

RIBF-SPiRIT実験システムの開発

理研仁科加速器研究センター

磯部忠昭



トークの内容



SPIRITコラボレーション

- RIBFの紹介
- RIBF-SPIRIT実験システムの紹介
- SPIRIT-TPC + GETを中心に
- 実験遂行・準備上に遭遇した問題
- まとめ

理化学研究所RIBF (埼玉県和光市)

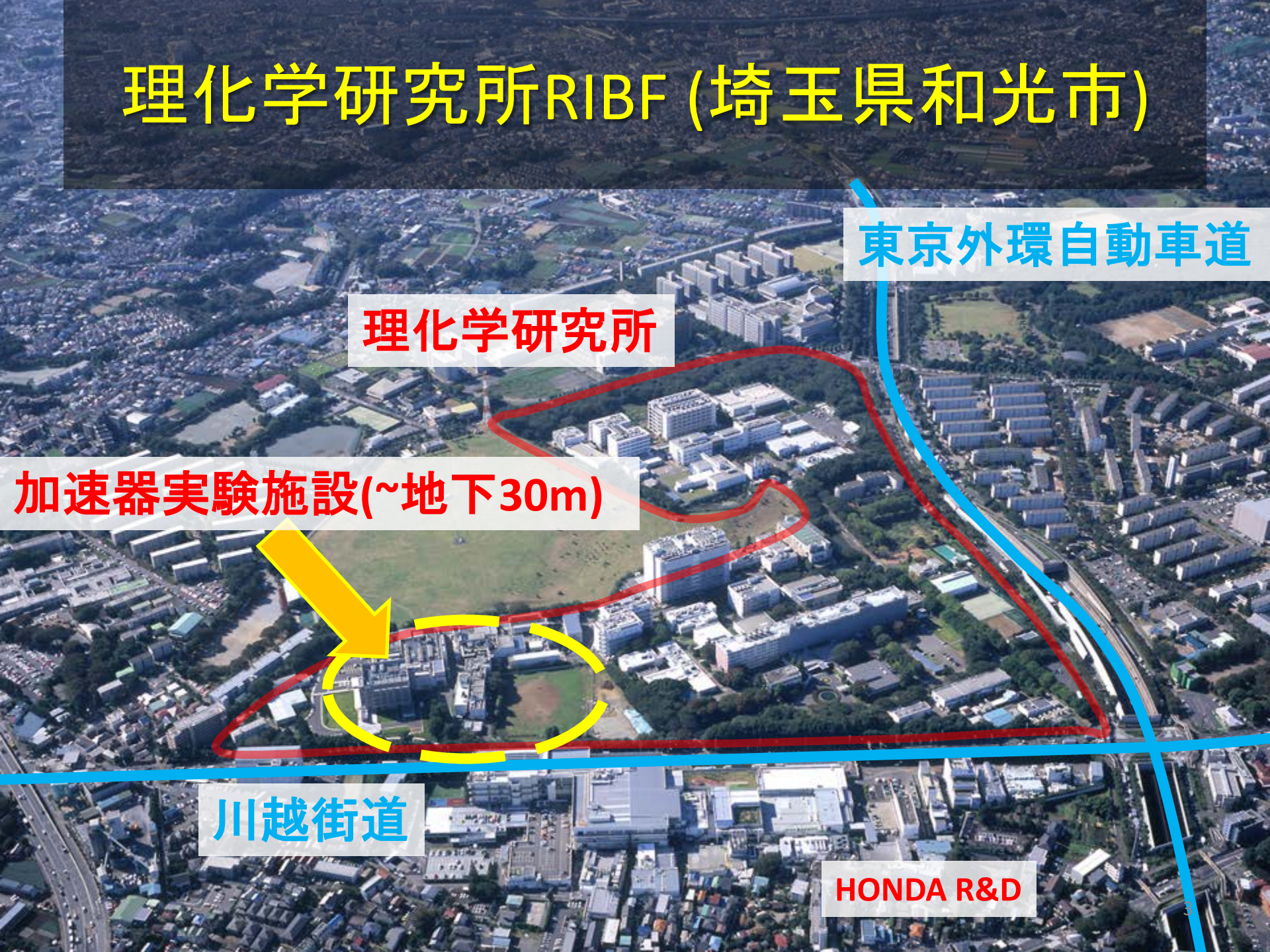
東京外環自動車道

理化学研究所

加速器実験施設(~地下30m)

川越街道

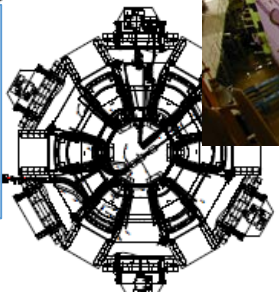
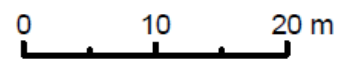
HONDA R&D



ウランビーム
Z=92、N=146
100pnA: $10^{11\sim 12}$ Hz



SRC



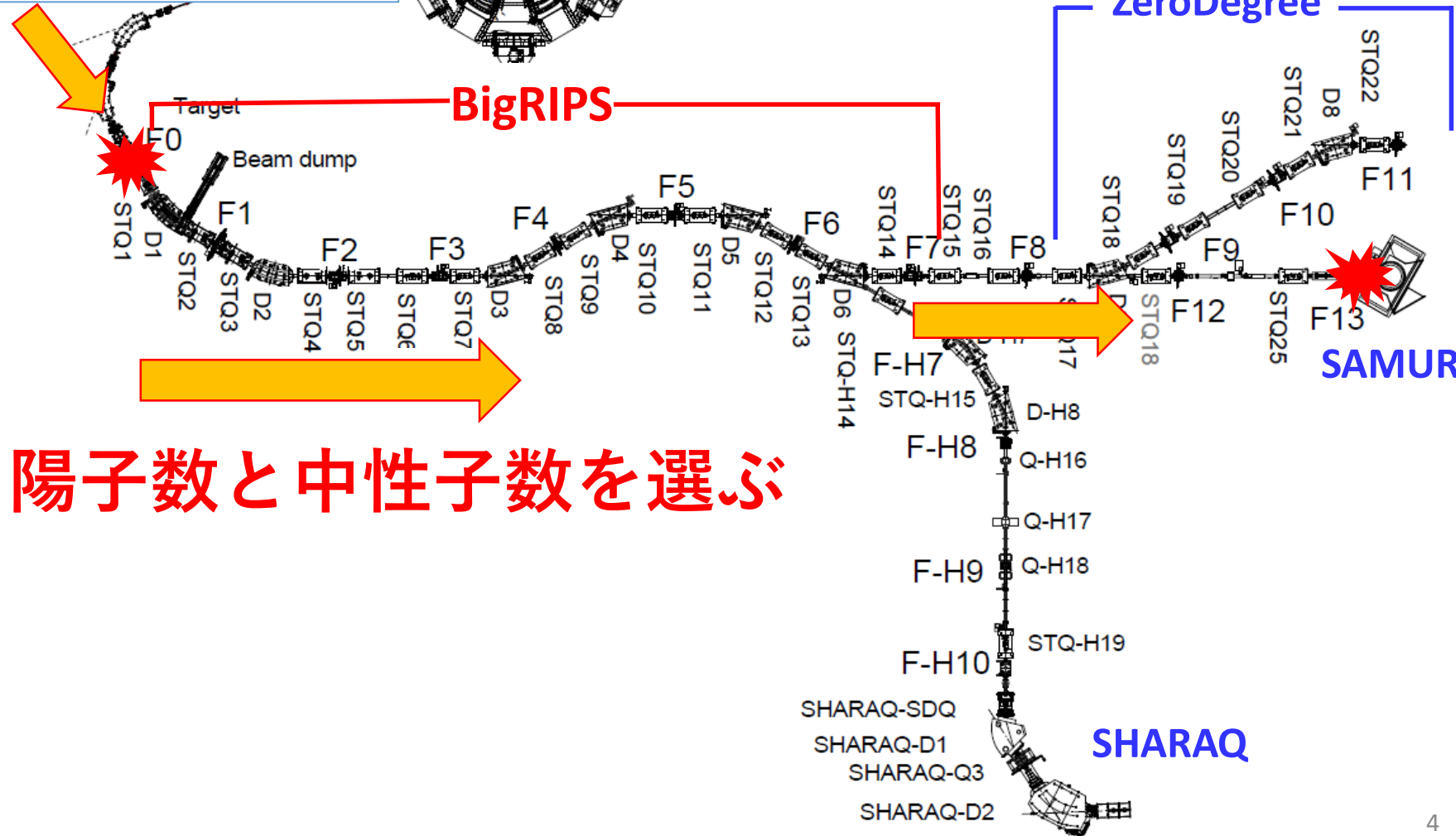
BigRIPS

ZeroDegree

SAMURAI

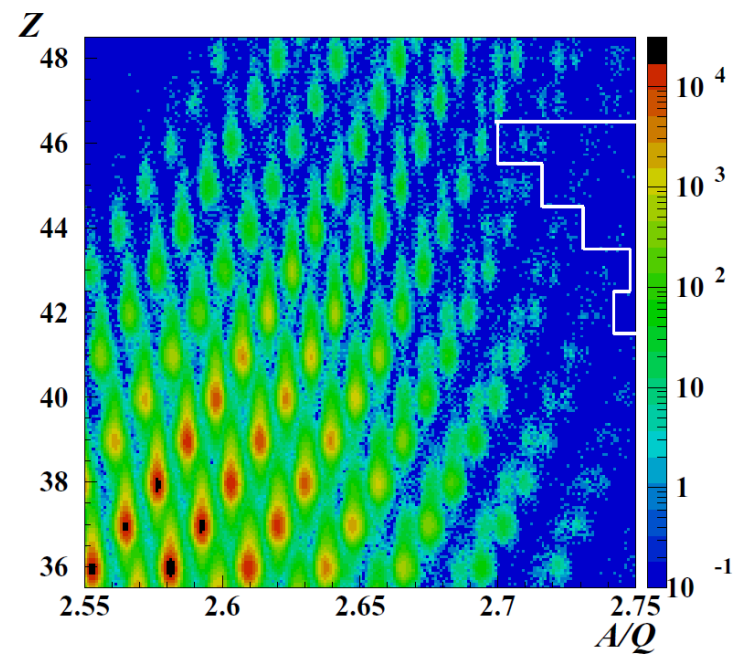
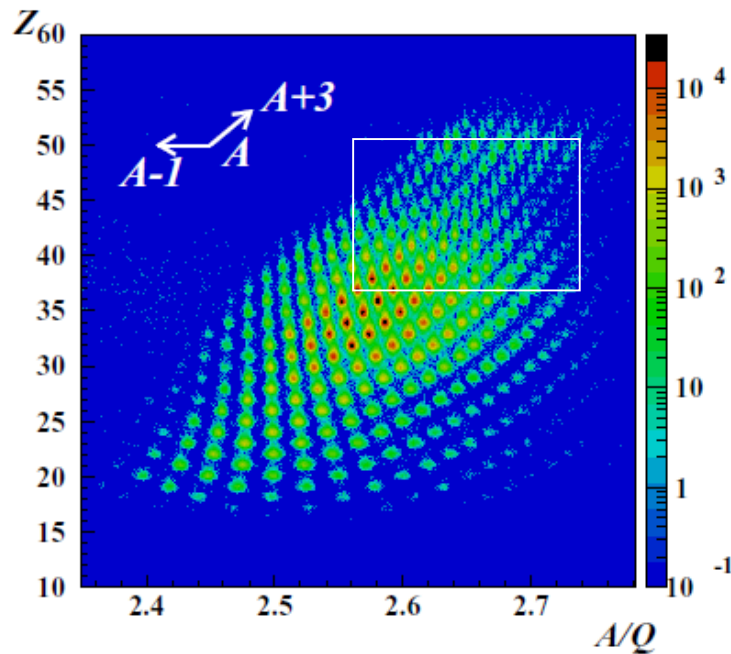
SHARAQ

陽子数と中性子数を選ぶ



U+Be→大量の原子核

- Uは56ns毎(18MHz)のバンチ構造を持ってBeに衝突
- 1原子核、1原子核毎に位置とTOFとエネルギーロス を測ってParticle ID



- 現在の検出器技術では18MHzで重イオンを受けるのは無理
- スリットとかでMHz未満まで落として測定

高レート(MHz)で重イオンを測定する のはかなり難しい

- 測定対象は $Q=1$ 粒子だけではない。
- 実験によっては Z が小さいものと大きいものを同一の検出器、もしくは同時に取りたい
 - 例：陽子と錫($Z=50$)を同一検出器で取る：2500倍の信号差
- MHzで1:2500の信号を両方それなりの精度で測定??現状できません。
- 検出器からしてみれば、現状で1GHz陽子ビーム(not 瞬間値)での測定環境より過酷
 - 簡単に放射線ダメージが起こる。
 - 将来RIBFはx10、x100のビーム量になる予定だが...

SAMURAI Spectrometer

Superconducting Analyzer for Multi particles from Radio Isotope Beams

IRC

SRC

ZeroDegree

STQ22

D8

F11

STQ21

STQ20

F10

F9

F12

STQ25

F13

SAMURAI

STQ16

F8

STQ18

D7

STQ18

D-H7

STQ17

D-H8

Q-H16

Q-H17

Q-H18

STQ-H19

SHARAQ

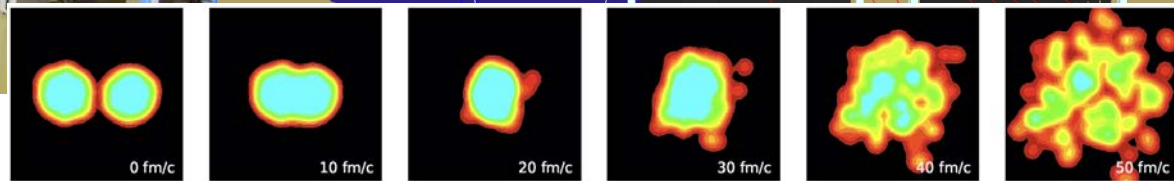
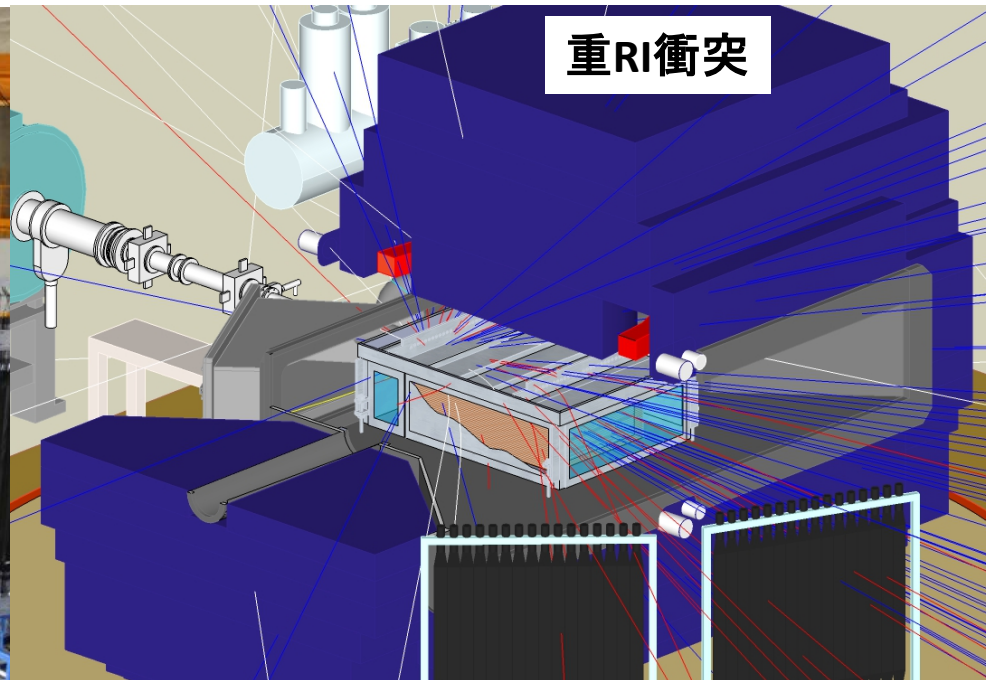
B<3T

R: 1m

Gap: 80cm

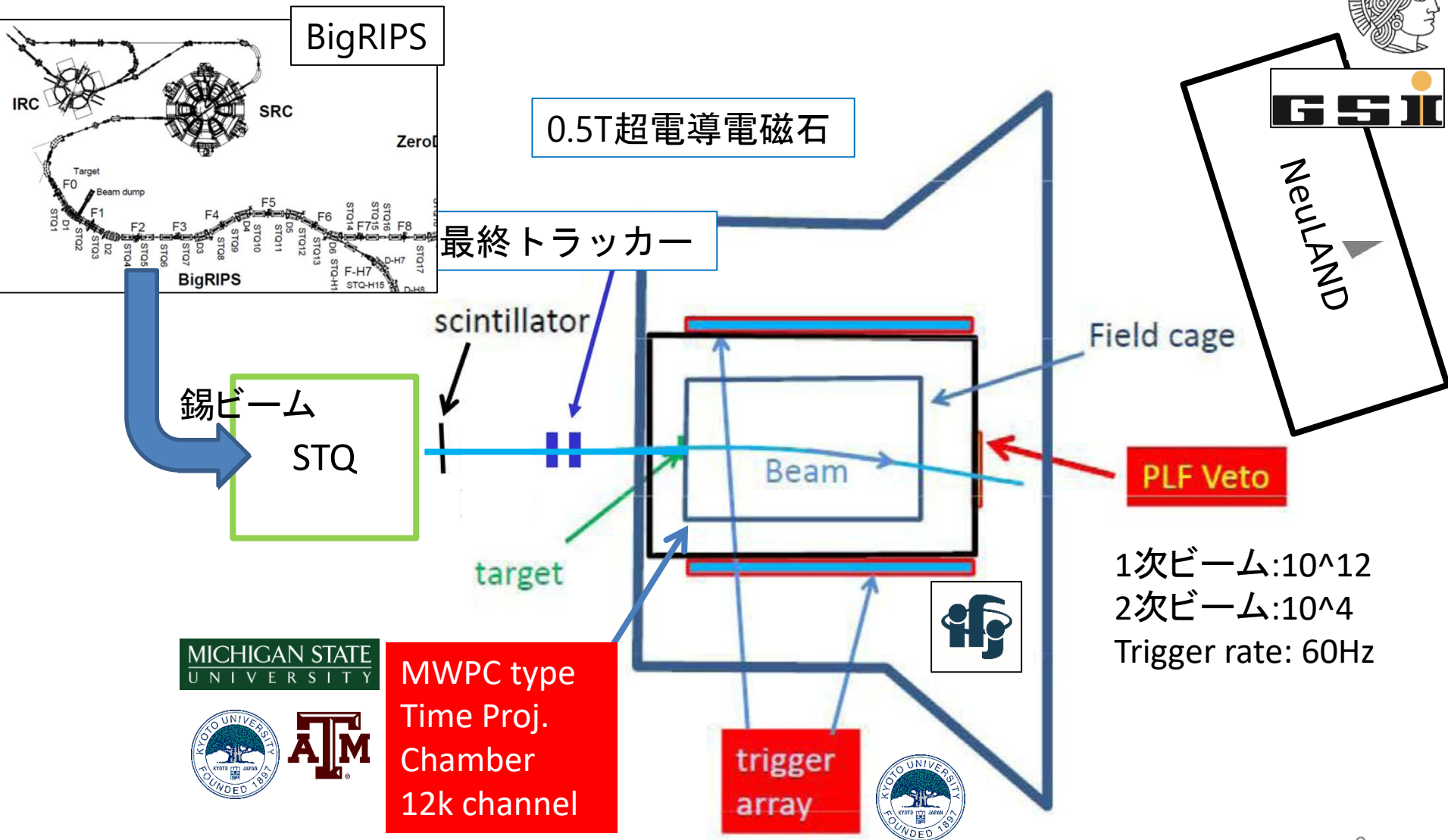
2011/8/25

RIBF-SPIRIT計画



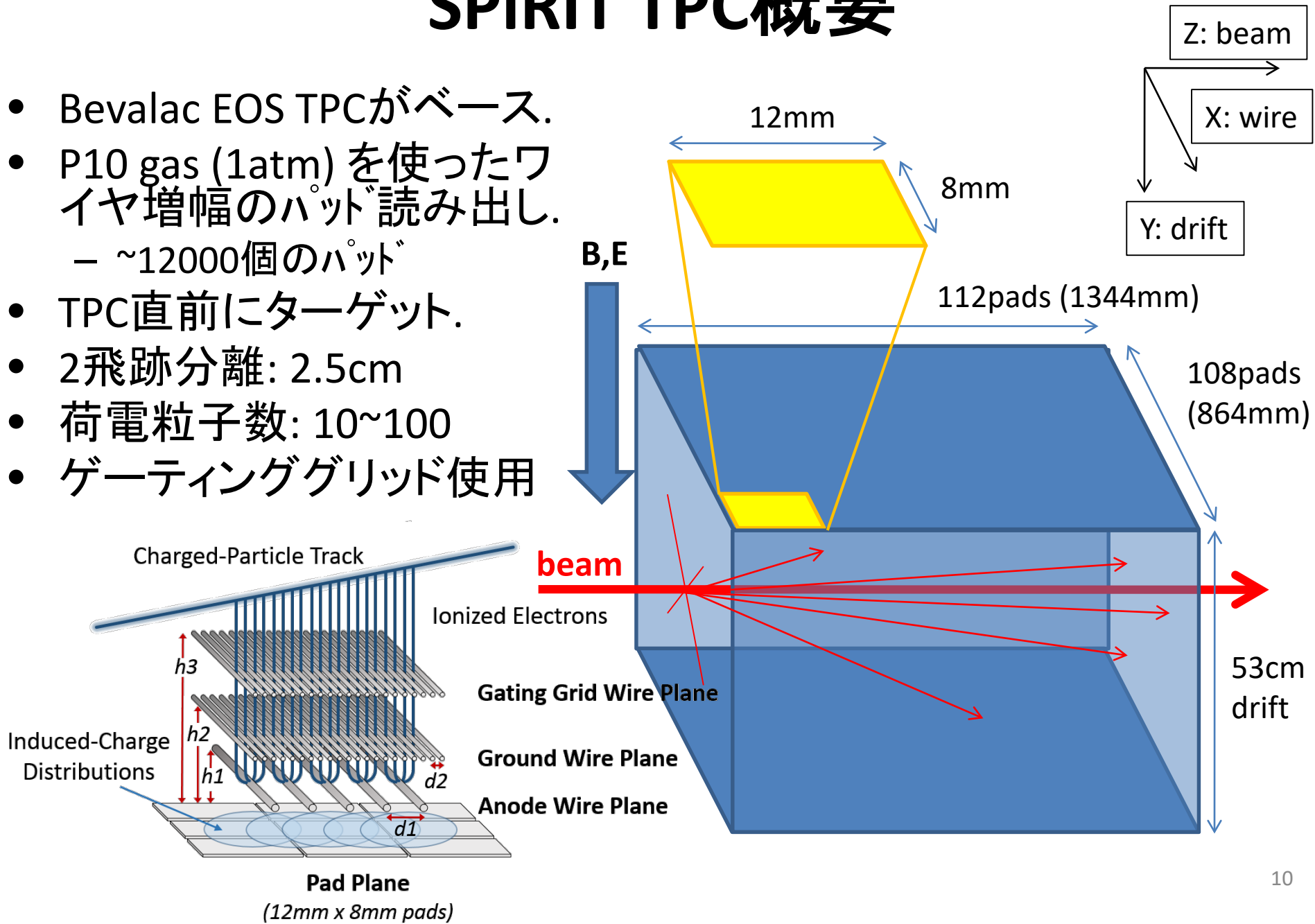
- 2009年ごろより始まった、日米が中心となる重RI衝突実験計画。
 - 中性子の多い高密度物質を作る事で原子核Equation of Stateを決める。
 - 中性子星の構造・超新星爆発のダイナミクス
- 2016年春に試運転+物理実験

SPIRIT実験セットアップ: ビームライン+TPC+トリガー+中性子検出器



SPIRIT 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
- 荷電粒子数: 10~100
- ゲーティンググリッド使用



SPIRIT-TPCの読み出しシステム:GET

- GET: Generic Electronic for TPC
 - 次世代原子核実験用の汎用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
 - コミコミで~5000JPY/ch
- 要求した性能:
 - DAQ rate: ~1kHz
 - ADCレンジ: >10bit
 - 重イオンが飛ぶ中で、陽子をきちんと測定できる
 - 低消費電力: 0.02W/ch
- FrontendボードでSCA(512個/ch)→AD変換
- ヒット数・パターンによる、セルフトリガー機能
- Micro-TCA.0規格のBackendボードで10Gbpsデータ出力
- TPC+エレキと1クレートで10kチャンネルをカバー



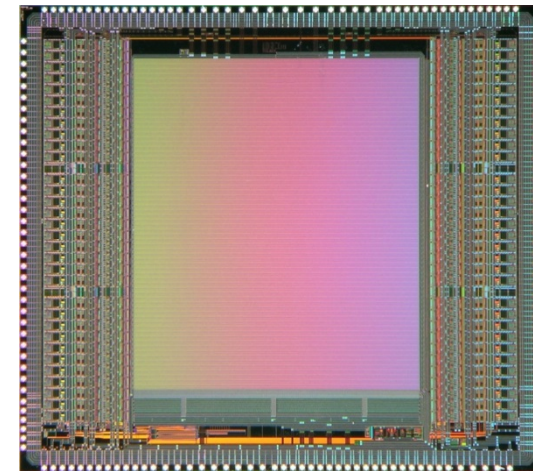
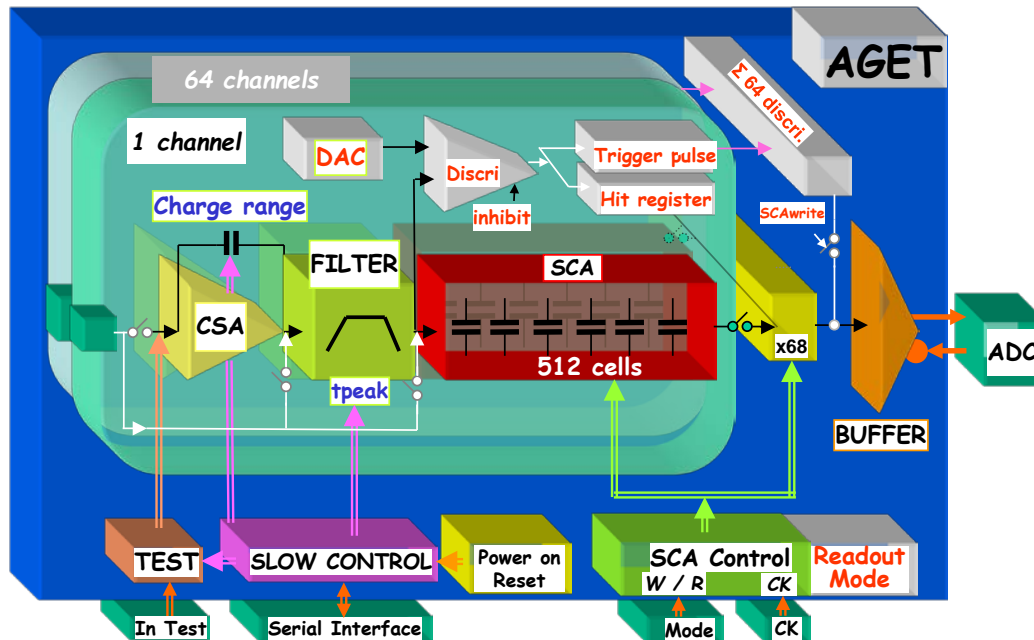
2009/10~2014/9



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*

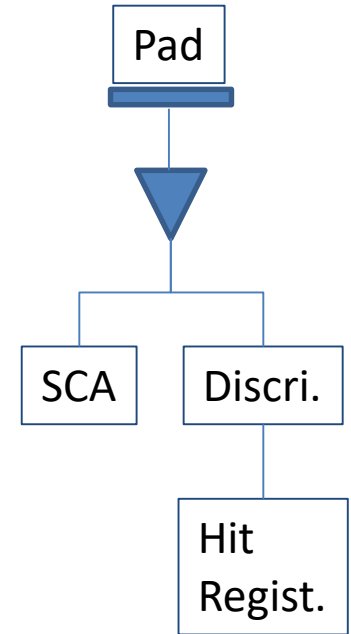
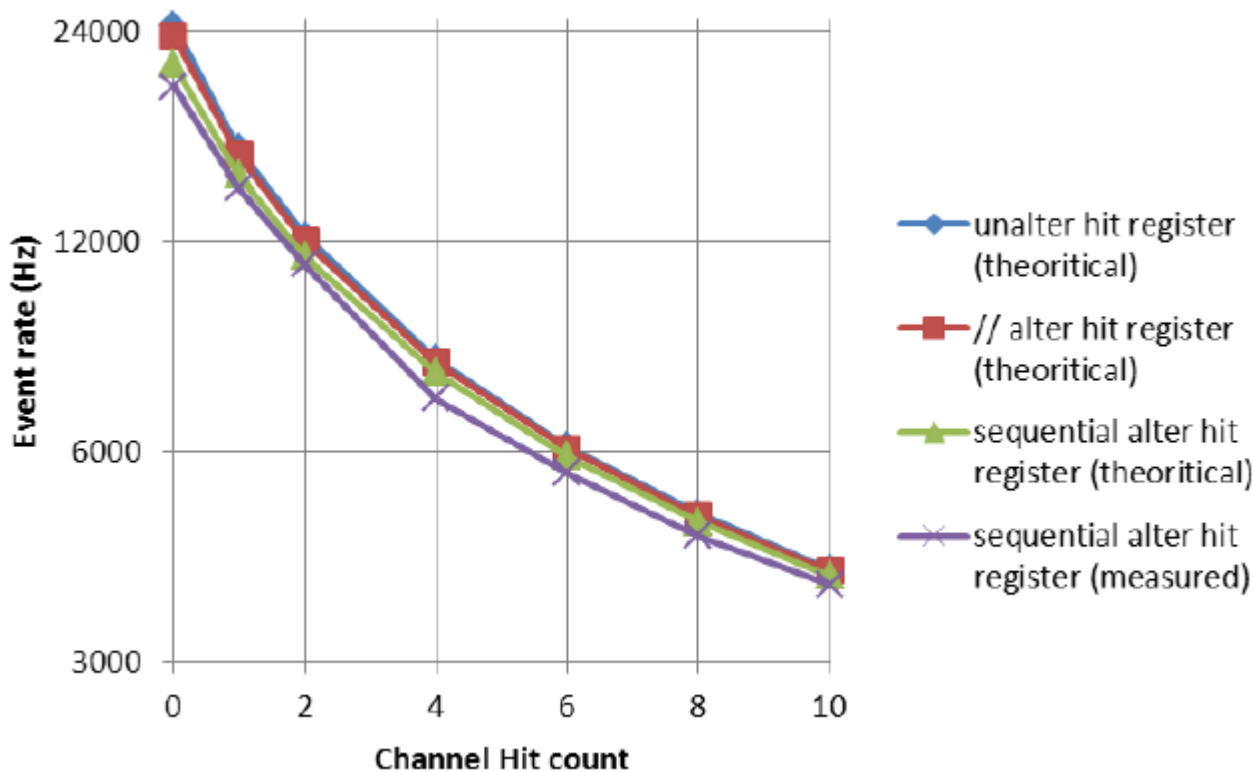
T2K-TPCに使われた
AFTER chipがベース



AMS CMOS 0,35 μm

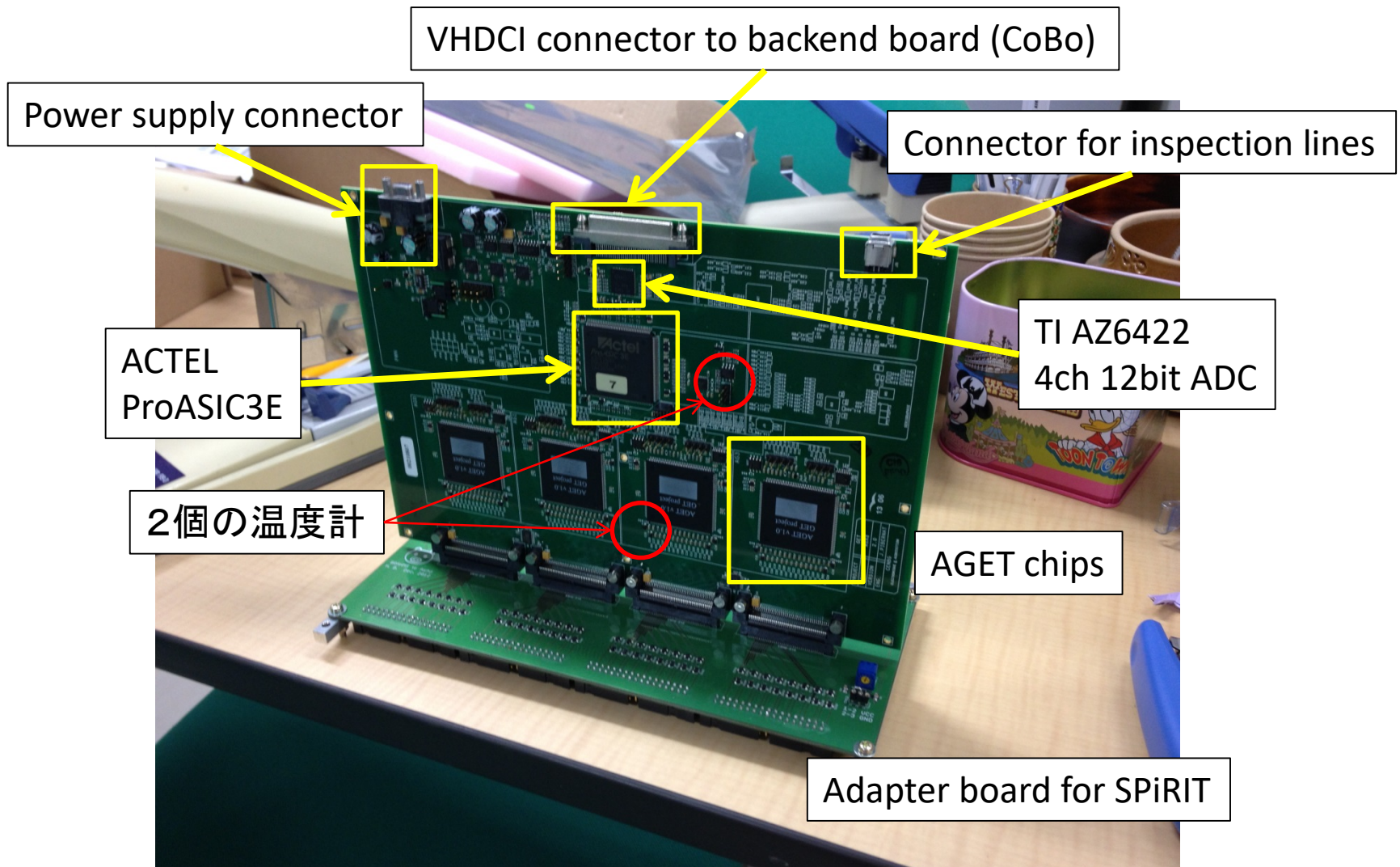
- 4 charge ranges/channel : 120 fC , 240 fC , 1 pC & 10 pC
- 16 peaking time values : 50 ns to $1 \mu\text{s}$
- Fsampling : 1 MHz to 100 MHz
- Possibility to bypass the CSA and to enter directly into the filter or SCA inputs
- Input current polarity : *positive or negative*

選択的digitization : DAQ rateの改善



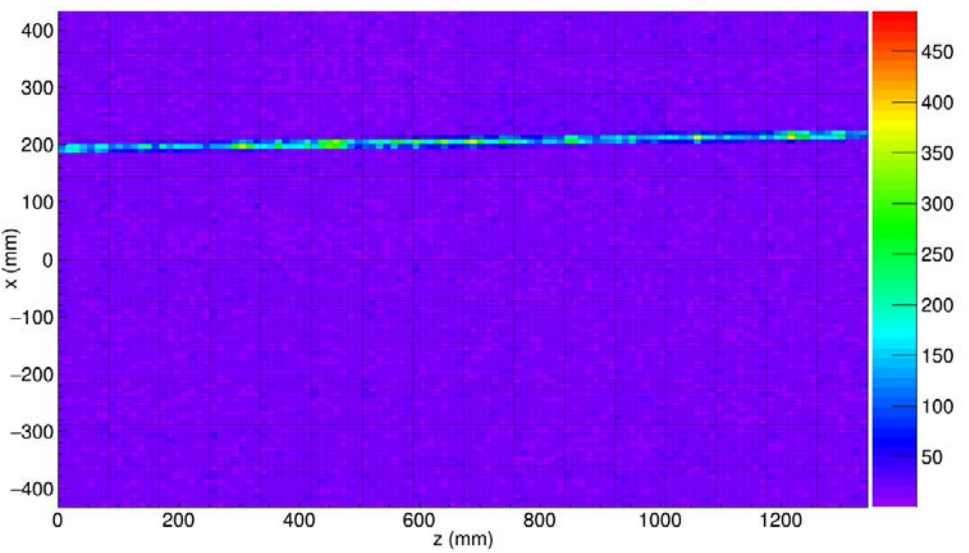
- ヒットがあったチャンネルのみDigitizeする。
 - Pedestalだけのチャンネルはdigitizeしない。
 - DACにかかる時間の短縮、1ADCを68chで共有し低消費電力化
- 例えば1ASIC(64ch)中8chヒットがあった場合は4500Hzでの読み出しが可能に

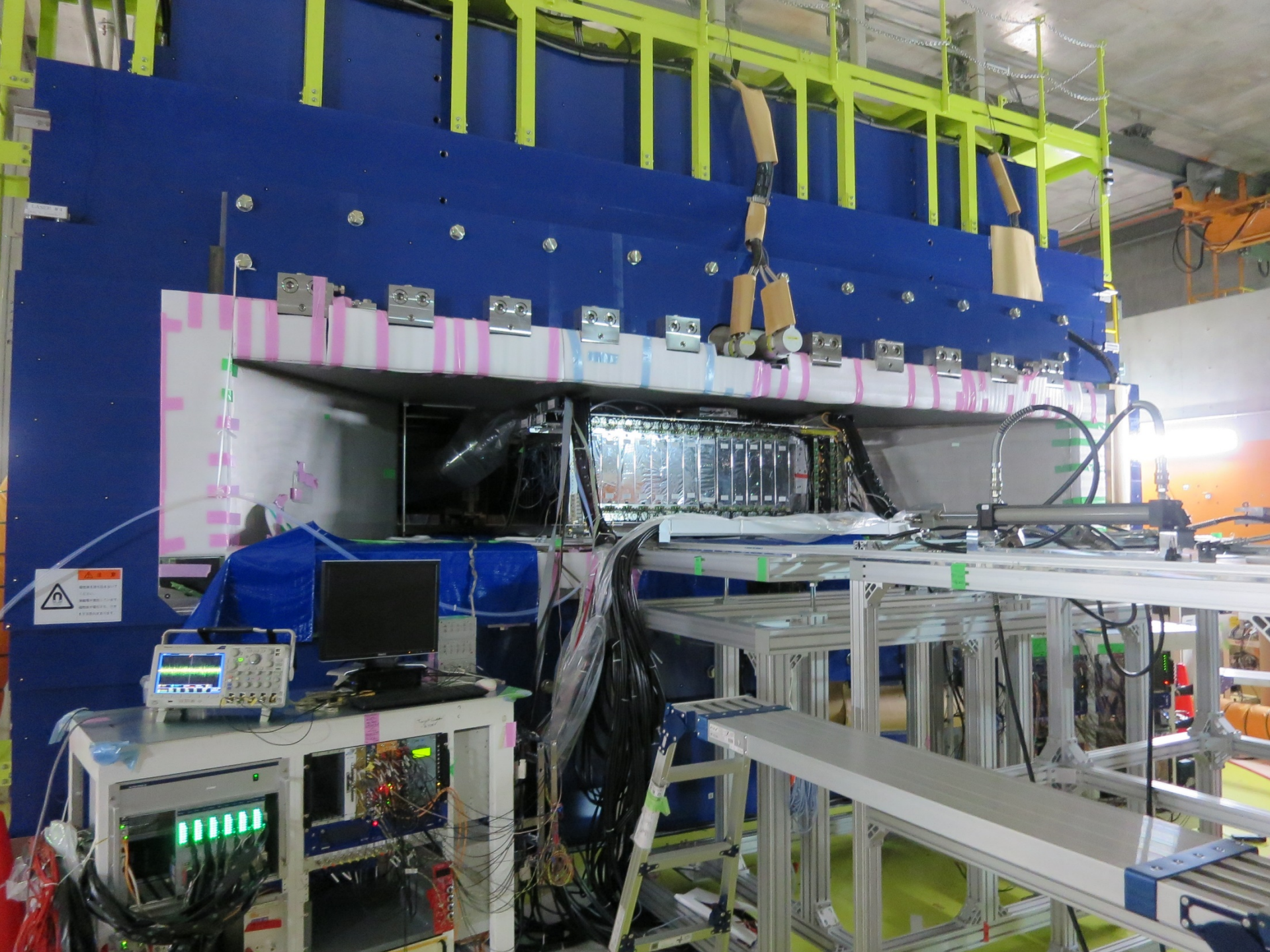
AGET on AsAd (ASIC, ADC board)





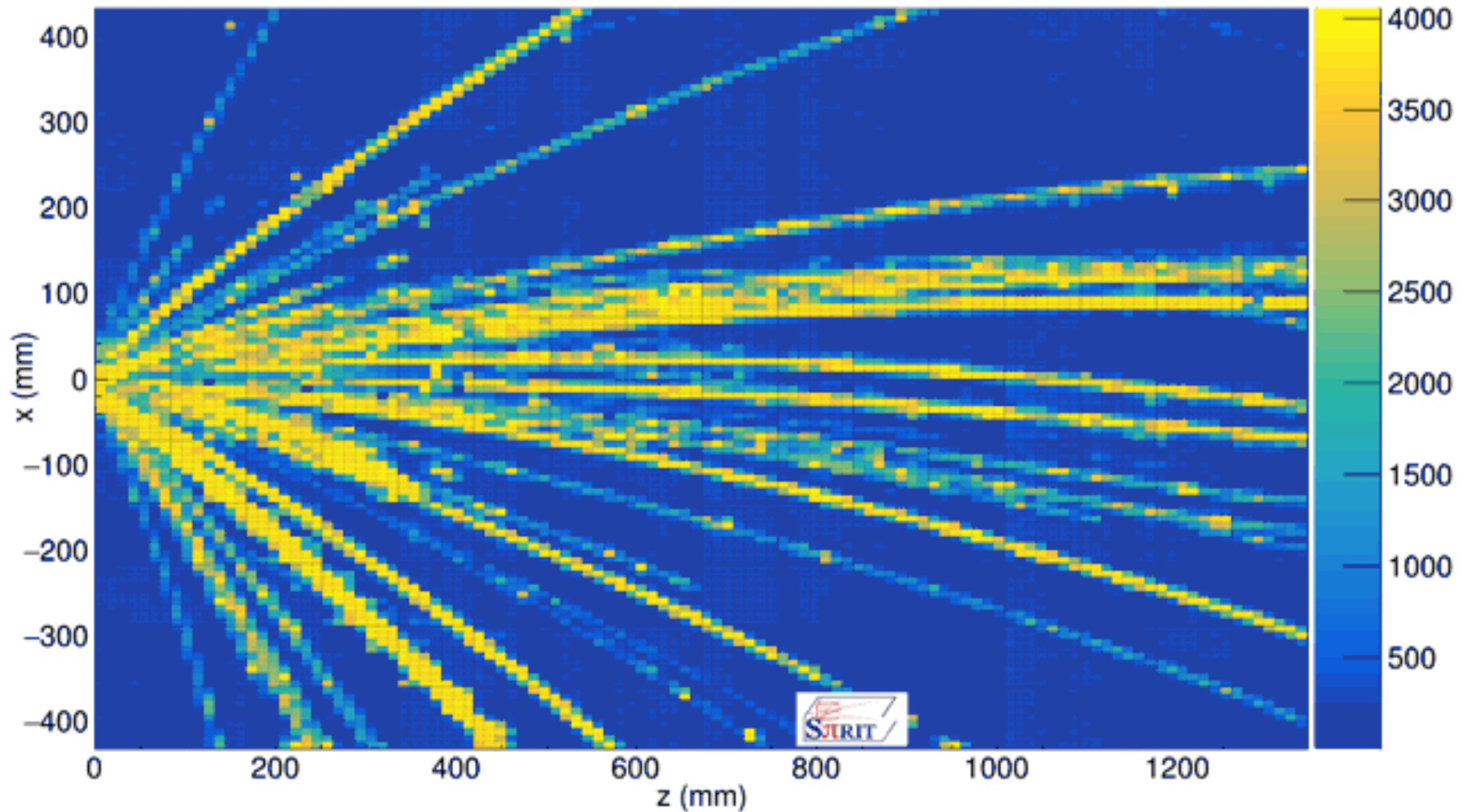
Event ID: 152 (Gain not calibrated)





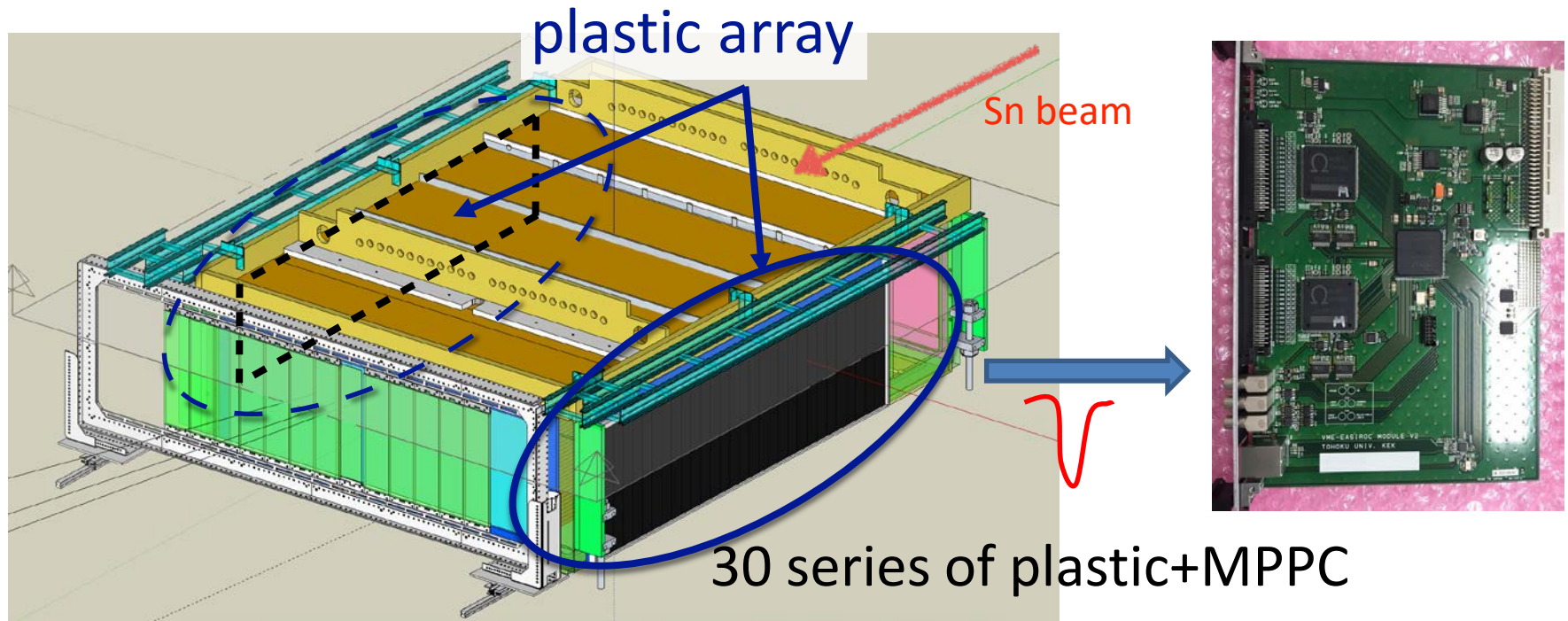
2016年春に実験データ取得

Run#3176 - Event ID: 1 (Gain not calibrated) - Top view



1 pixel: 1 pad

VME-EASYROCをトリガー生成に利用



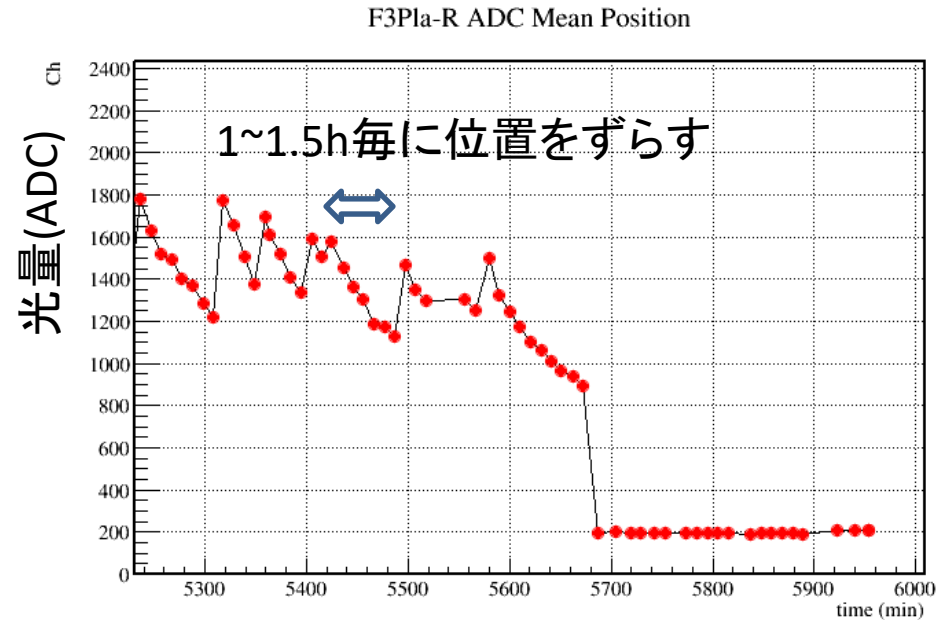
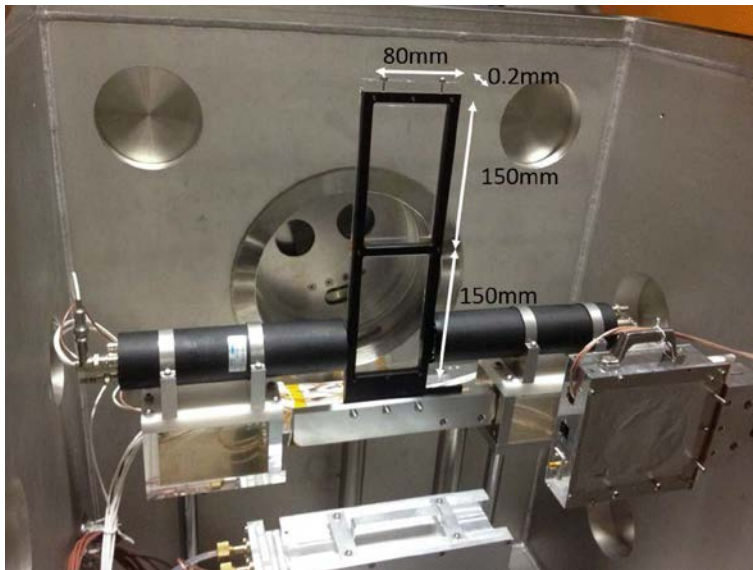
- ヒット数でtrigger生成するfirmware by 東北大
- VME-EASYROCデータも取得
 - RIBFではJ0を使わない → firmwareを改造してexternal trigger, busy
 - SiTPC → RIBF-DAQ wrapperを作成
 - DAQ start/stop commandのプロトコルがわからなかったなので、標準ソフトウェアから解読
- EASYROCはRIBFでかなり需要アリ

実験準備・遂行上ぶち当たった問題Top5

5. 放射線ダメージで死亡していく、ビームライン検出器

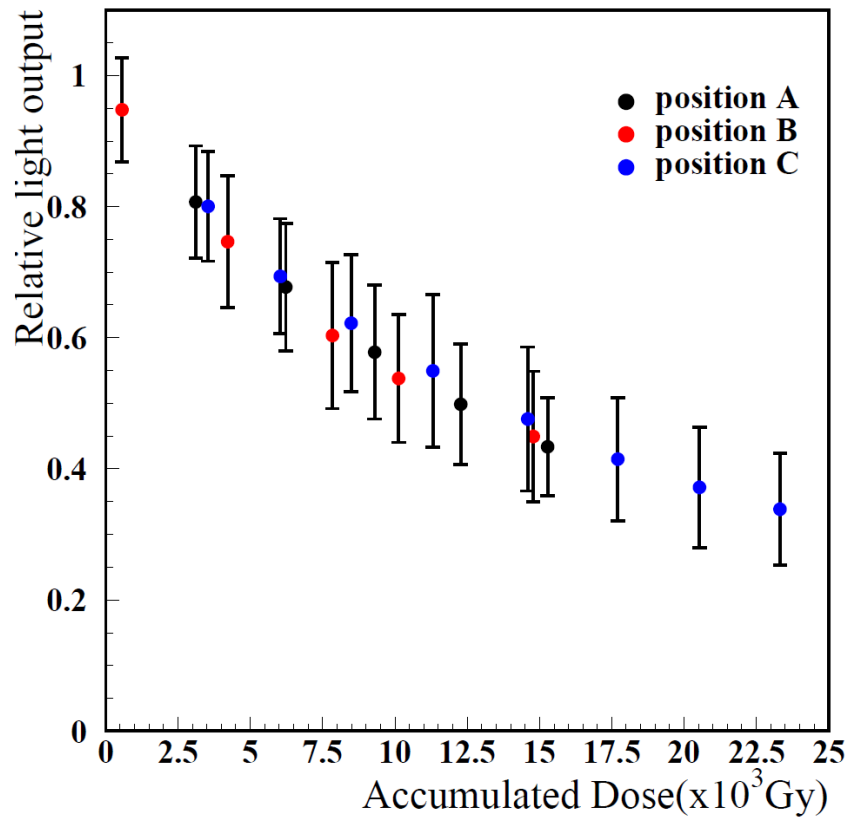
放射線ダメージで死亡していく、 ビームライン検出器

Z~50 800kcps @F3



- TOF測定用のプラスチック(EJ-212)からの光量が放射線ダメージにより、減衰していく。
 - プラスチックでビームが当たる位置をずらし、光量を回復させた。

実験データで光の減衰量を見積もり



EJ-212

12×10^3 Gyで光量半分に

D.S. Ahn

RIKEN APR 47 (2014) 168

実験準備・遂行上ぶち当たった問題Top5

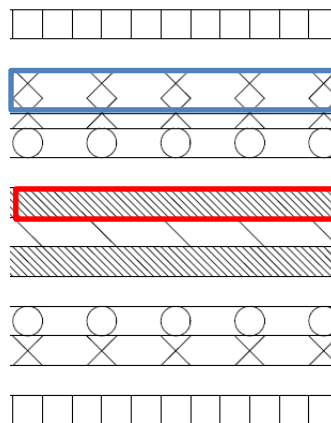
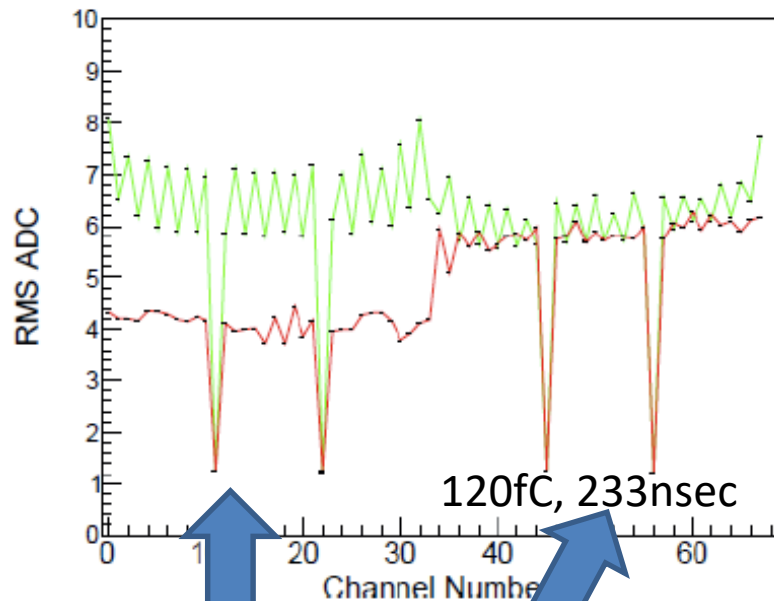
4. ノイズを減らす為のデザインが逆にノイズ源に...。
5. 放射線ダメージで死亡していく、ビームライン検出器

ノイズを減らす為のデザインが 逆にノイズ源に...

- TPCへの回路接続部は自分で作らなければならない
 - protection + adapting connector
 - 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) → flexible基板の導入
 - Noise/Gainに影響する



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



- 限られたスペースに入れるために flexible基板+ノイズから守るための Agシールド
- →信号線のCが大きくなり(20pF)、ASIC特有のC依存ノイズが増加

	GET	GET+ZAP	GET+ZAP+TPC
RMS ADC	2.55	6.37	5.31
RMS ADC w/ Stripped ZAP	-	5.85	4.02

実験準備・遂行上ぶち当たった問題Top5

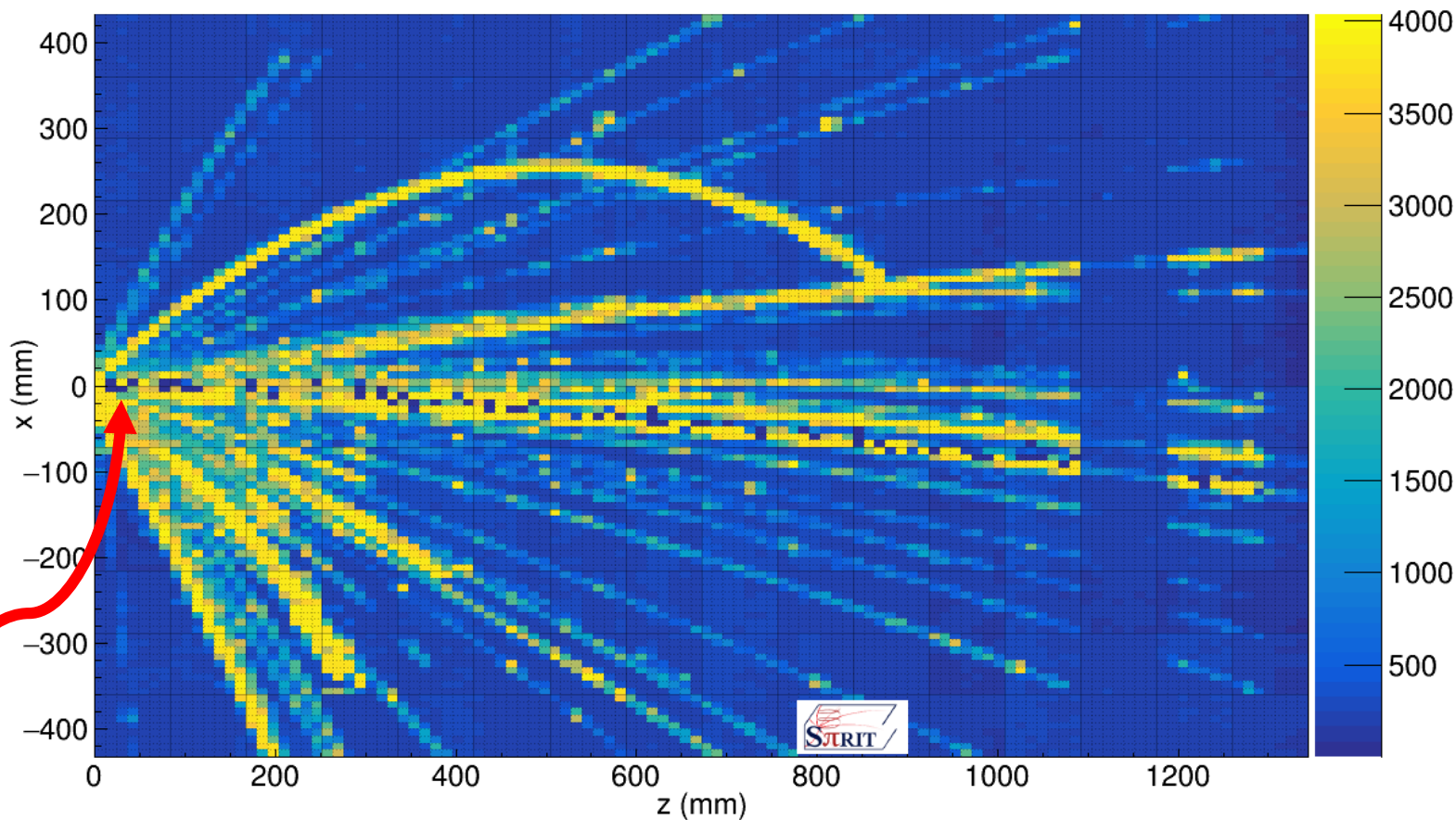
3. 国際共同で汎用システムを開発したら、バグが残る状態でプロジェクト終了
4. ノイズを減らす為のデザインが逆にノイズ源に...。
5. 放射線ダメージで死亡していく、ビームライン検出器

実験準備・遂行上ぶち当たった問題Top5

2. 数msecのdead timeを生み出す、大量の δ -ray電子
3. 国際共同で汎用システムを開発したら、バグが残る状態でプロジェクト終了
4. ノイズを減らす為のデザインが逆にノイズ源に...。
5. 放射線ダメージで死亡していく、ビームライン検出器

数msecのdead timeを生み出す、 大量の δ -ray電子

Run#2900 - Event ID: 3 (Gain not calibrated) - Top view

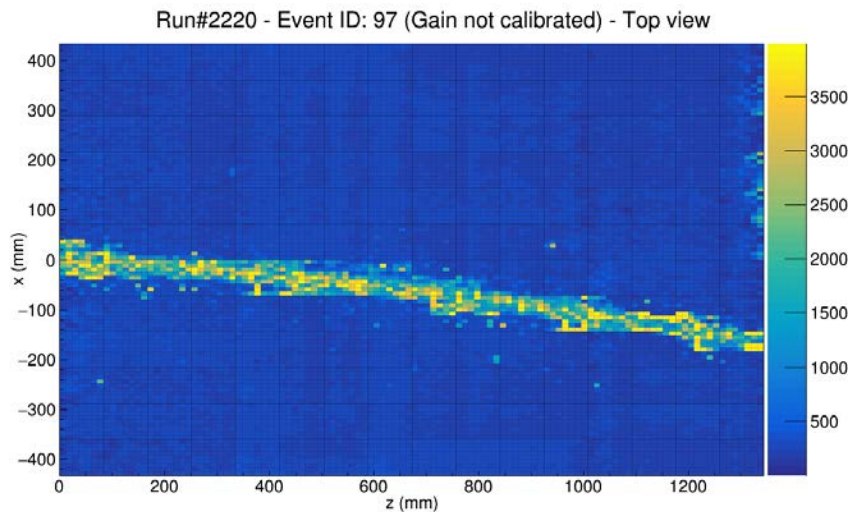


この黒いぽつぽつは何だろう？

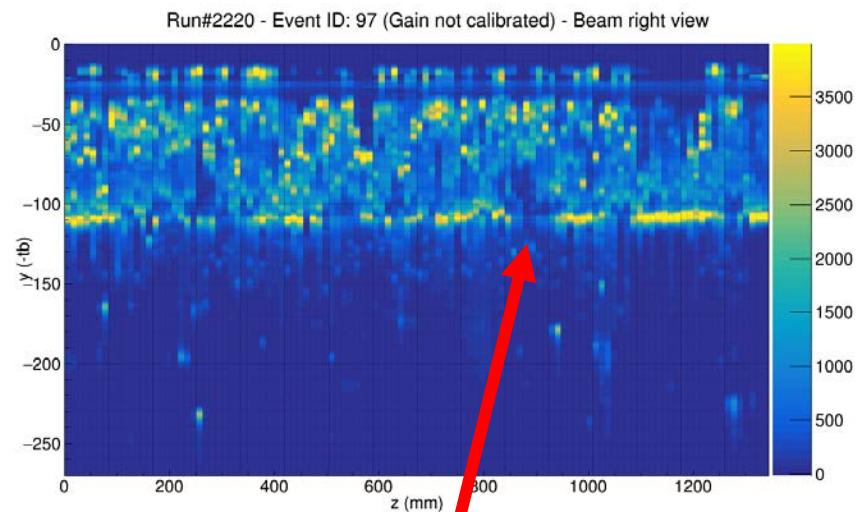
- Cosmic Runでは見えない
- Event毎に位置が異なる

陽子にゲインを合わせた状態で 重イオンを測るとどう見えるか？

Top view



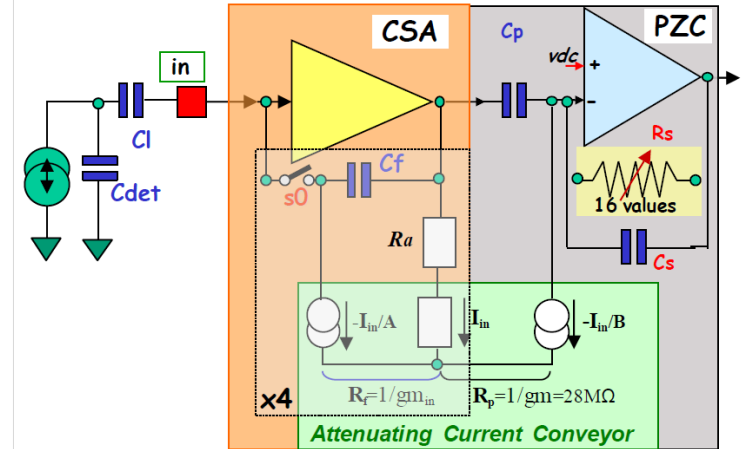
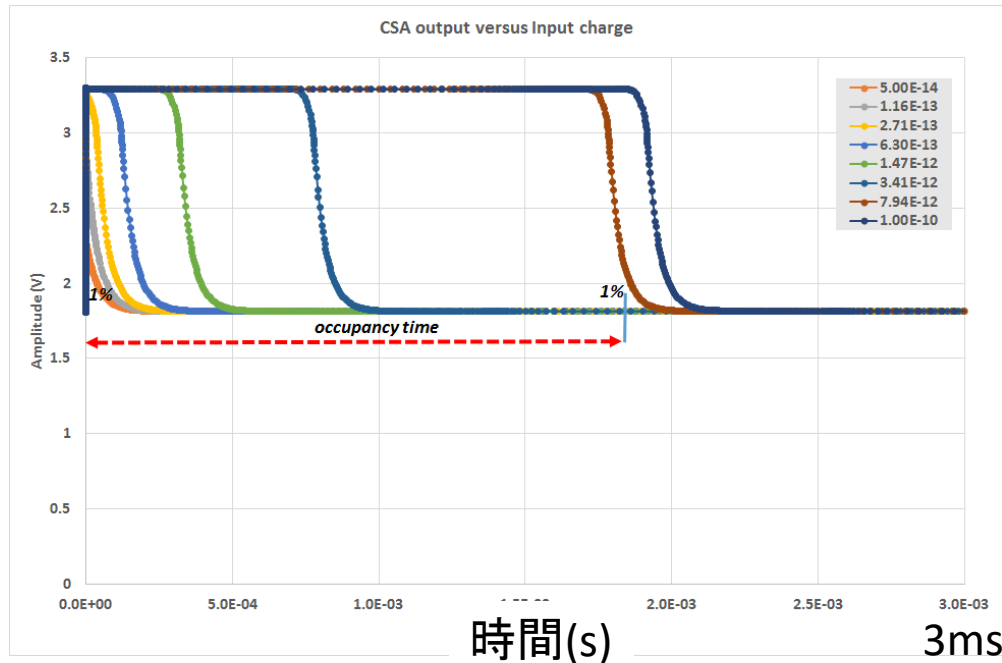
Side view



ビーム信号が見えていない

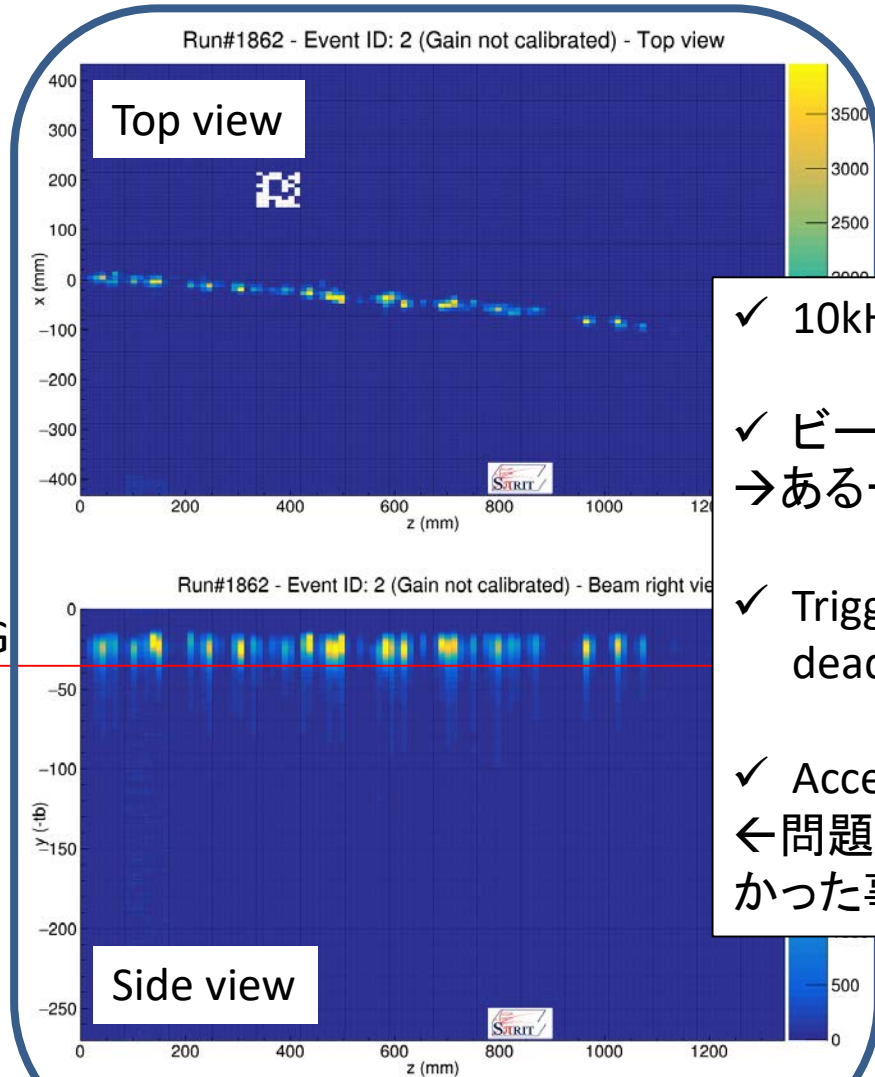
プリアンプの特性により、回路に大きな信号が入るとしばらく不感

CSA出力波高(V)

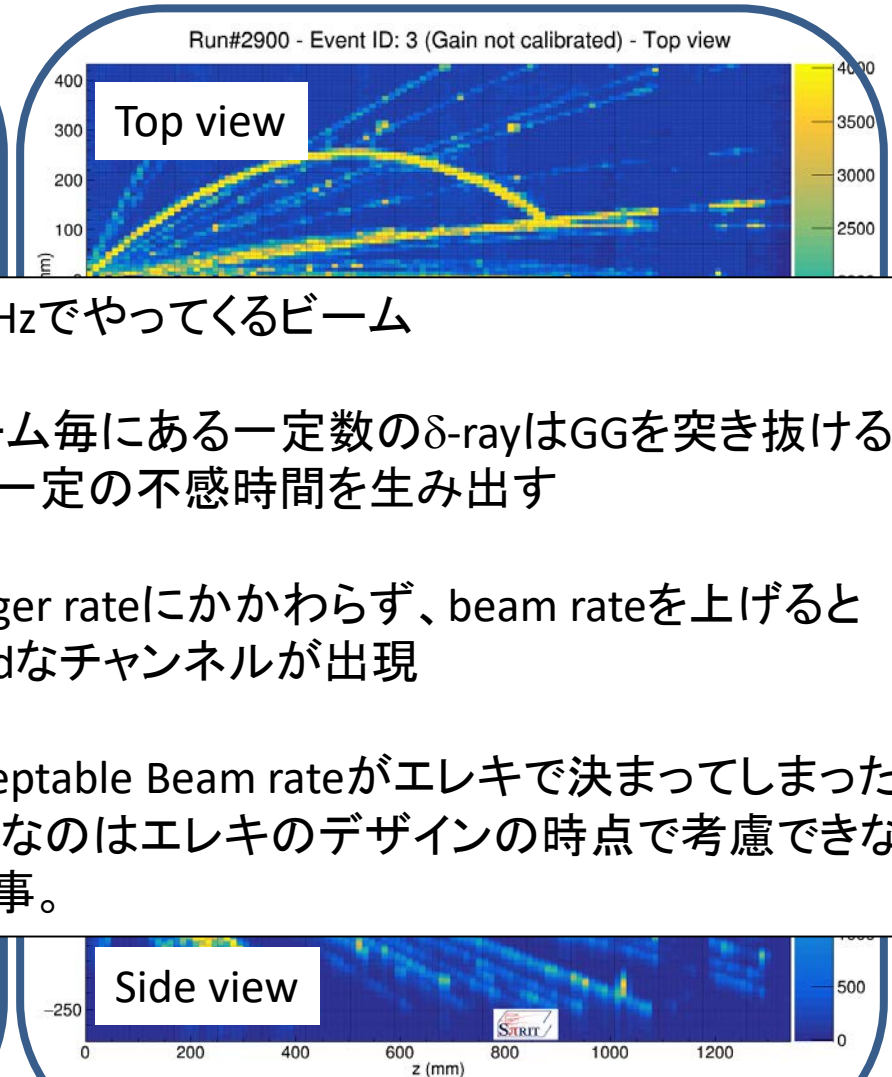


- 入力電荷が多すぎると、CSA出力がsaturateしたままに
- Saturateしている限りは後段のshaping amp見えない→dead
- 10pC入ると2msecほどdeadに
- Proton MIPで7fCくらいの信号→10pCは1000倍くらい :: Z~35の原子核相当
- それではあの黒いポツポツdeadは何由来か？

ゲーティンググリッドで防ぎきれない δ -ray



衝突していないイベント



衝突イベント

- ✓ 10kHzでやってくるビーム
- ✓ ビーム毎にある一定数の δ -rayはGGを突き抜ける
→ある一定の不感時間を生み出す
- ✓ Trigger rateにかかわらず、beam rateを上げるとdeadなチャンネルが出現
- ✓ Acceptable Beam rateがエレキで決まってしまった
←問題なのはエレキのデザインの時点で考慮できなかった事。

実験準備・遂行上ぶち当たった問題Top5

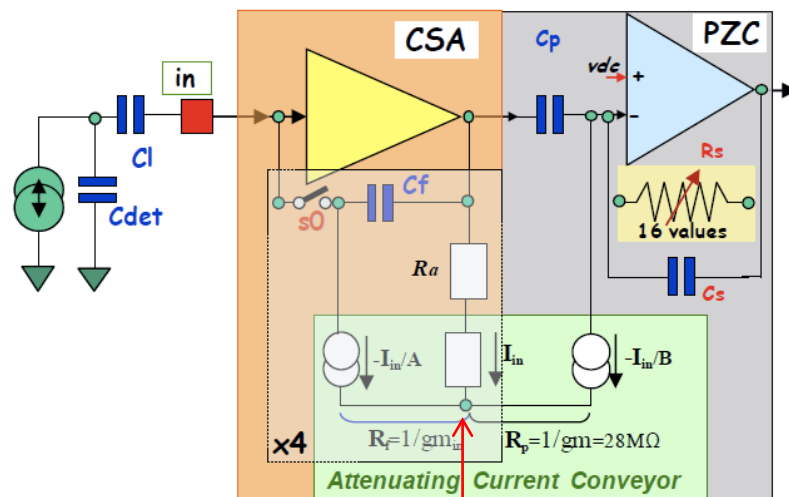
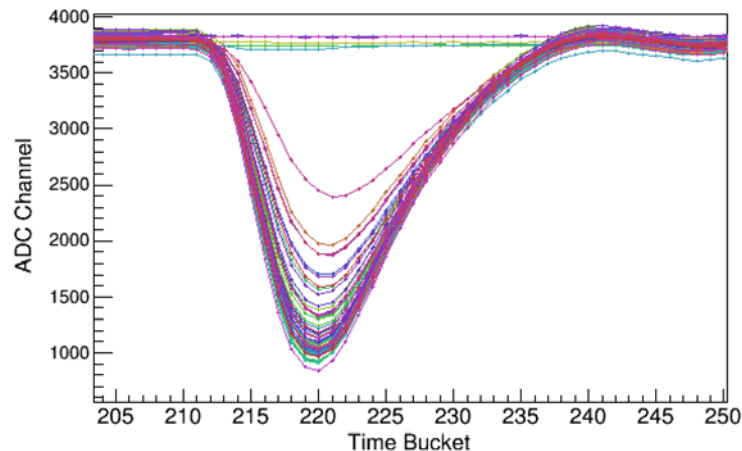
1. 自分で確かめるまで信用できなかった、エンジニアの「大丈夫、できてる」という言葉
2. 数msecのdead timeを生み出す、大量の δ -ray電子
3. 国際共同で汎用システムを開発したら、バグが残る状態でプロジェクト終了
4. ノイズを減らす為のデザインが逆にノイズ源に...。
5. 放射線ダメージで死亡していく、ビームライン検出器

自分で確かめるまで信用できなかった、 エンジニアの「大丈夫、できてる」という言葉

- GETプロジェクト自体は開発プロジェクトであり、productionはユーザーに委ねられる。
- 開発元と利用者は同一でない。
- 予算の都合上開発側は最低限のセットアップでしかテストが出来ない。
- 仕様の範囲であったとしても、開発環境と違うセットアップで次々に出てくる問題。
- 一方で電話会議で開発・デバッグ状況を質問しても、「実装済みである」・「実験に間に合う」。
- 信じられなくなったので、開発プロジェクトが終わる前に出来るだけ問題を洗い出し、エンジニアにfixさせる。
- 設定パラメーターが大量にあり、エンジニアが問題を再現できる状態で問題を投げないと、「設定の問題では？」で放置される。
- Fixが別のbugを生む。だが他ユーザーは誰もテストしない。
- RIBFグループの最大のContribution:人柱

エンジニアも見つけられなかった、 大きなゲインのばらつき

- パルサー信号により、同じ大きさの波高を測定するはずだが、大きなばらつきが見える
 - 測定の上では結構クリティカルな問題
- 負極性信号では現れなかったが、正極性だと現れる現象
- ←Micromegasを使う欧米グループは気がつかなかった。
- プリアンプ出力の電圧がチャンネルごとに異なるのが原因
- フロントエンドボード上のCをRに変えて、ボード上から電圧を決めてやることで解決。
- →たまたま直せる箇所だった??



この電圧がチップ依存性がある

まとめ

- RIBFでTPCというそれまであまり使われていなかった検出器を導入した。
- 原子核実験の特徴:
- 高レート
- ワイドダイナミックレンジ
- 特に高レートで重イオン測定に耐えられる検出器の開発はRIBFにとって急務かつ必須事項。
- 放射線耐性等を含め、皆さんと共通するテクノロジーはあると思います。