

未来社会創造事業 大規模プロジェクト型  
年次報告書

令和元年度  
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 理学院・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：平成 31 年 4 月 1 日～令和 2 年 3 月 31 日

## §1. 研究実施体制

### (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: 上妻 幹旺 (東京工業大学 理学院 物理学系・教授)
- ② 主たる共同研究者: 井上 遼太郎(東京工業大学 理学院 物理学系・特任准教授)
- ③ 研究項目
  - ・ 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: 向山 敬 (大阪大学 基礎工学研究科・教授)
- ② 研究項目
  - ・ 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: 吉良 敦史 (日本航空電子工業株式会社・技術マネージャー)
- ② 研究項目
  - ・ 原子ビームならびにイオントラップ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. 研究実施の概要

現行の高精度自己位置推定機器は、クォーツペンデュラム型の加速度計と光のサニャック効果を利用したジャイロスコープとで構成されている。その位置精度は 10 時間で数 km といったところだが、「EEZ における海洋資源探査の効率化」、「北極海調査による SDGs への貢献」といった国益に直結する応用を実現するには、精度の桁での向上が求められる。こうした超高精度の自己位置推定は、ジャイロスコープ性能を桁で向上させるとともに、重力勾配計という新たな慣性センサーを導入することで原理的に実現可能である。本プロジェクトでは古典的な光波のかわりに原子やイオンが有するド・ブロイ波を用いて干渉計を構築し、光を用いたジャイロの中でも特に性能の高い RLG(リングレーザージャイロ)に比べ、一桁以上高い感度を有するジャイロスコープを開発する。原子波干渉型ジャイロスコープを実験室環境下で原理実証することはもとより、これを振動や加速を伴う実使用環境下でも機能するセンサーとして実装し、さらに小型化技術を醸成することで様々なビークルへの搭載を可能にしていく。本プロジェクトの最終段階では、開発された原子波干渉型ジャイロスコープを組み込んだ自己位置推定機器の実証機を試作する(POC)。

原子波干渉型ジャイロスコープを構成するにあたり、我々は「アルカリ原子」、「アルカリ土類様原子」、そして「イオン」の3つを起用した。これはそれぞれのサンプルが互いに相補的な性質をもつが故である。より具体的にはアルカリ原子として Rb を、アルカリ土類様原子として Yb を、そしてイオンとして Yb<sup>+</sup>を起用した。2019 年度、我々は低速度で高いフラックスを有する Rb 原子ビームを磁気遮蔽された真空装置内で対向させ、直交方向から 3 本の対向ラマン光を照射するシステムを構築した。ラマン過程を誘起するレーザーは可搬性の良いファイバ

で取り回しがなされており、対向レーザー間、そして 3 つのラマン光間の相対位相も適切に制御されている。原子ビームとレーザーの相対位置や角度は遠隔で高精度に制御できる構造となっており、今後 SG-POC を実現する上で柱となる実験系の構築が完了したといっても過言ではない。Yb 原子を対象とした研究では、許容遷移に加え異重項間遷移も援用したレーザー冷却を施すことで、高フラックスかつ横方向の速度幅も十分に抑えられた低速原子ビーム源を開発することに成功した。開発した低速原子ビームを利用して原子波干渉実験の要となる高次 Bragg 回折を確認することにも成功した。イオンを用いた実験では、単一 Yb<sup>+</sup>イオンのサイドバンド冷却に成功し、さらに紫外パルスレーザーを用いたラビ振動、ラムゼー共鳴の観測にも成功した。単一イオンを用いた干渉実験を進めるにあたり基盤となる技術が整ったといえる。

回転型重力勾配計については、4 つの加速度計を円盤上に配置した 1 軸回転機構を試作し、設置された加速度計の雑音が目標感度を達成できるレベルにあることを確認した。ステージゲート後、重力勾配計の感度を桁で向上させることを念頭におき、超高感度加速度計の開発も並走させることにした。