

量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出
2018 年度採択研究代表者

2020 年度 年次報告書

宗宮 健太郎

東京工業大学
准教授

量子制御を用いたオプトメカ結合型調和振動子のマニピュレーション

§ 1. 研究成果の概要

先端科学の多くの分野で微小信号の精密測定が必須であり、測定に用いるプローブの熱散逸の低減が求められる。本研究では、光共振器を構成する鏡をレーザー光でつなぐオプトメカニカル振動子(光バネ)を用いた精密測定技術を開発している。機械的な振動子が持つ熱的な揺らぎがほぼ存在しないため、揺らぎの小さなプローブとして多分野で応用できると考えている。光バネを用いる研究は他にもあるが、バネの硬さと線幅は、結合する機械振動子の性質とレーザー強度で制限される。そこで本研究プロジェクトでは、光共振器内に量子フィルタを組み込み、光バネを発展的に操作することを提案し、原理検証実験を行っている。そして、巨視的物体における量子力学の検証、重力波望遠鏡の高感度化、核磁気共鳴の観測という3つの分野で、光バネを応用する研究を進めている。

今年度の成果として、まず原理検証実験では、光共振器内に導入した非線形光学結晶の相対位相を制御し、パラメトリック信号増幅した状態で光バネを観測することに成功した。光バネの共振周波数シフトを観測する一手前の状態まで来ている。次に量子力学検証実験では、低散逸振動子の開発を続けており、東大では光学浮上のための曲率付き軽量鏡の製作に進展が見られている。東工大では反磁性浮上のために質量 2mg の平坦軽量鏡を製作、浮上に成功し、熱散逸測定の前準備を進めている。学習院大では、コンディショニング冷却手法を取り入れ、開発中のモノリシック振子に導入すれば基底状態まで冷却できることを示した。重力波望遠鏡開発については、東工大の試験実験機でパラメトリック信号増幅技術の制御に成功し、安定化を進めている。核磁気共鳴観測については、フォトニック結晶とアルミ電極を組み合わせる技術開発を継続しており、さらに装置小型化のためのファイバ共振器に関し、炭酸ガス光源による表面の平滑化を確認する段階まで準備が完了している。

§ 2. 研究実施体制

(1) 東工大グループ

- ① 研究代表者: 宗宮健太郎(東京工業大学理学院物理学系 准教授)
- ② 研究項目
 - ・光ばねの発展的操作
 - ・非線形光学素子を用いた信号増幅
 - ・光バネを用いた巨視的な物体の量子計測
 - ・重力波望遠鏡の開発

(2) 先端研グループ

- ① 主たる共同研究者: 宇佐見康二(東京大学先端科学技術研究センター 准教授)
- ② 研究項目
 - ・光バネを用いた核磁気共鳴検出器の開発

(3) 京大グループ

- ① 主たる共同研究者: 武田和行 (京都大学理学部化学教室 准教授)
- ② 研究項目
 - ・光バネを用いた核磁気共鳴システムの開発と MRI への応用

(4) OIST グループ

- ① 主たる共同研究者: 高橋優樹 (沖縄科学技術大学院大学量子情報物理実験ユニット准教授)
- ② 研究項目
 - ・光バネを用いた核磁気共鳴システムの開発と MRI への応用

(5) 学習院大グループ

- ① 主たる共同研究者: 松本伸之 (学習院大学理学部物理学科 准教授)
- ② 研究項目
 - ・光バネを用いた巨視的な物体の量子計測

【代表的な原著論文情報】

- 1) Kentaro Komori, Yutaro Enomoto, Ching Pin Ooi, Yuki Miyazaki, Nobuyuki Matsumoto, Vivishek Sudhir, Yuta Michimura, and Masaki Ando, “Attonewton-meter torque sensing with a macroscopic optomechanical torsion pendulum”, *Phys. Rev. A*, 101, 011802(R) (2020), <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.101.011802>
- 2) Takuya Kawasaki, Naoki Kita, Koji Nagano, Shotaro Wada, Yuya Kuwahara, Masaki Ando, and Yuta Michimura, “Optical trapping of the transversal motion for an optically levitated mirror”, *Phys. Rev. A*, 102, 053520 (2020), <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.102.053520>
- 3) Ryosuke Nakashima, “Diamagnetic levitation of a milligram-scale silica using permanent magnets for the use in a macroscopic quantum measurement”, *Physics Letters A*, 384, 126592 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2020.126592>
- 4) Seth B. Cataño-Lopez, Keiichi Edamatsu, Nobuyuki Matsumoto, “High Q mg-scale monolithic pendulum for quantum-limited gravity measurements”, *Phys. Rev. Lett.*, 124, 221102 (2020), <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.221102>
- 5) Kentaro Somiya, “Quantum noise reduction techniques in KAGRA”, *The European Physical Journal D*, 74, 10 (2020), <https://doi.org/10.1140/epjd/e2019-100471-2>
- 6) Koji Usami and Kazuyuki Takeda, “Nuclear surface acoustic resonance with spin-rotation coupling”, *Phys. Rev. R.*, 2, 043200 (2020), <https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.2.043200>