

2023 年度年次報告書

量子・古典の異分野融合による共創型フロンティアの開拓

2023 年度採択研究代表者

上田 正仁

東京大学 大学院理学系研究科  
教授

浮揚ナノ粒子が拓くハイブリッド量子

主たる共同研究者:

相川 清隆 (東京工業大学 理学院 准教授)

## 研究成果の概要

実験グループは、既存の実験装置でナノ粒子の運動を光学的に観測したスペクトルにこれまで知られていなかった信号を見出した。ナノ粒子の真球からのずれを考慮した理論モデルで解析した結果、見出した信号がナノ粒子の回転振動に基づくものであること、その周波数からナノ粒子の3次元的な形状を精密に決定できること、回転振動が強い非調和性を持つことを利用して振動の温度を測定できること、さらにナノ粒子が電気双極子モーメントを持つことを利用し、3つの回転振動を全て0.03K以下という超低温まで冷却できることを明らかにした [Nat. Commun. **14**, 7943 (2023)]。また、ナノ粒子や原子イオンを高精度で観測するための対物レンズを含む実験装置や原子イオンの発生源の立ち上げ準備を行い、イオントラップに補足・冷却するための光源やナノ粒子の捕捉・観測・冷却に用いる赤外レーザーを安定化するシステムを構築した。

理論グループは、位置の連続測定に基づきナノ粒子をフィードバック冷却する方法を考案した。測定結果を現在から過去へ指数関数的重みをつけて積算することで量子測定の出力揺らぎの影響を低減し、得られたナノ粒子の推定位置へポテンシャルの中心を移動するフィードバックを行うことでナノ粒子の冷却を行う方法である。フィードバック下のダイナミクスを記述する確率シュレーディンガー方程式に基づき解析計算した結果、基底状態付近まで冷却可能であることが示された。さらに、先行文献で標準的に用いられているコールドダンピングと呼ばれるフィードバック冷却法の冷却限界と比較するために、測定効率を考慮した数値計算を行った。その結果、我々が提案した手法は、コールドダンピングよりも迅速に冷却でき、冷却限界も同程度かそれ以上に冷却できる数値結果を得た。光ポテンシャルにより浮揚・捕捉されたナノ粒子に本研究成果を適用することで、冷却時間を短縮し、より低温まで冷却できることが期待される。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) Kamba, M. Shimizu, R. Aikawa, K. Nanoscale Feedback Control of Six Degrees of Freedom of a Near-Sphere, *Nature Communications* **14**, 7943-1-7943-9 (2023).
- 2) Haga, T. Nakagawa, M. Hamazaki, R. and Ueda, M. Quasiparticles of Decoherence Processes in Open Quantum Many-Body Systems: Incoherentons, *Physical Review Research* **5**, 043225-1-043225-29 (2023).
- 3) Li, H. Yu, X.-H. Nakagawa, M. and Ueda, M. Yang-Lee Zeros, Semicircle Theorem, and Nonunitary Criticality in Bardeen-Cooper-Schrieffer Superconductivity, *Physical Review Letters* **131**, 216001-1-216001-6 (2023).