

NTT 技術ジャーナル

10 OCTOBER
2024
Vol.36 No.10

特集

6G/IOWN時代の 融合・協調ネットワーク:インクルーシブコア

トップインタビュー

田中 秀彦
NTTデータグループ 執行役員 技術革新統括本部長

グループ企業探訪

NTTワールドエンジニアリングマリン



4 トップインタビュー

**使える技術を生み出すには
お客さまの視点が不可欠。
アセットベースのビジネスモデルへ進化させ、
先端技術活用力とシステム開発技術を強化**

田中 秀彦

NTTデータグループ 執行役員 技術革新統括本部長



8 特集

**6G/IOWN時代の融合・協調ネットワーク:
インクルーシブコア**

10 6G/IOWN時代のネットワークアーキテクチャ:インクルーシブコア

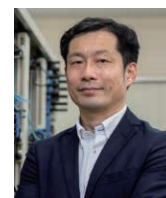
14 6G/IOWN時代の高速なエンドエンド情報同期・連携技術

[In-Network Service Acceleration Platform]

19 6G/IOWN時代の信頼できるアイデンティティデータ流通を実現するSSI基盤

24 ミッションクリティカルなGPSサービス収容に向けた協調型インフラ基盤

28 主役登場 馬場 宏基 NTTネットワークサービスシステム研究所



29 特別企画

宇宙ビジネスブランド「NTT C89」で推進するNTTグループの取り組み

33 挑戦する研究者たち

鷹取 泰司

NTTアクセスサービスシステム研究所 上席特別研究員

あらゆる経験をポジティブにとらえて研究者のWell-beingを向上させつつ、無線技術と光と無線の連携技術を実用化してIOWNを実現



特集

For the Future

38 明日のトップランナー

藤原 靖宏

NTTコミュニケーション科学基礎研究所 特別研究員

迫り来る大規模データ時代に必要な「高速かつ正確なデータ分析基盤」



特別企画

42 グループ企業探訪

NTTワールドエンジニアリングマリン株式会社

“つないだその先、豊かな未来へ Full Ahead! 全速前進!”
海底ケーブルを敷設し、そして守り続けていく使命を背負う企業



挑戦する研究者たち

46 Webサイト オリジナル記事の紹介
11月号予定
編集後記

挑戦する研究開発者たち

明日のトップランナー

グループ企業探訪

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

本誌ご購入のお申し込み、お問い合わせ先
一般社団法人電気通信協会 ブックセンター
TEL (03)3288-0611 FAX (03)3288-0615
ホームページ <http://www.tta.or.jp/>

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



from



NTTデータグループ 執行役員
技術革新統括本部長

田中 秀彦 Hidehiko Tanaka

PROFILE

1995年NTTデータ通信に入社。

2017年NTTデータ 技術革新統括本部 システム技術本部 方式技術部長、

2018年生産技術部長、2020年技術革新統括本部 システム技術本部長を経て、

2023年6月より現職。



使える技術を生み出すにはお客さまの視点が不可欠。 アセットベースのビジネスモデルへ進化させ、 先端技術活用力とシステム開発技術を強化

NTTデータは2023年7月、国内事業を担う「NTTデータ」と海外事業を担う「NTT DATA, Inc.」、そしてこの2社を傘下に擁する持株会社の「NTTデータグループ」の3社体制で新たにスタートしました。「Realizing a Sustainable Future」をスローガンにサステナビリティ経営を推進しています。田中秀彦NTTデータグループ 執行役員 技術革新統括本部長に新体制における技術戦略とビジョンを伺いました。

グループ全体の技術をリードし、技術戦略を立案する技術革新統括本部

NTTデータグループとして新たなスタートを切られましたね。グループにおいて技術革新統括本部はどのようなポジションを担っているのでしょうか。

NTTデータは1988年の創業から35年目を迎えた2023年、事業規模の拡大、変化のスピードが速いデジタル時代にふさわしい機動性のある経営の推進を目的に、国内事業を担う事業会社の「NTTデータ」と、海外事業を推進する事業会社の「NTT DATA, Inc.」を傘下に擁する持株会社の「NTTデータグループ」の3社体制で新たなスタートを切りました。

私たち技術革新統括本部はNTTデータグループの組織として、グループ全体の技術をリードして統一的な技術戦略を立案し、国内を含むグローバルでのテクノロジーアセット開発や活用を推進する立場となりました。

さて、私たちは「情報技術で新しい仕組みや価値を創造し、より豊かで調和のとれた社会の実現に貢献する」という企業理念の下、ITを活用した多くの社会インフラやITサービスの提供を通じて、行政・金融・製造・流通などさまざまな業界のお客さまとともに社会を支えています。2022年度から2025年度の中期経営計画において「Realizing a Sustainable Future」をスローガンに、「これまで培ってきた顧客理解と高度な技術力によってシステムをつくる力」「さまざまなシステムやインフラを支え人と企業・社会をつなぐ力」のさらなる向上に向けて、「ITとConnectivityの融合による新たなサービスの創出」「Foresight起点のコンサルティング力強化」「アセットベースのビジネスモデルへの進化」「先進技術活用力とシステム開発技術力の強化」「人財・組織力の最大化」の5つの戦略を推進しています。

このうち、技術革新統括本部はこれまで

以上に技術成果を活用することを重要視し、グローバル展開という視点を強化しながらアセットベースのビジネスモデルへの進化と、先端技術活用力とシステム開発技術の強化を継続して推進しています。業界・業務のベストプラクティスのような知見からソフトウェアや自社ツールなど、ビジネス的に有用かつ再利用可能なものをアセットとし、技術革新統括本部ではこのうちグローバル共通のテクノロジーアセットの創出をねらい、グローバルで技術注力領域を定め、業界に依存しないテクノロジーアセットの開発に臨んでいます。

技術戦略について詳しく教えていただけますでしょうか。

技術戦略のビジョンとしては、5つの戦略のうち、「アセットベースのビジネスモデルへの進化」「先進技術活用力とシステム開発技術力の強化」に注力しています。これを踏まえて私は、日々誕生する新しい

多くの技術をいち早くキャッチアップし、お客さまや社会課題といかに早く結びつけることができるか、ということが重要だと考えています。

このため技術革新統括本部は、技術の成熟度に対応した Emerging, Growth, Mainstream という3つのフェーズごとに技術テーマを選定し、先行者優位性の獲得に向けた先進技術活用力の強化と、システム開発技術力強化によって生産性や品質の向上、ビジネスの拡大を推進しています。

まず、現在のビジネスの中心であり、市場においてすでに活用されているホットな技術である Mainstream の技術については、技術力の向上とアセット化によるビジネスアジリティの向上に重点をおき、グローバル共有で定めた技術注力領域 (TFA: Technology Focus Area) で分野や業界に依存しないテクノロジーアセットの開発を推し進めています。また、それを社内ですでにスケールさせるかということが重要な課題です。このため、デリバリーにかかわる人材の育成や、パートナーとのエコシステムの構築を通じて、技術の大規模な展開をねらって、技術ポートフォリオを活用し、技術の成長段階に応じた管理と運用をしています。

次に、Growth フェーズにある技術はある程度の実用性が確認されており、ビジネスとしての成長が期待されています。これまでは3年から5年のスパンで技術を見ていましたが、世の中のスピード感は年々増えていますから、Growth フェーズから Mainstream フェーズへのステップをいかに速めるかということが重要になります。そのための方法として、私たちはインダストリーごとにユースケースを作成し、お客さまとともに技術の適用範囲を広げるために普及を促進し、特定のインダストリーにおける成功事例を基に他の業界への展開を図っています。

最後に、Emerging フェーズでは、量子コンピュータのような新しく、まだ実用化が不確定な段階にある技術を見極めていきます。将来のビジネス成長に資する技術を見出して、お客さまとともにその技術の実用性を評価しています。こうしたお客さまとの協創は、その技術が広く展開されたときにどのように貢献するかを見極めることに



もつなぐります。

お客さまと信頼関係を築き着実に成果を創出したい

各フェーズにおいて盤石な体制で臨んでいるのです。現在、注力している領域の具体例を教えてください。

Cloud 領域、ADM (Application Development and Management) 領域、D&I (Data & Intelligence) 領域、そして Cybersecurity 領域の4領域とNTTグループ全体で推進している IOWN 構想についての実例をお伝えします。

Cloud 領域では成長領域であるクラウド運用・保守のITアウトソーシング (マネージドサービス) の強化です。ハイブリッド環境のニーズの高まりを受けて、AWS/Azure/Google Cloud 等のパブリッククラウドとプライベート・オンプレミス環境を組み合わせ開発・運用するためのノウハウやツール群を一式にまとめたテクノロジーアセットとして、「Hybrid Cloud Managed」を提供しています。

ADM 領域では市場を牽引しているソフトウェア開発技術へ注力しています。加えて、昨今急成長している生成AI (人工知能) 技術の活用にも力を入れています。2020年から日本とスペインを拠点に生成AIをソフトウェア開発へ適用する取り組みを実施しています。

D&I 領域では、データプラットフォーム

構築力と提案力の強化に注力しており、それに資するAIガバナンス、AIエンジニアリング、データ・ファブリック、意思決定インテリジェンスの4つのテクノロジートレンドに関するアセットを整備しています。

そして、Cybersecurity 領域においては検知から原因特定や復旧、再発防止まで含めたセキュリティ運用の強化に注力しています。2023年7月に、セキュリティ運用のアウトソーシングサービス [MDR (Managed Detection and Response) サービス] の提供を国内で開始しました。NTTデータグループの世界56カ所の拠点、19万人のグローバルガバナンスで培ったノウハウをビジネス化しています。さらに、このサービスを担う人材育成にも注力し、グローバル展開をめざしています。

加えて、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想においては、2024年4月、英国と米国内においてNTTグループ保有のデータセンタ間を IOWN APN (All-Photonics Network) で接続する実証を行いました。この実証では約100 km離れたデータセンタ間を IOWN APN で接続し、データセンタ間の通信を1ミリ秒以下の低遅延で実現しました。これは、同一のデータセンタと同等の統合ITインフラとして機能するものであり、分散型リアルタイムAI分析や金融分野への適用可能性を示すものです。現在は、世界各地の事業部門とともに、早期のビジネスの立ち上げをめざし、金融分野をはじめ分散

データセンタのユースケースとなる分野におけるお客さまとの共同実証の実施を検討しています。実際の業務に求められる要件を、IOWN APN接続による分散データセンタで十分に満たせることをお客さまとともに確認していこうと考えています。

改めて、国内外でビジネスを展開するNTTデータグループの強みはどこにあるとお考えでしょうか。

さまざまなインダストリーに精通し、ビジネスをグローバルに展開していることです。お話ししたとおり、私たちはこれまでお客さまとの長期的なリレーションシップを活かし、イノベーションパートナーシップを結んでいます。ビジネスや技術開発は1つの視点からでは成り立たないからです。

私たちは前述の4つの注力領域のように、ビジネスの注力領域を定めてBFA (Business Focus Area) と呼び、技術のみを考えるのではなくビジネスの側面からも展開を考えています。イノベーションプロセスと合わせて、先進技術活用によるビ

ジネス創出を加速させる専門チーム(テックアドバイザーチーム)も立ち上げました。開発した技術が実際に活用されなければ意味がありませんから、ここにしっかりと意識を向けて、開発と同時に国内外においてアセットの流通や展開にも力を入れているのです。そのために必要なことは、一言でいえば、業界を問わず使える技術を民主化することです。グローバルについては2023年度、NTTデータグループのグローバル全体で、アセットを共有する仕組みGlobal Repositoryを確立しました。国内においては情報を流通させる仕組みづくりに加えて、技術革新統括本部が主導し、公共社会基盤や金融、法人、TC&S(テクノロジーコンサルティング&ソリューション)の各分野が持つインダストリー戦略との連携をはじめ、各分野において注力すべきアセットを正しく見極め、将来的により広く活用されることが見込まれるアセットをいち早く拡充し、高度化することに努めています。

私たちはこれまで高い「実装力」が評価されてきましたが、それに加えて「提言力」を強化することで、コンサルティング力も備えたエンジニア集団にしていきたいと考えています。さらに、お客さまがめざすものにどれだけ貢献できたのかという「成果」についてもこれまで以上にこだわりたいのです。提言・実装して終わりではなく、お客さまとの信頼関係の下、着実な成果創出につなげていきたいですね。ちなみに、成果は提言するコンサルタントにも、実装するエンジニアやスペシャリストにもかかわる重要な指標で、サービスを提供して終わりではなく、成果をカタチにして、価値の提供にまでこだわられる存在でありたいと考えています。



「合宿」を開催してギャップを埋める

業務に取り組む際に大切にしているのはどんなことでしょうか。

私は1995年にNTTデータに入社し、研究開発部門からキャリアをスタートさせ、現場でのプロジェクトマネジメントを通じて技術を実際に活用する経験を積んできました。具体的には、NTTドコモや電力会社のスマートメータ・システムなど、多岐にわたる多くのプロジェクトに携わってきました。こうしたお客さまとともにシステムを構築するプロセスで得た知見が現在の技術戦略の基になっています。

いうまでもなく、技術を提供する際には、お客さまの視点に立つことが重要です。例えば、お客さまは充実した説明書・仕様書よりも、説明書・仕様書を読まずとも安心・安全に運用できるシステムを望んでいらっしゃいます。また、サーバは毎日どこかで1台は故障してしまうものだといってもいくらい大小さまざまな故障が発生していますが、お客さまのシステムを止めたり、大切なデータを消失させたりして、お客さまのビジネスを止めることはできません。こうした現実に即してお客さまがいかにか安心・安全に運用できるかを常に念頭に置き、技術を生み出すことをとても大切に考えています。

また、最近ではあまり見かけることはないかもしれませんが、組織内外のコミュニケーションを強化するために、合宿などの形式で意見交換をする場を設けています。例えば、同じお客さまのニーズやマーケットを見ている、現場と指揮・管理部門にはどうしてもそのとらえ方等にギャップが生まれてしまうことがあるのです。そこで、30人前後の部長クラスとともに集中的にギャップを埋めるためのコミュニケーションを図るのです。参加者どうし、はじめは様子を探り合うこともありますが、徐々に慣れて分かり合えてきて仕事以外の話も弾んできます。こういう状況を目の当たりにすると、直接的なコミュニケーションがいかに重要であるかを実感します。

もう1つは具体的なアクションプランを策定してマイルストーンを置くことです。これによって時間の感覚や組織全体の方向性を統一しています。



最後に技術革新統括本部の今後の展望と技術者、お客さまへのメッセージをお聞かせください。

私たちは自らを「世界最強SE（システムエンジニア）集団+（プラス）」と呼び、これまで培ってきた経験を活かして、システム構築力や運用力をこれまで以上に強化していきたいと考えています。NTTデータグループは2025年を“Global 3rd Stage”と定め、ITサービス業界“Global Top 5”、世界のお客さまから信頼される企業・ブランドとなることをめざ

しています。Top 5そしてそれ以上を実現するためにも失敗を恐れずにチャレンジする精神を大切にしたいですね。

技術者、研究開発者の皆さん、技術革新の分野では、いうまでもなく柔軟な対応と迅速な行動が求められますから、常に前向きな姿勢で取り組みましょう。過去に私も言われたことですが、どちらへ進んだらいいか迷ったら、まずは前に進むことです。たとえ、選択した道が失敗でも、それが分かった瞬間に軌道修正し、それを次の成功につなげていけば良いのです。そして、お

客さまの視点を忘れることなく技術の進化を楽しみながら、お客さまとともに成長しましょう。ぜひ、スタートアップのスタンスで挑戦し続けていきましょう。

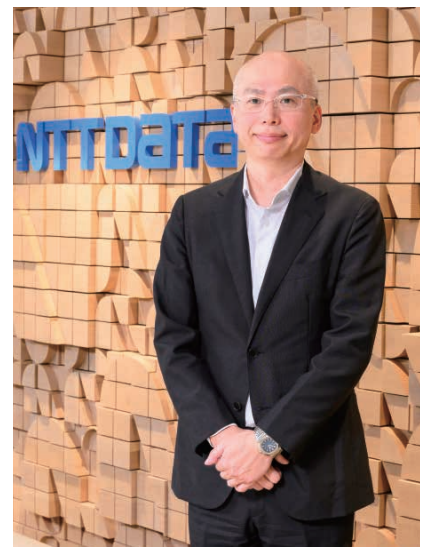
最後に、お客さまやパートナーの皆様、私たちは皆様のパートナーとして信頼され、選ばれる存在でありたいと考えています。共創を通じて社会課題を解決し、新たなビジネスチャンスを生み出していきましょう。

（インタビュー：外川智恵 / 撮影：大野真也）

インタビューを終えて

気温40度に迫る暑さの中、インタビュー会場に現れたスーツ姿の田中本部長。涼やかな面持ちでクールにビジョンや戦略を語ってくださいました。インテリジェンス溢れるインタビューが終盤に差し掛かり、締めくくりにトップインタビューお決まりのご趣味を伺うと、旅行が好きだと微笑みながら教えてくださいました。旅行が好きな理由は、コストパフォーマンスを検討し、飛行機や旅程を考えることなのだそう。特にアジアの島がお気に入り、中でもベトナムのフーコック島をお薦めくださいました。「まるでヴェニスのような美しい島

なんですよ」と微笑まれる田中本部長。撮影中、熱い旅行談義は止まず、あれこれとエピソードをお聞かせくださいました。そんな田中本部長が、突然ポツリと「今日はバラをくわえなくてよいんですね？（笑）」おっしゃるのです。聞けば、社内の広報において社員の皆さんが田中本部長の写真をコラージュしてインパクトを強めて、大切なメッセージを伝えることがあるのだと言います。「楽しみながら技術開発をしよう」「スタートアップ企業のようなスタンスでビジネスに臨もう」という田中本部長の、どんなことでも受け入れ、楽しもうとされるご姿勢がクールさを際立たせ、かつ親しみやすさにつながっていると実感したひと時でした。



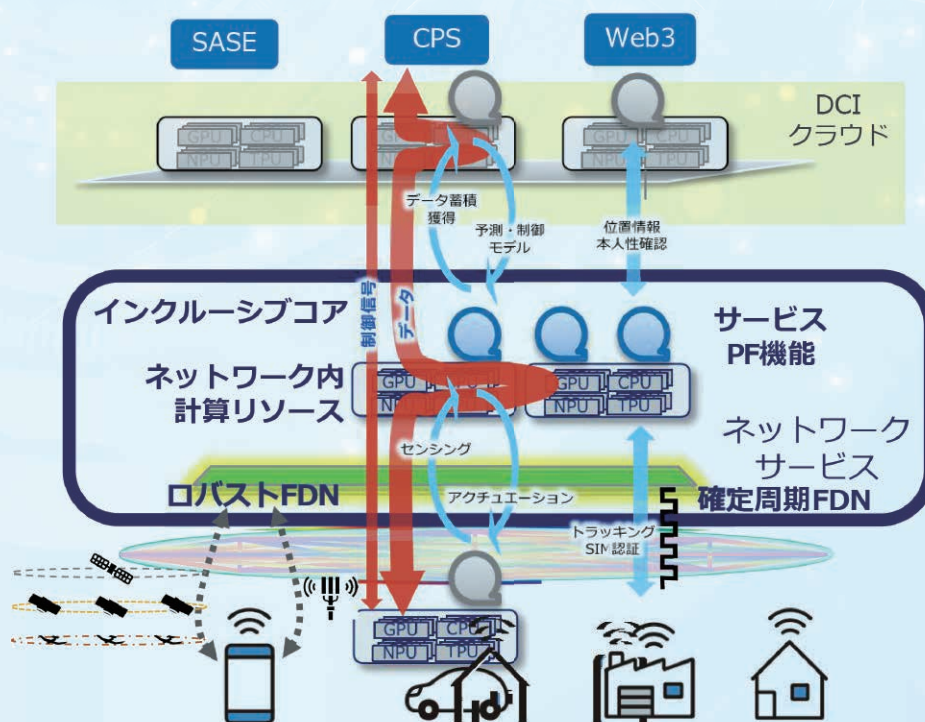
6G/IOWN時代の融合・協調ネットワーク:インクルーシブコア

本特集では、「サイバー空間」と「物理空間」,「コンピューティング」と「ネットワーク」,「アナログ」と「デジタル」,「移動通信」と「固定通信」など,通信サービスそのものまたは環境変化としての,4つの多面的な「融合と協調」を実現する,さまざまな技術からなる将来の共通基盤となることをめざすインクルーシブコアを紹介する.

6G/IOWN時代のネットワークアーキテクチャ:インクルーシブコア

10

多面的な融合と協調を実現するための基幹となる6G (第6世代移動通信システム)/IOWN(Innovative Optical and Wireless Network)時代のネットワークアーキテクチャ「インクルーシブコア」の研究開発の取り組みについて紹介する.



ネットワークサービス

IOWN

6G

自己主権型

自動運転遠隔監視

6G/IOWN時代の高速なエンドエンド情報同期・連携技術 [In-Network Service Acceleration Platform] 14

NTT研究所が提案するIn-Network Computingとモバイルネットワークの融合アーキテクチャISAP (In-network Service Acceleration Platform) について解説する。

6G/IOWN時代の信頼できるアイデンティティデータ流通を 実現するSSI基盤 19

SSI(Self-Sovereign Identity)基盤の持つセキュアIDウォレットを中心とする技術について述べるとともに、同時に進めているSSI基盤をメタバースに適用するユースケース実証について紹介する。

ミッションクリティカルなCPSサービス収容に向けた 協調型インフラ基盤 24

人口減少等に起因する各種社会課題の解決に期待される、CPS (Cyber-Physical Systems) サービスの社会実装促進に寄与する基盤として研究開発を進めている協調型インフラ基盤について紹介する。

主役登場 馬場 宏基 NTTネットワークサービスシステム研究所 28

インクルーシブコアのアーキテクチャ実現に向けて



6G/IOWN時代のネットワークアーキテクチャ：インクルーシブコア

6G（第6世代移動通信システム）やIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）の時代においては、「サイバー空間」と「物理空間」、「コンピューティング」と「ネットワーク」、「アナログ」と「デジタル」、「移動通信」と「固定通信」など、通信サービスそのものまたは環境変化として4つの多面的な「融合と協調」が進むことが想定されます。この多面的な融合と協調の進行により、端末・デバイス・ネットワーク・アプリケーションの情報処理や情報流通をエンド・ツー・エンドかつシームレスに連携させる必要性が高まります。本稿では、この融合と協調を実現するための基幹となる6G/IOWN時代のネットワークアーキテクチャ「インクルーシブコア」の研究開発の取り組みについて紹介します。

キーワード：#ネットワークサービス、#IOWN、#移動固定融合

ふるかわ さとる
古川 聖
 たけだ ともり
武田 知典
 まつもと ありふみ
松本 存史

NTTネットワークサービスシステム研究所

6Gに向けたネットワークの進化

移動通信サービスは、音声通話から始まりデータ通信サービス、マルチメディア通信サービスなど世代を経るごとに発展を続け、生活や産業の基幹を担い続けてきました。5G（第5世代移動通信システム）でも高速大容量、低遅延、多接続といった技術的特徴を持ち、それ以前のマルチメディア通信サービスを高度化するだけでなく、AI（人工知能）やIoT（Internet of Things）とともに、これからの産業や社会を支える基盤として新たな価値を提供することが期待されています。

6G（第6世代移動通信システム）では、

サイバー空間と物理空間が相互作用するサイバーフィジカルシステム（CPS：Cyber Physical Systems）として、実世界の映像やセンシング情報などの大容量かつ低遅延に送受信することを可能にするとともに、高信頼かつ確定的な遅延で制御信号を受信側へ伝達することによる実世界へのフィードバック（アクチュエイト）を実現することが期待されています。またAIが通信サービスに統合され、実世界の人間の行動や事象をサイバー空間上で認知し、AIが人間に代わってコミュニケーションをとることでさまざまな問題を解決することも想定されています^{(1),(2)}。これらのサービスでは、CPSにおけるサイバー空間と物理空間の間

の通信が、人間で例えると頭脳と各器官との間で情報伝達する神経に相当します。人間の頭脳を使ったコミュニケーションがAI化され膨大な情報（知覚情報や動作指示）を、通信を介して収集し意思決定を行うことになるため、膨大な情報の交換に加え、大量の情報を高速・低遅延に伝達することが必要となります。

6G/IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）のネットワークを利用するサービスは、このようなサービスの進化と社会的要請に継続的にこたえるために、ネットワーク内外の多面的な融合・協調の進行に対応する必要があります（図1）。まずサイバー空間などデジタル化された空

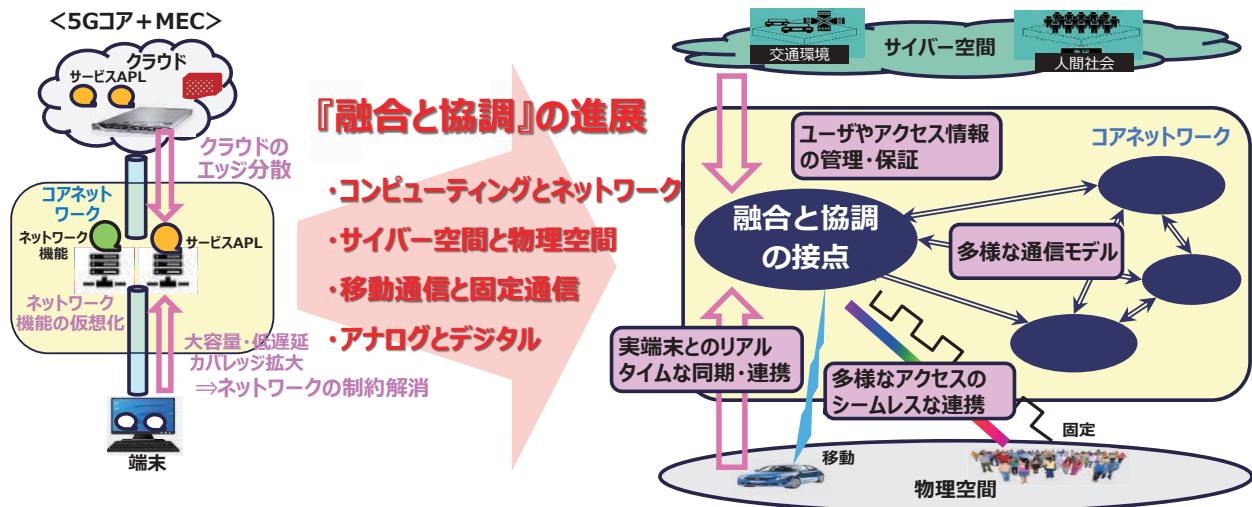


図1 協調と融合の進展

間・世界と物理的な空間・世界を結びつけCPSに代表されるサービスを実現する、「サイバー空間と物理空間の融合・協調」があります。また、ネットワークが1つの機能として「情報処理（コンピューティング）」を備え、端末やサーバでの情報処理を仲介・支援することで、エンド・ツー・エンドのサービスを効率的に実現することが期待されます。このために必要な情報処理と情報交流が効率化・加速する「コンピューティングとネットワークの融合」を進めていく必要があります。さらに、6Gでは衛星・海中・自営無線など、従来のセルラ無線だけではない無線アクセスの多様化が想定され、さらにIOWNの光通信基盤を使った固定アクセスなども広がるのが予想されます。こういった多様な移動・固定アクセスを適応的に使い分け、それらの回線種別や品質によらず一定の機能や品質を担保し共通的なサービスを利用する「移動と固定の融合」の本格的な実現も求められます。最後に、すべての物理空間情報を正確・迅速にサイバー空間にマッピングするには、パケット化されていないデジタル信号やアナログ信号を、ネットワークを介して通信し、多様なデータ・通信形式による情報交流を実現する「デジタルとアナログの融合・協調」も想定されます。

このような融合と協調の実現に向けて、NTT研究所では6G/IOWN世代のネット

ワークアーキテクチャとして「インクルーシブコア」の研究開発を推進しています。

インクルーシブコアのアーキテクチャ

4G（第4世代移動通信システム）のサービス開始以降、NFV（Network Function Virtualization）^{*1}によるネットワークの仮想化・ソフトウェア化が進み、汎用サーバ化や共用化によるコスト削減や保守業務の効率化が図られています。代表的な事例としては、vEPC（virtualized Evolved Packet Core）やvIMS（virtualized IP Multimedia Subsystem）などの導入が挙げられます。さらに、5Gではクラウド技術をベースとするアーキテクチャが採用され、5Gコアネットワークではクラウドネイティブ化されたネットワーク機能であるCNF（Cloud-native Network Function）^{*2}が導入されています。加えて、MEC（Multi-access Edge Computing）^{*3}の導入により、情報処理を行うサーバアプリケーションがインターネットを介さずに、通信ネットワークの入り口であるエッジ近傍に配備可能となることで、主に低遅延化を必要とするアプリケーションを用いたサービスの提供が可能となっています。

仮想化・クラウド技術はNFVとMECの

基盤として共通的に採用されており、技術の共通性から今後は仕様や技術の共通化が進み、コンピューティング基盤をNFVとMECで共用して展開・構築されていくことが予想されます。さらに、RAN（Radio Access Network）の仮想化であるvRAN（virtualized RAN）の展開が今後進むことで、より端末の近傍に設置される装置にも仮想化・クラウド技術が適用されることが予想されます。これにより、技術的な共通性からアプリケーションがネットワークのエッジだけでなくRANも含め広域に展開され、コンピューティング基盤のリソースを共用することが予想されます。そして最終的に、ネットワーク全体にコンピューティングリソースが遍在する環境へと進化していくことが期待されます^{(3),(4)}（図2）。

インクルーシブコアは、このようなネットワーク上に遍在するコンピューティング基盤上に、ネットワーク機能とアプリケーション機能を混在させ密に連携することで、コンピューティングサービスを実現します。このコンピューティングサービスは、端末

- * 1 NFV：従来専用のハードウェアを用いて実現されるネットワーク機能をソフトウェア化し、汎用サーバ上で動作させる技術。
- * 2 CNF：コンテナ上でネットワーク機能を動作させる技術。
- * 3 MEC：通信ネットワークの入り口であるエッジ近傍にコンピューティング機能を配備する仕組み。

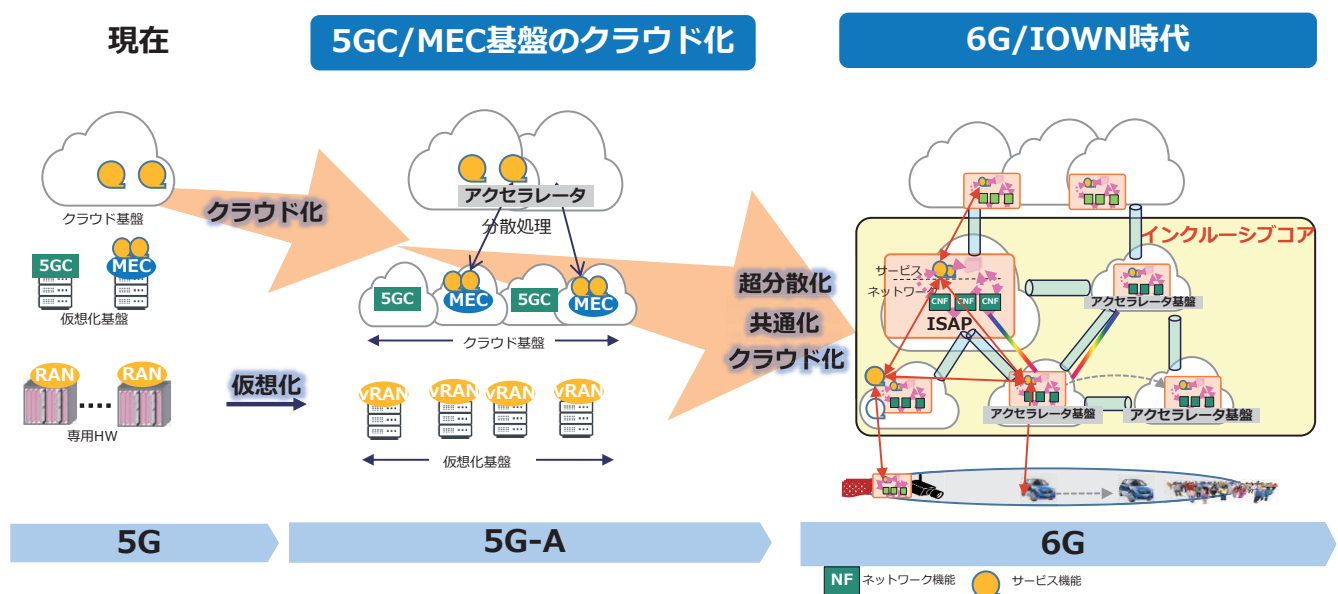


図2 インクルーシブコアへの進化

のコンピューティング機能だけでなく、クラウドのコンピューティング機能とネットワーク内のコンピューティング機能など分散しているコンピューティングリソースを複合的に組み合わせ、ユーザのサービスに必要な情報処理と通信機能を一体で構成します(図3)。これにより、ネットワーク内のコンピューティング機能も含めた分散型アプリケーションを構成し、サービス(サーバ)側機能、ユーザ(端末)側の機能や処理と協調して高度な通信機能を要する高機能なサービスを場所や利用形態(端末)を問わず利用可能とします。

例えば、従来は端末とクラウド上のサーバとの通信や、通信のための情報変換処理などが発生し遅延を生じさせていました。これに対して、端末とクラウド上のサービスのサーバアプリケーションをネットワーク内の特定コンピューティング基盤に集約すると、端末とクラウド上のサーバとの通信や通信のための情報処理は不要となり、リアルタイムな連携が可能となります。また、従来は移動、固定などアクセス回線を終端する機能は個別に設けられていました。これに対して、移動だけでなく固定アクセスなど多様なアクセス回線を終端する複数の機能と情報処理アプリケーションを、同一のコンピューティング基盤上に一体で構成することで、通信回線を問わずシームレスにサービスを継続することが可能となり

ます。

インクルーシブコアの技術要素

■ネットワーク融合サービス高速処理基盤 (ISAP)

ネットワーク内に散在した情報処理アプリケーションの高度な演算機能を協調して動作させ、さらに高性能・低遅延処理を実現します。端末やクラウドのアプリケーション機能を一部肩代わりし、ネットワークの通信機能と密に連携・接続することで、現状ネットワークを介することで分散されている端末とサービスの情報や処理が、直接連携し処理内容の最適化、アクセラレータを含む計算リソースの最適な割り当てが可能となります。これによりエンド・ツー・エンドで情報交流の超高速化・低遅延化を実現します。

■システム強靱化のための障害検知・見える化

通信ネットワークサービスにおいて、昨今、大規模な障害が発生しており、通信サービスの停止や各種サービス利用への影響が社会的な問題となっています。今後は、移動・固定ネットワークにおいてミッションクリティカルなサービスの提供がますます増加していくことが想定されるため、通信ネットワークのロバスト化は極めて重要です。大規模・長時間の障害は、制御プレー

ンの動作に起因しているケースが多く、これに対応するためには6Gに向けた制御プレーンの強化や問題発生時の早期検知・回復手段が重要となることから、①障害の発生や複雑化を回避するために制御プレーン自体をロバスト化する方式、②障害箇所や原因のさらなる見える化・故障の予兆検知を実現する仕組み、を実現します。

ネットワーク融合サービス高速処理基盤 (ISAP)、およびシステム強靱化のための障害検知・見える化の詳細については、本特集記事『6G/IOWN時代の高速なエンドエンド情報同期・連携技術「In-Network Service Acceleration Platform」』⁽⁵⁾で紹介します。

■自己主権型アイデンティティ情報流通 (SSI基盤)

6G時代にはサイバー空間と物理空間の融合により、従来よりも多様なサービスがサイバー空間上で提供されるようになり、機微なプライバシー情報を含むユーザデータ(アイデンティティ情報)がサイバー空間上で扱われるようになります。そこでは、ユーザのアイデンティティ情報を守り、アイデンティティ情報を受け渡す際には信頼できる相手に必要最低限の情報だけを受け渡す、強固なアイデンティティ情報流通の仕組みが必要となります。また、やり取りするデータや、そのデータをやり取りする相手についても、暗黙に受け入れるのでは

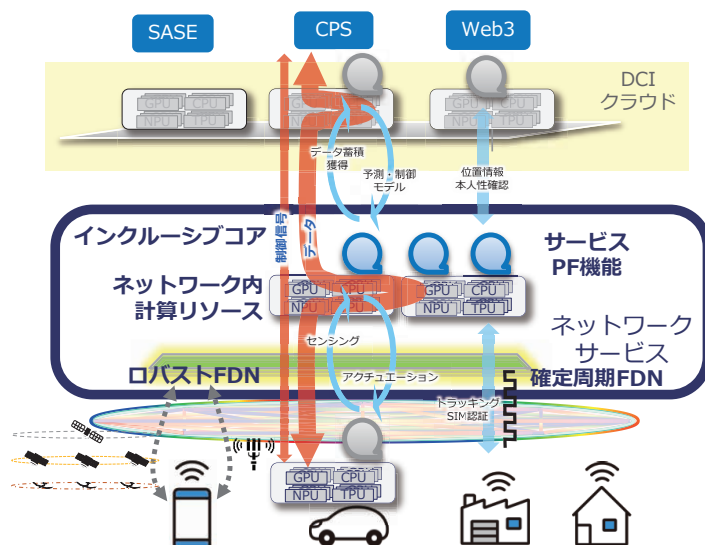


図3 インクルーシブコアのアーキテクチャ

なく、データや相手の真正性を検証することが必要となります。自己主権型のアイデンティティ情報流通の仕組みを用いてユーザプライバシーの確保と、ユーザの機微情報を用いたサービスの提供を実現します。

自己主権型アイデンティティ情報流通 (SSI 基盤) の詳細については、本特集記事『6G/IOWN時代の信頼できるアイデンティティデータ流通を実現する SSI 基盤』⁽⁶⁾で紹介いたします。

■協調型インフラ基盤

インクルーシブコアの早期実現形態として、協調型インフラ基盤の研究開発に取り組んでいます。協調型インフラ基盤はサイバー空間と物理空間の融合・協調により実現される、ミッションクリティカルな CPS サービスの社会実装の促進を目的とした基盤です。従来の Web アプリケーションなどとは大きく異なる要件を持つ CPS サービスの実現に必要な、多種多様なコンポーネント (センサ、アクチュエータなど) の収容、サイバー空間と物理空間の間の安定的な情報流通や、ユースケースに応じた柔軟な制御を実現するための各種機能を提供します。協調型インフラ基盤および関連する要素技術の詳細については、本特集記事『ミッションクリティカルな CPS サービス収容に向けた協調型インフラ基盤』⁽⁷⁾で紹介いたします。

インクルーシブコアによるサービス実現イメージの一例を図 4 に示します。ユーザごとの仮想的な端末に対して、ネットワーク融合サービス高速処理基盤 (ISAP) 上の GPU (Graphics Processing Unit) を含んだコンピュータリソースを割り当て、仮想端末上で高解像度 3D 映像のレンダリングを行い、その結果を非圧縮映像で伝送します。端末は映像表示だけを行うことで、GPU などの演算能力のない低機能な端末であっても送信された映像の表示と操作 UI (User Interface) さえあれば、高解像度 3D 映像の表示や編集を実現するユースケースの実現などが期待できることを示しています。

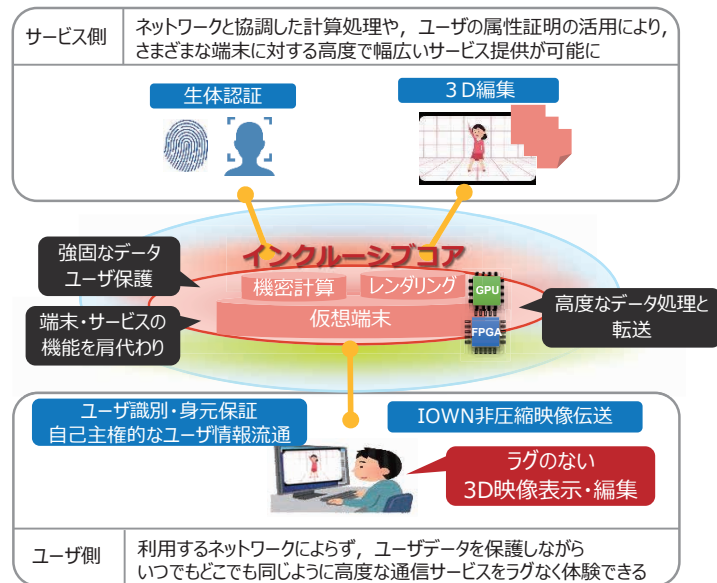


図 4 インクルーシブコアによるサービス実現イメージ例

今後の展開

6G/IOWNネットワーク上でさまざまな融合・協調による新たなサービスを実現するインクルーシブコアのコンセプト、アーキテクチャ、技術要素について紹介しました。多種多様な産業分野において5Gの活用が進む中で、6Gに向けても世界各地の団体・企業で検討が進んでおり、3GPP (3rd Generation Partnership Project) など国際標準化団体において6Gの定義も含め仕様化が計画されています。インクルーシブコアのアーキテクチャについて、業界の幅広いコンセンサスを得べく多くのステークホルダの方々との議論を通じて研究開発を推進していきます。また、紹介した技術の一部は、実証の取り組みを進めており、社会実装に向けて研究開発を推進していきます。

■参考文献

- (1) <https://www.nextgalliance.org/white-papers/digital-world-experiences/>
- (2) https://hexa-x.eu/wp-content/uploads/2021/02/Hexa-X_D1.1.pdf
- (3) https://b5g.jp/doc/whitepaper_jp_2-0.pdf
- (4) https://www.docomo.ne.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/
- (5) 林・平井・松川・馬場: “6G/IOWN時代の高速なエンドエンド情報同期・連携技術 [In-Network Service Acceleration

Platform],” NTT技術ジャーナル, Vol.36, No.10, pp.14-18, 2024.

- (6) 松本・肥後: “6G/IOWN時代の信頼できるアイデンティティデータ流通を実現する SSI 基盤,” NTT技術ジャーナル, Vol.36, No.10, pp.19-23, 2024.
- (7) 東・小野・鏑木・河野・東條・桑原: “ミッションクリティカルな CPS サービス収容に向けた協調型インフラ基盤,” NTT技術ジャーナル, Vol.36, No.10, pp.24-27, 2024.



(左から) 古川 聖 / 武田 知典 / 松本 存史

NTT 研究所では、6G/IOWN時代のネットワークアーキテクチャの社会実装に向け、引き続き、研究開発を推進していきます。インクルーシブコアの詳細は、以下のホームページに掲載しています。

<https://www.rd.ntt/hs/inclusivecore.html>

◆問い合わせ先

NTT ネットワークサービスシステム研究所
ネットワークアーキテクチャプロジェクト
E-mail nea-mgr@ntt.com



6G/IOWN時代の高速なエンドエンド情報同期・連携技術 「In-Network Service Acceleration Platform」

In-Network Computing (INC) とは、従来端末およびクラウドが担っていた計算処理の一部をネットワークが代行し、ユーザを端末性能やサービス環境の制約から解放する技術です。本稿では、NTT 研究所が提案するINCとモバイルネットワークの融合アーキテクチャISAP (In-network Service Acceleration Platform) について解説します。

キーワード：#6G, #ネットワーク, #コンピューティング

はやし けんたろう ひらい しく
林 健太郎 / 平井 志久
 まつかわ たつや ばば ひろき
松川 達哉 / 馬場 宏基

NTTネットワークサービスシステム研究所

はじめに

ITU-R (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector) による2030年以降のモバイルネットワークの性能目標やユースケースの勧告⁽¹⁾に代表されるように、さまざまな組織や企業が5G (第5世代移動通信システム) 以降の移動通信システム (Beyond 5G/6G) の検討を進めています。Beyond 5G/6Gの特徴として、5G以上の高速・大容量・低遅延の通信要件に加え、通信カパレッジの拡張、消費電力の低減、超多数接続、センシングなどが挙げられます⁽²⁾。これらの特性を組み合わせながら活用することで、

VR (Virtual Reality) やコネクテッドカー、遠隔手術など、多様なユースケースへの応用が期待されています。

一方で、上記のような先進的なサービスを利用するためには、ユーザ端末にも高い処理性能が必要となります。そのため、ユーザは利用するサービスごとに高価な専用端末を用意しなければならず、購入や管理の負担が強いられます。

本課題を解決できる有力な技術として、In-Network Computing (INC) が挙げられます。INCとは、従来は端末やクラウドが担っていた処理の一部を、ネットワーク内に存在するスイッチやルータなどの機器が代行する技術です。ここでは一例とし

て、ユーザが手元の端末でVRのサービスを利用する場合を考えます。従来の形態では、端末はクラウド上のサーバからVR空間の映像素材を受け取り、GPU (Graphic Processing Unit) 等を用いて映像を合成したのち、ディスプレイに表示する方式が一般的です (図1上)。これに対しINCでは、映像合成のような高度な処理を、経路内のネットワーク機器が代行して行う点が特徴です (図1下)。クラウドサーバが端末に向けて映像素材を送信すると、経路内のスイッチやルータはGPUを用いて合成やレンダリングなどの処理を行いつつ、データを伝達します。端末に必要な処理は、ネットワークから処理済みの映像を受け取り、

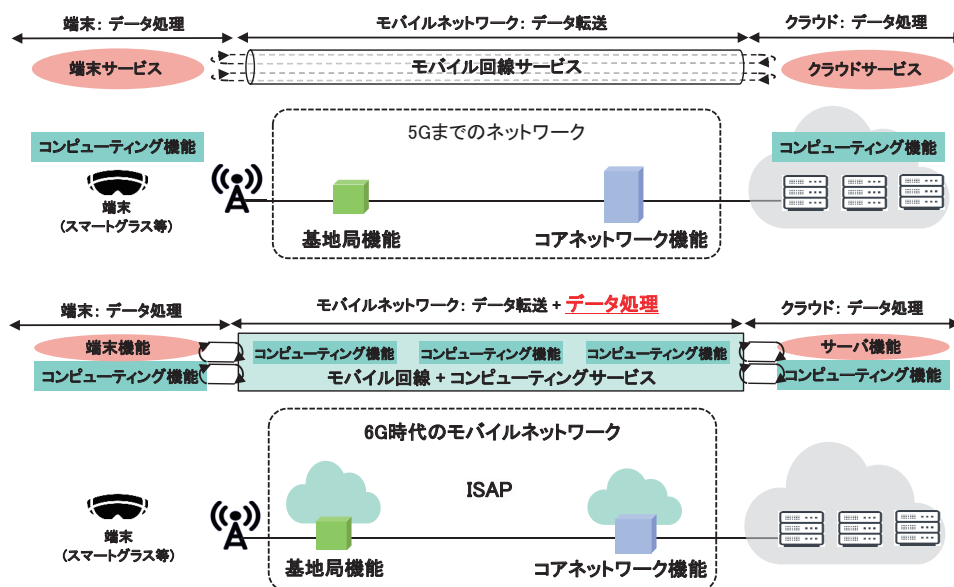


図1 従来のネットワークの機能分担 (上) とモバイルネットワークとコンピューティングの融合 (下)

ディスプレイに表示するだけとなります。結果として、高度なサービスを簡素な端末機能で提供することが可能です。

NTT 研究所では、INCとモバイルネットワークを融合した将来のネットワークアーキテクチャとして ISAP (In-network Service Acceleration Platform) の提案・実証を行っています。本稿では、ISAPの構成や特徴、ユースケースを解説します。

ISAPのアーキテクチャ

ISAPは、モバイルネットワーク上で動作するINC基盤です。ネットワークと連携してコンピューティング機能の分散処理を制御・管理することで、ネットワーク内のデータ処理・転送を高速化します。ISAPのアーキテクチャを図2に示します。以降では、ISAPの特徴を3つの観点から説明します。

■イベント駆動型リソース配備

ISAP上ではさまざまなアプリケーションの利用が想定されるとともに、各アプリケーションが必要とするリソースや処理機能も多種多様です。したがって、すべての処理機能をネットワーク内に固定的に配備する方法は非効率といえます。

そこでISAPでは、ユーザがアプリケーションを起動している期間中のみ、必要

な量のリソースを確保する方式をとります。より具体的には、ネットワークへの端末位置登録や通信セッション、ハンドオーバーなどの制御イベントのほか、アプリケーションの認証やサービス起動のイベント、サイバースペース上の行動などさまざまな情報を収集します。これらを解析し、必要な時間、場所に必要量の計算リソースをアプリケーションに割り当てます。本方式により、多様なアプリケーションや処理に対して、効率良くリソースを利用することが可能となります。

■専用ハードウェアを用いたアクセラレータ間チェイニング

ISAPが想定するコネクテッドカー、ロボティクス、VR、遠隔手術などのアプリケーションは、レンダリング、AI (人工知能) 画像解析、暗号計算をはじめとする高度な演算処理を伴います。加えて、ネットワークを介して処理の結果を端末に転送しなければなりません。したがって、アプリケーション処理と転送処理の両者を高速、低遅延に完了する必要があります。

そこでISAPでは、GPUやFPGA (Field Programmable Gate Array)、DPU (Data Processing Unit) /SmartNIC (Smart Network Interface Card) などの専用アクセラレータを活用します。より具体的には、各種アプリケーション処理や

ネットワーク接続の機能をマイクロサービス化するとともに、それぞれに適切なアクセラレータを割り当てます。一例として、AI解析や3Dレンダリング処理機能にはGPUを、GTP (General Packet Radio Service Tunneling Protocol) encaps-decap機能やRTP (Real-time Transport Protocol) ストリーミング送受信機能にはDPU/SmartNICを割り当てる形態が考えられます。さらに、これらマイクロサービス化されたアプリケーションやネットワークの機能を、ハードウェアアクセラレータチェイニングにより連鎖的に接続することで、CPU (Central Processing Unit) を介さない処理を実現します。

以上により、ISAPではネットワーク内のアプリケーション処理、ならびに処理結果の転送を高速・低遅延に行います。さらに、機械の遠隔制御信号を確定的な遅延・周期で転送するなど、アプリケーション・ネットワークの遅延やロスに起因する誤動作などを防ぐことができるので、サービスの堅牢性向上にもつながります。

■システム強靱化のための障害検知・見える化

ネットワークとコンピューティングの融合は、システム全体の複雑化をもたらします。システムの複雑化によって問題となる

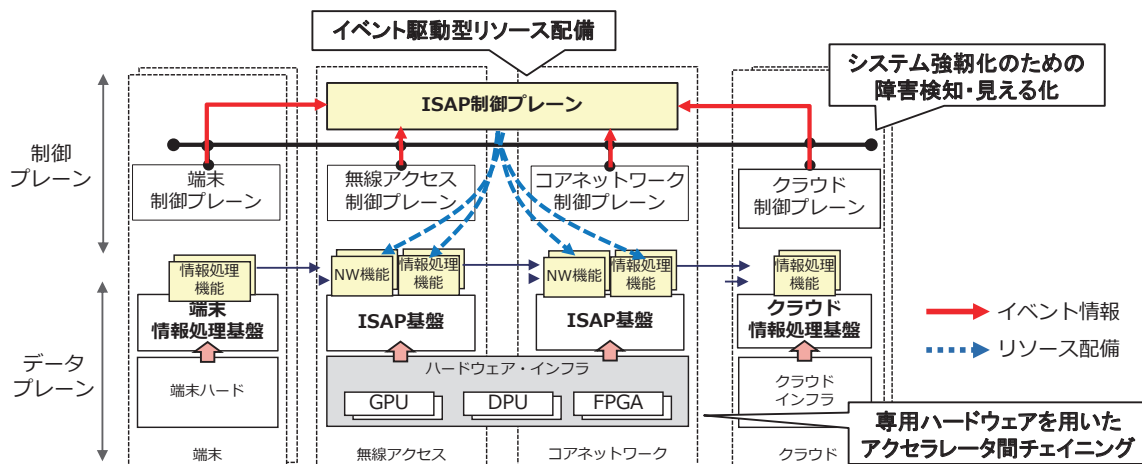


図2 ISAPのアーキテクチャ

のが、障害発生時の影響範囲の拡大です。3GPP (3rd Generation Partnership Project) でも移動体通信網のコアネットワークの強化は課題として提起され、今後の対策が議論されています。

そこでISAPは、ネットワーク内の障害や異常を検知し、迅速に緩和するための仕組みを持っています。障害箇所や異常原因の見える化、障害予兆の検知により、信号輻輳の影響拡大の抑制や、信号輻輳自体の防止により、堅牢なネットワークシステムを実現しています。詳細な情報については、ロバストネットワークに関する記事⁽³⁾を参照ください。

実装と評価

■実装

ISAPの実現可能性と効果を検証するために、複数のユースケースと併せて実装を行いました。システムの構成を図3に示します。ユースケースとして、AIによる映像ストリーム解析と、メタバースの2つを採用しました。

前述の「イベント駆動型リソース配備」については、ISAPを5Gのコアネットワークやクラウド上のアプリケーションと接続して実現しました。より具体的には、ユーザ端末の起動やネットワークへの登録、移動などの情報を収集するために、3GPPの標準インターフェース⁽⁴⁾を用いてISAPと5Gのコアネットワークを接続しました。さらにISAPとアプリケーションの間を接続し、アプリケーションの開始や状態遷移などの情報を収集可能としました。収集した情報を基に、ISAPはアプリケーションの起動を検知し、AI解析や映像レンダリングの機能をネットワークへオンデマンドに配備します。

「専用ハードウェアを用いたアクセラレータ間チェイニング」については、デバイスプラグイン機能とカスタムリソース機能を用いて実現しました。AI解析や3Dレンダリング処理などのアプリケーション機能のほか、GTPヘッダ処理やRTPストリーミング送受信などの各種ネットワーク機能をコンテナ化したうえで、各コンテナに適切なアクセラレータを仮想化して割り当てま

した。さらに、コンテナ間の連鎖により、CPUを介さない高速処理を実現しました。

以上の技術により、ユーザやアプリケーションイベントと連動し、ハードウェアリソースの柔軟な制御・割り当てが可能であることを実証しました。

■評価

(1) イベント駆動型リソース配備の効果
ISAPの第1の特徴であるイベント駆動型リソース配備について有効性を検証しました。評価では、多数のユーザが同時にさまざまなアプリケーションをランダムに利用した場合の総メモリ使用量を検証しました。各アプリケーションが要求するリソース設計は、実際のコンテナ機能をベースとして設計しました。実験から、固定量のメモリを割り当てる方式と比較して、ISAPでは効率的に計算リソースを利用できていることを確認しました。これは、個々のユーザが必要となる時に計算リソースを割り当てるISAPの特徴によるものです。

(2) 専用ハードウェアを用いたアクセラレータ間チェイニングの効果
次に、アプリケーション処理機能とネッ

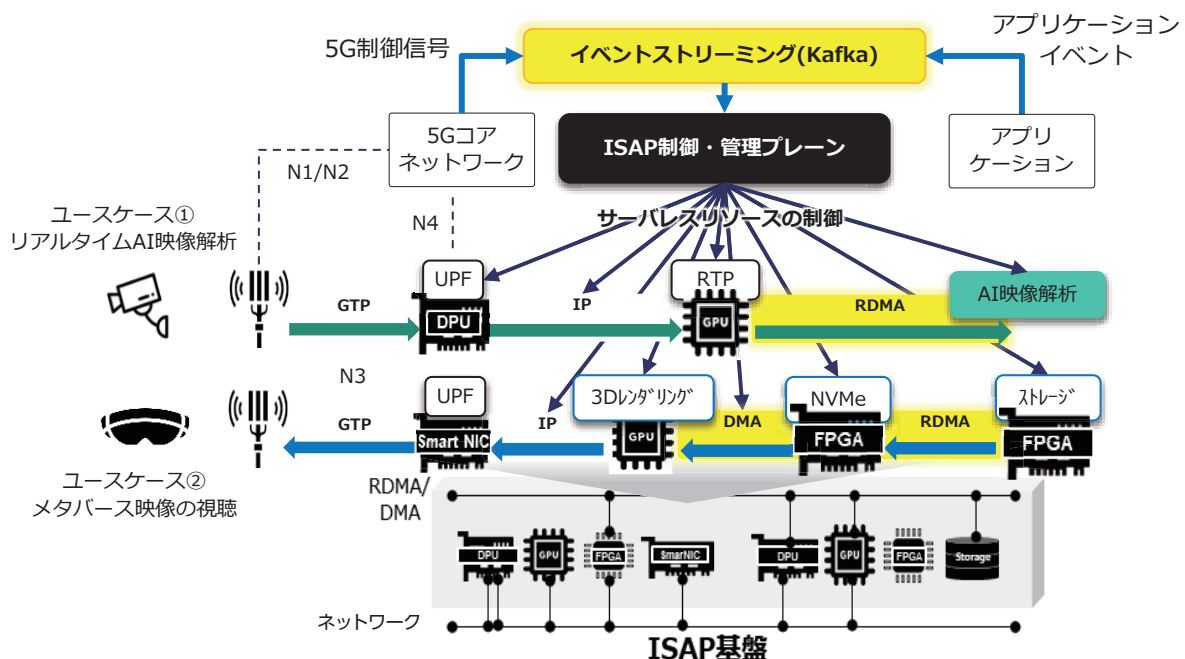


図3 実装構成

トワーク接続機能をアクセラレータにオフロードし、各機能間を連鎖的に接続する方式の効果を検証しました。アプリケーション処理機能については、図3のAI映像解析の系を対象に、ネットワーク接続性能については、図3の3D映像レンダリングにおけるUPF (User Plane Function) とトンネリング処理を対象に測定を行いました。

測定結果から、パケット転送性能では遅延で97%、ジッタで99%の改善がみられました。データ処理性能では、遅延で28%、ジッタで95%の低減を確認しました。加えて、従来方式と比較して、高性能な解析や3D映像のスムーズな再生・操作が可能であることを確認しました。

ISAP実証実験の取り組み

NTTネットワークサービスシステム研

究所では、ISAPの社会実装に向け、Beyond 5G/6G時代の多様なユースケースに適用したさまざまな実証実験に取り組んでいます。ここではその一例を紹介いたします。

■AI映像解析

昨今の生成AI技術の発展に代表されるように、AI技術はさまざまな社会課題を解決する手段として期待されています。しかし、サービス事業者がAIを組み込んだソリューションをユーザに提供するためには、一般的に「データ収集・前処理」「モデル学習・評価」「モデル展開・運用」といったフレームワークを構築する必要があります。特に、パラメータ数が大規模なモデルの学習や展開には、多数のGPUなどで構成されるAIクラスタを必要とする場合があります。

そこで、通常、高度な計算処理基盤が必

要となるAIソリューション・サービスを、ISAPで管理されるGPU/DPUリソースを活用し実証しました。この例では、前述したような、DPUとGPUが連携したデータ処理の低遅延・低ジッタ性により、4K非圧縮映像のような高いデータ処理レートが求められるユースケースにおいても、非常に滑らかで高精度なAI映像解析を実現しました(図4(a))。ISAPにより通信事業者の局舎に配備されたGPU/DPUリソースを効率的に利用することで、低遅延・低ジッタ性が求められるミッションクリティカルなサービス要件を含む、さまざまな事業者の要件に合わせて迅速かつ柔軟にAIモデルを展開することが可能です。

■メタバース

近年、3Dコンピュータグラフィックス技術やモバイルをはじめとする通信・端末技術の発展、またリモートワークの普及に

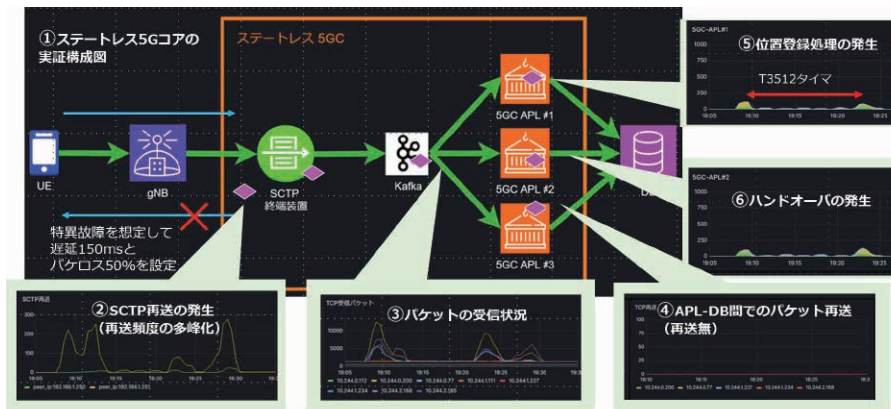
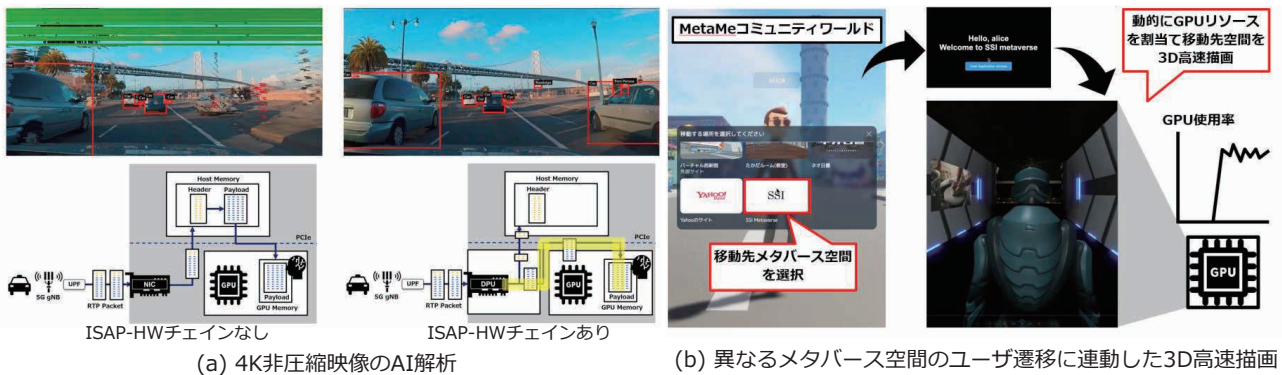


図4 実証実験

より、ユーザどうしがオンライン上でコミュニケーションを取る機会が増えたことで、インターネット上の仮想空間である「メタバース」が注目を集めています。大規模なユーザを収容するメタバースプラットフォームも登場しており、今後ますますの発展・普及が予想されます。

この例では、ユーザが複数のメタバース空間を行き来する、今後のユースケースを想定した実証を実施しました⁽⁵⁾。具体的には、さまざまなメタバース空間に移動可能なMetaMe^{®(6)}のコミュニティワールドと連携し、ユーザが異なるメタバース空間に移動する際に、当該ユーザ端末に表示される移動先の新たな空間を、ISAPを活用して動的に高速描画する機能を確認しました(図4(b))。ISAPにより、ユーザ端末の5Gアクセス等のネットワークへの接続状態や、サービス事業者により提供されるクラウド側のメタバース環境情報を連携させることで、端末スペックやアクセス・サービス環境によらない、フレキシブルなサービス体験の創出につながります。

■ネットワークスライシング

5Gでは、映像配信、自動運転やロボット遠隔制御、IoTなどの複数の異なるサービス要件を満たすために、共用化された物理ネットワークインフラから仮想的にネットワークリソースを切り出す、「ネットワークスライシング」が導入され、通信事業者のSLA監視・保証の手段として注目されています。

この例では、NTTドコモが検討を進めている、パブリッククラウド上に展開された5GC(5G Core network)と連携し、ネットワークスライシングによるエリアや時間指定、利用用途に応じた最適なエンド・ツー・エンドネットワークを提供する実証を実施しました⁽⁷⁾。ISAPによるユーザ端末の5Gネットワーク接続状態に応じたイベント駆動型リソース制御とハードウェアアクセラレーション・チェイニング機能を活用し、通常モバイル区間(端末～モバイル無線基地局～モバイルコア機能)だけでは

実現できない、アプリ・サービスドメインまで含めたエンド・ツー・エンドネットワークスライシングを実現しました。これにより、イベント会場や災害地域など通信トラフィックが集中する特定スポットに対して、オンデマンドに高品質なネットワーク・サービスの提供が可能となります。

■システム強靱化のための障害検知・見える化

5Gコアにおける障害の拡大・長時間化を抑制するための仕組みとして、障害の検知・見える化を5Gコア内部で実施し、故障の措置やリソースの制御にフィードバックする仕組みを検討しました。5Gコアをステートレスアプリケーション方式とし、障害の影響が他のアプリケーションやデータベースに波及しないようにしました。さらに、SCTP(Stream Control Transmission Protocol) 終端装置、メッセージ配信基盤(Kafka)、コントロールプレーン処理装置(5GCAPL)、共有データベースで構成される実証環境を構築しました(図4(c)の①)。この構成では、5GCAPLを停止させた場合にも、分担して処理を実施します。データベースからユーザ端末の接続状態の情報を取得することで、処理を問題なく継続できることが確認できました。

次に特異な障害の発生を想定し、通信の片方向にのみパケットの損失や遅延が極端に大きい条件を与え、位置登録処理が失敗する状況を再現しました(図4(d)の③)。位置登録処理が完了しないことで、ユーザは通信が開始できない状況となります。ネットワークレイヤにおいてはSCTPやTCP(Transmission Control Protocol)の再送が発生し、メッセージの滞留や上位レイヤの再送が生じます。このように、メッセージやパケットなどの挙動を把握することが、原因箇所の絞り込みや措置判断に有効であることを確認しました。

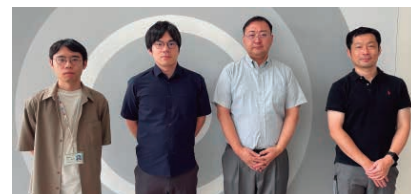
今後の展望

本稿では、インクルーシブコアの主要な

技術要素の1つであるISAPについて、アーキテクチャ、システム実装・評価、数々の実証実験を通じた技術のフィジビリティ確認について紹介しました。NTTネットワークサービスシステム研究所では、ユーザが端末やサービスに左右されず、いつでもどこでも使いたいサービスを安心・安全に利用できるような新しいサービスを実現するアーキテクチャを検討しています。今後は、ISAPに関連する細かな技術要素を国際的な標準化団体およびオープンソースコミュニティへ提案していきます。そして、6G/IOWNの本格導入が予定されている2030年に、標準仕様として社会に広く実装されることをめざします。

■参考文献

- (1) <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2160-0-202311-I/en>
- (2) https://www.docomo.ne.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/
- (3) https://www.rd.ntt/ns/inclusivecore/whitepaper_ver1.html
- (4) <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3144>
- (5) <https://group.ntt/jp/newsrelease/2024/02/21/240221a.html>
- (6) <https://official.metame.ne.jp/>
- (7) https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_240115_03.pdf



(左から) 林 健太郎/ 平井 志久/
松川 達哉/ 馬場 宏基

NTTネットワークサービスシステム研究所では、6GにおけるINCの実現に向けて、膨大な計算リソース等を提供可能なネットワーク・情報処理基盤を実現するアーキテクチャの研究開発を行っています。

◆問い合わせ先

NTTネットワークサービスシステム研究所
ネットワークアーキテクチャプロジェクト
アーキテクチャ方式グループ
E-mail inclusive-core@ntt.com



6G/IOWN時代の信頼できるアイデンティティデータ流通を実現するSSI基盤

ユーザのアイデンティティに関するデータを標準化されたフォーマットでデジタル化し、多様なサービスで活用できるようにするというデジタルアイデンティティに関する動きが加速しています。デジタルアイデンティティを取り巻く世の中の動向に合わせ、NTTネットワークサービスシステム研究所ではインクルーシブコアの要素技術として、ネットワークサービスとデジタルアイデンティティの連携を実現するSSI (Self-Sovereign Identity) 基盤の研究開発に取り組んでいます。本稿では、SSI基盤の持つセキュアIDウォレットを中心とする技術について述べた後、同時に進めているSSI基盤をメタバースに適用するユースケース実証について紹介します。

キーワード：#デジタルアイデンティティ、#自己主権型、#移動固定融合

まつもと ありふみ
松本 存史
ひご なおき
肥後 直樹

NTTネットワークサービスシステム研究所

デジタルアイデンティティとは

免許証などの資格情報や大学在籍情報、TOEICのスコアに至るまで、さまざまな個人・法人にかかわるデータを標準化されたフォーマットでデジタル化し、それをさまざまなサービスで活用できるようにするというデジタルアイデンティティに関する動きが加速しています。デジタルアイデンティティとは、個人を他と区別するために用いる個人の属性情報の集合といえます。なぜ、今このデジタルアイデンティティが注目を集めているのでしょうか。リアルな空間では相手の顔を見て識別したり、身分証のカードを提示して特定の国籍を持っていることを証明したり、資格を持っていることを証明していたりしたものが、デジタル空間でサービスを提供する際にはデジタル化された個人の属性情報を用いて制御を行う必要があります。さまざまなサービスをオンライン上で提供したいというデジタル化のニーズと、デジタル空間上で提供されるサービスをより安全または便利に使うために、各個人の属性や資格を確認したいというニーズにこたえるため、デジタルアイデンティティが注目されているのだと考えています。

本稿では、デジタルアイデンティティを取り巻く世の中の動向について述べた後、NTTネットワークサービスシステム研究所で取り組んでいるインクルーシブコアの

要素技術であるSSI (Self Sovereign Identity) *1⁽¹⁾基盤について紹介します。

デジタルアイデンティティに関する動向

デジタルアイデンティティについては、欧州連合 (EU) 圏において特に法整備やサービス提供に向けたプロダクト開発、標準規定の策定が進んでいます。

■電子身分証明 (eIDAS規則) の普及

EUでは、eIDAS (Electronic Identification, Authentication and trust Services)*2が導入され⁽²⁾、異なるEU加盟国で発行された電子身分証明書を相互に認証可能にする枠組みが整備されています (図1)。これにより、EU市民は国境を越えて安全にデジタルサービスを利用することができます。特にeIDAS2.0と呼ばれるアップデートにおいて、ユーザ自らが自身のデジタルアイデンティティに関する情報の管理を行えること、またそれをEUDIW (European Digital Identity Wallet) と呼ばれるウォレットサービスによって実現することが提案されており、2024年2月にこのアップデートが正式に承認されました。

■電子パスポートの導入

多くのEU加盟国では、電子パスポートが発行されており、バイオメトリクスやRFID (Radio Frequency Identifier) チッ

プを利用してデジタル化された個人情報を保持しています。これにより、国境通過やオンラインサービスの利用が簡便化されています。

■eIDの利用拡大

多くのEU加盟国では、税務申告や行政手続きなどでeID (Electronic Identification) を使用することが一般的になっています。これにより、EU加盟国間で国をまたいで、個人が安全にオンライン上で身分を証明し、取引を行うことが可能です。

また、北米においても以下のようなデジタルアイデンティティに関する動向があり、世界中から注目を集めています。

■デジタル身分証明の推進

米国では、州ごとに運転免許証や身分証明書のデジタル化が進んでいます。一部の州では、モバイルアプリを通じてデジタル運転免許証を利用できるようになっており、オンラインでの身分証明が容易になっています。

■デジタルヘルスパスポートの導入

新型コロナウイルスのパンデミックによ

*1 SSI: 自己主権型アイデンティティ。SSIは、個人が自分自身のデジタルアイデンティティを所有し、コントロールすることを可能にするWeb3.0にかかわる技術コンセプトです。SSIは中央管理者や認証機関に頼る必要がなく、ユーザが自分の情報を安全に管理できる仕組みを提供します。

*2 eIDAS: EU政府による電子的な認証および信頼に関する規則。

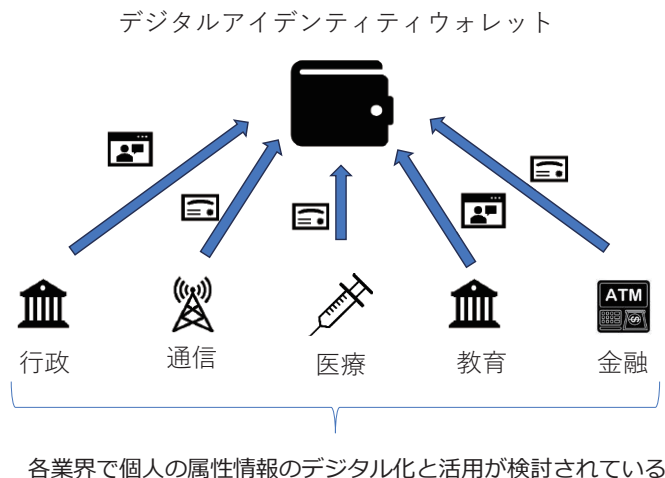


図1 EU圏での動向

り、デジタルヘルスパスポートの需要が高まっています。米国では、ワクチン接種証明書や健康ステータスを電子的に管理・証明する取り組みが進められています。

日本国内におけるデジタルアイデンティティに関連する動向としては近年さまざまな動きがあります。

■マイナンバーカードの普及

日本では、マイナンバーカードが国民1人ひとりに割り当てられており、個人番号（マイナンバー）を持つことが法律で義務付けられています。このカードは、オンラインでも利用できるようになっており、各種行政サービスの利用や電子申請が可能となっています。

■電子証明書の普及

企業や行政機関において、電子証明書が広く利用されています。電子証明書は、デジタル署名やオンライン手続きの際に使用され、法的な効力を持ちます。電子署名や電子契約、ソフトウェアの偽造防止のための証明書などにより、紙の証明書からデジタル化への移行が進んでいます。

これらの動向により、日本においてもデジタルアイデンティティの普及が進み、その利便性を認知されつつあり、さまざまな行政サービスや日常生活の中でアイデンティティのデジタル化が進んでいることが確認されます。

デジタルアイデンティティの技術トレンド

次に、最近のデジタルアイデンティティ

に関する技術的な動向として重要なトピックについて触れます。

■セルフソブリンID

(SSI : Self-Sovereign Identity) の普及

セルフソブリンとは自己主権型という意味で、セルフソブリンIDは、ユーザが自らのアイデンティティを制御することを可能にするコンセプトです。このアプローチにより、個人は中央管理者や第三者に依存せず、自己のデジタルアイデンティティ、すなわち個人識別子 (ID) とそれに紐づく属性情報や各種証明書などの個人情報を持つことができます。

■分散型IDの台頭

分散型ID (DID : Decentralized Identifier) *3は、中央集権的なシステムではなく、ユーザ自身が管理する形態のデジタルIDです³⁾。ブロックチェーンなどによる分散型台帳技術 (DLT : Distributed Ledger Technology) をベースとすることが多く、ユーザが自分のデータを所有し、管理することが可能となり、SSIを実現するための要素技術といえます。分散型IDはW3C (World Wide Web Consortium) などの標準化団体が関連規格を策定し、普及が進んでいます。

■VCの発展

VC (Verifiable Credentials) *4は、さまざまな機関やサービスが発行する証明書や情報を、安全に受け取り、自己のデジタルアイデンティティに結びつける仕組みです。例えば、学位証明書や医療記録、会員証などがVCとして発行され、必要ときに第三者に提出することができます。これ

により、データの所有権やプライバシーがユーザ自身によって管理される仕組みが強化されています。DIDを連携させて利用されることが多く、こちらもSSIのコンセプトを実現するための要素技術です。

図2のように、従来は中央集権型のアイデンティティプロバイダー (IdP) によって、ID情報やそれに紐づくデータが管理され、データの授受もIdPからそのデータを利用するサービス事業者に提供されていました。分散型のアイデンティティ管理においては、データはユーザ自らが管理し、ユーザが利用するサービス事業者に自ら提示するというデータの流れに変わります。ユーザデータが1カ所に集まらず、ユーザ各自が管理するため分散型のアイデンティティ管理と呼ばれており、ユーザのプライバシー情報の漏洩を防ぎつつデジタルアイデンティティ情報の流通・活用を促進する方式として注目を集めています。

デジタルアイデンティティと6G/IOWN時代のネットワークサービス

これらの法制度やビジネス化の動向、および標準化等の技術確立の進展に合わせて、DIDとVCを活用したさまざまなユースケースの検討や実証が行われています。特に現在は業界ごとにDID/VCをはじめとするデジタルアイデンティティの活用方法について検討が進められています。しかし、デジタルアイデンティティの活用は各業界に閉じたものではなく、業界を横断して進めてこそ利便性の向上や業務効率の向上など、より大きな効果をもたらすものです。つまり、各業界でどのようなデジタルアイデンティティの発行や利用が可能であるかを決め、各業界から発行される情報を業界横断で活用していくことになり、和算ではなく積算によって利用シーンが広がっていくことが期待できます。

*3 DID : 分散型識別子は、SSIの基盤となる要素で、一意なデジタル識別子です。DIDは中央の機関に依存せず、ブロックチェーンなどの技術を使用して、ユーザが自分自身を一意に識別できるようにします。

*4 VC : 検証可能な資格証明。個人が所有するスキル、資格、属性などの情報をデジタル形式で表現したもので、信頼性を確認するための証拠を提供します。VCはDIDと結びついて使用され、信頼性のある方法で資格情報を共有できるようにします。

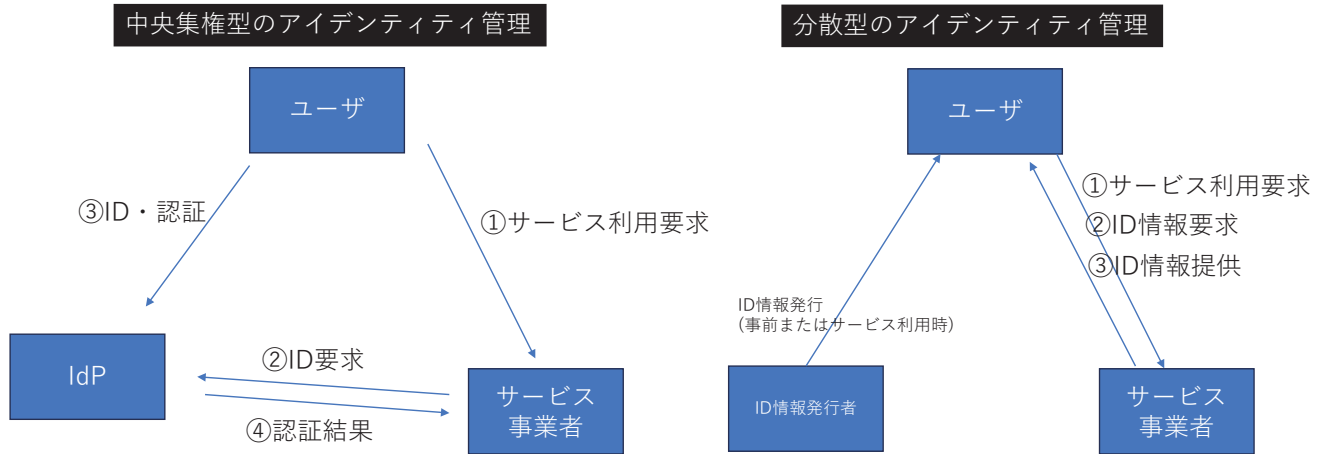


図2 分散型のアイデンティティ管理へのシフト

ネットワークキャリアのデジタルアイデンティティに関する動向は、まだいくつかの団体が検討が始まったばかりという状況です。デジタルアイデンティティを流通することの効果をもっと大きなものにし、より便利で安全なデジタル社会を創造していくためには、ネットワークキャリアの果たすべき役割は大きなものであるといえます。NTTネットワークサービスシステム研究所では、ネットワークキャリアとして、デジタルアイデンティティの発展すなわちデジタルアイデンティティ情報流通の実現やそれに基づくサービスの展開に貢献していくという取り組み、また社会に流通するデジタルアイデンティティ情報を用いたネットワークサービスの展開などについて検討を行っています。以下にその検討状況について述べます。

■デジタルアイデンティティ情報の発行

移動固定を問わず、ネットワークキャリアはデジタル社会においてさまざまな役割を果たしています。データ通信や電話などの通信サービスの提供が主たる提供サービスであることは言わずもがなですが、それらのサービスを提供する際には、本人確認(KYC: Know Your Customer)や居住地の確認等を実施することにより、正しいユーザに間違いなく通信サービスが提供できるようになっています。また、電話サービスの利用者に対しては電話番号を割り当て、その契約者がその電話番号を利用できることを保証しています。また、携帯電話ユーザについては、ユーザの居場所を把握していなければ、通信サービスを提供でき

ませんので、ユーザが通信可能な所にいる限り、常にユーザの居場所を把握している必要があります。

契約情報やサービス提供において必要となる情報は、通常はネットワークキャリアが内部で保持・管理している情報です。これらの情報をユーザや他のサービス事業者に対し再利用可能なかたちで発行することにより、さまざまな利用価値をもたらす可能性があります(図3)。例えば、電話番号所有証明を前述のVCとして発行することにより、現在さまざまなサービスを利用する際に連絡先の入力が必要ですが、この連絡先情報として高い信頼性のある検証可能な証明書として提供することができるようになります。電話番号に限らず、通信サービスを契約する際にネットワークキャリアに提示した情報であれば、同様にネットワークキャリアが確認を行ったユーザのデジタルアイデンティティ情報として発行・流通が可能となるわけです。また、

ユーザの位置情報については、例えばATMで銀行口座から預金の引き出しを行いたい場合、ATMを操作している人が本当にその場所にいるのか、あらかじめ銀行口座と携帯電話の契約を紐付けておけば確認することができ、本人以外がお金を引き出している場合にそれを防ぐことが可能になります。

このような取り組みはすでにGSMA(Global System for Mobile Communications Association)等の団体が議論が開始されており⁽⁴⁾、今後ますますさまざまなネットワークキャリアによるデジタルアイデンティティ証明書の発行が加速していくと思われます。NTTネットワークサービスシステム研究所では、各種ネットワークキャリアが発行可能な証明書の標準化や、それを用いたユースケースの実証に取り組んでいきます。

■セキュアIDウォレットの提供

デジタルアイデンティティ情報は、ユー

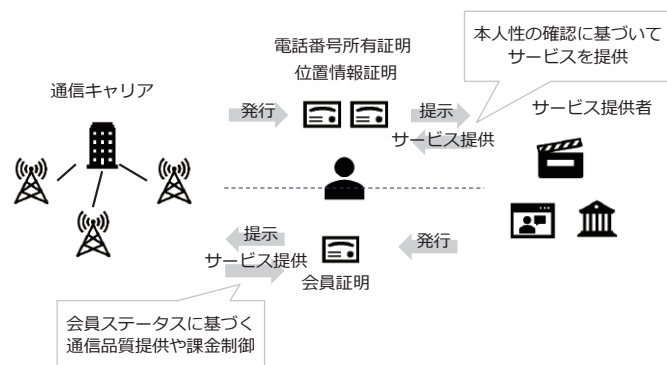


図3 キャリアによるアイデンティティ発行

ザ自らが管理し、提示先や提示内容などをユーザ自らが決定することが基本であるため、従来ではユーザが管理する端末にデータを格納することが一般的でした。しかし、デジタルアイデンティティ情報はユーザにとっても、またそれを利用するサービス事業者にとっても重要な情報であり、データの漏洩や改ざん、またユーザ自らによって不正に複製・譲渡などの悪用を防ぐことが求められます。そのため、データを格納する端末に悪意のあるソフトウェアがインストールされていて、端末内のウォレットのデータを盗み見るなどの攻撃からデータを守る仕組みが必要となります。また、ユーザが端末を紛失した場合に、データが遺失してしまうリスクにも対処が必要となります。

NTTネットワークサービスシステム研究所ではこれらの攻撃やリスクへの対策として、デジタルアイデンティティを格納するウォレットを、専用のセキュリティモジュールを具備したクラウドで提供するセキュアIDウォレットの検討を進めています(図4)。セキュアIDウォレットでは、TEE (Trusted Execution Environment) *5等のハードウェアで実装されたセキュリティモジュールを用いて、ウォレットソフトウェアをクラウドのサーバ上の隔離された実行環境において実行させることにより、その処理中のメモリの内容や、永続化されるデータが暗号化されること(秘匿性)を保証しています。さらには、ウォレットを実現しているソフトウェアに改変が加えられてしまうと、メモリやデータが暗号化されていたと

しても、データの漏洩や改ざんなどが可能となってしまうため、Remote Attestation (RA) *6という仕組みで、ソフトウェアが改ざんされていないこと(完全性)を利用者などがシステムの外部から検証できるという特長を持っています。

ウォレットから外部サービスにデジタルアイデンティティ情報を提示する際のセキュリティの確保も、重要な課題となります。提示するデータに記載されているDIDの匿名化・ワンタイム化に加えて、開示するデジタルアイデンティティ情報に記載された複数の属性のうち、サービス利用に必要な最低限の属性のみを開示する選択的開示などの技術が検討され、標準化も進んでいます。これらの技術は、サービス事業者の名寄せによるユーザプロファイリングや、プライバシー情報の漏洩などのリスクを回避するために有用です。しかし、こういったデータの内部に記載されている情報だけでなく、ユーザのウォレットにアクセスする際のURLやIP (Internet Protocol) アドレスなどのエンドポイントの情報についても対策を講じなければ、プライバシーリスクの対策としては不完全です。NTTネットワークサービスシステム研究所では、ユーザウォレットのエンドポイントアドレスの名寄せ対策として、ワンタイムエンドポイント方式や、外部サービスにエンドポイントアドレスを開示しないVCの提示方法などの検討を行っています。

また、このセキュアIDウォレットをさらに利便性高く利用する方法として、ユー

ザの所有する端末に挿入されているSIMカードに記載された認証のための鍵などの情報を用いて、セキュアIDウォレットに安全かつ便利に接続可能とさせる認証連携や、サービスによって複数のウォレットを使い分けようとする利用シーンを想定して、他のウォレットサービスと連携して動作する連携機能などについても検討を進めています。

デジタルアイデンティティを活用したネットワークサービス提供

次にデジタルアイデンティティ情報流通を用いたネットワークキャリアサービスの提供に関する検討内容について説明します。

アイデンティティ情報がデジタル化されることで、サービス事業者はユーザのアイデンティティ情報をより動的・柔軟に扱うことができるようになります。ネットワーク接続サービスにおいても同様に、ユーザのデジタルアイデンティティ情報を用いて、より柔軟で多様なネットワーク接続サービスが可能となることが想定されます。

例えば、提示されるデジタルアイデンティティ情報によって、緊急車両や緊急呼、医療サービス関連など緊急性の高い通信を識別し、ネットワーク内部の通信リソースを優先的に割り当てる制御を行うなどの利用方法が考えられます。また、特定のサービス利用時の通信料金を、ユーザに代わってそのサービス事業者などの他者が負担するような仕組みをVCによって実現することも可能と思われます。

こういった取り組みは、まだ研究段階という状況ですが、NTTネットワークサービスシステム研究所としてもより利便性の高いネットワークサービスの実現に向けて、検討を進めていきます。

メタバースを用いたユースケース実証

NTTネットワークサービスシステム研

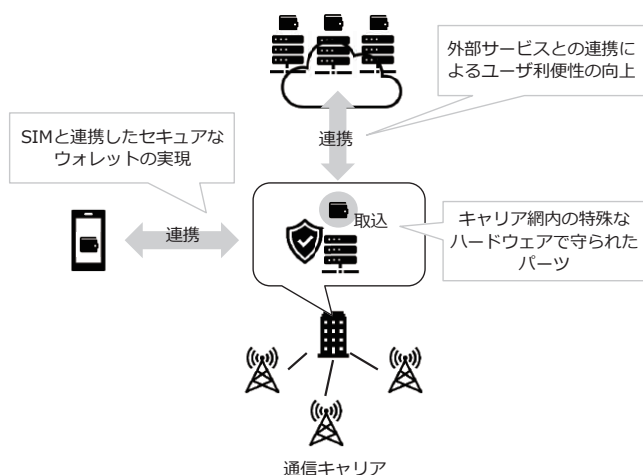
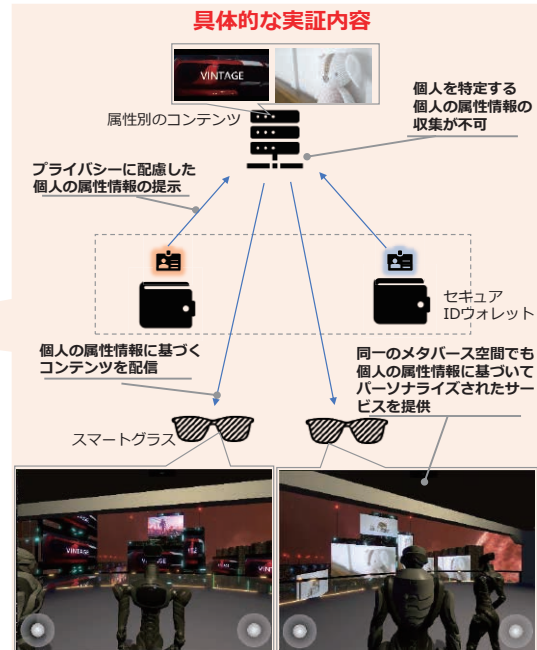
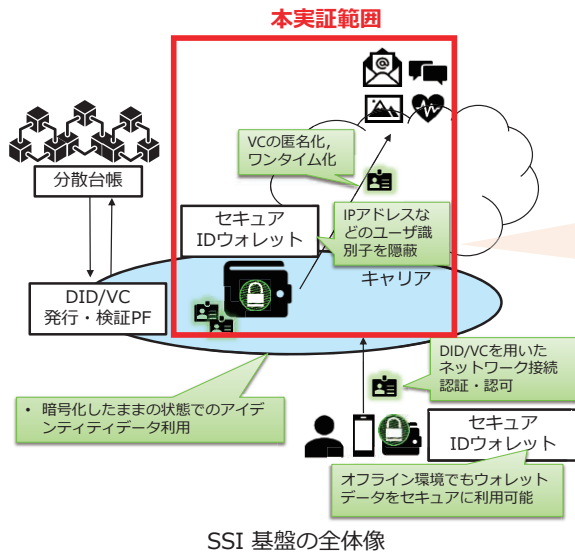


図4 セキュアIDウォレットサービス

*5 TEE：ハードウェア上の安全な隔離実行環境を指し、メモリを暗号化した状態でデータを処理する秘密計算技術。
*6 Remote Attestation：プラットフォームやアプリケーションの完全性をリモートから検証するための仕組み。



SSI 基盤の全体像

図5 メタバースをユースケースとした実証

研究所では、ここまで紹介した技術の方式検討と並行して、実装を用いた技術の実現可能性の検証も行っています。2023年度のNTT R&Dフォーラムでは、SSI基盤をコアネットワークへ具備することを想定した実装を行い、それをメタバースサービスに適用するユースケース実証を行い、実証内容について報道発表を行いました。

本実証では、メタバース空間上でさまざまなサービス事業者が独自のサービスを提供しており、サービス事業者はユーザ1人ひとりに合ったパーソナライズされたサービスを提供するため、ユーザの個人情報を必要としているという状況を想定しました。必要以上のプライバシー情報の開示を防ぐために、SSI基盤をメタバースサービスに適用することで、ユーザのウォレットから必要最低限の情報（年齢情報）を提供するだけで、提供コンテンツのパーソナライズが可能となることを実証しました。ユーザのウォレットは前述のセキュアIDウォレットであり、サービス事業者に開示するデータの内容以外に、ウォレットのエンドポイント情報についてもワンタイム化することで名寄せリスクを回避する方式を実装し、

さらには、インクルーシブコアにおいてインネットワークコンピューティングを実現するISAP (In-network Service Acceleration Platform)^{*7}とも連携し、ISAP上にセキュアIDウォレットを実装しインスタンスの管理を行うことで、ユーザの位置やサービス利用状況に合わせてウォレットサービスを提供できることを実証しました (図5)。

今後の展望

EU圏での2025年のeIDAS2.0に関する各種サービス本格開始に向け、今後デジタルアイデンティティに関するサービス提供や技術開発はますます世界的にも加速することが予想されます。NTTネットワークサービスシステム研究所ではこれらの動きと歩調を合わせながら、デジタルアイデンティティ情報流通によるさまざまな社会課題の解決に向け、他の通信キャリアと連携しながら標準化や技術確立に向けて検討を進めていきます。

■参考文献

- (1) A. Preukschat and R. Drummond : "Self-sovereign identity," Manning Publications, 2021.
- (2) <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/eidas-regulation>
- (3) O. Avellaneda, A. Bachmann, A. Barbir,

J. Brennan, P. Dingle, K. H. Duffy, E. Maler, D. Reed, and Manu Sporny : "Decentralized identity : Where did it come from and where is it going?," IEEE Communications Standards Magazine, Vol.3, No.4, pp.10-13, 2019.

- (4) https://www.gsma.com/about-us/regions/europe/gsma_resources/mobile-number-as-a-verifiable-credential-in-eidas-2-0-wallets/



(左から) 松本 存史/ 肥後 直樹

デジタルアイデンティティの社会実装と、それによるさまざまな社会課題の解決に向け、ネットワークキャリアとしても貢献していきます。そのための要素技術や標準化活動などを展開していきます。

◆問い合わせ先

NTTネットワークサービスシステム研究所
ネットワークアーキテクチャプロジェクト
E-mail nea-mgr@ntt.com

*7 ISAP : ネットワークキャリア内部のGPUやDPUなどのハードウェアを含む計算リソースを外部のアプリケーションサービスに利用させるための基盤。



ミッションクリティカルなCPSサービス収容に向けた協調型インフラ基盤

本稿では、人口減少等に起因する各種社会課題の解決に期待される、CPS (Cyber-Physical Systems) サービスの社会実装促進に寄与する基盤として研究開発を進めている「協調型インフラ基盤」について紹介します。コンセプトと全体アーキテクチャに加え、CPSサービスのユースケースの1つであるレベル4自動運転の遠隔監視に求められるミッションクリティカルな映像伝送に資する要素技術と、それらを組み合わせた実フィールドでの実証の様相について紹介します。

キーワード：#協調型インフラ基盤, #Cyber-Physical Systems, #自動運転遠隔監視

Cyber-Physical Systemsの社会実装に向けて

近年の5G (第5世代移動通信システム)、6G (第6世代移動通信システム) 等に代表される情報通信技術の進展に伴い、これまでは困難であったCPS (Cyber-Physical Systems) の実現が期待されています。CPSはサイバー空間と物理空間の間の緊密な連携により、物理空間の多種多様なデータを収集 (センシング) し、収集したデータを基にサイバー空間において各種分析を行い、その結果を基に物理空間に対して制御指示などの働きかけ (アクチュエーション) を行うものです。

CPSサービスの例として、車両 (乗用車、物流トラック、農機等) の自動運転やその遠隔監視、スマートシティ、スマートファクトリーなど、さまざまなものが挙げられます。

少子高齢化に伴う労働力人口減少による人手不足に対する省力化の手段として、さらには、収集・蓄積されるデータを基にした高度な分析による全体最適化や生産性・付加価値向上を実現するための手段として、大きな期待が寄せられています。

CPSサービスは従来のWebアプリケーションなどとは大きく異なる特性を持つため、サービスを構成・収容するシステムに対する要件も大きく異なります。

例えば、CPSサービスは実世界への働きかけを行うため、失敗するとその影響が物理空間へ及びます (例：遠隔運転において、

サイバー空間からの停止指示が間に合わず車両が止まりきれない可能性がある)。そのため、CPSサービスを構成する系全体で高い信頼性・リアルタイム性 (処理があらかじめ定められた時間までに必ず終わること) が求められます。

また、万が一なんらかの障害等が発生した場合、それを把握し、系全体への影響を最小化するための対処を可能とする仕組みも必要です。

さらに、CPSサービスはサイバー空間と物理空間から構成される分散システムであることから、それぞれをつないでセンシング情報、アクチュエーション情報を相互にやり取りする、共通的な情報流通の仕組みが必要となります。

加えて、CPSサービスは幅広いユースケースを持つことから、系を構成する制御アプリケーション、センサ、アクチュエータも多種多様です。これらを収容し、ユースケースに応じて処理を簡易にカスタマイズ、チューニングできるような仕組みも求められます。

NTTネットワークサービスシステム研究所では、上記のCPSサービス収容における特有の要件に対応し、CPSサービスの社会実装促進に寄与する基盤技術として、「協調型インフラ基盤」の技術開発に取り組んでいます。

協調型インフラ基盤はサイバー空間と物理空間の融合・協調をめざすインクルーシブコアの早期版として研究開発を進めており、本稿では、協調型インフラ基盤の概要、

あずま のぶひろ おの こうたろう
東 信博 / 小野 孝太郎
つばき たくま かわの たいち
鏑木 拓磨 / 河野 太一
どうじょう たくや くわはら たけし
東條 琢也 / 桑原 健

NTTネットワークサービスシステム研究所

およびCPSサービスのユースケースの1つであるレベル4自動運転の遠隔監視を実現するための要素技術について紹介します。

次に協調型インフラ基盤のコンセプト、全体アーキテクチャについて説明します。

協調型インフラ基盤のコンセプトとアーキテクチャ

協調型インフラ基盤は、CPSサービスを構成する要素であるデバイス側機能、情報処理 (クラウド)、ネットワークを緊密に連携・協調させることで、ミッションクリティカルなCPSサービスの収容を実現する基盤です⁽¹⁾。

協調型インフラ基盤の全体アーキテクチャを図1に示します。物理空間 (デバイス側)、サイバー空間 (クラウド側) それぞれに協調制御ゲートウェイ (協調制御GW) が配置され、この協調制御GWがCPSサービスの収容に必要な機能を提供します。

協調制御GWが提供する主な機能は、①多様なコンポーネントの収容、②デバイス-クラウド間の情報流通、③付加価値機能と組み合わせた、ユースケースに応じた制御処理の柔軟なカスタマイズの3つです。

協調制御GWはロボット開発の分野でデファクトスタンダードであるROS2 (Robot Operating System 2) をベースにつくられており、ROS2ベースの多様なセンサ、アクチュエータ製品との情報のやり取りを開発レスで実現可能としています。

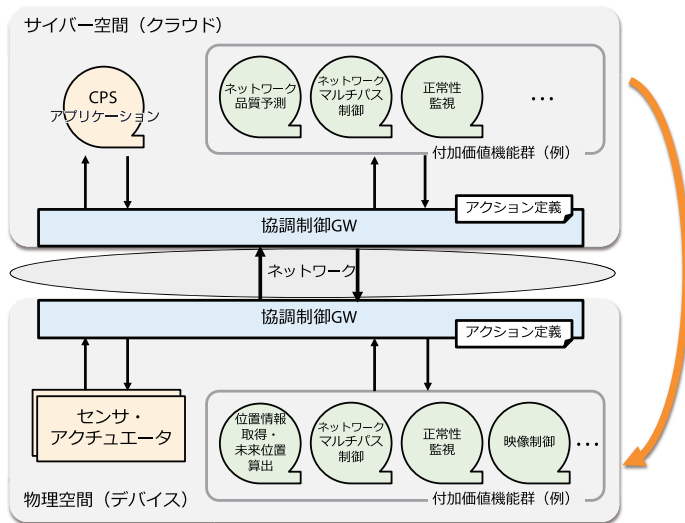


図1 協調型インフラ基盤アーキテクチャ

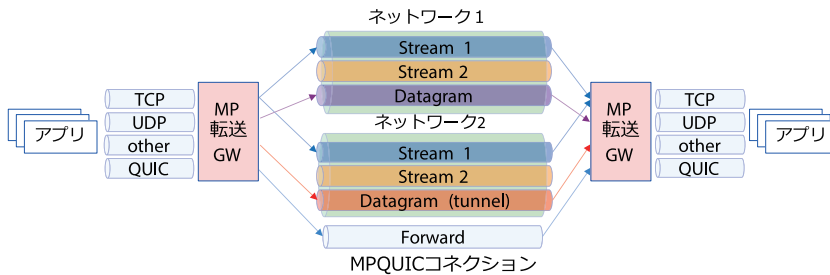


図2 MP転送GWの全体像

このほか、HTTP (Hypertext Transfer Protocol) やgRPC (gRPC Remote Procedure Calls), MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) にも一部対応しています。

また、デバイス-クラウド間の通信も協調制御GWが担っており、デバイス側、クラウド側それぞれのコンポーネントは、特別な設定不要で広域ネットワークを介した情報流通が可能となっています。

さらに協調制御GWには、収容コンポーネントからの情報連携をトリガとして、どのようなアクションを取るかをファイルに記述できる仕組みを具備しています。これを用いることで、コンポーネント間の単純な情報流通に加えて、連携内容に応じた判断、情報の加工、処理分岐などをはじめとする各種動作を、ユースケースや環境に応じて柔軟かつ容易に定義・カスタマイズすることができます。

これらの基本機能に加えて、各コンポーネントのログなどから正常性を監視する機

能や、デバイスの位置情報を取得・予測する機能など、CPSサービスを実現するうえで有用な、さまざまな付加価値機能を提供・連携可能としており、上記の動作記述の仕組みと組み合わせることで、CPSサービス提供事業者側でのつくり込みの手間を大幅に削減できます。

協調型インフラ基盤は、協調制御GWが提供するこれらの基本機能と付加価値機能を組み合わせることで、前述の特有の要件を持つCPSサービスの収容を実現します。

これまで、農機の自動走行および遠隔監視をユースケースとして、複数のアクセスネットワーク〔地域BWA (Broadband Wireless Access：地域広帯域移動無線アクセス) やキャリア5G〕を切り替えながらの円滑な広域自動走行や、ネットワーク品質の劣化検知をトリガとした安全な停止など、農機のレベル3自動走行高度化に向けたシナリオの実証を進めてきました⁽²⁾。次にユースケースをさらに拡張し、レベル4自動運転の実現に必要な車両遠隔監

視を実現するための付加価値機能となる要素技術について紹介します。

レベル4自動運転における車両遠隔監視を実現するための要素技術

ここでは、レベル4自動運転（特定条件下における完全自動運転）において求められる、車両遠隔監視を実現するための要素技術について紹介します。

レベル4自動運転の実施にあたり、車内外の映像の遠隔監視が義務化されています。しかし、高速で走行する車両からモバイル通信を行う場合、さまざまな外乱要因によってネットワークの品質は大きく変動します。これが映像の途絶や大きな劣化につながり、安定した継続監視に支障をきたします。

このような不安定な状況下でも安定した車両遠隔監視を実施できるよう、次に述べる各種要素技術を組み合わせることで、ロバスト・リアルタイムな情報流通を実現します。本稿では、マルチパスネットワーク制御技術であるマルチパス転送ゲートウェイ (MP転送GW)、ネットワーク品質推定技術であるQIM (Quality Index Map)、および映像制御技術について紹介します。

■MP転送GW

MP転送GW⁽⁴⁾は、デバイス・MEC (Multi-access Edge Computing) 間のユーザトラフィック、および情報処理基盤の制御トラフィックの転送を担っています。MP転送GWは任意のTCP (Transmission Control Protocol)・UDP (User Datagram Protocol)・その他の通信を、標準化中の最新技術であるMPQUIC (Multipath extension for QUIC)⁽⁵⁾のStreamおよびDatagram frameを用いて透過的に転送します(図2)。また複数のネットワークを利用し、ネットワーク品質予測値・実測値を基にしたネットワーク選択をはじめとする、パケット伝送のためのさまざまなネットワーク制御機能を提供します。本技術により、特定のネットワークの品質が劣化した場合でも、低遅延・高信頼なパケット伝送が可能になります。

■QIM

リアルタイムに品質が変動する無線アクセス区間を含むネットワークを利用した情

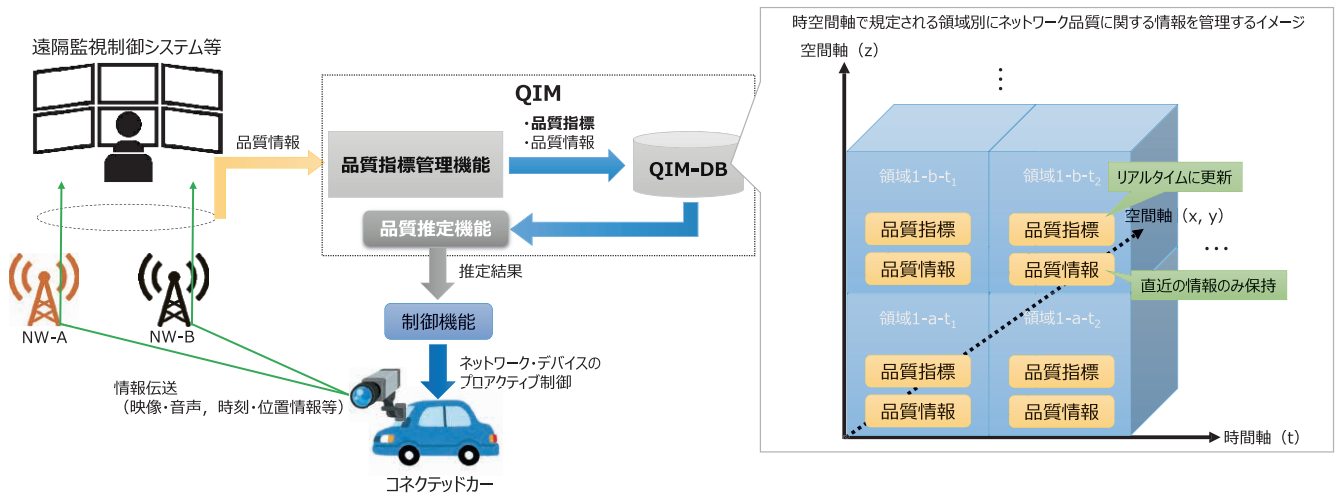


図3 QIMによる予測・制御方式概要

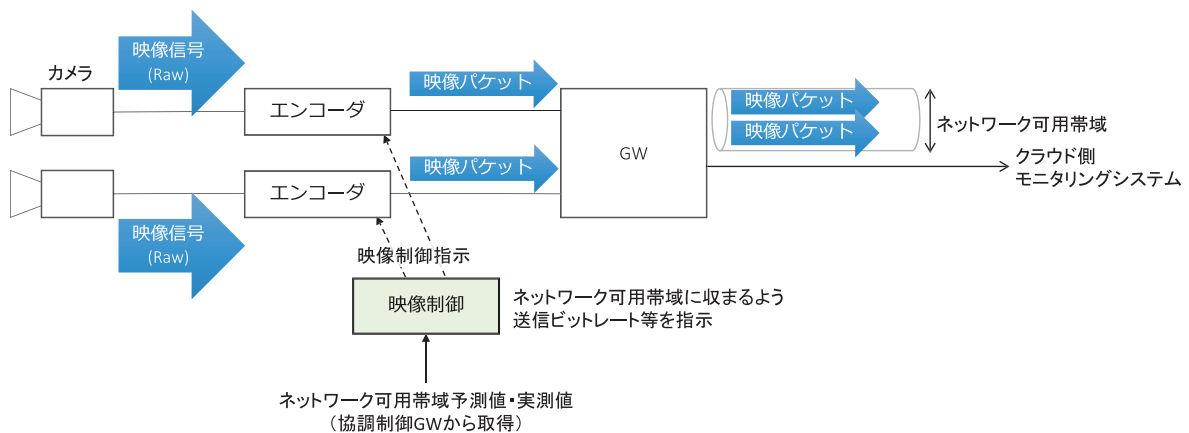


図4 映像制御機能概要

報伝送を安定化させるためには、情報伝送に影響を及ぼすネットワーク品質の著しい劣化を事前に検知し、劣化が実際に発生する前に対処 (MP 転送 GW における利用ネットワーク切替など) を行う必要があります。劣化の事前検知を実現するため、時空間軸で規定される領域別のネットワーク品質特性を確率分布で表現する QIM⁽³⁾ をネットワーク品質推定技術として検討しています。QIM を含むプロアクティブ制御方式のイメージを図 3 に示します。QIM では、サービス (本ユースケースの場合、車両からの映像情報) そのものの情報伝送に基づいてネットワーク品質をパッシブに計測し、品質情報の特徴量化した品質指標をリアルタイムに更新します。これにより、ネットワーク品質特性の変動に対応した、高精度なネットワーク品質推定を可能にします。

■映像制御

映像制御機能は、映像エンコード方法を制御することで、ネットワークの品質 (可用帯域など) の変動に合わせて送出する映像データ量を増減させます。これにより、ネットワーク品質が大幅に劣化した場合にも、多少の映像品質劣化は許容しながらも、ネットワークの可用帯域を超えないよう映像データを送ることで、常に一定遅延以下の途絶のない映像伝送を実現します (図 4)。

映像制御機能は、ネットワーク品質の予測値・実測値を基に、エンコードパラメータを算出する機能と、映像のエンコードを行うエンコーダに対してエンコード方法を指示する、映像制御指示インタフェースを備えます。映像制御機能は、ネットワーク品質予測値を基に、ネットワーク品質が良好な場合は高いビットレートでの映像送

信を指示します。一方、ネットワーク品質が悪く、可用帯域幅が映像送信に必要な帯域幅を下回ることが予測される場合、映像ビットレートを下げるようエンコーダに対して指示します (図 4)。併せて、ネットワーク品質実測値から突発的なネットワーク品質の劣化を検知した場合、即座に映像ビットレートを下げるようエンコーダに対して指示を行います。

このように、映像制御機能はネットワーク品質の予測値・実測値を基に制御を行うことで、可能な限り映像品質は確保しつつ、車両遠隔監視に求められるリアルタイムな映像伝送を実現します。

■要素技術間の協調制御

協調型インフラ基盤は、これまで述べた各種要素技術が緊密に連携・協調することで、車両遠隔監視に求められる、リアルタイム・高信頼・低遅延な映像伝送の実現を



図5 実フィールドでの検証状況

めざします。

MP転送GWは、QIMから取得したネットワーク品質予測値と、MP転送GW自身で取得したネットワーク品質実測値を組み合わせて、ネットワーク品質が大きく変動する環境下においても、遅延の最小化・可用帯域の最大化を両立できるようパケットごとに利用するネットワークの選択を行います。さらに、ネットワーク品質情報を映像制御機能へ連携することで、映像制御側で、その時点におけるネットワーク可用帯域幅におさまるよう映像トラフィック送出量を調整し、映像途絶・遅延増大を防ぎます。

これにより、従来のようにネットワークレイヤ、アプリケーションレイヤの機能がそれぞれ独立に動作するのではなく、異なるレイヤの機能が協調して動作できるようにすることで、安定した映像伝送系の実現を可能としています。

協調型インフラ基盤は、これらの要素技術（付加価値機能群）との連携・協調を、協調制御GWを介して汎用的に実現する手段をCPSサービス側に提供することで、さまざまなユースケースにおける制御系の実現を可能とします。

実フィールドでの検証

自動運転車両への導入に向けて、協調型インフラ基盤が自動運転の車両遠隔監視に対して効果があることを確認するため、公道で車両を走行させて検証を行っています。

検証の様様を図5に示します。車両遠隔監視を想定し、車両内部にカメラ、エンコーダと協調型インフラ基盤車両側コンポーネ

ントを搭載し、特定のエリアを走行させます（図5(a)）。車両側で取得した映像は、リアルタイムに遠隔管制システム側に伝送・投影されます（図5(b)）。

検証では、協調型インフラ基盤技術が適用されていない場合、走行位置や時間帯によって頻繁な長時間途絶が発生しているところ、協調型インフラ基盤技術を適用した場合には改善されていることを確認しています。これからも継続して検証を進め、実フィールドにおける課題を抽出し、さらなる機能改善を進めています。

今後の展開

本稿では、ミッションクリティカルなCPSサービスの社会実装促進に向け取り組んでいる、協調型インフラ基盤の概要、および自動運転遠隔監視を実現するための各種要素技術および実証の状況について紹介しました。

今後は、自動運転に限らず高信頼な無線通信を必要とするさまざまなユースケース（スマートファクトリーや、異種デバイス（ドローン等）連携・協調によるスマート農業高度化など）への適用と、要素技術のさらなる確立を進めていきます。

参考文献

- (1) 桑原・石橋・川上・益谷・山本・安川：“ミッションクリティカルなサービス提供を可能とする協調型インフラ基盤,” NTT技術ジャーナル, Vol. 33, No. 8, pp. 29-33, 2021.
- (2) 石橋・SAHA・森田・前田・河村・野口：“遠隔監視・圃場間移動可能なレベル3ロボット農機の実現に向けて,” 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J106-C, No. 4, pp. 154-162, 2022.
- (3) 小野・河野・笛木・東條：“NW品質特性を

表現する確率分布に基づく品質推定方式の検討,” 信学技報, Vol. 124, No. 106, NS2024-72, pp. 152-157, 2024.

- (4) 岩澤・徳永・小松・東條：“V2N通信安定化に向けたMPQUICゲートウェイの提案,” 信学ソナタ, B-6-17, 2023.
- (5) Y. Liu, Y. Ma, Q. De Coninck, O. Bonaventure, C. Huitema, and M. Kuehlewind: “Multipath Extension for QUIC,” IETF Internet-Draft draft-ietf-quick-multipath-04, March 2023.



(左から) 東 信博 / 小野 孝太郎 / 鏑木 拓磨 / 河野 太一 / 東條 琢也 / 桑原 健

各種社会課題の解決に向けた、ミッションクリティカルなCPSサービスの社会実装を促進する基盤として、引き続き協調型インフラ基盤の研究開発を進めていきます。

◆問い合わせ先

NTTネットワークサービスシステム研究所
ネットワーク基盤技術研究プロジェクト
TEL 0422-59-3333
E-mail cip-exp@ntt.com

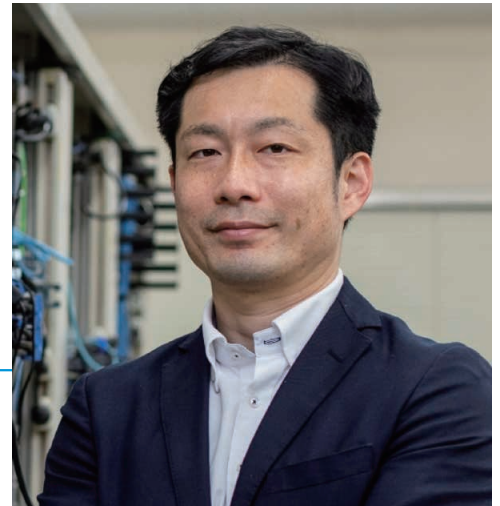


主役登場

インクルーシブコアの アーキテクチャ実現に向けて

馬場 宏基 Hiroki Baba

NTTネットワークサービスシステム研究所
主任研究員



2020年以降サービスを開始した5G（第5世代移動通信システム）に代表されるように移動通信、固定通信を問わずネットワークインフラは世代を経るごとに進化・発展してきました。私自身も利用者として体感してきましたが、携帯電話の登場以降、通信速度やつながりやすさが向上し、電話からインターネット、動画、IoT（Internet of Things）へと適用範囲も広がり、今となっては社会基盤として生活・仕事に欠かすことができない基盤になっています。

ネットワークインフラは、世代で表現されることに象徴されるように、数年～10年で大きな進化をしてきています。私が担当するネットワークアーキテクチャの研究開発では、次世代のネットワークの理想像の策定とその実現を支える技術確立の検討を中心に、アーキテクチャの実現に向け以下に取り組んでいます。

- 社会や経済情勢、通信事業を取り巻く市場・技術動向や、既存のアーキテクチャの課題から、ビジョンやコンセプトを具体化
- 実現に必要な技術要素を研究開発要素も含めて特定し、全体のネットワークの基本構成を検討
- インタフェース・プロトコル、パラメータなどシステム構成を検討、さらに実証実験などを繰り返しながら技術群の統合のフィジビリティを検証してドキュメント化することでリファレンスを確立
- 最終的に確立した各技術の実装や商用開発品・市中製品などを組み合わせ、開発・トライアルを通じて商用化に向けて商用レベルまで完成度を向上

これらの取り組みは、NTTグループ内で連携することはもちろん、多くのプレイヤーとの協調が求められるため、アーキテクチャの標準化、要素技術の確立や市中製品との連携など、世界のオペレータや通信装置ベンダ等と連携して進めています。私はNTTに入社してからアーキテクチャの研究開発を経験し、事業会社で技術導入を経験してきました。その過程で、アーキテクチャの研究開発から商用導入までの流れを体感し、技術領域の広さ・深さ・情勢の変化への対応など大変なこともありますが、さまざまな機関・企業・大学との連携・議論を通じた検討の深みを知ることができました。現在では、将来の技術発展・事業運営・社会基盤となるネットワークの将来像を担っているという位置付けから重要なテーマと考えるようになりました。

NTTグループでは5G Evolution & 6G（第6世代移動通信システム）powered by IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）の1つの取り組みとして、本特集で紹介したインクルーシブコアのアーキテクチャの確立・実現に向けて取り組んでいます。具体的には、通信ネットワークに計算機能を持たせる“In-Network Computing（INC）”を実現するISAP（In-network Service Acceleration Platform）を中心とした技術開発に取り組んでいます。INCでは、これまでデータを運ぶだけの役割だったネットワークにデータ処理能力を持たせることで、クラウドやエッジコンピューティングの基盤では困難だった端末の処理能力の補完をネットワークが担い、端末スペック以

上のデータ処理を実現することが期待できます。大容量・高速かつ安定したデータ送受信を実現しながら同時にデータを解析・変換するなど、端末とクラウド・エッジコンピューティングのデータのやり取りを仲立ちすることで全体としての処理を高速化します。これは、サイバーフィジカル融合やAI（人工知能）が融合したコミュニケーションなどで求められる、端末からクラウドサーバまで情報や処理を同期するかたちのシステムを構成する際に、大容量データを低遅延で共有しながら処理することを支援するものです。

INCはNTTだけでなく、世界の6Gに関する業界団体や通信事業者、装置メーカーでも検討されており、近年コンセプトの提案だけでなく具体的なユースケースの議論が始まりつつあります。その中で、私たちはINCを6Gアーキテクチャの構成要素として確立すべく、標準化への提案やNTTのISAP技術を用いた実証実験を実施し2023年度世界最大のモバイル業界の展示会 Mobile World Congressなどで紹介しました。これらの結果は国内外から非常に注目され、通信事業者や装置メーカー、クラウド事業者など多くの関係者より問い合わせを受け反響の大きさを実感しました。今後もパートナーの皆様と連携し、2030年代の共通アーキテクチャとして確立すべく、実証実験の実施、標準化への貢献を通じて技術開発を加速するとともに、NTTのインクルーシブコアのアーキテクチャの発展普及やISAP技術を次世代のネットワークの共通基盤となる主要構成技術として実現すべく研究開発を進めていきたいと思っております。

宇宙ビジネスブランド「NTT C89」で推進する NTTグループの取り組み

2024年6月3日にNTTグループ各社は宇宙ビジネスの新ブランド「NTT C89」（エヌ・ティ・ティ シー・エイティ・ナイン）を立ち上げました。本稿では、NTT C89の立ち上げ背景、NTT C89に込められた想い、また、NTT C89の下、NTTグループ各社が注力して取り組む宇宙ビジネスの領域と研究開発について紹介します。

キーワード：#NTT C89, #宇宙ビジネス, #GEO/LEO/HAPS

えいなが みちこ きむら ごろう
榮永 道子 / 木村 吾郎
 はやし たかふみ ふなばし ひろなお
林 崇文 / 舟橋 宏直
 いしまる ゆうこ
石丸 佑子

NTTアライアンス部門

宇宙ビジネスのブランド「NTT C89」の始動 ～未来に、新しい星座を～

2024年6月3日、NTTグループ各社の宇宙ビジネスの新ブランド「NTT C89」（エヌ・ティ・ティ シー・エイティ・ナイン）を立ち上げました（図1）。宇宙技術の発展による打ち上げコストの低減や、未知領域の探索、人の滞在、資源開発等をはじめとした月への興味関心の拡大など、近年の宇宙技術・市場の高まりを背景として、宇宙ビジネスに参入する企業は増えています。現在の宇宙ビジネスはインターネットの黎明期と似ており、今日ではどのビジネスでもインターネットが使われているように、宇宙技術もさまざまな用途で使われる“身近な”存在になってきています。宇宙ビジネスの市場規模は2040年には150兆円近くに拡大すると予測されています。また、10年で総額1兆円規模の「宇宙戦略基金」が

創設され、国内の宇宙ビジネスの活性化が後押しされており、宇宙ビジネスを取り巻く環境は変曲点を迎えています。NTTグループ各社ではこのような環境を踏まえ、本タイミングで「NTT C89」を発表しました⁽¹⁾。

「NTT C89」の“C”はConstellation（星座）を意味しており、「NTT C89」はNTTグループ各社が「新たに89個目の星座をつくっていく」という想いを表しています。Constellationは、季節や時間を計るといったように、今も昔も人類にとって進むべき道を教えてくれる“道標”のような役割です。天文学に用いられる星座は88個存在していますが、NTTグループ各社の事業やソリューションの1つひとつの取り組みを星ととらえ、それらを有機的につなげることで、現代における89個目の新しい星座となることで、日本の宇宙ビジネスの発展に貢献していきたいと考えています。

宇宙ビジネスにおいて注力する領域

2021年にスカパーJSAT株式会社との宇宙事業に関する業務提携の際に発表した“宇宙統合コンピューティング・ネットワーク”の実現に向け、NTTグループ各社は“自社の技術的な強みを活かし自前化をめざす領域”と、“新たな技術開発を行いつつパートナーとの連携でサービス化を加速する領域”を戦略的に分け、それぞれの領域において市場創造・拡大を牽引する事業開発と技術開発の両方を実行しています（図2）。

■自社の技術的な強みを活かし自前化をめざす領域

(1) GEO衛星

赤道上空3万6000kmを1日で周回する軌道上にあり、GEO (Geostationary Orbit satellite) 衛星が周回する速度と地球が自転する速度が一致することから、地球から見ると衛星がいつも同じ場所に位置します。GEO衛星においては、衛星電話・データ通信サービスとして“ワイドスター”をNTTドコモが1996年より提供しています。また、低軌道を周回する観測LEO (Low Earth Orbit satellite) 衛星事業者が撮影したデータをGEO衛星経由で地上に光通信でリアルタイムに高速伝送する“光データリレーサービス”をSpace Compassが開発しています。観測LEO衛星は90分で地球を1周しますが、高速で移動しているため90分の周回時間のうち数分程度しか地上にデータを伝送するチャンスがありません。そのため撮影タイミングと地上に撮影した情報を下ろすタイミングにタイムラグが発生するのが課題です。この課題を解決



図1 NTT C89のロゴ



図2 宇宙統合コンピューティング・ネットワーク構想の実現

デジタルツイン技術を活用した世界のデジタル3D化に着目。衛星観測データの高度化により、3次元から準リアルタイム(4次元)での国土の管理、リスクの予測や対処計画の最適化が実現可能。

デジタルツインの活用領域

デジタルツインの規模・程度 より狭く person group town city nation globe space より広く	能力拡張 知的業務・技能を強化する能力拡張や、自律的に学習・成長するデジタルツインとの協働を実現	時間を超えた人知活用 多様な属性や専門性を掛け合わせ、自律的な意思形成やリアルタイム判断に活用	人流・交通流の最適制御 空間と時間の4次元性を活用した人流・交通流の制御・予測、リアルタイムで組み合わせた道路・渋滞の最適化を実現	未来都市のデザイン 高精度の地形・気象観測データによる都市計画・設計、リアルタイムで試行・予測した新たな街づくりの実現
意思決定 さまざまな自治体の行政・事業を統合し、意思決定に活用	医療健康 生活・エンタテインメント・スポーツ・健康による個別化・予防的医療の高度な行動変容に活用	都市エネルギー計画 都市レベルでのリアルタイムなエネルギー・インフラ・交通・ガスの最適化の高度な予測・高度な利用を実現	地球規模のデジタル再現 地球全体の地形・気象観測データをデジタル化し、高精度の気象・環境予測・対策し、持続可能な街づくりを実現	

衛星観測データは幅広い領域で活用が期待されている

AW3D (全世界デジタル3D地図) における利用例

スマートシティ (予測・分析シミュレーション)

地形起伏、建物、樹木を考慮した場合の風速分布

5G基地局の無線ネットワーク設計 (電波伝搬シミュレーション)

防災 (災害シミュレーション, 防災計画立案)

実際に即した災害シミュレーション (浸水シミュレーション, 地盤沈下予測)

被災時の土砂災害予測

デジタルツイン拡大を見据え、衛星観測データで、4次元デジタル地図の基盤整備をめざす

図3 4次元デジタル地図の基盤整備

するため、LEO衛星とGEO衛星間、そしてGEO衛星と地上間の通信には光レーザーを用い、GEO衛星を経由し地上にデータを大容量、かつ高速にリアルタイムに伝送する仕組みを今後提供していきます。

(2) 観測LEO衛星

観測LEO衛星は、高度2000 km以下の軌道を周回する低軌道衛星です。NTTデータでは、観測LEO衛星事業者が撮影する観測データを3Dの地図に変換する「AW3D®」を2014年より提供しています。AW3D®は、世界で初めて2.5 m解像度の細かさで地球上のすべての陸地の起伏を表現しており、さらに都市部では最高0.5 m

解像度の3Dデータの提供も可能です。アジアやアフリカをはじめとする新興国での地図整備や防災対策、電力分野の発電計画、資源分野の鉱区探索、衛生分野における疫病の感染拡大の対策、都市計画や設備計画など、幅広い分野で活用することができ、世界130カ国以上で、4000プロジェクト以上の実績があります。

世界のさまざまな課題解決において衛星データの活用は今後ますますニーズが高まっていくと予測されていますが、最近では都市の設計、インフラ設備の監視・管理、防災等における予測・最適化などデジタルツインのニーズも高まっています。NTTデー

タではデジタルツイン技術を活用した従来の3次元デジタル地図から、衛星観測データの高度化により準リアルタイム(4次元)での国土の管理、リスクの予測や対処計画の最適化等を可能とする4次元デジタル地図の基盤整備をめざしています(図3)。また、観測LEO衛星事業者が撮影する観測データ利用よりも柔軟な事業展開をめざし、より高頻度かつ高精度な撮影が可能な観測衛星システムを整備し、衛星画像提供から利用者の判断支援までワンストップで提供できる仕組みを構築していきます。これに伴い、2024年7月1日に「Marble Visions」の設立を発表しました⁽²⁾。

(3) HAPS

HAPS (High Altitude Platform Station) は、地上から約20 km上空の偏西風や大気の大気の影響が少ない成層圏を数カ月にかけて飛行し、通信・観測サービス等の提供を行う無人飛行体です。NTTドコモ、Space Compassは2022年からエアバス子会社であるAALTO社とHAPSの技術実証に取り組んできました。AALTO社は、10年以上の研究開発フェーズを経て、HAPSの早期の商用提供をめざしています。AALTO社の開発するHAPS“Zephyr”は、無人飛行体として世界最長となる64日間のフライト記録を持ち、世界でもっとも実用化に近いと評価されています。NTTドコモ、Space CompassはAALTO社、エアバス社と早期商用化を目的とした資本業務提携に合意したことを、2024年6月3日に発表しました⁽³⁾。まずは日本において2026年にサービス提供し、アジアを中心としたグローバル展開をめざしていきます。

HAPSを用いた通信サービスの提供エリアとしては、都市部、郊外、山間部、海・空の4つに大別できます。NTTドコモが地上の基地局を配備してきたのは、主に都市部や郊外エリアでしたが、山間部や海などのエリアに提供するためには、鉄塔や光ファイバ、電話回線の設置に多額の費用を要することが課題でした。人口カバー率は99.9%以上でカバーできていますが、国土全体や領域などを含めると、通信ができないエリアはまだ多くあります。HAPSを用いることで、山間部や海など、地上基地局

の設置が困難な地域でも高速通信が可能になります。こうして通信エリアを拡大することで、地上ネットワークが災害を受けた場合には非常通信用途としても有用です。登山客の遭難救助などでも活躍するでしょう。また、長期にわたり船舶業務に従事している方にとっては、通信が確保されればエンタテインメントの提供などの余暇にも活用することが可能です。

■ 新たな技術開発を行いつつパートナーとの連携でサービス化を加速する領域

(4) 通信LEO衛星

通信LEO衛星は、観測LEO衛星と同様、高度2000 km以下の軌道を周回する低軌道衛星となり、GEO衛星と比較すると高度が低いことから高速・低遅延の通信が可能となります。2023年より、Starlinkを活用した衛星ブロードバンドインターネットサービスが提供されています。Starlinkを活用し、能登半島地震に伴う被災地支援や通信復旧への活用のほか、メッシュWi-Fiや映像伝送など、その他のさまざまなソリューションと複合的に組み合わせることで幅広い業界の課題解決に貢献していますが、その1つのソリューションとしてARAV株式会社と協業し、建設機械の遠隔操縦・自動化ソリューションを提供しています。これにより、山間部や災害地域などの通信環境構築が困難な場所における現場作業の遠隔操縦・自動化を可能とし、また建設業界の人手不足解消や安全対策にも貢献できます。

また、NTT、NTTドコモ、NTTコミュニ

ケーションズ、スカパーJSATは、Amazonが提供する低軌道衛星ブロードバンドネットワーク「Project Kuiper」と2023年に戦略的協業に合意し、より広範囲かつ深いビジネス連携を検討しています⁽⁴⁾。衛星ブロードバンド通信サービスに加えて、クラウドサービスなどと組み合わせた付加価値の高いサービス提供や、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 技術によるさらなる高度化を考えています。

NTTグループ各社はGEO/LEO/HAPSとサービスは独立され提供しているものですが、地上ネットワークと非地上ネットワークを融合し最適な手段・経路をお客さまに意識させることなく選択し、快適な通信を提供していきます。また、震災などの災害対策はもちろんのこと、農業、林業、インフラ関連などさまざまな産業の方々に宇宙関連のサービスをご利用いただき、課題解決に役立て、より宇宙を身近な存在にしていきます。

能登半島地震における被災地支援

2024年1月1日に能登半島を中心とする地震が発生したことは記憶に新しいところです。NTTグループでは被災地支援として、さまざまな宇宙関連のサービスをトータルで提供しました(図4)。衛星インフラとして、NTTドコモとNTTコミュニケーションズからStarlink、およびワイドスターを提供しました。また、NTT西日本が提供するポータブル衛星通信システムを設置す



図4 能登半島地震における被災地支援

NTTアクセスサービスシステム研究所
 上席特別研究員

鷹取 泰司 Yasushi Takatori

あらゆる経験をポジティブにとらえて研究者のWell-beingを向上させつつ、無線技術と光と無線の連携技術を実用化してIOWNを実現

電波は、通信だけではなく、放送、レーダ、天体観測、家電等さまざまな分野で利用されていますが、干渉等電波独特の性質から利用できる周波数が用途別に決められている有限の資源です。通信においては急速に高速大容量化が進む中、電波の通信利用においても既存資源の有効活用や新たな資源開拓が必要になっており、光と無線を要素技術としたIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 実現に向けてこれは急務ともなっていると同時に、光と無線の2つの要素の連携についても重要な技術となっています。こうした、既存資源の有効活用と新たな資源開拓、そして光と無線の連携技術に挑む、NTTアクセスサービスシステム研究所 鷹取泰司上席特別研究員に、資源開拓のアプローチ、実用化研究の成果を世の中に出していくための要素、あらゆる経験をポジティブにとらえて強い研究を推進していくための思いを伺いました。



挑戦する
 研究者たち

IOWNに向けた電波資源の有効活用と開拓、そして光と無線の連携

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。

刻々と変化する無線環境下で、あらゆるものを連動させ、多様なユーザやサービスのエクストリームな要件（超大容量・超高信頼・超低遅延等）に対応するネットワークサービスを提供する「エクストリームNaaS (Network as a Service)」(図1)の実現に向けて、ポテンシャルをさらに拡大するための「無線アクセスの高度化技術」、ポテンシャルを最大活用するために環境に追従するネットワーク提供をめざす「マルチ無線プロアクティブ制御技術 (Cradio®)」の2テーマに取り組んでいます。

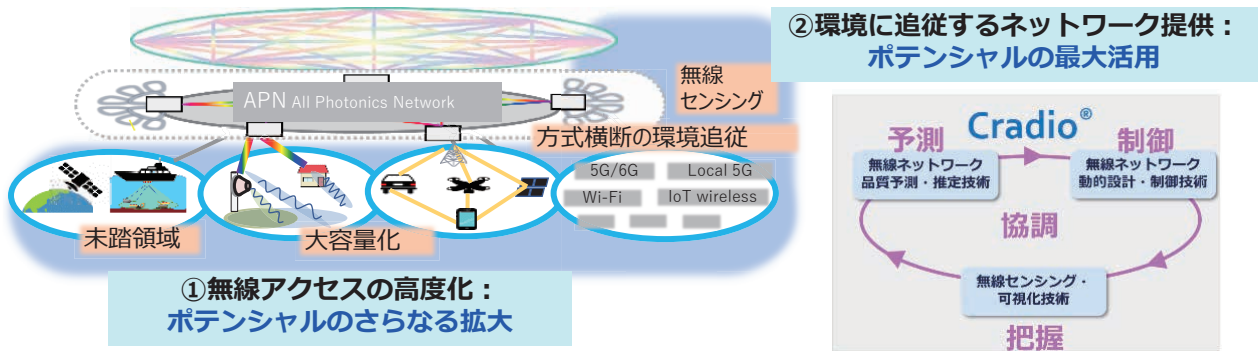
「エクストリームNaaS」の背景として、あらゆるものが連動できるようにすることで、さまざまな協力により新たな価値創造が次々と生まれてくる世界をめざしており、そのためには、いつでも、どこでも、どんなものでも、適切につながっていくことが必要となります。その要素となる無線領域をどのように革新させていけばよいかということが、テーマの柱です。これまでは、光のネットワークと無線のネットワークとも別々に進化してきたため、品

質も大きく異なるものとなっていました。これからは光と無線と両方を合わせて通信品質を考えていく必要があります。これをIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) で実現していくことをめざしています。これを実現する手段として、「エクストリームNaaS」があり、無線通信の信頼性、速度とも飛躍的な向上が必要になるため、この2つのテーマに取り組んでいます。

高周波数帯技術とはどのような技術でしょうか。

電波は、通信だけではなく、放送、レーダ、天体観測など多様な用途がありますが、その中で通信に活用できる周波数を拡大していくことが重要な課題となっています。これを実現するために、誰も使っていないより高い周波数の開拓・利用（高周波数帯技術）と、複数無線システムでの周波数共有の2つが重要なアプローチと考えています(図2)。

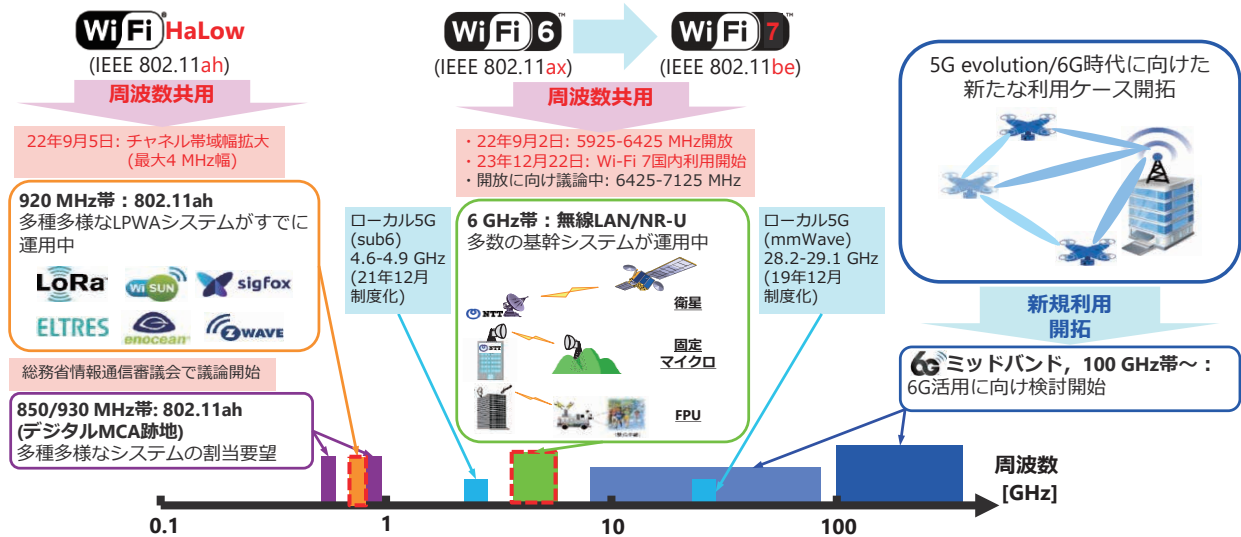
高周波数帯技術について、6G（第6世代移動通信システム）時代の「超高速・大容量」通信の実現に向け、飛躍的に広大な帯域幅の確保が可能となる100 GHz以上の周波数の活用が目まぐるしく進んでいます。一方で、電波は周波数が高くなると反射や回折による損失が大きくなり、また壁面の微小な凹凸による散乱の影響等が発生し、伝搬特性がより複雑なものとなります。そのため、高周



NaaS : Network as a Service

お客さまが必要な無線アクセスなどのネットワークをサービスとして提供

図1 エクストリームNaaS



※図に記載の商品名、会社名は各社、各団体の商標または登録商標です。記載時にはTM、®マークを付記していない場合があります。

図2 無線周波数の開拓

波数帯を利用するためには、実際の電波伝搬の測定実験を行いつつながら電波伝搬特性を見極めて、その活用形態を検討していく必要があります。そこで、世界に先駆けて屋外市街地環境において実際に電波を送出して、300 GHzまでの電波伝搬特性のモデル化への検討を開始しました(図3)。こうした実験を一つひとつ積み重ねて、どのようなかたちで高周波数帯が使えるようになるかというところを解明しています。さらに、こうした結果を、ITU-R (International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector) などの国際標準化機関や、Beyond 5G推進コンソーシアムのホワイトペーパーへ寄与、貢

献しています。

周波数共用については、無線LAN関連で、これまでの2.4 GHzと5 GHzの2つの周波数帯に加えて、衛星通信や固定マイクロ波通信、TV放送用の無線中継等に用いられている6 GHz帯を新たに使えるようにする制度改正に向けた検討に貢献しています。2022年からは5.925 GHzから6.425 GHzの周波数帯での無線LAN利用が開始されています。現在もこの周波数帯での無線LANの利用拡大に向けた検討に取り組んでいます。同様に、LPWA (Low Power Wide Area) で利用されている920 MHz帯をはじめとする、いわゆるプラチナバンドと呼ばれる1 GHz以下周波数帯に

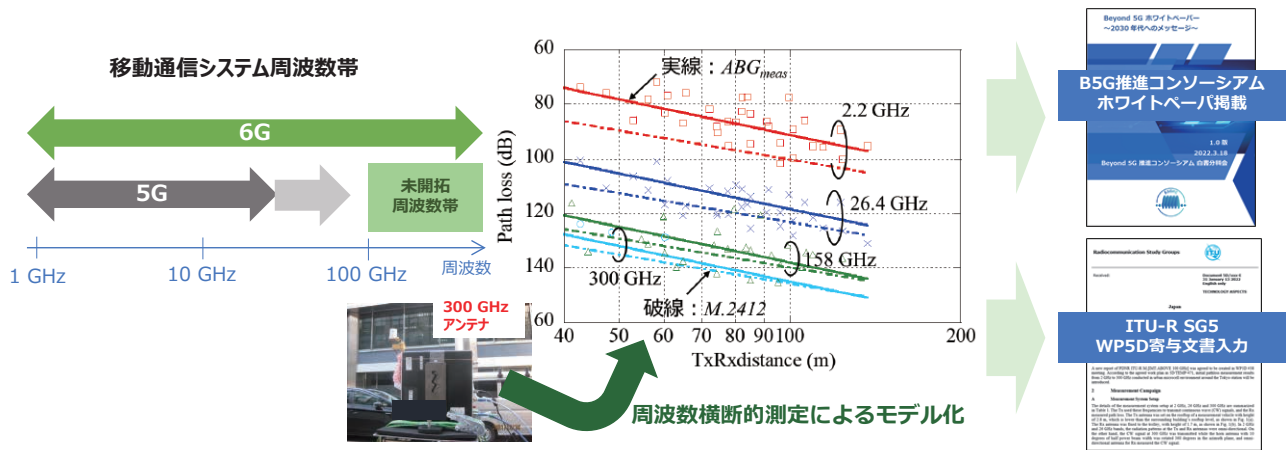


図3 新規周波数帯の開拓 (>100 GHz帯)

においても、新しいIoT (Internet of Things) 向け無線LANが利用できるように制度改正への貢献をしてきました (図2)。

さらなる周波数共用を進めていくために、現在注目されているのがAFC (Automated Frequency Coordination) と呼ばれる技術です。これは、無線LANを利用する場所に依りて、利用できる周波数を適切に選択できるようにし、同じ周波数帯で運用されている他の無線システムに対して有害な干渉影響が発生しないように周波数を運用する技術です。現在その導入に向けた検討を総務省等で進めているところであり、私たちも新たな周波数共用の仕組みを実現できるように貢献をしています。

新たな無線技術を世の中に出していくためには、無線機器の普及や無線のサービス化に加えて周波数割当て等の制度も深く関連してきます。周波数の割当てについては用途を含めて、ITU-RやWRC (World Radiocommunication Conference) において決められる国際ルールと、国内での運用に向けて総務省が設置する各種委員会等において検討される国内制度化の両方に取り組む必要があります。こういった取り組みに対して積極的に貢献を行っています。機器の普及については、3GPP (Third Generation Partnership Project), Wi-Fi AllianceあるいはIEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 等における標準化活動をとらして業界全体で普及のビジョンを描いていくということも必要です。そうした制度化や標準化をふまえ、NTTグループならではのサービスを創出していくことも大切です。私たちは、こうした研究開発、制度への対応、機器の普及、サービス化といった要素について、自動車の4輪を回すように調和しながら活動しています。

Cradio® × 低遅延FDNはどのような技術でしょうか。

光無線連携制御技術です。マルチ無線プロアクティブ制御技術「Cradio®」と、ネットワークの伝送時間とエッジコンピューティングの処理時間をトータルで監視し、サービス要件に応じて遅延等の品質をエンド・ツー・エンドで常に低遅延・低ジッタな状態に保ち、サービスを持続かつ安定的に提供する技術「低遅延FDN」による拡張連携インタフェース (Extended Cooperative Transport Interface : eCTI) を介した無線と光のリアルタイム制御技術で、低遅延かつ安定性の高いネットワークサービスの提供が可能となります (図4)。

この技術については、工場内無線環境を想定したWi-FiアクセスポイントとIOWN APN (All-Photonics Network) 回線を接続し、Wi-Fiアクセスポイント配下の無線端末とクラウドサーバ間で通信する環境を構築し、無線利用状況を把握するCradio®機能を実装した無線コントローラと、IOWN APN回線のリアルタイム切り替えを行う光コントローラを、eCTIを介して連携させることで、以下の2つの実証実験を2024年5月に行いました (図5)。

- ① ユーザ指示に基づく、用途に応じた無線+光連携実証：工場において、各プロセスのビッグデータ収集作業から遠隔ロボット操作作業への切替を想定し、それぞれの作業における性能要件に合わせ、使用するWi-Fiアクセスポイントと接続先クラウドサーバへの光パスを同時に切り替える実験を行い、連携動作が完了することを実証しました。
- ② 無線利用状況に基づく、接続ユーザ端末数に応じた無線+光連携実証：工場において、接続されるユーザ端末数を検知し、その情報に基づき自動で接続先クラウドサーバへの光パスを切り替える実験を行い、100 ms程度で連携動作が完了

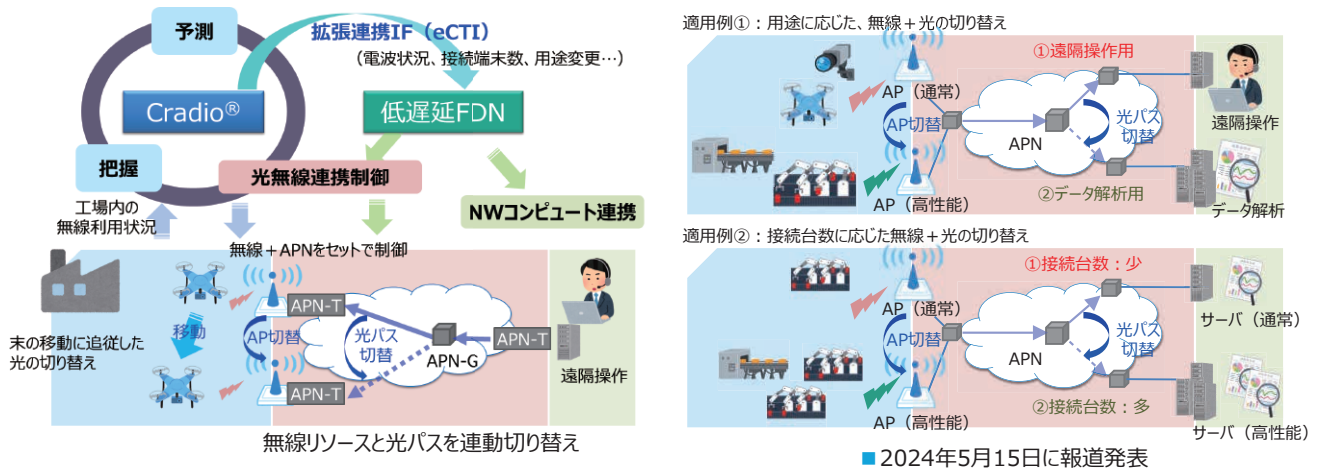


図4 つながり続けるネットワークを実現する Cradio® × 低遅延 FDN

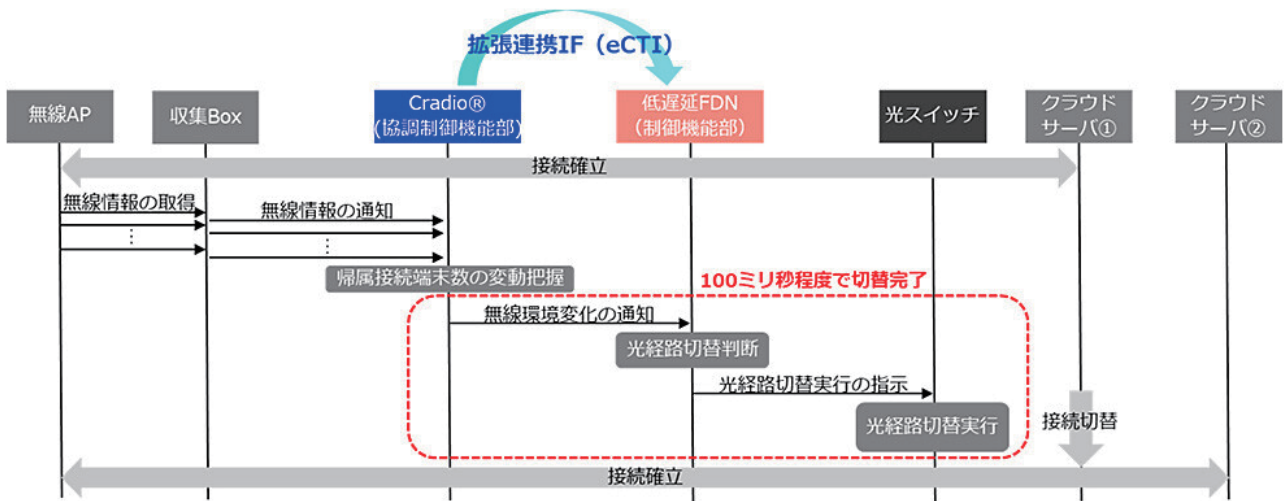


図5 実証実験における光無線連携制御動作シーケンス

することを実証しました。

この技術は Wi-Fi やローカル 5G などの自営系無線に加え、Beyond 5G/6G などのセルラ系システムにも応用可能です。今後は、さまざまな無線システムと IOWN APN の連携動作、各種利用シーンを想定した実証実験を進め、IOWN APN と自営系無線を組み合わせたトータルネットワークソリューションビジネスの展開への貢献をめざします。

研究開発，制度への対応，機器の普及，サービス化を調和させながら成果を世の中に出す

研究者として心掛けていることを教えてください。

私たちの研究は実用化研究なので、成果が世の中に出ていくようにしていくにはどうしたらいいのかということ、常に全体で考えていくことが大事だと思っています。その意味で、前述のとおり、私たちは、研究開発、制度への対応、機器の普及、サービ

ス化といった要素について、自動車の4輪を回すように調和しながら活動しています。

さて、以前、標準化の活動の中で、複数の無線LANのアクセスポイントが連携して干渉をうまく抑えて通信するような仕組みを検討し、それを実装していく提案をしたのですが、技術を商品の中で実装して世の中への展開を考えた場合に、多くのベンダから賛同が得られずに、残念ながら不採用になったという経験があります。一方、現在取り組んでいる次世代無線LANの標準化では、複数の無線LANのアクセスポイントが連携する、Multi-AP Coordinationという技術が1つの重要技術領域と設定されて議論が進んでいます。技術だけができた状態ではなく、装置開発のノウハウをはじめとする、商用化までたどり着くのに必要な各社の機運の高まりと合ったときに、本当に技術が展開できるタイミングが来て、世の中に出ていくということを実感しました。こうした経験もあり、現在、802.11ah推進協議会という、通信キャリア、メーカー・Sler、学術団体他168社・団体（2024年3月21日現在）から構成される団体で、副会長としてIEEE802.11ahの日本国内での利用実現に向けた業界横断での仲間づくりを行い、制度化や標準化を牽引し完了させることに成功しました。自分たちの見えている範囲だけで何かやろうとすると、新しいことはなかなかできないので、さまざまな人の知恵をお借りしながら、結び付きながら、より大きな枠組みで新しい価値をつくっていくことが大事だと感じています。

そして、実験室の中で技術検討をしているだけではこういった経験をすることはできませんし、特に電波の場合はアンテナの設置や実際の環境による影響もあり、現場でなければ分からないことも多々あるので、リアルなところに触れていかないと、突破口を見出すことは困難になります。

こうした考え方や経験を踏まえて、私は研究開発のアプローチを次のように考えて、テーマ設定、研究開発活動に取り組んでいます。

1つは無線リソースの新たなフロンティアの設定です。無線技術は時間、空間、周波数といったリソースを活用するものとして研究開発が進められてきました。ただし、信頼性の高い無線システム設計においては、無線環境の変動や干渉等を避けるために、未確定な変動要素に対して各種のマージンを積み重ねています。もし無線環境の変動確率を適切に予測することができるのであれば、マージンを極限にまで削減していくことが可能となり、より多くの無線トラフィックを効率的に収容していくことができます。そこで、現在未確定な変動要素として設定されているマージンを新たな第4のリソースに変換する研究アプローチを提案しています。無線品質の予測精度を高め、予測結果を動的に無線制御に反映させていくリソースマネジメントができれば、飛躍的な周波数

利用効率の向上が実現できると考えています。

もう1つは無線領域の研究開発と他領域の連携です。無線技術の専門の枠から一步外に出て、外の人たちと一緒に新たな領域を組み合わせて、新しい技術をつくり出していけるかというところにもチャレンジしていくことが必要と考えます。さらに新たな技術領域だけでなく、無線システムの外側にあるさまざまなアプリケーションとの連動も、もう1つの新たなアプローチととらえています。無線の送信機と受信機の間だけを最適化するのでは、アプリケーションの要求品質をみとることができません。IOWN時代ではさまざまなデータベースや、コンピューティングリソースがリアルタイムに連動していきます。そうした連動をも考慮したアプリケーションとのタイトな連動により、無線システムの価値を新たなステージに引き上げることができると考えています。

後進の研究者へのメッセージをお願いします。

最近研究者のWell-beingに関心があります。私はNTTの研究所に入所して約30年たちましたが、研究開発を行っていく中で、調子の良いとき・悪いときは必ずあります。うまくいかないときは、ずっとうまくいかないのではないかとこの気持ちになるときもありましたが、逆に、その経験が活かされてより大きな成功につながるようなこともたくさんありました。ポジティブに考えて、うまくいっていない状況に直面した場合でも、いつかは必ず大きな価値につながる経験だと受け止めながら、最終的により大きな成果を見い出せるように、研究開発を進めていくということが大事だと思います。すべての研究者があらゆる場面でそのように考えることは難しいと思いますが、こうしたポジティブな考え方でとらえていけるよう、一緒に研究開発するメンバー全員でフォローしていくことができれば、チャレンジ性の高い研究開発チームをつくっていくことができると思います。

話は変わりますが、海外における科学技術の大型プロジェクトのニュースを見ていたとき、大型プロジェクトがうまくいかなかったにもかかわらず、かかわったプロジェクトの責任者やメンバーが失敗を次のステップに向けた知見を得る機会になったと、ものすごくポジティブにとらえて発言していることに驚きました。国内の研究開発で、そのように反応することはなかなか難しいのではないかと思います。

うまくいかないことも含めたあらゆる経験をポジティブに受け止め、それをどのように次の成功につなげるか、担当者だけでなく周囲の研究者も一緒に考え、新たな道筋をつくっていくことが大切だと思います。そして、それが研究者のWell-being向上につながっていくのではないのでしょうか。



NTTコミュニケーション科学基礎研究所
特別研究員

藤原 靖宏 Yasuhiro Fujiwara

迫り来る大規模データ時代に必要な 「高速かつ正確なデータ分析基盤」

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想の構成要素であるオールフォトニクス・ネットワークでは多くの大規模データを集める未来が描かれています。低遅延のオールフォトニクス・ネットワーク上では計算リソースやデータが手元になくとも高速にアクセスできればユーザが必要な知識や情報を取得できるようになります。データ分析を高速に実現するため、近似解ではなく正確なデータの分析を取り組む藤原特別研究員から、研究の軸として変化しない部分と、柔軟に外部環境を研究して取り組む部分についてお話を伺いました。

◆PROFILE：2001年早稲田大学理工学部電気電子情報工学科卒業。2003年早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年、日本電信電話株式会社入社。2011年東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻博士課程修了。博士（情報理工学）。データ工学、データマイニング、人工知能などの研究開発に従事。平成29年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞、電気通信普及財団第27回テレコムシステム技術賞、情報処理学会2015年度長尾真記念特別賞など受賞。



データベース×機械学習：高速かつ正確な 大規模データ分析基盤のための研究

■今行われている研究を始めるまでの経緯を教えてください。

私は現在「大規模データに対する高速データ分析基盤」という、データベースを軸とした研究を進めています。

自身の研究についてさかのぼると20年ほど前にデータベースの研究チームに入り、多くのデータの中からユーザの好みに基づいた情報の提示や、ユーザの指定した検索条件に近いデータを探すなど、データ内容を分かりやすくかつ要約してユーザに提示するという研究を行っていました。

私が研究を始める前の1990年代のデータベース分野では格納されている静的なデータが研究の対象でしたが、私が研究を始めた2000年代になるとセンサなどのデバイスが発達し、データストリーム（例：インターネットから時系列で送信されてくるデータ）などの動的に流れてくるデータに対する研究が盛り上がっていました。

私も時代の流れに沿ってデータストリームを研究していましたが、2010年ごろからはソーシャルネットワークやWebなど、当時流行りのサービスやアプリケーションと親和性が高い、グラフでデータを表現するグラフデータベースに対する研究がその分野で人気の研究課題となりました。

それならば、私もグラフデータの研究を進めていましたが、データベースを利用する立場であるアプリケーションからの観点で技術課題や研究論文などを調べると、レコメンデーションなどの多

くのタスクに機械学習が応用できる可能性が示されていました。そのときに「どうやらこれは機械学習の時代がきているのでは」と感じ、現在の機械学習を意識した大規模分析基盤の研究にシフトしてきたという状況です。

またデータベース分野の研究も近年の機械学習の影響で変わってきたように感じます。データベースは、アプリケーションとOSの間にあるミドルウェアで、データを蓄積・加工するような補助的な位置付けにあります。20年前のデータベース研究が対象としていたデータ分析は、似たデータを探す類似検索など初歩的なものでしたが、10～15年くらい前にビッグデータという概念が出てきたころから、大量のデータに対して高度な分析をしてユーザが想像もできないデータに潜む情報を提示する、いわゆる「機械学習に基づいた分析技術」が注目されている状況にあると思っています。

ただ私としてはOSとアプリケーションの間というデータベースが担うポジション自体は変わっていないと考えています。そのため、集まった大量のデータを分析しその結果をユーザに提供するというデータベースのミドルウェアとしてのポジションのまま、データベースと機械学習をつなげて高付加価値を生み出す大規模データの情報処理基盤の研究を進めています。

■大規模データ時代にはなぜ分析基盤研究が必要なのでしょうか。

大規模データを取り扱うことはデータベース研究の醍醐味ともいえます。データベースの研究者の発想はシンプルで、「膨大な

量のデータを高速に処理する」ことにフォーカスしています。極端に言えばそこにだけ興味がありスモールデータには興味がありません。

これは今に始まったことではありません。1970年代からあるもっとも古いデータベースの国際会議の1つにVLDBというものがありますが、これはVery Large Data Basesの頭文字を取ったものになります。このように昔からデータベースの研究には「多くのデータを高速に処理する」という世界観があり、その世界観を現代風にアレンジしているのが私の研究だと思います。

低遅延のネットワークにより膨大なデータを集めることが可能になる大規模データ時代には、集めたデータを活用するために必要となる正確かつ高速なデータの分析技術への関心がこれまで以上に高まると考えています。その集めたデータの分析手法として、機械学習が今よりさらに重要になってくるでしょう。

機械学習を研究している方は国内外に非常に多くいらっしゃいますが、その研究のほとんどは「精度を上げること」に興味を向いている傾向があり、処理速度の高速化をメインで研究されている方は、実をいうとさほど多くありません。なぜなら高速化を追求するためには機械学習だけでなく、データベース分野などにおける手法も知らないといけないため手を出しにくいところからです。

私はその「高速化をメイン」とした分析基盤を研究テーマとしています。大規模データ時代は人間が知覚不可能なデータを、人間が知覚可能な情報に変換できるように処理することが重要になってきます。そのためには精度を高める研究はもちろん、機械学習が大規模なデータを正確かつ高速で分析処理ができる基盤を構築する研究が必要だと考えています。

■この研究はNTTの掲げるIOWN構想の1つであるオールフォトリクス・ネットワークにも関連しているのでしょうか。

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想ではオールフォトリクス・ネットワーク（端末からネットワークまですべてにフォトリクス（光）ベースの技術を導入し、エンド・ツー・エンドでの光波長パスを提供することで実現する、低消費電力、高速大容量、低遅延伝送のネットワーク）により大規模な

データを集める未来が描かれていますが、これはデータベース研究における「膨大な量のデータを高速に処理する」という世界観と非常に親和性が高いと考えています。そのため私のデータ分析基盤の研究がIOWN構想に貢献できると考えています。

具体的に言えばオールフォトリクス・ネットワークにより低遅延が当たり前になった場合、手元に計算機リソースやデータがある必然性はなくなり、低遅延のネットワークの先のサーバにある計算機リソースやデータにアクセスすればさまざまな処理を行うことが可能になります。またIOWN構想におけるオールフォトリクス・ネットワークが立ち上げれば大規模データの収集も可能になります。私の研究は大規模データの高速データ分析基盤であり、ネットワークの先につながったサーバにある「莫大なデータの中に人が思ってもいなかった知識や情報」を獲得することにつながります。超高速低遅延のIOWNオールフォトリクス・ネットワーク、そしてそこに集まるデータから価値を生み出すデータ分析の基盤として、「ネットワークにおける高付加価値」をめざした研究を進めています。

■「大規模データに対する高速データ分析基盤」はどのような特徴があるのでしょうか。他の処理技術との違いやポイントを教えてください。

よくあるデータベース研究との大きな違いは、近似解（高速性を優先させた、誤差を許容した解）ではなく「高速かつ正確をめざしていること」です。

初めてデータベース分野の研究に取り組んだ当時は、データストリームに対する研究が流行っていたとお伝えしました。そのときのデータベース分野の共通認識として「データは流れていくから処理が追いつかない。そのため近似解で良い」というものがありました。20代そこそこの私はデータベースのあるべき姿としてその考えに違和感を抱き、なんとかしたいと考えていました（図1）。

私は一時的に研究所から出てNTT西日本に2年ほど所属していたのですが、当時はNGN (Next Generation Network) の開発が盛り上がっている一方で、NGNの開発を終えた次はどのようなサービスを開発するのが課題でした。

フレッツ・グループアクセスなどのネットワークを活用した新

- ・ 高速にデータ解析を行うには一般的に近似的な処理を用いる
- ・ 近似的な処理は計算時間と解析結果の精度のトレードオフ



計算時間



解析結果の精度

- ・ 計算時間を短くすると解析結果の精度が低下してしまう
- ・ 解析結果の精度を上げるためには計算時間を増やす必要

近似によるデータ解析は高速性の引き換えに精度を犠牲

図1 近似によるデータ解析



- ・ 不要な計算を枝刈りすることでデータ解析の高速性と厳密性を両立
- ・ 計算の枝刈りを用い膨大なデータを高速に解析する機械学習基盤を実現



図2 高速かつ正確なデータ解析技術

しい利用用途などを創出するのは1つの方法でしたが、私としては当時自分が担当していた「既存サービスを新しい技術で裏支えて既存事業に貢献する」というサービスに意義を感じていました。具体的にそのサービスは、NTTが提供していたラジオ中継網がメーカ機器の老朽化により維持困難になったため、お客さまから見てインターフェースが変わらないような機器を新規に開発することで延命させていくというものでした。

そのときに既存のサービスをそのままの動作条件で、バックエンドを新しいものに置き換えて提供するというのは、企業のサービスの1つになるのではと考えました。ユーザに提供する機能は変わらないけれども、より早く、より確実に、という見えない部分の価値提供も1つの大きなイノベーションではないかと考えをめぐらせたともいえます。

もし代替システムで置き換えるとき、ユーザとしては処理結果が近似ではなく正確なほうが良いし、さらに必要な計算機リソースを減らしつつ速度を上げ、イニシャル（初期導入）コストやランニングコストを下げられるのなら喜んでいただけるはずですね。

このような思いもあり、データベース分野において主流ではあるが私としては必ずしも同意しにくかった「高速な近似解が良い」という手法ではなく、枝刈り技術を取り入れ「高速かつ正確」な手法にこだわりをもって研究しています。

この高速かつ正確なデータ分析技術がIOWNの世界観の中でも他の機能の裏側を支え、処理速度やコストを少しでも下げること、IOWN自体のアドバンテージになると思っています（図2）。


■高速化のポイントとなる枝刈り技術について教えてください。

データベースの世界では枝刈りという概念がありますが、それが研究のコンセプトでもあり、手法の考え方の中心の1つでもあります。枝刈りの手法はいくつかありますが、代表的なものと上限値・下限値による計算の省略、解になり得ない計算の打ち切り、楽観的処理による高速計算の3つがあります（図3）。

枝刈り技術の特徴は分かりやすくいうと基本的には「サボること」しか考えていないことです。どうやったら「計算をサボれるか」、「何がいらぬのか」ということを考えて高速化しています。

例えば、辞書の中から「鉛筆」という言葉を探すときに、最初から1ページずつめくる人はあまりいないでしょう。まずは「え

↑ ↓ 上限値・下限値による計算の省略
厳密にスコアを計算した結果、値がゼロになるような処理をスコアの上限値と下限値を用いて高速に特定

 解になり得ない計算の打ち切り
検索処理の過程で解になり得ないパターンを保持しておきそのパターンが再び検索処理に現れたときに処理を打ち切る


 楽観的処理による高速計算
制約条件を外したうえで高速に解を求めた後に、得られた解が制約条件を満たすかを確認する

図3 代表的な計算の枝刈り手法

のページを見つけて、そこから「ん」がありそうなページをペラペラめくる、このような coarse-to-fine のように荒い探索から徐々に細かい探索を繰り返すのがデータベースとしてよくある手法です。また皆さんが日常生活で行っている物探しと同じです。鍵をなくしたからといって家中ひっくり返して探すのではなく、最後にどこにあったかを思い出して、当たりをつけて探しますよね。枝刈りの考え方として明らかにならないところは省き、当たりがつけられそうなところを探すというコンセプトで無駄を省きます。このような考え方をコンピュータで処理する数式に落とし込むような研究をしています。



変化し続ける技術に対応する挑戦

■この研究を遂行するうえでの課題と、心掛けていることなどがあれば教えてください。

私が他の研究者の方と特に違うなと思うのは、良くも悪くも特定の分野に特化しないことでしょうか。多くの研究者は特定の分野を専門的に研究されていますが、私は「枝刈りをして計算を速くしよう」という考え方を基盤として研究しているので、必ずしも特定の分野に特化していません。そのため、時代で求められているデータ処理や将来的にポピュラーになりそうな技術トレンドをとらえて、その中で自分が貢献できる分野がないかキャッチアップし続けることが常に課題です。

以前指導していた研究者に、「藤原さんは自動車を片輪走行さ

せながらパーツを変えるというパフォーマンスに似ている」と言われたことがあります。研究者は皆同様で、常に走り続けながらパーツを変える作業をしていかなければなりません。私の場合はデータベース分野における枝刈りという研究領域を半歩踏み締め、もう半歩は機械学習などに代表される新しい研究領域に踏み出しながら研究を進めています。

現在、研究的にホットな深層学習（ディープラーニング：コンピュータが自動で大量のデータを解析し、データの特徴を抽出する技術）はもしかしたら5～10年後には別の技術に置き換えられているかもしれません。その場合はそのときに求められている技術をキャッチアップして勉強しないといけないと思っています。常に勉強、そして研究です。

■この研究の展望をお聞かせください。

最近さまざまな分野の方と話をしていて頻繁に出てくるのが、やはり深層学習についての話題です。深層学習が出てきた10年ほど前は、まず深層学習をやるかやらないかという選択肢がありました。当時、深層学習はやらないという研究者の方も結構いましたが、時代は変わり、そういう方はだいぶ減ってきました。今の若い研究者の多くは深層学習を研究していますよね。ただ深層学習はとにかくゴリゴリ計算を頑張るという処理であり、「計算をサボれるところ」があまりなく、私自身は必ずしも深層学習に積極的ではありませんでした。

しかし、深層学習の登場から10年以上経った今、技術の分化が進み多くの周辺技術が出てきました。大規模言語モデル（LLM：Large Language Models）でも、LLMだけではなくて外部データを使って知識を生成する、そういう時代になってきて少しずつ計算をサボる隙というのが出てきたように思います。深層学習において外部と連携するデータが多くなればなるほど、自分の枝刈り技術が活用できるのではと可能性を感じています。

また「条件にマッチしたものを探す」というのはおそらく人間がデータを計算機で扱ううえで本質的な処理であるため、今後出てくるであろうあらゆる研究でも重要になると考えています。将来的にも「高速に探索をする」ことにフォーカスして研究するのだと思います。

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

一般論でいうと仕事では、できること（can）、すべきこと（should）、したいこと（want）の3つのバランスが取れていると理想的だと思っています。

学生のうちは「したいこと」が大きなウェイトを占めており、自分に何ができるかは分からない方が多いと思います。私の場合は「したいこと」を仕事にするために事業会社に行きましたが、そこでの仕事は必ずしも自分が「できること」ではないと分かりました。同じように若いうちは自分の「できること」が分からず、往々にしてそれが自分の「したいこと」とズレていて、「したいこと」に対する気持ちに裏切られることが多いかなと思っています。

そのため特に若いうちは食わず嫌いをすることなくまずはさまざまな仕事に取り組むことで、自分が「できること」を探るのが良いかなと思います。

また情報系の研究者としては、今は世の中でコンピュータやインターネット技術の活用が進んでいるので、自分が「したいこと」でかつ「できること」が、世の中に必要とされるような「すべきこと」になっている機会に恵まれていると思っています。さまざまな研究の選択肢のある中で自分の研究者としてのフィールドを探せば良いのだと思います。

NTTは情報系の広い分野で数多くの研究をしているので、自分の専門外の研究をされている方が多くいらっしゃいます。何せ2000人以上も研究者がいるわけですから。NTTの研究者は人間性が素晴らしい方が多いので、仲間集めや情報収集もしやすい環境です。さらにNTTには多くの事業会社があるため、研究者以外にエンジニアやデータアナリストなどになる道もあります。

この業界を志す方はぜひ選択肢が多いことを利点として幅広い分野に興味を持ち、長い目で前向きに取り組んでほしいと思います。NTTで現在活躍されている研究者の方は必ずしも学生のころから研究者として多くの実績を出していたというわけでもなく、研究を粘り強く継続することで花開いた方も数多くいらっしゃいます。私も研究に本格的に取り組み始めたのは事業会社から研究所に戻った30代からでした。粘り強く継続していれば、見てくれる人は見てくれます。

私は若いころ、初めて論文が通ったとき、1カ月くらいそれはもう天にも昇る気持ちでふわふわしていました。学生や若き研究者の方々も、メモに書いていたアイデアが論文になりそれを眺めたときに、嬉しいなと感じられると思います。論文が通る前の段階だとしても、自身の頭の中の考えが具現化されたときに、格別の達成感を感じられる仕事だといえるでしょう。

研究者で成功している方はそれなりに皆さん軸があります。たとえもし世の中がある一定の見方をしていても別の視点から見るとこうだね、と言えるような方はこの業界に向いているのではないのでしょうか。今の時代は理系の研究者が技術により新しい世界をつくる時代になってきました。自身の軸がある若い研究者の方が増えてくれることを願っています。



（今回はリモートにてインタビューを実施しました）

NTTワールドエンジニアリングマリン株式会社

<https://www.nttwem.co.jp/>



“つないだその先，豊かな未来へ Full Ahead! 全速前進!” 海底ケーブルを敷設し，そして守り続けていく使命を背負う企業

日本には6847の離島があり，このうち416に人が住んでいます。こうした離島の通信のほとんどが海底ケーブルによって支えられています。2023年にサービス開始した5G（第5世代移動通信システム）サービスも海底ケーブルを利用して離島への展開を進めています。一方，とどまるところを知らない生成AI（人工知能）の進化もあいまって，国際間で送受信されるデータ量も飛躍的に増大しています。こうした変化への対応も国際海底ケーブルが担っています。国内外の海底ケーブルの建設・保守において重要な役割を担うNTTワールドエンジニアリングマリン渡邊守社長に，国際情勢の影響を受けるビジネス，市場構造，フィリピンを中心としたAPAC（アジア太平洋地域）への事業展開，および海底ケーブルを敷設し，そして守り続けていく使命への思いを伺いました。



NTTワールドエンジニアリングマリン
渡邊守社長

国際情勢へのアンテナを張り巡らせ，国内外の海底ケーブル建設・保守事業をコアに，APACにおける事業展開に注力する

■設立の背景と会社の概要について教えてください。

NTTワールドエンジニアリングマリン（NTT WEマリン）は1998年にNTTグループ唯一の海洋エンジニアリング会社として設立され，2023年に25周年を迎えました。日本国内における通信用の海底ケーブルの歴史は古く，1872年の関門海峡に敷かれた電信ケーブルが起源です。時代の流れとともに電電公社，NTTへと組織の変遷を経つつも，一貫して海底ケーブルの建設・保守に従事してきました。

「海底ケーブルをつなぎ・まもり続けた世界の通信をこれからも支え，社員一人ひとりが，高い志をもち，技術を磨き，一丸となって最適なサービスを提供し，さらにその先にある，より一層安心して便利に暮らせる未来をめざし，社会課題解決に挑戦し続ける」ことを基本理念としたビジョン，「つないだその先，豊かな未来へ Full Ahead! 全速前進!」を掲げ，東京都港区に本社を置き，横浜と長崎，マニラに事務所を構え，事業運営しています。また，長崎事務所では1896年に建築された洋風建築史上希少な建造物を保有しており（経済産業省近代化産業遺産認定），長崎県教育委員会からの要望もあり，これを保存・活用して，海底通信ケーブルに関するさまざまな歴史を展示している「海底線史料館」も開設しています。

主要事業は海底ケーブルの敷設およびメンテナンスです。また船舶のディーゼルエンジンのオペレーションを行っていることから，そのノウハウを活用し，NTTビルの非常用発電機のメンテナンスや，小規模ではありますが，船舶におけるインターネットコネクティビティの提供といったビジネスも手掛けています。

■国際情勢が事業に影響を与えているそうですね。

海底ケーブル関連の事業は，世界の安全保障状況等に大きく事業環境が左右されています。

ロシアのウクライナ侵攻以降，ロシア国内を結ぶ海底ケーブル（KSM），ロシアと日本を結ぶ国際海底ケーブル（HSCS）の保守契約を破棄せざるを得ませんでした。紛争状態にある国との契約においては，保険契約を付保することができない状況の中，作業を行わなければならないこと，また，日本国によるロシアに対する経済制裁等の実施に伴い，当社の敷設船は「非友好国の船」と位置付けられており，ロシア領海内，あるいは排他的経済水域（EEZ）内での作業が許可されたとしても，拿捕等のリスクが顕在化しており，社員の安全確保ができないことによる措置です。

また現在，フィリピンでの事業を支えている敷設船「VEGA（旧光洋丸）」の老朽化対策として，程度の良いオフショア船を購入しノルウェーにてケーブル敷設船に改造中ですが，これをフィリピンに回航させる際，中東情勢が不安定な中，スエズ運河経由では船舶の安全確保が保証できないため，南アフリカの喜望峰回りで回航させる予定です。



図 国際通信キャリアが設立した海底ケーブル保守ゾーン

さらに、最近では中国との関係においても、この海底ケーブル関連事業への大きな影響があります。

さて、海底ケーブル事業は建設と保守とで大きく仕組みが異なります。建設工事は、発注元による入札が行われ、価格や技術力等で審査され、落札事業者が決定します。一方保守に関しては、当社のように単独で受託する「プライベート保守」と、複数の事業者が協力して保守を提供する「ゾーン保守」という仕組みの2種類が存在します。日本を含む「ゾーン」は「YOKOHAMA Zone」と呼ばれ、日本（KDDIケーブルシップ株式会社：KCS）、韓国（LSMS：LSグループ）、中国（SBSS：CTグループ）の3カ国体制で対応しています。したがって、当社とYOKOHAMA Zoneは競合関係でもあり、ケーブルオーナーが保守契約を締結する相手を選択することになります（図）。最近特に注目されているのが、これらの海底ケーブルの保守を名目に海底の地形調査等が行われる可能性であり、「ゾーン保守」の場合、領海やEEZ内で他国の船が活動することに対する評価も、経済安全保障と直結する可能性があります。

旺盛な国内外の海底ケーブル需要に、実績と技術力で受注拡大

■市場環境はどのような状況でしょうか。その中、どのような事業に注力されていますか。

過去25年、NTTグループは日本発着の国際海底ケーブルを中心に、コンソーシアム（共同建設チーム）の一員として一定の容量の海底ケーブルを定常的に敷設してきました。ここ数年はデジタルプラットフォームによる大規模な敷設が盛んに行われるよう

になりましたが、海底ケーブル敷設需要は旺盛なので、当社にとっては追い風となっています。国内海底ケーブルに関しても、総務省が進める高度無線環境整備推進事業を中心に離島向け海底ケーブル敷設が順調で、旺盛な需要が存在しています。また昨今のトラフィックの伸びをみても、今後10年程度は需要が枯渇する心配はないようにみえますが、だからといって当社の事業が安泰かというところではありません。

このため、特に経済発展が著しく、カボタージュ規制*が緩やかで、当社の成長を牽引するとみている、フィリピンを中心としたAPAC（アジア太平洋地域）エリアをターゲットに注力していますが、保守船を持っていないにもかかわらず安値で受注するも、故障が発生した際に当然対応できないといった不誠実な中国企業との「競争」も頭の痛い問題です。

こうした中、これまでPLDT社のフィリピン国内事業のみの受託に加えて、第2キャリアグループであるInfinivan社、Globe社、Easterntelecom社が共同建設を計画した「PDSCN（Philippine Domestic Submarine Cable Network）」の建設工事とその後の保守業務を当社が受託し、これがフィリピンのインターネット環境を劇的に改善することにつながりました。特に保守業務については、フィリピンを含むエリアを保守するゾーン、「SEAIOCMA Zone」と、中国のプライベート保守事業者との間の3社競合の中、長年にわたるフィリピンでの海底ケーブル保守の実績と技術力を高く評価いただき、受注に至ることができました。

* カボタージュ規制：自国の沿岸輸送（内航海運）は自国籍船に限るという規制。

能登半島地震の復旧支援の一翼を担い、その経験を事業に活かす

■能登半島地震の復旧活動でケーブル敷設船「きずな」が活躍したそうですね。

2024年1月1日に発生した能登半島地震では、通信をはじめとするインフラも壊滅的な被害が出ました。そのような中、通信における孤立状態を回復させるべく、エンジンや居住スペースを船首側に集約させ、作業スペースを船尾側に配置し、そのスペースに災害対策用の資機材を搭載できるケーブル敷設船「きずな」がNTTドコモとauの無線基地局を搭載して能登半島沖に向かい、約2週間、送波を行い孤立解消の一翼を担いました。

また、1月2日の出航要請から無線基地局搭載までの時間を使い、並行して支援物資7tを積み込む作業も行いました。自転車やキャンプ用品等も調達し、NTTコミュニケーションズの災害対策室が中心となり各方面と調整いただけたことで、無事に石川県庁のチームに当該物資をお渡しすることができました。

さらに、商用電源の途絶により、NTT西日本、NTTドコモが電源車、およびビル設置の非常用発電機の連続運転を行っています。実はその連続運転を行うためには、定期的な潤滑油の交換が必要なのですが、その潤滑油の交換をNTTアノードエナジーからの要請を受け、当社の非常用発電機整備チームが対応しました。

■今後の展望についてお聞かせください。

PDSCNの事例は、フィリピンのインターネット環境を劇的に改善することにつながり、完成披露パーティーにも招待され、大統領、通信技術大臣、在比日本大使も参加される中、当社の功績も紹介されました。さらに、今後退役を迎えるVEGAの後継船・VEGA IIが就航することにより、より機動的な活動が可能となります。こうした好材料を足掛かりとして、日本国内の事業はもとより、フィリピンを中心としたAPACにおける事業展開に、さらに注力して取り組んでいくつもりです。

また、能登半島地震における「きずな」による支援では、宿泊先の金沢市内から早朝に道路が寸断された奥能登に向かい、交換作業を行った後金沢市内に戻る、といった作業を粘り強く行い、非常用発電機の連続運転を支えました。約1カ月間の対応でしたが、こうした災害時における不屈の闘志こそ、NTTグループの強みでありDNAであり、これを社員全員の心にしっかりと刻んで今後も事業に取り組んでいきたいと思っております。

担当者に聞く

フィリピンを起点とするマーケットのニーズに迅速に対応できる体制への転換

マニラ支店 支店長

篠崎 亮 さん

■担当されている業務について教えてください。

マニラ支店の支店長として、支店の運営を統括しています。フィリピンにはお客さま、工事協力会社や船舶運航委託会社などがいっぱいいますが、最前線拠点としての利を活かし、特にお客さまとのエンゲージメントを強化することで早期に情報を入手して本社と連携する、工事協力会社と良好な関係を維持し、さまざまな対応に機動性を持ってあたることができるようになるなど、支店の役割は重要性を増しています。

マニラ支店は現在、経理2名、総務1名、ケーブルデポの環境整備とオペレーション、工事現場作業の監督等を担当する2名という小規模な組織ですが、事業拡大に伴って、リソースの増強や業務の効率化が喫緊の課題になっています。また、フィリピンは税制度が複雑で、その結果税務当局からの追徴課税リスクを抱えており、このような外部環境にしっかりと適応していく必要があることから、コンサルタントなど外部のリソースも活用しながら対応にあたっています。

■今後の展望について教えてください。

マニラ支店は2000年の開設以来、NTTグループが出資するPLDT向けの海底ケーブル保守と建設のみを担ってきましたが、近年、Globe社やInfiniVAN社等の海底ケーブル建設・保守も手掛けるようになりました。今後はフィリピンのすべてのオペレータ、さらには電力業者が保有する海底ケーブルもターゲットに顧客基盤の拡大をめざしています。島国フィリピンでは海底ケーブルの需要が高く、総長はNTTグループが保有する国内海底ケーブル長をはるかに凌ぐ1万5000 km以上で、さらに、米国と東南アジアをつなぐ海底ケーブルの中継ハブとしての役割を担っており、国際海底ケーブルの需要の高まりも加わって保守事業の機会が増大していきます。そこで、2025年早々のVEGA-II就航を機に、これまで設備の都合上対応できなかった国際海底ケーブルの保守も可能になり、従来は本社で担ってきた船舶のエンジニアリング業務をマニラ支店へシフトし、フィリピンを起点とするマーケットのニーズに迅速に対応できる体制を整えていきたいと考えています。

また、フィリピンは日本と同様に地震、台風等による被害も毎年のように発生しており、能登半島地震での「きずな」による支援も参考にしつつ、ケーブル敷設船を活用した通信手段の確保や緊急物資の輸送といった災害対応でも、フィリピンのオペレータ



と協力してここに暮らす人々のために貢献していきたいと思っています。

信頼性、経済性の高い敷設ルートを設計、現場での安全な作業実施のために日々勉強

設計担当

高橋 絢子 さん



■担当されている業務について教えてください。

私は、新たな海底ケーブルを敷設する際に、海洋調査などを行い、信頼性、経済性の高い敷設ルートを設計し、お客さまに提案しています。設計には実際に敷設を行う工事担当の視点も必要となることから、実際の敷設工事にも参加するとともに、現在は、円滑に敷設工事を行えるよう工事前後の許認可の申請・取得業務も実施しています。

海洋調査では、海底面の状況確認は音波を用いて行いますが、過去漁業で使用したロープ、海藻の立ち上がりなどの、ルートや工事の際に支障となる要素には、音波が反射せず発見することが困難です。また海洋調査のデータが必ずしも正しいとは限りません。

ため、事前に地先の漁協さんに伺い、現在や過去の漁業状況や漁をする際に気を付けていることを伺い、海底の状況を補填しています。

許認可の取得業務では、工事方法や時期などの情報を正しく関係各所へ伝える必要があります。そのために、必要な情報や進捗を可視化して情報を整理し、社内の担当者どうしでの意思疎通を図ることを意識しています。実際に許認可の申請を行う際には、誰もが納得いただけるよう、自身も納得したうえで資料を作成、提出することを重視しています。

■今後の展望について教えてください。

社会インフラとしての通信において、そのネットワークの構成要素に海底ケーブルの存在があることが、世間で取り上げられることも多くなり、重要性も高まっています。この重要な設備の構築に携わる担当者として、最近、現場での安全な作業実施、漁協さんと円滑なやり取りが行えるよう、海に出る人の着眼点を学ぶために、小型船舶免許を取得しました。研修を受けてみると海洋関連ばかりではなく、気象や地形についても学ぶ時間が長く、想像以上の奥の深さを感じました。

こうした資格取得をはじめ、さまざまなことにチャレンジし、経験・学びを重ねながら仕事や考え方の幅を広げ、「お客さまに満足していただける、安全で適切な敷設が行えるルート提案」ができる設計担当になれるよう、努力していきたいと思っています。

NTTワールドエンジニアリングマリン ア・ラ・ワ・ル・ト

■ケーブル敷設船「きずな」で家族、社員の絆を深める

社員と家族、社員と社員の絆をより深め広めることを目的に、2024年7月26日に長崎事務所およびケーブル敷設船「きずな」船内に社員のご家族をお招きし、イベント（ファミリーデー）を実施したそうです（写真1,2）。まずは朝礼、ラジオ体操を一緒に行い、お子様1人ひとりに用意された学校名や好きな食べ物などを記載した名刺で、社長や社員と笑顔で名刺交換。その後、ヘルメットを着用し「きずな」船内の見学・作業体験、海底ケーブルを通じて海外とつながる仕組みの説明やマニラ支店とのリモートコミュニケーション、そして、世界遺産の端島（軍艦島）をブリッジから見学したそうです。また、「きずな」食堂での昼食の美味しさに、ご家族の皆さんも感激されていたとのことです。

初の試みである「きずな」でのファミリーデーが皆さんのいい思い出になるよう、バルーンでのウェルカム装飾等に加え、安全に楽しんでいただけるよう入念に準備を行いました。長崎事務所の社員に加え、東京本社からも応援に駆け付け、一丸となり取り組んだそうです。今回のファミリーデーで、社員と家族、社員どうしの絆がさらに深まったことを実感したそうです。



写真1 「きずな」船上で記念撮影



写真2 「きずな」船内での作業体験