



KamLAND2-Zen実験での撮像によるPIDに向けた検出器開発 光学センサーの位置再構成精度評価



戸田 溪斗^{1,2}, 森田 大暉¹

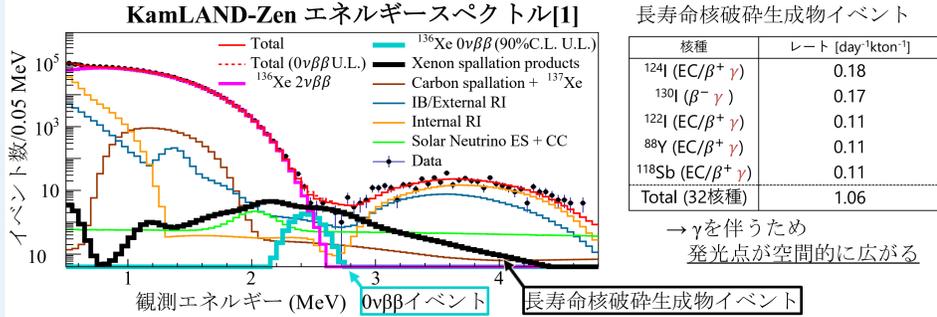
¹東北大学, ²(株)アトックス

1.背景

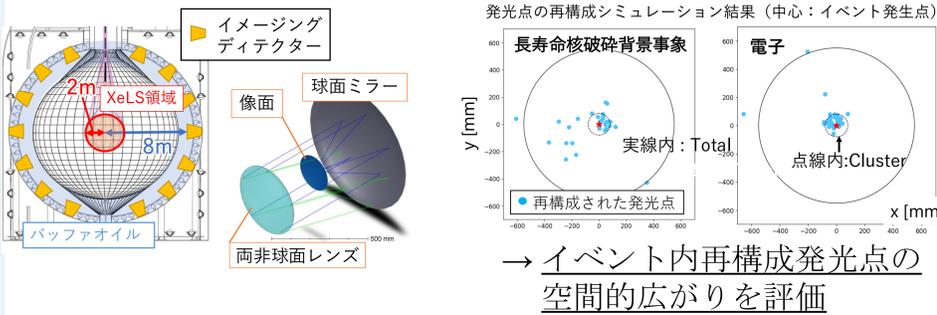
KamLAND-Zen実験: ¹³⁶Xeの0νββ検出

目標: 0νββの高感度観測によるνのマヨラナ性の実験的確認

課題: 長寿命核破砕背景事象の除去



対策: イメージングを用いた粒子識別手法(PID)による除去

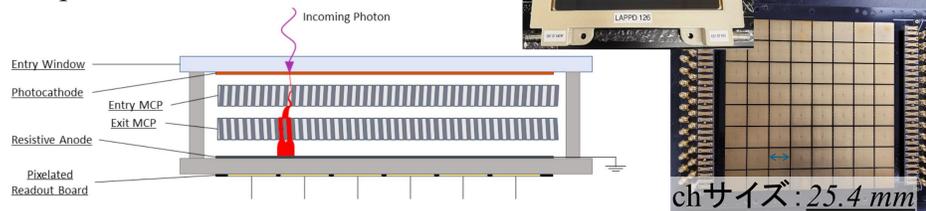


✓位置分解能 $\sigma = 1.3$ mmの光学センサーを用いることで
90%の長寿命背景事象を除去可能 (先行研究 [2])

2.LAPPD

- Large Area Picosecond Photo Detector

- ✓大面積、高時間分解能
- ✓1p.e.でも複数chに信号が広がる



➢加重平均を用いて、位置分解能 $\sigma = 1.3$ mm という報告がある[3]
→ イメージングディテクター用光学センサーの候補

3.本研究の内容

LAPPDの基礎試験 (位置再構成精度評価)、再構成手法の検討

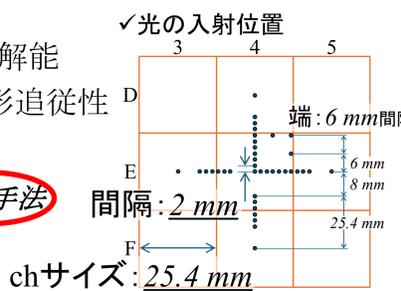
<測定項目>

- 1ch内の各入射位置に対する位置分解能
- 入射位置に対する再構成位置の線形追従性

<位置再構成手法>

- ①加重平均による位置再構成
- ②Fittingを用いた位置再構成

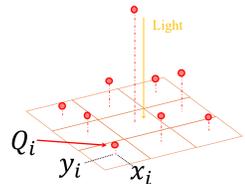
新規手法



4.位置再構成手法

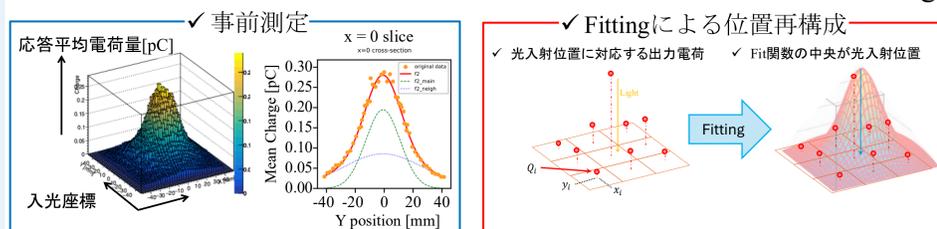
①加重平均

$$(x, y) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n Q_i x_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}, \frac{\sum_{i=1}^n Q_i y_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \right)$$



②関数Fitting (電荷分布関数)

- 事前に各入射位置に対して出力される平均電荷量を測定
- 電荷量の分布を関数とし、測定値に対し関数の中心座標をFitting

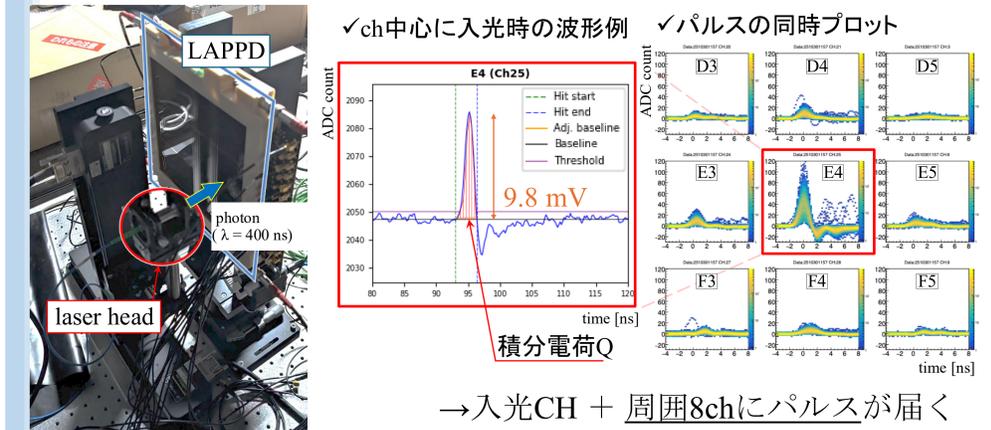


本研究では、概ね形状を再現できた以下の関数を用いた

$$Q_i = a_0 * \left[c_1 e^{-\frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{x_i - \mu_x}{\sigma_{1x}} \right)^2 + \left(\frac{y_i - \mu_y}{\sigma_{1y}} \right)^2 \right\}} + c_2 e^{-\frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{x_i - \mu_x}{\sigma_{2x}} \right)^2 + \left(\frac{y_i - \mu_y}{\sigma_{2y}} \right)^2 \right\}} \right]$$

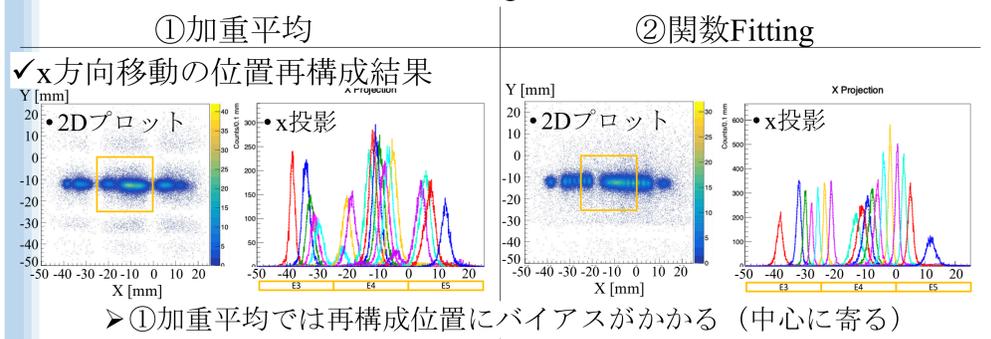
5.測定セットアップ

Laser + Waveform Digitizerを用いて1p.e. のLAPPD波形を取得

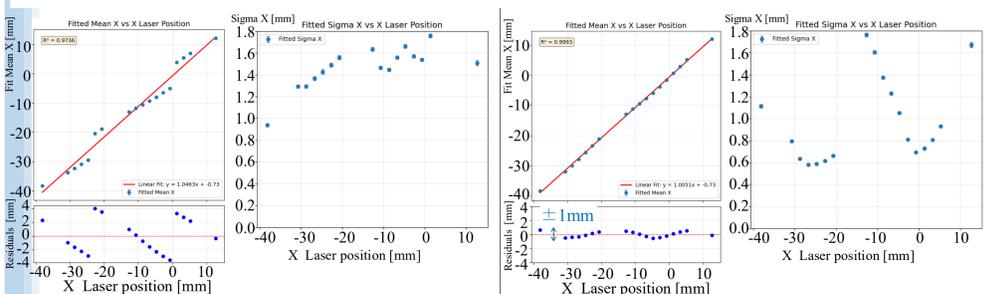


6.結果

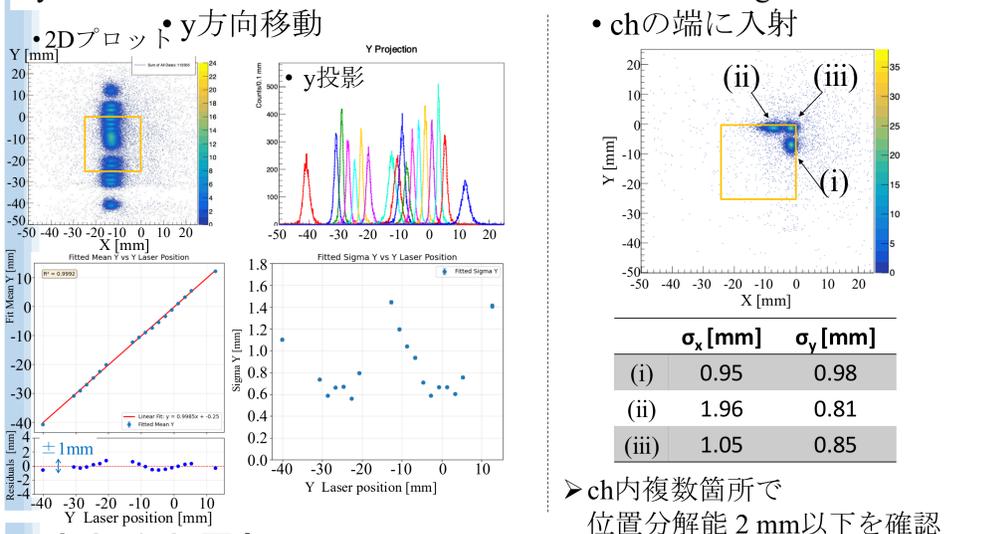
①加重平均, ②関数Fittingによる位置再構成の結果を示す。



✓線形追従性および位置分解能 (x方向移動時)



✓y方向移動および端の位置再構成結果 (②関数Fitting)



7.まとめと展望

➢まとめ

GenII LAPPDを用いた1p.e.の位置再構成性能について、②関数Fittingによる位置再構成を用いることで以下の性能を確認

- 位置分解能: 1ch内の各位置で $\sigma =$ 数mm程度 (0.6 ~ 2 mm)
- 入射位置に対する再構成位置の線形追従性: ± 1 mm以下

➢今後の展望

- LAPPD全体で位置再構成の傾向を確認
- PIDで十分なS/N比を担保するために必要な位置分解能の確認
- 空間・時刻的に同時に入射するフォトン位置再構成手法の検討・性能評価

参考文献

[1] S. Abe et al., "Search for Majorana Neutrinos with the Complete KamLAND-Zen Dataset", arXiv:2406.11438v1, 2024

[2] 森田 大暉, "KamLAND2-Zen 実験に向けた長寿命核破砕背景事象の除去のためのイメージングディテクター開発", 修士論文, 東北大学理学研究科 物理学専攻, 2023

[3] S. Shin et al., "Advances in the Large Area Picosecond Photo-Detector (LAPPD): 8" x 8" MCP-PMT with Capacitively Coupled Readout", arXiv:2212.03208, 2024