

変革を駆動する先端物理・数学プログラム (FoPM)

国外連携機関長期研修 報告書

氏 名	竹内亮人
所属部局	工学系研究科 物理工学専攻
受入先	株式会社 Nanofiber Quantum Technologies
日程	西暦 2024 年 1 月 11 日 ～ 西暦 2024 年 3 月 31 日

【研修の目的】

近年注目の集まっている冷却中性原子を用いた量子計算に必須な、Spatial Light Modulator (SLM) を使用した原子トラップ実験を通じて、実験機器の取り扱いや光学系構築の際の注意事項を学び、大学での実験に活用する。

【研修の成果まとめ】

- ・ SLM を用いた原子トラップ、音響光学偏向素子 AOD を用いた移動原子トラップ、個別原子イメージングを達成するための光学系の設計を完了させた。
- ・ 原子トラップ実現までの光学系の構築に参加し、理論的な回折限界に近いトラップ光の強度分布を実現することに成功した。
- ・ 日本国内外の冷却中性原子量子コンピュータに取り組む研究者・学生との関係構築を行うことができた。

【研修の内容】

1 月と 2 月にかけては、SLM を用いた原子トラップと、AOD を用いた移動原子トラップ、トラップされた原子のイメージングの実現に向けた光学系の設計を 3DCAD を用いて行った。3DCAD を用いた光学系の設計は私にとっては初めてのことであったのに加え、設計の制約条件が複数存在し、全てを成立させる設計を考えるのには時間を要してしまったが、最終的には納得のいく光学系の設計ができた。特に、レンズや SLM の軸と、光軸を合わせるための自由度を完全に確保できたことは自分の中では納得感のあるポイントであり、実装を行えばスムーズにビームを回折限界近くまで絞ることができると期待している。

また、SLM を操作するための Python で書かれたアプリケーションの使用法の習得と、アプリの修正を行った。このアプリケーションは、元はフランスの中性原子量子コンピュータ研究の第一人者である A. Browaeys のグループで開発されたものであり、それが日本の分子科学研究所を経由して量子コンピュータに取り組む研究者に少しずつ共有されている。装置ごとの変数とすべきところがベタ打ちであったり、可読性の低さがあったので、個人的に気になる箇所を修正し、NanoQT で共有した。実際に実験でも用いることができています。

2 月半から 3 月の終わりにかけては、SLM での原子トラップ実現を目指した光学系の構築に参加した。SLM でレーザー光に任意に空間的な位相変調をかけ、レンズでのフーリエ変換により任意の強度分布を作り出すことができるのが SLM の強みであり、これによって複数のビームスポットを作って複数の原子を捕獲することが可能となる。しかしながら、ビームスポットのサイズを回折限界近くまで絞るには、レンズのフーリエ面と SLM の面の一致や、SLM から回折された光の光軸とレンズの光軸の一致など、精密なアライメントが必要となる。これまで私は空間モードや波面の一様性にこだわり抜くアライメントを経験してこなかったため、大変貴重な経験となった。特に、各レンズの透過光を波面センサを用いて波面の一様性を確認する作業には、ここまでこだわるものなのか、と感心した。本実験では、最終的にナノファイバー上に焦点を結ぶビームスポットを作るのだが、最後の微調整には電動のレンズステージや電動ミラーでのアライメントを行った。50nm という極小のステップ幅でレンズを微調整するというのも、根気がいるが面白い経験であった。こちらの研究室で用いる実験装置には、私が用いたことのないものも複数あり、大学での使用を検討するきっかけになった。特に真空内電動ステージや、SLM は購入検討の際には参考にしたいと考えている。

また、3月半ばには、NanoQT のインターン生として岡崎市の分子科学研究所に3日間滞在し、SLM、AODを用いた原子トラップのための研修と、原子の Rydberg 状態を活用した研究の日独合同ワークショップに参加する機会もいただいた。SLM 操作のアプリケーションの詳細も確認できたのに加え、アライメントの際の Tips、波面センサの情報など多くの情報を持ち帰ることができた。3月後半には、NanoQT が主催する国外の著名研究者を招いてのワークショップにも参加し、自分が大学で行ってきた研究成果に関するポスター発表を行なった。このインターンを通じていただいた複数の機会により、国内外の研究者に自分の大学での研究内容を知ってもらい、さらに複数の中性原子量子コンピュータの研究者との関わりを持てたことは、今後の財産になるだろう。



今回実験を行わせていただいた、早稲田大学 41 号館。