

NICT NEWS

国立研究開発法人
情報通信研究機構

No.3

2019

通巻 475

FEATURE

時刻・周波数を極める

Interview

時間はここから生まれる！

日本標準時を生成し世界の時刻に貢献する



FEATURE

時刻・周波数を極める



Interview

- 1 **時間はここから生まれる！**
日本標準時を生成し世界の時刻に貢献する
井戸 哲也／花土 ゆう子
- 4 **次世代につなぐ「日本標準時」の発生と供給**
松原 健祐／中川 史丸
- 6 **レーザー光による次世代の周波数標準**
マイクロ波から光の時代へ
蜂須 英和
- 8 **大陸間での高精度な時刻・周波数比較技術**
藤枝 美穂／関戸 衛
- 10 **未開拓な周波数領域に新しい標準をつくる**
テラヘルツ周波数標準の確立を目指して
長野 重夫
- 12 **「UTCの将来問題(うるう秒論争)」の最新動向**
岩間 司

TOPICS

- 13 **NICTのチャレンジャー File 4** 原 基揚
原子周波数標準器のマイクロチップ化

INFORMATION

- 14 **NICTオープンハウス2019 in 小金井 開催のお知らせ**
- 14 **ワイヤレス・テクノロジー・パーク(WTP2019) 開催のお知らせ**

表紙写真：

光格子時計の原子トラップ部。青と赤のレーザー光と磁場を組み合わせで多数の原子を数マイクロケルビンにまで冷却して光格子に捕捉し、さらにレーザー光を照射してその光周波数が常に原子の共鳴になるように維持することで、変動しない周波数の基準となる光を得ることができます。そして、この基準光周波数から得られる1秒を参照して協定世界時や日本標準時等が刻む1秒の長さを計測・報告することで、より正確な時刻の維持に貢献していきます。

左上写真：

日本標準時計測システム（本部：小金井）。18台のCs原子時計の加重平均周波数を計測し、これと一致した周波数の標準時信号を作り出します。

Interview

時間はこちらから生まれる！

日本標準時を生成し世界の時刻に貢献する

時空標準研究室

NICT時空標準研究室は、正確な時刻を生成し日本標準時として提供するとともに、国際標準時の生成にも貢献している。正確な時間は、現代社会の基幹インフラのひとつである。産業・経済も学術も正確な時間なしでは成り立たないからだ。

時空標準研究室は具体的にどのような研究を行い、何を目標しているのか。時空標準研究室室長の井戸哲也と電磁波研究所上席研究員の花土ゆう子に話を聞いた。

■時間の定義はどのように変遷してきたか

——どのようにして、正確な時間が求められるようになってきたのでしょうか。

花土 昔、いちばん計りやすかったのは、太陽の動きです。太陽が昇ってまた次の日に太陽が昇るまでを一日とする。そして、一日を分割して1時間、1分、1秒を作っていました。しかし、太陽の昇る時刻は場所によって違います。狭い地域で生活していた時代はそれでよかったのですが、電信や鉄道の発達で人間の行動範囲が広がるとともに、時刻を合わせる必要が出てきました。

そこで、場所が離れていても時間を共有できる方法を作ろうということになり、1920年代に、世界時（UT）^{*1}が登場し

ました。グリニッジ子午線における一日の始まりを夜中の0時とした平均太陽時です。しかし、地球の自転はあまり正確ではないということがわかってきました。

そこで今度は、地球の公転周期を使うということになりました。地球が太陽の周りを一回りする時間を1年とし、それを分割して日・時・分・秒を決めたのです。これが1960年に決められた歴表時（ET）^{*2}です。ここまでは天文観測によって時間が決められていました。

——天文観測の精度はあまり良くなかったのですか。

花土 地球の自転速度にはふらつきがありますし、公転周期も正確に計ろうとすると大変時間がかかります。ETが決まる少し前の1955年、イギリスの国立研究所NPL^{*3}で世界初のセシウム原子時

井戸 哲也（いどてつや）

電磁波研究所 時空標準研究室 室長

大学院修了後、JST-ERATO研究員、JILA（米国NIST/コロラド大学）Research Associate、JST-さきがけ研究者を経て、2006年、NICT入所。Sr原子のレーザー冷却及びその光格子時計への応用、また精密光計測技術等の研究に従事。博士（工学）。

花土 ゆう子（はなどゆうこ）

電磁波研究所 上席研究員

大学院博士課程前期修了後、1989年、郵政省通信総合研究所（現NICT）に入所。以来、時刻・周波数標準に関する研究開発などに従事。博士（工学）。

計が誕生しました。セシウム原子が持つ固有の遷移周波数を利用することで、1秒を非常に精密に計ることができました。さらに、1967年の国際度量衡総会では、セシウム原子の遷移周波数（低いエネルギー状態に移る際に出る電磁波の周波数）を9192631770Hzとして時間の単位「秒」が定義されることとなりました。

■標準時はこうして生成される

——現在はどうのようにして標準時を決めているのですか。

花土 フランスにBIPM^{*4}という国際機関があります。ここで世界各国の400台を超える原子時計が作り出す「秒」のデータを集め、重みを付けて平均し、それを基にして世界の標準時を決めています。

Interview

時間はここから生まれる！

日本標準時を生成し世界の時刻に貢献する

ただし平均しただけでは刻みの間隔が正確かどうかはわかりません。そこで、本当に1秒の長さが正しいかどうかを調べるために、一次周波数標準器というものを使います。これは、自分自身で1秒の長さを正確に測ることができる装置で、「時計の神様」と呼ばれています。

——普通のセシウム原子時計とは違うのですか？

井戸 基本的にセシウム原子時計なのですが、時間を計る方法が違います。原子泉型（atomic fountain）と呼ばれるもので、セシウム原子を噴水のように打ち上げ、レーザー冷却した原子とマイクロ波を相互作用させて超高精度に秒を計ります。誤差は、250万年から2億年に1秒という正確さです。この時計は世界に10数台しかありません。そのうちの1台がNICTにあり、現在2台目を開発中です。

——なるほど、超高精度な原子泉型のセシウム原子時計に替わっていくのですね。

井戸 残念ながらそうではありません。この一次周波数標準器は、精度は極めて高いのですが連続運転ができないのです。量産もできないので故障すると交換が難しい。

花土 ですから、一次周波数標準器は、普通のセシウム原子時計から作られた合成原子時の刻みを定期的に校正するために使われます。

——BIPMはどのようにして世界中の原子時計データを合成しているのですか。

花土 GPS衛星などを仲介として使います。GPS衛星は搭載した原子時計に基づ

く精密な時間と位置情報を乗せた電波を出しています。例えば1つの衛星の信号を同じ時刻に複数の場所で観測し、そこにある原子時計と比較することで、離れた原子時計のずれを知ることができます。このようにして比較しあった時計データをBIPMで加重平均し、確度の高い1秒を決めるのです。

——標準時の刻みの正確さは確認できますが、時間の起点はどこなのでしょう。

花土 国際単位系で「秒」をセシウム原子の遷移周波数を基に定義したのは1967年です。しかし、原子時計の刻む国際原子時TAI^{*5}の起点は、イギリスでセシウム原子時計が発明されてから3年後の1958年です。この国際原子時に「うるう秒」を時折入れて地球の自転におおむね合わせたものが、私たちが日常的に使っている協定世界時UTC^{*6}です。日本標準時JST^{*7}は、協定世界時に9時間をプラスしたものとなっています。

■日本標準時の生成・配信

——NICTはどのようにして日本標準時を生成・配信しているのでしょうか。

花土 NICTには18台のセシウム原子時計があります。これは市販されているもので、それぞれの「秒」を加重平均して日本標準時を生成しています。ただ、それだけでは協定世界時とずれてしまうので、衛星を介して世界の原子時計と比較し、協定世界時に合うように調整しながら日本標準時を生成しています。NICTの原子時計データは、協定世界時の基となるBIPMの合成原子時においても高い寄与率で使われています。

日本標準時の供給方法としては、まず

電波時計に向けた標準電波の発射があります。これは、おおたかどや山（福島県）とはがね山（佐賀県-福岡県）の標準電波送信所から長波帯の電波（40kHz、60kHz）に乗せて送信しています。

このほか、主に放送局向けにアナログ及び光電話回線を使ったテレホンJJY、インターネットを通してPCの時刻を合わせるNTPサービス、タイムビジネス事業者への時刻供給のほか、各種測定器や水晶発振器の周波数較正なども行っています。

——昨年、神戸に副局ができましたが、こちらの役割は？

花土 主に災害時のバックアップ用です。神戸副局には標準時を生成するセシウム原子時計が5台とNTPと光テレホンJJYの設備があります。供給装置については通常はスタンバイ状態にあり、非常時のみここから供給するようになっています。

■時空標準研究室の取組

——時空標準研究室では、日本標準時の生成・配信のほかにどのような研究を行っているのでしょうか？

井戸 当研究室には全部で4つのグループがあります。周波数標準グループは、セシウム一次周波数標準器、光標準器などの原子周波数標準の研究開発を実施しています。また、CSAC^{*8}という超小型のチップスケール原子時計の開発も行っています。

先ほどお話ししましたように、日本標準時グループでは、セシウム原子時計18台で正確な時刻を作り、日本標準時（JST）として国民の皆様にお届けする

業務を行っております。また、新しい平均時刻信号の生成法の研究開発も行っています。

周波数・時刻比較グループは、離れた地点の周波数・時刻を比較する手法を研究し、日本標準時が世界の標準時とどれくらいずれているかを常にチェックしています。上記の2つのグループと関連した仕事です。

時空計測グループは、VLBI^{*9}（超長基線干渉計）に関する研究開発です。茨城県鹿嶋市に専用のアンテナ設備があり、宇宙の電波源（クエーサー）をとらえることで、海外のVLBI局との距離をミリ単位で測っています。

——VLBIは標準時の生成とはどのように関係しているのでしょうか。

井戸 うるう秒の挿入には地球の自転の様子を知る必要があります。地球は自転速度がふらついていますし歳差運動も加わって複雑な動きをしています。VLBIを使うと自転速度の精密な測定ができます。誤差は1ミリ秒以下です。普通の天体観測ではこのような精度は実現できません。

——研究開発の国際連携は？

井戸 我々のような各国の時刻をつかさどる機関では、先ほど述べた国際原子時生成のための400台超のうちの一部となる商用セシウム原子時計や水素メーザーを運用してそのデータをBIPMに送るとともに、国際原子時が刻む1秒を校正することで協定世界時の生成に資することが期待されています。そのために用いるツールが我々が開発している原子泉型一次標準器や次世代の光格子時計等の光周波数標準です。これからも、これらの仕

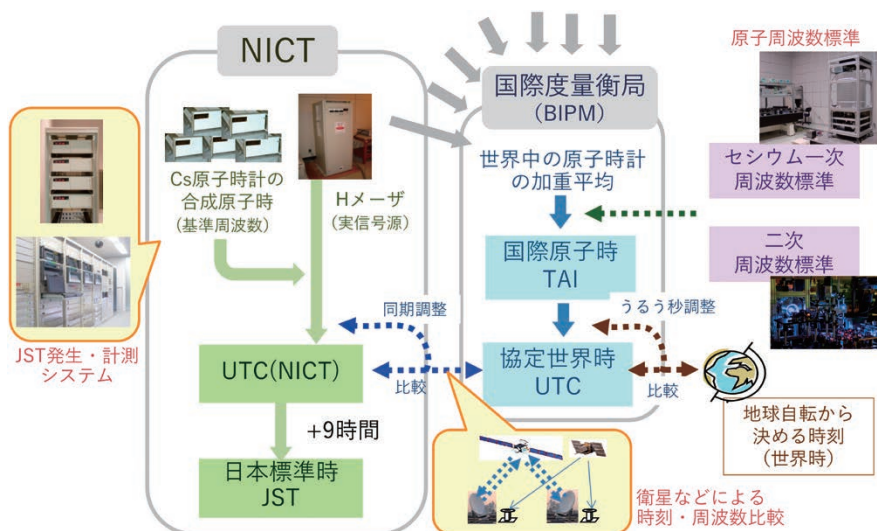


図 標準時生成の仕組み。NICTだけでなくBIPMや世界中の研究機関との協力・相互依存のもとに、社会生活の基準となる時刻は生成・維持されています。

事を通して、国際社会に更なる貢献をしていきたいと考えています。

我々がストロンチウム光格子時計を利用して半年間にわたって生成した実信号としての時刻は、BIPMが世界中の原子時計や原子泉周波数標準のデータを集めて生成した計算結果としての時刻に対して0.8ナノ秒しかずれていませんでした。このようなデータも、BIPM等と共同で解析するなどの国際連携を行っています。

■「秒」がますます重要になってきた

花土 国際活動では「秒」の定義を決める会議にも参加しており、国際標準の策定等に関わっています。また、アジアの新興国に対して標準時生成等に関する技術支援も行っています。さらに、もうひとつ重要なのは国際相互承認の仕事です。例えばメーカーが周波数測定器を作り、それを輸出する場合、品質・性能が国際的に保証されていないといけません。そういった計測手法の標準化や国際相互承認に関する業務も行っています。

——これからの時空標準研究室に求められるものはなんですか？

井戸 当研究室としては、まず第一に日本標準時を確実に安定して提供することです。また、現在、光格子時計の登場で時間の精度が数桁高まろうとしており、

こういった高精度な時間を国民の皆さまにお届けできる日がいずれ来るかと思っています。その時のために、高い精度をどのように使いこなすかということも考えていかなければならないと思っています。

国際単位系の「秒」の再定義の時期も近づいています。昨年はキログラムの定義もプランク定数に基づくものになり、「秒」が他の基本単位の定義に更に深く関わるようになり、時間の単位がますます重要なものとなっています。

また、スマートフォンに搭載できるような超小型のチップスケール原子時計の開発も進めます。近い将来、スマートフォンで精密な時刻を利用できるようになればこれまでになかったような斬新なアプリが開発されることでしょう。

——時間は重要な社会インフラのひとつということですね。

井戸 はい、ですから、時間の標準に休みは許されないのです。重要な基幹インフラのひとつとして停止させないという決意をもって、更なる研究開発を進めていきたいと考えています。

*1 UT: Universal Time
*2 ET: Ephemeris Time
*3 NPL: National Physical Laboratory
*4 BIPM: Bureau International des Poids et Mesures
*5 TAI: Temps Atomique International
*6 UTC: Coordinated Universal Time
*7 JST: Japan Standard Time
*8 CSAC: Chip Scale Atomic Clock
*9 VLBI: Very Long Baseline Interferometry

次世代につなぐ 「日本標準時」の発生と供給



松原 健祐

(まつばら けんすけ)

電磁波研究所
時空標準研究室
研究マネージャー

大学院修了後、非常勤研究員を経て、2001年独立行政法人通信総合研究所（現NICT）入所。単一イオン光時計の開発、標準電波による高精度周波数提供、日本標準時の維持運用等に従事。博士（理学）。



中川 史丸

(なかがわ ふみまる)

電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員

大学院修了後、2002年独立行政法人通信総合研究所（現NICT）入所。時刻比較、標準時システム、時系生成に関する研究等に従事。博士（理学）。

近 年、情報通信の高度化で、NICTが古くから国家標準として決めてきた周波数標準とそれを用いて発生させる日本標準時が、ますます重要になってきています。NICTは正しい時刻と周波数を国内外に供給するだけでなく、世界基準である協定世界時（UTC）の発生にも大きく貢献しています。さらに次世代からの要請にこたえるべく、分散化を用いた高い信頼性と光時計の高精度を取り込んだ、新しい日本標準時を研究開発しています。

■正確で安定な日本標準時の発生

現在の時間の単位「秒」は、セシウム原子が不変の周期の電磁波を吸収することを利用して、その約92億周期分の継続時間で定義されています。時空標準研究室では、図1が示すように最大18台の市販のセシウム原子時計の加重平均で合成原子時を発生させ、この原子時を用いて水素メーザ時計の周波数を調整することにより、日本標準時と周波数標準を発生させます。これにより、短期間（おお

むね10日以内）において時間間隔の揺らぎが小さい水素メーザ時計と、長期間（おおむね10日以上）において時間間隔の変動が小さい合成原子時の各々の長所を利用した時間の発生を可能にしています。加重平均の重みを決めるアルゴリズムは、長年の運用経験も活用して最適化されており、仮に一部の時計が故障等で停止しても、その影響を十分に抑えることができます。

時空標準研究室では、標準電波送信所などを含めて30台以上の原子時計（セシウムと水素メーザ）の時刻を、フランスの国際度量衡局（BIPM）に報告しています。BIPMは世界60以上の機関からの周波数標準器（一次標準器と光時計等）と原子時計の時刻データを基に、協定世界時（UTC）を定期的に決めています。ここで合計400台以上の市販の原子時計からのデータは、より安定なUTCを決めるために重要であり、NICTの原子時計はこの寄与として、昨年の年間平均で世界第3位になりました。このような高い技術を持つNICTには、例えば、周波数校正の国際相互承認における技術

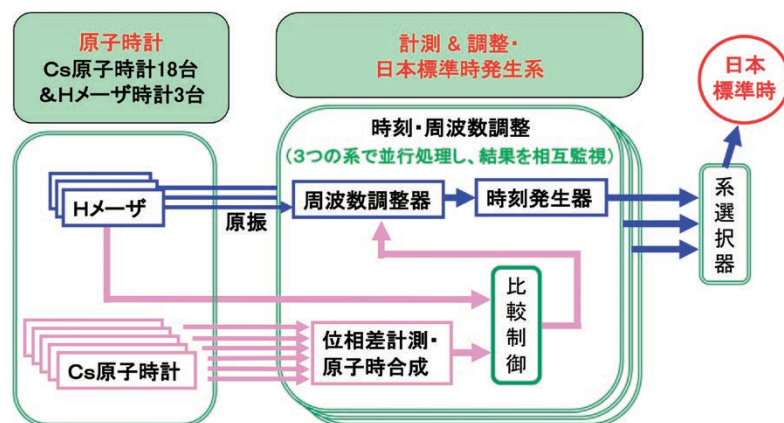


図1 日本標準時の発生システム (Cs:セシウム H:水素)

審査制度の発展でも、アジア太平洋地域の要としてリーダーシップを発揮することが期待されています。

■ 広く確実に届く日本標準時の供給

NICTが標準時と周波数標準を供給する主な方式として、標準電波、テレホンJJY、NTP（ネットワークによる時刻供給）があります（図2）。標準電波はこのうち最も歴史があり、現在は総務省設置法等で内容が規定されています。1999年から長波帯における標準電波の送信が始まり、国内出荷累計1億台以上の電波時計に日本標準時を伝えてきました。2016年までに国内2局の送信所の設備を更新して、長波帯での送信開始から20年目の迎える現在も、国民に最も身近な日本標準時の供給方法として利用されています。

テレホンJJYは電話回線を利用した標準時供給で、現在、1か月に15万件以上のアクセスがあります。ミリ秒クラスの精度と確実性そして高いセキュリティ性

を持ち、放送や鉄道等の公共分野でも広く利用されています。近年、光電話回線の利用が進んでいることから、その高速性を生かした「光テレホンJJY」を開発して実用化しました。またNTPのアクセスも非常に増えており、今後も重要性が高まることから、サーバーの高速化や多重化などを進めています。これら以外にも、行政サービスなどの電子化に必要な電磁的記録（電子ファイル）の時刻承認を行う制度への貢献や、周波数校正サービスを新たに発行されたISO/IEC 17025:2017規格に対応させる業務に取り組んでいます。

■ 将来に向けた日本標準時の分散化の研究

日本標準時の信頼性と精度を更に向上させる目的で、標準時の分散化の研究を進めています。そのマイルストーンとして2018年6月10日から、日本標準時の神戸副局の運用を開始しました（図3）。神戸副局にはNICT本部（小金井）の本

局と同様に、標準時発生システムと光テレホンJJYなどの供給システムを備えています。それらのシステムは本局より小規模ですが、常に連続して時刻を発生させており、通信衛星やGPS衛星を介した時刻比較を利用して、本局との時刻差は十分に小さく（ナノ秒レベル）調整されています。そのため万一、本局からの日本標準時の供給が止まっても、それを引き継ぐ日本標準時を副局から速やかに供給できます。また2つの局の時刻差は常に高精度に計測されていますので、日本標準時と高いトレーサビリティを持つものとして、神戸副局で発生する時刻と周波数の応用についての検討を進めています。

さらに、標準時分散化の研究では精度の向上も期待できます。現在の運用では、本局の日本標準時をマスターとして使い、人工衛星を介した時刻比較により、神戸副局や標準電波送信所で発生する時刻を調整しています。本局をマスターに用いるのではなく、副局や送信所にも分散させた全ての原子時計から合成原子時を発生させて、さらに日本標準時を発生させる研究を進めています。合成する時計の台数が増えると、これまで以上に高精度で高安定な標準時を発生することが期待できます。その実現には原子時計間の時刻比較の安定運用や、分散化に適した合成のアルゴリズムが必要で、現在これらの研究を進めています。

■ 今後の展望

本特集号のP6-7でも説明されるとおり、現在、秒の再定義の議論が進んでいます。NICTでは開発した光時計を取り入れた時系生成の実験を行っており、次世代のシステムとして実用化を目指しています。

NICTの日本標準時と周波数標準については、Webサイト（<http://jjy.nict.go.jp/>）でも詳しく報告しています。より正確で、安定で、そして身近な次世代の時刻と周波数利用に向け、開発と普及活動を続けていきます。

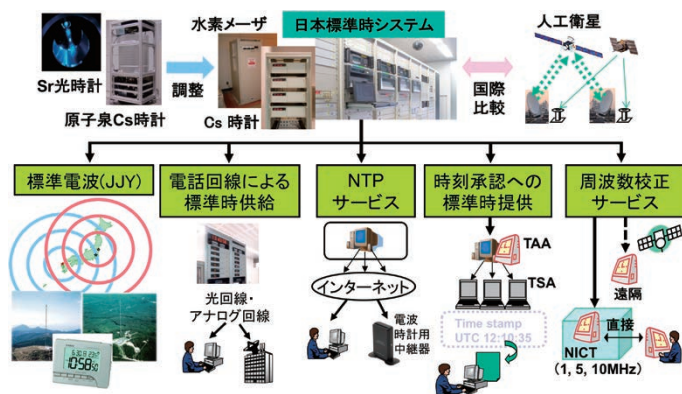


図2 日本標準時の供給 (Sr: ストロンチウム)

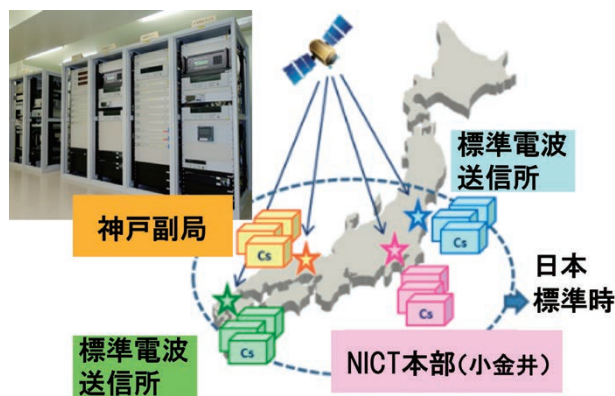


図3 神戸副局と標準時分散化 (写真: 副局時間周波数計測システム)

レーザー光による次世代の周波数標準

マイクロ波から光の時代へ



蜂須 英和

(はちす ひでかず)

電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員

大学院修了後、JST-CREST研究員を経て、2010年NICT入所。2013年10月から現職。光周波数標準、特に光格子時計の高精度化及びその応用に関する研究に従事。博士（工学）。

現

在、レーザー光を用いた光時計は「秒」の定義を実現するセシウム周波数標準の精度を凌駕しています。私たちはより高精度な時刻情報を提供するため、光時計の精度向上とその時刻生成への応用に取り組んでいます。その一方で、この光時計の精度を利用し、これまでに、一般相対性理論が唱える標高差によって時間の進み方が異なることを高い精度で検出してきました。さらに、最近では欧米のグループと協力して、現在の宇宙の理解には不可欠とされながら、いまだ正体不明の暗黒物質の探索にも取り組んでいます。

■周波数標準

時間の単位である「秒」は、セシウム原子のマイクロ波帯の遷移周波数に基づいて定義されています。この定義を実現し、国際的な認定を受けた周波数標準を一次周波数標準と呼んでおり、その最高精度は3億年で1秒しかずれないほどです。これを長さに例えると、地球の直径をナノメートル（10億分の1メートル）の精度で測れることに相当し、周波数標

準が驚くべき精度で実現されていることが分かります。一方、私たちはマイクロ波より高い周波数の電磁波であるレーザー光による光周波数標準（光時計）の開発に取り組んでいます。高精度に長さを測るにはものさしの目盛りが細かい方が有利であるように、高精度に1秒を測るには、1秒間に振動する波の数が多く、つまり、より高周波の光を使う方が有利です。実際、これまでに160億年で1秒しかずれない精度の光時計が実現されています。このような状況から、「秒」の定義をセシウムのマイクロ波遷移から原子の光学遷移に改定することが本格的に検討されています。

■単一イオントラップ時計と光格子時計

現在の周波数標準は、原子が特定の周波数の電磁波（光）を吸収するという性質を用いて生成した高精度な周波数に基づいています。図1に示すように、光時計には主に2つの方式があり、その1つは1980年代に欧米で提案された単一イオントラップ時計です。この方式は、適切に配置した電極に交流電圧をかけることで発生した交流電場とイオンとの間に働くクーロン力を利用して捕獲した1つのイオンを用います。もう1つは、2001年に東京大学の香取秀俊准教授（当時）が提案した光格子時計です。この方式は、光の干渉縞（光格子）に捕獲した数万個の原子を用います。シュタルク効果という物理現象により、安定な原子は電場強度の強い所に集まります。電場強度が空間的に強め合ったり弱め合ったりしている光格子は、原子からするとパン

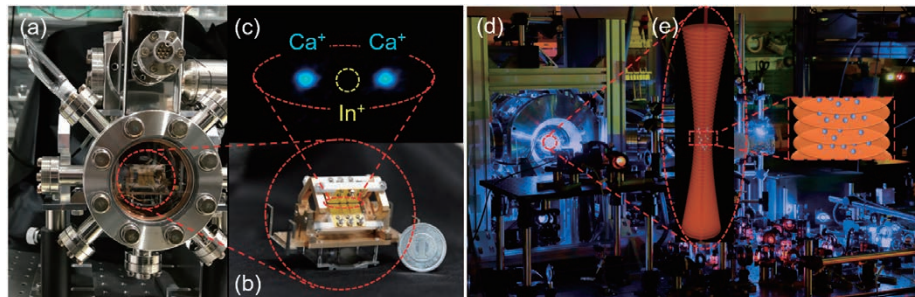


図1 (a)単一イオントラップ時計の装置の一部と(b)トラップ電極の写真及び(c)捕獲されている実際のイオンのCCD画像。(c)青く光っている2つのカルシウムイオン (Ca^+) の間に光時計に使う1つのインジウムイオン (In^+) が捕獲されている。(d)ストロンチウム光格子時計の装置の一部の写真と(e)光格子の概念図。光格子に複数の原子が捕獲されている。

ケーキを重ねたように規則正しく並んだたくさんの居場所があるように感じます(図1(e)参照)。ここに捕獲した原子を同時に扱うので、信号の積算時間を単一イオントラップ時計に比べて短くできる特徴があります。私は光格子時計を担当していますが、当研究室では単一イオントラップ時計の開発にも取り組んでおり、お互い協力しつつ、刺激し合いながら研究を進めています。

■光時計でより正確な時刻を生成

グローバルな金融取引や第5世代移动通信システム(5G)など実社会においては、より高精度な時刻情報がますます重要となっており、そこでは参照する国際的な標準時として協定世界時(UTC)が用いられます。UTCは、国際度量衡局(BIPM)が世界中の400台以上ものマイクロ波原子時計の周波数の重み付き平均から算出した時刻に基づいています。そのUTCが刻む1秒の長さ(歩度)は、各国の一次周波数標準などにより常時評価され、その評価結果を使ってBIPMが歩度の校正值を決定しています。評価結果がこの校正に採用されるには、国際的にその能力が認められる必要があります。光時計としては、NICTとパリ天文台の光格子時計のみがこの認定を取得してお

り(2019年1月現在)、私たちの評価結果は従来の周波数標準と共に実際にUTCの校正值決定に採用されています*1。

一方で、UTCはBIPMが1か月に一度算出する時刻のため、実際の信号はなく、実利用には不向きです。そこで各国はUTCに同期した実信号の時刻を生成・維持しています。当研究室が生成・維持している実信号は、+9時間の時刻差を付けて、日本標準時として広く提供されています*2。そして、近年、光格子時計を用いた、より高精度な時刻実信号の生成を世界で初めて実現しました*3。図2に示したように、生成した時刻TA(Sr)とUTCとの時刻差を比較開始時に0 ns(ナノ秒、10億分の1秒)に調整した後、その差は徐々に広がり、5か月後には8 ns以上になりました。一方で、BIPM地球時というより高精度な時刻との差は、5か月経っても0.8 ns以下でした。BIPM地球時は、BIPMが毎年1月下旬頃、前年までの各国の周波数標準によるUTCの評価結果を用いて算出した、より定義に近い歩度で時を刻む時刻です。UTCでは過去に遡って時刻を修正しますが、学術利用が目的のBIPM地球時では一次周波数標準などで校正した過去の時刻をも修正するため、私たちが知り得る最も正確な時刻です。したがって、この結果は、この期間高精度なテスト時刻

であるTA(Sr)がUTCよりも定義に近い歩度で時を刻んでいたことを示しています。

■高精度な光時計を使って

一般相対性理論によれば、標高の高い所の時間は早く進みます。当研究室では、20年程前に商用セシウム原子時計を長波帯標準電波送信所に運搬する際にこの効果を検証していました*4。そして近年では、光時計を使って、より短時間でより高精度にこの効果の検証を行っています。2011年に私たちは光ファイバを用いてNICT本部(小金井)の光格子時計の信号を東京大学本郷キャンパスの香取研究室に伝送し、東大の光格子時計との周波数差を計測して、56 mだけ標高が高いNICTの時間が東大よりも早く進むことを検出しました*5。重力ポテンシャルの違いで時間の進み方が変わるので、将来、ある2つの地点の時間の進み方の違いから、地下にある空洞や資源の存在を調査できるようになるかもしれません。また、私たちは欧米のグループ(ポーランドのグループが主軸)と共に光時計を用いた暗黒物質の探索にも取り組んでいます。小さな実験室で行っている原子とレーザー光の相互作用の研究から発展し、相対論効果を身近に感じられたり、宇宙の謎に迫る壮大な研究テーマにも取り組めたりすることは、究極的な精度を追い求める周波数標準の研究の魅力のひとつです。

私たちは近い将来、光時計を使ってUTCの高精度化に貢献するとともに、日本標準時グループと協力して光時計を用いたより高精度な日本標準時を実現できるようシステムのブラッシュアップに取り組んでいます。そして、光時計の高精度化を通して、自然界のより深い理解にも貢献していきたいです。

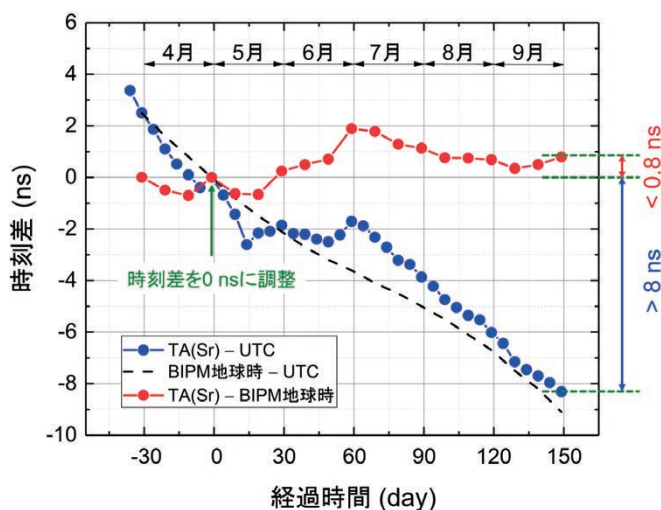


図2 2016年に光格子時計を用いて生成した高精度なテスト時刻TA(Sr)。青線と赤線はそれぞれTA(Sr)とUTC、BIPM地球時との時刻差。単位はnsは、ナノ秒を表す。5月の初めに時刻差を0 nsに合せている。黒破線は、BIPM地球時とUTCの時刻差。

*1 2019年2月プレスリリース: <https://www.nict.go.jp/press/2019/02/07-1.html>
 *2 本特集号P4-5
 *3 2018年3月プレスリリース: <https://www.nict.go.jp/press/2018/03/15-1.html>
 *4 通信総合研究所季報vol.49 P195
 *5 2011年8月プレスリリース: <https://www.nict.go.jp/press/2011/08/04-1.html>

大陸間での高精度な時刻・周波数比較技術



藤枝 美穂

(ふじえだ みほ)

電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員

2003年独立行政法人通信総合研究所（現NICT）入所。衛星仲介及び光ファイバ利用の時刻・周波数伝送に関する研究に従事。博士（理学）。



関戸 衛

(せきど まもる)

電磁波研究所
時空標準研究室
副室長

1991年郵政省通信総合研究所（現NICT）入所。超長基線電波干渉法（VLBI）を用いた測地学・位置天文学、宇宙飛行体の位置計測、高速ネットワークを用いたe-VLBIに関する研究に従事。博士（学術）。

1 秒間に繰り返し現象が何回起きるかを周波数、その1回の現象が終わるのに必要な時間を周期といいます。時計は繰り返し現象を起こすもの（例えば振り子）とそれが何回起きたかを数え積算する装置を備えており、周期×積算カウント数によって時刻を表します。協定世界時は各国の標準時の基準となるもので、世界中にある原子時計の時刻の進み、遅れ（時刻差）を平均化して算出されています。標準時の時刻差を正確に測るため、また周波数標準の周波数値の再現性を確認するためには、高精度な時刻・周波数比較測定が不可欠です。例えば協定世界時と日本標準時の時刻差測定のために、広い視野を持つGPSなどの衛星を仲介とする時刻・周波数比較が定常に行われています。

■時刻・周波数比較技術の現状

現在定常測定で使われている手法（GPS比較及び静止衛星経由双方向比較）の測定精度（図1青線、黒線）は標準時の源

となる原子時計の精度よりも悪く、将来、秒を再定義するであろう光時計の精度（図1緑線）に追いつくには、数百日以上以上の測定が必要とされます。この状況を改善するためヨーロッパ大陸ではデータ回線用光ファイバを用いた超高精度時刻・周波数伝送が実施されています。けれども光ファイバのレンタル費用が高額であり、かつ島国の日本が外国とリンクするには海底ケーブルが必要となるため、大陸間での光ファイバ伝送はまだまだ現実的ではありません。このことから、我々は衛星経由やVLBIによる比較技術の開発に力を入れています。図2に本部（小金井）2号館屋上に設置されている衛星双方向用アンテナとVLBIの小型アンテナを、図3に鹿島にある34 m VLBIアンテナを示します。衛星双方向用アンテナは決まった位置にある静止衛星へ手動で向けられていますが、VLBI用アンテナは様々な位置にある天体に向けるため自動で方向を変えることができます。

■搬送波位相を利用した衛星双方向比較のこれから

前述のGPS衛星を仲介する比較は測位衛星が送信する信号を受信して行う手

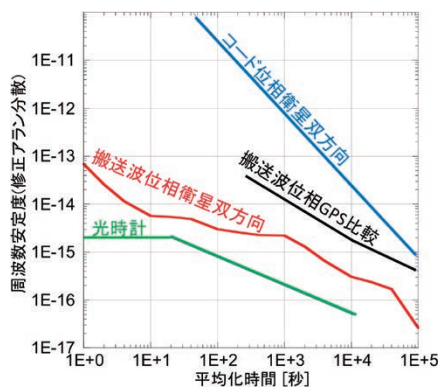


図1（左）衛星経由周波数比較精度、（右）新規開発したモデム

赤：搬送波位相利用衛星双方向比較、青：コード位相利用衛星双方向比較、黒：搬送波位相利用GPS比較のコードクロック測定精度。赤のみ実測値であり、それ以外は典型値を示す。緑線は典型的な光時計の周波数安定度を示す。

法であり、コード又は搬送波位相利用で各々約5ナノ秒、50ピコ秒の測定精度（図1黒線）があります。一方、静止衛星経由の双方向比較は2つの地球局から同時に信号を送受信して比較を行う手法であり、信号経路の双方向性から大気遅延や衛星軌道の影響をほぼ相殺することで精度を上げる方式です。通常2.5 Mbpsのコード位相を利用し約500ピコ秒の測定精度（図1青線）が得られます。この精度は信号のチップレートに反比例するため、より高速の変調信号を用いれば精度が向上しますが、高額な商用静止衛星の中継器のレンタル料がリミットとなります。そこで我々はGPSと同様に搬送波位相を用いて、衛星を利用した比較法としては世界最高の精度である約0.1ピコ秒を世界で初めて達成し、海外の研究機関との間で光時計比較実験を行うなど実績を積み上げてきました。実験当初は汎用測定器を利用して行っていたが、それらの台数が充分でなかったこと、測定器内部の遅延量の再現がで

きず絶対時刻比較に適用できないなど仕様に不足があったことから搬送波利用の技術を他の研究機関へ広めるには至りませんでした。その後それら仕様不足を解消し、かつ汎用のデジタルデバイスを利用した安価な装置（モデムという）の研究開発に着手、2017年度、企業に製作していただきました。2018年度は国内で実証実験を進め性能が期待値どおりであると確認できたため、2018年度後半から海外の研究機関との実験を始めています。

我々の最終目標は協定世界時決定のための比較ネットワークにおいて搬送波位相利用の衛星双方向比較方式を採用していただき、協定世界時の安定度を高めることにあります。現在はそのためのツールをようやく入手した段階です。どうすれば効率的に技術を展開できるのか関係部署に相談のうえ進めていきたいと考えています。

■ VLBIによる大陸間周波数比較

地球規模の距離で原子時計の精密比較できる宇宙測地技術のひとつが、超長基線電波干渉法（VLBI）です。VLBIは、地球から見て宇宙の固定座標基準とみなされる数億光年かなたのクエーサと呼ばれる電波源の微弱な電波を地上の複数のパラボラアンテナで受信し、電波の到着

時刻差を精密測定することで、地球規模でアンテナ間の距離や、使用している原子時計間の周波数差を計測します。VLBIは自然の電波天体の受信のみを使う方法であり、電波の送信がなく、衛星の軌道などに依存しないなど他の周波数比較技術（GPSや衛星双方向）と相補的な性質を持っています。私たちは従来のVLBIの計測精度を大幅に向上する超広帯域（3-14GHz）の観測システムを開発し、これを使って小型のパラボラアンテナ（2.4m直径、図1）による地球規模の精密周波数比較を実現する技術を研究開発しています（図3）。産業技術総合研究所と国内でシステムの実証実験を行った後、2018年夏に小型VLBI局をイタリアに設置し、同年秋からイタリアの国立計量研究所の光時計（イッテルビウム（Yb）原子）とNICTの光時計（ストロンチウム（Sr）原子）の周波数比較実験を実施しています（図4）。現在の1秒の定義とされているセシウムのマイクロ波放射に代わって、光時計を新しい時間の定義に使用することが検討されていますが、どの原子が定義として使用されるか決まっておらず、各国の光時計間の比較が大変重要になっています。地球と宇宙の空間座標の基準に使われているVLBIが、時間の基準の決定にも貢献することは、時空標準技術として大変重要であると考えています。



図2 本部（小金井）2号館屋上のアンテナ

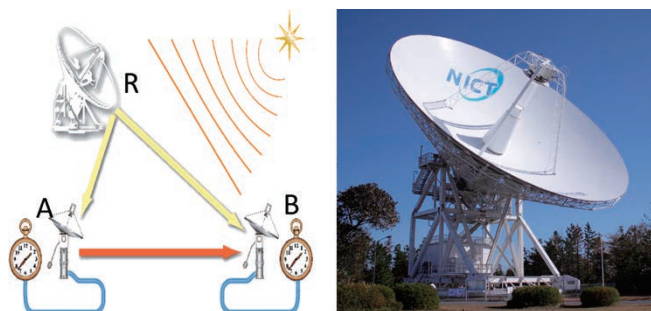


図3 (左) 小型アンテナを使ったNode・Hub型VLBIの構成、(右) 鹿島34mアンテナ

小型アンテナをNode局（A、B）、大型アンテナをHub局（R）として、RA、RBの基線の観測データから小型アンテナ間（AB）の観測を成立させる。大型アンテナの高い受信感度が小型アンテナ間のVLBI受信感度を改善し、さらに差分から構成されたAB基線の観測量には、変動誤差要素が大きな大型局の遅延の影響が残らない。鹿島34mアンテナはこのVLBI実証実験の大型局として活躍している。

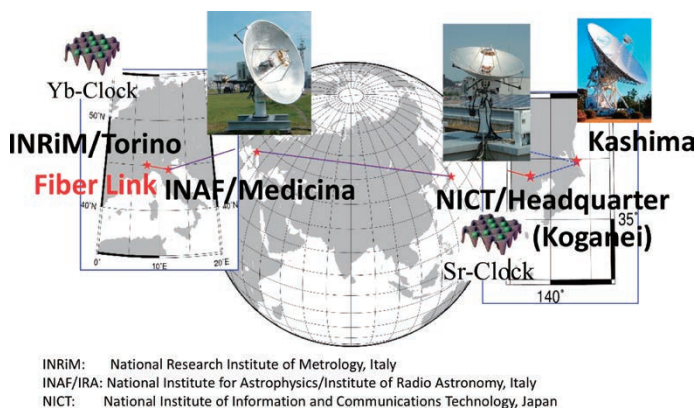


図4 VLBIを使ったイタリアとの光原子時計の比較実験

イタリア国立計量研究所（INRIM）のYb原子の光時計の信号は、光ファイバを通してイタリア国立天体物理学研究所（INAF）に供給されている。INAF/Medicina観測所に設置した広帯域小型アンテナ、本部2号館屋上の小型アンテナ及び鹿島34mアンテナのVLBI観測により、INRIMのYb原子とNICTのSr原子の光時計間の精密周波数比較実験を実施している。

未開拓な周波数領域に新しい標準をつくる

テラヘルツ周波数標準の確立を目指して



長野 重夫

(ながの しげお)

電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員

大学院修了後、2005年NICT入所。光周波数標準用フェムト秒レーザー光コム、テラヘルツ周波数標準などに関する研究に従事。博士（理学）。

貴

重なる周波数資源であるテラヘルツ領域の利活用に大きな注目が集まっています。長い間、「未開拓周波数帯」と呼ばれてきたこの領域には、ユーザーの利便性を向上させるための共通インフラである周波数標準が存在してきませんでした。NICTではテラヘルツ領域に新しい標準を立ち上げるための研究が進められています。世界に先駆けたこの研究によって、国際的に広く実際に使われる標準、すなわちデファクトスタンダードの獲得も期待されています。

■研究の背景

電波と光の周波数の間にあるテラヘルツ領域（約0.1～10THz）は、電子回路技術と光エレクトロニクス技術による両翼からの攻略を拒み続けてきたので、「未開拓の周波数帯」と呼ばれてきました（図1）。ところが、情報通信の急激な発展に伴い、この領域が超高速通信のための貴重な周波数資源として認識されるようになっていきます。また、物質を形づくる、様々な分子の吸収線（指紋スペクトル）がこの領域に存在することから、分光分析や非接触計測などへの活用も既に始まっていて、その市場規模は増加の一途をたどっています。今後、科学から私

たちの実生活に至る多くの場面で、テラヘルツ領域の利用は広がっていくと思われます。

一方、これまでに使われてきたテラヘルツ帯分光器の中には周波数の正確さが3～4桁しかなく、測定の再現性も乏しいことから、指紋スペクトルによる分子の同定結果に信頼性の問題が生じる例も出てきており、ユーザー間で混乱が起こらないように共通の周波数尺度（周波数標準）を設定することが重要になりつつあります。しかし、この領域ならではの精密計測の難しさなどが要因となって、テラヘルツ周波数標準に関する研究は国内外の標準研究所において、これまではほとんど未着手という状況でした。

NICTは電波法を根拠としてテラヘルツ標準の確立に対する貢献が求められており、またテラヘルツ領域のデバイス開発からセンシング研究などで培ってきた豊かな技術的土壌が整っていたことも踏まえて、時空標準研究室では標準器だけにとどまらず、その周辺技術である周波数計測及び周波数伝送を三位一体として研究しています（図2）。

■テラヘルツ領域に周波数のものさしをつくる

周波数標準器を開発するためには、正確な周波数計測が行えなければなりません。そこで、私たちは研究の第一歩として、光コム技術を応用したテラヘルツ周波数カウンターを開発しました。光コムとは、一定の周波数間隔で並んだ多数のレーザー光の集まりのことで、その並びが櫛（コム）のように見えることから、その名前が付いています。これは光周波

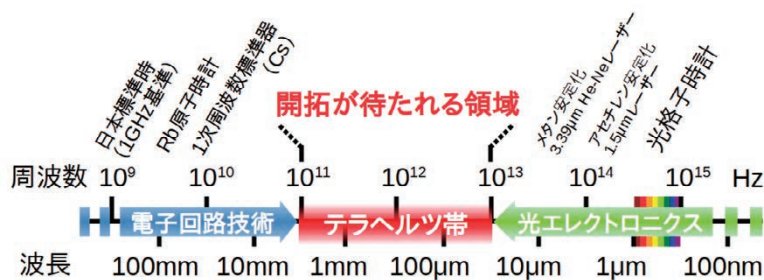


図1 周波数（波長）標準の現状とテラヘルツ領域の関係

数のものさしになるので、光格子時計の計測などに幅広く利用されてきました。半導体の光伝導素子などを使うと、この光コムを周波数変換することができて、テラヘルツ領域にコム構造を発生させることができます。私たちは光伝導アンテナを利用して光コムを変換し、テラヘルツコムを発生させました。このコムの間隔を、日本標準時を基準として制御するとテラヘルツ領域の周波数ものさしになり、被測定テラヘルツ波の絶対周波数を計測できるようになります。

計測そのものを研究対象とする計量学の観点からは、このような方式で作られた周波数カウンターの測定限界に関心があります。そこで、1つの被測定テラヘルツ波を2台のカウンターで同時に測定し、得られた周波数の差を見ることで測定限界を評価したところ、カウンターの持つ周波数揺らぎは $10\mu\text{Hz}$ 以下になることが明らかになりました。これは計測精度に換算すると、17桁レベルに相当していて（図3）、現在開発中のテラヘルツ標準器の評価にとどまらず、理論提案されている極低温分子を参照基準に使った「テラヘルツ分子時計」に対しても十分な性能です。

■テラヘルツ周波数標準を遠くへ送る

電波や光の場合、大気中もしくは光ファイバー内での吸収が弱い

ため、遠距離通信が容易です。ところが、テラヘルツ領域には水蒸気による強い吸収があり、大気中での伝送は困難です。また、テラヘルツ波用の導波路も実用の域に達していません。そこで、私たちはコム技術を使ったテラヘルツ周波数伝送法を開発しました。この方法ではテラヘルツ標準の位相情報を、コム技術を駆使してレーザー光にコピーし、そのレーザー光をファイバー伝送した後、再びテラヘルツ領域に情報を復元します。長さ20kmの光ファイバーを使った実証実験では、テラヘルツ標準の伝送精度は18桁に達していることが確認されました（図3）。将来的には光ファイバー網を使って、測定機器の遠隔校正への応用が期待できます。

■テラヘルツ光源の周波数を安定にする

周波数標準器の原理は、原子や分子の吸収線を参照基準にして電磁波の周波数を安定化することです。よって、取り扱いきやすい光源や精密分光の手法が存在することも大切ですが、どのような原子・分子を選択するかが重要になってきます。私たちは詳細な理論検討を行い、一酸化炭素（CO）分子を基準として採用することにしました。その吸収線はテラヘルツ領域に広く分布しており、市販の

光源による分光が可能です。また、単純な構造を持つ二原子分子なので、外部の電磁場を原因とする周波数シフト量を比較的容易に計算することもできます。既に私たちは、発振周波数が約3.1THzの量子カスケードレーザーをCO分子の吸収線に周波数安定化することに成功しました（図4）。詳細な性能評価などはこれからの課題ですが、まずは7桁程度の周波数不確かさ（正確さ）を目標として研究を進めています。

■今後の展望

テラヘルツ周波数標準の研究には挑戦的な課題も数多く残されており、これからの発展に対する興味は尽きません。その一方で社会的なニーズを踏まえながら、この新しい標準と精密計測技術の両輪を世界に先駆けて立ち上げることで、NICT発の国際的なデファクトスタンダードの獲得も目指していきます。



図2 テラヘルツ周波数標準の研究イメージ

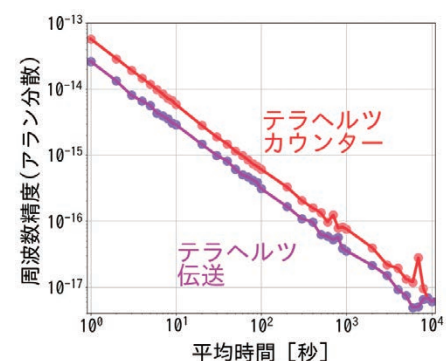


図3 周波数カウンターの計測精度（赤）と周波数伝送法の伝送精度（紫）。どちらも0.3THzでの実験結果。

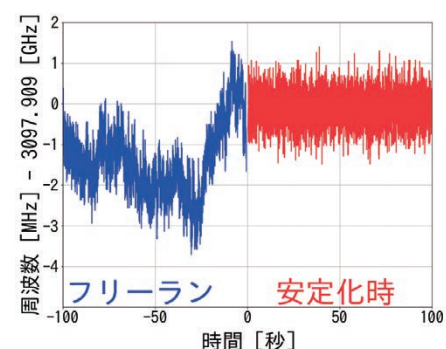


図4 3.1THz量子カスケードレーザーの周波数揺らぎ：フリーラン時（青）、CO分子に安定化時（赤）

「UTCの将来問題(うるう秒論争)」の最新動向



岩間 司

(いわま つかさ)

電磁波研究所
時空標準研究室
研究マネージャー

大学院修了後、1985年郵政省電波研究所(現NICT)入所。以来、1～3GHz帯地上波伝搬特性解析、移動通信のセル構成、日本標準時供給、周波数校正、時刻認証基盤技術の研究開発等に従事。博士(工学)。



2017年1月1日のうるう秒挿入の瞬間

昨 年秋、重さの定義が改定されたというニュースが話題となりました。これは、2018年11月に開催されたメートル条約に基づく最高機関である第26回国際度量衡総会(General Conference on Weights and Measures: CGPM)において、質量の基準がキログラム原器からプランク定数に基づいた質量の定義に変更されたからです。

実はこの第26回CGPMにおいて時刻の定義についても決議Bの中で勧告されています。

1つめの勧告は、現在のUT1 - UTCの上限値についての検討であり、もう1つはUT1 - UTCの予測精度の向上とその公表の方法についてです。

ここでUT1とは地球の自転に基づく天文時系である世界時(Universal Time: UT)のひとつであり、UTCとは協定世界時(Coordinated Universal Time: UTC)のことでUT1に準拠するように調整された原子時系です。ただし、地球の自転周期は一定ではないため、UT1とUTCの間にはずれが生じます。

現在、国際電気通信連合無線通信部門(International Telecommunication Union Radiocommunication Sector: ITU-R)の勧告TF.460-6でUT1-UTCの上限は±0.9秒以内と定義されています。UT1-UTCの値がこの上限を超えそうになった際には1秒を

挿入または削除してUTCの時系がUT1から0.9秒以上開かないよう調整しています。この調整の1秒がうるう秒です。1972年に10秒挿入の特別調整を実施以降、うるう秒調整はこれまでに27回実施され、UT1-UTCの値を±0.9秒以内に維持してきました。

うるう秒調整を行うと調整前と調整後で時刻が1秒ずれることとなるため、近年の高度情報化社会においては通信インフラ等に様々な影響が懸念されます。実際に2012年のうるう秒調整時には世界中で様々なインシデントの報告がありました。日本は情報通信の安全性等の観点からうるう秒調整については廃止の立場です。

ITU-Rにおいては、2000年から「UTCの将来問題」としてうるう秒調整の廃止に関する議論が行われており、2012年の無線通信総会で活発な議論が行われたが合意に至らず、2015年の世界無線通信会議(World Radiocommunication Conference 2015: WRC-15)においても決着せず、WRC-23までは現行のUTC(うるう秒調整)を維持することが決議されました。この際に、ITU-R以外の国際機関等の意見を幅広く集めWRC-23までに提言を受けることも併せて決議されました。

今回のCGPMの決議Bは、このWRC-15の決議を受けたものであり、CGPMとして「UTCの将来問題」に取り組むことを決議したことになります。

UT1-UTCの上限値については、例えばUT1 - UTCを1分とした場合、最近60年の結果(合計で37秒を調整)から類推すると約100年ごとの調整周期、UT1 - UTCを1時間とした場合、調整周期は5,000年以上となり実質的にうるう秒調整の廃止と同義となります。

今後、CGPMの決議を受けて国際度量衡委員会及び時間・周波数諮問委員会で議論され、その結果がCGPMを通じて2023年のWRC-23にフィードバックされ「UTCの将来問題」に寄与することになります。

Draft Resolution B

On the definition of time scales

The General Conference on Weights and Measures (CGPM), at its 26th meeting, considering that

(略)

and recommends that

- all relevant unions and organizations consider these definitions and work together to develop a common understanding on reference time scales, their realization and dissemination with a view to consider the present limitation on the maximum magnitude of UT1-UTC so as to meet the needs of the current and future user communities,
- all relevant unions and organizations work together to improve further the accuracy of the prediction of UT1-UTC and the method for its dissemination to satisfy the future requirements of users.

Convocation of the General Conference on Weights and Measures (26th meeting) 抜粋

原子周波数標準器のマイクロチップ化



原 基揚

(はら もとあき)

電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員
博士 (工学)

●経歴

1977年 兵庫県出身
2005年 東北大学大学院工学研究科
博士後期課程修了
2005年 株式会社富士通研究所入社
2011年 東北大学大学院工学研究科
助教
2013年 同大 准教授
2016年 現職

●受賞歴等

第35回超音波エレクトロニクスの基
礎と応用に関するシンポジウム 奨
励賞 (2014)
第35回「センサ・マイクロマシンと
応用システム」シンポジウム 優秀
技術論文賞 (2018)

一問一答

Q 最近はまっていること

A 最近ではないですが、読書は好きです。小説、ビジネス書、哲学書、政治家・官僚の回顧録など、できるだけ理工書と縁遠いものから、分野を散らしてチョイスしています。

Q 生まれ変わったら？

A 大木や鯨みたいな大きいものになってみたいです。現世の研究テーマがとても微細なので。

Q 研究者志望の学生さんにひとこと

A 良い研究テーマや研究環境、輝かしい研究成果などの獲得は、個人の努力だけで決まらないことも多いので、偏らない心とポジティブな態度を維持するタフさが研究者には必要なのかなと思います。

時

計や計算機などの電気機器は、政府主導のインフラ用途から、民生品へと広がるとき、一挙に小型化され、ウェアラブルサイズにまで突き進みます。この流れは内蔵される電子デバイスとも相関し、記憶素子やセンサ、マイクなどの素子の集積度も飛躍的に上昇していきます。

NICTにて管理する原子周波数標準器（日本標準時）にも、この小型化の波が確実に来るでしょう。原子周波数標準器はラックマウントの大型機器ですが、近年は、数cm角大の原子時計モジュールも販売されています。さらに、次世代携帯電話では、センサ類を含む様々な通信端末間で、同期による効率的な連携が求められており、次世代自動車でも、スマート化と自動運転化の流れの中、時刻同期と位置推定の精度向上がクローズアップされています。このような状況は、究極の精密クロックである原子周波数標準器が民生品に展開され、爆発的な小型化へ

と向かう黎明を感じさせます。

私の研究キャリアの始まりは、ガスタービンを半導体微細加工技術を用いて手のひらサイズにまで小さくするというスチームパンクなものでした。その後、電子回路だけでは対応しきれない高周波信号を微細な機械振動子を利用して処理する技術の開発に励み、大学教員の時には、それらに加えて、発電素子や流体デバイスのオンチップ化にも取り組みました。

高周波制御系、光制御系、ガス封入容器の微細化など、多くの先進技術が複合した原子周波数標準器、その小型化・チップ化は私のキャリアの延長線上に位置し、タフだけれどもとても魅力的なテーマです。最後に、先行して取り組んだ原子時計用の高周波制御系を図に示します。小型化のスケールを感じていただけると嬉しいです。

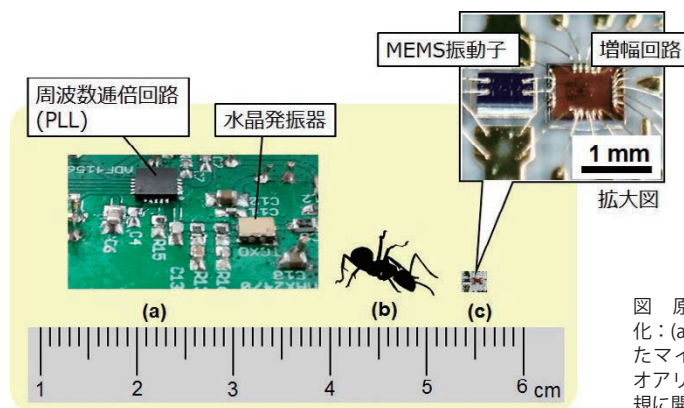


図 原子時計用発振回路の小型化：(a)従来の水晶振動子を利用したマイクロ波発振器、(b)クロオアリ（体長7mm~12mm）、(c)新規に開発したマイクロ波発振器

入場無料、事前申込不要
（一部のイベントは）
事前予約制です

NICT オープンハウス2019 in 小金井

6月21日(金) 9:30~17:00
22日(土) 9:30~17:30

NICTでは、講演、技術展示、ラボツアーなどにより、研究開発成果や事業内容を紹介するNICTオープンハウス2019 in 小金井を開催いたします。皆様のご来場をお待ちしています。



6月21日(金)・22日(土)	
特別講演	6/21(金) 大阪大学基礎工学研究科 教授 石黒 浩 氏 6/22(土) スペシャルゲストスピーカー登壇予定
研究者講演	NICTの研究者が最新の研究成果について講演します。
ラボツアー	研究施設見学（ラボツアー）により、最新の研究活動をご紹介します。
技術展示	最新の研究成果について、デモ・パネル展示を行います。

6月22日(土)	
ポスターセッション	学生の皆さんが、自分のアイディアをベースにして作成したポスターを展示して、発表してもらいます。
サイエンストーク	フランクな雰囲気の中、NICTの最先端の研究をテーマに、研究者と参加者でトークを行います。

その他、VR体験コーナー、ロボット展示コーナー、ICTメンターセッション、高校科学部・ロボット部展示コーナー、大学科学サークルによるサイエンス教室、スタンブラリー等の企画を予定しています。（詳細は後日 Web にてお知らせします）

会場	国立研究開発法人情報通信研究機構 本部 〒184-8795 東京都小金井市貫井北町4-2-1 詳細は ☎ https://www.nict.go.jp/open-house2019/		
お問合せ	国立研究開発法人情報通信研究機構 広報部	オープンハウス 2019 事務局	TEL: 042-327-5322

ご来場の際は、公共交通機関をご利用ください。

WTP 2019 WIRELESS TECHNOLOGY PARK

ワイヤレス・テクノロジー・パーク(WTP)2019開催、出展、講演のお知らせ

2019年5月29日(水)～31日(金)
東京ビッグサイト 10:00～18:00（最終日は17:00まで）
（西3・4ホール、会議棟）

ワイヤレス・テクノロジー・パーク（WTP）は、無線通信技術の研究開発に焦点を当てた専門イベントで、展示会、セミナー及びアカデミアプログラムを通じて、産学官の連携を促進し、新たな技術開発やビジネス創出へとつなげる場として毎年開催しています。

2019年はメインテーマに「ワイヤレスで新たな社会をデザインする ～5G 到来、そして Society 5.0へ～」を掲げ、第5世代移動通信システム（5G）以降、IoTやビッグデータ、AI等と連携したICTで実現する超スマート社会に向けた最新ワイヤレス技術と動向が分かる様々な企画を予定しております。

NICTは、展示やセミナーで、ワイヤレスネットワーク技術を中心とした最新成果を紹介いたします。

多くの皆様のご来場をお待ち申し上げます。



WTP2018の様子

同時開催

- ・ワイヤレスジャパン2019
- ・運輸・交通システムEXPO 2019
- ・IDE TOKYOドローンソリューション&技術展
- ・電子情報通信学会SR研究会、RCC研究会、MICT研究専門委員会
- ・「電波資源拡大のための研究開発」第12回成果発表会
- ・「高専ワイヤレスIoT技術実証コンテスト」成果発表会

主 催

国立研究開発法人情報通信研究機構、YRP研究開発推進協会、YRPアカデミア交流ネットワーク
詳細はWTP2019公式サイト (<https://www.wt-park.com/2019/>) を御覧下さい。