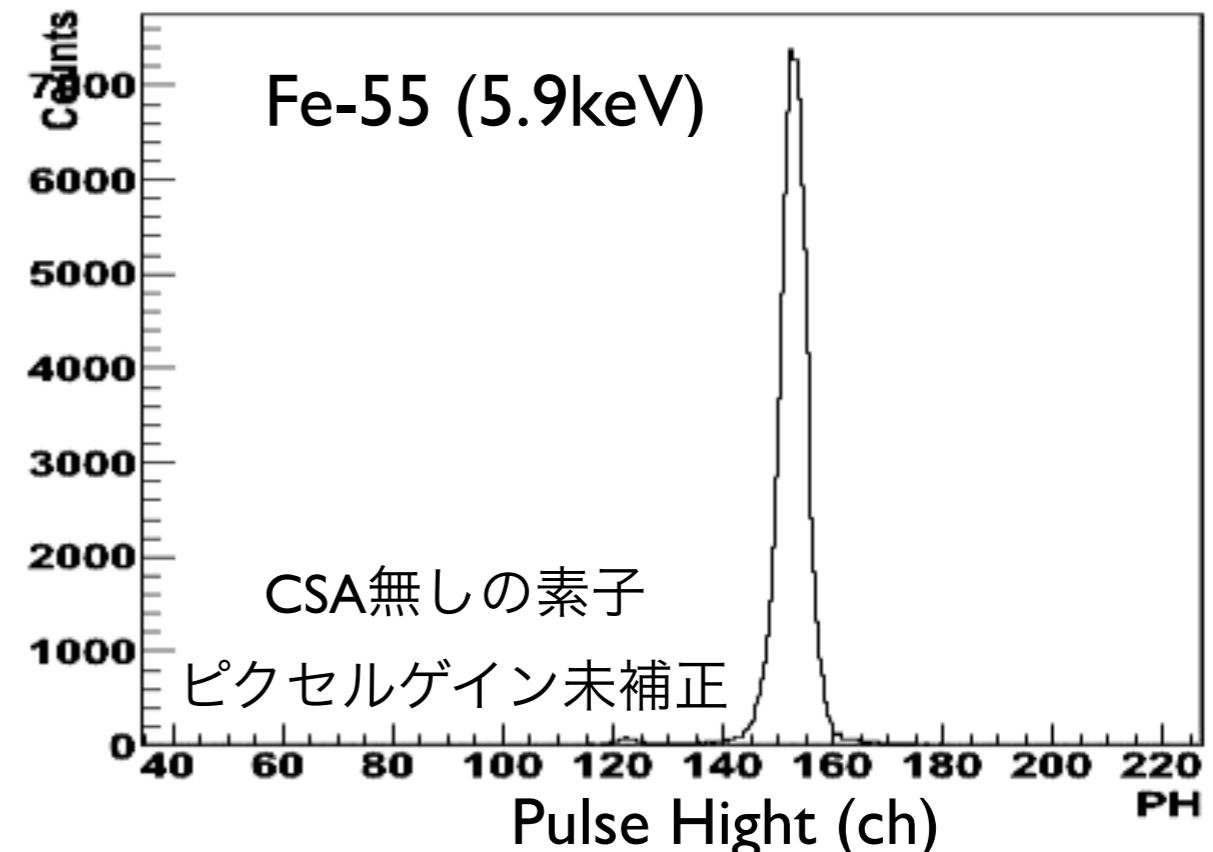
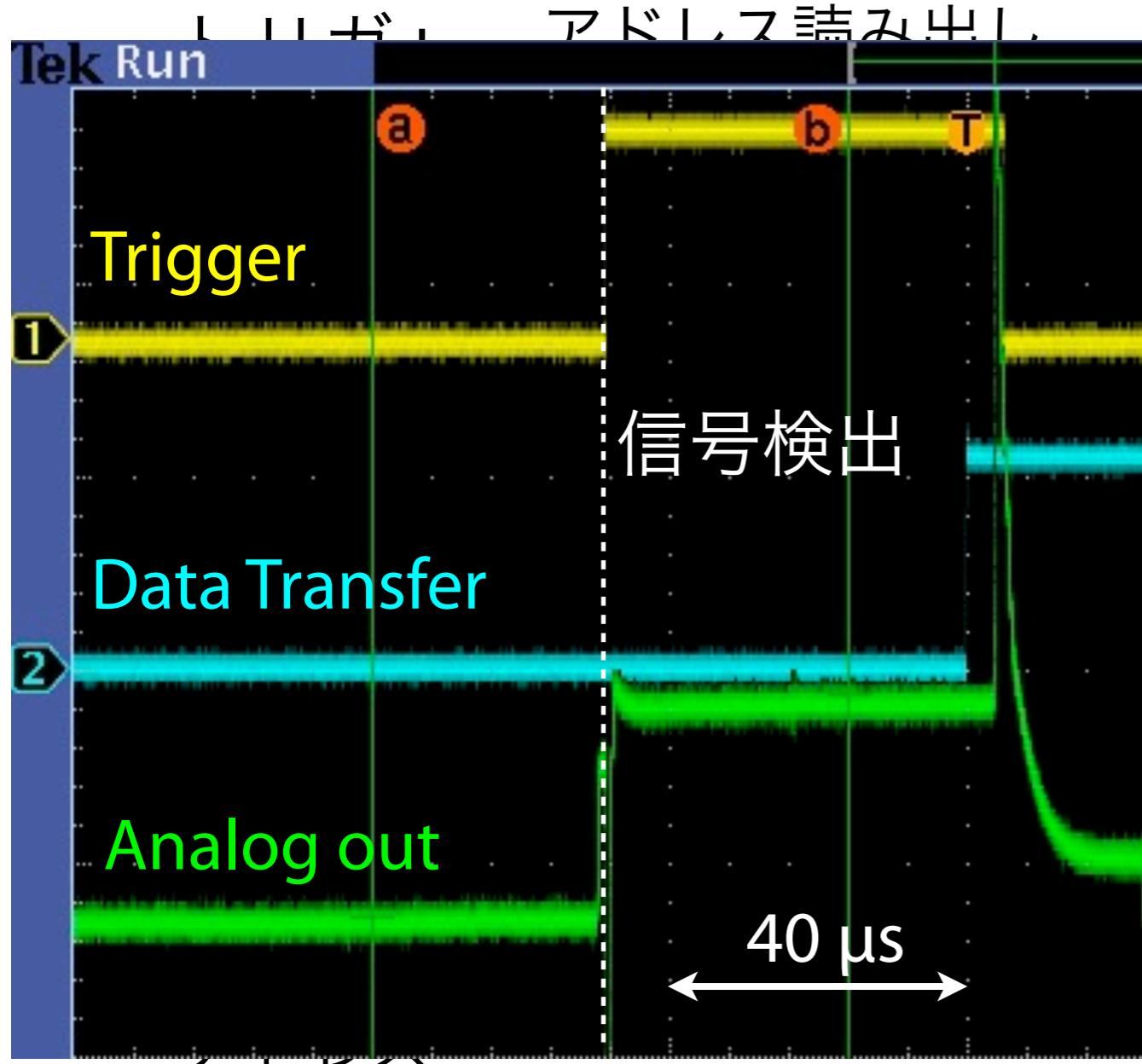
インプラのパラメータ調整
ケミソープションなど

イベント駆動読み出し - 実証済み



- イベント駆動は実証済み
- 少なくとも $>1\text{kHz}$ 以上のレート
- ゲイン低下, オフセット
- アナログ=デジタル回路の干渉

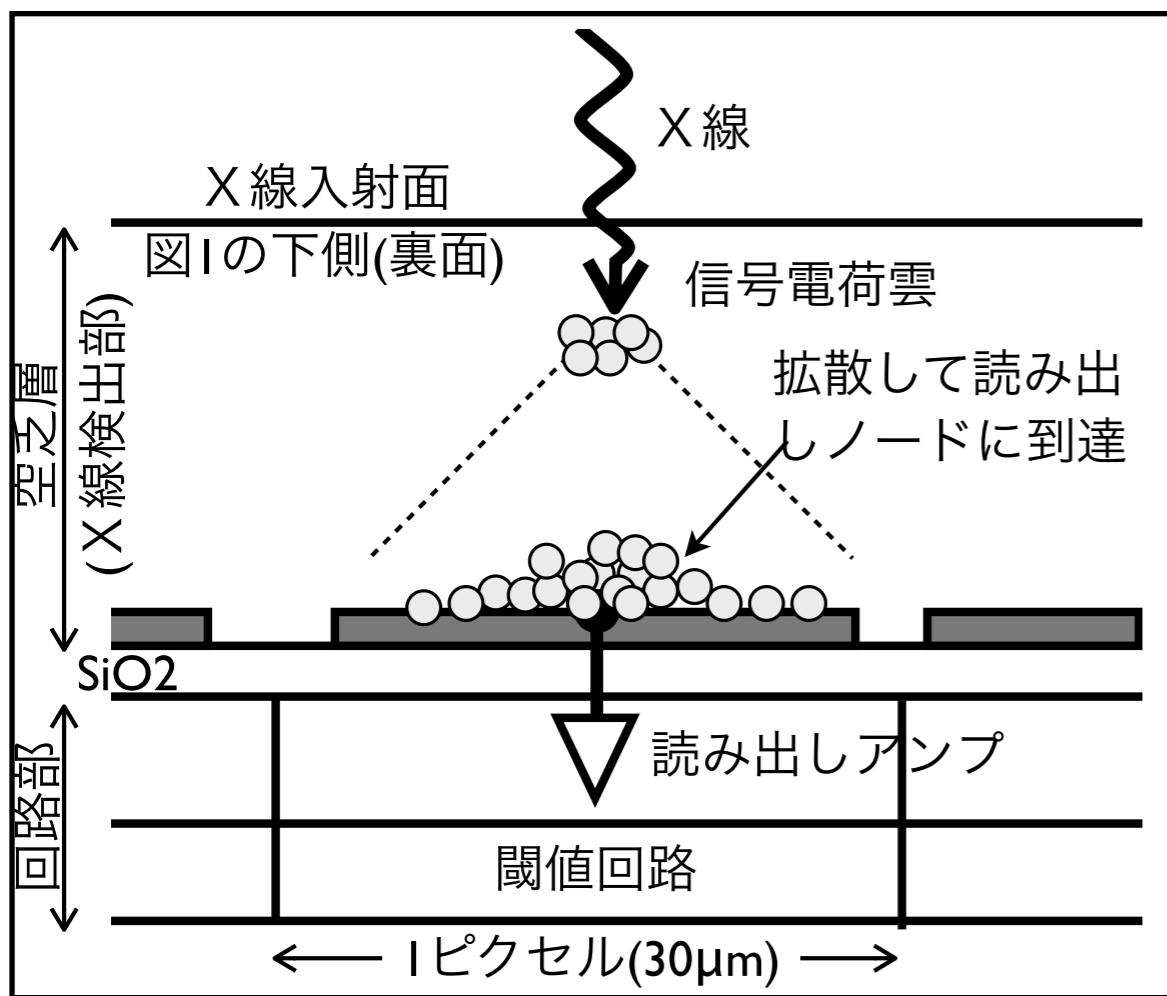
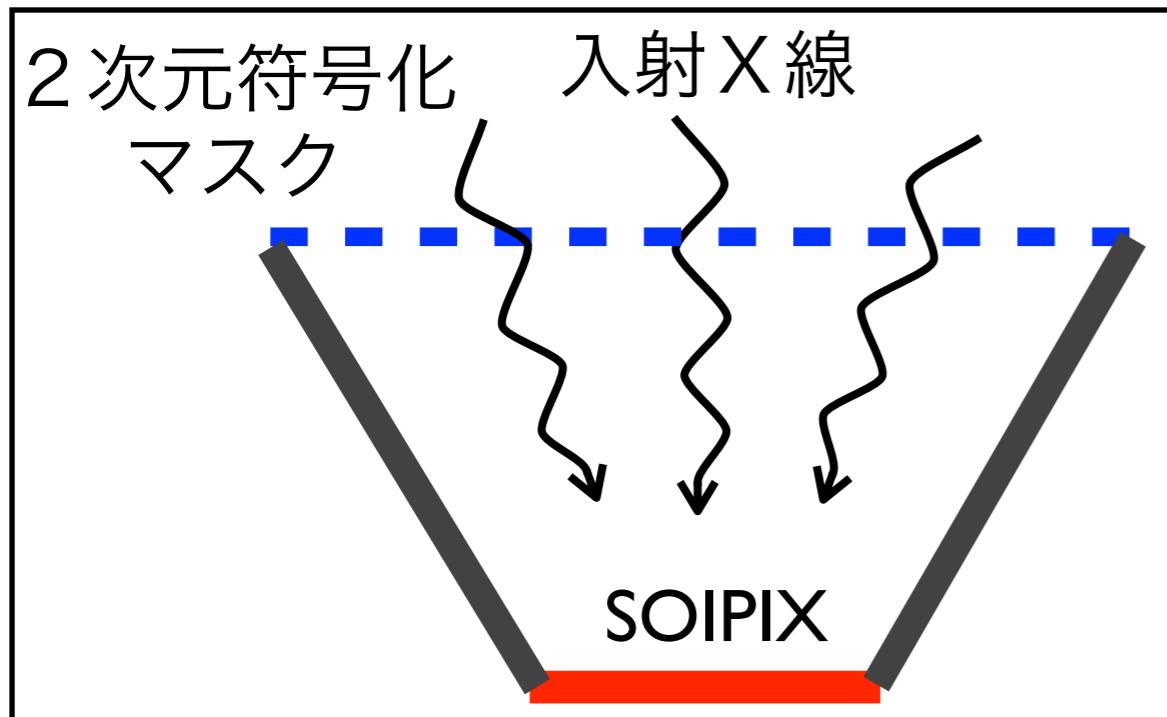
イベント駆動読み出し - 実証済み



- イベント駆動は実証済み
- 少なくとも $>1\text{kHz}$ 以上のレート
- ゲイン低下, オフセット
- アナログ=デジタル回路の干渉

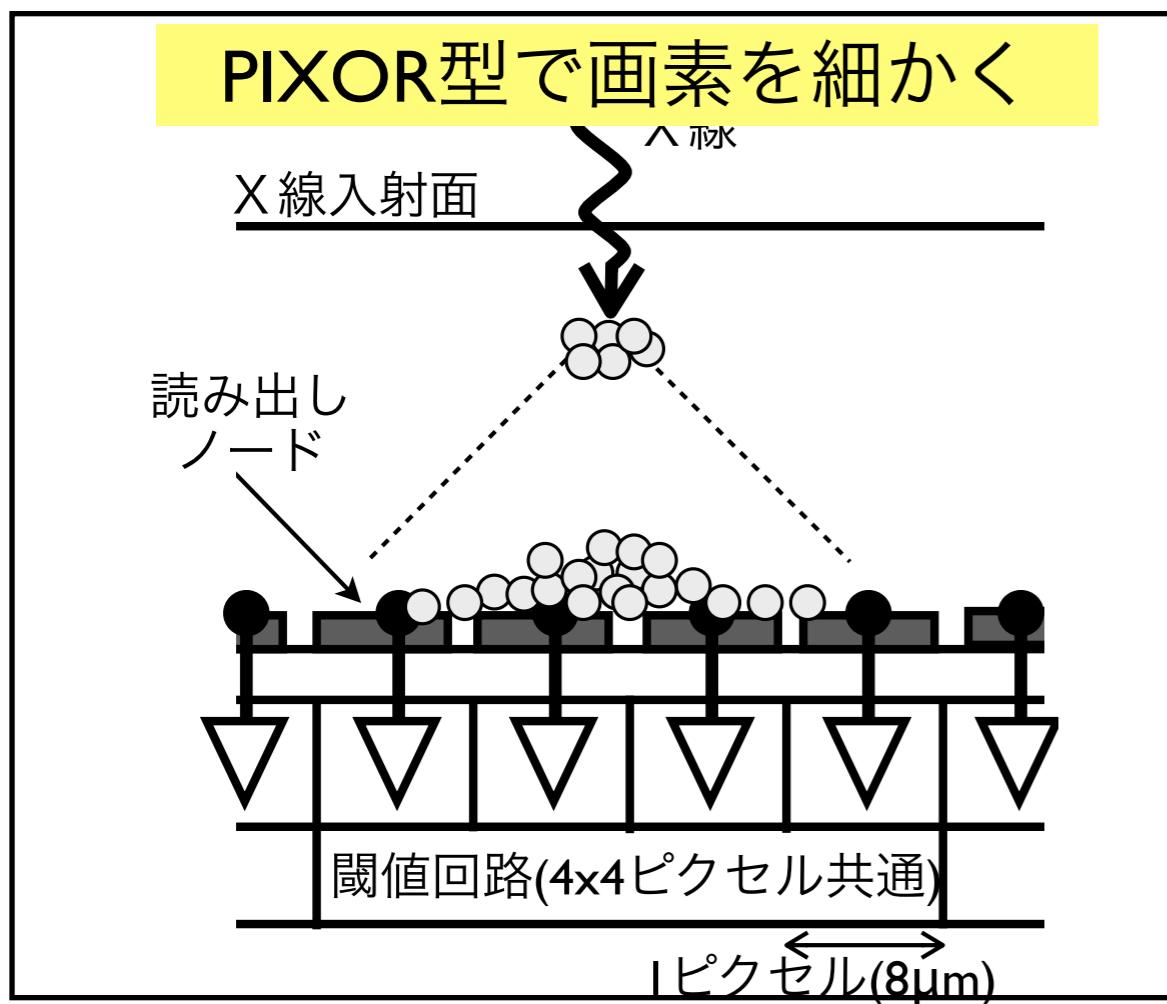
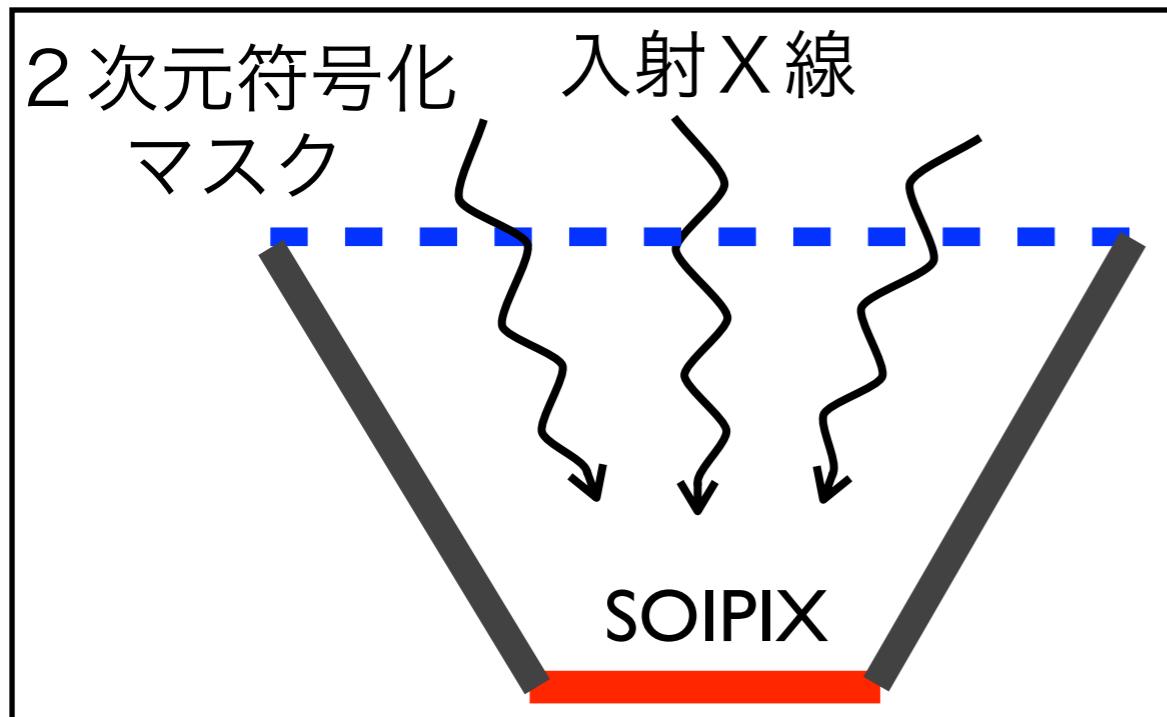
さらなる展開

0.3-40keVの大立体角X線監視観測



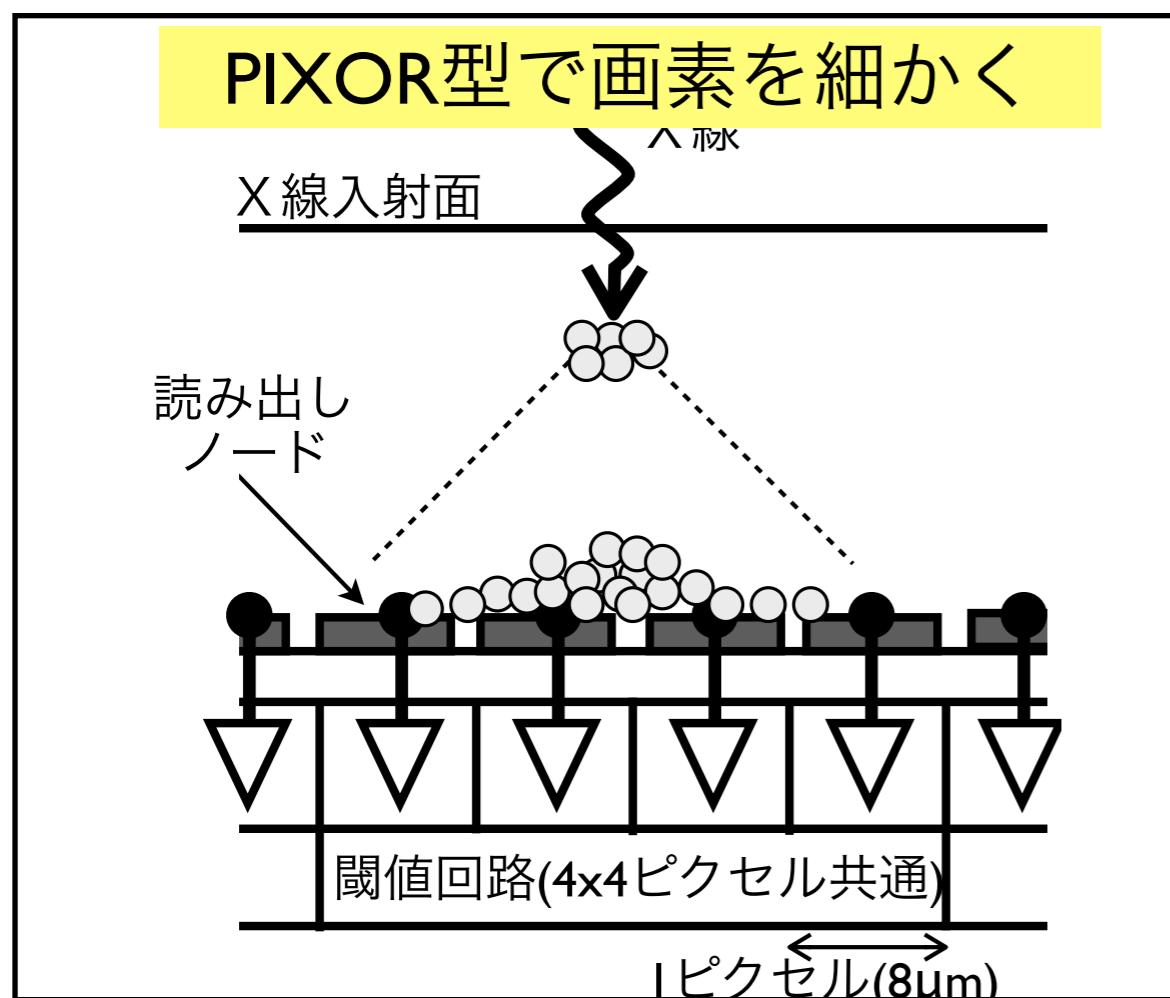
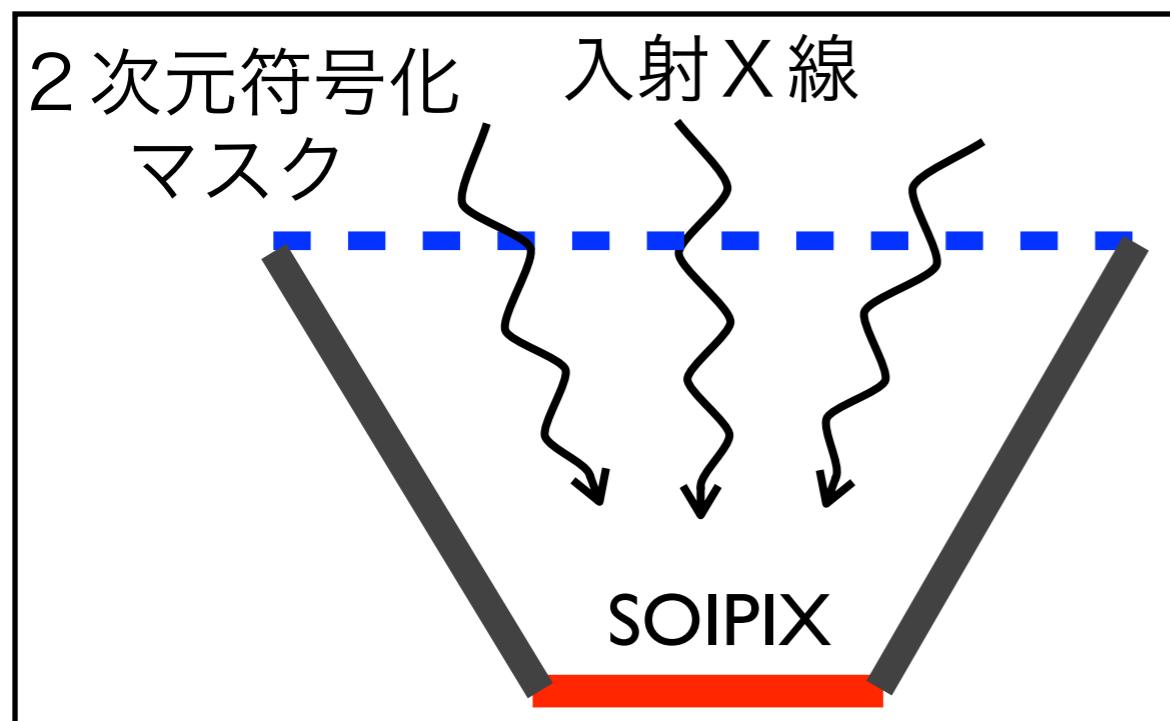
さらなる展開

0.3-40keVの大立体角X線監視観測

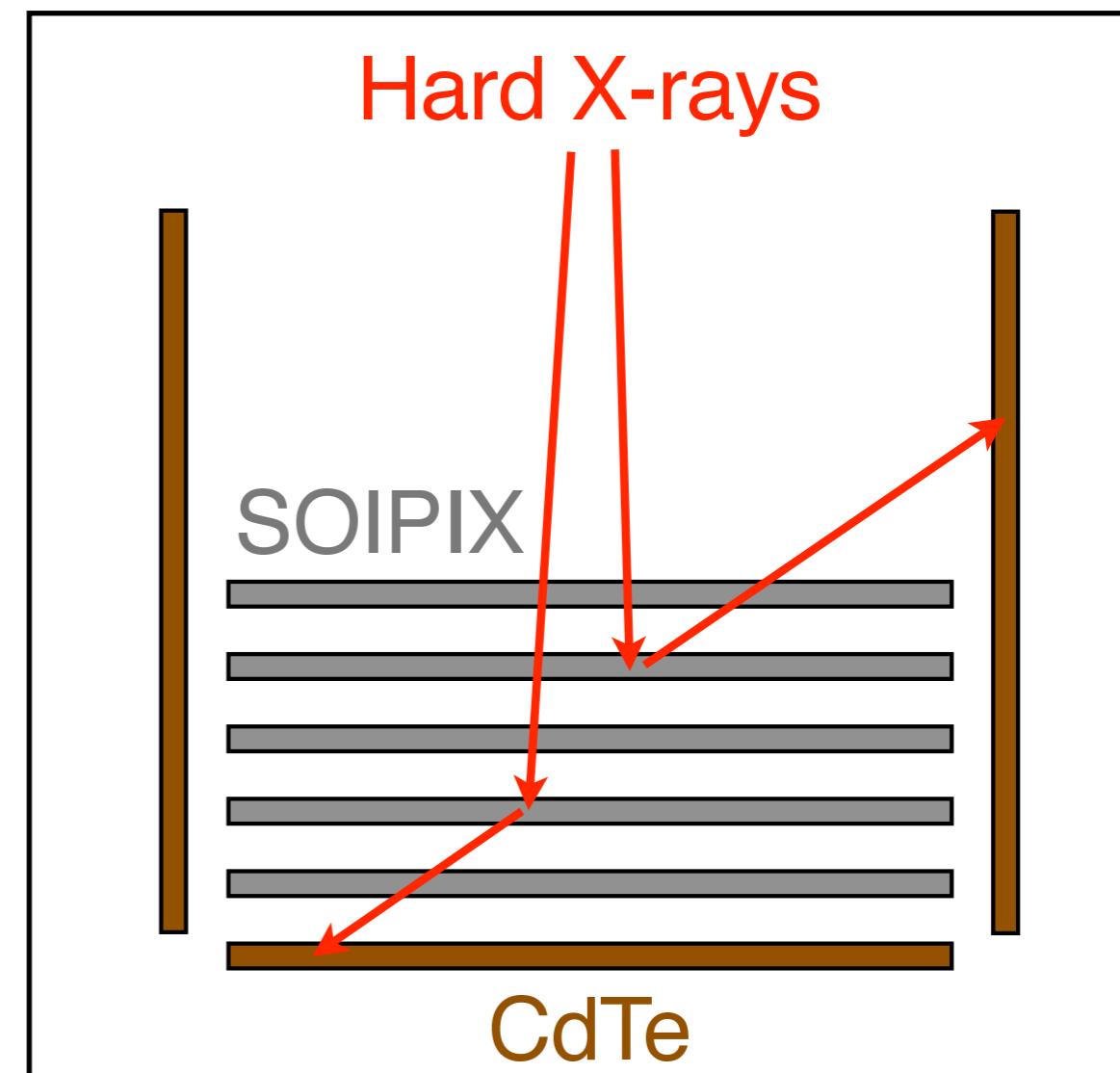


さらなる展開

0.3-40keVの大立体角X線監視観測



15-80 keV 偏光撮像分光



- Astro-H HXI(DSSD) 偏光 >40keV
- DSSD ノイズ 120e- (rms) がリミット
- SOIPIX で低E反跳電子を測定
- >15keV が可能 (反跳電子 0.43keV)
- >0.3keV の精密撮像分光も可能

まとめ

- イベント駆動読み出し型X線SOIピクセル検出器を開発
- 反同時計数による非X線BGDを2桁下げる
- 4.5mm角の素子の開発に成功
- 読み出しノイズ33-(rms), $\Delta E = 300\text{eV} @ 5.9\text{keV (FWHM)}$
- 空乏層厚み~500μm, 裏面不感層~0.6μm
- トリガ読み出しに成功
- 5年後に衛星搭載品を作れる状態にする

