

大強度重イオンビームのための 位置感応検出器の開発



東大CNS
花井 周太郎

大田晋輔^A、小嶋玲子、堂園昌伯^B、今井伸明、道正新一郎^C、下浦享、
銭廣十三^B、稲葉健斗^B、土方佑斗^B

RCNP^A、京大^B、理研^C

目次

1. イントロダクション
2. 現状
3. 課題
4. 次期開発
5. まとめ

◎自己紹介

- ・ 原子核科学研究センターCNS（核ダイナミクスグループ）
- ・ 修士：SR-PPAC開発、博士：陽子過剰核の質量測定
- ・ 学部の頃は電子線加速器を使った応用実験のためのCWレーザー開発

目次

1. イントロダクション

2. 現状

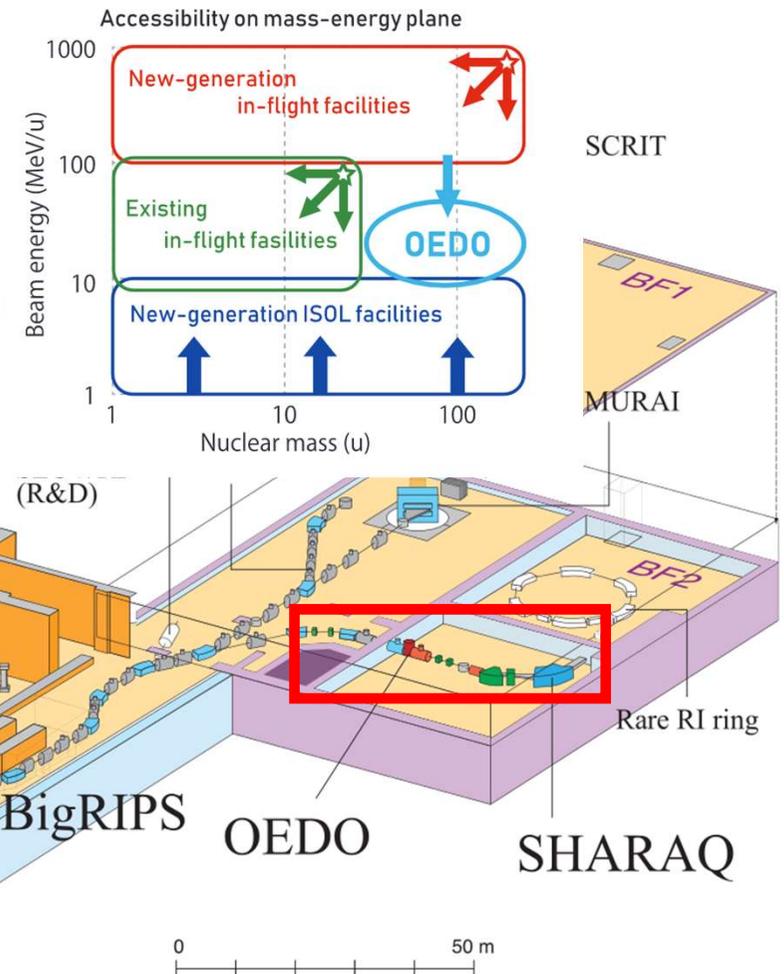
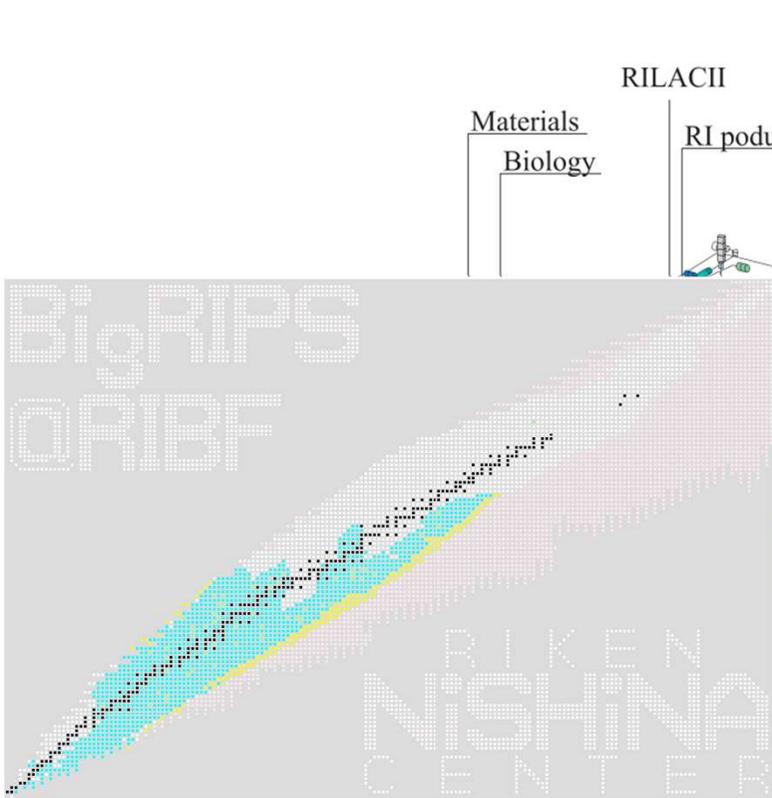
3. 課題

4. 次期開発

5. まとめ

OEDO-SHARAQ beamline

RIB減速装置 (OEDO)

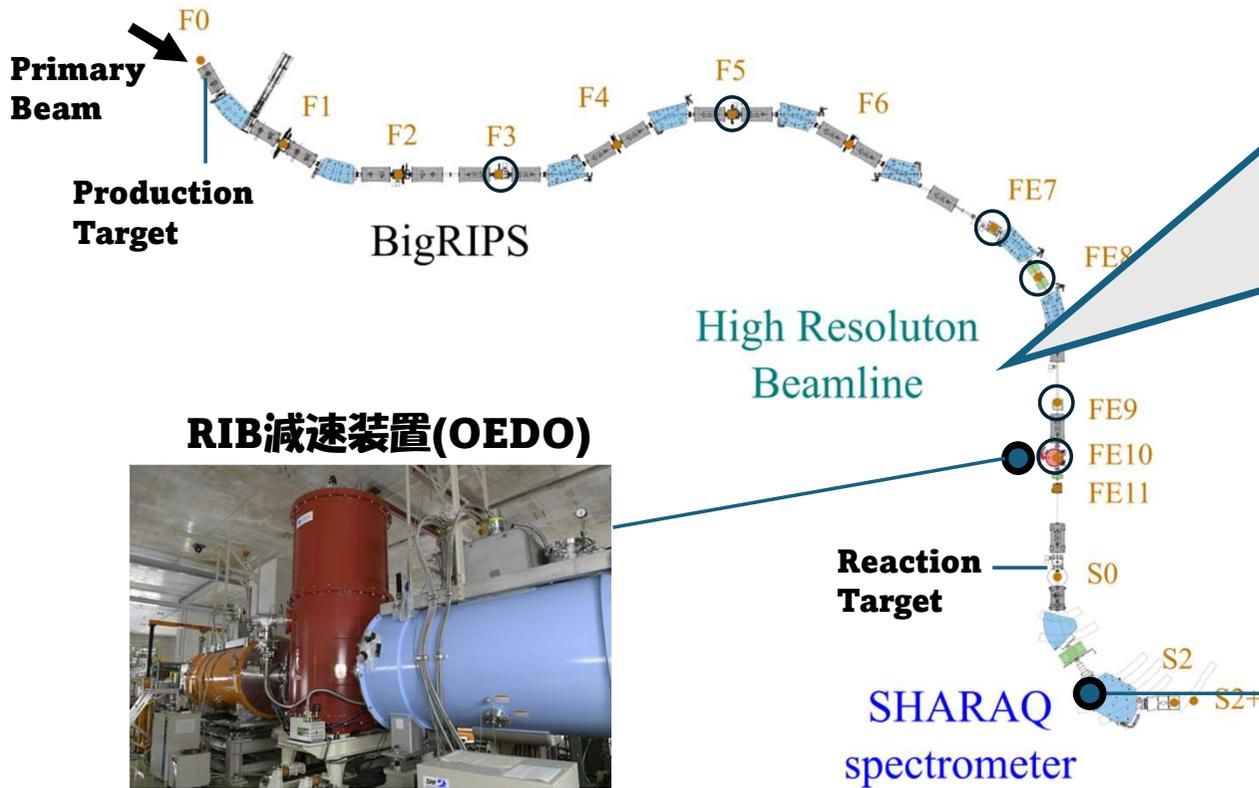


- 大強度の豊富な不安定核beamの供給**
- **Primary:** ^{18}O , ^{48}Ca , ^{70}Zn , ^{78}Kr , ^{124}Xe , ^{238}U ...
 - **Energy of Secondary beam:** $\sim 250\text{MeV/u}$

高分解能磁気スペクトロメータ (SHARAQ)
 $\Delta p/p \sim 1/15000$

High-Resolution Beamline

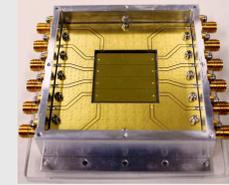
ビームのエネルギー広がり ~30MeV、核種同定の必要性
→ タギングするためのビームライン検出器、
光学輸送(Dispersion Matching)
With high-efficiency, high-resolution



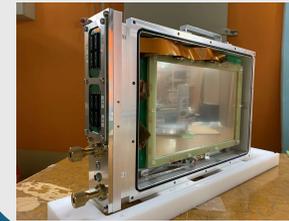
RIB減速装置(OEDO)



Diamond detector
(Timing, TOF)



SR-PPAC
(Position, $B\rho$)



LP-MWDC
(Tracking)

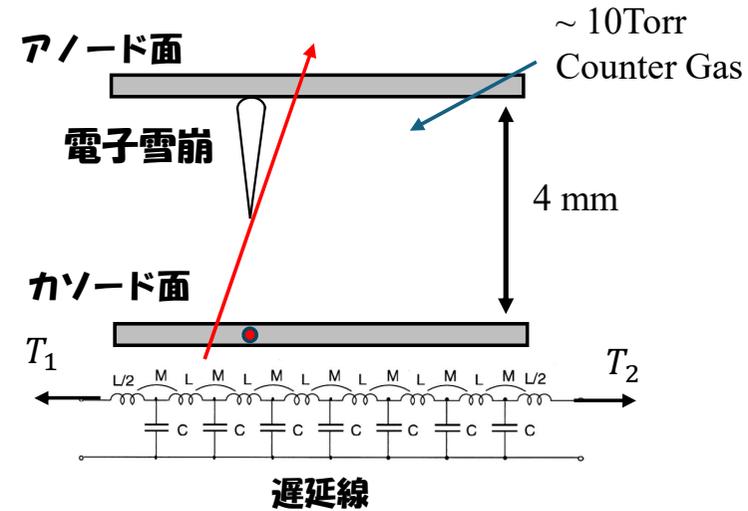


SHARAQスペクトロメータ



Parallel Plate Avalanche Counter

- 薄いガス+平板電極 😊
 - 小さく、一様な物質厚
 - 比較的少ない放射線損傷
- 素早い電子雪崩生成 😊
 - 数nsの早い立ち上がり
- 低出力 😞
 - 軽イオン(H, He, Li,..)は測定困難



➤ Delay-line PPAC (従来機)



• 遅延線による両読み

$$x = K * (T_1 - T_2) / 2 \quad K: \text{slope factor}$$

Beam広がり ~100 mm
@Dispersive focal plane

- Delay time: **2.04 ns/pitch**
- Position resolution : **~ 212 um (σ)**
- 最大で**100 ns**程度の遅延時間, 遅延時間はhit positionによる

→ **1 MHz 程度の広がったビームにも対応できる Strip 個別読出しをしよう**

H.Kumagai, et al., Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B. 317, (2013) 717.

目次

1. イントロダクション

2. 現状

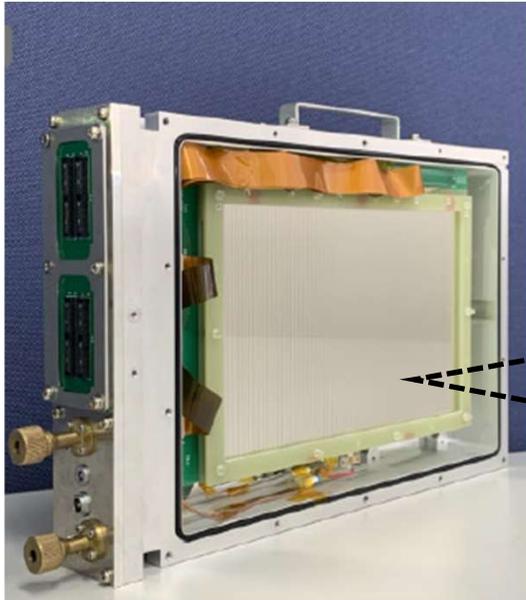
3. 課題

4. 次期開発

5. まとめ

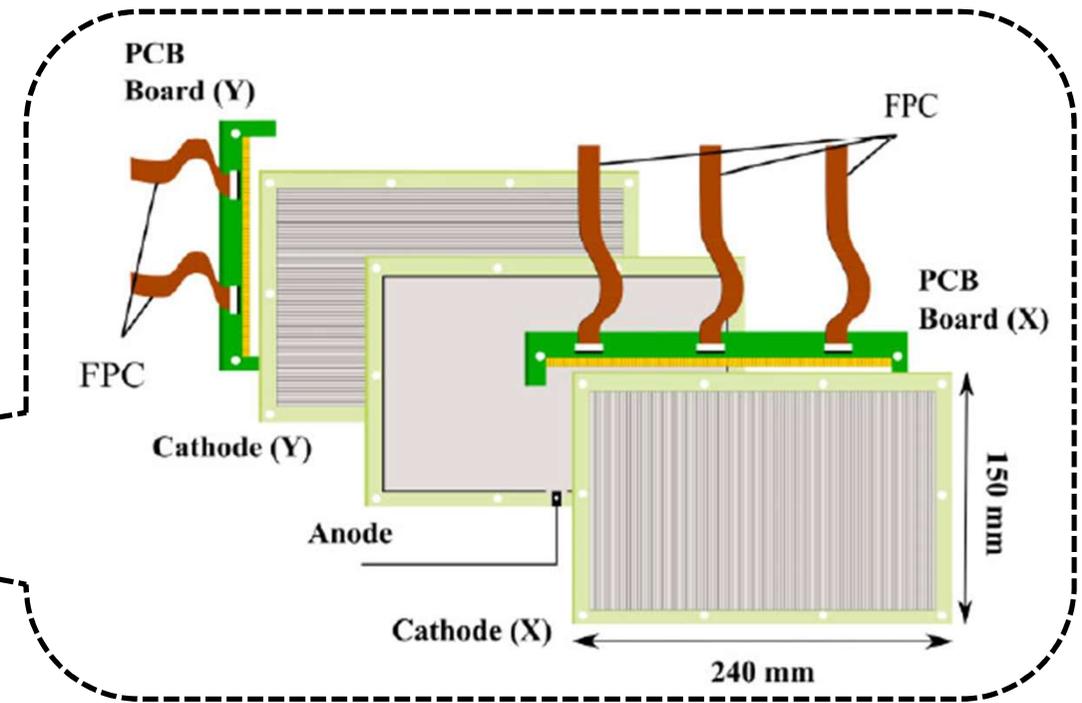
Strip-Readout PPAC <構造>

- 電極の材質、ストリップサイズはBigRIPS標準 DL-PPACと同等
- 遅延線を個別読みだし基板に変更
- 多チャンネル(>100ch)を FPCで取り回し

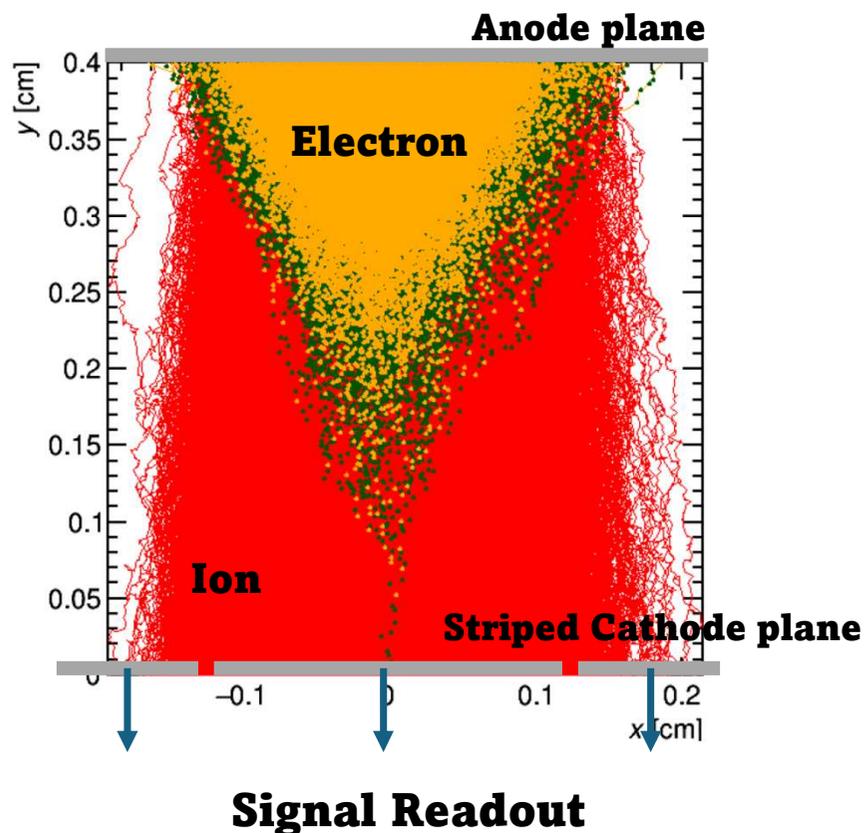


Configuration of Electrode

	Prototype	Standard
Sensitive area [mm ²]	150 (X) × 150 (Y)	240 (X) × 150 (Y)
Gap between anode and cathode [mm]	4	4.3
Strip width [mm]	2.57 (X, Y)	2.55 (X), 2.58 (Y)
Number of strips (channels)	58 (X, Y)	94 (X), 58 (Y)



信号出力

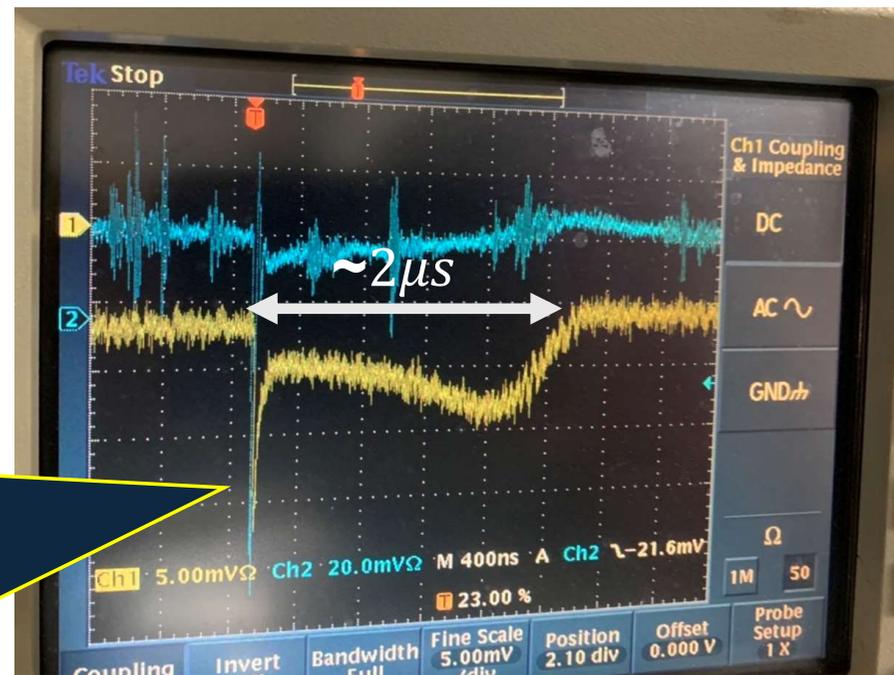
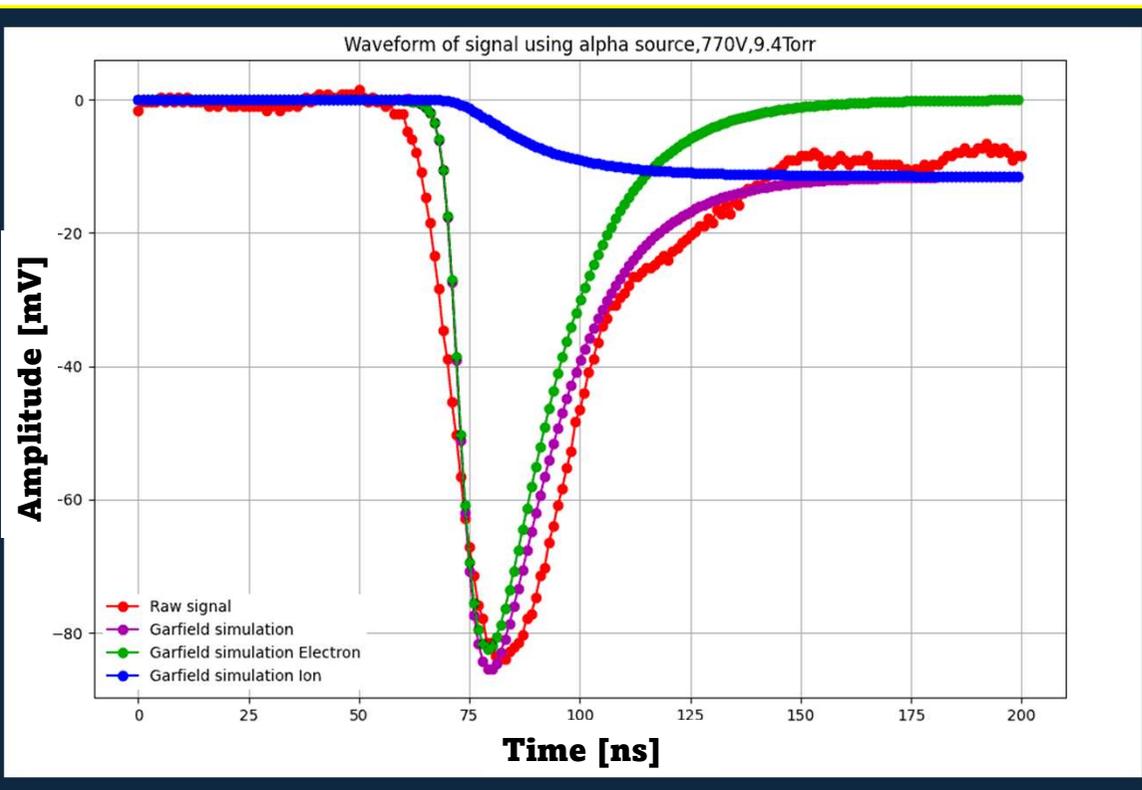


- ストリップから個別に誘導電荷を読み出す
- **Time over Threshold (ToT)**で波高情報を高速に取得
 - 最大信号幅 ~ 50ns
 - Flash ADCは高価 (> ¥10,000/channel)
 - 積分するには時間がかかる
- **ASD Board: HATASHI REPIC, RPA-132**

Gain	0.8 V pC ⁻¹
Time constant of integrator	16 ns
Number of channels	64 ch
Input charge	± 1.0 pC
Threshold control voltage	0 ~ ± 0.6 V (± 0.054 pC equivalent)
Input (Output) type	LVDS
Board Size	160 mm × 180 mm

信号出力

α -sourceを使ったPreampのAnalog信号出力



ASD-Chip Circuit diagram

Drawn by R. Kojima (CNS)

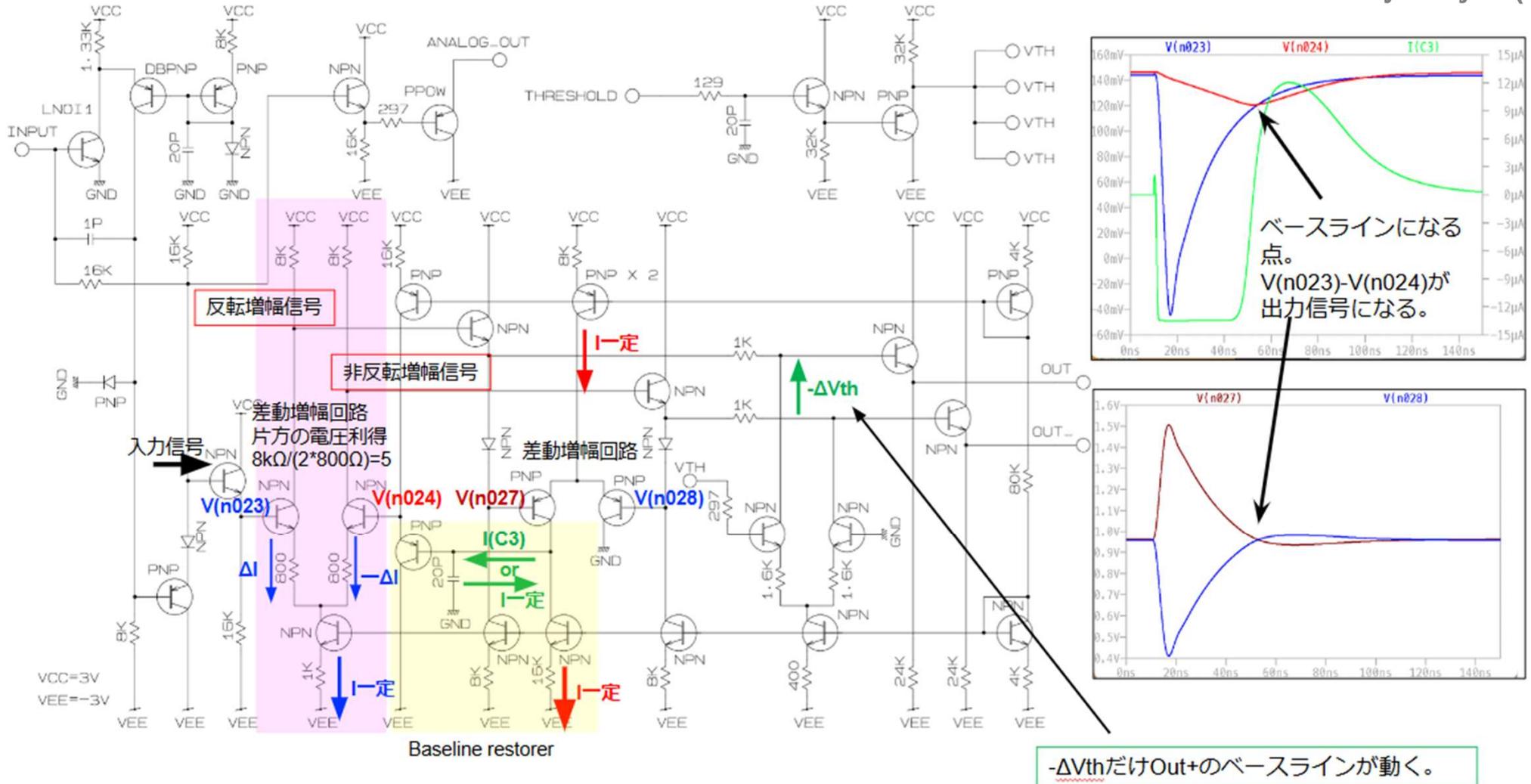
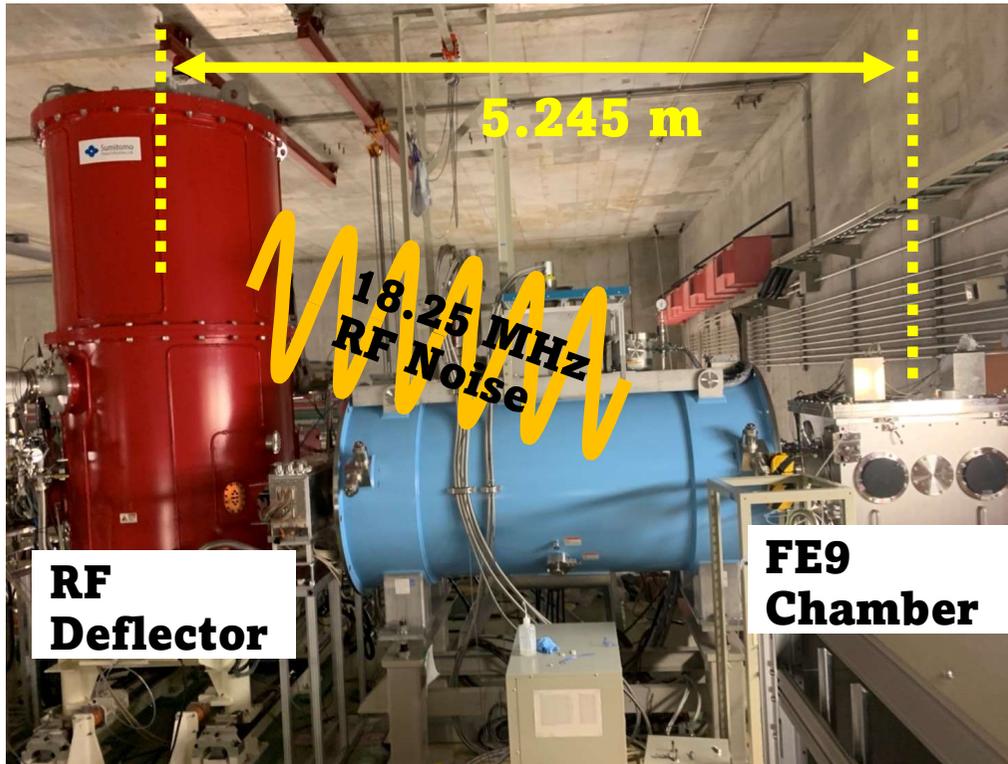


Figure 4-2 Schematic diagram of the preamplifier, main-amplifier and baseline restorer.

Signal transfer

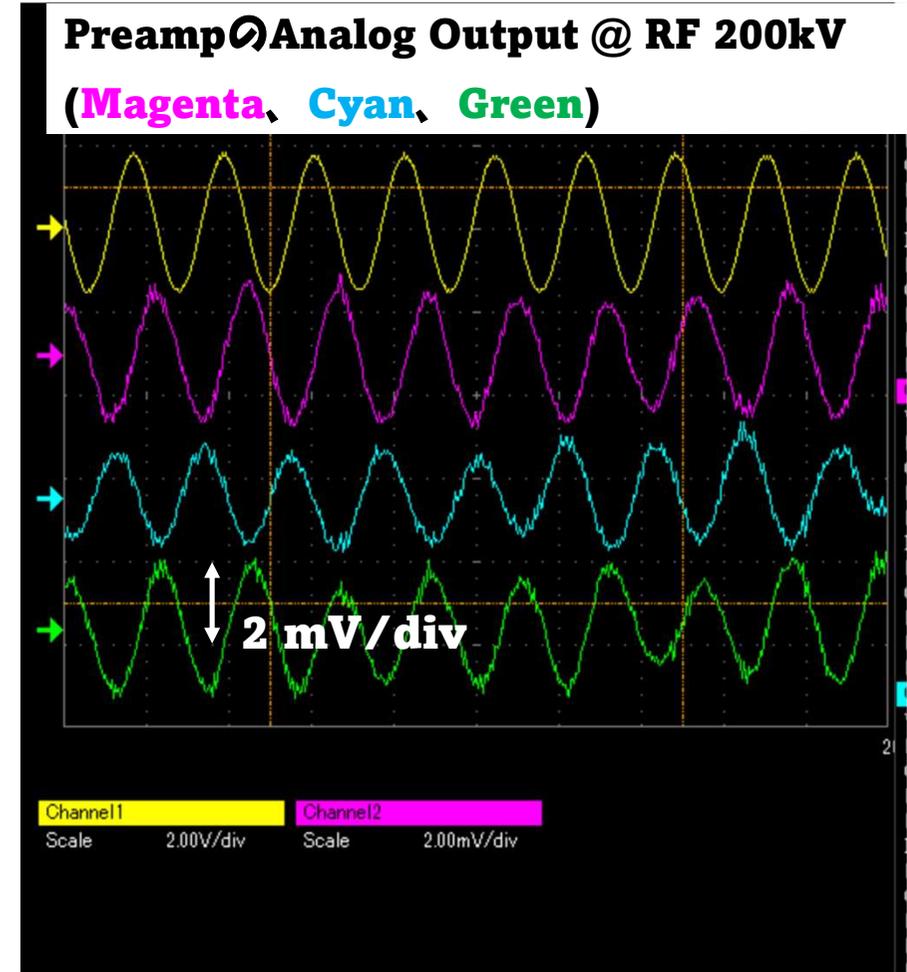
- 真空槽↔大気を取り回し
 - (あたりまえだが)
ノイズに強い伝送系は重要
- 例えば、、、、





RF deflectorからのノイズをもろに受ける

- > 種々の対策を試したが、回路系・伝送系のGroundを強化することで対処



Strip-Readout PPAC <解析法>

- 分割電極の電荷(ToT)の差と位置は
一対一だが一般に非線形
- だが、隣接電荷(ToT)差の分布の積分値を
使って一価の関数で表せる

ストリップ端からの距離

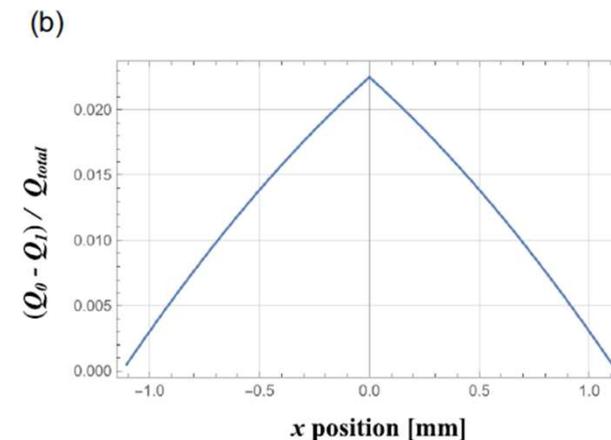
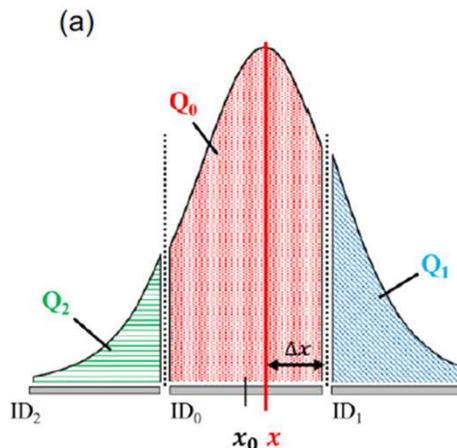
$$\Delta x = \frac{s}{2} \times k(\Delta q)$$

s: strip width

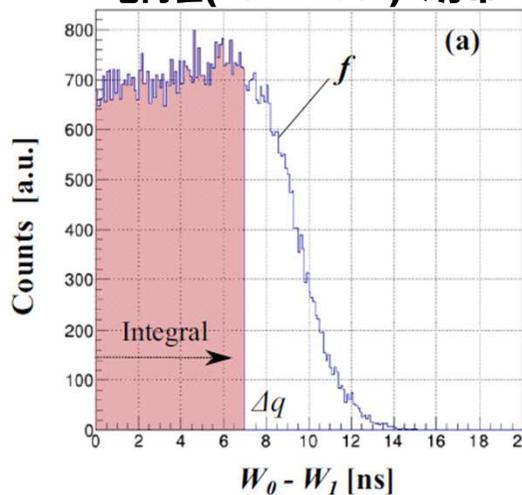
電荷差(ToT width)から距離へのマッピング係数

$$k(\Delta q) = \frac{\int_0^{\Delta q} f(q) dq}{\int_0^{\Delta q_{\max}} f(q) dq},$$

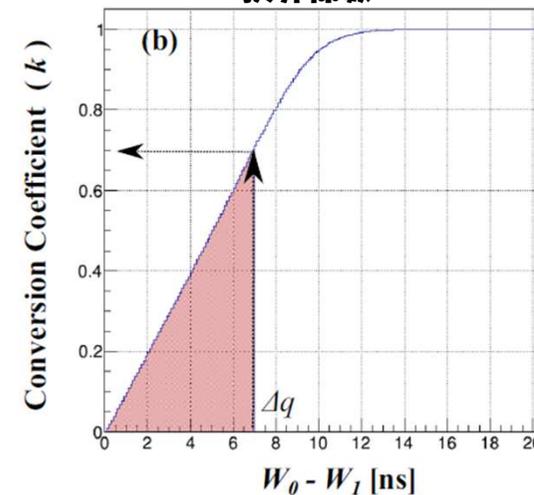
※ビームのhitを一様性を仮定



電荷差(ToT width)の分布



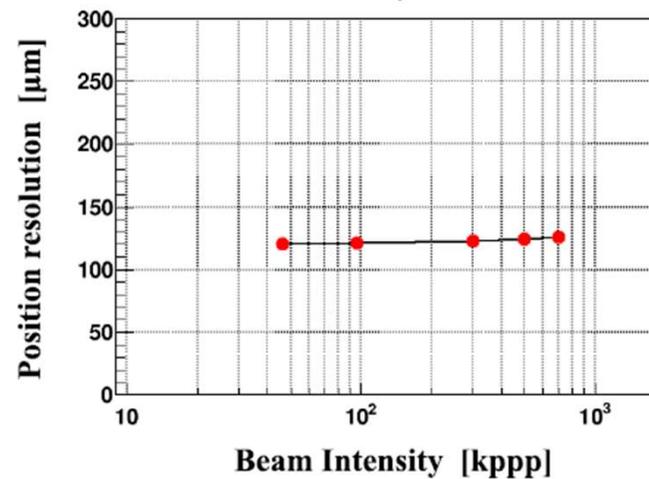
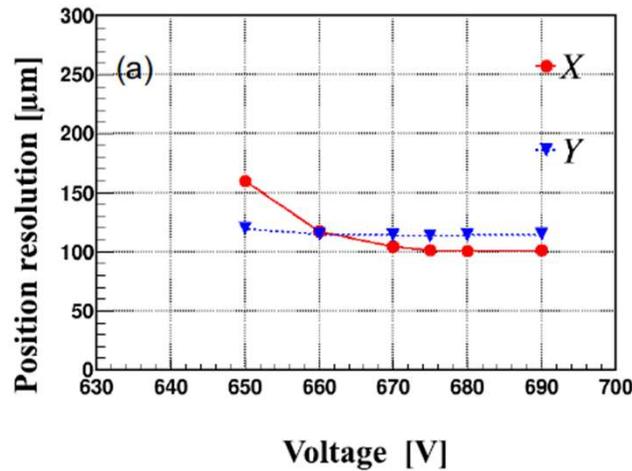
換算係数



Strip-Readout PPAC <性能評価>

➤ Proof of principle Exp. @ HIMAC

^{132}Xe , 115 Mev/u



- **Best position resolution: 100 um(σ)**
- **resolution at high intensity (770kppp): 121um(σ)**

➤ Test Exp. @ RIBF

$^{132}\text{Sn}/^{48}\text{Ca}$, 300 Mev/u



- **Keep 99% detection efficiency @ 700kHz**
- **Position resolution: 135 um(σ)**

目次

1. イントロダクション
2. 現状
- 3. 課題**
4. 次期開発
5. まとめ

きっかけ

2021年 **Mass production**

→ ビームライン全体をカバーする8台！

2022年 **SHARAQ18/19**

“Determination of neutron capture cross sections for r-process nucleon synthesis”

SHARAQ13

“Direct mass measurements of proton dripline nuclei”

2024年 **SHARAQ12**

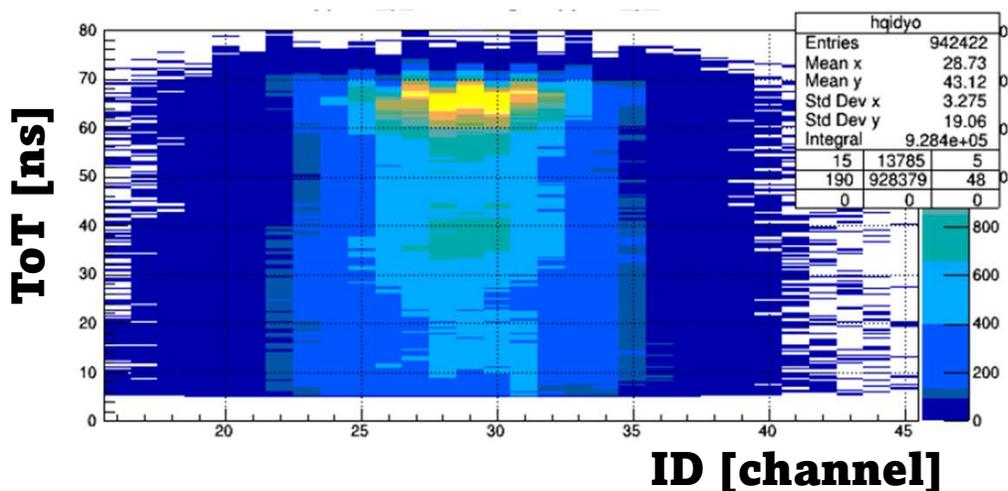
“Single-particle states in fp-shell nuclei through $^{50}\text{Ca}(d,p)^{51}\text{Ca}$ transfer reaction”

...思ったより分解能がでてない？

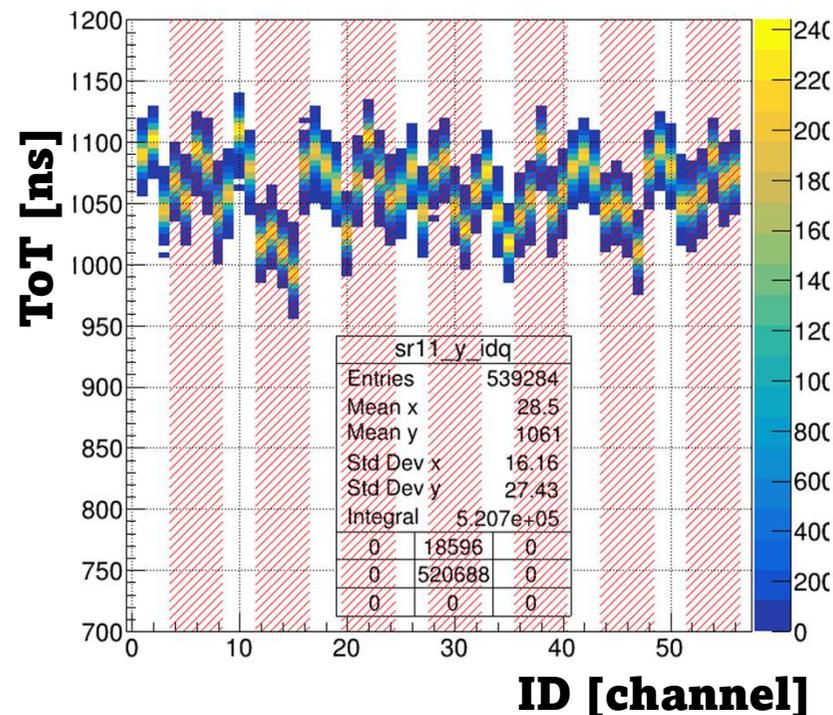
- 個体差あり
- Onlineで分解能の自己評価が難しい

原因 (?) その1. IDごとのゲインの違い 検証中

➤ IDごとにToTの分布に差が見える



➤ Preampのchip(4ch)ごとに傾向がある?



• 相対的にIDごとのゲインを補正

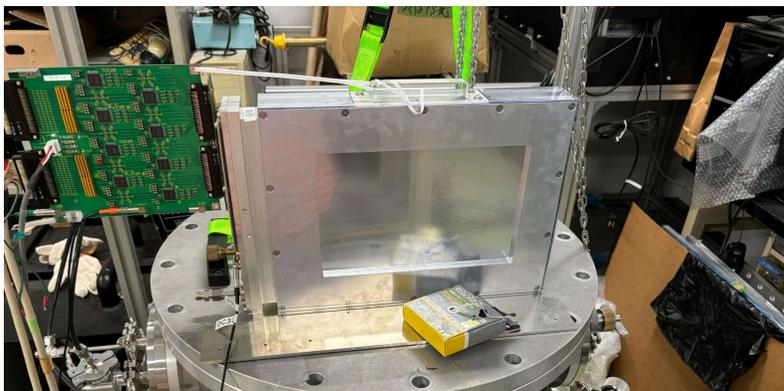
• Charge injectorなどでpreampのcalibration tableをつくることは可能

原因 (?) その2. 信号ケーブル 検証中

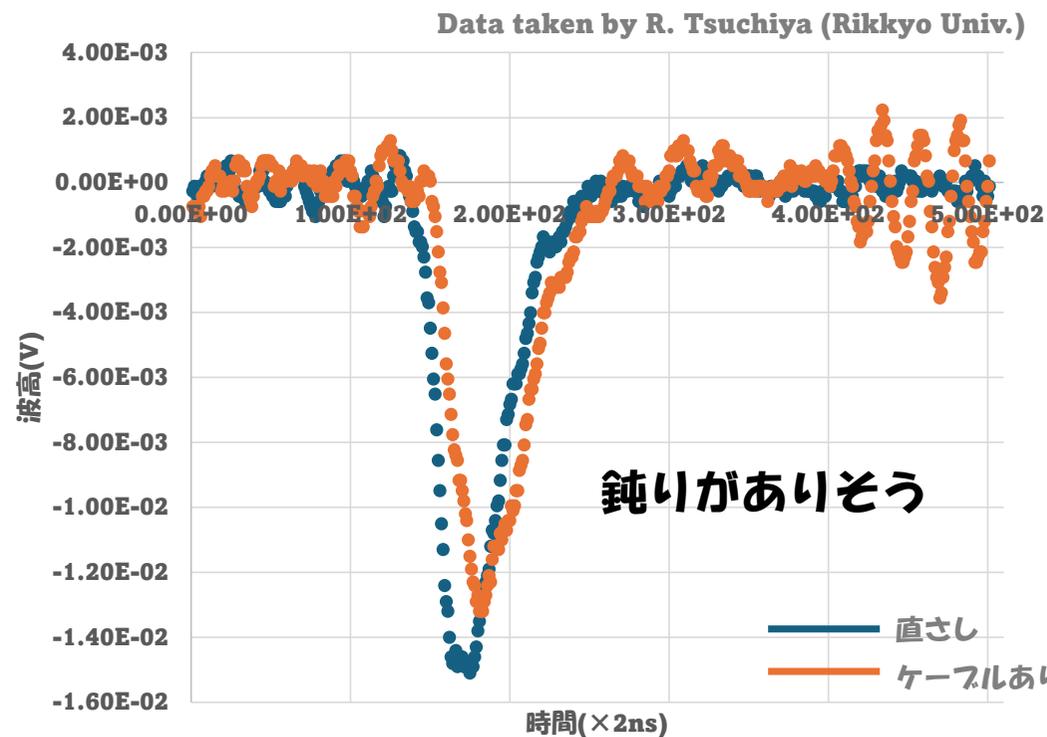


➤ 信号ケーブル：真空槽では2 m程度のものを使用

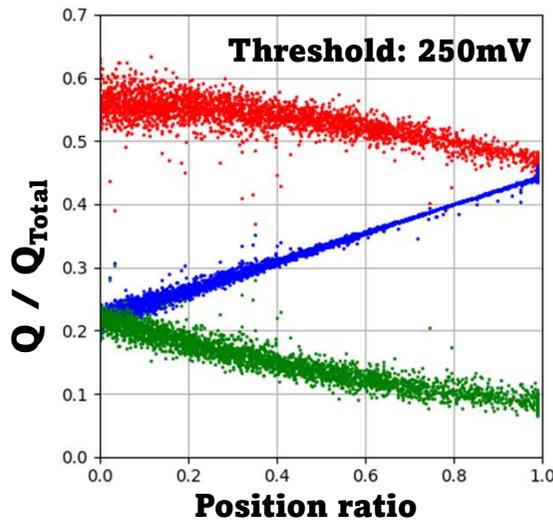
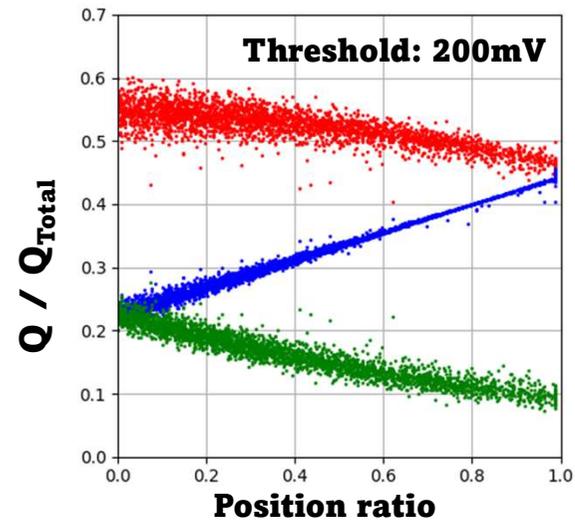
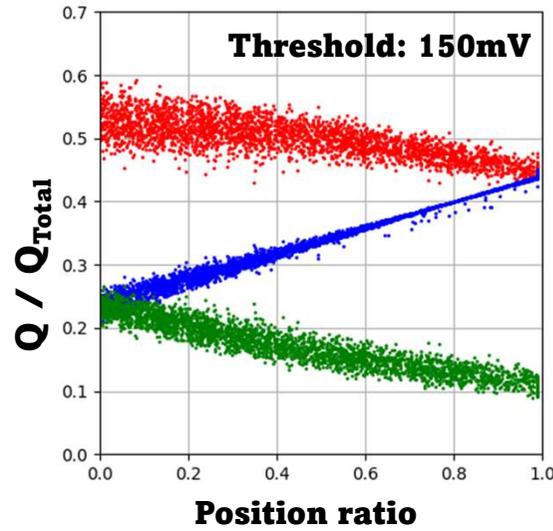
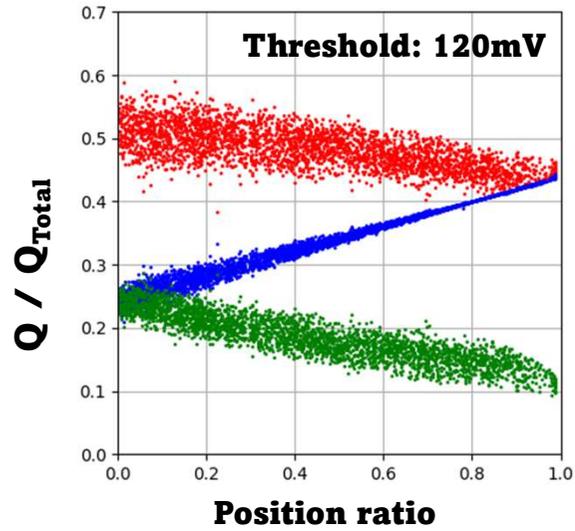
Cable capacitance: 27 pF/ft



ケーブルなしで直にPreampをつけてみると。。

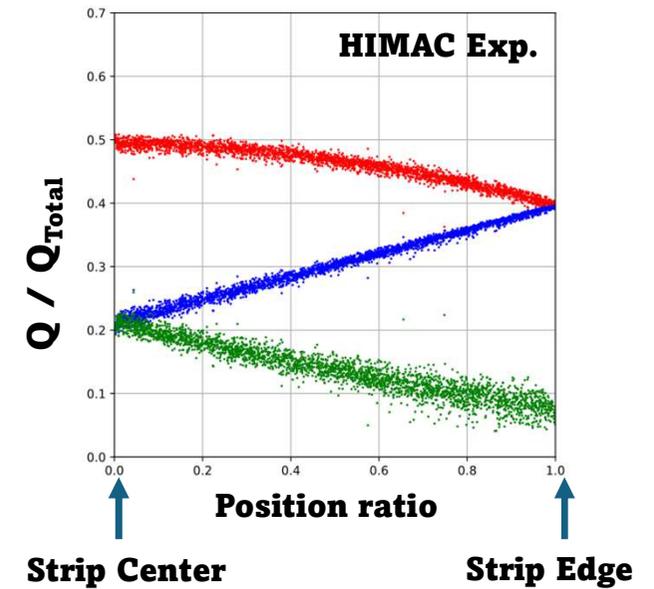


分解能の指標



— Q0
— Q1
— Q2

Condition of the best resolution



※実はこの時は例のケーブルは未使用

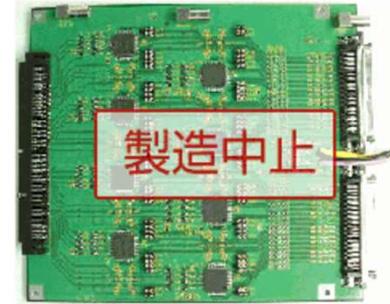
目次

1. イントロダクション
2. 現状
3. 課題
- 4. 次期開発**
5. まとめ

ASAGI-Cardの試験運用

背景

- ・ 今使っているASDカードが製造中止
- ・ なるべく低電圧で検出器に優しく運転したい (アンプでゲインを稼ぐ)

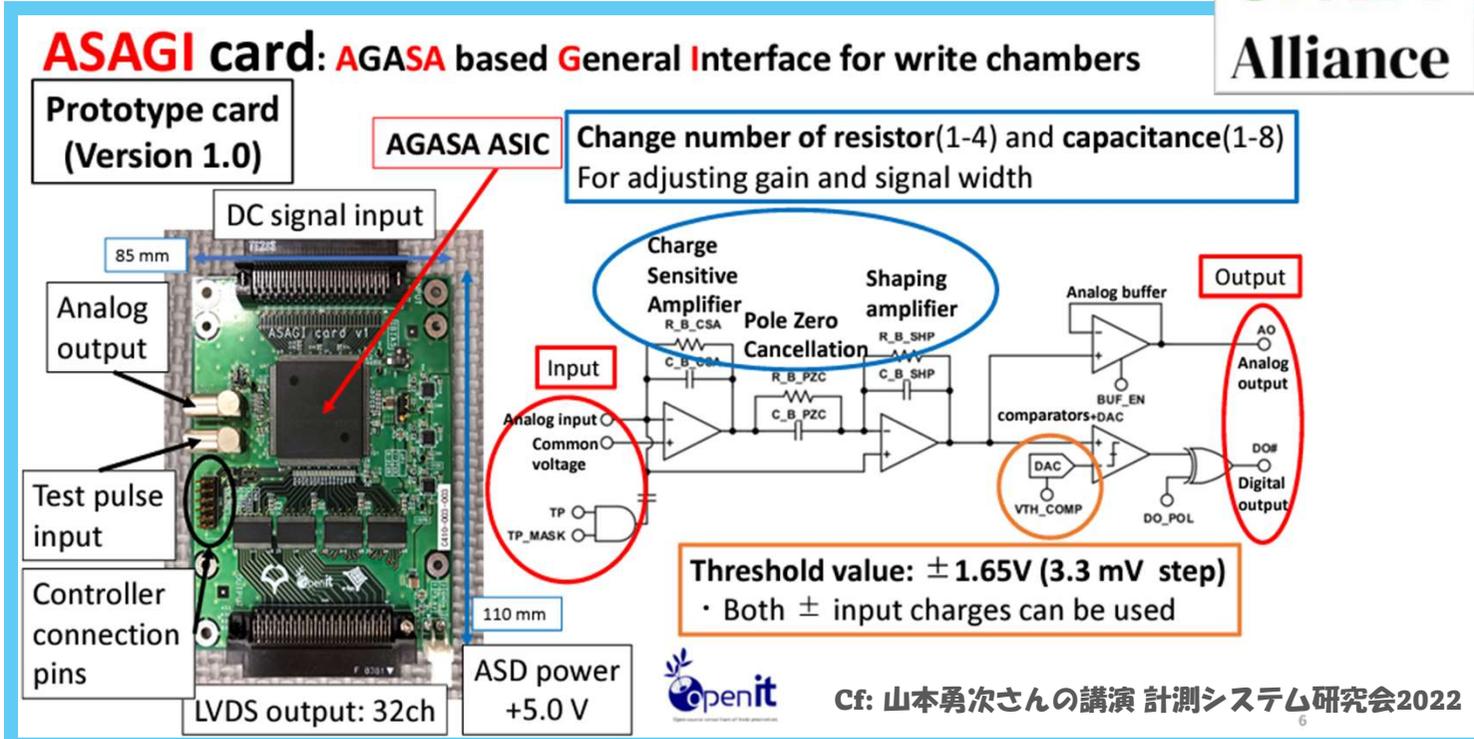


SPADI
Alliance

ASAGI-Card

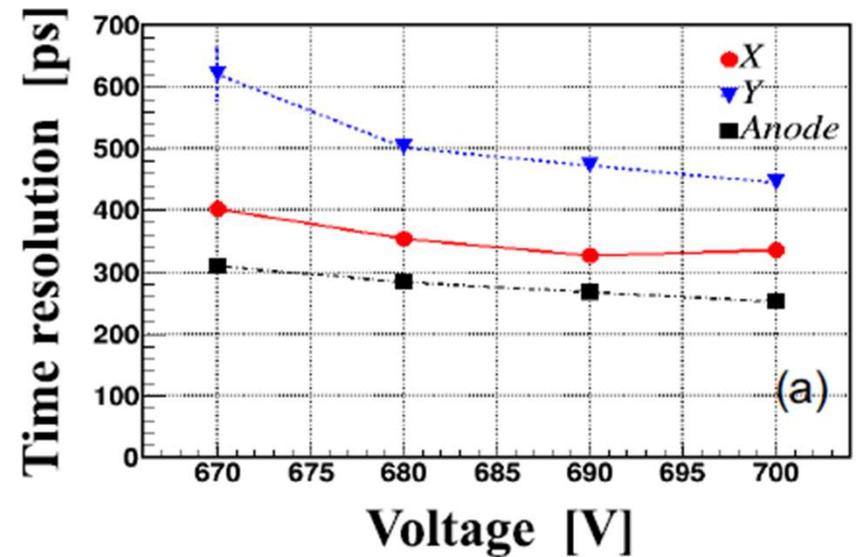
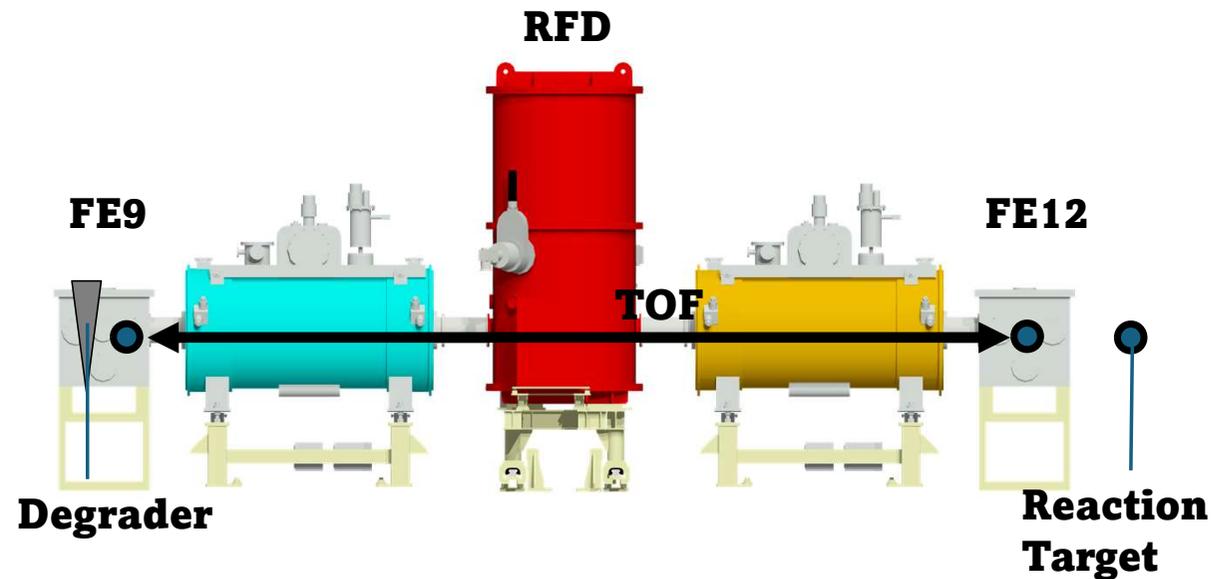
- ・ 高い増幅率
- ・ 時定数・閾値等の可変性

ASAGI + SR-PPAC
Studied by 土屋諒さん(立教大)



時間分解能？

- ・ **ビームライン検出器**としては結構重要 (OEDOにおけるdegrade後のエネルギー測定)
- ・ **MCP (Micro Channel Plate)**は大型化、**High rate耐性**がネック
- ・ **Pestov Spark Counter**のように高ガス圧・高電圧は非現実的
- ・ **Anode**信号は比較的早く250ps程度だが、位置依存性などstudyの余地はあり



まとめ

現状の開発状況・成果

- ・ 高分解能・高効率・高速応答を持った重イオンの位置検出器開発
- ・ Strip個別読出し + ToTによる波高情報取得 + 電荷分布による位置解析
- ・ 700kHzでも99%の高検出率、位置分解能向上

課題・次期開発

- ・ Best performanceを出せる状況を定量化したい
- ・ タイミング検出器への応用性の検討