

# $^{48}\text{Ca}$ 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](mailto: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

- $^{48}\text{Ca}$ 二重ベータ崩壊測定用複合型検出器
  - $\text{CaF}_2$ シンチレータ: 305 kg (96個 × 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



# 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	$2.8 \times 10^{22}$ year

Phys Rev D, 103, 092008 (2021)

\* 先行検出器ELEGANT VI

測定時間: 4947 kg·day(2年強)

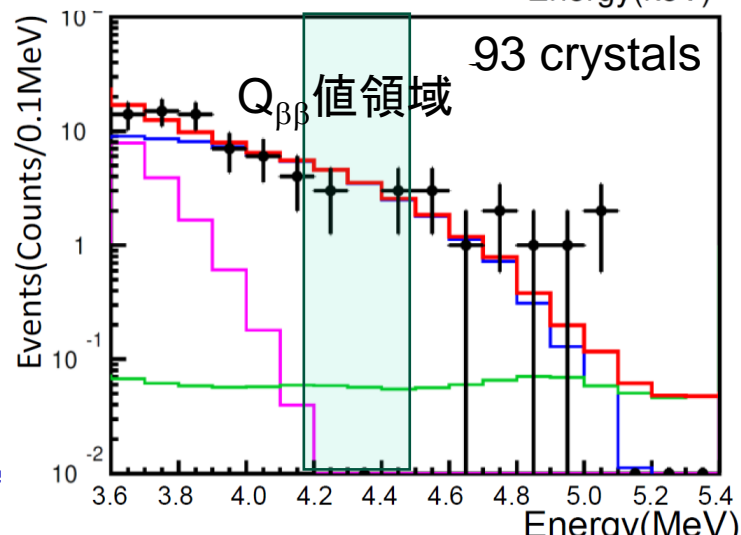
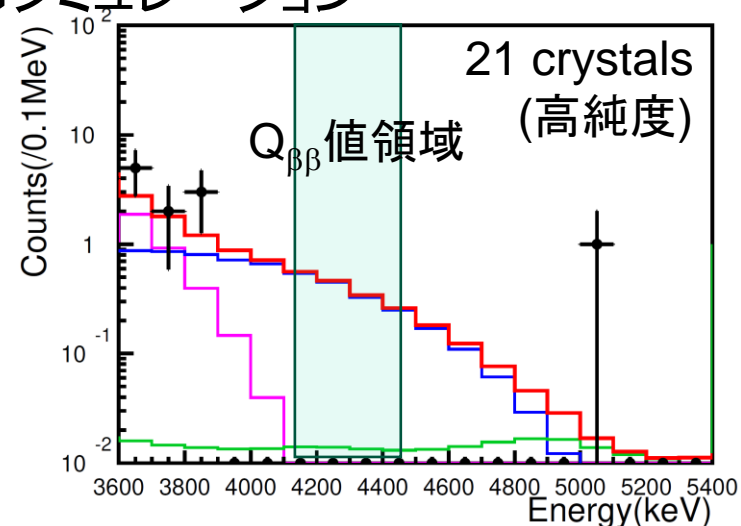
半減期 :  $>5.8 \times 10^{22}$  年

・新規データ解析導入中

・ $\text{CaF}_2$ 結晶内部の放射性不純物がBG源  
 $^{208}\text{Tl}$ 、 $^{212}\text{BiPo}$ 除去の新しい解析

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

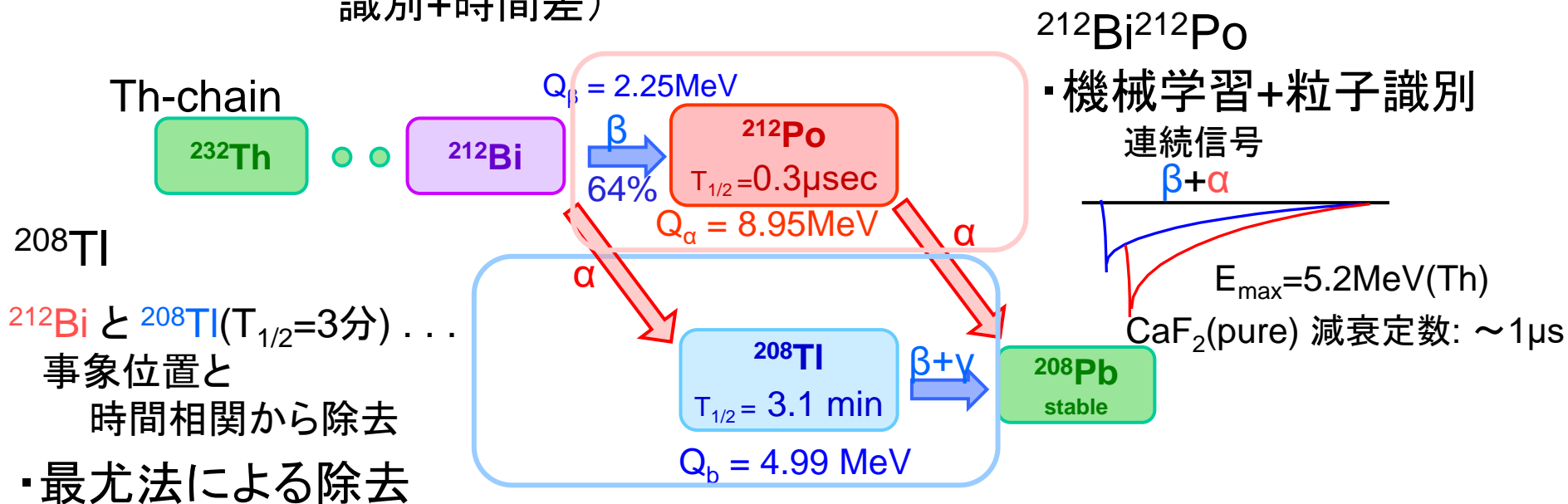
エネルギースペクトルと  
BGシミュレーション



# 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(130日+652日)が約6倍、結晶数が約4倍(不純物量は~10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
  - $^{208}\text{Tl}$  除去：進行中
    - 先行  $^{212}\text{Bi}$   $\alpha$  崩壊事象を最尤法により識別(位置情報+波形粒子識別+時間差)





# 2種の解析的 $^{212}\text{Bi}$ / $^{212}\text{Po}$ 除去(1)

## □ (1)機械学習による除去：時間差を利用

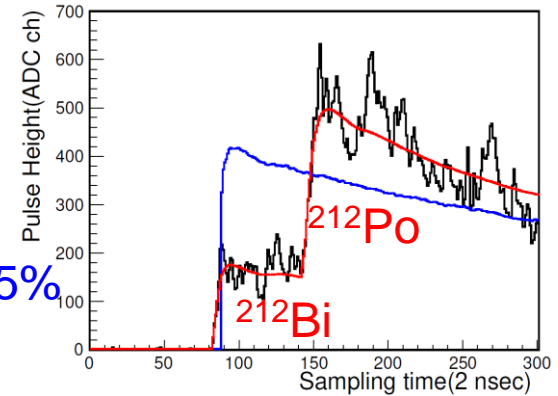
時間差~100nsecの波形例

—連続信号フィット

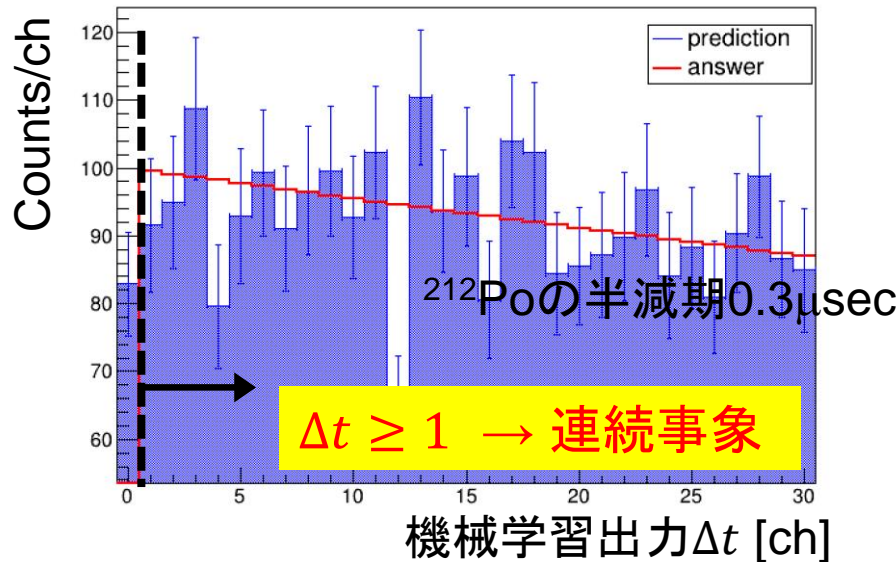
—シングル信号フィット

フィッティングによる除去効率 ~95%

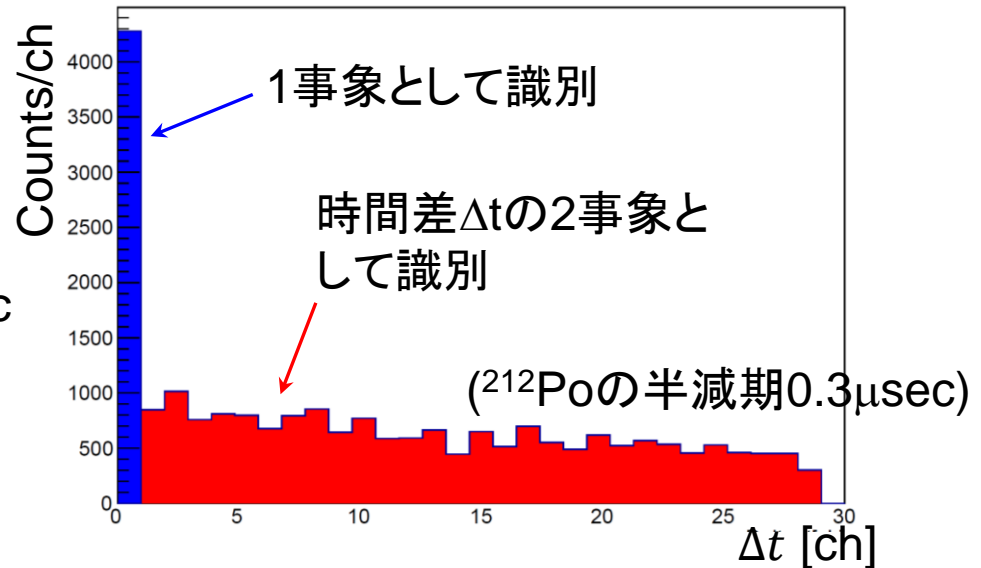
→要改善



疑似連続データに対する正解と  
機械学習の出力時間差分布



全データに対する機械学習の出力時間差分布



0νββエネルギー領域：

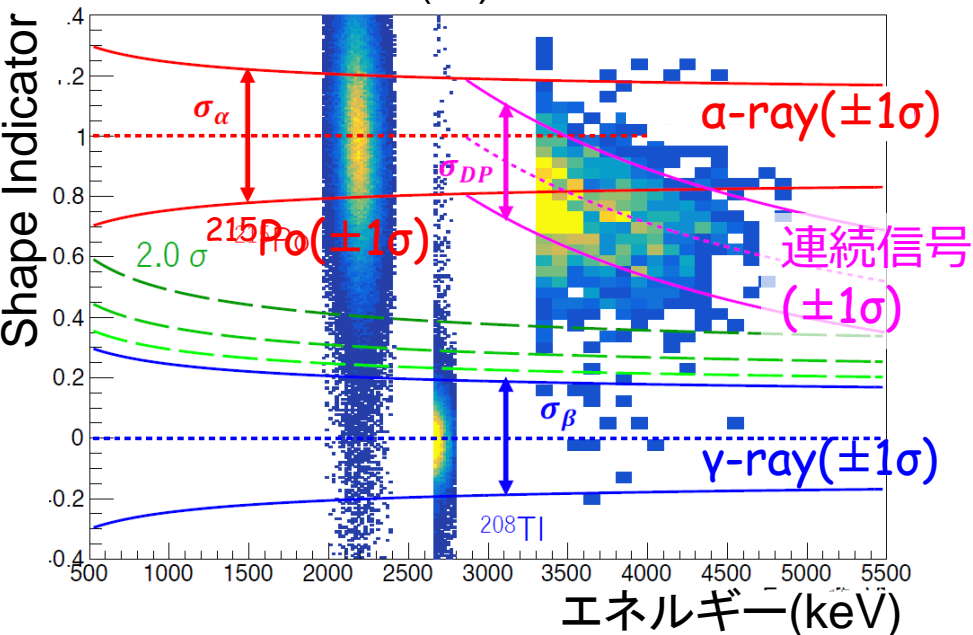
連続信号除去効率99.4%(結晶平均)、シングル信号効率99%

# 2種の解析的 $^{212}\text{Bi}$ / $^{212}\text{Po}$ 除去(2)

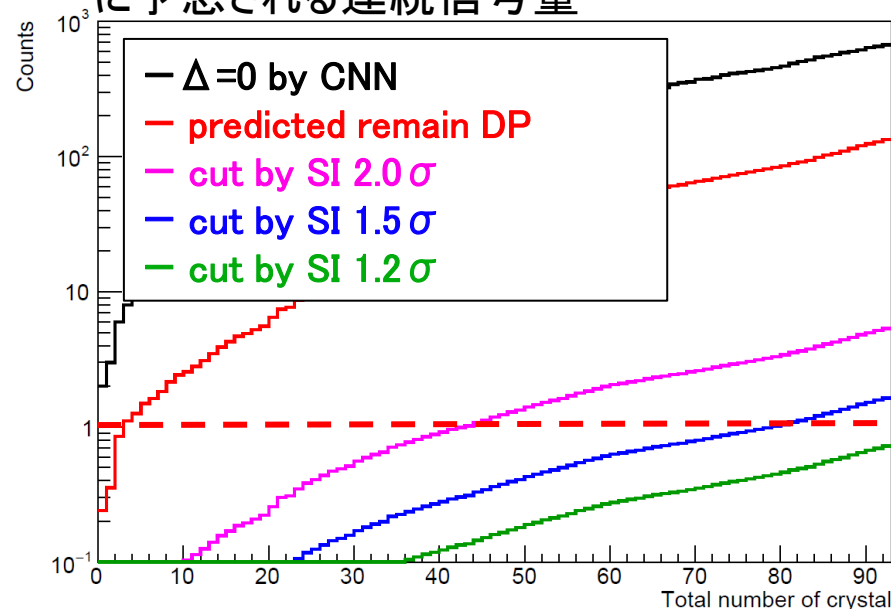
白井竜太(修士論文)

□ (2)粒子識別による除去： $\alpha$ 線と $\beta(\gamma)$ 線の波形の違いを利用

波形識別パラメータ(SI)の分布



2種の解析的 $^{212}\text{Bi}$ / $^{212}\text{Po}$ 除去適用後に予想される連続信号量



選択領域	1.2 $\sigma$	1.5 $\sigma$	2.0 $\sigma$
SP検出効率 [%]	88.5	93.3	97.7
連続信号除去効率 [%] ( $Q_{\beta\beta}$ )	99.5	98.9	96.3

1.2  $\sigma$  のカット → SP検出効率は89%

全期間におけるDP事象数を1以下に低減

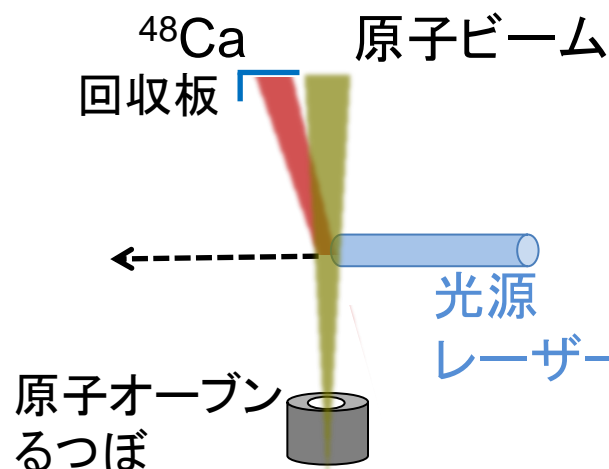
# 次世代検出器：濃縮

## □ カルシウム48

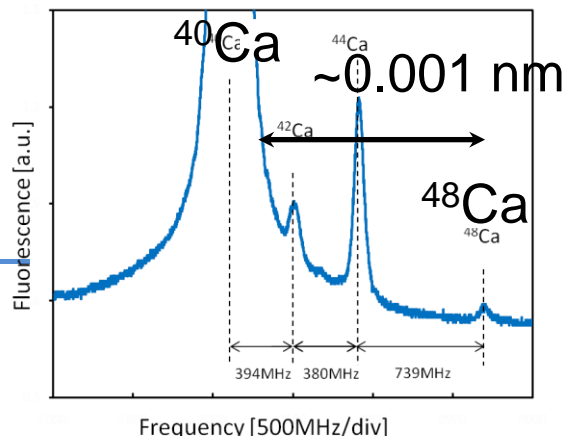
- 天然同位体比が低い:0.19 %
- 濃縮によって感度向上が可能

## □ レーザー濃縮手法を開発

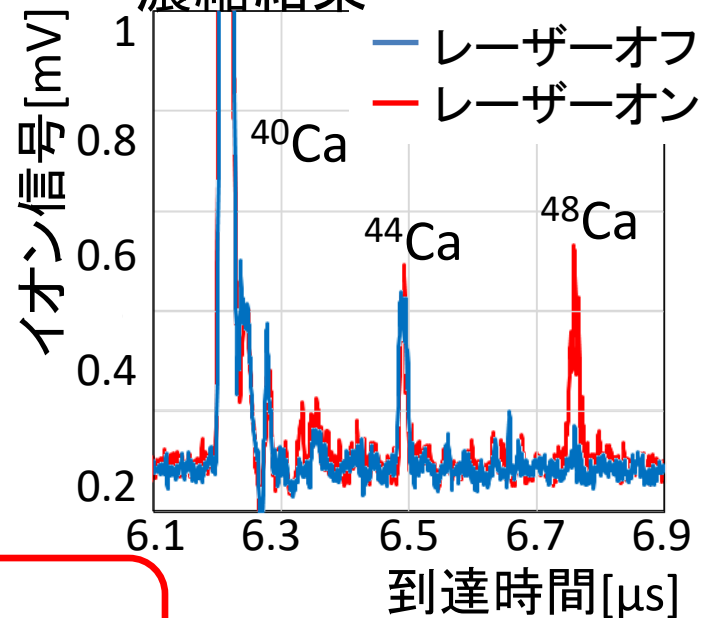
### 装置概略



### 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

# 次世代検出器：濃縮(レーザー)

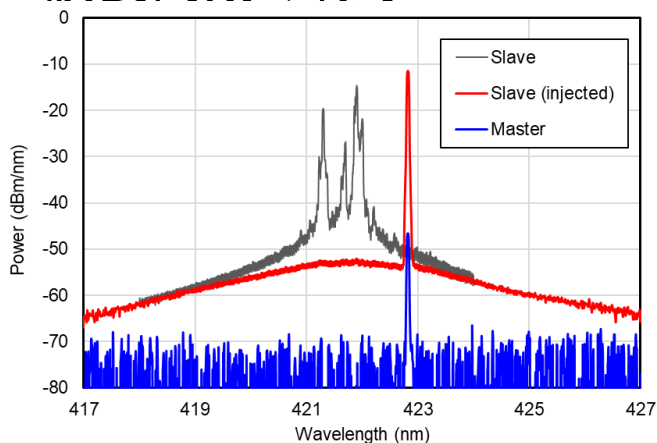
レーザー総研:宮永  
大阪大レーザー研:時田

□ 注入同期システム：安価にレーザー出力を上げる

■ 多数のスレーブレーザーの波長

■ 一つのマスターレーザーを用いて合わせる

波長同期の様子

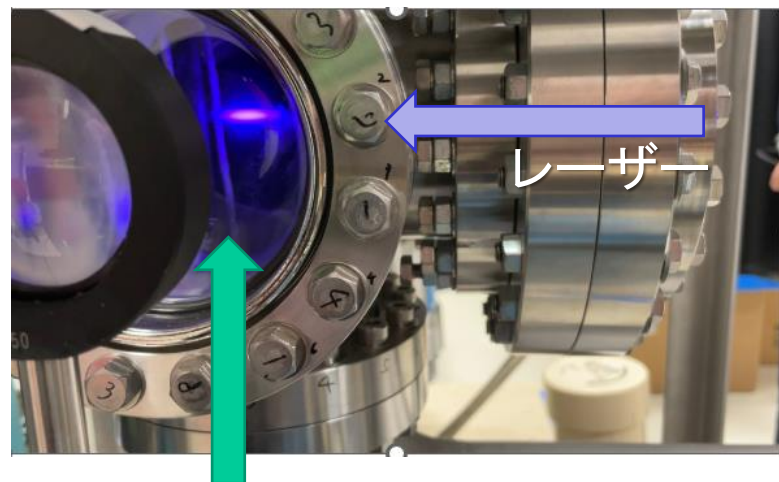


- マスターレーザー
- スレーブレーザー
- スレーブレーザー(同期)

□ レーザーシステム

■ 注入同期レーザー

レーザーカルシウム同期テスト



カルシウムビーム

注入同期システムによるレーザーを用いてカルシウム同期を確認



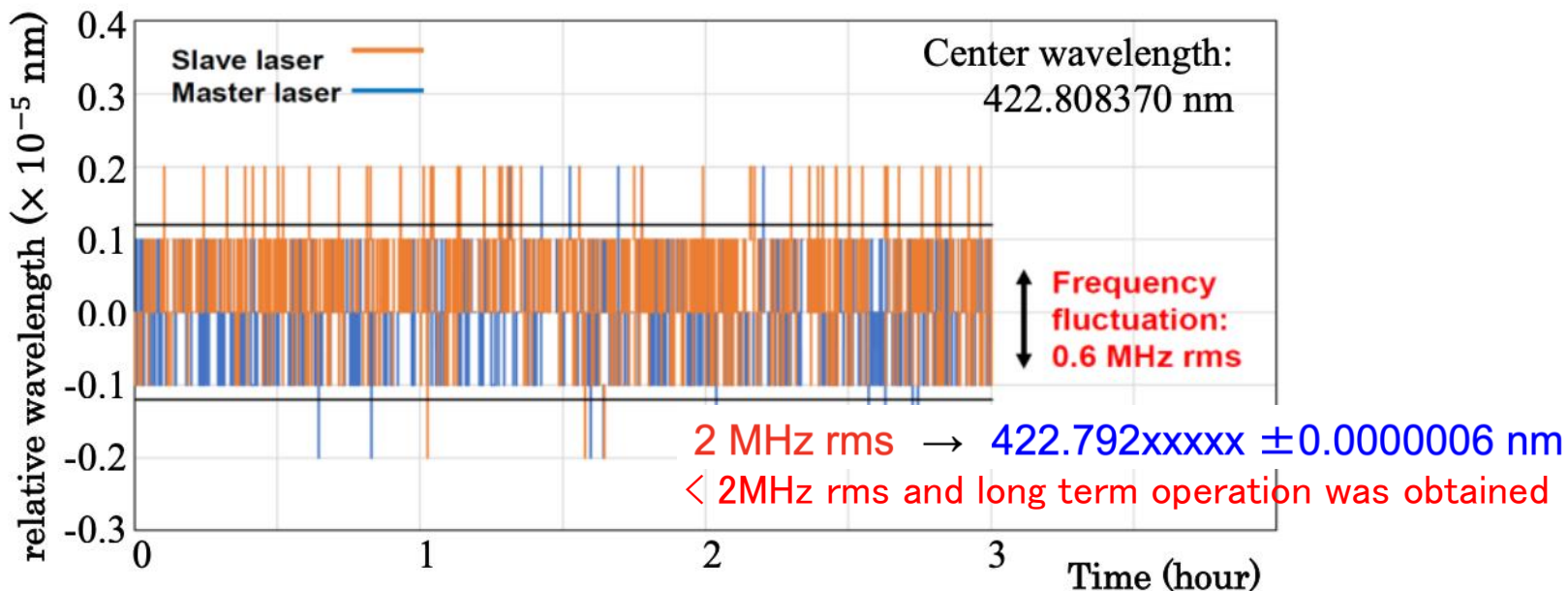
# 青色レーザー: 安定性

時田(京大化研)  
宮永(レーザー総研)

## □ 青色レーザーの安定性テスト

- PDH法による安定化
  - コントロール信号を各スレーブレーザーへ
  - 温度調整による波長コントロール

### 波長安定性テスト



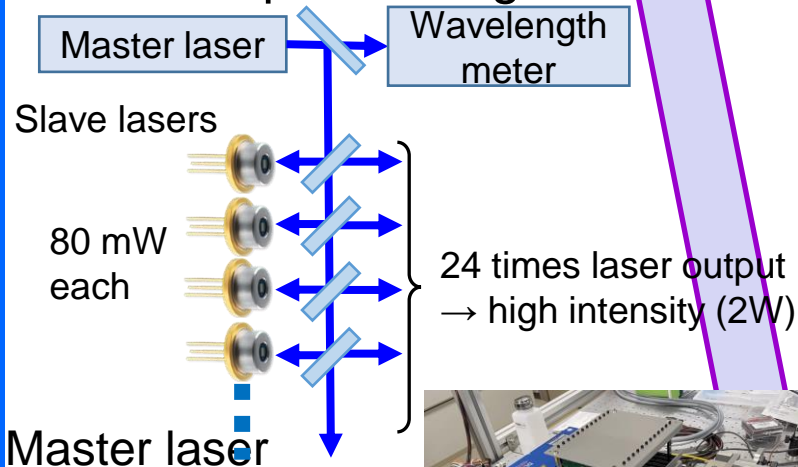
波長の安定コントロールを実現:  $\sim 2 \times 10^{-5}$  nm 幅

# レーザー濃縮システム

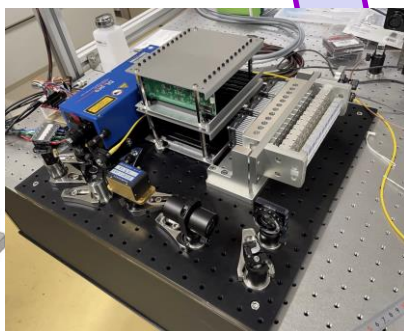
## 2Wレーザーと濃縮装置

Multiple laser array  
for 2W laser

Conceptual design



$$80 \text{ mW} \times 24 = 2 \text{ W}$$



Main chamber

チェンバー内部



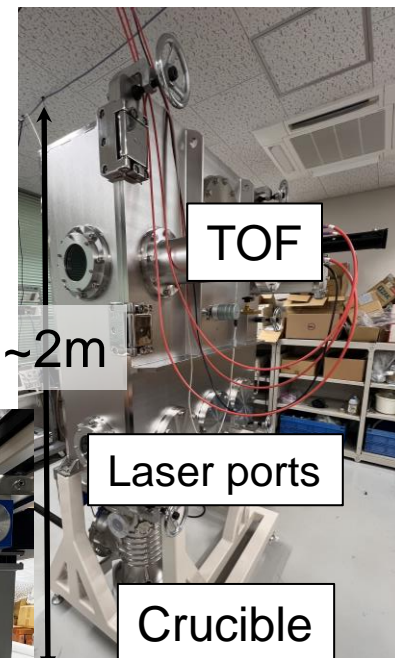
ヒーター  
チェンバー

~2m



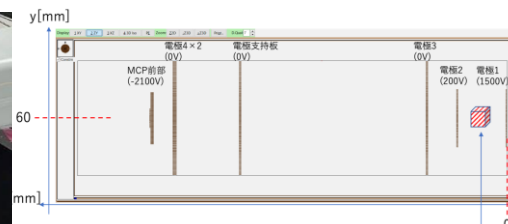
Laser ports

Crucible



TOF

TOF system for Ca monitor  
YAGレーザー導入



# まとめ

- B14:  $^{48}\text{Ca}$ の二重ベータ崩壊の測定
  - 2年のデータ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
  - 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・柏への旅費
    - サポートありがとうございました。

\* 来年度もよろしく願います。