

^{48}Ca の二重ベータ崩壊の研究

研究代表者: 岸本忠史
CANDLES collaboration
大阪大学、福井大学、徳島大学、
大阪産業大学、佐賀大学

梅原さおり

大阪大学核物理研究センター

umehara@rcnp.osaka-u.ac.jp

Candles
二重ベータ崩壊測定のためのCANDLESシステム
2015年: CANDLESシステムの低バックグラウンド化
--遮蔽システム導入作業中--



^{48}Ca の二重ベータ崩壊



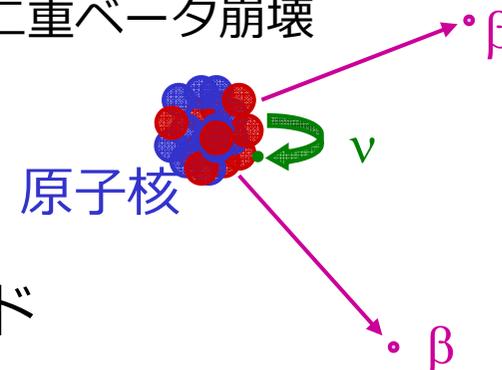
◆ ニュートリノ放出を伴わない二重ベータ崩壊 ($0\nu\beta\beta$)

◆ 未確認 $T_{1/2}^{0\nu\beta\beta} \geq 10^{25}$ 年

◆ KKDC claim

← KamLAND-Zen、EXO、...

ニュートリノを放出しない
二重ベータ崩壊



◆ ^{48}Ca

◆ 高いQ値(4.27MeV) → 低バックグラウンド

◆ $0\nu\beta\beta$ 信号=Q値にピーク

◆ 低い同位体比(0.187%) → 濃縮

◆ CaF_2 を用いた ^{48}Ca の二重ベータ崩壊

◆ CANDLES システム

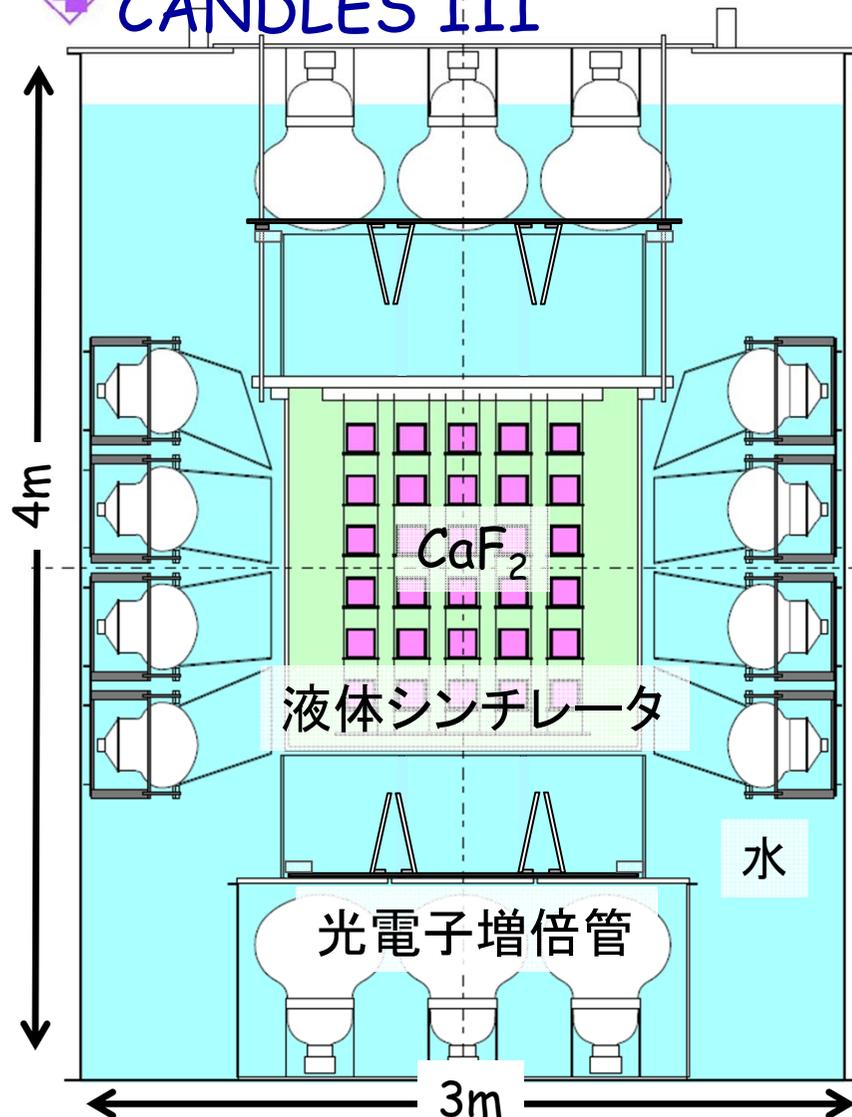


CANDLES III



CANDLES at Kamioka observatory

CANDLES III



❖ CaF_2 シンチレータ ($\text{CaF}_2(\text{pure})$)
305 kg (96個 \times 3.2kg)
 ^{48}Ca : 350g
波形時定数 $\sim 1\mu\text{sec}$

❖ 液体シンチレータ (LS)
全方向ベトー検出器
体積: 2m^3
波形時定数 \sim 数10nsec
→ 低バックグラウンド化

❖ 大型光電子増倍管
13inch PMT \times 48
20inch PMT \times 14

❖ ライトパイプ
集光効率改善のため

梅原さおり、2015年12月18日、宇宙線研究所成果報告会



CANDLES III

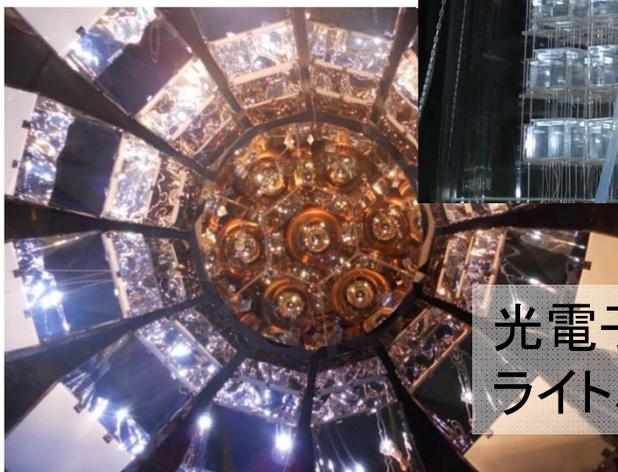
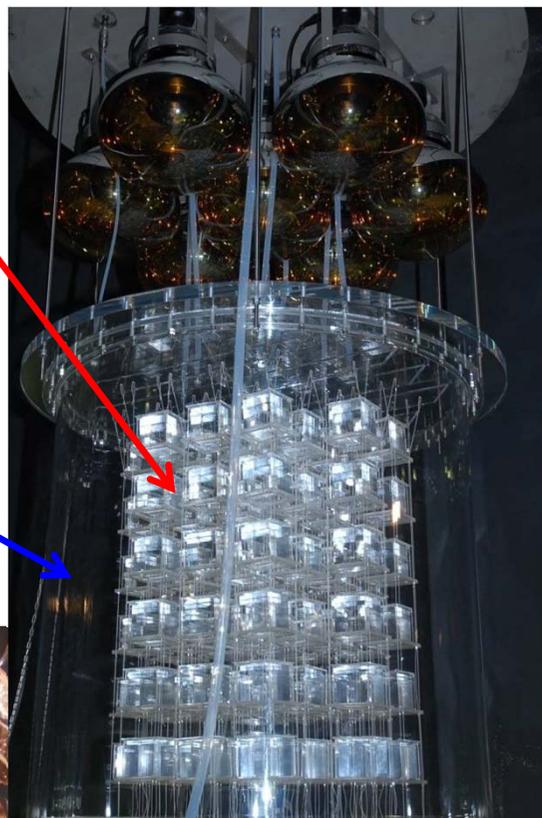


CANDLES at Kamioka underground laboratory

CANDLES III

CaF₂ 結晶
(305kg)

液体シンチレータ
タンク(2m³)



光電子増倍管と
ライトパイプ

CaF₂ シンチレータ (CaF₂(pure))
305 kg (96個 × 3.2kg)
⁴⁸Ca : 350g
波形時定数 ~ 1μsec

液体シンチレータ (LS)
全方向ベトー検出器
体積: 2m³
波形時定数 ~ 数10nsec

大型光電子増倍管
13inch PMT × 48
20inch PMT × 14

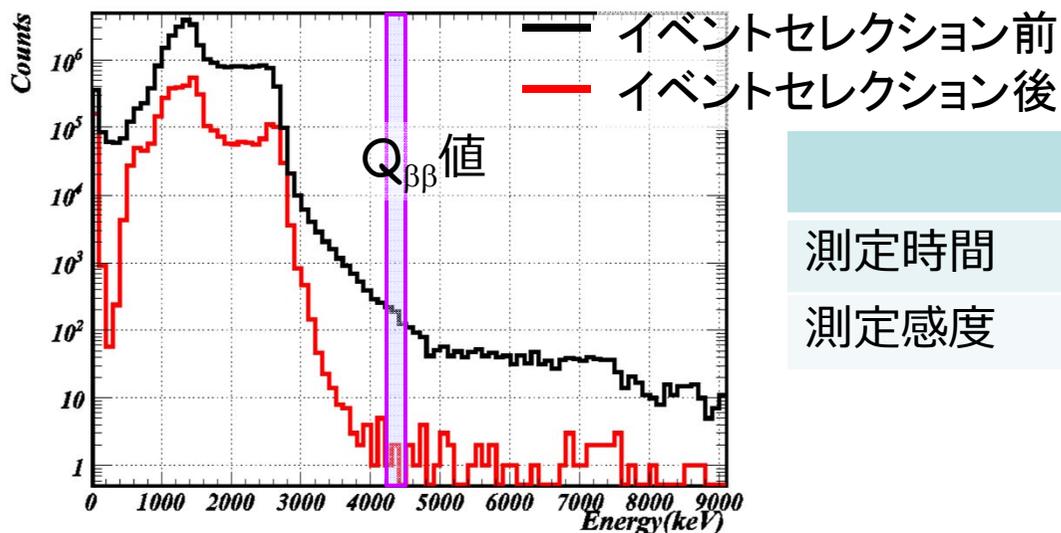
ライトパイプ
集光効率改善のため

梅原さおり、2015年12月18日、宇宙線研究所成果報告会

エネルギースペクトル

測定結果: テストラン

エネルギースペクトル
(不純物の多い結晶は除く)



2013年データ

測定時間	4987 kg · days
測定感度	0.8×10^{22} 年

* 2013年のデータ使用
性能改善のための
冷却システム導入
磁気補償コイル導入
DAQ更新
の前のデータ。

感度を上げるための課題

- ・ Q 値付近に見えている事象を減らす
中性子捕獲からの γ 線量を見積もる



中性子捕獲からの γ 線



中性子線源(^{252}Cf)を検出器・岩盤に照射: Fe, Ni, Siなどによる中性子捕獲



^{252}Cf 測定と通常測定のエネルギースペクトルを比較

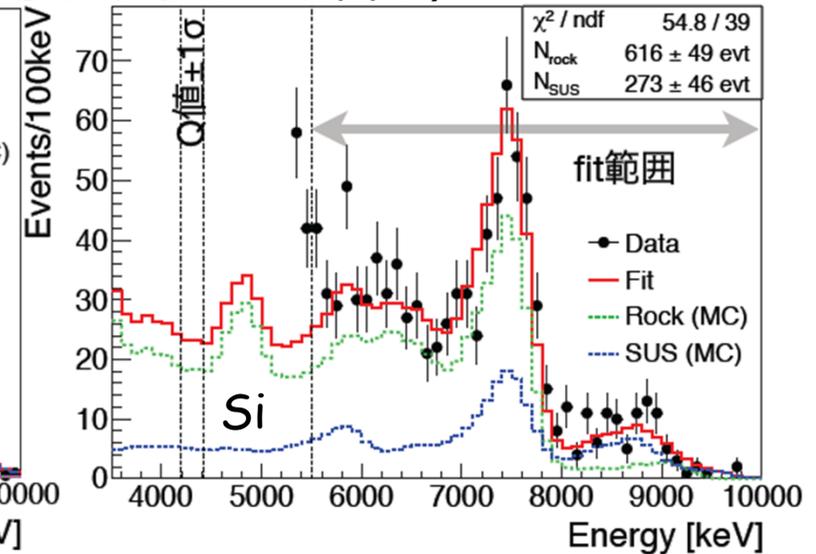
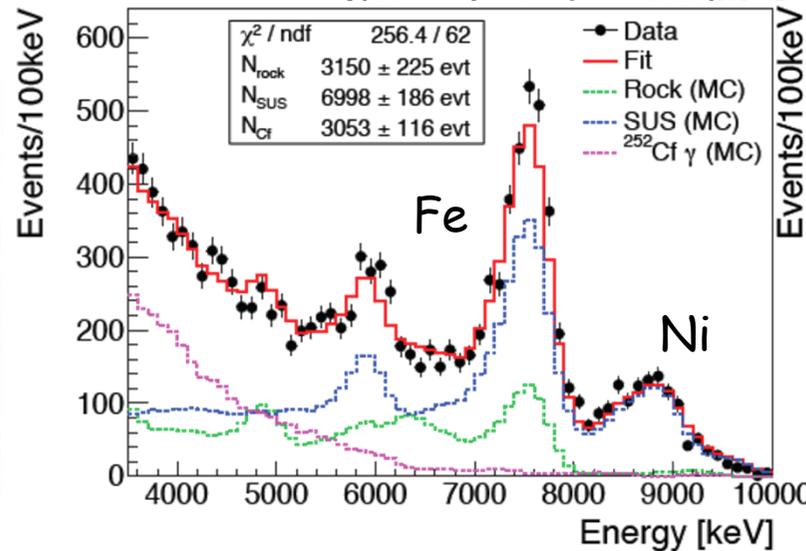
エネルギースペクトル

^{252}Cf 測定 (3時間)

通常測定 (88日)

線源設置の様子

(低エネルギーLS信号があるものを含む)

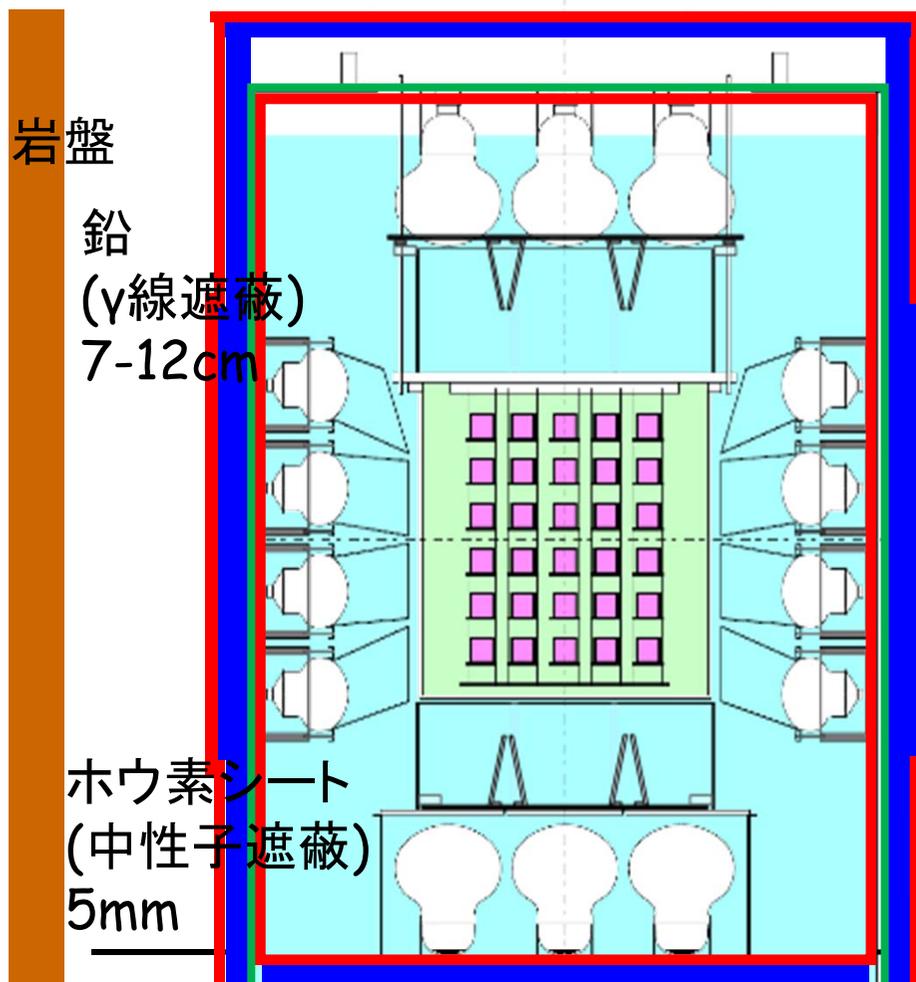


高エネルギー領域: ステンレス・岩盤での(n, γ)反応でスペクトルを再現した。
→予想される事象量の見積もり&必要な遮蔽材の見積もり

2015年:中性子捕獲 γ 線遮蔽

CANDLES IIIシールド

CANDLES IIIシールド概念図



- CANDLESタンク部分
- 鉛シールド(γ 線遮蔽)
- ホウ素含有シート(中性子遮蔽)

- ✦ 遮蔽材：1/100に低減
 - ・岩盤で吸収された中性子からの γ 線を止めるための鉛(7 ~ 12 cm) BG量 ~1/120
 - ・CANDLESタンク(SUS)で中性子を吸収させないためのホウ素(中性子遮蔽剤) ~ 5 mm BG量 ~1/30

遮蔽システム構築

タンク側面内外・底面・上面に遮蔽体
バックグラウンド量を~1/100へ。

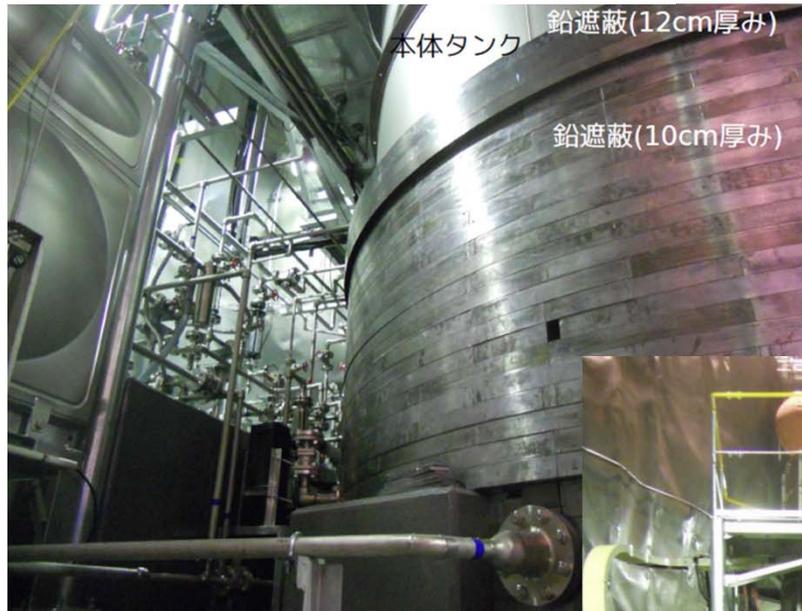
ホウ素-鉛-SUS(タンク)-ホウ素-水

梅原さおり、2015年12月18日、宇宙線研究所成果報告会

シールド構築の現状 (側面鉛シールド構築)

タンク側面遮蔽体:鉛、中性子遮蔽シート

タンク側面のシールド構築途中

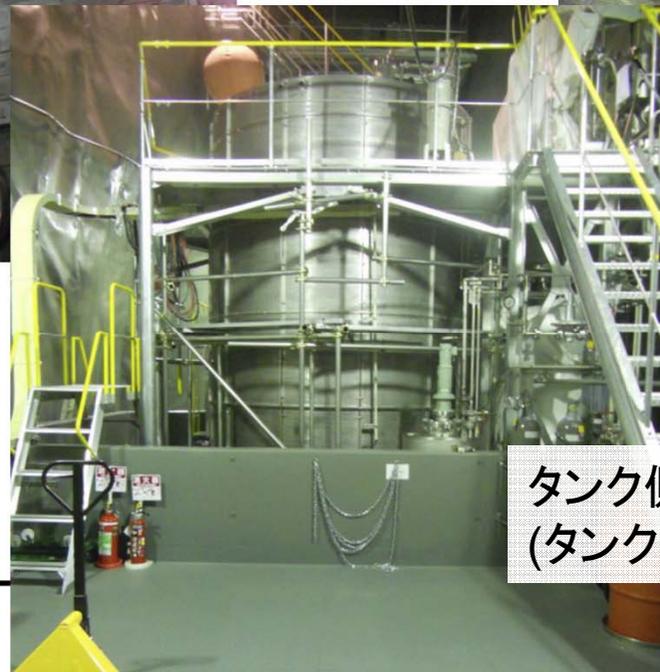


タンク上面
(タンク側面のシールド構築終了)



鉛

タンク側面
(タンク側面のシールド構築終了)



2月18日、宇宙線研究所成果報告会



シールド構築の現状（内部解体）

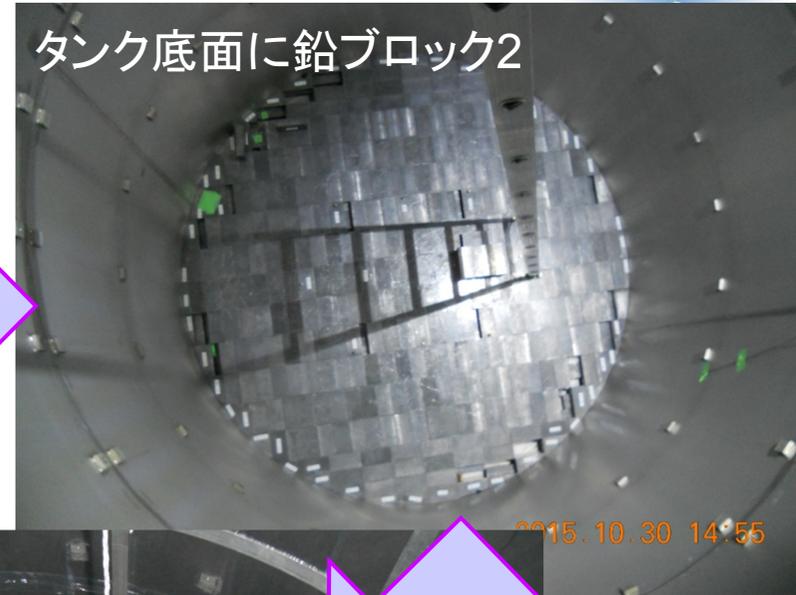




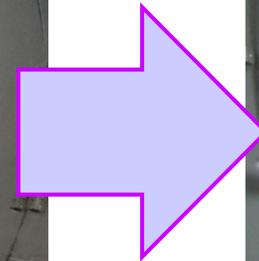
シールド構築の現状(内部)



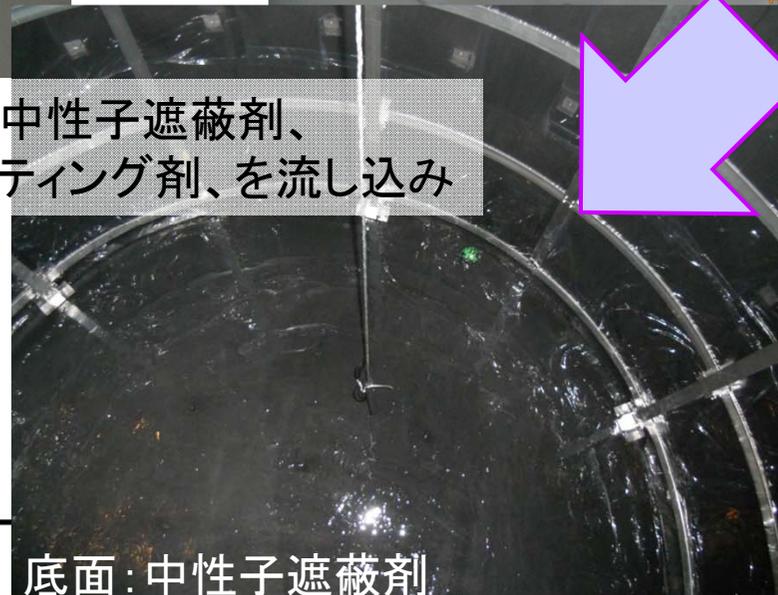
タンク底面に鉛ブロック1
: 10x20x5cm³の鉛ブロックを配置



タンク底面に鉛ブロック2



底面: 液体状の中性子遮蔽剤、
表面コーティング剤、を流し込み



底面: 中性子遮蔽剤

2015.10.30 14:55

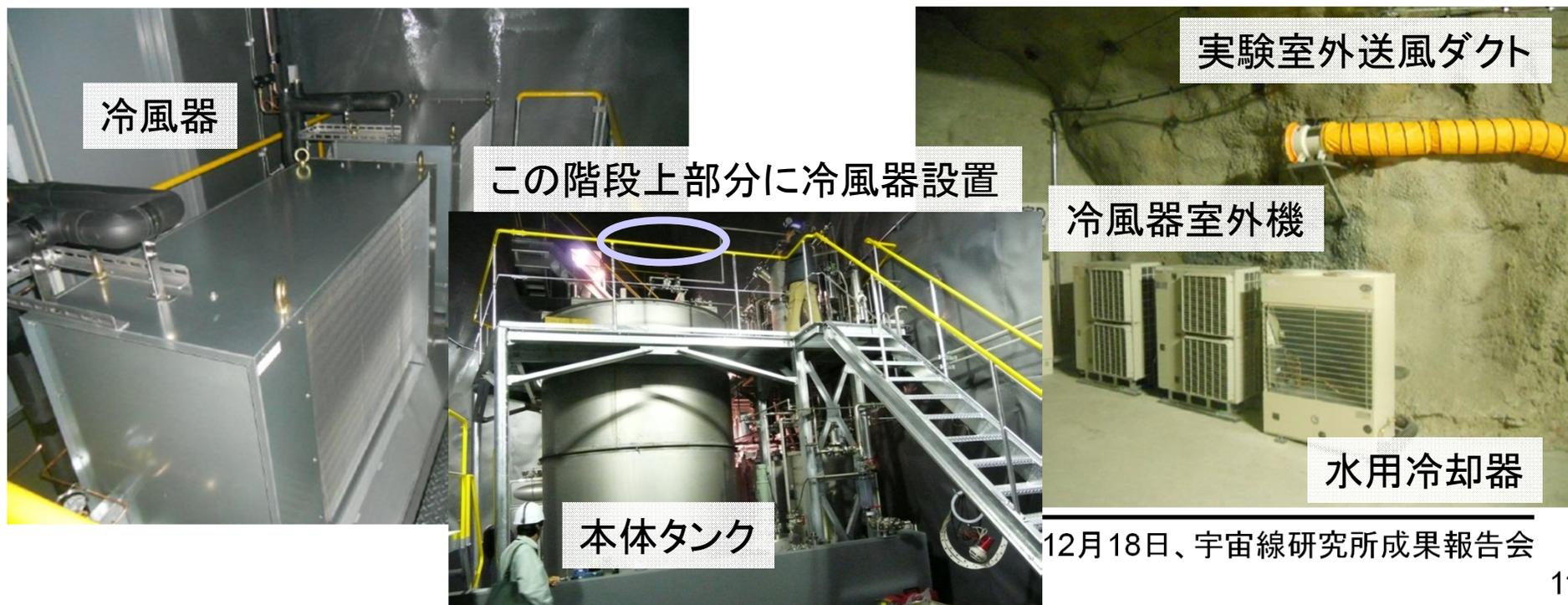


- 遮蔽システム構築: 今後
- 上面鉛遮蔽体
- 側面内部中性子遮蔽シート
- 上面外側中性子遮蔽シート

検出器冷却・温度安定化装置導入

検出器の冷却: エネルギー分解能・波形弁別能の改善

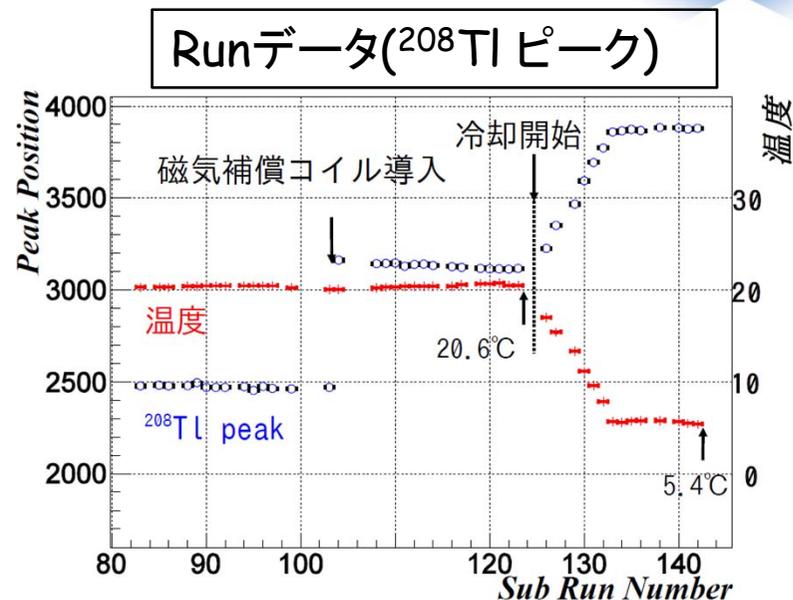
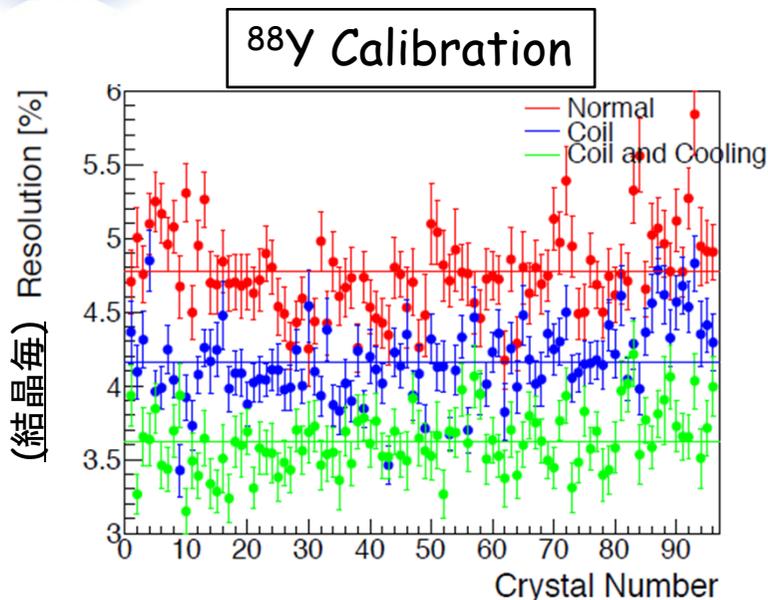
- ❖ CaF_2 は冷却すると、発光量が増える
 - ❖ エネルギー分解能改善、波形弁別能改善
- ❖ 実験室全体を冷却して温度コントロール: 発光量を安定化
 - ❖ 到達温度: 室温 2°C 、検出器 3°C 、温度変動 $\pm 0.1^\circ\text{C}$
- ❖ 昨年インストール終了、今年性能評価



12月18日、宇宙線研究所成果報告会

エネルギー分解能の改善

冷却システム・地磁気補償コイル導入



それぞれの改良で期待していた量の改善 光量: ~ 1000 p.e./MeV

	^{88}Y のピーク相対値	^{88}Y の分解能(σ)
改善前	1	4.8%
コイル後	1.23	4.2%
冷却後	1.58	3.6%

予定発光量達成
エネルギー分解能改善



まとめ



◆ 2015年：CANDLES装置に改造

◆ 遮蔽システムの導入

◆ 側面鉛遮蔽体、側面外側中性子遮蔽シート：終了

◆ 底面鉛遮蔽体、底面中性子遮蔽剤：終了

◆ 冷却システムの性能評価

◆ 今後

◆ タンク上部遮蔽体、側面内部中性子遮蔽シート

◆ PMT取付け他

◆ 2016年に測定再開

◆ 共同利用研究経費：15万円

◆ 旅費：神岡⇔各大学(大阪大学・福井大学・徳島大学)