

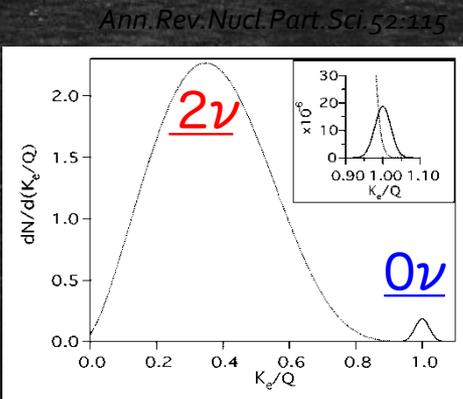
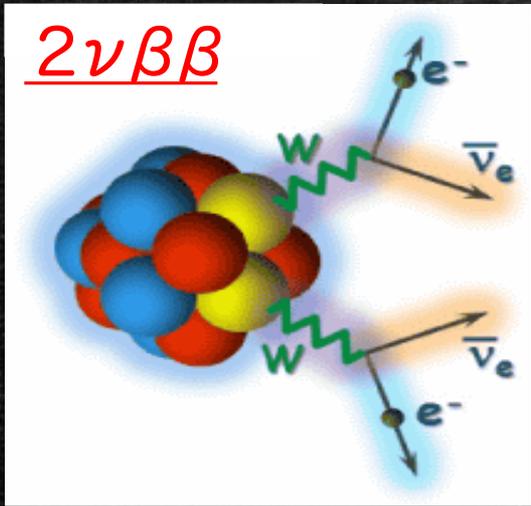


^{48}Ca の 二重ベータ崩壊の研究

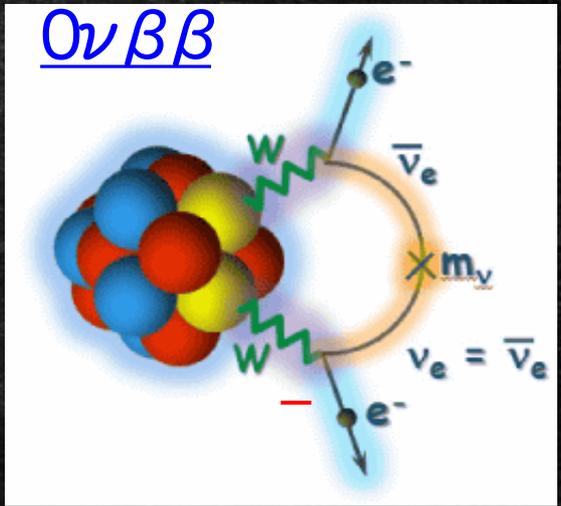
-平成29年度
東京大学宇宙線研
共同利用研究成果発表会

2017/Dec/8-9
総合研究棟 6F大セミナー室
大阪大学 竹本康浩

ニュートリノレス 二重ベータ崩壊実験 ($0\nu\beta\beta$)



観測電子エネルギー
連続 vs. 単色



- ✓ 10以上の核種で観測済み
 ^{76}Ge , ^{100}Mo , ^{130}Te , ^{136}Xe , ^{48}Ca ...
- ✓ 極稀: $T_{1/2} = 10^{18} \sim 10^{20}$ yr
- ✓ 標準模型内

- 多数の実験で未観測
 ^{136}Xe , ^{76}Ge , ^{130}Te , ^{48}Ca ...
- ✓ 極極稀: $T_{1/2} : \geq 10^{26}$ yr (KL-Zen, GERDA)
- ✓ 標準模型を超える反応
 - ✓ ニュートリノがマヨラナ粒子 ($\nu = \bar{\nu}$)
 - ✓ 寿命 \Rightarrow ニュートリノ質量, 質量階層構造
 - ✓ レプトン数非保存 \Rightarrow 物質優勢宇宙

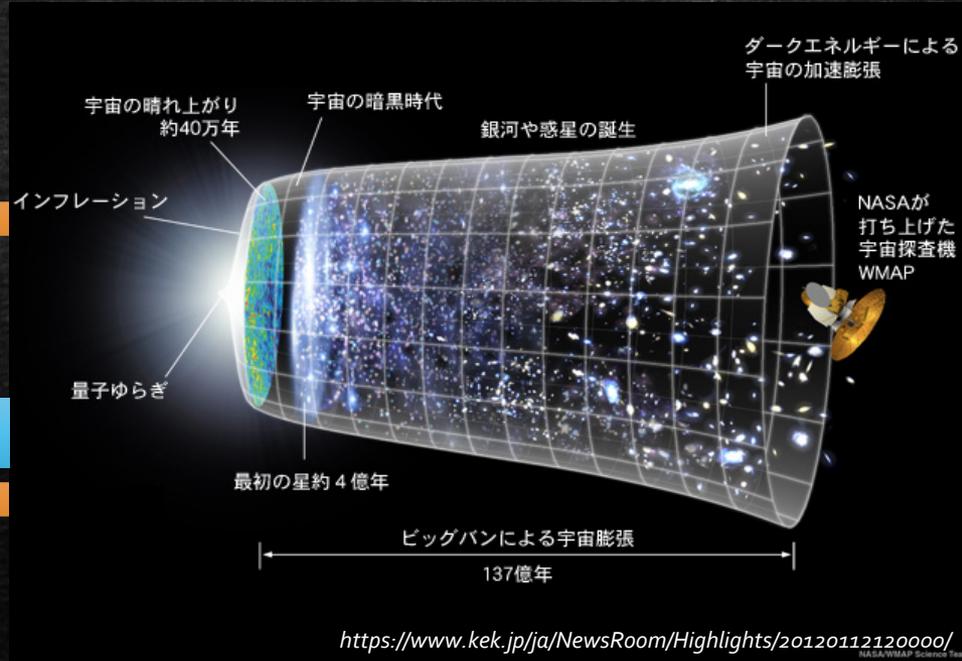
$$T_{1/2}^{0\nu} = \left[G_{0\nu} |M_{0\nu}|^2 \langle m_{\beta\beta} \rangle^2 \right]^{-1} < 61-165 \text{ meV}$$

物質優勢宇宙へのカギ

初期宇宙

物質：10G個
反物質：10G個

物質：10G個 + 1
反物質：10G個



現在宇宙

1 物質優勢

物質優勢のための”+1”の生成？

マヨラナニュートリノの崩壊⇒レプトン数の生成
⇒バリオン数への転換
“レプトジェネシス”

^{48}Ca を用いた $0\nu\beta\beta$ 探索



利点：最大 $Q_{\beta\beta}$ (4.271MeV)

\geq 自然放射性同位体

^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K ... (exc.内部 ^{208}Tl ($\beta + \gamma$))

- $Q_{\beta\beta}$ における 0 BGの可能性
 - 極低ニュートリノ質量探索へ必須

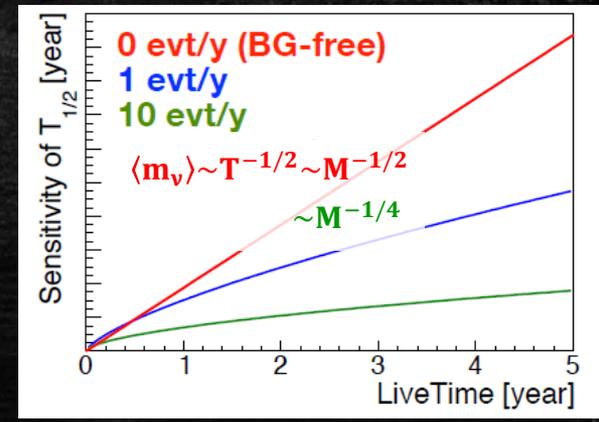
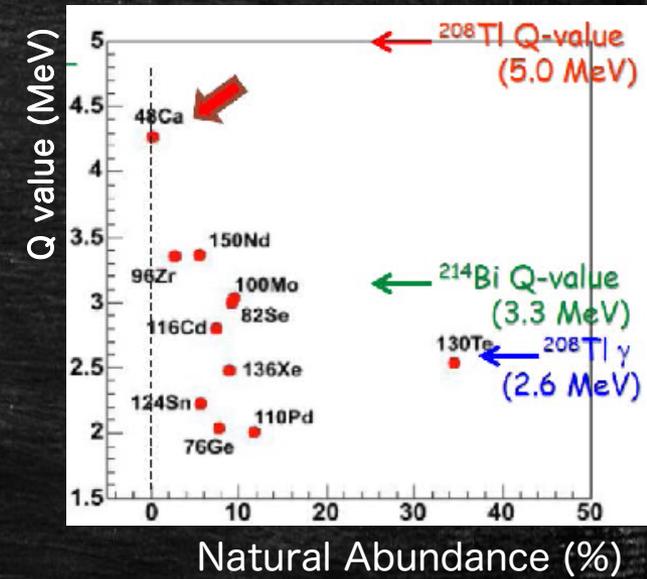
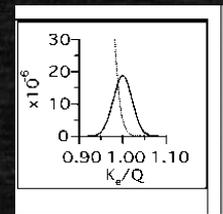


克服必須要件

- 低自然存在比 (0.187%)
 - 電気泳動により6倍以上の濃縮を達成
 - 高濃縮化 (to 50%!), 高生産性を研究中 (MCCCE, レーザー濃縮, マイクロリアクタ)

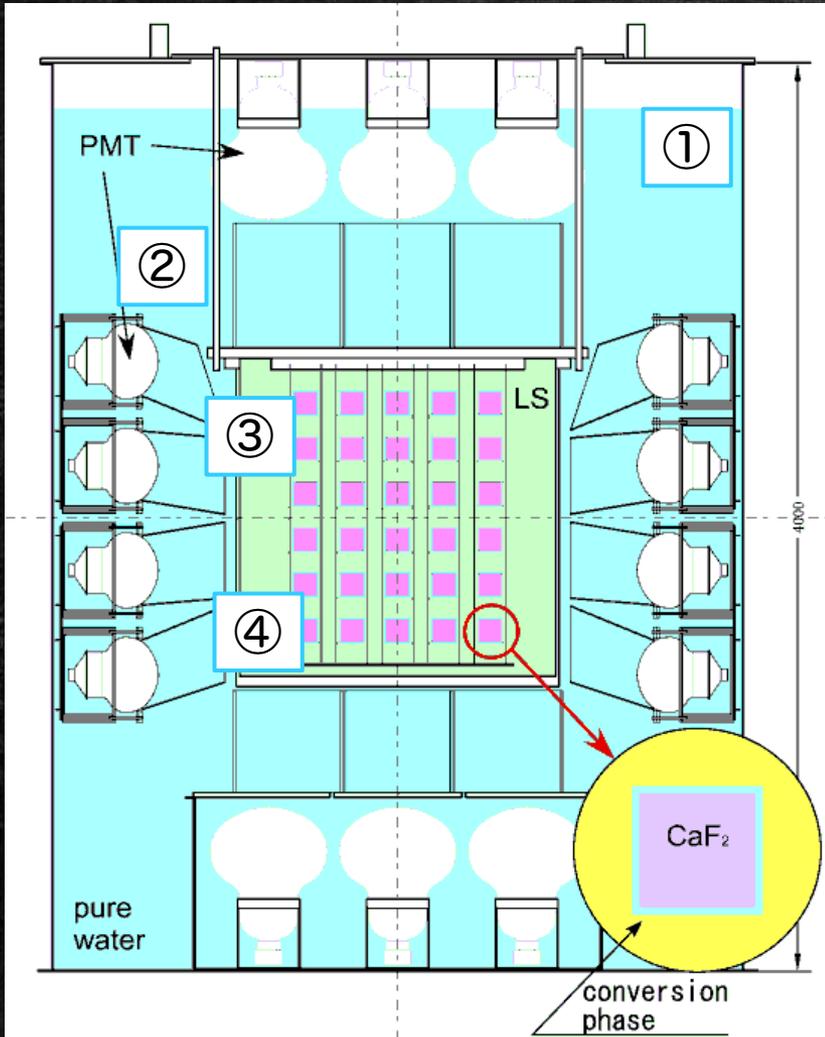
高エネルギー分解能化

- $2\nu\beta\beta$ の肩がBGとなる
- 現在~4% \Rightarrow <1% : ボロメータ技術



CANDLES III 実験

Calcium Fluoride for Studies of Neutrino and Dark Matters by Low Energy Spectrometer



@ 神岡鉱山 東大共同利用 LabD
 地下1kmにあり, 宇宙線 $\mu 10^{-5}$
 2006年から利用

① 純水 (XMASSから) (4x3m ϕ)
 • パッシブ遮蔽

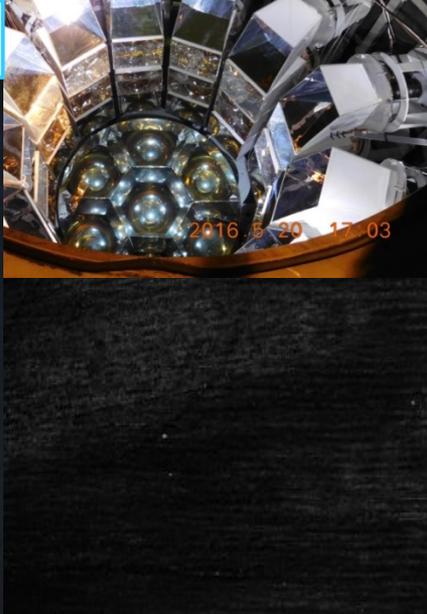
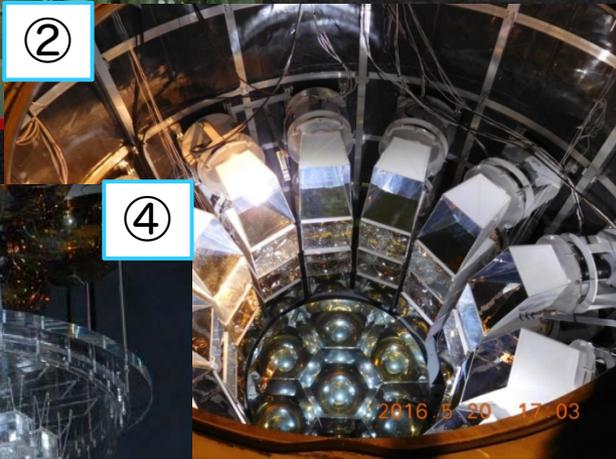
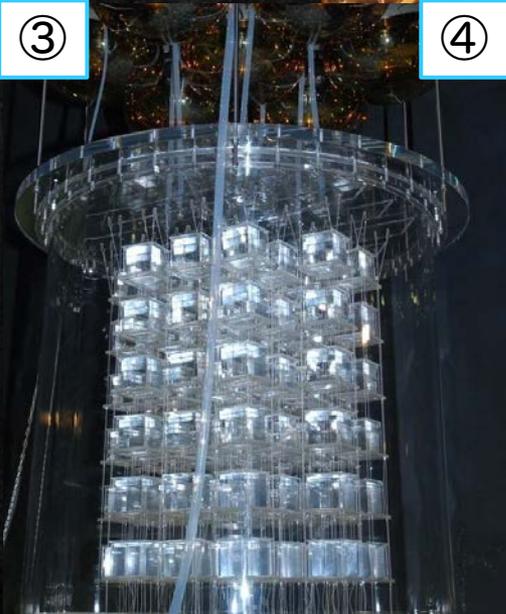
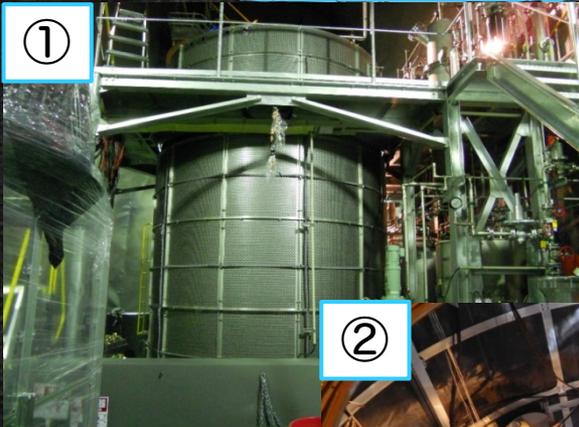
② PMT + ライトガイド
 • 10" (R7081) x12
 • 13" (R8085) x36
 • 20" (R7250) x14
 • ガイド : $\sim 93\%$ ref @420nm

③ 2.1m³ 液体シンチレータ (LS)
 • 4π アクティブ遮蔽

④ CaF₂ (pure) module x 96
 : 305kg (350g ⁴⁸Ca)
 WLS : 280 \Rightarrow 420nm

CANDLES III 実験

Calcium Fluoride for Studies of Neutrino and Dark Matters by Low Energy Spectrometer



@ 神岡鉱山 東大共同利用 LabD
地下1kmにあり, 宇宙線 $\mu 10^{-5}$
2006年から利用

① 純水 (XMASSから) (4x3m ϕ)
• パッシブ遮蔽

② PMT + ライトガイド
• 10" (R7081) x12
• 13" (R8085) x36
• 20" (R7250) x14
• ガイド : $\sim 93\%$ ref @420nm

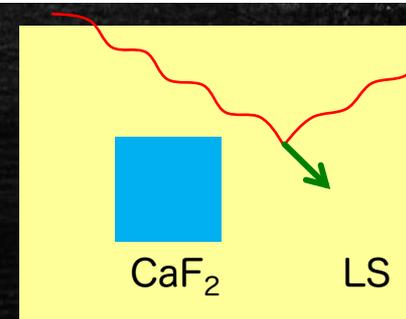
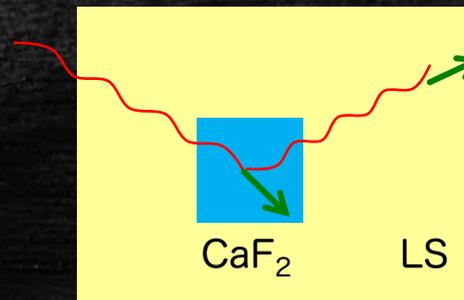
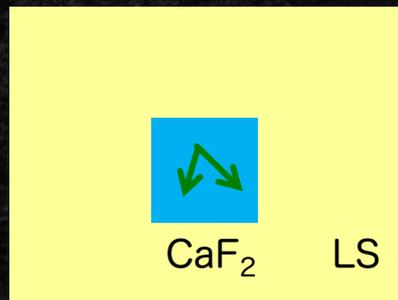
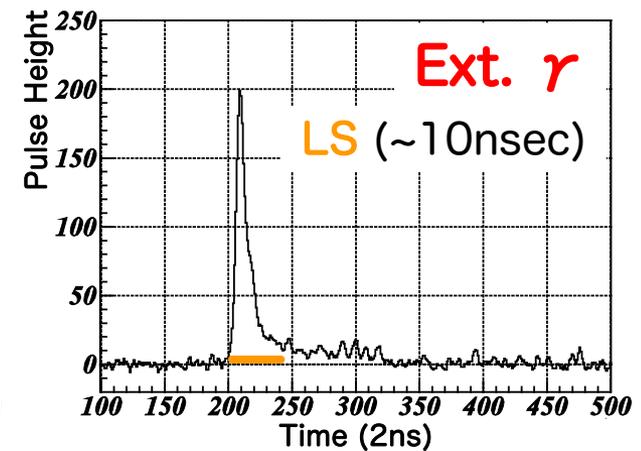
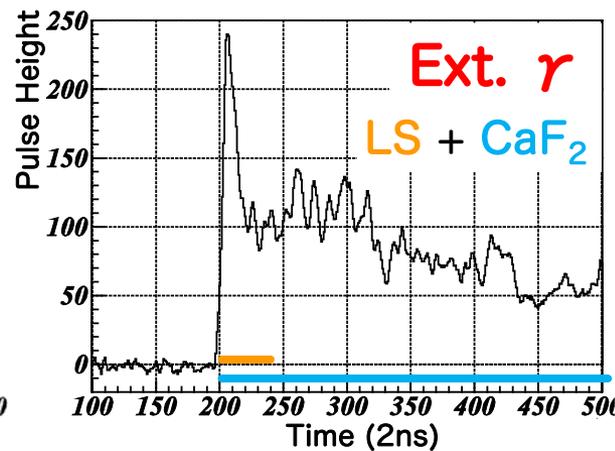
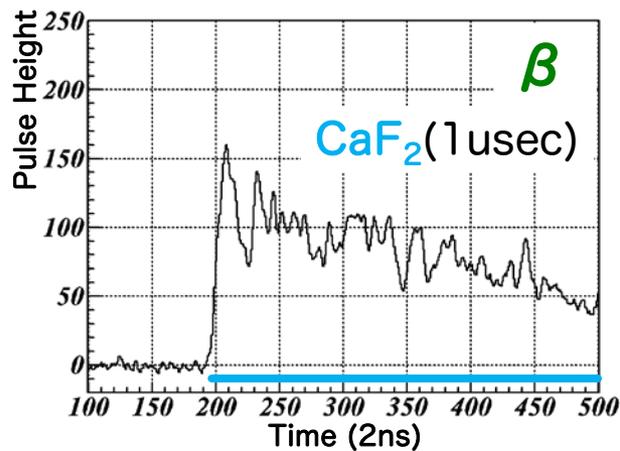
③ 2.1m³ 液体シンチレータ (LS)
• 4π アクティブ遮蔽

④ CaF₂ (pure) module x 96
: 305kg (350g ⁴⁸Ca)
WLS : 280 \Rightarrow 420nm

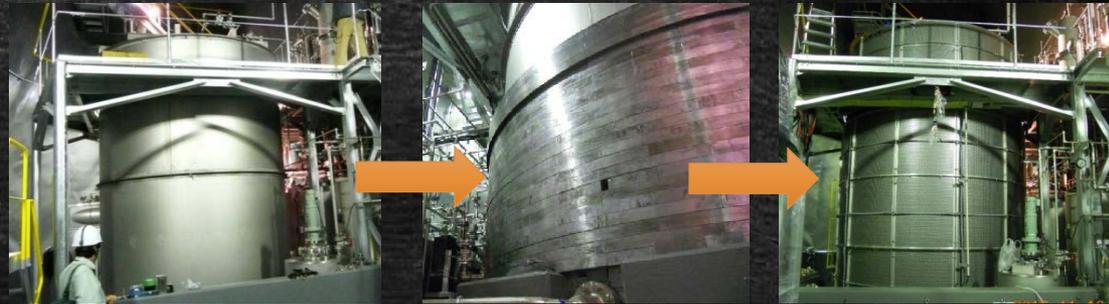
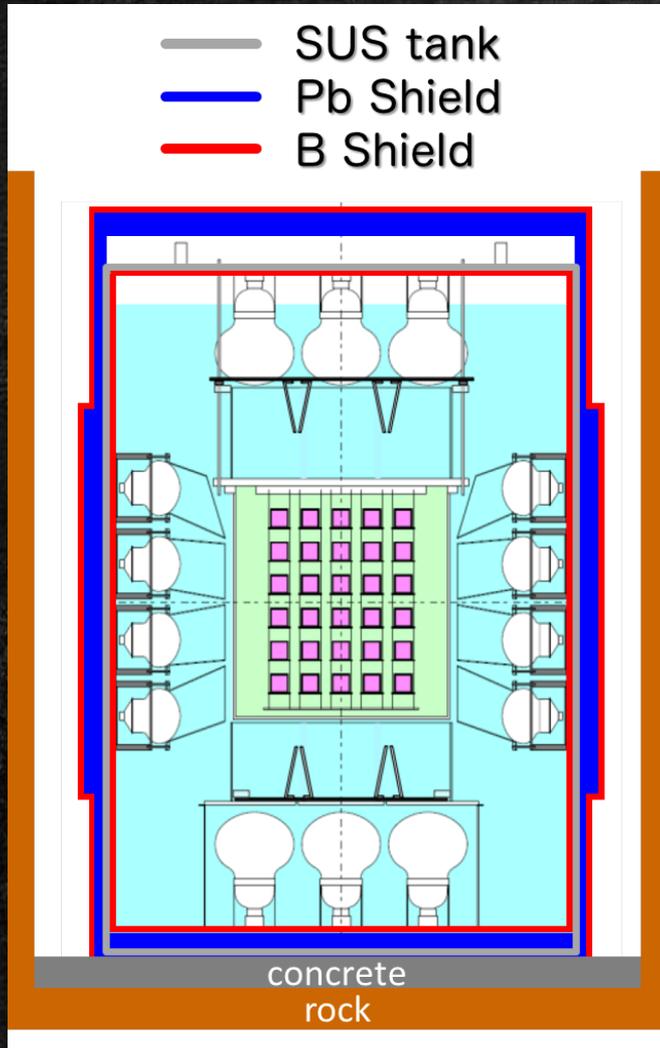
検出原理, 外部由来BG除去

外部由来 BG γ の除去 : 発光時定数の有意な違いを利用: CaF_2 (1usec) vs. LS (~ 10 nsec)

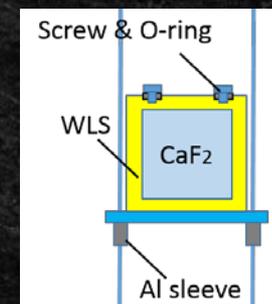
- 500MHz Flash ADC を用いた波形取得
- トリガベースの LS 信号除去
- オフラインでの 波形解析による LS 信号除去, LS 寄与の分離



検出器アップグレード '14-'16

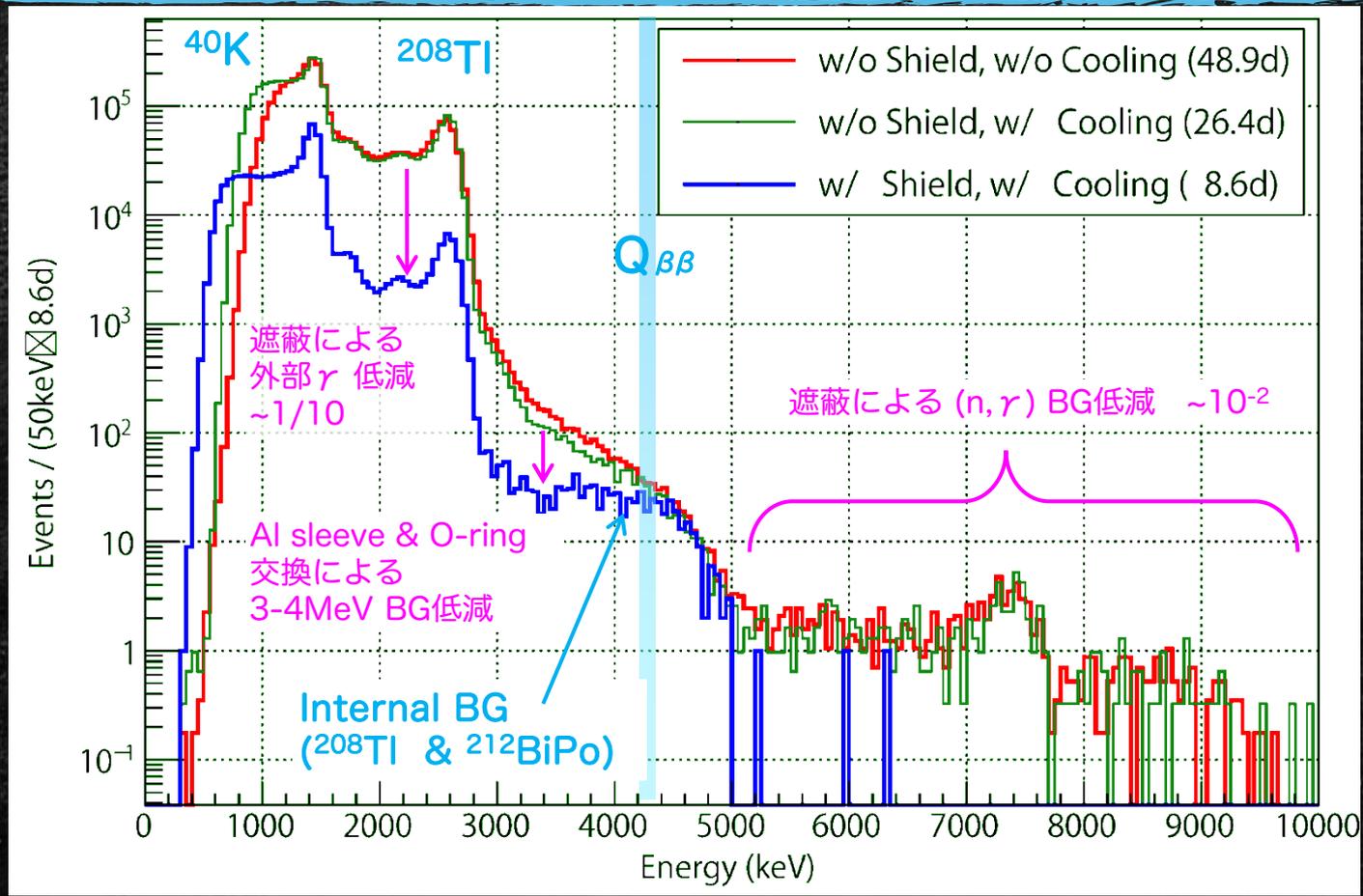


- 鉛シールド : 岩, SUS $\gamma \sim 1/120$
- ボロンシールド : SUS 中性子 $\sim 1/30$
- (n, γ) BGs in CANDLES $\Rightarrow \sim 1/80$ (MC).



- 高エネルギー分解能化
 - 検出器冷却 : $17 \Rightarrow 5^\circ\text{C}$, 地磁気補償コイル
 - $4.8\% \Rightarrow 4.1\%$ (@1.8MeV)
- 低BG化 : Al sleeve, O-ring交換

検出器アップグレードの効果



- 全アップグレードにより計画通りのBG低減に成功!
- このplotからDC-cut等によりBG除去

⇒ 論文査読中

* only loose LS cut is applied on this plot

観測結果

Preliminary

	95 CaF ₂	27 CaF ₂
Livetime (d)	131	
$0\nu\beta\beta$ eff.	0.39 ± 0.06	
Event in ROI	10	0
Expected BG	~11	~1.2
$T_{0\nu\beta\beta}^{1/2}$ ⁴⁸ Ca (yr)	$>3.8 \times 10^{22}$	$>6.2 \times 10^{22}$
Sensitivity (yr)	6.2×10^{22}	3.6×10^{22}

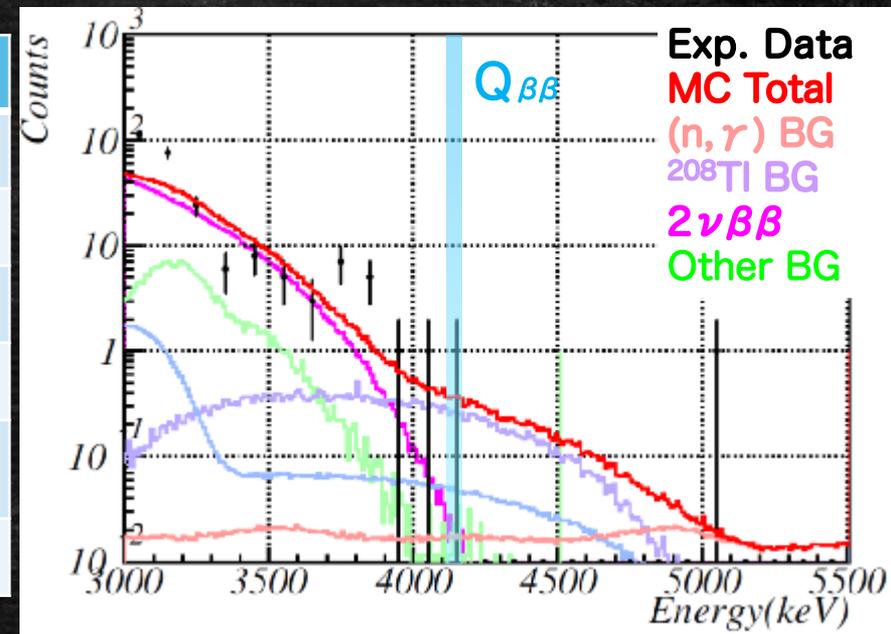
* ELEGANT IV (前ワールドレコード)

Exposure : 4947kg · d (2yr<)

$0\nu\beta\beta$ eff. : 0.53

$T_{0\nu\beta\beta}^{1/2}$ ⁴⁸Ca : 5.8×10^{22} yr

Exp. Data and BG MC
In 27 CaF₂

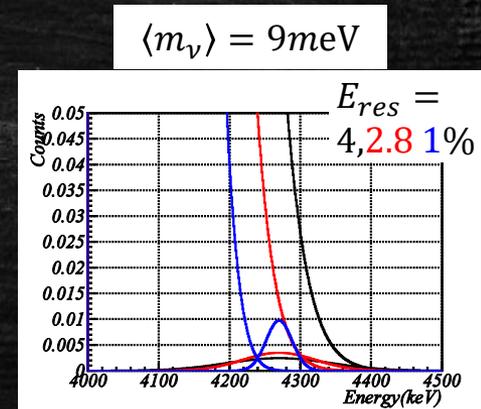
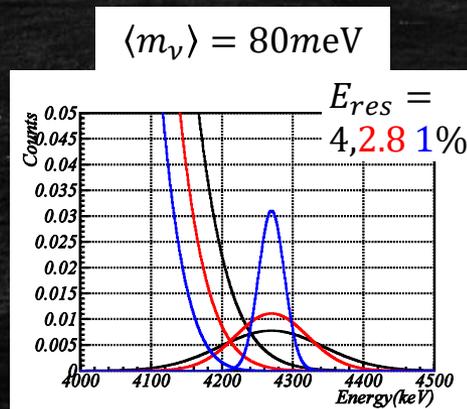
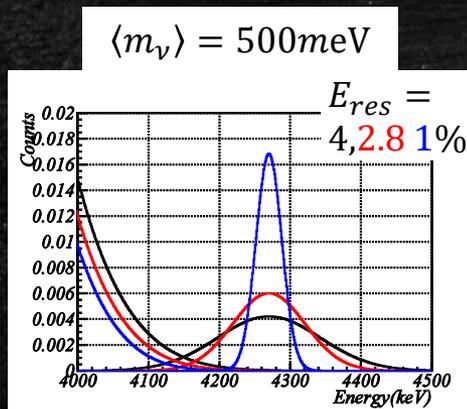


CANDLES III は ⁴⁸Ca の $T_{0\nu\beta\beta}^{1/2}$
において最高感度を更新中!

現在も安定的にデータ収集中

将来計画

	CANDLES III+	CANDLES IV	CANDLES V
Crystal CaF ₂ / ⁴⁸ Ca	0.187% 305 kg / 0.35 kg	2% 2000 kg / 25 kg	50% 2000 kg / 610 kg
Energy Res.	6%	2.8% (required)	1.0% (required)
$\langle m_\nu \rangle$ sensitivity	500 meV	80 meV	9 meV
Feature	Cooling CaF ₂ Low BG	Cooling CaF ₂ Low BG Massive ⁴⁸ Ca DH \Rightarrow IH	Massive ⁴⁸ Ca Bolometer IH \Rightarrow NH



濃縮 と ボロメータ技術により低質量領域へ挑む





Osaka Univ.



Osaka RCNP



Fukui Univ.



Tokushima Univ.



Osaka Sangyo Univ.



Tsukuba Univ.



Saga Univ.



Wakasa Energy Center



まとめ

- CANDLES III 実験
 - ^{48}Ca を用いた二重ベータ崩壊探索実験
 - 神岡鉱山内, 東京大学宇宙線研共同利用施設 Lab-D
 - 2016 年度よりアップグレードした測定器で観測継続中
- 二重ベータ崩壊観測
 - $T_{0\nu\beta\beta}^{1/2}$ limit on ^{48}Ca : 6.2×10^{22} yr (sensitivity 3.6×10^{22} yr)
 - ^{48}Ca における最高感度
 - さらに3.5倍以上の統計を追加済み & 論文執筆中
- 将来計画
 - 濃縮とポロメータを用いた高感度化
- 共同利用研究経費：15万円
 - 利用用途：旅費 神岡 \leftrightarrow 各大学 (大阪, 福井, 徳島)

preliminary