

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 33 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】

周波数標準は、無線通信における利用周波数帯の拡大や、光通信技術の開発と導入による超大容量化等が進む情報通信システムの維持・発展を支えるとともに、時刻の定義や広範な精密物理計測の基盤となっている。この周波数標準のさらなる高精度化、高信頼化等を図り、この分野における国際競争力を一層強化することを目的として、テラヘルツ帯など現在実現されていない新たな領域の周波数標準を確立することなどの高度利用技術、これまでのマイクロ波領域に代わる光領域の周波数標準の開発、およびその評価のための時空計測技術の高度化等の研究開発を行う。

【平成 25 年度の成果】

(1) 標準時およ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、標準時分散管理システム構築のため、未来 ICT 研究所内に整備した施設に原子時計を移設・設置し、新計測システムの構築および計測制御ソフトウェアを開発した(図 1)。また、誤差が最少になるリンク経路を自動判定するプロトコルの開発、一括管理データベースを設計・構築するとともに、現地における試験的な時系発生実験を開始した。

日本標準時の供給においては、標準電波送信設備の老朽化対策として、はがね山標準電波送信所における設備更新を進めるとともに、おたかどや山標準電波送信所の設備更新にも着手した。テレホン JJY では平成 24 年度より月間 14 万アクセスを超える状況が続き、公開 NTP サービスでは 1 日あたりのアクセス数が 2 億件を突破した。タイムスタンプに関しては、平成 23 年度に日本工業規格 JIS X 5094 として標準化した時刻配信・監査方法について国際標準化機構 (ISO) での手続きを進めた結果、平成 25 年に ISO/IEC 18014 part4 の国際規格原案となった。標準電波を用いた周波数遠隔校正に関しては、沖縄、金沢およびサロベツにおける実証実験を継続するとともに、日変動や季節変動に伴う受信状況の変化に対応するため、アンテナなど受信系ハードウェアを改良し受信同期精度を向上した。

国際活動としては、うるう秒対応議論が平成 27 年世界無線通信会議 (WRC-15) の議題になったことに伴い、WP7A のみならずアジア・オセアニア地域無線通信連合 WRC 準備委員会 (APG-15) に参加するなど対応を強化し、日本の立場を主張し各国に働きかけを行った。

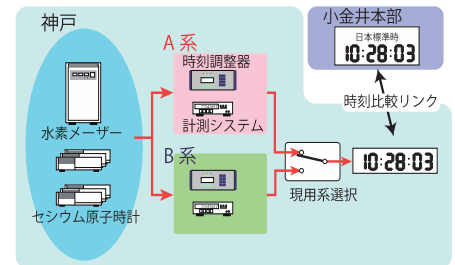


図 1 標準時分散管理システム構築のため未来 ICT 研究所に整備した施設

(2) 次世代周波数標準器の研究開発

In^+ イオントラップ型光時計の研究開発においては、 Ca^+/In^+ 共同冷却サブシステムや時計レーザーサブシステム等、時計遷移周波数精密計測システムを構成する主なサブシステムの稼働を開始し(図 2)、これらを統合運用して時計遷移観測実験に着手した。

Sr 光格子時計では、極低温環境の実現により確度向上を目指す新型 2 号機において、十分な真空系の冷却到達温度を達成し、この真空槽内で Sr 原子線の生成を行い、原子群を生成・捕捉した。一方、実用化を目指す 1 号機のシステムにおいては、細部の最適化を進めて長時間の連続運転を可能とし、また光格子を形成するレーザーの周波数について従来よりも安定度を 1 桁以上改善して、ドイツの Sr 光格子時計との周波数比較実験で顕著な成果を上げた((3)参照)。また、新たな試みである超高安定光源の開発を開始した。

マイクロ波周波数標準の分野では、セシウム一次周波数標準器

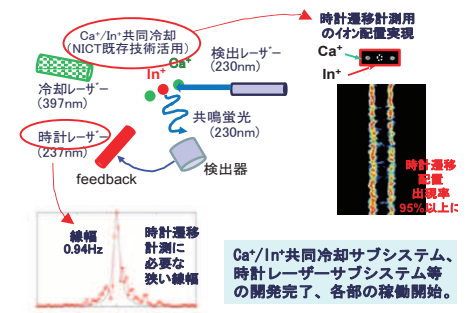


図 2 In^+ イオントラップ型光時計におけるサブシステムの開発

(NICT-CsF2)の開発において、周波数シフト量の不確かさが 10^{-16} 台であることを確認するとともに、更に不確かさを低減すべく新計測手法に取り組んでいる。

テラヘルツ周波数標準に関しては、差周波発生によるサブテラヘルツキャリア光源における計測精度を評価し、1THzに迫る周波数帯においてもマイクロ波標準の安定度を損なわないことを実証した。またテラヘルツコム的高度化を実施し、0.3 THzで 10^{-17} 台の周波数計測精度を達成した(図3)。この結果は速報論文誌に掲載されるとともに、Nature Photonicsのリサーチハイライトとして紹介された。また世界初のテラヘルツ周波数分周器を開発した。昨年度にJournal of Physics B誌に掲載された、分子イオンTHz周波数標準において 10^{-16} 以上の確度を達成するために必須となる無摂動状態の精密分光の提案が、同誌の「2012年ハイライト論文」として選出された。また、テラヘルツ研究センターに対して、時空標準研究室の有する周波数安定化技術を提供して3THz量子カスケードレーザーの位相ロックの実現に大きく貢献した。

(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に関しては、搬送波位相(キャリアフェーズ)方式で、世界でも最長基線(約9,000km)となるNICT-PTB(ドイツ物理工学研究所)間にて実証実験を実施し、国内短基線と変わらない測定精度(0.2ps@1s)を得た(図4)。これは搬送波位相を用いない従来方式での精度を2桁以上上回る精度である。また、同基線において衛星双方向比較によるSr光格子時計直接比較を実施し、不確かさ 1.6×10^{-15} での周波数一致を確認した(図5)。これは世界初の大陸間の光標準直接比較実験であり、双方向搬送波位相方式が光標準の国際周波数比較に有用であることを示した成果である。

国際活動としては、ESA(欧州宇宙機関)が推進する国際宇宙ステーションを用いた高精度周波数比較実験ACES計画に関して、国内関係機関(東京大学・産業技術総合研究所)の意見を束ねて参画し、地上局を配備する世界7機関の1つとして世界中の候補の中からNICTが選ばれ、日本代表機関として地上局の運用管理を行う予定となった。

VLBI周波数比較に関しては、電磁界シミュレータを利用して大型カセグレンアンテナに対応した新しい広帯域フィード(6-14GHz)の試作器を設計・製作し、鹿島34mアンテナへ搭載した(図6)。合わせて超小型アンテナの広帯域化を行うとともに、実証実験のため鹿島・小金井・つくば(産業技術総合研究所と協力)の3局へのシステム配備を整えた。データ取得系においては、新規開発した高速A/D変換器の性能評価試験により課題の洗い出しを進め、RFダイレクトサンブラのスケジュール観測に対応したデータ記録ソフトウェアの整備も行った。さらに鹿島-小金井間の高速度回線を整備し分散処理システムの基盤整備を進めた。統合解析ソフトウェアに関しては、VLBI+GNSSデータ、および地上測量データを統合解析する機能実装を実現した。このソフトウェアを使ってVLBIとGPSの統合解析を実施し、統合解析の有効性を確認した。さらに、実データを用いてVLBI、およびGNSS周波数比較の解析を試行した。

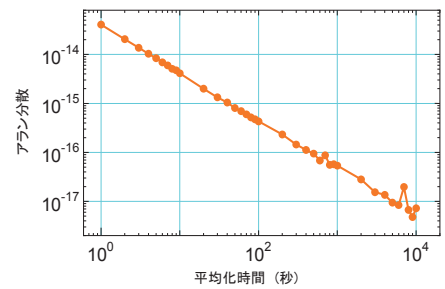


図3 テラヘルツコム周波数計測精度

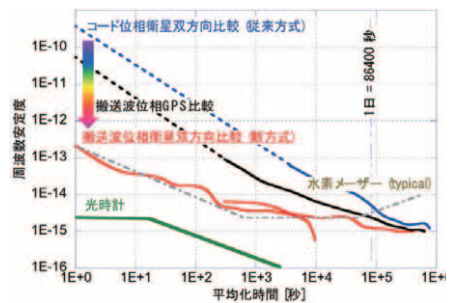


図4 搬送波位相方式によるNICT-PTB間での衛星双方向周波数比較の計測精度

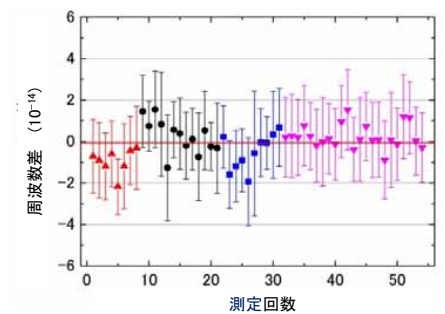


図5 PTB(独)Sr光格子時計とNICT_Sr光格子の周波数比較結果

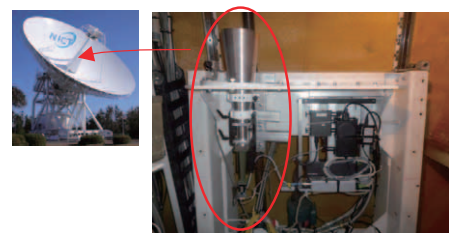


図6 34mアンテナ用広帯域フィード