

NTT 技術ジャーナル

ISSN 0915-2318 平成2年3月5日第三種郵便物認可

令和8年1月1日発行 毎月1回1日発行 第38巻第1号(通巻442号)

1 JANUARY
2026

Vol.38 No.1



特集

NTT R&D FORUM 2025 — IOWN.:Quantum Leap

グループ企業探訪

NTTデバイスクロステクノロジ

from IOWN Global Forum

IOWN Global Forum ミッドタームメンバーミーティング(ダラス)と活動の報告



特集

NTT R&D FORUM 2025—IOWN.:Quantum Leap

- 4 光技術によるコンピューティングの革新
～IOWN 2.0, 3.0への進化、そして量子への飛躍～
島田 明 NTT代表取締役社長 社長執行役員



- 11 IOWN.:Quantum Leap
木下 真吾 NTT執行役員 研究企画部門長



- 19 「NTT R&D FORUM 2025—IOWN.:Quantum Leap」開催報告

30 挑戦する研究者たち

塚田 信吾

NTT物性科学基礎研究所 フェロー

最新のICTをいち早く医療へ応用、
新たなアプローチで心疾患など病気の早期発見に挑む



35 挑戦する研究開発者たち

莊司 哲史

NTTドコモビジネス イノベーションセンター エバンジェリスト

エバンジェリスト,ソリューションエンジニア,二足のわらじで
IOWNの社会実装にチャレンジ

特集

40 明日のトップランナー

高橋 央

NTTアクセスサービスシステム研究所 特別研究員

既存の光通信設備が「光ファイバセンシング」技術で
社会貢献の未来へと導く

For the Future

45 グループ企業探訪

NTTデバイスクロステクノロジ株式会社

モノづくりの支援を通じて
社会課題の解決とお客さまの発展に貢献する企業

特別企画

49 from IOWN Global Forum

ミッドタームメンバミーティング(ダラス)と活動の報告

挑戦する研究者たち

52 Webサイト オリジナル記事の紹介

2月号予定
編集後記

挑戦する研究開発者たち

明日のトップランナー

グループ企業探訪

本誌掲載内容についてのご意見、お問い合わせ先

NTT技術ジャーナル事務局

問い合わせページ <https://journal.ntt.co.jp/contact>

本誌ご購読のお申し込み、お問い合わせ先

一般社団法人電気通信協会 ブックセンター

TEL (03)3288-0611 FAX (03)3288-0615

ホームページ <http://www.tta.or.jp/>NTT技術ジャーナルは
Webで閲覧できます。<https://journal.ntt.co.jp/>

from

URL <https://journal.ntt.co.jp/article/37949>DOI <https://doi.org/10.60249/26015001>

光技術によるコンピューティングの革新 ～IOWN 2.0, 3.0への進化、そして量子への飛躍～

NTT代表取締役社長
社長執行役員

島 田 明 Akira Shimada

本記事は、2025年11月19～26日に開催された「NTT R&D FORUM 2025—IOWN: Quantum Leap」における、島田明NTT代表取締役社長の基調講演を基に構成したもので、光技術によるコンピューティングの革新について紹介します。



光技術によるコンピューティングの革新

今回、2つのコンピューティングのイノベーションについて紹介します。

1つは「IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 光コンピューティング」についてです。こちらは、電気の配線を光の配線へ変えることにより、エネルギーの限界を超えて、AI（人工知能）時代のコンピューティングを支えていく低消費電力のインフラを実現するというものです。

もう1つは今回のNTT R&D フォーラムのテーマでもある、「光量子コンピュータ」についてです。こちらは、従来のコンピュータによる計算処理の限界を超えて、今まで現実的には解けなかった問題を低消費電力で解決していく技術となります。

まず、最初のイノベーションである IOWN 光コンピューティングについて紹介します。

IOWN光コンピューティング

NTTでは進化する未来のコミュニケーションを、ハードウェアとソフトウェアの両面からIOWN光コンピューティングにより解決をめざします。

ハードウェア面においては、従来電気でつないでいた信号を光でつなぐ信号に置き換える、消費電力を削減しながら低遅延で高

速な通信を実現します。

ソフトウェア面において、従来、高度な処理を必要とする大規模なコンピュータでは、部品の組合せに制限があるため、筐体単位の増設が必要となり、使わない部品でも電力を消費していましたが、この制限を取り払い、必要な機能を必要な分だけ使えるリソースの配分技術により、処理の高度化と消費電力の削減を実現します。

将来的には超高速ネットワークである APN (All-Photonics Network) を組み合わせることで、遠隔地のコンピュータをあたかも1つの高性能なコンピュータのように利活用し、再生可能エネルギーや発電施設近傍での効率的な電力の利用が可能となります。

このような技術を通じて、NTTは進化する未来のコミュニケーションを光による低消費電力で支えます。

■AIの利活用の急激な進展

AIはかつてない速度で社会に浸透しています。かつて Facebook が1億ユーザーを獲得するのに54カ月かかったところ、OpenAIのChatGPTが1億ユーザーに到達するのはわずか2カ月でした（図1）。

このような利用拡大を背景に、世界のAI市場は2030年に約1.8兆ドル、つまり日本円で約270兆円規模に成長すると予測されています。AIの活用が広がるにつれて、AIの開発や運用に使われるコンピュータの規模も年に1.8倍の勢いで、急速に拡大しています。

例えば、2020年にOpenAIがGPT-3の開発に用いたコンピュータには、AI処理を高速化するためのGPUが約1万枚搭載されていました。ところが、2022年に同社がGPT-4を発表した際には、その数が約2.5万枚へと増加しています。さらに、イーロン・マスク氏が開発を進めているX-AIの最新コンピュータでは、20万枚にも及ぶGPUを搭載するといわれています。多数のGPUを用いたAI処理では、GPU間で大量のデータのやり取りが行われるため、通信量はますます大容量化しています。

■大容量通信における光の優位性

NVIDIAの最新GPUでは、GPU間通信に1秒間当たり14.4 Tbitもの非常に大きな帯域が使用されています（図2）。この14.4 Tbitという値は重要なキーワードです。これは、ブルーレイディスク約72枚分のデータを、わずか1秒で転送できるほどの速度に相当します。このような大容量の通信において、従来の電気配線による通信では伝送距離が伸びるほど飛躍的に消費電力が増加します。昨今の大容量化した通信では、その影響が非常に大きくなってきており、コンピュータ内の数10 cm程度の短い配線であっても、15 cmあたりから電力消費が急速に増大します。これに対して光による通信では、伝送距離が伸びても消費電力はほとんど増加せず一定のままで。

このような光と電気の性質の違いから、コンピュータ内部の通信は電気の限界に達しつつあり、通信によって消費される電力

- AIはかつてない速度で利用が増加、ChatGPTはわずか5日で100万ユーザ、2カ月で1億ユーザを獲得
- 世界のAI市場規模は、2030年に1.8兆ドル（約270兆円）に成長すると予測

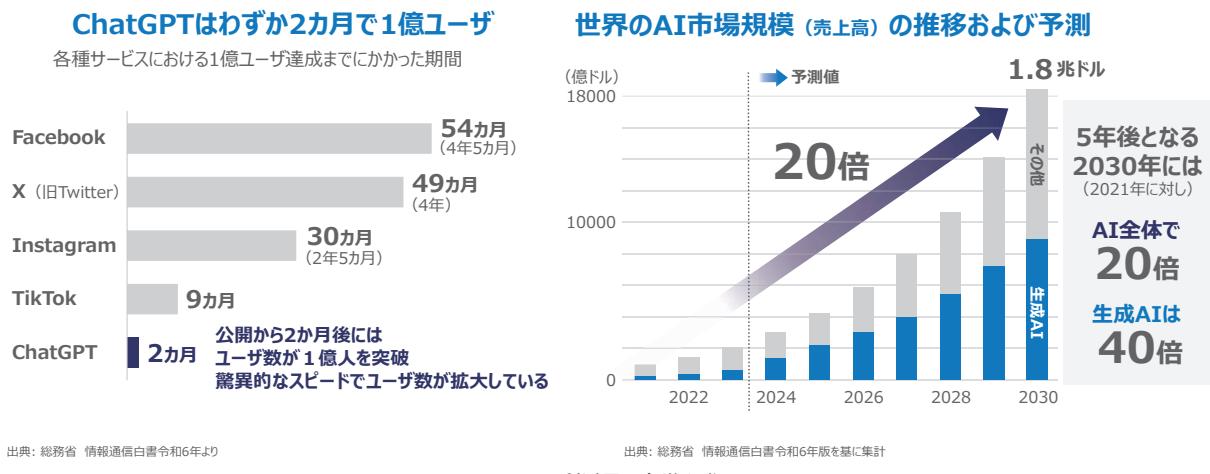


図1 AIの利活用の急激な進展

- 多数のGPUを用いたAI処理では、GPU間で頻繁に大量のデータの通信が発生
- GPU間で大容量の相互接続が求められ、最新の機種では映画のブルーレイディスク72枚分のデータを1秒で転送できる速度（14.4 Tb/s）に到達



図2 AI用コンピュータに求められる通信の容量

の増化や、それによって発生する熱の問題は無視できません。特に、熱の問題は非常に重大です。図3は電気と光のそれぞれが適している通信の領域を示しています。灰色が電気による通信が適している領域、青色が光による通信が適している領域です。通信の容量が大きくなると、これまで電気のほうが適していた短い距離においても、光による通信が求められるようになります。

前述した14.4 Tbitという値は、まさにこの青色の領域に入ってきます。昨今のAIコンピュータに求められる、1秒間に10 Tbit級の大容量通信では、光が必要であることが分かります。

NTTは40年以上にわたり、光による通信の研究開発および実用化に取り組んできました。情報通信の発展の中で、もともとはNTTの局舎間を光でつなぎ、大容量・

高速化を進めてきました。その流れの中で、局舎から家庭へ、そして局舎間、さらにはデータセンタ内部の通信に至るまで、長距離から短距離へと段階的に光へ変化させてきました。NTTは時代、時代における最先端のニーズに応じて、より小さな単位での光による通信の革新に取り組んでいます。

- ・コンピュータ内の通信が大容量化するにつれて、消費電力や発熱の増大が壁となり、電気による通信は限界に到達
- ・これからのコンピュータでは、短い距離であっても光による通信が必要

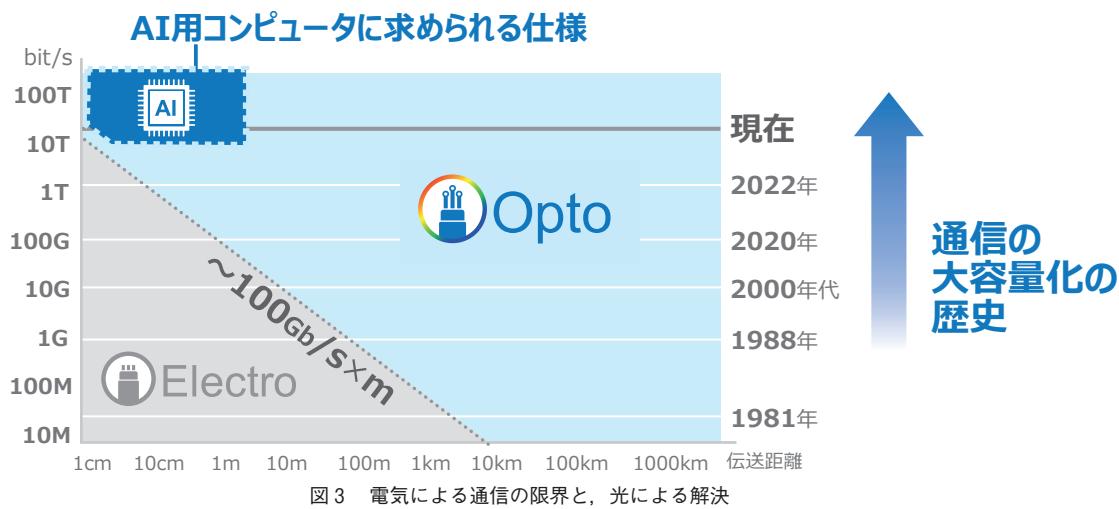


図3 電気による通信の限界と、光による解決

■光電融合 (PEC: Photonics-Electronics Convergence) デバイスを用いた光配線化

現在のコンピュータ内部には、CPUやGPUなど情報処理を担う部品があり、これらの大半は電気によって動作しています。各部品は電気配線で接続され、相互に通信を行っています。しかし、前述のとおり、たとえ短距離でも大容量の通信には多くの電力が必要です。そのため、この配線を光に置き換えることで、消費電力を削減することが可能になります。ただし、単に電気配線を光配線へ置き換えるだけでは不十分です。情報処理用の部品そのものは電気で動作するため、そこから出る電気信号を光配線に適した光信号へ変換し、別の部品に届ける際には再び光信号を電気信号へ戻す必要があります。この変換を担う、小型かつ高効率なデバイスが求められており、これを「光電融合デバイス」と呼びます。

光電融合デバイスは、光信号と電気信号の相互変換を行うために必要な機能をパッケージングしたものになります。具体的には、光配線から入ってくる光信号を、まず極めて弱い電気信号に変換する受光半導体があります。続いて、その信号を增幅して読み取れるかたちに整え、電気配線へ送り出す電気信号增幅器が必要になります。ま

た逆に、電気配線側から入ってくる電気信号を光信号に変換し、光配線へ送り出すためには、光源駆動用電流制御器や光源半導体が必要になってきます。コンピュータの中を光化していくにあたり、小さな部品1つひとつに、この光電融合デバイスを装着していく必要があります。そのため、どれだけデバイスを小さくできるか、そしてこのデバイス自体が余分な電力を生じさせぬよう、どれだけ電力効率を高められるかが重要になります。

IOWN構想では光電融合デバイスを段階的に高度化し、ネットワークからコンピューティングの中まで適用していきます。

最初のIOWN 1.0では、ネットワークの接続部分にある中継装置、それからデータセンタ間、サーバ間のネットワーク装置に光電融合デバイス (PEC-1) を適用しました。

PEC-1を用いた高速・大容量・低遅延なネットワークサービスが「APN IOWN 1.0」で、2023年に商用化しました。2025年に開始されたIOWN 2.0ではいよいよ光電融合デバイスをコンピュータの内部に適用していきます。進化した光電融合デバイス (PEC-2) を用いて、コンピュータボード間の電気配線を光の配線に置き換えていきます (図4)。

■IOWN2.0を実現する機器

PEC-2がIOWN 2.0を実現するために開発を進めている機器で、2026年に商用提供を開始したいと思っています。PEC-2は20 mm程度の幅の小さなデバイスで「光エンジン」とも呼ばれています。このPEC-2デバイスを16個内蔵した製品がスイッチです。このスイッチは、総容量で1秒当たり102.4 Tbitの伝送が可能です。これは、前述した最新のGPU間通信速度である14.4 Tbitと比べて7倍以上の大容量となり、AI処理に対して十分な性能を備えています。

これらの機器のプロトタイプを用いることで、従来の8分の1の消費電力で動作するコンピュータを実現しました。2025年の大阪・関西万博のNTTパビリオンで実際に使用しましたが、184日間止まることなく、しっかりと稼動していました。

■光エンジンによるイノベーション

従来の光通信スイッチでは、光通信モジュールがスイッチの前面に取り付けられており、そこから通信相手への切り替えなどを行う情報処理用の他のチップへは、電気配線で接続されていました。そのため、配線の長さが30 cmほどになり、この長さが原因で消費電力が増やしてしまうという課題がありました。しかし、新しい光電

- 部品間をつなぐ電気配線を、極限まで光に置き換えることで、通信の限界を打破
- そのために必要となる、小型で効率的な光と電気の相互変換デバイスが「光電融合デバイス」

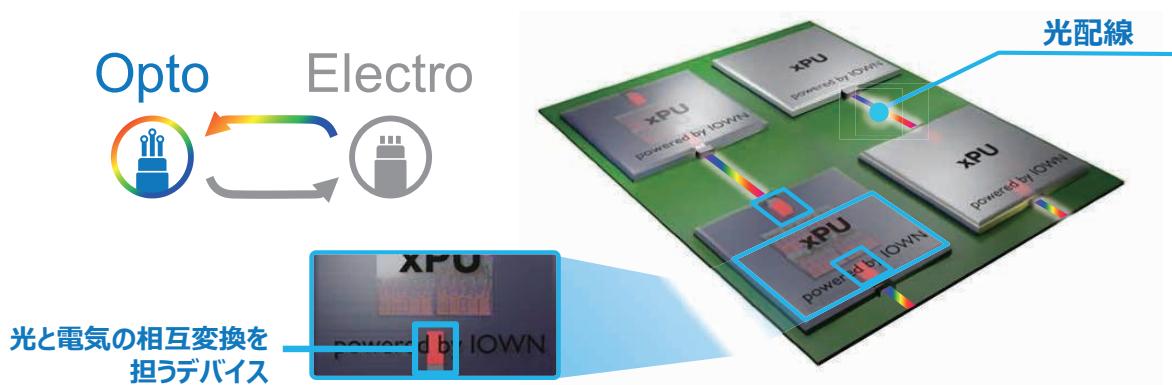


図4 光電融合デバイスを用いた光配線化

- 従来スイッチ内で離れていた光通信部品と情報処理用部品を、同一の台座の上に集めて実装
- 従来の構成と比べて、情報処理部のすぐ近くまで光配線を引き込むことが可能
- 電気配線の距離を一桁短縮することで、消費電力を劇的に低減

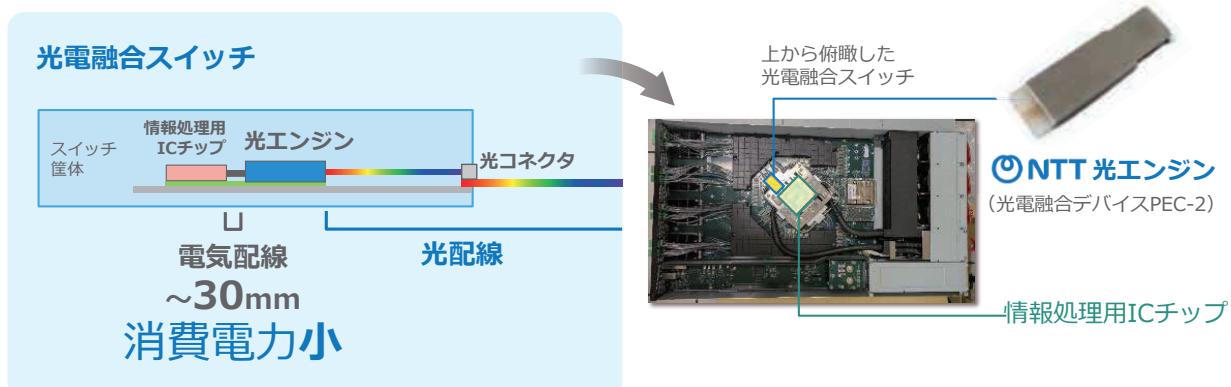


図5 光エンジンによるイノベーション

融合スイッチでは、光エンジンと情報処理のICチップが同一の台座の上に実装されることによって、ICチップのすぐ近くまで光配線を引き込むことが可能になりました。これにより電気配線が約10分の1となる3cm程度にまで短くすることができ、消費電力を劇的に低減することができました(図5)。

光電融合スイッチの商用化にあたっては、米国 の Broadcom、台湾 の Accton Technology をはじめとする、サプライチェーン各社とパートナーシップを確立し

ています。当社グループのNTTイノベティブデバイスが中核となる光エンジンとスイッチモジュールを設計製造し、全体をコーディネートしています。

毎秒102 Tbitの容量が本当に必要なかと思われる方もいらっしゃるかもしれません、データセンタのスイッチに使われるBroadcomの「Tomahawk」というLSIの処理容量が毎秒102 Tbitに達していることから、すでに光配線が必要であることが分かります。

また、NTTイノベティブデバイスでは、

ライン当たり月間約5000個の光エンジンの生産能力を完備しています。これは昼間の稼動のみでの結果であるため、夜間も稼動させればさらに製造能力は上がりますが、今後の需要によってはラインを少なくとも3ラインほど増強する計画を立てています。また、光エンジンの組み立て実装から検査工程までをロボットを導入して自動化することで生産性の向上を図っています。

■ IOWN 3.0：光コンピューティングのさらなる進化

IOWN 3.0では、2.0のボード間接続用光

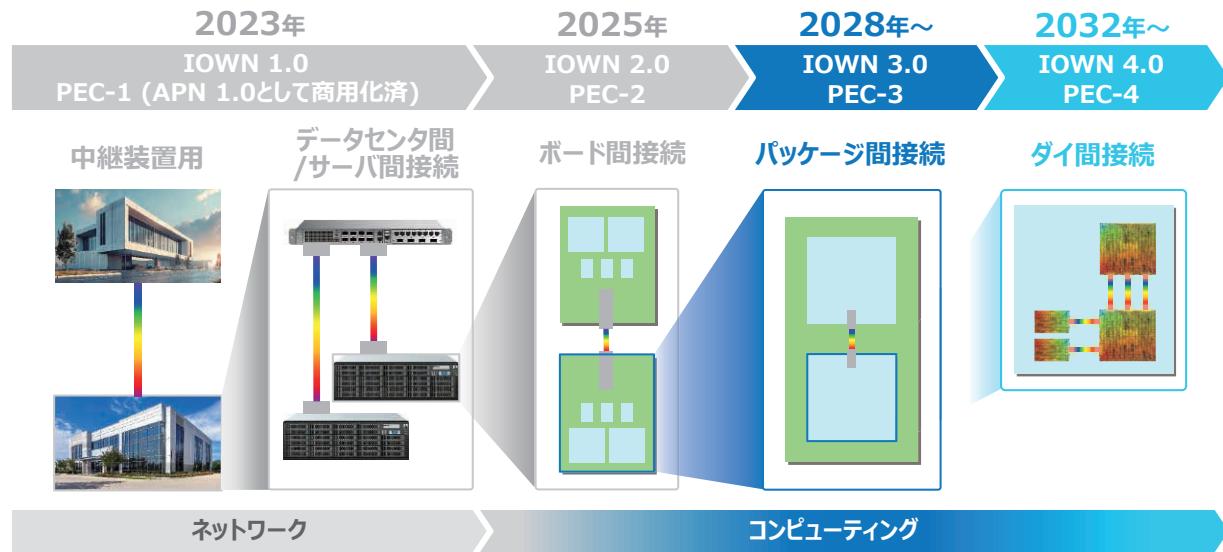


図6 IOWN 3.0: 光コンピューティングのさらなる進化

- ・パッケージから直接光で伝送することにより、劇的な低消費電力を実現（光I/O）
- ・従来の光デバイスの構造を抜本的に変え、薄膜化（メンブレン化）する独自技術により、パッケージに直付けできるほどの小型化を実現

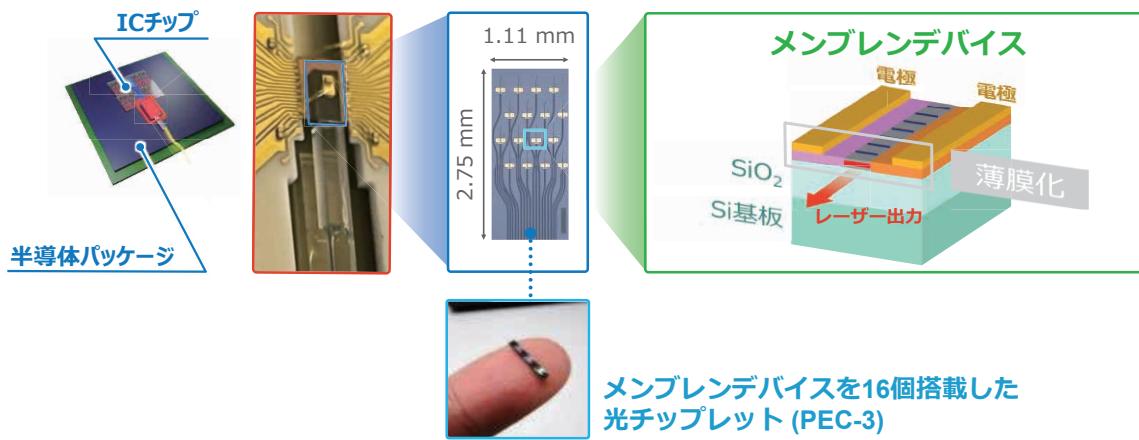


図7 PEC-3: 光電融合デバイスの進化

配線をさらに進化させ、光電融合デバイスのPEC-3を用いて、CPUやGPUといった半導体パッケージ間の接続を光配線化することをめざしています（図6）。

IOWN 3.0では、パッケージから直接光配線で情報を伝送することで、劇的な低消費電力を実現していきたいと考えており、私たちはこれを「光I/O」と呼んでいます。このため、パッケージに直接接続できるほどに光電融合デバイスを小型化する必要があるのですが、NTTは従来の光デバイス

の構造を抜本的に変え、薄膜構造でデバイスをつくる独自の手法を開発し、これを「メンブレンデバイス」と呼んでいます。試作した光送信モジュールは指の上に載せられるほど小さく、横1.11 mm × 縦2.75 mmほどの「チップレット」と呼ばれる構造にこのメンブレンデバイスを16個搭載しています。このPEC-3デバイスである光チップレットについても商用化に向けた研究開発を進めており、2028年に光チップレットの商用サンプルの提供を始めたいと考えてい

ます（図7）。

ここまでIOWN 3.0について紹介しましたが、IOWNの進化は3.0で終わるわけではありません。2032年ごろに実現予定のIOWN 4.0では、ついにパッケージ内部の配線も光化していくことをめざしています。これにより、最終的には電力消費を100分の1にまで削減することを目標としています。40年以上に及ぶNTTの光に関する研究開発の成果が、今まさに昔ながらの通信の世界からコンピュータの世界に広がって

いこうとしています。

次に、もう1つのイノベーションとなる、光量子コンピュータについて紹介します。

光量子コンピュータ

最新のコンピュータやAI技術でも解決が難しい問題に対し、量子コンピュータの期待が高まっています。量子コンピュータの研究は近年急速に進展し、産業化の波が押し寄せています。市場予測では、2030年代には数兆円規模に成長し、期待はかつてないほど高まっています。量子コンピュータには、超伝導、中性原子、光などさまざまな方式があります。NTTは光通信技術から生まれた光量子方式に挑戦し、光の特性を活かすことで、高速・省電力で圧倒的なスケーラビリティを実現します。通信との親和性も高く、未来のネットワークとつながる力を持っています。

私たちは光の力で量子計算を次のステージへ導きます。それは、エネルギー効率を極限まで高めた持続可能な社会の新しい計算基盤です。

■従来のコンピュータの限界

従来のコンピュータは、多数の可能性を検証しなければ答えが出ない問題に対して、扱える複雑さに限界がありました。例えば、従来のコンピュータが迷路を解く場合、道の1本1本を順番に探索し、行き止まりにぶつかればいったん分岐点まで戻って、次の道を探索するということを出口が見つかるまで繰り返します。しかし、この方法では迷路が複雑になると膨大な計算回数が必要になってしまいます。これに対して量子コンピュータは、すべての道を同時に探索し、出口につながる道のみを残すような動作をしていきます。そのため一度に複数の可能性を検証できるため、計算回数は劇的に削減できるので従来よりも圧倒的に複雑な問題を解くことができます。

■量子コンピュータへの期待

現実社会では、社会的なメリットがあるにもかかわらず、計算処理能力の限界で実現が難しかった課題があります。例えば、大都市の交通や物流の最適化、新触媒の開

発によって肥料を空気中の成分から効率的に合成し食糧問題を解決すること、個々の体質や遺伝子に合わせて最適な薬の分子構造を設計する創薬、さらには新しいエネルギー源として期待される核融合炉の設計などですが、量子コンピュータによって圧倒的に計算処理効率が向上することで、これらが実現可能になると期待されています。

このような量子コンピュータの能力の源泉は、量子ビットと呼ばれる従来とは根本的に異なる情報の表し方にあります。従来のコンピュータでは0から1の値が保持できるビットによって情報を表していました。ビットはある時点で0か1のどちらか確定した状態しか取れないので、いくらビットを増やしても同時に表せる状態は1つだけになります。

一方で量子コンピュータでは、0と1の値を同時に保持できる量子ビットによって情報を表すことになります。1つの量子ビットは2つの状態を同時に表せるので、量子ビットを増やすにつれてその組み合わせで指数関数的に表せる状態が増えています。量子ビットに対して計算を行うことで一度の計算で複数の状態、すなわち可能性を処理することができます。少し難しい内容かもしれません、さまざま状態を表すことができるということです。この量子コンピュータが持つ量子ビットの数は解くことができる問題の複雑さにも直結していきます。1000量子ビット以下では、今は実証のための研究用途に使用され、10万量子ビットぐらいいになると、中小規模の問題が解けるようになります。しかし、前述したような社会インパクトの大きい創薬や、暗号の解読、気象予測など汎用的に使うには、およそ100万量子ビットから1億量子ビットが必要になります。

■量子コンピュータの歴史

量子コンピュータの概念は、1980年代にはすでに提唱されていました。しかし、そこから1999年に最初の量子ビットが実証されるまでには18年かかっています。そして、わずか5量子ビットのコンピュータが実際につくられるまでには、さらに約17年、2016年までかかりました。近年では、半導

体技術の進化や投資の拡大によって量子ビット数の増加は加速していますが、前述の100万量子ビットや1億量子ビットの実現には、まだ遠い状態です。量子ビット数の拡大が難しい理由の1つは、従来方式に制約があることです。例えば、超電導方式や中性原子方式では、量子ビットを絶対零度に近い温度まで冷やす必要があったり、真空中を維持する必要があったりと、非常に厳しい動作条件があります。そのため、これらの条件を満たすためには大規模な設備が必要となってしまい、これらが量子ビットの数の拡大を妨げていたと考えられます。

そこでNTTは制約の少ない光量子方式に着目し、研究開発に取り組んでいます。光量子方式のコンピュータは、常温・常圧といった普通の環境下の中でも動作することが最大の魅力であり、スペースも小スペースで済みます。逆に、高速省電力、低投資なども実現できるため、他の方式にない利点が山のようにあります。これによって圧倒的なスケーラビリティ、すなわち量子ビットの急激な拡大を他の方式のおよそ10分の1から100分の1ぐらいの消費電力で実現することができます（図8）。

■実用化に向けたロードマップ

当社は長年研究してきた光の技術を、量子の性質を持った光をつくり出すための「量子光源」に応用し、OptQC（東京大学発のベンチャー）、理化学研究所等と光量子コンピュータを2024年に実現しました。量子光源は従来よりも非常に良質な量子特性を持つ光を生成することができます。言い換えれば、量子の歩留まりが良いということです。この特性はさらにスケーラビリティの向上に寄与していきます。これが実現できた根柢にはNTTが光通信の高度化で培ってきた、光を增幅したり、光の性質を変化させたりする技術があります。

そしてこのたび、NTTとOptQCは光量子コンピュータの実用化に向けた連携協定を締結しました。NTTの量子分野へ応用可能な光通信技術とOptQCの光量子コンピュータの開発技術を組み合わせることで、スケーラブルで信頼性の高い世界トップレベルの光量子コンピュータの実現をめざし

- NTTは、制約の少ない、光量子方式の研究開発に取り組んでいる。
- 光量子方式は、量子コンピュータを汎用利用するために必要な量子ビット数の拡大を、他方式の1/10～1/100の消費電力で実現可能。



図8 NTTが着目する光量子方式

- 現時点（2025時点）では、世界的に数百～数千量子ビットのレベルにあり、大きな差はついていない。
- 光量子方式のスケーラブルな性質を活かし、2030年に世界トップレベルの100万量子ビットを達成、さらにその先に、他社に先駆けて1億量子ビットの達成をめざす。

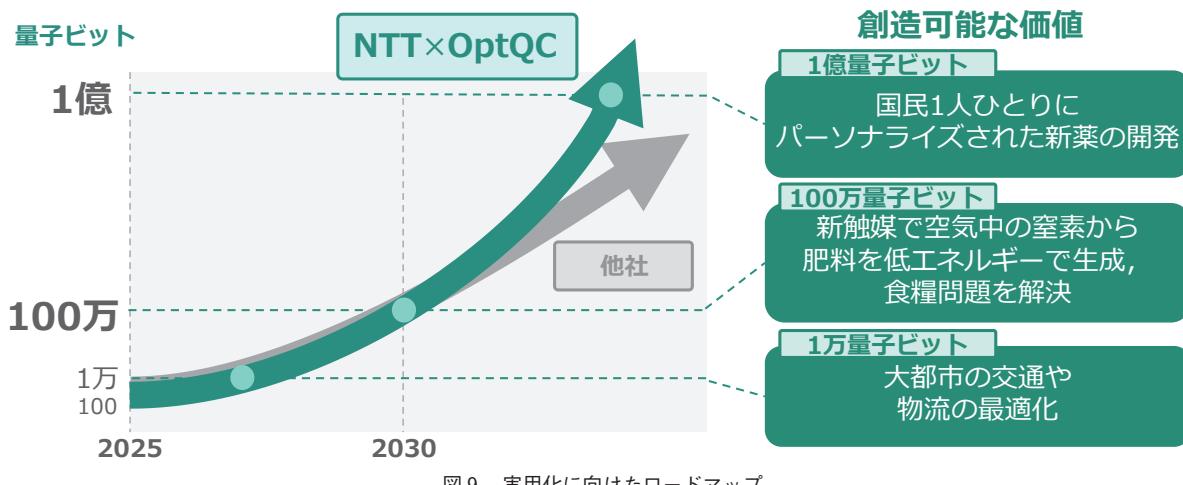


図9 実用化に向けたロードマップ

ていきたいと思います。現在、世界的な最新研究レベルでも、量子ビット数は数100からせいぜい1000程度にとどまっています。一方で、汎用利用に必要な量子ビット数はおよそ100万から1億量子ビットとされており、実現にはまだまだ遠い状況です。

NTTとOptQCは光量子方式で、スケーラブルな性質を活かして2030年に世界トップレベルの100万量子ビットを達成したいと考えています。さらにその先、他社に先駆けて1億量子ビットの達成をめざし（図

9）、2028年ごろにはさまざまなユースケースを示したいと思っています。

おわりに

NTTは光の技術を用いて、エネルギーの限界、そして従来の計算処理の限界を打ち破って、コンピューティングを革新していきたいと考えています。

現在、世界はAIの進化によって、かつてないほどの変革の時期を迎えていますが、

NTTはAI時代のインフラを提供していくだけではなく、さらにその先の量子時代のコンピューティングの革新を通じて、サステナブルな未来社会の実現に貢献していきます。

IONW.: Quantum Leap

NTT 執行役員 研究企画部門長

木下 真吾 Shingo Kinoshita

本記事は、2025年11月19～26日に開催された「NTT R&D FORUM 2025—IONW: Quantum Leap」における、木下真吾NTT研究企画部門長の基調講演を基に構成したもので、Quantum Leapについて紹介します。



NTT R&D FORUM 2025の概要

今回のNTT R&D FORUM 2025のテーマは「I OWN : Quantum Leap」です。"Quantum Leap"には2つの意味があり、1つは「量子力学的な飛躍」、もう1つは「ビジネスの劇的な進化」を表しています。技術面とビジネス面の両面で新たな飛躍を遂げたいとの思いを込めています。

では、なぜ今“Quantum”なのか。現在のAI（人工知能）時代において、必要となる計算量は急速に増大しています。図1は、横軸が年数、縦軸が計算リソースを示していますが、特にAIが本格化した領域から急激に傾きが変わり、膨大なリソースが必要になっていることが分かります。

一例としてGPT-4は、1回の学習に約4万MWhの消費電力が必要で、これは原発約40基分に相当するといわれています。こうした背景から、AIが今後さらに進化していく中で、今のように計算リソースを増やし続けるだけで良いのかという疑問が、世界共通の技術課題になっています。

この課題に対し、NTTは4つのアプローチで進めています（図2）。まず図2左にいる2つは、古典的な情報処理の範囲での取り組みです。1つはAIの実行環境そのものを効率化する「iOWN」です。もう1つはAI自体を軽量化し効率化することで消費電力を抑える生成AI「tsuzumi」です。しかし、この2つだけでは不十分であり、これからは古典領域から量子領域へ処理の

範囲を広げていきます（図2右）。それが、計算性能を飛躍的に向上させる「光量子コンピュータ」と人間の脳に近い極めて高効率なAIをめざす「量子AI」です。NTT研究所としては、この4つの取り組みを、古典と量子を交えながら進めていく方針です。

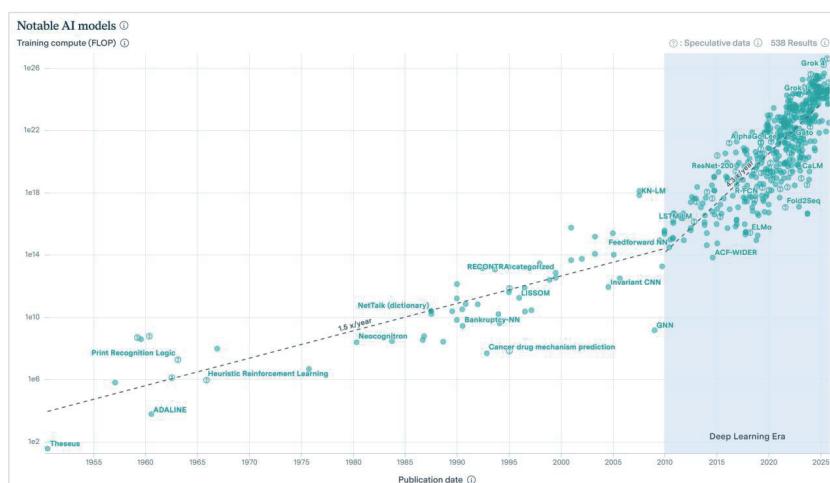
今回このアプローチを踏まえて、「Quantum」「IOWN」「Gen AI（生成AI）」について、NTTの研究成果とその意義を紹介します。

Quantum

■量子コンピュータ

最新のコンピュータやAI技術でも解決が難しい問題に対し、量子コンピュータの

AIの登場によって加速度的に計算機リソースが増加している



* Epoch AI. 'Data on AI Models'. Published online at epoch.ai. Retrieved from '<https://epoch.ai/data/ai-models>' [online resource]. Accessed 23 Oct 2025.

図1 AI時代：膨大な計算機リソース

期待が高まっています。量子コンピュータの研究は近年急速に進展し、産業化の波が押し寄せています。市場予測では、2030年代には数兆円規模に成長し、期待はかつてないほど高まっています。量子コンピュータには、超電導、中性原子、光などさまざまな方式があります。

NTTは光通信技術から生まれた光量子方式に挑戦し、光の特性を活かすことで、高速・省電力で圧倒的なスケーラビリティを実現していきます。通信との親和性も高く、未来のネットワークとつながる力を持っています。私たちは光の力で量子計算を次のステージへ導きます。それは、エネルギー効率を極限まで高めた持続可能な社会の新しい計算基盤です。産学連携による技術開発の加速と光量子の開発コミュニティの拡大を図り、2030年に汎用的に大規模計算が可能な光量子コンピュータの実現をめざします。将来はIOWNのコンピューティング基盤の上で地球規模の量子コンピューティングを可能にします。

■光量子コンピュータの基本動作

光量子コンピュータの基本動作について説明します（図3）。最初に、量子光源によって量子光を生成します。続いて、量子どうしの関係性を保つために「もつれ」をつくります。その後、このもつれを網目状に広げていくことでクラスタを生成します。このクラスタ状態に対して、各量子へ操作を施すことがプログラミングに相当し、最後にそれらを測定することで計算を進めていきます。光量子コンピュータは、この一連の流れで計算を実行します。

光量子コンピュータの性能を向上させるためには、主に3つのポイントがあります。

まず1番目は量子光源の品質を高めることで、生成される量子光がより良質になります。2番目は「もつれ」の数を増やすことで、大規模な計算が可能になります。3番目は測定器のスピードを上げることで、高速な計算が実現できます。これら3点が現在の重要な技術課題となっています。

実際の光量子コンピュータのソフトウェ

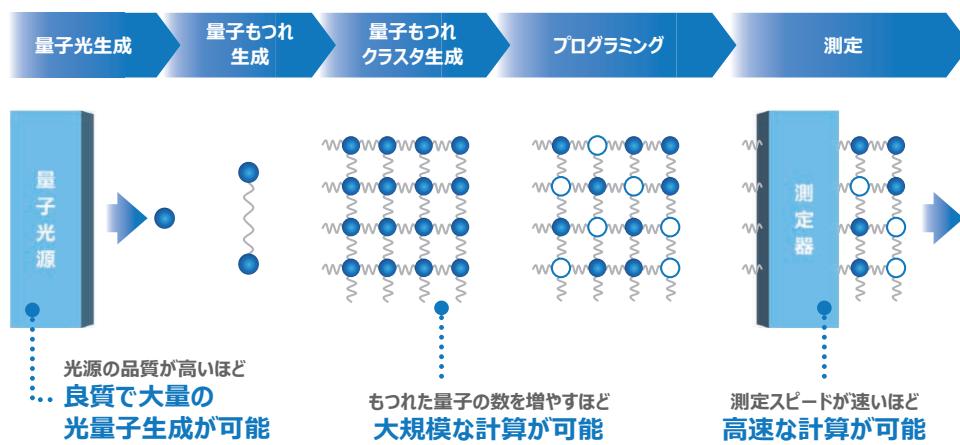
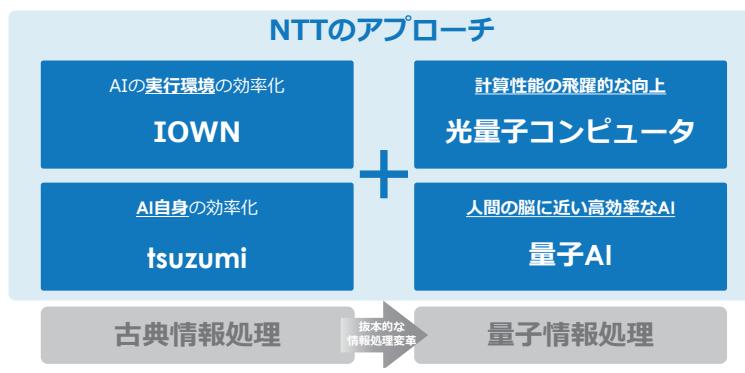
アとハードウェアの構成について説明します。まず量子光源の部分で量子光を生成し、次に光学系装置の中でもつれを生成し、さらにそのもつれを拡大してクラスタを形成します。最後に、観測・制御装置でプログラミングと測定を行う、これが基本的な動作の流れです。NTTが特に取り組んでいるのは、量子光源と観測・制御装置の領域で、ここでは「光パラメトリック増幅器」を用いています（図4）。

光パラメトリック増幅器は、光通信分野で中継増幅や波長変換に使われていたデバイスですが、これを量子コンピュータに応用できないものかと挑戦してきました。その結果、まず光源としては非常に高品質な量子光の生成に成功しました。さらに測定についても、この中継に使われていた増幅の技術を応用することで、非常に高速な測定が可能になっています。光通信と光量子コンピュータは非常に親和性が高く、送信機の部分では光源の高品質化や波長変換の技術がそのまま活用できます。さらに、多重や光ファイバ自身の低損失化・マルチコアファイバ技術は、光量子コンピュータの光学系装置に応用できます。また、受信機で用いられる高速検出技術や光増幅技術も測定器に利用できます。

このように、光通信で長年培ってきた技術が、光量子コンピュータのさまざまな部分に活かされています。

■光量子コンピュータの特徴

量子コンピュータというと、超伝導方式がよく知られていると思います。この方式で大部分を占めているのは冷凍・真空装置



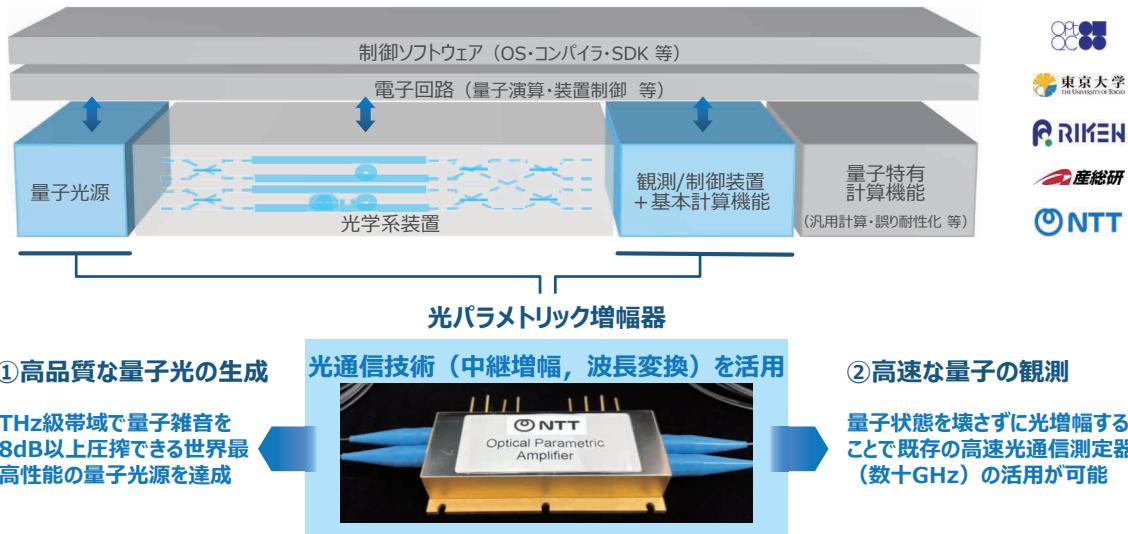


図4 光パラメトリック増幅器

で、その先端に小さな量子チップが載っています。この冷凍・真空装置は構造的に非常に大型で、技術的にも小型化が難しいとされています。

一方、光量子方式では主に光源やミラーなどの光学系装置を用いるため、巨大な冷却装置が不要で、常温常圧で動作します。装置全体を小型化しやすいという大きな利点があるので、また、量子コンピュータの性能を高めるうえでは、空間多重・時間多重の観点から、いかに計算量や並列性を上げていくかが重要です。

他方式では主に空間的な並列化に頼り、チップ上で量子もつれ状態を並列化することで性能向上を図ります。しかし、前述のとおり冷凍・真空装置は小型化が難しく、並列化を進めれば進めるほど必要なスペースが膨大になっていきます。チップ自体は集積化できても、冷凍・真空装置は形状・構造の観点から縮小が困難であり、結果として装置全体を大規模化せざるを得ないと考えています。

また、光量子方式は特に時間多重で大きなメリットがあります。時間軸に沿って量子のもつれを連続的に重ね合わせていくことで、量子ビットを無限に増加させることができます。さらに、量子ビットを時間方向に生成する間隔を短くし、動作周波数を上げることで、多重度を増やすことが可能になります。現在は10 GHz程度の動作ですが、光源の高品質化や測定器の高速化によって、数10 GHzから数100 GHzまで高

めることができますと考えられています。さらに光通信の特徴である波長多重を活用することで、単一の光ファイバの中に複数波長を同時に流すことができ、100 GHzから10 THzまで多重化を拡張できる可能性があります。

これらの特徴は非常に省スペースであること、さらに光の周波数で動作するため超高速であること、最小限の電気回路で済むため省電力であること、そして今まで開発してきた技術を活用することができるため低投資で、圧倒的なスケーラビリティが実現できるのではないかと世界的に大変注目されています。

これまで1台の量子コンピュータの話でしたが、これを世界規模で複数台並べ、さらにその間をIOWN APNと全光量子中継技術を使うことにより、世界規模で分散した光量子コンピュータネットワークが将来的に実現できるのではないかと考えています。そして、NTTは東京大学発のベンチャー企業であるOptQCと世界最高の光量子コンピュータの実現に向け、連携協定を締結しました。2027年には1万量子ビット、2030年には100万量子ビットという規模で、スケーラブルで信頼性の高い光量子コンピュータの実現をめざしていきます。

IOWN

■IOWNのロードマップ

IOWNのロードマップについて、改め

て紹介します。まず、IOWN 1.0では、ネットワーキングの領域において、データセンタとデータセンタの間を完全に光化することをめざします。続いてIOWN 2.0以降ではコンピューティング領域に入ります。2.0では、サーバとサーバのボード間を完全光化します。3.0では、ボード上のチップとチップ間を光化します。そして4.0では、チップ内部のダイとダイの間を光化することをめざします(図5)。

■IOWN光コンピューティング

NTTは進化する未来のコミュニケーションを光による低消費電力で支えるため、ハードウェアとソフトウェアの両面からIOWN光コンピューティングにより解決をめざします。ハードウェア面においては、電気でつなぐ信号を光でつなぐ信号に置き換え、消費電力の削減と低遅延化による高速通信を実現します。ソフトウェア面においては、従来、高度な処理を必要とする大規模なコンピュータには、部品の組合せに制限があるため、筐体単位での増設が必要となり、使わない部品にも電力を消費していましたが、この制限を取り払い、必要な機能を必要な分だけ使えるリソースの配分技術により、処理の高度化と消費電力の削減を実現します。

大阪・関西万博の会場では、AIを用いた映像処理に、これらの技術を活用し、必要なときに必要なだけリソースを稼動させるなど、消費電力を最大8分の1まで削減しています。将来的には超高速ネットワーク

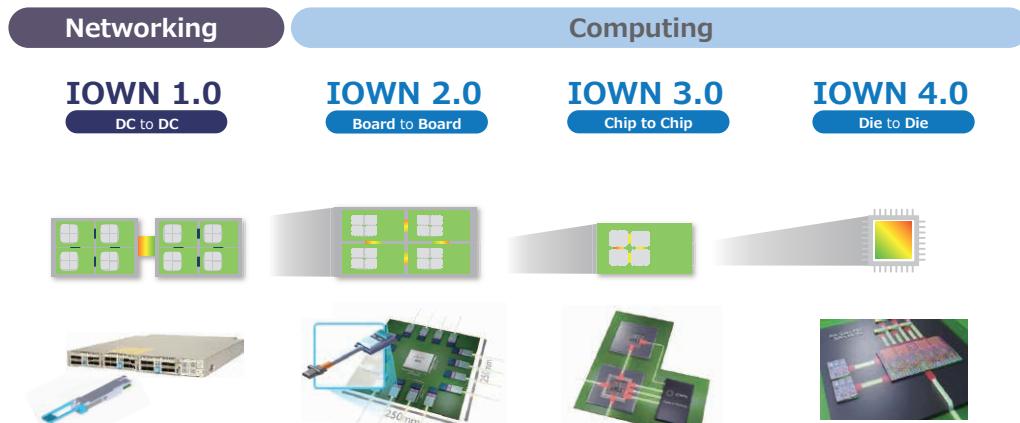


図5 IOWN ロードマップ

であるAPNを組み合わせることで、遠隔地のコンピュータをあたかも1つの高性能なコンピュータのように、利活用再生可能エネルギーや発電施設近傍での効率的な電力利用が可能となります。

伝送距離と伝送スピードについて、従来は100 kmを超えるような長距離通信において光ファイバが使用され、10 cmや1 mなどの非常に近い距離に関しては電気通信が使用されていました。しかし、近年ではたかだか10 cm程度の距離にもかかわらず14.4 T、15 Tbit/sのスピードが必要になっており、すでに電気では伝送できない状況にまできています。そして、この10 cm、1 m以内の距離をいかに効率良く光で伝送するかが技術的な課題となっています。

■ PEC-2スイッチにおける消費電力削減

私たちは効率の良い伝送技術の開発に挑戦し、「光電融合デバイス (PEC-2)」を試作しました（図6右）。従来の光通信スイッチは、トランシーバ装置の前面に差し込み、通信を行いますが、光は途中までしか届かず、装置内部に入った後は電気配線で信号が伝送されます（図6左）。この電気配線部分は約30 cmですが、例えば15 Tbit/sの通信を行う場合、わずか30 cmの距離でも大きな発熱が生じ、消費電力が増えるという課題があります。

一方、私たちが開発しているPEC-2スイッチでは、光がスイッチ用のASICの間際まで届くようになっており、これにより電気配線の距離を3 cmほどに短縮でき、消費電力を削減できます。このPEC-2スイッチは2026年度末に商用化することを先

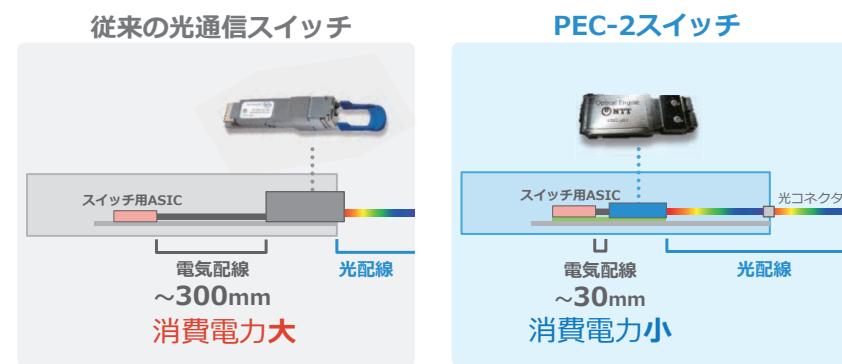


図6 PEC-2スイッチにおける消費電力削減

日発表しました。製品化に向け、ASICはBroadcom、光エンジン、スイッチモジュールはNTTイノベティブデバイスが製造します。これを、Acctonがスイッチという装置に仕上げ、さらにGPUサーバと組み合わせることによって、光コンピューティングを実現していく流れとなります。

PEC-2スイッチが実現した暁には、GPU・クラスタの運用がどのように変わるかという点について説明します。NTTはソフトウェアの開発も行っています。前述のGPUクラスタはAccton、Drut、Fsasのコンポーネント、あるいはDELL、Supermicroの汎用的なGPUサーバなどで構成することができます。これらのGPUを、光電融合スイッチで結合し、さらにDCIコントローラを用いることで、多数のGPUリソースを最適効率化することをめざしています。

例えば、現在東京・大阪・名古屋・福岡にそれぞれGPUが4つずつあり、各拠点のGPUの空き・故障の監視やトラフィックの監視、消費電力の監視を一元的に管理

できるようになっているとします。このとき、管理監視するだけではなく、ダイナミックな制御も可能です（図7）。水色・紫色・橙色の部分はすでにタスクが動作しているGPUで、灰色の部分が空いているGPUです。ここへ新たにAIの推論タスクが4つ来たとします。このタスクは4つともバラバラのGPUに配置しても構わないのでですが、東京からのレスポンスタイムを優先してほしい、という要件があるとします。この場合、DCIコントローラは東京に2つ、大阪に1つ、名古屋に1つというかたちで配置をします（図7の赤色部分）。これはマニュアルではなく、GPUの状況を監視しながら自動で行う点が特徴です。

さらに、AIの学習タスクが来たとします。学習タスクは分散させると性能が低下するため、可能な限り集中させて配置する必要があります。これは、並んだGPU間の通信が大きく影響するためです。そこで例えば、福岡にある推論タスクを東京に移動させ、福岡の4つのGPUを空け、そこに新しい学習タスクを割り当てることで、全体

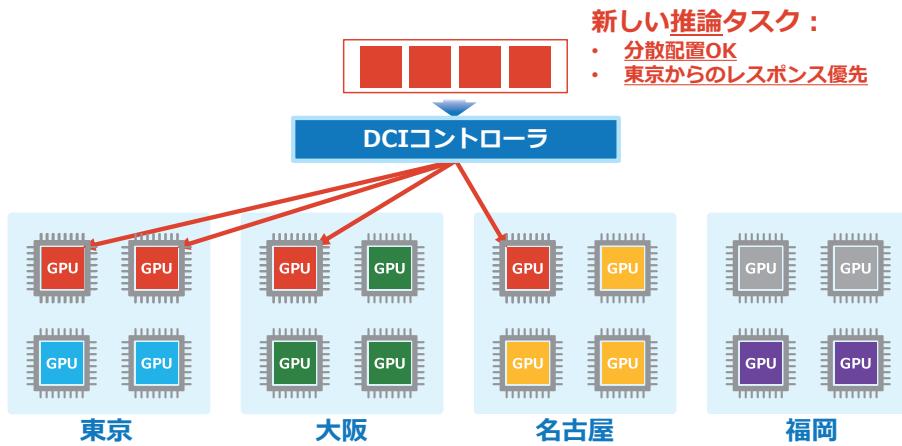


図7 IOWN光コンピューティング

- 同サイズ帯のモデル（Gemma-3等）では世界トップクラスの日本語性能
- 数倍以上大きなモデル（GPT-oss 120B, GPT-5等）にも引けを取らない性能でコストパフォーマンスに優れる

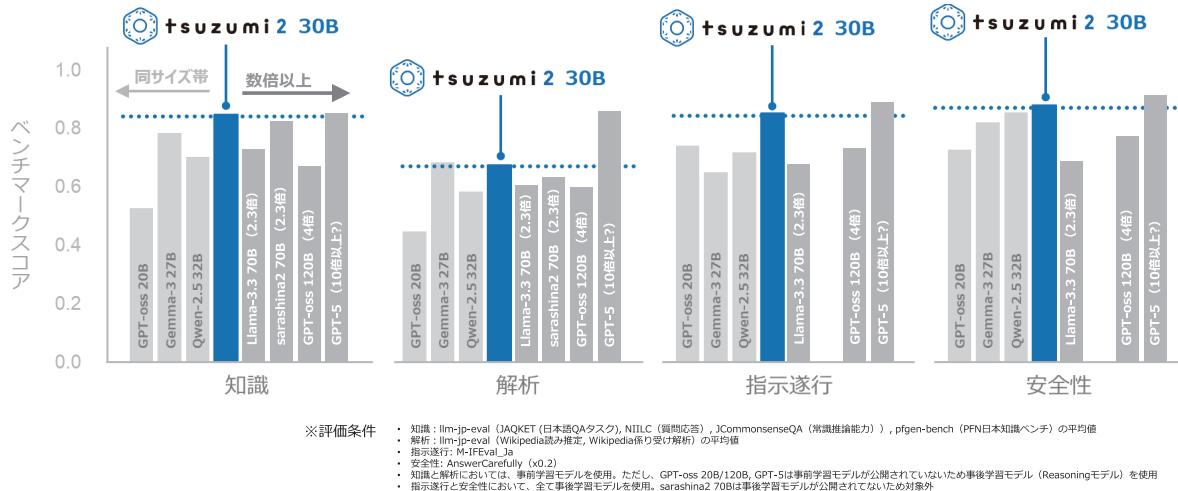


図8 日本語性能のさらなる向上

の最適化を自動的に行なうことが、DCI コントローラの担う仕組みです。

GEN AI (生成AI)

tsuzumi 2

2024年3月にtsuzumiを発表しました。このときのパラメータのサイズは7B (70億パラメータ) になります。そして今回2025年10月にtsuzumi 2を発表しました。こちらのパラメータサイズは30B (300億パラメータ) となっています。なぜ30Bなのかというと、現在最新のGPU 1台で動作する最大のサイズだからです。1 GPUが実現すると何が良いのかというと、オンプレミスやプライベートクラウドとして、非常に低

コストかつ高セキュアに運用できるからです。そのため、私たちはこのGPUのパラメータサイズにこだわって開発を進めています。

tsuzumi 2の特長は4つあります。そのうちの1番目が「日本語性能のさらなる向上」です。図8の横軸には「知識」「解析」「指示遂行」「安全性」と書かれていますが、これは代表的な日本語ベンチマークテストの種類を示しています。縦軸はスコアで、高いほど性能が良いことを意味します。中央のブルーの棒がtsuzumi 2の成績で、左側の3本の棒は、tsuzumiと同じくらいのサイズ帯の他社製品の成績です。左からOpenAIのGPT-oss 20B, GoogleのGemma-3 27B, AlibabaのQwen-2.5

32Bと並んでいますが、世界でもっとも優れているといわれているこの3つに対してもtsuzumi 2は日本語性能において優れているという結果が出ました。さらにパラメータサイズがもっと大きいものと比較しています。右側には、Llama-3.3 70B, ソフトバンクのsarashina 2 70B, GPT-oss 120B, GPT-5と並んでいますが、GPT-oss 120Bはtsuzumi 2の4倍ほど大きなサイズとなっています。そしてGPT-5はおそらく10倍以上大きいだろうといわれています。tsuzumi 2は、これらと比較しても引けを取らない性能となっており、非常に効率的な日本語LLMなのではないかと考えています。

2番目の特長は「特化モデルの開発効率

の向上 (F.T)」です。今回のtsuzumiは、汎用をねらうだけでなく、特化型も対象としています。金融、医療、自治体などの大規模データを幅広く学習させています。その結果として、金融分野における性能評価も行っています。具体的には、金融のベンチマークとして「ファイナンシャル・プランニング技能検定2級テスト (FP2)」を用い、200問、500問、1900問と段階的に学習させた場合に、成績がどのように向上するかを評価しました。GoogleのGemmaにおいては初期状態で39点を獲得し、1900問の予習を実施することによって64点というFP2学科試験の合格ラインを達成しました。一方tsuzumiでは、初期の段階で60点には及ばないものの54点を獲得しました。200問の予習をした段階で70点をクリアし、合格圏内に入りました。そういう意味では約10倍の学習量を削減しながらも合格ラインを達成したという、非常に効率的な結果が出ました。

3番目の特長は「低コスト・高セキュアの維持」です。例えば、DeepSeek 700Bを実際に動かす場合、NVIDIAのH100 GPUを16基ほど使用する必要があり、ハードウェアの単純コストだけでも約1億円かかるといわれています。一方tsuzumiでは、必要なハードウェアコストは約500万円で済みます。3世代前のGPUでも動作可能であり、この結果は、従来比で10~20倍のコスト優位性を実現しています。

最後にとても重要なのが「国産AI（ソブリンAI）」であるということです。国産のAIとして、いかにAIをキープしていくか

という観点においてもメリットがあります。まず、①言語・文化をいかに言語モデルとして守っていくかという主権、そして②学習データとして著作権違反をしたデータを学んでいないかという、学習データを自分たちで決められるという主権、③開発のスケジュールや開発手法、これ自身を決めることができるという主権、さらには④ライセンスの主権です。現在、オープンソースのLLMが多く存在しますが、いつ課金が始まるか、あるいはいつ使用できなくなるかは予測が難しいため、こうしたライセンスの管理権も重要です。最後に、⑤技術の主権についてです。AIは今後、半導体やスマートフォンOSと比較しても遜色ないほど、IT基盤として重要な存在になると考えられます。

こうした状況に対して、日本が技術的に主導できる立場を維持し、新しい技術を開発できる、あるいは少なくとも理解できる体制を持つことが重要です。そのため、NTTは技術的な主権を維持する観点から、自らLLMを開発しています。

■生成AI応用

従来のAI音声は「トランシーバ型」といい、人間が話し終わった後にAIが話し始めるため、間があいたり、言葉がかぶつてしまったりしたときにテンポが悪くなったりしていました。また、口調も固いことから不自然さがありました。しかしこの課題に対して「Full-Duplex型（全二重型）」という技術を開発しました（図9）。

これは、相手の言葉を音声認識でテキスト化し、言語モデルが学習して、その回答

を音声合成するようなやり方ではなく、一気に話している言葉を学習データとして入力し、そのときの対話の状況を教師データとして学習します。この手法はSpeech to Speechともいいます。この手法を使うことで、会話が重なりながらもテンポよく、相手の言葉とかぶったり遮ったりせずに自然に話ができます。実はこの技術の開発は約半年間で行いました。開発当初は日本語を話してはいるけれども違和感のある音声になってしまふようなところからスタートしました。また、Speech to Speechは制御も難しく、失敗の事例も多く存在します。例えば、同じ質問を2度行つてしまったり、質問の間に「失礼しました」といった言葉が入らなかったり、カード番号が16桁必要な場面で、15桁しか言われていなくてもそのまま処理を進めてしまうような失敗もあります。これは会話を会話のパターンとして学習しているので、正確なところが制御できていないという点では技術的な課題となっています。さらに、コールセンタでは、非常に怒ったお客さまからの電話がかかってくることもあります。その際、どのように対応するかが重要です。プロのオペレータは、怒り口調に対してトーンを落として対応しますが、AIがどこまでこのような対応を正確に再現できるかは、まだ多くの研究課題が残されています。

また、ネットワークへの応用として、ネットワーク障害復旧エージェントを紹介します（図10）。ネットワーク装置のどこかが故障しているという状況において、検査、診断を行い実際に復旧し、最後には復旧レ

人どうしのような自然な対話、コールセンタやパーソナルAIサービスへの適用をめざす

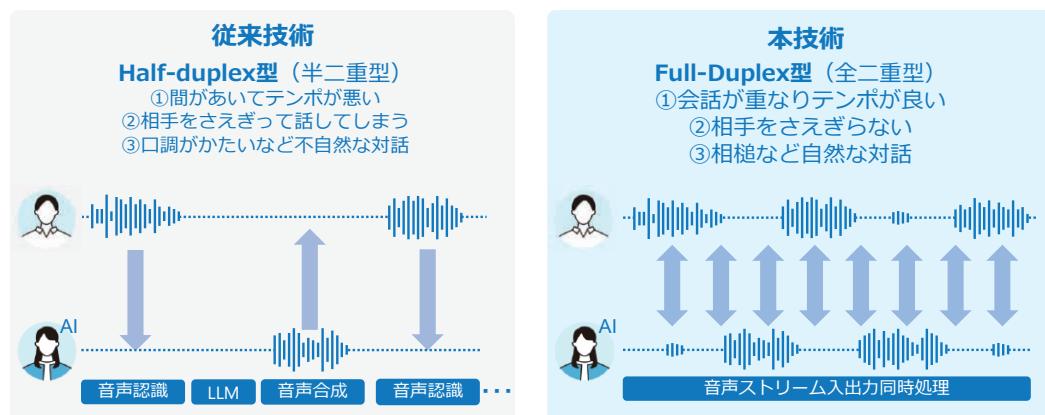


図9 Full-Duplex 音声対話AI

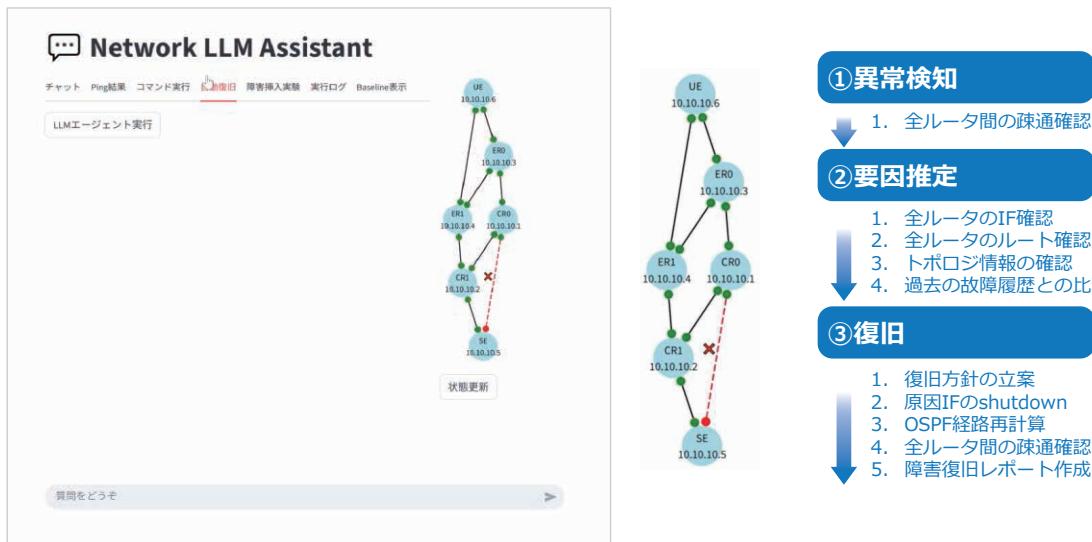


図10 ネットワーク障害復旧エージェント

ポートを上げるところまで、すべてAIが自動化してくれるものです。①異常検知、②要因推定、③復旧といった流れでAIエージェントが連携しながらやり遂げます。

■言語以外の大規模モデル

私たちは大規模行動モデルを開発しています。言語モデルは、ある単語が入力された後に次の単語が出現する確率を予測するモデルですが、行動モデルも同様の考え方で、ある行動の後に別の行動が起こる確率を予測する行動確率モデルです。このモデルをマーケティングや販促に応用しています。

例えば、過去にニュースを閲覧し、広告を見て、ポイントを付与したユーザに対して、①何もしなかった場合、②DMを送った場合、③電話をかけた場合に何が起こるかをすべて確率として算出します。何もしなかった場合に、料金プランを変更する確率は7%，スマホを購入する確率は1%，動画のオプションを追加する確率は4%，といったかたちで予測できます。この結果から、もっとも効果的な施策が電話であることが分かりました。そして実際、NTTドコモが電話にて販促を行ったところ、受注率は2倍に向上したという実験結果が出ました。

もう1つ、ワールドモデルという視覚、あるいはビジョンから飛び出て世界を認識するというAI（フィジカルAI）が流行しています。

現在、トヨタと一緒にモビリティAIの

開発を行っています。自動運転は車の自立的な運転から、人、あるいはインフラと協調した三位一体性が重要であるといわれています。NTTでは人の行動をいかに予測できるかという研究をしています。例えば、横断歩道を渡ろうとしている人がいる場合を考えます。1人は車が来たことに気付き立ち止まることができましたが、もう1人は不注意でそのまま渡ってしまい、ひかれかけるという事象が起きたとします。この2人の行動の違いを、AIが予測できるかが課題となっています。従来はNaïve Modelといって物理的運動が継続したことによって起こる結果を予測しますが、今回の例題では予測に失敗します。一歩進んだ社会行動モデルになると、目的地からの引力と障害、例えば赤信号や車からの斥力が釣り合うと停止すという予測モデルがあります。しかしこれも予測に失敗してしまいます。

NTTでは、社会行動モデルと主観空間モデルを組み合わせて活用しています（図11）。具体的には、手前の人は前を向いているため信号が見えていますが、後ろの人は視線の向きから信号の方向を向いておらず、上方しか見えていない、という差を空間認知モデルの違いとして利用することで、行動の予測を行うことに成功しています。人を単なる物体として扱うのではなく、その人の行動や社会的状況を考慮して行動を予測しています。

■AGI/ASIに向けた研究

1番目がマインド・キャプショニングです。これは映像を見たり想起した際の脳波を測ることによって、その内容を言語化させる技術です。動画を見ている状態で、MRIが脳波を計測し、分析をしています。分析をしながら推測を高めていき、徐々に正解なデータに近づいていきます。

「脳からの生成文と人手による正解文を用いた動画同定成績」のグラフから興味深い結果が得られました。言語野を含む全脳と言語野を含まない全脳とで比較した際、高い精度で知覚内容のテキスト化に成功し、言語野を除外しても大きな低下がみられませんでした。これは、言語情報ではなく非言語的意味情報ととらえて言語化していることを示唆しています。これは言語野を損傷している方や、まだ言語の獲得ができるていない乳幼児、あるいは動物までも脳波を測ると何を見ているか言語化できる可能性があるということです。

2番目がマシンアンラーニングです（図12）。この研究は一度覚えたデータをどのように忘却させるかという研究です。どのようなときに役立つかというと、著作権違反のデータを学習した際に、その違反した部分だけを忘れることができます。通常、一度学習してしまったものを忘れようとすると、学習データをすべてリセットした状態にし、最初からすべて学習し直すという作業を行わなければなりませんが、マシンアンラーニングは、出来上がった知識に対

人の主観的空间を考慮したSocial Force Model（社会行動+主観空間モデル）

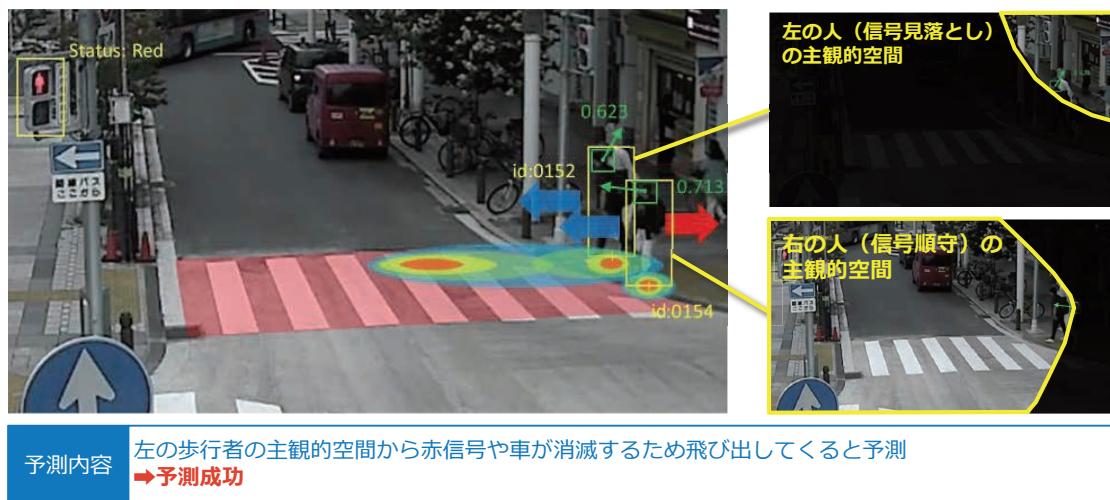


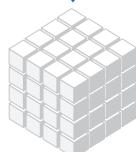
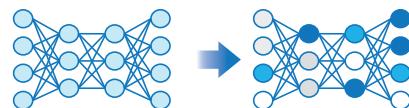
図11 ワールドモデル

マシンアンラーニングとは



1192年鎌倉幕府成立.

仕組み



1192年に起きたことですか？

重みを調整して回答する



鎌倉幕府は1185年頃から段階的に成立。
源頼朝が征夷大将軍に任じられたのが1192年。

図12 マシンアンラーニング

して1日の知識だけを効率良く削除していくことができます。これが実現されれば著作権問題などの対応が容易になります。

3番目がLLMの心理的メカニズムです。従来のLLMはハルシネーションが多い、嘘をつくなどコントロールできないといわれてきました。しかし、研究を重ねるうちにLLMの中に例えば、嘘、優しさ、忖度などに強く反応するニューロンの「組」が存在することが分かってきました。これらを活用することにより、LLMの嘘発見器をつくることが可能となったのです。嘘を指摘すると嘘ニューロンの活性度が下がります。LLMの嘘発見器をみると、このAIが嘘についているのかついていないのか、ニューロンを見れば分かるようになります。これ

らを活用すると嘘をつかないように調整できる可能性があり、またさまざまなハルシネーションに応用できるのではないかといわれています。

最後に量子AIです。現在のAIは、莫大なエネルギーを使い稼動しています。そこで注目されるのが量子AIです。光の重ね合わせと干渉を活かし、より少ないエネルギーでより深い学習を可能にする研究が進んでいます。そしてその進化は一方向ではありません。量子がAIを高め、AIが量子を磨きます。知が響き合い加速する時代が始まっています。この進化により、量子AIは世界そのもののパターンや見えない関係性をとらえようとしています。量子は現在の古典のデジタルと比較してもアナログ計

算機に近く、ノイズが多いといわれています。しかし、私たち人間の脳もノイズが多く、言語データにもノイズが多いといわれている中で、ノイズをうまく活用することによって効率的なものができないかという研究です。

この量子AIを含め、NTT研究所としては、冒頭で最初に述べましたIOWN, tsuzumi, 光量子コンピュータ、量子AIを含むアプローチで、古典と量子の情報処理を交えながら、研究開発を進めてまいります。

「NTT R&D FORUM 2025—IOWN.:Quantum Leap」開催報告

2025年11月19～21日、25～26日の5日間にわたり、「NTT R&D FORUM 2025—IOWN.:Quantum Leap」を開催しました。本稿では本フォーラムにおける講演や技術展示のポイントを紹介します。

キーワード：#R&D FORUM, #IOWN, #光量子コンピュータ

NTT R&D フォーラム事務局

NTT R&D FORUM 2025の開催報告

2025年は量子科学誕生100周年にあたり、日本政府が「量子産業化元年」と位置付けた年です。NTTでは、代表取締役社長島田明と執行役員研究企画部門長木下真吾が基調講演で語ったとおり、"Quantum Leap"をキーメッセージとして掲げました。

今回のNTT R&D フォーラムでは、目前に迫っている時代のターニングポイントを見据えて、これから社会に必要不可欠となる研究や技術を幅広く網羅するかたちで開催されました。光ネットワークとしての「IOWN (Innovative Optical and Wireless Network)」は、2025年「1.0」から「2.0」へとバージョンアップし、2028年以降「3.0」そして「4.0」へと進展します。光コンピューティング技術についても、NTTによってさらなる高みへと向かう展望を示しました。また、信頼と実績のある光通信技術を量子技術と融合させ、100万量子ビットという圧倒的なスケーラビリティを持つ「光量子コンピュータ」の開発と実現という新たな地平を切り拓きます。さらに技術セミナーでは、光量子技術を中心に、そこから派生するさまざまな研究と技術が語られました。また、技術展示では、大規模言語モデル(LLM: Large Language Model)「tsuzumi 2」を筆頭に、光ファイバーセンシングに代表されるサステナビリティ、自動運転や遠隔運転のモビリティ、デジタルツイン、セキュリティ、エネルギー、宇宙や人工衛星を活用した技術など、89件の最新研究や研究成果が展示されました。

基調講演

■基調講演1：光技術によるコンピューティングの革新～IOWN 2.0, 3.0への進化、そして量子への飛躍～

今回のR&D フォーラム2025でNTT代表取締役社長島田明は、光技術でコンピューティングの性能とエネルギー効率の限界を破るために2つのイノベーションを提示しました（写真1）。

1つは「IOWN」による光コンピューティングです。電気配線を光配線に置き換えることでGPU間などの大容量・低遅延通信に伴う消費電力と発熱が劇的に低減されます。また、「PEC-1」「PEC-2」「PEC-3」と呼ばれる、光と電気の相互変換を担う「光電融合デバイス」や「光エンジン」、「光電融合スイッチ」といった新技術を段階的に導入し、「IOWN 2.0」で基板間の光化と102.4 Tbit/s級の高性能なスイッチを実装し、従来比で消費電力約8分の1を実現したと発表しました。ロードマップにある「IOWN 3.0」ではパッケージ間の「光I/O」をめざし、メンブレン構造の光チップレット（2028年商用予定）で小型化し、2032年の「IOWN 4.0」では、配線全体の光化と消費電力100分の1を目標に掲げています。もちろん、生産ライン整備やサプライチェーン連携も同時に進めているとしました。

もう1つは光量子コンピュータです。NTTは常温・常圧で動作する光量子方式に注力しています。光の高速性・低消費電力・通信親和性により圧倒的スケーラビリティを狙い、量子光源の高品質化で量子ビットの歩留まり向上を実現します。OptQC（オプト・キューシー）社や理化学研究所と連携し、2027年に汎用的大規模計算が可能な光量子コンピュータを完成さ

せて、2030年には世界トップクラスの100万量子ビットを達成します。さらに将来的には1億量子ビットを目標としています。これにより、創薬や交通最適化、核融合設計など、従来困難だった社会課題の解決をめざすと述べました。

また、量子コンピュータについては他方式の概略と課題も示しました。超電導方式はゲートの成熟度が高く、現在はもっとも実機開発が進展していますが、極低温作動のため大型冷却装置が必要となる点や消費電力・設置コストが大きくスケールアップが難しい点を指摘しました。中性原子方式もスケーラブル性が期待されますが、レーザや光学系の複雑度と安定性が課題になります。そのほかの方式はいずれも低温・特殊環境や制御回路のオーバヘッドがボトルネックとなりやすい点が共通のデメリットです。これらの方針と比べて、NTTが開発を進める光量子方式は、光の特性を十分に活かして常温常圧での動作が可能でコンパクトな装置、つまりNTTの持つ既存の光通信技術との親和性があり、冷却インフラや巨大な装置を必要としないため、消費電力やコスト面で有利となります。NTTは長年の光通信のノウハウを量子光源や増



写真1 基調講演 島田明 社長

幅・変調技術に応用し、光チップレットや光I/Oと組み合わせることで、光コンピューティングと光量子コンピューティングを連携させたエネルギー効率の高い次世代インフラをめざしています。

島田社長は最後にこのような強いメッセージを伝えました。「NTTは光の技術を用いて、エネルギーの限界や計算処理の限界を打ち破り、コンピューティングの革新を実現する。世界はAI（人工知能）の進展によって、かつてない変革の時期を迎えているが、NTTはAI時代を支えるインフラを提供するだけでなく、量子時代のコンピューティングの革新を通じて、サステナブルな未来の実現に貢献する」として開幕を飾りました。

■基調講演2：IOWN : Quantum Leap

NTT執行役員 研究企画部門長 木下真吾による基調講演は、「IOWN : Quantum Leap」と題して、AI時代の到来から量子技術、現在NTTが研究開発している光量子コンピュータの概要や展望、量子AI、また今回のR&Dフォーラムで発表された研究開発などについて総括しました（写真2）。

最初に、大阪・関西万博でのNTTの展示事例として、舞台出演者の3Dデータをリアルタイム伝送し、パビリオンで立体映像や振動・ライティングを同期させる体験を実現したと報告しました。

続いて「Quantum Leap」というキーメッセージの意味を解説しました。AI時代の計算資源と消費電力の爆発的増大という

課題に対し、NTTが採った4つのアプローチを説明しました。それは、IOWNによるAIの実行環境の効率化、AI自身を軽量にして効率化する意味で生成AI「tsuzumi」を古典的な情報処理の範囲で行うアプローチ。さらに古典から量子へ情報処理の領域を広げ、計算性能の圧倒的な向上を実現する光量子コンピュータや人間の脳に近い非常に高効率な量子AIによるアプローチ。これらを古典・量子を交えながら進める研究所の考え方を示し、量子・IOWN・生成AIについての紹介をしました。

量子については、OptQC社との提携を核として、2027年に1万量子ビットの実現、そして2030年には100万量子ビットという、現在の技術水準を大きく超える規模の光量子コンピュータの実現をめざしています。

IOWNのロードマップでは「IOWN 2.0」のフェーズで、光電融合デバイス（PEC-2）で光をスイッチ近接個所まで引き込み、電気配線を短縮して消費電力の劇的な削減を図ります。NTTでは、ハード面で、この光電融合デバイス技術を活用し、2026年度末に商用化することをめざしています。ソフト面では、分散GPUクラスタの構成を動的に最適化するDCIコントローラが、遅延・電力消費・リソースの配置をリアルタイムで制御し、大規模データセンタのエネルギー効率と処理性能を最大化する取り組みを紹介しました。

生成AIでは、国産LLMでありNTTがゼロから開発した大規模言語モデル「tsuzumi 2」の優位性が強調されました。日本語性能や特化型学習効率、低コスト・高セキュ

ア性を備えており、応用事例としてフルディプレックスのスピーチツースピーチによる自然対話、ネットワーク運用のAIエージェントによる自動化、大規模行動モデルによるマーケティング最適化やモビリティ予測を挙げました。さらにAGI/ASI研究として脳活動の言語化（マインドキャプショニング）、特定知識の削除を可能にするマシンアンラーニング、LLM内部の「嘘」に対応するニューロン解析などにも注力しています。

最後に量子AIの可能性とノイズ活用の視点を伝えて、初代所長の言葉で「知の泉を汲んで研究し実用化により、世に恵を具体的に提供しよう」と結びました。

技術セミナー

2日間にわたり行われた技術セミナーは、「tsuzumi 2」「知性の物理学」「量子×IOWN（ビジネス）」「光の量子計算（技術）」の4つのテーマで開催され、活発な議論が交わされました。

■技術セミナー1：tsuzumi 2が描く、AIビジネスの新地図～日本発LLMの挑戦と展望～

口火を切ったのは、NTT人間情報研究所の西田京介上席研究員、浅見太一主幹研究員、NTTドコモビジネスジェネレーティブAIタスクフォース荒川大輝タスクフォース長の3名でした（写真3）。日本発の大規模言語モデルtsuzumi 2を活用したAIビジネスとその展望について、そのさまざまな関連技術や具体的な関連ビジネスの例



写真2 基調講演 木下真吾 執行役員 研究企画部門長



写真3 (左から) 西田京介 氏, 浅見太一 氏, 荒川大輝 氏

を併せて紹介しました。

まず、2025年10月20日に商用提供を開始したtsuzumi 2の特徴と、前バージョンからの改良点について西田氏が解説しました。tsuzumi 2の主な特徴は、オンプレミス環境で動作可能な点と、NTTが独自にゼロから開発した点です。286億パラメータのデンシス型モデルで、高性能でありながらGPU 1枚で動かしやすい設計を採用。日本語に最適化したトークナイザーと約10兆トークンの事前学習で、高い日本語理解・生成能力を持ち、データを完全に把握・管理する「ソブリンAI」を重視しています。学習は事前学習からインストラクションによる教師あり学習を経て、プリファレンスに基づくアライメントを数百回繰り返す方式で、高い指示遂行能力と安全性を実現しました。ステージ上で示したデモでは、特許・論文から指定フォーマットで報告書を作成した例や、平仮名しか使えない外国人のメールを流暢な日本語に修正・英語解説した例を示し、多言語・業務適用の有効性を強調しました。将来は「人生のパートナーとして、人とともに成長していくロボットをつくりたい」との希望を述べました。

音声対話領域では、浅見氏が、音声インターフェースの重要性と難しさ、すなわち「いつ話すか」の制御（＝ターンティキング）について説明しました。新しい音声対話AIは、0.1秒単位の高速なストリーミング処理で、応答タイミングや相槌を自然に制御し、従来モデルより被せ発話の問題を改善しています。これは、音声による対人コミュニケーションのデモを使用して、分かりやすく説明しました。また今後は、より賢い会話やNG発言の制御、さらには声色やTPOに応じた話し方のコントロールを目標にtsuzumi 2との連携を強化していくことを強調しました。

一方、視点を変えたビジネス面では、荒川タスクフォース長がエージェントの到来を説き、プランニング能力、手足となる機能連携、短期・長期メモリの活用、さらには個性（パーソナリティ）の重要性を指摘しました。具体的なユースケースとしては、リアルタイムでの要約、次アクションの提

案、模擬商談を含む営業支援や発明のアイデア出しから明細書作成までの実践的な特許支援が可能であることを示しました。エージェント導入の鍵は、①業界・業務に特化した業務知識、②人との協働（Human in the loop/Human on the loop）による管理、そして③AIエージェントの安全性を保証するセキュリティ（オンプレ・プライベートクラウド対応）の3要素です。これらで暗黙知の継承や国内データの扱いを含む「ラストワンマイル」の解決をめざすとしています。最終ビジョンでは、AIコンステレーションによる分散的で効率的なAI群が、人とともに成長・共生する社会を実現させ、特に音声インターフェースの進化が社会受容に不可欠だと結びました。

■技術セミナー2：Physics of Intelligence：知性の創発の原理原則を探る

NTT Research, Inc. サイエンティストの田中秀宣氏とNTTコミュニケーション科学基礎研究所の堀川友慈特別研究員が「AIと人とのコミュニケーションをより円滑に行うには」というテーマで解説しました（写真4）。

はじめに、シリコンバレーを拠点とする脳科学や心、知性といった分野の研究者である田中氏は、AIを第一次産業革命の蒸気機関に匹敵するパラダイムシフトを起こす存在と位置付けました。「AIにおける知性」や「AIにおける創造性の有無」などといった独自性の高い考察から、AIを「心」を物

理的視点で理解するための新たな観測窓としています。人間の「心とは何か」や「知性とは何か」を研究するためには、カウンセリングなどで心理学的にアプローチせざるを得ませんが、対象がAIであれば、物理的に思い切ったアプローチが可能になります。田中氏は、AIであればすべてを観測できると強調しました。また、AIは「非常に賢い対象でありながら内部を観測できる」存在であるため、「心」や「知性」の原理を、数理的に探る好機であるとも述べました。現在、AIと呼ばれているものは、ニューラルネットワークという人間の「脳」を模したニューロンの集合で、基本的にはディープラーニングであり、実務的にはこのスケール（AIにおけるモデル規模・データ量・計算量など）の増加に伴い、概念理解や創発的能力が突然現れる現象を観測して、これを厳密な理論へと落とし込んでいるといえます。具体例として、AIが色・形・関係などの概念を段階的に学ぶ様子や、「見たことのない組み合わせ（例：帽子をかぶった女性）」を内部ベクトル空間の操作や指示法で引き出す研究成果を示しました。これによりAIが「隠れた能力」を持っていること、そして適切に誘導すれば、AIからも創造的出力が得られることが示されました。

また、AIと人間との関係性が重要であることが強調されました。西洋と東洋のAIに対する価値観の違いや、アライメント（価値調整）だけでなく「人とAIの関係性の健康」を設計する必要があるとして、優



写真4（左から）田中秀宣氏、堀川友慈氏

しさや長期的影響を数理的に定義する試みや、精神医学との協働の重要性を伝えました。こうした田中氏の研究成果は、政策や安全基準 (NIST: 米国国立標準技術研究所) にも影響を与えつつあります。

続いて堀川氏は、「脳活動から人間の思考を探る」というテーマで、脳活動データのデコード、すなわちエンコードまたは圧縮されたデータを、人間やコンピュータが理解できるよう元の読み取りが可能または使用が可能な形式に戻すプロセスについての研究を発表しました。そこではMRIで計測した人間の脳活動をAIの表現空間に変換し、そこから視覚内容や想起内容をテキスト化する「マインドキャプション」技術を紹介しました。動画に付与されたキャプションを用いて、脳→機械表現の写像を学習する方法で、これはマスク言語モデル（ある文章中の伏せられた単語を推測）と反復最適化（試行錯誤を繰り返してより良い答えを導き出す）で、脳活動にもっとも近い説明テキストを探索するというものです。これにより従来の限定カテゴリ認識を越え、未学習カテゴリの識別や予測精度が向上し、想起時の内容抽出も可能としました。評価では複雑な文構造をもとらえており、単語順をシャッフルすると性能が低下する点などから、関係性の復元を裏付けました。さらに、言語ネットワークを用いずとも非言語的視覚思考を解読し得るため、この研究はAIのみならず、失語症患者ら言語表出

困難者のコミュニケーション支援や、ブレイン-マシンインターフェースへの応用が期待されます。

■技術セミナー3：量子×IOWNがもたらす社会変革とビジネスの未来

この技術セミナーでは、光量子コンピュータについてNTT未来ねっと研究所の白井大介主席研究員による技術的な側面からと、NTTデータグループ技術革新統括本部イノベーション技術部の矢実貴志課長によるビジネス的な側面からの解説が二部構成で行われました（写真5）。

白井氏はNTTがOptQC社と連携し、2030年を目標に100万量子ビット級の汎用光量子コンピュータ実現をめざすという、2025年11月18日に行われた報道発表について言及しました。光量子方式は量子ビットを光通信方式で扱うためスケーラビリティに優れ、冷却や大規模制御が不要なため、消費電力を抑えられる点が強みであることを述べました。この方式では、光パラメトリック增幅器（OPA）を用いた「スクイージング」技術で量子雑音を低減し、世界最高の8 dBを達成したことを基に実機化に近づいていると説明しました。

量子計算は量子ビットの重ね合わせ干渉を利用し、古典コンピュータでは困難な指数的な組合せ空間から解を効率的に導き出します。この特性から、組合せ最適化や分子シミュレーションに強みを発揮します。

光量子コンピュータは時間・波長・空間の多重化によって大規模化が可能で、将来的には光クロックによるテラヘルツ級の高速動作やラックスケールの小型実装化をめざしています。しかし一方で、量子光の損失対策、大規模化に向けたファイバ低損失化、高速化に向けた光回路化、実装に向けたパッケージングやシリコンフォトニクスなどに課題があると指摘しました。100万量子ビット実現までのロードマップでは、2027年ごろからユースケースの実証を開始し、2030年に誤り耐性を備えた汎用大規模機の実現を目標としています。さらに長期的には、量子通信や量子センサと結びつけて、地球規模の量子コンピュータ網を構築するという壮大なビジョンも示しました。

矢実氏は、量子技術の期待要因として技術進展、ユースケース探索、政府の投資、そしてAIやデータ量増加によるHPC（高性能計算）需要の急増を挙げ、ビジネスの観点から整理しました。また既存の半導体アーキテクチャは性能面の限界と電力面の課題に直面しており、量子が有力な解の一つであると説明しました。量子システムには、ゲート型（汎用）とイジングマシンと呼ばれる量子アニーリング（特化型）があり、用途や成熟度が異なるため適材適所での検証が重要であることも強調しました。期待される適用領域は、化学・創薬、金融、AIに加え、交通・物流、製造の最適化、そしてセキュリティ（量子耐性暗号）など多岐にわたります。

具体事例として、ガラスカット最適化、匂い再構築プラットフォームの共同開発や車両テスト工程の最適化コンペなどの取り組みを紹介しました。これらは短期的な現行量子機での性能検証から、将来の大規模量子機を見据えたビジネス創出までの「短期的・長期的」な連続性を意識した取り組みとなります。NTTデータはユースケース探索、シミュレーション、検証環境、データセンタ基盤まで含めたトータル支援を提供するとし、技術と人材・エコシステムの整備が鍵と結びました。

総じて、光量子×IOWNは低消費電力・高スケーラビリティという特性から、2030



写真5（左から）白井大介氏、矢実貴志氏

年を目処に社会実装をめざし、化学・物流・金融などで競争優位性を生む可能性がありますが、一方でその実現には、ハードの集積化・誤り訂正・ネットワーク連携・実装技術といった複数の技術課題の克服が必要です。ユースケースの精査とエコシステムの構築が同時に必要であることが講演の核心でした。

加えて、実用化に向けては、標準化や法制度の整備、データ保護・プライバシー対策、量子耐性暗号への移行といった社会制度面の準備が不可欠です。企業や研究機関は、短期的なPoC（概念実証）で即効性を検証しつつ、長期的には基盤技術への継続投資や人材育成、産学官・国際連携を強化してエコシステムを育てる必要があります。標準化やオープンな技術共有を進めることで、互換性や安全性を担保し、リスク管理とビジネス価値の両立を図ることが、量子×IOWNの社会実装を加速する鍵となるとしました。

■技術セミナー4：未来を照らす光の量子計算～入門から最先端技術まで～

この技術セミナーでは、OptQC株式会社 高瀬寛代表取締役CEOとNTT先端集積デバイス研究所 梅木毅伺上席特別研究員によって、量子コンピュータの現状と課題、その課題の突破口となり得る新技術などについて語られました（写真6）。

高瀬氏はまず、東京大学の古澤研究室か

ら成り立ったOptQC社の設立背景について紹介し、現行の計算インフラが直面する深刻なエネルギー消費問題を解決するための2つの画期的な転換を提唱しました。それは、従来の古典計算から量子計算への移行と、電気信号から光信号への移行です。

量子ゲートは量子テレポーテーション（測定誘起型量子計算）で実現します。その際、量子もつれ状態の量子資源が大量に必要となります。物理実装の拡張性は時間領域の多重化で解決します。これにより、高速のコアを使い回して量子ビットの入力数を時間的に多重化することで、ハードウェアが再現なく巨大化することを抑制できます。ハードウェアの規模を一定に保てる事例として、理化学研究所に設置された100量子入力・クラウド接続可能な光ゲート型システム（MQC3）を紹介し、過去に作成したシステムの大きさと、現在作成している最新型の大きさがほとんど変わらない事実を示しました。OptQC社はモジュール化された100量子ビットの1号機を開発中（2026年完成予定）で、さらに2027年ごろに完成すると目される2号機では、光パラメトリック增幅器（OPA）などを用いて、現状の100倍のクロック・入力数（1万量子ビット）をめざす計画を示しました。究極的には測定・制御といった、いまだに電気系でまとめられているシステムをすべて光で置き換える「全光量子コンピュータ」を目標に、シリコンフォトニクスや薄膜リチウムニオ

ベートなど集積光技術の応用によって、今後生まれてくる技術にも期待していると述べました。

一方、梅木氏はPPLN（Periodically Poled Lithium Niobate）デバイスの技術的詳細と、光通信との親和性について解説しました。光量子技術とデジタルコヒーレント技術は、光源・伝送路・受信という基本的な構成や光の位相・振幅（IQ平面）を用いて情報を扱う点で共通しています。しかし、光量子技術には量子の重ね合わせ・量子もつれ・損失感受性など、量子特有の要件があり、この相違点を補正・修復するために必要になるのが「PPLNデバイス」であると述べました。このデバイスによって高効率な相互作用を実現し、增幅利得や変換効率を大幅に向上しました。特に、位相感応增幅モードにより低雑音増幅やスクイーズド光（現在8 dB以上）の生成が可能になったと報告しました。

さらに量子技術においては、非ガウス状態生成の重要性を強調し、高速化の課題として、量子信号は損失に弱いため、位相間増幅（PSA）でロス耐性を付与することによって、通信で用いられる高速検出器や回路の流用が可能になり、43-60 GHz帯でのEPR相関（量子もつれ状態での粒子間の非局所的相関）の測定に成功している点を示しました。最後にPPLNは単なる量子光源にとどまらず、古典光を量子光に、あるいはその逆に変換する前置増幅器として、光通信と光量子コンピューティングの融合を促進する鍵となる技術であると結びました。

高瀬氏と梅木氏は、光の連続変数表現と時間領域多重化を軸に、NTTが光通信で培った超広帯域伝送やコヒーレント検出、集積導波路などの光通信技術を量子計算へ取り込む共通ビジョンを示しました。スケーラブルで高クロックな光量子コンピュータの実用化に向けては、誤り訂正の高度化、損失対策、光集積化・光電子融合という技術課題の克服が必要です。これに加え、産学連携・標準化、商用モジュール化による実装性の向上が今後の鍵になると締めくくりました。



写真6（左から）高瀬寛氏、梅木毅伺氏

技術展示

NTT R&D FORUM 2025における技術展示は、「生成AI」「IOWN」「量子」「サステナビリティ」「モビリティ」「NW（ネットワーク）」「セキュリティ」「宇宙」「デジタルツイン」「UI/UX」の10テーマで技術展示が構成され、5つのエリアに分けて展示了しました。

主要な展示として、「生成AI」では最新の軽量LLM「tsuzumi 2」や自然な双方向対話技術を紹介し、「IOWN」では光電融合デバイスの最新版や万博で実証された光コンピューティングの成果を公開しました。また、「量子」では長年の光通信技術をベースにした世界トップレベルの「光量子コンピューティング」について、ハードウェアからソフトウェアまで幅広い研究成果を公開したほか、「サステナビリティ」では中性子線による藻類の品種改良技術や水素輸送技術が展示されました。さらに、「モビリティ」では交通事故ゼロをめざす「交通分野向けワールドモデル」、「NW」ではAIによるネットワーク自律復旧や社会インフラを支える衛星・光ファイバの活用、「セキュリティ」ではWeb3関連技術とデジタルトラスト基盤を紹介、「宇宙」では「宇宙統合コンピューティング・ネットワーク」実現に向けた最新技術、「デジタルツイン」では安価で精密な大規模3Dスキャンやロボット自動制御技術、「UI/UX」ではIOWNを介した振動触覚伝送や能動騒音制御など、体験型デモを通じて最新の取り組みが披露されました。

■生成AI

(1) 進化する大規模言語モデルtsuzumi

NTTが開発した大規模言語モデルの新バージョン「tsuzumi 2」がリリースされました。1GPUで動作可能な軽量モデルでありながら、日本語性能においては超大型モデルに迫る世界トップクラスの性能を実現した運用効率と性能のバランスに優れたAIモデルです。その特徴の第一はビジネスシーンで頻繁に利用される能力が強化されている点です。特に利用用途の80%を占め

るドキュメントに対するQ&Aタスクや、ドキュメントからの情報抽出・要約タスクの能力が集中的に強化されています。

また、40ギガバイト以下のメモリを保有したGPUでの動作を想定して開発されているため、単一の企業や団体のクローズドサーキットでの運用も比較的容易となります。そのため、機密性の高い情報を安心して取り扱うことができ、企業秘密の漏洩などのリスクを大幅に減少し、極めて高いセキュリティを確保することができます。加えて金融・自治体・医療分野については特

に多くの知識を学んでいるため、経済安全保障、デジタル赤字解消、AI産業強化といった分野では多くのケースで優れた性能を発揮します。

展示ではtsuzumiの将来の活用事例として「オーケストレータ」が紹介されました（写真7）。これは名前のとおり、tsuzumiにオーケストラの指揮者の役割を与え、この「オーケストレータ」が業務をコントロールします。例えば「今期の〇〇支店の売上低下の対応策」といった命題を与えられた場合、過去の売上データやお客さまからい



写真7 進化する大規模言語モデルtsuzumi



写真8 コンテンツのフェイク対策技術

ただいた苦情の内容などといったさまざまなお情報を収集して答えを導き出します。もし情報が足りない場合は、この「オーケストレータ」が独自の判断でチャット機能を使用して直接担当者に問合せを行い、足りない情報を補うというような能力も付加されています。

他社がさまざまなAIを発表する中で、この「tsuzumi 2」は、NTTがゼロからフルスクラッチ開発を行った純国産モデルです。そのため、開発過程においても信頼性が確保された、まさに日本人のためのAIといえます。

(2) コンテンツのフェイク対策技術

コンテンツ（写真や動画等）の信頼性を守るために、コンテンツのフェイクに対応した対策技術を開発しました（写真8）。現在、スマートフォンやタブレットPCなどで誰もが容易に撮影ができるコンテンツについて、その来歴情報を付与する「C2PA」（Coalition for Content Provenance and Authenticity）は、コンテンツの出所や来歴の認証に関する技術仕様を策定している標準化団体の略称でもあり、そのコンテンツの来歴や信頼性と同義で使用される言葉です。しかし、「撮影場所」や「日時」「撮影した機材」などのデータ情報はさまざまなおリケーションを使うことで容易に改ざんすることが可能です。まして生成

AIを使用すれば、誰もが簡単にコンテンツの修正を行うことができます。つまり、今や「C2PA」は保証されたデータとはいえないという状態です。私たちが日常的に目にしているコンテンツが改ざんされていないという保証はありません。

そこでこの技術では、撮影時に真正性を確認した後に署名することで、利用者の行うファクトチェックを簡易化するものになります。これは「真正性チェックモジュール」と「真正性チェックツール」で構成されており、撮影日時や位置情報などの真正性を確認することができるうえ、そのコンテンツの真正性の高低を判定することができます。また、修正されたコンテンツであれば、修正前のコンテンツを確認することや、トリミングされたコンテンツでも切り取られる前のコンテンツの画角を確認することが可能です。この機能を使えば、あらかじめ署名を付与したコンテンツのファクトチェックを個人でも容易に行なうことができるようになります。現状の課題として、専用アプリで撮影したコンテンツにのみ本情報が付与されるという制約があります。今後は、本技術を必要とするアプリへの機能搭載、最終的には端末への標準搭載をすることが目標となります。

(3) 生成AIによる超高速ソフトウェア開発技術

ソフトウェアの新規および追加開発において、生成AIを活用して超高速かつ低コストで高品質なアウトプットを実現し、ソフトウェア開発にかかる稼働・工程を4割削減・短縮することをめざしているのが本技術です（写真9）。現状、個々のユーザの要望を反映した高品質なソフトウェアの開発には、多くの部分で人手を要する工程が必要となります。ただし、この方法では開発者グループのそれぞれがプロジェクト全体を把握する必要があり、コスト的にも時間的にも多くのデメリットがあります。これまでもコーディング（いわゆる実装）の工程では、生成AIを活用するケースもありましたが、実は生成AIは大量のコンテンツ（状況・文脈・前後関係などの意）を理解することを苦手としていました。特にソフトウェアの開発においては開発中のソフトウェア固有の知識を求められるため、一般的な知識しか持たない汎用的な生成AIで、この高度なタスクを遂行することは困難で、そこに人手を必要とする要因がありました。

そこで、ソフトウェア開発で必要となる多様なデータを多面的に解析して、その依存関係を把握し、知識データベースを構築する技術を開発しました。この知識データベースから生成AIにその時々のタスクで必要なデータを自律的に選択させて、適切かつ正確に遂行させることで、人手が必要となる部分を最小限にし、高品質でコストパフォーマンスに優れたソフトウェアの開発が可能となります。

(4) 生成AIを活用した機器故障修理判定自動化

家庭でインターネットがつながらないなどの不具合が発生した場合、現状ではコールセンタにお客さまからの問合せがあり、事情をヒアリングしたうえで故障修理センタへ連絡し、お客様宅を訪問し対応するという流れになります。しかし、そうした問合せのうち、ONU（Optical Network Unit：光回線終端装置）のケーブルが抜けかけているだけの軽微な不具合が



写真9 生成AIによる超高速ソフトウェア開発技術



写真10 生成AIを活用した機器故障修理判定自動化

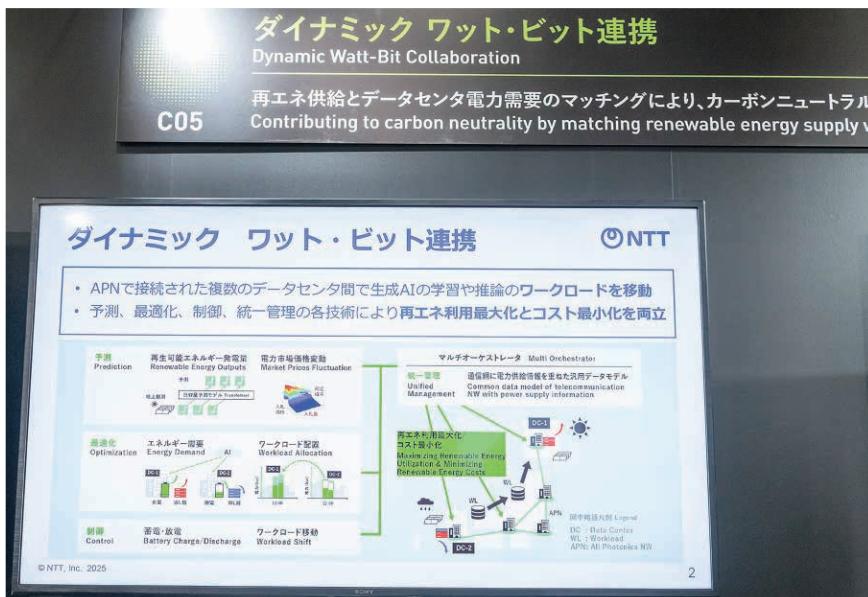


写真11 ダイナミック ワット・ビット連携

50%ほどあります。こうした軽微な故障以外の不具合に対して、LLMやVLM (Vision-Language Model)と呼ばれる高精度なAIを活用したONUなどの機器状態の正常確認についてユーザセルフ化を実現するのが本技術です（写真10）。

しかし、現行のLLM/VLMは汎用的なAIで、専門性の高いドメイン知識は持っていないため、通信機器の故障判定業務に特化したAIが必要になります。NTTでは、マルチモーダル入力が可能なAIエージェ

ントを構築するとともに、画像処理などの技術を組み合わせたVLMではユーザフレンドリーなUI (User Interface)などの周辺技術を活用し、機器故障修理判定の自動化を実現しました。現在は電話やWeb上での対応となっていますが、将来的にはスマートフォンのアプリケーションでの提供をめざしています。

■IOWN

(1) ダイナミック ワット・ビット連携

「ワット・ビット連携」とは、電力（ワット）と情報通信（ビット）を高度に連携し、インフラ整備を一体的に進め、持続可能で効率的な社会基盤を築くことをねらった新たな概念です。NTTでは、この「ワット・ビット連携」の実現とデータセンタのカーボンニュートラル化をめざし、再生可能エネルギーの有効活用を可能とする「ダイナミック ワット・ビット連携」に取り組んでいます（写真11）。例えば、再生可能エネルギーを含む電力需給状況に合わせ、APN (All-Photonics Network) で接続された複数のデータセンタ間で生成AIの学習や推論のワークフローを移動させるワークフロードシフトや、蓄電池による充放電制御の実現をめざしています。

この実現には、より安価に無駄なく再生可能エネルギーを使用することが求められるため時々刻々と変動する発電量や消費量を正確に予測し、各種リソースの最適な制御計画を立案する技術が不可欠です。そこでNTTでは、電力と情報通信のリソース情報を高度に連携する統一管理、予測、最適化、制御といった技術の開発に取り組んでいます。予測では、地理的・時間的特性を考慮して、再生可能エネルギーの発電量、および電力価格と取引量を統合的、高精度に推定します。最適化では、予測された各種電力データに基づき、再生可能エネルギーの利用量最大化とコスト最小化に寄与する、ワークフード配置と蓄電池の制御計画を立案し、リアルタイムに制御側に反映します。ここでは、最適化された計画に沿って、ワークフードと蓄電池を制御します。こうした取り組みにより、再生可能エネルギーの利用量最大化と、電力コスト最小化による経済的なデータセンタ運用が両立することから、世の中のカーボンニュートラル実現に大きく貢献します。

(2) 長距離間のリアルタイムデータ同期

遠隔地間のストレージをリアルタイムに同期させ、あたかも1台のストレージであるかのように扱う「長距離仮想ストレージ」技術を、IOWN APNと組み合わせて検証



写真12 長距離間のリアルタイムデータ同期

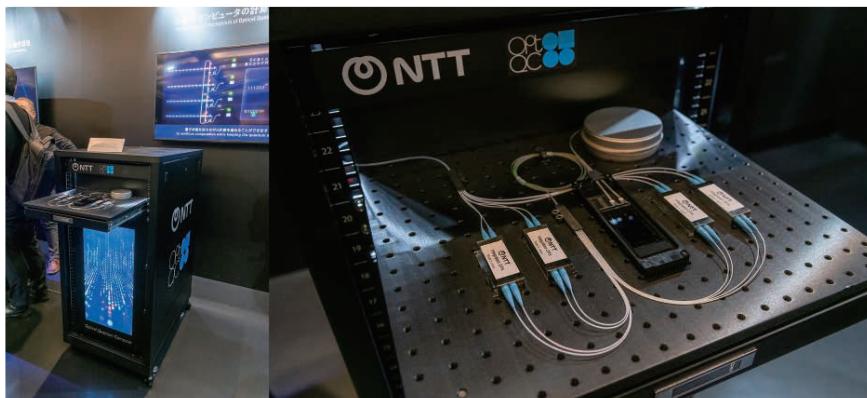


写真13 光量子コンピュータが創造する未来

した成果を紹介するのが今回の展示です(写真12)。従来の通信回線では「長距離仮想ストレージ」を可能にできる距離に限界があり、およそ100 kmが実用的な上限とされてきました。これは通信回線の往復応答時間が大きな要因で、複数ストレージの同期を成立させるためには20ミリ秒未満の往復応答時間が求められていたためです。

NTTではIOWN APNを用いた実証実験において、世界で初めて600 kmの距離でのストレージ同期に成功しました。具体的には約600 km(東京-大阪間相当)で約7.5ミリ秒の往復応答時間を達成しています。また、本実証では200 km, 400 km, 600 kmと段階的に距離を増やしながら検証を行い、遅延が距離に比例して増加しま

したが、600 kmでも同期可能な性能が維持できることを確認しました。

これにより、理論上はIOWN APNを利用すれば約1600 kmの距離でも遠隔地間のストレージ同期が可能であると見込まれます。これは東京を起点にすると、北は北海道、南は沖縄までおおよそカバーできる距離になります。

今回の展示では、実証実験で得られた成果を基に構築したデモ環境を用いて、東京側のシステムを意図的に停止させ、大阪側のストレージへ自動的に処理が切り替わり、途切れることなくバックアップ・リカバリーが行われる様子をご覧いただきました。

この技術は、金融機関や社会インフラ事業者など、極めて高い可用性が求められる

企業において「分散型データセンタ」の実現に寄与する重要な基盤となることが期待されます。例えば、もしも大規模な自然災害や停電などで、ある地域のデータセンターが停止した場合でも、同期している別地域のデータをそのまま利用できれば、切り替えや復旧の手間をかけずにサービスを継続でき、重要な業務データやサービス提供を途切れさせずに守ることができます。

■量子

(1) 光量子コンピュータが創造する未来

今回のR&Dフォーラムの目玉の1つである「光量子コンピュータ」は、実機模型、NTTがめざす将来像としてのラック型模型を中心とし、概要や動作原理の映像解説を交えた大規模な展示となりました(写真13)。

現在、量子コンピュータは各国で開発が進められていますが、この実用化のためには、第1に大規模化(有用な計算ができるか)、第2に計算高精度化(計算結果が正確か)、そして第3に実現可能性(現実的な消費電力か、装置サイズか)という3つの課題をすべて満たさなければなりません。現在開発が進んでいる量子コンピュータにおいて、この3つの課題をすべて満たしている機種はまだ存在していません。しかし、現在のスーパーコンピュータの性能を大幅に凌駕する量子コンピュータの開発は、今や未来に向けての必要不可欠な命題といえるでしょう。

現在開発が進められている量子コンピュータには、超伝導型、中性原子型、イオントラップ型、半導体型などのタイプがあります。NTTが東京大学や理化学研究所、OptQCと共同で開発を進めているのは、これらと異なる「光量子型」と呼ばれる量子コンピュータです。「光量子型」の特徴は光の特性を活かした「常温・常圧での動作」、他方式とは異なる「時間・波長多重による省スペース化」、光の周波数で動作するため「高速化」などが挙げられます。さらに、光通信の技術との親和性が極めて高く、NTTが長年培ってきた技術を利用できるアドバンテージがあり、量子ビットを増加させやすく圧倒的なスケーラビリ



ティを誇ります。最終的なシステムの大きさは、幅60 cm × 高さ125 cm × 奥行80 cm程度という、量子コンピュータとしては極めてコンパクトなものになる予定です。

NTTの光通信および光伝送技術を活用した高速・低電力な「光量子型」の特性を活かして、2030年ごろの汎用大規模システムの実現と、これまで実現不可能だった社会課題の解決をめざします。

■サステナビリティ

(1) NTTグループの水素配管技術

NTTは、電気やガスなど既存のエネルギーインフラに水素を加えるべく、独自の配管技術を開発しています（写真14）。水素は究極のグリーンエネルギーとなり得ますが、その普及は水素ステーション不足や輸送の難しさが大きな課題です。パイプライン（配管鋼材）やボンベで水素を輸送する際、金属表面から水素原子が材料内部に

吸収され、集積した水素原子が金属原子間の結合力を弱める「水素脆化」という現象を引き起こします。この現象を防ぐため、パイプやボンベには「水素脆化」を起こさない特殊な金属や素材が必要になります。また水素は地球上でもっとも軽くもっとも小さい2原子分子であり、他の気体に比べて多くの材料を透過してしまうという特徴があります。そこで、これらに対応した特殊な二重配管方式のパイプを開発し、都市部で既存の地下空間を活用し、低コスト化を実現します。このパイプラインを埋設して安全に水素を供給できる体制を確立するのが、この技術の根幹です。

この配管技術のもう1つの特徴として、安全性の確保が挙げられます。安全策として都市ガスと同様に水素が漏れた場合に認識できるよう臭いを付与する手法も提案されましたが、コスト高であり、この臭いの成分が原因で燃料電池などの機器故障を誘発します。そこで無付臭による水素供給を可能にする新しいパイプラインシステム（安全技術）を開発しました。さらなる安全性確保のため、パイプに光ファイバを通し、漏れなどの不具合箇所を検知します。万一水素漏れが発生した場合は、「乾燥空気装置」により、遠隔で二重配管の空隙内の漏洩水素を押し出すような機能も備えています。こうした異常検知技術と安全対策によって水素サプライチェーンを確立し、水素をメインエネルギーとする社会を実現するのがこの技術の目標です。

■NW

(1) 光ファイバセンシングによる空洞化推定

今回のR&Dフォーラムに先立つ報道発表で、既設の通信光ファイバを活用し、地盤の空洞化を推定する技術を公開しました。これは、埼玉県八潮市での事故が記憶に新しい道路陥没事故の予兆を推定する技術です。この事故は社会的に大きな注目を集めましたが、従来技術は、電磁波や超音波レーダーを搭載した自動車による走行調査などを利用した地表からの計測が主流でした。しかし、これはコスト的に数年に1度しか行



写真16 強固な鍵管理によるデータセキュリティ技術

えないなど、状況の変化を見つけるために高頻度な測定が難しく、かつ地表からの3m未満の浅い個所しか推定できないという欠点がありました。空洞調査で必要なのは地中の深い部分（3m以上）のモニタリング技術で、そこで注目されたのが産業技術総合研究所（産総研）で考案された、地盤工学的なアプローチである特殊なアレイを個別に配置する方法と、NTTが有する「光ファイバセンシング」という方法です（写真15）。産総研とNTTによる共同研究で検証した結果、2つの技術はおおむね同性能でした。しかし、産総研の方式は、対象個所へ新たにアレイを設置する必要があるのに対して、NTTの光ファイバケーブルはすでに通信用として全国各地の地下に敷設されているため、遠隔から地盤の状況を調査でき、圧倒的に低コストで実施することができます。また、地盤の空洞化というのは、徐々に進行していくもので、その進行度を調べるために常に近い頻繁なモニタリングが必要となります。その点でも「光ファイバセンシング」には一日の長があるといえます。この技術は、2026年度に全国各地の自治体と協力して実証実験を進め、2027年にはプレサービスを計画しています。NTTでは技術精度をさらに向上させて、地盤陥没リスクを早期発見し、地域の安心・安全に貢献したいと考えています。

■セキュリティ

(1) 強固な鍵管理によるデータセキュリティ技術

NTTではクラウドの暗号管理に関するインシデントを抑制してデータセキュリティを確保し、コストや利便性に優れる「暗号鍵」を実現しました（写真16）。暗号鍵とは機密データなどを第三者が理解できない形式に変換するための暗号化アルゴリズムに使用される文字列のことで、データの保護や認証、デジタル署名などに利用されます。この暗号鍵は通常、クラウドサービス内で保護・管理されていますが、プロバイダの暗号鍵管理に人的ミスや内部不正などのインシデントが発生すると、セキュリティが破られてしまう可能性があります。本技術はクラウドのTEE（Trusted Execution Environment: 高信頼実行環境）で暗号鍵の生成、運用を一元管理することによって、強固なセキュリティを確保するとともに耐量子暗号にも対応しています。特筆すべきはNIST（米国国立標準技術研究所）というアルゴリズムの評価認定をする組織があり、この認定をパスすることが信頼できるライブラリである証明となります。現在、この評価試験をパスする仕組みの暗号鍵技術を持つのは、国内でNTTだけです。政府機関や重要物資を製造している企業がこの暗号鍵を使用することによって、国家機

密や企業秘密などの重要なデータを厳格に保護し、安全が担保できます。

フォーラムを終えて

このたびのNTT R&D FORUM 2025では、2万3000人以上のお客さまにご来場いただきました。量子技術を実現するにあたって、東京大学発のスタートアップ企業である「OptQC」との光量子コンピュータ実現に関する連携協定締結は、その象徴的な出来事でした。また、軽量モデルでありながら世界トップクラスの性能を誇る「tsuzumi 2」の紹介とともに、ワールドモデルの交通分野への適応技術や光ファイバセンシング技術など、多くの人々が実感できる社会へ貢献する数々の技術にも、たくさんの方々の注目が集まりました。

今後もNTTグループは多くの社会課題を解決する技術開発の営みを続け、新たな体験と感動をお届けし、皆様とともに新たな未来を創造していきたいと考えています。今後の量子力学的な飛躍、そしてビジネスシーンにおける劇的な進歩がどのようなかたちになるのか、IOWNとAIが量子コンピュータと融合することでどのような未来が訪れるのか、引き続きNTTの研究開発にご期待ください。



（左から） 渡邊 貴則 / 小林 健次 /
松原 奈穂 / 小野 陽子 /
望月 崇由 / 横井 裕也 /
槙 優一

◆特設サイト紹介

講演の様子・展示一覧は特設サイトからご覧いただけます。

特設サイト：「NTT R&D FORUM 2025 — IOWN: Quantum Leap」開催報告
<https://www.rd.ntt/forum/2025/>

NTT物性科学基礎研究所
フェロー

塚田信吾 Shingo Tsukada

最新のICTをいち早く医療へ 応用、新たなアプローチで心疾患 など病気の早期発見に挑む

昨今、1つの専門、学問だけでは課題解決は難しく、複数の領域にまたがった横断的な研究が重要視されるようになってきました。医療の分野も例外ではなく、情報通信や新素材をはじめとする他分野とのコラボレーションが欠かせなくなっています。そのような中、NTT物性科学基礎研究所の塚田信吾フェローは、いち早く医療領域へICTを取り入れた、医療・ICT学際領域の先駆者です。今回、ヒューマン・メタバースの実現をめざした国際的プロジェクトへの参加やテンソル心電図の詳細な状況、そして医師でありながらNTTで基礎研究を志向する想いについて伺いました。

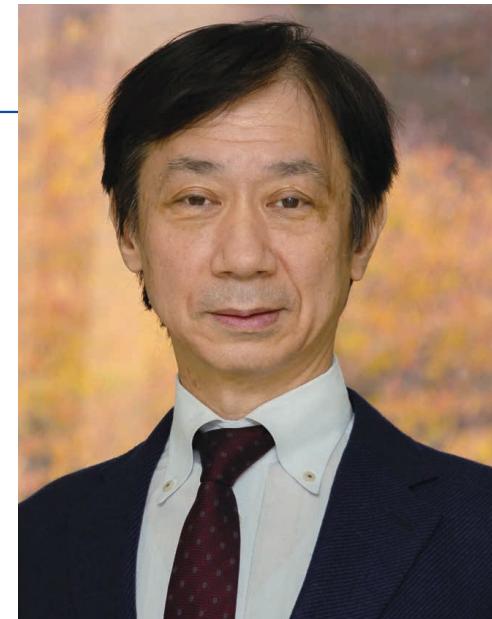
 **ヒューマン・メタバースで全身機能を
再現、病気の研究や治療に役立てる**
大阪大学WPI-PRI Meでの共同研究についてお聞かせください。

ここ数年でChatGPTを代表するLLM（大規模言語モデル）などAI（人工知能）により研究を取り巻く環境が劇的に変化してきたと感じています。また、これらの与える影響は情報通信にとどまらずさまざまな領域に及んでおり、私が専門とする医療の領域にも大きなインパクトを与えています。

臨床の現場でも検査値や画像をはじめさまざまなデータのデジタル化が進む中、AIの利用も活発になってきました。同時に、iPS細胞の研究に代表される遺伝子・分子・細胞の研究も急速に進歩しており、その中にAIを取り入れる動きも活発化しています。こうした変化は私たちが想定していた以上に加速している実感があります。私たちNTT研究所はこれから時代を見据え、大学医学部や大学病院とより深く連携しながら、基礎研究を進めいく必要があると考えています。

一方で、現状の医学の現場では遺伝子や細胞レベルのデータと、実際の高齢者など成人の病理との間にはまだ大きなギャップがあります。これを埋める基礎研究も加速していく必要があり、それを推進する国際的な拠点として、独立行政法人日本学術振興会（JSPS）支援のもと大阪大学にヒューマン・メタバース疾患研究拠点（WPI-PRI Me）が新たに設立され、私は企画段階からこのプロジェクトにかかわってきました（図1）。

ここでは、ヒトの細胞からiPS細胞をつくり、そこから心臓や



肝臓など1ミリ程度の非常に小さな臓器を生成しています。提供者の体内の臓器を傷つけることなく、皮膚や血液から細胞を採取し、試験管で臓器を作製できる時代になったということです。

もちろん、これには技術的な課題があります。その1つが、現状、胎児から赤ちゃん程の成熟度の組織までしか生成することができず、大人の成熟した組織をつくることはできません。組織の成熟化の過程では血管が重要な役割を果たします。血管により立体的な構造の組織としてある程度の大きさまで成長しないと、十分な機能を発揮することができない場合が多いのですが、現時点では血管をつくることが非常に難しいのです。しかし、この小さな臓器でも遺伝子の変異や、薬剤や環境による異常の再現ができるようになってきました。この新しい技術であるオルガノイドを使って細胞、遺伝子の病気を再現する研究を進めています。

しかし、先ほどからお伝えしているとおり、オルガノイドで再現できるのは、主に幼弱な段階で異常を現す先天性疾患が対象で、より一般的で複雑な成人の病気を再現するまでには至っていません。私たちはそのギャップについてAIやシミュレーションなどを活用し、デジタル空間上に再現する計画に取り組んでいます。ここではiPS細胞などを専門とするバイオの研究者や生命科学情報（バイオインフォマティクス）の研究者、AIなど数理モデルを得意とする研究者など多彩なメンバーが集まり、NTT研究所の研究者も多数参加し、多角的に研究を推進しています。また、日本人だけでなく海外の研究者も多数参画し、国際色豊かなチームが構成されています。この異分野の交流により、各臓器をデジタルツイン上に再現し、最終的にはヒューマン・メタバース（アバター）で全身機能を再現していくという、未来志向の研究を実施しています。

オルガノイドで得たデータをもとにデジタルな
“人間モデル”を作り、それをメタバース空間で
共有して病気の研究や治療に役立てる
大阪大学PRIMEとの共同研究

特徴①：ヒトのオルガノイド（ミニ臓器）の利用
さまざまな健康状態の人のiPS細胞から、
オルガノイド（小さな臓器）を作ります。これらのオルガノイドを使うことで、生体内（実際の人の体）で起こるよりもずっと短い時間で、
病気の発症を再現することができます。

特徴②：オルガノイドで病気を再現し、最先端技術で計測 オルガノイドに刺激を与えて病気の発症を再現し、そのときに起こる変化を測定します。測定されるデータは、時間的にはミリ秒から数か月まで、空間的には分子レベルから細胞・臓器レベルまで、非常に広い範囲にわたります。

特徴③：バイオデジタルツインの作成と発展 オルガノイドから得られた測定データを、臨床データや統計データと組み合わせます。情報科学や数理科学の力を活用して、病気がどのように発症するかをモデル化します。データ同士の関係をたどることで、病気の原因を特定できるようになります。

特徴④：ヒューマン・メタバースへのバイオデジタルツインの蓄積と活用 人間のバイオデジタルツインを共有・活用するための「ヒューマン・メタバース」という情報空間を作ります。今後、この空間を研究者や医療従事者が利用し、臨床試験、薬の設計、個別診断、治療などに活かすことを目指します。

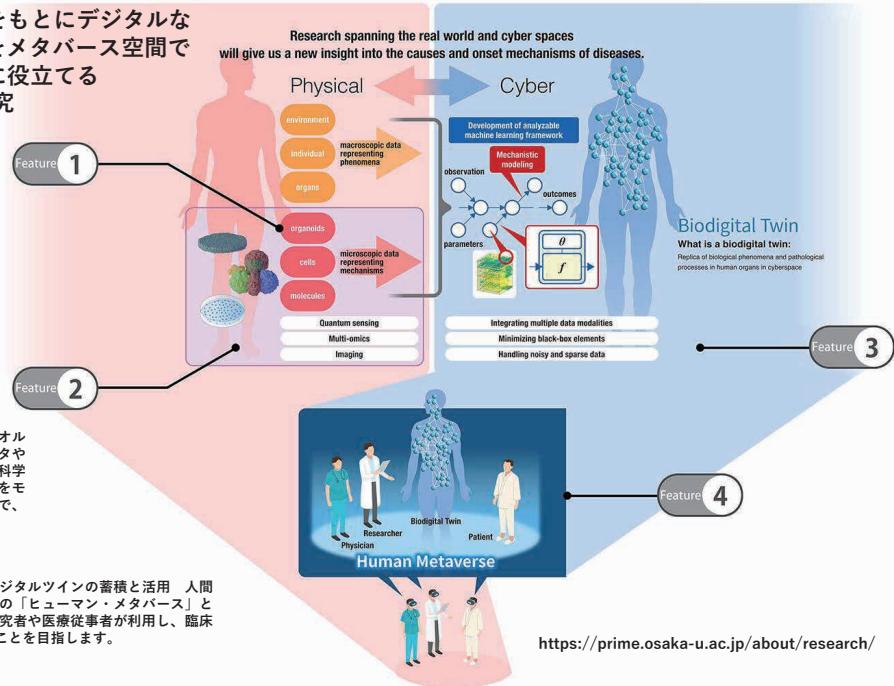


図1 大阪大学WPI-PRIMEとの共同研究

○ 情報通信で培った波形解析技術を医学で活かす

現在取り組まれているテンソル心電図について詳しく教えてください。

日本では超高齢化社会となり、心不全の患者が増え、心不全パンデミックともいわれています。よって心疾患を早期に発見し治療する技術の確立は急務といえます。心臓は私の専門領域にもあたり、テンソル心電図という技術を開発しています。これは心電図の波形を数理的に解析することで、今まで見えていなかった初期の病変も可視化できることが分かりつつあり、画期的な解析手法の1つと自負しています。

心電図の技術は100年以上の歴史があり、世界で幅広く利用されているのですが、実は現在の医療水準からすると正常値のばらつきが多く、心電図検査だけで心臓のすべての異常を見つけるのは難しいのです。心臓病の種類にもよりますが、病気がかなり進行した状態でないと診断ができないことがあります。

現在、この分野では機械学習による心電図解析も盛んに行われていますが、大量のデータによる事前学習が必要です。しかし、心臓疾患の中には希少疾患もあり、その稀な病気のデータを大量に集めるのは困難です。また、心臓病は発作から心停止までのリードタイムが短く、異常検知から即座に対応、あるいは事前に異常を検知する必要があります。機械学習で高速処理による監視を行うには、相当の処理能力が必要です。さらには、その判定の医学

的根拠を説明することが難しいという課題も残されています。

私たちは前述の課題をテンソル心電図のシステムが有効に解決できるのではと考え、研究を進めています。心電図波形の振幅、時間、幅の計測や全体波形の特徴をみることで、正常か異常かを大別する手法は100年以上もの間、基本的に変わることがなく、情報通信や数理解析の専門家からみると、「まだこのような状況にあったのか」といわれてしまう始末でした。私もNTTに入社してから、多くの研究者とさまざまな物理モデルについて話していると、心電図の解析技術の遅れに問題意識を持つようになり、この研究を始めるきっかけにもなっています。

そこで、心電図の波形をガウス関数でモデル化することを試みたのです。ガウス関数を累積分布で表すと、下から上に滑らかに上昇していく独特の形になることに着目し、心臓における電気的興奮の伝わり方を、ガウス関数でモデル化できないかと考えたのです。

心臓では、電気的な興奮が内側から外側へ伝わることから始まる一方で、興奮からの回復は逆に外側から内側へ伝わるという特徴があります。また、心筋は一度興奮するとしばらくその状態を保ち、一定時間が経過してから回復に移るという性質を持っています。この興奮の持続時間は内側と外側で異なり、その差が波形の形状に影響を与えます。

こうした心臓における興奮と回復の2つの電気活動（活動電位）をそれぞれガウス関数で表すモデルを考案しました。心臓の内側と外側の心筋の活動電位の差分が心電図の波形とほぼ一致することは古典的な教科書でうたわれており、心電図の双極子モデルと

呼ばれています。実際、私たちのデータにおいて2つの累積分布関数の差分をとると、この波形は実際の心電図波形と一致することが分かり、この解析方法と医学的に確立された理論とが直接結び付けられました。シンプルな形状の心電図であれば、4つだけの累積分布関数の組合せで表現できるようになりました。また実際の臨床でも、10個程度の累積分布関数を組み合わせることで表現できるようになりました（図2）。このアイデアは十分に実用性があり、世界の研究者も未検討であることから、解析モデルとして特許を出願し、各国で成立させています。

研究を進める中で、この手法が想像以上に大きな効果をもたらすことも最近明らかになってきました。例えば心筋梗塞が発生する際には、心臓への血流が不足し、従来は心電図の評価指標として「ST部分」と呼ばれる波形の基線レベルの上昇や下降が用いられてきました。しかし、このSTの変化が検出されるのは、心臓がかなり強い虚血状態に陥り、血流がほとんど途絶えるような段階になってからです。

一方、今回の新しい指標では、波形の平均値や分散といった特徴量を高精度にパラメータ化することができるため、時間軸上の微小な変化をより鋭敏にとらえることが可能となり、心臓の血流状態の変化を早期に検出できる可能性が示されました（図3）。

突然死の原因となる心室細動は、心臓の筋肉が痙攣するように不規則に収縮する状態を示しますが、その発作の前段階には、一見すると正常に見える「不安定な時期」が存在します。通常の心電図では、この時期の異常を視覚的に判断することはほとんどできません。ところが、心電図波形をガウス関数やその累積分布関数に基づいて解析してみると、心筋の内側と外側とで興奮から回復する順序が逆転していることが確認されました。さらに、発作直前になると、この逆転の仕方や興奮からの回復分布が大きく乱れることも明らかになりました（図4）。この変化を精度良く検出できるようになれば、心室細動が起こる前にその兆候をとらえ、適切な処置を行うことが可能になると考えられます。

目下の課題としては、この研究が医学的ではなく情報通信的な

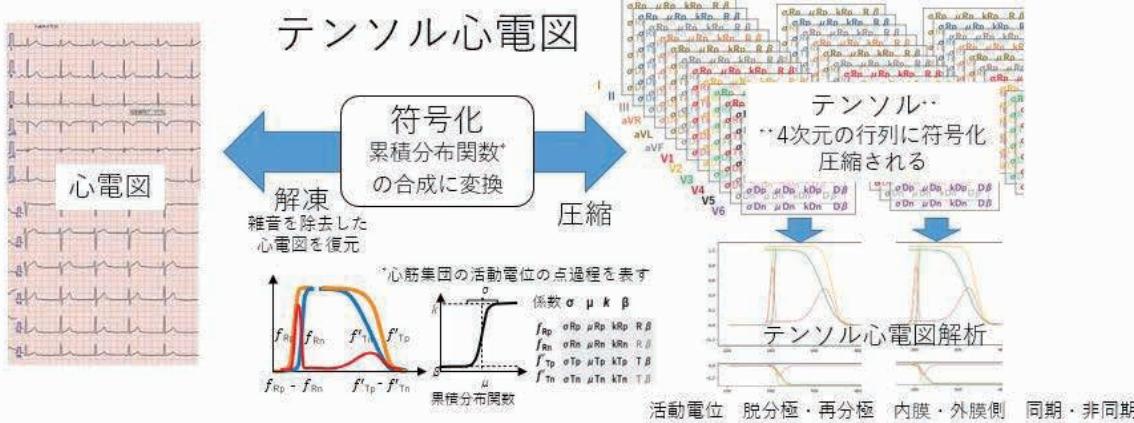


図2 テンソル心電図システムによる解析法

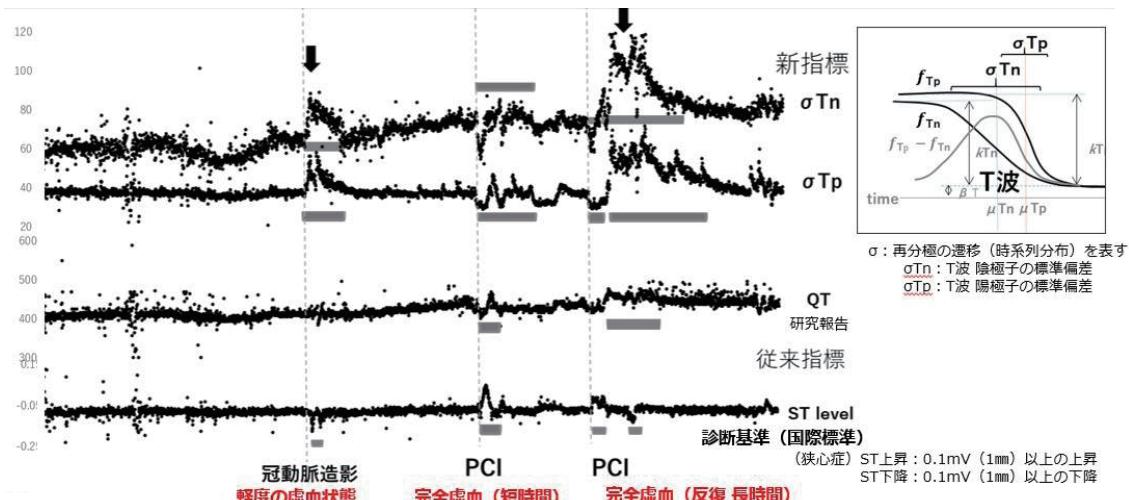


図3 冠動脈カテーテル治療中におけるテンソル心電図と従来心電図との比較

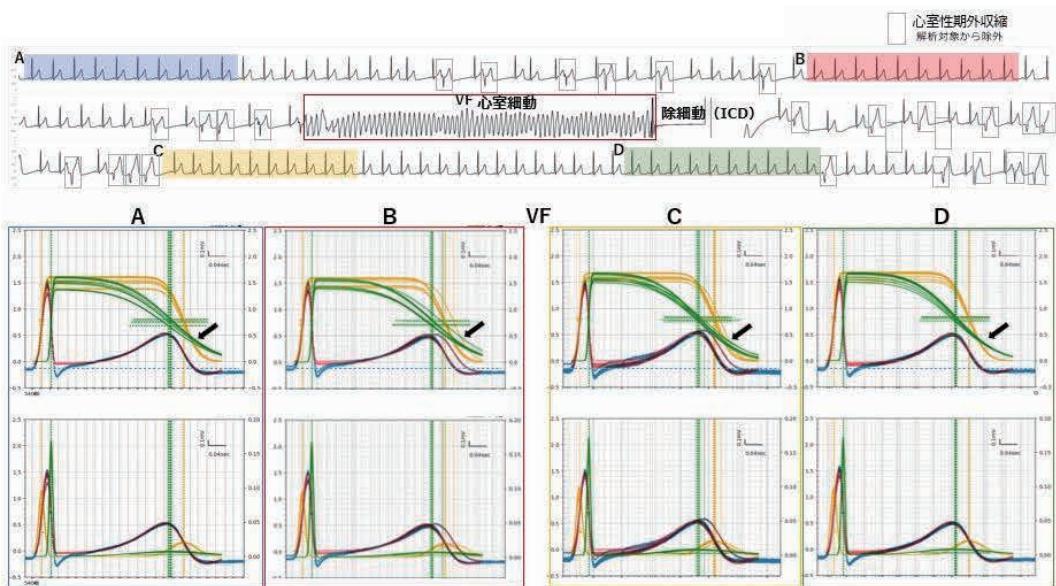


図4 テンソル心電図による早期再分極症候群の心臓発作の解析

発想に基づいているため、医学関係の研究者に理解していただくのが難しく、デジタルヘルスの専門誌に論文を投稿したところ、レビューが見つからないという理由で1年ほど受理されませんでした。そういう意味でもパイオニアとしての苦労を実感しています。一方で、AIや情報通信の分野の専門家に説明すると、「これは通常のアプローチですね」とご理解いただけることが多く、その点では少し安心しています。

医学の教科書には心筋梗塞時の活動電位について掲載されているものの、これは過去、動物実験などで傍証を得た結果で、人間の心臓で確認されたデータではありません。私たちのシステムで患者の心電図を解析すると、この教科書に掲載されているとおりのパターンになっていることが分かっていますので、いずれ医学界でも広く認めていただけるのではないかと、今後もコツコツと実験を積み重ね、発表していきたいと思います。

細胞、遺伝子レベルでのミクロな生体観測に向け、hitoe[®]などオリジナル技術を発展

今後の研究の展望についてお聞かせください。

現在、私たちが計測している生体情報は心電図の波形データのようなマクロ量、すなわち心臓を構成する1つひとつの細胞のバルクとしての情報になりますが、これを細胞や分子あるいは遺伝子スケールのミクロレベルに観測することで、より細胞学的、遺伝子学的な見地から病気や心身の不調を解明することができると考えられます。

最近、チップレベルで小さな臓器などの組織を作製し、創薬の

実験などへ適用するようになります。そのチップの中でオルガノイドを育てる事が最近のブームになっており、1つのデバイスとして私たちが心電図の検査用衣服として東レと共同開発したhitoe[®]の技術をマイクロ化することで、iPS細胞用の電極を作成できるようになりました。これには微細加工の技術にも並行して取り組む必要があります。基礎研究からiPS細胞を扱っている研究者たちともコラボレーションしています。

このようなミクロレベルでの心臓のモデル化やデジタルツイン化は、世界中の研究者も注目し、皆が競って取り組んでいるところですから、研究として突出するには差別化した技術を持つ必要があります。私たちの場合はテンソル心電図と、hitoe[®]という生体適合性の高い電極、この2つの独自技術を所有しているため、これらを分子・遺伝子のミクロと心電図のマクロに適用し、スケールの異なる異常を結び付け、オリジナリティの高いデータを取得することをめざしています。

さらにミクロなレベルで得られたマルチモーダル、マルチスケールの情報をマクロレベルに生成加工したり、将来的には日本中で計測されている心電図のビッグデータの解析に適応していくようにコツコツと取り組んでいきたいと考えています。

医療とICTは将来深くかかわるというビジョンを描いて

医師でありながらICT企業であるNTTに入社されたきっかけや思いについてお聞かせください。

私はもともと臨床外科医師でしたが、後に神経の再生にかかわる基礎研究者へとシフトしました。それをきっかけに米国カリフォ

ルニア大学サンディエゴ校 (UCSD) へ留学する機会を得て、そこでは脊髄損傷の遺伝的再生医療の研究をしていました。

当時はiPS細胞がまだ開発される以前で、ES細胞を神経に分化させ、これを移植する研究に取り組んでいました。UCSDは産学連携がとても盛んで、良い技術や特許があると、速やかに社会実装していくスピード感に溢れた行動がみられ、大変驚きました。

大学の先生たちも社会実装を念頭に置きながら活発に活動されており、その姿を目の当たりにすると、日本へ帰国後も大学で働いていくことが自分にとって果たして良いことなのかと疑問が生まれてきました。

実際、帰国し一度大学に戻ったのですが、やはり前述の留学時の思いも強く、先端的な基礎研究が盛んで、光通信などでは社会実装にも積極的に取り組んでいるNTTの姿勢に感銘を受け、勇気をもって入社を決意しました。

NTT物性科学基礎研究所（物性研）に入所した当初は、脳と直接通信する、ブレインマシンインターフェースの研究に取り組みましたが、その理由は、脊髄損傷の治療の1つの戦略として有効ではないかと考えていたためです。この分野では、米国にイーロン・マスクらが共同設立したニューラリンクがありますが、当時日本では、物性研しか選択肢はなかったのです。

私は、ブレインマシンインターフェースの研究だけをしたかったわけではなく、幅広く日本の先端技術を医療の現場に応用していく研究がしたかったのです。例えば最先端の素材やデバイス、そして近年急速に発展してきたデジタル分野、すなわち情報通信やAIの技術などもその対象です。医学でもこれらの先端技術により、古典的なシミュレーションや診断法が突然進化するときが来るのではないかと考えていたからです。

留学中にシリコンバレー やサンディエゴで知り合った技術者は、京セラやソニーをはじめ、日本のさまざまな企業から派遣された方もおり、特にサンディエゴにはクアルコムの本拠もあるため通信を専門とする留学生が多数いました。その交流の中で情報通信の面白さを実感し、帰国後にNTTにご縁をいただき、今回お話ししたテンソル心電図というアイデアに結び付けたり、hitoe[®]を開発したりと、さまざまな興味深いプロジェクトにかかわることができました。

 **大局的にビジョンを描き、自ら動いて仲間をつくり、自ら取得したデータを重視しよう**

後進に向けてメッセージをお願いします。

基礎研究の分野も国際競争が激しさを増し、LLMやAIの研究も大規模化してきました。そのような中で一研究者としていったい何ができるのだろうかと自問自答する機会が多いと思います。

実際に私も若いころから今に至るまでずっと悩んできているわ

けですが、情報も爆発的に増えているなど激しい変化が起きていく時代でどう立ち回っていくべきかという問い合わせに対して、私自身の考えを述べたいと思います。

1つは、何となくでも結構ですから、自分の取り組んでいる研究は「将来どうなっていくのか」という大局的な予想やビジョンを持つことだと思います。

私が米国に留学したとき、多くの人との出会いの中で、医学やバイオの領域は近い将来、情報通信の領域と深くかかわり、AIなどを活用する時代になっていくのではと、何となく想像するようになりました。ですから、皆さんの各専門領域においても、時代の流れを読み取り、将来の大局的な予想、ビジョンを立ててみてはいかがでしょうか。

2番目は、その予測にのっとって、実際に行動を起こすことです。例えば、今回の大阪大学のPRIMEのプロジェクトに関しても、先方からの声掛けに私が反応したところからスタートしています。つまり、社内外問わず仲間をつくって行動することは大切だと思っており、若い方こそ、精力的に行動を起こしていっていただけたらと思います。

3番目は、研究は国際競争の中で業績や結果を出さなければいけない世界であるため、厳しい評価を受ける場面もあり、ついつい守りの思考に陥ってしまいがちです。しかし、コンセプト創りなど発想は常に自由奔放に、失敗を恐れず攻めの姿勢をとっていただきたいと思います。同時に、求められる業績や結果にもこたえていく、これらをバランスさせて両立していなければ良いのではと思います。

最後に、例えば近年、LLMなどの機械学習に絡んだ研究が科学雑誌や国際学会などで大きく取り上げられ、その最先端の発表内容や情報量に圧倒されてしまうことがあります。しかし、LLMは私たちに莫大な知識情報を提供しますが、1つひとつの情報や実験データをLLM自身が集めているわけでもなく、試行錯誤しながら研究しているわけでもありません。

あくまで言語化され、公開されている情報から大量に学んでいくにすぎません。それに対して、私たち研究者の強みは自分の手で実験し、あるいは自分の足で丹念に拾い集め手に入れた実測データ、すなわち記号化、言語化される前のデータを体験とセットで持っていることなのです。

私はここまで至るまで、紆余曲折あり悩んできたこともたくさんありました。最後に自分を救ってくれたのは自分が直接取得したデータ、実験結果だと信じています。自分のデータを丹念に見していくと、そこには真理が示されていることが多々ありました。自分のデータは自分の道標になっていると感じており、これまで気付かなかったことを教えてくれているのですね。AIはあくまで補助手段として使いこなし、地道にコツコツと汗をかきながら自らデータの取得や解析を積み重ねていくことに重きを置いていただけたらと思います。



NTTドコモビジネス イノベーションセンター
エバンジェリスト

莊司哲史 Tetsufumi Shoji

エバンジェリスト, ソリューション エンジニア, 二足のわらじで IOWNの社会実装にチャレンジ

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) の社会実装に向けては, APN (All-Photonics Network) による高度なネットワークを構築していくことはもとより, その高速大容量, 低遅延の特長を活かした斬新なサービスの提案が強く求められています. そのためには全世界のパートナーとの連携など幅広な共創活動が重要になってきます. NTTドコモビジネスにおいてIOWNのエバンジェリストである莊司哲史氏は, 自身の光デバイスに関する豊富な知識や経験を活かすことで, NTTのIOWN構想を社会へ広く深く伝えるとともに, NTT各グループ会社や外部企業との連携を促進し, 高度な遠隔コミュニケーションの実現に向けたソリューション開発にも取り組んでいます. 今回, エバンジェリストとして, そしてソリューションエンジニアとして取り組んでいるホットな話題や, 二足のわらじで業務推進するうえでの思いについて伺いました.

IOWN構想のエバンジェリスト, IOWN 開発のソリューションエンジニアとして, さまざまな企業との共創を実現

現在手掛けている, IOWNのホットなソリューションについて教えてください.

現在, 私は2つの組織に所属しています. 1つはIOWN推進室で, ここではエバンジェリストとしてIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想を社内外に分かりやすく伝えていく活動を行っています. また, 一方のソリューションサービス部デジタルイノベーション部門では法人営業組織のソリューションエンジニアとして, 少し先を見据えたIOWNのソリューション開発を行っています. 具体的にはIOWN APN (All-Photonics Network) で触覚などをリアルに伝えるサービスを提案し, 現在そのユースケースについて開拓しているところです.

まず最近のホットな話題として, 「NTT docomo Business Forum '25」で公開された, IOWN APNを活用し, 視覚・聴覚・触覚を遅延なく伝送する新たなソリューションコンセプト「FURELIA」について紹介します(図1, 2). 2025年の展示では, これまでの触覚中心の内容に加え, 視覚によるリアルな映像動画を前面に出してアピールしました.



FURELIAを開発した背景には, 高齢化や地域による医療・福祉格差の問題があります. 日本の全人口の5人に1人が後期高齢者となり急速な高齢化が進んでいます. 一方で, 医療や介護の現場では深刻な人手不足や, 住む地域によって医療や福祉サービスの充実度に差が出ている点も課題になっています. そして, 社会保障費用の増大も懸念される中, 心身ともに自立し, 健康的に生活できる期間「健康寿命」がかつてよりも重要視されています. 地方自治体や各企業も健康増進の取り組みを推進し, 持続可能な社会を構築しようとしています.

これらの課題は音声や映像のコミュニケーションだけでは解決できません. その一助として, 本ソリューションは3DHaptics¹による錯触力覚²を活用した動作のサポートであったり, 振動触覚を用いたリズムの伝達といった複数の感覚情報を遠隔地へとリアルタイムに伝送し, 多くの方々に対して離れた場所からリハビリテーションやトレーニングの指導を実現するというものです.

現在の状況ですが, IOWN APNを伝送路に, OPEN HUB Window³, 3DHapticsデバイス「echorb」⁴を用いて, 視覚,

* 1 3DHaptics: 特殊な振動パターンを組み合わせることで, 力覚・圧覚・触覚の3つを組み合わせ, リアルで豊かな感触を実現する技術です. 株式会社村田製作所の登録商標です.

* 2 錯触力覚: 皮膚に非対称波形の振動刺激を与えることで, 「力の錯覚」が発生します.

- トレーナーと体験者がいる場所をIOWN APNで接続し、トレーナーは離れた場所にいる体験者の体の動きを専用デバイスを通じて誘導、リハビリやトレーニングの支援を行います。
- 高精細な映像、音声、錯触力覚、振動触覚を複数人へ同時に転送することで、同じ空間でサポートを受けているかのようなリアルな体験を可能とします。

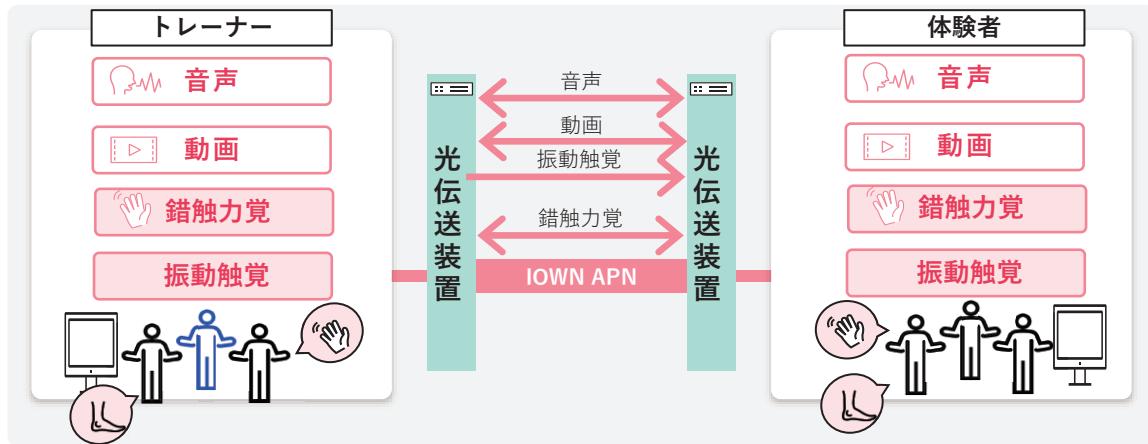


図1 FURELIAの概要



図2 FURELIAの展示の様子

聴覚に加え触覚情報を遅延なく伝送できることを確認しています。例えば都心にいるトレーナーが、地方の体験者へリハビリーションやトレーニングを指導することが可能になると見込んでいます。IOWN APNにより、遅延や揺らぎに敏感な触覚情報をスムーズに伝送でき、複数の感覚情報を制御せずとも自然に同期して送受信することができます。これにより、遠隔地にいてもトレーナー

が隣で身体動作のサポートを行うかのような臨場感ある運動体験ができます。

実証実験では、echorbと足踏みのリズムを振動で伝える「バイオプロスケープ」でも使われている足台を用いました（図3）。echorbは脳の神経を騙す特殊な振動を発するデバイスで、これを手で持つことにより人間は誰かに引っ張られた気持ちになるなど、身体の動きを誘発することができるのです。これにより、両手を広げた肩甲骨のストレッチ運動では、トレーナーが実際に両手を取って広げるかのように、肩甲骨を寄せる・広げるストレッチを遠隔地でも体験できます。また、両手を伸ばした前屈運動のサポートでは、伸ばした両手がトレーナーに引っ張られているかのように体の伸びを体験できます。

大阪・関西万博のNTTパビリオンでは、人気女性音楽ユニットPerfumeのコンサートが床の振動も含め他会場で再現され、リズム感やアリアリティを訴求でき、離れた場所でもライブの臨場感を得ていたのは記憶に新しいと思います。本実験では同様の振動する足台を使い、トレーナーの足踏みの振動リズムをリアルタイムに感じながら、手の動きも誘導されることで、遠く離れていても一緒に臨場感ある足踏み運動を体感できます。

* 3 OPEN HUB Window : NTTドコモビジネスが2022年2月に開設した最先端技術を備えたワークプレイス「OPEN HUB Park」発のコミュニケーションツール。

* 4 echorb : 3DHaptics技術や各種センサ技術が搭載されている、株式会社村田製作所とミライセンスが開発した触覚デバイス。

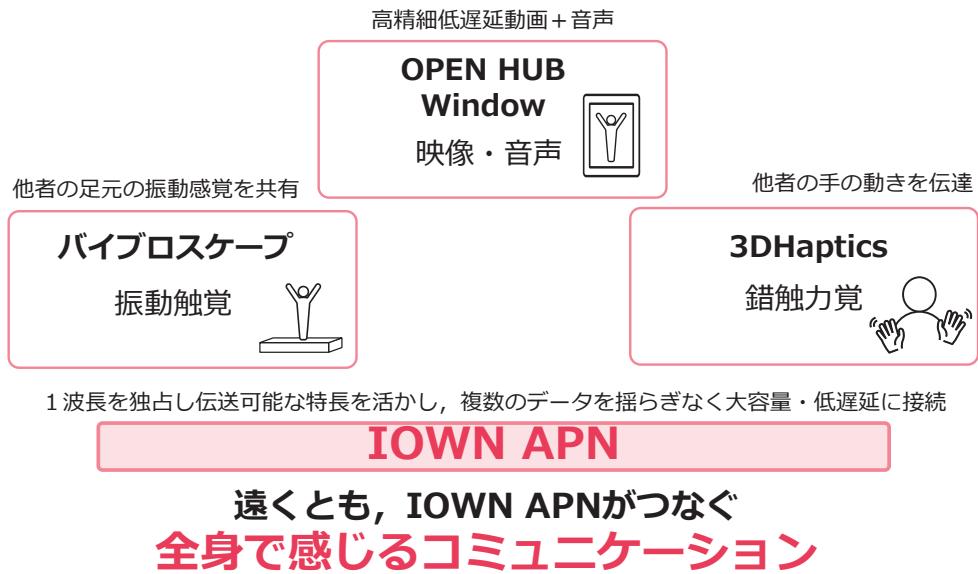


図3 FURELIA を実現する各要素技術

直接「人が触れ合う」「指導する」「伝える」といった触覚を使うことにより、より新しく豊かなサービスが創れるのではと思い、新たなデバイスによるソリューションを考案し、IOWN構想の1つの出口として検討していきます。

今後のビジネスの展望についてお聞かせください。

私たちは実証実験を終えたところで、どうサービスとして組み立てていくかはこれからになりますが、実際にビジネスをされている方々と「実際に困っている課題はこうなんだよ」「これを導入していくにあたってはこんな課題感があるでしょう」など、あらゆる方々とさまざまなディスカッションをし、共創活動を強力に進めていきたいと思っています。そういう意味でパートナーをさらに呼び込み、さまざまな技術を組み合わせることで、新たなソリューションについていきます。

NTT docomo Business Forum '25への出展では、各社メディアに取り上げていただいたこともあります、反響も大きく、その後も福祉関係の方から問合せがありました。この領域は一丁目一番地ですから、リハビリテーションと健康増進への活用や、身体が不自由な方の生活における行動支援、関連でスポーツなどのレッスンサポートや遠隔地から体感できる旅行体験など、ユースケースを広げ検証を進めていきます。

また、医療・介護以外の分野でもさまざまな可能性があります（図4）。例えば小売のセグメントであれば、実際に買い物に行き、

現物を見ないと判断できないことがあります。そこで、「現物を隅々まで見て、できれば触ってみたいな」と思ったときに、その「詳細まで見たいな」という要望は高精細な画像通信で、また「触ってみたいな」という要望は、前述の触覚通信である程度は満たせるのではないかと考えています。例えば、店員さんが手に取った商品を高精細に見せながら、「ここは小さな七色の花柄模様になっています」「細かなディンプルが入っています」と、微細に見せることができます。さらに触覚に反応するデバイスを持ちながら、「ここがツルツルになっています」「裏面は少しゴワゴワしています」などと手触り感をリアルに伝えることもできます。言葉だけでなく、高精細な画像やダイレクトな手触り感がお客様へ伝わるようになると、新たなリモートショッピングのビジネス領域が生まれてくるのではないかとイメージしています。

一例ですが、百貨店で高価な商品をお客さんに選んでいただく際には、現物を見ていただくことが重要です。日本中に数個しかないものを求め、原宿店を訪問したが、銀座店にしかない場合はどうするのか。わざわざお客様に銀座に行ってくださいとはいえないですよね。拠点間を結んだ高精細な映像やリアルな触覚を通信で伝え、ビジネスチャンスを逃すことなく、リッチな層に対してもアピールできるのではないかと考えます。

製造のセグメントでは、単純作業では済まないところ、つまり道具類の上手な使い方や熟練技能者のコツなどを教えるうえで、現地に行かない難しい内容、あるいはトラブルがあるたびに呼ばれるのを避けたいときなど、リモートから指示する、教えると

IOWN® APNや3DHaptics、振動触覚を活用したユースケースの創造・検証・共創と一緒に実現できるパートナーと共に社会実装し、ソリューション化をめざす



図4 FURELIAの今後の展望

いうニーズがあります。このような需要は建設・電気・通信などの各種インフラ工事会社においても同様です。ここでは作業時の力覚感をリモートで指示することができるのではと考えており、課題感については、まさにものづくりや工事の高度技能者にお聞きする必要があります。まだ海外の拠点では、IOWN APNの活用は将来的な構想になりますが、例えば東南アジアの工場の方々にレクチャーするときなどに、役立つのではないかと思います。

また関連のテーマとして、製造業に従事されている熟練者の技能伝承を目的に、触覚も含めた内容をアーカイブ化し、必要なときに再生できるようにするアイデアも現在ディスカッションしています。

IOWN構想のエバンジェリストについて教えてください。

エバンジェリストとして、お客さまをはじめさまざまな方々へIOWN構想を語り伝えています。NTTドコモビジネスにはIOWNのエバンジェリストが3人おり、私はデバイスなど物理層に関する分野を中心に担当しています。ちなみに、他の2人はGPUの分散配置技術やマーケティングの専門家です。IOWNはいまだ構想の域を脱しない部分もあり、エンジニア目線では、まだ“ふわっと”したところがあります。例えば“2032年以降は具体的にこれが実現できる”とは語りづらい部分があるのも事実です。

そのような中、私はNTT研究所在籍時にシリコンフォトニクスの研究開発に従事していたことから、IOWNのキー技術である光電融合デバイスについて、技術の流れや位置付けを含め詳し

く説明することができます。事実、光電融合デバイスについては深く聞かれる機会も多く、それをきっかけに、NTTグループ各社やNTTドコモビジネスのお客さまとともに、IOWNの共創活動に結びつけながら取り組むケースもあります。

私が研究所時代に携わった、今となってはIOWNの肝である光電融合デバイスの基ともいえる、シリコンフォトニクスデバイスのブレークスルー開発について触れておきます。私は、LSIの研究グループが光デバイスの加工を始めた際に、光を理解している研究者として配属され、当初は基礎研究目的で試作デバイスの光学特性を評価していました。その時代の光ファイバ接続技術（先端ファイバ）では、99%以上の光がロスしてしまい、実用化するにはほど遠いと予見され、まずこの問題を解決する必要があると自ら課題を設定し研究を始めました。

当時、シリコンの光導波路（直径0.3ミクロン）と通信用光ファイバ（直径10ミクロン）の接続は極めて困難で、シリコンフォトニクスは一部の大学や研究所、NTT物性科学基礎研究所が基礎検討している程度で、実用化のイメージはありませんでした。

そこで、逆テープ一型のスポットサイズコンバータを開発し、高効率の接続に世界で初めて成功しました⁽¹⁾（図5）。これにより、シリコンフォトニクスの研究開発が加速し、その後の実用化に道を拓いた1つの成果となりました。このスポットサイズコンバータを使って、通信用レーザ光源での四波混合の発生も実現し、その後のIOWNへの導入が目されている波長帯変換技術の源流にもなったと認識しています。

現在IOWNは日本の、詰まるところはNTTの光の技術史とし

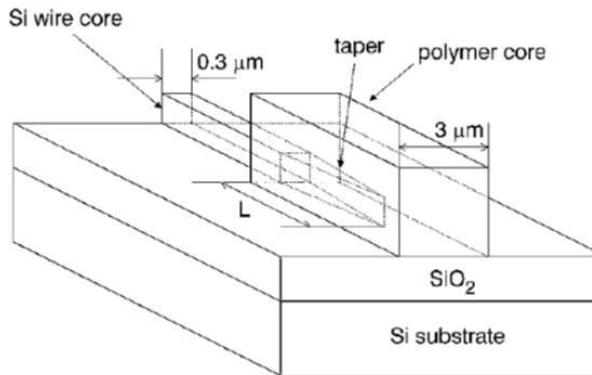


Fig. 1 Schematic diagram of proposed mode size converter for silicon wire

図5 シリコン導波路と光ファイバの低損失結合構造

て語られることが多く、その技術の根源は研究所にあり、今では光電融合技術でNTT研究所が脚光を浴びているところです。そういう話を当事者の一人として理解していると同時に技術の限界がどこにあるのかも含め、お客さまに説明できることは強みといえます。

かつてデバイスの研究に従事していた一員として、研究開発の成果は製品化まで見据えないと ビジネスへ結びつかないことを痛感しています。ものづくりは研究所単体では限界があり、FURELIAのサービス開発でも強い開発力を持つ株式会社村田製作所 (IOWN Global Forumメンバ企業) をパートナーとし、強力に推進できるフォーメーションを整えました。

IOWNは、ともすると光のネットワークの話に終始しがちですが、IOWN Global Forumメンバでデバイスなどに強みを持つ企業とも新しいビジネスをつくっていけたらと思います。

○ 趣味の農作物栽培で自作のデバイスを活用

週末はどのような趣味で過ごされていますか。

自分で組み立てたロードバイクで、100 km以上のロングライドや、ヒルクライムレースに出場したり、職場のランニングサークルに所属し、仲間と皇居ランをしたり、どきどきマラソン大会にも出場するなど体を動かすことが好きです。

また最近は農作物を栽培するコミュニティに参加させていただき、山中の小さな耕作放棄地を再開墾して小麦や蕎麦を育てています。自宅から遠く、なかなか毎週行くことはできませんが、自作のIoT (Internet of Things) デバイスで土中水分をセンシ

- 逆テーパー型のエッジカップラーを実現（世界初）
- 広帯域、低損失(0.8dB)、偏波面無依存

T. Shoji, T. Tsuchizawa, T. Watanabe, K. Yamada, and H. Morita, "Low loss mode size converter from 0.3 μm square Si wire waveguides to singlemode fibres," Electron. Lett., vol. 38, no. 25, pp. 1669-1670, Dec. 2002.

グして、クラウドから常時監視できるようにしています。種をまくと芽が出ているのかが、自分ごととして気になり、技術者としてはそれを観察する手段も自らつくりたくなります。趣味の話とはいえ、コストを意識しながら材料を調達し、自らの手でモノをつくることは、仕事の面でも、開発した成果を社会実装していくうえで役に立つ豈みなのかもしれません。

後進に向けてメッセージをお願いします。

漫画『宇宙兄弟』の主人公ムッタのセリフに「本気の失敗には価値がある」「本気でやった場合に限るよ」という言葉があります。自分の経験上、その時々で本気で取り組んだものは、失敗しても何かが残っているなど感じています。本気でやったことはたとえ失敗してもいつまでも残っていますし、自分の財産になっているのです。

また、IOWNをテーマに取り組んでいる現場の研究者たちは期待度、注目度も高く、大きなプレッシャーの中で大変だと思いますが、NTTのデバイス研究がこれだけ追い風で、社会実装まで期待されているのは大変名誉であり、チャンスでもあると思います。したがって、ゴールをしっかりと定めて、そこへの道筋は自分たちが試行錯誤しながら自由に考え、楽しく取り組んでいただきたいと思います。

■参考文献

- (1) T. Shoji, T. Tsuchizawa, T. Watanabe, K. Yamada, and H. Morita: "Low loss mode size converter from 0.3 μm square Si wire waveguides to singlemode fibres," Electron. Lett., Vol. 38, No. 25, pp. 1669-1670, Dec. 2002.



NTTアクセスサービスシステム研究所
特別研究員

高橋 央 Hiroshi Takahashi

既存の光通信設備が 「光ファイバセンシング」技術で 社会貢献の未来へと導く

「光ファイバセンシング」というのは、通常は通信で利用される光ファイバをセンサとして活用し、光ファイバ周辺で起こった振動や温度などの変化を観測する技術です。これをNTT独自の光計測技術と融合して高精度化し、通信のために全国に張り巡らされた光ファイバケーブルをそのままセンサとして活用した環境モニタリングシステムが検討されています。今回はこの技術と関連機器の研究開発におけるトップランナー高橋央特別研究員を招いてお話を伺いました。

◆PROFILE: 2008年 東京理科大学工学部電気工学科卒業。2010年 東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻修了。2024年 横浜国立大学大学院理工学府数物・電子情報系理工学専攻博士課程修了。2010年日本電信電話株式会社アクセスサービスシステム研究所入社。光ファイバセンシングの研究に従事。2023年 特別研究員。国際標準化: IEC TC86 SC86C WG2 エキスパート。2025年 北海道大学 大学院情報科学院／大学院情報科学研究院 客員教授。



「光ファイバセンシング」技術が自然災害大国日本の安全を変える

■「光ファイバ神経網による環境モニタを実現する光計測技術」について教えてください。

まず私の研究の1つである「光ファイバセンシング」について説明します。今や通信網としての光ファイバは日本全国に張り巡らされており、世帯カバー率でいえば97.09%にもなります（2024年3月末）⁽¹⁾。NTTでは、日本全国に光ファイバを敷設するための設備も保有しており、膨大な数の光通信ネットワーク設備を保守運用しています⁽²⁾（図1）。この光ファイバケーブルを通信用途ではなく、一種のセンサとして活用して、各地の光ファイバ自体の状況（振動、温度変化、歪みなど）を取得・解析することで、全国各地に敷設された光ファイバ周辺のさまざまな環境をモニタリングできるようになるのが、この「光ファイバセンシング」という技術です。

この技術には、敷設されている光ファイバの異常や故障箇所を特定・診断するために研究・開発されてきた技術（OTDR: Optical Time Domain Reflectometer）という側面もあります。具体的には光ファイバの末端に光測定器を接続し、光ファイバケーブル内に特殊な光信号を送り、レーダーのように反射して戻ってくる「後方散乱光」を、光計測技術で観測・解析して、敷設された光ファイバの状態（異常や故障箇所など）を知ることができるというものです（図2）。

この考え方を一步進めて、「後方散乱光」を「光センシング」装置で受信し、特殊な信号処理方式で所望の信号を取り出すことで、特定の場所にある光ファイバ周辺で発生している振動や温度変化、歪みなどの状態をモニタリングすることが可能になります。これを「周波数分割多重（FDM: Frequency Division Multiplexing）」と呼ばれるNTT独自の光計測技術を用いることでさらに詳細に観測・解析し、その光ファイバが敷設されている場所周辺の環境状態を可視化できます。これが「高精度光ファイバセンシング」技術です。現在、私のグループでは光ファイバケーブル周辺の物理現象（振動・温度変化など）によってわずかに変化する光ファイバの状態が極めて高精度に計測可能な、高精度光ファイバセンシング技術を確立することをめざしています。

そして、この技術の利点は既存の光ファイバケーブルをセンサとして利用するため、新たなセンサの敷設が不要になる点や電気式ではないため無給電で連続的にモニタ可能である点、また現地にいかずとも遠隔から計測し24時間365日モニタリングを続けることができる点です。特徴として光ファイバケーブルは、都市部では地中に埋められているものが多いため、この技術が実用化されれば地中の状態を詳細に観測することができます。2016年に福岡県博多駅前で発生した陥没事故や2025年1月の埼玉県八潮市の地盤陥没事故などのような重大事故も、将来は未然に防ぐことができるようになると期待しています。この技術を実用化するための計測機器の開発・装置化やさまざまな環境変化を観測する光計測方式の研究・開発が、私の研究「光ファイバ神経網による環境

日本全国の光通信ネットワーク設備数

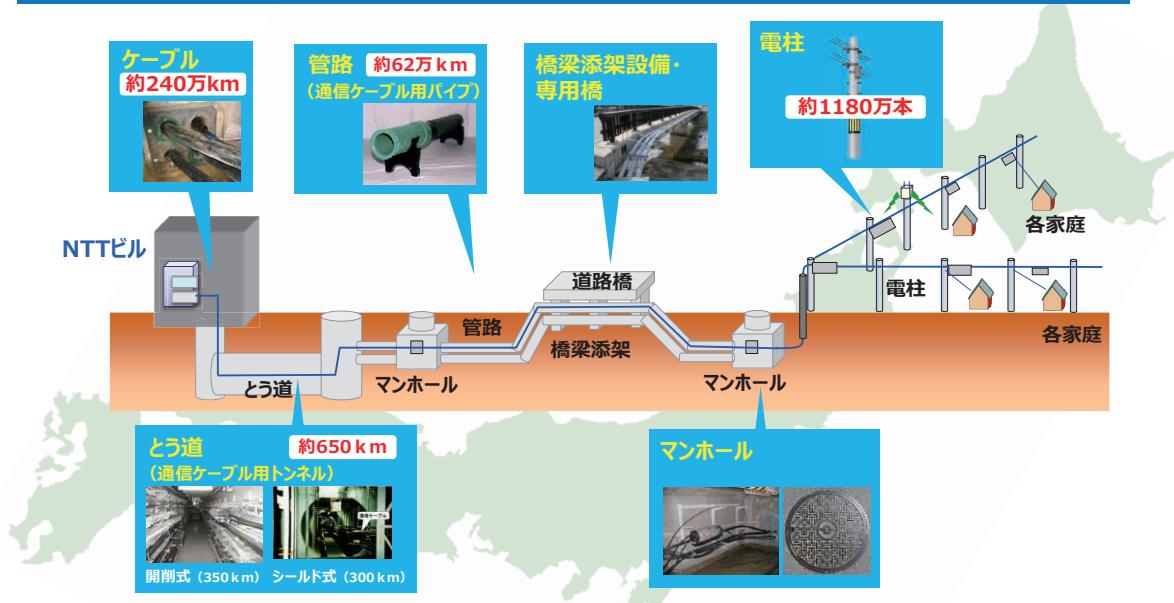


図1 NTTが保有する通信ネットワーク設備

光計測技術によって異常発生箇所を特定する (OTDR)

光ファイバを測定対象とし、後方散乱された光の特性（強度、波長依存性など）を光計測で観測



図2 異常発生検出など保守用途で使用される光計測技術（OTDR）

モニタを実現する光計測技術」となります。現在、光ファイバセンシングは国内だけでなく海外、他機関・大学などでも数多く研究されているテーマです。しかし、既設の光ファイバネットワークでの実用例はまだそれほど多くありません。これは、光ファイバセンシングで初期に実用化されたプラントモニタリングのように、光ファイバをモニタリングしたい部分に直接接触させて測定する

従来のセンシング技術と比較して、既設の通信用光ファイバネットワークをセンサとして扱う方式では、周辺の環境で発生した現象が地中などを通る光ファイバケーブルまで届きにくいということが原因です。そこで私のグループでは、「FDM」という信号処理技術を使って、従来の技術では観測することが難しかった微細な変化や光ファイバ全域のモニタリングを可能とし、この問題点



高精度・多感覚センシングを実現する光計測技術

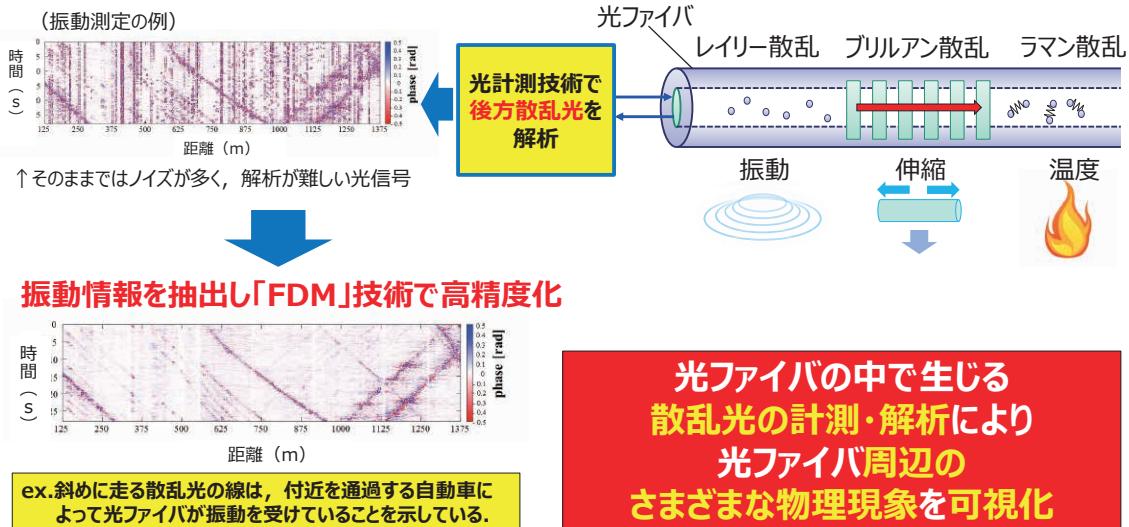


図3 従来の光ファイバセンシングから高精度光ファイバセンシング技術へ

の解決に取り組んでいます（図3）。この技術は実証実験を重ね、実用化まであと一歩までできています。そしてもちろん、最終的には実社会への実装をめざして研究を続けています。

■この研究を始めたきっかけについて教えてください。

私が光ファイバセンシングを学び始めたのは、大学院で光ファイバセンシングの研究室に入ったことがきっかけでした。その後、NTTに入社してから8年後の2018年にNTT東日本の技術協力センターに転籍して、「特異故障」の原因究明をする部署に配属されました。ここは原因が不明の故障に対応して、実際に計測機器を持って1件1件それぞれの故障現場に赴き、原因を究明し対応するという部署でした。実際の現場を体験していく中で日々の煩雑さに追われながら、大学時代に研究していた光ファイバセンシングがあればと実感し、研究所に戻った2021年の当時すでにNTTで始まっていた光ファイバセンシング研究のグループに参加することになりました。

光ファイバセンシング技術自体も日々進歩しており、「DAS (Distributed Acoustic Sensing: 分布型振動センシング) *」が装置になって市場に出てきたことで既設の光ファイバを活用した環境モニタリングが注目され始めました。膨大な光ファイバネットワークを一括で測定して街全体を可視化できれば、すでに膨大

な光通信設備を持っている通信キャリアとしての強みを最大限活かすことができますし、この技術の実用化は、通信の会社でながら光ファイバセンシング技術自体の研究にも取り組んでいる私たちにしかできないと自負して研究開発を進めています。

■現在、この研究において課題や問題点などありますか。

現在の課題の1つは、既設の光ファイバネットワークを使用した光ファイバセンシングで得られる結果が各地点によって異なってしまうという点です。既設の光ファイバを使用するというのは、この技術においてコスト的に大きなアドバンテージであるのは事実ですが、逆にそれが問題点でもあります。というのも本来、光ファイバネットワークは通信のために敷設されたものであり、それ以外の用途は想定されていません。そのため、例えば地中で水道管や電力ケーブルなどの通信以外のインフラのすぐ隣に敷設されており、交差点などの道路状況により敷設されている通信管路の深さが深かったり浅かったりと、敷設環境はさまざまです。そのため、観測できる振動や温度などの信号が敷設環境の違いによって変化してしまい、バラつきが出てします。それ以外にも、光ファイバケーブルは通信管路の中に敷設されているのですが、通信管路自体にも材質や太さなどさまざまな種類があるので、その違いによっても信号が変化して同じセンサ感度として扱うことが困難であり、中には正常な結果が全く得られないこともあります。こうした敷設環境によって変化してしまう信号の中から、現実に光ファイバの周りで起こっている環境情報を抽出・解析するため

* DAS: 光ファイバに入射した光の後方散乱光（レイリー散乱）を観測し、その位相やスペクトルの変化から光ファイバに沿った振動（音響）の分布を高密度に計測する技術。

DASを活用した地下光ファイバによる地盤モニタリング

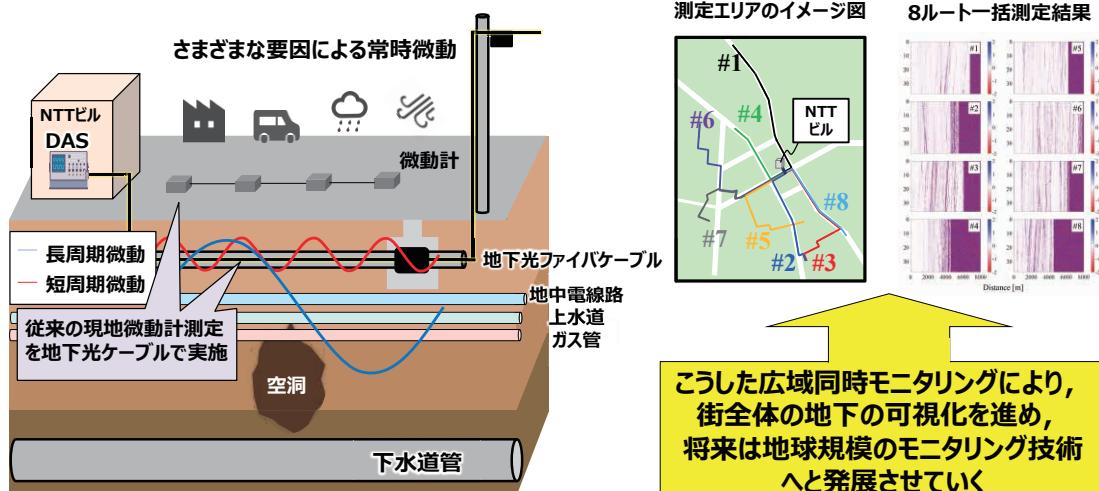


図4 道路陥没リスクの早期発見に向けた光ファイバによる地盤モニタリング

に、光ファイバセンシング技術の方式検討と得られたセンシングデータの解析技術の両面で検討を進めています。それぞれの場所の光ファイバの敷設環境を把握し、信号が得られない原因を突き止めたうえで、真に光ファイバの周りで起こっている現象だけを抽出するための高度な信号処理を行うことができれば、さまざまな敷設環境であっても一様なセンサ感度を実現することができます。私たちの研究所のメンバやNTTのグループ会社と連携しながら、さまざまな実証実験を繰り返し、解析ノウハウを蓄積し、最適な解析処理の提案・実装を続けているという状況です。

また、実用化やこの装置の普及という観点からいうと、コストパフォーマンスの問題があります。サイズやコストを考慮しなければ非常に精度の高い装置をつくることは可能だと思いますが、いかに普及させるかを考えれば、装置の小型化や性能を最低限確保しつつ、コストをできるだけ下げるといった条件を見極めることが重要です。トレードオフになるこの性能とコストの関係をいかに最適化していくか、実際に装置を作製する企業の方々とどう擦り合わせしていくかがもう1つの課題となっています。

これまで私たちの研究グループでは通信回線の保守・保全用途として設備異常のモニタリング、工事検知モニタリングの実証実験を、非通信用途としては地震・地盤モニタリングや交通量モニタリングなどの実証実験を実施してきており、今後も光ファイバセンシング技術の性能向上および装置実装と併せて、ユースケース実証と解析ノウハウの蓄積に取り組んでいきます。

地盤沈下のリスク評価や地震観測など秘めたる可能性は無限大

■この研究の応用例や将来の展望などについて教えてください。

これまで主に光回線の保守や保全のために研究・開発されている光計測技術ですが、それだけでも大幅な低コスト化、省力化が可能となります。具体的には、目視確認が必要になる現地調査や故障が発生してから事後対応となる故障・異常の事例に対しても、事前に膨大な設備の異常の兆候を判断できるようになれば詳細点検が必要な設備を可視化できます。点検が必要な設備を特定し、例えば、点検の優先順位をつけることで点検作業者の稼働の平準化などに貢献できる可能性があります。

そのほか、通信以外の用途でもさまざまな可能性を秘めています。NTTと産業技術総合研究所（産総研）が共同で進行している「道路陥没リスクの早期発見に向けた光ファイバによる地盤モニタリング」もその1つです⁽³⁾。高精度な光ファイバ振動センシング技術を持つNTTと、微動アレイ探査技術および地盤解析の知見を持つ産総研とで、道路陥没リスクの早期発見に向けたモニタリングシステムの実現に向けて、実証実験を実施することとなりました（図4）。路面下の地盤をモニタリングし、空洞を早期発見することで、前述のような陥没事故のリスクを減らし、安全な社会の実現に貢献するというのがこのプロジェクトの目的です。そしてこの技術がさらに発展すれば、将来は地盤を事前に検証することによって、その地盤に建てられる大型の建築物やインフラなどの安全性を確認することができる可能性があります。現在、



日本全国に数百mから数km間隔で設置されている各種地震計や地殻変動センサにより地震観測が行われていますが、もし将来、そのセンサのデータに加えて、より密かつ膨大な光ファイバセンシングデータの高度な連携により精度向上ができるようになれば、都市防災・減災やインフラ維持管理の高度化への貢献が期待されます。加えて即時的な交通量のモニタリングや、交通振動を用いる路面状態の可視化、例えば北国の中の自動車の走行で発せられるロードノイズから除雪判断・支援することなども可能になるはずです。さらに、地震、地盤、気象といった地球科学への応用など、さまざまな分野への貢献の可能性も視野に入っています。このように、この技術が実用化し全国に普及すれば、それぞれのジャンルの専門家たちと協力して、さらに多くの安全・安心への貢献ができるようになるはずです。

■研究するうえで大切にされていることや考え方などはありますか。

何事も視点を変えて考えてみるということです。研究に限らない話ですが、私たちは生きていれば何らかの障害に直面することがあります。正面突破でその障害を乗り越えていくこともできますが、別のルートを模索することや、少し視点を変えて、ときにはその障害の横をすり抜けていくというような道を探すことでも大事だと考えています。プロジェクトを前進させるためにいろいろな可能性を考えるということです。

私個人の経験でいえば、大学院進学のタイミングで光ファイバセンシングを研究されている恩師の研究室を知ったのですが、当時の光通信においては光ファイバ内で発生してしまう散乱光はノイズとして扱われており、この散乱光をいかにして減らすことができるかという研究が重視されていました。その中で、この不要とも考えられていた散乱光から信号を取り出すことで光ファイバをセンサとして活用する研究は画期的でした。光通信と光ファイバセンシング、どちらも同じ光ファイバに関する研究なのですが、視点を変えれば新たな研究分野が生まれるという考え方を知ったことは、私にとって大変重要な出来事でした。

また、それ以外にもチームとして個々の強みを掛け合わせて研究を前に進めていくことも同時に心掛けています。私が大きな障壁だと感じていたことが、ほかのジャンルの研究者たちや技術者たちにとっては日常茶飯事ですでに対策が整理されていて、当たり前に解決できる事象だったという経験もあるので、人とのコミュニケーションも大事にしています。

■所属されているNTTアクセスサービスシステム研究所について教えてください。

NTTアクセスサービスシステム研究所では、世界の最新技術の追求や全く新しい技術の創出といった学術的価値の高い研究開

発を進めるとともに、創出した独自の技術に基づく国際標準化活動も推進しています。こうした新技術の実用化によってNTTグループをはじめとした世界の通信インフラ技術を支え、具体的な価値の提供を目的としています。そのための一貫として、研究者や技術者以外にもNTTグループ会社だけでなく、通信建設会社の現場のプロフェッショナルの方々も、2年間程度お招きして意見交換しています。この方々とチームを組んで、私たちが知らないような現場の知識を教えていただきながら研究を進められる研究所なので、技術の実用化を考えるうえでとても良い環境だと思います。

私は「光ファイバ計測」を中心にこれまで研究開発を行っており、この分野には精通していると自負しています。しかし、これから「光ファイバセンシング」を実用化し、光ファイバ神経網の実現をめざしていく中で、私1人の知識や働きだけでは全く足りないことは明白です。測定装置の試作やさまざまな実証実験では、測定器メーカの方々や外部の専門家とも日々意見交換させていただきながら検討を進めています。中には、私たちからすると理解し難いようなことが、その業界では当たり前だったなどということが何度もありました。ですからNTTグループ内での連携はもちろん、将来連携させていただく多くの方ともそれぞれの強みの掛け合わせで、ぜひこの技術の実用化と普及を進めていきたいと考えています。

そして、若手の研究者たちや学生諸君には、例えば背景の異なる研究をしている方と意見交換することで全く新しい研究がスタートすることもあります。ご自身の研究ジャンルが通信とは異なるなどということにこだわらずにNTTの門戸を叩いてください。ぜひ、皆さんの強みと私の強みを融合させて、これまでにない革新的な研究とその実用化に共にチャレンジしていきましょう。

■参考文献

- (1) https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban07_02000082.html
- (2) <https://www.ntt-east.co.jp/databook/setsubi.html>
- (3) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2025/10/21/251021a.html>



(今回はリモートにてインタビューを実施しました)



NTTデバイスクロステクノロジ株式会社

<https://www.ntt-innovative-devices.com/>



モノづくりの支援を通じて社会課題の解決と お客様の発展に貢献する企業

NTTが提唱するIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想の一丁目一番地ともいえる、高速で低遅延な先進的ネットワークAPN(All-Photonics Network)を実現するうえで心臓部となる光電融合素子は、現在、世界でもっともホットなデバイスの1つといえます。このたびNTTの先駆的な光電融合技術と富士通の伝統あるエレクトロニクス製造のノウハウとをかけ合わせ、IOWNの社会実装をはじめとするさまざまなシーンへの先進的なデバイス製造技術の確立を目的に、NTTデバイスクロステクノロジが生まれました。今回、兒玉聰社長に会社設立の背景や事業展開、そしてNTTグループでは希少なモノづくりに挑戦することへの思いについて伺いました。



NTTデバイスクロステクノロジ
兒玉聰社長

光通信デバイス技術とICTハード技術のシナジー でお客様のモノづくりを支援

■設立の背景と会社の事業概要について教えてください。

NTTデバイスクロステクノロジは、NTTと富士通の戦略的業務提携により、2021年6月にNTTエレクトロニクスクロステクノロジとして誕生したジョイントベンチャー企業です。設立の目的はNTTが保有する光電融合技術と、富士通アドバンストテクノロジ（2007年10月設立）が保有するエレクトロニクス実装技術のコラボレーションによる光電融合製造技術の確立にあります。出資比率はNTTエレクトロニクスが66.6%、富士通が33.4%でスタートし、その後、2023年8月にNTTエレクトロニクスがNTTイノベティブデバイスへ統合されたことに伴い、現在の社名へ変更しました。

現在、当社は新川崎、横浜、厚木、長野に4拠点を構え、約230名の社員を擁しています。最先端の通信とコンピューティング業界で培った知見をもとに、IOWNを支える光電融合技術を有するデバイスの製造技術に貢献するとともにモノづくりの支援を通じて社会課題の解決とお客様の発展に貢献するいわば「モノづくりのソリューションプロバイダ」をめざしています。

当社は主に、光電融合デバイス開発、電子機器開発、電子部品の仕様化・評価の領域において、開発の一連の流れである設計・解析・試作・評価に関するテクノロジサービスを展開しています。これらの事業は、NTTグループだけではなく、一般市場にも展開しています。さまざまな販売パートナー企業から引き合いをいただいたお客様への継続支援と合わせ、新たなお客様とのリレー

ション構築により支援の拡大と次の時代に向けた新規事業創出にも挑戦しています（図1）。

テクノロジサービスは、「光電実装ソリューションサービス」「システムソリューションサービス」「部品関連ソリューションサービス」の3つのサービスで、お客様の製品開発を総合的に支援しています。

「設計サービス」では、デバイス設計、回路基板・伝送ボード設計からエネルギー・マネジメントなどのシステム設計まで上流から下流工程まで設計支援を提供しています。

「解析サービス」では、材料物性取得による高精度なシミュレーション技術を提供、設計段階での製品寿命検証を支援し、設計手戻りの最小化に貢献しています。また「試作＆量産支援サービス」では、ラピッドプロトotypingによりビジネスアイデアの早期具現化、量産設計をサポートすることで、試作から量産への短期化を実現します。

最先端の通信とコンピューティング業界で培った知見をもとに、お客様のものづくりをご支援

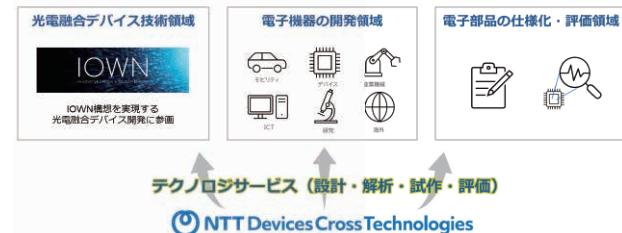


図1 製品開発における設計のQCDをトータルサポート

「評価サービス」では、お客様の使用環境に合わせたさまざまな環境試験・強度評価の提供、製品の脆弱性や寿命を見極め、開発手順短縮と信頼性向上に向けた支援も実施しています。

開発から製造受託まで一貫したモノづくり支援を展開

■特に注力しているのはどのような事業でしょうか。

これまで、お客様のモノづくりにおいて設計や解析・評価など開発受託がメインでしたが、今般、製造受託サービスを開始して注力しています。

親会社でもあるNTTイノベーティブデバイス社、NTTデバイスグループ各社のお力も借りながら立ち上げてきた事業であり、一般のお客さまのお困りごと解決を踏まえた設計から試作、量産までを一気通貫で対応する製造受託サービスの拡大を図っています。この中で、製造ラインの自動化技術開発にも取り組んでいます（図2）。

お客様へのスムーズなサービスインを図るため、拡販部隊を組織化するとともにパートナー様と連携した体制強化を進めており、国内のお客さまから引き合いをいただき始めています。Webページ更新や学会発表、各種展示会への積極的な出展で露出機会を増やし、認知度の向上を図っています。

■今後の展望についてお聞かせください。

私たちは、前身の富士通グループで担ってきたICT機器やデバイス製品の開発からモノづくりと、NTTエレクトロニクスで培った光通信デバイス技術を、テクノロジサービスとしてNTTグループだけではなく、一般のお客さまにも提供することで、社会課題である消費電力の大幅な削減、すなわちカーボンニュートラルへ貢献していきます。

さらには、商談活動を活発化し、収益向上につなげ、経営基盤の安定化を図っていきたいと思います。NTTグループの技術資産と富士通グループで培った実装技術を融合させた独自性を活かし、お客様の多様なニーズにこたえながら、持続的な成長を実現していく所存です。



図2 製造受託サービスへの展開

担当者に聞く

光電融合デバイスで構造設計や製造技術を統括

テクノロジサービス事業本部
実装ソリューション統括部
実装技術部 担当課長

古山 昌治 さん



■担当されている業務についてお聞かせください。

私はIOWNの光電融合デバイス開発において、構造設計や製造技術支援を担当しています。デバイス開発では、高性能化を追求することはもとより、機械的、熱的特性を把握して信頼性の高いモノづくりを進めていくことが必要です。開発現場では、シミュレーションツールを有効に活用することで設計～試作～評価のサイクルを効率化し、信頼性の高い製品開発を進めています。

光電融合デバイスは金属、樹脂、ガラス、シリコン半導体など多種多様な材料の組み合わせで構成され、これら材料の物性を詳細に反映することがシミュレーションの高精度化には重要です。特に樹脂材料は顕著な温度依存性を示すことや、材料の微妙な硬化状態の違いで特性が大きく変わるために、材料メーカーから提供される物性データだけでは不足があり、解析精度の点で課題がありました。私たちはこのような材料の特徴を把握したうえで、独自の方法により実態に合った材料物性値を取得し、それを各種解析に反映させることでシミュレーション精度の向上につなげています（図3）。

このような現物評価にシミュレーション評価を融合させて効率的な開発を行う、モノづくりデジタルツイン技術とそれを支える材料特性評価技術により、NTTグループの製品開発に貢献しています。

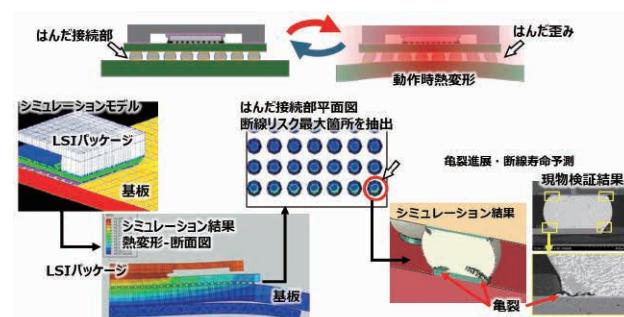


図3 LSIパッケージ搭載基板の熱変形・はんだ断線予測シミュレーション例

■今後の展開についてもお聞かせください。

これまでのデバイス実装における電子基板の熱変形や電子部品のはんだ接続信頼性の評価に比べて、光電融合デバイス実装の評価ではわずかな光軸ずれが光結合特性や信頼性に影響を与えるため、より高精度な解析技術が求められています。

材料物性の観点では、接続部に用いられる光学接着剤が固まる際の寸法変化（硬化収縮）や、液体状から固体状に変化する際の粘性・弾性変化などの製造プロセス中の特性変化までをシミュレーションに反映する必要があり、これら測定技術の向上および解析の高度化により、製造プロセスや製造性を考慮した設計DFM（Design For Manufacturing, : 設計段階から製造のしやすさを考慮して製品開発を行っていく手法）を取り組んでいきます。

光電融合デバイスの開発で回路・基板設計チームを統括

テクノロジサービス事業本部
システムソリューション統括部
担当課長

古谷 晓子 さん



■担当されている業務についてお聞かせください。

私は、IOWN構想の基盤技術である光電融合デバイス開発において、回路・基板設計およびファームウェアの開発を担当しています。光電融合デバイスでは、複数のペアチップ（パッケージング前の半導体チップ）を微細配線対応のパッケージ基板上に高密度集積し、単位面積当たりの伝送容量を大幅に向上させています。基板配線1レーン当たりの信号速度はGHzオーダーで、従来の光トランシーバーの4倍に達し、設計難易度が飛躍的に上昇しています。

GHzオーダーの伝送では、電源ノイズ、クロストーク、配線・ビア形状による反射の影響が顕著です。影響する要因をシミュレーションモデルで精密に再現して解析し、それを設計へ反映することが不可欠です。試作した製造基板の特性をフィードバックすることでさらに解析精度をあげ、難易度の高い設計を実現しています（図4）。

先端技術開発ゆえの難しさもあります。規格未整備の中、既存規格や技術標準カンファレンスなどから情報を収集、有識者との議論を通じてシミュレーションのクライテリアや製品機能を定義しています。並行して開発途上の技術を採用する場合には、ベンダと仕様調整・策定を行い、ファームウェアへの調整機能実装など柔軟な設計を実現しました。

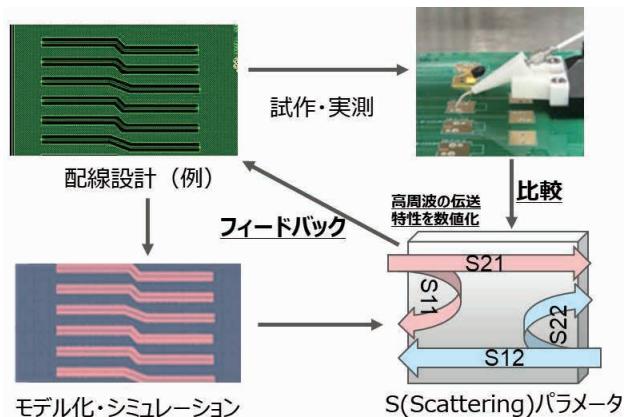


図4 高速伝送線路Sパラメータ解析イメージ

これらの取り組みにより、大阪・関西万博での光電融合デバイスの運用に貢献できました。

■今後の展開についてもお聞かせください。

まずは光電融合デバイスの商用化に取り組みます。これまで研究開発が主でしたが、近年は商用化にも携わるようになりました。サイズ・電力・コストで海外の競合に対向できる競争力のある商品を生み出せるように開発を進めています。

またこれまでの開発で培った技術を他の領域で活かす取り組みも実施しています。例えば、ヘルスケアや自動運転などの分野にも少しずつですが携わることができます。これらの分野でもゆくゆくは商用化に携われるようさらに設計技術を高めていきたいと考えています。

ハードウェアとソフトウェアの技術を駆使しアクセラレータを開発

テクノロジサービス事業本部
システムソリューション統括部

大久保 克彦 さん



■担当されている業務についてお聞かせください。

クラウド技術の普及により、ネットワーク機能の多くがサーバ上のソフトウェアで実行されるようになりました。一方、OS経由の汎用的なパケット処理がCPUに過大な負荷をかけ、サーバ性能のボトルネックおよび通信の安定性低下につながる問題が顕在化しています。今後、クラウドサービスやデータセンタの需

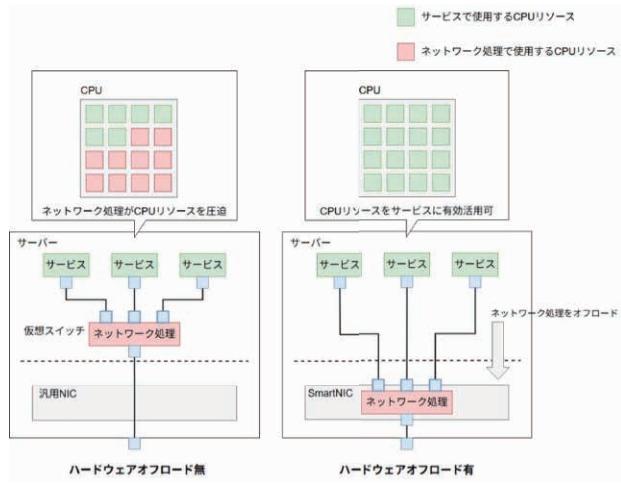


図5 ネットワーク処理のオフロードによるCPUリソースの最適化

要拡大に伴い、この問題はさらに深刻化することが予想されます。私の役割は、アクセラレーション技術を駆使することで、パケット処理によるCPU負荷を最適化し、サーバ性能を最大限に引き出すこと。加えて、ネットワーク全体の安定稼働を実現することです（図5）。私たちの強みは、ハードウェアとソフトウェア双方の深い知見を活かし、部分的な改善ではなく、アーキテクチャ

レベルで最適解を導き出す総合的な設計力にあります。具体的には、SmartNIC/FPGAなどのハードウェアアクセラレータによるオフロードやオープンソースのライブラリであるDPDKを活用したソフトウェアでのパケット処理の高速化など、多様な技術を駆使しています。

現在は、ネットワークアクセラレーションの知見を基盤に、RDMA(Remote Direct Memory Access)技術を活用したサーバ間通信の高速化に注力しています。この技術は大規模AIクラスタなどのシステム性能を飛躍的に向上させ、新たな事業領域を切り拓く可能性を秘めています。今後もこうした挑戦を通じて、より高性能で安定したネットワーク基盤の実現に貢献していくたいと考えています。

■今後の展開についてもお聞かせください。

ネットワークとコンピューティングの世界は、これからも進化し続けます。私たちの強みであるハードウェアとソフトウェアを最適に組み合わせる力を最大限に発揮し、時代の要求の一歩先を行くソリューションを提供し続けます。常に最先端の領域で技術を探求し、お客さまとともに新たな価値と市場を切り拓いていきたいと考えています。

NTTデバイスクロステクノロジ ア・ヨ・カ・ル・ト

■真のモノづくり企業をめざし、量産工場の立ち上げに日々格闘

NTTデバイスクロステクノロジでは2022年からコアコンピタンスの1つであるDFM実践の場として長野事業所の一部を量産工場化して、もの売りビジネス（量産）に挑戦しているそうです。品質と生産数量を管理しながら毎日モノづくりを続けるため、約1年スタッフ全員でレビューを重ね、量産立ち上げの準備を進めてきたところ、そこには想定を超える困難が待ち受けていたようです。

まず自然環境への対応です。夏場の高温対策としてスタッフ総出で断熱シートを貼ったり、冬場の乾燥対策として加湿器を設置したり、雷による瞬時電圧降下時の装置影響監視など、工場環境維持のため、毎日、温度湿度計との睨めっこには皆さんお疲れのようでした。次に健康管理への対応ですが、スタッフ・オペレータの欠勤により生産計画や出荷スケジュールに影響が生じることがあるため、オペレータだけでなくご家族の健康にも配慮し、「うがい・手洗いの徹底」を呼びかけたとのこと。

毎日夕方、ミーティングを励行し、さまざまな想定外を乗り越えて昨年度量産1ST製品の製造・出荷を完了。目標としたQCD (Quality (品質), Cost (コスト), Delivery (デリバリ) の頭文字で製造業において欠かすことのできない重要な要素) を達成したときの喜びはひとしおで「今後も量産挑戦者として次期製品でも“万感の喜び”を感じられるよう邁進します」と、プロダクト製造部の増田泰志さんはおっしゃっていました（写真）。

試作から量産への移行は、技術的な課題だけでなく、日々製造現場で直面する実務的な課題との戦いでもあり、こうした経験を通じて、真のモノづくり企業として基盤を築くことができたようです。お客様の期待にこたえる品質と納期を守り抜く強い使命感のもと、これからも挑戦を続けていきたいとのことでした。



写真 製造現場でのスタッフミーティングの様子

IOWN Global Forum

ミッドタームメンバミーティング（ダラス）と活動の報告

IOWN Global Forum (IOWN GF) は、2025年9月30日～10月3日に米国・ダラスにてミッドタームメンバミーティングを開催しました。世界各国から約240名のメンバーを迎え、IOWN GFで検討を進める技術・ユースケースや次年度計画に関する活発な議論がなされました。10月2日には、IOWN GF の一般公開イベントであるFUTURES も併催され“AI Infrastructure of the Future.”をテーマとして、IOWN(Innovative Optical and Wireless Network) 技術の重要性や展開について講演がありました。ここでは本メンバミーティングの模様と合わせてIOWN GFの最近の活動状況について報告します。

IOWN GF 2025年ミッドタームメンバミーティング（ダラス）開催報告

IOWN GFでは、毎年秋に全メンバー向けのミッドタームメンバミーティングを開催しています。このミーティングでは、SC (Steering Committee) /WG (Working Group) /TF (Task Force) における技術・ユースケースの実現に向けた検討や次年度計画に関する議論などを行っています。

今回、現地には世界約60の会員企業・組織から、240名以上のメンバーを迎え（写真1）、オンラインメンバーも加わって活発な議論がなされました。

オープニングプレナリでは、President and Chairpersonの川添雄彦氏（NTT）がオープニングメッセージとして、フォーラムの成果に対するメンバーの貢献に感謝の意を示しました。またAI（人工知能）需要の増加によってネオクラウドと呼ばれる事業者が登場するなどネットワークに期待される要件に新たな変化が起こっている点についても言及し、こうした変化に対応するうえで圧倒的な大容量・低遅延・低消費電力を実現するIOWN

(Innovative Optical and Wireless Network) の技術基盤が、AI時代の社会インフラとして極めて重要な役割を果たすことを強調しました。

続いて3名の業界リーダによる基調講演が行われました。はじめに、テキサス大学ダラス校のAndrea Fumagalli教授は、Open ROADMによるマルチベンダ対応の最新動向を紹介し、IOWN GFが実現をめざすマルチベンダによるOpen APN (All-Photonics Network) アーキテクチャの実装が着実に進展していることを主張しました。

続いて、AT&TのJohn Gibbons氏はOpen ROADMとIOWN GFがこれまで光ネットワークのオープン化で協働してきた点を挙げ、引き続き経済的なネットワークの実現に向けて連携することへの期待を示しました。また、OCP (Open Compute Project) FoundationのCliff Grossner氏は、OCPとIOWN GFがすでにOCP APAC Summitにおいてマーケティングでの協力を開始していることに触れ、今後はOCPでのプロダクト化に向けた連携を強化することへの強い期待を示しました。

その後、Andrea Fumagalli教授、John Gibbons氏、Cliff



写真1 IOWN GF 2025年ミッドタームメンバミーティング（ダラス）メンバ

Grossner 氏に Technology Working Group (TWG) Chair の川島正久氏 (NTT) を加えたパネルディスカッションが行われ、ハードウェアも含めた光ネットワークのさらなるオープン化や AI 需要に対応するコンピューティングインフラの変革などの領域において Open ROADM, OCP, IOWN GF が連携することで課題解決を加速する重要性が示されました (写真 2)。

また今回のメンバーミーティングでは、IOWN 技術の実行可能性、価値、およびパフォーマンスを実証した Recognized PoC の中から、年間最優秀賞である Implementation of the Year として、IOWN 技術を活用したライブミュージックを実現する実装モデルを検討する [Reference Implementation Model for the Interactive Live Music Entertainment Use Case] が選ばれました。そして、本 PoC をリードする富士通、Keysight Technologies、NEC、ソニー、住友電工の PoC チームが表彰されました。

メンバによるプレゼンテーションセッションでは、AI 時代におけるネットワークの進化と IOWN の可能性を多角的に示す 7 件の発表が行われました。

セッション前半では、AI ネイティブなネットワーク設計や 6G (第 6 世代移動通信システム) の将来像、光技術による高効率なフロントホール構築など、次世代ネットワーク基盤の革新をテーマとする発表が続きました。AI とネットワークが相互に支え合う構造への転換を見据え、IOWN がその中心的な役割を果たす重要性が改めて強調されました。

続く発表では、地域社会や産業への展開が取り上げられ、台湾をはじめとする各国の ICT エコシステムによる取り組みや、再生可能エネルギーを活用したスマートシティ構想など、IOWN の

ビジョンが各地で着実に実装されつつあることが紹介されました。

最後に、IOWN の社会実装とエコシステム拡張をテーマに、Open APN Functional Architecture において Open APN と DCI (Data Centric Infrastructure) をつなぐ新たな層として規定する、DN (Deterministic Network) を活用したネットワーキングの実装が進展していること、また IOWN 技術を活用したネットワーキングソリューションがすでに実用化され、多くの顧客から高い関心を集めています。IOWN が研究開発段階を越え、社会実装の段階へと確実に進化していることが示されました。会合では、これらのプレゼンテーションに加えて、WG/TF での議論、ワークショップが行われ、光トランスポート、AI、最新のユースケースなどに関するさまざまな議論が活発に行われました。また、IOWN GF のメンバ間交流のためのさまざまなネットワーキングの機会が設けられ、コミュニティ形成が促進されました。

なお、次回のメンバーミーティングは 2026 年 4 月 14 日～17 日にオーストラリア・シドニーで開催される予定です。

FUTURES ダラス 2025

2025 年 10 月 2 日にメンバーミーティングに併催して、IOWN GF の一般公開イベントである FUTURES ダラスが開催されました。FUTURES の目的は、産業界・学術界・政策関係者など外部のステークホルダを対象に IOWN 技術開発やユースケース創出の状況や展開を伝えるとともに、メディアやアナリストをとおして IOWN GF の取り組みの重要性やインパクトに対する認知を広げることで、IOWN のエコシステムを拡大して普及を加速することです。

今回の FUTURES ダラスでは、300 名を超える現地メンバと 50 名を超えるオンラインメンバを迎えて、「AI Infrastructure of the Future.」をテーマとしたプレゼンテーションやパネルディスカッションを通じて IOWN GF の活動や技術を紹介するとともに AI の台頭がインフラストラクチャ要件をどのように変革しているかを探りました。

基調講演では、米国の民間シンクタンク、戦略国際問題研究所 (CSIS) の Gregory Allen 氏が、グローバル AI インフラ市場の機会と課題を解説しました。Allen 氏は、AI 性能の指標関数的な成長が巨大な経済的機会を生む一方、その最大の課題は、データセンタの膨大な電力需要にあると指摘し、IOWN GF はネットワーキング技術でこの電力課題を解決する重要な役割を担うと強調しました。



写真 2 オープニングプレナリ パネルディスカッション メンバ

続いて Computer Weekly の Joe O'Halloran 氏がモデレートするパネルセッションには、NTT, Microsoft, Intel の専門家が参加しました。セッションでは、AIによるネットワーク需要の爆発的な増加といった現実的な課題が議論され、これらの課題解決の核として APN を活用したデータセンタの分散配置や電力効率化、ネットワークのプログラマビリティ、そして AI による運用自律化など、具体的な IOWN 技術の活用事例が紹介されました。

その後、Ericsson の Gonzalo Camarillo 氏、NTT の川島氏、VIAVI Solutions の Sameh Yamany 氏による講演も行われ、IOWN GF の活動成果と産業への適用への展望を示しました。

またメンバ組織による技術展示も行われ、1FINITY, Anritsu, 中華電信、安藤・間、ITRI、NTT、Pegatron などが光ネットワーク・コンピューティングに関する最新技術を紹介しました。

IOWN Global Forum の活動状況

IOWN GF では、FUTURES のほかにも対外的な連携を加速しています。2025年6月には KubeCon + CloudNativeCon Japan のゴールドスポンサーとして IOWN GF のブース出展および “CDI (Composable Disaggregated Infrastructure) BoF* : Unlocking Disaggregated Computing for Cloud-Native Applications” と題し、柔軟で効率的なクラウドネイティブインフラストラクチャを構築するための画期的なアプローチである CDI に特化した BoF セッションを開催しました。

2025年7月には、IOWN GF の川添氏が、ITU (International Telecommunication Union) 事務総長の Doreen Bogdan-Martin 氏を訪問し、より持続可能でスマートな社会を世界規模で実現するために、ITU と IOWN GF のさらなる協力を加速することで合意しました。

2025年8月には、ハードウェアの仕様や設計のオープンソース化を進める非営利組織のコミュニティである OCP が開催する OCP APAC Summit において NTT の荒金陽助 氏が “Open Collaboration for Next-gen Communication and Computing Infrastructure” と題した基調講演を行うとともに、IOWN GF が “Optical Communication Networks” と題したブレークアウトセッションをホストし、光通信に関する多数のプレゼンテーションを通じて IOWN GF がネットワーク、コンピュー

* BoF: Birds of a feather flock together という英語のことわざを略した言葉で、共通の興味や関心を持つ人々が集まって自由に議論する非公式な集まりのこと。

ティングの分野で先進的な技術開発やユースケースの開発をリードしていることをアピールしました。

2025年10月には、光通信に関するヨーロッパ有数の会議である ECOC (European Conference on Open Communication) に IOWN GF ブースを出展しました。このように、世界の各地で IOWN GF のビジネス展開に向けた、エコシステムの拡大に取り組んでいます。

さらに、2026年3月に開催される世界最大の通信業界イベントである MWC (Mobile World Congress) や OFC (Optical Fiber Communication Conference and Exposition) では昨年に引き続き、IOWN GF のブース出展を予定しています。MWCにおいては、ブース出展に加えて IOWN GF の主要メンバや外部パネリストを招いた講演セッションも実施する予定です。

また IOWN GF は、IOWN 技術の実装を促進するため、IOWN GF が公開する PoC Reference に基づいて開発された PoC を認定するプログラムを実施しています。2025年度のこれまでの約半年間に、このプログラムでは、Open APN Architecture PoC Reference Version 1.0 で定義されている Open APN アーキテクチャに準拠した APN-G および APN-T 機能への適合や、PoC Reference for Mobile Fronthaul over APN Version 2.0 に準拠した PtMP (Point-to-Multipoint) 型 APN 技術の評価などを対象とする新たな3件の PoC が、「Recognized PoC」として承認され、公開されました。

これらの積極的な活動により、IOWN GF のメンバは増加しています。2025年度これまでの約半年間で、Turkcell、三井住友フィナンシャルグループ、SOITEC、ピュア・ストレージ・ジャパン、Morgan Stanley、インテック、パトラス大学、Smartoptics、STNet、九州大学、トランスクスモス、Astrapé、山下PMC、Broadcom、IHI、NCHC などが新たに参画し、現在、世界中の約170の企業・組織が加入しています (2025年10月末)。IOWN GF は、今後も新メンバの加入を勧めるとともにメンバ間で連携した活動を加速していきます。

■参考文献

- (1) <https://iowngf.org/itu-secretary-general-and-the-iown-global-forum-president-and-chairperson-meet-to-accelerate-further-collaboration/>
- (2) <https://iowngf.org/content-type/proof-of-concepts/>

◆問い合わせ先

NTT 研究開発マーケティング本部
研究企画部門 IOWN 推進室