

令和 5 年 2 月 24 日

若手研究者海外挑戦プログラム報告書

独立行政法人日本学術振興会 理事長 殿

受付番号 202280015

氏 名 山本 健介

若手研究者海外挑戦プログラムによる派遣を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。
なお、下記記載の内容については相違ありません。

記

- 派遣先: 都市名 フィリゲン (国名 スイス)
- 研究課題名 (和文): ミューオン稀崩壊探索感度向上のための高レート耐性 RPC 検出器の開発と性能評価
- 派遣期間: 令和 4 年 9 月 16 日 ~ 令和 5 年 2 月 1 日 (139 日間)
- 派遣先機関名・部局名: ポール・シェラー研究所 (PSI)・素粒子物理研究室
- 派遣先機関で従事した研究内容と研究状況 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

本研究は、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊を世界最高感度で探索する MEG II 実験において、その探索感度をさらに向上させるための背景事象同定用検出器を開発するものである。本検出器は、低運動量 (28 MeV/c) かつ大強度 (1×10^8 /s) のミューオンビームが透過する中で、背景事象に由来する 1-5 MeV の陽電子を高い検出効率 (90%) で精度良く時間を測定する (1 ns) という厳しい要請が課せられている。この背景事象同定用検出器として開発しているのが、高抵抗薄膜素材の Diamond-Like Carbon を高抵抗電極に用いた Resistive Plate Chamber (DLC-RPC) である。これまでの小型試作機を用いた性能評価で、上記の要請を満たし得ることを示してきた[1]。

派遣前までに、さらに高いレート耐性と大型化を実現するため、DLC 上に高電圧供給のための導電パターンを実装し、高抵抗電極をセグメント化した改良小型試作機を製作した。派遣先のポール・シェラー研究所 (PSI) では、改良小型試作機の性能評価をおこなった。RPC では一様な強い電場で電子を増幅させるため、良い性能を発揮するためにはギャップの厚みを一様にするのが肝要である。しかし、ギャップを確保するスペーサー素材の生産中止や、代替素材を用いた場合にギャップ厚に対して 5-10% 程度のばらつきが生じてしまうことなど、技術的な問題が判明し、十分な検出効率を達成することはできなかった。また、そのような問題から PSI での大強度ミューオンビームを用いる試験は断念せざるを得なかった。一方で、限られた領域では、ベータ線を用いて目標の検出効率を達成できる見込みの性能を得られたことから、技術的な問題を解決することで課せられた要請を満たすことが可能であると考えている。現在は、一様な厚みのスペーサーを形成する試験と、高抵抗電極の設計の最適化を進めている。

- [1] A. Oya et al., “Development of high-rate capable and ultra-low mass Resistive Plate Chamber with Diamond-Like Carbon”, Journal of Physics: Conference Series, 2374, 012143, December 2022

6. 研究成果発表等の見通し及び今後の研究計画の方向性（1/2 ページ程度を目安に記入すること）

改良小型試作機の製作と評価した性能は RPC 検出器の国際会議で発表し[2]、その会議録が現在査読中である。新たなコンセプトの RPC の開発について、本検出器の新規性をアピールすることができた。また、製作の詳細については国内のガス検出器の研究会で発表をおこなった[3]。さらに、性能評価試験で判明した問題点とその原因究明については国内のシンポジウムで発表をおこなった[4]。

今後は、大型化を可能にするためのセグメント化された高抵抗電極の開発を進める。具体的には前節で述べたスペーサー厚の一様性の実現と設計パラメータの最適化である。これらの研究により前節で述べた厳しい要請を満たす本検出器技術を実証することが次の目標である。MEG II 実験への導入については早急な技術実証と実機の製作が求められている。なぜなら MEG II 実験は 2021 年より物理データ取得が開始されており、 $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊探索感度向上のためにはいち早く本検出器を導入することが求められているからである。2024 年からの導入を目指し、迅速な開発をおこなう。

また、本検出器は従来の RPC 検出器の特徴に加え、超低物質質量かつ高レート耐性という素晴らしい特性を持つ。そのため、他実験への応用可能性についても積極的に検討している。具体的な例を挙げると、今後さらに高輝度化が進む素粒子実験分野では高レート耐性を持つ検出器が求められており、本検出器は将来の加速器実験に用いる検出器技術として非常に有望である。本検出器が MEG II 実験だけで止まらぬよう、幅広い応用も見据えた開発と成果発表を目指す。

[2] K. Yamamoto et al., “Development of ultra-low mass and high-rate capable RPC based on Diamond-Like Carbon electrodes for MEG II experiment”, XVI workshop on resistive plate chambers and related detectors (RPC2022), CERN, September 2022

[3] 山本健介他、「MEG II 実験における超低物質質量・高レート耐性 DLC-RPC の高抵抗電極の開発」、MPGD&アクティブ媒質 TPC 合同研究会、高エネルギー加速器研究機構、2022 年 12 月（査読なし）

[4] 李維遠他、「MEG II 実験背景事象抑制に向けた DLC-RPC 検出器の開発」、第 29 回 ICEPP シンポジウム、志賀レークホテル（長野県）、2023 年 2 月（査読なし）

7. 本プログラムに採用されたことで得られたこと（1/2 ページ程度を目安に記入すること）

本研究で予定していたビーム照射試験を断念したという挫折を経験したことと、海外の研究者とのコミュニケーション能力の 2 つが本プログラムを通じて得られたことである。

本研究の主要な目的の 1 つは PSI のミュオンビームを用いた性能評価試験であったが、上述したように試験を断念した。その過程において、丁寧に問題を切り分け、その解決策を検討・実施し、また新たな問題を特定するということを繰り返した。試験を通して得られた知見は受入研究者である Dr. Malte Hildebrandt のこれまでの研究の知見と突き合わせ、原因と解決策を議論した。最後まで諦めずに解決を図ったが、ビーム試験の期間までに事態を好転させることはできなかった。一方で、この期間、熱心に検出器と向き合い、これまで誰も作ったことのない検出器の問題点を洗い出して改善を図ることによって、物理への理解を深めることができた。また、研究はすべて予想通りに進むものではなく、予想していない現象から新たな知見を得るという楽しさを感じることができた。これは今後の研究活動において大きな財産となると感じている。

また、本ビーム試験の計画には、総勢 80 人ほどの MEG II コラボレーションでの議論が必要不可欠であった。自分の計画と現在の状況を、正確に、分かりやすく、英語で、伝えるプレゼンテーション力や議論におけるコミュニケーション能力を磨くことができた。英語でのコミュニケーションという観点では、日本を含め 5 ヶ国の研究者が集まるコラボレーション内で、英語がネイティブの研究者はアメリカから参加する数人しかいない。そのため、議論で齟齬が生じやすいと感じた。分からないことがあれば聞き直す、あるいは伝え直すことなど、当たり前だがこれまで控えてしまっていたことも挑戦し当たり前にすることができた。本プログラムに係るコミュニケーションの経験は今後の研究活動、そして人生において役立つと感じている。