

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：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)「光格子時計システム開発(OC)」グループ(東大／理研／電通大／福岡大学グループ)
 - 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
 - ・ NW②-5: 通信クロック応用に向けた光周波数の高精度 RF 変換技術の開発(2020 年度より追加)
- (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ー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 (情報通信研究機構電磁波研究所、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. 研究開発成果の概要

「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。

光格子時計システム開発(OC)グループは、車載化した第 1 世代光格子時計を実験室設置の時計と比較することで、衛星測位よりも高速にセンチメートル精度の標高計測が実現可能であることを示した。また、この第 1 世代機をベースに、更に小型・堅牢化した第 2 世代光格子時計の開発を行った。本年度は、時計遷移分光、時計動作を実現し、2 台の第 1 世代光格子時計と周波数比較することにより、18 桁の安定度を確認した。さらに、装置の長寿命化に向けた原子線偏向器の設計、検討や、可搬型の高安定時計レーザー光源、光周波数コムの開発を行った。

ファイバネットワーク化(NW)グループは、和光一本郷厚木の長距離(190km)用 1.4 ミクロン帯光ファイバ NW を利用した遠隔時計周波数比較実験を継続実施、及び、前年度開発した光配線技術の光格子時計への適用性について検証を進めた。1.5 ミクロン帯では、ファイバノイズ・キャンセラプロトタイプ機開発に着手、また、厚木-本郷-和光-水沢の超長距離(1000 km 級)光ファイバ NW の工事が完了し通信試験を開始した。また、通信クロック応用に向けた光周波数基準に同期した RF 変換評価のための系構築に着手した。

光エレクトロニクスモジュール開発(OM)グループは、小型・堅牢化を目指した第 2 世代光格子時計の制御エレクトロニクス(電子回路)モジュールおよび光学系モジュールの開発を完了し、それらを組み合わせたレーザーシステムを構築した。物理パッケージとの接続評価により、レーザーシステムの課題を抽出し、適宜構成及び機能の見直しを行った。

相対論的測地応用(RG)グループは、光格子時計ネットワークの応用展開として、相対論的測地による国土監視への適用可能性を検討した。GNSS による既存の国土監視の精度を光格子時計ネットワークの展開で改善するという構想を、代表的な測地学の国際誌上で提案した。また、定量的なシミュレーションを実施し、光格子時計を用いることで、GNSS のみを用いた場合に比べて断層すべりの推定精度が改善することを確かめた。

秒の再定義促進(RS)グループは、国際度量衡委員会時間周波数諮問委員会(CCTF)傘下の秒の再定義ロードマップ策定タスクフォースに参加し、国際度量衡総会に提出すべき推奨文書へ貢献した。また、国際原子時計校正に使用できる周波数標準として国際的に認定されている、NICT の Sr 光格子時計(NICT-Sr)、および、産総研の Yb 光格子時計(NMIJ-Yb1)を用いて国際原子時(TAI)のオンタイム校正をそれぞれ、8 回(NICT)、7 回(NMIJ)ずつ行った。また、昨年度開発した UTC(NICT)の基準周波数を光ファイバ経由で東大香取研究室へ送信するシステムについて、さらに時刻(タイミング)も伝送する機能を開発して追加し、不確かさ 2 ns で日本標準時を本郷キャンパスで得られることとなった。10 月からは当該システムを利用して標準周波数及び日本標準時の伝送を終日休むことなく行っている。

小型光学モジュール(COM)グループは、多波長高反射ミラーなどの耐性向上として光学素子表面の散乱によるロスを低減するために平坦化加工の改善を行った。また小型光学モジュールは、接着技術を用いて磁気光学トラップなどに使用される真空対応の光学系を試作検証し、小型光源ユニットは実機搭載検証より、改善内容を把握して修正製作を実施した。

【代表的な原著論文情報】

- [1] Noriaki Ohmae, Masao Takamoto, Yosuke Takahashi, Motohide Kokubun, Kuniya Araki, Andrew Hinton, Ichiro Ushijima, Takashi Muramatsu, Tetsuo Furumiya, Yuya Sakai, Naoji Moriya, Naohiro Kamiya, Kazuaki Fujii, Ryuya Muramatsu, Toshihiro Shiimado, and Hidetoshi Katori,
“Transportable Strontium Optical Lattice Clocks Operated Outside Laboratory at the Level of 10–18 Uncertainty”,
Advanced Quantum Technologies, Vol. 4, 2100015 (2021).
- [2] Hidetoshi Katori,
“Longitudinal Ramsey spectroscopy of atoms for continuous operation of optical clocks”,
Applied Physics Express, Vol. 14, Issue 7, 072006 (2021).
- [3] Y. Tanaka and H. Katori,
“Exploring potential applications of optical lattice clocks in a plate subduction zone,”
J. Geodesy 95, 93 (2021).