

### 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 26 年度は中期計画 4 年目として、日本標準時の分散管理システム構築、 $\text{In}^+$  イオントラップ光時計及び 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 26 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、標準時分散管理システムの構築においては、未来 ICT 研究所（神戸市）に準備中の副システム全体の基本動作確認を行い、また現地にて日本標準時に同期する試験的な時系を生成し、半年間の運用において数ナノ秒程度の優れた同期精度を確認した（図 1）。

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 1 日あたり 3 億を突破した。標準電波においては老朽化対策としての設備更新を 2 局並行して進めた。また NICT が提唱したタイムスタンプ認定制度における時刻配信・監査方法が、平成 23 年度の JIS 認定に続いて国際規格 ISO/IEC 18014 part4 として発行されることが確定した。標準電波を用いた周波数遠隔校正においては、受信部の改良版をサロベツ、沖縄、金沢大の各地に設置し、全時間帯で  $2 \times 10^{-10}$  以下の安定度を達成するなど受信性能が格段に向上したことを確認した。

国際活動においては、ITU-R における閏秒廃止の議論に参加するため各種委員会に日本代表として参加し、日本の立場を主張し各国に働きかけを行った。国内連携としては、時の記念日に際した明石市立天文科学館とのイベント連携、及び国立科学博物館で開催された「ヒカリ展」（平成 26 年 10 月～27 年 2 月）への展示協力などを行った。

##### (2) 次世代周波数標準器の研究開発

$\text{In}^+$  イオントラップ光時計の開発では、深紫外光の影響でトラップ位置が時間的にわずかにずれることが精密な検証により判明したが、システムの一部（イオントラップ部）の改良により問題解決に成功（図 2）し、時計動作の確認・評価を再開した。また技術的に困難なフェムト秒チタンサファイアレーザの真空紫外域での効率的な高次高調波発生を実現し、 $\text{In}^+$  における新たな検出遷移の利用可能性を実証した。

Sr 光格子時計の開発においては、システム各部の改善を進めて周波数安定度を向上させ、確度限界の確認を行った。また、次世代光標準への足掛かりとして、冷却機構を搭載した新型 2 号機、及び極低温

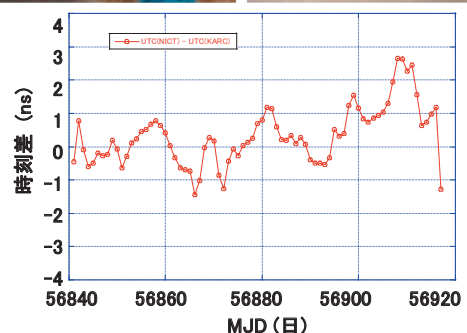


図 1 神戸の標準時分散管理システムと現地の試験時系の日本標準時同期精度

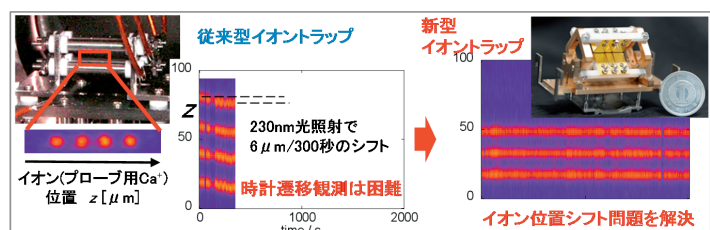


図 2  $\text{In}^+$  イオントラップ光時計におけるイオントラップ部改良の効果

型 Si 単結晶共振器の開発などを進めた。なお、平成 23 年度に実施した東大との光ファイバ伝送比較実験が評価され、市村賞貢献賞を受賞した。

マイクロ波周波数標準の分野では、開発中の Cs 一次周波数標準器の新型 2 号機 (NICT-CsF2) における機能向上と精度評価を進めるとともに、光標準の技術を応用することで水素メーザーを上回る短期安定度のマイクロ波発生を実現した。

テラヘルツ周波数標準においては、これまでに開発した信号発生技術 (光差周波発生法) により広帯域可変 (0.1~3 THz) なテラヘルツ信号の発生に成功した。さらにこの差周波技術を応用したテラヘルツ基準周波数伝送手法を新たに開発し、実際に NICT 本部の 2・6 号館間の 3 THz 基準信号伝送と実利用に成功した (図 3)。またこの光差周波から発生させたテラヘルツ信号とテラヘルツコムとを組み合わせ、0.1~0.7 THz では  $10^{-17}$  台、1 THz では  $1 \times 10^{-9}$  以上の周波数計測精度を実証し、中期計画目標を上回る成果を達成した。理論研究においては、冷却  $N_2^+$  分子イオンの周波数シフト要因を究明し、 $10^{-17}$  台の精度を達成可能な中赤外量子標準理論を論文化した。

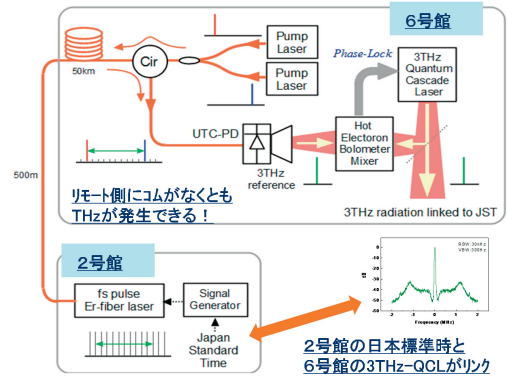


図3 広帯域 THz 信号発生技術 (差周波発生法) を応用した THz 周波数伝送

### (3) 高精度な時刻・周波数比較・伝送技術の研究開発

衛星を用いた周波数比較に関しては、衛星双方向搬送波位相 (TWSTFT-CP) 方式により平成 25 年度に実施した日独実験に関する解析を引き続き行い、同時並行で行った GPS 計測結果と比較することにより共通信号源である原子時計の変動を差し引いた結果、1 日平均で得られる計測精度として  $5 \times 10^{-16}$  を実証 (図 4) し、中期計画目標の達成を確認した。その後、衛星トラブルにより国際実験を凍結せざるを得ない状況となったが、システム誤差要因の調査を進め装置の一部を更新した結果、システム自体の計測精度として従来を一桁上回る  $10^{-17}$  台の精度到達を実現した。萌芽的研究としては、TWSTFT-CP の応用実験として、光標準から発生したマイクロ波を用いた計測システムの評価実験を大阪大学と実施し、高精度な計測が短時間で可能なことを実証した。またワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室との連携プロジェクトにおいて、簡易な受信システムのみで静止衛星の軌道を高精度に決定する手法の開発に成功した。国際活動としては、ESA (欧州宇宙機関) が推進する科学衛星ミッション ACES への参加準備に関しては、ESA との合意書を締結し、また国内での無線局免許取得及び地上局用プラットフォーム建設の準備を進めた。

VLBI 周波数比較においては、開発してきた広帯域観測システムの総合評価のための試験観測を実施した。具体的には、鹿島 34 m アンテナに新たに搭載した独自開発広帯域フィードによる初観測に成功するとともに、整備した広帯域観測システムにより国土地理院の石岡局との間で VLBI 実験を行い、世界初となる 8 GHz 幅の広帯域観測とそのデータを用いた広帯域のバンド幅合成に成功した (図 5)。また米国との実験により広帯域フィードを用いた世界初の VLBI 観測に成功した。小型 VLBI システム開発においては、産業技術総合研究所 (つくば) と NICT (鹿島) に設置した小型局と 34 m アンテナとを組み合わせた VLBI 周波数比較の初期実験を行い、従来の帯域幅 (1 GHz) であっても GPS と同程度の精度が得られることを確認した。

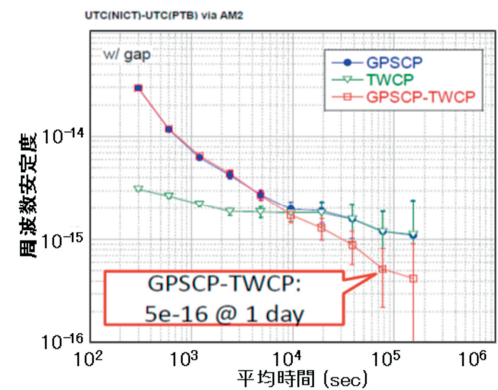


図4 TWSTFT-CP による日独実験結果：原子時計変動を差し引いた後の計測精度

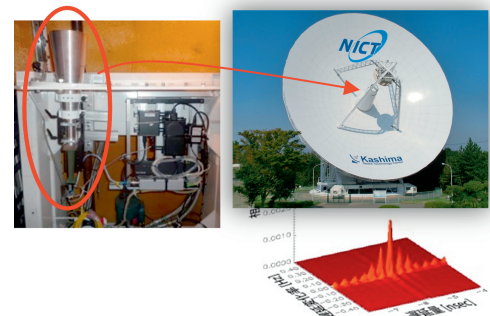


図5 34m アンテナ搭載の広帯域フィードと帯域幅 8GHz の処理 (バンド幅合成) 結果