

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5年1月1日発行 毎月1回1日発行 第35巻第1号(通巻406号)

1

JANUARY
2023

Vol.35 No.1

IOWN

特集

NTT R&D フォーラム
— Road to IOWN 2022

NTTグループにおけるメディカル・ヘルスケア分野の
研究と事業の最新動向

XRエコシステム形成に向けたNTTコノキューの取り組み

from NTT東日本

映像技術で業務DX・組織文化の変革をめざす——映像活用推進チーム「V-TECHX」のチャレンジ



NTT 技術ジャーナル

1

JANUARY
2023
Vol. 35 No. 1

CONTENTS

特集

NTT R&D フォーラム —Road to IOWN 2022

- 4 IOWN 1.0 —「IOWNサービス」スタート—
島田 明 NTT代表取締役社長
- 9 Road to IOWN —射光—
岡 敦子 NTT常務執行役員 研究企画部門長
- 14 「NTT R&Dフォーラム—Road to IOWN 2022」
開催報告



22 特集

NTTグループにおける メディカル・ヘルスケア分野の 研究と事業の最新動向

- 24 バイオデジタルツインを実現する技術と医療系事業
- 28 我慢しない食と健康の両立に向けた非侵襲グルコースセンサ
- 32 バイオデジタルツインの創出に向けた生体インタフェースの開発
- 38 NTTライフサイエンスがめざす遺伝子検査の新たな取り組み
- 43 リアルワールドデータを活用した新たな価値提供
——次世代医療への貢献
- 49 主役登場 中村 昌人
NTT先端集積デバイス研究所



50 特集

XRエコシステム形成に向けた NTTコノキューの取り組み

- 52 「いつでもどこでも」イベント参加可能なプラットフォームの開発
- 56 空間に紐付くARサービスをワンストップで開発可能な空間AR開発パッケージ

61 挑戦する研究者たち

岡本 龍明
NTT社会情報研究所
フェロー

情熱と知識を大切に、目の前に立ち
はだかる問題や長年解けていない問題を
解決しようとするのが研究者



66 挑戦する研究開発者たち

宇田川 陽介
NTTファシリティーズ 研究開発部
主任研究員

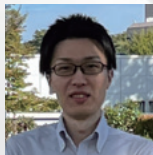
聴く力、考える力、伝える力によって、
これまでの技術を超えていく



70 明日のトップランナー

中村 篤志
NTTアクセスサービスシステム研究所
特別研究員

全世界のあらゆるサービスを支える
未来に向けた「空間モードの光計測技術」



74 from NTT東日本

映像技術で業務DX・組織文化の変革をめざす
——映像活用推進チーム「V-TECHX」のチャレンジ

Webサイト オリジナル記事の紹介 78

2月号予定

編集後記

NTT技術ジャーナルはWebで閲覧できます。

<https://journal.ntt.co.jp/>



本誌掲載内容についての
ご意見、ご要望、お問い合わせ先

日本電信電話株式会社
NTT技術ジャーナル事務局
E-mail journal@ml.ntt.com

本誌ご購入のお申し込み、
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/>

企画編集

日本電信電話株式会社
〒100-8116 東京都千代田区大手町1-5-1
大手町ファーストスクエア イーストタワー
NTTホームページ URL <https://group.ntt.jp/>

発行

一般社団法人電気通信協会
〒101-0003 東京都千代田区一ツ橋2-1-1如水会ビルディング6階
TEL (03)3288-0608 FAX (03)3288-0615
URL <http://www.tta.or.jp/>

©日本電信電話株式会社2023

●本誌掲載記事の無断転載を禁じます●

※本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェアなどの名称は、
各社の商標または登録商標です。

IOWN 1.0 — 「IOWNサービス」スタート—

しまだ あきら

島田 明

NTT代表取締役社長

本稿では、2022年度末からいよいよスタートするIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) サービスを中心に紹介します。本記事は、2022年11月16～18日に開催された「NTT R&Dフォーラム - Road to IOWN 2022」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す。



これからのデータドリブンの社会を展望すると

昨今、IoT (Internet of Things) の広がりやサービスの多様化を受け、データに基づいた分析やアクションを行っていくデータドリブンの社会へと急速に変貌しています。こうしたデータドリブン社会では、扱うデータ量は膨大に増えるとともに、データ処理に必要な電力消費量も大幅に増加する見込みです。

例えばデータ量は、動画ではフルハイビジョンをスムーズに視聴するには、1.5 Gbit/s 程度の回線容量が必要であるのに対して、16K 映像では約750倍の容量が必要になります。また、今後メタバース等のXR (Cross Reality) が急速に普及していくと想定されていますが、2次元のデータが3次元になると、必要となるデータ量は約30倍になるといわれています。さらに、今後は今まで以上にさまざまなものがIoTとしてネットワークにつながって

いきます。全世界で2017年に270億個である機器数が、2030年には約5倍の1250億個になるといわれています(図1)。

次に消費電力の増加について、データセンタの消費電力は、2018年に日本で14 TWh、世界で190 TWhでしたが、クラウド化のさらなる進展に伴い、2030年には日本で約6倍の90 TWh、世界で約13倍の2600 TWhまで増える予想され、電力消費も大幅に増加すると想定されています。さらに、今後

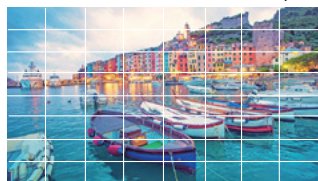
動画の高精細化

フルハイビジョン



1.5 Gbit/s

16K 映像 1147 Gbit/s



約750倍

※非圧縮映像の場合の理論値

データの3次元化

2次元
データメタバース
(VR)

約30倍

※出典：Cisco Annual Internet Report (2018～2023年) 圧縮UHD映像の場合

IoT化の進展

インターネット接続機器の拡大

2017年 270億個

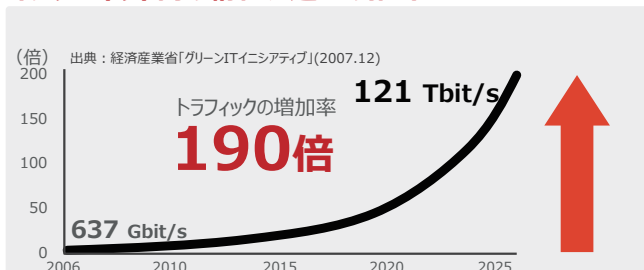
2030年
1250億個

約5倍

※出典：IHS Markit

図1 データ量の増加

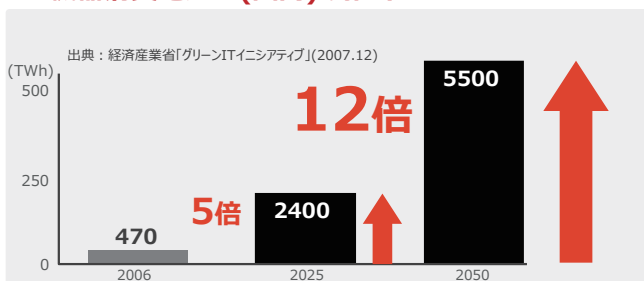
インターネット内の情報流通量の推計



データ量の増加



IT機器消費電力量(国内)の推計



技術的進化の限界

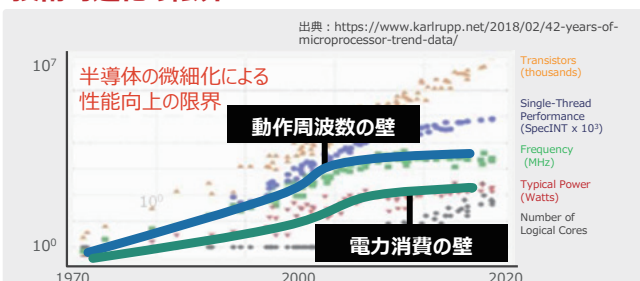


図2 統計データ

出てくるサービスを考えると、従来の大容量ストレージや映像トリミングなどのサービスは、現用の高速通信ネットワークでも快適に利用できますが、VR (Virtual Reality) /AR (Augmented Reality)、ロボット・ドローン、自動運転を普及させていくためには、さらなる低遅延化が求められています。例えば、VRは20 ms以内でないと、人の動きよりも映像が遅れて見えてしまうので、VR酔いするともいわれています。統計的なデータからみても、データ量や電力等は今後、大幅に増加することが想定されています(図2)。データ量の増加、消費電力の増加、ネットワークの遅延などの課題をIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) で解決します。具体的な目標としては、電力効率を100倍、伝送容量を125倍、エンド・エ

ンド遅延を200分の1にしていくことをめざしていきます

APNサービス (低遅延化・大容量化)

まず遅延の解決に向けて、オールフォトニクス・ネットワーク (APN) サービスを商用化します。IOWNサービスの第一弾として、2023年3月にAPNサービスを開始します。これは100 Gbit/sの専用線サービスで、ユーザがエンド・エンドで光波長を専有することができるものになります。また、サービススペックは図3に記載しているとおりです。このIOWN1.0サービスの特徴は低遅延化と大容量化です。今回、大容量化は1.2倍となりますが、特に遅延については、光信号を電気信号へ変換することなく光波長のまま伝送できるため、従来のサービスに比べ

て200分の1まで下げることが出来ます。つまり、今回でIOWNの目標性能値をクリアすることになります。加えて、遅延における揺らぎもなくなります。IP/Etherサービスでは、遅延が大きいときと小さいときがあり、さらにそれが一定ではなかった(揺らぎ)ため、遅延の予測が難しく、細かい複雑な作業を遠隔で実施することは困難でした。今回のサービスでは、その揺らぎがなくなり、遅延が一定になることで予測が可能となり、さまざまなサービスへ応用することができるようになります。さらに遅延の可視化と調整機能によって、遠隔地間での接続でもタイミングを合わせることも可能になります。

次にAPNサービスの適用例をいくつか紹介します。

まず、1番目は遠隔医療の分野で

す。低遅延かつ揺らぎがなくなること
で安定したロボット動作が可能となり
ます。遠隔手術の内容を大幅に広げて
いくことができると思っています。現
状としては、国産の手術支援ロボット
「hinotori™ サージカルロボットシス
テム」を提供している株式会社メディ
カロイドと共同実験を実施しており、
地域医療の発展に貢献していく予定
です。

次にロボットを使った事例を紹介し
ます。スマートファクトリの事例とし
て、現在、化学プラント企業と共同で、
プラント内のオペレーションを遠隔で
実施することを検討しています。化学
プラントは広大で、人手のメンテナン
スは大変です。そこでAPNサービス
を使って、遠隔から高所や防爆エリア
での設備確認やバルブ微調整などの細
かい作業を実施しようとしています。

3番目の適用例として、eスポーツ

が挙げられます。格闘ゲームのような
コマ何秒で勝敗を分けるようなゲー
ムであっても、APNサービスの低遅
延かつ遅延調整機能によって遠隔地ど
うしのプレーヤがストレスなく、公平
に楽しむことができるようになります。

4番目はデータセンタ間接続です。
APNサービスで地域のデータセンタ
間やハイパースケーラのデータセンタ
間を大容量、低遅延で接続すること
で、あたかも1つのデータセンタとし
て扱うことが可能になります。

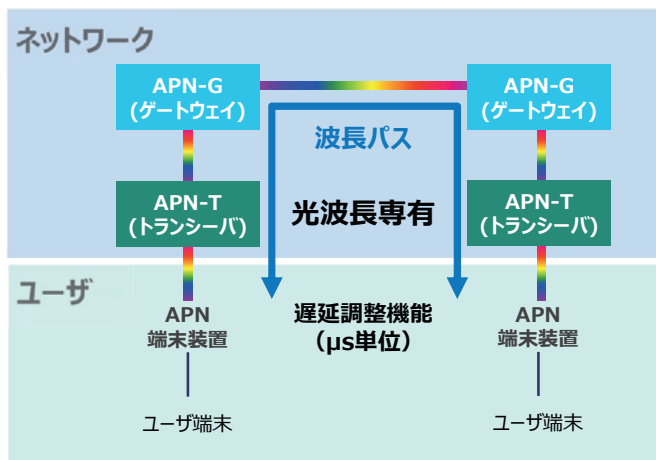
光電融合デバイス（APN・サー バの低消費電力化）

次に、低消費電力化につながる、光
電融合デバイスの開発状況について説
明します。

今回、発表したAPNサービスは低
遅延に着目したサービスとなりますが、
IOWNの最大の特徴は電力効率の向上

です。そのためのキーとなるのが、光
電融合デバイスです。光電融合とは、
光回路と電気回路を融合させ、小型・
経済化に加えて、高速・低消費電力な
ど、さまざまな性能向上を図るもので
す。これをネットワークだけでなく、
コンピューティングの世界まで適用す
ることで大幅な電力削減を図ろうとし
ています。光電融合デバイスのロード
マップでは、まず、2023年度にネット
ワーク向け小型・低電力デバイスを商
用化する予定です。これは、今まで複
数のデバイスで構成されていたものを
同一のパッケージに組み込み、大幅に
小型化することで、低電力化を図るも
のになります。具体的には、2023年度
に400 Gbit/sのデバイス、2025年度
には800 Gbit/sのデバイスを商用化
する予定です。さらに、デバイスが小
型化されるため、伝送装置などのネッ
トワーク装置の小型化も可能となり、

- 100 Gbit/s専用線
- ユーザがエンド・エンドで光波長を専有
- APN端末装置で遅延の可視化と調整が可能



提供会社	NTT東日本、NTT西日本
通信形態	Point-to-Point ※Point-to-Multipointへは今後拡大
提供単位	県内 ※県間へは今後拡大
インタフェース	OTU4（100 Gbit/s） ※その他のインタフェースへ今後拡大
基本機能	帯域品質 フレーム透過転送 制限なし リンク断転送 有 遅延調整 ^{*1} 有
保守・運用	故障受付・監視 24時間365日 故障通知 有（メール）

※お申込みに基づき必要な設備を構築し提供 *1 端末装置で提供

図3 APNサービス【IOWNサービス第一弾】IOWN1.0



図4 光電融合デバイスの展開

運用の簡素化にもつながると考えています。

次に2025年度に、ボードとボード間やボードと外部インタフェース間の接続に光を利用することができるようになる、ボード接続用デバイスを商用化する予定です。これにより、いよいよコンピューティングへの利用が可能になっていきます。その後、2029年度目標にボード内におけるチップ間も光電融合技術で接続させ、2030年度以降にチップ内も光で接続していきます。この光電融合デバイスをAPNサービスおよびサーバにも適用していくことでIOWNの高度化を図っていきます。

まず、2023年度には、ネットワーク向け小型・低電力デバイスをAPNサービスに適用していきAPNサービスの電力効率を高めていきます(図4)。次に、IOWN2.0として、2025年度から、ボード接続用デバイスをAPNサービスだけではなく、サーバ分野にも利

用することで適用範囲を広げていきます。現状のスケジュールでは、2026年度に、この光電融合デバイスを使った低消費電力サーバを商用化する予定です。さらには、IOWN3.0として、2029年度を目標にチップ間接続向けデバイスを開発し、2030年度以降にIOWN4.0としてチップ内接続を光化し、電力消費の大幅削減を図っていきます。この光電融合デバイスに加えて、波長技術や光ファイバ技術の向上も踏まえることで、2025年度からのIOWN2.0では、APN部分で電力効率が13倍、サーバ部分で8倍となり、大容量化は6倍となる予定です。そして、2029年度からのIOWN3.0では、さらなる性能向上を図り、大容量化は125倍を達成できる見込みです。電力効率も装置への展開次第ですが、IOWN2.0より性能向上させることができ、サーバ部分では、従来に比べて20倍程度の向上を達成する予定です。

そのうえで、2030年度以降のIOWN4.0の際には、電力効率が全体で100倍、大容量化は125倍、遅延は200分の1という目標を達成させたいと考えています。

デジタルツインコンピューティング

次に、IOWNのもう1つの技術であるデジタルツインコンピューティング(DTC)についても紹介します。

IOWNのフレームワークは、APNとサーバ基盤、その要素となる光電融合デバイスのほかに、コグニティブ・ファウンデーションとDTCの技術から成り立っています。

コグニティブ・ファウンデーションとは、あらゆるものをつなぎ、その制御を実現する技術です。DTCは、実世界とデジタル世界の掛け合わせによる、未来予測や最適化を実現するものとなります。DTCは現実空間のヒト・



図5 デジタルツインコンピューティングによる街づくり

モノ・コトのさまざまなデジタルコピーをサイバー空間で表現したうえで、データ分析や未来予測などのシミュレーションを行います。そして、その結果に基づく最適な方法や行動を現実空間にフィードバックすることで、現実空間のプロセスなどの改善につなげていくものとなります。例えば、人流データや車の交通量データおよび都市の基礎データを結び付けることで、最適な交通環境の制御を行うことができるようになっていきます。

このDTCによる街づくりをしている実例を紹介します(図5)。

2022年度、アーバンネット名古屋ネクスタビルにて、複数のソリューションを連携させたDTCを使った、街づくりの実証実験を行っています。

アーバンネット名古屋ネクスタビルではフードロス0、モバイルオーダー配送、省エネ空調制御、個人単位の食

事リコメンドの各サービスが互いに連携します。フードロス0サービスでは、その日余りそうなメニュー量を判断、店舗の混雑具合の予測とロボットの稼働状況の予測と照らし合わせ、個人の行動や嗜好に合わせて、適切な人に適切なメニューをリコメンドします。さらには、これらのリコメンドや制御により発生する人の移動の変化を、空調制御DTCの予測制御に反映します。このように、未来予測に基づく価値最大化技術により、おもてなしの顧客満足度、フードロスのロス率、ロボット稼働率、空調制御の省エネ性能といった、優先指標がすべて考慮された制御を実現します。

DTCを使った街づくりはすでに始まっています。現段階では実証実験中ですが、空調制御とフードロスについては、2022年度中に商用化を行う予定です。今後さらにサービスを拡充する

ことやさまざまな街で展開していくことで、個人にも優しく、地球環境にも優しい街づくりに貢献していきます。

おわりに

2025年の大阪・関西万博において、NTTは、万博内でのパビリオンの出展および「空飛ぶ夢洲(ゆめしま)」と題したバーチャル万博のプラットフォームを提供する予定です。万博でIOWN2.0サービスの商用化を発表したいと思いますので、どうぞご期待ください。

Road to IOWN —射光—

おか あつこ

岡 敦子

NTT常務執行役員 研究企画部門長



本稿では、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) の発想から実現に向けて、最新の研究成果を交えて紹介します。本記事は、2022年11月16～18日に開催された「NTT R&Dフォーラム - Road to IOWN 2022」における、岡敦子NTT研究企画部門長の基調講演を基に構成したものです。

Welcome to NTT R&D Forum

今回の「NTT R&Dフォーラム」は「Road to IOWN 2022」と題して、90を超える展示と5つの講演等の配信を行いました。展示は「IOWN Now, Evolution, Future」の3つにカテゴライズして、それぞれ今使えるIOWN (Innovative Optical and Wireless Network)、2030年に向けてつくられる世界と関連技術、そしてさらにその先の技術を紹介しています。今回は新型コロナウイルス感染症対策の一環で、オンラインでの開催とさせていただきます。

オンラインでの開催は3年目ですが、たくさんある展示の中から興味のある展示を見つけるのが大変であるとか、技術の要点を端的に知りたいといった声を多くいただきました。その対策として、研究開発分野でない方に入ってもらい、視覚的に内容をイメージしやすい、分かりやすいイラストを作成しました。たくさんある展示の中から興味に近い展示をいち早く見つけることができるのではないかと思います。

今回の注目ポイントを紹介する前に

IOWN構想のおさらいをしたいと思います。

肝になるのは光の技術です。高速と低消費電力を売りとする光のデバイスを用いて、ネットワークとコンピューティングの基盤を一新し、そのうえで大量のデータを処理・分析・利用するデジタルツインコンピューティングを通して、スマートでWell-beingな世界をつくり上げる構想です。

光の技術として、オールフォトニクス・ネットワーク (APN) について説明します。現在も光ファイバで通信しているのではないかとされるかもしれませんが、実はその途中途中でたくさんの電気-光変換を行っています。電車で乗り換えを行っているようなものです (図1)。これを光のダイレクトパスに変革します。すなわち、直通列車に乗るようなものです。従来よりも大容量で低遅延、かつセキュアなネットワークを形成することができます。

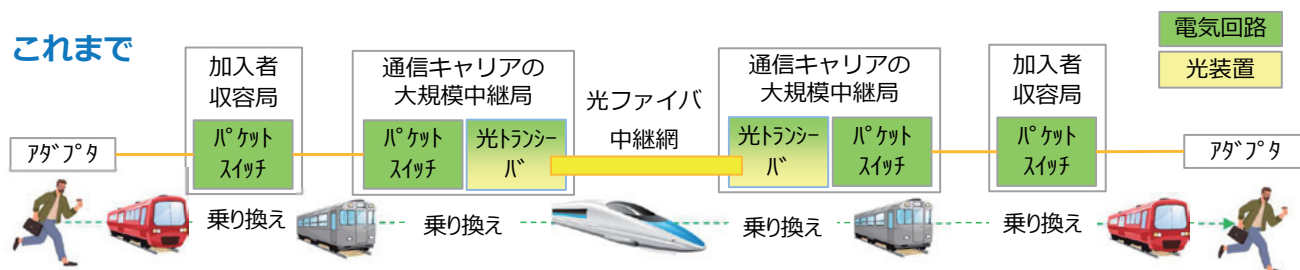
また光は波長、つまり光の色を変えることで、1本のファイバの中に別々のネットワークをつくることができます。あるネットワークは従来のインターネットネットワークによるもの、あるネットワークは医療専用プロトコル

のネットワークといった、機能や役割別のネットワークをつくることもできます。そして、光の信号はコンピュータの中に入っていきます。多くの素子で回路が構成されているボードレベルを光の導波路でつなぐことでサーバの筐体を取り払われます。光の配線は距離減衰が極めて小さいので、従来よりも大規模な並列演算やメモリの共有ができるようになります。さらに、ボード内の導波路を光化することでボードの壁を撤廃し、強力なコンピューティングシステムをつくることができます。これを光ディスアグリゲートッドコンピューティングと呼んでいます。

IOWNの真の起源はどこにあったのか

IOWN について、いつごろこの構想を検討されたのですか。という質問をよく受けます。その契機は2019年4月に発表した光トランジスタの実現です。そこから一気に議論が加速して発表に至りました。しかしながら光が通信だけでなく、コンピューティングにまで影響を及ぼすであろうという発想は遠い昔からありました。NTTではその実現を信じて、光の研究を1960年代から続けてきました。その経緯を振

これまで



オールフォトニクス・ネットワーク (APN)

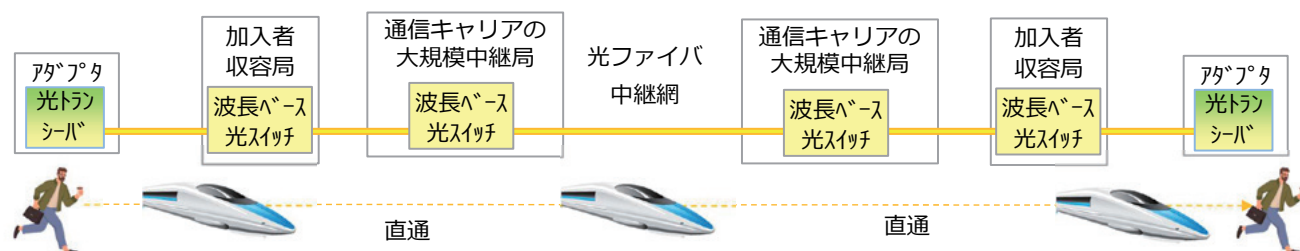


図1 オールフォトニクス・ネットワーク (APN)



図2 光電融合技術の世代と適用領域

表したときは、NTTは何を言っているのだろう？ そんなことができるの？ と思った方は大勢いらっしゃると思います。しかし NTTの研究者は遠い昔からこのような時代が訪れることを予測して、研究を進めて、今ようやくその成果の発信にたどりついたのです。

光電融合技術の世代と適用領域

次にIOWN構想の実現の核となる光電融合デバイスの開発計画について説明します。デバイスを5つの世代に分けて研究開発を進めています(図2)。

第一世代は今のネットワークの高性能化です。第二世代はデータセンタ間の伝送を想定し、取り回しの容易性を重視したデバイスになります。第三世代に入ると、いよいよコンピューティングの領域に光が介入していきます。コンピュータどうしをつなぐのではなく、パーツであるボードとボードを光でつなぐためのデバイスです。第四、第五世代はチップ間、チップ内と光が

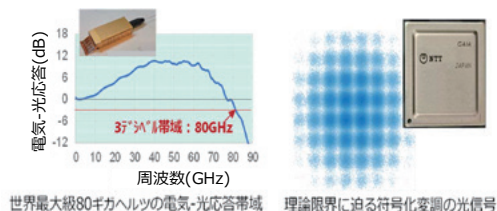
り返る中で1つの面白い記事を見つけました。私が入社した年である1988年、34年前に電気学会の100周年記念誌に当時の弊社の研究者が寄稿したものです。記事中の光インターコネクションとはまさにボード間、チップ間を光で結ぶという光ディスアグリゲータッドコンピューティングの発想です。コヒーレント光学系は物理マシンをつくるという話でIOWN構想では最適化問題を解く、LASOLV®という

成果につながったものといえます。並列デジタル光コンピューティングは、光のプロセッサをつくる話で、光のトランジスタの実現はこの一環です。光ニューロコンピューティングは、光でニューラルネットワークを構成する話です。ニューラルネットワークベースのAI(人工知能)がこれほどの社会的インパクト与えるとは誰も知らない当時から、その発想があったわけです。正直、2019年にIOWN構想を発

データセンタの分散化と省エネ化へ：2023年商用化

第一世代

世界最大容量1波1.2 Tbit/s のデジタルコヒーレント信号処理回路



- ・ 現行商用比：伝送容量12倍 x 省エネ性10倍
- ・ 研究室レベルでは2 Tbit/sも達成

図3 大容量と省エネを両立する光デバイス

コンピュータの奥深くまで入り込んでいくデバイスになります。まだまだ越えないといけな技術的な壁はありますが、鋭意その実現に向けて取り組んでいきます。

射 光

次に研究の進捗について紹介します。いよいよ2022年度末にはAPNがサービス化されます。またIOWN構想発表から今日まで、IOWN Global Forumのメンバーをはじめとするパートナーの皆様と、ユースケースを検討し、それに必要な技術要件を議論してきました。

そして、すでにIOWNの方式に準拠した装置もメンバー企業から発売され、皆様と一緒に考えてきたアイデアがついに具現化され、本格的な実証を行うフェーズに入っていきます。

本講演には「射光」というサブタイトルをつけました。まさにIOWNの光が灯り、皆様に届けられることをイメージしてこのタイトルをつけました。続いて、最新の研究成果を交えながら、その内容を紹介します。

■ IOWN「データセンタ×APN」

1番目はIOWN「データセンタ×APN」です。NTTの国内研究所とNTTグループ各社が所有するデータセンタなどの拠点をAPNで接続します。データセンタには、ディスアグリゲートドコンピューティングや、データの共有を可能にするDataHub、最新のセキュリティテクノロジーなど、IOWNの成果を順次導入していきます。大規模かつ実践的な環境での検証を通じ、サービス開発を加速していきます。このデータセンタ×APNのねらいの1つはデータセンタの分散化です。現在のデータセンタのトレンドは大型化です。大きなデータセンタは土地の確保、電力確保が大きな課題です。特に将来的にどのようにして再生可能エネルギーだけでその大量の電力を賄うかも重要な課題です。これに対して私たちはデータセンタの分散化をねらっています。中小規模のデータセンタをAPNでつなぐことで、あたかも1つのデータセンタであるかのように、コンピュータを動作させることをめざしています。貴重な電気を遠くへ送るのは非効率です。その地域で生み

出したエネルギーはその地域で使い、エネルギーの地産地消を実現するうえでもデータセンタの分散化は重要になってきます。データセンタを分散化するために核となるのが、高速・大容量・低遅延な通信、すなわちAPNであり、その成果を2つ紹介します。

1つは光ファイバの伝送容量を1波長当たり1.2 Tbit/sで伝送できる、デジタルコヒーレント信号処理回路の開発の成功です（図3）。現在、商用では100 Gbit/sが主流ですので、一気に12倍に拡大し、ビット当りのエネルギー効率は10倍改善します。これを2023年中に商用化します。また、2022年9月に報道発表しましたが、研究室レベルでは2 Tbit/sも達成しています。まだまだ伸びしろがありますので、次世代の超大容量通信を支える基盤技術として、今後も研究を進めていきます。

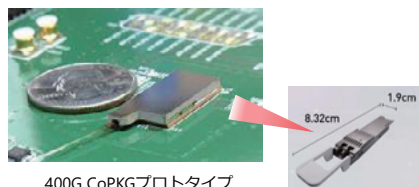
もう1つの成果は、トランシーバ向けの400 Gbit/s コパッケージのプロトタイプ作成の成功です（図4）。信号処理回路に加え、光の送受信機能まで含めて、全体を集積化した小型で低消費電力なデバイスです。現在開発中ですが、こちらも2023年中に商用化する予定です。また、800 Gbit/s 版も実現に向けて研究開発を進めています。データセンタのさらなる省エネ化に貢献できるものとなっています。

高速なAPNをデータセンタと接続することは、お客さまのこれからのサービス設計を大きく変えます。これまでAI × IoT (Internet of Things) のもとにメカなどの機器だけを現場に置き、AI部分はクラウド化という絵を幾度となく見てきていると思います。しかし実際はどうでしょうか。スマホ

データセンタの分散化と省エネ化へ：2023年商用化

第二世代

プラガブルトランシーバ向け400 Gbit/sコパッケージ



400G CoPKGプロトタイプ

- ・ 大容量・低電力・小型の三拍子そろった近距離(100 km)特化型デバイス
- ・ 800 Gbit/sトランシーバも研究開発中

図4 大容量と省エネを両立する光デバイス

アプリを除けば、多くの場合はエッジ側にもGPU等、かなり大きな計算装置を持ち込んでいるのではないのでしょうか。それはネットワーク側にもたくさん問題があったからです。APNでデータセンタ間、そして現場をつなぐことで、この問題を解決し、真の産業インフラといえる環境をつくっていきます。

AI側を進化させて、価値の高いサービスを提供し続けられるような環境をつくり、それが本当にできるということを証明していきたいと思います。

APNは単にデータセンタの基盤となるだけではありません。その価値の本質の1つはリアリティを伝えるための高い伝送能力であると考えています。リアリティを再現した先で人が振る舞うということは、その人の技能が発揮されるということであり、APNを介して技能が送られるということでもあります。リアリティを再現するために必要な情報とは、映像情報や音響情報、場合によっては言語情報や触覚情報、それらの複合的な情報の場合もあるでしょう。こうしたリアリティの再現には大容量通信と超低遅延性が極め

て大切です。それを支えるのが次世代のネットワークAPNです。こうして人が技能を十分に発揮して、それを送ることができれば、新しい働き方や社会とのかかわり方が生まれて、新たな価値を創出すると考えています。こうした取り組みを積極的に行い、早期のサービス創出につなげたいと思っています。

■遠隔でもONE TEAMたる環境の共有

今回のフォーラムで紹介するもっとも典型的なユースケースは遠隔手術です。遠隔から機器を操作する側には患者のリアルな情報が必要です。また、遠隔医療は機器を操作する側だけに医者がいるわけではなく、患者側にも医者がついています。彼らは離れていてもONE TEAMとして円滑でナチュラルなコミュニケーションを行う必要があります。音声をクリアに届けることやパノラマ映像などで、手術室全体の様子を伝える、すなわち現場環境をリアルに送り合うことが大切です。APNの大容量通信と低遅延性により、離れていてもあたかも同じ場所で作業をするかのような場をつくり出すこと

ができます。

■「Now」の展示の視点

今回のフォーラムでは、展示を「Now, Evolution, Future」の3つに分類しており、「Now」は今使える技術の紹介となっています。その中身は、まさに分散データセンタやAPNを支える技術、ユースケースを中心に紹介しています。

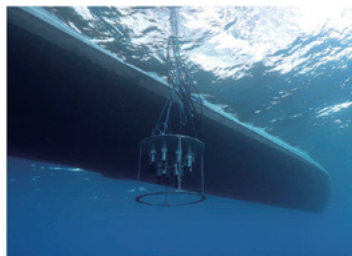
また、IOWNがいよいよ動き出すという趣旨の発表をしていますが、それはIOWN Global Forumのメンバーの皆様と一緒に検討してきたことです。そのメンバーから直接Global Forumの取り組みについて語っていただくパネルディスカッションを本フォーラムで配信しました。「Have your ticket ready. -IOWN is taking off NOW !-」というタイトルで今まさに飛び出そうとするIOWNの取り組みについて紹介しています。

■その他の注目展示

次にその他の注目展示を紹介しましょう。IOWNの発表以降、「光」をキーワードにさまざまな発表をしていますが、NTTでは音に関する研究も古くから注力しています。いまだに電話屋のイメージをお持ちの方もいらっしゃると思いますが、音をクリアに届けることは、現在においても価値があります。音響・音声の技術については、学会発表の観点でみても、知的財産の観点からみてもNTTはアドバンテージを有しています。そのような中から応用的な成果を2つ紹介します。加えて未来を見据えた基礎的な研究を1つ紹介します。

1番目は音響通信技術です。水中を移動するドローンがあることをご存じでしょうか。水中では大容量かつ長距

有線だった水中ドローンを無線化：遠方からでもコントロール可能に



水中の信号を受けるアンテナ



水中ドローンで水中を撮影する様子

水中(海)にて1 Mbit/s (300 m地点)の通信を実現
SD画質の映像送信も可能※

※被写体等に依存

図5 音響通信技術

離伝送可能な通信手段がないために、水中ドローンといえば、ほとんどの場合、ケーブルをつなげて遠隔制御する必要がありました。当然絡まったり、生物や環境を傷つけることがあります。私たちは音響技術を通信用に、300 m遠方で1 Mbit/sの通信を行うことに成功しました(図5)。つまり水中ドローンを無線で遠くまでコントロールできるようになりました。技術的には浅瀬ほど、海底からの反射や、海洋生物の影響を受けて通信が難しいのですが、そうした浅瀬でも高速な通信が可能です。1 Mbit/sというのはSD画質程度の映像を送ることができます。きれいな映像を見ることができるので、水中設備の点検や養殖している貝や魚の状態確認など、さまざまな用途での利用が期待されます。

続きまして、Personalized Sound Zone (PSZ) 技術です。聴きたい音だけを聴き、聴きたくない音を聴かなくて済む音空間の実現をめざしています。PSZ技術の展示では2つの成果を紹介しています。

1つは再生音を小さな空間にとどめる技術です。これを使って、新たなイ

ヤホンをつくりました。耳に埋め込まないオープンイヤー型のイヤホンは、通常は音が周囲に漏れるのですが、それを極めて小さいレベルに抑えています。この技術を利用したイヤホンは、NTTソノリティからすでに商品化されています。非常に好評だと聞いています。私もWeb会議で使っていますが、軽くて長時間つけても疲れず、オープンイヤーなので周囲の音にも反応できてお勧めです。

PSZのもう1つの成果は、周辺の雑音を打ち消す技術です。耳に差し込むタイプのイヤホンでは、ANC (Active Noise Canceling) 機能という名前が普及しています。今回のフォーラムで紹介しているのは、耳に差し込まないスピーカーでこれを実現しました。

■Physical Neural Networks

次に、米国西海岸に拠点を構えるNTT Research, Inc.の成果で、英国の科学雑誌『Nature』に採録された研究を紹介します。

AIブームを支えているのは深層学習技術です。ニューラルネットワークを何層にも重ねて、大量のデータから

学習させると、すばらしい予測ができるという技術です。これは通常、コンピュータの中での計算により実現されるのですが、あらゆる物理システムは、多層のニューラルネットワークになり得るということを示しました。この論文の中では、いくつかのシステムを紹介しているのですが、その中でマイクとスピーカーでニューラルネットワークをつくり、手書きの数字を認識するという面白いものもあります。

おわりに

本稿では「Road to IOWN -射光-」と題して、IOWNの進展を紹介しました。IOWN構想は皆様にとっては、まさに構想レベルのものであったかと思います。しかし、実際にお手にとっていただけるフェーズに入り、構想を計画に落とし込んでいくための準備が整ってきました。パートナーの皆様とますますコラボレーションを深め、具体的な製品づくり、サービスづくりに尽力していきます。情報通信分野にとどまらない、多くの産業分野の皆様、学術分野の皆様、政府機関の皆様にぜひご参画いただき、一緒に新たな未来を創造していきたいと考えています。これからのIOWNの発展にご期待ください。

「NTT R&D フォーラム — Road to IOWN 2022」開催報告

2022年11月16～18日の3日間にわたり、オンラインにて「NTT R&D フォーラム—Road to IOWN 2022」を開催しました。本稿では本フォーラムの開催模様を紹介します。

NTT R&D フォーラム事務局

フォーラム概要

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 1.0サービスの商用化を目前に控え開催された今回の「NTT R&D フォーラム」は、「大容量」「低遅延」「低消費電力」のさらなる通信技術の進化へ向けて、島田明社長・岡敦子研究企画部門長による基調講演、そしてIOWN Global Forumのメンバーなどによる3つの特別セッション、さらには90を超える研究展示で、最新の研究成果を皆様に紹介しました。昨年までに考えてきた技術ロードマップはついに具現化され、まさに今、IOWNの光は灯ろうとしています。本稿では、オンライン開催で盛況を博した「Road to IOWN 2022」フォーラム開催の模様を皆様にお届けします。

基調講演・特別セッション

■基調講演 1

島田明NTT代表取締役社長が「IOWN1.0—「IOWNサービス」スタート」のテーマで、2022年度末からサービス開始となるIOWNサービスを中心に講演を行いました（写真1）。

はじめに、さまざまな機器のIoT化によって、データに基づくアクションが求められる「データドリブン社会」での、データ容量・電力消費量の大幅増加や通信遅延などの課題について言

及しました。これらを解決するための、IOWNサービス第一弾として「オールフォトニクス・ネットワーク（APN）」サービスを2023年3月までに商用化することを発表しました。APNサービスは、IOWNの目標性能である遅延200分の1と揺らぎのない通信を達成することで、遠隔医療・スマートファクトリ・遠隔地どうしでのeスポーツ対戦など、さまざまなサービスへの適応が可能になると説明し、またデータセンタ間を大容量・低遅延で接続することにより、複数のデータセンタを1つのデータセンタとして扱うことができる可能性を示しました。

次にIOWNの最大の特徴である電力効率のキーデバイスとして、光回路と電気回路を融合させた「光電融合デバイス」を挙げ、これをネットワークのみならずコンピューティングへ適用して大幅な電力削減を実現する計画を明示しました。光電融合デバイスをAPNサービスおよびサーバなどに適用・拡大させながら、2029年のIOWN3.0では通信容量125倍、それ以降のIOWN4.0では電力効率100倍の目標性能を達成するといった、サービス展開の詳細な計画を発表しました。

最後に、現実空間のさまざまなデジタルコピーをサイバー空間で表現し、データ分析や未来予測などのシミュレーションを行う「デジタルツインコンピューティング（DTC）」の例とし

て、アーバンネット名古屋ネクスタビルの街づくりを紹介しました。空調制御・フードロス削減を2023年度中に商用化として実現し、サービスの拡充・展開を進めながら「個人にも地球にも優しい街づくりに貢献」していくと述べました。また2025年の大阪・関西万博に向けて、パビリオンの出展とIOWN2.0サービスの商用化発表を行うと宣言しました。詳細は本特集記事『IOWN 1.0 —「IOWNサービス」スタート』をご参照ください。

■基調講演 2

岡敦子 NTT 常務執行役員 研究企画部門長による講演は、IOWNが今年度末から実際にサービス提供開始され、IOWNの光が灯りユーザに届けられることから、テーマを「Road to IOWN 一射光—」として行われました（写真2）。

構想レベルであったIOWNが、これから実際に実用化のフェーズに入るという状況の中、IOWN構想の研究成果第一弾としてさまざまな研究の具体的な進捗状況を公開しました。



写真1 基調講演1 島田社長

最初のトークテーマである「IOWN「データセンタ×APN」」では、NTTのデータセンタをAPNで接続し大規模かつ実践的な環境でサービス開発を加速すること、そして現在のデータセンタのトレンドである「大型化」に対応するため、データセンタの分散化を行いながらAPNによって効率的な対応を行う計画を表明しました。これにより土地や電力の確保といった課題が解決可能になります。またそれに関連したAPNの2つの成果として、光ファイバの伝送容量を1波長当たり1.2 Tbit/sで伝送できるデジタルコヒーレント信号処理回路の開発と、トランシーバ向けの400 Gbit/s コパッケージのプロトタイプ作成の事例を紹介しました。この技術は2023年中に商用化するとともに、次世代の超大容量通信を支える基盤技術として今後も研究を進める考えを明らかにしました。

そして「現在のAIとIoTを組み合わせた環境にはネットワークの問題がある」と揭示し、この問題をAPNでデータセンタ間をつなぐことで解決し、「真の産業インフラ」環境を創出することを宣言しました。

さらにAPNの本質の1つは「リアリティを伝えるための高い伝送能力」であるとし、リアリティ再現に不可欠な映像・音響・言語・触覚などの情報伝送を支えるAPNの適用例である遠隔医療のユースケースを取り上げました。またNTTが古くより研究を進めてきたさまざまな音響音声技術の成果

の中から、音響技術を応用して無線で水中ドローンをコントロールする先進技術や、聴きたい音だけを再生し不要なノイズを遮断するPSZ（パーソナライズドサウンドゾーン）技術を利用した世界初のイヤホンやスピーカーなどを発表しました。詳細は本特集記事『Road to IOWN 一射光一』をご参照ください。

■特別セッション1

特別セッション1「量子コンピュータでも解けない暗号を作るには」では、NTT Research, Inc.から2名、CIS研究所Brent Waters博士と代表取締役社長五味和洋氏によるセッションが行われました（写真3）。

Brent氏は現在使われている暗号方式の1つである公開鍵暗号が、量子コンピュータによって解読されてしまうという問題について議論をスタートしました。内積の計算時に誤差を加える「誤差を伴う学習（LWE）」は、量子コンピュータの計算にも耐え得る格子暗号であるとし、耐量子以外でのさまざまなメリットなども説明しました。

そして次の「悪質な行為を防止するために公開鍵暗号を守れるか」という問いに対しては、Brent氏の答えはイエス。それを証明する例の1つとして、Craig Gentryが2009年に提唱した「送られてきたデータが何なのか全く分からないにもかかわらず演算を実行できる」という完全準同型暗号（FHE）の暗号化技術を引用し、セキュ

リティ侵害などのリスクを回避する方法に触れました。そのほかの興味深い暗号化技術としては、Brent氏自身が発明した「アクセスポリシーに沿った暗号化」を行う属性ベース暗号と（ABE）、研究者たちがこの機能を利用して次々に開発したさらに高度なバージョンの事例をピックアップし、セッション後半ではNTT Belgiumのチームが、プライバシー性の高い情報が含まれる画像の一部分を属性ベース暗号で保護するという活用手法を紹介しました。

最後にBrent氏は、耐量子暗号におけるリスクについて、何年後に大規模な量子コンピュータが登場するかは分からないが「事前に対策を講じる必要がある」と、リスクに対する警戒の重要性を強調しました。

■特別セッション2

「Have your ticket ready. — IOWN is taking off NOW! —」と題した特別セッション2では、Marketing Steering CommitteeチェアのGonzalo Camarillo氏をモデレータとして、2030年ビジョン白書編集者のAndres Arjona氏、Red Hat社のIan A. Hood氏、Use Case Working Groupチェアの伊東克俊氏、Technology Working Groupチェアの川島正久IOWN推進室室長の計5名、IOWN Global ForumメンバーがPoCの取り組みを中心にセッションを行いました（写真4）。

はじめにAndres氏からビジョンの



写真2 基調講演2 岡部門長



写真3 特別セッション1（左から）Brent Waters氏、五味和洋氏

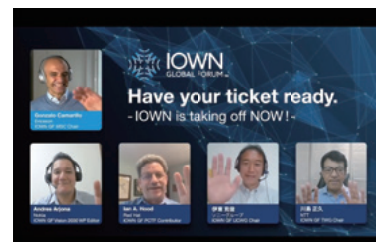


写真4 特別セッション2

共有、伊東氏から昨年来実施してきたユースケースの紹介、川島室長からAPN・DCI（データセントリック・インフラストラクチャ）といったIOWN主要技術の紹介と、それがPoC活動にどのように役立つか報告がありました。モデレータのGonzalo氏は「PoCの実施を踏まえて、ペーパー上の仕様とユースケースをどう開発し、さらに進化させるかを反復することが重要である」と周知して議論が開始しました。

1 番目の議題「PoC 活動での検討課題と注力している活動」では、IOWN Global Forumが今年から開始する具体的なPoCの取り組みについて各パネリストによる報告が行われました。昨年来議論してきた技術仕様は、本年からいよいよ実装のフェーズに突入します。Ian氏は、自社プラットフォームでのユースケース実現とAPNの優位性実証を行うPoCの取り組み、その実現に必要な技術ギャップを解決するRDMA（リモートダイレクトメモリアクセス）・リモート情報管理のセキュリティ技術における活用事例を紹介しました。またモバイル分野において、APN実現のメリットを実証して新サービス導入を加速させる計画を打ち出しました。Andres氏は、モバイルフロントホールのためのAPNにおける、実証に向けたPoC開発計画を明示し、伊東氏は、エンタテインメント領域や産業マネジメントの分野でのセンシングとロボットのソリューション能力を活用した取り組みについて、最後に川島室長は、NTTが現在大都市のデータセンタをAPNで結ぶIOWNテストベッドを構築中であること、来年から実現性・通用性を検証してユースケースを開発実施することを報告しました。

2 番目の議題である「PoC後の取

り組み」として、Andres氏は光通信の新たな地平を拓くために他の標準化団体とグローバルな連携をして協力を促進する考えを訴え、Ian氏は標準化団体やオープンソース・プロジェクトにて目標を達成する計画を発表、伊東氏はサービス提供者をオープンなエコシステムへ呼び込むための取り組みの報告を行いました。最後にGonzalo氏は今後の展望として「IOWN実現・普及の取り組みを続け、前年にどのような進化を遂げたか説明することをフォーラムの伝統にしたい」と締めくくりました。

■特別セッション3

特別セッション3は「宇宙大航海時代 一未来を切り開く羅針盤一」と題して、MCにタレントのハリー杉山氏、スピーカーに株式会社Space Compassから2人の代表取締役Co-CEO松藤浩一郎氏と堀茂弘氏を迎え、これからの宇宙産業の展望についてセッションを行いました（写真5）。

Space Compass社が掲げる宇宙統合コンピューティング・ネットワーク構想とは、「地上・海上・空・宇宙にある、あらゆる人やモノに光の通信で高速につなぐ」という計画で、NTTがめざすBeyond5G/6Gのモバイルネットワークを実現するために、成層圏や低軌道の空から地上通信帯を全国土でカバーする新たな飛行型通信基地局をつくり、地球のリアルタイムな観測をめざしています。松藤氏はこの構想のメリットを「宇宙から見ることで、地球の本当の現状や姿を客観的にとらえることができる」と説明しました。

次に宇宙統合コンピューティング・ネットワーク構想の3つの柱「宇宙センシング事業」「宇宙データセンタ事業」「宇宙RAN事業」について、宇宙統合コンピューティング・ネットワークが実現した未来では、人間の目に見

えないデータを宇宙から観測することで、従来は不可能であった「正確な災害対策・経済情報の伝達・安全保障」などが可能になると解説しました。その中でも、特に期待されているのが非地上型インフラ（飛行機型）HAPSで、2025年の実用化通信に向けて実験が進んでいることを紹介しました。

最後に未来に向けたビジョンとして、堀氏は「新たな時代を開拓し宇宙大航海時代の道しるべとなるための事業やチャレンジ」を、松藤氏は「これからの高齢化社会に向けたロボット・ドローン・自動化運転といった技術を支えるネットワーク構築」を標榜しました。

研究成果展示

NTTの最新技術、研究成果を6つのカテゴリに分けてバーチャルの展示ブースで紹介しました。その中から、特に注目された研究を以下にピックアップしてレポートします。

■ネットワーク

「ネットワーク」カテゴリでは、2023年3月よりサービス提供されるIOWNのAPNサービスを中心に、さまざまな光・無線ネットワーク技術を紹介しました。「IOWN APNを活用した手術ロボットの遠隔利用」で紹介したのは、2023年よりサービスが提供開始されるAPNの適用例の手術支援ロボットを支える技術です（図1）。APNによって低遅延で揺らぎのない



写真5 特別セッション3（左から）ハリー杉山氏、堀茂弘氏、松藤浩一郎氏



図1 IOWN APNを活用した手術ロボットの遠隔利用

オールフォトリクス・ネットワーク(APN)を支える光・電子デバイス技術
～IOWN時代の高速大容量光パスを実現するキーデバイス～

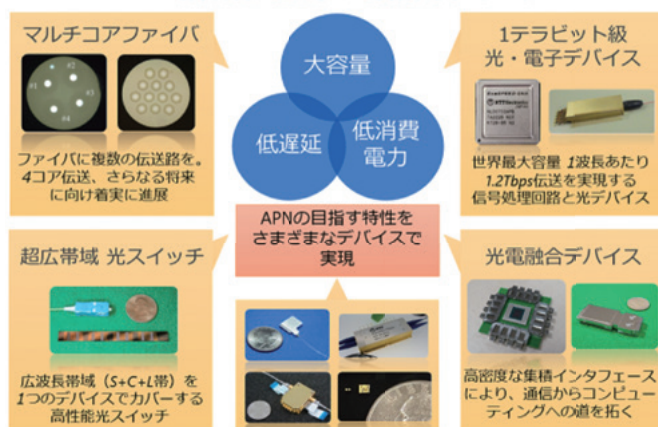


図2 APNを支える光・電子デバイス技術

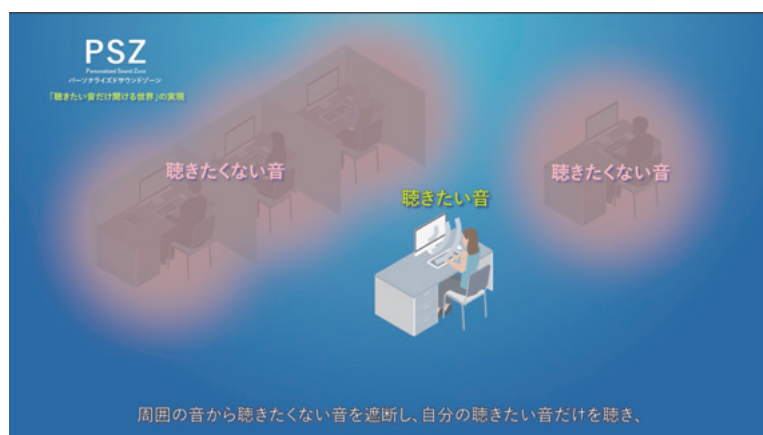


図3 パーソナライズドサウンドゾーン

能になります。また「オールフォトリクス・ネットワークを支える光・電子デバイス技術」では、APN高速大容量の光パスを支えるさまざまな先端機能デバイスを紹介しました(図2)。世界最大容量となる「毎秒1.2テラビット」の伝送を可能にする光デバイスや、新世代の高密度インタフェースなどでIOWNの目標性能「大容量」「低遅延」「低消費電力」に貢献します。

■XR (UI/UX)

「XR (UI/UX)」カテゴリでは、リアルとサイバーが融合する世界や、リアル環境を超える体験を可能とするリモートワールドを支える技術を公開しました。「パーソナライズドサウンドゾーン」では、周囲の音空間を制御しユーザに適した音空間をつくり出すための研究を紹介しました(図3)。周囲の音を遮断する技術と必要な音を聴き取る技術を用いて、快適・安全な車内空間の例や世界初のオープンイヤー型イヤホンの展示を行いました。「IOWN時代のメタバース」では、リアルな空間を実現する「3D空間メディア処理技術」と本人性を持ったアバターがサイバー空間で自律的に行動する「Another Me技術」を用いて、リアルとバーチャルが交錯する未来のコミュニケーションのデモンストレーションを展示しました(図4)。人と社会のつながりを高め、多様性を受容できる持続可能な社会を創出します。

■セキュリティ

「セキュリティ」カテゴリでは、暗号技術を応用して安全な通信を実現する技術などを展示しました。「量子コンピュータ時代を見据えたセキュア光トランスポート技術」は、2030年以降実現される量子コンピュータの到来に向けた、セキュアな暗号技術を紹介しました(図5)。複数のアルゴリズムや鍵共有プロトコルを組み合わせた

ロボット操作・映像伝達を実現し、さらに暗号化技術を加えた高セキュリ

ティな手術環境を実装することによって、より離れた遠隔地からの医療が可



図4 IOWN時代のメタバース



図5 量子コンピュータ時代を見据えたセキュア光トランスポート技術

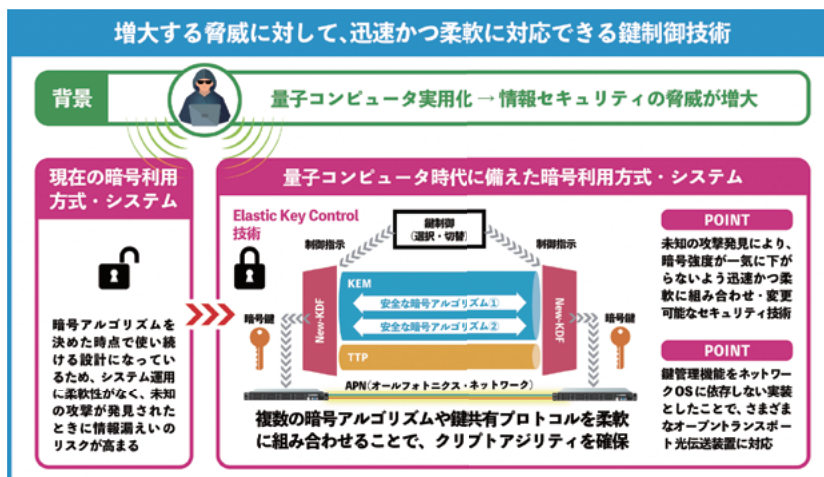


図6 AIのプロフィールによる同一性検証

では、今後AIが普及した場合に発生するAIのなりすましなどの被害を防ぐ技術を紹介しました(図6)。AIが注目した個所や出力結果に着目することで、不適切なAIの判別が可能になり、これによってAIの安全なビジネス利用を促し、人とAIの共存・共栄をめざします。

■AI/ コンピューティング

「AI/ コンピューティング」カテゴリでは、さまざまな分野におけるAIを使ったサービス紹介やAI活用の展示が行われました。「ビジネス現場でコトバの壁を飛び越えるリアルタイム翻訳技術」においては、通訳に取って代わる高精度な日英同時翻訳技術を紹介しました(図7)。文意伝達に不要な言葉や言い淀みなどの自動除去技術、文区切り位置の自動推定技術、機械翻訳エンジンを組み合わせることで、リアルタイムの会話の自然翻訳を実現しています。また「シグナルフリーモビリティ：信号機を使わない分散型交通制御」では、デジタルツインにおける取り組みとして、信号機のない街で車が衝突せずに走行する「シグナルフリーモビリティ」をデモンストレーションとともに発表しました(図8)。仮想世界のデジタルツインと実世界にあるミニチュア車が、相互にフィードバックしながら全体最適な交通制御を実現することで、信号待ち渋滞などの従来の交通課題に終止符を打ちます。

■環境エネルギー

「環境エネルギー」カテゴリでは、持続発展可能な目標やカーボンニュートラルといった課題に向け、快適な地球環境を実現する技術を紹介しました。「レーザを用いた二酸化炭素ガスセンシング技術」においては、半導体レーザを用いて二酸化炭素の状態を正確に測定するセンシング技術について説明しました(図9)。従来のレーザ

「Elastic Key Control技術」により、暗号通信・電子署名・認証認可などの

セキュリティ被害を解消します。また「AIのプロフィールによる同一性検証」

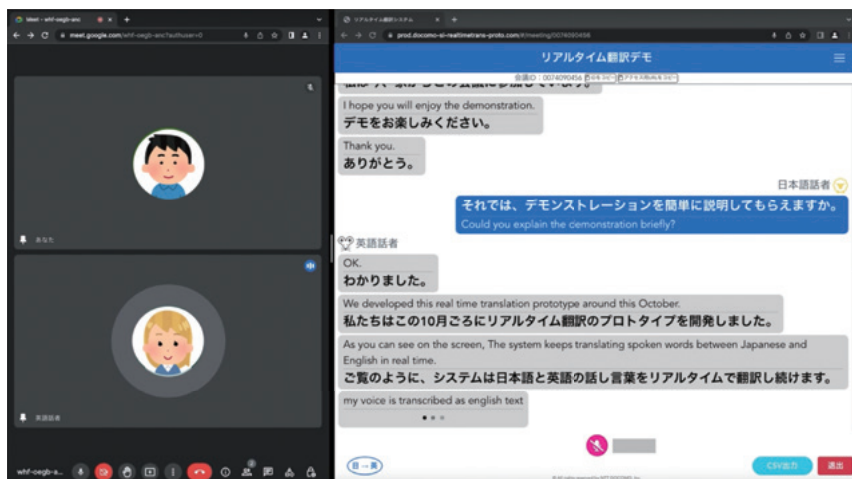


図7 ビジネス現場でコトバの壁を飛び越えるリアルタイム翻訳技術



図8 シグナルフリーモビリティ：信号機を使わない分散型交通管制

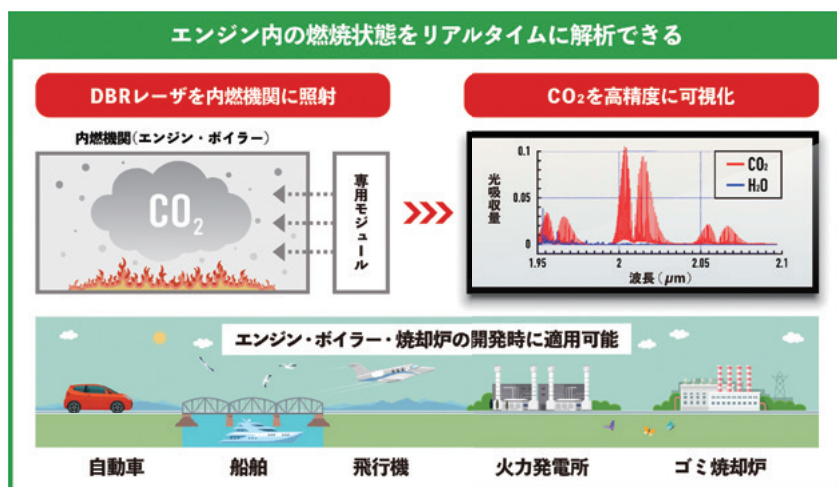


図9 レーザを用いた二酸化炭素ガスセンシング技術

暖化抑制の実現に寄与します。また「海洋中のCO₂を削減する生物学的変換技術」では、海洋中のCO₂を吸収する藻類と魚介類の、炭素固定量を向上させるゲノム編集技術と、年間当りの炭素固定量を評価する技術について紹介しました（図10）。海洋中におけるCO₂を削減することによって、海洋生態系への影響を少なくし、さまざまな地球環境問題解決やカーボンニュートラルの実現へつながります。

■基礎研究

「基礎研究」カテゴリでは、物理ニューラルネットワークの取り組み、バイオデジタルツインTMへ向けた研究開発など、社会に変革をもたらすさまざまな分野の基礎研究を紹介しました。「EXを高めCXを創出するSocial Well-being」は、経済合理性だけによらない価値「Well-being」に着目した研究を展示しました（図11）。東アジアの思想伝統を踏まえた自己観「Self-as-We」をキー概念に、個人と集団のかかわりを「支援する」「測る」技術と方法論を確立することで、個々人のWell-being（EX）と集団での成果創出（CX）を両立します。また「モバイルセンシングと生体情報処理による身体機能の評価」では、生体データから身体や心の状態をサイバー空間に生成したバイオデジタルツインを活用して、年々患者数が増加している心血管疾患を予防する研究について発表しました（図12）。簡単な検査での心肺機能測定と有効なリハビリ提案が、多くの人の健康維持増進や重症化予防に貢献し、明日へ希望をつなぎます。

フォーラムを終えて

オンライン開催3年目となった今回のフォーラムは、視覚的に分かりやすい展示にするために、内容をイメージしやすいイラストや技術のポイ

では不可能であった火力発電などの状態変化の大きい環境下でも、二酸化炭

素濃度をリアルタイムに計測することができ、環境破壊ガスの削減や地球温

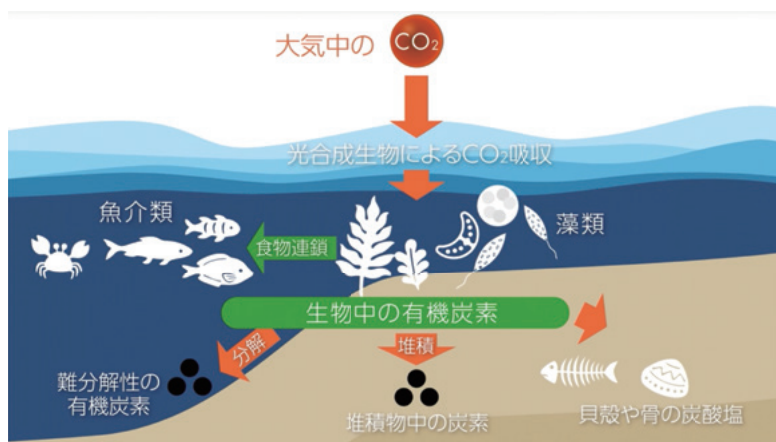
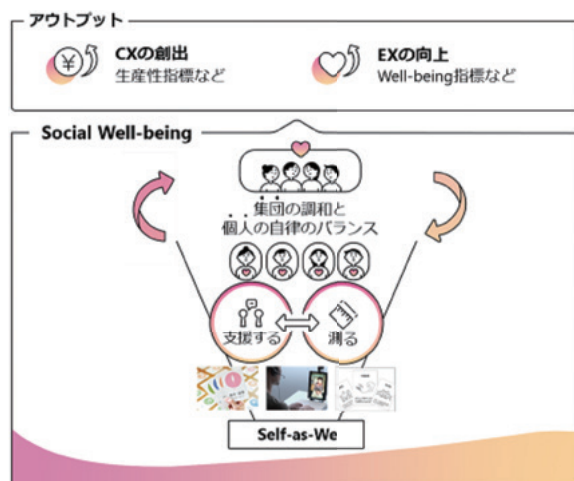
図10 海洋中のCO₂を削減する生物学的変換技術

図11 EXを高めCXを創出するSocial Well-being

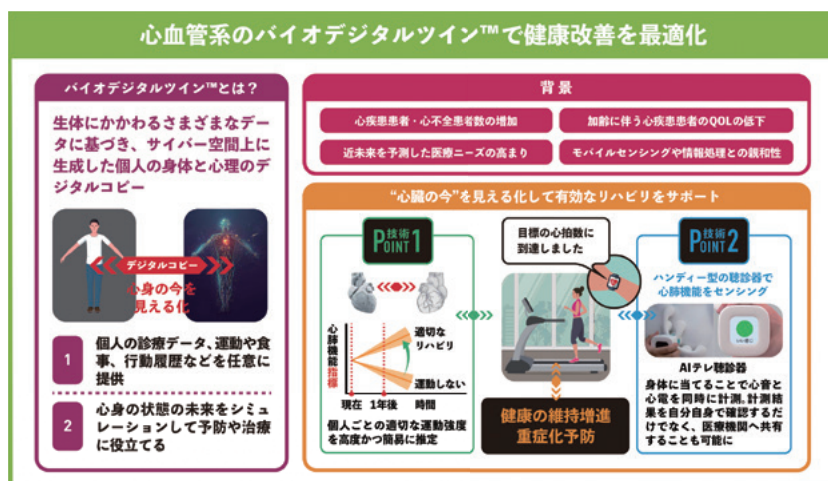


図12 モバイルセンシングと生体情報処理による身体機能の評価

ら、先の未来を明るく照らす多彩で最先端の技術を皆様にお伝えしました。

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、皆様と一緒に新たな未来を創造していきたいと考えています。これからのIOWNの発展にご期待ください。

◆特設サイト紹介

基調講演（動画）、展示などは特設サイトに掲載しておりますのでご覧ください。

特設サイト：「NTT R&D フォーラム — Road to IOWN 2022」開催報告

<https://www.rd.ntt/forum/2022/>



（左から）白木 善史 / 阿部 裕文 / 高橋 慶太 / 森 俊介 / 三反崎 暁経 / 恩塚 貴行 / 横井 裕也 / 玉田 妙子

◆問い合わせ先

NTT R&D フォーラム事務局

E-mail rdforum-info@ml.ntt.com

ントが一目で分かるパネルなどを使用して、さまざまな研究を紹介しまし

た。IOWNのサービス開始に向けて、具体的なシステムや取り組み事例が

NTTグループにおける メディカル・ヘルスケア分野の 研究と事業の最新動向

NTTグループでは、これまで培ってきたICTを基にメディカル・ヘルスケア分野への応用を目的とした基礎・応用研究に取り組むと同時に次世代の医療の発展に貢献する事業を強化し取り組みを進めている。本特集では、NTTグループにおけるバイオデジタルツイン™の実現のうえで要素技術となる生体情報取得の最新技術、また迅速に医療データを収集・解析するビジネスの最新動向について紹介する。

バイオデジタルツイン™

血糖値

生体電極

Genovision®

医療情報基盤

Medical and Healthcare

バイオデジタルツイン™を実現する技術と医療系事業 ————— 24

NTTグループで取り組んでいるバイオデジタルツイン™の実現のうえで要素技術となる生体情報取得の最新技術、また迅速に医療データを収集・解析するサービス・システム事業の最新動向について紹介する。

我慢しない食と健康の両立に向けた非侵襲グルコースセンサ ————— 28

電波でグルコース成分を選択的に測ることができる誘電分光技術を用いた採血不要な（非侵襲）グルコースセンサを紹介する。

バイオデジタルツイン™の創出に向けた生体インタフェースの開発 ————— 32

NTT Research, Inc. Medical and Informatics Labが取り組んでいる、センサを体内に埋め込んでより多くの生命活動における信号を計測するための技術として、体にやさしい材料からなるセンサ電極に関する研究を紹介する。

NTTライフサイエンスがめざす遺伝子検査の新たな取り組み ————— 38

NTTライフサイエンスが展開している、企業の健康経営や社員の皆様のWell-beingに貢献する「Genovision®（ゲノビジョン）」について紹介する。

リアルワールドデータを活用した新たな価値提供 ——次世代医療への貢献 ————— 43

リアルワールドデータ活用の意義やCyber Oncology®の特徴を解説するとともに、同システムを活用したアカデミアや各がん学会等との協働、具体的なビジネス展開および将来の方向性について紹介する。

主役登場 中村 昌人（NTT先端集積デバイス研究所） ————— 49

電波の新たな価値創造に向けた非侵襲グルコースセンシング技術

バイオデジタルツインを実現する技術と医療系事業

新型コロナウイルス感染症の拡大は、いかに迅速に検査や治療にかかわるデータを収集・解析することに課題があることを改めて人々が認識する機会となりました。また、ICT等の技術の積極的導入による医療現場での生産性向上にもまだまだ課題が存在することが再認識されるに至りました。これらの課題の解決の1つとして、NTTグループでは、人それぞれの身体および心理を精緻にデジタルデータとして写像する「バイオデジタルツイン™」を実現し、現在の人の心身の状態を知る、さらには未来を予測する取り組みを進めています。本特集では、NTTグループにおけるバイオデジタルツインの実現のうえで、要素技術となる生体情報取得の最新技術、また、迅速に医療データを収集・解析するサービスの最新動向について紹介します。

わたなべ
渡辺けい
啓^{†1}なかしま
中島ひろし
寛^{†2}くまくら
熊倉かずひで
一英^{†3}NTT研究企画部門^{†1}NTT物性科学基礎研究所^{†2}NTT物性科学基礎研究所 所長^{†3}

はじめに

新型コロナウイルス感染症の拡大は、リモートワーク、リモート授業、そしてリモート診療と大きく人々の生活を変貌させました。特に病院など医療機関では、新型コロナウイルス感染症の患者数が増大するにつれ、医療現場のひっ迫が叫ばれ、ICT等の技術の

積極的導入による医療現場における生産性向上がより見直されるに至っています。これらの教訓を活かし、次なるパンデミック時に同じ課題に直面しないように準備を進めなければなりません。

この準備すべき技術としてNTTは「バイオデジタルツイン」を提唱しています⁽¹⁾。このコンセプトは、病院で

用いられるカルテは無論のこと、各種の受診データ、また個人が日常生活を通じて得られる各種の身体データをデジタルデータとしてコンピュータ内に取り込み、デジタルツインコンピューティング技術によってサイバー空間上に緻密な写像を実現するものです。バイオデジタルツインの一連の流れを図1に示します。まず、多種多様で膨大

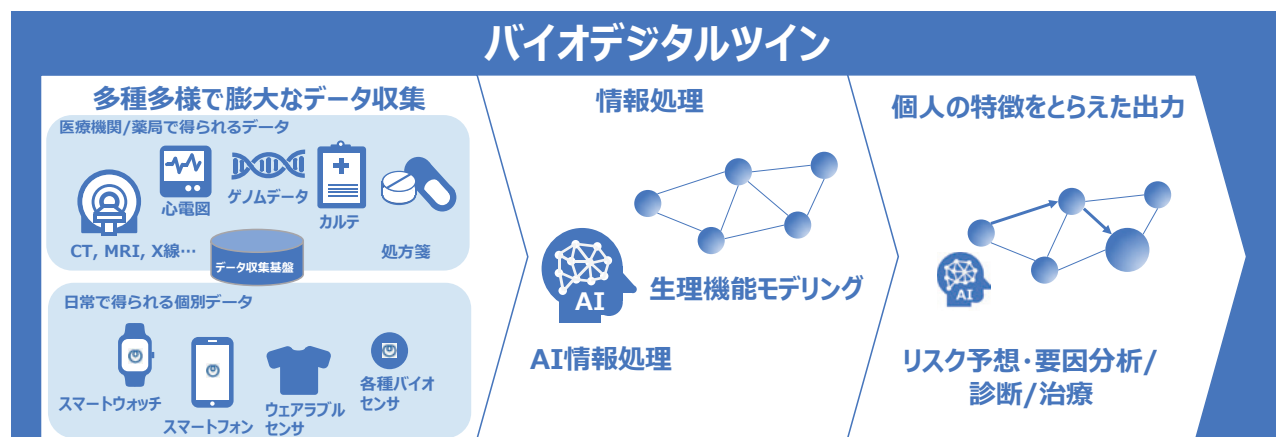


図1 バイオデジタルツインの構成

なデータを収集し、生体機能のモデリングを行い、AI（人工知能）を活用した高度な生体情報処理を行い、結果的に、個人の特徴をとらえたリスク予想・要因分析、診断や治療方針を出力として得るというものです。もしこのようなバイオデジタルツイン技術を利用することが可能になれば、次なるパンデミックが人類に襲い掛かったとしても、速やかに対処法を見出すことも実現できるようになります。データ蓄積が進めば、早い段階から重症化しやすい方、軽症で済む方を判定でき、医療現場のひっ迫を緩和することもできるようになります。また、投薬においても、この薬は効きやすい、この薬は効きにくいというような各個人への適用可否や効能を事前に理解することができれば、治療を効率良く行うことも可能となります。

このバイオデジタルツインを実現するうえで、まだまだ多くの課題があります。まず、多種多様で膨大なデータをいかに集めるかということが重要な課題点として挙げられます。身体データは大きく分けて2種類に分類されます。1つは、Personal Health Record（PHR）です。これはスマートウォッチに代表されるように、身に着けて運動量を計測する機器により得られる歩数・走行距離・深部体温^②等が該当します。しかし、日常的に得られるといってもすべての生体データが得られるわけではありません。重要なのは、これまで十分に計測できていなかった身体データを取得し、集めることができるかがバイオデジタルツインを実現するうえで鍵となっています。

もう1つは、Electric Health Record（EHR）であり、主に医療機関および薬局で取り扱われるデータになります。皆さんが病院に行って診察や人間ドックで検査したデータの蓄積が該当します。しかし、実際に医療機関や薬局から得られるデータは、各機関により異なるデータフォーマットで保存されている場合もあり課題となっています。近年は、統一化を推し進めることも進んでいますが、いかに迅速にこれらの医療データを情報処理可能なように収集し、解析するかが鍵となっています。

バイオデジタルツインのコンセプトを完全に実現するには、まだまだ多くの研究開発が必要です。図1中の情報処理から個人の特徴をとらえた出力をする部分にも多数の重要な課題があります。例えば、昨今、グルメサイトにおける飲食店の評価点が、アルゴリズムの変更により変わるということが世間を騒がせました。医療にかかわるバイオデジタルツインにおいては、より厳密にアルゴリズムの変更等に対して説明責任、透明性が求められるといった課題もあります。これらについては解決すべき重要な課題となっています。このように多様な解くべき課題があり、バイオデジタルツインのコンセプトを完全に実現するのは少し先の将来の話になるかもしれません。しかしNTTグループでは、すでにこれら医療にかかわる一部データを収集し、それを情報処理することでサービスの展開を開始しています。バイオデジタルツインはすでに始まっているのです。

バイオデジタルツイン実現のキー技術とサービス・システム

バイオデジタルツインの実現に向けた具体的な研究開発や、すでに実施している医療ヘルスケアビジネスの一部になりますが、本特集にて紹介します。詳細な内容は各記事を参照いただき、ここでは各テーマの概略を紹介します。

■これまで見えなかった生体情報の可視化

本稿読者の方も、一度はダイエットの経験がある方も多いのではないのでしょうか。日常的に行うダイエットにおいても、食事を摂ったときの血糖値の上がり方は実は無関係ではありません。血糖値の急上昇により引き起こされるインスリンの過剰分泌は、糖質を脂肪として溜め込むことにつながります。それを防ぐため、食物繊維やたんぱく質の多い食物から摂取する食べ方に工夫をすると、同じ物を食しても消化吸収をゆるやかにでき血糖値の上昇が抑えられるといわれています。しかし、実生活では、血糖値（グルコース濃度）が可視化されているわけではなく、実感を持ちながら食事法の工夫をすることは難しいもので、その結果、ダイエットは多くの方にとって継続することが難しい要因の1つになっています。

しかし、体内のグルコース濃度が手軽に常時計測できればどうでしょうか。実感を持って食事方法を工夫することもできるようになります。我慢が付き物であるダイエットでも好きな物を我慢せず、無理なく自然な健康的食

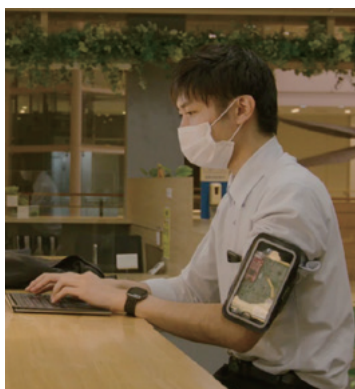


図2 試作中の非侵襲グルコースセンサを腕に装着した様子

事を続けることができます。現在、グルコース濃度を常時計測することは可能ではありますが、「侵襲性」といって、痛みはあまり感じないものの、針を体に刺すセンサが主に用いられています。針を刺す行為は、体に大きな負担を強いるだけでなく、精神的に人々を計測から遠ざけてしまいます。そこでNTT研究所では、体に負担にならない、非侵襲グルコースセンサの研究開発を行っています(図2)。研究開発の知見を積み重ね、測定精度の向上とともに、実用化をめざして取り組みを加速しています。NTT研究所では、非侵襲グルコースセンサ以外にも、これまで見えなかった生体情報を簡便に可視化できるリアルタイムバイオモニタリングセンサ類の研究開発を進めています。

■体内に埋め込んだ電極からの生体情報取得

サイバー空間で心身の状態を構築するバイオデジタルツインの実現には、あらゆる身体データを取得する生体インタフェースが必要になります。そこで2020年に設立されたNTT

Research, Inc., Medical & Health Informatics Laboratories⁽³⁾のドイツ支部では、将来必要になる技術として生体情報をとらえる体内埋め込み電極の研究をしています。心身のデジタルツインを実現するにはあらゆる人体の生命活動により発生する信号を計測したり、電気的な刺激を加えて生体組織の機能を調整したりする必要があります。現在、それらの計測や刺激には、体の外に設置されたセンサや電極、例えばスマートウォッチに内蔵されたセンサ等を利用しています。しかし、体外設置のセンサだけでは、より緻密な写像をデジタル空間に写像することは限界があると考えられます。そこで、より多くの生命活動における信号を計測するため、体内にセンサの電極そのものを埋め込んでしまうアプローチがあります。しかし、体内に無機物質からなる硬い電極を埋め込むというと身体への負荷が大きく、またアレルギー等の問題も生じる要因になってしまいます。そのため、体にやさしいセンサデバイスが求められています。NTT Research, Inc.では、体にやさしいセンサ電極を実現するため、シリコーン樹脂やバイオマスナノファイバ、ハイドロゲルなどを主成分とした基板を用いて柔らかい電極を実現しています。それらを用いて神経に電気刺激を加えて行動を制御し、神経から電気信号を長期間計測できることを、昆虫を用いた実験で検証しています。

■ゲノム解析結果を基にした病気の早期発見に向けたサービス

「ゲノム」という単語を一度は耳にされたことがあるのではないでしょう

か。ゲノムとは、生物の持つ遺伝子(遺伝情報)を示す単語です。現在、遺伝子情報(DNAの塩基配列)はコンピュータを使い自動的に解析できるようになっています。ヒトゲノムの解明は、病気の予防や診断・治療に役立てられると注目されています。健康診断や人間ドックでは、「現時点での健康状態」を検査し調べます。それに加え、ゲノム解析は「未来のリスク」や「自分の体質」について検査し調べます。多くの未来のリスクとなる病気は、遺伝子検査の結果をベースに生活習慣を改善することで対処が可能といわれており、遺伝子情報を知っておくことが未来のリスクに対応するため重要となっているのです。NTTライフサイエンスでは、この遺伝子検査を人間ドックなどを通じて実施し、検査結果を個人に通知するサービスを展開しています⁽⁴⁾(図3)。これまでは、検査で取得した、遺伝的情報から個人の体質にどのような傾向があるかの結果をお知らせする営みでした。最近では一歩踏み込み、医師から遺伝的情報を基に「未来のリスクに備えるため、こんな検査をしませんか」と推奨するところまでをカバーするサービスの構築に着手しています。推奨された検査を受診することで、自身の生活の見直しや健康への意識を高めるきっかけになるだけでなく、今以上に病気の早期発見と早期治療が可能となります。このようにNTTグループでは、バイオデジタルツインのコンセプトの下、ゲノム情報を含む生体情報を情報処理し、リスク予測から早期発見、治療につなげるサービスを今後も事業として展開し



図3 疾患リスクと予防法がわかる遺伝子検査サービス

ゲノビジョン
Genovision Dock

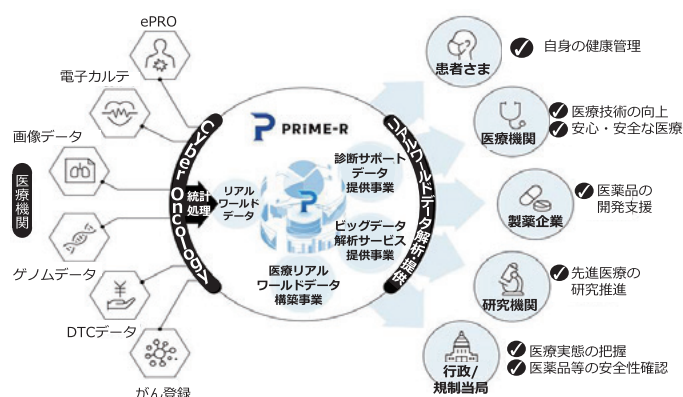


図4 新医療リアルワールドデータ研究機構の事業イメージ

ていきます。

■異なる電子カルテのデータも統合できるデータベースシステム

バイオデジタルツインを実現するうえで収集するデータとして、スマートウォッチ、スマートフォンや専用のセンサによる日常生活から得られる生体情報の収集にかかわる研究について前述しました。一方、医療機関および薬局で得られるカルテをはじめ、CT等の画像データ、ゲノムデータ、診断報酬を計算するDPC (Diagnosis Procedure Combination) データ等の各種データも重要です。特にこれらの医療機関から得られるデータは、医学的価値が高く、患者の健康管理に用いだけでなく、医療技術の向上、医薬品の開発、医療研究の推進等にも役立つ重要なデータです。新医療リアルワールドデータ研究機構では、診療支援のための統合データベースシステムCyberOncology[®]を提供しています⁽⁵⁾(図4)。異なる電子カルテ等のデータも統合できるシステムで医療現場における情報処理の課題解決に役立てることができます。すでに40を超え

る医療機関で採用されているだけでなく、製薬会社の研究支援にも貢献しています。NTTグループでは、これまで通信産業で培ったICTを基に、医療機関における支援システムを今後も提供していきます。

今後の展開

本稿では、NTTグループで取り組んでいるバイオデジタルツインの実現のうえで要素技術となる生体情報取得の最新技術、また迅速に医療データを収集・解析するサービスおよびシステムの最新動向について紹介しました。今後も、バイオデジタルツインの実現に向け、医療分野をはじめとするさまざまな分野のパートナーの方々や、医師を含む専門家の方々とコラボレーションを推進していきます。加えて、必要な要素技術を確立するとともに、医療およびヘルスケアにかかわるデータを収集・解析するサービスを展開していきます。

■参考文献

- (1) 中島・林・後藤：“バイオデジタルツインが創造するデータ駆動型の医療健康支

援,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 5, pp. 10-13, 2021.

- (2) 松永・田中・田島・瀬山：“体内リズムの可視化をめざしたウェアラブル深部体温センサ技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 5, pp. 22-26, 2021.

(3) <https://ntt-research.com/>

(4) <https://www.ntt-lifescience.co.jp/>

(5) <https://prime-r.inc/>



(左から) 渡辺 啓 / 中島 寛 / 熊倉 一英

今後も、NTTグループでこれまで培ったICTを基に医療およびヘルスケアにかかわる社会課題を解決する研究開発ならびにサービス・システムの展開を進めていきます。

◆問い合わせ先

NTT研究企画部門

プロデュース担当

TEL 03-6838-5365

FAX 03-6838-5349

E-mail kei.watanabe@ntt.com

我慢しない食と健康の両立に向けた 非侵襲グルコースセンサ

私たちが食べたものは消化され、代謝されるとともに、血液を介して全身に運ばれます。個々人の血液の成分情報を可視化することで、自分の好きなものを食べつつ、自然体で健康も維持できる世界の実現をめざしています。日常で連続的なモニタリングを継続するためには、簡便で違和感のない生体センシング技術が求められます。本稿では、電波が持つグルコース成分を選択的に測る特長を利用した誘電分光技術を用いた、採血が必要ない（非侵襲）グルコースセンサを紹介します。

なかむら
中村
はやし
林

まさひと
昌人
かつよし
勝義

たじま
田島
たくろう
卓郎

NTT 物性科学基礎研究所

生体情報の非侵襲計測

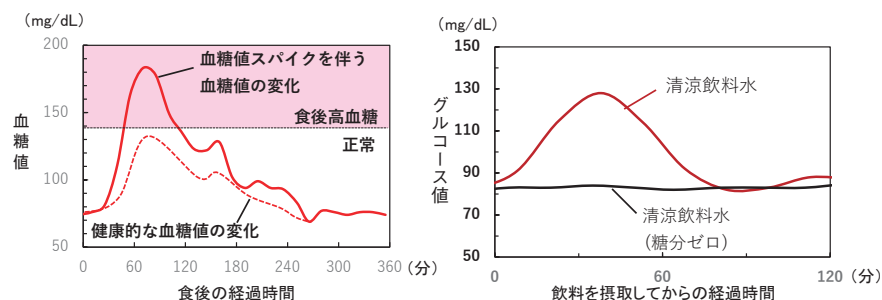
私たちはさまざまな生体情報を信号としてとらえ、観測された信号を基に人それぞれの身体や心の状態をモデル化し、疾病の早期発見をはじめとするウェルビーイングの向上をめざす「バイオデジタルツインTM」構想を掲げて研究開発を進めています。本稿では、さまざまな生体情報の中から、生体内のグルコースの非侵襲計測に着目した取り組み事例を紹介します。グルコースとは体の中に存在する糖質の主成分であり、健康診断などでよく耳にする血糖値とは血液中に含まれるブドウ糖（グルコース）の濃度を意味しています。血糖値は糖尿病をはじめとしたさまざまな疾病との関連が指摘されている重要な生体情報の1つであり、食事や運動など、すなわち糖質の摂取と代謝の影響を大きく受けながら1日の中で時々刻々と変化しています。

健康的な人の血糖値は図1(a)の破線で示すように緩やかな変化をしていますが、近年、図1(a)の実線で示す

ように食後短時間で血糖値が急上昇する「血糖値スパイク」が注目されています。血糖値スパイクが頻繁に起こると血管にダメージを与え、心筋梗塞や脳梗塞を発症するリスクが高まることが知られています⁽¹⁾。一方で、血糖値は食事や運動習慣によりコントロールしやすい指標でもあります。図1(b)に空腹時に清涼飲料水と糖分ゼロの清涼飲料水を摂取した際のグルコース値の変化の例を示します。一般的にグルコース値は食後30分から1時間程度で上昇するといわれていますが、糖分ゼロ飲料を摂取した際には大きな変化は

ないことが分かります。この例は極端な場合を示していますが、同様に食品の種類や食べ合わせ、摂取する時間帯や運動習慣によってもグルコース値は変化することが知られており、グルコース値の時系列データを可視化することで、個々人でそれらがどう影響するかが評価可能になります。

現在、グルコース値の時系列データは持続血糖測定器（Continuous glucose monitoring system：CGM）と呼ばれる医療機器を用いて測定されています。CGMは、図2(a)に示すように、柔らかい針を皮下に留



(a) 血糖値スパイクのイメージ (b) 食事によるグルコース値の変化例

図1 グルコース値の時間変化の例

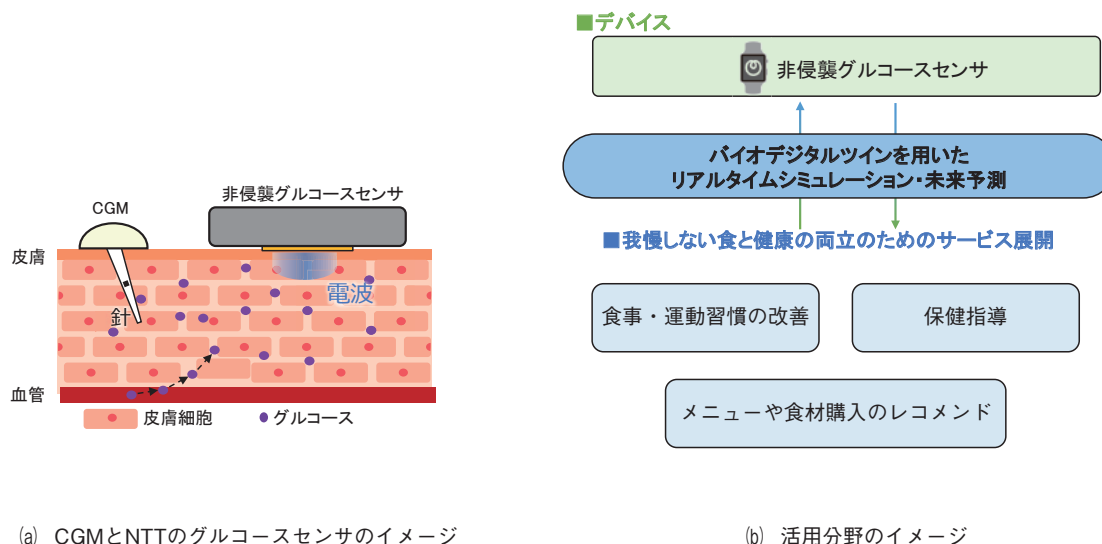


図2 非侵襲グルコースセンサの概要と活用分野

置し、組織の細胞間の間隙を満たす間質液中のグルコース値を測定します。間質液とは毛細血管から皮下の組織ににじみ出た組織液のことであり、血中のグルコースは、間質液を介して個々の細胞に取り込まれ、利用されています。血中と間質液中のグルコース濃度の相関性は高いのですが、タイムラグが生じることが知られているため、前者は「血糖値」、後者は「グルコース値」として区別されています⁽²⁾。CGMは採血をせずにグルコース値の時系列データを測定できるため、糖尿病の治療や栄養学の研究などに用いられていますが、針を刺す必要があるための利用者の精神的な負担、傷口からの感染症の発症リスク、および消耗品であるセンサの交換が必要で測定の手間が残るといった課題があり、これらを改善することでより利便性が高まり、多くの方の健康を維持することに貢献できると考えています。

そこでNTTでは採血が不要（非侵襲）で、どこでもリアルタイムにグルコース値を測定できるセンシング技術の実現をめざしています。図2(a)の

CGMの隣にNTTの考える非侵襲グルコースセンサのイメージを示します。NTTで研究開発するグルコースセンサは、細胞を含む組織全体の誘電率を計算し、そこから間質液中のグルコース値を推定するものです。体を傷つけることなく、いつでもどこでもグルコース値の変化を測定することで、「血糖値スパイク」を見つけたり、食事等の行動と血糖値の関係を把握でき、行動を変えるきっかけづくりに貢献できると考えています。また、非侵襲グルコースセンサで得られた情報を各種の身体データの蓄積された「バイオデジタルツイン」に反映し、個人の特徴に合わせた情報処理によりグルコース値の変化を予測していくことで、グルコース値を可視化するだけでなく、食を我慢することなく健康な体づくりも実現できるような新たなサービスにもつながるとも考えています⁽³⁾。非侵襲グルコースセンサとバイオデジタルツインを用いたサービスイメージを図2(b)に示します。例えば日々の行動とグルコース値変動の関係性を基にした、健康改善につながる行

動のユーザへの提案や、生活習慣病予備群を対象とした企業向け健康診断・保健指導サービスでの活用、血糖値の変動を抑えるためのメニューや食材のレコメンドなどをユースケースとして検討しています。

次に、バイオデジタルツインのキーデバイスの1つとして研究開発を進める非侵襲グルコースセンサの動作原理や現在の研究開発状況について紹介します。

誘電分光を用いたグルコースセンシング

非侵襲グルコースセンサは、1990年代から光を用いた手法を主流として現在も世界中の機関で研究が行われていますが、いまだに実用化には至っていない非常に困難かつインパクトのある研究です⁽⁴⁾。NTTでは電波を用いた成分分析手法である誘電分光法に着目しています。誘電分光法は、物質の誘電率の変化によって変化する電波の位相や吸収量を成分濃度と対応させることで成分濃度を分析する手法であり、光を用いた手法と比べて波長が長い

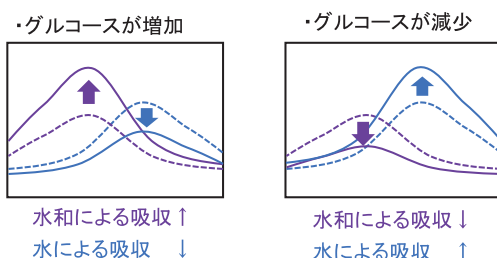
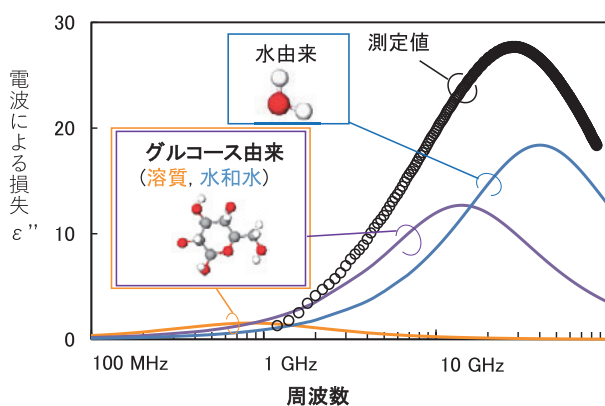
め生体組織に照射したときの散乱の影響が少ない、無線通信などで培われた回路技術を活用することで小型化がしやすい、といった理由から本手法を用いた研究を進めています。ここでは、電波の吸収量の変化を例に、NTTのグルコースセンサの動作原理を説明します。

図3(a)にグルコース水溶液に対する電波の吸収スペクトルを示します。横軸が電波の周波数、縦軸が電波の吸収量に対応しています。グルコース水溶液に電波が照射された際に生じる吸収は主に溶質であるグルコース、溶媒である水、そしてグルコースと結合した状態の水である水和水の3つに由来すると考えられます⁽⁵⁾。それぞれの吸収量は図3(a)のグラフの橙色、水色、紫色の実線部に対応しており、これらの吸収が重なり合ったものが、図3(a)の点線部に示すようなグルコース水溶液による吸収として測定されます。図

3(a)からも明らかなように、グルコース水溶液中で支配的な吸収は水と水和水による吸収になりますが、水和水による吸収はグルコースが水と結合したことにより生じることから、グルコース由来の吸収スペクトルであると考えられます。水溶液中のグルコースが増加したとき、より多くのグルコースが水と結合した状態となるため、グルコース水和水の量は増え、グルコースと結合していない水の総量は減少するため、グルコース水和水による吸収は増加し、水による吸収は減少します。また、グルコースが減少した場合にはこの逆の現象が生じます。これによりグルコースの増減に伴いある周波数における電波の吸収量も変化するといえ、数分～10分程度の間隔で電波を照射し、反射されてくる電波を解析することによりグルコース濃度の変化を推定するというのが動作原理となります。

本原理を検証するための研究を市販

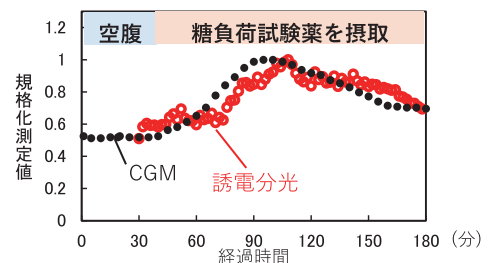
の測定装置を用いて実施した結果を図3(b)、(c)に示します⁽⁶⁾。図3(b)に示すように市販のマイクロ波信号測定装置と測定用プローブをベッドサイドに設置し、研究参加者の腕に測定用プローブをあて、3時間連続して測定を行いました。研究参加者は測定日の朝食は抜いた状態であり、測定開始から30分経過時点で、人間ドックなどで検査の際に用いられる糖負荷試験薬を摂取することで体内の血糖値を変化させてもらい、CGMで測定されるグルコース値と誘電分光による出力結果を比較しました。その際、誘電分光のデータは測定用プローブと皮膚の間の水分量や温度の変化の影響を受けるため、そのままではグルコース値の変化とは対応しないため、これらの影響を補正する独自の信号処理を行っています。信号処理後の誘電分光、CGMの測定値の規格化測定値の比較を図3(c)に示します。CGMの信号変化に追従する



(a) グルコース水溶液の吸収スペクトルの変化



(b) 大型の測定器を用いた原理検証の様子



$$\text{規格化測定値} = \frac{\text{ある時刻の測定値}}{\text{測定時間内における最大値}}$$

(c) 原理検証の結果

図3 NTTの非侵襲グルコースセンサの動作原理

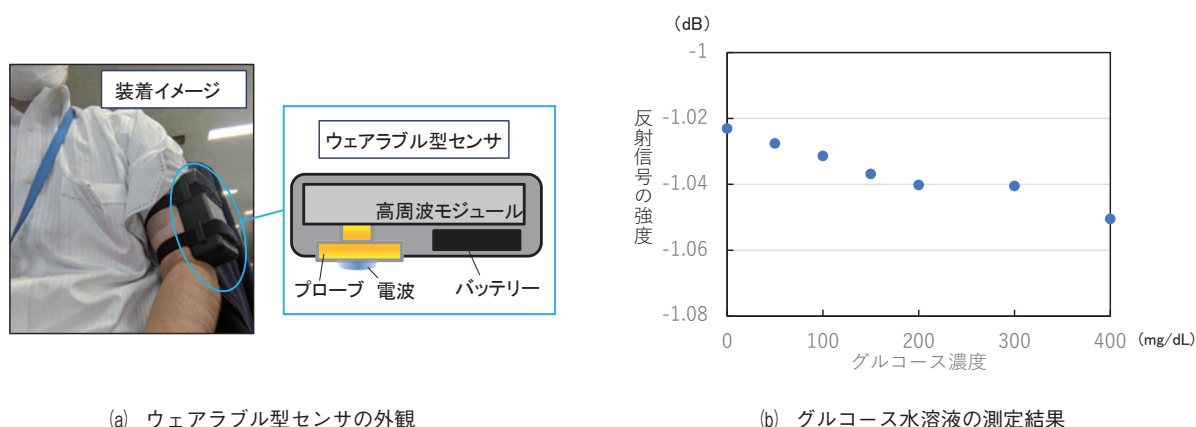


図4 ウェアラブル型センサの精度評価結果

ように誘電分光による信号が変化しており、NTTの検討している方式による非侵襲グルコースセンシングのフィジビリティを示せたと考えています。

今後の展開

現在は、センサの実用化に向け、身に付けて違和感のないウェアラブル化に取り組んでいます。図4(a)に研究開発中の可搬型センサの外観を示します。本センサは電波の照射と反射波の受信、受信データをBluetooth®で送信するための機能が一体化された高周波モジュールとセンサプローブとバッテリーが一体化しており、腕に装着することで連続的な信号収集が可能になっています。本センサを用いてグルコース水溶液を測定した結果を図4(b)に示します。CGMが仕様としているグルコース値の濃度範囲は40-400 mg/dL*であり、同等の範囲において線形に信号が変化していることが確認できました。今後は臨床研究を通じてセンサの精度評価、個人ごとの身体の違いや血液成分の違いによる誤差の低減による高精度化、センサのさらなる

小型化に向けた高周波モジュールとセンサプローブの集積化について取り組んでいく予定です。ウェアラブルな非侵襲グルコースセンサが実現し、身に付けるだけでグルコース値を取得可能となることで、バイオデジタルツインによるデータ駆動型の医療健康支援の実現に近づくことを期待し、今後も研究開発を進めていきます。

参考文献

- (1) T. S. Temelkova- Kurkshiev, C. Koehler, E. Henkel, W. Leonhardt, K. Fuecker, and M. Hanefeld: "Postchallenge Plasma Glucose and Glycemic Spikes Are More Strongly Associated With Atherosclerosis Than Fasting Glucose or HbA_{1c} Level," *Diabetes Care*, Vol. 23, No. 12, pp. 1830-1834, Dec. 2000.
- (2) A. F. Ólafsdóttir, S. Attvall, U. Sandgren, S. Dahlqvist, A. Pivodic, S. Skrtic, E. Theodorsson, and M. Lind: "A Clinical Trial of the Accuracy and Treatment Experience of the Flash Glucose Monitor FreeStyle Libre in Adults with Type1 Diabetes," *Diabetes Technology & Therapeutics*, Vol. 19, No. 3, pp. 164-172, March 2017.
- (3) https://www.rd.ntt/research/JN202105_13463.html
- (4) W. V. Gonzales, A. T. Mobashsher, and A. Abbosh: "The Progress of Glucose Monitoring -A Review of Invasive to Minimally and Non-invasive Techniques, Devices and Sensors," *Sensors*, Vol. 19, No. 800, doi: 10.3390/s19040800, Feb. 2019.
- (5) M. Nakamura, T. Tajima, and M. Seyama: "Broadband Dielectric Spectroscopy for Quantitative Analysis of Glucose and Albumin in Multicomponent Aqueous Solution," *IEEE JERM*, Vol. 6, No. 1, pp. 86-93, March 2022.
- (6) 中村・田島・瀬山・脇: "誘電分光を用いた間質液中グルコースセンシング-同軸プローブ

ブ法による in vivo 検証-, "電子情報通信学会, Vol. 105, No. 6, pp. 497-501, June 2022.



(左から) 中村 昌人 / 田島 卓郎 / 林 勝義

今回紹介した非侵襲グルコースセンサ以外にも、利用者の負担を小さく生体情報を取得するための生体センサについて研究開発を進めています。バイオデジタルツインの実現に向け、ユーザとデジタルデータを結び付けるための技術の創出をめざしていきます。

◆問い合わせ先

NTT 物性科学基礎研究所
 バイオメディカル情報科学プロジェクト
 TEL 046-240-2415
 FAX 046-240-4047
 E-mail masahito.nakamura.fy @ hco.ntt.co.jp

* 40-500 mg/dL を仕様としている機種もあります。

バイオデジタルツインの創出に向けた 生体インタフェースの開発

バイオインフォマティクスとデータサイエンスの医療応用をめざすNTT Research, Inc. Medical and Informatics Lab (MEI Lab) は、サイバー空間上に患者さん1人ひとりのデジタルレプリカを構築するバイオデジタルツイン™の研究に取り組んでいます。2020年にはドイツにMEI Lab ミュンヘンオフィスを設立し、材料科学をベースとした生体電極インタフェースの開発を開始しました。本稿では、特にミュンヘン工科大学 (TUM) と共同で行っている研究の内容の進展について解説します。

MEI Lab ミュンヘンオフィスの ミッションと研究体制の構築状況

NTT Research, Inc. Medical and Informatics Lab (MEI Lab) は、バイオインフォマティクスとデータサイエンスを融合し、人体のデジタルレプリカを作成するバイオデジタルツイン (Bio Digital Twin: BioDT) 技術の構築をめざしています。特に、心血管系や神経系のBioDTをターゲットとし、医師が患者1人ひとりに合わせた最適な治療方法をシミュレーションできるプラットフォームの開発に取り組んでいます⁽¹⁾。このプロジェクトの中でMEI Lab ミュンヘンオフィスは、実験科学に立脚した生体インタフェースの研究開発を目的として、2020年3月に設立されました (図1 (a))。特に、生体に埋め込むための電極やセンサを作製し、心血管系や神経組織を介して生体組織や臓器の機能を制御し、さらに生体情報を正確に読み取ることでBioDT技術を支援できるような治療・診断システムの開発に取

り取り組んでいます。

生体の中に電極やセンサを埋め込んだ際、それらのデバイスは生体組織を傷つけずに、長期間安定的に電気計測や電気刺激を行うことが必要となります。従来型の神経および筋肉組織との電気刺激用インタフェースは、主にステンレス鋼や白金イリジウムなどの無機材料が用いられてきました。一般的にこれらの金属は、多孔性の表面加工を施すことでインピーダンスを下げ、電荷注入効率を上昇させる必要がありました。その結果、電極表面からの金属の溶出や金属の有する高いヤング率から生体組織への毒性や損傷を与えることが懸念されています。そのため、硬い無機材料ではなく、生体組織と同様の柔軟な機械的特性を持ち、さらに毒性がなく体内の湿潤環境下でも電気化学的に安定な材料を用いて生体電極を作製する試みが、近年世界中でなされています。

そのための材料を選定するために、私たちはミュンヘン工科大学 (TUM) との共同研究を開始し、柔軟材料を用

てしま てつひこ
手島 哲彦^{†1, 3}

Joe Alexander^{†2}

Bernhard Wolfrum^{†3}

NTT Research, Inc. Medical and Informatics Lab^{†1}

NTT Research, Inc. Medical and Informatics Lab 所長^{†2}

ミュンヘン工科大学 ミュンヘン生物医学工学研究所^{†3}

いてさまざまな「柔らかい電極・センサ」を試作してきました (図1 (b))。特に私たちがこれまで培ってきた導電性ナノ材料やソフトマテリアル、微細加工技術、さらにナノ材料自身の自己組織的な三次元組立て現象に関する知見をベースとして、複雑な形状を有する生体組織にしっかりと密着するような三次元状の電極を開発しました (図1 (c))。さらにTUMの得意とする電気化学測定技術やモデルとなる実験動物の神経系を用いて、作製された電極の有効性の評価を行いました。本稿では、試作した生体電極と実験動物を用いた研究内容について、その一例を紹介합니다。

柔らかい神経インタフェースの 作製

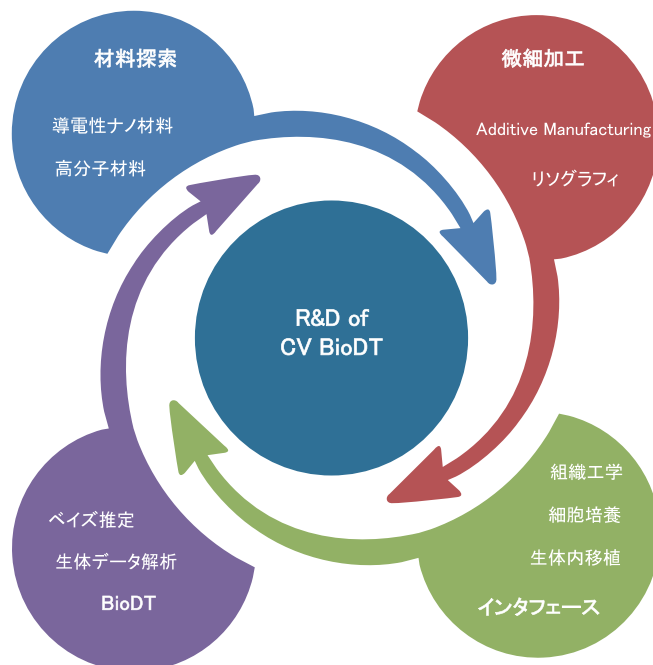
柔軟性を有し、伸長しても破断しない生体電極のための材料として、基材部分にシリコン材料を、電極層にカーボンナノチューブ (CNT) を採用しました⁽²⁾。高アスペクト比で比表面積が大きいナノ材料であるCNTは、組



(a) 2020年に設立されたMEI Labのミュンヘンオフィスが入るオフィスビル



(b) 共同研究を行うTUMミュンヘン生物医学工学研究所



(c) 材料探索、デバイス作製、生体インタフェース評価、CV BioDTのプラットフォーム作製の研究サイクル

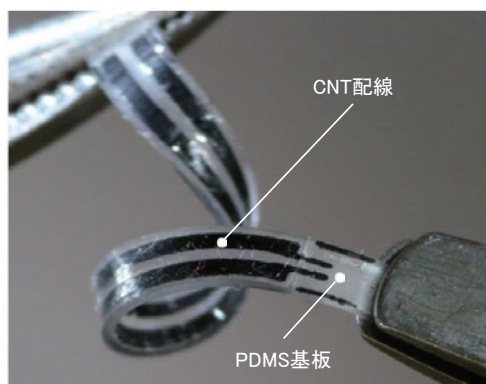
図1 材料科学、微細加工技術に基づいたMEI Lab ミュンヘンオフィスでの研究開発

組織と触れると静電容量が高くなってより多くの電荷を蓄えることができます。また金属よりも大きな電位窓を有するため、水の電気分解を生じない条件下でより高い電位に分極し、電気分解から発生するファラデー電流による生体組織への損傷を避けることができます。この材料を、伸縮性のあるポリジメチルシロキサン（PDMS）に埋め込み電極パターンを形成しました（図2(a)）。私たちはCNTの持つ高アスペクト比に着目し、市販の低価格なワックスインクジェット印刷機と濾過フィルタのみを用いるだけで、マイクロスケールの微細な電極配線を形成するという工夫も試みています。この手法では、濾過フィルタに所望のパターンを直接ワックスプリントで描画し、それを通じてCNT懸濁液を真空濾過

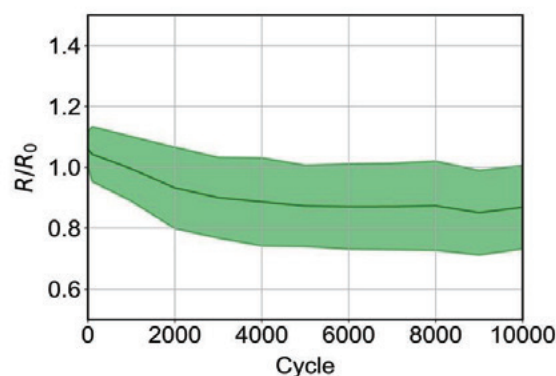
することで、100 μm 程度のCNTから成る細線を作製することができます。これを未硬化のPDMSに転写することで、CNTが表面に埋め込まれた伸縮可能な電極を簡便につくことができ、1万回以上にも及び一軸伸張サイクル耐久試験や400万回以上にも及び電気パルスの連続印加を行っても、電気配線の抵抗値や電極インピーダンスに著しい低下が見受けられませんでした（図2(b)）。これにより歪みが変わっても電気接続が切断されず、さらには信号対雑音比が向上してより低い電流閾値で標的組織を刺激誘導できる生体電極を作製することに成功しました。

PDMSのようなシリコン樹脂は人工的に合成された高分子材料ですが、合成高分子だけでなく、バイオマス由

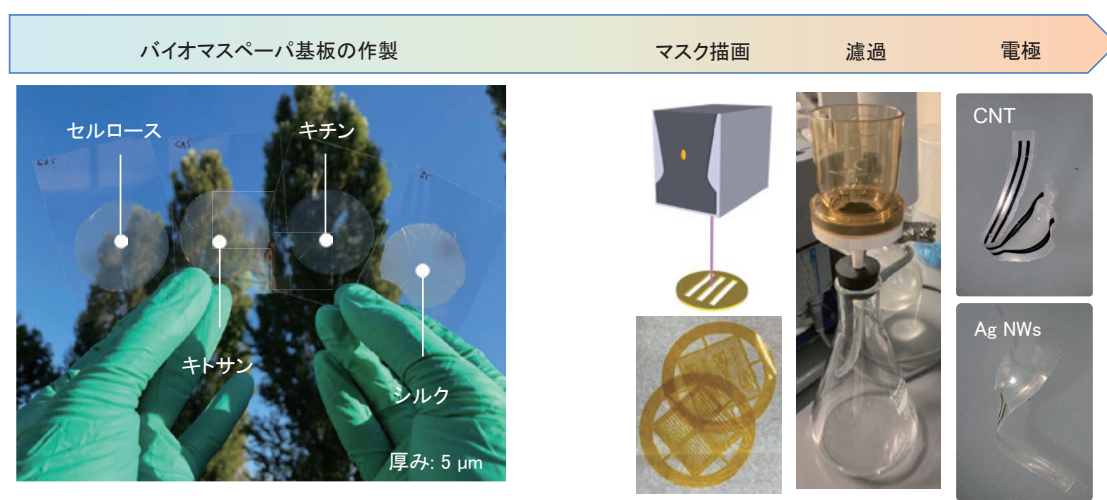
来の生体により優しい天然高分子材料から構成された生体埋め込み用電極の開発にも同時に取り組んでいます。例えば多糖類であるキトサンは、甲殻類や節足動物の外骨格や真菌類の細胞壁から単離される直鎖型グルコサミンのキチンを脱アセチル化して得られ、その高い生物分解性と火傷治療機能から近年食品添加物から神経組織や皮膚の再生材料などとして幅広く利用されています。それを基材とした電極の作製を試みました。キトサンはそれ自体が水溶性ですが、弱酸にしか溶解せず、成形加工が難しいという問題がありました。そこで私たちは、株式会社スギノマシンと共同でキトサン粒子をナノファイバ化し、それらを「漉く」ことで天然高分子から成る薄くて透明なバイオマス紙を基材として用いることに



(a) マイクロスケールのCNT配線を内包するPDMS電極



(b) 伸展試験における抵抗値の変化



(c) バイオマスペーパー電極の作製方法

図2 柔軟性、伸縮性を有する生体電極

しました⁽³⁾。さらにその表面にレーザー加工を施したフィルタを設置し、CNTの懸濁液を「濾す」ことにより、溶剤を一切用いずに所望の形状を有する電極を紙の表面にパターンニングすることが可能となりました（図2(c)）。

この手法はさまざまな材料に応用が可能であり、本来の紙を構成するセルロースや繭から単離されるシルクなどのナノファイバを用いて基材となるバイオマス紙をつくることができます。さらに電極部分としてCNTだけでなく金属製のナノワイヤやある程度の分子量を有する導電性高分子などの導電

性材料を用いて、電極配線をつくることができます（図2(c)）。これらの透明な紙でできた電極は折り曲げても、10%以上の引張歪みを加えても破断せず、さらには曲げや歪みに対して抵抗値がほぼ一定値を示すなど、安定した導電性を有します。またシリコンなどの合成高分子に比べて、天然由来の高分子には生体内での溶解性や損傷した生体組織の治療効果など、さまざまな機能を付加することが可能です。そのため電気刺激や計測を行いながら、同時に生体組織の治療や薬剤投与が可能な電極の多機能化が期待されています。

昆虫を用いた神経インタフェースのモデル

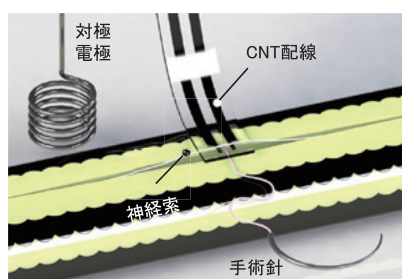
作製された生体電極がいかに生体内で動作するかを検証するには、それに適した実験動物のモデルが必要となります。特にBioDTへの応用をかんがえた場合、例えば迷走神経の電気刺激が慢性心不全や心筋梗塞に有効であり、心筋梗塞の急性期に安定して迷走神経を刺激できる電極の開発が求められています。このように迷走神経などの神経線維を効率良く刺激ができる電極の材料や形状の最適化のための実験

動物のモデルが必要ですが、元来ドイツ当局は動物実験、とりわけ哺乳類動物に関して厳しい倫理規程と制約を設けており、齧歯類などの実験動物を大学などの研究機関で安易に使用することを禁じています。そこで私たちは、痛覚のなく倫理的に問題がない、かつ誰でも簡単に扱える比較的大きな神経線維を有する生物として、環形動物であるヒルや節足動物のバッタに着目しました。

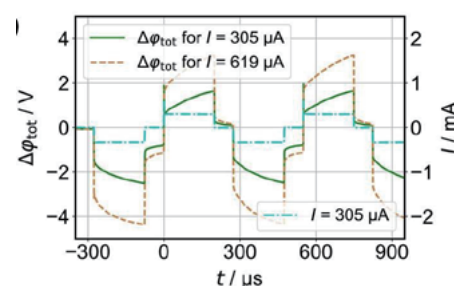
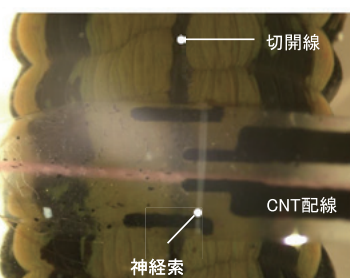
私たちが用いたヒルは、馬蛭 (*Haemopsis sanguisug*) と呼ばれる種類で、一般的に池や沼地に広く生

息し、日本では平安時代から夏の季語としても親しまれている動物でもあります。このヒルを氷水に20分間ほど浸すことによる麻酔をかけた後、腹側を上に向けて、ヒルの両端と中央を固定し、腹側正中線に沿って小さく切開すると、神経索を露出させることができます。この体節神経節ニューロンは、感覚情報処理や行動選択の意思決定を司っています⁽²⁾。そこで前述したCNT/PDMS電極を神経索と神経鞘の間に留置し、白金対極電極との間に一連の電荷平衡二相電流パルスを印加してみると、体全体に収縮運動がみら

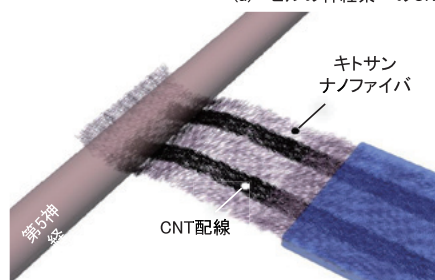
れました(図3(a))。刺激しやすい値は、振幅、周波数、パルス数、2つの刺激トレイン間の最小時間によって規定されます。特筆すべきことに、パルス列中の総電荷量を増やしていても収縮強度に差が生じない一方、周波数が0.5 Hz以下になると、収縮の強度が目に見えて低下しました。これは、収縮が標的神経領域で誘発された活動電位によるものであり、数ミリ秒程度の軸索活動電位の不応期よりもはるかに長い刺激時間に設定すると、刺激の繰り返しに追従できずに収縮筋の弛緩の動きが緩慢になることが原因であると考え



(a) ヒルの神経索へのCNT/PDMS電極の適用



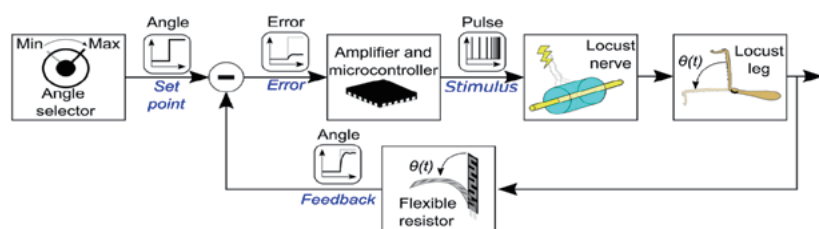
(b) 2種類の振幅の定電流を流したときの電極の分極化



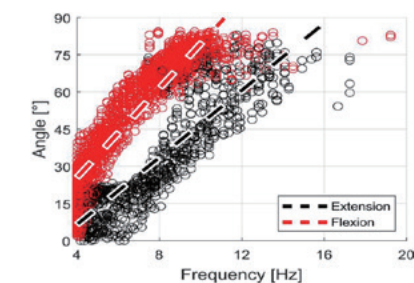
(c) キトサンナノファイバを用いたペーパー電極のトノサマバッタの第5神経への適用



(d) 後肢脛骨大腿角度の変化



(e) フィードバック閉回路制御ループ



(f) パルス間遅延の逆数として計算される刺激頻度に対する後肢の屈曲角度(赤)と伸展角度(黒)の散佈図

図3 実験動物を用いた神経インターフェース

られます。この際の電極の分極は振幅を増やしても電位差は最大1.5 Vほどに達しますが、電極が十分に大きな表面積を持っているため、全体的な分極への寄与は非常に小さく、CNTの電極が水の電位窓内にとどまりながら活動電位を正確に引き出すことに成功しました（図3(b)）。

バッタも体節神経節を中心とするほしご形神経系を有する動物です。私たちが用いたトノサマバッタ（*Locusta migratoria*）は、後肢の脛骨大腿角度が、容易に定量できるバイオマーカです。その後肢には後胸部神経節の第5神経が伸筋運動神経として接続しているため、この第5神経内の高速脛骨伸筋ニューロンの刺激を通じて電極の機能を検証しました（図3(c)）。前述したキトサンナノファイバでできた透明紙電極を神経下部に挿入し、5秒ごとに電荷平衡二相電流パルス进行を印加すると脛骨において、急激な屈筋収縮による伸展とそれに続くゆっくりとした屈曲が観察されました⁽³⁾。また、印加する電流パルスの振幅やパルス数によって伸展角度を調節でき、200 μ Aの電流で伸展角が最大となることも分かりました（図3(d)）。

このシステムにフィードバック閉ループ制御機構を組み込むことで、伸筋運動神経に対する刺激の周波数を調節し、バッタの脚の平均角度をリアルタイムで制御することが可能となります（図3(e)）。誘発された脚の平均角度を柔軟な抵抗器で定量化し、マイコンで実装された比例制御アルゴリズムを介して、フィードバックします。すると、外部コンピュータを必要としない単一入出力のフィードバックループ制御によって、周波数に応じて後肢の

伸展・屈曲を制御できました⁽⁴⁾。周波数に対応した伸展・屈曲の角度分散は線形クラスターにより識別され、刺激前の状態に依存する屈筋神経のフィードバック信号によりお互いに差異が生じることが観察されました（図3(f)）。今後は本回路を用いて、さらにバイオマーカと選択的刺激ユニットの数を増やすことで、より複雑な動きの制御を行う研究に取り組んでいく予定です。

変形能を有する柔らかい電極開発

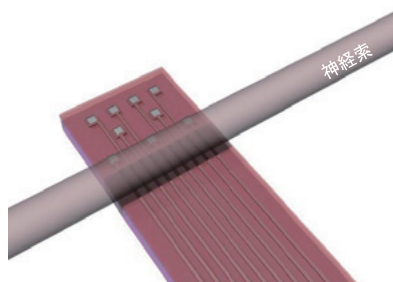
ヒルやバッタの神経系を用いた実験から、埋め込まれた生体電極が神経に接触する位置によってインピーダンスが劇的に変化し、電極と神経線維がいかに密着するかが、刺激や信号計測効率を上げるための方法であることが分かりました。このため、カフ型の電極のような、電極と神経線維の界面をより強固にする工夫が必要となります。その知見を材料研究にフィードバックすることで、現在私たちは「自己変形能」という新しい材料の機能を発現するプロジェクトを始動しています。その1つの方法として、生体内に多く含まれる組織液に着目しました。生体電極を体内に入れた瞬間に組織液を吸収して膨潤することで、その体積変化が駆動力となり電極構造を変化させます（図4(a)）。

その一例として、一般的に紙おむつや保冷剤の材料として用いられる高膨潤性ポリアクリル酸と膨潤しにくいポリウレタンという異なる2つの材料を張り合わせた二層構造に電極配線を行うと、膨潤によりカフ構造に可逆的に変形し、神経にやさしく巻きつく電極を開発しました⁽⁵⁾。これにより、伸展・屈曲の角度が3倍以上増加するなど、

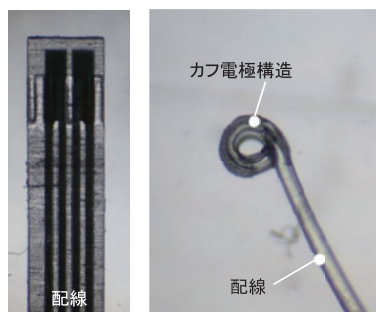
より低いインピーダンスによる刺激・記録効率の飛躍的な向上を達成できました（図4(b)）。このポリアクリル酸以外にも、コンタクトレンズの材料として用いられるシリコンハイドロゲル複合材料や、ナノファイバペーパーと紙増強材であるハイドロゲルの複合材料などを用いて、現在神経線維に巻きつくカフ電極の作製に世界で初めて成功しています（図4(c),(d)）。私たちは材料化学的な側面からアプローチし、自己組織的に形状が変形して神経線維や心臓の表面に密着してくれるような「知能」を有する電極材料を探索することで、複雑な手技を必要としないBioDTを支援する電極の開発にも取り組んでいます。

まとめと今後の展望

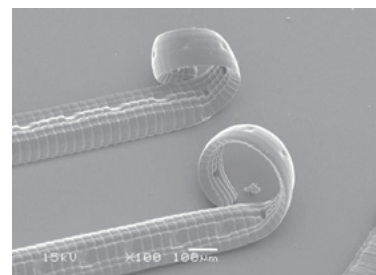
この2年半にわたり、MEI Lab ミュンヘンオフィスは、研究体制構築の面で大きな進展をみせています。TUMでは世界中から集まった優秀な大学院生とともに小さなグループをつくり、生体電極の作製や動物実験を進めながら、微細加工用の装置や材料試験機などを購入して研究設備を整えてきました。そこで構築した研究のサイクルとして、最終目標であるBioDTに向けた4段階のステップがあります（図4）。はじめに、導電性や伸縮性、自己変形能などの機能を有する材料探索や電気化学的評価を行います。次に、三次元（3D）プリンタやリソグラフィ技術、レーザ加工などの手法を組み合わせることで、探索した材料をデバイス化します。その後、信号計測や刺激用のセットアップを組み立てることで、心筋・神経の細胞や組織とのインタフェースの評価を行った後、BioDT



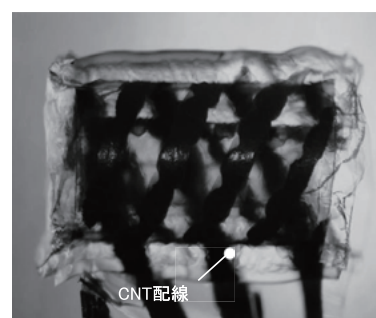
(a) 変形能を有するカフ電極による神経索への接着



(b) 3Dプリンタを用いたポリアクリル酸ゲルの造形と、ゲルの膨潤を用いた電極の変形



(c) シリコンハイドロゲルを用いたカフ電極



(d) CNT配線を内包したナノファイバペーパー電極のカフ構造

図4 変形能を有する神経カフ電極

のアルゴリズムの構築をめざします。

これらのサイクルはIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想⁽¹⁾の重点キーテクノロジーとして、先端材料、アディティブマニュファクチャリング、ヒューマンマシンインタフェース、バイオメディカルにそれぞれ該当し、本サイクルを繰り返していくことでNTT Research, Inc. オリジナルのBioDT技術の開発に努めていきたいと考えています。今後は、電極のプロトタイプを用いて昆虫だけでなく哺乳類動物の生体組織への応用や、再生医療技術とBioDTを組み合わせたOrgan on Chip型BioDTの創出など、ミクロスケールが生体レベルまでさまざまなスケールでのBioDTモデルとの融合をめざし、個別化された治療「Precision Medicine」の実現を支援する技術開発を進めていく予定です。

参考文献

- (1) 澤田・井伊・川添：“IOWN構想—インターネットの先へ,” NTT出版, 2019.
- (2) K. Terkan, F. Zurita, T. J. Khalaf, P. Rinklin, T. Teshima, T. Koh, and B. Wolfrum: “Soft peripheral nerve interface made from carbon nanotubes embedded in silicone,” APL Materials, Vol. 8, No. 10, article id.101111, 2020.
- (3) D. Ando, T. F. Teshima, F. Zurita, H. Peng, K. Ogura, K. Kondo, L. WeiB, A. H. Iwata, M. Becherer, J. Alexander, and B. Wolfrum: “Filtration-processed biomass nanofiber electrodes for flexible bioelectronics,” Journal of Nanobiotechnology, Vol. 20, No. 491, 2022.
- (4) F. Zurita, F. D. Duca, T. Teshima, L. Hiendlmeier, M. Gebhardt, H. Luksch, and B. Wolfrum: “In vivo closed-loop control of a locust’s leg using nerve stimulation,” Scientific Reports, Vol. 12, No. 10864, 2022.
- (5) L. Hiendlmeier, T. Teshima, F. Zurita, H. Uhl, P. Rinklin, B. Wolfrum: “A Superabsorbent Sodium Polyacrylate Printing Resin as Actuator Material in 4D Printing,” Macromolecular Materials and Engineering, Vol. 307, No. 2200306, 2022.



(左から) Joe Alexander/
Bernhard Wolfrum/
手島 哲彦

MEI Labでは、TUMと共同でBioDT技術に向けたバイオインタフェースの研究開発に取り組んでいます。TUMでは、欧州だけでなく南米やアジア、アフリカなど世界中から集まった優秀な大学院生と共同で実験を進め、チーム一丸となって研究開発に取り組んでいます。

◆問い合わせ先

NTT Research, Inc.
Medical and Informatics Lab
E-mail info@ntt-research.com

NTTライフサイエンスがめざす 遺伝子検査の新たな取り組み

昨今、世の中では劇的に技術革新が進む遺伝子技術のヘルスケア・メディカル分野への活用が注目されています。NTTライフサイエンスの提供する「Genovision®」も遺伝子検査数が5万人を超えた状況です。検査結果は、個々人の体質（リスク）に基づき、最適な人間ドックのオプション検査をレコメンドする「スマート検診」など、予防医療に向けた活用も期待できます。本稿では、NTTライフサイエンスがめざす新たな遺伝子検査サービスについて紹介します。

よした
吉田ひでき
英樹せやま
瀬山みちこ
倫子やまざき
山崎たかひろ
孝博

NTTライフサイエンス

増大する日本の医療費

2019年度の医療費は44兆円を超えて増え続けており、人口1人当りにすると35万1800円にも達します（図1）。

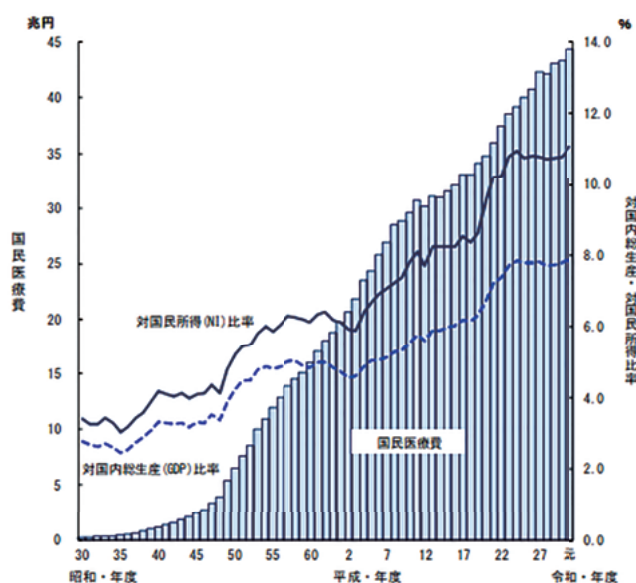
日本では、2025年に「団塊の世代」

がすべて75歳以上の後期高齢者となります。国民の5人に1人が75歳以上になるという世界に類をみない高齢化を背景に、医療や介護、社会保障など、さまざまな面に深刻な影響が及ぶと考えられています。2018年の政府推計では、医療・介護給付費は2040年に向け

て経済成長を上回るペースで増加する見通しとなっています⁽¹⁾。現役世代の人口減少が続く中で、医療・介護給付費の増加に歯止めがかからなければ、現役世代の1人当りの保険料負担の増加が加速していくことも懸念されます。

社会保障制度の持続性や社会経済の成長のためにも、ヘルスケア・メディカル分野ではこれまでにない先進的な取り組みが必要とされています。

NTTグループでは、ヘルスケア・メディカル領域として、データ活用によるヘルスケアや医療のDX推進と、データドリブンでの医療高度化の支援により、Well-beingな社会につながるSmart Healthcareの実現に取り組んでいます。そのような社会の実現に向け、「予防・診察・診断・治療・予後管理に至る医療バリューチェーンのデジタルイノベーション」「データドリブンによる医療の高度化」という事業ビジョンに基づき、良質で大量なライフコースデータの取得・分析・活用を加速し、最適なプレジジョンサービ



令和元(2019)年度国民医療費の概況厚生労働省
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-iryohi/19/index.html>

図1 40兆円を超えて増大する日本の医療費

ス^{*1}の提供および支援を専門に推進する事業会社が必要となってきました。

NTTライフサイエンスの設立

NTTライフサイエンスは、「ICTで、医療の未来を創造する」を企業理念に掲げ、2019年7月に設立されました。遺伝子検査から得られるゲノム情報に人間ドックなどで取得するヘルスケアデータ（検査結果・問診結果）を掛け合わせ、個人ごとの体質に応じた生活習慣改善のアドバイスを提供することで、企業の健康経営や社員の皆様のWell-beingに貢献する「Genovision[®]（ゲノビジョン）」⁽²⁾を展開しています。現在では、受検できる医療機関を全国57施設に拡大し、2022年11月末で5万人以上の方に受検いただいています。

NTTおよびNTTライフサイエンスでは、個々に最適化されたアドバイスの提供に向けて、東京大学医科学研究所とゲノム情報やヘルスケアデータを用いた「新たな予防アルゴリズム開発」の共同研究を行っています⁽³⁾。また、ゲノム情報やヘルスケアデータなどを健康ビッグデータとして活用することにより、さまざまな健康関連サービスを提供する企業などを対象に、研究開発プロセスにおけるデータ解析やエビデンス構築の支援に取り組んでいます。

「Genovision[®]」の概要

Genovision[®]では、遺伝子検査サー

ビス「Genovision Dock[®]」、生活習慣の改善支援サービス「Genovision Action[®]」、企業向けの健康経営コンサルティングサービス「Genovision Insight[®]」の3つのサービスを提供しています（図2）。

Genovision Dock[®]は、人間ドックなどの際に血液を採取（唾液による検査も2022年3月より一部で開始）し、遺伝子検査を通じて約90の病気の罹患リスクや体質の傾向などのレポートを提供し、さらに生活習慣改善の予防法などの情報提供を行うサービスです⁽⁴⁾。現在ではNTTグループ社員のほか、連携医療機関を通じて人間ドックなどを受診する一般の方にも受検していただけるようになりました。

Genovision Action[®]は、Genovision Dock[®]の結果を基に、生活習慣の改善をサポートするサービスです。利用者の実際の行動変容を促すべく、健康状態や活動量をデータ化し、適切なアドバイスを行います。

Genovision Insight[®]は、企業向けのコンサルティングサービスで、企業で働く社員の健康実態や統計的傾向を踏まえたレポートを提供するとともに、社員の健康リテラシー向上施策の支援などを進め、健康経営の推進をサポートします。

遺伝子検査サービス「スマート検診」に向けた取り組み

人間ドックを含む健康診断は、原則として同じ集団には同じ検査項目であり、実施年齢等のタイミングも画一的

となっています。特定健診において特定保健指導の対象となる判断基準については、厚生労働省の標準的な健診・保健指導プログラムなどで、その基準が定められています⁽⁵⁾。

しかし、本来は、本人の体質等を踏まえて、適切なリスク評価のうえで必要な検査項目を必要なタイミングで実施するなど個人ごとに最適化できると考えられます。日常生活へのアドバイスに置き換えると、例えば「塩分を抑えた食事」「1日20分の運動」といった一般的なアドバイスではなく、その方自身のヘルスケアデータやライフスタイルを把握し、「あなたの場合はこのような対策が望ましい」と伝えることがより効果的であると考えられます。実際に、血圧やコレステロールなどが高くても脳梗塞を発症しない人がいる一方で、血圧やコレステロールなどが上がることに對して十分留意して抑制しても発症する方もいます。このようなケースにおいて遺伝子検査結果の体質（罹患リスクの高低）のデータ分析を活用することで、本人にとって最適な健診などのプログラムを提供できる可能性があります。適切な検査を受検し、毎年の受検が必須ではない検査（本人にとって発症リスクの低い疾病に関する検査）を減らすことで本人の負担軽減につながるとともに、疾病などの早期発見の実現に寄与するサービスになると考えられます。

「スマート検診」は、従業員の健康づくりをGenovision Dock[®]の検査

*1 プレジジョンサービス：個々人に個別化・最適化されたサービスのこと。

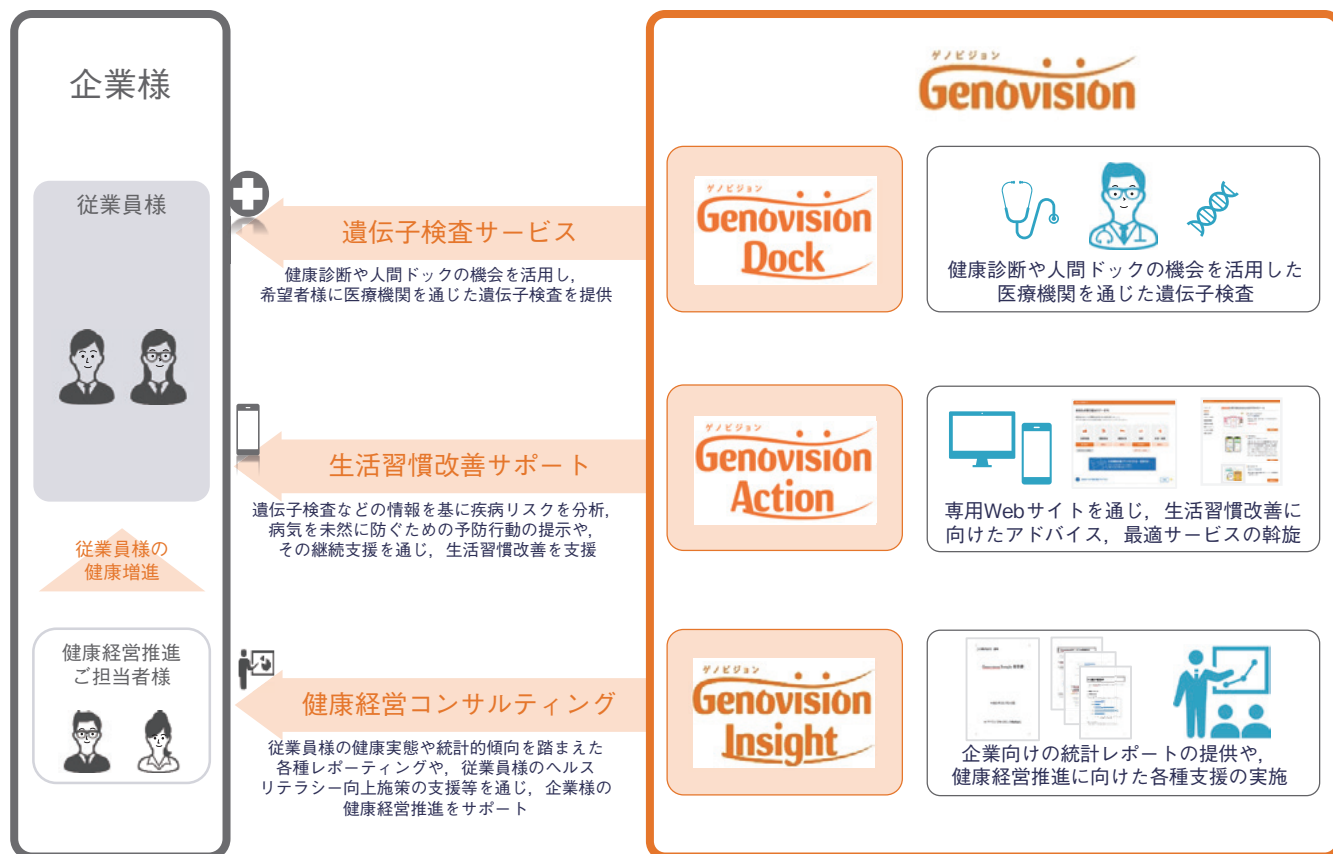


図2 「Genovision®」の概要

結果などのエビデンスに基づき支援することで、本人の健康増進、企業・健康保険組合の健康経営の推進、医療機関の医業経営への貢献・受検者の継続受検に寄与することが期待される三方よしのモデルをめざします（図3）。

- ① 従業員にとっては、自身の罹患リスクに応じた最適な検査を推奨されることで、健康増進・健康寿命延伸が実現、また適切な検査を受検し毎年の受検が必須ではない検査を避けることで、自身の負担軽減が期待できること。
- ② 企業・健康保険組合にとっては、

従業員の早期罹患リスク管理により安定した継続勤務が確保され健康経営の促進に加え、高額な医療費が発生する疾患の早期発見が期待できること。

- ③ 医療機関にとっては、健診受検者の継続的な受検に加え、オプション検査増加による収益面などでの経営改善が期待され、また必要な検査を必要な方に適切なタイミングで受けてもらうことで予防医療の取り組みができること。

このサービスモデルの要諦は、遺伝子検査という客観的な事実を本人に提

示することにより、適正に罹患リスクを把握し、合理的な行動を促す効果が期待できる点です。オプション検査を「受検」という選択を目標行動とし、ナッジなどを意識したレコメンドメッセージにより、無理なく、自らで考え、必要なオプション検査を進んで受検いただくことをめざして、検討を行っています。

遺伝子検査サービスに向けた研究開発

NTTライフサイエンスは、科学技術振興機構（JST）未来社会創造事

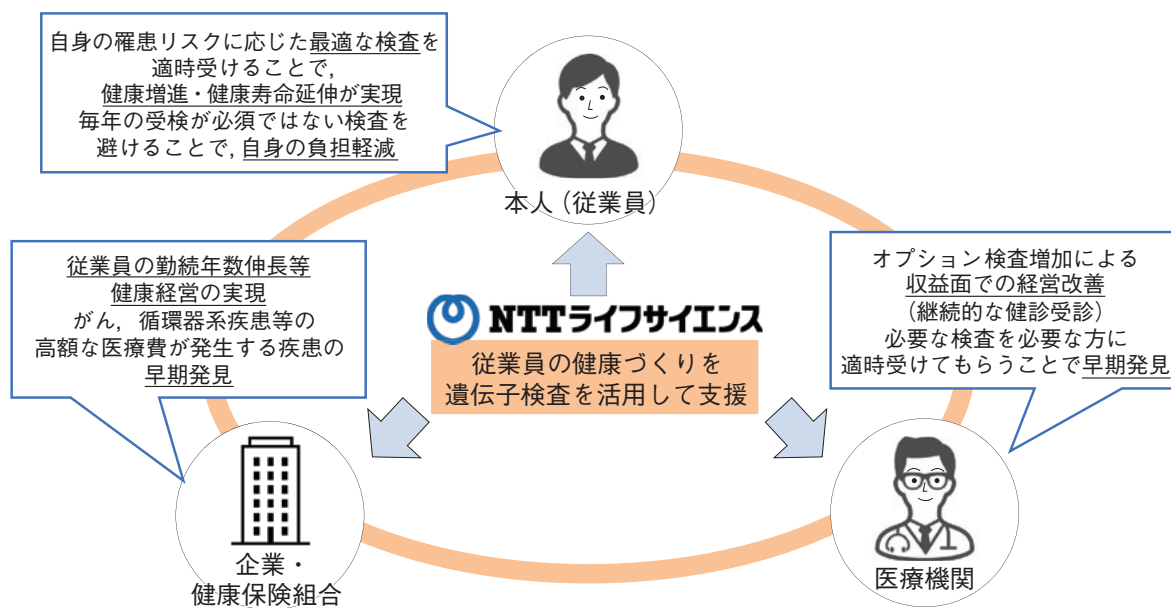


図3 「スマート検診」の提供価値

業「Human Centric デジタルツイン構築による新サービスの創出」領域で2021年度より採択されている研究である「多層的生体情報の統合による疾患予防システムの構築」（代表：東京大学医科学研究所・村上善則教授）にも参加しています。本テーマでは、遺伝子、オミックス^{*2}、健診データ、生活習慣情報などを統合してバイオデジタルツインTM化し、疾患リスクの予測アルゴリズムの開発と実用化をめざしています。

この研究の重要な要素の1つにNTTライフサイエンスが担当する遺伝子情報と健診データを主とする企業コホートがあります。日本国外では疾病に応じたコホートが数多く存在しま

すが、健康診断が日本独自のシステムであることから、世界的に稀な健常人コホートを保有することになっています。バイオデジタルツイン構築をめざす研究では疾患を発症する前の情報も重要であり、現在、東京大学医科学研究所とともにNTT物性科学基礎研究所も参画し、従来の単一遺伝子（SNP）解析のみでは得られない多数の遺伝子から疾患リスクを予測するポリジェニックリスクスコア（PRS）などを活用した最新の疾患リスク予測の研究を行っています。

今後、これら最新リスク情報などを研究趣旨に賛同いただいた参加者へ提供し、さらに参加者からはアンケートなど回答いただくかたちの双方向のコミュニケーションが成立する企業コホートの確立に向けて研究を進めていきます。

NTTは、2022年8月8日、ジェネシスヘルスケア株式会社と資本業務パートナーシップの構築について発表しました。ジェネシスヘルスケアは、日本における遺伝子検査・研究のパイオニアであり、直近では日本初の全ゲノム解析（WGS）を駆使した商品を発表するなど、グローバル基準のサービスを展開しています。NTTライフサイエンスも、Genovision[®]の展開を進めながら、ジェネシスヘルスケアと相互の知見や最新技術を活用し合い、健康長寿社会に貢献する新たなサービス創出に向けてさらに取り組みを加速していきます。

そしてNTTライフサイエンスは、ゲノム情報を核としたパーソナルデータのプラットフォームを構築し、あらゆる企業に活用いただくことで、企業の提供価値の向上および個人の健康増

^{*2} オミックス：遺伝子の発現をさまざまな条件下で計測しながら未知の遺伝子機能や生体システムの特性の理解をめざす学問分野。



プラットフォームの活用で，企業価値向上と個人の健康増進の双方を実現

図4 NTTライフサイエンスがねらうプラットフォーム

進に貢献していきます（図4）。

これからの医療

昨今，遺伝子技術はめざましい発展をみせています。膨大な遺伝子情報の解析，さらにそれをライフログなどの情報と組み合わせたヘルスケア・メディカル領域への活用には世界が強く注目をしており，将来的には関連市場の規模拡大も期待されます。NTTライフサイエンスは，ヘルスケア・メディカル事業を通じたWell-being な社会への貢献をめざし，NTTグループならびに産官学の多様なパートナーの皆様と連携しながら，医療分野に加えて，スポーツ，薬剤，健康食品など幅広い分野も視野に，最先端の遺伝子技術を活用した新たなサービス創出に向けてチャレンジしていきます。

参考文献

- (1) https://www.keidanren.or.jp/policy/2021/091_honbun.pdf
- (2) <https://www.ntt-lifescience.co.jp/service/>
- (3) https://www.ntt-lifescience.co.jp/news/files/20211026_01.pdf
- (4) https://www.ntt-lifescience.co.jp/news/files/20200928_01.pdf
- (5) <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000194155.html>



（左から）吉田 英樹 / 瀬山 倫子 / 山崎 孝博

NTTグループが実現をめざすバイオデジタルツインを支える根幹の情報として，遺伝子情報があります。これを活用した新たなビジネスモデルの創出に向け，課題を解決しながら，ヘルスケア・メディカル事業で貢献していきます。

◆問い合わせ先

NTT ライフサイエンス
プレジジョンサービス部
TEL 03-6738-3316
E-mail nttlsc-ba-sl-ml@ntt.com

リアルワールドデータを活用した 新たな価値提供——次世代医療への貢献

新医療リアルワールドデータ研究機構（PRiME-R）は、2020年2月、京都大学とNTTの合併により設立されました。医療現場におけるリアルワールドデータを活用し、患者がより良い医療を受けられる次世代医療の発展に貢献することをめざしています。本稿では、リアルワールドデータ活用の意義や自社開発システムであるCyber Oncology®の特徴を解説するとともに、同システムを活用したアカデミアや各がん学会等との協働、具体的なビジネス展開および将来の方向性について紹介します。

おおつき 大槻	りょう 涼	ゆい 由井	けんじ 健司
ふるはた 古畑	まな 愛奈	あべ 阿部	ゆうき 祐輝
まえはら 前原	ゆりこ 侑李子	うめはら 梅原	ちはる 千晴

新医療リアルワールドデータ研究機構

医療分野におけるリアルワールドデータ活用の意義

現在の医療がどのように実践され、どのような課題があるかを迅速かつ正確に把握することは困難です。臨床試験などで時間と労力をかけてデータを蓄積し分析し、初めて現れる事象がたくさんあります。しかし、臨床試験では状態の良い限られた集団を対象にした評価が多く、実際の医療現場とのギャップがしばしば存在します。また、医療の進歩はめざましく、医療技術や医療情報も高度化・複雑化していくことから、今後、医療の実態を把握することがますます難しくなると予想されます。

こうした課題に対し、「リアルワールドデータ（RWD）」の活用により解決することが期待されています。RWDとは、実際の医療現場で得られる各種医療データの総称であり、レセプトやDPC（Diagnosis Procedure Combination）*1、電子カルテやePRO（electronic Patient

Reported Outcome）*2などのデータをいいます。昨今のICT等の進展により大量のRWDを収集・蓄積し、解析できるようになってきています（図1）。こうしたRWDを迅速に分析し、医療の現場に還元することにより、安全かつ最適な医療を提供することが可能になると考えられています。特に、

がんの領域では有害事象（副作用）の発生も多く、少しでも早くそのデータを収集し医療現場に提供することによ

*1 DPC：急性期入院医療を対象とする診断群分類に基づく1日当りの包括払い制度。

*2 ePRO：スマートフォンなど携帯端末を利用して、リアルタイムに患者の状態を医療者に伝えることができるシステム。

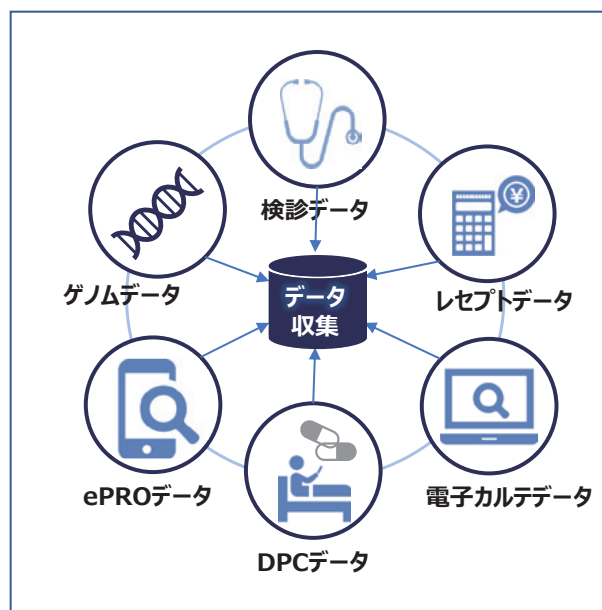


図1 リアルワールドデータ（RWD）イメージ

り、安全性や治療効果の高い医療の提供につながります。また、RWDを活用することにより、医薬品開発・承認申請の効率化や早期化が期待されています。

しかし、RWDは日常の実臨床からデータを集めるため、臨床試験と比較してデータの正確性や信頼性において劣る面があり、大量のデータ収集が可能ではあるものの、データが標準化・構造化されていないことが課題とされています。こうした課題を解決し、患者がより安心して医療を受けられる環境を提供するために、RWDを可視化し、医療従事者間の情報共有ができる医療情報基盤の整備を進めることが重要です。

新医療リアルワールドデータ研究機構（PRiME-R）は、がん薬物治療に関する診療情報を標準化・構造化して収集可能なシステムである「Cyber Oncology®（CO）」を開発し、全国の

医療機関に提供しており、それぞれの臨床現場で収集されたデータを統合・管理し、研究機関や製薬企業等に活用いただくことにより、次世代医療の発展に貢献することをめざしています。

Cyber Oncology®とは

COは、電子カルテと連携しており、電子カルテ上の患者カルテ記載画面から起動し、ラジオボタンやプルダウンメニュー等を用いて構造化された臨床情報を入力でき、電子カルテの記事として書き戻されます。すでに日本国内における大手電子カルテベンダ5社との連携実績があり、海外ベンダとの連携も視野に入れています。

臨床情報入力時の簡便さと、入力されたデータの精緻さの双方を備えたシステムとするため、治療過程における一連の臨床情報を「エピソード」として管理する仕組みを取り入れています（特許取得済）。この仕組みを用い、治

療ラインに付随する効果判定（治療の結果どの程度の効果があったか）・有害事象・バイオマーカー（遺伝子検査の結果）・検査データをエピソードIDという構造化情報の下で管理することにより、臨床情報間の因果関係を失わずにデータとして蓄積でき、精緻な解析が可能となります。また、がんゲノム情報管理センター（C-CAT）等への情報送信の自動化にも対応しており、入力のみならず、臨床業務全体へのサポートも可能です（図2）。

医療の高度化に伴い、収集の対象となる臨床情報の数や種類が膨大になり、今後も増加することが想定される中、電子カルテへのフロントエンドの機能を有するCOには、大規模なRWDを効率的に収集・解析するための仕組みも取り入れています。入力されたデータを管理し、エピソードごとに必要なデータを判別する仕組みを用いることで、より簡易にデータを入力

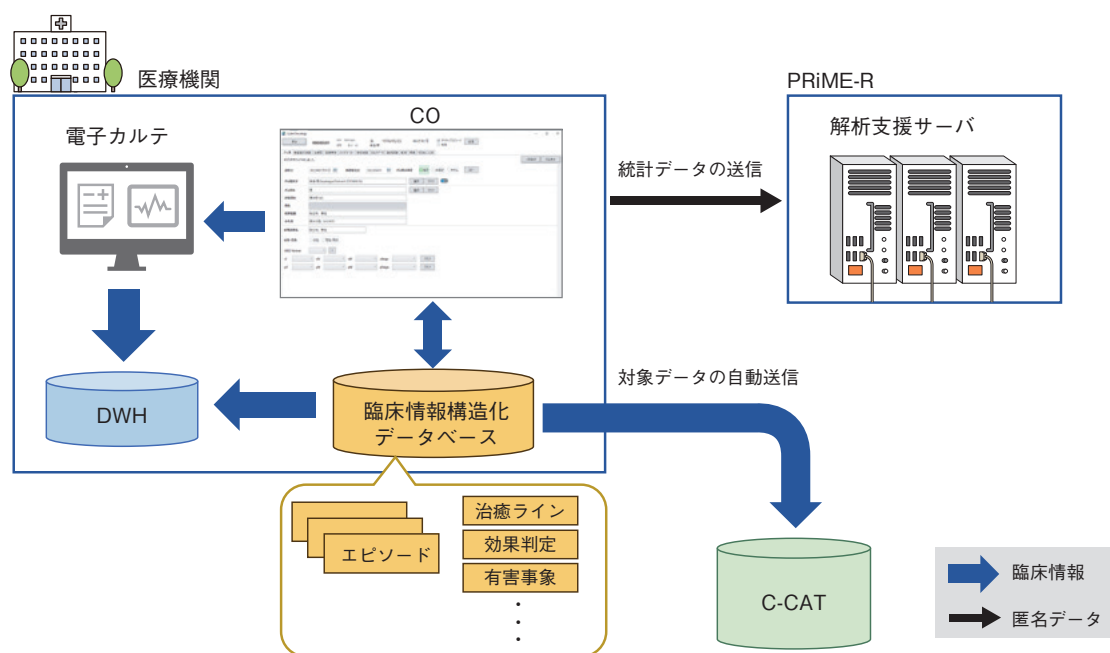


図2 COの概要

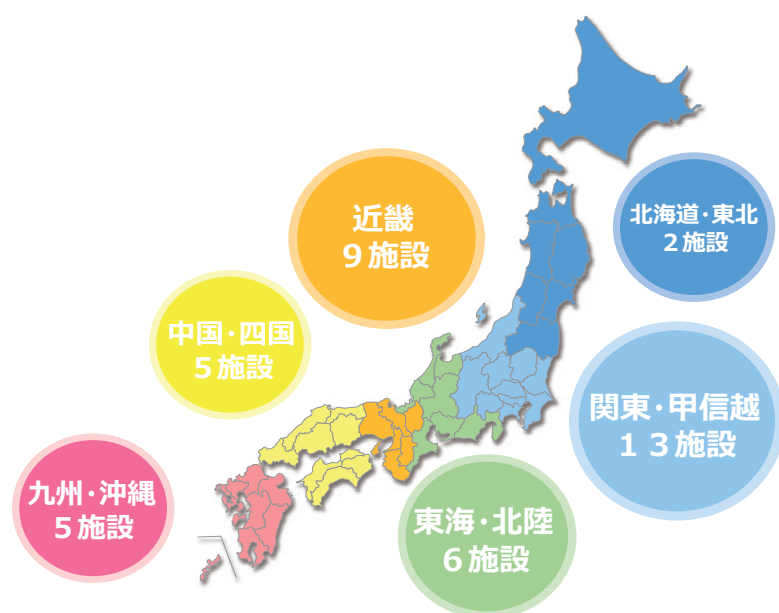


図3 CO導入マップ

配慮しながらも複数の医療機関での統計データを統合するシステムを確立しました。

こうした取り組みを通じ、2022年10月時点、大学病院、がんセンターを中心とした約40の医療機関にCOを導入しています（図3）。

■COを利用した各種研究の推進

京都大学病院を中心とする25の医療機関が参加する「がん診療におけるRWD収集に関する多施設共同研究」においては、各医療機関にCOを導入し技術面でサポートしています。ここでは、COを利用して、がん薬物療法に関する臨床情報を電子カルテに登録することにより、治療成績や有害事象等を効率的に収集・解析し、統計データとして活用可能な新たな医療情報基盤の実現可能性を研究しています。また、西日本がん研究機構の「AIによる肺癌の予後予測モデル構築に向けた多施設レジストリ研究」においては、COを利用した新たな臨床情報収集基盤の構築をめざしています。さらに収集した臨床情報から日本人の予後予測モデルを作成するなどの研究を進めています。

■製薬企業の臨床研究におけるCOの利用

製薬企業主導の臨床研究では一般的に、製薬企業が準備するEDC（Electronic Data Capture）^{*3}に、医師等が電子カルテに記載された治療内容等を見ながら、研究に必要なデータを入力し製薬企業に提出します。これは非常に労力のかかる作業であり、また入力ミスの可能性もあります。こ

*3 EDC：インターネットを使い電子的に臨床データを収集するシステム。

することが可能となります。入力者種別やがん種、臨床試験への同意状態をそれぞれの入力項目ごとに整理し、入力者には項目ごとに簡易化した入力画面が提示されます。それぞれの項目に入力されたデータの関係性を外部で保持することで、関係性ロジックの保守性も担保できます（特許出願済）。加えて、医師や入力補助者の負担をより軽減するため、電子カルテのオーダ実施情報と臨床情報データベースをマッピングし、あらかじめ入力情報と紐付けます。こうした仕組みにより、電子カルテから情報を取得する際に、マッピング情報に基づいて機械的に効率良くデータの取得を行える仕組みを実現します（特許出願済）。

こうして集積された大規模なRWDを解析するために、解析支援サーバを構築しており、各施設のCOをそのまま利用し、分散型で統計解析するための医療情報基盤を提供します。

PRiME-Rの事業概要

■COの医療機関への導入

COの全国展開に先立ち、京都大学を中心とした7つの大学病院により「臨床ゲノム情報統合データベース整備事業（2016～2019）」が実施されました。この事業において、各医療機関に導入したCOを利用することにより、ネットワークを介して異なるベンダの電子カルテ情報を収集・統合し、統計解析等が可能であることを確認しました。

その後、COの機能の高度化に努めるとともに、各医療機関への導入を推進してきました。COを導入するにあたっては、臨床情報を活用することへの高い期待を寄せていただく一方で、セキュリティ面の課題を克服する必要があります。各医療機関において個人を特定できないよう秘匿化した統計データを生成し、セキュアなネットワークを通じてPRiME-Rのデータセンタへ送信することで、セキュリティ面に

れに対し、日常診療でCOに蓄積されたRWDを活用することで、重複したデータ入力が不要となり、入力ミスの抑止にもつながります。また、電子カルテの診療記録はフリーテキストで書かれており、研究に必要なデータが欠落している場合もあります。COでは一般的に診療や研究で必要と考えられるデータの入力フォーマットを標準搭載しているため、COを利用して電子カルテに記載することで、記録漏れ抑止にもつながります（図4）。

COを利用した臨床研究として、医療用医薬品の国内売上高が第2位（2021年度）の「オプジーボ」について、ブリストル・マイヤーズ スクイブ株式会社と小野薬品工業株式会社が共同で、胃がん患者を対象とした有効性と安全性を評価するため、データ収集を開始しています。また、同第3位の「タグリッソ」について、アストラゼネカ株式会社は国際共同研究の中で、肺がん患者のデータ収集にCOを利用して

います（図5）。さらに、COのメリットを活かして、臨床研究だけでなく、効率的な製造販売後調査の新しいモデル構築に向け、日本イーライリリー株式会社と共同で検討を進めています。

今後の取り組みの方向性

■ RWD活用ビジネスの展開

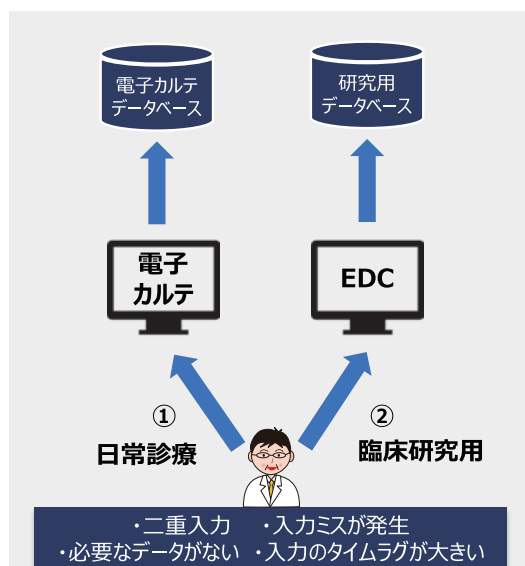
製薬企業等は、臨床研究におけるCOを利用したRWDの収集・解析等に加え、各医療機関の日常診療で蓄積されたRWDを必要なときに活用したいニーズを有しており、その提供に大きな期待を寄せています。例えば、臨床研究を計画する際の医療機関の選定において、どの医療機関にどの程度の対象患者が存在するかを調査しています。現状では、過去の実績や公開情報を基に推定し、各医療機関を直接訪問して医師等に確認しています。しかし、医師も自分が担当する患者の状況しか把握していない場合が多く、医療機関単位の正確な人数をつかむことが

非常に難しい状況です。そのため、研究開始後、目標症例数を確保できない事象が起きています。日々アップデートされたCOのRWDを活用することで、対象となる疾患や治療ライン等の条件に合致した患者数を把握でき、迅速かつ確かな施設選定を可能とします（図6）。

また、新しい薬剤の開発を計画する際、臨床現場における自社の薬剤による治療効果や有害事象などを把握する必要がありますが、現状では、数年にわたる臨床研究によりデータを収集し、利用実態を把握することが一般的で、膨大な時間と費用を要しています。日常診療でCOに蓄積されたRWDを活用することで、自社の薬剤の利用実態をリアルタイムかつ効率的に把握でき、臨床研究の期間短縮や費用削減につながります。

これらのように、COに蓄積されたRWDをサービス型で提供していくことで、臨床現場の可視化を進め、創薬

<一般的なEDCを利用した場合>



<COを利用した場合>

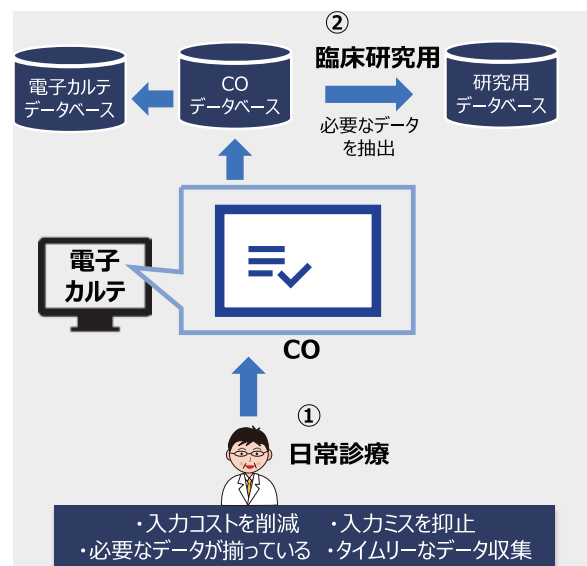


図4 EDCとCOを利用した場合の違い

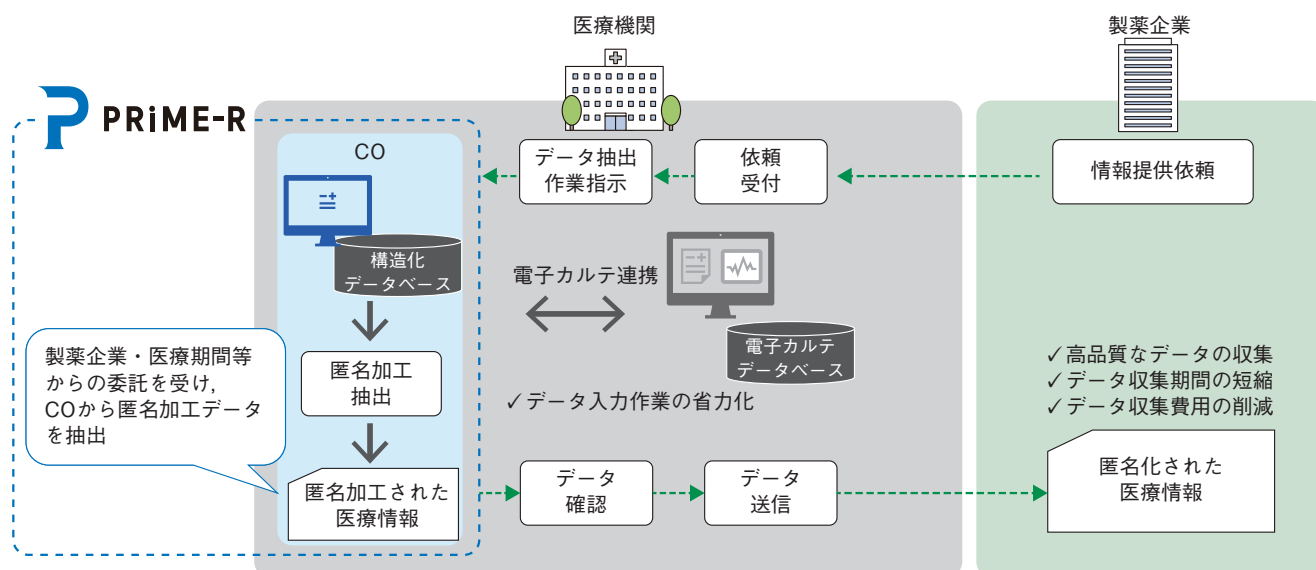


図5 COを活用した臨床研究のイメージ



図6 リアルワールドデータのサービスイメージ（臨床現場の見える化）

事業のドライブや新たな医学的知見の発見に貢献していきたいと考えています。現状はがん領域を対象としていますが、がん以外の疾患領域への拡大や、ePRO、遺伝子データ等の他社が保有するデータとの組み合わせによって、さらなる価値創出に取り組んでいきたいと考えています。

■COの高度化

前述のとおり、COを用いたいくつかのデータ収集プロジェクトが動き始めています。データの収集・蓄積をさらに加速させ、解析可能なRWDを増

やすために、①入力作業の省力化、②標準規格への対応、③匿名加工されたデータベースの提供の3点を進めています。

まず、①入力作業の省力化については、医師が入力する必要のある項目を削減するために、電子カルテに登録されている病歴や生活歴など、単純な転記で済む情報はできる限り自動入力を可能としていきます。また、COに蓄積されたデータをすべて電子カルテに書き戻し、学会主導の登録システム等それぞれに同じデータを入力している

現状を解決することをめざすとともに、COを主体とした臨床情報を蓄積する仕組みづくりをめざしています。

加えて、②標準規格への対応については、RWDを解析に用いる際の大きな課題となっている標準規格への準拠および解析に活用できる研究用データベースの構築・提供にも挑戦していきます。また、FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources)*⁴のmCODE (minimal Common Oncology Data Elements)*⁵をはじめとした、国際

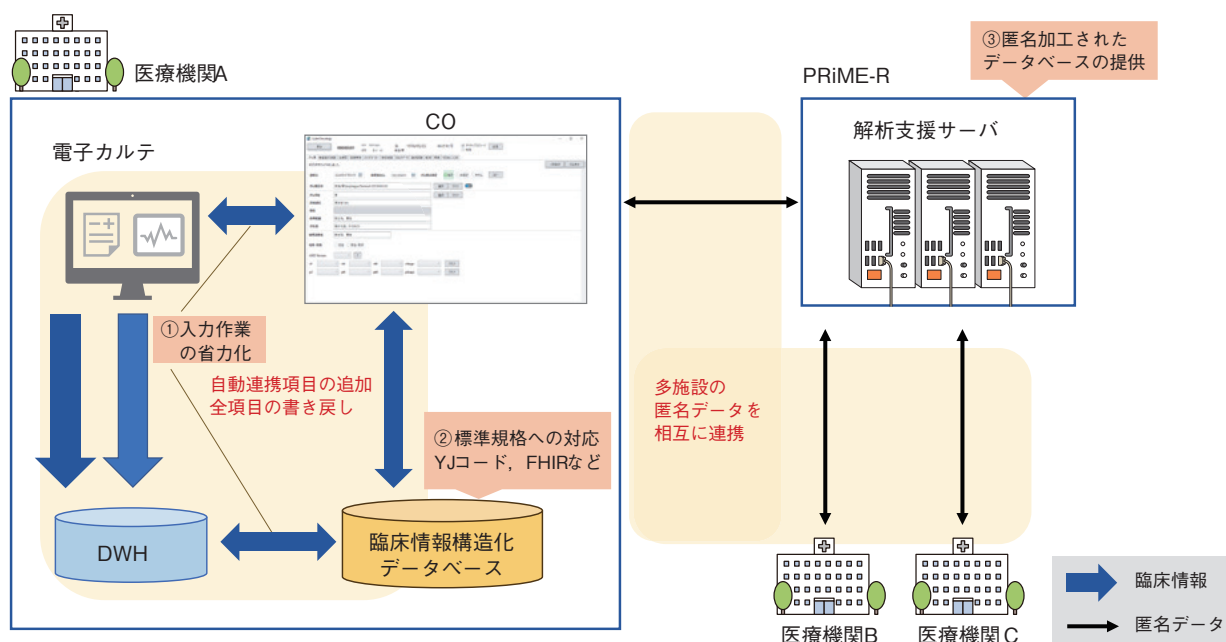


図7 COの高度化構想

標準規格への準拠も随時進めていきます。

最後に、③匿名加工されたデータベースについては、蓄積されたデータを匿名加工したうえで、多施設のデータを結合し、がんに関する詳細診断・遺伝子変異・治療内容・治療効果・有害事象の情報を含む「リアルワールドデータベース」として活用可能とすることを計画しています（図7）。

「医療の未来を創造する」 取り組み

PRIME-Rは、COによって収集されたRWDが多数の医療機関・医療従事者や製薬企業等において活用されるよう、今後もアカデミアや各がん学会等との連携・協働を進め、COの機能向上や利用拡大に取り組むとともに、

がん領域における医療安全や医療技術の向上、医薬品・医療機器開発の効率化に貢献し、より良い医療を患者に提供できるよう取り組んでいきます。



（上段左から）大槻 涼 / 由井 健司 / 古畑 愛奈
（下段左から）阿部 祐輝 / 前原 侑李子 / 梅原 千晴

私たちPRIME-Rは、リアルワールドデータを活用して「1人ひとりに最適化された医療の実現」「タイムラグのない迅速かつ的確な医療の実現」「先進的・革新的な医療技術開発のサポート」をめざし、新たな領域でのチャレンジを続けていきます。

◆問い合わせ先

新医療リアルワールドデータ研究機構
プライムプロモーション部
TEL 075-752-0330
E-mail pp-pr-ml@prime-r.inc

*4 FHIR：医療情報交換の国際標準規格。
*5 mCODE：がん領域の電子カルテの構造化を目的として定められた国際標準コード。

主役登場

電波の新たな価値創造に向けた非侵襲グルコースセンシング技術

中村 昌人

NTT先端集積デバイス研究所
研究主任



私たちの生活の中では、今この瞬間も電波が利用され続けています。この記事をご覧いただいている皆様も、スマートフォンやタブレットといったモバイル端末を毎日利用されているのではないかと思います。モバイル通信に限らず、ICカードを用いてキャッシュレス決済を行うことや、ワイヤレスイヤホンで音楽を楽しむことができるのも無線通信技術の発展によるものです。また、電波は無線通信以外にも多くの身の周りの場面で活用されています。例えば、ケーブルを介さずに置くだけで電子機器のバッテリー充電が行われるワイヤレス充電や、自動車の衝突防止機能に用いられるレーダなどが挙げられます。このように、利用シーンに応じて電波の性質を選択し、適切に制御することで、無線通信に限らず多くの価値を提供できるのが、電波工学の興味深いところです。

NTT先端集積デバイス研究所では、無線通信のさらなる発展に向けた研究開発を行う一方で、インフラ設備の劣化診断などをターゲットにした電波のセンシング応用に関する研究開発も行われています。これらの研究開発では、要素部品であるデバイスを設計・評価するための設備は同一のものが使用可能です。基盤技術を共通としながら応用先の異なる研究者どうしが議論できる環境の中で、まだ実用化されていない新しい価値を見出せるような研究がしたいという思いから電波の生体センシング応用に興味を持ちました。その中で、針を刺さないグルコースセンシングは糖尿病患者の負担を低減するだけでなく、データを分析することで将来糖尿病になるリスクを予測し予防医療にも貢献できるのではないかと考え、非侵襲グルコースセンサ

の研究を始めました。研究開始時には、デバイス进行评估するための測定装置はありましたが、水溶液などの生体を模擬した材料の測定系や実験ノウハウなどはなく、実験手順を自ら考えていく必要がありました。測定時の試料の交換方法から、得られたデータの分析方法まで、一から試行錯誤を重ねることで、血清（血液から血球を除いたもの）中のグルコースの濃度を生体に含まれる濃度範囲で測定可能であることを確認できました。そこからさらに研究を進めるためには、研究所内に閉じた状態での検証は難しく、大学病院と共同研究を行いながら臨床研究を進めていくことで、電波を用いたグルコースセンサのフィージビリティを示すことができました。実用化に向けた課題はまだありますが、世の中になく技術の実現に向け、日々研究に取り組んでいます。

現在、NTTでは、デジタル空間における自身の写像であるバイオデジタルツインTMの実現に向けた研究開発が複数の研究所で行われています。私の所属するグループでは、電波、光、音、熱などを利用したセンシング技術について多角的に研究が進められています。また、複数の研究所が医療、ヘルスケア応用に関する最新の研究成果を紹介するコロキウムが定期的で開催されており、生体工学という切り口でも新たな知見を得られています。電波工学と生体工学、いずれの研究者とも交流が深められる環境で自己を研鑽しながら、非侵襲グルコースセンサの実用化をとおりバイオデジタルツイン実現に貢献していけるよう、これからも研究開発を進めていきます。

XRエコシステム形成に向けた NTTコノキューの取り組み

XR(Extended Reality)は、高臨場感や双方向性により新たな価値の提供が可能となる技術として注目されており、NTTグループでも共通 XR 事業ブランド「NTT XR」を掲げ、グループ各社でさまざまな取り組みを行っている。本特集では、NTTコノキューのXR に関する取り組みの一部として、オンラインイベントソリューションである“VEP(Virtual Event Platform)”と“空間AR 開発パッケージ”について紹介する。

VR

バーチャルイベント

メタバース

空間認識型 AR

AR クラウド

Extended Reality

「いつでもどこでも」 イベント参加可能なプラットフォームの開発 ————— 52

マルチデバイスに対応し、「いつでもどこでも」オンラインでのイベント参加が可能なプラットフォームの開発に至った背景、および本プラットフォームの特長、実際の活用事例について紹介する。

空間に紐づくARサービスをワンストップで開発可能な 空間AR開発パッケージ ————— 56

空間AR開発パッケージの構成、および本パッケージの特徴的な技術要素として「自己位置推定技術」「ARコンテンツ開発」「ARコンテンツ管理・配信技術」について紹介する。

「いつでもどこでも」イベント参加可能なプラットフォームの開発

近年、企業や個人・団体によるイベント開催の、グローバル展開に対する需要が高まり、また昨今の新型コロナウイルス感染症の影響によりリアルイベント開催が困難なため、オンラインイベントのニーズが高まっています。NTTドコモでは、マルチデバイスに対応し、「いつでもどこでも」オンラインでのイベント参加が可能なプラットフォームを開発しました。本稿では、開発に至った背景、本プラットフォームの特長、実際の活用事例について解説します。

たなか

田中

むらかみ

村上

NTTドコモ

ゆうき

祐貴*

けいいち

圭一*

のむら

野村

たかのり

貴則

はじめに

近年、企業や個人・団体によるイベント開催の、グローバル展開に対する需要が高まり、また昨今の新型コロナウイルス感染症の影響によりリアルイベント開催が困難なため、オンラインイベントのニーズが高まっており、Webブラウザで体験可能なイベント、VR (Virtual Reality) アプリによるバーチャルイベントなど、さまざまなカタチでオンラインイベントが行われています。2020年には約8割のイベントがリアルイベントからオンラインイベントへ移行したという結果が出ています⁽¹⁾。また、オンラインイベントはグローバル需要に対応できる利点もあり、今後もオンラインイベントが広く展開されていくことが予想されます。

このような状況の中、NTTドコモでは、マルチデバイスに対応し、「い

つでもどこでも」オンラインでのイベント参加が可能なプラットフォームを開発しました。

本プラットフォームは、顔写真から生成したアバターでのイベント参加、仮想3D空間でのコミュニケーションが可能で、また8KVR・Volumetric Video^{*1}・モーションキャプチャなどの技術を独自に取り入れており、これによりオンラインでのイベント体験の価値向上を実現しています。本稿では、開発に至った背景、本プラットフォームの特長、実際の活用事例について解説します。

オンラインイベントの課題

新型コロナウイルス感染症の影響により、昨今多くのオンラインイベントが開催されていますが、オンラインイベントには大きく分けて以下の2つの課題があると考えられます。

■リアルイベントの利点が失われる課題

オンラインイベントはバーチャルな体験が主体となるため、リアルイベント会場での体験と比べると理解を深め

づらい側面や、臨場感が失われることがあると考えられます。

■バーチャルでのイベント構築・運用コストの課題

バーチャル体験に特化したオンラインイベント実施では、多大な運営コストがかかります。例えば、イベントごとの専用アプリケーションの開発や、フロア空間・展示ブースの構築、リリース後のサーバ運営などがあり、1イベントの実施のために非常に高いコストを要することになります。

そこで、NTTドコモはこれらの課題を解決するために、仮想3D空間でのオンラインイベント体験が可能なプラットフォームを開発した。

本プラットフォームの特長

■リアルイベントの利点が失われる課題

本プラットフォームでは、仮想3D空間により展示物や人が立体的な表現

* 本特集は「NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル」(Vol.30, No.2, 2022年7月)に掲載された内容を編集したものです。

※ 現、NTTコノキュー

*1 Volumetric Video: 人物・物体の3D動画データのこと。対象物の形状データと表面のテクスチャデータで構成されています。

■アプリを起動して、バーチャルイベントへ参加

会場内の展示
ブースに入室

■展示ブースにて、各種技術・取り組みを体験可能

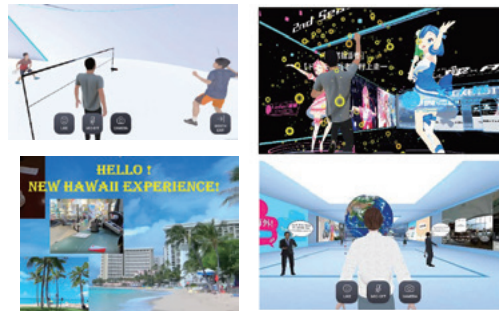


図1 フロア空間と展示ブース空間



図2 顔写真から生成したオリジナルアバター

の連携：ユーザは、イベント参加時は前述したようにグループを組むことで一緒に回ることができますが、より臨場感を高めるために本プラットフォームは、ユーザ自身のオリジナルアバターが選択できる仕組みで、ドコモ・アバターポータルと連携しています。ユーザは、顔写真から生成したアバターを用いてイベント会場に入ることができ、知人どうしてイベント会場を回る場合は、よりリアルに近いかたちでイベントを楽しむことができます（図2）。

② 8KVR：360度のVR映像のリアルタイム配信を視聴できる技術です。ユーザは、遠隔地にいたとしてもその場にいるかのような臨場感のあるVR映像が体験可能です⁽³⁾。例えば、観光地のツアー映像を専用機材で録画しておくことで、360度の現地映像が高解像度のVR映像で体験可能です（図3(a)）。

③ Volumetric Video：多角的に撮影された被写体を、展示ブース内で立体（三次元）として視聴できる技術です。「NTT XR Studio」^{(4),(5)}などの撮影設備で撮影

となり、リアルイベントに近い体験価値、およびバーチャルならではの付加価値を加えた体験が可能になります。NTTドコモでは、バーチャルでのイベント体験のための基本機能と独自技術の導入について検討しました。

(1) バーチャルでのイベント体験のための基本機能

本プラットフォームでは、フロア空間と個別の展示ブースがあり、ユーザは自身のアバターを操作しながら両空間を歩き回り、さまざまな体験をすることができます（図1）。フロア空間は、リアルイベント会場の移動導線に代わるものであり、ユーザはフロア空間に配置されているさまざまな展示

ブースの中から、自らが興味を持った展示ブース内に入ることができます。

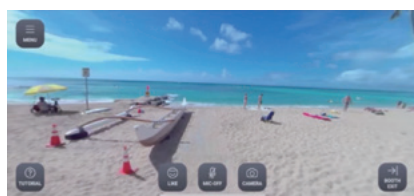
本プラットフォームはグループ機能を具備しており、ユーザは知人どうしてグループを組んで複数人で入り、一緒に会場内を回ることが可能です。グループ内では、音声通話やテキストチャット、アバターでのリアクション動作によりコミュニケーションをとることが可能です。

また、マルチデバイスとして、スマートフォン・タブレット（Android/iOS）、PC（Windows/Mac）、Meta Quest2^{*2}に対応しています。

(2) 付加価値を与える独自機能

① ドコモ・アバターポータル⁽²⁾と

*2 Meta Quest2：Meta社が提供するVRヘッドセット。



(a) 8KVR



(b) Volumetric Video



(c) モーションキャプチャ

図3 付加価値を与える独自機能

したVolumetric Videoを本プラットフォームで体験することが可能です。例えば、アーティストのライブやスポーツの視聴体験で、自身が見たい角度に視点を変えたり、通常なら近づけない位置まで近づいたりすることで、リアル体験以上の没入感の高い視聴が可能です（図3(b)）。

④ モーションキャプチャ：モーションキャプチャシステムを用いて取得したモーションデータを展示ブース内の3Dアバターに反映し、リアルタイムに動かす技術です。ユーザはそれを自由な視点から見ることができ、これにより没入感の高い体験が可能です⁽⁶⁾（図3(c)）。キャラクター物などのアクターによる3Dアバターのショーで実用化が可能であり、ユーザはバーチャルならではのアミューズメント体験が可能です。

⑤ AIアバター：展示ブースには説明員を配置することも可能ですが、生身の人間が操作する必要があるため、すべての展示ブースに説明員を長期間配置することは難しくなります。本プラットフォームでは、ドコモAIエージェントAPI^{®(7)}を用いたAIアバターを開発し、無人ブースへのAI説明員の配置を可能としました。これにより、ユーザはバーチャル空間でAIアバターから展示の説明を受けることができます。ユーザは展示ブースに入ると、AIアバターによる展示ブー

ス紹介を受け、また、質問をすることで、事前に設定したシナリオに沿った自動回答がAIアバターによって行われます。

■バーチャルでのイベント構築・運用コストの課題

本プラットフォームでは、イベントを安価に構築・運営する仕組みを開発しました。

(1) イベント空間を自由に構築できる仕組み

本プラットフォームでは、Unity^{*3}による開発キットを用意しており、イベント作成者はそれを利用することで自由にバーチャル空間を構築することができます。構築対象として、フロア空間と展示ブースの2点を設けています。

① フロア空間：個々の造形を自由につくることはもちろん、マップをつくったりBGMを設定したりすることも可能です。イベント作成者はイベント別に異なったテーマを、小さな街をつくるように表現することが可能です。

② 展示ブース：自由な3D空間の構築はもちろん、2D動画、BGM、Volumetric Videoなどの配置が可能です。空間のサイズも自由に設定可能なため、巨大な物体を仮想空間内で展示することも可能です。これにより、展示ブース別に異なったテーマで出展が可能となります。

(2) イベント管理を容易にする仕組み

本プラットフォームでは、イベント管理をより簡単にするための管理者用のWebサイトを用意しています。この管理者用サイトは、以下のとおり、複数のイベントを開催する機能を持ち、フロア空間、展示ブースなどの3D空間にかかわる設定や、開催期間などのイベント運営にかかわる設定が可能です。データ分析も行うことができます。

- ① 複数のイベントを開催する機能：管理者用サイトには、複数のイベントを同時開催するための機能が具備されています。カスタムされたフロア空間や展示ブースをイベントごとに登録し、個別に運営することが可能です。
- ② フロア空間設定：掲示板の設定ができ、運営から周知したい内容をタイムリーに発信することができます。
- ③ 展示ブース設定：動画や静止画像については、Unityによる開発をしなくても、管理者用サイトを通して配置することができます。また、管理者用サイトから説明員配置の設定を行うことができ、さらに配置する説明員の数についても、展示ブースに

*3 Unity：Unity Technologies社により提供されているゲームエンジン。



図4 docomo Open House '22

応じて設定をすることが可能です。

- ④ 開催期間設定：フロア空間や展示ブースは、開催期間の設定を行うことが可能です。開催期間外にはユーザは入室することができず、その間にコンテンツのメンテナンスを実施することが可能です。

- ⑤ データ分析：イベント実施により、参加者数（総参加者数、ユニークユーザ数）、展示ブースデータ（入室数、滞在時間、展示ブース評価）、アンケート評価などのデータを取得することが可能です。これらは、イベント内でのユーザの行動に関する匿名データであり、イベントの傾向分析に役立てることが可能です。例えば、人気のある空間やコンテンツを分析することで、次のイベント開催に向けた改善に活かすことができます。

これらのイベント管理を容易にする仕組みにより、イベント個別でのハードコーディング^{*4}による実装が不要になり、円滑な運営の実現およびイベント運営コストの低減が可能となりました。

活用事例

本プラットフォームを活用した事例を紹介します。

2022年1月17～19日の3日間にわたり、NTTドコモは本プラットフォームを用いたバーチャル展示「docomo Open House '22」を実施しました⁽⁸⁾（図4）。本イベントの特徴は、モーションキャプチャ技術を活用したNTTドコモ初の出展を行ったことです。モーションキャプチャ技術を活用した展示に関しては特に多くのユーザからの反響がありました。

おわりに

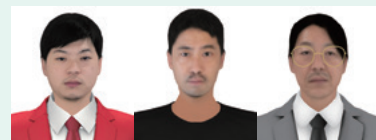
マルチデバイスに対応しており、「いつでもどこでも」オンラインでのイベント参加が可能なプラットフォームについて、開発に至った背景やそれらを踏まえて開発した本プラットフォームの特長、また実際の活用事例について解説しました。

本プラットフォームは、複数のイベントの開催、VRならではの体験コンテンツ、その他バーチャルイベントで必要と考えられる特長を具備しています。また、フロア空間や展示ブースの造形は自由に構築できることがか

ら、イベント以外の用途でも利用可能であり、メタバースでの提供も考えられます。今後は、これまでのイベントでのユーザの声を踏まえた改善を行ったり、イベントをより盛り上げる要素を取り入れたりしながら、より良い体験ができるプラットフォームになるよう検討を進め、主に法人向けソリューションとしての展開を進めていきます。

参考文献

- (1) https://documents.peatix.com/2021_Peatix_Event_Survey.pdf
- (2) https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2022/01/11_00.html
- (3) <https://www.docomo.ne.jp/biz/service/le8kvr/>
- (4) https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_210114_00.pdf
- (5) 阿部・藤本・加藤・的場・吉山・浅川：“XRコンテンツの撮影・編集・配信向けスタジオ「NTT XR Studio」”，NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル，Vol.30，No.2，pp.21-26，July 2022.
- (6) https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2022/01/11_01.html
- (7) https://www.ntt.com/business/services/ai_agent_api.html
- (8) https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2021/11/17_00.html



（左から）田中 祐貴／野村 貴則／
村上 圭一

XRの技術を活用することで、「いつでもどこでも」便利に使えて共感されるサービスをつくっていきます。

◆問い合わせ先

NTTドコモ
R&D戦略部
E-mail dtj @nttdocomo.com

*4 ハードコーディング：特定の動作環境を前提としたソースコードの実装のこと。

空間に紐付くARサービスを ワンストップで開発可能な 空間AR開発パッケージ

近年、スマートフォンやグラス型デバイスを用いた空間認識型のARサービスが登場し始めています。空間認識型のARサービスを提供するためには、自己位置推定やARコンテンツ管理・配信などの必要とされる技術やシステムが多く、サービス提供の敷居が高いことが課題となっています。このためNTTコノキューは、この敷居を下げることを目的に、空間AR開発パッケージを開発しました。これにより、必要技術やシステムをそろえて実施する従来のARサービス開発と比較して短期間・低コストの、ワンストップでの開発が可能となります。

くりばら たくろう
栗原 拓郎
やまもと たいし
山本 泰士
きむら しんじ
木村 真治

くらち りょうすけ
倉地 亮介
ごとう おさむ
後藤 修

NTTコノキュー

はじめに

近年、スマートフォンやグラス型デバイスを用いた空間認識型のAR (Augmented Reality) サービス*¹が登場し始めています。空間認識型のARサービスでは、空間に紐付くAR体験をユーザに提供することができるため、現実世界の街や商業施設といった特定の空間における、バーチャル広告やクーポンなどのデジタル情報の提供やエンタテインメントコンテンツの提供などのさまざまな用途が期待されます。その一方で、画像認識型のARサービスと比べて、サービス提供の敷居が高いことが課題となっています。これは、デジタルツインを構築するための現実空間のデータ取得技術、ARコンテンツを空間に紐付けて配置する技術、ARコンテンツを共有・配信するためのサーバ準備など、複数の技術やシステムを用いる必要があるため

です。

このような課題を解決するため、NTTコノキューではARクラウド*²の研究開発を進めており⁽¹⁾、これらの研究成果および実証実験を通して培ってきた知見を基に、ワンストップで開発可能な空間AR開発パッケージを開発しました。本パッケージでは、空間認識型のARコンテンツ開発に必要な技術・システムを1つのパッケージとして提供しているため、サービス提供者は必要技術やシステムをそろえて実施する従来の開発と比較して、短期間・低コストでARサービスを提供することが可能です。本パッケージを用いることで、例えば以下のようなAR体験を提供するARサービスが開発できます。

- ・グラス型を含む多様なデバイスでの共通的なAR体験
- ・同一空間内にてユーザ属性に応じて広告やクーポン、表示言語が切り替わるAR体験
- ・友人や家族間でのインタラクティブなコンテンツ共有

・IoTセンサ（人感センサなど）で取得されたリアルタイム情報を活用したAR体験

本稿では、NTTコノキューにて開発した空間AR開発パッケージを構成する特徴的な技術について解説します。

空間AR開発パッケージ

空間AR開発パッケージの構成図を図1に示します。本パッケージはデジタルツインを構築するためのスキャンツール、ARコンテンツを開発するためのオーサリングツール*³、ARコンテンツを配信・共有するためのARク

*1 空間認識型のARサービス：特定の場所にARコンテンツを登録しておき、その場所に来た人に、ARデバイスを通して、ARコンテンツを現実空間に重量して表示させるARサービス。

*2 ARクラウド：現実空間にARコンテンツを重量表示し、複数デバイス間で共通のARコンテンツをインタラクティブに共有可能にする技術基盤。

*3 オーサリングツール：文字や画像といった異なる種類のデータを編集して、1つのソフトウェアやコンテンツをつくるためのアプリケーションソフトウェア。本稿ではARコンテンツをつくるための空間AR開発パッケージ独自のアプリケーションソフトウェアのこと。

* 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol.30, No.2, 2022年7月)に掲載された内容を編集したものです。

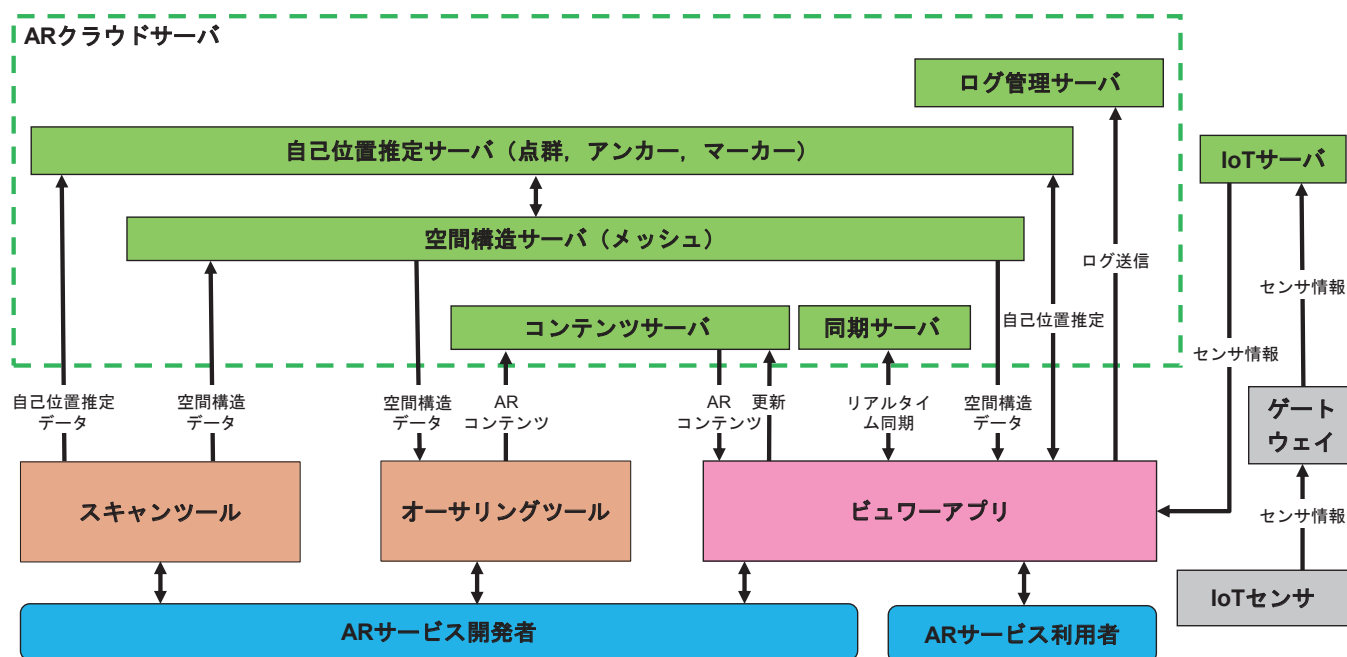


図1 空間AR開発パッケージの構成図

クラウドサーバ、ARコンテンツを体験するためのビューワアプリから構成されます。さらに、ARクラウドサーバは、自己位置推定サーバ、空間構造サーバ、コンテンツサーバ、同期サーバ、ログ管理サーバにより構成されます。各機能ブロックを用いたARサービス開発のフローは以下のとおりです。

- ① 開発者は、スキャンツールにより現実空間のデータ取得を行います。取得されたデータは、自己位置推定に用いる情報（点群やアンカー^{*4}）とARコンテンツ開発に用いる空間構造情報（メッシュ^{*5}）の2種類です。取得したデータについては、データ間の座標系^{*6}を統一したうえで、それぞれ自己位置推定サーバ、空間構造サーバに保存します。

- ② 開発者は、オーサリングツールによりARコンテンツ開発を行います。オーサリングツールは、空間構造サーバから空間構造情報を取得して参照することによりARコンテンツの配置場所を決定します。ARコンテンツは、コンテンツサーバに保存します。

- ③ ビューワアプリはグラス型を含む多様なデバイスで動作するアプリで、ARコンテンツおよび自己位置推定に用いる情報を自己位置推定サーバ、空間構造サーバ、コンテンツサーバから取得します。ユーザは、ビューワアプリを通してARサービスを体験します。

このARサービス開発のフローにおいて、特に重要な検討すべき技術要素として「自己位置推定技術」「ARコ

ンテンツ開発」「ARコンテンツ管理・配信技術」があります。

■自己位置推定技術

「自己位置推定技術」は、ARデバイスの現実空間内の位置と方位を推定する技術です。この技術により、現実空間の任意の場所にARコンテンツを重畳表示できます。空間認識型のARサービスでは、一般的な測位システムであるGPS（誤差10 m程度）よりも高い精度が求められるため、本パッケージではカメラ画像を使った測位を採用しています。また、ロケーション

*4 アンカー：ARコンテンツを配置する際の基準とする現実の場所を示す情報。

*5 メッシュ：三角形や四角形などのデータの集合により3次元の物体形状を表現する空間モデルデータ。

*6 座標系：任意の座標を表現するための、原点と座標軸の取り方。座標と座標系の組より、唯一の点を表すことが可能。

に応じて最適な自己位置推定技術が使えるように、本パッケージではカメラ画像を基にしたマーカ方式、アンカー方式、点群方式の複数の自己位置推定技術に対応しています。

- ① マーカ方式とは、開発者が基準となる画像（マーカ）を事前に登録し、ユーザのカメラにてそのマーカを認識した際に、その位置を推定する技術です。この方式では、画像に関連したARオブジェクトを表示するなど、簡易な利用を想定しています。
- ② アンカー方式とは、開発者が事前にARコンテンツを配置したい場所周辺を撮影することによりアンカーとして登録し、ユーザのカメラにてそのアンカーを認識した際に位置を推定する技術です。この方式では、狭域でのAR体験を提供するために利用することを想定しています。
- ③ 点群方式とは、開発者が事前に取得した「特徴点マップ」とユー

ザのカメラにて取得した特徴点の比較により自己位置推定を行う技術です。この方式は、広域でのAR体験を提供するために利用することを想定しています。具体的には、開発者が事前にARコンテンツを配置したい場所を含む広い範囲を撮影することにより特徴点マップを作成し、ビューワアプリによりユーザのカメラに写った画像を定期的（数秒に1枚程度）に自己位置推定サーバに送信することで、自己位置推定サーバでは、ビューワアプリから送信された画像の特徴点を抽出し、特徴点マップと照合することにより、位置を推定します。

■ARコンテンツ開発

本パッケージでのARコンテンツ開発は、オーサリングツールにより実施されます。オーサリングツールは、PC上にて動作するアプリケーションです。開発者は、オーサリングツールを用いることで空間構造サーバに保存

した空間構造情報（メッシュ）を取得し、空間構造情報に紐付いたARコンテンツの開発および配置が可能です。

本パッケージでは、ARコンテンツ開発の難易度を下げるため、プログラマ以外でもARコンテンツ開発ができるよう、ビジュアルスクリプティング^{*7}を採用しました。ARコンテンツ開発では一般的にプログラミングの知識を必要としますが、ビジュアルスクリプティングの採用により、本パッケージでは提供されたノードをつなげるだけでARコンテンツ開発が可能になりました。さらに、ビューワアプリ間の位置情報の共有や、ARコンテンツの連動のような複雑な機能もノードとして提供しているため、マルチプレイやネットワーク連動コンテンツも容易に開発できます。2021年3月に行った実証実験⁽²⁾では図2(a)に示すように、こ

^{*7} ビジュアルスクリプティング：視覚的に分かりやすいオブジェクト（ノード）を組み合わせて接続していくことでさまざまなロジックを記述する手法。



(a) ARでの体験画面



(b) VRでの体験画面

図2 ネットワーク連動コンテンツであるドラゴンバトル

の同期機能を用いたARコンテンツであるドラゴンバトルを開発しました。このARコンテンツは複数のユーザが同時にドラゴンと戦うというものであり、他ユーザの位置や行動がリアルタイムに反映されています。さらに、2021年7月に行った実証実験⁽³⁾では図2(b)に示すように、VR (Virtual Reality) にてARコンテンツと同一空間をリアルタイムに体験できる機能を開発しました。これにより、遠隔地から会場を回遊したり、現地のAR体験ユーザと一緒にドラゴンバトルなどのフィールドゲームを楽しんだりすることができます。この機能を用いて、現地でのAR体験に加え、PCやVRゴーグルを介した遠隔地でのVR体験が可能であることを実証しました。このように、本パッケージでは、場所を問わず、同じ体験の共有を可能とするXR空間の開発が可能です。

また、ARコンテンツは現実空間に紐付くため、当該地に設置された開発

中のARコンテンツの確認・調整ができることが求められます。オーサリングツールでは、ビューアプリおよびコンテンツサーバと連携することによりこれを実現しています。開発者は、ビューアプリで実際に現地にてARコンテンツを表示させながらARコンテンツの位置調整を行い、その結果をコンテンツサーバに保存します。その後、開発者はコンテンツサーバからオーサリングツールに調整されたARコンテンツの位置情報を取得・反映させることができます。さらに、オーサリングツールには下書き機能も取り入れています。下書きとして保存されたARコンテンツは開発者のビューアプリ限定で表示され、すでに公開されているARコンテンツには影響を与えません。そのため、下書き機能を活用することにより、気軽にARコンテンツの調整が可能となります。

■ARコンテンツ管理・配信技術

「ARコンテンツ管理・配信技術」は、

物体や場所に紐付いたARコンテンツを管理・配信する技術です。本パッケージでは、コンテンツサーバがARコンテンツの管理を行い、ビューアプリに対して配信を行います。

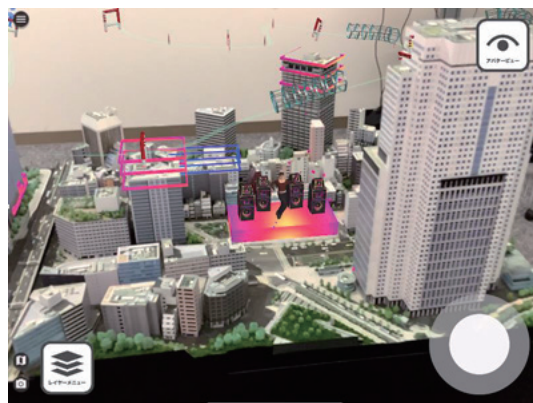
一般的なアプリケーションの場合では、ARコンテンツを変更する場合はアプリケーションをつくり変えて再ビルドし、再インストールが必要になります。一方、本パッケージではARコンテンツをオーサリングツールとビューアプリ共通で管理することができます。そのため、オーサリングツールから登録されたARコンテンツは再ビルド不要でビューアプリにてすぐに確認できます。ビューアプリは多彩なデバイス環境に対応しており、現時点ではiOS/Android/Magic Leap/Windows (VR) に配信できます。なお、ビューアプリからは各種ログを出力することもできるため、自己位置推定結果をトレースした詳細な回遊ログや、ARコンテンツの視聴回数な



図3 センサ連携によるリアルタイム情報表示



広告レイヤ



エンターテインメントレイヤ

図4 レイヤを切り替えることによるARコンテンツの変更

どをログ管理サーバに保存し、開発者が取得することが可能となります。

また、本パッケージでは環境をセンシングするIoT (Internet of Things) センサ (人感センサ、ビーコン、開閉センサなど) と連携するノードも提供します。センサ情報はゲートウェイ経由で収集され、ビューアプリに配信されます。図3に示すようにセンサと連携することにより、例えば館内エリアの混雑状況やビーコンを持った子どもの位置情報、トイレの空き情報をリアルタイムにARで表示するといったことが可能です。

さらに、ARコンテンツはレイヤという単位で管理されており、ビューアプリは複数のレイヤを同時に、または切り替えて表示できます。レイヤを切り替えることにより同一空間に異なるARコンテンツを表示した例を図4に示します。このレイヤ機能によって、ARならではの多層的な空間表現を実現することができます。

おわりに

本稿では、空間に紐づくARサービスをワンストップで開発可能な空間AR開発パッケージについて解説しました。また、本パッケージの構成と、本パッケージの特徴的な技術要素として「自己位置推定技術」「ARコンテンツ開発」「ARコンテンツ管理・配信技術」について紹介しました。今後もNTTコノキューでは、本パッケージを活用したARサービスの展開と、ユーザからのフィードバックを基に継続的な機能改善およびアップデートを行っていく予定です。本パッケージにより、ARサービスがより普及していくことを期待しています。

参考文献

- (1) 林・後藤・木村・山本: “マルチデバイスでの共通のAR/MR体験を提供可能なAR/MRクラウド技術,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.28, No.4, pp.39-44, Jan. 2021.
- (2) https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_210309_00.pdf
- (3) <https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/topics/2021/>

topics_210706_00.pdf



(上段左から) 栗原 拓郎/ 倉地 亮介/
山本 泰士

(下段左から) 後藤 修/ 木村 真治

私たちは、本稿で紹介した「空間AR開発パッケージ」等のさまざまなXRに関する技術を活用し、リアルとデジタルの空間を永続的に行き交う新しい体験を生み出すことをめざしていきます。

◆問い合わせ先

NTT ドコモ
R&D 戦略部
E-mail dtj @nttdocomo.com

挑戦する 研究者たち CHALLENGERS



岡本龍明

NTT 社会情報研究所
フェロー



情熱と知識を大切に、
目の前に立ちはだか
る問題や長年解けて
いない問題を解決し
ようとするのが研究者

科学におけるもっとも基本的な問題の1つは、組織化されたものの複雑さを定量的に定義することです。過去数10年間、この目的に向けて多くの定義が提案されてきましたが、合意された定義はありません。こうした中、世界で初めて複雑さの3つの重要な特徴すべてを同時にとらえた定義を提案したNTT 社会情報研究所 岡本龍明フェローに研究活動の進捗と日米の研究環境について伺いました。



世界初。複雑さの3つの重要な特徴 すべてを同時にとらえた定義を提案

2年ぶりのご登場ですね。シリコンバレーから日本へお戻りになられたと伺いました。

前回お話をしたのが2020年ですね。当時はシリコンバレーで、NTT Research, Inc.のCryptography and Information Security Laboratories(CIS研)所長として、マネジメントをする立場からCIS研で手掛ける暗号、ブロックチェーンといったテーマについて、NTT Research, Inc.はどのような研究所かも含めてお話しさ

せていただきました。2022年7月に帰国して、NTT 社会情報研究所(社会研)で暗号理論を研究しています。NTT Research, Inc.在籍中の2021年夏には、CIS研のマネジメントを行う傍らインターンシップの学生を受け持ち、アダプター署名というブロックチェーン上の取引で使われる暗号をテーマに研究指導を行ってきました。

さて、今回お話しするのは大枠では暗号とも関連する研究ですが、「複雑性」という分野についての研究です。

動物や植物といった生物を構成する細胞等ミクロな世界まで追っていくと、非常に複雑な構造になっています。また、宇宙もビッグバン直後の単純な姿から複雑なかたちに



進化してきたことが知られています。こうして周囲を見渡すと、実は複雑なものがあふれています。「複雑性」は、こうした世の中で複雑だといわれている物事に対して、統一的な見方で定義し、定量化していくことを科学としてとらえる研究です。複雑系という研究分野は30年以上前からあり、多くの優れた研究成果はあるものの、その基礎となる「複雑性」についての研究はあまり進展していません。この分野について、私は暗号の研究を行うかたわら考察を重ねていたのですが、最近、「複雑性」の定量的な定義に関する論文を『Complexity』という学術誌で発表しました⁽¹⁾。これは複雑さが持つ3つの重要な特徴（後述）すべてを同時にとらえた世界初の定義です。

この「複雑性」の研究にも暗号理論の考え方や概念が役立っており、例えば暗号におけるゼロ知識証明の理論に関連して導入された知識複雑度の概念は今回の定義を導く際に1つのヒントを与えてくれました。

ライフワークともなるような研究で、世界初のご提案をされたのですね。詳しくお聞かせください。

まず、複雑さの問題とは何かをお話しします。米国の科学者、ウィーバー（Weaver）は科学的な問題を「単純な問題」、「組織化されていない複雑な問題」、そして「組織化された複雑な問題」の3つに分類しました。

「単純な問題」とは力学でビリヤード台の上の数個の球の動きを正確に解析して予想するような問題です。「組織化されていない複雑な問題」とは、巨大なビリヤード台の上を数100万個の球が相互に（そして台を囲む壁に）ランダムにぶつかり合って転がっており、その平均的なふるまいを統計力学で解析・予測するような問題のことをいいます。そして、「組織化された複雑な問題」は、多くの細胞が相互に関連して全体として1つの生命体を形づくっている生物や生態系、人工物などの組織化された複雑なものを対象とする問題と定義しました。したがって、複雑な問題

は組織化されたものと、組織化されていないものに分類されます。

そして、この「複雑な問題」において科学としてもっとも基本的で重要な概念は、複雑さの定量的定義です。物理系における「組織化されていない複雑さ（乱雑さ）」の定量的な定義は、熱力学や統計力学で登場するエントロピーとして確立しています。また、情報源（確率分布）の「組織化されていない複雑さ（乱雑さ）」の定量的な定義はシャノン・エントロピーとして確立されました（この2つのエントロピーは定数を除き基本的に同じです）。

一方、「組織化された複雑さ」の定量的定義においては、多くの試みがなされてきたにもかかわらず、広く合意された定義は現在のところ存在しません。この定義の困難さは、「組織化された複雑さ」が私たちの持つ感覚に多分に依存するもの（もしくは、私たちのような知的生物によって認識できるもの）であり、単なる乱雑さのようなものとは大きく異なることにあります。さらに、これらの試みは、確定的系列あるいは確率分布のいずれかを対象としたものであり、両方を同時に対象とする定義はまだありません。



複雑さが持つ3つの特徴（記述的、計算的、確率的）をすべて同時にとらえる

確定的系列と確率的分布の両方を同時に対象とした定義の確立が必要だということですね。

そこで私は「組織化された複雑さ」の定義の対象はどうあるべきかを検討しました。

まず、複雑さの対象は私たちの周りにあるすべてのものであって、宇宙の中の星々や銀河、生物、生態系、人工物、さらには人類社会などを含みます。それらを私たちが認識するには、望遠鏡、顕微鏡やさまざまな観測装置、電子機器を通じた観測という手段を経由するしかありません。私

私たちは実際に物を手にすることで直接その存在を認識しますが、それも人間の五感（センサ）を通じて得た観測データを脳で処理してその存在を解釈、認識しているという意味で、観測により得た結果です。つまり、私たちはすべてのものを何らかの観測データにより認識しているのです。

一般に物理現象の観測データ（確定的系列）の源（情報源）は「確率的な分布」であり、観測データは、その分布にしたがってランダムに選ばれた値です。したがって、「組織化された複雑度」の対象は情報源からたまたま選ばれた観測データ（確定的な値）ではなく、情報源そのもの、つまり「確率的な分布」とするのが自然です。その結果、「組織化された複雑度」の対象は「確率的な分布」（情報源）であるべきであると考えました。確定的な系列は、確率的な分布の特殊ケース（1つの値だけが確率1で発生している確率分布）の場合もあるため、そのような確定的系列も対象となります。

従来の「組織化された複雑さ」の定量的定義はどのような問題点があったのですか。

例えば、チンパンジーに計算機のキーボードを与えて自由にキーを叩かせたときの文字列（アルファベット1000文字）と、シェークスピアの戯曲の台詞の文字列（アルファベット1000文字）は、いずれも確定的な文字列ですが、両者の情報源を比較すると、その複雑さの違いが鮮明に見えてきます。チンパンジーの場合、情報源はランダムな1000文字のほぼ一様な分布（単純な分布）となり、その「組織的な複雑さ」は最低レベルだということが分かります。一方、シェークスピアの台詞の場合、その情報源はシェークスピアの頭の中にあるいくつかの表現の候補の確率分布であり、シェークスピアが頭に浮かんだいくつかの表現から選ぶとき（いくつかの表現候補の複雑な確率分布）やシェークスピアが迷いなく選んだ1つの表現となるとき（1つの複雑な文字列が確率1で起きる確率分布）などがあり、い

ずれも複雑な分布となるためその「組織化された複雑さ」は大変大きくなります。

「組織化された複雑さ」をシェークスピアの台詞の場合で考えると、複雑さにはいくつかの異なった特徴があることに気付きます。対象（情報源）が確率分布であるため、確率分布のパターンとしての複雑さ（確率的特徴）があり、戯曲を書くために必要な知識（言語、歴史文化など）およびそのストーリーなど記述量としての複雑さ（記述的特徴）があります。さらに、書きたいことが決まったときにそれを表す適切な文学的表現を選ぶ場合には頭の中でいろいろと考えますが、そのような言語表現を選ぶことはグラフの問題としてとらえることができ、適切な表現を選ぶことはグラフの問題を計算することに相当するというような計算量に関する複雑さ（計算的特徴）があります。つまり、「組織化された複雑さ」には確率的、記述的、計算的という3つの特徴があり、これを定義するためには、これらの特徴をすべて同時にとらえる必要があります。もちろん、複雑度の値は計算可能であるべきで、「組織化されていない複雑な問題」（チンパンジーの例）や「単純な問題」の複雑度は小さくなくてはなりません。

従来の定義の問題点は、①複雑さが持つこの3つの特徴（記述的、計算的、確率的）のいずれか1つだけしかとらえておらず、②対象を確定的系列か確率的分布かのいずれかとしており、両方を同時にシームレスに対象とすることはできませんでした。そして、③いくつかの定義はその複雑度が計算不可能であり、④いくつかの定義は厳密に定義されていないからです（図1）。

そこで、私はこれら4つの問題点をすべてクリアする新たな「組織化された複雑さ」の定量的定義（組織複雑度：OC）を実現することをめざし、それを達成することができました。



定義	対象 (確率&確定)	単に 規則正しい	単に ランダム	組織的複雑さ			計算可
				記述的	計算的	確率的	
Kolmogorov complexity	×	○	×	○	×	×	×
Effective complexity	×	○	○	○	×	×	×
Logical depth	×	○	○	×	○	×	×
Effective measure complexity	×	○	○	×	×	○	○
Statistical complexity	×	○	○	×	×	○	○
提案した定義 (OC)	○	○	○	○	○	○	○

定義	アプローチ	厳密に 定義	計算モデル	計算可	特徴
Kolmogorov complexity	オッカムの剃刀	○	チューリング機械	×	記述的
Effective complexity			確率的有限状態オートマトン (ε-機械)	○	計算的
Logical depth					確率的
Statistical complexity			確率的オートマトン形式回路 (oc-回路)		すべて
提案した定義 (OC)	情報理論的	×	無し	-	確率的
Effective measure complexity					-
Natural complexity	枠組み	×	無し	-	-
Thermodynamics depth					-

- : 評価困難

図1 既存の定義との比較



情熱と知識、寝ても覚めてもそれを 追究し続けられるパワーを携えよ

長年の課題を打破されたのですね。導かれた結論をお聞かせください。

私の複雑度の定量的定義（OC）の基本的考え方は、対象（情報源：確率分布）をシミュレーションする最小の確率的オートマトン形式の論理回路（oc-回路）のサイズで定めるとことです（「最小の」サイズとすることは「オッカムの剃刀」原理です）。複雑さの記述的および計算的な特徴をとらえるためには何らかの計算概念を用いる必要がありますが、従来の定義ではチューリング機械（計算機）を用いていました。その代わりに私の定義では、（確率的オートマトン形式の）回路を用いています。その理由は、回路だと3つの特徴を回路のサイズで同時にとらえることができるからです。また、チューリング機械を用いた定義

が計算不可能になるのに対して、回路を用いることで計算可能とすることができます。その結果、①複雑さが持つこの3つの特徴（記述的、計算的、確率的）を同時にとらえることができる、②確率分布と確定的系列をシームレスに対象とすることができる、③計算可能、④厳密に定義、⑤「組織化されていない複雑な問題」や「単純な問題」の複雑度は小さい、という従来の定義の問題点をすべてクリアし、求められる要件をすべて満足する複雑性の定量的定義（OC）を実現することができました（図1）。

この結果は、機械学習や人工知能の理論的基盤、組織的複雑さを持つアルゴリズム、ネットワーク、計算量・通信量の限界や平均の解析、意味情報理論等に応用できます。例えば、信号の伝達（シンタクティクス）の問題に対してエントロピー（組織化されていない複雑さ）を情報量として扱うシャノンの情報理論に対して、ここで定義した組織

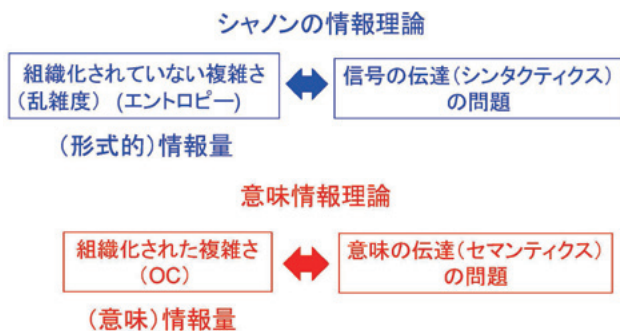


図2 意味情報理論への応用

複雑度(OC)を(意味)情報量として意味の伝達(セマンティクス)の問題を扱う意味情報理論が構築できると考えています(図2)。

学術的のみならず、社会へ与えるインパクトの大きさは計りしれませんね。最後に研究者として大切にしていること、そして海外をめざす日本の研究者に一言お願いいたします。

情熱と知識を大切に、目の前に立ちはだかる問題や長年解けていない問題を解決しようとするのが研究者であると私は思っています。いうまでもなく、世界はインターネットの普及によってボーダーレスとなりました。研究者にとっては世界を見据えて研究に臨むことが重要になります。

ご存じのとおり、私はシリコンバレーの中の研究所で優秀な研究者たちと仕事をしてきました。この研究所では世界でトップレベルの優秀な研究者が集まって切磋琢磨していることから、エネルギーに溢れています。博士課程在籍中の研究者もいましたが、彼らも相当にアグレッシブです。こうした研究者たちのパワーを肌で感じてきた経験から、日本の若い研究者や研究者をめざす大学院生もそのような研究に対する熱量が大切だと思っています。世界中のパワフルな研究者と競い、世界にインパクトを与える研究を成し遂げようとしたら、寝ても覚めてもそれを追究し続けられるほどのエネルギーや情熱が必要になるということです。

一方で、日本から世界で活躍する研究者を輩出しようとするならば、彼らを支える体制や構造的な改革も迫られてくるかもしれませんね。例えば、米国では博士号を取得した研究者は通常ポスドクからスタートします。ポスドクは研究者の助走期間的な位置付けではなく、自分のやりたいテーマを携えて、1人の独立した研究者として研究に専念します。任期がきても、業績を上げていればキャリアアップした研究者として(競争で得た)新たな地位で研究を続けます(これは理論系の研究の場合で、実験系では違うようです)。1人の独立した研究者である以上、先生に学ぶというよりも、仲間と切磋琢磨しながら自分を成長させることのほうが多くなりますから、世界各国の優秀な研究者が集まるような環境、そして研究する場所に依存せず若いときから1人の研究者としてキャリアアップできる環境を整備することも求められているように思います。

とはいえ、研究者や研究者をめざす者は環境のせいせずに、自ら選んで、研究できる場所、切磋琢磨できる場所へ身を置くことも重要です。海外の研究機関に身を置くのもその1つの手段です。この場合、海外であるがゆえに言語や文化の違いから、現地の生活がストレスになることもあります。これはハンディキャップになるかもしれません。慣れによりある程度は時間が解決してくれることもありますが、自ら海外へ出ていくときは、こうしたストレスを跳ね返すくらいの熱意を持って研究に臨んでほしいと思います。

■参考文献

(1) <https://www.hindawi.com/journals/complexity/2022/1889348/>

挑 戦 可 る 研 究 開 発 者 た ち CHALLENGERS



宇田川陽介

NTT ファシリティーズ
研究開発部
主任研究員



聴く力, 考える力, 伝 える力によって, これ までの技術を超えて いく

NTTグループの通信ビルをはじめ、データセンタの空調・電力設備に関する業務を一手に担うNTTファシリティーズ。DX（デジタルトランスフォーメーション）の進展とともにICTのトレンドと環境も変化する中、多様化するデータセンタで生じる問題に対して多角的な視点でソリューションを提供しています。NTTファシリティーズ 宇田川陽介氏に研究開発の取り組みと研究開発にかける意気込みを伺いました。



現代の情報通信インフラの要, データセンタを支えるFMACS-V

現在の研究開発の概要を教えてください。

データセンタにおける空調システムの効率化に取り組んでいます。データセンタはサーバをはじめとするICT関連装置を設置・運用するための建物で、クラウドなどのデジタルサービスを支える、現代の情報通信インフラの要です。

データセンタには通信回線を大量に利用する「ICT・ネットワーク基盤」として高い耐久性と可用性が求められ、大容量の蓄電池や非常用発電装置など、自然災害や停電など

のアクシデントがあっても運用を続けられる設備を備えています。

近年ではスマートフォンなど、ICTデバイスの普及もあってデジタルサービスの提供が加速し、これに伴い、ICT関連装置の高集積化・高速化、そしてデータセンタの大規模化も進み、データセンタにおける消費電力量もますます増加し、この傾向が今後も続くことが予想されています。

NTTファシリティーズは、近年の国内の大規模データセンタの70%（※2021-2023年度竣工予定、当社調べ）にサービスを提供しています。データセンタソリューションの第一人者としての豊富なノウハウを活かし、お客さまのあら

ゆる課題に対し多角的かつ総合的なソリューションを提供しています。そして、特に最近では地球環境保護の観点からCO₂削減が各方面で話題になり、それに向けた施策である、カーボンニュートラルに関する取り組みの中でも「データセンタ脱炭素化」は、国の重要政策にもなっており、より一層の消費電力量の削減が求められています。

ICT装置は運用時に常時大量の発熱を伴うので、専用の空調システムによって冷却されています。ICT装置の高密度化・高速化が進んだこともあり、その空調に要する消費電力はデータセンタ全体で消費される電力の30~50%にもなります。つまり、空調システムの消費電力削減が、「データセンタ脱炭素化」に向けた大きな要素となっています。

国の重要施策にもかかわる重要な研究開発テーマなのですね。

データセンタにおける空調システムの消費電力削減を実現する主な手段としては、室内気流制御（冷気と暖気の流れの制御）と空調機自体の効率向上が挙げられます。室内気流制御においては、ICT装置を効率的に冷却するための最適な気流方式に関する研究や、空調機からの冷気とICT装置からの高温排気のみキシングロスによる送風動力の増加をなくす手法の研究などが行われ、実用化されています。

空調機自体の効率向上においても、これまでもさまざまな研究が行われ、その成果は実運用で効果を発揮しています。空調機の構成部品を高性能化することに加えて、低温の外気を利用することも有効な手段の1つです（図1）。

データセンタにおける空調システムの消費電力量削減のための「省エネルギー性」も重要ですが、そのほかにも「信

頼性」「可用性」「環境性」「安全性」も求められます。空調システムの故障はどうしても避けることはできませんが、その場合においても、ICT装置が安定して運用できる環境の維持は必須で、そのための設計上の工夫も必要になります。

また、空調システムの構築においても、新築時に構築される場合のみならず、ICT装置の設置に合わせて空調機を増設する場合もあります。また定期的なメンテナンスも考慮して、既存のシステムに影響を与えずに安全に構築作業、メンテナンス作業を行えるような仕掛けも必要になります。

これらの課題に対応するICT装置冷却向けの空調機として、私たちは電電公社時代の1980年代にFMACSという空調システムを開発し、これまで継続してICT装置の進展などに対応しながら改良に改良を重ねて、現在は第5世代のFMACS-Vとなりました（図2）。開発したFMACS-Vは全国の通信機械室をはじめ、データセンタにも数多く納入され、運用されています。



日本機械学会賞（技術）などを受賞

FMACSを含む空調システムの研究では学会賞を複数受賞されたことと同じでした。どのような点が評価されたのでしょうか。

FMACS-Vシリーズの間接外気冷房型hybridは一般社団法人日本機械学会の日本機械学会賞（技術）、日本冷凍空調学会賞（技術賞）、地球温暖化防止活動 環境大臣表彰、優秀省エネルギー機器表彰 経済産業大臣賞を受賞することができました。技術の独創性や工学的・工業的に高いレベルを達成していることと同時に、産業や社会への貢

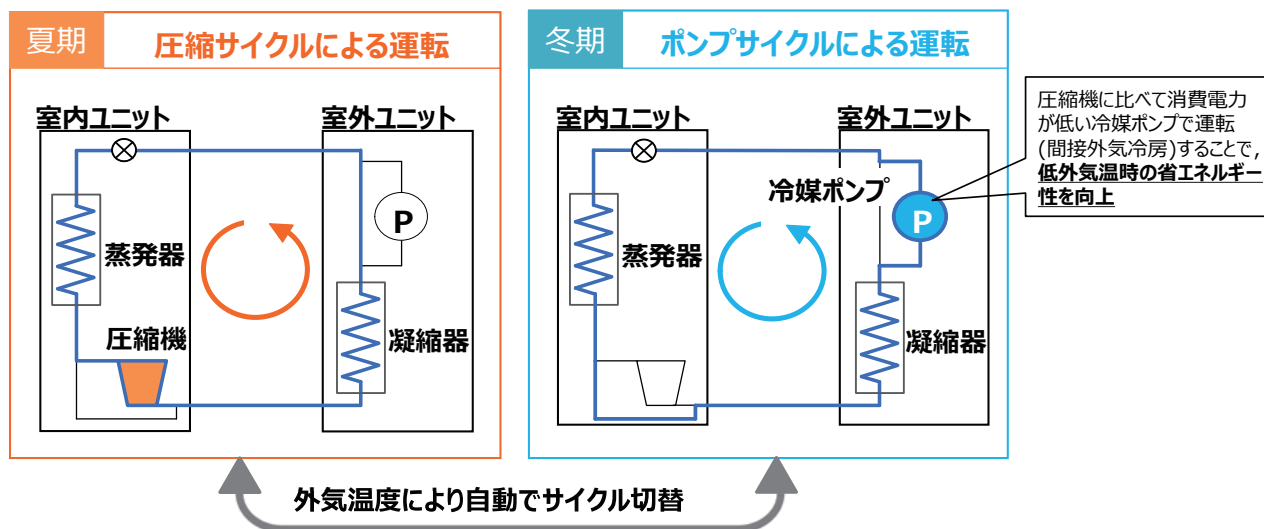


図1 低温外気利用の一例（間接外気冷房型空調機 FMACS-V hybrid）



献度が評価項目となっており、私たちの技術が極めて高いレベルに達していると認めていただいたと考えています。

この空調機は、圧縮サイクルの改善に加え、外気冷熱を有効利用するポンプサイクルを併用した、これまでにない先進的な技術を取り入れています。

ポンプサイクルとは、圧縮機の代わりに、圧縮機に比べ8分の1程度の消費エネルギーで運転できる冷媒ポンプにて冷媒を循環させる熱搬送技術です。外気温度が低い冬期等に、圧縮機を停止し、消費電力の小さいポンプで外気を取り入れながら運転することで、大幅な省エネルギーを実現します。これまで困難であったポンプによる空調機の冷媒循環を、ポンプの機構や制御を新規開発することで製品化に成功しました。この空調機により、データセンタ空調にかかわる年間消費電力量および年間CO₂発生量を、一般の電算室用空調機と比較して、最大50%以上削減することができます。

現在、FMACS-Vの後継機の検討を進めています。世の中の流れとして、空調機の冷媒は、これまで利用された冷媒よりも地球温暖化係数の低い冷媒の使用が求められています。新たな冷媒に対応することで、地球環境保全に貢献するとともにFMACS-Vよりも20%以上消費電力量削減を実現したいと考えています。さらに、現場要望への対応を含め、これまでの研究開発成果を反映させていきたいと思っています。FMACS-Vの後継機の開発・導入により、カーボンニュートラルに向けて大きく貢献できると考えています。

また、空調システムの効率化に加え、空調機の運転デー

タを分析し、メンテナンス時期の適正化や故障停止する前に故障を予見する技術の確立に向けた研究も行っています。故障する前に適切にメンテナンスすることで、故障の回避ができるとともに、運用コストの低減にも寄与できると自負しています。

研究開発における今後の課題としてどのようなことが挙げられますか。

ICT装置の進化・変化やデータセンタの変化に柔軟に対応する冷却システムをタイムリーに実用化させていくことが、重要だと考えています。

また、既存の空調方式についても、室外機と室内機が1対1で接続されている個別分散方式と、1つの室外機に複数の室内機を接続し集中的に制御する中央熱源方式があり、それぞれの特徴を活かして、データセンタの規模や事業方針などに応じて、適切に選択していく必要があります。それに関する技術開発も重要となります。

さらに、データセンタ全体の消費電力削減、カーボンニュートラルの観点で考えると、空調システムで集められたICT装置からの排熱を給湯その他で利用する、排熱利用もあります。一般的にICT装置からの排熱は、エンジン等からの排熱と異なり、排熱温度が低いため課題が多く、導入にはいたっていませんでした。しかし、CO₂排出量削減という目標に向けて、排熱利用は有効な手段でありますから、他用途建物への熱供給なども含め利用方針を策定したいと考えています。



研究開発は「技術の最後の砦」

研究開発者として課題やテーマを探るときに心掛けていること、意識して実行していることを教えてください。

研究開発の役割を一言で表現するならば「技術の最後の



図2 FMACS開発の変遷

皆」といえるのではないのでしょうか。研究開発者は5年後、10年後の事業拡大のベースとなる技術を確立することをめざしています。私は自らに未来を担っていると言い聞かせて、熱意を持って周りを巻き込みながら取り組んでいます。

日々の業務においては将来を予測して先回りした検討が重要です。聴く力（質問力、問題を理解して）、考える力（解決策を導いて）、伝える力（周囲を巻き込む）を高め、これまでの技術を超えていくことを追求しています。

また、優れた技術を開発しても世の中に広げていくにはタイミングが重要だと感じています。だからこそ、私はその波が来たときに、それに乗れるように準備をしておくことが必要だと思います。

ただ、時代の波に流されてしまっているようでは、問題の本質にはたどり着けません。そのためには、自分でストーリーを考え、社会動向と合わせていくことも重要です。問題の本質を把握することはとても難しいことですが、それでも問題を把握できれば対応方法も考えられます。このため、私は異なった視点からの検討、調査、さまざまな立場の方々へのヒアリングに努め、問題を深掘りしています。

まず、聴く力においては特に質問力を高めたいです。質問の仕方によって回答は変化しますから、良い質問をすればそれだけ本質にうまくたどり着けますよね。

そして、考える力については、これまでがOKだからといって、それを理由にOKとしないように努めて、何事も自ら納得したうえで進めるよう心掛けています。この助けになるのが専門外の方とのディスカッションと過去の事例です。専門外の方々とのディスカッションで新たな視点をいただき、過去の事例とも絡めて道筋を立てています。

最後に、伝える力です。伝わらなければ周囲を巻き込むこともできませんから、専門外の方々にも理解いただけるように分かりやすい言葉で伝えるように努めています。

順調に機能している製品に対しても、さらに改善するために研究開発し、新たな価値を付加していくことも重要ですが、社内外、お客さま等が満足している状況、あるいはうまくいっていると感じている状態から、さらなる改善をする、提案をするのは正直なところ怖いこともあります。それでも、十分検討して自分を信じて周りを巻き込んでいきたいです。最終的には「熱意」が重要なのだと思います。一度、断られたくらいでへこたれず、何度も私たちの研究開発の重要性を伝え続けていきたいです。

研究開発者の仕事の醍醐味はどんなところにありますか。後進の研究開発者にも一言お願いします。

私はNTTファシリティーズに入社して18年目となりました。現場、実用化に近く、比較的短期間に成果が見えて、社会に貢献できる仕事をしたいと思って研究開発者の仕事を選びました。実際に現場のお困りごとに解決策をご提示することができたときは非常にやりがいを感じます。

一方で、研究開発者の仕事は時間的な制約もありますから、なかなかで期待に添えず苦しい思いをすることもあります。しかし、このような苦境であっても技術的に正しいことはしっかりと主張して、誠実に仕事と向き合っていきたいと考えています。

後進の研究開発者の皆さん。研究開発には明確な答えがありません。答えがないからこそ、この仕事は面白いのです。私は、日ごろから自分の手掛けている取り組みが実現できた状態をイメージすることでモチベーションを上げ、この仕事は自分にしかできないと暗示をかけることもあります。そして、常に出口を意識しながら研究開発をしています。たとえ当該研究開発において日の目を見なかったとしても、見方を変えれば別の研究開発に役立つこともあります。また、研究開発で培った、「現状分析・調査」→「真の問題の把握」→「課題の設定」→「仮説を立てて検証」→「評価」→「解決策の確立」→「ソリューション化」→「運用後の改善」といったアプローチや考え方も、他の業務でも共通するところがあります。自分を信じて日々の研究開発に勤しみましょう。加えて、これまでの技術の背景を理解することも大切だと思います。一見不要なようにも実は重要なものもあるからです。これまでの発想ではなく、外部とも積極的に連携して、新たな視点で技術を見つめ、答えを導き出していきたいです。

繰り返しになりますが、うまくいっているときこそ、将来のリスクを考えると変化を起こしていくのは怖いです。十分に検討し、リカバリーできる「仕掛け」も携えて、常にチャンスをねらう気持ちを忘れずにいたいです。今後もエンジニアリングスキルの向上を図り、これまでの知見を活かして、研究開発、技術開発、サービス開発に取り組んで1つでも社会の問題を解決していきたいです。

明日のトップランナー

NTTアクセスサービスシステム研究所

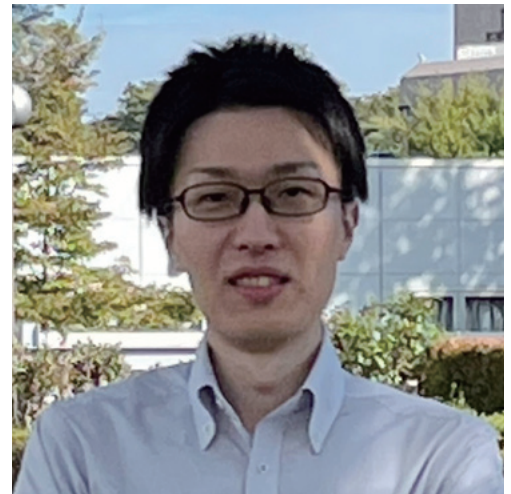


中村篤志 特別研究員

全世界のあらゆるサービスを支える未来に向けた「空間モードの光計測技術」

通信トラフィックは年々増え続けており、将来的な通信需要増大に持続的に応え続けるためには、従来使われてきたシングルモードファイバから、マルチコア・マルチモードファイバを使用した次世代光ファイバ伝送路への転換が求められています。しかしこの次世代光ファイバ伝送路を高品質に実現するためには、従来とは異なる物理現象も考慮する必要があります。今回は、このような物理現象を可視化し掌握する「空間モード光計測技術」について、中村篤志特別研究員にお話を聞きました。

◆PROFILE：2012年大阪府立大学大学院にて修士号を取得。同年、日本電信電話株式会社に入社。2018年大阪府立大学大学院博士課程修了。2022年よりNTTアクセスサービスシステム研究所特別研究員。次世代光ファイバ伝送路実現に資する光計測技術の研究に従事。2018年電子情報通信学会学術奨励賞等を受賞。



高品質な次世代光ファイバ伝送路実現のために「空間モードの光計測技術」は欠かせない

◆「次世代光ファイバ伝送路」とはどのようなものなのでしょうか。

近年、通信トラフィックは増え続け、光ファイバネットワークの大容量化に対する社会的な要求は高まっています。従来の光ファイバネットワークの伝送方法では、1本の光ファイバに光信号の通り道が1つしかないシングルモードファイバというものを使用していました。しかしこのシングルモードファイバ1本当りの伝送容量の増加には限界が近づきつつあり、将来的な伝送容量拡大に対応することが難しくなっています。そうした背景の

中、将来的な通信需要増大に持続的にこたえ続けるためには、新しく「空間」という軸で信号を複数重ねる伝送方法が必要になります。

この空間軸での多重方法としてもっとも単純な方法は、従来のシングルモードファイバ伝送システムを複数並列に構築することです。しかしこの方法では、伝送容量をN倍にするためにはコストがN倍となるという問題があり、経済性の観点から事業が成り立たなくなるため、現実的ではありません。そこで持続的な伝送容量拡大に向けて、1本の光ファイバ内にコアを複数設けることや、コア内の光の通り方を増やすことにより、光信号の通り道（空間モード）を複数設ける方法（空間分割多重）が検討されています（図1）。

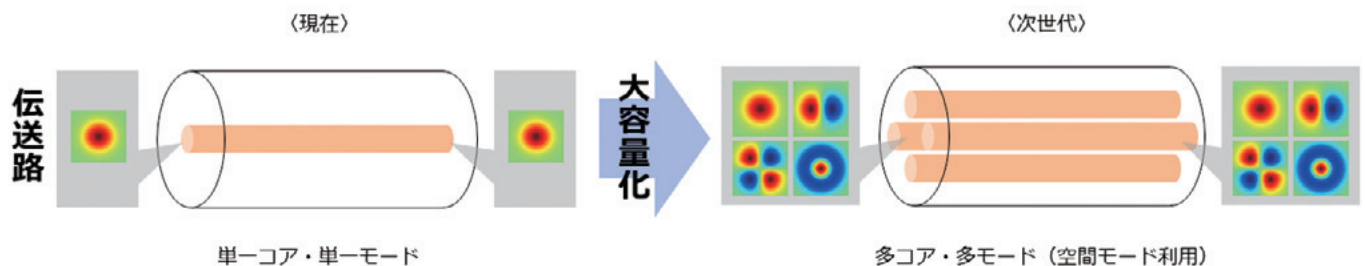


図1 空間モードを用いた次世代光ファイバ技術

◆「次世代光ファイバ伝送路」の実現に向けた課題について教えてください。

次世代光ファイバは、光ファイバ1本当りの伝送容量を飛躍的に増加させることができる有望な技術ですが、それらのポテンシャルを最大限に発揮できる伝送路を実現することは容易ではありません。従来のシングルモードファイバでは、1つの空間モードで通信を行っていたため、光ファイバの伝送路を構築する際には「主に光信号に生じる損失を評価すれば品質を担保できる」という状態でした。一方、次世代光ファイバでは複数の空間モードを用いて通信を行うため、損失以外にも、空間モード間の干渉や損失差といった複雑な光学特性を考慮する必要が出てきます。このような特性は外的要因に敏感で、わずかな変化に対しても挙動が変化します。したがって、次世代光ファイバ技術のポテンシャルを最大限に引き出すためには、複雑な光学特性が外的要因に対してどのように変化するかを評価し、その影響を最小限に抑えるように光ファイバ伝送路を構築することが重要になります。こうした理由から、伝送路構築品質を可視化する光計測技術というものが非常に重要になります。

また現実環境に光ファイバ伝送路を構築する際には、曲げ・側圧・歪みといった物理外乱、光ファイバの接続、温度や振動といった環境変化など、さまざまな外的要因が加わることになります（図2）。例えば、図2の左側の通信設備ビルから右側の通信設備ビルをつなぐ場合、数kmほどの光ケーブルを管路に敷設して、それらを順に接続していくことで光ファイバ伝送路を構築します。そして接続点などの伝送路構築品質に問題があった場合に

は、通信品質を担保するために再度構築をやり直す必要があります。つまり伝送路全体を構築した後に問題が発覚すると、一度敷設した光ケーブルを撤去し再敷設することや再接続するといった作業の手間が発生します。そのような手間を省くため、接続するたびに構築品質を評価して手戻りがないようにするということが必要になります。

ここで難しい点は、伝送路を構築する際は光ファイバケーブルの片側から伝送路の任意の地点における特性を評価する必要性があるという点です。なぜなら伝送路構築時は、光ケーブルや接続点は屋外の地下区間にあるため、ここに構築品質を評価するための測定装置を配置することは運用上現実的ではないからです。そのため測定装置は通信設備ビルに配置し、そこから任意の遠隔地点の構築品質を評価するといったことが必要になります。このような光計測技術を確立することによって、空間モード特性を完全に掌握した高品質な次世代光ファイバ伝送路を構築・運用することが可能となり、世界に先駆けた次世代の超大容量光通信サービス実現に貢献できると考えています。

◆「次世代光ファイバ伝送路」の構築を実現するために、具体的にどのような研究を行っているのでしょうか。

具体的な研究として、1本の光ファイバに複数のコアを配置した「マルチコアファイバ」を用いた光ファイバ伝送路を構築する際の試験方法を考案・実証しました。マルチコアファイバ伝送路では、コア間の間隔を狭くしてしまうとコア間で信号光の漏れ込み（クロストーク）が発生し、通信品質の劣化要因となるという問題があります。このクロストークが通信品質に与える影響は、

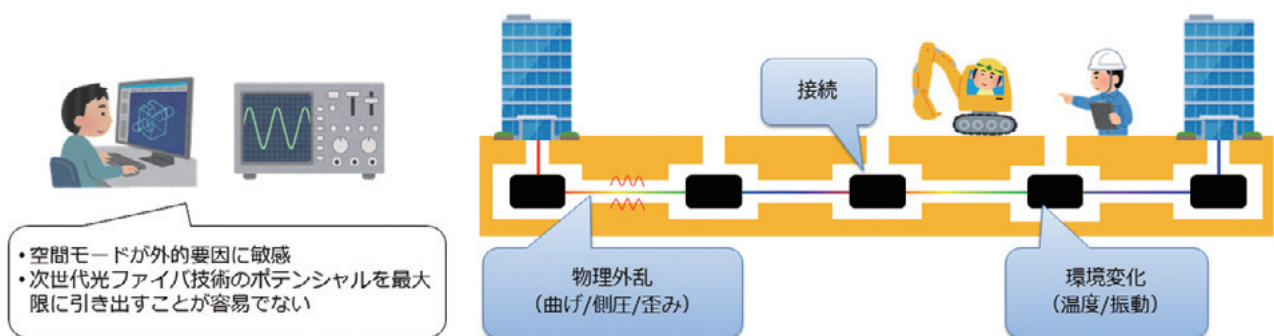


図2 実環境における光ファイバ伝送路を構築する際に生じる外的要因

伝送路を実環境に構築する際の施工品質に大きく左右されるため、伝送路構築時にその影響を都度評価する必要があります。また都度評価せずに、伝送路全体を構築した後に品質が悪いことが判明すると、前述したように作業のやり直しが発生し、時間・コスト的に大きな問題となります。しかし、クロストークを直接測定するためには、非常に高価な測定装置が必要になり、これは事業にとっては大きな障壁になります。また、マルチコアファイバがこれから導入されることになっても、既存のシングルモードファイバも使い続けることが想定されるため、既存の測定装置との親和性も求められているという課題もあります。そこで、シングルモードファイバの試験に用いられている一般的な光パルス試験器で測定可能な損失値からクロストーク特性の変化を評価するという方法を考案・実証しました。これによって既存の測定装置を使いつつマルチコアファイバを用いた次世代光ファイバ伝送路を実環境に構築する際の施工品質を担保可能にしています。

空間モードの解明と品質評価法を確立、さらに新たな付加価値を創造していく

◆これからの研究目標とビジョンについて教えてください。

次世代光ファイバ伝送路技術は、IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想における、オールフォトリクス・ネットワーク（APN：All-Photonics Network）の目標性能の1つである「伝送容量を125倍に」を実現するための重要な技術です。そのため、現在私が研究している光計測技術で空間モードの特性や挙動を可視化する技術は、大容量かつ安

定的な通信品質の次世代光ファイバ伝送路の構築・運用に寄与するものになると考えています。そしてこれからの研究では、次世代光ファイバ伝送路が全世界のあらゆるサービスを支え、必要不可欠な社会基盤として持続的に活用される世界の実現をめざします。

また将来の取り組みとして、特性の把握すら困難であった空間モードを自在に制御し、今まで研究の「対象」であった空間モードを、光計測の「手段」として活用していきたいと考えています。具体的な技術のアイデアはまだこれからなのですが、空間モードの特性である「些細な変化に対して敏感に反応する」という特性を活用して、新たな光計測技術を創出できると考えています。例えば、既存の光計測技術では地震が起こる前には何も変化を観測することができなかったものに対して、空間モードを利用して計測すれば、これまで観測できなかった事象を可視化することができるかもしれません。このように空間モードを活用していくことで、災害予兆検知のような社会課題の解決にもつながるのではないかと予想しています（図3）。

◆研究において大切にされていることを教えてください。

私は「技術は誰かに使われて初めて価値が生まれる」という考え方のもとに研究をしています。研究を始める段階で、自分が研究している内容が最終的にどこで使われるものなのか、何の役に立つのかを考え、そのためにどんなアプローチをとるのか、そしてそれは最終目標に対してどんなインパクトがあるか、ということを中心に検討することを大切にしています。また研究は他機関との競争という側面もあるため、勢いとスピード感が重要です。もちろん「時間をかけて良い技術を発表したい」という気持



図3 空間モード光計測技術の取り組みと目標

ちもありますが、二番煎じとなってしまうのは技術の価値が下がってしまうかもしれません。そうならないために、目的を定めて本当に優先すべきことを考えて行動するようにしています。そして検討した内容は、必ず特許や論文などの形に残る成果につなげる、という意識で研究に取り組んでいます。NTTはグループ会社も含めて大きな会社であり、実際に研究したものはグループ内で使われるものに仕上げていくことができるため、形に残る成果を積み重ねることができ、私自身の活力や経験値になっていると感じています。

成果がうまく出せるか否かは生まれつきの才能ではなく、どれだけ知識と経験を持っているかで決まると考えています。特に現在では、技術・社会情勢が日進月歩で変化しており、それにに応じて求められるものも変わってきています。そのような状況の中で、努力不足や準備不足だとチャンスを逃すことになるため、地道な勉強を怠らないようにしています。また、一見自分の研究と関係ない業務やイベントでも、見方を変えれば新しい考え方や経験を身に付けることができるチャンスであったりするため、何か得られるものがないかということを常に探しながら取り組むようにしています。

◆最後に、研究者・学生・ビジネスパートナーの方々へメッセージをお願いします。

私が所属しているNTTアクセスサービスシステム研究所では、通信インフラ技術を中心に基礎的な研究から実用化まで幅広く取り組んでいます。それぞれ異なる知識と経験を持った優秀な研究者がたくさん所属していて各方面に強い人脈があり、その環境の中でチームとして研究を進めることで、個人ではできないことを実

現できることこそがNTTの強みだと感じます。私自身が研究を続ける中で常々感じていることは、自分1人で大きな成果を出すということはとても難しく、円滑に研究を進めるためには「人付き合いが非常に重要である」ということです。例えば、研究を行うにあたって多方面との連携が重要になってきますが、全く関係性がない相手に対して、急に新しいことをやりたいと言ったとしても、基本的にはあまり話を聞いてもらえません。そのような場合において、新しい研究をスタートさせるためには幅広い人脈をつくっておくことは非常に重要です。またNTT内のほかの研究所周や、NTT外の研究所にネットワークを持っている人がいれば、人から人へと人脈をつないでもらうということもあります。こうして周りに多くの人脈を持っている人がいるからこそ、私自身も順調に研究を進められているのではないかと思います。

そして研究を進めて実際に製品や技術が完成した際には、たとえどれほどいい製品や技術だったとしても、そのことをユーザーに説明して「使いたい」と思ってもらわなければ意味がありません。そのためのスキルは、私のような研究者よりも事業を経験している人のほうが秀でています。このように自分ではできないことも、周りの人と協力することでうまく進められるという点には、とても感謝しています。

これを読んでいる若い研究者の方々の中には、自分の世界に閉じこもって研究したいと思っている方もいるのではないのでしょうか。私自身も学生のころは「自分の研究には関係がないな」と思った人に対して、あまり丁寧な対応ができていなかったと思います。しかし社会人になってくると、「自分の研究には関係がないな」と思うような人とどこかで巡り合って一緒に研究をするということもありますし、またそこから何か違うチャンスに発展することもあります。ぜひ普段から付き合っている方々との縁を大切に、多くのチャンスをつかみ逃さないようにしてほしいなと思っています。



(今回はリモートにてインタビューを実施しました)

映像技術で業務DX・組織文化の変革をめざす ——映像活用推進チーム「V-TECHX」のチャレンジ

Web会議や研修動画、社内イベントのライブ配信など、企業活動のさまざまな場面で映像の活用の幅が広がっています。NTT東日本では、その映像技術による自社の業務変革を、約400人規模の組織横断チーム「V-TECHX（ブイテックス：VIDEO TECH GROUP）」を中心に、内製により推進しています。V-TECHXの営みは、単に会社の技術領域拡大やコミュニケーション手段の補足だけでなく、DX（デジタルトランスフォーメーション）に欠かせない新しい組織文化づくりやお客さまの映像活用の支援の機会など、チーム活動からさまざまな恩恵を享受しています。ここでは、読者企業の業務変革の参考になればという思いから、NTT東日本での映像活用事例と、V-TECHXの成り立ちや取り組み、働き方を紹介します。

NTT東日本の技術社員の中で広がる「映像」技術

■動画マニュアルで技術者育成を効果的に実現

NTT東日本社内で約400名の推進メンバが集うほど映像活用が進んできたきっかけを振り返ると、そこには「技術者育成」があったといえます。NTT東日本の技術者たちは東日本中に張り巡らされている電柱やマンホールなどの通信設備を日々、保守・運用していますが、時代の変化と技術の進歩とともにその基盤がメタルから光へとシフトしてきたことに加え、地域のICTパートナーとしてお客さまの課題解決に向き合う中で、IoT（Internet of Things）やAI（人工知能）といった新技術が求められるようになってきており、必要な技術領域は格段と広がってきています。

そのような状況で課題となったのは、やはり、技術者育成という点です。コア技術である通信設備については、光設備に移行してきているとはいえ、まだ運用されているメタル設備を保守しなければなりません。メタル設備を保守する技術は、ベテラン社員に偏りがちであるうえに、机上で継承できても、現場で教わる機会は徐々に減ってきています。また、新技術については、リリースとアップデートが激しく、かつ複雑な設定や操作などに首尾よく対応していく必要があります。そこで活躍したのが「動画マニュアル」です。それまでの技術者育成というと、トレーニング施設に集まって研修を受講したり、事務所にある紙マニュアルを読み込んだりといったスタイルが社内で一般的でした。また研修の受講は時間や場所の制約を受けるほか、計画されるカリキュラムによってスキルに差分が生じる。分厚い紙マニュアルはテキストや図のみで難解になりがちでタイムリーな情報更新ができない、といったさまざまな課題がありました。一方、動画マニュアルはタブレットやスマートフォンなどのデバイスさえあれば、必要な場面で必要なだけ学習できることに加え、説明に動きと音声が付

られていることで、伝えやすい・理解しやすいという点で優れています。開始当初は本社からの発信が中心だったものの、今では支店の現場メンバが制作したコンテンツがその数を上回るほどで、動画マニュアルの展開を始めた2019年から総計して約2500件の動画が存在します。

■ライブ配信で社員間のコミュニケーションを取り戻す

新型コロナウイルス感染症という世界的なパンデミックの猛威により、NTT東日本でも仕事のスタイルがオフラインからオンラインへ大きくシフトしたことはいうまでもありません。そうした状況で課題となったのは、「社員間コミュニケーションの希薄化」です。リモート型の働き方による利点はワーク・イン・ライフ^{*1}の観点でももちろん大きいものの、社内でのキックオフや表彰式典などの行事の多くが中止または延期となり、Web会議やチャット、電話に限られた同僚とのつながりに対して、何ともいえない物足りなさを感じたビジネスパーソンも多いのではないのでしょうか。

そこに立ち上がったのがNTT東日本の「映像技術が好き」という本社の設備部門のメンバです。一言で映像技術と括ってもそのバックグラウンドはさまざまで、「TikTokやYouTubeに動画をつくって投稿するのが好き」というメンバもいれば、「伝送技術が好きでeスポーツをフレッツ光クロス^{*2}で配信してみた」というメンバもいます。その個性豊かなメンバが始めたのは、社内行事のライブ配信です。それも単にWeb会議のカメラ越しに参加者どうしを接続するだけではなく、まるでテレビ局のように効果的につくられた画面配置や演出を醸し、また多拠点の参加者を確実に接続するために高度な設備構成が練られた配信です。

その後、社内のいたる組織でライブ配信の需要が高まり、

*1 ワーク・イン・ライフ：仕事と私生活を完全に切り離す「ワークライフバランス」の考え方は対照に、仕事も私生活（家庭、友人、趣味、学習など）と同じく自分の人生の一部としてとらえる考え方。

*2 フレッツ光クロス：NTT東日本の提供する、最大通信速度がおおむね10 Gbit/sのインターネット接続サービス。

新着動画一覧

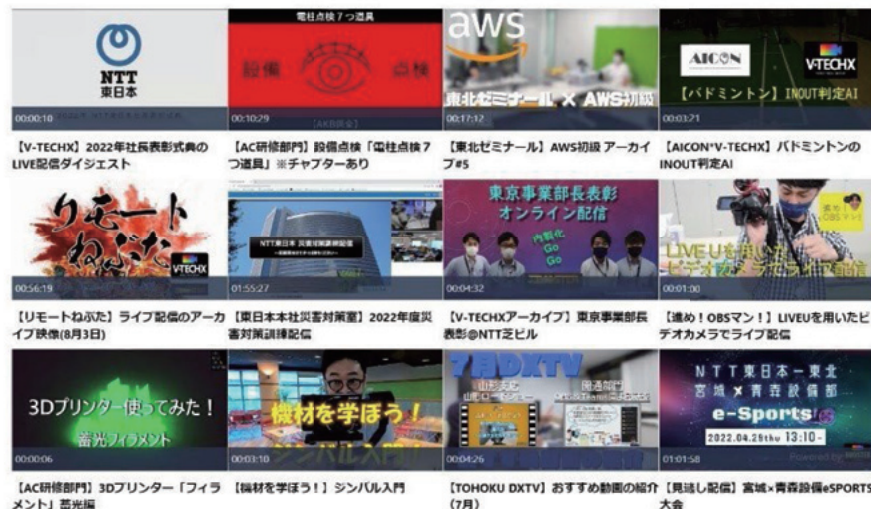


図1 設備部門の動画共有プラットフォーム「TechREC」のトップページ

組織長による事業計画説明会や四半期ごとの表彰式典など、さまざまな実績が積み重なりました。その過程で「映像技術が好き」なメンバも増え、やがて「V-TECHX」と名乗りながら活動を広げていきました。初期は本社メンバ中心の5人で構成されたV-TECHXチームでしたが、今では、支店も合わせて約400人という規模に拡大し、その実績と人材はまさに映像活用における百花繚乱の時代となっています。

この映像技術者拡大の隆盛を止めないためにも、現在のV-TECHX本社メンバで映像制作やライブ配信をより効率的に進めるためのプロダクトも検討しています。例としては、本社ビルに設置している動画編集用高スペックPCに、遠隔からの接続による時間や場所にとらわれないシームレスな作業環境の構築です。動画は視聴する（情報を取得する）側にとって、視たい時間・場所で、ときには視たい速度で、という具合でそのパーソナライズ性が高いように、動画をつくる（情報を発信する）側としても柔軟な環境を提供することで、業務に動画という情報が当たり前のようにならされる働き方をめざしています。

■動画の共有でDXに欠かせない組織文化づくりを

動画マニュアルの定着とライブ配信を中心としたV-TECHXチームの活動により、業務の中に動画というコミュニケーション手段が常態化しただけでなく、「企業のDX（デジタルトランスフォーメーション）に欠かせない組織文化づくり」にも良い影響を与えているのではないかと感じています。例えば、前述した動画マニュアルは、TechREC（テックレック）（図1）という設備部門に閲覧・

投稿権限が限られた動画プラットフォームにアップロードし、展開しているのですが、その方針として「情報セキュリティをはじめ各監査項目の観点を除き、アップロードする動画の様式や品質は制限しない」とルールを決め、運営をしています。そうすることで、技術継承のための動画だけでなく、お客さまの課題解決に貢献できたDX事例を他支店にもスケールさせ、より多くの地域・企業に寄り添うことをめざしたソリューション紹介動画や、事務所での作業効率化施策を公開し全国標準に発展させ、現場全体の生産性向上につなげる動画など、多岐にわたる分野により広く効果を発揮する、アイデア溢れる情報共有の場となってきたのです。また、特に増えている新技術に関する動画では、コメント機能を使って「〇〇さんの説明で〇〇ができるようになりました!」「それはよかった!次はこんなことに挑戦しようと思っているので一緒にどうですか!」といった創造的なやり取りが自然発生していて、TechRECが1つのコミュニケーションの場になるだけではなく、発信したことによる反響を本人や職場が実感することで「新しいことへチャレンジがしやすい雰囲気」づくりにも効果を発揮しているのです。もちろん、掲載されている動画は玉石混淆であり、他情報とのリンク付けや類似動画の分類によってさらにその利便性を向上すること、そして蓄積されていく膨大なノウハウデータとして発揮する効果を大きくする工夫は必要ですが、こうした自由なアイデア創出の場はイノベーションに欠かせないことから、TechRECが個人の発信力を高め、他者の価値観を受け入れるという組織文化

の醸成に、寄与していくことをめざします。

社内の成功体験をお客さまにもシェアする

■中長期的な成長をかんがみた、映像活用の完全社内運営をめざす

こうした社内における映像活用は、NTT東日本の社内だけでなく、地域・企業のお客さまにもやはりニーズがあります。これまでに蓄積したノウハウをお客さまにも提供しています。そのうえで、私たちが大事にしているのは、映像による業務改革をお客さまと共に進める「伴走型」の支援です。商品のPR動画やセミナーのライブ配信を外注しようとする、品質が担保される一方で、コストや時間がかかる面があり、今後ますます増えていく映像需要をふまえると、中長期的に持続性があるとはいえません。その意味で、動画制作やライブ配信についても社内のリソースで完結することを理想とするお客さまは少なくはなく、V-TECHXがこれまで社長メッセージ動画の制作や表彰式典のライブ配信を内製で実施してきたエピソードに共感をいただくことが多いです。そうしたお客さまの声と私たちの成功体験から、「地域・企業のお客さまの持続的な事業成長を目的として、映像活用に伴走し、最終的には自走（完全社内運営）していただく」ことをゴールに設定するスタイルで、技術提供をしています。

■映像技術をきっかけに、事業成長の礎を強固に

お客さまに提供するのにはライブ配信や映像制作に必要な映像技術だけかという、そうではありません。とあるお客さまのウェビナー^{*3}運営の支援では、通信環境の調査も併せて実施しました。というのも、前述したとおり、最終的にはお客さまご自身で映像活用をしていただくうえで、その環境づくりについても相談をいただきますが、特にライブ配信では配信元の通信環境が肝心要となるため、その品質を向上させたいと思われるのは自然な流れであり、そこで私たちのコア事業である情報通信のコンサルティングもさせていただいたのです。また、見方を変えると、映像による業務改革というのはある種のDXであることに對し、「動画制作とライブ配信が自社で完結してできるようになったことで、企業としての発信力向上という効果が発揮できただけでなく、映像活用を手の届きやすいDXとしてとらえて、社員が自ら技術を身につけ成功体験をつくることができ、それを皮切りに社内全体のDX推進が加速した」という声もお客さまからいただいています。

これらの経験から、映像活用の支援をきっかけに、通信環境やDX推進を後押しする、つまりお客さまの事業成長のトータルサポートをめざすことが、通信事業を営む地域

のICTパートナーであるNTT東日本が映像技術を提供する真骨頂なのだと考えます。

担当者に聞く、組織を横断したバーチャルチームの働き方

■設備企画部 ビジネス推進部門 映像ビジネスプロデュース担当 西村佳苗

V-TECHXは本社メンバ15人を除き、約400人が社内副業的に有志により集まり、その技術を発揮して活動している、組織も働くエリアも多種多様なバーチャルチームです。そのうえで現地作業以外のシーンで集合することはほとんどなく、大抵のコミュニケーションは「Microsoft Teams」のWeb会議やチャットで、業務報告や案件の進捗管理は「Asana」のプロジェクト管理やタイムラインで、また、ノウハウ蓄積や議事録などは「Notion」のメモ機能でといった具合で、SaaS（Software as a Service）を存分に使いながら、ポジティブにバーチャル的な新しい働き方を採用しています。中でも、Microsoft Teamsでのコミュニケーションで特徴的なのが、「すべての会話をメンバへオープンにすること」です。もちろん、お客さま情報や設備情報といったセキュリティの観点は十分配慮しつつも、V-TECHXのメンバであれば基本的にどのやり取りも見ることができます。そうすることで、会話から生まれたノウハウがそこに蓄積されるので類似案件の対応の際に参考にもなりますし、何よりも技術的に困ったときに、400人のうち誰かが積極的に助けてくれます。このワークスタイルにより仕事をアジリティ高く進められるという効率性はもちろんですが、助け合いの精神が生まれ、昨今企業の課題となる心理的安全性の向上にもつながっていると思います。ある日、興味本位でこのV-TECHXのMicrosoft Teamsにおけるコミュニケーションの量を分析したら、1日で100を超えるコメントやリアクションがありました（図2）。「ワクワクを仕事にする」に共感して集まったバーチャルチームならではの主体性が、活動量としての数字に表れているのではないのでしょうか。

今後の展望：映像技術に秘められた真価を見つけ、開発する

AIとの共存時代の到来、メタバース^{*4}世界への進出な

^{*3} ウェビナー：「ウェブ」と「セミナー」を掛け合わせた造語で、Web会議ツールなどを使ってオンライン上で開催するセミナーのことを指します。

^{*4} メタバース：「Meta」と「Universe」から形成された言葉で、三次元の仮想空間そのものや、それを使ったサービスを指します。

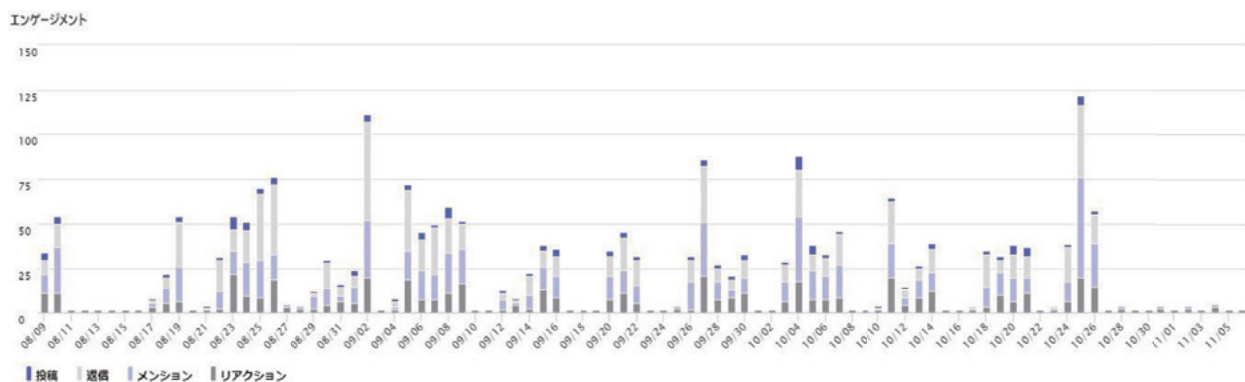


図2 「Microsoft Teams」におけるV-TECHXの活動量（2022.9～11の3カ月分を抜粋）



図3 V-TECHX本社メンバ（2022.11時点）

ど、そう遠くない未来に控えている技術を進歩させるうえで、データとしての映像というのは貴重な資源になると考えます。例えばAIの精度を上げるために、学習データとしての映像ファイルはそのボリュームに富んでいますし、メタバースの仮想空間を構築するうえで、動画は欠かせないコンテンツとなります。そのような、より一層映像に対する需要が高まる将来を踏まえて、V-TECHXでは映像により業務変革を図るだけにとどまらず、映像技術の可能性を見込み、他の技術と掛け合わせることで、さらに大きな価値を創造していくべく、さまざまなチャレンジをしています。例えば、超低遅延の映像配信プラットフォームの開発による視聴者へのストレスのない高品質な映像提供や、オンライン研修における受講生のカメラ映像からその受講

態度を取得・分析するAIの開発によりカリキュラムを評価・改善しより良いものにするということなどです。

これらの挑戦の多くはまだ道半ばで実運用していくには課題が山積みです。しかし、未来を創造して世の中に求められることに映像技術をフィットさせ、懲りずにチャレンジしていくことが私たちV-TECHX（図3）の今後の展望でもあり、活動指針でもあるのです。

◆問い合わせ先

NTT 東日本

ネットワーク事業推進本部 設備企画部 ビジネス推進部門
映像ビジネスプロデュース担当（V-TECHX）

E-mail v-techx-ml@east.ntt.co.jp