

## 電子はどれだけ丸い？ 電子の電気双極子モーメントで未知の素粒子を探る

素粒子、原子核、宇宙物理学  
およびその関連分野

研究者所属・職名：  
異分野基礎科学研究所・特任准教授

ふりがな ますだ たかひこ

氏名：増田 孝彦

主な採択課題：

- [国際共同研究加速基金\(国際共同研究強化\(B\)\)「冷却極性分子の量子操作による電子の永久電気双極子モーメント探索」\(2020-2025\)](#)

分野：素粒子、原子分子

キーワード：電気双極子能率、超対称性粒子、量子コヒーレンス、光検出器、冷却分子

### 課題 ●なぜこの研究をおこなったのか？

本研究は、素粒子の一種である「電子」が永久電気双極子モーメント (EDM: Electric dipole moment) を持つかどうかを検証する研究である。もし電子がEDMを持つならば、それは電子の電荷分布が完全な球形ではなく、空間的に偏っていることを意味する。現在の素粒子標準理論では電子のEDMは極めて小さい。一方で、標準理論には宇宙の物質・反物質比を説明できないなど不完全な部分があるため修正を迫られており、提案される修正モデルの多くは電子がより大きなEDMを持つことを示唆する。従って、電子がEDMを持つことを実験で検証することができれば、標準理論を修正すべき実験的証拠を掴むことができる。

### ●研究するにあたっての苦労や工夫

米国ハーバード大学・ノースウェスタン大学・シカゴ大学との国際共同研究である。各グループでサブシステムを開発しつつ、最終的にノースウェスタン大学で全体を組み上げ本実験を行う。日本グループは主に光検出器開発を担当している。当初は定期的に現地滞在しながら試作と評価を進める計画であったが、期間当初より発生したCOVID-19のためやむなく渡航は延期し、国内での光検出器開発に注力することとした。光検出器開発では約600mm<sup>2</sup>の大面积光センサを-20度まで冷却し安定稼働させることや、通常の素粒子実験とは異なり20ミリ秒、2マイクロ秒、100ナノ秒という多様な時定数を持つ信号に精度よく応答させることなどのハードウェア開発、また測定器性能が実験精度に与える影響の数値シミュレーションによる評価も進めている。

## 電子はどれだけ丸い? 電子の電気双極子モーメントで未知の素粒子を探る

素粒子、原子核、宇宙物理学  
およびその関連分野

### 研究成果

#### ●どんな成果がでたか? どんな発見があったか?

本研究での光検出器の開発動機は統計精度の向上で、そのために従来使用していた真空管を用いた光電子増倍管から半導体光センサの Silicon Photomultiplier (SiPM) に変更する。これによるメリットは光子検出効率が約 2 倍になることによる、蛍光検出における光子数分解能の改善である。一方で光子数分解能はさまざまな要因で悪化するが、その一因として光クロストークが挙げられる。特に本研究ではレーザー励起直後の蛍光を検出するが、レーザー由来の散乱光を落とすための大消光比のフィルタがクロストークを大幅に悪化させることが判明した。しかし、この問題を克服すべくフィルタ設計の最適化に取り組んだところ、逆にクロストークを削減する手法の開発に成功した。

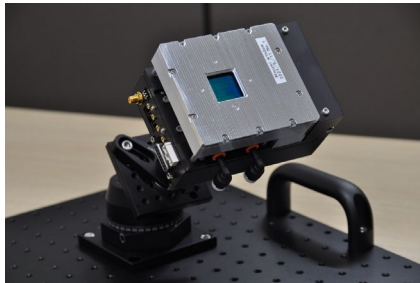


図1 開発中の  
光センシングモジュール

DAMOP2021, T. Masuda

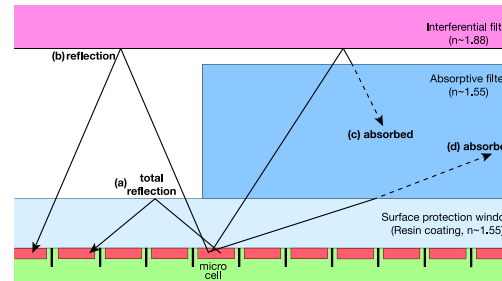


図2 クロストーク削減の  
フィルタリング概念図

Opt. Express, 29, 16914 (2021)

### 今後の展望

#### ●今後の展望・期待される効果

2021年8月によりやく米国渡航の機会が得られ、現地で開発中の集光光学系や分子ビームと組み合わせた試験、全体の組み上げ試験などを行うことができるようになった。今後はその結果を踏まえ、量産に向けた最終設計をまとめ、本実験用のモジュールを完成させるのが当面の課題である。

国際共同研究ということもありCOVID-19の状況に大きく左右されるのは否めないが、遅滞なく本実験を開始し、研究期間内に電子EDMの測定精度1桁向上を目指す。

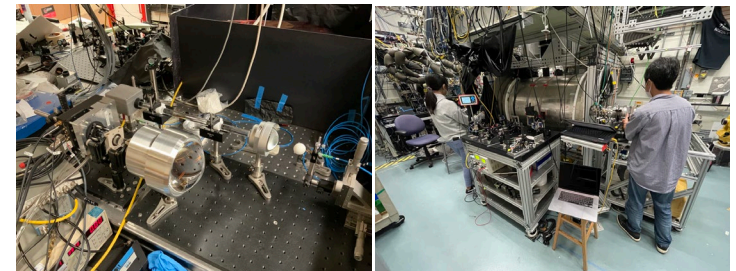


図3 米国現地での分子蛍光検出試験の様子