

未来社会創造事業 大規模プロジェクト型
年次報告書

令和3年度
研究開発年次報告書

平成29年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名：上妻 幹旺]

[国立大学法人 東京工業大学 科学技術創成研究院 量子航法研究ユニット・教授]

[研究開発課題名：冷却原子・イオンを用いた高性能ジャイロスコープの開発]

実施期間：令和3年4月1日～令和4年3月31日

§ 1. 研究開発実施体制

(1) 東京工業大学グループ(東京工業大学)

- ① 研究開発代表者 (PM): 上妻 幹旺 (東京工業大学 科学技術創成研究院・教授)
- ② 主たる共同研究者 (PI): 佐藤 智哉 (東京工業大学 科学技術創成研究院・特任准教授)
- ③ 研究項目
 - ・低速原子ビームジャイロ型自己位置推定装置の実証機試作
 - ・高性能自己位置推定装置に関する社会実装の開拓

(2) 大阪大学グループ(大阪大学)

- ① 主たる共同研究者 (PI): 向山 敬 (大阪大学 基礎工学研究科・教授)
- ② 研究項目
 - ・冷却イオントラップジャイロ型自己位置推定装置の実証機試作

(3) 日本航空電子工業グループ(日本航空電子工業株式会社)

- ① 主たる共同研究者 (PI): 吉良 敦史 (日本航空電子工業株式会社・技術シニアマネージャー)
- ② 研究項目
 - ・低速原子ビーム型ならびに冷却イオントラップ型干渉計を用いたジャイロスコープの小型化
ならびに制御技術開発
 - ・回転型重力勾配計の試作

§ 2. 研究開発成果の概要

我々はアルカリ原子 (Rb)、アルカリ土類様原子 (Yb)、そしてイオン (Yb⁺) を用いた 3 種類の物質波干渉型ジャイロスコープについて開発を進めている。2021 年度、我々は低速の Rb 原子ビームに対し 3 次元的なレーザー冷却を施すことで進行方向速度幅を 1 桁以上低減し、これを用いた原子波干渉型ジャイロスコープの動作実証に世界で初めて成功した。ここで原子ビームの進行方向速度幅を低減することは、角速度測定におけるダイナミックレンジを拡張することを意味する。さらにジャイロスコープにおけるデータ取得系を FPGA に置き換えることで、位相検出における測定系の雑音を大幅に低減することに成功した。Yb 原子を対象とした研究では、我々が発案した長寿命の準安定状態を利用した運動量フィルタリングを施すことで、Bragg 回折に用いる光の反跳運動量以下にまで横方向運動量幅を低減した低速原子ビームの生成に世界で初めて成功した。得られた低速原子ビームを対象とした高次 Bragg 回折にも既に成功している。イオンを用いた実験については、トラップ中心を高速移動させてから干渉信号を取得することでジャイロスコープのスケールファクタを増大させる技術を確立するに至った。さらに昨年までとは異なり、単一イオンに複雑なリサージュではなく単純な円軌道を描かせた後、干渉をさせる実験にも世界で初めて成功した。これらの装置は独自に開発した回転型光学除振台上に構築されており、回転に伴う干渉計の位相シフトを詳細に検証する実験を始めるに至っている。重力勾配計につ

いては、複数の加速度計を回転させるタイプの装置を実装し、鉛の錘によって人工的に発生させた重力勾配を検出することに成功した。さらに重力勾配計に使用している加速度計感度を律速している要因を詳らかにするとともに、目標航法精度を達成するために必要な感度を得る具体的方策を提案するに至った。

【代表的な原著論文情報】

1. A. Shinjo, M. Baba, K. Higashiyama, R. Saito, and T. Mukaiyama,
“Three-dimensional matter-wave interference of a trapped single ion”,
Phys. Rev. Lett. **126**, 153604 (2021).
2. Saito and T. Mukaiyama,
“Generation of a single-ion large oscillator”,
Physical Review A **104**, 053114 (2021).
3. Toshiyuki Hosoya, Ryotaro Inoue, Tomoya Sato, and Mikio Kozuma,
“High-Flux Cold Ytterbium Atomic Beam Source Using Two-dimensional Laser Cooling with
Intercombination Transition”,
arXiv:2104.11481 (2021).