

^{48}Ca の二重ベータ崩壊の研究

大阪大学核物理研究センター
梅原さおり

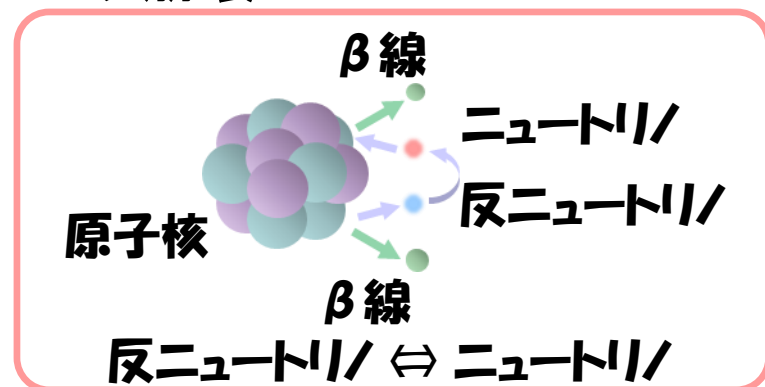
umehara@rcnp.osaka-u.ac.jp
CANDLES Collaboration

□ ^{48}Ca の二重ベータ崩壊

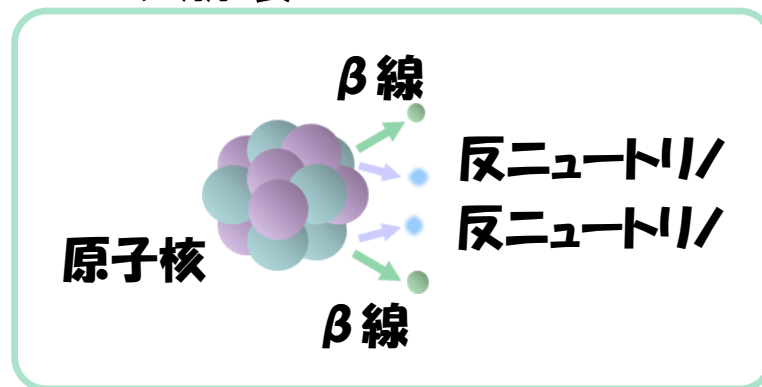
- 測定状況
- 改造予定
- 次世代検出器に向けた開発
- まとめ

二重ベータ崩壊

ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊



ニュートリノを放出する二重ベータ崩壊



□ ニュートリノを放出する二重ベータ崩壊

■ 観測済み、 ^{76}Ge , ^{82}Se , ^{100}Mo , ^{136}Xe , etc

■ 半減期 : $10^{18} \sim 10^{20}$ 年

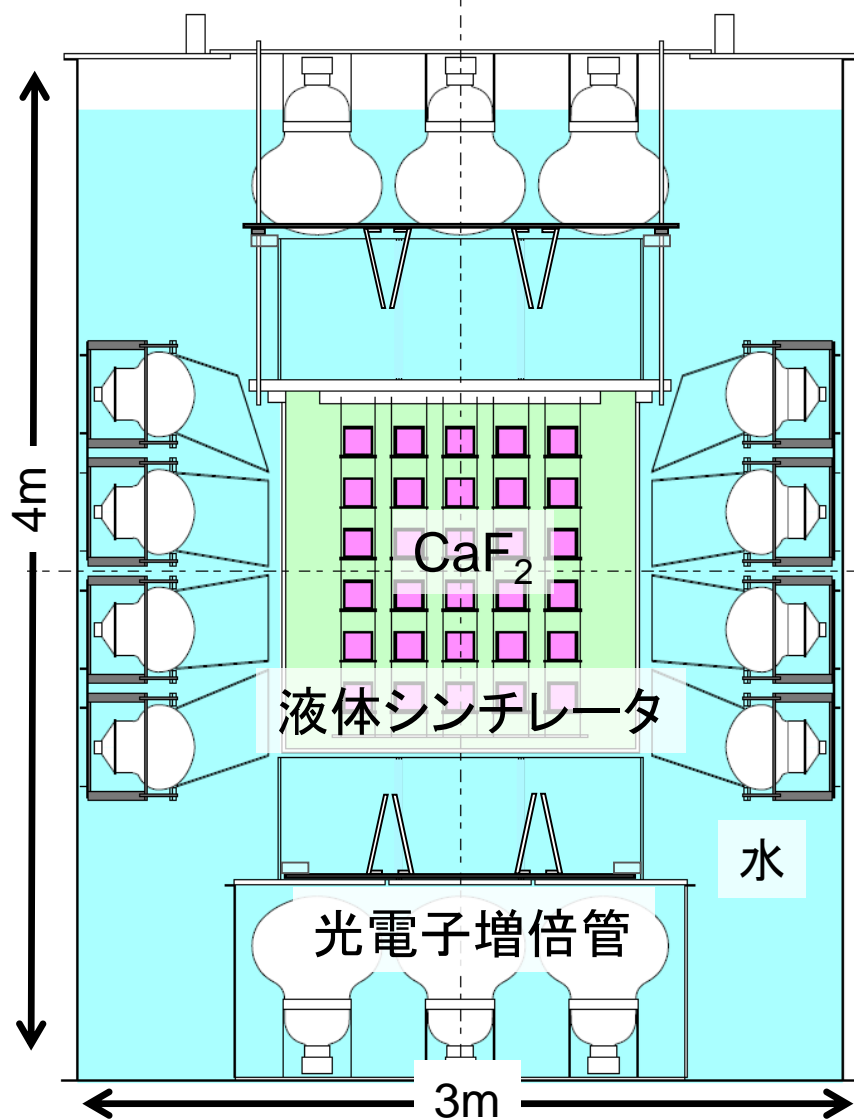
□ ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊

■ 現在未観測

■ ニュートリノ: マヨラナ粒子、レプトン数非保存

CANDLES III

神岡宇宙素粒子研究施設

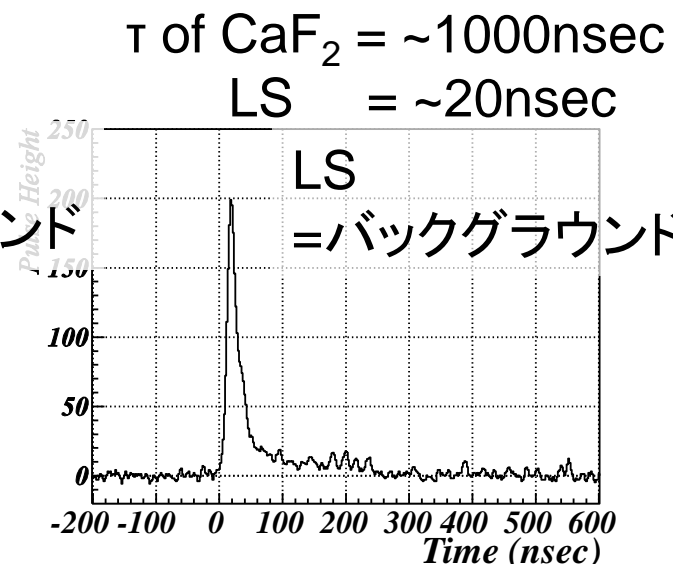
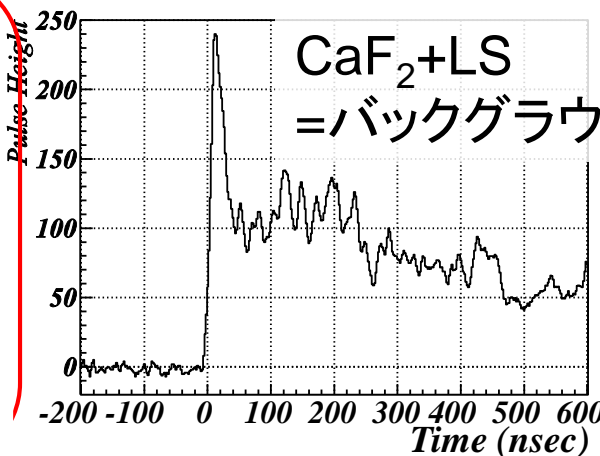
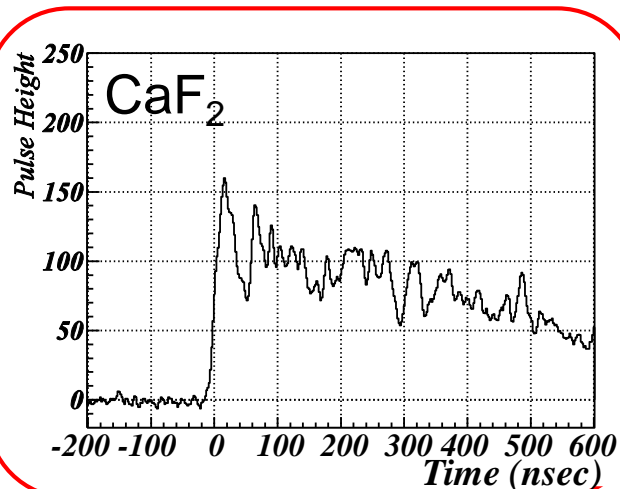


- CaF_2 シンチレータ
 - 305 kg (96個 × 3.2kg)
 - ^{48}Ca : 350g
 - 波形時定数~ 1 μsec
- 液体シンチレータ (LS)
 - 全方向ベトー検出器
 - 波形時定数~ 数10nsec
- 大型光電子増倍管
- ライトパイプ: 集光効率改善
- ↓
- 低バックグラウンドを実現

液体シンチレータ信号の除去

□ CANDLES システムで観測される波形

■ 3つの典型的波形



τ of CaF₂ = ~ 1000 nsec
LS = ~ 20 nsec

トリガーレート : 低い

<<<<

高い

(検出器体積: 1 for CaF₂

:

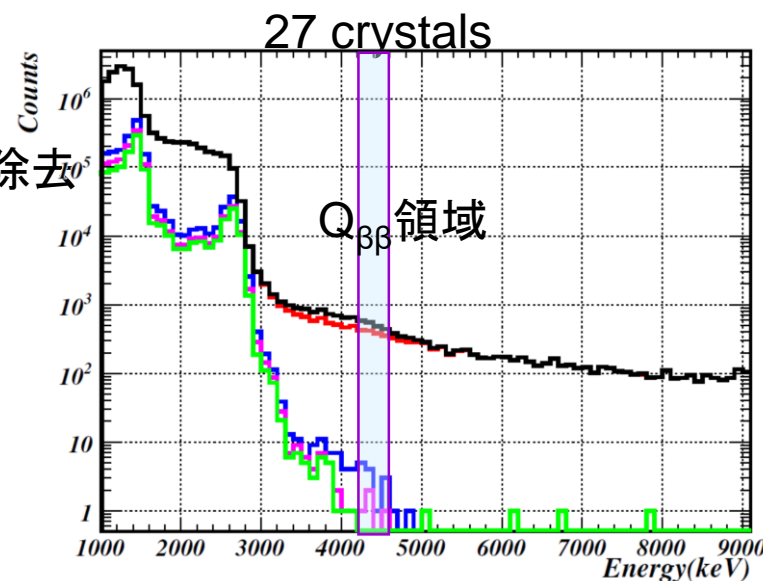
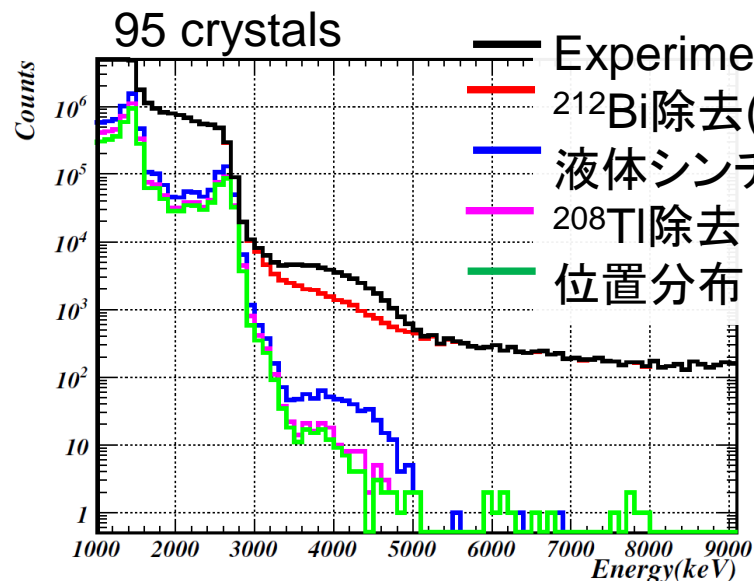
20 for LS)

CANDLES システムでは ...

- ・短い波形と長い波形
- ・CaF₂の選択的トリガー
- ・波形弁別によって、CaF₂信号を選択

エネルギースペクトル

□ 測定結果: 測定時間131日分



Num of event	95 crystals			27crystals		
	Q $\beta\beta$	4-5MeV	5.5-6.5MeV	Q $\beta\beta$	4-5MeV	5.5-6.5MeV
without ²⁰⁸ Tl cut	115	257	8	12	23	1
with ²⁰⁸ Tl cut	19	49	6	3	6	1
Position 2 σ cut	10	34	6	0	2	1

高純度結晶を用いた測定では事象は観測されず

結果

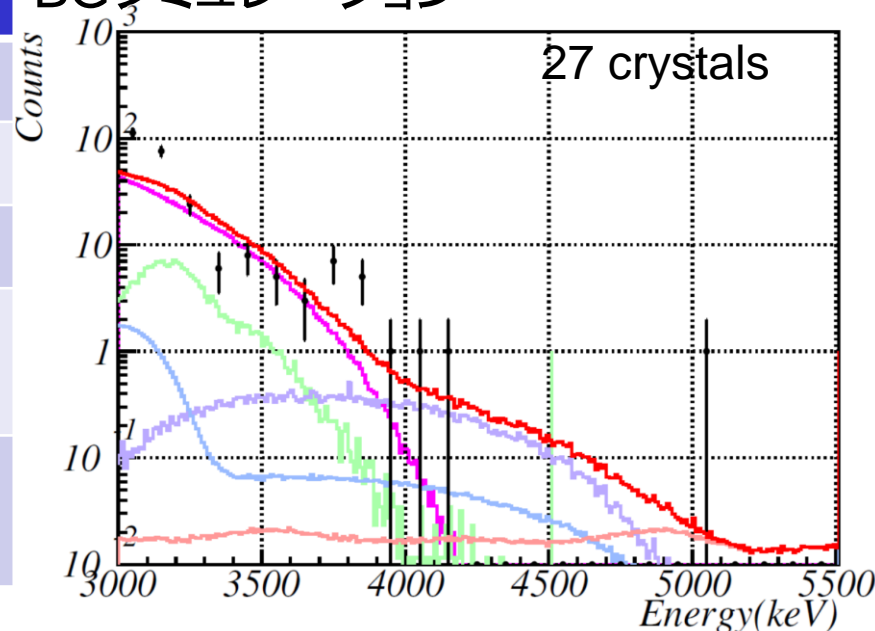
□ 131日の測定結果

	結果
0 $\nu\beta\beta$ 検出効率	0.39 ± 0.06
事象数(exp)	0(27CaF ₂), 10(95CaF ₂)
予想されるBG量	~1.2, ~11
0 $\nu\beta\beta$ 半減期	$>6.2 \times 10^{22}$ year (27個) $>3.8 \times 10^{22}$ year (95個)
測定感度	3.6×10^{22} year (27個) 6.2×10^{22} year (95個)

* 先行検出器ELEGANT VI
測定時間: 4947kg・day(2年強)
半減期 : 5.8×10^{22} 年

- データ
- 全Simデータ
- 中性子捕獲 γ 線
- 結晶内部: ^{208}Tl
- 結晶内部: ^{212}Bi
- 結晶周辺物質

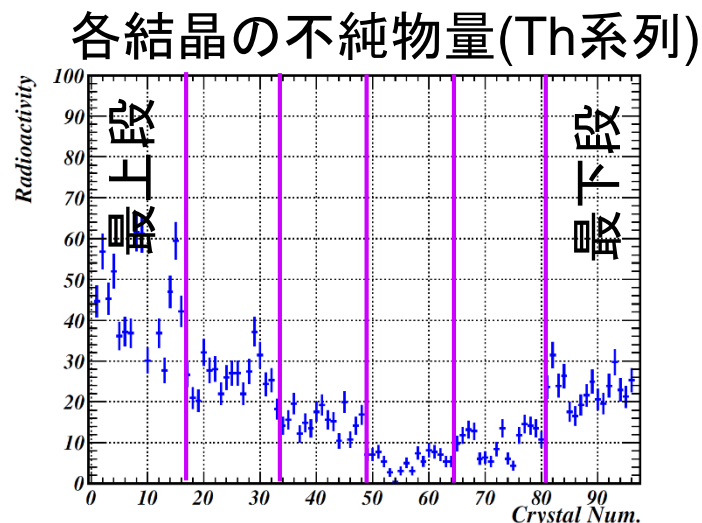
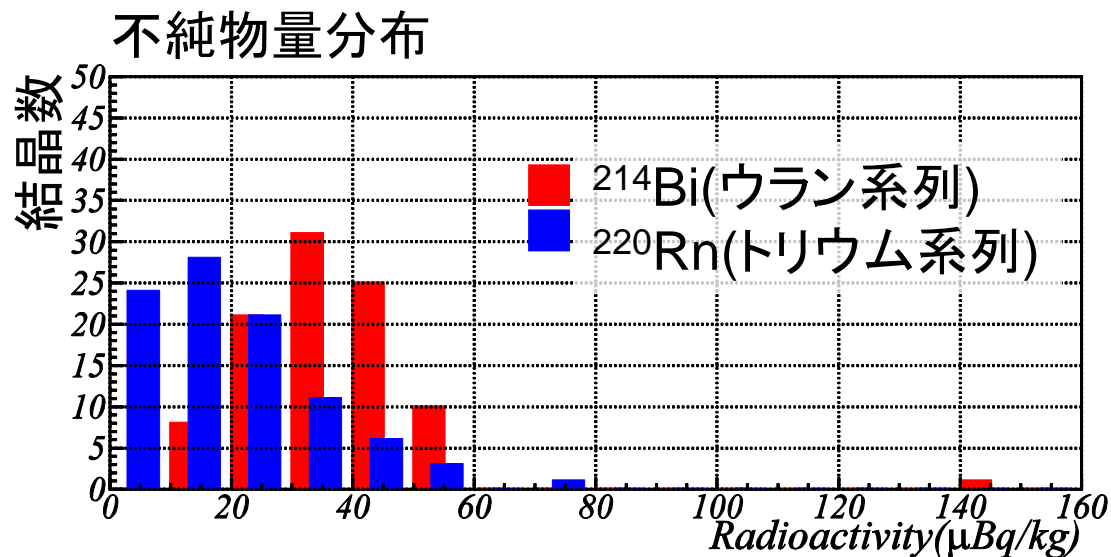
エネルギースペクトルと
BGシミュレーション



($\chi^2 < 1.5$, $-3\sigma < \text{SI} < 1\sigma$),
 $-2\sigma < \text{事象位置} < 2\sigma$,
with ^{208}Tl cut

CaF₂結晶に含まれる不純物量

□ 不純物量のばらつき



^{214}Bi (U-chain)... 平均 $36\mu\text{Bq/kg}$ 、純度差は最大14倍

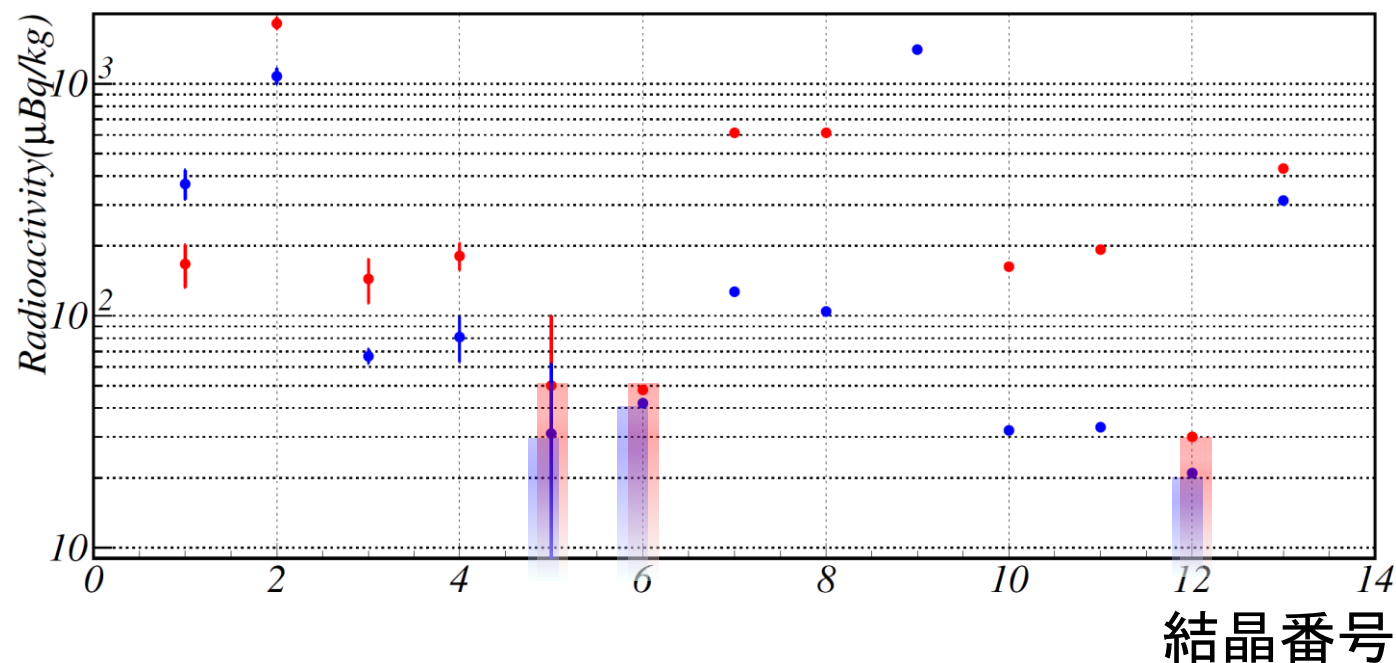
^{220}Rn (Th-chain)... 平均 $20\mu\text{Bq/kg}$ 、純度差は最大10倍

・歩留まり率に影響

置き換え結晶

□ CaF_2 インゴットの調査(2018~)

■ 不純物測定



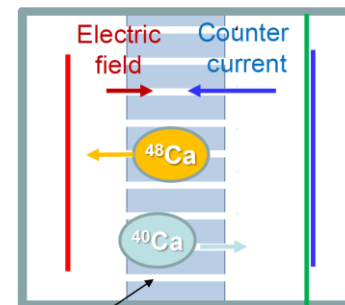
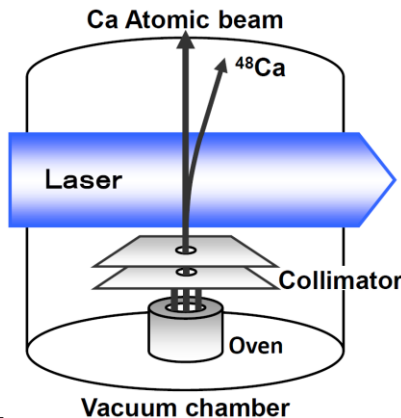
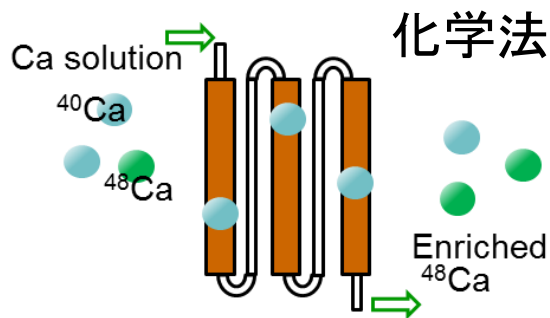
2019年前半 CANDLES III中の結晶の入れ替え作業
他メンテナンス

2019年後半 測定再開予定

次世代検出器：濃縮

□ クラウンエーテル濃縮、レーザー濃縮、電気泳動濃縮

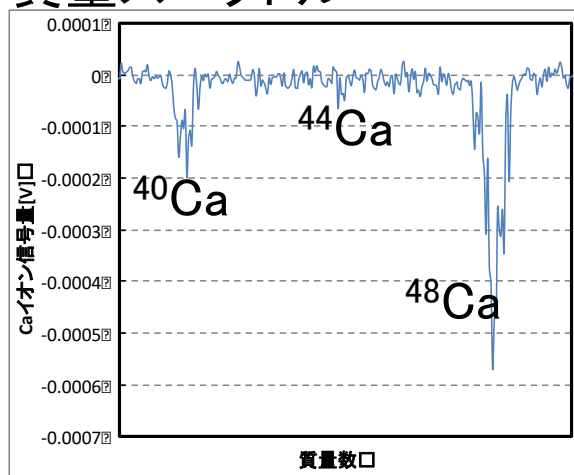
^{48}Ca 天然同位体比0.187%



□ 今日はレーザー濃縮（イオン化法）を紹介 福井大工仁木研究室

質量スペクトル

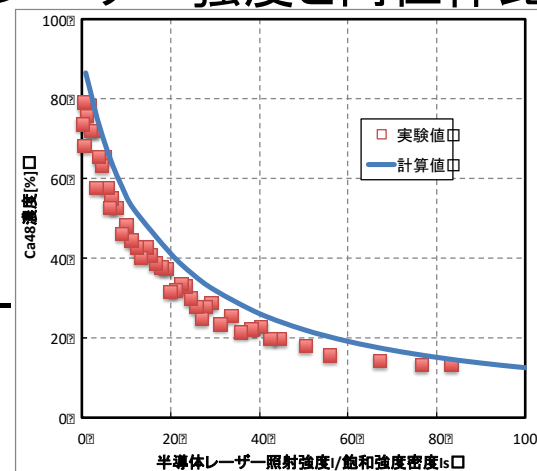
レーザー強度と同位体比



最大同位体比：78%

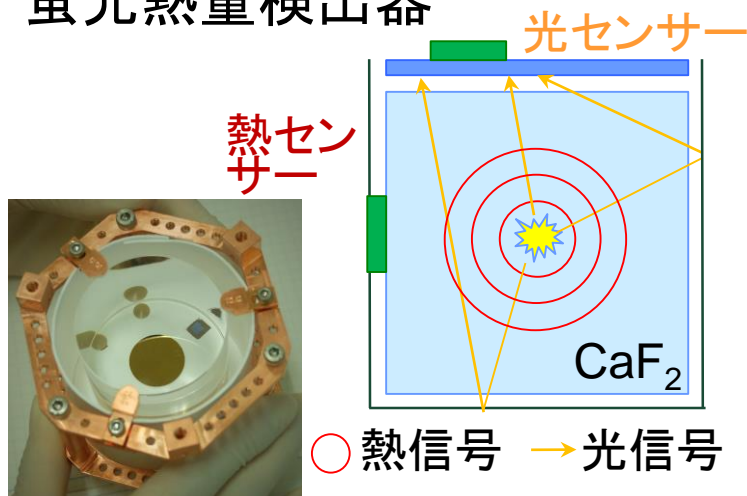
関係をシミュレーションで再現

検証と生産に向けた開発

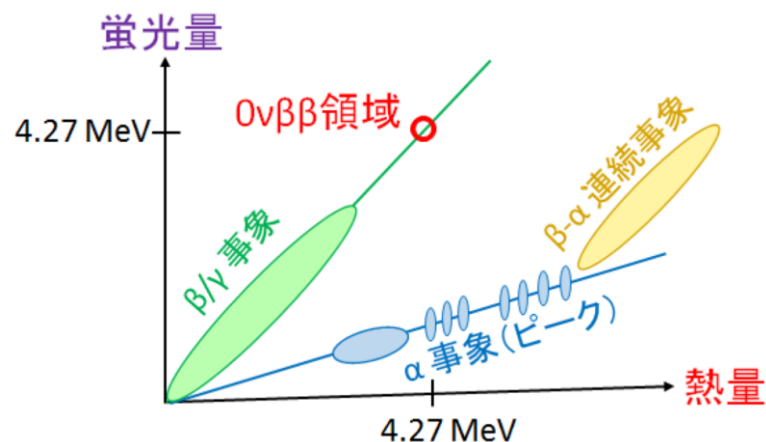


次世代検出器：蛍光熱量検出器

蛍光熱量検出器



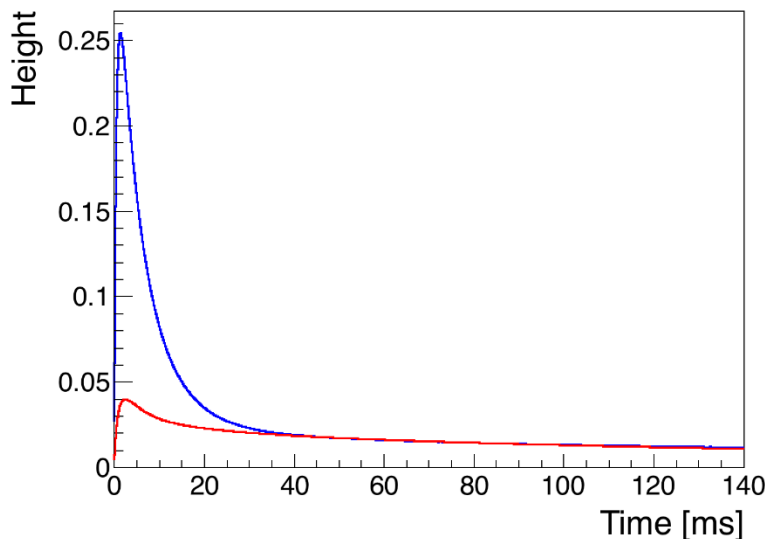
蛍光熱量検出器による粒子弁別



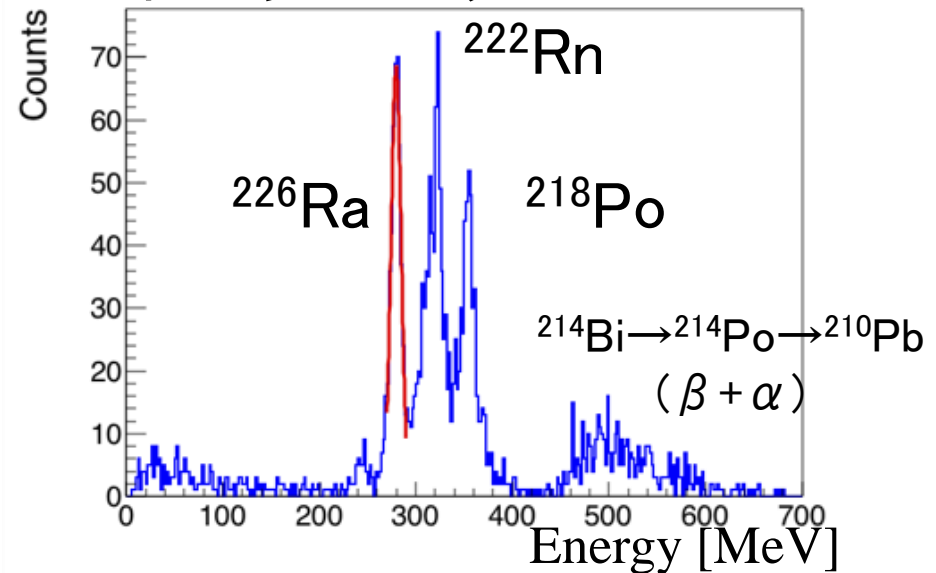
- 次世代検出器で予想されるBG: $2\nu\beta\beta$ 事象、 α 線
- 熱量検出器: 高エネルギー分解能
 - $2\nu\beta\beta$ 事象を低減するため
- 蛍光熱量検出器: 高い粒子弁別能力
 - β 線- α 線の粒子弁別によるBG低減のため

次世代検出器：蛍光熱量検出器

信号波形



エネルギースペクトル



- $\text{CaF}_2(\text{pure})$ 結晶を蛍光熱量検出器として使用成功。
 - エネルギー分解能(σ): $1.86 \pm 0.11\%$
 - 要分解能改善のための開発
- 低バックグラウンド次世代検出器開発をめざす

まとめ

- 48Caの二重ベータ崩壊の測定
 - 安定測定を継続
 - 2019年より結晶の入れ替え作業を開始予定
 - 並行して蛍光熱量検出器、濃縮の開発
 - 他、神岡施設の中性子量測定
 - 早稲田大、神戸大、東北大、、、
- 予算：査定額
 - 旅費15万円：13万円執行済み
 - サポートありがとうございました。