

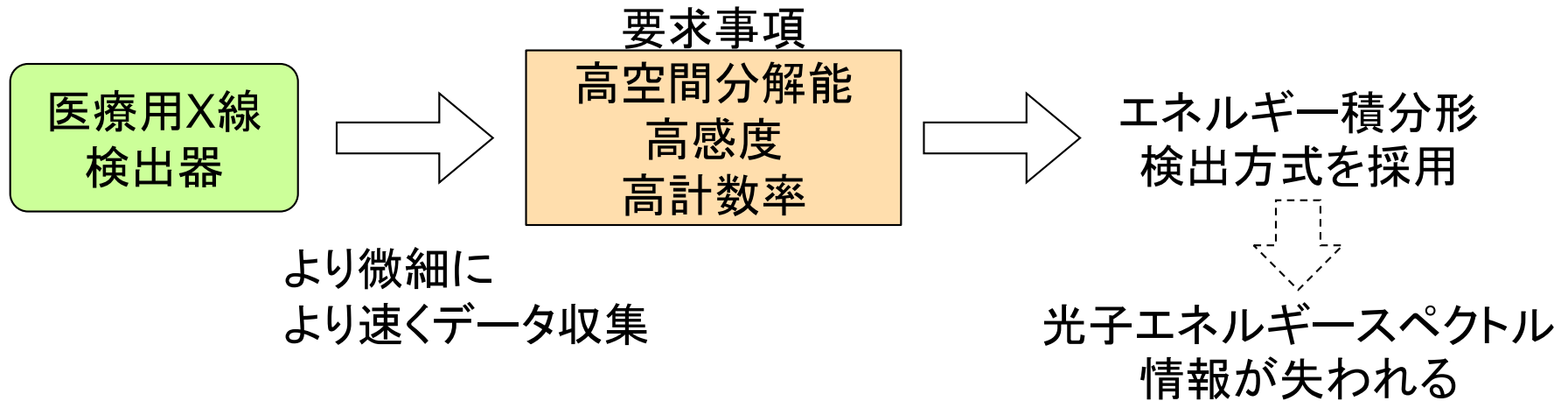
# CdTe半導体を用いた光子計数形 X線検出器の開発

貝吹 太志<sup>1)</sup>、小林 透<sup>1)</sup>、尾川 浩一<sup>1)</sup>、橋本 大輔<sup>2)</sup>、  
長岡 秀行<sup>2)</sup>、長野 竜也<sup>2)</sup>、山河 勉<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>法政大学 理工学部 応用情報工学科

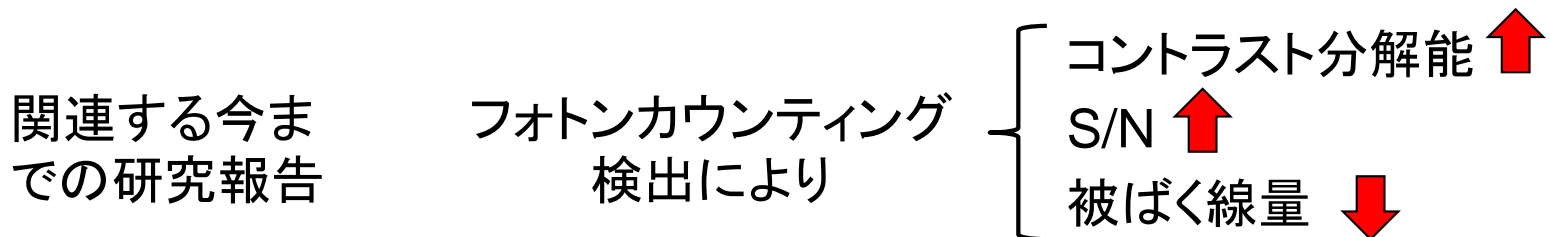
<sup>2)</sup>テレシステムズ株式会社

## 医療画像診断装置



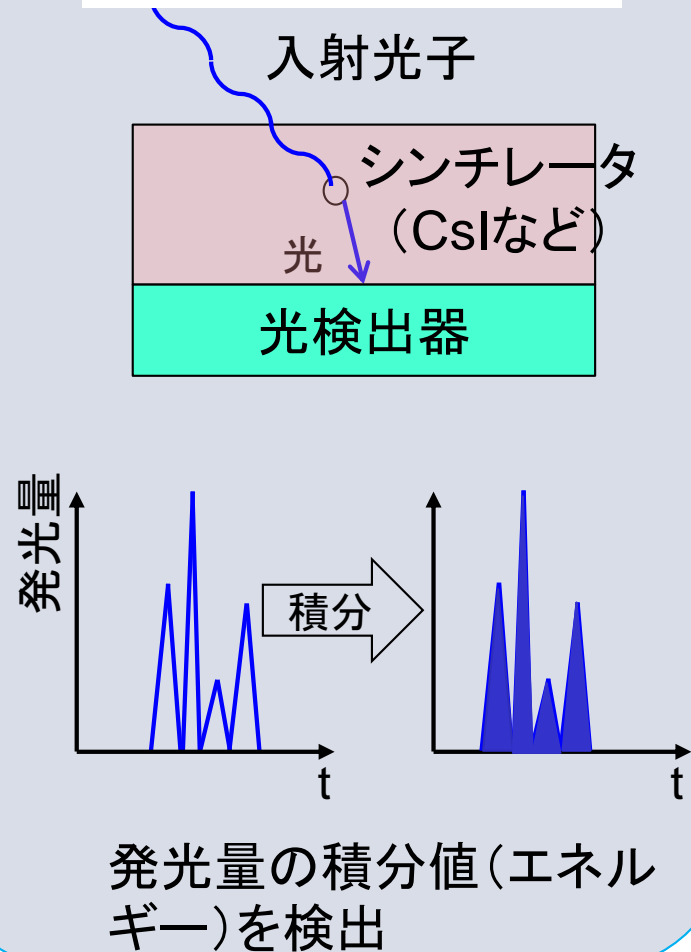
## 研究目的

X線検出器として光子計数(フォトンカウンティング)形を採用することでエネルギー情報を診断に活用



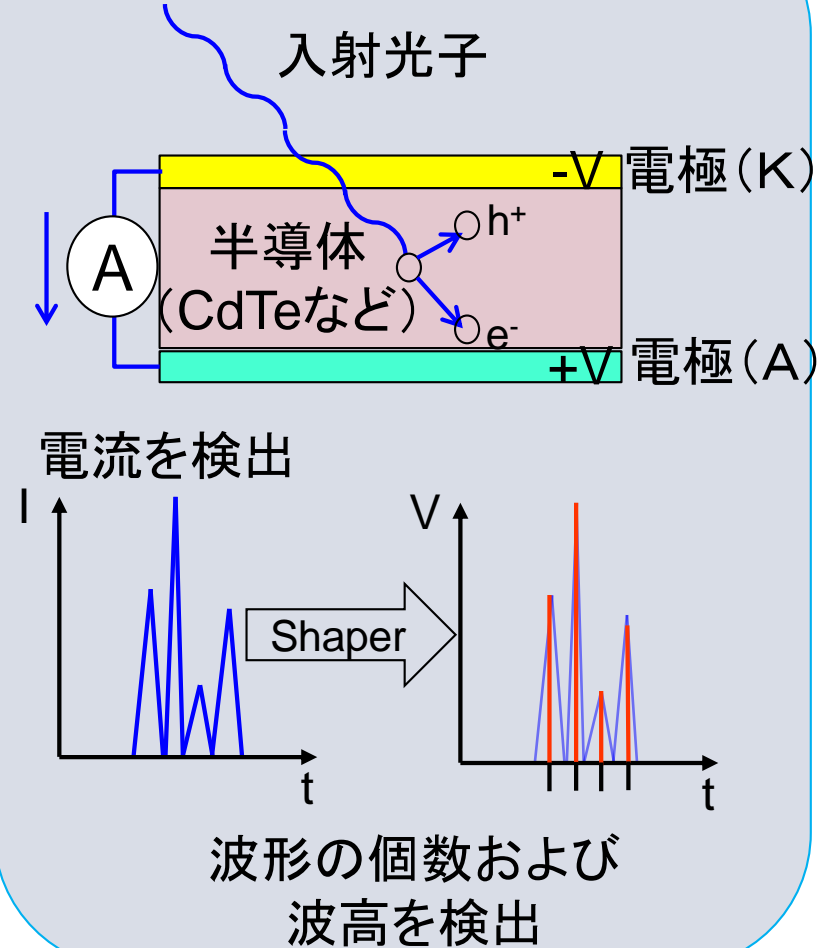
## 2. X線検出器の比較

### エネルギー積分形



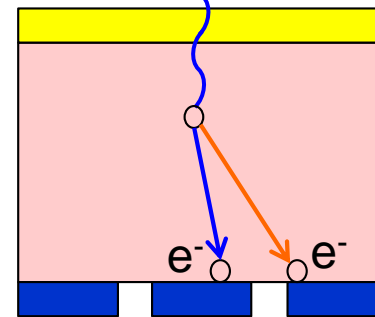
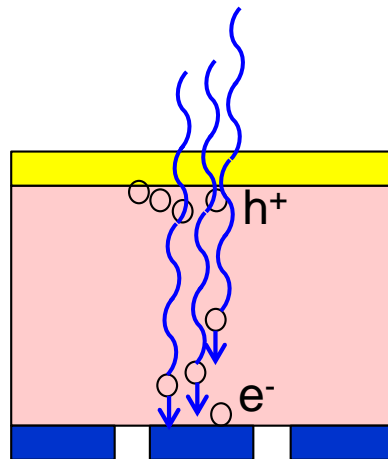
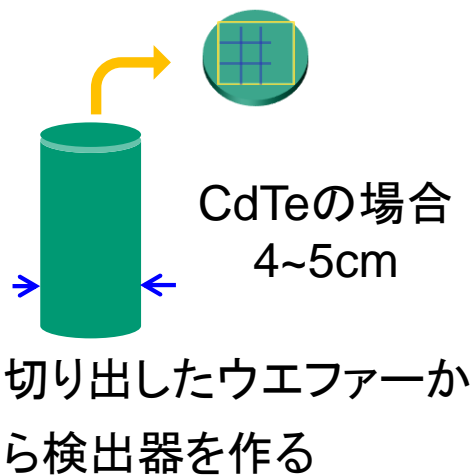
メリット: 高線量下での計測可能

### 光子計数形



個々の光子エネルギーがわかる

### 3. 光子計数形半導体検出器の課題



半導体結晶が小型→  
複数のモジュールで  
FOVを拡大

Meng LJ, Nucl Instr Meth  
Phy Res A 604, 2009.

0.35 x 0.35mm<sup>2</sup>ピクセル  
32 x 64ピクセルの2Dモ  
ジュール検出器

高線量対応→半導体  
の電気特性の検討に  
よりカウントレート改善

Szeles C, IEEE TNS Vol.,  
55, 2008.

15 x 10<sup>6</sup> cps/mm<sup>2</sup> の高計  
数率達成。16 x 16 ピクセル  
の2Dモジュール検出器

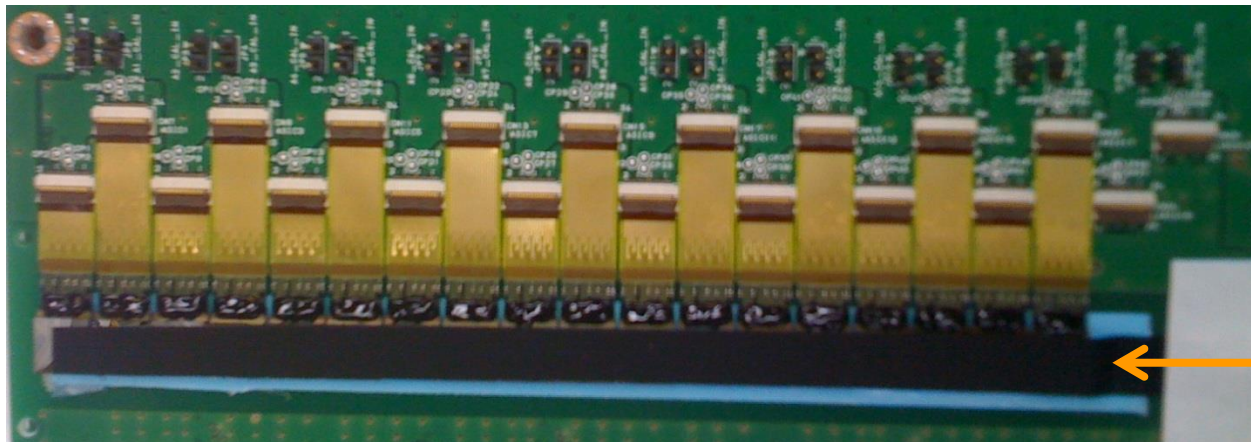
ピクセル微細化→  
チャージシェアリング量  
の検討

Tlustos, Nucl Instr Meth  
Phy Res A 623, 2010.

Medpix3  
55x 55μm<sup>2</sup> ピクセル  
高空間分解能2D検出器

## 4. 開発した検出器

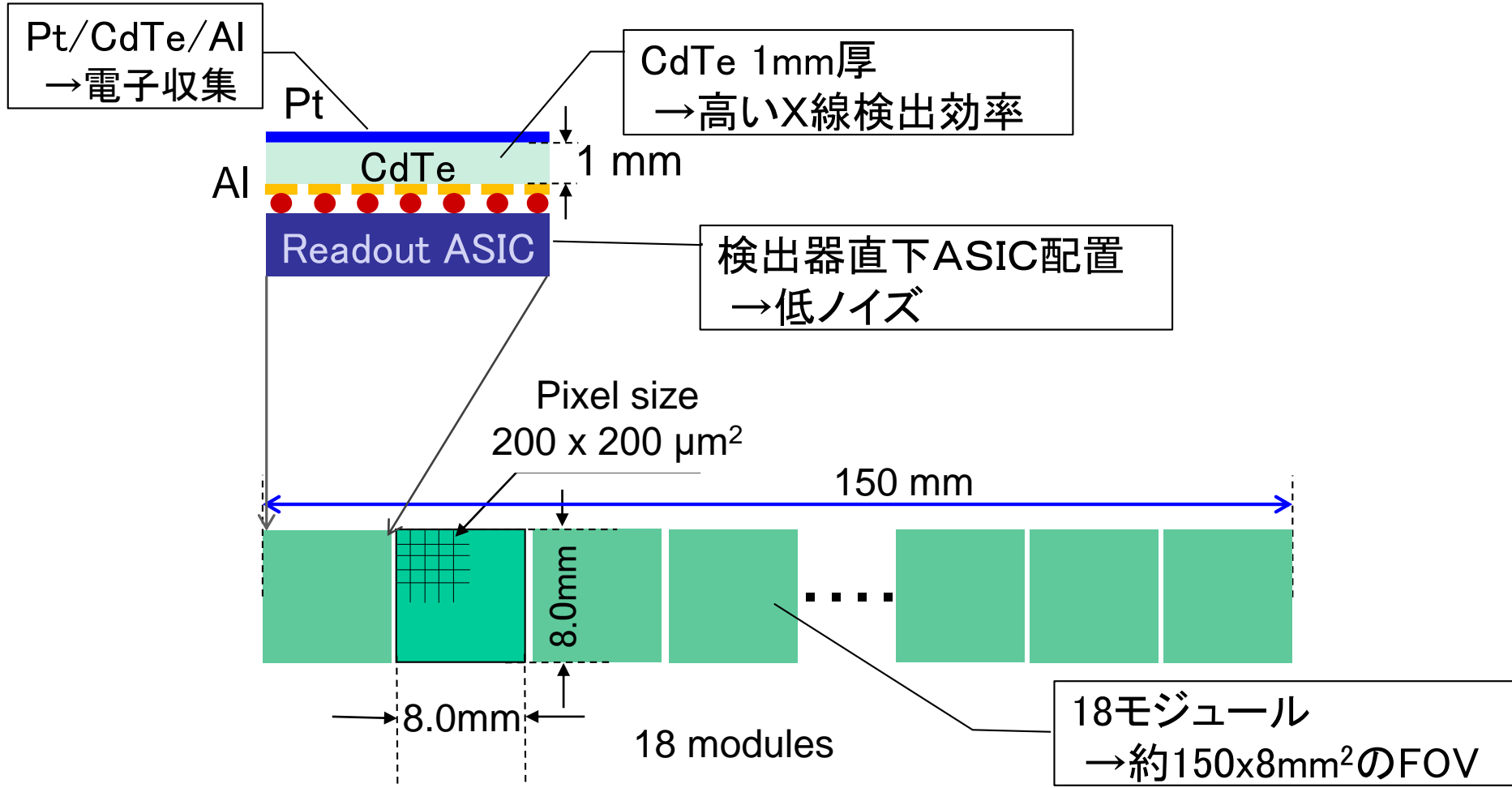
ピクセルアレイ	40 x 40 (8mm x 8mm)
ピクセルサイズ	0.2mm x 0.2mm
収集電荷	電子
検出エネルギー帯域	9-100 keV or 14-150 keV
シェイピングタイム	300ns or 500ns
パイルアップ	< 1% loss @ 150 keV
ノイズ	0.4 keV (暗電流を除く)
消費電力	151 mW @300ns shaping time



試作検出器

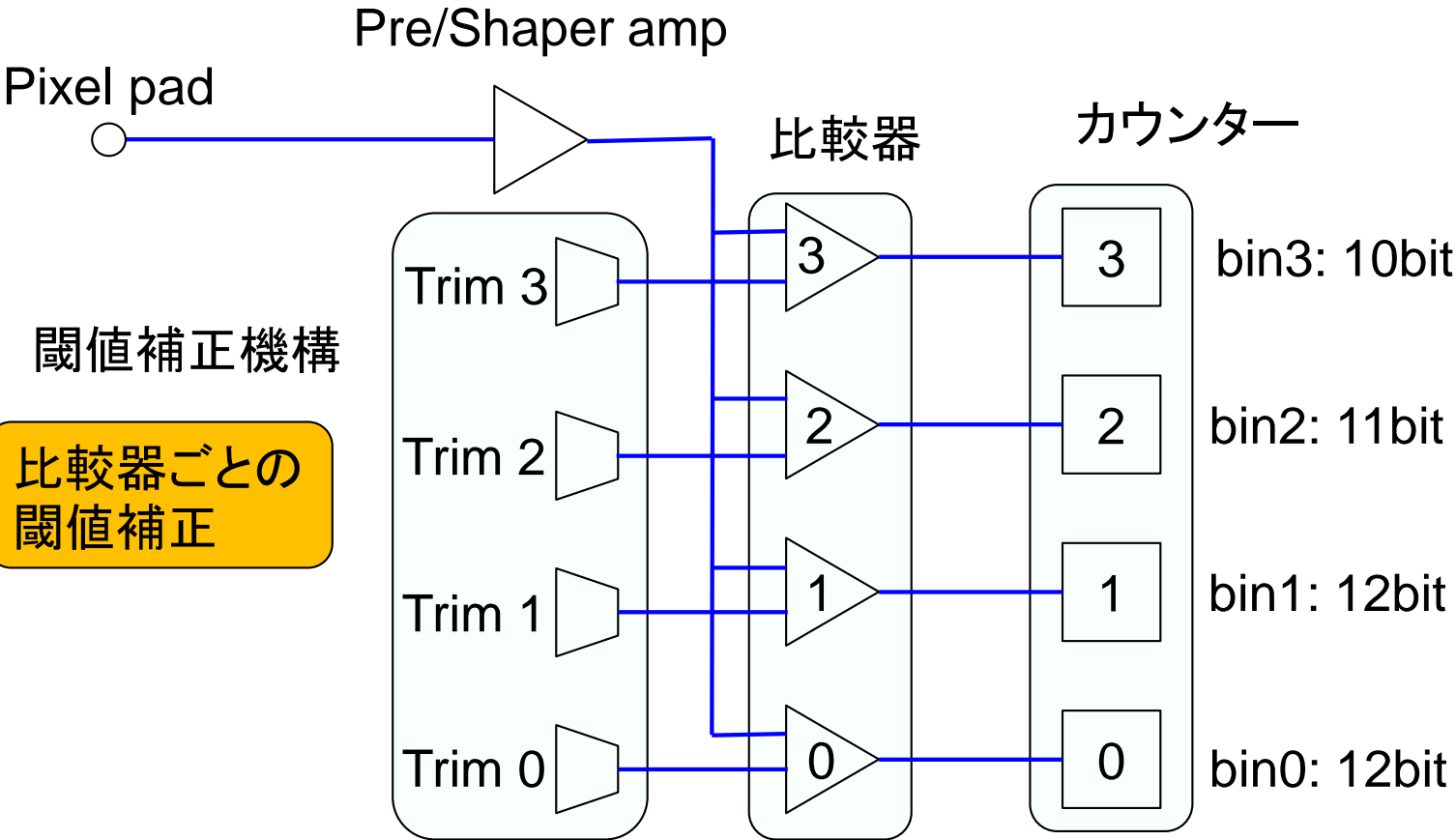
CdTe半導体

# 5. 検出部詳細



シェーピングタイム 300 nsを実現し、高計数率を実現

# 6. 計数回路



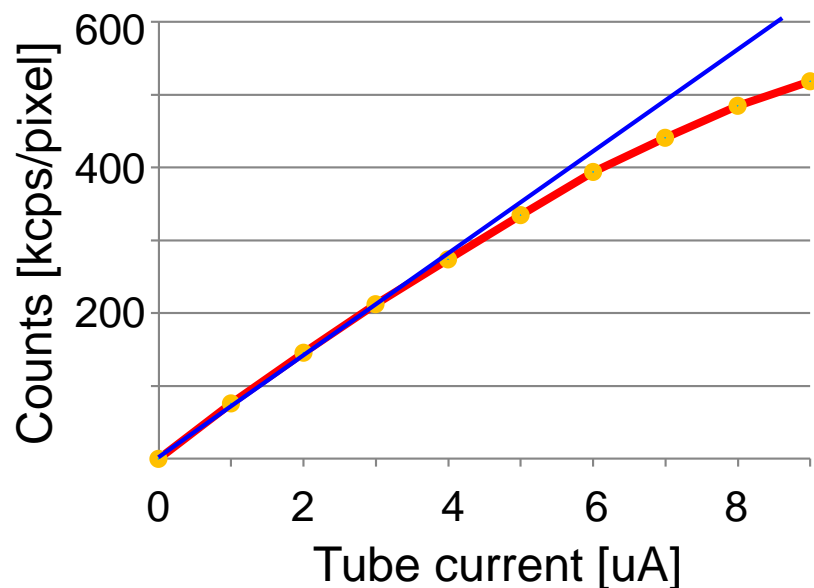
比較器ごとの  
閾値補正

4回路

エネルギー毎にカウンターの  
ビット幅を最適化

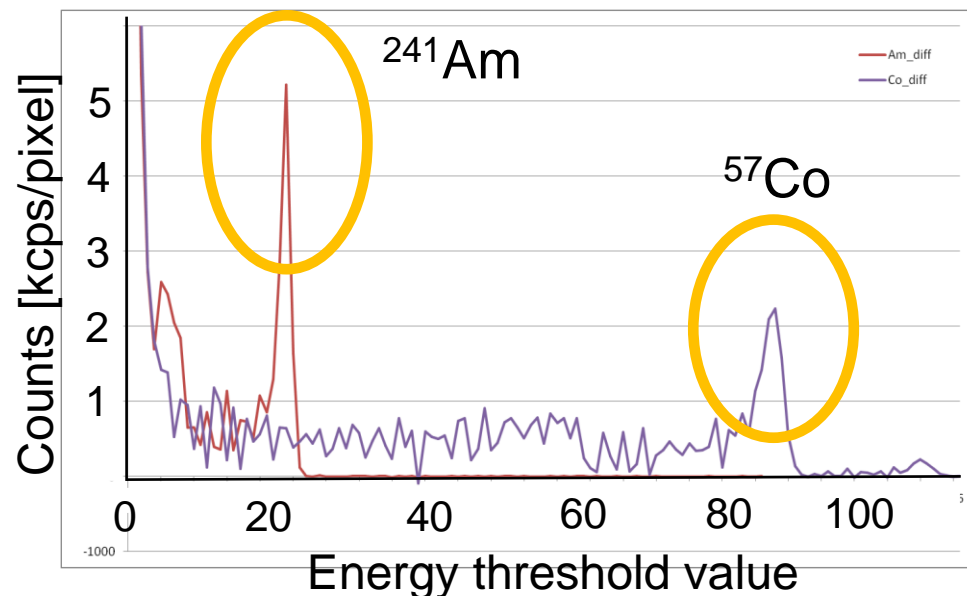
# 7. 計数率(線形性)、エネルギー分解能

## 計数率



- 測定値は検出器中心モジュール部のピクセル値平均
- 0.4M cps/pixel (10M cps/mm<sup>2</sup>) まで線形性を保持

## エネルギー分解能



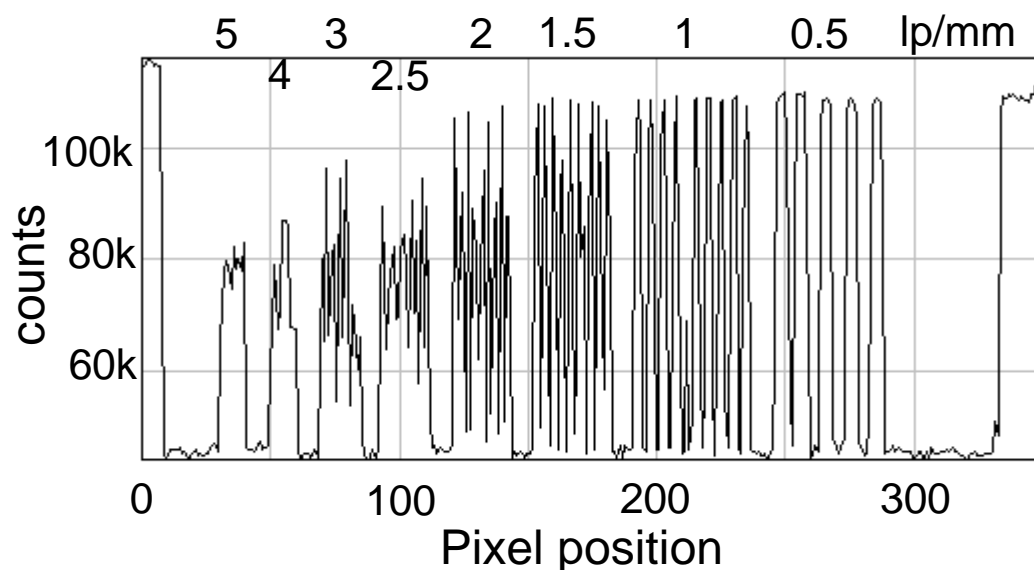
- 比較器の閾値を変化させながら検出された光子数を測定

<sup>241</sup> Am	59.5 keV	3.0% FWHM
<sup>57</sup> Co	122 keV	4.4% FWHM

# 8. 空間分解能、均一性

## 空間分解能

チャート画像



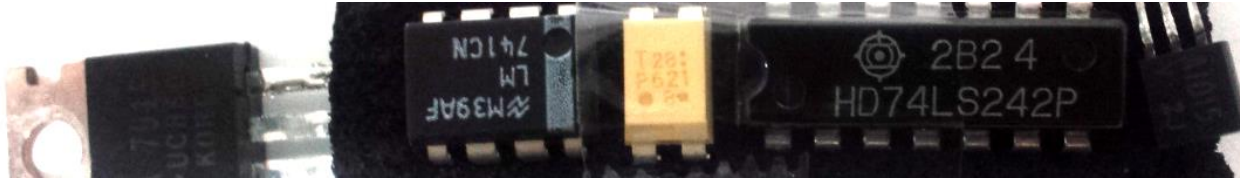
- 全エネルギー帯計測
- モジュール間ギャップの補間はしていない
- 空間分解能 約2 lp/mm

均一性 **1.26%** (キャリブレーション後全ピクセル積算平均)



均一性投影像(全エネルギー帯、A:補正無し、B:均一補正後)

# 9. プラナー像



被検体



bin0 35-45 keV

Display range: 0 - 7300 counts



bin1 45-55 keV

Display range: 0 - 6000 counts



bin2 55-65 keV

Display range: 0 - 3400 counts



bin3 65-75 keV

Display range: 0 - 2000 counts

ICの撮影画像 (エネルギー毎)

収集条件:

管電圧 75kV

管電流 2.0mA

収集時間 1.0s

# 10. プラナー像 (低線量時)



Display range: 0 - 1032 counts

All energy  
35-75 keV



Display range: 0 - 428 counts

bin0 35-45 keV



Display range: 0 - 352 counts

bin1 45-55 keV



Display range: 0 - 199 counts

bin2 55-65 keV



Display range: 0 - 97 counts

bin3 65-75 keV

ICの撮影画像 (エネルギー毎)

収集条件:

管電圧 75kV

管電流 0.2mA

収集時間 1.0s

評価性能を以下にまとめる

測定項目	測定値	参考
空間分解能	<b>2.0 lp/mm</b>	理論上限値 2.5 lp/mm
均一性	<b>1.26%</b>	40 x 40 pixel x 18 modules
計数率	<b>0.4 Mcps/pixel</b>	10 Mcps/mm <sup>2</sup>
エネルギー分解能	<b>4.4% FWHM</b>	@122 keV

## 結論

開発したフォトンカウンティング形X線検出器は、面検出器であり、かつ、このクラスで世界最高の高計数率を有していることがわかった。同時に欠損画素数が大変少ないので今後の臨床応用に於いて新しい診断での活用が期待される。

Reference : Ogawa K, Kobayashi T, Kaibuki F et al.: Development of an energy-binned photon-counting detector for X-ray and gamma-ray imaging, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 664, 29-37, 2012.