

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30年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名：香取 秀俊]

[国立大学法人東京大学大学院工学系研究科・教授]

[研究開発課題名：クラウド光格子時計による時空間情報基盤の構築]

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)「光格子時計システム開発(OC)」グループ(東大／理研グループ)

① 研究開発代表者・主たる共同研究者: 香取 秀俊 (東京大学大学院工学系研究科、教授)

② 研究項目

- ・ OC①: 光格子時計システムの小型・堅牢・高信頼化
- ・ OC②: 光格子時計のネットワーク技術の全国展開、相対論的測地
- ・ OC③: 秒の再定義に向けた国際連携と国際アピール
- ・ OC④: 超高精度時空間インフラの潜在的アプリケーションの探索と権利化

(2)「ファイバネットワーク化(NW)」グループ(NTT研究所グループ)

① 主たる共同研究者: 寒川 哲臣 (日本電信電話(株) NTT先端技術総合研究所、所長)

② 研究項目

- ・ NW②-1: 10^{-18} 精度 100 km 級遠隔地間光格子時計周波数比較の検証
- ・ NW②-2: ファイバノイズキャンセラ装置の開発
- ・ NW②-3: 厚木・本郷・水沢江刺 1000 km 級超長距離ファイバNWの構築
- ・ NW②-4: 光格子時計NWの高精度化・高安定度化に向けた光配線技術の開発

(3)「光エレクトロニクスモジュール開発(OM)」グループ(島津グループ)

① 主たる共同研究者: 東條 公資 ((株)島津製作所 基盤技術研究所 先端分析ユニット、副ユニット長)

② 研究項目

- ・ OM①-1: マルチチャネルレーザ制御エレクトロニクスの開発
- ・ OM①-2: 光学系モジュールの開発

(4)「相対論的測地応用(RG)」グループ(東大理グループ)

① 主たる共同研究者: 田中 愛幸 (東京大学大学院理学系研究科、准教授)

② 研究項目

- ・ RG②: 相対論的測地応用

(5)「秒の再定義促進(RS)」グループ(NICT／NMIJグループ)

① 主たる共同研究者: 井戸 哲也 (情報通信研究機構、室長)／安田 正美 (産業技術総合研究所計量標準総合センター、研究グループ長)

② 研究項目

- ・ RS③: 秒の再定義に向けた国際連携と国際アピール

(6)「小型光学モジュール開発(COM)」グループ(シグマ光機グループ)

① 主たる共同研究者: 多幡 能徳 (シグマ光機株式会社、取締役)

② 研究項目

- ・ COM①-1:光学コンポーネントの開発
- ・ COM①-2:小型光学モジュール開発

§2. 研究実施の概要

「光格子時計」をネットワーク展開・社会実装することで、次世代の超高精度・時空間情報の共通プラットフォームを構築する。GNSS（Global Navigation Satellite System）に用いられる原子時計の精度を 1000 倍以上改善する光格子時計のリンクにより、超高精度クラウド・クロック環境を実現し、通信の高速・大容量化や位置情報サービスの高度化を目指す。

本年度、光格子時計システム開発グループは、昨年度に引き続き第 1 世代光格子時計を用いた東京スカイツリーでの一般相対論検証実験を行った。取得したデータの解析を行い、その成果が論文誌に掲載された[1]。また、第 1 世代をベースに、更に小型化・堅牢化した第 2 世代光格子時計の開発を目的に、小型化した時計分光用超高真空槽の設計と部品の調達を行った。並行して第 1 世代の車載化に向けて車両の準備、時計システムの改造も進めている。さらに、原子線減速用レーザ光の入射窓の長寿命化に向けて、原子線偏向器の設計、検討を行った。

ファイバネットワーク化グループは、和光・本郷・厚木の 1.4 ミクロン帯光ファイバNWの高安定化[2]と、それを用いた遠隔時計周波数比較実験を開始した。また、厚木・本郷・和光・水沢江刺の超長距離(1000 km 級)用 1.5 ミクロン帯光ファイバノイズキャンセラの開発、および、室内用光配線回路の開発を進めた。

光エレクトロニクスモジュール開発グループは、光格子時計のベースラインシステムの開発を完了した。また、第 2 世代用の制御プラットフォームの検討を完了し、スカイツリー実験で用いた第1世代から 50%の体積削減の目途を得るとともに、制御回路基板の開発を開始した。光学系モジュールでは、長期安定稼働の課題である青色レーザとシャッターの小型・長寿命化などを達成した空間結合系モジュールの開発を完了し、機能単位モジュールの開発を開始した。

相対論的測地応用グループは、光格子時計ネットワークによる周波数比較の結果を検証するための準備として、和光、本郷、厚木間の静的な重力ポテンシャル差を決定するための測地測量を完了した。また、重力ポテンシャルの時間変化を把握するのに必要な、高さ変化を測るための GNSS アンテナの導入を開始した。

秒の再定義促進グループは、国際度量衡委員会時間周波数諮問委員会等における活動を通して光格子時計による秒の再定義を目標としている。今年度は散発的でありながら、NICT のシステムによる国際原子時の歩度校正を開始し、また産総研のシステムに国際承認を取るためのデータを取得した。また、レーザ周波数安定化・位相同期の自動復帰装置を適用した堅牢な Yb 光格子時計を開発し、半年以上にわたる長期連続運転に成功した。その結果、不確かさ評価と、絶対周波数値の測定を行い、勧告周波数値による国際連携への道筋をつけた。

小型光学モジュールグループは、光格子時計用の多波長光学素子とリモート制御を実現させるための小型アクチュエータなどの開発を行い、光源モジュール及びリング共振器へ搭載した試作・評価を実施した。各光学素子の改善内容を把握し、小型光学ユニットと各モジュールの要求仕様を明らかにして設計を開始した。

論文リスト

[1] “Test of general relativity by a pair of transportable optical lattice clocks,” Nature Photonics, published online on April 6, 2020.

[2] “Optical frequency distribution using laser repeater stations with planar lightwave circuits”, Optics Express **28**, 9186-9197 (2020).