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, 松村英晃, 武田彩希（京大）, 新井康夫（KEK）,

森浩二, 西岡祐介, 竹中亮太（宮崎大）,

幸村孝由（東京理科大）, 中島真也（宇宙研）

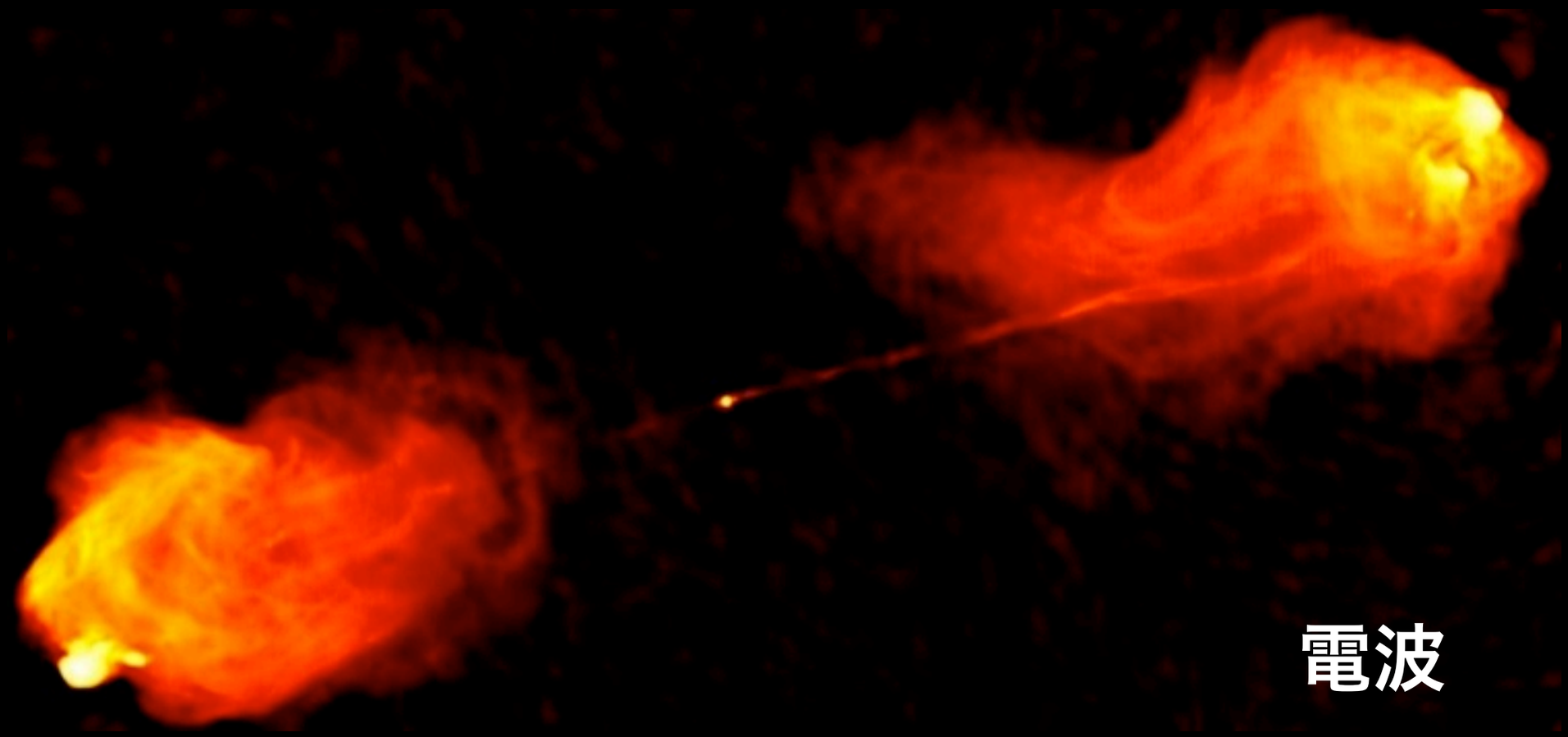
白鳥座A

銀河の中心の超巨大ブラックホール

Neal Jackson, STScI and NASA

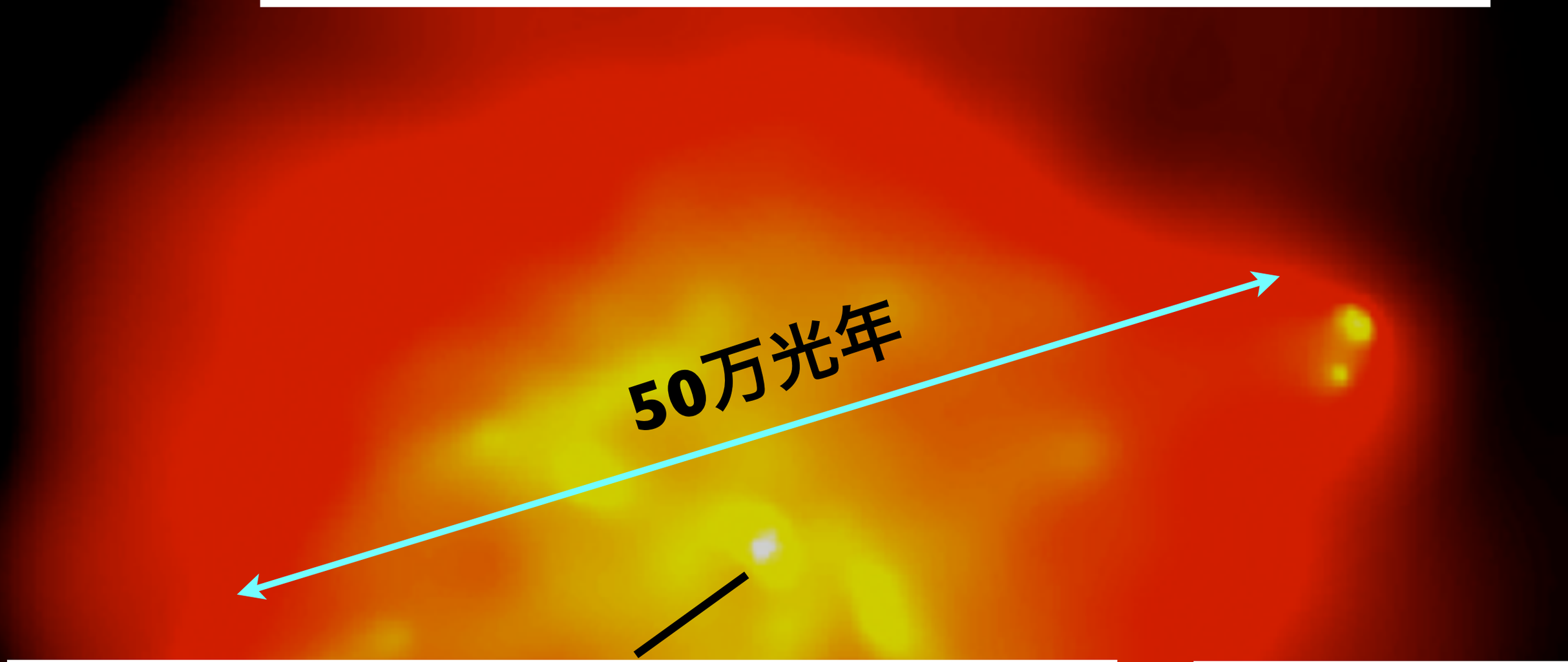
白鳥座A

銀河の中心の超巨大ブラックホール



Chris Carilli and NRAO/AUI

白鳥座A　銀河の中心の超巨大ブラックホール



超巨大ブラックホール
（太陽の100万倍から10億倍）

銀河:地球
BH :砂粒

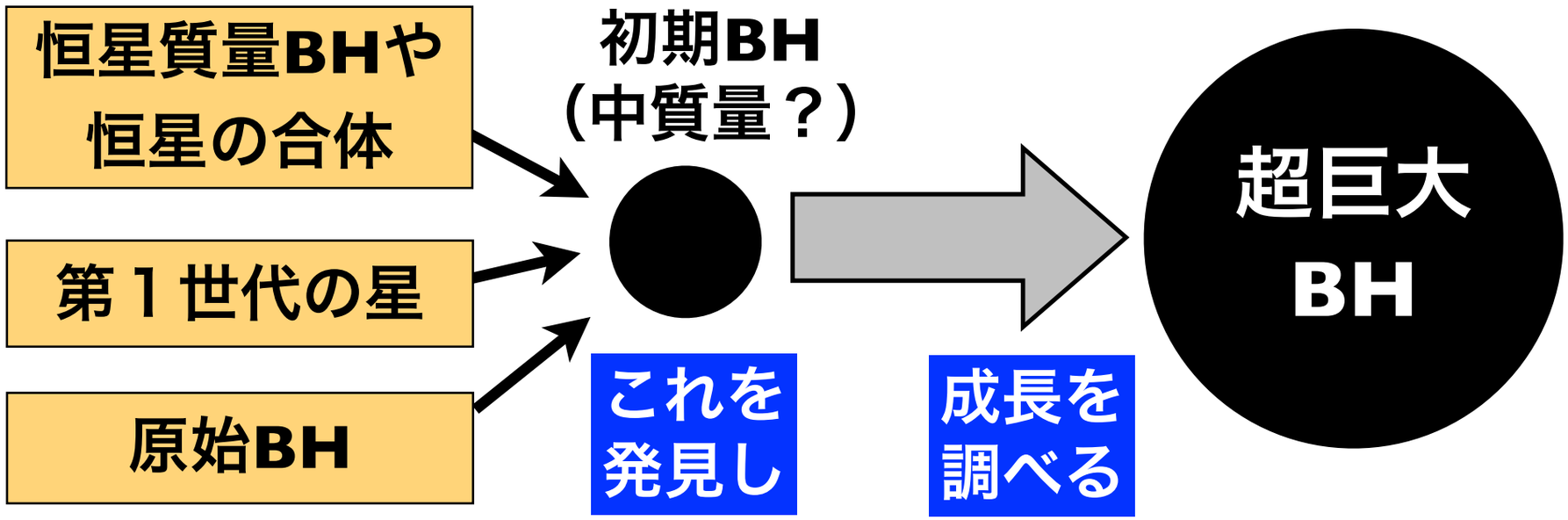
銀河とブラックホールの共進化

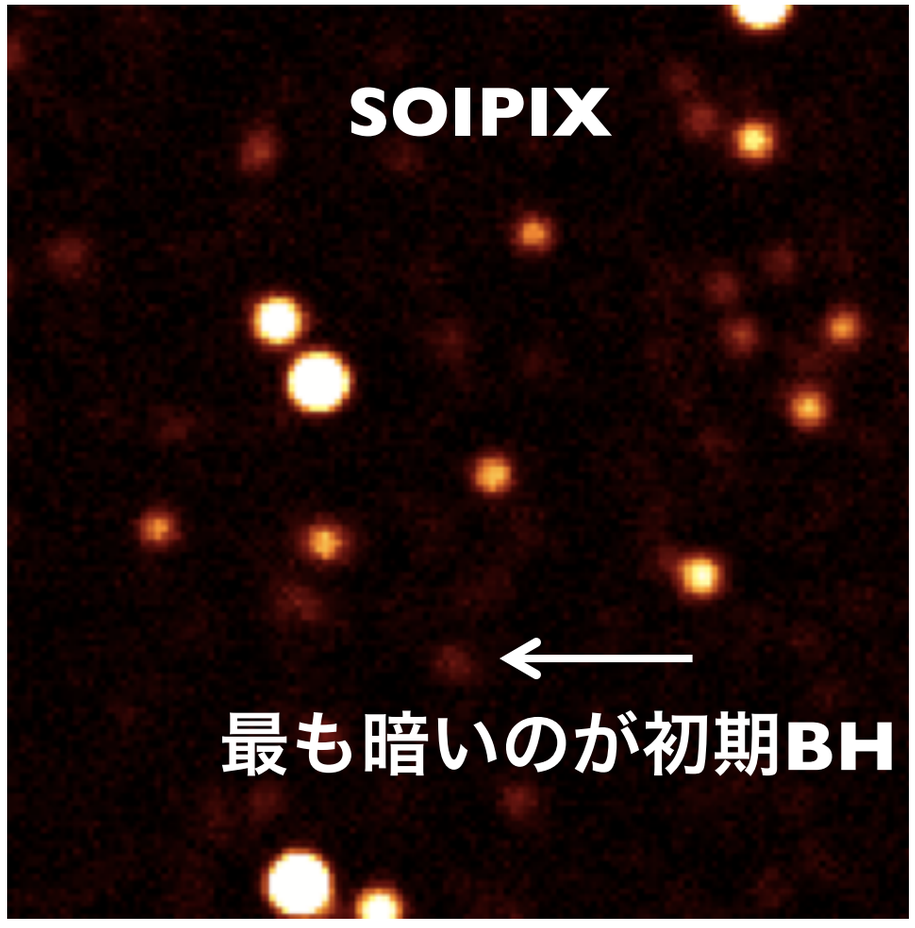
A. Wilson & A. Young, P. Shopbell, CXC, NASA

X線

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



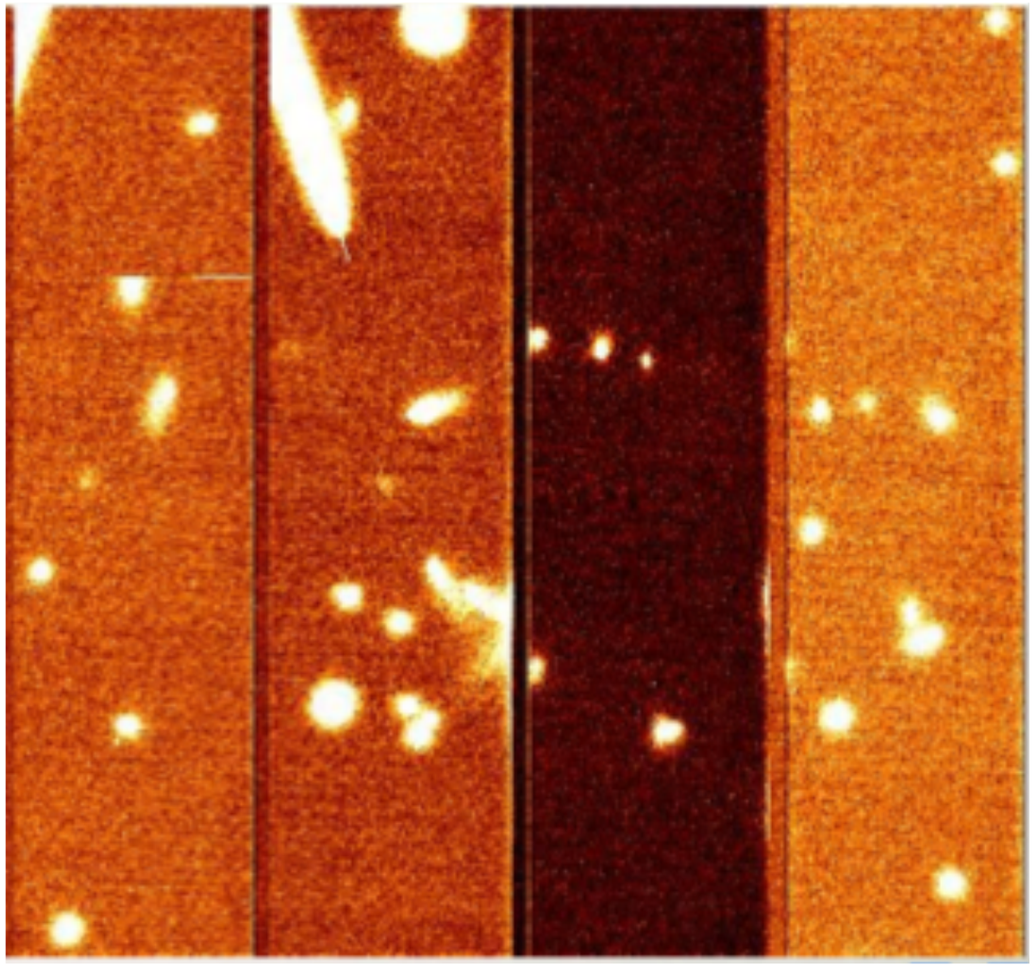


X線CCD - スタンダード検出器

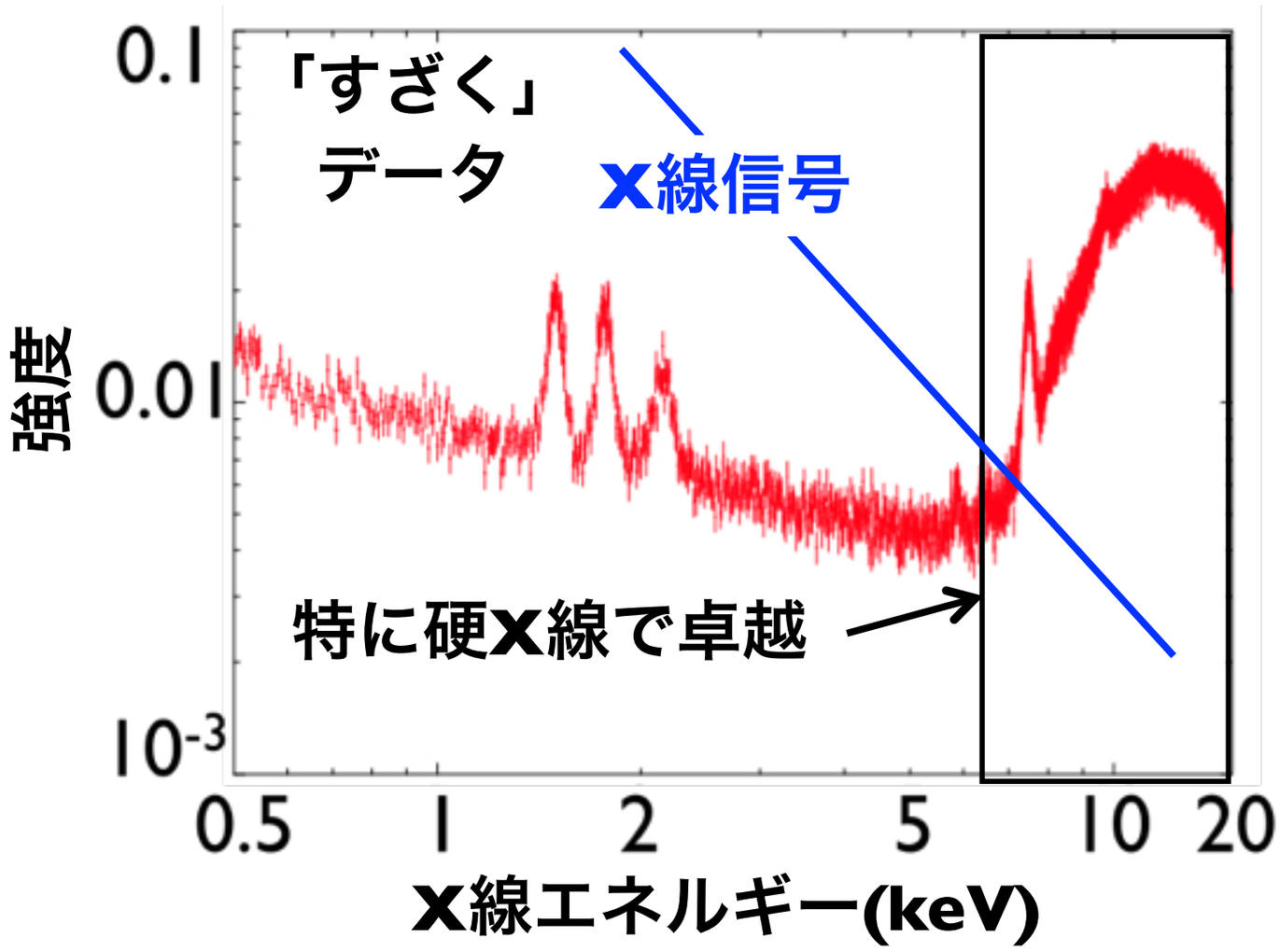
CCDの欠点：非X線バックグラウンドが高い

↑

X線ではないのに，X線だと認識してしまった信号のこと



「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.
X線は「ほぼ点」に見える.

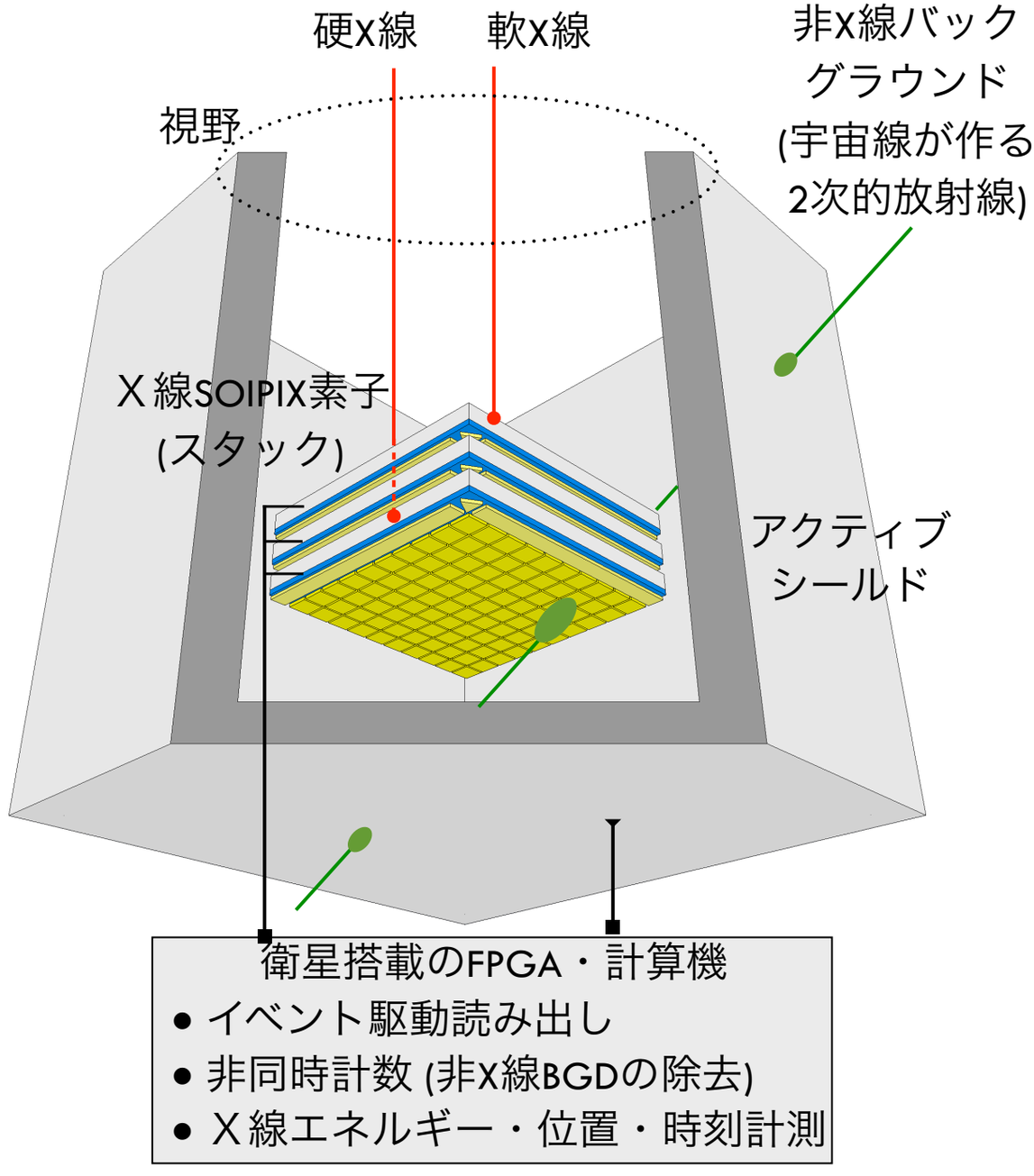


非X線バックグラウンドのスペクトル
(X線ではないのにX線と誤解した)

X線SOIPIX：イベント駆動読み出し型

最大の特長=「イベント駆動」による低非X線バックグラウンド

- **イベント到達瞬間にトリガ出力**
  - 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



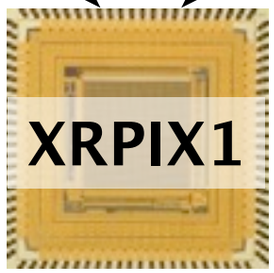
他の性能はX線CCDと同等(以上)

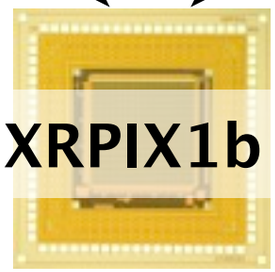
- **精密撮像: 30-60μm□**
- **広視野: 20mm□, モザイク可能**
- **精密分光: 3e-(goal), <10e-(要求)**
- **2pA/cm2 @ -40℃**
- **0.3-40keV: 厚い空乏層 & 裏面照射. 出来るだけスタック配置**
  - **空乏層>200μm, 裏面不感層<0.1μm**

開発の歴史 – 2008からスタート

2010 2011 2012 2013 2014

1.0mm 1.0mm 4.0mm 4.5mm 1.0mm 1.0mm

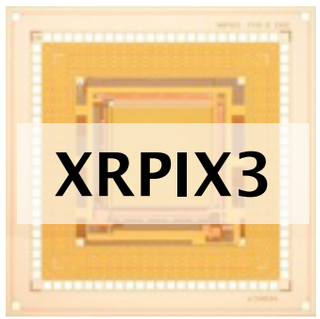


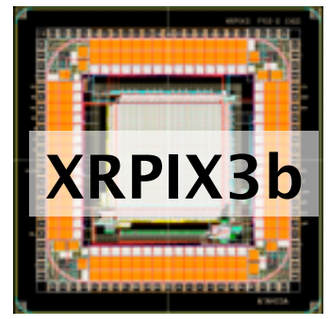


2.4 mm 2.4 mm

6.0 mm

6.0 mm





2.9 mm 2.9 mm

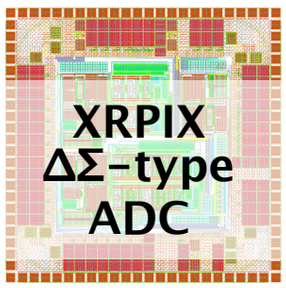
First Model
Trigger
Output

Middle Size

Buttable

Charge Sensitive
AMP

Built-in ADC



2.4 mm

基盤B x 2 + 宇宙研基礎開発

新学術

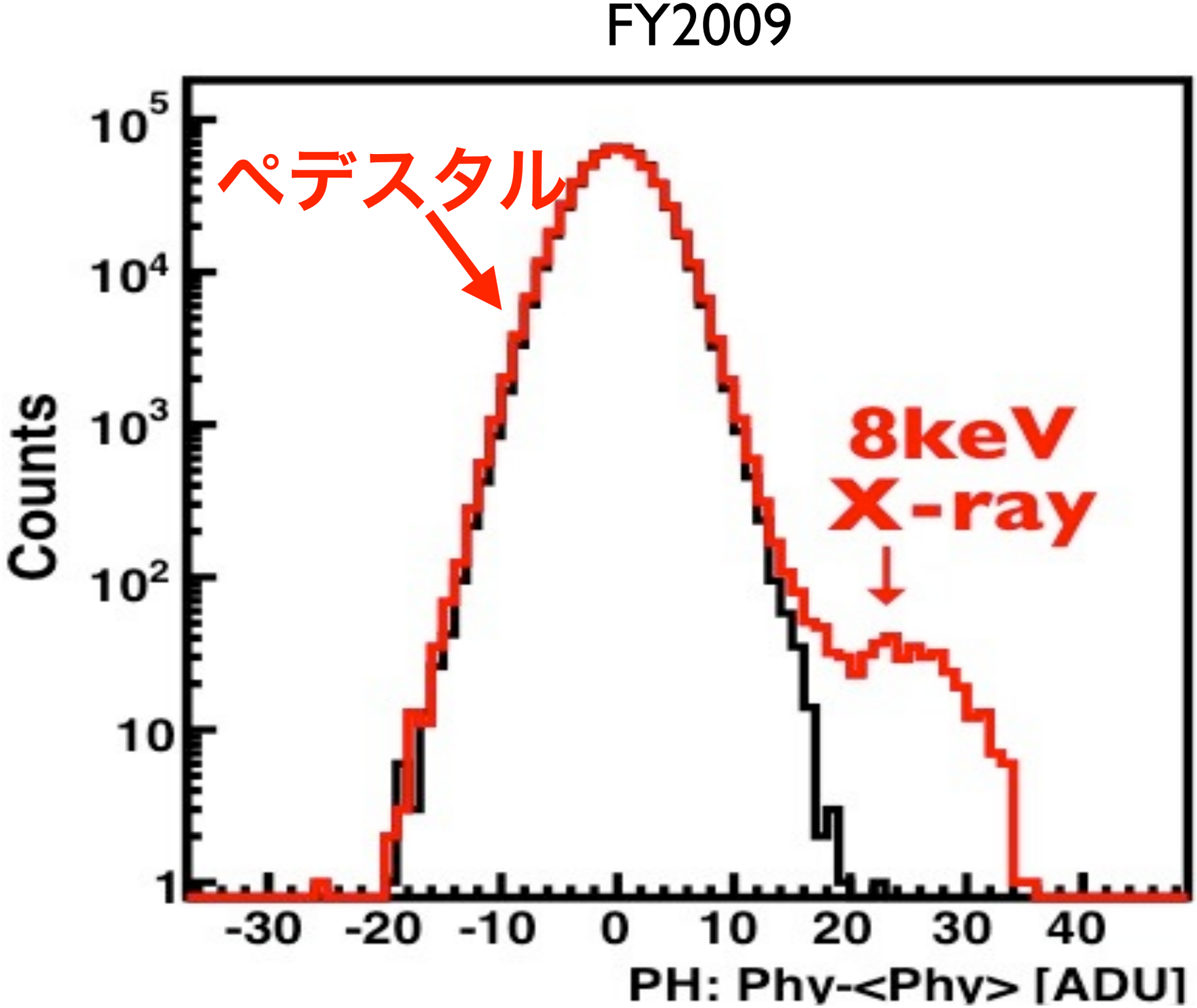
３次元半導体検出器で切り拓く
新たな量子イメージングの展開

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



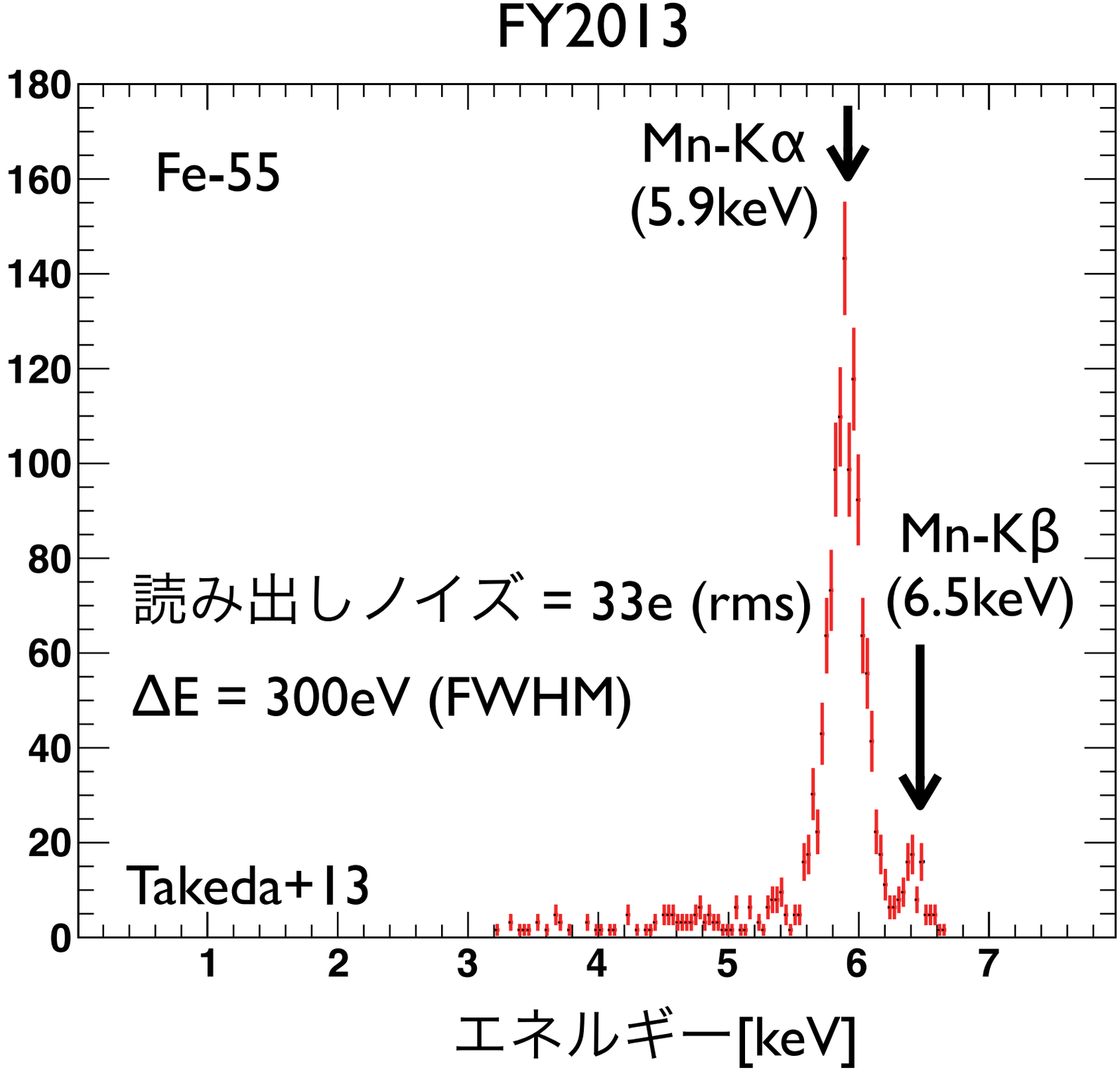
読み出しノイズ，エネルギー分解能

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

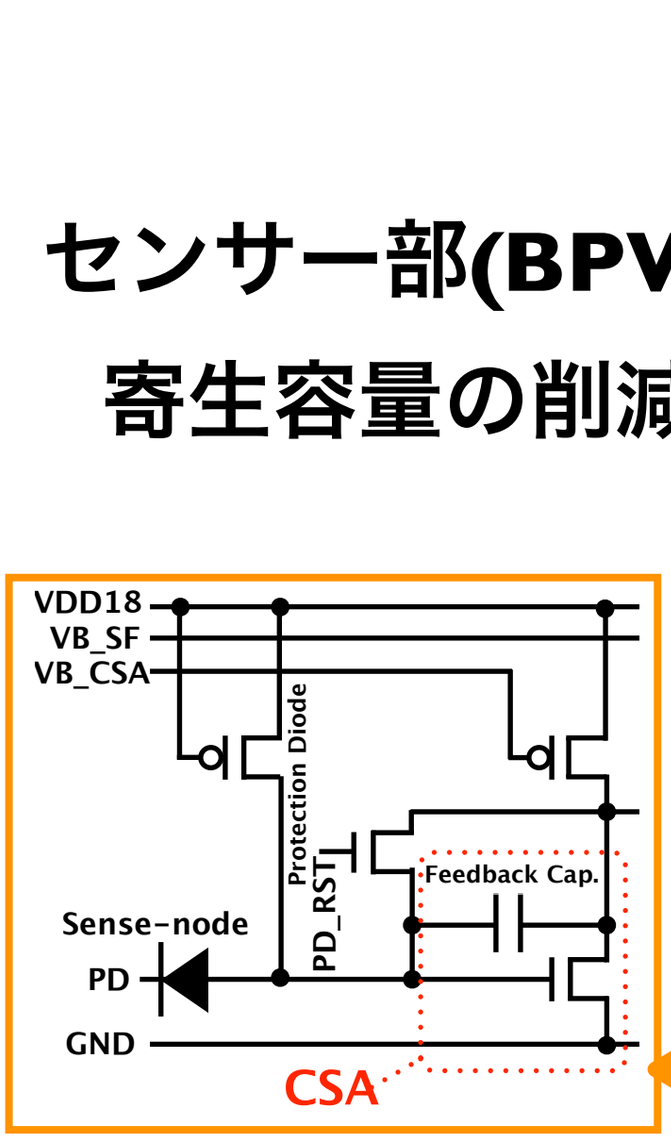


cf. 両面シリコンストリップ ~1keV.　CCD, DEPFET ~140eV.

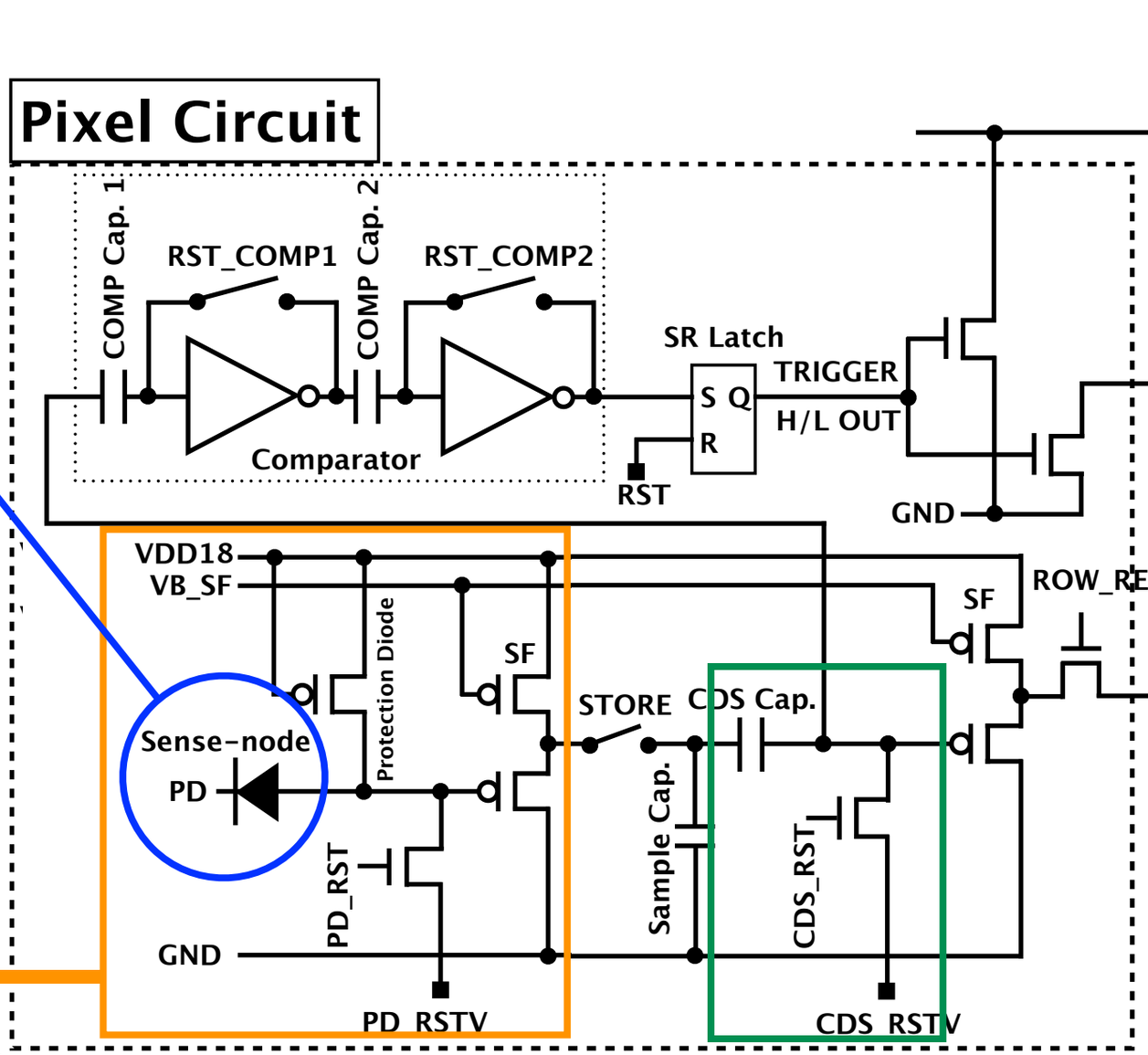
ピクセル回路とセンサー部の改良

センサー部(BPW)

寄生容量の削減



CSA付きに変更 (武田)

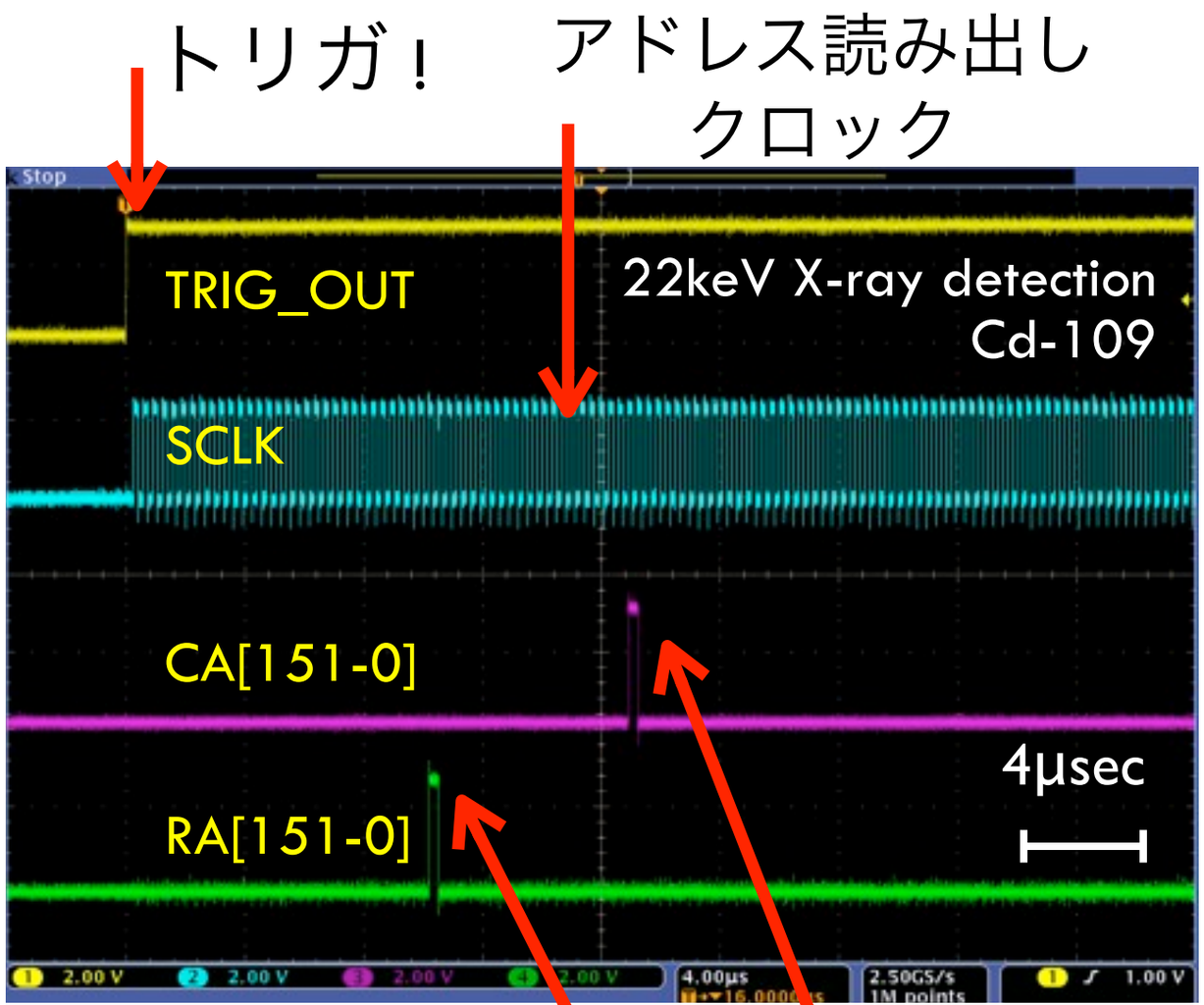


CDS回路：PDのリセット

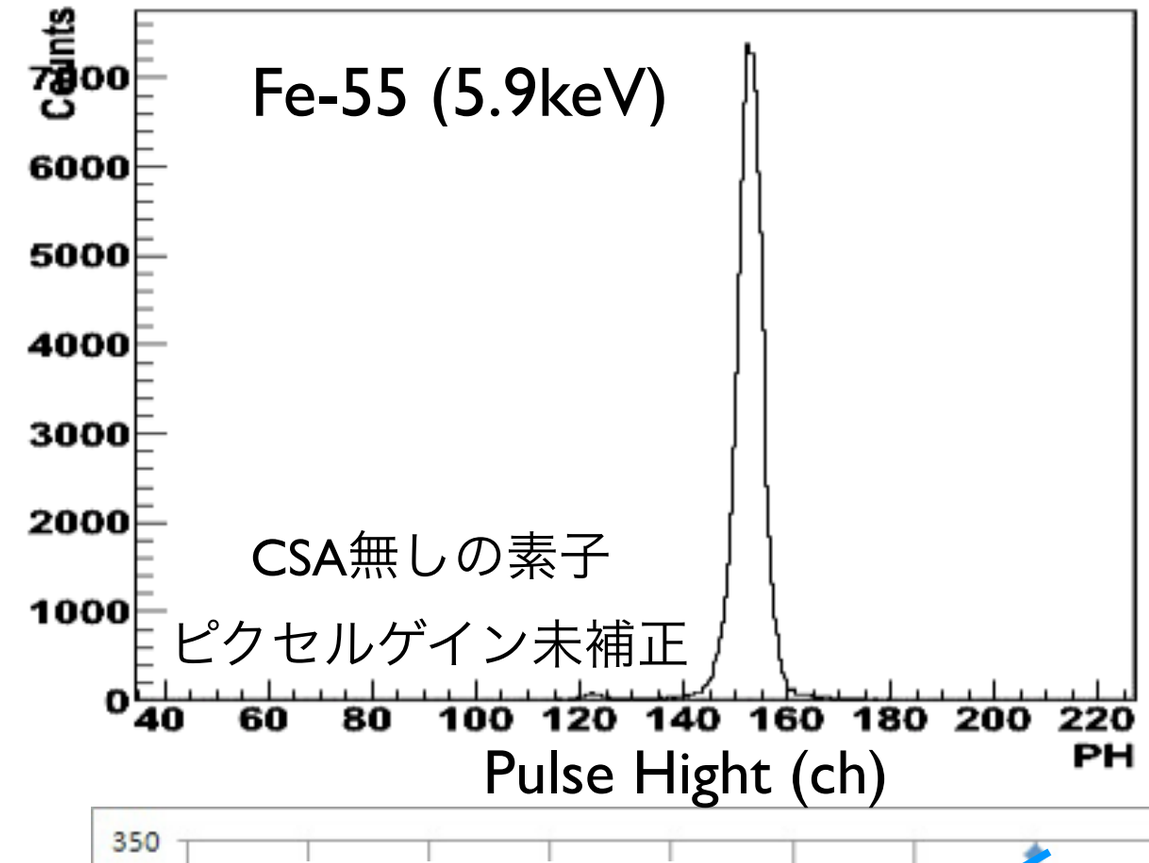
ノイズをキャンセル

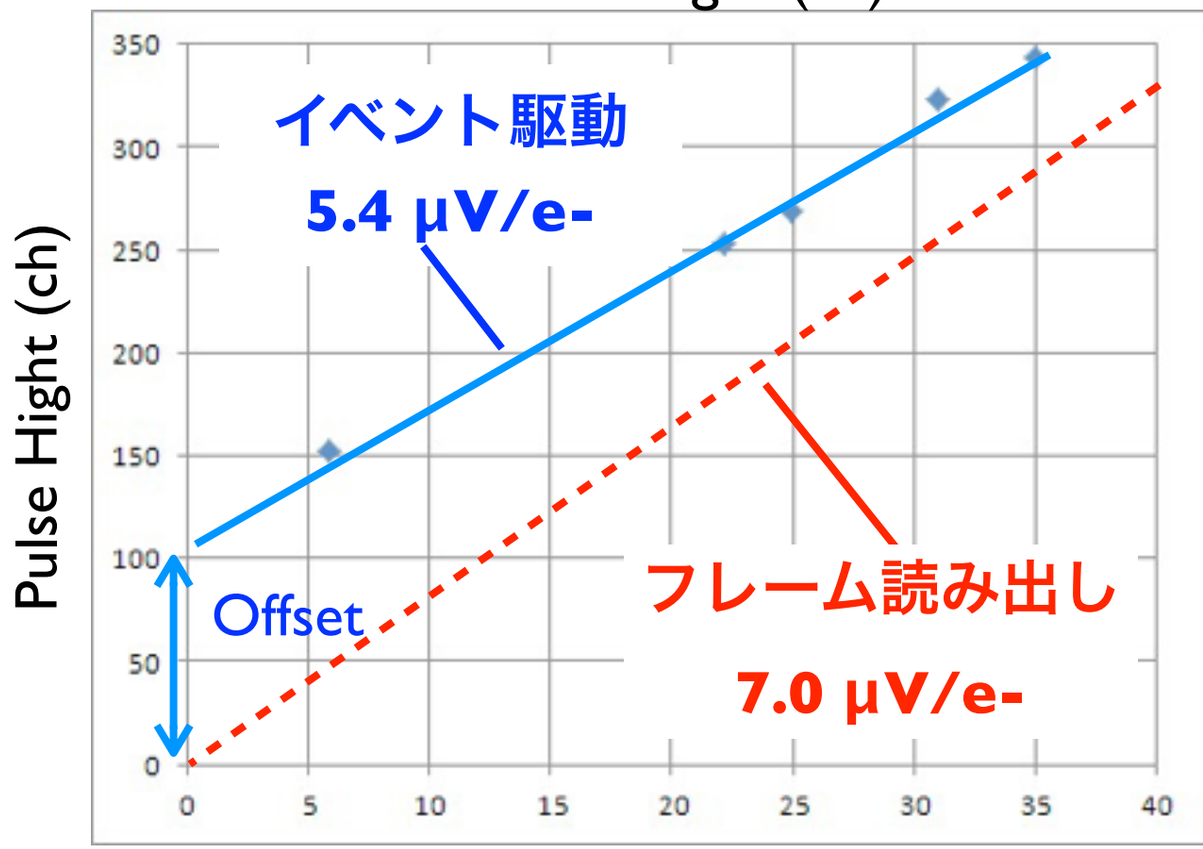
今後A02班との共同開発 ⇒ ピクセル回路を改良する.

イベント駆動読み出し – 実証済み(武田)



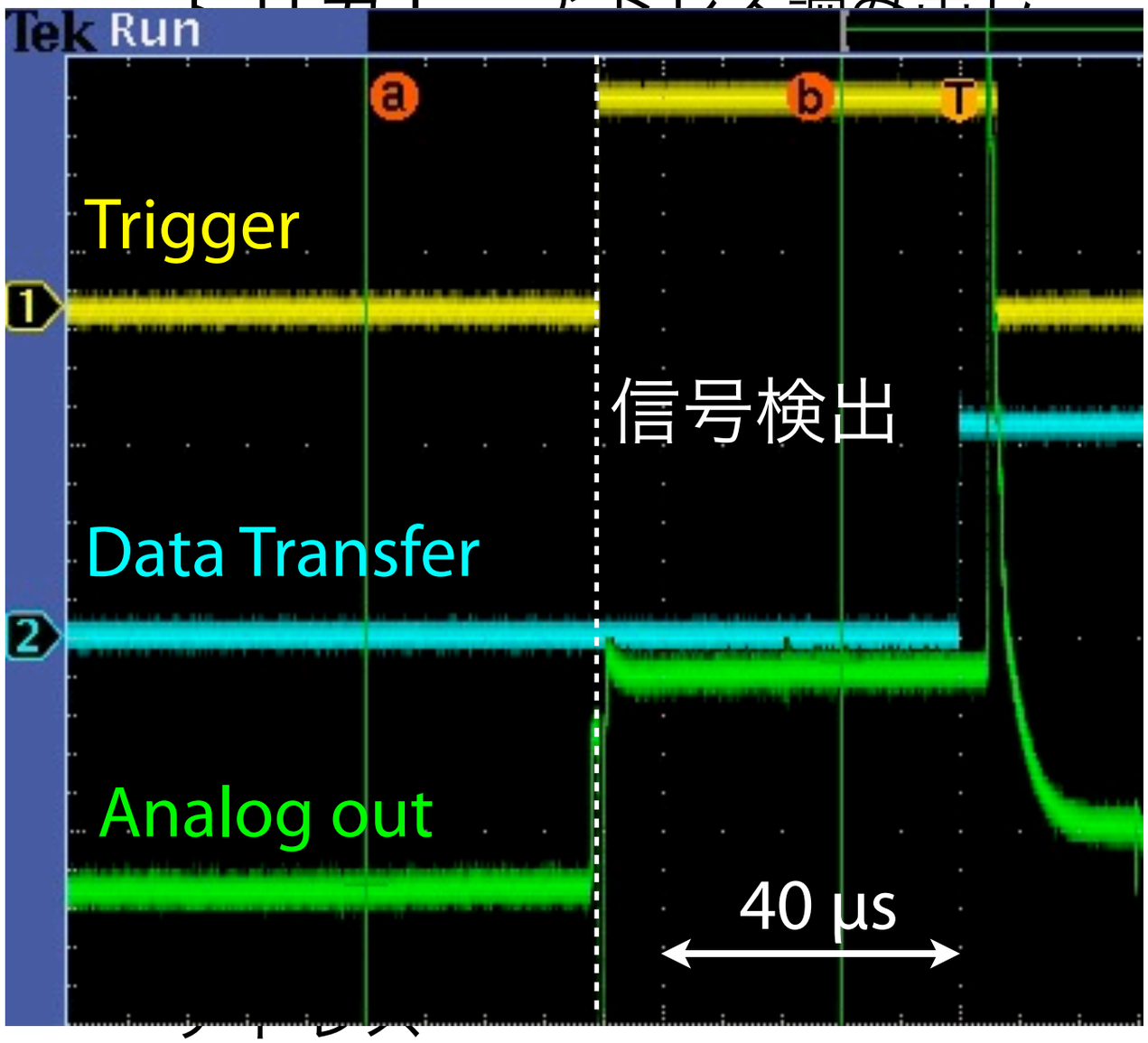
- イベント駆動は実証済み
- 少なくとも >1kHz以上のレート
- ゲイン低下，オフセット
-アナログ=デジタル回路の干渉



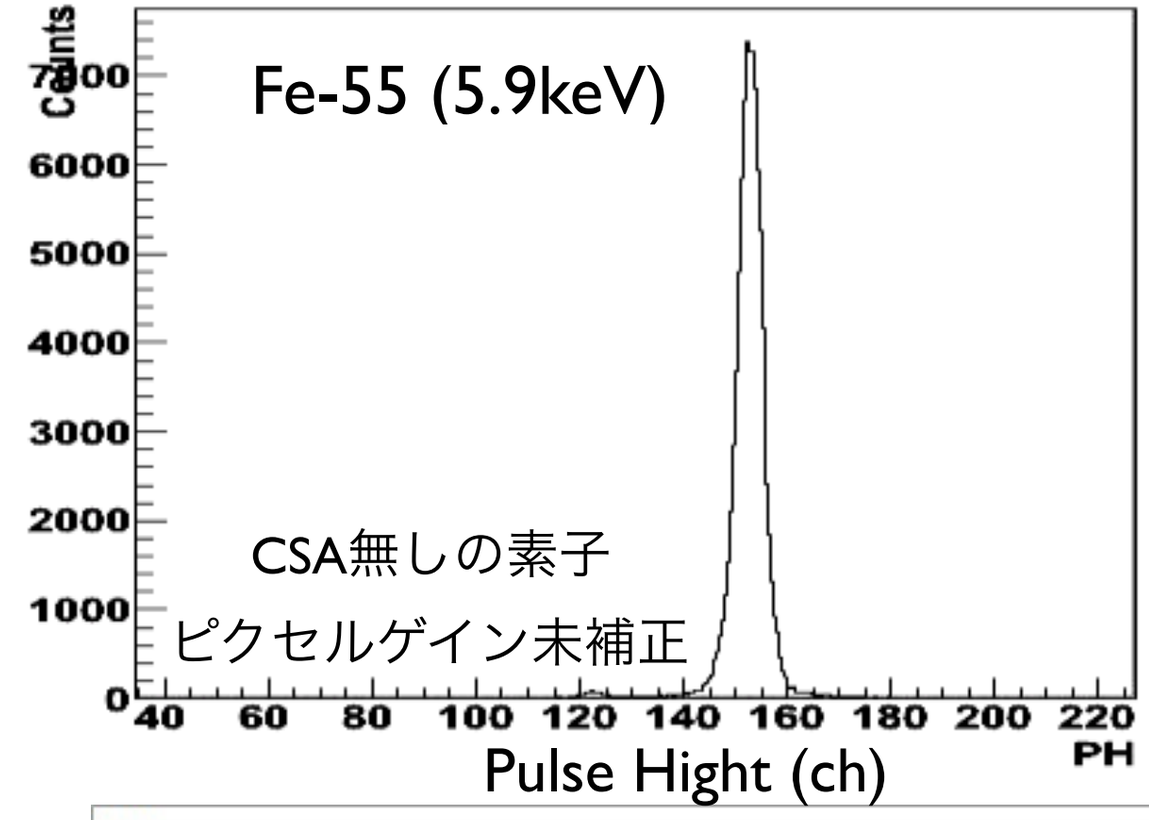


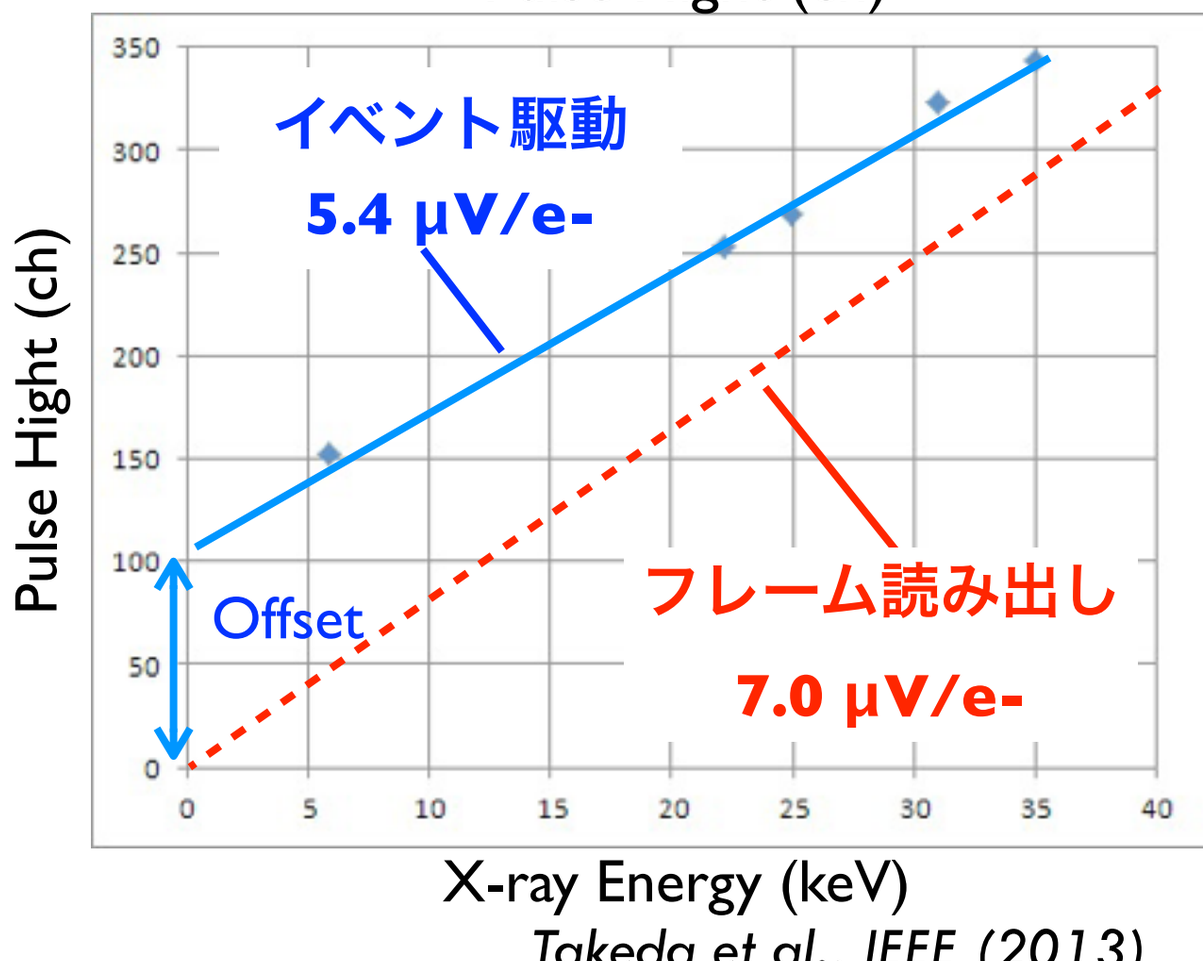
Takeda et al., IEEE (2013)

イベント駆動読み出し – 実証済み(武田)



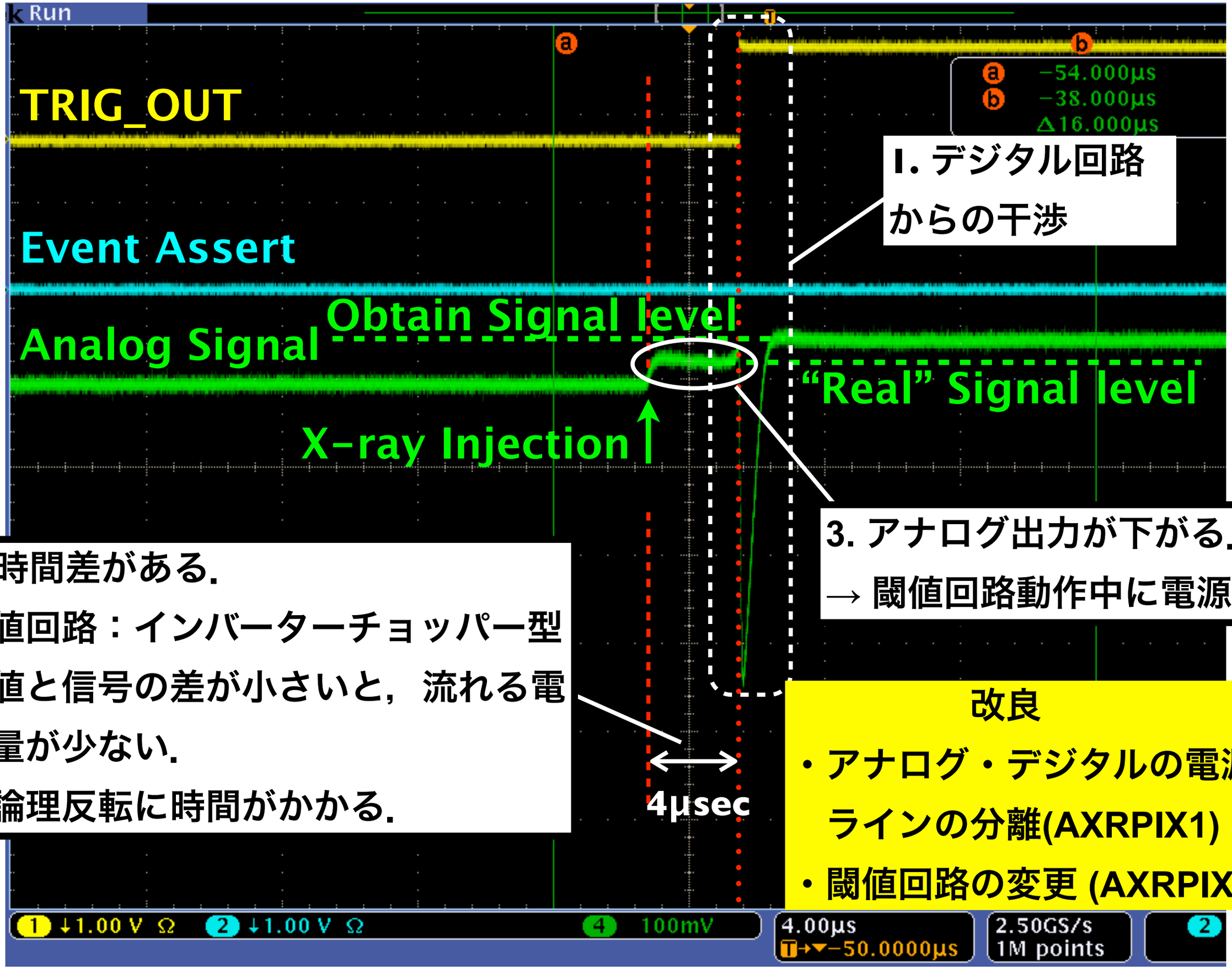
- イベント駆動は実証済み
- 少なくとも >1kHz以上のレート
- ゲイン低下，オフセット
-アナログ=デジタル回路の干渉





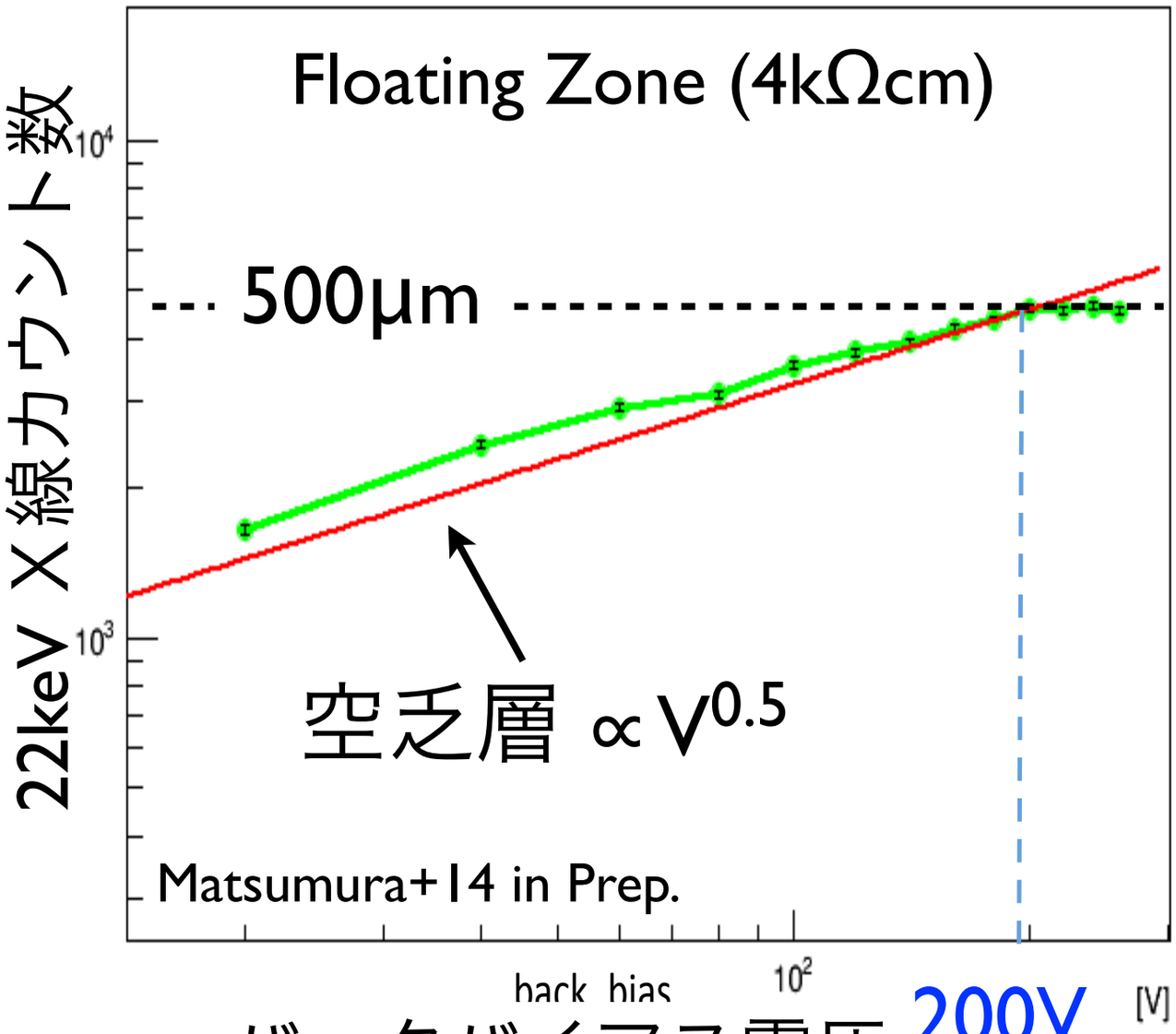
Takeda et al., IEEE (2013)

トリガ回路周辺の問題の理解 (武田)



検出感度 – 空乏層500μm & 裏面照射

硬X線 = 厚い空乏層

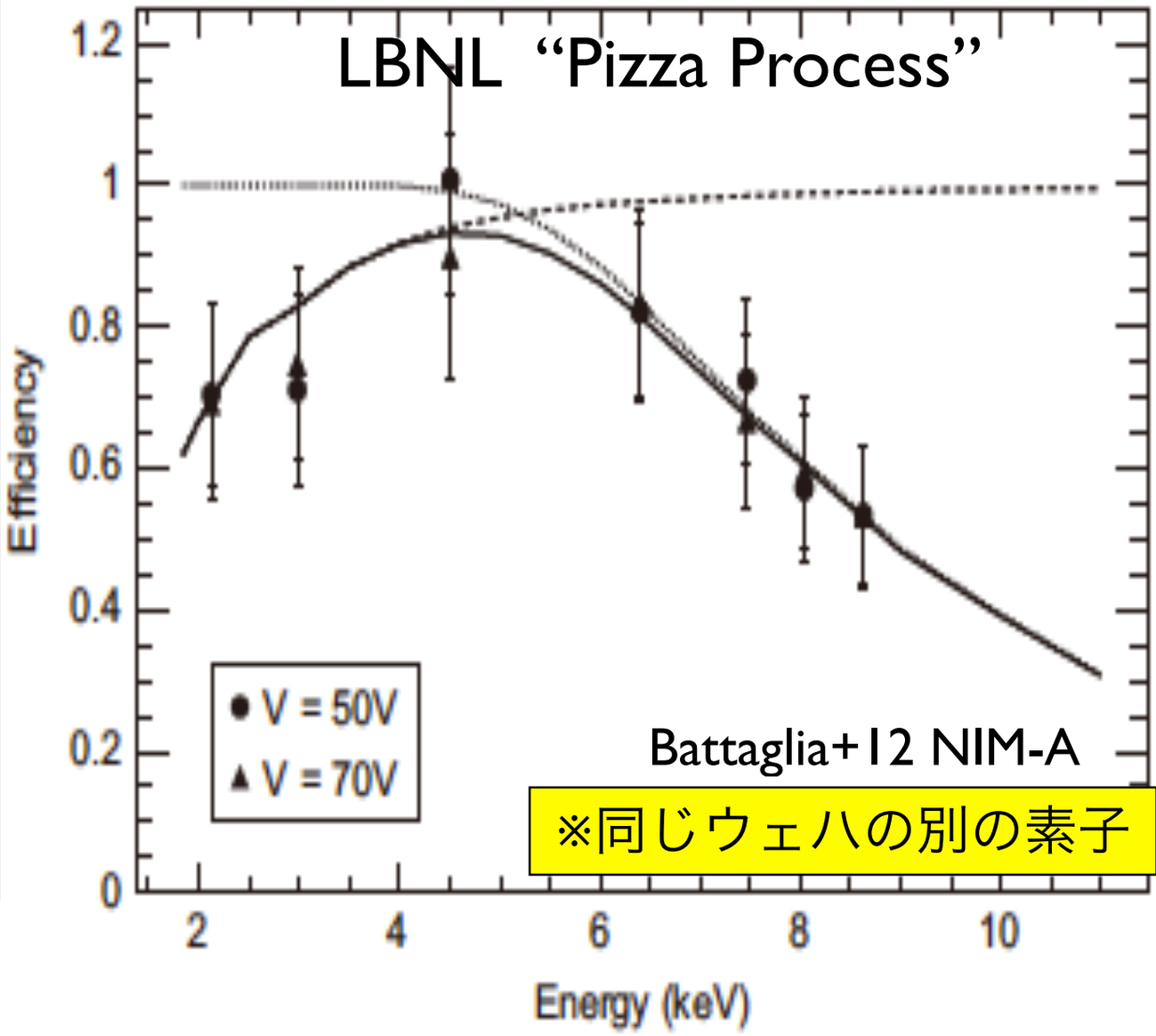


バックバイアス電圧

500μmの完全空乏

目標 (>250μm)は達成済み

軟X線 = 薄い裏面不感層



0.6±0.2μm (目標 0.1μm)

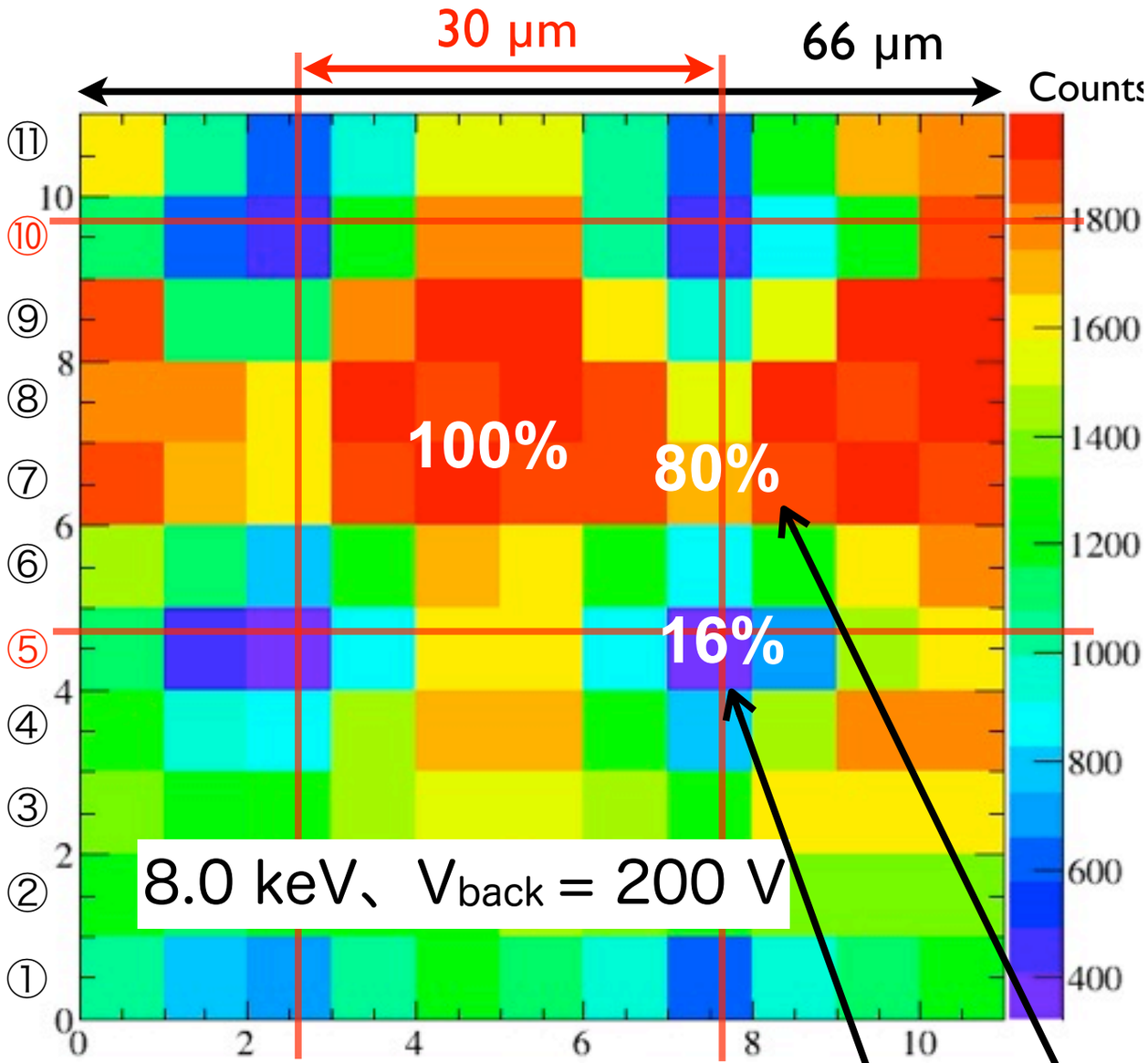
インプラのパラメータ調整

FZ(p)⇒ケミソープションなど

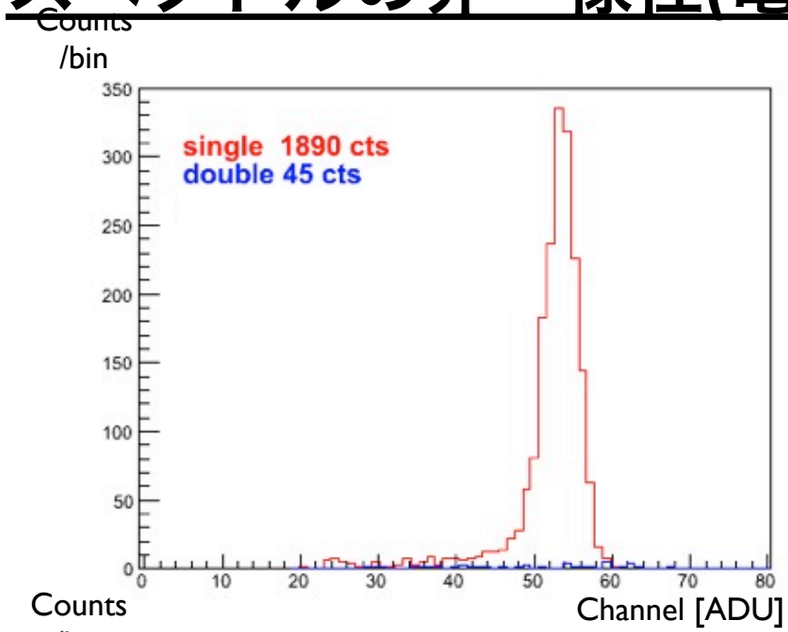
ピクセル内のQE & CCEの非一様性 (松村)

C02の協力のもと，SPring-8で，XRPIX1b-FZ-FIの素子表面側から10μmϕビームを照射し，ピクセル内のレスポンスを一様性を調べた.

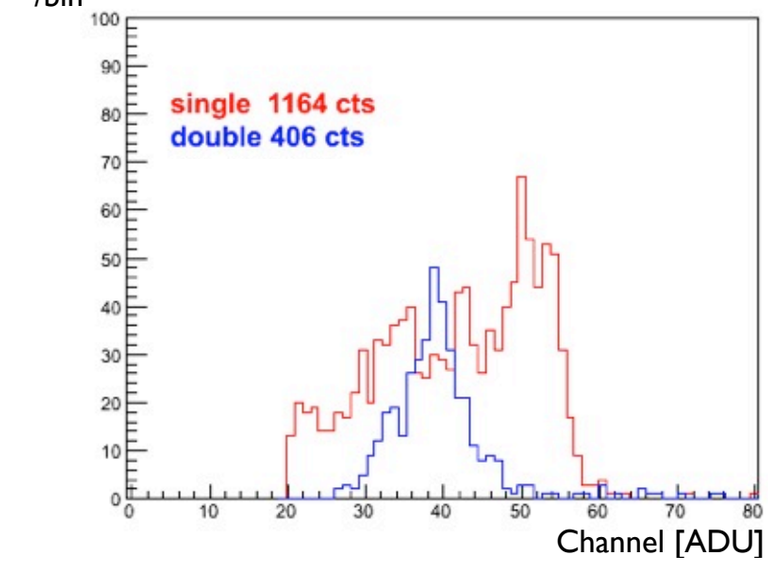
(相対的な)量子効率 @ 8keV (1b-FZ-FI)



スペクトルの非一様性(電荷収集効率)



8.0 keV ビーム
V_{back} = 200 V
ピクセル中心



8.0 keV ビーム
V_{back} = 200 V
ピクセル境界

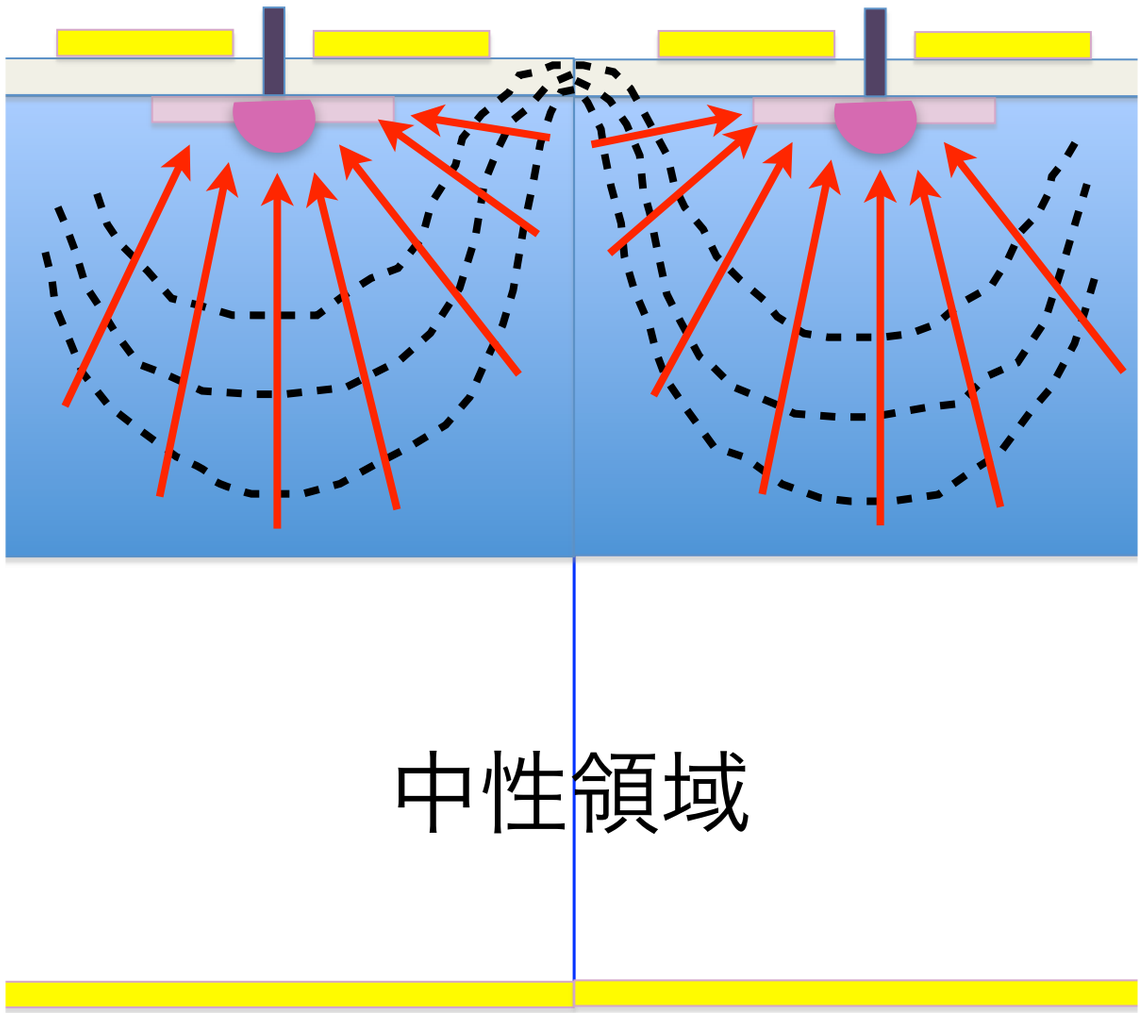
FI側に不感層．深さ方向に100μm，15μm．境界では電荷収集効率が下がる.

VBB大=厚空乏層の時に起こる

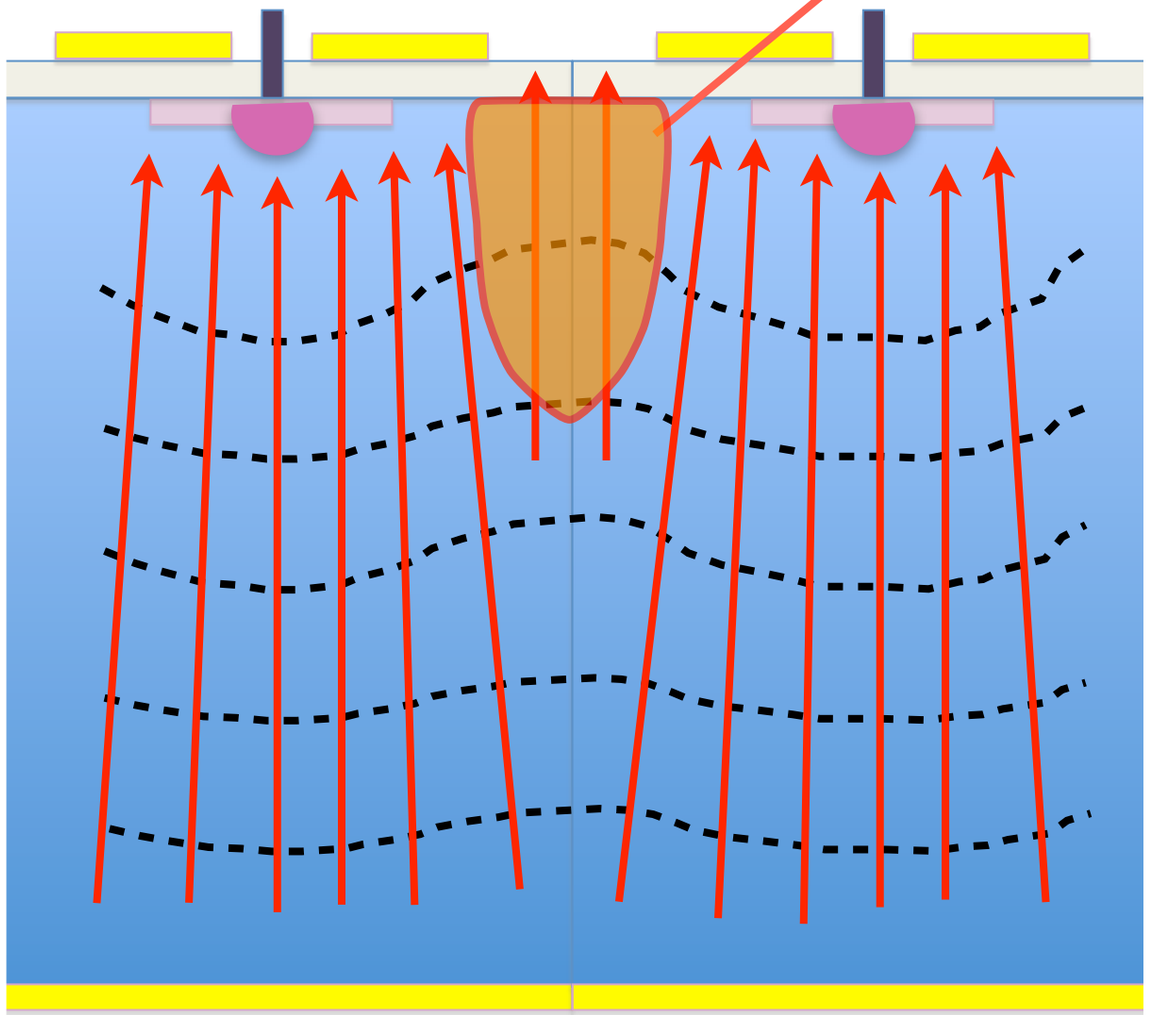
素子内部の電場の大きさで決まっている

空乏層の厚みによる電場方向の予想

空乏層 薄い



空乏層 厚い



等電位面

電場の向き

A01, A02, C02が電場がノードに収束させる方法を検討中(複数)

FY2014の計画 (5/10)

	FY2014														
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
XRPIX3b **CSA付き素子のイベント駆動**	評価 →														
AXRPIX1 (6mm□) **P基板対応,** **大幅改良**	プロセス・組み立て		評価 →												
AXRPIX1b (6mm□) **閾値回路の改良,** **AXR1の反映**		設計	プロセス・組み立て		評価 →										
AXRPIX2 (18.4mm□) **大型素子**		基礎検討		レビュー	詳細設計			レビュー		プロセス・組み立て			評価		

2014.05.10

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
- 読み出しノイズ33-(rms)，ΔE=300eV @ 5.9keV (FWHM)
  ⇒ A02班とピクセル回路の改良
- 空乏層厚み~500μm，裏面不感層~0.6μm
  - 量子効率，電荷収集効率の非一様性 ⇒ 原因はほぼ判明，対策中
- トリガ読み出しに成功
  - ゲイン，オフセットの問題 ⇒ 原因はほぼ判明，対策中

宮崎大学
University of Miyazaki

A-R-Tec
Analog and RF Technologies