

# メモリ付きボードを用いたGEM型 中性子検出器の性能評価

大阪市立大学大学院 理学研究科 数物系専攻

池口 直人

Contents

- ・Introduction
- ・性能評価
- ・まとめ

大阪市立大学、KEK<sup>A</sup>

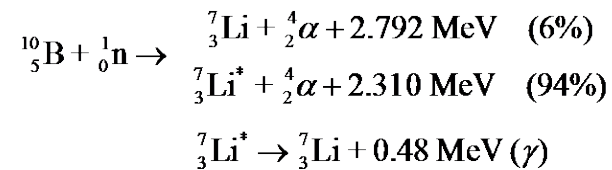
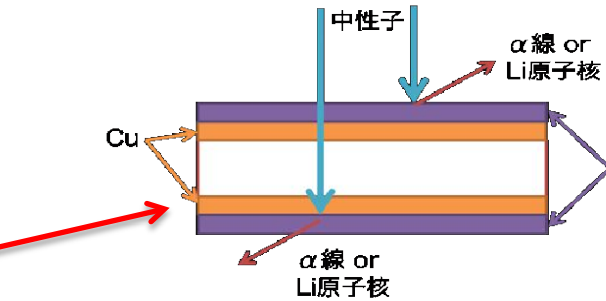
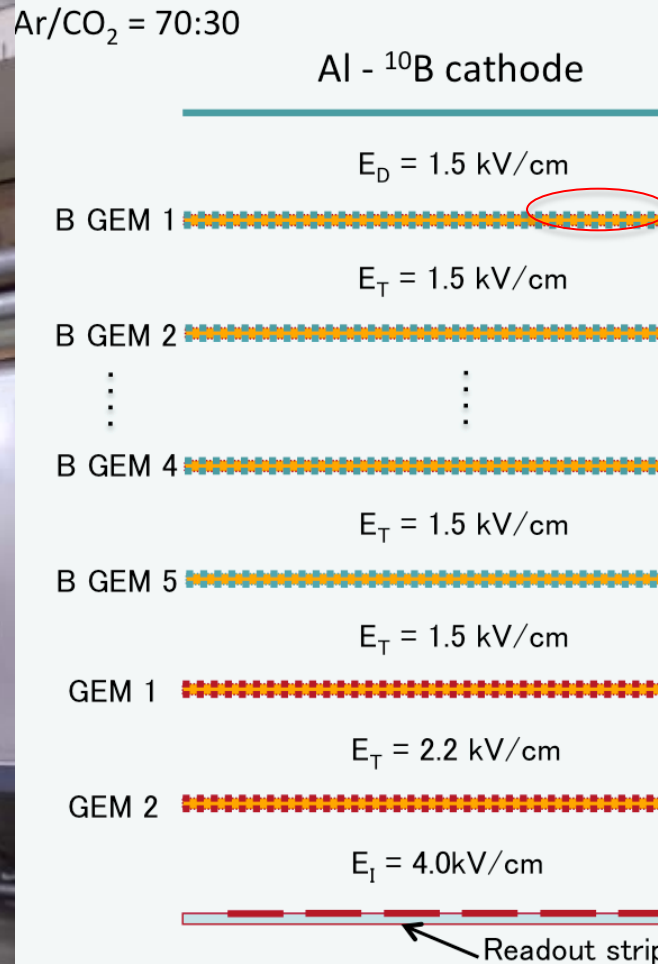
中野英一、宇野彰二<sup>A</sup>

KEK測定器開発研究室 MPGDグループ

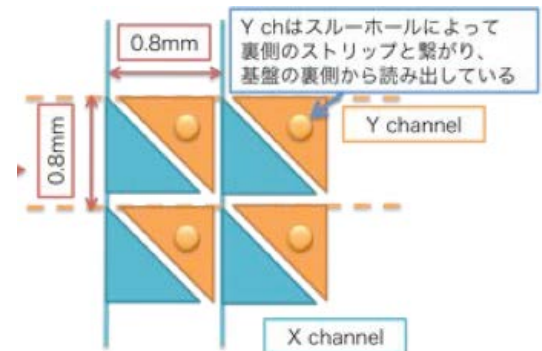
# Introduction

- 良い時間分解能、比較的良い位置分解能を持つ GEM型中性子検出システムは高強度パルス中性子源でのイメージング等に向いている
  - 高レートでデータ収集が可能なシステムを目指す
- 従来のボードでは高レートになるとTOF分布にひずみが出来てしまう
  - ボードにメモリを搭載することで改善を目指す
- 波長別中性子ラジオグラフィー(共鳴吸収)実験を行い吸収画像を得る

# GEM型中性子検出器



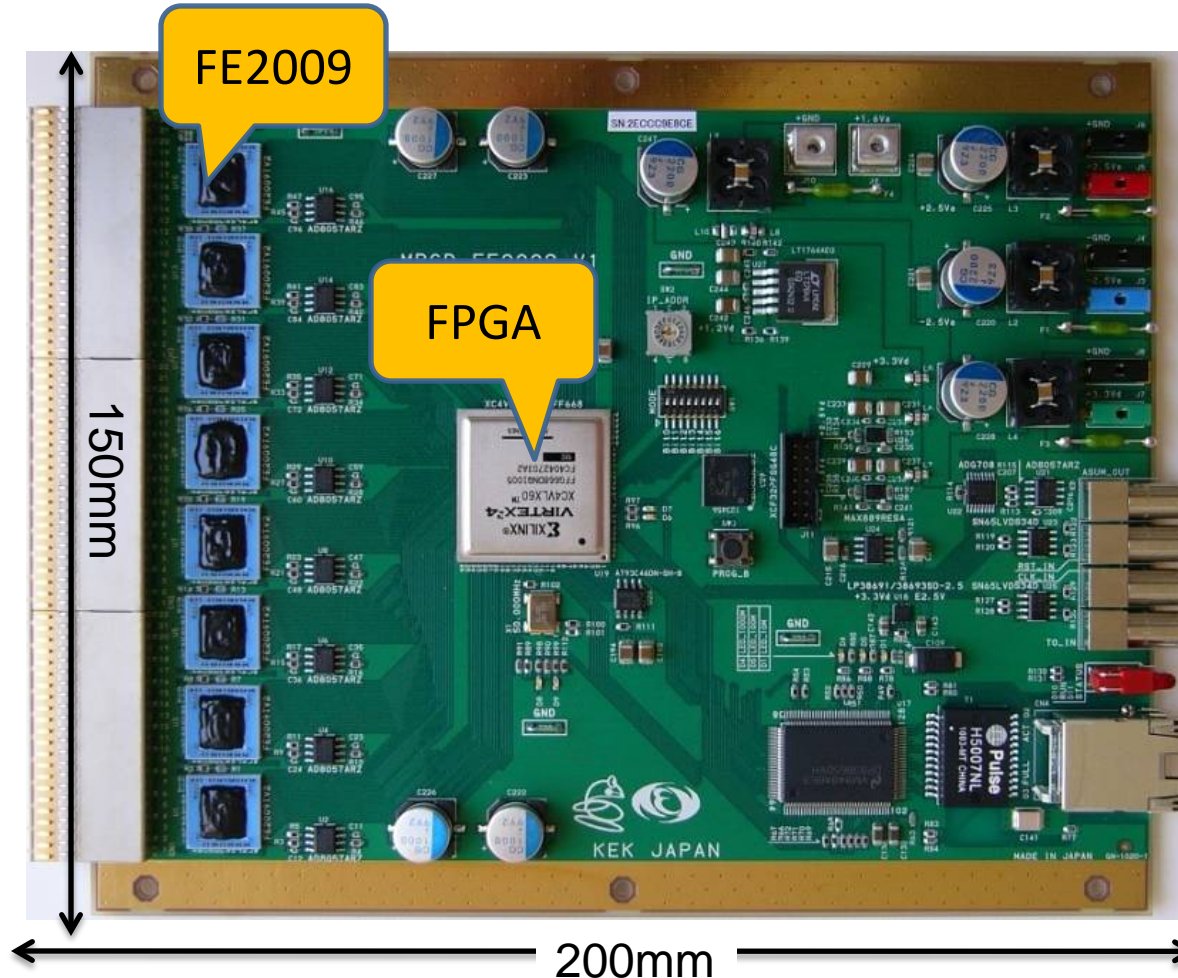
- ・読み出しはストリップ方式
- ・10cm × 10cmの領域で、x,yそれぞれ128本のストリップ
- ・256chの読み出し



# 従来のボード

ASD 32ch/chip with analog monitor

256 signal inputs



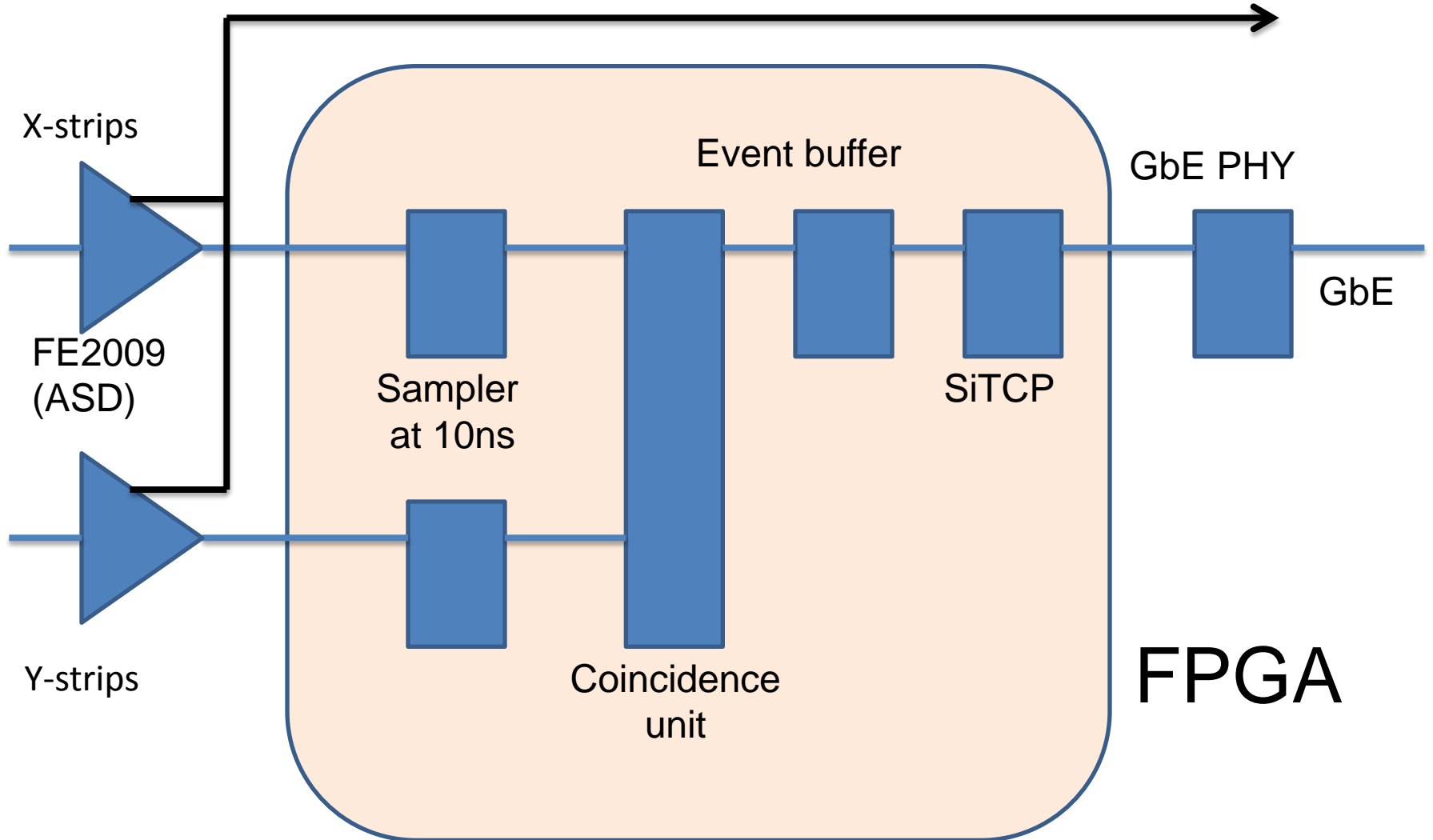
- +2.5V  
(For ASICs)
- 2.5V  
(For ASICs)
- +3.3V  
(For Digital Circuit)

Analog Out  
Reset In  
Clock In  
T0 In

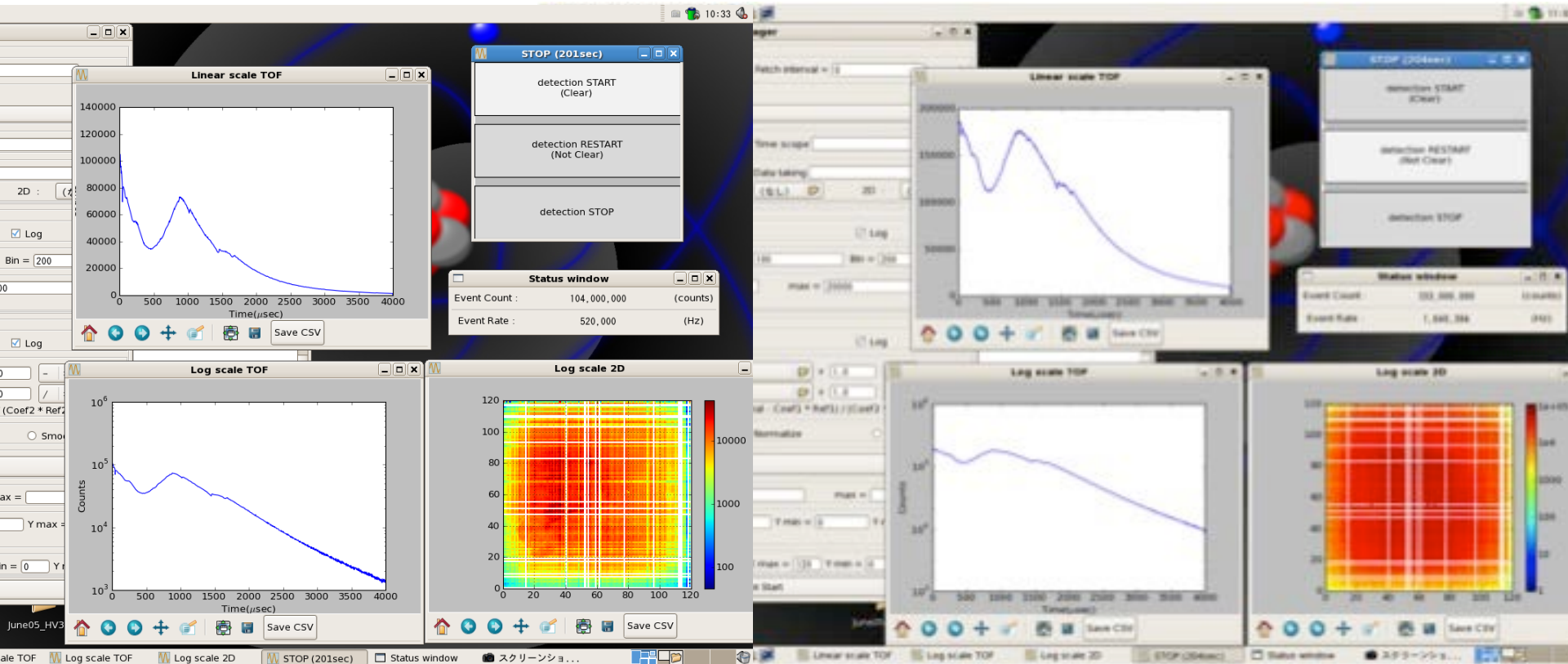
Gigabit Ethernet  
Port

# Block diagram

Analog monitor for a selected sig. →



# TOF分布にひずみ



HV 3800V  
約600kHz

上 : Linear Scale  
下 : Log Scale

HV 4200V  
約1600kHz

飛行時間分布で中性子頻度の高いところで  
データ転送スピードが飽和して、十分にデータが送れない。



# 新型メモリ付きボード

FE2010

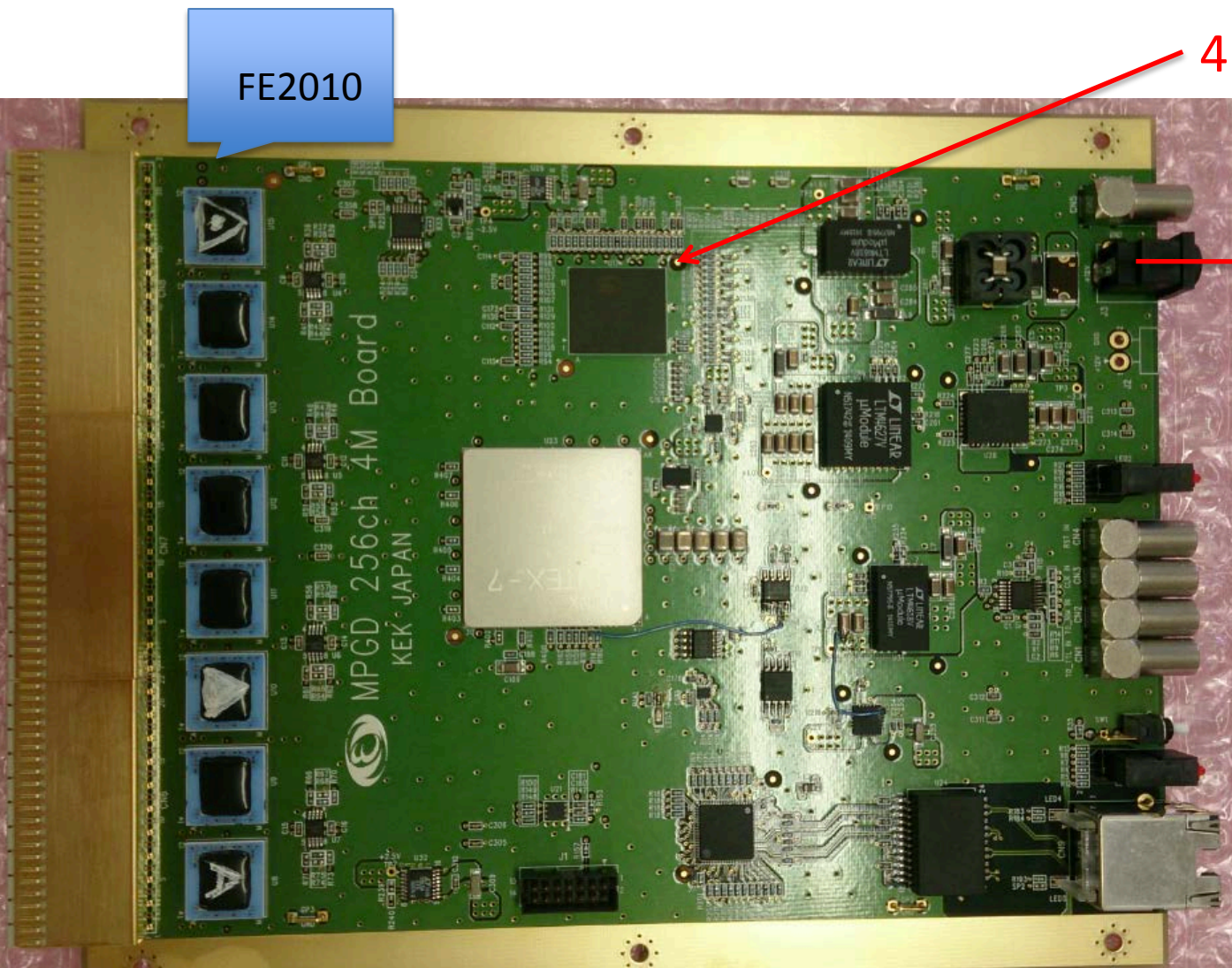
4MBのメモリを搭載

Analog Out

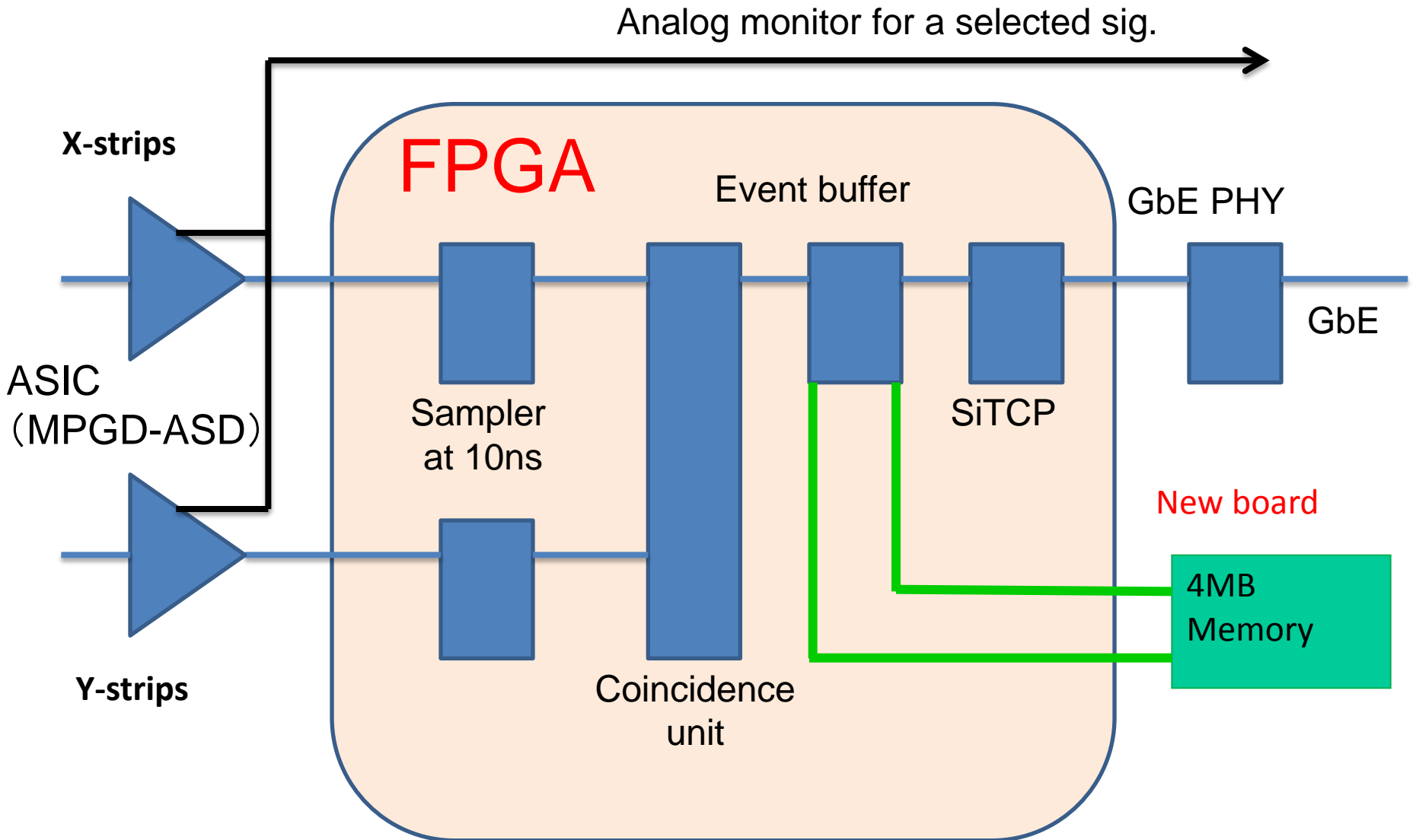
電源がシンプルに。  
ノートPC用ACアダプ  
タータイプが使用可  
能。12V

Reset In  
Clock In  
T0 In (NIM)  
T0 In (TTL)

Gigabit Ethernet  
Port



# Block diagram

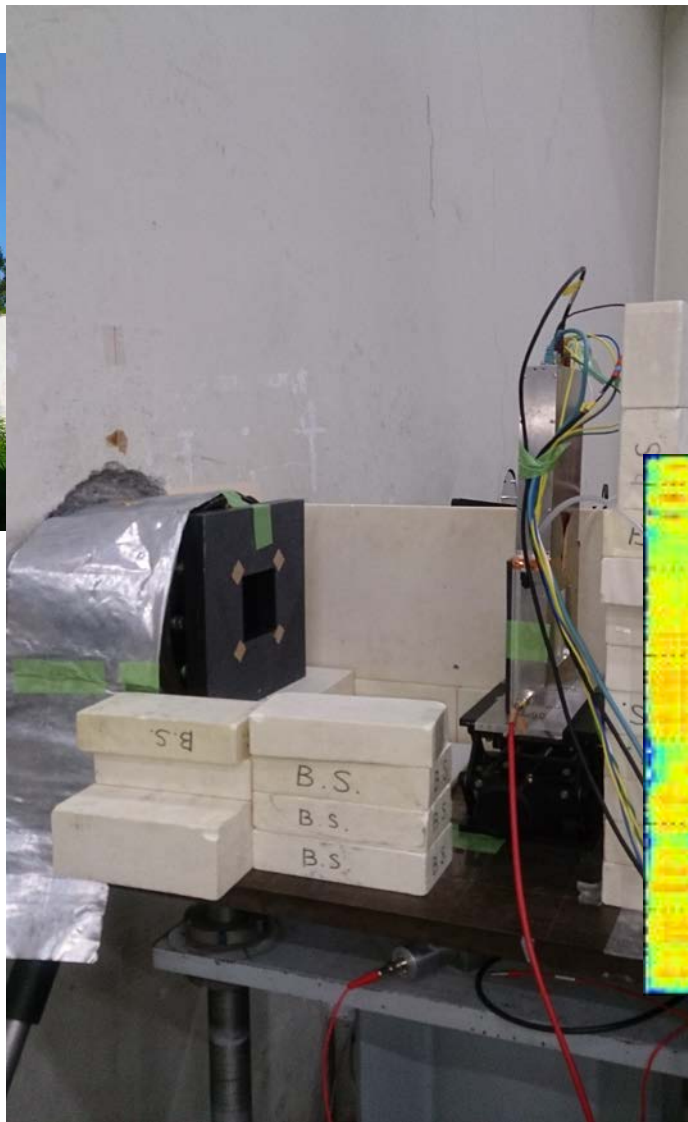




# 変更点

- データサイズの最小化: 10byte → 5byte
- 時間情報を圧縮: 64bit → 24bit
- データ転送スピードの最大が  
 $1\text{Gbps} = 1000\text{Mbps} / (5\text{byte} \times 8\text{bit}) = 25\text{MHz}$
- 4MBのメモリを搭載  
→  $4\text{MB} / 5\text{B} = 800\text{k}$  イベント蓄えられる
- 中性子発生頻度の高いところではメモリにデータを蓄積し、発生頻度の低いところでデータが転送することでTOF分布の歪みを解消、平均データ収集レートがあがるはず
- 電源がシンプルに
- 拡張機能を追加

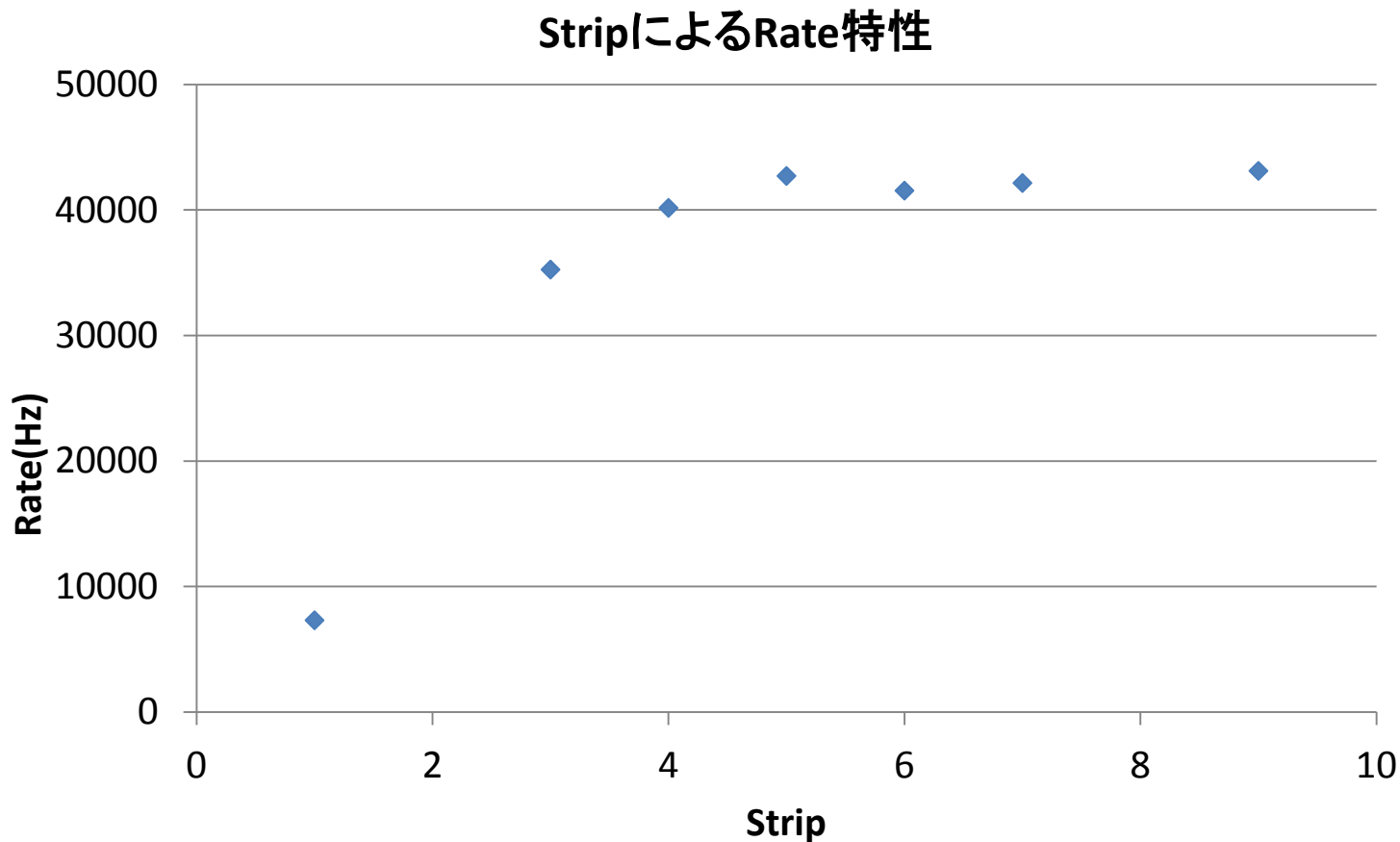
# 中性子照射実験@北大LINAC



強度がそれほど高くない  
ので、高レート特性の評  
価は出来なかったが、中  
性子ビームで問題なく動  
作する事が確認出来た。

# 拡張機能

1つのクラスターとして検出する読み出しストリップの幅を1~15まで選択可能に。(今までは1~5のみ)



→ クラスターの広がりが5ストリップ程度だと確認できた

# テストパルスによるレート試験

# 従来の256chボードのレート特性

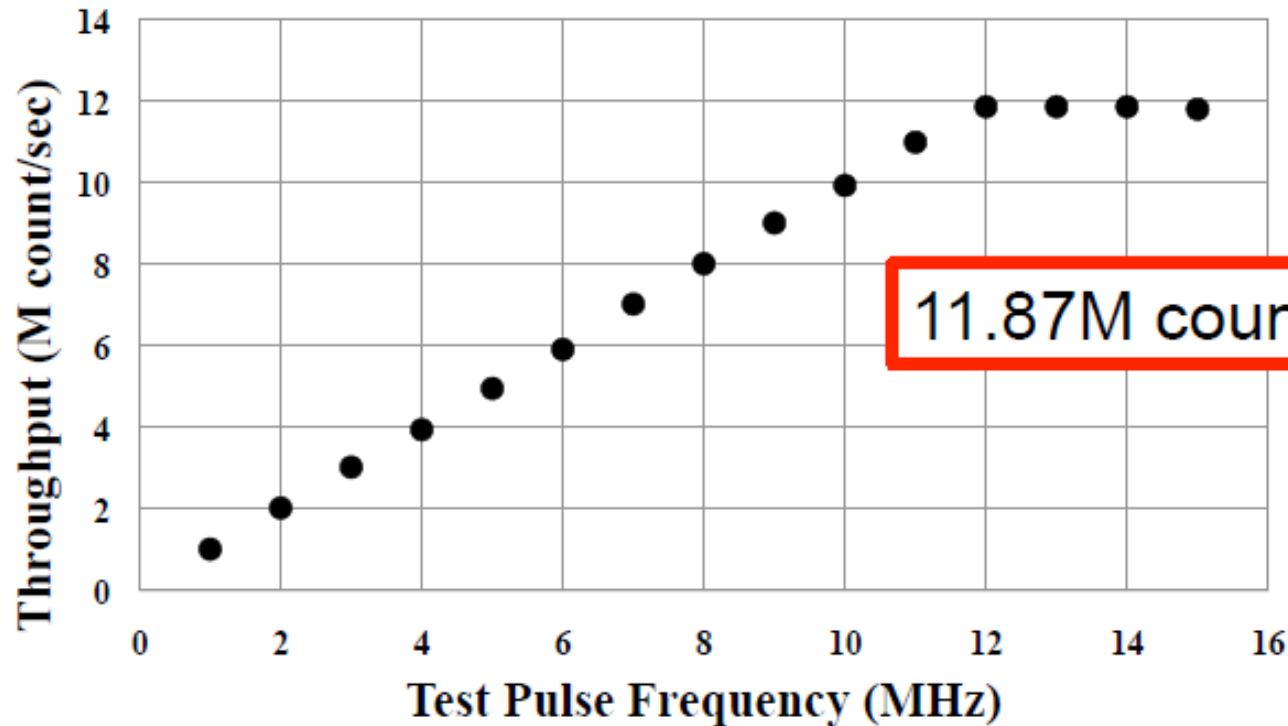
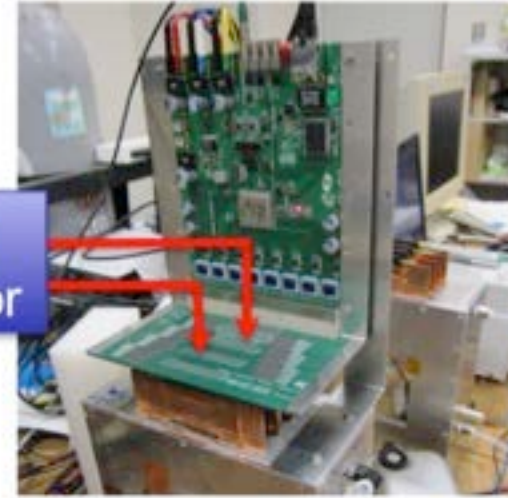
## Test pulse

従来の256chボードのデータ転送レートは  
理論的には

$$0.95\text{G (bps)} / 80 \text{ (bit/event)} = 11.87\text{M (count/sec)}$$

これを確認するために、テストパルスを用いて測定を行った。

Pulse  
Generator



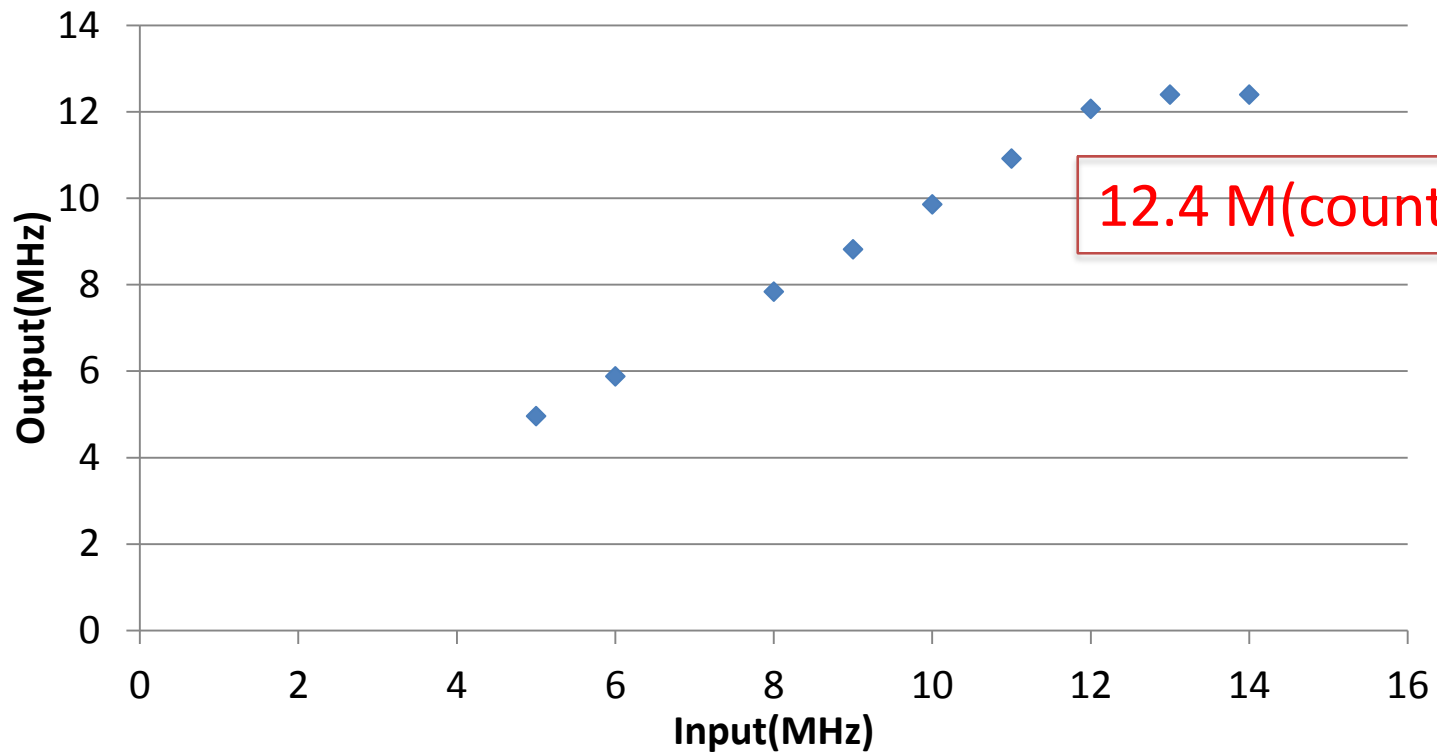


# メモリ付きボードのテストパルスによるレート試験

メモリ付きボードのデータ転送レートは、理論的には

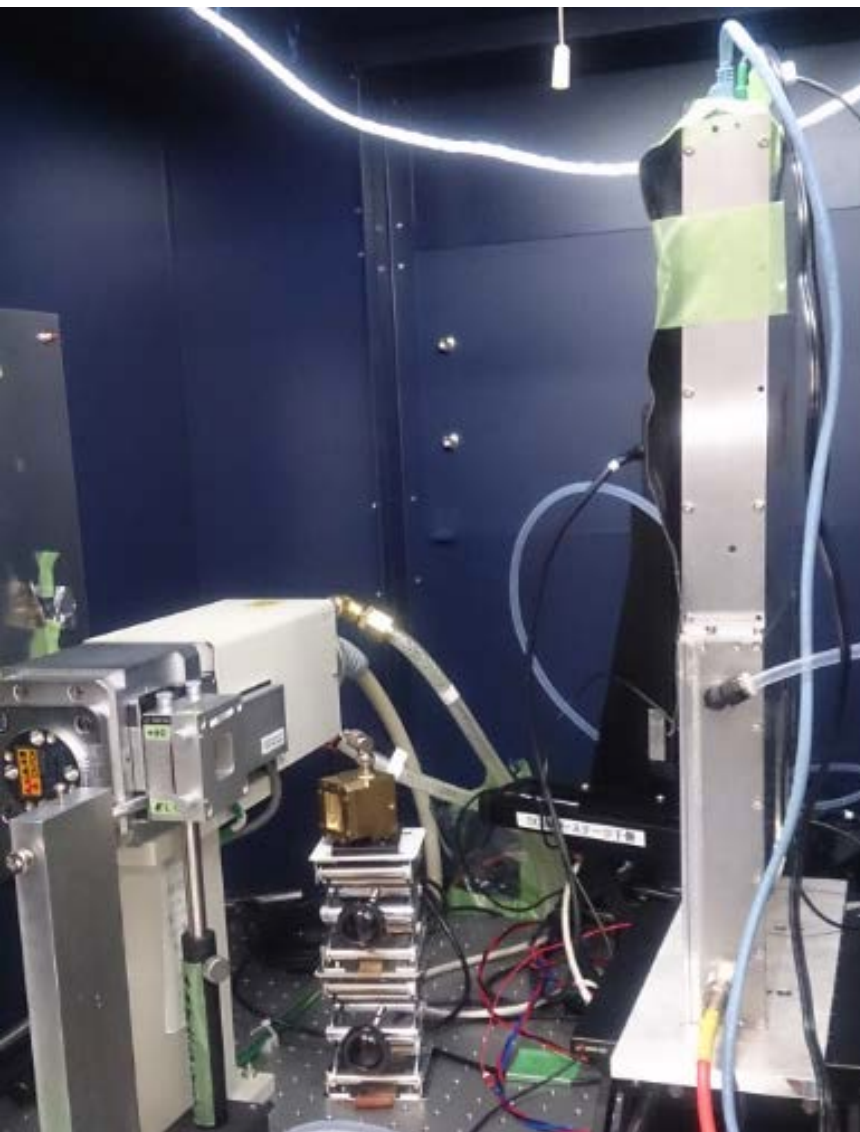
$$0.95\text{G (bps)} / 40 \text{ (bit/event)} = 23.75 \text{ M (count/sec)}$$

メモリ付きボードのレート特性(テストパルス)

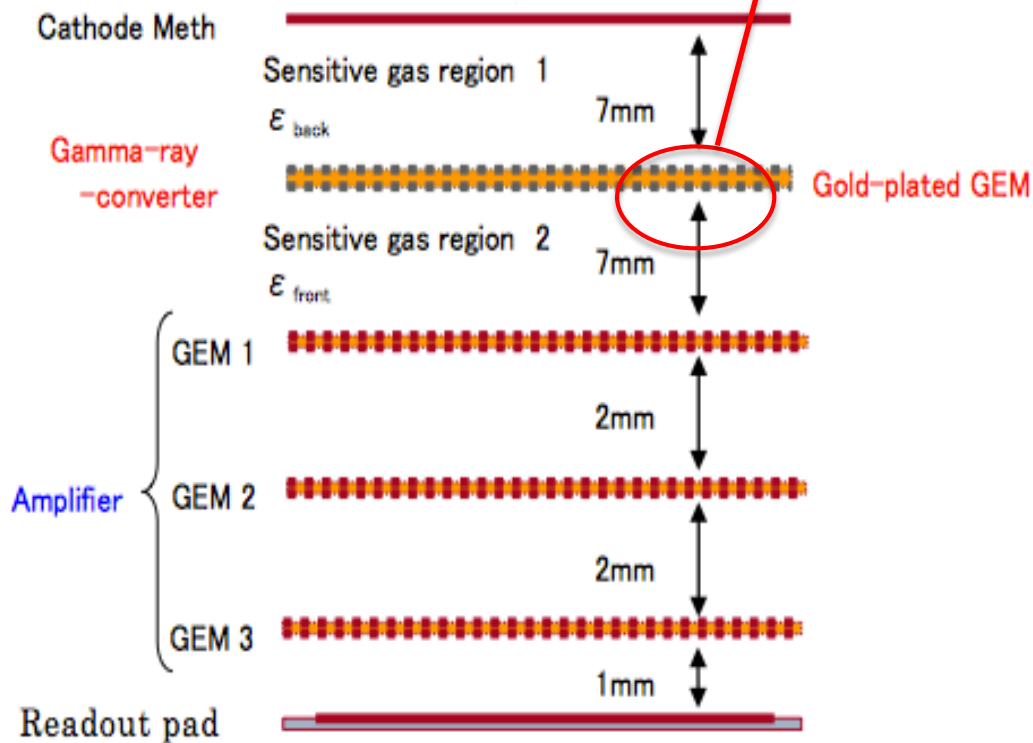
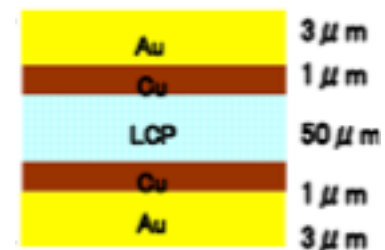


アナログ出力も12.4 MHzまで  
→ 信号処理に問題??

# X線照射実験

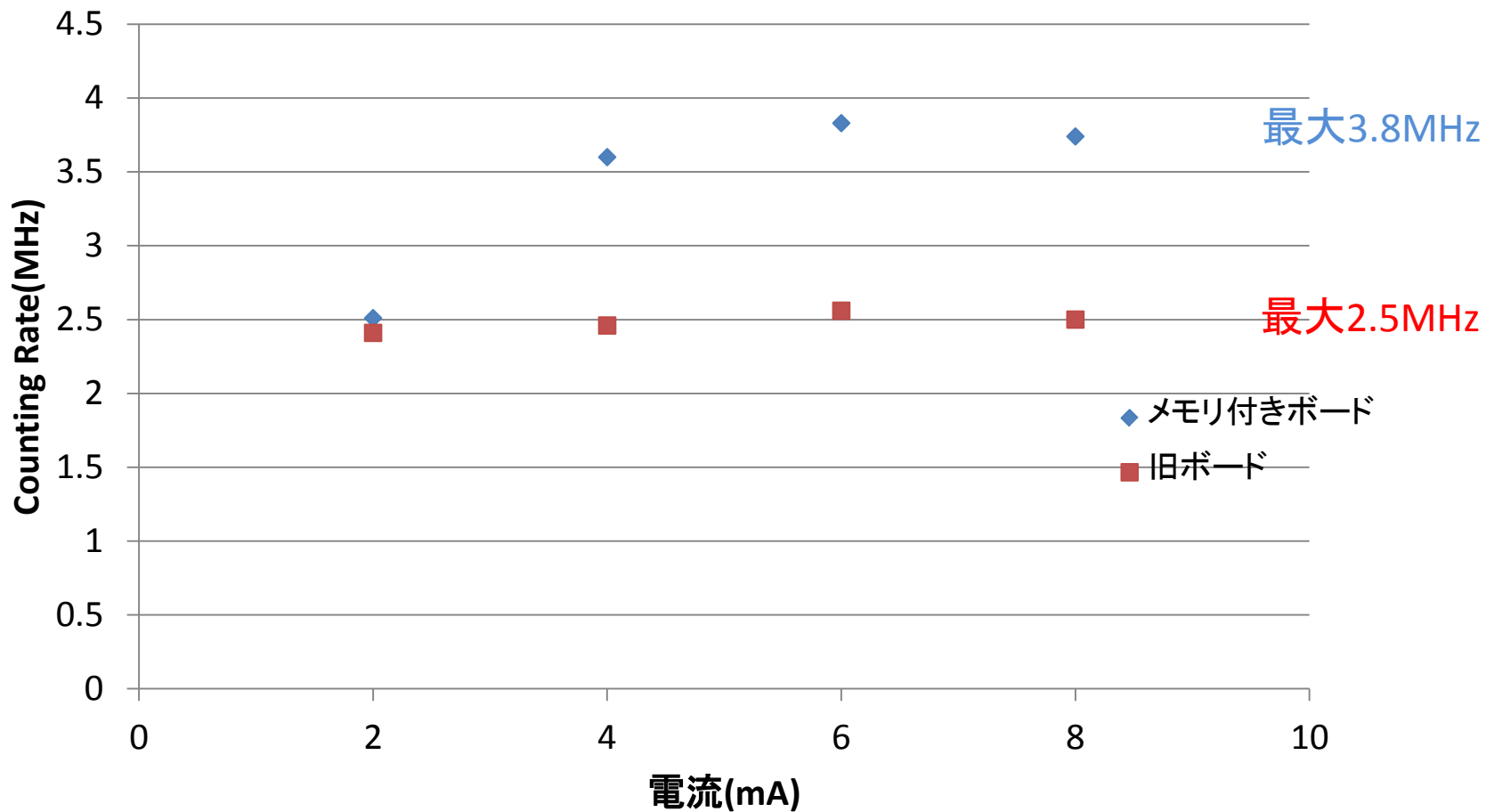


金GEMで電子に変換



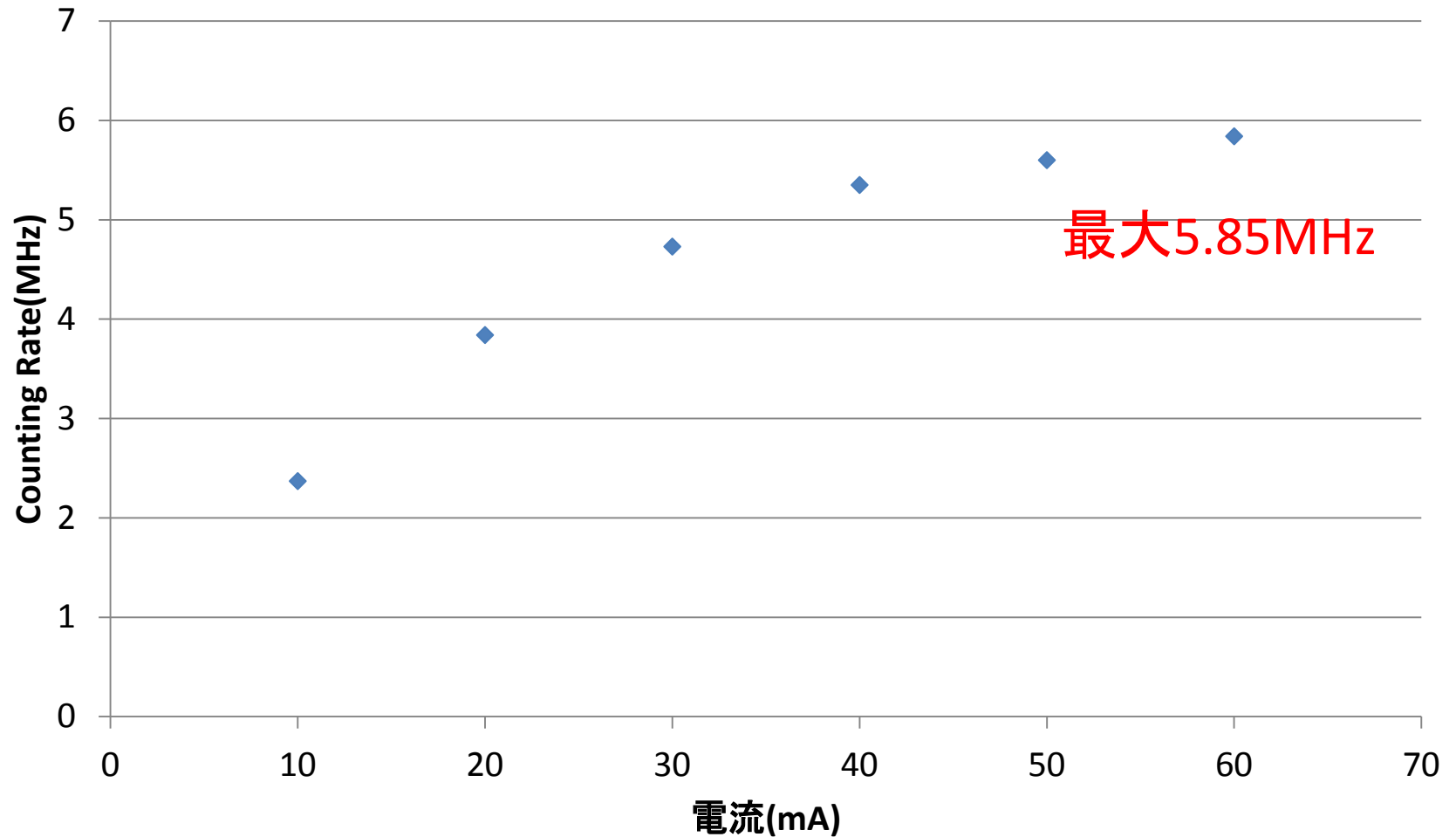
# 全面照射

Rate特性(X線)





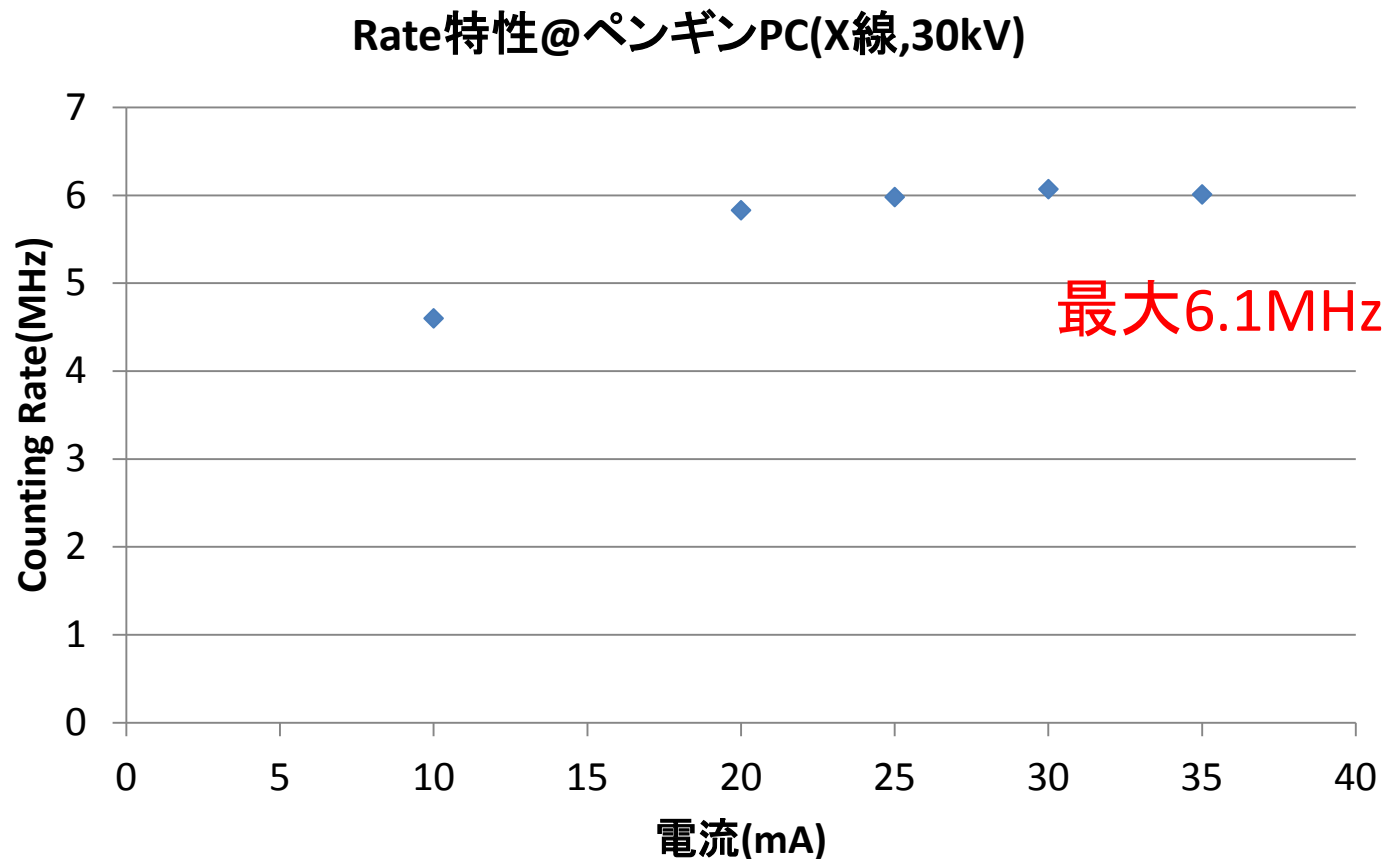
## New Board Rate特性(X線@20kV)



スリットをしぼるとCounting Rateが上がった  
→ 転送されるデータ量が少なくなったため？

データ受け取り側のPCの性能によりCounting Rateが  
下がる可能性がある

→ 処理能力の高いPCで測定を行った



データ処理能力の高いPCを用いることで、Counting Rateが  
向上する可能性がある



# CPUの性能

6.1MHz

5.8MHz

## パフォーマンス

コアの数	2	4
スレッド数	4	8
プロセッサ・ベース動作周波数	1.8 GHz	1.6 GHz
ターボ・ブースト利用時の最大周波数	3 GHz	2.8 GHz
TDP	15 W	45 W

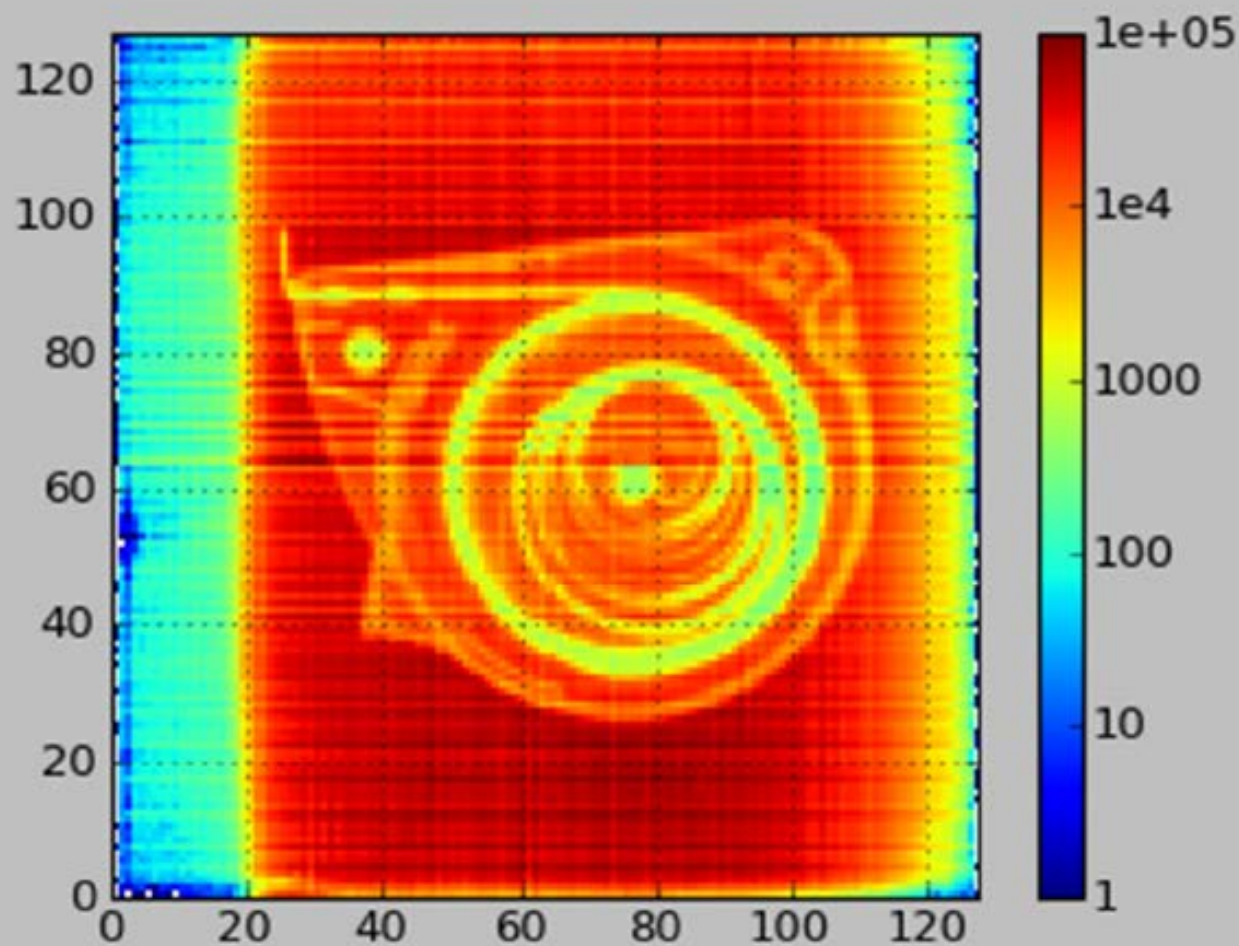
## メモリの仕様

最大メモリーサイズ (メモリーの種類に依存)	16 GB	8 GB
メモリーの種類	DDR3L-1333/1600; LPDDR3-1333/1600	DDR3-1066/1333
メモリーチャンネル数	2	2
最大メモリー帯域幅	25.6 GB/s	21 GB/s

Core i7-4500U

Core i7-720QM

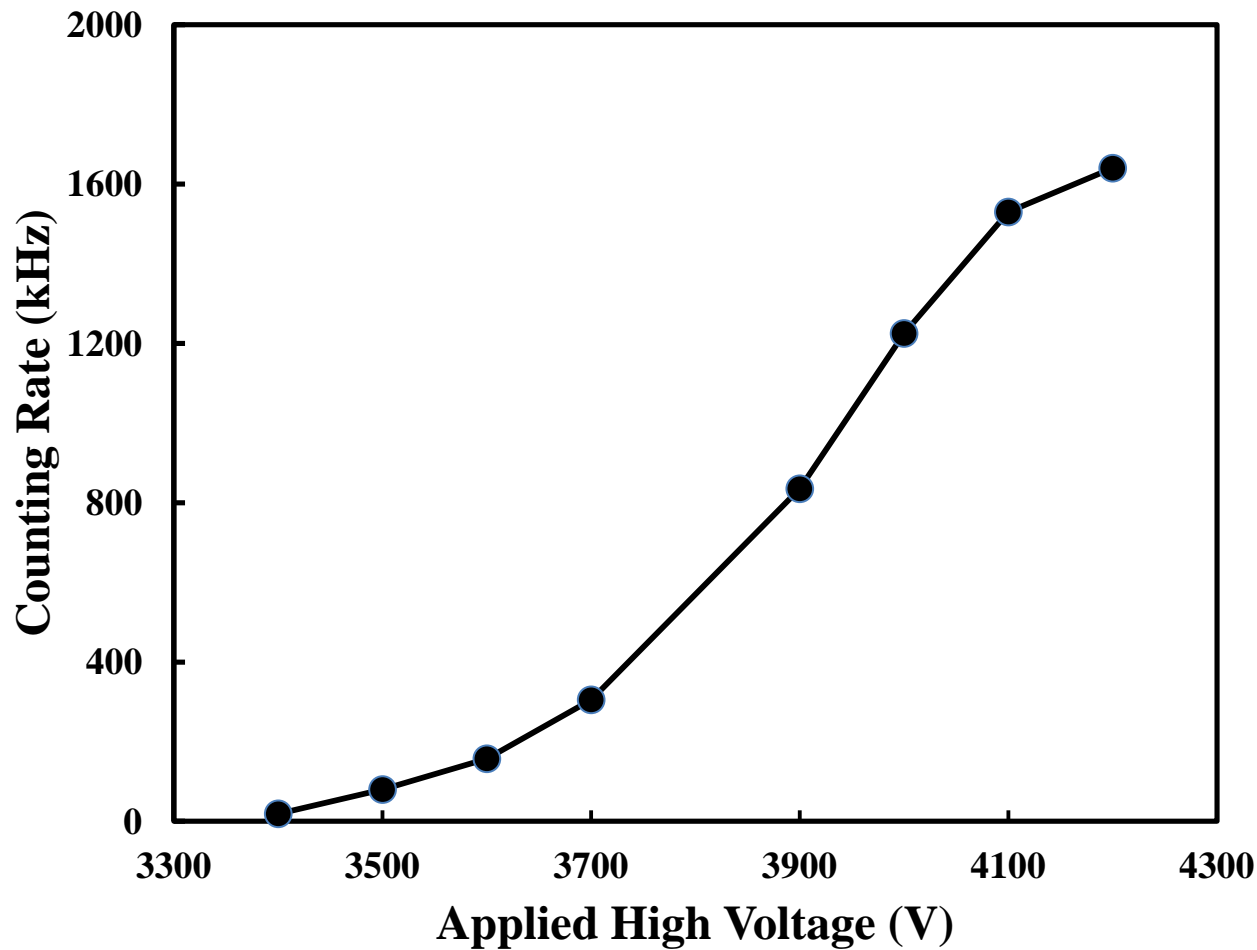
# X線発生装置による画像



# 中性子照射実験@J-PARC

- J-PARCのMLFのBL22で中性子照射実験を行った
- BL22は世界初のパルス中性子イメージングライン
- 中性子強度は $9.8 \times 10^7$  n/s/cm<sup>2</sup> と高強度である
- メモリ付きボードの最大転送レートは2.2MHzとなった

# J-PARC BL10(従来のボード)



以前のカウンtrate

・北大 700kHz (2010)

・RAL 400kHz (2011)



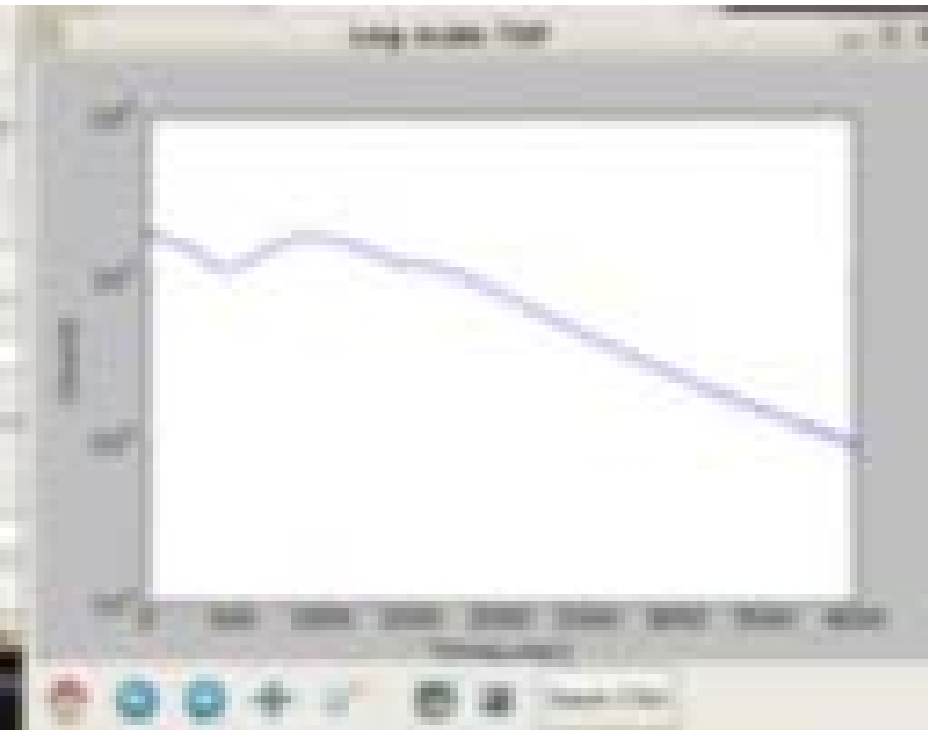
1.6MHz(BL10)



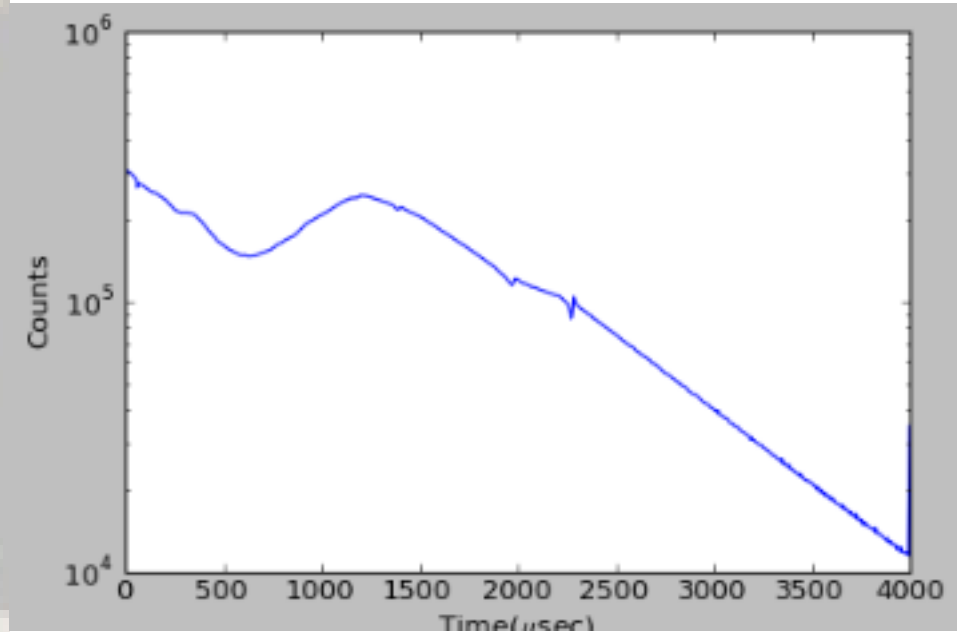
今回メモリ付きボード

2.2MHz(BL22)

# 1.6MHzでのTOF分布



従来のボード

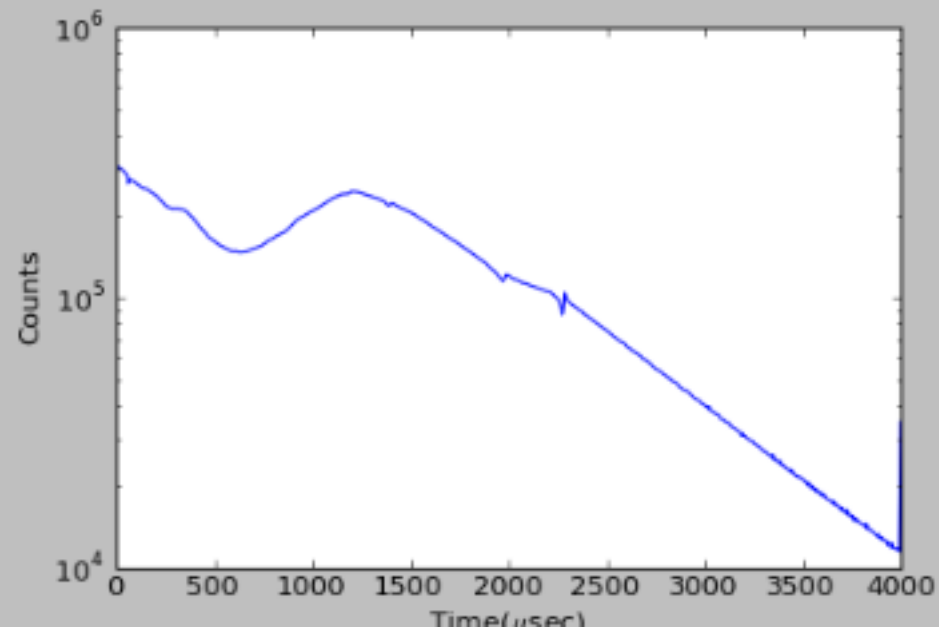


メモリ付きボード

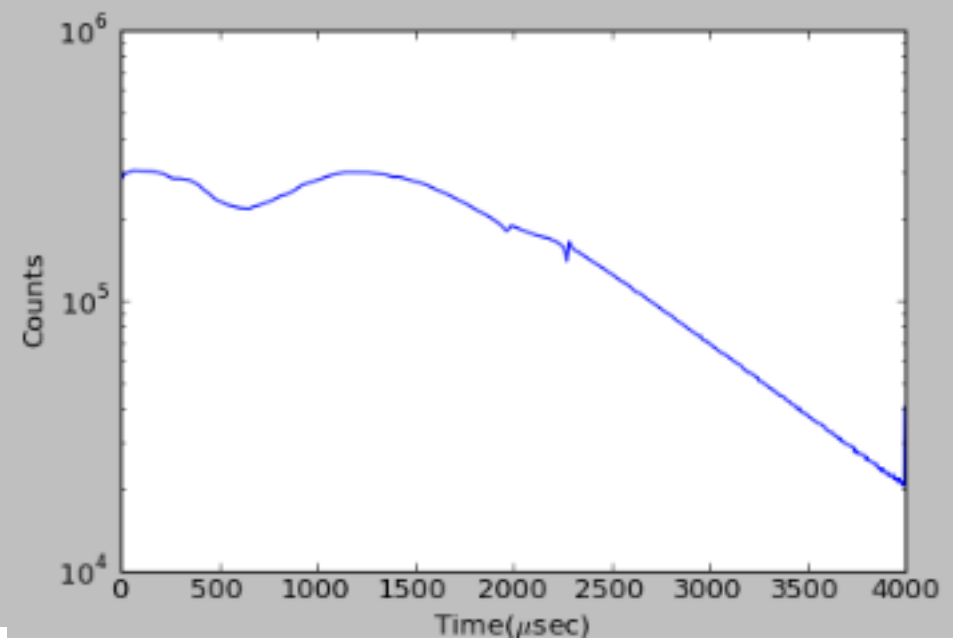
高レートになっても、メモリ付きボードではひずみが少なく見える  
→ データサイズの違いにより、飽和していない可能性



# メモリ付きボードのTOF分布



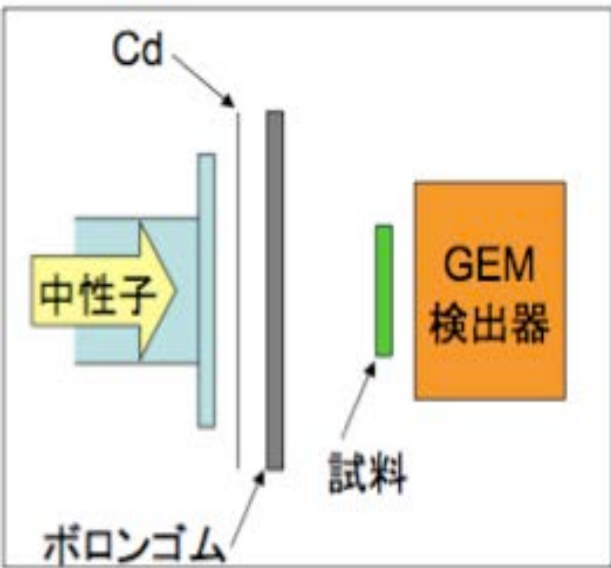
1.6MHz



2.2MHz

2.2MHzになるとTOF分布がひずんでしまう  
→ メモリをうまく使えていない可能性がある

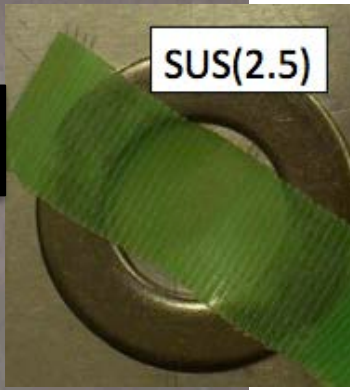
# 波長別中性子ラジオグラフィ



Co(0.1)

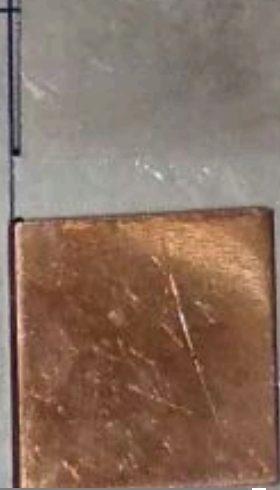
Co(0.1)

EUROコイン

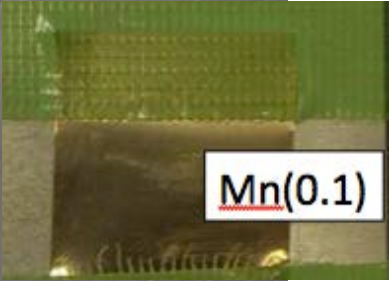


SUS(2.5)

試料ごとに中性子の  
反応断面積が異なる。  
波長別に吸収画像を  
得る。



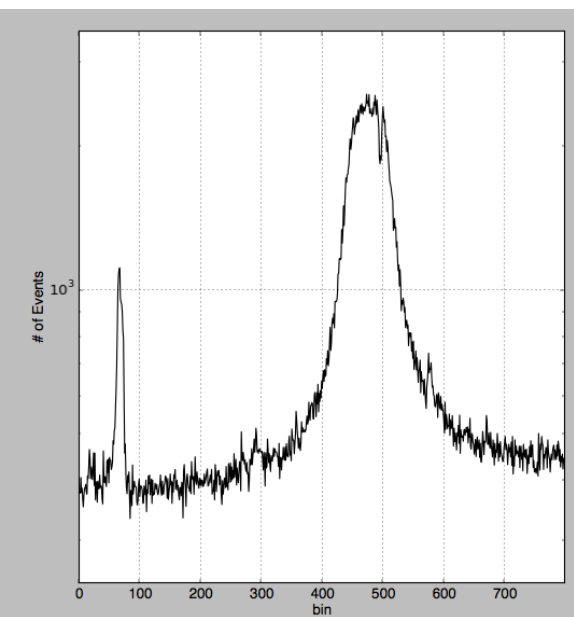
Cu(0.1)



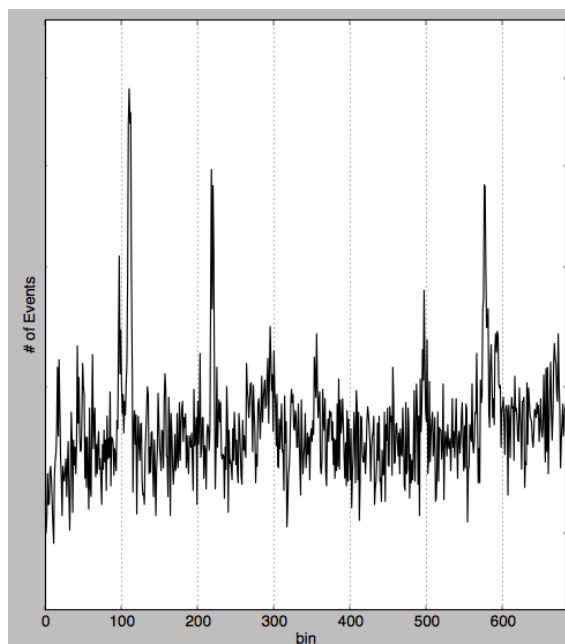
Mn(0.1)

(厚さmm)

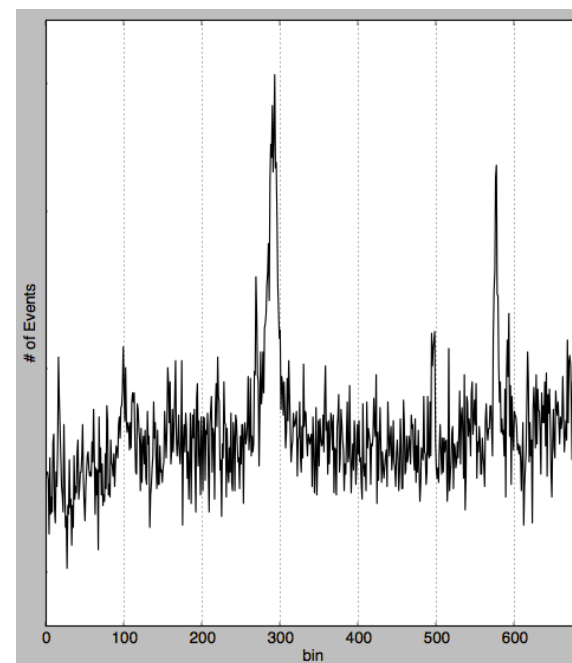
- 試料ありのデータと試料なしのデータを取得
- 試料なし/ありのTOF分布を試料のある領域でそれぞれ作成する



CoのTOF分布



CuのTOF分布

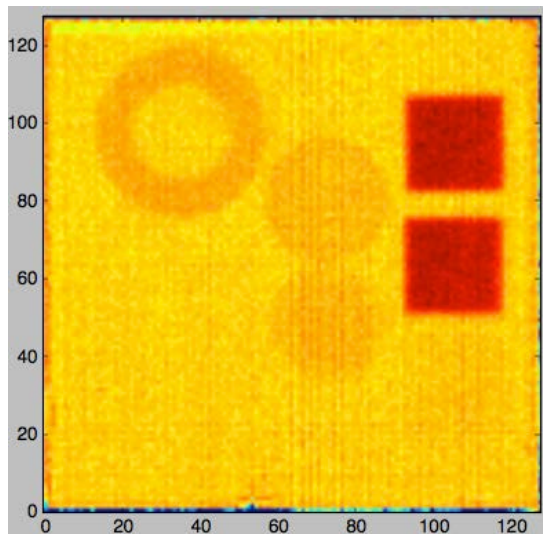


MnのTOF分布

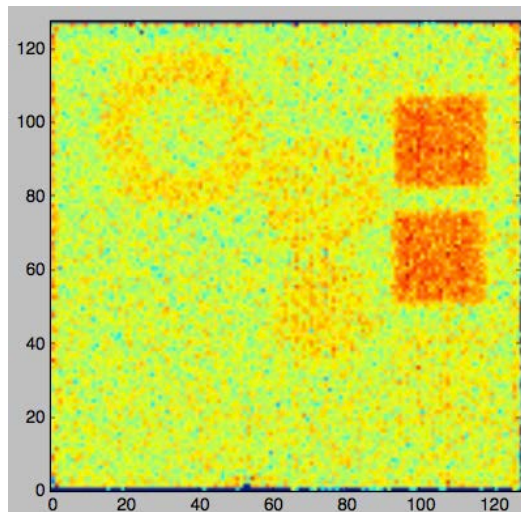




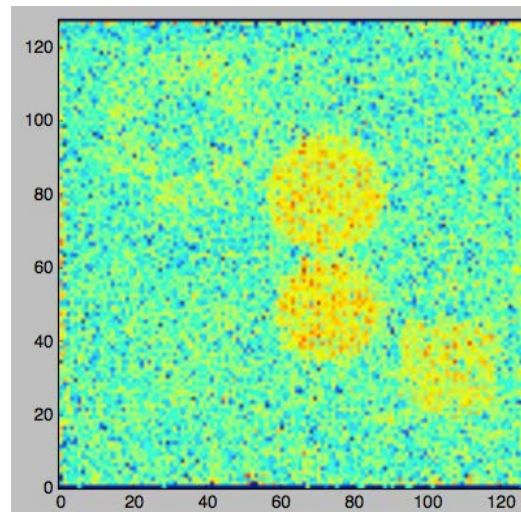
Co(100 $\mu$ s ~ 137 $\mu$ s)



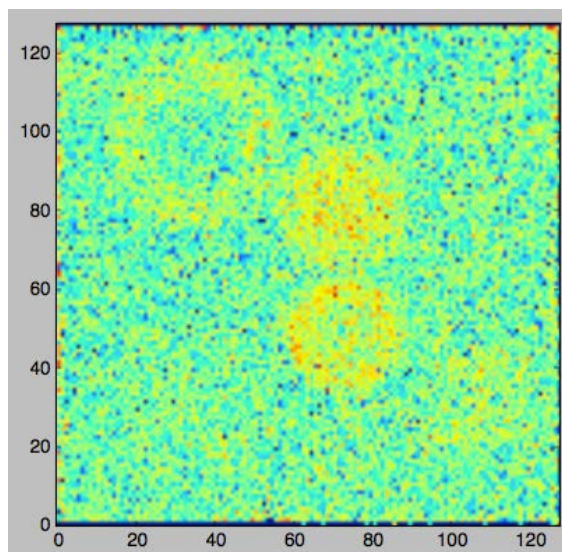
Co(13 $\mu$ s ~ 18 $\mu$ s)



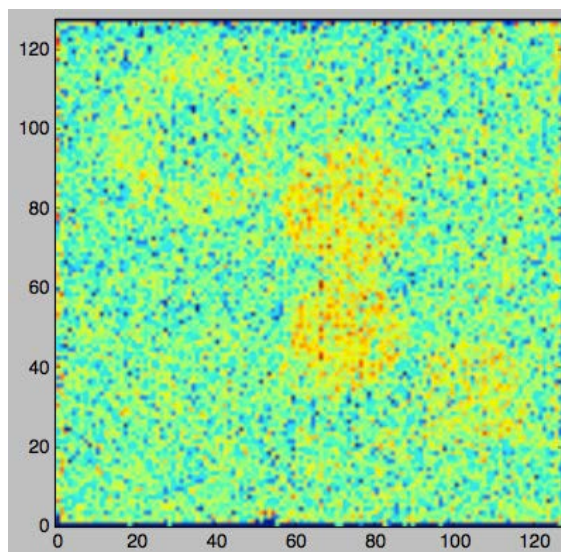
Cu(26.5 $\mu$ s ~ 29 $\mu$ s)



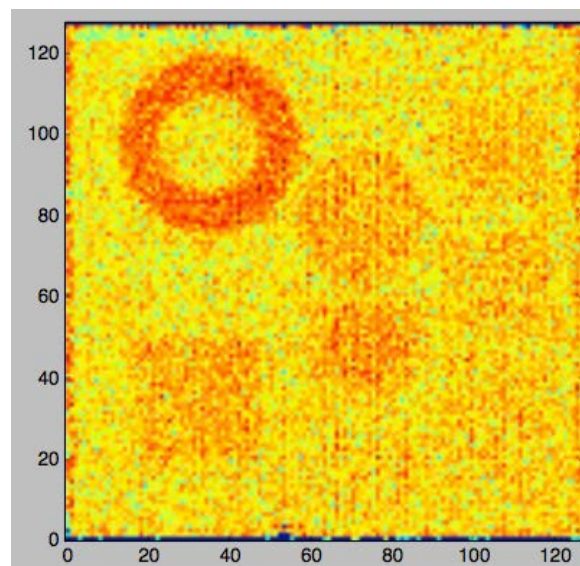
Cu(22.5 $\mu$ s ~ 25 $\mu$ s)



Cu(53 $\mu$ s ~ 55 $\mu$ s)

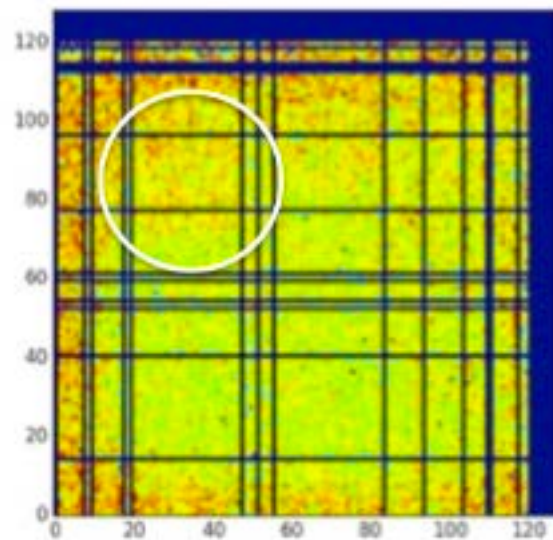


Mn(70 $\mu$ s ~ 75 $\mu$ s)



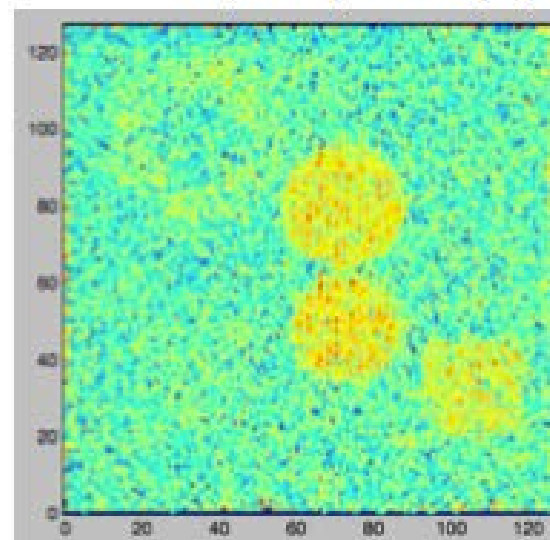
BL10での取得画像(データ量120Mevents)

Cu試料(24.5~26.1 $\mu$ s)

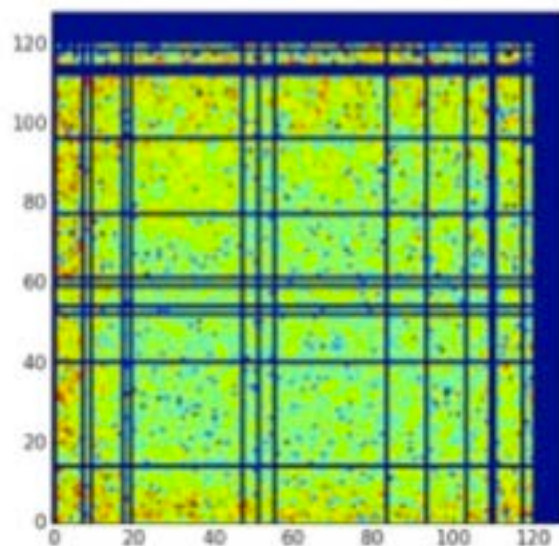


今回の取得画像(データ量854Mevents)

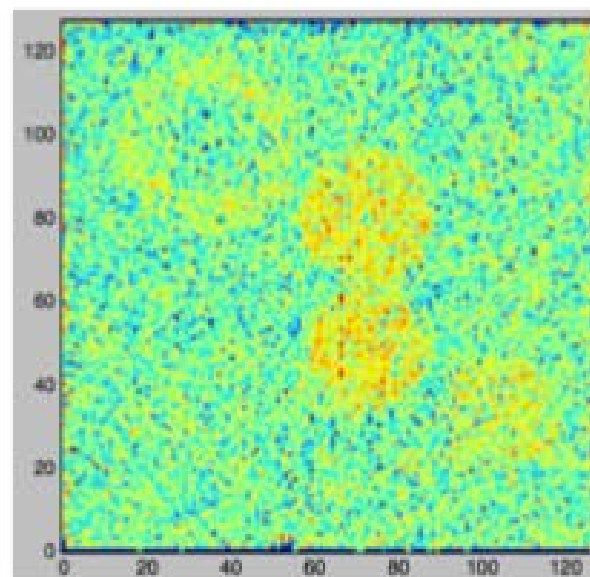
Cu(26.5 $\mu$ s~29 $\mu$ s)



Cu試料(44.7~45.1 $\mu$ s)

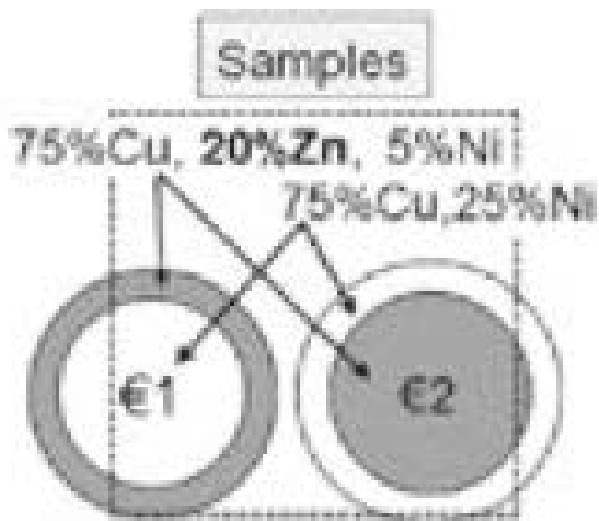


Cu(53 $\mu$ s~55 $\mu$ s)

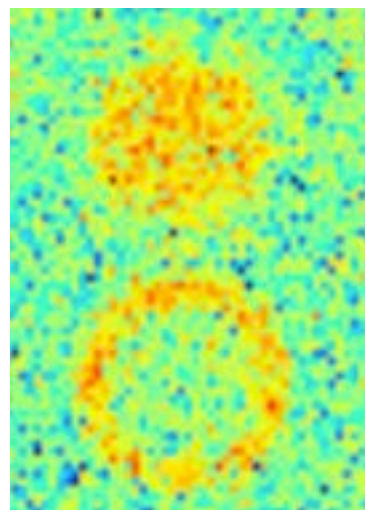
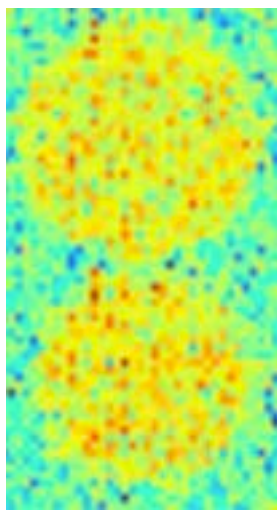
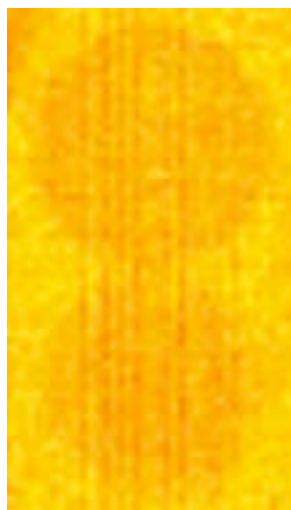
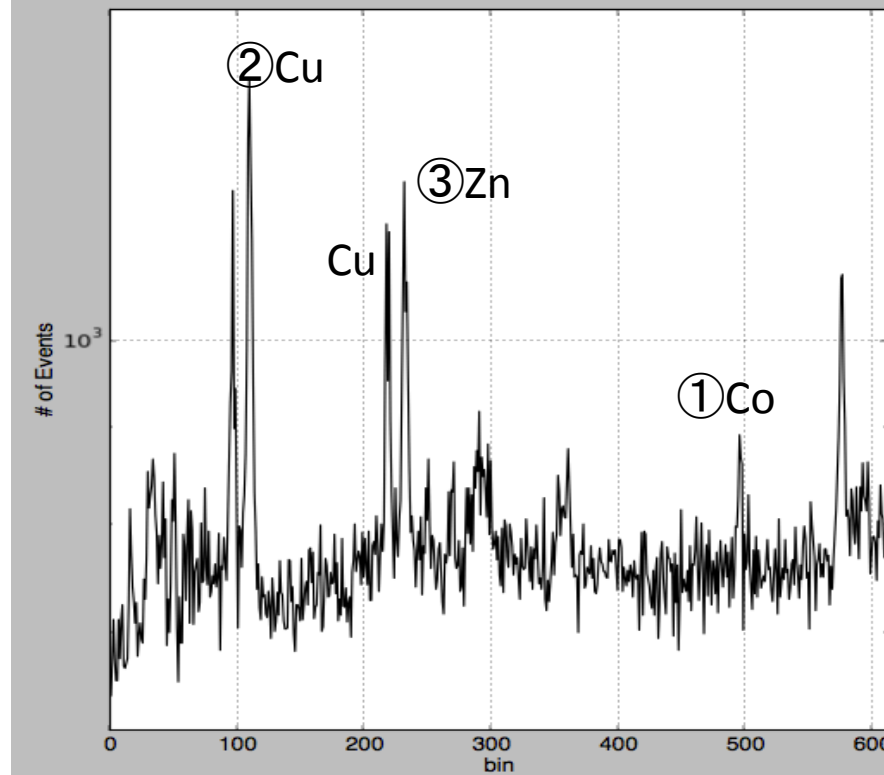




# EUROコイン



CoはNi原料中に含有



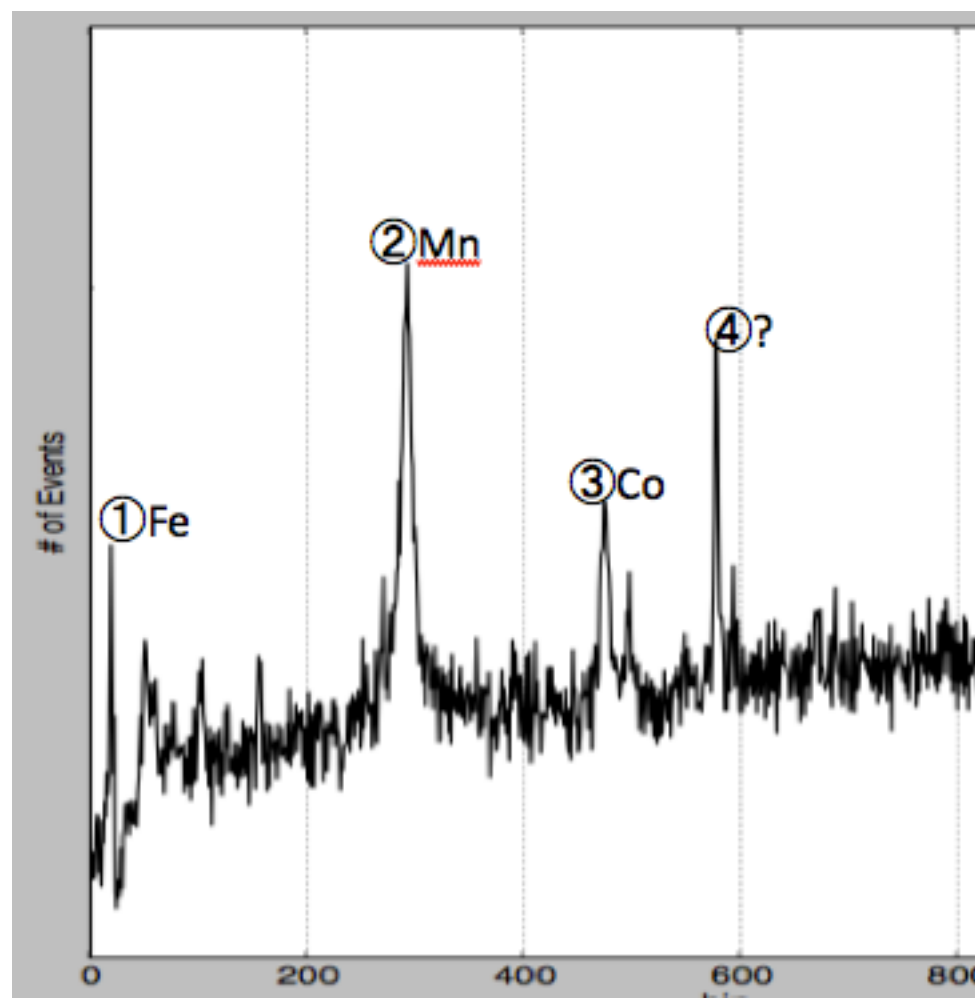
①Co( $100\mu\text{s} \sim 137\mu\text{s}$ ) ②Cu( $26.5\mu\text{s} \sim 29\mu\text{s}$ ) ③Zn( $56.5\mu\text{s} \sim 58.5\mu\text{s}$ )

# SUS304の主な化学成分

(単位: %)

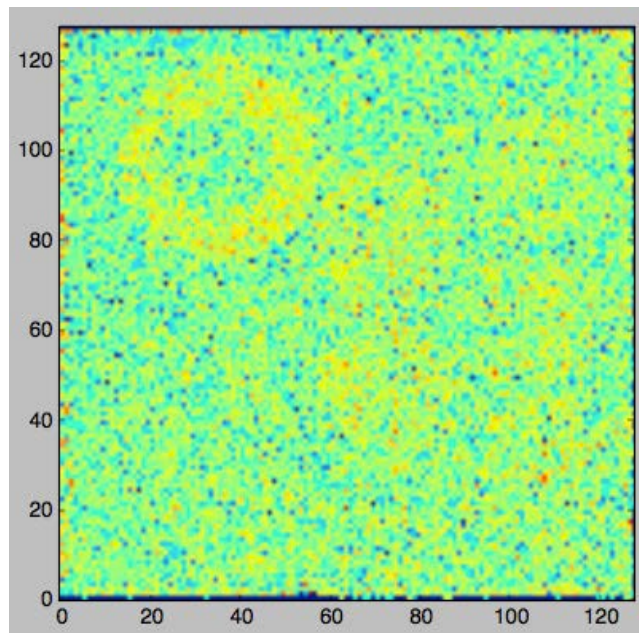
Fe	Ni	Cr	<u>Mn</u>
68~73	8~10	18~20	~2

(CoはNi原料中に含有)

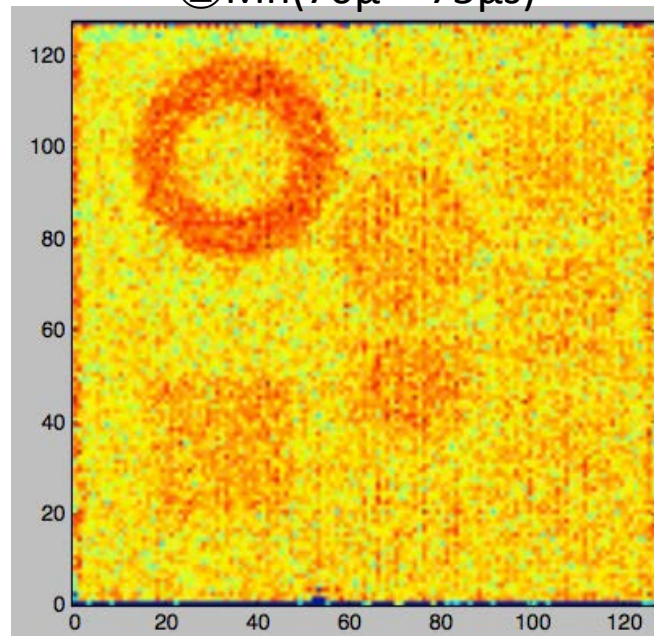




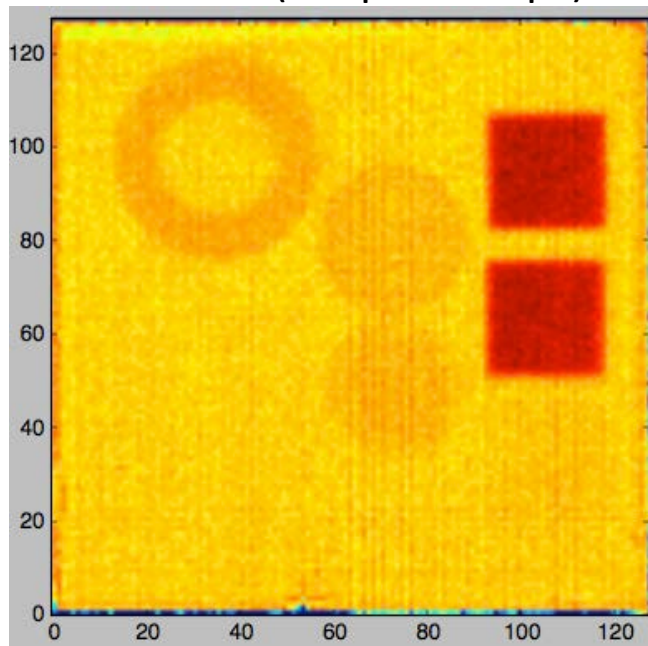
① Fe( $3.0\mu\text{s} \sim 5.5\mu\text{s}$ )



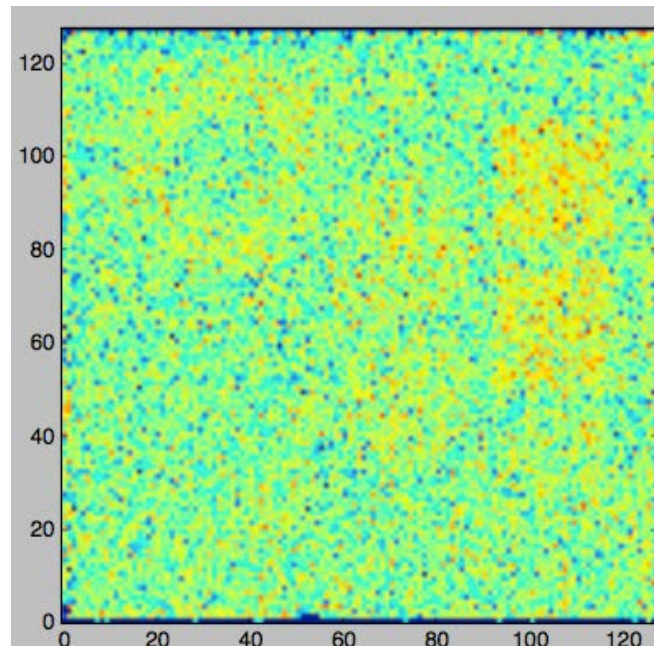
② Mn( $70\mu \sim 75\mu\text{s}$ )



③ Co( $100\mu\text{s} \sim 137\mu\text{s}$ )



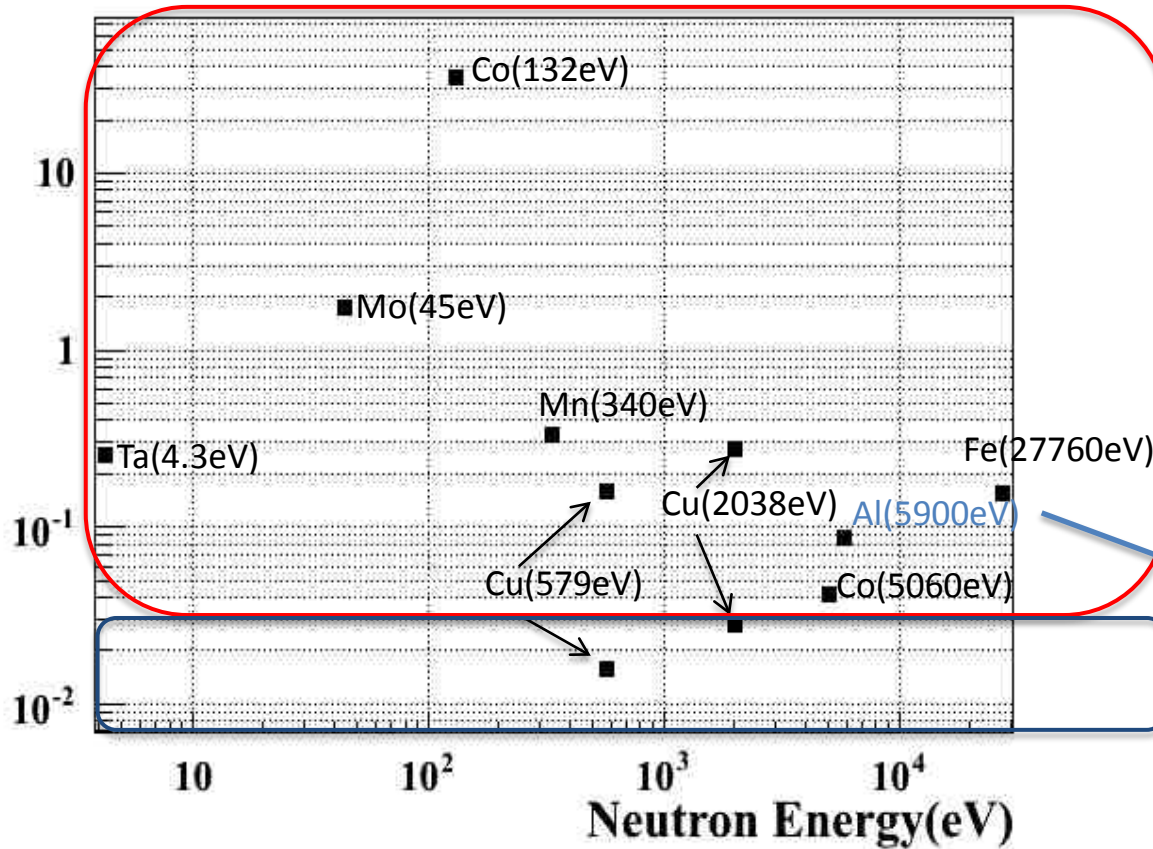
④ ? ( $142\mu\text{s} \sim 145\mu\text{s}$ )





# イメージング可否の指標(BL10)

Cross Section index



イメージング成功グループ

イメージング失敗グループ

→今回はこのグループもイメージング出来た？

$$\text{Cross Section index} : \sum p \times T \times dE / E$$

$\Sigma p$  : 共鳴ピークでのピーク巨視的断面積( $\text{cm}^{-1}$ )

T : 試料の厚さ( $\text{cm}^{-1}$ )

dE : 共鳴ピークの半値幅(eV)

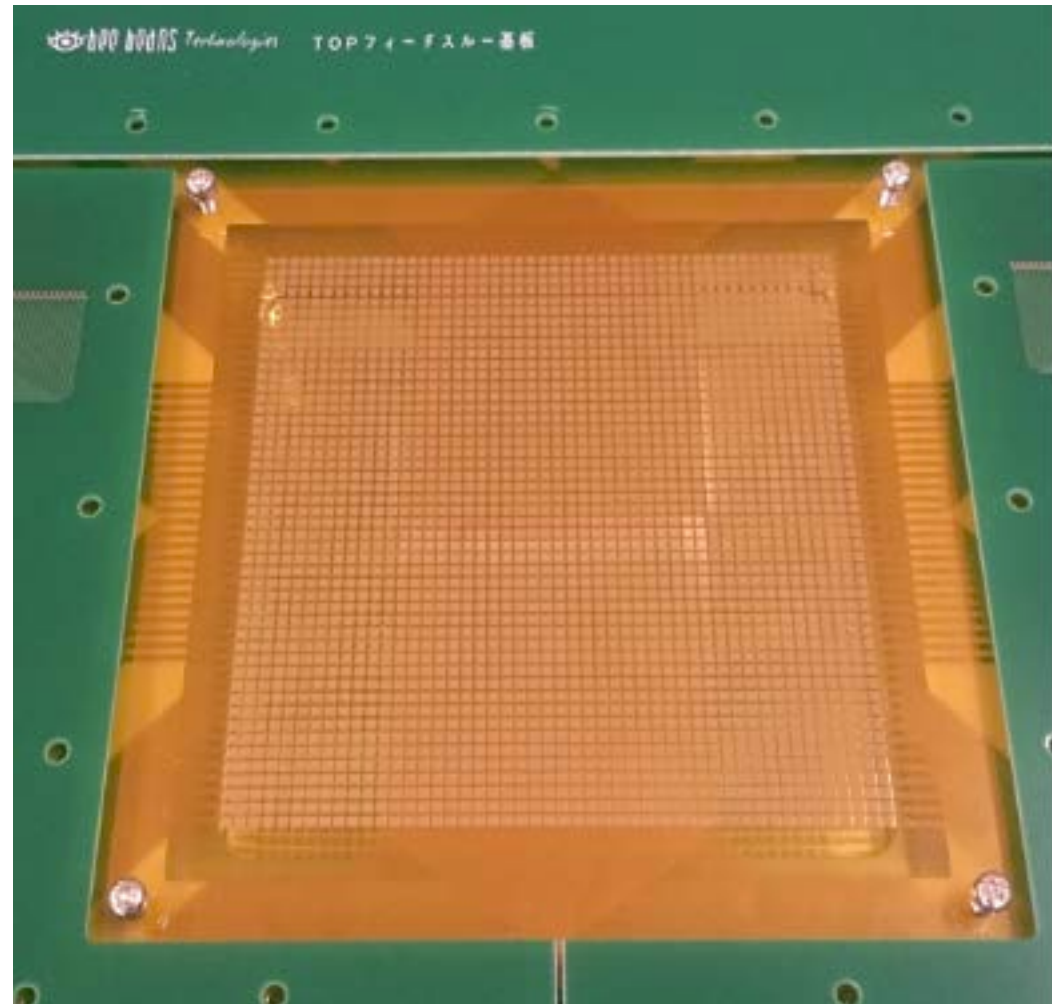
E : 共鳴ピークのエネルギー(eV)

# まとめ

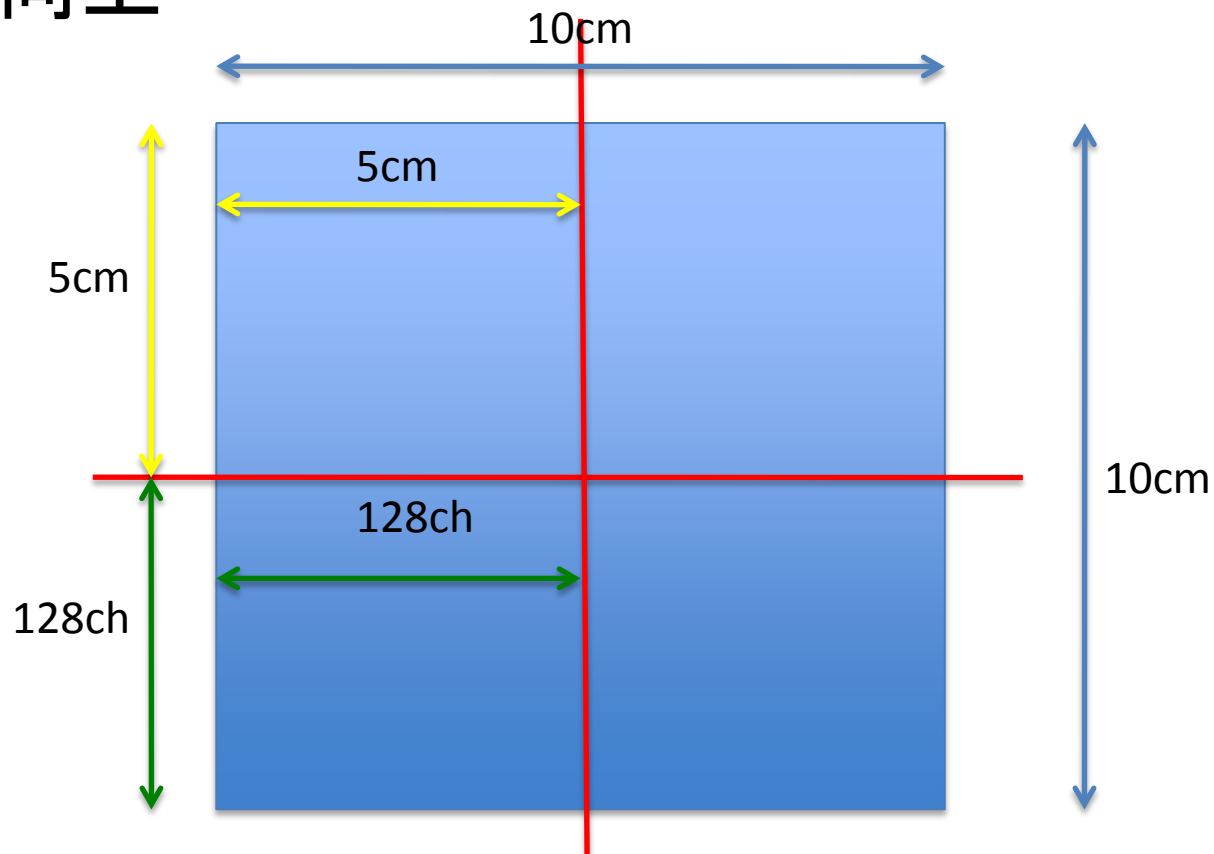
- メモリ付きボードの性能評価を行った
- テストパルスでは12.4MHzで頭打ちとなった(期待の半分程度)
- X線照射実験ではビームをしぼると5.8MHzまで転送レートが上がった
- データ受け取り側のPCの性能に問題あり?
- BL22で中性子照射実験を行った
- 最大レートは2.2MHz程度
- メモリがうまく使えていない可能性がある
- 共鳴吸収画像をうまく取得できた

# 今後

- 読み出しをストリップ方式からパッド方式に変更することでレートの向上
- $48 \times 48 = 2304$  ch となり、9枚のボードが必要
- 位置分解能も悪くなる



- 読み出しを $5 \times 5$ の領域で4分割
- 1つの領域は現在と同じ $128 \times 128$ のストリップ方式で4枚のボードを使用
- ストリップ幅を現在の半分にし、位置分解能は向上

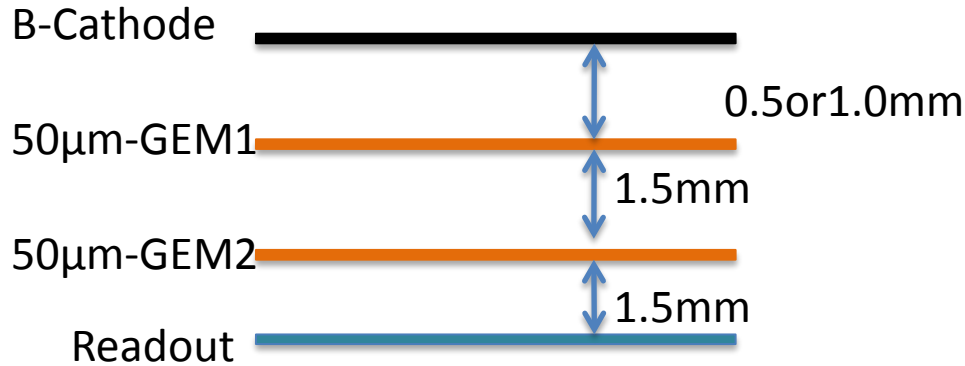


おわり



Back Up

# 位置分解能



左下: BL22、1.0mm

$\sigma$ : 0.74 mm

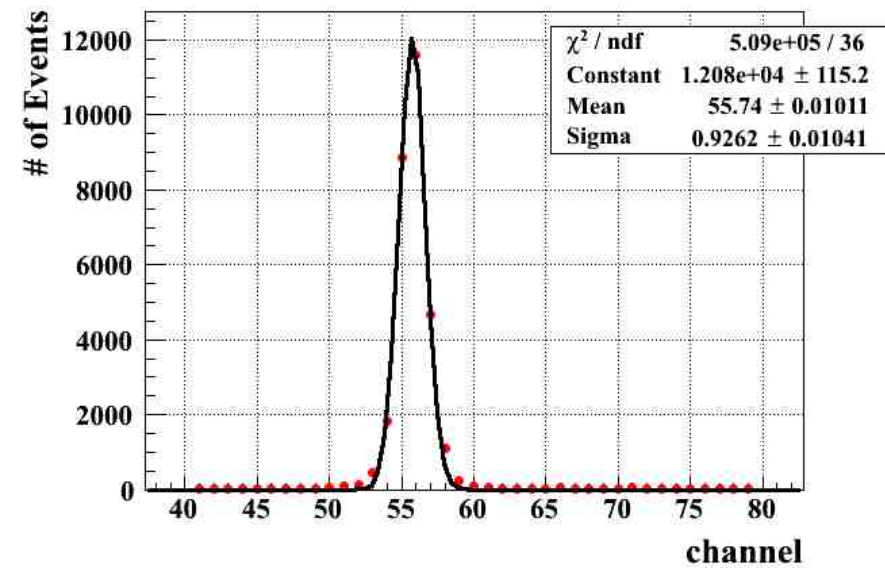
FWHM: 1.74 mm

右下: 北大LINAC、0.5mm

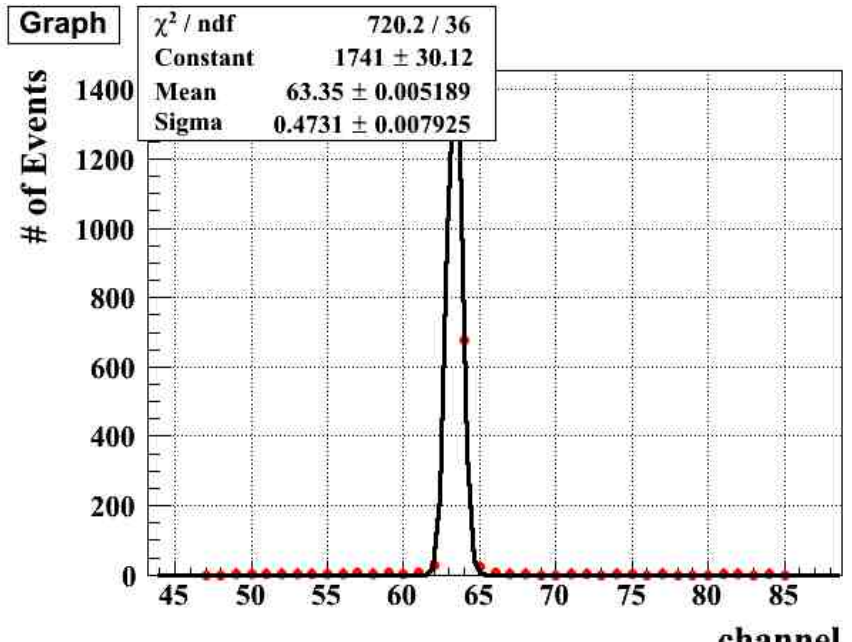
$\sigma$ : 0.35 mm

FWHM: 0.82 mm

Graph



Graph



# FE2010

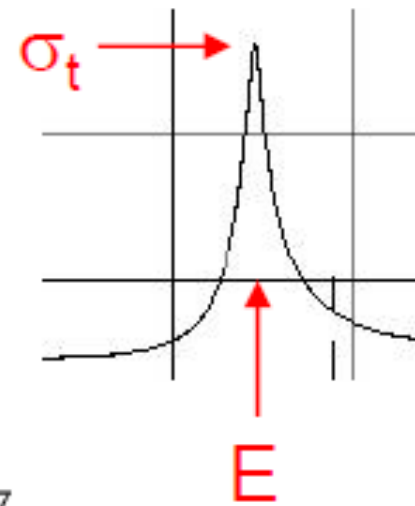
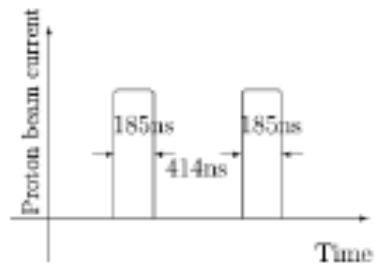
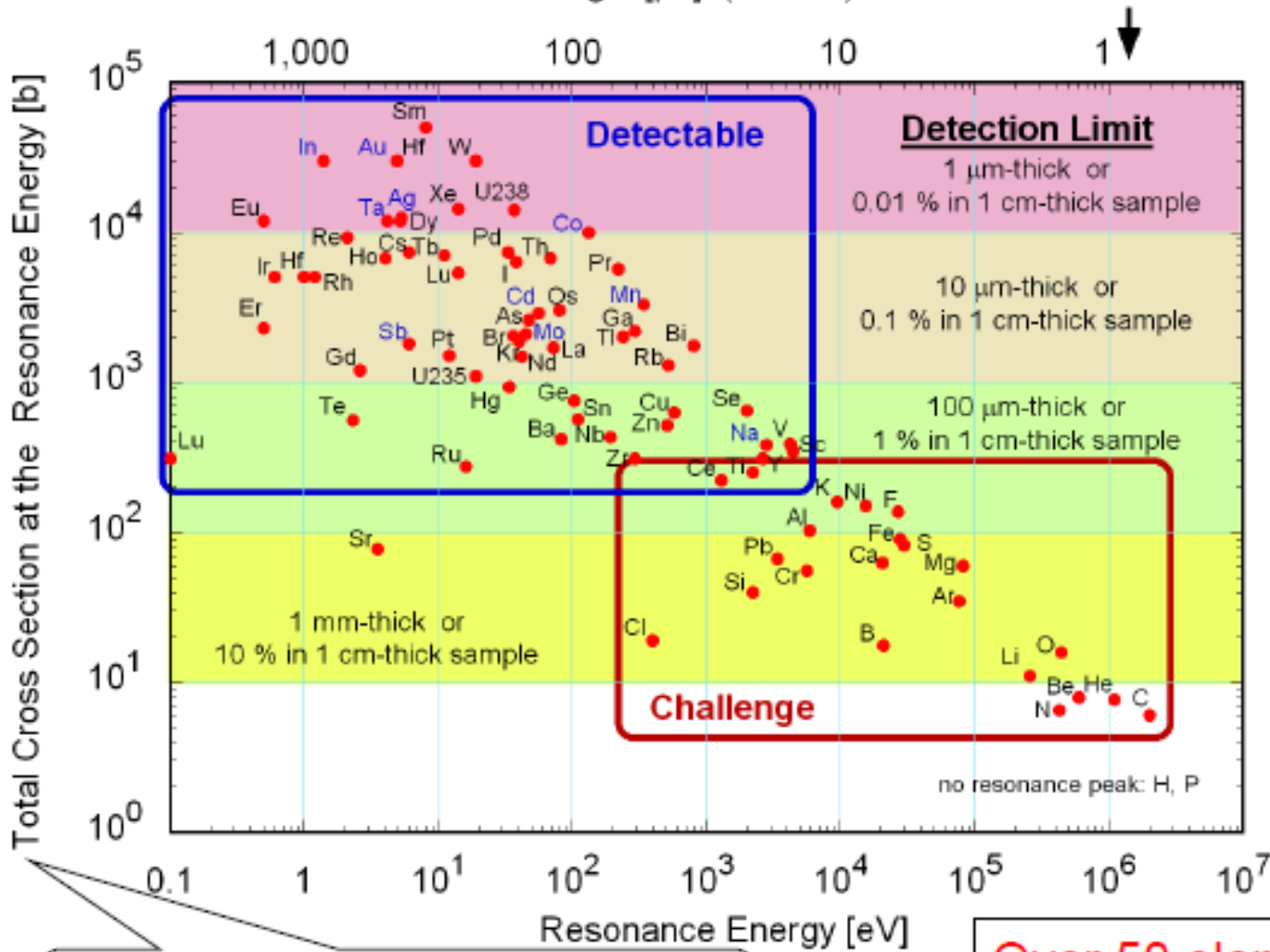
- ◎ FE2009でVthを調整しきれない問題を解決
- ◎ 変更内容
  - DAC調整範囲調整機能
    - ・ 1bitの変化量を調整可能
  - 正負両信号に対応
    - ・ レジスタによる切り替え
  - アナログモニタ用バッファの時定数を変更
    - ・ オーバーシュートの改善

# Atlas of Resonance Peaks

前川 (JAEA)

Time of Flight [ $\mu\text{s}$ ] (L=14m)

proton pulse width: 0.7  $\mu\text{s}$



Should be (resonance peak area)  
or (peak value x width)

Over 50 elements out of 83  
are detectable.