

宗宮 健太郎

東京工業大学理学院
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

微小信号の精密測定は、物理・化学・生物学などあらゆる分野で必要とされるもので、測定における背景雑音の軽減は精密測定に必須の課題である。本研究では、光共振器を構成する複数の鏡を、レーザー光の輻射圧で結合させるオプトメカニカル結合振動子(光バネ)を用いた精密測定技術を開発している。機械振動子をプローブとした場合に測定精度を制限する熱的な揺らぎが、光バネではほとんど存在しないため、精度の高いプローブとして、様々な分野での活躍が期待できる。本研究プロジェクトでは、光バネの応用先として、マクロな物体の量子状態の観測、重力波望遠鏡の感度向上、核磁気共鳴の観測、という3つのテーマを用意し、研究を進めている。

昨年までの成果としては、東工大で実施している、アクティブフィルタを用いた光バネの高硬度化実験で光バネの観測と信号増幅の検証に成功したことと、京都大学で実施している光バネを用いた核磁気共鳴測定で信号を検出することに成功したことを挙げた。光バネの高硬度化実験については、ファブリーペロー共振器とシグナルリサイクル干渉計の2つの光学構成で実験を実施しており、光バネについては前者で、アクティブフィルタを用いた信号増幅については後者の実験において成功したので、それらを組み合わせた状態での実験が進められている。核磁気共鳴測定についてはフォトニック結晶を導入して信号雑音比を改善する試みが進められている。

今年度の主な成果は5つある。一つ目は、東京大学で行われている、ねじれ振り子を用いた量子計測実験で、ミリグラムスケールのマスのトルク測定としては世界最高感度を実現したということ。これについては研究論文として Physical Review A から出版されている[1]。二つ目は、同じく東京大学で行われている、光学浮上実験において、水平方向の復元力を検出し、安定性を確認したということ。こちらについては名古屋大学で行われた日本物理学会で研究成果を発表した。三つ目は東工大で取り組んでいた反磁性体浮上実験で、1mgの石英ガラスを永久磁石を用いて浮上させることに成功した。このスケールのガラスを永久磁石を用いて浮上させたのは初めてのことである。これら3つの成果は、どれもマクロな物体の量子計測を実現させるための新技術であり、着実

に前進していると言える。

今年度の四つ目の成果は、東工大で行われている、光バネの高硬度化実験で、閾値を超えるキャリア光の増幅を確認したことである。本来の目的は信号成分の増幅であるが、ファブリーペロー共振器内にアクティブフィルタを導入しているため、キャリアと信号が同時に増幅され、キャリア光が先に閾値を超えてしまったものである。光バネの高硬度化は観測できておらず、装置の安定化が今後の課題である。

今年度の五つ目の成果は、核磁気共鳴装置の開発における重要なアイテムである、フォトニック結晶の製作に成功したことである。これまでは薄膜にアルミを蒸着させて鏡にしていたが、それだと反射率、Q 値ともに低いため、薄膜を加工してフォトニック結晶を構成するものがある。これにより光バネを用いた核磁気共鳴観測手法の信号雑音比の大幅な向上が期待できる。

【代表的な原著論文】

[論文 1] "Atto-Nm Torque Sensing with a Macroscopic Optomechanical Torsion Pendulum,"
Kentarō Komori, Yutaro Enomoto, Ching Pin Ooi, Yuki Miyazaki, Nobuyuki Matsumoto, Vivishek Sudhir, Yuta Michimura, and Masaki Ando, Phys.Rev.A 101, 011802(R) (2019)

[論文 2] Quantum noise reduction techniques in KAGRA, Kentarō Somiya, Eur.Phys.J.D. 74, 10 (2020)

[論文 3] "Influence of non-uniformity in sapphire substrates for a gravitational wave telescope,"
Kentarō Somiya, Eiichi Hirose, Yuta Michimura, arXiv:1907.12785 (2019), Phys.Rev.D 100, 082005 (2019)

§ 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
 - ・重力波望遠鏡の開発

(2) 東大グループ

- ① 主たる共同研究者:道村唯太(東京大学理学部物理学科 助教)
- ② 研究項目
 - ・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

(3) 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)
- ② 研究項目
 - ・光バネを用いた核磁気共鳴検出器の開発

(4) 東北大グループ

- ① 主たる共同研究者:松本伸之(東北大学学際科学フロンティア研究所 助教)
- ② 研究項目
 - ・光バネを用いた巨視的な物体の量子計測

(5) 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

(6) 阪大グループ

- ① 主たる共同研究者:高橋優樹(大阪大学先導的学際研究機構 特任准教授)
- 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