

# NTT 技術ジャーナル

1 JANUARY  
2021  
Vol.33 No.1

特集

## NTT R&Dフォーラム2020 Connect 基調講演/特別セッション

### 現実空間とサイバー空間を ナチュラルにつなぐ境界としての メディア・ロボティクス技術の取り組み

グループ企業探訪

日本情報通信

from NTTコムウェア

混雑を予測し情報提供することで心地良い賑わいを

特別連載

ムーンショット・エフェクト  
——NTT研究所の技術レガシー

## 特集

### NTT R&Dフォーラム 2020 Connect 基調講演

- 4 Road to IOWN  
澤田 純 NTT代表取締役社長
- 16 Into the IOWN 限界打破のイノベーション  
川添 雄彦 NTT常務執行役員 研究企画部門長



## 特集

### NTT R&Dフォーラム 2020 Connect 特別セッション

- 29 ポストコロナに向けたスポーツ&ライブエンターテインメントの再創造
- 32 宇宙世紀に向けた、NTT宇宙環境エネルギー研究所の挑戦

## 特集

### 現実空間とサイバー空間をナチュラルにつなぐ境界 としてのメディア・ロボティクス技術の取り組み

- 44 現実空間とサイバー空間をナチュラルにつなぐサイバーフィジカルインタラクション実現に向けた取り組み
- 47 奥行推定と画像領域分割の融合によるデプスマップの精度向上技術
- 52 リモートの観客どうしの一体感を増幅する「情動的知覚制御技術」
- 56 スマートグラスに向けた可視光平面光波回路技術と集積化光源モジュール
- 62 ハンドジェスチャ操作を実現する手指形状認識技術
- 66 視線移動を用いた妨害感の少ない割り込み情報表示方法の研究開発
- 71 空中擬似触覚による質感提示をめざして
- 76 VRを用いた運動時の環境適応能力の評価技術への取り組み
- 80 主役登場 伊勢崎 隆司 (NTTサービスエボリューション研究所)



# NTT 技術ジャーナル

81 | **特別連載 ムーンショット・エフェクト**  
——NTT研究所の技術レガシー  
第5回 光トランジスタ誕生というムーンショット

85 | **from ★NTT DOCOMO**  
**テクニカル・ジャーナル**  
3GPP Release 16における5G無線の高度化技術概要

93 | **挑戦する研究者たち**  
村木 康二  
NTT物性科学基礎研究所 上席特別研究員  
究極の目標は新しい動作原理に基づく  
量子コンピュータの実現。  
自分を客観的に見つめ、存在価値を確認する



99 | **明日のトップランナー**  
山登 庸次  
NTTネットワークサービスシステム研究所  
特別研究員



102 | **グループ企業探訪**  
日本情報通信株式会社  
情報技術と通信技術が融合した  
「ICT」の会社



106 | **from NTTコムウェア**  
混雑を予測し情報提供することで  
心地良い賑わいを

35 | **Event Reports**  
「NTT R&Dフォーラム2020 Connect」  
開催報告

110 | **グローバルスタンダード最前線**  
ITU-Tにおける光ファイバの標準化動向  
および空間分割多重技術(SDM)の  
標準化に向けた取り組み

114 | **テクニカルソリューション**  
端末ログを活用した通話状況(回線使用状況)  
の即時見える化

**Focus on the News** \_\_\_\_\_ 117  
イベント \_\_\_\_\_ 123  
読者の声 \_\_\_\_\_ 124  
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

一般社団法人電気通信協会内  
NTT技術誌事務局  
TEL (03)3288-0608  
FAX (03)3288-0615  
E-mail jimukyoku2008@tta.or.jp

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 <http://www.ntt.co.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2021  
●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。

# Road to IOWN

さわだ じゅん

澤田 純

NTT代表取締役社長



本稿では、IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想の実現に向けた取り組み「Road to IOWN」について紹介します。本記事は、2020年11月17～20日に開催された「NTT R&Dフォーラム2020 Connect」での澤田純NTT代表取締役社長の講演を基に構成したものです。

## はじめに

今回、「Road to IOWN」について紹介します。まずその前に、2020年11月16日NTTドコモの完全子会社化を目的としたTOB（株式公開買付け）が無事終了し、約91%の株式取得に成功しました。このTOBの目的ですが、国内競争やボーダレスでの競争が激化する中で、GAFAsやOTTの方々との渡り合っ

ていくためには、NTTドコモの強化・成長が不可欠かと。これはどちらかというと受動的な議論です。一方で、能動的には、ドコモを強くすることでNTTグループ全体の成長・発展につなげていきたいと考えています（図1）。

## ■パンデミックと覇権の歴史

少し視点をずらしてみます。1602年、イエズス会宣教師のマテオ・リッチが中国で刊行

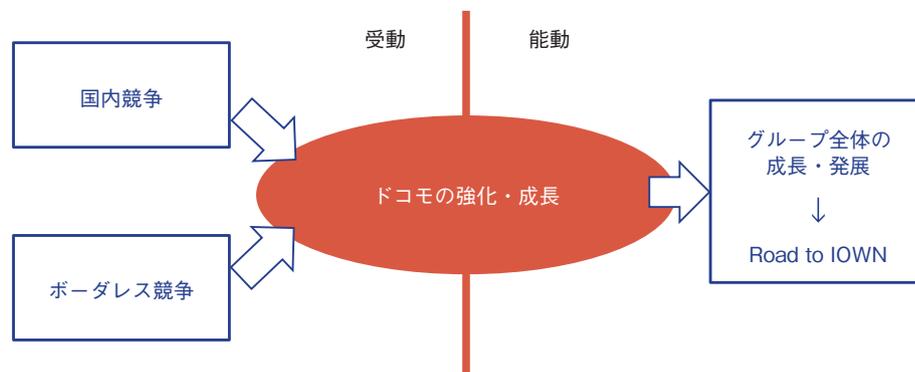


図1 NTTドコモ完全子会社化の目的

した「坤輿万国全図」が、関ヶ原の戦いが終わったころの日本に伝来してきました。この地図を拡大してみると、大きな島が4つ描かれており、日本というものがすでに認知されていたことが分かります。つまりグローバルにおける日本という位置付けを、この時代から考えていくべき構造があったわけです。

現在、新型コロナウイルス感染症の第3波が来ている中、パンデミックにどう対応していくか、これをまた歴史的に見てみます（図2）。イエズス会の地図に日本が明確に描かれていた時代は、スペインが全世界の覇権を握る前、あるいは握りつつあるころの議論になります。その前はイスラム帝国、そのさらに前はモンゴル帝国でした。モンゴル帝国はペスト、スペインは天然痘を契機に覇権を握っていく歴史がありました。オランダは宗教改革をリードした国で、スペインから大学して住民が移動し、それに伴って経済の中心もオランダにシフトしていきました。

18世紀になると、産業革命という技術革新により、英国が覇権を握ることになります。このときにアジアから欧州、米国に伝播していったのがコレラです。その後、第一次世界

大戦ではスペイン風邪が猛威を振ります。これで戦争が終わったのではないかという意見もあるようですが、その後はやはり経済衰退があり、米国が台頭してきました。

現在のコロナ禍の向こうにどのような世界が待っているのかということ私たちがよく考えながら、このような視点も広げていくべきだと考えています。

### ■日本の技術貿易収支

一方、総務省が20年近くまとめている技術貿易収支があります（図3）。いわゆる特許や技術に関する出と入りの数値です。輸出、輸入を比較した結果、産業全体はずっとプラスです。特に自動車や精密機械に関する日本の技術が世界で使われていることの証左でもあると思いますが、一方で、情報通信に着目するとマイナスです。ずっとマイナスといったほうが良いかもしれません。つまり、海外の技術を仕入れ、それを日本で利用して業としているということです。また、2014年には、とあるジャーナリストが「日本発の技術や、それをベースにした製品・サービスがほとんどない。世界に全く貢献しない日本のIT業界は、産業としての存在価値は無い（日本に

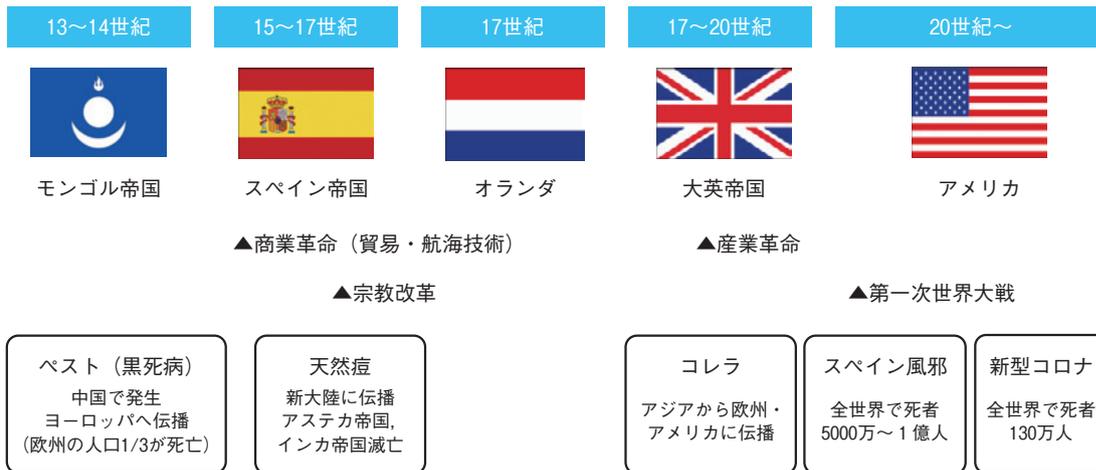
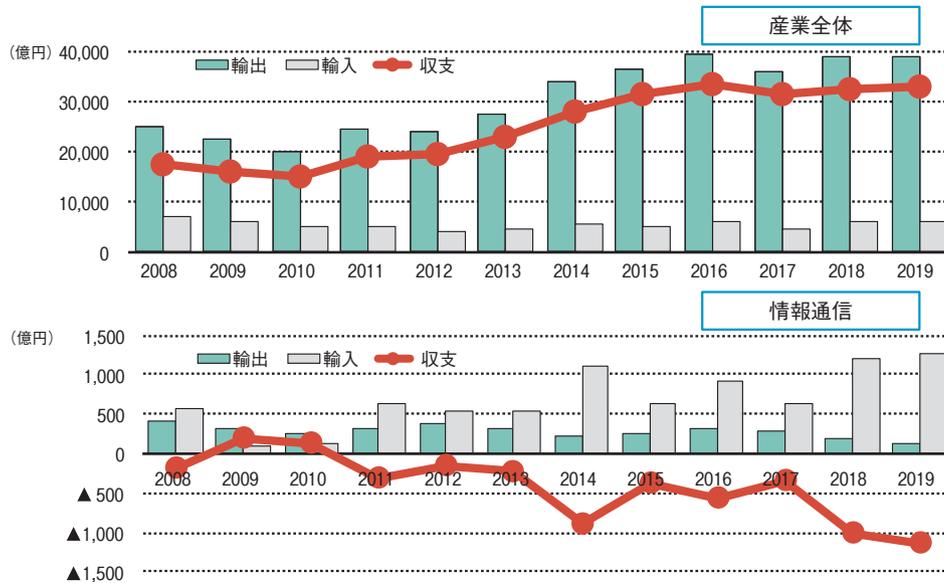


図2 パンデミックと覇権の歴史



出典：総務省/科学技術研究調査より作成

図3 日本の技術貿易収支史

あるのは「IT利用産業」だけ」と発言したそうです。私個人的にもこの発言にはショックを受けまして、これは次の技術でゲームチェンジを図っていくべきではないかと考えたわけです。

### ■アフターコロナ社会のトレンド

次に足元のコロナについてです。コロナは今も猛威を振っていますが、アフターコロナ社会のトレンドについて見ていきたいと思えます。

2つありまして、1番目のトレンドはリモートワールド、分散型社会です。おそらく今後いろいろな議論が進むと思いますが、2050年カーボンニュートラルを実現するためにも、リモートワールドは必須ではないかと考えます。ソーシャルディスタンスの確保と経済活動の活性化、これを同時に実現することが求められていきます。これを受けて、NTTグループとしては新たなサービスブランド「Remote World」を立ち上げました。Face to Faceを超える新たな空間をより充

実させていきたいと考えています。

もう1つがニューグローカリズムです。グローバリズムはやはり必要な要素ですが、併せて、私たち日本人が持っている文化、そして各地にある異文化、そういったものを尊重してダイバーシティを認めながらやっていくローカリズムが同時に必要ではないかと、これもパラコンシステントだと考えています。

先日、京都大学の山極壽一元総長と出口康夫教授と3人で話しているときに、「SDGsの17項目にないものとはいったい何か知っているか？」と質問されました。それは文化だそうです。つまり、文化というのは基本的にローカルに根差します。SDGsの17項目は普遍的なグローバルターゲットですが、私の言いたいグローカリズムとは、文化も理解し許容したうえで排除せず、全体の目標を達成していくような概念です。1つの考え方や均一な意識ですべてをコントロールしたり、仕切ってしまうのではなく、それぞれの幸せな生き方を認めていくような社会を求めていく

べきではないかと。

それをもう少し経済、安全保障や国という立場で見えていきますと、1番目は信頼できる人たちとのサプライチェーンが必要になるでしょうし、2番目はITを活用してDX（デジタルトランスフォーメーション）やコネクテッドバリューチェーンを構築する営みが必要になると思います。そして3番目はエネルギーの自立が求められるだろうということで、NTTグループもグリーン電力の利用を推進しようと考えています（図4）。再生可能エネルギーの利用を2030年に30%まで高めていく予定です。このような動きが認められ、Science Based Targets (SBT) の認定も取得しました。ただ、ベースにあるのはやはりICTで、例えばテレワークをするとCO<sub>2</sub>排出量が約7割落ちるそうです。つまり、リモートワールドを実現させ、コネクテッドバリューチェーンを構築していくことが大事ではないかと考えているわけです。

そして最後に、革新的なエネルギー技術の創出をICTでお手伝いできないかと考え、NTT宇宙環境エネルギー研究所を2020年7月に設立しました。世界7極が協力して建設が進んでいる国際熱核融合実験炉“ITER”お

よび日本の量子科学技術研究開発機構とも連携しています。核融合を非常に短時間でコントロールしながらプラズマを管理するためには、ペタレベルの大容量の情報を超低遅延で各地に伝送するためのコンピュータ方式と通信方式の革新が求められています。ITERのファーストプラズマは2025年を予定しており、そこへ向けて研究開発を始めています。

### Road to IOWN

今日の主題はIOWNです。キーワードはゲームチェンジです。はじめに、2020年6月に資本業務提携を発表させていただきました日本電気株式会社の新野隆社長からのメッセージを紹介します。

#### ■日本電気株式会社

##### 新野社長からのメッセージ

「皆様こんにちは。NECの新野です。このたびはNTT R&Dフォーラムの開催おめでとうございます。皆様ご承知のとおり、NTTとNECは今年6月に、革新的光無線技術を活用したICT製品の研究開発およびグローバル展開を目的に資本業務提携を行いました。この提携により、これまでのオペレータとメーカーという垣根を越えた対等なパート

#### ■ 社会の持続的成長に不可欠なエネルギー自立の取り組みを加速

環境エネルギービジョン：環境負荷ゼロ  
～お客さま・企業・社会の環境負荷低減へ貢献～

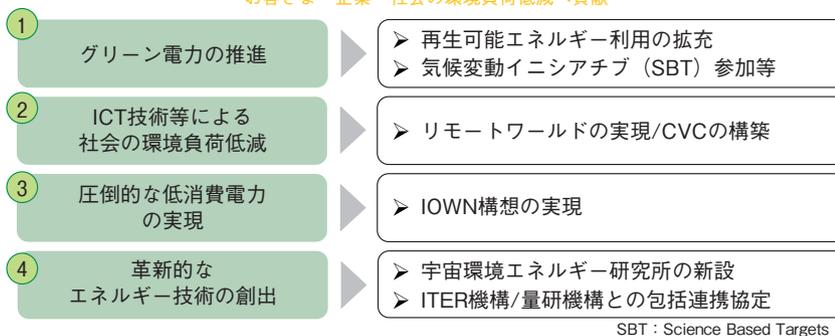


図4 エネルギー自立に向けた取り組み

ナーとして、長期にわたり協力させていただくこととなりました。

では、この提携の目的について簡単にお伝えしたいと思います。

まずO-RAN (Open Radio Access Network) Alliance仕様の普及を両者で促進しつつ、O-RAN準拠の国際競争力のある基地局を開発し、将来的にはグローバルトップシェアをめざします。また、世界最高レベルの性能と低消費電力化を兼ね備えた小型光集積回路、およびそれを組み込んだ情報通信機器を開発し、グローバルに販売していきます。さらに、IOWN構想の実現に資する革新的光無線デバイスの開発や、海底ケーブルシステム、宇宙通信、セキュリティなどに関する技術の高度化にも取り組んでまいります。NTTは先進技術の導入を推進する世界屈指のオペレータであり、また、フォトニクスや小型光集積回路などで業界トップクラスの研究開発力・技術力を有しています。

一方、NECには世界的にも高度な通信技術や、AI、セキュリティなどのデジタル技術およびオペレータに求められる品質と信頼性を確保した通信インフラの豊富な構築ノウハウがあります。この両者が手を結ぶことにより、まさに日本の産業競争力強化、および通信インフラの安全性・信頼性の一層の確保に

も貢献できると確信しています。澤田さん、一緒に頑張っていきましょう。本日はありがとうございました。」

新野社長、ありがとうございました。

まず手元のところでは、O-RAN準拠のマルチメディア対応の無線アクセスネットワークを一緒に開発しながら、次の光電融合、あるいはIOWNに備えていきたいと思っています。

### ■NTTのめざす方向性

では、NTTがめざす方向性についてですが、図5のとおり、1番目はリモートワールドに適した新サービスの提供です。2番目はNTTグループ全般のリソース集中を図りながらDXをどう推進していくか。この中のスタートラインがNTTドコモのTOBでした。3番目は今日のメインピックであるIOWNの実現です。そして最後の4番目は、グローバルを含めた新規事業の強化です。

では、結果として社会へどのような貢献を果たしていくかについてですが、1つはやはり産業の国際競争力の強化です。この中にもいくつかありますが、宇宙や海中まで含めた新領域での情報通信の高度化をリードしたいと考えています。それからナショナルセキュリティの向上です。サイバーセキュリティ以外に、事業継続性や災害時の議論もあります。そして、情報通信産業そのものを発展さ

1. リモートワールドを考慮した新サービスの展開・提供

2. リソースの集中とDXの推進

3. 世界規模での研究開発の推進(IOWN実現)

4. スマートライフ事業など新規事業の強化

図5 Road to IOWN - NTTのめざす方向性

せていきたいと思っています。

今日はNTTがめざす方向性の3番目のIOWN実現について、4つの特徴ある技術について紹介したいと思います。その前に、トヨタ自動車株式会社の豊田章男社長からも今回メッセージをいただいておりますので紹介します。

## ■トヨタ自動車株式会社

### 豊田社長からのメッセージ

「豊田でございます。Woven Cityの構想を思いついたとき、NTTの力を借りないと絶対に実現できないと感じました。今年の1月にラスベガスでWoven Cityを発表し、その後すぐに澤田さんのところに行きました。そのときに澤田さんと私で一致したのは、人が安心して暮らせる街にしたい、人が情報に支配され監視されるような街にはしたくない、あくまで人が中心で幸せな暮らしを実現していきたい、そんな思いでした。3月に2人で記者発表してからWoven City実現に向けた仕事が始まっています。トヨタ側の現場に話を聞いてみますと、スマートシティを進めるうえでNTTはパートナーというよりも先生のような存在だと言っておりました。彼らはまず両者の持っているものを全て机の上に並べたそうです。そうするとNTTからは我々が想像していた通信、エネルギー、行政関係にとどまらず、医療やエンタメなど人が笑顔で暮らしていくために必要なあらゆるノウハウが出てきたそうです。やはり我々トヨタだけでは人々の暮らしを創っていくことはできません。

この取り組みが始まるまでは聞いたことがなかったニューノーマルという言葉が日に日に当たり前の言葉になってまいりました。ニューノーマルの中で人々が本当に幸せにな

れる街を引き続きNTTの皆様とめざしていければと思っております。そしてこれはNTTとトヨタだけでもできません。多くの方々の志と技術で実現できるものだと思っております。NTTの皆様、これからもよろしくお願い致します。ありがとうございました。」

豊田社長、ありがとうございました。

## ■デジタルツインコンピューティング

Woven Cityを東富士（静岡県裾野市）に建設し、その後は品川、さらには全世界の都市を対象にスマートシティ化を推進する。また、それらを連結した“プラットフォーム・オブ・プラットフォーム”を一緒に実現することが協業の主眼になっていますが、これはデジタルツインコンピューティングにつながる話です（図6）。街をサイバー空間にもう1つ形成し、そこでの予測を住民の生活あるいは都市機能の円滑なオペレーション向上に利用していく考えです。デジタルツインコンピューティングを通じて未来都市のデザイン、人流・交通流の最適制御、医療分野のスマート化を実現していくうえで、“起点”が大事になります。今までの地図は2Dですが、それを3D、さらには時間軸を入れて4D化する。またそれらをデータとして蓄積し、エビデンスにもしながら、正しい位置に原点を戻すような基盤を用意しておく必要があるのではないかと考えています。これを4Dデジタル基盤<sup>TM</sup>と呼んでいます（図7）。これがサイバーあるいはスマートシティの起点として活用されていくものになるのではないかと考えているところです。2021年度から実用化を開始していきます。

もう1つはパーソナルメディカルソリューションです（図8）。NTTは今、バイオデジタルツインの研究を進めています。脳や心臓

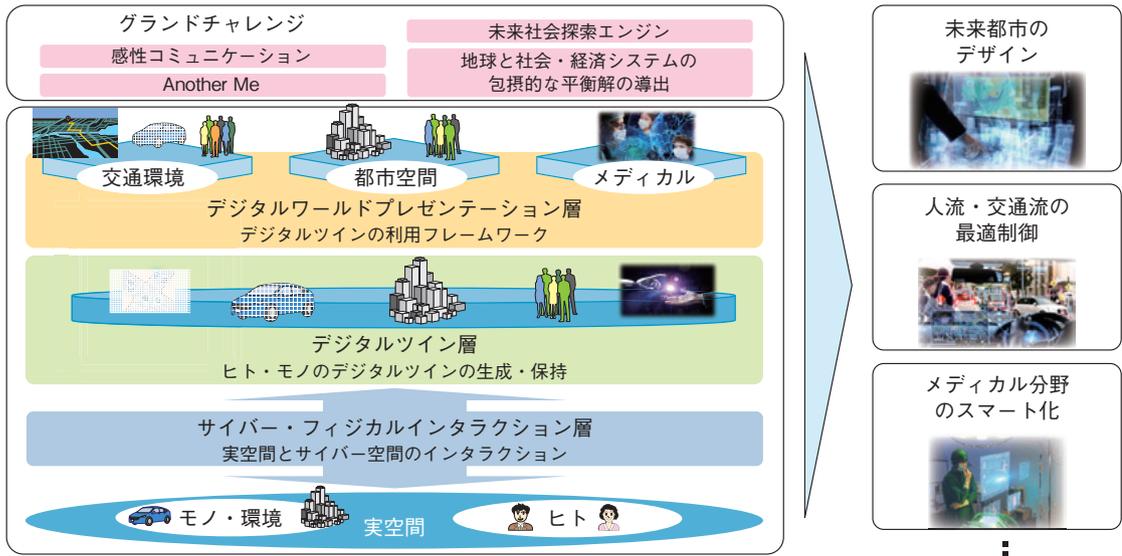


図6 デジタルツイン コンピューティング

- 精緻な地理空間情報データベースを構築し、緯度・経度・高度・時刻のセンシングデータをリアルタイムに統合
- 未来予測に活用する4Dデジタル基盤™を2021年度から順次実用化

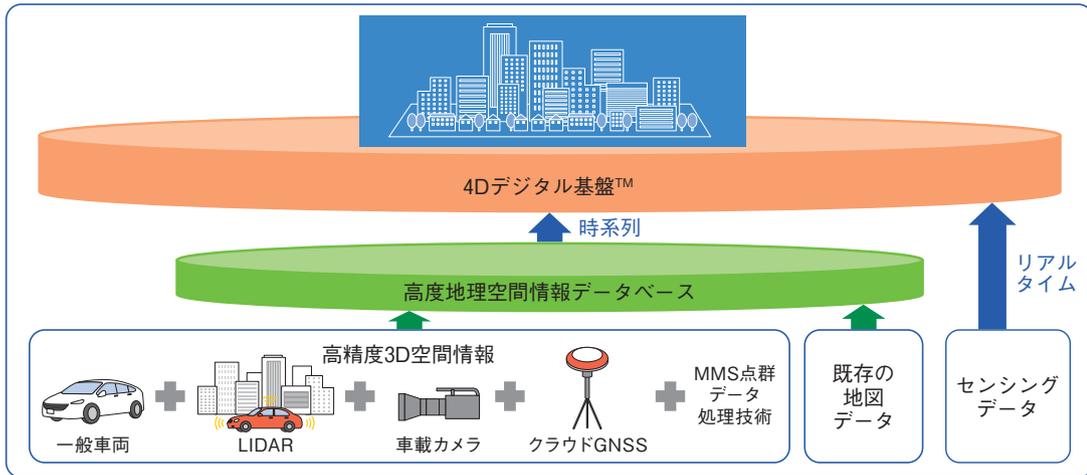


図7 4D デジタル基盤™

の生体情報をセンシングしながら、予測シミュレータや個人情報と組み合わせることで、超ミクロ領域での診断や治療に役立てるものです。目的は人類全体のクオリティ・オブ・ライフ向上であるべきで、人類全体が救いの手を得るような技術の開発と社会的受容性を議論していきたいと考えています。

■ オールフォトニクス・ネットワーク

次に、オールフォトニクス・ネットワークです。世界のIPトラフィックは2年で1.5倍、IT消費電力は5年で1.6倍になると予測されています。そのような中、NTTは通信インフラにオール光を導入していきたいと考えています。現在の光アクセス網はスター型に

- バイオデジタルツインにより、心身状態の未来予測および体内の超マイクロ領域での診断・治療の創出
- コンソーシアムを設立し、パートナー連携（2021年度予定）

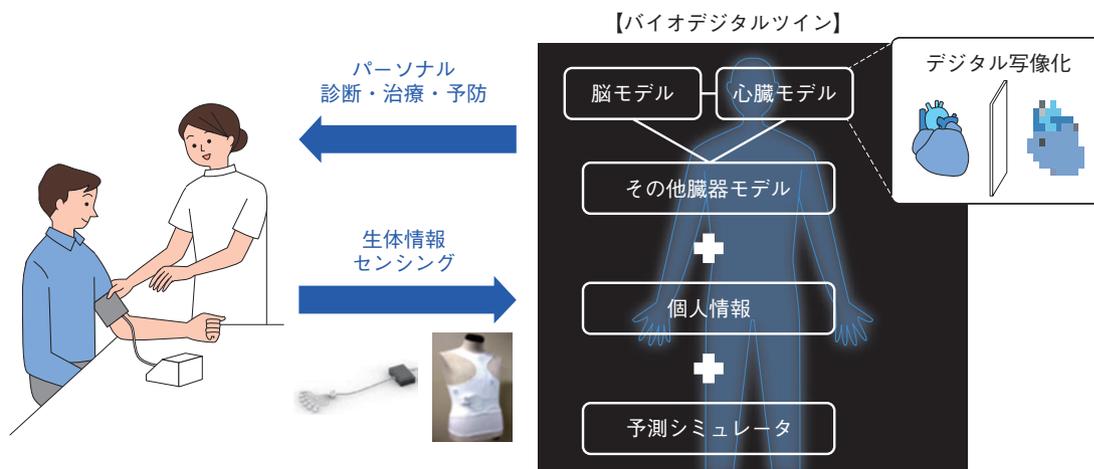


図8 パーソナル メディカル ソリューション

なっていて、NTTのビルから1本1本お客さまのところに線を引いていますが、これをオーバーレイしながら、多段ループ型のアクセス設計に変えていきたいと思っています。これは世界初の概念となりまして、その際に鍵となるのが、通信断なく自由に光ファイバを分岐させる技術です。研究途上ですが、これが確立すれば、信頼性および即応性の高いアクセス網が実現します（図9）。

また、オールフォトニクス・ネットワークのユースケースとして、分散型Ultra-Reality Viewingを紹介したいと思います（図10）。アフターコロナの社会ではスタジアムに全員入れずに、家から観戦される方も多くいらっしゃると思います。その方々に遅延なくパフォーマンスを伝えながら、スタジアムと双方向で歓声や雰囲気といった臨場感を共有していきたいと考えています。

### ■光電融合デバイス/Disaggregated Computing

次に光電融合デバイスを紹介します。現在

試作品を作製しており、2年後に完成する予定です。シリコンフォトニクスの中央に位置するLSIに対して、入出力装置として光・電子のコパッケージを採用するというのが第一ステップです。次のステップではチップ間の接続を光に変えます。さらにその次のステップでは、チップ内の通信を光素子で構成します。

そのチップを利用して、サーバ（箱）単位ではなく、CPU、GPU、メモリ等のいろいろな機能どうしを光で結ぶDisaggregated Computing Modelを導入する予定です。このモデルの実現には、超強力なホワイトボックスや新しいOSが必要になります。

### ■IOWN構想

IOWN構想はオールフォトニクス・ネットワーク、デジタルツインコンピューティング、コグニティブファウンデーションで構成されますが（図11）、デジタルツインコンピューティングや4Dデジタル基盤上の膨大なデータをエンド・ツー・エンドのオールフォトニクス・

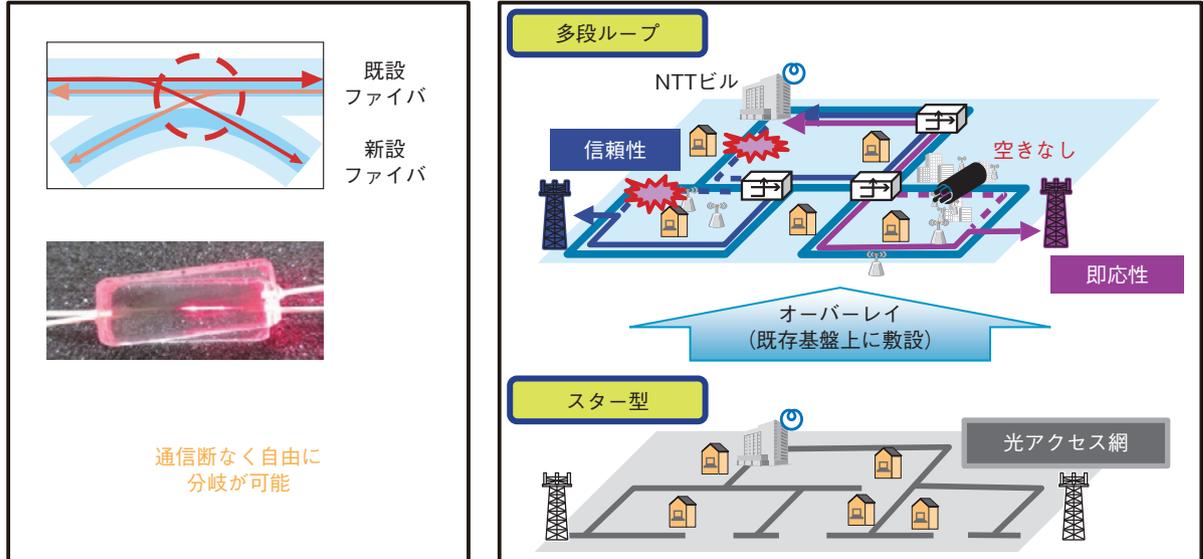


図9 オールフォトニクス・ネットワークの展望

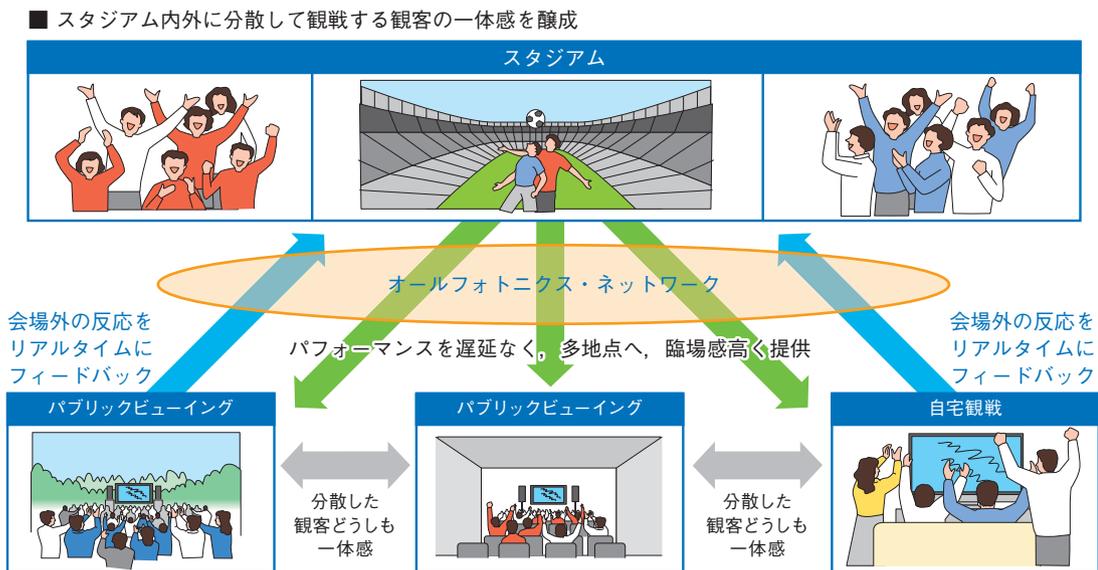


図10 オールフォトニクス・ネットワークユースケース (分散型Ultra-Reality Viewing)

ネットワークで支えていきます。また、移動ネットワークと固定ネットワークのコアは現在分かれています。それを融合していくようなコアが今後必要になると考えています。

前述のパーソナル医療ソリューションを含めた医療ICT戦略はデジタルツインコンピューティングのところにあります。一方で、O-RAN/vRAN (virtualized Radio

Access Network) およびデバイスはインフラ側です。それら全体をDisaggregated Computing Modelが支えていくことになるのではないかと想定して研究開発を進めています (図12)。

■ IOWN Space Computing

次にSpace Computing, 地球エネルギー系と切り離された宇宙データセンタの実現で

す（図13）。例えば低軌道衛星にコンピューティングリソースを搭載し、衛星どうしをつないで分散処理コンピューティングプラットフォームを形成することを検討しています。生データをレーザ伝送で衛星に送信し、計算・分析結果をレーザ伝送で地球に戻します。MIMO（Multiple Input Multiple Output）技術が1年半後に衛星に載ることが決まりましたので、このような技術も利用

できると思います。

■ IOWN ロードマップ

IOWNのロードマップを図14に示します。2020年度にIOWNグローバルフォーラムをスタートさせました。2021年度にはオールフォトニクス・ネットワークのユースケースが出てきますので、この後どのように設備に実装していくかという研究を合わせて進めていきます。また、4D デジタル基盤™の最

■ オールフォトニクス・ネットワーク、デジタルツイン コンピューティング、コグニティブファウンデーションで構成されるIOWN構想の実現をめざす

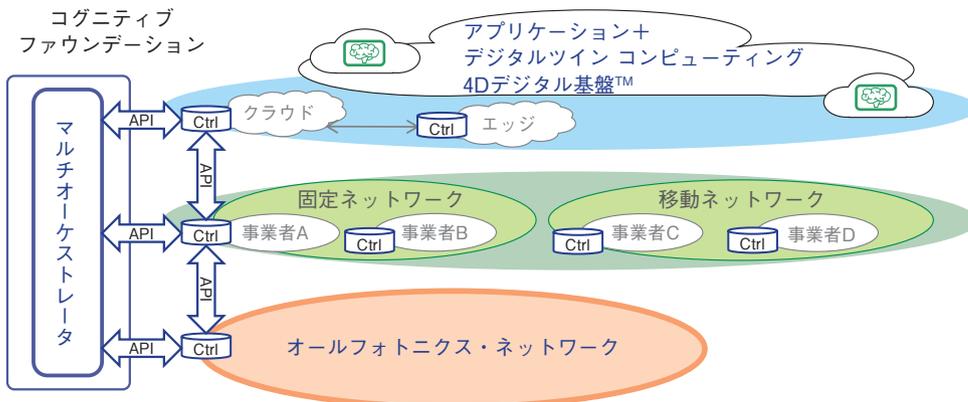


図11 IOWN 構想

：今回新たに開発を発表する領域

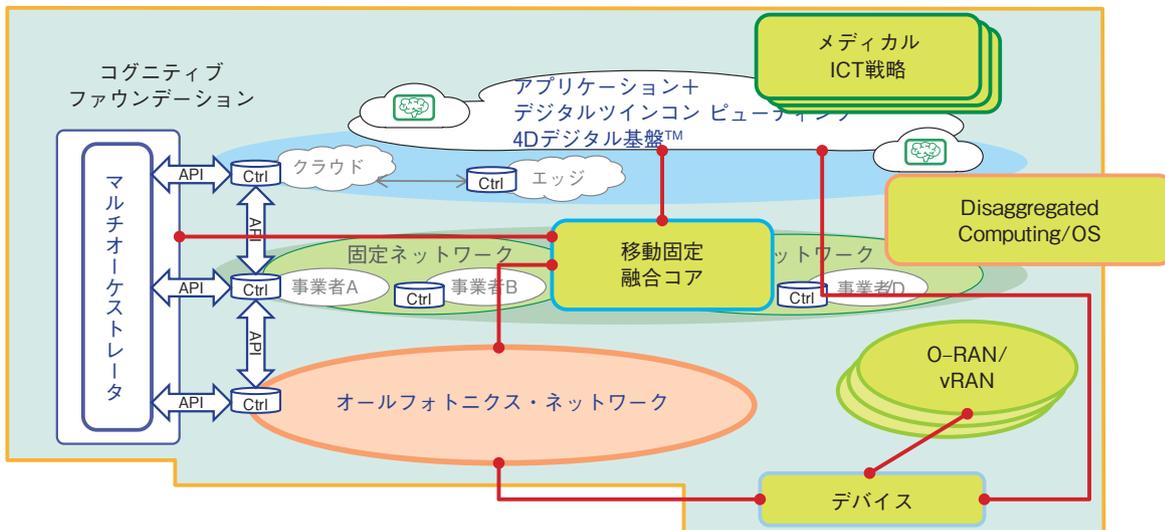


図12 2030年の情報通信構造（想定）

初のバージョンは2021年度中にリリースすべく進めていきます。そして2022年度に光電融合型のデジタルシグナルプロセッシングを出したいと考えています。それから Disaggregated Computing の基本概念とリファレンス方式も検討していきます。2023年度にはドコモの5G 基盤展開率97%を目標にしています。2025年にはPSTNマイグレー

ションが完了します。また、2025年度には核融合のファーストプラズマ、デジタルツインコンピューティングのグランドチャレンジとして、群衆の未来社会探索、コミュニケーション特性翻訳エンジン、水循環・エネルギーの連成シミュレーション等が控えています。そしてAnother Meはかなり時間を要しますが、2035年に研究開発上の目標を置いてい

■ 地球エネルギー系と切り離された“宇宙データセンタ”の実現

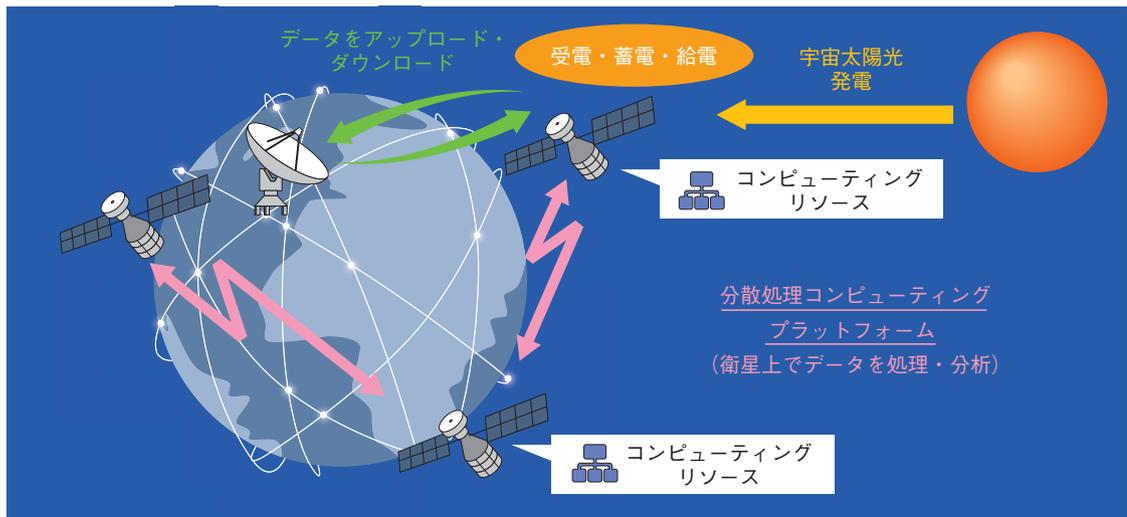


図13 IOWN Space Computing

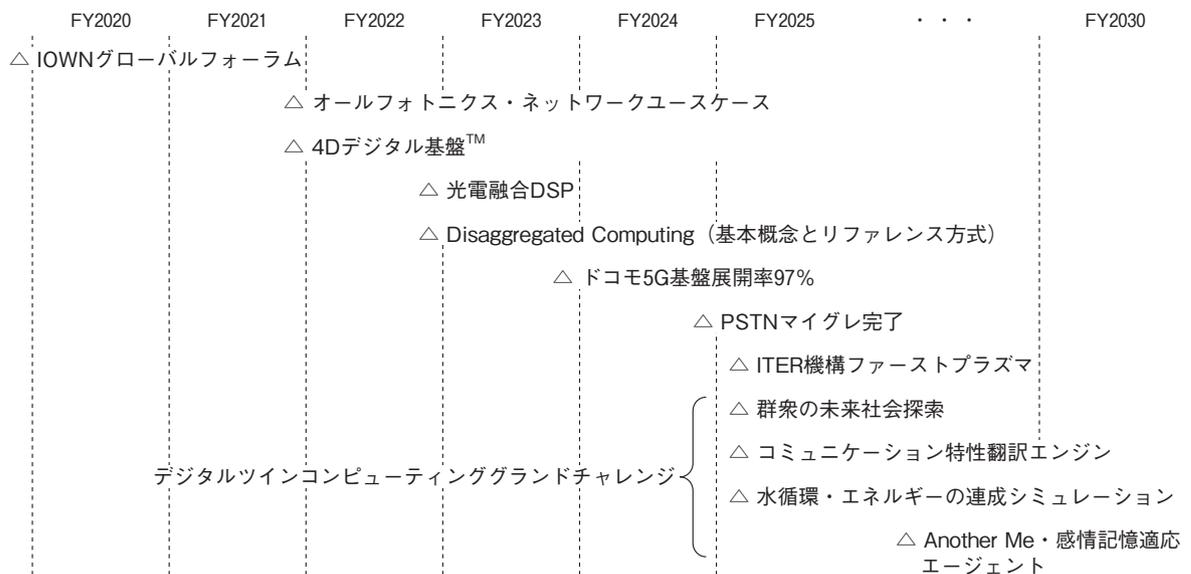


図14 IOWNロードマップ

- NTTがめざす世界観や社会課題貢献について、3D空間ならではの情報を発信
- 4つのエリア構成で、リモートワールドの世界観を体現



図15 3D空間型オウンドメディア『DOOR』

ます。

### ■社会のさらなる持続的成長に向けて

私たちはIOWNによるゲームチェンジを行いたいと考えています。光電融合素子、オールフォトニクス・ネットワーク、Disaggregated Computing Model、4Dデジタル基盤™などの要素がIOWNを支え、IOWNによって社会に変革をきたすように各種取り組みを推進していきたいと思えます。アフターコロナの社会におけるリモートワールドの実現、ニューグローカリズムへの対応は私たちが考えている社会の大きなトレンドですが、そこにIOWNによるゲームチェンジを加えることで、より自立した日本の実現および世界への貢献を進めていきたいと考えています。

### おわりに

本日は多くの方々にネットからアクセスいただいています。今後はデジタルイベントという概念がより当たり前になってくると思います。そこで私たちは、NTTがめざす世界

観や社会課題への貢献について、3Dで発信する場を用意しました（図15）。私たちが情報を発信したり、あるいはここへ来て楽しんでいただけるような、技術のインキュベーションの場にしていきたいと考えています。

NTTはゲームチェンジ、Changing the Futureをベースにおいて研究開発や事業活動を進めてまいります。皆様、今後ともよろしくお願いいたします。

# Into the IOWN

## 限界打破のイノベーション

かわぞえ かつひこ

川添 雄彦

NTT常務執行役員 研究企画部門長

工学博士

本稿では、「Into the IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 限界打破のイノベーション」について紹介します。本記事は、2020年11月17～20日に開催された「NTT R&Dフォーラム2020 Connect」での、川添雄彦NTT常務執行役員研究企画部門長の講演を基に構成したものです。



### 人類が背負う未知なるリスク

今回の新型コロナウイルスで人類は未知なるリスクを背負う存在であると多くの人々が認識したことと思います。21世紀の今日でも人類はさまざまなリスクにさらされています。2015年に公開された文明を脅かす12のリスクというレポート<sup>(1)</sup>では世界規模のパンデミック、異常気象、核戦争、政治の失敗による国際的影響、そして隕石の到来などが挙げられています。こちらは地球に接近する隕石の現在の発見数です。平均して1週間に30個ほど新しい隕石が発見され続けています(図1)。現在の観測技術ではまだ発見できていない隕石があるということです。このグラフのオレンジと赤で示す隕石は大都市をも破壊できる140 m以上の危険な隕石です。私たちはさらなる技術革新を進めてこの危険な隕石の発見を加速する必要があります。

一方パンデミックについてはどうでしょう

か？ コンピュータシミュレーションの観点からみてみましょう。スーパーコンピュータでは新たなウイルスの特徴やその動きをシミュレーションするのに、だいたい年単位の時間がかかります。新しいウイルスに対して本格的な対策をつくり出すのに、1年以上もかかるということです。もし劇的に短い時間で新型ウイルスのシミュレーションを行い、どのような人が重篤化しやすいのか、どのような行動が感染拡大につながりやすいのかなど、予測把握することができたら、より効果的な対策を迅速に取ることができるとでしょう。しかしこのシミュレーションを高速化するためには現在のコンピュータが直面している消費電力、性能限界となっている熱問題を突破しなければなりません。私たちの今保有している技術、これでは人類の明るい未来を実現するためには、まだ不十分だと思います。

## 価値を生み出すデジタル化

それでは私たちは何をすれば良いのでしょうか。これまで情報通信技術はデジタル信号処理を導入することで高速化、汎用化、効率化を進めてきました。生活やビジネスを“より豊かに経済的に実現”する。そこに対して貢献してきたといっても良いと思います。しかしあのパンデミックを経験して私たちは認識しました。価値は1つではないのです。世界にはさまざまな価値が存在し、さらにこれは不変でもないのです。その時々に必要な新しい価値を生み出すデジタル化、これが本当に今後求められていくことではないかと思えます。

昨年のNTT R&Dフォーラムで環世界の考え方を紹介しました。ドイツの生物学者ユクスキュル博士が提唱した環世界なのですが、生物にはそれぞれの情報認識処理なり、それ

に応じて世界が形成されるという理論です。同じくドイツの哲学者カントが発表したコペルニクス的転回はこのユクスキュル博士の環世界のベースとなった考え方で、まず世界が存在してそれを人間が認識するという発想ではなく、世界は人間の認識の形式が成立させた現象であるというもので、すなわち私たちすべて異なる環世界で生きているということになります。例えば私たち人類にはこのように綺麗に花が見えているこの世界が、餌となる蜂の蜜に価値が置かれた世界になり、次に爬虫類の蛇が見ている世界では、餌となるネズミが価値となる世界になります(図2)。それぞれの固有の環世界が存在することをご理解いただけたかと思えます。

新たな価値を生み出すことができたデジタル化の事例を紹介します。歌舞伎ではファンの高齢化が進み、若い人が観に来てくれないという問題を抱えています。そこで若い人と

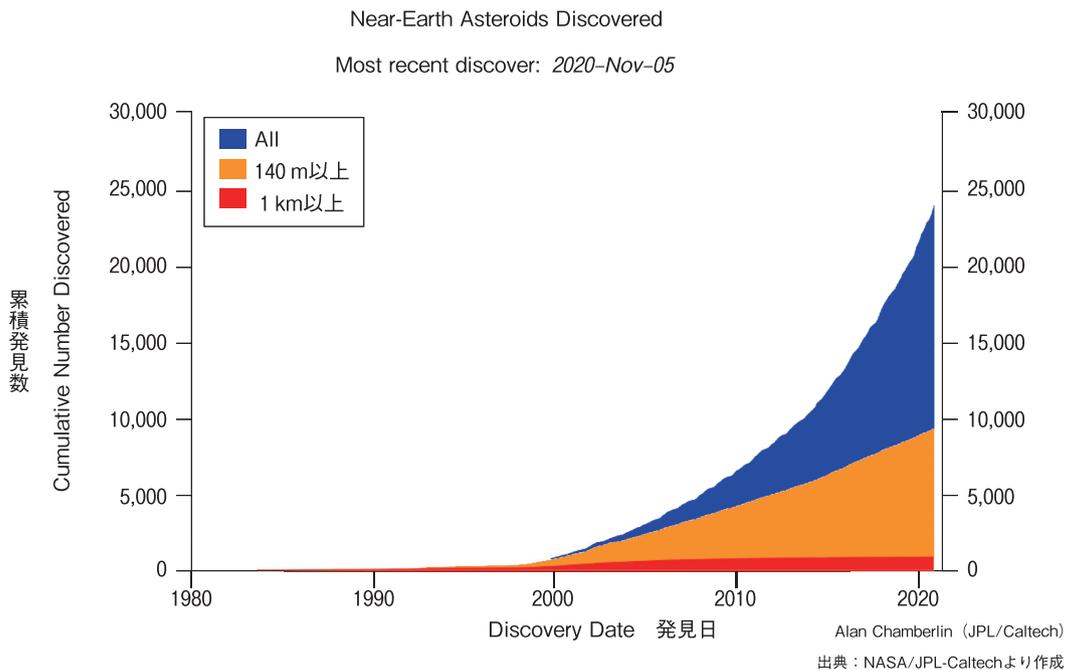


図1 地球近傍の隕石の累積発見数

歌舞伎の大好きな高齢者の2つの環世界を融合する試みをしました。歌舞伎俳優の中村獅童丈とボーカロイドの初音ミクの共演です。今まで歌舞伎に興味がなかった若者が夢中になって歌舞伎を見てコメントとして歌舞伎伝統の掛け声を叫んでくれています。また昔からの歌舞伎のファンも初音ミクや最新技術によってできる新しい演出、この良さを感じてくれました。2つの環世界を融合することで、新しい価値を生み出すことができた、これが私たちのめざすべき新たな価値を生み出すデジタル化というふうに思います。

人類の未知なるリスクへの対応、新たな価値を生み出すデジタル化を推し進めるために昨年5月にIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想を発表しました。本構想ではネットワークから端末そして情報処理まですべてに革新的な光技術を導入することにより、情報処理基盤の性能向上の壁である熱問題を解決し、消費電力、伝送容量、遅延時間の大幅な性能向上を図ることをめざ

します。まさにこれは限界打破のイノベーションです。

## IOWN 構想の進捗

次にIOWN構想の具体的な進捗内容について説明していきます。昨年IOWN構想では大きく3つの要素として説明しました。それはオールフォトニクス・ネットワーク、デジタルツインコンピューティング、コグニティブ・ファウンデーションです。このIOWNの起源は2019年4月に発表した世界最小の消費エネルギー1.6 fJ/bitで動く光のトランジスタの発明ですが、この光のデバイス開発はさらに進展しました。11月には世界で初めて超高速と超低消費電力を両立した全光スイッチ。そして2020年3月には世界初の光の干渉だけで任意の論理演算ができる超高速光論理ゲートの発明を成し遂げ、光技術の可能性を格段に広げることができました(図3)。こうした光デバイスの進展を踏まえ今回はIOWNの上に構築する3つの共通基盤とし



図2 生物固有の環世界



図3 光デバイスの進展



図4 IOWNの構想

て、光ダイレクト多地点接続、エクストリームNaaS (Network as a Service), そしてデータセントリックコンピューティング基盤を紹介していきます。さらにこの3つの共通基盤によって創出されるさまざまなサービスを紹介したいと思います(図4)。

■共通基盤

(1) 光ダイレクト多地点接続技術

光ダイレクト多地点接続技術では、光のインタフェースによって大容量光パスを実現します。エンド・エンドを光のパスでつなぐことにより、低遅延で大容量通信、高精度な時刻同期、多地点へのマルチキャスト、AIで高度化された自然な情報通信が可能となります。光の波長ごとに機能別専用ネットワークをつくることができます(図5)。ネットワーク形状は光のリング型構成として高い信頼性

と迅速なエリア展開が可能となります。またこれまで新たな需要が発生することに心線を増設する必要がありましたが、需要に応じて光の分岐を追加し、最小限の光ファイバで広いエリアをカバーしていきます。大容量光パスをダイナミックに提供することが可能となるのです。この光分岐の技術は、特殊な光ファイバの研磨加工分岐接続技術によって実現されます。この技術によってネットワークを止めることなく、光分岐が可能となるのです。

(2) エクストリームNaaS

エクストリームNaaSは強靱で柔軟なネットワークサービス基盤を提供します。IOWNの革新的光技術およびコグニティブ・ファウンデーションのマルチオーケストレータによって移動網と固定網が物理的にそして機能的に融合していきます。移動と固定のそれぞれの

メリットが享受可能となります。すなわちネットワークのこの違いを超えた新たな強靱な移動固定融合型サービスが創造されます。ユーザはどのネットワークを利用しているのか全く意識することなく、利用環境が変化してもサービスを安定して利用することが可能です(図6)。北海道岩見沢市でのトラクターの自動走行においては、先読み予測でつながり続けることを実現いたしました。今まで、

ローカル5G(第5世代移动通信システム)、5G, BWA(Broadband Wireless Access)などの別々のネットワークの間のハンドオーバーはできませんでしたが、この基盤によってネットワークが切り替わってもつながり続けられることを可能にしています。

移動網と固定網はこれまでそれぞれ提供するサービスが違っていたのでネットワークシステムも異なっていました。理由は機能レベ



図5 光ダイレクト多地点接続

意識せずにつながり続ける

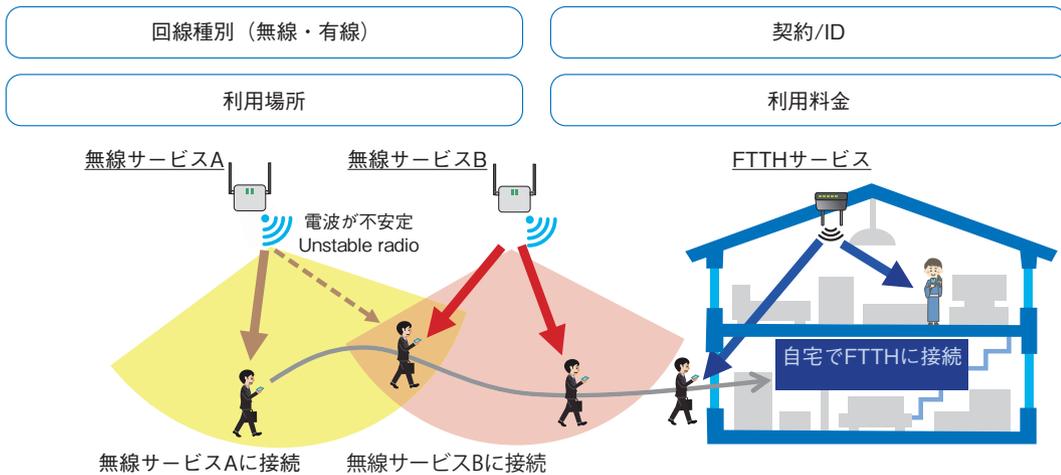
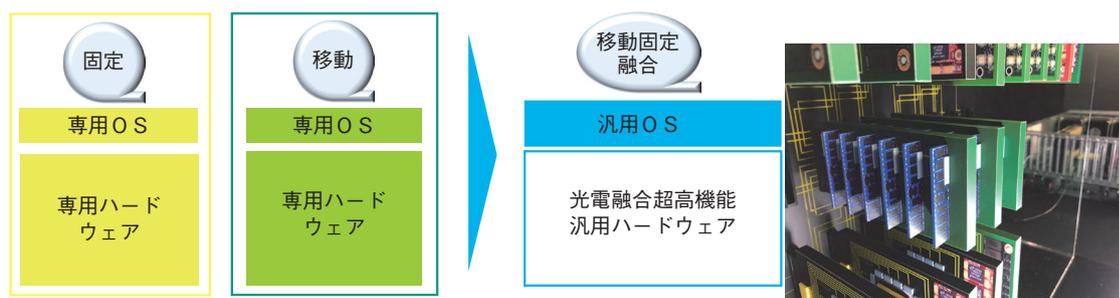


図6 エクストリームNaaS



- ✓ハードウェアは光電融合で超高機能
- ✓ソフトウェアはより高性能・そしてより多くのサービス提供

図7 移動固定融合時代の新しいシステムアーキテクチャ

ルそれから性能レベルが異なるためでありました。一方、2000年代ぐらいからホワイトボックススイッチに代表されるようなネットワーク機能のオープン化が進展してきました。カスタムチップではなくて汎用チップを用いて、ハードウェアとソフトウェアを分離していくという考え方です。そのためこのアプローチでは、さまざまな用途で対応可能な汎用装置が実現でき経済化が可能となります。このアプローチは5GのRAN (Radio Access Network)、いわゆるvRAN (Virtualized RAN) にも今展開されてきています。しかしこの汎用チップを用いているために、どうしてもカスタムチップを用いる専用装置と比べてしまうと性能面でおよばず、その用途は非常に限定的でした。これに対してIOWN構想では光電融合技術によって汎用チップの高性能化を図りこの課題を解決したいと考えています(図7)。これによって移動網と固定網、これが両方共通に利用可能なシステムを実現したいと思います。

- (3) データセントリックコンピューティング基盤  
データセントリックコンピューティング基

盤はデータすなわち情報を主体として構成する全く新しいICT基盤でこれまでのIPセントリックに変わるものです。左側がIPセントリック、右側がデータセントリックです(図8)。現在、ネットワークはその情報の違いによらずIPパケット、TCP/IPプロトコルで情報のやり取りがなされています。しかし本来情報の種別ごとにその特性とかあるいはその利用法が異なりますから最適な伝送方式と処理方式が存在します。このデータセントリックな基盤を実現するための新しいコンピューティングアーキテクチャを提案します。

現在のコンピュータアーキテクチャでは、大規模情報処理を行うために複数サーバを高速ネットワークに接続して計算処理能力の向上を図っています。しかし、パケットの待ち合わせ遅延時間が大きな問題となります。提案するこのフォトニックベースのディスアグリゲートドコンピューティングでは光のI/Oを有する複数のメモリ、CPUを直接、光データ伝送でつないでいきます。この超高速大容量データ伝送を可能にするために、800 Gbit/s級光電融合デバイスの実現へ向けて超高速処理を行うシリコンフォトニクス

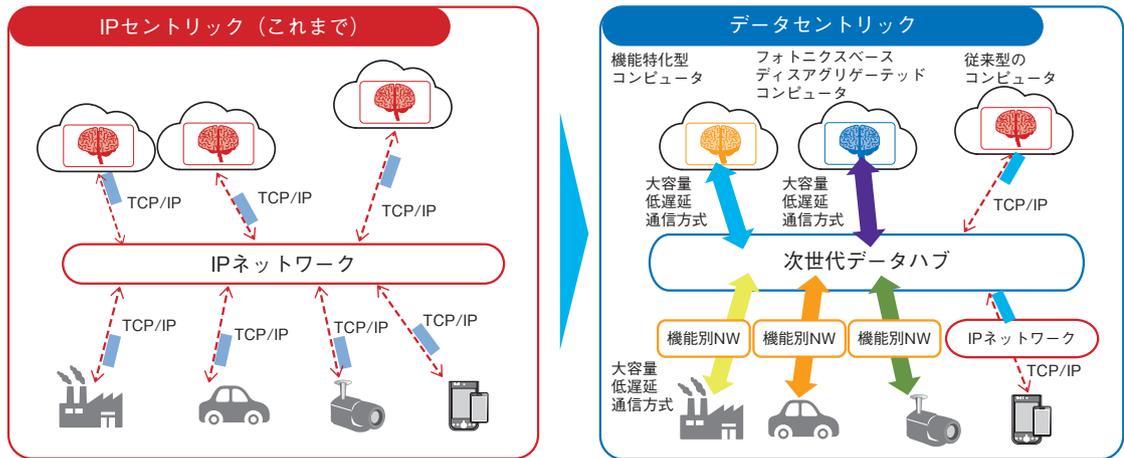


図8 データセントリックコンピューティング基盤

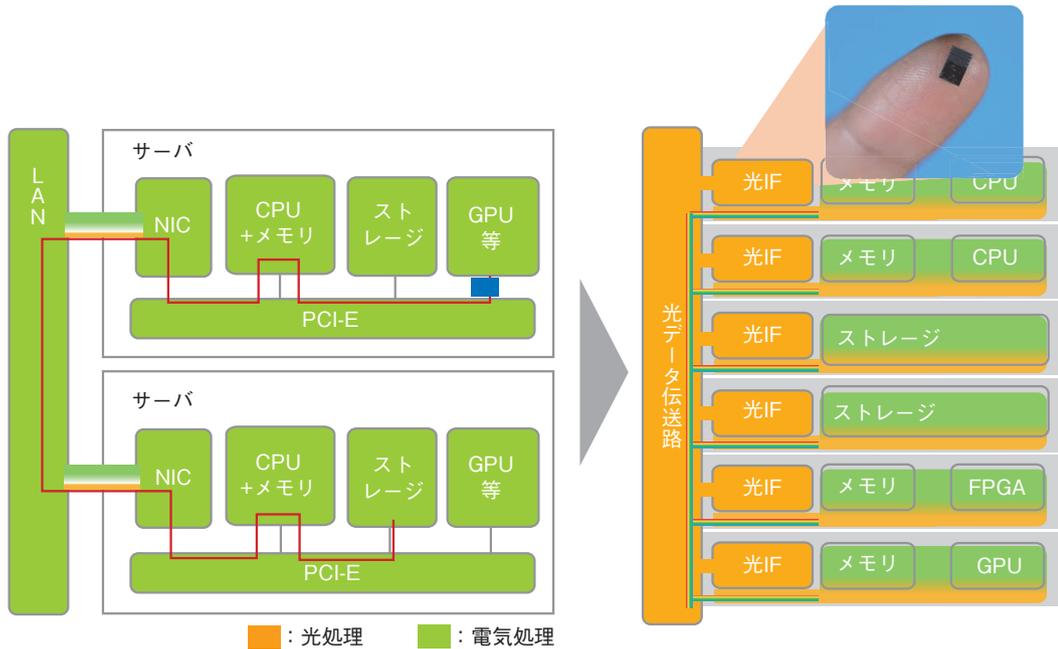


図9 フォトニックディスアグリゲータッドコンピューティング

チップを今回試作しました。この新しいコンピューティングアーキテクチャにより従来の消費電力による熱問題、処理限界を解決しシステムの大幅な性能向上が可能となります(図9)。

■新たなサービス

次にIOWNによって提供される、さまざま

なサービスを紹介します。

(1) ウェルビーイング

より幸福に生きるために将来を豊かに導く未来予測サービスが期待されています。自分自身の将来の変化、予兆、現時点の体調などの可視化とシミュレーションがポイントになります。しかしながら、現在も個々人の「体」

のシミュレーションということはどこでも実現されていません。そこで私たちは非侵襲な血液・心電センシング技術を搭載したデジタルツインデバイスによって生体情報を取り込み、ヒトのデジタルツイン、すなわちバイオデジタルツインを作成したいと考えています。作成したデジタルツイン上でシミュレーション、未来予測を行い、診断や治療における個人ごとの症状の把握、薬の選択、疾患の予防、さらには未知なる自分の発見にも貢献していきます。このようなバイオデジタルツインを作成するためには正確に身体情報を把握可能とするデジタルツインデバイスが必要となります。その1つとして現在研究開発中のAIテレ聴診器を紹介します。これは18チャンネルの装着型音響センサで、体のさまざまな場所の生体音を同時に収集し高品質、高音質で遠隔地に伝送することを可能とします。このテレ聴診器は今後、AI機能がさらに拡充して発展していくと考えています。取得した音と、これ以外のさまざまな情報を組み合わせ学習して、心臓の形状・動きを3Dモデルで推定することができるようになります。

## (2) 環境負荷ゼロ

革新的な環境エネルギー技術の創出に向けて取り組む、新しい研究所、宇宙環境エネルギー研究所を立ち上げました。本研究所は宇宙視点から、地球環境の再生と、持続可能かつ包摂的な社会の実現に貢献していきます。具体的には環境負荷ゼロに向けて、人工光合成や雷充電、核融合炉の最適運用制御について取り組んでいきます。

NTTは民間企業としては初めてITER国際核融合エネルギー機構（ITER機構）と包括連携協定を締結しました。本プロジェクトで

はIOWNの超高速超低遅延ネットワーク、およびデジタルツインコンピューティングを活用し複雑で緻密な核融合炉の制御システムの実現に貢献していきます。

このITERの国際プロジェクトとともに、国内にて核融合の実現に取り組んでいる量子科学技術研究開発機構とも連携協力協定を結びました。ともに世界に先駆けた革新的なエネルギー技術の創出をめざします。量子科学技術研究開発機構の那珂核融合研究所所長でいらっしやる、栗原研一様からメッセージをいただきましたので、紹介します。

（栗原研一 所長メッセージ）

NTTが持つIOWNという技術は非常に高度な光関連技術でありますし、また情報処理というのが非常に重要なものであります。核融合エネルギー開発プロジェクトにとって、重要な役割を果たすものと我々は考えております。将来の発電炉への実装を視野に入れてNTTとの協力を推進していきたいと考えています。NTTと量研という異なる分野の研究が融合することで、新しい日本初の技術が生まれ、人類の夢、核融合エネルギーの実現に大きく貢献することを期待しています。

## (3) 雷充電技術

異常気象によって落雷がさらに多発すると、人や設備に対する被害が深刻になります。気象観測技術にIOWNのデジタルツインコンピューティングを活用し、雷が発生する場所を正確に予測することをめざします。さらにこの雷のエネルギーを取得充電する研究を推進し、2022年には自然環境での雷制御充電実験を開始したいと考えています。

## (4) 4D デジタル基盤™

4D デジタル基盤™では、高精度な高度地

理空間情報データベースを位置起点とし、その上に位置・時刻が高精度な実世界のさまざまなセンサデータをマッピングし、高速にデータを収集・統合することでリアルタイムにサイバー空間上にデジタルツインを構築します。4Dすなわち緯度・経度・高度・時刻の四次元の情報を精緻かつリアルタイムに統合してデジタルツインを構築し、さまざまな未来予測と実世界へのフィードバックを行います。

4Dデジタル基盤™と関連する技術を活用して、道路交通の整流化、都市アセットの活用、社会インフラの協調保全といった領域への価値提供を行います。さらには、光技術を応用した光ファイバ環境モニタリングによる新たなセンシングや、光格子時計ネットワーク技術による環境・防災に向けた地球理解への貢献もめざまします。

この4Dデジタル基盤™では高精度にさらに低コストで物体を正確に認識する技術が必

要となります。そこで冒頭に説明した、環世界の考え方をここで適用しました。人間が視覚情報を用いて物体を認識します。一方例えば、コウモリなどは超音波を出して、それで発信してその反射波を使って物体を認識します。これまでNTTグループは電柱などの通信設備の位置関係を正確にとらえるために、ライダーと呼ばれるレーザで位置関係を把握するセンサを用いており、これは高精度ですが、すごく高価なものでした。そこで今回は視覚からの映像情報と、簡易で安価なライダーを組み合わせることで、高性能のライダー以上に物体認識の性能が出るかということを実験したところ、非常に良い結果を得ることができました。すなわち2つの環世界を組み合わせ、複合環世界によって新しい価値を生み出すことができたということです(図10)。

私たちはこのIOWNの革新技術を用いて海運にも貢献していきたいと思っています。

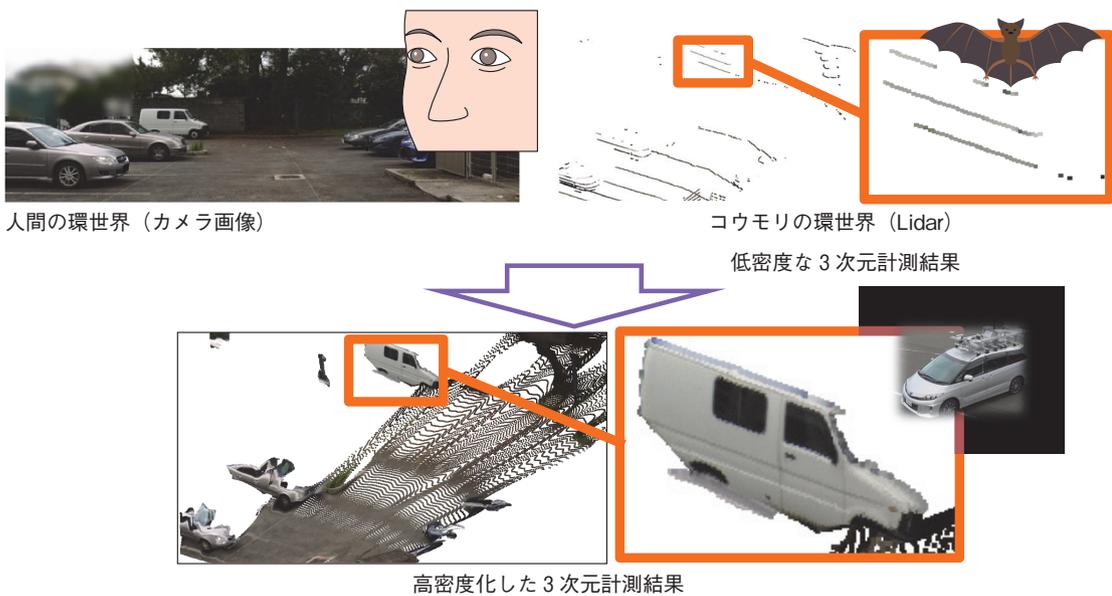


図10 4Dデジタル基盤™の実現に向けた実空間構造化技術

NTTは株式会社MTIと世界初の無人運航船舶実証実験に向けた共同研究契約を締結しました。株式会社MTIの代表取締役社長でいらっしゃる石塚一夫様からもメッセージをいただきましたので、紹介します。

(石塚一夫社長メッセージ)

日本郵船グループにとって最大の課題は、お客さまとともにESG経営を実現していくことです。将来の絵姿で言えば、ゼロエミッション船や自動運航船をめざした技術開発を業界のパートナーと共に進めていくことです。ここで共通することは物流および船舶がこれからますますシステム化されるということです。IOWNがめざす洋上も含めた大容量高速通信・高精度の位置計測は私たちにとって必要不可欠な技術です。

#### (5) リモートワールド

アフターコロナの社会ではソーシャルディスタンスの確保と、経済活動の活性化を両立させていく必要があります。これを実現するのがリモートワールドです。

NTTはこのたびリモートワールドという新しいサービスブランドを立ち上げ、Face to Faceを超える空間を実現すべく、さまざまなサービスの提供を開始しました。研究開発におきましても、あたかも目の前で競技が行われているような競技場の感動を共有することができる技術、イマーシブテレプレゼンス技術Kirari!の研究開発をこれまで進めてきました。コロナ禍におきましては、さまざまなスポーツが無観客で実施されるようになってしまいました。私たちの技術もそれに合わせてさらに進化する必要があると思っています。選手にとっては競技中のタイムリーな応援は元気とパワーの源であり、勇気を与

えてくれるものです。また応援する側である観客にとっても熱い応援による観客どうしや、選手との一体感はまさにスポーツ観戦の醍醐味であります。熱心な応援によって選手にパワーを送ること、それで一体感を得るためには一番重要なのはタイムリーであるということだと思います。それはリモート観戦においても同じです。すなわち会場のスタジアムと遠隔の観客、さらに観客どうしの遅延をいかに少なくし感情的に同期することができるか、これが非常に重要だと思っています。光ダイレクト多地点接続技術によってすべての会場がリアルタイムでつながることで、リモートであっても選手を励ますことができ、観客どうしの一体感も生み出すことができます。さらに、各会場に熱量を感知するセンサをつけ、応援の強弱によって、照明の明るさを制御するような工夫を行うことでより一体感を増すことができると考えています。このようにリモートで観戦する人の感情の変化をとらえて、観客相互に作用することで一体感や対話性を生み出す情動的知覚制御技術の研究開発にも着手しています。この研究開発ではデバイス技術やインタラクション技術を強みとする、ソニー株式会社との共同研究も行っています。

アフターコロナ時代、リモートワールド時代のスポーツ観戦では超低遅延技術によって離れている会場が遅延なくつながっていて、まるで同じスタジアムで観戦しているような体験をすることができるようになるでしょう。

#### ■ IOWN Global Forum

2020年の1月にNTT、Intel、ソニーで設立した、IOWN Global ForumではこのIOWNがめざす技術革新に賛同した世界の主

要企業、Microsoft、Dell、エリクソン、NVIDIAなどが加盟し、その数は日々増えています。またIOWN Global Forumのロードマップとして、2021年に技術的中核文書を発行し、2024年には仕様決定、2030年にフォーラムメンバーによるIOWN準拠サービスを開始するという計画に合意しました。NTTとしてはこの2030年を待たずして2021年には今回紹介した光を用いた新しいコンピューティングアーキテクチャの具体的な内容を発表していきたいと思っています。私たちはさまざまなグローバルなパートナーと連携しながらこの技術革新を進めていきます。

### 新たな挑戦

次にR&Dの領域のさらなる拡大を図る新しい挑戦について紹介します。

#### ■グローバル化の取り組み

私たちはさらなる基礎研究の拡充と強化のために海外の基礎研究拠点として NTT Research, Inc. を2019年4月に設立、7月から3つの研究所が活動を開始し、すでに大きな成果を出しています。例えば、暗号の世界でいうと世界トップレベルの学会Cryptoがあります。年に1、2本論文が通れば良いというぐらい非常に難易度の高い会議において12本、全採録論文の15%をNTT研究所が占めています。こういう快挙をすでになし得たということです。同じくグローバルなR&Dとして、日本とオーストラリア両国の社会課題である、認知症ケアを研究テーマとして設定した活動を開始しました。これは患者に寄り添った真のニーズを洗い出すという研究です。この研究を通じて患者に生きることの楽しみや、喜びを取り戻してもらうため

に脳科学やヒューマンインタフェースなどのさまざまな専門分野を持った研究者が集まり、国をまたがってその議論を進めています。この取り組みはオーストラリア政府にも高く評価されています。オーストラリア政府貿易観光投資大臣のサイモン・バーミンガム様、教育大臣のダン・テハン様からメッセージをいただきましたので、紹介します。

(サイモン・バーミンガム大臣)

NTTがディーキン大学、西シドニー大学と合意したパートナーシップ協定は我が国にとっても、初めてのケースです。この協力関係は両国共通の問題の解決を目標とします。持続可能な農業や食の安全、住み良い都市や再生可能なエネルギー源、デジタルインフラ拡充などをめざします。すでに進行中の初のプロジェクトは、認知症を生きる人々の生活の質を向上させるテクノロジーの開発です。

(ダン・テハン大臣)

オーストラリア政府は雇用創出や生産性向上のために、国内の各大学と産業界との協力推進に努めています。産業界が主導し、社会・経済的成果に焦点を当てたトランスレーショナルリサーチ能力の創出は我が国に大きな利益となります。フォーラムで共有された知識を武器に未来をつくり出せるでしょう。

#### ■セキュリティ

現在セキュリティ技術は攻撃者とのイタチごっこが長らく続いています。すべてが光でつながるIOWNの時代においては、現在注目されています量子鍵配送に限らず、新しいパラダイムになっていくと考えています。例えば光格子時計を用いることで $10^{-18}$ の時刻精度によってその遅延時間、通信相手との遅延時間やセンチ単位の高度を精密に測定する

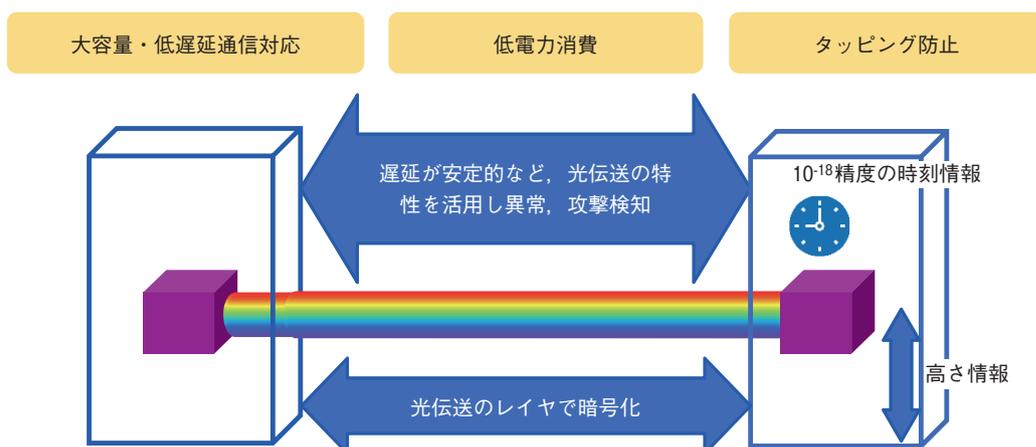


図11 IOWN セキュア光トランスポート

ことができますから、これを利用した全く新しい観点での認証技術を実現することができます。セキュア光トランスポートと題しましたが、まさに光の特徴を用いた新しいセキュリティ技術への挑戦です（図11）。

## ■宇宙

NTTグループの宇宙への取り組みの本格的なセカンドステージです。NTTは2019年11月にJAXA宇宙航空研究開発機構と共同研究を進めることに合意しました。

宇宙空間と地上をシームレスにつなぐ超高速大容量でセキュアな光無線通信インフラの実現をめざします。この共同研究では、革新的な衛星IoTプラットフォームの軌道上実証をまず行います。世界で初めてMIMO（Multiple Input Multiple Output）技術を衛星に適用し、今までの衛星通信のネックになっていた容量の問題を解決していきます。圧倒的な容量拡大をめざすとともに、地上通信網の未整備地域を含む、全世界のあらゆる場所における低コストのIoTプラットフォームの実現をめざします。本技術は2022年度打ち上げ予定の通信衛星への搭載がすでに決定

しています。

JAXA宇宙航空研究開発機構部門長 張替正敏様よりメッセージをいただきましたので、紹介します。

（張替正敏部門長からのメッセージ）

NTT様とは2019年8月に地上と宇宙をシームレスにつなぐ超高速大容量で、セキュアな光無線通信インフラの実現をめざす協力協定を締結させていただきました。この協定の下でIOWN構想がめざすインターネットを超えた新しい情報基盤に宇宙空間も活用していただくべく、共同研究を進めさせていただいております。

そしてこの宇宙への挑戦ですが、今回、大きなビジョン「IOWNスペースコンピューティング構想」を公表します

IOWNの光電融合技術が実現する超低消費電力、このコンピューティング能力は、今までの技術から想像もつかない可能性を秘めています。私たちは衛星上でデータを処理分析することができる宇宙データセンタを実現できると考えています。宇宙空間のエネルギー

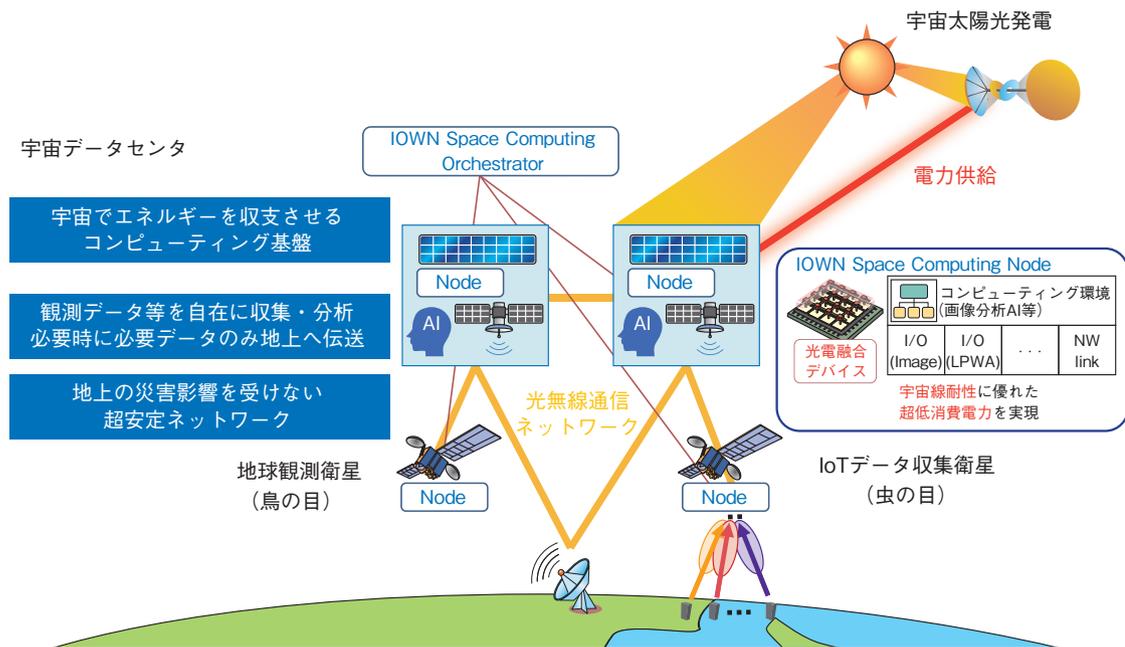


図12 IOWN スペースコンピューティング

だけでさまざまな観測データを複数の衛星をまたがって処理分析することができる、全く新しいコンピューティング基盤を見すえています。IOWNの各種革新技術によって、地上のICTインフラとは全く独立して異常気象の影響もない、地球に負荷も与えない、エネルギーを含めすべて宇宙で完結する新しい超安定度の高い恒久ICTインフラになると考えています(図12)。

## おわりに

人類はさまざまなイノベーションを起こしてきました。現在の技術は過去からの積み重ねです。私たちは短期ではなくて長期的な視点で活動する必要があります。幸福を瞬間的なものではなく時間的な積分値としてとらえて、イノベーションによって最良の未来に導く必要があります。そのために技術がもたらす無限の可能性を正しく理解していくことが

必要です。この大きな課題は私だけの知見ではいけません。あらゆる分野の方々との問題に真摯に向き合い、より良い未来をともに探っていきたいと思います。

今回はIOWN構想における具体的な進捗と、新たなチャレンジを紹介しました。未知なるリスクを背負う人類が、幸福であり続けるために、Into the IOWN 限界打破のイノベーションによって、私たちNTTグループはすべての人々に貢献していきます。

## 参考文献

- (1) Global Challenges Foundation: "12 Risks that threaten human civilization: The case for a new risk category," 2015.

# ポストコロナに向けた スポーツ&ライブエンターテインメントの再創造

きのした しんご  
木下 真吾

NTTサービスエボリューション研究所 主席研究員

2020年11月19日にライブ配信された「NTT R&Dフォーラム2020 Connect」特別セッション1では、ゲストに日本フェンシング協会会長/国際フェンシング連盟副会長の太田雄貴氏、株式会社IMAGICA EEX 代表取締役CEO兼CCO/株式会社IMAGICA GROUP ゼネラルプロデューサー諸石治之氏を迎え、木下真吾NTTサービスエボリューション研究所 主席研究員により「ポストコロナに向けたスポーツ&ライブエンターテインメントの再創造」をテーマに、コロナ禍におけるスポーツ&ライブエンターテインメントの現状と今後について議論が交わされました。



## はじめに

ぴあ総研の2020年5月の発表によれば、2020年2月から年末までのイベントの中止・延期件数は約43万2000件、その損失額は市場規模の77%、約6900億円と予測されています<sup>(1)</sup>。

大勢のファンが1つの会場に集まり、大きな声援を送ることにより一体感を生む、スポーツ&ライブエンターテインメントという素晴らしい体験文化が、新型コロナウイルス感染症という未曾有の危機によってあり方の変革を迫られています。

そこで特別セッションでは、ゲストの方とともにポストコロナ時代に向けたスポーツ&ライブエンターテインメントの課題および将来像、そしてそこにNTTが果たすべき役割について議論しました。

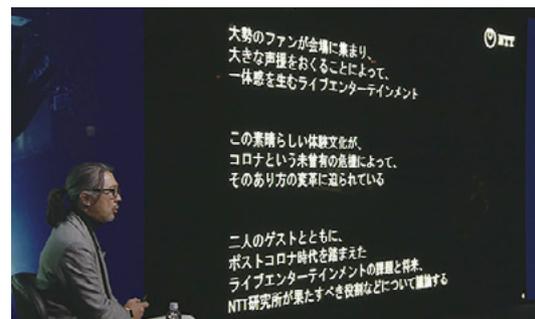
## ポストコロナ時代のNTTの取り組み

まずは現在、スポーツ&ライブエンターテ

ィンメント業界に何が起きているかを木下真吾NTTサービスエボリューション研究所 主席研究員が紹介しました。

ライブエンターテインメント業界については、イベントの中止・延期が続き、無観客または観客数を削減して開催したとしても声援やハイタッチは禁止、という厳しい状況が続く中、クリエイティブやテクノロジーを活用して成功を収めた国内外でのオンラインライブ等の事例が紹介されました。

また、スポーツ業界についても、CGや電子会議システムを使用した「バーチャルファ



ン」を配置することで会場を盛り上げる取り組みや、シミュレータを使用して試合自体をバーチャル化した自転車競技の取り組みなどが紹介されました。

さらにNTTがコロナ以前から開発を続けてきた、競技空間を遠隔会場にまるごと届け、超高臨場な情報伝達を実現する「Kirari!」の技術を紹介。超低遅延通信技術により試合会場と遠隔会場とを同期させ、一体感を生み出す分散URVの様子が披露されました。

### 日本フェンシング協会の取り組み

ゲストの日本フェンシング協会会長/国際フェンシング連盟副会長 太田雄貴氏は、コロナ以前から現在までのフェンシング協会の取り組みを紹介しました。「突け、心を。」というフェンシング協会の新スローガンのもと、2017年から取り組んだ大会の改革について報告しました。

選手の格好良さを綺麗に出すようポスターを工夫したり、会場を従来の体育館から劇場に移したりといった取り組みで、客数およびチケット単価を上げた経緯が語られました。

また、NTTの協力のもと実施された決勝大会でのリモート観戦体験についても報告しました。「ハートビートエクスペリエンス」は、別会場で応援するご家族に試合中の選手の鼓動を感じながら観戦していただく仕組みです。選手が装着した心拍計のデータをご家族が持つボール型のデバイスへと伝送し、選手の鼓動を「振動・光」として体験するものです。また、「リモートハイタッチ」は試合会

場の選手と別の会場で応援するご家族とのハイタッチを可能とするソリューションです。それぞれの会場に設置された透明のボードに触れたときの振動を計測し、映像とともに遠隔地へと伝送するものです。離れた場所からの観戦でも双方向のコミュニケーションを取ることができ、スポーツの感動・喜びを伝え合うことができる新たな仕組みといえます。

### IMAGICA EEXの取り組み

もう1人のゲスト、株式会社IMAGICA EEX 代表取締役CEO兼CCO/株式会社IMAGICA GROUP ゼネラルプロデューサー 諸石治之氏はコロナ禍でのビジネスモデルの変容について説明しました。リアル至上主義で進行してきたライブエンターテインメント業界ですが、今後は三密回避、ソーシャルディスタンスの確保といった観点から、ありかた改革が求められています。これまでの劇場等の物理空間の中でチケット収入を得るという「劇場型収益」のビジネスモデルから、配信やライブビューイングを活用した「体験価値収益」のビジネスモデルへと変容するのではないか、とのことでした。





最新の取り組みとして、自身が企画・プロデュースを担当した「長渕剛オンラインライブ ALLE JAPAN」を紹介しました。2時間半・16曲を完全生ライブというかたちで配信し、10万人以上が視聴したライブです。300インチのLEDを3面配置し、360度を映像装置に囲まれるという環境を創り出し没入感・世界観の演出を行いました。また、300人がリモート参加し、一緒に歌うことで一体感・リアルタイム表現をも実現しました。

ライブ会場では、物理的制約の中で、アーティストとファンの空間的距離が生まれてしまいましたが、映像そして配信を活用した新しいコミュニケーションの演出や表現、テクノロジーにより、心と心の距離をゼロにすることができました。

リアルとバーチャルを融合した新しいライブエンターテインメントの可能性を諸石氏はこのライブを通じて発見したとのことでした。

## ディスカッション

続いてディスカッションを実施しました。オンラインライブの有効性を再確認する中、木下がスポーツ&ライブエンターテインメン



トの将来について問いかけると、太田氏はハイブリッド型になるだろうと予測しつつも、グローバル化が進むことにより大手の寡占化が進むのではないかと、という危機感を吐露しました。

一方、諸石氏は、5G（第5世代移動通信システム）、AI（人工知能）などが普及する中、テクノロジーとクリエイティブが融合することで新しいビジネスが生まれ、そして、エンターテインメント世界が広がっていくのが楽しみだ、と述べました。

セッションは未来のスポーツの話題で大いに盛り上がり、3氏はまだまだ語り足りない様子でしたが、大変有意義なものとなりました。

### ■参考文献

- (1) [https://corporate.pia.jp/news/detail\\_covid-19\\_damage\\_200529.html](https://corporate.pia.jp/news/detail_covid-19_damage_200529.html)

# 宇宙世紀に向けた、 NTT 宇宙環境エネルギー研究所の挑戦

まえだ ゆうじ  
前田 裕二

## NTT宇宙環境エネルギー研究所 所長

2020年11月20日にライブ配信された「NTT R&Dフォーラム2020 Connect」特別セッション2では、ゲストに小説家・「機動戦士ガンダム THE ORIGIN」SF考証の高島雄哉氏，タレントの眞鍋かをり氏を迎え，前田裕二NTT宇宙環境エネルギー研究所 所長により「宇宙世紀に向けた，NTT宇宙環境エネルギー研究所の挑戦」をテーマにセッションが行われました。SF作品であるガンダムの設定世界と絡めつつ，核融合炉の最適オペレーション技術など，NTT宇宙環境エネルギー研究所が取り組むさまざまな挑戦について紹介されました。



### はじめに

NTT宇宙環境エネルギー研究所は2020年7月にNTT情報ネットワーク総合研究所内に新設されました。「地球の未来，宇宙（そら）から。」を基本コンセプトとし，地球環境の再生と持続可能かつ包括的な社会の実現に向け，核融合や宇宙発電など次世代エネルギー技術とレジリエントな環境適応を可能とする技術の創出をめざすとともに，環境負荷ゼロに貢献するための研究を行っています。

より具体的にいうと，「環境負荷ゼロプロジェクト」として核融合炉や宇宙太陽光発電など圧倒的にクリーンなエネルギーの研究を行っている「次世代のエネルギー技術グループ」，つくったエネルギーを流通させる研究を行っている「エネルギーネットワーク技術グループ」，CO<sub>2</sub>をマイナスにするようなサステナブルシステムの研究を行っている「サステナブルシステムグループ」，さらに「レ

ジリエント環境適応研究プロジェクト」としてESG経営を科学的に分析して未来予測をするような研究を行っている「ESG経営科学技術グループ」，物理的に私たち自身が環境に適応したり，気象をコントロールしたりする研究を行っている「プロアクティブ環境適応技術グループ」を内包しています。

### 宇宙世紀とガンダムの世界観

セッション最初のテーマは「宇宙世紀とガンダムの世界観」。前田裕二NTT宇宙環境エネルギー研究所 所長より「モビルスーツ，ガンダムはこれからの地球のために必要なかどうか」という疑問が呈されました。

それに対し小説家の高島雄哉氏は，自身がSF考証として携わった「機動戦士ガンダム THE ORIGIN」には現在まさに実用化されつつあるパワードスーツの延長のような，モビルスーツの前身となる，月面開発作業用として開発された「モビルワーカー」が登場す

ることを例に挙げ、「モビルスーツにつながる、宇宙空間で自由に動けるようなものがあったらいいのかなと個人的には思う」と述べました。

一方、タレントの真鍋かをり氏は、自身が取材の際に得た「VR技術が発展すれば人間の五感をさらに上回るようなメリットが得られる」との展望を示し、モビルスーツは人間が搭乗することを前提としているが、通信技術が発展すれば「実際に人が行くだけではなく、例えば感覚だけ宇宙に行くなどが可能になるのでは」と述べました。

それを受け、前田所長は「ロボットだけが宇宙空間に行き、地上で操作できるという世界はすばらしい」とし、「通信ができない世界をなくす、ということが私たちの使命でもあるので、宇宙通信も含めて頑張っているところ」と結びました。

続いて、現在の地球環境の問題点として、前田所長は人類が増え過ぎたこと、そして今後も増加が見込まれることを挙げ、スペースコロニーへの人類移住について現実解を求めました。

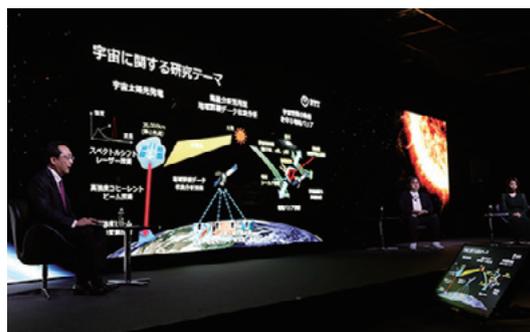
高島氏は「自分も行きたい」としたうえで、「ガンダムが切り開いた長期的にスペースコロニーに滞在するというイメージはあり」と述べました。

一方、真鍋氏は「スペースコロニーでも地

球と同じような生活をすることを前提としているが、例えば肉体だけがスペースコロニーにいて、生活・意識の面では違ったバーチャル世界で生きていくようなこともあり得るのでは」との見解を寄せました。

### 宇宙世紀と地球環境問題

2番目のテーマは「宇宙世紀と地球環境問題」。ここで前田所長はNTT宇宙環境エネルギー研究所のチャレンジを紹介しました。現在、同研究所ではITER機構、量子科学技術研究開発機構などと連携して、核融合炉の最適オペレーション技術に関する研究を行っています。核融合炉からエネルギーを取り出すにはプラズマを長時間安定的に発生させる必要があります。そのためには膨大なセンサーデータをコントロールセンタに転送し、最適な数値を計算し、瞬時にフィードバックする必要がありますが、その実現にはネットワー





クのさらなる高速化・低遅延化が不可欠となります。そこでNTTではIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 技術を適用し、これに貢献したいと考えています。

### 宇宙太陽光発電

同研究所では3万6000 km上空の静止軌道上で発電したエネルギーを地上に伝送する宇宙太陽発電の研究も行っています。伝送する際に使用するレーザーが実現すれば、雲や海を暖めたり冷やしたりすることができるため、気象をコントロールできるのではないか、という見解が前田所長より示されました。まずはデジタルツインコンピューティングの技術を使ってサイバー空間上に再現した地球上でさまざまなシミュレーションを実施し、地球および人類に悪影響がないことを確認した後、現実社会での実行をめざします。



### おわりに

最後に両ゲストへ、NTT宇宙環境エネルギー研究所へのリクエストを伺いました。

高島氏からはワープに関する研究をしてほしいとの要望があり、これに対し、前田所長は人体の転送となるとまた違う話になるが、と前置きしたうえで「通信の分野の技術ではあると思う」と、研究への参入の余地を残しました。また、真鍋氏からは「新しい世界の価値観、ナチュラルな思想の両輪を持ち、自然界が豊かになるような方向性の研究も続けてほしい」という要望が寄せられました。

R&amp;Dフォーラム

IOWN

最新技術

# 「NTT R&D フォーラム2020 Connect」開催報告

ほそだ ともひさ<sup>†1</sup> もちづき たかよし<sup>†1</sup> おんづか たかゆき<sup>†1</sup> もり しゅんすけ<sup>†1</sup> いえやす ともた<sup>†1</sup>  
 細田 智久 / 望月 崇由 / 恩塚 貴行 / 森 俊介 / 家保 具太 /  
 むごうち たかふみ<sup>†2</sup> ほった けんたろう<sup>†3</sup> ひたち けんいち<sup>†4</sup>  
 向内 隆文 / 堀田 健太郎 / 日達 研一

NTT 研究企画部門<sup>†1</sup> / NTT サービスイノベーション総合研究所<sup>†2</sup> /  
 NTT 情報ネットワーク総合研究所<sup>†3</sup> / NTT 先端技術総合研究所<sup>†4</sup>

2020年11月17～20日の4日間にわたり、オンラインにて「NTT R&D フォーラム2020 Connect」を開催しました。ここでは本フォーラムの開催模様を紹介いたします。

## フォーラム概要

NTTグループは、お客さまに選ばれ続ける“バリューパートナー”として、社会的課題解決に向け取り組んでいます。2019年5月に発表したIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想により、フォトニクス技術をベースとし、大容量、低遅延、低消費電力により持続的成長を支える情報流通基盤をめざして日々取り組んできました。その最新の研究成果について、初のオンライン開催となった2020年度は「Into the IOWN - Change the Future」をコンセプトに講演、特別セッション、技術セミナー、展示を通じて分かりやすく紹介しました。

## 基調講演・特別セッション

11月17日の基調講演1では、澤田

純 NTT 代表取締役社長が、「Road to IOWN」と題して講演を行いました(写真1)。冒頭、NTTドコモ完全子会社化の目的について触れ、GAF A (Google, Apple, Facebook, Amazon) や OTT (Over The Top) とどう渡り合うか、NTTグループ全体の成長・発展につなぐ考えを語るるところから始めました。「パンデミックと覇権の歴史」を踏まえ、アフターコロナにどのような世界が待っているかに視点を広げるべきとの考えを示したうえで、技術貿易収支からみる日本のIT業界の課題感について、そしてアフターコロナ社会のトレンドとして、「リモートワールド・分散型社会」「ニューグローカリズム」について語りました。日本電気株式会社の新野社長、トヨタ自動車株式会社の豊田社長からのメッセージも紹介し、ゲームチェンジに向けた思い、IOWNについても語りました。さらにはデジタルツインコンピューティング、オールフォトニクス・ネットワーク、光電融合デバイスなどについても語り、“Changing the Future”をベースにおいた研究開

発・事業活動を進めることを宣言しました。

18日の基調講演2では、川添雄彦 NTT 常務執行役員 研究企画部門長が、「Into the IOWN - 限界打破のイノベーション」と題して、最新の研究開発動向や展望について語りました(写真2)。人類が背負う未知なるリスクについて、現在のコンピュータが直面する消費電力や性能限界となっている熱問題の突破について、また、その時々に必要な新しい価値を生み出すデジタル化について触れ、IOWN構想の具体的な進捗内容とともに、超高速光論理ゲートの発明、光ダイレクト多地点接続技術、エクストリームNaaS (Network



写真1 基調講演 澤田社長

as a Service), データセントリックコンピューティング基盤などについて紹介しました。そしてIOWNによって提供されるさまざまなサービスとして、より幸福に生きるために将来を豊かに導く未来予測サービスや雷充電技術、4D デジタル基盤™などについても紹介しました。講演内では、量子科学技術研究開発機構の栗原研一所長、株式会社MTIの石塚一夫社長、JAXA宇宙航空研究開発機構の張替正敏部門長からのメッセージの紹介も交え、R&Dの領域のさらなる拡大を図る新しい挑戦として、グローバル化の取り組みや宇宙への取り組みについても熱く語りました。

19日に配信された特別セッション1では、ゲストに日本フェンシング協会会長/国際フェンシング連盟副会長の太田雄貴氏、株式会社IMAGICA EEX 代表取締役CEO兼CCO/株式会社IMAGICA GROUPゼネラルプロデューサー諸石治之氏を迎えて、NTTサービスエボリューション研究所 木下真吾主席研究員により「ポストコロナに向けたスポーツ&ライブエンターテインメントの再創造」をテーマにセッションが行われ、コロナ禍におけるスポーツ&ライブエンターテインメントの現状

と今後について議論が交わされました(写真3)。

20日に配信された特別セッション2では、ゲストに小説家・「機動戦士ガンダム THE ORIGIN」SF考証の高島雄哉氏、タレントの眞鍋かをり氏を迎え、NTT宇宙環境エネルギー研究所 前田裕二所長により「宇宙世紀に向けた、NTT宇宙環境エネルギー研究所の挑戦」をテーマにセッションが行われました(写真4)。SF作品であるガンダムの設定世界と絡めつつ、核融合炉の最適オペレーション技術など、NTT宇宙環境エネルギー研究所が取り組むさまざまな挑戦について紹介されました。

### 技術セミナー

17~20日までの4日間、連日にかけて配信された技術セミナーは、

NTTが取り組んでいる最先端の研究成果を紹介するとともに、今NTTが考えていること、想像している未来、そして未来に向けて続けている努力などを少しでも感じていただくという趣旨で行われました(写真5)。

17日には、NTT研究企画部門IOWN推進室 川島正久室長、ソニー株式会社 R&Dセンター コネクティビティ& RFセンシング技術領域 伊東克俊統括部長により「Into the IOWN – Beyond Human」をテーマにセミナーが行われました。IOWNのコンセプトの1つである「Beyond Human」について、処理にかかる時間を人間の応答速度とされる0.1秒に収めるため、センサがとらえた情報から必要な部分だけを抽出し届ける「次世代データハブ」の技術が紹介されました。IOWNのもう1つのコンセプト「Remote

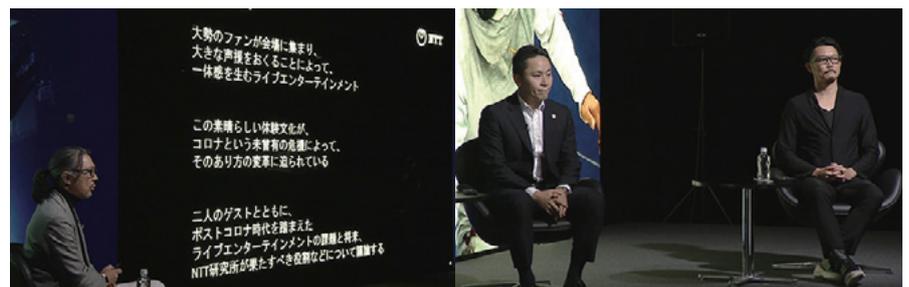


写真3 特別セッション1



写真2 基調講演 川添部門長



写真4 特別セッション2



写真5 技術セミナー1～4

World」からは、NTTとSONYの共同研究から生まれた「観戦アシストシステム」が紹介され、超低遅延ネットワークIOWNを活用し、距離の壁を越えて熱狂できる空間をつくり出すコンセプトと、それを支える技術についての解説が行われました。そして「Into the IOWN」では、IOWNを実現する技術として高効率・低消費電力を実現する「光ディスプレイアグリゲータッドコンピューティング」、および快適にネットワークに接続し続ける「エクストリームNaaS」が紹介されました。

18日には、NTTデジタルツインコンピューティング研究センター 中村高雄センター長、『WIRED』日本版編集長 松島倫明氏により、「デジタルツインの先へ？ Digital Twin Computing」と題してセミナーが開催されました。モノやヒトのデジタル世界への写像であるデジタルツインは、現在は産業ドメインごとに分割され進展していますが、本セミナーではモノ・ヒトなどのデジタルツインを統合することで多様な仮想社会を構築し、新たな価値を創出する計算パラダイムである「デジタルツインコンピューティング構想」を解説しました。また関連技術として、渋滞を軽減する高精度な車両位置情報のリアルタイム集計技術、ヒトのデジタルツイン実現に向けた研

究開発への取り組みについて、「外面・内面をモデリングする技術」「理解する技術」「思考する技術」「表現する技術」「人の集団を再現する技術」の5側面が紹介され、今後はさらに脳科学や心理学、行動経済学など多角的なアプローチが必要であることが報告されました。セミナーの後半には「感性コミュニケーション」「Another Me」「未来社会探索エンジン」「地球と社会・経済システムの包摂的な平衡解の導出」の4つのグランドチャレンジも発表され、今後も振れ幅の大きく「尖った」研究を続けていくことを宣言しました。

19日には、NTTセキュアプラットフォームフォーム研究所 中嶋良彰首席研究員、NTTネットワーク基盤技術研究所 濱野貴文主幹研究員、慶應義塾大学大学院KMD研究所 リサーチチャー/株式会社パロンゴ 取締役兼CTO 林達也氏により、「Smartな世界をめざした安心・安全な社会基盤の確立」をテーマにセミナーが行われました。今後はモノだけでなくヒトも含めたデータをサイバー空間で分析し、物理空間にフィードバックすることで両空間が融合した今までにないスマートな世界が到来すると予想されます。一方でさまざまな要素がネットワークに接続されることにより攻撃のターゲットが増加するとともに、攻撃を受けた場合

の損害も重大なものとなる危険性があるため、従来の「後追い型」ではない「先回り型」の新たなセキュリティ技術が必要とされていることを踏まえ、モノやヒトの構成や状態をサイバー空間上でとらえ、空間的・時間的に分析することで、ドメインをまたいだ感染拡大を発見し、その予兆や感染の原因特定を実現する技術を紹介しました。そして、スマート農業を例として、貴重な栽培ノウハウの流出、不正な制御情報配信による栽培の妨害などからデータを守るIoT (Internet of Things) 認証認可技術が紹介されました。また、5G (第5世代移動通信システム) サービスが開始され、接続デバイスおよび通信量の増加が見込まれる中にもあっても超低遅延な通信を可能とする「専用コアネットワーク」という考え方も紹介されました。

20日には、NTT研究企画部門 プロデュース担当 林勝義チーフプロデューサー、慶應義塾大学 医学部 教授 宮田裕章氏により、「健康で将来に希望を持つことのできる、輝く“医療の未来”へ～ICTとWell-being, Human Co-being～」と題してセミナーが行われました。セミナーの直前、NTTは「医療健康ビジョン：バイオデジタルツインの実現－心身の状態の未来を予測し、人間が健康で将来に希望を持つ

ことのできる輝く“医療の未来”へ」を発表しました。本セミナーはその内容を解説するものであり、研究の3つの視点、「(1)データを取る」では、ウェアラブルセンサデバイスから電波を照射して血中のグルコーストレンドを可視化する技術、「(2)行動をフィードバック」では生体信号である筋電を取得後、解析してフィードバックする技術、そして「(3)未来を予測」では自分の将来像をデジタル世界に創出することで現在の自分の行動を見直し、より良い未来を迎える手助けをする、という研究が紹介されました。

これらの基調講演、特別セッションの詳細は、本誌特集記事をご参照ください。

以上のとおりNTT R&DやNTTグループの取り組みを紹介し、お客さまからは好評をいただきました。

## 研究成果展示

今回は、8つの展示テーマ「[特別カテゴリ] IOWN Key Technologies」「ネットワーク」「AI」「セキュリティ」「データ活用・管理」「メディア・デバイス/ロボティクス」「環境エネルギー」「基礎研究」を掲げ、83件の最新の研究開発成果をバーチャル展示スペースにて紹介しました。また、NTTグループで取り組んでいる技術やパートナー企業とのコラボレーション成果について展示し、基礎研究分野から商用化に至った技術まで幅広く紹介しました。

### ■ IOWN Key Technologies

「IOWN構想」を実現するために策定した技術開発ロードマップの主要技術を、その価値を実感できるユーザ体験と併せて紹介しました(図

1)。「拡張性・柔軟性の高いオールフォトニクス・ネットワーク構成技術(I01)」では、多様なプロトコルスタックを収容可能な大容量光パスをダイナミックに提供することによるリモートプロダクション、インフラ共用などの新たな顧客体験を創造する最新技術を紹介しました。この技術によって、光インタフェースと大容量光パスが作り出す新たな世界の可能性を提示しました。また「光ディスクアグリゲータッドコンピューティング(I05)」では、CPU・GPU・FPGA等の計算資源を光電融合技術で密接につなぐことによって、計算資源を効率的に利用し、電力効率の向上を実現する最新技術を紹介しました。

### ■ ネットワーク

スマートな社会基盤を実現する、光・無線による革新的ネットワーク技術や高度な制御・運用技術を紹介しました。「OAM-MIMO無線多重伝送技術(N04)」では、5Gの先を見据えて、増加する無線トラフィックへの対応に向けたテラビット級無

線伝送技術を紹介しました(図2)。また「農機レベル3自動走行の実現に向けたネットワーク・情報処理技術(N06)」では、遠隔監視・制御によるロボット農機の安全&効率的な無人自動走行に向けた技術を紹介しました。IOWNの要素技術として無線品質予測、オーバーレイネットワーク、映像転送、画像解析、ネットワーク協調デバイス制御が使われています。

### ■ AI

人や社会の活動を支援することによって生活を豊かにし、新たな価値を創造するAI(人工知能)関連技術「corevo®」を紹介しました(図3)。「デジタルツインコンピューティング技術(A01)」では、IOWN構想におけるデジタルツインコンピューティングや、ヒトのデジタルツインの実現を通じた高度に相互作用する仮想社会と、その仮想社会との融合により拡張する実世界の世界観を紹介しました。また「リモートワールド時代のメディア処理デバイス技術(A15)」では、ユーザの周

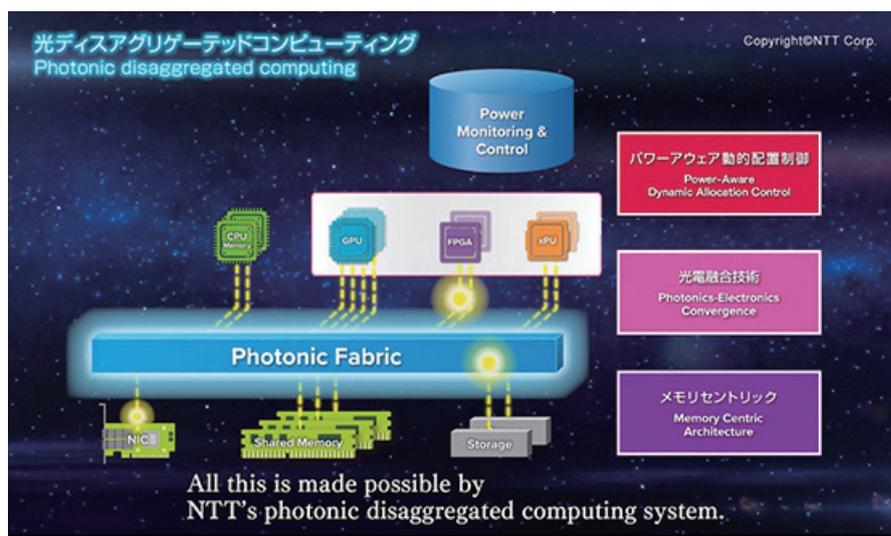


図1 光ディスクアグリゲータッドコンピューティング (IOWN Key Technologies)

囲の音空間を高度に制御し、知らせたい音・聞かせたい音だけを届けるパーソナライズドサウンドゾーンを実現する技術を、「エッジコンピューティング環境を想定した非同期分散型深層学習 (A20)」では、現在の深層学習が1カ所に集約したデータからモデルを学習させることが一般的なのに対し、近い将来に想定されるデータの分散蓄積 (エッジコンピューティング環境) 下の機械学習モデルをセキュアに最適化する手法とデモを紹介しました。

### ■セキュリティ

複雑化するサイバー攻撃から Smart World を適切に保護し、安全なデータ流通・活用を支えるセキュリティ応用技術、および将来を担う暗号技術を紹介しました (図4)。「NTT 耐量子計算機暗号 (S05)」では、国際標準化コンテストの最終選考に残っている公開鍵暗号基本技術で、量子計算機でも破ることができないNTTの次世代暗号を紹介しました。

### ■データ活用・管理

膨大かつ複雑なデータを高速に処理し、業界や地域の壁を越えた複数プレイヤーがデータを自由に活用可能とする技術について紹介しました (図5)。「業務のデジタル化を実現するデータ活用・分析技術 (D02)」では、行政や金融機関など窓口業務に従事するスタッフの生産性とユーザ利便性向上を実現するデータ活用・分析方法により、業務のDX (デジタルトランスフォーメーション) を実現し、ウィズコロナにおける顧客接点をデジタル化する技術を紹介しました。また「4D デジタル基盤™の全体像 (D06)」では、高精度で豊富な意味情報を持つ「高度地理空間情

報データベース」上に、多様なセンシングデータを精緻・リアルタイムに統合する4D デジタル基盤™の全体像を紹介しました。

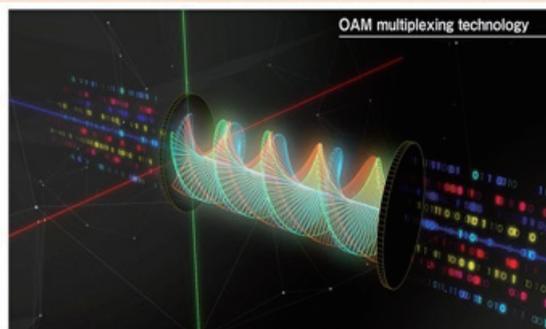
### ■メディア・デバイス/ロボティクス

サイバー世界のデータを活用し、その人の持つ能力を最大限に活かせる社会の実現に向け、新たな「ライフ環境」を創出する仮想現実・拡張

現実技術と、あらゆるものをシームレスに結ぶヒューマンマシンインタフェース技術を紹介しました (写真6)。「能力支援・拡張を実現するサイバネティクス技術 (M01)」では、人の運動制御による生体信号の取得・解析とフィードバックにより運動能力を支援・拡張し、なりたいたい自分を見つける技術、また「遠隔観戦の熱狂を向上させる『観戦アシスト

NTT R&amp;D Forum 2020 Connect

#### 空間多重数増加に向け、OAM多重伝送技術に取り組んでいます。



#### OAM多重伝送技術：

電波が持つ物理的な特性である軌道角運動量(OAM: Orbital Angular Momentum)を活用した空間多重伝送技術。異なる軌道角運動量を持つ電波はお互いに干渉しない特徴を用いて複数のデータを同時に送受信する。

© NTT Corporation 2020

図2 ネットワーク

NTT R&amp;D Forum 2020 Connect

#### ヒトのデジタルツイン実現に向けた取り組み

##### > 人間の個性、感性、思考、技能などのデジタル化



図3 デジタルツインコンピューティング技術 (AI)

耐量子計算機暗号の国際標準化に向けたNISTコンペの最終候補にNTT技術が採用され、NTTのプレゼンス向上に大きく貢献

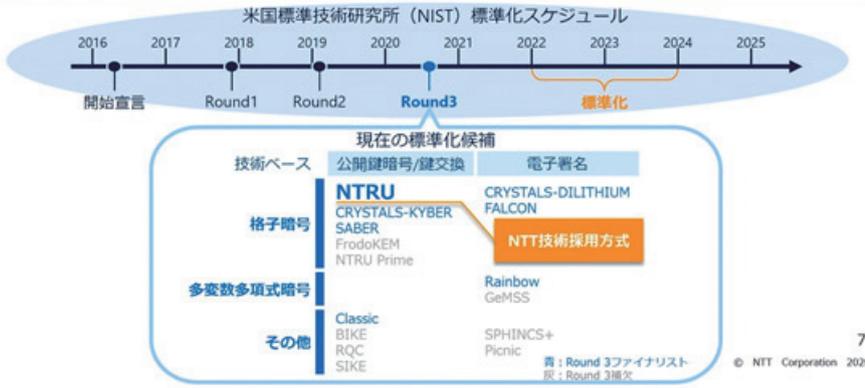


図4 耐量子計算機暗号 (セキュリティ)

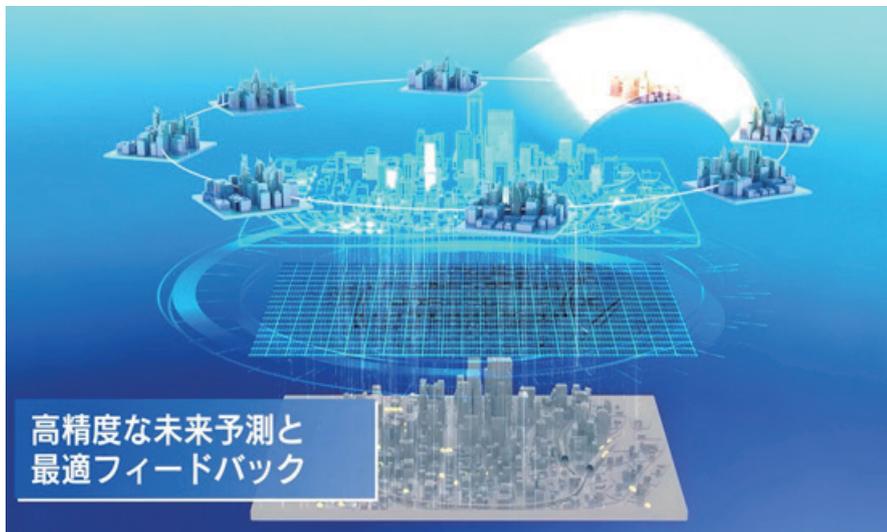


写真6 サイバネティクス技術 (メディア・デバイス/ロボティクス)

クチュエータにフィードバックするネットワークを実現することで、核融合の安定運用への貢献をめざします。今後はデジタルツインコンピューティングの活用によるサイバー空間上での核融合炉再現を通じた高度なシミュレーションも実施する予定です。また「落雷制御・充電技術 (E03)」では、多雷化時代を見据え、雷を制御し人や設備を落雷から守るとともに、雷エネルギーの利用も実現する技術を紹介しました。

■基礎研究

革新的情報処理技術、先端的デバイス技術、物質材料技術、医療・バイオ技術に関する研究開発など、社会に変革をもたらす基礎研究を紹介しました。「テレ聴診器:装着型音響センサによる遠隔聴診と生体音の可視化 (B01)」では、検査着に多数の音響センサを仕込むことで、生体活動に伴う音を同時多面的かつ高品質に受信端末に送信、また音から心臓の動きを表す動画の生成や所見文章の作成などの情報変換 (可視化) により、オンライン診療や健康のセルフケアを支援する技術を紹介しました。また「ウェアラブル生体・環境センサを用いた暑さ対策システム (B02)」では、ウェアラブル生体・環境センサを装着した作業員を遠隔監視、暑熱による体調不良リスクを



高精度な未来予測と最適フィードバック

図5 データ活用・分析技術 (データ活用・管理)

システム』(M02)」では、スポーツやコンサートの遠隔からの観戦・視聴において、熱狂感や一体感、観戦者どうしの相互作用による対話性の向上を図り、距離を超えて観客どうしの熱狂が共有できる空間を実現する技術を紹介しました。

■環境エネルギー

地球環境の再生と持続可能かつ包摂的な社会の実現に向け、地球環境

の未来を革新する環境エネルギー技術を紹介しました (図6)。「核融合炉の最適オペレーション技術 (E02)」では、国際核融合実験炉 (ITER) の実現をめざし、IOWN技術 (オールフォトンクス・ネットワーク、デジタルツインコンピューティング) の活用によって、核融合炉からの各種センサデータをコントロールセンタへ超高速かつ低遅延で伝送し、ア



図6 核融合炉の最適オペレーション技術（環境エネルギー）



専用アプリを立ち上げ、トランスミッタと接続したら、準備OKです。

写真7 暑さ対策システム（基礎研究）

個人ごとに推定してアラートする技術を紹介しました（写真7）。

### フォーラムを終えて

今回は初めてオンラインによる一般公開の開催となり、2万名を超えるお客さまにご視聴いただきました。オンラインでのR&Dフォーラムとして、これまでご招待にて来場

いただいておりますグループ社員の皆様に加えて、一般のお客さまからも注目されていると実感しています。加えて、アンケートあるいは実施後のお問合せ等にてNTTのR&Dに対する多くのご期待のお言葉をいただきました。皆様からのご期待に添えるよう、基礎研究並びに新技術の開発や展開により一層努力していきます。

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 2020』開催報告

<https://www.rd.ntt/forum/2020/forum2020.html>



（左から）森 俊介 / 家保 具太 / 細田 智久 / 恩塚 貴行 / 望月 崇由 / 日達 研一 / 向内 隆文 / 堀田 健太郎

#### ◆問い合わせ先

NTT R&D フォーラム事務局

E-mail [rdforum-info-ml@hco.ntt.co.jp](mailto:rdforum-info-ml@hco.ntt.co.jp)

# 現実空間とサイバー空間を ナチュラルにつなぐ境界としての メディア・ロボティクス技術の取り組み

知覚



身体



メディア

ロボティクス



サイバネティクス

人の身体性を加味した現実空間とサイバー空間のリアルタイム融合において、メディア・ロボティクス技術は極めて重要な役割を担っており、その研究開発には高い期待が寄せられている。NTT研究所では、これまで培ってきた人間科学、人間理解に基づく知覚、認知の研究やUIデザインの研究をコアコンピタンスとして、「実空間とサイバー空間をナチュラルにつなぐ技術」の実現に向けた研究開発に取り組んでいる。本特集ではこれら取り組みについて紹介する。

## 現実空間とサイバー空間をナチュラルにつなぐサイバーフィジカルインタラクション実現に向けた取り組み

現実空間とサイバー空間の境界に位置するサイバーフィジカルインタラクションに関する最新の技術動向について紹介する。

44

## 奥行推定と画像領域分割の融合によるデプスマップの精度向上技術

奥行推定と画像領域分割の融合によるデプスマップの精度向上技術と、ナチュラルな3D視聴を実現するHiddenStereo映像を生成するシステムを紹介する。

47

# Media, Robotics,

### リモートの観客どうしの一体感を増幅する「情動的知覚制御技術」

情動的知覚制御技術の要素技術である、フィールドセンシング技術、ウルトラリアリティ・フィールド生成技術、フィールド再現技術について紹介する。

52

### スマートグラスに向けた可視光平面光波回路技術と集積化光源モジュール

スマートグラスを実現可能な、メガネのつるに収まるサイズの超小型RGBレーザー光源モジュールについて紹介する。

56

### ハンドジェスチャ操作を実現する手指形状認識技術

手のジェスチャによる眼鏡型端末向け操作を実現するための手指形状認識技術について紹介する。

62

### 視線移動を用いた妨害感の少ない割り込み情報表示方法の研究開発

妨害感の低減と確実な閲覧を両立する情報表示方法として、情報の閲覧を強制されつつも、自ら選んで閲覧したと感じさせるインタフェースについて紹介する。

66

### 空中擬似触覚による質感提示をめざして

バーチャルな対象を操作する際に、その対象に触覚的な質感を持たせることのできる技術「空中擬似触覚」について紹介する。

71

### VRを用いた運動時の環境適応能力の評価技術への取り組み

VR (Virtual Reality) を用いた運動時の環境適応能力を評価・向上するための技術創出に向けた取り組みを紹介する。

76

### 主役登場

伊勢崎 隆司 (NTTサービスエボリューション研究所)  
身体状態の把握を通じて「健康」に貢献する

80

# and Cybernetics

# 現実空間とサイバー空間をナチュラルにつなぐサイバーフィジカルインタラクション実現に向けた取り組み

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想実現に向けて、ICTリテラシーによらず、私たちの生活を根底から変える現実空間とサイバー空間をつなぐ新たな「環境」が必要となります。人と環境をよりナチュラルに融合すること、すなわちナチュラルにつなぐサイバーフィジカルインタラクション機能が不可欠となります。本特集では、現実空間とサイバー空間の境界に位置するサイバーフィジカルインタラクションに関する最新の技術動向について紹介します。

こんどう 近藤	しげくに 重邦 <sup>†1</sup>	さがた 嵯峨田	あつし 淳 <sup>†1</sup>
みなみ 南	けんいち 憲一 <sup>†1</sup>	あくつ 阿久津	あきひと 明人 <sup>†2</sup>

NTTサービスエボリューション研究所<sup>†1</sup>

NTTサービスエボリューション研究所 所長<sup>†2</sup>

## はじめに

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想<sup>(1)</sup>による現実空間とサイバー空間の融合において、より精緻なシミュレーションによる未来の予測が可能となり、人の活動の幅を広げていくことができるようになることが予想されます。ICTリテラシーによらず、私たちの生活を根底から変える現実空間とサイバー空間をつなぐ新たな「環境」で誰もが未来を予測し先取りの恩恵を受けるために、人への自然な情報提示と働きかけで人と環境はよりナチュラルに融合すること、すなわちナチュラルにつなぐサイバーフィジカルインタラクションが不可欠だと私たちは考えています。

本特集では、現実空間とサイバー空間の境界に位置するサイバーフィジカルインタラクションに関する最新の技術動向について紹介します。

## サイバーフィジカルインタラクションの研究開発の概要

現実空間とサイバー空間を融合させる取り組みは、すでに数多くの領域で実用化が進んでおり、さまざまなコンテンツが生み出されています。例えば、ゲーム領域においては、登場したキャラクターがスマートフォンの画面内で目の前の景色と重畳されて表示されることで、あたかもキャラクターが実世界に実在するかのような感覚が得られるものや、ゲームの世界に没入することができるタイトルが多く提供されています。また、スポーツ領域では、オンラインでの自転車レースの開催も実施されています。さらに将来へ向けて、人がバーチャル世界に飛び込める（フルダイブ）ということだけでなく、サイバー空間を通じて、現実空間へのインタラクション、例えば、その場にはいない人どうしてリアリティのある場の共有やその場にはいない人へのリアルな支

援作業など、人知を増幅し人の能力を最大限に活かすことになります。

また、これからの現実空間とサイバー空間が密に連携する世界においては、これまで以上にユーザインタフェースが重要な役割を担うことになると考えています。情報提示や入力を、人の活動を妨げず人にとって無理のないかたちで実施可能にする技術や、触覚等の活用による新しいインタラクション技術、人の運動機能を最大限に引き出す技術など、これからの将来に向けて、人への自然な情報提示と働きかけで人と環境がよりナチュラルに融合すること、すなわちナチュラルにつながるサイバーフィジカルインタラクションが求められています。サイバーフィジカルインタラクションとは、効率・品質・コストを尺度とする「客観的情報」のやり取りに加え、「主観的情報」を含めた環世界間を評価尺度「Well-being」でつなぎ（伝わる、支えるなど）、それぞれの環世界を拡張・発展させる機能です。その機能の中核技術の1つとして、知覚、認知制御技術があります。

NTT 研究所では、従来から進めてきた知覚、認知に関する研究を発展させ、サイバーとリアルな身体をシームレスにつなぎ身体知によるサイバネティクス分野の研究開発にも注力していきます。

### サイバーフィジカルインタラクションの研究開発の取り組み状況

本特集記事では、現在NTT 研究所で研究開発が進められているサイバーフィジカルインタラクション機能の中核技術である知覚・

認知制御技術について紹介します。

『奥行推定と画像領域分割の融合によるデプスマップの精度向上技術』<sup>(2)</sup>では、奥行推定と画像領域分割の融合によるデプスマップ（画像の各画素に対してカメラからの距離を表現したもの）の精度向上技術と、本技術を用いて単眼2D映像からナチュラルな3D視聴を実現するHiddenStereo映像を生成するシステムを紹介します。

『リモートの観客どうしの一体感を増幅する情動的知覚制御技術』<sup>(3)</sup>では、会場の臨場感をそのまま遠隔地へ伝送し再現することに加え、リモートで視聴している観客の情動（感情の動き）をとらえ、遠隔地の観客と一体感や対話性、盛り上がり感を共有する感覚のフィードバックを実現する要素技術について紹介します。

『スマートグラスに向けた可視光平面光波回路技術と集積化光源モジュール』<sup>(4)</sup>では、光の3原色を束ねる光学系を抜本的に小型化する光回路の実現による、メガネのつるに収まるサイズの超小型RGBレーザ光源モジュールについて紹介します。

『ハンドジェスチャ操作を実現する手指形状認識技術』<sup>(5)</sup>では、将来の新しい端末操作方法として、手のジェスチャにより眼鏡型端末操作を実現する、手指形状認識技術の確立をめざした研究について紹介します。

『視線移動を用いた妨害感の少ない割り込み情報表示方法』<sup>(6)</sup>では、情報の閲覧を強制するが自ら選んで閲覧したと感じさせる、妨害感の低減と確実な閲覧を両立する方法について紹介します。

『空中擬似触覚による質感提示』<sup>(7)</sup>では、ユーザが自らのアクションによってバーチャルな対象を操作する際に、その対象に触覚的な質感を持たせることができる、空中擬似触覚技術について紹介します。

『VRを用いた運動時の環境適応能力の評価技術への取り組み』<sup>(8)</sup>では、高齢者の歩行や自動車運転時の事故の防止をめざした、適切な運動遂行のための環境適応能力を、評価・向上するための技術創出に向けた取り組みについて紹介します。

## おわりに

本稿では、サイバーフィジカルインタラクションに関する、現実空間とサイバー空間の境界に位置する技術、特に知覚、認知制御に関する最新の技術の研究開発の取り組みについて紹介しました。サイバーフィジカルインタラクションの中核技術には、今回紹介した知覚、認知制御技術に関する研究のほかに、身体制御技術、感情、欲求の制御技術、五感+ $\alpha$ 伝達技術、意思疎通制御技術、ソーシャルキャピタル基盤技術などに取り組んでいます。

NTT研究所では、IOWN構想の実現に向けて、従来から進めてきた知覚、認知に関する研究を発展させ、サイバーとリアルの身体をシームレスにつなぐ身体知による人の身体性を中心に据えたこれまで以上のユーザインタフェースであるサイバーフィジカルインタラクションの研究開発をサイバネティクス分野でも推進していきます。

## 参考文献

- (1) <https://www.rd.ntt/techreport/>
- (2) 小野・菊地・佐野・深津：“奥行推定と画像領域分割の融合によるデプスマップの精度向上技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 1, pp. 47-51, 2021.
- (3) 佐野・巻口・長田・瀬下：“リモートの観客どうしの一体感を増幅する「情動的知覚制御技術」,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 1, pp. 52-55, 2021.
- (4) 橋本・阪本：“スマートグラスに向けた可視光平面光波回路技術と集積化光源モジュール,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 1, pp. 56-61, 2021.
- (5) 久保：“ハンドジェスチャ操作を実現する手指形状認識技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 1, pp. 62-65, 2021.
- (6) 西條・佐藤・永徳・渡辺：“視線移動を用いた妨害感の少ない割り込み情報表示方法の研究開発,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 1, pp. 66-70, 2021.
- (7) 河邊：“空中擬似触覚による質感提示をめざして,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 1, pp. 71-75, 2021.
- (8) 伊勢崎・渡部：“VRを用いた運動時の環境適応能力の評価技術への取り組み,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 1, pp. 76-79, 2021.



(左から) 近藤 重邦 / 嵯峨田 淳 /  
南 憲一 / 阿久津 明人

サイバーとリアルの身体をシームレスにつなぐサイバーフィジカルインタラクションの研究開発を推進していきます。

### ◆問い合わせ先

NTT サービスエボリューション研究所

企画部

TEL 046-859-2003

E-mail [ev-journal-pb-ml@hco.ntt.co.jp](mailto:ev-journal-pb-ml@hco.ntt.co.jp)



# 奥行推定と画像領域分割の融合による デプスマップの精度向上技術

NTTサービスエボリューション研究所では、視聴覚に働きかけ情報を効果的に提示することにより、ナチュラルなインタラクションを実現する新たなメディア処理技術の研究開発を進めています。本稿では、奥行推定と画像領域分割の融合によるデプスマップの精度向上技術と、本技術を用いて単眼2D映像からナチュラルな3D視聴を実現するHiddenStereo映像を生成するシステムを紹介します。

おの <b>小野</b>	まさと <b>正人</b>	きくち <b>菊地</b>	ゆみ <b>由実</b>
さの <b>佐野</b>	たかし <b>卓</b>	ふかつ <b>深津</b>	しんじ <b>真二</b>

NTTサービスエボリューション研究所

## 奥行推定と画像領域分割の融合による デプスマップの精度向上技術の概要

デプスマップ（深度マップ）とは、画像の各画素に対してカメラからの距離を表現したものであり、さまざまな用途で活用されています。身近な例では、スマートフォンで写真撮影をした際の、距離が遠い背景をぼかすような写真加工や、自動運転の分野における車両周辺の物体検出などに活用されています。

私たちは、「エンタメ分野における3D表現」をターゲットとし、新たに3D撮影するもの

だけでなく、既存の2Dコンテンツも3Dコンテンツ化可能とするためのメディア処理技術の研究開発に取り組んでいます（図1）。本技術は、2D映像から精度の高い奥行き情報を生成する「デプスマップ生成技術」と、効果的な3D表現等のためにデプスマップを補正する「デプスマップ最適化技術」から構成されます。

## 技術のポイント

### ■デプスマップ生成技術

デプスマップを得る手法としては、ステレ

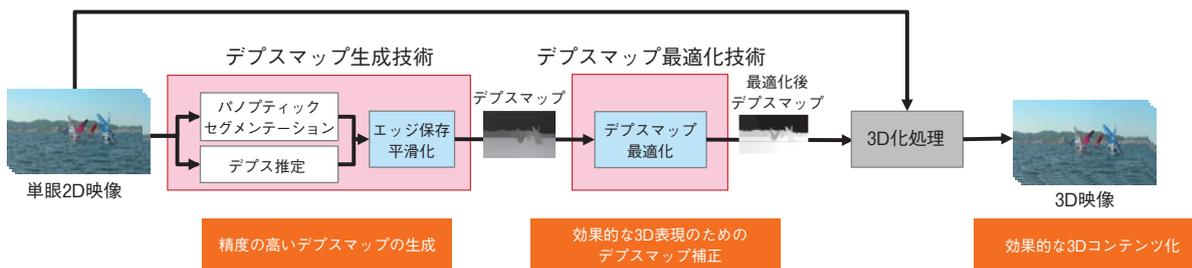


図1 奥行推定と画像領域分割の融合によるデプスマップの精度向上技術の概要

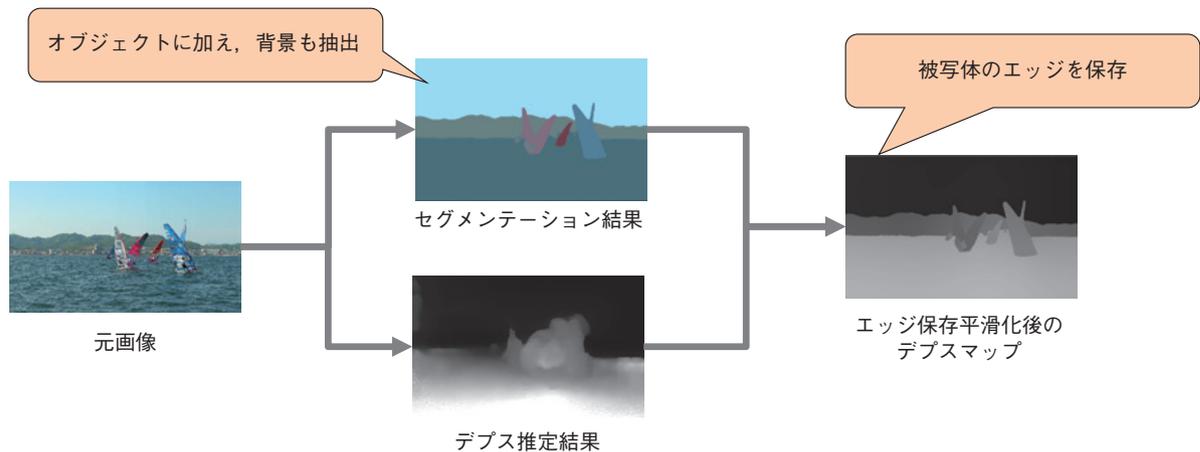


図2 デプスマップ生成技術の概要

オカメラにおけるカメラ間の視差を活用する手法、カメラ映像と外部機器（LiDAR等）の情報を組み合わせる手法、各種画像処理により生成する手法などが挙げられます。近年、既存の2Dコンテンツからデプスマップを生成する際に用いられる手法としては深層学習を活用するものがありますが、一般的に生成されるデプスマップの解像度は低く、また被写体の輪郭がクッキリとしたデプスマップを得ることはできませんでした。ここで、4K・8Kといった高解像度なアーカイブ映像に適用する場合、デプスマップも高解像度かつ品質の高いものを得る必要があります。

そこで、デプスマップの補正手法として提案されている、原画を用いたエッジ保存平滑化手法<sup>(1),(2)</sup>を参考に、映像中の各被写体の輪郭をよりクリアにし、効果的な3D表現を実現する手法として、「セグメンテーション結果を用いたエッジ保存平滑化」による、デプスマップの精度向上手法（図2）を提案します。具体的には、デプス推定で得た解像度の低いデプスマップに対して、セグメンテーション結果画像をガイドとするフィルタ処理を行うことにより、デプスマップの解像度を向上

しつつ、被写体に含まれるオブジェクトのエッジを保存することを可能とします。このとき、セグメンテーション結果としては、オブジェクトに加え背景部分も各要素で分離できるよう、セマンティックセグメンテーションとインスタンスセグメンテーションを足し合わせたパノプティックセグメンテーションを利用しています。

本手法においては、デプス推定およびセグメンテーションは疎な関係となっているため、各処理のアルゴリズムは適宜変更することが可能です。例えば、現状ではデプス推定およびセグメンテーションには深層学習のアルゴリズムを用いていますが、その他のアルゴリズム、例えば自己教師あり学習のアルゴリズムなどに交換することも容易です。

### ■デプスマップ最適化技術

前述したデプスマップ生成技術により、精度の高いデプスマップを得ることが可能となりますが、デプスマップをそのまま利用した場合には、必ずしも利用用途に合致した内容となっていないケースがあります。例えば3D映画等では、単純に映像内の奥行きをデプスマップとして表現できる奥行の範囲に一

律で縮小すると、映像内の奥行き差にメリハリが出ず、効果的な3D表現とはなりません。

これに対し、3D映画等では、映像視聴を行う際に臨場感が向上するように、デプスマップを補正する手法が活用されています。そこで私たちも、注目すべき被写体周辺の3D感をより強調し、効果的な立体感を得られるよう、デプスマップを最適化する手法（図3）を提案します。具体的には、2つの観点での補正を行うものとなります。

(1) 3D表現に利用する奥行き範囲の限定

3D視聴時の視覚的な傾向として、注視する被写体から奥行きが大きく異なる部分（遠方の背景や、手前に映り込んだ物体など）は、細かい奥行き差が区別しにくいいため、そのような範囲に対しては割り当てる奥行き差の範囲を減らします。具体的には、0から255までの256段階で表現されるデプスマップをヒ

ストグラム解析し、被写体が存在する範囲、例えばデプスマップのデプス値の分布から算出した5パーセンタイルから95パーセンタイルの範囲を「有効なデプスの範囲」と定め、その範囲に含まれるデプス値を0から255の値に伸長し、それ以外の範囲は0（もっとも奥）または255（もっとも手前）にマッピングします。このことにより、3D視聴時に有効なデプスの範囲のみ3D表現することを可能とします。

(2) 奥行き差の強調表現

映像内の注視する被写体がある範囲の奥行き感を強調表現することにより、よりメリハリのある3D映像を生成します。具体的には、デプスマップのヒストグラム解析結果から、注視すべき被写体が存在するデプスの範囲をデプスレイヤとして導出し、もっとも注目したい被写体が存在するデプスレイヤの幅を

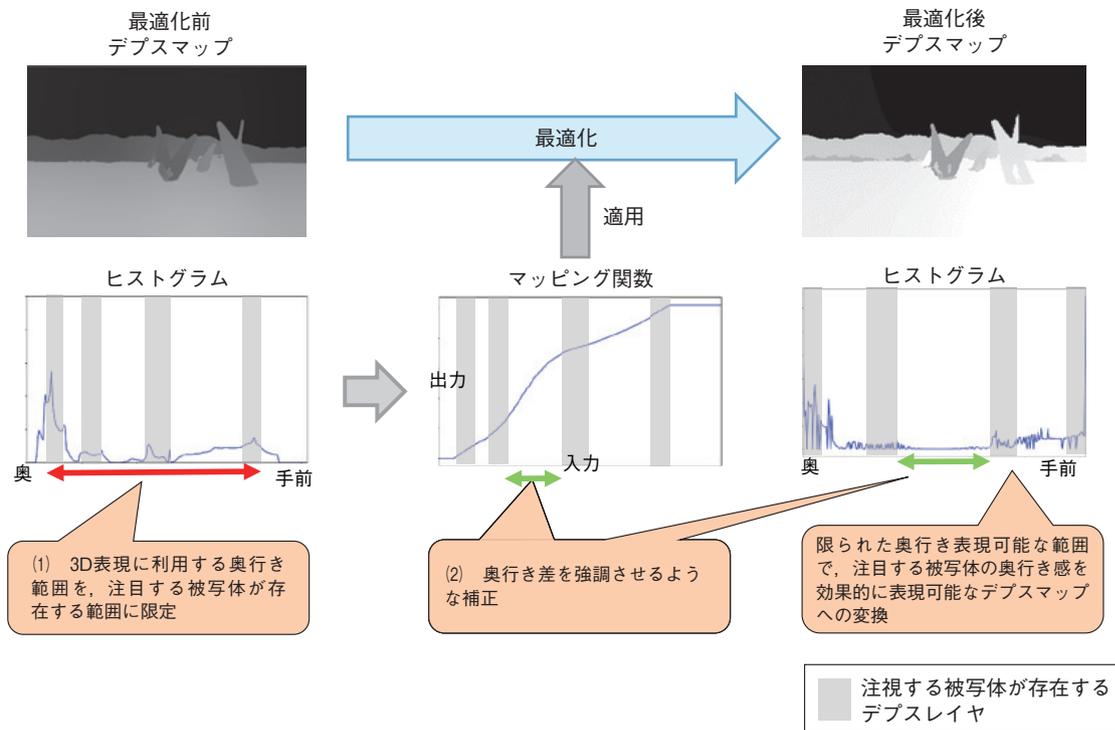


図3 デプスマップ最適化技術の概要

実際よりも大きくし、そのデプスレイヤにおける奥行表現がもっとも強調されるように、各デプスレイヤの幅や位置関係を補正します。その結果、デプス値の横軸を入力・縦軸を出力とするマッピング関数において、もっとも注目したい被写体が存在するデプスレイヤにおける傾きが大きくなったマッピング関数が生成されることとなります。

上記2点のデプスマップ補正を行うためのマッピング関数（非線形なデプスマップ変換関数）を導出し、デプスマップ画像に適用することにより、最適化されたデプスマップ画像を生成します。

市中の各種2Dアーカイブ映像には、さまざまなカメラワークやシーンチェンジが含ま

れるため、デプスマップの内容が時間の経過とともに大きく変化する傾向にあります。そのようなケースでも、効果的な3D表現を可能とするデプスマップの最適化を行えるよう、今後もさまざまなコンテンツへの適用評価を行い、デプスマップ最適化の品質向上を図っていきたいと考えています。

### HiddenStereo 3D 映像生成システムへの活用

現在、私たちは前述した技術により、生成・最適化したデプスマップを用いてナチュラルな3D視聴を実現するHiddenStereo 3D映像生成システム（図4）の開発を推進しています。

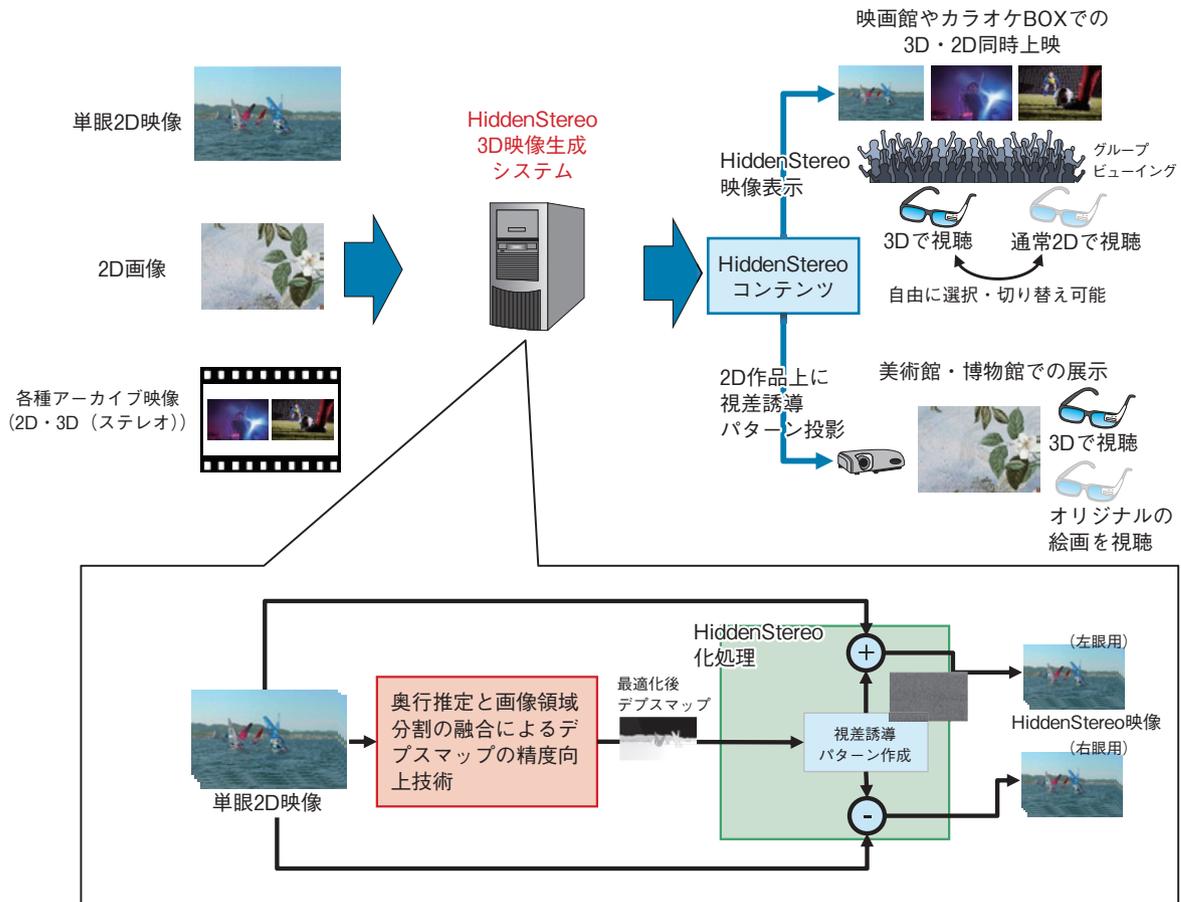


図4 HiddenStereo 3D映像生成システムの概要

HiddenStereoとは、NTTコミュニケーション科学基礎研究所の研究成果である、「3Dメガネをかけない視聴者には2D映像がクリアに見え、メガネをかけた視聴者には3D映像が見えるステレオ映像の生成技術」<sup>(3)</sup>です。本技術では、元画像とデプスマップから、人間に奥行き情報を与える働きをする視差誘導パターンを生成し、元画像に加算・減算することで、左目用・右目用画像を生成することができます。左右画像どうしを足し算すると視差誘導パターンが打ち消されて完全に元の画像に戻るため、3Dメガネをかけない視聴者はクリアな2D画像を見ることができ、メガネをかけた視聴者には、視差誘導パターンの効果でその画像に奥行きがついているように見えます。

本技術を活用することにより、1つの表示コンテンツに対して、その場にいる視聴者1人ひとりが楽しみ方を自由に選択できるという「人にやさしい3D表示」を実現可能です。また、2D・3D同時表示を行うために特殊な機器は不要であるため、既存の3D表示環境をそのまま活用でき、また通常の3D映像上映の際に必要な、3D上映と2D上映を別の時間帯とすることや、3D上映会場と2D上映会場を別に設定する必要がなくなり、3D映像上映における運用コストを低減することも可能となります。

HiddenStereoに対して、「奥行き推定と画像領域分割の融合によるデプスマップの精度向上技術」を活用することにより、新たにステレオカメラでの撮影や3DCG編集により制作したものだけでなく、過去に制作された2Dコンテンツの3Dコンテンツへの変換が可能となります。

## 今後の展開

奥行き推定と画像領域分割の融合によるデプスマップの精度向上技術と、本技術を用いて単眼2D映像からナチュラルな3D視聴を実現するHiddenStereo映像を生成するシステムを紹介しました。今後は、各技術のさらなる高速化や品質向上に向けた方式検討を進めるとともに、実証実験等を通じた評価を行い、ナチュラルなインタラクションを活用したビジネスの実現に貢献していきます。

### 参考文献

- (1) K.He, J.Sun, and X.Tang: "Guided Image Filtering," ECCV 2010, Heraklion, Greece, Sept. 2010.
- (2) G. Pestschnigg, R. Szeliski, M. Agrawala, M. Cohen, H. Hoppe, and K. Toyama: "Digital photography with Flash and no-Flash image pairs," ACM Transactions on Graphics, Vol. 23, No. 3, pp. 664-672, August 2004.
- (3) T. Fukiage, T. Kawabe, and S. Nishida: "Hiding of phase-based stereo disparity for ghost-free viewing without glasses," ACM Transactions on Graphics, Vol.36, No.4, pp.1-17, July 2017.



(左から) 小野 正人 / 菊地 由実 /  
佐野 卓 / 深津 真二

より品質の高い3Dコンテンツの制作を実現するため、奥行き推定と画像領域分割の融合によるデプスマップの精度向上技術の完成度を高めるべく、研究開発を推進していきます。

### ◆問い合わせ先

NTTサービスエボリューション研究所  
イノベティブサービス研究プロジェクト  
TEL 046-859-2201  
E-mail ev-journal-pb-ml@hco.ntt.co.jp



# リモートの観客どうしの一体感を増幅する「情動的知覚制御技術」

新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、スポーツ観戦やエンタテインメントの世界においても、無観客によるスポーツ中継やライブ配信イベントでの視聴が増えつつあります。NTTサービスエボリューション研究所では、これまで取り組んできた会場の臨場感をそのまま遠隔地へ伝送し再現することに加えて、リモートで視聴している観客の情動（感情の動き）をとらえ、遠隔にいる他の観客と一体感や対話性、盛り上がり感を共有する感覚のフィードバックが必要と考え、要素技術の研究開発を推進しています。

さの	たかし	まきぐち	もとひろ
<b>佐野</b>	<b>卓</b>	<b>巻口</b>	<b>誉宗</b>
ながた	ひでのぶ	せしも	ひとし
<b>長田</b>	<b>秀信</b>	<b>瀬下</b>	<b>仁志</b>

NTTサービスエボリューション研究所

## 背景

新型コロナウイルス感染症拡大の影響により人々の移動や対面のコミュニケーションが制限される一方で、人のさまざまな活動のリモート化が急速に進展しつつあります。スポーツやエンタテインメント分野においても同様に、無観客によるスポーツ中継やライブ配信イベントが増えつつありますが、現状ではスタジアムやライブ会場だからこそ体感できる迫力や非日常感を遠隔視聴で体感できるまでには至っていません。

NTTサービスエボリューション研究所ではこれまで、精練なリアルタイム被写体抽出技術<sup>(1),(2)</sup>や超ワイド映像合成技術<sup>(3)</sup>とAdvanced MMTによる映像・音声の同期伝送技術<sup>(4)</sup>、人の知覚心理を活用した裸眼3D映像表示技術<sup>(5)</sup>などにより、会場の空間をまるごとセンシングし、現地の臨場感や熱狂をそのままに遠隔地のライブビューイング

会場へ伝送・再現する技術の研究開発に取り組んできました。しかし、スタジアムやライブ会場などでは現地での参加が制限され、遠隔地ではライブビューイングのような大きな会場ではなく、自宅などのより小規模で独立した環境へと変化している状況下では、その場での熱狂、盛り上がり伝えるだけでは十分でなく、会場の臨場感に加えて遠隔の観客どうしのつながりや相互作用から生まれる「一体感・対話性」により、「盛り上がり感」を高めることが期待されます。

そこで私たちは、簡易なデバイス等を利用して観客の情動をとらえ、その変化に応じて適切な情報提示を行う「情動的知覚制御技術」の研究開発に着手し、その要素技術を確認することで、遠隔からの視聴であっても、あたかもスタジアムやライブ会場に多くの人と集まって一緒に視聴しているかのような体験の実現をめざしています。

## 情動的知覚制御技術

情動的知覚制御技術は、リモートで視聴している視聴者の反応とその場の状態を同期取得するフィールドセンシング技術、任意の場所にいる多数の視聴者を空間的に自然なかたちで再配置し仮想的な視聴空間モデルを生成するウルトラリアリティ・フィールド生成技術、仮想的な視聴空間モデルにおいて視聴者それぞれの状態に呼応して他者の情動変化を遅滞なくフィードバックするフィールド再現技術の3つの技術に大別されます(図1)。

以下に各技術について説明します。

### ■フィールドセンシング技術

同じスポーツの試合を見ていても、ある特定の選手の動きに注目している人もいれば、全体を俯瞰して戦況を分析している人、または周囲の観客と一体となって声を出して応援

したい人など、人によって注目するポイントや情動が変化するタイミングは異なります。これは音楽などのライブエンタテインメントにおいても同様で、曲や演出によって各視聴者が盛り上がるポイントは異なります。本研究ではスマートスピーカのような音声取得デバイスや、TVに搭載されたカメラ、エアコンなどの人感センサ、スマートウォッチなどのウェアラブルデバイスに搭載されたバイタルセンサなど、複数のセンシングデバイスと連携したマルチチャンネルセンシングを実現することで、人の情動をリアルタイムに測定し、可視化・定量化することをめざしています。

具体的には、まずカメラや人感センサなどで、TVの位置や視聴者の位置・姿勢・視線といった視聴環境を把握し、視聴者の集中度や視聴しているコンテンツのどの部分に興味があるかをセンシングします。次にコンテン

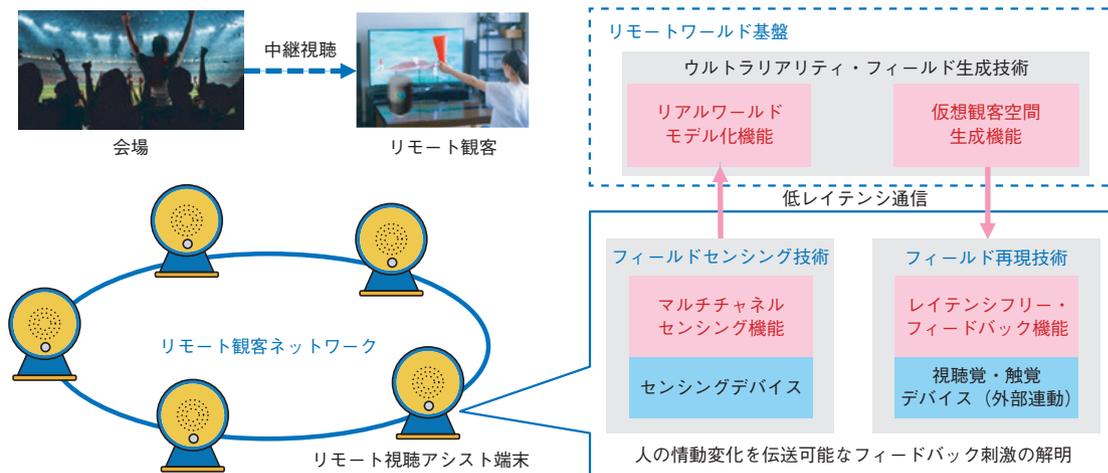


図1 情動的知覚制御技術の全体概要

ツの内容と視聴者の動作や声の変化を解析し、どのような場面で視聴者の情動が変化するかを学習します。また、動作などの外面の変化と同時に生体信号（体温・心拍数など）による内面の変化をセンシングすることで、さらに詳細な変化を測定することも可能になります。

#### ■ウルトラリアリティ・フィールド生成技術

本技術では、視聴環境を仮想的な空間モデルに変換するリアルワールドモデル化機能と、その中に多数のリモート視聴者を自然なかたちで再配置する仮想観客空間生成機能を実現します。本技術を確立することで、前述のフィールドセンシング技術で取得した視聴者それぞれの情動情報を集約し、同じような情動を持った視聴者どうしをカテゴリ化し、より熱狂を高める視聴空間を構成することが可能となります。また、反対にあまり興味を示していない視聴者を熱狂度の高い視聴空間にカテゴリ化することで、1人で視聴している状態でもよりコンテンツへの興味・関心を高めることも可能となります。また、スポーツやライブコンテンツの内容を解析し盛り上がるシーンに合わせて仮想的な歓声（フェイククラウド）を合成することで、現実では無観客であったり、数千人しか収容できないスタジアムのイベントでも仮想空間上で数万人、数十万人で視聴・応援しているかのような特別な空間を構築することも可能となります。

#### ■フィールド再現技術

前述の仮想空間上で構成した情報を基に、それぞれの視聴者に対し他の視聴者の映像や音声、影や気配などの存在感につながる情報を融合し、遅滞なく適切に情報提示することで視聴者の情動変化や熱狂の増大に働きかけるレイテンシフリー・フィードバック機能を実現します。視聴者どうしの一体感を高める演出や情報提示を実現するために、視聴覚だけでなく、触覚などの五感刺激にも着目し、遠隔地の他の視聴者があたかも隣で一緒に応援しているかのような体感をさりげなく演出する技術について取り組んでいます。また、情報変化を働きかけるタイミングも重要です。膨大な五感情報を双方向に遅延なく伝送する技術とともに、視聴者の情動変化から次のリアクションを予測することで、通信を介さず自律的に情動変化を促す情報や演出を提示する技術などの研究開発にも取り組んでいます。

本技術の研究開発を推進するにあたり、技術実装とその効果を検証するための実験設備を構築しました<sup>(6)</sup>（図2）。今回は、自宅のリビングルームでのスポーツ観戦をユースケースとし、試合の盛り上がりに応じてリビング空間が複数人の観戦者が集う仮想的なライブビューイング会場へ拡張されるかのような演出や、他の観戦者とのつながり感・一体感を高める視覚的・聴覚的な演出、視聴者をセンシングし、感情の現れに応じて映像効果にエ



図2 実験設備

フェクトを加えることでリアクションを返す演出などを提示することで、視聴者の情動変化への影響度の検証や最適なセンシング・フィードバック手法の検証などを実施しました。

## 今後の展望

今後は、情動的知覚制御技術の確立に向け、スポーツ観戦やエンタテインメント配信などさまざまな実フィールドでの実証実験を通して、リモートワールドにおける新たな価値創出に向けた研究開発を推進していきます。

### ■参考文献

- (1) 宮下・竹内・長田・小野：“4K映像のための高速な被写体抽出,” 信学技報, Vol. 117, No. 73, MVE2017-13, pp. 189-190, 2017.
- (2) 柿沼・長尾・宮下・外村・長田・日高：“機械学習を用いた任意背景リアルタイム被写体抽出技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 30, No. 10, pp. 16-20, 2018.
- (3) 山口・佐藤・小野・外村・難波・菊地・星出・森住・小野・南：“高臨場感ライブビューイングサービスのためのサラウンド映像合成・同期伝送システム,” 映像情報メディア学会誌, Vol. 74, No. 2, pp. 402-411, 2020.
- (4) 小野・星出・深津：“Advanced-MMT (MPEG Media Transport)を用いた複数映像・音声・照明制御信号の同期伝送システム,” 映像学技報, Vol. 44, No. 7, BCT2020-39, pp. 33-36, 2020.
- (5) M. Makiguchi, D. Sakamoto, H. Takada, K. Honda, and T.

Ono: “Interactive 360-Degree Glasses-Free Tabletop 3D Display,” Proc. of UIST 2019, pp. 625-637, New Orleans, U.S.A., Oct. 2019.

(6) <https://www.ntt.co.jp/news2020/2011/201116a.html>



(左から) 佐野 卓 / 巻口 誉宗 /  
長田 秀信 / 瀬下 仁志

将来的にはスポーツ観戦・エンタメ視聴に限らず日常生活の中で人の情動をセンシングし、それに応じた情報提示やサービス提供が行われるような便利な社会の実現をめざしています。

### ◆問い合わせ先

NTT サービスエボリューション研究所  
イノベティブサービス研究プロジェクト  
TEL 046-859-2201  
E-mail [ev-journal-pb-ml@hco.ntt.co.jp](mailto:ev-journal-pb-ml@hco.ntt.co.jp)

# スマートグラスに向けた可視光平面光波回路技術と集積化光源モジュール

NTT先端集積デバイス研究所では、通信用光デバイスとして平面基板上に光回路を集積する平面光波回路技術を可視光領域に適用して、光の3原色を束ねる光学系を抜本的に小型化する光回路を実現しました。これを、レーザー光を用いるスマートグラスで必要となるレーザー光源モジュールに適用し、メガネのようなスマートグラスを実現可能な、メガネのつるに収まるサイズの超小型RGBレーザー光源モジュールを実現しました。

はしもと  
橋本

としかず  
俊和

さかもと  
阪本

じゅんじ  
隼志

NTT先端集積デバイス研究所

## はじめに

情報技術や通信技術の発展に伴い、音楽や映像のオンライン配信やチャットを楽しむなど、かつてはなかった生活が情報により作り出されるようになってきました。それらの情報は、ネットワークにつながった情報端末により私たちにもたらされます。PCやスマートフォン、近年ではスマートスピーカーなどさまざまな機器が提案され、生活のさまざまな場面で活用されています。しかし、これを逆にみれば、私たちが受けられる情報が情報端末やそれらのある場所に制限されている、と考えることもできます。スマートフォンも例外ではありません。スマートフォンという小さな「窓」を覗き込むという制限を受けたかたちで、私たちは情報にアクセスしています。情報端末をより自然なかたちで使えるように進化させることができれば、情報がつくり出す私たちの生活が、そういった制限を受けず

に自由で豊かなものになると期待されます。

本稿で紹介する光学技術は、そのようなより自然に画像情報にアクセスするためのメガネ型表示デバイス（スマートグラス）への適用をめざしたものです。スマートグラスは、現在ヘッドマウントディスプレイと呼ばれるゴーグル型のデバイスで実現されているVR（Virtual Reality）やAR（Augmented Reality）やMR（Mixed Reality）等、あるいは、それらを総称したxRを、装着感や外観を改善しメガネのような掛け心地で実現する表示デバイスです。表示性能としてはさまざまなレベルが考えられますが、ARのような没入感を実現するためには、高精細で画角（見える範囲）が広い表示技術が必要です。同時に、メガネのようなすっきりとした形態を実現するには部品を小型化する必要があります。光学的な特性と小型化を両立させる技術が必要となります。NTT先端集積デバイス研究所ではそのようなスマートグラス向けに、

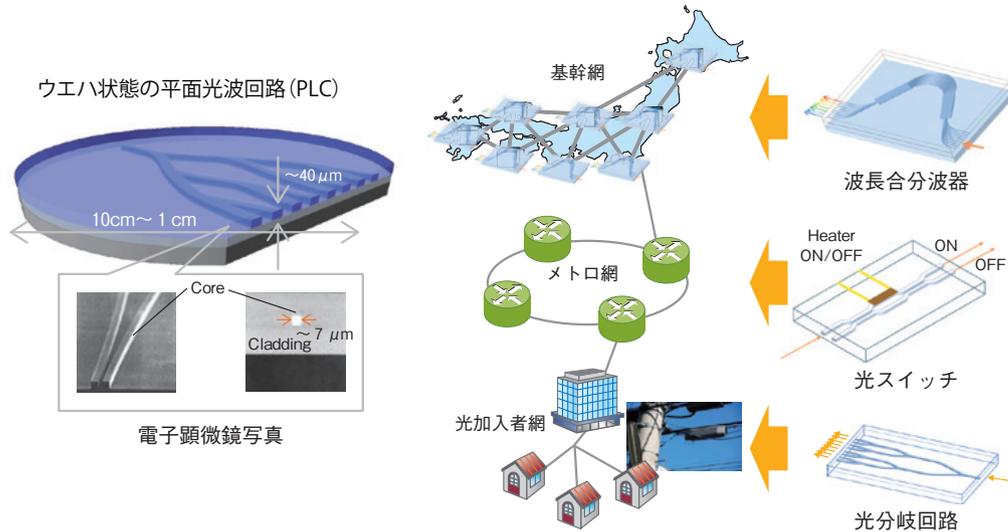


図1 PLCと光ファイバ通信への応用

RGB (Red Green Blue) の三原色の光を束ねるための光学系を抜本的に小型化できる光回路 (RGB カプラ) 技術を開発しました<sup>(1), (2)</sup>。本稿では、それらの光回路技術とそれを用いたスマートグラス向けの光源モジュール技術について紹介します。

### 可視光PLC技術

NTTでは、光ファイバ通信の部品技術として電気の集積回路と同様にシリコン基板上に光回路を集積するPLC (Planar Lightwave Circuit : 平面光波回路)\*の研究開発を進めてきました。この光回路は光ファイバと同じ石英系のガラスによりつくられ、周囲よりも屈折率の高いコアとよばれる数ミクロンの光の通り道 (光導波路構造) で回路を構

\* PLC : 光ファイバの作製技術と半導体集積回路の作製技術を組み合わせ、光の集積回路を実現する技術。主に、石英系のガラスで回路をつくっているため、同じ材料の光ファイバとの相性も良く (つなぎ合わせたときの光の損失が少なく)、光ファイバ通信向け部品技術として使われてきました。

成したもので、光の分岐・干渉・位相制御を行うことができます。この技術により光ファイバ通信向けの光分岐回路や波長合分波器が実現されています<sup>(3)</sup> (図1)。光ファイバ通信で使われるレーザーの波長は1.55 μmなどの赤外のレーザー光で、この波長のレーザー技術の発展とともに、波長合分波器などレーザー光を使いこなす光回路技術も発展してきました。可視光の波長は0.4~0.7 μmで、RGBのうち最後まで残った緑色の半導体レーザーが2009年ごろに量産可能となり、3色すべてを使うことが可能となりました。可視光LEDが10年以上かけて一般化してきたように可視光レーザーもこれから一般化してくると思われます。その際に重要となるのが、さまざまな応用に向けてレーザー光の特性を使いこなししていく技術で、特に干渉等を安定して実現できる光学系の技術が重要になってきます。NTTでは、そのような光学系を提供する技術として、上記のPLC技術の可視光領域への適用

を進めています。この技術は可視光領域のセンシングや光量子情報処理などへの適用が考えられており、この記事で紹介するRGBカプラもその1つです。

### 網膜走査型レーザーアイウェアとRGB光源

RGBカプラの説明の前に、その適用先となる、網膜走査型レーザーアイウェアについて説明します。レーザーアイウェアは、名前のとおりレーザー光を用いたメガネ型表示デバイスです<sup>(4)</sup>。レーザー光を用いることで以下のような特徴が得られます。レーザーポインタのようにレーザー光線をスクリーンに当てると、レーザー光線の遠くまで広がらない性質により、スクリーンが遠くても近くても明るい点として光らせることができます。明るさを変化させながらレーザー光線を振ってスクリーン上の光の点を走査させれば、スクリーンが遠くても近くてもピントが合った画像を表示させることができます。これを人間の目に適用したの

が網膜走査型レーザーアイウェアで、網膜がスクリーンに対応します。人間の目はレンズに相当する水晶体を変形させ網膜上で像を結ばせる（ピントを合わせる）必要がありますが、この場合は水晶体の状態によらずピントが合った像が網膜上に投影されるので、視力によらない画像を得ることができます。構成も非常に簡単で図2のようにレーザー光源とそれを振るためのMEMS（Micro Electro Mechanical System）ミラーと呼ばれる小さなミラーと瞳の中にレーザー光を入れるためのミラーだけで構成可能です（この場合のレーザー光線は安全性が確認されている光強度に調整して使います。およそレーザーポインタの1000分の1程度の光強度となります）。ただし、これを構成する現状の部品サイズは、メガネのようなレーザーアイウェアを実現するには十分に小さいとはいえません。特にレーザー光源部分は、RGBの半導体レーザー3つの出力を束ねるためにレンズやミラーを組み合わせた複雑な構成となっており、小型化が難

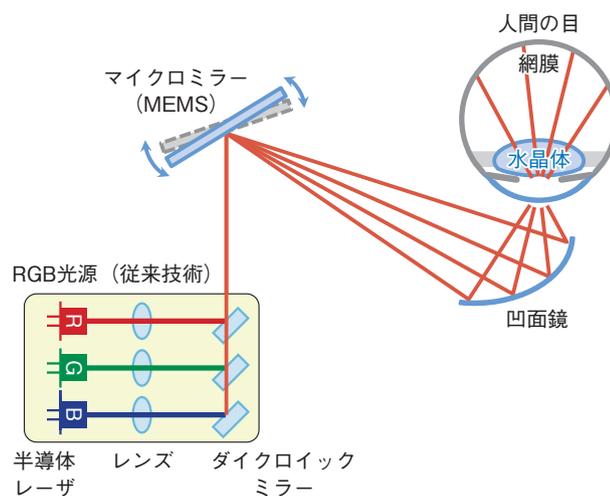


図2 網膜直接投影型レーザーアイウェアの原理

しい部品の1つになっています(図2左下)。

**RGB光源に向けた光回路技術  
(RGBカプラ)と光源モジュール**

NTT先端集積デバイス研究所は、前述のレーザ光源モジュールのレンズやミラー等で構成される光学部分に着目して、その部分に可視光PLC技術を適用することで、抜本的な小型化を実現しました(図3(a))。可視光の波長は光ファイバ通信の波長の約半分以下の短い波長を扱うため、光回路の要素について全面的に見直しを行いました。特に、異なる波長の光を束ねる部分(波長合波器)については、以下の新技术を用いて世界最小クラスのチップサイズを実現しています。図3(b)、(c)に従来の波長合波器と新たに開発し

た波長合波器の動作を模式的に示しました。2本の光の通り道(光導波路)を近づけると、ある種の共振によって一方の光導波路からもう一方の光導波路に光が乗り移ることが知られていて、方向性結合器と呼ばれています。共振で乗り移るまでの光回路の長さは波長によって異なるので、そのタイミングを合わせれば光を1本の導波路に束ねることができます(図3(b))。NTTでは、それからさらに一歩踏み込んで、間に1本幅の異なる光導波路を付け加え、光の幅を調整し、この共振を波長によって起こりやすい場合と起こりにくい場合を同時に実現できる構造を見出しました(図3(c))。これを用いることでタイミングをわざわざ合わせなくても、特定の波長だけをもう一方の導波路に乗り移らせることがで

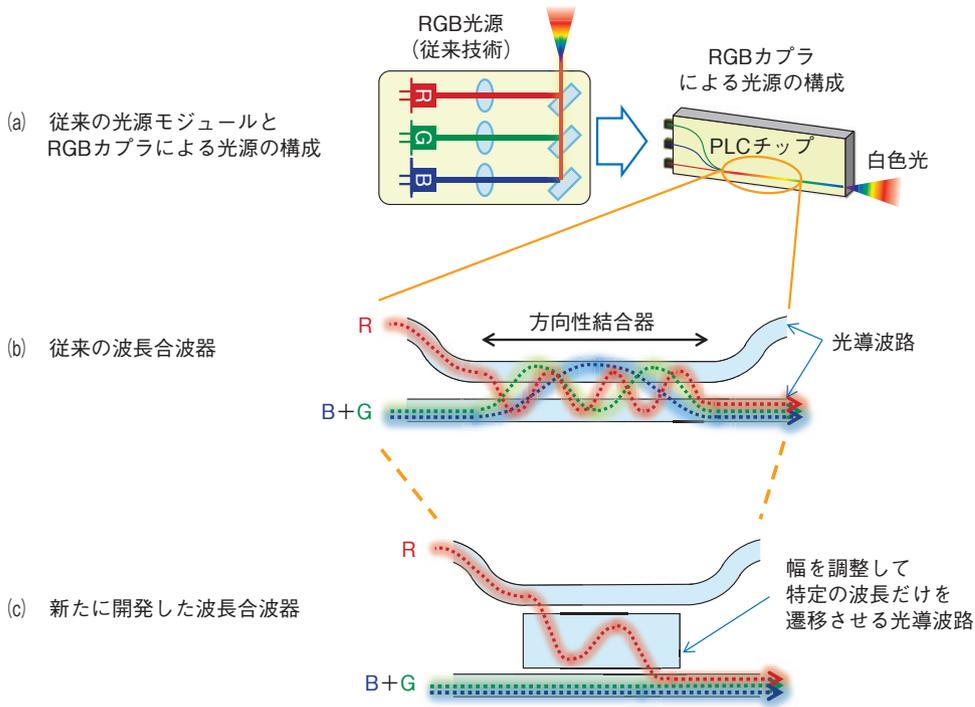


図3 従来の波長合波器と新たに開発した波長合波器の動作

きるようになり、従来の約3分の1の短い距離で光を1つに束ねることを可能にしました。この技術を適用した光回路の各入力から入射した光に対する出力の割合（透過率）を図4に示します。破線で示したRGBの波長で透過率が高くなっており、良好な特性を実現しています。これを用いてチップ化したものが図5(a)です。チップサイズ幅2.1×長さ3.5×厚み0.5 mmとなっており、RGB合波器チップとしては、筆者の知る範囲で世界最小クラスです。さらに、NTT先端集積デバイス研究所はTDK株式会社と連携して、パッケージに組み込んだ光源モジュールを実現しています（図5(b)）。半導体レーザーチップを搭載したサブキャリアを1 μm以下の高精度で光導波路端に短時間で位置合わせ・固定するTDKの独自技術と組み合わせることで世界最小クラス（幅5.5×長さ8×厚み2.7 mm）のRGB光源モジュールの実現が可能

となりました。この超小型のRGBレーザー光源モジュールのサイズは、従来のレンズやミラー等を使ったRGB光源ユニットと比較して体積比で約20分の1程度で、メガネのつるの幅と同等程度のサイズとなっており、図5(c)のようなメガネ型のレーザーアイウェアを実現することが可能なサイズとなっています。

私たちの身の回りの生活環境（の一部）が、情報によりつくり出されるようになってきました。スマートフォンが私たちの生活に大きく影響しているように、ここで紹介した技術が、ごく自然にどこでも使える表示デバイスの実現に貢献し、さらには、それを通して、より豊かな生活環境の創造に貢献できればと考えています。

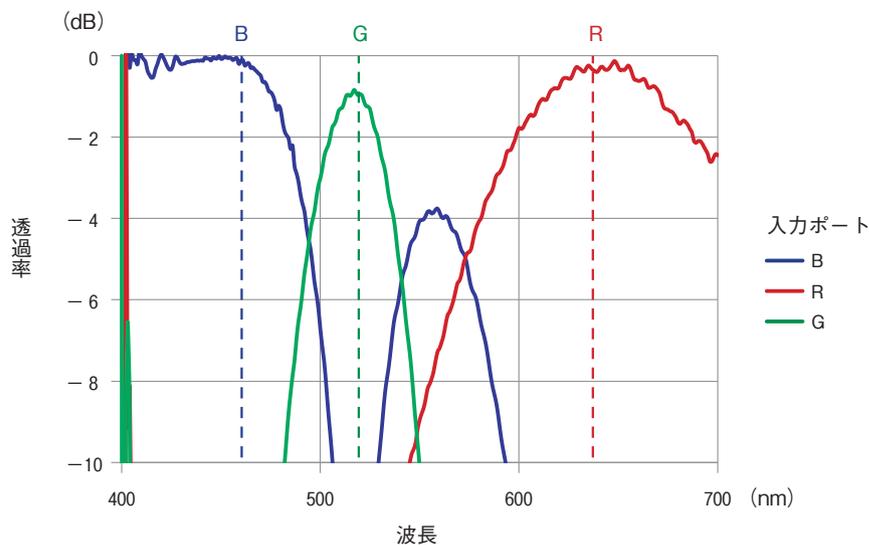


図4 RGBカプラの透過率

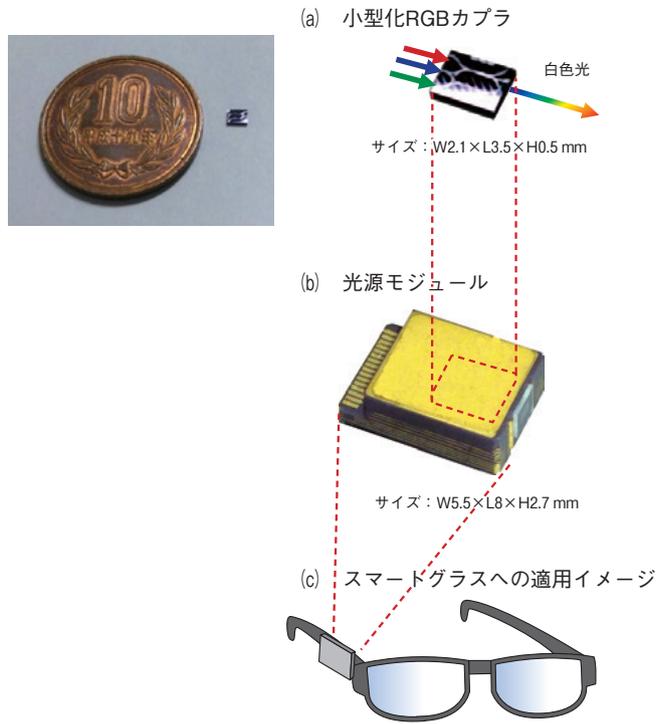


図5 作製したチップおよび光源モジュール

■参考文献

- (1) J. Sakamoto, G. Takashi, S. Katayose, K. Watanabe, M. Itoh, and T. Hashimoto: "Compact and low-loss RGB coupler using mode-conversion waveguides," *Optics Communications*, Vol. 420, No. 1, pp. 46-51, 2018.
- (2) J. Sakamoto and T. Hashimoto: "Recent progress in applications of optical multimode devices using planar lightwave circuits," *NTT Technical Review*, Vol. 17, No. 5, pp. 40-44, 2019.
- (3) H. Takahashi: "Recent progress on planar lightwave circuit technology for optical communication," *Proc. of SPIE 7633, Network Architectures, Management, and Applications VII*, 2009.
- (4) M. Sugawara, M. Suzuki, and N. Miyauchi: "Retinal imaging laser eyewear with focus free and augmented reality," *Proc. of IDW/AD '16, INP1-2, Fukuoka, Japan, Dec. 2016*.



(左から) 橋本 俊和 / 阪本 隼志

レーザー光という光学技術と目に見える画像が直結して、さらに通信の部品技術が適用されるという不思議を大変楽しく感じています。光ファイバ通信で培った部品技術を身近な表示デバイスに適用することで、自分自身を含めて皆様の豊かな生活の実現に貢献できればと考えています。

◆問い合わせ先

NTT先端集積デバイス研究所  
 光電子融合研究部 光電子複合集積研究グループ  
 TEL 046-240-2044  
 E-mail toshikazu.hashimoto.ur@hco.ntt.co.jp

# ハンドジェスチャ操作を実現する 手指形状認識技術

NTTサービスエボリューション研究所では、システムを使いやすくするためのユーザインタフェース技術の研究開発を進めています。その実現に向け、次世代情報端末の重要な要素である端末の操作方法に着目し、手のジェスチャによる眼鏡型端末向け操作を実現するための手指形状認識技術の確立をめざし、研究を行っています。本稿では、これらに関連した取り組みについて解説します。

くほ ゆうき  
久保 勇貴

NTTサービスエボリューション研究所

## はじめに

情報端末を通じたユーザへの情報表示はあらゆる場面において活用され、私たちの生活においてなくてはならないものとなっています。情報端末としては、公共空間に設置されたディスプレイや持ち運び使用するスマートフォンといったモバイル端末が主に用いられています。そして現在、新たな情報端末の形態として、スマートグラスやAR (Augmented Reality) グラスといったユーザが身に付けて使用するウェアラブルな眼鏡型端末の実用化をめざし、各社において検討が進められています。眼鏡型端末のこれまでの端末と異なる特徴は、ユーザが見ている視界へ直接情報を重畳表示できる点だと考えています。

眼鏡型端末によってユーザの視界へ直接情報を重畳表示できるようになると、あらゆる情報を現実世界に重畳させ、ユーザごとに異なる情報を表示可能になることも考えられま

す。これまでは、駅や公園といった公共空間における情報表示には駅の案内板およびサインネージ等、各地に設置された物理的に存在するディスプレイ等を介して、誰に対しても画一的な情報表示がなされてきました。しかし、眼鏡型端末を活用し各ユーザに異なる情報を表示できる特徴を活かせば、これまで現実世界に固定され存在したあらゆる情報を各ユーザの特性に応じて動的に変化させ、各ユーザが求めている情報を表示可能となることや、各ユーザが求める情報量もユーザにとって心地良い情報量に調節し表示可能になることも考えられます。

情報はこれまで以上に私たちと密接な存在となるため、スマートフォンを画面上において操作しているように、眼鏡型端末を介して現実世界に重ねて表示される情報を操作する技術はこれまで以上に重要になると考えられます。私たちはその未来を見据え、表示される情報を扱うための操作方法に関する研究を

行っています。本稿では、現在研究を行っている技術の1つである手を用いた操作方法に必要となる手指形状認識技術に関する研究を紹介します。

### 必要となる操作方法

眼鏡型端末を介して表示される情報の操作方法に関して有力視されている方法として、手の状態もしくは動作を用いる、ジェスチャ操作が挙げられます。ジェスチャ操作を行うためには、まず手のジェスチャを認識する方法が必要となり、例えば、カメラを用いたジェスチャ認識に関する研究が行われています<sup>(1)</sup>。しかし、カメラを用いる場合、カメラの設置位置や画角に応じて認識できる範囲が限定される点や、対象とカメラの間に障害物があると認識が難しい点、プライバシー問題等の課題があります。

また、手のジェスチャを検討する際には、認識手法だけでなく操作に用いるジェスチャのデザインも重要となります。ジェスチャといえは腕を大きく上下左右に動かす、腕を長時間上げているような動作が想像されますが、これらの腕を大きく動かす必要のあるジェスチャを用いる場合、いくつかの課題があります。例えば、腕を大きく動かす、上げ続ける必要があると腕への疲労が蓄積し、長時間使うとユーザへの負担が大きくなってしまいます。また、大きな身振り手振りによる操作だと周囲にいる人たちから目立ってしまうため、

社会受容性が低い点や、周辺に人や障害物があるとジェスチャを行えない点、周辺の人から何をしているか操作を盗み見られてしまう等の課題もあります。これらの課題を踏まえ、NTTサービスエボリューション研究所ではユーザへの負担を軽減できる手指の細かなジェスチャを用いる操作方法に着目し、これを実現するための手指の細かな状態を認識可能とする装着型センサを活用した手指形状認識技術の研究を行っています。次に、本技術アクティブ音響センシングに基づく手指形状認識技術AudioTouch<sup>(2)</sup>について紹介します。

### 技術概要

AudioTouchは、指の動きに追従し変化する手の甲の筋肉や骨といった構造の変化を超音波エコーのような原理を用いて音波によってとらえ、手指の状態を推定する手指形状認識手法です。一般的にあらゆる物体は、形状、材料、境界条件等に依存した独自の共振特性を持っています。先行研究<sup>(3)</sup>では、センサを貼り付けた物体をタッチインタフェースとするために、ユーザが物体に触れたことに伴い、物体の境界条件が変化するとともに共振特性も変化することに着目し、物体へのユーザからのタッチを認識する手法を提案していました。これに対して、AudioTouchは、手の内部構造を含めた手自体の形状変化による共振特性の変化に着目しました。ユーザが手指の姿勢を変える場合、手の骨および

筋肉等が動くために手の共振特性が変化し、手指の姿勢の変化を異なる共振特性を計測することにより認識することができます。この共振特性の変化は、物体に振動（音波）を伝搬させて周波数応答を得ることにより計測することができます。AudioTouchはこれを基に、手の周波数応答を観測し、手指の形状変化を認識します。具体的には、手の甲に貼りつけた2つの圧電素子を用いて（図1）、一方の圧電素子から手の表面と内部の両方に超音波を放射し、もう一方の圧電素子を用いて手の表面および内部を介した超音波を取得し、取得した音波の周波数応答を解析しま

す。そして、得られた周波数応答から特徴量を生成し、機械学習を用いて手指の形状を認識します。

AudioTouch では、図2に示すような3

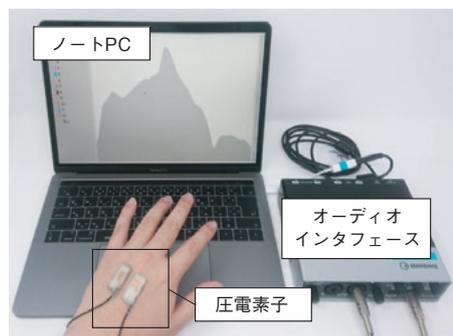
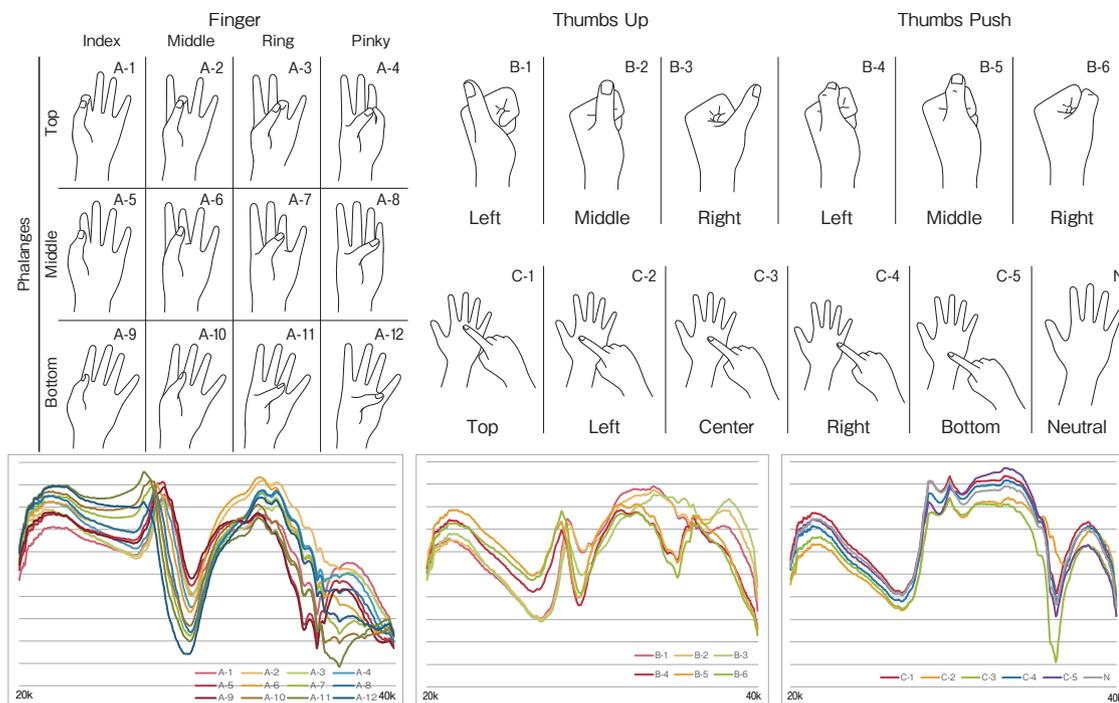


図1 システム構成図



\* 波形はある被験者のラベルごとのデータを平均化した波形を例示

図2 各ジェスチャセットと各ジェスチャの波形例

つのジェスチャセットを認識できるかどうか実験を行い確認しました。ジェスチャセットとしては、親指を指の節に合わせるものや、親指の左右動作、他方の指による掌へのタッチの3つのジェスチャセットとなります。そのほかにも、親指と人差し指を合わせた際の力の入れ具合の強弱を2段階にて区別できることも調査しました。これらのジェスチャを用いて、掌をタッチパッドのように用いるテンキーやメニュー選択のアプリケーション例が考えられます。

## おわりに

本稿では、眼鏡型端末向け操作方法に関連した技術の概要を述べ、これを実現するための要素技術である手指形状認識技術の現状の取り組みについて説明しました。技術的、社会的な課題はまだ残されており、NTTサービスエボリューション研究所では、今後も研究開発を継続的に行っていきます。

本研究は、JST ACT-I JPMJPR16UA の支援を一部受けたものです。

### ■参考文献

- (1) D. Kim, O. Hilliges, S. Izadi, A. D Butler, J. Chen, I. Oikonomidis, and P. Olivier: "Digits: Freehand 3D Interactions Anywhere Using a Wrist-Worn Gloveless Sensor," Proc. of UIST 2012, pp. 167-176, Cambridge, U.S.A., Oct. 2012.
- (2) Y. Kubo, Y. Koguchi, B. Shizuki, S. Takahashi, and O. Hilliges: "AudioTouch: Minimally Invasive Sensing of Micro-Gestures via Active Bio-Acoustic Sensing," Proc. of MobileHCI 2019, p. 13, Taipei, Taiwan, Oct. 2019.
- (3) M. Ono, B. Shizuki, and J. Tanaka: "Touch & Activate: Adding Interactivity to Existing Objects using Active Acoustic Sensing," Proc. of UIST 2013, pp. 31-40, St Andrews, U.K., Oct. 2013.



久保 勇貴

NTTサービスエボリューション研究所では、次世代情報端末のために必要となるユーザインタフェース技術やこれらを実現するためのセンシング技術に関する研究開発を進めていきます。

### ◆問い合わせ先

NTTサービスエボリューション研究所  
サイバネティックインテリジェンス  
研究プロジェクト  
TEL 046-859-3901  
E-mail ev-journal-pb-ml@hco.ntt.co.jp

# 視線移動を用いた妨害感の少ない 割り込み情報表示方法の研究開発

私たちは目標の実現に向かうユーザに対し、スマートグラスなどの日常的に身につけて使用する情報デバイスにより、行動情報を表示する方式について検討しています。情報閲覧を強制するとユーザの妨害感を高めて継続的な利用が妨げられる可能性があり、強制しないと閲覧されないことが予想されます。そこで妨害感の低減と確実な閲覧を両立する情報表示方法として「情報の閲覧を強制するが自ら選んで閲覧したと感じさせる方法」を実現し、これが有効である可能性を確認しました。

さいじょう りょうへい さいとう たえ  
西條 涼平<sup>+1,2</sup> 佐藤 妙<sup>+1</sup>  
えいとく しんいちろう わたなべ まさひろ  
永徳 真一郎<sup>+1,2</sup> 渡辺 昌洋<sup>+1</sup>

NTTサービスエボリューション研究所<sup>+1</sup>

NTTデジタルツインコンピューティング研究センタ<sup>+2</sup>

## 日常生活への割り込み情報表示

近年、スマートグラスなど日常的に身につけて利用する情報デバイスの研究開発がさかんに行われています。これらの情報デバイスを通してタイムリーに情報を表示するシステム（情報表示システム）から、情報を受け取ることでユーザはさまざまな恩恵を得ることができます。例えば、運動不足のユーザがエレベーターと階段がある場所にやってきたタイミングで、「階段を使いましょう」などの

割り込み情報が情報デバイスに表示されます。それをユーザがすぐに閲覧、実行すれば、日々の行動習慣を改善することができると考えられます（図1）。しかし、このような情報は、適切なタイミングが過ぎた後（例えば、エレベーターに乗った後）でユーザが閲覧しても効果がありません。そのため、情報が表示されたタイミングでユーザが情報を確実に閲覧すること（閲覧の確実性）が重要です。その一方で、確実な閲覧のために強制的に情報を見せるような表示がされると、ユーザに

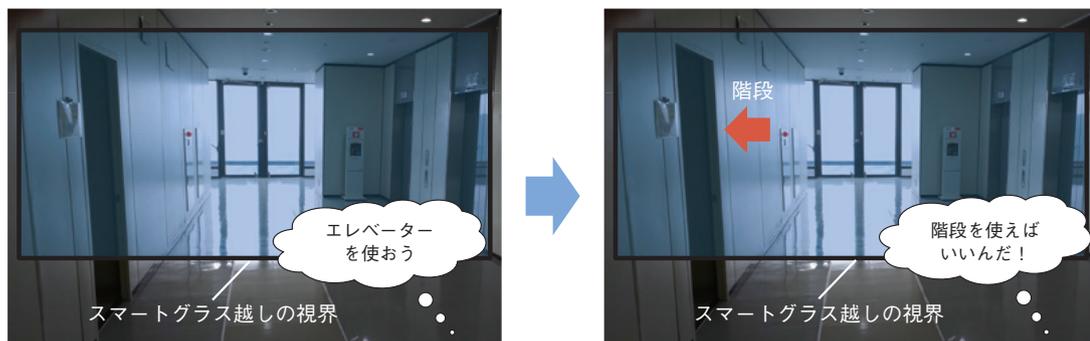


図1 本研究で想定するスマートグラスを用いた割り込み情報表示の例

は実施していた活動が妨げられたという感覚（妨害感）が生じ、情報表示システムの継続的な利用をやめてしまう可能性があります。

行動習慣の改善のようなシーンでは、ユーザが自らを理想的な状態に改善するための支援ツールとして、情報表示システムが活用できます。そのためには、情報表示システムは、継続的かつ効果的にユーザに情報を表示し、日々の行動改善を支援できる必要があります。そこで、私たちは、情報表示システムにより割り込み情報を表示した際の妨害感が低く、かつ、閲覧の確実性が高い情報表示方法の実現をめざして研究を進めています<sup>(1)</sup>。

### これまでの割り込み情報表示技術

これまで、割り込み情報の表示方法に関する研究は数多く行われています。例えば、情報閲覧を促す通知をユーザが無視すると、より閲覧を強制する方向に表示方法を変えていき、最終的には作業中の画面に重畳させて表示する方法があります<sup>(2)</sup>。この方法では、閲覧の確実性は向上しますが、妨害感も増大してしまう可能性があります。また、情報表示による活動の妨害を少なくする手法として、PCの操作履歴から活動に対するユーザの割り込み拒否度を推定し、拒否度が低いタイミングで割り込み情報を表示する方法があります<sup>(3)</sup>。この方法では、作業の妨害を避けることができますが、情報をタイムリーにユーザに表示することができません。

このように従来の方法では、割り込み情報を表示した際の妨害感の低減と閲覧の確実性の向上の両立が難しいといえます。また、従来研究では、ユーザがもともと行っている作業をどの程度妨げたかを評価していますが、

割り込み情報表示の際にユーザが感じる妨害感には調べられていません。もともと行っていた作業を妨げなくても、妨害感は大い可能性があり、情報表示システムの継続的な利用を阻害する可能性があります。そのため、妨害感についても検討が必要です。

### 情報閲覧に至るプロセス

割り込み情報の表示においては、図2のように、①システムからの通知を受け取り、②情報を閲覧するという意思決定をし、③閲覧するための行動を自ら実施して、④情報を閲覧する、という4つのプロセスで情報の閲覧に至ると考えられます。私たちは、このプロセスのうち、②で生じる「意思決定」と③で生じる「行動」に着目し、これらの有無を切り替えることにより、妨害感と閲覧の確実性を変化させられると考えました。

閲覧の確実性を優先する表示方法として、図2(a)のプロセスが考えられます。例えば、ユーザが見ている場所に情報を表示する方法がこれに相当します。見ている場所に情報が表示されることで、情報をすぐに閲覧するかどうかの「意思決定」を行うまでもなく、同時に閲覧に必要となる「行動」も行うまでもなく、ユーザは情報を閲覧することになります。そのため、閲覧の確実性は向上すると考えられますが、妨害感が増大することも考えられます。一方で、妨害感の低減を優先する表示方法では、図2(b)のプロセスが考えられます。この表示方法では、情報を閲覧するかどうかをユーザが「意思決定」し、さらに、それに続く「行動」をユーザが行って、初めてユーザが情報を閲覧します。通知に気が付いたユーザがアイコンをタッチして情報を開

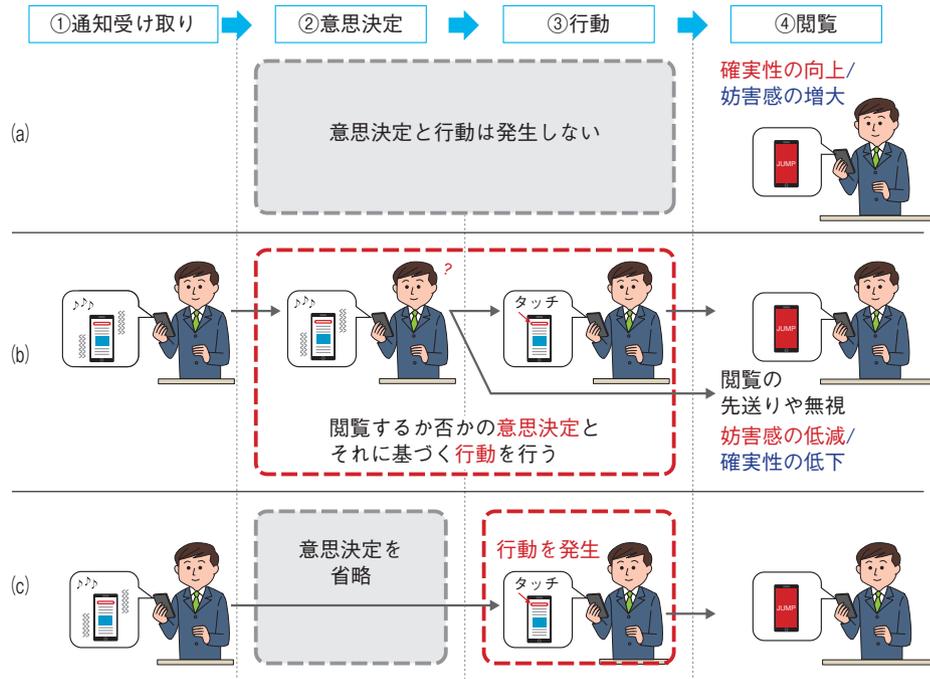


図2 情報閲覧のプロセス

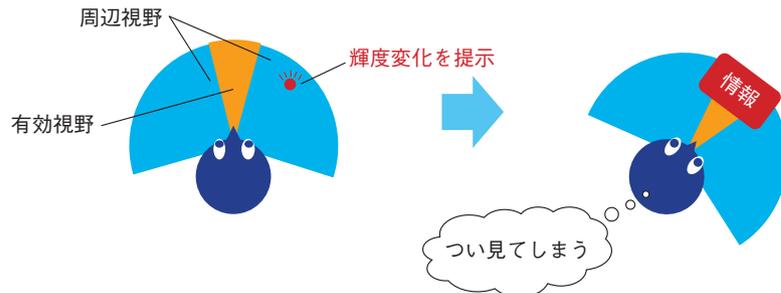


図3 視線誘導を用いた疑似的選択法

覧する場合などがこれに該当します。この方法では妨害感が低減すると考えられますが、「意思決定」の段階でしばしば閲覧が先送りされるなど、閲覧の確実性は低下すると考えられます。

### 割り込み情報表示における疑似的選択法の提案

私たちは、「情報閲覧のプロセスのうち、ユーザによる『意思決定』を省略することで情報閲覧の確実性を向上させることができ、

一方で『行動』を発生させることで、情報の閲覧時に感じる妨害感を低減させることができる」という仮説を立てました。この仮説の下、「情報表示システムからの働きかけにより、『意思決定』を省略して、情報を閲覧する『行動』を発生させる方法」である「疑似的選択法」を提案しています(図2(c))。

「疑似的選択法」を実現する具体的な手段の1つとして、明るさや動きに敏感である周辺視野への輝度変化の提示による、視線誘導を利用した方法を検討しています(図3)。

これは、周辺視野への輝度変化の提示により視線が誘導され、「意思決定」なしに「行動」を起こさせる方法です。

### 提案手法の評価

私たちは、主タスクと割り込みタスクからなる二重課題で、割り込みタスクの情報表示方法を変えて比較を行いました。図2(a)~(c)に相当する3種類の情報表示方法(図4)を設定し、疑似的選択法の有効性を評価しました。実験ではまず、妨害感の低減の効果に焦点を当てて評価を行いました。ここで、主タスクは日常生活の動画鑑賞などの活動に相当し、割り込みタスクは「少し立ち上がりましょう」などの情報表示に相当します。日常生活では、主タスクに集中している状態(活動中)と次の主タスクに移る状態(活動の切れ目)が交互に繰り返し発生します。実験では、このような状況を再現するために、主タスクに2桁どうしの加算問題をを用いることで、解答

に集中している状態(活動中)と次の問題に移る状態(活動の切れ目)が交互に繰り返されるようにしました。また、ユーザが情報の詳細な内容を読むことを模した状況をつくるため、詳細な内容を閲覧して解答を求めるタスクとして、2桁×1桁の乗算問題を割り込みタスクに用いました。

実験では、20代から50代の男女10名に参加してもらいました。実験参加者には、主タスクに集中してもらうために、1問解くごとに次々に表示される主タスクを可能な限り多く解くように指示しました。また、割り込みタスクが表示された際にはそちらも解くように指示しました。実験の最後にはアンケートを行い、各条件で感じた妨害感を5段階で評価してもらいました。

妨害感に関する5段階評価の結果の平均値を図5に示します。5段階評価の結果について統計的に解析した結果、選択不可条件と疑似的選択条件では選択条件より妨害感が大き

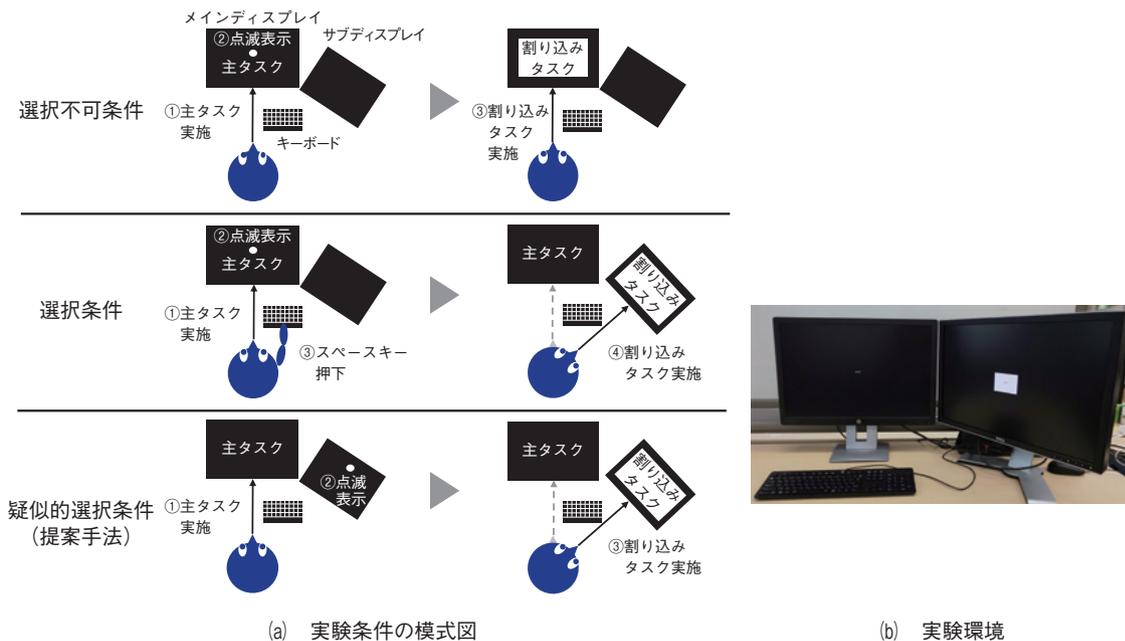


図4 実験条件と実験環境

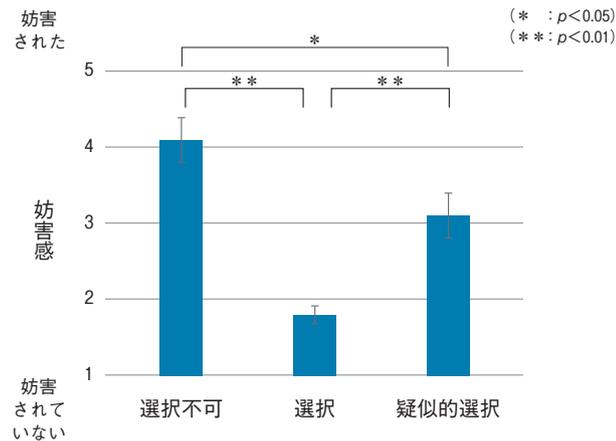


図5 妨害感の主観評価の平均

いことが分かりました。また、選択不可条件では疑似的选择条件よりも妨害感が大きいことが分かりました。

これらの結果から、疑似的选择条件では、選択不可条件より妨害感が低減し、疑似的选择法で妨害感を低減できる可能性が示唆されました。また、選択条件で妨害感がもっとも低かったことから、「意思決定」と「行動」をユーザが行えることが、妨害感の低減に寄与する可能性が確認されました。

## 今後の展開

今回、情報閲覧のための自発的な行動の1つとしてユーザの視線移動に着目し、視線移動を発生させることで、割り込み情報に対する妨害感の低減につながる可能性が確認できました。今後は、妨害感の低減に寄与する要因の詳細検討、および閲覧の確実性の向上を行うことで、ユーザの日々の行動改善を支援する情報表示システムの実現をめざしていきます。

### 参考文献

- (1) 西條・佐藤・永徳・渡辺：“習慣化支援のための視線誘導に着目した情報表示方法の基礎検証,” 信学技報, Vol. 119, No. 477, pp. 19-24, 2020.

- (2) R. Yoshida, K. Takahashi, T. Kawamura, and K. Sugahara: “Input urging system using unpleasant notification based on negative motivation,” Proc. of ICECCT 2017, pp. 1-5, Coimbatore, India, Feb. 2017.
- (3) 田中・藤田：“割り込み拒否度推定に基づくアンビエント情報提示による円滑なインタラクション開始支援,” 知能と情報, Vol. 24, No. 5, pp. 921-932, 2012.



(左から) 西條 涼平 / 佐藤 妙 / 永徳 真一郎 / 渡辺 昌洋

情報提示をはじめとするヒューマンインタフェースの研究を推進し、人がより自然に、より簡単に使えるサービスの開発に貢献していきます。

### ◆問い合わせ先

NTTサービスエボリューション研究所  
サイバネティックインテリジェンス研究  
プロジェクト  
TEL 046-859-3901  
E-mail ev-journal-pb-ml@hco.ntt.co.jp

# 空中擬似触覚による質感提示をめざして

映像提示技術や身体情報取得技術の発展に伴い、ユーザが映像とインタラクションする場面が増えてきています。本稿では、ユーザが自らのアクションによってバーチャルな対象を操作する際に、その対象に触覚的な質感を持たせることのできる技術「空中擬似触覚」を提案します。この技術ではユーザのアクションに伴って対象を変形させますが、その変形のパターンを操作することで対象の柔らかさ印象を変えることができます。将来的には、豊かな質感をバーチャルな対象に持たせるための技術へ発展させます。

かわべ たかひろ  
河邊 隆寛

NTTコミュニケーション科学基礎研究所

## 研究動機

ハリウッドのSF\*映画などで表現される未来世界のシーンでは、主人公が空中像を巧みに操作することがあります。「空中像の触り心地ってどんな感じだろうか」、そのような素朴な疑問が本研究を始めた動機でした。空中像提示は、もはやSFの中の話ではなく、光学的な装置やヘッドマウントディスプレイによって実現されています。NTTが開発した技術である「Kirari!」も空中像提示を実現している手法の1つです。

その一方で、空中像、いわゆる、バーチャルな対象に対する触覚の提示技術については、今まさに研究が進められている段階です。さまざまな手法が提案されていますが、その多くが物理的な触覚提示装置を利用するものです。

本研究では、装置を利用せず、ユーザのアクションを外部から読み取ってバーチャルな

対象の見掛けを操作することで、ユーザが感じる対象の質感を変化させることはできないかと考えました。もちろん、バーチャルな対象に直接触れることはできません。そこで本研究は、ユーザのアクションと因果的につながった対象の変化をユーザが観察した際に、脳で生じる対象の質感を推定する特性、つまり錯覚を利用することにより、バーチャルな対象に触覚的な質感を与えられないかと考えました。

## 疑似触覚

本研究の詳細を説明する前に、疑似触覚について説明します。例えば、コンピュータ画面上に表示されたカーソルをマウスで動かす場面を想像してください。マウスの動きは変わらないのに突然カーソルの動きが遅くなったとします。そのような場面では、そのマウ

\* SF：Science Fictionのことで、科学的な話題を題材にしたつくり話のこと。

スを用いているユーザは「マウスカーソルが重くなった」「抵抗感を感じた」などの印象を持つことが過去の研究で報告されています。この印象のことを疑似触覚と呼びます。疑似触覚は視覚、触覚、筋運動感覚、自己受容感覚といった複数の感覚モダリティがかかわって生じる錯覚ですが、特に視覚情報が他の感覚モダリティに及ぼす影響に関して議論されます。疑似触覚を用いることで、重さや抵抗感だけではなく、対象の形状や硬さの印象を操作することができます。

### 空中疑似触覚

先行研究では、ユーザが触覚提示装置に触れた条件で生じる疑似触覚を調べてきました。一方で本研究では、ユーザが装置に対して物理的に接触しない条件下において、ユーザに疑似触覚を与えることができるかを調べました。何も装置を持たない条件下で生じる疑似触覚のことをここでは空中疑似触覚<sup>(1)</sup>と名付けました。空中疑似触覚を実現するためには、2つのクリアすべき課題があります。1つはどのようにしてユーザの手の動きをトラッキングするかという課題です。これについては、Leap motionなどの簡易な装置を利用することで解決できました(図1(a))。次に、トラッキングした手の動きに伴ってどのような変化をバーチャルな対象に与えたらどのような質感が得られるか、という問題で

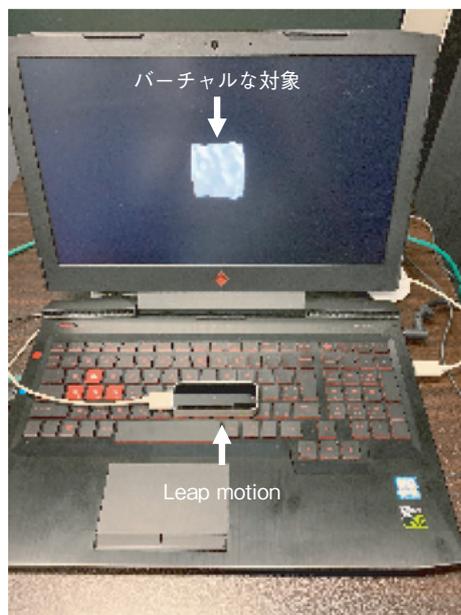
す。この問題は人間の知覚特性に絡んでいるのでその解決は一筋縄ではいかないのですが、その反面非常に、面白い問題だといえます。

### 調べたポイント

本研究ではこの知覚特性の問題に取り組むため、以下の3つのポイントについて調べました。

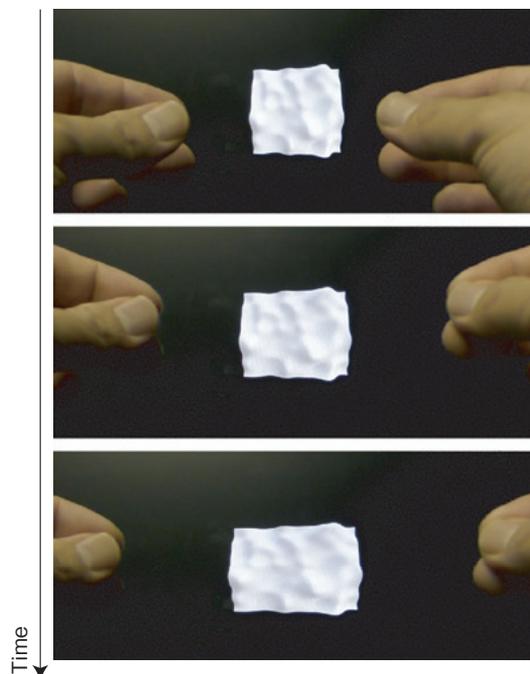
#### ■ポアソン効果とポアソン比

本研究では、バーチャルな対象を「引っ張る」というシチュエーションを調べました。弾性体を水平方向に引っ張ると、垂直方向には圧縮が生じます。例えばゴムを引っ張ると、その中央部分の厚みが薄くなることは日常生活でも体験されることでしょう。この物理現象のことをポアソン効果と呼びます。本研究では、ユーザがバーチャルな対象を水平方向へ引っ張るようなアクションをしたときに、手の移動量に応じてバーチャルな対象が水平方向へ伸張する仕掛けをつくりました(図1(b))。その際に、ポアソン効果に基づき、垂直方向には圧縮変形をかけました。ポアソン効果は、ポアソン比によって記述できます。ポアソン比は、力のかけられた方向への歪みと、その方向とは直角方向に発生する歪みとの比のことを指します。自然界ではポアソン比は0.5を超えることはないといわれています。本研究ではユーザがアクションをした結果として生じるバーチャルな対象の変形のポ



Leap motionによって手の動きをトラッキングし、手の動き量に応じてバーチャル対象が変形する。

(a) 実験機材を撮影した写真



(b) 手の動きによって生じる対象の変形

図1 実験風景

アソン比を操作することで、ポアソン効果がバーチャルな対象の柔らかさに影響するかどうかを調べました。

### ■手の移動量と変形量との比

疑似触覚を調べた過去の研究では、ユーザのアクションの量に対する画面上の対象の変化量の比が小さくなるにつれて、抵抗感や重さ感が高まることが知られています。本研究でも、バーチャルな対象の変形量とバーチャルな対象を引っ張るアクションの量との比を操作し、その比が対象の硬さにどのように関係するかを調べました。この比が大きくなる

につれて、わずかなアクションの量で対象が大きく変形するようになるので、より対象が柔らかく感じられるのではないかと予想しました。

### ■アクションと対象変形との整合性

ユーザがバーチャルな対象を水平方向へ引っ張るアクションを行い、その対象が水平方向へ変形した場合、アクションと対象変形との関係は整合しているといえます。一方で、アクションと対象変化との整合性が対象の質感操作に必要なかどうかは明らかではありませんでした。本研究では、アクションと対象変

形との整合性を調べることでこの問題に取り組みました。整合条件しない条件では、ユーザが水平方向へ引っ張るアクションを行った際に、対象が垂直方向へ縮みました。

### 実験結果と考察

図2は実験参加者に、対象の硬さを5段階で評価してもらったときの結果を示したグラフです。各グラフとも、対象の変形量とアクション量との比の関数としてバーチャルな素材の硬さ評価値がプロットされています。まず、ポアソン比の効果が見られました。ポア

ソン比が0.5のときは他の条件に比べて柔らかく感じられました。次に、変形量とアクション量との比が大きくなるにつれ、対象が柔らかく感じられました。また面白いことに、アクションと対象変形との方向が整合しても整合していなくても、同様の柔らかさ評価のパターンが得られました。

これらの結果は以下のことを示しています。

- ・ユーザのアクションと対象との変形との関係を操作することで、空中疑似触覚をユーザに与えることが可能。
- ・ポアソン効果や、ユーザのアクションと

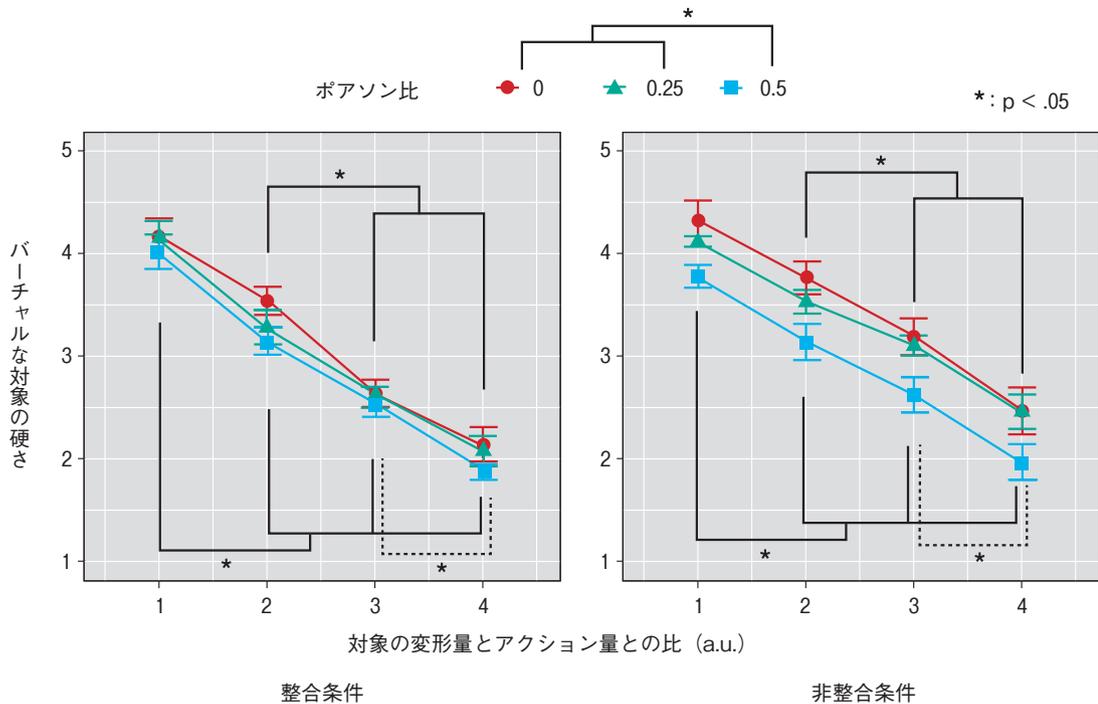


図2 実験結果

の比に基づいて対象の変形量を操作することで、対象の柔らかさを操作可能。

- ・ユーザのアクションと対象変形との整合性はバーチャルな対象の硬さ印象に影響しない。

### 本技術がめざす未来

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) により、2030年には高速大容量通信が実現されます。その未来では、大容量の情報をユーザに自然に提供する技術が必須となっていると考えられます。IOWN構想<sup>(2)</sup>で述べられているとおり、NTTでは「身の回りの個々のデバイスを意識せずに、人と環境が調和したナチュラルな世界」を実現するためユーザインタフェースの未来形であるPoint of Atmosphere (PoA) の開発をめざしています。

本研究で提案した空中疑似触覚技術では、ユーザが実世界で行う「引っ張ると実対象が伸びる」という関係性を「引っ張るとバーチャルな対象が伸びる」という場面に拡張し、その拡張された現実感の中で対象の素材感を変容させることを実現しています。このような拡張現実における対象の操作ならびに質感印象は、未来におけるユーザインタフェース設計には必要となる要因です。空中疑似触覚技術はもとより、知覚に根差した提示技術の開発およびその開発に向けた基礎研究を推進さ

せることで、PoAの実現に近づければと思います。

#### ■参考文献：

- (1) T. Kawabe: "Mid-Air Action Contributes to Pseudo-Haptic Stiffness Effects," IEEE Transactions on Haptics, Vol. 13, No. 1, pp. 18-24, 2020.
- (2) 澤田・井伊・川添: "IOWN構想—インターネットの先へ," NTT出版, 2019.



河邊 隆寛

知覚を考慮した情報提示手法を確立するためには、基礎研究の積み重ねが必要です。今後も知覚の応用可能性を高めるための基礎研究に邁進する所存です。

#### ◆問い合わせ先

NTTコミュニケーション科学基礎研究所  
人間情報研究部 感覚表現研究グループ  
TEL 0774-93-5030  
E-mail cs-liaison-ml@hco.ntt.co.jp

# VRを用いた運動時の環境適応能力の評価技術への取り組み

高齢者の歩行や自動車運転時の事故を防ぐためには運動機能の向上だけでなく、適切な運動遂行のために環境変化に適応する認知機能の観点も重要だと考え、この運動時の環境適応能力を評価・向上するための技術創出に向けて研究開発を進めています。本稿では、本技術の実現に向けた取り組みを紹介します。

いせざき たかし わたなべ ともき  
伊勢崎 隆司 渡部 智樹

NTTサービスエボリューション研究所

## 運動時の環境適応能力を評価する意義

高齢者の移動行為に伴う事故である転倒や自動車事故は社会的な問題です。高齢者の歩行時の転倒は死亡要因の多くを占めています。また、高齢者が第一当事者となった交通事故は全体の18.1%を占め、高齢運転者による事故の割合は年々増加傾向にあります<sup>(1)</sup>。

NTTサービスエボリューション研究所では、ユーザの運動機能を慣性情報や表面筋電図の情報から推定する研究を推進してきました<sup>(2)</sup>、<sup>(3)</sup>。歩行などの運動や自動車の運転といった移動行為においては、一般的な運動制御モデル、すなわち自身の身体状態や外部環境を視覚・聴覚・体性感覚などの感覚器を通じて知覚する知覚プロセス、知覚した情報を脳内で処理して筋骨格系に指令を送る認知プロセス、脳からの指令を受けて収縮・弛緩する筋骨格系の機能である運動プロセスといった一連のプロセスで遂行されていると考えら

れます。高齢者の歩行時の転倒や自動車事故の要因を把握して未然に事故を防ぐためには、運動以外の機能に対しても目を向ける必要があると考えています。レイモンド・キャッテルは知能に関して「結晶性知能」と「流動性知能」という2つの観点に分類しました<sup>(4)</sup>。流動性知能は新しいことを学習する能力や、新しい環境に適応するための問題解決能力などのことであり、年齢とともに衰えるといわれています。一方で、結晶性知能は個人が長年にわたる経験、教育や学習などから獲得していく能力であり、年を重ねても安定している傾向にあります。歩行や自動車の運転を行っている際、慣れ親しんだ道だけでなく不慣れな道を走行するような状況や、歩行者が急に飛び出してくるような想定外の状況が度々発生します。時々刻々と環境が変化する中で適切な運動遂行を実現しなければならないような条件下においては、このような流動性知能的側面、すなわち不慣れもしくは想定

外な環境に対して即時に適応するような認知的能力が重要と考えています。

上記の背景を踏まえ、ユーザにとって不慣れもしくは想定外な環境に適応して運動遂行する能力を評価し、さらにはその能力を向上させることが移動行為に伴う事故を防ぐために重要であると考えました。

## VRで運動時の環境適応能力を評価するシステム

### ■不慣れな環境による環境適応能力評価

ユーザの環境への適応能力を測るためには、不慣れもしくは想定外な環境（不慣れな環境）でのユーザの挙動を観察し、その環境やユーザ対応の身体運動を評価分析する必要があります。近年ではさまざまなメーカからコンシューマ向けVR（Virtual Reality）システムが販売されており、一般ユーザも手軽に利用できるようになりつつあります。VRであればさまざまな環境を模擬・再現し、環境におけるユーザの運動情報やその際の環境情報を得ることができます。私たちは、このVRを用いてユーザにとって不慣れな環境を構築し、その環境における運動とパフォーマンスを観察することで運動時の環境適応能力を評価することができないかと考えました。

運動時の環境適応能力の評価をするためには、環境適応能力の善し悪しに応じて異なる挙動が含まれるような身体情報を分析する必要があります。上肢（上腕・前腕・手を含めた総称）の巧緻性（上手さ）は認知機能と関連があるといわれています<sup>(5)</sup>。この認知機能の1つに運動時の環境適応能力があるととらえると、この「上肢巧緻性」に着目することで運動時の環境適応能力の評価が行えるのではないかと考えました。上肢巧緻性を評価す

る手法は複数ありますが、巧緻性の対象となる上肢運動の基本機能としてスペーシング、タイミング、グレーディングの3つの機能が挙げられています<sup>(6)</sup>。スペーシングは手を正しい方向に動かす機能、タイミングは手の運動において正しい時間調整を行う機能、グレーディングは手の運動において正しい力加減を行う機能です。上肢巧緻性に基づいて運動時の環境適応能力を評価する手法をVRで実装していくにあたり、NTTサービスエボリューション研究所では、名古屋大学 情報学 森健策 教授、小田昌宏 准教授と名古屋大学医学部 手の外科 平田仁 教授、大山慎太郎 特任助教との共同研究を進めています。

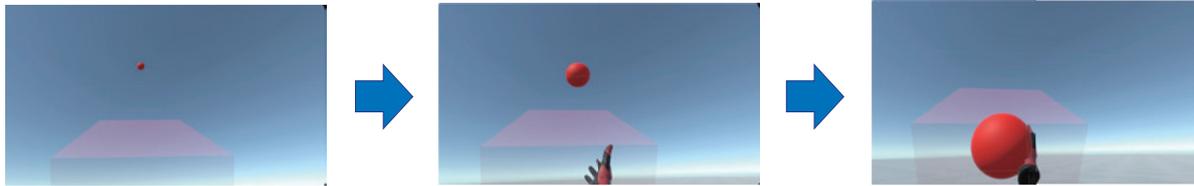
上肢巧緻性に関連する具体的な運動として、「落下するボールを掴むタスク」に着目しました。ユーザにとって不慣れな環境を模擬するために、実世界の挙動と差異が生じるように3つの観点を考慮しました。1番目は対象物（ボール）の特性変化です。具体的には対象物の重力加速度や、対象物の大きさの変化を検討しており、これらをパラメータとして変更可能なように実装しています。2番目は環境空間の特性変化です。具体的には対象物がバウンドするような障害物や対象物（ボール）の加速度が3次元的に変化するような空間を検討しました。これらの障害物や空間を任意の領域に任意の反発係数や加速度を設定可能なように実装しました。3番目はユーザの運動特性変化です。実世界での上肢運動量に対して過大・過小にVR空間のアバタが運動するように運動の射影係数をパラメータとして設定しました。

### ■プロトタイプの利用風景

本システムのプロトタイプの利用風景を図1に示します。本タスクでは特定領域（赤い



(a) VR環境にて落下するボールをキャッチするシーン



(b) ユーザ視点映像

図1 プロトタイプの利用風景

領域)が障害物となり落下するボールがバウンドする環境、すなわち環境特性の変化を模擬しました。ユーザは複数回の試行を経て不慣れた環境に適応し、ボールを安定的に把持できるようになります。本システムは特定の環境におけるタスク遂行中のユーザの運動情報(コントローラを通じて計測)とタスクのパフォーマンスを計測します。1タスクの時系列的なユーザの動作(図1(a))とVRにおけるユーザ視点(図1(b))を表しています。図1(a)で示すように、実世界にてユーザはVRシステムであるHMD(ヘッドマウントデバイス)やコントローラを装着します。図1(a)のディスプレイに表示されている映像は、ユーザがHMDを通じて取得するVRの情報です。ユーザがHMDを通じて見る映像を抽出した情報を図1(b)に示します。図1(b)左は赤いボールが上部から落下しているシーン、図1(b)中央は障害物(赤い領域)でボールがバウンドしているシーン、図1(b)右ではバウンドしたボールを把持しているシーンです。

1 ユーザの本タスクを複数試行した際の累積成功数(a)と運動再現性(b)をグラフ化したものを図2に示します。運動再現性については試行間の運動情報の相関係数を求めています。試行回数を重ねるごとに累積成功数や運動再現性が向上していることが分かります。試行を重ねた際の成功率や運動再現性といったパフォーマンスの変化を定量化することで運動時の環境適応能力の評価が可能になると考えており、これら計測値の定量化手法の検討を進めています。

## 今後の展開

本稿では運動時の環境適応能力を評価するためのVRシステムを紹介しました。環境変化に適応する過程の運動情報とパフォーマンスの計測が行えるようになりました。プロトタイプで構築したVRシステムのタスクや構成のアップデートを進めつつ、計測した運動情報とパフォーマンスを用いて「運動時の環境適応能力」という認知機能を評価する手法についてはさまざまな属性の被験者のデータ

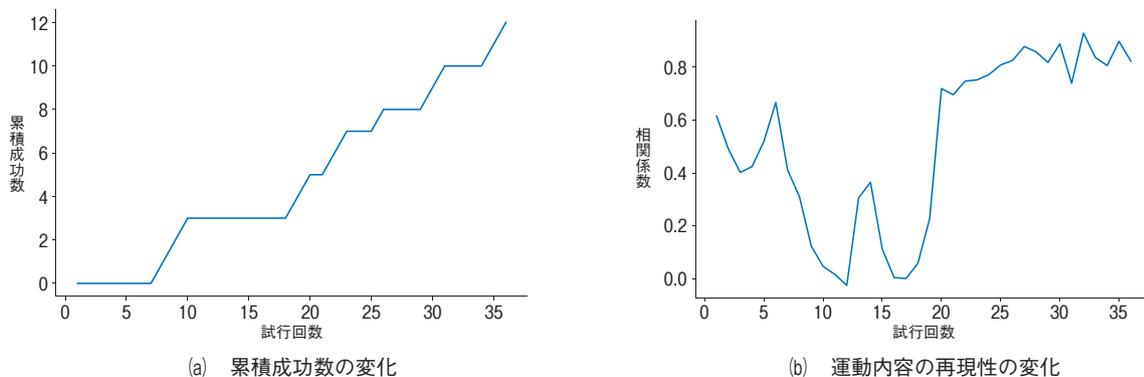


図2 タスクを複数試行実施した結果の1例

に基づいて検討を進めていく予定です。

評価した適応能力が実世界にどのような意義を持つのかについては、転倒や自動車事故などの移動に伴う事故だけでなく、物忘れといった広範的な認知機能との関連を調査していく予定です。また、本システムの利用を通じて運動時の環境適応能力を向上する方法についても検討を進めていきます。

コロナ禍においては外出が満足にできないような状況がたびたび訪れることと思います。在宅での身体機能トレーニング技術の必要性はこれまで以上に高まると考えています。筋肉量の向上といった運動機能の向上機器はいくつかプロダクト化が進んでいますが、本技術で対象とするような認知的側面のトレーニングもこれからは普及していくと考えています。将来的にさまざまな観点の認知機能に対して評価・向上する技術を創出し、評価・トレーニングシステムとして各家庭への実装を通じ、皆様の健康寿命の延伸に貢献していきます。

#### ■参考文献

- (1) <https://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotsu/jikoboshi/koreisha/koreijiko.html>
- (2) T. Isezaki, N. Fujii, S. Ishii, T. Watanabe, and O. Mizuno: "Physical Function Estimation Based on Inertial Data of the Motion of Stepping Over an Obstacle," EMBC 2016, Orlando, U.S.A., August 2016.
- (3) T. Isezaki, H. Kadone, A. Nijima, R. Aoki, T. Watanabe,

- T. Kimura, and K. Suzuki: "Sock-Type Wearable Sensor for Estimating Lower Leg Muscle Activity Using Distal EMG Signals," Sensors, Vol. 19, No. 8, April 1954.
- (4) R. B. Cattell: "Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment," Journal of Educational Psychology, Vol. 54, No. 1, pp. 1-22, 1963.
- (5) J. Y. Yoon, T. Okura, K. TSUNODA, T. TSUJI, Y. Kohda, Y. Mitsuishi, C. Hasegawa, and H. Kim: "RELATIONSHIP BETWEEN COGNITIVE FUNCTION AND PHYSICAL PERFORMANCE IN OLDER ADULTS," Japanese J. Phys. Fit. Sport. Med., Vol. 59, No. 3, pp. 313-322, 2010.
- (6) 福意・井上・常久: "上肢巧緻性評価機器の開発—臨床適応の検討—," 川崎医療福祉学会誌, Vol. 17, No. 2, pp. 389-394, 2008.



(左から) 伊勢崎 隆司/ 渡部 智樹

まだまだ検証すべき課題がたくさんありますが、ユーザが心身ともに健康であることを支援する技術の創出に向けてこれからも研究開発を推進していきます。

#### ◆問い合わせ先

NTT サービスエボリューション研究所  
サイバネティックインテリジェンス研究プロジェクト  
TEL 046-859-3901  
E-mail ev-journal-pb-ml@hco.ntt.co.jp



## 主役登場

### 身体状態の把握を通じて 「健康」に貢献する

## 伊勢崎 隆司

NTTサービスエボリューション研究所  
研究員

私は人の認知特性や運動特性といった身体状態をセンサ情報からモデル化・推定する技術に興味があり、アルゴリズムや機械学習、統計手法などの技術的な学習を重ねてきました。このようなスキルを持ってどのように社会に貢献するかを考えていた際、歩行が困難になった祖父や認知症になった祖母を見て、自分自身では意識したことのない「健康でいること」の大切さを感じた経験を想起しました。私は自身の経験に基づいて健康寿命を延伸する課題に貢献することにしました。

健康で生活するためには、まず自身の身体の状態を「把握する」ことだと考えました。把握することができれば、身体の状態に応じて適切な運動遂行や行動選択が行えたり、運動機能の改善につなげたりすることができるからです。自身の身体機能や状態を把握するという事は単純で簡単なことのように思えますが、自分でも分かっているようで分からないことも多いです。例えば、運動会で保護者が転んでしまう要因の1つとして、自身の脳内でイメージする身体と実際の身体との整合性が取れずにバランスを崩してしまうことがあります。

人の身体状態を把握するための技術創出に向けて、これまでに転倒に関連する運動機能や筋活動特性といった身体状態を慣性情報や、表面筋電図といった生体情報に基づいてモデル化・推定する研究を行ってきました。現在は、本誌で掲載した技術『VRを用いた運動時の環境適応能力の評価技術への取り組み』について新型コロナウイルスの

感染拡大状況を踏まえながら実験検討を進めるとともに、脳波といったさまざまな生体情報を用いた解析技術創出のチャレンジを進めています。また、脳内の身体と実際の身体とのズレで怪我をするという話をしましたが、このようなズレをいかに小さくするかという研究についても運動の主体性の向上や身体図式の再構築という認知的観点に基づいた研究を推進しています。

以前、デイサービス事業者の方と共同研究をした際にたくさんのご高齢の方々と通じさせていただきました。年齢にかかわらず心身ともに健康な方がたくさんいらっしゃいました。このような方々を1人でも多く増やせるように技術を確認していきたいです。当時の共同研究は終わってしまいましたが、今後は長期的なスパンで高齢者の介護サービス等を実施するサービス事業者と連携し、継続的なデータ計測を通じた新規技術の創出と、そこで得られた身体状態をフィードバックするかたちで利用者の方々の健康に貢献していけるような研究開発の仕組みをつくっていきたいです。

身体状態を把握するだけでなく、改善を促す技術についても私のチームでさまざまなアプローチに基づいた支援技術の研究を推進しています。今後も、実ユーザーへの適用検証を通じて創出技術の価値や意義を世の中に問いながら研究開発を推進し、皆様が何歳になっても何かの「主役」でいられるように皆様の健康に貢献していきたいと思っております。

## 特別連載

ムーンショット・エフェクト  
——NTT研究所の技術レガシー——第5回 光トランジスタ誕生というムーン  
ショット

ノンフィクション作家の野地秩嘉（のじつねよし）氏より「ムーンショット・エフェクト——NTT研究所の技術レガシー」と題するNTT研究所の技術をテーマとした原稿をいただきました。連載第5回目は「光トランジスタ誕生というムーンショット」です。本連載に掲載された記事は、中学生向けに新書として出版予定です（NTT技術ジャーナル事務局）。

## ■ビル・ゲイツは言った

ビル・ゲイツはこう語ったことがある。  
「タイムマシンに乗ることがあったら、最初に降りるのは1947年12月のベル研究所だ」。

ゲイツが見たかったのは世紀の瞬間だった。その冬、アメリカ ニュージャージー州郊外マレーヒルのAT&Tベル研究所で「20世紀最大の発明」トランジスタが生まれたのである。

そして、9年後、トランジスタを発明した同研究所の3人にノーベル物理学賞が贈られている。

理論物理学者のジョン・バーディーン、実験物理学者のウォルター・ブラッテン、そして、固体物理学部門のリーダーだったウィリアム・ショックレーだ。トランジスタの発明には理論研究の人間だけではなく、実験して改良を加えていく研究家が必要だったし、さらに材料工学の専門家の協力もあった。ひとりだけの発明ではなく、多様性に富んだチームの総合力から生まれたものだった。

トランジスタは進化を続け、何百万個ものそれが小さなマイクロチップに埋め込まれた集積回路となる。IC、LSIと呼ばれる集積回路はロケット、自動車からスマホなどの携帯デバイスまで広範に利用されるようになり、現在のエレクトロニクス、デジタルの時代を支えている。

## ■トランジスタと半導体

トランジスタの動作は電気信号の増幅とスイッチングだ。そして、主にスイッチング動作（オン・オフ動作）を使った機能が演算、つまり、情報処理である。

電気信号を増幅すれば、たとえば小さい音を大きくすることができる。また、トランジスタのスイッチングは、従来、使われていたメカニカルなリレースイッチ機構とは違い、機械的な故障はしない。しかも、リレースイッチよりもはるかに高速にオン・オフができる。

電気信号を高速でオン・オフできるようになれば、オン・オフをそれぞれデジタル信号の「1、0」として利用できるようになり、演算処理に結びつく。

では、なぜ物理の研究所ではなく当時の電話会社（AT&T）傘下のベル研究所がトランジスタ開発に取り組んでいたのか。

それまで電話会社は真空管とメカニカルなスイッチで電話の中継器、増幅器を構成していた。しかし、機械式のスイッチは金属疲労などがあり、故障が多かった。中継器の性能を上げるためにトランジスタの研究をしていたのである。結果として、トランジスタの誕生により、長距離通話の品質は上がり、また、中継器の故障は少なくなった。そのうえ、真空管から小さなトランジスタに代わったわけだから、装置は小型化された。

そして、トランジスタは半導体と呼ばれる物質からできている。半導体とは伝導体（金属などの電気を通す物質）と絶縁体（ゴム、プラスチックなど電気と通さない物質）の中間の性質を持つ物質のことだ。

半導体にはさまざまな材料が使われているが、今のところシリコン（ケイ素）が主である。ただし、純粋な半導体はあまり電気を通さない。そこで、ヒ素やリン、ホウ素といった不純物をほんの少し加えて、電気的な性質を変えている。トランジスタは純粋な半導体ではなく、

微量の不純物を加えた2種類の半導体をつなぎ合わせて作られている。

ここまでが電気を使ったトランジスタの話だ。

そして、このトランジスタの登場から半世紀以上を経て、NTT研究所はフォトニクス時代のための基盤、光トランジスタの実証実験に成功した。

研究をリードしたのはNTT物性科学基礎研究所/ナノフォトニクスセンタの納富雅也（上席特別研究員）である。

「私たちはこれまでに培ってきたナノフォトニクス技術を駆逐することで、電気消費エネルギーゼロで光・電気変換を行う可能性を持つ『ナノ光検出器』と、従来の記録の17分の1の消費エネルギーで電気・光変換を行う『ナノ光変調器』を実現し、このふたつの素子を組み合わせて『光トランジスタ』を実現しました（図1）。

そして『光トランジスタ』の実現に続き、『光の干渉』だけで動作する小型な光論理ゲート（光の性質を利用してデジタル演算処理をする素子）“ $\Psi$ （プサイ）ゲート”の低損失かつ高速な動作に世界で初めて成功しています。この結果は2020年3月に論文発表しました。この技術によって初めて具体的な機能を持つ低遅延かつ低消費電力な光電融合プロセッサを作ることができるでしょう」

あまり知られていないけれど、光トランジスタの誕生はまさしくムーンショットだ。

ビル・ゲイツはタイムマシンに乗らなくとも、厚木のナノフォトニクスセンタへ行けば、21世紀最大の発明を見ることができるのである。

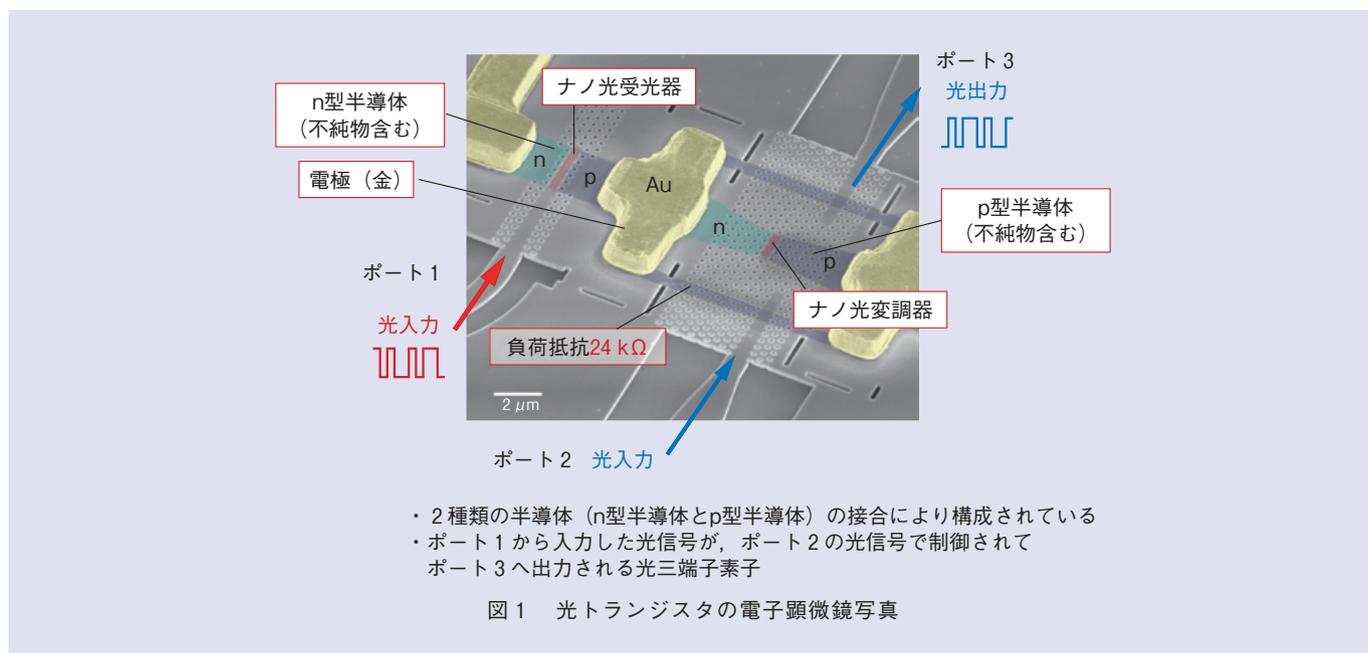
では、納富のチームが研究を続けている光トランジスタとその進展は今後のデジタル社会、デジタル環境をどう変えていくのだろうか。

## ■エレクトロニクス技術の限界

納富が光トランジスタとその後の研究を始めたのには大きな理由がある。

それはインターネットに接続する電子デバイスの数が爆発的に増えたため、ネットワークに負荷がかかっていることだ。電子デバイスは省エネ化を進めてはいるものの、何しろ数が増えているから、エネルギーの消費もまた大きく伸びている。そして、エネルギーを消費しているのはネットワークのうちの光ファイバのようなケーブル部分ではない。データセンタ、ルータといった情報通信機器の内部に使われているプロセッサ（コンピュータの処理演算装置。CPUを指すことが多い）部分だ。つまり、たくさんのトランジスタが使われているところである。

電子回路は性能を上げて行けばいくほど、消費エネルギーが増え、同時に発熱する。一方、光は処理が高速になっても消費エネルギーはほとんど増えない。回路のなかに光による処理を導入することができれば消費エネルギーと発熱を抑制することができる。



こうして納富は光の技術を光ファイバのような長距離の信号伝送だけでなく、電子回路とも融合させて情報機器のなかにも使っていこうと考えたのである。

ただし、考えは正しかったが、実現するととなると、簡単ではなかった。

納富は言う。

「電気は電線を作ってやって、つなげていけば、信号は通っていきます。そこから電子が飛び出たりすることはありません。ところが、光はどこでも通ることができます。集積回路のなかで、非常に小さな光の配線を作って、つなげようとしても、光は漏れてしまう。光というのは、どこでも通ることができることもあって、閉じ込めるのが難しい。

その壁を破って、光を閉じ込めるのを可能にしたのは私たちが研究しているナノフォトニクス技術です。都市と都市の間のような大きなスケールで使われているネットワーク技術を限りなく小さくして、LSIチップのなかに入れました。そして、電気が不得意な部分を光の技術がカバーすることを考えました。すべてを光に置き換えるのではなく、電気による回路と光の回路を融合させることにしたのです。例えば、メモリ部分は電気が得意なところ。そこは電気がやる。一方、光はとにかく速く通せるので、そういう通すところには光を使うといったことを念頭に置いて研究を始めました」

### ■フォトニック結晶

納富は光を閉じ込めることを可能にした技術、フォトニック結晶について説明を始めた。光を閉じ込めるとはすなわち、光の導波路（通路）を作ることだ。光トランジスタを作るためにはまず、内部に光が行き来する通路を作らないといけない。通路ができればそれを増幅したり、スイッチングすることができる。まずは電気と違って、拡散する光をいかに閉じ込めて、いかに通路を進ませるかが課題だった。

「フォトニック結晶の研究は今から20年前に始めました。『結晶』という名前がついているから、不思議に思われるかもしれませんが、別に結晶をつくっているわけじゃなくて、単なる構造です。通常の結晶と形が似ている構造体です。

膜厚が200 nm（ナノメートル）というシリコン等の半導体の薄い膜でできていて、周期的な孔が空いている。シリコンは屈折率が3.5くらいで、孔のところは、空気ですから屈折率は1。屈折率を周期的に変調した人

工的な構造になっているのです。そして、フォトニック結晶では、光が周期性を感じるような構造にしたところが重要なんです。

フォトニック結晶の構造は光のスピードを変えることもできます。光のスピードは秒速30万キロですが、それはあくまで空気中の場合で、シリコンのなかでは3分の1になる。それは、屈折率分だけ遅くなるからです。ただし、シリコンのなかを通すだけでは光のスピードを100分の1にするとか1万分の1にするとかということではできません。ところが、フォトニック結晶を使うと、光の速度がバンド構造（周期構造中の波動の振動数やエネルギーは帯状の構造をとり、バンドギャップを持つ。固体結晶中の電子もバンド構造を持つ）で変わるので、非常に遅い光を作ることができます」

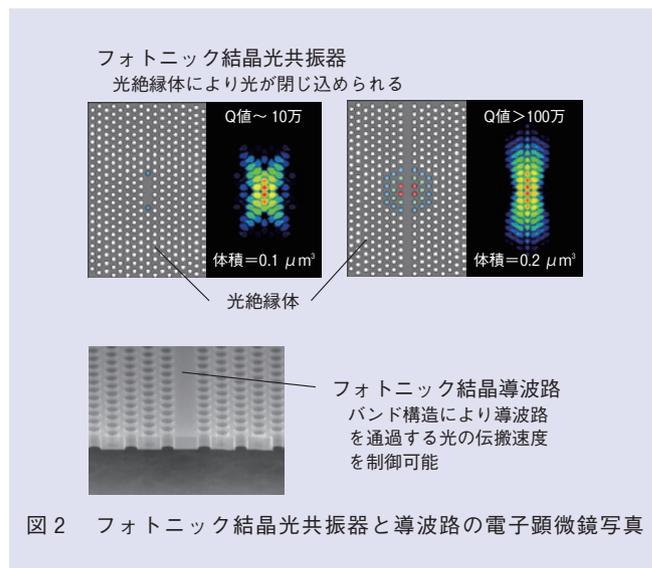
フォトニック結晶は光を閉じ込めるだけでなく、光のスピードを遅くする効果を持つわけだ（図2）。

そして、納富は説明を続ける。

「光にとって世の中に存在している物質はすべて導体です。ですから、光の半導体、光の絶縁体というのはないんです。遮光カーテンは光を吸収しているだけで、光を絶縁しているわけではありません。

一方、電気には半導体、絶縁体があります。ガラスが電気を通さないこと、シリコンが半導体になるのは、バンドギャップができるからなんです。

バンドギャップについて少し説明しますと、それは電子が存在することのできない領域（禁制帯）を言います、電気を通す、通さないは電子が移動することができるか



どうかによる。つまり、バンドギャップがないのが鉄、銅といった伝導体で、バンドギャップが大きいのがガラス、セラミックなどの絶縁体です。

フォトニック結晶は光についてのバンドギャップが大きい絶縁体になるわけです」

### ■光のスピードをコントロールすること

納富は何でもさらっと説明するけれど、非常に遅いスピードの光を作ることができたのは革新的な発明ではないのか。

この連載のなかで、「電池はあるけれど『光池』はない」と書いた。電気と違って光は溜めることができないからだ。しかし、フォトニック結晶という構造体の通路に非常に遅い光を通すことができれば、事実上、それは通路のなかに「光を溜める」ことと同じではないのか。

そう訊ねたら、納富はこう答えた。

「確かにそうですが、最先端の技術を使っても光を溜められる時間は100万分の1秒程度と極めて短いので光池として使える時間は限られています」。

### ■光の集積回路を作る

さて、話の続きである。

「チップのなかに光の大規模な集積回路を実現するためには、まず光を漏らすことなく閉じ込める構造を持つ配線（光の導波路）を作る必要があります。そして、集積化の規模を大きくするためには、ひとつひとつの配線やデバイスのサイズを非常に小さくする必要があります。

この時、前述のようにフォトニック結晶は『光の絶縁体』として機能し、光を非常に狭い領域に閉じ込めることができるから、光の集積回路を作ることができます。ちなみに自然界に電気を通さない絶縁体はいくらでもありますが、光の絶縁体は存在しません。フォトニック結晶という人工構造で初めて実現できたのです。

また、情報処理回路では演算処理する場合、前の信号を待たせて次の信号が来てから計算し、処理を行う動作が必要になります。しかし、これまでの光回路は光の信号を待たせることができなかった。つまり、光の速度をコントロールできなかったわけです。それで論理処理ができなかった。ところが、これまた先ほど言ったように、フォトニック結晶は光の伝搬スピードを非常に遅くすることができます。実験では、フォトニック結晶を使い、通常の光のスピードの5万分の1という非常に遅い光を作ることになりました」。

納富は淡々と付け加えたが、「光デバイスを小さくす

る困難さ」は想像を絶する。

「私たちから見れば光のデバイスのサイズは非常に大きいのです。今のトランジスタの1個のゲートサイズは10 nm程度です。ところが、例えば、非常に小さい光デバイスの代表ともいえる半導体レーザーは1個が300 μm（ミクロン）。300 μmというのは10 nmの3万倍です。そういった光デバイスをどう小さくするかが課題でした」。

ナノとかミクロンといった単位になると、一般の人間にはどれくらいの大きさなのか判断ができない。

たとえば、人間の髪の毛の直径は90 μmだ。髪の毛を3本合わせたのが半導体レーザーの大きさだ。フォトニック結晶を使うと、デバイスサイズを数μm程度まで小さくできる。これは長さで約100分の1、面積で考えると1万分の1のサイズに縮小する、ということに相当する。

一方、トランジスタのサイズは10 nm程度である。どれくらいかといえばインフルエンザウイルス（100 nm）の10分の1サイズなのである。納富たちがやったのは髪の毛3本分の大きさの光デバイスをインフルエンザウイルスよりはるかに小さくすることなのである。

納富がいるナノフォトニクスセンタは一般人の頭では、どう考えてもイメージすることができない極小の世界を実現する場所だ。つまり、超人たちがいるところである。

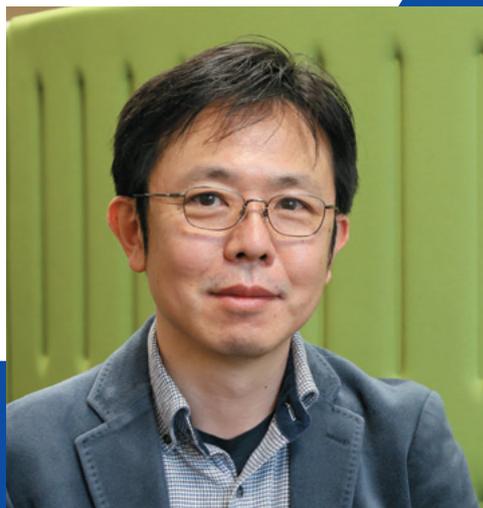
#### 野地秩嘉（のじつねよし）

1957年東京都生まれ。早稲田大学商学部卒業後、出版社勤務を経てノンフィクション作家に。日本文藝家協会会員、人物ルポルタージュをはじめ、食や美術、海外文化などの分野で活躍中。著書は



『高倉健インタビューズ』『キャンティ物語』『サービスの達人たち』『ニューヨーク美術案内』など多数。『トヨタ物語』『トヨタに学ぶカイゼンのヒント』がベストセラーに。『TOKYOオリンピック物語』でミズノスポーツライター賞優秀賞受賞。近著は『日本人とインド人』（翻訳 プレジデント社）。

# 挑戦する 研究者たち CHALLENGERS



村木 康二

NTT 物性科学基礎研究所  
上席特別研究員

## 究極の目標は新しい動作 原理に基づく 量子コンピュータの実現。 自分を客観的に見つめ、 存在価値を確認する

NTT 物性科学基礎研究所量子固体物性研究グループは、電子が持つ波動性や重ね合わせ、スピンといった量子力学的性質に加え、電子間の相互作用によって生じる多体効果や相関効果に注目し、それらを半導体や原子層物質のヘテロ構造・ナノ構造を用いて生成・制御することで、ばらばらの電子では得られない新しい機能を持った量子デバイスや極限的な量子計測技術の開拓に臨んでいます。従来のデバイスでは使われていない電子の性質を利用することをめざして超低消費電力のデバイスや超高感度のセンサにつながるような物理現象を追究する村木康二 NTT 物性科学基礎研究所 上席特別研究員に研究の進捗と研究者としてのあり方について伺いました。



### 電子の潜在能力を引き出す量子相関 エレクトロニクス

現在、手掛けている研究について教えてください。

異なる種類の半導体を人工的に積層した構造（ヘテロ構造）や微細加工した構造（ナノ構造）を用いて従来の半導体にはない物性や、それを用いた新しい機能を実現することをめざした研究をしています。

特に電子の量子力学的な性質、中でも「スピン」という、電子が持つ小さな磁石としての性質や、「多体効果」という多数の電子がそれぞれ勝手に動き回るのではなく集団と

して振る舞うことによって生じる効果に着目しています。

私たちは、従来のデバイスでは使われていない電子の性質を利用することをめざして、超低消費電力のデバイスや超高感度のセンサにつながるような物理現象を追究しているのですが、究極の目標はメディアで紹介されているような従来の量子コンピュータの、ノイズによって量子の状態が変化するという弱点を克服する（エラー耐性）、新しい動作原理に基づく量子コンピュータの実現です（図1）。こうした新しい物理現象の追究として、大きく分けて2つのアプローチで研究しています。1つは、先述の「多体効果」を用いたもので、もう1つは「トポロジカル絶縁体」

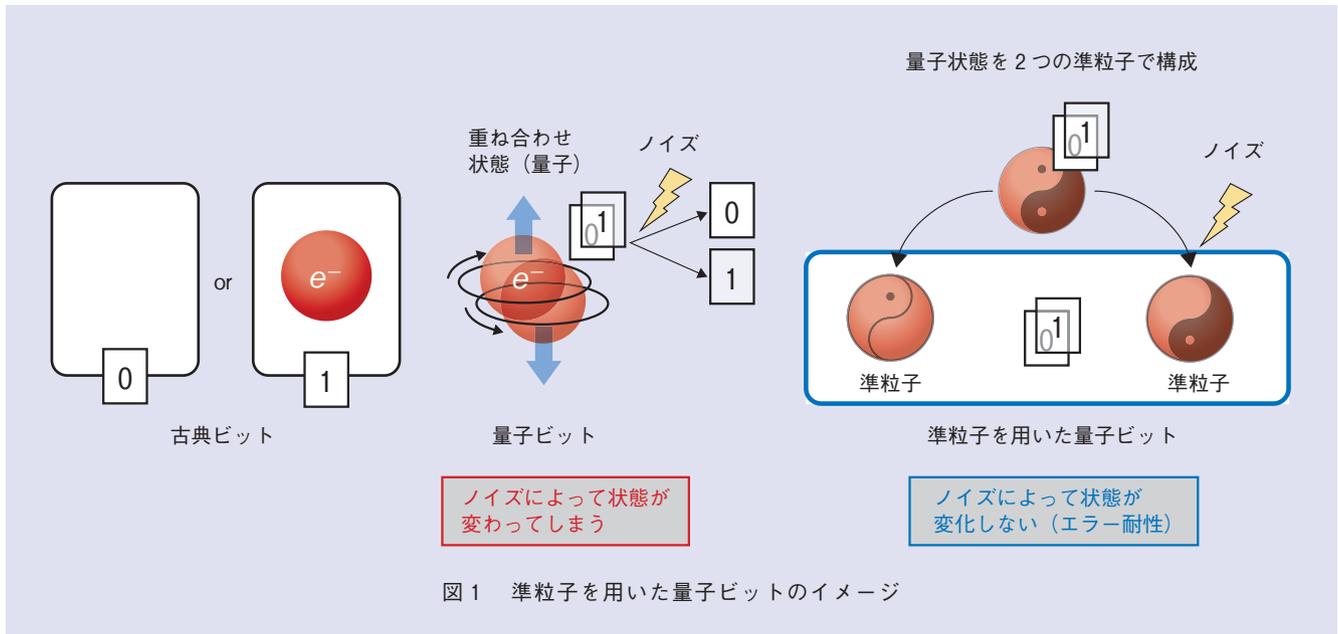


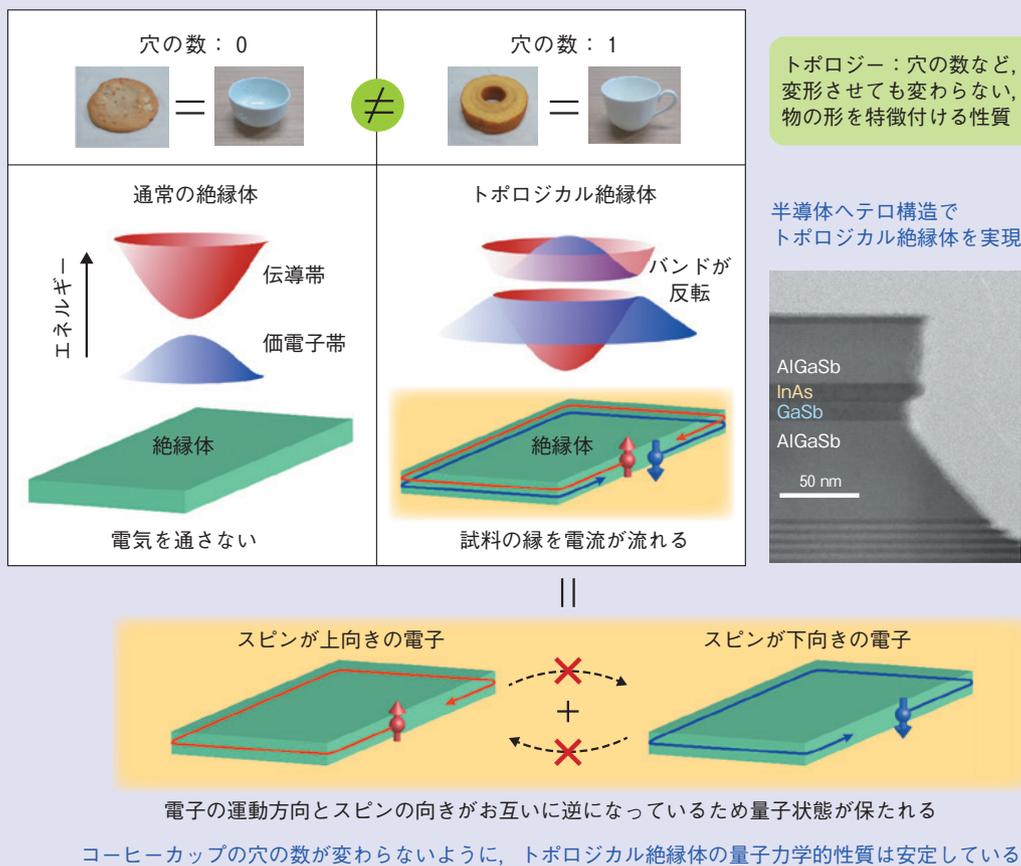
図1 準粒子を用いた量子ビットのイメージ

という新しい種類の物質を用いたもので、「スピン」と関係しています。

まず多体効果についてですが、その前に「準粒子」というものについて説明する必要があります。例としてはトランジスタの構成要素であるp型半導体で、マイナスの電荷を持つ電子が一杯に詰まっているところに電子がない状態（電子が抜けた孔のような状態なので「正孔」という）が1つあると、その正孔がプラスの電荷を持った粒子のように振る舞うというのですが、正孔の本質的な性質は電子と変わりません。私たちがめざしているのは、多体効果によって電子とは本質的に異なる性質を持った準粒子をつくることです。

もう1つのアプローチは「トポロジカル絶縁体」という物質を用いたものです。これは物理学の歴史の中でも非常に新しい概念で、最初に理論的に提案されたのが2005年です。トポロジカル絶縁体の基になる理論をつくった物理学者3人に2016年ノーベル物理学賞が授与されました。絶縁

体というのは電気を流さない物質のことです。2005年の理論によって、絶縁体にはトポロジカル絶縁体と通常の絶縁体の2種類があり、両者の境界には必ず電気を流す層が存在するということが分かったのです。私たちのグループでは半導体のヘテロ構造でこのトポロジカル絶縁体ができることを2013年に実験で示しました（図2）。トポロジカル絶縁体になるものとしてはさまざまな物質が報告されていますが、私たちが用いた半導体ヘテロ構造では、ゲート電極に電圧を加えることで、通常の絶縁体になったりトポロジカル絶縁体になったり、電氣的に制御できるのが特長です。実はこの系がトポロジカル絶縁体になることを実験で示したのは私たちが世界で2番目でした。最初のチームは界面に電流が流れていることを示すことで論文を発表しましたが、私たちはそれが絶縁体になっている、つまり界面以外には電流が流れていないことを示すために論文の完成に時間がかかりました。この論文は今でもよく引用されていますが、2番になったことで悔しい思いをし、成果をど



トポロジー：穴の数など、変形させても変わらない、物の形を特徴付ける性質

半導体ヘテロ構造でトポジカル絶縁体を実現

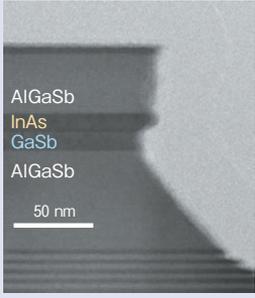


図2 半導体ヘテロ構造によるトポジカル絶縁体の実現

う見せていくか考えさせられました。

**8年前にも取材させていただきましたが、この間にさまざまな成果を上げられたそうですね。**

8年前の取材は、「多体効果」における「特殊な状況」にある電子のスピンの向きが同じ方向にそろっているということを核磁気共鳴という方法を使って示した実験の成果を、2012年に『Science』に発表した直後でした。スピンの向きによって電子が同じ位置に入ることができるかど

うかが決まるので、電子が理論が予測する「特殊な状態」にあることを示す重要な結果として高く評価されました。その後、2014年には同じ核磁気共鳴の方法を使って、別の条件では電子が結晶のように格子を組んで動かなくなること示し、論文を『Nature Physics』に発表することができました。これは電子の結晶化という長年考えられていた現象に対する新しい実験的証拠として評価されたことによるのですが、準粒子の性質を明らかにするという本来の目的からすると十分に満足できるものではありませんで



した。

それまでは背景にある電子の集団の性質を調べていたのですが、準粒子の性質を調べるには、より精密な測定技術が必要になってきました。そこで同じことに興味を持っていて、必要な技術と知識を持った当時大学にいた研究者に自分のグループに加わってもらいました。それまでは試料の作製から測定、理論解析までを一貫して行うのが自分の研究スタイルでしたが、それに拘ってはいけなかったからです。例えば準粒子が持つ電荷は電子が持つ電荷よりも小さいのですが、それを測定できる研究グループは世界でも限られています。最近発表した論文では、核磁気共鳴と準粒子の電荷測定を組み合わせることで、電流を流したときにどのように電子状態が変わっていくかを明らかにすることができました。これは自分ではなく、メンバーのアイデアによるものです。

トポロジカル絶縁体については、半導体のヘテロ構造でトポロジカル絶縁体になった次のステップとしては電気的な制御ですが、ここでも問題がありました。絶縁体になったのは非常に狭い条件で、さまざまな実験をするには不都合でした。そこで意図的に格子定数の異なる材料を取り入れることで結晶の歪みを利用して、2016年に絶縁体としての性質を改善することができ、2020年になって絶縁体としての性質を保ったままトポロジカル絶縁体と通常の絶縁体を電気的に切り替えることができるようになりました。それには結晶成長やゲート絶縁膜の改善など、地道な実験の積み重ねが必要でしたが、いずれも頑張ったのはグループの若い研究者たちです。

現在ではさまざまな物質がトポロジカル絶縁体であることが分かっていますが、界面チャンネルのスピンの性質については世界的にも期待どおりの結果がまだ得られていない状況で、本当のブレイクスルーがあるのはこれからだと考えています。



### 研究者に見習い期間はない

**前回の取材から研究活動において変化したと感ずるのはどんなことでしょうか。**

当時は、ポストドクター（ポスドク）といわれる、博士号取得後の任期付き研究員と2～3人の小さなチームで研究に勤んでいましたが、現在は、プロジェクトにかかわるメンバーも増えました。新型コロナウイルスの感染防止対策も意識して、若い研究者が実験に携われるようにシフトを調整したり、研究に没頭できるようにサポートする役割も増えました。チャレンジングな実験に直接かかわっているのはグループのメンバーなのです。

立場が変化したことで、自らが実験に携わる機会が少なくなった歯がゆさを感じることもあります。例えば、自分が直接実験しているのであれば、最初に結果を見るのは自分ですが、グループで研究しているときは若い研究者が実験を担いますから、彼らが先に実験結果を目にすることになります。私が研究結果を知るまでに、メンバーがその結果に対して何かを感じ、それを私に報告するというプロセスが加わりました。つまり、手にする結果は、ほかの研究者のフィルタを通したものということになります。ただ、この変化は悪いことではありません。自分では気付けないことにメンバーが気付いてくれることや、1人では成し得ない成果をグループなら上げることができるからです。自分では考えつかない提案や発案ももたらされることを考えると、歯がゆさよりも圧倒的にメンバーの貢献のほうが大きいのです。非常に恵まれた環境で仕事をしていると実感しています。

また、グループを束ねる立場として大切にしているのは、さまざまな興味や専門性を持つ研究者の特性を活かして、研究者個人としてもグループとしても良い方向へ向かうようにすることです。研究者は自分の興味のあることでなければ熱意を持っていないでしょうから、チームのメンバーそれ

それがやりたいことを活かすことは基本だと考えています。たとえ、本人のやりたいこと以外で成果を出せたとしても次に続きませんし、研究者自身がこれは自分で成し遂げた、自分だから出せた成果だと思えることでないと、手にした成果は真の成果とはいえないのではないのでしょうか。

さらに、成果を上げる人の多くは周囲との信頼関係を築くのが上手で、協働できる人だと思います。いろいろ考えてマネジメントしたからといって良い成果が生まれるとは限りませんが、現在、私たちは非常に良好な信頼関係の下、気兼ねなくアイデアを出し合っていますから、これからも良い成果を生み出していけるのではないかと思います。

#### 新型コロナウイルス感染拡大防止の自粛期間に研究活動以外に変化はありましたか。

学生時代の趣味であった、エレキギター熱が再燃しました。長い間弾いていなかったのですが、緊急事態宣言で巣籠りをしている間に復活しました。本来、エレキギターはアンプから大きな音を出さないと演奏していて気持ち良くないのですが、デジタル技術のおかげでヘッドフォンから音を出すだけで、コンサートホールで大音量で演奏しているような感覚を味わうことができるのも1つの理由です。また、インターネットには好きなギタリストが奏法を解説するチャンネルや、アマチュアが自分の演奏を披露しているチャンネルがあります。興味を持ったことを通して世界や人とつながることができるという感覚は研究と相通じるものがあります。

ただ、研究には特殊な側面があります。音楽の場合、皆アマチュアから始まって、その中の一握りの人だけがプロになるわけですが、研究者は研究室のメンバーになった途端に一人前として扱われ、自分の研究を学会や論文で発表することになります。同じ文章を書く仕事でも、新聞記者だったら、記事をいくら書いてもボツにされて紙面に掲載されないということもあるのだろうと想像していますが、

研究者の場合、自分でボツにしない限り、最終的に論文という形で発表することが求められます。前回もお話したとおり、研究者には見習い期間もなければ、予行演習もないままにいきなりプロになってしまうのです。

加えて今回実感したのは、企業や大学といった所属する機関による研究者の活動背景の違いです。例えば、大学の研究者は研究費獲得のために費やす時間が、企業の研究者よりも多いでしょう。企業の研究者である私は、大学の研究者に比べ、研究費の獲得に費やす時間が少ないことも非常に恵まれていると実感しました。そうであるからこそ、企業の研究者である私は自らを律し、研究にもっと力を注がなければいけないと考えました。時にはこんなふうに分を客観的に見つめ、存在価値を確認することも大切ですね。



#### 「あれがブレイクスルーだった」と言われるような仕事をしたい

存在価値を確認するというのは哲学的な響きがあります。村木さんは研究者の仕事をどうとらえていらっしゃいますか。

私は、研究者は研究を通じて自己実現をし、研究を通じて世界と、知らない人とつながる喜びを得ていると思います。研究を通して科学の地図をつくり、地図を通して世界や後世とつながるのです。確か前回も、基礎研究者の仕事は地図をつくることで、その行為は冒険であるとお話をしましたが、この考え方は今も変わりません。論文が間違っていない限りつくった地図は信用できるはずですが、作成を手掛けている地図（研究）が直接的に役立つことがなかったとしても、何かのかたちで役に立つことはあると思います。そして、この地図（研究）は後世に残せるものだと考えます。

ただ、冒険の仕方はあれからだいぶ変わりました。今は実際に実験をしているのは若い研究者で、自分はその結果



を見て質問したり助言したりする立場です。一緒に冒険をしているわけですが、実際に、自分の目で見たり手で触ったりすることが減っているのは明らかです。一方、若い研究者から教わることは楽しいですし、そういう機会が増えてきたのはたのしく思います。若い人と力を合わせて、「あれがブレイクスルーだった」と言われるような仕事をしたいですね。

### 後進に向けて一言アドバイスをお願いします。

学会等で若い研究者と話をしていると、現在の最先端の研究だけでなく、自分が生まれる前の研究のことまで驚くほど良く知っている人がいて圧倒されることがあります。自分が興味を持ったことを徹底的につきつめて研究することができるという、若い人の特権なのかなと思います。もちろん自分も興味を持ったことをつきつめて研究しているわけですが、1つのことにどれだけ時間とエネルギーを注ぎ込めるかという点、若い人には到底かないません。

一部の例外的な人を除いて、ほとんどの若い研究者は、やりたいことができなかつたり、なかなか成果が出なかつたり、自分の成果が認められていないように感じられたり、何となくもやもやした感覚が常にあると思います。しかし、それは若さの特権と常にセットになっているものなので、特権のほうを活かすことに集中してほしいです。あれこれ悩んでやりたいことをしない、というのはもったいないです。だからこそ、そこを切り拓いていくための選択肢や交渉力を培っていただきたいです。

それから最近、気付いたことがあります。自分よりも下の世代で、以前、研究所で実習生やポスドクをしていた人が、いろいろなキャリアを経て自分の研究グループを持つようになって大きな成果を出すということがいくつかありました。その人たちも研究者としてのキャリアは決して順風満帆ではなかったのですが、長い時間をかけて確固たるものを築いてきたことが実を結んだのだと思います。そう

いった人たちをみると、研究者人生は結構長いものだと思えて感じます。そして彼らに共通しているのはあきらめない姿勢です。

研究者として生きていくうえで、自分の興味のあることを掘り下げる深さとアンテナを高くして周囲を見る広さは重要です。研究テーマという入口志向に加えて、めざす成果という出口志向も併せ持ちたいです。多くの基礎研究者は入口志向かもしれませんが、入口という片側から掘り続けるだけではなく、さまざまな可能性を模索しながら出口からも掘ってみる。トンネルを両側から、さまざまなところを掘っていく発想は長期的にみると有効ではないでしょうか。可能性をさまざまに広げるためにも多種多様な人の意見に耳を傾けていきましょう。

# 明日のトップランナー



NTTネットワークサービスシステム研究所

## 山登庸次 特別研究員

「ムーアの法則」の鈍化により限界を迎えつつあるアプリケーションの高速化。ここではGPUやFPGA等、ハードウェアに応じたアプリケーションの自動変換・高速化に取り組む山登庸次特別研究員に、環境適応ソフトウェアについてお話を伺いました。

◆PROFILE：NTTネットワークサービスシステム研究所（2002年～2009年）、Verio, Inc.（2009年～2010年）、NTTコミュニケーションズ株式会社 主査（2010年～2013年）、NTTソフトウェアイノベーションセンタ 研究主任及び主任研究員（2013年～2017年）、NTTネットワークサービスシステム研究所 主任研究員（2017年～2019年）、NTTネットワークサービスシステム研究所 特別研究員（2019年～）、2018年電気通信普及財団 第33回電気通信普及財団賞（テレコムシステム技術賞）。



### NTTのネットワーク研究—「環境適応ソフトウェア」とは

#### ◆研究されている内容を教えてください。

CPUの密度が1.5年ごとに倍になるという「ムーアの法則」が鈍化し、アプリケーションの高速化が限界を迎えつつある現在、従来のCPU（Central Processing Unit、中央演算処理装置）に加え、GPU（Graphics Processing Unit、画像処理用演算プロセッサ）やFPGA（Field-Programmable Gate Array、現場で書き換え可能な集積回路）など、さまざまなハードウェアを適材適所で使ってシステムを組むケースが増えています。

私の研究は、ネットワークに接続されているアプリケーションをそれらの各ハードウェアに応じて自動変換し、高速化を図るというものです。

例えばサービス事業者がCPU向けに作られたアプリケーションをGPU向けに変更して事業化することを考えた場合、現状ではシステム開発会社に委託することでしょう。そしてシステム開発会社では、専門の知識を持った技術者が開発、配置設計、性能チューニング等を



手動で実施することと思います。アプリケーションの規模によってはこうした工程に数千万円を超えるコストがかかることもあるでしょうし、さらに運用に変化が生じた場合には必要に応じて追加の改造も必要となります。

ソフトウェアの自動変換や最適配置が可能になれば、こうした手動での作業、コスト、開発期間などが大幅に低減できるほか、運用に変化が生じた場合には自動で再構成することも可能となるでしょう。また、処理の高速化により、それまで10台必要だったサーバーが1台で済むようになる、といったメリットも考えられます。さまざまな環境への自動適応を図ることから、私はこれを「環境適応ソフトウェア」と呼んでいます（図）。

#### ◆現在はどこまで研究が進んでいるのでしょうか。

特別研究として2019年度から5年計画で進めています。初年度はGPU、FPGAへの自動変換に取り組みました。GPUでは深層学習分析、フーリエ変換、画像分析などを題材とし、数時間で数倍から十数倍のアプリケーションの高速化を達成しました。また、FPGAでは画像処理、有限インパルス応答などを題材とし、数倍から数十倍の高速化を達成しました。

そして2年目となる本年度は、前年度の成果を用いてメニーコアCPU、GPU、FPGAの混在環境への自動変換を進め、効果を実証しました。混在環境での自動変換、高速化に関する研究例は世界的に見てもかなり少ないのではないのでしょうか。

#### ◆さらなる効率化、高速化に向けた今後の課題はなんですか。

手動による開発、配置設計、性能チューニング等での高速化を100とした場合、自動変換による高速化は処理内容によりますが10程度にとどまることもあります。手動に近づけることは課題です。

GPUでは「どの部分の処理がGPUに適しているか」「処理中で使用する変数をいつ送信するか」などを遺伝的アルゴリズムにより判断し性能を測定する、という試行錯誤を繰り返させることで高速化を実現しています。GPUへの送信頻度をより下げる検討もしています。

一方、FPGAではGPUと比較して1回の測定に時間がかかること、アプリケーションに応じたハードウェアアルゴリズムが必要であることなどの理由から、より自動化が難しい側面があります。算術強度等を用いて効率的に候補を絞り込むことや、計算内容に応じて展開やストリーム処理を適用する等、処理内容を使い分ける検討もしています。

また、今後は単に変換だけではなく、リソース設定や最適配置、運用中のソフトウェア再構成などにも取り組みたいと考えています。GPUを使った計算という、従来は利用者がスーパーコンピュータ分野の方などに限られていましたが、そうした取り組みによりそれ以外の分野の方の利用も促進できるのではないかと期待しています。

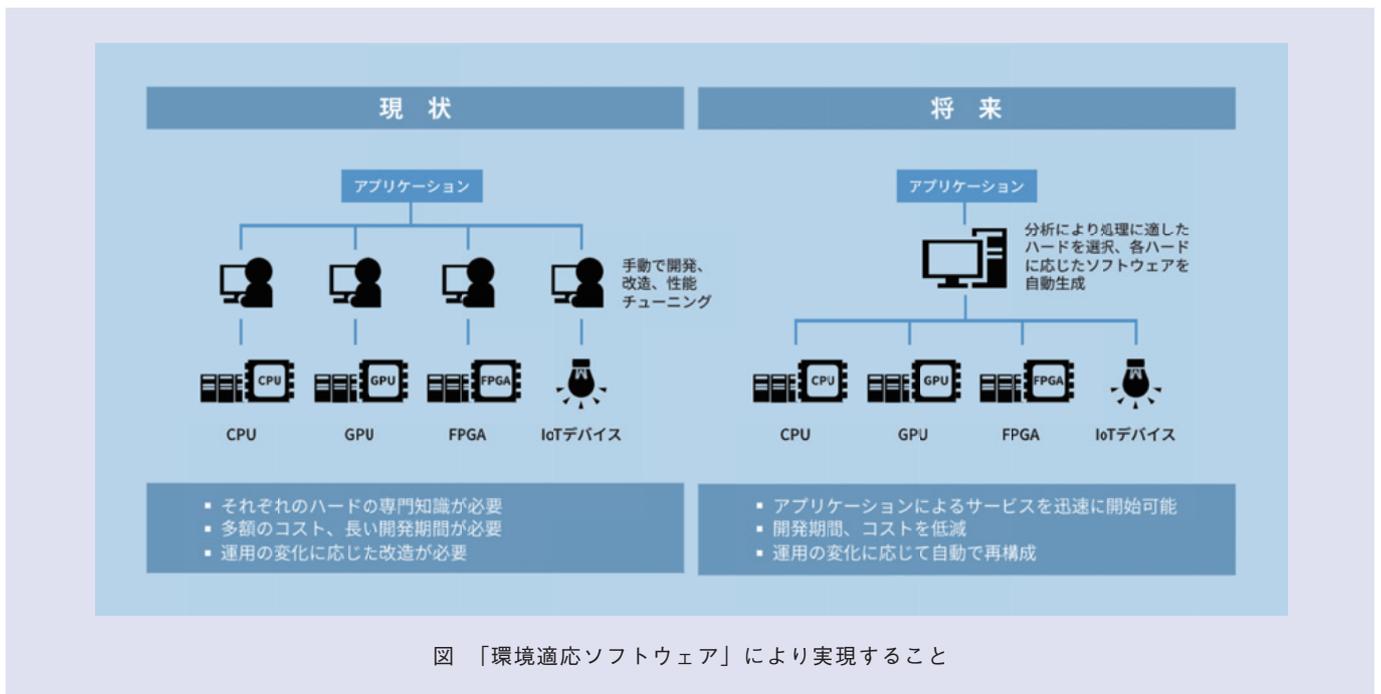
## ソフトウェア開発に第二の パラダイムシフトを起こす

### ◆環境適応ソフトウェアが目指すものはなんでしょう。

1995年に登場した「Java」は、ソフトウェアの開発現場に劇的な変化を及ぼしました。仮想マシンによりハードウェアを隠ぺいすることで、異なる環境下での動作を可能としました。「Write once, run anywhere」（一度プログラムを書けばどこでも動作する）というキャッチフレーズをご存じの方も多いでしょう。

しかし、実際には「Write once, run anywhere」の後には「But debugging and performance tuning everywhere」（とはいえデバックおよび性能チューニングは各所で必要）が続きます。特にGPU、FPGA等のソフト開発においては、ハードウェアに関する知識および性能チューニングが不可欠です。

それに対し、「環境適応ソフトウェア」ではハードウェアを隠ぺいするのではなく、配置先に合わせて適切な処理となるようソ





ソフトウェアを自動変換し高性能化することを目的としています。最終的には「Write once, run anywhere with automatic optimum performance configurations」（一度プログラムを書けばどこでも動作するとともに、最適性能を自動構成する）を実現し、ソフトウェア

開発においてJavaに続く第二のパラダイムシフトを起こすことを目指しています。

#### ◆IOWN構想にはどのようにかかわっているのでしょうか。

IOWN構想の3つの主要技術分野のひとつに、すべてのICTリソースの最適な調和を目指す「コグニティブ・ファウンデーション」（CF: Cognitive Foundation<sup>®</sup>）があります。そしてその中にクラウド、エッジコンピュータ、ネットワークサービス、ユーザー設備などレイヤの異なるICTリソースを活用してサービスを提供しよう、というコンセプトがあります。現時点では新しい要素技術を作っているという段階ですが、GPU、FPGA等のマルチレイヤーのリソースを効率的に活用しようという私の研究が、将来的にはネットワーク自身がサービスコンポーネントを自動で発見し柔軟に合成するなどの技術の実現に貢献できるのでは、と考えています。

#### ◆NTTの強みはどのような点にあるとお考えでしょうか。

私は以前NTTコミュニケーションズ株式会社に所属していたことがあり、その際にホスティングサーバーの更改業務に携わったことがあります。その際、可能な限り短時間で作業を完了しよう、バグ等をきちんと除去しようといったマインドを非常に強く感じました。NTTグループには、移動体通信、地域通信、長距離・国際通信、データ通信などさまざまな分野において、日本を代表するキャリアとして高信頼のシステムを開発してきた経験があります。こうした経験をうまく活かすことができれば、研究分野における競争力も高まるのではないかと思います。ソフトウェア工学では高欠陥除去率ともいいますが、それらを強みに、研究スピードがある米企業等とも勝負していければと思います。

#### ◆これからネットワークの研究に取り組みたいと思っている方へメッセージがあればお願いします。

私は20年間の研究の中で筆頭著論文誌数が40。1年あたり平均2本の論文を書いている計算です。NTTコミュニケーションズ株式会社での開発等も経験していますが、論文数の多さは私の特徴のひとつかな、とも感じています。もっとも、研究を始めた最初の1～2年は論文誌に提出してもなかなか採用されませんでした。どこを直せば審査を通過できるのか等を指導者や上司に教わりながら、徐々に通りやすい論文を書けるようになったような気がしています。近年メールやリモート環境でのコミュニケーションが増加していますが、個人的には最初の2～3年は隣に指導者や上司がいる育成環境が良いのではないかと思います。ネット越しでは指導者や上司もお説教がしづらいでしょうし（笑）。

現在は特別研究員として研究のことだけを考えられるのでとてもやりやすいと感じています。特にネットワークの研究で世界と勝負する、ということに興味がある方に対しては、ここには勝負できる場所、ポジションがあると言いたいですね。

※NTT R&D Websiteに掲載された記事を新コーナーとして転載しました。（URL <https://www.rd.ntt/>）



## 情報技術と通信技術が融合した「ICT」の会社

日本情報通信は、NTTと日本IBMの出資により設立された会社だ。IBMの技術（IT）とNTTの技術（CT）が融合した、まさにICTにより、お客さまや社会の「Happiness」をめざす、桜井伝治社長に話を伺った。



日本情報通信 桜井伝治社長

### システム開発、データアナリティクス、プラットフォームのサービスを提供

#### ◆設立の背景と目的について教えてください。

日本情報通信（NI+C）は、1985年12月にNTTと日本IBMの50%ずつの出資により、IBMのコンピュータ、ソフトウェア技術とNTTの通信技術を融合させたビジネス展開を目的に設立されました。グループ会社としてソフトウェア開発を行う「エヌアイシー・ソフト」、SI会社へIBMのハードウェア・ソフトウェアの卸を行うVAD（Value Added Distributer）事業を担う「エヌアイシー・パートナーズ」、EDI、クラウド、マネージドサービスを提供する「エヌアイシー・ネットシステム」の3社を擁し、連結ベースで社員数1100名、売上高約500億円規模の企業グループです。

会社設立当初は、IBMのメインフレームをベースとして、NTTの顧客管理システム「CUSTOM」の開発をはじめとした各種社内システムの開発と、多くの企業のIT化を支援してきました。2020年1月にNTT65%、日本IBM35%と資本構成を見直し、NTT連結子会社になりました。今後はNTTグループ向けの事業、特に社内のDX（デジタルトランスフォーメーション）推進の領域や、あるいはNTTグループの法人ビジネスの拡大に貢献していきたいと考えています。

#### ◆どのような事業を行っているのでしょうか。

NI+Cの事業は、①システム開発、②データ統合、AI、デジタルマーケティング等システム開発・活用支援、

③EDI、クラウド、セキュリティ、マネージドサービスの3本の柱で構成されています。

システム開発については、先述の「CUSTOM」の開発から流れが始まる、大規模システム開発のビジネスです。データ統合、AI、デジタルマーケティング等システム開発・活用支援については、関連するサービスやプロダクトを活用したソリューションをお客さまに提供するビジネスです。ポイントとなるのは、単にシステムやサービスを提供するだけではなく、お客さまの目的に合わせて効果が出るような活用方法のアドバイスや、実際の利用における業務SEのようななかたちで、お客さまに「伴走」しています。EDIについては古くからあるビジネスですが、現在もかなりの需要がある領域です。それに加えて、IBM Power Systems（旧AS/400、AIX）をベースにしたクラウドビジネスとセキュリティも提供しています。特に最近取り組んでいるのはゼロトラストセキュリティの領域、そしてマネージドサービスといったプラットフォーム的なビジネスです。

こうしたビジネスを進める中で、NTTの連結子会社になったことで、これまでのIBMとの連携に加えて、それ以外のパートナーとの連携も増えてきています。

#### ◆どのようなところに注力されていますか

社内DXを推進し、そこで得られたノウハウ、知見を活用してお客さまのDXに展開していきたいと考えています。社内DXは、昨今の新型コロナウイルス対策を1つのチャンスととらまえて、例えば旅費精算の自動化、RPA（Robotic Process Automation）導入といったような

社内業務プロセスの自動化や、Google Workspace等のリモートワーク関連サービス・プロダクトの活用等、ITを活用した社内業務プロセス改革として推進していきたいと考えています。

お客さま向けとして、お客さまの新しい事業やエンゲージメントを強化するための取り組みを、データ統合・活用の切り口から推進していきます。これからの企業の成長の源泉はデータであると考えています。そこに着目して企業を眺めると、分散管理されている顧客データ、さまざまなセンサやシステムから排出されるデータ、ドライブレコーダからのデータや運行記録、外部のWebの検索情報・検索履歴等、あらゆるところにデータがあります。こうしたデータをNTTのcorevo<sup>®</sup>、COTOHA<sup>®</sup>、IBM WatsonといったAIにより、「収集、整理、統合、分析、活用」する事業（データ&AI事業）をさらに強化していこうと考えています。もちろん、システムやサービスの導入のみではなく、しっかりと伴走していくことも重要です。

### ◆ 社員の「Happiness」、そしてお客さまや社会の「Happiness」に向けて

#### ◆社内DXを推進していく原動力は何でしょうか。

社員の能力は大きな原動力になりますので、これを最大限活かすことができるような取り組みを行っています。

まず、人材育成と開発環境の整備です。これからのDX推進に必要なスキルの育成として、マルチクラウド利用のようなクラウドネイティブなスキル・人材、アジャイル開発の手法の1つである「スクラム」に関するスキルやスクラムマスターのような人材を育成し、リモートでのスクラム開発を可能とする環境整備を図ります。

そして、社員の「Happiness」をめざした取り組みです。現在8割程度のリモートワークを実施しており、コロナ禍終息後もリモートを原則とした働き方を継続していくつもりです。リモートワークでは、本題のみが議論されることにより気軽なコミュニケーションが取りにくい、人と会わずに仕事をすることによる社員の孤立化、公私が混ざり合うことでオン・オフがあいまいになりストレスが継続する等の課題がクローズアップされています。これらの解決に向けて、

- ① 社員エクスペリエンス満足度調査、ストレスチェック、パルスサーベイ等社員の満足度、健康状態モニタリ



#### ングの実施

- ② その結果に基づく、産業医、カウンセラーによるストレス対処講座、マインドフルネスセミナーの実施
- ③ オンラインミーティングで不足する気軽な立ち話ができる「仮想オフィス空間」の導入、テーマフリーの全社員チャットによる情報交換の促進
- ④ 自宅でのテレワーク環境改善のための、大型ディスプレイ、椅子等の会社備品の貸し出し等を行うことで、社員の「Happiness」を促進していきます。

#### ◆今後の抱負についてお聞かせください。

2020年12月に会社創立35年を迎えましたので、今後は次の30年に向けてしっかりとしたビジョンを持って進んでいきたいと考えています。このために、先述のとおり、社員の「Happiness」が重要になってきますが、社員のみならずお客さまや他のステークホルダも幸せに、そして社会にも幸せをつくり出すようなICTの活用を推進できる会社にしていきたいと思います。併せてこれからの30年を見据えた未来にコミットしていくために、2050年がどのような社会になるかを思い描き、それを少しでも良い方向にもっていけるような役割を果たせる会社になりたいと考えています。

そのためにも、「Happiness」を重要なキーワードとして、これを基軸に進めていきたいと考えています。

## システム開発により NTTのビジネスをサポート

営業統括第一本部 副本部長  
江藤 彰彦 さん

### ◆担当されている業務について教えてください。

NTTグループの社内系システムと、各社の法人営業部門が提供するソリューションにおける協業ビジネス等に関する営業のマネジメントを担当しています。



江藤彰彦さん

NTTの社内系システムに関しては、長年、顧客管理システム「CUSTOM」をはじめとするNTTの基幹

系業務システムの開発を行ってきました。昨今では社内DXという流れの中でIBMをはじめとする先進的なソリューションを組み合わせた業務改善、業務システムの開発・提供のほか、NTT開発のソリューション、例えばRPAツール「WinActor<sup>®</sup>」やイントラマートやIBMなどをはじめとするプロダクトを組み合わせたシステムをNTTグループ各社の事業にご利用いただいております。

NTTグループの法人営業部門との連携に関しては、NTTグループ各社のサービス・プロダクトと、EDI等のNI+Cのサービス・プロダクトやIBMやSASなどのプロダクトを組み合わせるかたちで新しいソリューションとして、法人営業部門と連携して顧客獲得や市場開拓を行っています。また、NTTアドバンステクノロジーやNTTテクノクロスとの連携により、研究所開発のRPAツールやコールセンタソリューションの構築支援や、NI+Cのソリューションと組み合わせた複合提案等も行っています。

### ◆ご苦労されている点を伺えますか。

NTTグループの社内系システムに関して、各事業会社特有の業務や、各オペレーション部門固有のルールにより運用されているケースがあります。NTTグループの中でこうした業務やオペレーション、システムの共通化の動きがあり、またシステム開発においても、機能の共通化を図ることで開発効率の向上、コストの最適化を図っています。このような共通化の動きの中、各社間の業務やプロセスの整理や調整に苦労しました。NI+Cは30年以上にわたって、NTTの業務システムの開発を行ってきており、それをおしてNTTの業務に関する豊富な知見が蓄積されています。システム開発にあたってはそれを活用して、極力お客様の業務と実際のオペレーションが変わらない、もしくは逆に変えて効率化できるようにご提案させていただきたいと思っております。

### ◆今後の展望について教えてください。

これまでの業務システム開発や法人営業連携のソリューション提供に加えて、昨年初より弊社自身がSAP、ワークスを使った人材管理やタレントマネジメント、顧客や社員に対するエクスペリエンス・マネジメントツールであるクアルトリクスなどのパッケージを活用した社内DXに取り組んでいます。その経験をふまえた新しい技術、サービスをNTTグループをはじめ、お客さまへ提案、提供していきたいと思っております。

## 伴走者としてお客さまとともに成長

バリューインテグレーション本部長  
内藤 剛 さん

### ◆担当されている業務について教えてください。

ソフトウェアを中心としたソリューション系の開発を担当しています。NTTグループ向けとそれ以外のお客さま向けと両方担当していますが、ここではNTT以外について説明します。



内藤剛さん

会社設立当初はIBM関連のプロダクトをベースとした、どちらかというとシス

テム開発・販売的なビジネスでした。その後、ソフトウェア開発に軸足を移し、またデータアナリティクスの会社である「SAS」の日本パートナーになる等、IBM以外にもパートナー連携を広げてきており、最近では、データを「収集、整理、統合、分析、活用」する、データ&AI事業が中心になってきております。

データアナリティクスというと、お客さまからの委託に基づいて、コンサルタントが中心となってお客さまの戦略、マーケティング、データ解析、施策立案等まで行うビジネスが一般的です。NI+Cの場合は、お客さま自らが戦略策定から施策立案・実行までを行うことができるよう、お客さまのチームづくりから支援します。例えば、流通・小売業のマツモトキヨシ様では、リアル店舗やオンラインストア、その他顧客タッチポイントによるデータ収集・分析基盤のシステムセットアップ後は、お客さまチーム内で伴走サポートする当社ITコンサルタントを“先生”と呼んでいただき、お客さまによる戦略策定、施策立案・実行を支援させていただきました。お客さまの業務に一番精通しているのはお客さま自身であり、その部分をお客さまに教えていただき、データ解析等の結果により付加価値を付けた提案をして、お客さまとともに戦略策定・試作立案・実行

まで一緒にする、まさに伴走です。

#### ◆ご苦労されている点を伺えますか。

最近では世の中の変化が激しくなっており、特に新型コロナウイルス感染症関連で、これまで以上に人々の生活や移動の変化が激しくなっております。こうした世の中の変化はお客様のビジネスに直結する部分も多く、その変化への対応に苦労しています。

当社のお客様の場合は、導入されたツールに対して習熟されており、お客様ご自身が販売戦略などを行うので、当社としては、顧客接点の仕組みをしっかりと創り、お客様自身が時代の変化に合わせて接触の仕方や接触する人を変化できるよう、お客様と一緒に検討していくことで、こうした変化への対応もスピーディに行うことができると考えています。

#### ◆今後の展望について教えてください。

お客様の伴走をとおして、双方で一緒に考え、実行し

ていくことで、お互いが成長していくような関係を築いていきたいと思っております。そのためにも当社としてお客様の業界のビジネススタイル、サービス・製品の特長、あるいは（ターゲット）顧客について勉強し、これらの変化に追従できるようなシステムを提供していくことが必要になります。

また、こうしたプロジェクトは長期にわたって継続するので、途中でシステムが古くなり、更改が必要になってきます。現在、こういったシステムはオンプレミスの場合が多いので、クラウドにすることで容易に対応できるのですが、このクラウド化は技術的にまだ難しいところがあります。そこで、新しいテクノロジーでクラウド化の提案をしていきたいと思っております。

## 日本情報通信 ア・ラ・カルト

### ■仮想オフィス空間

社員の「Happiness」策の一環で、「仮想オフィス空間」を2020年9月につくったそうです（写真1）。見かけはまさにオフィス空間を再現し、ちょっとした休憩コーナーを設けたフロアを上から眺めたようなものです。フロア内に自分のアバターを置くと、それを見つけた人が寄ってきて、マイクを使って「ちょっとよろしいですか？」と話しかけて立ち話ができます。他の人に聞かれないような入り口を入った内容であれば、フロア内の会議室に入って、資料を見せながらの会話もできるそうです。また、イベントホールのような懇親会場も準備されており、普段は社員が自由に利用できますが、貸し切りで部署の懇親会イベントなどにも利用できます。10月には、Web会議によるキックオフミーティングの後の懇親会イベントや、2021年入社予定の就職内定者の内定式も行ったそうです。

### ■サーフィンを通じた社員交流

NI+Cにはサーフィン競技のシンボル選手として、石川拳大選手が所属しています（写真2）。2019年までは、国内の大会模様をライブビューイングで社内に放映して大会観戦したり、少しでもサーフィンに興味を持ってもらおうと、辻堂海岸で社員、家族、友人を集めて体験イベントを行ったそうです。体験イベントでは、石川選手が所属しているサーフライダーファウンデーションという団体主催のプラごみアートや、ごみ拾いを通じた海の環境保全活動にも取り組まれたそうです。

2020年は新型コロナウイルス対策でこうした取り組みができないので、11月より、先ほど紹介した「仮想オフィス空間」のイベントフロアで社員交流を目的として、石川選手発案実施の毎週水曜15時からの社内オンライントレーニングをライブで行い、その後も各自でトレーニングできるようにYouTube動画で配信をして、テレワークで凝り固まった首や肩をほぐして、リフレッシュしているそうです。何よりも、早く大会が開催されるようになるといいですね。石川選手の公式サイトは、<https://kentaishikawa.com/>です。



写真1



写真2

## 混雑を予測し情報提供することで心地良い賑わいを

NTTコムウェアではユーザ個人の属性・時間・位置・周辺状況等の情報を基にニーズや行動を先読みし、観光・移動・宿泊・買い物・食事のあらゆる場面で利用者1人ひとりに最適な情報を提案するサービスLIKEUPを提供しています。ここでは、その中で活用している人の混雑度を予測する基礎技術への取り組みや今後の展望について紹介します。

### 混雑が事前に予測できることの価値

ショッピングモールやスポーツ施設、テーマパークなどへ出かける際に、お出かけ先が混んでいるのか気になることが多いのではないのでしょうか。新型コロナウイルスの感染リスクを下げる意味はもちろんのこと、小さい子ども連れのご家族であれば「ベビーカーが通るのに困らないかな」や「子どもが長い行列は待てないからな」など、気になる点がさらに増えることと思います。

そんなとき、事前に目的地の混雑具合が分かっただろうでしょうか。例えばショッピングモールに出かけて「子ども連れだから、空いているうちに早めにお昼ご飯に行こうかな」と思ったときに、飲食店が混みだすまでに少し時間があることが分かれば、しばらく買い物に時間を使うことができます。また、イベントやスポーツ観戦に出かけた帰りに駅が混んでいる場合に、あと1時間で駅が空いてくることが分かれば、友人とカフェに寄って混雑が緩和されてから帰宅することも可能でしょう。このように混雑情報を

予測できることで、これまでよりも快適な時間を過ごすことができる可能性が高まるのではないかと思います。

一方、世界に目を向けるとMaaS (Mobility as a Service)\* という言葉と概念が少しずつ浸透してきており、自動車やバスに加えてタクシーやレンタル自転車等を組み合わせて利用できる世界が訪れようとしています。このような交通の自由度が上がった世界では、ほんの少し空いた時間を活用できる選択肢が増え、移動先の混雑情報を知ることによって快適な過ごし方を実現できる可能性が高まっていくのではないかと考えています。

NTTコムウェアでは3つのManaging Valueを活かし、新たな社会Smart Worldの実現に向けて活動していますが(図1)、特に今回は予測や分析などのData Management領域での強みを活かした人の流れや混雑度を予測す

\* MaaS: ICTを活用して交通をクラウド化し、公共交通か否か、またその運営主体にかかわらず、マイカー以外のすべての交通手段によるモビリティ(移動)を1つのサービスとしてとらえ、シームレスにつなぐ新たな「移動」の概念です(国土交通省より引用)。

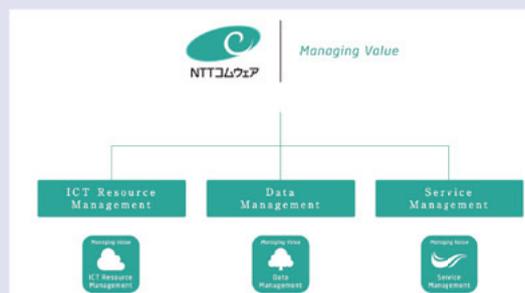


図1 NTTコムウェアのManaging Value

る技術について紹介します。

## エリア汎用型予測モデル

### ■予測における学習データ取得期間の課題

B2Bモデルでターゲットと想定している鉄道事業者や商業施設、自治体などに利用していただく場合には費用や予測精度、機能性などに加えて、導入の容易性もポイントになってきます。

導入の煩雑さを上げる要因については、まず物理的なセンサ設置の手間が大きな要因となりますが、もう1つ学習データの準備という要因もあげられます。具体的には機械学習や時系列モデリングなどの手法を利用する場合には予測モデルをつくるために過去のデータが必須となるため、実際に予測を始めたい期間に先立って1、2カ月前からセンサを設置して予測に必要な学習データを収集しておく必要があります。弊社データサイエンス推進室では、この事前の学習データの収集が不要になるような技術開発を行っています。

### ■エリア汎用型予測モデルのアプローチ

時系列予測を行う場合、混雑の増加の勢いなどの時系列特徴量を作成したうえで機械学習の各種アルゴリズムやARIMAなどの時系列アルゴリズムを用いて予測を実施することになりますが、通常は図2の「レベル1」に示すよ

うに当該の場所で取得した人流データは他の場所で利用できないので、新しい場所へ適用するには学習データの取り直しを行います。さらに、人流の傾向が大きく違う場合には、利用する特徴量の設計を変更する対応も必要となってきます。

ここで人流特性（例えば昼に人が多く集まり夜は人がいなくなるなど）を似た場所に絞ってみると、ある場所で取得したデータに最適化した特徴量と予測モデルを利用して、新しいデータを取得しなくても、ほかの類似地域に最適化した特徴量とデータを利用してある程度の混雑度を予測できるのではないか、というのがこのエリア汎用型予測モデルの発想です（図2「レベル2」特許出願中）。

例えば駅やショッピングモール、スポーツ施設など特定の種類の場所を集めて予測する場合であれば1週間の周期的な傾向やイベントなど突発的事象による増減度合いなどが似てくることが予想されます。例えば、住宅地にある駅であれば通勤時間帯の影響が大きいため過去の曜日やカレンダー、時間帯を重視して設計し、より精度の高いモデルを作成することができ、逆にスタジアムやコンサート会場などがある場所では、直近の人の増減率や、近隣施設に置いたセンサデータなどを使ってイベントをとらえるように設計することで、別々の駅であっても同じ予測モデルを共用することができます。

さらなるメリットとしては例えば同じような住宅地の駅

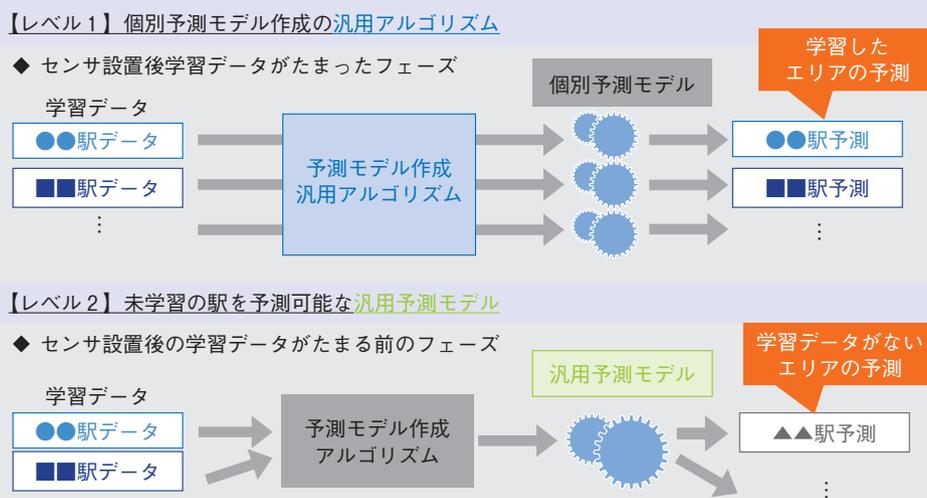


図2 混雑予測の仕組み



であれば、最初から類似エリアの予測モデルを使うことで、データ取得する期間を設けなくても、最初から類似エリアの予測モデルを使って予測を開始できるようになります。

### ■エリア分類仮説

では、さまざまな場所を類似エリアにどのように分類するかを鉄道駅周辺のエリアで検討していきます。当初の仮説としては、以下の4つのエリアに分類できるのではないかと想定したうえで検証を進めました。

#### (1) 商業系エリア

ショッピングやレジャー、友人との食事などに出かける多くの人が集まるような場所を想定しています。首都圏だと新宿や横浜など地域を代表するような場所をイメージしています。これらの場所では平日、休日通じて昼間帯から夜まで人が多くなることが想定されます。

#### (2) ビジネス系エリア

商業系エリアと同じように多くの人が集まる駅でもどちらかというとオフィスビルが建ち並ぶ場所をイメージしています。首都圏だと大手町や品川などでしょうか。これらの場所では平日の昼間帯に人が多くなることが想定されます。

#### (3) ベッドタウンエリア

主にマンションや戸建てなどの住宅が多い場所をイメージしています。首都圏であれば都心まで30~40分程度かかる私鉄・メトロの沿線駅をイメージしています。これらの

場所では夜間帯に滞在人口が多くなることが想定されます。

#### (4) イベントエリア

スタジアム、コンサートホール、イベントホールなどのイベント施設がある場所をイメージしています。これらの場所ではイベント開催時に急に混雑が発生すると想定されます。

### ■エリア分類の技術

分類の技術として機械学習における複数のクラスタリング技術を併用・比較しながら実施していますが、ここでの分類のために利用する元データを2種類利用することにしました。

1番目は商業系・ビジネス系・ベッドタウン系の人流傾向をとらえるものですが、これらは仮説からすると昼夜や平日によって混雑度が変わるサイクリックな周期性の特徴があると想定できます。このため、7日×24時間の平均的な混雑度をクラスタリングの元データとして各種クラスタリング技法で分類を試みました。この結果として分類したエリアごとの平均的な混雑度の変動を集計したものを模式的に図3に示しています。ベッドタウンエリアにおける平日の昼間に人口が減るのに対して、ビジネス系エリアでは平日昼間に人口が増加し、商業系エリアについては平日、休日とも人口が増加するかたちになっていることが見てとることができ、明確に各エリアの人流傾向の違いエリアの分類ができていることが分かりました。

	エリアグループ			
	ベースの人流傾向			イベント特性
エリア差異がある観点	商業系	ビジネス系	ベッドタウン系	日々の変動
平日 朝→昼の人数	増加	増加	減少	(エリアに依存)
平日 夕方→深夜の人数	減少	減少	増加	(エリアに依存)
休日 朝→昼の人数	増加	横ばい	横ばい	(エリアに依存)
休日 夕方→深夜の人数	減少	横ばい	横ばい	(エリアに依存)
平日と休日の 昼間人口の差	少ない	大きい	少ない	(エリアに依存)
日々の夜間人数バラツキ	(イベント特性に依存)	(イベント特性に依存)	(イベント特性に依存)	大きい

図4 エリアごとの人流傾向

2番目はイベント的要素になりますが、こちらは1番目とは逆に1週間または24時間のサイクリックな人の変動からどの程度外れた要素が強いかをとらえるものとなります(もちろん、野球やサッカーなどのオンシーズンには一定の曜日や間隔でイベントを開催する要素もありますが、必ずしも固定的な周期ではないのでアルゴリズムでとらえにくいものとなります)。したがって、ここでは統計値としてばらつきの指標である分散や変動率などをクラスタリングの元データとして分類を実施しました。こちらの結果としてイベントエリアでの変動率が特に大きくなっており、イベントがある日とない日での混雑度の違いが大きい一方、イベントエリア以外ではある曜日ある時間での混雑度の違いが日によってあまり変わらないことが分かりました(図4)。

## 社会貢献のための技術開発

以上のとおり、現在取り組んでいる混雑度を予測する技術について紹介をしてきました。NTTコムウェアでは単なる混雑予測にとどまらずユーザがより良い行動を選択する支援ができるように、さまざまな技術の開発やサービスの企画・開発に取り組んでいます。

例えば混雑度の情報だけを単に提供するのではなく、ユーザの行動特性や嗜好に合わせた近隣の飲食店やカフェなどの情報を提供することで、混雑回避の時間を快適な時間に

変えられるようなアプリケーションの提供も行っています。一口に快適な時間といっても1人ひとりのユーザには思考・好み・行動特性などの違いがあるため、このようなさまざまな観点から見た個性に基づいたユーザエクスペリエンスにより心地良さを演出していく仕組みづくりが重要となります。

こういった仕組みは単なるユーザ個人としてのメリットだけではなく、そのエリアやコミュニティにとっても、集中的に混雑するエリアができないようコントロールしながら、全体として賑わいを保つという点で持続的な社会成長に貢献するソリューションであると考えています。

NTTコムウェアはこれからもData Management領域のさまざまな技術の活用を通じて社会に貢献できる技術開発に取り組んでいきます。

### ◆問い合わせ先

NTTコムウェア

ビジネスインキュベーション本部 データサイエンス推進室

E-mail [bi-bid-bd-service-g@srv.cc.nttcom.co.jp](mailto:bi-bid-bd-service-g@srv.cc.nttcom.co.jp)



# ITU-Tにおける光ファイバの標準化動向および空間分割多重技術 (SDM) の標準化に向けた取り組み

坂本 泰志 / 中島 和秀 / 荒木 則幸

NTTアクセスサービスシステム研究所

光ファイバの標準はITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) 勧告として制定されており、その内容についてはSG15 (Study Group 15) にて議論され、光通信システムの進展に合わせて改訂されています。ここでは、公衆光通信網で用いられているシングルモード光ファイバ (SMF) のITU-T標準化動向および、SMFの通信容量限界を超えた超大容量伝送が可能と期待されている空間分割多重 (SDM) 用光ファイバの標準化に向けた取り組みを紹介します。

## はじめに

ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) では、通信ネットワークのシステム要求条件と機能、ならびに伝送特性の試験法を規定する標準文書 (勧告) を制定しており、通信キャリアにとっての相互接続性とサービス品質の担保に大きく寄与しています。光通信システムの伝送媒体として用いられる光ファイバについては、ネットワーク内で複数の供給元からの光ファイバで構成され得ることから、その伝送特性および相互接続性の標準化が不可欠であるといえます。現在ITU-Tにて制定されている光ファイバ勧告の一覧を表に示します。光ファイバに関する新規勧告の制定、および既存勧告の改訂

については、ITU-TのSG15 (Study Group 15)<sup>(1)</sup> WP (Working Party) 2 Question 5で議論されています。SMFの勧告は現在G.652~G.657の6種が制定されており、システム動向に呼応した既存勧告の最新化が主要な論点となっています。また、光ファイバ勧告の改訂に合わせ、試験法勧告 (G.650.1~G.650.3) についても適宜改訂が行われています。補助文書 (G.Supplementシリーズ) については、参考 (非標準) 文書ですが、ユーザにとって勧告を利用するにあたって有益な情報をまとめています。なお、光ファイバの標準についてはIEC (International Electrotechnical Commission) においても制定されていますが、光ファイバの光学互換標準はITU、製品規格はIECで所掌しており、ダブルスタンダードにならない

よう連携して標準化が行われています。

## シングルモード光ファイバの標準化動向

表において、赤字で示しているのは近年活発に議論されている勧告です。G.652 (シングルモード光ファイバ) は、全世界でもっとも普及している汎用SMFであり、G.657はG.652と同等の特性を有しつつ、低曲げ損失特性を有する光ファイバです。これら2つの光ファイバ勧告は、O~L帯 (1260~1625 nm) での伝送を想定した光ファイバであり、アクセスから中継系といった広いアプリケーションで用いられています。一方で、光ファイバの低損失波長帯に限定し、C~L帯 (1530~1625 nm) を伝送帯域とした長距離伝送用光ファイバ勧告G.654 (カッ

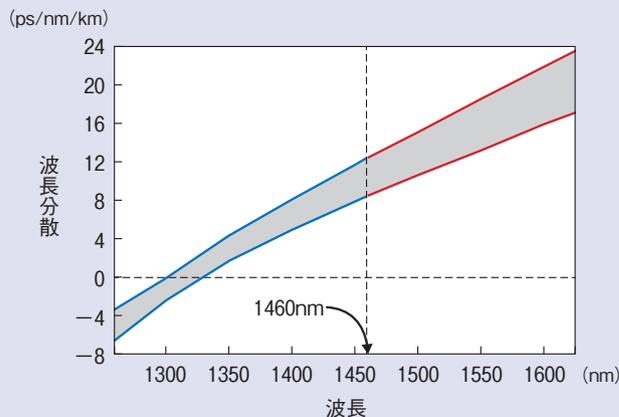
表 ITU-Tで制定されている光ファイバ技術関連の勧告

種別	勧告番号	勧告名
光ファイバ	G.651.1	アクセス用マルチモードファイバ
	G.652	シングルモードファイバ
	G.653	分散シフトファイバ
	G.654	カットオフシフトファイバ
	G.655	非零分散シフトファイバ
	G.656	広波長域非零分散ファイバ
	G.657	低曲げ損失シングルモードファイバ
試験法	G.650.1	線形パラメータ試験法
	G.650.2	PMD及び非線形パラメータ試験法
	G.650.3	フィールド試験法
補助文書	G.Sup.40	光ファイバケーブルガイドライン
	G.Sup.47	光ファイバ実使用環境特性
	G.Sup.59	光ファイバケーブル信頼性ガイドライン



パラメータ	規格値
零分散波長 $\lambda_0$	1300~1324 nm
零分散スロープ $S_0$	< 0.092 ps/nm <sup>2</sup> ×km

(a) 従来規格



(b) 改訂後規格

図1 汎用光ファイバ (G.652.D) の波長分散規格

されているG.657カテゴリA光ファイバについても上記の波長分散特性の規定が適用されています。

### ■G.654標準化動向

G.654は主に海底伝送システム用として制定された光ファイバ勧告です。その特長としては、光ファイバの低損失波長帯であるC~L帯の利用を前提とし、汎用SMFよりも低損失かつ大きなMFDを有することです。図2にG.654の2つのサブカテゴリ光ファイバの損失とMFDの規定をまとめました。汎用SMFであるG.652.Dファイバと比較して低損失であり、MFDが大きいことが分かります。これは、海底伝送システムなどの超長距離伝送においては低損失特性および、MFD拡大による光ファイバの非線形性の低減が信号品質の向上（信号対雑音比の改善）に効果的だからです。G.654.Dファイバは、制定されているサブカテゴリの中でももっとも低損失かつ大きなMFDを有する光ファイバであり、大容量海底伝送システムでの利用を想定しています。一方で、陸上システムにおいても高速化が進み、特に基幹系ネットワークにおいて同様に低損失・低非線形性を有する光ファイバが求められています。そこで、G.654としては初めて陸上システムを想定したサブカテゴリE光ファイバ (G.654.Eファイバ) が2016年に制定されました。100 Gbit/sを超える大容量基幹系ネットワークでの利用を前提としており、汎用SMFより低損失特性を有し、異なるベンダプロダクトの相互接続を

トオフシフト光ファイバ)があります。これらの光ファイバ勧告について、昨今の陸上・海底システムの大容量化に伴い、それらの要求条件に対応するための既存勧告の最新化が活発となり、以降で標準化動向を紹介します。

### ■G.652/G.657標準化動向

ここでは、汎用SMFであるG.652/G.657の標準化動向を紹介します。光ファイバ勧告では、伝送特性として損失、モードフィールド径 (MFD)<sup>\*1</sup>、波長分散、曲げ損失などが規定されています。近年、伝送システムの高速化に伴ってより詳細なシステム的设计が必要となっており、光ファイバの伝送特性においても同様に伝送特性の詳細化が必要となってきました。特に、大容量化に向けては波長分割多重 (WDM) 技術の利用は必須であり、光ファイバの各種特性の波長依存性の明確化が重要となっています。このよ

うな背景にかんがみ、汎用的に用いられているG.652のサブカテゴリD光ファイバ (G.652.Dファイバ) において、波長分散特性の詳細化が行われました。結果を図1に示します。図1(a)に示すとおり従来は、波長分散がゼロとなる波長 (零分散波長) および、その波長における分散スロープ (波長分散の波長に対する傾き) の最小値・最大値を規定するのみでしたが、0~L帯を連続的にカバーする波長分散の最大値・最小値の境界が規定されました。図1(b)にその最大値・最小値の境界を示した波長分散特性を示します。1260~1460 nm, 1460~1625 nmのそれぞれの領域で最適な近似関数を用いて波長分散の上限と下限を規定しています。これにより、0~L帯の全域において連続的に波長分散特性が規定されることとなりました。なお、G.652と同じ伝送特性を有することと

\*1 モードフィールド径 (MFD) : ファイバのコア領域を伝搬する光の広がりを示す値。その値は接続特性に大きく関係し、MFD値が異なるファイバを接続すると接続損失が大きくなります。また、MFDが大きいとファイバ内の非線形現象の発生が低減され、伝搬信号光の信号対雑音比の改善に寄与します。



前提とし、MFD範囲を他のサブカテゴリと比較して狭窄化していること、および陸上システムで用いられているケーブルの適用を想定して汎用SMFと同じ曲げ損失特性を有していることが挙げられます。

■試験法勧告G.650.1の標準化動向

G.650.1では、各種光ファイバ勧告で規定されている線形パラメータ（損

失、遮断波長など）の測定法が規定されています。本勧告においても、これまで述べた光ファイバの波長依存性の詳細化に対応して改訂が行われました。各種光ファイバ勧告では、波長帯域もしくは特定の波長における最大損失が規定されていますが、光ファイバの損失は波長依存性を有し、伝送システム設計においてはその依存性を把握

することが重要といえます。G.650.1の損失特性試験法には、特定の波長における損失を測定し、その測定値を用いて特定の波長帯の損失を推定する試験法が存在します。その概要を図3に示します。a(λ<sub>x</sub>)は波長λ<sub>x</sub>における損失の測定値であり、複数の測定値a(λ<sub>x</sub>)～a(λ<sub>z</sub>)と（推定波長数）×（測定波長数）の行列を用いてその他の波長における損失を推定する手法であり、図に示す3つの波長における推定例から分かるとおり、限定された測定値から広い波長帯の損失値を簡易に推定できます。行列の値についてはプロダクトによって異なり、精度良く損失を推定するために3～5の測定値を用いて光通信波長帯（例えばO～L帯）の損失推定が行われます。近年勧告化されたG.654.Eファイバにおいても、G.652と同様に陸上伝送システムを設計するにあたり損失の波長依存性を把握することは重要であり、C～L帯の推定において2波長の測定値に基づく推定の適用性が確認され、その結果を2020年の勧告改訂で反映しました。

以上、SMFの標準化動向としては、伝送システムの高速度化に対する光ファイバの伝送特性の詳細化が主な方向性であり、今後もさらなる伝送システムの高速度化に従って各種勧告の改訂が検討されるものと思われます。



通信容量は年率数10%で増加し続けており、2020年代にはSMFの容量限界が顕在化するといわれています。このような背景からSDM技術は次世代の通信技術と位置付けられ、近年盛んに検討されています。SDM伝送用光ファイバの概要を図4(a)に示しま

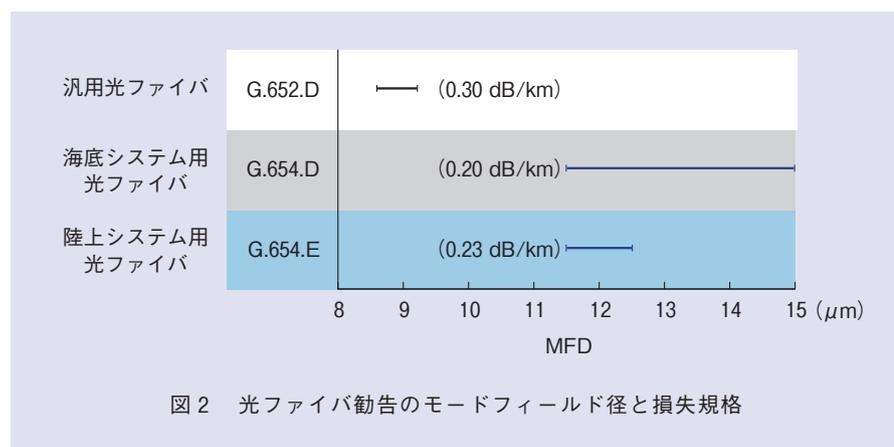


図2 光ファイバ勧告のモードフィールド径と損失規格

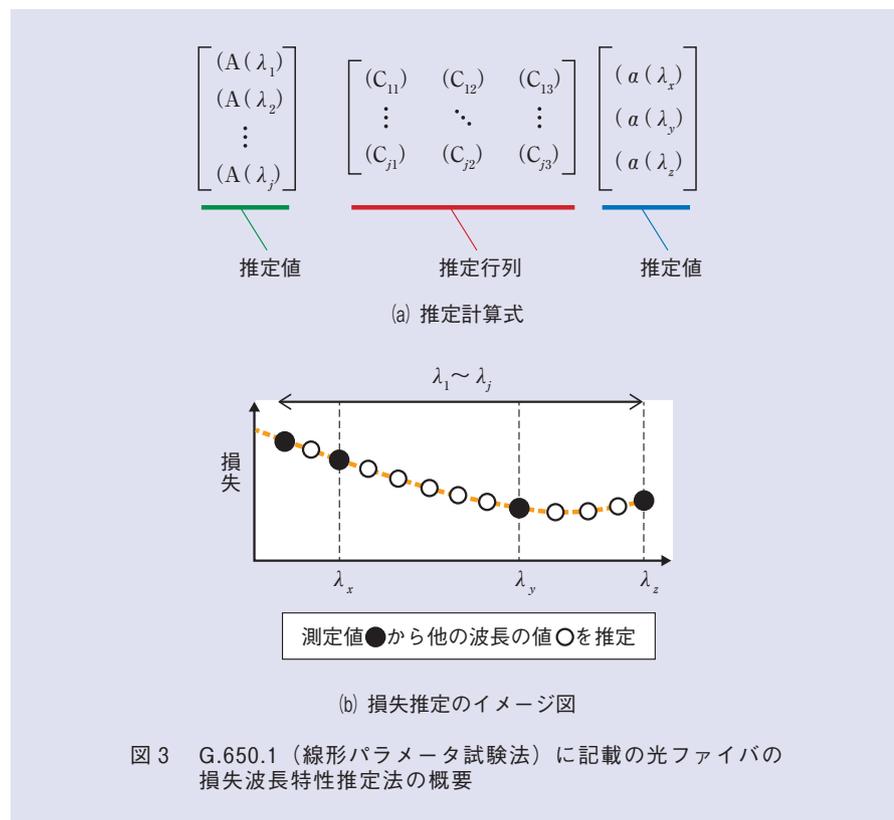


図3 G.650.1（線形パラメータ試験法）に記載の光ファイバの損失波長特性推定法の概要



す。大きく分類すると、ファイバ内に複数のコアを有するマルチコアファイバと、コア内に複数のモードが伝搬する数モードファイバがあります\*2。それぞれ、複数のコア/モードを用いて複数の信号を並列伝送することで、SMFでは実現できない大容量伝送が実現できると期待されています。SDM伝送用光ファイバの実用展開に向けては、SMFと同様にITU-Tにおける標準化議論が必須と考え、2020年1月のITU-T会合においてSDM伝送用光ファイバ・ケーブルの技術レポート (TR.sdm) の作成検討開始を提案し合意されました。現状では文書の内容は議論中ではありますが、光ファイバのみならず、ケーブル・接続・敷設技術などの周辺技術全般を含む方向で進んでいます。本技術レポートにおける主な議論ポイントは、SDM技術の適用アプリケーションと効果、SDM技術の概要と分類です。SDMの適用アプリケーションや適用効果に関して共通の認識を得ることが重要であるとされ、特に図4 (b)に示

すような、SMFを用いて同じく空間領域で多重数を向上させる高密度ケーブルや細径被覆光ファイバといった広義のSDM技術との比較も必要とされています。2番目は、SDM用光ファイバの分類と特長の議論です。これまで多種多様なSDM用ファイバが提案されていますが、現状はMCFとFMFをベースに分類することとし、それぞれに対して規定すべき特性パラメータや試験法について今後議論が進むものと思われます。

以上、SDMに関する技術レポートは2022年での制定を目標に議論が進んでいます。国内においては、本取り組みに先んじてSDM技術の標準化を見据えた各種関連技術の現状と課題について議論がなされ、一般社団法人情報通信技術委員会 (TTC) が発行する技術レポートTR-1077 [空間分割多重 (SDM) 技術に関する技術レポート] としてまとめられています<sup>(2)</sup>。

## 今後の展開

ITU-TにおけるSMFの標準化は既存勧告の改訂が中心であり、今後も100 Gbit/s超の伝送システムを前提

としたSMFの伝送特性の詳細化について議論されると思われます。SDM伝送用光ファイバの標準化については、2022年に制定予定のSDMに関する技術レポートが、以降のSDMファイバ勧告制定に向けての大きなステップとなると考えられます。なお、IECにおいては、ITU-TのSDM技術の標準化に向けた取り組みと協調して、MCFコネクタおよびSDM増幅器に関する議論が進んでおり、周辺技術を含めてITU-TとIECが連携してSDM技術の標準化が進むことが期待されます。

### 参考文献

- (1) <https://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2017-2020/15/Pages/default.aspx>
- (2) [https://www.ttc.or.jp/document\\_db/information/view\\_express\\_entity/1238](https://www.ttc.or.jp/document_db/information/view_express_entity/1238)

\*2 伝搬モード：ファイバのコア領域を伝搬する光の伝搬状態により規定されるもの。SMFでは一種類のモードのみが伝搬可能。

# 端末ログを活用した 通話状況（回線使用状況）の即時見える化

ビジネスフォン等を利用されているお客さまから、「発信できないことがある」「他のお客さまからお話し中が多いと言われた」などの申告をいただいた場合は、利用可能な回線数（チャンネル数）が不足している可能性が考えられるため、お客さまの同時通話数（チャンネル利用数）を確認する必要があります。NTT東日本 技術協力センターでは、ビジネスフォンやひかり電話ルータ等の通信機器内に蓄積されているログを分析することで、簡易に回線の使用状況を見える化するツールを開発しました。

## 開発の背景

NTT東日本 技術協力センターでは、フィールドで発生した解決が難しい故障について、現場保守担当者等から相談を受けて原因究明し対処を行っています。音声系サービスに関連する相談として、「外線発信できない場合がある」「ある内線グループへの着信が話中になることが多い」といった問合せがあります。このようなケースでは、利用可能チャンネル数の不足や、特定の内線グループへの利用可能チャンネル数の割当て不足が原因として考えられます。解決のためには、利用可能なチャンネル数の確認をする必要があり、従来の手法では、相談を受けてから現地の通話情報を収集する機器を設置していたため、情報収集に時間を要していました。また、情報収集後も通常1週間以上の大量の通話データから利用可能チャンネル数を解析しており、非常に長い時間がかかっていました。今回、これらの作業効率の改善のため、機器のログファイルを集計することで、解析期間を大幅に短縮する「通話ログ整形ツール」を開発しました。

例えば、最近相談の多いひかり電話を考えてみると、従来手法には3つの大きな課題があります。1点目の課題は、キャプチャにかかる手間と、大量のデータ分析にかかる時間です。通話データをキャプチャするためには、キャプチャ装置を手配したうえで、お客さまと設置可能な日程を調整して、キャプチャ装置を設置、1週間から1カ月程度のキャプチャを行うこととなります。お客さま環境からキャプチャ装置を回収した後も、大量のデータを分析、集計する必要があり非常に時間がかかっていました。

2点目の課題は、お客さま通信を最低でも2回切断・

接続しなければならないことです。キャプチャ装置の設置時には、お客さまの回線の途中にキャプチャ装置を設置する必要があります。そのため、作業の都度、通信を切断・接続せざるを得ませんでした。

3点目の課題は、キャプチャデータの解析スキルです。大量に取得したデータから通話に関連する情報だけを選別し、通話ごとに通話開始・終了時刻を読み取ることができるスキルが必要です。現地担当者の方にこのような解析を行う手順をドキュメント化して提示する方法も考えられますが、スキルを習得するまでの期間が必要となります。

本ツールは、このような課題を解決し、データの収集・解析をスキルレスで容易に行うことができます。まず、通話開始・終了時刻が残されているひかり電話終端装置等のログを取り出し、ツールに読み込ませます。ツールを起動すると一定時間ごとに同時通話チャンネル数のカウントを開始します。そのためログファイルの取得だけで同時通話数が解析できることから、キャプチャ装置が不要であり、お客さま通信にも影響を与えません。またログファイルの解析はデータの読み込みと同時に実行されるため、通話時間を個別に分析する必要がありません。さらに、本ツールには通話数を簡易なレポートにまとめて出力する機能を具備しており、ログファイルを取得したと同時に通話状況のレポートを作成してお客さまに説明することが可能です。

## 「通話ログ整形ツール」の機能と利用方法

本ツールは汎用PC上で利用することが可能なソフトウェアで、以下の機能を具備しています。

①取得した通話ログを解析し、同時通話数、呼量を計

算して表示します。

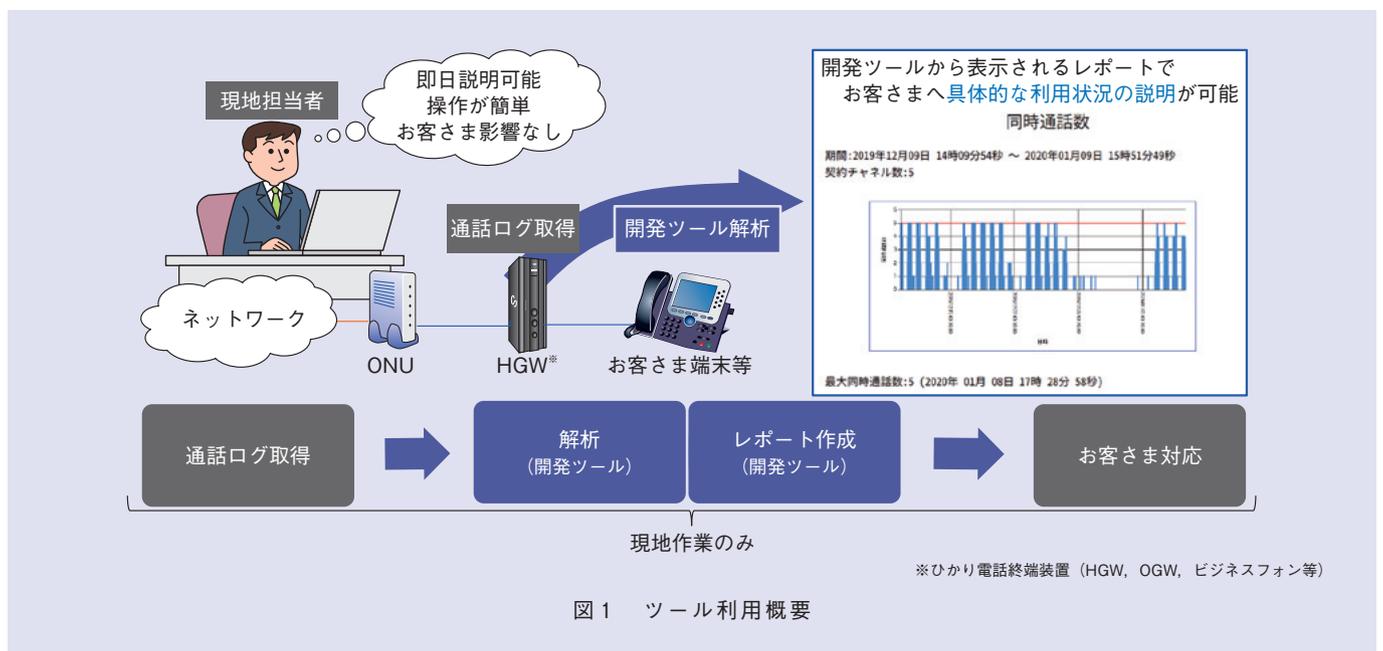
- ②通話ログの解析結果を「簡易レポート」として定型フォーマットで出力します。
- ③通話ログを整形して定型フォーマットでファイル出力します。異なる機器の通話ログを他のソフトウェアで集計、分析するなど、柔軟な解析を可能とします。
- ④本ツールにあらかじめ設定されている通信機器だけでなく、新たな機器を解析対象として追加することが可能です。新たな機器のログファイルフォーマットを新たに定義するときは、通話開始時刻、通話終了時刻が記載されたフィールドを判別できるようにログファイル構造を指定します。新たに定義した機器のログファイルフォーマットの設定は保存可能で、

その後の解析で再定義せずに使用できます。

本ツールの利用概要を図1（データ収取から簡易レポートまでの概要）に示します。通信機器に蓄積されている通話ログは、対象装置のマニュアル等に記載されている方法で取り出します。ログの中には、機器が保存できる一定期間分の通話情報が自動で記録されているためデータの取得を開始・終了する操作が不要です。また、お客さまが普段機器をご利用いただいている状況でログの取得が可能です。

通話ログ整形ツールにログファイルを読み込ませる前に、入力する条件〔機種、取得したログの期間、解析内容（同時通話数、呼量、切断理由）〕等を設定します。条件指定画面を図2（ツール画面）に示します。

次にログデータを読み込ませると、ツール内で自動的



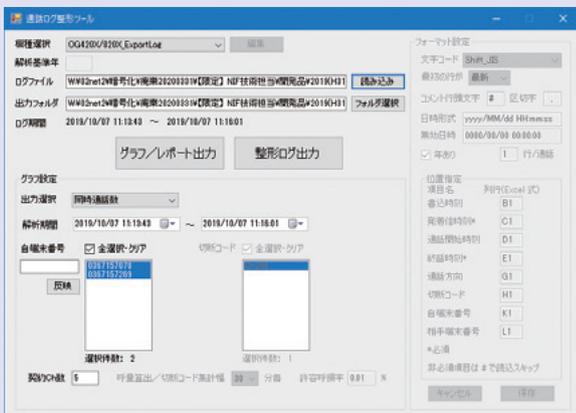


図2 ツール画面

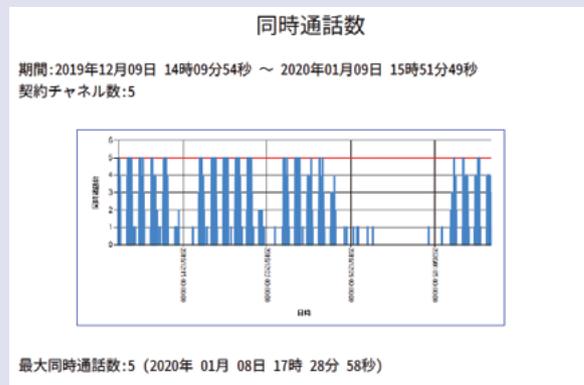


図3 簡易レポート

に設定された解析内容の算出が実施されます。

解析結果を簡易レポートとして出力した例を図3に示します。例えば、お客さまが契約されている通話チャンネル数が5チャンネルのとき、図3のレポートの各時刻での同時通話数を見ると、契約チャンネル数の上限まで利用されていることがわかります。例えばお客さまから「発信できないことがある」といった内容の相談を受けている場合には、レポートに基づいて、契約チャンネル数の追加によって状況を改善する提案ができます。

本ツールの利用は、現在NTTグループ内に限定されています。入手方法については、技術協力センターHPを参照するか、問い合わせ先までご連絡ください。

### 今後の予定

本ツールは、トライアルを行っており、保守の現場等においてお客さまの通信端末からログデータを取得しています。このトライアルの結果からフィードバックを行

い、さらなる機能改善の検討を進めています。

技術協力センター ネットインタフェース技術担当では、これまで培ってきた通信にかかわるデータの解析手法やスキルを活用して、現場稼働の効率化に資するような新たなツール開発を検討しています。また技術協力センターでは、引き続き現場の課題解決に向けた技術協力活動を推進し、通信設備・サービスの品質・信頼性向上に貢献していきます。

### ◆問い合わせ先

NTT東日本  
 ネットワーク事業推進本部 サービス運営部  
 技術協力センター ネットインタフェース技術担当  
 TEL 03-5480-3702  
 E-mail nif-ml@east.ntt.co.jp

## 東京大学とNTTによるゲノム情報を活用した新たな共同研究の開始

東京大学とNTT、およびNTTライフサイエンスは、東京大学医科学研究所で実施しているゲノム予防医学社会連携に関する共同研究の新たなフェーズとして、2020年10月より、企業従業員への参加者同意に基づく遺伝子検査の実施と健康診断データ等を掛け合わせた解析を行い、疾病リスクと生活習慣の関係性および発症抑制の解明をめざします。

長年にわたり蓄積された従業員健診データという世界的にも類を見ないビッグデータを有効活用する企業コホート研究により、日本ならではの新たな知見の創出に取り組み、1人ひとりに最適化されたヘルスケアの実現につなげ、人々の健康・幸せや産業活性化に貢献していきます。

### ■取り組みの内容

ヘルスケア分野においては、世界的な解析技術の進展

等により、ゲノム情報等を踏まえた1人ひとりに最適化されたヘルスケアの実現が期待されています。

一方、疾患の発症には生活習慣も大きくかわることが知られているものの、ゲノム情報、および生活習慣と疾患リスクの関係性、ならびに発症抑制については、いまだ研究の蓄積が不足していて、解明されていない領域が多く残されている状況にあります。

こうした中、NTTと東京大学医科学研究所では、2019年7月から「ゲノム予防医学社会連携研究部門」を設置し、ゲノム情報等を基に疾患リスク因子を解明するとともに、疾患予防に向けた望ましい行動や生活習慣を明らかにして、疾患予防法の社会実装につなげるための共同研究を進めています。またこれまでの研究成果を基に、NTTライフサイエンスでは、疾患リスクなど個人の体質を把握できる遺伝子検査を企業従業員向けに開始しています。

## ゲノム医学で社会と健康に貢献

平石 敦子

東京大学医科学研究所  
ゲノム予防医学社会連携部門 特任研究員

研究者  
紹介

個人のゲノム情報を解析し、医療を1人ひとりの体質に合わせてテーラーメイドしようとする試みが始まり、早くも10年以上が経過しました。網羅的な遺伝子型情報を用いて、病気のかかりやすさや薬物に対する反応との関連を解析する、ゲノムワイド関連解析(GWAS)という手法が始まり、世界中の研究者がこぞってGWASに大きく期待した当初から、私自身、多くの因子が複雑に関与している病気のメカニズムを解明できるかもしれないという希望に胸を躍らせ、見様見真似で原理や解析を学び、ゲノム医学の研究に従事してきました。

昨年、NTTと東京大学によるゲノム解析を用いた予防医学の共同研究が発足し、その一員として研究に従事できる機会をいただき、この10年間少しずつ温めてきた多くの研究シードが一気に現実のものとなりました。企業の健診データから収集した臨床情報および食生活、生活習慣、嗜好品利用などの情報と遺伝子型の関連を解析することにより、個人の生まれ持った体質に基づく「健康的な生活」の解明、また私の長年のテーマであった「女性のライフサイクルと健康」についての研究に着手できることとなり、この上ない喜びと手ごたえを感じています。研究にご協力いただく社員の皆様とともに、人々が末長く健やかに暮らし、働ける社会のためのゲノム医学研究に精進したいと思っています。

今回、共同研究の新たなフェーズとして、遺伝子検査で得られるゲノム情報に加えて、従業員の健康診断、生活習慣に関する履歴情報を、同意に基づいて集積、解析する新たな取り組みを開始します。本取り組みにより疾患リスク因子と発症抑制についての新たな知見の創出をめざしていく考えです。

また研究を通じて得られた新たな知見について社会実装を図っていくことにより、1人ひとりに最適化されたヘルスケアを実現し、企業の健康経営の推進や産業活性化、人々の健康・幸せに貢献していきます。

#### ◆問い合わせ先

NTT広報室

E-mail [ntt-cnr-ml@hco.ntt.co.jp](mailto:ntt-cnr-ml@hco.ntt.co.jp)

URL <https://www.ntt.co.jp/news2020/2009/200928a.html>

## 生活習慣病予防の社会課題解決に向けて

麻野間 直樹

NTT物性科学基礎研究所 バイオメディカル情報科学研究センター  
総務部門 メディカル事業推進室

### 研究者 紹介

生活習慣病は、日本の死亡者数の約5割、国民医療費の約3割を占めるといわれており、その対策は重要な社会課題となっています。一方で生活習慣病の多くは、病気がかなり進行するまで自覚症状が現れないため、そうなる前に予防や治療というアクションを起こしにくいのが実情です。こうした中で、人間ドックや特定健診でメタボ判定となった人に対し、メタボの先にある生活習慣病にならないよう、いかにして行動変容させるか、という大きな研究課題がありました。

私たちはこれまでに、数年先の生活習慣病の発症確率を予測することができる、生活習慣病リスク予測技術を開発しており、健康診断データから自身の発症リスクが今どの程度か自覚できるようにしました。

そして今回、東京大学医科学研究所との共同研究の中で、私たちはスーパーヒーローの特性分析に取り組みます。スーパーヒーローは、遺伝子情報上は生活習慣病リスクが高いが、発症せずに健康維持している人のことを指しており、NTTライフサイエンスの是川幸士社長が提唱しているモデルです。遺伝子検査結果と健診結果のデータを分析して割り出した、このスーパーヒーロー特有の身体状況や行動の特性から、効果的な改善アドバイスが提供でき、予防のための行動変容や疾病リスク回避につながるものと期待しています。

私たちは、1人でも多くの方が生活習慣病にならずに長く健康でいられる仕組みづくりをめざして、この研究を推進していきたいと思えます。



# Focus on the News

## Sub-6帯・スタンドアローン（SA）方式による本格的ローカル5Gの提供に向けた低遅延通信、エンド・ツー・エンドスライシング機能の実証実験を開始

NTTコミュニケーションズ（NTT Com）は、2020年末に予定されているSub-6帯の周波数帯の実用免許制度化を見据え、スタンドアローン（SA）方式のローカル5Gにおける特長である低遅延通信や、利用用途に応じたQoS（Quality of Service）通信を混在可能とするエンド・ツー・エンドスライシング（E2Eスライシング）機能に関する実証実験（本実験）を、2020年10月より開始しました。

### ■背景

NTT Comでは、ローカル5Gの電波特性試験、アプリケーション試験などに早期に着手するため、昨年度よりミリ波帯（28 GHz帯）とSub-6帯（4.7 GHz帯）の周波数帯、NSA（ノンスタンドアローン）方式のローカル5G向けソリューションを活用し、NTT Comラグビーチーム「シャイニングアークス」のラグビー練習場「アークス浦安パーク」やお客さまの工場において実証実験を行ってきました。NTT Comは、これらの実験で得られた知見を活かしつつ、Sub-6帯・SA方式の実証実験にいち早く取り組みます。ローカル5Gでは、利用される周波数帯域にはミリ波帯とSub-6帯、提供方式にはSA方式とNSA方式など、いくつかの組合せがありますが、Sub-6帯・SA方式の組合せがローカル5Gシステムの本命といわれています。

また5Gの特徴として、「高速大容量通信」「超低遅延」「多数端末接続」がありますが、これらを1つの5G設備で実現するためにはスライシング機能が必要となります。本実験では、お客さまの用途やニーズに合わせたQoS通信を混在可能とするE2Eスライシング機能を実装します。これにより、例えば映像のような高速大容量を必要とする通信と、ロボットの遠隔操作のような超低遅延を必要とする通信など、異なる特性の通信を1つの

Angle : 35.01 [deg]  
Initial velocity : 21.59 [m/s]  
Highest point : 7.82 [m]  
Distance : 44.67 [m]

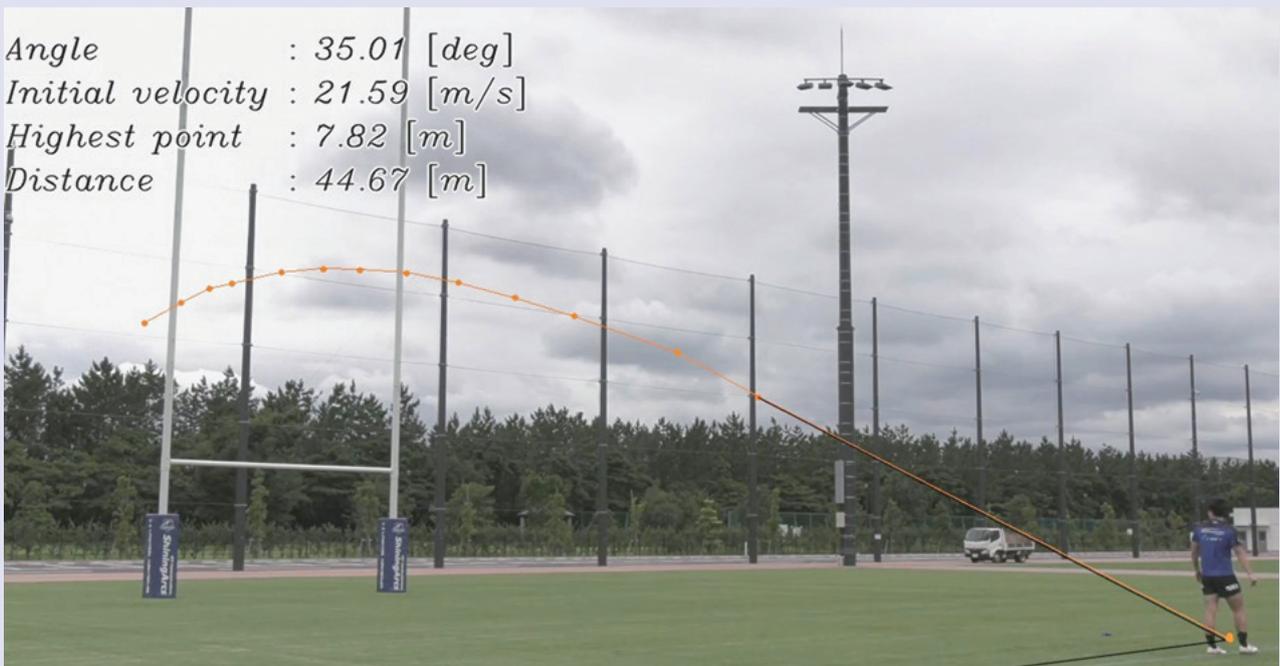


図 実験内容の一例

ローカル5G設備の中で複数実現することができ、お客さまのデータを最適かつ効率的に流通することが可能となります。

#### ■本実験の概要

本実験では、エリクソン社のローカル5G向けソリューション「Edge Gateway」を活用し、Sub-6帯およびSA方式を用いて低遅延通信やE2Eスライシング機能の検証を拡充します。今後は実際のフィールドに配備し、エッジコンピューティング機能やNTT Comのデータ利

活用プラットフォームである「Smart Data Platform (SDPF)」と連携した実証実験を展開していきます。

「Edge Gateway」の導入にあたっては、エリクソン社が世界で先行2社だけと結ぶアーリーアダプター契約を締結します。この契約により、小規模からの運用が開始可能な「Edge Gateway」を他社よりも先行して活用します。NTT Comのローカル5Gソリューションで活用することを想定したチューニングを施し、エリクソン社ともに実証実験を進めていきます。

## ローカル5Gにおける低遅延アプリケーションの検証について

担当者  
紹介

桑折 大悟

NTTコミュニケーションズ

イノベーションセンター テクノロジー部門 ローカル5G技術開発プロジェクト 主査

高速・低遅延・同時多接続の特徴を持つ次世代通信技術「5G」が注目される中、企業が自営の5Gネットワークを構築、運用する「ローカル5G」のソリューションやサービスの事業展開に向けたユースケース開拓のため技術開発に取り組んでいます。しかし、まだまだ5Gの特徴を最大限に活かしたユースケースは少なく、市場における5G利活用推進は課題を抱えている状況にあります。

そこで現在、我々は映像解析をユースケースの1つとし、特徴である低遅延性を検証するためローカル5G網でのアプリケーション試験を進めています。例えば、Smart Factory分野における産業用機器での5G利用といったユースケースでは、5Gの無線ネットワークを活用し、デバイスからローカルエッジ、ネットワークエッジまでの処理時間が、産業用ネットワーク機器間の応答性能（数ミリ秒～数10ミリ秒）と同条件の厳しい要件が求められることを想定しています。これを踏まえ、アークス浦安パークでのラグビーのゴールキックを映像素材に、エッジ拠点で解析処理のかかる映像解析を行うローカル5G環境を構築し低遅延性を検証しています。

このアプリケーションの検証で得られた結果を技術的な糸口に、顧客の潜在的なニーズにこたえられるネットワークアーキテクチャやネットワーク要件を分析して明らかにすることで、今後はSmart Worldの実現に向けた、さらなるローカル5Gの技術開発やユースケースの開拓を推進していきたいと思えます。



## ■実験内容の一例

「アークス浦安パーク」に設置した検証環境を利用し、超低遅延接続の試験を実施します。例えば、ラグビーボールを蹴った瞬間に、超低遅延でエッジコンピューティング上のアプリと通信を行い、即座に角度、初速度、高さ、飛距離を算出する試みを行います。

## ◆問い合わせ先

NTTコミュニケーションズ  
イノベーションセンター

E-mail [5g-info@ntt.com](mailto:5g-info@ntt.com)

URL [https://www.ntt.com/about-us/press-releases/news/article/2020/1013\\_2.html](https://www.ntt.com/about-us/press-releases/news/article/2020/1013_2.html)

## ローカル5Gにおけるエンドツーエンドのスライシング実現について

森藤 福真

NTTコミュニケーションズ  
イノベーションセンター テクノロジー部門 ローカル5G技術開発プロジェクト

担当者  
紹介

ローカル5Gは無線部分だけでなく、エッジやクラウドといったネットワーク上のリソースと組み合わせて提供することで真価を発揮する技術であり、ネットワークをはじめとして、クラウド、IoT等多くのサービスを展開するNTT Comの強みが発揮される技術です。

その一方で、まだまだ新しい制度・技術であり、ユーザからのさまざまなニーズに柔軟にこたえるサービスを提供するうえで、現状の製品や技術の成熟度や、ローカル5Gの先のネットワークとの連携にはまだまだ課題があります。

私たちは、ローカル5Gのサービス化に先立って、無線・アプリケーション・ネットワーク連携等さまざまな技術的観点から検証を進めています。私たちのチームでは特にMEC (Multi-access Edge Computing)・ネットワークスライシングといった技術トピックに焦点を当てて活動しています。

5Gの特性を最大限活用してサービスを展開するには、ローカル5Gを利用するユーザの要求に応じて、ネットワークやエッジコンピューティング環境といったリソースを柔軟に提供することが必要です。これを実現するための技術開発の一環として、無線区間と有線区間を連携し、QoS (Quality of Service) を用いてE2E (End to End) でネットワークを制御する実験を、アークス浦安パークにて実施しています。シンプルですが、今後のスライシング技術開発につながる重要な実験です。

今回得られた知見を基に、引き続きユーザからの要求に柔軟にこたえられるネットワークの実現に取り組んでいきます。



平成2年3月5日第二種郵便物認可  
令和3年1月1日発行毎月1回1日発行  
第33巻第1号

企画編集／日本電信電話株式会社 〒100-8165 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  
発行／一般社団法人電気通信協会 〒101-0003 東京都千代田区ツ橋2-1-1 如水会ビルディング6階  
TEL 03-3288-0608

定価(本体90円+税)