様式８

令和６年度（2024）　共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名　和文：ガス飛跡検出器による暗黒物質探索実験

英文：Direction sensitive dark matter search experiment

研究代表者　　身内賢太朗（神戸大）

参加研究者　　竹内康雄　東野聡　生井凌太　鈴木　啓司　谷口　紘大（神戸大）

寄田浩平　田中雅士(早稲田大)

Neil Spooner, Alasdair G McLean (University of Sheffield)

南野彰宏　芝山　凌　佐々木優斗（横国大）

小貫良行（東大）　藤井俊博（大阪公立大）　鶴剛（京大）

研究成果概要

我々は微細加工技術による検出器μ-PIC を読み出しとする、独自に開発した三次元ガス飛跡検出器「マイクロ TPC 」を用いた方向に感度を持つ暗黒物質探索実験「 NEWAGE 」を提唱、2005 年度より ICRR 共同利用研究、2007 年度より神岡宇宙素粒子研究施設の地下実験室 B にて観測を行っている。2023 年度に出版した、30×30×41cm^3 の検出容積を持つ検出器「NEWAGE-0.3b''」による約 320 日の暗黒物質探索実験の結果（図 1）[1]を受けて、2024 年度は以下の研究を行った。

①　低 BG μ-PIC の開発

NEWAGE 実験で、暗黒物質をさらに高感度で探索するためには、バックグラウンドの理解・低減が重要である。検出器内部物質からのラドン放出の低減のために、低放射線材料を用いたμ-PIC(低 BG μ-PIC)の開発を進めている。2022 年度に完成した低 BG μ-PIC の性能評価の結果、図 2 に示す通り電極構造の改善がみられた。ガス検出器としての動作試験を行った結果も良好な性能が得られた。また、ラドン放出の測定も行い、設計通りであることを確認した[2]。

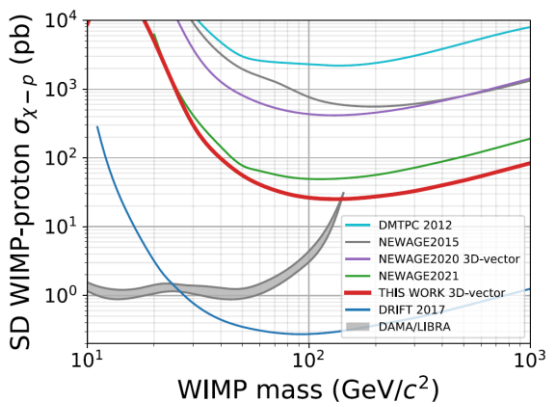

図 1　「NEWAGE-0.3b''」の約 320 日の観測による方向に感度を持つ暗黒物質探索の結果（赤）[1]。

② 暗黒物質探索実験

低 BG μ-PIC を「NEWAGE-0.3b''」に搭載し、暗黒物質探索実験を行った。検出器としては良好に動作、順調にデータ取得を行っている。ラドンレートは以前の観測と大きな変化はなく、現在の「NEWAGE-0.3b''」のラドンレートはμ-PIC 以外の材料からの湧き出しであることが確認された。

その他のバックグラウンド源の理解も進め、環境ガンマ線の寄与を銅によって遮蔽、環境中性子の寄与をポリエチレンによって遮蔽するという対策を施し、観測を継続している。

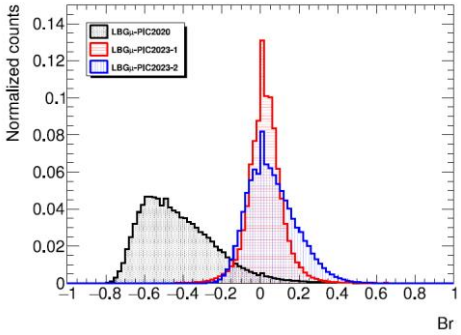

図 2 2024 年度に出版した、低 BG 仕様のμ-PIC の陽極電極の形状に関連する因子（光学検査時の輝度）。最新の個体（赤：μ-PIC2023-1、青：μ-PIC2023-1）は、電極の一様性が以前に製作したもの(黒:LGBμ-PIC2020)に比べて一様性が向上した。[1]

③ C/N-1.0 チェンバーの準備 2025 年度以降に地下への設置を予定している大型チェンバーC/N-1.0 の調整を進めた。2024 年度には、検出器「module-0」「module-1」の調整を進め、地下への移設に向けて前進した。また、大型検出器での感度の議論などを含むレビュー論文を JAIS 誌で出版した [3]。

④ 中性子フラックスの測定 地下実験室での暗黒物質探索実験のバックグラウンド理解のために、早稲田大学・横浜国立大学のグループと協力してヘリウム 3 検出器よる長期間を継続した。また、東大・大阪公立大・京大らのグループと別目的で開発しているシンチレータによる宇宙線反同時計測についての検討を開始した。

⑤ 感度向上のための R&D ガスを用いた方向に感度を持つ暗黒物質探索実験の主要なバックグラウンド源のひとつであるラドンを除去する手法として、多孔質材料によるゼオライトを用いる手法がある。2024 年度には、低放射能材料を用いたゼオライトの性能評価を進めると共に新素材のゼオライトの評価も開始、地下実験への導入の準備を進めた。

[1] "Direction-sensitive dark matter search with three-dimensional vector-type tracking in NEWAGE" T. Shimada et.al. PTEP(2023)ptad120

[2] “Development of a low-background micro-pixel chamber for directional dark matter searches”, NIM A, Volume 1072, March 2025, 170145, Ryota Namai, …, Kentaro Miuchi DOI: 10.1016/j.nima.2024.170145

[3]"Challenges for the directional dark matter direct detection”, Kentaro Miuchi JAIS-473, 2024, doi:10.31526/jais.2024.473, arXiv:2309.13923

整理番号 B09