

NTT

ISSN 0915-2318 平成2年3月5日第三種郵便物認可
令和5年11月1日発行 毎月1回1日発行 第35巻第11号(通巻416号)

技術ジャーナル

11

NOVEMBER
2023
Vol.35 No.11

特集

国際標準化動向特集

IOWN構想の早期具現化に向けた取り組みについて

トップインタビュー

丸山 誠治
NTTコノキュー 代表取締役社長

グループ企業探訪

DOCOMO Communications Laboratories Europe GmbH

from NTT ドコモ

企業横断の統計的なデータ活用による社会課題解決を実現する秘匿クロス統計技術



4 トップインタビュー

**機動的経営の強みを活かし、黎明期にある
XR市場で「あたらしい何か」を創造する**

丸山 誠治

NTTコノキュー 代表取締役社長



8 特集1

国際標準化動向特集

10 国際標準化動向特集発行にあたって

14 固定網関連技術の標準化動向

20 無線通信関連の標準化動向

25 環境・オペレーション関連技術の標準化動向

29 アプリケーション・サービス関連技術の標準化動向

34 主役登場 長尾 慈郎 / 小鯛 航太 / 山本 浩司 NTT研究企画部門



36 特集2

**IOWN構想の早期具現化に向けた
取り組みについて**

38 IOWN構想の早期具現化に向けて

——IOWN実用化に向けたNTT IOWN総合イノベーションセンタの取り組み

42 IOWNサービス提供、普及拡大に向けたAPNコントローラ技術

47 IOWN時代のデータ処理を支えるデータセントリック基盤とそのコンセプト実証

53 IOWNを支える光電融合デバイス（第2・第3世代デバイスの開発）



特別企画

57 **「NTT Technology Report for Smart World 2023」の公開について**

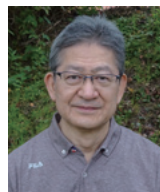
60 **神奈川県立横須賀高等学校の生徒がスポーツアナリストになるまでの成長記
——NTT人間情報研究所の地域貢献活動の紹介**

64 挑戦する研究者たち

五味 裕章

NTTコミュニケーション科学基礎研究所 上席特別研究員

神経反射による腕運動とそのときの
脳内感覚運動情報処理の関係, およびそのメカニズムを解明



特集

68 挑戦する研究開発者たち

王 偉忠

NTTドコモ デバイステック開発部 担当部長

アンコンシャス充電がもたらすスマートライフの実現をめざし,
どこでも無線給電ができる世界に



For the Future

特別企画

71 明日のトップランナー

志水 信哉

NTT人間情報研究所 特別研究員

脳の状態を可視化して人の相互理解を深める
「感性コミュニケーションの実現に向けた脳科学応用技術」



挑戦する研究者たち

74 グループ企業探訪

DOCOMO Communications Laboratories Europe GmbH

NTTグループの技術・知見を活かし,
モバイル通信技術の国際標準化に貢献する会社



挑戦する研究開発者たち

78 from NTTドコモ

企業横断の統計的なデータ活用による社会課題解決を実現する
秘匿クロス統計技術

明日のトップランナー

82 12月号予定
編集後記

グループ企業探訪

本誌掲載内容についてのご意見,ご要望,お問い合わせ先
日本電信電話株式会社 NTT技術ジャーナル事務局
E-mail journal@ml.ntt.com

本誌ご購入のお申し込み,お問い合わせ先
日本電信電話株式会社 電気通信協会 ブックセンター
TEL (03)3288-0611 FAX (03)3288-0615
ホームページ http://www.tta.or.jp/

NTT技術ジャーナルは
Webで閲覧できます。
<https://journal.ntt.co.jp/>



from
NTTドコモ

NTTコノキュー
代表取締役社長

丸山 誠治 Seiji Maruyama

PROFILE

1985年日本電信電話株式会社に入社。2010年NTTドコモ プロダクト部長、2016年取締役執行役員 人事部長、2018年取締役常務執行役員 経営企画部長 モバイル社会研究所、2020準備担当、2019年代表取締役副社長を経て、2022年10月より現職。



機動的経営の強みを活かし、黎明期にあるXR市場で「あたらしい何か」を創造する

誰よりも人と人のコミュニケーションを考えてきたNTTドコモから生まれた、NTTコノキュー。リアルとデジタルの空間を永続的に行き交う新しい体験を生み出すことをめざしています。距離、時間、想像を超えてヒトの心を豊かにし、社会を輝かせるためにXR市場を創造する丸山誠治NTTコノキュー代表取締役社長に、事業の状況とトップとしての心構えを伺いました。

メタバース、デジタルツイン、デバイスの3領域でXR市場に挑戦

NTTコノキューが誕生し、社長に就任されて1年余りが経ちました。この1年を振り返ってのご心境、そして、事業の進捗をお聞かせいただけますか。

NTTコノキュー（コノキュー）は2022年10月に会社としてスタートしました。おかげさまでさまざまなXRサービスを開発し、シャープ株式会社との合併会社「NTTコノキューデバイス」も設立するなど順調に進んでいます。コノキューの社員約200名に加え子会社の社員、そして協業しているパートナーの皆さんとともに、XR (Extended Reality) *の技術開発に勤しみ、やっとコノキューという会社としてのかたちができたと感じているところです。

私たちは主にメタバース事業、デジタルツイン事業、そして、デバイス事業の3領域においてさまざまなサービスやソリューションを提供しています。これらは先に挙

げたXR技術に支えられていますが、実はXR技術は発展途上の技術でもあります。また、XR空間を構成するための3D空間のデータ量は膨大で、それに対応できるように通信回線の高度化やデバイスの進化が必須です。しかし、現在の技術は追いついていないため、できることは限られており、その範囲で製品を工夫しているところです。

このため、私たちはNTTやNTTドコモの研究開発部門と連携して中長期的な技術開発を進めると同時に、NTTグループ内にはないノウハウを補うため、他社とも広く連携しながら、新たな顧客価値を提供できるよう、小規模企業ならではの機動的な事業運営に努めています。

XRは国内外大手との競争が強いられると思います。こうした中で、コノキューはどのような強みを携えて挑まれるのでしょうか。

XR技術は未熟であり、XR市場もまだまだビジネスとして成長段階、黎明期にあり

ます。現在、Meta社をはじめMicrosoft社、Apple社、Epic games社などの有力企業が、XR事業の垂直統合型展開をめざして活発に投資を続け、数年後には市場が大きく成長すると予想されています。さらに、XR市場にはこれらの大企業だけではなく、ベンチャー企業を含むさまざまな企業が参入し、各社がそれぞれの強みを活かした領域に特化して事業を展開して、市場を盛り上げています。

このような状況下において、私たちの強みは2つあります。1つは、XRの構成要素であるサーバ、ネットワークから端末までをフルカバーしている点です。もう1つは私たちが豊かな技術や人材を抱えていることです。もともとNTTグループは「リアルな限界を超えて、夢や思いを体験し、共感し合える世界へ」というNTT XRビジョンの下、各社がそれぞれXRビジネスを展

* XR: VR (仮想現実), AR (拡張現実), MR (複合現実) といった先端技術の総称。



開していました。このビジョンを推進するため、それらを集約して、NTTコノキューが設立されました。

したがって、NTTグループの営業基盤や技術力を活かして、さまざまなビジネスの可能性を提案しながら、こうした強みを携えて、さまざまなビジネスの可能性を模索しながらスピーディにお客さまのニーズをとらえ、それに対応するよう自らの技術を柔軟に組み合わせながら価値提供することに努めています。NTTグループ各社のバックアップには大変感謝しています。

NTTグループの強みを結集し、 広範囲、網羅的に挑む

NTTグループの強みを結集して、広範囲、そして網羅的にXR市場に臨んでいらっしゃるのですね。私たちがその技術力を体験できるチャンスはありますか。

非常に良い機会があります。NTTグループとして2025年開催予定の大阪・関西万博へ参画しますが、私たちの技術力、NTTグループの技術力、コノキューの実力をお披露目する絶好の機会と考えています。

その1つとして、大阪・関西万博の会場

をバーチャルで再現した「バーチャル会場」をNTTが提供し、そのソフトウェア開発を私たちコノキューが担当します。これは会場運営に先進的な技術やシステムを取り入れた万博における「未来社会ショーケース事業」の一環で、仮想空間（メタバース）に万博会場やパビリオンなどを再現して、実際に会場に足を運ばなくても万博の体験ができるサービスです。このバーチャル会場はアバター（分身）で回遊でき、バーチャルパビリオンへの入場や、バーチャル会場内のイベント開催も実施する予定です。

話は少し飛躍しますが、九州の田舎の小学生だった私は1970年に開催された大阪万博を観に行きました。科学好きの少年として万博にとってもワクワクしたのを覚えています。技術者の道を選んだのもその経験が影響しているようにも感じます。「バーチャル会場」を通して、皆さんにこうした夢や希望のある体験をしていただければと思います。

また、前述のようにXRは未完の技術ですし、一般の方はXRとはどのようなものか実感が持てないこともあると思います。しかし、体験していただくことでXRの面白さを実感していただけて、XR技術に対

する印象も変化します。このため、XR技術の体験をしていただけるように、秋葉原駅電気街改札口に「XR BASE」(<https://www.nttqonoq.com/xrbase/>)を開設しました。入場は無料ですから、ぜひお気軽にご体験ください。

XR技術を体験していただければ、実社会にどう活かしたいかという希望も現実味を帯びそうです。すでにプレスリリース等でも発表されていますが、さまざまなソリューションの提供が始まっていますね。

メタバース分野では、アバターをより人間らしく表すことに注力していきます。具体的には、「DOOR」というWeb版仮想空間プラットフォーム上で、より人間らしいアバターによる応対をAIの活用により実現していきます。

コノキューでは、XR Concierge（コンシェルジュ）という、アバターと対話型・生成AIをカスタマイズした対話エンジンを組み合わせたソリューションを提供しており、これらの技術・ノウハウをメタバース上に展開することで、ユーザの感情を分析したり、状態を推定して、ユーザに寄り添ったアバターによる応対を実現します。

NTTグループが培ってきたAI技術の活用も視野に入れ、グループ各社の皆様と検討を進めております。

また、新型コロナウイルス感染症によりリモートワークが浸透しましたが、なかなかリアルのようなコミュニケーションが難しいというお声があります。そこで、XRラウンジというサービスを開始しました。アバターを使った小さなメタバース空間により、雑談をはじめとしたインフォーマルコミュニケーションを促すことができるよう工夫しています。

一方、少子高齢化による人手不足などが叫ばれる中、AR (Augmented Reality) 分野においては「遠隔操作」で社会課題の解決に臨んでいます。「NTT XR Real Support」(<https://www.nttqonoq.com/realsupport/>) はMR (Mixed Reality) 技術を用いた遠隔支援ソリューションで、例えば、インフラ業界等における保守業務

の現地省力化や、製造業における機械の操作支援や現地保守サポートを担います。遠隔で熟練の技術を伝えられるため、農業や消防署等、多彩な現場で、すでにご活用いただいています。さらに特徴の1つである立体的にモノが見えることをさらに活かして、歯科等の医療分野や教育分野での有効活用も模索しています。

XR市場は主に産業分野で活発に動いており、体験していただくとその良さを実感していただけますから、2023年1月に開催された「第7回スマート工場EXPO東京」にも出展しました。ブースでは「Real Support」に新たな対応機種を追加し、ハンズフリーのMR遠隔支援をご体験いただきました。

さらに、軽量眼鏡型デバイスをコノキューとして自社開発しており、2024年には発売予定ですのでどうぞご期待ください。

直観は顕在化されていない教訓がある

NTTに入社されて、重ねられてきたご経験はコノキューのトップとしてのお仕事に生きていらっしゃいますか。

前職であるNTTドコモの副社長からコノキューの社長となりましたが、NTTドコモとコノキューでは会社の規模が全く違うこともあり、大きな変化を感じています。

また、私はNTTに入社して、技術者として歩みつつ、会社のトップも何回か経験させていただきました。そのときの経験は今の仕事にも役立っていますが、そのうちの1つ、2年ほどトップを務めたドコモ・プラスハーティ社での経験をお話いたします。

ドコモ・プラスハーティ社は重度の知的障がいのある方を中心に雇用を進めることを目的として設立されました。清掃などを手掛ける会社で、コノキューと同程度のサイズです。当時の私は、障がいを持つ社員が働きやすく、仕事がかどるよう環境を整え、やり方を工夫しました。社員はこれを受けて業務現場で一生懸命、丁寧に仕

事してくれたので、その仕事ぶりがお客さまからとても喜ばれ、フィードバックがありました。とても嬉しかったですね。

実は、このコミュニケーションの重要性を今になって再度実感しています。現場の声がトップにダイレクトに届き、迅速にそれに対応できる、このスピード感やフットワークの軽さ、機動的経営と評される小さい会社の良さはこういうところにあると思います。

こうした経験を基に、社員とのダイレクトコミュニケーションはコノキューでも続けており、また、ワインの会などの社内イベントを開いたり、eスポーツ大会に参加したりして、担当者と直接コミュニケーションをとる機会を増やしていますが、これは私にとっては非常に有意義で楽しいことです。

そして、もう1つ。過去の経験から大切にしているのは失敗を恐れないことです。もちろんビジネスですから失敗を減らす努力も重要ですが、一方で、何事にもチャレンジする姿勢も同じくらいそれ以上に大切なのです。失敗を恐れていては、チャレンジはできません。

繰り返しになりますが、XRは未知の領域でもあり、新しい何かを創造することが私たちの仕事です。失敗しても繰り返しチャレンジしようと日頃から社員には伝えていきます。

さまざまなご経験を基に舵取りをされているんですね。トップに求められている力とはどんなことだとお考えですか。最後に皆さんへのメッセージもお願いいたします。

まずはトップとは最終判断を下す人です。大きな組織では各部署の長がそれぞれの立場で慎重に判断した結果が上がってくるので、それを考慮して判断するわけですが、私たち程度の規模ですと現場から直接、相談等が上がってきます。この場合、決断には特にスピード感を求められますからトップは大変ですが、私は極力その場で判断するように心掛けています。

そして、過去の事例や数字、失敗例を見





て分析することも大切ですが、真意、真理を確認するために心の声を聞くことも重要です。そして、最後は「直観」です。こう表現すると何となく無責任に感じられるかもしれませんが、直観とはこれまでの経験に基づいた判断を瞬時にするということができません。そういう意味では「直観は顕在化されていない教訓」なのかもしれません。

もう1つ。社員のみならず、自分自身の「好奇心」を大切にすることです。好奇心は新しいものを見せてくれ、物事の違う角

度からの見方を教えてくれます。私たちは世の中のすべてを知っているわけではありません。広くさまざまな立場の方々と話すことで好奇心は刺激されますから、どんな立場にたっても忘れずに持ち続けたいと思います。

さて、謙虚にこうした経験を踏まえ、特に研究者の皆さんには好奇心を抱き、失敗を恐れずに仕事に従事していただきたいです。失敗は成功の母と言いますが、成果や取り組みの積み重ねがなければ気付きは得られません。技術者として歩んできた経験

から、皆さん自身の手掛けている研究開発が重要だと信じ、それに挑まれる気持ちを尊重したいと考えています。

企業、コンシューマーのお客さま、XR技術はどんどん進化しています。ぜひ体験して感想をお聞かせください。頂戴した感想や実感が新しい扉を開くことにつながります。そして、パートナーの皆さん。私たち自身でできることには限りがあります。ぜひこれからも協働していきましょう。

(インタビュー：外川恵恵/撮影：大野真也)

インタビューを終えて

丸山社長に最初にお会いしたのは2019年。NTTドコモの副社長時代にトップインタビューにご登場いただきました。当時と変わらず爽やかな笑顔で「お久しぶりです！」と声をかけてくださいました。「気さくでおおらか」という丸山社長のお人柄はご健在で、全スタッフを巻き込んで穏やかで楽しい雰囲気インタビューを盛り上げてくださいました。そんな丸山社長が最近夢中になられているのは「ゲーム」です。かねてからゲームはお好きだったそうですが、コノキューのトップとなっても、やはりご

趣味と仕事を兼ねて貴重なお時間を使われています。「私たちがXRに使っている技術はゲーム由来のモノが多いですし、メタバースをけん引されている方はマルチプレイヤーオンラインゲームに原体験のある方が多いです」と丸山社長。どんなご経験も楽しまれる一方で、冷静に分析されています。変わらず、読書にも勤しんでおられるそうで、ご紹介くださった最近の一冊は「銀河鉄道の父」で、息子の宮沢賢治を信じてサポートした父親の在り方に共感されたと言います。XR市場をけん引するトップの冷静さ、大きさと温かさを感じたひと時でした。



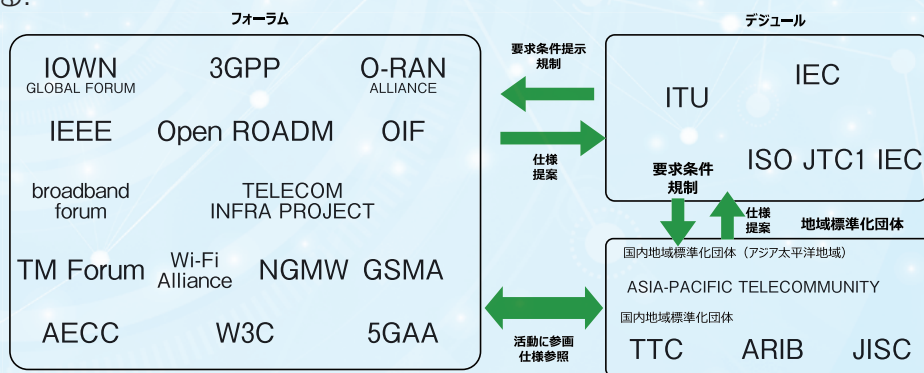
国際標準化動向特集

価値観が目まぐるしく変化しさらに多様化していく現代において、安定した市場を確保し事業の維持と発展の予見可能性を高めることは企業活動にとって喫緊の課題であり、国際標準化への積極的な関与がこれまで以上に重要となっている。本特集では、NTTグループの国際標準化動向について紹介する。

国際標準化動向特集発行にあたって

10

特集記事の導入として、国際標準化の歴史的な背景や経済的な利益について、また昨今の国際標準化を取り巻く動向やNTTグループの取り組みの全体概要について紹介する。



固定網関連技術の標準化動向

14

ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector) SG15における伝送網技術および光部品技術の国際標準化動向についてNTTの活動を紹介するとともに、関連する国際標準化団体等の取り組みを紹介する。

国際標準化

固定通信網

無線通信網

通信品質・環境影響評価

符号化・セキュリティ

無線通信関連の標準化動向 ————— 20

モバイル通信，衛星通信，固定無線，電波伝搬の標準化についてNTTグループの活動内容，および最近の動向を紹介する。

環境・オペレーション関連技術の標準化動向 ————— 25

アプリケーションサービス品質に関する指標の標準化，ネットワークサービスの促進に向けた活動，電磁妨害波や雷サージからの通信設備の防護，気候変動・循環型経済に関する活動，および標準化動向について紹介する。

アプリケーション・サービス関連技術の標準化動向 ————— 29

マルチメディア符号化・伝送分野のISO (International Organization for Standardization) /IEC (International Electrotechnical Commission) JTC (Joint Technical Committee) 1/SC (Subcommittee) 29, ITU-T SG 16における標準化動向について紹介する。

主役登場 長尾 慈郎 / 小鯛 航太 / 山本 浩司 (NTT研究企画部門) — 34

NTTグループの標準化ハブをめざして



国際標準化動向特集発行にあたって

本稿では特集記事の導入として、国際標準化について、その歴史的な背景や経済的な利益について、また昨今の国際標準化を取り巻く動向やNTTグループの取り組みの全体概要について紹介します。2023年1月より尾上誠蔵氏が、ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector) のトップ〔TSB (Telecommunication Standardization Bureau) 局長〕に就任され、G7デジタル・技術大臣会合の閣僚宣言においても国際標準化の協力体制がうたわれるなど、国際標準化にかかわる気運がこれまでにないレベルで高まっており、この機会に最新動向やNTTグループの取り組みについて紹介します。

キーワード：#国際標準化、#ITU、#標準化推進室

やまもと ひろし
山本 浩司
ながお じろう
長尾 慈郎
こだい こうた
小鯛 航太

NTT 研究企画部門

国際標準化の必要性とその意義

■国際標準化の必要性

情報通信分野のサービスが成り立つためには構成機器が相互に接続され、設計されたとおりに動作することが大前提であり、端末とネットワークやネットワーク事業者間のインタフェースの取り決めが不可欠です。情報通信は非常に広い技術分野から構成されるため、ある特定の1社がすべての技術や機器を提供することは実質的には不可能であり、物理インタフェースや信号変換プロトコルなどの標準化が不可欠となっています。情報通信分野においては、当初は国をまたいで電信電話サービスを提供することを目的に国際標準化が進められ、標準化トピックの中心はインタフェース規定や電気通信番号、料金精算などでした。しかし現在では、環境・気候変動対策やマルチメディア、セキュリティなど、その検討スコープは多岐にわたっています。参考情報として電気通信分野の国際標準化を所掌する国連機関であるITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector: 国際電気通信連合 電気通信標準化部門) の課題構成を表1で紹介いたします。

情報通信サービスが高度・複雑になるにつれ、国際標準化の必要性は高まってきた歴史があります。NTTグループが実現をめざすIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想の普及展開において、今後ますます国際標準化の重要性が高まっていくと考えられます。

■国際標準化がもたらす経済的恩恵

国際標準化によって相互接続性が高まるのが最初に連想されますが、(1)装置インタフェースが規定されることで装置提供者間の競争が拡大し品質向上と価格低減が期待できる、(2)標準化された技術が多くの製品に搭載されることで技術開発がもたらす収益の期待値や研究開発の効率性が高まる、(3)標準化が品質と安全の基準を定め公正な競争環境の確立に寄与する等、このほかにもさまざまな恩恵が期待されます。

国際標準化がもたらす経済的恩恵を具体的な数字で示すのは困難ですが、諸外国での試算例を紹介いたします(表2)。

上記は諸外国においてなされた分析の一例ではありますが、国際標準化を通じて巨額の経済的利益が創出されていることが伝わるのではないかと思います。

■WTO 協定

自由で公平な貿易を維持するという観点からWTO(世界貿易機構: World Trade Organization)は加盟国に対し、各国の規制などで用いられる強制規格や任意規格、適合性評価手続きを国際標準に整合させるよう義務化する「TBT協定(Agreement on Technical Barriers to Trade)」を1995年に発効させました⁽¹⁾。また、WTO協定ではITU等のデジュール標準を念頭に、政府およびその関連機関が調達する物品の性能に関する技術仕様については、すでにそれが存在する場合、国際標準に基づいていなければならないことを規定した「政府調達協定(Agreement on Government Procurement)」についても定められています。

さらに、政府調達協定が適用されるのは、

表1 ITU-Tの課題構成(2022-2024年会期)

Study Group	Study Groupのタイトル(検討課題)
SG2	サービス提供の運用側面及び電気通信管理
SG3	料金及び会計原則並びに国際電気通信・ICTの経済及び政策課題
SG5	電磁場、環境、気候変動対策、持続可能なデジタル化及び循環経済
SG9	音声映像伝送及び統合型広帯域ケーブル網
SG11	信号要求、プロトコル、試験仕様及び通信/ICT機器の偽造対策
SG12	性能、サービス品質(QoS)及びユーザー体感品質(QoE)
SG13	将来網と最新ネットワーク技術
SG15	伝送網、アクセス網及びホームネットワークのためのネットワーク、技術及び基盤設備
SG16	マルチメディア及び関連デジタル技術
SG17	セキュリティ
SG20	IoTとスマートシティ・コミュニティ

中央政府や地方政府機関だけでなく、その関連機関も対象となっており、NTT持株会社、NTT東日本、NTT西日本は同協定の附属書に対象としてリスト掲載されています。このため、仮に前記の3社が国際標準に準拠しない通信機器等の調達を行った際には、WTO協定違反として指摘されるリスクがあります。NTTグループの事例

ではありませんが、JR東日本が当時はデジタル国際標準となっていなかったFelica方式の電子マネーの採用を発表した際に上記協定違反として当該対応委員会に提訴されたなどの事例もあります⁽²⁾。

国際標準化は経済的な恩恵をもたらす一方で、これが原因でWTO協定違反となるリスクもはらんでおり、これまで以上に重

要な取り組みになってくるものと思われます。

国際標準化を取り巻く動向

■国際標準化機関・団体

国際標準化機関・団体には、その成り立ちや標準制定プロセス、標準の位置付けの観点で以下の3つのカテゴリーに分類され

表2 国際標準化がもたらす経済インパクトの分析

対象国	出版年	集計期間	経済的インパクト	出典
ドイツ	2000	1960-1996	GDPを27%向上	Blind, K., Jungmittag, A., and Mangelsdorf, A. (2011). The Economic Benefits of Standardization. An update of the study carried out by DIN in 2000. DIN German Institute for Standardization.
オーストラリア	2006	1962-2003	GDPを22%向上	Standards Australia. (2006). Standards, Innovation and the Australian Economy. Canberra and Sydney.
フランス	2008	1950-2007	GDPを24%向上	Miotti, H. (2009). The Economic Impact of Standardization: Technological Change, Standards Growth in France. AFNOR Group.
英国	2015	1921-2013	GDPを28%向上	Hogan, O., Sheehy, C., and Joyasuriya, R. (2015). The Economic Contribution of Standards to the UK Economy. Centre for Economics and Business Research and British Standards Institute (CEBR).
ノルウェー	2018	1976-2014	GDPを28%向上	Grimsby, G. (2018). The Influence of Standards on the Nordic Economies. Menon-Publication No. 31.
ベルギー	2020	1994-2018	GDPを19%向上	Buts, C., Dooms, M., Soyeur, F., Droogenbroeck, E. V., and Willems, K. (2020). The Impact of Standards on the Belgian Economy. Bureau de Normalisation (NBN).
カナダ	2020	1981-2019	GDPを17.4%向上 労働生産性を38.4%向上	Liao, D. (2021). Every Standard Counts –How Standardization Boosts the Canadian Economy. Ottawa: Standards Council of Canada.

世界に真価をもたらす国際標準化をめざす

尾上 誠蔵

国際電気通信連合 (ITU) 電気通信標準化局 (TSB) 局長

2023年1月にITU TSB局長に就任してから、早くも8カ月が経とうとしています。選挙中の日本政府やNTTグループを含む皆様のご支援に深く感謝申し上げます。

ICTの標準化は多くの標準化団体が存在し、それぞれの強みを活かして連携することがますます重要になっています。ITUは発展途上国を含む世界中にリーチすることが最大の特徴であり、その役割を果たしていきたいと考えています。

ITUの戦略的目標：1. Universal Meaningful Connectivity, 2. Sustainable Digital Transformationに対して、

ITU-Tとして標準化を通じて貢献していきます。

標準化は、その技術標準が広く普及して初めて本当の価値が生まれます。世界への技術標準の普及で市場は拡大し、競争原理も働き、コスト・価格が低下し、さらに普及が進む好循環で、手ごろな価格のサービス提供の実現に近づきます。技術標準を実装し展開する産業界の役割も大きく、NTTおよび民間企業の皆様には、今後もITUを活用した実装可能な標準の開発に加え、技術標準の普及を通じて、企業の発展とともに世界中の人々の



生活や社会にも価値をもたらすITUの活動をご支援いただければ幸いです。

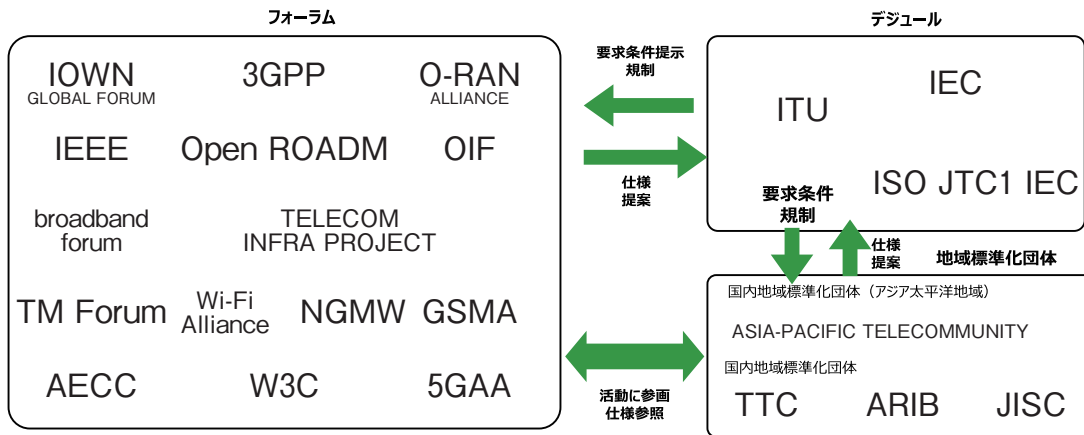


図 NTTグループが参画する主な国際標準化団体等

ます。

- ① デジュール：公的で明文化された手続きによって作成された標準で、その効力は全世界に及びます。WTOの協定によれば、ITU、IEC、ISOの3つの機関のみがこのカテゴリーに属します。
- ② フォーラム：特定分野に関心のある企業等が集まってフォーラムを結成して作成した標準で、その効力はフォーラムの加盟メンバーに閉じた範囲であるものの、参加者が限られていることからより早く適切な粒度の標準を制定することができます。代表的な例として、3GPP (Third Generation Partnership Project) や IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) などがあります。
- ③ 地域・国内標準：特定の地域内や、各国内のみで適用される標準が制定されます。またITUなどのデジュール団体に対して各地域としての政策提案の連携の場としても活用されています。代表的な例として、ETSI (欧州電気通信標準化機構)、APT (アジア・太平洋電気通信共同体) や国内標準団体としては情報通信技術委員会 (TTC)、電波産業会 (ARIB) があります。

上記3つのカテゴリーの標準化機関・団体にはそれぞれ一長一短の特色があり、3つのカテゴリーの活動のバランスを取りつつ、必要に応じて連携していくことが重要となります。一例を紹介すると、比較的

検討スピードが速いフォーラムにおいてフォーラム標準を制定、それをデジュールに提案し公的標準化を進めるなどのプロセスがよく知られており、この実現には各団体の状況を的確に把握したうえで、連携に向けたチャンネルを構築・維持することが極めて重要となります。

■ G7デジタル・技術大臣会合の閣僚宣言

2023年4月に群馬県高崎市で開催されたG7デジタル・技術大臣会合において、安全で強靱なデジタルインフラに関する議論が行われ、その成果文書の中で国際標準化に関する提言が行われました⁽³⁾。下記にその一部を紹介します。

- ・付属書2：現在のデジタルインフラの安全性と強靱性を向上させるこれらの取組に加えて、我々は、Beyond 5G/6G時代の次世代ネットワークのビジョンを共有することの重要性に留意し、Beyond 5G/6G時代の将来のネットワークに関するG7ビジョンを承認する。我々は、2030年代以降のデジタルインフラの構築に向けて、研究開発及び国際標準化に関する協力を強化することを約束する。

- ・付属書3：我々は、安全で強靱性のあるデジタルインフラを構築するための上記の取組をまとめた安全で強靱なデジタルインフラの構築に向けたG7アクションプランを承認する。発展途上国における安全で強靱なデジタルインフラを支援するために、我々は世界銀行やITUなどの国際機関や開発機関と

協力することを目指す。

G7閣僚級会合においても国際標準化の重要性と今後の協力量針が示されるなど、大臣クラスが集まる場においても国際標準化、特にデジュール標準の重要性が改めて認識されつつあることがうかがえます。

■ NTTグループの取り組み

図にNTTグループが主に参画・関連している標準化団体を上記のデジュール、フォーラム、地域・国内標準のカテゴリーで分類整理しました。

デジュールにおいては特にITUにおいて、固定網、無線網、環境・運用、アプリケーション・サービスで幅広く活動が行われています。

地域標準化団体においては世界最大の地域団体であるAPT (Asia-Pacific Telecommunity) を活用し、アジア太平洋地域の提案をとりまとめITUへ提案を行うなどの活動を進めています。また日本国内においては、TTCやARIBなどの国内標準化団体においてITU標準の国内標準化(ダウンストリーム)などの活動が進められています。

フォーラム団体においては、NTTが設立メンバーの1社として加わったIOWN Global Forumや、モバイル系の技術標準を議論する3GPPにおいて特に活発に活動が進められています。

今後、IOWNや6Gの世界の実現に向けて、各機関や団体内の活動を充実させつつ、団体間の連携に向けたNTTグループ横通しの標準化活動の強化を図っていく予定

です。

特集号発行にあたって

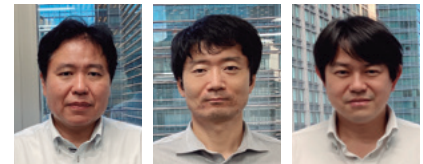
2023年1月よりNTTドコモでCTOを務められ、持株会社においてもCSSOも務められた尾上誠蔵氏が、ITU-Tのトップ〔TSB (Telecommunication Standardization Bureau: 電気通信標準化局) 局長〕に就任され、G7デジタル・技術大臣会合の閣僚宣言においても国際標準化の協力体制がうたわれるなど、国際標準化にかかわる気運がこれまでにないレベルで高まっており、NTTグループのさらなる国際競争力強化に資するため、NTTでは標準化推進室の組織強化とグループ横通しの連携体制の強化を進めています。

本特集記事では、NTTグループの国際標準化の全体像とその最新状況を広く知っていただくために、記事2において固定網関連技術⁽⁴⁾、記事3では無線網関連技術⁽⁵⁾、記事4では環境・運用等に関連する技術⁽⁶⁾、記事5ではアプリケーション・サービスに関連する技術の国際標準化動向⁽⁷⁾について

国際標準化の最前線で活動されている方々に執筆いただきました。読者の皆様の国際標準化に関するご興味とご理解を深めることに少しでも貢献できれば幸いです。

■参考文献

- (1) https://www.wto.org/english/docs_e/legal_e/17-tbt_e.htm#art1
- (2) https://www.jisa.or.jp/Portals/0/resource/activity/standard/important_4.html
- (3) https://www.soumu.go.jp/joho_kokusai/g7digital-tech-2023/topics/topics_20230430.html
- (4) 浅香・王・鬼頭・胡間・小山・近藤・坂本・曾根：“固定網関連技術の標準化動向,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No. 11, pp. 14-19, 2023.
- (5) 小鯛・永田・立木・岸田・岩谷・大槻・山田・中谷・坂本：“無線通信関連の標準化動向,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No. 11, pp. 20-24, 2023.
- (6) 奥川・原・堀内・山岸：“環境・オペレーション関連技術の標準化動向,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No. 11, pp. 25-28, 2023.
- (7) 杉本・長尾・安田・菊池・市川：“アプリケーション・サービス関連技術の標準化動向,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No. 11, pp. 29-33, 2023.



(左から) 山本 浩司/ 長尾 慈郎/
小鯛 航太

国際標準化活動は多岐にわたっており、記述すべき活動内容が非常に多く、特集記事として非常に分量の多い構成となってしまいましたが、ご興味のある技術分野のパートだけでも読んでいただき、皆様の理解の一助となりましたら大変嬉しく思います。

◆問い合わせ先

NTT 研究企画部門
標準化推進室
E-mail std-office-ml@ntt.com

TTC の取り組みと標準化活動への貢献

岩田 秀行

一般社団法人情報通信技術委員会 (TTC) 代表理事専務理事

情報通信の国際的なルール形成の場は、取り扱う課題やテーマの広がりによって、ITU等の標準化団体に加え、フォーラムやコンソーシアムといった業界団体や、オープンソースコミュニティ等、多様化の流れが加速しています。

このような状況において国内標準化団体である一般社団法人情報通信技術委員会 (TTC) が、国内議論の場としての役割を果たすために、従来のITU-Tに対応した専門委員会の活動に加えて、分野・業界横断的な活動を支援する「業界イノベーションワーキングパーティ (WP)」の取り組みを強化しています。WPでは、複数の企業や団体が連携して、新たな取り組みに対する議論、検討、調査、開発、

実証等を行う環境を用意しています。

また、国内外の標準化団体との連携のほか、関連する産業として自動車、医療、農業等さまざまな業界、団体とさまざまな方法で連携も進めています。社会課題解決に向けた取り組みとしては、東南アジアでのICTの利活用と標準化の推進・普及活動に、各国政府機関等との信頼関係を築きつつ10年以上継続して取り組んでいます。

最後に、TTCでは継続して人材育成にも取り組んできましたが、社会変化と対応の緊急性を踏まえ、人材育成を扱う時限的なアドバイザーグループを新設し、具体的な対応策を検討しています。

IOWNをはじめ、日本発の情報通信技



術がさまざまな産業で活用され、国際ルールを形成していく過程に、国内議論や連携、人材育成の場として、TTCも貢献していきます。



固定網関連技術の標準化動向

近年、クラウドコンピューティング、第5世代移動通信、遠隔医療、高精細映像伝送などの多様なサービスの進展と固定網トラフィックの増大に対応するため、国際標準化団体やフォーラム団体により固定伝送網および光部品の仕様拡充や相互接続性確保に向けた標準化活動が行われています。これらのうちITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector), IEC (International Electrotechnical Commission), BBF (Broadband Forum), Open ROAD MSA (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer Multi-Source Agreement) におけるNTTの活動の一例を、本稿で紹介いたします。

キーワード：#固定網, #光ファイバ, #光コネクタ

固定網関連技術の国際標準化の概要

ITU (International Telecommunication Union) は国連機関の1つであり、国連加盟国・地域により構成される国際標準化機関です。ITUのうち、情報通信の国際標準化を担当する部門がITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector) であり、対象とするスコープごとに11のSG (Study Group) に分かれて活動しています。その中でSG15 (Transport, access & home) は通信の基盤となる伝送網に関連する複数の技術領域 (課題) を担っています⁽¹⁾。本稿では、ITU-T SG15 における伝送網技術および光部品技術の国際標準化動向についてNTTの活動を含めて紹介するとともに、関連する国際標準化団体IEC (International Electrotechnical Commission) とフォーラム団体BBF (Broadband Forum) および Open ROAD MSA (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer Multi-Source Agreement) における活動状況も合わせて紹介します。

伝送網技術の動向

本章では、アクセス網、ホーム網、メトコ網およびコア網に関する標準化動向を概説します。

FTTH (Fiber To The Home) サービ

スを提供するアクセス網については、ITU-T SG15 課題2とIEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers: 米国電気電子学会) において、それぞれ国際標準化が進められています。FTTHでは、通信ビルに配置されたOLT (Optical Line Terminal) と各ユーザ宅に配置されたONU (Optical Network Unit) とを光スプリッターを介して1対多接続するPON (Passive Optical Network) システムが活用されています。国内では、各ONUが異なる時間スロットでOLTと通信するTDMA (Time Division Multiple Access: 時分割多重アクセス) -PONにより、最大伝送速度10 Gbit/s級のサービスが提供され始めています。IEEEでは802.3caタスクフォースにおいて、上下通信で最大伝送速度25 Gbit/s、50 Gbit/sの通信サービスを提供可能な25G-EPON (25 Gb/s Ethernet Passive Optical Networks), および50G-EPON (50 Gb/s Ethernet Passive Optical Networks) が2020年に標準化されました。50G-EPONでは、TDMA方式に加え、波長多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) を前提とし、波長当り25 Gbit/sの信号を2波長結合することで伝送速度50 Gbit/sを提供する方式が採用されました。

一方、ITU-T SG15課題2では、50 Gbit/s級PONシステムとして50G-PON (50 Gigabit-capable Passive Optical Networks) が2021年に標準化されました。50G-PONは、従来と同様に単一波長で伝

あさか こうた^{†1} / おう ひろし^{†1}
浅香 航太 / 王 寛^{†1}
まとう ちひろ^{†1} / こま りょう^{†1}
鬼頭 千尋 / 胡間 遼^{†1}
こやま りょう^{†1} / んどう よしひろ^{†2}
小山 良 / 近藤 芳展^{†2}
さかもと たいじ^{†1} / そね よしあき^{†3}
坂本 泰志 / 曾根 由明^{†3}

NTTアクセスサービスシステム研究所^{†1}
NTTアドバンステクノロジー^{†2}
NTT未来ねっと研究所^{†3}

送速度50 Gbit/sを提供する構成を基本としています。加えて、時間スロット、および波長をユーザごとに柔軟に割り当て可能なTWDM (Time and Wavelength Division Multiplexing: 時間・波長分割多重) 方式を採用した構成の仕様策定を行っています。これらに対しNTTは、DSP (Digital Signal Processing) の適用に伴う信号引き込み時間の拡大を想定したフレーム構成や、TWDM化に伴うコスト分析に関する寄書提案などの貢献をしています。さらに現在は、波長当り50 Gbit/sを超える広帯域化を提供するG.VHSP (G.Very High Speed PON) の策定に向け、サービス要件・要素技術をまとめた補足文書の検討が2024年7月の合意をめぐり行われています。NTTは引き続き、通信事業者としてサービス・技術要件を提案し、議論をけん引していきます。

ホーム網に関する国際標準化は有線 (電話線、電力線、同軸線、光ファイバ) のほか、可視光を使った光無線通信トランシーバの標準化がITU-T SG15 課題3で進められ、スマートメータをはじめとするスマートグリッド応用も含めホームや構内におけるブロードバンドサービス提供を実現する伝送技術やホーム網全般のアーキテクチャに関する標準を作成しています。近年では、スマートグリッド応用として欧州の電力事業者が提案した、電力線通信用の使用帯域が狭い環境における伝送効率を高めるためにサブキャリア間隔を小さくした新規OFDM (Orthogonal Frequency-Divi-

sion Multiplexing：直交周波数分割多重方式）パラメータを規定するブロードバンド向け仕様をG.9964として改訂標準化した一方、欧州の別の電力事業者が提案した狭帯域OFDM電力線通信規定をG.9901およびG.9903として標準化し、それぞれ欧州において実運用に供されています。G. vlc（Visual Light Communication：可視光通信）に関しては10 Gbit/s超えの伝送速度を可能とする次世代向け光通信の実現に向け、サブキャリア数を増やすことによる帯域拡張方式のほか、Narrow beam OWC（Optical Wireless Communication：狭角光無線通信）トランシーバの標準化に向けユースケースおよびその要件に関する検討を進めています。また、光ファイバを使ったFTTR（Fiber To The Room）に向けた高速屋内トランシーバ規定に関してはシステムアーキテクチャ規定の標準化が完了し、今後は物理層、データリンク層、制御・マネジメント層に関する議論を進める予定です。さらに、アクセス網におけるPON技術との比較検討や相互連携、アクセスネットワークから端末（Wi-Fi等）までの伝送品質を踏まえたOMCI（ONU Management and Control Interface：ONU管理制御インタフェース）プロトコルの拡張や管理運用を対象とするアーキテクチャ全般に関する議論を行っています。

アクセス網の管理制御技術は、BBFにて標準化が進められています。BBFは、ブロードバンドサービスの普及促進、システム管理・制御プロトコル仕様および相互接続仕様策定を推進するグローバルなフォーラム団体です。近年は、SDN（Software Defined Network：ソフトウェア定義ネットワーク）・NFV（Network Function Virtualization：ネットワーク機能仮想化）などの仮想化技術を導入したアクセスシステムの各種仕様策定に加え、管理・制御の自動化に関する仕様策定にも取り組んでいます。本項では、BBFにて仕様化されたアクセス網の管理・制御の自動化を実現するAIM（Automated Intelligent Management：自動化インテリジェント管理）について紹介します。

AIMは、TR（Technical Report：技術報告）-436“Access & Home Network O&M Automation/Intelligence”として仕様化されました⁽²⁾。図1に、AIMのフレームワークを示します。AIMでは、管理制御対象のノードの状態・情報を収集し、その変化に基づき、あらかじめ決められたポリシーに従って適した設定を分析し、管理制御対象を自動制御します。AIMを実現するための主要構成機能は以下のとおりです。

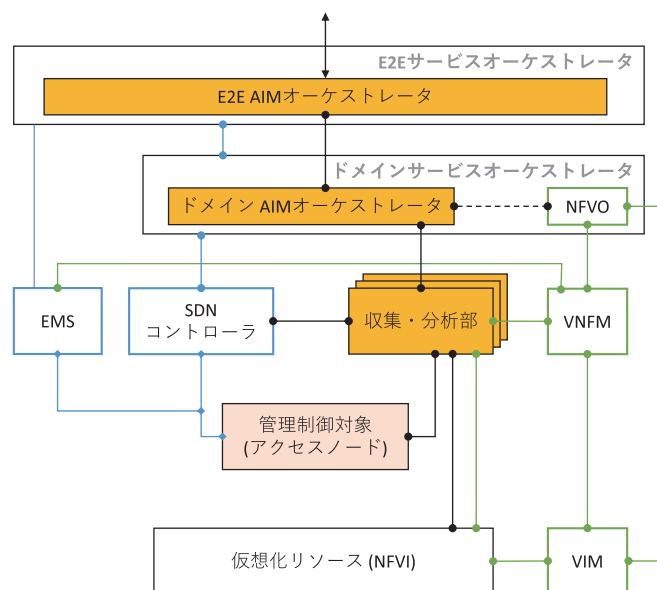
- ① 収集・分析部：状態・情報の収集お

よびポリシーに基づく分析を行う

- ② E2E（エンド・ツー・エンド）AIMオーケストレータ、ドメインAIMオーケストレータ：通信事業者により指定される分析用ポリシーを収集・分析部に設定する

収集・分析部は仮想化リソース上に実装されます。また、分析結果（新たな設定）はSDNコントローラを介して管理制御対象に投入されます。本技術により、例えばアクセスノードの故障を検知し、迂回経路の設定を行う等の管理制御の自動化の実現が期待できます。TR-436ではAIMのためのアーキテクチャおよび機能要件が定められています。現在BBFでは、AIMのためのインタフェース要件およびAIMの拡張に向けた検討を進めています。NTTは、AIMの拡張として光アクセス網や無線アクセス網等の異なるドメインをまたいだリアルタイムでの自動管理制御技術の提案活動に取り組んでいます。

メトログ網、コア網の光波長多重伝送に関しては、Open ROADM MSAにて、オープンでフレキシブルなROADM（Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer）網の実現をめざした、相互接続仕様の規定が進められています。Open ROADM MSAは2016年に発足し、2023年10月時点で15社の通信事業者メンバと、16社の



EMS：Equipment Management System
NFVO：Network Function Virtualization Orchestrator
VNF：Virtualized Network Function Manager
VIM：Virtualized Infrastructure Manager
NFVI：Network Function Virtualization Infrastructure

図1 AIMフレームワーク⁽²⁾

OEM (Optical Equipment Manufacturer) メンバの計31社がメンバとして活動に参画しています。規定する相互接続仕様は、光伝送インタフェース (物理レイヤ) の規定と、コントローラ向けのAPI (Application Programming Interface) との2つの領域があります。Open ROADM MSAのターゲットは、オープンな標準インタフェースを規定することにより、従来の通信事業者網で課題となっていた垂直統合型のシステムによる特定ベンダへのロックインを回避し、オープンで柔軟なネットワークを実現することです。

Open ROADM MSAで想定されるROADMの網構成および、インタフェース定義を図2に示します。Open ROADMの規定する仕様には、物理レイヤの光インタフェース仕様と、コントローラと装置の間のAPIインタフェースがあります。コントローラのAPIはYANGモデルを使いモデルドリブンで規定されています。光インタフェース仕様は、Open ROADMのWebサイト⁽³⁾からスプレッドシート形式のドキュメントとして、またAPIインタフェースに関しては、Open ROADMのOpen Git Hub⁽⁴⁾からYANGモデルの最新版を入手することができます。また、MSA仕様を開発するホワイトペーパーもWebサイトから入手可能です。

Open ROADMの物理レイヤではROADM, X-ponder (Transponder, Muxponder, Switch-ponder), ILA (In-Line Amplifier) といった機能ブロックが想定されていて、その間に相互接続インタフェースを規定しています。ROADM, およびILA間を接続する光波長多重伝送信号の接続は、MW (Multi-Wavelength) インタフェースとして規定されます。また、X-ponder からROADMのAdd/Dropに接続される単一波長の光インタフェースはW (Wavelength) インタフェースと呼ばれます。表1に現時点で公開されているW仕様 (Optical specification ver. 5.1) を示します。標準化された軟判定FEC (Forward Error Correction) であるoFEC^{*1}を複数の変調方式に適用し、メトロ光波長多重伝送においてマルチレートを実現する光仕様が実現されています。Open ROADM MSAの開催した公開パネ

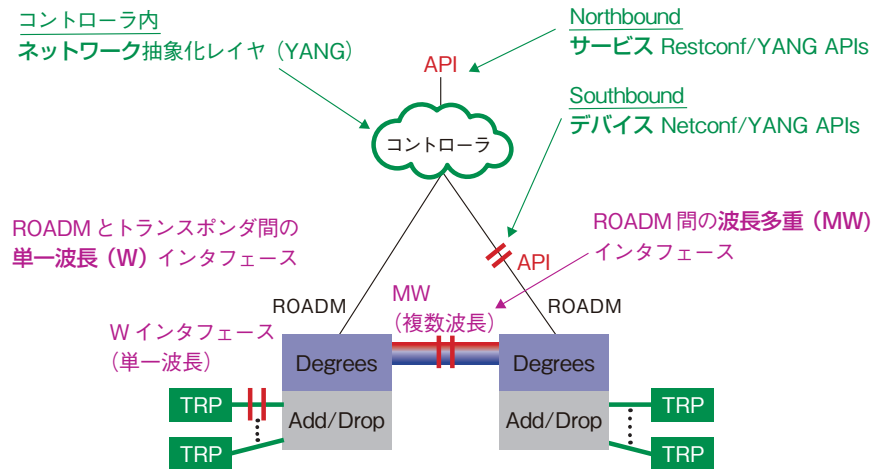


図2 Open ROADM MSAで規定するオープンインタフェース

表1 Open ROADM MSAで規定する光インタフェース仕様 (100 Gbit/s~400 Gbit/s)

仕様	変調方式	Baud rate [Gbaud]	FEC	rOSNR [dB]
100G	QPSK	28.0	SC-FEC	17
100G	QPSK	31.6	oFEC	12
200G	16QAM	31.6	oFEC	20.5
200G	QPSK	63.1	oFEC	17
300G	8QAM	63.1	oFEC	21
400G	16QAM	63.1	oFEC	24

rOSNR (Required Optical Signal-to-Noise Ratio) : 光波長多重における光受信機の受信性能指標
 SC-FEC : ITU-T G.709で規定された硬判定誤り訂正方式
 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) : 1クロックで複数ビット伝送を可能とする光伝送の多値変調方式の1つ
 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) : 1クロックで複数ビット伝送を可能とする光伝送の多値変調方式の1つ

ル討論によると、次世代のBeyond 400G仕様の議論を活発に行っていることが報告されています。

Open ROADM MSAではコントローラ制御用APIのモデルとしてサービスモデル、ネットワークモデル、デバイスモデルの3つが定義されています。サービスモデルは上位オペレーションシステムからのサービスリクエストに対応するためのモデルが規定されています。ネットワークモデルは、物理レイヤの設備情報を抽象化してトポロジー情報として管理するためのモデルが規定されています。これにより上位に影響を与えずデバイスを入れ替えることが可能となっています。デバイスモデルはデバイスパラメータを管理するテンプレートになっています。これによりデバイスのPlug-

and-playの機能の実現に寄与しています。YANGモデル^{*2}はVer. 7.1で商用網での400 Gbit/sシステムの運用をカバーできるモデルが実現されています。その後も機能拡張が続けられ2023年8月時点での最新のリリースはVer. 13.1です。

IOWN Global Forum (IOWN GF)のAPN (All Photonics Networks) 検討ではOpen ROADM MSA仕様が候補として挙がっています。これと合わせ、APNの要求の実現のために、Open ROADMに拡張すべき機能が明確化されています。

*1 oFEC : Open ROADM MSAにより標準化された軟判定誤り訂正方式。
 *2 YANGモデル : ネットワーク設定と状態のモデリング言語であり、Netconf等の装置制御プロトコルで利用されます。

NTTは他のIOWN GFメンバとも連携し、APN折り返し機能、リモートトランスポンダ監視機能の拡張の議論を進めています。折り返し機能のデバイスモデルは、2023年3月にRelease 13.0の一部として発行されました。NTTは、IOWN GFとOpenROADM MSA仕様の円滑な連携を実現する標準化を今後も進めていく予定です。

また、OpenROADM MSAだけでなく、ITU-T SG15の複数課題において、メトロおよびコア網に関する光波長多重伝送、時分割多重伝送、パケット伝送、同期信号伝送等の技術について国際標準化が行われています⁽¹⁾。

光部品技術の動向

本章では、光ファイバ・ケーブル、光海底ケーブルシステム、および屋外光設備の保守運用に関する標準化動向を概説します。

光ファイバ・ケーブルに関する標準は、主としてITU-T SG15にて制定されるITU-T勧告とIEC SC86A (Subcommittee 86A; Fibres and cables)にて制定されるIEC標準があります。ITU-T勧告は、通信事業者にとっての相互接続性とサービス品質の担保に寄与し、IEC標準はネットワークを構成する製品規格のデジュール標準として広く認知されています。近年のトピックとして、2022年9月、光ファイバに関するITU-T勧告を所掌するSG15 課題5にて、SDM (Space Division Multiplexing: 空間分割多重) 光ファイバ・ケーブルの技術レポートが合意されました⁽⁵⁾。本技術レポートは、図3に示すSDM光ファイバについて、技術の成熟度と課題を網羅的に記述したドキュメントです。本技術レポートは、将来におけるSDM光ファイバの国際標準化および実用展開のロードマップとなることが期待されており、ITU-NewsやFlyerを通じて広く周知されています。

光ケーブル技術では、図4(a)に示す複数光ファイバを並列・固定した従来のテープ心線から、図4(b)の部分的に接着固定し、曲げ方向への柔軟性を高めた間欠接着テープ心線への移行が進んでいます。間欠接着テープ心線はNTTが提案・実用化した技術で⁽⁶⁾、2017年発行のIEC標準(IEC

60794-1-31 Optical fibre cables - Part 1-31: Generic specification - Optical cable elements - Optical fibre ribbon)にも採用されています。間欠接着テープ心線を用いることで、光ケーブル構造を簡素化しメタル心線と同じような高密度ケーブル実装が可能となります⁽⁷⁾。

一方、海底ケーブルでは大陸間横断通信システムの容量需要の拡大に伴ってケーブル内光ファイバ心線数の拡大が望まれており、海底長距離通信用SMF (Single Mode Fiber: シングルモード光ファイバ)の被覆径を従来の245 μm から200 μm に縮小した細径被覆SMF (クラッド径は従来と同様に125 μm を維持)の適用がさかんに検討されています。IECでは細径被覆SMFの実用展開をサポートするため、IEC標準(IEC 60793-2-50: Optical fibres - Part 2-50: Product specifications - Sectional specification for class B single-mode fibres)の改訂作業を進めており、改訂文書は2024年度に発行される予定となっています。今後、光ファイバ・ケーブル技術では、間欠接着テープ心線、MCF (Multi Core Fiber: マルチコア光ファイバ)、並

びに細径被覆などの技術を活用した、空間分割多重による高密度化および大容量化の検討が進展していくと期待されます。

光海底ケーブルシステムを海洋モニタ・地震検知等の光センシングに活用することをめざし、世界気象機関やUNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: 国際連合教育科学文化機関)とのジョイントタスクフォースにて検討が進められています⁽⁸⁾。その実現に向け、ITU-T SG15課題8ではセンシング専用海底ケーブルシステムと通信・センシング併用海底ケーブルシステムの2つの新規ITU勧告化作業を進めており、2024年に制定される見通しです。これらのセンシングシステムでは、温度、圧力、および加速度などを計測し、地震や津波の検出、ならびに気候変動などに関する情報収集が期待されています。

屋外光設備の保守・点検は、これまで、各通信事業者独自の運用スキームに委ねられていました。しかし、光通信の普及に伴い社会インフラとしての重要性が増すとともに、屋外光設備の持続的・効率的な運用に対する関心が高まっています。ITU-T

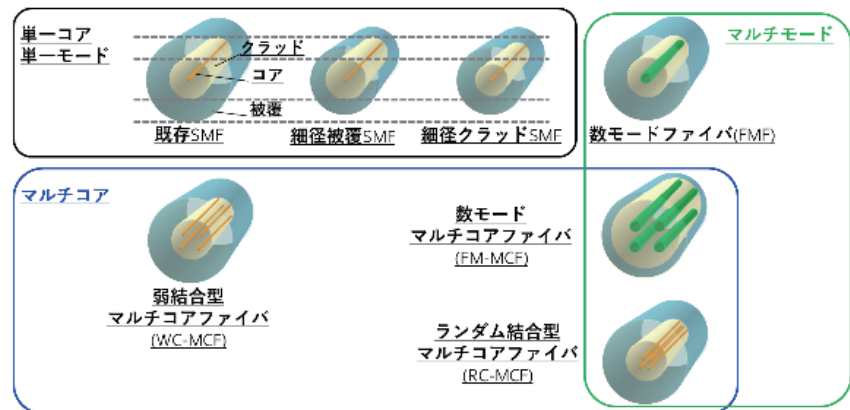


図3 さまざまなSDM光ファイバ

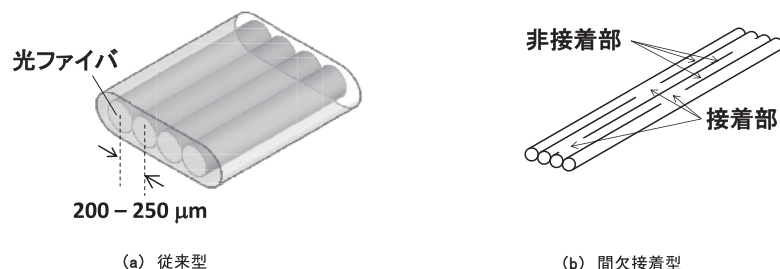


図4 テープ心線の概要

SG15 課題7では、NTT提案に基づき屋外設備の点検に関する国際標準を体系的に整備することに合意しました。2020年には、基本的な点検業務の要件とフローのほか、点検対象とすべき17の屋外光設備を定義した、勧告L.330（屋外光設備マネジメント）が制定されました。本勧告では、各設屋外光備種別に対して目安となる点検周期、確認項目、および精密点検時に要求される劣化事象の測定精度を網羅的に示しています。2023年には、地下設備を対象とする具体的な点検手段、関連技術、および作業安全にかかわる事項を記載した勧告L.340の改訂作業が完了しています。引き続き、架空設備や橋梁添架管路などを対象に、保守関連勧告群の新規制定と既存勧告の改訂作業が順次進められていく予定です。

また、C-RAN（Centralized Radio Access Network：集中型無線アクセスネットワーク）等、FTTH以外のネットワークサービスを含めて収容する配線トポロジーに対する要件定義に向け、ITU-T SG15 課題7においてL.250（光アクセスネットワークトポロジー）改訂作業が進められています。多様なネットワークサービス要件にこたえるためには高信頼なアクセストポロジーが不可欠であるとの考えの下、サービス取

容エリア隅々まで信頼性の高い冗長経路を確保する有効な手段として、多段ループ型光アクセス網トポロジー⁽⁹⁾が本文に反映される見通しです。

光コネクタは光伝送網において光ケーブルどうしを接続する用途に加え、光通信装置や光測定器、光通信サービスのインタフェースとして利用されるなど、多様な用途で使われています。数多くの製造者で生産された光コネクタが誰でも簡単に着脱できなければいけないため、国際標準化による光コネクタの互換性の保証が非常に重要です。光コネクタの国際標準化は主にIEC SC86B（Subcommittee 86B; Fibre optic interconnecting devices and passive components）で行われます。2023年8月時点でSC86Bは187あるIECの委員会の中で最大の発行文書数、第5位の作業中文書数であり、近年の光通信の広がりを受けて光コネクタの標準化は極めて活発に行われています。NTTは世界に先駆けて光ネットワークを商用化するにあたり、必要な光コネクタを数多く開発、標準化してきました。その中で1986年、1991年に開発したSC（Single-fiber Coupling）コネクタ、MPO（Multi-fiber Push-On）コネクタは取扱性と互換性に優れ、それぞれ単心コネ

クタ、多心コネクタとして現在も世界でもっとも普及し、2021年には社会の発展に多大な貢献をした歴史的偉業を表彰するIEEE Milestoneを受賞しました。

ここでは、図5に示したSCコネクタ、MPOコネクタの構造を基に光コネクタ標準化の要点を解説します。光通信システムでは光コネクタで許容される光損失と反射減衰量^{*3}が決められており、一般に光損失は0.5 dB以下、反射減衰量は40 dB以上が求められます。光コネクタの損失は主にコアの軸ずれに依存し、0.5 dB以下とするためにはコア軸ずれ量は0.75 μm以下でなければいけません。これは外力による部品の弾性変形が許されない精度です。そこで、図5(b)、(d)に示すとおり、光コネクタは光ファイバを接続するフェルールと呼ばれる極めて高精度な部品のかん合と、光コネクタを安定的に接続するための部品であるハウジングのかん合の二重かん合構造となっています。コネクタ接続中、フェルールはプラグハウジングに内蔵されたバネで互いに押し付けられ、かん合状態が維持されます。かん合したプラグハウジングとアダプタハウジングはフェルールかん合部を外力から守り、フェルールの弾性変形による損失変化を防ぎます。一方、光コネクタの反射減衰量はコネクタ接続点でのフレネル反射^{*4}に大きく依存します。ガラスと空気の境界面では大きなフレネル反射が生じるため、反射減衰量40 dB以上を達成するためにはコアどうしを密着させてコア間に空気が存在しない接続状態（Physical Contact：PC接続）とする必要があります。PC接続を実現するために、研磨加工によりフェルールの接続端面を球面状にし、コアどうしが接触しやすい構造としています。以上のコネクタ構造において接続互換性を保証するためには、表2に示すとおり、①フェルール寸法、②ハウジング寸法とバネ力、③光コネクタ製品の性能、④以上の3項目で規定を満たすことを確認するための試験法の4つを規定する必要があります。すでに述べたとおり、フェルールは光ファイバコアの軸調心に使う部品であり、①フェ

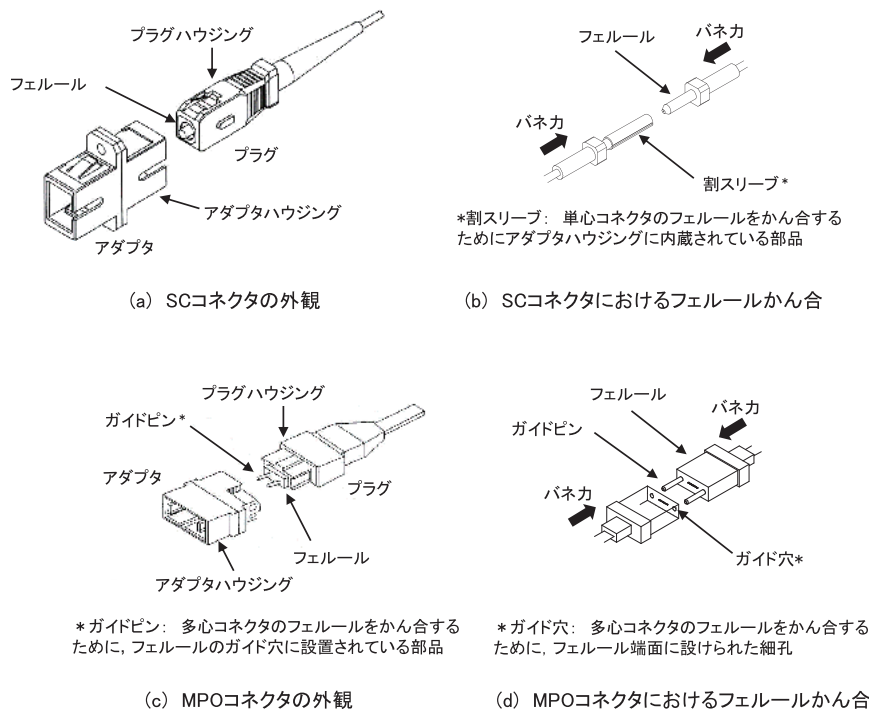


図5 SCコネクタとMPOコネクタ

*3 反射減衰量：反射光の弱さを表す指標。
*4 フレネル反射：媒質の屈折率変化に起因して伝搬光の一部が反射する現象。

表2 IECにおける光コネクタの標準化文書体系

文書番号	文書名称	文書数	主な規定項目
IEC 61755シリーズ IEC 62367シリーズ	SMF光学互換標準 MMF光学互換標準	15 3	フェルール寸法, ファイバコア位置, フェルールの接続端面形状
IEC 61754シリーズ	かん合標準	37	ハウジング寸法, パネカ
IEC 61753シリーズ	性能標準	5	光学性能 (損失, 反射減衰量など), 機械性能 (結合力など), 耐環境性 など
IEC 61300シリーズ	試験法	84	各規定に準拠しているかを確認す るための試験方法

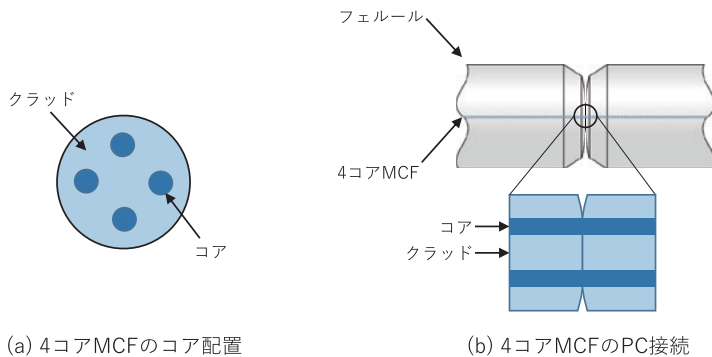


図6 4コアマルチコアファイバの概要

ルール寸法は同じ種類のフェルールであっても光ファイバ種別ごとに規定が必要です。一方、②ハウジングはコネクタ種別ごとの規定、③コネクタ性能は用途ごとの規定となります。こういった技術背景を踏まえ、IECでは①接続する光ファイバ種別、②コネクタ種別、③用途に応じた3つの文書を組み合わせて1つの光コネクタ製品が規定される体系となっています。それぞれ、①光学互換標準 (IEC 61755, 623267シリーズ)、②かん合標準 (IEC 61754シリーズ)、③性能標準 (IEC 61753シリーズ)、④試験法 (IEC 61300シリーズ) という文書で規定しています。

最後に、最近の標準化動向について紹介します。近年、SMFを超える大容量伝送が可能なSDM光ファイバの研究開発がさかに行われており、その中でNTTではMCFの実用化を見据えてMCFコネクタに関する標準化作業に着手しています。光コネクタの試験法 (IEC 61300シリーズ) では文書改訂を契機にMCFコネクタ試験の追加を進めています。第一弾として今年改訂された損失測定法 (IEC 61300-3-4:2023) にMCFコネクタの測定法が追加されました。また、実用化にもっとも近い

125 μm クラッド外径4コアMCFについては単心コネクタの標準化を開始しました。

図6に4コアMCFの概要を示します。すでに述べたとおり、①フェルール寸法のみが光ファイバ種別ごとに規定が必要ですが、4コアMCFは光ファイバ自体がまだ標準化されていないため、フェルール寸法のうちコア軸ずれ量を規定することがまだできません。一方、PC接続を実現するための球面形状の条件はすでに報告されており⁽¹⁰⁾、この報告に基づいて端面形状のみを規定した公開仕様書を今年中に発行予定です。図6に示すとおり、4コアMCFではより広い光ファイバ端面が密着する必要があり、端面形状の条件はより厳しくなります。その結果、フェルール端面の研磨加工を変えなければいけない可能性があります。そこで、フェルール端面形状の規定を公開し、今後の4コアMCFコネクタの早期実用化を推進したいというねらいがあります。

今後の展望

今後、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) のようにさまざまなサービスを収容する大容量の基盤として固

定伝送網および光部品の役割がますます重要になってきています。そのため、国際標準化団体やフォーラム団体における国際標準化による仕様拡充や、仕様共通化による開発期間の短縮や相互接続性の確保が期待されます。今後もNTTは多様なサービス要件に対応する固定伝送網分野の国際標準化に向けて積極的に活動していきます。

参考文献

- (1) <https://journal.ntt.co.jp/article/17779>
- (2) <https://www.broadband-forum.org/pdfs/tr-436-1-0-0.pdf>
- (3) <http://openroadm.org/>
- (4) <https://github.com/OpenROADM>
- (5) https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-HOME-2022-1-PDF-E.pdf
- (6) <https://group.ntt.jp/newsrelease/pdf/news2012/1207/120704a.pdf>
- (7) <https://journal.ntt.co.jp/backnumber2/1212/files/jn201212048.pdf>
- (8) <https://www.itu.int/en/ITU-T/climatechange/task-force-sc/Pages/default.aspx>
- (9) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2021/06/18/210618a.html>
- (10) 松田・今泉・長瀬：“標準外径マルチコアファイバフェルール端面の微小変形解析,” エレクトロニクス実装学会誌, Vol. 24, No. 1, pp. 148-153, 2021.



(上段左から) 胡間 遼 / 鬼頭 千尋 /
王 寛 / 坂本 泰志

(下段左から) 曾根 由明 / 近藤 芳展 /
小山 良 / 浅香 航太

対面での会合審議の効率の良さや重要性を再認識する日々です。より高速で柔軟な固定網の早期普及に向けて、タイムリーな国際標準化活動により固定網の進化に貢献していきます。今後の展開にご期待ください。

◆問い合わせ先

NTT 研究企画部門
標準化推進室
E-mail std-office-ml@ntt.com



無線通信関連の標準化動向

モバイル通信、衛星通信、無線LAN、固定無線など、無線通信は通信ネットワークで大きな役割を果たしています。国際標準化組織の1つであるITU-R (International Telecommunication Union-Radiocommunication Sector) では、2023年11月に開催されるWRC-23 (2023 World Radiocommunication Conference) に向け、Beyond 5G (第5世代移動通信システム) や6G (第6世代移動通信システム) を見据えたものだけでなく、さまざまな検討、議論が行われてきました。また、民間標準化団体である3GPP (3rd Generation Partnership Project) においても、5Gのさらなる進化に向け、現在、Release 18以降の仕様を5G-Advancedとして検討開始しています。IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 配下のSA (Standard Association) の中の作業部会であるIEEE 802.11部会では次世代無線LANの検討もされています。本稿では、これらに加え、衛星通信、固定無線、電波伝搬の標準化についてNTTグループの活動状況を紹介いたします。

キーワード：#Beyond 5G, #6G, #無線LAN

はじめに

無線通信に関する国際標準化組織としては、フォーラム標準化団体である3GPP (3rd Generation Partnership Project) やIEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)、周波数の利用方法を規定するデジニール標準団体であるITU-R (International Telecommunication Union-Radiocommunication Sector) があり、NTTグループはサービスの拡大や開発技術のグローバル化、周波数の効率的な利用への寄与を目的としてこれらの標準化団体で積極的に活動しています。本稿では、モバイル通信に関する標準化組織である3GPPおよびITU-R SG (Study Group) 5/WP (Working Party) 5D、固定衛星通信に関するITU-R SG 4/WP 4A、無線LANに関するIEEE、ITU-R SG 5/WP 5A、固定無線に関するITU-R SG 5/WP 5Cそして、これらにおける検討を支える電波伝搬に関するITU-R SG 3でのNTTグループの活動内容および最近の動向を紹介いたします。

モバイル通信の標準化に関する動向

■3GPPにおける動向

3GPPは、第3世代向けの移動体通信シ

ステムの標準仕様を検討するために、各国・地域の標準化団体により1998年12月に発足されたパートナーシッププロジェクトです。3GPPで作成された標準仕様書は、標準化機関パートナー (OP: Organizational Partner) である世界6つの標準化団体により各国・地域の標準として発行されます。また、各OPが協力してITUに標準仕様書を提案し、ITUより国際勧告が行われることで国際標準となります。3GPPの組織構成としては、各企業や団体が直接参加し、技術仕様の作成作業を行う技術仕様化グループ (TSG: Technical Standardization Group) と、OPが参加して全体の線表決定、進捗管理等を行うプロジェクトコーディネーショングループ (PCG: Project Coordination Group) の大きく2つのグループから構成されます。3GPPではリリース (Release) と呼ばれる機能セット単位でリリース番号を付与して標準技術仕様書を発行しており、近年では2018年に仕様化が完了したRelease 15 (Rel-15) が5G (第5世代移動通信システム) として世界各国で商用化されています。3GPPではRel-15の仕様策定後に、その発展としてRel-16およびRel-17仕様にて5Gの機能拡張や性能改善を行ってきており、またRel-18以降を「5G-Advanced」と定義し、2022年からRel-18仕様策定作業を開始しま

こだい こうた ながた さとし
小鯛 航太 / 永田 聡^{†2}
たちき まさよし きしだ あきら
立木 将義 / 岸田 朗^{†3}
いわたに じゅんいち おおつき しんや
岩谷 純一 / 大槻 信也^{†3}
やまだ わたる なかたに たつや
山田 渉 / 中谷 達也^{†3}
さかもと のぶき
坂本 信樹^{†4}

NTT研究企画部門^{†1}

NTTドコモ^{†2}

NTTアクセスサービスシステム研究所^{†3}

NTT技術企画部門^{†4}

した。5G-Advancedは2020年代後半を商用ターゲットとしており、2030年ごろをターゲットとした6G (第6世代移動通信システム) へのステップになります。2010年代および2020年代の3GPP標準化タイムラインを図1に示します。図の6G関連のスケジュールは2030年ごろの商用化というターゲットから逆算した予想であり、今後の3GPP Releaseのスケジュールや6Gとの対応関係は現時点では未定ですが、5G-Advancedの標準化は6G仕様ができる直前のRel-18から20となると考えられます。

■IMTの標準化に関する動向

NTTドコモでは、国際標準に準拠した移動通信システムであるIMT (International Mobile Telecommunication) をはじめとする移動業務および関連する無線通信システムや利用する周波数等無線通信に関する標準化活動を行っており、ITU-Rにおいて地上無線通信を所掌するSG 5と、その傘下のWP 5Dで活動しています。WP 5Dの動向について近年注目を集めている3つのトピックを中心に動向を紹介いたします。

(1) 新たなIMT周波数の特定

IMTの新たな周波数利用に関する検討は、2019年に開催されたWRC-19の後から開始されました。そして2023年3月から4月に

かけて開催されたCPM (Conference Preparatory Meeting) -23により、これまでの周波数共用検討などがまとめられ、WRC-23に向けた準備が整いつつあります。具体的には、他業務の無線システムに干渉影響がないか、影響を回避するためにはどのような条件が必要か、といった事前の技術検討がWP 5D会合を通じて進められており、IMTに関する専門家に加え、他無線システムの専門家も参加して詳細な議論が行われてきました。IMT周波数の追加特定に関するWRC-23議題1.2において、日本を含む第三地域 (アジア・太平洋地域) においては、7025~7125 MHzの100 MHz幅が

検討の対象となっており、2023年11月から開催されるWRC-23において、IMT周波数として特定されるかどうかについて結論が出されることとなります。

(2) HIBS (HAPS) 用周波数の検討

近年、次世代の新たな通信インフラとして高高度プラットフォーム局 (HAPS: High Altitude Platform Station) などが注目されてきていますが、HAPSをIMT基地局として利用するHIBS (HAPS as IMT Base Stations) 用周波数に関する事項がWRC-23議題1.4として議論されています。WRC-23議題1.2と同様に、CPM-23の結果により、これまでの周波数共用検討などが

まとめられてきており、WRC-23に向けた準備が整いつつあります。2022年時点では、日本を含む第三地域においては1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz, 2110-2170 MHzがHIBS用周波数として利用可能ですが、これらに加えてWRC-23議題1.4では図2に示す2.7 GHz以下のいくつかの候補周波数について、HIBSでのさらなる利用周波数拡大の検討が行われています。こちらについても2023年11月から開催されるWRC-23において、HIBS用周波数利用拡大について結論が出されることとなります。

(3) IMT.FRAMEWORK FOR 2030 and BEYOND 勧告の策定

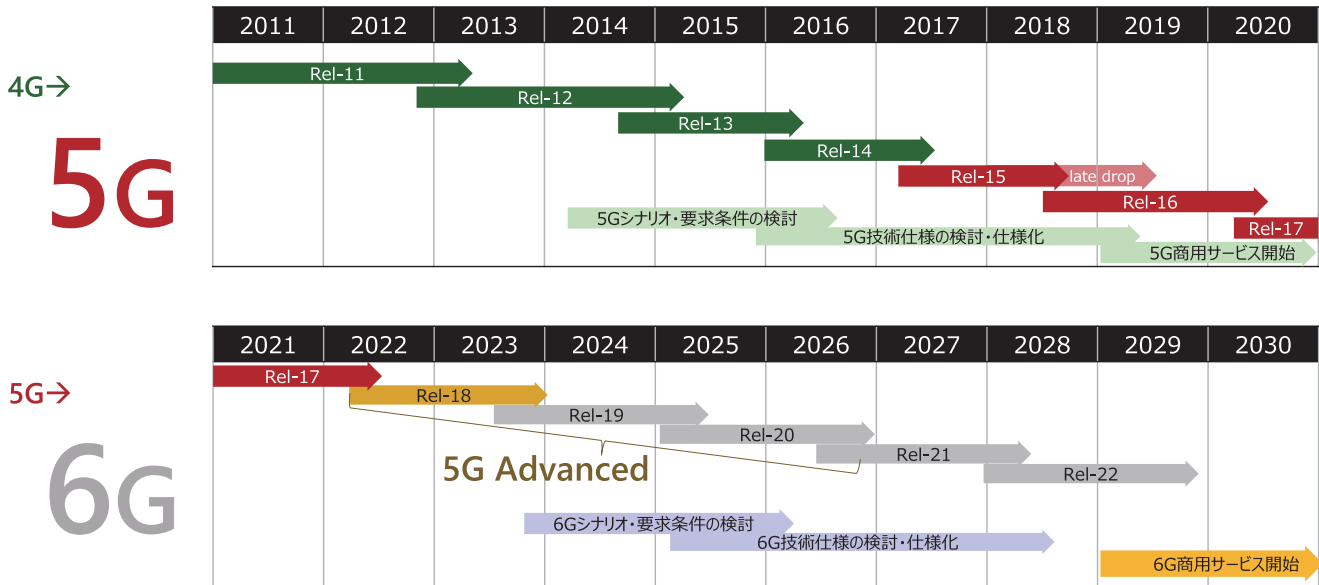


図1 2010年代および2020年代の3GPP標準化タイムライン

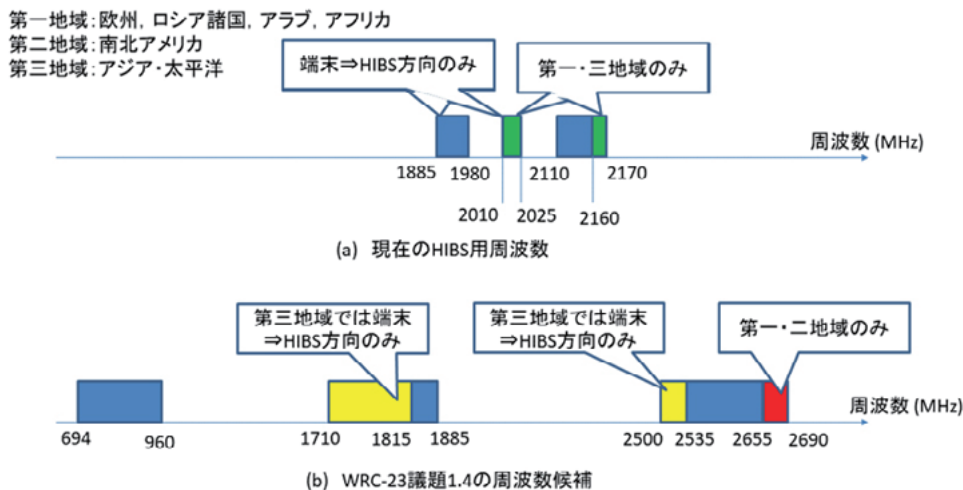


図2 HIBS用周波数

これまでの周波数の話題とは少し趣が異なりますが、将来にわたるIMTの役割、そのためのフレームワークや目的を定義する新勧告案の策定を目的として、WP 5Dにて2021年から検討が始まりました。具体的には、2030年以降に向けたIMTの開発の枠組みとめざすべき目標であるIMT-2030の利用シナリオをどのようなものとするか、また能力の定義、その目標値について多くの議論がなされました。これまでに2年以上の時間をかけて、各国提案の統合と審議が行われて、IMT-2030の利用シナリオ図(図3(a))と能力図(図3(b))を含む新勧告案ITU-R M. (IMT.FRAMEWORK FOR 2030 and BEYOND) が2023年6月にWP 5D会合において合意され、2023年9月に予定されているSG 5での審議に進むこととなりました。新勧告の承認後はより詳細な技術要件仕様の策定など、IMT-2030の

実現に向け、3GPPなどと連携しながら検討が進められていくことになります。

固定衛星の標準化に関する動向

WP 4Aは衛星業務を所掌とするITU-R SG 4に所属し、固定衛星業務および放送衛星業務の軌道・周波数の有効利用を扱っています。WRC-19議題1.5では、17.7-19.7 GHz、27.5-29.5 GHzにおける、静止軌道(GSO: Geostationary-Satellite Orbit)上の宇宙局と通信を行う移動する地球局(ESIM: Earth Stations in Motion)利用に関する技術検討が行われ、決議169(WRC-19)が策定されました。本決議169において、特に航空機に搭載するESIM(A-ESIM: Aeronautical ESIM)については27.5-29.5 GHzで運用している地上業務(主に5Gなど)の適切な保護を目的とした

A-ESIMへの規制検討が要請され、送信電力を順守するためのA-ESIMの飛行高度や場所に基づく計算手法をまとめた勧告が2023年7月のWP 4A会合にて合意、SG 4にて承認されました。WRC-23会期においては、WP 4Aは主に5つのWRC議題を担当しており、その1つである議題1.16にて17.7-18.6 GHz、18.8-19.3 GHz、19.7-20.2 GHz、27.5-29.1 GHz、および29.5-30 GHzにおける、非静止軌道(non-GSO: non Geostationary-Satellite Orbit)上の宇宙局と通信を行うESIM利用に関する技術検討が行われており、日本は決議169(WRC-19)に基づき合意された勧告をベースに、WRC-19議題1.5と同様に地上業務の適切な保護のための活動を進めているところになります。

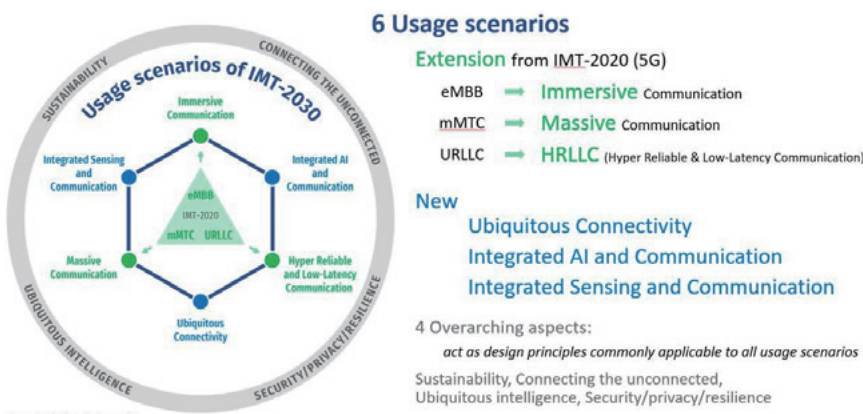
無線LANに関する動向

NTT研究所では無線LANについての活動を実施しています。IEEE配下のIEEE 802.11部会において無線LANの標準規格策定のための活動を行っています。加えて、電波・周波数の利用方法といった国際的な制度にかかわる議論への対応を、ITU-Rにおける地上無線システムに関するSGであるSG 5配下の作業部会でありIMT以外の陸上移動無線を所掌するWP 5A、および電波に関する国際条約であるRR(Radio Regulations: 無線通信規則)改定を議論するWRCで実施しています。

IEEE 802.11における動向

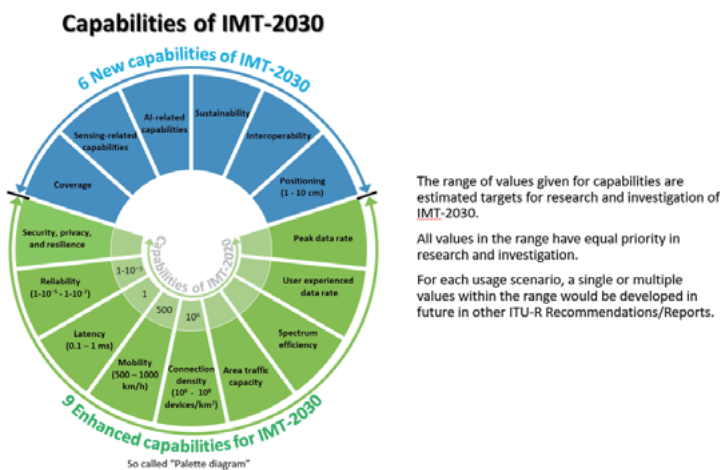
IEEE 802.11 WGでは、新たな規格策定に向けさまざまな機能・トピックの議論が行われています。その中でも、現在(2023年8月現在)の最新規格IEEE 802.11ax(Wi-Fi 6/6Eが対応)の次世代の高速化規格となるIEEE 802.11be(11be)を議論するTG(Task Group) be、およびその次世代の規格を議論するUHR(Ultra High Reliability) SGが主要な議論グループとなっています。

11be(Wi-Fi 7が対応)は30 Gbit/s以上の最高スループットの実現、低遅延機能の具備をターゲットとし、4096 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)の変調多値数、6 GHzの周波数帯における従来の2倍となる320 MHzの利用帯域



出典: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2030/Pages/default.aspx>

(a) 利用シナリオ図



出典: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2030/Pages/default.aspx>

(b) 能力図

図3 IMT-2030

幅の利用、1つの筐体に実装された複数の無線機能を連携・協調させるマルチリンク伝送、周期的な低遅延トラフィックを優先的に送信させるR-TWT (Restricted Target Wake Time) などが規定される見込みです。TGbeでは標準規格ドラフトの改定が進められており、図4に示すとおり2024年12月の標準化完了を予定しています。

UHR SGでは、高速化がメインのこれまでの主要規格と異なり、無線アクセスの低遅延化・高信頼性を主なターゲットとしています。これを実現するための候補技術として、複数のAP (Access Point) が協調して送受信を行うマルチAP協調・連携技術、非周期で発生するトラフィックの低遅延伝送を優先的に伝送する機能、端末がAPを遷移する際の無瞬断ハンドオーバ、周波数利用効率技術の改善機能などが議論されています。今後、UHR SGの議論を踏まえた新たな規格策定議論がTG (TGbn) において2023年11月に開始され、2027年3月にIEEE 802.11bn (11bn) 標準として規格化完了する目標が設定されています。さらに、UHR SGにおいては、11bnに対して付加的に利用することを前提とした60 GHz帯のミリ波帯周波数の機能の検討も

議論され、TGbnとは別に新たなSGとして、IMMW (Integrated Millimeter Wave) SGが2023年11月に設立され議論が開始される予定です。

■ ITU-Rにおける動向

近年のITU-Rにおける無線LANに関するトピックとして、2019年のWRC-19で5.2 GHz帯の屋外利用・高出力化を可能とするRR改定が合意され⁽¹⁾、その根拠となる技術検討をWP 5Aで実施し、NTT研究所からも積極的に活動を行いました。2023年のWRC-23では無線LANを対象とした議題はありませんが、WP 5AではWRCの議題以外にも無線LANに関する議論が継続的に行われ、以下の2点が検討されています。

第一に、無線LANの技術条件などが記載されたITU-R勧告 M.1450およびM.1801の修正の議論です。主な論点として、IEEE 802.11標準規格の更新に伴い6 GHz帯を使用するIEEE 802.11axの追記などが提案されています。これに対し中国・ロシアなどが、無線LANの6 GHz帯の利用増加に伴う他システムへの干渉増加を懸念し、対抗して無線LANの6 GHz帯の利用制限が提案され、議論されています。日本からは

これまで、WRC-19でのRR改定や近年の6 GHz帯の無線LAN利用を可能とする国内制度改正の反映の提案、ならびに6 GHz帯の利用制限案への反対意見などを入力し、作業文書に暫定反映されています。

第二に、6 GHz帯の地球探査衛星と無線LANの共用評価に必要となる無線LANのパラメータが地球探査衛星を所掌するWP 7Cから照会され、議論されています。

いずれも図5に示すように他システムと共存している6 GHz帯の周波数が議論の中心となっています。

NTT研究所はWP 5Aの日本代表団の無線LAN主担当として継続的に活動しています。

固定無線システムに関する動向

固定無線システムに関する標準化活動を実施している組織として、ITU-R SG 5配下の作業部会であるWP 5Cがあり、NTT研究所が活動しています。

現在の大きな議論テーマとしてはサブテラヘルツ波 (92 GHz以上) の技術進展に伴い、高速・広帯域な通信が実現可能なこれらの周波数帯での固定無線の世界的な調

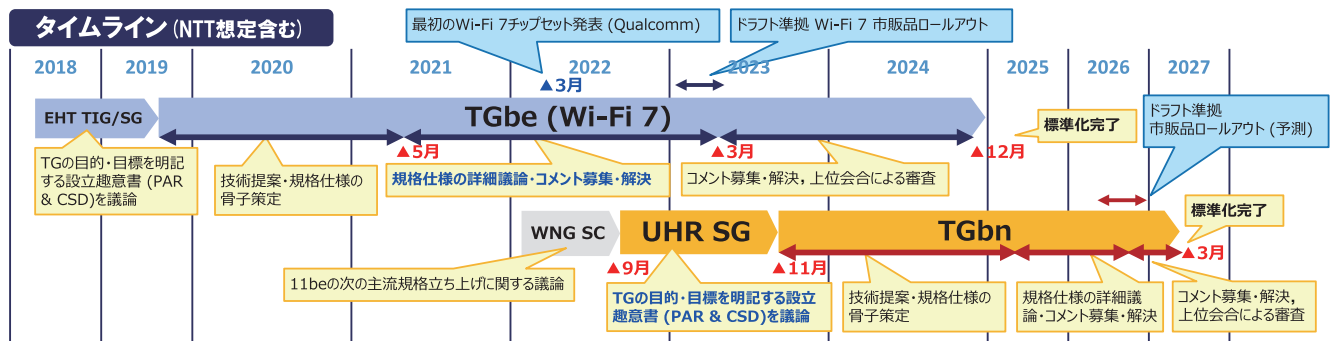


図4 IEEE 802.11be/UHR SG タイムライン

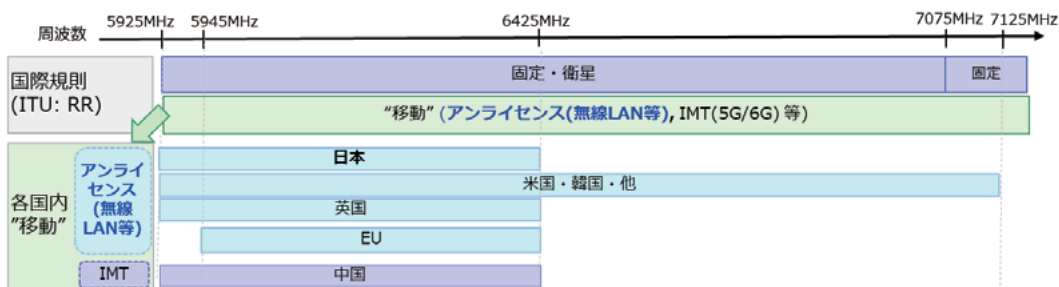


図5 6 GHz帯の分配状況

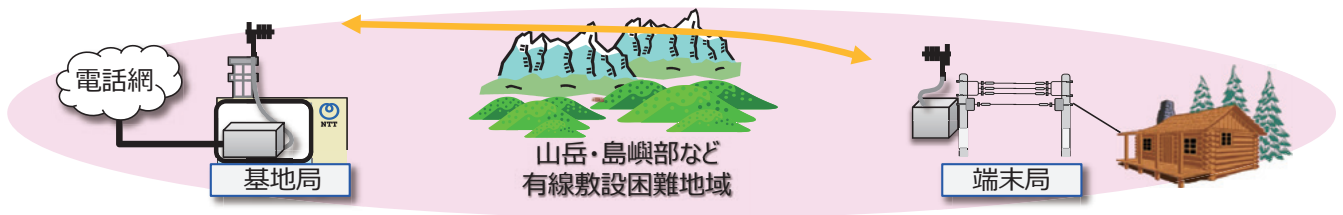


図6 VHF帯加入者系無線システム (TZ-68D) の利用イメージ

和に向けて、W帯 (92-94 GHz, 94-100 GHz, 102-109.5 GHz, 111.8-114.25 GHz) およびD帯 (130-134 GHz, 141-148.5 GHz, 151.5-164 GHz, 167-174.8 GHz) の固定無線用周波数のチャンネル配列に関する勧告や、地球探査衛星用受動センサを保護するための検討が実施されています。これらの作業が完了することにより、モバイルバックホール・フロントホール向け大容量固定無線システムの世界的な実現および展開の促進が期待できます。

WP 5Cでは固定無線システムの将来動向や将来の利用方法についても検討しており、ITU-R報告 F.2323「固定無線の利用と将来動向」にまとめられています。固定無線の利用方法として、図6に示すような有線設備の敷設が困難な地域への通信サービスの提供が含まれており、NTTアクセスサービスシステム研究所が開発したVHF (Very High Frequency) 帯加入者系デジタル無線システム (TZ-68D)^{(2), (3)}を海外にも訴求するために、長距離 (数10 km) かつ見通し外通信を実現する技術特徴や日本で運用開始したことを追記する活動もNTT研究所では実施しています。

電波伝搬の標準化に関する動向

NTT研究所では電波伝搬に関する標準化活動を実施しており、ITU-Rにおいて電波伝搬を扱う研究委員会であるSG 3および配下の基本伝搬を扱うWP 3J、ポイント-エリア伝搬を扱うWP 3K、電離圏伝搬を扱うWP 3Lおよび干渉伝搬を扱うWP 3Mで活動しています。SG会合はおおむね2年に1度の開催を、WP会合は年1回の開催を基本としており2023年は5月22日から6月2日にかけて開催されました。本会

合では32カ国、27機関から210名 (日本からは15名) が出席し、4つのWP会合宛に156件の寄与文書、SG宛に39件の寄与文書が入力されました。議論の結果、今会合では18件の勧告改訂、2件の報告改訂、3件の研究課題改訂と1件の新研究課題追加がなされました。

本稿ではSG 3の動向について近年注目を集めている高周波数帯のトピックを中心に概要を紹介します。

■ITU-R 勧告 P.1238 (屋内無線通信のための伝搬データと推定モデル)

日本、英国、韓国から100 GHz以上のさまざまな環境における伝搬測定例が示され、次回会合での勧告化に向けてオフライン会合で継続議論されることとなりました。また、100 GHz以下の伝搬損失推定モデルについては新規測定データの追加により、会議室環境の推定モデルが新たに勧告化されました。さらに、高周波数帯で問題となる人体遮蔽について、新勧告化をターゲットとして活動を行う新しいオフライングループが設立され、次回会合まで継続議論されることとなりました。

■ITU-R 勧告 P.1411 (屋外短距離無線通信のための伝搬データおよび推定モデル)

2022年会合までに入力された測定データを基に遅延スプレッドや角度スプレッドなどの広帯域特性を中心に勧告の表へパラメータが追加されることが合意されました。また、日本および米国からの寄与文書がきっかけとなり、見通し確率推定モデルについて白熱した議論がなされました。その結果、引き続きの検討が必要ということになり、新しいオフライングループが設立されることとなりました。

今後の展望

無線通信システムおよび無線スペクトラムに対する需要は年々増大しており、3GPPやWRC-23を含むITU-R、IEEEにおいてはBeyond 5Gや6G、次世代無線LANを念頭に置いた技術標準の検討やより広範な周波数帯について多種多様な議論が予想されます。国内での利用だけでなく、国際的な共存をも意識して、引き続き国際標準化活動を推進したいと考えています。

■参考文献

- (1) <https://journal.ntt.co.jp/article/657>
- (2) <https://www.rd.ntt/research/AS0087.html>
- (3) <https://www.rd.ntt/as/history/wireless/wi0213.html>



(上段左から) 小鯛 航太 / 永田 聡 / 立木 将義 / 岸田 朗
(下段左から) 岩谷 純一 / 大槻 信也 / 山田 渉 / 中谷 達也 / 坂本 信樹

本稿では、無線通信関連の標準化動向についてさまざまな方面の有識者から寄稿をいただくかたちで完成させました。紙面の都合で十分に紹介できなかったところもありますので、ご興味があれば躊躇せず質問やコメントをいただけますと一同ありがとうございます。

◆問い合わせ先

NTT 研究企画部門
標準化推進室
E-mail std-office-ml@ntt.com



環境・オペレーション関連技術の標準化動向

NTTグループではサステナブルで安定したICTサービスを提供するために、アプリケーションサービス品質に関する指標の標準化、ネットワークサービスの促進に向けた活動、電磁妨害波や雷サージから通信設備を防護するとともに、ICTによる気候変動への影響評価や持続的な発展が可能な循環型経済の問題に取り組んでいます。本稿では各分野での活動と標準化動向について紹介します。

キーワード：#品質、#運用管理、#環境

アプリケーションサービスのオペレーション

アプリケーションサービスを効率的にオペレーション（設計、監視、管理）するためには、体感品質（QoE：Quality of Experience）やネットワーク品質（QoS：Quality of Service）に関する指標を確立することが重要です。本節では、アプリケーションサービスに用いる指標についての標準化動向を概説します。

■音声通話品質推定技術（ITU-T勧告 G.107.2）

IP電話サービスを対象とした品質設計ツールとして、狭帯域（300-3400 Hz）、広帯域（50-7000 Hz）、超広帯域（50-14000 Hz）・フル帯域（20～20000 Hz）用に、G.107、G.107.1、G.107.2がそれぞれITU-T（International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector）勧告として制定されており、国内外のIP電話サービスの品質設計で幅広く用いられています。昨今は、EVS（Enhanced Voice Services）コーデックを用いた超広帯域音声通話サービスが主流になってきたため、G.107.2の検討が進められています。G.107は多数の音声品質に関連するパラメータを入力とした数理アルゴリズムで形成されていますが、G.107.2では一部のパラメータがデフォルト値を用いることになっていました。そこで、背景ノイズ、バーストパケット損失、遅延に対応させるための拡張が行われ、音質劣化量（le,eff）、遅延・エコー劣化量（ld）、音量劣化量（Ro,ls）の計算アルゴリズムの修正やパラメータ追加を行い、G.107.2を改訂しています。これにより、さまざまな条

件下で超広帯域・フル帯域のE-modelが利用可能となりました。

■アダプティブビットレートストリーミングに対する品質推定技術と劣化要因分析技術（ITU-T勧告P.1203、P.1204、P.DiA-QoSE）

映像配信の一技術としてアダプティブビットレートストリーミングが用いられています。アダプティブビットレートストリーミングはネットワーク品質に応じて、異なる品質の映像を受信する仕組みのため、どのような品質の映像を受信したかによって、体感品質が大きく異なります。そこで、H.264/AVC（Advanced Video Coding）で符号化されたHD映像の品質を監視する技術としてP.1203、H.265/HEVC（High Efficiency Video Coding）やVP9で符号化された4K映像の品質を監視する技術としてP.1204.3、P.1204.4、P.1204.5が制定されてきました。新しい符号化方式であるAV1（AOMedia Video 1）の利用が進んできたため、上記勧告群の改訂を進めています。このようにITU-T SG（Study Group）12では映像符号化方式の制定に合わせ品質推定技術の拡張も進めています。

P.1203およびP.1204は映像品質の監視を目的に制定された技術であり、1-5の数値により体感品質を表現しています。しかし、品質値の低下度合から品質劣化を検知することはできませんが、劣化要因（符号化による品質低下、再生停止による品質低下等）を特定することはできません。そこで、品質の劣化要因を解析する方法論としてP.DiAQoSEの検討が進められています。P.DiAQoSEでは、P.1203やP.1204.3、P.1204.4、P.1204.5などのモデルへの入力となった品質パラメータ（ビットレート、解

おくがわ ゆういちろう¹ はら みなこ^{1,2}
奥川 雄一郎 / 原 美永子
ほりうち しんご³ やまぎし かずひさ⁴
堀内 信吾 / 山岸 和久

NTT宇宙環境エネルギー研究所¹
NTT情報ネットワーク総合研究所^{1,2}
NTTアクセスサービスシステム研究所³
NTTネットワークサービスシステム研究所⁴

像度、フレームレート、再生停止情報）が、品質値をどの程度下げたか（劣化量）を算出します。具体的には、ある視聴において選択できる最大の品質値と現在の品質値との差（総劣化量）を、Shapley理論を基に品質パラメータごとに分配することで、品質パラメータの劣化量を算出します。このように、従来の品質監視技術に加え、品質パラメータごとの劣化量が分かることで、品質改善の検討がより行いやすくなります。

■自動運転における物体認識率の推定手法（ITU-T勧告P.Obj-recog）

欧州や日本では遠隔監視センタでの遠隔監視を前提とした自動運転が開始されています。具体的には、車載カメラで撮影された映像を符号化し、監視センタへ符号化映像を送信します。監視センタでは監視者が道路上の障害物の有無の確認を行います。そのため、車載カメラから送信される映像品質で、監視者が物体を認識できる程度に鮮明である必要があります。そこで、常時、物体認識に耐え得る映像が配信されていたことを監視する技術を構築するため、ITU-T SG12でWork Item（P.obj-recog）が立ち上がりました。今後、車載映像を用い、物体認識に関する主観評価実験の結果を基に技術確立が進められる予定です。

■まとめ

アプリケーションサービスのオペレーションを効率的に実行するには、指標が必要です。本節では、音声通話、映像配信、自動運転サービスのオペレーションに資する技術を中心に概説しました。今後出現するサービスにおいても、指標を構築し、実際のオペレーションに利用していくことが重要なため、これら標準化の動向を把握していくことも重要です。

TM Forumの標準化動向

■ TM Forumとは

TM Forumは、当初は電話の運用管理業務の標準化を実現し、各国の電話サービスの安定提供をめざしてきましたが、近年は他産業と連携したネットワークサービスの促進を目的とした活動が進められています。加盟企業は、通信、IT業界を中心に850社以上となっています。

現在、TM Forumでは、注力テーマとして「Cloud Native IT & Networks」, 「Data & AI」, 「Autonomous Operations」, 「Ecosystems」, 「People & Planet」の5つを設定し、以下の18のプロジェクトに分かれて検討を進めています。

- ・ End to end ODAプロジェクト
- ・ Information Systems Architectureプロジェクト
- ・ Components and Canvasプロジェクト
- ・ Open APIsプロジェクト
- ・ AI Governanceプロジェクト
- ・ Data Governanceプロジェクト
- ・ Autonomous Networkプロジェクト
- ・ AI Closed Loop Automationプロジェクト
- ・ AI Operations (AIOps)プロジェクト
- ・ Measuring and Managing Autonomyプロジェクト
- ・ Digital Twin for Decision Intelligenceプロジェクト
- ・ Business Architectureプロジェクト
- ・ Business Assuranceプロジェクト
- ・ Digital Ecosystem Managementプロジェクト

- ・ Standardizing Wholesale Broadband - Fibre Access (BFA) プロジェクト
- ・ Digital Maturity Model プロジェクト
- ・ Customer Experience Managementプロジェクト
- ・ TechCo Organizational Design プロジェクト

本稿では、NTTが進めるDX（デジタルトランスフォーメーション）やIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）-CF（コグニティブ・ファウンデーション）構想の実現に向けて、極力標準準拠のBSS（Business Support System）/OSS（Operation Support Systems）によるサービス提供の迅速化や、ナチュラルな顧客の要望に基づくネットワークサービスの提供、オペレータ含めてDX時代に相応しい組織の実現がポイントになると考えており、この観点から4つのプロジェクトの動向を解説します。

■ Components and Canvas プロジェクト

従来のBSS/OSSのづくりでは電話のサービスを想定したづくりが行われていました。これに対してさまざまなビジネス形態に対するアーキテクチャとそれを実現させるフレームワークとして、Open Digital Architecture (ODA) と Open Digital Framework (ODF) が議論されています。具体的には、他のビジネスパートナーとの連携や顧客体験（CX：Customer Experience）の多様化、AI（人工知能）技術などによるオペレーションの抜本的な高度化に対応するためのODAを規定しています。ODAは以下の機能を有します。

- ・ Engagement Management：顧客や

オペレータとの接点となる機能部、CXの向上を意識した管理

- ・ Party Management：B2B2Xビジネスモデルでの登場人物や調達パートナーといった関係者との関係を管理
- ・ Core Commerce Management：顧客管理やプロダクト管理、BSS領域に相当
- ・ Production：Networkを含めたエンド・ツー・エンドでのサービス・リソース管理、OSSの領域に相当
- ・ Intelligence Management：各管理領域でClosed Loopを実現させるためのAI技術などの管理領域

現在ODAを実現させるためのフレームワークとして、ツールやMaturity Modelを活用するOpen Digital Framework (ODF) の検討が進められています。この中で従来TM Forumで規定してきているビジネスプロセスenhanced Telecom Operation Map (eTOM)、アプリケーション Telecom Application Map (TAM)、情報モデル Shared Information/Data Model (SID) の活用・マッピングの検討が行われています。ODFのシステムを構築する際のBusiness要件としてeTOMが、Information SystemsとしてSIDが、Transformation ToolsとしてTAMの内容がそれぞれ活用されています。

■ Autonomous Networkプロジェクト

Autonomous Networkはネットワークの自律自動化の運用をめざした検討で、TM Forumのほか、3GPP (3rd Party Partnership Project)、ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ZSM (Zero touch network and Service Management)、ENI (Experiential Networked Intelligence) などとも

連携して、実現アーキテクチャやモデル、API (Application Programming Interface) の議論が進められています。全体アーキテクチャでは、ビジネスオペレーションレイヤ、サービスオペレーションレイヤ、リソースオペレーションレイヤに分けて、それぞれの管理レイヤを連携させることで Autonomous Network の実現をめざしています。また、自動化の実現レベルを定義し、段階的な Autonomous Network の実現を指向しています。

Autonomous Networks Levels は L0 から L5 まで規定されており、実行、認知、分析、決定の側面で手動から自動へステップアップし自動化を実現することでネットワーク・オペレーションの自動化は実現させることができます。さらに、Intent、応用の各側面での、手動から自動へステップアップすることにより自律自動化を実現させることができる定義となっています。また、各企業の Autonomous Network の実現レベルを定量的に評価する Tool の検討などが最近のトピックともなっています。Autonomous Network は、Business, Service, Resource のレイヤで構成し、レイヤごとに Closed Loop を実現し、個々の管理レイヤを最適なかたちで自動化するとともに、各レイヤの Closed Loop が連携することで全体最適な自律運用をめざすアーキテクチャとなっています。この中で各レイヤの Closed Loop の目標を Intent とし、Autonomous Network の各レイヤを連携させるキーとして Intent を活用する取り組みに注目が集まっています。これらの実現に必要な API・情報モデルの議論が活発に行われており、多くの標準化関連ドキュメントの作成が進められています。

■ Digital Ecosystem Management プロジェクト

ネットワークサービスを利用するユーザが始点と終点やネットワークに求める特性のみを指定して、ネットワークスライシングなどを用いてサービス提供を行うサービス形態を CaaS (Connectivity as a Service) と定義しています。CaaS を利用するユーザはネットワークの途中の経路などについて、具体的な要求を持っていない、または、分からない等のことがあります。このような、ユーザからの曖昧さを含む要件を Intent として、提供可能なサービスを組み合わせる具体的なネットワーク設定を導き出し、サービス提供することにより CaaS を実現します。この実現に向けた API の検討が進められており、2023 年度中に API 要件をまとめたドキュメントを制定する予定です。CaaS ではユーザの曖昧な要件を含むオーダ内容から、具体的なサービスを導出することが求められます。Intent Management API で検討されている Intent の要素を取り入れ、Intent をネットワークスライシングなどの提供手段として適用するための検討が行われています。

■ TechCo Organizational Design (TCOD) プロジェクト

TCOD プロジェクトでは、DX が進む中で組織やオペレータの文化・スキルを継続的に進化可能な形態にするための検討が行われています。本プロジェクトでは、Digital Talent Maturity Model や TechCo Organizational Design などのドキュメント化が進められています。このように従来の BSS/OSS のようなシステム議論だけでなく、Communication Service Provider として組織文化を適切に変革し続けることが重要であることに基づくベストプラクティ

スやガイドが標準化対象となってきました。

■ まとめ

上記のようなプロジェクトと並行し、技術実証として PoC (Proof of Concept) 「Catalyst プロジェクト」を通じて標準規定の有効性や新しい要件やビジネスの創出にも TM Forum では力を入れており、標準ドキュメントの議論との両輪を回すことで、実ビジネスでの標準化活用が加速するようになっています。

環境、気候変動およびサーキュラーエコノミーの標準化動向

電磁妨害波や雷サージから通信設備を防護するとともに、ICT による気候変動への影響評価や持続的な発展が可能な循環型経済の問題に取り組み、通信サービスの信頼性向上ならびに事業活動に伴う環境負荷の低減に貢献するために、ITU-T SG5 では EMC (電磁両立性) や電磁ばく露について主に検討する WP (Working Party) 1、環境効率、電子廃棄物、サーキュラーエコノミー、持続可能な ICT ネットワークを検討する WP2、そして気候変動の適応・緩和、ネットゼロエミッションについて検討する WP3 にて標準化を進めています。

■ EMC と雷防護、電磁界に対する人体ばく露

課題 1 では ICT システムの電氣的な防護、信頼性、安全およびセキュリティを目的として雷撃や過電圧に対する通信システムの防護要件を検討しています。また粒子放射線による通信装置のソフトエラーに関する勧告および補足文書の改定を検討しています。さらに、電気通信設備の電磁波的なセキュリティ課題として、高々度電磁パルス

(HEMP) や高出力電磁パルス (HPEM) 攻撃に対する防護方法、電磁波を介した情報漏洩リスク評価およびリスク低減方法の検討と勧告化について検討しています。課題2では雷および他の電氣的事象に対する装置およびデバイスの防護を目的として過電圧や過電流に対する通信システムの防護要件と防護素子の検討を行っています。課題3では携帯電話や無線システムからの放射電磁界からの人体防護を目的として、アンテナ周辺における電磁界強度の推定手順、計算方法、測定方法について検討を行っています。課題4ではICT環境におけるEMC問題として、新たな通信装置、通信サービスや無線システムに対応したEMC規格の検討を行っています。

■環境効率、電子廃棄物、サーキュラーエコノミー、持続可能なICTネットワーク

課題6ではデジタル技術の環境効率を取り扱い、デジタル技術や新規先端技術に対する環境効率と要求条件の明確化、ならびに技術的なソリューション、指標、KPI (Key Performance Indicator)、関連する測定法に関する勧告を策定しています。課題7では電子廃棄物、サーキュラーエコノミー、持続可能なサプライチェーン管理を取り扱い、循環型経済 (サーキュラーエコノミー) の考え方、サプライチェーン管理の改善をベースとしたデジタル技術に対する環境要件、ならびに製品、ネットワーク、サービスに関するeco-ratingプログラムにかかわる勧告を策定しています。課題13では循環型の持続可能なシティおよびコミュニティの構築を目的として、シティおよびコミュニティにおけるデジタル技術 [AI, 5G (第5世代移動通信システム)、他] の使用・運用および循環型社会の考え方を応用するための要件、技術的な仕様、効果的

なフレームワーク、シティにおける資産に対して循環型社会の考え方を応用するうえでのガイダンス、ならびに循環型シティ・コミュニティに向けたベースラインシナリオを確立するために必要となる指標およびKPIに関する勧告を策定しています。

■気候変動の適応・緩和、ネットゼロエミッション

課題9では気候変動、およびSDGs (持続可能な開発目標) とパリ協定のフレームワークにおけるデジタル技術の評価を目的としてICT, AI, 5G他を含むデジタル技術に対する持続性影響の評価手法およびガイダンス、気候変動と生物多様性課題の重要性の考慮、ならびにESG観点での評価を含む環境影響評価手法の使い方に関する勧告を策定しています。課題11では気候変動緩和およびスマートエネルギーソリューションを取り扱い、ICTとデジタル技術を使ったより効果的・効率的なエネルギー管理に向けたリアルタイムなエネルギーサービス・制御ソリューション、ならびにエネルギー効率向上およびCO₂排出量削減をめざしたエネルギー管理改善を容易にする標準、フレームワーク、要求条件に関する勧告を策定しています。課題12では持続可能でレジリエントなデジタル技術を通じた気候変動適応に向けて、電力・空調システムの効率改善、400 VDCまでの給電システムを使ったエネルギー効率の良いICTアーキテクチャの開発支援、ならびに気候変動に起因する事象に対する早期警報システム、スマート農業への応用、マイクロスマートグリッド、ビル最適化に関する勧告を策定しています。

■まとめ

ITU-TではICT分野として太陽フレアによる電磁波影響、データセンタや5G基地

局のエネルギー効率化と評価手法、サーキュラーエコノミーの実現に向けたサプライチェーンマネジメントやデジタルパスポートに特に注目が集まっています。一方、一般的な環境マネジメントシステムや環境影響評価は国際標準化機構 (ISO) で検討が進められており、エネルギー管理システムや環境配慮設計については国際電気標準会議 (IEC) の所管となっています。



(上段左から) 奥川 雄一郎 / 原 美永子
(下段左から) 堀内 信吾 / 山岸 和久

サステナブルで安定したICTサービスを提供するためには、アプリケーションサービス品質に関する指標の確立、ネットワークサービスの促進、通信設備の防護や気候変動、循環型経済の問題への取り組みが不可欠です。皆様も一緒に取り組みを進めましょう。

◆問い合わせ先

NTT 研究企画部門
標準化推進室
E-mail std-office-ml@ntt.com



アプリケーション・サービス関連技術の標準化動向

本稿では、マルチメディア符号化・伝送分野のISO (International Organization for Standardization) /IEC (International Electrotechnical Commission) JTC (Joint Technical Committee) 1 /SC (Subcommittee) 29, ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) SG (Study Group) 16, セキュリティ分野のISO/IEC JTC 1 /SC27とITU-T SG17における標準化動向を解説します。SC29とSG16はマルチメディアの符号化や伝送に関する標準化を担当し、エンタテインメントやビジネスコミュニケーションの未来をかたちづいています。一方、SC27とSG17は、情報セキュリティと通信セキュリティにおける標準化を担当し、デジタル社会の信頼性とプライバシー保護を強化しています。

キーワード：#セキュリティ、#マルチメディア、#国際標準化

マルチメディア符号化の標準化動向

かつてISO (International Organization for Standardization) /IEC (International Electrotechnical Commission) JTC (Joint Technical Committee)*¹ 1/SC (Subcommittee)*² 29にはWG (Working Group)*³ 1, 通称JPEG (Joint Photographic Experts Group) とWG11, 通称MPEG (Moving Picture Experts Group) の2つのWGがあり、JPEGは静止画像、MPEGは映像および音声ターゲットとして、符号化方式やフォーマット、伝送方式を開発してきました。両WGはこれまでJPEG, AVC/H.264*⁴を代表としたメディアコーデックや伝送方式を定期的に生み出し、デジタルメディアの成長に寄与してきました。しかし、近年特にMPEGの取り扱いメディアの種類が非常に多様化し、参加者数も数百人規模であることから、1つのWGとして活動を続けることが非効率になりつつありました。

そこで2020年7月、SC29は元々WG11の配下にあったビデオ、オーディオ、システムなどのサブグループをベースに7つのWGを創設し、さらにそれらWGが1つのMPEGというチームとして協力して活動できるようにサポートする3つのAG (Advisory Group)*⁵と、MPEGとJPEGの協力を目的とした1つのAGを創設しました。この再編成は、技術の進化と産業の

変化に対応するための重要なステップであり、映像、静止画像、音声、その他のメディアに関する業界が技術的に重なり合う現代において迅速に効率良く標準化を行うことをめざすものです。この再編成により、SC29はより広範で多様なアプリケーションに対応し、映像、音声、静止画像だけでなく、AI (人工知能)、ゲノム、医療画像など、新たな領域における標準化にも取り組むことができるようになりました。これに伴ってWG11はその役割を終えて消滅しましたが、MPEGという名前はWG2からWG8およびAG2, 3, 5からなる団体の通称、およびこれらWGのつくる標準規格の総称として継続使用されており、年に4回の国際会合もMPEG会合という名前で共同開催しています。

SC29の現在のWG構造と各WGの名称、活動内容は以下のとおりです。

■JPEG

- ・WG 1: JPEG Coding of digital representations of images

静止画等の圧縮符号化やフォーマットを取り扱います。Web用途に互換性に優れたJPEG XL, 産業用途に低レイテンシなロスレス符号化を実現するJPEG XSなどの静止画用コーデックのほか、JPEG Plenoシリーズではライトフィールド、点群、ホログラフィなどの高次元メディア用コーデックの標準化も行っています。最近では積極的にAI技術を取り入れており、JPEG AI, JPEG Pleno Point Cloudでは学習ベース

のツールが検討されています。

■MPEG

先述したように、WG2から8までの7つのWGはMPEGという共通の標準規格を協力して開発しています。最新のシリーズはISO/IEC 23090 MPEG-Iで、これはVR (Virtual Reality) やAR (Augmented Reality) など“Immersiveな”アプリケーションをターゲットにしており、映像、音響、三次元点群等、さまざまなメディアについての標準化が行われています。

- ・WG 2: MPEG Technical Requirement

新しい標準化アクティビティを開始する前のユースケースの収集や要求仕様の決定等のプリミティブな議論を行います。各アクティビティはある程度議論が進むとより専門的なWGに移行し、CfP (Call for Proposal) によって技術提案を募集して本

*1 JTC: ISOとIECの合同の技術委員会。第一合同技術委員会はISO/IEC JTC 1と表記されます。ISO/IEC JTC 1で発行した規格は、“ISO/IEC”で始まる規格番号となります。

*2 SC: ISO/IEC JTC 1を構成する下部組織。特定の分野に集中して活動する専門委員会。

*3 WG: SCの下部組織。特定の標準化プロジェクトを担当し、具体的な標準の策定や改定作業を行います。

*4 AVC/H.264: 動画データの圧縮符号化方式の1つ。同一の仕様がMPEGではAVCとして、ITU-TではH.264として標準化されているため、両者の呼称を併記してこのように表記されることがあります。

*5 AG: SCの下部組織。特定の領域や標準化プロジェクトに対して助言やガイドラインを提供します。

格的に標準化作業を進めていくこととなります。

・WG 3 : MPEG Systems

各種コーデックで符号化されたメディアのフォーマットやアプリケーションで使用される各種メタデータ、伝送方式の標準化を行います。現在はMPEG-I Part 14 : Scene Description for MPEG Mediaという複数のメディアからなるシーンを統合的に記述するシステムの標準化を進めています。

・WG 4 : MPEG Video Coding

映像コーデックの標準化を行います。現在は3DoF/6DoF (Degree of Freedom : 自由度) の映像表現のための深度情報を伴うMPEG-I Part 12 : Immersive Videoや、ニューラルネットワークの圧縮を行うNNC (MPEG-7 Part 17 : Compression of Neural Networks for Multimedia Content Description and analysis) の標準化を行っています。機械学習タスクに利用する映像・画像を符号化するためのVCM (Video Coding for Machines) についても間もなく標準化が開始される予定です。

・WG 5 : MPEG Joint Video Coding Team(s) with ITU-T SG 16

ITU-T SG (Study Group)*⁶ 16との共同作業で映像コーデックの標準化を行います。高圧縮な映像コーデックは産業上の重要性が非常に高いことから、ITU-T SG16とISO/IEC JTC 1/SC 29が共同作業チームを結成し、約10年周期で新しい標準を開発してきました。現在の作業チームは通称JVET (Joint Video Expert Team) と呼ばれており、2020年にHEVC/H.265 (MPEG-H Part 2 : High Efficiency Video Coding) の後続でさらに高圧縮・多機能

のVVC (MPEG-I Part 3 : Versatile Video Codec) の第一版を標準化完了しました。Versatileの名が示すとおり、HDR、360°、スクリーンコンテンツなどHEVCでは第二版移行でサポートされた拡張機能を第一版からサポートし、初めから広範囲のアプリケーションに対応可能な規格としてつくられました。その後2022年に産業用途にビット深度拡張を行った第二版を標準化完了した後、さらなる圧縮効率向上や学習ベースのツールの導入に関する検討を継続しています。

・WG 6 : MPEG Audio Coding

音声・音響コーデックの標準化を行います。2019年にオブジェクトベース音響コーデックであるMPEG-H Part 6 : 3D Audioの標準化を完了した後、現在は2025年に向けてMPEG-I Part 4 : Immersive Audioの標準化を進めています。

・WG 7 : MPEG Coding of 3D graphics and haptics

点群、触覚データなどの三次元表現を行うメディアのコーデックの標準化を行います。点群向けコーデックにはVR用途などの密でダイナミックな人物オブジェクトの表現に特化したV-PCC (MPEG-I Part 5 : Video-based point cloud compression) と、LiDAR (Light Detection And Ranging) データなどの大規模でスパースなオブジェクト・シーンも表現可能なG-PCC (MPEG-I Part 9 : Geometry-based point cloud compression) およびその派生規格があります。V-PCCは点群の三次元位置と色などの属性情報を画像に変換し任意の映像コーデックで符号化するもので、2021年に第一版の標準化を完了した後、対象をダイナミックメッシュに拡張したV-DMC (MPEG-I Part 29 : Video-based dynamic mesh compression) の標準化を継続中です。G-PCCは点群の位置を木構造で表し属性情報を予測

符号化するもので、2022年に第一版を標準化完了した後、対象を動的シーンやより大規模なシーンに拡張した第二版の標準化を継続中です。NTTはこのG-PCC第二版に対して積極的に提案活動を行っているところです。また、AIによる圧縮を行うAI based 3D Graphics Codingも2023年7月現在CfPの発行準備中です。

ほかにも触覚データ用のコーデックであるMPEG-I Part 31 : Haptics coding, IoT (Internet of Things) においてマルチメディアコンテンツを取り扱うためのAPIであるMPEG-IoMT (Internet of Multimedia Things) などの標準化も行っています。

・WG 8 : MPEG Genomic Coding

ゲノムデータ用コーデックおよび、ゲノムデータの解析のためのさまざまなメタデータやAPIを含むMPEG-Gシリーズの標準化を行います。2020年に一通りの標準化を完了した後、さらなる機能拡張に向けた検討を継続中です。

■AG

- ・AG1 : Chair Support Team and Management
- ・AG2 : MPEG Technical Coordination : MPEG全体のコーディネート
- ・AG 3 : MPEG Liaison and Communication : MPEGと他団体とのコミュニケーション
- ・AG 4 : JPEG and MPEG Collaboration : JPEGとMPEGの協力関係を構築
- ・AG 5 : MPEG Visual Quality Assessment : 各規格についての主観・客観に基づく性能評価

以上のように、SC29ではマルチメディア全般についてコーデック、フォーマット、システムのみならずメディア処理に用いるニューラルネットワークの表現に至るまで幅広い範囲のマルチメディアに関する標準

* 6 SG : ITU-Tを構成する下部組織。

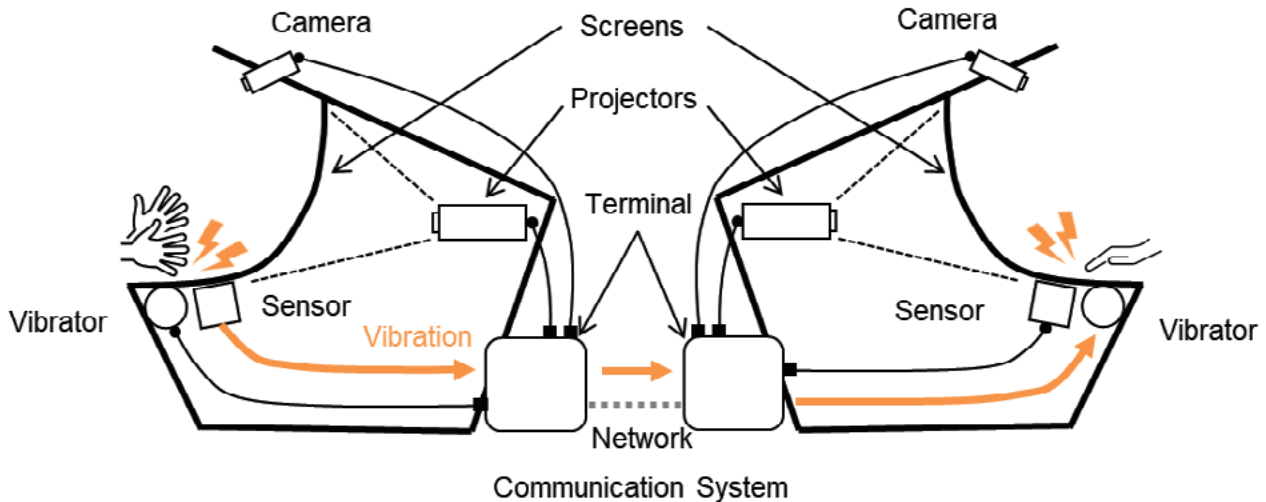


図 触覚伝送システムの構成例

化を行っています。今後は取り扱いメディアのさらなる拡大とともにAI技術を本格的に利用したコーデックの開発にも注目が集まります。

マルチメディア伝送の標準化動向

マルチメディアを送信し遠隔地で利用するアプリケーションの分野でも、国際標準化が進んでいます。ITU-T SG16ではISO/IEC JTC 1/SC 29と共同でマルチメディア符号化を推進しているだけでなく、それを遠隔地に伝送して再生するIPTV、デジタルサイネージといったシステム、さらに映像・音声以外の要素も伝送してあたかもその場にいるかのような体験を実現する超高臨場感体験のライブ伝送技術の標準化等を行っています。

デジタルサイネージは、普及当初は商業ビルや駅構内の固定ディスプレイに映像を配信する使い方が一般的でしたが、近年はネットワークに接続された自律型ロボットに搭載する用途も現れており、いわば動くデジタルサイネージとして配達ロボット等へ搭載されたり、テレプレゼンス^{*7}端末と

して活用されたり、仮想空間や後述の超高臨場感を伴うコミュニケーションのための端末として活用されたり、といった用途も想定されています。ITU-T SG16ではそのために必要なマルチメディア機能の要求条件の標準化が進められています。

映像伝送技術をさらに高度に活用し、従来のテレビのように「画面を見る」のではなく、「あたかもその場にいるかのようにリアルタイムに体験する」技術の標準化も進んでいます。ILE（Immersive Live Experience：超高臨場ライブ体験）と呼ばれるこの技術は、イベント側の実物大の大きさの感覚や奥行き感といった感覚もリアルタイムに遠隔地（提示側）に伝送することによって、テレビのような平面的な映像と音声で再現できる限界を超えた、超高臨場感を味わうことを可能にします。提示側において没入感を得るためにVRやAR（最近ではXR（Extended Reality）と称されることも多いです）等の技術も関連してきますが、イベント側でのセンシング（映像でいうとカメラでの撮影にあたる部分）から、リアルタイムでの伝送や処理、提示側での再現（映像でいうと表示にあたりま

す）までの一連のシステムとしてとらえたときに、超高臨場感をリアルタイムに得るために必要なアーキテクチャ、プロトコルなどを標準化する必要があります。またこの超高臨場感を、国境を越えて届けるために、国際的な相互接続性を確保することも標準化の大切な役割です。最近ではさらに触覚情報も伝送する技術の検討が進められています。2023年7月のITU-T SG16会合でその第一弾となる勧告がNTTの主導により作成、合意され、今後承認プロセスを経て2023年度中には発行される見込みです。当該技術のユースケースの一例を図に示します。今後も、触覚情報を活用してILEの超高臨場感をさらに高めるための関連勧告の検討とともに、触覚以外の伝送によるILEのさらなる拡張の検討も進められることが見込まれます。また、最近注目を集めているメタバースに関連するFG（Focus Group）^{*8}がITUに設立されており、ILE

*7 テレプレゼンス：ロボット等を介して遠隔地の人や物とインタラクションすること。

*8 FG：既存のSGに包含されない新規課題の検討等を目的に設立される、限定的なグループ。

との関連についても検討される見込みです。

セキュリティ分野での標準化活動

セキュリティを扱うデジタール標準化団体には、ISO/IEC JTC 1/SC 27や、ITU-T SG 17があります。ここではISO/IEC JTC 1/SC 27とITU-T SG17それぞれの概略について紹介し、簡単に比較してみます。

■ISO/IEC JTC 1/SC 27

ISO/IEC JTC 1/SC 27では情報セキュリティ・サイバーセキュリティ・プライバシー保護に関する方法・技術・ガイドライン等を取り扱っています。この中にWGが1から5まであり、それぞれ異なるテーマを担当しています。

- ・WG 1は情報セキュリティマネジメントシステム (ISMS) を扱っています。ISO/IEC 27000規格群が有名です。
- ・WG 2は暗号技術およびセキュリティメカニズムを扱っています。暗号アルゴリズムを定めるISO/IEC 18033シリーズがよく知られています。
- ・WG 3はセキュリティ評価・試験・仕様を扱っています。コモンクライテリアISO/IEC 15408シリーズは多くのITセキュリティ認証制度において評価基準として参照されています。
- ・WG 4はセキュリティコントロールとサービスを扱っています。例えばIoTのセキュリティに関するガイドラインや要件を定めたISO/IEC 27400規格群などがあります。
- ・WG 5はアイデンティティ管理とプライバシー技術を扱っています。代表的な規格にプライバシーフレームワークを定めたISO/IEC 29100があります。

ISO/IEC JTC 1/SC 27のWGは、これまで増設や名称の軽微な変更はありましたが、基本的には静的で、それぞれの取り扱う範囲が大きく変わったということはありません。

ません。

■ITU-T SG17

ITU-T SG17 (Security) ではセキュリティ全般を取り扱っています。各分野に特化したセキュリティの案件は他のSGでも取り扱っていますが、ITU-T全体のセキュリティ検討の取りまとめはSG17の活動です。この役割はISO/IEC JTC 1/SC 27のそれとよく似ています。他方、異なる点として、ITU-T SG17ではセキュリティの他にディレクトリ・オブジェクト識別子・技術言語なども扱ってきたということがあります。

ITU-T SG17の代表的な勧告にデジタル証明書の標準形式を定めたX.509があります。また構文記法ASN.1も有名です。

2023年7月現在、ITU-T SG17の中にWPが1から5まであり、またQ (Question) が12個あります。各QはいずれかのWPに属します。このWPやQの構成は前述したISO/IEC JTC 1/SC 27のWG構成に比べると動的で、まずQについては、議論の進展や技術の進歩によって追加されたりマージされたりします (飛び番になっているのはそのためです)。あるQの検討対象範囲が拡大されたりもします。あるいは定期タイミングでWPとQの再構成・整理が大々的に行われることもあります。

- (1) WP 1 (Security strategy and coordination)
 - ・Q1 Security standardization strategy and coordination
 - ・Q15 Security for/by emerging technologies including quantum-based security
- (2) WP 2 (5G, IoT and ITS security)
 - ・Q2 Security architecture and network security
 - ・Q6 Security for telecommunication services and Internet of Things
 - ・Q13 Intelligent transport system

security

- (3) WP 3 (Cybersecurity and management)
 - ・Q3 Telecommunication information security management and security services
 - ・Q4 Cybersecurity and countering spam
- (4) WP 4 (Service and application security)
 - ・Q7 Secure application services
 - ・Q8 Cloud computing and Big data infrastructure security
 - ・Q14 Distributed Ledger Technology (DLT) security
- (5) WP 5 (Fundamental security technologies)
 - ・Q10 Identity management and telebiometrics architecture and mechanisms
 - ・Q11 Generic technologies (such as Directory, PKI, Formal languages, Object Identifiers) to support secure applications

■両者の比較

ISO/IEC JTC 1/SC 27とITU-T SG17の組織構成に対応して、日本の国内委員会も構成が異なっています。ISO/IEC JTC 1/SC 27に対応する国内の委員会はありますが、ここでは技術的な検討は行いません。技術検討は一次的に国内小委員会が行います。国内小委員会は国際の各WGに対応して1から5まであります。これに比し、ITU-T SG17に対応する国内の委員会では、ここではすべての案件について技術検討を行っています。国際の各WPに対応するようなサブ委員会は設けていません (むしろ委員会内での担当の割振りはあります)。前述した国際における静的・動的な組織構成の違いを踏まえると、日本国内における対応は理に適っているといえます。

技術分野については、ISO/IEC JTC 1/SC 27とITU-T SG17で共通する案件が多いのは当然ですが、しかし互いに補完するようなものも少なくありません。例えば公開鍵暗号技術については、暗号アルゴリズムや電子署名方式を定めているのはISO/IEC JTC 1/SC 27のほうですが、公開鍵基盤（PKI）の標準形式や検証アルゴリズムを定めているのはITU-T SG17のほうです。どちらも公開鍵暗号技術の利用には不可欠のもので、むしろセキュリティマネジメントやネットワークセキュリティに関するガイドラインやフレームワークについては深く関連する案件が多く、ISO/IEC JTC 1/SC 27とITU-T SG17の間で双方向にリエゾン（双方の会議に参加して情報交換を活性化させる役割を負う人）を擁立して、密に連携しながらそれぞれ標準化を推進しています。

■ ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 2での活動

次に、筆者らが活動しているWG 2の動向、特に秘密計算と呼ばれる暗号化したまま分析（計算）する技術の標準化動向について概説します。

あるクライアントが、データをクラウドサーバに集めて分析をするケース、を考えてみましょう。このとき、一般的な暗号技術は、①クライアントとクラウドサーバ間でやり取りされるデータ、②クラウドサーバで保存されているデータ、を暗号化で保護します。しかし、データを分析するときだけは一度暗号化を解く必要があります。秘密計算はそれを暗号化したままでも行えるようにする技術です、すなわち上記に加えて、③クラウドサーバで分析されるデータも暗号化で保護できる技術です。秘密計算を使うことで、個人のパーソナルデータや企業の営業秘密をずっと暗号化したままでも分析ができる、言い換えると「データの中身を見ない」活用が可能となります。

秘密計算は上記の性質から、より安全な

データ処理はもちろんのこと、今まで他組織に開示することが難しかったデータを持ち寄って、企業や業界の枠を越えた新しいデータ利用が期待でき、注目されている技術です。近年ではPrivacy enhancing computation（PEC）という名の技術群として、ガートナーの戦略的テクノロジーのトップ・トレンドにも挙げられています。

このようなトレンドの高まりもあり、NTTの動きかけをきっかけに2020年からISO/IEC 4922シリーズとして秘密計算の標準化が始まりました。2つのパート作成が開始され、ISO/IEC 4922-1は秘密計算全般に関する標準、ISO/IEC 4922-2は秘密分散に基づく秘密計算に関する標準です。NTTはISO/IEC 4922-1および4922-2とともにエディタとして積極的に規格作成を主導しています。ここで秘密分散に基づく秘密計算とは、秘密分散と呼ばれるデータを特殊な断片に変換する方法を利用して実現する秘密計算のことであり、秘密分散自体もISO/IEC 19592シリーズとして標準化されています。

ISO/IEC 4922-1は2023年の7月に規格が発行され、ISO/IEC 4922-2についてもすでに最終段階のため、近々規格が発行される見通しです。また、近年ではその他の秘密計算の実現方法についても規格化の動きがあり、今後も注目される規格だといえるでしょう。

■ WG 2で議論されているその他のセキュリティ規格について

ISO/IEC JTC 1/SC 27/WG 2では秘密計算以外にも、基本的な暗号方式（ブロック暗号やハッシュ関数）から匿名認証、耐量子暗号といった発展的な機能・性質を持つものまでさまざまな方式を議論しています。

その中でも近年積極的に議論されているものの1つとして、耐量子暗号と呼ばれる量子計算機でも解けないといわれている暗

号があります。量子計算機はRSA署名などの暗号を理論上解読できてしまうことが知られているため、近年の量子計算機の発展に伴い標準化が行われています。WG 2でも積極的に議論が行われていますが、規格化にはNIST（アメリカ国立標準技術研究所）で行われている耐量子暗号のコンペティション結果が大きく影響するため、具体的な規格化の前段階としてSD（Standing Document）と呼ばれる文書で議論の内容が公開されるとどまっています。ただ、NISTのコンペティションが2022年7月にいったん区切りを迎えたため、今後はWG 2においても規格化が進んでいくものと考えられます。



（上段左から）杉本 志織 / 長尾 慈郎 / 安田 幹
（下段左から）菊池 亮 / 市川 敦謙

国際標準化の動向は、未来のアプリケーション・サービス関連技術の方向性を理解する鍵となります。今後の展開を予測する手助けとして、本稿が役立つことを願っています。

◆お問い合わせ先

NTT 研究企画部門
標準化推進室
E-mail std-office-ml@ntt.com

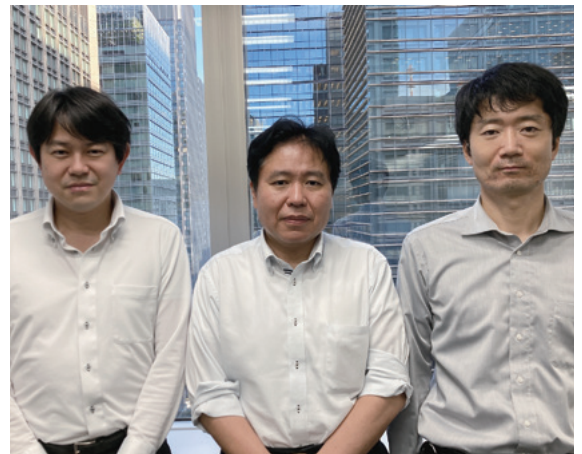


主役登場

NTTグループの 標準化ハブをめざして

長尾 慈郎 / 小鯛 航太 / 山本 浩司

NTT 研究企画部門
標準化推進室



(左から) 小鯛, 山本, 長尾

標準化推進室の役割は読んで字のごとく、NTTグループの標準化を推進することですが、ここでは2つの役割に分けて紹介します。

■NTTグループの標準化活動の方針立案、関係者間の調整

標準化は、「どれでも同じように使える・つながる（互換性、相互接続性）ことを保証するための規定」というイメージが強いかもしれませんが、標準化の役割はそれだけではありません。その1つがビジネスの安定化です。昨今の変化の激しい世界情勢の中にあって、ビジネスを安定的に継続することは企業にとって非常に重要で難しい課題となっていますが、標準化はビジネスの安定化に貢献できるツールの1つでもあります。

身近な例を挙げると、無線LANの機器を購入するとしたら、特殊な事情がない限りほぼすべての方がIEEE 802.11準拠の製品を選択されると思います。むしろ準拠していない製品を探すことのほうが難しいかもしれません。これをビジネスの側からみると、IEEE 802.11という標準によってユーザの無線LANに対するニーズや市場の動向を予測しやすくなるといえます。さらに、例えば次世代の標準に自社の得意な分野を盛り込むことができれば、ビジネスを有利に進めることができるようになるかもしれません。このように標準化は、ビジネスを有利に進めるための戦略的に重要なツールにもなり得ますので、ときには国際的な激しい競争の対象になることもあります。

このような理由から、標準化推進室は、

標準化を通じてNTTグループのビジネスの安定的な発展に貢献することを目的の1つとして、標準化活動を戦略的、効果的、効率的に進めるための方針立案、調整等を行っています。また、そのために各種標準化団体の活動状況を収集し、情報を流通させるハブ機能も担っています。これはもう1つの役割にもつながっています。

■各種標準化団体等に対する窓口（代表）

標準化推進室の大きなもう1つの役割は、各種標準化団体等に対するNTT（またはNTTグループ）の代表としての役割です。ITU（国際電気通信連合）などのデジュール国際標準化団体、TTC（一般社団法人情報通信技術委員会）などの地域・国内標準化団体、3GPPなどのデファクト（フォーラム）標準化団体など、数多くの団体の窓口となっています。実質の標準化活動はその分野のエキスパートに進めてもらいますので、各団体において標準化を所掌する委員会等の委員はエキスパートに就任してもらいます。一方で、各団体の運営等にかかわる委員会等が設置されていることも多くあり、これらには標準化推進室が参画する場合があります。活動内容はさまざまですが、役員選挙や交代にかかわる処理から機関紙の企画・編集まで、多岐にわたります。こうした活動を通じて各団体の動向を把握することで、前述した活動方針立案にも役立てています。

■標準化活動の機運の高まりと今後の方針

このように標準化推進室は、名称に「標準化」という言葉が含まれていますが、標準化活動を実際に行っているわけではなく、

実質の標準化活動を進めてもらっているエキスパートの皆様の活動をサポートしたり、各種標準化団体の運営にかかわったりして、NTTグループの標準化活動を裏から支えています。

こうした活動において大変大きな動きが2022年にありました。国連の電気通信標準化を所管する専門機関であるITU-Tの局長に、日本政府が擁立したNTT出身の尾上誠蔵氏がITU加盟の193カ国による投票（選挙）によって選出されたことです。2023年から局長に就任され、ご活躍されています。選挙に向けては出身母体であるNTTも選挙チームを組み、尾上氏を強力にサポートしました。標準化推進室はNTTグループ会社の連携体制を確立するなど、選挙チームの中核として重要な役割を果たしました。日本政府によるITU-T局長候補擁立は、政府が国際標準化を重要視していることの表れであり、さらに尾上氏が見事当選されたことで日本国内における国際標準化強化の機運が高まっています。標準化推進室としてはこの機会を逃すことなく、NTTグループの標準化活動体制のさらなる強化、活性化に取り組んでいきたいと考えています。

NTTグループの標準化活動に関して問題、課題、疑問があったら標準化推進室に相談すれば解決する、そのためにも普段から標準化推進室に情報を共有しておこう、そんな頼れる存在をめざして、これから社内外の情報収集や関係構築を進め、NTTグループの標準化を推進していきたいと考えています。

IOWN構想の早期具現化に向けた取り組みについて

2023年3月にIOWN (Innovative Optical and Wireless Network)を構成する主要な技術分野の1つであるオールフォトニクス・ネットワーク(APN)のサービス「APN IOWN1.0」が提供開始された。NTT IOWN総合イノベーションセンタ(IIC)ではその先のIOWN構想の早期実現に向けて、プロダクトやサービスの開発を行っている。本特集では、IICが取り組んでいる技術やユースケースについて、APN、コンピューティング基盤、デバイスに分けてそれぞれ紹介する。

IOWN構想の早期具現化に向けて ——IOWN実用化に向けた

NTT IOWN総合イノベーションセンタの取り組み ————— 38

IOWNを幅広く普及展開させ、持続的成長に向けて社会の変革に寄与することをめざすNTT IOWN総合イノベーションセンタの活動について紹介する。

IOWNサービス提供、普及拡大に向けた APNコントローラ技術 ————— 42

高品質なAPNサービスを運用するために重要な役割を担うAPNコントローラ技術の主軸となるAPN制御機能およびAPN収集・分析機能、またIOWNサービスを実現するための付加価値機能について紹介する。

IOWN

光電融合デバイス

APN

データセントリック基盤

シリコンフォトニクス

IOWN時代のデータ処理を支えるデータセントリック基盤とそのコンセプト実証

47

データセントリック基盤のコンセプトである、アクセラレータやオールフォトニクス・ネットワークを効果的に用いたデータ処理パイプラインの提供、およびCPS(Cyber Physical System)における映像解析をユースケースとした、同コンセプトの段階的な実証について紹介する。

IOWNを支える光電融合デバイス (第2・第3世代デバイスの開発)

53

第2・第3世代光電融合デバイスのめざすアプリケーションおよび技術的な要請について述べるとともに、光電融合デバイスだからこそ得られた利点と、それを実現するための技術的なポイントについて紹介する。



IOWN構想の早期具現化に向けて —— IOWN実用化に向けたNTT IOWN 総合イノベーションセンタの取り組み

NTT IOWN総合イノベーションセンタは、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想の早期具現をめざして発足した組織であり、NTT研究所が創出するIOWN各種技術の実用化と、それらを核として市場ニーズや社会の要請にこたえられるように仕立て上げた、IOWNサービス・プロダクトの提供に取り組んでいます。本稿では、IOWNを幅広く普及展開させ、持続的成長に向けて社会の変革に寄与することをめざすNTT IOWN総合イノベーションセンタの活動について紹介します。

キーワード：#IOWN, #光電融合デバイス, #APN

つかの ひでひろ^{†1}
塚野 英博^{†1}
たかはし いくや^{†2}
高橋 郁也^{†2}
いけじり ゆういち^{†3}
池尻 雄一^{†3}

NTT IOWN総合イノベーションセンタ センタ長^{†1}
NTT IOWN総合イノベーションセンタ 副センタ長^{†2}
NTT IOWNプロダクトデザインセンタ センタ長^{†3}

はじめに

NTT IOWN総合イノベーションセンタは、2021年7月に、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 関連技術とプロダクトの開発加速のために、NTT研究所の中で開発ミッションを有する組織を集結して新設された、NTT研究所の中でユニークな存在です。当初は、ネットワーク・アクセスシステムの研究開発を担う「NTTネットワークイノベーションセンタ」、コンピューティング基盤ソフトウェアの研究開発を担う「NTTソ

フトウェアイノベーションセンタ」、光・電子デバイスの研究開発を担う「NTTデバイスイノベーションセンタ」の3センタで発足しました。組織名が「研究所」ではなく「センタ」となったのは、従来の研究所のように将来を見据えた基礎研究を行うというよりも、世の中のニーズを汲み取ってタイムリーなIOWN構想の具現化をめざす組織であるという意味が込められています。その後、2022年5月には、IOWNの普及展開の加速のため、「NTT IOWNプロダクトデザインセンタ」が新設され、4センタ体制となりました(図1)。この

3センタがIOWNの革新的な技術を実用化し、IOWNプロダクトデザインセンタがそれらの技術の中核に、市中技術等と組み合わせ、市場ニーズからバックキャストしたIOWNのサービス・プロダクトを仕立てていく、という役割分担で取り組んでいます。

NTT IOWN総合イノベーションセンタがねらうIOWNの普及展開領域

NTT IOWN総合イノベーションセンタ

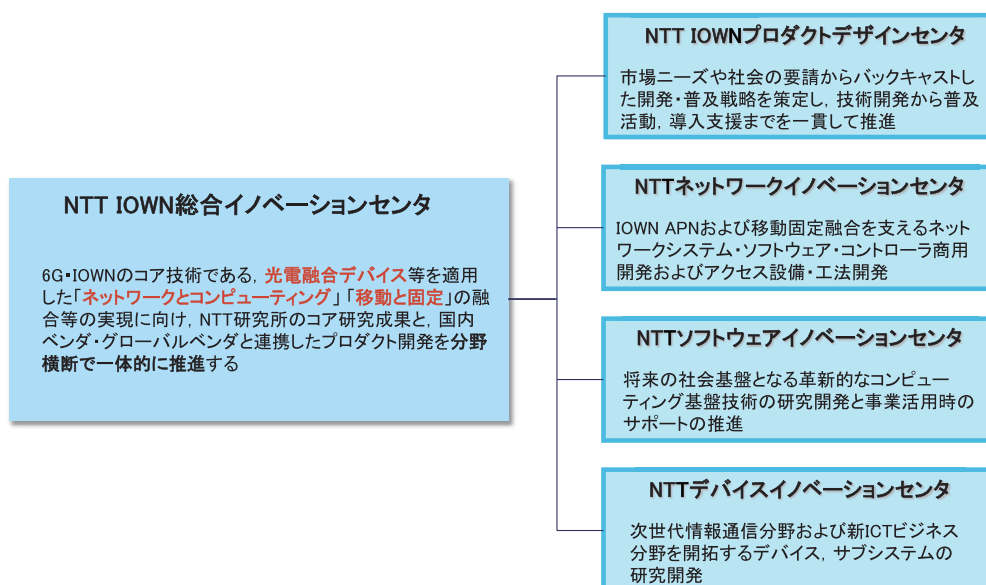


図1 NTT IOWN総合イノベーションセンタの組織構成

では、NTTグループ内での活用にとどまらず、IOWNを社会全般に幅広く普及展開し、IOWNの価値を享受してもらいたいと考えます。図2に示すように、4階層の普及展開領域（半導体デバイス領域、IT機器領域、通信ネットワーク領域、ICTソリューション領域）を定義し、NTT IOWNプロダクトデザインセンターを中心に領域ごとに取り組みを進めていきます。

■半導体デバイス領域

従来の情報通信システムでは、光信号は半導体デバイスによって処理された情報を他の拠点に伝えることのみに使われてきました。半導体デバイスは「ムーアの法則」に沿って進化してきましたが、処理すべき情報が爆発的に増えてくると、従来、装置内あるいは半導体間の情報伝達を行っていた電気信号では、速度・エネルギー消費の観点で限界が見えており、新たなブレークスルーが求められています。NTTが研究開発を進めてきた光電融合技術は、従来の半導体デバイスを用いたシステムにおいて光信号と電気信号を適材適所で活用していく技術です。拠点間の通信だけでなくさま

ざまなレベルで光を活用していくことで、小型・経済化、高速・低消費電力を実現することが可能となります。

NTTでは、光電融合技術の進化に連動するカタチでIOWN1.0からIOWN4.0までロードマップを定めています（図3）。IOWN1.0ではネットワーク向け小型・低

電力デバイスをオールフォトリクス・ネットワーク（APN）サービスに適用していきます。次に、IOWN2.0ではサーバ内部のボードとボードの間の接続に光を利用可能となり、適用領域がコンピューティング分野まで広がります。さらにIOWN3.0では、サーバのボード内の半導体パッケージ間の

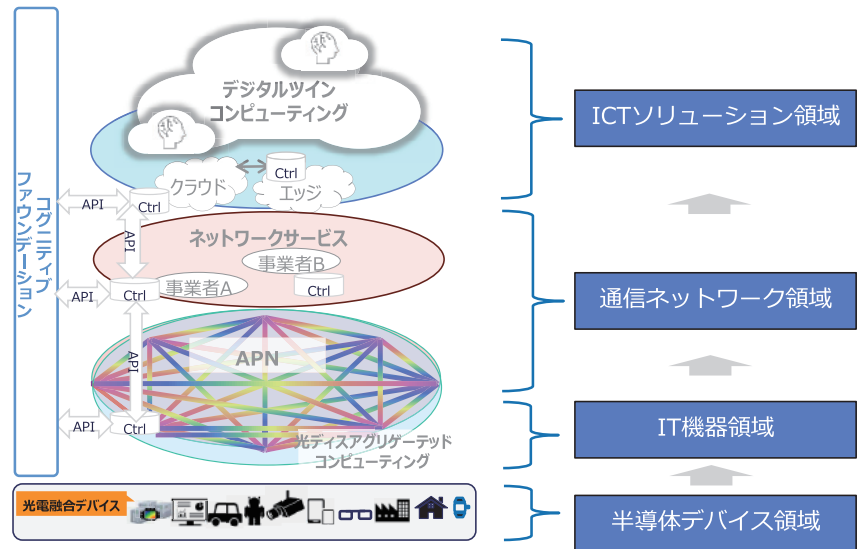


図2 IOWNの普及展開をねらう領域

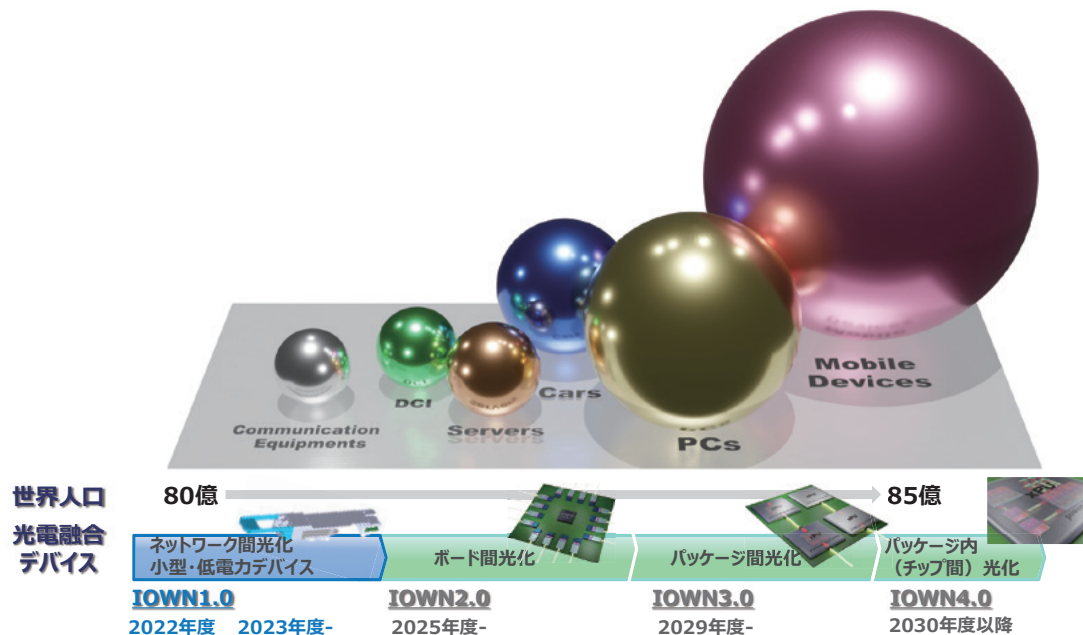


図3 光電融合デバイスのロードマップとアプリケーション

接続に、IOWN4.0では演算処理を行うロジック半導体の近傍まで光接続を利用できるようにします。このような進化により、光電融合デバイスの適用領域は従来の通信分野から、コンピューティング分野に拡大され、幅広いモジュールベンダや装置ベンダ、自社での装置組み上げ能力を持つハイパースケaler等に活用してもらい、AI（人工知能）の活用拡大等に伴う社会全体の消費電力増大の解決に貢献していくのが1つの形態と考えます。さらには、自動車やモバイル端末等、コンシューマ分野に広がれば、適用台数も億単位に拡大、かつ1台当りの使用量も増えることが期待され、世界のカーボンニュートラルに大きく貢献することが将来の展望です。

本取り組みを加速して早期に光電融合デバイスを世の中に提供するため、2023年6月にNTTイノベティブデバイスを設立しました。今後、NTTイノベティブデバイスとも密に連携していきます。

■IT機器領域

光ディスアグリゲータッドコンピューティングは、NTT研究所が提案する光の特性を活かす新たなコンピューティングアーキテクチャです。光電融合デバイスにより光インターコネクトを介してアクセラレータ間をCPU非介在、かつ、大容量・低遅延でつなぐことで、CPUボトルネックを回避し、性能向上と電力効率向上を図ることができます。このアーキテクチャであれば設備増強がサーバ単位でなく、アクセラレータ単位となり、さらに各アプリケーションで実行される処理に応じて、CPU、GPU、FPGA等のさまざまなアクセラレータから最適なものを必要な量だけ割り当てられるため、エネルギー利用効率向上が期待できます(図4)。現在、この光ディスアグリゲータッドコンピューティングアーキテクチャを採用したSWB (Super White Box) の研究開発を進めていますが、このSWBは、NTTグループの社内システムに適用してグループのカーボンニュートラル目標の達

成をめざすだけでなく、サーバシステムとしての提供や、as a Service 基盤といった形態でNTTグループ外の方にも幅広く利用してもらう機会を提供し、社会全体のカーボンニュートラルに貢献していきたいと考えています。

■通信ネットワーク領域

光電融合デバイスやSWBを活用しながら、従来技術ではできなかった革新的なネットワークサービスを実現します。その一つがAPNです。お客さま1人ひとりに対して光の波長を提供し、途中で電気に戻すことなく、光のみで接続するため、低消費電力で広帯域なデータ転送を可能とするものです。2023年3月にNTT東日本、NTT西日本でAPN IOWN1.0として商用サービスが開始されましたが(図5)、既存サービ

スに比べて、大容量で、遅延が200分の1かつ遅延の揺らぎがない通信環境が提供できることから、遠隔医療やスマートファクトリーなど、遠隔地からでも精緻な作業が可能になったり、遠隔会場間での公平な対戦環境が保証されたeスポーツなど、これまでのネットワークサービスで困難であった新たなユーザ体験を提供することが可能です。このAPN IOWN 1.0の商用サービス開始に合わせた実証では、リアルタイムのリモート演奏や漫才で新しい芸術共創・鑑賞を体感していただくことや、リモートでのダンスレッスンで新しい部活動のかたちを体感していただくなど、活用の幅を広げてきています。

また、モバイルネットワークにおいても、光電融合デバイスを活用した無線基地局を

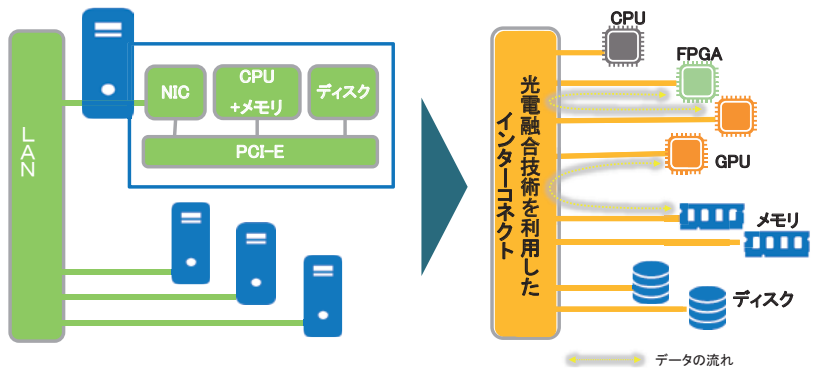


図4 光ディスアグリゲータッドコンピューティング

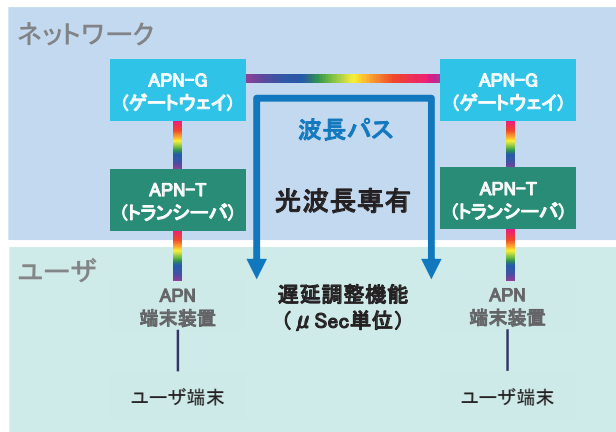


図5 APN IOWN1.0

配備し、そのモバイルフロントホールをAPNベースで構築し、vRANソフトウェアをSWB上で稼働させることで、5G（第5世代移動通信システム）・Beyond 5Gサービスの低消費電力化が可能となります。

今後はAPN IOWN 1.0をさらに進化させることで、これまでのダークファイバ利用に比べて、回線の設置・拡張のリードタイム短縮化やさらなる大容量化、ネットワーク品質の保証といったメリットを実装していき、データセンタ事業者のデータセンタ間接続、スマートファクトリーや6G（第6世代移動通信システム）サービスなどへの適用をお客さまとともに進めていく計画です。

■ ICTソリューション領域

NTT研究所では、高速・大容量・低消費電力なデータ通信を実現するSWBやAPN等（IOWNインフラと総称）に加えて、それら特性を優位に活用できるセキュリティ技術やデータ処理技術、すなわち多拠点に偏在するデータから必要なデータを迅速に効率良く入手し利用できるようにする「仮想データレイク」、多拠点間での効率的なデータ送受信を可能にする「データブローカー」、異なる組織間でデータやアルゴリズムを互いに秘匿したまま実行可能にする「データサンドボックス」等⁽¹⁾（IOWN技術群と総称）の研究開発も進めています。

そしてIOWNインフラとIOWN技術群を組み合わせ利用可能な「IOWNプラットフォーム」を構築・提供し、広域に分散したデータのリアルタイム処理や、安心・安全なデータ流通といった新たな価値を創出する基盤として多くのお客さまに活用していただき、幅広い業界におけるビジネス課題解決や新規ビジネス展開のソリューションに役立ててもらうことをめざします（図6）。さらにはIOWN技術群の拡充に加え、技術の提供価値を深く理解する人材を育成しコンサルテーションできるようにすることで、特定業界におけるベストプラクティス提供から他業界への横展開など幅

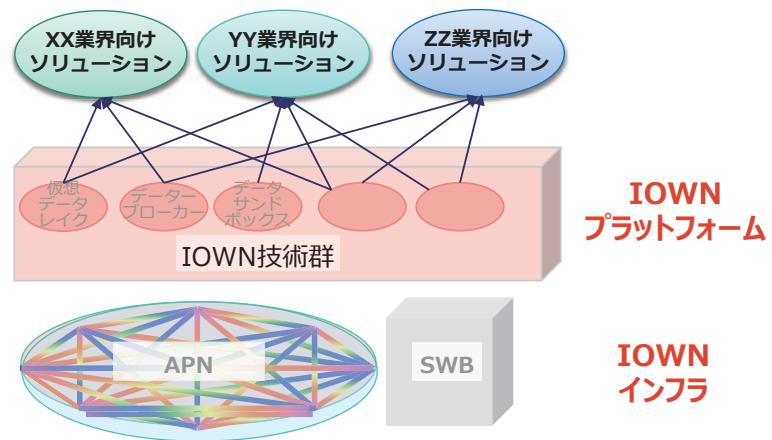


図6 ソリューションサービスとしての展開

広くIOWNの価値を享受してもらう世界の実現に向けて各取り組みを推進していきます。

おわりに

NTT IOWN総合イノベーションセンターがねらう、IOWNの普及展開領域を示しました。さまざまなステークホルダーの方々に対して新たな価値を、できるだけ早期に、より効果的なかたちで提供していけるよう、多方面の方々とコラボレーションしながらIOWNの実用化を推進していきます。

■参考文献

- (1) 大村・ジェイ・片山・河井・柏木・馬越・除補・木村：“組織を越えたデータ活用を安全・便利にする次世代データハブ,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.2, pp.9-13, 2022.



(左から) 塚野 英博/ 高橋 郁也/
池尻 雄一

NTT IOWN総合イノベーションセンターではNTTグループ全体から集まった多くの人と一丸となってIOWNサービス・プロダクトの開発を進めています。今後もNTTグループ会社をはじめIOWN Global Forumメンバーとも連携し、早期に豊かな社会をつくるIOWN構想を実現していきます。

◆問い合わせ先

NTT IOWN総合イノベーションセンター
企画部
E-mail injousen-s@ntt.com



IOWNサービス提供、普及拡大に向けたAPNコントローラ技術

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) の基盤となるオールフォトニクス・ネットワーク (APN) は従来ネットワークと比較し高速大容量、低遅延、低消費電力という特徴を有しており、これらを最大限に活かしたサービスの早期提供、普及拡大をめざしています。また、これらの性能を備えた高品質なサービスを運用するためには、コントローラの役割の重要性が従来ネットワーク以上に増大しています。本稿では、APNコントローラ技術の軸となるAPN制御機能およびAPN収集・分析機能、またIOWNサービスを実現するための付加価値機能について解説します。

キーワード：#IOWN, #APNコントローラ, #情報収集分析技術

ふなつ げんたろう きはら たく
 船津 玄太郎 / 木原 拓
 なかつかき さとし ふくだ あき
 中務 諭士 / 福田 亜紀
 なみき まさとし おおほら たくや
 並木 雅俊 / 大原 拓也
 いとう ひろき たけち ひろと
 伊藤 宏樹 / 武智 宏人

NTTネットワークイノベーションセンター

はじめに

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) の基盤となるオールフォトニクス・ネットワーク (APN) がめざしている高速大容量、低遅延、低消費電力を実現し、多種多様なサービス提供に向けオープンなインタフェースを提供し、さまざまなネットワーク構成要素を迅速・柔軟に取り込んでいくためには、APNを管理運用するAPNコントローラ (APN-C) の役割が重要になってきます。そこで、私たちはAPNを活用したサービス提供の普及拡大に向けてAPN-Cの開発に取り組んでいます。また、IOWNの特徴の1つである低遅延を最大限に活用するサービスおよび今後必須要素となるセキュリティ機能等の付加価値機能についての研究開発にも積極的に取り組んでいます。

APN-C機能概要

APN-Cの軸となる機能として、第一にマルチベンダ・マルチキャリアネットワークにおけるエンド・ツー・エンド (E2E) サービス提供に向けて基本となる「APN制御 (E2Eパス設定) 機能」、第二に業務実施に必要な開通・保守および情報収集機能等を司る「APN運用・インテリジェント機能」の2つを実現します。

APN制御機能としては、最終的な中継伝送装置 (APN-I^{*1}/G^{*2})、端末 (APN-T)^{(1)*3}

制御を含むE2Eトータルでのパス設定の実現に向けて、端点となる多彩なAPN-Tの制御を可能とする端末向け制御機能、およびAPN-I/GでのE2Eパス設計・設定を実現します。

また、APN運用・インテリジェント機能としてはマルチベンダ・マルチキャリアネットワークにおけるE2Eでの運用実現に向け、情報収集、警報監視等のAPN保守運用に必要な機能に加え、光・サービスレイヤをまたがった可視化分析やPM情報を活用したプロアクティブ保守等の運用・インテリジェント機能を実現します (図1)。

APN-C構成について

APN-Cの機能開発における基本方針としては、APNの発展に合わせてスモールスタートし、必要となる機能部品から随時提供可能とすることを志向しています。基本構成は、基本PF (NMS)・アダプタ (装置制御)・運用インテリジェントの3層構造とし、運用インテリジェント・アダプタ部品の実現により、新装置対応や装置の機能追加に柔軟・迅速に対応可能とします。また当初のAPN-Cを適用するAPNはAPN-I/Gはシングルベンダ、APN-Tについては異ベンダ装置の波長接続を実現します。

APN制御機能 (E2Eパス設定) 詳細

APN制御 (E2Eパス設定) 技術はOpenROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) 等のオープンインタフェースに対応したものをも含めたAPN-Tを両端点とするE2Eパス設定に向けて①APN-Tプロビジョニング、②付加価値機能の拡張対応、③APN-I/G制御があります。

① APN-Tプロビジョニング

APN-Tプロビジョニングとしてユーザー所有のマルチベンダなトランシーバも含めたAPN-Tと、APN-I/Gをシームレスに接続することを目的とした、E2Eパス自動接続システムを実現します。具体的にはパスごとのパラメータチューニングを行う技術やクライアント側に合わせてライン側の速度を柔軟に変更する速度変換があります。また、ネットワーク方式としては、APN-Cと各種APN-Tが接続する際、そのリチャビリティをOSCや保守用波長を活用しインチャンネルで実現します。

*1 APN-I: APNインターチェンジは光パスの中継機能部であり、波長クロスコネクタ、インタフェース間のアダプテーションの各機能を有します。

*2 APN-G: APNゲートウェイは光パスのゲートウェイであり、収容するAPN-Tに対する制御チャネルの設定、光パスの合成分波等の機能を有します。

*3 APN-T: APNトランシーバは光パスの端点であり、光信号の送受信機能を有します。

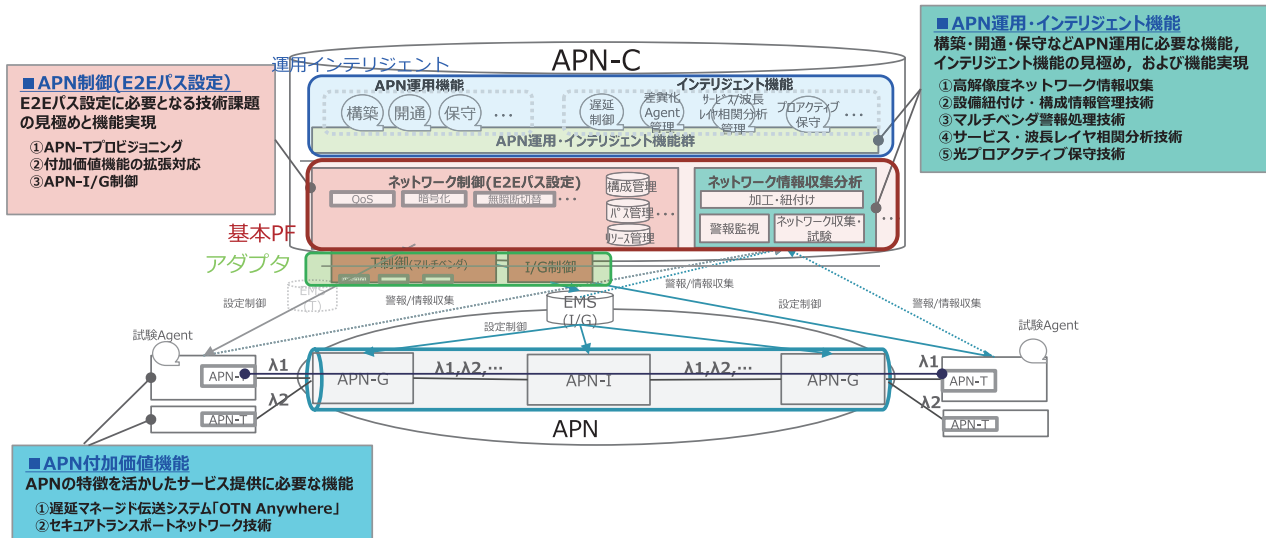


図1 APN-C実現イメージ

② 付加価値機能の拡張対応

マルチベンダやさまざまな付加価値追加も含めて、APN-Cが制御すべき端末のバリエーション追加に容易に対応できるコントローラシステム構成技術の検討を実施しています。具体的には、遅延マネージド伝送システム「OTN Anywhere」やセキュア光トランスポートネットワーク技術等の付加価値機能群の制御シナリオの明確化、OpenROADMによる制御実装方式の検討等を実施しています。

③ APN-I/G制御

APN-I/G制御として各種APN-Tに対応可能とするため、NE-OpS (Network Element-Operations System) 連携を含めた中継伝送区間 (APN-I/G) のパスごとの波長割当て技術を活用します。また中継区間での障害発生時に迂回ルートの動的なパス設定を可能とします。

APN運用・インテリジェント機能詳細

APNにおける運用・インテリジェント機能は、マルチベンダ・マルチキャリアネットワークにおけるE2Eでの運用を実現するための機能であり、波長単位での管理・運用に必須となる①高解像度ネットワーク情報収集、②設備紐付け・構成情報管理、③

マルチベンダ警報処理、および、APNにおける業務効率化・付加価値化を実現するための技術である、④サービス・波長レイヤ相関分析、⑤光プロアクティブ保守があります。

① 高解像度ネットワーク情報収集

高解像度ネットワーク情報収集は、テレメトリや後述するE2E試験エージェントを用いた細粒度かつ柔軟な情報収集により、従来の運用にないきめ細やかで能動的な保守対応を実現する技術です(図2)。本技術は2つの要素技術から構成されます。

1番目のアダプティブ情報収集拡張技術は大容量なデータを高速に収集することを特徴とした技術であり、テレメトリを活用した情報収集に対応することにより、波長レイヤ(伝送レイヤ)における性能情報などの各種情報を、数10秒レベルといった従来よりも10~20倍短い時間粒度で収集し活用することが可能となります。また、例えば品質低下時のみ高頻度、集中的に収集を行う等、装置やネットワーク状況に合わせてデータ形式や頻度・送信先を能動的に切り替えることで高効率な情報収集も実現します。

2番目のE2E試験情報収集技術では、ユーザ拠点に配備可能な試験エージェントを用いた試験・情報収集を可能とする技術です。試験エージェントはエージェント間

で試験パケットをやり取りすることで各種試験や導通性・通信遅延等の情報収集を行います。LinuxOS上で動作可能なアプリケーションであり、ホワイトボックススイッチ(WBS)やルータ、RaspberryPiのような小型端末等で動作します。特にWBSの場合などは、APN-Cを介することでエージェントの自動デプロイ(遠隔からの配備)や細やかな試験制御が可能であり、収集可能な試験情報として導通試験や帯域試験結果のほか、マルチキャスト向けの試験などにも対応しています。本技術を用いることで試験や情報収集の範囲をキャリアスケールかつE2Eへの拡大を実現します。

② 設備紐付け・構成情報管理

設備紐付け・構成情報管理技術は、従来運用においてシステム化がされておらず、手動管理が中心のために情報の精度が課題となっていた複数ベンダのネットワーク装置にまたがる構成管理を、種々のユーザ端末が混在し管理が複雑となるAPN向けに精緻化・システム化することを目的とした技術です。本技術は2つの要素技術から構成されます。

1番目のベンダまたがり構成関連付け技術では、対向区間の光入出力解析により、対向インタフェースどうしの光入出力の変動タイミングを突合することで接続関係を正確に自動把握し、APN-T~APN-G区間

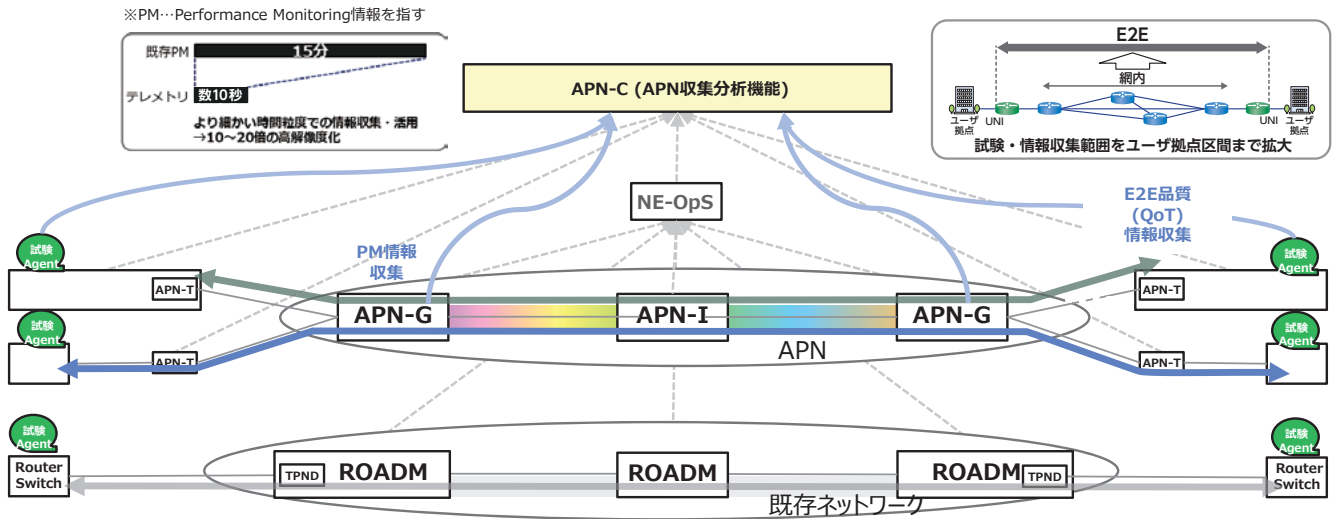


図2 高解像度ネットワーク情報収集技術

や、既存ネットワークではルータ～ROADM間など複数ベンダのネットワーク装置にまたがる区間について常に正しい構成情報を提供します。

2番目の波長パス開通時連動試験技術では、APNにおける波長パスの開通時、波長パスに紐付くサービス（ユーザVPNに相当）を自動特定して疎通試験を同時実施することでサービス接続性を確実に担保することができます。

これら2つの技術はAPN-Cとの連携を前提としており、波長パス開通時に本技術を組み合わせることで、正しい接続関係やサービス接続性といった情報をAPN-Cが管理する構成情報へフィードバックすることが可能です。

③ マルチベンダ警報処理

マルチベンダ警報処理は、複数ベンダから構成されるネットワーク構成下（主にAPN-G/I～APN-T間）においても、従来のシングルベンダのみのネットワーク構成下と同等の保守・運用性を提供する技術です。

通常、シングルベンダで構成されたネットワークであれば、故障が発生した場合でもE2Eにわたる情報が行き届くために、切り分けに資する原因警報・波及警報といった特定は該当するベンダOpS (Operations System) や上位OpSなどにて判断するこ

とが可能です。一方で、複数ベンダから構成されるネットワークの場合はベンダ各社に閉じる範囲での原因・波及といった特定（切り分け）は可能ですが、複数ベンダにまたがることになるE2Eにわたる情報を一元的に集約・解析する主体が存在しないため、E2Eにおける真の要因の切り分けが困難になります。そうした課題に対し、本技術は、故障発生時にAPN-Cが収集・管理するE2Eにわたる精緻な構成情報と警報情報とを瞬時に関連付けることにより、警報種別によるE2Eにおける要因箇所の推定のほか、各装置間の接続関係や通信の上流・下流等の構成情報も加味して解析を行い、複数ベンダから構成されるネットワークにおいても、E2Eでの原因警報・波及警報の特定を実現します。

④ サービス・波長レイヤ関連分析

サービス・波長レイヤ関連分析は、サービス・波長レイヤにまたがる種々の装置・ネットワーク情報を分析することにより、複数のネットワークレイヤにまたがる環境下での平易かつ迅速な保守・運用を実現する技術です（図3）。本技術は2つの要素技術から構成されます。

1番目のレイヤまたがり影響分析技術では、サービス・波長両レイヤの収集情報〔フロー・E2E・PM情報（装置性能情報）等〕、網構成情報を関連付けることにより、例え

ば、波長レイヤで発生している故障の影響が、その上位のサービスレイヤのどのユーザ通信に影響を与えているかを明確にし、レイヤ間をまたがる一気通貫での影響・リ障把握を実現します。

また、2番目のレイヤまたがりサービス影響区間特定技術では、サービス・波長レイヤ双方のトラフィック・PM情報・区間試験情報等データ変動の相関分析を行うことで、相関の崩れからどの区間が故障の要因区間であるかといった影響区間特定を正確かつ迅速に行うことを可能とします。

⑤ 光プロアクティブ保守

光プロアクティブ保守は、光学デバイスでのモニタリングと光学的測定により予防保全をめざした技術です。本技術は以下3つの要素技術から構成されます。

1番目のAPN-I/G内部の光学デバイスの劣化具合推計と故障時期の予測では、光の経路に沿った連続的モニタリングと時系列的な外れ値解析を組み合わせることによって、APN-I/Gノード内光学デバイスの劣化を推計・故障時期を予測します。

2番目のインサービスでの光信号（波長）品質の推定では、APN-I/Gノードで光信号の分岐（マルチキャスト）を実現するとともに、DSPの未使用機能（OSNR測定、CD推計、DGD測定など）を利用して、信号速度や変調方式に依存せずに、任意区

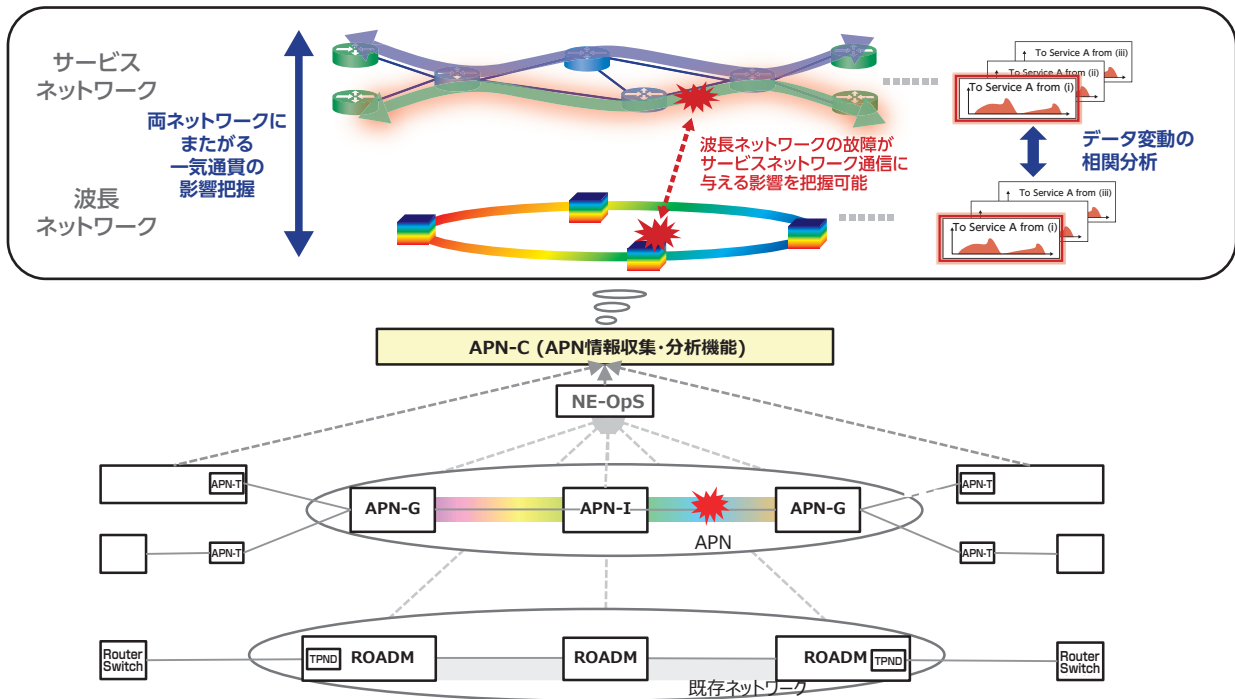


図3 サービス・波長レイヤ相関分析技術

間での光信号品質を推計します。

3番目のAPN-I/Gによる伝送路〔光信号(波長)の通るトンネル〕の品質推計では、APN-I/Gによる入出力光レベルの監視機能の高分解能化・高頻度化や伝送路ファイバ監視機能の実装を行うとともに、その解析技術を開発することで、所定の区間での波形歪み・光雑音が所望の範囲内であることを推計します。

APN付加価値機能詳細

ここでは、2つのAPN付加価値機能を紹介します。

■遅延マネージド伝送システム：

OTN Anywhere

「OTN Anywhere」はAPNのエッジに接続され、エンドユーザにさらなる付加価値を提供する装置です。ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector) で規定される国際標準 OTN (Optical Transport Network) のプロトコルをベースにした装置で、長距離光伝送装置と組み

合わせて使用します。「OTN Anywhere」は小型装置を指向しておりエンドユーザの手元への設置を可能にすることで、E2Eの通信パス(ODUパス)を提供します。それにより、100%帯域保証、物理的な極限に迫る低遅延、遅延揺らぎゼロという特徴をもたらします。それに加えて、低遅延性や遅延制御にこだわった多様な付加価値機能を具備することでさまざまなユースケースにおけるUX (User eXperience: ユーザ体験) を変革し、APNの普及を加速したいと考えています。

2022年度開発した「OTN Anywhere」では、通信パスの1マイクロ秒精度での遅延測定と遅延調整を可能にしました⁽²⁾。それにより、複数拠点にまたがるようなプロフェッショナル遠隔eスポーツ対戦においても公平な通信環境の提供を可能にしました。また次期機能としては、エンドユーザに身近なHDMIやUSBといった信号をOTNに収容し低遅延に転送することを可能にする機能の検討を進めています。そのような機能を実現することでハイエンド映像・音声コミュニケーション、遠隔ハイパ

フォーマンスコンピューティング、高精細低遅延ライブ映像配信といった遅延センシティブなユースケースへの適用をねらっています。

将来的には、APN内の各種光伝送装置に加え「OTN Anywhere」もAPNコントローラにより制御することで、シームレスにE2Eの通信パスをエンドユーザに提供可能とし、多くの皆様にIOWN APNの効用を体感いただきたいと思います。

■セキュア光トランスポートネットワーク技術

APNの適用先として有望な領域には、金融、医療など、そのシステムや情報資産の保護が極めて重要とされるものが含まれます。APNの安全性をさらに向上させる新たな視点の1つとして、「クリプト・アジリティ(暗号の機敏性)⁽³⁾、⁽⁴⁾への対応」があります。

クリプト・アジリティとは、米国国立標準技術研究所(NIST)が提唱する概念で、暗号方式の危殆化や、新たな暗号方式の採用に備えてネットワークやシステムで利用する暗号方式を短時間または無停止で切替

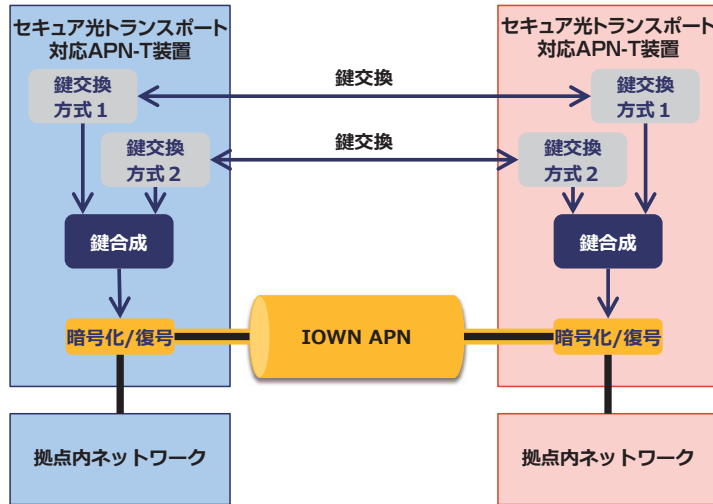


図4 Multi Factor Security の具体例

可能とし、暗号方式の移行にかかる影響を最小限に抑えることを目的とする考え方です。

また、現在、量子コンピュータでも効率的に解くことができないとされている数学問題の困難性を安全性の根拠とした暗号方式として、耐量子計算機暗号 (PQC : Post-Quantum Cryptography) の標準化がNISTにより進められ、今後の社会実装が見込まれます。一方で、PQCは研究途上にあり、新たな攻撃手法が発見され危殆化する可能性もゼロではありません。

NTT社会情報研究所およびNTT未来ねっと研究所では、APNの特徴を活かしながら継続的な安全な運用を可能とするクリプト・アジリティに対応した方式として「セキュア光トランスポートネットワーク技術」^{(5), (6)}の研究開発に取り組んでいます。同技術は、APN-Tなど2地点間の通信に対して量子計算機時代でも安全とされる暗号化機能を付加するもので、その暗号化通信のセキュリティレベルをより高める特徴の1つとしてElastic Key Control 技術があります。Elastic Key Control 技術は鍵交換に利用する暗号アルゴリズムを従来暗号、PQC、PSK (Pre-Shared Key) など任意に組み合わせて柔軟に切り替え可能とする方式です。同技術により、同時に運用する複数の暗号方式のすべてが危殆化しない限り安全な状況を保つことができること、

また、新たな暗号方式にも容易に切り替えできることを可能としています。セキュア光トランスポートネットワーク技術では、ネットワークやシステムを停止することなくこれらを実施可能としています。

現在、IOWN Global Forumでも量子コンピュータ時代のIOWNに求められる耐量子セキュリティのあるべき姿についてIOWN Security (IOWNsec) として検討が行われています。IOWNsecでは、E2Eで耐量子セキュリティを持った通信を実現するMulti Factor Security (MFS) と呼ばれるコンセプトを提唱しています。Elastic Key Control 技術は、IOWNsecにおけるMFSのコンセプトの実現方法の1つと位置付けられます (図4)。

今後の展望

APNを活用したIOWNサービスを早期に実現するための基盤技術となるAPN-Cおよび付加価値機能について紹介しました。今後はマルチベンダ・マルチキャリアで設計・運用可能なネットワークをめざし、さらなる運用高度化の検討を実施し、完全ディスタグリゲーションとなるAPNを実現できるよう研究開発を進めていきます。

参考文献

- (1) 西沢・可児・濱野・高杉・吉田・安川：“IOWN

- Global Forumにおけるオープンオールフォトニクス・ネットワークの検討,” NTT技術ジャーナル, Vol. 34, No. 3, pp. 12-16, 2022.
 (2) 大原・小田・犬塚・新宅・武智・臼井・島崎・大西：“APN IOWN1.0 を支える遅延マネージドネットワーク技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No. 7, pp. 28-30, 2023.
 (3) <https://csrc.nist.gov/publications/detail/white-paper/2021/04/28/getting-ready-for-post-quantum-cryptography/final>
 (4) <https://csrc.nist.gov/publications/detail/white-paper/2021/08/04/migration-to-post-quantum-cryptography/final>
 (5) 奥田・千田・臼井・知加良・齋藤・中林・山村・田中・夏川・高杉：“セキュア光トランスポートネットワーク,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 11, pp. 54-58, 2021.
 (6) 村上・谷口・工藤・知加良・清村・向山・飯島・持田・佐成・木村：“量子コンピュータ時代を見据えたセキュア光トランスポートネットワーク技術,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No. 2, pp. 45-49, 2023.



(上段左から) 船津 玄太郎 / 木原 拓 / 中務 諭士 / 福田 亜紀
 (下段左から) 並木 雅俊 / 大原 拓也 / 伊藤 宏樹 / 武智 宏人

APNの特徴を活用した各種サービスの普及拡大に向けて重要なマルチベンダ、マルチキャリア運用を可能とするAPNコントローラの制御技術、運用・インテリジェント機能の技術確立を今後も推進していきます。

◆問い合わせ先

NTTネットワークイノベーションセンタ
 企画部
 E-mail nic-kensui-p@ntt.com

IOWN時代のデータ処理を支えるデータセントリック基盤とそのコンセプト実証

データセントリック基盤は、広域に散在するデータを高効率に処理するためのICT基盤であり、データ駆動型社会における大規模サイバーフィジカルシステム(CPS)での活用が期待されています。本稿では、同基盤のコンセプトである、アクセラレータやオールフォトンクス・ネットワークを効果的に用いたデータ処理パイプラインの提供について概説します。次に、CPSにおける映像解析をユースケースとした、同コンセプトの段階的な実証について紹介します。

キーワード：#データセントリック基盤, #ディスアグリゲータッドコンピューティング, #アクセラレータ

くればやし りょうすけ いしざき てるあき
 榎林 亮介 / 石崎 晃朗

Sampath Priyankara

Christoph Schumacher

みずの しんたろう
 水野 伸太郎

NTTソフトウェアイノベーションセンタ

データ駆動型社会の実現に向けて

近年のセンシング技術の向上とネットワーク化、デジタルトランスフォーメーション、そしてAI(人工知能)技術の進展により、データ駆動型社会が到来しようとしています。データ駆動型社会では、フィジカル空間(現実世界)・サイバー空間(コンピュータ)上のさまざまなデータを、業界や分野の枠を超えて幅広く流通・掛け合わせていくことで、社会課題を解決したり、新たな価値の創出をめざします。このデータ駆動型社会における中心技術の1つがサイバーフィジカルシステム(CPS: Cyber-Physical System)です。CPSとは、フィジカル空間から得られる膨大なデータを、サイバー空間上で分析し、その結果をフィードバックすることで現実世界の最適な制御をします。これまでに工場・プラントのスマート化、交通の最適化など、特定分野での活用が始まっています。データ駆動社会では、このCPSを大規模化させ、あらゆる分野に適用したり、相互に連携させることが求められます。

CPSの大規模化に向けてはさまざまな技術課題が存在しますが、本稿では特に、データ処理を担うICT基盤に注目します。これまでのCPSでは、目的・処理方法ごとにサイロ化された個別システム内でのデータ処理をすれば十分でした。これが、現状よりはるかに多く、地理的にも分散した主体(データを流通する人間・システム・デバ

イス等)間でデータを高速に流通させ、より多種大量のデータを分析していくこととなります。そのためのICT基盤には、地理的に分散する主体と分析を担う計算リソースとの間を高いQoS(Quality of Service)でネットワーク接続し、膨大な演算コストの要求に対してボトルネックのない高効率なデータ処理パイプラインを提供していくことが求められます。

データセントリック基盤

大規模CPSの要件を充足可能なICT基盤として、NTTは、IOWN(Innovative Optical and Wireless Network)技術を活用したDCI(Data-Centric Infrastructure subsystem: データセントリック基盤)の検討を進めています。DCIは、フィジカル空間・サイバー空間において広域に散在するデータに対して、同じく広域に分散する計算リソースを最適に組み合わせながら、効率良くデータ処理していくためのICT基盤です。図1にDCIを用いた大規模CPSの実現イメージを示します。

本稿では、DCIの以下の特徴について概説します。

- ・アクセラレータを活用した高効率データ処理パイプライン
- ・APN(All-Photonics Network: オールフォトンクス・ネットワーク)との統合
- ・オープンなエコシステムの形成

■アクセラレータを活用した高効率データ処理パイプライン

DCIの特徴として、まず、アクセラレータを活用した高効率データ処理パイプラインが挙げられます。従来のデータ処理はホストCPU上でのソフトウェア処理が中心でした。一方で、近年では、計算コストが高い領域において、さまざまなアクセラレータが活用されるようになってきました。AI・メディア処理におけるGPU(Graphics Processing Unit)、ネットワーク処理に対するSmart NIC(Network Interface Card)/IPU(Infrastructure Processing Unit)/DPU(Data Processing Unit)がその典型です。これらのアクセラレータでは、特定領域における並列処理を高効率化したり、ASIC(Application-Specific Integrated Circuit)やFPGA(Field-Programmable Gate Array)等のハードウェアを用いて高速化を図ります。DCIでは、これらのアクセラレータを積極的に活用することで、データ処理パイプラインを高効率化します。

一方で、従来技術の延長でのアクセラレータ活用では、ホストCPUを起因としたボトルネックの軽減が課題となります。図2のとおり、従来は、アクセラレータを用いたデータ処理であってもホストCPUが間に介在します(図2(a))。このため、ホストCPUがボトルネックとなり、実効的に扱えるアクセラレータ数も制限される結果となっています。

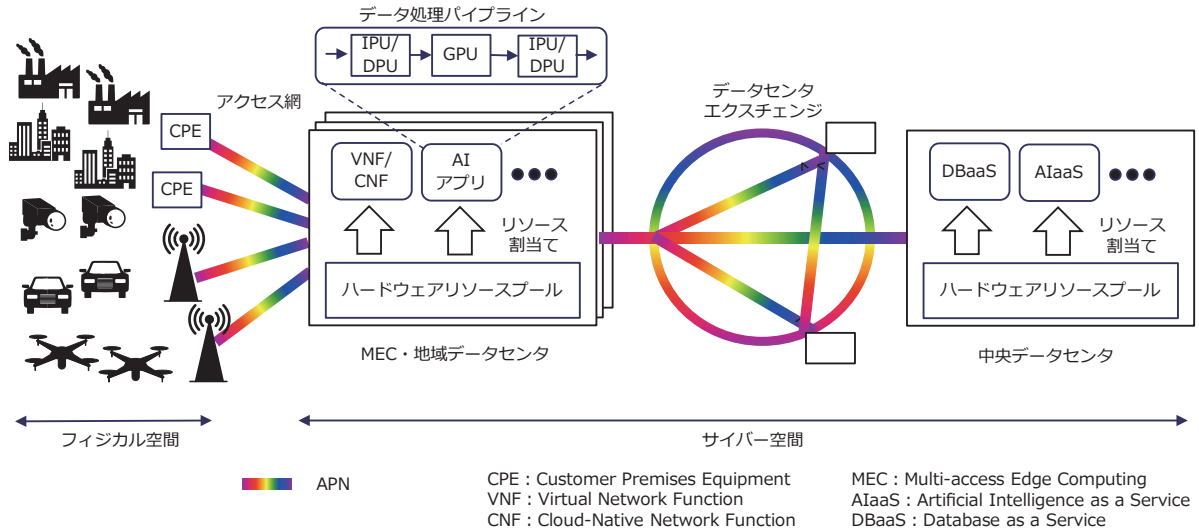


図1 DCIを用いたCPSの実現イメージ

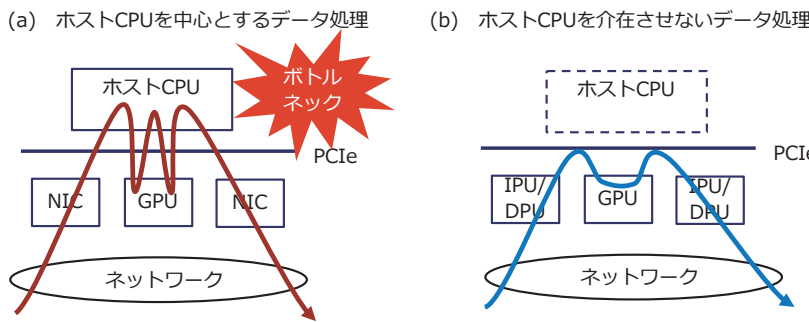


図2 ホストCPUを介させないデータ処理

そこで、DCIでは、ホストCPUを介するデータ処理パイプラインから、アクセラレータ間でより自律的にデータを転送し処理を進める方式(図2(b))への転換を図ります。そのために、データ転送に際してホストCPUを介さないでリモートのメモリ上にデータを展開できるRDMA (Remote Direct Memory Access), ASIC・FPGA等を用いた通信プロトコル処理のハードウェア化、アクセラレータ間の直接データ転送、等を検討しています。さらには、データ到着の検知や、処理の開始指示といった実行制御についても、アクセラレータ自体にオフロードする技術を検討しています。

アクセラレータを活用したデータ処理パ

イプラインでは、そのワークロードにあったアクセラレータを適切に選択・組み合わせることが不可欠です。一方で、ワークロードに応じて必要となるアクセラレータの種類・数は大きく異なります。この結果、サーバを基本単位とする従来の基盤構築では、アクセラレータに多くの無駄が生じます。すなわち、画一的なアクセラレータ構成のサーバを並べる場合、ワークロードによって利用されるアクセラレータと利用されないアクセラレータが生じます。一方で、あらゆるワークロードに対応できるよう、さまざまなパターンのアクセラレータ構成を持った多種類のサーバを事前に用意することも現実的ではありません。

このため、DCIでは、図3に示す、ハードウェアリソースプールを活用します。ハードウェアリソースプールでは、従来サーバを構成していた各種デバイス(アクセラレータを含む)を、高速なインターコネクトを介して接続しプール化します。そして、与えられたワークロードに対して、最適なデバイスを最適な数だけプールから選択し割り当てます。また、不要となったデバイスは、プールに戻して再利用可能な状態にしたり、電源オフの対象とします。このように、ハードウェアリソースプールを用いることで、アクセラレータの柔軟な選択や再利用が可能となり、従来のサーバ単位の基盤と比較し、デバイスの利用率を飛躍的に高めることができます。

ハードウェアリソースプールは、いくつかの異なるレイヤで実現できます。第一に、ハードウェアレベルでベアメタルサーバとして切り出す方法があります(図3①)。市中技術としても、インターコネクトとしてPCIe (Peripheral Component Interconnect-Express)を拡張し、ホストCPUに対して任意のデバイスを紐付けるCDI (Composable Disaggregated Infrastructure)製品が提供され始めています^{①)}。また、今後、次世代インターコネク

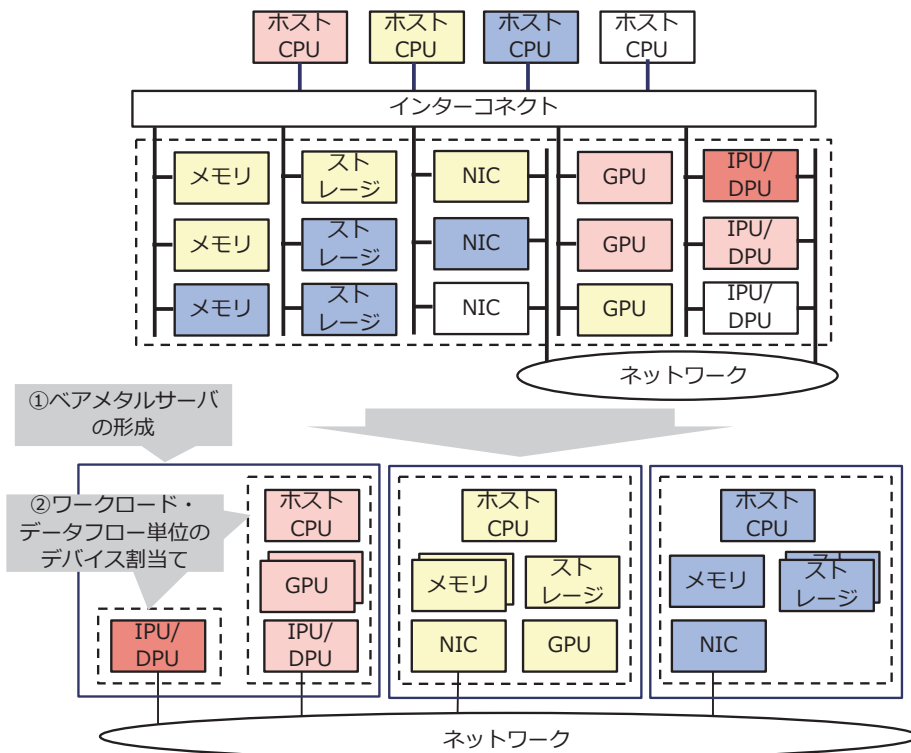


図3 ハードウェアリソースプール概念

ト規格であるCXL (Compute Express Link)⁽²⁾が普及していくことで、規格の統一や機能の拡充が期待されています。第二に、特定の用途やテナント向けに必要なデバイスをまとめて接続したベアメタルサーバに対して、ソフトウェアレベルで適切にリソース管理をしながら、より細粒度なワークロード・データフロー単位でデバイスを割り当てる方法があります(図3②)。特に、ホストCPUを介させないデータ処理パイプラインが主流になると、1つのホストCPUが実効的に扱えるアクセラレータの規模も拡大します。この結果、図3②のようなソフトウェアレベルでのリソース管理の重要性が増していくと考えられます。DCIの実現にあたっては、ユースケースや技術の普及をみながら、これらの手法を柔軟に組み合わせていきます。

■APNとの統合

DCIでは、フィジカル空間とサイバー空間をつなぐアクセス網、そして各データセ

ンタ間の接続(データセンタエクステンジ)に、高速・高品質なAPNを適用します。この特徴は、デバイス~データセンタ間の広域にまたがったデータ処理パイプラインをボトルネックなく構成することに役立ちます。また、将来的には、APNのような光ネットワークの技術を、広域ネットワークや、ハードウェアリソースプールのインターコネクトまで適用していくことが想定されています。

■オープンなエコシステムの形成

DCIの実現には、ネットワークングからコンピューティングまで、そしてハードウェアからソフトウェアまでの幅広い分野にまたがった技術の再構築が必要です。その実現に向けては、多くの企業が参画しそれぞれの知見を結集できるオープンなエコシステムを確立していくことが重要です。このため、DCIは、IOWN GF (Global Forum) といったグローバルコミュニティの

中でも議論され、その具体化と合意形成が進められています。IOWN GFにおけるDCIの議論では、主にハードウェアリソースを活用した効率化や管理に力点が置かれています。すなわち、特定用途向けに割り当てられたデバイスの集合である論理サービスノード(典型的には図3①のベアメタルサーバに相当)の形成と論理サービスノード間のQoSを考慮したネットワークリソースの割り当てが検討されています。また、論理サービスノード間のデータ転送の高速化に向けて、IOWN GFにて検討を進めるOpen APN越しでのRDMA技術の適用が議論されています。これらの成果をまとめるかたちで、DCI機能アーキテクチャ文書の第二版⁽³⁾が発行されています。

コンセプト実証

NTTソフトウェアイノベーションセンタでは、DCIの特徴である、アクセラレー

タを用いた高効率データ処理パイプラインを実現する技術の1つとして、ディスアグリゲータッドコンピューティングを研究開発しています。そして、CPSの大規模化に向けて、ディスアグリゲータッドコンピューティングを適用したPoC (Proof of Concept) を段階的に進めています。本稿では特に、CPSにおけるリアルタイム映像解析を対象とした、以下の2つのPoCについて紹介します (図4)。

- ・PoC-1: 多様なアクセラレータを用いた映像解析パイプライン
- ・PoC-2: as a Service化を実現するディスアグリゲータッドコンピュータコントローラ

■PoC-1: 多様なアクセラレータを用いた映像解析パイプライン

本PoCでは、多様なアクセラレータを組み合わせたデータ処理パイプラインの効果を実証します。具体的には、図4の映像

解析部に着目し、8台の4Kカメラを用いて人物検出を行います。そして、昼・夜の人流の変化に従って、人物検出をするデータ処理パイプラインを最適構成することで、その消費電力を削減します。本PoCは、DCIに関するPoC計画書⁽⁴⁾に基づき実施されたPoCとして、IOWN GFに公式に認められています。

本PoCにおける映像解析部の構成を図5に示します。図5に示すとおり、カメラ

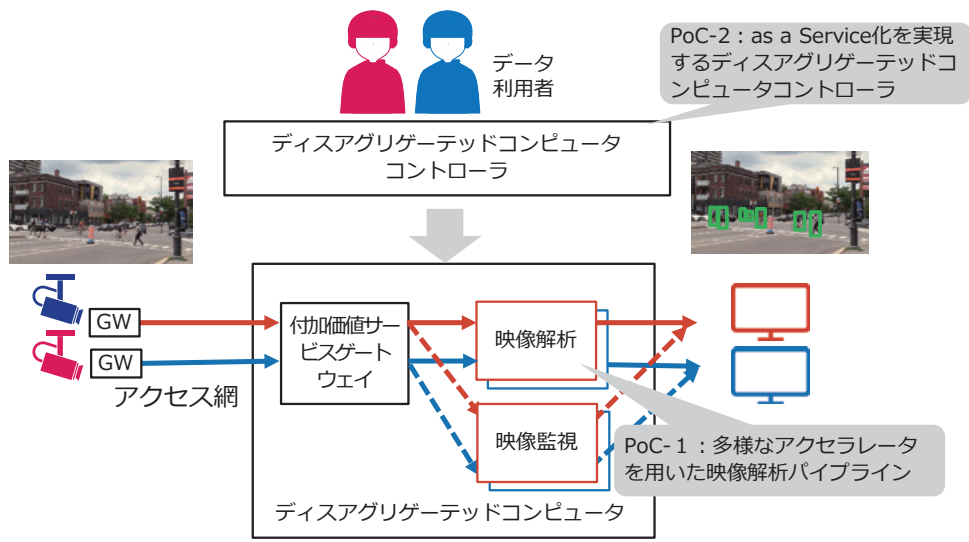


図4 ディスアグリゲータッドコンピュータを用いたコンセプト実証

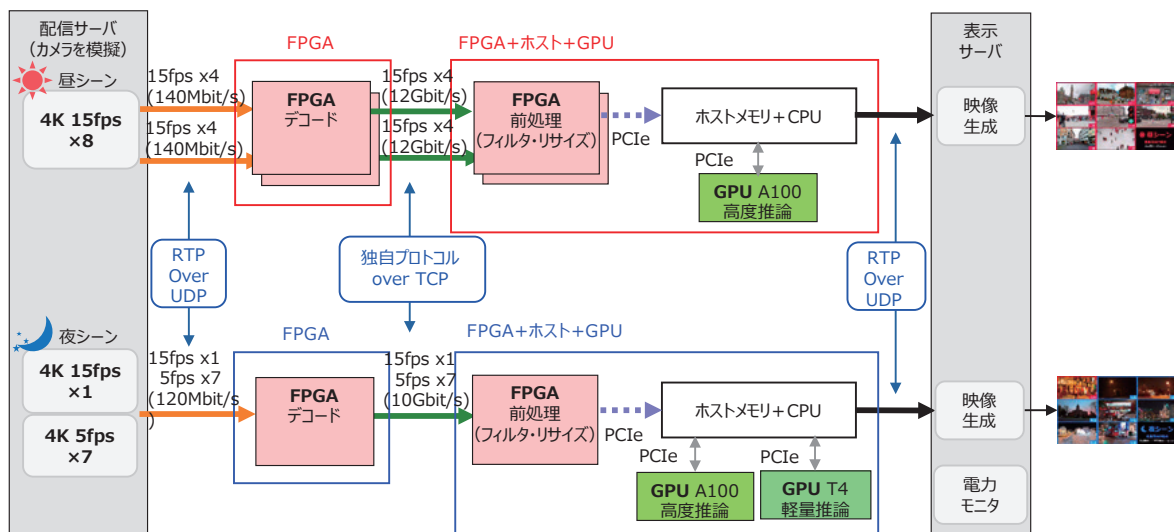


図5 映像解析部の構成図

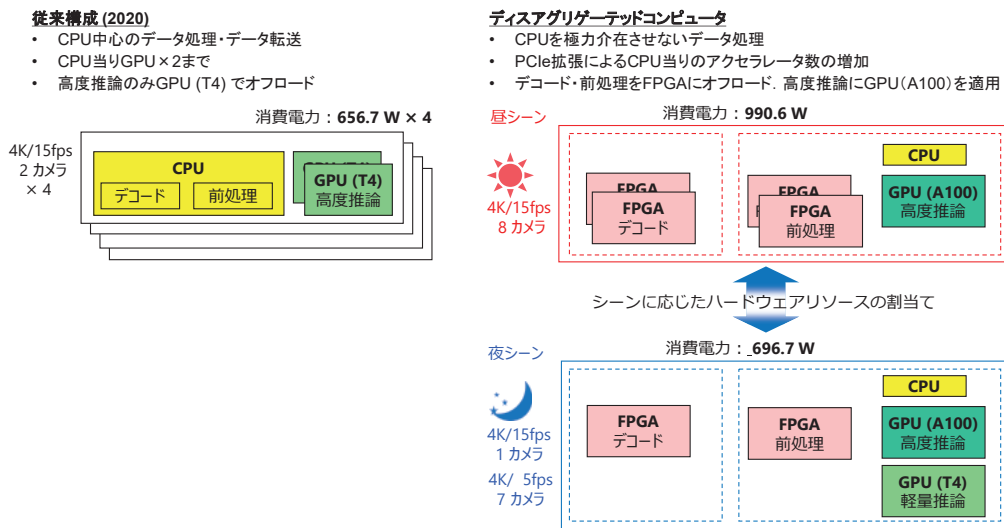


図6 従来構成との電力比較

映像を入力として受け付け、デコード、前処理としてフィルタ・リサイズを施した後、映像推論として人物を検出します。また、映像推論では、以下のとおり、高度推論と軽量推論とを使い分けることを想定しています。

- ・高度推論：人が映っているカメラに対して、高精度な人物検知を行います。検知精度を優先し、高フレームレートで高画質な画像を基に推論します。
- ・軽量推論：人が映っていないカメラに対して、少ない電力により粗確認レベルの人物検知を行います。電力効率を優先し、低フレームレートで低画質な画像を基に推論します。

昼間は人が多いので、結果的に高度推論をするカメラが多くなり、一方で、夜間は人が少ないので、軽量推論をするカメラが多くなります。このように、昼間と夜間では求められるワークロードの比率が異なることから、各シーンに必要な処理や演算負荷に合わせてデータ処理パイプラインを構成します。図6の上部が昼シーン用、下部が夜シーン用のデータ処理パイプラインとなります。また、本映像解析部は、多様なアクセラレータの活用というコンセプトを実証するため、FPGAとGPUを用いて処

理パイプラインを構成しています。また、FPGAは、前述のCPUを介在させないデータ処理を行うため、NICの機能およびデータ転送に特化した独自回路を搭載しています。すなわち、デコードと前処理にはFPGAが利用され、推論処理にはGPUが適用されます。また、GPUも、高度推論に対しては高パフォーマンスのGPU (NVIDIA A100) を、軽量推論に対しては省電力なGPU (NVIDIA T4) を選択します。図6に示すとおり、昼シーン用のデータ処理パイプラインは、より多くのカメラに対して高フレームレートの高度推論を実施するため、より多くのFPGAが割り当てられます。

次に、アクセラレータ間の通信方法について述べます。カメラからの映像符号化ストリームはRTP over UDPを用いてデコード処理部に入力されます。そして、後段の前処理部に対して、復号化した映像をTCP/IP上の独自プロトコルで転送します。RTP over UDP、およびTCP/IP上の独自プロトコルは、それぞれFPGA上で終端され、必要なデータが、FPGAのユーザ回路向けのメモリ上に展開されます。これにより、プロトコル処理のハードウェアオフロードの効果を得ます。特に、デコード処理を

行うFPGAでは、映像の受信～デコード～送信までの一連の処理をFPGA内で完結させており、ホストCPUを介さない自律的なデータ処理を実現しています。また、前処理を行うFPGAから推論処理を行うGPUへのデータ転送も、ホストメモリを経由するものの、ホストCPUのオーバヘッドの少ない、独自DMAベースでのデータ転送を行っています。

本映像解析部の消費電力の測定結果を示します。比較対象とする従来構成（2020年の典型的な構成を想定）と本映像解析部の構成、およびそれぞれの消費電力を図6に示します。本映像解析部の昼シーンと従来構成とを比べると、約62%の電力が削減されています。これは、本映像解析部では、ハードウェアの進化 (NVIDIA T4からA100への変更) を含む最適なアクセラレータの選択、デコード・前処理を含むより広い範囲でのアクセラレータの活用、アクセラレータ間の高効率なデータ転送、といった高効率化が図られているためです。さらに、昼シーンと夜シーンの電力を比較すると、昼シーンが990.6 Wであることに對して、夜シーンの電力は696.7 Wに抑えられることが確認できました。このことから、シーンに応じてパイプライン構成を柔軟に

変更することで、従来構成と比べて約73%の電力を削減できるといえます。

なお、本映像推論部はPoCを目的とし、以下の制限があります。

- ・FPGA上の独自回路はプロトタイプ実装であり、実装の改善によりさらなる電力削減が期待できます。
- ・昼・夜シーンの切り替えは静的にオフラインで実施しています。実用化に際しては動的な切り替えに向けた拡張が必要となります。

■PoC-2: as a Service化を実現するディスタグリゲータッドコンピュータコントローラ

PoC-2では、ディスタグリゲータッドコンピュータコントローラを用いることで、高度な専門知識を持たないデータ利用者であっても、アクセラレータを活用したデータ処理パイプラインを容易に構成可能であることを示します。本PoCは「NTT R&D フォーラム 2023」においても展示されます。

本PoCでは、図4に示すデータ処理パイプラインを、データ利用者からの要求に応じて生成したり、構成変更したりします。ここで、本PoCの映像解析部として、PoC-1の昼シーンを用います。また、映像監視部では、監視者向けに映像を適切に転送します。本PoCでは、複数のテナントの存在を仮定します。そして、映像を集約分配する付加価値サービスゲートウェイ⁽⁵⁾部を用いて、テナントごとにカメラと映像解析・監視部との間を結ぶセキュアな接続を提供します。すなわち、テナントごとに映像を分離できるように、カメラとの接続にGRE (Generic Routing Encapsulation) トンネルが張られます。そのうえで、各テナントのデータ利用者からの要求に応じて、映像データを適切に複製し、映像解析、映像監視といった後段の処理部に分配します。この分配を、GREトンネルからVLAN (Virtual Local Area Network) への変換によって実現します。

本PoCでは、ディスタグリゲータッドコンピュータコントローラが重要な役割を

果たします。ディスタグリゲータッドコンピュータコントローラは、データ利用者からのデータ処理パイプラインの生成や構成変更の要求を受け付けると、映像解析部・監視部のデータ処理パイプラインの構築、付加価値サービスゲートウェイ部を含む設定変更までを自動的に実施します。このとき、データ利用者は、要求するデータ処理パイプラインの設計図を、アクセラレータの詳細が抽象化されたYAMLファイルで記述できます。また、ディスタグリゲータッドコンピュータコントローラは、図3②に示したソフトウェアレベルのリソース管理を担います。すなわち、すでにベアメタルサーバには多くのアクセラレータが接続されている状態を仮定します。そのうえで、要求に応じて、データ処理パイプラインに対して必要なアクセラレータを割り当てます。ディスタグリゲータッドコンピュータコントローラは、デファクトのコンテナオーケストレータであるKubernetesを拡張して実装されています。そして、Kubernetesのカスタムリソースを用いて、ワーカーノード（前述のベアメタルサーバ）上のアクセラレータやその間の接続を管理します。

従来、アクセラレータを活用したデータ処理パイプラインを実際に構築・運用する場合、高度な専門知識と多くの時間を必要としていました。これをディスタグリゲータッドコンピュータコントローラが適切に隠蔽し、as a Serviceとして提供することを可能にしています。これにより、データ利用者はデータ解析の機能面だけに集中したまま、アクセラレータを活用したデータ処理パイプラインのメリットを享受できるようになります。

今後の展開

本稿では、DCIの概要と、ディスタグリゲータッドコンピューティングを活用したコンセプト実証について説明しました。そして、CPSにおける映像解析を例として、アクセラレータを活用したデータ処理パイ

プラインの効果やas a Service化の有用性について示しました。今後は、DCIのもう1つの特徴であるAPNとの連携を進めつつ、各種オペレーション機能の拡充による実用化を推進します。また、映像を活用する他ユースケースや、映像処理以外のユースケースへの展開を図ります。

本成果は富士通株式会社との共同研究開発で研究中の技術を活用しています⁽⁶⁾。

■参考文献

- (1) 水野、島山、福田、松井、松田：“通信キャリアにおけるComposable disaggregated infrastructure,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2022.
- (2) https://www.computeexpresslink.org/_files/ugd/0c1418_a8713008916044ae9604405d10a7773b.pdf
- (3) https://iowngf.org/wp-content/uploads/2023/04/IOWN-GF-RD-DCI_Functional_Architecture-2.0.pdf
- (4) https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-DCIaaS_PoC_Reference_1.0.pdf
- (5) <https://journal.ntt.co.jp/article/20101>
- (6) <https://pr.fujitsu.com/jp/news/2021/04/26.html>



(上段左から) 樽林 亮介 / 石崎 晃朗 / Sampath Priyankara
(下段左から) Christoph Schumacher / 水野 伸太郎

IOWNは、ネットワークだけでなく、コンピューティング基盤の変革をもたらす構想です。その構想の実現に向けて、IOWN GF等を通じて他の企業と協力・連携しつつ、積極的に取り組んでいます。

◆問い合わせ先

NTTソフトウェアイノベーションセンター
システムソフトウェアプロジェクト
E-mail scg-p@ntt.com



IOWNを支える光電融合デバイス (第2・第3世代デバイスの開発)

本稿では、これまでにNTTデバイスイノベーションセンタで開発を進めてきた、第2・第3世代光電融合デバイスについて紹介します。それぞれの世代のデバイスのめざすアプリケーションおよび技術的な要請について述べるとともに、光電融合デバイスだからこそ得られた利点と、それを実現するための技術的なポイントについて解説します。

キーワード：#光電融合、#シリコンフォトニクス、#コパッケージ

かめい しん
亀井 新
いし い ゆうぞう
石井 雄三

NTTイノベティブデバイス

第2世代・第3世代の光電融合デバイスとは

第2世代光電融合デバイスとは、近年の光通信ネットワークシステムにおいて、重要な役割を担うデジタルコヒーレント光トランシーバへの適用を目的としたデバイスです。私たちはシリコンフォトニクスという新しい光技術を活用し、光トランシーバの小型・低消費電力化を実現する光電融合デバイスを開発し、実用化してきました。本稿の前半では、デジタルコヒーレント光トランシーバの進展とシリコンフォトニクス技術、そして開発した光電融合デバイスについて解説します。

第3世代光電融合デバイスとは、データセンタ内の短い距離の光接続を対象としたデバイスです。AI（人工知能）・ML（機械学習）、AR（Augmented Reality）・XR（Extended Reality）等の広帯域アプリケーションの増加に伴って、データセンタ内ネットワークトラフィックは増大しており、特にそれに伴う電力増加は大きな課題です。本稿の後半では、Co-Packaged Optics（CPO）と呼ばれる新しい実装技術を中心に、私たちの取り組みを解説します。

光トランシーバの小型化とシリコンフォトニクスの適用

デジタルコヒーレント伝送は、デジタル信号処理による強力な補償技術によって光伝送における信号劣化を補償することができ、これまで数100～数1000 kmの長距離の伝送用途として発展してきました。現在

では、特にトラフィック増大が顕著となっているデータセンタ間通信（DCI：Data Center Interconnect）等、100 km程度の比較的短距離用途としても、デジタルコヒーレント伝送技術の適用が進んでいます。

光伝送用のデバイスの標準を策定する業界団体OIF（The Optical Internetworking Forum）⁽¹⁾は、デジタルコヒーレント用光トランシーバの消費電力やサイズについての規格を定めています。同団体は2012年以降数年ごとにデジタルコヒーレント光トランシーバの新しい規格を策定し、そのたびにサイズの小型化を要求してきました。

図1は、デジタルコヒーレント光トランシーバの小型化・低消費電力化・高速化のトレンドを示したものです。2012年ごろには、5×7インチ（12.7 cm×17.8 cm）の大きさだったものが、最近では、QSFP-DD⁽²⁾と呼ばれる約2 cm×8 cmまでに

小型化が要求され、伝送速度は100 Gbit/sから400 Gbit/sへと高速化し、消費電力は4分の1に低減されています。

小型・低消費電力化と高速化が求められる背景には、データセンタなどにおける光トランシーバの高密度配置に対するニーズがあります。その一方、光トランシーバの需要数は年々増大を続けており、その経済化や生産性向上に向けた変革の必要性も高まっています。

このようなデジタルコヒーレント光トランシーバは、デジタル信号処理回路（DSP）と、送信側は電気信号を増幅するアナログ電子回路（ドライバ）、電気信号を光信号に変換して送出する光変調器、受信側は光信号を受信し、電気信号に変換する光受信器、電気信号を増幅するアナログ電子回路（TIA：Trans-Impedance Amplifier）、さらに送信用および受信の局発光となるレー



写真提供：日本電気(株)

図1 デジタルコヒーレント光トランシーバのトレンド

が光源から構成されています。

この構成の中で、光デバイスと称される光変調器と光受信器を実現するために、従来の光トランシーバにおいては、その機能にもっとも適した光学材料系を用いた、個別のパッケージデバイスが適用されてきました。例えば、光変調器ではニオブ酸リチウム (LiNbO₃) や、インジウムリン (InP) 材料です。しかしデバイスサイズの制約から、求められる光トランシーバの小型化には対応できなくなり、シリコンフォトニクス技術を活用した光デバイスの小型・集積化が目出されるようになりました。

私たちが早くからシリコンフォトニクス技術の可能性に着目し、研究開発を続けてきました。シリコンフォトニクスの長所は、その圧倒的な小型性に加え、成熟したシリコンプロセスに基づく高い生産性にあると考えられてきました。一方で光源機能の実現は困難で、精密な光の位相の制御を要する光波長フィルタ等の機能は不得手であり、また、光の偏波によって特性が大きく異なる（偏波依存性が大きい）という難しい面もありました。

このようなシリコンフォトニクスですが、デジタルコヒーレント技術とはとても相性が良かったといえます。図2は、コヒーレント光トランシーバの光デバイス部分の回路構成を示したものです。光変調器は4つの変調回路と、偏波回転合流器、光受信回路は偏波分離回転器と、2つの光ミキサ回路、8つのPD (Photo Detector) から構成され、さらに送信受信の光信号パワーを監視するモニターPDや可変光減衰器も複数必要です。ここで、これらの回路には精密な光位相制御が不要であり、また偏波を分離して処理するため、回路の偏波依存性も問題にはなりません。加えて偏波依存性の大きなシリコンフォトニクスは偏波回転合流（分離回転）器のような偏波を制御する回路を得意とするという特徴もありました。これは、従来の材料系では、別の光学部品をパッケージ内に組み込んで偏波制御回路を実現していたのに対し、シリコンフォトニクスは、同じチップ内に集積できるという大きな利点をもたらしました。また、多数のPDを集積することも、シリコンフォトニクスでは比較的容易に可能でした。

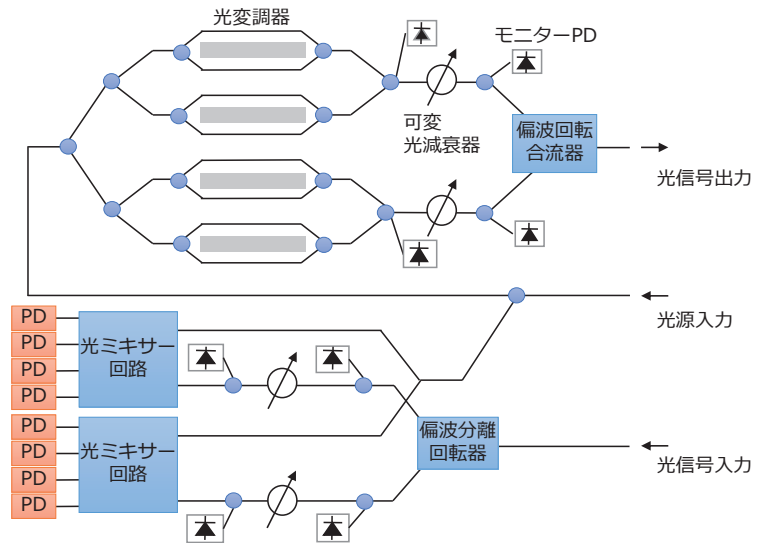


図2 光トランシーバ向け光デバイスの回路構成

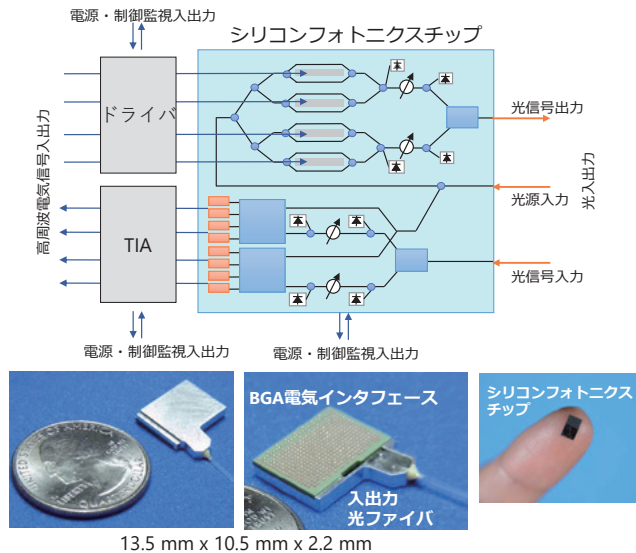


図3 COSAの構成、外観、および搭載のシリコンフォトニクスチップ

私たちは、このようなシリコンフォトニクスの特徴を活用し、光源以外のすべての光回路を集積するという方針で、光トランシーバ向けのシリコンフォトニクスチップを開発しました。回路構成としては図2に示したすべての要素を1つのシリコンフォトニクスチップで実現しています。

第2世代光電融合デバイス —コヒーレント光サブアセンブリ (COSA)

第2世代光電融合デバイスは、シリコンフォトニクスを用い、小型の光トランシーバへの適用を目的としたデバイスです。第

2世代光電融合デバイスとして私たちが開発し、すでに実用化を行ったのが、COSA (Coherent Optical SubAssembly: コヒーレント光サブアセンブリ)⁽³⁾です。図3は、COSAの構成と外観を示しています。光回路を集積したシリコンフォトニクスチップに加え、光変調器を駆動するドライバ、受信PDの出力電流を電圧信号に変換して増幅するTIAまでを1つのパッケージ内に実装しています。COSAという第2世代光電融合デバイスの実現により、DSP、COSA、レーザー光源という3つのキーデバイスのみで、シンプルかつ小型に、光トランシーバを構成することができるようになりました。

COSAの適用先については、当時、デジタルコヒーレント通信のアプリケーションとして着目され始めていた、分散化されたデータセンタ間を結びDCIへの導入をめざしました。DCI向けの光トランシーバとしては、伝送距離80~120 km程度、伝送容量は400 Gbit/s、フォームファクターとしては従来に比較して飛躍的に小型であるQSFP-DD (約2 cm × 8 cm)、という標準化が進められました。私たちはこの小型光トランシーバを実現する第2世代光電融合デバイスとしてCOSAの開発を行いました。

図3にあるように、搭載したシリコンフォトニクスチップのサイズは約4 mm × 6 mm、パッケージ部分のサイズは13.5 mm × 10.5 mm × 2.2 mmであり、QSFP-DDフォームファクターのトランシーバ内に十分搭載可能な小型性を実現しました。

このようにCOSAにおいて、従来の個別光デバイスから飛躍的な小型化を可能にした要素としては、温度コントロール部を省略できたこと、パッケージに気密性が必要ではないことが挙げられます。これらは、シリコンの材料安定性などを最大限に活用しつつ、独自の光回路設計を適用することで特性の温度無依存化や耐湿性を実現した結果によるものです。また、非気密パッケージゆえに、光ファイバの端面を直接シリコンフォトニクスチップに接続するという、シンプルな構成が可能となり、この点も小型化に貢献するとともに、高い生産性にも寄与しています。

上記に加えて、COSAは、光トランシーバ基板に実装する際の、簡便性と生産性にも優れたデバイスです。COSAの特徴として、電気信号のインターフェースとしてBGA (Ball Grid Array) を採用した点と、光のインターフェースは従来同様に光ファイバで、シリコンフォトニクスチップへの直接接合の形態でありながら、半田リフロー実装温度 (約250 °C) に耐える構造と材料を実現した点があります。従来の光デバイスの多くは、基板に他の電子部品を半田リフロー実装した後、個別に実装する必要があり、工程の生産効率が課題となっていました。これに対しCOSAは、BGAインターフェースの採用と、耐熱性の向上により、他の電子部品と同時かつ自動化工程によ

る半田リフロー実装が可能になっています。このCOSAの実装形態は、光デバイスあるいは光電融合デバイスにおいて、画期的な変化であったといえます。COSAは他の電子デバイスと同様に自動化された実装ラインで扱えるため、光トランシーバ実装工程の大幅な簡略化と効率化が実現されました。COSAは2020年から商用化し、現在多くの小型デジタルコヒーレント光トランシーバで使用されつつあります。

第2世代光電融合デバイス —コヒーレントコパッケージ

COSAに続く第2世代光電融合デバイスの開発としては、さらなるデバイスの集積化を進めてきました。COSAは、光回路であるシリコンフォトニクスと、アナログ電子回路であるドライバ・TIAを1パッケージに集積した光電融合デバイスでしたが、私たちはさらにこの光電融合の方向性を推し進め、デジタル信号処理回路 (DSP) と、COSA機能の1パッケージ化 (コヒーレントコパッケージ) の開発を行いました。

図4は、このコヒーレントコパッケージの構成と外観を示しています。COSAと同様の400 Gbit/sに対応するシリコンフォトニクスとアナログ電子回路に加え、DSPも、単一のパッケージ基板上に搭載することにより、パッケージ部分のサイズは21.9 mm × 11.5 mm × 2.3 mmであり、QSFP-DDフォームファクターのトランシーバ内にさらに余裕を持って搭載可能な小型性を実現しました。またCOSAと同様にBGAインタフェースを採用しており、自動化工程に

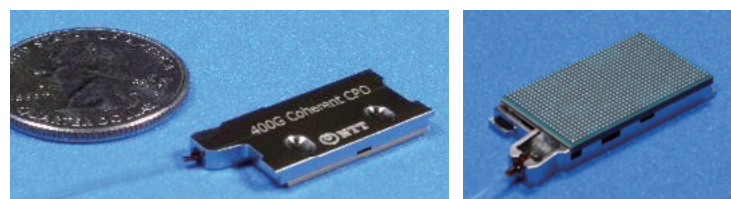
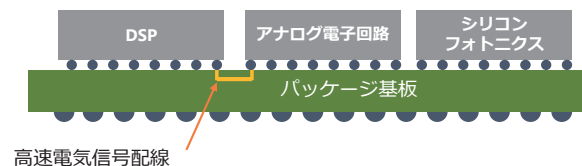
よる半田リフロー実装に対応しています。

このデバイスのねらいは、将来的にさらなる信号の高速化が進むにあたり、DSPとCOSAを接続する、高速の電気信号配線の性能が特に重要になることから、図4に示すように、その配線をパッケージ基板内に取り込むことで、配線をなるべく短尺化して、その性能を最大化することにあります。加えて、光トランシーバにおいて、DSPとCOSAを接続する高速配線を設計する必要がなく、光トランシーバの開発期間短縮にも寄与します。400 Gbit/s向けのコヒーレントコパッケージは2023年から商用化し、今後、小型デジタルコヒーレント光トランシーバに使用されていくことが期待されます。

第3世代光電融合デバイス

データセンタ内では、大量のトラフィックを処理するために、多数のサーバラック間を、スイッチを用いた2~3階層のツリー構成で接続します。近年ではAI・ML処理を専用で行うためのGPUクラスタが組まれることも多く、大規模なクラスタではスイッチを介して接続されます。

大容量スイッチをはじめ、現在の光伝送装置の多くは、フロントパネルにプラグブル型の光トランシーバが多数配列されます。図5に側面図で示すように、筐体内のスイッチASICとプラグブルトランシーバ間は、マザーボード上の電気配線で接続されます。信号速度が高速になるとマザーボードの伝送損失が急増するため、正確に信号伝送させるためには高度な信号補償回路が必要と



21.9 mm x 11.5 mm x 2.3 mm

図4 コヒーレントコパッケージの構成、および外観

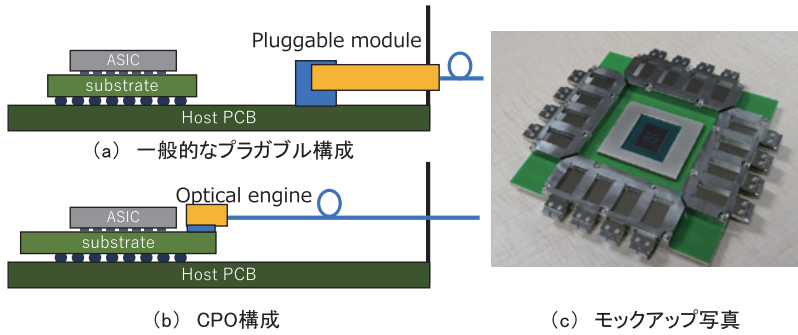


図5 Co-Packaged Optics構成のスイッチ

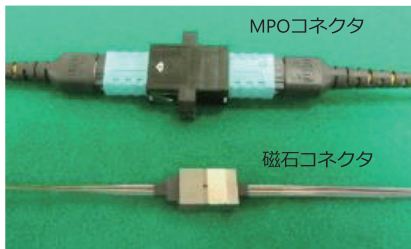
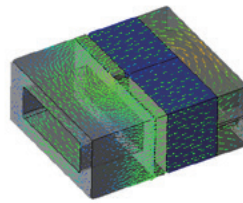


図6 磁石コネクタの外観、および磁力線イメージ例



磁力線の様子 (例)

なり、消費電力を増大させます。大容量スイッチASICは500 Wを超える電力を消費しますが、その3割は高速電気信号伝送用のI/O (Input/Output) 回路が占めます。この電力を下げるためには、光トランシーバをできるだけスイッチASICの近傍へ配置することが有効であり、Near Package Optics (NPO)、またはCo-Packaged Optics (CPO) と呼ばれる新しい実装形態が目まぐるしく注目されています。フロントパネル側からトランシーバを抜き差しすることはできなくなりますが、その代わりに、システムの総電力削減や、フロントパネルへより多くの光ファイバを収容できると期待されています。

NPOあるいはCPOで用いられる光トランシーバは、従来のフロントパネルプラグトランシーバとは区別して、光エンジンと称されます。図5(c)は、私たちが開発中の光エンジンのプロトタイプを、スイッチASIC周囲に配置したイメージ(モックアップ)です。光エンジンは、OIFで制定された仕様に基づき、50 mm×20 mm×7 mmほどのサイズで、3.2 Tbit/sの伝送容量を持ちます。第2世代光電融合デバイスで採用が始まったシリコンフォトニクス技術を用いますが、コヒーレントではなく、PAM4伝送用光回路が多チャンネル集積されている点が大きな違いです。

光エンジンは最大で70本弱のシングルモード光ファイバを収容します。51.2 Tbit/sスイッチを16個の3.2 Tbit/s光エンジンで入出力する場合を考えると、約1000本の光ファイバを筐体内に収容することになります。このファイバ取り回しは煩雑となるため、光エンジンと光ファイバの搭載を分けて行えるよう、光エンジンは光コネクタインタフェースであることが望ましいです。

多心光コネクタとしては、MPO(多心プッシュオン)コネクタが一般的ですが、70本もの光ファイバを20 mm幅に収めることはできないため、私たちは独自の多心小型コネクタを開発しています。磁石による吸引力をプラグレセ間の押圧力として利用することによって、MPOコネクタでは不可欠であったスプリングやハウジング部品を省略することができ、大幅な小型化が可能となります。図6は原理確認のためのプロトタイプですが、MPOコネクタと比べて10分の1(体積比)を実証しました。同図右は磁力線を可視化したものですが、磁力が効率的に閉じ込められるよう設計されています。

今後の展開

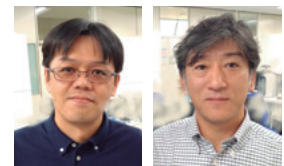
第2世代光電融合デバイスの開発として

は、さらなる高速化を進めています。現在の世代のコヒーレント光トランシーバとして、伝送速度800 Gbit/sのものが議論されています。私たちも、この高速化に対応したシリコンフォトニクスの開発に着手し、試作結果を報告しています⁽⁴⁾。現在は次の製品開発として、800 Gbit/sに対応するコヒーレントコパッケージの技術検討を進めています。

第3世代光電融合デバイスの開発としては、シリコンフォトニクスや光コネクタの開発のみならず、Co-Packaged Opticsという新しい実装構成への移行を推進するためのエコシステムづくりも並行して進めていきます。

参考文献

- (1) <https://www.oiforum.com/>
- (2) <http://www.qsfp-dd.com/>
- (3) S. Yamanaka and Y. Nasu: "Silicon Photonics Coherent Optical Subassembly for High-Data-Rate Signal Transmissions," OFC2021, Th5F.2, Virtual, June 2021.
- (4) S. Yamanaka, Y. Ikuma, T. Itoh, Y. Kawamura, K. Kikuchi, Y. Kurata, M. Jizodo, T. Jyo, S. Soma, M. Takahashi, K. Tsuzuki, M. Nagatani, Y. Nasu, A. Matsushita, and T. Yamada: "Silicon Photonics Coherent Optical Subassembly with EO and OE Bandwidths of Over 50 GHz," OFC2020, PDP, Th4A.4, San Diego, U.S.A., March 2020.
- (5) K. Shikama, N. Sato, Y. Doi, S. Tsunashima, and Y. Ishii: "A Concept of Introducing Magnetic Attraction Structure into Optical-fiber Connector," NTT Technical Review, Vol. 21, No. 4, pp. 77-82, April 2023.



(左から) 亀井 新/ 石井 雄三

本稿では、第2世代・第3世代の光電融合デバイスを紹介しています。今後、これらのデバイスを、さらに開発を進め、高速化および大容量化に寄与します。

◆問い合わせ先

NTTデバイスイノベーションセンター
DIC企画部
TEL 046-240-2473
FAX 046-270-3703
E-mail dic-kensui-p@ntt.com

「NTT Technology Report for Smart World 2023」の公開について

NTT 研究企画部門では、2019年に始動したIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想とともに、より人々が豊かに生きていく世界を実現するためのテクノロジーについてまとめた「NTT Technology Report for Smart World」を発表しています。このたび、新たに2023年度版を公開しましたので、本稿では、その概要と更新のポイントについて紹介します。

キーワード：#テクノロジートレンド、#社会トレンド、#スマートワールド

かねきよ ともゆき
兼清 知之
しらい だいすけ
白井 大介
いのうえ すずよ
井上 鈴代

NTT 研究企画部門

NTT Technology Report for Smart World 2023の構成

2019年のIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想発表以降、私たちは着実にIOWN実現に向けたテクノロジーの研究開発を進めてきました。そして2023年3月、ついにAPN IOWN1.0としてサービス展開が始まり、いよいよ構想から実現のフェーズへと移ろうとしています。NTT Technology Report for Smart World 2023では、「光」と「AI」をキーワードにIOWNから見えてくるこれからの社会を考えます。IOWN構想の成り立ちを振り返るとともに、実現のフェーズへ移りつつある取り組みの状況や、IOWNと深く関係していくAI (人工知能) の活用の取り組み状況について紹介します。また、IOWNを支える2つの柱であるオールフォトニクス・ネットワーク (APN) と光電融合デバイス、IOWNを活用した価値創造として実装が進んでいるDTC (Digital Twin Computing) の今を取り上げ、最後に、これらの技術が発展しIOWNがさらに普及した2030年に、どんなサービスやソリューションが実現し、私たちの生活がどう変わるのかを、各分野の有識者の対談により構想します。

IOWN 躍動

■データ量と消費電力量の破壊的増加とIOWNが描き出す夢

現在この社会が直面しているさまざまな課題を解決するために、私たちは情報処理

の考え方を変えていかなければなりません。デジタルテクノロジーによって多くの課題を解決できるとしても、すでに現代の情報処理環境は限界を迎えつつあるからです。例えば、人々が扱うデータ量は年々爆発的に増加しています。データ量が増加すればデータセンタの消費電力も増えていきます。デジタル化が進むにつれてデータの生成と利用が増え、それに伴いデータを処理・保存するためのエネルギーも必要となります。この問題を解決することなしに、社会のデジタル化もAIの活用もあり得ないでしょう。

そこで私たちが注目したのが「光」技術でした。大容量データの処理において、電気回路は伝送距離によって消費電力が極端に増えてしまうのに比べ、光ならば伝送距離が伸びても動作周波数が増えてもほとんど電力が増えないため、私たちも数10年前から光による情報処理に取り組んできました。私たちは情報を伝送する光ファイバを世界で初めて実用化・商用化していたため、「伝送」における光技術の導入はすでに進んでいましたが、データ処理の領域においても光技術を使えないか検討を進めてきたのです。

こうして生まれたのが「IOWN 構想」です。次世代の通信ネットワークの概念となるIOWNは、情報伝送から情報処理に至るすべてを光で行うことをめざしています。光デバイスを活用してネットワークから端末の処理に至るまですべてに光の技術を導入することで、IOWNは大容量・低遅延・低消費電力という3つのインパクトを引き起こします。大容量という点では伝

送容量が125倍まで増え、低遅延においてはエンド・エンドの遅延が200分の1まで縮まると考えられています。また、消費電力においては光ファイバケーブルだけでなく伝送装置に光 (波長) スルーを、情報処理基盤に光電融合素子を使う等、いろいろな非効率さを全体として見直すことで電力効率は100倍になることが予想されています。2019年に発表したIOWN構想の下で私たちは研究開発を進めていき、2023年3月、ついにAPN IOWN1.0のサービス提供を開始しました。IOWNは構想から実現のフェーズへと移りつつあるのです。

現在は個別の産業やシーンでのサービス提供が中心となっていますが、今後さらにAIやロボットの活用が増えていくにつれ、IOWNを介した業界の連携も加速していくでしょう。例えば国内産業を見ても、製造業や街づくり、医療、金融は言わずもがな、行政サービスや教育など多くの産業を巻き込みながらIOWNは社会・産業のデジタルトランスフォーメーション (DX) やデータ利活用を強化していくと考えられます。

■AIの普及にはIOWNが必要不可欠

私たちは、これからIOWNを通じてネットワークとコンピューティングを融合した新たな基盤をつくり、Well-beingに満ちた持続可能な社会・世界をつくっていきたいと考えています。人々のWell-beingを実現するためには、より多くの人々の多様な価値観について知らなければいけませんし、複雑に絡み合いながら深刻化する社会課題を解決するには、これまでとは異なるスケールで情報を吸い上げて分析し、未来

の変化を予測していく必要があるでしょう。そのために、私たちはAIの活用にも取り組んでいきます。近年世界的に注目と期待が高まっているAIの活用もまた、IOWNと強く関係しています。モビリティや工場はもちろんのこと、人間や自然環境など無数の対象から得られた情報を1カ所に集めていくことは現実的ではないため、今後は各領域のAIが協調しながら知識を分け合っていく非同期分散学習が進んでいくと考えられます。膨大な情報を処理するAIが相互にコミュニケーションを深めていくうえでも、IOWNはコミュニケーションインフラとなっていくでしょう。

私たちは以前より人間が日常的に用いる言葉をAIが理解・生成するための自然言語処理技術について研究開発に取り組んできましたが、今後さらにAIが社会へ広がっていくことを見据えて、これまでの研究開発で得られた知見を活かし、独自の大規模言語モデル(LLM: Large Language Models)の研究開発を加速しています。LLMとは自然言語処理(NLP)の分野で急速に進化している技術で、中でもOpenAI社が開発したGPT-4のようなLLMは現在日本でも多くの人々が利用しているほか、ビジネスへのインパクトも大きいものと考えられています。確かにGPT-4のようなLLMは驚くべき性能を誇っていますが、まだ「コラボレーター」として人間と協働したり人生の「パートナー」として人と一緒に成長したりすることは難しいと考えます。私たちはあらゆる環境で人と自然に協調可能なAIの思考エンジンをつくることで、人々のWell-beingを実現できるのではないかと考えています。私たちはこれらのモデルを活用することで、人と対話的に協働できる汎用ソフトウェアロボットをつくっていきたくと考えています。

IOWNを支える2つの柱

■ネットワーク：APN

私たちが現在社会実装を進めているIOWNは、ネットワークとコンピューティングの2つの柱から支えられています。まずネットワークにおいては、APNと呼ばれる新たなネットワークの展開を進めています。APNは、光通信技術を活用した新

たなネットワーク基盤です。光通信技術は、情報を光のかたちで伝送する技術であり、電気信号に比べてより多くの情報を短時間に送信可能です。すべての接続を光のダイレクトパスへ変換することで、従来よりも圧倒的に大容量で低遅延、かつセキュアなネットワークを形成できるでしょう。さらに光は波長を変えることで1本のファイバの中に異なるネットワークをつくれることも特徴の1つです。あるネットワークは従来のインターネットプロトコル、また別のネットワークは医療専用プロトコルといったように、APNは役割別のネットワークもつくるのが可能です。現時点では100 Gbit/s専用線を提供し、ユーザはエンド・エンドで波長を専有します。これだけでも遅延は200分の1に縮まるうえ、遅延の可視化と調整も可能となります。APN端末装置、APN-G(ゲートウェイ)、APN-T(トランシーバ)と3種のネットワーク装置が展開されており、実際にその販売も始まっています。

遠隔医療や自動運転車、リアルタイムの金融取引など、遅延が許されない多くのアプリケーションが、APNの低遅延通信によって実現可能になります。これらのアプリケーションは、今日のデジタル社会において、ますます重要性を増しています。また、低遅延通信は、新たなアプリケーションの開発を促進する可能性もあります。例えば、リアルタイムのVR(Virtual Reality)・AR(Augmented Reality)、リアルタイムのAI、リアルタイムのロボット制御など、これらのアプリケーションは、低遅延通信が可能なネットワークを必要としています。現在私たちはAPNを通じて、さまざまな分野でのパートナー企業と共創を進めています。また、APNは、データセンター事業にも大きな影響を与えています。APNの高速で大容量の通信能力を活用することで、データセンターの運用効率を大幅に向上させることができます。これにより、データセンターのサービス品質の向上やコスト削減が実現可能になります。また、データセンターは、クラウドサービスの提供者や大規模なIT企業など、多くの企業にとって重要なインフラとなっています。これらの企業は、APNにより強化されたデータセンターを活用することで、自社のサービスの

品質を向上させることができます。

■コンピューティング：光電融合デバイス

IOWNのコンピューティングにおける柱は「光電融合デバイス」の開発です。光電融合は、光と電気を統合する技術を指し、光電融合デバイスは電子デバイスと光デバイスを1つのシステムに統合することで、データ転送の速度を向上させ、エネルギー効率を改善するものです。APNのネットワーク構成装置の内部にも光電融合デバイスが導入されることで、APNのさらなる低消費電力化や超大容量化が進んでいくと考えられています。

一方、光電融合デバイスの実現と広がりを見るうえで、ディスアグリゲータッドコンピューティングを無視することはできません。それは、コンピューティングリソース(CPU、メモリ、ストレージなど)を物理的なサーバから分離し、ネットワーク上で自由に組み合わせることができるコンピューティングモデルです。これにより、リソースの利用効率を向上させ、システムのスケーラビリティと柔軟性を大幅に向上させることでパフォーマンスを最適化し、コストを削減することが可能となります。ディスアグリゲータッドコンピューティングは、特に大規模なデータセンターやクラウド環境での利用が見込まれています。これらの環境では、多数のユーザが同時にさまざまなタスクを実行するため、リソースの需要が非常に動的であり、ディスアグリゲータッドコンピューティングによりその需要に柔軟に対応することができます。

また、私たちはディスアグリゲータッドコンピューティングアーキテクチャを採用した新たなサーバ「超強力汎用ホワイトボックス」の開発にも取り組んでいます。2025年の商用化をめざしています。超強力汎用ホワイトボックス上で動作するOS、コントローラ、アプリケーションを開発しているIOWN構想を実現するインフラとして活用していきます。

私たちは光電融合デバイスの構想から実現への移行を加速させるべく、2023年6月に光電融合デバイスの製造会社として「NTTイノベティブデバイス株式会社」を設立しました。また、6G(第6世代移動通信システム)なども含むIOWN関連技術の研究開発や実用化をさらに進めてい



図 対談の様子

くべく、2023年度はIOWN研究開発全体で約1000億円の資金を投じています。今後も継続的に注力し、前述の超強力汎用ホワイトボックスのようなサーバやデジタルツインのようなサービス化も加速させていく予定です。

DTCが提供する豊かな都市生活のインフラ

IOWNを活用した価値創出として現在実装が進んでいるのが、DTCです。これは、複数のデジタルツインを自在に掛け合わせることで都市におけるヒトと自動車など、これまで総合的に扱うことができなかった組合せを高精度に再現し、精緻な未来予測や個人に合わせたきめ細やかなサービスを実現するものです。これまで、自動車や工場の機械など現実空間のモノをデジタル空間上に再現することでリアルタイムな状況把握や異常検知を行うことはありましたが、DTCはこれらを無数に組み合わせることで、大規模かつ高精度な実世界の再現、さらには実世界の物理的な再現を超えた人間の内面も含む相互作用をサイバー空間上で実現していきます。

DTCにはさまざまなユースケースが考えられますが、現在はオフィスや商業施設を中心としたサービス化や実証実験が進んでいます。中でもAPN IOWN1.0の実装が進んでいるのが、東急不動産が渋谷で進め

ている大規模開発です。これは東急不動産とNTT、NTTドコモ、NTT東日本の4社による協業プロジェクトであり、環境問題をはじめとする社会課題の解決に向け、先進的な利便性とサステナブルを両立した街づくりを進めようとしているものです。今後オフィス空間のみならず商業施設にもDTCが広がっていけば、リモートコンシェルジュの対応やXR (Extended Reality) 技術を使ったショッピングにより、1人ひとりの趣味嗜好に応じた満足度の高い購買体験も実現できます。

IOWNから見えてくる2030年の世界

IOWN1.0の始動によって、今後ますますIOWNを活用したサービスやアプリケーションの実装が進んでいきます。その先にはいったいどんな世界が広がっているのか、そしてIOWNは既存の産業やビジネスにどんな変革をもたらすのか、それらを皆様に実感していただくためにNTT Technology Report for Smart World 2023では、有識者の方々との対話を通じて2030年の社会を構想する新たな取り組みを実施しました。具体的には2030年の近未来をターゲットとして、さまざまビジネスを支えるプラットフォーム、テクノロジーによって医療を変革するベンチャー企業、AIと人間の関係を問い直す研究者の3つの領域の有識者の

皆様との対談を実施し、そこから描かれた2030年の社会の姿をご案内します(図)。対談の詳細内容は、ぜひWeb資料からご覧ください⁽¹⁾。

おわりに

NTT研究企画部門では今後もテクノロジーの動向とNTT R&Dの取り組みについて発表していきます。今回発表した資料はNTT持株会社ホームページ⁽¹⁾よりダウンロードしていただくことが可能ですのでぜひご覧ください。

参考文献

(1) <https://www.rd.ntt/download/>



(左から) 兼清 知之 / 白井 大介 / 井上 鈴代

テクノロジーとNTT R&Dの動向をまとめた「Technology Report for Smart World 2023」のオンラインPDFを発行しています。お客さまとのコミュニケーションへご活用いただければと思います。

◆問い合わせ先

NTT研究企画部門
R&D戦略担当

E-mail technology_report-ml@ntt.com



神奈川県立横須賀高等学校の生徒が スポーツアナリストになるまでの成長記 —— NTT人間情報研究所の地域貢献活動の紹介

NTT人間情報研究所サイバネティックス研究プロジェクトでは「スポーツアナリストを体験しよう」という研究テーマで高校生を受け入れ、さらに共同研究としてスーパーサイエンスハイスクールの支援に取り組んでいます。本稿では、若手研究者育成に関する地域貢献活動にかかわったNTT研究者と神奈川県立横須賀高等学校の担当教諭へのインタビューを紹介します。

キーワード：#地域貢献，#スポーツアナリスト，#運動能力転写技術

かたおか かおり
片岡 香織
しんどう まさと
進藤 真人
あおき りょうすけ
青木 良輔

NTT人間情報研究所

はじめに

文部科学省は、国際的に活躍し得る科学技術人材の育成を目的とし、先進的な理数系教育を行う高等学校等を支援する制度（SSH：スーパーサイエンスハイスクール）を実施しています。神奈川県立横須賀高等学校（横須賀高校）は、平成28年度からSSHに認定され、生徒たちの課題研究能力を育む独自のカリキュラムを組んでいます。

横須賀高校のSSHでは、高校3年間通しての必須授業としてカリキュラムが生まれ、特に特徴的なのは、高校1年生のときに、生徒が研究の第一線で働く研究者とともに探求活動するという取り組みです。具体的には、横須賀高校が周辺の大学・企業含む複数の研究機関へ協力依頼し、それらの研究機関から提案された研究テーマを基に、生徒たちが興味を持った研究機関を選択し、探求活動を行います。NTTも横須賀高校がSSH認定された2016年度から協力し、高校1年生を対象に探求活動の支援を行ってきました。

2022年度から、NTT人間情報研究所サイバネティックス研究プロジェクト（人間研義体P）は、「スポーツアナリストを体験しよう」という研究テーマで高校1年生を受け入れ、さらに共同研究と位置付けてSSHの支援を開始しました。この共同研究では、NTTは生徒の探求活動の支援だけでなく、人間研義体Pで推進している運動能力転写技術の研究発展に寄与する学術成果に高校生のアイデアが活かされる研究活

動を推進しています。その研究結果の一部は学術的にも高く評価され、第一線の研究者が集う場での発表まで成し遂げました（表）。

このたびの若手研究者育成に関する地域貢献活動にかかわったNTT研究者（青木良輔・進藤真人）と2022年度の横須賀高校の担当教諭（黒住実可：現 神奈川県立城郷高等学校教諭）にインタビューをしましたので紹介します。

人間研義体Pが推進する運動能力 転写技術と保有する実験施設

人間研義体Pでは、一般に言葉や映像では伝達しにくい運動のコツを、電気刺激などの外部からの感覚刺激によって直接伝達する技術「運動能力転写技術」の研究開発を推進しています⁽¹⁾。立位の姿勢制御⁽²⁾やピアノの演奏技法^{(3),(4)}を題材とし、筋電気刺激などの外部感覚刺激による不随意運動と随意運動を組み合わせることで筋肉や知覚の使い方のコツを伝える技術を研究しています（図1）。また、コツを伝える技術の創出だけでなく、技術の応用範囲を広げるための運動のコツやクセを定量化する研究もさかんに進んでいます。そして、このような運動学習・運動解析を支える計測システムや、外部から感覚刺激を与える装置などを保有しています（図2）。

今回紹介する青木良輔は運動能力転写技術全体を推進し、進藤真人は加齢などによる姿勢制御能力低下の予防に向けた姿勢制

御に関する運動解析・運動学習を担当しています。

高校生の興味を誘発する提案テーマ設定の経緯

横須賀高校にNTTが提案した「スポーツアナリストを体験しよう」というテーマは、生徒たちが所属する部活動の運動のクセやまい人の運動のコツを見つけ、生徒自身のパフォーマンス改善に役立てるといえるものです。

一般に運動に関する基礎研究は歩行や姿勢を対象とすることが多い中、歩行・姿勢ではなく運動部活動を対象にすることで、授業で疑問に感じたことを部活動で実践するサイクルが生まれるなど、授業以外でも興味を継続してもらうことをねらいとしました。SSHの生徒経験のある進藤は、興味を持続することの困難さを知っており、この設定に手ごたえを感じていたそうです。

このテーマ設定に加え、生徒の視点からの興味を誘発する青木のプレゼンテーションを見て、当時黒住先生が予想したとおり、定員20名を大幅に超える生徒が応募したそうです。そこで高校側は、明確な応募理由のある生徒の中から定員数になるように調整しましたが、どうしてもNTTで研究したいと強い希望理由を持つ生徒がいたので、最終参加人数は22名になりました。いかに魅力的なテーマかつプレゼンテーションだったかが伺いしれます。

最終的に、野球部3名・陸上競技部3名・

表 成果リスト

【野球部】
・横須賀市自然・人文博物館の理科フェスティバルにてポスター発表（2023年1月）
・電子情報通信学会MVE研究会にてショート発表（2023年3月）※MVE賞を受賞 亀山・進藤・小川・近藤・黒住、青木：“[ショートペーパー]VR システムとモーションキャプチャを用いた野球の緩急をつけた配球に対する打撃フォームの予備調査,” 電子情報通信学会MVE研究会, MVE2022-70, 2023
【水泳部】
・電子情報通信学会MBE研究会にて一般発表（2023年6月） 緒形・小林・影山・黒住・中川・進藤・青木：“競泳の陸上用トレーニング器具を用いたフォーム分析の予備検討,” 電子情報通信学会MBE研究会, MBE2023-11, 2023
・国際会議EMBCにてポスター発表（2023年7月） Y. Ogata, M. Kobayashi, T. Kageyama, M. Shindo, R. Aoki: “Study on Front Crawl Form Analysis Using a Dry-Land Training Tool and a Motion Capture System,” 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Conference, 2023
【陸上部】
・横須賀市自然・人文博物館の理科フェスティバルにてポスター発表（2023年1月）※今日のいいね！大賞を受賞
・神奈川県教育委員会主催のかながわ探究フォーラムにてポスター発表（2023年3月）
・電子情報通信学会MBE研究会にて一般発表（2023年6月） 青木・進藤・和田・北村・黒住・中川・青木：“短距離走のクラウチングスタートにおける上肢と下肢の荷重配分による違いが加速やセットポジションの姿勢に与える影響の予備調査,” 電子情報通信学会MBE研究会, MBE2023-12, 2023
・中高生を対象とした国際アイデアコンテストGlobal Link Singapore 2023にて発表（2023年7月）※Fine Work Prizeを受賞

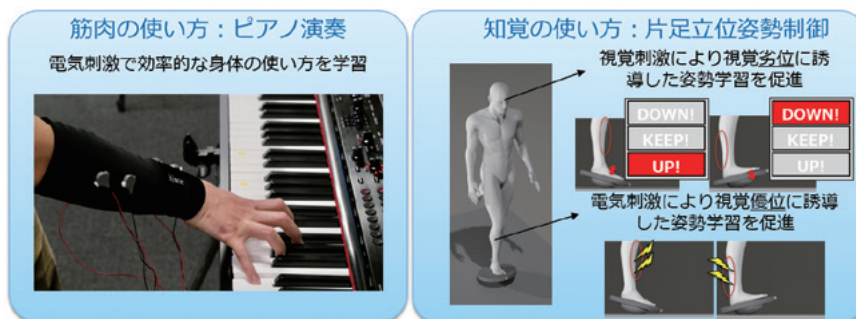


図1 運動のコツを電気刺激などの外部からの感覚刺激によって直接伝達する技術「運動能力転写技術」の研究例

水泳部3名・バドミントン部3名・テニス部4名・弓道部1名・サッカー部1名・バスケットボール部2名・バレーボール部1名・スポーツチャンバラ1名の生徒たちと研究を進めていくことになりました。1名の部活動の生徒には取り組みの大変さを指摘し、共通点（例えば、ジャンプ）に着目して、グループで議論するように勧めたものの、共通点でも運動の種類による違いがあるので個々に取り組みたいという要望があり、NTTはそれを尊重しました。

毎週のSSH授業の中で高校生の興味を継続させる柔軟な授業設計

毎週行われるSSHの授業でも高校生の興

味を持続させるさまざまな工夫があり、そのおかげで、生徒たちは刺激を受けて目を輝かせていたと黒住先生は語ってくれました。

まず、SSHの授業開始当初、青木は授業開始の5分から10分は普段高校生が授業で学習している教科と運動との関係性や運動と筋肉の使い方の関係性を説明することから始め、生徒自身の身近なことにも注意を向けさせていました。

授業のカリキュラムの組み方にも柔軟な工夫がありました。授業開始当初は、興味を持つ運動の既存評価に関する文献・解説映像などを調査し仮説構築することをめざしましたが、うまく進まない様子を見て各自が興味を持つ運動が実際にどのような

データで表現されるのかを知ってもらおう方向に移行しました。実際に計測し、自分の動作と連動して変化する波形グラフを見ることで、身体の動きを別視点から解析することの意味を実感でき、漠然としていた課題を少しずつ明確化できたようです。もし周辺技術の調査や測定項目の詳細化に多くの時間を割いていたなら、1年間という短い期間でこれだけの成果（表）は出なかったと進藤は振り返ります。

生徒たちへの課題の出し方にも工夫がありました。「既存の研究を調査して何を計測したいか検討してほしい」というNTT社員向けの指示では、研究経験のない生徒たちには、いくら部活動での動きが対象といっても、何をどう調査すればいいのか、全く分からず何も出ないことは想像に難しくありません。自由度がありすぎると高校生は行動できなくなる可能性があり、しかし、絞りすぎると主体性を損なう可能性があると考え、高校生が主体的に行動できる範囲で課題設定をしたうえで、作業するように促しました。具体的には「世の一般に言われていること」や「コーチに言われていること」を探してくるという課題をまず設定しました。しかし、この制約でもやはり計測項目を絞り込むのは難しかったようで、とにかく計測したい運動対象に



図2 計測装置（医療機器認定された計測システム）
VICON モーションキャプチャ（カメラ11台）、DELSYS筋電センサ、AMTI床反力計など

対して、計測条件を変えるたびに取得される計測データの確認を実験室で繰り返すことで計測項目を見定めるといった課題に変更したそうです。

横須賀高校も生徒たちがくじけないように工夫をしました。生徒たちのモチベーションの維持は、週に1回の授業で「(宿題として)XXをやっておいてね」の指示だけでは、やはり生徒たちは研究に時間を優先させるのは難しく、他のことに気を取られてしまいます。そこで週に1回のNTT研究者との授業を無駄にしないようにと、黒住先生は、廊下ですれ違おうと、授業ごとに提出してもらった振り返りカード中の生徒の言葉を使って、「XX調べてみた？」など積極的に声かけをしていました。「あ、調べてない！調べてみます」と回答が得られればしめたものです。先生が気にかけているという意識は生徒たちのモチベーションを高め、興味を継続させました。授業だけでなく、授業以外の時間での声かけという表に現れにくい先生の支援にも生徒たちは助けられていました。

計測・解析でのNTT研究者の苦勞と楽しさ

NTT研究者にも、高校生たちが収集し

た計測データを解釈できるようになるまでに大変な苦勞があったこと、しかしそれが報われる楽しさがあったことを紹介します。

青木と進藤ともに、どの競技も運動解析・運動学習の研究視点で取り組むのは初めてであり、各競技の既存研究に関する知識やノウハウがあったわけではありません。計測対象や可視化内容については2人とも手探り状態で、各部活動の各生徒から情報収集しても、生徒全員が必ずしも計測したい内容の明確な言語化まではできておらず、感覚的なものだったそうです。そこで、生徒が感覚的に意識していることを尊重しつつ、青木と進藤は自身の研究活動の知見と自身の運動経験を活かしながら生徒と何度も議論し、その感覚的なことを言語化するための計測条件と、計測項目を漠然と決め、まずは定量化して可視化してみることを、新規性のある仮説構築より優先したそうです。

加えて、計測データをグラフとして可視化するだけでは高校生には解釈が難しいので、NTT研究者側が比較項目を検討案としてアドバイスすることにしました。この検討案を作成する際、各競技で、実験タスク・計測内容・検証項目が全く異なるため部活ごとに頭を切り替えて結果を整理する必要があり、ここが一番大変であったと進

藤は振り返っていました。黒住先生は、2人がすべての部活に対して個々に動きをデータ計測し、可視化したことに対して、大変感激していらっしゃいました。

このような喜びを10種類の運動部活動すべてに対して繰り返し検討を重ねた2人の大変さは想像を絶するものだったと思います。特に進藤は、当時、入社3年目であり、自身の研究の論文化で大変だった時期に高校生への対応・指導をすることになり、このころは弱音もはいていたと青木は笑って振り返っていました。しかし2人は、高校生のアイデアを基に得られた実験の中で、予想もしない結果が見えてくると、苦勞よりもわくわくする期待のほうが勝っていたようです。黒住先生によると、このころの生徒たちは、まだ得られた結果の面白さがすぐには分からない中、NTT研究者が本気で楽しんでいる姿に羨ましさを感じ、自分たちもその面白さを感じたいとやる気を出していた面があるようだと話されていました。

可視化された計測データの解釈における横須賀高校の生徒と先生の苦勞と成長

NTTから可視化されたデータが共有されました。さあ、ここからは生徒たちの頑張りどころです。異なる条件で可視化されたデータを比較し、生徒たちの普段の動きの感覚を振り返りながら定性的に考察したり、追実験が必要かどうかを考えたりする段階です。このときのNTT研究者も知らない横須賀高校の生徒と先生の苦勞と成長について紹介します。

事前に生徒たちが解析ソフトMATLABを利用できるように、黒住先生がPC環境の整備を支援し、進藤が可視化されたデータを共有するものの、生徒たちがそこからデータを読み解くことは難しく、生徒の中には「もうデータを見たくない」「もういやです」「何が分からないのか分からない」という振り返りもあったそうです。そこで、黒住先生は、生徒たちがまずもやもやするところを言語化させるために、SSHの授業以外の時間においても、生徒と議論の時間をつくり、常に分からないところを一緒に考え、生徒のもやもやの個所を引き出すこ

とに注力しました。黒住先生は、「先生も分からないから、どこが分からないのか教えて？」という問いかけによって、生徒から「グラフのここに何かありそうだけど、ここの数値の意味が分からない」など、分からない箇所を引き出し明確化させ、さらにその言語化を心掛けたそうです。このような質問を忍耐強く繰り返し、ある程度考えが明らかになった時点でNTT研究者と議論できるSSH授業で質問に行かせるように促したとのことでした。この黒住先生の支援は、生徒のモチベーションの維持、そして数少ない議論時間の質向上につながっており、限られた時間しか支援できないNTT側にとっても感謝しきれないところでした。そして徐々に可視化されたデータを読み解けるようになってくると、「こういうグラフはつくれますか？」とNTT研究者に生徒自身から尋ねる姿がみられ始めました。中には、動画とグラフを照合しながら、何分何秒にどのような動きがあったかを書き出し、グラフを詳細化するよう頼んでくる生徒も現れました。

先生とNTT研究者の強力な連携により生徒たちは壁を乗り越え、まさに先生とNTT、生徒との信頼関係あつての生徒の成長といえます。毎授業ごとに振り返りカードを見ながら先生とNTT研究者で各生徒の様子を確認し合い、進んでいない生徒たちへの対応もきめ細かく行われました。

成長の連鎖

10種類もの部活動を対象に検証していくと、いくつかの部活動の成果は学術的な場で議論したくなるようなものでした。特に野球部と水泳部は課題設定の時点で事例検討を報告するだけでも価値があると判断していたため、国内研究会などの学会の場で発表するように勧めていたそうです。

最初に成果を国内研究会にて発表したのが野球部でした。企業や大学の研究者と肩を並べて学会で発表することは自然と校内に広まり、生徒たちの中にも学会発表に関心を持つ人が出てきました。野球部に続き、水泳部の成果も投稿に向けて準備をしていたときに、陸上競技部の生徒たちが、自分たちが学会発表するには何が足りないのかを尋ねに来たそうです。

青木が、現状の成果では国内研究会の場で議論するほどの知見が見出せていないこと、さらに、初期実験の成果を深掘りし追実験する必要があることを伝えると、生徒たちは、進藤と主体的に実験計画を練り直し、同学年の陸上競技部の生徒にも実験協力の依頼をし、実験の運営を行いました。加えて、NTT研究者から可視化された計測データを基に検討すべき項目が提示されると、お弁当を囲っての昼ミーティングや放課後に集合するなど、自ら時間を捻出して議論し合っている様子があったそうです。

計測データを読むようになり、学会に出たいというモチベーションに引っ張られ、研究の面白さを感じ始め、1日中データ解析に夢中になる、この自ら考え走り始める行動はまさに研究者そのもの、そして黒住先生とNTT研究者が期待したスポーツアナリストそのものの視点です。

最後に、青木の指摘から陸上競技部が学会に投稿するまで2カ月もなかったそうです。その短期間でやりきった生徒たちの努力も想像に難くありません。一方で、実験実施に向けた特定個人情報保護評価や倫理委員会などの社内調整、新規性を説明するための文献調査、実験計画の詳細化や解析など、表に現れ難いたくさんの業務をNTT研究者がこなしました。生徒のやる気に本気でこたえたNTT研究者も素晴らしかったと感じます。

インタビューの振り返り

野球部・水泳部・陸上競技部はすでに対外的な場で発表をしましたが、他の部活動の生徒たちも、高校1年生の3月に校内でのポスター発表をしました⁽⁵⁾。全員が一通り年度末に成果を発表できたものの、1人2人の少人数グループでは、高校2年生での継続が難しかったようです。実際、ポスター発表終了後に「私、頑張ったよね」と黒住先生に言いに来た生徒もいたそうです。同じ立場での支え合いができる仲間が存在が大きく、ルール上、人員追加が困難であり、現在も継続しているのは3人以上で構成された部活動です。しかし、最後の振り返りカードに「研究が何か分かった」という言葉の記述があったそうで、黒住先生もNTT研究者も報われたと感じた瞬間だっ

たのではと想像します。また、「君たちはどう思うの？どう考えてこれを書いたの？」という一見批判されたと感じてしまう研究者からの質問に対しても生徒たちは素直に「なんで書いたのだろう」と振り返り、チャンスとらえていたことに感心しました。

読者の皆様に、このNTTの地域貢献活動の紹介を通じて、少しでも明日への活力をお届けできればと願いつつ、記事を締めくくらせていただきます。

参考文献

- (1) <https://www.rd.ntt/hil/category/cybernetics/abilitytransfer/>
- (2) M. Shindo, T. Isezaki, Y. Koike, and R. Aoki: "Induced effects of electrical muscle stimulation and visual stimulation on visual sensory reweighting dynamics during standing on a balance board," PLOS ONE, Vol. 18, No. 5, p. e0285831, 2023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285831>
- (3) A. Nijijima, T. Takeda, K. Tanaka, R. Aoki, and Y. Koike: "Reducing Muscle Activity when Playing Tremolo by Using Electrical Muscle Stimulation to Learn Efficient Motor Skills," Proc. of ACM IMMUT, Vol. 5, No. 3, Article No. 123, Sept. 2021. <https://doi.org/10.1145/3478110>
- (4) A. Nijijima, T. Takeda, R. Aoki, and S. Miyahara: "Muscle Synergies Learning with Electrical Muscle Stimulation for Playing the Piano," Proc. of ACM UIST Association for Computing Machinery, New York, U. S. A., Article No. 54, pp. 1-10, Oct. 2022. <https://doi.org/10.1145/3526113.3545666>
- (5) 青木・進藤・黒住: "高校1年生による未体験技術を用いた運動解析の実践報告," ヒューマンインタフェース学会研究(SIG-UXS), Vol.25, No.4, pp. 43-50, 2023.



(左から) 進藤 真人 / 青木 良輔

NTT研究者と横須賀高校の先生方の温かく熱心なサポート、そして横須賀高校の生徒たちの奮闘と成長をお伝えすることで、NTTから未来への希望を発信できればと思います。今後ともNTT研究所にご期待ください。

◆問い合わせ先

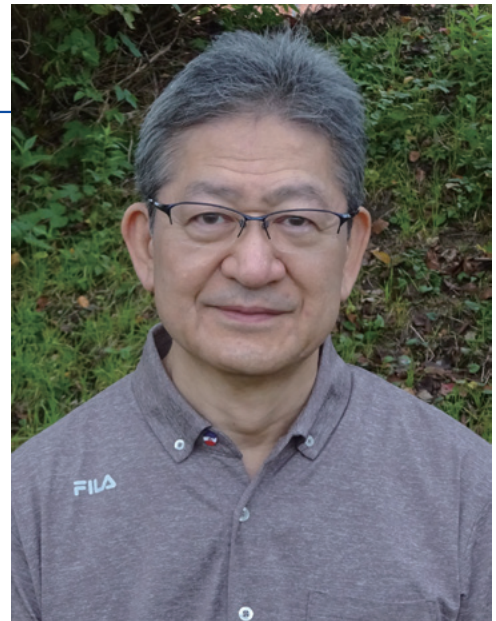
NTT人間情報研究所
サイバネティクス研究プロジェクト
E-mail kaori.kataoka@ntt.com

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
上席特別研究員

五味 裕章 Hiroaki Gomi

神経反射による腕運動とそのときの脳内感覚運動情報処理の関係、およびそのメカニズムを解明

私たちの何気ない日常の動作においても、伸長反射に代表されるように、無意識の脳神経系の情報処理プロセスが関与して巧みな運動制御が行われているものが多くあります。このような無意識で行われる感覚-運動系には比較的原始的な神経システムが関与していると思われるかもしれませんが、高次の視覚情報処理が行われた信号をトリガーとして反射的応答が発現するものもあります。その一例である、視覚運動から短潜時で腕応答が生成されるメカニズムに関して、仮説検証により世界で初めてメカニズムを明らかにした、NTTコミュニケーション科学基礎研究所 五味裕章上席特別研究員に、神経反射による腕運動とそのときの脳内感覚運動情報処理の関係、およびそのメカニズム、楽しく研究を進める思いと工夫を伺いました。



人間の脳内の感覚運動情報処理を解明し、新しいインタフェースを創出する基盤構築をめざす

現在、手掛けていらっしゃる研究について教えていただけますでしょうか。

新しい潜在感覚運動系の発見や情報処理の解明・モデル化を通じて、人にやさしいインタフェース創造に向けた基盤構築をめざして研究に取り組んでいます。

前回（2020年12月号）は、人間が無意識に行っている身体動作の1つであり、筋の受動的な伸びによって運動指令が生じる「伸張反射」の生成において、体性感覚情報だけではなく、視覚情報も統合した脳内の身体表象（脳内でイメージされている身体）を使った情報処理により調整されることを世界で初めて確認したことを紹介しました。さらに、体性感覚の実際の応用例として、体性感覚の1つである指の触覚を特殊な振動で刺激することによって、「引っ張られている感覚」を知覚させてナビゲートなどができる小型機器「ぶるなび」を紹介しました。

現在は、対象物に手を伸ばす際に使われる脳の情報処理のメカニズム解明に取り組んでいます。といっても急に始めたわけではなく、実はかなり以前からこの問題と向き合っています。脳は視覚や触覚、筋に埋め込まれたセンサなどからの情報をどのように使って外界を表現し、筋骨格系を動かしているのでしょうか。感

覚情報にちょっとした細工をすると、知覚や運動に不思議な影響が現れます。それらの現象は時には意識にも上るときもあれば、気付かずに起こることもあります。

例えば、手を動かしている最中に、目の前の白黒パターンを左に動かすと手が勝手に左に、右に動かすと勝手に右に動いていくというような運動が出ます。それは自分が自ら動かしているわけではなく、自分の意思にかかわらず、手が勝手に視覚情報に従って動いてしまう「視覚情報によっておこる反射」（MFR：Manual Following Responseと命名）と考えられます。こうした運動を生成するような情報処理が脳にある、ということ私たちが20年ほど前に発見して、その情報処理がどうなっているかについて調べてきました。この現象を説明するには2つの考え方があります。他の研究グループが提案した仮説は、自分が手を伸ばそうとする先のターゲットの脳内の表象がこの視覚運動によってズレたために、手の修正動作が起きた、というものです。私たちの説は、視野に広がるパターン（白黒パターン）が動いたことによって自分の体が動いたと錯覚し、それに対する補償動作として手が動いた、というものです。ところが、これらの説のどちらが正しいのかということは最近まで検証が十分できていなかったのですが、私たちがある実験によって検証を行うことに成功しました⁽¹⁾。

その仮説検証実験では、安定的な台に人が乗り、目の前でグレーティングパターンを静止させた状態とランダムに動かした状態（姿勢安定性）、そして不安定な台に人が乗り、目の前でグレーティングパターンを静止させた状態とランダムに動かした状態（視野

安定性) の4条件を設定し、それぞれの条件が視覚運動で生ずる手の応答 (MFR) の大きさにどのような影響を与えるかを比較しました。私たちの仮説に基づくMFRの振幅変調を、視覚運動から姿勢変化を推定するベイズモデルを使って計算すると、姿勢が不安定になるとMFRが大きくなり、視野が不安定になるとMFRが小さくなるという予想になります。実際の実験結果は、ベイズモデルによる予想と一致しており、MFRは姿勢変化に対する補償動作であること (仮説) が裏付けられました (図1)。

さらに、その実験で実証された「MFRは姿勢変化に対する補償動作である」ことと、これまでの研究で明らかにした「脳の視覚運動解析は、MFR生成に関与する」ということを結び付けて、「MFRのための視覚運動解析は自己運動 (姿勢の動き) を推定するために形成される」という仮説を立て、この仮説を構成的に検討しました。まず、モーションセンサ内蔵のヘッドマウントカメラを装着して屋内外の歩行シーン、ポスターを見ているシーン、本に手を伸ばしているシーンなど、30~70秒の映像 (一人称視点

映像) を撮影し、次にそれらの映像を入力としてそのときのカメラの動き (すなわち自己運動) を推定するCNN (Convolutional Neural Network) を使って深層学習させてみました (図2)。

学習が完了したCNNに未学習の一人称映像を入れると、その出力は自己運動の実測値とほぼ一致しており、自己運動中の一人称視点映像のみから、6自由度の回転・並進速度で構成される自己運動を逆推定できることが分かりました。興味深いことに、このCNNの中間層の特性を調べてみたところ、これまでに明らかにされている脳の視覚解析処理を担う細胞と近い情報処理特性を持つことも分かってきました。また、学習されたCNNの時空間周波数特性を調べると、MFRの時空間周波数特性と類似していることが明らかになり、さらに詳細な解析によりMFRが並進方向の自己運動の推定値を使って生成されていると考えられることが示唆され、「MFRのための視覚運動解析は自己運動を推定するために形成される」という仮説が支持されました (図3)。これらの研究の進展により、人間の視覚情報から潜在的な運動を生成

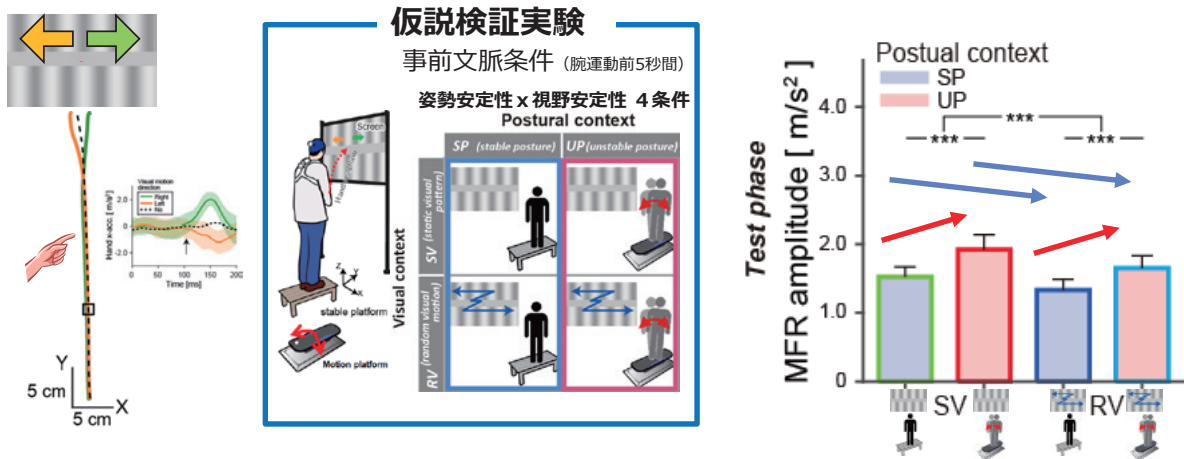


図1 姿勢・視覚安定性文脈により変化する背景運動刺激により生ずる腕応答 (MFR)

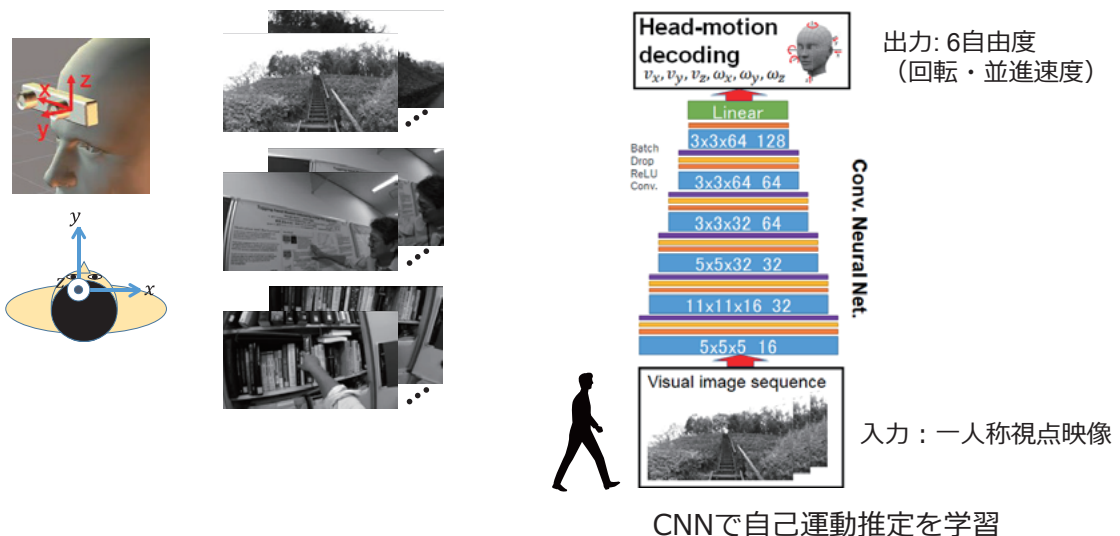
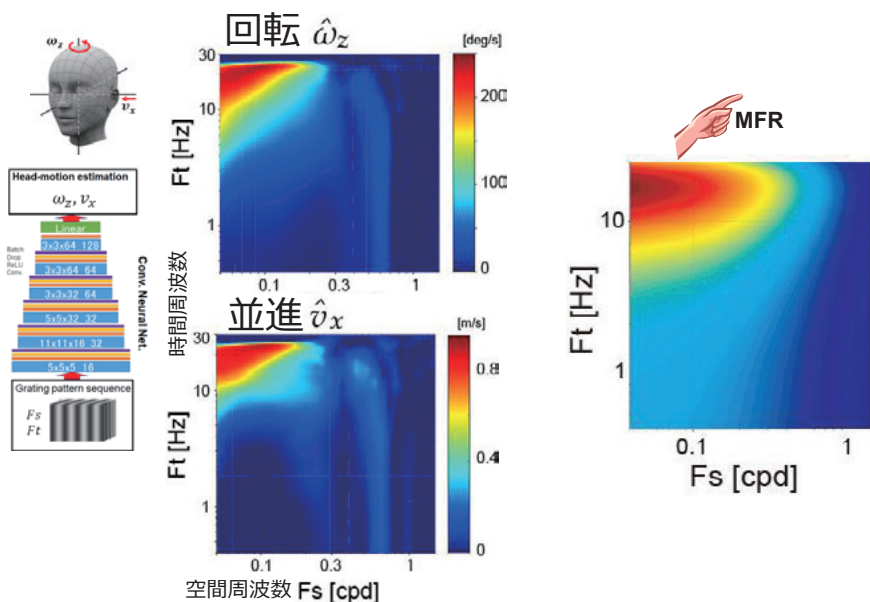


図2 一人称視点映像から自己運動を推定するCNNの構築

挑戦する
研究者たち



CNNに学習された時空間周波数特性はMFRと類似

図3 学習されたCNNの時空間周波数特性

するメカニズムの一端の理解が深まったように思います。これらの結果は、2023年に“Neural Network”に論文掲載されました⁽²⁾。

「ぶるなび」で面白いアプローチができたそうですね。

前回紹介させていただいた、触覚を刺激することによって、「引っ張られている感覚」を実感させてナビゲートする「ぶるなび」については、その振動触覚情報がどのように脳の中で引っ張っていると感じているかについての研究を進めました。振動をいろいろ変化させて引っ張られる感覚が変化する際の脳波を計測した結果から、どうやら引っ張られる感覚をつくり出す情報は、頭頂葉付近でコードされているということまで分かってきました。また応用の側面では、ぶるなびを使って目の不自由な方をスタジアムの座席に誘導するような試みにも参加させていただき、技術的な問題点なども洗い出すことができました。今後、さらに研究開発を進展させて、役に立つデバイスができるよう努力したいと考えています。

人間の脳の情報処理メカニズム解明により、さまざまな可能性が広がりますね。そこに向けた今後の課題は何でしょうか。

当面はMFRに関する脳内の視覚情報処理と運動指令生成までの変換過程について、さらに追究していくことが重要な課題だと考えています。最近、メタバース（仮想空間）に注目が集まっていますが、仮想空間の中でバーチャルなインタラクションをして、コミュニケーションを成立させていくということが、現実味を帯びてきました。この仮想空間におけるインタラクションを考えるうえで、脳の情報処理を理解するということはもっとも重要なポ

イントの1つだと考えます。ただ現在の仮想空間では、その中にいるアバター等をカーソルやマウスで動かしながらインタラクションし、映像や音声等でコミュニケーションするパターンがほとんどかと思っています。今後、ヘッドマウントディスプレイ等のデバイスがかなり優秀になってくると、自分があたかもその空間にいて動いているような感覚を与えることができるようになってくると思いますが、その臨場感、現実感が増大するほど、脳の情報処理のメカニズムを理解し、それをベースとしたインタフェースデバイスや安全性検討が必要になってくると思っています。

この段階までくると、デジタルツインにおいても脳内の情報処理や感覚運動系についての理解と実現が意味を持つてくるのではないかと思います。すぐにそのレベルまで達成するという話でもありません。人間の脳を理解してから取り掛かっていたのでは、何年あっても世に出るものにはならないほどの難易度だと思えます。その意味で、脳内の情報処理メカニズムの解明されたところからパーツパーツで取り込んでいくことが重要なのだと思えます。一方で私たち基礎研究者も、より現実世界における問題設定に関する脳情報処理を明らかにしていくことを加速させることが重要だと考えます。

 研究は楽しくやろう

研究者として心掛けていることを教えてください。

楽しく研究をしようということを常に考えて、そのために工夫するというを常に心掛けています。仮説を出して、それはたとえ小さな仮説であっても、この実験をしたらこうなるといったことを仲間の研究者と話をしますが、その中には対立もあり

ます。自分の仮説が正しかったときはほっとしますが、正しくなかったときも、その理由やロジックを考えることが重要で、それを考えることを面白く感じています。そのための工夫として、比較的短期間で検証可能な仮説を立て、その仮説を検証することにある意味ゲームのように考えて楽しむようにしています。特に基礎研究の場合は短期的にビジネスにつながるようなことは少ないので、大きな仮説の下でもショートスパンで検証できる小さな仮説を立て、たとえ自分の仮説が間違いであることが実験的に明らかになっても、次の勝負に備えて作戦を立て直す（仮説のロジックの見直しをして新たな仮説を考える）ということを繰り返しながら、成果につなげていくという感じです。

また、こうしたアプローチで研究を進めていくうえで、常に世界の研究をウォッチしながら自分の立ち位置をモニタリングすることも重要だと考えます。唯我独尊の世界の中でやっているわけではないので、足元はしっかり見つめながら、対立するグループ、賛成してくれるグループの研究を見極めて自身の研究を進めていくことが重要だと思います。対立する考えが著名な研究者のものであってもそれに迎合することなく慎重に考えることが必要で、熟考していく過程で、新たな考え、アプローチ、実験方法などが出てくると思います。そして、それを別の研究グループの論文や発表と照らし合わせて見ていけば、自分の立ち位置を見失うこともないと思います。その意味で学会というのは非常に良い場所で、自分が出した結果とそれに至る考え方を発表し、それに対する参加者の反応からも得るものは大きいです。

しばらくコロナ禍で対面による学会がなくなりましたが、最近では再開されてきており、会場にいただけでも対面でさまざまなコミュニケーションを取ることが可能で、たとえばそれが雑談であっても意外なヒントが得られることがあります。さらに、自分とは異なる分野の人たちとのコラボレーションやコミュニケーションで知識の幅が広がり、新たな方向性も見出すようなことにもつながります。私は、体性感覚から運動までの情報処理を以前から研究テーマの中心にしてきたのですが、学会に行くと視覚研究者の方々の発表を見て、意見交換をすることで、新たな思考をめぐらすことができるようになり、運動野からみた視覚情報処理の研究に最近ハマっています。こういった意味でも学会はすごく役に立っていると思っています。

後進の研究者へのメッセージをお願いします。

とにかく研究は楽しくやりましょう。楽しむということは、楽をすることではありません。楽しむためには苦労や努力、そして楽しむための工夫が必要になります。研究を進めていくと、一見無駄に見えることへの対応をしなければならぬ局面もありますし、またなかなか成果が出なくて悩むこともあると思います。これを乗り越えるための苦労や努力も、考え方1つで楽しみに変えることもできます。異分野で知らないことが多すぎると、興味が持たなくて言われたことだけをやるようなことはないでしょうか。成果が出ないからと、目の前の困難ばかりを見ずに、ふと立ち止まっ

て周りを見ることも必要ではないでしょうか。知らないことを積極的に深く知ろうとすること、分からないことをきちんと分かるようにすること、今までできないと思われていたことをできるようにすることは、とても楽しいことだと思いますので、見方を変えて楽しんで問題に取り組んでほしいと思います。こうした努力や工夫の先には、発見や新創造といった成果にたどり着ける場合もあります。その成果は世界中で自分が最初にたどり着いたものであり、これこそがまさに研究の醍醐味であり、もっとも楽しいことなのではないでしょうか。そして苦労や努力をすればするほどこの感覚は強くなるのではないのでしょうか。ただし、研究を楽しくやるためには、オンとオフの区別をしっかりとできることも大切です。研究に疲れたら、しっかり休むことは重要です。もしかすると、考え抜いてもどうしても解が見つからないようなときでも、休んで遊んでいる最中にふっと良い考えが浮かぶかもしれません。そんな経験が私もあります。

それから、他の人とのコラボレーションをすることも大切です。特に最近の研究は、すべて1人で完結することはまず不可能で、だからこそ他の研究者とコミュニケーションをとってコラボレーションすることが必要です。コラボレーションする相手は、自分と少し視点が違う人や、専門が違う人が良いかもしれません。対立するような議論も研究の質を高めていくためには重要です。賛同してくれる人だけで徒党を組んでいるのはよくありません。知らないことを知るといっては面白く、楽しいという感受性を持って話をすれば、自分の研究の幅を広げることができることも、楽しく研究や議論をすることもできると思います。

■参考文献

- (1) N. Abekawa, K. Doya, and H. Gomi: "Body and visual instabilities functionally modulate implicit reaching corrections," *iScience*, Vol.26, No.1, 105751, Jan. 2023.
- (2) D. Nakamura and H. Gomi: "Decoding self-motion from visual image sequence predicts distinctive features of reflexive motor responses to visual motion," *Neural Networks*, Vol.162, pp.516-530, May 2023.

NTTドコモ
デバイステック開発部 担当部長

王 偉忠 Ichuu Ou

アンコンシャス充電がもたらすスマートライフの実現をめざし、どこでも無線給電ができる世界に

スマートフォンの普及をはじめとして身の回りのデバイスは多様化しています。電池の性能も向上していますが、常に電池の残量が気になる、といった利用者の意見も出ています。そして、その結果としての充電に対する種々の煩わしさも表面化してきています。NTTドコモ デバイステック開発部 担当部長 王 偉忠氏に、充電ストレスフリー・カーボンフリーデバイスをめざした開発、「アンコンシャス充電がもたらすスマートライフ」の実現への思い、プロのプライドを持った開発への姿勢について伺いました。



充電ストレスフリー・カーボンフリーデバイスをめざした開発

現在、手掛けている開発の概要をお聞かせいただけますか。

充電ストレスフリー・カーボンフリーデバイスをめざした先行開発として「長距離無線給電」および「室内光発電パネル」の開発と、商用開発としてドコモブランドの端末の開発について製造を除く全プロセスにわたって手掛けています。

充電ストレスフリー・カーボンフリーデバイスとは、利用者が意図的に充電行為をしなくても充電された状態にあり（アンコンシャス充電）、デバイス自律発電を含むグリーンエネルギーで動作するデバイスです。

アンケート等、複数の調査結果から、スマートフォンの利用者の多くは、購入の際には電池の持ち時間を気にしており、使用中は電池残量を気にしているという傾向があります。そして、充電器やモバイルバッテリーの携行、充電用のコンセント探しから充電までの操作、場合によっては充電ケーブルそのもの等を常に意識して行動しています（充電ストレス）。このストレスから利用者を解放するのが「長距離無線給電」で、部屋に入った瞬間に自動的に給電（充電）開始するアンコンシャス充電も可能になります。

無線給電方式には、電磁誘導や電界結合により数 cm 程度の近距離で給電する方式、磁界共鳴（共振）により数 10 cm くらいまでの中距離で給電する方式、マイクロ波や光レーザーにより 10 m くらいまでの長距離で給電する方式があり、長距離無線給電方式がアンコンシャス充電への適合性が高い方式です。私たちは、マイクロ波方式と光レーザー方式を比較し、給電電力と伝送距離の観

点で、モバイルデバイスへの給電については、光レーザー方式が優位と見立てています。また見通しのよくない環境での微電力デバイスへの給電については、マイクロ波方式が優位と考えています。

システムとしては、いずれの方式も送電機と受電機で構成されますが、方式によって送受電機の大きさや給電可能電力が異なってきます（図 1）。そのためユースケースによって適した方式を採用することによりアンコンシャス充電の世界を実現したいと考えています。



※ 初期の商品では受電機はドングル等でデバイスに外付けすることを想定
普及や技術進化に伴い、受電機構のデバイスへの内蔵なども視野

図 1 長距離無線給電

室内光発電パネルとはどのようなものですか。

室内光発電パネルは、再生可能エネルギーとして注目されている太陽光発電と同様に、太陽電池により光のエネルギーを電気に変換します。広く普及している太陽電池は、材料として結晶シリコンを使用しており、太陽光に対して高い変換効率が得られます。室内光発電パネルは、電気を通す透明なガラスに色素（インク等の着色物質）を吸収した酸化チタン膜、電解質を挟んだだけの構造で、太陽光とは異なる波長で、照度の低い室内光でも高い変換効率が得られます。

室内光は、蛍光灯やLED照明のような屋内の照明機器による光のことですが、床等の下方や壁等を照らしてはいるものの、エネルギーとしては十分に活用されていません。このエネルギーをいつの間にか収穫して蓄えるという発想で室内光発電パネルを試作しました（図2 (a)）。室内光から得られる電気エネルギーは大きくないため、発電した電力はパネル裏のモバイルバッテリーに蓄電し、それを取り外して持ち出すことで利用する形態としています。今後さらなる変換効率の向上や、新たなデバイスの検討を進めていく予定です。

室内光発電デバイスとしては、E Ink 電子ペーパーを搭載したデバイス開発しました（図2 (b)）。デバイス内部の内蔵電池に充電して、その電力で電子ペーパーを表示させます。またBluetoothを搭載しているので、スマートフォンから画像を電子ペーパーに送信することでサイネージ的な利用もできます。これをオフィス、ダイニング、サロン、カフェ、ホテル客室等に設置することで、それぞれのシーンに合わせて利用することができます。

プロのプライドを持って商用端末を開発

商用開発は具体的に何を開発しているのでしょうか。

商用開発については、端末メーカーの製品をベースにNTTドコモの要求・仕様を追加することでドコモブランド端末として開発しています。中でも電池を含むすべてのハードウェアの安全性確保に関する部分の開発を行っています。デザインレビュー（仕様書との対比チェック）後に、出来上がったサンプル製品の安全性を評価し、設計どおりの製品ができるかの工程を確認後、製品として市場投入しています。もちろん、市場投入後に市場動向をウォッチして、問題があれば原因究明、対策実施、再発防止策の実行等の対応を迅速に行っています。

安全性確認の具体的な例としてリチウムイオン電池の場合、①発熱、発煙、発火しない（燃えない）こと、②長期間使用しても電池が膨らまないこと、③長期間使用しても電池の持ち具合が変わらない（劣化しない）こと、の3つのポイントについて、ドコモブランドへの影響が出ないように、プロのプライドを持って確認しています。こうした電池のトラブルは基本的に製造工程における異物混入や密閉不良に起因するケースが多く、設計段階からのレビュー、製造段階の確認等により発生を未然に防いでいます。それでも問題が発生した場合は直ちに原因究明し、状況に応じて緊急対応、恒久対応を使い分けながら実施しています。

プロのプライドとはどのようなものなのでしょうか。

電池の例ですが、私たちのチームには電池の専門家が数名います。電池に対して原理はもちろんのこと、複数の電池メーカーの設計・製造工程とその特徴、ノウハウ（守秘義務あり）まですべて理解しています。さらに市場に関する過去からの膨大なデータや、ドコモブランド製品に関する過去からの経験の蓄積もあります。これらの知見を活用することに対して、私たちはプロとしての自覚と自負を持っています。

評価段階におけるエラー発生やエラーが予見される場合、トラブルが発生した場合、私たちはこうした知見を基に、机上検討、

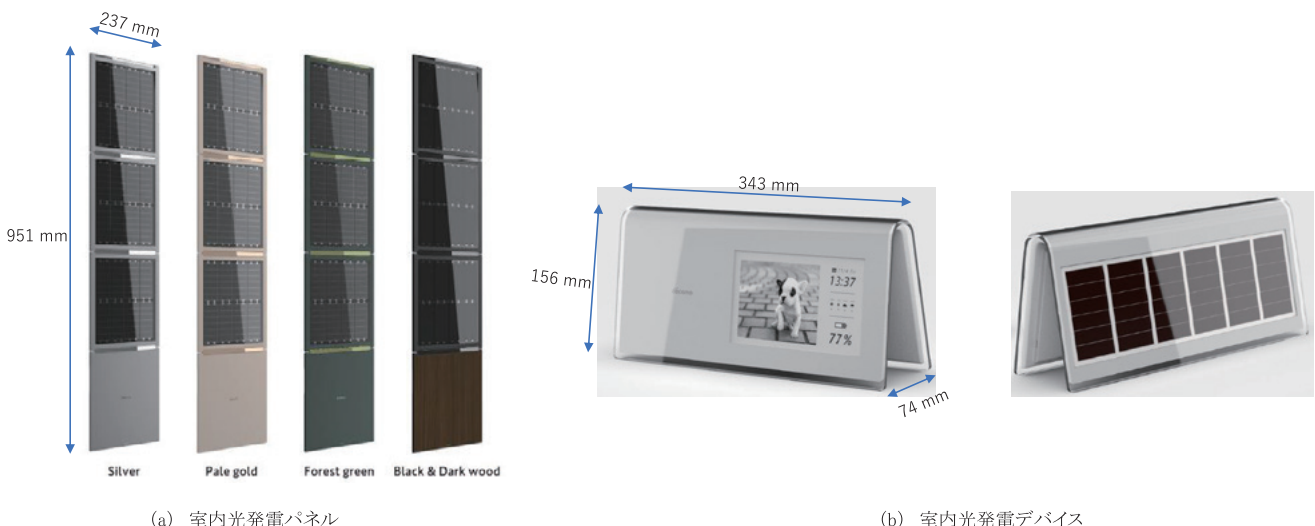


図2 室内光発電パネルと室内光発電デバイス

シミュレーション、実験環境で実施した結果を用いてメーカーの設計・製造工程まで立ち入って徹底的に議論し、必要に応じて設計・製造工程に関する修正をメーカーに依頼するところまで含めて、対策と再発防止策を講じます。

このプロセスや取り組みがプロのプライドを持った対応であり、ドコモブランドの価値をキープし保証書的な役割を果たしています。

開発者としてスキルの維持、スキルアップはどのようにしていますか。

私は、学生時代に符号分割多元接続（CDMA）を含む移动通信に関する研究をしており、その後通信機器メーカーに入社して海外メーカーと緊密な連携をとった携帯電話端末の企画開発に従事していました。海外メーカーとの交渉スキルを活かして、よりお客さまに近いポジションで活躍の場を拓げるために、2010年にNTTドコモに入社し、スマートフォンを含むデバイス開発のプロジェクトマネージャを務めました。こうした経歴をとおして、移动通信関連技術、ハードウェアを含む移動端末設計・製造スキル、そしてグローバルを含む複数のデバイスメーカーのお付き合いの中で、国内とグローバルの違いやメーカー各社の特徴の違いを知り、広く深い知識とスキルを身に付けることができました。現在の業務では、これら以外に電池・充電関連の高度な技術、より高度なプロジェクトマネジメントスキル、そして商品を提供していくうえで市場動向のフォローを含む商品企画スキルが必要になってきます。

これらのスキルの維持向上をめざして、世の中のトレンドに関する記事、書籍等からの情報収集や勉強を心掛けているのですが、特に勉強についてはただ漠然と情報収集するだけではゴールが見えないので、年1件ペースで資格取得をめざした勉強に取り組んでいます。

チームとしてのスキルアップについては、私自身がこれまでの経験で広範にスキルを付けることができたので、メーカーとの打合せの場やミーティング等をおして、チーム内への展開を図っています。ただ、電池関連スキルについては私もまだ途上なので、専門家を新たに採用することでチームのスキル向上を図るとともに、そのスキルのチーム内への展開を図っています。

「アンコンシャス充電がもたらすスマートライフ」の実現をめざして、常に感謝の気持ちを持って開発を進める

将来的に何をめざして開発を続けたいのでしょうか。

「アンコンシャス充電がもたらすスマートライフ」の実現をめざして、現在の開発をさらにブラッシュアップしていきたいと思っています。当面の課題はデバイスの低消費電力化と部品の低価格化で、これが達成されると普及に大きな弾みをつけることができると考えています。NTTドコモは、このために必要なほとんどの技

術等は有しているのですが、一部のコア技術については有していないため、スタートアップ企業やメーカーとWin-Winのパートナー関係を築いて展開していくこととなります。こうしたアクションを取っていくことで、特に長距離無線給電の世界は、おそらく数年後には実用化・商用化できるのではないかと考えており、その先には充電を意識しなくてよいアンコンシャス充電の世界が訪れると確信しています。

さて、NTTドコモは2021年9月28日に、「2030カーボンニュートラル宣言」を発表しており、「充電ストレスフリー・カーボンフリーデバイス」はこれに大きく寄与できるものと考えています。また、2021年10月に発表した「新ドコモグループ中期戦略」では、会員基盤とデータ活用、サービスと多様な端末とのシームレスな連携により、パートナーとともに新たな生活価値・ライフスタイルを創出する、「スマートライフ事業の拡大」が提起されています。これにより創出される新たなサービスや端末にアンコンシャス充電が適用されることで、スマートライフがより洗練されたものになっていくのではないかと考えています。

後輩、チームメンバ、開発者へのメッセージをお願いします。

私は、市場把握や費用対効果の検証を含むビジネスモデルの検討・構築、プロダクトの実現手段の検討、海外のスタートアップ企業との交渉と開発連携のマネジメント、知的財産の扱い、全体的なスケジューリングとそのマネジメントに留意して、関係各方面と調整しながらプロジェクトを進めてきました。その経験をおして、後輩、チームのメンバ、開発者の方々に、次の4つのメッセージを送りたいと思います。

まず、常に勉強して、技術だけではなく世の中や市場のトレンドを国内だけではなくグローバルも含めて幅広く把握することです。こうした知識、スキルは開発そのものばかりではなく、ステークホルダの方々との交渉や調整においても、その幅広さが役に立ちます。そのためのきっかけやモチベーションとして、TOEIC受験や資格取得をめざしてみるのもいいと思います。資格取得の結果として自信にもつながります。

2番目は、計画性を持って仕事を進めることです。余裕を持って計画的に仕事を進めることで、ミスを防ぐことができます。

3番目は、仕事を中途半端ではなく、最後まで責任を持ってやり遂げることです。これにより周囲からの信頼もアップするとともに、達成感を味わうことができ、それが次の仕事へのモチベーションにもつながると思います。

そして4番目が、常に感謝の気持ちを持つということです。「受けた恩は石に刻む」という言葉のとおり、感謝の気持ちや利他の気持ちがあれば、パートナーやメーカー、社内関係者との交渉や調整がうまく進むと思います。交渉や調整の相手は目の前の人なので、こうした方々との人間関係を良好に保つためにも、感謝の気持ち、利他の気持ちは大切なのです。



NTT人間情報研究所
特別研究員

志水 信哉 Shinya Shimizu

脳の状態を可視化して人の相互理解を深める「感性コミュニケーションの実現に向けた脳科学応用技術」

従来のコミュニケーションでは、多少の行き違い（ミスコミュニケーション）や対話として成立しないこと（ディスコミュニケーション）が発生し、言語表現によって情報を100%相手に伝えることは難しいとされていました。そこで近年では、言語を介さず脳内情報を直接相手に伝えることで情報を正確に伝達し、相互理解を深めるための取り組みが行われてきています。この研究が進むことで、筋萎縮性側索硬化症（ALS）患者の方の脳波計測による表情生成や、生成AI（人工知能）に正しく意図を伝えて誰でも生成AIのメリットを享受できる世の中などが実現されると期待が高まっています。今回は「感性コミュニケーションの実現に向けた脳科学応用技術」の研究に取り組む、志水信哉特別研究員にお話を聞きました。

◆PROFILE：2002年京都大学工学部情報学専攻卒業。2004年、同大学大学院情報学研究科修士課程修了。同年、日本電信電話株式会社NTTサイバースペース研究所入社。自由視点映像やライトフィールドなど三次元映像処理に関する研究開発に従事。2007年よりISO/IEC JTC1/SC 29/WG 11 (MPEG) 国際標準化活動に参加。ISO/IEC JTC1/SC 29国内委員会委員およびSC 29/WG 11/Video小委員会委員。IDW'19 Best Paper Award (共著)、情報処理学会 情報規格調査会 標準化貢献賞、経済産業省 国際標準化奨励者表彰（産業技術環境局長表彰）などを受賞。博士（工学）。2020年より特別研究員。



脳波を可視化して正確な情報を伝達することで「感性コミュニケーション」を実現

■「感性コミュニケーションの実現に向けた脳科学応用技術」とはどのような技術でしょうか。

私が研究している「感性コミュニケーションの実現に向けた脳科学応用技術」とは、脳科学の知見や技術を用いて、伝えたい情報を相手に100%正確に伝わるコミュニケーションの確立をめざす技術です。従来の言語を用いたコミュニケーションでは、多少の行き違い（ミスコミュニケーション）や対話として成立しないこと（ディスコミュニケーション）が発生してしまい、情報を100%正確に相手に伝えることはできません。例えば「もう少しスマートな感じでお願いします」と伝えたととき、「スマート」という言葉から頭に思い浮かべるイメージは人によって異なり、その結果コミュニケーションに齟齬が生まれてしまいます。この従来の課題を解決するために、脳科学の知見を応用して脳の状態を可視化して、より正確に情報を伝達できる「感性コミュニケーション」の実現をめざして研究を始めました。この感性コミュニケーションを実現して情報がより正確に相手に伝わることで、新たな解決策やより良い合意をすることができ、コミュニケーションの成果と当事者の満足度が最大化されると考えています。

この研究の背景として、現代ではさまざまな人の考え方を尊重して多様性を理解することが重要視されているという点です。そこで多様性を認めるためには、まず「他の人がどのような考え方をするのか」を理解することが最初の第一歩です。そうすることで他人の考え方をより正確に理解可能になり、新しいものや価値観の創出につながると考えています。またこの研究を始めた時期は、新型コロナウイルスが流行してリモートでのコミュニケーションの機会が増えたころでした。普段のコミュニケーションであれば場の空気感を含めたコミュニケーションが可能ですが、リモートではそれができないという課題を解決することも短期的な目標として1つ掲げました。

最終的な目標として「感性コミュニケーション」が電話・メール・チャットなどを超えた新しいコミュニケーションツールの一部となることをめざして日々研究を進めています。お互いの感情や物事の感じ方・とらえ方をより正確に知ることができ、相互理解を促進する技術の実現をめざして日々研究をしています。

■具体的にどのようなアプローチで研究をされているのでしょうか。

感性コミュニケーションを実現するための具体的な研究アプローチとして、脳の表情を多角的な表現でリアルタイムに知覚可能



にする「脳内表象可視化技術」を構築しました。コミュニケーション時の脳波の状態に基づいて幾何学的な図形を表示することによって、コミュニケーション相手の内面状態をより正確に理解できるだけでなく、自分自身の感情状態を把握できるようになります。現在の研究では、脳波から数百次元で推定する「脳の表情」から特徴的なものだけ抜き出して低次元の情報として表現することで、これまでは伝えられなかった内面状態の一部を伝達することに成功しています。

脳波は脳の中にあるニューロンの活動に伴って発生しているため、「人が何かを考えたり感じたりするときにはその内容に応じてニューロン群が特徴的なパターンで動いているだろう」と仮説を持ち、さまざまな状況での脳波計測に取り組んでいるのが現在の研究段階です。計測の方法として、私個人の「技術を世の中に出していきたい」という想いからコンシューマ向けの脳波計を用いた計測方法を検討しているのですが、それでは波形にノイズが乗ってしまい信頼できるデータの収集が難しいという課題に苦労しています。一方で、基礎データの収集のために研究用途の脳波計も使用しているのですが、脳波計測の際に電極と頭皮との間の電気抵抗を抑えるためにジェルや電解液をつける必要があるため、データ収集にも手間と時間が多くなっています。

また人間の感情は複雑でその数は細分化すれば際限がなく、また感情には「楽しい」「悲しい」というように分かりやすいカテゴリだけでは表現しきれない複雑な感情のグラデーションがあって、脳波から感情を認識することは非常に難しいです。そこで私は人の「違和感」に注目しました。その理由は「相手がうまく理解できたのかどうか」や「自分の中で引っかかりがあったのかどうか」、そして「新しい発見があったのかどうか」というように、多くの場面での「違和感」を理解することがコミュニケーションの役に立つと考えたからです。

この取り組みの研究成果として、他者からの提案に対して自分の考えと一致しない際の脳反応として、N400やN600といった陰性の電圧変化を示す脳波（事象関連電位）が生じることを発見しています。さらに自分の考えと一致しない提案を受け入れられる場合は、受け入れられない場合に比べてこの事象関連電位の陰性反応が小さくなることを確認しました。この「違和感」に対する脳反応に関する研究は従来存在していたものの、研究の対象は「地球は四角い」や「ひまわりの色は青色である」というように誰もが違和感を得る文章での反応でした。そこで今回の私の研究では、「人によって考え方が違うときに先行研究と同じ違和感の反応が出るのか」「違う反応が出る場合にはどのような反応が出るのか」を調査することで新しい反応を見つけながらさらに知見を深めています。

元々この技術を立ち上げるにあたって最初の構想としては、特定の方々を対象とせずにコミュニケーションを拡張することをねらっていました。しかし検討を進める中で、筋萎縮性側索硬化症（ALS）患者の方の脳波を読み取って表情をつくり出し感情を相手に伝達することができないかと考えました。ALS患者の方のコミュニケーション支援として、文字入力やコマンド選択などで意

思伝達を行うようなブレインマシンインタフェース（BMI）の研究開発が盛んになっている中で、意思伝達を補助するために「感情を表現できないだろうか」と考えたのが研究の出発点です。さらに時代の流れとして、表情画像を生成する生成AI（人工知能）の機能が格段に発展したことも追い風でした。このような経緯から「脳波からどのような表情をつくらうとしているか」という情報さえ読み取ることができれば、生成AIがそれを解釈して人の表情を生成することができるのではないかと着想を得たのが研究開始のきっかけです。

結果的に、この研究は生成AIとのコミュニケーションにおいても役立つ技術の検討にもなりました。生成AIは強力なツールである一方で、ユーザが正しく意図を伝えてあげる必要があります。生成AIでは、命令を言語化してAIに伝える必要があるのですが、そこで自分の意図と異なる伝わり方をしてしまうという問題が往々にして発生します。そこで「脳内表象可視化技術」を用いて脳波から直接AIに伝えることで、言語表現の能力に左右されずにAIの恩恵をすべての人が享受できる世の中を実現したいと考えています（図）。



胸を張って自分の技術を人に伝えられる研究者に

■今後の研究ビジョンについて教えてください。

私の研究テーマは「脳情報処理モデリングによる人のデジタル化」であり、NTTが提唱するIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想のデジタルツインをつくるための基礎的な研究になります。ヒトの内面は未知の部分が多く課題は山積みで、長期間にわたる研究になると予測しています。今後は人をデジタル化して情報処理可能にするという大きな目標に対して、脳科学をベースに脳メカニズムを解明してモデル化することをめざしながら、その過程で得られた知見の工学的な活用方法検討を並行して進められるようにしたいと考えています。もし人の脳を情報として表現できるようになれば今よりさらに脳を理解できるだけでなく、従来では人を対象にして試してみないと分からなかったようなことも、デジタル化したモデルを用いてシミュレーションすることが可能になるため、「どのような人を組み合わせるとチームをつくって、どのような役割を与えると仕事が効率的に行えるか」というようなことが事前に分かるようになります。脳科学の分野はまだ発展途上で、私自身もその目標に向けた具体的な道筋がはっきりと見えていないわけではないため、これからさらに発展させていきたいと思っています。

そのほかにも、今後は脳の状態を外から導くような技術の研究も検討しています。物事のとらえ方は人によって異なるだけでなく、例えば調子が良いときには世界が明るく見えるように、自分自身の状態によっても大きく変化します。そのためアプローチとしては、脳を直接刺激してコントロールするのではなく、人の感性メカニズムを脳科学的に明らかにし、そのメカニズムを利用して物事のとらえ方を変容させることで、脳の状態を導く方法を

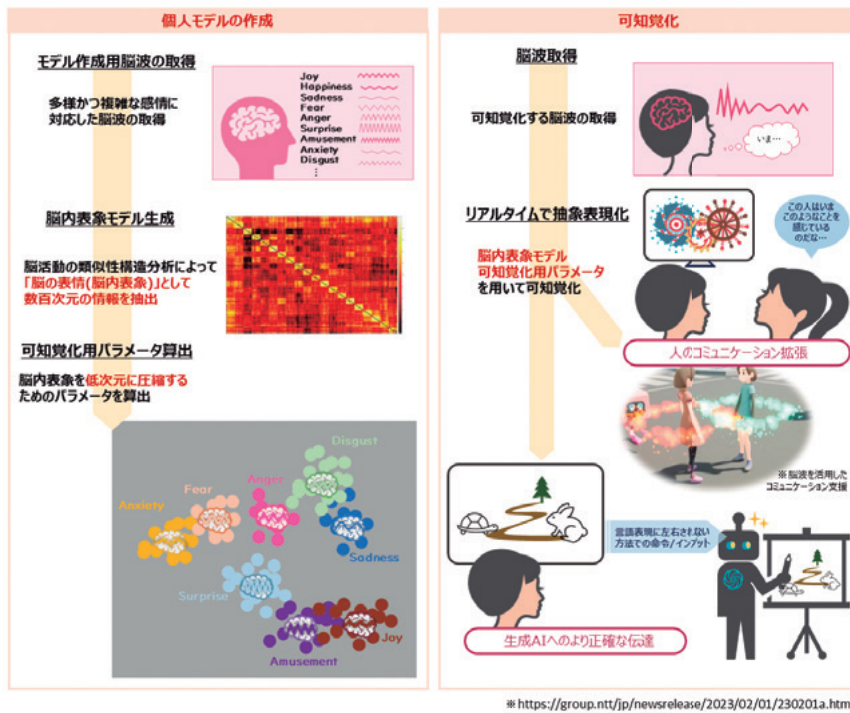


図 脳内表象のモデル化と可知覚化の概要

模索していきたいと考えています。

■最後に研究者・学生・ビジネスパートナーの方々へ向けてメッセージをお願いします。

私がNTTを志望した理由は、「世の中で実際に使われるサービスを開発したい」や「自分のつくった技術だと胸を張って言えるようなサービスを世の中に出したい」という想いからです。実は、研究にあまり詳しくない私の親に自分のつくった技術を伝えてあげたいと思ったのが原点で、今では自分の子どもが大きくなってきたときや未来の子どもたちに自分の研究を伝えてあげたいと思っています。自分の仕事として胸を張って伝えることができ、実際にいろいろな人が触れられる技術をつくりたいというのがベースにあり、そのスタンスは今も大きくは変わっていません。

元々、私自身の研究は「基礎」と「応用」という意味ではかなり「応用」寄りでした。そのため、今でも持っている知識を組み合わせる新しいことができないかを考えるのは、研究者として非常に面白いなと思っています。脳科学の分野でも、長年基礎研究を続けてきた脳科学者の方には今から勉強しても追いつけない部分というのはあるだろうと思っている一方で、私のようにさまざまな経歴を持つ研究者は少ないため、その経験を活かしてメディアの話や信号処理・画像処理など今まで携わった分野の知識の使い方を発見して知見を活用できるのは楽しい瞬間です。

一方で現在従事している脳科学分野ではまだまだ基礎研究が十分とはいえないため、実現したいことがあっても知見が足りず達成できないことが多くあります。現在ではNTTで長いスパンの基礎研究を進められる環境をいただけているので、着実に研究

を進めて目標に近づけていると感じています。また基礎研究では新しい発見をして知的好奇心を揺さぶられる瞬間が非常に面白く、応用研究では世の中からフィードバックをもらえるのが非常に嬉しいため、その研究者冥利を味わえる経験を得られる環境は非常に貴重です。

私は元々脳科学の専門でないため、いろいろな方の講演を聞き、論文や書籍を読むことで脳科学の基礎的な知識を身につけるように努めています。今後も胸を張ってこれが自分の研究だと言えるようになるために、研究において大切な「基礎」から着実に研究を積み上げていきたいと思っています。この記事を読んでいる中で技術に携わる方がいらっしゃれば、ぜひ「うしろめたさを持つことなく人に伝えられる」技術研究に取り組んでいただき、そして自分が胸を張って「これは正しいんだ」「これは新しい発見だ」と言えるように信念を持ち続けて研究に臨んでいただければと願っています。



(今回はリモートにてインタビューを実施しました)



DOCOMO Communications Laboratories Europe GmbH

<https://docomolab-euro.com/en/>

docomo

DOCOMO Euro-Labs

NTTグループの技術・知見を活かし、 モバイル通信技術の国際標準化に貢献する会社

スマートフォンが世界中に普及し、いつでも、どこでも、誰とでも、SNSや情報通信が可能となっています。これを支えているのが5G（第5世代移動通信システム）をはじめとする情報通信ネットワークです。情報通信ネットワークは、さまざまなベンダによる多くの装置で構成されていますが、これらの装置が、国際標準と呼ばれる世界共通な規約・規格に従っていないとつながりません。モバイル通信を中心に国際標準策定（国際標準化）活動に貢献しているDOCOMO Communications Laboratories Europe GmbHの田中威津馬（たなかいつま）所長に、国際標準化活動の中心地である欧州における活動と、6G（第6世代移動通信システム）、IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）時代に向けた国際標準化への思いを伺いました。



DOCOMO Communications Laboratories Europe

田中威津馬所長

国際標準化活動の中心地、欧州で技術開発と標準化に向けた仲間づくり

■設立の背景と会社の概要について教えてください。

DOCOMO Communications Laboratories Europe GmbH（通称：ドコモユーロ研）は、NTTドコモにおける次世代モバイル通信の研究開発拠点として、2000年11月にドイツのミュンヘンに設立されました。

当時のNTTドコモは3G（第3世代移動通信システム）、iモード等の事業の海外展開を強化しており、米国、中国、欧州に研究開発拠点をづくりました。欧州では、主要工業や、通信関連企業の拠点多く、通信技術に関する著名な大学も多かったこと、そして欧州特許庁があることから、ミュンヘンに会社が設立されました。

オフィスはミュンヘン中心地から少し離れた、ニンフェンブルグ城という貴族の避暑地の名残のある豊かな緑と公園が多いエリア



写真1 ドコモユーロ研の外観

にあるオフィス街に位置しています（写真1）。人が最大のアセットの研究所で、社員は所長を含めて12名で、8名

の研究者（イタリア、スペイン、フランス、ギリシャ、インド、イラン、トルコ、フィンランド国籍）と3名のオペレーションチーム（会計・財務・総務・人事・情報システム等バックヤード業務全般：日本人2名、中国人1名）により構成されています。

全員が個室で執務しており、論文・会合提案文書の作成や電話会議に集中できる環境が用意されています。各自が個室に引きこもることなく、逆に昼休みなどは、コーヒーとクッキー等が準備されたラウンジで、世界事情、ニュース、技術などについてカジュアルな意見交換を行うことで、それぞれが有機的に連携し合う組織文化となっています。そして、現社員、新規社員にかかわらず、この組織文化へのフィットを一番大切にしており、確かな技術力のうえに、社内外の大勢の異業種の方々と、国境、業界、技術の壁を越えて、「NTTドコモの外交官」として大きなコラボレーションができる人材を育成・採用しています。

■具体的にどのような事業展開をしているのでしょうか。

通信技術の国際標準化のエキスパートを擁する「CoE（Center of Excellence）」として、さまざまな国際会議において、NTTドコモとNTT研究所の技術の国際標準規格への採用をめざしています。そのために、寄書の提案だけではなく、会議メンバー等、関係者の理解を促進し、賛同者を増やすよう、会議以外の場も含めてのロビー活動にも取り組んでいます。私たちNTTグループとドコモグループの保有する技術が世界中のデバイスやネットワークの国際標準として採用され、利用されている状態、またそのための業界内のリーダーシップ獲得をめざします（図）。

こうした国際標準化会議において、ドコモユーロ研のメンバーが、これまで以下のような要職に就いて、国際標準化をリードしてきました。

- ・3GPP (Third Generation Partnership Project) TSG SA WG 2 (Technical Specification Group, Service & Systems Aspects Working Group 2 : アーキテクチャがテーマの Working Group) における, Work Item・仕様のラポーターやセッション議長
- ・3GPP TSG CT WG 4 (Technical Specification Group, Core Network and Terminals Working Group 4: コアネットワーク内のプロトコルがテーマの Working Group) における, Work Item・仕様のラポーター
- ・GSMA (GSM Association) Network Groupの会合議長
- ・GSMA Network Group SWG (Sub Working Group) の副議長および仕様ラポーター
- ・ETSI (European Telecommunications Standards Institute) NFV (Network Function Virtualization) SOL (Solution) WG (Working Group) の副議長 (現職)
- ・ETSI IFA (Interfaces and Architecture) WGの副議長 (現職), 仕様ラポーターおよびテクニカルディレクター など

そして、これらの活動を通して、「4G (第4世代移動通信システム) におけるLTE (Long Term Evolution) EPC (Evolved Packet Core) に関する国際標準仕様策定への貢献」「5G コアにおける standalone仕様策定への貢献」「ETSI NFVにおけるネットワーク仮想化基盤仕様策定への貢献」等がなされ、これらは現在世の中で商用化されているコアネットワーク基盤で活用されている、トラフィック制御技術、スライシング技術、仮想化基盤制御技術などで日本と世界中の通信装置に実装され、世界のモバイル通信を支えています。

さらに、こうした活動を通して、標準必須特許も多数取得しており、現在は、5Gと仮想化基盤の発展、そして6G (第6世代移動通信システム) に向けての研究開発を進めています。

将来に向けて6GとIOWNを国際標準化の側面で支える

■事業を取り巻く環境はどのような状況でしょうか。

さまざまな社会課題の解決のため、DX (デジタルトランスフォーメーション) の推進、付加価値サービスの提供がその大きな要素となります。これにより、世界中どこでも便利で快適につながる価値をお客さまに提供し、そのうえ事業利益確保にも貢献できます。それをめざしてさらに効率的で経済的かつ持続的なモバイル通信基盤を世界中に提供するためのイノベーションを起こすことが、今この時代だからこそ求められています。

例えば省電力、そしてAI (人工知能) と機械学習を活用したネットワークマネジメント技術、SDGs と社会貢献を企業理念の根幹と

モバイル通信アーキテクト・国際標準化CoE



図 ドコモユーロ研活動の概要

して強く意識し、カーボンフットプリントの削減に貢献する技術開発、そしてそれらを国際規格に盛り込むべく日々取り組んでいます。

将来的に、求められる通信の高速・広帯域や低遅延の要望も増え、IoT (Internet of Things) の普及などによりネットワークに接続するデバイスの数、その接続のための基地局も増えます。今までのネットワークの延長線上では、このままいくと消費電力も増え続けます。省電力化による経済性と環境など持続性の両立が大きな課題となっています。

私たちは、6GとIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) の時代に、持続性と経済性の両観点から最適となるような通信アーキテクチャを検討しています。例えば、クラウド・仮想化技術を発展させ、消費電力の少ない機器へのリプレース・活用がしやすい環境づくりをめざしています。その例として、OSS (Open Source Software) やO-RAN (Open Radio Access Network) 技術を活用し、ベンダロックインから脱却するための技術開発に取り組んでいます。また、端末・ネットワーク間の制御の通信量を最小化させる技術の開発や、エッジコンピューティングをさらに活用しやすくし、全体の電力消費をおさえるための技術の開発にも取り組んでいます。

■今後の展望についてお聞かせください。

2030年代に向けて、6GとIOWNの国際的な技術開発において各社間の国際競争がますます活発化することが予想されます。その中で、ドコモユーロ研は、国際標準規格づくりの中心地である欧州における戦略的拠点として、国際社会における合意形成とそのためリーダーシップを今まで以上に強化・獲得していこうと考えています。世界におけるNTTのトップポジションと優位性をいち早く確立すべく、イノベーション創出のみならず、多くの企業やアカデミア、政府機関等との議論と対話を進めていきます。

また、そのためには、従来のR&Dを中心とした活動だけでなく、より事業に直結した要件を踏まえ、世界中の企業や個人のお客さまに喜んでもらえる技術開発が必要です。業界の内外、国の如何を問わず、「困ったときはユーロ研に聞いてみよう」と言ってもらえるような、研究所をめざしています。

NFVとクラウドでネットワークをさらにスマートに

コアネットワークグループ
マネージャー

Dr. Joan Triay
ジョアン・トリアイ さん

■担当されている業務について教えてください。

NFVとネットワークのクラウド化、およびモバイルネットワークの仮想化全般に関連する国際標準化を中心としたプロジェクトを担当しています。特に、ネットワークインフラストラクチャとその仮想化の下位層から、コアネットワークと無線アクセスネットワークの両方の部分に適用される、ネットワーク管理とオーケストレーションの上位層に至るまでの技術を全般的にカバーしています。そして、国際標準化活動の場としては、ETSI ISG NFVおよびO-RAN Allianceをベースに、標準化に寄与する研究、および関連するOSSプロジェクトに取り組んでいます。そのテーマである仮想化とクラウド技術は、ネットワークをより柔軟、効率的、費用対効果が高く、持続可能で信頼性の高いものにするためのものであり、現在のNTTドコモのネットワーク開発における非常に重要な部分です。

そのため、国際標準と開発戦略やニーズを整合させるために、常に日本のチームとコミュニケーションをとり、それを基に、さまざまな標準化団体へ参加し、他の企業からの多くの参加者と意見交換や議論を繰り返し行い、その結果を国際標準としていくといったプロセスで対応しています。このプロセスでは、特定のシナリオでは良いことが他のシナリオに大きな影響を与える可能性もあり、そのため参加者の利害が対立することで、激しい議論になることもあります。そのうえ、ソリューションや技術の長所・短所を評価するには時間と労力が必要です。しかし、反対意見を得ることは、提案された解決策を別の視点から見る機会でもあります。これにより、より優れたソリューションを提案し、コミュニティと業界全体を共通の道に導くことにつながります。

NFVやクラウド化に関してNTTドコモは、通信ネットワークの設計、構築、オペレーションにその技術を活用しています。この中で私が現在取り組んでいるのは、NFVフレームワークにPaaS (Platform as a Service) 機能を追加することです。プラットフォームが提供するPaaSを利用することで、ソフトウェアアプリケーションとハードウェアインフラストラクチャの分離をさらに促進できます。

■今後の展望について教えてください。

私の中長期ビジョンは、「通信ネットワーク機能のソフトウェ



ア化]を実現することです。これまで、専用のハードウェアで実現されていたネットワークの機能を、汎用のハードウェア上で動作するソフトウェアにより実現するものです。この目標に向けていくつかの優れた方式が議論・採用されてきましたが、特にソフトウェアとハードウェアの分離に関しては、課題はまだたくさんあります。この分離が進むことで、ネットワークを、より柔軟、効率的、費用対効果が高く、持続可能で信頼性の高いものにするのが可能となります。これをNTTドコモのネットワークに適用して、ネットワークとそのオペレーションの効率化と新しいネットワークサービスの提供につなげていきたいと思っています。

2030年代に向けて6G ネットワークアーキテクチャと次世代ネットワーク仮想化技術を定義

コアネットワークグループ
シニアディレクター

Riccardo Guerzoni
リカルド・グエルゾニ さん

■担当されている業務について教えてください。

私のチームであるコアネットワークグループは、ネットワーク技術とオペレーション分野における研究と国際標準化を担当しています。国際標準化は、通信事業者にとって、サービスの革新を促進し、ネットワークのトータルコストを削減するための戦略的な活動です。その中で私は、5G-ACIA (5G Alliance for Connected Industries and Automation)における産業用IoTに関する作業項目策定への貢献、ベンダ個別会議やOne6Gといった業界団体内でのBeyond 5Gおよび6Gに関するコラボレーションの促進・サポートを含む、国際標準化会議への提案前段階の業界内活動のコーディネート、ETSIおよび3GPPに対する会社の窓口をはじめ、チーム全体のマネジメントを行っています。

現在注力しているテーマは、2030年代の技術環境、社会的要件、産業エコシステムがどのようになるかを予測し、それに適応する6Gネットワークアーキテクチャと次世代ネットワーク仮想化技術の定義です。こうした将来を予測するような魔術はどこにもないので、すべて自分たちで情報収集して考えていく必要があります。これに対して、優秀な専門家からなるチームの責任と自負、チーム内に流れるエネルギーを背景に、とにかく多くのコミュニケーションにより相互の知見を補完し合い、理解を深めていくことで、チームの総合力を発揮して前進していくつもりです。

■今後の展望について教えてください。

次世代ネットワークは経済的にも環境的にも持続可能なもので



なければなりません。さらに、2030年代以降の未来社会の要請にも応じることは必須です。私はこれらの目標を真剣に受け止め、将来的にそれを達成できるよう日々努力しています。そして、ド

コモユーロ研とともに成長し、同僚が個人としてもプロフェッショナルとしても成長できるようにしていきたいと思っています。

DOCOMO Communications Laboratories Europe ア・ラ・カ・ル・ト

■異文化コミュニケーションによるスタートと一体感

2000年11月の会社設立の際には、日本とは言語も文化も、そのうえ会社を取り巻く法律等、何もかも異なるドイツのミュンヘンで、手本となる情報も身近にはない中で、会社に必要な制度策定、環境整備、社員の採用から始めたため、日本においては想像もできないような苦勞があったそうです。立ち上げメンバーたちが自らトイレ掃除をしたという逸話もあります。日本人出向者と現地採用の社員といった関係のみならず、現地採用の社員も多国籍で、社員どうしの文化的背景の違いによる不協和音もいたるところで見られる中、時間をかけてコミュニケーションを密にすることで、有機的に連携し合う、一体感のある組織文化を築き上げてきたとのこと。この長きにわたるドコモユーロ研の文化と発展の歴史を大切にしつつ、次世代にこの経験をどう伝えていくか、今後さらにどう発展させていくかということを、社員一同常に胸に秘めながら業務に取り組んでいるそうです。

■多国籍の「物産展」

ドコモユーロ研には、世界中から研究者が集っています。所属する8名の研究者は全員の国籍が違っており、価値観もさまざまです。不思議なことに、ドイツが拠点なのに、ドイツ人がいません。もちろん社内公用語は英語です。もしかするとNTTドコモグループで一番多様性の高い組織なのではないでしょうか。とはいえ、休暇で自国に帰ると、その地のお土産を持ち寄って、ラウンジスペース、時にはドコモユーロ研名物の和室で各国の文化について語りながら、世界中の美味珍味で舌鼓を打つことが皆の楽しみという、日本の会社における、いわゆる「物産展」が繰り広げられているそうです（写真2）。まさにグローバルの中の日本ですね。

■ドイツといえばビール

ドイツといえば、ビールです。オフィスの近くにミュンヘン最大のピアガーデン「Hirschgarten」(ヒルシュガルテン、日本語では鹿公園。名前のとおり、ほんとに鹿がたくさんいます)があります（写真3）。きれいな公園の開放感あふれるテーブルで、ドイツ独特の大きなビアジョッキで飲むビールと、ミュンヘンのあるバイエルン地方の料理は絶品だそうです。業務後にメンバーと一緒にいたり（日本的ですが、ドイツではこうした光景がしばしば見られるそうです）、ご来訪いただくお客さまをご案内したり、楽しいひと時を過ごしているようです。ヨーロッパにお越しの際は、ぜひミュンヘンにお立ち寄りください、とお誘いが来ました。



写真2 ドコモユーロ研名物 和室



写真3 ビアガーデン「Hirschgarten」



企業横断の統計的なデータ活用による 社会課題解決を実現する秘匿クロス統計技術

さまざまな社会課題の解決には、各企業の保有するデータを企業横断で活用し、社会で発生する事象を俯瞰的にとらえることが有効です。一方、国内外でデータ提供者のプライバシー保護に関する新たなルールづくりも進んでおり、個人のプライバシーを保護しつつ、データ活用を行うことが重要になっています。こうした背景を踏まえて、NTTドコモではプライバシー情報を保護したうえで、企業横断で統計情報を作成する秘匿クロス統計技術の研究開発を進めています。秘匿クロス統計技術により、企業を横断したデータの統計的活用を通じて、従来得られなかった新たな視点で事象をとらえ、効果的な課題解決につながることを期待されます。

はじめに

データに基づく意思決定は広く社会に浸透し、さまざまな社会課題の解決においてデータ活用の重要性が増しています。データを用いて事象を正しくとらえることで、より効率的に問題解決を図ることが期待されます。しかし、ある特定の問題に注目し、その問題を解決しようと考えた場合、単独の企業が保有するデータだけでは生じている事象を一面的にしかとらえられない可能性があります。そこで、複数の異なる企業に蓄積されたデータを複数企業で活用することで、複合的な観点や俯瞰的な視点から社会で発生する事象をとらえることが考えられます⁽¹⁾。

一方で、国内外でデータ提供者のプライバシー保護に関する新たなルールづくりも進んでいます（例えば、EUではGDPR：General Data Protection Regulation^{(2)*1}や日本では改正個人情報

保護法⁽³⁾など）。これらのルールの遵守はデータ活用を行う企業の責務となります。また、このような法令遵守のみならず、データ主体である個人が安心するかたちでプライバシー情報を保護し、データ活用を行うことが重要となっています。関連法令を遵守し、かつ個人のプライバシー情報を保護したうえで、データを活用する方法として、個人を特定できないようにデータを統計化した「統計情報」への作成および活用（統計的データ活用）が考えられます。統計情報とは、複数人の集団の情報から共通要素を集計するなど得られる個人との対応関係が排斥された情報であり、集団の傾向や性質のみを示します。企業単独の統計的データ活用は多く行われていますが（例えば、文献(4)など）、企業横断でそれを行うことは容易ではありません。その理由としては、企業横断の統計的データ活用は、企業間でデータの受け渡しが発生する過程においても、関連法令を遵守し、かつプライバシー情報を明かさずに、統計情報を作成することが必要となるからです。

NTTドコモは、NTT社会情報研究所と協力し、企業が保有するデータを横断した統計的データ活用を実現する技術として秘匿クロス統計技術（図）を開発しました。秘匿クロス統計技術は各社が保有するデータ（例えば、NTTドコモのデータとパートナー

* 本記事は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol.31 No.1, 2023年4月)に掲載された内容を編集したものです。
*1 一般データ保護規則（GDPR）：EU加盟国および欧州経済領域で適用される個人情報の取扱いに関する保護規則。個人情報の取得や移動にも適用されます。



図 秘匿クロス統計技術

企業のデータ)を、各社において個人を識別できない状態(個人情報ではない状態)に加工したうえで、データを相互に明かすことなく、すなわち、一連の処理を人の目に触れることなく機械が行うことを技術的に保証して、安全な統計情報を作成する技術です。ここでは企業横断での統計的データ活用における要件を整理し、要件を達成する方針を述べ、秘匿クロス統計技術の概要を解説します。

秘匿クロス統計技術と社会課題解決に向けた活用

■企業横断の統計的データ活用における要件

各社が保有するデータから統計情報を作成するためには、通常ならば、少なくともいずれか一方の企業から、もう一方の企業へデータを提供し、集計処理を行うことが必要です。その際に提供先の企業が受領したデータの中身を確認できる場合、提供先の企業(もしくは第三者)に対して入力データが明かされてしまいます。また、データ連携後に出力されるデータに個人との対応関係が排斥されていない場合、出力データのプライバシー情報が保護されません。

さらに、いかに安心・安全な出力データが得られたとしても、そのデータに有用性がなければ価値はありません。また、その有用性は、企業が保有するデータを横断して作成した以上、単独企業では分かり得なかったデータ活用の価値であることが望ましいため、安心・安全な統計情報を作成するだけでなく、その有用性についても評価する必要があります。企業横断の統計的データ活用における、満たすべき要件を下記に示します。

- ① データ連携前に個人を識別できないデータに加工するとともに、データ連携中に自社のデータが他社に明かされないこと
- ② データ連携後の出力データにおけるプライバシー情報が保護されること
- ③ 企業横断で作成した統計情報から、単独企業では得られない価値が創出されること

■安全性要件を満たすアプローチ

下記の(1)~(4)の処理を適切に組み合わせることで、要件①と②を満たすことができます。

(1) 非識別化処理

データ連携前に個人を識別できないデータに加工するため、代表的な処理として、鍵付ハッシュ関数^{*2}を採用しました。鍵付ハッシュ関数ではデータにソルト^{*3}を付与したうえで、ハッシュ値(非識別化ハッシュ)を計算すること(ハッシュ化^{*4})ができます。ハッシュ化を行った後に、ソルトを破棄することで、不可逆に非識別

化ハッシュへ変換します。

(2) 準同型暗号技術を用いた集計処理

データ連携中に自社のデータが他社に明かされないために、準同型暗号技術⁽⁵⁾を採用しました。これはデータを暗号化したまま、計算処理が可能な技術です。この技術を応用することで、データを暗号化したまま、企業間でデータの集計などの演算処理が可能になります。準同型暗号技術は、許可されたもののみが情報にアクセスできるという機密性を保証し、これが相互にデータを明かさずに集計処理ができるため、出力データを作成する過程のプライバシー保証の課題への対策となります。

(3) 差分プライバシーに基づくノイズ付加による秘匿処理

企業間の統計的データ活用の実現には、出力データの作成過程のみならず、出力データ自体のプライバシー保証が必要となります。そのため、出力データのプライバシー保証の課題への対策には、差分プライバシー^{*5}に基づくノイズ付加^{*6}を実施します。差分プライバシーとは、特定の背景知識や攻撃能力を持つ攻撃者に対しても安全性を保証できることを目的として作成された、プライバシー保護の強度を定量的に測る指標です⁽⁶⁾。従来の指標は、特定の攻撃者や前提条件に対する安全性の保証度合いを示すものでしたが、差分プライバシーは、汎用的な安全性を目的とした指標です。各社のデータを準同型暗号技術で暗号化し、暗号状態のまま集計処理と差分プライバシーに基づくノイズ付加を行うことで、出力データのプライバシー保証の課題への対策となります。仮に、差分プライバシーに基づくノイズ付加を平文の状態で行った場合には、ノイズ付加前の集計結果を知得できてしまうため、入力から出力までの一連のデータ処理をすべて暗号化された状態で実施します。

(4) データ処理の隔離実行環境への実装

準同型暗号と差分プライバシーに基づくノイズ付加が正しく行われなかった場合(例えば、ソフトウェアが改ざんされるなど)には、「出力データを作成する過程のプライバシー」と「出力データのプ

- *2 鍵付ハッシュ関数：出力された文字列からは、入力された文字列を得ることが不可能という特性を持つ一方向関数の一種。任意の長さの文字列を固定長の文字列(ハッシュ値)に変換する関数であり、同一の入力に対しては、対応する同一の文字列が出力される特性を持ちます。
- *3 ソルト：データをハッシュ化する際に、鍵付ハッシュ関数の入力に加えるランダムなデータ。
- *4 ハッシュ化：鍵付ハッシュ関数により元データからハッシュ値を計算すること。なお、ハッシュ化後に、ハッシュ化する際に用いたソルトを破棄するため、ハッシュ値から元のデータを算出することは不可能です。
- *5 差分プライバシー：任意の背景知識や攻撃能力を持つ攻撃者に対しても安全性を保証できることを目的として作成されたプライバシー保護の強度を定量的に測る指標。なお、米国情勢調査においても、「差分プライバシー」を用いた保護手法が採用されています。
- *6 ノイズ付加：出力データからプライバシー情報を保護するため、集計表に対して、乱数を付与すること。

ライバシ]のいずれのプライバシーも保証されない可能性があります。したがって、ソフトウェアが改ざんされていないという性質である完全性を保証することで、期待する処理が正しく実施されることが技術的に保証されます。具体的には、準同型暗号化と差分プライバシーに基づくノイズ付加の一連のデータ処理を隔離実行環境に実装する方針としました。隔離実行環境とは、データを隔離された信頼できる領域に配置し、データ処理をその領域内に完結して実行する技術です。特にハードウェアに基づいて隔離された領域内でデータ処理を実行することで、隔離実行環境の中で動作しているマシンイメージやアプリケーションの完全性を保証します。

■秘匿クロス統計技術

NTTドコモでは、前述の方針を踏まえて、準同型暗号技術、差分プライバシーに基づくノイズ付加技術、隔離実行環境を適切に組み合わせ、企業横断の統計的データ活用を実現する秘匿クロス統計技術を開発しました。秘匿クロス統計技術では隔離実行環境で①非識別化処理（個人を識別できない状態に加工する処理）、②集計処理、③秘匿処理を行うことで、安全な統計情報を作成します。①非識別化処理は各社が保有するIDを不可逆変換し、個人を識別できない状態に加工します。具体的には、隔離実行環境内でIDにソルトを付与し、一方向関数によって、非識別化ハッシュを得た後、ソルトの破棄を技術的に保証し、非識別化ハッシュを各社のそれぞれの暗号鍵で暗号化を実施します。②集計処理と③秘匿処理は、隔離実行環境内で準同型暗号技術と差分プライバシーに基づくノイズ付加技術を組み合わせた処理であり、相互に非識別化ハッシュを明かすことなく、プライバシー情報が保護された安全な統計情報を得ることができます。

社会課題の解決に向けた本技術の活用

企業横断で作成した統計情報から、単独企業では得られない価値が創出されることという要件を満たしているかどうかを検証するために、日本航空株式会社（日本航空）、株式会社ジャルカード（JALカード）と、スムーズな航空利用の実現を通じて顧客体験価値向上と社会課題の解決に取り組む実証実験を実施しました⁽⁷⁾。

*7 携帯電話ネットワークの運用データ：電気通信サービスを提供する過程で発生するデータの総称。電気通信サービスを提供する過程で発生するデータの総称であり、モバイル空間統計でも利用されています。運用データは、お客さまがご利用の携帯電話の位置データおよびお客さまの属性データを含むものであり、それぞれの定義については下記のモバイル空間統計ガイドラインを参照願います。
https://www.docomo.ne.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/guideline/

この実証実験では、日本航空が保有する国内線航空券の予約データに関する情報に、NTTドコモが保有する携帯電話ネットワークの運用データ^{*7}（携帯電話の位置データを含む）を、本技術を用いて各社が保有するデータを各社において、個人を識別できない状態（個人情報ではない状態）に加工したうえで組み合わせることで、航空機搭乗前の空港内外両方での移動状況に関する人口統計情報を作成しました。この人口統計情報を活用することで、単独企業では得られなかった新たな視点を得ることができ、秘匿クロス統計技術の有用性を確認することができました。さらに、顧客体験価値向上と社会課題の解決に取り組む実証実験の第2弾として、日本航空、JALカード、株式会社北海道エアシステムと、北海道内の移動ニーズを把握する実証実験を実施しています⁽⁸⁾。北海道の道東エリアを対象として、お客さまの移動に関する人口統計情報から、空港を中心とした移動状況を把握し、単独企業では得られなかった利便性の高い交通手段の提供および道東エリアの人流創出につながる知見の獲得をめざしています。

おわりに

ここでは、企業横断の統計的データ活用が満たすべき要件とそれを満たす秘匿クロス統計技術について解説しました。今後は、秘匿クロス統計技術によりデータの活用と保護を両立させ、さまざまな社会課題の解決につなげることで、社会と産業のさらなる発展に結びつけていきます。

■参考文献

- (1) 経済協力開発機構（OECD）：“OECD ビックデータ白書 ―データ駆動型イノベーションが拓く未来社会” 明石書店、2018。
- (2) <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>
- (3) <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=415AC0000000057>
- (4) <https://mobaku.jp/>
- (5) 佐久間・陸：“⑤準同型暗号を用いた秘密計算技術と実用化に向けた活動” 情報処理、Vol.59, No.10, pp.898-903, 2018。
- (6) 寺田：“差分プライバシーとは何か” システム/制御/情報、Vol.63, No.2, pp.58-63, 2019。
- (7) https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_221020_00.pdf
- (8) https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_230822_00.pdf

◆問い合わせ先

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