

B11 : ^{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

LIS Collaboration

- 二重ベータ崩壊測定装置 : CANDLES III
- 次世代二重ベータ崩壊測定装置CANDLES開発

CANDLES

@Kamioka Observatory

- ^{48}Ca 二重ベータ崩壊測定用複合型検出器
 - CaF_2 シンチレータ: 305 kg (96個 \times 3.2kg)
 - 液体シンチレータ (LS): 全方向ベータ検出器
 - 大型光電子増倍管

NIM A1069, 169982(2024),
CANDLES Collaboration,
CANDLES-III detector: Low-background
spectrometer for studying neutrino-less double
decay of ^{48}Ca

結果

130日の測定結果

高純度 $^{21}\text{CaF}_2$ の結果

| | 結果 |
|-----------------------|-----------------------------|
| $0\nu\beta\beta$ 検出効率 | 0.36($^{21}\text{CaF}_2$) |
| 事象数(exp) | 0 |
| 予想されるBG量 | 1.02 |
| $0\nu\beta\beta$ 半減期 | $>5.6 \times 10^{22}$ year |
| 測定感度 | 2.8×10^{22} year |

Phys Rev D, 103, 092008 (2021)

* 先行検出器ELEGANT VI

測定時間: 4947 kg·day(2年強)

半減期 : $>5.8 \times 10^{22}$ 年

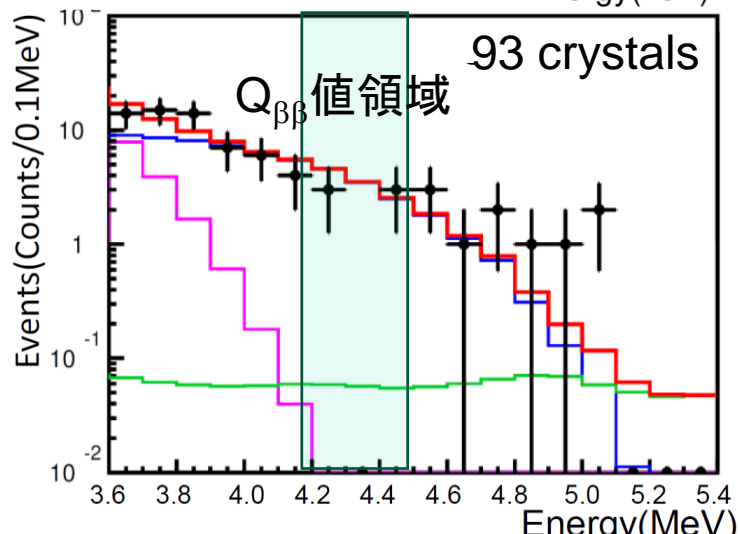
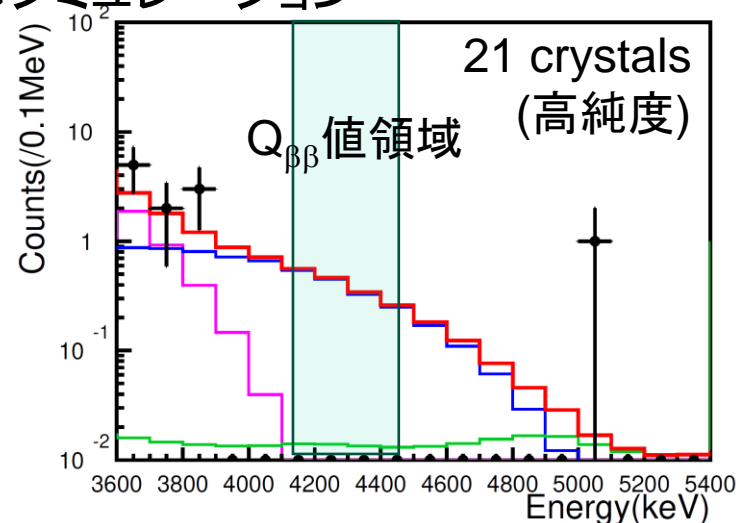
新規解析導入を目指す

CaF_2 結晶内部の放射性不純物がBG源

^{208}Tl 、 $^{212}\text{BiPo}$ 除去の新しい解析

- データ
- 全Simデータ
- 中性子捕獲 γ 線
- 結晶内部不純物
- $2\nu\beta\beta$

エネルギースペクトルと
BGシミュレーション



解析手法の改善

□ バックグラウンドフリー測定を目指して

- 測定時間が約6倍、結晶数が約4倍

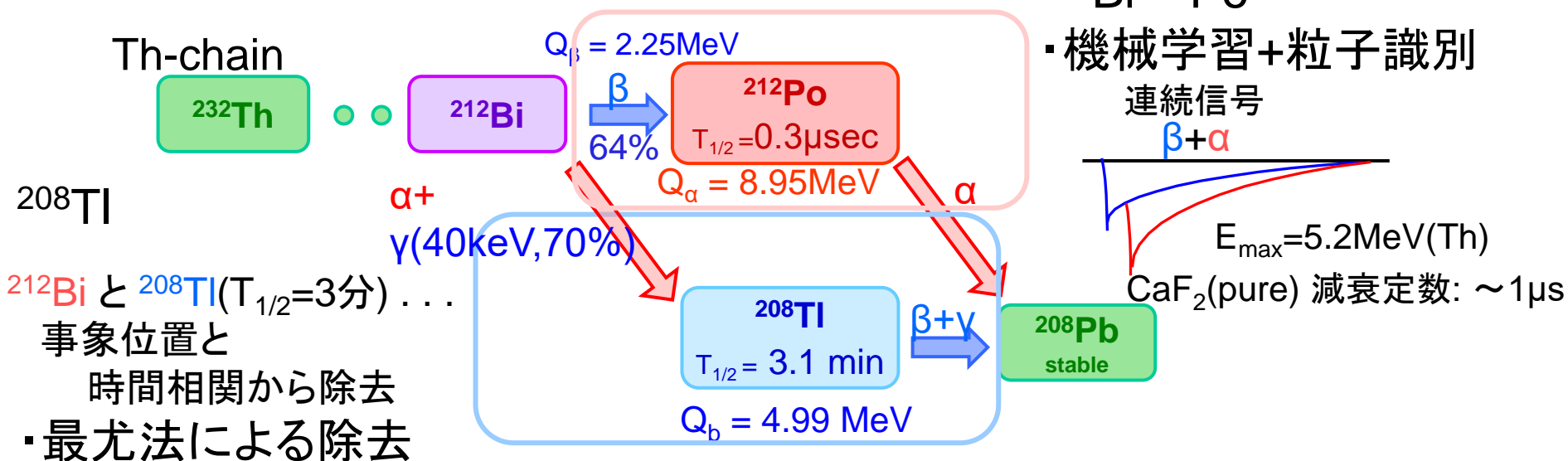
- バックグラウンド除去解析の改善

- $^{212}\text{Bi}/^{212}\text{Po}$ (連続信号) 除去：終了

- 新たに機械学習を導入+粒子識別手法

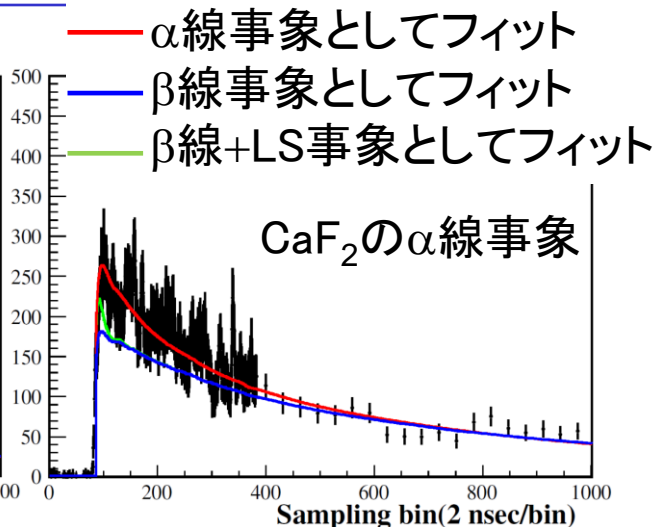
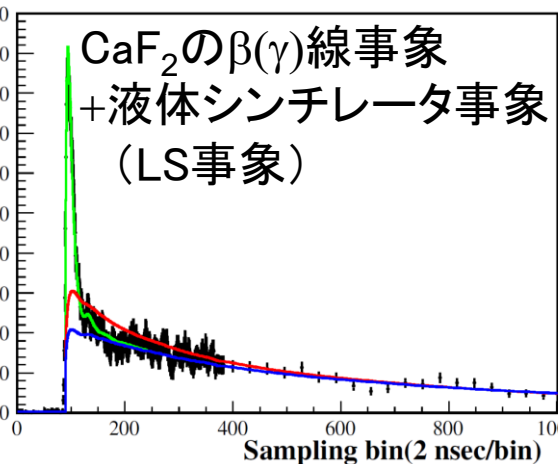
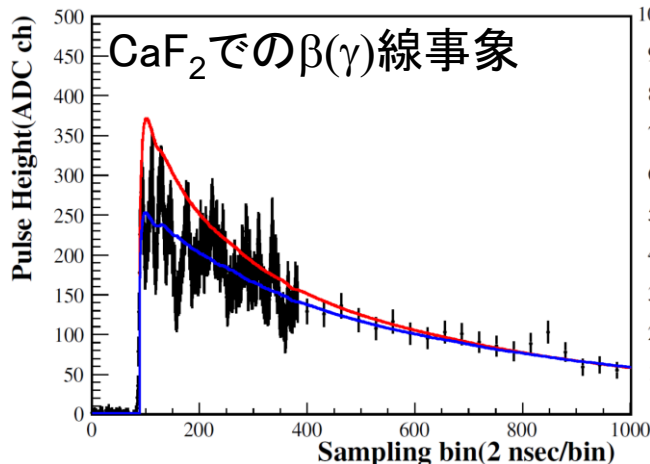
- ^{208}Tl 除去：シミュレーションによる波形情報の再現

- 先行 ^{212}Bi α 崩壊事象を最尤法により識別(位置情報+波形情報(粒子識別)+時間情報)



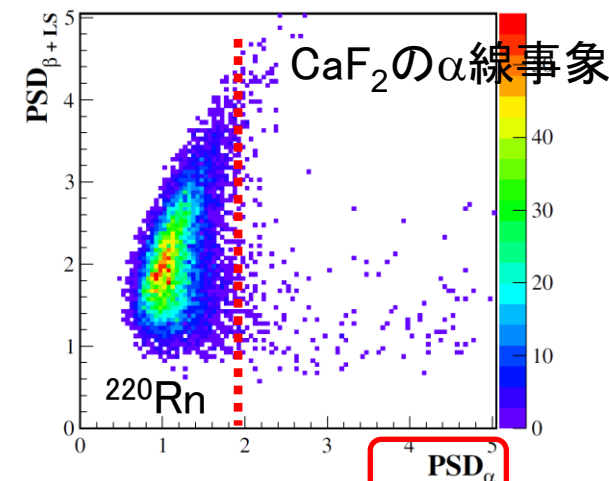
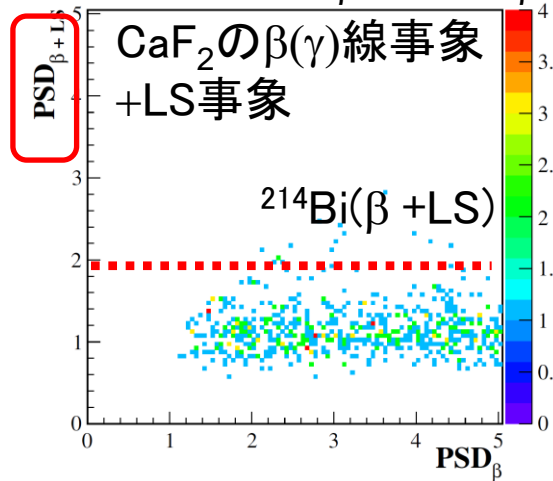
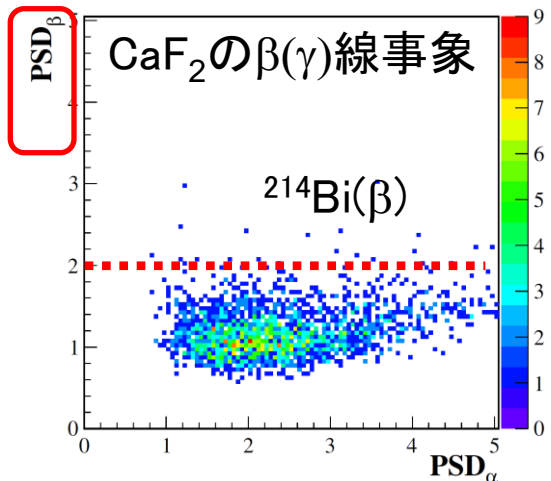
波形解析

□ CANDLESで観測される波形



- α線事象としてフィット
- β線事象としてフィット
- β線+LS事象としてフィット

□ 波形解析に用いるパラメータ: PSD_β、PSD_{β+LS}、PSD_α



最尤法に波形情報を組み込む

→ 波形(PSD_β、PSD_{β+LS}、PSD_α)の再現を目指す。

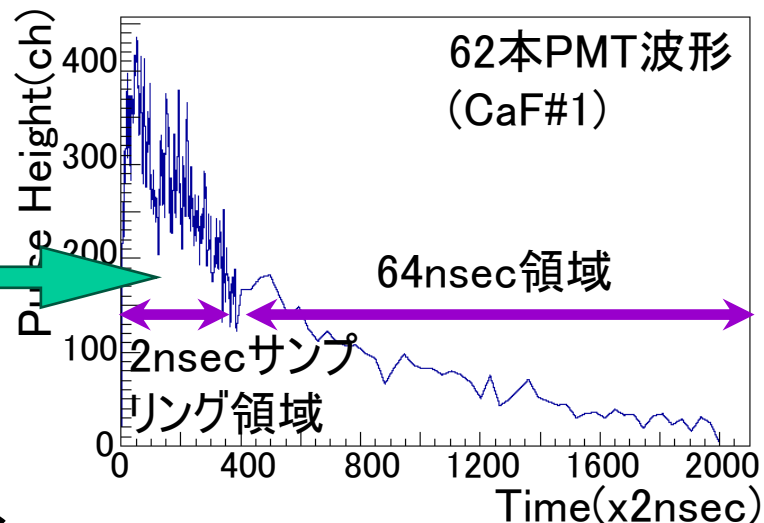
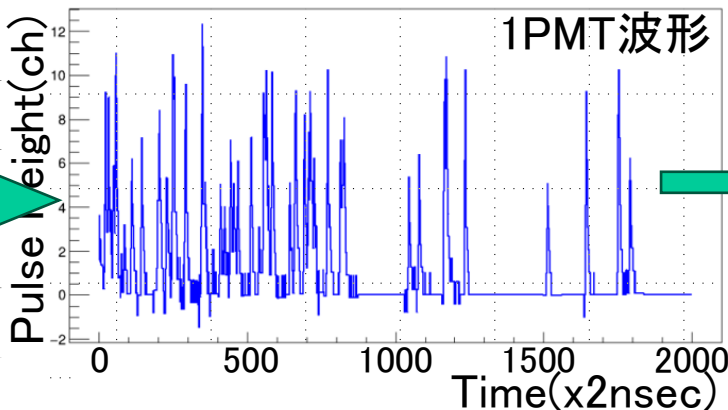
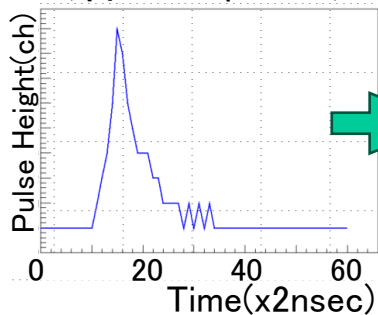
シミュレーションによる波形の作成

2024年秋物理学会、
高草元、谷川秀憲

1p.e.波形と時間分布から作成

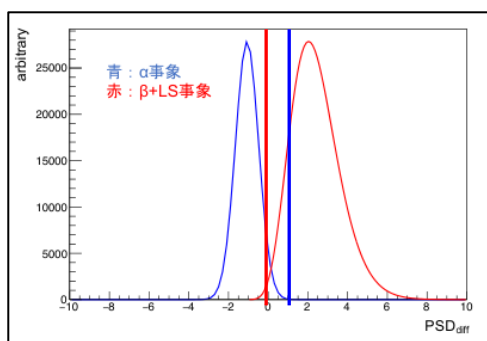
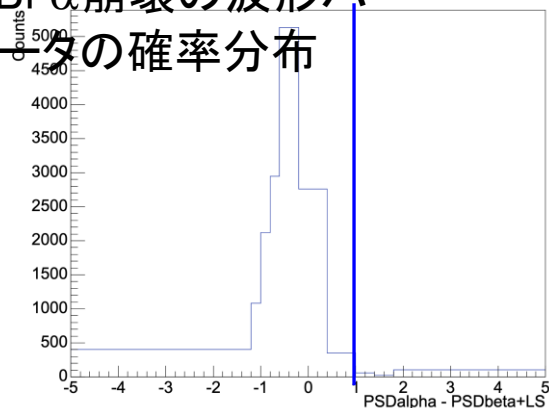
1p.e.波形

(各PMT種ごと)

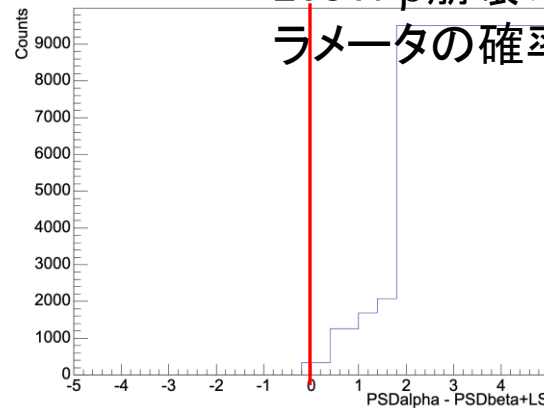


作製した波形から確率分布を作成

^{212}Bi α 崩壊の波形パラメータの確率分布



^{208}Tl β 崩壊の波形パラメータの確率分布



最尤法に波形情報を組み込むための確率分布まで確認済み。
→おおむね再現できている。詳細評価と最尤法最適化が進行中。

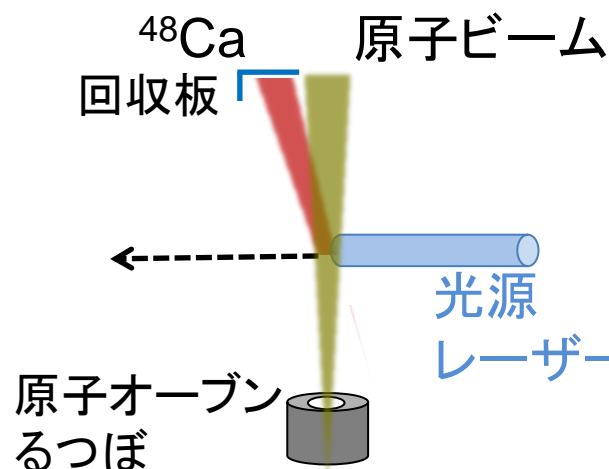
検出器開発：濃縮

□ カルシウム48

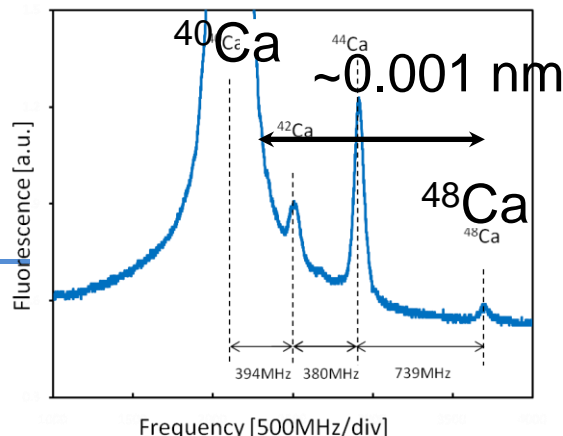
- 天然同位体比が低い:0.19 %
- 濃縮によって感度向上が可能

□ レーザー濃縮手法を開発

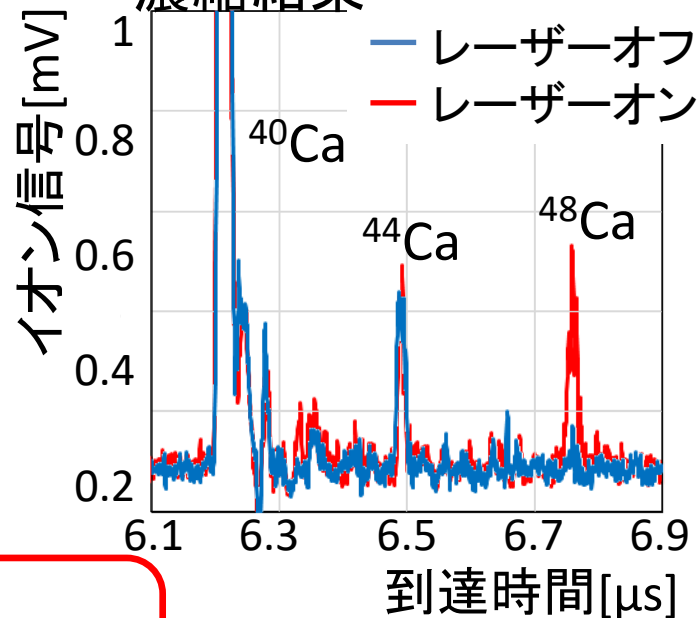
装置概略



Caの吸収波長スペクトル



濃縮結果



- ・偏向法による同位体濃縮を確認
- 波長精度のよい高出力レーザーが必要
- カルシウムビーム増加が必要

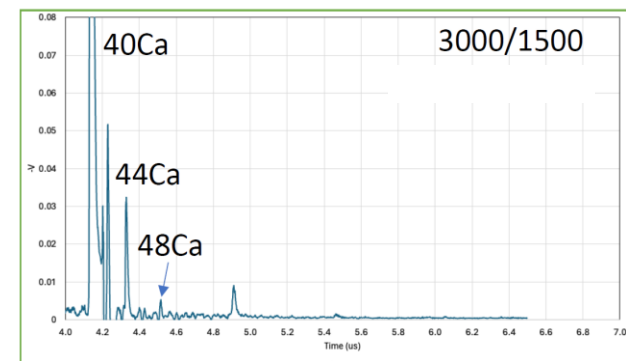
濃縮メインチェンバー

実機基本システムの構築

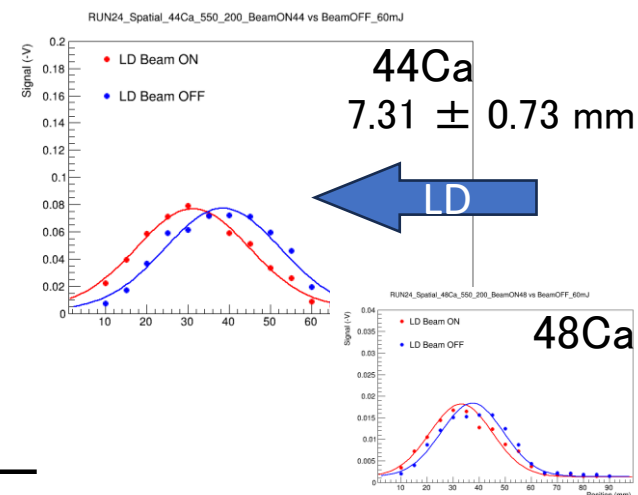
大阪大学RCNP、福井大学
京都大学化研、レーザー総研
大阪大学大学院工学研究科

2024年秋物理学会、
Anawat Rittirong

Ca モニタ(TOF system)



Ca空間分布(0.1W使用)



レーザーアレイシステム

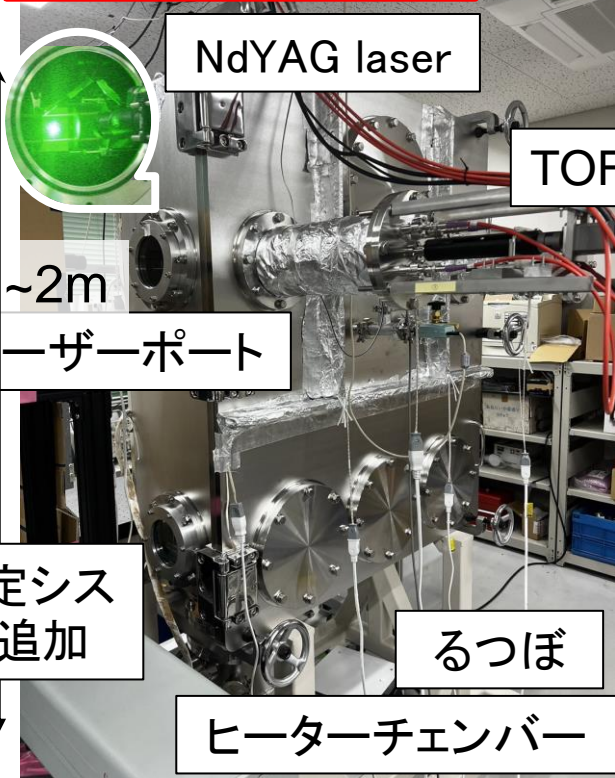


<0.0001 nm 幅

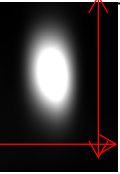
80 mW x 24 = 2 W



メインチェンバー



蛍光測定システムを追加

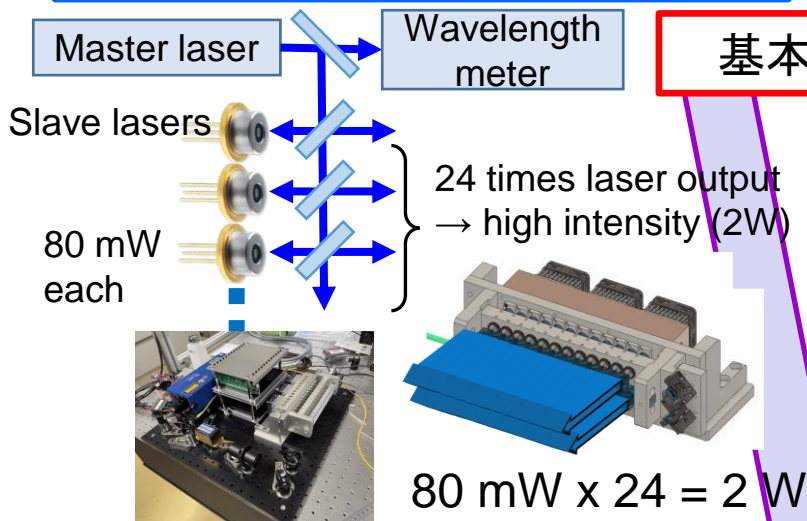


メインチェンバー: 6レーザー & 3ヒーター
現在は1レーザー & 1ヒーター

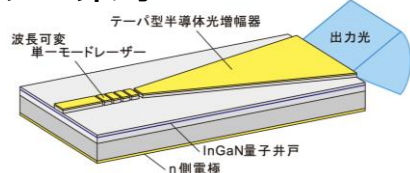
検出器開発：同位体濃縮

大阪大学RCNP、福井大学
京都大学化研、レーザー総研
大阪大学大学院工学研究科

集積高出力レーザーシステム

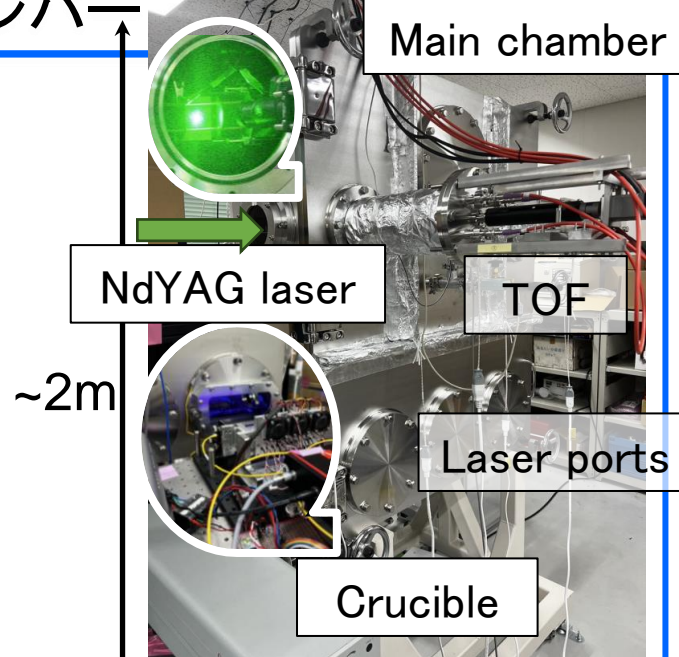


高出力レーザー素子



他、ラビ振動によるレーザー再利用システム

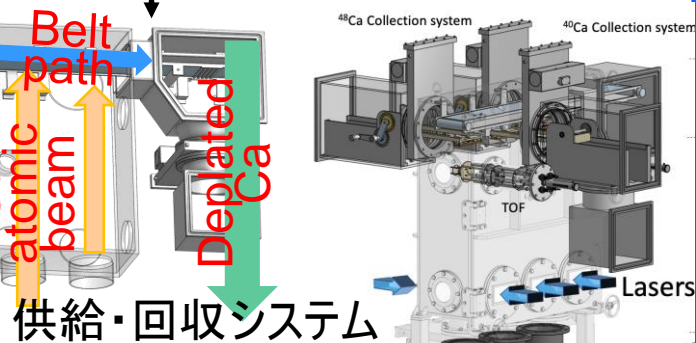
メインチェンバー



基本システムの構築

次のステップ：効率化

生産量の強化

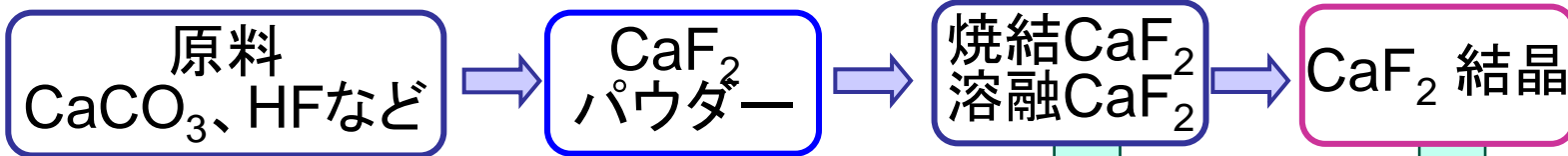


効率改善のためCaビーム安定化・平行化・高出力化等を進めている。

検出器開発：高純度CaF₂結晶

CaF₂結晶の製造過程

要求純度~μBq/kg
歩留まり~80%



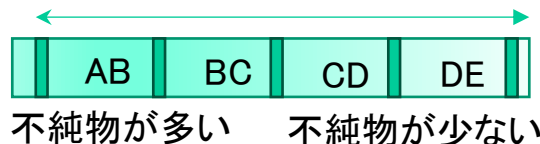
⁴⁸CaF₂結晶製造に向けた高純度化手法

樹脂法(再純化が可能)



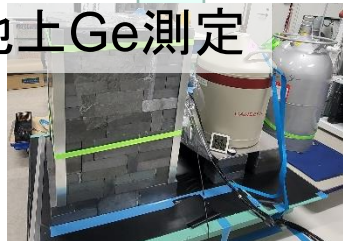
ウラン・トリウム吸着樹脂
塩化カルシウム水溶液等

偏析法(再純化が可能)



必要分析手法

地上Ge測定



数10mBq/kg感度

神岡Ge測定



数mBq/kg感度

ICP-MS+α線測定



数μBq/kg感度

α線測定



B3:放射能分析装置

まとめ

- B11 : ^{48}Ca の二重ベータ崩壊の測定
 - $0\nu\beta\beta+2\nu\beta\beta$ に適用する新解析手法開発
 - 並行して次期検出器開発
 - レーザー濃縮装置開発
 - 高純度結晶 : B3とも連携
 - Ge検出器を用いた低放射能分析
- 予算 : 査定額
 - 共同研究費22万円
 - 神岡への旅費として使用。
 - サポートありがとうございました。

* 来年度もよろしく申し上げます。