

J-PARC MLFにおける ミュオンX線用測定器の開発

KEK 濱田幸司

開発協力者

反保元伸 Patrick.Strasser 小嶋健児 三宅康博

μ SR実験グループ、Kalliope製作関係者

1.負ミュオンによる非破壊元素分析

2.装置概略

3.問題いろいろ

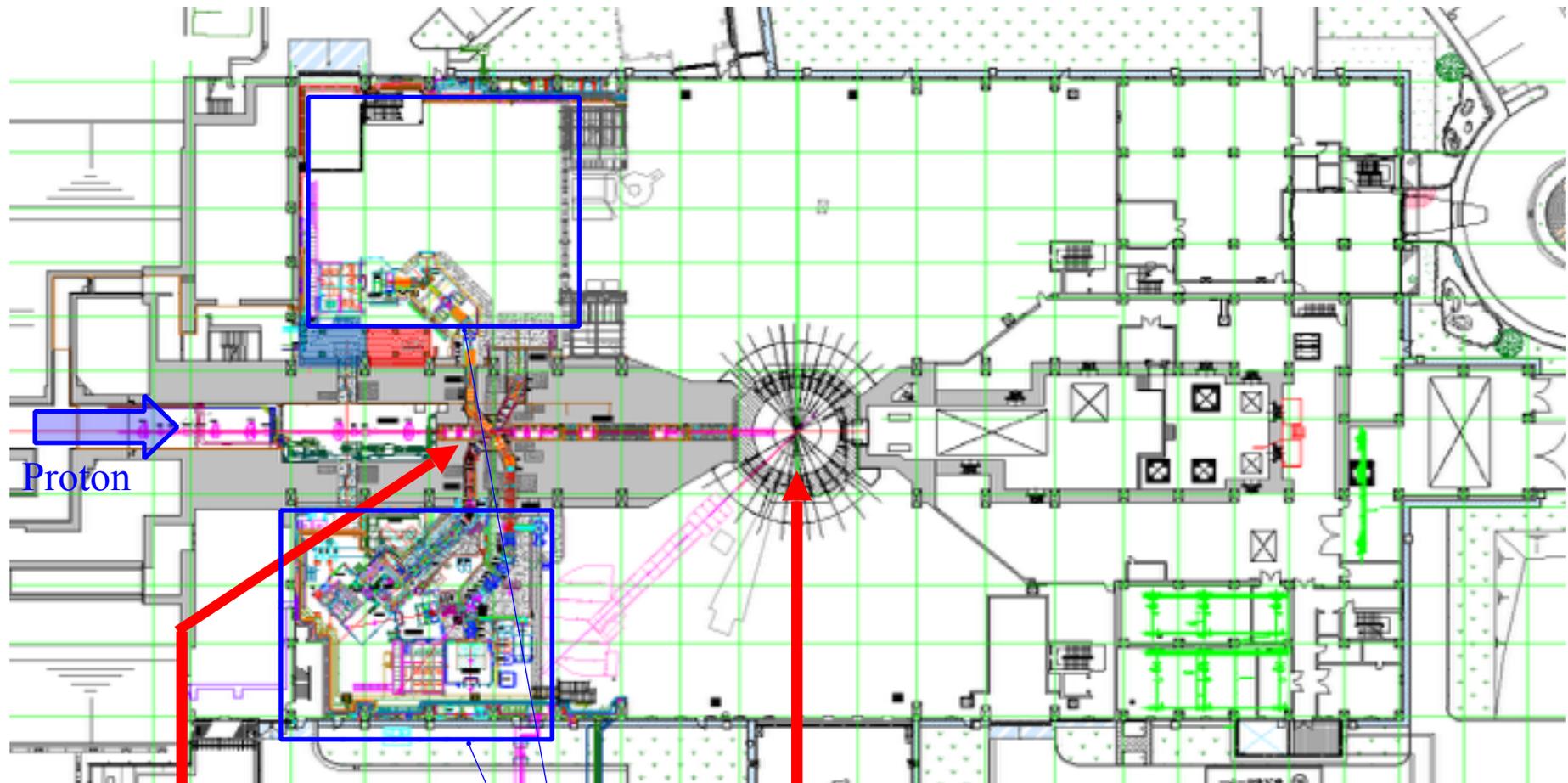
- ・ゲルマニウム検出器における高計数場
- ・ユーザーインターフェース
- ・イベントデータデコーダ
- ・キッカーノイズ
- ・トリガーIDのずれ

●J-PARC

所在：茨城県東海村



●J-PARC 物質生命科学実験施設

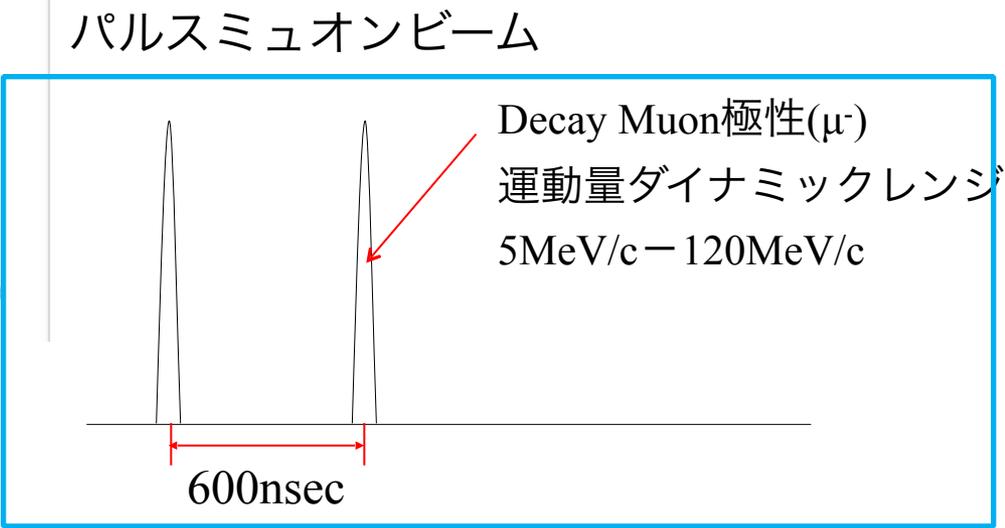
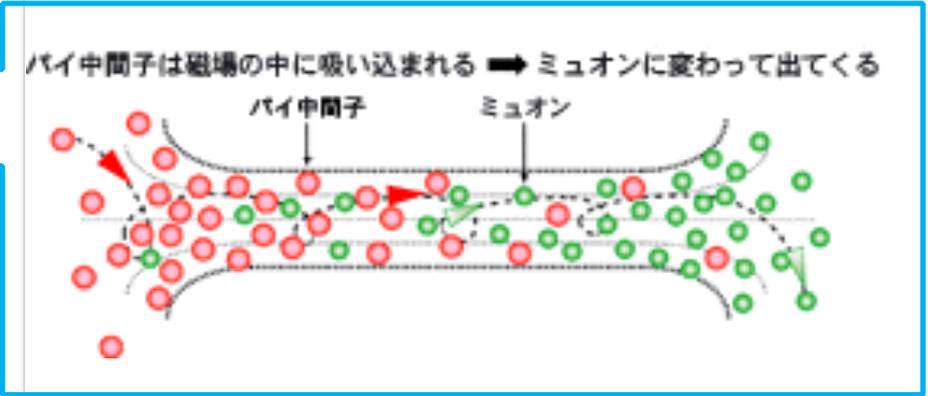
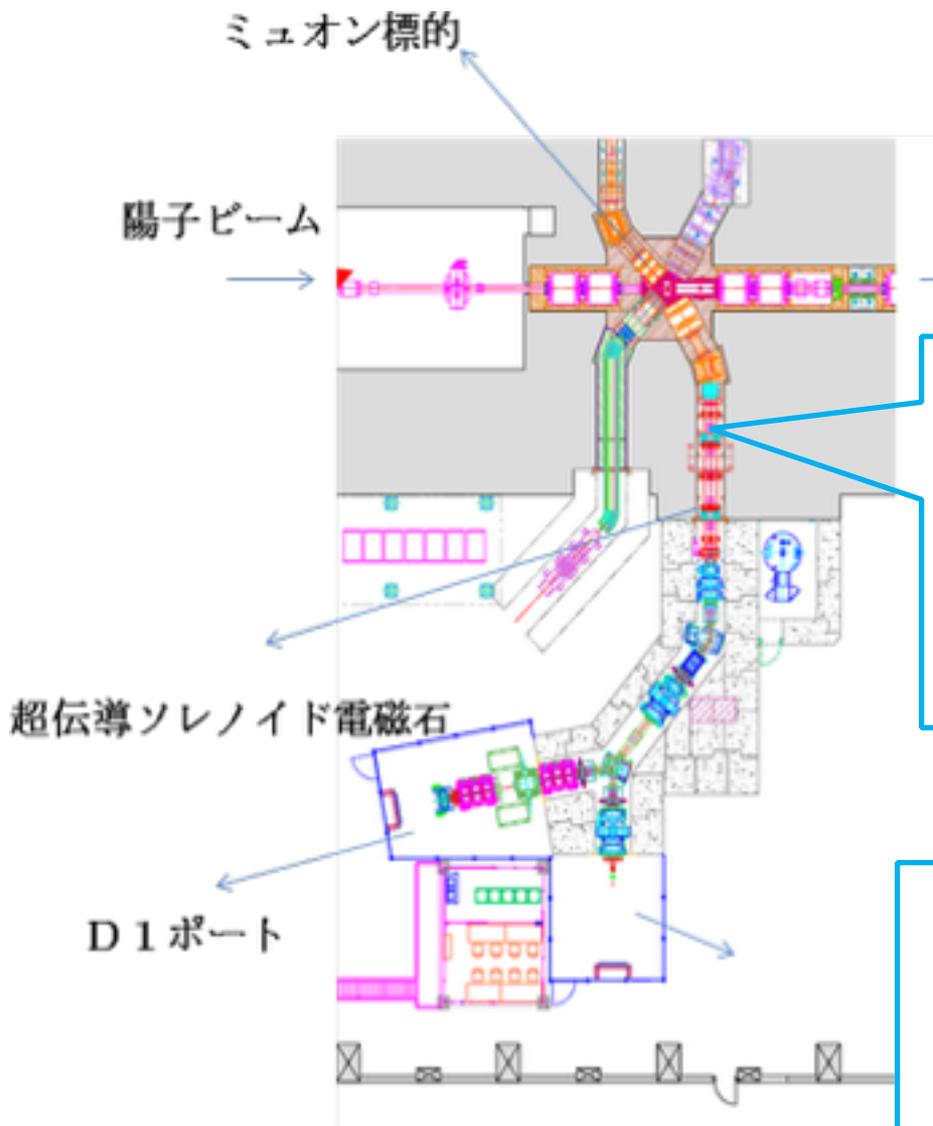


ミュオンターゲット
(グラファイト)

中性子ターゲット
(水銀)

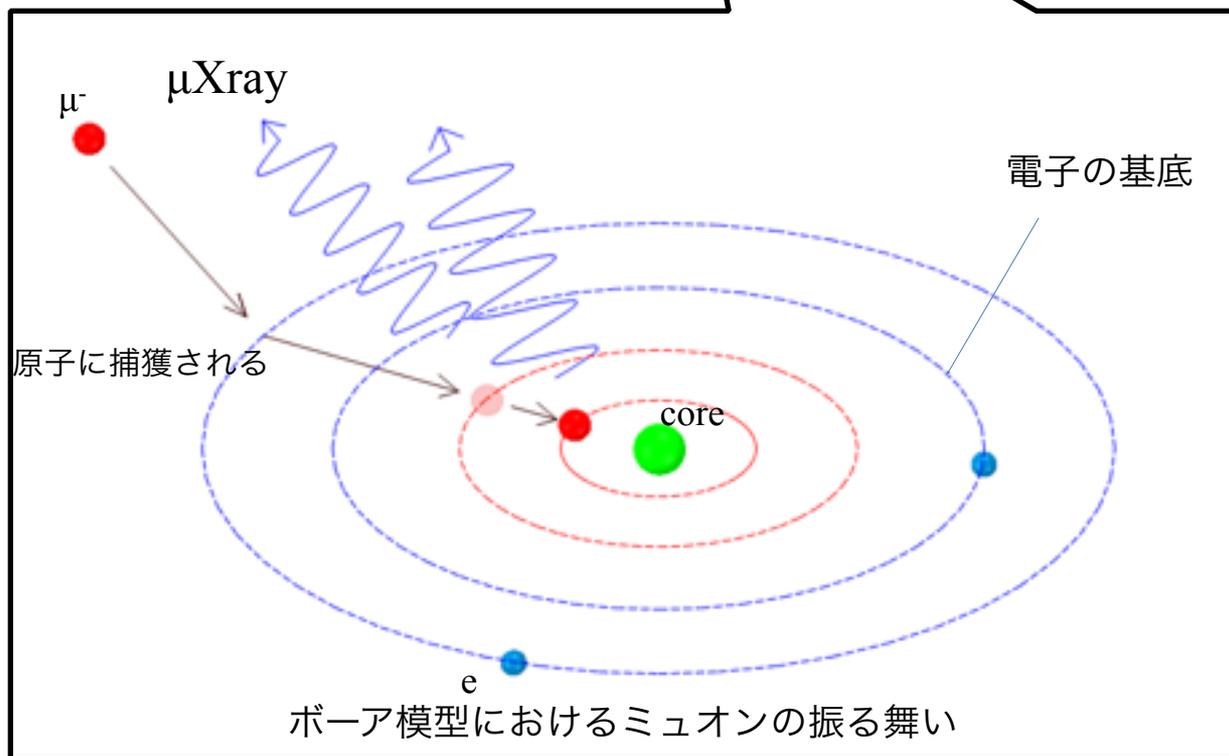
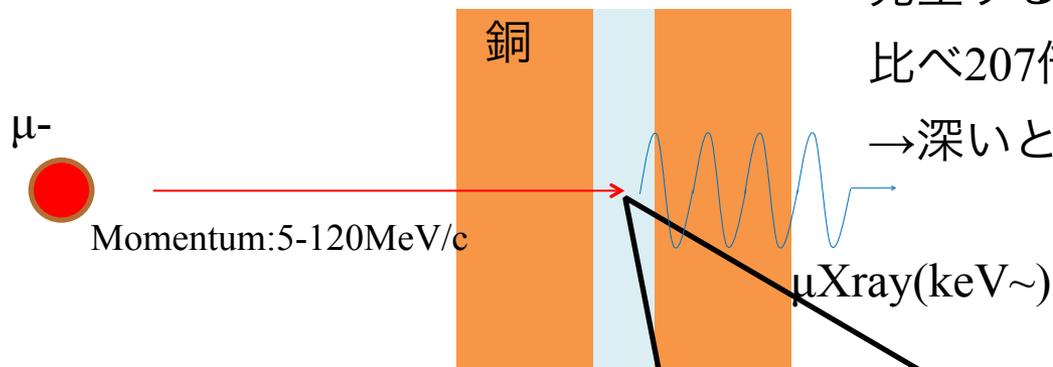
ミュオンエリア

●J-PARC MLF-ミュオン実験エリア



●ミュオニックX線元素分析

ミュオンの運動量を調節することで
 ミュオン停止位置を任意に選択できる
 発生するX線のエネルギーは電子由来のX線に
 比べ207倍のエネルギーを有する
 →深いところからも抜けてくる



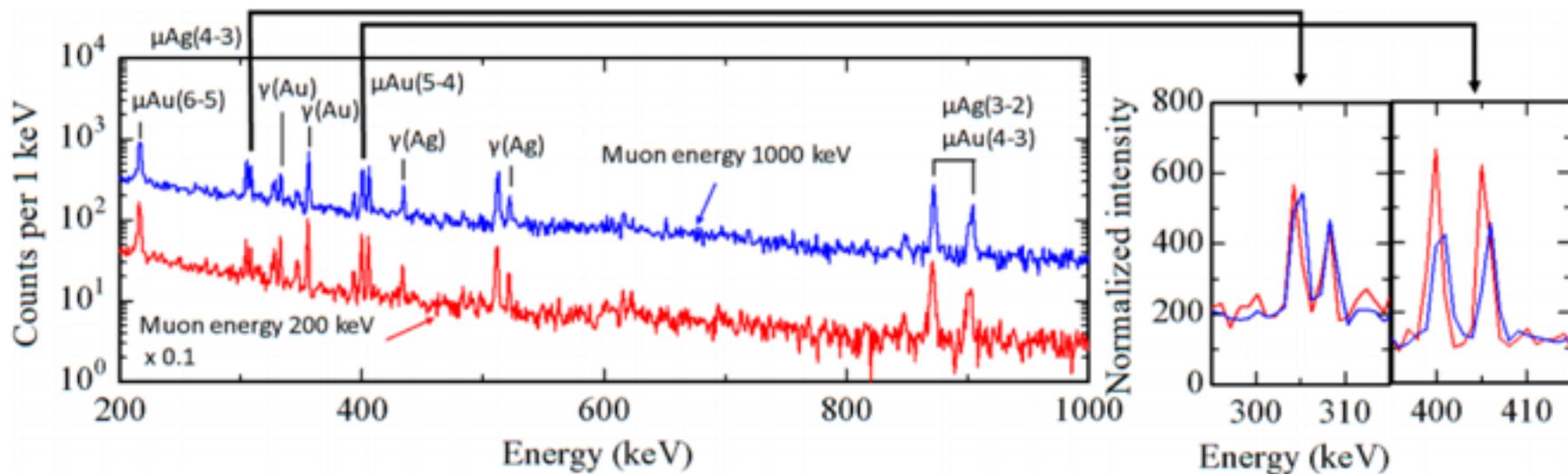
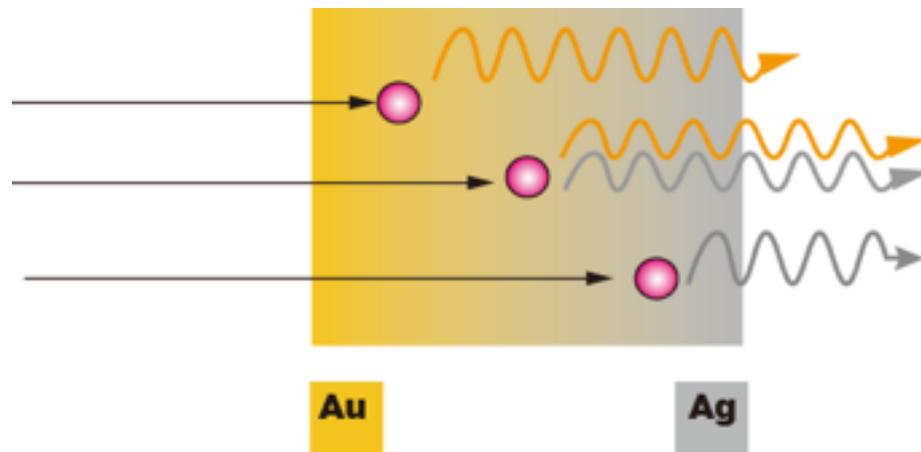
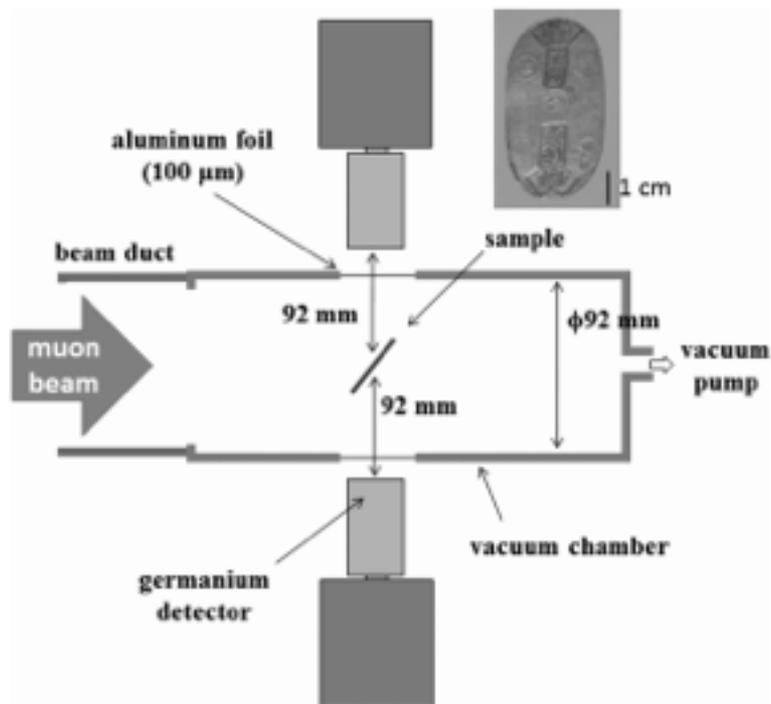
$$E_n = -\frac{me^4Z^2}{8n^2\varepsilon_0h^2}$$

$$r_n = -\frac{\varepsilon_0n^2h^2}{4\pi mZe^2}$$

電子の静止質量：0.511MeV

ミュオン静止質量：105.7MeV

●負ミュオン実験 reference



●ミュオニックX線元素分析の流れ

ユーザーは測定試料を持ってくる

実験

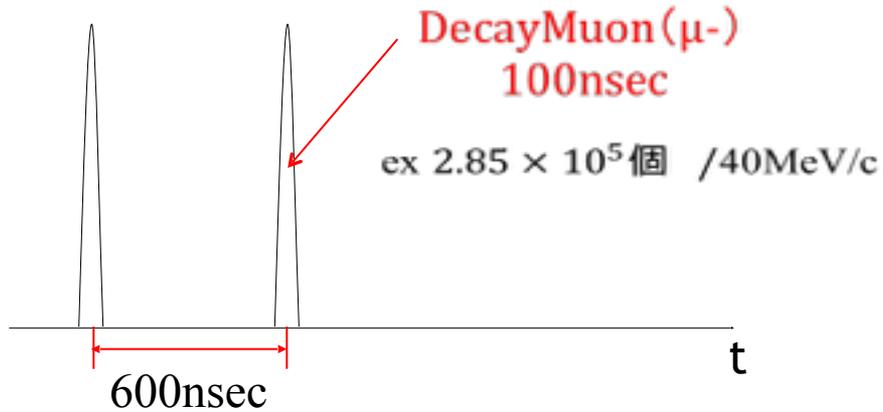
- ・ 測定用チャンバー
- ・ Ge検出器及び回路のセットアップ
- ・ DAQ(μ SRで使用しているDAQに仁木工芸製VME-ADC組み込み済み)
- ・ CUIベース→GUIベースへ(インターフェースの整備)
- ・ イベントデータ処理(ヒストグラム生成用コンバータ(GUI))
などなど

この部分をミュオン施設として用意する必要がある

ユーザーはデータを持ち帰る

●実験における課題(ゲルマ検出器における高計数場測定)

パルスミュオンビーム



ゲルマニウム検出器

1イベント/1beam



- ・ せっかくの高計数場がもったいない
- ・ しかもパイルアップさせると正確な測定ができない



課題

- ① 検出器台数を増やし、測定時間を短縮できる仕組み
- ② 実験中迅速にパイルアップしてるか否か確認できる仕組み

●実験における課題(ユーザーインターフェース)

CUIにおける測定系の操作はユーザーにとって閾が高い

→トラブルがあると・・・

- ・その都度対応することになり職員への負担増
- ・限られた実験時間の浪費

課題

- ①ユーザーにとって扱いやすい(GUI)の測定系インターフェースの作製
- ②ユーザーにとって扱いやすい(GUI)のデータ解析プログラムの作製

1.負ミュオンによる非破壊元素分析

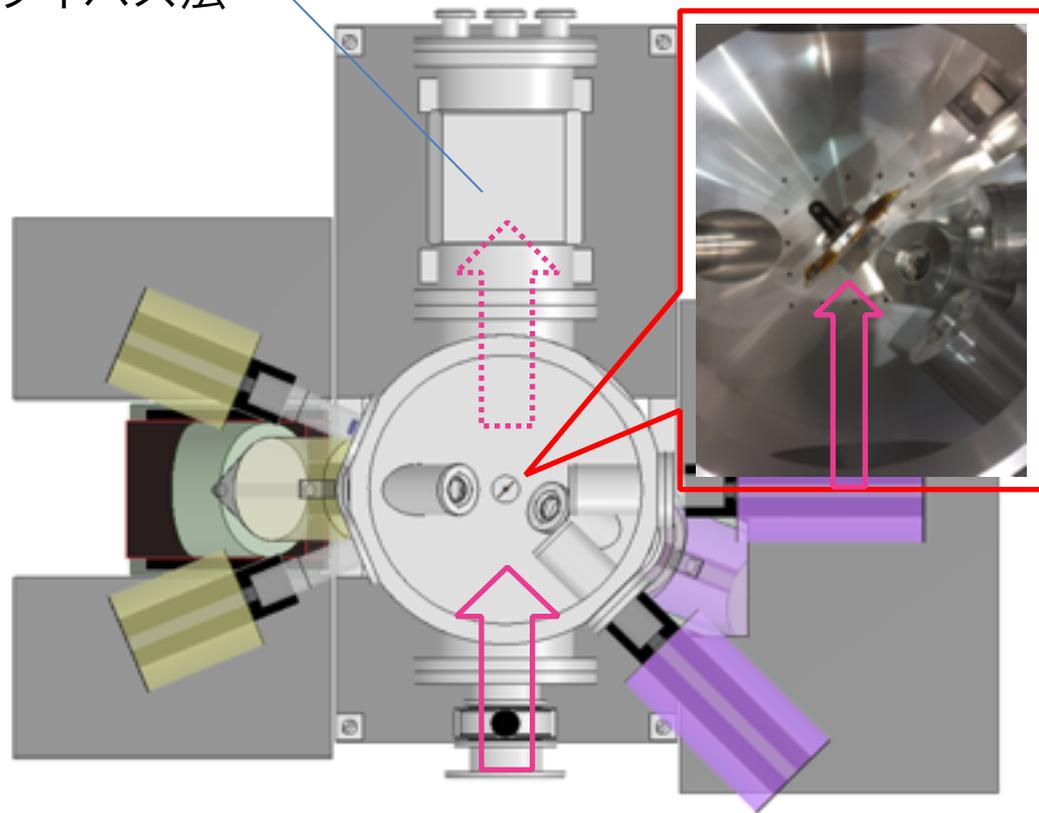
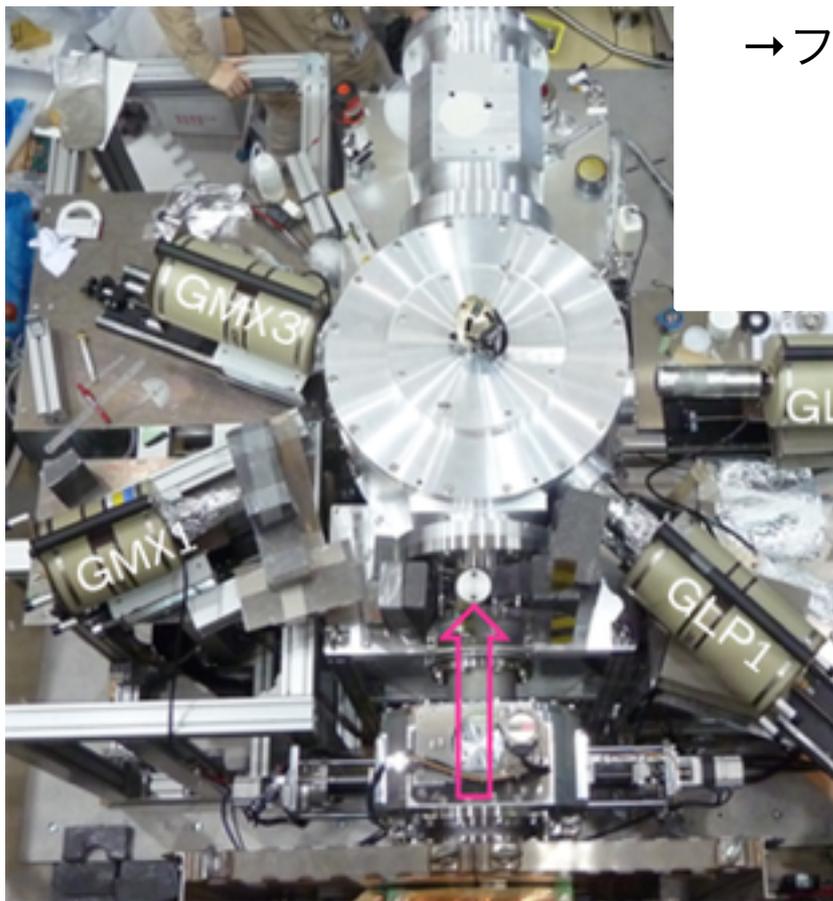
2.装置概略

3.問題いろいろ

- ・ゲルマニウム検出器における高計数場
- ・ユーザーインターフェース
- ・イベントデータデコーダ
- ・キッカーノイズ
- ・トリガーIDのずれ

●元素分析チャンバー

ターゲットにあたらぬミュオンは後方にパスさせる
→フライパス法



JST 予算で検出器の購入及びチャンバーの製作

「光・量子融合連携研究開発プログラム」

実用製品中の熱、構造、磁気、元素の直接観察による革新エネルギー機器の実現

- ・チャンバー内雰囲気： 1.0×10^{-4} Pa以下
- ・アルミ(99.0%)

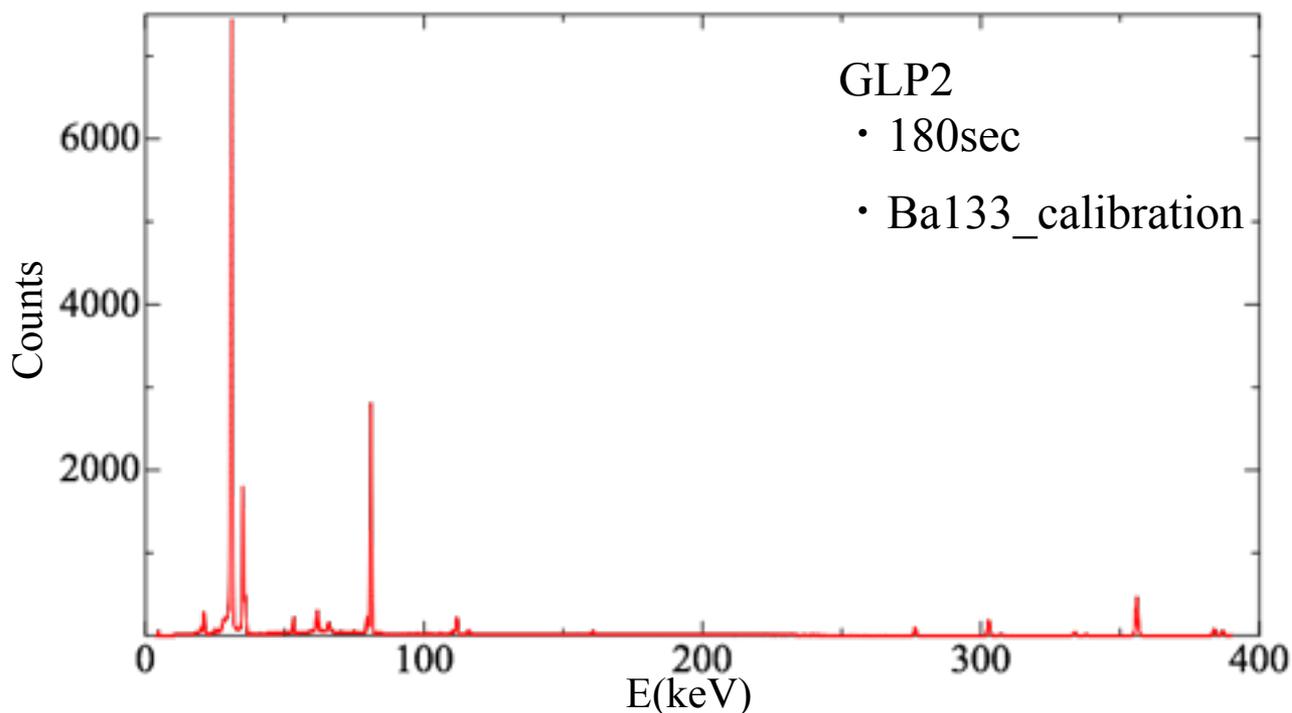
●使用するGe検出器

GMX-Ge 検出器

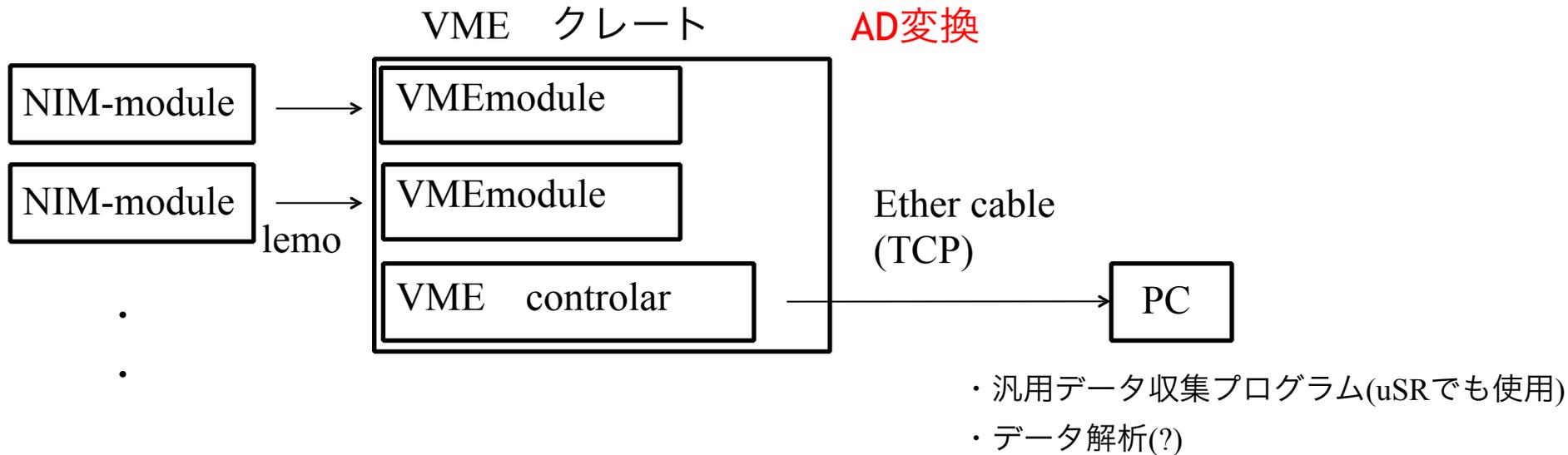
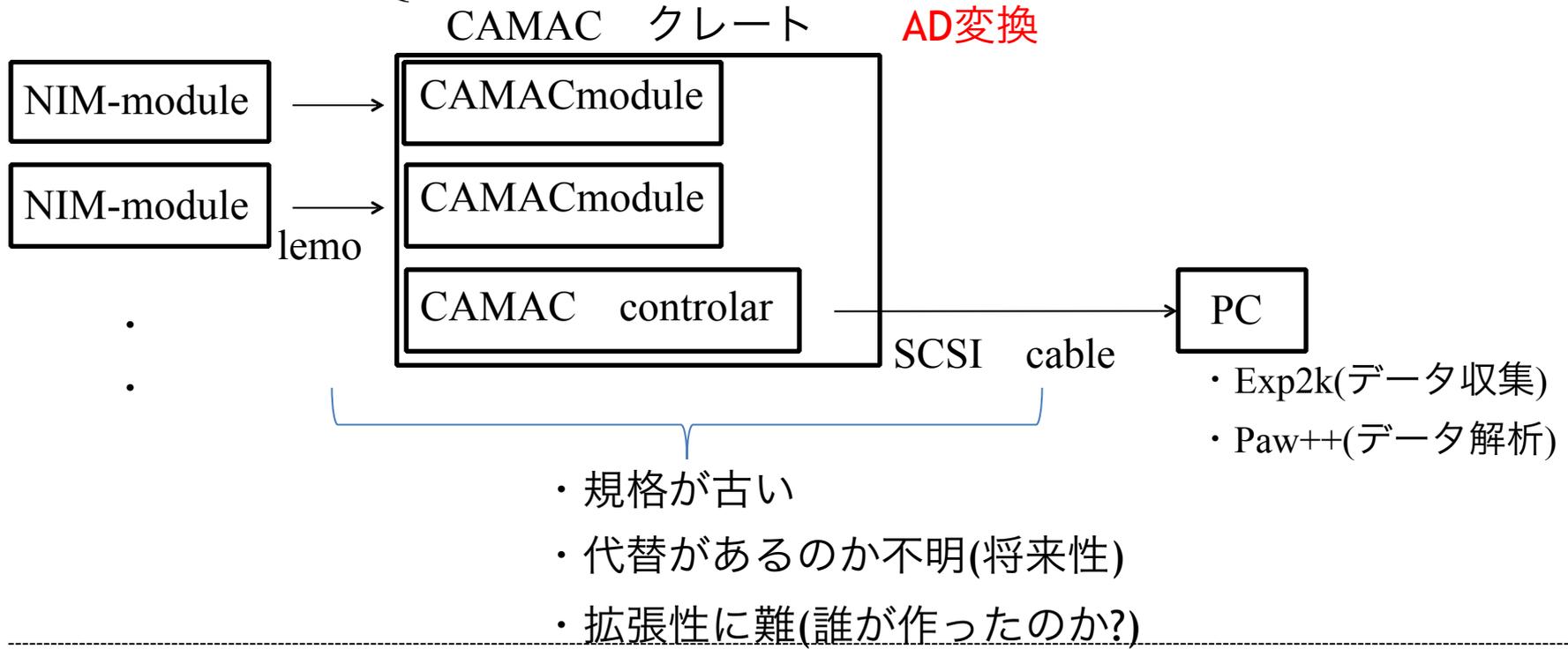
結晶	測定可能エネルギー範囲	エネルギー分解能(FWHM)
同軸型Ntype 51mmφ	3keV-10MeV	2.02keV(@1333keV) 1.89keV(@661keV) 1.45keV(@356keV)

GLP-Ge 検出器

結晶	測定可能エネルギー範囲	エネルギー分解能(FWHM)
プレナ型Ptype 36mmφ	3keV-300keV	0.876keV(@356keV) 0.661keV(@31keV)



●以前までのDAQ



SiTCP-MuonDAQサイクル

- ランスタート
 - TCP Open (192.168.10.xx, 24) 読み出し回路の数だけIPアドレスあり
 - loop:
 - TCP read
 - パケット解析・ファイル書き出し
 - goto loop:
 - TCP Close
- ランエンド

ランが走っている間はTCP開きっぱなし
ハードウェア割り込みはなし。
TCP readで飛んできたパケットを解析
基本的にリストモードだけ

●X線用DAQ

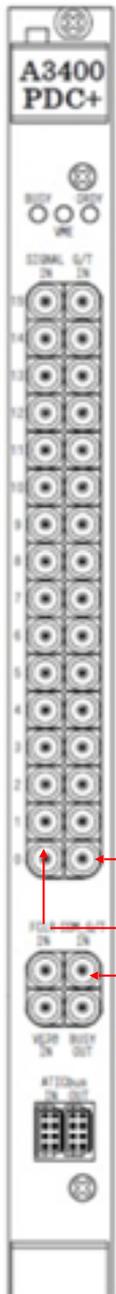
VME-ADC(A3400)

A3400: Ge検出器など汎用正極性
入力0~+12V ADC

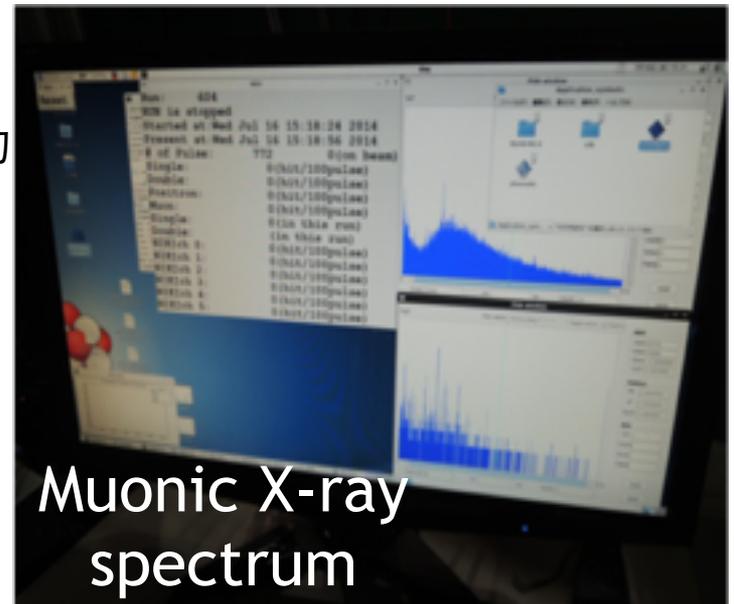
1モジュールにつき
最大16Ge検出器動作可

波高値のデータ
トリガーからの時間

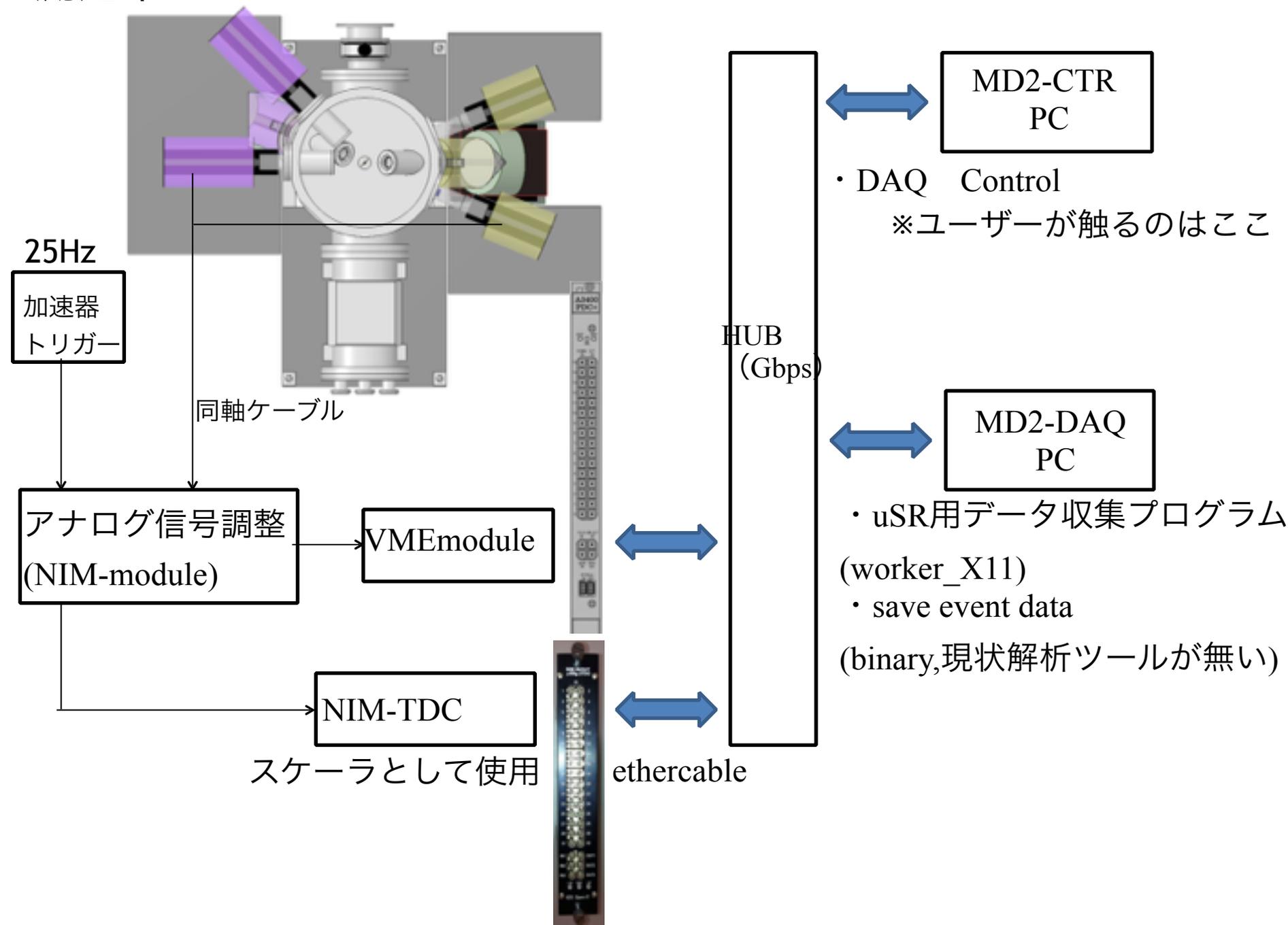
これらを各々セットでリスト形式で記録 →データ解析
最大2.5MCPS/16ch ※現在は検出器が7台なので7chまで



FastAmp->C.F.D.出力
SlowAmp.信号
トリガー入力



●測定系



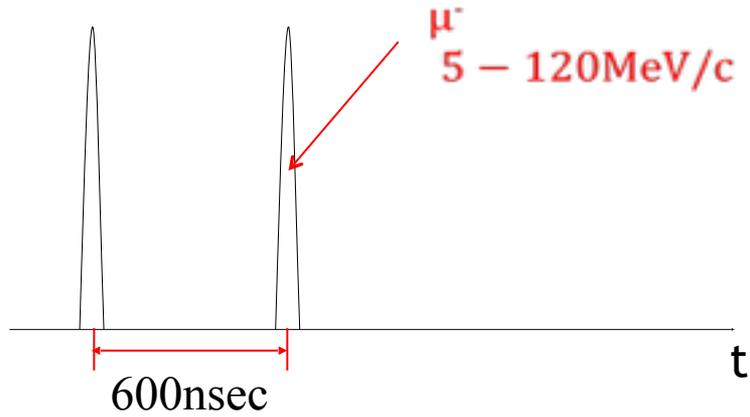
1.負ミュオンによる非破壊元素分析

2.装置概略

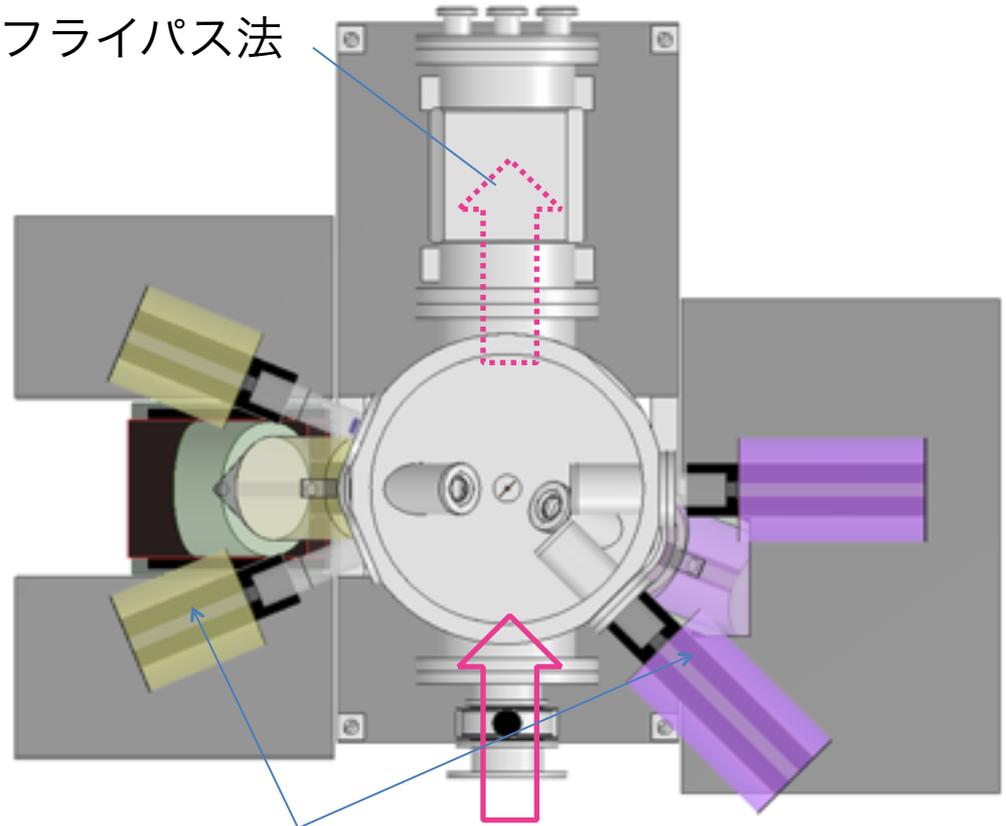
3.問題いろいろ

- ・ゲルマニウム検出器における高計数場
- ・ユーザーインターフェース
- ・イベントデータデコーダ
- ・キッカーノイズ
- ・トリガーIDのずれ

●検出器の立体角



ターゲットにあたらないミュオンは後方にパスさせる
→フライパス法

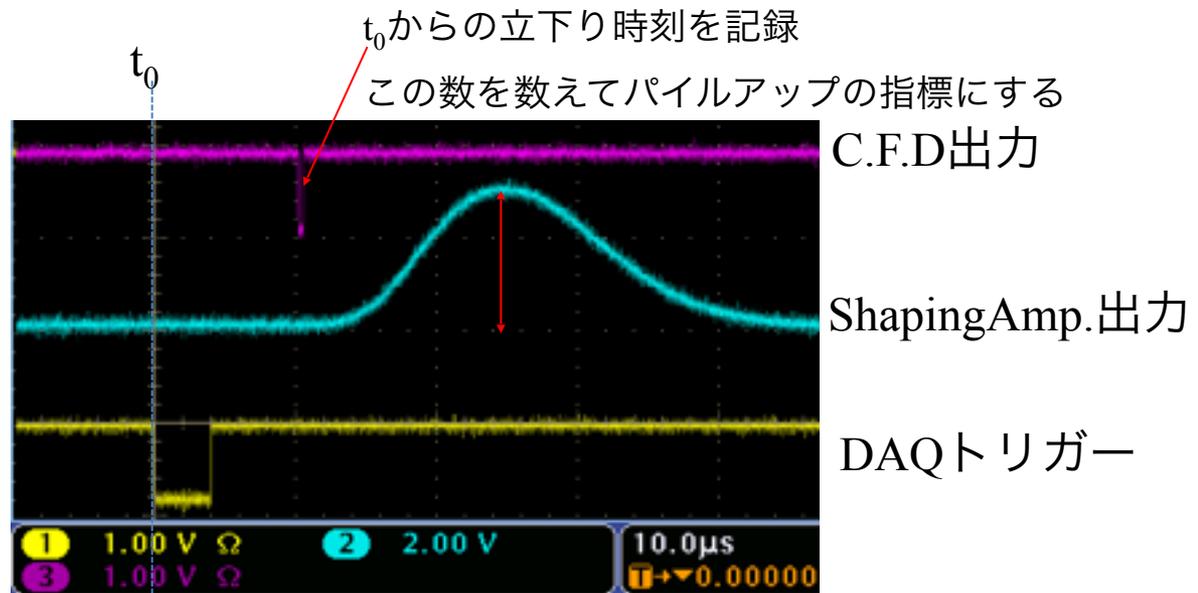
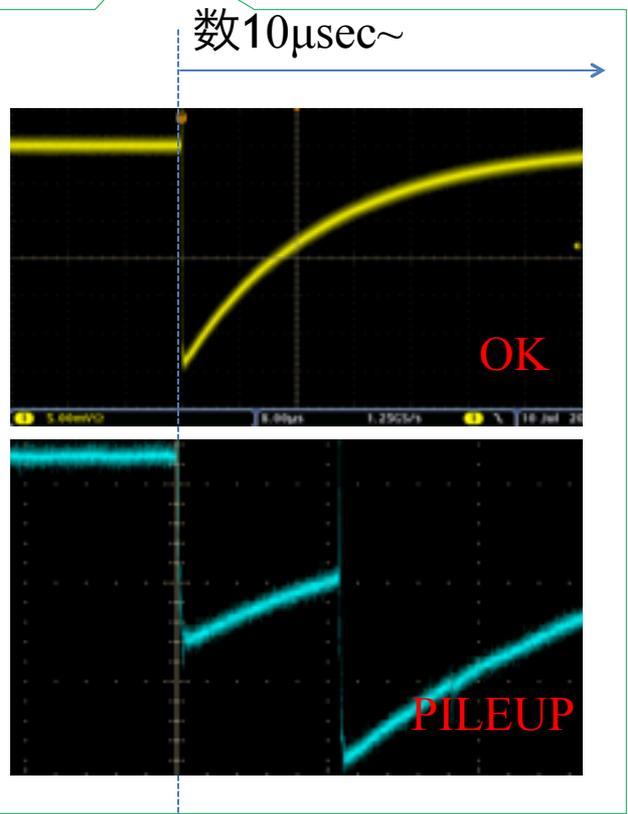
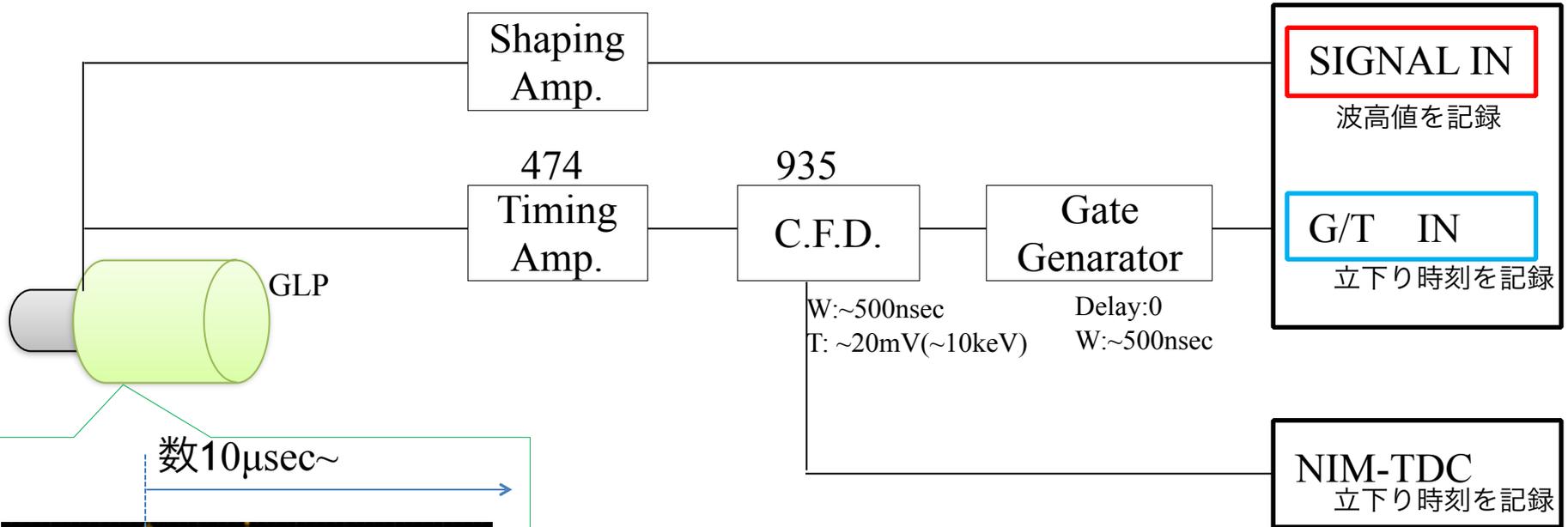


チャンバーの片方向から検出器三台ずつセットし、
測定の短縮化を図る

$$1count = (Counts\ of\ fotons\ by\ target) \times (Detection\ effi.) \times Crystal\ size / 4\pi r^2$$

- ・ 検出器とターゲット間距離rを調整し検出器に入る光子の数を1photon/1pulseにする
- ・ 分解能の異なるエネルギースペクトルの足し合わせが必要

●パイルアップモニター 572A



●パイラアップモニター



C.F.D.出力の数を数えてリアルタイムで表示

```
Nhit
Run:      1234
RUN is running
Started at:Thu Jul 23 13:05:01 2015
Present at:Thu Jul 23 13:05:34 2015
# of Pulse:      100      700 (on beam)
GLP1 (CH1) :      100 (hit/100pulse)
GLP2 (CH2) :           0 (hit/100pulse)
GLP3 (CH3) :           0 (hit/100pulse)
GMX1 (CH4) :           0 (hit/100pulse)
GMX2 (CH5) :           0 (hit/100pulse)
GMX3 (CH6) :           0 (hit/100pulse)
GMX4 (CH7) :           0 (hit/100pulse)
GLP1 (busy) :           0 (hit/100pulse)
GLP2 (busy) :           0 (hit/100pulse)
GLP3 (busy) :           0 (hit/100pulse)
GMX1 (busy) :           0 (hit/100pulse)
GMX2 (busy) :           0 (hit/100pulse)
GMX3 (busy) :           0 (hit/100pulse)
GLP4 (busy) :           0 (hit/100pulse)
CT-Moniter :           0 (hit/100pulse)
```

C.F.D.の出力が、
100ミュオンビームあたり何個あるかをパネルに表示する

DAQのカウントスケールを見ながら
100hit/100pulseとなるよう検出器-ターゲット間を調整する
検出器の数の応じて拡張する

1.負ミュオンによる非破壊元素分析

2.装置概略

3.問題いろいろ

- ・ゲルマニウム検出器における高計数場
- ・ユーザーインターフェース
- ・イベントデータデコーダ
- ・キッカーノイズ
- ・トリガーIDのずれ

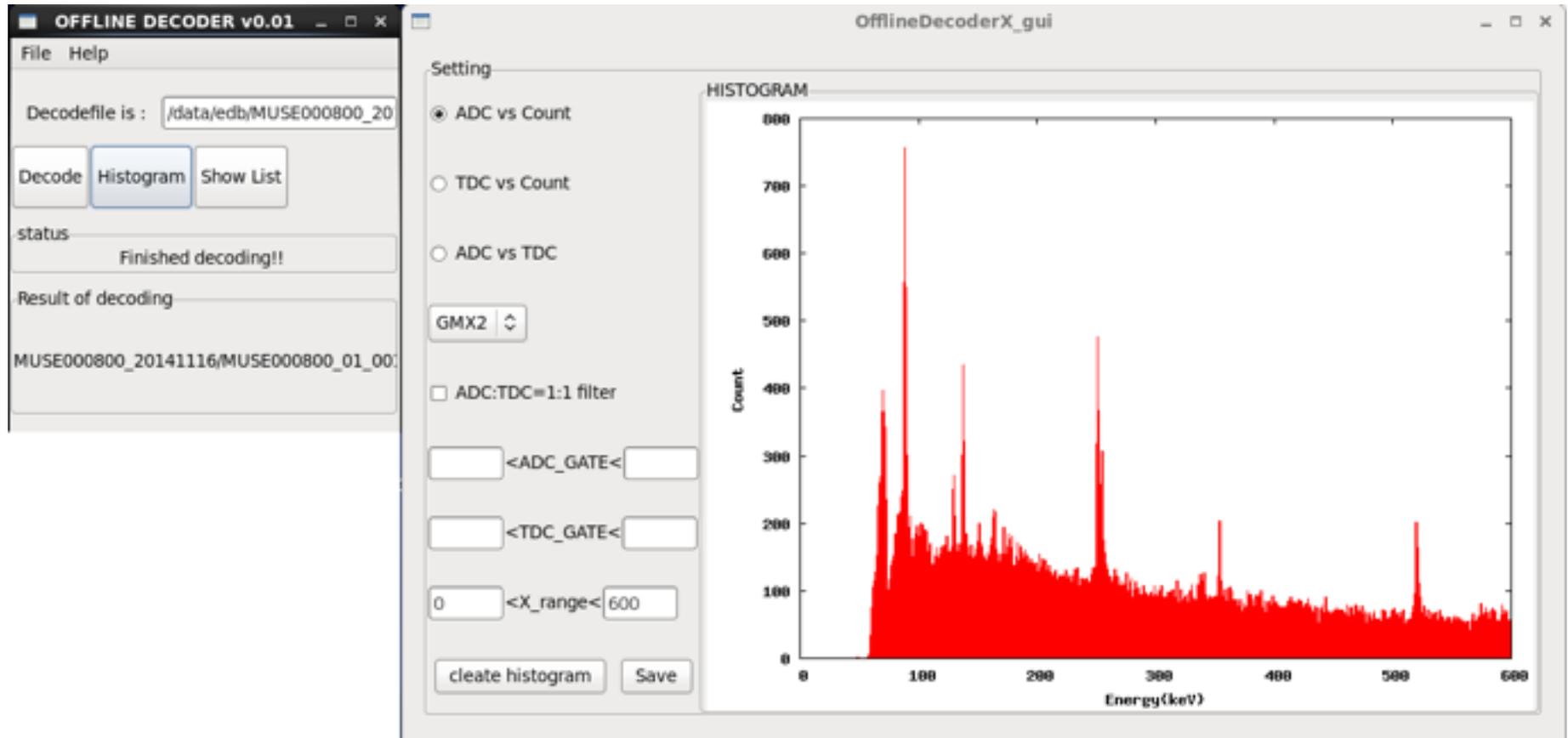
1.負ミュオンによる非破壊元素分析

2.装置概略

3.問題いろいろ

- ・ゲルマニウム検出器における高計数場
- ・ユーザーインターフェース
- ・イベントデータデコーダ
- ・キッカーノイズ
- ・トリガーIDのずれ

● イベントデータのデコーダ開発



GUIパネルより.edbファイル扱うデコーダの開発経過

→ユーザがどういったデータを要求しているのか？

Ex. テキスト?root?セイコーの解析ソフト形式chn? に合わせて開発を行う

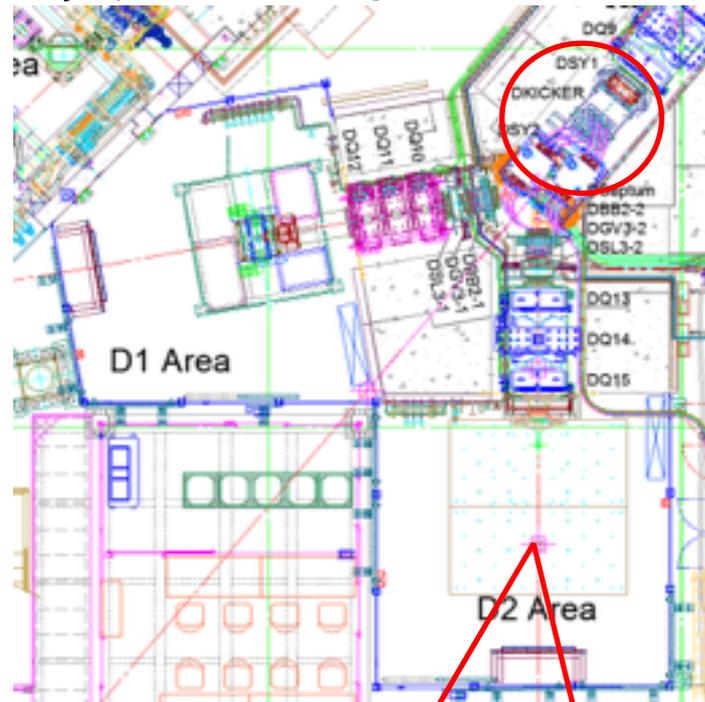
1.負ミュオンによる非破壊元素分析

2.装置概略

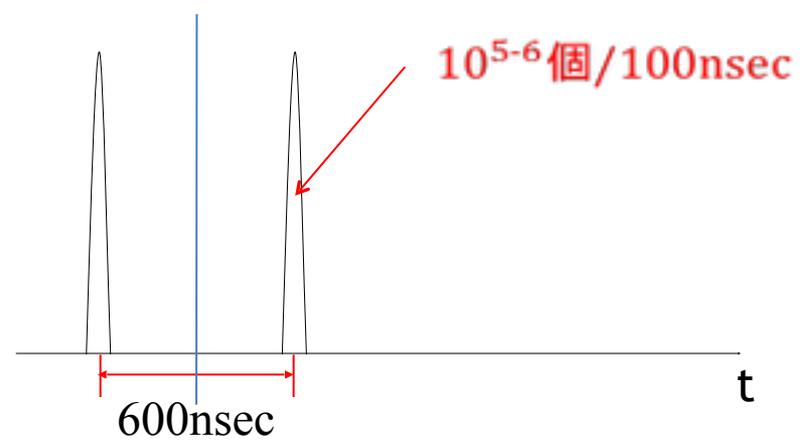
3.問題いろいろ

- ・ゲルマニウム検出器における高計数場
- ・ユーザーインターフェース
- ・イベントデータデコーダ
- ・キッカーノイズ
- ・トリガーIDのずれ

●キッカーノイズ



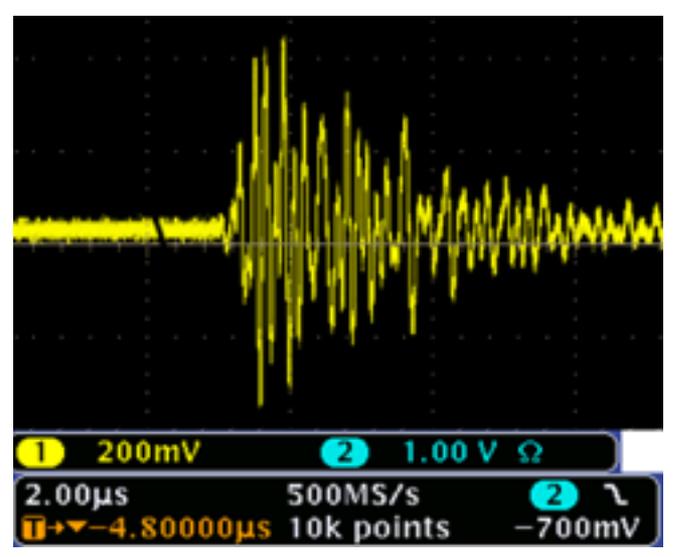
ここで切る



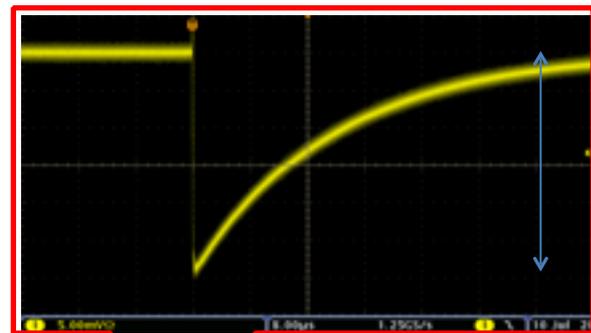
○D1D2で並行に運転しながら実験ができる
(ビームの極性は統一)

ところが・・・

キッカーが動作中、付近に±400mV程度の放射ノイズ?
が
現れる

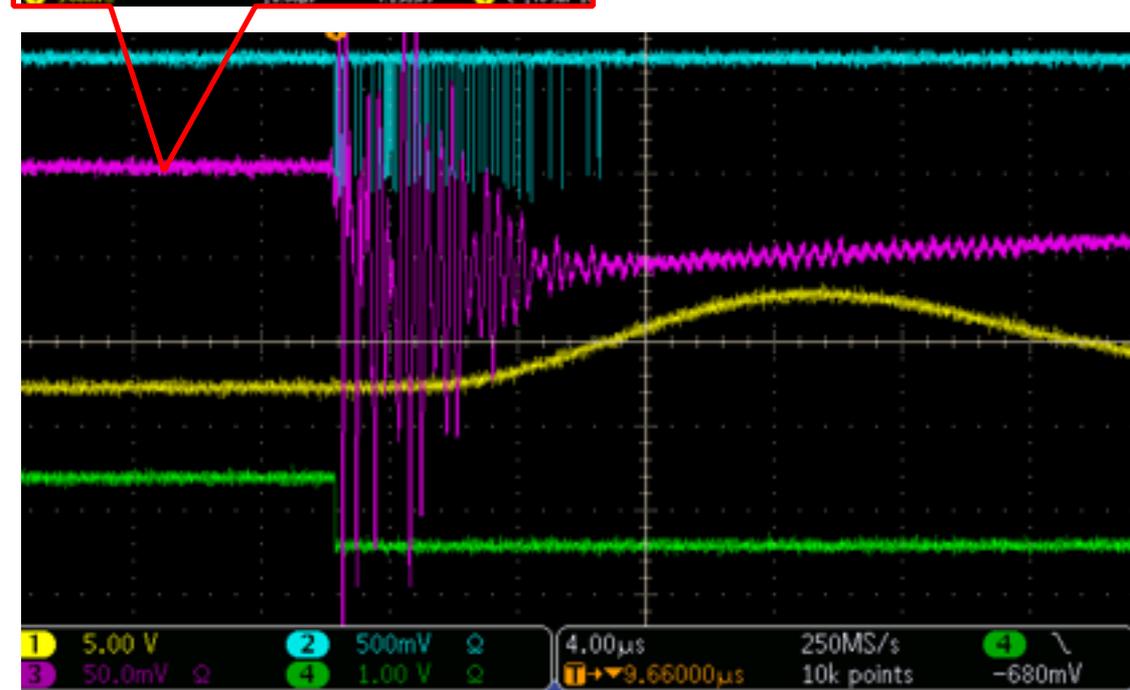


●キッカーノイズ



Detectorからの生信号(本来はこんな波形)

数十mV



C.F.D. output

Detectorからの生信号
(1MHz~)

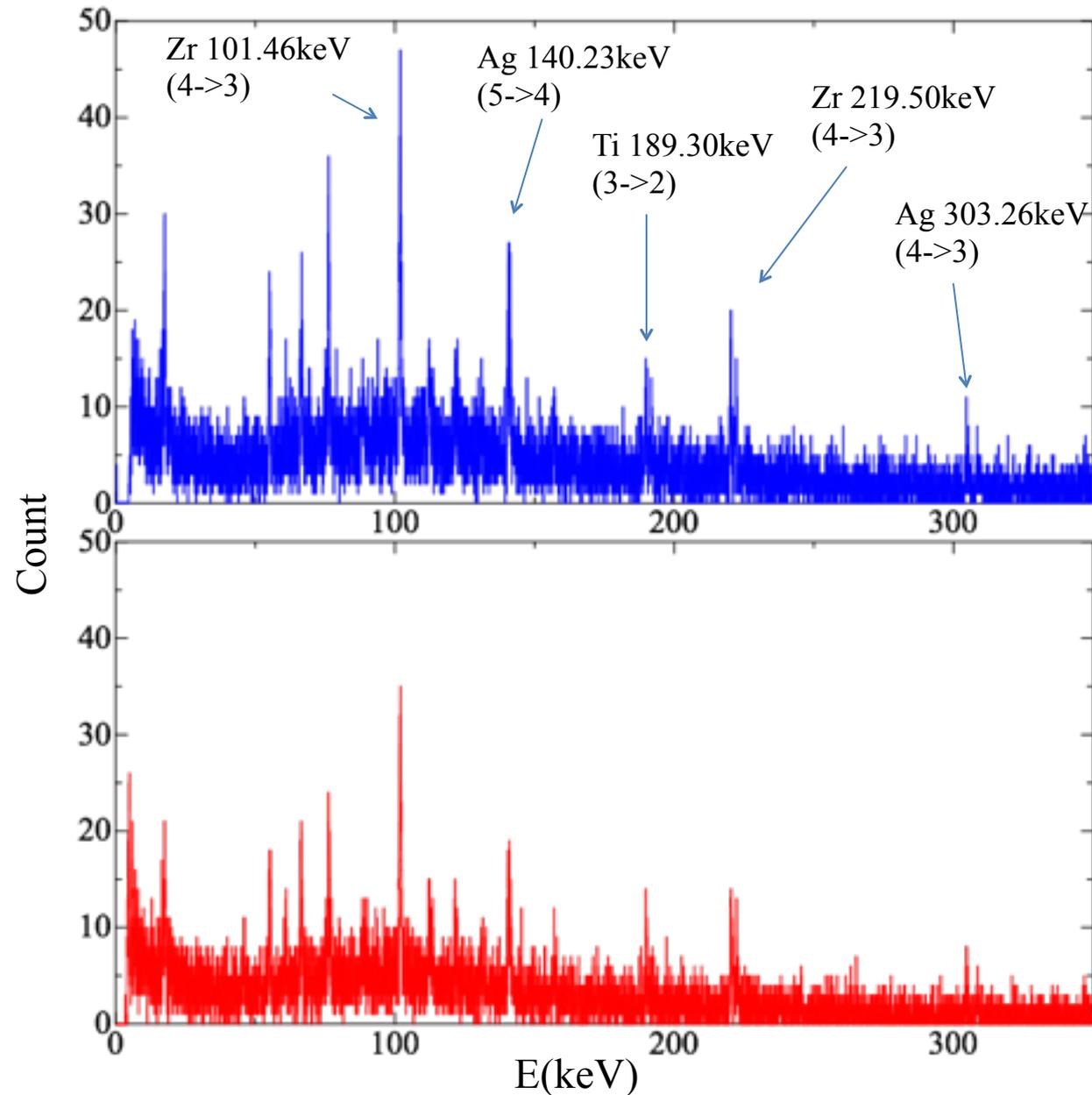
linearAmp. 信号

Self gate

検出器にそのノイズ成分がのる(紫色)

→当然下流のlinearAmp.やFastAmp.も当然このノイズ成分をアンプすることになる

●キッカーノイズ



青：キッカー未動作時
赤：キッカー動作時(single puls)

Sample :Zr,Mo,Ag,Ti 板

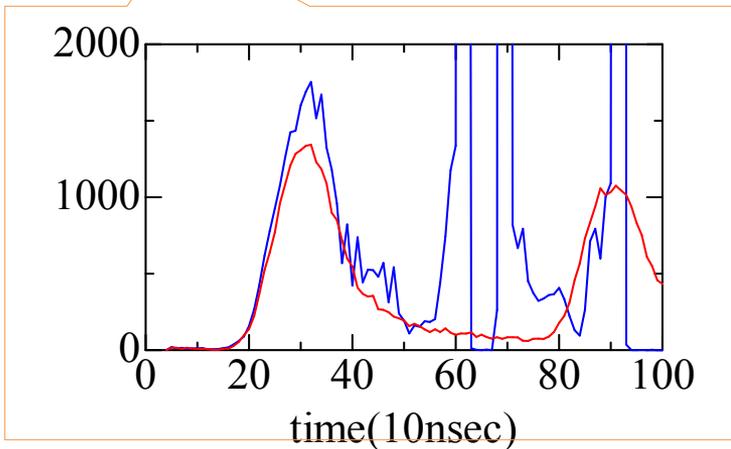
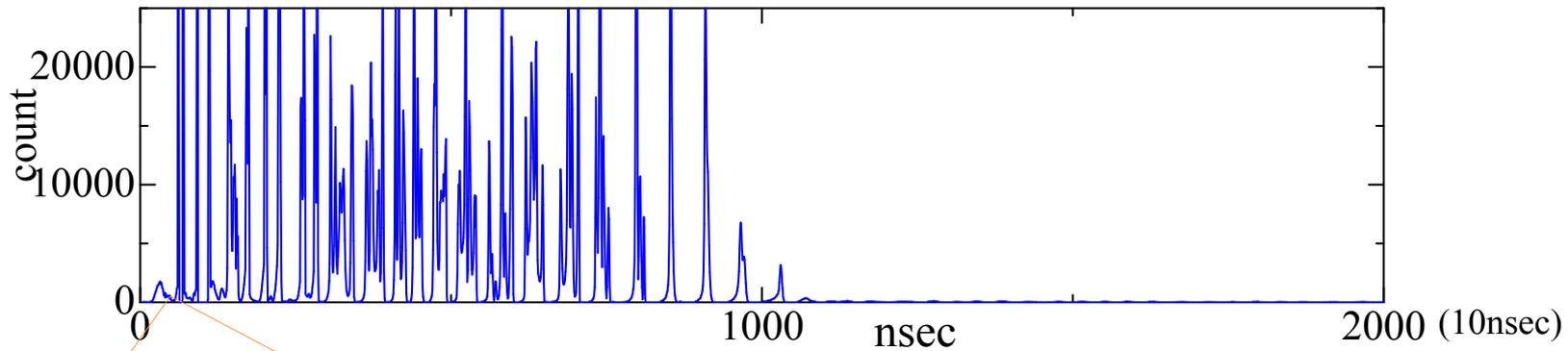
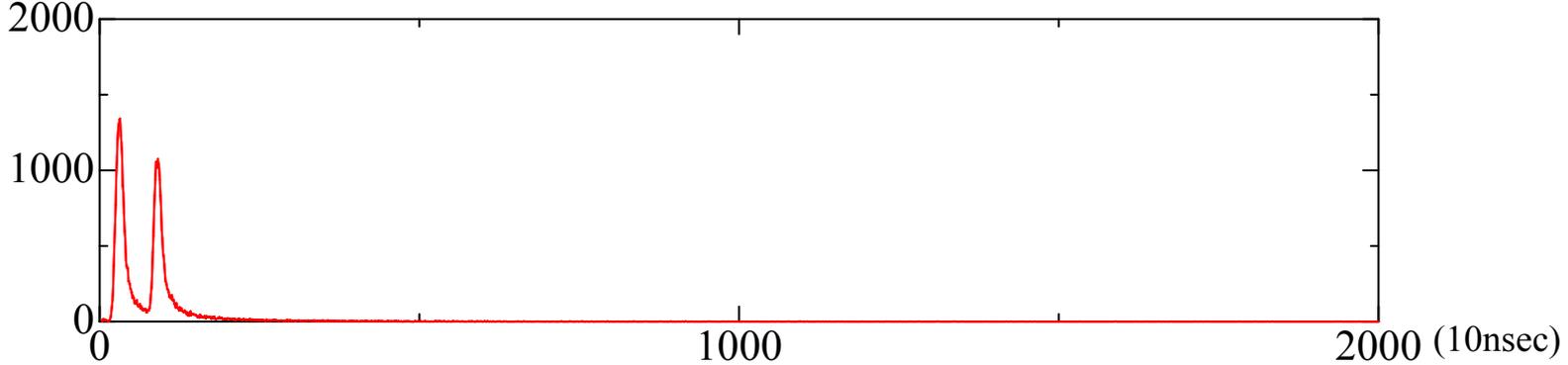
GLP検出器

(立体角は赤青両者とも同じ)

Zr:101.46 keV	
青： peak	47 Count
FWHM	1.30keV
赤： peak 35 Count	
FWHM	0.92keV

●キッカーノイズ

GLP2_{tdc}



GLP2_時間ヒストグラム

赤：キッカーOFF

青：キッカーON(1st)

横軸：(10nsec)

縦軸：count

1.負ミュオンによる非破壊元素分析

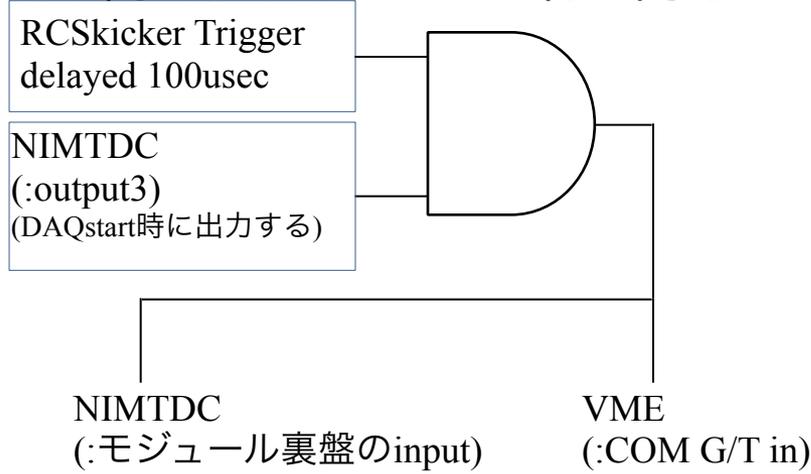
2.装置概略

3.問題いろいろ

- ・ゲルマニウム検出器における高計数場
- ・ユーザーインターフェース
- ・イベントデータデコーダ
- ・キッカーノイズ
- ・トリガーIDのずれ

●トリガーIDのずれ

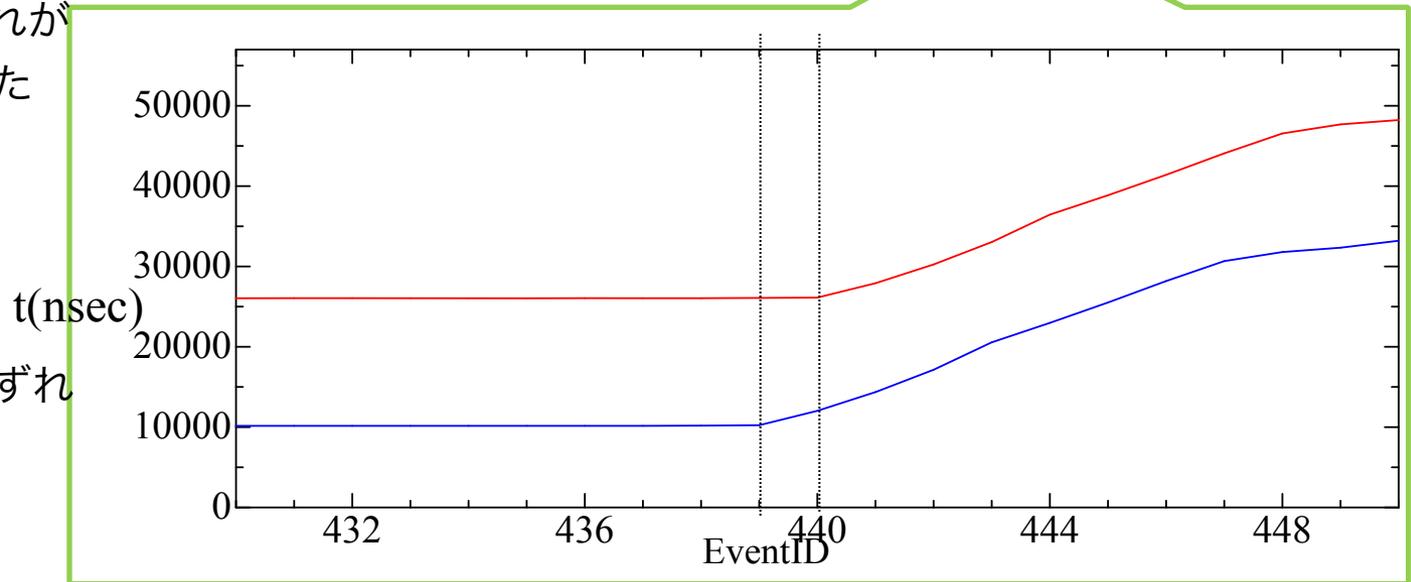
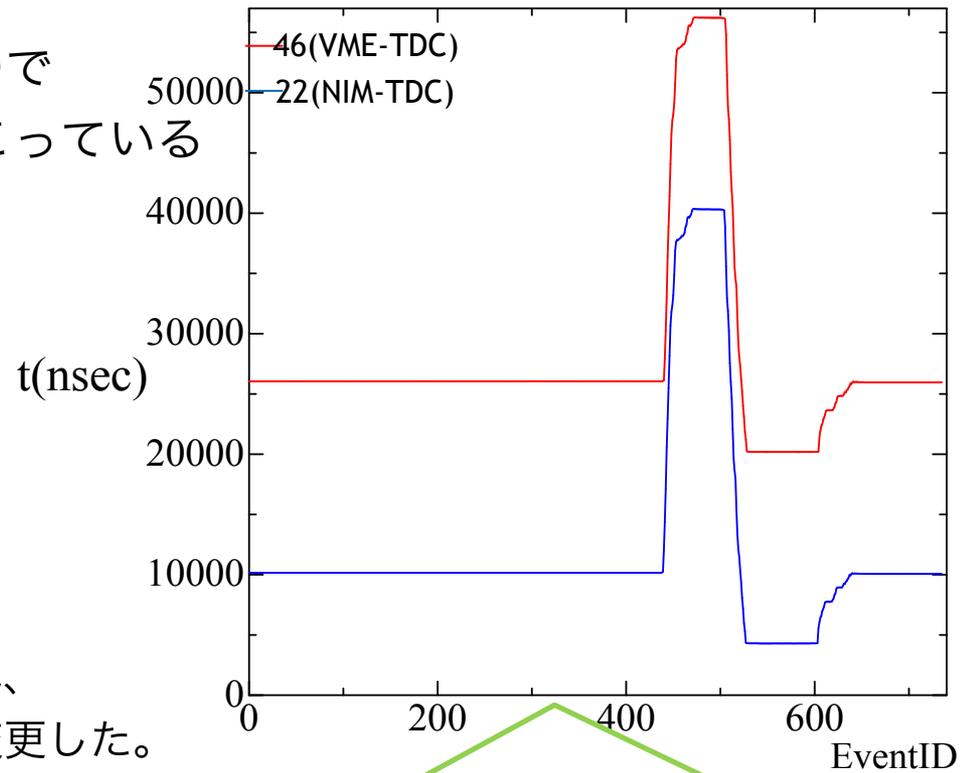
異なるモジュールを二種類使用しているの
その間でトリガータグの付け間違いが起こっている



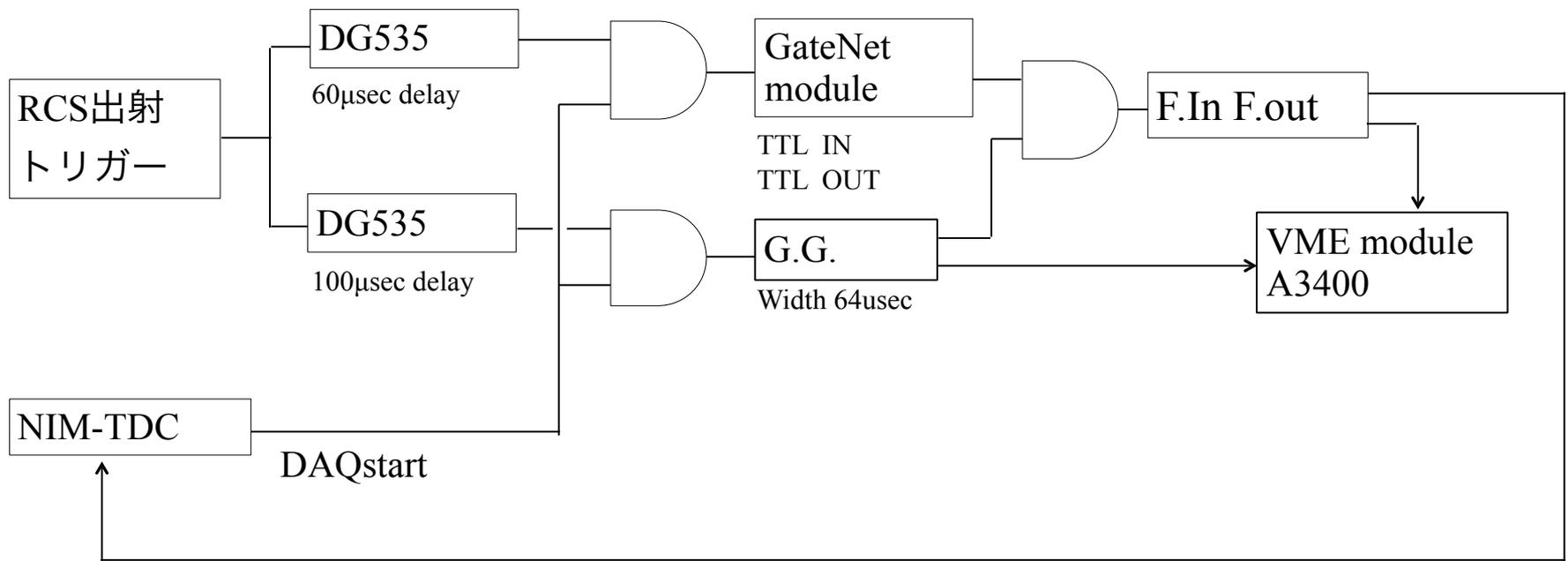
両モジュールに同じ信号をパルサーで作って入れ、
ある区画においてその信号のディレイレートを変更した。

両モジュールにおいて遅れが
追隨できているか確認した

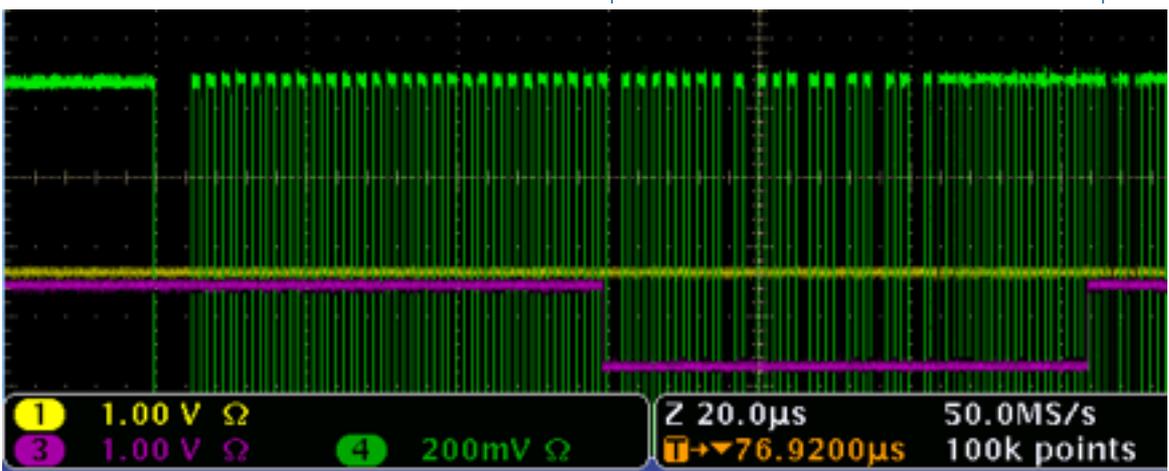
→両モジュール間でIDのずれ
が1番地ずれてる



● トリガーIDのずれ NIM-TDCとVMEの同期



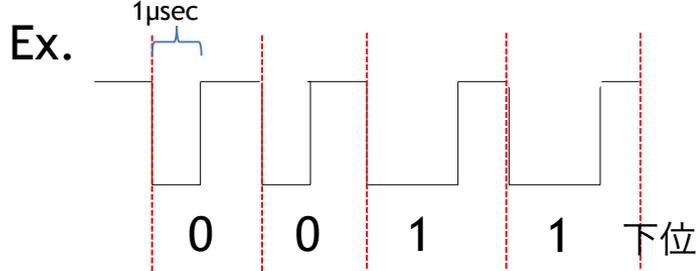
GateNet Clock



パルスIDをモジュール信号的に数えるモジュール

立ち上がり立下り2μsec→0

立ち上がり立下り3μsec→1



最大64/3=21bit

●まとめ

ユーザーは測定試料を持ってくる

- ・ 測定用チャンバー
- ・ Ge検出器及びアナログ回路のセットアップ
- ・ DAQ(~~モジュール間のトリガー同期等の問題~~)
- ・ CUIベース→GUIベース(整備中)
- ・ イベントデータ処理(製作中)

μX線元素分析実験は新しい体系で無事スタート

ユーザーはデータを持ち帰る