

プログラム名：量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現

PM名：山本喜久

プロジェクト名：量子シミュレーション

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 28 年度

研究開発課題名：

局所操作を用いた光格子量子シミュレータの開発

研究開発機関名：

国立研究開発法人理化学研究所

研究開発責任者

福原 武

# I 当該年度における計画と成果

## 1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

光格子中のボース原子気体を用い、新規冷却手法の開発及び非平衡ダイナミクスの研究を行っていくことが本研究開発の課題である。当該年度の目標は、これらの実験を行うことが可能な実験装置を昨年度整備した実験環境下において、新規に作成することである。装置に求められる性能として、光格子中に導入された量子縮退気体を単一格子・単一原子レベルで観測し、そして操作できるものであることが挙げられる。このためには極高真空槽を実現し、レーザー冷却、蒸発冷却などを最適化して、原子気体を量子縮退まで冷却することが必要となる。更に、安定な光格子を準備し、高分解能イメージング光学系を装置に組み込んでいくことを目標とする。

また、実験研究を行っていく上で重要となる問題についての理論的な研究も、実験に先行する形で取り組んでいく。具体的に当該年度の目標として、まず、実時間でかつ光格子の空間分解能を有する測定を連続的に行った場合の原子系の量子多体系の非平衡ダイナミクスを記述する基礎方程式を導く。そして、原子に対する測定の反作用が弱い極限での連続測定下のダイナミクスを数値シミュレーションする。特に、原子が古典的な場合（高温）、低温でフェルミオンの場合、ボソンの場合で違いが出るかどうかを明らかにする。

## 2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

### 2-1 進捗状況

実験装置の作成に関しては、計画より遅れてはいるものの、光格子や高分解能イメージングを組み込むことが可能な真空装置を設計・作成し、極高真空環境を実現した。また、レーザー冷却に必要な光源を整備し、ルビジウム（Rb）原子の磁気光学トラップを生成することができた。

理論的研究に関しては、上記の目標通りに進捗し、成果を出すことができた。

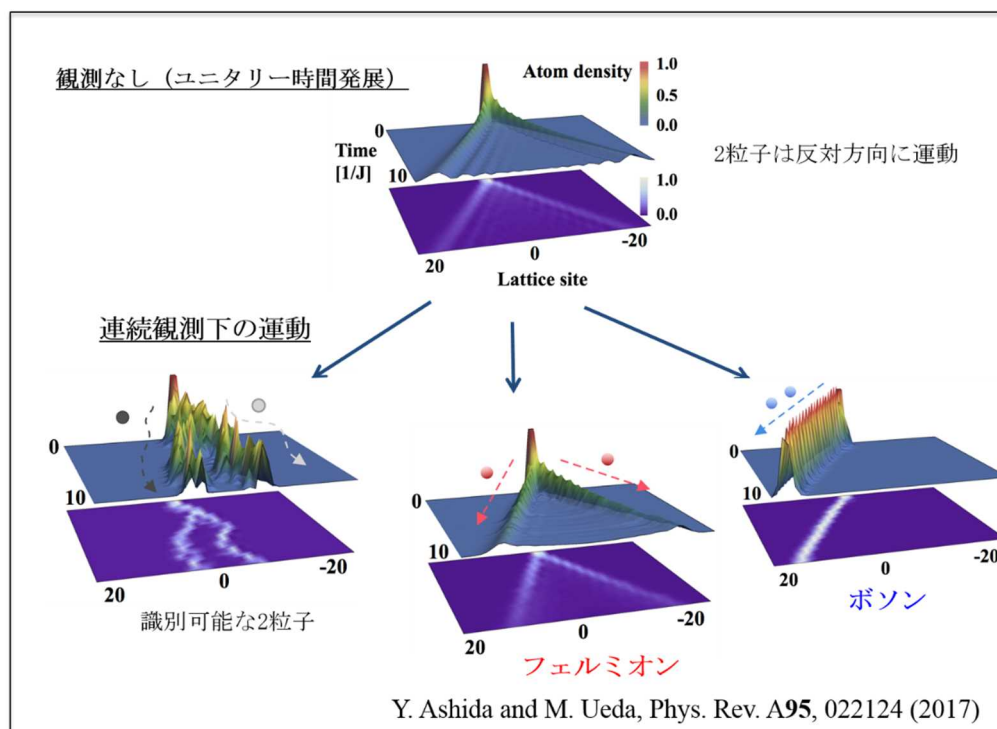
### 2-2 成果

実験装置の開発においては、量子気体実験を行うために必要となる極高真空槽の準備を行い、 $10^{-11}$  Torr 程度の真空が実現された。この極高真空領域にあるガラスセルの中で磁気光学トラップ（MOT）を行い  $10^8$  個程度の  $^{85}\text{Rb}$  原子を集めることにも成功した。また、MOT に捕獲された原子集団の寿命測定（100 秒以上）からも真空度が量子気体研究を行う上で問題ないことも確認した。

理論的研究においては、以下の成果を挙げることができた。

原子を観測する光の反跳によって原子が失われないように原子と光の結合は強いが空間分解能が格子間隔に比べて十分に大きい状況を考え、この条件下で連続観測下の原子集団の密度演算子の時間発展を記述する基礎方程式を導出した。導出された方程式を、ボソン、フェルミオン、識別可能な粒子に適用し、ボソンの場合は 2 粒子が一緒に、フェルミオンは反対方向、識別可能な粒子はランダムに運動する

ことを見出した（下の図）。この研究成果は Y. Ashida and M. Ueda, Phys. Rev. A 95, 022124 (2017), “Multiparticle quantum dynamics under real-time observation”で発表した。



### 2-3 新たな課題など

実験装置の開発においては、多くのパラメータの最適化を行う必要がある。詳細な最適化を行うためには実験時間が膨大となり、一方で最適化の手数を省略しすぎると局所的な最適状態に陥ってしまう恐れもある。これらの問題に対処するため、機械学習を用いた実験パラメータの最適化を検討している。

### 3. アウトリーチ活動報告

平成 29 年 2 月 28 日に名古屋市立向陽高等学校において、高校 2 年生 38 名を対象に出張授業を行った。授業では、量子力学や原子気体のレーザー冷却について紹介し、最後に ImPACT プロジェクトで取り組んでいる研究について話した。