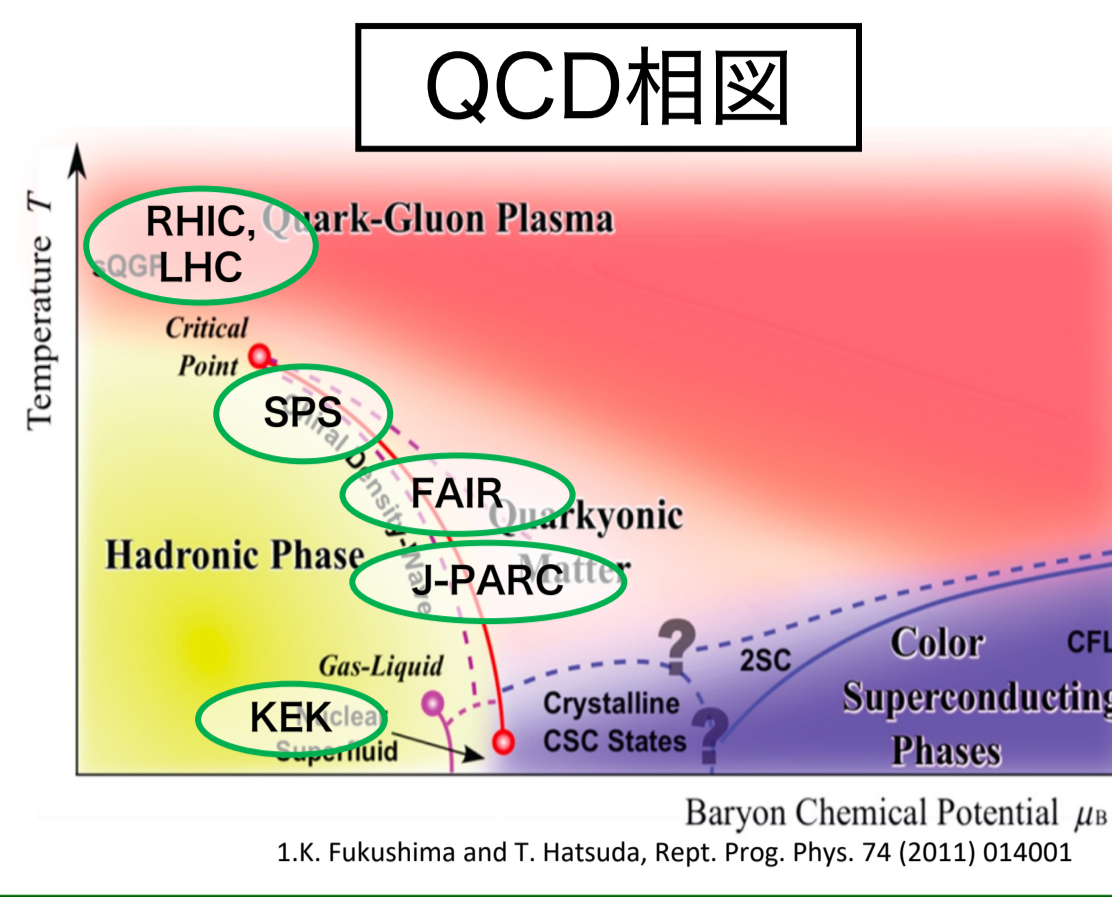


# 次世代高輝度重イオン衝突実験のためのシリコン飛跡検出器の性能評価及び開発

高エネルギー重イオン衝突の物理 チュートリアル研究会 2024 広島大<sup>A</sup>, KEK<sup>B</sup>, 阪大RCNPC<sup>C</sup> 山田 蓮斗<sup>A</sup>, 青木和也<sup>B</sup>, 山口頼人<sup>A</sup>, 小沢恭一郎<sup>B</sup>, 高橋智則<sup>C</sup>

## 有限密度領域におけるQCD物質



- 高温・低密度領域  
→ @RHIC, LHC よく研究されている
- 有限密度領域における興味深い物理現象  
一次相転移? カイラル相転移? カラー超電導??

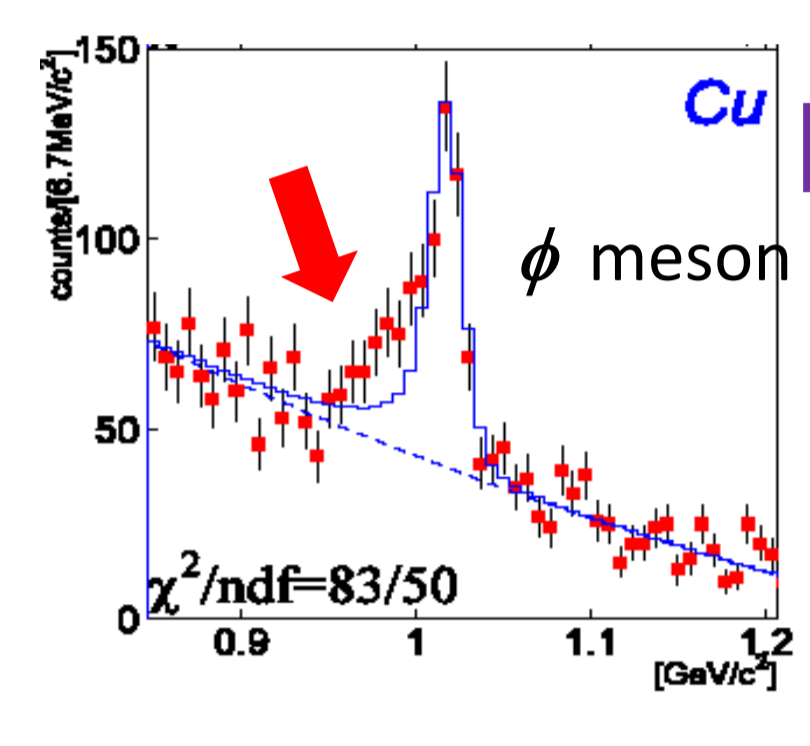
有限密度領域では理論計算は難しく、  
**実験的研究がこの分野をリードしなければならない** → @ FAIR, J-PARC(-HI)

## E16 実験 (@J-PARC 2025春-)

目的 真空中における $(\bar{q}q)$ の変化の探索

方法 原子核で崩壊するベクトル中間子の質量スペクトルとその変化を測定  $30 \text{ GeV } p + A \rightarrow \rho, \omega, \phi \rightarrow e^+ e^-$

先行実験 KEK E325



J-PARC E16実験の戦略 — 100倍の統計量を目指す!

1. 検出器アクセプタンスとビームエネルギー増強によるE325の10倍の統計量
2. 10倍のビーム強度 ( $1 \times 10^{10}$ 陽子/spill(2sec))

E16 検出器要請

- 高レート対応
  - 大強度ビームによる大量の $\phi$ 発生
  - 大量のバックグラウンド
- 高質量分解能
  - 期待する質量変化:  $20-40 \text{ MeV}/c^2$
  - 目標質量分解能:  $6 \text{ MeV}/c^2$ 程度
- 高いPID能力

E16 最内層飛跡検出器 STS

最内層にCBM主力飛跡検出器のシリコンセンサを使用

- 要求性能
  - 位置分解能:  $30 \mu\text{m}$
  - 時間分解能:  $6 \text{ ns}$

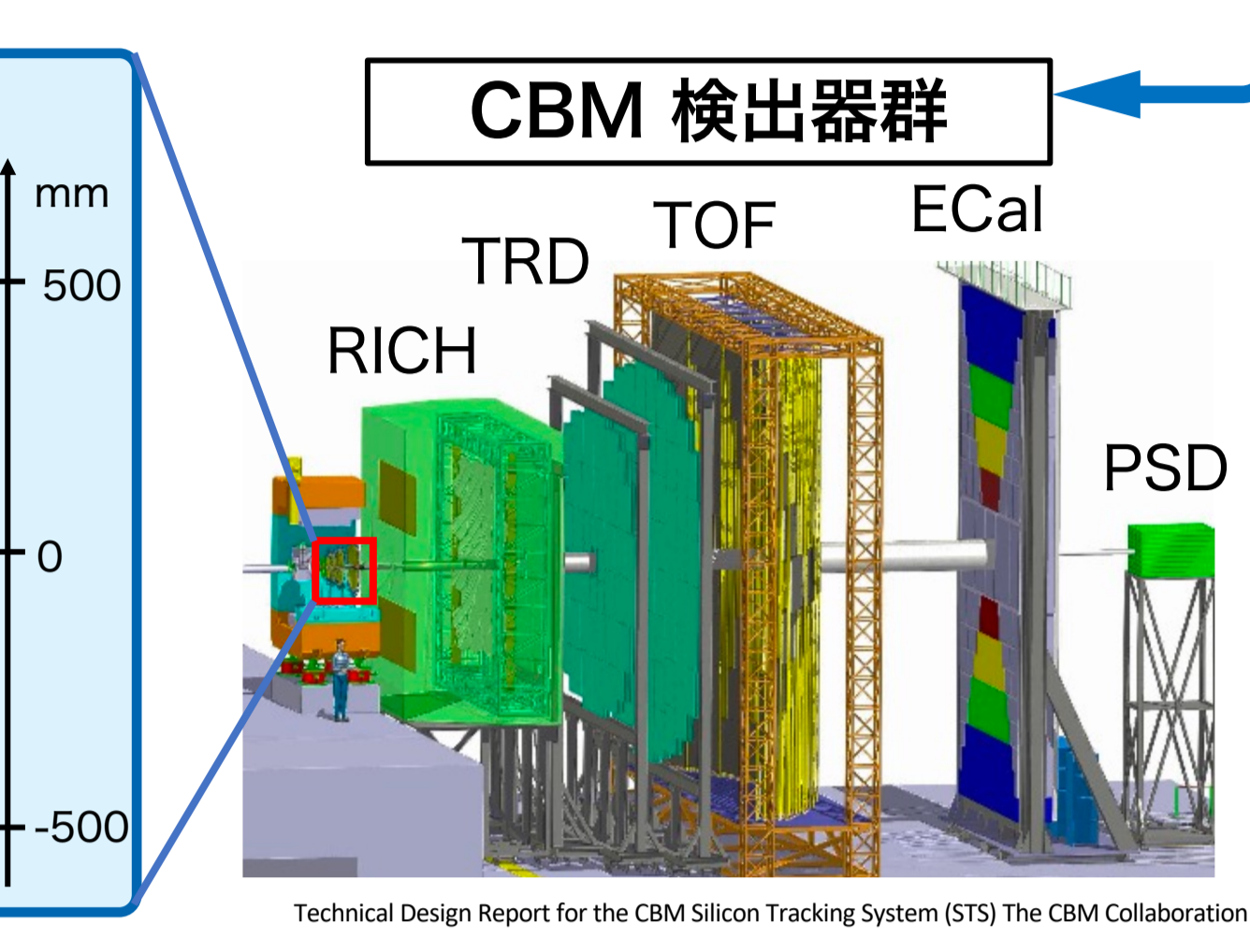
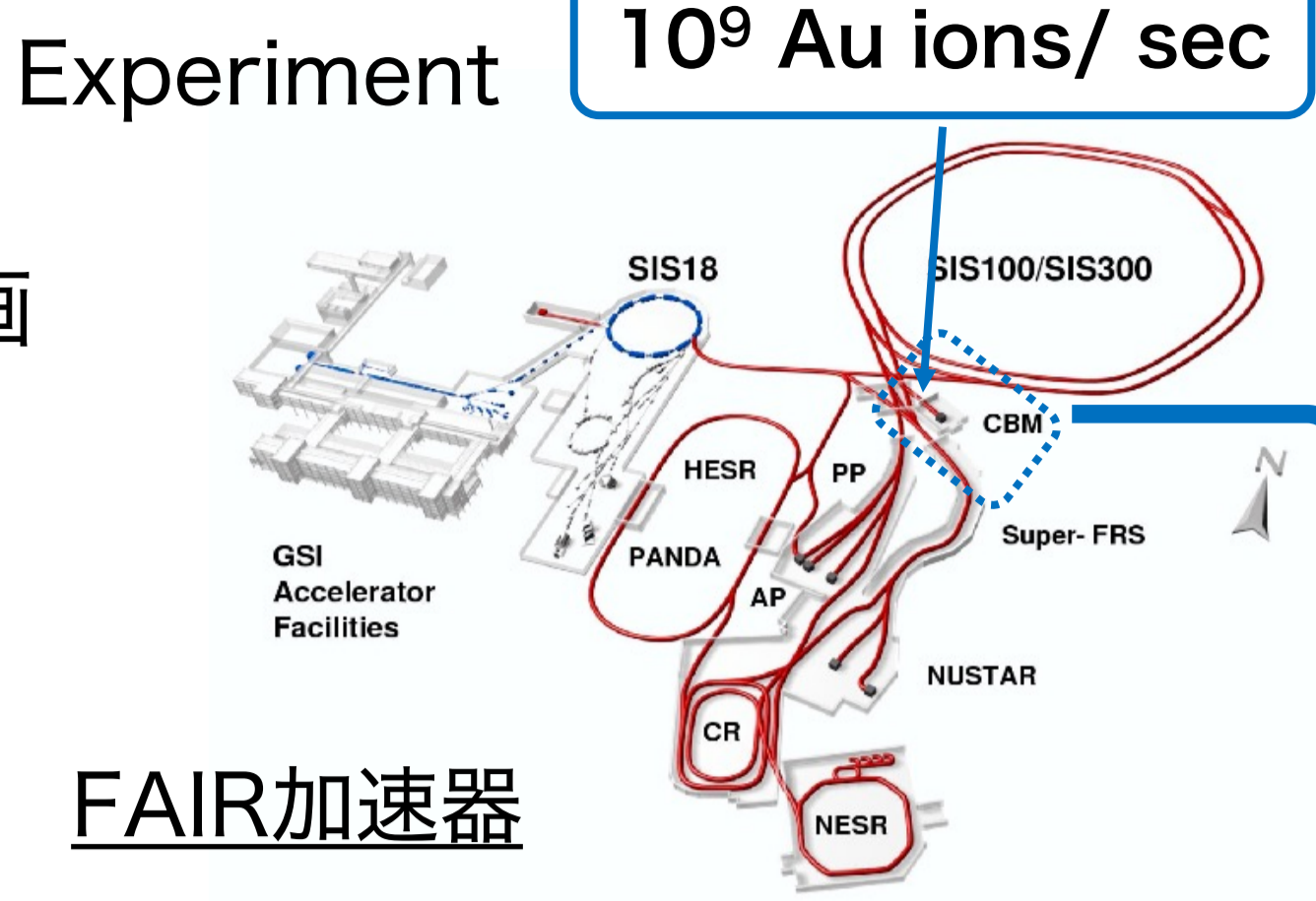
## CBM 実験 (@GSI/FAIR 2028-)

- The **C**ompressed **B**aryonic **M**atter Experiment
- 高密度のクォーク物質を生成し、その性質を調べることを目的として計画 FAIR加速器建設中

	Ion beam	Proton beam
SIS-100	2-14 AGeV	29 GeV
SIS-300	45 AGeV	90 GeV

### 主力飛跡検出器 Silicon Tracking System (STS)

- 仰角  $\pm 2.5^\circ \sim \pm 25^\circ$  をカバーする8層のセンサー(station)で構成
- ターゲットの下流 30cm-1mに設置
- 3つのサイズの Silicon microstrip sensor
  - 60mm
  - 40mm
  - 20mm



トラッキング精度の向上が必要!

ビームを使った実際の実験環境下(磁場中)でのテストが必要!

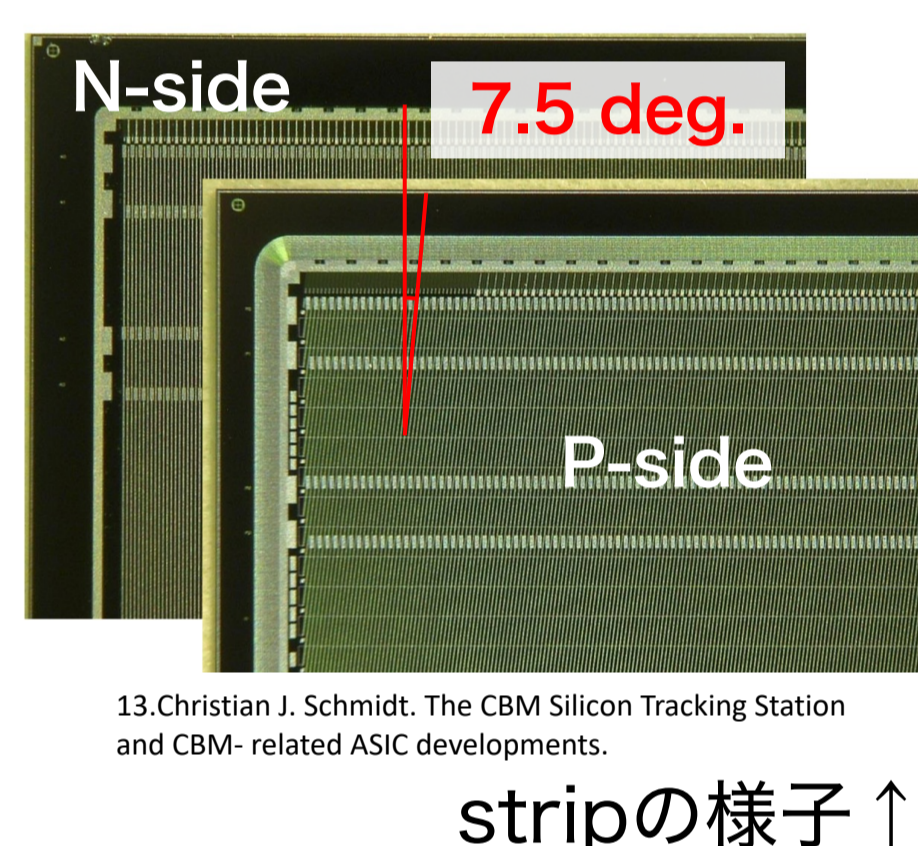
This is me. → E16 commissioning runs & beam testによるフィードバック

## シリコンセンサ基本性能

### ■ 両面読み出しストリップ

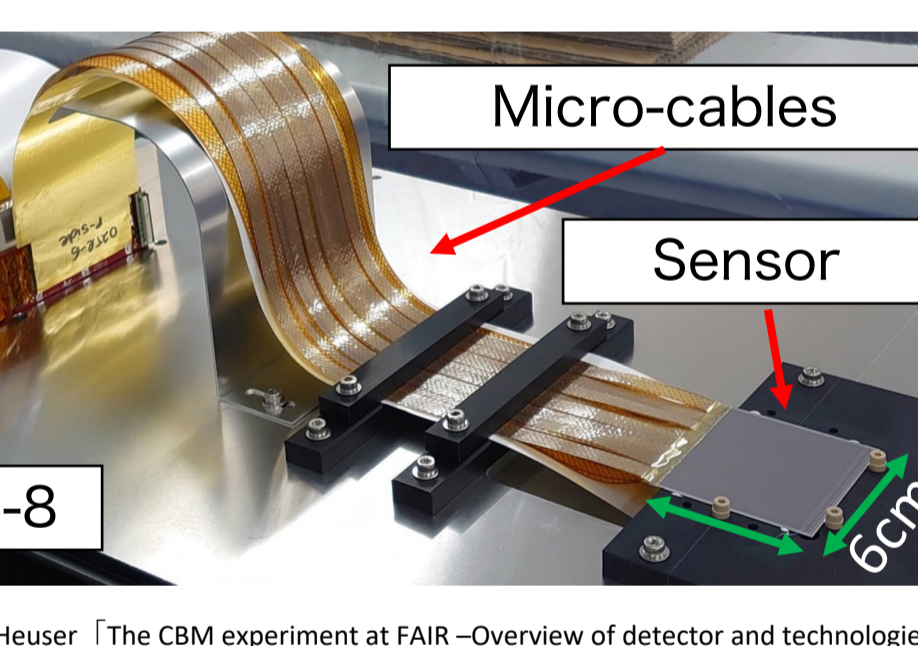
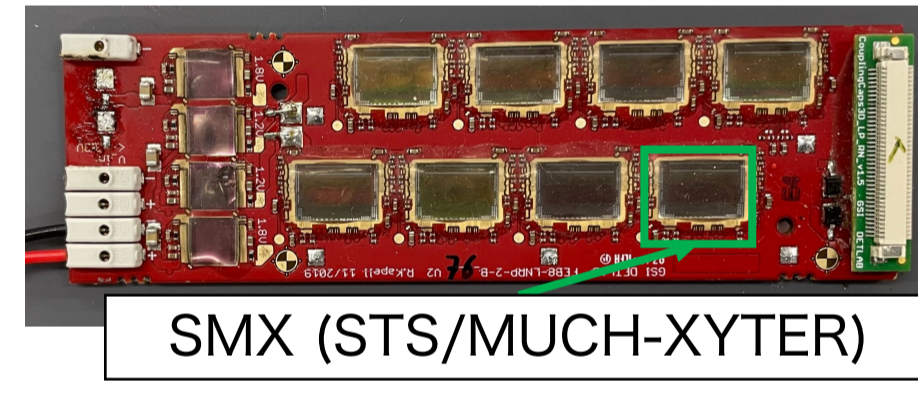
- P-sideのストリップは **7.5度傾斜**

Parameter	Value
有感領域	$60 \times 60 \text{ mm}^2$
厚さ	$320 \mu\text{m}$ ( $\sim 0.37\% X_0$ )
Strip pitch	<b>58 <math>\mu\text{m}</math></b>
ステレオ角	7.5 deg.
ストリップの数	1024
位置分解能	(x)15 $\mu\text{m}$ (y)110 $\mu\text{m}$ *
時間分解能	$\sim 5 \text{ ns}$ *
逆バイアス電圧	150 V (p:-75V/n:+75 V)



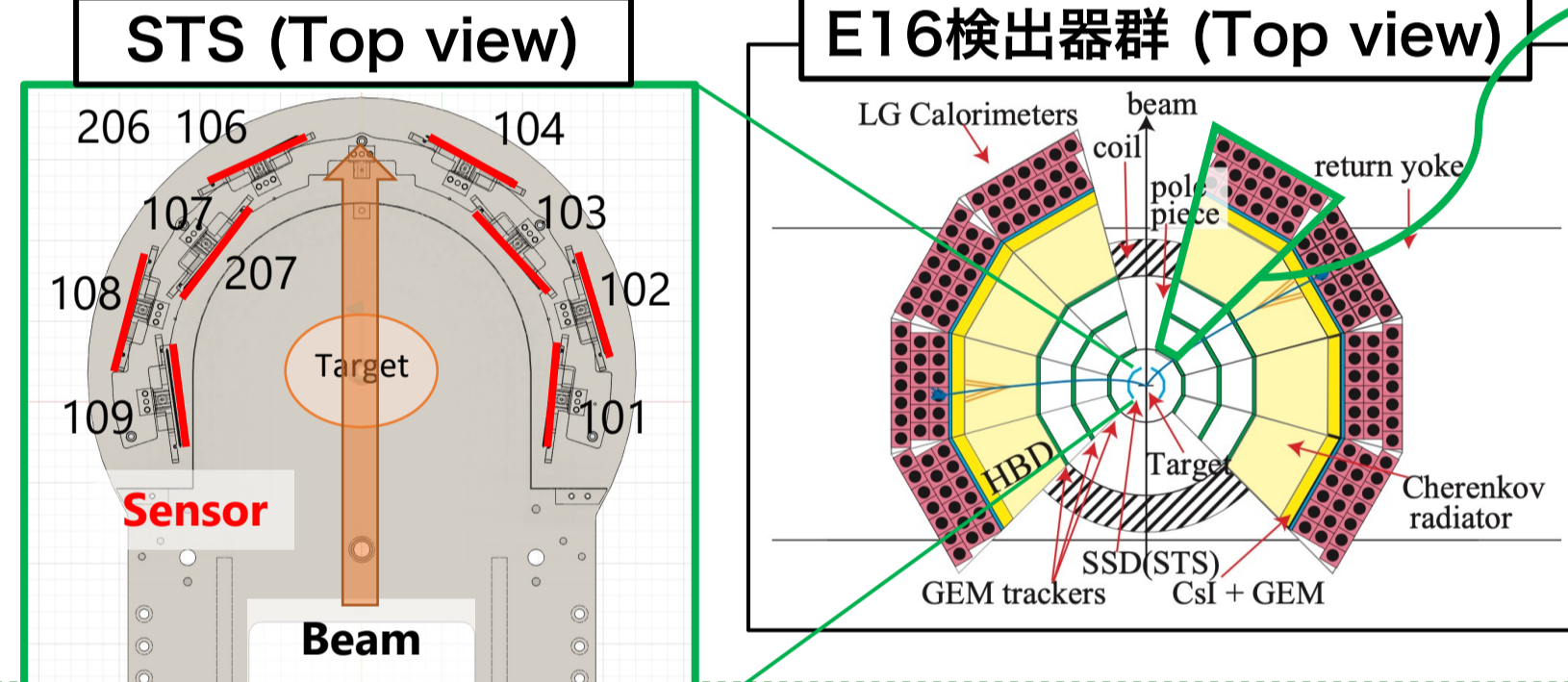
### ■ 読み出し回路 FEB-8 (Front End Board)

- Board with 8 SMX chips (ASIC)
- センサ片面(1024 ch)をFEB1台で読出
- ADC: 5bit, TDC: 320MHz 14bit で記録
- **セルフトリガーで動作**
- hit閾値とtdc閾値の2種類の閾値を設定

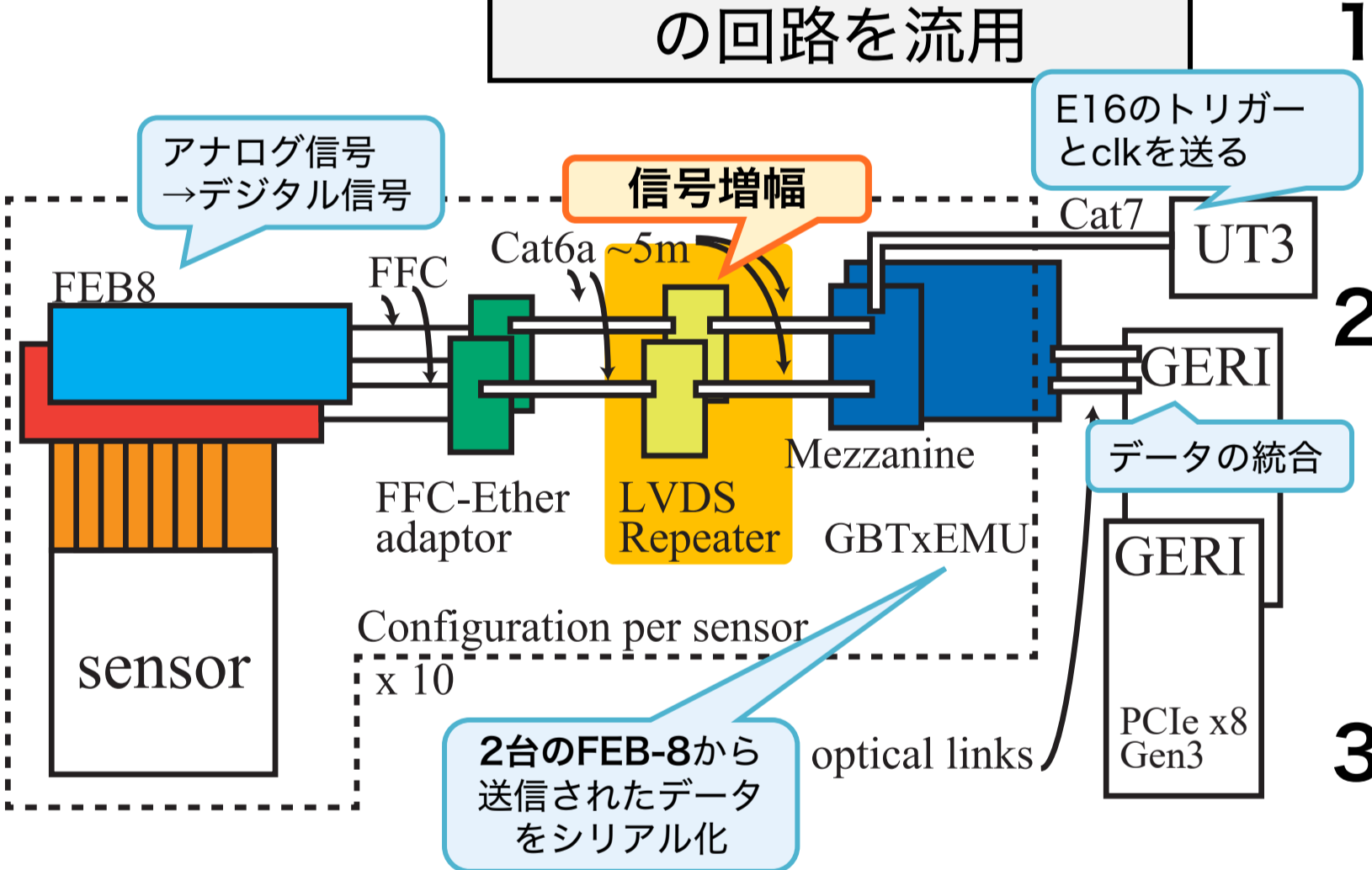


## E16 実験へのinstallと開発

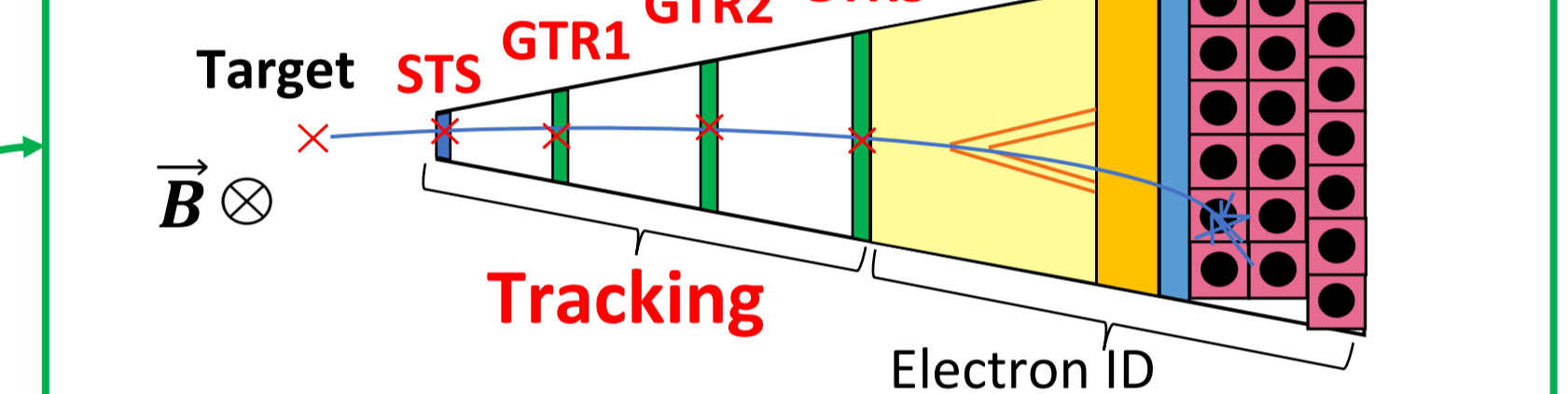
### ■ STS Chamber



### ■ DAQ回路



### 1 module



- E16検出器群は、 $\pm 15^\circ \sim \pm 135^\circ$ の円筒形に配置
- Run 1(2025年春-)はシリコンセンサ10台で構成
- チェンバーをアルミマイラー(静電遮蔽)とブラックシート(遮光)で覆う

### 開発項目

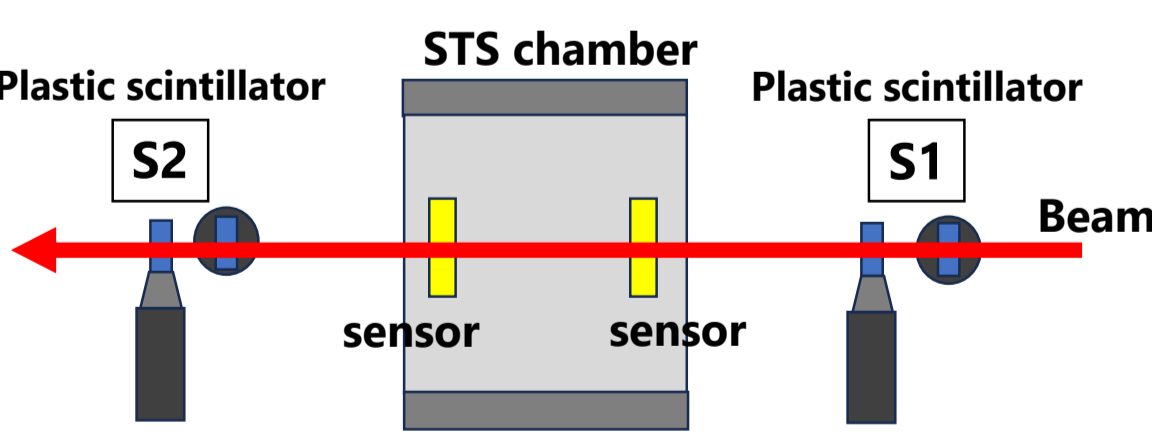
1. 長距離伝送  
GBTボードは磁場や放射線から避ける必要有 → **LVDSリピーターとCat6aケーブル**を使用
2. 高ヒットレート耐性  
 $30 \text{ GeV}$ ,  $1 \times 10^{10} \text{ pps}$ のビームを用いての相互作用レートは10 MHzと高い → GBTxEMUでデータをシリアル化し、GERIの前にデコードしてデータ削減するように**firmwareを改造**
3. E16トリガー情報の取得  
**オンライントリガー選択システム**を2024.4に実装

## 電子ビームを用いたテスト実験 @KEK PF-AR test beam line

- 2023年11月17-21日にKEKのPF-ARテストビームラインにてテスト実験を実施

目的 ① ビームを用いたE16 STS DAQのテスト ② センサの性能評価

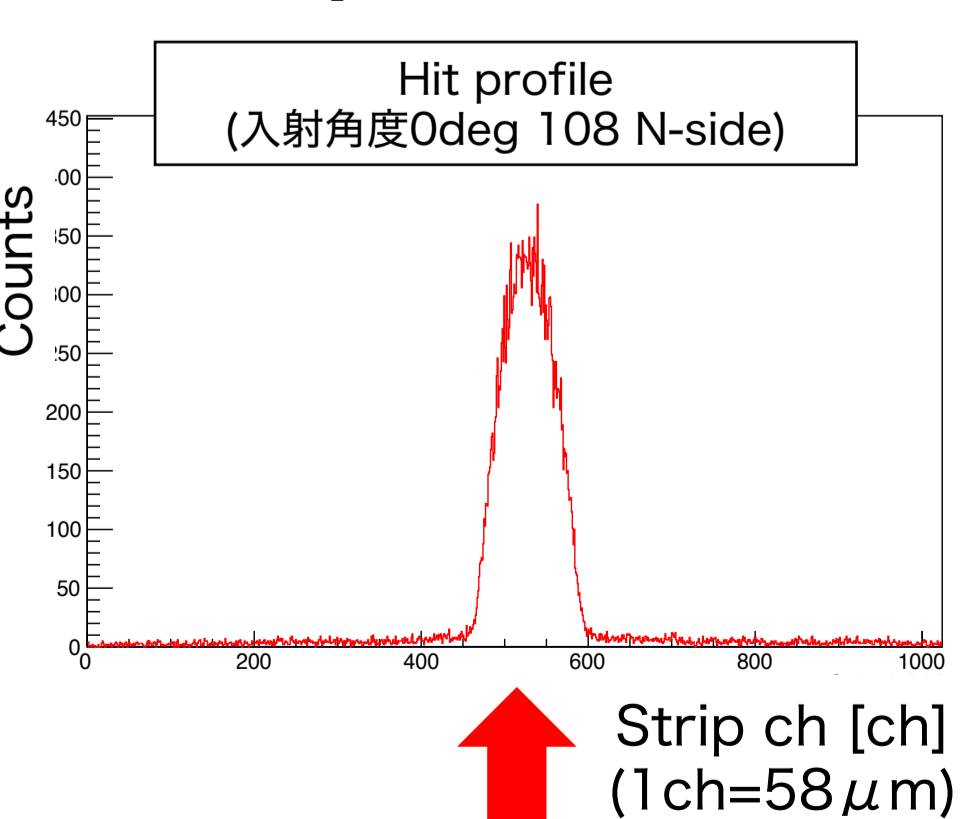
### ■ Setup (Side View)



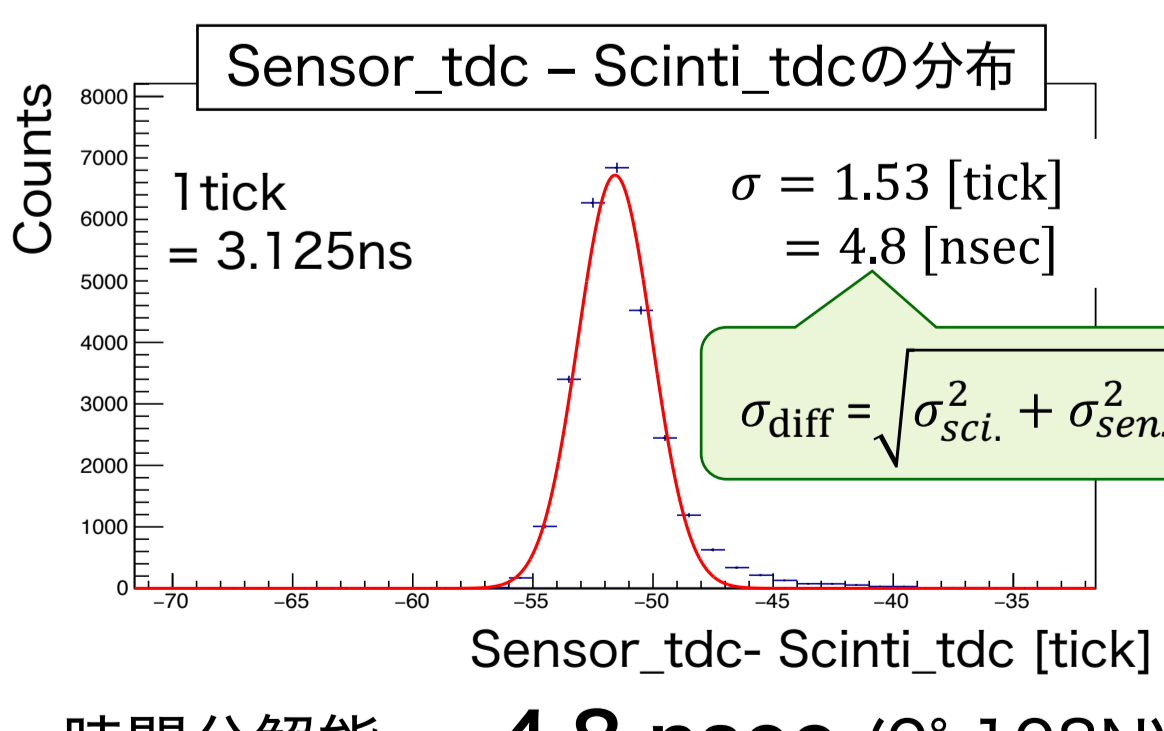
- STS chamber + 4scintillators
- 4つのシンチを用いてビームを  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ のスポットに制限
- コインシデンスレート: 平均30 Hz
- ビーム運動量:  $3.0 \text{ GeV}/c$
- ビーム入射角度を変えてデータ取得

### 結果

#### ➢ Hit profile



#### ➢ 時間分解能



時間分解能:  $\sim 4.8 \text{ nsec}$  ( $0^\circ$  108N)

→ E16実験の要請を満たす

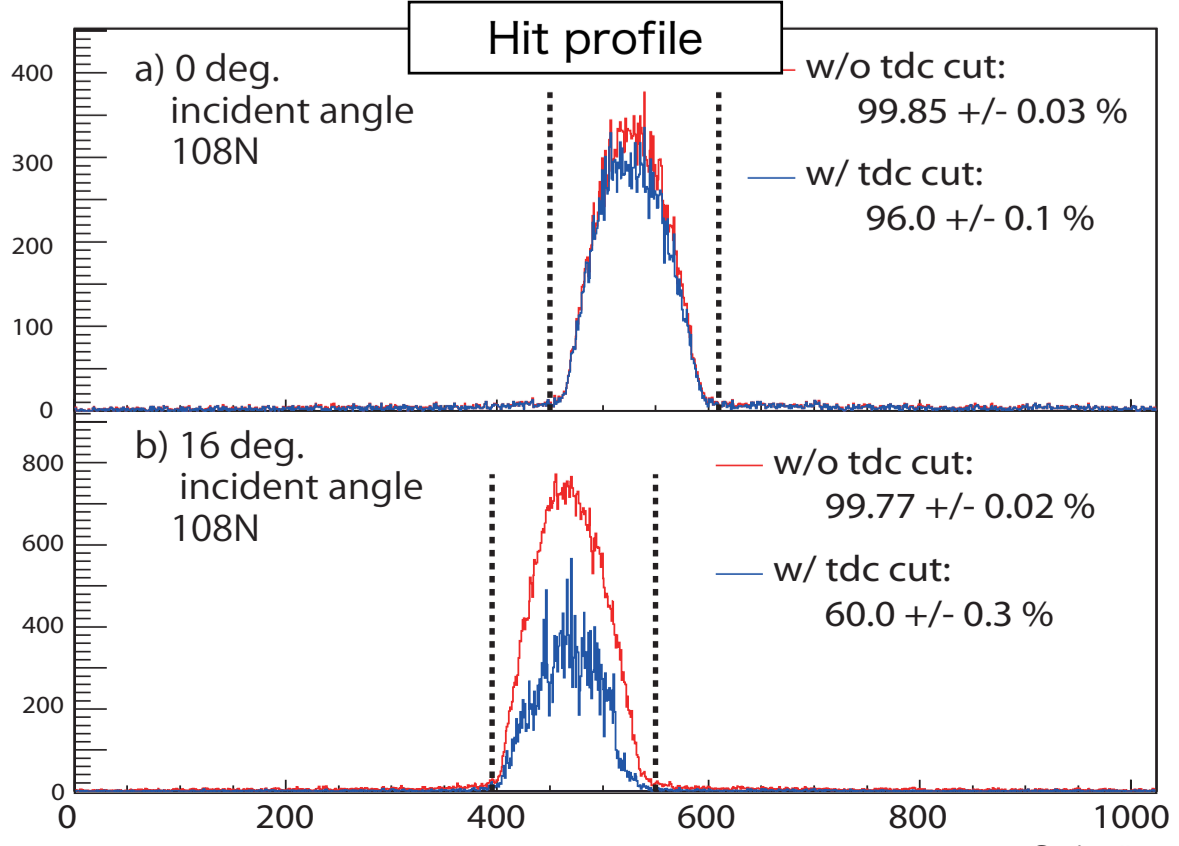
#### ➢ 検出効率

検出効率 =  $\frac{\text{シンチhitに対応したセンサhitのイベント数}}{\text{シンチhit数}}$

0deg 108N **99.85 +/- 0.03 %**

16deg 108N **99.77 +/- 0.02 %**

※しかしsmxのtdc閾値の設定ミスで低いadcでのhitは正確なtdcを記録できず、検出効率に影響↓

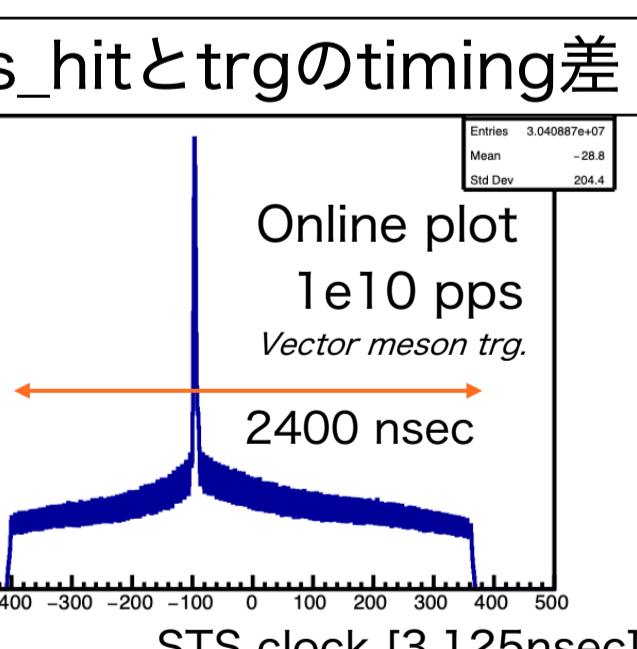
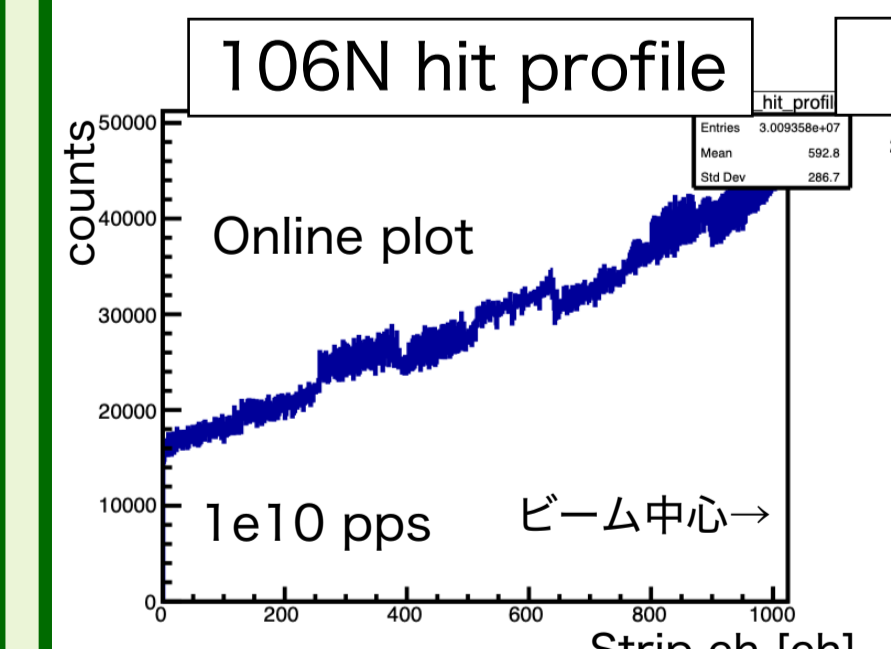


- 時間情報によりイベント選択ができた
- トリガー情報でイベント選択ができる

→ 右側のテールは低adchitによるもの

## E16 Commissioning run (Run 0e)

- 2024年5月にE16 commissioning run(Run 0e)を実施
- STSにトリガーマッチング機能を実装した初のデータ収集



### ■ オンライントリガー選択

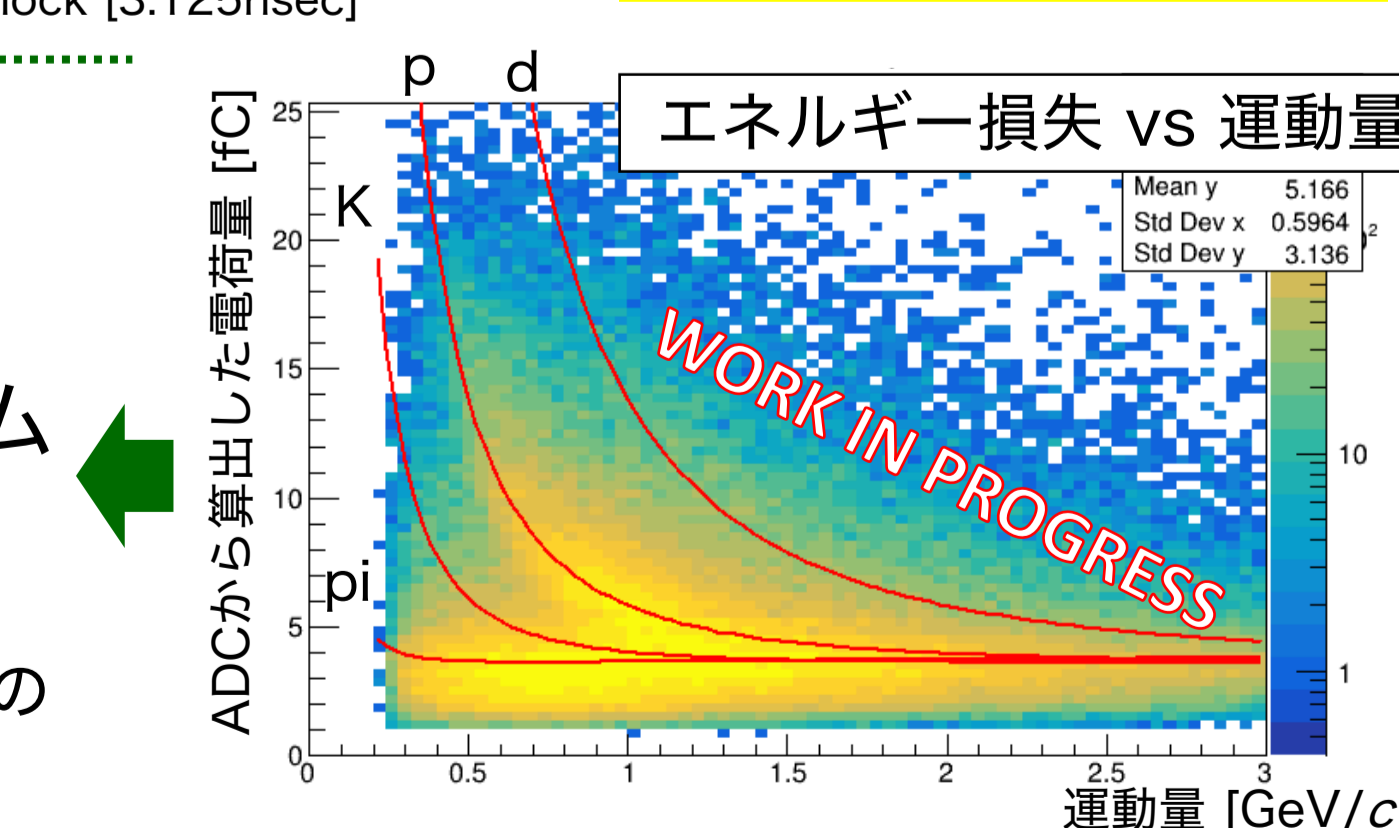
E16のトリガータイミングに近いヒットのみがPCに送られる。それ以外は破棄。

→ **オンライントリガー選択システムの成功**

### ■ エネルギー損失 vs 運動量

解析途中の段階ではあるが、STSが他のE16検出器システムとともに正常に動いている!

※運動量は3層GTR+1層STSを用いてのtrackの曲率から算出



## 今後の課題と展望

- Run 0e取得データの解析によるSTS性能評価  
→ 検出効率, 位置分解能, 2D tracking...
  - STS chamber, module(FEB)の修理
  - FEB同期不安定性の改善
  - E16 Run 1(2025年春-)での長時間運転( $\sim 1280\text{h}$ )!
- Run 1に向けての検出器調整