

連続ミュオンビーム施設 MuSIC による新学術の展開

佐藤 朗、友野 大、川島 祥孝

基礎理学プロジェクト研究センター・サブアトムック科学研究拠点

日本で唯一の連続時間構造を持つミュオンビームを提供するミュオン施設 RCNP-MuSIC が大阪大学で稼働中です。大阪大学・吹田キャンパスにある核物理研究センター（RCNP）のサイクロトロン加速器を使用して生成する高性能の連続状ミュオンビームを使って、様々な新しい基礎科学研究・応用研究の展開が始まっています。

ミュオンは、電子と同じレプトンと呼ばれる素粒子の一種です。ミュオンの質量は 106 メガ電子ボルトで、これは電子の 200 倍、水素の 1/9 倍の質量に相当します。従って、ミュオンが物質内に入ると、負電荷のミュオンは重い電子のように振舞い、正電荷のミュオンは軽い水素のように振舞います。このような性質を使って、考古学・文化財化学・地球惑星科学などが取り扱う希少資料の非破壊元素分析を行ったり、原子核の原子番号を 1 だけ小さくする核変換の研究、ミュオンによる半導体チップのビットエラーの研究、超伝導磁性体の研究など多種多彩な研究が進められています。

2019 年 2 月から、RCNP 加速器の更新工事のために加速器が長期シャットダウンされています。これにより、今年度はミュオンビームが使用できませんでしたが、分析機器の高度化などを進めました。ミュオン非破壊元素分析については、分析感度の向上を目指した半導体 X 線検出器を含む新システムの開発を行うと共に、分析試料中の元素分布を 3 次元的に把握する 3 次元元素イメージングシステムの開発を行いました。これらのシステムの性能を英国やスイスのミュオン施設で調べる予定でしたが、COVID-19 の状況によりやむなく断念しました。スイスのミュオン施設で実施されたミュオン非破壊元素分析実験にはリモートで参加し、高精度の分析結果を得ることに成功しました。

RCNP 加速器は 2021 年夏頃から試験運転を開始し、同年秋には共同利用実験が再開される予定です。

参考文献 : <http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/RCNPHome/music/>

CaF₂ 検出器を用いた二重ベータ崩壊の研究

梅原さおり（核物理研究センター）、他 CANDLES グループ
連携研究部門サブアトム科学研究所（二重ベータ崩壊測定グループ）

「ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊(以下、 $0\nu\beta\beta$ 崩壊)」は、基礎物理学において極めて重要な研究である。それは、 $0\nu\beta\beta$ 崩壊の研究が、素粒子ニュートリノのマヨラナ性に迫り、宇宙の物質の起源解明に関わるためである。この $0\nu\beta\beta$ 崩壊は、半減期が 10^{26} 年以上と長く、非常に稀な事象であるため、超低バックグラウンド検出器を構築する必要がある。我々は、宇宙線起源バックグラウンドの少ない岐阜県神岡地下実験室（東京大学宇宙線研究所）において、300kgのCaF₂結晶を用いたCANDLES IIIシステムを構築し、二重ベータ崩壊測定を行っている[1]。結果として、⁴⁸Caの二重ベータ崩壊測定の世界最高感度を達成しつつある。

一方、二重ベータ崩壊は非常にまれな事象であるため、測定装置のさらなる高感度化が必要である。CANDLESシステムでは、二重ベータ崩壊測定感度に対して、CaF₂結晶内部の放射性不純物の影響が大きいことが分かっている。そのため、放射性不純物量（トリウム系列）が $15\mu\text{Bq/kg}$ (3.7ppt)以下である高純度CaF₂結晶を開発している。本年度は、この新しく開発した高純度結晶を用いたCaF₂モジュールの性能評価を行った。結果、新規導入のCaF₂結晶の放射性不純物量が $10\mu\text{Bq/kg}$ 以下で高純度であることを確認した。また、CaF₂モジュールの再作成の結果、CaF₂からの光電子数が25%改善していることを確認した[2]。今後、これらの高性能CaF₂モジュールを用いることで二重ベータ崩壊測定の感度改善を進める。

参考文献：

[1] <https://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/candles/>

[2] 伊賀友輝、2021年日本物理学会、発表予定

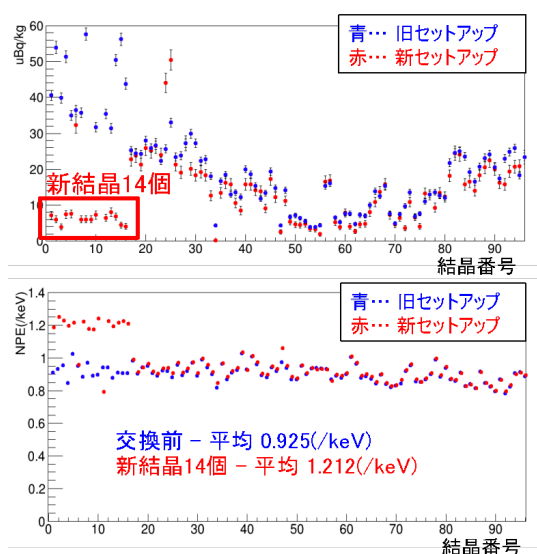


図 1: 新 CaF₂ セットアップと旧セットアップでの結晶性能の比較。上図は放射性不純物量を示し、下図では光電子数 (NPE) を示している。放射性不純物量では、入れ替えた 14 個の CaF₂ 結晶が、要求の $15\mu\text{Bq/kg}$ 以下をすべて満たしていることがわかる。また、光電子数は、セットアップ変更前後で 25% の増加を確認した。

研究業績リスト

I 査読論文

該当なし

II 国際会議等における発表

該当なし

III 国内会議等における発表

該当なし

IV 著書

該当なし

V 受賞と知的財産

該当なし

VI その他研究業績、発表文献

該当なし