

## 1. 評価対象研究課題

- (1) 研究課題名：量子干渉効果による小型時計用発振器の高安定化の基礎研究
- (2) 研究代表者：一般財団法人マイクロマシンセンター 池上 健
- (3) 研究期間：令和元年度～令和5年度（予定）

## 2. 中間評価の実施概要

日時：令和3年11月12日

場所：三菱総合研究所本社（東急キャピトルタワー）

評価委員：未来工学研究所 理事長、上席研究員／東京大学 名誉教授

平澤 洽（委員長）

産業技術総合研究所 執行役員

兼 エネルギー・環境領域 領域長

小原 春彦

東京工業大学 工学院 電気電子系 教授

梶川 浩太郎

東京農工大学 名誉教授

佐藤 勝昭

公立千歳科学技術大学 理工学部 特任教授

下村 政嗣

東京工業大学 名誉教授

谷岡 明彦

科学技術振興機構 研究開発センター 企画運営室長、フェロー

中山 智弘

理化学研究所 光量子工学研究センター センター長

緑川 克美

（委員長以外は五十音順・敬称略）

## 3. 研究の進捗状況

### 研究の概要

原子時計の車載や次世代移動通信基地局への設置等を想定し、測位衛星からの電波が途絶しても高精度測位を維持するための小型原子時計用の高精度発振器の実現を目指す。測位衛星搭載用原子時計の発振器と同等の性能を有し、かつ手のひらサイズで低消費電力の小型原子時計用発振器の高安定化に係る基礎研究として、主要な周波数変動要因の解明及びプロトタイプでの実証・評価等を実施する。

### 進捗状況

実施項目に対する主な進捗は以下の通り。

#### (1) 周波数シフトに係る変動要因の解明と制御技術の確立

周波数シフトの変動要因として、ライトシフトやバッファガスシフトなどがある。まず、ライトシフト低減に関して、プロトタイプモジュールを用いたドリフトゼロ点の存在確認、円偏光 VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) 実現に向けた高品質結晶の製造とそれを用いたスピン緩和時間 1ns 以上を達成した。次にバッファガスシフト低減に関して、高温脱ガス処理に耐える Si-サファイアガスセル製造プロセスを確立した。また、磁場変動に対して周波数変動が小さい領域を持つ魔法磁場を有し、信号強度の強い CPT (Coherent Population Trapping) 共鳴の観測に成功した。

#### (2) 水晶発振器の最適化技術の確立

振動補償を用いて、1 秒平均のアラン標準偏差  $\sigma_y(\tau=1s)=6.4 \times 10^{-11}$ 、G-Sensitivity=0.1ppb/G の高い耐振動特性を達成した。

#### (3) 周波数変動要因評価技術の確立

-10~70°Cにおいて 0.01°Cオーダーで安定な小型恒温槽を実現した。また、プロトタイプ実験室モデルを設置して周波数変動データを取得した。さらに、高精度ライトシフト評価装置に関して、空間光学型 ECDL、回折効率 75%の 2次元グレーティング、また  $10^{-6}$ Pa まで真空度をモニタできる小型真空計を実現した。加えて、孤立状態での原子生成装置の温度依存性を評価するための、5~80°Cの範囲で 0.01°Cオーダーの安定度を有する大型恒温槽を開発した。

### 4. 中間評価の評点

B 進捗は順調であり、研究計画に沿って進めてよい。
---------------------------

### 5. 総合コメント

高精度な小型原子時計の実現に向けて、着実に成果があがっている。一方で、各種変動要因の解明に多くの時間がかかっており、小型原子時計という課題に対して予算は限りがあることから、目標を重要な部分に絞るのも一案である。原理的なアイデアはあることから、システムとしての実現に向けてより一層注力し、目標達成に向けて鋭意努力していただきたい。また、研究グループ間の連携はできているものの、研究代表者は研究全体を統率し、マネジメントしていただきたい。

### 6. 主な個別コメント

- 本成果は世界中で競争が行われている領域に一石を投ずるものである。最大の成果が出るよう、精力的な研究を希望する。
- 研究が多方面にわたっている。最も重要な点に絞って、目標に近づけてほしい。
- 予期しない問題が発生する可能性もあり、余裕をもって研究を進めてほしい。
- ゼロドリフトのフィードバックシステムの早急な完成が望まれる。
- 論文等による成果発表の場を通じて、小型原子時計の意義と重要性を周知してほしい。