

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^A

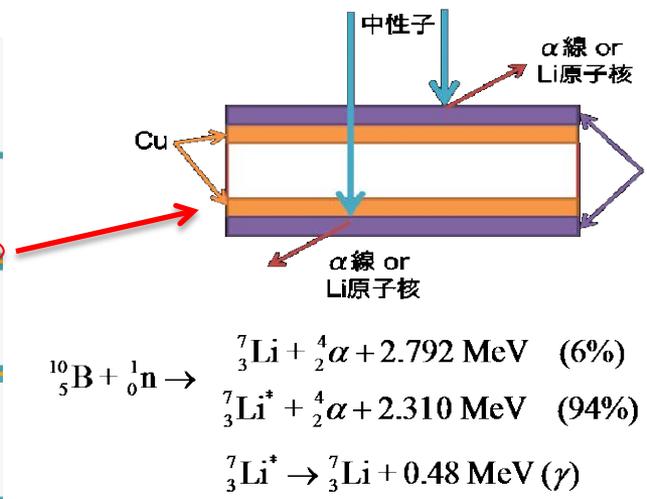
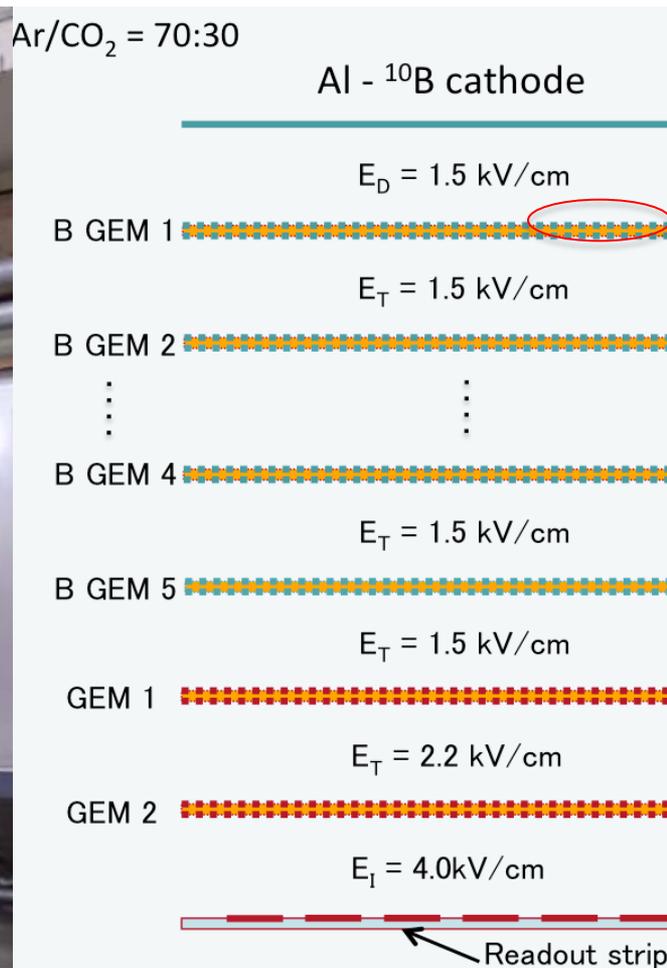
中野英一、宇野彰二^A

KEK測定器開発研究室 MPGDグループ

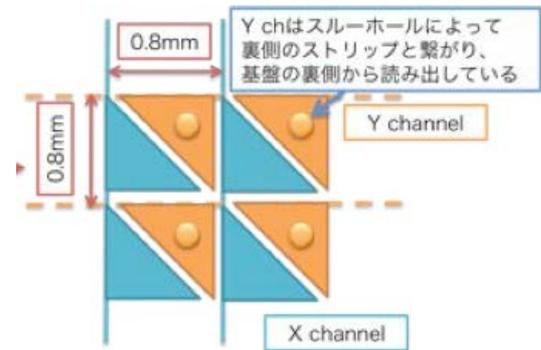
Introduction

- 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



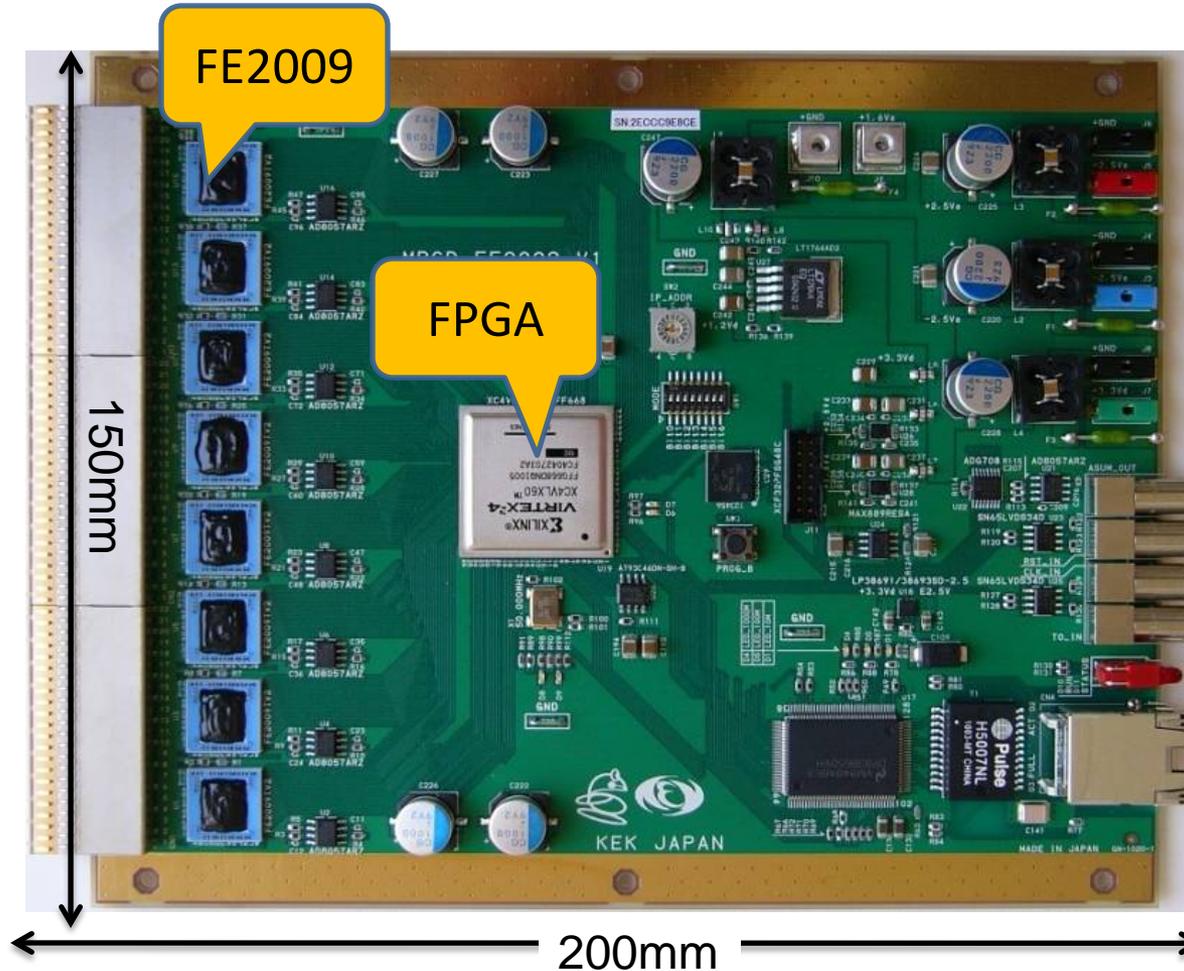
- ・読み出しはストリップ方式
- ・10cm × 10cmの領域で、x,yそれぞれ128本のストリップ
- ・256chの読み出し



従来のボード

ASD 32ch/chip with analog monitor

256 signal inputs



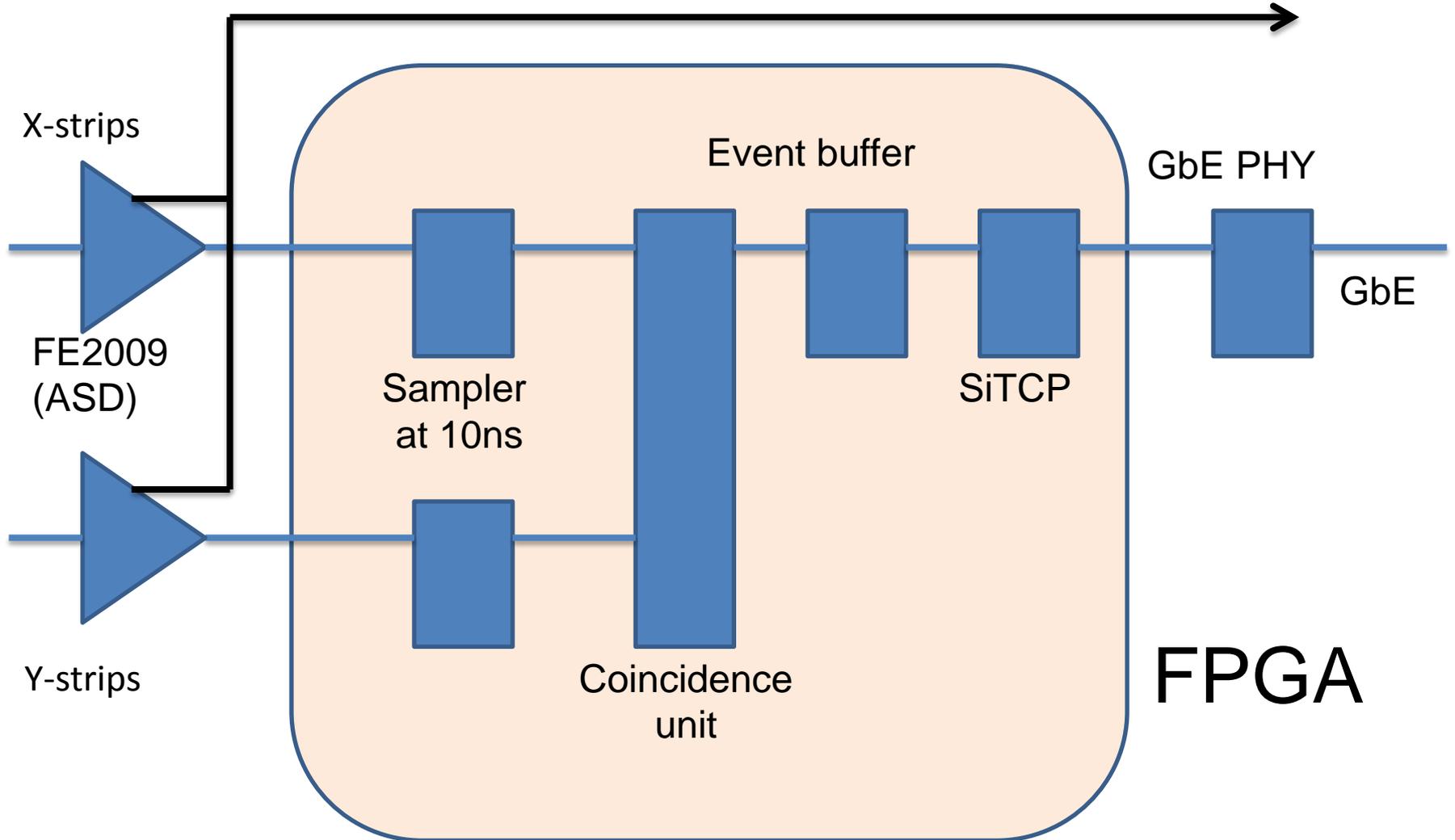
- +2.5V
(For ASICs)
- 2.5V
(For ASICs)
- +3.3V
(For Digital Circuit)

Analog Out
Reset In
Clock In
T0 In

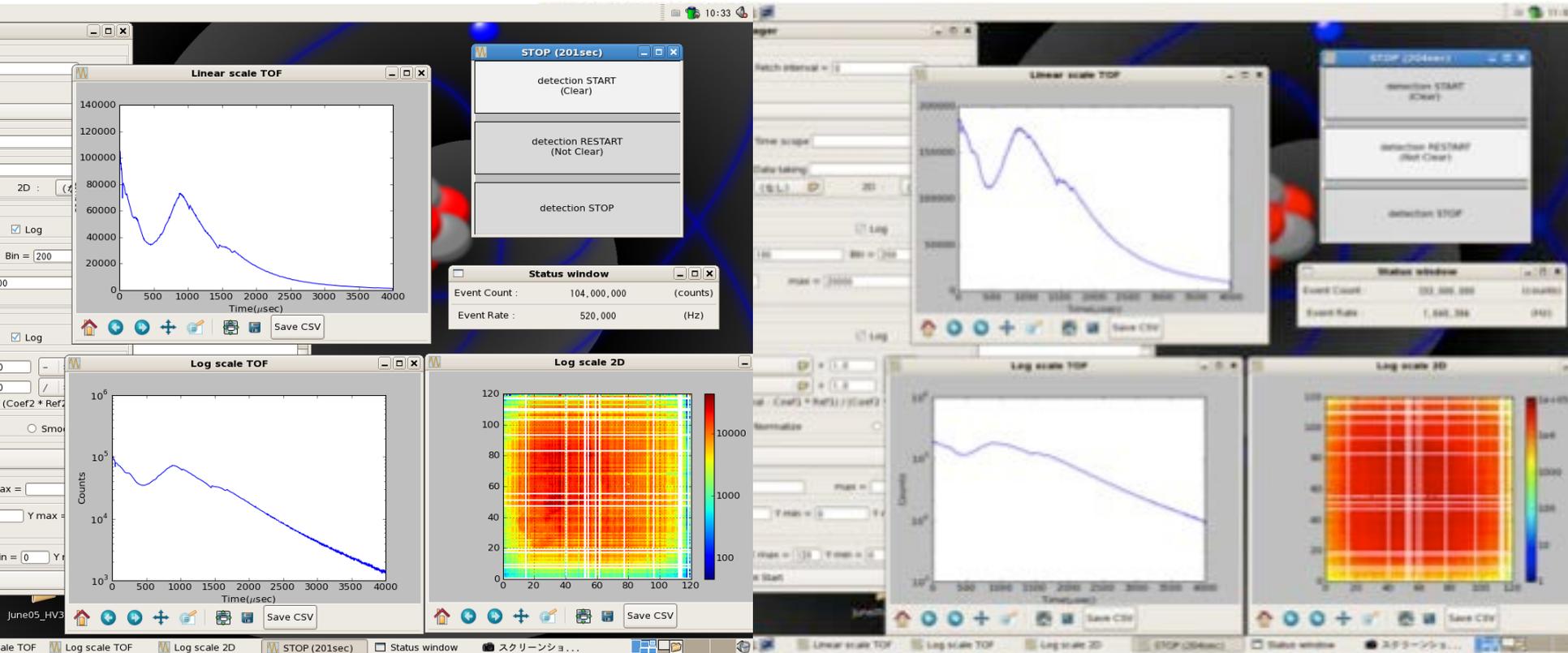
Gigabit Ethernet
Port

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

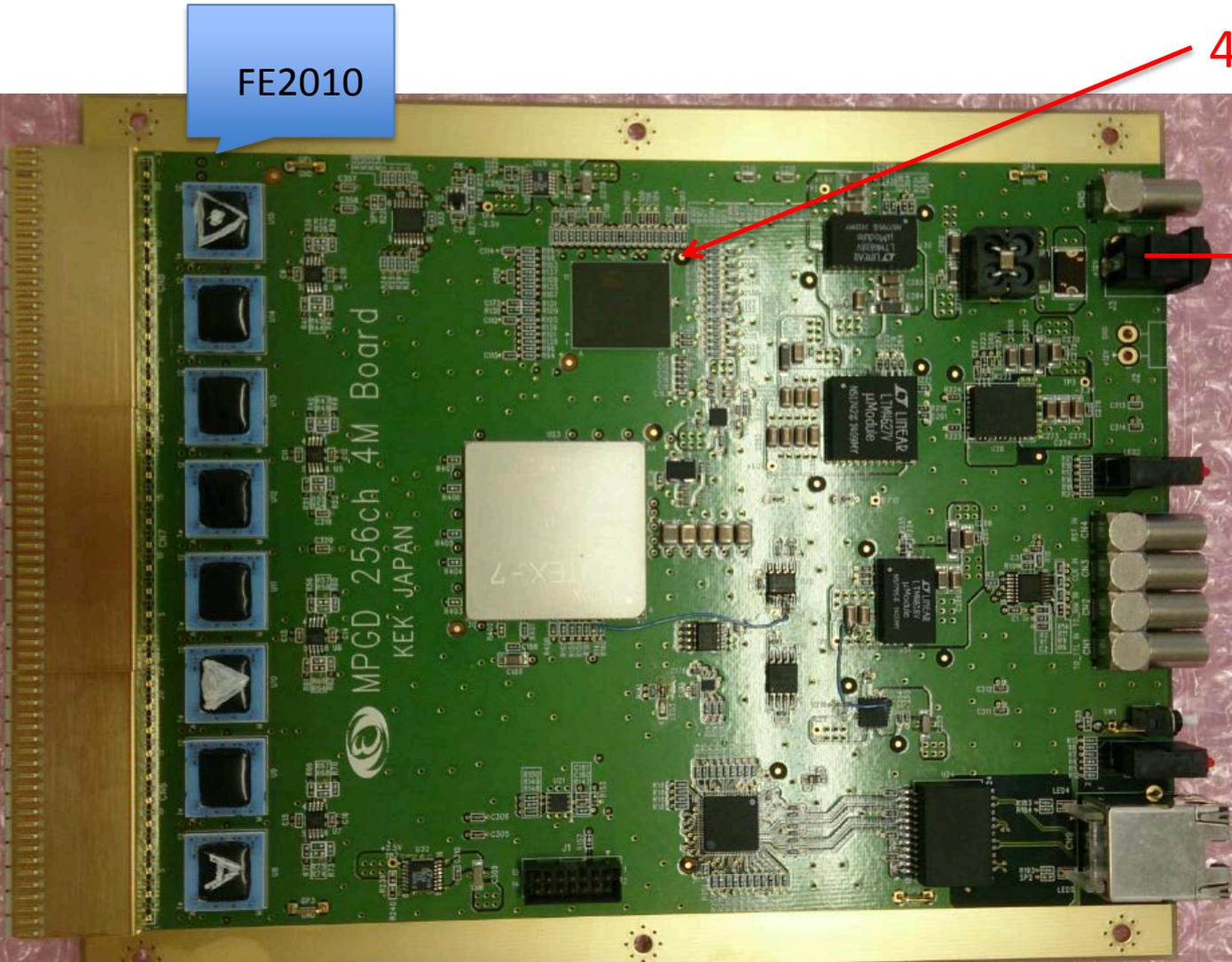
4MBのメモリを搭載

Analog Out

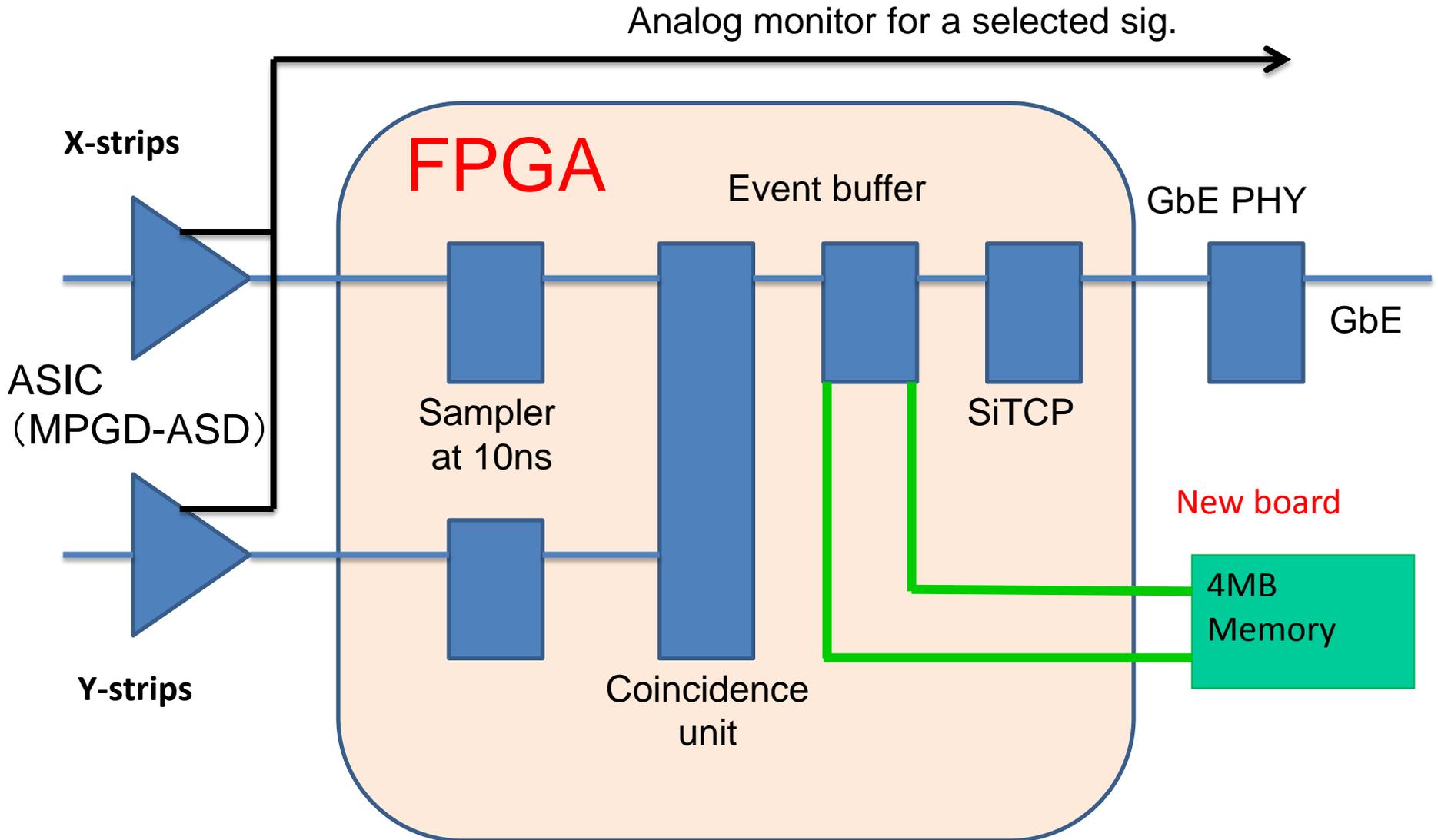
電源がシンプルに。
ノートPC用ACアダプ
タータイプが使用可
能。12V

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

Gigabit Ethernet
Port



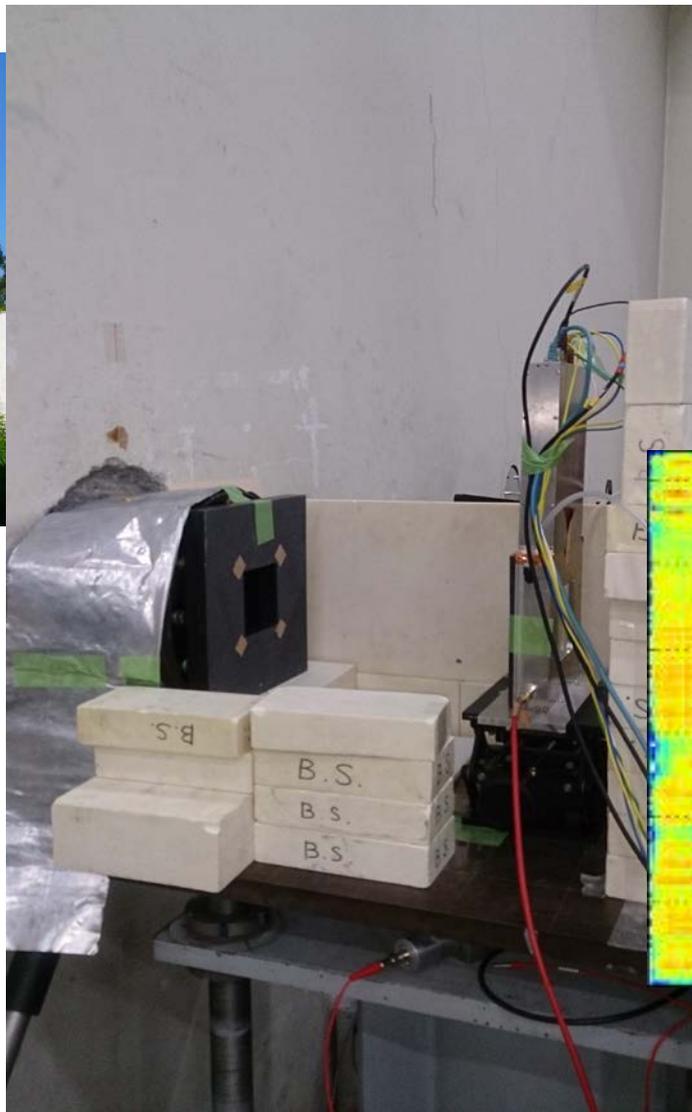
Block diagram



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

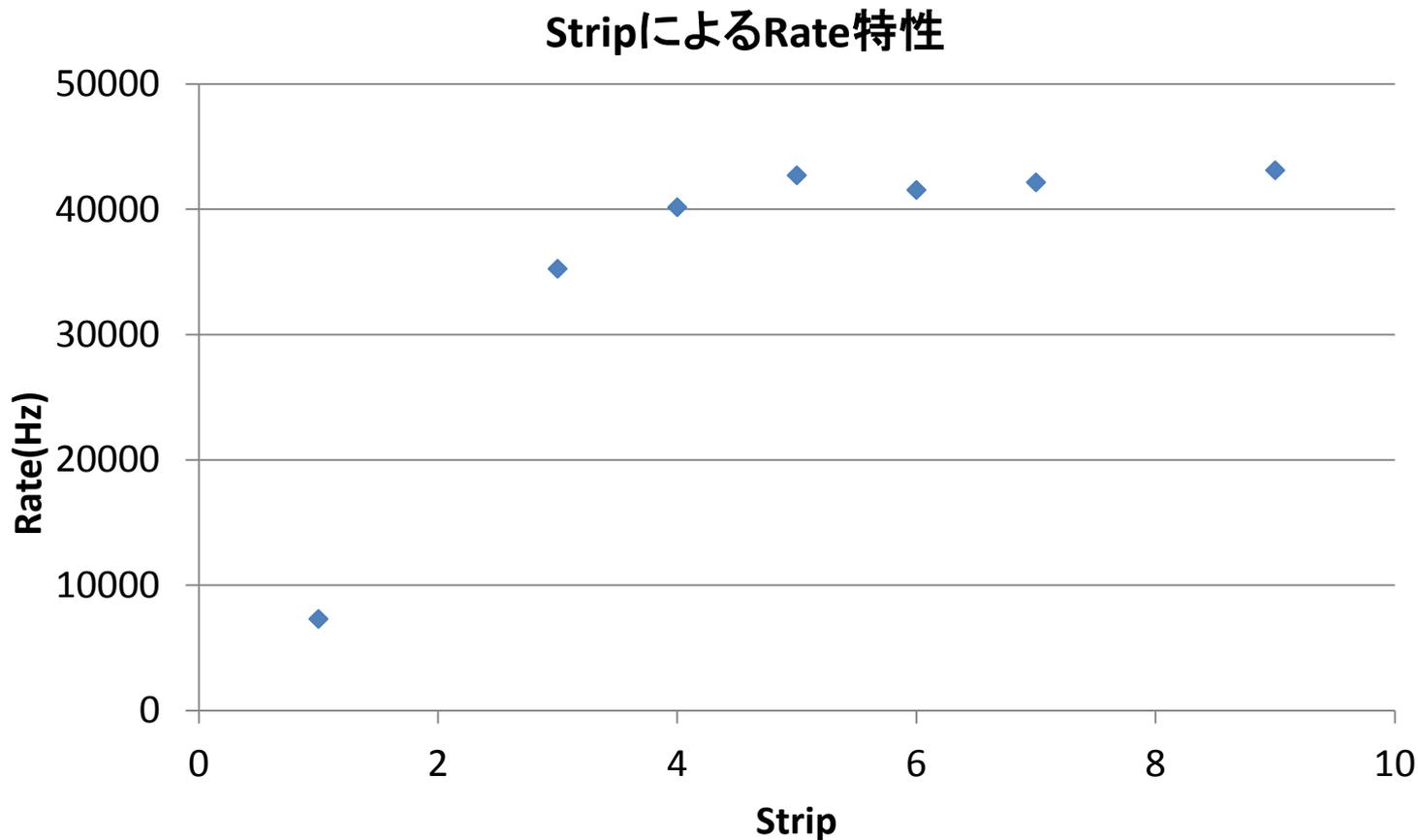
中性子照射実験@北大LINAC



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

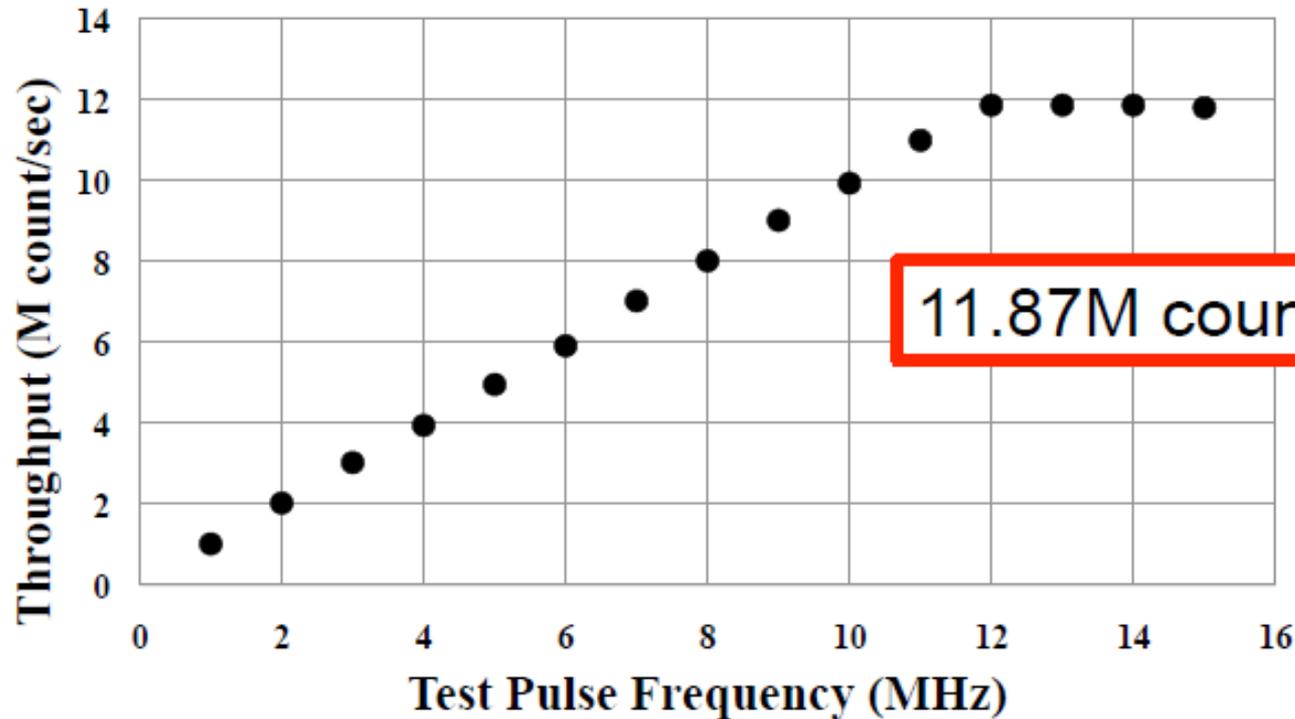
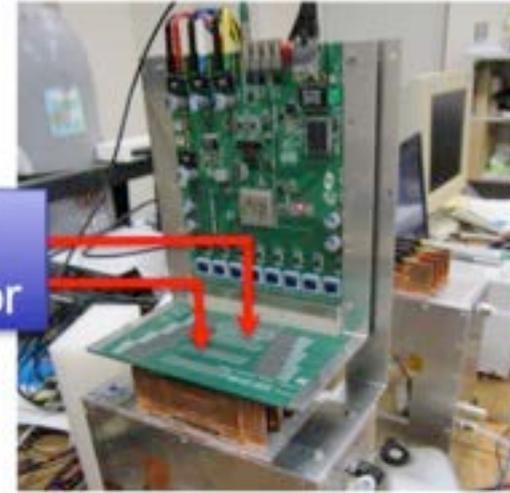
Test pulse

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

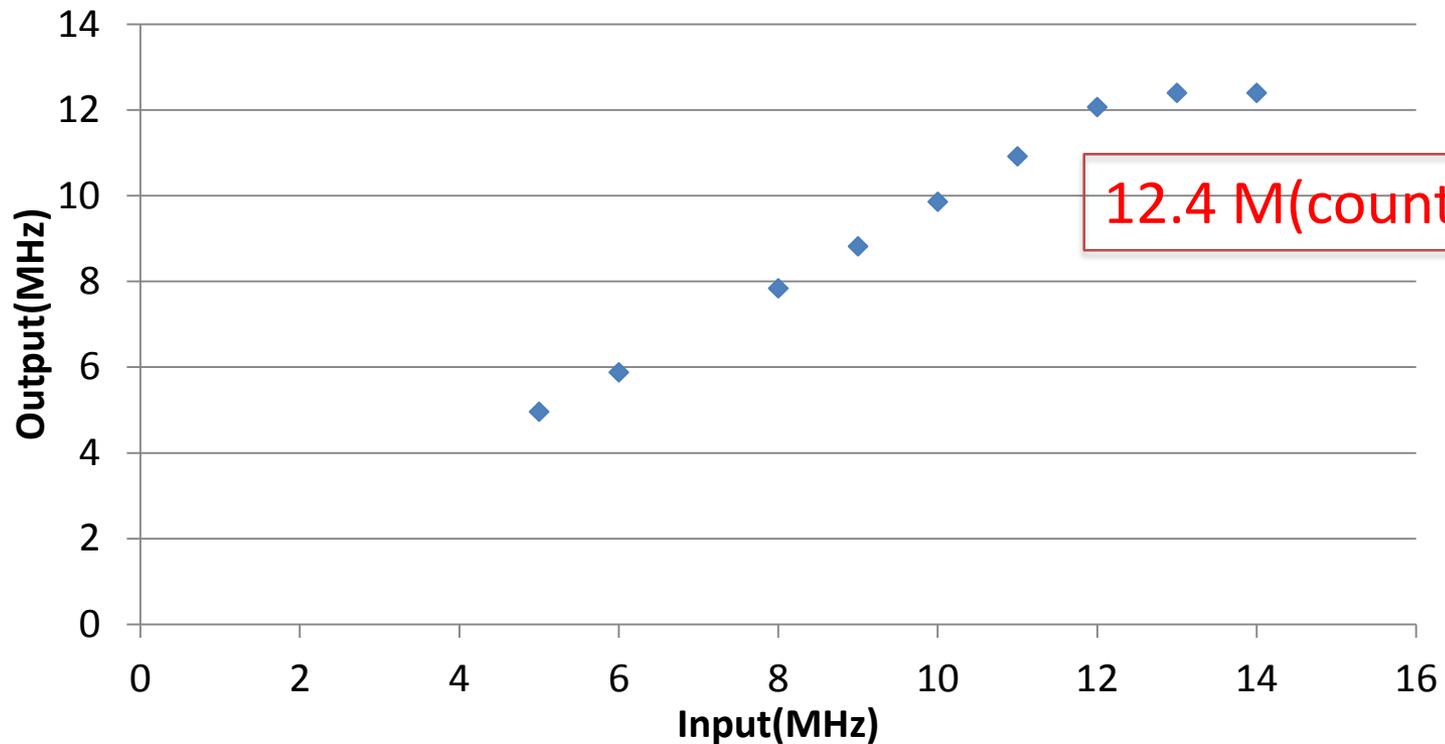


メモリ付きボードのテストパルスによるレート試験

メモリ付きボードのデータ転送レートは、理論的には

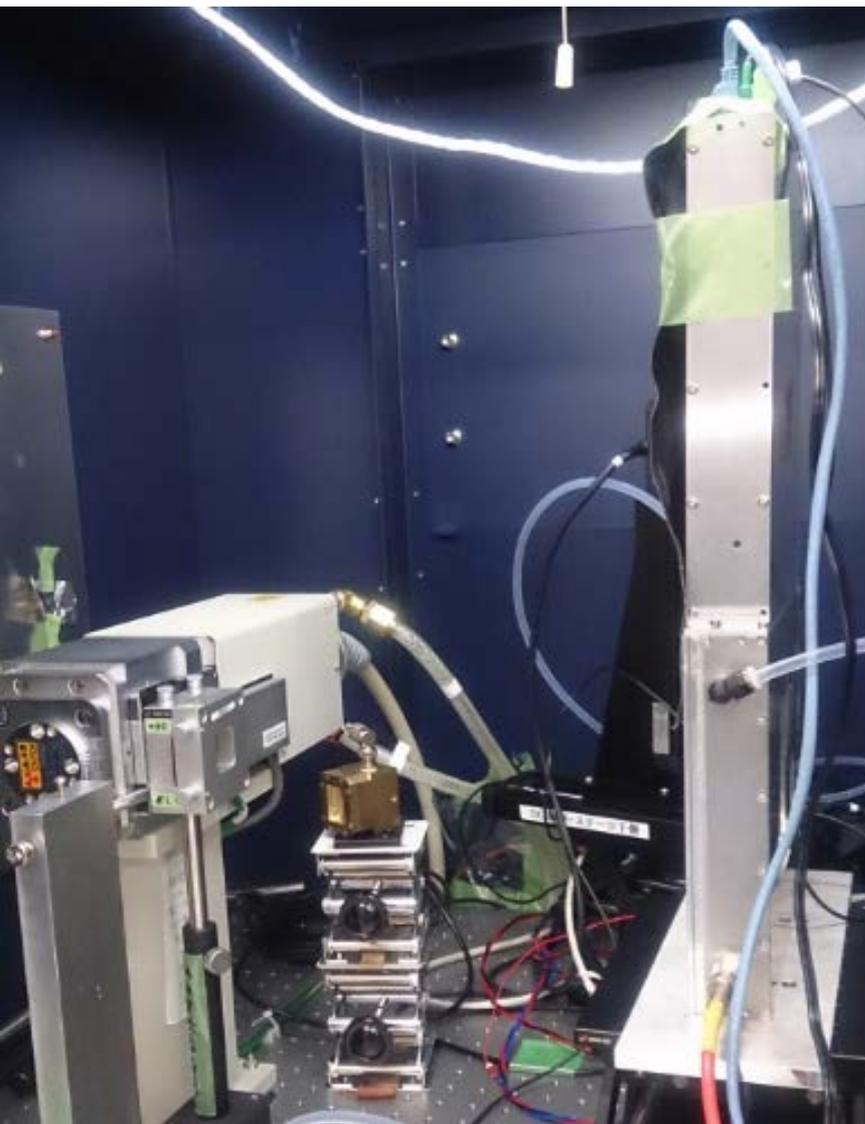
$$0.95\text{G (bps)} / 40 \text{ (bit/event)} = 23.75 \text{ M (count/sec)}$$

メモリ付きボードのレート特性(テストパルス)

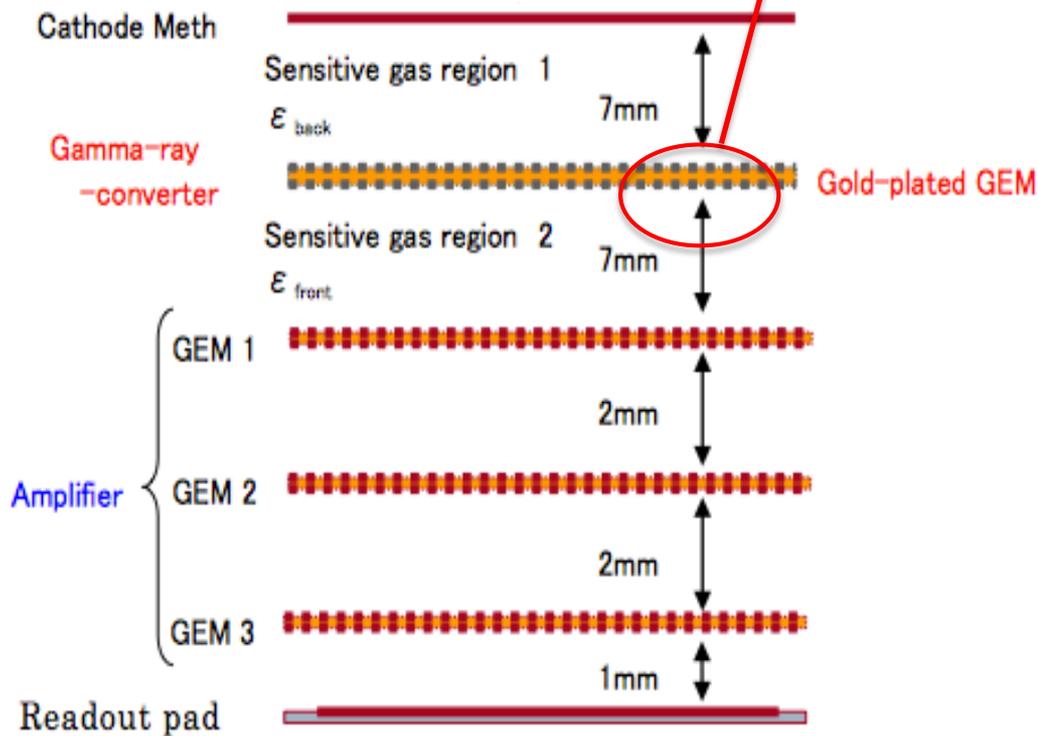
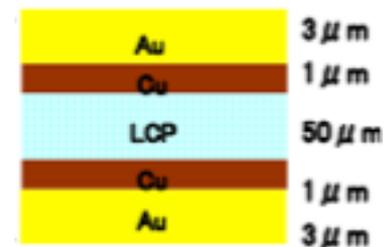


アナログ出力も12.4 MHzまで
→ 信号処理に問題??

X線照射実験

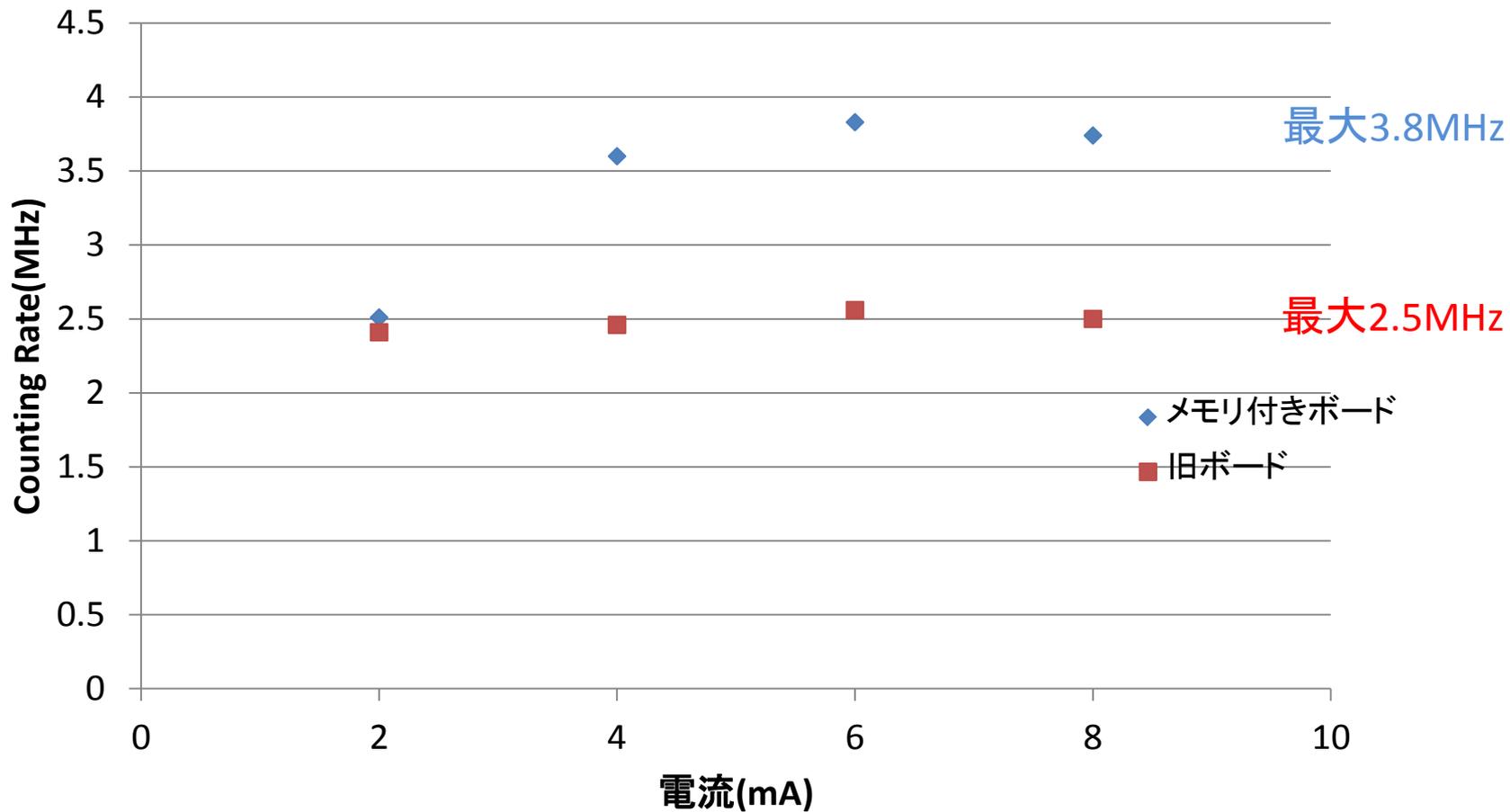


金GEMで電子に変換



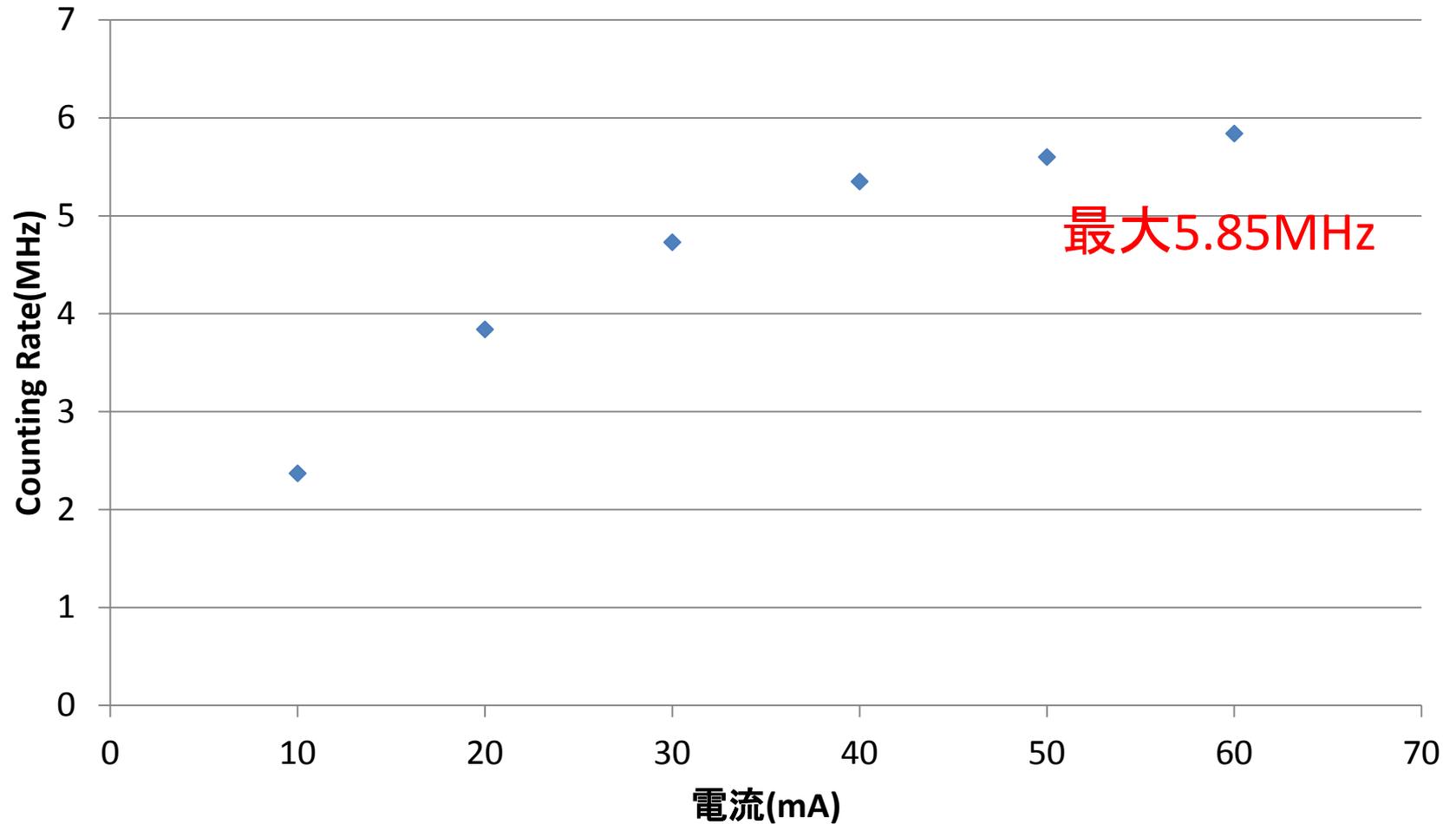
全面照射

Rate特性(X線)





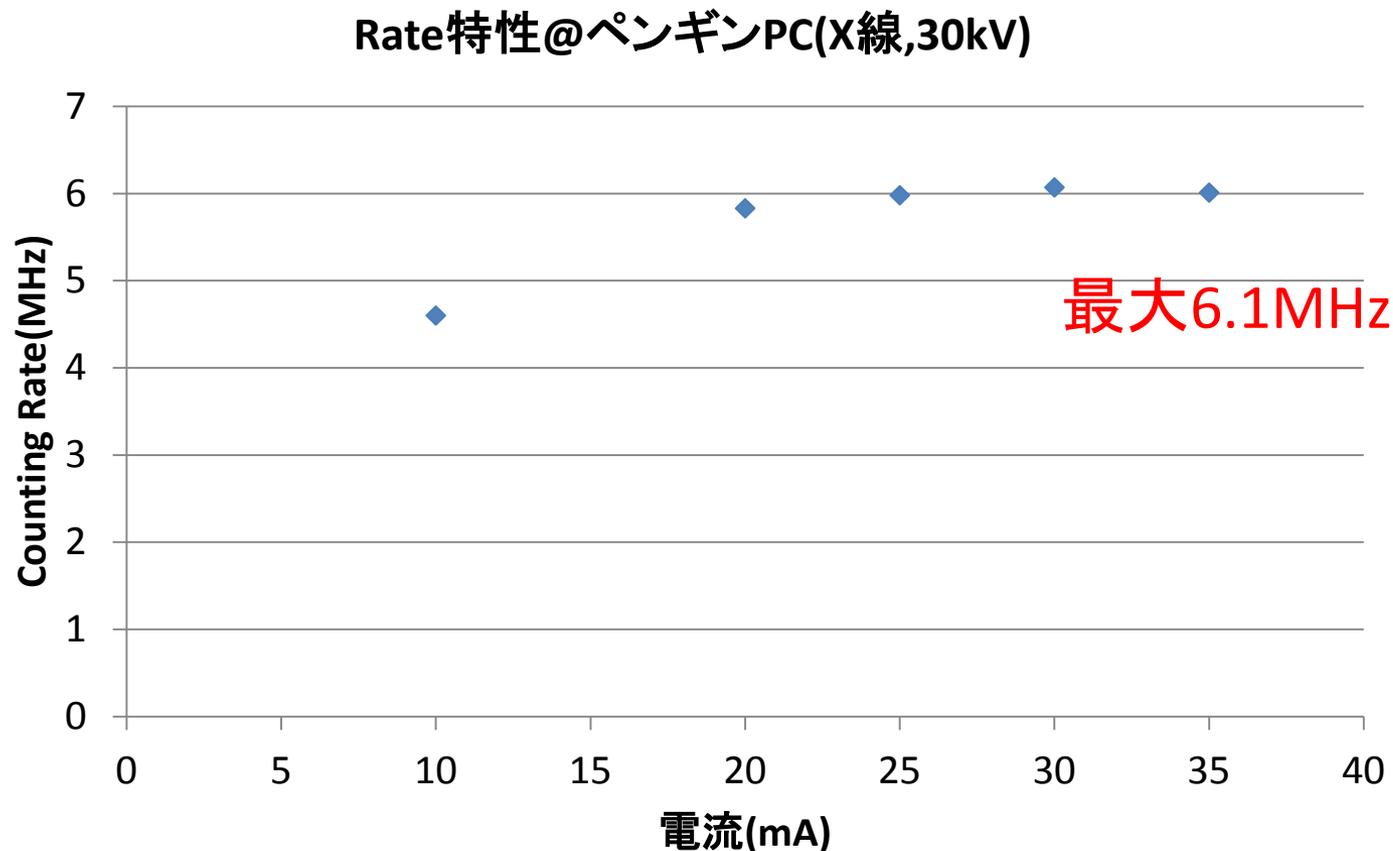
New Board Rate特性(X線@20kV)



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

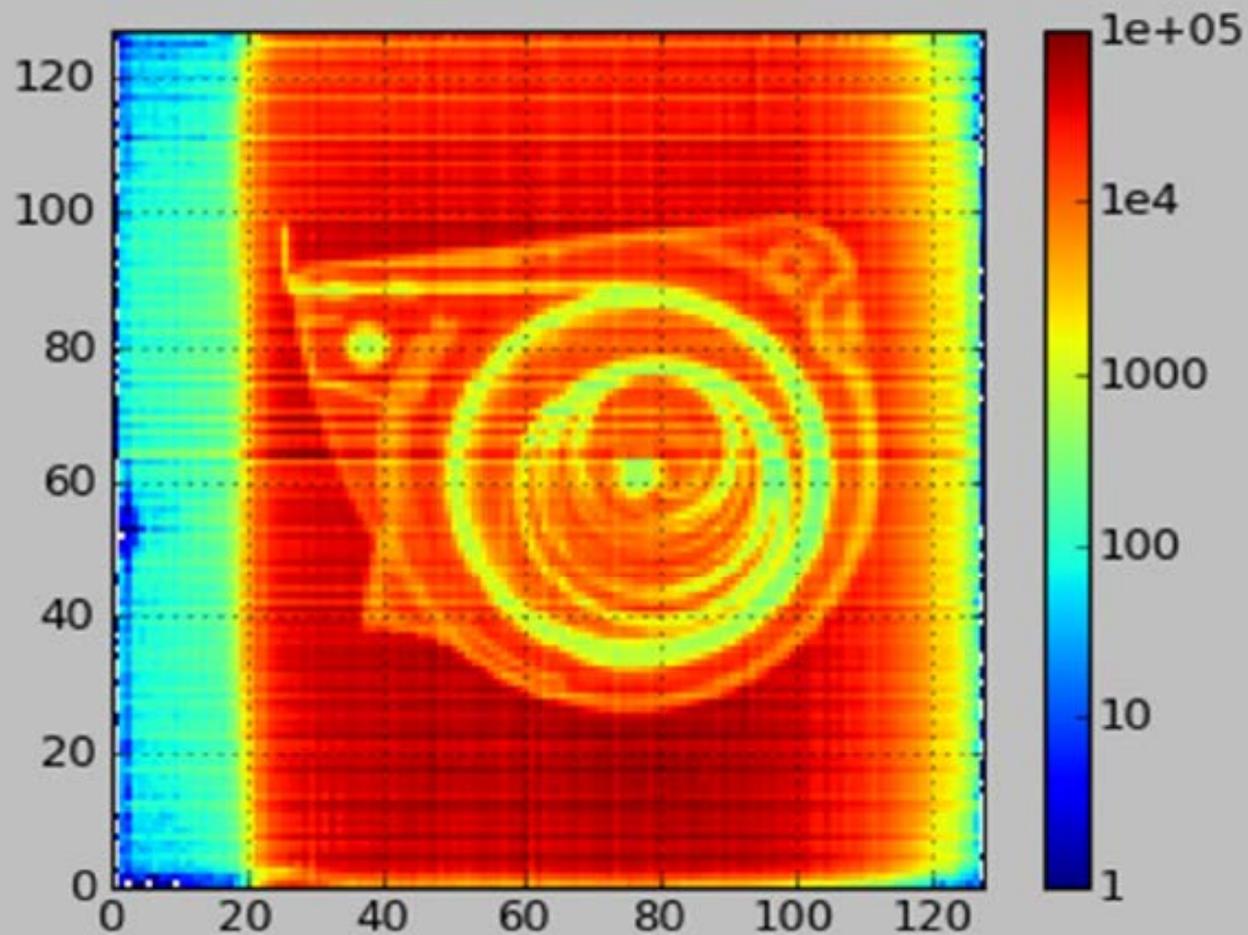
メモリの仕様

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

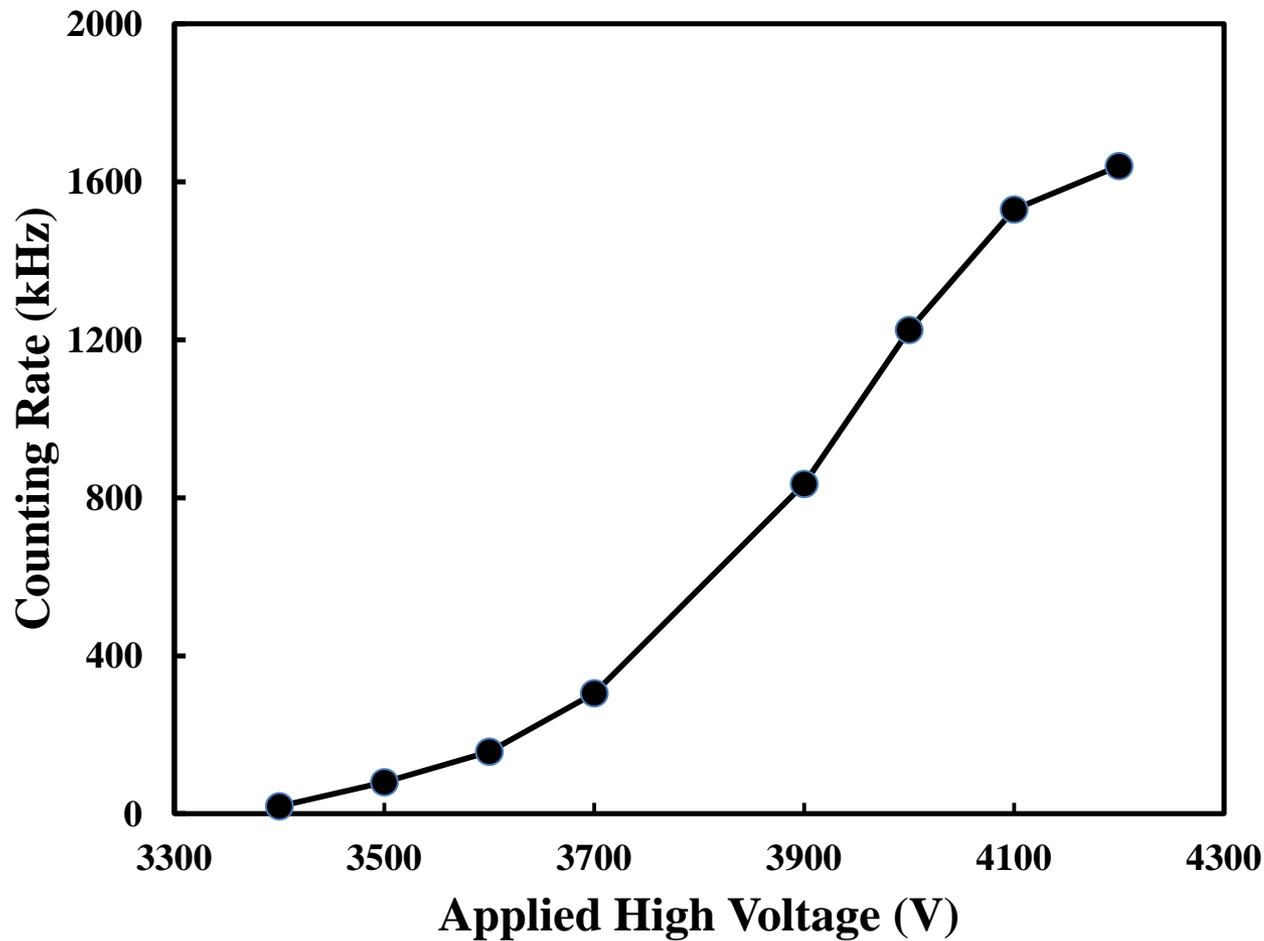
X線発生装置による画像



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 9.8×10^7 n/s/cm² 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)



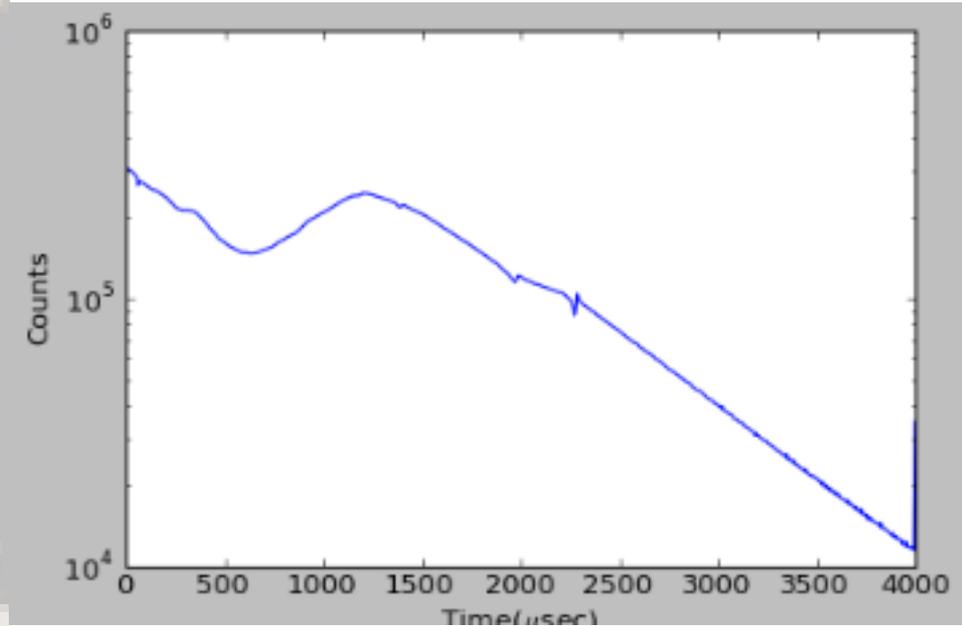
今回メモリ付きボード

2.2MHz(BL22)

1.6MHzでのTOF分布



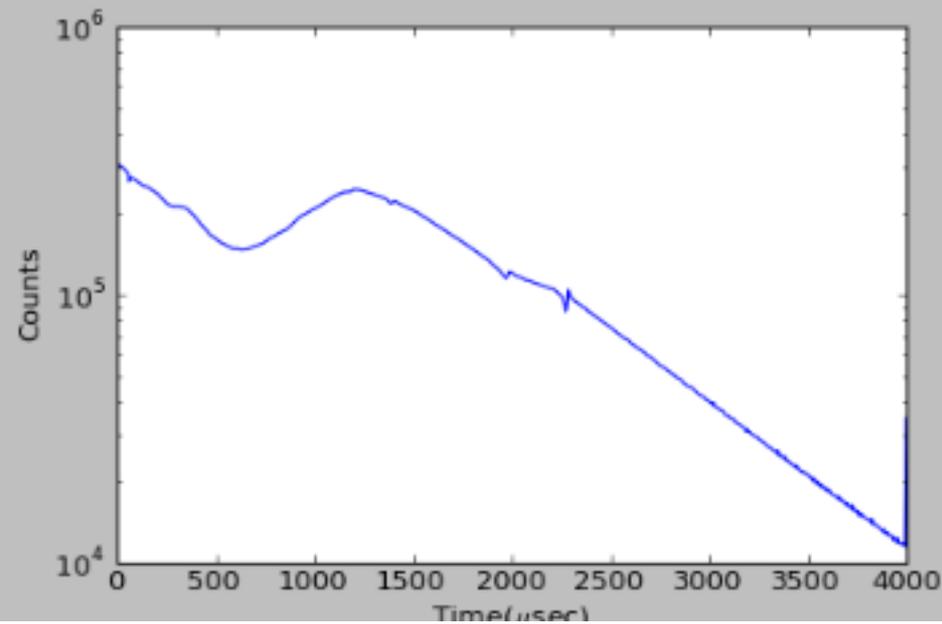
従来のボード



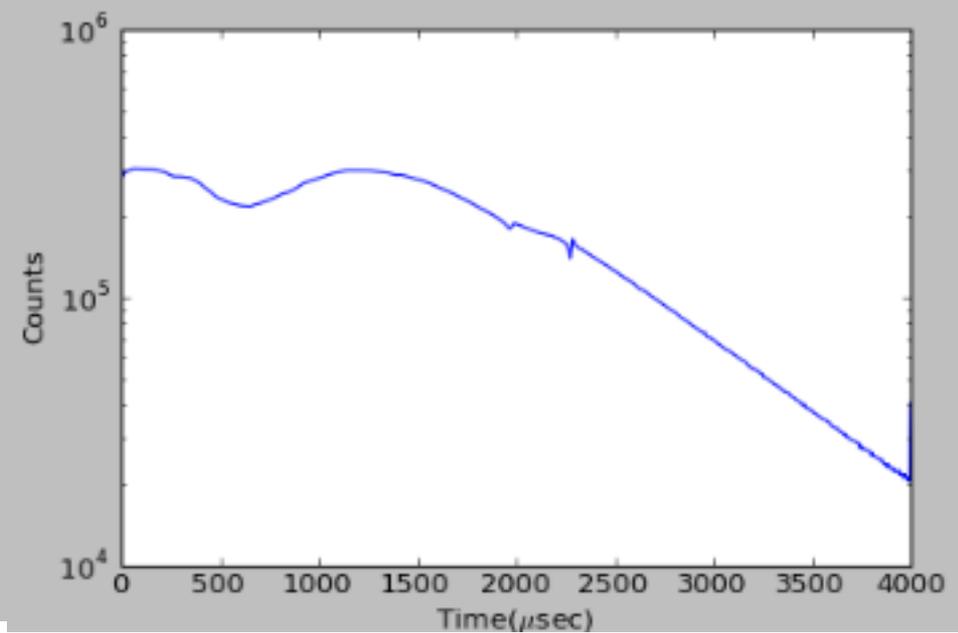
メモリ付きボード

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



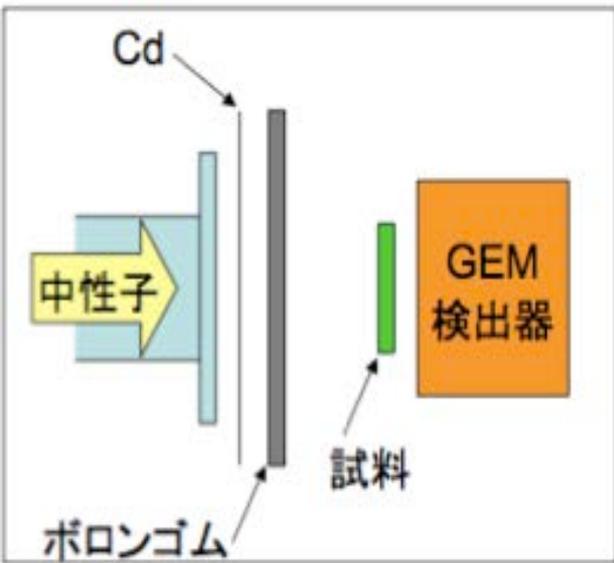
1.6MHz



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

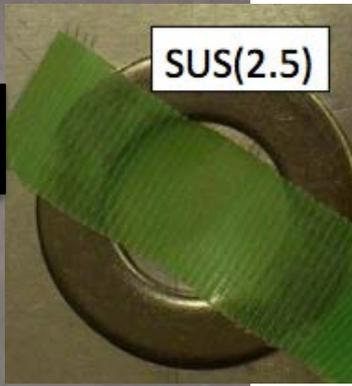
波長別中性子ラジオグラフィ



Co(0.1)

Co(0.1)

EUROコイン

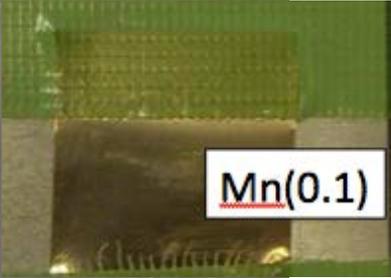


SUS(2.5)

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。



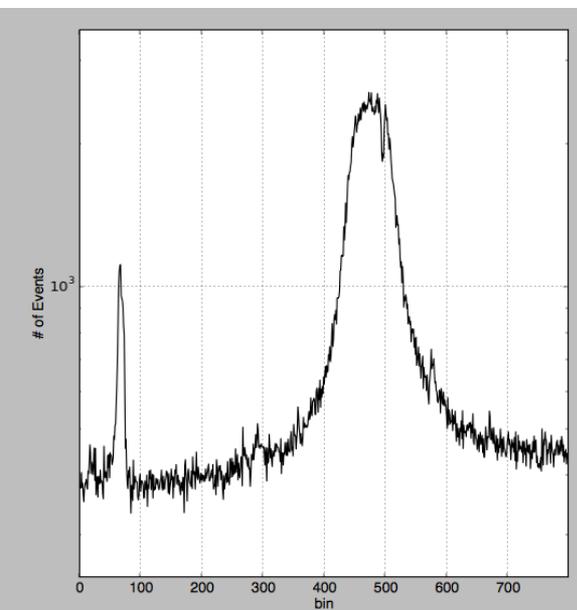
Cu(0.1)



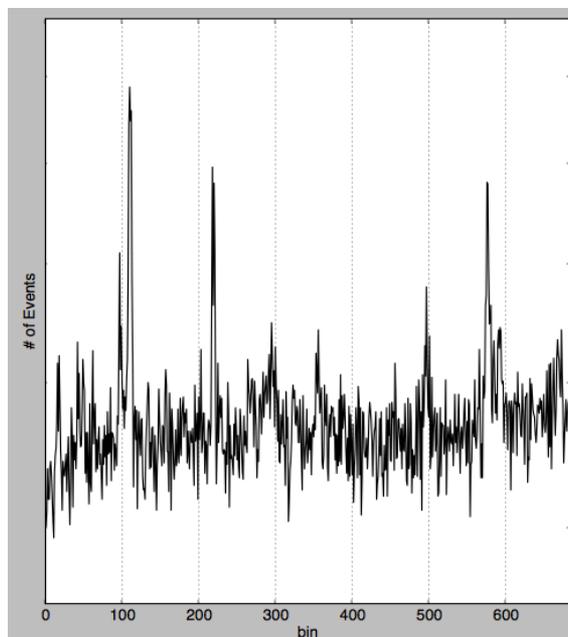
Mn(0.1)

(厚さmm)

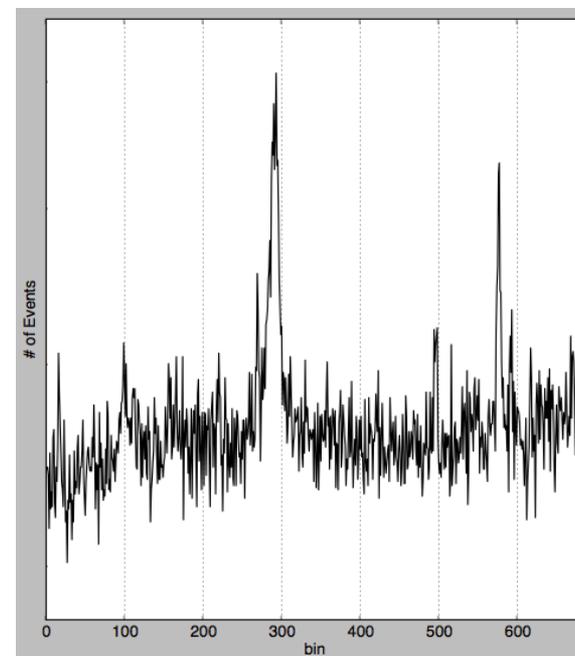
- 試料ありのデータと試料なしのデータを取得
- 試料なし/ありのTOF分布を試料のある領域でそれぞれ作成する



CoのTOF分布



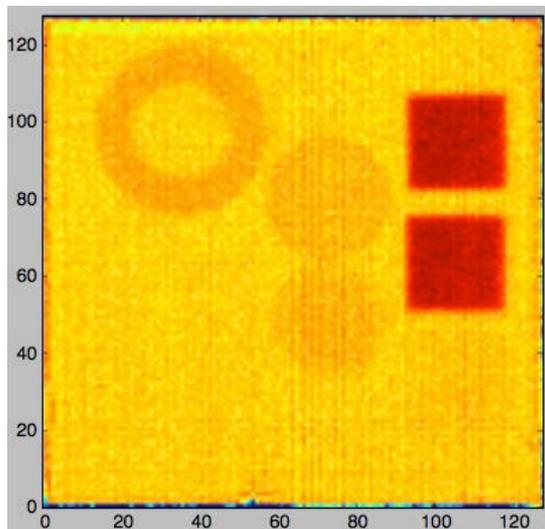
CuのTOF分布



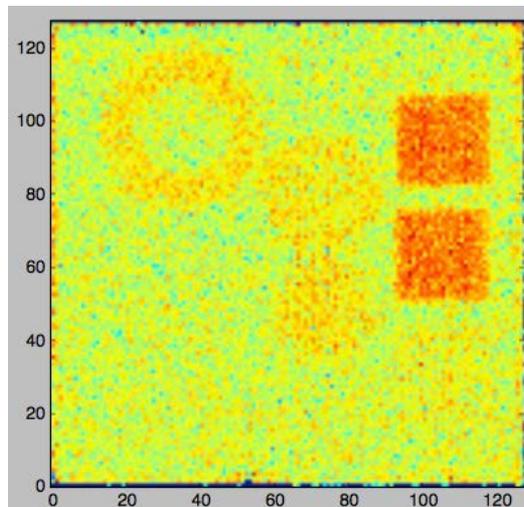
MnのTOF分布



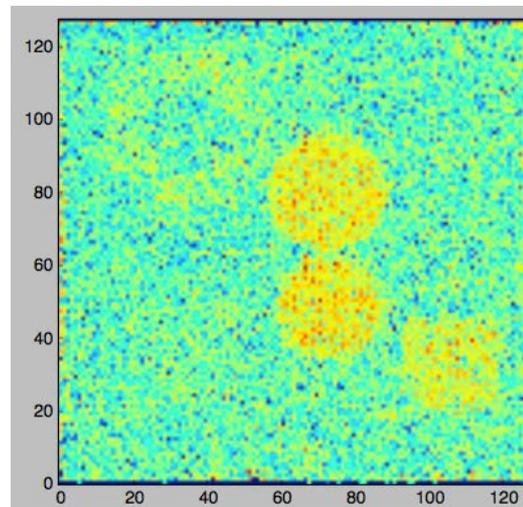
Co($100\mu\text{s} \sim 137\mu\text{s}$)



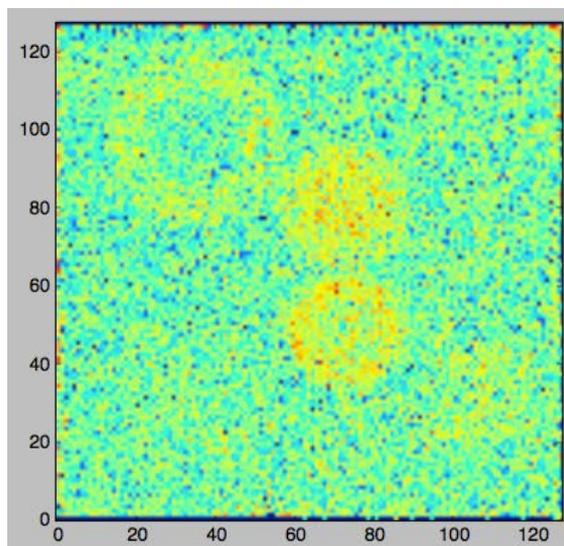
Co($13\mu\text{s} \sim 18\mu\text{s}$)



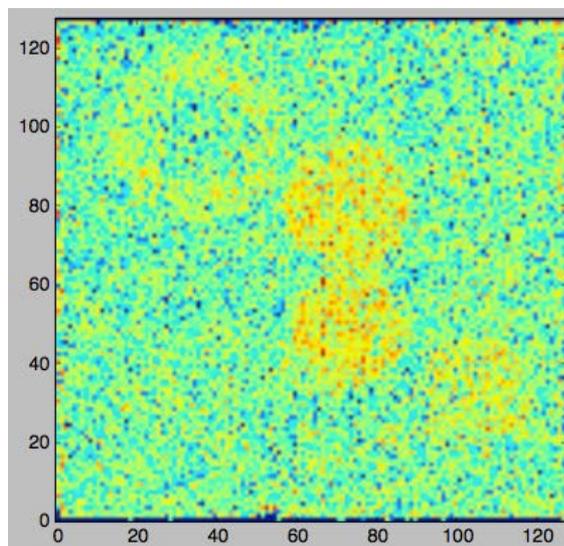
Cu($26.5\mu\text{s} \sim 29\mu\text{s}$)



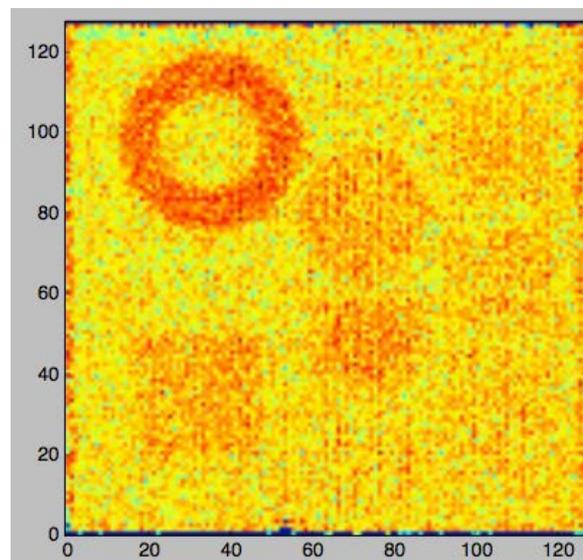
Cu($22.5\mu\text{s} \sim 25\mu\text{s}$)



Cu($53\mu\text{s} \sim 55\mu\text{s}$)

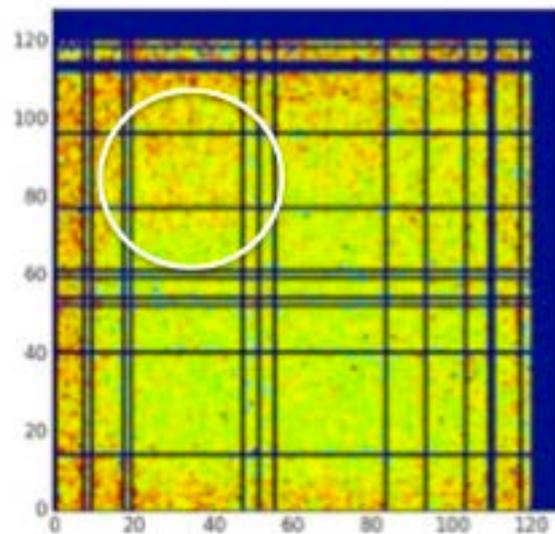


Mn($70\mu\text{s} \sim 75\mu\text{s}$)



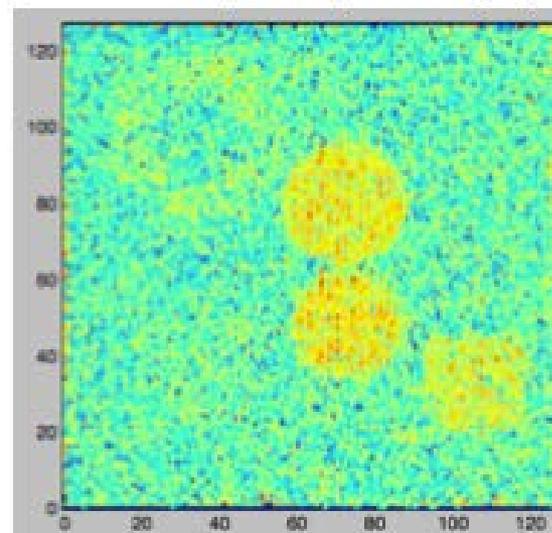
BL10での取得画像(データ量120Mevents)

Cu試料(24.5~26.1 μ s)

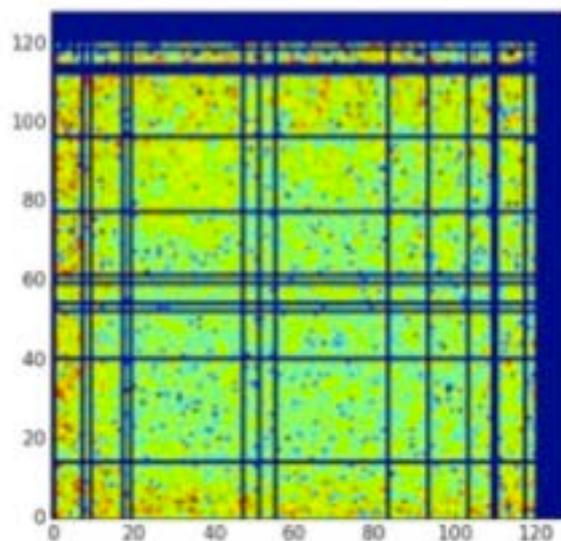


今回の取得画像(データ量854Mevents)

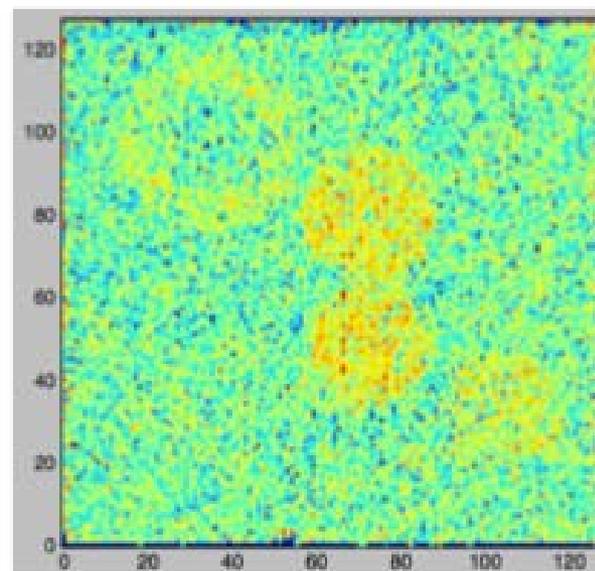
Cu(26.5 μ s~29 μ s)



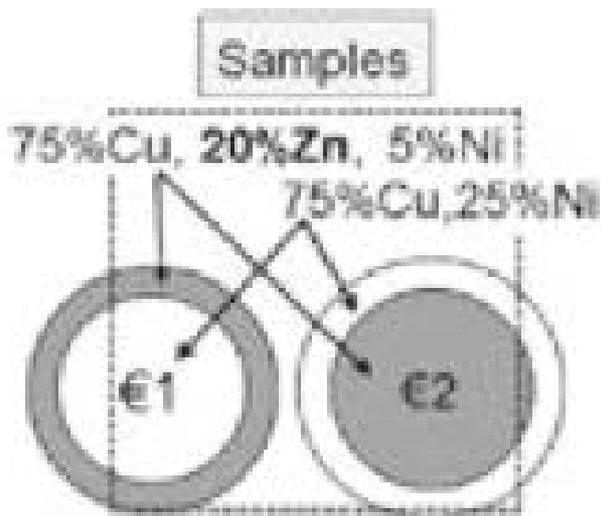
Cu試料(44.7~45.1 μ s)



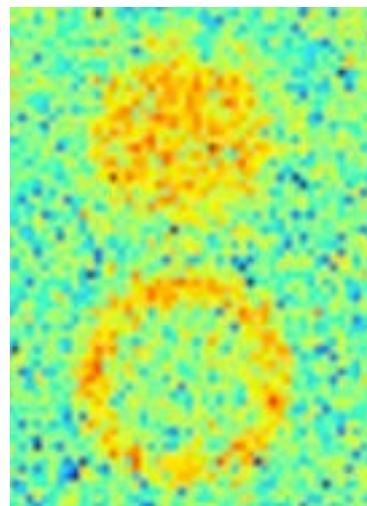
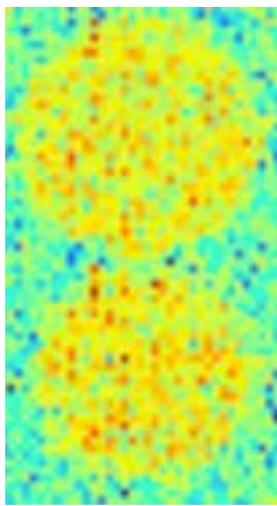
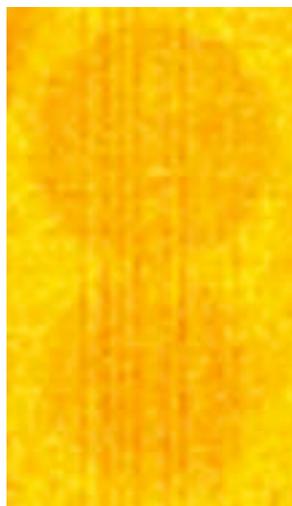
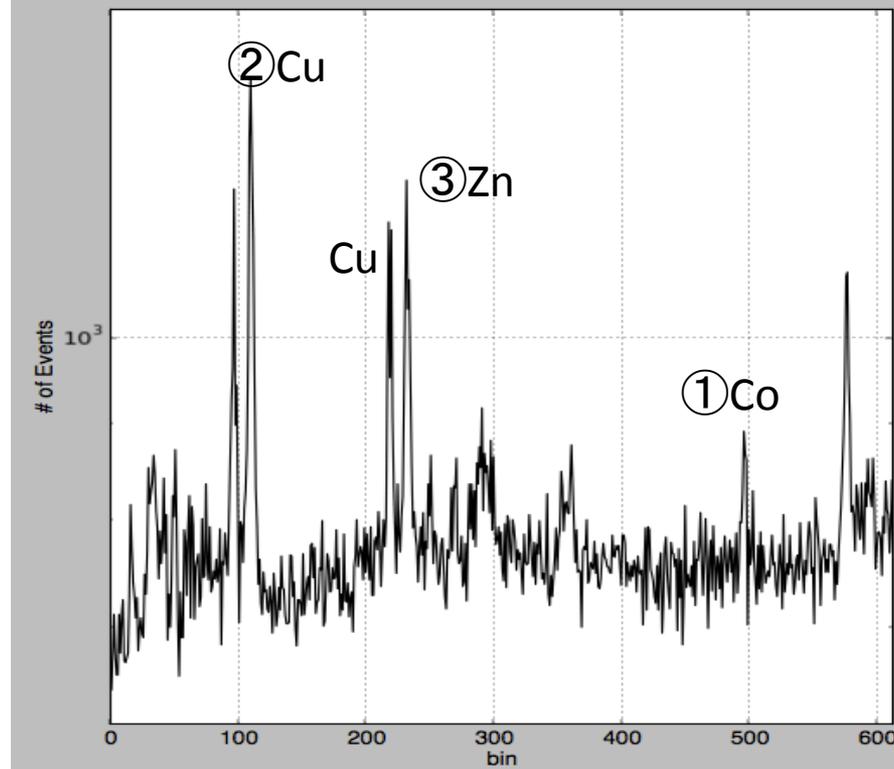
Cu(53 μ s~55 μ s)



EUROコイン



CoはNi原料中に含有



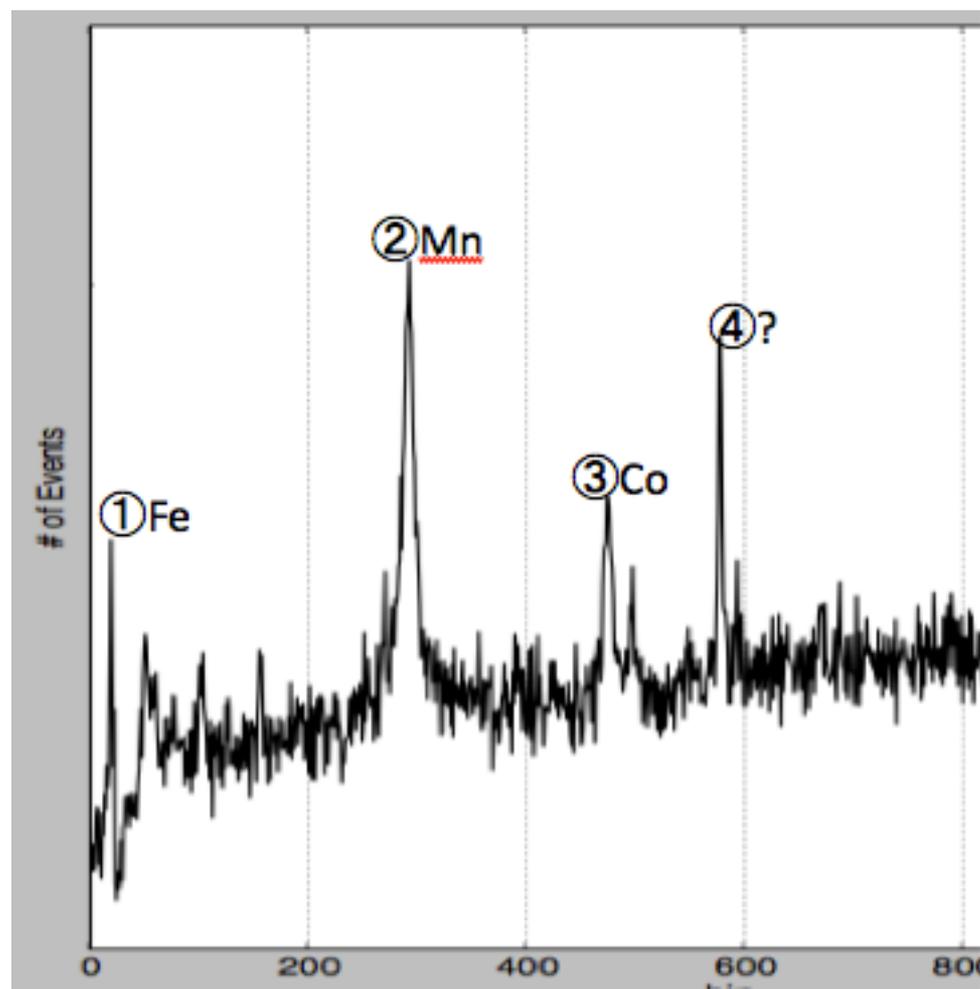
①Co($100\mu\text{s} \sim 137\mu\text{s}$) ②Cu($26.5\mu\text{s} \sim 29\mu\text{s}$) ③Zn($56.5\mu\text{s} \sim 58.5\mu\text{s}$)

SUS304の主な化学成分

(単位: %)

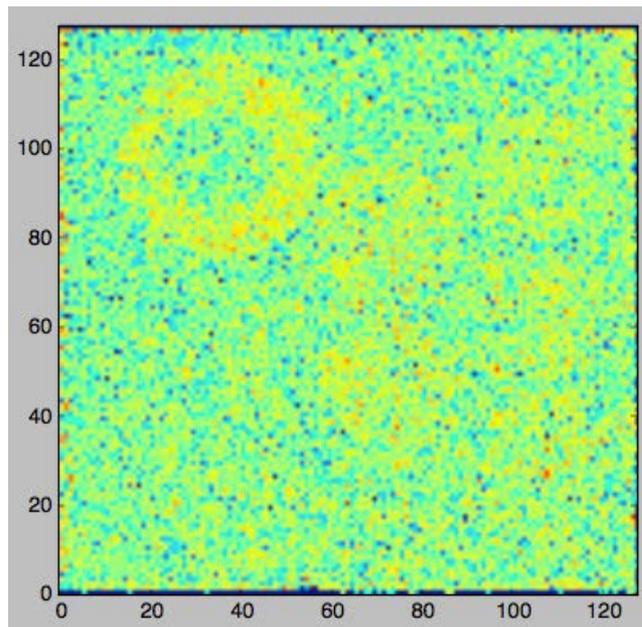
Fe	Ni	Cr	<u>Mn</u>
68~73	8~10	18~20	~2

(CoはNi原料中に含有)

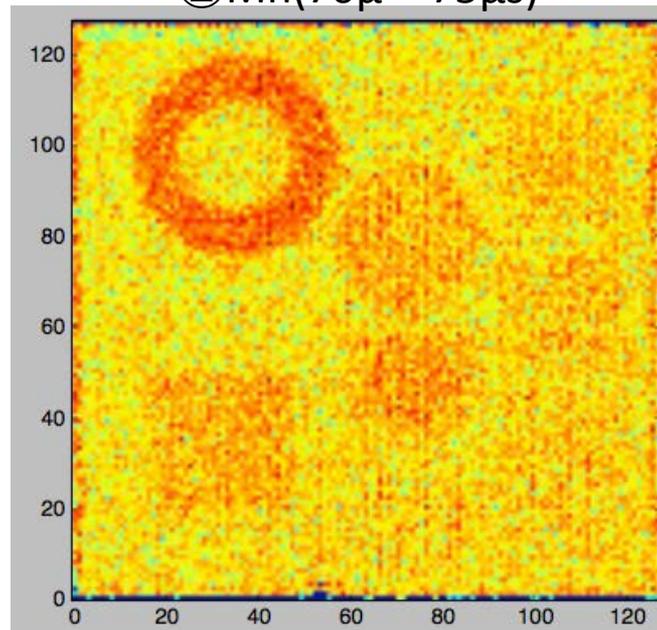




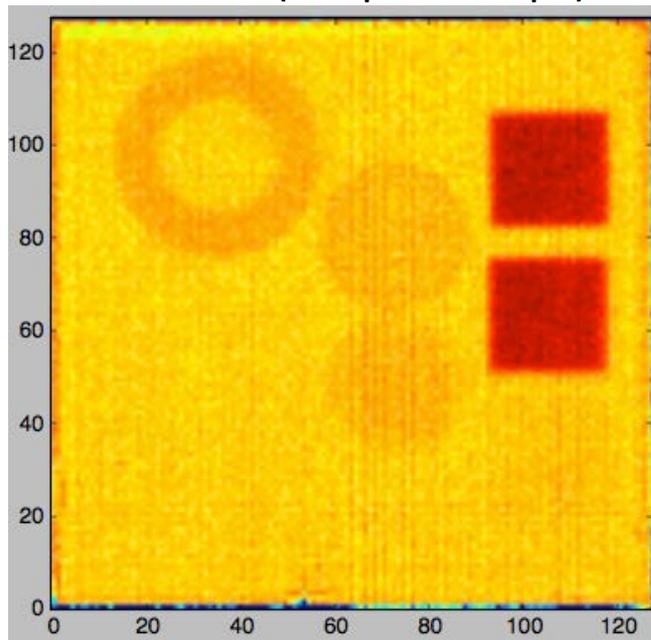
① Fe($3.0\mu\text{s} \sim 5.5\mu\text{s}$)



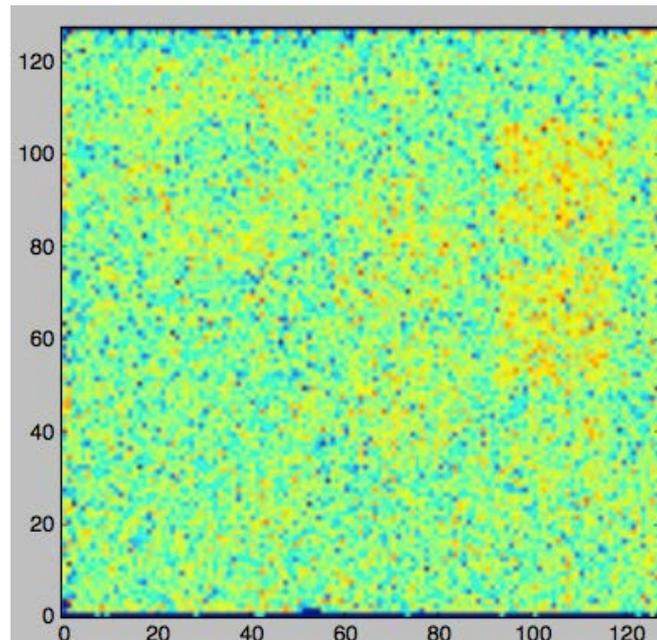
② Mn($70\mu\text{s} \sim 75\mu\text{s}$)



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

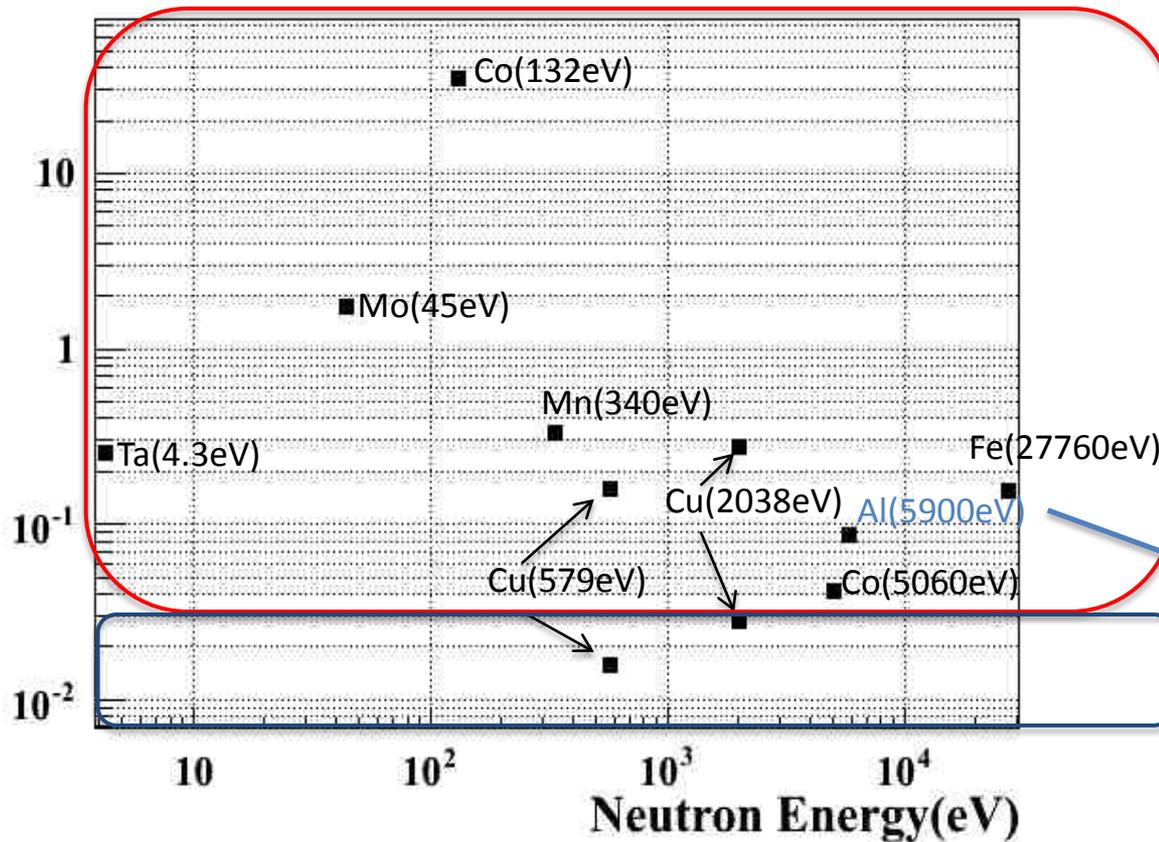


④ ? ($142\mu\text{s} \sim 145\mu\text{s}$)



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？

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

Σp : 共鳴ピークでのピーク巨視的断面積(cm^{-1})

T : 試料の厚さ(cm^{-1})

dE : 共鳴ピークの半値幅(eV)

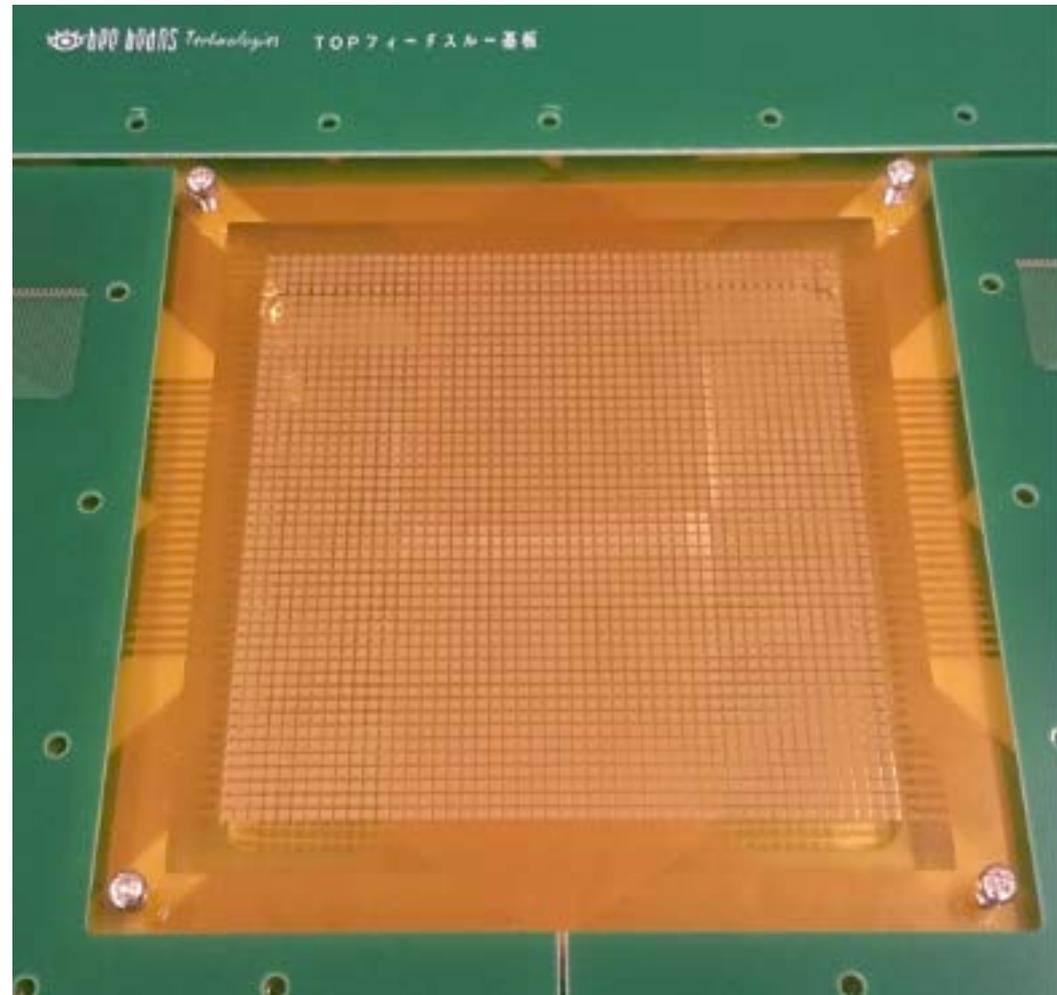
E : 共鳴ピークのエネルギー(eV)

まとめ

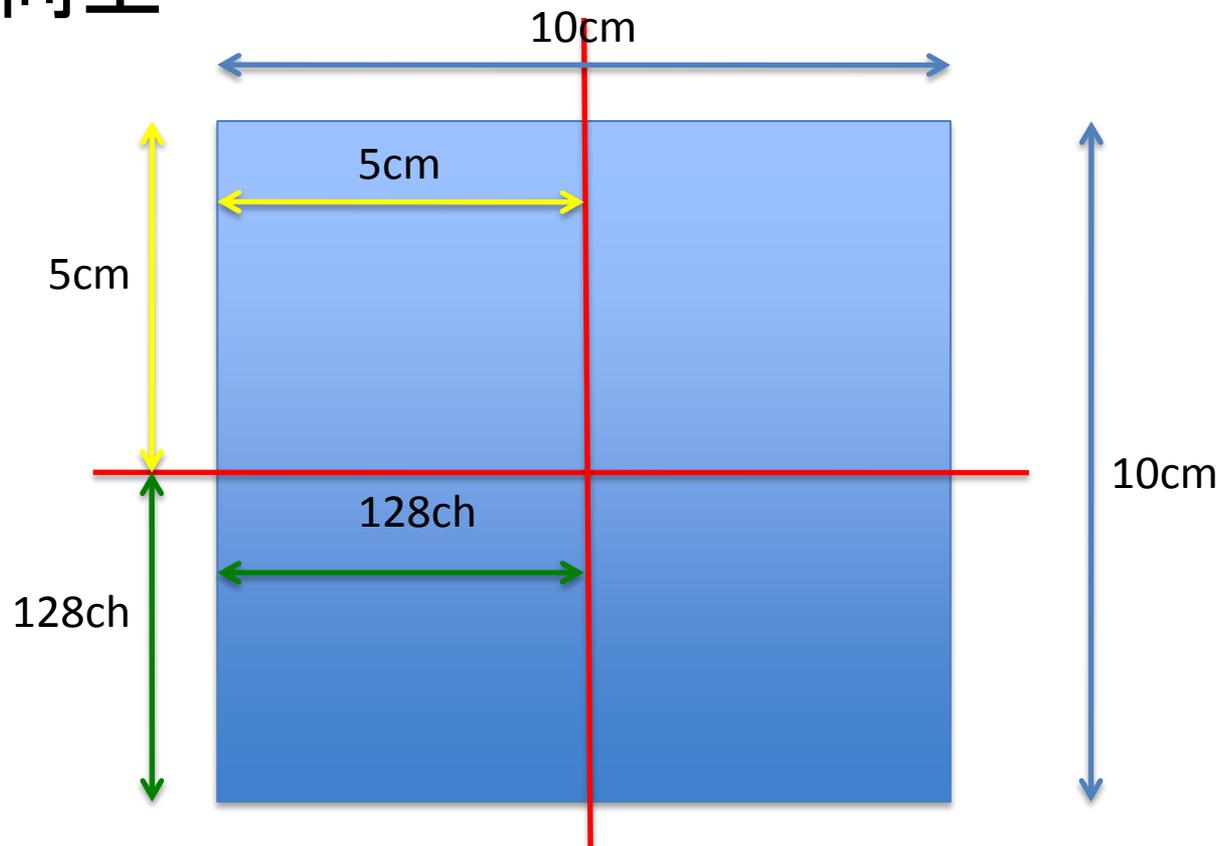
- メモリ付きボードの性能評価を行った
- テストパルスでは12.4MHzで頭打ちとなった(期待の半分程度)
- X線照射実験ではビームをしぼると5.8MHzまで転送レートが上がった
- データ受け取り側のPCの性能に問題あり？
- BL22で中性子照射実験を行った
- 最大レートは2.2MHz程度
- メモリがうまく使えていない可能性がある
- 共鳴吸収画像をうまく取得できた

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



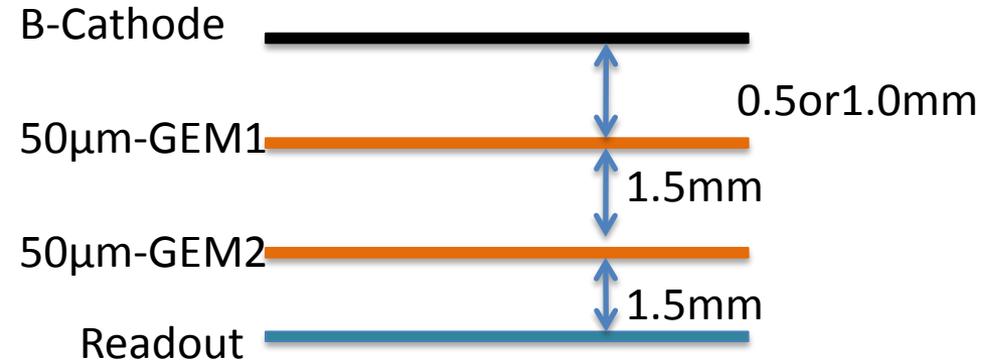
- 読み出しを 5×5 の領域で4分割
- 1つの領域は現在と同じ 128×128 のストリップ方式で4枚のボードを使用
- ストリップ幅を現在の半分にし、位置分解能は向上



おわり

Back Up

位置分解能



左下: BL22、1.0mm

σ :0.74mm

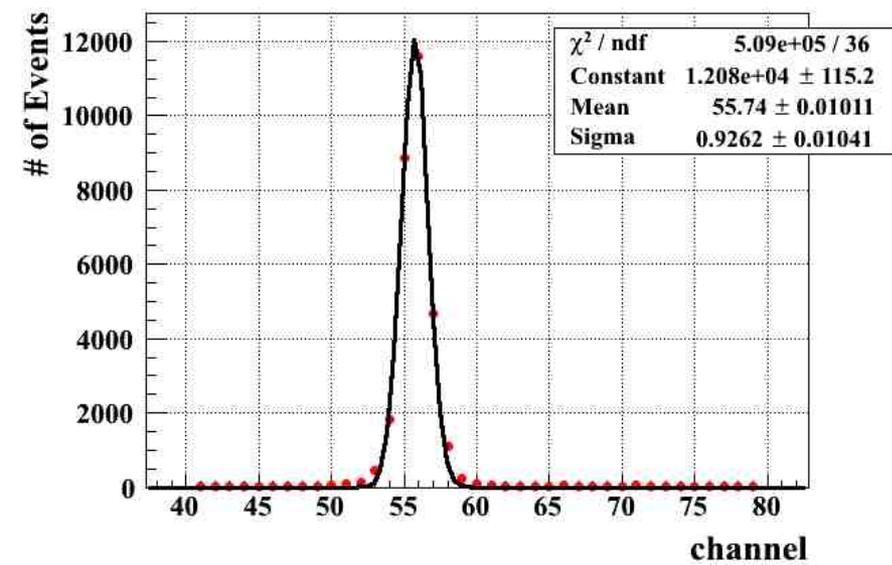
FWHM:1.74mm

右下:北大LINAC、0.5mm

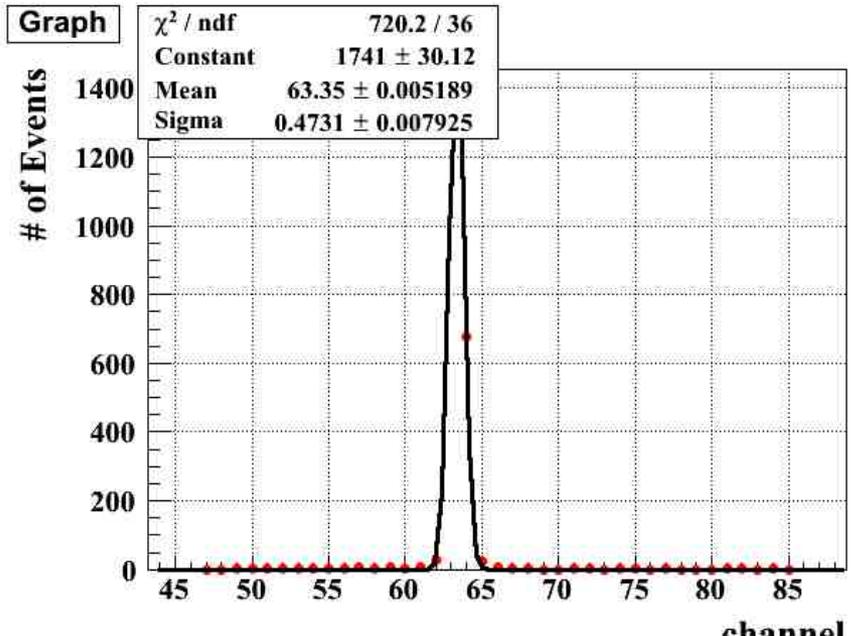
σ :0.35mm

FWHM:0.82mm

Graph



Graph



FE2010

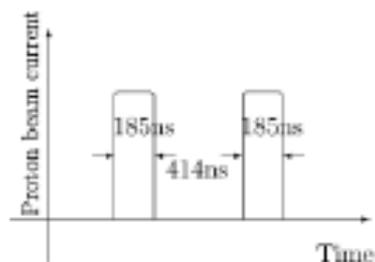
- ◎ FE2009でVthを調整しきれない問題を解決
- ◎ 変更内容
 - ▶ DAC調整範囲調整機能
 - ・ 1bitの変化量を調整可能
 - ▶ 正負両信号に対応
 - ・ レジスタによる切り替え
 - ▶ アナログモニタ用バッファの時定数を変更
 - ・ オーバーシュートの改善

Atlas of Resonance Peaks

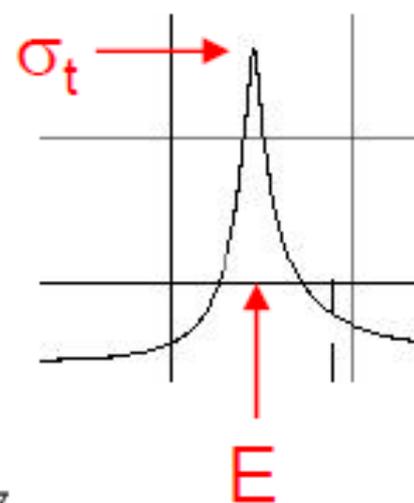
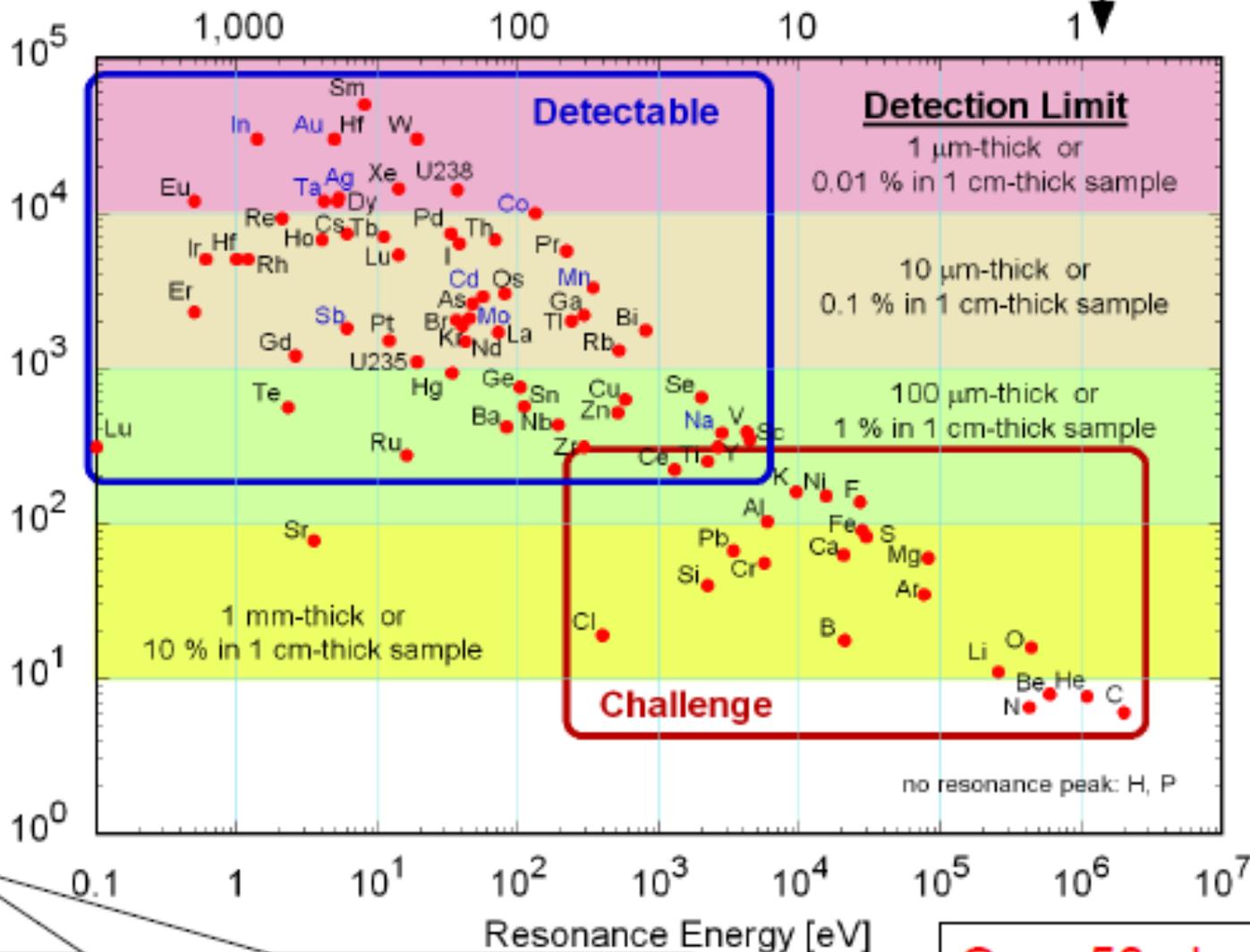
前川 (JAEA)

Time of Flight [μs] (L=14m)

proton pulse width: 0.7 μs



Total Cross Section at the Resonance Energy [b]



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

Over 50 elements out of 83
are detectable.