

FEATURE

「三本の矢」が拓く 時空間同期技術

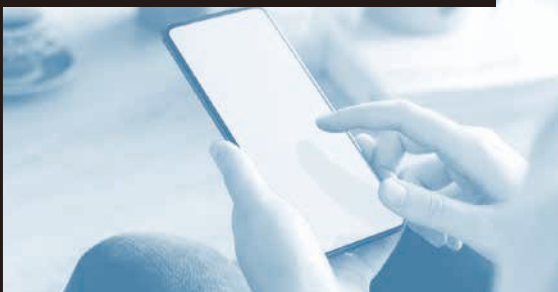
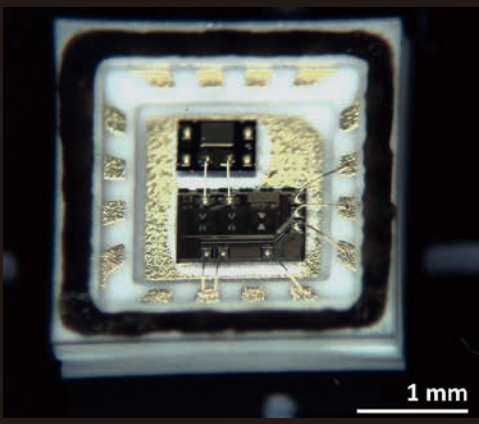
産総研G-QuATセンター長

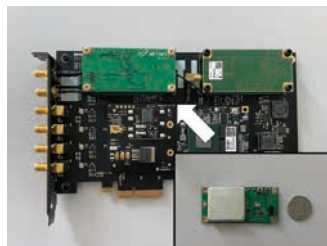
NICT時空標準研究室長

対談

益一哉氏 × 井戸哲也

時空間同期が支える6Gと量子ネットワークの未来





表紙写真

(左上) 準天頂衛星の補足情報 (MADOC-PPP) を受信することで、ナノ秒レベルで標準時を得る事ができるGNSSアンカー。民間企業との共同研究の成果であり既に販売されている。

(左中) 小型原子時計用に開発された弾性波素子発振器。低温焼成セラミック (LTCC) パッケージにて封止・実装される。

(中上) Wi-Fi モジュールを搭載し、時空間同期をしながら飛行してミリ波通信を行うドローン (写真提供: ソーシャルICTシステム研究室)

(右) 10台の小型原子時計間を光ファイバで接続して実現したクラスタクロック網の原理実証機

(下) 0.1ナノ秒以下の高精度な分散時刻同期を実現するために民間企業と共同開発したネットワーク機器

左上の写真

Open Compute Project において仕様化されたサーバーに高精度な時刻を供給するためのPCIeボード (Time card)。右下のWi-Fi ドーターボードを装填することで多数のサーバーに無線で正確な時刻を供給することが期待される。



2025 年日本国際博覧会 大阪・関西万博 展示のお知らせ

2025年9月16日(火)～22日(日)



総務省とNICTは、大阪・関西万博フューチャーライフエキスペリエンスにて、期間展示とステージ発表を行います。期間展示の会場では、「起業家万博」に出場したスタートアップ9者やNICTの音声マルチスポット再生技術の技術展示をし、来場の皆さまに「ICTスタートアップが魅せるちょっと先の未来」を体感していただけます。ステージでは、9月16日(火)に「アルムナイ・ネットワークナイト」、9月17日(水)に「NICTネクストアントレプレナズピッチ」を行います。皆様のご来場をお待ちしております。

FEATURE

「三本の矢」が拓く時空間同期技術

1 時空間同期が支える6Gと量子ネットワークの未来
益 一哉／井戸 哲也

4 原子時計チップの実現を目指した技術開発と今後の展開
福岡 政大／原 基揚

6 時刻がそろえば位置もわかる
屋内 GPS をするには
志賀 信泰／安田 哲

8 みんなで時間をそろえるってむずかしい！
分散時刻同期 (クラスタクロック) への挑戦
矢野 雄一郎

10 光ファイバー時刻同期
全国規模の展開を目指して
藤枝 美穂

11 時空間同期技術の国際標準化への取組
眞澤 史郎

12 時空間同期に関する技術交流の場の醸成
原 基揚

TOPICS

13 NICTのチャレンジャー File 34 森川 真樹
日本標準時の安定運用を技術で支える

INFORMATION

14 けいはんな R&D フェア2025 開催のお知らせ
14 CEATEC 2025 出展のお知らせ
14 AWARD

FEATURE

「三本の矢」が拓く時空間同期技術

Space-Time Synchronization Enabled by Three Core Technologies



産総研G-QuATセンター長・益 一哉氏 × NICT時空標準研究室長・井戸 哲也

時空間同期が支える6Gと量子ネットワークの未来

アインシュタインが時空という概念を提示し、物理学に大革命を引き起こしてから100年余り。今、情報通信の世界で、新たな時空の概念が提示されている。時刻と空間における位置を正確に把握する時空間同期技術で、情報通信の精度と効率を上げることができるのだ。精力的に研究開発が進められている量子コンピュータ及びそのネットワークにおいても時空間同期技術は必須といえる。

今回は、産業技術総合研究所 量子・AI融合技術ビジネス開発グローバル研究センター (G-QuAT) センター長・益 一哉氏とNICT時空標準研究室長・井戸 哲也の対談をお届けする。

——まず自己紹介をかねて、お二人の研究経歴からお話してください。

井戸 私は、光格子時計^{れいめい}の黎明期から研究開発に携わってきました。現在の秒を定義しているセシウム原子時計と比べると2桁以上も正確な周波数 (時間) を生成する時計です。光格子時計はすでに社会実装が始まろうとしており、NICTにおいては、光格子時計で日本標準時が正しい1秒に合致しているかどうかを週に1回確認しています。また、国際度量衡総会において、秒の再定義に貢献しようとしています。

同時に、時空標準研究室の室長として、時空間同期技術を社会で使っていたけるよう努力しています。光格子時計というのは、時刻を刻むための社会インフ

ラとしての超高精度な時計ですが、これと比して精度こそ落ちますが、研究室ではみなさまに1個ずつ持っていただけるようなチップサイズの原子時計も開発しています。

益 私は10代の頃は、相対性理論や量子力学など基礎物理に興味を持っていましたが、大学では電子工学を専攻し、社会に出てからは集積回路の開発・設計に携わりました。今は産総研のG-QuATということで、量子コンピュータや量子ネットワークの研究開発のマネジメントに携わっています。

——改めて、時空間同期とはどういうものですか。

井戸 離れたところにある二つのものが、

益 一哉 (ますかずや) 〈左〉

産業技術総合研究所
量子・AI融合技術ビジネス開発グローバル
研究センター
センター長

1982年 3月 東京工業大学大学院理工学研究
科電子工学専攻博士後期課程修了。東北大学
電気通信研究所 助手、助教授を経て、2000
年6月より東京工業大学精密工学研究所 教授。
東京工業大学 科学技術創成研究院 研究
院長などを歴任し、2018年4月より東京工業
大学 学長を務める。2024年10月より産総研
G-QuAT センター長。工学博士。

井戸 哲也 (いどてつや) 〈右〉

電磁波研究所 電磁波標準研究センター
時空標準研究室 室長

大学院修了後、JST-ERATO 研究員、米国 NIST
／コロラド大学 JILA の Research Associate、
を経て、2006年にNICTへ入所。光格子時計
や精密光計測技術の研究と、その標準時シス
テムへの導入に取り組む一方で、近年は時空
間同期技術の普及・推進にも力を注いでいる。
博士 (工学)。

時間と空間の座標を共有しているということです。B5G/6Gといった無線通信ネットワークにおいては次第に機械対機械 (M2M) の通信が使われるようになっていきます。そのとき時間と空間についての情報のやりとりが必要で、これは時空間が同期する、つまり時間と空間の座標軸を共有することによって実現します。

益 実は半導体も量子コンピュータも時刻同期というのが欠かせないのですね。集積回路というのは大きさが1.5センチ四方くらいで、その中に回路ブロックがあり、10¹⁰とビットで動いているのですが、このとき同じタイミングで動いてくれないと計算できません。

これは通信ネットワークで時空を共有するときと同じです。我々が研究している量子コンピュータがネットワークにつながると、量子時間とか量子時間同期とかという話にまでなってきます。

井戸 私が重要だと思うのは、いままで科学が進歩した結果、高精度なものが一つあれば、大は小を兼ね、たとえ低精度で十分なシーンでもその高精度なものを使えばよいという考え方でやってきましたが、これからはこれは資源の無駄遣いということになりかねません。現在は、ニーズが多様化してきているので、ニーズに見合った精度のものを提供するという時代だと思っています。

■時空間同期を実現する3本の矢

——時空間同期を実現するにあたって、必要な要素技術にはどのようなものがあるのでしょうか。

井戸 時空標準研究室では、時空間同期による未来のネットワークを図1のように想定し、必要になる技術を時空間同期「三本の矢」と呼んで開発を進めています。* 1本目の矢は、小型の原子時計チップ

Standard)です。あらゆる機器にずれない時刻が組み込まれることによって、多様なサービスを行うことができます。現在消しゴム程度の大きさの原子時計が商品化されていますが、高価であり価格を2桁近く下げたい。サイズについても将来はスマホに搭載できるような小さなものが登場するかもしれません。

2本目の矢は、Wi-Wi (Wireless two-way interferometry) と呼ばれる近距離無線双方向時刻比較技術です。GNSS (Global Navigation Satellite System、全球測位衛星システム) に頼らず地上の電波だけで、簡単に時刻と位置を把握する技術です。

3本目の矢は、クラスタクロックと呼ばれる技術で、物理的に離れた場所にある時計の重みづけ平均を計算することで、安定してブレない時刻信号を生成する技術です。

現在、移動体通信をはじめ社会インフラの多くがGNSSの提供する時刻に依存しています。ですから、仮に災害や戦争でGNSSに障害が起こるとインフラが大混乱してしまいます。しかし、これら3つの技術を使うことによって、GNSSがなくても正確な時刻を届けて社会インフラを守ることができます。

益 空間情報(位置情報)に時間情報がつくことで、情報の価値が格段に上がります。時空間を共有することで、情報がモノからコトガラになり、高い付加価値のついた共時的ネットワークになります。

さらに将来B5G/6Gのような超高速のデータ通信の時代になると、遅延がなくすべての情報がリアルタイムになり、伝搬速度が気にならなくなります。時間の精度が高ければ高いほど、リアルタイム性

が高まり、情報の価値が高くなるのです。

これからの研究として私が注目しているのは、ネットワーク化されたコンピュータ群での時刻同期です。図2に示すように、CPS(Cyber-physical space)の実現等でますます利用が広がるAIも、その裏では膨大なコンピュータ資源が働いています。以前はクロックも遅く、チップ内で時刻が同期していれば十分だったのですが、今ではチップ内でも信号遅延が無視できないほどになっています。また、量子コンピュータと従来のコンピュータとの連携にも時刻同期は重要です。量子コンピュータの利用が拡大すれば、空間的にも時間的にも離れた場所にある機器との時空間同期は必須の技術になってきます。

■時空間同期の標準化

——時空間同期技術はこれからのネット社会において非常に重要な技術であることがわかりました。この技術を世界のどこにいても確実・安全に利用するためには標準化も必要ですね。

井戸 時空間同期は座標軸を共有することですが、方式が違うと共有できなくなってしまうから標準化が必須です。我々はモバイル通信の国際標準化プロジェクト 3GPP (Third Generation Partnership Project) において積極的に活動しています。先に述べた「三本の矢」について標準化に力を入れており、ITU-R(International Telecommunication Union Radiocommunication Sector、国際電気通信連合無線通信部門)においても6Gで利用が期待される技術をまとめた文書「IMT-2030 将来技術トレンド」に

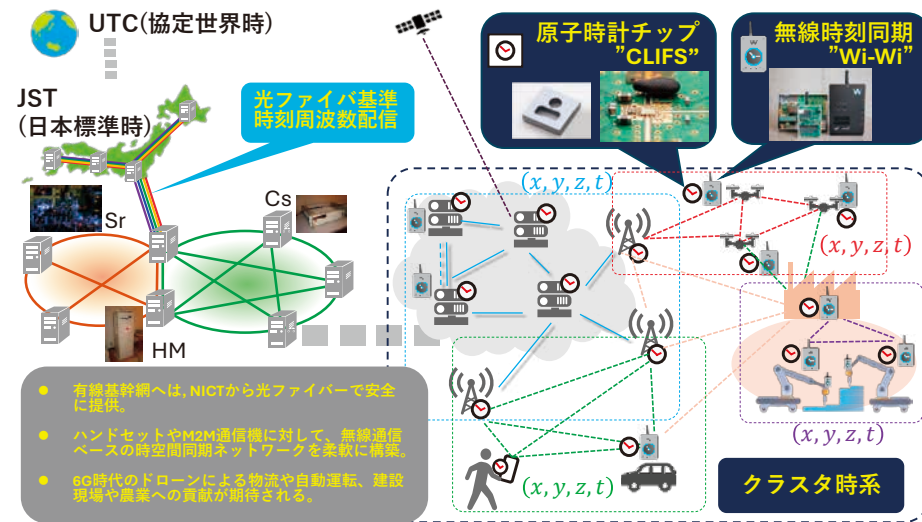


図1 時空間同期技術による未来のネットワーク像。三本の矢「CLIFS」「Wi-Wi」「クラスタ時系」により、ネットワーク参加者は時刻と空間の座標軸を共有し、多様な自動化を可能にする。また、情報にタイムスタンプや位置情報を付加することで、その価値と活用の幅が大きく広がる。

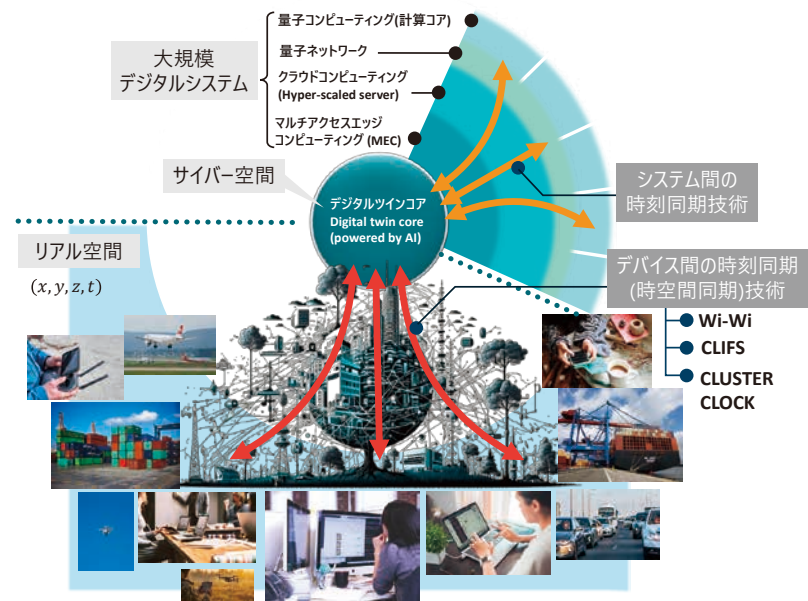


図2 リアル空間とデジタルシステムの写像としてのデジタルツイン(サイバー空間)：あらゆる情報を整合性をもって総合集約するためには時刻・空間情報網が重要となる。

3つの技術が入っています。

また現在、3GPPで6Gにおけるユースケースを議論しているところです。例えばお年寄りなどの歩行者が横断歩道を渡る際に人が歩く速度と位置情報を得ることで、渡りきれるか判断して危険を知らせるアドバイスをスマホに伝える、橋梁などインフラの構造が長期的に変形するのを検知するモニタリング、ロボットによる自動建築といったことを考えています。

益 一般論としていっても標準化は重要で、とくに通信系の分野では必ず標準化をします。なぜなら通信で使っている電波は人類共有の限られた資源だから、み

んなで使い方を決めないと使えなくなってしまう。標準化は地味に見えますが、産業を発展させ、世界中の人たちが便利に技術を使えるようにするために必須の活動なのです。

■時空間同期技術の将来展望

——時空間同期の技術は、これからますます発展していくと思われますが、将来展望をお願いします。

益 昔は面白い物理現象があっても、それをものにするための関連する研究や技術に関する情報を素早く集めることはで

きませんでした。ところが今はインターネットを使っていくらかでも情報を集めることができます。また、正しいと思う方法をどんどん試していけるので、基礎科学が発展していくスピードがものすごく速くなっています。

具体例では、量子力学という基礎科学が量子コンピュータという製品と直結している。そういう時代になっています。

井戸 B5G/6Gでは人間対人間、人間対機械に加えて機械どうしが通信する世界になります。これまでは機械だけに判断させるには、入手できる時刻や空間的位置情報の信頼性が足りなくて難しかったのですが、時空間同期技術によって信頼性のある情報がとれるようになると、機械に判断させることができるようになります。これは、少子化等による労働力不足や、資源の最適配分といった今後の課題へのひとつのソリューションになると思います。

益 昔はリニアモデルといって、国が基礎研究に予算をつけ、その中からエンジニアが形にしていき、次にメーカーが商品化するというように進んでいきましたが、今は基礎科学とビジネスがほぼ同時進行しています。

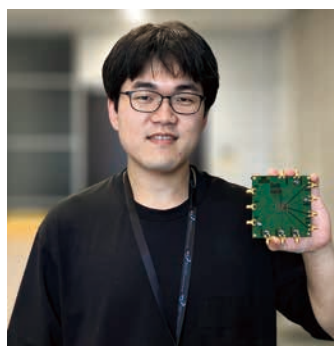
これをアジャイル・ダイナミック社会と私は呼んでいます。アジャイルとはご存じのように、技術や社会のニーズの変化に素早く対応できるシステム開発手法のことです。

そんな時代になってきていますから、我々国立の研究機関も協力しあって研究開発をやらないといけなと思います。共通している技術開発分野もありますからお互いに切磋琢磨し、あるときは協力し、研究開発をスピードアップしていかなければならないと思います。今回の対話もその一つのきっかけになれば、嬉しいですね。

——本日は、どうもありがとうございます。

* 時空間同期技術の技術的詳細はNICT NEWS 2022年 No.4でも紹介していますのでご覧ください。

原子時計チップの実現を目指した 技術開発と今後の展開



福岡 政大

(ふくおかまさひろ)

電磁波研究所
電磁波標準研究センター
時空標準研究室
研究員

大学院博士課程修了後、2024年NICTに入所。小型原子時計に関する研究に従事。博士(工学)。



原 基揚

(はらもとあき)

電磁波研究所
電磁波標準研究センター
時空標準研究室
主任研究員

大学院博士課程修了後、株式会社富士通研究所に入社。東北大学大学院工学研究科准教授を経て2016年NICTに入所。半導体微細加工技術を応用したデバイス開発に従事。博士(工学)。

チップスケール原子時計をご存知でしょうか？原子時計は原子の固有周波数を基準にした時計です。その原子時計をICチップサイズまで小さくしたものがチップスケール原子時計です。時計となるデバイスはあらゆるシステムに搭載されていて、これを原子時計に置き換えることで性能が格段に向上します。しかし、現在のチップスケール原子時計はまだ消しゴム程度の大きさで、更なる小型化・高性能化・省電力化・低コスト化が必要です。NICTでは、真にICサイズの原子時計の実現を目指し、CLIFS (Chip Level Integrated Frequency Standard) プロジェクトとして研究開発を行っています。

■原子時計について

原子時計は原子が元素ごとに異なる固有周波数を持つ性質を利用した発振器です。固有周波数を基に一定の周波数の電気信号を作り出し、その周波数分だけ波を数えると一秒を作り出すことができます。原子は不変と考えられているので、固有周波数は変化しません。つまり、原子時計は理論的には永久にズレない時計となります。また、同じ元素を使う原子時計は全く同じ間隔で時を刻むことができます。つまり、正確な時計のコピーを作り出せるのです。

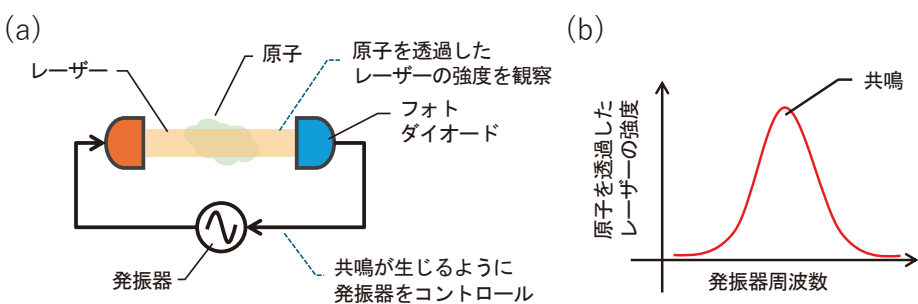


図1 (a) 原子時計の模式図 (b) 発振器周波数を上昇したときの原子を透過したレーザーの強度

しかし、原子の波を数えるのは簡単ではありません。そこで、原子時計は原子の波の複製を作って、その波を数えます。原子の波の複製を作るにはレーザーを使います。図1(a)のように、レーザーを原子に当て、原子を透過したレーザーの明るさを観察します。ここで、複製となる波を作るために発振器を使います。発振器をレーザーに接続し、レーザーの光を変調します。発振器の周波数を固有周波数近くに設定して少しずつ上昇させていくと、原子を透過したレーザーの明るさは図1(b)のように変化し、ある周波数で明るくなります。この明るくなる現象を共振といい、共振が起こる周波数が原子の固有周波数となります。原子時計は発振器の周波数が常に共振を捉えるように制御されます。これにより、発振器の周波数は原子の固有周波数の複製として機能します。固有周波数の複製となった発振器の波を数えれば、原子を基準とした1秒を作り出す時計となります。

NICTでは社会のあらゆる場所で原子時計を使うように低コスト化を指向して、半導体製造技術を用いて機械構造を製作するMEMS(Micro Electro Mechanical System)技術を積極的に用いたCLIFSの開発を進めています。ここではそれぞれの部品の開発状況を紹介します。

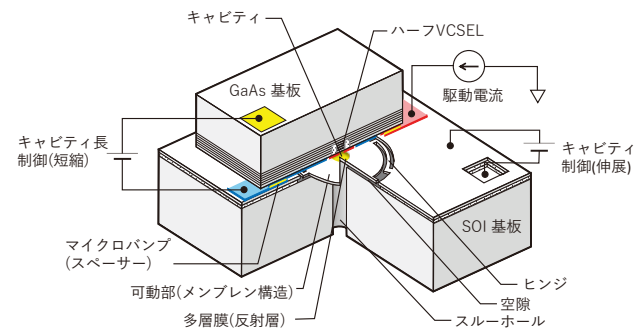


図2 MEMS波長可変半導体レーザーの構造

■MEMS波長可変半導体レーザー

チップスケール原子時計では面発光レーザー (VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser、ビクセルと発音します)を使用します。VCSELは発光する活性層を鏡となる半導体多層膜で挟みこむ構造をしています。この構造をキャビティといい、光はキャビティ内を繰り返し反射します。繰り返し反射する過程で狭線幅のレーザー発振が実現されます。VCSELはウェハー上に半導体多層膜を成膜しますが、ウェハー内の膜厚ばらつきにより、同じウェハーでもキャビティ長に差が生じ、発振波長がばらつきます。原子時計への応用では、発振波長のばらつきを±1 nm以下に抑える必要があり、その結果、良品率の確保が難しくなり、製造コストが増大するという課題がありました。

そこで、図2のように鏡となる多層膜の片方をMEMSの可動構造上に配置し、MEMSを変位させることでキャビティ長を変化させ、幅広い波長調整を可能にしました。これにより、良品率の改善と原子時計システムのコスト削減を実現しています。現在は企業の試作プラットフォームを活用し、より精緻なVCSEL製造に取り組んでいます。

■MEMSガスセル

CLIFSではルビジウム(Rb)を封入したMEMSガスセルを使用します。Rbは空気中ではすぐに反応してしまうため、取り扱いが難しい素材です。そこで、化学メーカーと共同でアジ化ルビジウムを開発しました。アジ化ルビジウムは窒素が3個から成るアジ基($-N_3$)とルビジウム(Rb)の化合物(RbN_3)です。さらにアジ化ルビジウムをガラス基板にインクジェットプリントする方法も開発しました。図3(a)(b)はインクジェットプリンターとプリントされたガ

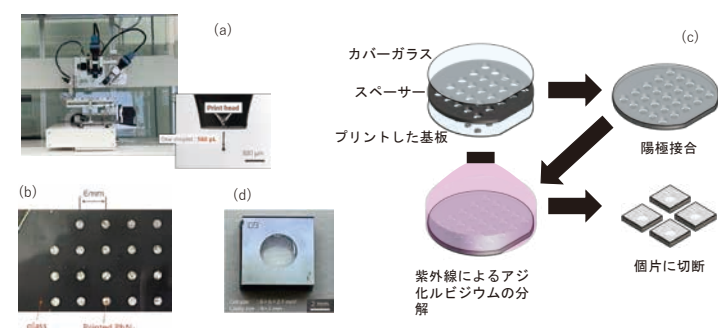


図3 MEMSガスセルと製造手順 (a) アジ化ルビジウムのプリンター (b) 印刷済みのガラス基板 (c) MEMSガスセルの製造手順 (d) 製造したMEMSガスセル

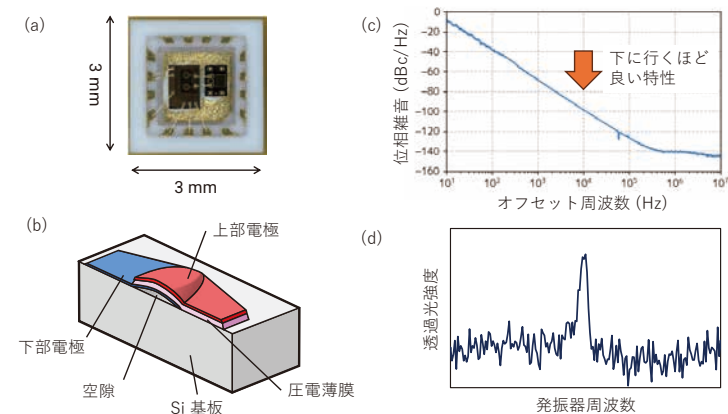


図4 開発したMEMS RF発振器 (a) MEMS RF発振器チップ (b) FBARの構造 (c) 発振器の位相雑音 (d) MEMS RF発振器によって観測した共振

ラス基板です。プリントされたガラス基板はホコリを出すこともなく容易にクリーンルームに持ち込めます。さらに、インクジェットプリントは吐出液量等の再現性が非常に高く、同じものを何個も作り出すことに長けています。

MEMSガスセルは図3(c)の手順で製造します。アジ化ルビジウムのプリントされたガラス基板、シリコンスペーサー、カバーガラスを重ねて接合します。これでルビジウムを閉じ込める空間ができます。次に紫外線を照射してアジ化ルビジウムをルビジウムと窒素ガスに分解します。分解で生じる窒素ガスは共振の特性を良くする役割をします。最後に1個1個のガスセルに切断します。図3(d)は製造したMEMSガスセルを示しています。

■MEMS RF発振器と原子時計用IC

原子の固有周波数の複製となる発振器として、FBAR(thin Film Bulk Acoustic Resonator、エフバーと発音します)を使う発振器を開発しました(図4(a))。FBARは図4(b)のように、Si基板上に圧電薄膜を積層した構造をしています。Si上を作るため集積回路と同時製造が可能で、大量生産、低コスト化に向いて

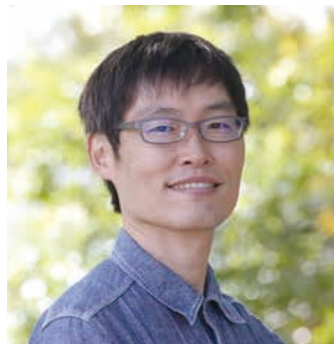
います。開発した発振器は3.4 GHzの波を作り出します。発振器の性能を示す位相雑音は、世界でもトップクラスとなっています(図4(c))。図4(d)は開発した発振器で取得したルビジウムの共振です。開発した発振器を原子時計として使用するためには、VCSEL電流源、共振フィードバック、温度安定化などの周辺機能が必要です。現在、CLIFSに必要な回路を実現する集積回路の研究開発を進めています。

■今後の展望

CLIFSは高度な時空間同期を実現するための心臓部となる部品です。あらゆる環境で動くデバイスすべてにCLIFSが搭載され、比較するためのWi-Fi、分散時刻同期のためのクラスタクロックと組み合わせることで新たな時刻インフラの実現が期待されます。今後は研究を進めている部品を組み合わせ、小型・高性能・省電力・低コストなCLIFSの実現を目指して多くの方々と連携して研究開発を推進していきます。

時刻がそろえば位置もわかる

屋内GPSをするには



志賀 信泰

(しがのぶやす)

電磁波研究所
電磁波標準研究センター
時空標準研究室
主任研究員

大学院修了後、ポスドク研究員を経て、2008年 NICT 入所。光格子原子時計及びイオントラップ原子時計の開発の後、無線時刻同期技術 (Wi-Wi) と「時空間同期」の応用に関する研究開発に従事。Ph.D (Physics)。



安田 哲

(やすだ さとし)

Beyond5G 研究開発推進ユニット
Beyond5G デザインイニシアティブ
主任研究技術員

大学院修了後、静岡大学の研究員、民間企業でのシステムエンジニアを経て、2014年から現職。無線時刻同期技術 (Wi-Wi) と「時空間同期」の応用に関する研究開発に従事。博士 (理学)。

ス マホなどのデバイスの位置を計測するのに便利な GPS ですが、屋内、地下やビルの谷間では使うことができません。NICTでは私たちが日常的に利用している無線通信技術を通してデバイス間の時刻をそろえとともに屋内で位置を計測する技術を開発し、この時刻と位置をそろえる技術を総称して時空間同期技術と呼んでいます。ここでは GPS の肝が正確な時計にあることを紹介し、どのように屋内 GPS 技術へとつながるかのイメージをつかんでいただくことを目的として解説します。

■背景

GPS 技術のおかげで私たちは目的地に迷わず行くことができたり、スマホで撮った写真を例えば「京都」という撮った場所を頼りにして検索したりすることができます。そもそも GPS はどういう仕組みなのでしょう？GPS の仕組みをひもといてみると新たな技術へのヒントが見えてきます。まずは GPS の基本からご紹介します。

■GPSの肝は人工衛星に積まれた正確な原子時計

GPS 衛星は地表から約2万 km 離れた軌道を1日に2周するスピードで回っています (図1)。各 GPS 衛星には正確な時刻を刻む原子時計が搭載されており、なおかつ1日に数回地上の正確な時計と時刻合わせをすることで十ナノ秒 (ナノ秒は1秒の10億分の1) の正確さを維持しています。「どうしてそんなに正確な時刻が必要なのでしょうか？」その問いに答えるには GPS で位置をどう計測するのかを説明する必要があります。

■位置の測り方

今私たちが使える道具がメジャー1本だけだとして、テーブルの上にあるスマホの位置を測るにはどうしたらよいでしょうか？図2-a のようにたて軸とよこ軸を決めて、対応するたて、よこの座標を測るイメージを持たれた方が多いのではないのでしょうか？しかしこのやり方はたて軸とよこ軸にそれぞれ平行な線を引く必要があり、メジャー1本で X 座標と Y 座標を測るのは困難です。実はもっと簡単なやり方があります。テーブルの角を基準点として、4角からの距離を測るやり方です (図2-b)。このやり方ならメジャー1本で測ることができます。このテーブルをどんどん大きくして、4つの角を衛星にして、3次元に考え方を拡張したのが GPS なのです。では GPS では距離をどのように測るのでしょうか？

■電波を使って距離を測る

GPS は衛星からデバイスまでの距離を電波を用いて計測します。どうやって計測するかというと、みなさんも小学校で学んだことのあるあの公式を使うのです。

速さ×時間＝道のり

この公式をご存じの方は多いと思いますが、この公式をどのようにして使うのか、少し丁寧に説明します。まず「速さ」ですが、電波を使って距離を測るため電波の速さを知

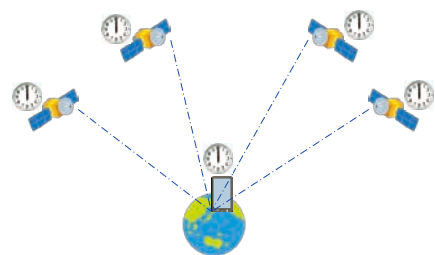


図1 GPSは正確な時計を載せた人工衛星

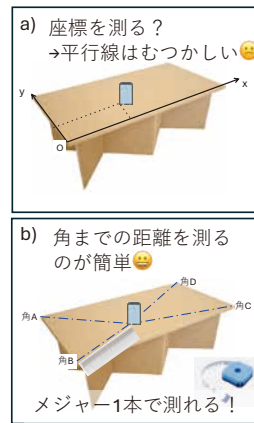


図2 位置の測り方

る必要があります。電波の速さは約30万 km/ 秒、1秒間に地球を7周半するスピードです。「それって光の速さじゃないの？」と思われるかもしれません。実は目に見える光も、GPS が用いる1 GHz の電波も、みなさんの携帯電話や Wi-Fi の電波も周波数が違うだけでみんな同じ「電磁波」と呼ばれるもので飛んでいくスピードも一緒なのです。

「速さ」がわかれば、電波が衛星から届くまでの「時間」を測れば距離が求まります。その「時間」は直感的にはストップウォッチで測れそうですが、実際にはそう簡単ではありません。陸上競技のタイムは、スタートの合図を見てストップウォッチを押し、ゴールで再び押すことで測れます (図3 a)。でも電波は光と同じ速さなので、スタートの合図が届くと同時にゴールしてしまうため、この方法では電波が走った時間を測れません。じゃあどうしたらいいのでしょうか？

ここで必要になるのが時刻のそろった時計なのです。今 GPS 衛星から電波が出た時刻が12:00:00.000だとして、電波がスマホに到着した時刻が12:00:00.067 (12時から67ミリ秒 (ミリは千分の1) 経った後) だとすると電波が走った「時間」が67ミリ秒だとわかり、衛星からデバイスまでの距離を速さ (30 万 km/ 秒) × 時間 (67 ミリ 秒) = 道のり2万 km と求めることができます (図3 b)。

■位置計測の誤り

いよいよ GPS 衛星に「どうしてそんなに正確な時刻が必要なのでしょうか？」の問いについて考える準備ができました。例えば送信側と受信側の時計がほんの1マイクロ秒 (マイクロは100万分の1) ズれていたとすると距

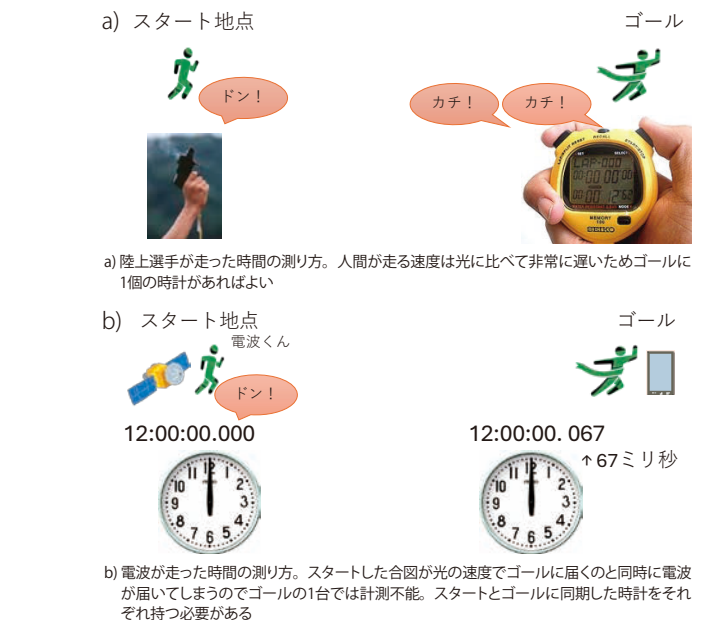


図3 「時間」の測り方

時間のズレ	1s 1秒	1/1,000s 1ミリ秒	1/1,000,000s 1マイクロ秒	1/10 ⁹ s 1ナノ秒	1/10 ¹² s 1ピコ秒
対応する距離のズレ	地球7周半 30万 km	東京ー名古屋 300km	エッフェル塔 300m	定規 30cm	プランクトン 0.3mm

図4 時間のズレが生む電波による距離のズレ。例えば1ナノ秒の時刻のズレでも30cmの位置の差になってしまうため、cmの精度を出すにはピコ秒オーダーが必要になる。

離にしてどれくらいのズレになるか考えてみましょう。時計がズレていることによる距離計測のズレは速さ (30万 km/ 秒) × 時間の誤り (1マイクロ秒) = 道のりの誤り300 m となり、なんと300 m も誤った距離の計測をしてしまうのです。言い換えると、時計のズレの時間に電波が走る距離が位置計測のズレとなるのです。図4に時計のズレがどれだけの距離ズレを生み出すのかを表しました。この図から時計が1ナノ秒ズレる (ナノは10億分の1) と距離にして30 cm ズれることがわかります。最初に紹介したように実際の GPS 衛星の時計のズレは10ナノ秒程度まで抑え込まれているので、時計のズレによる位置のズレは3 m 程度になるのです。

■今後の展望

ー屋内位置計測へ向けてー

便利な GPS ですが屋内や地下では使えません。そのような問題に対処するために、NICT では身の回りのデバイスが出す電波を活用してそのデバイスの位置を測る技術を開発して

います。そこで重要になるのが無線で時刻と空間をそろえる技術、無線双方向時刻比較技術 (Wi-Wi: 詳細は2022年 NICT NEWS No.4 参照) です。私達は屋内で多く使われている Wi-Fi にも Wi-Wi 技術を実装できることを実証しました。これにより Wi-Fi デバイスの位置を計測できる可能性が見えてきました。そのほかにも屋内特有の反射波による影響を検証したり、屋内でも位置変動をモニターできるデモを作ったりするなど、屋内位置計測技術への進化を続けています。そのほかにも NICT では時空間同期技術として小型原子時計 (CLIFS: 詳細は P4-5 参照) や、たくさんの時計を束ねて正確な時刻を生成する技術 (クラスタクロック: 詳細は P8-9 参照) の開発を進めています。これらの時空間同期技術はデータセンタで数万～百万台のサーバーの時刻をナノ秒精度で合わせる技術として注目されています。今から10年後には地上のみならず衛星まで含めて時空間同期技術により連携することで新たな応用が花開く時代が来るかもしれません。

みんなで時間をそろえるってむずかしい！ 分散時刻同期(クラスタクロック)への挑戦



矢野 雄一郎

(やの ゆういちろう)

電磁波研究所
電磁波標準研究センター
時空標準研究室
主任研究員

大学院博士課程修了後、日本学術振興会特別研究員を経て、2016年 NICT に入所。小型原子時計とその応用に関する研究に従事。博士(工学)。

た さんの機械やコンピューターが
つながって動く今の社会では、「時間
を合わせる」ことがとても大切です。
時計がバラバラだと、通信や計算、協力
作業もうまくいきません。でも、みんな
で正確に時間をそろえるって、どうやっ
てやるのでしょうか？

実はそこには、意外な工夫や深い仕組み、そして解決すべき課題があります。ここでは、ふだんこの分野に関わっていない人にもわかるように、「みんなで時間をそろえる」仕組みの考え方と、最新の研究の面白さを紹介します。

■みんなで時間をそろえる!? 分散時刻同期ってなんだ？

1. いま注目される「分散」って？

みなさんは「分散型」という言葉を聞いたことがありますか？ 少しむずかしく感じるかもしれませんが、これは今、世界中で注目されている考え方です。たとえばインターネット。昔は一つの大きなコンピューターが全体を管理していましたが、今は世界中のたくさんの機械につながり、おたがいに協力して動いています。また、「ブロックチェーン」という技術も、みんなで情報を確認し合いながら成り立っている分散型の仕組みです。誰か一人に頼るのではなく、みんなで支え合うこうした発想は、これからの社会でますます大切になっていきます。

2. 時計がズレたらどうなるの？

そんな分散型の社会において、とても大事なのが「時間をそろえること」です。たとえば、スマートフォンの時計が「8時ちょうど」なのに、電子レンジの時計

は「8時2分」。これってちょっと気になりますよね。目覚まし時計が少し遅れていたら、学校に遅刻してしまうかもしれません。私たちの生活には、いろんなところに「時間」が関わっています。電車の時刻表、テレビ番組、テストの開始時間、ゲームのプレイタイミングなど…。そして、それらは正確な時間にそって動いているからこそ、スムーズに進むのです。この「みんなの時計をそろえる」ための技術が「時刻同期」と呼ばれています。

3. 分散時刻同期ってどういうこと？

ふつう、時計をそろえるには「正しい時計を決めて、それに合わせる」という方法が使われます。でも、その「正しい時計」がこわれたり見えなくなったりしたらどうなるでしょう？ 分散時刻同期では、図1のように特定のリーダーに頼るのではなく、まわりの人と時間を確かめ合い、少しずつズレを直していきます。たとえば、「私は7時59分」「私は8時0分」「私は8時4分」→「では、8時1分が平均で正しそうだから、そこに合わせましょう」という具合です。このように、みんなで協力しておたがいに調整しながら時間を合わせていくのが、分散時刻同期の考え方です。

4. 分散時刻同期のいいところ

分散時刻同期には、いくつものすごいメリットがあります。

①リーダーがいらない！

中央の時計がなくても、みんなで時間をそろえることができるので、一つに頼らずにすむのが大きな強みです。だれかが止まっても、チーム全体は動き続けることができます。

②トラブルに強い！



図1 分散時刻同期のイメージ：実際には右の人は針を戻すのではなく、歩度（時計の進み）を調整して時刻を合わせる

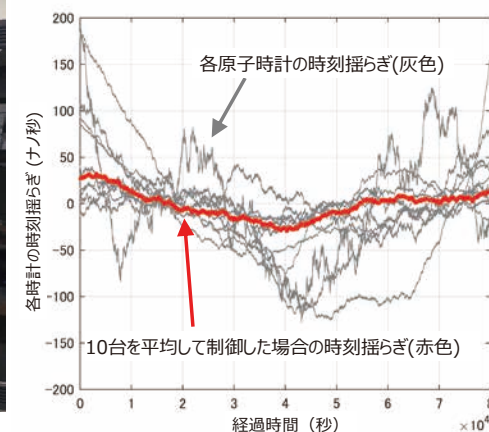


図2 (左) 分散時刻同期の実験装置：10 台の原子時計を光ファイバーで接続し、各時計間の時刻差をリアルタイムに測定して補正を行う制御機構を備えている。
(右) 実験装置 (左) による実験結果：個々の時計は大きくふらつくものの、平均をとることでノイズが大幅に抑えられ、滑らかな時刻信号が得られる。各ユニットは、自身の原子時計と合成時系との差分情報から、この滑らかな時刻信号を再現できる

もし一部の機械がこわれたり、通信ができなくなったりしても、まわりの情報を使って補い合うことができるので、全体が止まる心配が減ります。これは「壊れにくい社会」を作るために、とても重要なことです。

③協力すれば、みんなの時計がもっと正確に！

分散時刻同期では、全員が少しずつ話し合っただけでズレを直していきます。ここで、もしとても正確な時計を持っている人がたくさんいたら、全体の精度はどうなるでしょう？ 実は、そうした高精度な時計が集まって相談し合うことで、全体のズレをうまく平均し合い、より正確な時間をつくり出すことができるのです。ちょうど、テストの点数をみんなで平均すると、全体として安定した結果になるのと似ています。

■でも、そんな簡単じゃない！

分散時刻同期は、これからの社会にとってとても重要な仕組みになると考えられていますが、まだだれも完成させたわけではありません。現在も研究が続けられており、多くの難しい課題が残されています。

①時計のズレには“クセ”がある

時計のズレ方には、それぞれのクセ(性質)があります。たとえば、いつも少しだけ速く進む時計、逆にだんだん遅れて

いく時計、日によって変わる時計…。こういった性質をきちんと理解しないと、おたがいのズレをうまく調整することができません。

②平均をとるのも実はむずかしい

どの時刻を参考にするか、どう重みをつけて平均するかによって、全体のまとまり方が大きく変わります。さらに問題なのは、「その平均した時刻が本当に正しいのか」が誰にも確かめられないということです。この“見えない確からしさ”は、不可観測な性質とも呼ばれていて、この課題はこの分野に限らず、制御理論においても不可観測な性質をどう扱うかという興味深いテーマになっています。

③みんなとのズレを小さく、でもバラバラにならずに
時計を合わせるには、まわりの時計との時刻差をできるだけ小さくしながら、全体としても平均的な時刻に近づいていくことが求められます。でも、となりの時計とだけ合わせていくと、全体がちぐはぐになってしまうこともあります。

分散時刻同期の本当のむずかしさは、「となりと協力しながらズレを減らす」と、「みんなの中でまとまりを保つ」との両方を、うまく両立させるところにあるのです。

■今後の展望

現在、私たちは分散時刻同期という未

踏の技術課題に、大学や企業の研究者たちと力を合わせて挑戦しています。この分野はまだ十分に解明されていないことも多く、制御工学・通信工学・計測技術などの知見を融合させながら、最先端の研究に本気でタックルしているところです。たとえば、時計ごとの“クセ”—時刻の揺れ方の性質—を評価するための新たな指標を設計し、時計の信頼性を数値化する技術を確立しました。また、となりの時計とできるだけズレを少なく保ちながら、全体としての時間を崩さずに平均に近づける、まったく新しい制御の仕組みも私たち自身の手で設計・実装しました。さらに、時計のクセが事前にわかっている場合には、ネットワーク全体の動きから理論的にもっとも安定した時刻をあとから再計算するアルゴリズムも開発しました。開発したアルゴリズムは実験装置を用いた検証でその有効性を確認しています(図2)。今後は、より複雑で現実的な環境下での実証実験や、他のアルゴリズムとの比較検証を通じて、この“みんなで時間をつくる”技術の社会実装に向けた歩みを、一歩ずつ確実に進めていきたいと考えています。

光ファイバー時刻同期 全国規模の展開を目指して



藤枝 美穂

(ふじえだ みほ)

時空標準研究室
電磁波標準研究センター
電磁波研究所
研究員

大学院修了後、学術振興会特別研究員、通信総合研究所（現NICT）、国立天文台などを経て2024年から現職。精密計測、衛星双方向時刻周波数比較、光ファイバー基準信号伝送等に従事。博士（理学）。

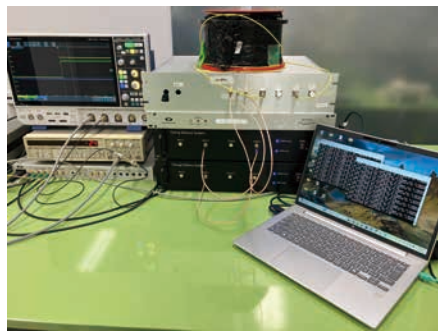


図1 数十ピコ秒同期配信テストの様子

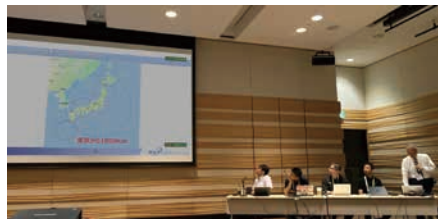


図2 JANOG（日本ネットワーク・オペレーターズ・グループ）にて普及活動中の野村研究技術員、矢野主任研究員

いまや当たり前となったテレワークやオンライン会議、遠隔地からのロボット制御などを支える技術の一つが遠隔地間の同期です。時刻やタイミングを同一にすることのほか、内容や情報を一致させることも同期といいます。後者において、例えば情報が時々刻々と変わる場合にどの時点の情報を一致させたのか、重要な指標となるのが時刻であり、様々な場面で時刻を共有すること＝時刻同期が鍵となっています。

■背景

現在のところ遠隔地間での時刻同期にはカーナビでおなじみのGPS衛星が広く利用されています。しかし時に宇宙天気予報で流れるように電離圏嵐により大きな誤差が生じたり、妨害電波により衛星からの信号受信ができなくなったりすることが起こります。

■GPS衛星に頼らない時刻同期

そこで我々は、GPS衛星に頼らない時刻同期として光ファイバーで配信する方法の研究開発を進めています。一つが市販品を用い高い信頼性をもって実現する大手町プロジェクト、もう一つがNICTで研究開発したシステムで同期精度を追求する高精度化プロジェクトになります。

【大手町プロジェクト】

このプロジェクトでは、地方への接続拠点として重要な東京都千代田区大手町エリアに、約45 kmの光ファイバーを用いナノ（ 10^{-9} ）秒以下の同期精度で、NICT本部から日本標準時を常時配信することを目指としています。日本標準時は、更に周囲のビルへ配信され、ユーザーエン

ドにおいてもナノ秒からマイクロ（ 10^{-6} ）秒レベルの同期を実現する予定です。データセンター事業者や携帯事業者などの利用に向けて、長期の信頼性確認や校正法確立などの準備を進めています。

【高精度化プロジェクト】

高い機密情報の通信に適し、早期の社会実装が期待される量子鍵配送では鍵を受け取る2者間で数十ピコ（ 10^{-11} ）秒という非常に高精度な同期が必要となります。この実現に向け、測定精度と再現性を向上させたシステムを開発しています（図1）。東京都小金井市（NICT本部）-大手町間での配信実験に加え、より長距離化を目指したリピーターシステム開発も進行中です。また社会実装を見据え、コンパクト化や個別のシステムで実現していた周波数同期機能の実装など柔軟に対応を進める計画です。

■今後の展望

実際に敷設された光ファイバーではその温度変動や振動によって、静かな実験室環境とは異なる桁違いに大きな雑音が発生します。この除去が研究開発の鍵となります。このため時刻同期は実環境で実証することが必須です。ヨーロッパでは科学研究目的の光ファイバー利用が無料な場合が多く、1,000 km超の配信実験や海底ケーブルの実験も進んでいます。一方、日本では光ファイバーのレンタル料が非常に高く、長距離配信が難しいのが現状です。そこで研究開発と並行して、日本標準時配信の価値追求とともに普及活動にも力を入れています（図2）。微小振動検出など光ファイバー時刻同期の活用を幅を広げ、長距離化へつなげたいと考えています。

時空間同期技術の 国際標準化への取組



眞澤 史郎

(まざわ しろう)

電磁波研究所
電磁波標準研究センター
時空標準研究室
研究技術員

大学院修士課程修了後、総合電機メーカーにて、携帯電話システムなどの設計開発及び3GPP/3GPP2における国際標準化に従事。2024年よりNICTにて3GPP/IEEEの国際標準化に従事。

通信機器が「いつでも」「だれとも」「どこでも」つながるためには、世界中で同一の通信方式が使用されている必要があります。この世界同一の通信方式を実現するため、世界中の国や地域の標準化団体が集まって国際標準規格を策定しています。NICTでは、研究成果を社会実装するために、ITU、3GPP、IEEEなどの標準化団体に参加し、様々な通信の国際標準化活動に参加しています。本稿では、第6世代移動通信システムにおける時空間同期技術の国際標準化について紹介します。

■第6世代移動通信システムとは

2025年現在、第5世代移動通信システム（いわゆる5G）が普及しています。国際標準化では、その次の世代である第6世代移動通信システムの開発が開始されています。

図1に、ITU-RにおけるIMT-2030の標準化スケジュールを示します。ITU-Rは国際連合の専門機関の一つであるITUの下部組織の一つで、無線通信に関する事項を担当しています。IMT-2030（International Mobile Telecommunications）はITU-Rにおける第6世代移動通信システムの名称です。名称のとおり、2030年頃の実用化を目指し、開発が進められています。図2は、IMT-2030のフレームワークを図示したものです。通信速度の向上、遅延時間の短縮といった通信性能向上のほかに、AIやセンシングなど、新たな用途への展開が含まれていることが特徴です。

■3GPPにおける国際標準化

第6世代移動通信システムの

国際標準化活動は3GPP（3rd Generation Partnership Project）と呼ばれるプロジェクトで推進されています。もともと第3世代移動通信システムの国際標準化の際に設立されたことから、この名前となっています。3GPPでは、第6世代移動通信システムのことを6Gと呼称しています。6Gの標準化は前述したIMT-2030の要件に従って進められます。3GPPにおける標準化は、Stage1/2/3の3段階に分けて行われ、6Gについては、2025年現在、Stage1のユースケース及び要求条件と、Stage2のアーキテクチャが並行して議論されています。ユースケースとは、6Gの活用シナリオを示し、そのために必要な機能を提案するものです。また、2025年3月には、韓国仁川市で6Gワークショップが行われ、約240件の提案の提案が寄せられ、議論が行われました。

■時空間同期技術の国際標準化

NICTの時空標準研究室では、CLIFS（小型原子時計）、Wi-Wi（無線双方向時刻比較）、クラスタクロックの3技術を「時空間同期3本の矢」と呼び、国際標準化を推進しています。前述の6Gワークショップでは、これらの技術について、図3のとおり提案しました。また、Stage1の議論では、Wi-Wiの高精度時刻同期、位置測定を活用するユースケースとして、自動建築、構造ヘルスマニタリング、歩行者の交差点横断支援の3つを提案し、全て承認され、国際標準に反映されています。今後、これらのユースケースを元に、Stage2/3にこれらの技術を反映することを目指します。

■社会実装に向けて

第6世代移動通信システムは、2030年代において社会基盤となる重要な技術です。NICTでは、その仕様策定に積極的に参画し、社会実装に向けた貢献を目指します。

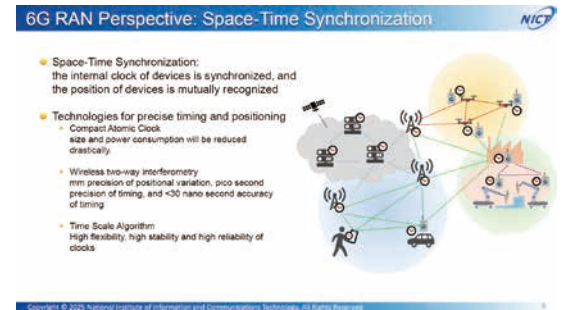


図3 6Gワークショップにおける「時空間同期3本の矢」の提案

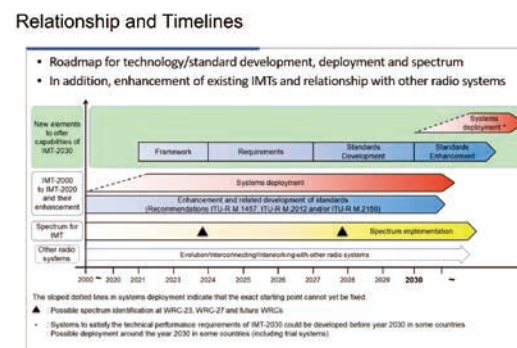


図1 IMT-2030スケジュール

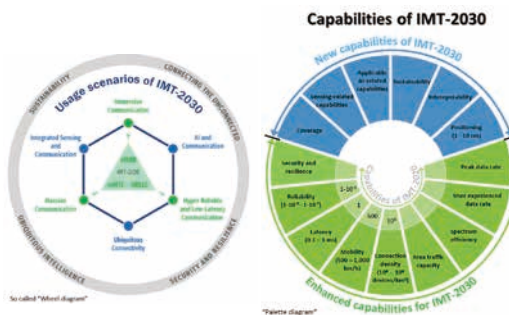


図2 IMT-2030フレームワーク

時空間同期に関する技術交流の場の醸成



原 基揚

(はらもとあき)

電磁波研究所
電磁波標準研究センター
時空標準研究室
主任研究員

大学院博士課程修了後、株式会社富士通研究所に入社。東北大学大学院工学研究科准教授を経て2016年NICTに入所。半導体微細加工技術を応用したデバイス開発に従事。博士(工学)。

参考文献

- (1) XGMF時空間同期プロジェクト：
<https://xgmf.jp/project/pj-2422/>
入会方法および規約：
<https://xgmf.jp/join-xgmf/>
- (2) 電気学会調査専門委員会：
<https://www.iee.jp/smas/mss/emss1043/>
入会方法：委員長および幹事団へ問い合わせ。

表1. 時空間同期シンポジウムの変遷

	開催日時	場所	参加人数			備考	
			アカデミア (大学・研究所)	産業界	総計		
第1回	2023/5/23	NICT日本橋15F イノベーションセンター	協創スペース	43	47	90	*
第2回	2023/10/11	NICT 小金井本部	3号館セミナー室	14	56	75	
第3回	2024/8/2	NICT 小金井本部	3号館セミナー室	33	65	98	
第4回	2024/11/1	NICT 小金井本部	3号館セミナー室	50	58	108	
第5回 (予定)	2025/10/3 (予定)	NICT日本橋15F イノベーションセンター	トレーニング＆コ ラボレーション ルームA (TCR A) および 協創 ス ペース	-			**
第6回 (予定)	2026/3/24 (予定)	NICT日本橋15F イノベーションセンター	トレーニング＆コ ラボレーション ルームA, B (TCR A, B) および協創 スペース	-			

* 最初のシンポジウム。海外からの招待講演 (Meta社 (当時) Ahmad Byagowi氏)

** XGMFや電気学会の調査専門委員会の定例会合を併催

時 空標準研究室では長年培ってきた時刻同期技術・測位技術を民生通信機器にコンパクトに実装する技術開発を行っています。特に、令和4年からは総務省委託研究として、原子時計の超小型化 (CLIFS: Chip Level Integrated Frequency Standard) と分散時系 (クラスタクロック) の技術開発を展開しています。当該活動の成果を効率的に社会実装していくには、以下の3点が重要です。

- ①製造技術の適切なタイミングでの民間企業への移転と製品化への継続支援
- ②研究内容の拡充が必要な分野を見極め、大学等との連携にて技術の深化を持続的に促進
- ③社会実装を支える知財や標準化を研究開発と並行して継続的に拡充

上記は多くのプレイヤーが技術フェーズに則し、組織を越えて有機的に繋がっていく必要があり、風通しの良い議論の場を形成しておくことが求められます。③に関しては、本特集の別記事に譲りますが、ここでは①②を意識した活動について触れて行こうと思います。

■時空間同期シンポジウムについて

令和4年度からの総務省委託研究「周波数資源の有効活用に向けた高精度時刻同期基盤の研究開発」の進捗とともに、その活動を共有し発展的に議論する場として時空間同期シンポ

ジウムを企画し、2023年5月23日に最初のシンポジウムを開催しました。今年度は10月3日に第5回、3月24日に第6回の開催を予定しています(興味のある方は是非著者にお問合せ下さい。)。沿革と参加者の推移を表1に示します。表1より企業とアカデミアとからの参加が順調に増加しており、①②に向けた議論の場の需要に応えるものとなっています。さらに本年度からは、次項で示すXG推進フォーラム(XGMF)や学会との連携など、外部団体との協力も進めて行く予定であり、更に多様な議論の場を提供できると考えています。

■その他の技術交流の場の設置

5Gの拡充と6Gでの更なる成長を目指し、XG推進フォーラム(通称XGMF)が設立され、現在、約120の法人・団体会員と76の個人会員を擁しています。XGMFの下部にはプロジェクトと呼ばれる無線通信に関連する新産業の創出に取組む場が22か所設けられており、我々が提案した時空間同期プロジェクトがその一つです⁽¹⁾。当該プロジェクトには、企業を中心に24名(企業9機関、公的研究機関2機関、大学2機関)の方に参画いただいております。時空間同期技術を用いたインフラやアプリケーションの具体化に向け定期的な議論を行っています。また、電気学会E部門マイクロマシン・センサシステム技術委員会の下に「時空間情報を活用したモビリティデバイスのスマートネットワーク構築に向けた素子技術とその応用に関する調査専門委員会」を2024年7月1日より設置しています⁽²⁾。現在、大学を中心に20名(企業6機関、公的研究機関3機関、大学11機関)の方に参画いただいております。およそ年4回の研究会を実施しています。

日本標準時の安定運用を技術で支える



森川 真樹

(もりかわ まさき)

電磁波研究所
電磁波標準研究センター
時空標準研究室
日本標準時グループ
研究技術員

●経歴

1994年 東京都にて誕生
2015年 沼津高専電気電子工学科卒業
2017年 千葉大学工学部 卒業
2019年 千葉大学大学院
修士課程修了
2021年 早稲田大学大学院
博士課程単位取得退学
2021年 NICT入所、現職

●受賞歴等

2018年 電気学会産業応用部門
研究会 優秀論文発表賞

N ICTは、日本標準時を生成・維持し、供給するという、社会において重要な役割を担っています。日本標準時グループでは、多様な専門性を持つ職員が協力してこの業務を遂行しています。

その中で私は、主に日本標準時を維持するための基盤を技術的に支え、改善していく部分を担当しています。具体的には、原子時計の時刻信号を常に測定・監視する装置、その測定結果を国内外の機関と人工衛星を介して比較する装置、それらをつなぐ複雑な配線、全体を制御するサーバ、そして万が一の停電に備え安定した電力を供給し続ける電源装置まで、その管理は多岐にわたります。

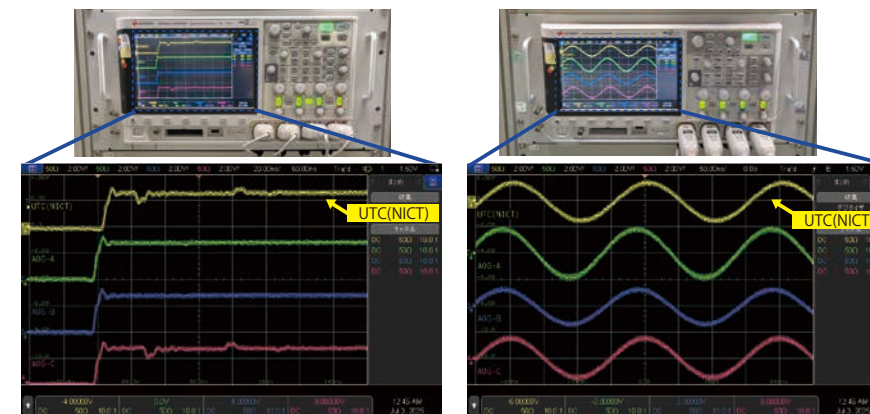
この仕事のミッションは、正しい時刻情報を絶え間なく提供し、安心して生活できる社会を支えることです。責任重大ですが、地道なエンジニアリングで社会の根幹を担っているという実感に、私は大きなやりがいを感じます。

標準時業務には、他分野ではめったに

見かけない独自の技術や知識も多く、その継承は極めて重要です。特に、長年培われてきた知見は、安定運用を支える隠れた重要要素と考えています。幸いにもNICTには、先輩方が築き上げてきた国内外の機関との協力関係があります。メートル法を維持する標準機関である国際度量衡局 (BIPM) や、アジア太平洋計量計

画 (APMP) が開催する技術ワークショップなど、知見を交換し合い協力する文化が根付いています。

この恵まれた環境を活かし、国内外の専門家との交流を通じて技術や知識を体得し、次世代への伝承者となり、安定運用を支えられるよう日々励んでいます。



毎秒1回出力される、時刻の基準となる信号

毎秒500万回振動し、周波数の基準となる信号

写真 日本標準時を測定するオシロスコープ装置
黄色線が日本標準時 (UTC(NICT)) の信号を表している

一問一答

Q 今までで最大の失敗は？

A 初めて書いた研究会の予稿論文で参考文献の著者名を誤って記入してしまったことです。その方は当時の研究分野の第一人者とも言える方で、気付いたときには冷や汗が止まりませんでした。

Q 最近はまっていること

A 科学本の読書にはまっています。最近読んだ、『プロジェクト・ヘイル・メアリー』(A・ウィアー著) というSF小説で、異文化環境を持つ研究技術者たちが度量衡を必死にすり合わせる場面があり、標準時業務を思い出し、身が引き締まる思いでした。



Q 研究者志望の学生さんにひとこと

A NICTには、「研究技術員」という研究者と協働してプロジェクトを具現化する専門職があります。自身の技術力を社会のために直接活かすことのできるとてもエキサイティングな仕事です。

けいはんな R&Dフェア2025 科学で描こう

～けいはんなの未来キャンパス～



- 日 時：10月4日（土）10時00分～16時30分
- 会 場：けいはんなプラザ
- 入 場：無料
- 申 込：詳細情報及び事前申込は
<https://keihanna-fair.jp>



けいはんなプラザ（京都府・精華町）にて子どもから大人まで研究成果・先端科学を体感できる未来体験型科学イベント、サイエンスショーや講演会、ワークショップ（実験・工作）も盛りだくさん。皆さまぜひご来場ください！

NICTの研究展示・体験デモ

- 音が見える？ 音が消える？ ふしぎな音の世界を体験しよう！ ～音声マルチスポット再生技術のヒミツ～
- 通訳ロボと秘密のミッション ～ことばの壁をこえてキーワードを見つけよう！～
- 3Dアバターのコミュニケーションを体験してみよう！ ～REXR（レクサー）双方向コミュニケーションシステムのご紹介～
- ここは何をするところ？ 「みなっば」で研究所のナゾを解き明かそう！ ～あなたの知らない世界がそこにあるかも！？～
- CiNet Brainは写真をみて何を思う？ ～脳型AIが写真や映像の印象をすばり言語化！！～
- 空・海・宇宙、どこでもつながる最新の携帯電話 ～次世代の通信をジオラマ上の拡張現実（AR）を使って見てみよう！～
- 宇宙にも天気がある！？ ～太陽フレアとオーロラのひみつ、社会とのつながり～
- 見て、さわって、学べる2030年代の情報通信探検！ ～Beyond 5Gでひらく未来の扉～

NICT は今年も CEATEC に出展します！

あらゆる [if] を現実 - 未来を支える、AI 社会の研究開発 -

- ✓ 戦略4領域（Beyond 5G / AI / 量子情報通信 / サイバーセキュリティ）の最新研究成果とオープンイノベーションの取組をご紹介します
- ✓ 革新的情報通信技術（Beyond 5G（6G））基金事業の成果をご紹介します

2025.10.14 [火] ~ 10.17 [金] 10:00 ~ 17:00

幕張メッセ

入場無料（登録入場制）

第38回独創性を拓く 先端技術大賞 産経新聞社賞

梶 貴博 (かじ たかひろ)

未来 ICT 研究所 神戸フロンティア研究センター ナノ機能集積 ICT 研究室 研究マネージャー

山田 俊樹 (やまだ としき)

未来 ICT 研究所 神戸フロンティア研究センター ナノ機能集積 ICT 研究室 研究マネージャー

大友 明 (おおとも あきら)

未来 ICT 研究所 上席エキスパート／
未来 ICT 研究所 神戸フロンティア研究センター ナノ機能集積 ICT 研究室長



写真左から、山田俊樹研究マネージャー、梶 貴博研究マネージャー、大友 明室長

- 受賞日：2025年7月14日
- 受賞内容：電気光学ポリマーを用いたアンテナ結合型テラヘルツ光変調器とプロセス技術の研究開発
- 受賞のコメント この度は、第38回独

創性を拓く 先端技術大賞 産経新聞社賞を頂き光栄に存じます。電気光学ポリマーを用いたプロセス技術の開発からテラヘルツ光変調デバイスの動作実証まで、これまでの研究を評価いただきまして大変嬉しく思

います。研究を支えてくださった多くの方々に深く感謝申し上げます。今後は、本研究開発の成果をもとに、企業や大学との連携を更に進め、社会実装に向けた取組をより一層推進してまいります。