

3.7.4 電磁波計測研究所 時空標準研究室

室長 花土ゆう子 ほか 35名

情報通信の基盤となる正確な周波数と時刻を作り・測り・届けるための超高精度技術の開発

【概要】

正確な時刻と周波数は、情報通信システムの維持・発展を支えるとともに、精密物理計測の基盤となっている。時空標準研究室では、標準時及び周波数標準の更なる高精度化、高信頼化を目指して、日本標準時やテラヘルツ帯周波数標準など高度な実用技術の開発、次世代周波数標準の開発及びその評価や展開に不可欠な比較・伝送技術の開発を行う。平成27年度は第3期中長期計画最終年度として、日本標準時の分散管理システム構築、 In^+ イオントラップ時計及び Sr 光格子時計の開発、衛星双方向搬送波技術及び VLBI 技術を用いた高精度周波数比較技術の開発を進めた。

【平成27年度の成果】

(1) 標準時及び周波数標準の発生と供給に関する業務

日本標準時の発生では、定常業務を安定に継続するとともに、7月1日には18年ぶりの平日実施となるうるう秒調整を着実にを行った(図1)。今回の実施においてはうるう秒廃止の議論が背景となり、過去にないほど多くのメディア注目を集めた(当日取材31社)。

また、標準時分散管理の一環である神戸副局の整備においては、実運用に向けた必要な各種実験を行い、基本機能の整備を完了した。

日本標準時の供給に関しては、テレホンJJYで月間14万アクセスを超える状況が続くとともに、公開NTPサービスのアクセス数は平成27年3月以降1日あたり15億を突破した。標準電波においては、送信所2局において老朽化対策としての設備更新を行い(図2)、はがね山標準電波送信所では平成28年1月8日から、おおたかどや山標準電波送信所では同年3月31日から、それぞれ新たな送信設備での運用を開始した。タイムスタンプ認定制度においては、時刻配信・監査のNICT方式が国際規格ISO/IEC 18014 part4として4月に正式に発行された。

標準電波を用いた周波数遠隔校正に関しては、広域時刻同期への展開に向けた2周波受信装置及び小型装置の開発に着手した。

国際活動においては、ITU-Rにおけるうるう秒廃止の議論への対応として、アジア・オセアニア地域の取りまとめをリードするとともに2015年世界無線通信会議(WRC-15)に日本代表として参加した。また、国際度量衡委員会下の技術諮問委員会CCTFにおけるWGチェアとして活動し、BIPM事務局と共に国際シンポジウムを開催した。

(2) 次世代周波数標準器の研究開発

マイクロ波周波数標準器については、Cs一次周波数標準2号器(NICT-CsF2)の開発において、周波数シフト要因を1号器より一桁良い16乗台前半の不確かさで再評価した。

テラヘルツ周波数標準技術においては、高周波対応(3-10 THz)にむけてハーモニックミキサを用いた周波数計測システムの開発を進め、2.8 THz帯で5桁を超える精度を実現した(図3)。また、THz帯と光領域を位相同期したままリンクできる周波数シンセサイザを開発するとともに、これを利用した新たなTHz基準周波数伝送システムの試験に成功した。また、冷却 N_2^+ 分子イオンを用いた中赤外量子標準で、16乗台の精度が可能であることを示す理論



図1 うるう秒挿入

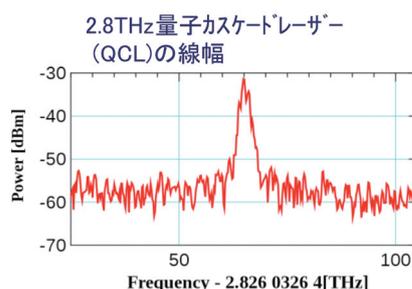
図2 標準電波送信所の更新設備
(左:新設送信機、右:新設整合)

図3 ハーモニックミキサを用いて計測した2.8 THzでのQCL周波数値

論文を発表した。

光周波数標準の開発では、Sr 光格子時計において、レーザー冷却用光源の改良や温度環境の評価を厳密に行うことで安定度を向上し、16 乗台の安定度を短時間 (100 秒) の平均で実現するとともに、原子系では 17 乗台後半の確度を達成した。また、1 万秒程度の運用を繰り返し安定に行うことで国際リンクでの不確かさを 16 乗台まで減少し (国際原子時を基準とした評価法では世界最高の精度)、またその絶対周波数報告値が 2015 年 CCTF 総会 (平成 27) で採択され国際推奨値の決定に大きく貢献した (図 4)。

In^+ イオントラップ光時計では、再設計した新型トラップによりイオン捕獲を強化するとともに、 $\text{In}^+ \cdot \text{Ca}^+$ の蛍光強度を同時に検出できるシステムを構築して量子状態蛍光観測の S/N 比を改善した。これらの機能向上により時計遷移の励起及びその検出に成功し (図 5)、周波数標準器の性能評価として、時計遷移の絶対周波数値の計測に成功した。これは In^+/Ca^+ 共同冷却を利用した新方式の周波数標準器を世界に先駆けて開発した成果である。

In^+ イオントラップに先駆けて開発した Ca^+ イオントラップに関しては、2012 年 CCTF 総会 (平成 24 年) で採択された絶対周波数値が中国 (武漢大) の報告値と異なる状況が続いていた。しかし、2015 年 CCTF 総会 (平成 27 年) において、武漢大が 2012 年報告値を撤回し NICT 値に近い新値を入力した結果、CCTF 勧告値が NICT の値と誤差内で一致する結果となり、NICT 値の信頼性が国際的に証明される形となった。

(3) 高精度な時刻・周波数比較・伝送技術の研究開発

衛星双方向周波数比較 - 搬送波位相方式 (TWSTFT-CP) に関しては、使用する通信衛星側の問題により日欧実験ができない状況であったが、先方より招へいを受け、NICT のシステムを仏-独の標準機関に持ち込み実験を行った結果、1 時間強という短時間平均で 10^{-16} 台の計測精度を達成した (世界最高精度を最短平均時間で実証 (図 6))。一連の成果は、国際主要学会にて複数の招待講演の依頼を受けるなど国際的にも大きな注目を集めた。また、科学衛星プロジェクト ACES 参加準備に関しては、日本代表機関として運用する予定の地上局用プラットフォームの設置工事、無線局免許申請の準備等を進めた。

VLBI 周波数比較では、観測から相関処理・遅延量の算出・解析まで対応する広帯域 VLBI 観測システムを、世界に先駆けて実現した。また、広帯域の位相合成処理に電離層遅延量の同時推定を含めたソフトウェアを開発することで、小型アンテナ間の広帯域観測による周波数比較実験が可能となった。国土地理院の広帯域アンテナ (石岡局) と試験観測を行い、1 秒平均でサブピコ秒の遅延計測精度を実証した (図 7)。これは VLBI 観測において現状世界最高の精度である。高精度観測により、大気起因するとみられる 10 ピコ秒程度の遅延変動の検出に成功、これが精度限界要因になっていることを実証した。その結果、短時間の大気の遅延変動を高精度に求めるには天体の高速切替え観測が重要であること、また、大陸間長基線観測においては電離層遅延量処理の技術・偏波角の異なるデータ処理ソフトウェア等が必要になること等、更なる技術課題の明確化を達成した。これらの成果は国際的にも高く評価され、2015 年国際 VLBI 事業 (IVS) 総会 (平成 27 年) において招待講演を行った。

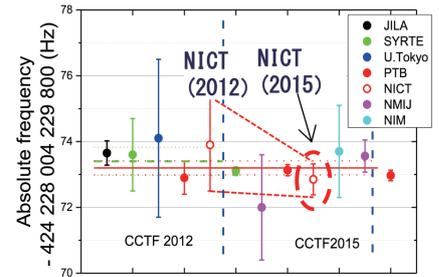


図 4 Sr 光格子時計の絶対周波数値

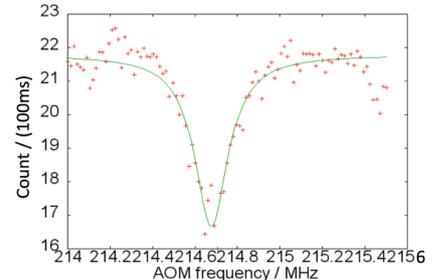


図 5 In^+ イオントラップ光標準における時計遷移の検出

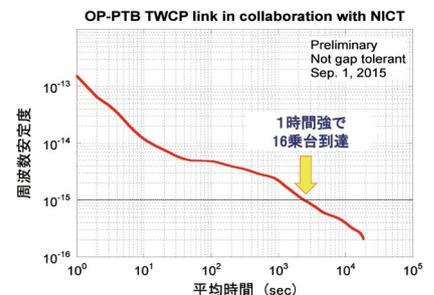


図 6 TWSTFT-CP における計測精度 (独仏間での周波数比較実験による)

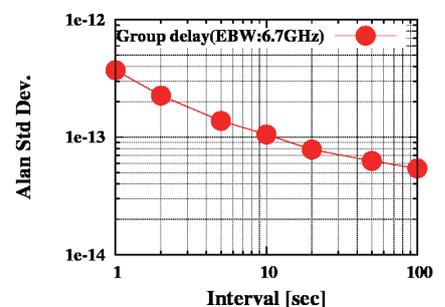


図 7 広帯域 VLBI の群遅延計測 (1 秒積分値) のアラン分散