

NTT 技術ジャーナル

11

NOVEMBER
2025

Vol.37 No.11

特集

IOWN APN step3の普及展開に向けて

NTTグループの建設DXへの取り組み

トップインタビュー

小島 克重

NTTドコモビジネス 代表取締役社長

For the Future

沈黙のリスク、崩れゆく基盤(前編) —インフラ老朽化の現状と政策の岐路

グループ企業探訪

NTTアクア

from NTT東日本

市民開発により業務DXを促進する生成AIアプリ開発基盤の取り組み

from NTTドコモビジネス

docomo business RINK® セキュリティ機能のさらなる強化



URL

<https://journal.ntt.co.jp/backnumber/2025/vol3711>

DOI

<https://doi.org/10.60249/25110000>

4 トップインタビュー

**ATM(明るく、楽しく、前向きに)マインドで
自律・分散・協調型社会を支えたい****小島 克重**

NTTドコモビジネス 代表取締役社長



8 特集1

IOWN APN step3の普及展開に向けて

- 10 IOWN APN step3の具現化、普及に向けた取り組み
- 14 APN step3を支える基盤システム主要要素技術
- 18 APN step3を支える制御技術
- 22 APN step3で実現するタイムリーな光バス開通に関する実証の取り組みについて
- 26 主役登場 深谷 崇文 NTTネットワークサービスシステム研究所



28 特集2

NTTグループの建設DXへの取り組み

- 30 建築の“意味”を拡張する——街区という最小都市システムと運営設計の統合 (SSPPの実装から)
- 35 IOWN Global Forumにおける建設業界初のユースケース
- 40 建設現場に入り込み本質を見極めた施工管理DXの実現
- 43 最新ドローン×点検技術×AI・デジタルツールによるインフラメンテナンス技術の革新
- 47 建設現場のDX課題に挑む:「e-Stand」が切り拓く現場革新と通信インフラの技術課題解決

51 For the Future

**沈黙のリスク、崩れゆく基盤(前編)——インフラ老朽化の現状
と政策の岐路**

57 挑戦する研究者たち

亀岡 弘和

NTTコミュニケーション科学基礎研究所 上席特別研究員

声の印象を自由にカスタマイズできる最先端の音声変換技術で、コミュニケーション機能のさらなる拡張をめざす



特集

61 挑戦する研究開発者たち

森広 芳文

NTTドコモ モバイルインベーションテック部
ソリューション技術担当 担当部長

高速大容量、低遅延、高セキュリティなモバイル通信を基盤にしたソリューションで、地域医療格差や労働人口減少の社会的課題に取り組む



For the Future

66 明日のトップランナー

遠藤 傑

NTTコンピュータ&データサイエンス研究所
NTT理論量子情報研究センター 特別研究員量子技術実用化の前に立ちはだかる壁を打ち破る鍵
「量子エラー抑制技術」

特別企画

挑戦する研究者たち

70 グループ企業探訪

株式会社NTTアクリア

陸上養殖を起点に「地域が元気になるストーリー」を
地域とともに創る企業

挑戦する研究開発者たち

74 from NTT東日本

市民開発により業務DXを促進する生成AIアプリ開発基盤の取り組み

明日のトップランナー

78 from NTTドコモビジネス

docomo business RINK[®]セキュリティ機能のさらなる強化

82 Webサイト オリジナル記事の紹介

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、お問い合わせ先

NTT技術ジャーナル事務局

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

本誌ご購読のお申し込み、お問い合わせ先

一般社団法人電気通信協会 ブックセンター

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

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

NTT ドコモビジネス
代表取締役社長

小島克重 Katsuhige Kojima

PROFILE

1989年NTTに入社。2007年NTTコミュニケーションズ 法人事業本部 第一営業部 担当部長、2015年理事 第四営業本部 副本部長、2019年取締役 第四営業本部長、2020年執行役員 ビジネスソリューション本部 第四ビジネスソリューション部長、2023年常務執行役員を経て、2024年6月より現職。



ATM（明るく、楽しく、前向きに）マインドで 自律・分散・協調型社会を支えたい

2025年7月1日にNTTコミュニケーションズは社名を「NTTドコモビジネス」に変更しました。企業と地域が持続的に成長できる自律・分散・協調型社会を支える「産業・地域DXのプラットフォーマー」として、新たな価値を生み出し、豊かな社会の実現をめざす小島克重NTTドコモビジネス代表取締役社長にドコモビジネスの重点領域やトップとしての心構えを伺いました。

「産業・地域DXのプラットフォーマー」として、新たな価値を生み出す

NTTコミュニケーションズからNTTドコモビジネスへと社名が新しくなりましたが、どのように受け止めていらっしゃいますか。

このたびの社名変更は単なる名称の変更ではなく、私たちのビジネスのあり方を変える大きな転機であるととらえています。

1999年、NTTが分社化された際に、長距離通信事業を引き継いだかたちでNTTコミュニケーションズが誕生しました。その後は国際事業やソリューション、データセンタ、セキュリティを次々に立ち上げるなど、現在のNTTグループの中心となっている事業にチャレンジしてきた会社です。

2020年にはNTTドコモの法人営業組織が合流して、全国に支社を再編成し、中堅・中小企業や地域に根差した事業展開が本格化しています。これまで数1000社の大企業を中心にサービスを提供してきましたが、現在では中堅・中小含め60万社を超えるお

客さまにご利用いただいています。その多くがモバイルを中心としたサービスを利用されており、そこにDX（デジタルトランスフォーメーション）などの付加価値をどう提供していくかが、私たちの新たな経営課題です。

このような背景を受けて社名を「NTTドコモビジネス」へと変更しました。ドコモという名前は、地方のお客さまにも親しみやすく、ビジネスを展開するうえで響きやすいという利点があります。もちろん、社員には驚きもありました。社名変更の発表時には、戸惑いや寂しさを訴える声もありましたが、5回にわたる対話会などを通じて、私たちのチャレンジの意味や未来への展望を丁寧に説明してきました。

結果として、社員の理解と共感を得ることができました。「寂しさはあるが、新しいチャレンジに前向きに取り組みたい」など、9割近いポジティブな声が寄せられ、私自身もその言葉に支えられながら経営に臨んでいます。目下、企業と地域が持続的

に成長できる自律・分散・協調型社会を支える「産業・地域DXのプラットフォーマー」として、新たな価値を生み出し、豊かな社会の実現をめざしています。

経営環境と業績、今年度の目標、来年度のビジョンについて教えていただけますか。

私たちの事業は、大きく2つの柱で構成されています。1つは、従来のNTTコミュニケーションズが担ってきた大企業向けの事業。もう1つは、NTTドコモから引き継いだ中堅・中小企業、地域向けの事業です。

大企業向けの事業では、モバイルの比率が1割程度で、ソリューションやネットワークが中心です。一方、中小企業向けの事業では、モバイルが6割近くを占めています。モバイル中心のビジネスは競争が激しく、単品売りで価格競争に陥りやすいという課題があります。実際、2022年の再編成以降、中小企業向けの事業は伸び悩み、下降傾向にありました。

この状況を打破するために、私たちはこの1年、セグメントマーケティングの強化と高速なPDCAサイクルの実践に取り組んできました。お客さまの数が非常に多い中で、業種や規模に応じたきめ細かな分析を行い、それを迅速に改善・展開する体制を整えてきたのです。

その成果は数字にも表れています。2024年度の収益は全体で約1%の成長でした。大企業層では約5%の成長を達成しましたが、中小企業層は残念ながら約3%のマイナスでした。2025年度の第1四半期では両方ともプラスに転じ、大企業が約10%、中小企業が約4%の成長を記録しています。

ICT業界平均が毎年約6%の成長であることを考えると、私たちの取り組みが着実に成果につながっていると実感しています。2025年度の目標は、法人事業で「2兆円の売上」を達成することです。これは当時のNTTドコモ、NTTコミュニケーションズ、NTTコムウェアが統合された際に掲げた中期目標のゴールでもあります。現在、全社一丸となってこの目標に向かって邁進しています。

来年度も6%以上の成長率を維持していくことが定量的な目標です。これを達成するために、まず大企業向けでは、お客さまのビジネスをどう一緒に創っていくのか、それを実現するために、私たちはどのようなプラットフォームを提供していくのか。そういう観点で、営業の質をさらに高めていくことに重点をおきます。

一方、中堅・中小企業向けには、モバイルのビジネス向けプランを新たに導入します。これはNTTドコモ時代にはなかった法人専用のサービスとなります。これにより、モバイルの基盤を固め、そこにAI（人工知能）やDXなどの付加価値を加えていきます。

例えば、AIを活用した「Stella AI for Biz」は中小企業向けに開発したもので、業務効率化や経営支援に役立つツールです。また、「BUSINESS LOAN」の提供も開始し、金融面からも企業の成長を支援します。



AI, IoT, DX, IOWNで未来を築く

NTTドコモビジネスではどのような領域に力を入れていくのでしょうか。

私たちは4つの分野、デジタルBPO (Business Process Outsourcing), AI, IoT (Internet of Things), 中小企業DXを重点領域に取り組んでいます。

まずデジタルBPOですが、2024年のトランセコスモス社との戦略的連携により、さらなるマーケットの開拓に取り組んでいます。現在4つのソリューションモデルを提唱し、成果も出てきている分野です。お客さまの非コア業務の効率化を実現するソリューションを提供するとともに、AIやデータを使い、サービスの付加価値を一層高めています。

次にAIですが、私たちは単にAIを「提供する」だけでなく、AI時代にふさわしいICTプラットフォームを構築することをめざしています。そこで、私たちは「AI-Centric ICTプラットフォーム」という構想を打ち出しました。これにより、お客さまがAIの利用状況に応じて、ネットワーク帯域をポータル上で分単位にコントロールできたり、自動運転などには、MEC (Multi-access Edge Computing) により近隣のエッジデータセンターで高速処理を

実施したり、小口のAI使用では、コンテナデータセンタを導入したりと、柔軟で効率的なAI利用環境をさまざま提供していきたいと考えています。

IoTはNTTドコモとNTTコミュニケーションズが統合したこと、もっとも象徴的に進化した領域だと感じています。数年以内にマーケットリーダのポジションに並ぶことを目標に、業界別にIoTプロジェクトを立ち上げました。スマートメータや自動車関連の領域では成果が出ており、今後は新しい売り方についてもチャレンジしていきます。

中小企業DXについては、さきほど話したとおり、モバイルを起点に、AIやIoT、DXなどの付加価値を組み合わせることで、企業の業務効率化や経営改善を支援していきます。

そして、次世代のインフラとして夢のあるIOWN (Innovative Optical and Wireless Network)についてですが、NTTグループとしては先頭を切って国内外へ実装していきたいと考えています。データセンタ間の接続ニーズはすでに高まっていますが、将来はAIなどの学習・分析にもIOWNを活用していきたいと考えています。また、地域の振興や産業を支えるインフラとしてIOWNを導入しようとする

動きがあります。北海道ではラピダス社の創業を機に、周辺へ半導体関連会社が集結する流れもあり、「HOKKAIDO IOWN CAMPUS」という事業コンセプトを掲げ、地域と連携した未来型インフラの実装に臨んでいます。

入社からこれまでの歩みをお聞かせください。今のお考えに至る転機となったことはありますか。

私が入社したのは1989年で、最初に配属されたのは、固定電話機販売の営業支援部門でした。1年間は電話機営業を担当し、その後、システム開発部門に異動して開発業務に携わりました。開発職は希望していなかったのですが、適性検査の結果で配属されたようです。その後、企画や人事の仕事を経験してから営業職に戻り、自動車会社の担当営業として、現場でお客様と向き合いました。正直なところ、営業の仕事は苦手意識を持っていました。例えば、ト

ラブルが発生した際に代表して叱られることがあり、悩むこともあったのです。

そんな私に転機が訪れたのは、ある自動車会社のトラブル対応をしていたときのことです。徹夜で対応し、疲れ果てていた朝、お客様の役員が私にこう言ってくださいました。「小島くん、ありがとう。逃げないで頑張ってくれたね」。その言葉にビビビビっときました。そこから私はお客様の声に耳を傾け、ニーズをかたちにすることの大切さを強く意識するようになりました。

ところで、トップとしての視点に立つと、物事の見え方は大きく変わりました。会社全体、日本経済の中での自社の位置付け、社会への貢献など、今まで以上に多角的な視点で考えるようになりました。振り返ってみると、さまざまな業界を担当し、各業界の特性を理解し、人脈を築いてきたことは、今の経営に大きく役立っています。「全体を俯瞰できる視点」を持つことができたのは、非常に幸運でした。

ただ、決断には迷いが伴うこともあります。情報が100%そろることはありません。だからこそ、判断の軸を持つことが重要です。私が大切にしているのは、「それが会社の成長につながるか」「インテグリティ（誠実さ）を保てるか」、そして「社員の目を見て、やる気を感じられるか」です。社員の目には、真剣さや情熱が宿っています。最後の頑張りは、現場の社員の気持ちにかかっていると信じ、コミュニケーションを大切にしています。支社や職場を巡回したり、社員に直接珈琲を手渡しする「コジーフィーブル」を実施したりして距離を縮める努力を続けています。

夢のある事業ポートフォリオをつくり、お客様に驚きと感動を届け、ワクワクする職場をつくる

トップの使命とはどのようなことだとお考えですか。

「夢を示すこと」「会社の未来に希望を持たせること」だと考えています。社員は「自

分のやりたいことを実現するために働く」時代ですから、会社そのものが魅力的でなければなりません。社員が「この会社で働きたい」「この会社で成長したい」と思えるような未来を描くことが、トップの責任だと考えています。

私は社長就任時に、最初の経営会議で3つのメッセージを伝えました。まず「夢のある事業ポートフォリオをつくる」こと。私たちの事業がこれからも成長し続けるという希望を示し、社員が未来にワクワクできるような、そんな事業を創りたいと思っています。次に「お客様に驚きと感動を届ける」こと。言い換えれば、期待を超えるサービスを提供するという意味です。ニーズを先取りした提案や心に響く対応をめざしています。最後に「社員にとってワクワクする職場をつくる」こと。職場が楽しく、前向きで、笑顔があふれる場所であることが、社員の力を最大限に引き出す原動力になると信じているからです。私はよく「ATMマインド」という言葉を使います。ATMとは「明るく、楽しく、前向きに」のアルファベットの頭文字です。これは私自身が日々意識していることで、どんなに困難な状況でも心の内で「大丈夫」と言い聞かせ、笑顔を忘れず、前向きに取り組んでいます。

最後に皆さんへのメッセージをお願いいたします。

私たちNTTドコモビジネスは、これから社会において、産業・地域DXのプラットフォーマーとして進化していきたいと考えています。AI、IoT、IOWNなどを活用しながら、企業の成長を支え、地域社会の活性化に貢献する。そんな未来を、社員、パートナー、そしてお客様とともに築いていきたいのです。

また、NTTグループには、時代の先駆けとなる研究に取り組んでいる研究者、技術者が多数在籍しています。それを社会にどう届けるかが私たちの役割です。研究成果をサービスに変え、社会で使われるかたちにする。そのプロセスを、私たちとともに





に考えただけたらうれしく思います。

そして、社員の皆さん。日々、それぞれの持ち場で全力を尽くしてくださっていることに、心から感謝しています。昨年度はさまざまな課題もありましたが、皆さんの努力のおかげで、数字も回復してきました。お客様の事業を支え、お客様へ驚きと

感動を届けるために、今後も明るく、楽しく、前向きにのATMマインドで一緒に頑張っていきましょう！

そして、パートナーの皆様。社会課題の解決のためには皆様との連携が不可欠です。6月には新たなパートナープログラムを開始し、より多くの企業と協業できる体制を

整えました。「OPEN HUB Park」では、共創の場としてのスペースも用意しています。ぜひ、新しい価値を共に生み出してくださいましょう。

(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

分刻みのスケジュールで次々と大きな仕事を捌くトップへの取材は、限られた時間の中で存分にトップの魅力を引き出せるよう、試行錯誤する機会となります。小島社長も「超」が付くほど多忙なNTTグループのトップのお一人です。前後の予定も詰まりに詰まっているはずなのに、しわ1つないスーツ姿で静かな威厳を漂わせ、インタビュー会場に現れました。

インタビューを文字に起こすとおおむね1万5000から2万文字になるのですが、小島社長のお話には、各項目のタイトルとなるような印象に残る言葉が散りばめられて

いました。

そんな小島社長のご趣味の1つはスポーツ観戦。野球やラグビー、サッカーを楽しんでいらっしゃるそうです。また、浅田次郎が好きだと。『作品によって作風が違うのが面白く、あらゆる感情を引き出してくれます。疑似体験をしたくて読んでいるように思いますね』と小島社長。チームスポーツの観戦で真剣みやチームワークを、そして、浅田作品で多角的な視野を養うことは、『最後は社員の目を見て決める』という小島社長の逃げずに真正面から向き合う姿勢につながっているのかもしれないと思ったひと時でした。



IOWN APN step3の普及展開に向けて

すでに商用サービスが提供されているIOWN (Innovative Optical and Wireless Network)

APN (All-Photonics Network) のさらなる面的・経済的な展開を実現するために

多くの要素技術の確立が期待されている。

本特集では、次期APNであるAPN step3において早期の商用導入をねらう基盤システム技術や制御技術、

これら技術の一体実証、および将来アーキテクチャ検討、標準化活動状況等について紹介する。

IOWN APN step3の具現化、普及に向けた取り組み 10

本稿では、APN step3具現化ならびに普及展開に向けた取り組み概要を紹介する。具体的には、取り巻く環境・期待をとらまえたうえでAPNの展望やめざすべき方向性を概説する。また、国内外への普及促進に資する標準化活動の状況を報告する。

APN step3を支える基盤システム主要要素技術 14

本稿では、APN step3を実現するためにキーとなる基盤系の要素技術を紹介する。具体的には、端末から端末までの光パスをAPN step3上で効率的に提供するために必要となる技術やノード構成技術などの概要を解説する。

IOWN APN

要素技術

オンデマンド

標準

IOWN APN (All-Photonics Network)

実証

標準化

APN step3を支える制御技術

18

本稿では、APN step3の機能を制御するためにNTTが検討するコントローラ要素技術について紹介する。具体的には、Photonic Exchange (Ph-EX) の機能を用いて適切な波長と経路を算出するAPN設計技術、Photonic Gateway (Ph-GW) プラグ&プレイ機能を実現する制御技術、および多様な装置や外部システムとの接続を容易にするオープン規格に準拠したインターフェース検討の各取り組みを紹介する。

APN step3で実現する

タイムリーな光バス開通に関する実証の取り組みについて

22

本稿では、IOWN APN step3技術の要素の1つであるオンデマンドなバス開通についてAPNの構成要素であるAPN-T, APN-G, APN-I, APNコントローラを接続した技術実証と商用回線を活用したユースケース実証、外部訴求に向けた取り組みについて紹介する。

主役登場 深谷 崇文 NTTネットワークサービスシステム研究所

26

豊かな体験をユーザに届ける光のネットワーク



IOWN APN step3の具現化、普及に向けた取り組み

NTTは2019年5月にIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想を提唱し、大容量・低遅延・低消費電力なインフラであるAPN (All-Photonics Network) の研究開発・実用化を進めています。2023年3月にはAPNサービスの提供を開始し、サービスメニュー等を拡充してきました。本稿では、次なるAPNの進化形として2028年ごろの提供をめざす「APN step3」の実現ならびに普及展開に向けた取り組みについて紹介します。

キーワード : #APN step3, #技術実証, #標準化

田村 藤嗣彦^{†1} / 中川 雅弘^{†1}
前里 健太郎^{†1} / 金子 慎^{†2}
武田 知典^{†1} / 林 理恵^{†1}

NTTネットワークサービスシステム研究所^{†1}
NTTアクセスサービスシステム研究所^{†2}

APNの進化に向けて

2023年のサービス提供開始を皮切りに、APN (All-Photonics Network) は継続的な進化を遂げています。昨今のAI (人工知能) やデータセンタの急速な発展や多様化するユーザニーズに対応するため、オンデマンドでエンド・エンド光接続を提供する「APN step3」を2028年ごろに実現し、APNを経済的に面的拡大することをめざしています。このようなAPNの進化に向けては、外部動向をとらえた要素技術の確立・実証ならびに標準化活動を通じたエコシステム構築が重要となります。

APN step3がめざす姿

現在、商用化されているAPNサービスとしては、APN IOWN1.0 (APN step1) やAll-Photonics Connect (APN step2) があり^{(1), (2)}、IOWN APNの特長を先行的

に社会実装しています。APN IOWN1.0では、マイクロ秒単位での遅延可視化・調整を可能とする端末装置「OTN Anywhere」を商品化し、超低遅延の価値を提供しています。一方、All-Photonics Connectは、最大800 Gbit/sのユーザ拠点間帯域保証型通信サービスを実現し、大容量かつ安定した光パス接続を提供しています。これらはいずれも、大容量・低遅延・低消費電力なIOWN APNの可能性を具体化する取り組みであり、今後の発展に向けた基盤となっています。

この延長線上で、2028年ごろからの商用展開をめざす次期APN「APN step3」は、全国主要都市を結ぶところから地方拠点にまで展開し、データセンタインフラをAPNで接続することを構想しています。これにより、電力負担の分散や再生エネルギーのさらなる活用を促進するとともに、IOWN APNの特長を経済的に面的展開することをめざしています。具体的には、既存の

APNサービスの提供範囲を拡張し、ポイント・ツー・ポイントに限らず、全国規模で複数対地に柔軟に切替可能なエンド・エンド光パスオンデマンドサービスを提供できるようにします。

このようなAPN step3の実現には多くの要素技術の確立・開発が期待されますが、今回はネットワーク基盤システムとコントローラの発展に焦点を当て、APN基盤システム技術とAPN制御技術において早期に商用展開をめざす技術を中心に、また、これらの技術の実証や外部訴求の取り組みについて一連の記事で紹介します（図1）。

(1) APN基盤システム技術

APNでエンド・エンド光パスの提供範囲を経済的に面的展開すると同時に、省電力化するために必要な波長変換技術・波長帯変換技術を具備するPhotonic Exchange (Ph-EX) や、APNの入り口に配置して多様なAPN装置を収容するPhotonic Gateway (Ph-GW)、確定通

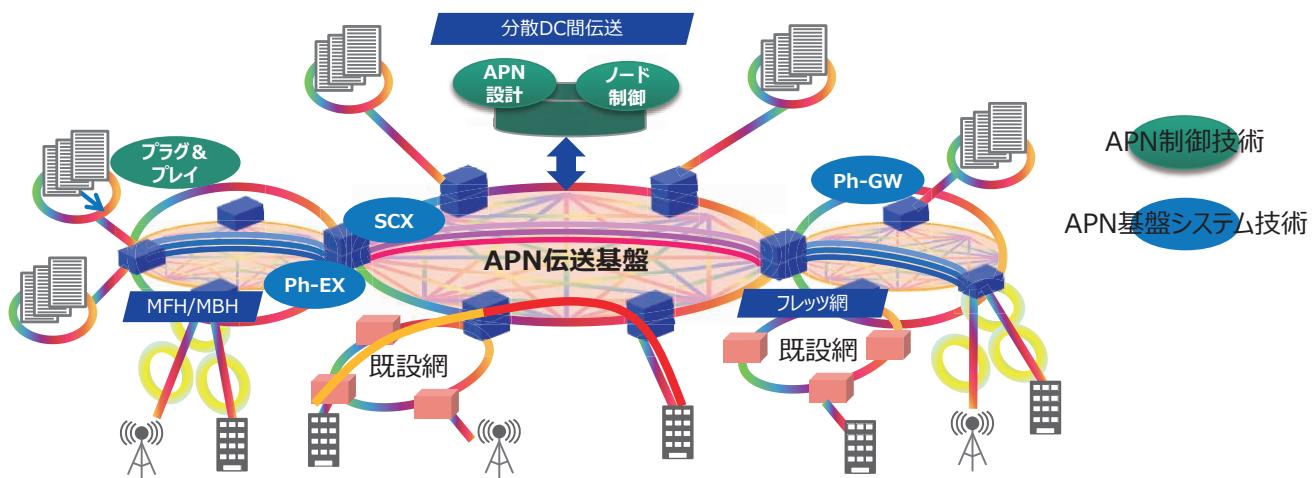


図1 APN step3の概要

信と柔軟性を両立する光回線交換技術 Subchannel Circuit Exchange (SCX)について、本特集記事『APN step3を支える基盤システム主要要素技術』で紹介します。

(2) APN制御技術

上記のAPNノードシステムを含む多様な装置・システムとコントローラの接続を実現する制御・管理技術や、任意の場所・時間での光パス開通作業を簡素化するプラグ&プレイ技術、オンデマンドな光パスサービス提供において有限の波長を有効活用できるパスの経路と波長を瞬時に算出するために必要な光パス設計技術について、本特集記事『APN step3を支える制御技術』で紹介します。

(3) 上記技術一体での実証

上記APN step3を構成する要素ごとの技術は確立したことから、技術一体での実証や商用網でのユースケース実証を行い、エンド・エンドで光パスを設定できることを確認しました。さらに、このAPN step3の世界観やユースケース例、要素技術紹介を大阪・関西万博で展示することで、商用展開に向けた外部訴求を行っています。これらの詳細について本特集記事『IOWN APN step3で実現するオンデマンドなパス開通に関する実証試験の取り組み』で紹介します。

こうした要素技術のさらなる発展により、将来のAPNは、学術網の進化や広域分散データセンタを高速・大容量で結ぶネットワーク基盤として機能し、持続可能な社会と高度なデジタルサービスの実現に継続的に寄与していきます。APN step3を土台としてネットワークを将来的に発展させるうえで、どのような役割がネットワークに求められているのか、その役割を具体化するために抑えておくべき要件やユースケースについて、本記事の後半にて説明します。

また、APNを発展させるためには、市場を拡大して価格競争を促し装置などの低価格化により導入障壁を下げたり、規制を設けて、市場に粗悪サービスやプロダクトが出回るのを防いだりすることも重要で、そのためには標準化が欠かせません。NTTでは、オープン領域技術の国際的な普及展開に向け、標準化も含めたバリューチェーンを構築し、マーケットアウトをめざして

います。IOWN構想を実現するための技術領域を中心に主にIOWN Global Forum (IOWN GF)⁽³⁾でのデファクト標準化を進め、デジュール標準への入力・制定をめざします。特にITU-T (International Telecommunication Union -Telecommunication Standardization Sector) と連携すべき活動領域を積極的に掘り起こし、成果の入力等を通じた連携の強化をめざします。本記事では、IOWN GFにおけるデファクト化と、ITU-Tにおけるデジュール化の標準化の取り組みについて説明します。

多様なユースケースにこたえる APNの進化と将来像

ネットワークやITの世界は変化が速く、新しいサービスやアプリケーションが次々に登場しています。高度なデジタルサービスの実現にはネットワークの役割が非常に重要ですが、ネットワークの役割を明確にするには複数の視点が必要です。例えば「どの拠点を結ぶのか」「遅延や帯域、信頼性の要件は何か」といったことを、AI推論やIoT (Internet of Things)、ロボット活用、自動運転など多様なユースケースごとに検討する必要があります。その際、ネットワーク単体ではなく、そのうえでどのようなサービスが提供され、社会に貢献できるかまで考えることが重要です。したがって、ネットワーク技術だけでなく、ITやAI、クラウドやデータセンタの動向を踏まえ、連携可能なネットワークを開発していくことが求められます。

特にここ数年拡大が顕著なAIの分野に着目すると、生成AIを中心とした競争が進んでいます。これまでのインターネットやクラウド中心の時代は、首都圏や関西圏に集中するデータセンタやIX (Internet Exchange) にトラフィックが集まっていました。しかし、学習用データセンタはGPUや電力需要が膨大なため、再生可能エネルギーが豊富な地方に立地する動きが想定されます。さらにグローバルなお客さまの利便性の観点から、海外データセンタとの接続性も重視されます。この環境では、ネットワーク事業者をまたいで地方や国際間を効率良く結ぶ波長変換技術や、迅速な

設計やサービス提供を可能にするAPN制御技術等が重要になります。一方で、AIの推論は学習以上に遅延が求められます。推論向けデータセンタは利用者に近い主要都市に設置される可能性があり、短距離かつ少装置での接続が必要です。また、コンテナ型など小規模で機動的なデータセンタも増えており、規模や用途に応じた効率的で経済的なネットワークが不可欠です。さらに複数のAIを活用する企業も増えることから、異なる規模や場所のデータセンタを柔軟に切り替え、接続できる仕組みが求められます。

AI以外にも、IoTのさらなる高度化やロボット・自動運転など新たなサービスが広がっており、それらを支えるネットワークが必要です。APN step3を土台としてAPNを進化させつつ、スイッチングやルーティングとの連携を強化し、日本全体、さらにグローバルに最適なネットワーク基盤の実現をめざしていきます。

IOWN GFにおけるデファクト化 の取り組み

IOWN GFでは、IOWNの全体アーキテクチャの構成要素として、Open APNとDCI (Data-Centric Infrastructure) を規定し、それぞれの機能アーキテクチャについて検討を進めてきましたが、2025年6月のOpen APN機能アーキテクチャのVersion 3への改版に合わせて、Open APNとDCIをつなぐ新たな層として、DN (Deterministic Network) を規定しました(図2)。以降では、Open APNとDNに関する取り組みの概要を紹介します。

■Open APNに関する取り組み

IOWN GFでは、エンド・エンドの光パスを動的に提供可能なネットワークを、より細かい粒度で機能を組み合わせ、構成できるオープンな機能アーキテクチャの規定を進めています。このOpen APN機能アーキテクチャでは、図3に示すとおり波長単位の接続を提供するOpen APN波長エクスチェンジ (Open APN.WX) 層とともに、ファイバ接続を提供するOpen APNファイバエクスチェンジ (Open APN.FX) 層を定義しています。Open APN.FX層が備えるファイバ単位のクロスコネクト機能は

波長依存性が小さいため、Open APN.FX層によって短距離のユースケースで広く用いられ、非DWDM信号を含むさまざまなタイプの光信号を収容できるようになります。

2025年6月に公開された最新のOpen APN機能アーキテクチャ文書⁽⁴⁾では、APNの効率・運用性の向上等に向けて機能アーキテクチャを拡充しています。ユーザプレーンでは、光パスを終端するOpen APNトランシーバ（APN-T）とAPNの入り口のノード機能であるOpen APNゲートウェイ（APN-G）との間でのブランチング機能として、Open APNスプリッタ（APN-S）を新たに定義しています。APN-Sにより、データセンタ間接続やモバ

イルネットワークのように同一拠点に複数の波長を提供するユースケースにおいて、APN-GのAPN-T側のポートやAPN-G～APN-T間の光ファイバを複数のAPN-Tで共用することが可能となります。さらに、ユーザプレーンにおける特徴的な機能として波長変換についての議論が進められています。従来の光ネットワークでは、光信号を一度電気信号に変換し再度別の波長で光信号に変換することで、光の波長を変更すること自体は可能ですが、一般にデジタル領域における種々の信号処理が必要となることから、消費電力や遅延が増加してしまう傾向にあります。そこで、省電力かつ低遅延に光波長を変更可能な波長変換機能が着目されており、Open APN機能アーキ

テクチャ文書では、必要に応じてOpen APNインターチェンジ（APN-I）に波長変換機能をアドオンできる規定となっています。これにより、波長資源を有効活用し、エンド・エンド光接続可能な範囲・条件を飛躍的に拡大することが可能となります。管理制御プレーンでは、APN step3がめざす光パス提供のオンデマンド性向上に関連して、プラグ＆プレイのコンセプトを反映し、オーケストレータ・外部管理システムに代わって、ユーザ装置からOpen APNコントローラ（APN-C）への要求を契機とするユーザ装置初期接続、および光パス設定の動作シーケンス例が示されています。また、ネットワークのライフサイクルマネジメントをサポートするための機能要件をAPN-Cへ追加しています。

IOWN GFでは、機能アーキテクチャの規定や技術文書の公開にとどまらず、APNの特徴の有用性の実証・訴求、技術課題の深堀り等を目的としてPoC（Proof of Concept）活動を推進しています。PoCはOpen APN機能アーキテクチャ文書に準拠し、IOWN GF内で策定するガイドライン文書に沿って実施され、メンバ企業のアセットを活用したメンバ企業間のコラボレーションが拡大しています。

■Deterministic Networkに関する取り組み

IOWN GFでは、金融業界向けのインフラ、放送業界向けのリモートプロダクション、生成AI・LLM向けのリモートGPUを活用したグリーンコンピューティング等のユースケースを支えるネットワークとして、

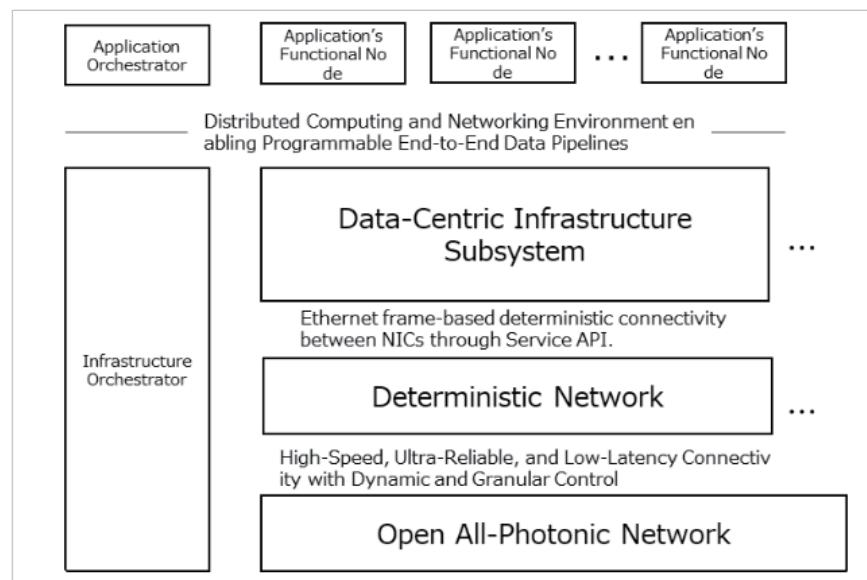


図2 IOWNアーキテクチャ

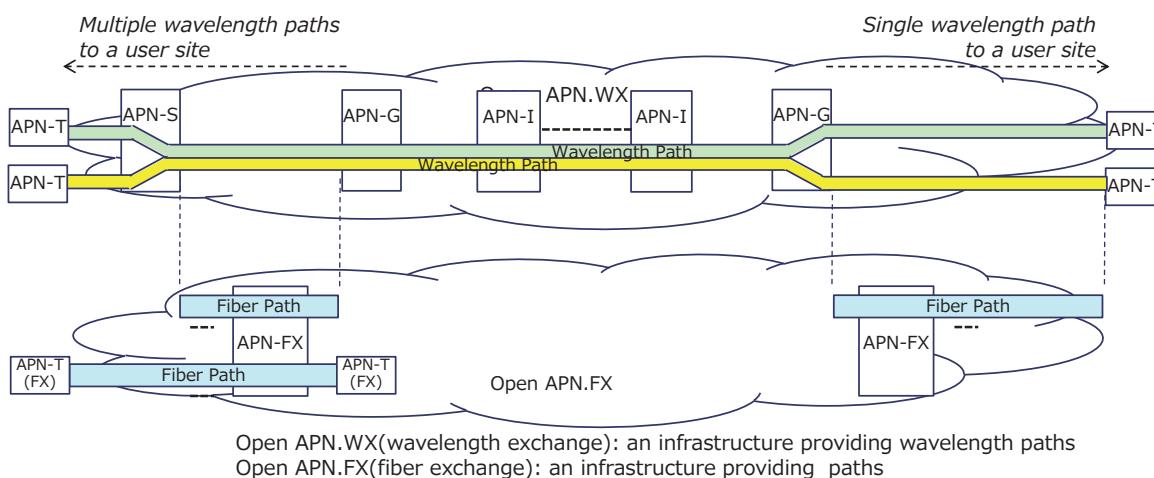


図3 Open APNアーキテクチャ

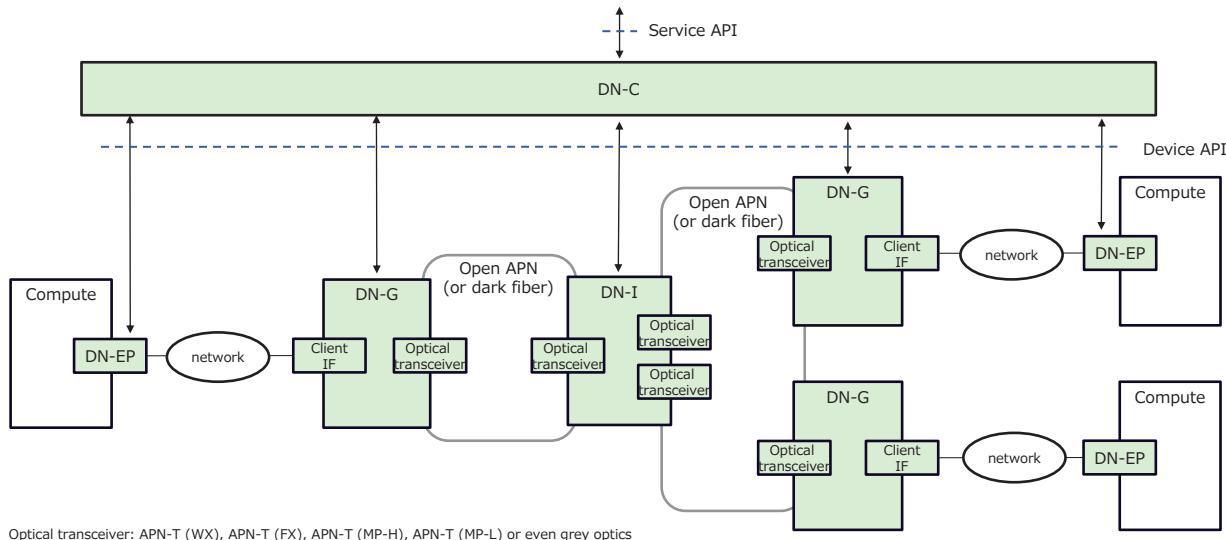


図4 Deterministic Network アーキテクチャ

拠点間をOpen APNで接続し、コンピュータのNIC (Network Interface Card) 間で確定通信（帯域、遅延保証）を実現するDNに新たに取り組んでいます。

図4に、DNのアーキテクチャを示します。確定通信コネクションの端点となるDN-EP (DN Endpoint), WANとデータセンタの境界機能を有するDN-G (DN Gateway), 光波長パスどうしを接続し確定通信コネクションの交換を行うDN-I (DN Interchange), サービスAPIからの要求を受け付け、DN-EP間に確定通信コネクションを提供するDN-C (DN Controller)を定めています。

DNアーキテクチャにより、オンプレ拠点には1本の光波長パスを提供し、これを確定通信コネクションで論理多重することで、複数のクラウド拠点への同時接続や柔軟な接続先切替を可能とし、複数データセンタにまたがるさまざまなユースケースを効率的にサポートできるようになります。

ITU-Tにおけるデジュール標準化

前述のIOWN GFにおけるデファクト化の取り組みは、先進諸国を中心とした先進的な活動ですが、IOWNの全世界的な普及に向けては、デジュール標準化をミッションとして持つITU-Tとの連携が重要です。主に以下の目的で本取り組みを推進しています。

- ① 市場拡大：新興国を含めた地球規模

の市場創造と拡大、市場拡大を通じた装置等のコスト低減効果

- ② 市場安定：標準準拠への反映を通じた粗悪模造サービス・プロダクトの排除
- ③ その他：WTO（世界貿易機関）やTBT協定（Agreement on Technical Barriers to Trade）違反となるリスクの低減

NTTを含むIOWN GF参画企業が提案し、2024年7月にITU-T SG (Study Group) 13会合において、IOWNのハイレベルアーキテクチャとして「統合ネットワーキングにおける低遅延、高エネルギー効率通信のフレームワーク」に関する寄書提案を行い、該当の勧告草案を新ワークアイテムとして議論開始することが承認されました^⑤。本勧告では、ユースケースやハイレベルアーキテクチャ、ハイレベル要求条件等の策定を行い、2026年度前半の完成をめざしています。

今後の展望

本稿では、2028年度以降のサービス提供をめざすAPN step3の具現化ならびに普及展開に向けた取り組みについて紹介しました。APNのさらなる進化に向け、将来を見据えたグランドデザイン・革新的な要素技術の確立と実証・標準化活動を通じたエコシステム構築、それぞれの活動を世界に先駆けて推し進めていきます。

■参考文献

- ① 齊藤・茶木：“APNサービス提供に向けた取り組み,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No.7, pp.18-30, 2023.
- ② <https://business.ntt-east.co.jp/service/koutaiikiaccess/>
- ③ 田島・荒金：“IOWN Global Forumの最新動向,” NTT技術ジャーナル, Vol.35, No.12, pp.10-14, 2023.
- ④ <https://iowngf.org/wp-content/uploads/2025/07/IOWN-GF-RD-Open-APN-Functional-Architecture-3.2.pdf>
- ⑤ <https://journal.ntt.co.jp/article/30722>



(上段左から) 田村 藤嗣彦 / 中川 雅弘 /
前里 健太郎
(下段左から) 金子 慎 / 武田 知典 /
林 理恵

APN step3の社会実装を通じてサステナブルで豊かなスマートワールドの具現化に貢献していきます。今後もAPNの進化ならびにAPNの特長を活かしたさまざまなユースケースの実現にご期待ください。

◆問い合わせ先

NTTネットワークサービスシステム研究所



APN step3を支える基盤システム主要要素技術

本稿では、APN step3の実現に向けた基盤システム技術としてPhotonic Exchange (Ph-EX), Photonic Gateway (Ph-GW), Subchannel Circuit eXchange (SCX) を紹介します。Ph-EXは波長帯・波長変換により異種ファイバ間接続や柔軟な波長設定を可能にし、経済性と省電力性を両立します。Ph-GWは光マルチキャスト、リアルタイム制御など柔軟な接続機能を提供します。SCXはサブチャネル単位での帯域制御や複数拠点間の同時接続を可能にし、確定性の高い通信を実現します。これらの技術概要について解説します。

キーワード: #Photonic Exchange, #Photonic Gateway, #Subchannel Circuit eXchange

せき
関 剛志^{†1} / 高橋 慶太
おう
王 寛^{†2} / 岡田 真悟^{†1}

NTTネットワークサービスシステム研究所^{†1}
NTTアクセスサービスシステム研究所^{†2}

IOWNを支えるAPN基盤システム技術の進展

NTTが提唱するIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) は、情報処理と通信の革新をめざした次世代インフラ構想です。その中核を担うのがAll-Photonics Network (APN) であり、光技術を通信の全レイヤに適用することで、従来のネットワークでは困難であった超低遅延・高信頼・大容量の通信を実現します。

まず、県内領域での低遅延、確定遅延通信を可能とするAPN 1.0を皮切りに、APN step2では長距離での提供を可能とします。現在、研究開発を進めているAPN step3は、高度化を進め、さらなる利用拡大を図って

います。その1つがAPNにオンデマンドで接続できることであり、それには、さらに大容量のパスを柔軟に制御できることが必要です。これらのユースケースは、Photonic Exchange (Ph-EX), Photonic Gateway (Ph-GW), Subchannel Circuit eXchange (SCX) といった技術連携によって支えられ、IOWN構想の社会実装に向けた基盤を形成しています。

本稿では、APNの実現に向けて重要な役割を果たす3つの技術「Ph-EX」、「Ph-GW」、「SCX」について、技術的背景、課題、解決策、そして今後の展望について説明します。

Ph-EX: 光伝送の経済化と省電力化を両立する中継技術

Ph-EXは、IOWN構想におけるAPNの中核技術の1つであり、光パスの柔軟な構成と効率的な伝送を可能にする光中継技術です。図1に示すように、従来の光伝送システムでは、光パスのクロスコネクト機能が中心でしたが、Ph-EXではこれに加えて、異なる波長帯 (C帯・L帯) を柔軟に変換する波長帯変換機能や、任意の入力波長を任意の出力波長に1波長単位で変換する波長変換機能を備えています。

これらの機能により、APN内の光パスの波長を柔軟に変更することが可能となり、既存設備の有効活用や経済的なネットワー

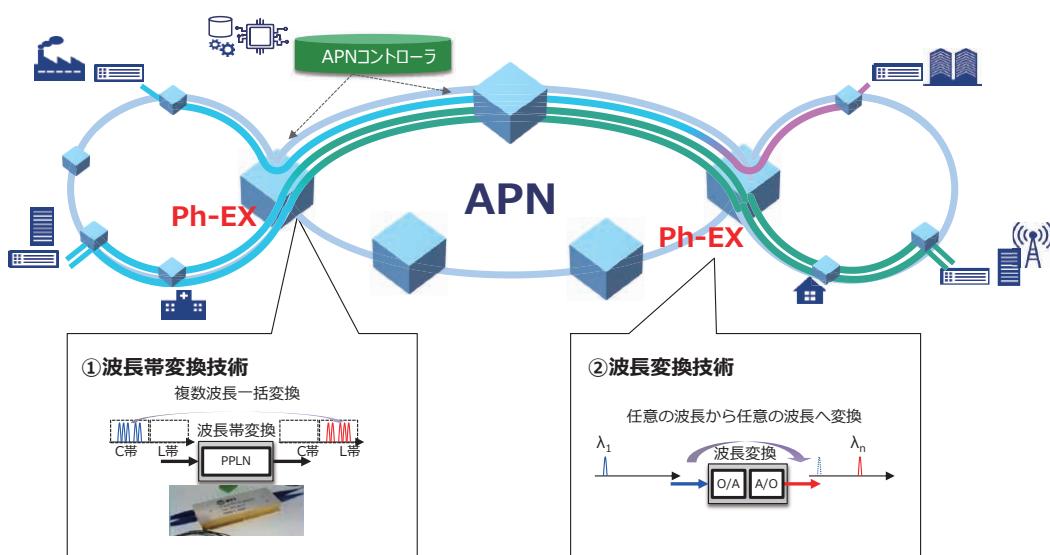


図1 Ph-EXが実現する波長帯変換技術と波長変換技術

ク展開を実現できます。特に、異なる種類の光ファイバ伝送路が混在する環境において、エンド・エンド光パスを構成するためには、波長帯変換技術が重要な役割を果たします。また、波長変換技術は、APN内での波長衝突の回避や、異なる事業者が運用するAPNをまたいだエンド・エンドパスの提供、省電力化や設備コストの削減など、多くの利点をもたらします。以下では、Ph-EXにおける代表的な波長変換技術として、PPLNを用いた波長帯変換技術と、OAO (Optical-Analog-Optical) 方式による波長変換技術について紹介します。

■PPLNを活用した波長帯変換技術

NTT先端技術総合研究所では、PPLN (周期分極反転二オブ酸リチウム) を用いた波長帯変換技術の研究開発を進めています⁽¹⁾。この技術は、異なる光学仕様の光ファイバ伝送路間や、単一波長帯を活用する既存ネットワークと、複数波長帯を活用するAPNとの間で光直結を可能にするものです。

PPLNは非線形光学材料として知られており、波長変換効率が高く、広帯域にわたり変換が可能です。この特性を活かし、伝送する波長帯と経路を選択可能な「Multi-band switchable optical cross-connect」システム構成を考案しました⁽²⁾。このシステムでは、複数の波長帯を柔軟に切り替えながら光パスを構成することができ、ネットワークの柔軟性と拡張

性を大幅に向上させます。

さらに、PPLN波長帯変換を通過させた際の光信号特性への影響について詳細な評価を行い、20回以上の変換を経ても信号品質が維持されることが実証されています⁽²⁾。このPPLNの特徴により、波長信号を終端することなく、低消費電力での接続が可能となり、APNの省電力性を損なうことなく波長帯の柔軟な運用が実現できます。

■OAO波長変換技術(光-電気アナログ-光)

OAO波長変換技術は、光信号を一度電気アナログ信号に変換し、再び光信号に戻すことによって任意の波長への変換を可能にする方式です。この方式は、従来のOEO(光-電気-光)方式とは異なり、デジタル信号処理(DSP)を用いないため、消費電力や遅延の面で大きな利点があります。

NTTでは、このOAO方式を用いた波長変換技術の性能評価を行い、波長変換を適用した場合でも中継網への適用に十分な伝送性能が得られることを実証しています⁽³⁾。具体的には、従来方式と比較して消費電力を約90%削減し、通過遅延を約99%削減できる見込みです。

この技術は、複数の事業者やネットワークをまたいだ光直結接続を実現するための鍵となります。従来のOEO方式では、デジタル処理による遅延や消費電力の増加が課題でしたが、OAO方式ではアナログ処理によりこれらの課題を回避しつつ、必要

な波長変換を実現できます。

また、OAO方式は、APNの特徴である低遅延・低消費電力・高信頼性を維持しながら、波長の柔軟な運用を可能にするため、今後の多様なユースケースへの対応にも適しています。特に、リアルタイム性が求められる映像伝送や遠隔制御、医療・産業分野での応用が期待されています。

Ph-GW構成技術

Ph-GWはAPNの入り口に配置され、多様なAPN端末を収容する光アクセスノードです。Ph-GWは、用途に応じて分離可能な複数の機能部を組み合わせて構成したディスアグリゲーション型のアーキテクチャに基づいており、従来の波長多重ネットワークを構成する伝送装置ROADM(Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer)が備える集線・分配機能に加えて、多様な光信号に対する接続制御機能・閑門機能などを実現します。本稿では、上記アーキテクチャに基づくPh-GWの基本機能に加えて、Ph-GWを活用した高度化機能として光マルチキャスト機能、リアルタイム光パス制御機能について紹介します。

■Ph-GWノードアーキテクチャ

NTTが提案しているPh-GWの基本機能を実現するノード構成例を図2上部に示し

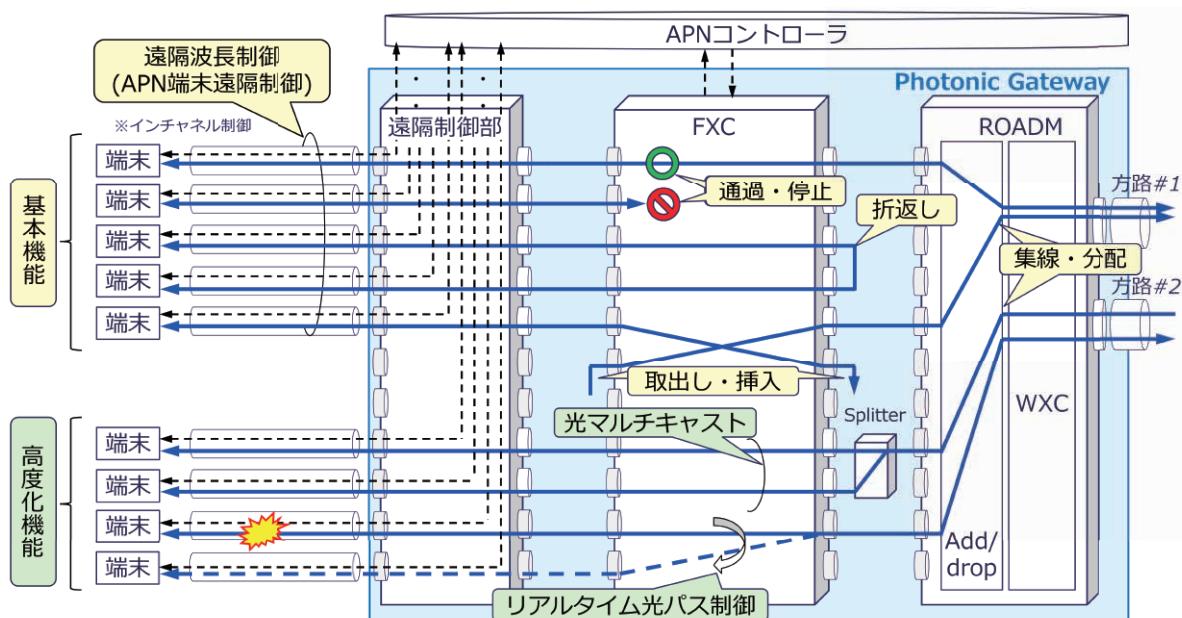


図2 Ph-GWの基本機能、高度化機能の構成例

ます。従来の波長多重ネットワークを構成するROADM機能部に加えて、遠隔制御部、ファイバクロスコネット(FXC)からなるディスアグリゲーション型構成です。APN端末に対する制御は、インチャネル制御を実現することで、別回線による外部制御を不要としています。遠隔制御部は制御信号とデータ信号を多重・分離し、通信ビル外のアクセスエリアに分布するAPN端末とAPNコントローラの間で制御監視チャネルを確立します。制御信号に波長多重を用いることで、データ信号のプロトコル・伝送方式によらず多様なAPN端末の収容を可能としています。FXCは、光パスの開通に合わせて光信号を通過させ、不正なAPN端末からの光信号は遮断する通過・停止機能を実現します。また、同じPh-GWに収容されているAPN端末間のトラフィックに対し、最短経路での接続を実現する折り返し機能や、Ph-GWの位置で電気的処理を必要とする光信号だけをいったん取り出し、処理後に挿入する機能を実現することができます。FXCはROADMを構成する波長クロスコネット(WXC)と比べて波長依存性が低いため、長距離伝送に適したC帯波長(1530~1565 nm)以外の光信号を転送することができます。そのため、O帯波長(1260~1360 nm)などの経済的な光トランシーバで広く用いられる短距離ユースケースをサポートすることができます。IOWN Global Forumでは、エンド・エンド光パスを提案する波長パス層と、波長にかかわらず通過可能なトンネルを提供するファイバパス層の2層からなるOpen APN機能アーキテクチャが定義されており、図2上部に示すPh-GWの基本機能を実現するノード構成はこの機能アーキテクチャに準拠しています。

■Ph-GWを活用した高度化機能

上述したPh-GWを活用した高度化機能の研究開発も進めています。高度化機能を実現するノード構成例を図2下部に示します。APNでは通信を行う2つのAPN端末間はポイント・ツー・ポイント(P2P)の接続方式となります。APNのさらなる発展に向けては通信方式の多様化が重要となります。例えば、大画面のディスプレイでリアルタイムに試合観戦するパブリック

ビューイングを複数拠点で実施する場合は、大容量の映像を複数拠点に配信する必要があるため、P2P以外の通信方式としてポイント・ツー・マルチポイントの接続方式の適用が期待されます。そこで、スプリッタなどの光信号を分岐する機器をFXCとROADMの間に構成し、光の信号のままコピーするマルチキャスト伝送方式の検討を進めています。電気での信号複製の処理を行わないため、低消費電力となることが期待されています。

また、ネットワーク越しでロボットやドローンの遠隔操作を行うようなミッションクリティカルなサービスを想定した場合、ネットワークの品質安定化が重要となります。そのため、品質劣化時に短時間で光パス品質を回復させるAPNサービスの実現に向けた、リアルタイム光パス制御技術についても検討を進めています。コントローラは、提供中の光パスに関してサービス品質を監視し、品質劣化を検知した際に光パスを切り替えることにより、ユーザが要望するサービス品質を満足したAPNサービスを継続提供することが可能です(図2下部)。このような品質制御は、これまでプロテクションやリストレーションとして実用化されていますが、プロテクションでは冗長化のために2倍のネットワークリソースが必要、またリストレーションでは品質復旧までに分単位の時間が必要という課題がありました。リアルタイム光パス制御は、光パス高速切替が可能なFXCを用いてコントローラが品質収集・分析・制御を行うことにより、数10 msオーダでの短時間切替を可能とし、提供中光パスに対する品質安定化とネットワークリソースの利用効率向上を両立します。また、リアルタイム光パス制御が分析に用いる品質情報は、外部連携機能を通じて、APN以外のドメインの情報に拡張可能です。これにより、品質制御の対象をAPNサービスからエッジコンピューティングや無線ネットワークを含んだエンド・エンドサービスに広げることが可能です。NTTではこれまでに、コンピュートと連携した遠隔ロボット操作の実証や、Cradio[®]との協調による無線区間の切替と連携した光パス制御の実証を実施しています⁽⁴⁾。

SCX：確定通信と柔軟性を両立する光回線交換技術

APNにより、光波長パスを任意の地点間でオンデマンドに利用可能となります。NTTでは、APNをさらに多様なユースケースで活用するために、SCX(サブチャネル回線交換技術)の研究開発を推進しています。SCXは複数の光波長パスを利用してサービスごとに専用ネットワークを構築します。これはIOWN/APNにおけるFDN(Function Dedicated Network:機能別専用ネットワーク)のネットワーク機能を実現するための技術となります。FDNにおけるネットワーク機能は現在、IOWN Global ForumにおいてもDN(Deterministic Network)としてアーキテクチャを提案しており、SCXはDNを実現する技術ともいえます。また、本技術は国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)の委託研究として取り組んでおり、本研究成果はNICTの委託研究JPJ012368C09001により得られたものとなります。

SCXでは複数の波長パスを組み合わせて多地点拠点を同時に通信可能とするために、電気処理による中継や多重・分離といった処理を行うとともに、APNの特徴である通信の確定性(確定帯域・ロスレス・ジッタレス)をエンド・エンドで実現することを目標としています。それにより、現在拠点内でしか利用されないRDMAによるGPU間通信等の高度な通信を拠点間で利用可能とします(図3)。

SCXは、APNの光波長パス上にサブチャネルとして論理的な通信路を構築します(図4)。そのために、SCXはサブチャネルの終端点であるSCX-EP(EndPoint)、SCX-EPを収容するSCX-G(Gateway)、SCX-G間の中継装置であるSCX-I(Interchange)およびそれらを統合制御するSCX-C(Controller)という要素で構成されます。SCXでは論理パスであるサブチャネルを作成するにあたり、SCX-CがSCX-EPであるNICおよびSCX-G/Iを連携制御し、ネットワーク全体の帯域を管理・制御することで、通信の輻輳を防止します。加えて、SCX-G/Iでパケット通信に利用される汎用ハードウェアを活用しつつも、

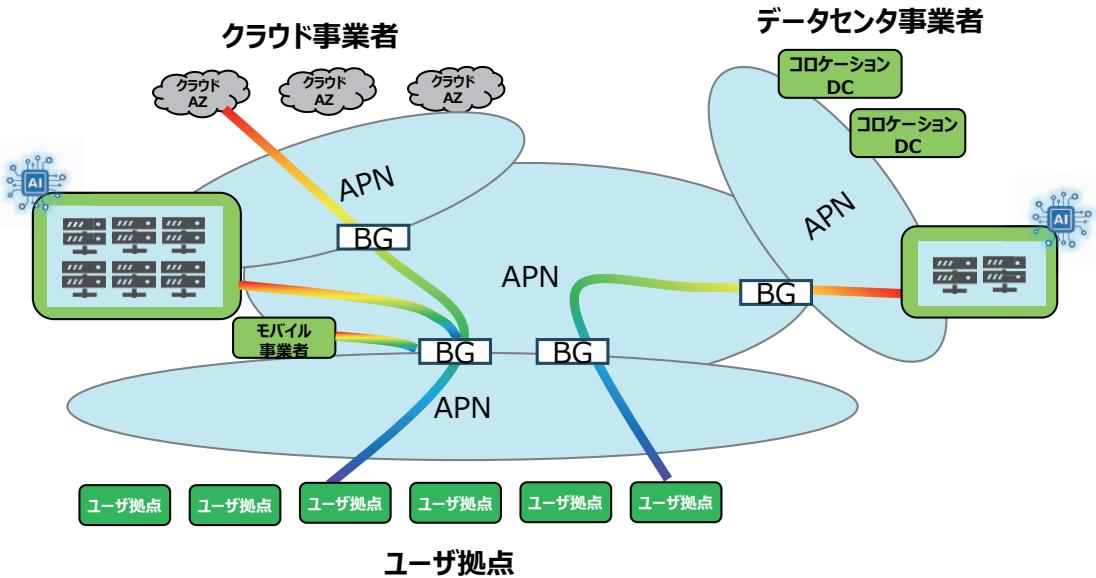
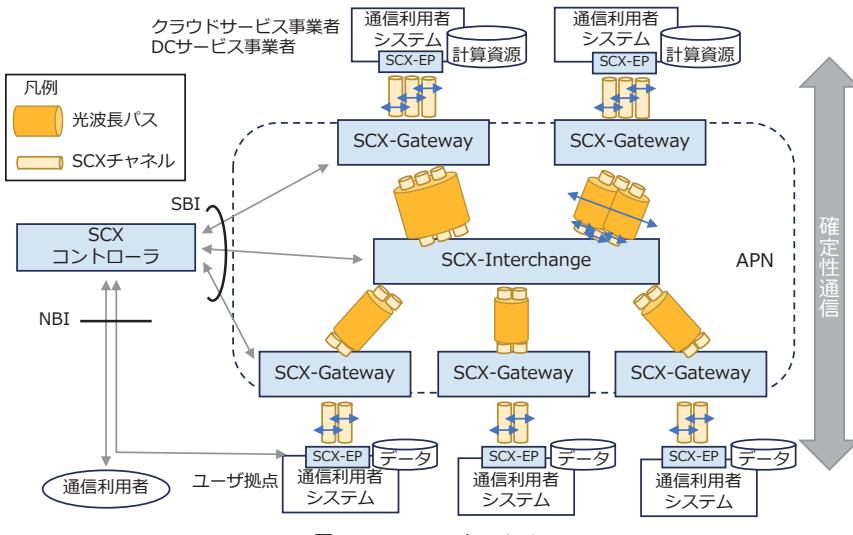


図3 SCX概要



SCX-G/I間のLinkでサブチャンネルごとにタイムスロットを割り当てた通信を行います。また、パケット技術をベースとすることで、サブチャネルの回線交換をSRv6によるソースルーティングで実現しています。そのためにSCX-EPでは途中経路の回線IDを含んだSRH (Segment Routing Header)をパケットに付与するとともに、帯域制御のためのQoS (Quality of Service)制御を行います。これらの制御・技術により、SCXでは通信の確定性を実現可能とします。

このようなアーキテクチャ・仕組みにより、SCXは複数のサブチャネルで光波長パスを共有しながら、エンド・エンドでロス

レス・低遅延・低遅延揺らぎといったAPNの通信品質を維持しつつ、ユーザの利便性向上のため、複数拠点への同時接続や柔軟な接続先切替え、帯域変更などの機能を実現します。

APN step3を支えるシステム基盤実現に向けて

Ph-EX, Ph-GW, SCXは、IOWN APN step3のシステム基盤の中核技術であり、それぞれが「経済性」「柔軟性」「確定性」という異なる価値を提供します。これらの技術が連携することにより、次世代のネットワークインフラは、より高性能で持続可

能なかたちで社会に浸透していくことが期待されます。

■参考文献

- (1) <https://www.rd.ntt/research/DT0026.html>
- (2) H. Minami, et.al. : "Band-Switchable Multi-Band Optical Cross-Connect Using PPLN-Based All-Optical Inter-Band Wavelength Converters," *Journal of Lightwave Technology*, Vol.43, No.4, pp.1725-1735, 2024.
- (3) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/11/12/241112b.html>
- (4) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/05/15/240515a.html>



(上段左から) 関 剛志 / 高橋 廉太
(下段左から) 王 寛 / 岡田 真悟

APN step3実現のために、光通信の柔軟性・経済性・確定性を兼ね備えた基盤技術が不可欠です。Ph-EX・Ph-GW・SCXの連携により、IOWN構想は社会実装へと加速し、大容量・低遅延・高信頼ネットワークを実現していきます。

◆問い合わせ先

NTTネットワークサービスシステム研究所

URL <https://journal.ntt.co.jp/article/37060>DOI <https://doi.org/10.60249/25115003>

APN step3を支える制御技術

本稿ではAPN step3においてオンデマンドの光パスの開通と管理を実現するために、NTTが研究開発に取り組むAPN（All-Photonics Network）の制御にかかる主要技術を紹介します。具体的には、①プラグ&プレイによるAPN端末自動接続を実現する光パス開通技術、②波長変換によるリソース最適化を実現する光パス設計技術、③多様な装置・システムとコントローラの接続を実現する制御・管理技術について説明します。

キーワード : #APN step3, #プラグ&プレイ, #波長変換

APN制御技術の概要

2028年ごろからの商用展開をめざす[APN step3]では、さまざまな拠点のユーザが必要なときに必要な時間だけオンデマンドにIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）APNに接続できることをめざしています。この実現には、ネットワーク運用者がユーザから光パスの設定要求を受領した際に、光伝送ネットワークの波長リソース資源、消費電力等の設定を適切に行なったうえで、APN装置を柔軟に制御することが求められます。NTTではAPN step3の実現に向けてAPNコントローラの要素技術の高度化に取り組んでおり、本稿ではそれらの主要技術を紹介します。具体的には、装置・端末の制御方式を高度化し、プラグ&プレイによるAPN端末自動接続を実現する光パス開通技術、波長変換光パスを考慮したうえで、リソースの最適化を実現する光パス設計技術、およびインターフェースと管理モデルを拡充し、多様な装置・システムとコントローラの接続を実現する制御・管理技術について紹介します。

プラグ&プレイによるAPN端末自動接続を実現する光パス開通技術

NTTでは、将来のAPNを構成する光アクセソードとしてPhotonic Gateway（Ph-GW）を提案しており⁽¹⁾、Ph-GWの機能を活用して、プラグ&プレイやさまざまな種別の光パスの収容、リアルタイム光パス切替制御⁽²⁾等を実現するPh-GWの制御技術の検討を進めています。プラグ&プレイは、APN端末をAPN提供エリア内の

任意の場所から任意のタイミングにAPNへ接続するだけで光パスが開通可能となる機能であり、APN step3がめざすよりオンデマンド性の高い光パス利用を実現する制御技術の1つとして期待されます。ここでは、プラグ&プレイによるAPN端末自動接続を実現する光パス開通技術について説明します。

■よりオンデマンドな光パスの利用形態と実現に向けた課題

APNサービスの拡大期を支えるAPN step3には、波長リソースを効率的に活用しつつ、多様化するサービスニーズに即応して光パスを提供することが求められます。これを実現するため、オンデマンド光パス提供技術^{(3), (4)}のさらなる高度化が期待されます。この高度化機能の1つとして、APN提供エリア内の任意の場所から任意のタイミングにAPNへ接続するだけで光パスを開通可能とするプラグ&プレイを実現できれば、よりオンデマンドなAPNの使い方にもこたえることができます。例えば、スポーツやイベントの会場からの映像素材を放送局などに送り編集するリモートプロダクションのユースケースにおいて、スポーツやイベントの開催スケジュールに合わせて会場にAPN端末を持ち込んで会場～編集拠点の間に光パスを自動開通するというAPNの利用方法が想定されます。これにより各会場にAPN端末を常設する必要がなくなるため、各ユーザが利用するAPN端末の数を削減できます。また、APN端末が接続するAPNノード装置のポートを利用者間で交代して利用し、共用することができるようになります。このようなAPNの利用方法により、ユーザ当り

しもだ あきひろ^{†1} / 濱上 立季^{†2}

かねこ しん^{†2} / 松川 達哉^{†1}

NTTネットワークサービスシステム研究所^{†1}

NTTアクセスサービスシステム研究所^{†2}

のコスト効率を向上し、APNサービスの利用拡大につながることが期待できます。

光パスを自動開通するためには、APNコントローラはAPN端末と当該端末が接続するPh-GWのアクセスポートの接続関係を保持している必要があります。これは、APN端末からの光信号およびAPN端末宛の光信号が光パス経路設計通りに転送されるように、APNコントローラがPh-GW内の転送経路を適切に自動設定するためです。APN端末の初期接続時に当該端末が接続するアクセスポートをAPNコントローラが自動確認・識別する新しいポート管理・運用を実現することにより、事前にAPNコントローラに収容設計情報を投入しておかなくても、APNに接続される任意のAPN端末に対してオンデマンドに光パスを開通することが可能となります。

■プラグ&プレイによるAPN端末自動接続を実現する制御方式

図1に、事前にAPNコントローラに収容設計情報を投入せず、プラグ&プレイによりAPN端末の自動接続を行うための制御方式の概要を示します。APN端末が接続されると、APNコントローラはAPN端末に対する制御信号の送受信を通じて端末を認証し、端末情報をデータベースに登録します（Step i）。次いで、APNコントローラがAPN端末の光出力を制御し（Step ii）、APN端末と当該端末が接続するアクセスポートの接続関係を確認します（Step iii）。その後、APNコントローラは確認した接続関係をデータベース上に登録します（Step iv）。複数のAPN端末が同時に接続される場合であっても、APNコントローラがそれぞれのAPN端末の主信号光を適

切に制御することにより、各APN端末の接続先アクセスポートを順々に確認することができます^⑤。以上の手順により、収容設計情報をAPNコントローラへ事前に投入しなくとも、APNコントローラがAPN端末の初期接続時に自動生成される接続テーブルを参照して、Ph-GW内の転送経路設定を行うことにより、人手を介さずに、APN端末に光パスを自動開通することができる状態になります。このプラグ&プレイの実現により、光パス開通のさらなるオンデマンド性向上に加えて、光パス開通要求数が増加していくAPNサービス拡大期における運用稼動の効率化も期待されます。また、Ph-GW～APN端末間で主信号と制御信号を多重伝送するインチャネル制御を適用することにより、APN端末がPh-GWから離れたユーザ拠点等に面的に配置される場合でも、ここで説明したプラグ&プレイ動作を実現することができます。

波長変換によるリソース最適化を実現する光パス設計技術

■ APNにおけるパス設計の課題

APN step3の実現に向けて、光パスの設計技術の検討にも取り組んでいます。APN step3では、ユーザやサービスごとに光パスを割り当てることで高品質・低遅延を実現します。ユーザやサービスごとに光パスをオンデマンドで提供するために、膨大な数の光パスの経路や波長を迅速に設計する必要があります。APNにおける光パスの経路や波長の設計は、コントローラにおけるパス計算機能で定義されており^⑥、伝送レイヤにおける制御のソフトウェア化やパス設計の自動化のために必要となります。

常時運用する光パスについては任意の2地点に対して最短、あるいは最短に近い経路を選択することが一般的です。選択した1本の経路に対して1つの波長を割り当てますが、1本の光パスが経由するすべてのリンクに同一の波長を割り当てる必要があります。この条件を波長の連続性制約と呼んでおり^⑦、波長を割り当てる際に満たす

べき条件となります。ユーザの需要から経路を決定し経路を構成する各リンクに波長を割り当てるが、波長の割り当てる方法によって収容効率に差が生じます。収容効率を上げることで設備投資の抑制につながるため、APNを柔軟かつ経済的に利用するためのパス設計方式の確立が課題となります。

■ 波長変換を伴うパス設計方式

APNの光パスに波長を割り当てる際には、エンド・エンドで同一の波長を割り当てる必要があります。一方で波長変換技術が導入され、経由する装置において波長変換が柔軟に適用できるようになると、1本の光パスにおいても複数の波長を利用することができるようになります^⑧。その際は伝送装置に対する経路や波長の設定に加えて、波長変換器に対する設定情報を生成し装置に設定します(図2)。波長変換が適用されることを前提とすると、1本のパスに複数の波長を割り当てる方法が必要となります。波長を割り当てる方法の1つとして、従来から若い番号から順番に割り当てるFF(First Fit)と呼ばれるルールが知られています。

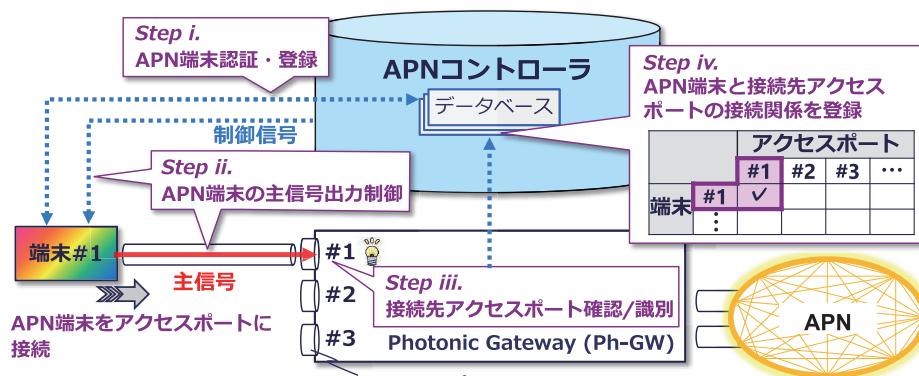


図1 プラグ&プレイによるAPN端末自動接続を実現する制御方式の概要

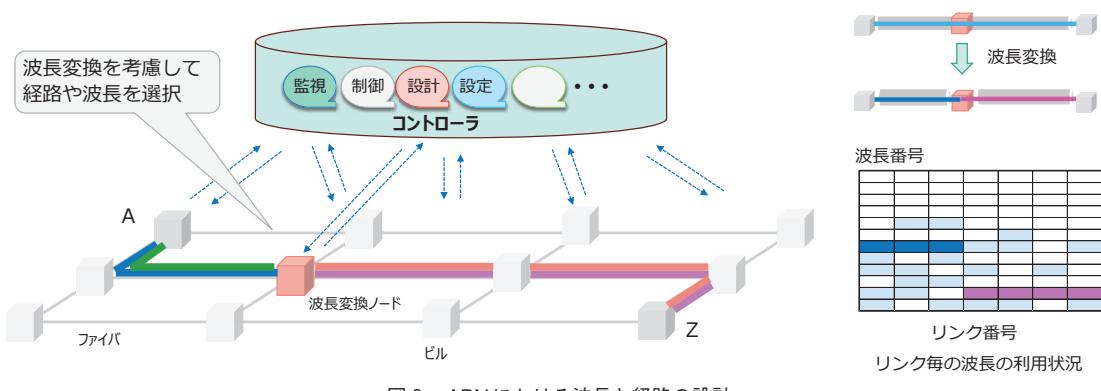


図2 APNにおける波長と経路の設計

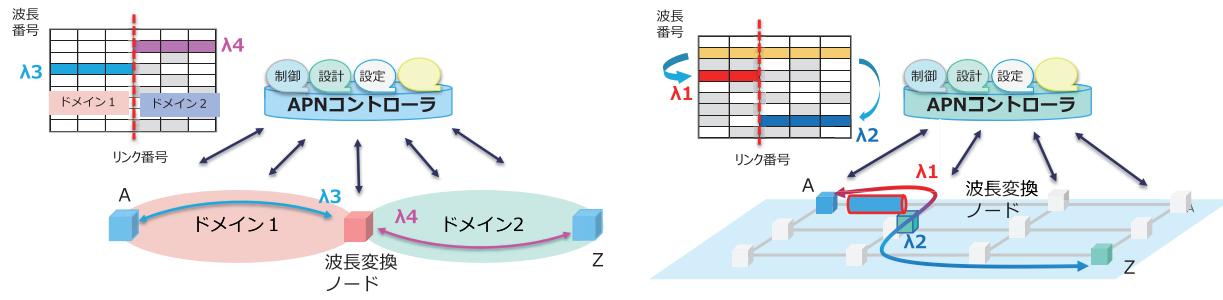


図3 波長変換の適用パターンと波長割当て

ます。FFは、簡易な手順で効率的に波長リソースを割り当てることができます。そこで、1本の光パスに対して、波長変換とFFを組み合わせて、波長を割り当てる方式についてシミュレーション等の手法を用いて検証を進めています。

■ APNにおける波長リソースの最適化

波長変換の適用例としては、伝送面等のドメイン間の接続や事業者間の接続等、管理主体や運用ルールの異なる網間の接続への適用があげられます（図3左）。網間を波長で接続する場合に、利用する波長の調停が必要となります。同一の波長を相互で調整できない場合にも、波長変換を活用することで調整の簡易化や不要化につなげることができます。結果的に、追加で必要となるリソースを最小に抑えつつ、エンド・エンドの光パスの接続性を高めることができます。波長変換の別の適用例としては、設備増設の代替としての活用があげられます。リンクに収容するパス数が増加し、最大波長番号（利用している波長の番号の最大値）が一定以上になると、設備の増設を準備する必要があります。波長変換を用いて空き波長を利用できる場合には、若い番号の波長を割り当てることで、結果的に設備の増設のタイミングを遅らせることができます（図3右）。このとき、光パスの収容状況に加えて設計対象となるパスの経路や長さ、波長変換を実施する位置等によって波長変換の効果には差が生じます。どういう条件において波長変換するパスの設計が特に有効になるのか、今後検証を進めています。

多様な装置・システムとコントローラの接続を実現する制御・管理技術

APN step3において、コントローラは

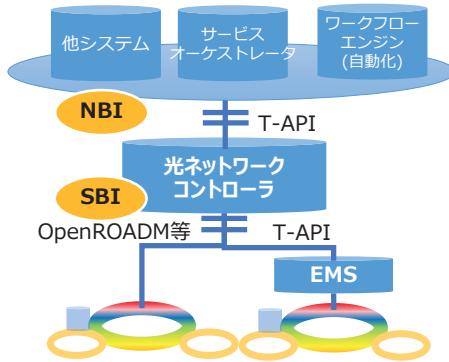


図4 光ネットワークコントローラのNBI/SBI接続構成概要

APN装置を制御すると同時に、オンデマンドかつ柔軟にエンド・エンド光波長パスを設定・管理できることが求められます。具体的には、上位システムからのサービス要求を受信し、コントローラを介してAPN機能を高度かつ柔軟に制御するためのNBI (North Bound Interface)、および波長帯変換等の新機能を含むAPN装置と接続し制御するためのSBI (South Bound Interface)，加えてコントローラ上で制御対象の装置および光パスを管理できるデータモデルが重要になります。

NTTではAPNコントローラの重要な構成要素であるNBI、SBI、データモデルの各仕様策定を含む光ネットワークコントローラ技術の研究開発を進めています。NBIおよびSBIについては、ONF (Open Network Foundation) 等の標準化団体で規定されたオープンなインターフェース仕様をベースに、光ネットワークコントローラ特有の要件を加えて策定した仕様書やインターフェース利用ガイドなどのドキュメントのオープン化を推進しています。これにより、光ネットワークコントローラ機能の国内外の活用の促進が期待されるとともに、APNに新機能を追加する際の開発障壁を低減させ、APNの社会実装の加速に繋げ

ることをめざしています。加えて波長帯変換等の新たな技術を適用したパスを制御するための光パス管理モデルの検討も進めています。

■ オープン・インターフェースを用いたNBI/SBIの概要

NTTでは、光ネットワークコントローラにオープンな規格に準拠したインターフェース仕様を採用することで、サービスオーケストレータやワークフローエンジン等の上位システムならびに装置との接続性を高めています。SBIについては、装置を直接制御するケースだけでなく、既存の光伝送ネットワークからAPNへの移行過程などでEMS (Element Management System) 経由の制御が必要になることを見越し、EMS経由で装置を制御するケースの2パターンの制御形態を想定し検討を進めています（図4）。

NBIはONFで標準化され、市中コントローラ製品で広く採用されているT-API (Transport Application Programming Interface) を採用しています。加えて実運用で求められるユースケースやAPN step3オンデマンド接続に必要な機能を考慮し、T-API仕様の拡張も検討しています。SBIは、コントローラから装置を直

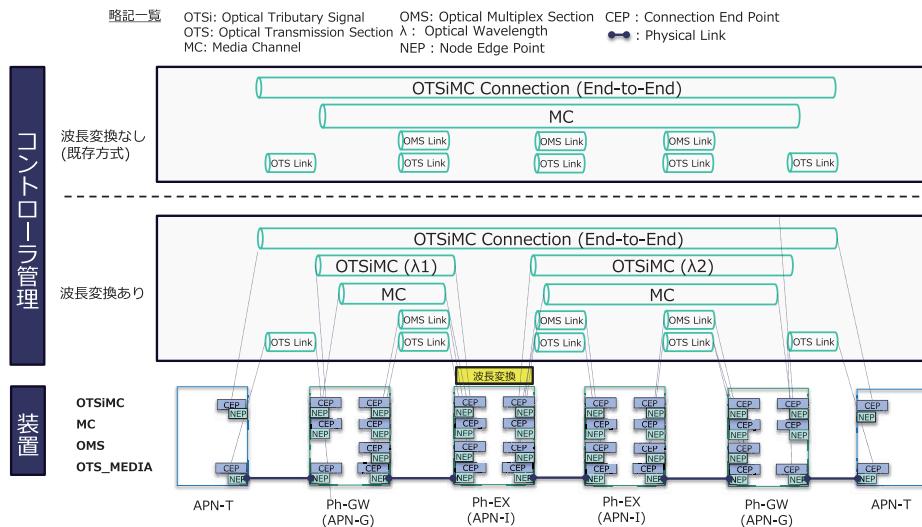


図5 波長変換を考慮した光パス管理モデルと従来モデルとの比較

接制御するケースではOpenROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer)を採用し、またEMS経由で装置を制御するケースでは、多くの市中EMSが備えるT-APIを採用しています。装置やEMSのインターフェースは標準仕様準拠であってもベンダ独自の解釈を持つケースがあるため、実機を用いて市中製品のインターフェースを調査し、SBIに具備すべき仕様を具体化したうえで仕様書を策定しています。

NTTではこれらの検討に基づき、光ネットワークコントローラのインターフェース仕様書と、仕様書の理解促進と開発加速を目的として、設計・実装の指針等をまとめた利用ガイドを作成しています。これらのドキュメントはNTTのホームページで公開し、広く利用可能としています⁽⁹⁾。またこれらの仕様を実装した光ネットワークコントローラを用いて、APN装置の実機と接続した実証実験を実施し、インターフェース仕様の実現性を確認しています。

■波長帯変換を考慮した光パス管理モデル

NTTではAPNに波長帯変換技術が導入される場合に、波長が変化する区間を含むエンド・エンドの光パスを光ネットワークコントローラが管理するために必要な光波長パス管理モデルを検討しています。現在T-APIで定義されている光パス管理モデルは、エンド・エンドで1つの波長の利用を前提としたモデルになっています(図5上段)。一方、波長が変化する区間を含む光パスを管理するためには、コントローラで

は光波長ごとにコネクションを区別して管理する必要があります。他方、エンド・エンドのネットワーク接続を1つのパスとして扱い、管理する場合もあります。NTTではこれらの要件を考慮し、光信号を表現するコネクションを波長ごとに分割し、その上位に光パスをまたいだエンド・エンドのコネクションを多段に構成することで、波長が変化する区間ごとの個別の光パス管理と、波長が変化する区間をまたいで1つの光パスとして扱う管理を両立できる光パス管理モデルを策定しています(図5下段)。

以上のNBI、SBI、および光パス管理モデルに関する研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)の助成事業(JPJ012368G60301)により得られたものです。

今後の展望

本記事では、APN step3の実現に向けて、NTTが検討を進めるAPN制御にかかる主要技術を紹介しました。今後は実証実験等を通じて各技術の実現性を検証し、APN step3の事業導入に向けて貢献をしていきます。

■参考文献

- (1) S. Kaneko, K. Honda, T. Kanai, J. Kani, and T. Yoshida: "Photonic Gateway and Protocol-Independent End-to-End Optical-Connection Provisioning in All-Photonic Metro-Access Converged Network," IEEE Photonics Journal, Vol. 15, No. 3, pp. 1-9, June 2023.

- (2) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/05/15/240515a.html>
- (3) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2025/03/31/250331a.html>
- (4) <https://journal.ntt.co.jp/article/33809>
- (5) S. Kaneko, Y. Kimura, R. Igarashi, N. Shibata, T. Suzuki, M. Fujiwara, J. Kani, and T. Yoshida: "Photonic gateway architecture extension and guard time-free initial connection method with point-to-multipoint remote control for metro/access converged all-photronics network," in Journal of Optical Communications and Networking, Vol. 16, No. 12, pp. 1229-1240, Dec. 2024.
- (6) <https://iowngf.org/wp-content/uploads/2025/07/IOWN-GF-RD-Open-APN-Functional-Architecture-3.2.pdf>
- (7) https://www.rd.ntt/research/JN20200322_h.html
- (8) https://www.rd.ntt/iown_tech/post_21.html
- (9) https://www.rd.ntt/ns/optical_network_controller/interface_specification.html



(左から) 下田 晃弘 / 濱上 立季 / 金子 慎 / 松川 達哉

本記事で紹介した技術はIOWN Global Forumでも積極的に発信し、NTT技術を国内外に普及させるための活動も行っています。今後も引き続き、IOWN APNの価値向上と社会実装の加速に向けた研究開発に取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTTネットワークサービスシステム研究所
通信トラヒック・品質・オペレーション研究プロジェクト



APN step3で実現するタイムリーな光パス開通に関する実証の取り組みについて

さまざまな拠点のユーザが必要なときに必要な時間だけタイムリーに接続できるAPN (All-Photonics Network) の新たな接続形態の実現に向けて、APN step3の技術検討を進めています。並行して、APN step3における新たな接続形態に関してAPNを利用するユーザに効果・価値を訴求すべく、技術実証や商用回線を活用したユースケース実証を行ってきました。本稿では、これらの取り組みの内容について紹介します。

キーワード : #APN step3, #光パス開通, #技術実証

たかはし けいた^{†1}
高橋 慶太
 まつざき しゅん^{†1}
松崎 瞬
 すずき かずと^{†2}
鈴木 一登

NTTアクセスサービスシステム研究所^{†1}
 NTTネットワークサービスシステム研究所^{†2}

はじめに

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想では、光技術を最大限に活用したIOWN APN (All-Photonics Network)において、大容量・低遅延な光パスを、消費電力を抑えつつユーザに提供します。これによりインタラクティブなライブ映像配信サービス、遠隔手術、工場DX (デジタルトランスフォーメーション)などを可能にすることが期待されています。

これまで、2023年3月にNTT東日本・西日本にてIOWN1.0のサービス提供を開始したことを皮切りに、IOWN APNの大容量・低遅延という特徴を活かしたさまざまな実証を行っています。例えば、IOWN APN step1, 2 for Enterpriseとして、日本と台湾の間をAPNで接続し、約3000kmの距離で低遅延かつ揺らぎのない安定した通信を実現しました。また、IOWN

APN step1, 2 for DCX (Data Center eXchange)として、海外においてもデータセンタ間のAPN接続に取り組んでいます。

そして、新たな接続形態として、さまざまな拠点のユーザが必要なときに必要な時間だけタイムリーにIOWN APNに接続できることをAPN step3ではめざし、要素技術の検討を行っています。これまで、APNの効果・価値を訴求すべく、技術実証や商用回線を活用したユースケース実証を行ってきました。

本稿では、これらの取り組みの内容について紹介します。

モードプロダクションがあります。映像制作を行う際、スタジアムやイベント会場といったさまざまな場所と映像制作拠点をAPNで接続することで大容量・低遅延に映像を収集することができます。

現在、APNへの接続をユーザに提供する際には、技術を持った作業者を現地に派遣してデータ送受信機を設置するとともに、現地の作業者とネットワーク内のAPNの装置の設定などを行う遠隔のオペレータが連携し、光パスの設定作業を実施します。スポーツ中継やライブ中継ではさまざまな場所に光パスを設定すると、光パスの数が増え、それぞれの光パスをよりタイムリーに設定する必要があります。そこで、作業者を現地に派遣することなく、オペレータから送られてきたデータ送受信機をユーザの都合の良いタイミングでAPNに接続するだけで、自動的に接続を検知して光パスを設定できるようになれば、よりタイムリーに光パスを提供することができます(図1)。

APN step3技術実証

APN step3が提供するユースケースとして、現地での映像制作に代わり、大容量・低遅延なデータ転送により、クラウド上や放送局内での映像制作を可能とする映像リ

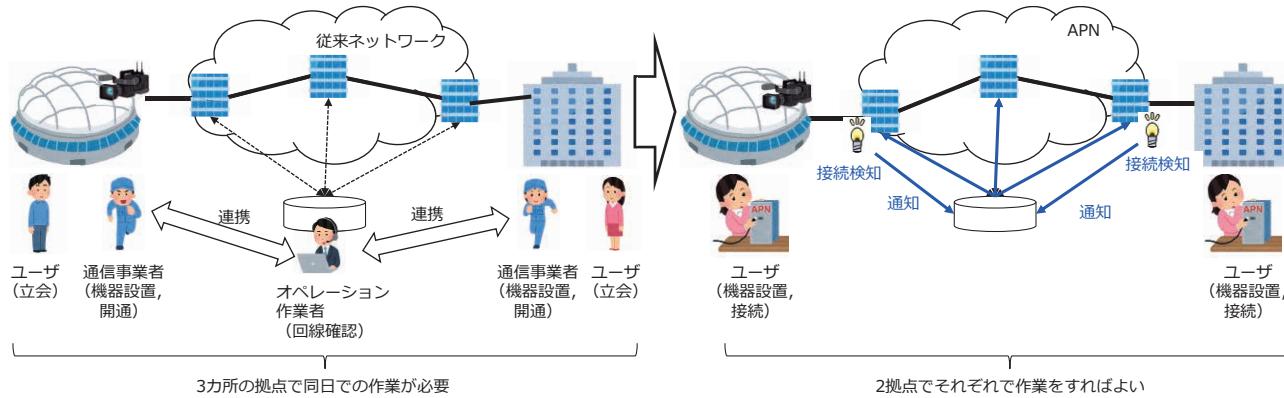


図1 従来の光パス設定作業（例）と提案する光パス設定作業

また、映像制作拠点が収集する映像が撮影されるスタジアムなどは全国に存在するため、光パスも広範囲に提供する必要があります。広範囲に光パスを提供するためには、既存設備のネットワークに敷設されているさまざまな種類の光ファイバを使います。光ファイバには種類によって、光パスに使われる最適な波長帯が異なります。このため、広範囲に光パスを提供するためには、ファイバの種類ごとに最適な波長帯に光パスの波長を変換して提供できるようすることが求められます。

そこで、これらの課題を解決するため、APN step3を支える要素技術として Photonic Gateway (Ph-GW), Photonic Exchange (Ph-EX), APN コントローラの研究開発を進めており、映像リモートプロダクションを想定して実証実験

を行ってきました。実証実験を行った系と手順について図2に示します。映像処理を行う映像制作拠点がスタジアムのような撮影拠点から映像を収集することを想定し、それぞれの拠点を Ph-GW 並びに Ph-EX といった APN 機器 6 台からなるネットワークを構成しました。ここで、Ph-GWには、データ送受信機を接続したことを契機に、APN コントローラがトランシーバ情報を認識するプラグ&プレイ機能が実装されています。Ph-EXには従来の光ノードシステムが有している機能に加え、伝送波長帯を一括で変換する波長帯変換機能が実装されています。また、APN 機器間を接続するファイバとしては既存設備のネットワークを想定し、シングルモードファイバと分散シフトファイバの両方を適用しました。この実証実験の系にて、撮影拠点側の APN

データ送受信機へ光ファイバが接続された際、プラグ&プレイ機能により Ph-GW が接続情報を検出、APN コントローラへ光パスの開通要求を送信し、APN コントローラが Ph-GW, Ph-EX, データ送受信機にパス設定要求を送信することで、光パスが設定・開通されることを確認しました。なお、APN コントローラの一部機能は、国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) の助成事業 (JPJ012368G60301) により得られた成果を活用しました。

光パス設定動作の実証結果について図3(a)に示します。光ファイバ挿入側のデータ送受信機の光信号を APN 機器で検出したのちに、APN コントローラがデータ送受信機に光パス設定要求を行うことで、光ファイバ挿入側のデータ送受信機から光信号が output されます。すべての APN 機器に

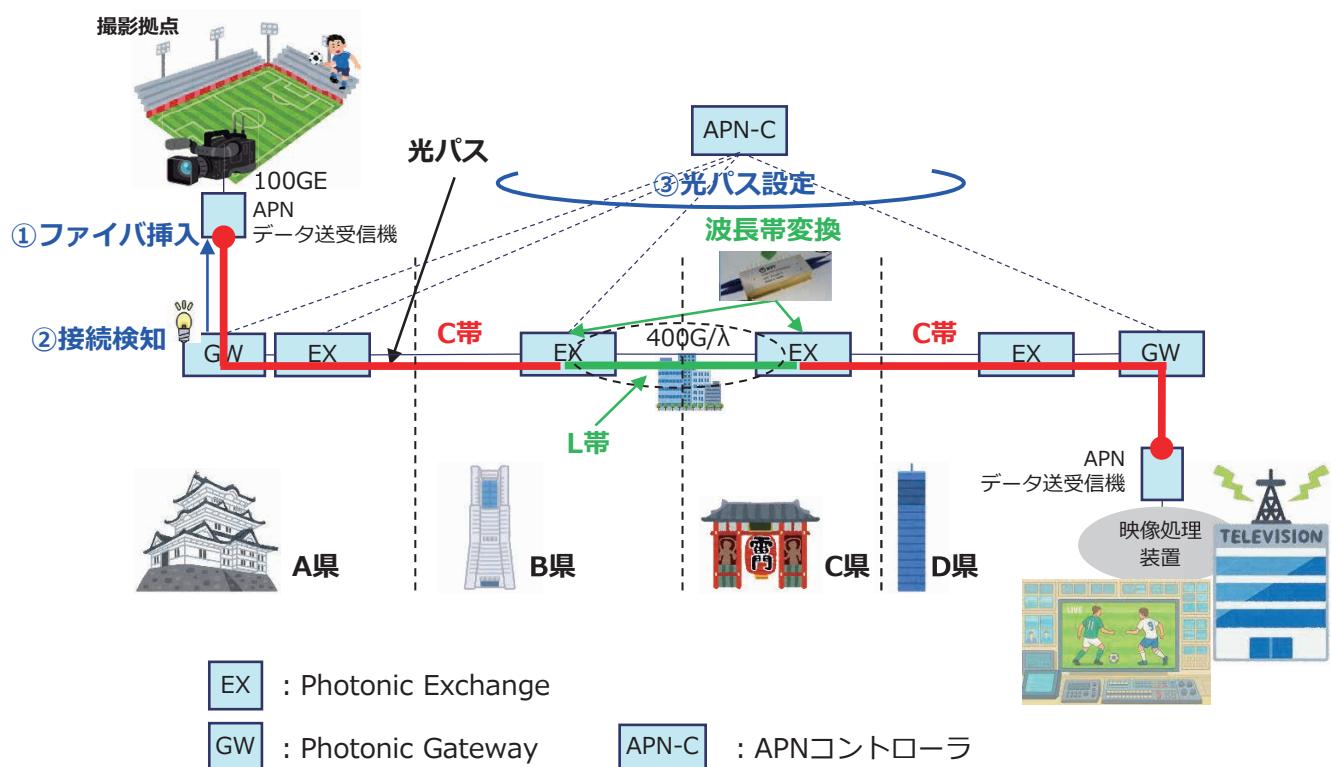


図2 APN step3での光パス設定機能実証系と手順

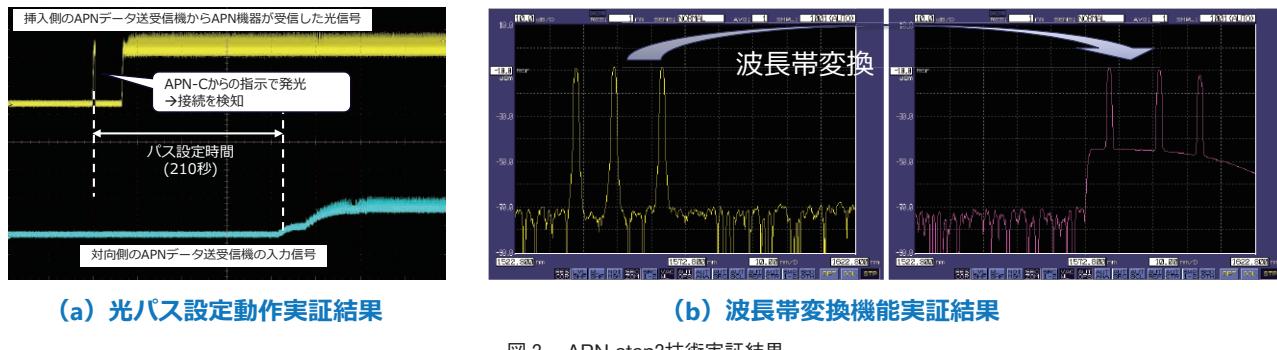


図3 APN step3技術実証結果

おいて光パスの設定が完了すると、対向側のデータ送受信機にて、APNの光パスを通過してきた光信号が検出できることを確認しました。

さらに、Ph-EXでの波長帯変換機能の実証結果を図3 (b)に示します。シングルモードファイバの区間（図2におけるA県APNデータ送受信機～B県のPh-EXまでの区間、およびC県のPh-EX～D県のAPNデータ送受信機までの区間）では図3 (b)左図のようにC帯の波長の光パスが設定されているのに対し、分散シフトファイバの区間（図2でのB県のPh-EX～C県のPh-EXの区間）ではPh-EXにて波長帯変換されL帯の波長の光パスが設定されていることを確認しました。

これらの結果により、ユーザが使いたいときに、APNに機材を接続するだけで自動的に接続できるようにするためのプラグ＆プレイ機能、既存のファイバ設備をそのまま使用してAPNを広範囲に提供するための波長帯変換の基本機能を実証することに成功しました。

商用回線を活用したAPN step3ユースケース実証

APN step3の要素技術は実験室での検証により確認されましたが、実際のサービス展開を考えると、それだけでは十分では

ありません。サービス展開に向けては、APN step3の要素技術の適用領域を明確にする必要があります、技術の有効性に関してユースケースを通じて示すことが重要です。そこで今回は、技術検証に加えて実際のユースケースを想定した実証にも挑戦しました。APN step3がめざすのは、ユーザが必要とするときに、必要な場所と柔軟に接続できるオンデマンドな光パス提供です。従来のAPNは1対1の専用光波長パスを前提として展開され、超低遅延・大容量・低消費電力といった特長を活かしてきました。今後、AI（人工知能）やクラウドを介したリアルタイム処理が拡大すると、1つの拠点から複数の拠点に接続する必要があるため、従来のAPNではそれぞれの拠点間に専用光波長パスを提供する必要があります。しかし、各拠点間において、通信が必要な時間帯が限られているユースケースでは、従来の常設型専用線は柔軟性やコスト効率に限界があるため、よりオンデマンドな接続基盤が求められます。

具体的なユースケースとしては、スタジアムやイベント会場といった全国の遠隔拠点から大容量・低遅延で映像を収集し、クラウド上や放送局内で制作を行う「映像リモートプロダクション」が挙げられます（図4）。スポーツ中継や音楽イベントのように大規模な会場で発生する映像データは膨大であり、これを遅延なく伝送し、遠隔地

の制作拠点でリアルタイムに編集・配信する技術は、コンテンツ産業において新しい付加価値を生み出す鍵となります。

従来方式では、会場ごとに専用線を敷設し、本拠地や遠征先を常時接続する必要がありました。これに対してAPN step3では、商用回線を用いて必要なタイミングで接続先をオンデマンドに切り替えることが可能となります。端末機器を接続するだけで、エンド・エンド光パス設計技術により経路と波長が即座に決定され、波長変換・波長帯変換技術がファイバ種別の違いを吸収し、プラグ＆プレイ機能が設定作業を自動化します。これらの組合せにより、従来は数ヶ月単位の調整が必要だった接続準備を短時間で実施することが可能になります。

こうした背景から、APN step3は「遠距離・多拠点利用を前提としたサービス」として実現することが重要であり、その性能と有効性を示すには、外乱等がなく検証に最適な環境である実験室の検証だけでは不十分です。数100 km規模の大容量伝送や異なる光ファイバ設備をまたいた接続といった現実的要件を評価するためには、実際の商用回線を用いた長距離実証が不可欠となります。

そこで本取り組みでは、検証ネットワークの一部にNTTが提供する商用APN step2回線を利用し、武蔵野研究所から大阪・夢洲（2025年大阪・関西万博会場）ま

従来方式



メニュー①：本拠地スタジアム

応援する地元サッカーチームの試合を中継しようとする場合、これまでには本拠地、遠征先に接続しようとすると、それぞれに専用線の繋ぎっぱなしが必要（もしくは中継先に都度中継車派遣）

メニュー②～x：遠征先スタジアム

提案方式



図4 APN step3で想定されるユースケース例

でを結ぶネットワークを構成して、ユースケースを想定した検証を行いました。この検証ネットワークは複数のドメインをまたぎ、異なる種類の光ファイバ設備を含む実運用に近い環境で構成されています。実証では、Ph-GWやPh-EXを用い、エンド・エンド光パス設計、波長変換、プラグ&プレイといったAPN step3の中核技術を適用しました。その結果として、本実証により、APN step3の中核技術であるエンド・エンド光パス設計、波長帯変換、プラグ&プレイが、商用回線を用いた長距離環境でも有効に機能することを確認しました。これにより、実験室での検証を超えて、実運用を見据えた信頼性を示すことができました。

得られた成果は、映像リモートプロダクションをはじめとする大容量・低遅延通信のユースケースに直結するだけでなく、災害時バックアップや産業・医療分野での応用にも広がる可能性を持ちます。さらに、

本検証の一部を展示した万博会場では、来場者や関係者から以下のような反応が寄せられました。

- ・柔軟な拠点追加や災害時バックアップ
- 用途への有効性を評価する声
- ・遠隔地からの操作に対する関心
- ・スポーツ施設改修やイベント運営との連携意向

こうしたフィードバックは、APN技術の社会実装を加速させるうえで貴重な示唆となりました。

おわりに

APN step3がめざす新たな接続方法により、今まで以上にさまざまなユースケースでAPNサービスを利用できることが期待されます。今後、本取り組みの機能実証結果ならびに万博での展示を踏まえ、APN step3の実現に向けて、2028年度以降のサー

ビス提供をめざし、各種機能の商用化開発を進めていきます。また、IOWN Global Forumを活用し、Open APN Functional Architectureへの提案を通じて、APNの機能実証や普及展開を推進していきます。



(左から) 高橋 慶太 / 松崎 瞬 / 鈴木 一登

APN step3実現のため、ユースケース合わせた価値の訴求をこれまで行ってきました。今後もAPNの進化ならびにAPNの特長を活かしたさまざまなユースケースの実現に期待してください。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所



主役登場

豊かな体験をユーザに届ける 光のネットワーク

深谷 崇文 *Takafumi Fukatani*

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
主任研究員



光ネットワークは通信インフラの下支えをする領域であり、これまでにもネットワークの大容量化およびコスト削減に貢献をしてきました。一方で、光ネットワークで增收は実現できるのかという課題は、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) APN (All-Photronics Network) が取り上げられる以前から、当時の上司や他研究所の方と議論していました。その答えがなかなか見つからない中、30代前半にサービス開発業務に携わることになり、お客さまと意見を交わすたび、ユーザまで光ネットワークを届くことができれば、付加価値のあるサービスを提供でき、增收も実現できるのではとたびたび考える機会を得ました。IOWN APN、特にAPN step3は、ユーザが必要とするときに光ネットワークを届けるというビジョンを実現できるのではと、期待をもって研究しています。

現在の光のネットワークは階層型で構築されており、ユーザに光ネットワークを届けるには複数のネットワークを通過する必要があります。一方でAPNはそれらの階層をなくし、光ネットワークをフラットに面的展開することが可能、すなわちこれまでの垣根を越えてネットワーク間の連携が可能になっています。APN step3の技術面での実現には、APN Controller (APN-C) / Photonic Gateway (Ph-GW) / Photonic Exchange (Ph-EX) を研究するNTTネットワークサービスシステム研

究所、NTTアクセスサービスシステム研究所、NTT未来ねっと研究所などが連携し、これまで各々実施していた技術議論を横通しで行うことにより、異なる価値観が組み合わされた相乗効果をネットワークに提供できると考えています。

私たちのグループで取り組んでいる伝送システムPh-EXの研究では、複数の光信号のチャネル番号（波長）を一括で変換することを可能とするうえで、キーデバイスとなるPPLN (Periodically Poled Lithium Niobate) の研究を推進するNTT未来ねっと研究所、NTT先端集積デバイス研究所、NTTデバイスイノベーションセンタとの連携も強化しています。APNでは、従来電気信号処理を加えながら実現してきた機能を、光の特性を活用してネットワークを実現します。それらの技術は一般には研究段階であるものが多く、PPLNにおいても同様の状態でした。しかしながら、APNの実現にあたっては重要な技術であるため、PPLN研究チームからシステム開発を担うネットワークイノベーションセンタまで研究所横断で連携体制を構築し、波長帯変換を搭載したPh-EXプロトタイプを実現しました。波長帯変換は複数の市販技術による実現も可能ですが、PPLNではそれらと比較し高効率に変換ができる、システムに実装してもネットワークに必要な光特性を満足できる可能性を示唆しました。これは、NTTがデバイスの基礎研究からシステム、

ネットワークの研究を一連で実施しているため実現できたと考えています。

Ph-EXプロトタイプ含め、各研究所で一定のかたちをつくり上げたうえで、APN step3を構成する要素技術をまとめネットワークとしての機能実証をする際には、APN-CとPh-EX/Ph-GWのIF、Ph-EXとPh-GWの接続インターフェース、制御シーケンスなどを、実現したいシナリオに沿って一気通貫で整理し、ユーザ端末間で伝送品質を適切に確保できるなど、各担当がそれぞれの情報を持ち寄りながら検討し、机上にて実現性を担保しました。実機を用いて実証する際には、物量が多いこともあります、ビルやフロアが異なる物品を接続するため、物品間を接続する光ファイバの特性を把握し、机上検討結果に照らし合わせながら実証を完遂させました。APN step3で得られる効果を示せただけでなく、机上だけでは見落としてしまう課題を抽出することもでき、APN step3の社会実装にまた一歩近づくことができたと考えています。

APNは複数の要素技術が組み合わさることで実現することができ、IOWNが提供するさまざまなサービスの基盤になります。デバイスからシステムまで一貫した研究開発が可能であるNTTならではのネットワークにより、豊かな体験をユーザに届けられるよう、検討を続けていきます。

NTTグループの建設DXへの取り組み

本特集では、インフラの老朽化、技術者の高齢化・人出不足が深刻化する建設業界において、人々の豊かな暮らしを支え、お客様のパートナーとして頼れる存在であり続けるためのNTTグループの建設DX（デジタルトランスフォーメーション）への取り組みについて紹介する。

建築の“意味”を拡張する——街区という最小都市システムと運営設計の統合（SSPPの実装から）

30

本稿では、NTTが推進するSSPP（Sustainable Smart City Partner Program）の活動を通じて、建築がまちづくりの中で果たす役割を再定義し、地域状況の可視化、継続的伴走支援から、“建築”が都市の持続的な運営構造の中でどのように位置付けられるべきかを検討する。

IOWN Global Forumにおける建設業界初のユースケース

35

高齢化と人手不足が深刻化する中、建設業界では生産性と安全性の向上が急務となっている。IOWN Global Forumで安藤ハザマを中心に取り組みを進めている遠隔の山岳トンネル施工管理における4つのユースケースを紹介する。

建築

遠隔施工管理

DX

ドローン

メッシュ Wi-Fi

建設現場に入り込み本質を見極めた施工管理DXの実現 40

本稿では、NTTドコモビジネスが人々の豊かな暮らしの創造をめざし、お客様の事業を支え頼りになるDXパートナーになるための主な取り組みとして、工程表を軸とした施工管理DXについて紹介する。

最新ドローン×点検技術×AI・デジタルツールによる インフラメンテナンス技術の革新 43

本稿では、インフラ老朽化・技術者の減少という課題に直面する中で、ジャパン・インフラ・ウェイマーク (JIW) が豊富な点検ノウハウと開発力を武器に進めている、ドローンを活用した次世代の橋梁点検や、建設業界への展開について紹介する。

建設現場のDX課題に挑む：「e-Stand」が切り拓く 現場革新と通信インフラの技術課題解決 47

本稿では、他産業とは異なる構造的・文化的な特徴を持ち、DXの推進が難しい状況にある建築業界の課題解決に挑むネクストフィールドの建設ダッシュボードサービス「e-Stand」の開発、および通信インフラ技術課題への取り組みを紹介する。

建築の“意味”を拡張する——街区という最小都市システムと運営設計の統合(SSPPの実装から)

建築の価値は、完成の瞬間にあるのか。それとも運営され続ける過程にあるのか。本稿では、NTTが推進するSSPP (Sustainable Smart City Partner Program) の活動を通じて、建築がまちづくりの中で果たす役割を再定義します。名古屋市東桜街区でのISO37106認証をはじめ、SUGATAMIによる地域状況の可視化、継続的伴走支援という実装手法を通じて、“建築”が都市の持続的な運営構造の中でどのように位置付けられるべきかを検討します。

キーワード: #建築, #街区運営, #スマートシティ

もとき けんた^{†1}
元木 健太
 たかだ てるふみ^{†2}
高田 照史
 かしま さとる^{†2}
鹿嶋 智
 NTTアライアンス部門^{†1}
 NTTアーバンソリューションズ^{†2}

まちづくりと建築、その境界を見直す時代へ

建築はこれまで、土地に刻印される「モノ」として価値を語られてきました。構造や意匠、素材や技法、ランドマーク性など、単体での完成度が重要視されてきた背景には、都市そのものが“ハード”で成り立っていた時代の考え方が色濃く残っていたといえるでしょう。

しかし現在、人口構造の変化や気候危機、社会の多層化に加え、デジタル化によって

都市の運営が大きく見直されつつあります。建築はもはや単なる構造物ではなく、街区という最小単位の都市システムの中で、“運営される対象”としての意味を持ち始めています。建築物の価値は竣工時にピークを迎えるのではなく、運営・データ・参加によって持続的に進化するものとしてとらえ直すべき局面を迎えているのではないでしょうか。

このような背景のもと、NTTが推進する「SSPP (Sustainable Smart city Partner Program)」は、サステナブルかつ

Well-being^{*1}なまちづくりの“実装”を支援することを目的に立ち上げられました(図1)。SSPPは、地域が主体的にまちの将来像を描き、それを実装するために、「可視化 (SUGATAMI^{*2})、標準化 (ISO)、伴走人材 (ソーシャルデザイナー^{*3}育成)」という3つの仕組みを用いて、まちの形成から運営まで一貫して支援する取り組みです。

とりわけ注目すべき成果として、愛知県名古屋市の「東桜街区」において、日本初となるスマートシティ国際規格ISO37106^{*4}の認証を取得(2022年)し、さらに翌年には世界で2例目となるレベル4の最高評価を達成したことが挙げられます。



図1 SSPPの概要

*1 Well-being (ウェルビーイング)：単なる健康や経済利得にとどまらない、心身・社会関係・暮らしの充実を含む包括的な“よさ”を指します。本稿では、地域が実装を通じて高めるべき目的価値として扱います。

*2 SUGATAMI (すがたみ)：地域の“いま”を俯瞰的・客観的に把握できるよう、都市機能・満足・幸福を多面的に可視化する取り組みです。18分野(住宅、交通、健康、教育、環境、福祉、都市計画・地域計画、テクノロジー・R&D、ガバナンス、コミュニティ、文化・スポーツ、食料、水、安全性、人口・こども・子育て、財政・行政サービス、気候・エネルギー、経済)を対象に、都市機能や満足・幸福などを多面的な指標で可視化する取り組みです。

*3 ソーシャルデザイナー：構想(ビジョン・目標設計)から実装(運用・改善)までを横断し、関係者間の合意形成と前進を伴走する人材を指します。計画と運営の断絶を埋め、地域内に実装力を内製化します。

*4 ISO37106：スマートシティの運営モデルに関するガイダンス規格です。人間中心・協働・データ駆動の原則に基づき、ビジョンから運用・継続改善までのプロセス整備を求めます。

SUGATAMIの構成要素



まちを構成する18分野

経済
人口・こども・子育て
教育
気候・エネルギー
環境・廃棄物
水
安全性
財政・行政サービス
ガバナンス
文化およびスポーツ
コミュニティ
テクノロジー・R&D
健康
食料
都市計画・地域計画
住宅
交通・輸送
福祉

キャントリルラダー(2問)
幸福4因子(8問)
Self-as-We尺度(22問)

図2 SUGATAMIの構成要素

す^{(1)~(5)}。これは、まちづくりの運営に関する取り組みが計画・実行・成果測定まで高い水準で行われていることを意味します。

このような取り組みは、従来型の“建てるまちづくり”とは一線を画すものです。設計・施工・竣工で完結する建築ではなく、運営・体験・評価・改善といったまちの営みと一体化した建築のあり方が問われているのではないかでしょうか。

本稿では、「街づくりの中での建築」という観点から、SSPPが提示する実装の仕組みを整理しつつ、建築が“空間”としてだけでなく“構造体”として都市運営にどう貢献できるかを探っていきます。

SSPP：地域の幸福を可視化し、“実装”まで寄り添う仕組み

■SSPPの設計思想

SSPPは、「サステナブルでWell-beingなまちづくりの実装」を掲げ、地域が自律的にまちの未来を描き、その実装に向けて持続可能な仕組みを共創することを支援する取り組みです。その際、単なるプロダクトやソリューションの導入ではなく、地域の価値観や特性を踏まえたビジョン策定と

運営プロセスの定着までを対象としています。

これを実現するために、SSPPは大きく3つの機能を備えています。すなわち、①地域の今を可視化するSUGATAMI、②まちづくりの伴走人材を育成するソーシャルデザイナー育成プログラム、③国際規格に基づいたまちの運営の“型”を導入・運用支援するスマートシティISO支援の三位一体です。

■SUGATAMI——まちの「いま」を映す鏡

SUGATAMIは、地域に住まう人々の幸福度や都市機能に対する満足度など、従来の経済指標ではとらえきれなかった地域の“豊かさ”を可視化するための仕組みです(図2)。都市を構成する18の分野(住宅、交通、健康、教育、環境など)について、「満足度」「理想度」「重要度」といった定量・定性のデータを、アンケートや既存の公開データから総合的に抽出・分析し、地域が抱える構造的な課題や強みを明らかにします。

この結果は、市民との対話の材料として活用されるだけでなく、まちづくりの計画策定や評価、そして空間・建築の要件定義

にも活用されています。例えば、「夜間ににおける心理的安全性への不満」や「滞留スペースの不足」といった項目が明らかになれば、それは光環境の改善、半屋外空間の再構成、ベンチなどの配置見直しといった空間設計の改善ポイントとして翻訳されます。

このように、SUGATAMIは地域がまちの状態を“主観と客観の両面”からとらえ、建築や空間のあり方を検討する土台となります。

■ソーシャルデザイナー育成——“実装の職能”をつくる

まちづくりにおいて、設計や企画、制度設計を行う上流工程と、現場で運用・改善にあたる下流工程の間には、役割や視点の断絶が生じやすくなっています。そこでSSPPでは、両者をつなぐ人材として、ソーシャルデザイナーと呼ばれる伴走人材の育成にも力を入れています。

このプログラムでは、まちづくりのビジョン策定から計画、協働体制の設計、実装、運営、評価までを一貫して支援できる人材を育成します。研修プログラムでは、自治体職員や地域住民、民間事業者、学生など多様な立場の参加者が、フィールドでのワー

クを通じて、実装可能なまちの未来像を描きます。

こうした人材がまちの中に存在することにより、計画と運営が分断されず、まちを“建てて終わり”にしない仕組みが生まれます。

■スマートシティISO支援——属人化を避け、再現性を高める

国際規格ISO37106は、都市の運営におけるプロセスを標準化するためのガイドラインです。日本ではまだ知名度が高いとはいいませんが、欧州やアジアの先進都市では導入が進みつつあります。SSPPでは、こうしたISO取得の支援を通じて、「まちの運営プロセスを型化（テンプレート化）」し、持続可能な体制の構築を後押ししています。

名古屋市の東桜街区においては、このISO37106を街区スケールで導入し、日本初の認証（2022年）を取得した後、さらに翌年には世界で2例目・日本初のレベル4という最高位の評価を獲得しました（図3～5）。これにより、まちの運営に関する取り組みが“成果”としても測定可能であるという水準に達したことが示されました。

ここで示した三位一体の支援スキームこそが、まちづくりを“設計して終わり”ではなく、“運営で育っていく”プロセスへと転換させる鍵となります。

ISO37106：スマートシティの“型紙”は街区・建築の設計思想にもなる

■ISOが問うもの——技術そのものではなく“運営の成熟度”

ISO37106は、スマートシティをめざす都市において、「どのようにガバナンスを構築し、ステークホルダー間の協調をはかり、持続的に改善できる体制を整えているか」という、運営のあり方＝プロセスの質を問う国際規格です。

この国際規格が求める4つの重要な要素が「ビジョンが明確」「市民中心」「デジタル活用」「オープンで協調的」となっており、注目すべきは、評価対象が特定の技術の導

入有無ではなく、「どのような理念のもとに、都市運営を構成し、改善しているか」にあることです。ここに、建築や空間のあり方との密接な接点があります。

街区という“空間の集合体”が、単に使われるることを前提とするだけでなく、「どのように使われ続けるか」「その過程が持続可能か」を問われる以上、運営プロセスの設計と実装が、建築の成果と密接に関係してくるのです。

■東桜街区の取り組み——“成果の測定”が可能な街区運営

名古屋市の東桜街区におけるスマートシティISOの取得は、こうした原則を具現化した国内初の実例です。2022年、街区単位として日本で初めて認証を取得したのち、2023年にはISO37106における世界2例目、日本初のレベル4を達成しました。

ISO認証における“レベル4”とは、単に運営体制が整っているだけでなく、「運営により何が改善されたのか」という成果



https://digital-is-green.jp/branding/iso-certification/nagoya_higashisakura_02.html

図3 ISO37106レベル4認証を取得した名古屋市東区東桜一丁目エリア



図4 オフィスのフロアサイネージ



図5 オフィスのワーキングスペース

指標（アウトカム）の測定と評価が行われていることが求められます。東桜街区では、センサやアプリを用いた行動データの収集、滞在状況の可視化、建物・共用部の利用実態に関するフィードバック、さらには住民・就業者の満足度などを一元的に収集・活用する基盤が整備されていました。

この結果、建築や街区空間が「完成物」として価値を持つだけでなく、「どう使われているかが測定される構造」として存在していることが証明されました。

■ISOは“建築の運用要件”を定義するツールとなる

ISO導入の意義は、行政や開発者が持つ属人的な運用ノウハウを、「再現可能な仕組み（プロトコル）」として型化できる点にあります。

設計段階では、ISOの要求事項に沿って、以下のような観点で建築の運用前提を明文化していきます。

- ・利用者の動線、滞在時間、回遊状況などをどう測定するか
 - ・共用スペースの“使われ方”をどう記録・改善するか
 - ・イベント・安全・照明・警備などの運用シナリオをどう定義するか
 - ・非常時対応やレジリエンス（災害対策）をどこまで想定するか
- このように、ISO37106は空間の価値を

「設計されたもの」だけでなく、「設計で企図した価値を評価していただいているか」を評価する枠組みを提供します。つまり、建築に“運営のOS”を埋め込む視点が必要になってくるのです。

「建築的である」とは何か？街区＝小さな都市システムとしての再解釈

■空間設計と“体験の質”的接続

現代の建築設計では、構造や意匠だけでなく、「ユーザーエクスペリエンス（UX）」の質をいかに高めるかが問われるようになっています。これは街区スケールにおいても同様で、共用部、エントランス、広場、通路、テラス、屋上空間など、空間の“機能的つながり”が人々の過ごし方や回遊性⁵を大きく左右します。

東桜街区では、1階や地下空間を「通り抜ける」ための動線としてだけでなく、「とどまる」ことが自然に生まれる余白（スキマ）として設計しています。通風、光、日射、緑、素材の選定までを含めた“居場所”設計が、心理的な快適性や滞在時間の向上に寄与しています。

こうした設計思想は、SUGATAMIなどで明らかになった「まちに対する理想と現実のギャップ」——例えば「もっと歩きた

くなるまちにしたい」「夜でも安心して過ごせるまちにしたい」——といった市民の声と呼応する仕掛け作りといえるのではないでしょうか。

■空間×運営×データ——建築に埋め込まれる“OS”

東桜街区では、街区の共用部やテナント施設の運営状況がセンサやスマートフォンアプリ「tocoto」を通じて利用者に共有されます¹⁰。混雑状況の見える化や利用時間の案内、環境モニタリングなどにより、空間そのものが“選べる”“避けられる”“予約できる”体験に変換されていきます。

例えば東桜では、ビジョンの1つとして「時間と空間からの解放」(ABW⁶)を掲げ、建物に入居者専用ラウンジ・屋上テラスを設えていますが、それだけでは、多くのワーカーに利用されず、①活用することの価値を認知いただく、②フィードバックによりアルコールペーパーやクッション設置、BGM導入等きめ細かな改善、③実際にどれくらい利用されているか、満足いただいているか計測しながら改善し続ける、等の運営を通じて、より多くのワーカーの方にご満足いただけることをめざし運営をしています。

このように、街区全体を“人を中心でどんな人にどんな価値を提供したいか”，“それが実際にどう受容されているかをリアルタイムで計測し改善するする場”ととらえることで、建築は単なるハードウェアではなく、ICTと同様に価値を実現するためのOSとしての側面を持つようになります。

運営KPIを導入することで、空間の「設計意図」と「実際の使われ方」「満足度等の価値受容」の乖離を可視化し、月次の会議体で調整・改善していくプロセスが定着しています。これが、ISO37106のレベル4が求める「成果の測定」と直結しています。

*5 回遊性：人が街区内外を歩き回りやすい状態を指します。視認性・動線・余白・案内情報等の設計と、イベント配置や混雑分散などの運営で高めます。

*6 ABW：Activity based Workingの略。仕事の内容・気分に応じて好きな場所で働くこと、と定義しています。

■建築に求められる“関係性”のデザイン

近年、建築において「空間そのものの魅力」よりも「関係を育む構造」としての価値が重視されるようになっています。例えば、ベンチの向きが90度違うだけでも会話が生まれるかどうかが変わる。あるいは、照明の色温度によって人の滞在時間が変化する。こうした繊細な設計の積み重ねが、人と人、人とまちのつながりをかたちづくります。

街区という単位では、これらが「都市運営のしやすさ」とも結びついてきます。可視性の高い通路、バリアフリー、地域の方が使える共用スペース、そして多用途な空間の確保など、建築は物理的制約の中で“人がかかわりやすくなる設計”を可能にします。

このように建築は、「場をつくる」だけでなく、「使い続けられる構造を編む」行為であると再認識する必要があります。

未来の建築家・まちづくりソーシャルデザイナーへ：実装を担う伴走者としての役割

SSPPの取り組みが示すように、まちづくりは計画で完結するものではありません。むしろ、竣工後こそがまちの価値を問われる始まりであり、そこにこそ“実装”的な価値が求められます。

このとき、設計者や建築家が果たすべき役割もまた拡張されます。建築は図面や構造、意匠を超えて、「どのように運営とつながり続けるか」「誰が、どう使い続けるか」といった持続性の設計にまで踏み込む必要があるのです。

今後、建築において重要となるのは、以下のようないくつかの視点なのでしょうか。

- ・設計初期段階から運営KPIを逆算し、必要な要素を仕込む
- ・建物が「情報の入口」として機能し、

* 7 都市OS (Urban Operating System)：都市の各機能（空間・設備・交通・エネルギー・情報など）を相互運用させる基盤の概念です。データとガバナンスを通じて、都市機能を継続的に最適化します。

データの可視化と活用を可能にする

- ・空間が人と人をつなげる「関係性の装置」となるよう、微細なデザインを意識する
- ・建築そのものが「都市OS⁷」の一部として、街区全体の運営ループに組み込まれる

そしてこれらを支えるのが、まちの“伴走者”としての建築家や都市デザイナー、ソーシャルデザイナーといった新たな職能のあり方です。構想と実装の双方を理解し、空間と制度、感性とルールの橋渡しができる存在が今、求められているのです。

まとめ——建築を“まちづくりの部品”ではなく、“運営を支える構造体”へ

本稿では、NTTが展開するSSPPの取り組みを通じて、「建築とは何か」「街区とはどうあるべきか」「まちづくりにおける実装とは何か」という問い合わせに対して、以下のような視座を提示しました。

- ・建築は竣工で完結するものではなく、「運営される構造体」として継続的な意味付けを持つ
- ・SUGATAMIによって、地域の課題や幸福度を主観・客観の両面から見立てることができる
- ・ISO37106は、まちの運営を「測れる仕組み」として型化し、建築に運営プロセスの視点を埋め込む
- ・街区スケールでの取り組み（例：東桜）は、都市計画・建築・運営・データの結節点となり得る
- ・ソーシャルデザイナーのような実装を担う新たな職能の存在が、まちの継続性を支える

これから建築において求められるのは、「美しさ」や「堅牢さ」だけではありません。それがどのように人々に使われ、どう運営され、どう変化していくかをも見通した、統合的な設計と運用の視点です。

SSPPが示した実装のフレームワークは、そうした未来の建築に向けた実験場であり、その成果はすでに具体的な街区でかたちに

なり始めています。今後の街づくりにおいて、建築が“まちの部品”ではなく“まちを支える基盤”として進化していくことを願っています。

■参考文献

- (1) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/06/26/230626a.html>
- (2) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/02/24/220224a.html>
- (3) <https://www.nttdata.com/global/ja/news/release/2022/022500/>
- (4) https://digital-is-green.jp/branding/iso-certification/nagoya_higashisakura/
- (5) https://digital-is-green.jp/branding/iso-certification/nagoya_higashisakura_02.html
- (6) https://webdesk.jsa.or.jp/books/W11M0090/index/?bunryo_id=ISO+37106%3A2018
- (7) <https://www.bsigroup.com/ja-JP/products-and-services/assessment-and-certification/product-testing-certification/bsi-kitemark-certification-for-smart-cities-and-communities/>
- (8) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/03/22/220322a.html>
- (9) <https://www.nttdata.com/global/ja/news/release/2022/032200>
- (10) <https://www.nttud.co.jp/news/detail?id=n26355.html>
- (11) <https://www.nttud.co.jp/nexta/>



（左から）元木 健太／高田 照史／鹿嶋 智

建築は完成で終わりません。街区の運営とともに成熟します。設計と運用、データと対話を往復し、地域の幸せを共に測り、育てていきましょう。標準と可視化を味方に、実装で価値を更新し続ける都市をデザインしましょう。

◆問い合わせ先

NTT研究開発マーケティング本部
アライアンス部門

IOWN Global Forumにおける建設業界初のユースケース

高齢化と人手不足が深刻化する中、建設業界では生産性と安全性の向上が急務となっています。IOWN Global Forumでは、リーダーである株式会社安藤・間を中心に山岳トンネル施工管理における遠隔化・自動化のユースケースが整理され、APN (All-Photonics Network) によって複数の現場、オフィス、データセンタが接続された環境下で、施工の効率化、安全・品質向上を図る新たな管理手法の実現をめざしています。本稿では、IOWN Global Forumのユースケースドキュメントおよび遠隔監視・遠隔解析・遠隔臨場・リモートモニタリングの4つのユースケースを紹介します。

キーワード：#トンネル、#建設、#遠隔施工管理

いとう のぶき
伊藤 伸樹
たけはら みほ
竹原 美穂

NTT IOWN プロダクトデザインセンタ

機
構

IOWN Global Forumの活動と建設業界への展開

IOWN Global Forumは2020年1月に設立された国際的な非営利団体です。世界の業界リーダーと共に超大容量、超低遅延、超低消費電力なインフラを実現する新規技術、フレームワーク、技術仕様、リファレンスアーキテクチャの開発を通じ、スマートな世界を実現する新たな基盤としてのIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 実現に向けて活動をしています。

IOWN Global Forumの活動の1つであるUse Case Working Groupでは、スマートな世界の具体化、満たすべき技術要件、潜在的なビジネス影響の推定を議論しユースケースを創出しています。ユースケー

スの社会実装のために、Reference Implementation Model (システム設計および構築をするうえで必要な考え方や確認すべき点をまとめた実装例モデル) の作成や検証を行います (図1)。

このIOWN Global Forumで建設業界として、初めてユースケースの策定が行われたのが「トンネル建設施工管理の遠隔化・自動化」です。これは、株式会社安藤・間 (安藤ハザマ) がチームリーダーを務め、主に山岳トンネル建設を主なターゲットに議論、設計されたものです。

ユースケース公開により、建設業界でのIOWNおよびユースケースの理解が進み、トンネル施工にかかる多様なステークホルダの参画や、実証実験に向けた連携の広がりが期待されています。以下では、建設業界を取り巻く環境における課題およ

びIOWN Global ForumのWebサイトに公開されているドキュメントの内容について解説します。

建設業界の課題と取り組み

建設業界では、1997年から2023年にかけて就業者数が3割減、さらに若年層 (15~29歳) が全体の11.6%に対し、55歳以上が36.6%を占めるなど、今後高齢者の引退に伴う労働力不足が見込まれています⁽¹⁾。一方で、新たな社会インフラの整備だけでなく、高度成長期以降に整備されたインフラの維持管理・更新や激甚化・頻発化する災害への復興等、工事量は増加傾向にあり、より生産性の高い工事が求められています。

こうした背景から2024年に国土交通省は従来のICT活用を中心とした

IOWN Global Forumは、テクノロジユースケースの両方に取り組み、よりスマートな世界を実現します

ユースケースの創出

テクニカルロードマップの作成

技術仕様書の作成
(例:アーキテクチャ、要件)

普及・展開
(標準化団体との連携)

ユースケースとアプリケーション

(IOWNグローバルフォーラムのビジョン、動機付けとなるユースケース、潜在的なビジネス影響の推定、技術要件)



スマート
エネルギー



スマート
都市



スマート
モビリティ



スマート
ファイナンス



スマート
エンタテインメント

テクニカルソリューション

(リファレンスアーキテクチャ、プロトコル、インターフェース、仕様)



ネットワーク
(光/ワイヤレス)



分散コンピュー
ティング



フォトニクス&
オプトエレクトロニクス



デバイス、
インターフェース
端末

その他のユースケースとアプリケーション

図1 IOWN Global Forumの活動イメージ

i-Constructionを深化させ、省人化・自動化による生産性向上、安全確保、働き方改革による多様な人材確保をめざすi-Construction2.0を策定、業界全体として抜本的な変革を進めるために建設現場のオートメーション化に取り組んでいます⁽²⁾。

安藤ハザマでは山岳トンネル工事の生産性、安全性を大幅に高めることを目的として、ICTを活用した施工技術の高度化や施工情報の集中管理を行う統合管理プラットフォームである、i-NATM^{®(3)}の開発を推進しています。施工中のデータを中央制御室に集約して分析を行い、評価結果を次の施工に反映させることで、PDCAサイクルを回して効率的な施工の実現をめざしています。

山岳トンネル建設現場の現状

国内におけるトンネル工事の半数以上は、山地部の岩盤を対象とした「山岳工法」で実施されており、特にNATM工法（新オーストリアトンネル工法）が一般的です。この工法では切羽（トンネル工事の最奥部）において掘削（穿孔・発破）、コンクリート吹付け、ロックボルトの打設というサイクルを繰り返しながら掘削を進め、日々6m程度掘削が進行します。同時に坑内では、覆工やインバート工という強度確保や地盤安定化のためのコンクリート打設も行います。延長方向の地質状況は一定ではなく、現場では隨時、安全や品質確保のための検査を行い、工事進行の判断をします（図2）。

トンネル坑内では、狭く死角の多い環境で肌落ち（岩石の落下等）や重機接触災害など、他工事に比べて災害リスクが高く、技能者に大きな危険と負担が伴っています。また、工事進行の判断では五感と観察力によって、地山（自然のままの地盤）の状態を的確に把握する必要があります。状況に応じた作業内容を迅速かつ柔軟に判断・対応する能力が求められるため、特に現場作業員の経験・技量に依存していますが、作業員の年齢構成は40歳以上が全体の76%、熟練技能者では94%を占める⁽⁴⁾ため、少人

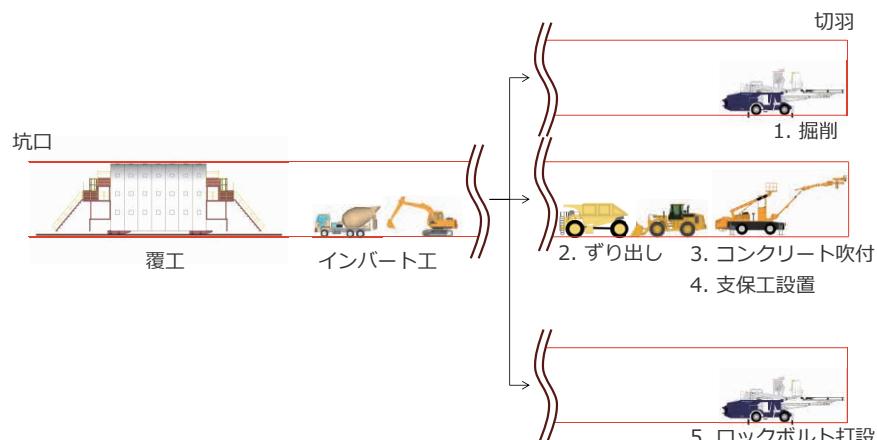


図2 山岳トンネルの建設サイクル

数かつ経験や技量に頼らない施工体制の構築が求められています。

施工完了後、運用中のトンネルは構造物の健全性を確認するため、定期的な点検が義務付けられています。健全性確認では目視による確認を中心に実施されますが、土木技術者や点検検査者は減少しており、国内にある1万本以上⁽⁵⁾のトンネル検査を確実に実施するために効率化が急務です。また、2024年度の点検結果では、点検された1905のトンネルのうち早期または緊急措置が必要と診断されたトンネルが2割を超えており⁽⁶⁾、健全性の悪化が進行する前に措置ができるいないことも課題です。

これらの安全確保、経験や技量に依存しない施工の確立、異常の早期発見といった課題に対しては、崩落や事故の予兆をいち早く検知するためのデータ解析や、遠隔から現場の点検や検査を実施する取り組みが進められています。

一方、トンネル建設現場においては、従来通信を必要とする作業が測量データやカメラでの切羽監視などに限られており、工事期間中にだけ使用する仮設の通信設備に対して費用対効果の面からコストをかけられないことで、ネットワークをベースとしたICT基盤の構築が進んでおらず、取り組みに向けたソリューション導入の障壁となっていました。

ユースケースドキュメントの概要

遠隔施工管理のビジョンとして、複数の建設現場が施工者や発注者のオフィス、データセンタとAPN^{*1}によって接続されたICT基盤で、トンネル建設現場の課題を解決する4つのユースケースを提案しています。施工者・発注者をはじめとしたステークホルダへの価値を明確にすることで、施工段階からの積極的なICT基盤構築が進み、課題解決の取り組みが業界全体で促進されることをめざします（図3）。

ICT基盤においては、新しいワークフローやコラボレーションが行われるエコシステムの確立をめざしており、各建設現場が常時・必要時にネットワークおよびコンピューティングリソースを活用できるようになります。また、現場での測定・映像データのAI（人工知能）解析や双方向コミュニケーションなどを活用したソリューションをワークフローの中に自由に取り込み構築することが可能となります。施工を複数企業で行うJV（ジョイント・ベンチャー）の現場

*1 APN : IOWN Global Forumにてオープンにアーキテクチャ策定が行われているフォトニクス技術をベースとした革新的のネットワークです。フォトニクス（光）ベースの技術の適用範囲をネットワークから端末まですべてに拡大することで、現在のエレクトロニクス（電子）ベースでは困難な、低消費電力、高品質・大容量、低遅延の伝送を実現します。

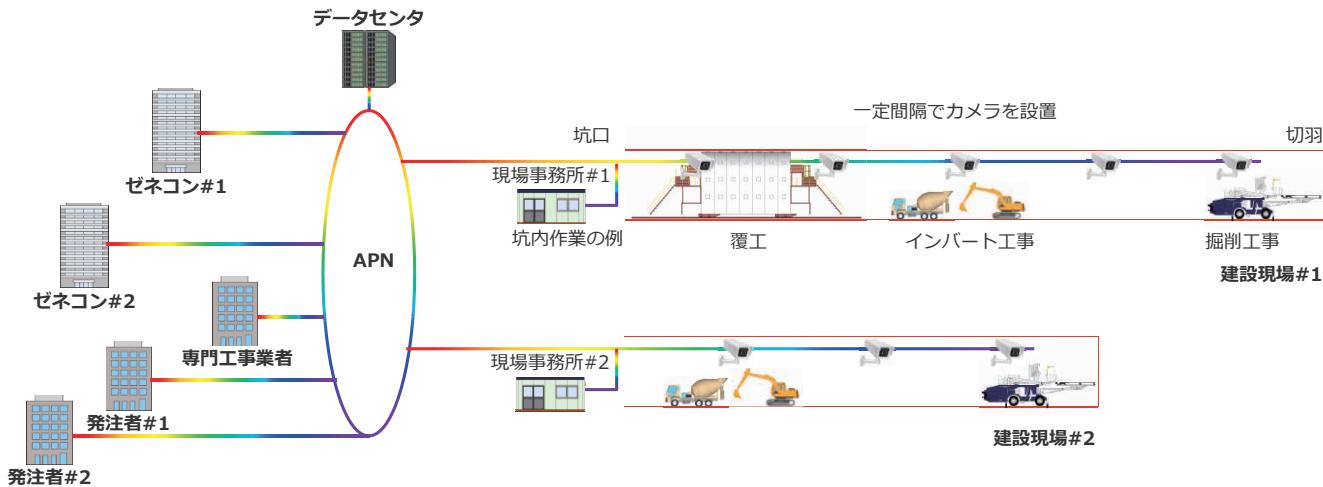


図3 トンネル建設現場向けユースケース概略図

においても、データ連携が促進され、各社が保有する解析・管理技術の融合が促進されます。

ユースケースについては、遠隔監視、遠隔解析、遠隔臨場、リモートモニタリングの4つを提示しています。ステークホルダに対しては以下の価値を提示しています。

■発注者から工事全体を請け負う建設業者

(ゼネコン)

- ・遠隔監視：リアルタイム性の高い現場データの収集・解析・評価・フィードバックによりデータドリブン、トレスアブルな施工管理の実現
- ・遠隔解析：工事リスク（安全・品質）の予測強化により、安全で品質の高いプロジェクトの遂行を実現
- ・遠隔臨場：工事業者・発注者等の関係者間の物理的な距離を超えた協力体制の実現

■施工を担う専門工事業者

- ・遠隔監視：危険につながる行動の事前検知による作業環境の安全性向上を実現
- ・遠隔解析：工事リスク（安全）予測の強化により、安全な環境下における工事を実現

■発注者（地方自治体や交通インフラを保有する企業）

- ・遠隔臨場：現場および工事業者との物理的な距離を超えた効率的な検査の

出典：YouTube 安藤ハザマ公式チャンネル (<https://www.youtube.com/watch?v=z05-85GjKy8>)

図4 トンネル坑内の安全点検のイメージ

実現

- ・モニタリング：施工中に整備されたネットワークインフラにより、施工後の構造物の維持管理の高度化を実現

■機器・サービス提供者

- ・現場に整備されたネットワークインフラや、現場とAPNで接続されたデータセンタ等を活用した新たなソリューションを提供する機会が拡大し、トンネル建設現場向け市場の拡大を実現

課題とともに概要を紹介します。遠隔化については日本国内の主要な建設現場をカバーするため、施工者オフィスと現場間距離を1000 kmと想定しています。

■ユースケース1：定常的な監視とデータ

収集（遠隔監視）

- ・現状の問題、課題：現在は安全点検の多くを専門家の目視により実施しているため、現場の変化をすべて追うことは困難（図4）。安全確認不足で労働災害が発生する複数の建設現場において、専門家の目視に頼らず現場の変化を把握できるインフラが必要。
- ・活用IoT技術：APNの大容量・低

ユースケースについて

以下では各ユースケースに関連する問題・

遅延通信によるリアルタイムのデータ転送。

- ・実現すること：APN経由で建設現場の高解像度映像・センサデータを遠隔地に集約し、AIによる自動分析で常時監視・早期安全リスク検知を実現。

本ユースケースでは最大20程度の複数現場に、一定間隔で設置された高精細カメラを用いて、遠隔のデータセンタや都市部のオフィスにて映像データのAI解析を用いて監視することを想定しています。

異常検知は自動分析で実施する一方、検知された異常に対する判断・是正確認は映像以外の現場データと合わせての状況把握が必要となります。そのため、振動、水質、熱、ガス濃度といったセンサのデータも映像とともに継続的に収集されます。これらのデータはデータセンタや施工者事務所へ送信され、異常発生時の作業工程の検査・改善、安全確認に活用されます。

本ユースケースにより、変化の激しい現場でも常時安全点検が行われている状態をつくり上げることができ、一時的な立ち入り・工事ルール違反や、早期対応が必要な地質状況の変化等にも対応できるようになります。また、ユースケース3の遠隔臨場等と組み合わせることで、措置や是正確認も遠隔管理が可能となり、ワークフロー全体の遠隔化を実現します。

■ユースケース2：施工中必要時のデータ分析（遠隔解析）

- ・現状の問題、課題：現在は掘削後の形状が設計どおり確保できているかの確認を、危険な切羽エリアで時間をかけて実施。切羽エリアでの熟練者による安全確認と測量時に、工事の中断時間を最小限に抑え、工事進行と安全の両立を図る体制が必要。
- ・活用IOWN技術：APNの大容量・低

* 2 光パス：光信号の送信機から受信機までをつなぐ光信号の通り道を光パスと呼びます。各光パスは、通過する光ファイバや光ノードシステムによって構成される経路と、光信号の容量や割り当てられる波長が指定されています。

遅延通信による遠隔の計算リソース活用。APNの光パス²設定を柔軟に行う技術による、計測手法に合わせたオンデマンドのAPN接続先切り替え。

- ・実現すること：APNを介して現場と遠隔処理環境を接続し、大容量点群データ解析にかかる時間を、工事進行を妨げない60秒にまで短縮。安全・品質判断の即時性確保。

トンネル切羽においては、施工段階に応じて多様な機械が特定の作業を実施しており、その作業に対応するかたちで各種測量や計測データの収集が行われます（図5）。対象は、高解像度画像、高精度点群データ、振動解析、温度測定、ガス濃度測定など多岐にわたります。こうしたデータの解析は地質条件や掘削結果に基づく次工程の施工判断に活用され、プロジェクト管理の効率化に寄与します。

点群データの活用は現場の計測作業時間を短縮できる点が期待されていますが、データ容量が大きく解析に時間がかかる課題があります。現状では、切羽面や部分的な範囲を測定し、現場事務所で解析するという方法にとどまっているため、現場での即時判断の材料として用いることはできません。

点群密度や画像解像度を高め、測定範囲を拡張した場合、伝送するデータ量は数10 GB規模に達します。施工サイクルに支

障をきたさず60秒以内に判定結果を得るために、効率的なデータ伝送と処理が不可欠となります。一方で、必要時に短い間だけ大容量通信やコンピューティングリソースが必要になるため、オンデマンドのAPN接続を活用したリソースの有効活用が不可欠となります。

■ユースケース3：モバイル検査（遠隔臨場）

・現状の問題、課題：管理基準に定められている検査について、現在は一部を遠隔臨場にて実施しているが、現状の遠隔臨場では映像の解像度や遅延による指示のずれなどで、検査・指摘漏れの懸念がある。遠隔臨場で実施する際、検査者が着目したい個所（地山の亀裂や湧水等）を映像の解像度向上、指示タイミングの遅延解消により正確に判断できる仕組みが必要。

・活用IOWN技術：APNの大容量、低遅延通信により高解像度映像で遠隔検査。APN光パス設定を柔軟に行う技術による常時接続のない拠点からのオンデマンドのAPN接続。

・実現すること：取り回し可能な高精細カメラとAPNで、必要な時に遠隔拠点から検査者の着目点を正確にとらえるピンポイント検査を実現。

各施工段階の後には、発注者および建設業者によって、仕様および品質基準への適



出典：YouTube 安藤ハザマ公式チャンネル (<https://www.youtube.com/watch?v=IXZpG54fck>)

図5 トンネル坑内での計測のイメージ

合を確認するための検査が行われます。これらの検査では、寸法のほかに死角や隠れた個所等も対象となり、特に早期処置が必要な細かいひび割れや漏水の検出に重点が置かれます。

現地検査と同等の対応を考えた場合、現場側の担当者が場所を指定して見せるのではなく、検査者が全体を俯瞰したうえで気になる場所にフォーカスする手順が必要ですが、現状の遠隔臨場では解像度やコミュニケーション等に課題がある⁽⁷⁾ことが分かっています。

検査対象となる範囲を1m程度離れたところから俯瞰し、0.1mm程度の傷も見つけられる高精細映像の伝送や、音声・映像の話者間の遅延を0.1s以下に抑えた左右指示や発話タイミングの調整が不要なコミュニケーションにより、遠隔で実施可能な検査の適用範囲を広げることを実現します。発注者は常時利用でないことから、発注者オフィスからのAPNオンデマンドでの接続により、効率的な利用を想定しています。

■ユースケース4：通信ファイバを活用した維持管理（リモートモニタリング）

- ・現状の問題・課題：供用（施工後の管理運用）中は定期的に点検が実施されるが、定期点検の間に生じた異常の発見は困難であり、点検時には既に緊急措置が必要な場合がある。計画的な修繕のための健全性の確認を、トンネル利用者への影響や点検者負担を増やさずに早期発見できるモニタリング体制が必要。
- ・活用IOWN技術：施工時敷設光ファイバのセンシング転用。
- ・実現すること：施工中に組み込まれた光ファイバ等をセンシングに転用し、延長方向の任意の個所の歪み検知と加速度計測を行うことで、剥離や変形といった変状や経年劣化を遠隔で常時監視するシステムを構築。

安全性と運用効率を確保するために、トンネルは定期的な点検を必要とします。こうした点検では、主にひび割れ・浮き剥離

の変状に着目した目視点検が行われ、必要に応じて措置を施します。これら変状の原因は外力や材料、施工等⁽⁸⁾さまざまであり、早期に発見し、変状状態・原因に応じた適切な対策を実施することが重要となります。

そこで、建設段階で設置されたファイバやネットワークインフラをセンシングに転用し、得られるデータの送付先を施工者から運用主体である発注者に変えることで、トンネル運用の遠隔監視と管理を可能にします。モニタリングによる早期発見だけでなく、維持管理プロセスの効率化、安全基準の遵守、詳細な保守記録の保持も実現されるため、運用負荷全体の削減に寄与します。

IOWN Global ForumではAPNを活用したファイバセンシングのユースケース、アーキテクチャの検討も行っており、本ユースケースでの活用に向けた議論を進めています。

まとめと今後の展望

本稿では、山岳トンネル建設現場におけるIOWN活用のユースケースドキュメントの内容を紹介しました。今後は各ユースケースのソリューション開発を促進するためにアーキテクチャや評価基準を議論し、実現に向けた明確な要件を整理することで、システム構築に必要な情報を記載したりファレンス実装モデルを作成し公開する予定です。また各々のユースケースについては通信に関する技術仕様について検討し、シミュレーションやラボ環境での実験を通して通信性能を確認し、現場でのIOWN技術を活用した実証実験へとつなげていきます。

検討内容や実証結果を今後公開するドキュメントに反映することで、トンネル建設工事にかかわる多くのステークホルダにとって有益となる次世代のICT基盤の社会実装をめざします。

■参考文献

- (1) <https://www.rice.or.jp/wp-content/uploads/2025/05/77-all-1.pdf>
- (2) https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_001085.html
- (3) <https://www.ad-hzm.co.jp/info/2020/20200918.php>
- (4) <https://www.mlit.go.jp/tec/content/001891290.pdf>
- (5) <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/2023tokei-nen.html>
- (6) <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001906343.pdf>
- (7) https://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/n-kisyahappyou/4/23032401_zirei.pdf
- (8) https://www.pwrc.or.jp/thesis_shouroku/thesis_pdf/1104-P022-025_isago.pdf



（左から）伊藤 伸樹 / 竹原 美穂

トンネル建設をはじめとして、各業界に対し新たな価値を、できるだけ早期に、より効果的なかたちで提供していくよう、多方面の方々と具体的な事例でコラボレーションしながらサービス化・プロダクト化を推進していきます。

◆問い合わせ先

NTT IOWN総合イノベーションセンタ
IOWNプロダクトデザインセンター

URL <https://journal.ntt.co.jp/article/37048>DOI <https://doi.org/10.60249/25115103>

建設現場に入り込み本質を見極めた施工管理DXの実現

NTT ドコモビジネスは、人々の豊かな暮らしの創造をめざし、お客様の事業を支えるもっとも頼りになるDX（デジタルトランスフォーメーション）パートナーになるために、建設業を軸に各業界の現場における施工管理DXの実現とデファクトスタンダード化に向けて取り組んでいます。主な取り組みとして、①協業先である竹中工務店様・清水建設様と工程表を軸にしたデータ連携、施工管理DX、②発注者・施工者・施工者等のステークホルダを巻き込んだバリューチェーン横断検討、③建設業以外の業界へのソリューション提供・価値提案を行っています。本稿ではNTT ドコモビジネスの取り組み姿勢、取り組み概要、今後の展望を紹介します。

キーワード：#建設、#DX、#施工管理

建設現場の現状・課題

建設業界は、国内総生産の約5.5%を占める基幹産業であり⁽¹⁾、これまで質の高いインフラ整備や住宅建設を通じ、長らく日本の経済と国民生活を支えてきました。しかし近年、建設業界は、①時間外労働の上限規制、②就業人口の減少・高齢化、③他業界に比べITの投資規模が小さいという課題に直面しています⁽²⁾。

① 時間外労働の上限規制

建設業では、これまで法令の適用が猶予されていたため、一定の条件下においては制限のない労働環境となっていました。しかし2024年4月以降は建設業においても、一般企業と同様に「月45時間・年間360時間」を上限とする規制が適用され、臨時的・特別な事情がない限りこれを超えることは認められなくなりました。

② 就業人口の減少・高齢化⁽³⁾

建設業者数は2025年時点で約48万者となっており、ピークであった1999年から約20%の減少を記録しています。

就業者数についても同様で、2022年の平均就業者数は約479万人と、1997年のピーク時から約30%減少しました。さらにその内訳をみると、55歳以上が35.9%を占める一方で、29歳以下はわずか11.7%にとどまり、著しい高齢化が進行しています。

③ 他業界に比べITの投資規模が小さい

建設業界は、他業界と比較しIT領域への投資規模が小さくとどまり、デロイトトーマン

マツコンサルティング合同会社の調査によると各業界の収益当りのIT支出額は以下のとおりです（一部抜粋）。金融：7%，サービス：6%，教育：6%，通信：4%，医療：3%，建設：2%⁽⁴⁾。

建設業界のIT導入が進まない理由としては主に以下3点が考えられます。

- ・関係企業が多く、作業フローも異なるため統一されたITツールの導入が困難。
- ・経験豊富な作業員の多くは、長年慣れ親しんだアナログな手法を好む傾向があり、新しいITツールの導入に心理的な抵抗を感じることが少なくない。
- ・そもそも人材不足に加え、ITに詳しい人材も多くなく導入に踏み切れない。

一方、建設投資額は2014年以降増加傾向にあり、2024年には73兆円に達しました。近年の建築費高騰に伴う影響はあるものの、依然として高い需要が存在しています⁽⁵⁾。すなわち、需要は依然として存在し続いている中で、少ない時間と少ない人員でより多くの現場を効率的にマネジメントする必要がありますが、生産性を向上する1手法であるIT化も遅れています。

このような背景を受け、建築現場全体の生産性向上を目的に、ゼネコン各社はDXの推進や各種ソリューションの活用に取り組んでいます。建設DXの推進により、単なる業務効率化にとどまらず、適切なリソース管理、最適な人員配置、さらにはコスト管理や経営判断への貢献など、経営レベルの意思決定にまで波及することが期待され

こうざい ゆうすけ ふじい しんたろう
香西 裕介 / 藤井 慎太郎
わたなべ しゅうへい くるしま ひろあき
渡邊 修平 / 久留島 弘章

NTT ドコモビジネス

ています。近年の建設テック市場は2022年度から2025年度にかけて年平均12%増で成長しています。2022年度は1,652億円、2023年度には1,845億円（対前年11.6%増）に拡大しており、2030年度には3,042億円に達する見込みです⁽⁶⁾。

ただし、建設テック市場の成長とともにソリューションも乱立してきており、現場としては「どのサービスを導入すべきか判断が難しい」という新たな課題も生じています⁽⁷⁾。導入しても運用が定着せず形骸化してしまうケースや、異なるソリューションどうしの連携が取れず効果が限定的にとどまるケースも散見されます。そんな中、他社ソリューションとの連携や運用サポートの支援に関するニーズも生まれてきています。

このように、建設業界は外部要因含め変革の渦中にあります。そのため、業界のニーズや市場動向を正確に見極めたうえで、現場が真に求めるものを提供していくことが重要であると考えられます。

NTT ドコモビジネスとしての姿勢

そのような建設業界に対し、NTT ドコモビジネス スマートワークサイト推進室はPMVを以下のとおり設定し、高品質な社会インフラが支える豊かな暮らしの実現をめざし、事業に取り組んでいます

- ・Purpose（なぜ自分たちが社会に存在するのか）：人々の豊かな暮らしを創

造るために、建設分野を中心とした各業界の持続的・安定的な成長を実現する

- ・Mission (到達点に向かって実現すべき使命) : お客様の事業を支えるために新たな価値を創造し提供し続ける～VUCA時代における業界のレジリエンス向上を支える～
- ・Vision (めざすべき到達点) : お客様にとってもっとも頼りになるDXパートナーになる

また、スマートワークサイト推進室には土木分野と建築分野があります。

土木分野では、株式会社小松製作所、ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社、株式会社野村総合研究所とEARTHBRAINを立ち上げ、国土交通省が提唱するi-Constructionを推進しています⁽⁸⁾。土木現場のデジタルツイン化により、生産性・安全性の向上実現をめざし、デジタルツインの高度化（高精度・費用対効果向上・リアルタイム性他）に特化した開発を進めています。

建築分野では、以下を主に進めています。

- ① スーパーゼネコンである竹中工務店様・清水建設様と協業し、工程表～作業日報までの各施工管理にかかるデータを実用的に連携することで「施工管理業務のDX」をめざしている。
- ② 発注者・設計者など建設現場以外のステークホルダも巻き込んだバリューチェーン横断による建設DXの検討を行っている。
- ③ 建設業を軸にしつつ他業界へも安全管理や工程管理の観点で価値を提供している。

本稿ではスマートワークサイト推進室の建築分野における取り組みを紹介します。

現在の取り組み

(1) 竹中工務店様・清水建設様との取り組み

従来、竹中工務店様・清水建設様とは個別に建設DXに関する取り組みを実施していました。竹中工務店様とは従来の建築現場における個人スキルへの依存やアナログなコミュニケーションスタイルに代表される業務形態を、IoT (Internet of Things)

やデジタル化により変革し、生産プロセスを最適化させることで、生産性の持続的な向上を目的に「協働」と「個人」の支援に取り組んできました。また、清水建設様とは工程表を軸にした現場での情報連携による施工管理業務の改善に取り組んできました。

各社との取り組みが同じ方向を向いたため、2023年7月に3社でのプレスリリースを発表し、正式に協業を開始しました(図1)。

3社はワーキンググループを設置し、「施工管理業務のDX」を実現するソリューションの構築と建築現場への実装・定着化を行うとともに、DXにより得られたデータの利活用により、さらなる施工管理業務の高度化と業務プロセスの最適化をめざします。竹中工務店様と清水建設様のプロジェクトで磨き込まれたソリューションをNTTドコモビジネスから広くサービス提供することで、建設業界における課題解決と新たな価値創造に貢献します。

本取り組みは①ソリューション開発→②現場でのPoC(実証実験)→③フィードバックによるソリューション改善→④現場導入、というサイクルを回しながらアジャイル開発を進めています。NTTドコモビジネスメンバも建設現場に入り込み、実態を把握したうえで、本当に現場利用可能なソリューションを開発することに努めています。現場での使い勝手をもっとも意識し、課題の深掘りから真のニーズを探し出すことに注力しています。

デジタル技術の導入が始まって間もない建設現場では、DXを活用した建設作業プロセスや働き方が確立されていません。建設業ならではの慣例や職人の経験則を尊重

し学びながら、DXの企画・開発・改善・運用保守をゼロベースから構築していることも本取り組みの特徴です。

3社協業による成果の1つとしてtateras/GaNettを開発しました(図2)。tateras/GaNettは6つの機能を有し、機能ごとに週次でワーキングを実施し磨き込みを続けています。6つの機能は建設現場の入場から退場までさまざまな作業を支援し、現場における生産性の向上に寄与します。現在は現場での生産性向上に注力していますが、今後は各機能で蓄積されるデータの活用・分析や、他ソリューションとの連携を進める方針です。その結果、工程計画の精度向上、金額・人員を考慮した高度な工程シミュレーションを実現することで、金額超過や工期遅延を早期に察知できる仕組みを構築します。これにより、経済損失の回避や企業のリソース最適化など経営判断を支援する基盤づくりをめざします。

(2) バリューチェーン横断による建設DX
建設業は現場だけでなく、発注者・設計者・事務員・不動産業など多様なステークホルダがかかわる産業です。特に発注者や設計者は、施工中も図面・書類の提出や施工品質管理などを通じて現場と密接にかかわる立場にあります。しかし現状では、発注者・設計者・施工者の連携は必ずしも十分とはいはず、個別管理にとどまっているケースが多く、その結果、コミュニケーションロスや認識齟齬が発生し、深刻な場合は竣工遅延・コスト増加の問題が発生しています。実際に契約金額が7億円を上回る大規模プロジェクトを実施した企業のうち、66%が予算や工期を10%以上超過しています⁽⁹⁾。当比率を参照し、日本国内における2023年の元請け完成工事高(約90兆円)に



左から、清水建設 山崎明専務執行役員、NTTドコモビジネス 小島克重常務執行役員、竹中工務店 丁野成人専務執行役員 (2023年7月11日時点)

図1 記者会見の様子



図2 GaNett（左）、tateras（右）の作業間調整画面



図3 四足歩行ロボット「Spot (スポット)」による建設現場の巡回作業（実証実験より）

当てはめると、約6兆円もの損失が発生していると推察されます。

このような課題解決に向け、発注者・設計者・施工者の共通プラットフォーム利用やソリューション連携による情報の一元管理、リアルタイムの情報共有、シームレスなコミュニケーションの実現が必要であると考えます。これらのアセットを持つパートナー企業との協業や連携強化により、各ステークホルダを巻き込んだバリューチェーン横断による建設DXを検討しています。

③ 建設業以外の業界への価値提供

スマートワークサイト推進室は建設業以外のお客さまへも価値を提供しています。(1)に記載のtateras/GaNettの機能の中に現場のKY（危険予知）活動や工程管理を支援する機能が存在します。製造業では災全体の約3割を機械接触や転倒が占め、人的ミスや不安全行動の削減が大きな課題となっています。そのような製造業において建設業と同様にKY活用が実施されます。tateras KY帳票アシストは過去の事故事例を活用することで、KY活動に緊張感を注入することができます。また、建設業と目的や管理方法に差異はありますが製造業においても工程管理は存在します。クラウド型の工程表作成ツールGaNettは工程表の共同編集やリアルタイム共有が可能です。

工程表にさまざまな属性情報の付与が可能であるためより高度な工程管理が可能です。運輸業、不動産業等からも同様の引き合いがあり、価値を提供しています。

今後の展望

工程データが蓄積されることにより、将来的には工程表作成の自動化や工程計画の精度向上、工程シミュレーション、4DBIM (Building Information Modeling)への昇華をめざします。またNEDO（国立開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）と、実証実験中の「空間ID」と現場の作業場所を連携することにより、建設ロボットによる資材の自動搬送や現場巡回など空間IDの活用も検討しています⁽⁹⁾（図3）。

竹中工務店・清水建設・NTTドコモビジネスの3社は、本協業を通じて構築するDXソリューションの建築現場での利用・定着化に取り組み、「施工管理業務のDX」を推進することで、建設業界全体のプロセスを革新し、生産性向上や働き方改革を推進してきます。また、これらのデータ利活用による新たな価値創造にも取り組んでいます。

加えて、NTTのナレッジであるネットワーク・AI（人工知能）など最新技術と建設ソリューションを掛け合わせることにより、リアルタイムでのデータ通信、遠隔施工、未来予想など、新しいサービス・新機能の検討も進めています。

さらに、建設業界の他企業や他業界とのパートナーシップを強化することにより、革新的な技術やサービスの共同開発を進め、業界・コンセプトドライブの横断によるバリューチェーン・データ連携を見据えてい

ます。

これらの取り組みを通じて、NTTドコモビジネスは建設業界のDXを支援し、効率的かつ持続可能な未来の構築をめざしています。

■参考文献

- (1) <https://www.nikkenren.com/publication/handbook/chart3/index.html>
- (2) https://kensetsu-kaikei.com/lab/work/construction_dx_realization
- (3) <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001610913.pdf>
- (4) https://www.soumu.go.jp/main_content/000804891.pdf
- (5) <https://www.nikkenren.com/publication/handbook/chart5-1/index.html>
- (6) https://www.nikkei.com/article/DGXZRSP68989_X10C25A4000000/
- (7) <https://www.autodesk.com/blogs/construction/japan-construction-digital-transformation/>
- (8) https://www.mirait-one.com/miraiz/whatsnew/trend-data_0010.html
- (9) <https://www.takenaka.co.jp/news/2025/08/05/>



（左から） 香西 裕介 / 藤井 慎太郎 /
渡邊 修平 / 久留島 弘章

就業人口の減少・高齢化、長時間労働、IT導入の遅れなどさまざまな課題を有する建設業界に対して、現場が本当に求めるものを見据えて、お客さまにとってもっとも頼りになるDXパートナーになることをめざしています。

◆問い合わせ先

NTTドコモビジネス
ビジネスソリューション本部
スマートワールドビジネス部
スマートワークサイト推進室

最新ドローン×点検技術×AI・デジタルツールによるインフラメンテナンス技術の革新

インフラ老朽化が深刻化し社会課題となる中で、維持・管理にかかるライフサイクルコストの低減をめざし、損傷が深刻化してはじめて大規模な修繕を実施する「事後保全」から、適切な点検をもとに損傷が深刻化する前に修繕を実施する「予防保全」への転換が求められています。技術者の減少という課題にも直面する中で、ジャパン・インフラ・ウェイマーク（JIW）が豊富な点検ノウハウと開発力を武器に進めている、ドローンを活用した次世代の橋梁点検や、建設業界への展開について紹介します。

キーワード: #インフラメンテナンス, #ドローン, #点検

きたや
北宅
おかだ
岡田
ひろし
洋
まさよし
正義
おかもり
/岡森
いえやす
/家保
すぐる
駿
ともた
具太

ジャパン・インフラ・ウェイマーク

インフラメンテナンスにおける新技術導入

社会インフラの老朽化は日本が直面している課題の1つです。高度経済成長期に多くの土木構造物が建造されたことが起因しており、例えば道路橋では50年以上経過する施設の割合が2030年3月で54%、2040年3月には75%と加速度的に高くなります⁽¹⁾。ジャパン・インフラ・ウェイマーク（JIW）は創業した2019年から新技術を用いたインフラメンテナンスの高度化・効率化に取り組み実績を重ねてきました（図1）。本稿では、経営理念である「支える人を、支えたい」というMISSIONを達成するために、提供している多様な技術を紹介します。

国の動向

国土交通省はインフラの維持管理・更新等を着実に推進するための中長期的な取り組みの方向性を明らかにする計画として、2014年に「インフラ長寿命化計画（行動計画）」を策定しました。この計画に基づき、点検・診断、修繕・更新、情報の記録・活用といったメンテナンスサイクルの構築が進められたほか、損傷が軽微な段階で補修を行うことで施設を長寿命化させる「予防保全」の考え方が示され、設備のライフサイクルコストの低減につながる取り組みとして展開されています。さらに、2021年には、「計画的・集中的な修繕等の確実な実施による『予防保全』への本格転換」「新技術・官民連携手法の普及促進等によるメ

ンテナンスの生産性向上の加速化」等を軸とした第2次計画を策定し、持続可能なインフラメンテナンスの実現に向けた取り組みを進めています。

橋梁点検の効率化・高度化

日本の国土は中央部を急峻な山脈が縦断し山地や河川が多いこともあり、道路だけで約73万橋もの橋梁が存在し、国や都道府県、市区町村等により管理されています。

道路施設の点検においては、2012年に発生した笹子トンネル天井板崩落事故を背景に、2013年度に道路法が改正され、道路施設における点検実施の要領が改定されました。橋梁においては道路管理者がすべての橋梁について、5年に1回近接目視で点検

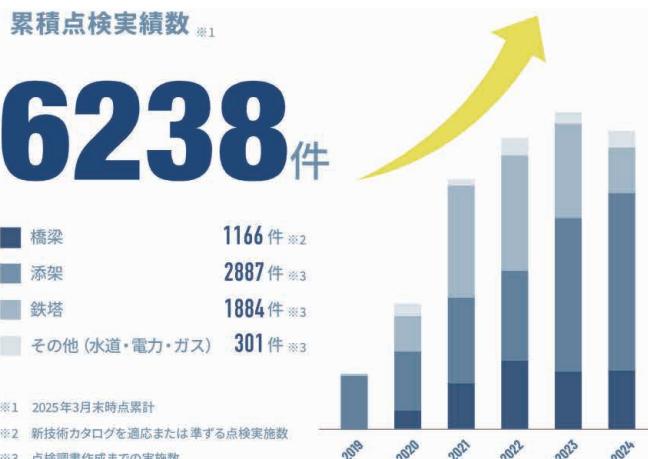


図1 JIWの点検実績

を行うことが義務付けられ、2014年度に1巡目が開始、2019年度からの2巡目を経て、2024年度から3巡目点検が始まりました。

点検においては効率化・高度化につながる新技術活用が積極的に推進されており、「点検支援技術性能力タログ」としてまとめられています。直轄国道の橋梁・トンネル・舗装の定期点検業務および道路巡視の一部項目においては、点検支援技術の活用が原則化されており、地方公共団体や民間企業にも技術活用が推奨されています。

JIWは早期から小型ドローンの橋梁点検への親和性に着目し、既存の橋梁点検車等の大型車両を用いた点検をドローンによる点検に置き換えることで、点検条件の安定化や作業員の安全性の向上、コスト削減等が図れると考えました。一方で、一般的なドローンの機体では橋梁構造の狭隘部への点検が難しく、利用範囲が限られています。

した。

そこで、Skydio社と点検用途に特化した仕様のドローン「SkydioJ2」を共同開発し、機体が従来長所としていたVisual SLAM（カメラ画像によりドローンが自己の位置を推定し、同時に周囲の環境地図を構築する技術）による自律飛行に加え、橋梁特有の構造に合わせたカメラの可動域の変更や50 cm程度まで最小化した全方位障害物回避機能を兼ね備えることで、従来機では接近が困難であった狭隘部の点検も可能とし、利用範囲を大きく広げることに成功しました（図2）。

その技術が認められ、点検支援技術性能カタログにも「全方向衝突回避センサーを有する小型ドローン技術」として、ドローンを用いた橋梁点検技術としては最初に登録されています。

さらに、JIWの強みは、高い技術力を活

用した点検最適化にあります。高性能な機体とこれまでの橋梁点検にて蓄積した運用ノウハウに加え、既存手法も含めた橋梁点検を熟知したメンバーが点検内容をコーディネートしました。発注元の建設コンサルタントからの要望を踏まえ、ドローン等の新技術と既存技術のそれぞれの優位性を加味し、橋梁の状況に合わせた計画とすることで、精度が担保された確実性の高い点検を提供しています。例えば、橋梁全体の点検はドローンで面的に実施したうえで、過去点検で発見された損傷の状況により、計画段階から既存手法で実施する部分を明確にすることで、確実な点検の実施に加えて、建設コンサルタント側での関係機関協議資料等の準備もスムーズに行え、効率的な点検につながるのです。

■自社開発のボート型ドローンによる洗掘調査

点検の目は橋梁の下を流れる河川の河床にも向けられています。

近年、頻発化する豪雨災害により、河川に架かる橋梁周辺で河床の洗掘が発生、橋脚の傾斜や流失する被害が発生しており、河床の洗掘状況を把握する調査の重要性がますます高まっています。従来は潜水士や高い技術を持つ作業者による点検が主流でしたが、効率性と安全性のさらなる向上をめざし、自社開発のボート型ドローン（Waymark Boat）を活用した調査方法の確立に向けた検証を進めています（図3）。

このボート型ドローンは特許も取得している水面上を全方向へ移動できる4つのプロペラを持った機体で、中央部にカメラや



図2 橋梁点検の実施模様

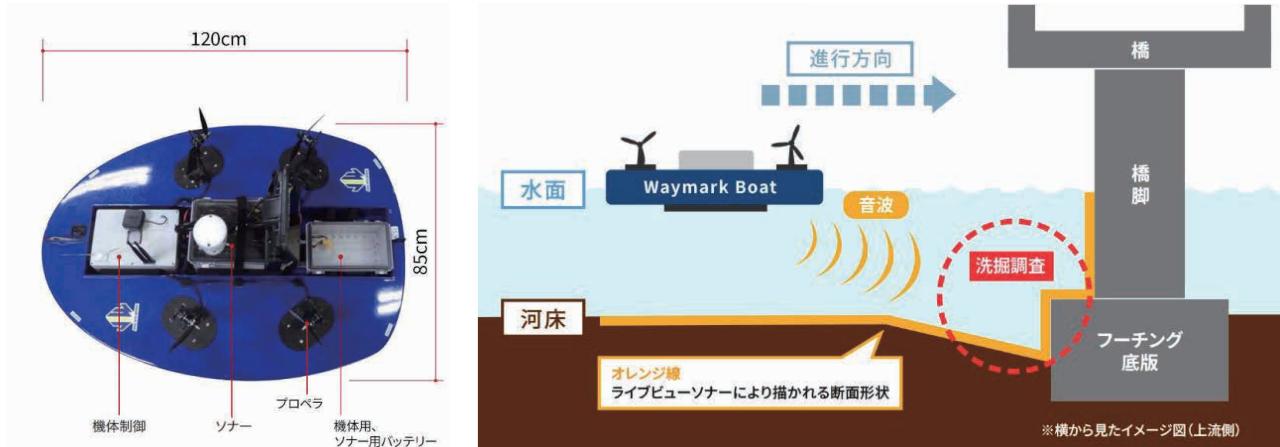


図3 自社開発ボート型ドローンと洗掘調査イメージ

ソナーが搭載されています。人が入り込めないような狭い個所に加え、水中のスクリューがないため、水深が浅い場所や水中に水草や浮遊物がある場所でも入っていくことができます。前述した橋梁点検においても、溝橋やボックスカルバート等における点検への適用が進んでいますが、洗掘調査においても活用が見込まれています（図4）。

従来の洗掘調査は、「レットロープ測定」と呼ばれる、重錘付きロープを用いて橋上から河床高さを測定する手法の場合、測定者のスキルや強風の影響により測定誤差が発生するだけでなく、橋梁上の交通に対する作業員の安全確保等の課題がありました。ポート型ドローンによる調査では、従来手法と比較して測点数を容易に増やすことができ、品質向上が期待できるほか、安全な場所からの測定が可能となり、作業時間の短縮も見込めます。

これまで点検が困難であった現場への適用に向けた開発も積極的に進めています。建設分野の生産性向上やカーボンニュートラルの実現等を目的に国土交通省が公募を行った「令和7年度建設技術研究開発助成制度（政策課題解決型技術開発公募）」に「橋梁の洗掘調査の実施可能領域拡大に関する研究」として採択されており、流速や離着水場所に関する利用制限の解消をめざした新型機体や昇降機を開発しています。これにより、ポート型ドローンをより広い領域で活用できるようになり、洗掘調査の高度化および効率化が見込まれています。

■橋梁以外の点検への応用

建築物の外壁点検においても、ドローンを活用した点検による効率化・高度化の取

り組みを進めています。外壁点検においては、画像情報に加えて赤外線調査による表面温度の差の把握・分析により隠れた異常を検出することが可能です。建築基準法第12条に規定される定期点検においては、過去には建築物の損傷や腐食などの劣化状況の点検を打診等により実施するように定められていましたが、令和4年に打診以外の調査方法として、ドローンによる赤外線調査が実施可能と明確化され、コスト面等での優位性から広がりをみせています。

一方で、正確な点検のために画像の1ピクセル単位で温度をしっかり計測する必要がありますが、大規模なドローンから高精度な赤外線カメラを吊り下げる従来の方法では、ドローン自体が起こす風により外壁温度が下がる「シェーディング現象」が発生し、正確な温度差が把握できないという問題がありました。

また、撮影する建築物によっては狭い路地裏等ヘドローンが侵入できず、撮影ができないケースもありました。その2つの問題を解決すると期待されるのが、Skydio社の「SkydioX10」です。

SkydioX10は従来の機体よりもコンパクトであるうえ、同等サイズの機体としては初となるRadiometric JPEG (R-JPEG) 方式の撮影が可能なFLIR社製赤外線カメラが採用されています。R-JPEG方式の画像はピクセルごとに温度情報を保有しているため、解析ソフトによる表面温度差の分析等の後処理がスムーズに行えます。もちろん、自律飛行や360度障害物回避機能も兼ね備えているため、多くの建築物点検に適応可能と考えています。

2024年7月（夏季）、2025年1月（冬季）

に一般社団法人 日本赤外線劣化診断技術普及協会様と実証実験を行っており、成果物が実運用に十分適した水準であることを確認しています⁽²⁾。

水道施設の点検も近年ではドローン活用が期待されている分野の1つです。2021年に発生した和歌山県の六十谷水管橋の落橋や2025年埼玉県八潮市道路陥没事故等、上下水道施設の老朽化に起因する大規模な事故が発生しており、点検の重要性が改めて注目されている分野です。

水管橋においては、橋梁点検のノウハウを活用した点検をすでに提供しています。狭隘部に進入して撮影できるため、従来のドローンでは撮影できなかった管下面をはじめ、水管橋を上下左右4方向から撮影することができる点検実績があります。また下水管内部の点検等、これまで人が酸欠や転落の危険を冒しながら実施していた領域へは、水上ドローンを適用することにもチャレンジしています。

こういった業界特有の設備点検についても、その業界の点検ノウハウを保有する企業・団体と技術提携しながら展開しています。

野帳のデジタル化やAI活用による内業DX

JIVでは、現地での点検後の整理・分析など内業のDX（デジタルトランスフォーメーション）にも取り組んでいます。その中で、自社の橋梁点検における作業効率を改善するために開発したのが、橋梁点検専用記録アプリ「Waymark Note」です

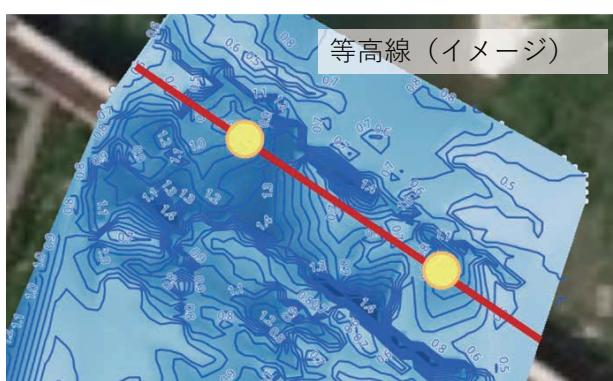
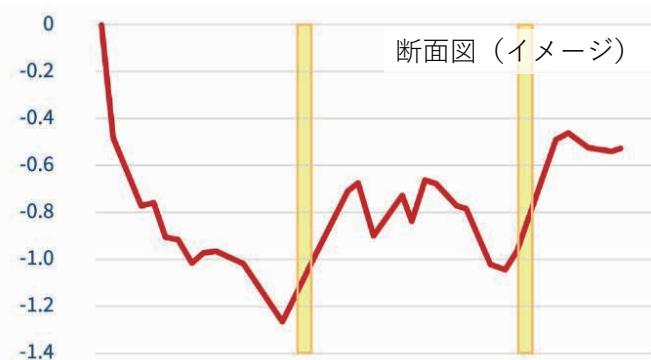
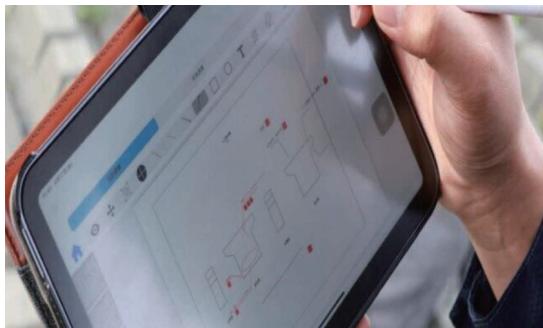


図4 洗掘調査の実施結果





1. 損傷図、写真帳を1画面で切替表示
2. 野帳、写真帳のブックマーク機能で素早いアクセス
3. 点検に特化した用語を選択して素早い記録が可能
4. 描画ツール＆編集機能で、見やすく情報整理が可能
5. 過年度調書、写真帳などの拡大表示が可能
6. 撮影箇所は、ワンタッチ自動採番で写真番号記録が可能
7. 写真番号と取り込んだ写真の自動紐付機能
8. 写真番号にあわせた写真ファイル名自動リネーム機能
9. 野帳のPDF保存

図5 Waymark Noteの画面イメージと9つの機能

(図5)。

従来の橋梁点検作業では、紙の調書（野帳）に手書きで記録し、後から写真と照らし合わせる方法が一般的でした。私たちも5年間で全国約1000橋のドローン点検を実施してきましたが、手書きの修正や写真整理の手間、記載ミス、現場後の写真整理の煩雑さなど多くの課題に直面しました。折角現場の橋梁点検がドローンを用いて効率化できても、その後の内業に多くの時間を要していました。

そこで、現場の困りごとを解消するためには、真に必要な9つの機能を定義しました。

例えば、現地でとった写真の整理が煩雑となる課題については、ワンタッチ自動採番機能や写真自動紐付機能、写真ファイル名自動リネーム機能を備えることで、写真データを取り込むだけで自動的にデジタル野帳に紐付けられ、ファイル名が整理される仕組みとしました。一方で、必要でない機能は極力省くことにより、シンプルな操作で誰でも簡単にきれいな野帳が作成できるようこだわっています。

2025年5月に正式版がリリースされ、橋梁に限らず幅広い設備の点検業務において、野帳のデジタル化を実現するDXツールとして活用いただいている。

また、インフラ設備点検業務で活用することができる画像を解析するさまざまなAI（人工知能）を搭載し、AI実行にあたるさまざまな機能をトータルで提供するAIプラットフォームサービス「Waymark Portal」を提供しています。現在搭載しているAIでは鉄塔やマンホール、電柱上の配電設備に加えて、標識やカーブミラー、ガードレール等の道路構造物の錆や、路面上の横断歩道や白線等の道路標示の剥離に

対する劣化診断も可能です。点検のために現場に赴くのではなく、普段の業務においてドライブレコーダーで収集した大量の写真からAIにより点検対象の設備を割り出し、点検に活用することができます。

そのほか、お客様の要望に合わせたAIの開発にも取り組んでいます。ソフトウェア開発と前述したボート型ドローンに代表されるハードウェア開発の双方の開発体制を保有しており、それらを要望に合わせてコーディネートすることで、お客様が保有するアセットの状況に合わせた点検手法を提供しています。

少なくとも3割、すなわち生産性を1.5倍向上することをめざし、「施工のオートメーション化」「データ連携のオートメーション化」「施工管理のオートメーション化」を3本の柱に施策検討が進められています。特に「データ連携のオートメーション化」では、JWも取り組んできた2次元・3次元デジタルデータの収集・活用が推進される見込みのため、市場の潮流に合わせた事業展開や新技術開発を進めることで、建設生産システムの生産性向上に寄与し続けます。

■参考文献

- (1) https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html
- (2) <https://www.jiw.co.jp/newsroom/detail/20250715090326.html>

今後の取り組み～新技術による建設生産システムにおける生産性向上～

建設業界全体を見渡すと建設生産システムにおける抜本的な生産性向上が求められています。これまで豊富な労働力人口を背景に、大勢の働き手を建設工事の現場に配置することにより、建設投資に対応した生産体制や適正な施工を確保していましたが、生産人口の減少、他産業への人材流出等により、生産性向上が求められています。

課題解決に向けて、国土交通省は2016年からi-Construction（アイ・コンストラクション）の取り組みを進めています。2025年度の稼働2割削減をめざし、測量から設計、施工、維持管理に至る建設プロセス全体を3次元データでつなぎ、新技術、新工法、新材料の導入や利活用の加速化が進められ、JWとしてもi-Construction対応ドローンレーザ測量サービスを提供する等の取り組みを実施してきました。

2025年に発表されたi-Construction 2.0では、2040年度までに建設現場の省人化を



(上段左から) 北宅 洋 / 岡森 駿
(下段左から) 岡田 正義 / 家保 具太

ビジョンである「新たなインフラ点検手法を創造し、携わるすべての人が使えるようになること」を実現することで、インフラ点検に携わる世界中のすべての人が豊かになる世界をめざします。

◆問い合わせ先

ジャパン・インフラ・ウェイマーク

URL <https://journal.ntt.co.jp/article/37044>DOI <https://doi.org/10.60249/25115105>

建設現場のDX課題に挑む：「e-Stand」が切り拓く 現場革新と通信インフラの技術課題解決

建設業界は、他産業とは異なる構造的・文化的な特徴を持ち、DX（デジタルトランスフォーメーション）の推進が難しい状況にあります。「受注産業」「個別生産」「移動産業」「屋外産業」「チームワーク産業」という構造に加え、従来の紙ベース管理へのこだわりや、ICT導入が業務を複雑化させるとの警戒感など、現場のマインドセットも障壁です。これら課題の解決に挑む建設ダッシュボードサービス「e-Stand」の開発や通信インフラ技術課題への取り組みを紹介します。

キーワード：#建設ダッシュボードサービス, #メッシュWi-Fi, #データ利活用

ぬまざき けんじ
沼崎 健司

ネクストフィールド

建設業界の変革を牽引する ネクストフィールドの挑戦

日本の建設業界は、今、かつてない変革の時を迎えてます。少子高齢化による生産労働人口の減少は全産業共通の課題ですが、建設業界では特に深刻です。加えて、2024年4月に施行された労働基準法改正による時間外労働の上限規制は、業界全体の働き方を見直す大きな契機となりました。こうした喫緊の課題を解決するため、現場の生産性向上と働き方改革を両立させるDX（デジタルトランスフォーメーション）への期待と導入への機運が急速に高まっています。

しかし、建設業界のDXは他業界に比べて遅れが目立ちます。特に中堅・中小の建設会社では、現場へのICTツールの導入や定着が進まず、旧来の業務スタイルが根強く残っています。これらの課題を打破し、業界全体の変革を後押しすることをめざして、2022年4月1日に設立されたのがネクストフィールドです。飛島建設、NTT、NTT東日本の3社が共同出資し、建設業界の内側に根差した実務知見と、ICTに精通した外部の視点を融合させて活動しています。私たちは「DXの力で、建設業界すべての人たちに最高の場を提供する」というビジョンを掲げ、飛島建設が長年培ってきた現場改善ノウハウと、NTTグループが誇る最先端の通信技術やアセットを掛け合わせ、建設現場のDXをトータル支援することがミッションです。そしてこの挑戦

は、単なる業務効率化にとどまらず、建設業界のイメージを刷新し、若者が憧れる魅力ある職業へと変えていくことをめざしています。建設業が憧れの職業となれば、業界は持続的に発展し、より良い社会インフラの整備を通じて、人々の生活の質を高め、社会全体の豊かさにもつながると私たちは信じています。

当社の事業内容

- ① 建設DX事業：現場の情報を一元管理するダッシュボードサービス「e-Stand」（Webアプリケーション）を中心に、現場の安全性・効率性・可視化を高めるデバイス製品群「e-Sense」シリーズを提供しています。e-Standは、気象情報、センサデータ、カメラ映像、就業者情報など外部システムの各種情報をAPI（Application Programming Interface）連携によって一元的に表示し、SSO（シングルサインオン）機能で各種アプリケーションへのアクセスも簡便化します。現場の声を基に開発されたこのサービスは、建設現場の「仕事の入り口」として全国展開をめざしています。
- ② 建設BPO（ビジネス・プロセス・アウトソーシング）事業：現場に寄り添いICTツールの導入・運用支援する伴走型サービス「IT監督」は、ICTと建設現場の双方に精通した人材だからこそ、現場からの高い信頼を得ています。
- ③ 建設ネットワーク事業：一時的な空

間である建設現場では、通信インフラが整っていないケースが多く、ICT活用の障壁となっています。この課題を解決するため、Wi-Fiをはじめ、衛星通信やローカル5G（第5世代移動通信システム）などの技術も活用し、現場に安定した通信環境を構築することで、DXの基盤を整備します。

これらの事業を組み合わせて建設現場のDXを包括的にサポートし、さらに、コンサルティングや人材教育を通じて、企業文化や社員の意識改革にも取り組み、真の意味でのDXを実現する変革のパートナーとして、建設業界全体の未来を切り拓いていきます。

建設業界特有の課題（現場主導と業界構造の複雑性）とe-Standの役割

建設業界ではDXへの期待の高まりに呼応して、施工、安全、工程、原価、労務など、業務領域ごとに多種多様なアプリケーションサービスが乱立し、まるで「カオス」と形容される状況が生まれています。新しいツールが次々と登場する中で、既存ツールの定着が難しく、業務精査や効果検証が不十分なまま導入が進むケースもみられます。この背景には、業界特有の構造的な課題が存在していると考えています。

まず、建設業は「一品受注生産」が基本であるため、現場ごとに条件や関係者が異なり、業務の標準化が困難です。このため、

汎用性の高いツールが生まれにくく、特定のツールが業界全体を席巻することが難しいのです。さらに、現場の運営は「現場所長の裁量」が非常に大きく、本社が一律でツール導入を指示しようにも、現場で使いやすさが評価されなければ定着しません。実際、現場所長が「使いやすい」と評価したツールを次の現場でも継続して使いたいという力学が働く結果として、各社・各現場で異なるツールが導入される傾向が強まります。また、「多重下請け構造」もツールの乱立を助長する要因です。元請けと協力会社間でシステムを統一することは難しく、自社だけでのDX推進では効果が限定的になってしまふため、多様な選択肢が並存する現況を生み出しています。

こうした課題に対し、e-Standは建設業界に特化したダッシュボードサービスとして、情報のハブとなることでDXの実効性を高める役割を担います。外部の各種アプリケーションや公的機関の情報とAPI連携し、カメラ映像やセンサデータ、気象・災害情報などを統合的に表示、現場の状況をリアルタイムに可視化することで、迅速な意思決定と行動をアシストします。またSSO機能で、現場に導入している別ツールへのアクセスも簡便化され、現場職員のICT活用のハードルを下げられます。主に本社側での使用を想定する「作業所マップ」機能では、全国各所の現場の状況・情報をダイレクトに確認できるメリットがあり、情報統制を容易にします（図1）。

e-Standは現場や個人ごとに、ポートレット^{*1}のサイズや配置を自由にカスタマイズしたポータル画面を複数作成できる柔軟性を持つつ、本社が統一的なポータル画面のテンプレートを配布することで、現場の裁量を尊重しながらも、全社的な業務標準化と定着化を支援します。e-Standは、現場と本社、そして協力会社をつなぐ情報基盤を構築し、建設業界全体のDX推進に貢献していきます。

アナログ掲示物を変革するデジタルサイネージへの対応

建設現場では、安全管理や情報共有のために、朝礼看板（安全掲示板）や仮囲い掲示板、事務所内のホワイトボードなど、ア



図1 e-Standの利用イメージ

ナログな掲示物が不可欠でした。しかし、これらの掲示物は更新に手間がかかり、情報の即時性に課題がありました。当社では、これらの掲示物をデジタルサイネージに置き換えることで、情報共有の効率化と現場のスマート化を推進しています。

e-Standでは、朝礼看板のデジタル化を想定した「安全掲示板ポートレット群」（安全目標、無災害記録、玉掛ワイヤー点検色、安全施工サイクル、有資格者一覧など）を開発し現場で必要とされる多様なコンテンツを自由にカスタマイズ・レイアウトできます（図2）。

これにより、従来の手書きや印刷・張り替えといった作業が不要になり、情報更新の手間を大幅に削減。実際に導入された現場の若手職員から「やっぱりこれだよね！」と前向きな声も上がっており、デジタル化への期待の高さがうかがえます。

また、仮囲い掲示板のサイネージ化も進めており、工事予定や騒音・振動情報を表示することで、近隣住民との円滑なコミュニケーションを支援します。これらのサイネージコンテンツは、CMS（コンテンツマネジメントシステム）を用いず、e-Stand上で簡単にローテーション表示が可能であり、現場のICTリテラシーに依存せず運用ができます。さらに、現場事務所のホワイトボードも「行事予定表」機能でデジタル化できます。職員の外出予定やスケジュールをリアルタイムに共有し、情報の見落としや記入ミスを防ぎます。

こうした掲示物のデジタル化を通じ、情報共有の質とスピードを高め、効率化が図

れます。

通知の一元化を実現する「通知ハブ」機能

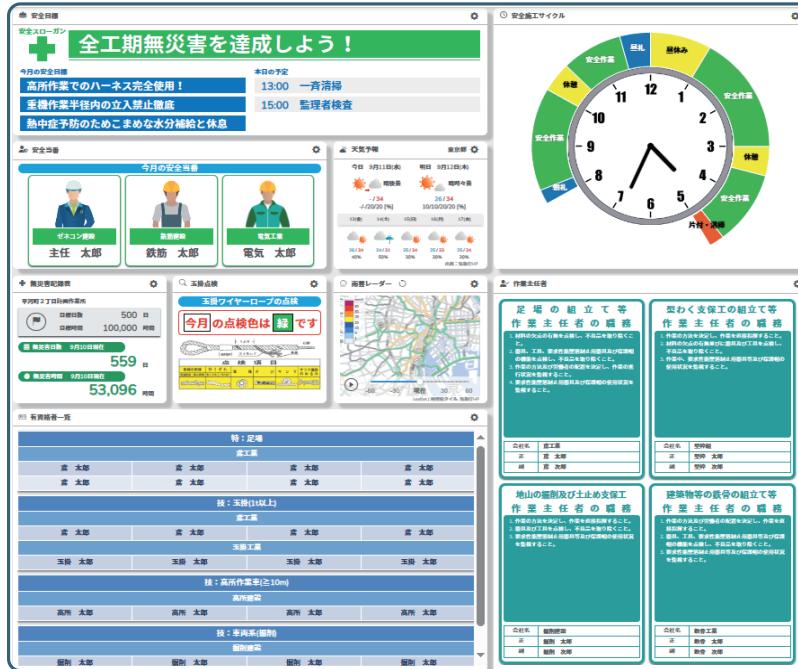
近年、AI（人工知能）技術の進展により、建設現場でもAIカメラを活用した高度な安全管理が実現しつつあります。許可車両の入場管理や、重機への人の接近検知警告など、多様なシステムからアラートが発出されます。また気象や地震警報、ガス計・水位計などからの異常発報も、現場の安全にとって重要な情報です。

しかし、これらのアラートはPC画面やメールなどで通知されるものが多く、システムごとに独立していることから、当社はe-Standを通知ハブとして機能させ、複数のシステムから発出されるアラートを一元的に集約・管理する仕組みの実装を進めています。これにより、現場内を巡回中の職員や別作業中のスタッフにも、遠隔地から統制する本社組織へも、チャットツールを通じて即座に通知を届けることが可能となり、速報性と認識率の向上は、迅速な初期対応につながり、現場の安全性を飛躍的に高めます。

次の展開としては、アラートの文字情報を見音に変換し、オーブンイヤー型イヤホンを通じて職員に通知する技術との連携も視野に入れています。ハンズフリーかつリ

*1 ポートレット：Webアプリケーション内のモジュール化された機能コンポーネントのこと。

安全掲示板ポートレット群



行事予定表



タスク管理



図2 e-Standのポートレット例

アルタイムな情報伝達によって、現場の安全性と業務効率のさらなる向上をめざしています。

現場の通信インフラの技術課題解決

建設現場でのDX推進には、IoT (Internet of Things) センサ、ネットワークカメラ、PC、タブレットなどのICT機器活用が不可欠ですが、これらを支える安定したネットワークインフラの整備には、現場特有の課題が伴います。建設現場は高温・低温・高湿度といったハードコンディションを伴いつつ、高層構造や電波に影響を及ぼす遮蔽物（壁や天井）など物理環境が工事の進行に応じて刻々と変化します。日々多種多量の建設資材を運搬する機材や作業員が常に行き交い、仮設電源に接続した機器が時には断りなく移動・抜去されることが起きる過酷なフィールドにおいては、有線LANはもとより既存のWi-Fi機器だけでは対応が困難です。

ネットワーク担当者が常駐していない現場では、ICTに不慣れな作業員が機器の設置・運用を担う必要があるため、専門知識が不要でも扱えるシステムが強く求められます。

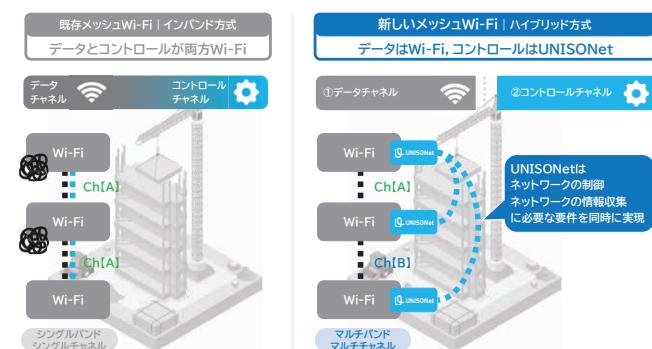


図3 次世代メッシュWi-Fiシステムの制御方式と特長

こうした課題に対し、ソナス株式会社^{*2}との共同提案「専門知識不要で建築現場全体をカバーする次世代メッシュWi-Fiシステムの開発」が、地方独立行政法人東京都立産業技術研究センターの「2025年度クラウドと連携した5G・IoT・ロボット製品開発等支援事業公募型共同研究」に採択され、2026年度の商用化をめざしています（図3）。

この次世代メッシュWi-Fiは、従来のWi-Fiベースのインバンド方式とは異なり、データチャネルにWi-Fi、コントロールチャネルにソナス独自のIoT無線技術UNISONetを採用したハイブリッド構成とすることで、複雑かつ変化の激しい建設現場

の環境でも、安定した通信制御と情報収集（トラブル検知など）が可能になります。特に、同時送信フラッディングは、複数の端末が同時にデータを送信することで、従来のルーティング方式に比べて効率的かつ信頼性の高い通信を実現します。次世代メッシュWi-Fiは数10Mbpsでも実用速度（建設現場における実証実験での実績値は

*2 ソナス株式会社：独自開発のIoT向け無線規格「UNISONet（ユニゾネット）」を開発する東大発ベンチャー企業（<https://www.sonasa.co.jp/>）。UNISONetは、同時送信フラッディングという革新的な転送方式を用いた省電力マルチホップ無線で、超安定、省電力、高速通信等の特長を同時に実現しています。

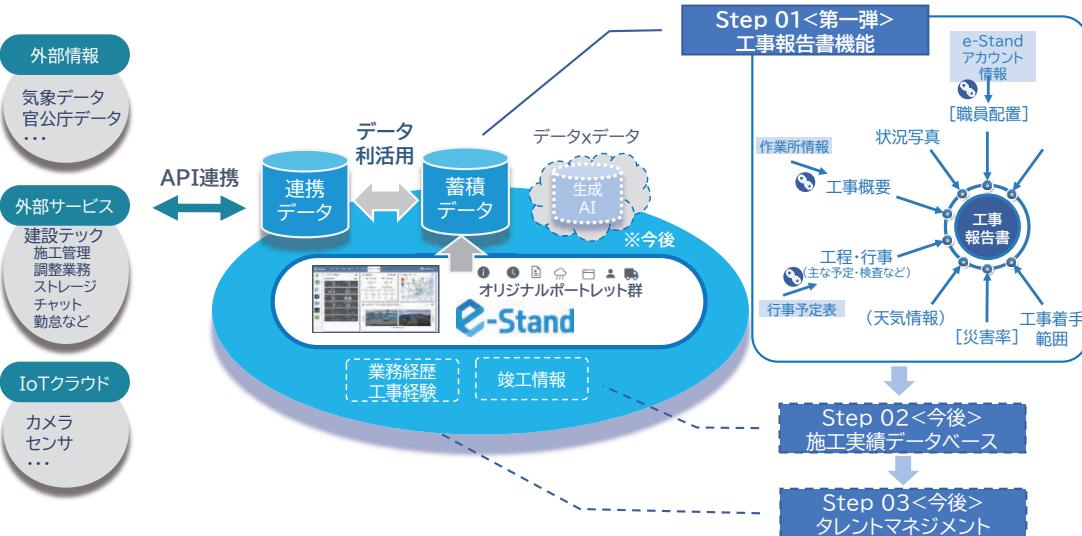


図4 e-Standがめざすデータドリブン構想の全体イメージ

18ホップ5 Mbit/s)を維持でき、専門知識が不要で自動構築・最適化も可能です。

電波が届きにくい厚い壁(横方向)や床(縦方向)がある場合に、PLC (Power Line Communication)^{*3}機器を活用して仮設電源を経由した通信路を確保することや、高層・広大な工事エリアへの対応はローカル5Gを用いることで、このメッシュWi-Fi機器と組み合わせて全方位的なネットワーク構築が可能になります。これにより、建設現場の隅々まで通信環境が整い、多種多様なIoT機器の活用を支える強固な基盤が整備できます。

一方e-Stand側では、新たなネットワーク管理ポートレットを開発して、現場職員がメッシュWi-Fiの状態をリアルタイムで把握し、簡易な操作で機器の確認ができるようにするなど、ICTに不慣れな現場でも安心して運用できる環境を提供する予定です。次世代メッシュWi-Fiとe-Standによる通信インフラの革新を通じ、建設DXの基盤整備における重要な役割を果たしたいと考えています。

建設現場のデータを価値に変える e-Standによるデータ利活用構想

今後の展開として、建設ダッシュボード「e-Stand」を進化させ、建設現場に蓄積

される多様なデータを統合・活用することで、業務の最適化と経営の健全化を図る「データ利活用構想」を描き前進させています(図4)。

その第一弾として提供を開始したのが「工事報告書」機能です。現場で月次作成される工事報告書をe-Stand上で作成・共有・バージョン管理でき、発注者への報告用にデータ出力も可能です。e-Standの他機能と連携し、報告項目の一部には日々蓄積されたデータが自動反映されるため、現場職員の入力負担を軽減します。

次に予定しているのが、施工実績を蓄積・可視化する「施工実績データベース」機能です。建設会社では用途ごとに異なる管理システムが導入されており、工事データや顧客情報の運用が複雑化になります。e-Standを通じて工事データを収集・整理し、社内データベースとして一元管理することで、戦略的な経営判断を支援するとともに、施工実績の可視化によって企業のプレゼンス向上や社員のモチベーション向上にもつながると考えています。

さらに、スキルや経験を定量的に管理する「タレントマネジメントシステム」も構想中です。現場では、職員が経験した多様な工種を把握することや、業務の性質上、個人のスキル・経験を定量的に蓄積することが難しく、評価や人材配置の検討に必要な情報が不足しがちです。そこで、e-Standの「タスク管理」機能を日常的に活用する中で入力された業務内容、重要度、

担当者、所要日数などの定量データに加え、定性的な情報も分析対象とし、職員のキャリアデータと工事データを紐付けて見える化することで、適切な人材評価や配置検討を支援し、人的資源の最適活用に貢献したいと考えています。

これらの取り組みにより、e-Standは単なる情報表示ツールから、建設業務の意思決定を支える統合プラットフォームへと進化し、建設業界のDXを根幹から支える存在となることをめざします。

■参考文献

- (1) 建設産業担い手確保・育成コンソーシアム：“建設現場で働くための基礎知識（建築工事編：第一版）,” 建設業振興基金, 2019.



沼崎 健司

e-Standはご意見ご要望をうかがいながら随時アップデートしており、ユーザ利便性向上にはさまざまな建設テックサービスとのさらなる連携・協業が必要です。興味がございましたら是非お問い合わせください。

◆問い合わせ先

ネクストフィールド
サービス企画・開発部

*3 PLC: 電力線を活用してデータ通信を行う技術のこと。



沈黙のリスク、崩れゆく基盤（前編） —インフラ老朽化の現状と政策の岐路

日本では高度経済成長期（1950～60年代）に集中的に整備された社会インフラが、築後50年以上を経過し、急速に老朽化しており、戦略的な維持管理・更新が喫緊の課題となっています。前編では、インフラ老朽化の現状と課題について整理し、後編において、点検・検知や修理・復旧のための最新技術動向と今後のあるべき姿について海外事例も含め解説します。

キーワード：#社会インフラ、#老朽化対応、#検知・復旧技術



身近に迫る社会インフラの危機

2024年11月、埼玉県八潮市で発生した道路陥没事故は、老朽化した下水管の破損が原因とされ、走行中のトラックが転落し運転手が亡くなるという痛ましい事態となりました。事故から10ヶ月が経過した現在においても復旧工事は続いている、道路は長期にわたり通行止めや交通規制が敷かれ、地域の生活や経済活動に深刻な影響を及ぼし続けています。

しかし、八潮での事故は決して特殊な出来事ではなく、老朽化した下水管による道路陥没、水道管の破裂による断水、橋梁の損傷による通行止め、公共施設の耐震不足による使用停止など、全国各地でインフラに関する問題が相次いでいます。これらはいずれも、市民生活や産業活動を支える基盤が静かに、しかし確実に機能不全に陥りつつあることを示しています。

国を挙げての対応が喫緊の課題であることはいうまでもありませんが、その一方で、維持管理や更新をめぐっては財源不足、技術者不足、民間事業者と公共部門の役割分担など、多くの問題が存在します。老朽化したインフラをどう守り、再生していくのかは、社会制度や財政運営の実態、技術革新の現状と今後、また少子高齢化社会である日本の将来を見据えて検討することが求められる複雑で難易度の高い課題といえます。

本稿では、まず前編としてインフラ老朽化の現状を整理し、政府の認識と政策動向

を俯瞰、さらに海外の重大事故とその後の制度対応を概観することで日本の現状と課題を明確にし、後編において、実際の維持管理や検知・修復を支える技術、さらには今後の展望について掘り下げて論じることとします。

インフラ老朽化問題の現状整理

■社会インフラの現状と将来予想

日本では1950～60年代の高度経済成長期に集中的に整備された社会インフラが、築後50年以上を経過して急速に老朽化しています。

国土交通省「建設後50年以上経過する社会資本の割合」（2023年公表）によれば、道路橋の37%、トンネルの25%がすでに築後50年を超えており、2040年にはそれぞれ75%、52%に達する見込みです⁽¹⁾。上下水道管路は現時点で1割前後ですが、20年後には3～4割に拡大すると予測されています（図1）。こうした同時期に発生する一斉老朽化は、日本の社会インフラが抱える最大の特徴といえます。

社会インフラは、人々の生活や産業、経済活動を下支えする基盤であり、その老朽化による事故やトラブルは私たちの生活に直結しているため、多大な影響を与えるリスクが必然的に高くなります。

本稿では便宜上、インフラを以下の3つに分類し、それぞれの現状と課題を整理します。

- ・ライフラインインフラ：上下水道、電気、ガス、通信など、市民の生活に不可欠な基盤
- ・産業インフラ：道路、橋梁、トンネル、鉄道、港湾、空港など、物流や産業活動を直接支える基盤
- ・経済インフラ：学校、病院、庁舎、文化施設など、社会活動や地域経済を維持する公共的施設

■ライフラインインフラの課題

ライフラインインフラは、市民生活に直結するため、老朽化による影響がもっとも直接的に現れる分野です。

上下水道では、老朽管の破損による断水や道路陥没が各地で相次いでいます。2016年には福岡市博多駅前で、幅30 m以上に及ぶ穴が開く大規模な道路陥没が発生しました。下水道管の破損が原因で、交通だけでなく電気・ガス・通信といった複数のライフラインが一時的に遮断され、都市部での事故の波及範囲の大きさを如実に示しました⁽²⁾。

さらに2024年の能登半島地震では、石川県珠洲市や輪島市を中心に水道管が広範囲で破断し、数万世帯が長期断水に直面しました⁽³⁾。半島という地形的条件や過疎化による人員不足も相まって復旧は難航し、現時点においても完全復旧には至っていません。都市部では社会機能集中ゆえに被害が大きく、地方部では地形的制約や人口減少が復旧を遅らせるという対照的な課題が浮き彫りとなっています。

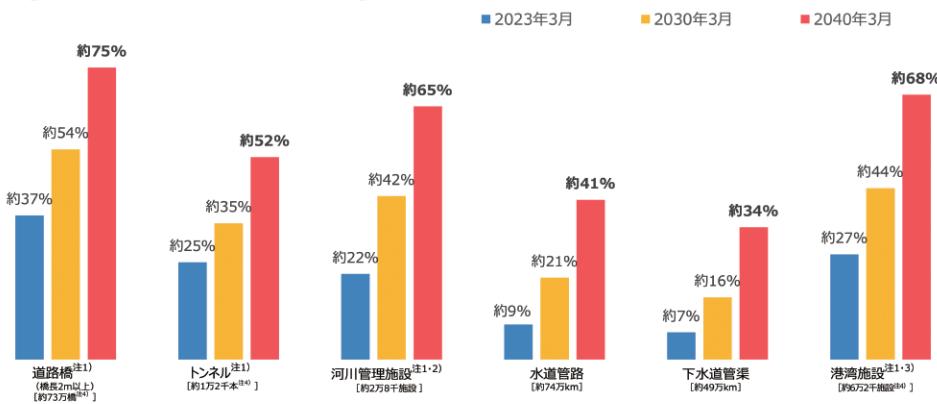
電気・ガスでも課題は顕著です。2018年



建設後50年以上経過する社会資本の割合

高度経済成長期以降に整備された道路橋、トンネル、河川、上下水道、港湾等について、建設後50年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる。
 ※施設の老朽化の状況は、建設年度で一律に決まるのではなく、立地環境や維持管理の状況等によって異なるが、ここでは便宜的に建設後50年で整理。

【建設後50年以上経過する社会資本の割合】(2023年3月時点)



注1) 建設後50年以上経過する施設の割合については、建設年度不明の施設数を除いて算出。

注2) 国、堤、庇止め、閘門、水門、揚水機場、排水機場、橋門・橋管、防潮、管理機、浄化施設。その他(立坑、遊水池)、ダム。独立行政法人水資源機構法に規定する特定施設を含む。

注3) 一部港務組合、港務局を含む。

注4) 総数には、建設年度不明の施設数を含む。

出典：国土交通省「建設後50年以上経過する社会資本の割合」

図1 建設後50年以上経過する社会資本の割合

の北海道胆振東部地震では、苫東厚真火力発電所の停止により北海道全域が停電する「ブラックアウト」が発生しました。被害を大きくした要因は複合的ではありますが、発電・送電設備の老朽化や冗長性不足が指摘されています。ガスについても、高度経済成長期に敷設された鉄鉄管の残存が課題で、1995年の阪神・淡路大震災では管破裂から火災が拡大し甚大な被害をもたらしました。老朽管更新は進むものの、都市部を中心に依然としてリスクは残っています。

通信においては、明確に老朽化によって発生した事故等は各社から発表されていませんが、昨今の激甚化する天災に耐えられず倒壊する電柱や鉄塔による障害の発生や、耐用年数を超えた設備の更改等の課題は現存しています。国土交通省が発表している公共インフラ分野における電気通信技術について、今後5カ年（2023～2027年）で推進する技術開発や技術導入の方向性を示す電気通信技術ビジョン4（2023年3月）⁽⁴⁾においても、電気通信技術を取り巻く課題として「これまでに構築してきた統合ネットワークは、災害時において信頼性が高い通信基盤として機能しているが、大規模災

害時においては、大規模な商用停電、民間事業者回線の途絶や光ファイバ切断への対応が頻発している。（中略）現在の通信制御手法や境界型セキュリティによる統合ネットワーク運用方法では限界があり、新たな運用方法を確立していくことが求められている」とされており、災害にも耐えられる設備環境の構築が求められています。

このように、公共部門が担う上下水道は財政制約と人材不足という課題を、民間部門が担う電気・ガス・通信においては、収益原理と社会的責任の両立という課題を抱えており、いずれも社会全体に重大な影響を及ぼす脆弱性を内包しています。

■産業インフラの課題

道路・橋梁・鉄道・港湾・空港といった産業インフラは、物流や経済活動の基盤ですが、これらの施設も老朽化が進み、都市部と地方部それぞれで深刻な問題を引き起こしています。

2012年に中央自動車道笛子トンネルで発生した天井板崩落事故では、9名が犠牲となり全国に大きな衝撃を与えました。原因是長年交換されていなかった鋼製ボルトの劣化と点検不足であり、都市近郊の基幹交

通路での事故は人的被害と経済損失の両面で甚大な影響を及ぼすことが明らかになりました。

道路橋は全国に約73万橋（橋長2m以上）が存在しますが、その多くは高度経済成長期に整備されました。老朽化は今後さらに進行し、国土交通省「道路橋の老朽化事例集」によれば、腐食・コンクリート剥落・支承部破損などが全国各地で確認されています⁽⁵⁾（図2）。

表1の数字は、全国の橋梁のうち約1割が「早期または緊急措置」を要する状態にあることを示しています。実際、コンクリート片の落下や鋼材腐食の進行により、通行規制や重量制限が課される橋梁は年々増加しており、利用者数が少ない地域では補修投資が困難なため、撤去や集約といった選択も現実的な対応策となっています。

東名高速の静岡県裾野市にあった東名千福橋は、老朽化が進み2012年の定期点検で判定区分IV（構造的に安全性に支障がある状態）とされ、2013年には通行止めになりました。補修・延命工事には高額な費用が必要とされたことから、最終的に撤去方針が決定され、2021年から2023年にかけて撤



(出典) 内閣府沖縄総合事務局資料(道路構造物の老朽化に関する取り組み)

図2 老朽化が原因で落橋した国内事例

表1 定期点検結果(判定区分別割合, 2023年時点)

判定区分	割合	内容
判定I・II	約92%	健全～予防的対応で可
判定III	約8%	早期措置を要する
判定IV	約0.1%	緊急措置を要する

出典: 国土交通省「道路橋の老朽化事例集」

去工事が行われました⁽⁶⁾。都市近郊でも撤去が選択肢とならざるを得ない現実を示した事例です。

港湾や空港も例外ではありません。北海道内の国有港湾では、岸壁の鋼矢板が腐食し倒壊の危険があるほか、エプロン部の陥没によって利用が禁止されている施設が存在します。また、名古屋港・清水港などでは、エプロンの沈下や陥没が複数発生し、裏側の鋼管杭や鋼矢板の腐食・損傷が長年見過ごされていた事例が報告されています⁽⁷⁾。

空港についても、老朽化による障害が顕在化しています。2024年9月には羽田空港A滑走路でアスファルト舗装の剥がれが複数箇所で発見され、一時的に滑走路が閉鎖されました。原因は落雷や大雨が重なったこととされました。経年劣化した舗装材の脆弱性も背景にあると指摘されています。

産業インフラは、都市部では大量輸送や国際競争力に直結するリスク、地方部では孤立・代替性不足というリスクを抱えています。いずれも老朽化した施設を安全に維持管理する体制が不足している点で共通しており、維持管理から撤去・再編に至る多様な対応策が求められています。

■経済インフラの課題

学校・庁舎・病院といった地域の生活拠点においても影響は深刻化しています。とりわけ公立学校施設は全国に約28万棟存在し、その相当数が築40年以上を超えていまます。文部科学省の調査(「公立学校施設 老朽化による被害等の例」2013年)によれば、構造部材の劣化や耐震不足によって倒壊や落下等の被害が発生する可能性が高いと判定された施設が全国に多数残存しています⁽⁸⁾。

調査では、老朽化の典型的なリスクとして以下の点が指摘されています。

- ・鉄筋コンクリート造校舎でのコンクリート剥落や鉄筋の腐食
- ・屋根材や外壁材の劣化による落下事故の危険性
- ・木造校舎での耐力壁不足や接合部の劣化
- ・体育館や屋内運動場の屋根トラス腐食・金物緩みによる倒壊リスク
- ・アスベスト含有建材の老朽化による飛散リスク

これらの施設は、地震や強風といった外的要因が加わった際に被害が顕在化する可能性が高いとされています。文部科学省の

データでは、2012年度時点で「構造上危険」または「著しく劣化」と診断された公立学校施設が全国で約1800棟存在し、その大半は早急な対応を要するにもかかわらず改修が進んでいません。背景には、自治体の教育施設整備予算の不足があります。

この状況は、児童・生徒・教職員の安全確保が十分でないことに加え、災害発生時には避難所としての機能も期待される学校設備が、時に避難者を危険に晒す可能性があるという問題も抱えています。

医療施設でも老朽化の影響は深刻です。2018年の北海道胆振東部地震では病院の非常用発電機が停止し、人工呼吸器が使用不能となる危機に直面しました。災害時に医療機能を維持できるかは設備更新の有無に左右されます。地方の中小病院では財政制約から改修が難しく、災害時に拠点病院として機能不全に陥るリスクが深刻化しています。

老朽化の影響は、ライフライン、産業、経済の各分野で、都市部と地方部のいずれにおいても、すでに顕在化しています。いずれの場合も、老朽化した施設を計画的に更新し、災害時のレジリエンスを高める体制整備が不可欠です。

次に、こうした課題を政府がどのように認識し、どのような政策の枠組みを構築してきたかを整理します。

老朽化対策への政府の取り組み

■各種審議会等での議論の状況

社会インフラの老朽化対策は、国の政策課題として複数の審議会・有識者会議で議論が重ねられてきました。特に2012年12月の中央自動車道笹子トンネル天井板崩落事故は、老朽化問題を国民的関心事へと押し上げる契機となり、事故後、国土交通省は点検制度の見直しと維持管理の抜本的強化に向けた議論を加速させました。

- ・社会資本整備審議会 道路分科会 基本政策部会(2013年答申) : 「事後保全から予防保全へ転換することが急務である。道路構造物の安全性確保のため、



表2 老朽化に関する審議会・計画の年次と主要提言

年次	審議会・計画	主な提言・方針
2012年	笛子トンネル事故（契機）	点検制度の不備が社会問題化
2013年	社会资本整備審議会 道路分科会答申	事後保全から予防保全へ転換、5年ごとの定期点検制度化
2013年	インフラ長寿命化基本計画（閣議決定）	点検義務化、維持管理台帳の整備、長寿命化計画の策定
2014年	公共施設等総合管理計画（総務省）	自治体に個別施設ごとの長寿命化計画策定を要請
2015年	社会资本整備重点計画（第4次）	人口減少社会に対応した「選択と集中」、インフラ再編の必要性
2018年	社会资本整備審議会 中間報告	データ活用（BIM/CIM, IoT）、診断技術の高度化
2019年	社会资本整備審議会 答申	老朽化対策と災害レジリエンス強化の一体化
2025年	道路橋等の集約・撤去事例集（国交省）	維持困難な橋梁の撤去・集約を実例として整理

出典：国土交通省・総務省・内閣府各種答申・計画より筆者作成

近接目視による定期点検制度を義務化し、劣化状況に応じた計画的補修を実施すべき」と明記⁽⁹⁾。

・インフラ長寿命化基本計画（2013年12月閣議決定）：これを受け、国として初めて「インフラ長寿命化基本計画」を策定。道路・橋梁・トンネル等に対し「5年に1度の近接目視点検を義務付け」、点検結果を基に維持管理計画を作成する仕組みを導入⁽¹⁰⁾。

・社会资本整備重点計画（第4次、2015年6月閣議決定）：「人口減少社会においては、すべての社会资本を維持することは不可能であり、利用実態を踏まえた選択と集中が必要である」とし、老朽化対策を中長期的社会資本政策の柱に位置付け⁽¹¹⁾。

・公共施設等総合管理計画（総務省、2014年以降 各自治体策定）：自治体に対し、学校・庁舎・上下水道などの個別施設ごとに長寿命化計画を策定し、更新・再配置の方針明確化を要請⁽¹²⁾。これらの動きにより、老朽化対策は単なる技術課題ではなく、国民生活の安全を守るために国家戦略的政策として認識されるようになりました（表2）。

■政策の方向性

審議会答申や計画を通じて、政府の老朽

化対策は「予防保全」「データ活用」「選択と集中」「民間活力」「レジリエンス強化」という方向へ整理されてきました。ここでは、各方向性を補足しつつ具体的な制度の展開を確認します。

(1) 予防保全型への転換

2014年以降、道路橋やトンネルは5年に1度の近接目視点検が義務付けられました。さらに河川管理施設や港湾施設へと順次対象が拡大し、全国規模で予防保全を制度化した点は画期的です。社会资本整備審議会答申（2013年）は「壊れてから直す事後保全では費用も人命も失われます。予防保全を制度的に位置付けることが不可欠」と明記し、今や維持管理の標準概念となっています。

(2) データに基づく維持管理

国土交通省はインフラ台帳整備を自治体に義務化し⁽¹³⁾、点検結果のデータベース化を推進。BIM/CIMの導入に加え、IoT（Internet of Things）センサによる常時モニタリング、AI（人工知能）による劣化進行予測などが試行されています。2018年の中間報告では「ICTを用いた点検の効率化は、限られた技術者の不足を補う現実的解」と指摘し、現在ではドローンによる橋梁点検や画像解析技術が普及しつつあります。

(3) 選択と集中・集約化

人口減少下ですべての施設を維持することは不可能であることを認め、内閣府「社会资本整備重点計画」（2015年）は「社会资本の総量を維持するのではなく、必要な機能を確保する方向へ転換する」と明記しました。実際、国交省「道路橋等の集約・撤去事例集」（2025年）には、代替路がある老朽橋の撤去や、車道橋を歩道橋へと機能縮小したケースが複数掲載されており、撤去・縮小が現実の政策選択として認められています。

(4) 民間活力の導入

経団連の提言（2020年）は「維持管理・更新を成長産業と位置付けるべき」とし、PFI*（Private Finance Initiative）、コンセッション方式の拡大を強く打ち出しました。政府はこれを受け、上下水道、空港、道路サービスエリアなどで民間参入を進めています。ただし民間投資は収益性が前提となるため、利用者が少ない過疎地では導入が難しく、この点については「公共と民間の適切な役割分担」が審議会でも議論されており、今後の制度設計に課題を残しています。

(5) 災害・気候変動対応

2019年の社会资本整備審議会答申は「老朽化対策と災害レジリエンス強化は一体で進めるべき」と強調しました。近年の豪雨・地震・高潮などは老朽化施設に大きなダメージを与えており、維持管理計画の中で耐災害性強化を標準化する方向に動いています。橋梁の耐震補強や水道管の耐震化、港湾護岸の嵩上げはその具体例です。

■解決に向けた課題

政策の方向性は、審議会答申により明確になってきていますが、現場レベルでの実行には依然として以下に代表されるさまざまな課題が横たわっています。

(1) 財源不足

社会资本整備審議会 道路分科会国土幹線道路部会（2021年）は、道路インフラの老朽化対策において「必要な予防保全を追

* PFI：公共施設等の建設、維持管理、運営等を民間の資金、経営能力および技術的能力を活用して行う手法。

加すべきである」と明記し、損傷部位の修繕に偏らず、長期的なライフサイクルコスト削減のために予防保全に財源を重点配分する必要性を指摘しています⁽¹⁴⁾。特に地方自治体では更新投資を自力で賄えず、国の補助制度や交付金に依存せざるを得ないところも多く、今後は受益者負担や利用料制度、民間資金活用を含めた新たな財源確保策が不可欠です。

(2) 人材不足

2020年の国土交通白書において、老朽化するインフラが急増する中で、適切な維持管理を行うためには、人材確保が必要となります。現状の人材減少傾向に加えて、時間外労働の上限規制の適用を見据えて労働時間が縮減する影響等も勘案すると、2023年までに21万人の人材不足を埋める必要があるとされています⁽¹⁵⁾。

(3) 地域格差

大都市圏では予算と人材が集まりやすいが、過疎地では補修投資が後回しになり、撤去や廃止が増えています⁽¹⁶⁾。補修投資を支えるだけの人がいない地方のインフラを維持する仕組みを構築しなければ、地域間格差はさらに拡大するおそれがあります。

(4) 社会的合意形成の難しさ

住民にとって生活道路や公共施設は不可欠な拠点です。たとえ利用率が低下しても、撤去や統廃合には強い反発があります。国土交通省「インフラメンテナンスにおける取り組むべき項目と当面の進め方(別版)」(2020年)では住民との連携・協働を重視する必要性が記されており、施設縮減・集約再編を伴う施策では、合意形成の手法整備が課題とされています⁽¹⁷⁾。一方、合意形成のプロセスは時間と労力を要し、計画の遅れにもつながっています。地域住民への配慮をしつつも、効率的なインフラ維持のための取り組みが求められています。

こうしてみると日本の老朽化対策は、審議会の答申が示す「予防保全」「データ活用」「集約化」「民間活用」「レジリエンス強化」という方針は整理されていますが、財源・人材・地域格差・住民合意といった課題が未解決のままであります。方向性は明確で制度設計も進んでいますが、実行力に乏しいとい

うギャップに直面しています。

次に、国が財源と責任をより明確に担い、情報公開と国民合意を基盤とした持続可能な仕組みの構築など、日本の対策への示唆となる海外事例を紹介します。

海外におけるインフラ事故と制度対応

海外においてもインフラ事故は多発しており、事故をトリガーにした新たな制度や法改正が実施されています。それらは日本の課題とも共通し、示唆を含むものが多いことから、代表的なものを紹介します。

■欧州：ジェノバ橋崩落と規制強化

- ・イタリア・ジェノバのモランディ橋崩落(2018年)

高速道路A10号線の長大橋が豪雨中に崩落し、43人が死亡した事故です。鋼ケーブルの腐食と点検不足が原因とされ、イタリア政府は道路コンセッション事業者に対する監督責任を強化し、維持管理体制の透明化を推進しました。

欧州委員会も同事故を受けて、加盟国にインフラ安全管理の強化を勧告し、定期点検と報告の義務化を推進、公共インフラの安全情報公開を求める枠組み議論が加速しました。

ドイツではアウトバーン橋梁の老朽が深刻化していたことから、連邦政府が国家更新計画を立ち上げ、優先度の高い橋梁から架け替えを実施し、フランスも高速道路橋の耐荷力不足が判明したことから、「優先更新リスト」を作成して重点投資を選定するなど、欧州全体に影響を与えました。

中でもフランス、ドイツにおいては、ライフサイクルコスト管理を徹底することで、建設時点から維持更新費を予算に組み込む仕組みを確立し、財源問題を解決している点が注目に値します。

■米国：橋梁事故をトリガーにした制度改革

- ・ミネアポリスI-35W橋崩落(2007年)

州間高速道路の橋梁が夕方の通勤時間帯に突然崩落し、13人が死亡、145人が負傷。設計上の脆弱性と維持管理不足が重なった

結果であり、連邦政府は直後に橋梁点検制度を強化しました。連邦ハイウェイ局(FHWA)は2年に1度の橋梁点検を義務化し、危険度の高い橋を「Structurally Deficient」として公開する仕組みを整備しました。

・制度改革の特徴

- ① 点検基準と診断間隔を全国統一
- ② 危険度の高い橋梁データを公開し透明性を確保
- ③ 連邦政府が財源を拠出し、優先順位を付けた更新投資を支援

■米国「インフラ投資・雇用法(IIJA: Infrastructure Investment and Jobs Act)」の制定

前述のミネアポリスの事故以降、連邦政府が財源を確保し、インフラ投資を支援する方向性が確立され、2021年に法制度化されました。

・規模と範囲

総額1兆2000億ドル規模のインフラ投資(うち約5500億ドルが新規投資)を10年間で実施しました。道路、橋梁、鉄道、港湾、空港、上下水道、ブロードバンド通信など広範な分野が対象となりました(表3)。

・橋梁投資

老朽橋が全米の約4割を占めるという統計に対応するため、約400億ドルを橋梁更新に投入する史上最大規模の橋梁修繕プログラムを実現しました。

・制度的特徴

- ① 連邦政府が直接財源を担保することで地方格差を是正
- ② 危険度の高い施設から優先的に更新することを制度化
- ③ 気候変動・自然災害対応を投資対象に組み込み、持続可能性を重視
- ④ 雇用創出効果を明示し、経済政策と一体化

IIJAは事故や老朽化への単なる修繕対応ではなく、インフラを次世代型に移行させる国家戦略として設計された点が特筆に値します。

■日本にとっての示唆

海外事例は、日本にとって以下の点で参考になると考えます。



表3 米国インフラ投資・雇用法（IIJA, 2021年）の主要投資配分

分野	投資規模（新規分、10年間）	内容の概要
道路・橋梁	約1100億ドル（うち橋梁約400億ドル）	道路修繕、橋梁更新、交通安全強化
公共交通（鉄道・バス等）	約390億ドル	既存施設改修、車両更新、近代化
空港・港湾	約420億ドル	滑走路・港湾整備、物流インフラ強化
上下水道	約550億ドル	老朽管更新、鉛管撤去、水質改善
エネルギー・電力網	約650億ドル	送電網近代化、再生可能エネルギー導入
通信（ブロードバンド）	約650億ドル	地方・農村部への高速通信網整備
気候変動・環境対策	約470億ドル	洪水対策、森林火災対策、CO ₂ 削減施策
その他	約250億ドル	EV充電網、研究開発、人材育成等

出典：米国連邦議会「Infrastructure Investment and Jobs Act (2021年)」予算資料より筆者作成

(1) 国による財源責任の明確化

米国IIJAやドイツの国家更新計画は、連邦政府や中央政府が財源を直接担い、地方格差を是正しています。日本も自治体任せでは限界があり、国が長期安定財源を制度的に担保する仕組みが必要です。

(2) 情報公開と透明性

米国では危険橋梁リストが公開され、国民が状況を把握することができます。日本でも判定Ⅲ・Ⅳ橋梁のデータは公開されつつありますが、地域住民が理解しやすいかたちでの公表・説明が不足しています。透明性を高めることで住民合意形成を促すことが不可欠です。

(3) ライフサイクルコスト管理

建設時点から維持更新費を予算に算入する仕組みは、日本の「建設偏重→維持管理後回し」体質を改める参考となります。

(4) 災害・気候変動対応の組み込み

IIJAのように気候変動対策をインフラ投資に統合する発想は、日本の地震・豪雨・台風リスクへの対応として非常に有効です。防災と老朽化対策を一体化した次世代型政策が求められます。

海外の事故事例と対策は、各国が老朽化を放置すれば大事故につながるという事故の教訓を活かし、今後の対応を抜本的に見直した具体策であり、ここから日本が学ぶべき教訓は以下の4点に集約されます。

- ・国が財源責任を明確化

- ・透明な情報公開による住民の合意形成
- ・ライフサイクル視点の制度設計の導入

・災害・気候対応を組み込んだ更新戦略の策定

これらは、重大事故を契機に国が責任を持って財源を投入し、透明性と合意形成を重視しながらライフサイクルで管理する仕組みへ移行していることを示しています。

日本では、笹子トンネル事故を契機に制度設計は整ったものの、依然として財源・人材不足、情報公開の不足、住民合意形成の遅れといった課題が残っています。海外の対応から学ぶべきは、事故を個別事例にとどめず国家的投資戦略へと昇華させる姿勢であるといえます。

後編では「インフラ点検、整備、復旧にかかる最新技術動向と今後の展開」として、点検、検知、修理、復旧等、現存する設備への対応技術に加え、長寿命化、自動復旧技術等、新たに建設するインフラに関する最新技術の紹介と今後の日本における社会インフラのあり方、課題解決の方向性について考察します。

■参考文献

- 1) https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html
- 2) 福岡市：“博多駅前道路陥没に関する調査報告書”，福岡市建設局、2017。
- 3) 石川県：“令和6年能登半島地震に関する被害状況”，石川県災害対策本部、2024。
- 4) https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_000948.html
- 5) https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozon/pdf/r03/r03_08maint.pdf
- 6) <https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozon/pdf/tekkyo-jirei.pdf>
- 7) <https://www.cdit.or.jp/>

monograph/2018/h29-05.pdf

(8) https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shisetu/013/005/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2013/03/14/1331608_06.pdf

(9) 社会資本整備審議会 道路分科会 基本政策部会：“答申”，国土交通省、2013、2014、2019。

(10) 国土交通省：“インフラ長寿命化基本計画”，閣議決定、2018。

(11) 内閣府：“社会資本整備重点計画（第4次）”，閣議決定、2015。

(12) 総務省：“公共施設等総合管理計画の推進”，通知、2014。

(13) 厚生労働省：“水道施設台帳整備の推進”，厚生労働省水道課、2020。

(14) 社会資本整備審議会道路分科会 国土幹線道路部会：“中間答申”，2021。

(15) <https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r01/hakusho/r02/html/n1212000.html>

(16) 国土交通省：“道路橋等の集約・撤去事例集”，2025。

(17) 国土交通省：“インフラメンテナンスにおける取り組むべき項目と当面の進め方（別版）”，2020。

株式会社情報通信総合研究所
主席研究員 船本道子

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
上席特別研究員

亀岡 弘和 Hirokazu Kameoka

声の印象を自由にカスタマイズ できる最先端の音声変換技術で、 コミュニケーション機能の さらなる拡張をめざす

コミュニケーションには、障がいや加齢による衰え、不慣れな言語での会話など、物理的・能力的・心理的な状態に起因するさまざまな制約が存在します。そこで、状況に適した音声ヘリアルタイムに変換し、制約を解消したコミュニケーションを実現する「コミュニケーション機能拡張技術」が注目されています。音質の変換にとどまらず、訛り、ささやき声、電気音声など韻律の変換も可能とした研究、また最近では「かわいい声にしたい」「りりしい声にしたい」など人へ与える印象を大切にする社会的な要望にもこたえるべく、音声の主観的印象を自由に変換させる研究の第一人者である、NTTコミュニケーション科学基礎研究所 亀岡弘和上席特別研究員に、これまでの研究成果を振り返っていただくとともに、最新のオリジナルな研究の取り組み状況や具体的な成果、さらには研究に対する姿勢について伺いました。

○ 画像生成など他分野で活用される技術 を音声変換方式へいち早く取り入れ、 オリジナリティの高い研究に臨む

現在、取り組まれている音声変換の方式研究について教えていただけますでしょうか。

私たちはコミュニケーション機能をいかにして拡張するかを目標に置き、機械学習や信号処理の研究を進めています。その中でも音声変換のテーマをメインに取り組んでいます。広い意味で音



声変換とは「声を入れて声を出す」というプロセスで、混成された音源からの分離というタスク、声色に相当する声質を他のものへ置き換えるといったタスクなどがあります。また、声質以外にも訛りの変換、声を自力で出せなくなった人向けの電気音声から通常声への変換などがあります。通常の音声へ変換するほかにも、感情のない声から感情豊かな声に変換するものまで、幅広く研究を行っています（図1）。この声質変換のテーマについては、さまざまな最先端技術によるアイデアをたくさん提案しており、後ほど詳しく紹介します。

開発中の技術による変換例

音源分離

- ・混合音声から聴取したい声

声質変換

- ・話者Aから話者Bの声

現状の最先端技術の要素となるアイデアをこれまで多く提案

声質以外も変換

- ・訛りありからなしの声
- ・電気音声から通常声
- ・通常声から感情音声
- ・ささやき声から通常声

系列変換（S2S）モデルに基づく音声変換法を考案したことによって、他の非言語特徴も変換可能に（IEEE-TASLPに3件採録）



図1 NTTグループにおける研究目標

音声変換 (Voice Conversion, VC) は、一般に、学習データを用いて音声特徴量の変換則 (変換モデル) を事前に獲得し、その変換モデルを入力音声に適用することで実現されます。図2に示すように、この研究分野は大きく2つの観点から分類できます。第一は、学習に必要とされるデータの性質に基づく「パラレル方式」と「非パラレル方式」です。

パラレル方式とは、音声変換モデルの学習に際して、同一文を異なる話者が発話した音声ペア (パラレルデータ) を用いる方式を指します。例えば、ある話者による「こんにちは」という発話と、別の話者による「こんにちは」という発話の組み合わせがこれに該当します。十分量のパラレルデータを収集できる場合、この方式によって高精度な変換モデルを得ることが可能です。しかし、パラレルデータの収集には多大なコストが伴うため、実用上の制約が大きいという課題がありました。

この制約を克服するために提案されたのが非パラレル方式です。この方式では、文単位で対応付けられていない任意の発話データからでも変換モデルの学習が可能となります。私たちが研究を開始した当初は、パラレル方式が主流でした。しかし、当時画像分野で注目され始めていたアンペアード・スタイル変換の枠組みを音声変換にも応用できるのではないかと着想し、非パラレル方式による手法を次々に提案しました。代表例として、CycleGAN-VCやStarGAN-VCが挙げられます。さらに近年では、私たちのチームメンバーが提案したPRVAE-VCが注目を集めています。

第二の分類は、変換対象を声質に限定するか、あるいはより広範な音声特徴へと拡張するかという観点です。従来の多くの音声変換手法は、声質、すなわち「特定の話者らしい声色」の変換に限定されていました。これに対し、声質のみならず韻律やアクセントといった非言語的特徴の変換を可能にしたのが「系列変換方式」です。韻律には抑揚やリズムのパターンが含まれ、とりわけ感情表現や発話スタイル、話し方の癖などが該当します。さらに、英語におけるアクセントや発音様式も声質以外の音声特徴として含まれます。これらの特徴を変換するためには従来方式では限界があり、新たなアプローチが必要であると考えました。そこで、当時音声認識や機械翻訳で注目を集めていた系列変換モデルに着目し、その応用を検討しました。当時、音声変換に系列変換モデルを導入した事例はほとんど存在しませんでしたが、私たちはこの枠組みに基づく初めてのアプローチを提案し、声質に加えて韻律の変換が可能であることを示しました。

加えて、近年私たちが注目しているのが、変換音声の特徴を柔軟にカスタマイズ可能とする方式です。従来の多くの手法では、あらかじめ変換目標を定め、それに応じた学習データを収集・準備したうえで変換モデルを構築してきました。しかし実際の利用場面では、「このような声にしたい」といった多様な要望が状況に応じて生じます。その要望に対応する変換モデルが存在しない場合、既存の学習済みモデルを組み合わせ、利用場面に応じて柔軟に変換を実現するアプローチが求められます。この観点から私たちが開発したのが、世界で初めて拡散モデルを応用した音声変

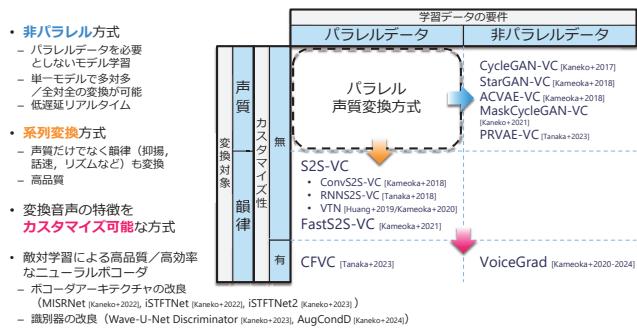


図2 高音質かつ低遅延なリアルタイム音声変換

換方式であるVoiceGradです。

さらに、音声変換においては、特徴量変換後に音声信号を生成するプロセスも重要です。この生成過程は、リアルタイムシステムにおける遅延時間や最終的な音質に直結します。そのため、変換モデルの研究と並行して、高速かつ高品質な音声生成を可能にするアーキテクチャの設計についても研究を進めています。

これら一連の研究は、名古屋大学や東京都立大学との共同プロジェクトとして、2024年度末までの5年間にわたり実施してきました。本プロジェクトは科学技術振興機構 (JST) のCRESTに採択され、明確な研究目標を共有する中で、多様な専門性を持つ研究者が集い、深くかつ多角的な議論を重ねることができました。また、大学から多くの学生を実習生として受け入れることで、研究を効率的に推進することができました。こうした協働体制のもと、各メンバーが共通の課題意識を持って研究を進められたことは、本プロジェクトの大きな成果であったと考えています。

非パラレル方式のPRVAE-VCにニューラルボコーダを改良したiSTFTNetを組み合わせて、低遅延かつ高品質なリアルタイム音声変換を実現できたそうですね。

音声特徴量から音声波形を生成するプロセスは、ニューラルボコーダによって実現されます。2017年ごろに登場したWaveNetは、その高い音質により大きな注目を集めましたが、波形生成に膨大な計算時間を要するため、リアルタイムアプリケーションへの適用が音声研究者の間で大きな議論となりました。その後およそ8年の間に、音質を維持しつつ高速化を実現する軽量化研究が急速に進展し、私たちにとって重要な研究課題の1つとなっています。特にリアルタイム音声変換においては、遅延はほとんど許容されず、わずかな軽量化でも大きな効果をもたらします。

音声は「音素」と呼ばれる最小の単位に分割できますが、その平均持続時間は約100 msとされています。自分の声が100 ms以上遅れて耳に戻ると、知覚される音素が実際に発話した音素と異なり、聴覚フィードバックに齟齬が生じます。その結果、脳が混乱し、発話が著しく困難になることが知られています。このため私たち、100 msを大きく下回る50 ms以内の処理を目標としています。

近年では、HiFi-GANと呼ばれるニューラルボコーダが高品質

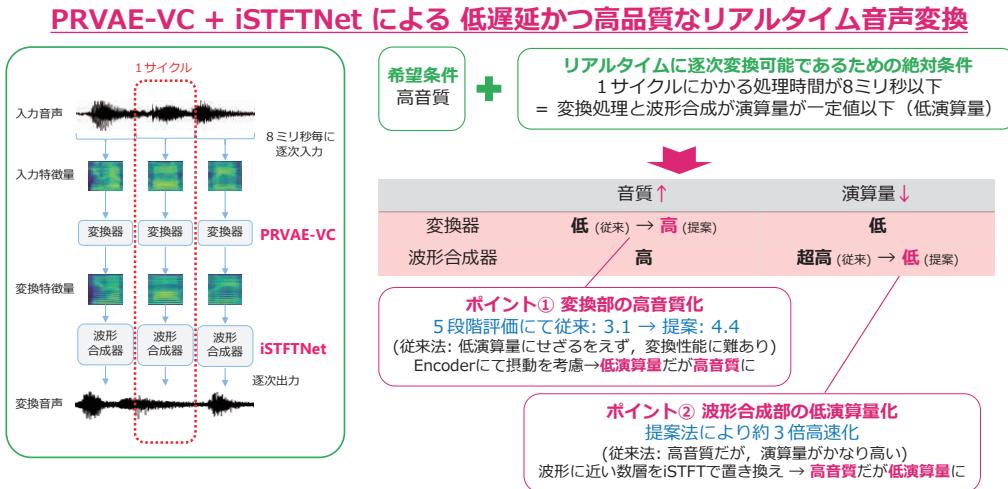


図3 高音質かつ低遅延なリアルタイム音声変換

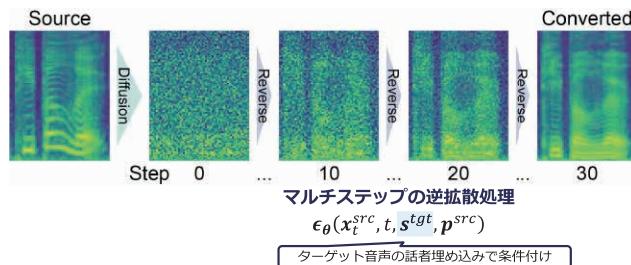


図4 VoiceGrad

かつ低遅延な波形生成技術として広く用いられています。しかし、標準的な計算資源を用いた場合、HiFi-GANで音声波形生成を50 ms以内に収めることは依然として難しいことが分かっています。

これに対して、私たちのチームが2年前に提案したiSTFTNetは、50 ms以内での波形生成を可能とする方式であることを実証しました。さらに、このiSTFTNetと前述の非パラレル方式PRVAE-VCを組み合わせることで、低遅延かつ高品質なリアルタイム音声変換を実現しました(図3)。参考までに、参考文献(1)～(3)の変換音声サンプルをお聴きいただければと思います。

この成果は、NTTコミュニケーション科学基礎研究所オープンハウス(4)やNTT R&Dフォーラムにおいて、新しいリアルタイム音声変換技術として展示され、多くの注目を集めました。

声の印象を自由にカスタマイズできるVoiceGradは将来楽しみな方式ですね。

拡散モデルに基づく方式であるVoiceGradを私たちが初めて提案(プレプリントとして発表)したのは2020年ごろのことです。その後、ようやく論文誌に掲載され、現在はこれを基盤として多様な研究を展開しています。本方式の中核となる拡散モデルは、現在では画像生成の分野で広く知られるようになっていますが、VoiceGradはその拡散モデルを初めて音声変換に応用した研究

です(図4)。提案当時、画像生成分野では敵対的生成ネットワーク(GAN)が主流であり、拡散モデルはまだ現在のように注目を集めていない時期でした。しかし、拡散モデルのアイデアを初めて目にした際、その強力さを直感的に理解し、「音声変換にも必ず応用できる」と確信して、いち早く取り入れました。

当時特に魅力的だと感じたのは、拡散モデルが画像や音声の生成を一種の最適化問題としてとらえるアプローチであった点です。最適化問題では目的関数を最小化(あるいは最大化)することが基本となりますが、主目的に加えて副次的目的関数を設計し組み合わせることで、複数の目標を同時に満たす解を導くことが可能となります。これは正則化の一手法ですが、拡散モデルに基づくアプローチでは、この正則化の枠組みを利用して、利用者の要望に応じた柔軟な音声変換、すなわちカスタマイズ可能な音声変換を実現できるのではないかと考えました。

例えば、ある利用者が「より可愛らしい声」を望む場合や「力強い声」を求める場合でも、自身の声の特徴を残しつつ、目的に沿った声へと変換することが可能になります。言い換えれば、異なる要求を表す複数の目的関数を設計し、それらを同時に最適化することで、両立する音声変換が実現できるのです(図5)。

VoiceGradの検討を始めた当初は、従来の非パラレル方式と同様に、変換対象は声質に限られると考えていました。しかし研究を進めるうちに、VoiceGradが系列変換方式に近い能力を有し、

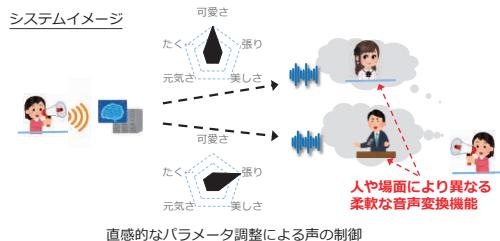


図5 音声の主観的印象制御の取り組み

声質のみならず韻律的特徴の変換も柔軟に実現できることが明らかになってきました。この点で、これまで私たちが提案してきたGANや変分自己符号化器（VAE）ベースの非パラレル方式とは一線を画す方式であると考えています。さらに最近の研究では、VoiceGradを改良することで、英語のアクセント変換も可能であることが確認されました。これは新たな知見であり、本方式が持つ潜在能力の高さを示すものです。

現時点では声質変換のサンプルのみを用意していますが、VoiceGradの変換性能に興味をお持ちであれば、ぜひ参考文献(5)よりお聴きいただければと思います。

○ VoiceGradは将来性の高い音声変換方式。この技術的課題に挑むのは面白い 今後の展望を教えてください。

前述のように、VoiceGradは非パラレル方式であることに加え、声質のみならず韻律的特徴の変換も可能であり、さらに高いカスタマイズ性と優れた変換性能を併せ持つなど、多くの利点を備えています。そのため、現在私たちはVoiceGradの発展を今後の研究における重要な方向性として位置付けています。

一方で、技術的課題も明らかになりつつあります。その最たるもののが「低遅延リアルタイム化」の実現です。現状のVoiceGradのアーキテクチャは、信号処理の用語で言うところの非因果的構造をとっています。未来の入力情報を参照するために必然的に遅延が生じます。これに対し、リアルタイム性を備えた音声変換を実現するためには、因果的構成——すなわち、ある時点の音声を変換する際に、その時点以前の入力情報のみを利用する方式——が不可欠です。図2右上に示した従来の非パラレル方式の手法はいずれもこの因果的制約を満たしており、低遅延リアルタイム動作が可能ですが、VoiceGradは現段階では非因果的方式に依拠しており、未来の入力を必要とする点が課題となっています。したがって、因果的構成に基づくVoiceGradの実現が次なる研究課題です。

さらに、初期のVoiceGradは反復計算を必要としたため、推論——すなわち実際の音声変換——に多大な計算時間を要するという問題もありました。これらは現在取り組むべき主要な技術的課題であり、同時に非常に興味深い研究テーマもあります。これらが解決されれば、VoiceGradは一層大きな可能性を拓くも

のと期待しています。

その試みの1つがFastVoiceGradです。これは依然として非因果的構造を残してはいるものの、従来は複数回の反復を要していた処理を、音質を損なうことなく单一ステップに短縮できることが明らかになってきました。現在はさらに因果的制約を組み込む研究を進めており、近年になって有望な実験結果も得られ始めています。実現への見通しが立ちつつあります。

○ 点と点を線でつなぎ空間を埋めていくことが大切

研究者として日頃心掛けていることを教えてください。

私は、知識や経験を単なる「点」として個別にとらえるのではなく、それらを「線」で結びつけていくことが極めて重要であると考え、常に意識しています。空間上に点を散在させるだけでは、その空間を埋め尽くすことは容易ではありません。しかし、それらの点どうしを線で結びつけていくことで、効率的に理解を広げ、空間全体を埋めていくことが可能になります。つまり、ある知識を得た際にそこで止めるのではなく、既存の知識と関連付けることで、理解をより汎用的かつ普遍的なものへと発展させることができます。研究者にとって重要であると考えています。

この姿勢は、ニューラルネットワークの学習原理にも通じるものがあります。ニューラルネットワークが強力である理由は、個々の学習サンプルを単に暗記するのではなく、複数のサンプルが集まることで、その間を補間し、存在しないサンプルまでもあたかも存在するかのように学習できる点にあります。研究者が多様な知識や経験を取り込む際も同様に、それらをいかに結び付け、普遍的な理解として体系化するかが本質的に重要であると、私は常々感じています。

また、人工知能（AI）をはじめ、日々新しい研究成果が次々と発表されていますが、それらを単に「面白い」で終わらせるのではなく、自らがこれまで蓄積してきた知見との関係性を意識的に結び付けていくことで、理解はより普遍的で深みのあるものへと昇華していきます。私はそのような姿勢を持ち続けることが、研究活動において極めて大切であると考えています。

■参考文献

- (1) <http://www.kecl.ntt.co.jp/people/tanaka.ko/projects/prvaevc/>
- (2) <https://www.kecl.ntt.co.jp/people/kaneko.takuhiro/projects/istftnet/>
- (3) <https://www.kecl.ntt.co.jp/people/kaneko.takuhiro/projects/istftnet2/>
- (4) <https://www.tv-osaka.co.jp/news/53399/>
- (5) <https://www.kecl.ntt.co.jp/people/kameoka.hirokazu/Demos/latentvoicegrad/index.html>

NTTドコモ モバイルイノベーションテック部
ソリューション技術担当 担当部長

森 広 芳 文 Yoshifumi Morihiro

高速大容量、低遅延、高セキュリティなモバイル通信を基盤にしたソリューションで、地域医療格差や労働人口減少の社会的課題に取り組む

近年、日本では地方の医療格差や労働人口の減少といった課題が顕在化してきました。NTTドコモは日本を代表するモバイル通信キャリアとして、全国にあまねく展開されているネットワークを積極的に活用し、医療の均てん化やリモートワークの推進へ取り組み、医師の負担軽減、働き方改革を後押しすることや、ロボットが現場において精密で高度な作業を実現できる世界をめざしています。今回、高速大容量、低遅延で高セキュリティな5G（第5世代移動通信システム）通信とエッジコンピューティング処理を組み合わせ、この課題の解決に挑戦するNTTドコモモバイルイノベーションテック部森広芳文氏に、遠隔での医療処置、ロボット手術支援に関する共同実験や、高性能なハブティックによる遠隔作業ロボットの動作検証の状況について、また共同チームのメンバーが同じ目標に向けて開発を進めていくうえで、大切にしている心構えなどについて伺いました。

 **通信キャリアとして自前の通信基盤を基軸に、社会課題を解決するための要素技術を取り入れ、お客様が使いやすいサービスに仕上げる**

現在、手掛けている開発業務について教えてください。

現在、私たちのチームでは、日本の大きな社会課題である、地域による医療格差や労働人口の減少に対し、通信キャリアとして原点に立ち返り、高速、大容量、低遅延、高セキュリティなネットワークとコンピューティング技術に主軸を置き、そこへ最適なデバイス技術を組み合わせることで、お客様にとってより使いやすいサービスに仕上げていくことを中心に検討しています。その中の1つとして、遠隔から専門家による診断や治療・処置、手術の支援をいただくことで、医師不足が進む地方でも高度な医療を受診できるようになり、地方の医療格差は正や医療資源不足解消の解決をめざしています。その取り組みによって、医師の働き方改革や若手医師の教育水準向上にも貢献できればと考えています。



す。もう1つは、物を触ったときの手触りや、物をつかんだときの手ごたえを感じ取り、ロボットが遠隔においても、人間のように柔軟で優しい動きをリアルタイムで再現することで、今まで遠隔制御では実現できなかった作業を可能にし、労働力不足やリモートワーク革命へと導くことです。

医療分野での取り組みについて教えてください。

モバイルによる遠隔医療化においては、4G（第4世代移動通信システム）でも対応可能な領域と5G（第5世代移動通信システム）で活用が期待できる領域に分かれますが、今回紹介する内容は、より高速大容量で低遅延の5Gで実現できる領域とし、医師と患者とのコミュニケーションではなく、医師と医師とが遠隔で映像やデータも共有しながらサポートし合うことのできる、遠隔処置や遠隔手術支援、さらには遠隔ロボット手術支援についてです（図1）。

現在、2つのプロジェクトを実施中で、1つはスマート治療室SCOT^{®*1}をモバイル化する検討、もう1つはメディカロイド社

で開発した内視鏡手術支援ロボットであるhinotori サージカルロボットシステム™*2 (hinotori) を遠隔で動作させる検討になります。

まずモバイルSCOT®*3ですが、これは診察室を車両に乗せて、戦略デスクとの間を全国どこでも無線で通信できるシステムです。戦略デスクとしてはタブレットを用いるなど、双方モバイル化するコンセプトとし、モバイルSCOT®プロジェクトとして東京女子医大と現在も検討しています。めざしているシステムとして、複数の診療機器や映像の情報を戦略デスクに共有しながら会話はもちろん、アノテーションも送ることができ、共有される医療データはドコモ閉域網内でのクラウドサービスMEC (Multi-access Edge Computing) に一時蓄積し、複数の映像情報も一斉に送ることができます（図2）。

実証実験の例を紹介します。2023年10月、東京女子医大足立医療センターの防災合同訓練へ参加しました。有事において、肝臓を損傷した患者が救急搬送されたが、手術経験が少ない若手外科医が対応、その際、本院および八千代医療センターのベテラン医師による5G通信の鮮明な画像を見ながらの遠隔指導のもと緊急手術を行う、という想定で、新宿の本院、八千代医療センターとつなぎ、情報をやり取りしながら手術支援を無事にやり遂げる

ことができました（図3）。

また、2025年4月、外傷外科チームとして大阪・関西万博の開会式にバックヤードで参加しました。有事における緊急手術という設定でしたので、足立医療センターでの訓練実績もあり、外科学会から要請されたものです。遠隔車両で対応する中、試行的に別のチームのいる場所に向けて車両内の映像、手元映像や医療機器情報を5G/MEC経由で共有することもできました（図4）。

次は手術支援ロボットでの検討についてです。地方と都市部の医師をつなぎ、遠隔で手術の支援や指導を行うことで、高度医療を日本全国へ届けることができ、医療資源の効率化で医師の働き方の改善や教育にも貢献できるのではないかと期待されています。遠隔ロボット手術支援では高速ネットワークが必須であるため、大容量・低遅延・高セキュリティの特徴を持つ5Gネットワーク

*1 スマート治療室SCOT®：東京女子医科大学が主導し開発した、安全性と治療効果の向上を目的としたIoTを活用した新しい治療室。SCOT®は東京女子医科大学の登録商標。

*2 hinotori サージカルロボットシステム™：メディカロイド製の手術支援ロボットで、2020年8月に内視鏡手術を支援するロボットとして泌尿器科領域で製造販売承認を取得。同年12月に1例目の手術を実施。hinotoriはメディカロイドの登録商標。

*3 モバイルSCOT®は、学校法人東京女子医科大学の登録商標。

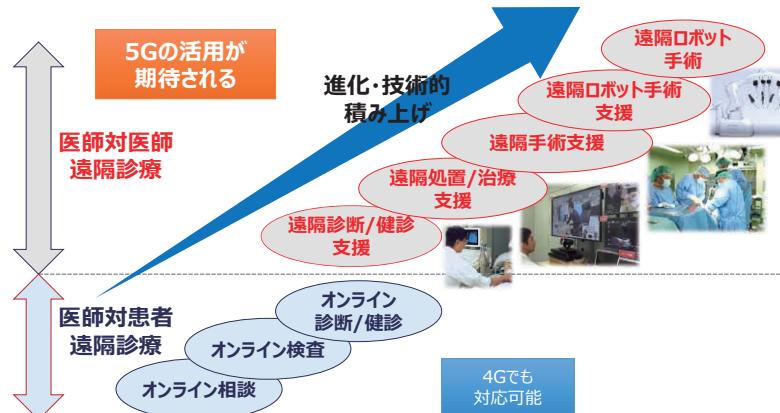


図1 モバイル通信における遠隔医療のステップ

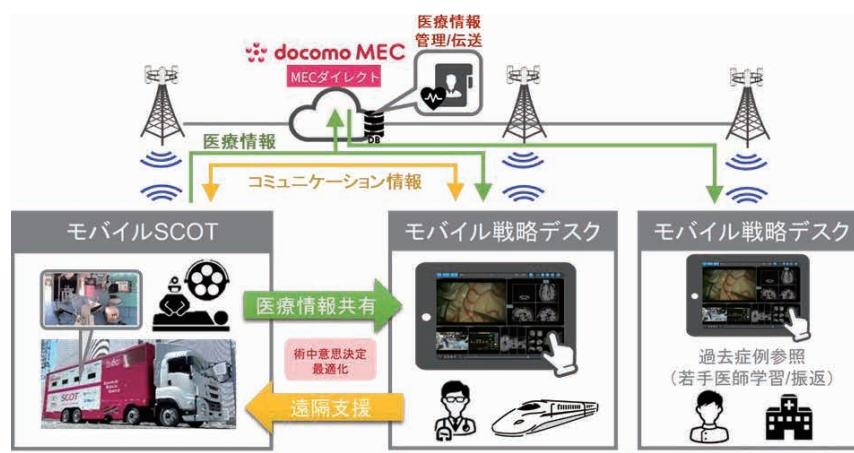


図2 モバイルSCOT®のコンセプト

への期待が大きく、ワイヤレスのため病院側の導入時の負担も少なく、手術室内の医療機器の配置もフレキシブルに対応可能です。

現在、神戸大学、メディカロイドとNTTドコモとで共同検証を実施しており、5GやドコモMECを用いてhinotoriを作動させる検証を実施しています。ここでは、5Gの商用ネットワークにおいて、混雑エリアや時間帯においても安定した通信を実現する「5G ワイド」*4を活用し、無線の混雑環境下で、若手医師のロボット手術を熟練医師が遠隔で支援する実証実験に成功しました。

一方で、遠隔医療技術は他国でも積極的に検討されています。米国や中国でも同一分野においては積極的に導入に向けて取り組まれています。実用開発の速度ではなかなか同じペースでの実現は難しいところではありますが、日本の医療提供環境に合わせた、セーフティネットをしっかりと構築することを前提に進め、きめ細やかに積み上げた高品質な技術を世界へアピールしていくよう医療関係者と連携していきます。

さらに、今後、遠隔医療の社会実装をするうえで、医療系学会、関連省庁、自治体等へ許認可の整理について働きかけることが重要です。また、導入や維持にかかるコストの課題解決に向けては、システムと通信の両面から制度設計する必要があります。

このような中で、私たち通信キャリアの観点では、通信により発生し得る信号の途絶や乱れなどについて、システムやセーフティネット含めたシステム全体でどのようにカバーできるのかなど、医療機器メーカーなどとも十分協議のうえ、責任をもって説明していくことで、医療システムとして認可されるよう働きかけていきます。

作業ロボット分野における取り組みについて教えてください。

最近のロボットの流行はヒューマノイド型ですが、私たちが取り組んでいるのはハンドを持つロボット、という作業ロボットに

近い領域となります。高度なモバイルネットワークやアプリ制御による低遅延かつ閉域による高セキュリティな通信基盤に、触覚もしくは力覚の技術分野で、物を触ったときの手触りに加え、物をつかんだときの手応えを感じられる作用・反作用のフィードバックをリアルタイムで操作者へ伝える技術を組み合わせ、ロボットが精密で高度な作業を実現できることをめざしています。

現在、人口減少社会における課題解決の観点で、2つのテーマに取り組んでいます。1つは、人が操作し、それに追従し遠隔のロボットが作動させるタイプのもので、例えば危険個所での作業時に人の安全確保を図るケースや、前述の有スキル者による遠隔手術などです。もう1つは、人ではなくMEC上のアルゴリズムもしくはAIが操作し、遠隔のロボットは動作するだけの自律型の制御タイプで、日常の簡単な定型作業（繰り返し作業）の省力化を目的としたものです。

1番目の例ですが、触覚が伝わることを分かりやすく伝えようと、空気を遠隔で入れる装置を試作してみました。空気を入れていくと、徐々に重くなる体感がフィードバックされるのです。現在、MEC側で、例えばパワーの変換や力触感情報の転送などを可能にする処理を増やし、さまざまな作業が実現できるよう検証を進めています。

ほかには、「イーサケーブルを抜き挿しする」操作を覚え、それを自動でプレイバックするロボットです。「挿す」ところは、硬さが分かっているため、「カチッと挿す」ところまで容易に再現できるところがポイントです。また、アーム型のロボットでは、布巾を持ち、ザラザラな触感を感じながら、テーブルを拭き、そ

*4 5Gワイド：NTTドコモビジネスの5G総合コンサルティングサービス docomo business プライベート5Gメニュー。スライシングにも活用可能な無線ネットワークのパケット優先制御機能により、混雑エリアや時間帯においても通信の安定化・速度が向上。



※足立区 (city.adachi.tokyo.jp) : <https://www.city.adachi.tokyo.jp/hodo/tokyosiosiundai-adachiiroyousenter.html>
 ※ピックアップ - 東京女子医科大学 (twmu.ac.jp) : <https://www.twmu.ac.jp/univ/pickup/detail.php?ym=202310&cd=1230>

図3 モバイルSCOT[®]を用いた防災合同訓練の実施



図4 モバイルSCOT®を用いた大阪・関西万博での支援

の操作も記録して再現できています（図5）。

これらPoC（Proof of Concept）で試験を重ねていると、触感や力感をフィードバックするには、ネットワークに対する要求条件は想定以上に高く、超低遅延が必要であると気付かされました。モバイル通信キャリアとして、この超低遅延性を追求し、無線でも動作できることを1つひとつ実証していくことが重要です。

今後の展望について教えてください。

例えば医療分野に関しては、現在To Doctor, To Hospitalのサービスを検討しており、使っていただく医療関係のお客さまとの密な連携がもっとも重要だと思います。人命にかかわりますので法規制含め丁寧にしっかりとお客様へ説明しながら、共に使いやすいものへと仕上げていく必要があります。触感や力感ロボティックス分野においても同様です。今後もユーザとは連携を密にし、引き続き良い関係を維持し、一部でも社会課題の解決につながるよう努めています。

そのためにも私たち通信キャリアは5Gはもちろん、6G（第6世代移動通信システム）によって実現される超高帯域、超高遅延や、高度化される優先制御やスライス制御など、先進的なモバイルネットワークの技術を駆使し、共に価値あるソリューションとして提案し続けていければと思います。

○ プロモーションは認知度の向上と協創 ○ 機会の獲得において大切な活動

プロモーション戦略について教えてください。

プロモーションについては、私たちが提案する技術を、お客様

まやパートナーが自身の業務で、どう使っていくのかをイメージできるかたちでお見せしたいと考えており、なるべく体験型で臨んでいます。よって、①展示会やデモンストレーションで実際に体験していただく、②YouTubeなど動画で見ていただく、③パンフレットで読んでいただく、という3段構えで準備しています。現在、遠隔ロボットに関しては、NTTドコモ・NTTドコモビジネスの社内展示会場に設置し、お客様にPoCを体験いただく機会を設け、事業でどう使えるのかディスカッションいただいています。

NTTドコモは通信キャリアですので、ドコモMEC、スライス、優先制御といった新しいネットワーク技術によって、超低遅延性を提案していきますし、将来の5G Evolutionや6Gに向けて、例えばロボットを高速で動作させるために必要な低遅延性について、世界で標準化を進めています。そのためにも、お客様に対しては、現状の技術の限界を見ていただきながら、将来に必要な条件にも踏み込んで議論していけたらと思います。

自社やパートナーのメンバーがお互いの ○ 主張を積極的に言語化し合い、相互理解を深めることで、チームの高いパ フォーマンスにつながる

大学や他企業との共同チームが、同じ目標を達成するために重要なことは何でしょうか。

私自身、前職ではネットワーク装置の開発を担当していました。ここは、商用でトラブルが発生すると、最優先で現場まで出て対応する必要がありました。中には、セララーの知識がないお客様と接することもあり、トラブルの原因を粘り強くお客様にご



図5 アーム型ロボットの実演模様

理解いただけた形で説明する責任があると感じていました。その経験もあり、現在は異分野のパートナーに対しても同じ心構えで接しています。パートナー側も自分の領域に関してはもちろん高度な知識をお持ちですが、セルラーシステムや通信については必ずしも高いとは限りませんので、イメージを合わせながら説明することが重要になります。相手の理解に立って説明することが肝心です。

逆に、私たちも、異分野については、「どこがどう分からぬ」と具体的に伺い、説明していただきます。相互に学び合うことが、お互い寄り添えることにもつながると思います。

幸いなことに、医療分野にしても、作業ロボットの分野にしてもパートナーに恵まれています。相互に勉強していく意識が高く、特に技術的なハードルが高いhinotoriのプロジェクトでは、「ネットワークがつながって良かった」だけで終わらぬよう、お互い常にバージョンアップしていく姿勢がなかったら、数年でここまで達成することは難しかったと思います。

ご自身の開発チームをまとめていくうえで心掛けていることはありますか。

私のチームは15名ほどで構成されています。自分はその中でも従事している期間が長くはあるものの、その経験がすべてだとは思っておらず、まだまだ学ぶべき新しい分野や技術がたくさんあると感じています。

最近の若手の感性や勉強してきた内容、あるいは抱く興味などは、私たちの世代と全く別物だと思っており、それには私も学ぶべきところが多くあります。ですので、基本的にメンバ各人の個性を重んじて対応しています。自分の興味はなるべく抑え、「自分だったらこうするのに」と考えたとしても、それはなるべく前面に出しません。対応すべき課題に対して大きな方向性は示しますが、具体的なやり方はできる限り個人に任せるようにしています。「ここであなたの個性を出してもらいたい」とだけ伝え、そのう

えで、各自がやりたい方向に関して、なぜそう考えたかも含め、内に秘めたモチベーションやパッションを言語化していく重要性に気付いてもらいたいと思っています。自身がやりたいように進める、ということで気持ち良く仕事ができたら、100%の結果が120%になることも期待しています。

前述のパートナーとの関係も同様で、皆さんモチベーションやパッションをお持ちですから、それを言語化していただくことで、互いの意見がかみ合い、相互に優れたノウハウも組み込め、良い開発ができると思っています。

○ 技術者は一生勉強が必要。好奇心を持って常に新しいものへチャレンジ

開発を進めるうえで日頃心掛けていることや後進へのメッセージをお願いします。

私が高校生のころは、まだセルラーシステムのない時代で、世の中は加速度的に変わっているのを感じています。よって労力はいりますが、常に勉強は必要だと感じています。特に異分野となると言葉の定義レベルでも異なり、完全に門外漢であることを悟り、学ぶことが多いと感じます。開発パートナーやお客様が何を一番重視しているかを察するためにも、勉強は大切です。

ですので改めて、技術屋である以上、新しい分野に対しても躊躇せず勉強できる能力、それと年齢を重ねても継続して勉強し続ける能力、この2つが重要だと思っています。スキルやノウハウは、時代や状況によって変化し改良されていきますし、前提が変わると一気に崩れたりもしますので、そこは一番気を付けているところです。今後の生成AI（人工知能）と共に生きていく技術者においても重要な観点であると考えます。

最後に後輩の開発者に向けては、常々学ぶこと、常に新しいものへチャレンジすること、さらに技術屋は楽しく、常に好奇心を持って課題に取り組んでいただきたいと思っています。



NTTコンピュータ&データサイエンス研究所
 NTT理論量子情報研究センタ 特別研究員

遠藤 傑 Suguru Endo

量子技術実用化の前に立ちはだかる壁を打ち破る鍵「量子エラー抑制技術」

現在、世界中で研究・開発されている量子コンピュータは、実用化するためにはまだいくつかの問題を抱えています。中でも特に大きな問題は、さまざまな要因で発生する計算エラー（誤り）が多発することです。本格実用化には、この量子自体の根本的な性質を原因とするエラーの克服が最重要課題であり、世界的に「誤り耐性を持つ大規模量子コンピュータ」の登場が期待されています。今回は実用的な「量子エラー抑制法」を世界で初めて確立し、「2021 Innovators Under 35 Japan」の1人に選ばれたトップランナー、遠藤傑特別研究員に話を伺いました。

◆ PROFILE : 2014年慶應義塾大学物理情報工学科卒業。2016年同大学基礎理工学専攻物理専修修了（修士号）。2017～2019年英オックスフォード大学留学（材料科学専攻博士課程修了）。2020年日本電信電話株式会社入社。NTTセキュアプラットフォーム研究所入所。2021年よりNTTコンピュータ&データサイエンス研究所。2021年MIT technology review innovator under 35 Japan。2022年 Project Management Institute future 50。

究極の「万力量子計算」の実用化をめざして、今踏み出す第一歩

■ 「量子エラー抑制」とは具体的にどのような技術でしょうか。

現在、量子技術は世界各国で研究・開発されていますが、量子コンピュータには外界の熱や磁場などのノイズに起因するエラーが多発してしまうという弱点があります。このノイズの問題は一朝一夕には解決できないというのが現状です。念願の量子コンピュータの実用化のためには、このエラーをなくすことが大前提となります。現実的にこの問題を解決する方法として、まず「量

子エラー訂正」という方法があります。これは多数の量子ビットを冗長化することで、エラーが生じても元の状態に戻せるようにする技術です。例えば従来のコンピュータの場合、計算は「0」と「1」で行っているわけですが、この「0」を「000」、「1」を「111」と表現するとしましょう。量子エラーが発生してこの「000」が「010」となってもこの「010」はもともと「000」であったと推定することができますから、そのエラーを検出して「000」に戻すことが可能になります。さらにこの桁数を増やして「00000…」などのように、冗長性を高めることでエラー訂正の精度を高めていくのが、この「量子エラー訂正」という技術です（図1）。

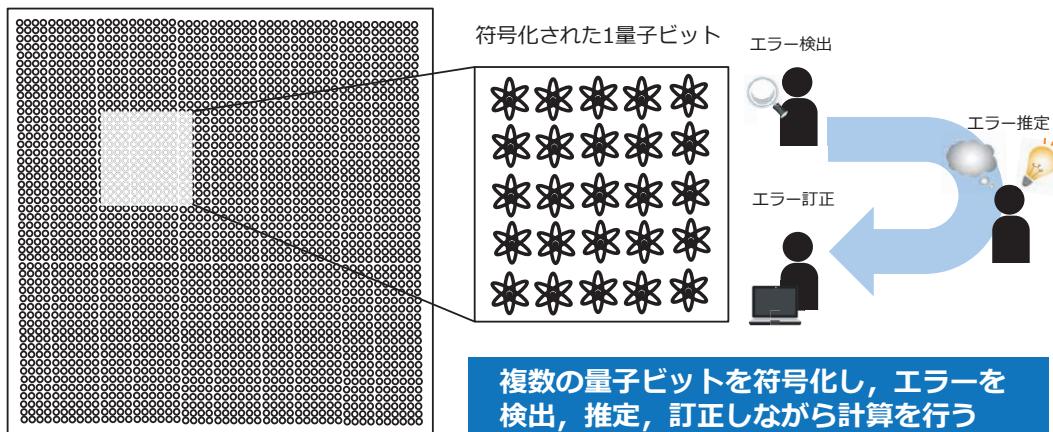


図1 量子エラー「訂正」の概念図

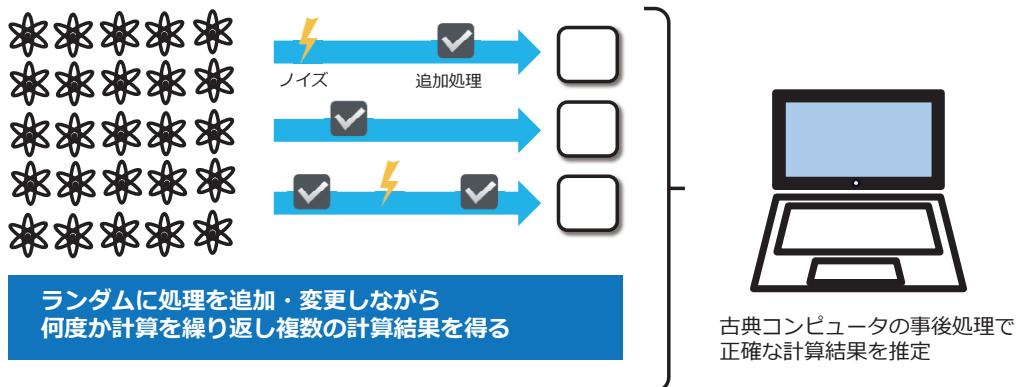


図2 量子エラー「抑制」の概念図

ただし、現在の量子コンピュータでは「量子ビット数」が数100程度と限定されるため、この「量子エラー訂正」に能力を割いてしまうと、その分本来の計算能力を損なってしまいます。物理量子ビットを集積し、エラーが訂正可能な論理量子ビットにするためには、数10から数100の物理量子ビットが必要となります。量子コンピュータで有意義な計算を行うためには数10から数100の論理量子ビットが必要であるということを考えれば、「量子エラー訂正」でエラーを修正することは現在の量子ハードウェアには非常に負荷が高いことが分かります。そこで量子コンピュータの能力を損なうことなく量子エラーを削減させようという方法が、私の研究する「量子エラー抑制」という技術になります。

量子エラー抑制というのは、大まかにいえば量子コンピュータからの出力結果を統計的に処理して正しい結果を予想することで、計算結果からエラーを取り除くというエラー削減方法です(図2)。古典コンピュータと呼ばれる従来のコンピュータを使用して、複数の量子プロセッサで測定した結果を統計的処理で予測するため、量子ビット数の限られた現行の中規模量子コンピュータに適した手法とされており、この数年で世界でも盛んに研究され、さまざまな手法が提案されてきています。

実際にある企業で開発された127量子ビットの大規模量子デバイスで、私の提案した量子エラー抑制技術である「指数外挿エラー抑制」を用いて数10%のエラー率を数%～0.数%に減少させることができました。

計算エラーを削減するのに必須とも思える量子エラー抑制法ですが、難点もあります。量子力学では一般的に測定結果がランダムで、物理量の期待値を計算する際に統計誤差が生じます。量子エラー抑制を用いるとその分散が大きくなってしまい、より多くの測定回数が必要となってしまいます。

ただし、現状では量子エラー抑制は多くの量子実験で用いられる強力な手法でもあります。

■量子エラー訂正法と抑制法を統合した「ハイブリッドエラー削減法」について教えてください。

現在主流の量子コンピュータは、一定確率で発生するエラーの

訂正機能を持たないNISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum Computer : ノイズが存在する中規模量子コンピュータ) と呼ばれるものです。現在、順調に量子ビット数が増えており、1000量子ビットを超える量子デバイスも登場していますが、物理量子ビット数が増加すればするほどエラーによる影響も指数関数的に増加するため、1000物理量子ビットを超える大規模化デバイスを正常に動かせることは現在の技術では大変難しいと考えています。その量子コンピュータを正常に動作させるために必要なのは、エラーを起こす可能性の高いエラー訂正前の物理量子ビットの数ではなく、エラーを訂正する能力のある論理量子ビットの数であり、物理量子ビットの数が単純に増えればいいという問題ではないのです。理論上は古典コンピュータ(スーパーコンピュータを含む従来のコンピュータ)を大幅にしのぐ計算能力を発揮するといわれている量子コンピュータですが、現状では量子エラー訂正や抑制といった技術がなければ実力を発揮することは難しいといわざるを得ません。

そこで、私たちは量子エラー訂正を行う能力のある論理量子ビットが量子エラー訂正と量子エラー抑制を組み合わせて、計算エラーを削減する「ハイブリッドエラー削減法」を提案しました。この手法は複雑ではあるものの、基本的には量子エラー訂正を行って十分にエラー率を下げてから、量子エラー抑制により計算エラーを取り除くといった手法です。この手法により、早期の誤り耐性量子計算を行ううえで必要となる物理量子ビットの数が80%も削減できることを示しました。この手法は早期の誤り耐性量子計算を行う際の必須手法になると考えられます。

また、複数提案されている量子エラー抑制法どうしを統合し、究極の量子エラー抑制を開発することも行いました。現在、量子エラー抑制法は「外挿法」「仮想蒸留法」「擬確率法」「量子部分空間展開法」などといったさまざまな手法が提案されていますが、この「一般化量子部分空間展開法」はそれらの手法を統合して1つのフレームワークに落とし込んだ「究極形」ともいえます。これは、複数の計算エラーの影響を受けた量子状態のコピーを並列に準備して干渉させることで、計算エラーを実効的に打ち消すことが可能になる手法です。そのエラー抑制効果はこれまでの抑制



法と比較して大変性能の高いものとなっています⁽¹⁾ (図3)。そのエラー抑制効果はノイズの影響を受けた量子状態から得られた結果と、この手法でエラー抑制された量子状態から得られた結果を見れば一目瞭然となっています (図4)。

「光」を用いた新エラー訂正法で 新しい局面を拓く

■今後の研究の展望について教えてください。

私は量子技術に関してほかにもさまざまな研究を行っていますが、現在もっとも比重高く研究している技術は「連続量子エラー訂正法」というものです。これは「光」を用いた新しいエラー訂正法です。「光」の持つエラー訂正能力を利用すると物理量子ビットのエラー数を大きく減らせる場合があることが分かっています。これまでこの切り口からのアプローチはしていなかったのですが、「NTT=光」という強みを活かして進めている研究になります。この部分は研究所間の垣根を越えてもっと議論を交わしてみたい部分でもあり、大きく研究が飛躍する要素が眠っているのではな

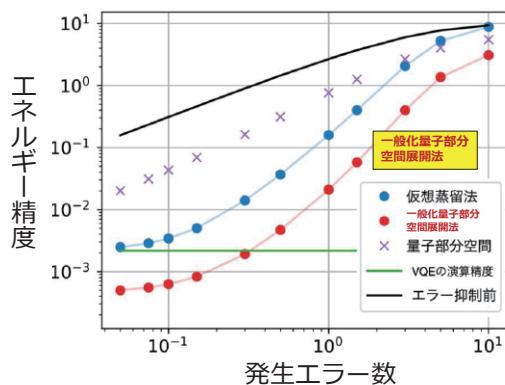


図3 量子計算機のハードウェアとアルゴリズムのエラーを抑制できる手法の効果比較

いかと期待しています。当然、「光」を用いたエラー訂正法は未開拓な部分が大きいので、「光」を有効利用してさらに効果の高い量子エラー訂正法および量子エラー抑制法との融合手法を生み出すことが現在の私の目標の1つとなっています。この研究はまだまだやることが多く、実用的なエラー削減が光の系で行える達成目標は目安としては10年後(2035年ごろ)でしょうか。とはいっても、理論的には進展がすでにあります。図4は(マイクロ波の光に対してですが)量子エラー抑制を光の量子エラー訂正符号の量子状態に適用し、量子エラー抑制が符号状態の精度を向上できたことを示す結果となっています。

■NTTに入社されたきっかけについて教えてください。

私がNTTに入社する大きなきっかけとなったのは、卒業論文に関連した質問をするために当時NTT物性科学基礎研究所の研究員にお会いしたことです。結局、その方には研究指導をしていただくことになったのですが、その縁もありNTTで長期インターンをすることになりました。それが私にとっての恩師といえる方とのめぐり逢いでした。この時期、ほかにもたくさんのNTTの方々にお世話になり、大変貴重なご指導をいただけたことも大きなモチベーションになりました。

その後の英オックスフォード大学への留学もその研究員の方の推薦でした。オックスフォード大学でも現在のキャリアにつながる恩師ともいえる方々に出会い、そのオックスフォード留学の時期に師事させていただいた先生の研究が「量子エラー抑制」に関するものだったのです。この頃は量子コンピュータの大きな可能性が世界的に取り沙汰され、古典コンピュータでは解くことができない一部の問題を量子コンピュータで解くことが可能になるかもしれないといわれ始めた時期でした。私が量子技術の分野に定着し、キャリアを築くことができたのはこの英国留学のおかげだといえます。そして英国での博士課程を修了して3年後の2020年に日本に帰国し、いざ日本で就職という時期になり、やはりこれまでNTTからいただいた恩恵は私にとって非常に大事なものであつ

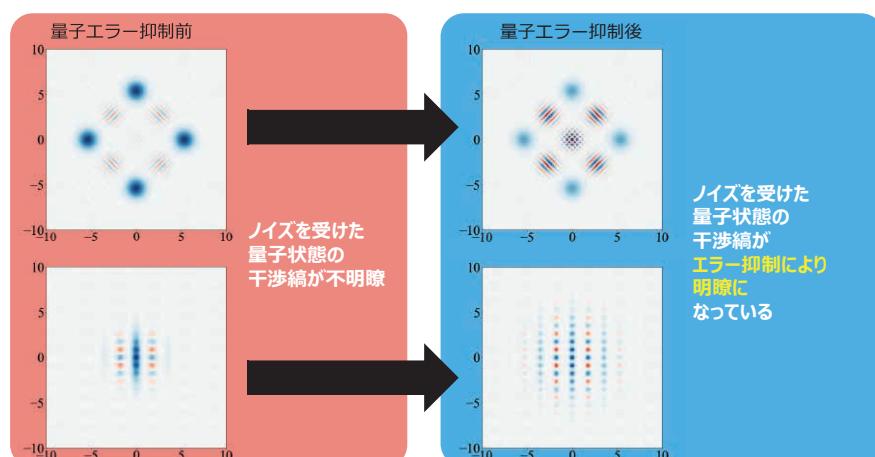


図4 マイクロ波の光を用いた量子計算に量子エラー抑制を適用した際のエラー削減効果

たと再認識しました。その恩返しも込めて就職先は学生時代から継続してお世話になっているNTT以外考えられませんでした。そこで2020年1月にNTTセキュアプラットフォーム研究所に入所し、2021年7月に研究所の組織改編に伴って現在のNTTコンピュータ&データサイエンス研究所に移籍となり、現在に至るという次第です。今思い返してみても、研究者としての私の歩みはいつもNTT、そしてNTTの方たちとともにありましたし、現在ももちろんそうです。これからもNTTの皆さんに感謝の念を持って、研究を進めていけたらと考えています。

■研究をするうえで大事にされていることは何かありますか。

私が研究をするうえで大事にしていることの1つは「固定観念にとらわれないこと」です。1つの新しい概念が生まれたときに「ほかにも使えるのではないか」「一般化できるのではないか」という視点で物事をとらえるように心掛けています。固定観念を覆す突破口がみえたら、それをほかの研究者たちにもシェアし、ほかの方たちの意見も聞きながら皆で良いものをつくっていくことが重要だと考えています。どんなに有能な人間であっても、たった1人のスキルや見識ではどうしても限界があります。決して1人よがりにならず、グループ全体で取り組むことが大事だと考えています。

また、量子技術の研究というのは実用化という側面からみると、まだ始まったばかりともいえます。実際、量子エラーの訂正や抑制もこの数年でようやく形になってきたばかりで、現在の技術ではエラーを修正した状態での計算能力は、一部の問題を除いて従来の古典コンピュータ（スーパーコンピュータなど）で事足りるレベルでしかありません。世界中で期待されている「万能量子計算」が可能な「誤り耐性を持つ大規模量子コンピュータ」を実現し、実用化するためには、私の一生では時間が足りない可能性が高いです。そこで現在、研究と並行して力を入れて行っているのが後進の育成です。東京大学、慶應義塾大学などを中心に、NTTと共同研究契約を結んでいる大学がいくつかありますので、学生たちに指導をさせていただいています。現在は東大や慶應の学生が中心ですが、ほかに名古屋大学、海外からはMIT（マサチューセッツ工科大学）からのインターンがいたこともありました。さまざまな大学からの学生たちと交流させていただいています。

インターンなどで顔を合わせることのある今の学生たちの中には、トップレベルの能力やスキルを持つ学生も実際にいます。私のスキルでは到底できなかったようなアルゴリズムの効率の数学的な証明をしてみせた学生もいましたし、私が提案してきたことよりもはるかに一般化した美しい理論を提案してくれた実験専攻の学生もいました。とんでもない次世代がいるなど実感することもしばしばで、こうした後進たちにはとても期待しています。

■現在所属されているNTTコンピュータ&データサイエンス研究所、NTT理論量子情報研究センタについて教えてください。

NTTコンピュータ&データサイエンス研究所では、規模や複

雑さの観点から扱うことが困難であったデータを処理可能とし、人や社会に有用な価値を創出する、革新的な計算機科学、データサイエンスの研究に取り組んでいます。研究所全体としては次世代のコンピューティング技術を大切にしています。まだ実用化されていない量子コンピュータ技術についても、かなりの予算を投入していただけて、それぞれの研究者の自由な発想を大事にして研究させていただいていることはとてもありがたいと感じています。私のような理論中心の基礎研究はもちろん、開発を行っている研究者の方も大勢いらっしゃって、幅広いジャンルの研究を行っている研究所です。

NTT理論量子情報研究センタは量子力学の原理に基づき、量子情報科学における先端的な理論研究を推進することで、量子的性質によって初めて可能となる革新的技術の創成をめざして研究を進めている部署になります。こちらはまだ比較的新しい部署なのですが、量子技術に関するエキスパートの方々が数多く在籍しています。そうした方々と議論を深めながら、前述の「連続量工学訂正法」などのようなこれまでとは違う全く新しい提案を行っていればと考えていますし、実際そういった土壤が整っている今後の可能性に満ちた研究所だと思います。

■研究者・学生の方々へのメッセージをお願いいたします。

いつも刺激的なアイデアや自分にない視点をいただいている共同研究者の方々のおかげで、私も毎日刺激的な研究を行うことができるので大変感謝しています。学生の方々もアイデアはもちろんですが、私が与えるばかりではなく、お互いに刺激し合って私自身も成長を感じたりできています。今後もこういった方々と良い関係を続けていくことができればと考えています。NTTは私のような基礎研究を行う者にとって、大変望ましい環境だといえますので、量子技術に興味のある方はぜひNTTの門戸を叩いていただきたいと思います。私がそうであったように、NTTに所属する研究者たちとともに切磋琢磨していきましょう。

■参考文献

- (1) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/07/06/220706a.html>



(今回はリモートにてインタビューを実施しました)



株式会社 NTT アクア

<https://www.ntt-aqua.com/>

docomo Business | 株式会社NTTアクア

陸上養殖を起点に「地域が元気になるストーリー」 を地域とともに創る企業

気候変動や世界的な食料需要の拡大などにより、近年、国内では食料安全保障の強化が喫緊の課題の1つになっています。また日本の過疎地域は今や国土の約6割、市町村数にして約半数近くを占めるといわれています。人口の減少で地方における産業も限られてきており、若者は今後も都市部へと流出し、少子高齢化が加速していく可能性もあり、地方においては新たな産業を生み出していくことが、この過疎化対策に不可欠となってています。このような課題を解決することをめざして、NTTドコモグループは、ICTを活用した誰もが参加しやすい陸上養殖システムを開発してきました。2024年には同グループ内にNTTアクアを設立し、ICTを活用すれば養殖経験が少なくて効率良く多くの魚を養殖できる陸上養殖事業へ参入しました。今回、生まれて間もないNTTアクアの山本圭一社長へ、新たに開発した陸上養殖システムの特長や今後の展開、また地方の過疎化や食糧自給率の問題、さらには魚食文化の持続性向上に向けた思いなどについて伺いました。

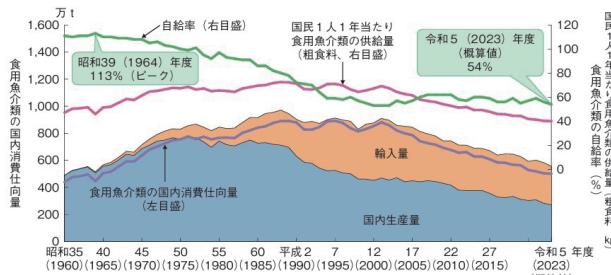


NTTアクア
山本圭一社長

ICTを活用することで「誰でも参加できる陸上養殖」を実現し、日本の食料自給率向上や過疎化対策に貢献していく

■会社設立の背景や業務概要、めざしているところについて教えてください。

NTTアクアは、循環式陸上養殖システムの研究・開発・提供を行う、NTTドコモビジネスの100%子会社です。2023年より、独自の陸上養殖技術を有する紅仁株式会社とともに、沖縄県大宜味村にて共同研究を開始し、一定の成果が確認されたことを受け、



出典: https://www.jfa.maff.go.jp/jikikaku/wpaper/r06_h/trend/1/t1_1_1.html

2024年12月に設立しました。

紅仁の先進的な陸上養殖技術と、NTTドコモビジネスのICT・AI（人工知能）技術を融合することで、「誰でも参加できる陸上養殖」の実現をめざしています。共同研究では、自社で育成した魚種に限定することでノウハウと現地データを蓄積し、それらを分析することにより遠隔からのオペレーション支援を可能にしています。

さらに、設備・システムに加え、種苗や餌など陸上養殖に必要な要素を一気通貫で提供する予定です。NTTアクアは、企画から構築、運営までを包括的に支援するコンサルティングを通じて、養殖事業者を手厚くサポートしていきます。

当社が取り組む社会課題は、「食料自給率の低下」と「進行する過疎化」です。日本の食料自給率は先進国の中でも最低水準であり、食料安全保障の観点からも深刻な問題となっています。特に、日本の食文化に根付いている魚介類の国内生産量はピーク時の3分の1ほどに減少し、令和5年度で自給率は54%まで低下しています⁽¹⁾(図1)。漁業従事者の減少も深刻で、持続可能な水産業の構築が急務です。一方で、世界的な人口増加に伴うタンパク質需要の高まりや環境問題の影響により、栄養価の高い魚の需要は急増しています。これまで輸入に頼ってきた魚介類の調達が困難になる中、国内での安定供給体制の構築が求められています。

また、地方の過疎化の進行も大きな課題です。少子高齢化に



図2 NTT AQUAの概要

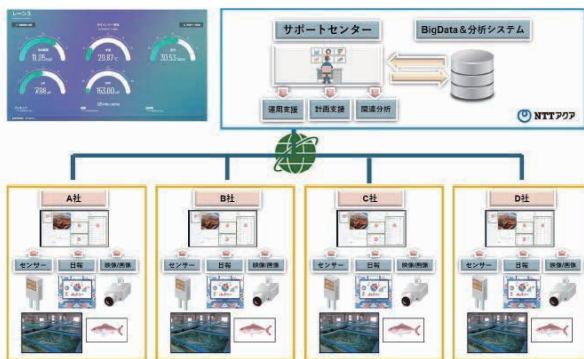


図3 陸上養殖ICTプラットフォームと現地オペレーション支援

より地方から都市部への若者の流出が続いており、2050年までに消滅の可能性がある自治体は744（約45%）にのぼるとする報告もあります^②。地域に若者や女性が活躍できる環境が少ないことが主な要因です。

陸上養殖は、地域に新たな産業を創出し、雇用の受け皿となるだけでなく、観光・教育・文化の振興にも寄与する可能性があります（図2）。

NTTグループと紅仁とのコラボレーションにより、新たな陸上養殖事業を開始

■NTTグループのICTと紅仁のろ過設備とのコラボレーションについて教えてください。

NTT AQUAと紅仁との間で包括連携協定契約を締結し、沖縄県を除く日本全国において、これから陸上養殖事業を開始・拡大する事業者に対して本システムの提供を開始しています。

まずはハタ類2種について養殖できるシステムを提供開始し、順次対象魚種を拡大していきます。紅仁の持つ先進的なろ過技術と、共同研究を通じて現場志向で開発したNTTドコモビジネスの「陸上養殖ICTプラットフォーム」を組み合わせて構築した本システムを通じ、「誰もが参加できる陸上養殖」を実現します（図3）。主な特徴について紹介します。

■ろ過技術について

国内における既存の閉鎖循環式陸上養殖の技術的な課題は、アンモニア除去（ろ過）が安定しないことです。一方、紅仁の先進

的なろ過技術は、標準的な生物ろ過槽（細菌：バクテリア）を使わない方式で、安定したアンモニア除去が可能となり、生産効率が大幅に向上するなど、以下のとおり複数のメリットがあります。

- ① 従来よりも狭い土地で陸上養殖を実現可能：一般的に飼育水槽の6～8割の面積が必要とされる生物ろ過槽^{*1}が不要のため、面積効率が非常に良く、従来よりも狭い土地で陸上養殖を実現できる。
 - ② メンテナンスが容易：生物ろ過槽を使わないため、メンテナンスが容易となり作業効率が向上する。また、生物ろ過槽から発生する特有な匂いがない。
 - ③ 高密度での養殖が可能：細菌を使わないため、魚の成長に合わせて安定したろ過が実現でき、1水槽当りの魚の密度をより高くての養殖が可能である。
- 紅仁とのパートナーシップにより、この先進的な技術を活用した設備を提供できることが事業立ち上げ段階における重要な推進力となっています。

■陸上養殖ICTプラットフォームについて

陸上養殖ICTプラットフォームでは、水温や酸素濃度などの水質データをダッシュボード上で可視化し、カメラを使って魚の動きを確認することができます。また、水質異常や設備の故障が発生した際には、リアルタイムでアラートが表示される機能も備えています。さらに、養殖日誌機能により、餌の量や魚の成長データなどを一元的に管理することができます。

陸上養殖ICTプラットフォームの特徴としては以下のとおりです。

- ① 優れたUI (User Interface) のダッシュボード：NTTドコモが2017年から提供している海洋観測サービス「ICTブレイク」^{*2}のノウハウを反映しており、センサで取得した水温、酸素、塩分濃度、pHなどの情報をダッシュボード上で簡単な操作で確認可能です。
- ② ダッシュボードを活用したNTT AQUAによる養殖支援：各地域で自律分散して陸上養殖が展開されますが、データはプラットフォーム上の情報（魚行動データ、魚体長・体重データ、分養データ、増肉データ、水質データ等）はNTT AQUAが一元管理しており、これらのデータを活用しながら遠隔で養殖事業者を支援します。これにより、養殖経験のない人でも簡単なレクチャーを受けることで養殖することが可能となります。今後、データをAIで分析するなど、新たな価値を提供するビジネスも展開する予定です。なお、魚の異常検知

*1 生物ろ過槽：濾材に微生物（バクテリア）を付着させ、そのバクテリアの働きを利用して水中の有機物や有害物質を分解・除去するろ過装置。魚の粪や餌の残りから発生する有害なアンモニアを、比較的無害な硝酸塩へと分解することで、水質を維持し生体を健康に保ちます。

*2 ICTブレイク：水温や塩分濃度センサなどを実装し、水温や塩分濃度などの海洋データをNTTドコモのネットワークを経由してスマートフォンや携帯電話で確認ができるソリューションです。漁場により近い場所で綿密なデータを遠隔で把握ができ、適切な漁場管理を実現することができます。

については、NTT宇宙環境エネルギー研究所と共同で研究を行っています。

③ チューニング済のプラットフォームを利用可能：魚種ごとに適切な水温・水質などは異なるため、養殖する魚種に応じてNTTアクラがあらかじめチューニング（水温・水質などのしきい値の設定）をしたプラットフォームを養殖事業者に提供します。

このようなシステムでアーラミーバイを養殖した結果、1年間で体重が500 gから4 kgまで増加し、1年間での生存率も98%と良い成績を収めることができました（図4）。

私たちはこの先進的なろ過技術等により、無菌で栄養塩（窒素、リン等）が豊富な排水を活用することで、無肥料での海ブドウの養殖に成功しました。また、この排水により隣湾の藻類が繁殖し、魚類等の生態系が回復してきていることも確認しています。これらの成果から、生態系・環境保全への貢献も期待できます。本件、今後は大学との共同研究で環境アセスメントを実施する予定です。

加えて、陸上養殖場には廃校や空地など未利用地を活用し、排熱や再生可能エネルギーを活用する再エネ事業者とも連携して、広義での循環型社会をめざしていきます（図5）。

■今後の展望についてお聞かせください。

今後はハタ類の種苗や魚種に最適なエサの提供など、種苗から成魚の出荷まで陸上養殖事業者をトータルでサポートするサービスも提供する予定です。例えば、当社で実証済みの知見に基づき、育成アドバイスや特定魚種向けのエサ開発・販売を行い、オペレーションをサポートしていきます。また、NTTドコモビジネスと連携し、ビジネスモデル検討からグロース、事業評価まで支援していきます。

さらに、魚の異常検知の実現に向けNTT研究所と共同研究を行っていくほか、魚類の養殖生産を行うNTTグリーン＆フードなど、関連するNTTグループ各社と連携し新たなサプライチェーンを構築することで、水産業の効率化・付加価値向上を実現し、地域活性化と食料自給率向上に貢献します。2026年には、最初の養殖プラントが稼動する予定です。この施設をモデルケースとして、複数の地域で陸上養殖を展開し、地域活性化に貢献するとともに、NTTドコモビジネスの収益にも寄与していきます。2024年12月に実施した報道発表には大きな反響があり、社会的な関心の高まりを実感しています。私たちは、この事業を通じて社会に貢献していきたいと考えており、そのためにも早期の導入実績の創出をめざしているところです。

■参考文献

- (1) https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/R6/250606_1.html
- (2) <https://www.asahi.com/special/population2024/>



図4 陸上養殖中のアーラミーバイ（水中カメラ）

未利用資源活用

廃校や空地 等



排水活用による生態系・環境保全

排水を活用して無肥料での海ブドウ養殖に成功。陸上養殖の排水により隣湾の藻類が繁殖し、魚類等の生態系が回復
→大学との共同研究で環境アセスメントを実施予定



GX

再生可能エネルギーや排熱を利用



図5 循環型社会をめざして

担当者に聞く

魚ファーストの精神で、養殖ICTシステムの商用化に取り組む

技術部 主査

吉岡 聖悟 さん

■日々担当されている業務と取り組む姿勢についてお聞かせください。

所属する技術部では養殖ICTシステムの商用化に向け、実際に魚を育成し、ノウハウやデータの蓄積を図るなどの検証を進め、最適なシステムの設計、仕様の検討を実施しています。NTTアクアで検討中の機能などを、共同研究を実施している紅仁社へ提案する際に、「以前から、このようなICT機能が欲しかった」などの声をお聞きするたびに、養



殖事業者目線に立った提案ができていると実感しているところです。現在は魚種を限定し、魚を育成していますが、天候や装置の稼働状況により、現地でのデータ収集においては、条件が異なるためバラツキが見られ、得られたデータをどう判断していくのか、どう活かしていくのかなど、頭を悩ますことがあります。また、養殖事業者の稼働を考慮し、作業の効率化・省力化を図るために導入したICTシステムですが、この管理下で魚は実際どう反応しているのかなど、相手は生き物（魚）であり、実際に声を聞くことができず、日々格闘しています。この点は紅仁社から、魚ファーストの精神を忘れずに、すべてをICTに任せることなく、ICTを活用する場合と、あえて活用しない場合とをよく見極めながら運用していくことも重要であると教えていただき、日々の業務で実践しています。

■今後の展望についてお聞かせください。

陸上養殖で育てた魚の販路を拡大するとともに、需要予測などにより、生産者と消費者のマッチングも図っていけるよう、AIの活用などの検討を進めていきたいと思っています。

NTTアクア ア・ラ・カ・ル・ト

■前例のない業態に悪戦苦闘

NTTドコモビジネスにとって、陸上養殖は全く新しい業態であったため、会社設立に向けて、NTTグループ内の合意形成には大きな苦労があったようです。前例のない挑戦に対して、慎重な議論が重ねられましたが、最終的にはNTTドコモビジネスの幹部の皆様が力強く背中を押してくださったことで、NTTアクアを設立することができたとのことです。

現在、沖縄県大宜味村の廃校となった学校の教室を改装し、そこを拠点として活動しています（写真1,2）。2年前からこの場所で共同生活を始め、日々の業務を共にする中で、メンバ間の絆は非常に強くなっているそうです。寝食を共にすることで、単なる職場の仲間ではなく、家族のような関係性が築かれているとのこと。こうした団結力こそが、NTTアクア最大の強みであると感じているそうです。

■釣った魚に愛着

大宜味村での滞在中、プライベートで釣りを楽しむことがあるそうです。釣った魚を試験的に陸上養殖設備に入れて飼育してみたところ、毎日餌をやるうちに、その魚に愛着が湧いてしまい、いざ食べようすると心が痛むというエピソードがあったそうです。

大宜味村での共同生活では、料理が得意な人が食事を担当したり、几帳面な人は時間があれば掃除をしたりと、職場では見えなかったメンバの個性が垣間見える瞬間が多くあるとのことです。



写真1 大宜味村の活動拠点



写真2 陸上養殖施設からみた風景

市民開発により業務DXを促進する生成AIアプリ開発基盤の取り組み

NTT東日本では、全社的な生成AI（人工知能）活用の推進に向けて、現場主導で業務DX（デジタルトランスフォーメーション）を加速するための生成AIアプリ開発基盤を構築し、社内提供を開始しています。本基盤はAIエージェント開発基盤「Dify」をベースに、RAG（Retrieval-Augmented Generation）をはじめとしたAIエージェント開発のため独自機能を追加することで、現場社員による市民開発を支援しています。本稿では、生成AIアプリ開発基盤の機能概要、および人材育成や社内普及活動の取り組みについて紹介します。

背景

2022年11月の米OpenAI社が公開したChatGPT^{*1}登場以降、現在進行形で世界中のありとあらゆる場所で生成AI（人工知能）の活用が進んでいます。ChatGPT登場初期には、生成AIをチャットボットとして活用するユースケースが大多数を占めていましたが、現在では、生成AIの大幅な性能向上に伴い、プロダクト開発におけるコーディング支援、マーケティングにおけるクリエイティブ作成、カスタマサポートにおける応対支援など、さまざまな業務領域に生成AIが溶け込み、当たり前に活用する世界となりつつあります。

NTT東日本では、AIを活用した業務変革をめざし、全社一丸となってAI-cXプロジェクト(AI-centric operation transformation)を推進しています。AI-cXプロジェクトでは、「AIの活用を前提としたAIファーストな業務プロセス・働き方の実現」をめざすとともに、社内で磨き、AIオファリングモデルとして、社外に展開することをめざしています。本プロジェクト遂行にあたり、現場主導の市民開発にてAI活用を推進するべく、NTT東日本 デジタルデザイン部では、生成AIアプリ開発基盤の開発をスタートし、さまざまなユースケースにて活用されています。本稿では生成AIアプリ開発基盤の機能概要、具体的なユースケースおよび社内展開の道のりについて紹介します。

生成AIアプリ開発基盤の特徴

NTT東日本では、現場社員がデジタル技術を活用して業務を効率化する市民開発の文化が強く根付いています。ローコード・ノーコード開発ツールを活用することにより、プログラミングの知識がなくても日常的に業務効率化が行われています。生成AIの活用においても同様に、市民開発の考え方を取り入れました。「誰もが自分の業務課題を自分で解決できること」を実現するためのローコード・ノーコード開発環境の整備とともに、業務にすぐ使えるテンプレートやサンプルも豊富に提供しています。また、

RAG（Retrieval-Augmented Generation）を含むAIエージェント開発機能の整備や、安心・安全な運用設計を進めることで、現場部門主導の業務改革を迅速かつ安全に推進し、組織内のナレッジを形式知として蓄積し、属人化された業務の削減をめざしています。

技術的構成

生成AIアプリ開発基盤のコア機能としては、米国LangGenius, Inc.が開発する「Dify（ディフィ）^{*2}」を採用するとともに、RAGやAIエージェントを開発するための独自機能を複数搭載しています（図1）。本稿では、その中の代表的なコア機能を紹介します。

■Dify

Difyは、プログラミングの知識がなくても、効率化したい業務フローを「ワークフロー」としてドラッグ＆ドロップで記述することにより、独自の生成AIアプリを短時間で構築することができます。さまざまな生成AIモデルと連携する機能を備えており、条件分岐やファイル入力などの機能との組合せにより、目的別のアプリを直感的につくることができます。社内文書などに基づく回答生成を可能にするRAG機能や、生成AIへの役割を定義するプロンプトを自動生成する機能などを搭載しており、初学者でも1時間程度のハンズオンを受けることで、自ら業務を効率化するアプリをつくることができます。

NTT東日本では、テナント分離機能やシングルサインオン機能などを備えた「Dify Enterprise」を導入することにより、さまざまな組織での業務効率化を実現しています。Difyのコア機能はOSS（Open Source Software）コミュニティ主導で開発されており、ユーザの要望にも迅速に対応されています。生成AI時代の荒波を乗り越えるための高頻度な機能リリースもDifyの大きな魅力の1つです。

■ドキュメント前処理機能

RAGアプリの開発では、ユーザの質問に対して適切な情報を返すために、検索対象となる文書や図表などの参照情報を整備する必要があります。しかし、ドキュメント内の図表が無視されたり、誤って解釈されることで、回答の精度が低下するという課題がし

*1 「ChatGPT」は米国OpenAI社の登録商標です。

*2 「Dify」は米国LangGenius社の登録商標です。



図1 Difyを利用した生成AIアプリ開発例

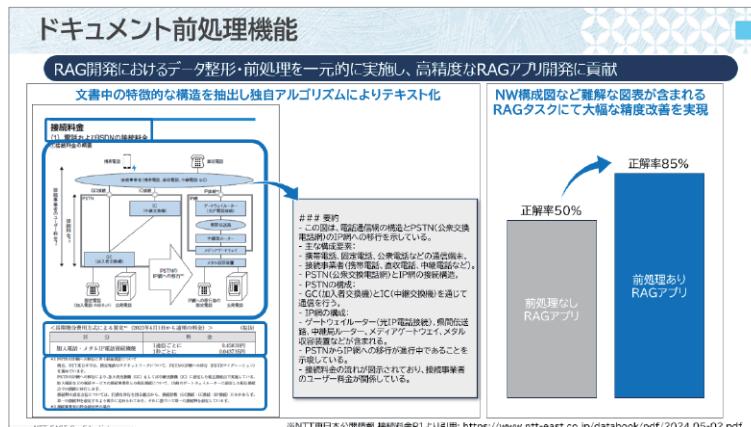


図2 ドキュメント前処理機能の概要

ばしば発生します。

私たちは、AI-OCRやVLM（画像認識モデル）など複数の技術を組み合わせ、図表を含む文書の内容を正確にテキスト化する独自のドキュメント前処理機能を開発しました。さらに、枠線が不規則な比較表など、AIによる自動処理が困難なケースにも対応できるよう、人手による修正をシステム上で完結できるインターフェースを提供しています。これにより、AIの限界を人間が補いながら、参照情報の品質を柔軟かつ効率的に確保する仕組みを実現しました。実際の導入事例では、従来手作業で行っていた参照情報の改善工数を40分の1に削減するなど、RAG開発の生産性向上に大きく貢献しています（図2）。

■生成AIアプリ評価機能

Difyにより短時間で生成AIアプリを構築することができますが、業務で活用するためには回答品質の評価が重要です。ユーザの質問に誤った回答を返すようなRAGアプリでは、かえって業務効率を低下させてしまいます。RAGアプリの評価は、人手で評価する方法に加えて、Ragasなどの評価指標を活用することが標準的になります。しかし、人手での評価では時間がかかり、Ragas等を用いた評価では結果の解釈や、改善の打ち手が分からず立ち止まってしまうケースが多くありました。また、RAGア

プリを評価するための、ユーザの想定質問と、それに対する想定回答の用意にも多くの工数が必要という課題もありました。

そこで、私たちは、①想定質問・想定回答を自動生成する機能、②直感的な評価指標に基づく自動評価・RAGアプリ改善提案機能を新たに開発しました（※特許出願中）。各種パラメータ調整、プロンプト修正、ドキュメント修正などの具体的な改善アドバイスを行うことで、市民開発者でもRAGアプリをスムーズに改善できるようになります。②の導入によって、人手での評価と比べて90%の時間削減効果が確認されています（図3）。

■デザインパターン

Difyの活用により、誰でも手軽に生成AIアプリを作成できるようになりました。しかし、実際の業務に活用するには、単にアプリをつくるだけでは不十分です。特に、RAGアプリでは、「どのような手法があるか」、「最適な技術は何か」といった技術選定が大きな課題となり、多くの試行錯誤が必要になります。

そこで、私たちはRAGアプリのテンプレートや改善手法を「デザインパターン」として体系化し、社内サイトで共有しています。このサイトには主に2つの目的があります。1番目は、生成AIアプリ開発基盤を効果的に使いこなせるように、ハンズオン形式の教材を提供することにより、開発者が実践的に学びながらスキル

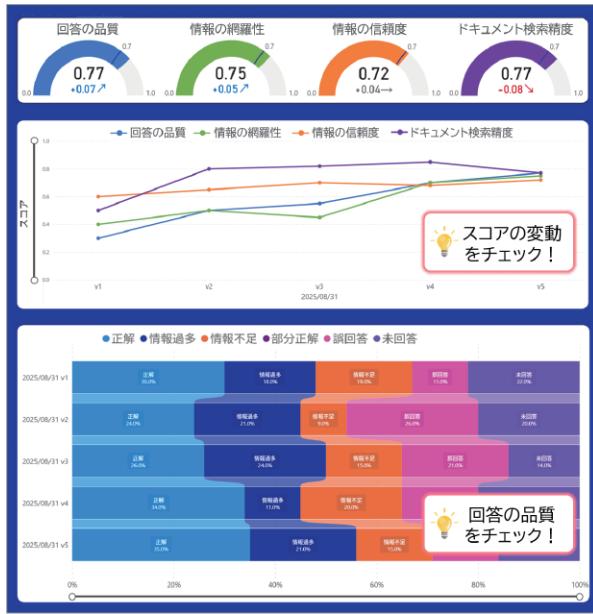


図3 生成AIアプリ評価機能のダッシュボード

を習得できることです。2番目は、ナレッジの社内展開です。実際の活用事例や技術的な工夫を共有することで、同様の課題に直面している市民開発者にも役立つ情報を提供することです。例えば、曖昧な質問をAIが理解しやすいかたちに変換するクエリ変換技術などを活用し、RAGの回答精度を52%から88%へと向上させた事例もあります。こうした知見の共有が、全社的なRAG開発の加速につながっています。

■AIセーフティ機能

近年、生成AIは飛躍的な精度向上を遂げ、ビジネスのさまざまな領域で本格的に導入され始めています。一方で、生成AIの柔軟性の高さは、制御の難しさにもつながっており、利用には一定のリスクが伴うことも事実です。

代表的なリスクの1つが、不適切な発言の生成です。実際に、生成AIが非倫理的な内容を出力したことで炎上を招き、企業ブランドイメージが損なわれた事例も報告されています。多くのAIモデルには不適切な表現を抑制するための学習が施されていますが、モデル単体の制御には限界があり、完全な防止は困難です。

この課題に対し、私たちはAIセーフティ機能を提供しています。この機能は生成AIモデルとは独立して動作し、AIとユーザや外部ツールの間に配置されることで、入力と出力の両方に対して不適切な内容を検知・抑制することができます。さまざまなエンジンの比較評価を行い、日本語対応性能がもっとも高いと評価されたエンジンを採用しています。

今後も、生成AIの可能性を最大限に引き出しながら、安全で信頼性の高い利用環境を整備するために、AIセーフティ機能のさらなる高度化に取り組んでいきます。

■付加価値機能

生成AIの活用をより、幅広いユースケースに対応させるための付加価値機能の開発にも取り組んでいます。例えば、会議や対

話の音声を文字起こしし、それを生成AIに分析させたいといったニーズが増えています。このようなニーズにこたえるため、私たちはDifyの音声認識機能との連携について検証を進めています。OpenAI, Google, Microsoftなどが提供するクラウド音声認識技術のほか、セキュアなデータ運用を前提としたオンプレミス環境での対応も視野に入っています。特に、NTT研究所の音声認識技術（VoiceOmnia / MediaGnosis³⁾）についても検証を行っており、これらは日本語音声に対して高い認識精度を持つだけでなく、CPUだけで軽快に動作するという特長があります。そのため、クラウド環境に依存せず、より手軽にかつ安全に導入できる可能性があります。今後も、生成AIの活用範囲を広げるために、こうした周辺技術との連携を強化し、業務現場での実用性を高めていきます。

活用事例

■コンタクトセンタにおける問合せ応対業務の効率化

NTT-ME カスタマサービスセンタでは、NTT東日本が提供するサービスに関する問合せ応対業務を行っています。本センタでは少量多品種型でサービス種類が多く、オペレータが必要な応対スキルを習得・定着させることが課題となっていました。そのため、オペレータが自力で対応を完結できる自己解決率は62%にとどまり、対応困難なケースがリーダー層にエスカレーションされることで、リーダーの業務負荷も深刻化していました。

この課題を解決するため、私たちは生成AIアプリ開発基盤を活用したRAGチャットボットを開発しました。当初は利用率が40%と低迷していましたが、現場主導でAI活用の目的や意義を浸透させる啓発活動、粘り強い導入支援とフォローアップ、および成功事例の共有など、継続的な取り組みにより、本ツールを適用している組織の利用率は100%まで向上しました。これにより、オペレータの自己解決率も84%にまで改善しました。また、問合せ応対に必要な「マニュアル検索」にかかる時間も63%削減され、業務効率の大幅な向上が実現されました。本センタでは、チャットボットの継続的な改善や対応領域の拡大など、生成AIを活用した業務高度化に取り組んでいきます。

■ネタ帳AI：営業組織における提案業務の効率化

NTT東日本 先進事業推進部では、データとAIを活用し、社内営業部門の業務効率化や社外向けのビジネス化を推進しています。社内の営業現場では、特に次の2つの大きな課題が存在していました。

- ① 顧客情報を複数のシステムから収集する事前調査の負担。
- ② 顧客ごとに最適な提案内容を設計するスキルの個人差。

こうした課題を解決するため、先進事業推進部では営業部門へのヒアリングを重ね、要件を定義しました。そのうえで、Difyを活用し、社内に散在する顧客情報をリアルタイムで収集できるチャットボットを開発しました。現在、営業部門においてトライアルを実施中であり、実際に利用した担当者からは「社内情報を即座に取得できるため、事前調査にかかる工数が一定程度削減さ

れる」といった声が寄せられており、好意的に受け止められています。

今後は、収集した社内情報を踏まえ、顧客ごとに最適なトークスクリプトを自動的に設計できる仕組みを整備し、社内全体への展開と運用の定着を図っていきます。さらに、その成果を基盤として、社外向けソリューションとしての展開も視野に入れ、より大きな価値提供へつなげていきます。

■AIコンステレーション[®]：AIどうしの相互議論によるアイデア創出

NTTでは、専門性や個性を持った多様なLLM（大規模言語モデル）の集合知により社会問題の解決を図る「AIコンステレーション^{®*3}」⁽¹⁾を研究開発しています。NTT東日本では、本技術を生成AIアプリ開発基盤に搭載し、アイデア創出や会議ファシリテーションに活用しています。

その活用先の1つが「ミライ構想カレッジ in 小布施」プログラムです。本プログラムは、東京大学、長野県小布施町、NTT東日本が連携し、地域から持続的なイノベーションを創出することを目的としています。小布施町を舞台に、「経済」「共同体」「環境」の3つの視点から、2050年の持続可能な社会の姿を構想・実践します⁽²⁾。

「AIコンステレーション[®]」は、本プログラム内での多様な背景を持つ参加者どうしの議論において活用し、新たな視点からの深い議論が可能かどうかを検証しています。小布施町の情報などを事前学習させ、プログラム向に使いやすくカスタマイズした結果、「発想の幅広さに驚かされた」といった声も寄せられています。このように、本プログラムにおいても技術の浸透が着実に進んでいます。

■社内ドキュメント検索の効率化

AIの活用を前提としたAIファーストな業務プロセス・働き方の実現をめざすAI-cXプロジェクトでは、社内ドキュメント検索の効率化が重点テーマの1つです。

「膨大な社内マニュアルから必要な情報を素早く検索できるようにする」という課題に対して、生成AIアプリ開発基盤を活用したRAGによる社内マニュアルやFAQ検索の効率化を組織横断で進めています。社内からのフィードバックを基に機能改善を重ねるとともに、社員向けの利活用促進施策（ハンズオン研修、事例共有、FAQ整備など）を継続的に展開することにより、社内でのツール活用が着実に定着しつつあり、業務効率の向上に貢献しています。

社内普及活動

生成AIの社内定着をめざし、段階的に普及活動を行いました。まず、約5000名を対象に生成AIの基礎研修を実施し、さらにRAGに特化した応用研修を160名に提供することでスキル向上を

* 3 「AIコンステレーション[®]」、「MediaGnosis」、「VoiceOmnia」はそれぞれNTT株式会社の登録商標です。

図りました。また、毎年開催される総合エンジニアリング事業の拡大に向けた技能競技会である現場力向上フォーラムでは、RAGの精度を競う生成AI競技を実施し、約200名が現地参加、約1000名がオンラインで視聴するなど、生成AI活用への関心と理解が大きく高まりました。こうした取り組みを経て、生成AIアプリ開発基盤を全社公開し、2025年9月時点において、900名以上が開発者アカウントを保有し、160を超えるワークスペースが稼働中です。これにより、現場主導の業務効率化が全社的に加速しています。

社外紹介活動

本取り組みは、外部パートナーとの対話を通じて、コンタクトセンタ業務DXおよび共通業務DXの取り組みが高く評価されています。特に、生成AIアプリ評価機能のPoC（Proof of Concept）においては、回答品質をスコアとして可視化することで、低品質な応答の抽出・分析が容易になる点が高く評価されました。また、複雑なマニュアルを扱うコールセンタを運営する企業からは、RAGの性能課題を解決するドキュメント前処理機能に対する期待が寄せられています。

本基盤は金融、通信、不動産など多様な業界の現場業務におけるDX推進に取り組む企業への紹介も進めています。ビギニング業務、通信インフラの故障修理対応、ファシリティマネジメントなどの分野では、RAGに必要な機能に加え、柔軟なワークフロー対応、セキュリティ対策、外部機能との連携といった要素が、各業界のビジネス課題の解決に資するものとして期待されています。今後は、社外パートナーからのフィードバックを継続的に取り入れることで、基盤のさらなる高度化にも取り組んでいきます。

今後の展開

NTT東日本では、「AIファーストな業務プロセス・働き方の実現」をめざし、生成AIを活用した業務変革を推進しています。今後は、業務システムやデータウェアハウスとの連携を強化して、AIが業務の中核に組み込まれるのが当たり前の状態をめざします。

さらに、AIエージェントの導入により、AIは指示待ちのツールから自律的に判断・実行する知的パートナーへと進化し、部門横断で業務を最適化するようになります。これにより、企業活動全体がデジタル・ツイン化され、人間は創造性と戦略性に集中できる環境が整います。NTT東日本は、こうした未来を見据え、AIと人間の共進化による新たな価値創造に取り組んでいきます。

■参考文献

- (1) <https://www.rd.ntt/cds/ai-constellation/>
 (2) https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20240830_01.html

◆問い合わせ先

NTT東日本
 デジタル革新本部 デジタルデザイン部
 ビジネス技術開発部門 技術戦略担当

docomo business RINK® セキュリティ機能のさらなる強化

本稿では、お客さまのICT環境をas a Serviceで実現する、セキュリティ・ネットワーク一体型サービスである“docomo business RINK®”と、2025年9月より新たに加わったWAN(Wide Area Network)組み込み型セキュリティ「WANセキュリティ」についての機能概要や特長、構成技術、ユースケース、ロードマップ等について紹介します。

docomo business RINK® とは

■ docomo business RINK® の概要

docomo business RINK® (RINKはResilient Integrated NetworkKから命名)はセキュリティ・ネットワーク一体型サービスです(図1)。NTTドコモビジネスは、旧社名NTTコミュニケーションズ時代より、ネットワークサービスであるOCN (Open Computer Network) やUNO (Arcstar Universal One)，またセキュリティサービスであるFSG (Flexible Secure Gateway) やFRA (Flexible Remote Access) など、お客さまのICT環境を構築するさまざまなサービスを提供しています。

そして docomo business RINK® は、これらサービスの機能や培ってきた知見を結集させ、「as a Service*1化」「セキュリティ一体化」というキーワードの下、お客さまに求められるネットワークを再定義し、お客さまのICT環境を必要十分・迅速・明瞭・簡

*1 as a Service : IT業界で広く使われる概念で、サービスとして提供される形態。

潔に提供することで、自由に、柔軟にビジネスの発展へご活用いただけることをめざして誕生したサービスです。

■ docomo business RINK® の背景

昨今、ビジネスにおけるインフラとしてのネットワークは、求められるあり様が大きく異なってきています。これまで、接続したい対象が明確に定まっており、それらを間違いなく接続することが求められてきました。そのため従来のネットワークは、確かに、堅いことが基本的で、その中に属する「誰かと誰か」・「誰かと何か」をつなぐため、「内部」を明確に定義し、「外部」を除外することが求められてきました。変更・拡張が行われる際も、十分な吟味が行われたうえで、時間をかけて実施されることが主だったため、そのスタイルが受け入れられてきました。

しかし現在では、いわゆるインターネットの利活用が日々進化していく利用するリソースをクラウド等の「外部」に依存するメリットがデメリットを上回り、利用するユーザもリモートワーク等の「外部」から接続することが一般的となりました。それに伴い、ネットワークに対する要件も、変化の激しい市場環境において必要なリソースやユーザを迅速に取り込める、流動的な形式が好まれる



図1 docomo business RINK® の概要

ようになりました。注意いただきたいことは、これはあくまでネットワークの要件であり、後述するセキュリティにおける要件とは別軸であり、「ネットワークそのものが柔軟である」ということが肝要となります。

では、セキュリティについてはどうなのか、ということについてですが、これまでのセキュリティの思想を過去のものとしたのは、「ゼロトラスト^{*2}」の登場です。ゼロトラストとは、文字どおり「何ものも信じない」ということであり、前述した「内部」「外部」という区別がない概念です。そもそも専用線が引かれてネットワークがつくられていた時代はさておき、現代の企業ネットワークは基本的に、外部であるインターネットとの接点を持ちます。また、生成AI（人工知能）の隆盛でさらに加速されることが予想されますが、攻撃者の手法も巧みになり続けています。そのような環境で、「外部から内部への攻撃が成功している」あるいは「内部にすでに攻撃者がいる」という状況は想定しなければならないものであり、危険な外部と安全な内部という境界線のある前提を置くことはもはや許されず、あらゆる接続を疑ってかかることが重要である、との考え方です。

ここまで的内容をまとめると、ネットワークの要件としても、セキュリティの要件としても、接続する対象が不動・あるいはゆるやかな変動しかない、という思考はビジネスの維持や発展を妨げるものであり、時々刻々と柔軟に付き従えることが重要である、ということです。

■ docomo business RINK[®] の目的

前述のとおり、docomo business RINK[®]は「as a Service化」と「セキュリティ一体化」を行ったサービスです。

まず「as a Service化」については、「ネットワークそのものが柔軟である」ということを実現するための手法です。SaaS^{*3}/IaaS^{*4}/PaaS^{*5}など、昨今ではさまざまな商品がサービス化していますが、これはユーザニーズの変化に柔軟な対応を果たすために生まれてきました。ユーザとしても、今この瞬間に必要な商品を享受でき、提供者としても適宜商品にアップデートをかけていくことのできるこの形態は、現代のスピード感に追従するうえでのベストな選択肢の1つとなり、その概念をこれまで堅くあり続けたネットワークという領分で取り入れることが目的となります。

次に「セキュリティ一体化」ですが、ここでいうセキュリティとは、主に防御ではなく可視化に属する類のもので、例えるとすれば自動車におけるオービスのようなイメージとなります。検問のように都度ネットワークにおける流通を止めて確認するのではなく、自由に通行させながらも、その挙動をとらえ続ける機能をネットワーク内に組み込む、ということです。これにより、as a Service化したことにより得たネットワークの柔軟性を妨げることなく、セキュリティ要件であるゼロトラストの概念に対応していくことができます。この機能が本稿の主題となる「WANセキュリティ」であり、以降で詳細について触れていきます。

■ docomo business RINK[®] という提案

これまで述べてきたとおり、docomo business RINK[®]とは昨今の情勢を踏まえてつくられた新たなネットワークサービスであり、お客様のビジネスの発展にいかに寄与するかという点に主眼を置いています。docomo business RINK[®]にはさまざまな機能が備えられていますが、大きく「コア機能」と「拡張機能」に分類しています。ゼロトラストの根本を備えた柔軟なネットワークをコア機能とし、必要に応じて必要なセキュリティを拡張機能として追加いただく、という構図となります。

具体的には、有線・無線などのアクセス形態を利用でき、企業内リソース・インターネットいずれにもアクセスでき、それらをオンデマンド^{*6}で変更できます。さらに特に攻撃の舞台となるインターネットアクセスにおいて流れる通信を監視・保管することで攻撃の早期検知や対応ができるネットワークにさらに、インターネットアクセスのための防御セキュリティも追加したい、などの要望にもおこたえできるサービスです。本稿ではdocomo business RINK[®]のWANセキュリティ以外の詳細については割愛しますが、ご興味があれば弊社までお問い合わせください。

docomo business RINK[®] WANセキュリティとは

■ WANセキュリティの概要

WANセキュリティは「インターネットアクセスにおいて流れている通信を監視・保管することで攻撃の早期検知や対応」をWAN単体で実現する可視化機能です（図2）。ゼロトラストの概念に基づくと、「攻撃されない」「攻撃されても防げている」との前提を置くことは許されず、「すでに攻撃が成功していて、いつ被害が発生してもおかしくない」というところまで常に疑わなければなりません。これまで、攻撃を成功させないよう事前に防御することに重きが置かれ、攻撃が成功した事後の対応についてはおざなりになりがちでしたが、完全な防御が現実的ではない以上、むしろ事後の対応ができるることをベースとすることが、これからセキュリティ対策として重視すべきポイントとなります。

WANセキュリティでは、①脅威検知・遮断、②フローコレクター、③セキュリティヘルプデスクという機能を提供します。docomo business RINK[®]を利用している拠点とインターネットとの間で行われる通信について、その通信品質に影響を与えない

*2 ゼロトラスト：従来の「社内=安全、社外=危険」という境界型モデルから脱却し、IDとコンテキストに基づく動的なアクセス制御を行う考え方。

*3 SaaS：ソフトウェアをインターネット経由で提供するサービス形態。

*4 IaaS：仮想化されたITインフラ（サーバ、ストレージ、ネットワークなど）をインターネット経由で提供するクラウドサービス。

*5 PaaS：アプリケーション開発や運用に必要なプラットフォームをクラウドで提供するサービス形態。

*6 オンデマンド：必要なときに、必要な分だけ提供されるサービスや仕組み。

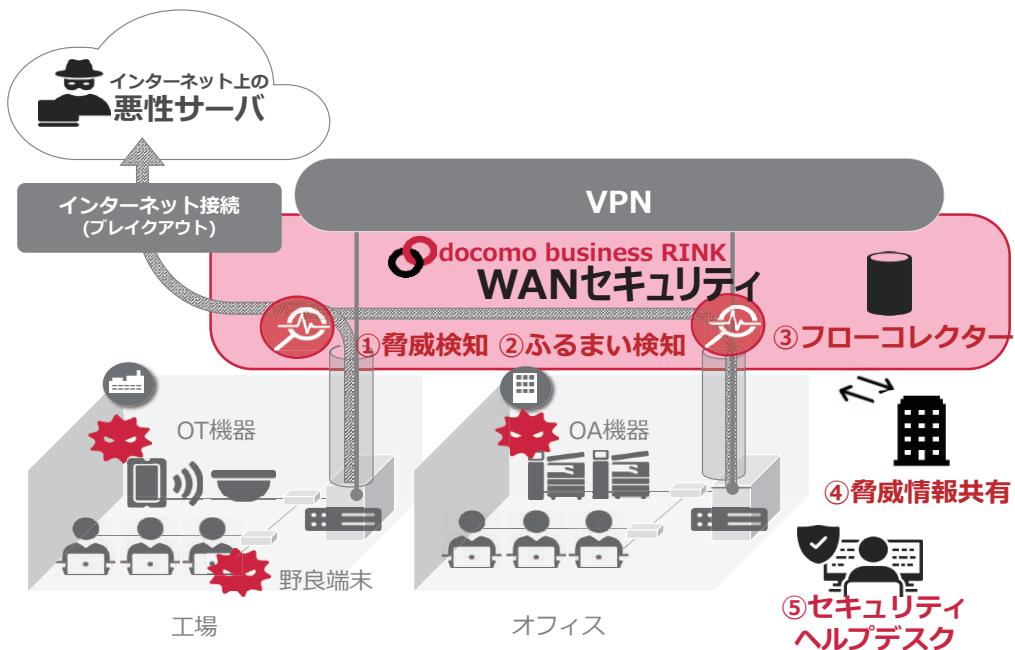


図2 WANセキュリティの概要

かたちで①危険な宛先と通信していないか確認し、危険な宛先との通信を検知した場合は必要に応じて遮断ができ、②通信ログを保管しておくことで、インシデントが発生してしまった際には遡ってインシデントの影響範囲の確認に活用することができ、③セキュリティの専門家へ検知した脅威の内容やその後の対応について相談することが可能となっています。これらを活用することで、「攻撃された際の備えが常にできている」状態でネットワークを柔軟に展開し、ビジネスを自由に発展することができます。

■WANセキュリティの特長

可視化を実現するサービスは多数ありますが、その中でWANセキュリティはWANに組み込まれているために「利用が容易」なことと「エンドの特性を問わない」ことが最大の特長です。

利用の容易さについては、WANセキュリティはオンデマンドでポータルから項目を選択いただくことだけで完結します。設備はすべてサービス側に組み込まれており、オーダーはオンラインで完了するため、お客様による作業は一切必要ありません。他の手法は一般的に、ネットワークのいたるところに可視化のための機器を配備する、あるいはネットワーク構成を変更して可視化のための機器を一度経由するよう集約させる、といった手間が発生するため導入のハードルが非常に高く、その後のあらゆる変更の際にその制約を念頭に入れなければなりません。

エンドの特性を問わない点についてですが、これはWANとエンドというポイントの違いに由来します。エンドポイントセキュリティは、ゼロトラストの概念からも重要な対策検討箇所ですが、そもそも導入ハードルが高い場合があります。例えばOA機器

やIoT (Internet of Things)、あるいは特定のOSなど、デバイスの特性としてエンドポイントセキュリティが対応していないケースや、不定期に利用するユーザーが多いケースなどが挙げられます。攻撃者は対策が不十分な個所をねらってくるため、弱い部分をつかれて被害にあってしまう、という事例も多く、その点WANセキュリティは、エンドの特性を問わずWANを流れる通信であります。

■WANセキュリティの機能

(1) 脅威検知・遮断

脅威検知・遮断は、C&Cサーバ^{*7}などの危険な対象と通信していないかを検知し、必要に応じてその対象との通信を遮断することができる機能です。検知は弊社脅威インテリジェンス^{*8}との照合によって行われ、検知された際にはオンラインでポータルから該当の通信を確認できます。ポータル上では、検知された通信のリスクレベル (Critical/high等) や脅威タイプ (C&C/フィッシング等) も表示されます。それらの情報を踏まえ遮断が必要だと判断した場合は、数度クリックするだけで対象との通信をルータ単位で簡単に遮断できます。遮断後は、対象と何度通信を試みたかの回数も表示されるため、攻撃の継続状況等も逐次把握できるようになります。

*7 C&Cサーバ：マルウェアやボットネットが外部から指令を受け取るために使用するサーバで、サイバー攻撃において、感染した端末（ボット）を遠隔操作するための「司令塔」の役割を果たします。

*8 脅威インテリジェンス：サイバー脅威に関する情報を収集・分析し、攻撃の予防・検知・対応に活用するための情報。

(2) フローコレクター

フローコレクターは、通信ログを保管・ダウンロードして確認することができる機能です。通信ログの保管については、ACD (Active Cyber Defense : 能動的サイバー防御) 法が2025年5月に成立するなど現在重要視されている一方で、ログを取得・保管するにはそれを踏まえた環境構築が必要なため、導入に対する一定のハードルがありました。しかしフローコレクターでは、お客さまに個別でシステム構築していただくことは特になく、インターネットアクセスの通信ログが自動で保管されていきます。そして、もしインシデントが発生し調査が必要になった場合は、ダウンロードして確認いただけます。

(3) セキュリティヘルプデスク

セキュリティヘルプデスクは、docomo business RINK® 全般で提供しているヘルプデスクと異なり、WANセキュリティに起因する内容に対応した問合せ窓口となります。脅威を検知した際の対応についての相談を受けるほか、検知状況を踏まえた今後の改善も提案でき、WANセキュリティで把握した現状をフルで活用し、短・中・長期的なお客さまの環境構築をサポートします。

■WANセキュリティの構成技術

WANセキュリティでは、キャリアのバックボーン（お客さまのトラフィックが集約される個所）に、通信データを収集する装置および脅威インテリジェンスと照合する装置を設置し、ほぼリアルタイムでお客さまの通信から悪性な通信を検知する仕組みを構築しています。

検知された悪性通信に関する情報は、お客さまがポータル上で閲覧可能であり、さらにポータルからサービスルーターへ指示を出すことで、通信の遮断も可能です。

この脅威検知から遮断に至る一連の技術については、ビジネスモデル特許を取得することで差別化を図り、弊社の独自性を打ち出しています。また、キャリアのネットワーク上に各種装置を設置することで、お客さま個々のネットワークへの設定追加や端末へのソフトウェインストールを必要とせず、NaaS (Network as a Service) としてご利用いただける仕組みとなっています。

なお、脅威検知に用いるインテリジェンスは、セキュリティベンダーのデータ、OSINT（オープンソースインテリジェンス）、および弊社独自に調達したデータを組み合わせており、幅広い脅威通信の検知を可能にする構成となっています。

■WANセキュリティの展望

WANセキュリティの将来ロードマップとして、「ふるまい検知」（2025年12月提供開始予定）と「脅威情報共有」（2026年提供開始予定）の2つの機能をリリースする予定です。

*9 自律型セキュアNaaS (Network as a Service)：最新セキュリティ技術を組み込んだクラウドベースで提供されるネットワークサービスに、AIや自動化技術を組み合わせて、ネットワークの構成・運用・セキュリティ管理を自動化・最適化する次世代型のサービス。

ふるまい検知は、端的にいえば未知の脅威への対策の1つです。前述の脅威検知・遮断は、他の事例やセキュリティ機関の調査によって危険と分かっている宛先のリストと照合し、危険な通信が行われていないかを確かめる機能であり、既知の脅威への対策ですが、ふるまい検知は、通信の挙動が普段と異なっていないか監視し、危険な状態に陥っていないかを検知できる機能となります。例えば普段と違う時間であるとか、国であるとか、量であるとか、そういう通信の異常さを報告してくれます。セキュリティ攻撃は高度化の一途を辿っており、新種の攻撃がなされることも少なくなく、既知の脅威に対策できることは当然のこととして、未知の脅威にも対策できるようにしておくことを推奨します。

脅威情報共有は、主にグループ・サプライチェーンの親会社に対し、その子会社が検知した脅威情報を共有することで、セキュリティポリシーの統一やガバナンスの向上を促進する環境を実現するために実装される機能です。攻撃者が脆弱な個所をねらってくることはすでに述べていますが、それは一企業に閉じた話ではありません。企業と企業が当たり前につながってビジネスを行っている現在では、セキュリティ対策が十分にできていない子会社がねらわれ、そこから親会社まで蔓延してしまうケースが少なからず出てきています。しかし、人的・金銭的・時間的コストの課題から、特に規模の大きくない企業では大企業相当の防御環境を直ちに整えることは厳しい状況が予想されます。そこでWANセキュリティの検知機能とともに脅威情報共有を利用いただくことで、まずは危険を検知すること、そしてそれを親会社・子会社間で共有する能力を獲得し、これからの対策ロードマップを策定するためのソースとして活用いただけます。

今回は主にインターネット向け通信の観点で記載しましたが、中期的な展望としてはdocomo business RINK® 網内のすべての通信への対応を視野に入れています。現在は、インターネット接続やデータセンタ等ギャランティ回線拠点向けの通信について対応していますが、今後、すべての拠点に対するラテラルムーブメントや社内の悪意のあるユーザの通信にも対応できることが望ましく、ベストエフォート拠点間の通信への対応も検討予定です。さらにAIによる運用管理、インシデント管理などの効率化とUI (User Interface) /UX (User Experience) 改善を追求し続け、「お客さまのあまねく通信を監視・保管できるWANセキュリティ、その環境を前提とした自律型セキュアNaaS*9 (Network as a Service) docomo business RINK®」へ昇華させていきます。これからビジネスをつくる、これからICT環境を検討される読者の皆様に、是非とも弊社サービスを活用いただければ幸いです。

◆問い合わせ先

NTTドコモビジネス
プラットフォームサービス本部
クラウド&ネットワークサービス部 販売推進部門