

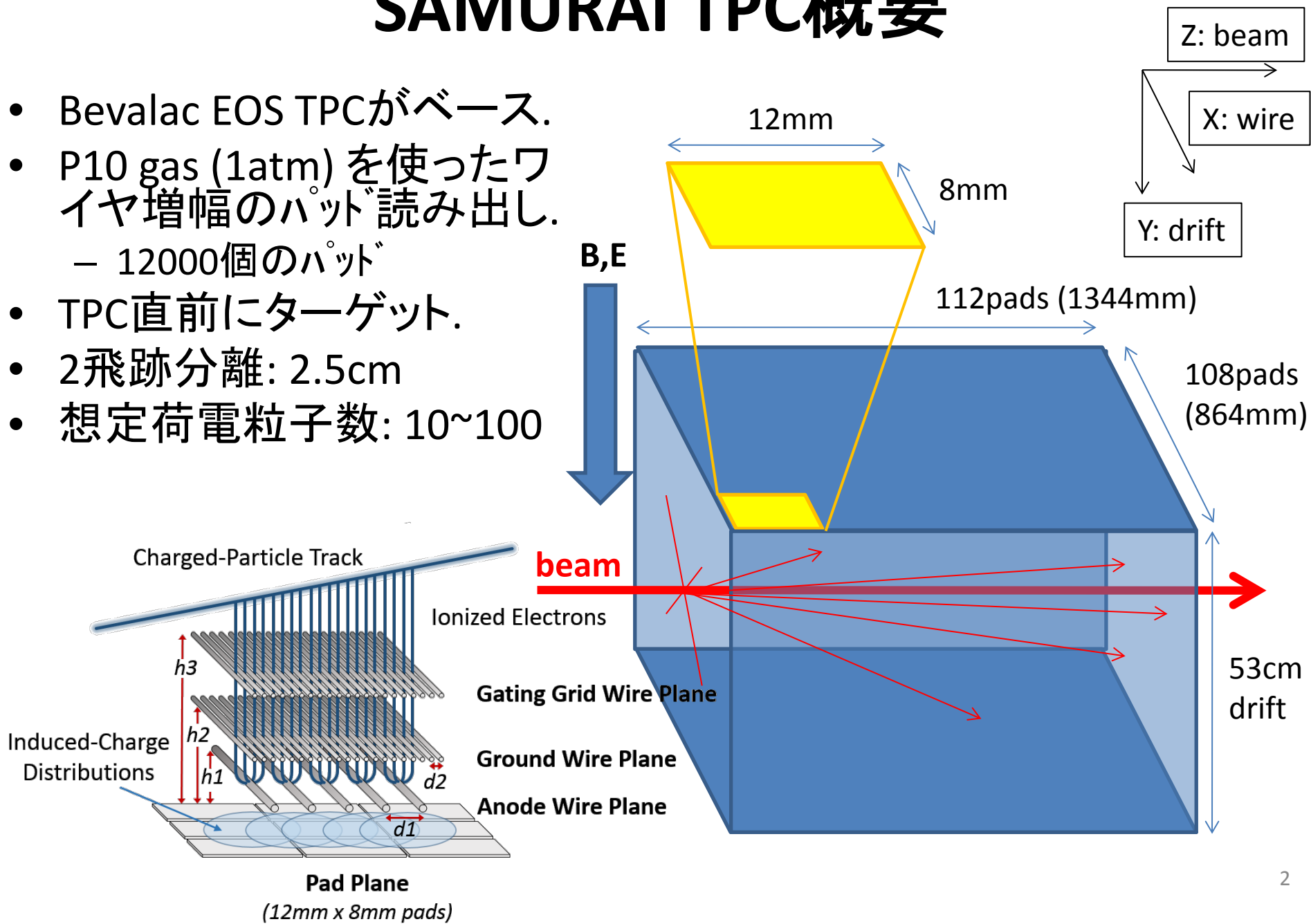
# SAMURAI TPCの読み出しシステム

理研仁科センター

磯部忠昭

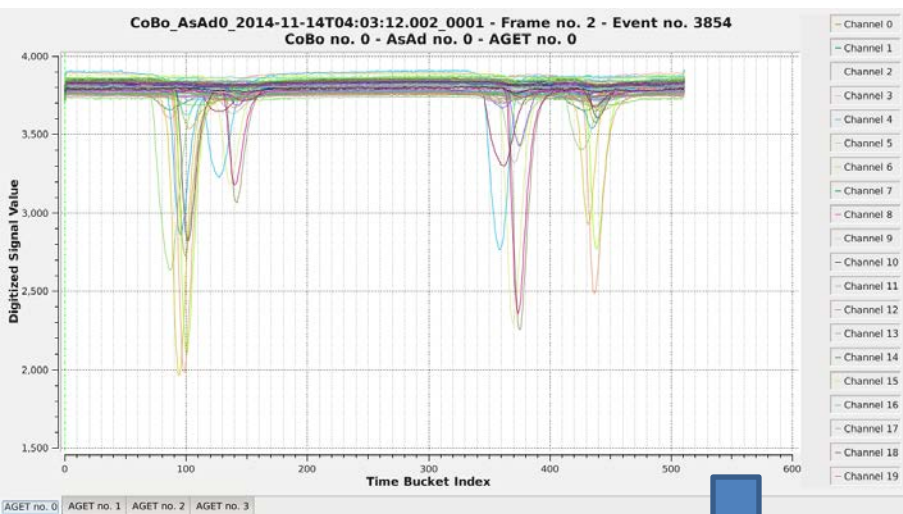
# SAMURAI TPC概要

- Bevalac EOS TPCがベース.
- P10 gas (1atm) を使ったワイヤ増幅のパッド読み出し.  
– 12000個のパッド
- TPC直前にターゲット.
- 2飛跡分離: 2.5cm
- 想定荷電粒子数: 10~100

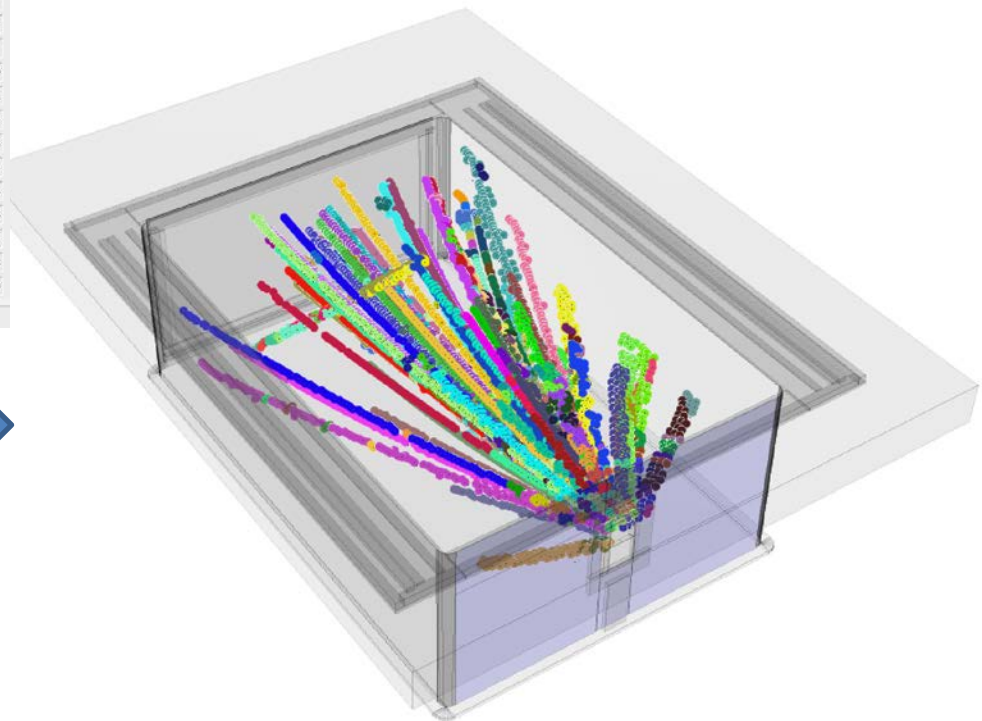


# TPCにおける信号の読み出し

- TPC中におけるエネルギーロスが、電子-イオン対を生成 → ドリフトさせた電子をワイヤで増幅し、信号を読み出す。



Reconstruction of charged particle tracks



# 実験条件

- TPC中を重イオンビームが通過する
  - →RIBFで生成される2次ビームは収量をかせぐために、ビームラインアクセプタンスが大きく、必ずしもきれいなペンシルビームが通るとは限らない
    - Angular acceptance: 80mrad(H) x 100mrad(V)
  - →gating gridによる、anode領域の保護は必須
- TPC自体が受けられるビームrateとして20kHzを仮定
  - 実際にはそれ以上も可能かとも思われるが、ビーム自体による電場の歪みの評価が必要
- Targetの厚さにも依存するが、そのうち1%がreaction (i.e. HIC)
- Trigger rate:数百Hz
- 重イオンが通過する中でZ=1粒子検出が必要

# ハドロン実験と原子核実験の違い

- ハドロン実験: $Z=1$
- 原子核実験: $Z \geq 0$
- $dE/dX \propto Z^2$
- 重イオンを同じ検出器で同時に測定するのは(現在ほぼ)できない。
- →これからの検出器課題の一つ
- J-PARCでも単位面積あたりの $dE$ による検出器の安定動作性は議論されるが、原子核の場合、 $dE$ が局所的になり、その影響は出やすい。
  - 壊れる毎に検出器の入れ替え
  - わざとdefocusedビームを作って、検出器の寿命を延ばす

# SAMURAI-TPCの読み出しシステム:GET

- 性能要求:

2009/10~2014/9



- 高いDAQ rate ( $\sim 1\text{kHz}$ )
- 広いADCレンジ ( $>10\text{bit}$ ).
- 重イオンが飛ぶ中で、 $Z=1$ 粒子をきちんと測定できる.
- 低消費電力

- **GET** systemを採用. General Electronics for TPC.

- 次世代エレキとして主に米国・フランスにより開発された統合システム.
- RIBFだけではなく、J-PARCや他原子核実験にて採用
- readout 12bit ADC 512 samples from 12000 pads under 1kHz DAQ rate が可能に.
- 消費電力は0.1W/ch

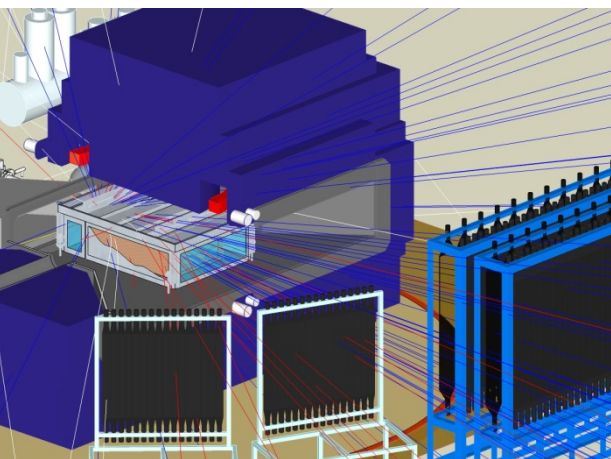
GET general meeting  
at France CAEN



# SYSTEM GET

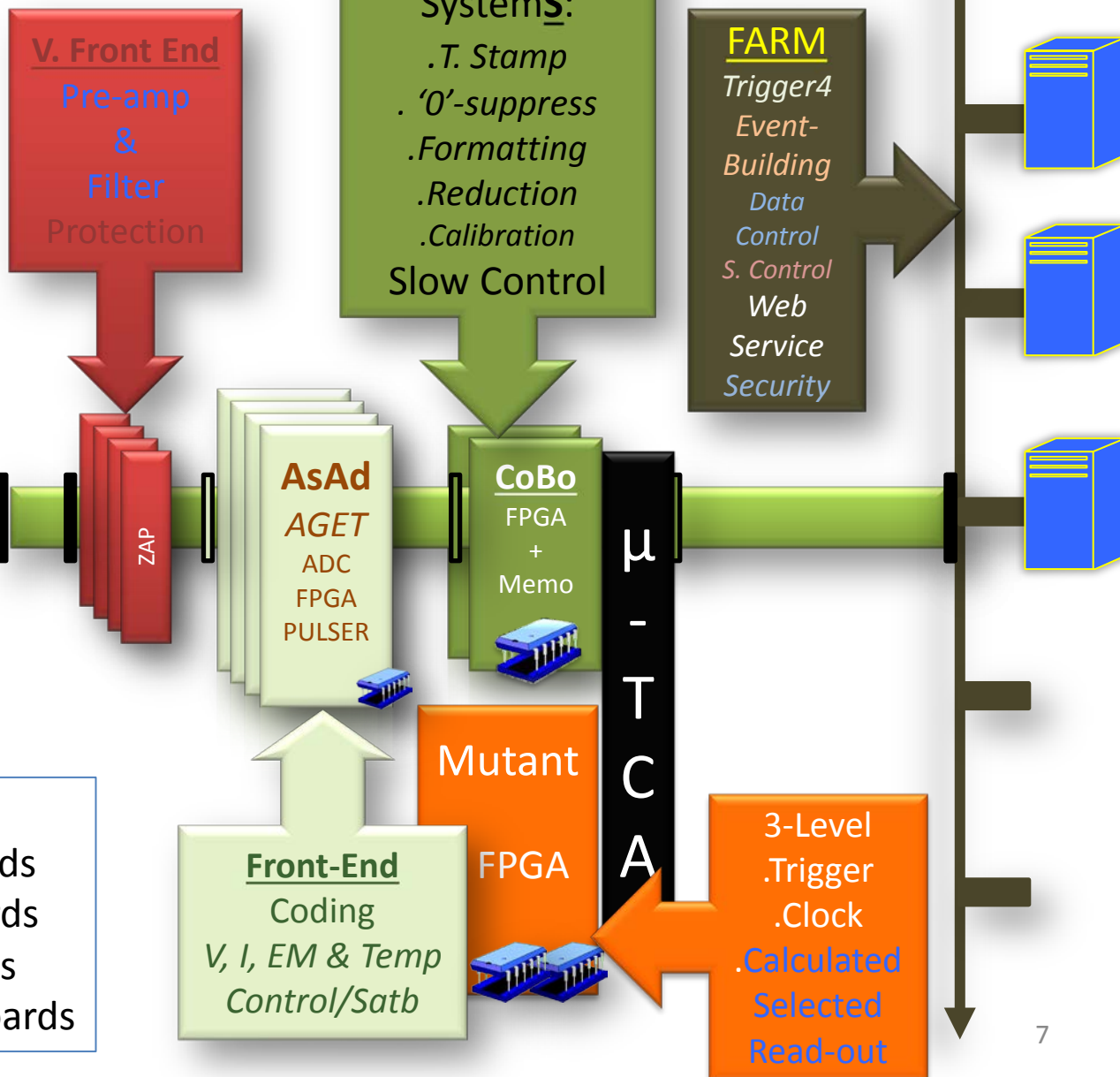
## Generic Structure (H&S)

2<sup>12</sup> Final Dyn Rnge  
10Gbit B.width  
4 Level Digital Trigger

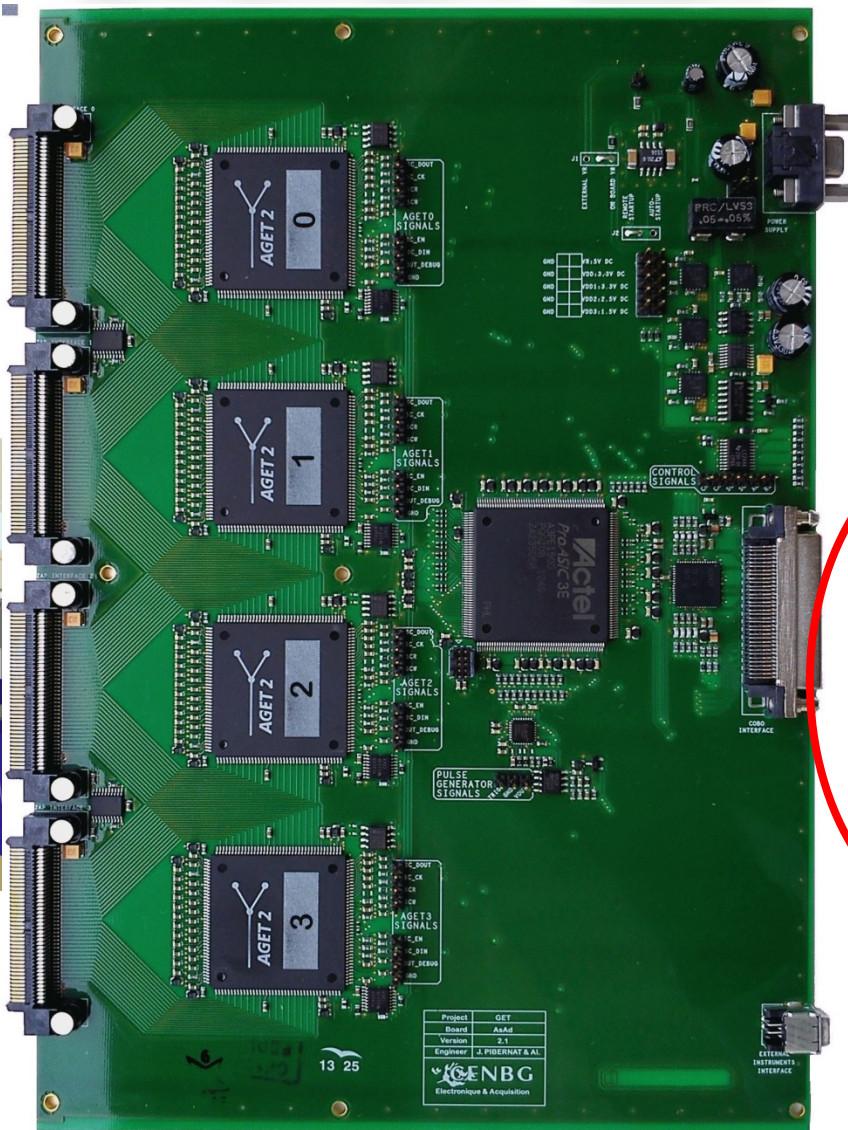


## SPiRiT TPC:

48 AsAd boards  
12 CoBo boards  
2  $\mu$ -TCA crates  
2 MuTANT boards



# SYSTEM GET



2  $\mu$ -TCA crates  
2 MuTANT boards

Concentrator  
Embedded  
SystemS:  
.T. Stamp  
. 'O'-suppress  
.Formatting  
.Reduction  
.Calibration  
Slow Control

FARM  
Trigger4  
Event-  
Building  
Data  
Control  
S. Control  
Web  
Service  
Security

AsAd  
AGET  
ADC  
FPGA  
PULSER

CoBo  
FPGA  
+  
Memo

$\mu$ -TCA

Mutant  
FPGA

Front-End  
Coding

v, I, EM & Temp  
Control/Satb

3-Level  
.Trigger  
.Clock  
.Calculated  
Selected  
Read-out

# SYSTEM GET

## Generic Structure (H&S)

2<sup>12</sup> Final Dyn Rnge  
10Gbit B.width  
4 Level Digital Trigger

V. Front End  
Pre-amp  
&  
Filter  
Protection

Concentrator  
Embedded  
SystemS:  
.T. Stamp  
. 'O'-suppress  
.Formatting  
.Reduction  
.Calibration  
Slow Control

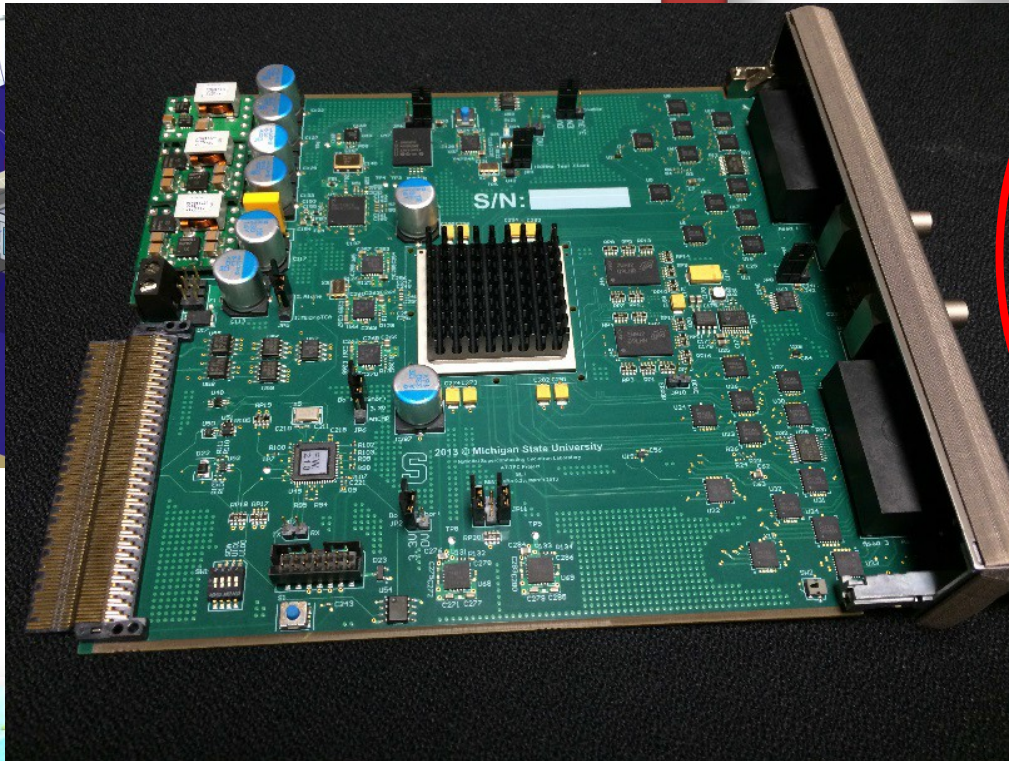
FARM  
Trigger4  
Event-  
Building  
Data  
Control  
S. Control  
Web  
Service  
Security

CoBo  
FPGA  
+  
Memo

μ - T C A

Mutant  
FPGA

3-Level  
.Trigger  
.Clock  
.Calculated  
Selected  
Read-out



2 MuTANT boards

Control/Sato

# SYSTEM GET

General  
2<sup>12</sup> Fib  
10Gb  
4 Level



Concentrator  
Embedded  
SystemS:  
.T. Stamp  
. 'O'-suppress  
.Formatting  
.Reduction  
.Calibration  
Slow Control

FARM  
Trigger4  
Event-  
Building  
Data  
Control  
S. Control  
Web  
Service  
Security

CoBo  
FPGA  
+  
Memo

Mutant  
FPGA

3-Level  
.Trigger  
.Clock  
.Calculated  
Selected  
Read-out

# SYSTEM GET

**Generic Structure (H&S)**

2<sup>12</sup> Final Dyn Rnge

**V. Front End**  
**Pre-amp**

**Concentrator**  
**Embedded**  
**SystemS:**

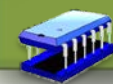
.T. Stamp  
. 'O'-suppress  
. Formatting  
. Reduction  
. Calibration  
Slow Control

**FARM**

Trigger4  
Event-  
Building  
Data  
Control  
S. Control  
Web  
Service  
Security

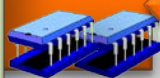
**CoBo**

FPGA  
+  
Memo



**Mutant**

FPGA



μ  
-  
T  
C  
A

3-Level  
.Trigger  
.Clock

.Calculated  
Selected  
Read-out



2 MuTANT boards

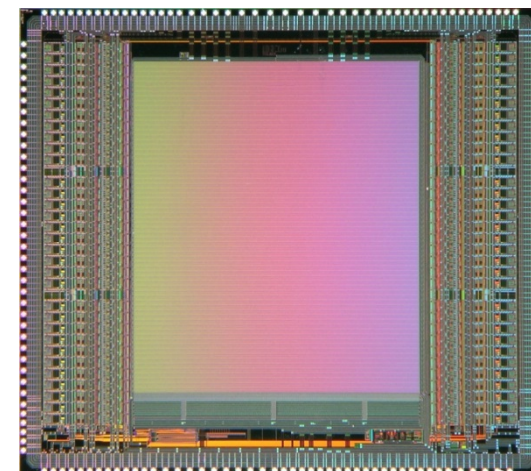
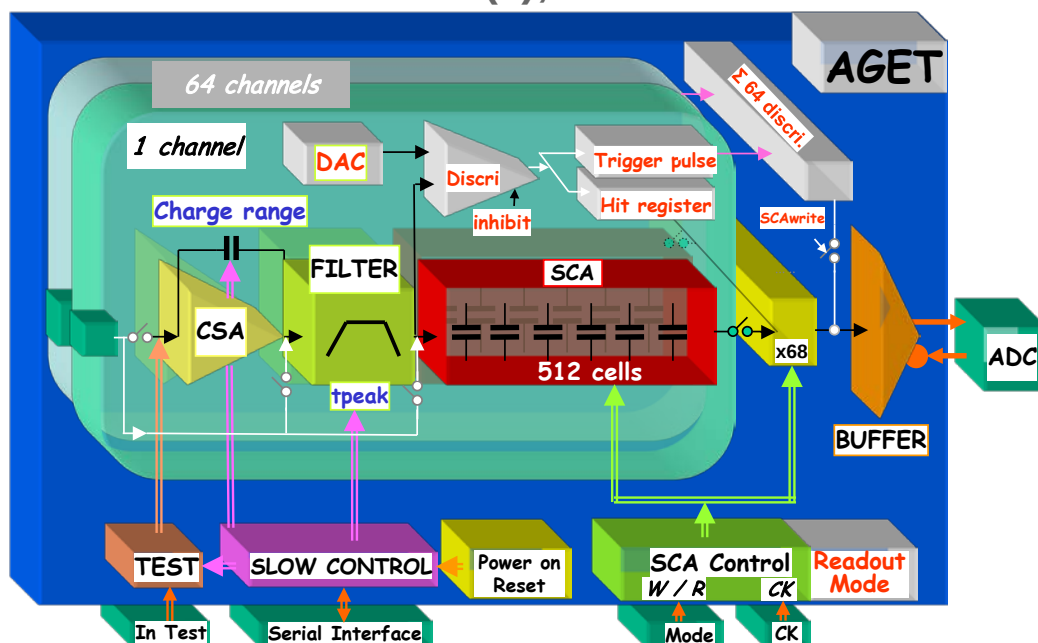
Control/Satb

# GETシステムについて

- ASICを含むフロントエンドハードウェアをフランスが開発(CEA, CENBG)
- コントロールハードウェアをアメリカが開発(MSU/NSCL)
- 日本はDebugモジュールの開発(RIKEN)
- ソフトウェアはフランス(CEA, GANIL)
- 主に原子核実験で使うTPCを対象としたシステムだが、汎用性が高い
  - WireにもGEMにも使える
  - Pad by padで設定できるゲイン、シェーピングアンプ
- 汎用性が高い→あれもこれもできなければならない
- 実際SAMURAI-TPCを用いた実験は重イオン衝突実験のみならず、他の原子核実験にも応用が利く
- ただでさえ、欧米間のギャップがあるところでの開発で時間がかかるのに、安定したシステムとして確立し始めたのはプロジェクトが終わる頃だった

## Architecture

- 64 analog channels : CSA, Filter, SCA, Discriminator
- Auto triggering : discriminator + threshold (DAC)
- Multiplicity signal : analog OR of 64 discriminators
- Address of the hit channel(s); 3 SCA readout modes : all, hit or specific channels

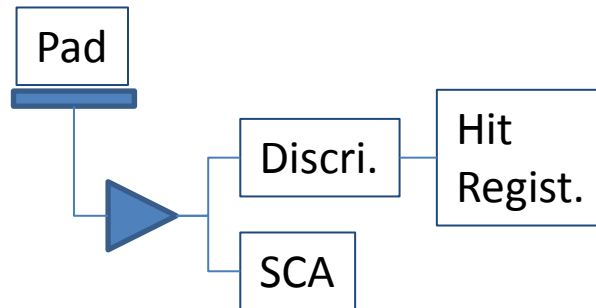


AMS CMOS 0,35  $\mu\text{m}$

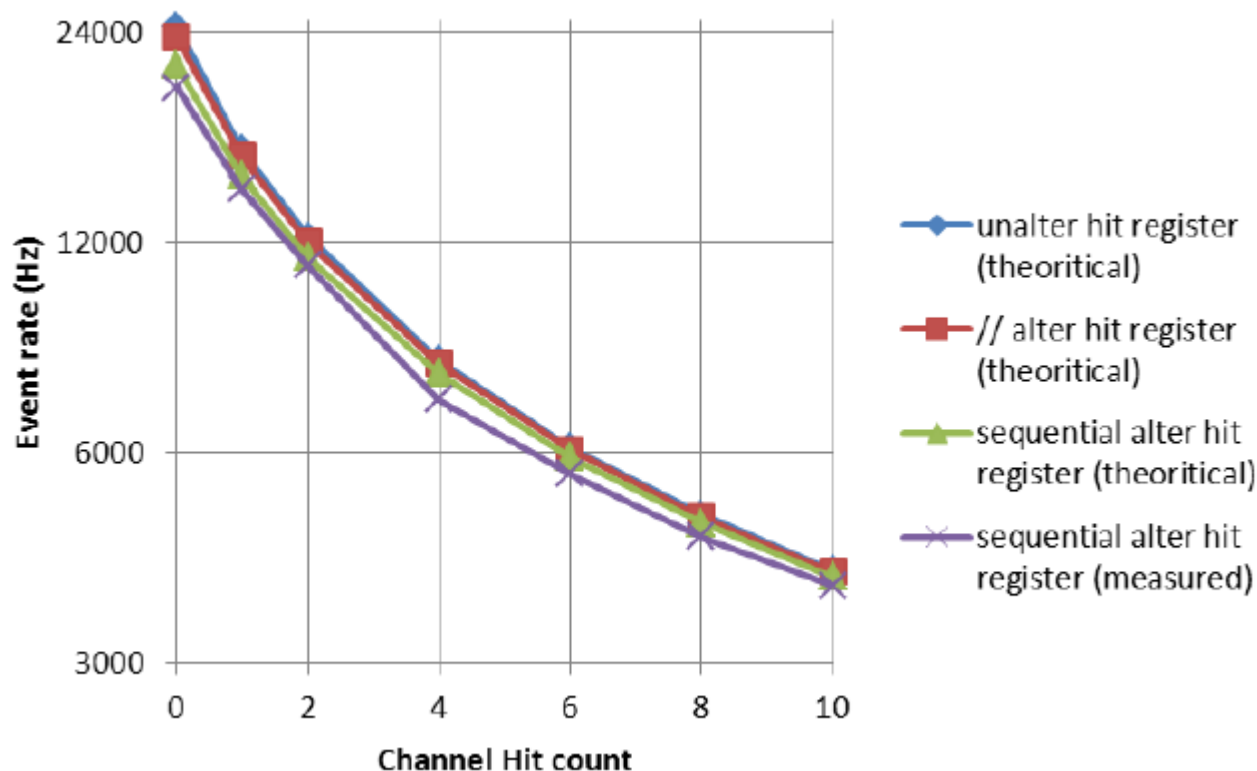
- 4 charge ranges/channel : 120 fC, 240 fC, 1 pC & 10 pC
- 16 peaking time values : 50 ns to 1  $\mu\text{s}$
- Fsampling : 1 MHz to 100 MHz
- Possibility to bypass the CSA and to enter directly into the filter or SCA inputs
- Input current polarity : positive or negative

# 2種類のzero-suppression

- デジタル-ゼロサプレス
  - Conversionされたデータに対し、閾値をかける  
→ data reduction
- アナログ-ゼロサプレス:
  - Discriminatorでアナログ信号が閾値を超えたチャンネルだけDAC→dead timeを短くする
    - 25MHz 1ch FADC for 68 channels
    - STAR-FEEの場合、ADCをch数分準備。10 $\mu$ sec DAC for 1 SCA-cell: 512cell DACに>5msec →電力消費が大きい



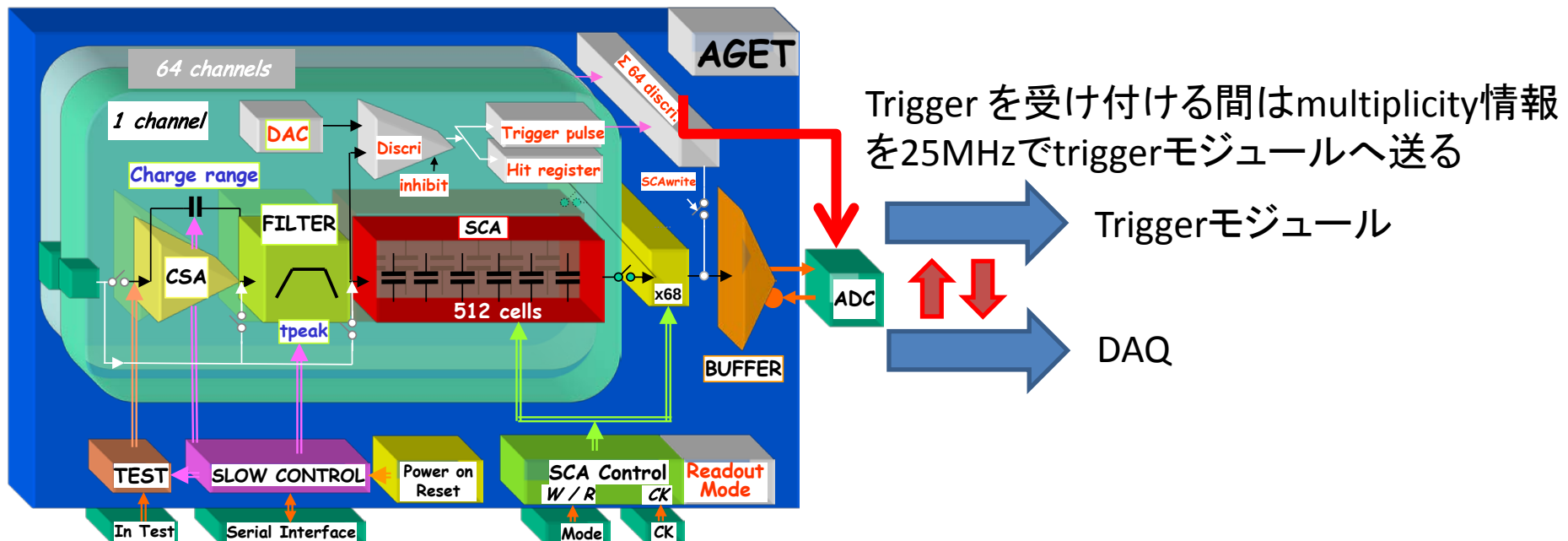
# 選択的digitization : DAQ rateの改善



- ヒットがあったチャンネルのみDigitizeする。
  - Pedestalだけのチャンネルはdigitizaしない。
  - DACにかかる時間の短縮
- 例えば1ASIC(64ch)中8chヒットがあった場合は4500Hzでの読み出しが可能に

# SAMURAI-TPCでは使わないが TPCによるセルフトリガー

- GETシステムではPad Hit数に応じたセルフトリガー発行が可能。
- 将来的には中心衝突事象を選び出すのに、使用できるが、信号をGETへ入れる必要がある為、Gating Gridの機構は使えない。
  - 特殊な原子核反応に対してtriggerをかけるのにも有効
- ビームもしくは他粒子による、ゲイン減衰の問題を解決する必要がある。

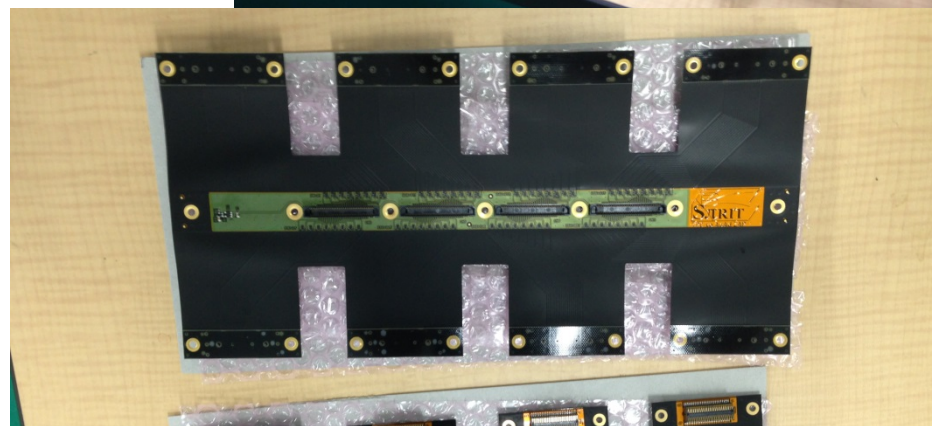
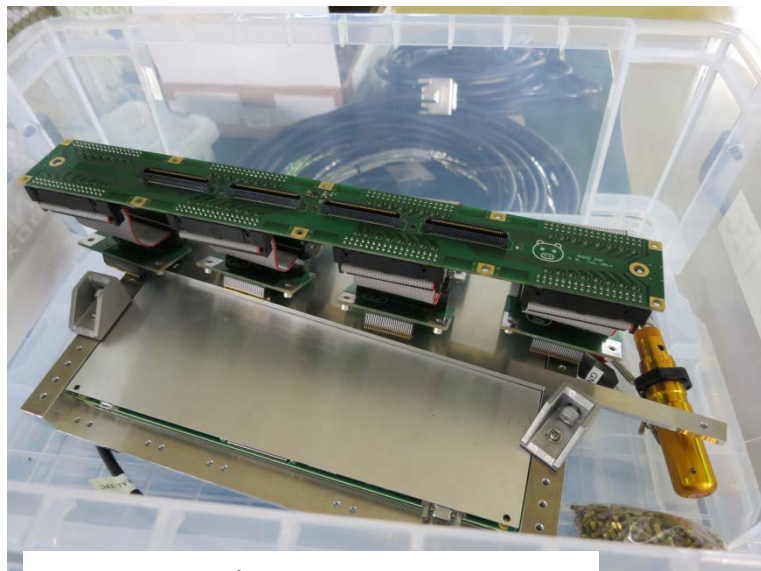
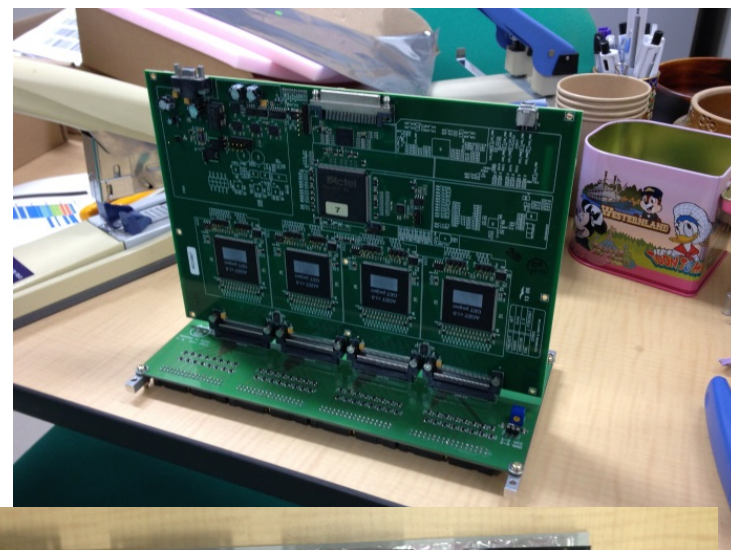
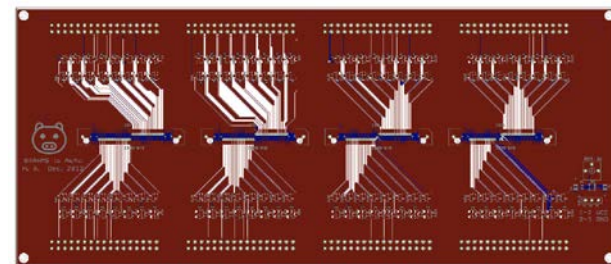


# SAMURAI-TPCへGETを導入するには

- Analog部分からDAQ部分まで一貫したシステムとして開発されているが、以下を各計画ごとに関係する必要がある。
- TPCへの接続部
  - A board to connect AsAd board to TPC has to be made by GET user.
  - ボード自体の形状 (限られた空間に入らなければいけない)
  - Noise/Gainに影響する
- DAQシステムの統合
  - 既に存在するTPC以外の検出器と組み合わせて解析するには何かしらの方法で、データを統合する必要がある。
    - イベントID (common trigger)
    - Time stamp
  - Slowコントロールや、一部のモニタリングなど、共通部分は共同研究的に情報をやりとりできるが、独自の部分は開発する必要がある。
- 要所、要所でオリジナルを導入
- GETを使ったシリコンの読み出し(アンプはオリジナル)
- DAQ部分は各ファシリティにあわせる

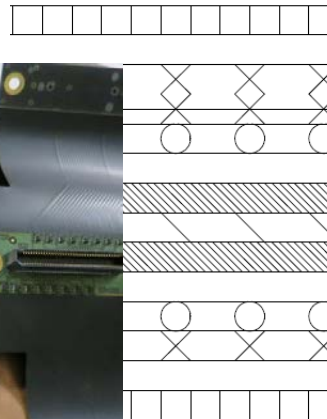
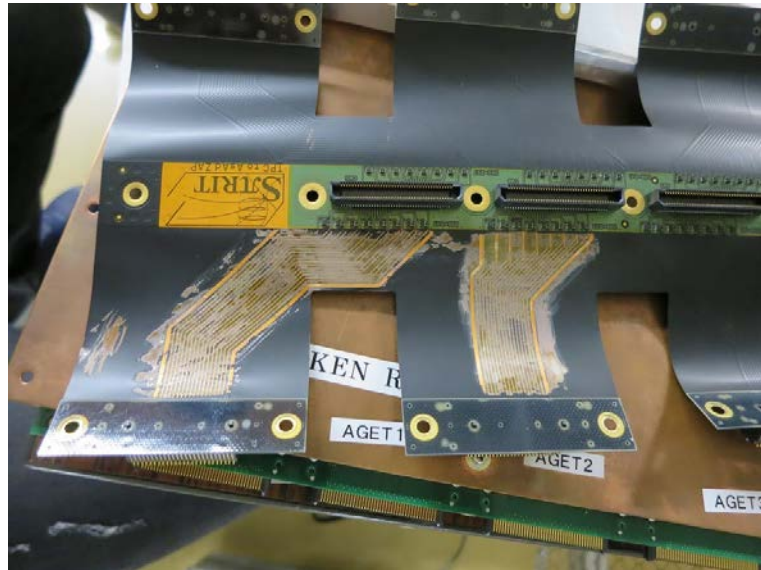
# 3つのインターフェイスボードを開発した。

- 1<sup>st</sup>: for testing with smaller TPC
- 2<sup>nd</sup>: made with flexible board
  - expensive
- 3<sup>rd</sup>: rigid board (final)



Designed/Made by H. Baba

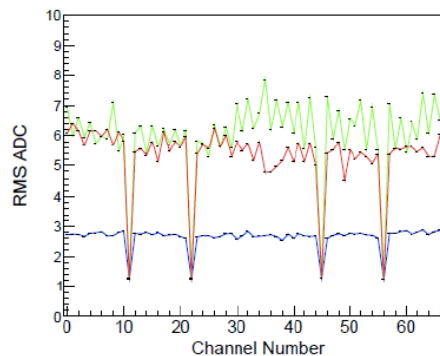
# 限られたスペースに回路を収納するために フレキシブル基盤を作ったが: 逆にノイズ源に



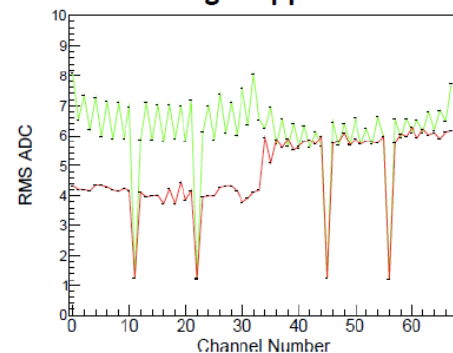
- L1補強板: ガラエポ 500 $\mu$ m
- 接着剤: 熱硬化性接着剤 40 $\mu$ m
- L1銀シールド: 22 $\mu$ m **Ag shield**
- L1レジスト
- L1カバーレイ: ポリイミド 12.5 $\mu$ m **polyimide**
- 接着層: 25 $\mu$ m **gluing layer**
- L1圧延銅箔: 18 $\mu$ m + 銅めっき: 10 $\mu$ m **Cu plate+overlay**
- ベース: ポリイミド 50 $\mu$ m **polyimide**
- L2圧延銅箔: 18 $\mu$ m + 銅めっき: 10 $\mu$ m
- 接着層: 25 $\mu$ m
- L2カバーレイ: ポリイミド 12.5 $\mu$ m
- L2銀シールド: 22 $\mu$ m
- 接着剤: 熱硬化性接着剤 40 $\mu$ m
- L2補強板: ガラエポ 500 $\mu$ m

## GET+ZAP+TPC

(1) Full ZAP



(2) 1<sup>st</sup> 34ch have ZAP shielding stripped off



**ZAP has Ag shield layer which increases the ZAP capacitance: Remove Ag layer  $\rightarrow$  Reduce  $C_{in}$   $\rightarrow$  Reduce noise**

120fC, 233nsec

# 読み出し回路の取り付け作業 (Dec. 2014 ~ Feb. 2015)

- 半分取り付けたところでシリアスな問題が見つかり、取り外してフランスへ送り返すことに

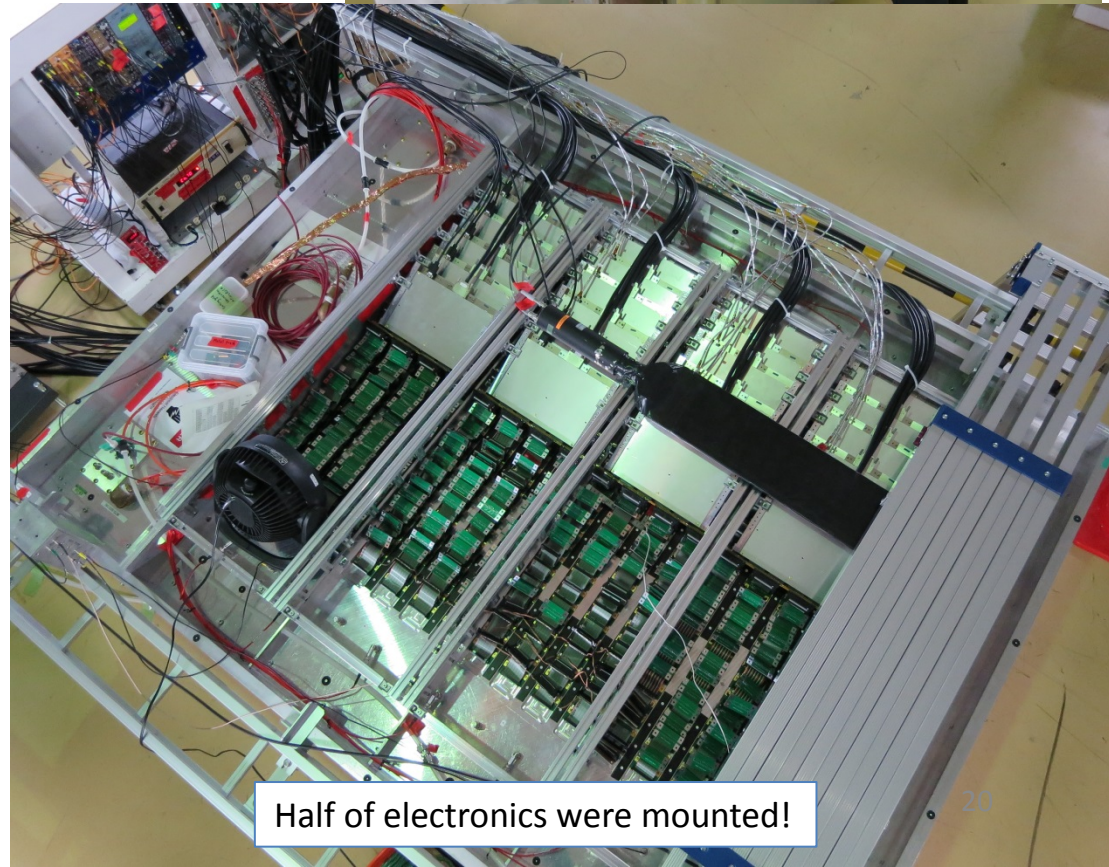
Checking the connection one board by one board.



Gluing spacer one by one.

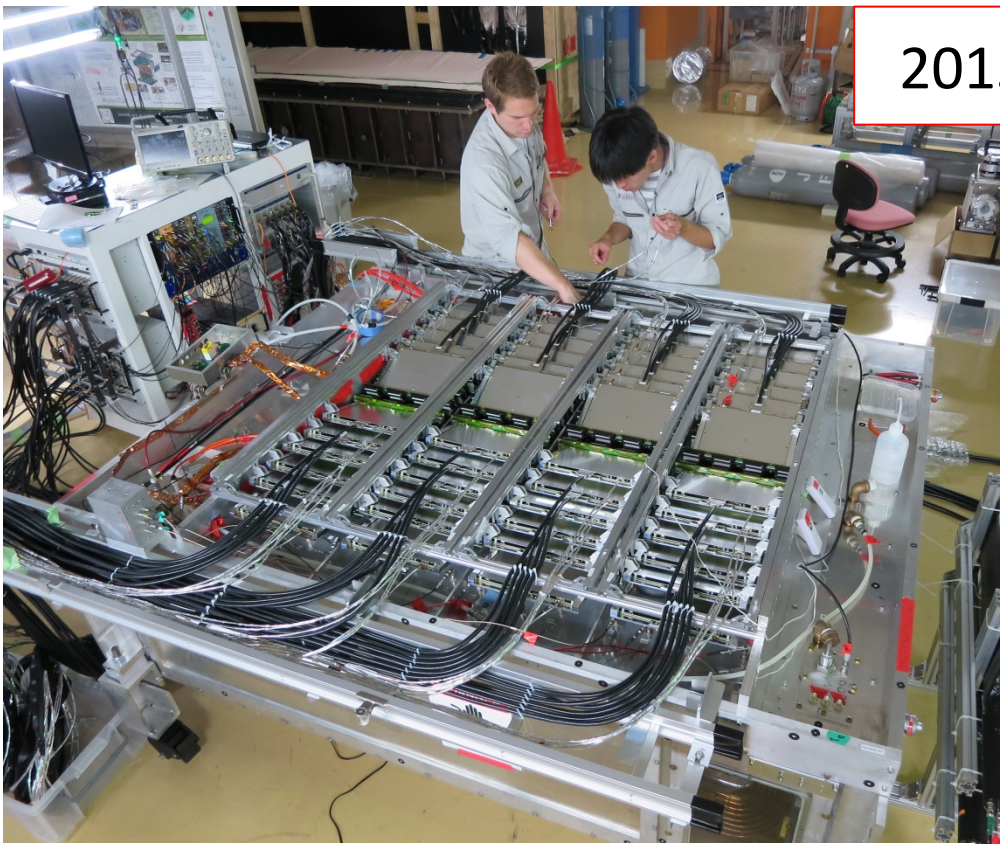


Connecting 384 boards.

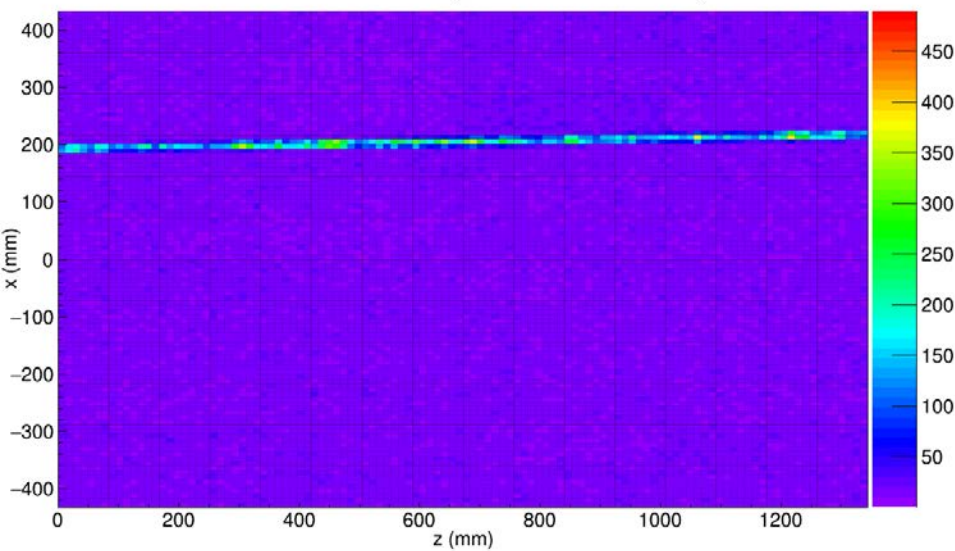


Half of electronics were mounted!

2015年8月に読み出し回路設置完了



Event ID: 152 (Gain not calibrated)

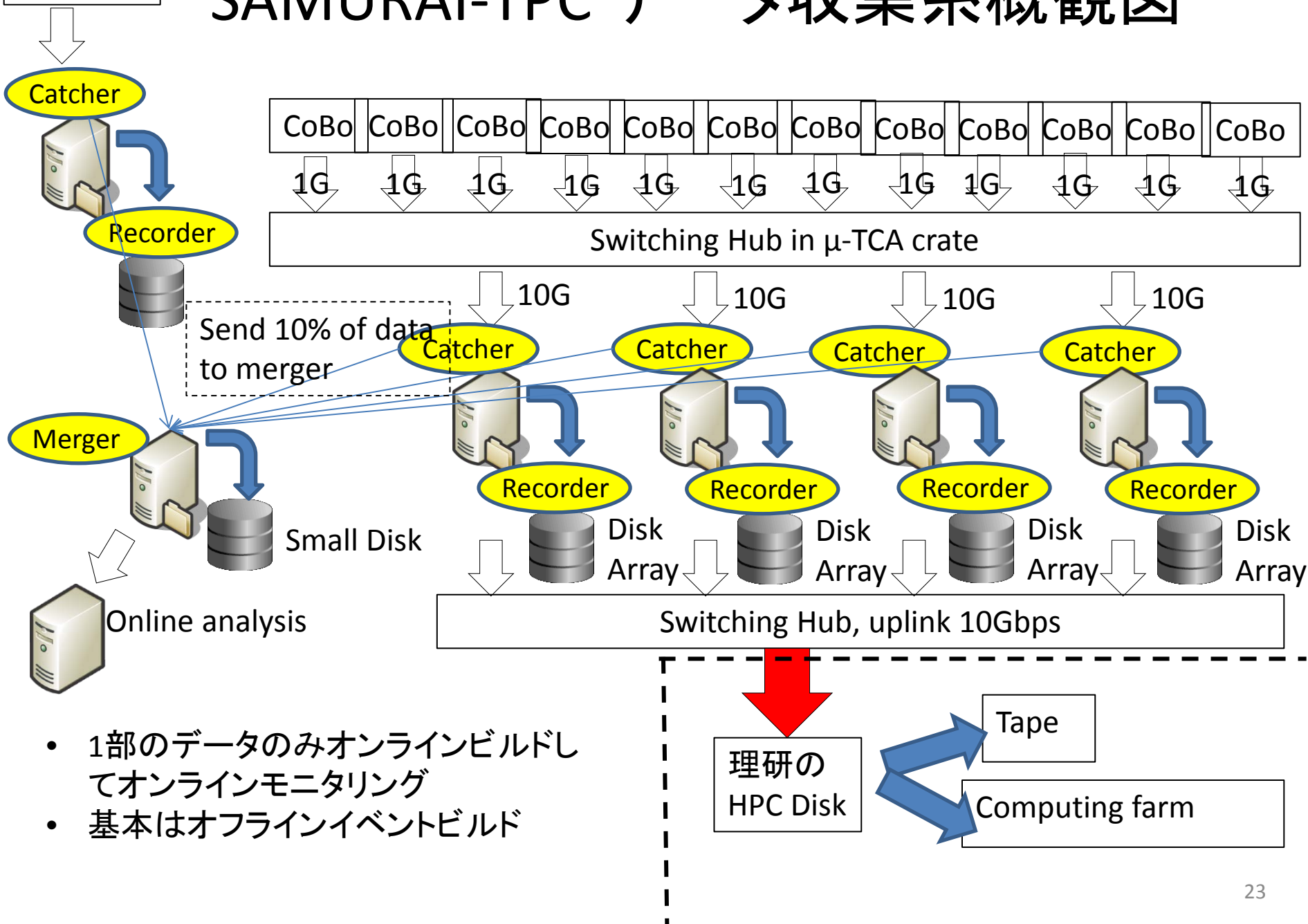


# SAMURAI-TPC用DAQシステム

- 通常のRIBF実験におけるデータサイズ: 数Tbyte/1実験: 1HDD/1実験
- 1実験はだいたい1週間くらい
- SAMURAI-TPCの場合は、そのデータサイズが大きい
- 10MByte/eve w/o zero-suppress
  - Trigger rate 1kHzだとすると、10GByte/secだがネットワーク上の制限により、最大1.2GByte/sec
  - w/o zero-suppressの場合はDAQ rate最大100Hz
- 0.1kByte/eve w/ zero-suppress
  - この場合は数kHzまでいける
- いずれにせよデスクトップマシンではもう無理
  - 理研計算機センターにて解析を行う必要がある

RIBF DAQ

# SAMURAI-TPC データ収集系概観図



Monitoring mode

RUNNING

ERROR

spirit

10

NARVAL

ecc

Init

Start

Stop

Exit

ECC

ecc

RUNNING

095.4 MB

095.5 MB

099.0 MB

090.5 MB

086.6 MB/s

NARVAL

Actor

CoBo[6]

RUNNING

095.2 MB/s

run #11

storer00

RUNNING

Actor

CoBo[7]

RUNNING

094.9 MB/s

run #4

storer01

RUNNING

Actor

CoBo[8]

RUNNING

097.1 MB/s

run #4

storer02

RUNNING

Actor

CoBo[9]

RUNNING

097.8 MB/s

run #4

storer03

RUNNING

Actor

CoBo[10]

RUNNING

094.6 MB/s

run #4

storer04

RUNNING

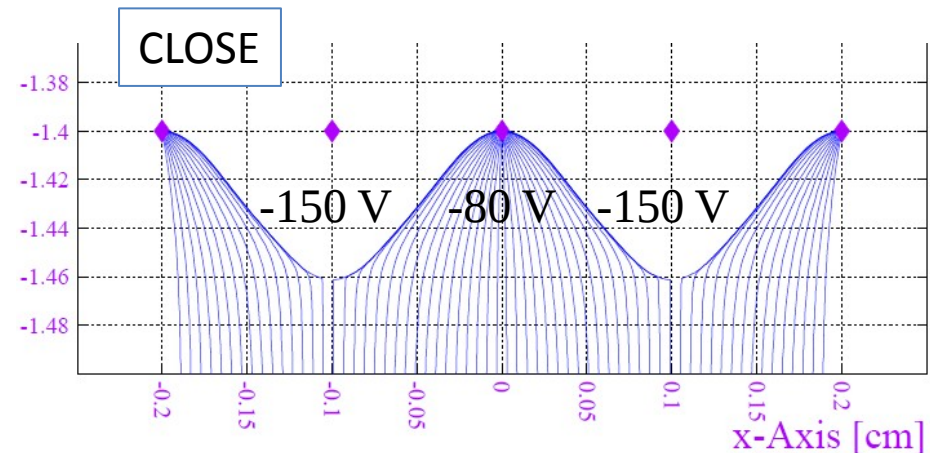
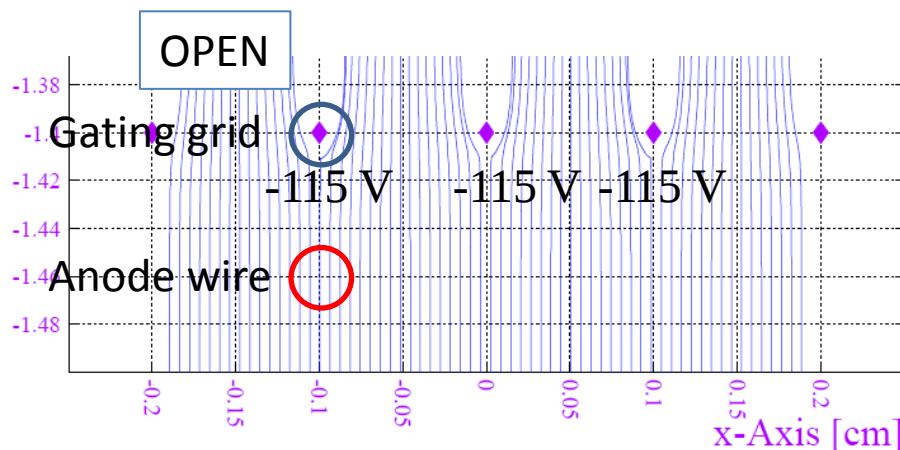
Messages

| Date                | Level | Logger                           | Message                               |
|---------------------|-------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 13/05/2015 12:06:41 | INFO  | rcc                              | finished execution of START           |
| 13/05/2015 12:06:39 | INFO  | rcc_gui                          | Started run #4                        |
| 13/05/2015 12:06:38 | INFO  | rcc                              | storer04 : starting storage of run #4 |
| 13/05/2015 12:06:38 | INFO  | rcc                              | storer03 : starting storage of run #4 |
| 13/05/2015 12:06:37 | INFO  | rcc                              | storer02 : starting storage of run #4 |
| 13/05/2015 12:06:37 | INFO  | rcc                              | storer01 : starting storage of run #4 |
| 13/05/2015 12:06:37 | INFO  | rcc                              | storer00 : starting storage of run #4 |
| 13/05/2015 12:06:22 | INFO  | rcc                              |                                       |
| 13/05/2015 12:04:42 | INFO  | log from chef_orchestre : NARVAL | storer02 inscrit                      |
| 13/05/2015 12:04:41 | INFO  | log from chef_orchestre : NARVAL | storer04 inscrit                      |

Data acquisition: up to 1.2GB/sec.  
: 100TB/day

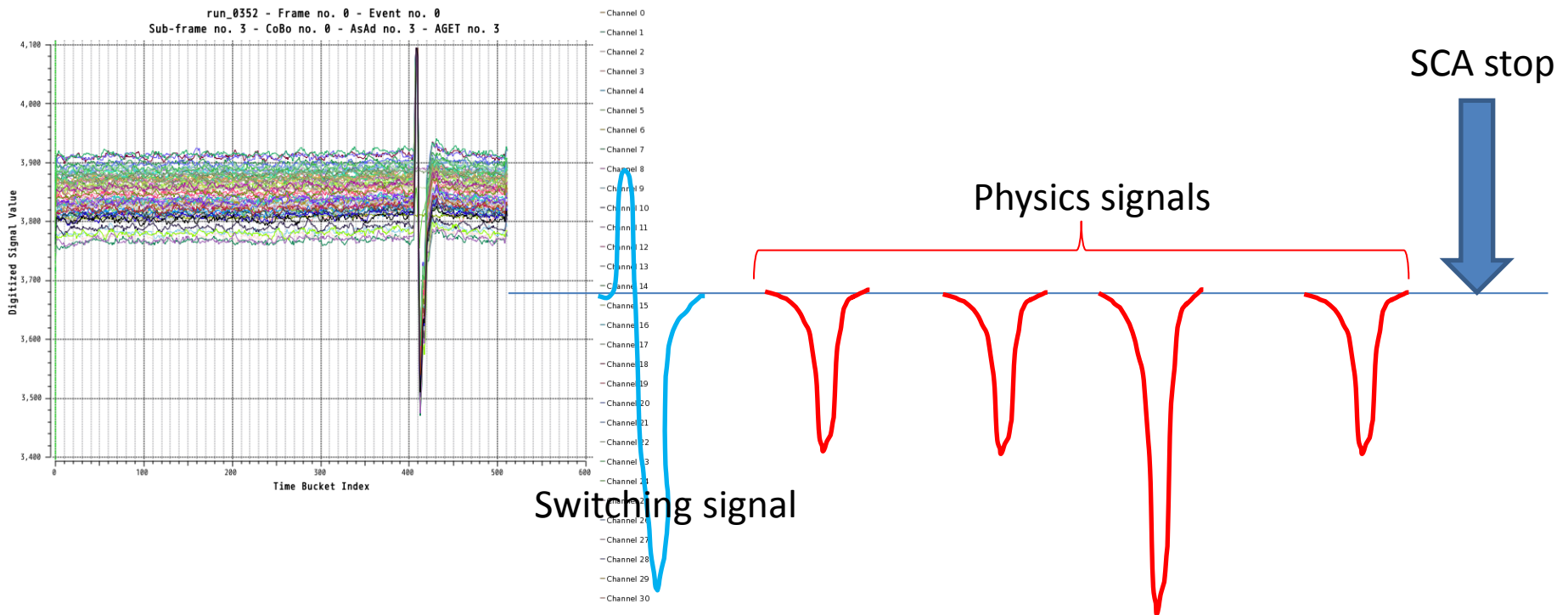
# ゲーティンググリッド機構の開発

- RI beam of 300MeV/u  $^{132}\text{Sn}$ 
    - Total beam rate: 10kHz, Purity: 50%
  - Trigger rate 10~100Hz
  - 9900Hz beam is useless and causes trouble on detector.
    - Gain attenuation, field distortion.
- Employment of Gating grid:
- Ion does not go to amplification region.
  - Ion feed back does not come back to drift region.



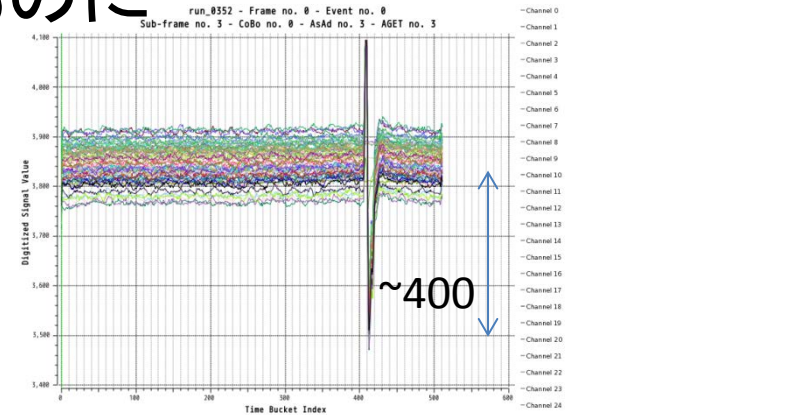
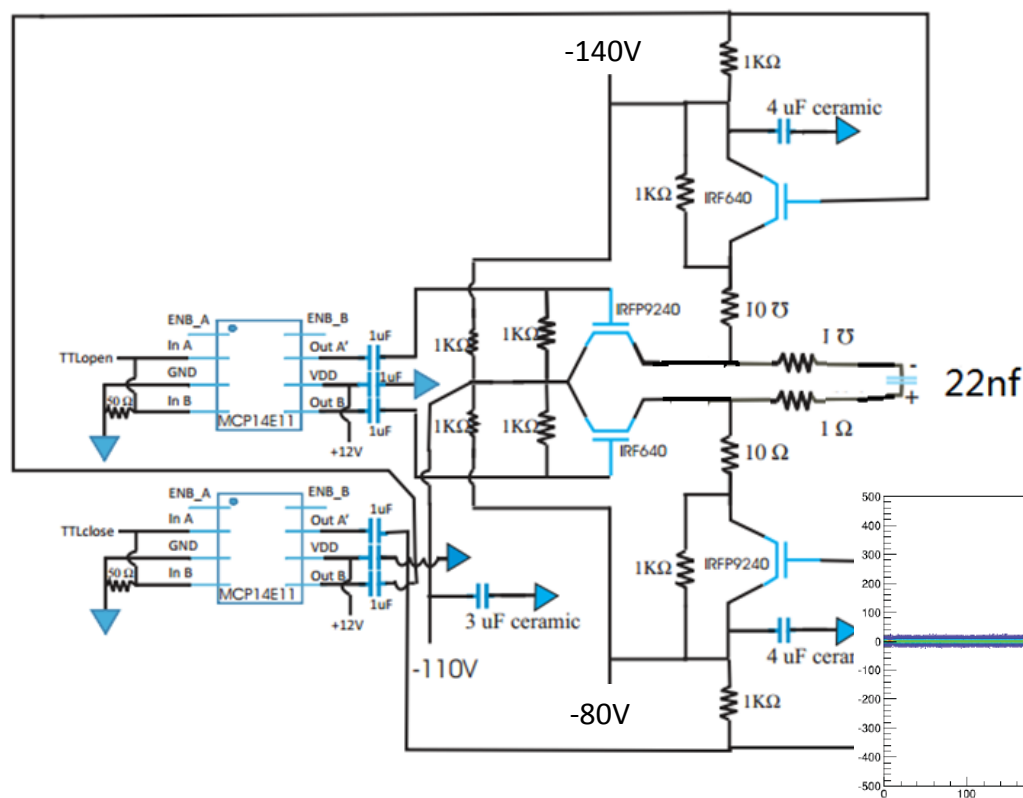
# ゲーティンググリッドスイッチングにより、 Selective readoutができない

- チャンネルごとのディスクリにより、どのチャンネルをdigitizeするか選択する。
  - ゲーティンググリッドOPEN/CLOSEは大きなスパイクノイズを作る。
  - 常にディスクリから出力が出てしまう。
- 全てのチャンネルがfireされ、結局すべてのチャンネルがdigitizeされてしまう。

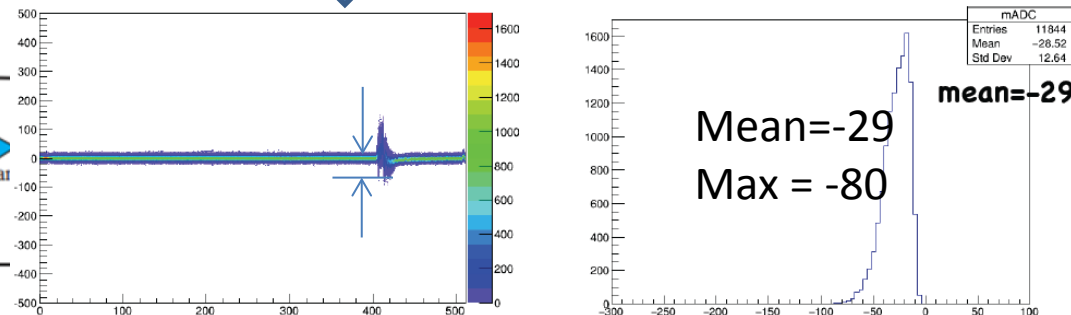


# 新しいgating grid driverの開発

- パッドから見ても電場が常に一定なのが理想  
→ +/-のバランスを意識したものに



改良後1/5~1/10まで減少



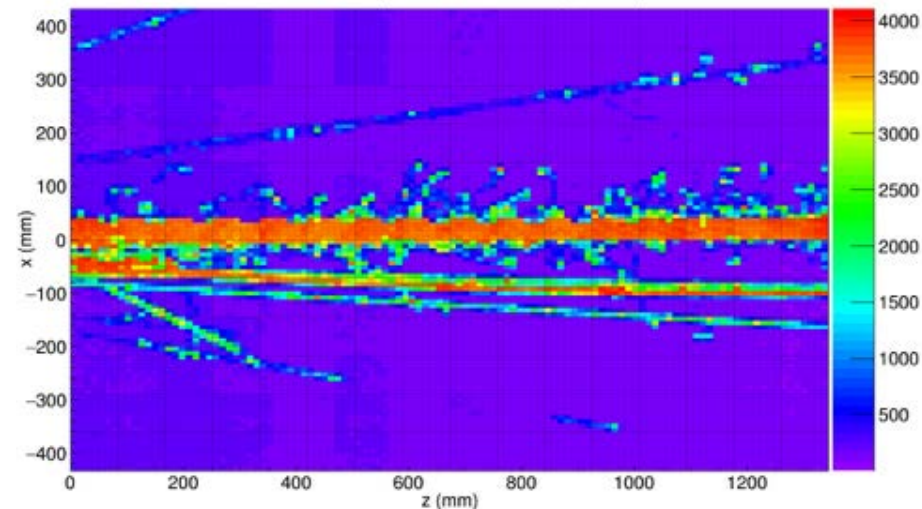
みたい信号の高さはADC200程度なので、許容範囲内だが、  
induced chargeの小さいPadは埋もれるかも

run 946

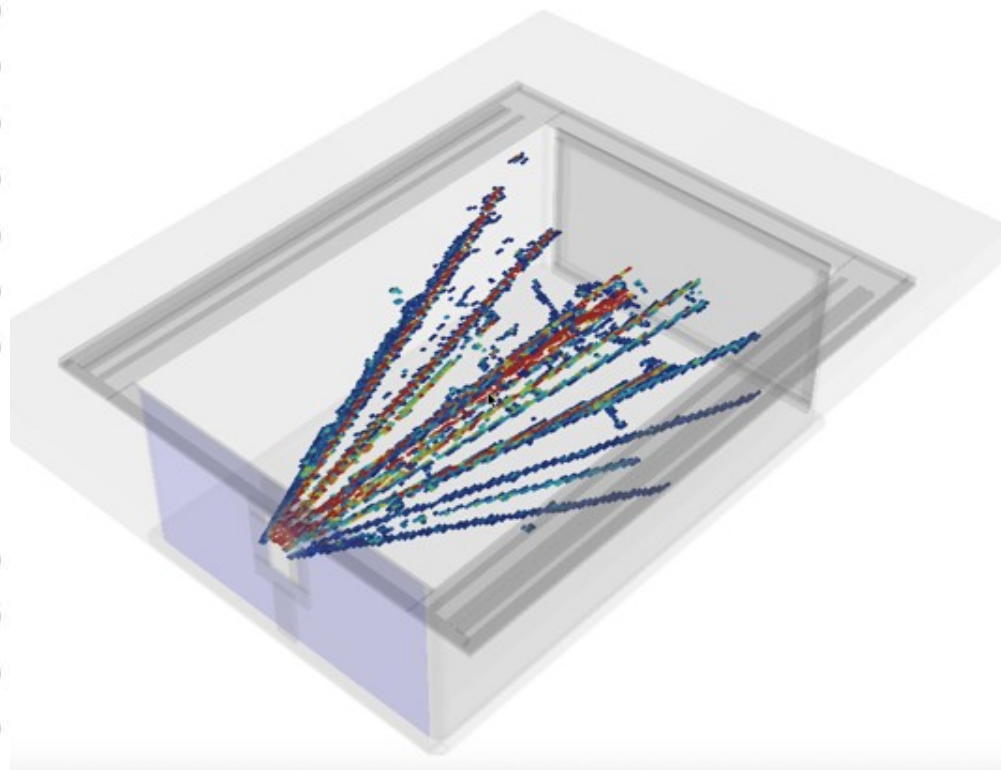
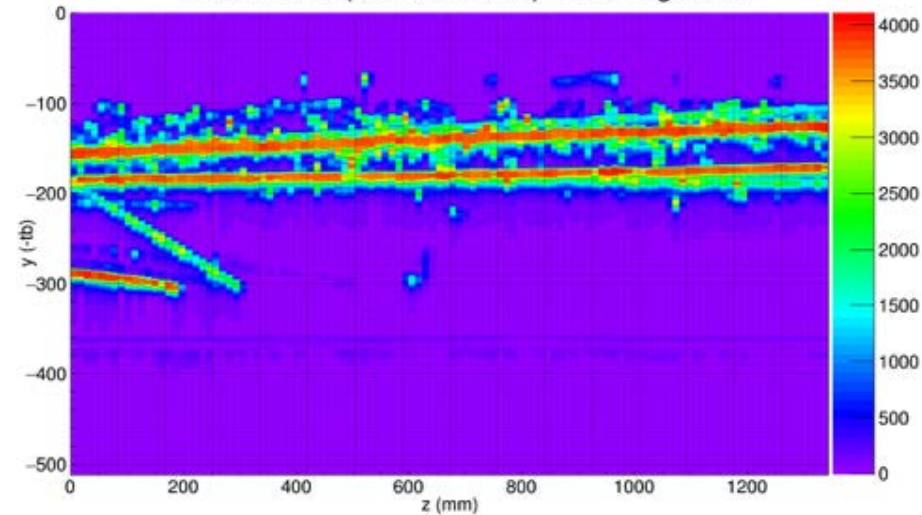
9 mm Al target  
Kyoto array out

実際のRIビームを使った試運転  
一応きちんと動いている様でした

Event ID: 12 (Gain calibrated) - Top view



Event ID: 12 (Gain calibrated) - Beam right view

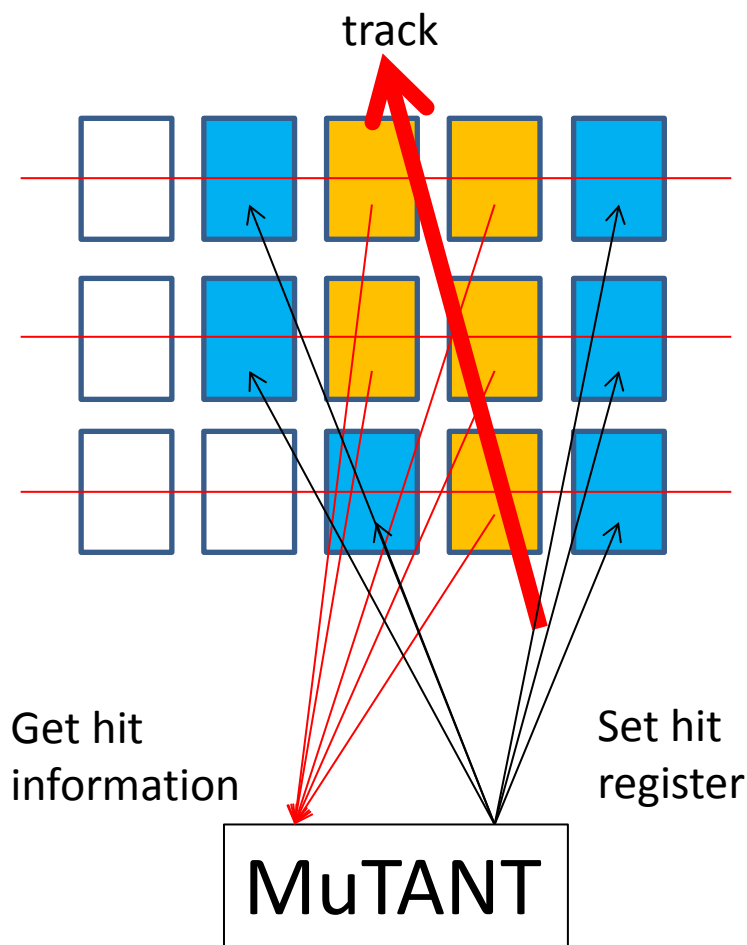


run 928

9 mm Al target  
Kyoto array  $M \geq 2$

# 近い将来の改良点

## Hit pattern registerを故意に操作する



- MuTANT Triggerモジュールにより、故意にselective digitizeするチャンネルを広げる
- ディスクリの閾値設定がルーズで良くなる
  - ヒット位置を計算する上では大きい信号が見えるパッドとその周辺のパッドの波高を見る必要がある
  - 周辺のパッドに見える信号は小さく、ディスクリの閾値設定がシビア
- 故意にhit registerを操作するのを2msec以内に完了しなければならない
  - それ以降はSCA中のアナログ情報をロスする

# Summary and Outlook

- SAMURAI-TPCにGET読み出しシステムを導入し、RIBFでの実験準備が整った.
- 実際にRIビームを用いた試運転を行い、正常動作を確認した.
- 2016年4月磁場中での試運転後、実際の物理ランを行う。