

# *EIC-ePIC*実験の ゼロ度カロリメータに用いる 結晶カロリメータの性能評価

RARiS共同利用第1回課題採択説明会

2024年8月8日(木)

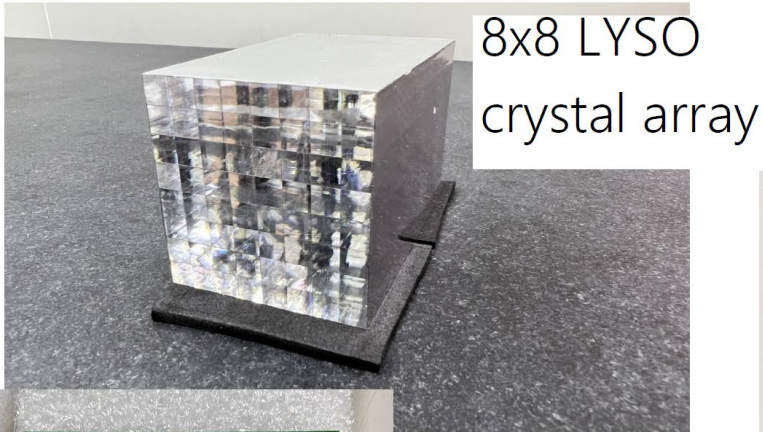
後藤雄二 (理研仁科センター)

# 実験の目的、及び意義

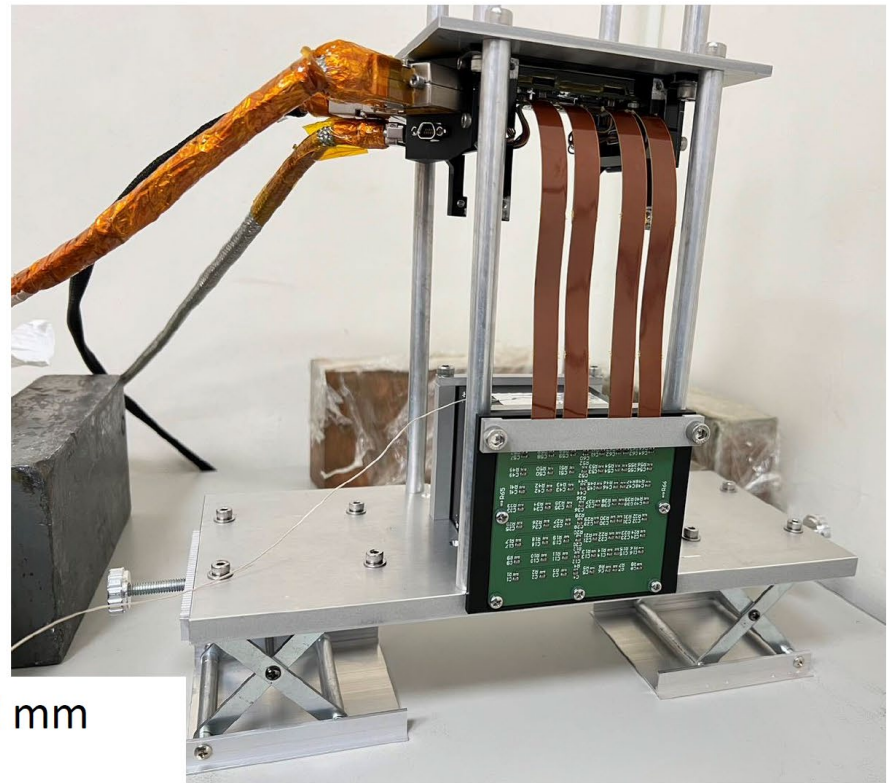
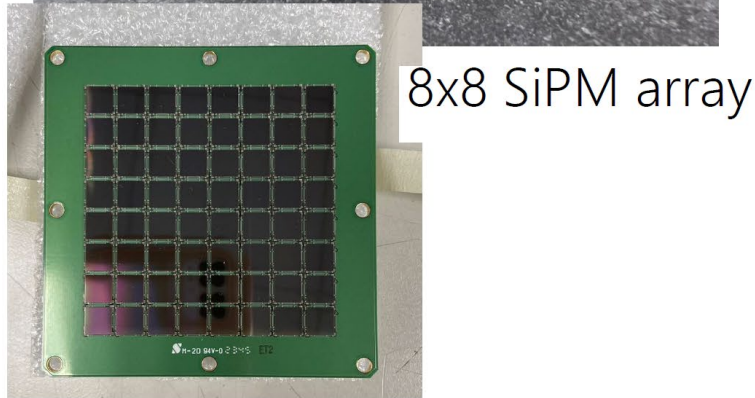
- 研究目的
  - EIC-ePIC実験のゼロ度カロリメータに用いる結晶カロリメータのプロトタイプテスト
  - 光量、ゲインなどの基本性能とエネルギー分解能、位置依存性、角度依存性などの性能を測定、評価
  - W-Siカロリメータの数層と組み合わせた後方への電磁シャワーの漏れ、位置測定の評価
- RARiS施設のGeVガンマ線施設の提供するテストビームはこの申請課題を遂行するために最適なエネルギー
  - 50 MeV – 800 MeV陽電子
- 日本グループはEIC（電子-イオン衝突型加速器）のePIC実験のゼロ度カロリメータ（ZDC）の設計、開発、建設を担当
  - 2024年にpre Technical Design Reportを提出、2026年に建設開始
  - 現在、最終設計へ向けた設計改訂中

# 前回テストビーム

- 2024年2月19日～21日 (12時間 x 3)
- LYSO結晶カロリメータ初号プロトタイプ
  - 台湾グループが製作、SiPM光検出器
  - Self-trigger DAQ 64 channels、standalone system



LYSO calorimeter  
prototype

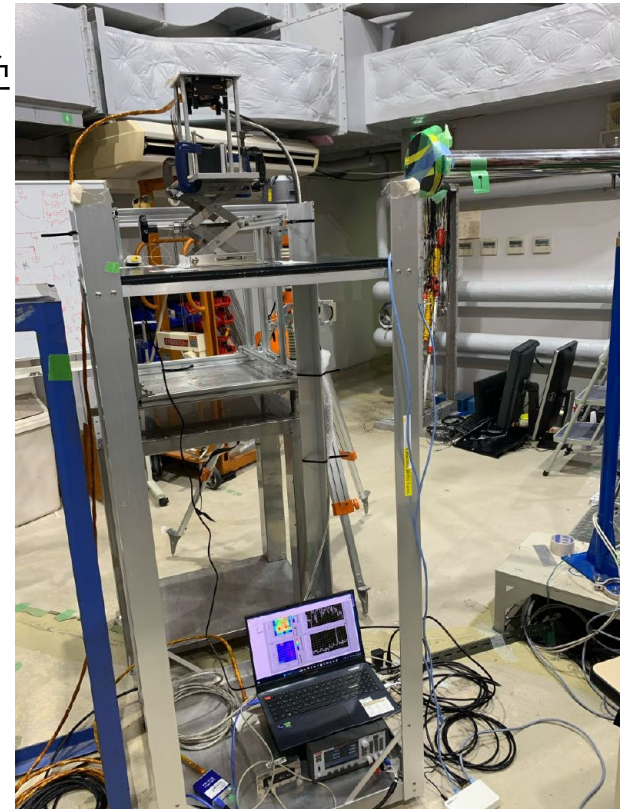
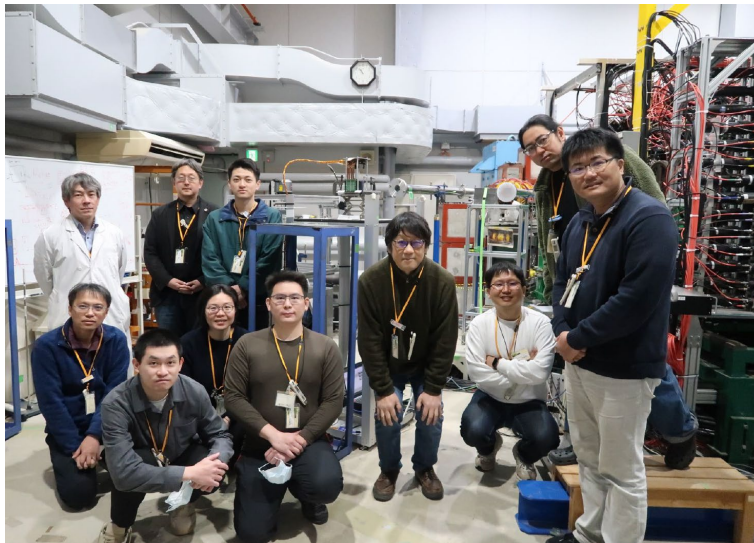


One crystal: 7.12 mm x 7.12 mm x 88.3 mm  
8x8 array: 56.96 mm x 56.96 mm

2024年8月8日

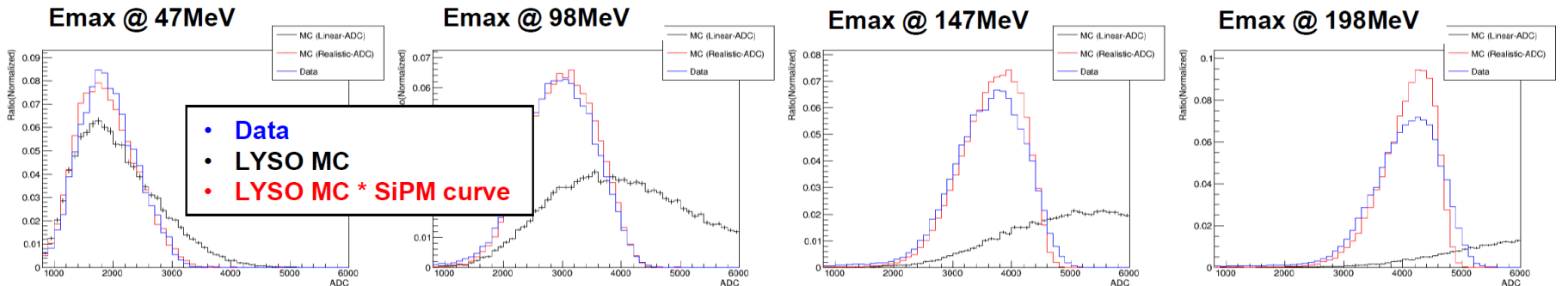
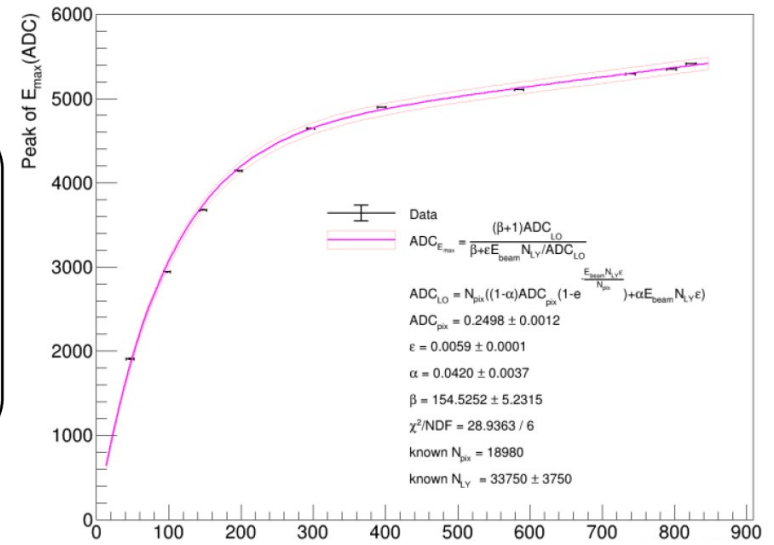
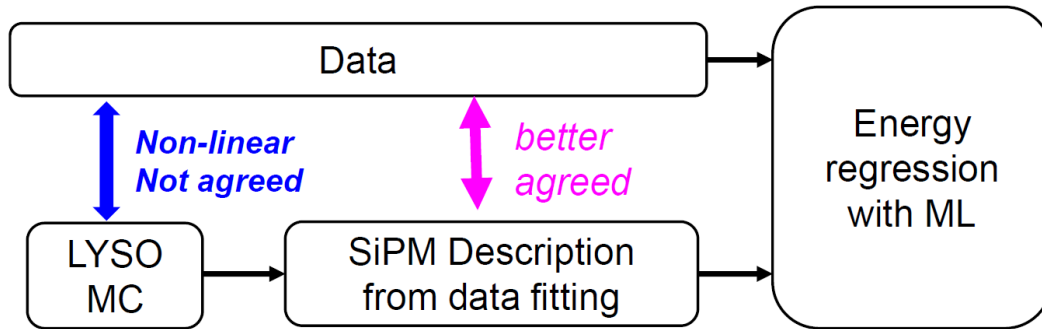
# 前回テストビーム

- 2024年2月19日～21日 (12時間 x 3)
  - 50 MeV – 800 MeV 陽電子、1kHz – 3kHz
- 参加者
  - 後藤 (理研)
  - 中條、伊藤 (筑波大)
  - 稲葉 (筑波技術大)
  - 川出 (信州大)
  - Kuo、Lin、Xiao、Lu (国立中央大学)
  - Hsieh、Cheng (Academia Sinica)
  - Kim (世宗大学)



# 前回テストビーム

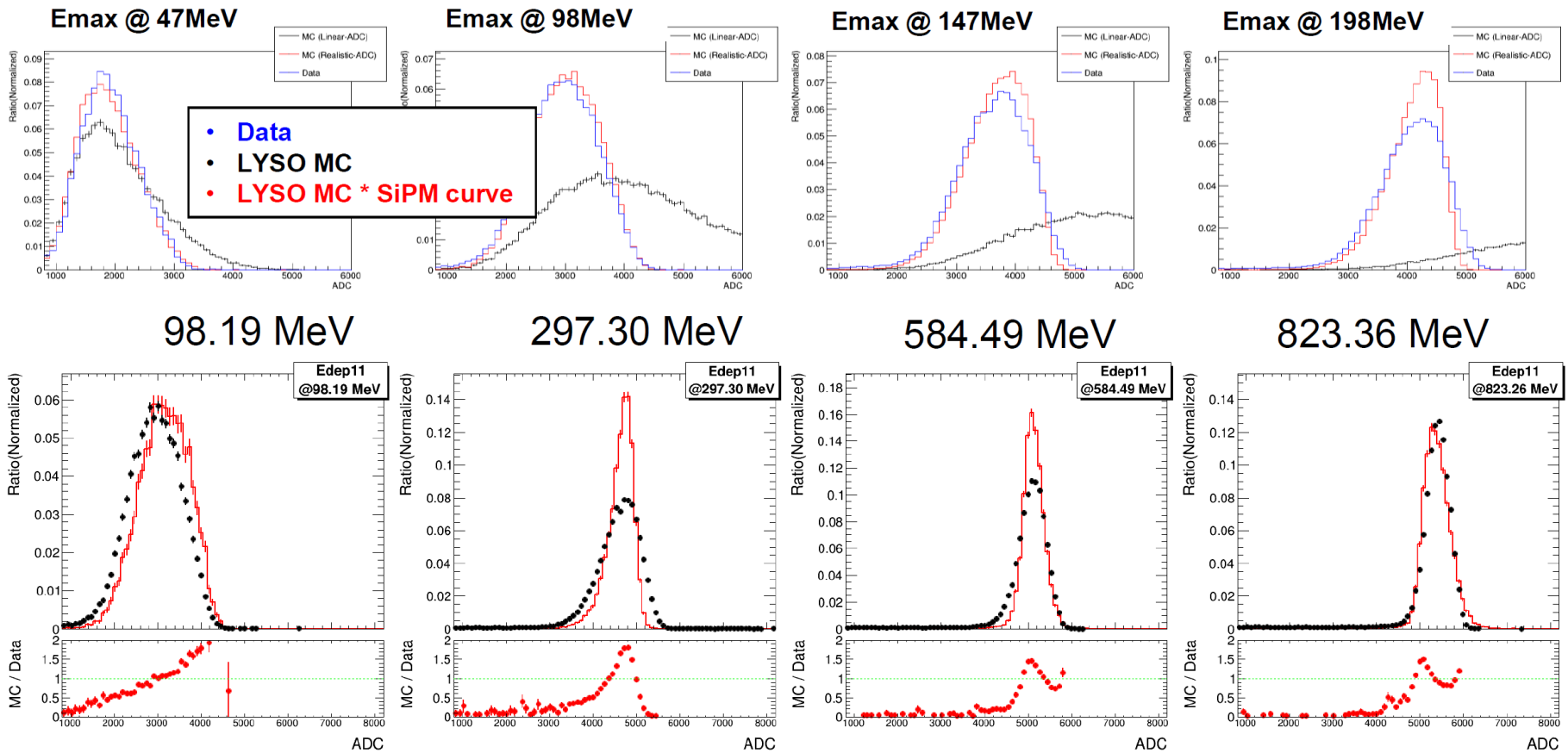
- データ解析 & シミュレーション計算
  - 結晶からの光量とSiPMの使用領域のミスマッチ
  - SiPM出力の非線形補正





# 前回テストビーム

- データ解析 & シミュレーション計算
  - データとシミュレーション計算を比較し、データの理解を進める



- Data
- LYSO MC \* SiPM curve

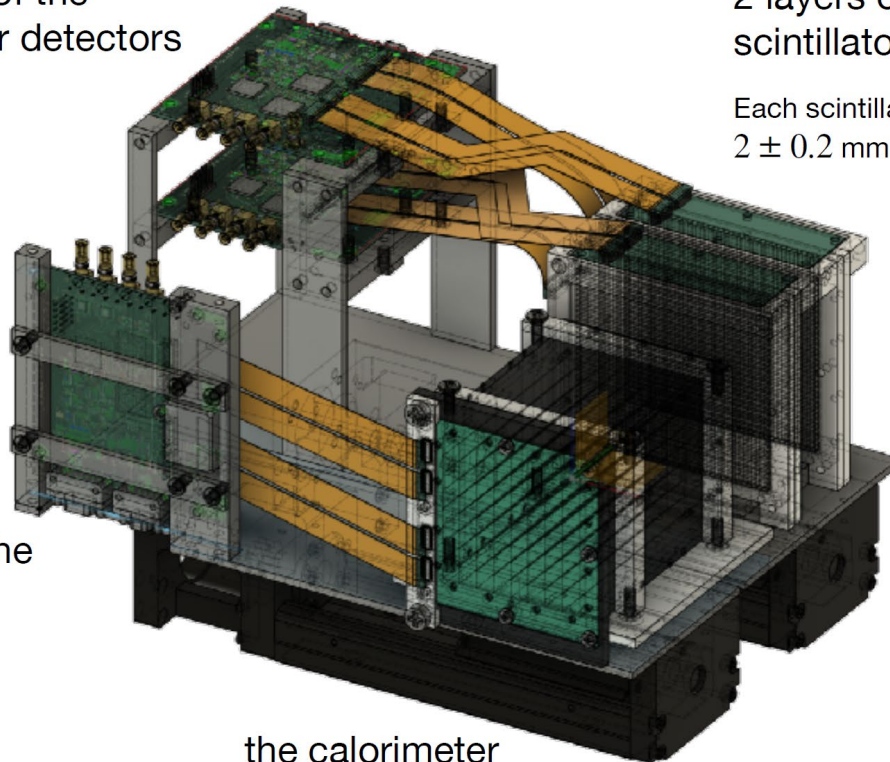
# 今回テストビーム

- LYSO結晶カロリメータ2号プロトタイプ
  - 台湾グループが製作、APD光検出器
  - ビームホドスコープ、トリガー出力付き
    - 他の検出器と組み合わせたテストが可能
    - 共通イベント番号による独立DAQ

Readout of the  
scintillator detectors

2 layers of X-Y  
scintillator detectors

Each scintillator bar:  
 $2 \pm 0.2 \text{ mm} \times 2 \pm 0.2 \text{ mm} \times 80 \pm 0.5 \text{ mm}$



Readout of the  
calorimeter

credit: Yu-Siang Xiao

the calorimeter  
with LYSO or  $\text{PbWO}_4$  crystals

# 今回テストビーム

- LYSO結晶カロリメータ2号プロトタイプ
  - ビームホドスコープ、トリガー出力付き
    - 他の検出器と組み合わせたテストが可能
    - 共通イベント番号による独立DAQ
  - ALICE-FoCal-E シリコンパッド検出器（1層 - 数層）を後方に設置して同時テストしたい
    - 電磁シャワーの後方への漏れ
- PWO結晶カロリメータプロトタイプとの比較
  - 性能評価、温度依存性

|                               | $X_0$      | LY (ph/MeV)                 | T dep. of LY (%/K) | Decay time (ns)                 | $\lambda_{em}$ nm |
|-------------------------------|------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------|
| <b>PbWO<sub>4</sub> (CMS)</b> | 0.89 cm    | 200                         | -1.98              | 5 (73%)<br>14 (23%)<br>110 (4%) | 420               |
| <b>LYSO</b>                   | 1.14 cm    | 30,000<br>(market standard) | -0.28              | 36                              | 420               |
| <b>SciGlass</b>               | 2.4-2.8 cm | >100                        |                    | 22-400                          | 440-460           |



# ビームテスト項目

- LYSO結晶プロトタイプへのテスト（合計20時間）
  - 基本性能、読出、データ収集の確立
    - （4時間）
  - 光量、ゲイン調整データの収集
    - 結晶タワー9点 x 30分（5時間）
  - エネルギー測定線の線形性と分解能の測定
    - エネルギー6点 x 60分（6時間）
  - 位置依存性、シャワーマップのデータ収集
    - 位置3点 x 60分（3時間）
  - 角度依存性の測定
    - 角度3点 x 30分（2時間）
- PWO結晶プロトタイプへのテスト（合計20時間）
  - LYSO結晶プロトタイプへのテストと同様のメニュー
- LYSOまたはPWO結晶カロリメータとシリコンパッド検出器のテスト（合計5時間）
  - セットアップ
    - （2時間）
  - 電磁シャワーの漏れ、位置測定の評価
    - 配置3点 x 60分（3時間）
- 温度依存性の評価のため、温度センサーを設置

# 希望マシンタイム条件

- ビームタイム
  - 2024年11月18日から22日の期間を希望
  - 日中4シフト（もしくは連続4シフト）
- GeVガンマ照射室
  - 50 MeV – 800 MeV陽電子
- 実験参加者
  - 後藤（理研）
  - 中條（筑波大）
  - 稲葉（筑波技術大）
  - 川出（信州大）
  - 山崎（神戸大）
  - 柴田（日本大）
  - Kuo、Lin、Xiao、Lu（国立中央大学）
  - Hsieh、Cheng（Academia Sinica）

*Backup Slides*

# 要求マシンタイム条件

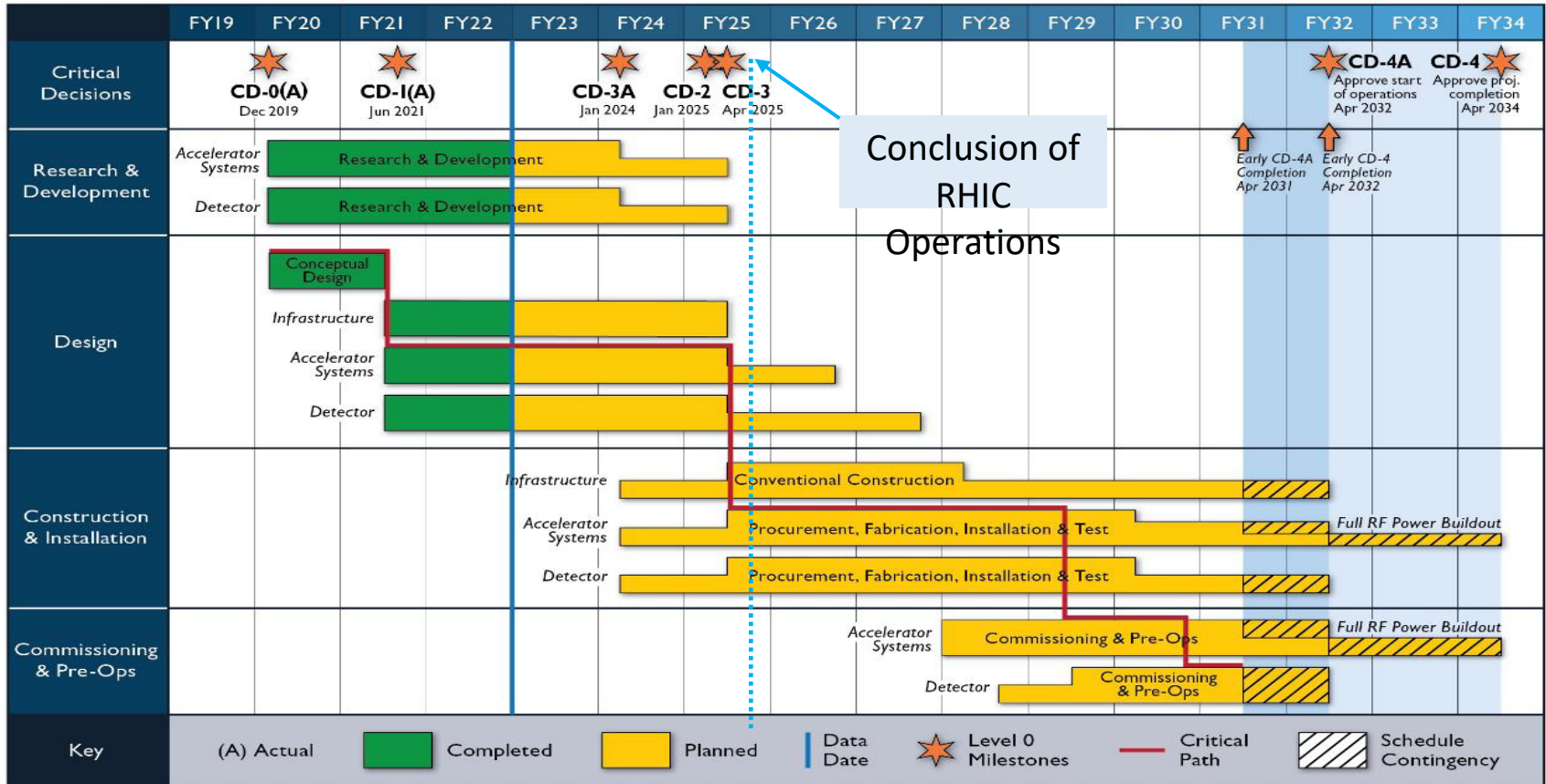
- ビームタイム
  - 2023年2月中旬から3月上旬
  - できれば2/17 – 2/23の期間
  - 日中4シフト、もしくは連続4シフト
- GeVガンマ照射室
  - (エネルギー：300 MeV – 800 MeV)
- 実験参加者
  - 理研：後藤（前任研究員）
  - 筑波大：中條（講師）、伊東（学部4年）
  - 筑波技術大：稲葉（准教授）
  - 奈良女子大：下村（准教授）、蜂谷（准教授）
  - 神戸大：山崎（教授）
  - 信州大：川出（助教）

# 実験の目的、及び意義

- 研究目的
  - EIC-ePIC実験のゼロ度カロリメータに用いる結晶カロリメータのプロトタイプテスト
  - 光量、時間応答、温度依存性などの基本性能とエネルギー分解能などの性能を測定、評価
  - W-Siカロリメータの数層と組み合わせた位置分解能を測定、シミュレーション計算と比較した評価
- ELPH施設のGeVガンマ線施設の提供するテストビームはこの申請課題を遂行するために最適なエネルギー
- 日本グループはEIC（電子-イオン衝突型加速器）のePIC実験のゼロ度カロリメータ（ZDC）の設計、開発、建設を担当
  - 2024年にTechnical Design Reportを提出、2025年に建設開始
  - 現在、最終設計へ向けた設計改訂中

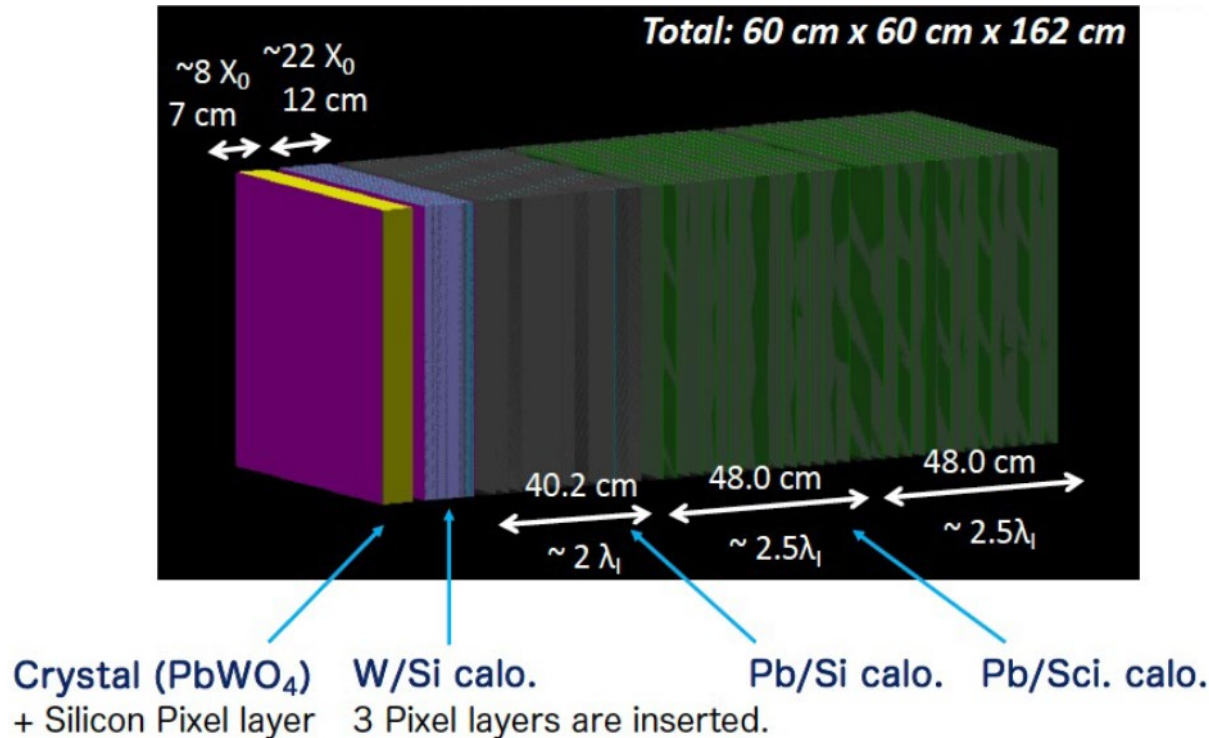


# EIC計画の状況、スケジュール



# 実験の目的、及び意義

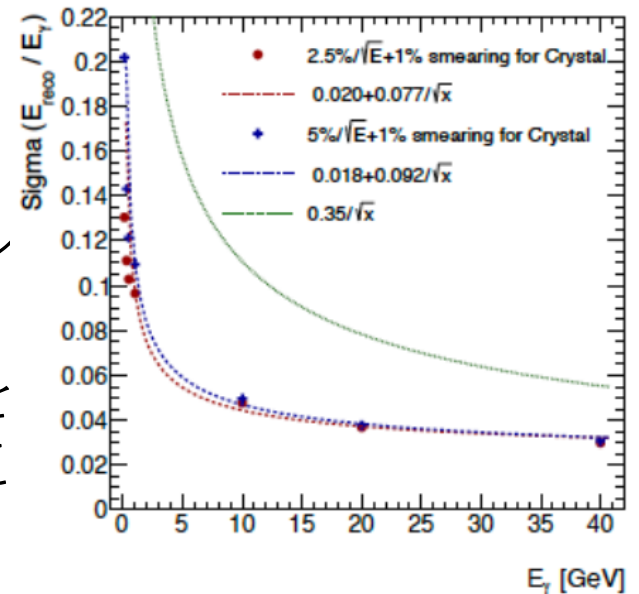
- EIC-ePIC実験のゼロ度カロリメータ (ZDC)
  - 結晶シンチレータ電磁カロリメータ
    - 1 GeV 以下の低エネルギー光子を検出、コヒーレントな回折過程を選択するため原子核が分解・励起する事象を排斥
  - W-Siイメージ電磁カロリメータ
    - 30 GeVまでの中性パイ中間子など、最高エネルギー (275 GeV) までの光子を検出
  - ハドロンカロリメータ
    - 最高エネルギー (275 GeV) までの中性子 (他中性ハドロン) を検出



# 準備状況

- 結晶シンチレータ

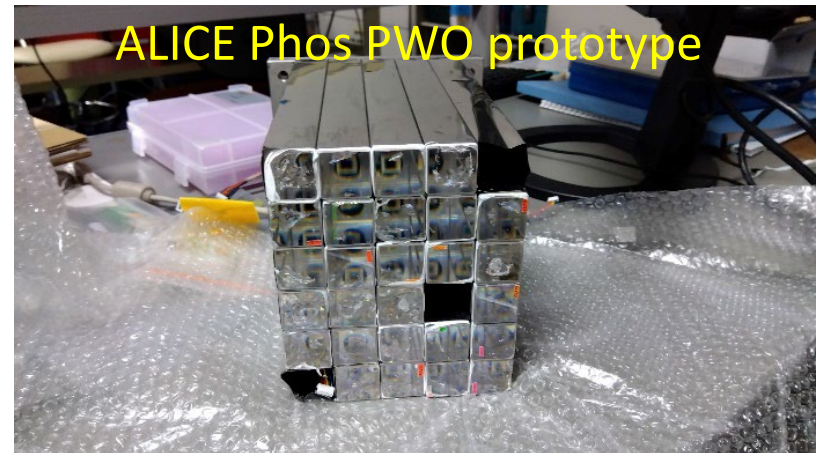
- シミュレーション計算
- 低エネルギーの光子に対するエネルギー分解能
- 現実的な評価のためには実際の光を読み出した結果の光の収量を知ることが必要
- PbWO<sub>4</sub>とLYSO (Lu<sub>2(1-x)</sub>Y<sub>2x</sub>SiO<sub>5</sub>:Ce)の比較



|                         | X <sub>0</sub> | LY (ph/MeV)              | T dep. of LY (%/K) | Decay time (ns) | λ <sub>em</sub> nm |
|-------------------------|----------------|--------------------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| PbWO <sub>4</sub> (CMS) | 0.89 cm        | 200                      | -1.98              | 5 (73%)         | 420                |
|                         |                |                          |                    | 14 (23%)        |                    |
|                         |                |                          |                    | 110 (4%)        |                    |
| LYSO                    | 1.14 cm        | 30,000 (market standard) | -0.28              | 36              | 420                |
| SciGlass                | 2.4-2.8 cm     | >100                     |                    | 22-400          | 440-460            |

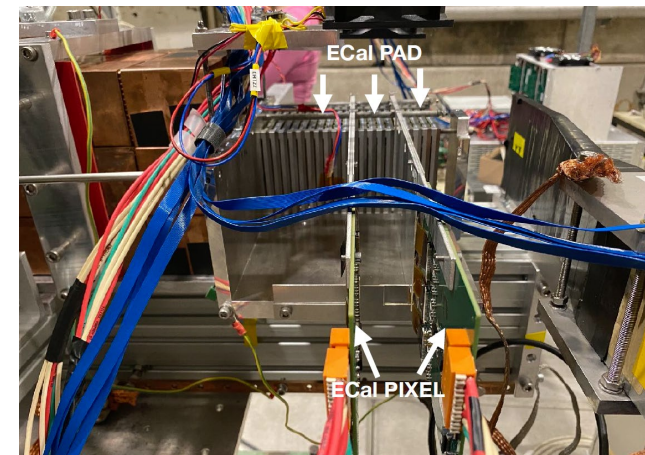
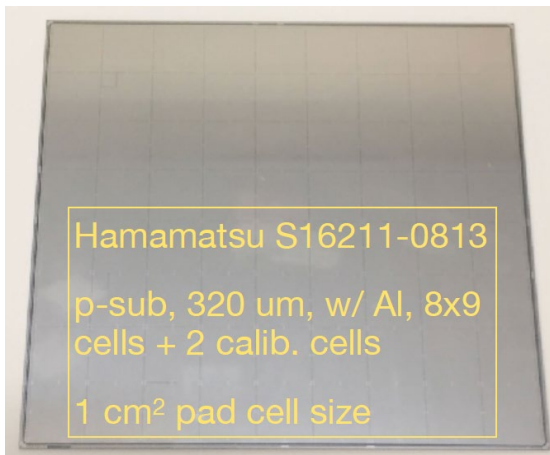
# 準備状況

- プロトタイプ検出器を製作中
- LYSO結晶
  - 台湾グループがLHC-CMS実験の高時間分解能検出器に用いる技術を保有、台湾の会社がLYSO結晶を製造、シリコン光増幅器 (SiPM) と下流の読出電子機器を含めた技術
- PWO結晶
  - 広島大がALICE-Phos検出器のプロトタイプとして製作した $\text{PbWO}_4$ 結晶
- 今秋、テストベンチにおける放射線源・LEDまたはレーザー光源を用いたテストと宇宙線の検出によるテストを完了



# 準備状況

- 位置分解能
  - 結晶シンチレータとW-Siイメージカロリメータの何枚かを組み合わせて評価
  - W-Siカロリメータ：ALICE-FoCal-E検出器の技術、ELPH施設やCERN-PS/SPS加速器のテストビーム





# 実験方法

- 使用を希望するセンター備品
  - 検出器用の架台、大型クレーン
  - 電子ビーム位置検出器
- $\text{PbWO}_4$ 結晶とLYSO結晶の2種のプロトタイプ検出器の動作、性能比較
  - 光検出器としてはシリコン光増幅器 (SiPM)
  - 後段の読出電子機器を含めた技術を開発
  - 光量、時間応答、温度依存性などの基本性能とエネルギー分解能を測定
- W-SiカロリメータとしてはALICE-FoCal-E検出器の数層のW-Si層
  - 結晶カロリメータ下流の漏れ電磁シャワーによる位置測定
  - シミュレーション計算と比較
  - 位置分解能の評価

# テスト項目

- プロトタイプ検出器の基本動作、読出、データ収集の確立
  - 全体のチェーンテスト
  - 基本データが正常に収集されていることを確認
  - 問題があれば解決
  - 時間見積：6時間（1日目）
- プロトタイプ検出器のゲイン調整データの収集
  - 各結晶の中心にビームを照射したデータを収集
  - ゲイン調整の基礎データ
  - 時間見積：各結晶9点 × 2 × 30分 = 9時間（1日目～2日目）
- 異なるエネルギーのビームを用いたエネルギー分解能の測定
  - テストビームのエネルギーを変化させエネルギー分解能のエネルギー依存性を測定
  - 入射位置、入射角度を変えたデータを数点ずつ収集
  - 時間見積：2 × エネルギー6点 × 30分 = 6時間、2 × 位置3点 × 30分 = 3時間、2 × 角度3点 × 30分 = 3時間、それぞれのセットアップ時間（2日目～3日目）

# テスト項目

- 温度コントロールによる温度依存性の測定
  - 温度を変えたデータを数点ずつ収集
  - 時間見積：2 × 温度3点 × 30分 = 3時間（4日目）
- 結晶カロリメータとW-Siモジュールによる位置測定の評価
  - 配置を変化させ数点の測定
  - 時間見積：2 × 配置3点 × 30分 = 3時間（4日目）
- それぞれのメニューで時間に余裕がある場合は測定条件を増やしてデータ収集