

48Caのシングルベータ崩壊の 半減期測定における 宇宙線veto

大阪大学 理学研究科 物理学専攻

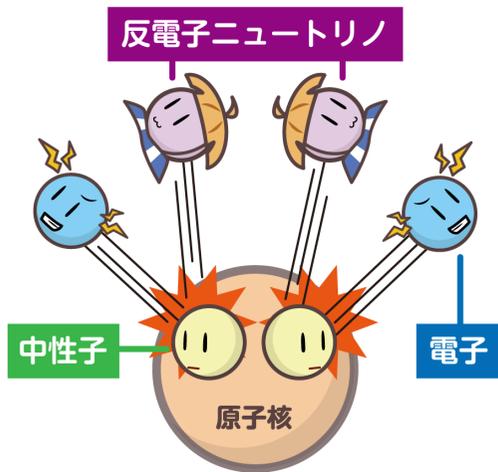
堤 智

目次

1. ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊 ($0\nu\beta\beta$) と
シングルベータ崩壊について
2. 実験手法
3. 現在の進捗
4. 展望
5. まとめ

1. $0\nu\beta\beta$ とシングルベータ崩壊について

二重ベータ崩壊とは何か？



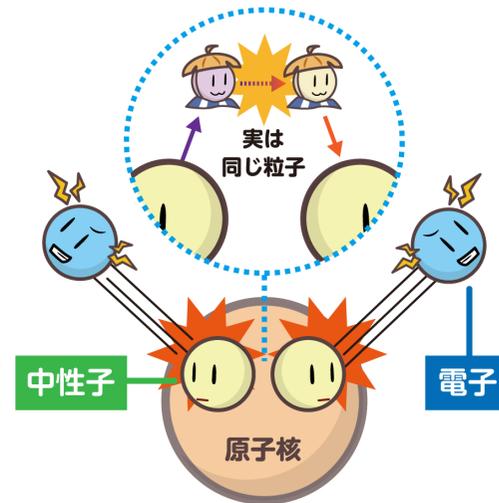
ニュートリノが2個出る
普通の二重ベータ崩壊

$2\nu\beta\beta$



ニュートリノ =
反ニュートリノ
(マヨラナ性)

の場合起きうる



ニュートリノが出てこない
普通じゃない二重ベータ崩壊

$0\nu\beta\beta$

発見できると、

**物質優勢宇宙
ニュートリノ質量**

のような謎の解明に
つながる

1. $0\nu\beta\beta$ とシングルベータ崩壊について

$0\nu\beta\beta$ の探索

未観測のまま、より高感度の測定が必要

^{48}Ca を崩壊核とした探索

- ・ 二重ベータ崩壊核中 **Q値最大** で、BGの低減で有利
- ・ **自然存在比が小さい** ため核数で不利

CANDLESグループ

高エネルギー分解能、低バックグラウンドの
蛍光熱量検出器 を用いて $0\nu\beta\beta$ 検出を目指す
また、天然存在比が小さい問題を解決するため、
レーザーを用いた濃縮技術 の開発も進行中

候補核	Q 値 (MeV)	自然存在比 (%)
^{48}Ca	4.271	0.19
^{76}Ge	2.039	7.8
^{82}Se	2.995	9.2
^{96}Zr	3.351	2.8
^{100}Mo	3.034	9.6
^{116}Cd	2.805	7.5
^{130}Te	2.529	34.5
^{136}Xe	2.476	8.9
^{150}Nd	3.367	5.6

1. $0\nu\beta\beta$ とシングルベータ崩壊について

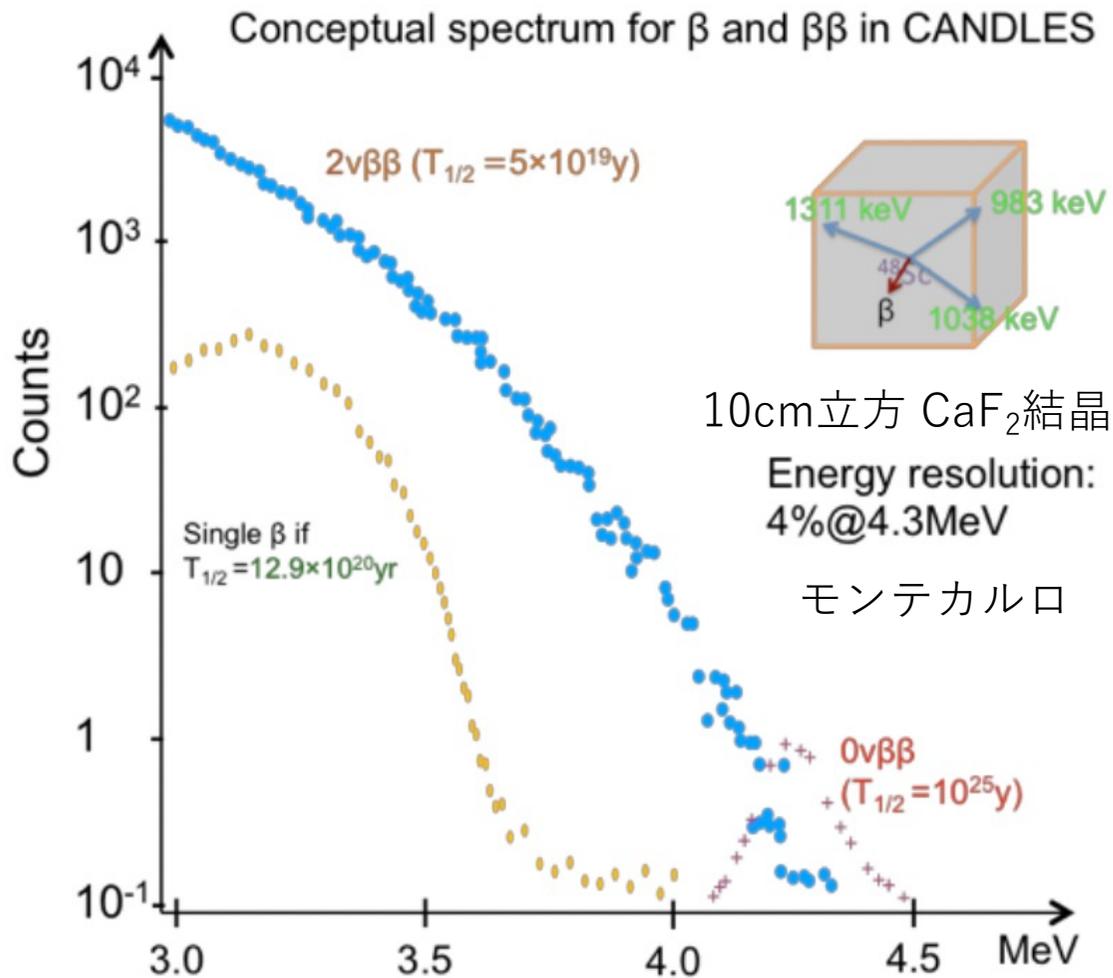
バックグラウンドについて

1. 岩石や検出器素材の原子核が環境中性子を捕獲し放出する γ 線
Si(3.5MeV、5.0MeV)、Fe(7.6MeV)

2. CaF_2 結晶中に含まれる ^{232}Th 系列不純物の崩壊
→結晶の純化方法の開発進行中

3. $2\nu\beta\beta$ (次ページ)

1. $0\nu\beta\beta$ とシングルベータ崩壊について



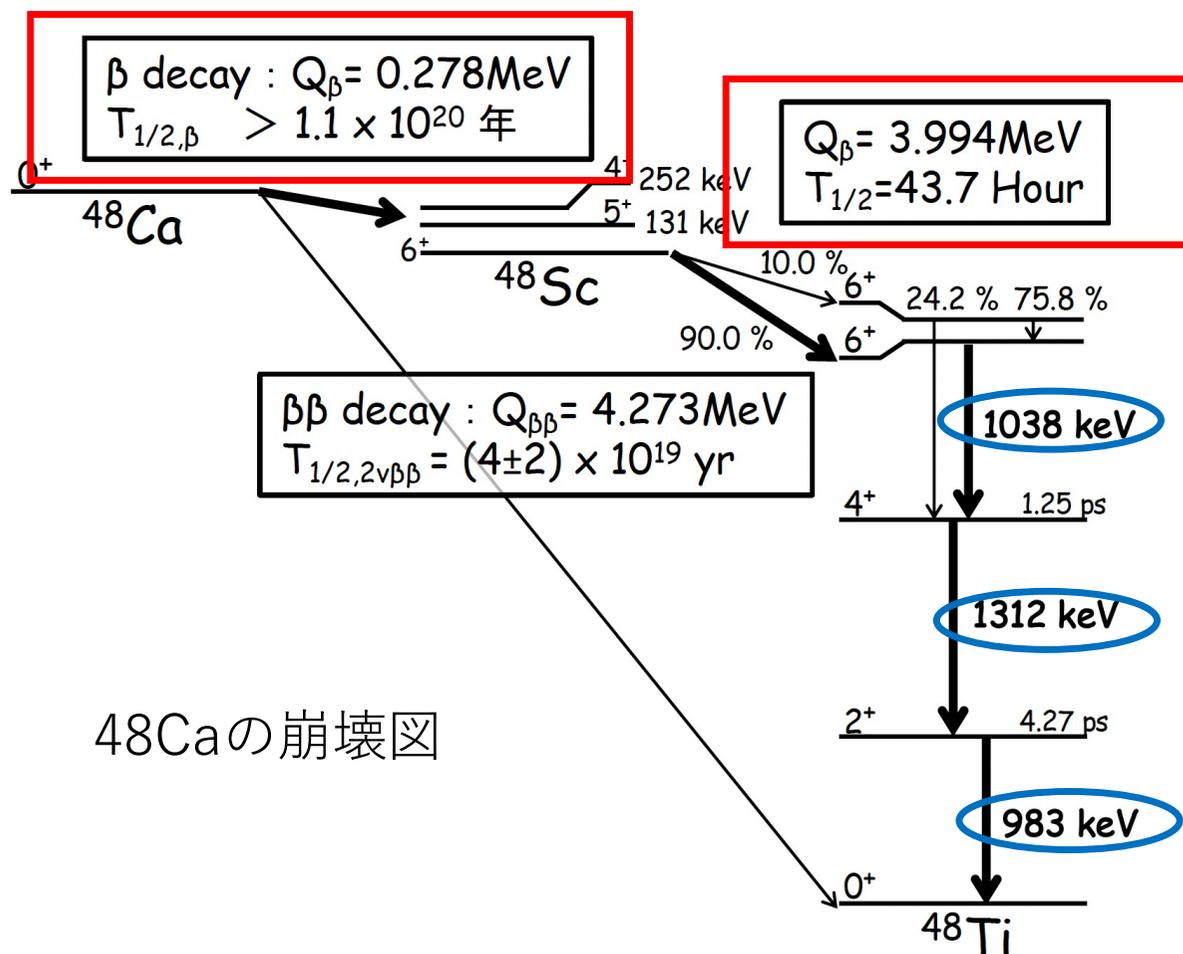
3. $2\nu\beta\beta$

$2\nu\beta\beta$ が $0\nu\beta\beta$ のバックグラウンドとなっている
→ スペクトルの正確な評価が必要

^{48}Ca は **シングルベータ崩壊** がエネルギー的に許容されている
 $2\nu\beta\beta$ のスペクトルに5%以上のバックグラウンドとなっている

$0\nu\beta\beta$ のバックグラウンドを正確に評価するために
シングルベータ崩壊 についての半減期の見積もりが必要

2. 実験手法



^{48}Ca の崩壊図

0.278MeVの検出は困難

^{48}Ti の脱励起 γ 線3本を同時検出する

$^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{48}\text{Sc}$ と

$^{48}\text{Sc} \rightarrow ^{48}\text{Ti}$

の崩壊半減期は大きく異なり

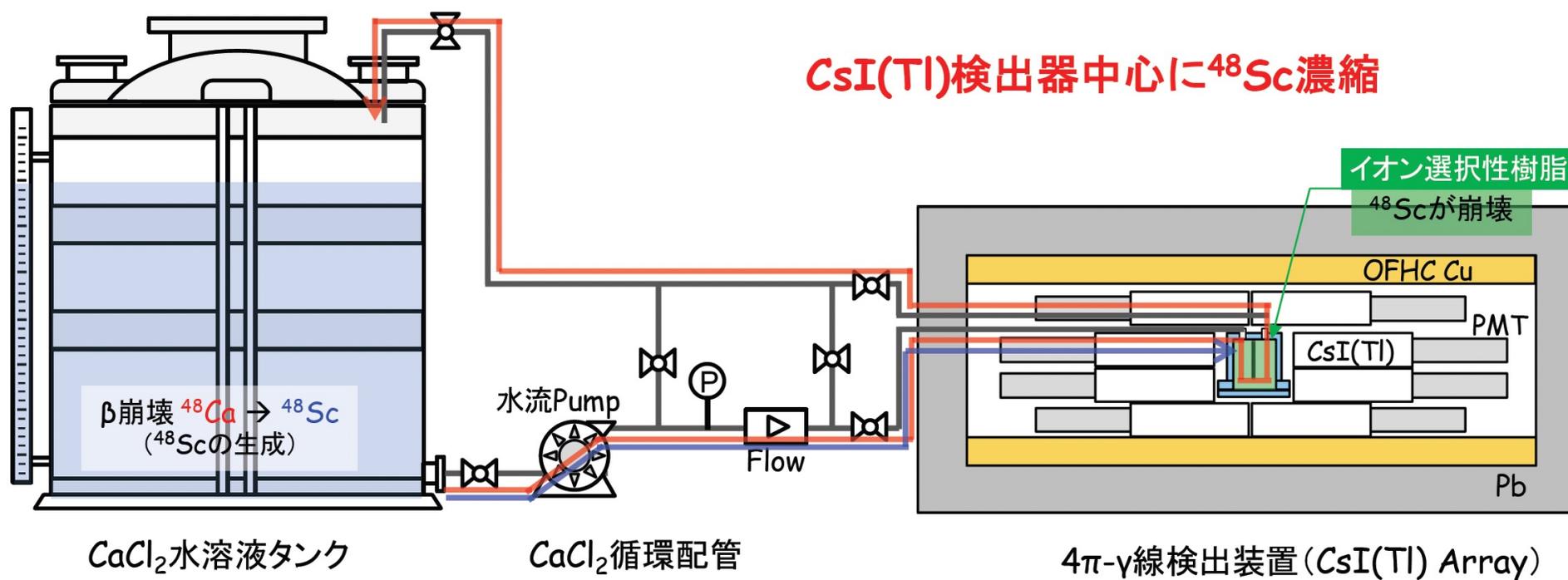
崩壊イベント数を同一とみなせる

さらに、同時検出により

バックグラウンド低減も可能となる

2. 実験手法

測定装置概略図



- ・ 測定したい ^{48}Sc のみを抽出できる
- ・ 大量の崩壊核をコンパクトに収め4πで測定可能

2. 実験手法

半減期の理論予測

- ・ $7.6 \pm 5.3 \times 10^{20}$ 年
- ・ $1.1^{+0.8}_{-0.6} \times 10^{21}$ 年

現在最も強い制限をかけているのは、高純度Ge検出器を用いた先行研究で 1.1×10^{20} 年

本研究は理論予測を覆うことのできる

10²² 年

の測定感度を目標とする

2. 実験手法

測定感度の式

$$T_{1/2} < \frac{\ln 2 \cdot \varepsilon \cdot N_{atom} \cdot T}{\sqrt{N_{BG}}}$$

$T_{1/2}$: 目標測定感度 (= 10^{22} 年)

ε : 検出効率 検出器効率 (= 10 %) × **樹脂の吸着効率**

N_{atom} : ^{48}Ca の数 (= 2.2×10^{24})

T : 測定時間 (= 1 年)

N_{BG} : **バックグラウンド数**

樹脂の吸着効率、**バックグラウンド**数は今後評価が必要

3. 現在の進捗

検出器、遮蔽、タンク、循環装置の準備は完了



CsI(Tl)検出器



鉛、無酸素銅シールド

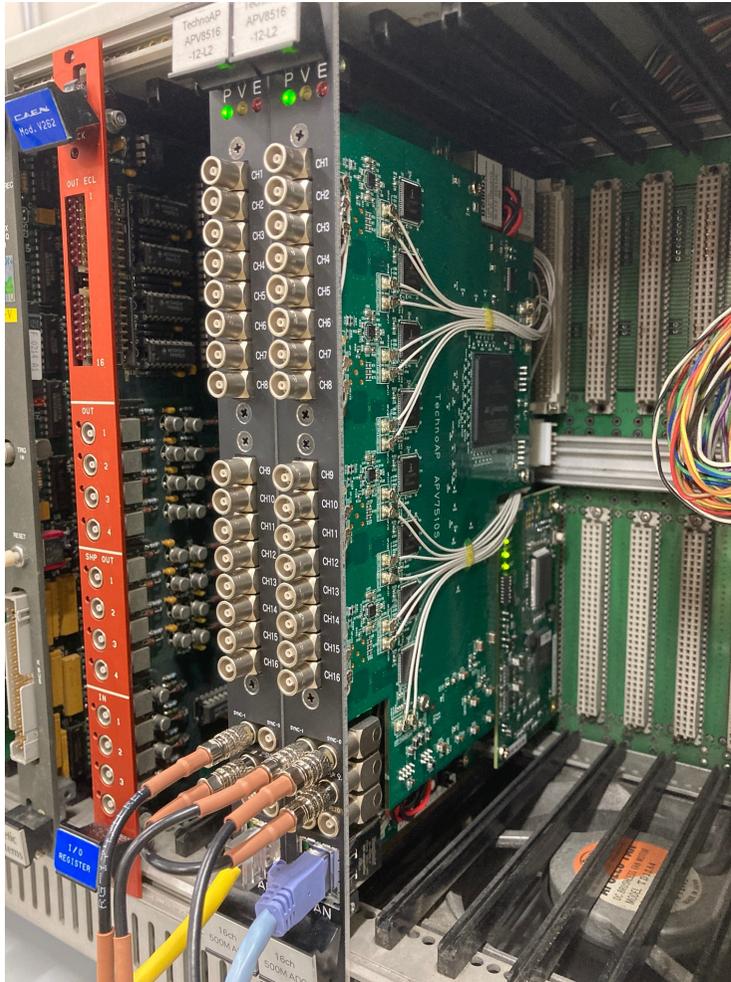


水溶液タンク

現在は

- ・新たに導入したデータ収集装置の動作確認
 - ・樹脂の吸着効率評価
- を進行中

3. 現在の進捗



新たに導入するデジタルパルスプロセッサ

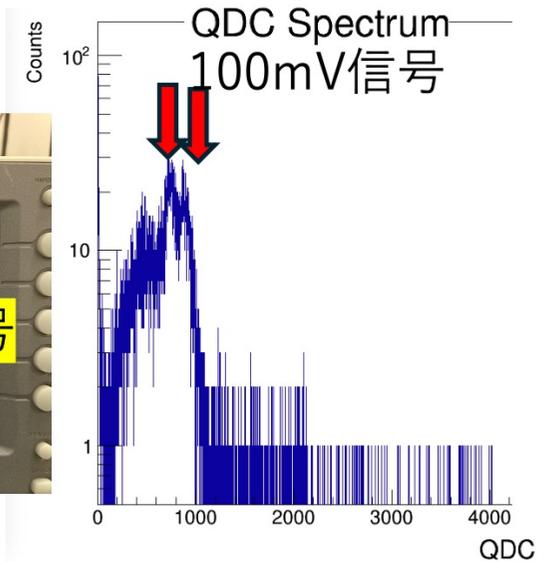
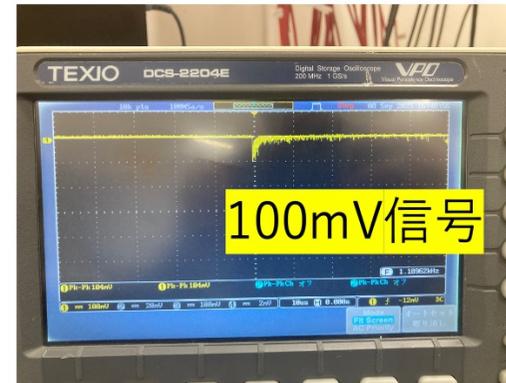
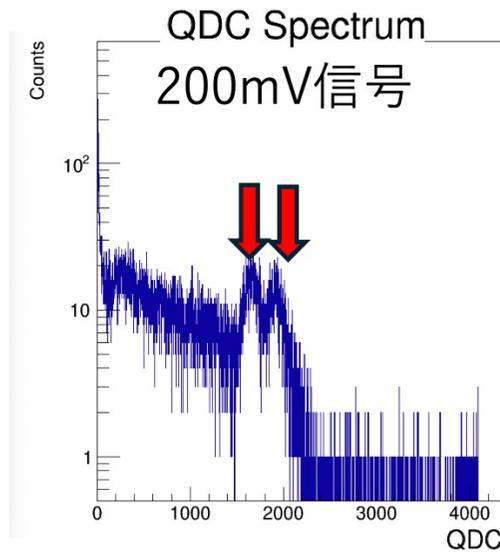
- ・ 1ボード16CH
- ・ 各CH時間同期
- ・ QDC、タイムスタンプ、波形を取得
- ・ 複数ボード時間同期とりながら接続可能

2ボード実装し、CsI検出器30本の信号を取得

取得データ（QDC、タイムスタンプ、波形）
が正しいかチェック

3. 現在の進捗

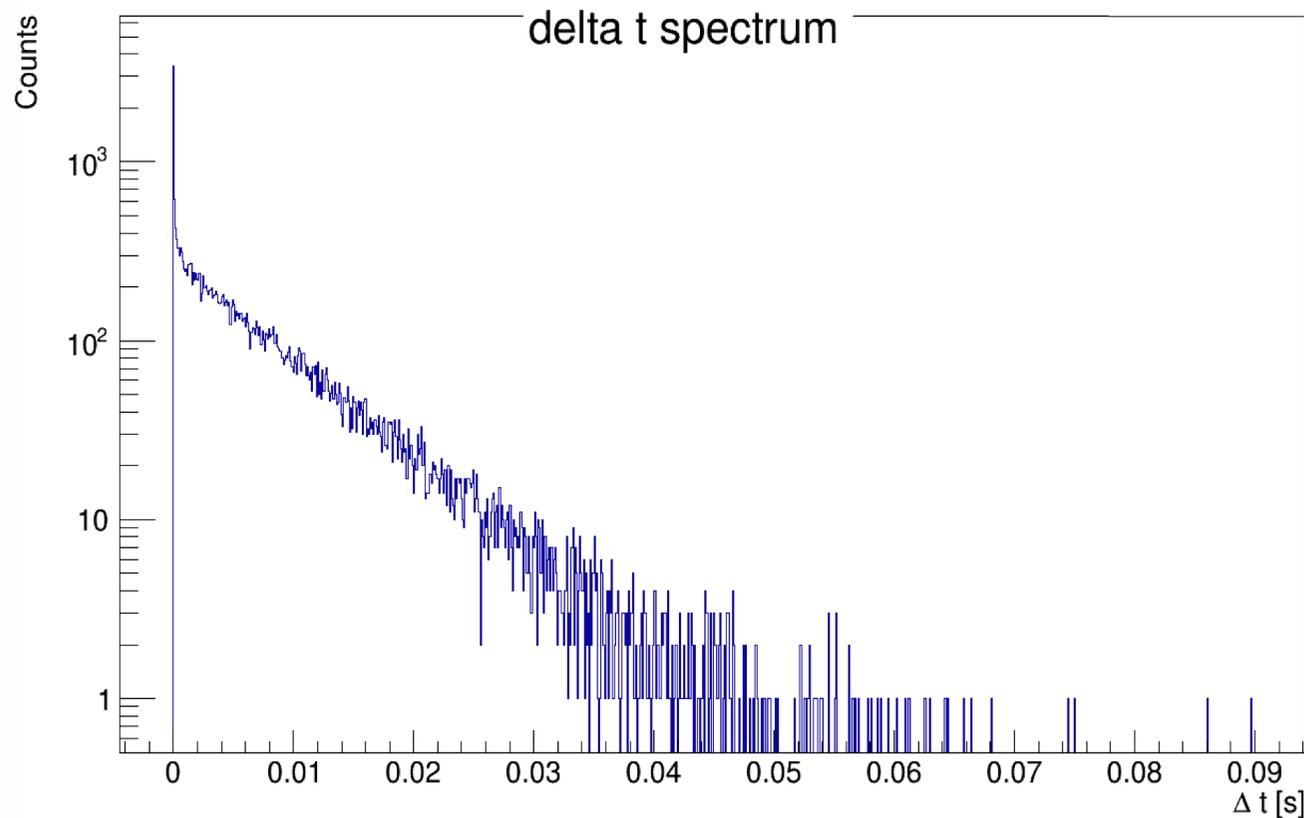
取得データの確認 QDC



QDC
HVの印加電圧を変化させ ^{60}Co 信号波高の変化と全吸収ピークのQDCが比例関係にあるかどうかで確認を行う。
→全吸収ピークについて波高と比例関係が見られたため、正常

3. 現在の進捗

取得データの確認 タイムスタンプ



タイムスタンプ

⁶⁰Co線源を用いて

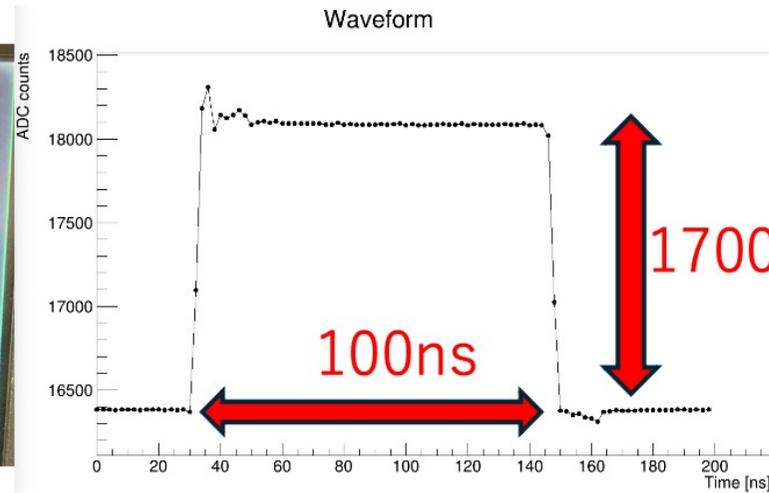
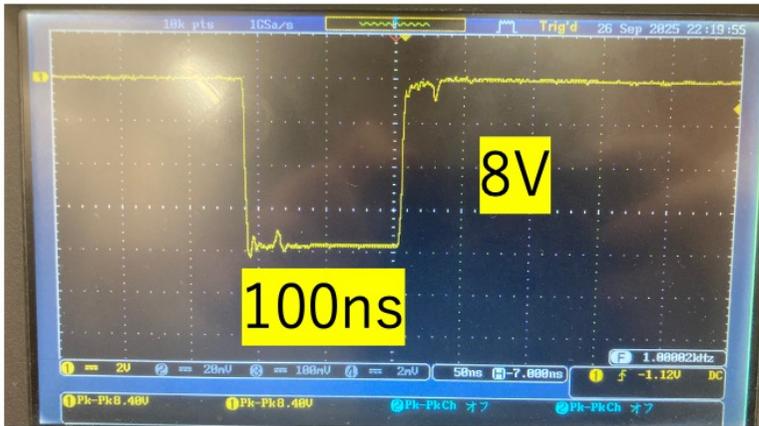
- ・最初と最後のタイムスタンプが測定時間と一致しているか
- ・時間差スペクトルを作成し、指数関数となっているかで確認を行う。

→

最初と最後のタイムスタンプは測定時間**3分**と一致
時間差スペクトルは指数関数となり、正常

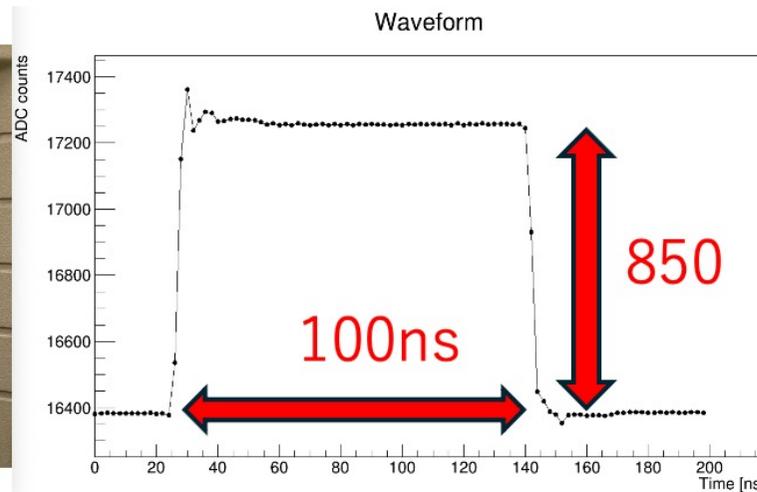
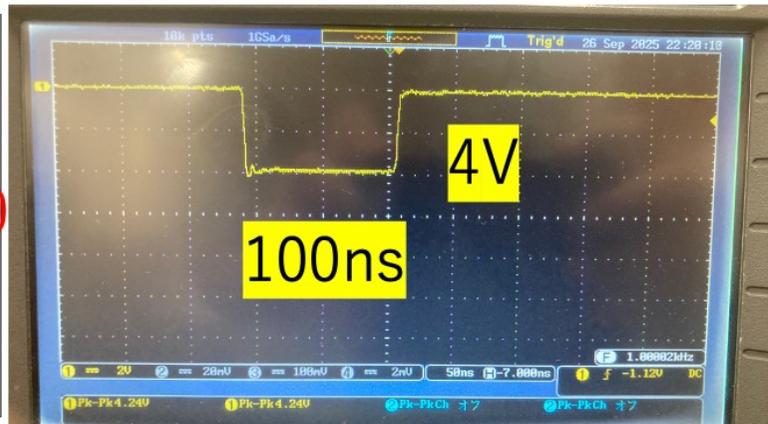
3. 現在の進捗

取得データ確認 波形



波形

クロックジェネレータの矩形波をアッテネータで幅と電圧を変化させ取得波形に反映されているか確認する。



→入力波形に対し、取得波形は正常

4. 展望

- ・測定感度決定のためのパラメータ（バックグラウンド数、樹脂吸着効率）を評価
- ・新たに導入したデジタルプロセッサの波形情報を利用し、バックグラウンド低減手法の検討
- ・地下測定に向けて、地上における評価のための宇宙線veto

5. まとめ

- ・ CANDLESグループは ^{48}Ca を崩壊核とするニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊($0\nu\beta\beta$)を探索している
- ・ $0\nu\beta\beta$ のバックグラウンドとなる $2\nu\beta\beta$ を正確に評価するためにシングルベータ崩壊の半減期測定が必要
- ・ 新たに導入予定のデータ収集装置で取得したデータを確認
- ・ 今後は測定感度の算出、向上のため、バックグラウンドの測定や低減および、樹脂の吸着効率について測定を行う