

## 令和 5 年度 (2023) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：地下実験のための放射能分析装置の開発 英文：Development of a radioactivity assay system for underground experiments
研究代表者	竹内康雄
参加研究者	神戸大学大学院理学研究科・教授・竹内 康雄 神戸大学大学院理学研究科・准教授・身内 賢太郎 神戸大学大学院理学研究科・院生・高木 優祐 徳島大学大学院社会産業理工学研究部・教授・伏見 賢一 徳島大学大学院創成科学研究科・院生・坂上 陽俊 東京大学宇宙線研究所・准教授・関谷 洋之 東京大学宇宙線研究所・准教授・竹田 敦 神戸大学大学院理学研究科・特任助教・中野 佑樹 大阪大学大学院理学研究科・准教授・吉田 斉 大阪大学核物理研究センター・准教授・梅原 さおり 福井大学学術研究院工学系部門・准教授・小川 泉 横浜国立大学大学院工学研究院・教授・南野 彰宏 横浜国立大学大学院理工学府・院生・天内 昭吾 東北大学ニュートリノ科学研究センター・助教・市村 晃一 東京理科大学理工学部・助教・伊藤 博士
研究成果概要	<p>本研究では、2014～2018 年度の新学術「地下素核」の計画研究 D01「極低放射能技術による宇宙素粒子研究の高感度化」開発された放射能分析装置、及び、2019 年度から始まった新学術「地下宇宙」の計画研究 D01「極低放射能技術の最先端宇宙素粒子研究への応用」及びその公募研究で開発する分析装置・実験装置を、神岡坑内の実験サイト内で研究グループの枠を超えて連携・運用・応用すること、及び、さらなる改良を行うことを目的としている。</p> <p>2023 年度は地下実験室 A (LAB-A)において、以下の分析装置の改善や運用に取り組んだ。1. ラドン分析装置、2. 表面 <math>\alpha</math> 線イメージ分析装置、3. シンチレータ結晶の内部不純物分析装置。</p> <p>以下、これらの装置に関して、2023 年度の進捗と成果を述べる。</p>
整理番号	B03

## 1. ラドン分析装置

新しく開発した 80L ラドン検出器+中空糸膜モジュールからなる水用ラドン検出器の試験運用を実施した。本年度は、昨年度まで Lab-A で開発を進めていたシステムを SK-Gd 検出器に新しく設置し、1 mBq/m<sup>3</sup> 程度の感度で、SK-Gd 検出器中のラドン濃度モニターを継続的に行うことが可能となった。

## 2. 表面 $\alpha$ 線イメージ分析装置

2023 年度は、ガス発光検出による $\alpha$ 線分析感度向上の試験のために、TPC チェンバーに小型 PMT を実装した[1]。CF<sub>4</sub> ガスの 2 段階のシン

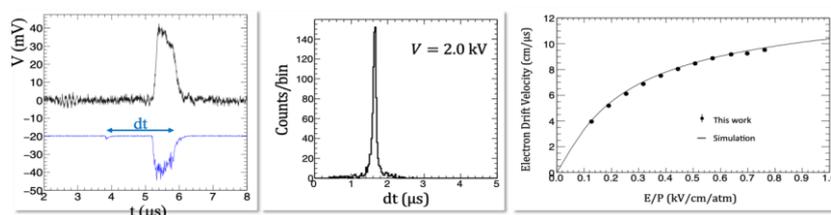


図1 CF<sub>4</sub>ガスにおける2段階シンチレーション発光の観測結果。(左) $\mu$  PIC カソード(黒)とPMT アノード(青)の信号波形。(中)発光時間差分布。(右)ドリフト電場、距離、ガス圧力における電子ドリフト速度の測定結果とシミュレーションの比較。

チレーション発光時間差より、セルフトリガー式 TPC で $\alpha$ 線発生位置を決定する(図 1 左)。それによって、背景雑音となるラドン $\alpha$ 線事象を同定してカットする。TPC 電場強度に依存する CF<sub>4</sub> ガス中の電子ドリフト速度を測定した[2]ことで、ガス発光によるドリフト位置が決定できることを裏付けた(図 1 中・右)。また、従来方式(感度レベル 10<sup>-3</sup>  $\alpha$ /cm<sup>2</sup>/hr)で、並行して地下実験研究グループの枠を超えた分析を行った[3]。

[1] “Screening ultra-low alpha emissivity from the material surface based on a gaseous TPC with PMTs”, ICRC 2023, 2023 年 7 月 26 日~8 月 3 日, PoS(ICRC2023)1374.

[2] “CF<sub>4</sub> ガス発光(S1, S2)を用いた表面アルファ線イメージ分析装置感度向上の研究”, 日本物理学会 第 78 回年次大会 (2023 年), 2023 年 9 月 16 日~18 日.

[3] “CF<sub>4</sub> ガス発光を用いたアルファ線イメージ分析装置の感度改善に向けた研究”, 第 20 回 MPGD 研究会と第 7 回アクティブ媒質 TPC 座談会の合同研究会, 2023 年 11 月 17 日~18 日.

## 3. シンチレータ結晶の内部不純物分析装置

2023 年度も装置を用いた結晶および溶融品の不純物量評価を行った。高純度 CaF<sub>2</sub> 結晶の製造方法の確立のため、インゴット内の放射性不純物量の偏り調査を行った。実際には、製造した CaF<sub>2</sub> インゴット(質量 80g)を円筒上部、円筒下部、円錐部に切断し、それぞれの CaF<sub>2</sub> 溶融品の放射性不純物量の測定を行った。結果として、溶融品の不純物は、ウラン系列・トリウム系列ともに、インゴット内の円錐下部に集まることが確認された。この偏析効果は、放射平衡を仮定した場合、ICP-MS 分析においても再現され、また、温度勾配を仮定した偏析効果のシミュレーションによっても再現された。これによって、温度勾配による偏析効果が高純度結晶作成に効果的であることを示した。