

NTT 技術ジャーナル

ISSN 0915-2318 平成2年3月5日第三種郵便物認可
令和6年8月1日発行 毎月1回1日発行 第36巻第8号(通巻425号)

8 AUGUST
2024
Vol.36 No.8

特集

つくばフォーラム2024に見る アクセスネットワークの研究開発

トップインタビュー

横浜 信一
NTTセキュリティホールディングス 代表取締役社長

For the Future

自動車業界のゲームチェンジ:EV業界を紐解くー前編ー

グループ企業探訪

Pro-Matrix

from NTTコムウェア

NTTコムウェアが推進するCPS powered by IOWNの取り組み



4 トップインタビュー

**迷ったら前へ!現場の自由度を高め、
現場をトラストする**

横浜 信一

NTTセキュリティホールディングス 代表取締役社長



8 特集

つくばフォーラム2024に見るアクセスネットワークの研究開発

- 10 人と地球にやさしい社会インフラで実現する"Social Well-being"
- 15 「これからのつなぐ」を創る
- 20 新たな価値創造へ 持続可能な社会を支えるアクセスネットワーク技術
- 24 IOWN時代のアクセスネットワークを実現する研究開発の取り組み
- 28 次世代光ファイバ設備技術の研究開発の取り組み
- 32 豊かな社会生活の実現を支えるワイヤレス技術



36 For the Future

自動車業界のゲームチェンジ:EV業界を紐解く —前編—

42 挑戦する研究者たち

阿部 正幸

NTT社会情報研究所 フェロー

量子計算機が普及した環境を想像して、それに耐えることができる暗号の基礎理論と応用技術の実現をめざす



特集

46 挑戦する研究開発者たち

鈴木 康弘

NTT東日本 デジタル革新本部 担当部長

クラウドワークプレイスで社員のワークスタイル変革と社員参加型のDXをめざす



For the Future

特別企画

50 明日のトップランナー

東 浩司

NTT物性科学基礎研究所 特別研究員

地球規模での量子通信を実現する「量子インターネット」のための理論を構築



挑戦する研究者たち

54 グループ企業探訪

Pro-Matrix Pte. Ltd.

DBO一体アプローチでデータセンターの構築から運用までをフルターンキーで提供する会社



挑戦する研究開発者たち

58 from NTTコムウェア

NTTコムウェアが推進するCPS powered by IOWNの取り組み

明日のトップランナー

62 Webサイト オリジナル記事の紹介

9月号予定

編集後記

グループ企業探訪

本誌掲載内容についてのご意見、ご要望、お問い合わせ先

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

本誌ご購入のお申し込み、お問い合わせ先

一般社団法人電気通信協会 ブックセンター
TEL (03) 3288-0611 FAX (03) 3288-0615
ホームページ <http://www.tta.or.jp/>

NTT技術ジャーナルは
Webで閲覧できます。

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



from
NTTコムウェア



NTTセキュリティホールディングス
代表取締役社長

横浜 信一 Shinichi Yokohama

PROFILE

1984年通商産業省に入省。1992年マッキンゼー・アンド・カンパニー、2011年NTTデータ グローバル事業本部、ビジネスインテグレーション部長、2014年NTT特別参与、サイバーセキュリティの対外プレゼンス向上担当、2018年NTTグループCISO、2023年6月よりNTTセキュリティホールディングスCEOを兼務。



迷ったら前へ！ 現場の自由度を高め、現場をトラストする

コネクテッド・ソサエティが進展する現代社会、サイバー空間の安心・安全は極めて重要な課題です。NTTグループでサイバーセキュリティの責任者としてグループCISO（最高情報セキュリティ責任者）を務めつつ、独自のサイバーインテリジェンスと脅威検知・対応能力でお客さま向けセキュリティサービス提供を行うNTTセキュリティホールディングスのCEOを務める横浜信一氏に、セキュリティのミッションと戦略、トップとしての姿勢を伺いました。

NTT唯一のセキュリティ専門の会社、NTTセキュリティホールディングスの強み

NTTセキュリティホールディングス設立の経緯と特長を教えてください。

NTTセキュリティホールディングスはNTTグループ唯一のセキュリティ専門の会社です。グループ各社のセキュリティを保持し、活動を支えることと、お客さまにセキュリティサービスを提供することの2つをミッションとしています。

2016年にNTTセキュリティ株式会社が設立され、一時NTT Ltd.の一部門となっていました。2022年にセキュリティが今後NTTグループ全体の事業戦略においてさらに重要になるという認識の下、持株会社直轄会社として再編成されました。

NTTのセキュリティには5つの独自の強みがあると考えます。1番目は、NTTのスケールです。NTTは巨大な情報通信インフラを運営する企業であるため、こ

の瞬間も数多くのサイバー攻撃のターゲットとなっています。このため、NTTは世界最先端の攻撃手法を知ることができます。

2番目はサイバー攻撃の早期検知と迅速な対応・復旧における非常に優れた技術を持っていることです。サイバー攻撃は非常に複雑化・巧妙化しており、もはや100%の防御は不可能です。外部からの侵入を許してしまうという前提に立ち、早く検知して対応・復旧する、そして被害を最小限に食い止めることが重要になります。そのために、NTTグループは、AI（人工知能）も活用した、ネットワーク・セキュリティ機器内のアクティビティ・ログ・データを収集し、脅威を自動で検出・可視化・通知するSIEM（Security Information and Event Management）エンジンを保有しています。そして、このエンジンを一層有効に機能させるため、脅威情報の収集・共有のためのグローバルパートナーシップ、グローバルに連携するSOC（Security Operation Center）

の高度分析エンジニア等を有しています。インプットされた脅威情報を優秀なエンジニアが解析することで知見が蓄積され、迅速かつ優れたサービスを提供するという好循環が生まれています。

グローバルな巨大ITインフラをベースとした環境と優れた技術力、これだけでもかなりハイレベルですね。

さらに3番目として、人材の宝庫であることです。NTTは国内グループ全社員を対象にセキュリティに関する講習の受講を義務付けています。国内社員の約3%、約4500人がセキュリティの現場で活躍できる人材として認められる「中級」のランクを取得しています。また、外部の有識者も認める業界屈指の実績を持つトップガン集団が約100人います。巨大な情報通信インフラを運営するセキュリティの現場をもっていることから、こうした人材が日々育成されているのです。

そして、4番目は豊富な経験に裏打ち

されたノウハウです。2021年に東京で開催された国際スポーツイベントでは、パートナー企業としてサイバー攻撃等からの防衛の一部を担わせていただきました。その他過去のG7やG20などの国際的大イベントへの対応経験も蓄積しています。グローバルイベントは毎年のように開かれ、例えば、G7広島サミットにおけるウクライナのゼレンスキー大統領の来日のように、世界中からVIPが来日されるたびに世界の耳目を集めています。サイバー攻撃を仕掛けようという者にとっては格好のステージです。こうしたシーンにおいて数々のサイバー防御を担わせていただいていた点が私たちの強みであると考えます。

仲間づくりを通じて 社会全体をセキュアに

体制も知見も備えて、まさに盤石ですね。ところで、ご著書をご用意いただいたのですね。

『サイバーセキュリティ戦記』です。実はこの本の出版が5番目の強みである情報発信におけるリーダーシップの一例です。サイバーセキュリティの取り組みは、攻撃者に攻撃のヒントを与えることにつながるおそれがあるため、開示されないのが一般的です。私はNTTグループのCISO (Chief Information Security Officer) という立場上、さまざまな企業や団体とセキュリティについての意見交換をしますが、セキュリティ対応の悩みを抱えていらっしゃる方は非常に多く、そのような方々のお役に立ちたいという思いが先に立ち、あえてサイバーセキュリティの取り組みを情報発信していくことにしました。サイバーセキュリティに特化した対外情報発信チームを構成し、手の内も可能な範囲で外部に公開・発信しています。さらに、外部の方にSOCにおける運用の様子をご覧いただくことが可能なプレゼンテーションルームも設けています。

情報発信を始めた当初は攻撃者を利することになるのではないかと懸念も聴かれましたが、「私たちはすでに十分に（攻撃者から）狙われている。NTTがグローバルなデジタル企業への成長を望むのであれば隠れていても仕方がない。



それならば仲間をつくっていこう」と発想を転換しました。コネクテッド・ソサエティ、IoT (Internet of Things) 時代となり、すべてのモノがつながっています。自社を守るだけでなく電力をはじめNTTが依存している会社、さらにはお客さま、広い意味のサプライチェーン全体を守って社会全体をセキュアにすることが大切と考えています。

ところで昨今、セキュリティ関連のインシデントが数多く報じられていますが、どのように受け止められていますか。

まず、昨今サイバーセキュリティに注目が寄せられるようになってきていることを私は非常にポジティブにとらえています。私がセキュリティの仕事にかかわり始めた10年前、当時は社会全体でのセキュリティに関する認知がまだ低かったと感じています。例えば10年前のソニーピクチャーズの事件はマスコミに取り沙汰されましたが、多くの人や企業にとって「対岸の火事」という認識が強かったのではないのでしょうか。ところが、今ではセキュリティインシデントは国内外でしばしば発生し、その対応に多くの手間と費用を要していることが広く知られるようになってきました。もはや「対岸の火事」では

なく、「今そこにある危機」であり「いつ自社が被害にあってもおかしくない」という認識が広がっていると思うのです。社会にセキュリティの重要性への認識が浸透してきていることが分かります。その結果、サイバーセキュリティはIT課題ではなく経営課題だ、という認識も広まっています。

ところが、経営課題だと分かっても、何をすればよいのか、どこまですればよいのか、に悩む企業はまだ多いと思います。結果としてセキュリティ担当役員を任命して任せてしまう、そうした状況が多いのではないかとみています。任せられたセキュリティ担当役員は、何をどこまですればよいのか悩んでしまうのではないのでしょうか。

幸い、NTTグループには大きな会社もあれば社員10人くらいのスタートアップのような小さな会社もあります。多様な会社が存在しているのがNTTグループの特徴です。大きな会社のセキュリティから小さな会社のセキュリティまで、豊富なノウハウを抱えているので、これをお客さまにご提供していきたいと思います。

ただ、私たちNTTグループも西日本において内部不正に伴う大きなインシデントを起こしました。しかもそれが10年間

にも及んでいたこと、痛恨の極みでした。世の中からの信頼を取り戻すべく、内部のセキュリティレベルを高めていく所存です。

私たちが責任を果たすための戦略は大きく2つ、社外向けサービスとNTTグループ内向け防衛の両輪で展開しています。社外向けサービスについては、私たちのお客さまは国内企業から多国籍企業まで多様であり、規模の大小もさまざまです。こうしたお客さますべてに対して、私たちの5つの強みをベースとして、コンサルティングや知見の提供、システムインテグレーション等、お客さまのご要望や環境に合ったセキュリティ関連のサービスを提供します。

NTTグループ内向け防衛においては、いわゆる3線モデルのガバナンスを十分に機能させます。私たちが経験したインシデントを機に基本に立ち返り、グループ全体でしっかりと取り組みます。各事業会社が主体的に進めることが基本にな

りますが、グループとしての総力を高めるためNTTセキュリティホールディングスが持株会社の指揮のもと、補完的な取り組みを進めていきます。例えばセキュリティは技術のみならず経営も一体となって取り組む必要があることですから、国内グループ会社の社長への研修を実施していきます。

トラストを信条に、 お互いに頼りになる存在に

NTTグループのセキュリティのトップとしてのプレッシャーは相当大きそうですね。日々の仕事にはどのような姿勢で臨まれていますか。

枕元にスマートフォンを置いて寝ていますが、国内外のNTTグループで発生したインシデントの連絡が来て、24時間体制で対応しているので、プレッシャーがないというのは嘘になります。インシデントが発生したときに何が大事かという、

私は被害を最小化することだと思っています。被害を最小化するためには何が大事か。それは、発生したインシデントのことを含め、事態を誰よりも理解している現場に自由度を与えることです。

NTTグループの全体CISOである私に多少報告が遅れたとしてもかまいません。正直なところ、連絡が来なければイライラすることもあります。それは現場が被害を最小限にとどめるために全力で対応しているからだと思うことにしています。現場の自由度を高め、信用することが大切だと思います。

私は通商産業省（現経済産業省）の官僚、そしてコンサルティング企業を経てNTTに入社しました。コンサルタントとして大手飲料会社の仕事をしていたときには、街を走るその会社の配送トラックと一緒に乗って営業力を高める施策を考えることもありました。あるとき、ドライバーさんが仕事の合間に食べる美味しい町中華の話等、現場でなければ分からない話をしてくれました。彼らの話を聞いて、

現場の総合的な状況、環境を知っている強みを活かすことが良い仕事につながると確信しました。この経験が現場を信頼（トラスト）したいと思った出発点です。

そして、現場を信頼し、任せることが非常に重要なと同時に、私が信条としていることを現場に伝えることも大切です。私はNTTセキュリティホールディングスのキックオフミーティングで私が仕事に取り組むうえでの信条が「迷ったら前へ進む」であることを伝えました。こうした信条がいつも正しい結果を生むかどうかは分かりません。でも前に進んだけれど間違っていたら、そのときはすぐに正せばいいのです。

社長から自分の仕事を信頼してもらえることは社員の皆さんにとって心強いでしょうね。今後の抱負と皆さんへの一言をお願いします。

風土づくりは一朝一夕にはいきませんが、揺らぐことなく現場を信頼することを大切にしていきたいですね。そのために、私自身も私にしかできないことにフォーカスしていますので、社員の皆さん1人ひとりが自身にしかできないことにフォーカスしてほしいと思います。これは私からの信頼だけでなく、社員が互いに信頼し合うためにも大切なことで、お互いが「あの人に任せていけば大丈夫」という頼れる存在であるためにも大切なことだと思います。

NTTのセキュリティはまだ発展の途上ではありますが、ワールドクラスをめざしたいと考えています。これは世界でトップになるというのではなく、トップクラスの企業と同じテーブルに着いても恥ずかしくないという意味です。外部向けサービスとNTTグループ内向け防衛は両輪と話しましたが、NTTセキュリティがグループのハブとなることが重要ですし、対外的にもNTTが総力を結集すればトラストを勝ち取れると思います。

研究開発を担う皆さんには矜持を持って研究開発に臨んでいただきたいですね。世界中から日本の、NTTのセキュリティへの期待が高まっています。その意味ではNTTの活躍の場はとてつもなく大きいのです。ご自身の領域でセキュリティイ





ラクティスを築いていくのだという矜持を持って研究開発に勤んでいただきたいです。

そして、お客さまやパートナーの皆様、私どもの知見やノウハウはできる限り開

示いたしますのでぜひ一緒にやりましょう！

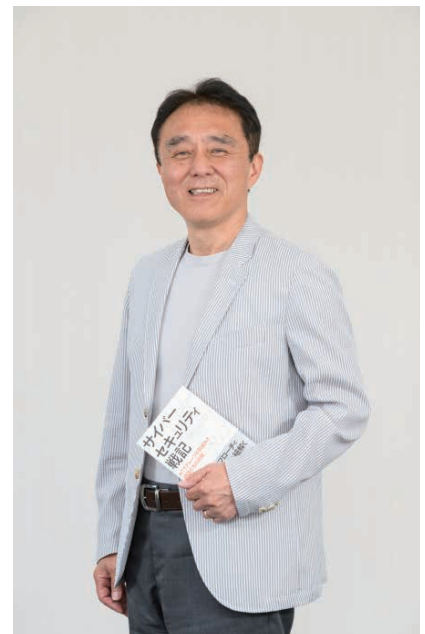
(インタビュー: 外川智恵 / 撮影: 大野真也)

インタビューを終えて

トップインタビューにご登場されるトップはほとんどの方がネクタイを着用され、たとえ、ノーネクタイであってもスーツ姿でした。ところが、横浜社長はカジュアルなジャケットにTシャツです。お話も非常にフランクで、シンプルなセンテンスで語られます。その意味をお尋ねすると「秋葉原にあるIT企業の社長はこんな感じなのでは？」と茶目っ気たっぷりに笑われる横浜社長。「実はメイドカフェにも行ってみたんです。萌え萌え…ってやってもらいましたよ」と、ジェスチャー付きで秋葉原文化のお話を聞かせてくださいました。これだけ聞くと横浜社長はミーハーだと思われるかもしれませんが、ビジ

ネスにおいて大切な理由ももちろんありました。「グローバルなビジネスを展開していますので諸外国からのお客さまをお迎えます。皆さん、秋葉原をはじめ日本の文化にご興味をお持ちで、メイドカフェ等にご案内すると喜ばれるのではないかと思ったのです。お店の前に立ったときは本当に入るかどうか迷いました。でも“迷ったら前へ進む”を実践したのです」。

こうしたエピソードから霞が関の官僚、外資系コンサルティング企業を経てNTTへ入られた横浜社長がいかにビジネスシーンの硬軟を熟知しているかを実感しました。あらゆる事態に柔軟かつユニークにご対応されるご様子に学ばせていただいたひと時でした。



つくばフォーラム2024に見る アクセスネットワークの研究開発

本特集では、2024年5月16～17日に「新たな価値創造へ
持続可能な社会を支えるアクセスネットワークへの挑戦」をテーマに開催された
「つくばフォーラム2024」で発表されたIOWN (Innovative Optical and Wireless Network)
の実用化に向けた取り組み、および最新のアクセスネットワーク技術について紹介する。

人と地球にやさしい社会インフラで実現する “Social Well-being” — 10

省エネテクノロジー, IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) アクセスネットワークを新たな産業社会インフラとすることで、地球にも人にも優しい “Social Well-being” について紹介する。

「これからのつなぐ」を創る — 15

NTT東日本グループがめざすSOCIAL INNOVATION パートナーとしての世界感と、実現に向けた「自らの変革」の取り組みや「他の企業様」や「社会」とともに地域の新たな価値創出に取り組んでいる事例を紹介する。

新たな価値創造へ 持続可能な社会を支えるアクセスネットワーク技術 — 20

新たな価値創造と地球のサステナビリティに向けた IOWN構想の具現化を加速する、サービスの多様化、運用のスマート化、新ビジネス領域を開拓する最新のアクセスネットワーク技術について紹介する。

生成 AI

SOCIAL INNOVATION
パートナー

IOWN

TSUKUBA FORUM 2024

新たな価値創造へ 持続可能な社会を支えるアクセスネットワークへの挑戦

光ファイバ設備

無線アクセス

IOWN時代のアクセスネットワークを実現する研究開発の取り組み — 24

IOWN構想から実現へ向けて具体化を加速させる段階へと進めるため、私たちが思い描く将来のアクセスネットワーク像と、それを実現するための取り組みについて紹介する。

次世代光ファイバ設備技術の研究開発の取り組み — 28

IOWN構想の3要素の1つであるオールフォトニクス・ネットワークの実現に向けた大容量化・高度化に資する光ファイバ設備、労働人口減少や通信サービスの多様化および環境負荷低減といった社会の変化・要請に対応する光ファイバ設備の研究開発の取り組みについて紹介する。

豊かな社会生活の実現を支えるワイヤレス技術 — 32

プロダクトとして具現化した技術群であるマルチ無線プロアクティブ制御技術 (Cradio®: クレイディオ) と、さらなる高度化に向けた研究開発技術について紹介する。



人と地球にやさしい社会インフラで実現する “Social Well-being”

生成AI（人工知能）の登場に伴い、世の中が便利になっていく一方、電力消費は増大し、環境問題は深刻化しています。マーケットインの視点で多様化したニーズにパーソナライズしながら、省エネテクノロジー、IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）アクセスネットワークを新たな産業社会インフラとすることで、地球にも人にも優しい“Social Well-being”が実現できるのではないかと考えます。本稿は、つくばフォーラム2024での基調講演の内容をダイジェストにしたものです。

キーワード：#生成AI、#IOWN、#マーケティング

求められる価値の実現、情報通信インフラから産業社会インフラへ

世界情勢・社会課題はますます深刻化しています。フードロスも世界に生産された食品の40%の25億トンが廃棄され、衣料品も国内の年間生産29億着のうち15億着が廃棄されています。一方、環境エネルギー問題は地球規模で厳しい状況にあり、併せて日本では少子高齢化と労働力不足も深刻化しています。そうした中、人々の価値観は多様化しています。以前は物の豊かさを求めていましたが、徐々に精神価値、コト、体験へ、物の豊富さよりは必要な物だけロスを少なくしたいというマインドに変化してきました。そういった中、多様な価値観にこたえていくために、NTTは研究開発とマーケティングの融合を図り、2023年6月に持株会社の中に新しく研究開発マーケティング本部を発足しました。新たにマーケティング部門とアライアンス部門を新設し、研究所をマネジメントしている研究企画部門と3部門を1つの本部に組織しました。マーケットにアラインしながら研究技術を進化開発していく、またマーケットインの視点で必要と考える技術の研究開発等も考えていければと思っています。また、研究開発領域だけではなく、サービス開発から、オペレーション、サービス品質に至るあらゆる事業プロセスにおいて、CX（Customer Experience）を追求していくことも進めていきます。企業のお客さま、個人のお客さまがどう感じているかは、

かというお客さま視点をもとにサービスを改善していきます。そのためには、お客さまの声等、データ化して可視化できるようマーケティング基盤を構築して、CXを推進していける体制を強化しています。

これまでのプロダクトアウトの研究開発では、電話に始まる“つなぐ”“伝える”テクノロジーを進化させ、光ファイバの技術から発展してIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想につながりました。マーケットインの視点では、人を想い、社会や地球を想い、感性で想像するような視点でみていくこととなります。そういった意味では、プロダクトアウトがコネクト、デジタルライゼーション、データ化、AI（人工知能）分析と、どちらかというも機能軸で掘り下げていくかたちでしたが、マーケティングは、さまざまな技術を使って可視化、最適化、効率化、省エネ化、パーソナライズ化といった価値軸でみていくことだと思っています。これを掛け合わせることで、多様な価値観にこたえることにつながり、Social Well-beingな社会の創造につながればと進めています。従来のつなぐ伝えるプロダクトアウトの研究開発を基に進めてきたものは、企業・個人のお客さま向けに情報通信インフラとしての役割を担ってきましたが、これからは衣食住、生活、教育、ヘルスケア、エネルギー、エンタテインメントという人々の価値軸において、産業社会インフラとしての役割を担っていくことになればと考えています。

おおにし さちこ
大西 佐知子

NTT 常務取締役
研究開発マーケティング部長

産業社会インフラとしての役割を担う“食とヘルスケア”

私たちにとって重要な食をいかに豊かにサステナブルにしていくか。これまでの情報通信インフラ産業では直接関係がないように思われた畜産、水産、林業、そこから生み出されるゴミのリサイクルも食の中で関係します。そこに私たちのテクノロジーをどう活用して、サステナブルな食の世界をつかっていくかという取り組みの例を紹介します。ご存じのとおり食の安定供給に対するリスクは非常に厳しい状況になっています。最近では、食費が2023年までと比べると約1.5倍になっており、食生活にも影響が出てきています。食料自給率も主要先進国13カ国中最下位の第12位の38%です。一方、農業の労働力も2000年に比べて人数が7割も減少し、さらに平均年齢が68歳と高齢化しており、結果的に耕作放棄地が1995年の1.7倍となっている状況です。オランダ、英国も実は同じような課題をかかえていたのですが、イノベーションによって今では食料自給率は60%以上です。日本においてもこうしたイノベーションを実現すべくNTTグループでは、育種、農業生産、畜産、水産、流通という流れの中で多くのグループ会社がさまざまなところで対応しています（図1）。その中の1つ、施設園芸について紹介したいと思います。NTTアグリテクノロジーは、山梨県に国内最大級のレタス温室をつくっています（図2）。面積はサッカー場の1.5倍あります。こちらでは、



図1 育種・農業生産、畜産・水産から流通までイノベーションで変わる“食”

国内最大級レタス温室

面積 サッカー場の1.5倍

自社ファームで作成した野菜（サニーレタス）を
都内や地場スーパーマーケットに提供中



山梨ファーム

対露地栽培の10倍以上	収量	対露地栽培の4倍
従来の1/2	人手	従来の1/2
全自動栽培・環境制御	技術	ガラス温室・環境制御
水の完全循環利用	環境	ヒートストレージタンク

国内最大級パプリカ温室

面積 サッカー場の3倍

自社ファームで培ったノウハウとICTスキルにより
顧客のファームの設計・建設の請負



NTTアグリテクノロジー社が設計施工したファーム

※病害虫予防のため、
視察の受け入れは現在行っていません。

図2 施設園芸による「大規模農業」と「省力化」、「収穫量拡大」と「環境負荷軽減」の両立

人工光ではなく、自然光を使い、水分や養分も全部自動散布します。それにより、従来の2分の1の人手で収量10倍以上が実現できています。農業人口が減って高齢化が進む中、人手で行うところと、テクノロジーで行うところとをうまく組み合わせています。こうした技術を使い、設計依頼を受けてパプリカ温室をつくりました（図2右）。こちらでも非常に成果が上がっています。

もう一方は、水産です。今までのように魚が取れない状況にあります。CO₂の増加によって海洋が温暖化し生息可能な海域が減っています。また海洋酸性化の影響で魚の餌となる植物、動物プランクトンが減少していますが、世界的には養殖も含めて、実は水産物生産量は増えています。日本だけが唯一水産物生産量が減少している状況です。世界の水産業ランキングで1980年に

は1位だったものが現在は7位に落ちていきます。こうした中、私たちが陸上養殖を始めようと、NTTと京都大学発スタートアップのリージョナルフィッシュ様と連携し、陸上養殖を推進するNTTグリーン&フードを設立しました。魚も自然界でも徐々に変化していきますが、それを早めに科学的に変化させ、少ない餌で肉付きをよくすることで、可食部1.6倍アップの品種改良に成功しています。またその餌となる藻は、できるだけたくさんのCO₂を吸収するように改良しています。海洋からのCO₂を藻類がより多く吸収し、それを食べた魚の骨に吸着するサステナブルな仕組みです。NTTグループでは、ヒラメやシロアシエビ、サケマスの陸上養殖プラントをつくっています。このたび、九州で初めて養殖できたヒラメが「ひらめき光」という名称で出荷で

き、手土産としても利用いただけるようになりました。

次に健康・ヘルスケア、メディカルの分野においてもさまざまな取り組みを行っています。バナナとクッキーを食べた後に血糖値が上がるのはどちらでしょうか。食べた後にどれくらい血糖値が上がるかはGI値により数値化されています。GI値を見ると血糖値が上がるのはクッキーです。血糖値を気にされる方がいらっしゃると思いますが、実は同じものを食べても、血糖値の変化は個人によって異なるということが分かっています。糖尿病予備軍になっている方にバナナとクッキーを食べていただいて、食後の血糖値を測定したところ、445人がバナナでは血糖値が上昇したのですが、クッキーを食べても全く変わりません。逆に残りの644人は、クッキーを食べ

ると上昇しますが、バナナを食べても変わっていません(図3)。NTTの腕時計型デバイスは接触型で皮膚に電波を照射し、反射してくる信号を分析してグルコース濃度を測定します(図4)。腕時計型や万歩計などの生体測定デバイスで血糖値も測定できるようになってくると、自分にとって血糖値が上昇するもの、しないものを確認しながら好きなように食べることができます。こういったパーソナライズ化された健康増進支援に取り組んでいきたいと考えています。

生成AIの登場

次に生成AIの登場です。毎日生成AIの話題がない日はないくらいですが、この生成AIの“サイズ”について考えたいと思います。サイズを何で表すかという、いわゆる学習させるためのテキストデータ量とそれをつなぎ合わせるニューラルネットワークの大きさの掛け算で決まってきます。このサイズが大きければ大きいほど、学習に使うGPU(Graphics Processing Unit)の数も多くなり必要な電力量も多く時間も稼動も、コストもかかるということになります。いかに上手にニューラルネットワークとデータを選ぶかということが勝負になっています。OpenAIのChatGPT-3.5は公表されている範囲で学習データ量が570 Gバイト、そしてこれをつなぎ合わせるネットワークの大きさパラメータ数が1750億といわれています。成人男性が1日に発する言葉が7000単語らしいのですが(女性は2万

単語)、これを年間・文字数に直してバイト数に換算すると511万バイトになります。つまり成人男性が1年間に発する言葉の数を11万人分集めたものがChatGPT-3.5の学習データ量になります。多いと感じられるか少ないと感じられるかは人それぞれかと思いますが、これだけを学ばせています。そしてもう一つはそれをつなぎ合わせるニューラルネットワークになります。こちらは人の脳のつくりと同じで、人間も神経細胞1000億シナプス100兆以上を入力から出力までの間でそれをつなぎ合わせて認識しています。ChatGPT-3.5のネットワークの大きさ1750億=175 B(ピリオン)といわれているのは、人間の脳の600分の1の機能までつなぎ合わせたものです。それだけたくさんデータを学習させて、それだけコストもかかっているということになります。その中で、NTT版LLM(Large Language Models)「tsuzumi」をリリースさせていただきました。tsuzumiの特長

は4つあります(図5)。特長1は軽量です。学習データ量とそれをつなぎ合わせるパラメータ数、両方とも少ないかたちになります。ChatGPT-3.5は175 Bでしたが、tsuzumiの場合は7 Bで25分の1になります。企業のクラウドデータを学習させる際には、少ないパラメータなので簡単にできるようになります。そして特長2として、高い言語性能があります。NTTでは、40年以上にわたり自然言語処理研究をしていたことから、LLMの学習において自然言語処理のいろいろな教え方やパラメータ設定、ニューロンのつなぎ合わせを効果的に行うことができます。このため、軽量であっても高い言語性能を引き出すことが可能となり、ChatGPT-3.5を上回る性能があると評価されています。特長3は高カスタマイズ性です。ChatGPT-3.5の場合は、企業等のクラウドデータを学習させようとする、莫大な数のパラメータとGPUが必要となるため電力消費も多くなりますが、tsuzumi

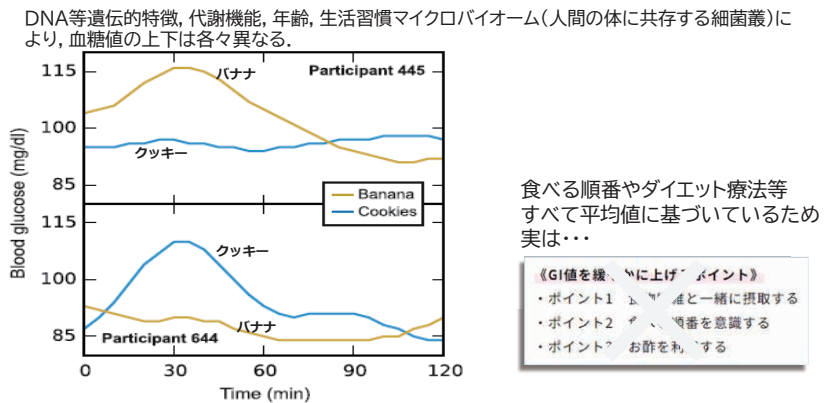


図3 同じものを食べても血糖値の変化は個人によって異なる

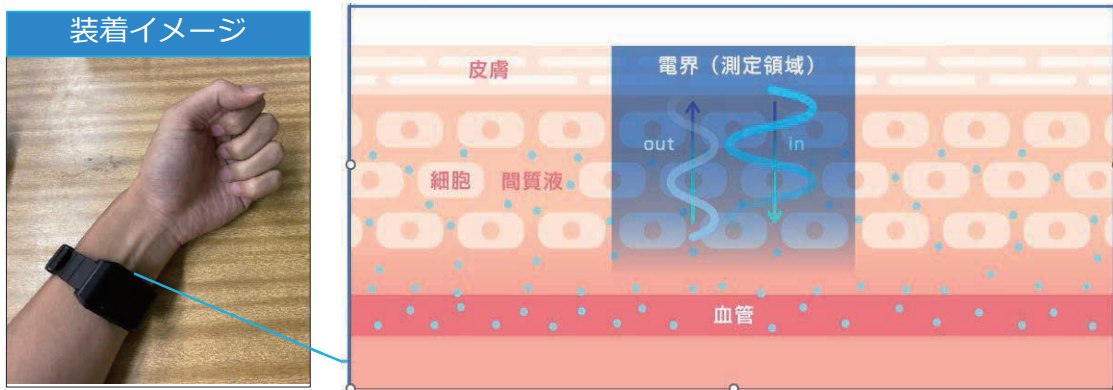


図4 皮膚に電波を照射し、反射してくる信号を分析。皮膚中のグルコース濃度の変化を測定

の場合は少ないGPUで簡単にカスタマイズができ、省電力・低コストでチューニングができます。そして特長4はマルチモーダル性です。テキストデータだけではなく、いろいろな図表も含めて学べる点が特長になっています。「軽量=高いコストパフォーマンス」は、ChatGPT-3.5の25分の1で学習できて、結果的にハードウェア・電力・運用コストも全部少なくなることが特長です。それでも国内トップクラスのAIや、ChatGPT-3.5と比較しても tsuzumi のほうが良い答えを出しますので、現状では勝っている状態になります。

tsuzumiへの反響

tsuzumi を2023年11月に発表して以来、企業のお客さまを中心に500件以上のご相談をいただいています。tsuzumi の特長を活かし、個人情報や機密性が高い情報を自社環境でクローズにセキュアに学習させたいというお客さまが6割、また、業界については、製造、自治体、金融、IT で半分ぐらいを占めています。利用用途としては、CX・顧客対応改善、EX (Employee Experience)、IT・運用自動化で使いたいという要望が多い状況です。こうした状況を踏まえ2024年3月より、3つのソリューションメニューを商用開始しました(図6)。

例えば、ヘルスケア領域での活用例を紹介したいと思います。コーヒーを飲むと血管を若返らせるのか、血管を収縮させるのか、どちらでしょうか。実は皆様が持つ遺伝子によってプラスに効く方とマイナスに効く方がいらっしゃいます。また、ワーファリンという血栓を溶かす薬がありますが、こちらも個人の体質やこれまでの病歴等により、その効果は20倍違うそうです。つまり、1錠で効く方と20錠飲まなければいけない方がいらっしゃるということですが、現時点では、平均値の10錠を服用していただいているということだと思います。結果的に、人によっては飲み過ぎ、または服用しても全く効いていないということが起きている可能性があります。そこで tsuzumi を活用して、電子カルテ情報を構造化して分析し、こうした薬のパーソナラ



図5 tsuzumiの特長

3つのご利用環境、3つのソリューションメニューを 組み合わせてご利用いただけます。

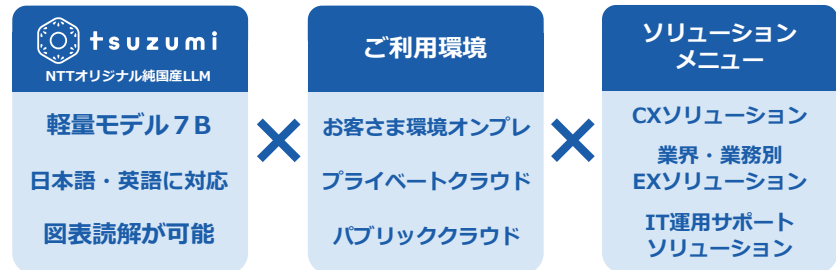


図6 tsuzumiの商用メニュー

イズができないかということに取り組んでいます。日本の大規模な病院では90%以上電子カルテが導入されていますが、カルテが定期的に記載されるため、集積して分析することができていません。構造化する仕組み、フォーマットはできており自動的にデータが転記できるようにしたいのですが、現状では人手で行っています。例えば1件の電子カルテを読み込みさまざまな検査データを組み込んでフォーマットに入力する場合、1人が1日要している状態ですが、tsuzumiを使うことによって電子カルテデータをフォーマットへ自動転記できるようになります。電子カルテ×tsuzumiで医療データの分析を進め、ヘルスケアのパーソナライズ化をめざしています。

AIの効用を支える省エネテクノロジー

AIの活用によりいろいろ便利になっていくのですが、ご想像のとおり、世界で生まれる、利用されるデータの総量は増加して

いる状況です。先ほどのChatGPTが1回の学習に必要な電力は原子力発電機1基を1時間稼働した発電量よりも多いので、学習させて便利になればなるほど、地球の限界を近づけている状況になっています。当然、データセンタの消費電力もどんどん増えており、データセンタを建設すると、一般の生活電力が不足するリスクがあり、例えばオランダ、シンガポール等では一時的にデータセンタ建設を止めているところもある状況です。そういった中、光の力を使い、電力消費そのものを減らす技術がIOWNです。伝送からデータ処理まで光技術を活用し、低消費電力大容量低遅延といったIOWNの特長を組み込むことで、データセンタの供給不足を補えないかと思っています。2023年3月にAPN (All-Photonics Network) IOWN1.0をサービス開始、2024年3月にはAPN専用線プランpowered by IOWNをサービス開始しました。多数の大規模データセンタをつくることで、一般の生活の電力に影響を与え

るのであれば小規模データセンタ、もしくは自然の再生エネルギーが使えるような場所にデータセンタを設置して、それをAPNでつなぎあつかも1つのデータセンタとして遅延なく使えるようにする、分散型データセンタで電力消費の課題を解決できると考えています。実際に、先ほどのtsuzumiの学習も横須賀で研究をしていますが、横須賀にGPUの設置場所がなかったため100キロ離れた武蔵野市にある武蔵野研究開発センタのGPUにAPNでつないで学習させました。横須賀に学習データがあるかのように使えています。海外のデータセンタでもすでに100キロ離れたデータセンタ間をAPNで結ぶ実験も実証しています。現在NTTには、グローバルのデータセンタ拠点が98拠点148棟あります。NTTのデータセンタのポジショニングは世界第3位です。IDCのマーケット評価においてもリーダーポジションを獲得しています。データセンタの市場の需要予測は、年平均成長率13.5%伸びています。ハイパースケール向けも、エンタープライズ向けもともに同様に伸びている状況で、さらに生成AIの需要がプラスされ、この伸びに対してさらに20%増える見込みになっています。先ほどの電力消費の問題で、これだけ需要があっても供給が間に合わないということがありますので、グローバルにおいてもAPNを使って、供給不足を解消できればと思っています。グローバルデータセンタとして、FY2026までにそれぞれのエリアの現状の合計1100 MWを倍増する計画です。こうしたところにも皆様の力をお借りできればと思っています。またAPNは、モバイル基地局のダイナミック制御に使っていくことも考えており、アンテナの配下にいる人の増減によって、アンテナ起動をオンオフして電力消費を低減していくことも検討しています。また、ソニー様と一緒にリモートプロダクションも推進しています。スタジアムに試合開催の都度、臨時回線を引いて、人も現地に行って試合映像をその場で編集していたのですが、スタジアム全部に最初からAPN回線を引いておいて使うときだけリモートで編集ができるような仕組みも考えています。また、

建設業界も今、本当に人手不足で、これに対応するために建設機器を遠隔でコントロールができる仕掛けも行っています。そして大阪・関西万博でもNTTのパビリオンとNTTのデータセンタをAPNでつなぎ、空間そのものをデータセンタに伝送し、リアルタイムでNTTのパビリオンにどのような人がいらして、笑顔がどれくらい多いかを分析、リアルタイムでお客さまの反応によって動く、生きているパビリオンを進展します。

めざすはSocial Well-beingな社会

いずれはチップ内まで光にしていき伝送から処理まで低消費にしていきたいと考えています。これは部分的に変えても意味がなく面的に社会全体が変わっていかないと低消費なインフラになっていかないと考えます。ぜひ皆様と一緒に進められればと思っています。また、AIに関しても、Open AIは非常に大きなLLMをつくっていますが、tsuzumiは軽量で小さな専門家のLLMをIOWNでつないで多数組み合わせる、AIコンステレーションを考えています。コンステレーションとは星座という意味ですが、さまざまな専門性を持つAIが星座のようにつながって、それぞれのLLMどうしが話し合って回答を出し、それをまとめることで大きなLLMよりもより深く多様性に富んだ良い答えが出てくる世界をつくればと考えています。伝送を光にし、伝送処理も光にし、そしてAIモデルの電力効率、処理効率、学習効率を向上させてテクノロジーで消費電力を圧倒的に低減させたサステナブルトランスフォーメーション(SX)を行えば、ゆくゆくは食やヘルスケアに加えて、エンタテインメント、楽しみたい、わくわくしたいという思いも含めてパーソナライズが実現していけるような、そんな社会インフラを皆様と一緒に実現することができればと考えています。AI×IOWNでSXしながら、地球にも人にも優しいさまざまな人が健やかに笑顔で暮らせるSocial Well-beingをめざします。

参考文献

- (1) https://www.maff.go.jp/j/pr/aff/2302/spe1_02.html
- (2) 農林水産省：“農業労働力に関する統計(2022年),” 2022.
- (3) 農林水産省：“2020年農林業センサス,” 2020.
- (4) 農林水産省：“水産白書,” 2022.
- (5) 国連食糧農業機関 (FAO)：“世界の漁業・養殖生産量,” 2021.
- (6) <https://www.gi-gl.com/kudamono-50/>
- (7) <https://www.gi-gl.com/keisyoku-118/>
- (8) D. Zeevi et al.：“Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Responses,” Cell, Vol.163, No.5, pp.1079-1094, 2015.
- (9) 世界糖尿病連合：“IDF糖尿病アトラス,” 第10版, 2021.
- (10) <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/02683/011000015/>
- (11) <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/24/00170/>
- (12) <https://www.rabbit.tech/research>
- (13) NHKスペシャル：“人体,” 2021. 5.
- (14) https://www.nhk.or.jp/kenko/atc_969.html
- (15) 厚生労働省：“電子カルテシステム等の普及状況の推移,” 2020.
- (16) 総務省：“平成29年度版情報通信白書 特集 データ主導経済と社会変革,” 2017.
- (17) <https://arxiv.org/pdf/2104.10350.pdf>
- (18) 国立研究開発法人科学技術振興機構低炭素社会戦略センター：“情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響,” Vol.2, Vol.4, 2022.2.
- (19) NEDO：“光エレクトロニクスシンポジウム資料,” 2015. 6.
- (20) https://info.equinix.com/rs/180-SLL-021/images/ar_idc_datacenter_and_colocation_vendor_assessment.pdf
- (21) https://group.ntt/en/ir/library/presentation/2023/pdf/231003_1.pdf



大西 佐知子

マーケットインでお客さまが求めているインサイトニーズを実現するには？ それは生成AI等によって実現できるのか？ さらに、AI等の効用と比例して増大する電力消費は低減できるのか、NTTの生成AIとIOWNで多様な価値の実現と低消費の両立に挑戦します。そしてその先にSociel Well-beingな社会を皆さんと一緒に感じられたら嬉しいです。

◆問い合わせ先

NTT 研究開発マーケティング本部
E-mail rdmk_direct@ntt.com

「これからのつなぐ」を創る

本稿では、最新技術の社会実装による豊かな社会の実現に向けた、NTT東日本グループがめざす SOCIAL INNOVATION パートナーとしての世界観（これからのつなぐを創る）と、実現に向けた「自らの変革」の取り組みや「他の企業様」や「社会」とともに地域の新たな価値創出に取り組んでいる事例を紹介します。
キーワード：#SOCIAL INNOVATIONパートナー、#見えない壁と赤い線、#これからのつなぐを創る

ほしの りあき
星野 理彰

NTT東日本 代表取締役副社長

特集

次の時代のNTT東日本グループへ

私たちNTT東日本は「SOCIAL INNOVATIONパートナー」をめざし、新たな技術を、世の中のお客さまに役立つよう社会実装すべく、取り組みを進めています。私たちは、これまでネットワークを中心にさまざまなサービスを提供してきましたが、こういったサービスを次世代のデジタル基盤へ変えていくことが求められている一方で、これまでネットワークだけを提供していた時代から、より多くのお客さまの生活を変えていくことができる時代になりました。NTT東日本も、クラウドやデバイスなどの通信の周辺領域まで貢献できるようになってきており、またその先のエネルギーや農業、まちづくりなどの新しい領域まで貢献できるのではないかと考えて

います（図1）。私たちNTT東日本の強みは何か。それは、これまで多くの設備を維持し、提供してきたエンジニアリング力です。メタル回線は数100万回線あり、光回線は1000万回線を超えています。私たちは、毎年100万以上の回線を開通・廃止し、そして4000人以上がオンサイト保守に携わっています。このエンジニアリング力を、これまでオフィスだけであったものを、工場や、農場などの有線では提供困難なところも含めて無線や衛星を用いて、周辺領域や新しい領域へ提供していきたいと考えています。

そのために、私たちは既存領域で効率化を進め、周辺や新しい領域へ1000人以上のメンバーを動かし、2023年10月に新たな体制を整えました。また、先端テクノロジー部およびオープンイノベーションセンタも

新たに創設しました。私たちは、NTT研究所が開発した技術を、自分たちが使うだけでなく、より今の時代に合った役に立つ技術としてお客さまへ提供していきます。私たちは、社会貢献可能な会社になるために、「自らを磨く」「他の企業様と取り組む」「社会とともに取り組む」の3つの軸で取り組みを行っていきたくと思っています。

「自らを磨く」

私たちはこれまでの歴史の中で、「自らを磨く」、このことを絶え間なく続けてきました。スマートメンテナンスカー（MMS：Mobile Mapping System）や、光ファイバを用いたセンシング技術などの先端技術を取り入れることで、改善を行ってきました。しかし、新たな技術の導入には、見え



図1 SOCIAL INNOVATION パートナーをめざして

ない壁が存在しています。見えない壁は、私たちだけでなく、すべての企業で同じことがいえると思います。私たちは業務改善により一定のレベルに達しているといえますが、新しい技術を導入するには、仕事のやり方を変えないといけません。仕事を変えようとする、身の回りに発生するリスクが不安になります。この見えない壁の壊し方の1つは、新しい分野に取り組む、または組織を変えることです。これにより一時的に非効率になりますが、不安が取り除かれ、壁を壊すことができます。しかし、すべてが同じように上手くいかないことがあります。それは既存の目標が定まったままだから動かない、あるいはその目標が曖昧であるからです。もう1つの壁の壊し方は、この問題を解くために新たな目標をセットすることで、目標に向けた新たな導線「赤い線」(図2)の上を歩くことです。これにより知らない間に壁を壊すことができると考えています。

故障の早期影響把握・処理効率化 (デジタル技術の活用)

私たちは特別な会社でなく、普通の会社や自治体と同じように悩みを抱えています。その悩みを、私たちの会社の中で解決することが重要です。自ら課題解決した実績があるからこそ、皆様からSOCIAL INNOVATIONパートナーとして選んでいただけると考えています。

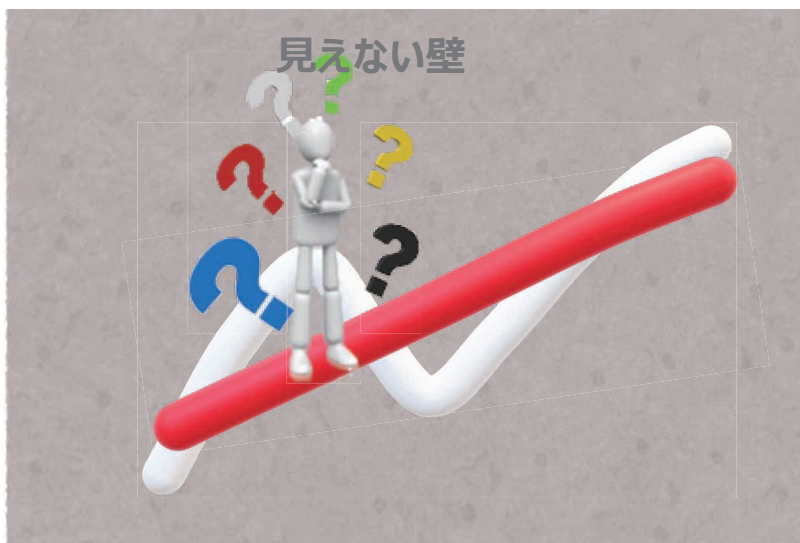


図2 新たな導線「赤い線」

私たちが進めている改革は、通信を守るための基本的な業務です。これまでアラームを分析し、自動復旧する仕組みを進めてきました。また、サービスが継続するように設備を構築しているので、装置アラームが出て、お客さまに影響が出ないと考え運用しており、お客さまに影響を出さないようにしてきました。このため、ネットワークの運用目標に曖昧さがありました。

私たちは何をしたか、それは速やかな情報発信と故障対応の自動化です。2023年4月3日の大規模故障を契機に、大規模故障を30分以内に広報しようと取り組みを始めました。取り組みの中で分かったことがあります。広報するためには、大量のアラームを収集・分析する仕組みや、トラフィックやSNS情報の収集・分析が必要です。幸いなことに、データを収集・分析する手法は、世の中にたくさんあります。当たり前のことではありますが、これまで収集・分析の観点が違っていたため、取り組んでいなかっただけなのです。

同様に故障対応の自動化率を上げることが品質を上げることだと導線を定義しました。複雑系故障や未経験の故障など、対応の自動化困難なことは数多くあります。しかし、一度経験した故障は対応自動化することができます。また故障対応自動化率を上げるためには、大量データを分析するAI(人工知能)が必要であることにも気が付きました(図3)。

データ活用基盤(OASIS)の構築

データ基盤も新たな取り組みが必要です。顧客系データはすべて1つのデータとして蓄積されている一方で、設備系のデータは、オペレーションのために個別最適化され、データが分割されていました。そのため、設備データの分析には、一斉に多くのシステムに新たなAPI(Application Programming Interface)の開発を入れ、サーバを増強しなければならず、開発には莫大な費用が必要です。私たちは、データの2次利用を前提に、費用をかけることなく個々のシステム開発に合わせ改善を入れる周回な段取りを経てデータを集めることを実現しました。これによって、例えば、行動履歴と作業工程のデータを組み合わせることで、あるNTTビル内装置の故障が発生した場合に、誰がもっとも近くで作業しているかが分かったり、システム間のデータ連携で、より詳細な分析が可能となりました。

業務内容の再定義(オンサイト融合)の取り組み

2023年10月に、所内と所外のオンサイト業務の一体運営化に向けて、組織改編を実施しました。これまでのノウハウを失わずどのように複合化の範囲を広げていくか、まさにNTT東日本としての最大のチャレンジです。専担技術と複合対象の技術で分けながら周辺や新しい領域に向けてチャレンジを行っています。このチャレンジは、当然ながら一時的に非効率性を生みます。しかし、これが非効率を回避するためにリモートで支援サポートする新たな技術を受け入れる土壌をつくります。また、熟練者のスキル継承は、人から人への継承では限界がきています。そのため、AIの活用が有効ですが、AIの学習のためにはデータ蓄積が必要です。これまでの電話による遠隔支援作業を、ツールにより文字データ化したり、また現場作業を映像データ化することにより、データが蓄積され、AIの学習に活用できると考えます。既存の業務効率化を進めるときの重要なポイントは、効率化によって人員が減少する中で、災害時にどう対処するかということです。過去の台風災害では、通常時の50倍の故障

が発生し、約600名の支援体制が必要になりました。

これに対する1つの対策は技術を突き詰めることです。例えば、災害が発生した際に必要となる電柱点検業務を、MMS等により効率化が可能です。しかし、災害時には機械が動かなくなる可能性があるため、作業員の確保も必要になります。

NTT東日本で実施する現場力向上フォーラムでは、現場から遠ざかっている人を対象に、災害を想定した昇柱作業を競技に加えました。競技を実施して安全に昇柱作業ができなくなっている人が想定以上に増えていることが分かりました。私たちは故障受付窓口の「113」を含め、さまざまな機会を使って非常時に対応可能な人員の確保・育成にこれからも取り組んでいきます。

CXの取り組み

現在、NTTグループ全体でCX（Customer Experience）を上げる活動を推進しています。取り組みをして分かったことがあります。それは、CXの向上はお客さまのためであると同時に、働く社員のためでもあるということです。CXをきっかけに、DX（デジタルトランスフォーメー

ション）を実施しEX（Employee Experience）を上げていきます。ビジネス（B）を通して、お客さまを私たちのファン（F）にします。B、C、D、E、Fと流れが続いていきます。コールセンタの事例では、CX向上に向けて月10万件を超えるお客さまの声をデータ化し、生成AIによる文章の要約と、ネガティブ・ポジティブの分類をしています。最後は人の手により分析を行っていますが、これまでできなかった分析ができるようになりました。

この取り組みで重要なのは、経営企画部のメンバーがこの取り組みをしているということです。経営企画部のメンバー自らがAIを勉強し、技術者に助けを借りながら、取り組んでいます。まさに導線「赤い線」の上を歩くために努力をしているのです。設備のメンバーも同様に取り組んでいます。これまで曖昧さがあったネットワークの体感品質を数値化しました。数値化された品質を分析すると、公平制御機能などによりWebサービスの利用レベルでは体感品質は守られていることが分かったのですが、体感品質を数値化する過程で変化したことがあります。それは、メンバーが、自ら評価技術を探求し始め、NTT研究所の技術を活用し始めたことです。また、これまで

分からないと言っていたメンバーさえも、導線を引いた瞬間に自ら行動し始めました。これこそが、見えない壁を壊すために必要なことだと考えています。

「企業とともに事業領域の拡大に 取り組む」

企業単体でできることには限界があります。私たちは「他の企業様と取り組む」ことを始めています。具体例を挙げると、ネットワークの取り組みです。私たちのREIWAプロジェクトでは、モバイルネットワークやクラウドなどを結びつけ、効率的なネットワークと地域エッジを提供し、その上にさまざまなアプリケーションをのせようとしています。これらの実現には、他の企業様の協力が必要です（図4）。

また、私たちは全国に効率かつ低遅延のネットワークをAPNベースでつくりたいと考えています。しかし、私たち単独でつくれたネットワークでは使われないものになってしまいます。データセンタ事業者様は最短経路のネットワークを求めており、私たちはデータセンタを含めたコネクティビティデータセンタ網をつくりたいと考えています。

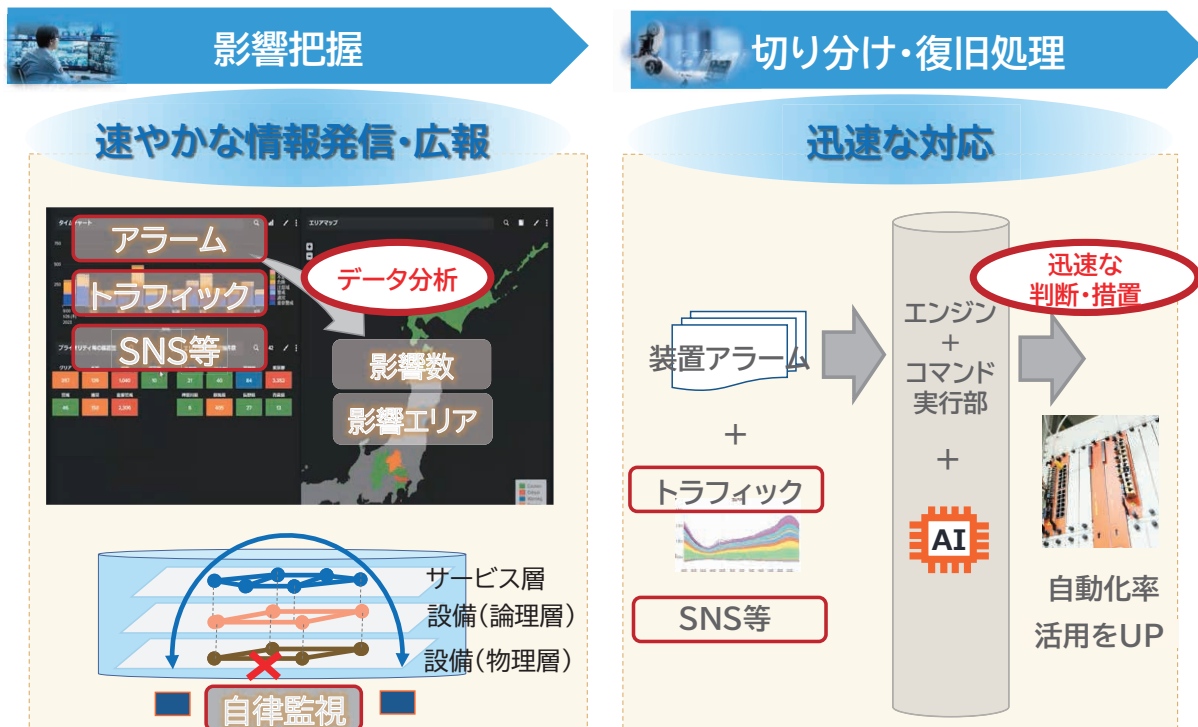


図3 故障の早期影響把握・処理効率化（デジタル技術の活用）

私たちの目標は、ネットワークを任せてもらうことよりも、次世代のネットワークを皆様とともにつくっていくことです。なぜなら、アジアのデータセンタ需要の高まりにおいて、私たちNTTではなく、日本が選ばれることが重要だからです。そのために、多くの企業と協力してデータセンタ構築に向けた、最適なネットワーク構築をめざしています(図5)。線路敷設基盤の利用を希望される他事業者様には、コンサルすることも始めております。

私たちは、先駆的にローカル5G(第5

世代移動通信システム)を始めたこともあり、No.1シェアでスタートさせていただきました。しかし、無線分野においても当然ながら私たちだけではできません。

現在、共創プロジェクトという取り組みを始めています。これは、基地局、デバイス、ソフトウェアなどの企業と業界全体で連携を強化する取り組みです。特に海外では使用する電波の周波数が異なるため、この連携が重要だと考えています。

私たちにできることは、インフラ投資とともに、技術者の育成を先行して行うこと

です。グループ会社の助けを借りながら、多くの企業と連携していただける技術者を育成し、さまざまな取り組みを進めています。

社会とともに社会インフラ課題へ取り組む

私たちはNTTアノードエナジー、NTTインフラネット、NTTファシリティーズなどのグループ会社と新しい領域の取り組みを進めています。取り組みの中で分かったことは、「社会とともに取り組む」ということです。

NTTアグリテクノロジーの事例は、まさにその典型です。これまで私たちは農業ハウスの施工を担当しましたが、メンバーの中には回線のメンテナンスマスターとして10年間表彰を受け続けたメンバーがいました。彼は周囲を牽引し、あっという間にリーダーになりました。業務は異なりますが、本質的なノウハウや素養は活かされるのだと感じました。また、私たちが業務に入り込み、内製でつくり上げたデジタルファーマーシステムをNTTアグリテクノロジーへ提供しています。このシステムは期待されるソフトウェアのトップ10に選ばれました。遠隔栽培の支援や生産指導、農業用ロボティクスの実現も同様です。私たちが農家の皆様の中に入り、AIでいうファ

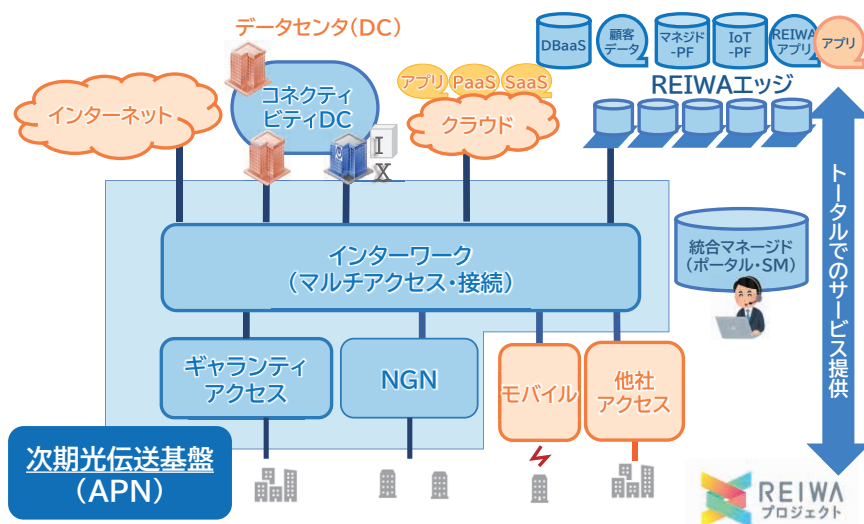


図4 REIWAプロジェクトナーをめざして

さまざまな事業者様と協業し 新たな価値を創造

海底ファイバ陸揚げ局との接続点を 設け世界との接続性を向上

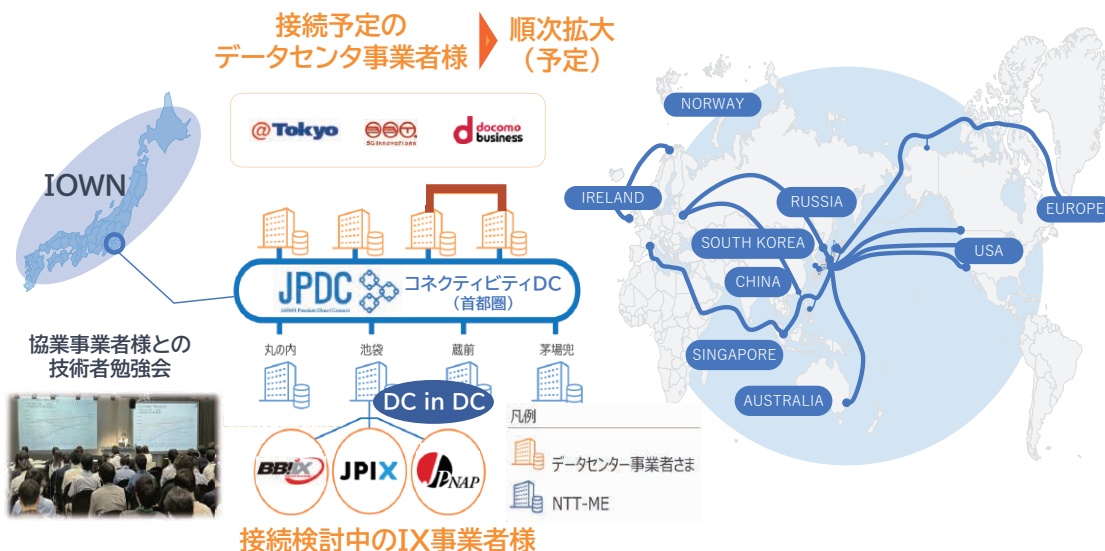


図5 データセンタ構築に向けたネットワーク

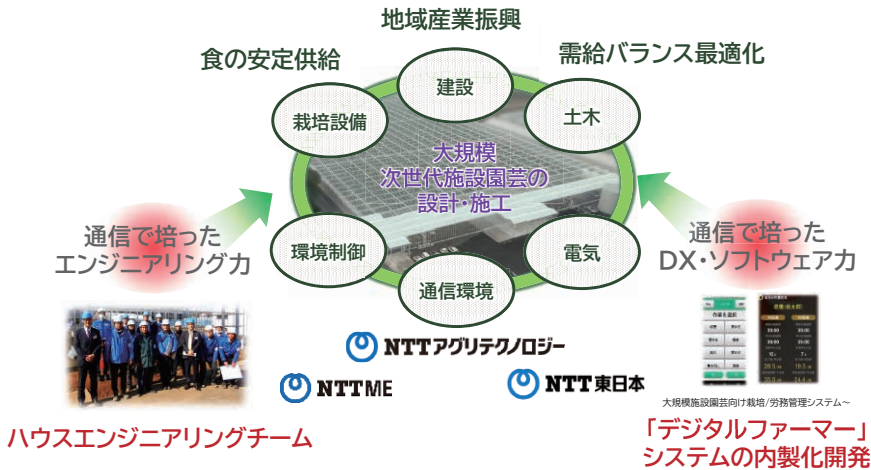


図6 農産業における課題解決に貢献

インチューニングを行うからこそ、農家の皆様から注目されるNo.1企業に選んでいただけたと考えています(図6)。

防災分野の取り組みは、非常に力を入れています。能登地震のような経験から、社会貢献を目標に取り組みを行っています。現在、東京大学の先生方のご協力を得ながら、各自治体の災害対策のアセスメントを行っており、このアセスメントにより、避難所の運営や備蓄管理などに課題があることが分かりました。特に、避難所開設の判断は難しい課題です。2022年に発生した山形県の置賜地域の豪雨の事例では、避難所が開設されたのは大雨が降り始めてから5時間後であり、開設が遅いのではないかと指摘されました。

私たちはウェザーニュース様と連携し、地域のオペレーションセンタを組織して情報提供する取り組みを始めました。また、避難所の電子錠や河川監視でもソフトウェア会社様と協力して取り組みを進めています。私たちはさまざまな仲間をつくり、共に成長してきた企業です。この取り組みを他の地域へも展開し、さらなる貢献をめざしていきたいと考えています。

再生エネルギー分野の取り組みについては、難しい取り組みではありますが、多くの要望をいただいています。現在、東京電力様との提携したTNクロスとPPA (Power Purchase Agreement) モデル*の導入を行っていますが、これだけでは本当の貢献

* PPAモデル：公共施設などに太陽光発電設備を導入し、売電側と買電側が売電契約を直接締結するモデル。

にはなりません。そのため、風力を含むさまざまな発電方法の相談や、米沢エリアで地域電力会社様と小売り事業のコンサルティングについても取り組みを開始しています。

こうした取り組みを積み重ねることで、初めてお客さまに信頼していただける存在となり、私たちがめざすことを共に広げることができると考えています。

新たな価値創造に向けて

映像の分野では、最初は2人で社内の安全教育や技術ノウハウを映像にすることから始めました。その後、数100人規模のチームとなり、文化財の保護やe-Sportsの映像配信など、社会課題に取り組むようになりました。最近は太陽光の電源ケーブルが盗まれるという社会課題に対し、映像を分析するAIの開発にも取り組んでいます。ドローンやソフトウェアの分野も同様です。社内でドローンパイロットを募ったところ、約500人が農業散布やドローンスクールの講師などにチャレンジしています。ソフトウェアの分野においては、ベトナムにNTTe-MOIという会社を立ち上げました。ゼロからのスタートですが、社会実装に向けて、約150人の全員が覚悟を持ってスタートしてくれています。

「これからのつなぐ」を創る

このように、私たちは自ら変革を遂げ、世の中とともに育て、社会に実装していく

ことをめざしています。こういった取り組みこそが、NTT東日本が「SOCIAL INNOVATIONパートナー」として選んでいただくうえで、必要なことだと考えます。

私たちが創り出す「これからのつなぐ」は、新しいものだけではありません。私たちが提供するメタルの回線は、年々減少しており、メーカーや工事会社様をはじめとしたさまざまなステークホルダーの皆様のご協力がなければ維持することができません。「これからのつなぐ」は、新しいものにつなげるための変化を、そういったステークホルダーの皆様とともに、違和感なく行っていく方法や、皆様と新しい関係を築いていくことも含まれています(図7)。今後もNTT東日本をよろしく願います。

「これからのつなぐ」を創る

図7 「これからのつなぐ」を創る



星野 理彰

私たちの会社は、多くの皆様によって支えられています。共に成長し、共に次の時代に活躍する会社へとつなげていきたいと考えており、新たな絆を築いていけるよう、私たちは挑戦を続けていきます。

◆問い合わせ先

NTT東日本
ネットワーク事業推進本部
設備企画部 設備計画部門
TEL 03-5359-7484
E-mail setsuki-bp-cm-gm@east.ntt.co.jp



新たな価値創造へ 持続可能な社会を支えるアクセスネットワーク技術

NTT アクセスサービスシステム研究所は、お客さまとNTT ビルを結ぶアクセスネットワークに関する研究開発を行っています。その中で、新たな価値創造と地球のサステナビリティに向けた IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想の具現化を加速する、サービスの多様化、運用のスマート化、新ビジネス領域を開拓する最新のアクセスネットワーク技術の研究開発成果を推進しています。本稿ではこれらの最新技術を紹介します。

キーワード：#アクセスネットワーク、#IOWN、#R&D

えびね たかし
海老根 崇

NTT アクセスサービスシステム研究所
所長

はじめに

NTT アクセスサービスシステム研究所 (AS 研) は、前身である建設技術開発室が1972年7月に発足して以来、50年以上 NTT グループのアクセス技術の研究開発を担ってきました⁽¹⁾。現在の情報通信市場ではクラウドサービスや5G (第5世代移動通信システム) サービスが拡大され、AI (人工知能)、デジタルツインなどの技術が急速に進展しています。これらを根幹から支える高速大容量、低遅延のネットワーク基盤が求められており、5Gの次の世代の

6G (第6世代移動通信システム) への期待もより高まっています。また、昨今多発している自然災害、およびネットワーク故障に対する取り組みの強化や環境負荷低減への貢献も同時に求められています。

そのような状況の中で、NTTは2019年に構想を立ち上げた IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) の研究開発を着実に進め、2023年3月に IOWN APN (All-Photonics Network) 1.0 商用サービスを開始しました。NTTは新たな価値の創造とグローバルサステナブル社会を支える企業をめざしており⁽²⁾、AS

研も一丸となって IOWN の構想から実現へ向けた研究開発を全力で推進しています。

図1はAS研の研究開発の方向性を示しています。AS研は「最先端のアクセスネットワーク技術の研究と実用化により新たな価値創造に挑戦し 持続可能な社会に貢献すること」をミッションに掲げ、ロバストネットワーク、環境負荷低減、安全に関する取り組みを強化しながら、グローバルな視点と EX (Employee Experience) の向上を意識し、アクセスネットワークの5分野 (線路、土木、伝送、オペレーション、無線) の最先端の要素技術の研究開発に取

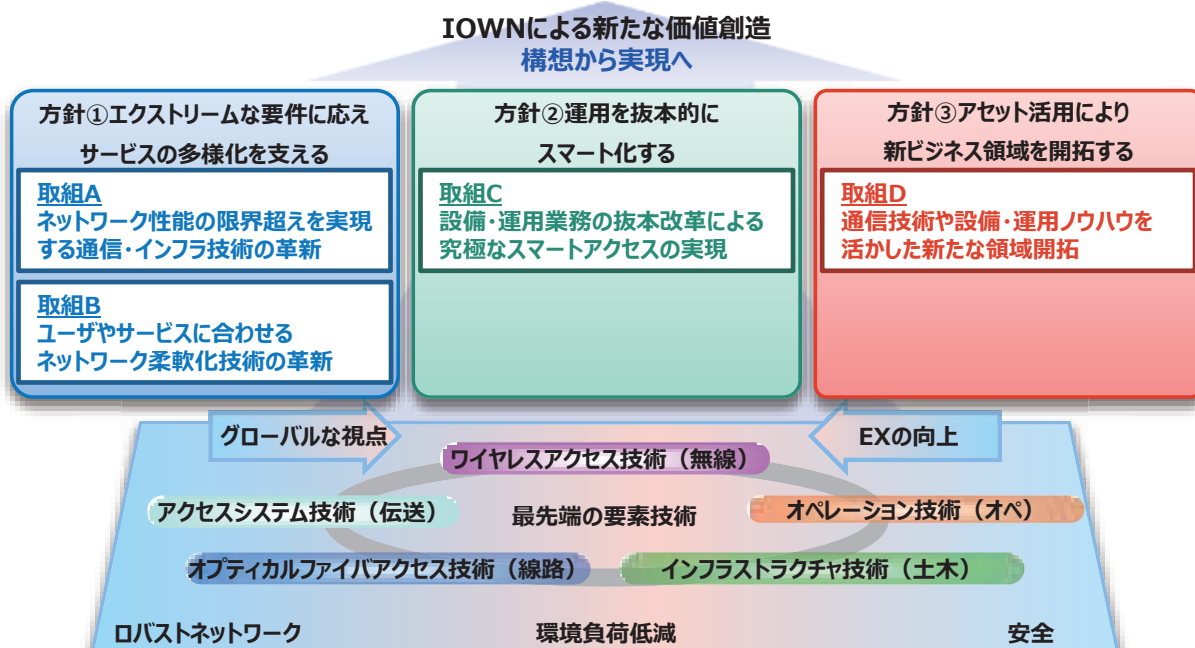


図1 研究開発の方向性

り組んでいます。これらをコアコンピタンスとし、方針①エクストリームな要件に応えサービスの多様化を支える、方針②運用を抜本的にスマート化する、方針③アセット活用により新ビジネス領域を開拓する、という3つの研究開発の方針を推進しています。この3つの方針にのっとり4つの具体的な取り組み、取組A「ネットワーク性能の限界超えを実現する通信・インフラ技術の革新」、取組B「ユーザやサービスに合わせるネットワーク柔軟化技術の革新」、取組C「設備・運用業務の抜本改革による究極なスマートアクセスの実現」、取組D「通信技術や設備・運用ノウハウを活かした新たな領域開拓」を行っています。

次に、3つの方針および4つの取り組みの中で推進している主な技術を紹介します。

方針① エクストリームな要件に応えサービスの多様化を支える技術

方針①は、取組Aと取組Bの2つに対応します。

■取組A: ネットワーク性能の限界超えを実現する通信・インフラ技術の革新

図2に示す取組Aは光および無線の高速大容量化・低遅延化、またはカバレッジの拡大に向けたものです。

図2(a)の海も陸も多くの光をエコにお届けするマルチコア光ファイバケーブル技術は超大容量伝送のペタビット級の光線路を実現します。海底および陸上ネットワークにおいて心線需要が飛躍的に増大している中、既存設備スペースにおける伝送容量の持続的な拡張が求められています。この技術では、既存光ファイバと同じ細さの125 μ mのクラッド径で互換性を維持し4倍の空間利用効率を実現します。ファイバおよびケーブルの同時最適設計を考慮し、光ケーブル等既存技術・光設備を有効に活用し、海底ネットワークやデータセンタ間ネットワークの大容量・多心化と設備構築コスト削減を実現、また伝送路の省電力化で環境負荷低減を実現します。

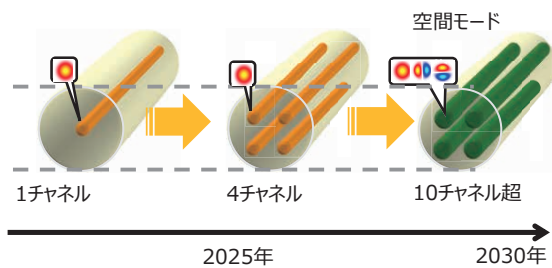
図2(b)のズレのないリモートレッスンを実現できる超低遅延映像分割表示処理技術は、遠隔でも複数の遅延のない映像と音声を提供することで、合奏やダンス

などの遠隔パフォーマンスの基盤を提供します。この技術では多拠点・多視点かつ低遅延が求められますが、多拠点間映像表示遅延を20ms以下にするために各拠点からの映像すべてがそろのを待たず画像表示を開始し、自由度の高い画面配置を実現するために分散処理を適用します。遠隔での合奏、ダンス、医療、操作・操縦などをAPNと本技術の組み合わせによって実現します。

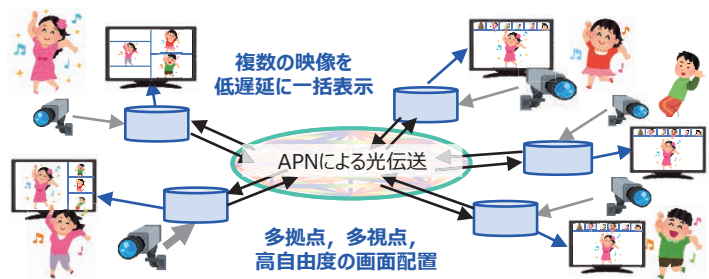
■取組B: ユーザやサービスに合わせるネットワーク柔軟化技術の革新

図3に示す取組Bはユーザやサービスに合わせて柔軟につながり続けるネットワークを実現するものです。

図3(a)のマルチ無線プロアクティブ制御技術Cradio[®]は無線の状況の把握・予測、制御をすることで柔軟に「つながり続ける」を実現します。新無線規格が登場する変革期を迎え、産業DX(デジタルトランスフォーメーション)へ向けて多様な利用ケースでの無線活用が期待されています。Cradio[®]は事業現場での実証実験を通じた需要に即した技術の高度化を進めており、高速大容量化・低遅延化・カバレッジホール解消な

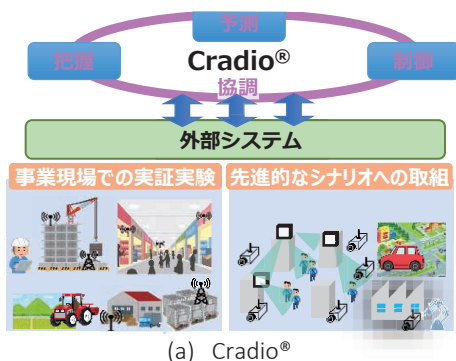


(a) マルチコア光ファイバケーブル技術

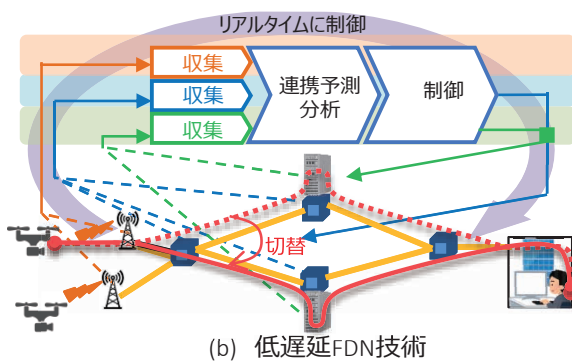


(b) 超低遅延映像分割表示処理技術

図2 取組A: ネットワーク性能の限界超えを実現する通信・インフラ技術の革新



(a) Cradio[®]



(b) 低遅延FDN技術

図3 取組B: ユーザやサービスに合わせるネットワーク柔軟化技術の革新

どの多様な要求・要件が混在するユースケースに対応するため、予測・把握・制御の技術の対象範囲を拡大しています。スマートシティやスマートファクトリーなど先進的な取り組み実現を複数無線アクセスの高度な組み合わせで支えることをめざしています。

図3(b)の低遅延FDN(Function Dedicated Network)技術はオンサイトで難しい場所でスムーズな遠隔操作を実現します。スムーズな遠隔操作のためには、エンド・ツー・エンドで安定的に低遅延・低ジッタを維持することが重要です。光パスはIOWN APNにより比較的、低遅延・低ジッタの提供が可能ですが、無線システムは外部の影響を受けやすく品質制御が課題です。この技術では、光パス、サーバ、無線システムの情報をリアルタイムに収集・連携を行い、エンド・ツー・エンド品質を予測、最適な光パス・サーバの選択を行い、選択した光パス、サーバへ品質劣化前に切り替えます。オンサイトが難しい場所での高難度な遠隔操作を実現し、ドローンと画像処理を用いた遠隔設備点検を可能にします。

AS研ではCradio®と低遅延FDNの無線

×光の連携を推進しており、工場のDX推進の実現をめざします。リアルタイム連携制御を実証し2024年5月に報道発表をしています⁽³⁾。

方針②運用を抜本的にスマート化する技術

■取組C:設備・運用業務の抜本改革による究極なスマートアクセスの実現

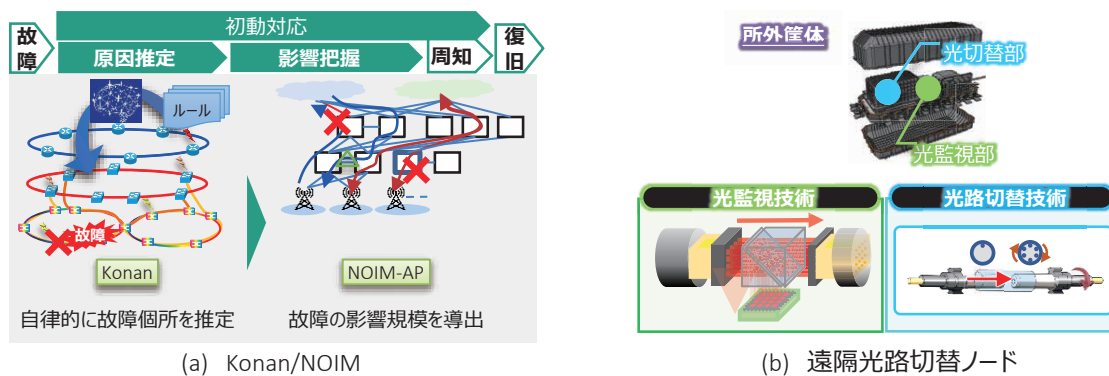
図4に示す取組Cは究極なスマートアクセスを実現します。

図4(a)のネットワークの統一管理と自律分析で故障対応を迅速化する大規模故障時の故障箇所推定・影響把握技術Konan/NOIMは近年通信事業者の重要課題であるネットワーク故障に対して、故障の原因箇所や複雑な影響を短時間で把握可能にします。ネットワーク故障の社会的影響は近年大きくなっており、ロバストなネットワーク運用の実現のためには故障時の早期復旧が必要ですが、原因推定・影響分析に時間を要することが課題となっています。この技術では、原因推定、影響分析に汎用データモデルを導入し、ネットワークを構成する要素間のつながり関係をシンプルに正規

化します。また、複数レイヤのアラームから故障の特注アラームを抽出し、生成されたルールで、自律的に故障箇所を推定し、故障が有線・モバイルサービスに及ぼす影響規模を多角的に導出します。これにより、故障の原因箇所や複雑な影響を短時間で把握し、汎用データモデルにより工事・計画サポートシステムの拡張を低コストで実現します。

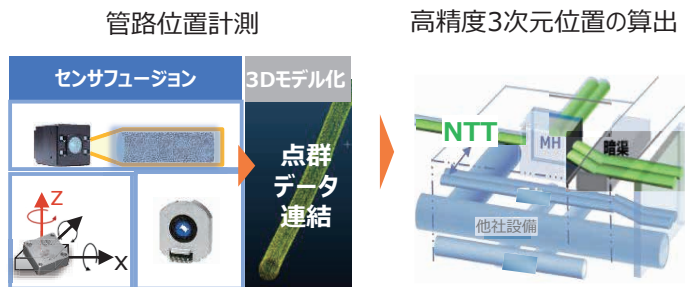
図4(b)の光のオンサイト業務のリモート化を実現する遠隔光路切替ノードは無派遣で心線の切替を可能にしてオンサイト作業員の人手不足問題を解決します。所外の線路設備ではオンサイト作業員が不足しており、また、設備ビジネスによる新たな収益源が期待されています。実現するための技術のポイントとして、リモート運用拡大を実現する所外筐体をメンテナンスと防水性を両立した構造設計にしています。また、光ケーブルを一括測定可能にするよう光監視技術、停電時でも通信経路を保持できる光路切替技術を適用します。これにより、所外業務に対してリモート運用を拡大し、光監視および光路切替技術を使った新たなサービス・付加価値の向上をめざします。

図4(c)の管路形状を3Dモデル化して掘



(a) Konan/NOIM

(b) 遠隔光路切替ノード



(c) 埋設管路の高精度位置情報取得技術

図4 取組C:設備・運用業務の抜本改革による究極なスマートアクセスの実現

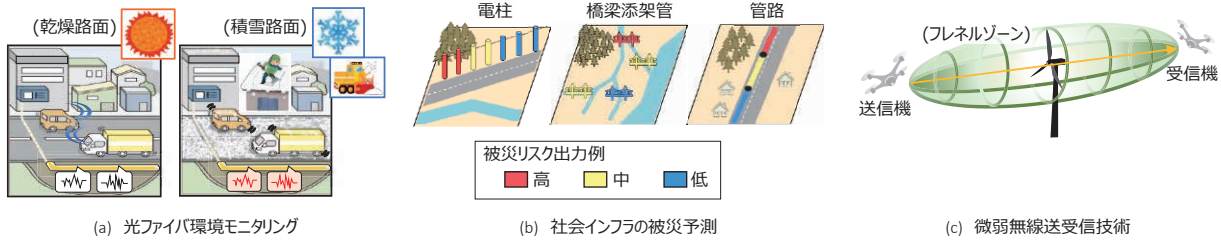


図5 取組D：通信技術や設備・運用ノウハウを活かした新たな領域開拓

らずに埋設位置を分かるようにする埋設管路の高精度位置情報取得技術は最新のDX技術を所外設備の保守運用に適用することで効率化を実現します。地下設備管理のデジタル化を推進するためには、設備の正確な3次元位置情報の整備が必要です。地下設備の位置情報を取得する手法にはレーザ計測等がありますが、高深度の管路・輻輳箇所等には適用が困難です。この技術では、複数センサを搭載した計測装置で管路内を走査し、取得データを統合させることによる高精度な位置算出を実現します。また、衛星測位を用いたマンホール鉄蓋の高精度な測量による管路端部（ダクト）の絶対座標の算出を行います。これにより、埋設管路の高精度な位置情報を網羅的に取得可能となり、地下設備の維持管理（工事計画、保全、災害復旧等）の効率化に貢献します。社会インフラのデジタルツイン実現に向けて2024年5月に報道発表をしています⁽⁴⁾。

方針③アセット活用により新ビジネス領域を開拓する技術

■取組D:通信技術や設備・運用ノウハウを活かした新たな領域開拓

図5に示す取組DはAS研の世界最先端ネットワーク技術を非通信分野に応用し新ビジネス領域を開拓します。

図5(a)のネットワークとセンシングで地域課題を解決する光ファイバ環境モニタリングは、既設ファイバから面的に収集した環境振動のデータを活用する技術です。1つのユースケースとして、豪雪地域の除雪判断支援に取り組んでいます。除雪事業は労働力が不足しており、持続可能な体制への転換が必要です。このファイバセンシング技術では車両通行時の車両速度と振動周波数特性を分析・収集し教師あり機械学習で除雪要否を推定します。青森市内で実証

実験を行い、現地調査結果と比較し約90%程度の正解率を確認しました。世界初の実証として2023年11月に報道発表をしています⁽⁵⁾。本技術による除雪事業のDX化と設備ビジネス展開をこれからもめざします。

図5(b)のインフラ被災リスクを可視化し「まさか」をなくす社会インフラの被災予測技術では、公開データとNTT保有の設備データに基づく被災傾向を学習し、災害時の被災リスクを日本全国で可視化することをめざします。災害時は通信を含むライフラインの機能維持が重要であり、被災を予測したプロアクティブな対応が社会全体で必要となります。この技術では最小10mメッシュの公開データと設備データを活用し、いつでもどこでも被災リスクを高精度かつ定量的に評価できるようにします。加えて、被災メカニズムの分析で予測に有効な因子を特定・活用し、被災傾向を学習することで被災リスクを設備単位に可視化します。2024年4月に報道発表をしています⁽⁶⁾。

図5(c)の風車の無停止点検で発電量をアップさせるドローンを活用した微弱無線送受信技術通信技術は、風力発電の風車を止めないでブレードの損傷を検査することをめざします。現在、持続可能な社会に向けて拡大が予想される洋上風力発電は、風車が陸上よりも大型となるため、運転停止による発電量低下と洋上作業のための船舶確保などによる保守運用コスト増加への対策がより重要となります。技術のポイントとして自律飛行ドローンを無線の送信・受信機に無線局免許不要の微弱無線を使用します。電波が伝搬する空間であるフレネルゾーンの大きさを簡単に変更できるようにして、受信信号の変化を検知できるように設計します。これにより、無停止点検による発電量増加と自律飛行ドローン活用による保守運用コスト削減を実現することで

カーボンニュートラルに貢献します。

おわりに

IOWNによる新たな価値創造と地球のサステナビリティのための挑戦として、アクセスネットワークの研究開発の方向性と研究開発における主な技術を示しました。今後もIOWNの研究開発に挑戦し続け、実用化に向けた加速を進めていきます。

■参考文献

- (1) <https://www.rd.ntt/as/history/>
- (2) <https://group.ntt.jp/ir/mgt/managementstrategy/>
- (3) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/05/15/240515a.html>
- (4) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/05/14/240514c.html>
- (5) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/11/09/pdf/231109aa.pdf>
- (6) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/04/25/240425a.html>



海老根 崇

最先端のアクセスネットワーク技術の研究と実用化により新たな価値創造に挑戦し、持続可能な社会に貢献していきます。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
企画担当
TEL 029-868-6020
FAX 029-868-6037
E-mail aslab-ml@ntt.com



IOWN時代のアクセスネットワークを実現する研究開発の取り組み

NTTアクセスサービスシステム研究所 (AS 研) は、線路・土木・伝送・無線・オペレーションの各技術分野で、アクセスネットワーク (NW) を支える研究開発を行っています。2030年ごろに本格的な展開をめざすIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想について、構想から実現へ向けて具体化を加速させる段階へと進めるため、私たちが思い描く将来のアクセスNW像と、それを実現するための取り組みについて紹介します。

キーワード：#将来アクセスネットワーク、#保守運用高度化、#IOWN

かわたか じゅんいち ばば たかゆき
川高 順一 / 馬場 孝之
いしはら こういち いわき あやこ
石原 浩一 / 岩城 亜弥子
さいとう こうたろう
齊藤 浩太郎

NTTアクセスサービスシステム研究所

アクセスネットワークの研究開発の方向性

NTTではIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想を提唱し、その実現に向けて取り組んでいます。将来に向けたアクセスネットワーク (NW) の進化に向けてNTTアクセスサービスシステム研究所 (AS 研) では、IOWN時代へ向けた環境と要件の変化について想定を置いています。

【どこでも】という観点では、これまでの住宅地や商業地などから、海上や山間などの産業が必要とするところへの超カパレτζが求められるようになっていくと想定しています。【快適に】という観点では、ダウンロードを中心とした片方向・低解像度の通信ニーズから、高臨場・XR (Extended Reality) のようなリアルタイムで双方向な通信の快適さが求められるようになっていきます。【いつでも・すぐに】

という観点では、これまでは、ユーザがNWを選択する必要がありましたが、これが逆転し、NWがユーザの使い方に自動的に合わせるように変えていく必要があります。【切れることなく】という観点でも、平常時に切れないことは当然で、災害時でも切れないようにというニーズが変わっていくと考えます。【業務・設備の運用】の観点でも、単にDX (デジタルトランスフォーメーション) 化を進めるといった段階から、労働力の量・質の減少を補ったり、自動化を実現したりするように、一層デジタル化を進めていくよう実現レベルを高めていくことが必要になります。このような通信NWの基礎的性能、運用性の高度化というこれまでの取り組みの強化の方向性に加えて、最近の事業会社の動向をとらえ、新たなビジネス領域を開拓できるように、これまでの通信分野での設備活用を超えて、張り巡らせた光ファイバや設備点検の技術・ノウハウを非通信領域でも活用していく新

たなニーズへの取り組みが必要であるととらえています。このニーズの変化に対応した研究開発に取り組んでいくため、図1に示すようにAS研として3つの研究開発方針を設定しています。方針①がエクストリームな要件に応え・サービスの多様化を支える研究開発、方針②が運用を抜本的にスマート化する研究開発、そして方針③が新ビジネス領域へのアセットを活用した研究開発です。さらにこれらの取り組みを進めるうえでも、最近の事業会社や社会の課題を踏まえ、NWのロバスト化、環境負荷低減、安全強化の3点を全体にわたる強化ポイントとしてとらえ取り組みを進めています。

思い描くIOWN時代のアクセスNW像とその実現技術

近い将来の姿としては従来のモバイル端末だけでなく、モビリティ、ロボット、セ

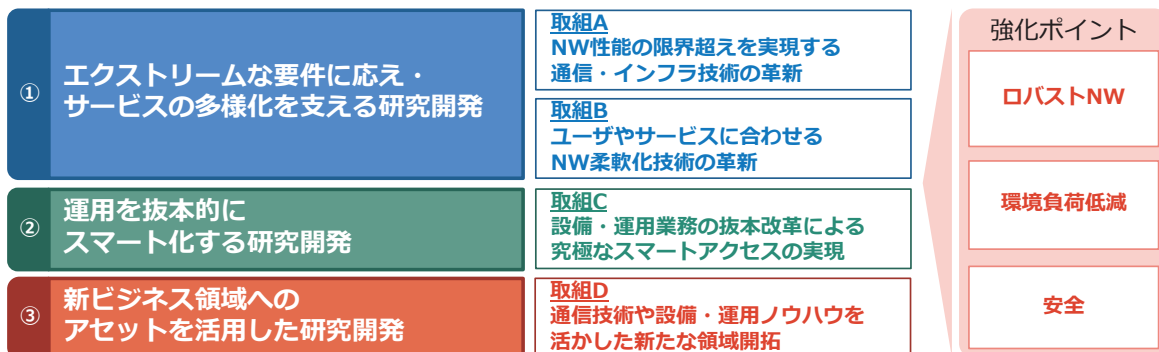


図1 研究開発方針

ンサデバイスなど、無線アクセスNWに収容される対象が多様化していく世界を想定しています。屋外や移動中でも大容量・低遅延の情報・サービスを受けることができるような環境変化を想定しています。有線アクセスNWにおいても、分散型データセンタなどの産業用途、遠隔医療などミッションクリティカルな用途、エンタテインメント・教育分野への活用など、高速大容量・低遅延、そして高い信頼性を要するコミュニケーションが広がっていくと考えています。

無線アクセスNWにおける高速・大容量化の実現に向けては、5G（第5世代移動通信システム）よりも高い高周波数帯の電波の利用が現在議論されています。しかしながら、このような高周波数帯の電波は、直進性が強く物陰へは回り込むことができず、遮蔽に弱い性質があります。そこで、多数のアンテナを分散配置することで、1つのアンテナからの電波が障害物に遮られてしまったとしても他のアンテナと接続を継続し、高速通信を維持できるアーキテクチャを検討しています。ビルの外壁や信号機の脇、スマートポールなど、これまでにないようなさまざまな場所にアンテナが設置されるイメージになります。これを実現していくうえでは、アンテナ1つひとつをできるだけシンプル化していくことと、多数のアンテナを連携して制御する技術が必要になります。

これらを踏まえたアクセスNWの将来像を図2に示します。

アナログRoF（Radio-over-Fiber）技術は、無線信号をその波形のまま光信号で強度変調し、アナログ信号のまま光ファイバ中を伝送させる技術です。これにより、デジタルアナログ変換やビームフォーミングなどの信号処理部を基地局側に集約することで、張出局を小型化・低消費電力化・簡易化でき経済的に張出局を配置することが期待できます。

また、分散MIMO（Multiple Input Multiple Output）技術により、分散配置した複数のアンテナからのビームを選択・制御し、アンテナやユーザ間の干渉を低減しつつ安定した大容量通信を実現します。このような無線の高速化を実現する技術だけではなく、今後は無線をより柔軟に使いこなしていく技術が必要になります。そこで無線NWにおけるさまざまな情報の把握・予測・制御の3技術を連動させるCradio[®]（マルチ無線プロアクティブ制御技術）により、ユーザに無線ネットワークを意識させないナチュラルな通信環境を提供することに取り組んでいます。Cradio[®]の効能は多岐にわたるので業務のシーンに分けて説明します。まずは基本設計・案件提案のシーンです。建物の3D構造や周波数ごとの電波伝搬特性などを基に、お客さまが所望する無線環境の構築に必要な十分となるように、公衆5G、ローカル5G、Wi-Fi

といった方式を併用したアンテナ配置やRIS（Reconfigurable Intelligent Surface）などの無線中継機器の配置設計・制御をスキルレスで実施することが可能になります。

次に、運用・保守のシーンでは、無線品質予測技術の創出に取り組んでいます。コネクテッドカーへの無線アクセスNW提供を例とすると、事前に学習した走行ルート上の無線の電波強度等の情報や直前の無線情報を基に、走行する際の数秒先の品質予測を実行し、途切れないように必要に応じて無線回線を切り換える制御を行っていくことで最適な運用条件を確保し続けます。Cradio[®]に関する新領域活用として、無線センシング技術の適用があります。電波状態の変化の把握という部分にフォーカスし、アンテナから飛んでいる電波が人や物に遮られたり反射したりすることを利用して、人の通過やドアの開閉等の物体検知を行います。このほか、部屋の中に配置されている端末の設置位置を自動で把握するシーンへのセンシング技術の適用についても、取り組みを進めています。

今後これまで以上に多様な場所に配置される無線のアンテナを光ファイバ網に収容する必要があります。光ファイバ網のアクセスNWへの展開については、これまでには主にはFTTH（Fiber To The Home）に向けて光設備を構築してきたため、住宅などの居住地中心のエリア展開をしてきま

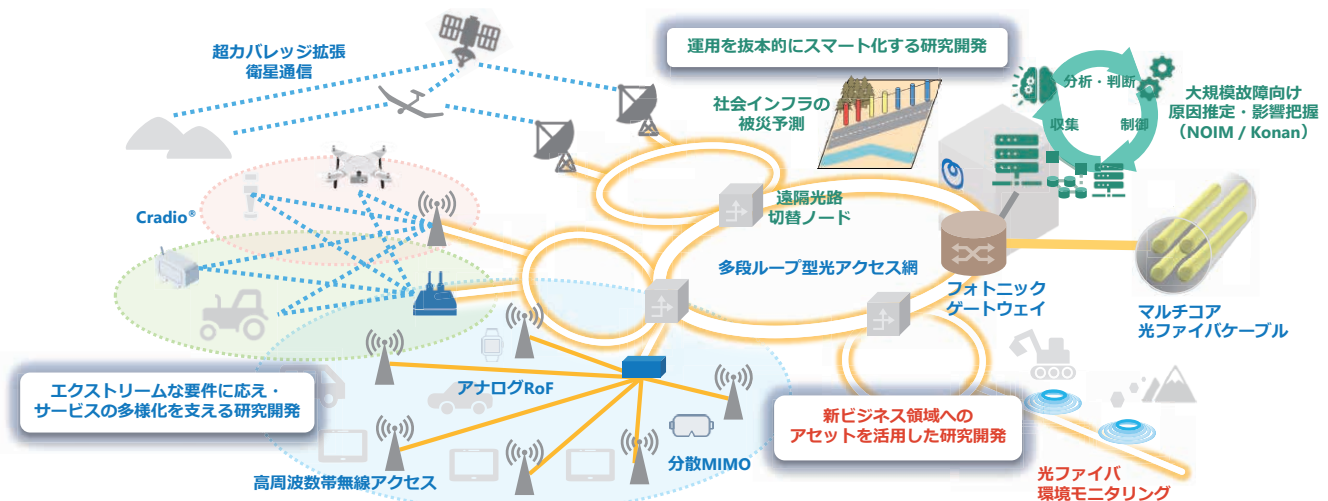


図2 アクセスNWの将来像

した。これは今後も継続しますが、将来のアクセスNWでは、これらに加えて、さまざまな場所へ設置される無線基地局などへのリーチが必要になってきます。加えて、フレッツ光のようなベストエフォートのIPサービスではない、より高速・高信頼を要求するデータセンタなどへの通信回線の提供も必要となり、計画的な需要予測困難、ミッションクリティカルな品質が要求されるという変化が想定されます。このような変化に対応していくため、柔軟性・信頼性・拡張性を有した多段ループ型配線を既存のアクセスNWにオーバーレイする、または既設ケーブルを活用して構築し、適所に提供していくことができるよう、その構成法技術の創出を行いました。また、光配線の敷設技術についても、信号柱や街路灯への基地局設置等の場合に、これまでの地下管路や架空から引き込みができないような場面では、路面に形成した溝へケーブル敷設する施工技術を創出し、これらの将来想定されるニーズの変化に対応していくことに取り組んでいます。

光ファイバケーブルに収容された各回線はNTTの収容ビルに集められます。本格IOWNの時代では、収容局ではインターネットの信号だけではなく、HDMIのような映像の非圧縮信号や、無線のアナログ信号、光ファイバセンシングのための光信号など、これまで以上に多様な用途に応じたさまざまな信号を取り扱っていくことが想定されます。加えて、光信号のまま収容

ビルでの折り返しを含めた、任意の地点間を結びエンド・ツー・エンド光パスを提供するなど、ニーズに対応していくことが必要になります。この要求を実現するため、フォトニックゲートウェイという光ノードの技術の研究開発に取り組んでいます。信号フォーマットに依存せず、プロトコルフリーで任意の対地を光のままパスを提供することにより、柔軟な制御で速やかな提供、多様な光サービスの効率的な収容が可能となります。また、特にトラフィックが集中するNWに向けては、超大容量伝送を実現するマルチコア光ファイバケーブルを技術創出しています。

提供するサービスの保守運用の高度化についても、技術創出を進めています。平時に向けては、通信設備の被災予測技術により、NWのロバスト化に取り組んでいます。過去の災害データや気象データと、NTTの設備個々の経年状況や特性などのデータを組み合わせることによって、被災する確率が高いところをあらかじめ予測しておき、事前に設備の耐力強化などの対処を講じることにつながる取り組みです。大雨に対する電柱被災だけでなく、河川増水による橋梁添架設備の被災、地震による地下管路設備への被災など、さまざまな要因による各種通信インフラへの被災を予測する技術に取り組んでいます。

また、災害や大規模NW故障の発生後の対応に向けては、Konanという技術により、影響を受けている通信装置からのア

ラームの状況から故障箇所を推定します。さらにNWの設備構成をサービスレイヤ、伝送レイヤ、物理レイヤ全体にわたってデータモデルとして理解することで、その故障による影響を把握し、その後の情報発信・対策立案を迅速に進めることに役立つNOIMという技術の研究にも取り組んでいます。

技術創出から社会実装までの取り組み

AS研において技術群を創出していくために、どのように研究開発活動を進めていくのかのフローを図3に示します。

■方向性を見極め

最初の方向性を見極め⇒研究テーマ化では、本稿冒頭で説明したとおり、めざす方向性を全体で合わせ、光アクセス、無線、線路、土木、オペレーションの各技術分野において、技術動向や強みなど踏まえ、テーマ化を図っています。

■研究所内での取り組み

3番目の研究開発のフェーズにおける活動について、まず自分たち自身に閉じた取り組みを紹介します。そして、社会実装をめざした研究開発フェーズにおいて、①質の高い効率的な技術検証、②世界トップレベルの場を利用した議論、③実用をめざした関連技術一体検討を行い、研究所内で技術を磨き上げることに取り組んでいます。①の具体例としては、無線技術の検証環境

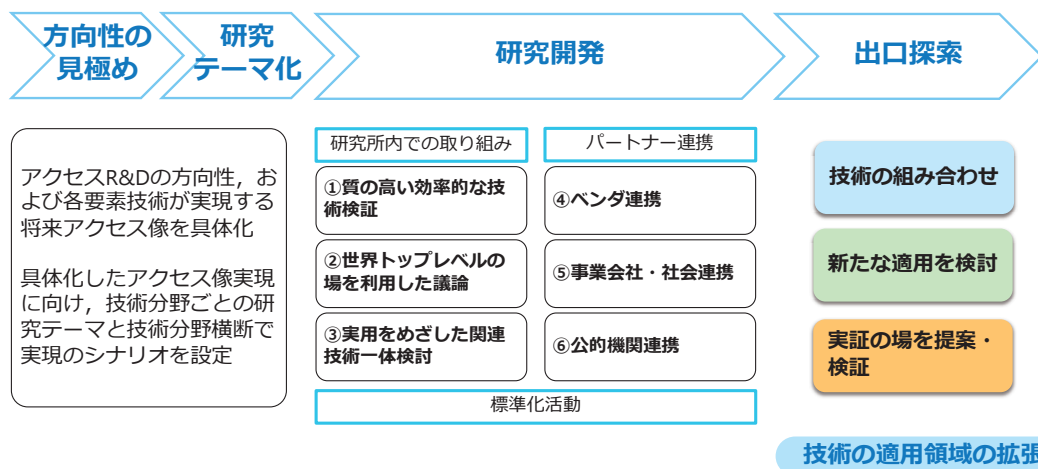


図3 研究開発活動のフロー

構築があります⁽¹⁾。将来の利用環境、利用シーンとして狙っている環境を再現するための専用の実験施設を、自社設備として横須賀ロケの実験室内に構築しています。専用の環境を自ら持つことによって、環境構築の自由度や利用の制約も少ない環境で、より精度の高い検証を効率的に実施しています。②については光アクセス領域では、この分野で世界のトップクラスの研究者が集うECOC (The European Conference on Optical Communication) や OFC (Optical Fiber Communications Conference and Exhibition) などの国際会議や論文誌にて積極的に発信し、技術の先進性・優位性や課題設定の妥当性を高めています。③は光ファイバシステムでの取り組み例を挙げます。ファイバ構造そのものの設計だけでなく、ケーブル化、実フィールド環境下での敷設性、接続性、伝送特性などもセットで検証を行い、通信設備としての実力を高められるよう取り組んでいます⁽²⁾。

■パートナー連携

さまざまなパートナーとの連携の仕組みや場を活用し、よりよい研究成果を創出していく取り組みも進めています。

④のベンダ連携では、6G (第6世代移動通信システム) に向けて国内外の主要ベンダ各社様と実証の協力体制を構築して、研究を進めています⁽³⁾。機能の創出が製品実装とバラバラにならないよう機能の実装上の課題も念頭に実現性のある研究を進めていきます。⑤の事業会社・社会連携ではユースケース開拓を研究段階より積極的に実施し、必要な機能を、必要なレベルで技術確立することをめざすアプローチです。品川港南エリアのロボット配送実験では、無線技術の立場で参画し、ビル内のインテリジェント化制御に取り組んでいるNTTグループ会社と連携して実証を進めています⁽⁴⁾。⑥の公的機関連携としてはAPN (All-Photonic Network) 関連技術における取り組み例があります。公共性、波及性が高いテーマについては、国のプロジェクトスキームも活用して実現をめざします⁽⁵⁾。

標準化活動の取り組みによる技術の展開も進めています。無線、光アクセス、光ファ

イバ、オペレーションの各領域において、デジュール、フォーラムなどの標準の機関・団体においてNTT技術の標準化に向けた寄書の提出や、役職の獲得による議論の牽引を行っています。コア研究開発フェーズから機能・方式・製品等の標準化活動を行うことにより、製品に実装していくために必要な機能や相互接続などを可能とするような規程事項の標準化を進めます。また、標準化プロセスをとおして、NTT技術の中身が広く業界、関係者の理解を得て仲間づくりが進むことにより、品質・相互接続性を確保したり、コスト削減、ビジネス機会を創出したりすることもねらい、取り組みを進めています。

■出口探索

最後に、さまざまな可能性を持つ技術の良さをもっと引き出していこうという、出口に向かうフェーズにおける取り組みです。技術分野横断で複数の技術を組み合わせることにより新たな価値を見出す取り組みであったり、従来からのアクセス領域以外へ技術を新たに適用していく可能性について検討したり、サービスとマッチさせた実証実験により価値創出を行うなど、技術の適用領域の拡張に向けた取り組みを行っています。このような活動の事例として、通信インフラの画像認識AI (人工知能) による設備と錆の検出、評価技術を自治体様が管理する標識とガードレールの錆を自動検出し、設備点検へ適用した事例⁽⁶⁾や、低遅延の複数映像の分割表示処理技術をAPNの低遅延光伝送技術と組み合わせ、NTTグループ会社と連携して音楽イベントへ持ち込み遠隔合奏・合唱を実証した事例などがあります⁽⁷⁾。

おわりに

本稿では、AS研が考える、将来アクセスNWの姿と、それを実現する技術と取り組みについて紹介しました。①本格IOWN時代のニーズの変化に向けた研究開発の方向性、方針の設定、②高速大容量・低遅延・高信頼な通信環境を実現するための無線、光伝送、光ファイバ関連技術や、インフラ保守、オペレーション高度化を実

現する技術創出の推進、③パートナーとの連携や実証の場の活用、研究活動の質を高める営みによる技術の研鑽により、2030年ごろのIOWN時代のアクセスNWを実現していきます。

■参考文献

- (1) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/05/17/220517a.html>
- (2) <https://www.rd.ntt/research/AS0106.html>
- (3) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/02/22/pdf/240222aa.pdf>
- (4) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/03/26/240326b.html>
- (5) <https://www.nict.go.jp/press/2023/11/06-1.html>
- (6) <https://www.nttbizsol.jp/newsrelease/202208101000000728.html>
- (7) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/12/01/221201a.html>



(上段左から) 川高 順一 / 馬場 孝之 / 石原 浩一

(下段左から) 岩城 亜弥子 / 齊藤 浩太郎

本稿で挙げた取り組みの一層の推進、IOWN本格時代の実現に向けて、技術の磨き上げ、標準化、製品化、そしてユースケース探索などについてベンダ様、通信建設業界様、事業パートナー様との一層の連携をお願いさせていただく次第です。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
アクセスサービスシステムプロジェクト
TEL 0422-59-4854
FAX 0422-59-5651
E-mail asap-hosa-p@ntt.com



次世代光ファイバ設備技術の研究開発の取り組み

NTTアクセスサービスシステム研究所では通信ネットワークの持続的発展に寄与する光ファイバ設備技術の研究開発を推進しています。本稿では、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想の3要素の1つであるオールフォトンクス・ネットワーク (APN: All-Photonics Network) の実現に向けた大容量化・高度化に資する光ファイバ設備、労働人口減少や通信サービスの多様化および環境負荷低減といった社会の変化・要請に対応する光ファイバ設備の研究開発の取り組みについて概説します。

キーワード: #光ファイバ設備, #空間分割多重光ファイバ, #IOWNオールフォトンクス・ネットワーク

かたやま かずのり
片山 和典

NTTアクセスサービスシステム研究所

光アクセス設備を取り巻く状況

ネットワークトラフィックは増大の一途をたどり⁽¹⁾この傾向は今後も継続すると予想されています。労働人口の観点では、NTT工事の従事者は今後10年で約35%減少する見込みです。また、通信サービスもこれまでの人対人の通信から、物対物の通信へと多様化するに伴い、光アクセス設備への要件も多様化すると考えています。さらには、環境経営への要請からNTTグループでは「NTT Green Innovation toward 2040」⁽²⁾を策定しており、光アクセス設備においても環境性能を意識した技術創出が求められると考えています。すなわち、社会の要請・変化に対応できる光ファイバ設備技術を創出し続けることが必要です。

また、近未来のスマートな世界を支えるコミュニケーション基盤IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想を構成する3要素の1つであるAPN (All-

Photonics Network) では、ネットワークから端末まですべてにフォトンクス (光) ベースの技術を導入することで、「低消費電力 (電力効率100倍)」、「高品質・大容量 (伝送容量125倍) および「低遅延 (エンド・ツー・エンド遅延200分の1)」の性能をめざしています⁽³⁾。光ファイバ設備技術の研究開発においても、APNの目標性能達成に貢献していきたいと考えています。

空間分割多重光ファイバ・ケーブル技術

はじめに空間分割多重光ファイバ・ケーブル技術について紹介します。これまで伝送システムの容量は、20年で1000倍のペースで増大しており、これまでは時分割多重伝送技術や波長分割多重伝送技術によって進展してきました。しかしながら、既存のシングルモードファイバ (SMF) の伝送容量限界は、1心当たり約100 Tbit/sとされ、

近い将来、伝送容量限界に達すると予想されています。そこで伝送容量限界打破に向け、1心の光ファイバに複数の空間チャンネル (モード数×コア数) を設定することで伝送容量を拡大する空間分割多重 (SDM: Space Division Multiplexing) 光ファイバの研究開発を推進しています。SDMファイバの概要とその導入に向けた流れを図1に示します。SDM光ファイバには、1心の光ファイバ内にコアを複数配置するマルチコアファイバ (MCF: Multi Core Fiber) と1つのコア内で複数のモードを信号として伝搬するマルチモードファイバに大別されます。また、それぞれのコア間やモード間で発生する信号クロストークを許容しない設計の非結合型と、信号クロストークを積極的に許容する結合型に分類されます。SDM光ファイバの導入に関しては、まず空間チャンネルを拡張しつつ、既存設備との親和性・互換性を考慮した非結合型シングルモードMCFが最初のターゲット

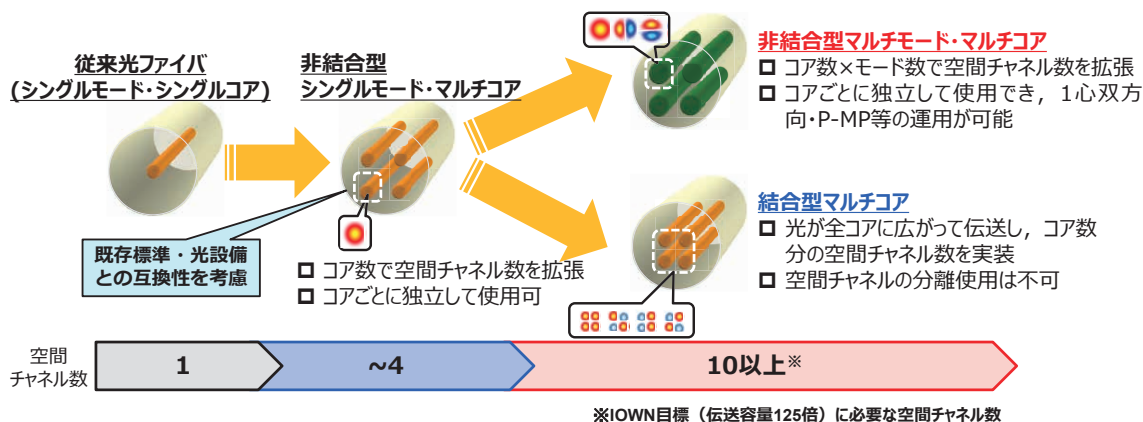


図1 空間分割多重光ファイバ

トになると考えていますが、IOWN APNの技術目標「伝送容量125倍」を実現するには、10以上の空間チャンネル拡張が必要と考えています。10チャンネル超(10 ch超)の候補としては、非結合型マルチモードMCFや結合型MCFの2つがあり、それぞれ研究開発を推進しています。

非結合型シングルモードMCFを検討するにあたっては、既存SMFと同等のクラッド径(標準クラッド径:125 μ m)を採用することによって、従来と同等の光ファイバ製造性を期待できるとともに、既存の光ケーブル構造や光コネクタインタフェースが利用できるといった、既存光ファイバ設備との高い互換性を確保することができます。標準クラッド径非結合型MCFの場合、コア数は最大4になると考えています。また、標準クラッド径MCFに関しては、既存SMFと同様に短距離、メトロ・コア、長距離海底といった適用領域に応じた設計技術を確立しています。

標準クラッド径MCFの適用領域とその実用化によるねらいを図2に示します。標準クラッド径MCFの有望な適用領域は大容量・多心需要が高い領域であり、海底ネットワークおよび陸上ネットワークではデータセンタ間等が該当すると考えています。海底ケーブルは構造上ファイバ収容スペースが制約されることから、標準クラッド径MCFを導入することで敷設本数を増やすことなく伝送容量拡張が期待できます。陸上ケーブルにおいては管路スペースが制約されることから、標準クラッド径MCFを

導入することによって、ケーブル・管路を増設することなく、伝送容量拡張が期待できます。伝送容量を持続的に拡張しつつ設備構築コストを抑制する効果を見込み、まず、海底ネットワークから実用化に着手することにしました。

また、標準クラッド径MCFケーブルシステムの実現に向けては、接続などの周辺技術の確立と具現化が必要です。光コネクタ、融着接続、FIFO(MCF-従来SMF変換)デバイスおよび架・クロージャ等の関連物品といった周辺技術の具現化に向けては、既存・市中技術との互換性や共通化を考慮した技術開発を推進しています。

試作した標準クラッド径MCFケーブルをNTTの研究開発センタ内のとう道に敷設し、フィールド環境下にて良好な光学特性(接続性・長期安定性)を確認しています。また、同環境下にて将来のデータセンタネットワークにおける大容量化を想定した世界初の大容量伝送実証(1ファイバ当たり1.6 Tbit/s・10 km)に成功しています⁽⁴⁾。

また、標準クラッド径MCFの適用領域拡大の事例として、MCFを用いた光給電システムを提案しています。1本のMCFで信号光と給電光の同時伝送を可能とし、世界最高の光給電能力(14 W・km)と光伝送能力(140 Gbit/s・km)を達成しています⁽⁵⁾。

10 ch超の非結合型マルチモードMCFでは、モード多重伝送路を用います。モード多重伝送路の技術課題としては、伝送路損失のモード偏差および光中継増幅器の

モード偏差によるモード間光強度差によって発生する信号品質劣化があります。この課題を克服する方法として、モード間の光強度差を可変補償する光導波路デバイス提案し、2モード光増幅器で発生する利得差の広帯域補償を世界で初めて実証しています⁽⁶⁾。

もう一方の10 ch超の結合型MCFでは、12コアファイバを用いた世界最長の7280 km光増幅中継伝送に成功しています⁽⁷⁾。さらに結合型12コアファイバ伝送路向けにマルチコア一括増幅器を設計・製造し、世界初の一括増幅により、従来の光増幅器利用時と比べて消費電力を約67%低減可能としています⁽⁸⁾。

遠隔光路切替ノード技術

所内外光ルート切替作業を、人手に頼ることなく、遠隔制御可能とする遠隔光路切替ノード技術を図3に示します。遠隔光路切替ノードは、所内・所外ノードから構成され、光線路のルート切替点に設置された所外ノードを通信ビル内に設置された所内ノードからの遠隔制御することでルート切替を行います。遠隔光路切替ノード技術は、「光給電遠隔制御技術」「光クロスコネクタ技術」「光ポート監視技術」の3要素技術によって構成されています。3要素技術をユニット化した「光路切替部」「光監視部」「リモート制御部」を実装し、各部連携動作による光ルート切替を可能とする所外ノード一体化試作を推進しています。ユ

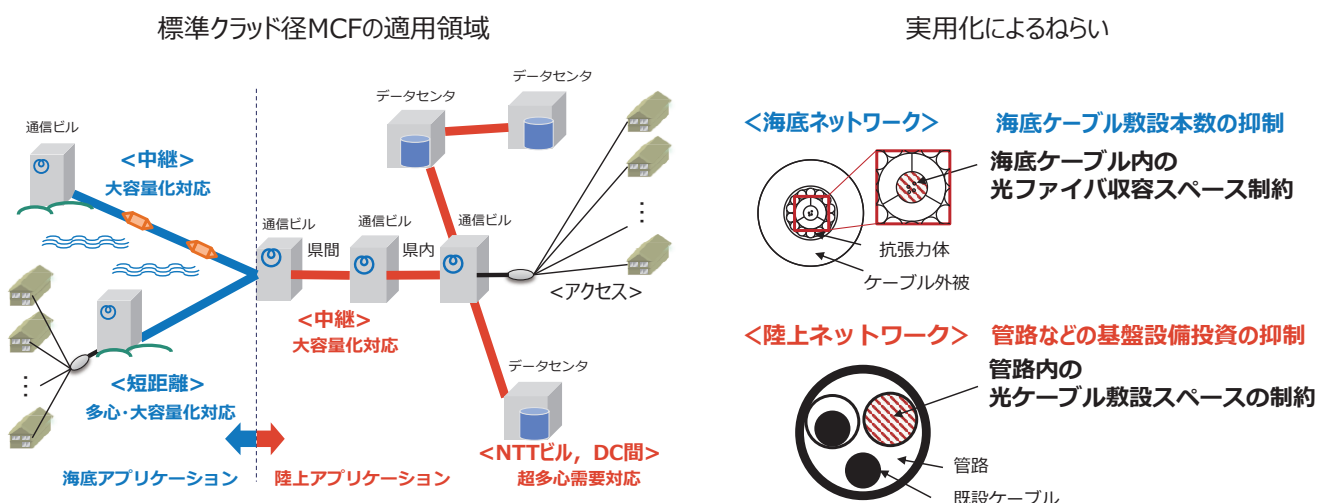


図2 標準クラッド径MCFの適用領域とその実用化によるねらい

ニット化によってメンテナンス性を高めるとともに、地下マンホール内での利用を想定し、内部筐体と外部筐体の二重構造とし、防水性能（IPX7相当）を有しています。

柔軟な光線路構築技術（光分岐・簡易敷設）

通信サービスの多様化により、IoT機器など多種多様な端末がネットワークへ接続されることが想定されますが、端末を接続

するためにネットワーク構築が必要になる点が課題となっています。課題解決方法として、既存ネットワークに、必要なタイミングで必要な場所に端末を接続するために、通信中の光ファイバを通信断させることなく後付けで分岐できる光分岐技術を図4に示します。通信用の光ファイバ側面を通信影響なくコア付近まで研磨し、研磨済みの分岐用光ファイバとコアどうしを近接させることで、光分岐を可能とします。これまでは、通信用光ファイバと分岐用光ファイ

バは、実効屈折率の等しい光ファイバとしたりする必要があり、実効屈折率の異なる光ファイバが混在する商用設備での利用は難しいという課題がありました。この課題に対して、コア直径を変化させたテーパ構造を有する分岐用光ファイバの設計・製造を行い、多様な実効屈折率を有する光ファイバに対して1種類の分岐用光ファイバで分岐可能であることを世界で初めて実証しました⁹⁾。

また、電柱や管路などの通信基盤設備に

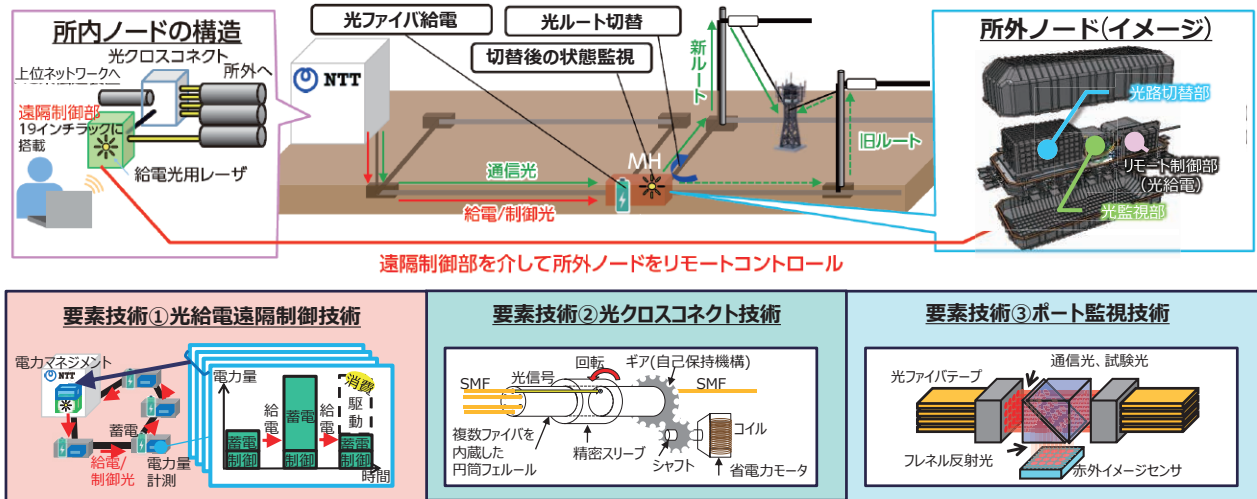


図3 遠隔光路切替ノードの概要と試作器筐体

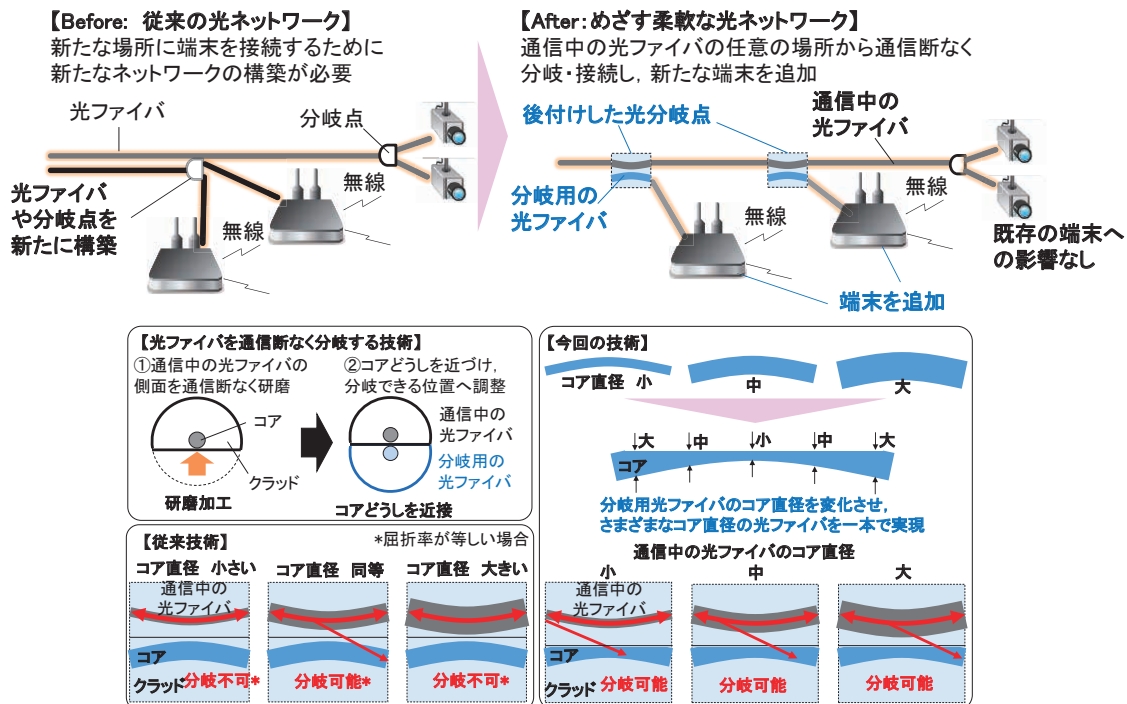
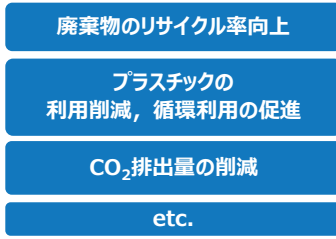


図4 光分岐技術

光ファイバ・ケーブルシステムに 求められる環境負荷低減の要件例



環境配慮設計のポイント

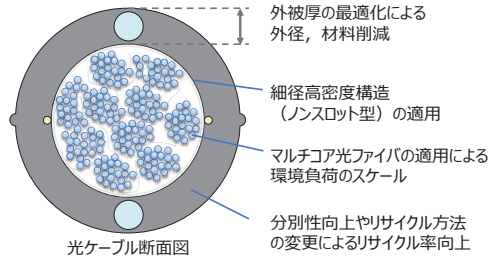


図5 光ファイバ・ケーブルの環境配慮

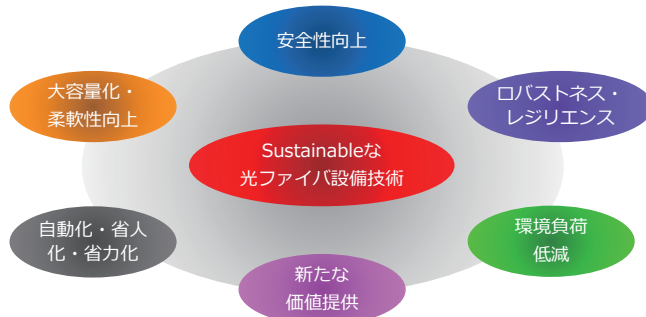


図6 今後の光ファイバ設備技術R&Dの方向性

よらず路面に敷設可能な簡易敷設光ファイバ・ケーブル技術を開発しました。光ケーブルとしての基本特性を維持しつつ可とう性と細径化を両立する光ケーブルと、接続作業を簡易化する一括接続光コネクタを開発しました。本技術によって、大規模な工事を必要としない経済的かつ迅速な光ケーブル敷設が可能です。

環境性に優れた光ファイバ・ケーブル技術

光ファイバ・ケーブルシステムに求められる環境負荷低減の要件例および環境配慮設計のポイントを図5に示します。光ファイバ・ケーブルの環境負荷を低減するには、プラスチックの使用量・廃棄の削減、リサイクル率向上およびCO₂排出量削減等が要求されます。この要求を考慮するにあたっては、従来の信頼性や施工性、経済性と環境性をバランスよく成立させることが重要です。環境負荷低減を考慮した光ファイバ・ケーブルの設計ポイントとしては、ケーブル構造変更（スロット構造→細径高密度構造）、ファイバ種別変更（既存SMF→MCF）、リサイクル方法変更等に

より、ライフサイクル全体で検討することです。

細径高密度光ファイバ・ケーブルは、ケーブルの経済性・施工性向上・環境負荷低減を目的に開発されました。環境負荷低減の観点では、細径・高密度化により、従来比でプラスチック部材を約30%削減でき、ライフサイクル全体におけるCO₂排出量は35%削減可能です。細径高密度光ファイバ・ケーブルは、アクセス区間（架空・地下）に続き、特殊区間（鳥獣害区間）、中継区間（地下）へと提供区間を拡大しています。細径高密度化構造へ統一化することで、細径高密度化の効果を最大化するとともに、周辺物品やスキルの統一化および環境特性に優れたケーブルの展開が期待できます。

また、SDMファイバを用いることで、光ファイバ・ケーブルとして同一コア数であれば、既存SMFケーブルと比べて心線数を大幅に削減できることからケーブル細径化が可能となります。このため省資源化に加え、製造～廃棄におけるエネルギー抑制など、ライフサイクル全体におけるCO₂排出量の低減効果も期待できます。

今後の光ファイバ設備技術R&Dの方向性

今後の光ファイバ設備技術R&Dの方向性を図6に示します。サービスの高度化・多様化に対応し続ける、労働人口の減少・災害に対して通信サービスを維持し続ける、資源・環境を守り続ける、ことのできるSustainableな光ファイバ設備技術の実現をめざして、R&Dを推進していきます。

本研究成果の一部は、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）の委託研究（採択番号20301）（JPJ012368C01001）により得られたものです。

参考文献

- (1) https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/index.html
- (2) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2021/09/28/210928a.html>
- (3) <https://www.rd.ntt/iown/0002.html>
- (4) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/10/05/231005a.html>
- (5) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/08/29/230829a.html>
- (6) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/06/27/220627a.html>
- (7) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/03/21/240321a.html>
- (8) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/09/28/230928a.html>
- (9) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/04/24/240424b.html>



片山 和典

IOWN APNの実現に資する光ファイバ設備技術および社会課題の解決に資する光ファイバ設備技術の研究開発を推進し、Sustainableな社会の実現に貢献します。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
アクセス設備プロジェクト
TEL 029-868-6150
FAX 029-868-6400
E-mail asetup-contact@ntt.com



豊かな社会生活の実現を支えるワイヤレス技術

NTT研究所では、6G（第6世代移動通信システム）/IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）時代に向けて、無線端末・無線方式・利用アプリケーション・利用形態の多様化に伴うさまざまな要件に対応する無線通信技術の研究開発に取り組んでいます。本稿では、プロダクトとして具現化した技術群であるマルチ無線プロアクティブ制御技術（Cradio[®]：クレイディオ）と、さらなる高度化に向けた研究開発技術について紹介します。

キーワード：#6G, #無線アクセス, #Cradio[®]

おがわ ともあき
小川 智明

NTTアクセスサービスシステム研究所

6G/IOWN 時代の無線アクセス

次世代のネットワークの姿として、光を中心とした高速大容量通信、膨大な計算リソース等を提供可能とするネットワーク・情報処理基盤の構想であるIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想が提唱されています。こうした流れの中で、無線アクセスについては、以下の方向性で進展すると考えられます（図1）。

- ・無線アクセスの高度化：6G（第6世代移動通信システム）に向けた新無線方式の確立、新周波数帯の開拓、宇宙・海中などの未踏領域の開拓といった無線アクセスシステムそれ自身を高度化する技術確立（ポテンシャルのさらなる拡大）。特に本稿では、無線方式の標準化・制度化への寄与と機能を取り出した低遅延高信頼化技術、大規模エリアの受信電力推定技術について紹介します。
- ・環境変化に追従するネットワーク提供：高度化された無線アクセスを融合させて、刻々と変化する無線環境下であっても、多様なユーザーやサービスを収容するため大容量・高信頼・低遅延といったエクストリームな要件に対応するネットワークサービスを提供する技術確立（ポテンシャルの最大活用）。特に本稿では、マルチ無線プロアクティブ制御技術Cradio[®]の概要と構成要素の技術の1つである無線通信品質予測技術、Cradio[®]の事業活用事例、光区間と無線区間を連携したリアルタイム

制御について紹介します。

無線アクセスの高度化

無線アクセスの利用ニーズの急激な増加に伴い、電波という公共の資源を最大限活用するために、広帯域に利用可能な無線周波数帯の開拓（法制度化）と、無線方式の標準化が推進されています。無線方式の進

展の方向性を図2に示します。現在、広く普及している無線方式は、ユーザーの接続性を高確率に担保し公衆での活用を想定した3G（第3世代移動通信システム）、4G（第4世代移動通信システム）、5G（第5世代移動通信システム）といったセルラ系無線と、Wi-Fiのように最大のスループットは高いが周囲の利用状況や干渉の状況によってスループットが変動するベストエフォー

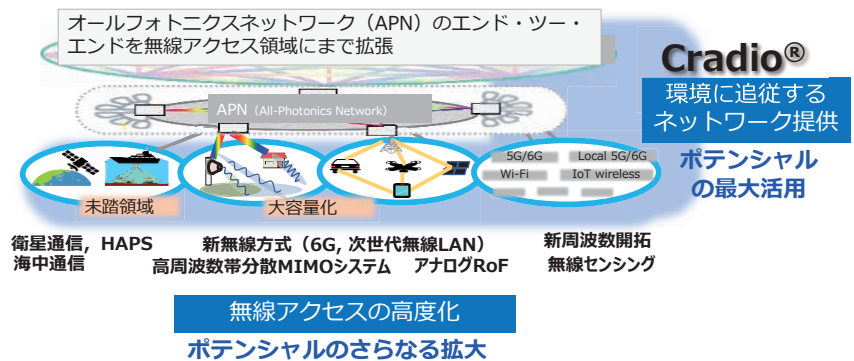


図1 無線研究開発の方向性

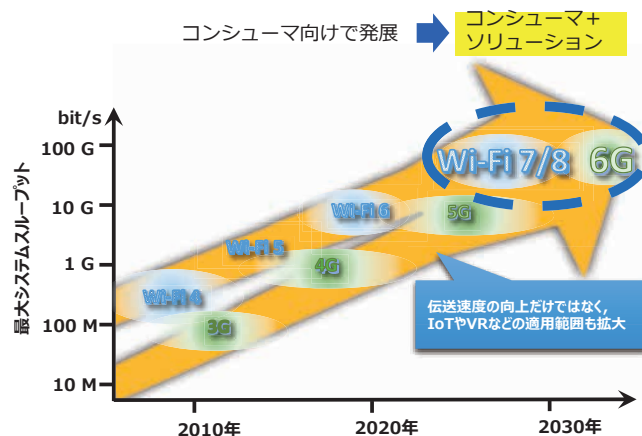


図2 無線方式の進展の方向性

ト型の自営系無線に大別できます。これらは年代を追って進展してきました。今後、セルラ系無線でいうところの「6Gの時代」には、コンシューマ向けとビジネスソリューション向けのユーザの利用要件が融合することに伴い、両者をインテリジェントに駆使することによりトータルで要求を満たしていくような無線アクセス環境の提供が求められると考えます。Wi-Fiの標準化については、現在、次世代Wi-Fiに向けて高信頼化がスコープとして議論されており、NTT研究所のメンバも重要ポジションを拝命して積極的に参画しています。またセルラについては、さらなる高度化に向けて、ミリ波などの高周波数帯の開拓と、それら

の安定活用を実現するための技術実証が重要となります。NTT研究所では6Gに向けてNTTドコモやメーカ各社とも連携して技術実証を推進しています⁽¹⁾。

最新の標準化機能を積極的に活用した新技術の開発にも取り組んでいます。図3は例として、次世代Wi-Fiで搭載されるマルチリンク通信機能を活用したアンライセンズバンドによる低遅延高信頼化技術です。Wi-Fi 7から、端末やアクセスポイントの具備する複数の無線インタフェースを同時に通信できるマルチリンク通信の機能が導入されましたが、低遅延化へのアプローチとしては各無線インタフェースそれぞれでのフロー制御を行うにとどまっていた。

そこで、無線インタフェース横断の情報となる背景トラフィック情報と無線レイヤの混雑率の情報を組み合わせてフロー制御を行うことによって低遅延化を実現しました。

また、利用する周波数帯が高周波数帯になってくると、障害物による影響が大きくなるなど、電波の届くエリアを推定するための条件が複雑化し電波の伝搬を推定するための計算時間が増大することが課題になります。NTT研究所では、機械学習を用いた独自の推定手法により、影響力が大きいアンテナパターンや建物の断面図、周辺建物の高さなどのシンプルなデータを入力として深層学習を行うことにより、高速に大規模エリアの受信電力推定が可能な技術

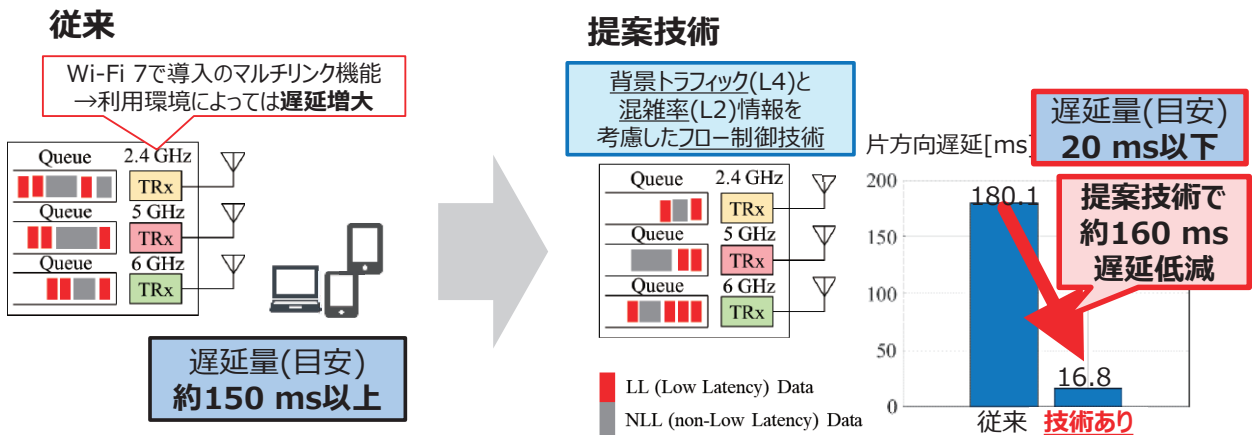


図3 アンライセンズ無線による低遅延高信頼通信技術

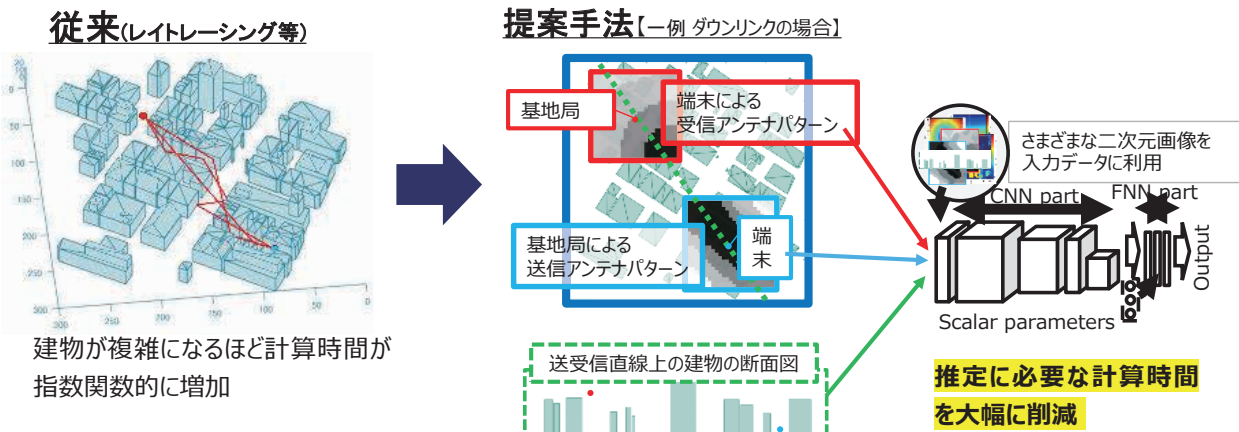


図4 深層学習で大規模エリアの受信電力推定

を確立しました (図4)。

環境変化に追従するネットワーク提供

環境変化に追従するネットワーク提供に向けて、NTT 研究所では、複数の無線アクセスシステムを組み合わせた場合でも、ユーザに無線アクセスシステムを意識させないようなナチュラルな使用感を実現するための技術群として、マルチ無線プロアクティブ制御技術 Cradio® の研究開発を進めています⁽²⁾。Cradio® では、無線通信環境に関する把握・予測・制御の3技術を連動させることにより、さまざまな無線ネットワークが環境変化や通信状況の変化に追従、または事前適応することを可能にします。Cradio® では、無線アクセスシステムから得られる無線に関する情報だけでなく、地図データや建築物情報等デジタル空間基盤等の外部サービス、社会システムや外部データベースと連携することで得られるあらゆる情報を駆使して、無線アクセスシステムのポテンシャルを最大限引き出します。また、これにより、既存の業務システムとのシームレスな連携による価値向上も可能になります (図5)。

把握技術は、無線通信システムから取得可能な無線情報を高度に解析することで、各々エンドユーザ側の無線品質の状態 (混み具合、端末ごとの利用状況、干渉状況) まで把握する技術です。さらに把握した無線情報を用いて端末の位置推定や電波環境に影響を与える構造物や周辺物体の変動の把握といったデバイスレスセンシングに応用することを検討しています。

予測技術は、把握技術により得られた無線品質情報を基に、深層学習を活用して周辺環境や端末位置などにより時々刻々と変化する将来の無線通信品質を予測する技術です。これにより無線通信の品質劣化を未然に検知し、より良い品質のネットワークに切り替えたり、送信する映像の伝送レートを事前に調整するなど、端末やアプリケー

ションのプロアクティブな制御が可能となります。

制御技術は、把握技術や予測技術に基づいて、ネットワーク設計や運用要件に従う無線アクセスネットワークの動的設計や制御を行う技術です。例えば、設置予定の基地局種別やアンテナ特性を考慮した電波伝搬推定に基づいて、面的な無線力バレッジを動的設計したり、無線方式ごとにリンクレイヤの無線品質を推定する機能を用いて無線機器のパラメータを算出し制御することによって、局所的な輻輳を回避するネットワークの設計と運用を実現します。

近年、Cradio® の事業活用に向けた取り組みが進んでいます。ここでは、NTT 西日本と株式会社竹中工務店によるトライア

ルについて紹介します。本トライアルでは Cradio® と3次元の建物モデル (BIM: Building Information Modeling) を活用し、建物完成後の無線環境を正確かつ効率的に推定できるかについて以下の観点で評価しました⁽³⁾。

- ・ BIM データの変換精度および Cradio® による電波伝搬推定の正確性確認
 - ・ 無線 LAN 基地局設置位置の設計時間およびコストに関する一般的な従来方式との比較検討
 - ・ 専用ビューワを用いた Cradio® のシミュレーション結果の可視化 (図6)
 - ・ 建設業界における電波伝搬シミュレーションの有用性評価
- 結果として、受信電力推定値と実測値の

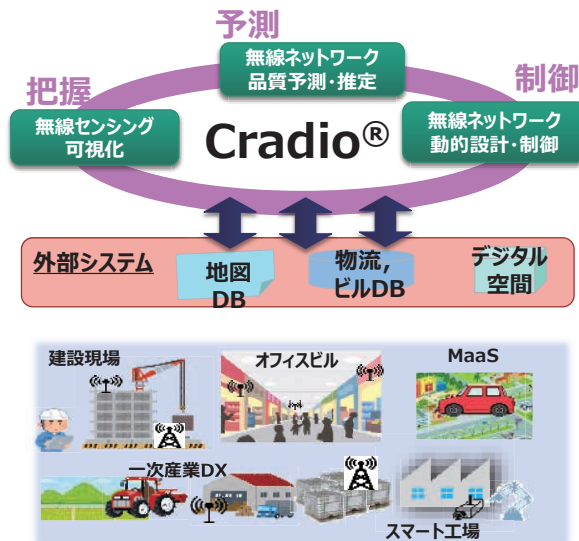


図5 マルチ無線プロアクティブ制御技術 Cradio®

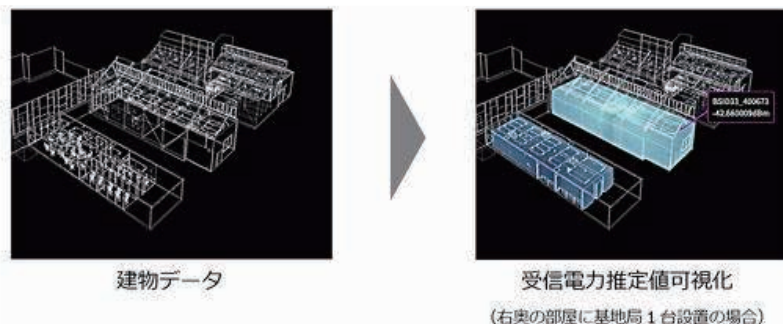


図6 Cradio® による建物データ上での受信電力推定値の可視化の例

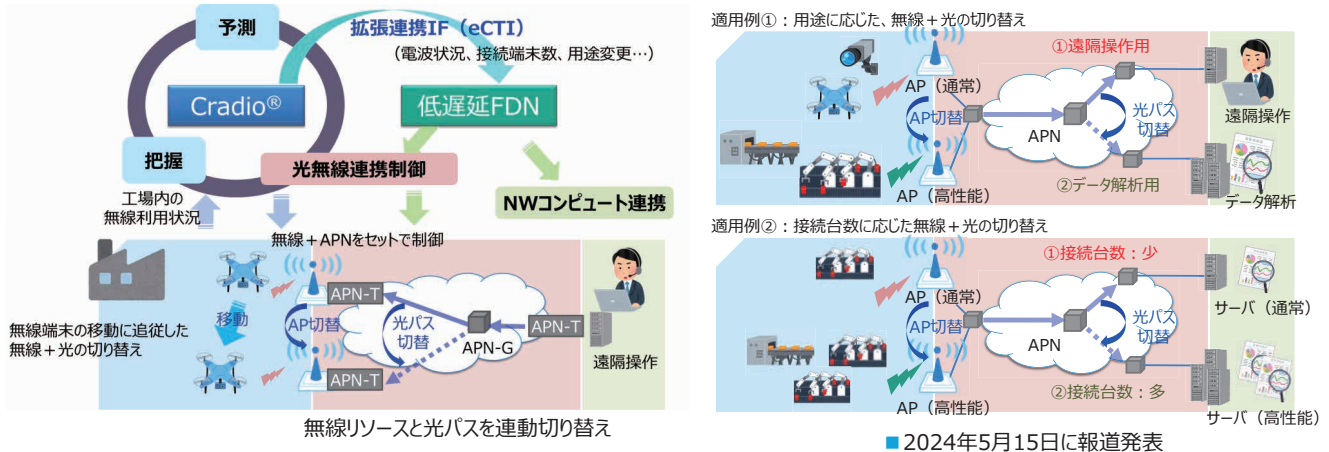


図7 光バスと無線アクセスの切替制御

比較誤差は中央値で5 dB未満、設計時間について、シミュレーションと従来方式の比較では、シミュレーションによる場合が30%削減、シミュレーションによる設置位置の設計と従来方式での設置位置の設計では、シミュレーションによる場合が50%の設備数削減が可能であることが確認できました。

次に、光回線のパスと無線アクセスを利用状況に応じてリアルタイムに連携制御する実証について紹介します(図7)。本実証では、Wi-Fiアクセスポイントと遠隔操作やデータ解析を行うクラウドサーバとをIOWN APN (All-Photonics Network) で接続し、無線利用状況を把握するCradio®機能を実装した無線コントローラと、IOWN APN 回線について光パスレベルで切替を行うコントローラとを、IOWN Global Forumで規定したeCTI (Extended Cooperative Transport Interface) を介して連携制御することに世界で初めて成功しました⁽⁴⁾。例えば、工場内でWi-Fiを利用する場合に接続されるユーザ端末数とアプリケーショントラフィックの急激な変化をCradio®の把握技術で検知し、その情報に基づいて自動でアプリケーションの接続先サーバへの光パスを切り替えるといった利用が可能となります。実験

では100 ms程度で連携動作が完了することが確認できました。

ワイヤレス技術による「豊かな社会生活の実現」に向けて

無線アクセスの高度化と環境変化に追従するネットワーク提供を実現する技術開発とともに、併せて新しいアクセスネットワークの使い方についても議論していくことが重要であると考えます。例えば、6Gに向けたホワイトペーパー⁽⁵⁾では、社会課題解決、人・モノの通信、通信環境拡大、フィジカル・サイバー融合高度化といった想定されるユースケースが挙げられています。さらに具体化した新しい「ならでは」のユースケースとして、人間拡張基盤® FEEL TECHが提唱されています⁽⁶⁾。「身体・感覚・感情など」をあらゆる場所へ伝達・共有するものであり、これまでにないユースケース創出の可能性を秘めています。

今後も、研究開発の高度化と新しいユースケース発掘の両輪で検討を進めていくことが重要であると考えます。

参考文献

- (1) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/02/22/240222a.html>
- (2) <https://journal.ntt.co.jp/article/13100>

- (3) <https://www.ntt-west.co.jp/news/2404/240424a.html>
- (4) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/05/15/240515a.html>
- (5) https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/DOCOMO_6G_White_PaperJP_20221116.pdf
- (6) https://www.docomo.ne.jp/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol31_3/006.html



小川 智明

豊かな社会生活の実現のためには、その存在を忘れてしまうほどにナチュラルに接続し続けるネットワークが必要であり、これを実現するためにはワイヤレス技術の技術発展が不可欠です。今後もワイヤレス技術の高度化を推進し、社会を豊かなものにしていきたいと思えます。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
無線アクセスプロジェクト
TEL 046-859-5104
FAX 046-859-3145
E-mail wireless_access_pj@ntt.com



自動車業界のゲームチェンジ：EV業界を紐解く ー前編ー

近年の自動車業界においては、ガソリン車やディーゼル車などの内燃機関車からEV/BEV（電気自動車）へのシフトが業界トレンドとなっています。EVシフトにより自動車業界のみならず交通、エネルギー業界などの周辺業界においても、新たなビジネスモデルや事業機会、技術的イノベーションが創出されることが期待されています。本連載では全2回にわたり、前編ではEV業界のマクロトレンドや地政学、国家政策、後編では主要メーカーのEV戦略、EVを支える次世代技術の開発動向等について展望・概説します。



自動車業界の地殻変動

2016年のパリモーターショーにおいて、世界的な自動車メーカーのメルセデスベンツは「今後、メルセデスは自動車メーカーとしての既存領域にとどまらない」として「CASE」という1つの言葉で、自社の経営方針を提唱しました。以降、「CASE」という言葉は、世界の自動車メーカーや自動車関連事業者にとっての共通認識となっています。

この「CASE」という言葉を1つひとつ分解すれば、Cは「つながる (Connected)」で、自動車が地域・観光情報や移動情報、位置情報、運転操作情報などのさまざまな情報・データとつながることを意味しています。Aは「自動化 (Autonomous)」で、アクセルやブレーキ、ハンドル等の制御技術や、運転支援などを指します。Sは「シェアリング & サービス (Shared & Service)」で、カーシェアリングや（昨年日本でも注目されている）ライドシェアリング、MaaS (Mobility as a Service) に該当するものです。

そして最後のEが電動化 (Electric) であり、自動車をはじめとするさまざまな車両の電動化を表しており、その代表的なものが近年、世界的にも注目を集めている電気自動車 (EV: Electric Vehicle) です。なお、この「C」「A」「S」「E」のそれぞれは、互いに独立したものではなく、例えばEV自動運転車 (「A」×「E」) などのように、

それぞれが相互に密接にかかわっていることに留意してください。

日本における国産BEV量産市販の歴史は、2009年に三菱アイミーブを契機に、翌年2010年には日産リーフ、さらに2011年には三菱ミニキャブミーブまでさかのぼります*1。当時は車両価格の高さや、走行距離の短さ等の技術的課題や、充電インフラの不足などのインフラ整備の遅れ、さらには東日本大震災に伴う原子力発電所停止による安価な深夜電力の調達が困難といった逆風もあり、当時のBEV販売目標を大きく下回り、苦難の10年を歩むことになりました。

ところがその後、地球温暖化や脱炭素・カーボンニュートラル等のグローバル課題への対応に向けた国際協調の進展や、石油資源の枯渇などの地政学的リスク、経済・エネルギー安全保障に対する懸念の増大、主要各国における戦略的な産業政策の展開といった諸要因とも相まって、グローバルレベルでガソリン車からEV車へのシフト (EVシフト) が再び脚光を浴びており、EVをめぐる展開は新たなフェーズに入っています*2。

このように、世界的な自動車業界のトレンドが内燃機関搭載車 (エンジン車等) からEVへとシフトしていますが、それと同時に、新たな業界プレイヤーの参入や、EVの進化を支える次世代技術 (全固体電池、電動アクスル、熱マネジメントシステム等) の研究開発が進展しています。また、業界

バリューチェーンやプレイヤーの勢力図、消費者への提供価値そのものも進化しており、EVシフトによって自動車業界や周辺業界での「ゲームチェンジ」が引き起こされる可能性もあります。

本稿では、自動車業界におけるEVに関するマクロトレンドや、EVシフトに向けた主要国・地域の政策動向について紹介します。なお、後編では主要プレイヤーの戦略動向、EVを支える次世代技術の開発動向を紐解き、EVシフトによる今後の業界変動の方向性や、新たなビジネス機会などについて考察していきます。

EVとは何か：その類型と特徴

まずEVの定義と類型について概説します。EVとは「Electric Vehicle」の略で、「電動車両」(電気アシスト自転車、電動バイク、電車・新幹線、電気自動車等)を表わす用語です。EVというと「電気のみを使って走る車」がイメージされますが、本来は電気を使って走る車両すべてを指す単語です。電動車両 (EV) の中で、自動車

*1 量産市販の前には、日産の前身の1社である「東京電気自動車」が1947年に製造販売した「たま電気自動車」が市販車1号であり、日本の電気自動車の歴史は古いです。

*2 国土交通省「運輸部門における二酸化炭素排出量」よれば、2022年度における日本の二酸化炭素排出量 (10億3700万トン) のうち、運輸部門からの排出量 (1億9180万トン) は18.5%を占めています。

の形と機能を持ったものが「電気自動車」で、「電気自動車」を総称して「xEV」と呼ばれます。

xEVは大きく分けて、①BEV (Battery Electric Vehicle: バッテリー式電気自動車)、②HEV (Hybrid Electric Vehicle: ハイブリッド自動車)、③PHEV (Plug in Hybrid Electric Vehicle: プラグインハイブリッド自動車)、④FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle: 燃料電池自動車) の4種類に分類されます(図1)。

BEVは、ガソリンを使わず電気のみを使って走る車で、エンジンがなく、バッテリーに充電した電力でモーターを動かして走行する自動車で、純EVとも呼称されます。BEVは、エンジン車と比較して燃費費(動力源)コストが安いという「燃費性能」、排出ガスが少ない(あるいはゼロ)、消耗部品が少ないという「環境性能」、エネルギーの伝達・回収効率が良いという「動力性能」、災害時には電源車として機能できる「防災性能」の面で優位性があります。他方、現時点では、出先での充電ステーションが少ないことや、補給(充電)時間が長い、航続距離が短いという「補給性能」、車種が少ない、機械音がないという「嗜好性・多様性」の面でガソリン車より劣後性があります。

HEVは“ハイブリッド”の名のとおり、

2つ以上の動力源を合わせ、走行状況に応じて動力源を同時または個々に作動させ走行する自動車であり、一般に、エンジン(内燃機関)とモーターを動力源とした自動車です。HEVのモーターはBEVと同様に搭載されたバッテリーを電源としていますが、バッテリーの充電はエンジン駆動による発電やモーターの減速時の回生エネルギーを利用するため外部電力が不要です*3。バッテリー残量が少なくなると、自動的にエンジンを駆動させることにより充電をします。

PHEVは、エンジンとモーターの2つの動力が備わっているのはHEVと同じですが、バッテリー残量がある限りはモーターで走行し、残量が少なくなるとHEVと同様に走行状況に応じて動力源を同時または個々に作動させ走行します。HEVとは異なり、エンジンによる発電とモーターの回生エネルギー利用の他、外部電源からの充電ができるという特徴があります。また、バッテリー容量は1 kWh前後が多いHEVに比べ10~20 kWh前後という大容量であるため、バッテリー充電のためのエンジン駆動頻度も少なくなります。

FCEVは、他のEVとは違い、水素と酸素を化学反応させることで電気を発生させる「燃料電池」と燃料電池からの電気を蓄積するバッテリーが搭載されています。ガソリンを一切使用せず燃料電池とバッテリーを

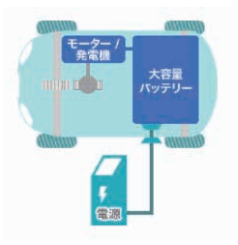
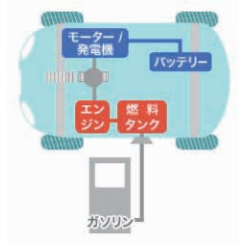
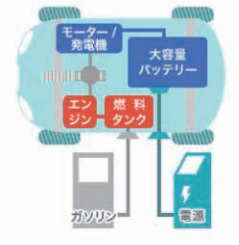
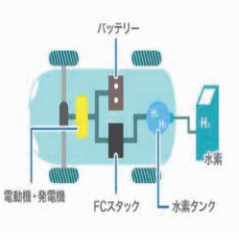
電源としたモーターで走行します。燃料電池による発電においては水が発生するのみであり、二酸化炭素を出さないという点で、環境性能がもっとも高く未来のクリーンエネルギー車として期待されています。

グローバル市場におけるEVの販売動向とその特徴

ここからは、国際エネルギー機関(IEA: International Energy Agency)が発行した『Global EV Outlook 2024』(報告書)に基づき、EVのグローバルな販売台数や販売シェアを概観します。

同報告書では、2023年の世界全体におけるEV(BEV・PHEV)の新車販売台数は、約1380万台と、同年に販売された自動車のほぼ5台に1台がEVとなっていることが報告されています。内訳は、BEVが950万台、PHEVが430万台であり、BEVに加え、PHEVの販売規模も大きいことがみとれます。

*3 HEVはさらに、エンジンを切ってもモーター(電力)だけで走行できる「ストロングハイブリッド」方式と、エンジン走行を基本として、発進や加速時などにモーターを使ってエンジン出力を抑える等、モーターでエンジンをアシストする「マイルドハイブリッド」方式の2方式に細分類されます。

種別	BEV (バッテリーEV自動車)	HV/HEV (ハイブリッド自動車)	PHV/PHEV (プラグインハイブリッド自動車)	FCV/FCEV (燃料電池自動車)
基本構造 (イメージ)				
特徴	クルマに搭載した大容量バッテリーに車外から充電し、その充電された電気のみで走る	「2つの動力源」で走行。ガソリンエンジンに加えてモーター・バッテリーを搭載、走行状況に応じてエンジン・モーターの2つの動力源を最適にコントロール	HEVと同様にガソリンエンジンに加えてモーター・バッテリーを搭載。走行し始めはEVと同様にバッテリーの電気のみで走りますが、バッテリーの電気がなくなると、ガソリンエンジンを使いHEVとして走行	水素と酸素の化学反応によってつくられる電気をを使用してモーターで走行
燃料	電気のみ	ガソリンのみ	ガソリン+電気	電気のみ
走行距離 (一充電走行距離)	250~700 km程度	-	40~100 km程度 (電気だけの走行可能)	750~800 km程度

※HVとHEV、PHVとPHEV、FCVとFCEVは同じ

出典: 次世代自動車振興センター「クリーンエネルギー自動車とは?」等を基に情報通信総合研究所作成

図1 EVの種類



全動カユニット（パワートレイン）に対する販売シェア（2023年）は、EV（BEV・PHEV）が18%となっており、2020年以降、（後述する）主要各国における脱炭素対応や、戦略的なEV普及政策、充電インフラ等のインフラ整備の充実化等とも相まって、EVの新車販売数、販売シェアとともに、拡大トレンドとなっています（図2）。

EVの将来予測については、同報告書では、EVの新車販売台数は、2030年に約4500万台（新車販売シェアの約40%）、2035年には約6500万台（同50%以上）へ達し、自動車の約4分の1がEVになると予測されています。

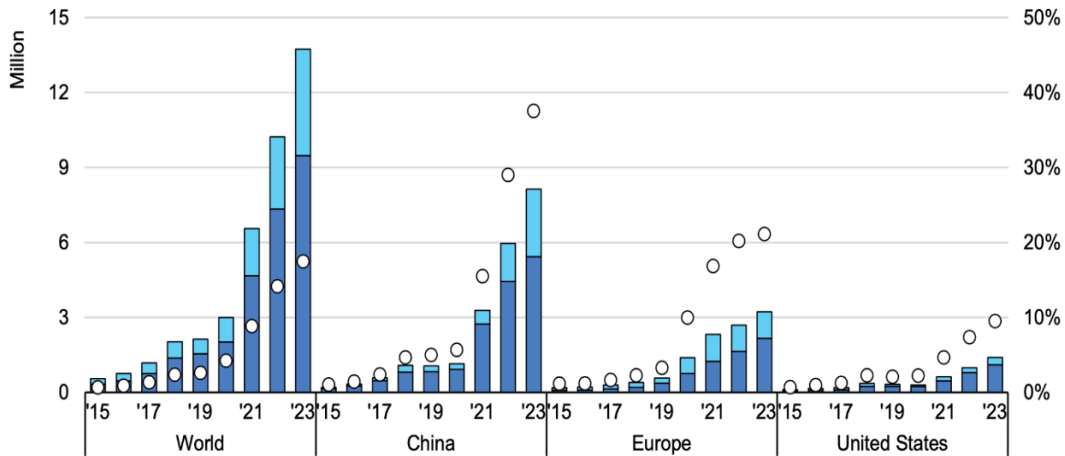
EV販売動向を国・地域別にみると、EV販売は一部の国・地域、とりわけ中国、欧州、米国に著しく集中していることが特徴的です。2023年のEV（BEV・PHEV）販売台数は、中国が810万台（対2022年比、約35%増）、欧州が320万台（対2022年比、約20%増）、米国が140万台（対2022年比、約40%増）であり、中国、欧州、米国を合計したEV（BEV・PHEV）販売台数は1270万台となっています。中国、欧州、米国で全世界のEV販売台数の90%以上を占めている状況です。

とりわけ、中国では、政府によるEVシフトに向けた戦略的な産業政策や、EV購

入時の消費者への手厚い補助金の交付、充電インフラの充実化や消費者の需要喚起等により、2023年の新車登録台数の3台に1台以上がEVとなっています。

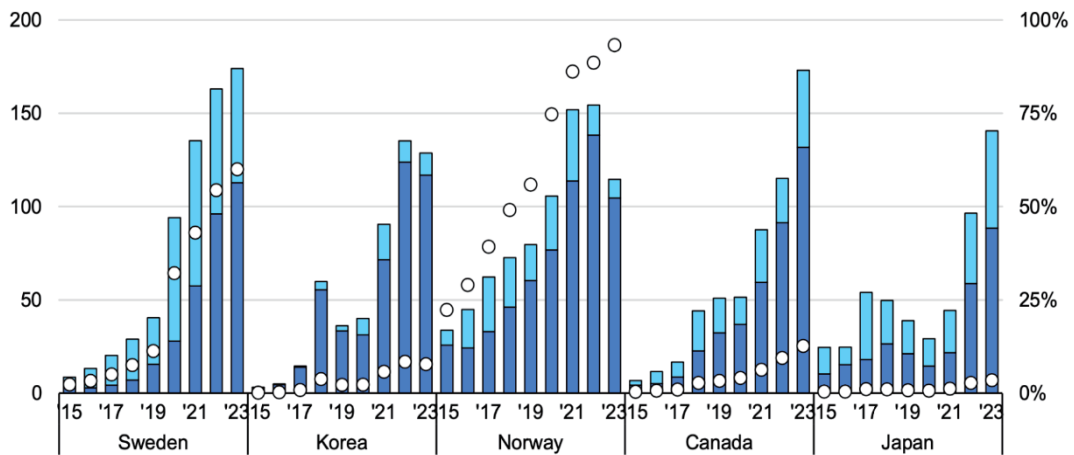
他方、日本のEV（BEV・PHEV）の新車販売台数は、14万台（2022年）と中国、欧州、米国と比べて低水準であり、EV普及が停滞している状況です*4（図3）。

このように世界的なトレンドとしては、EV販売は拡大トレンドとなっていますが、直近では、EVの種類により勢いが異なることに留意が必要です。具体的には、純EVであるBEV販売ペースが、価格の高さなどから鈍化しており、代わりにPHEVに



※水色はPHEV、青色はBEV、○は新規登録販売数全体に占めるEVの割合
出典：IEA「Global EV Outlook 2024」

図2 世界と中国・欧州・米国のEV新規登録販売数の推移（2015-2023年）



※水色はPHEV、青色はBEV、○は新規登録販売数全体に占めるEVの割合
出典：IEA「Global EV Outlook 2024」

図3 日本を含めた5カ国の新規登録販売数の推移（2015-2023年）

対する需要増加や設備投資を再強化する動きが始まっています。例えば、中国EV最大手のBYD（比亚迪）は、PHEVをBEVよりも低価格で販売し、BEVに手の届かない消費者の需要を獲得しています。米国、欧州、日本の主要メーカーは、BEVシフトからHEV/PHEVなどエンジン搭載車を強化する動きが広がっています⁽¹⁾。

EVシフトの今後の注目点として次の2点が挙げられます。第1は、そもそもエンジン車からのEVシフトがどの程度のペースで進むのかです。この点については、確かにEV新車販売台数というフローベースでは、中国、欧州、米国を中心にトレンドとしては進んではいるものの、中古車を含めたストックベースでのEVシフトにはまだ相当な時間がかかるものと推測されます。

第2は、EVの中でもどの技術が優位となるのかです。前述のとおりEVには、BEV、HEV、PHEVなどの異なる技術がありますが、純EVであるBEVへのシフトが主流となるのか、あるいはBEV+PHEVのように異なる技術の組み合わせでEV市場や業界が形成されるのかについては注目点です。

EVシフトに向けた海外諸国の政策動向

ここからは、海外諸国（中国、EU、米国）におけるEVシフトに向けた政策動向について概説します（表）。

■中国のEV政策

中国政府は、これまで日本や欧米メーカーがメインプレイヤーであり、技術的にも劣っていたガソリン車を中心とする自動車業界に「ゲームチェンジ」をねらい、近年のEVトレンド以前から、国策としてEV導入を推進し、同国の産業競争力向上を図ってきました。

中国は、EVを含む新エネルギー車をNEV（New Energy Vehicle：BEV、PHEV、FCVを総称する中国独自の用語）と呼び、NEVへの転換を比較的早期から政策的に推進しています。

中国におけるEV政策の嚆矢（こうし）は、2009年1月の「省エネルギー・新エネルギー自動車のモデル地域応用実験に関する通達」です。同通達では、2009年から2012年まで

の4年間に、毎年10都市前後において年間1000台の電動バス、タクシーを公共部門に導入する方針「十城千両」プロジェクトが掲げられています。

2012年6月には「省エネルギー・新エネルギー自動車発展計画（2012～2020年）」が公表され、同計画においてNEV産業の発展に関するロードマップが示されました。具体的には、2015年までにBEVとPHEVの累計生産、販売台数をそれぞれ50万台、2020年までに生産能力を200万台、累計生産、販売台数をそれぞれ500万台超と、5年で10倍以上にすること、平均燃料消費量の引き下げ、動力電池の国際先進レベルへの引き上げなどが掲げられました。加えて、FCV、自動車向け水素エネルギー産業を国際レベルまで発展させることも主要目標に盛り込まれました。2014年には、同計画方針に基づき、充電設備整備や消費者向け補助金の支給、車両購入税の免除が開始されました。

2015年5月に発表された「中国製造2025」では、10大重点分野の1つとしてNEVが指定され、2020年には2035年までにEVを新車販売の主流にするという目標が掲げられ、優遇税制や補助金などでNEVへの支援が実施されたほか、主要部品から完成車までの産業サプライチェーンを構築することが打ち出されました。

「中国製造2025」以降、2020年10月の「新エネルギー自動車産業発展計画（2021～2035年）」、2023年9月の「自動車産業の着実な発展に関する作業プラン（2023～2024年）」等においてもEVシフトや産業サプライチェーン構築に向けた方針が継続的に公表されてきました。

直近では、2024年1月に、すべての新車販売に占めるNEVの比率を2027年までに45%に高める目標が発表され、2035年に50%をめざしていた従来の目標を大幅に前倒しする方針が示されています^{*5}。なお、ガソリン車については、2035年に販売禁止が掲げられています。

このように中国では、他国に先行してEVシフトに向けた積極的な政策が展開されてきました。中国は、EV完成車のみならずEV向けの素材や基幹部品（蓄電池、磁石、モータ等）をも含めた上流から下流までEV関連エコシステムを国内に構築し

つつEVシフトを起点に自動車業界のゲームチェンジの機会をつくり出しながら自動車強国の実現を虎視眈々とねらっています。

■欧州のEV政策

欧州では、2021年7月に欧州連合（EU）の執務機関である欧州委員会（EC）により、「欧州グリーンディール」に関する法案、および同案を包括的に推進する政策パッケージ「Fit for 55」が発表されました。同法案では、自動車分野における二酸化炭素排出量を「2030年までに2021年比で55%削減」「2035年までに2021年比で100%削減」が提案され、事実上、2035年にはPHEV・HEVも含めてすべてのエンジン（内燃機関）車の新車販売を禁止することが提案されました。

同法案は、2022年10月にEU理事会（閣僚理事会）と欧州議会が合意し、EUでは2035年までに「すべての新車をゼロエミッション化」、すなわち、同年以降は内燃機関搭載車の生産を実質禁止することが、いったんは確定しました。

ところが、その後の2023年3月、EUは、（ドイツ等からの反対も受け）2023年以降の新車販売についてエンジン（内燃機関）車を全面禁止する従来の規制方針を事実上撤回し、（BEV、FCEVを推進するという基本方針は変わらないものの）例外として合成燃料（e-fuel）^{*6}や水素を利用する専用内燃機関（エンジン）搭載車に限り、2035年以降も新車販売を容認するという政策転換が発表されました。

欧州においては、英国が、2023年9月にガソリン車とディーゼル車の新規販売の禁止時期を2030年から2035年に先送りしたほ

*4 スウェーデン、ノルウェーのEV販売台数は日本をやや上回る水準ですが、日本との大きな差異は、新車販売台数に占めるEVの販売比率が高いことです。この背景には、EV車への付加価値税の免除、法人向けEV関連の税控除、ガソリン車への付加価値税率の引き上げ等の政策要因が寄与し、新車販売におけるEVシフトが進展しています。

*5 中国政府は2020年、NEVの比率を2035年までに50%まで高める目標を掲げました。同目標では、2025年に20%、2030年に40%まで段階的に引き上げる方針となっていました。NEVの普及が想定以上に進んだため、目標の見直しを進めています。

*6 水素と二酸化炭素（CO₂）を合成した液体燃料。車の走行時にはCO₂を排出しますが、製造段階でCO₂を使うため相殺して実質的なCO₂を大幅に削減できるとされています。



表 各国・地域のEVシフト目標

国・地域	EV販売比率 (2023年)	目標年度	販売目標	FCEV	BEV	PHEV	HEV	ICE※2
中国	BEV・PHEV・FCEV : 38%	2027年※1	BEV・PHEV・FCEV : 45% HEV : 50%	45%			50%	販売禁止 (2035年)
EU	BEV・PHEV・FCEV : 22%	2035年	BEV・FCEV : 100%	100%			一部例外※3を除き 販売禁止	
米国 (カリフォルニア州 +13州以外)	BEV・PHEV・FCEV : 9.5%	2030年	BEV・PHEV・FCEV : 50%以上	50%以上			販売禁止の有無は 規定されていない	
日本	BEV・PHEV・FCEV : 3.6%	2030年	BEV・PHEV : 20~30% FCEV : ~3% HEV : 30~40%	~3%	20~30%		30~40%	30~50%
	HEV : 55.7%	2035年	BEV・PHEV・FCEV・HEV : 100%	100%			販売禁止	

※1 2035年にBEV・PHEV・FCEV : 50%から2027年に同 : 45%へ目標を前倒し

※2 Internal Combustion Engineの略で内燃機関（エンジン）を指す

※3 合成燃料（e-fuel）、水素を利用する専用内燃機関（エンジン）搭載車に限り、2035年以降も新車販売を容認

出典：各種情報より筆者作成

か、2023年12月にはドイツが（従来はEV1台当たり最大4500ユーロを支給していた）EV購入補助金の停止を発表する等、欧州におけるEVシフト政策は後退の兆候がみられます。

EVの国際貿易についても新たな展開があります。EUは2024年6月、中国製EVが市場を席卷し、欧州メーカーの商機や雇用が失われかねないことを懸念し、中国から輸入するEVに最大38.1%の追加関税を7月から課す暫定措置を発表しています。この措置により、中国から輸入されるEV車の関税は、現行の10%から最大48.1%に上がります。（後述するように）中国から輸入されるEV車への関税引き上げは米国も同様な措置を導入予定であり、EVをめぐる保護貿易的な動きもみえ始めています。

■米国のEV政策

米国では、2021年8月、バイデン大統領が、2030年までに販売される新車（乗用車と小型トラック）の50%以上を、BEV・PHEV・FCVとする（HEVは含まない）大統領令を発令し、EVシフトに向けた政策が推進されてきました。

2022年8月には「インフレ抑制法」（IRA法）が成立し、最大7500ドルにおよぶEV・PHEV等の税額控除優遇策が盛り込まれて

います。

米国の財務省と内国歳入庁（IRS）は2023年3月、IRA法で定めている、消費者がクリーンビークル（BEV、PHEV、FCV）の購入時に受けられる税額控除に関する規則案を発表しました。同規則案では、クリーンビークル1台当たり最大7500ドルの税額控除対象となる車両の要件として、最終組み立てが北米で行われていることに加え、バッテリーの材料・部品の調達先・製造を北米ならびに米国と自由貿易協定（FTA）を結んでいる国にすることなどの条件が明記されています。2023年12月、米国エネルギー省はIRA法に基づく税額控除について、2024年1月1日以降の対象車両19モデルを発表しました。19モデルのうち、10モデルは最大の7500ドル、残り9モデルは半額の3750ドルの税額控除の対象となりますが、2023年末時点の対象車両だった43モデルから大幅に減少しています。

直近では、米国におけるEVシフト政策にもスローダウンの兆候が始まっています。米国環境保護局（EPA）は2024年3月、2022年4月に公表した2032年までの自動車の温室効果ガス排出基準を緩和する最終決定を公表しました。同決定では、2032年の新車販売に占めるEV比率が（当初目標の

67%から35~56%に下方修正されたほか、HEVもクリーンビークルの対象に含まれることになりました。EV販売目標の下方修正の背景には、足下のEV販売の減速を受け、当初案のようなペースでEVシフトを進めるのは困難との判断があります。この下方修正によって米国内のEVの普及が遅れることにはなりますが、エンジンとモーターを併用するHEVやPHEV車も含めた多様な技術で二酸化炭素削減を達成するシナリオを描いています。米国はBEVのみならず、PHEVやHEVも含めた、テクノロジーニュートラルなかたちでのEVシフトを推進していく方針です。

EV対中貿易に関しては、バイデン政権は、2024年5月、中国政府の補助を受けて過剰生産されたEVが、米国の企業や労働者を脅かしているなどとして、通商法301条に基づき、中国製のEVへの関税を、2024年中に、現在の25%から4倍の100%に引き上げると発表しました*7。この背景には、2024年秋の大統領選挙を前に国内の

*7 EV関税の引き上げと併せ、太陽光発電設備への関税を25%から50%へ、半導体への関税を25%から50%へと引き上げることも発表しました。

産業や雇用を守るため、中国への強硬姿勢を示すねらいもあるとみられています。

EVシフトに向けた海外主要国の政策は、EVシフトの目標を前倒しながら積極的に推進している中国と、政策の後退感がみえ始めた米国、欧州とで2極化しつつあります。

EVシフトに向けた日本の政策動向

本稿の最後にEVシフトに向けた日本の政策動向を概観します。

日本では、経済産業省が2020年12月に「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（グリーン成長戦略）を公表しました。グリーン成長戦略では、2035年に「電動車（BEV、PHEV、FCEV、HEV）」を100%にするため、2030年にはBEV・PHEVを20～30%、HEVを30～40%、FCEVを3%まで販売比率を高める目標が掲げられています。ただし、ここでいう“電動車”には、BEVやPHEVだけでなく、（日本メーカーが得意としてきた）HEVも含まれていることが大きな特徴で、すべての車をBEVにするというわけではないことに留意する必要があります。ガソリン車については、2035年に販売禁止が掲げられています。

なお、グリーン成長戦略では、2030年までに急速充電器を今の4倍となる3万基を設置することなどのインフラ整備をはじめ、税制優遇や研究分野への支援、国際連携の推進なども掲げられています。

2023年6月には、グリーントランスフォーメーション（GX）推進法が成立し、EVシフトに向けて、蓄電池の国内製造基盤確保や、電気自動車、燃料電池自動車等の購入補助、サプライヤ、販売・整備業の構造転換支援、充電、水素インフラの整備などが

対策パッケージに盛り込まれています。

直近では、2023年10月、経済産業省はEV向けの充電設備に関し、2030年までに15万口としていた設置目標を倍増させて30万口に引き上げる新指針を定め、EV車の充電に欠かせないインフラ整備を急ぎつつ、EVの普及拡大を推進していく方針を提示しています。

おわりに

本稿では、EV業界のマクロ的な市場トレンドや、主要国のEVシフトに向けた政策的な取り組みを展望・概説してきました。主なポイントを次の2点に要約しておきます。

第1のポイントは、グローバルレベルでのEV普及（とりわけ純EV）は、中国を筆頭に、拡大トレンドで推移してきたものの、ここきて加速ペースが緩やかになっていることです。とりわけ、ガソリン車に比べて価格が高いBEV販売は、これまで政府による購入補助金の導入等が後押しし、富裕層などのアーリーアダプタ層の消費BEV需要を取り込むことで、伸びてきたものの、BEV需要の一巡や補助金の廃止もあり、伸張の勢いが緩やかになっています。

第2のポイントは、EV＝BEV一辺倒ではなく、エンジン搭載車も含めた多様な動力源を前提としたEVシフトへの関心も高まりつつあることです。この点については、欧米では、純EVであるBEVのみならずエンジンを搭載したPHEVへも再注力しつつあります。

現在のEV業界は、純EV（BEV）を主力としつつも、PHEV、FCVも補完的に加えた、テクノロジーニュートラルを前提とした業界構図となっていますが、このような併存構図は当面続きそうです*⁸。

後編では、（本稿で述べた）EVシフトに対する業界トレンドや各国・地域の政策動向を踏まえ、業界主要プレイヤーの戦略動向やEVを支える次世代技術の開発動向、業界ビジネスの今後について展望・概説します。

参考文献

- (1) https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/industrial_restructuring/pdf/014_04_00.pdf
- (2) https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteiky/xev_2022now.html
- (3) https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteiky/xev_2022now_2.html
- (4) <https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/special/2023/1201/71e72eba5037b468.html>
- (5) <https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/special/2023/0903/db25da831838dde7.html>
- (6) 日本経済新聞：“トヨタ、HVの次へ布石 PHV向けエンジン小型化。”2024年5月29日版。
- (7) 日本経済新聞：“欧州EV補助に転機 独仏で停止・縮小、中国攻勢を警戒。”2023年12月8日版。
- (8) <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>

* 8 EVに向けた自動車メーカーの戦略については、本連載後編で詳述しますが、直近ではトヨタがHEV・PHEVへの搭載を前提にした小型エンジンを新たに開発しているほか、米ゼネラル・モーター（GM）も米国で販売していなかったPHVを売り出す検討を行っています。また独メルセデスは2030年にエンジン車を全廃する方針を撤回し、新型エンジンを開発するなど、ガソリン車とEVの「いいとこ取り」をねらい、PHEV事業を強化する動きも加速しています。



株式会社情報通信総合研究所
（左から）主任研究員 山崎将太/
主席研究員 手嶋彩子

NTT社会情報研究所
フェロー

阿部 正幸 Masayuki Abe

量子計算機が普及した環境を想像して、それに耐えることができる暗号の基礎理論と応用技術の実現をめざす

情報漏洩やサイバー攻撃等に起因するインシデントに関する報道をしばしば見かけるようになりました。こうしたインシデントに際して、大切な情報そのものを守ってくれるのが暗号です。持ち出しや漏洩により外部に出た情報に強固な暗号がかかっていることがあれば、そのデータは単に「1」「0」の数字の羅列でしかなく、改ざんも行うことができません。こうした暗号技術は、インターネットの普及に伴い、ネット通販等の電子商取引や仮想通貨といったかたちで日常生活の中に広くいきわたっています。暗号化や解読は、コンピュータによる演算処理で行われていますが、コンピュータの性能向上とともに強靱性を確保するためにより複雑化してきています。こうした暗号に関する研究に取り組んでいるNTT社会情報科学研究所 阿部正幸フェローに、暗号を活用した新たな情報売買のモデル、知識を漏洩することなく何かを証明するためのツールであるゼロ知識証明の新たな展開、そしてお互いにリスペクトし合える居心地の良いコミュニティに対する思いを伺いました。



量子計算機の時代においても不変の基礎理論に立脚した暗号応用技術

現在、手掛けていらっしゃる研究について教えていただけますでしょうか。

2022年にフェローとなり、阿部特別研究室という新しい体制で、暗号に関して3つの領域における研究に取り組んでいます(図1)。時系列順に、「現在」「少し先の未来」「さらにずっとはるか先の未来」というかたちで大まかな分類をしています。ポイントとして量子計算機が登場する以前か以降か、そして、それが一般に広く普及した後という観点で分類してあり、現在は量子計算機が出てくる前の時代になります。

暗号は、悪意を持った人によるハッキングや攻撃、あるいはシステムトラブル等による漏洩から情報を安全に守ることが目的なので、悪意を持った人がどれくらいの計算能力を持っているのかが知ることがキーとなります。古典計算機(一般に普及している従来型の計算機)では、計算能力の向上もこれまでの延長線上で予想が可能です。一方、量子計算機は古典計算機の延長では考えられないパワフルな計算能力を有しているため、それを利用した今までにないタイプの攻撃者が登場します。したがって、量子計

算機の実用化の前後で、暗号としても対応の仕方が全く異なります。さらにその先の量子計算機の普及により新たなアプリケーションも登場することで、それに対応する暗号も必要になってきます。そのため、量子計算機は暗号にとって非常に重要なファクターとなります。現在は、大規模汎用な量子計算機の登場の可能性やその時期がよく分からない状況なので、今からその出現に備えて研究を進めているところです。

こうした流れの中で、古典計算機の世界で研究されてきた暗号の理論については、今後も不変的な基礎理論となるものであり、その研究を継続して新たな理論を構築していくのが1番目の領域のテーマです。2番目の領域のテーマは、量子計算機が登場した段階でも安全な暗号構築をめざした研究です。そして、量子計算機が現在のスマートフォンのように完全に普及したときに、どのようなアプリケーションが登場し、世界がどのようになるのかということ想像して、それに対応する暗号を研究するのが3番目の領域のテーマで、若手の研究者を中心としてこのテーマに取り組んでいます。

私自身が取り組むテーマとしては、1番目と2番目の領域で、前回、本コーナーに掲載された時点(2021年5月号)では、ブロックチェーン上でスマートコントラクトを使って、売り手の持っている(正しい)情報を買手が(正しい対価で)買うといった、

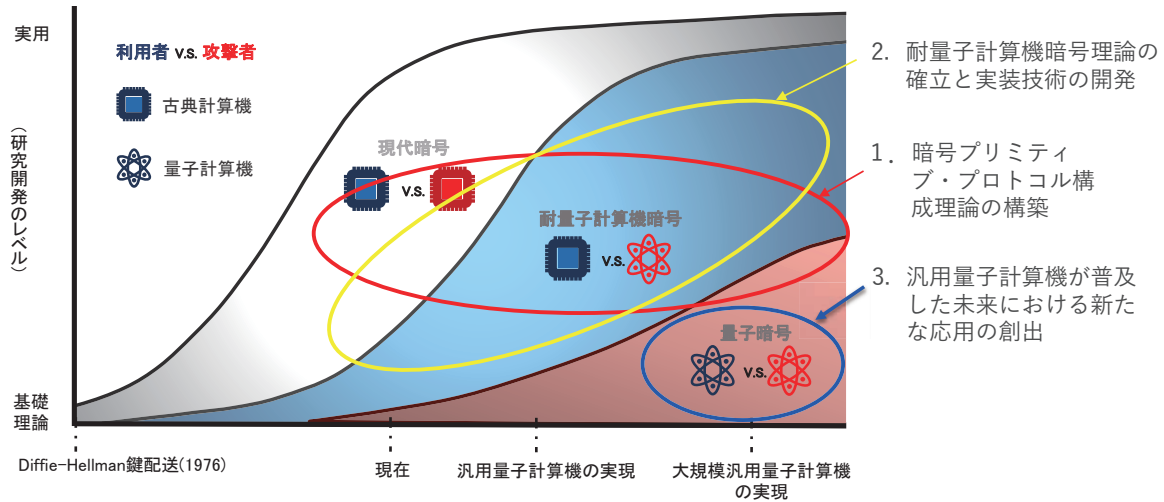


図1 NTT暗号研究の現在：3つの研究テーマ領域

安全・確実に情報売買する仕組みの1つとして、ゼロ知識証明とスマートコントラクトを組み合わせた方式を紹介しました(図2(a))。現在はこれを一步先に進め、売り手と買い手がお互いに何らかの情報を提供し合って、その結果を買い手が買うということを考えます。例えば、売り手が高精度な予測モデル(回路)を持っていて、買い手は、自分の保有する情報を売り手のモデルで予測した結果が欲しい場合に相当します。売り手は回路、買い手は入力情報を提供して演算することになりますが、モデル、入力情報ともに秘密性が高く相手方にそれを知られたくない場合の演算結果を安全・確実に売買する仕組みを研究しています(図2(b))。

前述のスマートコントラクトを活用して仲介者をたてることで実現する方法もあるのですが、コストが非常に高くなります。買い手の入力情報を暗号化して、暗号化された状態のまま売り手の側で演算し、暗号化された状態で買い手に戻す完全準同型暗号を使う方法もありますが、売り手の回路がオープンな状態であること、それにもかかわらず売り手の演算結果が正しいかどうかについて、買い手には分からないという課題があります。

そこで、2者間秘密計算として、暗号化された回路に暗号化(符号化)された情報を入力し、最終結果もある意味暗号化されたまま出てくるアプローチを考えました。演算過程の正しさは、売り手と買い手との間で回路をつくるための、お互いの情報に基づかない事前の予備的なやり取りを行うことで保証されます。そのやり取りが正しいとそこから先は実際の計算は絶対に正しい方法にしかできないことが保証される仕組みです。もし、予備的なやり取りの中でエラー等が発生したら、その段階ではお互いの情報はただの乱数として計算しているだけであり、元の情報の改ざんも秘密漏洩もないので、処理を中断すればいいだけなのです。現在、

これを活用して計算結果の安全な媒介システムを開発しています。最近ではAI(人工知能)を利用した予測等がかなり普及してきているので、計算結果を売ることが実際ビジネスとして登場してくるのではないかと期待しています。

「安全な情報の売買を可能にする技術」以外に取り組んでいるテーマを教えてください。

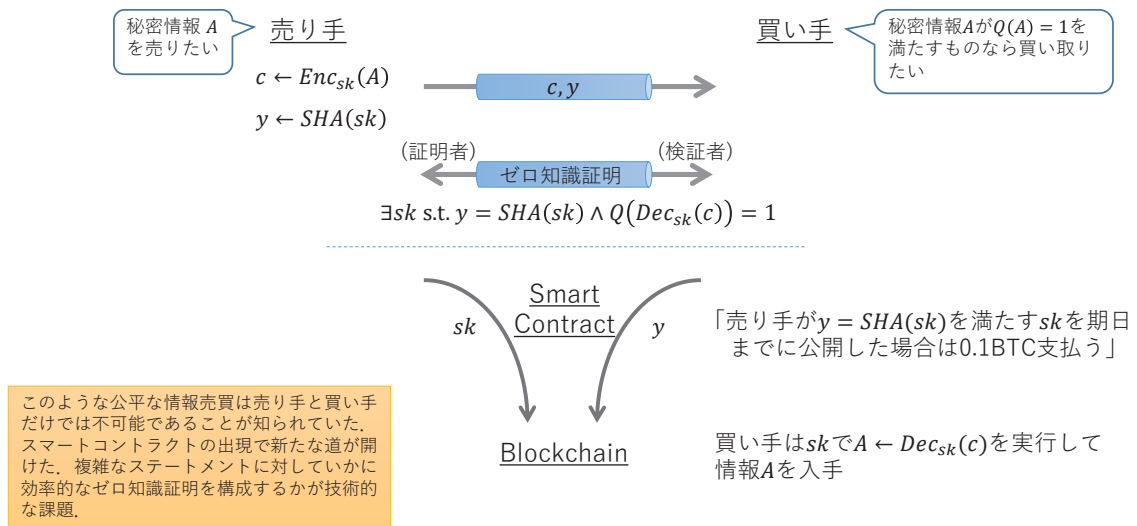
暗号プロトコルを大きな柱としてのテーマにしています。暗号プロトコルは、いくつかのコンポーネントを、ある目的のために安全に組み合わせる方法を中心とした研究です。その中で、「ゼロ知識証明のcomposition技術」の研究に注力しています。

ゼロ知識証明は、知識を漏洩することなく何かを証明するためのツールです。例えば、羊の群れの中に特定のドリーという名前の羊がいるという事実を、ドリーが群れの中のどこにいるかという具体的な情報を漏らさずに、単にいるという事実だけを説明する技術です。例えば公開鍵を持っている人が、それに対応する秘密鍵を持っているという事実だけを相手に知らせるだけで、ゼロ知識証明によりそれは直ちに認証に使えることになります。この事例は1985年に開発されていますが、最近ではブロックチェーンの領域では非常に有効な技術だと認識されて、応用技術の開発がここ数年で一気に進み、スタートアップ等の参入により、Web3、特にブロックチェーンとWeb3の領域において実際に使われて始めています。とはいえ、関連する理論がすべて出つくしたわけではなく、さらに開発が進んだ結果、新しい領域が登場してきたので、それに対応する技術を理論的に構築しているのが現在のテーマです。

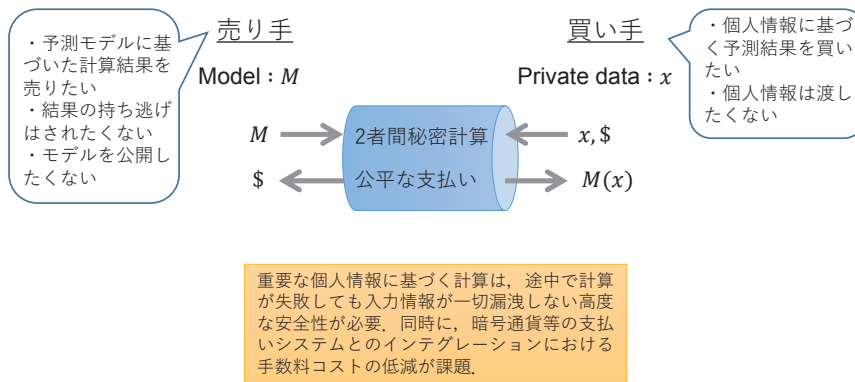
さて、ゼロ知識証明で、前述の「公開鍵に対する秘密鍵を知っている」こと、かつ、例えば「私は1000ビットコイン以上の金額を保有している」ことを証明する方法がこのテーマのポイントとなります。「かつ (and)」の場合は、個々に証明されている2つの事実を両方同時に成立していることを証明すればいいのですが、「または (or)」の場合、特にどちらの事実が成立しているのかということを経験として相手に与えたくないようなケースでは、片方だけ証明すればいいわけではなくて、この2つのゼロ知識証明系をうまく組み合わせないと、どちらの事実が成立しているという情報が漏れてしまいます。したがって、orの場合は何らかの内部的な結合 (composition) を行わないとうまく証明できません

(ゼロ知識証明の composition).

ゼロ知識証明の composition の研究は、1994年に大きな進展があったのですが、2つのゼロ知識証明系がそれぞれ持っている性質によりその組み合わせ方も次々と変化してきています。そして、3更新ゼロ知識証明といわれる従来からよく知られたスタイルのゼロ知識証明に対して、特にここ数年方式の進歩が目覚ましく、3更新ゼロ知識証明には合わないような、効率の良いゼロ知識証明が新たに出現してきました。これにより、5更新以上の更新回数のゼロ知識証明が効率良く実行できるようになりました。ただし、面白いことに、3更新のときにはうまくいっていた composition の方法が、5回の更新回数になるとアタックと呼



(a) ブロックチェーン上のスマートコントラクトを用いた安全な情報売買



(b) 計算結果の安全な売買

図2 情報売買

ばれる、例えば、(A and B) or (C and D) というステートメントの証明でAとCしか成立しないにもかかわらず検証にパスする証明をつくるのが可能になるといった、証明の不完全性ができて情報が漏れる、もしくは安全性がうまく証明できないといった事例が出てきました。このため、新しく出てきた最新のゼロ知識証明に対応したcompositionの方法を開発する必要が出てきました。そこで、5更新・7更新等、定数ラウンドのゼロ知識証明を安全に組み合わせる方法を提案しました。この結果は、2024年8月18~22日に米国Santa Barbaraで開催される、暗号系の最高峰、最難関の国際会議である「Crypto 2024」において発表する予定です。

さて、従来のゼロ知識証明が使われている部分に、この技術を適用することで、より一層使いやすいものになるはずで、さらに、こういった技術は、今後、Web3やブロックチェーンの領域のみならず、さらに広い領域、効率的なゼロ知識証明を必要とするような領域全体に寄与していくような技術だと思っています。

研究者がお互いにリスペクトし合える 居心地の良いコミュニティをめざして

研究者として心掛けていることを教えてください。

これまで、暗号研究でNTTの研究開発に寄与していきたいという気持ちはありましたが、フェローになったことで、さらに広い視野で、コミュニティ全体において後継者、若い世代を育てていきたいという気持ちがより強くなりました。研究開発は、理論的な萌芽があるからこそ花開いている状況があるはずで、もし、その花を愛でて実を食べたらそこで終わってしまいます。だからこそ、後継者や若い世代の育成が必要になるのです。それと同時に、花（応用）を支える土壌（基礎・理論）は、常に栄養を供給しなければならないので、そこを強固なものにしていくことが必要であることを意識して、楽しみを見出しながら一生懸命取り組んでいきたいと思っています。さらにそのうえで、応用分野はスピードが速く、成果がいつまでもそこにあり続けることはないので、基礎の部分を活用して結果を次々と出していけるよう日々努力しています。

さて、現在は、特別研究室長と研究者の2つの立場があるのですが、室長としては、私のグループのメンバーは独立した優秀な研究者なので、独立性を尊重してメンバーがやりたいようにできる環境を整えることが自分のやるべきことと強く意識しています。一方研究者としては、私は先輩の背中を見て育ってきたのですが、今の研究者の研究スタイル・ライフスタイル等は昔の研究者とは違って、自分がメンバーにとっていいモデルになれるのか、

ということを自問自答しています。私のスタイルがすべてではありませんし、年齢等に関係なく研究者として対等な関係なので、あくまでも1人の研究者として、若い人たちにとってのモデルの1例として背中を見せるように努力しています。

加えて、国際会議では、さまざまな人たちとつながりを持って議論することがコラボレーションの直接のきっかけになりますので、このスタイルは今後も保っていきたいと思っています。会議の場の議論や背中を見せることで、一緒に研究をしたいと思ってくれる人が出てくることほど嬉しいことはありません。

後進の研究者へのメッセージをお願いします。

世の中で、ミレニアル世代やZ世代等、生年・世代によって行動やライフスタイルの特徴を一括りにした言葉があります。研究者の世界も、研究環境の変化もあり、研究スタイル、ライフスタイル、そして考え方等が、若手、中堅、さらにその上職と異なり、中堅や上職が若手であったころと比較しても異なっていると思います。さらに、それが個人によっても異なります。

このようなメンバーによりコミュニティやチームが形成されると、自分の流儀を押し付ける傾向が出てきたり、お互いを理解することに時間がかかるため、どうしても不協和音が生じがちになり、決して居心地の良いコミュニティ、チームではなくなります。一方でコミュニティやチームとして前進して成果を出していくためには、この居心地が大切だと思います。居心地を良くするためには、時間をかけて理解し合えばいいのですが、それには年代、役職等に関係なく「自分に余裕をもって」、「お互いをリスペクトし合う」ことが第一歩ではないでしょうか。各世代それぞれ違う悩みがあり、その中で生き方や進む方向を模索しているのが現状だと思います。経験豊富な先輩が相談に乗り、または自身の経験を1つの事例として示すことができるので、そんなときには声をかけていただければと思います。

さて、コロナ禍においては人と直接会えなくなったので、研究をやりにくいと思っていたのですが、現在では種々の制約もなくなり環境も大幅に改善されてきたため、一気にフェース・ツー・フェースの直接コミュニケーションが活発になってきました。私は、これを嬉しく思い、この機を逃さずに、リモートワークの良い面を残しつつ、人対人の対面のコミュニケーションを活発にしていきたいと思っています。この対面コミュニケーションもコミュニティの居心地を良くするためには必要なことです。

居心地の良いコミュニティで一緒に研究をしていきましょう。

NTT東日本
デジタル革新本部 担当部長*

鈴木康弘 Yasuhiro Suzuki

クラウドワークプレイスで社員のワークスタイル変革と社員参加型のDXをめざす

NTT東日本グループでは、社員の創造力や生産性の向上をめざして、社員が、どこにいてもつながり、生産性高く、快適かつ創造的に働くことができるワークスタイル変革を指向しています。そこで、新たな働き方の実現に向けて、ゼロトラスト・セキュリティをベースとしたクラウド環境（クラウドワークプレイス）を構築し、社内IT環境を従来の閉域網から移行を進めてきました。NTT東日本 デジタル革新本部 鈴木康弘氏に社員のワークスタイル変革と社員参加型のDX（デジタルトランスフォーメーション）をめざすクラウドワークプレイスの構築、そして、勇気をもって最初の一步を踏み出し、自ら技術に触れてトライ&エラーを繰り返すことの大切さを伺いました。



ゼロトラスト・セキュリティをベースとしたクラウド環境（クラウドワークプレイス）の構築と移行

現在、手掛けている開発の概要をお聞かせいただけますか。

「クラウドワークプレイスの構築・移行」とクラウドワークプレイスを活用した「アプリ内製化・DX実践型研修」、「働き方データ可視化」に取り組んでいます。

NTT東日本グループでは、社員の創造力や生産性の向上をめざして、社員がどこにいてもつながって生産性高く快適に創造的に働くために、クラウド、SaaS（Software as a Service）の利便性を最大限活用できるよう、約5万人の社員が利用するIT環境を従来の閉域網型の環境から、ゼロトラスト・セキュリティをベースとしたクラウド環境（クラウドワークプレイス）へ、現場を含む利用組織の方々との協働により構築・移行しました。

このクラウドワークプレイスに関する基本的な考え方として、以下の4つの観点をふまえ、社内の文化やマインドを変革していくことをめざしています。

- ・働く場所をオフィス（シンクライアントベースの閉域網）からクラウドに移行し、最新のクラウドサービスの利便性を徹底的に活用するとともに、インターネットとセキュアPCでストレスなくかつ社員が意識しなくても安心・安全利用できる

環境の構築。

- ・社員が自らの創意工夫により、アプリの内製や、業務フローの自動化、データの可視化を自由に行える創発の場の提供。
 - ・組織間情報連携の強化や能動的な学習の活性化、経営者も社員も自ら情報発信することにより、階層や組織を越えたオープンな情報交流の活性化。
 - ・クラウドワークプレイス上のメール、会議等のデータを可視化することで、働き方改善に向けた分析・インサイトの獲得。
- このクラウドワークプレイスは、Microsoft 365（M365）を中心に構築しており、従来の閉域網の環境では実現できなかった、外部の方とのコミュニケーション・共同作業、会議の中で共同編集を行う等が可能となっています。ゼロトラストのセキュリティの仕組みとしては、ユーザ（アイデンティティ）やデバイス等のコンテキストを用いて、クラウドへのアクセス・利用にかかわる状況把握やモニタリング、各種制御を行うSSE（Secure Service Edge）や、端末におけるエンドポイント管理をする等、複数のソリューションを組み合わせることで、オフィス以外でもインターネット経由でセキュアかつ利便性の高い環境を構築しています。

クラウドワークプレイスの利便性向上について取り組む中で、リリースした機能の1つとして、NTT東日本の社員が、外部のお客さまやパートナー企業との密なコミュニケーションや共同作業を行う環境を提供する「外部コラボレーション機能」があります。外部のお客さまにゲストユーザとしてNTT東日本のM365テナントのチームに招待するかたちで入っていただき、そのチームの中で、オンライン会議・チャット等のコミュニケーション、ファイルの

* 現、NTTカードソリューション ビジネス戦略部

共有・共同編集等のコラボレーションが可能となります。この仕組みをつくる際にはM365の機能を徹底的に活用することに力点を置き、Microsoft Entra ID（以前のAzure AD）のエンタイトルメント管理機能を利用するとともに、不足する機能をPower Platform等を用いて内製することで環境構築を進めました。

クラウドワークプレイスの利用促進について、どのような工夫をされているのでしょうか。

クラウドワークプレイスに関する基本的な考え方にある、「社員自らが創意工夫をする」場づくりに注力しました。この取り組みでは、いわゆるシステム部門からの機能提供だけではなく、現場の方々も含め社員自らが創意工夫を活かせるように、アプリの内製や、業務フローの自動化、データの可視化を自由に行える環境をつくることで、社内の文化やマインドを変革していくことをめざしています。M365のローコード開発プラットフォームであるPower Platformを活用し、デジタルスキルを社員の方々が身につけることで、それぞれの業務知識を活かしてアプリを手軽につくり、使ってみて改善してといった創意工夫を実践していく中で、社員発のDX（デジタルトランスフォーメーション）施策を広げていく場づくりに取り組んできました。

具体的には、DXの実践に必要なノウハウの蓄積や展開をめざして、社員から業務課題を持ち込み、有識者がサポートをしながら要件定義の段階からアプリ作成等までを実践する場を立ち上げました。現在は、DX推進・現場課題解決の取り組みを進めているNTT-ME サービスクリエイション部DXコーディネイトセ

ンタと連携しDX実践型研修として運営をしています。研修終了者にはDX施策の推進・展開とともに、周囲へのスキル展開や内製スキル者の育成にも取り組んでもらうよう意識付け・呼びかけを行うことにより、DXを実践できるデジタル人材の充実化に取り組んでいます。

さらに、社員が作成した内製アプリを内製アプリポータルに登録し、アプリをダウンロードして水平展開やカスタマイズできるようにしています。実際にリリースされたアプリを使ってみて、意見や改善点等を参考にブラッシュアップを重ねていくという循環が少しずつ回り始めています。実際の事例として、総務人事部が他組織の方々と協力し、社員のコミュニケーション活性化の観点から、気軽に感謝の気持ちを伝えることに注目した取り組みを進めています。その中で私たちも協力しながら本コンセプトを実現する「称賛アプリ」を作成し、水平展開をしているところです。こういった取り組みを通して、まさに新たな社内の文化を醸成しつつ、社員自らが創意工夫をする取り組みが具体的なカタチとなり始めているところです。

また、クラウドワークプレイスで提供しているアプリや機能の活用を促進していくため、便利な利用シーンの紹介やTips情報等を社内コミュニティで発信するとともにWebサイトに公開して、クラウドワークプレイス活用のアクティビティを高めていく取り組みも行っています。例えば、「PowerPoint Liveでスライドを共有してみよう」等、便利な使い方を紹介した動画コンテンツの共有や、Webサイトでは「初めてのM365シリーズ」と題して、初めて使う方々にフィットするようなコンテンツを整理してまとめたカタチで提供しています（図1）。

■ Tips情報・コンテンツの配信イメージ



- ・社内コミュニティを活用して、Tips情報・コンテンツを配信
- ・Tips情報・コンテンツはWebサイトにも公開

■ Tips情報の掲載サイト

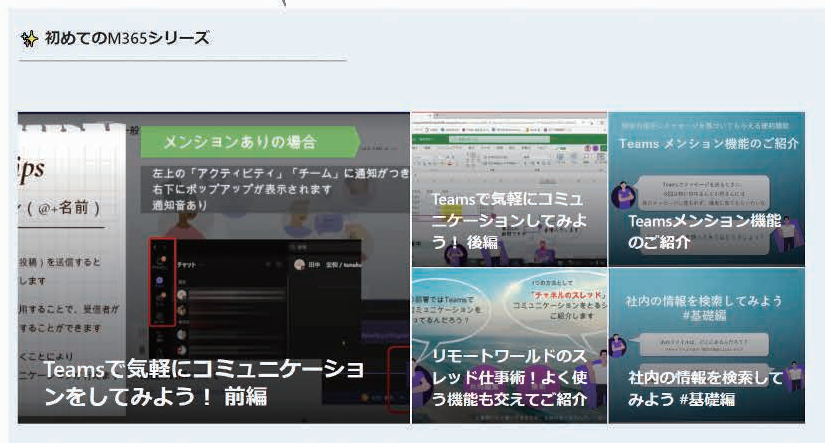


図1 クラウドワークプレイス利用促進の取り組み

働き方データの可視化とはどのようなものでしょうか。

クラウドワークプレイスには、Exchange Online（メール、スケジュール）やTeams（チャット、会議等）などの利用データが蓄積されており、このデータを活用し組織データを組合せ分析・可視化した内容を「働き方データ ダッシュボード」（図2）として提供しているものです。このダッシュボードはMicrosoft Viva Insightsというプロダクトをベースに、集計や表示方法等をカスタマイズして作成しています。本施策は総務人事部と連携して進めており、2024年5月にマネージャー向け説明会を実施したところ。このダッシュボードのデータを、社員の勤務状況等と合わせてマネージャーに参照いただくことで業務のムリ・ムダ削減や日々のマネジメント・社員ケアにつなげていただくことを考えています。

実際の活用例として、一般的に労働時間も長く、かつコラボレーション時間が長いコミュニケーションの負荷が高い社員は、燃え尽きてしまう、やる気が低下してしまうリスクがあります。また、コラボレーション時間が短い社員は、周囲とのコミュニケーションが少ないととらえることができますので、孤立しているリスクがあります。ダッシュボードからコミュニケーション等の状況を、マネージャー自身が認識している社員の状況と照らし合わせて、1on1ミーティング等、社員との対話に役立てていただくことを考えています。マネージャー向けの説明会では多くの前向きなご意見をいただき、それを参考に施策のブラッシュアップをしていきたいと考えています。

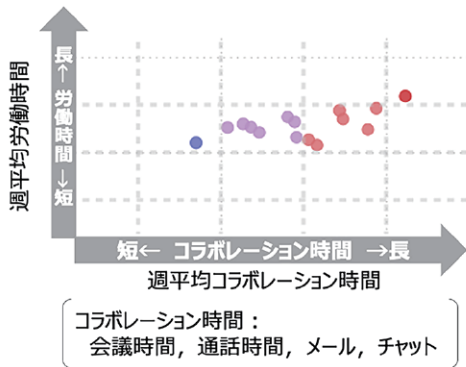
働き方改革を進めていく観点では、NTTグループ、NTT東日本グループの中でもAI（人工知能）技術の活用検討が進み、活用事例も生まれてきている状況です。このクラウドワークプレイスにおいても、生成AIを中心としたAIの活用は今後に向けたキーになると考えています。M365では、Copilotというプロダクトがあり、私たちや現場の社員等にご協力いただきながら、利用シーンや活用方法を確認するため、トライアル・検証を実施しているところ。生成AI技術を活用した働き方改革は、重要なテーマの1つであるという認識です。また、クラウドワークプレイス活用を通して得られたノウハウは、社内のみならずお客さまの困りごとと解決にもつながるので、お客さまニーズを把握しながら社外向けビジネスへの貢献も次の段階のテーマにしていきたいと考えています。

技術に直接触れることで、知見・スキルが真実のものとなる

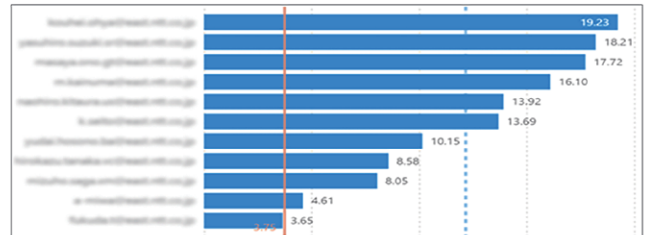
開発者としてスキルの維持、スキルアップはどのようにしていますか。

私は、学生時代は理論物理を専攻しており、数理モデルの数値計算において、インターネット利用、プログラミング等を行ったのが、ITとの出会いになります。1997年にNTTに入社し、OSS（Operation Support System）の研究開発を行う中で、ITU-T（International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector）報告や、OSSに関する国際標準化団

①コラボレーション時間と労働時間（分布）



②会議時間
＜平均会議時間＞



＜会議時間の割合＞

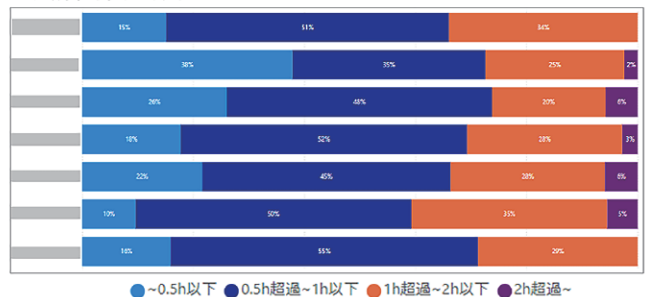


図2 働き方データ ダッシュボードのイメージ

体であるTM-Forumのドキュメントからネットワークマネージメントの知識を習得することと併せて、オブジェクト指向やソフトウェア開発手法といったソフトウェア技術を身につけることができました。また、アクセスネットワークのマネジメントシステム開発に従事していましたので、その業務を通して光アクセスネットワークの技術であるPON (Passive Optical Network) やレイヤ2の伝送技術、IPネットワーク技術を習得しました。NTT東日本では、これらのスキルを活かしながらひかり電話の設備管理、オーダー処理等を担うシステムの開発を経験しました。

現在取り組んでいる施策では、M365等、SaaSやクラウドの仕様や特性にかかわる知見が必要になるわけですが、仕様の調査・把握や技術検証を行う際に、若いころに身につけたソフトウェアやネットワークに関する知識が土台になっています。

学生時代に研究室の教授と研究テーマのディスカッションをしていた際に、「知らないことはゼロのまま」という言葉をいただき、それが今でも心に残っています。アイデアは単なる思いつきによってではなく、自分がそれまで得た知識や経験、その積み重ねによって創出されるものだ、と受け止めています。当時は理論物理の研究の話として認識していましたが、今振り返ると、IT技術者にも通じるものだと考えます。さまざまな経験の積み重ねにより、スキル向上を図ることの大切さを実感しています。

開発において大切にされていることは何でしょうか。

新しい技術、多様な技術が次々と生まれてきています。それらをすべて知ることは当然難しいわけですが、前述の「知らないことはゼロのまま」の気持ちで、知識・経験を積み重ねていくことが、技術をフォローしていくためには重要なことだと思います。知識・経験の積み重ねという点では、ワークショップやイベント、コミュニティ等、会社の外の空気に触れることで刺激を受けることが多くありますので、こうした機会をつくることも非常に有効だと考えています。こうした場に参加した際には、登壇者への質問や講演後に話しかけに行くことで、生きた情報を肌で感じる、体感する機会をつくることのできるのも良い点だと思います。

そして、直接技術に触れる時間をつくることも大切だと考えます。実際に技術に触れてみることで初めて気付くことも多々あり、また各種ドキュメントを調べそこから得た内容の理解を深めることもできます。今回紹介しましたPower Platformの例では、ワークショップに参加する等、技術に触れる機会を意識的につくり、自ら手を動かすことをトライしました。やはり技術に触れることで初めてその知見・スキルが真実のものとなるのではないのでしょうか。マネージャーの業務を行っているとその時間をとることが難しくなりますが、その中でも直接技術に触れることに対して意識的に時間を確保するように心掛けています。

自ら技術に触れてトライ&エラーを繰り返すことで、目の前が一気に開ける

生成AI技術の活用についてどのようにお考えですか。

「As is」「To be」の分析・整理や要件定義といったアプリ開発の上流工程は、その対象とするドメインの専門知識・業務知識も必要ですし論理的な思考力も求められます。一方、そのスキルを身につけることは一定の経験やトレーニングが必要で容易ではないと感じています。そこに、人の創造的な作業をサポートする支援環境・支援ツールとして、生成AI技術を活用していくことは興味深く感じています。

上流工程に生成AI技術を活用する試みやそれをコンセプトにした製品も始めています。ソフトウェアエンジニアリングのあり方を飛躍的に変える可能性を秘めており、注目していきたいと考えています。

後進へのメッセージをお願いします。

技術革新が進んで新たな技術が次々と出てくる中、新たな分野の技術を勉強・理解・実践するシーンが増えてくると思います。このような状況において、私自身の経験から、柱となる専門分野の深い知識・スキルがあると、新しい技術分野の理解や実践に非常に役立ちました。意識的に柱となる専門分野をいくつかつくることを試みってみることは良い経験になると思います。

そして、「知らないことはゼロのまま」の気持ちで、知識・経験を積み重ねに取り組んでいくことが大切と認識しています。とはいえ、新しいことを始める際には躊躇や失敗への恐れもあるかと思っています。しかし、初めからうまくいくことのほうが少ないのではないかと考えます。勇気をもって最初の一步を踏み出して、自ら技術に触れてトライ&エラーを繰り返すことで、目の前が一気に開け、それがきっかけとなっていくいいサイクルが回り出すこともしばしばあります。同様の経験がある研究者・技術者も多いのではないのでしょうか。ぜひ、勇気をもって最初の一步を踏み出しましょう。



NTT物性科学基礎研究所
特別研究員

東 浩司 Koji Azuma

地球規模での量子通信を実現する 「量子インターネット」のための理論を構築

1世紀前に登場した量子力学は、古典力学の根底にある決定論的世界観を諦めた反面、より一般性が高い理論体系となっており、今や「万物は量子力学で記述されるはず」と考えられるに至っています。さらに古典的世界観をもとに構築された情報処理に対する理論体系を量子力学の枠組みでとらえ直す取り組みの中で、従来困難とされていた情報処理タスクまでもが量子力学の枠組みで実装可能となることが分かってきています。今回はNTTが取り組む「量子ネットワーク」の研究分野を先導するトップランナー・東浩司特別研究員に、現在取り組まれている研究や研究者としての心構えについてお話を伺いました。

◆PROFILE：2010年大阪大学基礎工学研究科物質創成専攻博士後期課程修了。同年日本電信電話株式会社入社。NTT物性科学基礎研究所入所以来、量子情報理論、特に量子中継や量子インターネットの理論的研究に従事。2012年から2018年トロント大学客員研究員。2019年ケンブリッジ大学客員研究員。2018年から2022年JSTさきがけ（兼任）研究者。2019年より大阪大学大学院基礎工学研究科招へい准教授。2023年から「Optica Quantum」誌編集者。



従来の常識を覆した新たな方式が、「全光量子インターネット」の未来を引き寄せる

■はじめに、「量子ネットワーク理論の構築」とはどのような研究でしょうか。

私が研究している「量子ネットワーク理論の構築」とは、量子力学の枠組みで許される通信ネットワークの究極形である「量子インターネット」の将来像を明らかにすることを目標とした研究です。

そもそも物理学における理論の役割の1つは高い確度で未来を予測することです。ニュートン力学に代表される古典力学では、「原理的には必ずこうなる」という類の100%当たる予想を与えますが、原子や素粒子などが織り成すミクロな世界には古典力学ではどうしても説明のつかない現象が存在します。そこで登場したのが量子力学です。これは天気予報のように、ある現象が生じる確率を言い当てるだけにとどまることで古典力学よりも広い理論体系になっており、ミクロな世界から宇宙に至るさまざまなレベルの現象に精度の高い説明を与えます。現在では量子力学こそが万物の理論と考えられており、例えば重力理論のように古典力学でうまくいった理論があったとしても、それを量子力学の広い枠組みでとらえ直すこと、つまり「量子化」することは、現代物理学における基本的な取り組みの1つであり続けています。

他方で、前世紀に発明され現代社会にまで影響を及ぼす通信やコンピュータなどの情報処理技術の根底にも物理があります。これは当時IBMフェローだったRolf Landauerが1990年代に発した

「Information is physical（情報は物理的である）」というスローガンにより分野に浸透した考えとなっています（図1）。例えばオンライン会議で何か脳内にある情報を伝える際には、脳内情報が音へと変換され、その音をマイクで拾い電気信号へと変換され…というように、一般に情報処理は物理系と物理的過程を通じて行われるため「情報処理は物理法則に従う」ということになります。ただし、現在のコンピュータや通信などの情報処理技術は、古典力学的世界観のもとで構築されたものに過ぎません。

そうした情報処理を「量子化」する試みから生まれたのが量子情報科学で、その中で私が取り組むのが「量子インターネット」の理論構築です。現在のインターネットを地球上の最大規模の情報処理ネットワークととらえるなら、それを量子化した「量子インターネット」は、究極の情報処理ネットワークとなるはず（図2）。量子インターネットという用語はもともと、カリフォルニア工科大学の教授であったH. Jeff Kimbleによって2008年のNature誌の総説論文のタイトルとして導入されました。ただその時点では、量子コンピュータや量子メモリなどの量子情報処理ノードを光ファイバや自由空間などの量子通信路で結びつけた「量子情報処理ネットワーク」である、という抽象概念に過ぎませんでした。私の研究では、当時抽象概念でしかなかった「量子インターネット」を具現化することを目的としています。

■量子インターネット実現に向けて、どのような研究に取り組まれていますか。

抽象概念であった量子インターネットを具体化して実現するた

量子情報科学 – 量子力学と情報科学の融合

Information is physical. — Rolf Landauer (1927-1999)
 (情報は物理法則に支配される)

↓ 量子力学 (1925)
 → 量子力学で許される情報処理は何か?
 量子情報処理

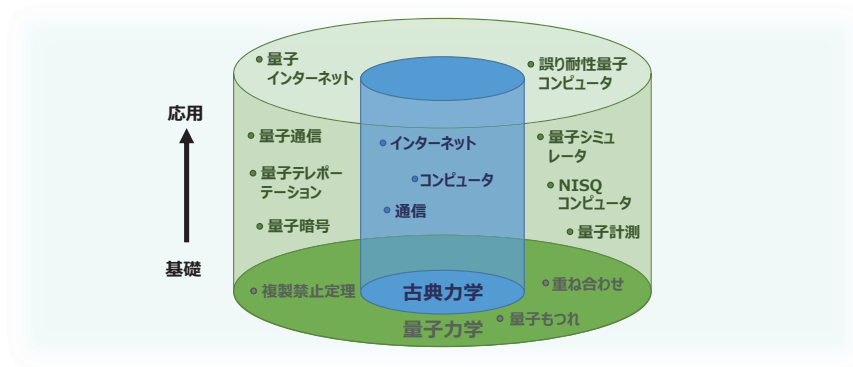


図1 研究背景：量子力学と情報科学の融合

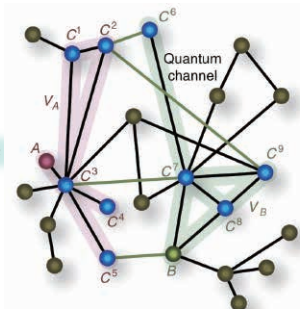
量子インターネットとは？

量子インターネット — 地球規模の万能量子通信ネットワーク

ノード：量子情報処理ノード
 (例：量子中継器、量子コンピュータ)
 エッジ：量子通信路
 (例：光ファイバ)

物理学で許される情報処理の究極形で、分野の至高の目標

- 無条件安全な暗号通信の提供 (QKD)
- 量子マネー
- 量子テレポーテーション
- 離れた原子時計の超精密同期
- 超長基線望遠鏡 (天文学)
- クラウド量子計算
- リーダー選挙
- 分散量子計算
- 量子コンピュータネットワーク



図：K. Azuma et al., Nat. Commun. 7, 13523 © 2016 NPG (under CC BY 4.0)

ノイズを持つ現実的な物理レイヤ (例：光ファイバネットワーク) を用いても、量子中継ができれば、効率的な量子インターネットが構築できる

→ 量子中継技術の開発が大事

H. J. Kimble, Nature 453, 1023 (2008);
 S. Wehner et al., Science 362, eaam9288 (2018);
 K. Azuma et al., Rev. Mod. Phys. 95, 045006 (2023)

図2 量子インターネットの概要

めには、まず量子情報を担う量子系を伝送する量子通信路が必要です。従来の通信では、光ファイバや自由空間を通信路として用い、それらが持つ雑音や損失に抗して通信を行うために、中継器や増幅器を用いて信号を増幅しています。しかし量子情報の場合は原理的に複製や増幅ができないため(量子情報の複製禁止定理)、量子情報の伝送においては信号増幅を用いることができません。そこでこの課題を解決する手法として1998年に提案されたのが「量子中継」です。これは「量子中継器」という特殊なデバイスを送受信者間に複数配置し互いに量子通信路で結びつけることで動作する手法で、たとえ量子通信路が雑音や損失を持っていたとして

も、送受信者の距離によらず忠実かつ効率的な量子通信を可能にします。

私が研究を始めた2010年ごろには、量子中継器が量子情報を保持する「量子メモリ」を備えることが定説として認識され、疑問を持つ方はいなかったと思います。しかし従来型の量子メモリを用いた量子中継は、量子情報の伝送に時間がかかり、さらに量子情報を届ける媒体である光との量子的インタフェース機能を備えることを量子メモリに要求するばかりか、途中で中継器による量子演算が失敗した場合に伝送そのものが失敗してしまうというリスクがあるため、結果としてデバイスへの要求が極めて高いとい



う課題を抱えていました。

状況を一転させる研究創出の糸口になったのは、当時私と同じ研究所に所属し、私の先輩にあたる玉木潔氏に連れられ訪問したトロント大学でのHoi-Kwong Lo教授との会話でした。量子メモリに基づく自身の量子中継の理論を紹介したところ、「そもそも量子中継に量子メモリは必要なのか？」という素朴な疑問を投げかけられたのです。この一言によって従来の常識を改めて考えさせられるようになり生まれたのが、2015年に世界に先駆けて発表した新たな量子中継の方式「全光量子中継」です。これは光デバイスを組み合わせるだけで量子中継が可能であることを示し、従来の常識を覆すものでした。この方式は、量子中継に向け、量子メモリ開発を精力的に進めていた当時の世相の中ですぐには受け入れられませんでした。国際会議QCrypt 2015での講演後に状況は一変し、現在では量子中継実現のための二大アプローチ（量子メモリに基づく中継方式と全光中継方式）の1つであると認識されています（図3）。またこの全光量子中継は、光デバイスだけで量子計算を実現する「全光量子コンピュータ」のマイルストーンであり、さらには全光量子コンピュータを全光量子中継で結ぶことで実現される「全光量子インターネット」の可能性を提示するもので、個人的には有意義なものであると当初から確信していました。

■そのほかのような研究を手掛けていらっしゃるのでしょうか。

2015年に発表した「全光量子中継」を理論どおり実装していくためには、「量子誤り訂正符号」という特殊な機構が必要な長いタイムラインの研究になり、分野が「息切れ」を起こしてしまう可能性があると考えました。そこで全光量子中継実現のマイルストーンとなる研究課題として、通信距離に限界のない全光量子中継と、通信距離にこそ限界があるものの当時すでに実用化段階に

あったポイント・ツー・ポイント量子鍵配送方式との技術的・概念的間隙を埋めるような方式を探すことにしました。

中継地点を一切用いず送受信者を直接ファイバで結ぶポイント・ツー・ポイント方式量子鍵配送の距離限界は、ファイバ距離にして約400 km程度とされていました。これを打破するために私は、当時のグループリーダーだったWilliam J. Munro氏らとともに、送受信者の真ん中に1つだけ測定器を配置するアイデアを提案しました。これは、量子メモリや量子誤り訂正符号などを必要とせず、ポイント・ツー・ポイント量子鍵配送方式の通信レートそのままに通信距離を倍にし、800 kmまで通信ができる可能性を明らかにしました。中でも2019年にヴィーゴ大学のMarcos Curty氏とLo氏とともに提案したツイン・フィールド型の量子鍵配送方式は、いまやCAL19方式と呼ばれ、世界のさまざまなチームが量子鍵配送実装の際に採用してくれています。

またLo氏のグループに滞在していた水谷明博氏と議論し、当時導出されて間もなかったポイント・ツー・ポイント方式の理論限界を拡張する研究に着手し、任意の量子ネットワークが持つ通信の容量である「量子通信容量」や「秘匿通信容量」の限界を世界に先駆けて提示することができました。これにより、それまで曖昧だった「量子インターネット」をきちんと扱う理論的枠組みが整理され、効率的な量子インターネットプロトコルのデザインに道標を与えることができました。実際そこからヒントを得て、当時NTTコミュニケーション科学基礎研究所に属した加藤豪氏とともに、量子ネットワーク上の2者間で量子中継を並列に走らせる通信方式を提案し、通信路が光ファイバで構成されている場合にはこの方式の効率が理論限界と一致することまでも突き止めました。これらの成果は量子中継が、原理限界あるいはそれに近い高パフォーマンスの量子インターネット構築においても、基本的な役割を担うことを示しています。

量子中継とは

量子中継の目標：量子中継器を利用した送受信者間への量子もつれ（量子通信のリソース）の提供

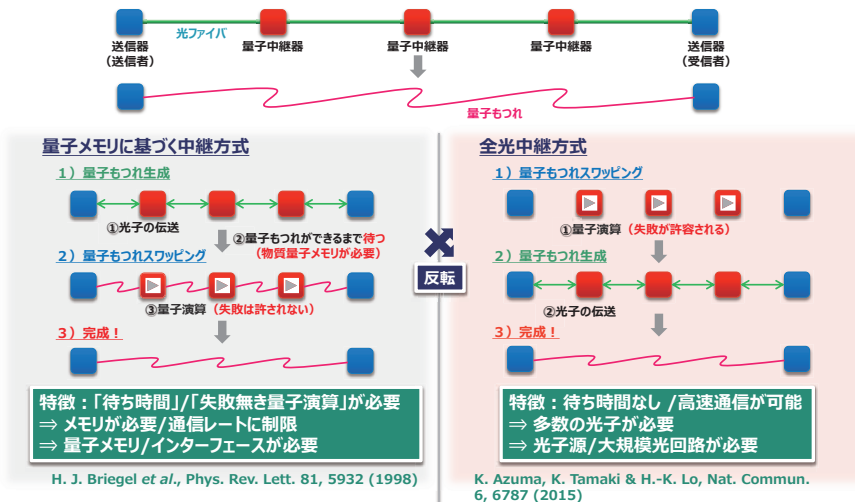


図3 2つの量子中継方式の比較

これら一連の量子ネットワークに関する研究は、1998年から存在していた「量子中継」という概念と、H. Jeff Kimbleが提唱した「量子インターネット」という抽象概念を結びつけて具象化することに貢献したと思っています。実際このような知見を、世界の一線で活躍する研究者たちとともに「量子中継：量子ネットワークから量子インターネットへ」と題した総説論文としてまとめ、Reviews of Modern Physics誌から昨年出版することができました。

「Simplicity」を持った美しい理論は、後世に語り継がれる

■今後の研究の展望を教えてください。

量子インターネットは多くの応用の可能性を秘めています。例えばその1つが、ネットワーク上の任意のユーザ間での量子鍵配送を可能にするというものです。量子暗号の一種である「量子鍵配送」は、たとえ盗聴者が量子力学で許される任意の盗聴行為（例：量子コンピュータによる盗聴行為）を行ったとしても、情報理論的に安全な暗号通信を提供することができるため、国民投票・首脳会談・金融取引・遺伝情報・生体情報のやり取りなど、高度な安全性が求められる場面での応用が期待されています。そのほかにも量子テレポーテーションにより量子系の情報を遠く離れた地点に光速で忠実に転送したり、原子時計を正確かつ秘密裏に同期して安定・正確・安全な世界時計の共有を可能にしたり、望遠鏡アレイを超長基線化するなど、さまざまな応用先があります。

また現在、量子コンピュータのほうは学術業界だけではなく企業でも研究が始まり、製品化に向けて発展が加速しています。個人利用を主目的とする量子コンピュータと異なり、量子通信、ひいては量子インターネットはあくまでインフラでユーザ数に応じて価値が向上する存在であるため、拡張可能なグランドデザインに基づいて国家レベルで構築・拡大しなければいけません。したがって拡張性に優れたミドルウェアやソフトウェアのデザインについて明確化していく研究や、標準化も大事な取り組みになっていくと考えています。

■所属されているNTT研究所にはどのような印象をお持ちでしょうか。

NTT 物性科学基礎研究所は1990年代の分野の黎明期から量子情報の研究を行っていて、量子情報研究における日本の中心的存在です。実際に、私が所属した大阪大学の量子情報研究室の教授だった井元信之先生（現：東京大学特任教授）と准教授だった小芦雅斗先生（現：東京大学教授）は大学に異動される前にNTT物性科学基礎研究所に所属されていましたし、大阪大学で井元研と深く交流があり同じく量子情報分野で先駆的研究をされていた北川勝浩先生（現：大阪大学特任教授）もNTT物性科学基礎研究所の出身だったように、振り返れば私の周りにはNTT物性科学基礎研究所の出身者が大勢いました。そして私が実際にNTTに入社して感じたのは、たとえ現在（30年前の量子情報研究のよ

うに）萌芽段階にある分野でも、本質的に大事であれば長期的に研究を支えてくれる環境が整っていることです。これは世界的にみても稀有な研究所で、恵まれている環境であると感じています。

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

私が研究で大切にしていることは、たとえ発表時点で理解されなくとも、時代を超えて認められ、将来的には「当たり前」となる理論を追いかけることです。個人的にはそれこそが後世に残る研究だと思いますし、特に基礎研究ではこういった研究の可能性を模索することは非常に大事だと思っています。またそこで常に意識しているのは、研究のインパクトをどれだけ時間軸で残せるかです。一般のプロダクトなどでは同時刻上で多くの人に影響を与えることが重要ですが、研究は必ずしもそうではありません。アインシュタインの論文の中にも、死後により数多く引用されるようになったものがあるように、研究が「どれだけ長い間多くの人を魅了できるか」というのを常に意識しています。

またそのような後世に残る理論は、シンプルさを常に内包しているという点にも気を付けています。その理論が正しく価値あるもので、出版され世に認知されれば、その後は恣意的な何かか介入することもなく独りでに広まっていくものだと思います。私は今でもパズルやそのピースを探しながら、「将来スタンダードとなる自然観や技術とは何か」、「自分が解けたら高揚感を覚える基本的な問題は何か」といったことを常に自問しています。それは苦勞する反面、問題を見つけてそれが解けた際には何物にも代えがたい喜びを感じることもあります。この記事を読んで、研究・仕事において「自分自身の感性を大切にしよう」、「人ではなく自分が信じる価値あるものに打ち込もう」と少しでも思ってくださいると良いな、と思います。



（今回はリモートにてインタビューを実施しました）

Pro-Matrix Pte. Ltd.

<https://www.promatrix.sg/>

PRO-MATRIX

DBO 一体アプローチでデータセンターの構築から運用までをフルターンキーで提供する会社

ICTやIoTを活用したサービスが急速に拡大・進歩している世界において、データセンターはこうしたICTやデジタルサービスを支えるコアとなるインフラとなっています。東南アジアにおいては、2000年代中ごろからシンガポールを中心にデータセンター建設が急速に進展し、NTTグループも2012年にシンガポールに新たにデータセンターを建設・構築しました。データセンター建設の勢いは、周辺国に拡大しつつ現在まで続いています。こうした時流の中、早期からデータセンター構築に取り組んできたPro-Matrix Pte. Ltd.のDesmond Teo CEOに、DBO (Design, Build, Operate) の一体アプローチや「ワールドクラスのデータセンター施設に関するサービスプロバイダになる」というビジョンへの思いについて伺いました。



Pro-Matrix Pte. Ltd.
Desmond Teo CEO

シンガポールで早期からデータセンター構築に取り組み、2014年にNTTファシリティーズグループ会社となる

■設立の背景と会社の概要について教えてください。

Pro-Matrix Pte. Ltd. (Pro-Matrix) は、ミッションクリティカル施設の構築・保守をフルターンキーで行う統合ソリューションを提供する会社として2000年にシンガポールで設立されました。2014年にNTTファシリティーズグループ会社となり、グループのノウハウを結集することで、大規模なデータセンター専用施設の建設に携わるようになります。2017年にはインドネシアにPro-Matrix社の建設駐在員事務所 (Public Work Representative Office : PWRO) を開設しデータセンター構築サービスを、2021年からはPT Pro-matrix Facilities Management社 (PTFM) を設立しデータセンターオペレーションサービスをそれぞれ開始し、さらに2022年からはPromatrix DC Solution Sdn. Bhd.社 (DCS) を通じてマレーシアにおいてもデータセンターソリューションの提供を開始しました。

グループ全体で350名の社員 (2024年3月末現在) を擁する当社は、「ワールドクラスのデータセンターサービスプロバイダになること」をビジョンとし、高い専門性により、お客さまへ卓越したサービスとソリューションを提供することをめざしています。この実現に向けて、Pro-Matrixはコアバリューとして「プロフェッショナリズム」「レジリエンス」「オーナーシップ」の3つの基本原則を掲げています。

プロフェッショナリズムは当社のコアバリューの要であり、あらゆる業務において最高水準の卓越性と企業倫理を保持するという当社のコミットメントを表しています。当社にとってプロフェッショナリズムとは、単に業界の規範や規制を遵守する以上の意味を持っており、たゆまない改善、誠実さ、そして品質に対する積極的な献身を体現しています。

そして、データセンターのマネジメントのようにダイナミックで進歩の早い業界では、予期しない変化に適應し、困難を克服し、卓越した取り組みを継続していくために、レジリエンスが不可欠です。

さらに当社は、責任はすなわち説明責任である、というオーナーシップの概念を取り入れています。チームメンバーは、自らの業務に完全なオーナーシップを持ち、説明責任を果たし、信用と信頼性の文化を育みます。この哲学は、当社の成功に向けた活動を推進するだけでなく、成果を成し遂げることに注力し続けることにもつながります。

■具体的にどのような事業展開をしているのでしょうか。

急速に進歩するテクノロジーの世界において、データセンターはデジタル社会の根幹を担っています。Pro-Matrixは、2000年の設立以来、この業界の最前線に立ち、データセンターに関する専門知識、革新性、卓越性への揺るぎない取り組みを通じて、小規模な事業者から業界に認められる著名なサービスプロバイダーへと成長を遂げました。

当社は、DBO (Design [設計], Build [構築], Operate [保守]) の一体アプローチにより、包括的・効率的で費用対効果の高いデータセンターソリューションを提供しています (図)。

設計業務としては、建物の設計 (Architectural) に加え、空調システム (Mechanical)、エネルギーシステム (Electrical)、配管網 (Plumbing) の MEP 設備の設計をとおり、顧客要求や省エネ性能の担保、各国法令や基準への適合性確保等を行います。

構築業務としては、資材調達、施工管理 (工期、品質含む)、施主が求める建築設備への要求性能どおりに企画・設計・建設・運用されていることを検証する竣工管理等を行います。設計思想を理解した立場から調達・施工を提供することで、お客さまの要求仕様と最適な納期・コストを実現します。

保守業務としては、データセンターの安定運用のため、24時間365日のオンサイトでの設備管理、年次法定点検や設備更改における技術面のサポート等を行います。設計段階から保守運用における安全性・効率性に配慮することで、シームレスな設備運営に資するとともに、長期の事業運営期間にわたる設備の安定運用とコスト最適化に貢献します。

DBOの一体アプローチにより高品質のサービスを提供し、お客さまの要求の実現と長期的な成功を保証します。

「車のメンテナンスをするのに最適な人は、その車をつくった人だ」という格言を体現する DBO ソリューション

■なぜ DBO なのでしょう。

DBOにより、データセンターの設計から建設、運用まで、さまざまな専門分野をまたがって包括的かつ効率的に業務を遂行することが可能となり、商用に供するまでの期間短縮を図ることができます。また、設計段階からプロジェクト全体の実装と運用チームを監督し、シームレスなプロセス間の引き継ぎを保証します。さらにこの結果として、建設から運用までの総コスト (Total Cost of Ownership : TCO) の透明性が確保されるため、予算管理のリスクが大幅に低減します。

このような DBO のメリットを活かし、Pro-Matrix はフルターンキーソリューションを専門とし、データセンターの建設における検討から建設完了、さらには運用段階までをマネジメントする、



Architectural Design
MEP Design
Customized Solutions
Standard and Code Compliance

DESIGN



Procurement
Construction Management
(Quality and Time)
Commissioning Management

BUILD



24/7 Technical Support
Industry Operation Best Practice
On Site Facilities Management

OPERATE

図 DBO とは

という課題に取り組んできました。当社は、お客さまの多様なニーズにこたえ、オーダーメイドかつ包括的なソリューションを提供できることを強みとしています。当社が提唱する DBO コンセプトは競合他社と一線を画しており、このアプローチにより、シームレスで効率的なオペレーションと、コスト・納期の大幅な削減をお客さまに提供できます。建設プロジェクトから保守運用まで

のすべてのフェーズを当社がマネジメントすることで、各フェーズが適切に調整され、より高いパフォーマンスと顧客満足を実現します。まさに「車のメンテナンスをするのに最適な人は、その車をつくった人だ」という格言のとおりなのです。



(左から) Ong Wee Boon Head of DBO, Desmond Teo CEO, Bryan Chang Head of Service

「ワールドクラスのデータセンター施設に関するサービスプロバイダになる」ことをめざして

■今後の展望についてお聞かせください。

Pro-Matrix が NTT ファシリティーズグループの一員となって 10 周年を迎えましたが、共通のビジョンとグループシナジーにより、当社はシンガポールおよび東南アジア市場における有力企業としてのポジションを確立してきました。しかし、これは私たちの 1 つの通過点に過ぎません。

「ワールドクラスのデータセンター施設に関するサービスプロバイダになる」という当社のビジョンが、私たちのすべての原動力となっています。私たちはデータセンター業界の限界に挑戦し、拡大を続ける需要を満たすため、常にイノベーションとサービス改善に取り組んでいます。また、高性能であるだけでなく、環境に配慮したサステナブルなデータセンターの構築にも力を入れています。環境への配慮とエネルギー効率改善への取り組みは当社の使命として不可欠であり、全世界的な炭素排出量削減に向けて確実に貢献していきます。

今後、私たちはこの 10 年間に築き上げてきた強固な基盤と信頼をベースとして、その卓越した専門性によりイノベーションを追求し、よりグローバルなポジションをめざしてチャレンジし続けます。

人材育成を強化し、NTTグループのグローバル戦略・新規事業プロモーション活動・グループシナジーづくりを担う

Senior Manager, Head of Corporate services in Indonesia
Director of PT. Pro-matrix Facilities Management

Elly Setiawati さん



■担当されている業務について教えてください。

PT Pro-matrix Facilities Management (PTFM) の会社運営責任者として事業運営全体を統括しています。また、インドネシアPro-Matrixグループのコーポレート業務（総務・財務・人事・法務）責任者も兼務しており、インドネシアにおけるNTTファシリティーズグループ*（F-PWRO, P-PWRO, PTFM）間の営業連携強化を図っています。

Pro-Matrixグループは2017年度よりインドネシアに建設駐在事務所（PWRO）を設置し、事業を開始しました。当初はNTTグループ（NTT Global Data Centers Indonesia, NTT Indonesia）への事業貢献や営業連携を中心に対応し、その後、既存データセンターのFit-Out業務（設計、建設、内装やエンジニアリング整備の統合工事）の提供により事業を拡大してきました。近年では、ジャカルタ近郊の新築データセンター等の各プロジェクトにおいてM&E（Mechanical & Electrical）設備の元請け施工会社として、継続的にお客さま事業へ貢献しています。

2021年にはPTFMを設立し、F-PWROが設計、P-PWROが施設の施工もそれぞれ担当したデータセンターの保守運用業務を施設の運営開始当初から受託し、構築から保守へのシームレスな運用移管も実現しました。その後、ローカル銀行やグローバルデータセンター事業者からもデータセンターの保守運用業務を受託しています。

DBOコンセプトの具現化に向けて、PWROとPTFMは常に緊密に連携しており、業務効率化のためコーポレート機能も統合して事業運営をしています。

■今後の展望について教えてください。

当初はジャカルタ中心部のサービスオフィスにおける一室・3名体制から事業を開始しましたが、2024年度にはPro-Matrixインドネシア事業全体で合計100名を超える体制まで拡大する見通しです。特にFM担当の社員は若くて（平均年齢30歳）元気な社員が多いです。これからの成長を期待し、引き続き社員の人材育成を強化していきます。そして、NTTグループのグローバル戦略

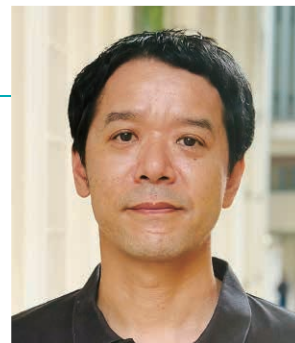
* インドネシアにおいては、F-PWRO（NTTファシリティーズの建設駐在員事務所）が設計業務、Pro-Matrix PWRO（P-PWRO）が構築業務、PTFMが保守業務をそれぞれ提供し、NTTファシリティーズグループ全体で一気通貫のDBOソリューションを提供。

への貢献・新規事業プロモーション活動・グループシナジーづくりを担う業務にも取り組んでいきます。

東南アジアのデータセンター関連新技術展開の中心地シンガポールで、テクノロジーリーダーをめざす

Manager, Architectural Designer

Hiroki Tatamida さん



■担当されている業務について教えてください。

主にシンガポールとマレーシアを中心にデータセンターの設計・構築業務を担当しています。

シンガポールでは政府による新規データセンター建設規制（モラトリアム）の影響で案件数は限られていますが、既存のデータセンターのフィットアウト（設備構築）や、NTTグループが開発した海底ケーブル陸揚げ施設の設計・構築などに携わっています。

データセンター建設の需要は世界中で高まっており、シンガポールの規制の影響もあって、近隣のマレーシアやインドネシアでの建設需要が急速に増加しています。シンガポールの国土は東京23区と同程度の広さで、土地の希少性から都市型データセンター（高層・中規模）が一般的です。一方、マレーシアはまだ広大な未開発地が多く、低コストで土地を取得できるため、郊外型データセンター（低層・大規模）の開発が活況です。

データセンターの構築業務を受注する際には、いかにエンドユーザーの要求事項を満たし、短期間で引き渡すことができるかが鍵となります。この郊外型データセンターはフレキシビリティが高く、短工期に適しているといえます。当社のコア業務はMEP設備工事ですが、近年は建築・設備も含めた設計チームの体制を強化し、設計・調達・工事部門が設計初期段階からチームを組み、設計から構築までシームレスなサービスを提供することで、お客さまの求めるスケジュールに対応できるよう努めています。

設計仕様については、建築では鉄骨造やプレキャスト造の採用、設備ではコンテナ化やスキッドシステムの採用など、現場工程の削減とプレファブリケーションによる全体工程の最適化がトレンドです。現場での調整が難しいため、設計段階での調整が多く求められ、高品質な図面が必要となります。そのため、設計初期からBIM（3次元CAD）を使用して設計を行い、品質の確保を図っています。

生成AI（人工知能）等の進展により、データセンター内で取り扱うデータ容量が爆発的に増えたため、サーバ1ラック当りの消費電力容量も20～30 kWといった高発熱ラックが一般的となり、1敷地当りで200 MW以上の電力を消費する大規模なキャンパス型データセンターが増えています。データセンター施設内のエネルギー利用効率を示すPUE（Power Usage Effectiveness）の低減も社会的な課題となっており、Direct-to-chip coolingや

Immersion cooling といった省エネ性能の高い液冷技術を使ったデータセンターも増加しています。

■今後の展望について教えてください。

東南アジア諸国におけるデータセンター開発はまだ発展途上であり、多くのビジネスチャンスが存在します。データセンター構築を得意とする競合会社はまだ多くないため、私たちが早期に進出し足場を固めることができれば、リーディングカンパニーとしての地位を確立できる機会があります。このため、エンジニアリ

ングチームの強化や、周辺国で提携可能なパートナーの発掘が今後の重要な課題となります。

データセンターで採用される技術は日々進化しており、特に東南アジアではシンガポールを中心に新たな技術が展開されることが多く、先進技術に触れる機会が豊富にあります。これはエンジニアにとって非常にやりがいのある環境ですが、一方で各エンジニアはこれらの技術をしっかりと学び、実案件に応用していく必要があります。

Pro-Matrix ア・ラ・カ・ル・ト

■一体感とアイデンティティを標榜したPro-Matrixグループオフィス

Pro-Matrixグループは、シンガポールを本拠地として、インドネシア（ジャカルタ）、マレーシア（サイバージャヤ）にオフィスを構えています。コーポレートカラーであるブルーを基調とした各オフィスには、入口に社名ロゴを掲示し、Pro-Matrixグループの一体感とアイデンティティを標榜しているそうです。

シンガポール Midview City 本社オフィスは、地理的にシンガポールのほぼ中央に位置し、コロナ禍以前からMicrosoft社のSharePointやTeamsを活用したリモートワークを積極的に取り入れ、原則として全席ホットデスク（フリーアドレス制）を採用し、オフィス外からの業務もシームレスに対応可能とのこと（写真1）。

ジャカルタ M-TENオフィス（Pro-Matrix PWRO、およびPTFM）は、データセンター建設ラッシュが続くジャカルタにおいて、社員数の増加に合わせて2023年にオフィスを移転・拡充し、より一層、働きやすい環境が整ったそうです（写真2）。

マレーシア Cyberjaya オフィス（DCS）は、ハイパースケール・データセンターの開発が急速に進むマレーシアにおける市場参入の中核拠点として、クアラルンプール郊外のIT関連企業が集積するサイバージャヤ地区に、2024年に新たに開設されたそうです（写真3）。



写真1 シンガポール Midview City 本社オフィスのメンバー、ホットデスク利用のオフィス内

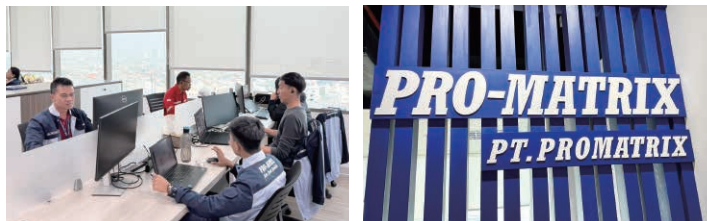


写真2 ジャカルタ M-TENオフィスのメンバー、エントランスの会社ロゴ

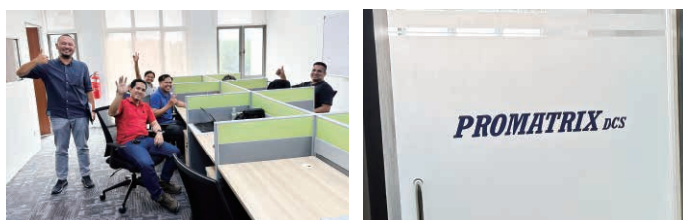


写真3 マレーシア Cyberjaya オフィスのメンバー、エントランスドアの会社ロゴ



NTTコムウェアが推進する CPS powered by IOWNの取り組み

NTTコムウェア IOWN 推進部では、CPS (Cyber-Physical System) についてデジタルツインやAPN (All-Photonics Network) 等IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) の技術要素とロボットを組み合わせ、市場ニーズにこたえる新たなソリューション創出に取り組んでいます。NTTコムウェアのプロダクトを活用して実証を進めるCPSに加えAPN等のネットワークも含めたインテグレーションを行うことで、ソリューションとして相乗効果や新たな価値を生み出しながら、データセンタやスマートシティ等の分野における新技術の実用化を進めています。

はじめに

現実空間の情報を基にデジタル空間にデジタルツインとして再現し、分析・予測・最適化等により、新しい価値を創出する仕組みをCPS (Cyber-Physical System) といいます。

CPSの“Cyber”の実現にあたっては、IoT (Internet of Things) 技術の発展に伴い、現実空間のさまざまな情報をデータとして集積し、デジタル空間 (サイバー空間) に再現することが可能となりました。デジタルツインではデータから空間を再現するため、人間では視認が難しい情報も同時に可視化でき、状態を視覚的に俯瞰でとらえながら、具体的なデータをとおして分析・予測シミュレーション結果を得ることができます。

また、CPSの“Physical”への打ち手として、人手不足に呼応するかのようにはロボティクスの実用化も進んでいます。さまざまな業界・分野で生産性向上や作業品質の安定、危険な労働環境における作業員の安全確保といった効果を期待して、ロボティクス導入に向けた動きが活発化しています。

こうしたデジタルツインやロボティクス技術の向上と並行し、NTTグループでIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 1.0サービスのAPN (All-Photonics Network) が商用提供されました。そして、今、その活用とともにシステムの自律的な最適化をめざすCognitive Foundationの検討も進んでい

ます。

NTTコムウェアは、Cyberを表現するデジタルツインを実行するサーバと、Physicalの制御を担うロボットが動作するデータセンタをAPNでつなぎ、その低遅延・大容量のネットワークを活かしてさまざまな実証実験を行ってきました。ロボットを制御するコンピューティングリソースをPhysicalからCyberへディスプレイアグリゲート (分散、最適化) することで、Physicalだけではできなかった新たなサービス創出に挑戦しています。また、これまで培ったネットワークオペレーションシステム技術を活用し、デジタルツインやロボット制御におけるオーケストレーションを実現、省人化を図る循環型の自律オペレーションに向けてCPSに取り組んでいます (図1)。

CPS powered by IOWNの取り組み

NTTコムウェアでは、品川一五反田間をAPNでつないで2022年12月にIOWNテストベッド (検証環境) を構築してから、さまざまなユースケースに取り組んでいます。APNの光心線長は約30 km、往復で60 kmの距離でも遅延が0.2 ms程度であるネットワーク環境で低遅延を体感できる多くのコンテンツを紹介しています。NTTグループ内外の多数のお客さまに足を運んでいただき、お客さまの業務におけるCPSやIOWN技術の活用に関し

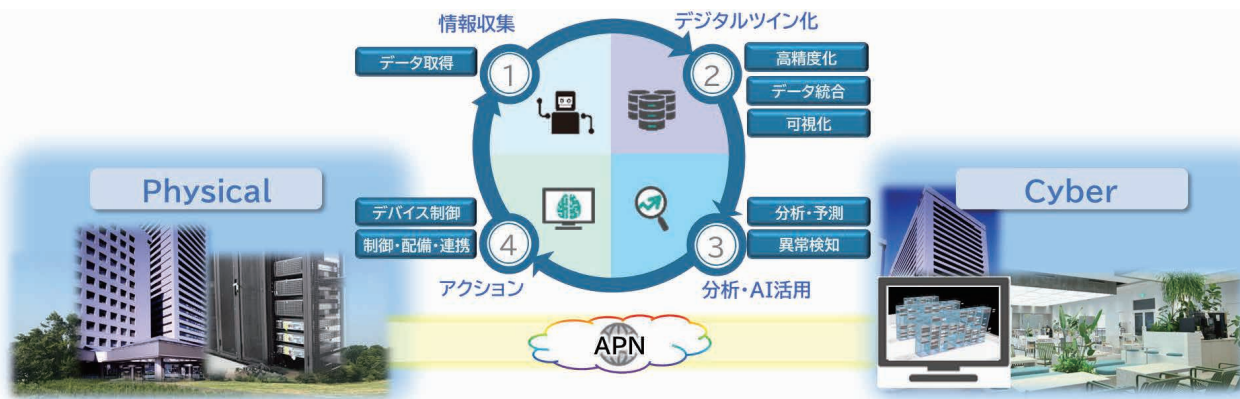


図1 NTTコムウェアのCPS



図2 マシンルームの再現

ディスカッションを重ねながら、お客さまのユースケース実現に必要な新技術の実用化に向け検討を進めています。

APNのネットワーク環境はリアルタイム性が担保され、映像等大容量データについてもトラフィックの集中により発生する遅延を気にせず通信できる特長があり、デジタル空間においては距離を意識せず、まるで隣接しているかのように通信が可能です。そのため、実業務を行うロボットを複数の遠隔地に配備していても、ロボットを制御する司令塔となるデジタルツインやAI（人工知能）をセンタに設置することでデータ集積・分析・シミュレーションの処理を遅延なく集約でき、一元的かつ効率的な運営が可能となります。私たちはそうしたIOWN技術の導入・運用を見据えた実証を行っています。

ここでは実証の技術要素を①デジタルツイン可視化、②ロボティクス制御、③高品質・大容量・低遅延活用に向けての3つの観点で紹介します。

■①デジタルツイン可視化

私たちが提供するデジタルツインは、時間軸を含めて空間を4Dで可視化するとともに、ロボット管制システムとしての役割も担っています。ロボットによるリアルタイムの収集データを含む蓄積データを活用し、分析・シミュレーションを行うことで、現実空間を容易に把握できるように視覚化します。

まず3D化には2つのアプローチがあります。1つは、「設計図面データや実測値に基づいて初期描画するアプローチ」、そしてもう1つが、「LiDARカメラからリアルタイムでデジタルツイン化を行うアプローチ」ですが、私たちは双方を組み合わせて利用しています。建物の原寸に基づいた描画を行うことで、ロボットの走行やオペレーションの正確な制御を実現させています。またLiDARカメラからリアルタイムで状況を再現させることにより、建物や設備に暫定的に置かれた物や人の動き等を把握します。

デジタルツイン上でリアルに再現された環境に人流や温度等の視認が難しいデータをマッピングさせ、マーケティングや建物の

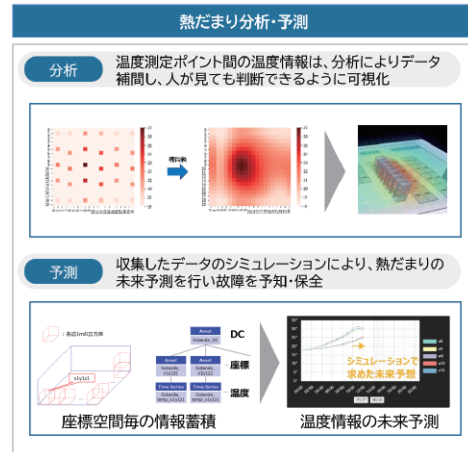


図3 熱だまり検知

管理・運営に役立てるなど、目的に応じた可視化を実現しています。例えば、工場等の設備では、ロボットの自動走行によるメーター点検など、設備機器の巡回監視結果を蓄積することができます。また、催事場のイベントでは展示スペースにおける導線設計への活用、データセンタではサーバ稼動状態などの設備管理や温度点検によるフロアの正常性確認にデジタルツインを用いています（図2）。

私たちはデジタルツイン化に「4DVIZ[®]」（フォーディービズ）という自社プロダクトを用いています。「4DVIZ」は、その名の通り時間軸を含めた4次元で状況を可視化するものです。リアルタイムで現実空間の状況を把握するだけでなく、指定した時点での状況や経過推移を理解でき、過去の履歴から未来予測のシミュレーション結果表示までを可能にします。

具体的な取り組みとしてデータセンタの温度管理があります。データセンタで人手作業を費やす問題の1つに温度異常があります。システムの急激な負荷増大によりサーバが過熱し、当該システムのみならず周辺ラックにまで温度上昇をもたらすため、設備空調以外を用いてワークアラウンド（一時的な対応）の措置を行うこともある事象です。

私たちはデータセンタにセンサを付けたロボットを自動走行させ、フロアの温度状態を定点観測して座標軸と温度をデジタルツインに蓄積しています。そのデジタルツイン上で座標軸と温度のデータから空間の温度状態を補間し、空間全体の温度状態を視覚化、正常な温度状態のラックや高温状態となっているラック範囲の特定を行います。また、温度状態の遷移から熱だまりが発生する可能性を予測し、未然に防ぐことにつなげています（図3）。

デジタルツインで収集するデータ分析については、蓄積データのシミュレーションだけでなく、リアルタイムでのカメラ映像のストリーミング解析も行っています。データセンタ活用事例としては、ロボットによるサーバ機器の点検における機種確認やそれに応じたランプ状態の解析があります。まずロボットアームの力

メラでサーバ機器を順に映し出し、デジタルツインへ送信されたストリーミング映像の画像解析を行い、棚卸や正常性確認の結果を蓄積します。また、製造工場での製品不具合など、より高度な画像解析が必要な場面においては、画像認識AIと連携させて、設備や製品のAI判定結果をデジタルツインへと蓄積し、データ活用ができます。

■②ロボティクス制御

CPSにおいてAPNの価値を最大活用できるのがロボットのオペレーションです。人手の作業を代替し自動化する仕組みとしてロボットは大変便利ですが、安全性をどのように担保するかが極めて重要です。通常、ロボットには衝突回避用のセンサがあり自動停止等は可能ですが、より高度な制御を行うには、ロボットの本体位置だけではなく、各部品位置なども含めた複数要素を考慮する必要があります。例えば、ロボットがアームを用いた業務を行う場合、アームが周囲と衝突し、破損等を引き起こさないように制御する必要があります。私たちはロボットが動作を行う際にデジタルツイン上で周辺と衝突しないかといったシミュレーションを行い、衝突の危険性がある場合は緊急停止するなどのAPNの低遅延を活かしたリアルタイム制御ができます。ロボット自体に本体位置だけではなく部品も含めた衝突回避を施すには、各部品に複数のセンサを取り付けるか、もしくは同様の衝突回避制御のプログラムをロボット環境に整備する必要があります。制御対象ロボットの台数が増えるほど、また、制御プログラムの複雑化やプログラム制御条件の更新頻度が増加するほど、負担の大きなロボティクス運用となります。このようなロボットの制御機構をAPNの活用によりデジタルツイン側へディスプレイアグリゲートすることで、インテント（運用者の意図）に応じたさまざまな制御機能のオーケストレーションの実現につながっていきます。

また、ロボットは定型作業をプログラム実行させることが多く、私たちのCPSではデジタルツインのロボット管制において、プログラム制御とマニュアル制御の2つのモードを切り替えて提供しています。ロボットを遠隔からマニュアルで操作する場合、通常のネットワークだとどうしても数秒の遅延が発生し、作業が精緻であればあるほど操作とロボットカメラ映像のラグが作業者のストレスとなり、平易に作業を行えません。APNの低レイテンシ（低遅延）ネットワークでは、遠隔地のロボットをデジタルツインの3D映像で確認しながら、目の前で動かしているかのようにスムーズに操作することができます（図4）。

■③高品質・大容量・低遅延の活用に向けて

APNは映像等の大容量通信をリアルタイムに行うことができるため、プラント等の設備をロボットとAIで自動点検する実証実験にも取り組んでいます。ロボットのアームに4Kカメラを取り付け高解像度の映像を遠隔のセンタに送り、AIでひび割れ等の検知を行い、デジタルツイン上のマップに異常箇所を表示する取り組みです。AIでの異常検知では高解像度の映像が望ましいですが、AI等のシステムをセンタに集中させ、プラント等の拠点にロボッ

リアルタイムでの遠隔操作&モニタリング

〔シミュレーションによる衝突回避等が可能〕

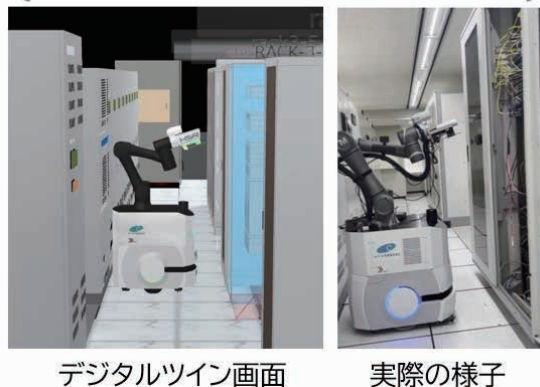


図4 デジタルツインからのロボット操作

トとカメラのみを配備して一元的な点検業務の形態をとることでシステム投資のTCO（Total Cost of Ownership）も適正化することが可能となります。

またAPNは低遅延なネットワークですが、エンド・ツー・エンドでの通信をすべてAPNで接続することはできません。建物内に配備され自由に動き回るロボットとの接続は無線通信で行う必要性があり、現状では多くの環境においてWi-Fi（IEEE802.11）が利用されています。しかし、高精細なビデオ映像をリアルタイムにストリーム転送を行う場合、Wi-Fi接続では、多くの目的で周波数帯が共用されていることに起因する干渉の影響やCSMA/CA（Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance）をベースとする通信方式により、各エンドポイントでは通信速度の揺らぎや遅延が発生してしまいます。

私たちは無線通信の中で容量の大きいミリ波に着目しています。APNの低レイテンシを活かせるよう、APNによる光通信とミリ波による無線通信を相互接続し、ロボットからの高精細映像のリアルタイムストリーミング転送、遅延のないダイレクトな操作感でのロボットの遠隔操縦、デジタルツインとロボットの双方向でのリアルタイム同期など、ミリ波+APNによる広帯域・低遅延環境での検証に取り組んでいます。

OSSの開発・運用実績を活かしたトータルインテグレーション

NTTコムウェアはNTTグループのネットワークサービスを支えるOSS（Operation Support System）開発・運用の実績を持っています。ネットワークサービス提供のための業務全体をとらえ、業務プロセスを最適化するためのワークフローやオーケストレーション機能を提供しており、システムやネットワークを含む一連の業務をトータルでインテグレーションしてきた強みがあります。

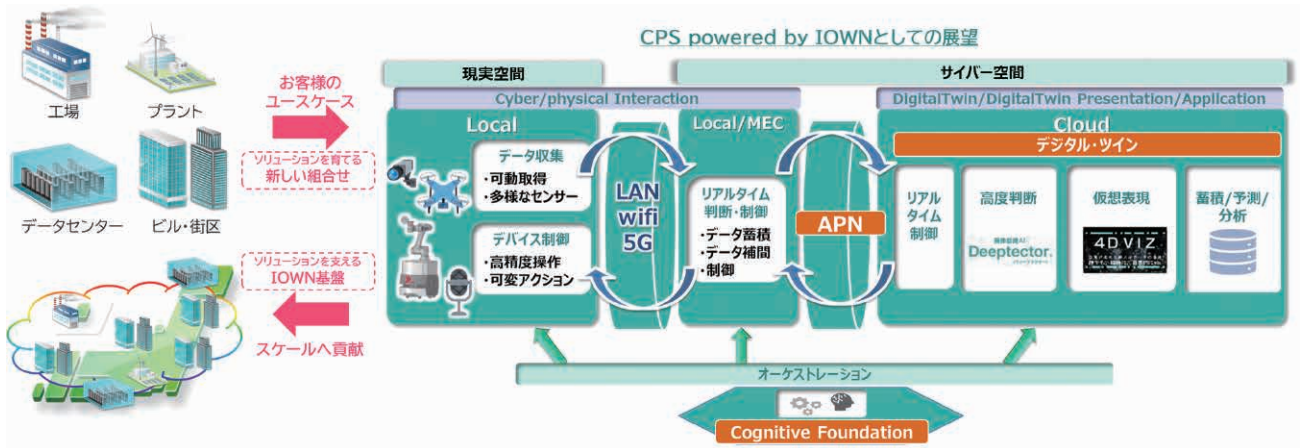


図5 今後の展望



図6 IOWN推進部メンバ



図7 IOWNテストベッド検証風景

またNTTコムウェアはネットワークのオーケストレーションだけではなく、コンピューティングリソースの制御にも取り組んできました。2019年にはラスベガス市のスマートシティ案件においてCognitive Foundationのマルチオーケストレータの開発・サービス提供者として参画し、サービスのオーケストレーションも実現しました。現在も、SmartCloud Orchestrator[®]（スマートクラウドオーケストレータ）として、国内のスマートシティサービス展開や海外の防災関連システム構築においてクラウドリソースを制御するなど、活用範囲を広げています。OSSソリューションとして、テレコム分野をはじめ、エンタープライズのさまざまな分野においてもネットワークとコンピューティングリソースのオーケストレーションの自動・自律化を実現するべく取り組みを進めています。

今後の展望

私たちは、CPS、および、APNやCognitive Foundationなど

* [4DVIZ] [SmartCloud Orchestrator] [GreenUs] [Deeppector] は NTT コムウェア株式会社の登録商標です。

のIOWN要素技術をデータセンターやスマートシティ等の分野のニーズと組み合わせ、「省人化・無人化の実現」および「未来予測・予兆検知と自律オペレーション」といったソリューションの高度化に取り組んでいきます。

現在自社のスマートシティ向けソリューションGreenUs[®]（グリナス）とも連携し、街区における新しいビル運営の実現に向けて検討を重ねています。また、画像認識AIのDeeppector[®]（ディープテクター）と連携し、製造業における設備保全業務のサポート等のユースケースでAIとデジタルツイン連携による相乗効果を生み出していくことをめざして検討を進めています。ビルや街区、工場やデータセンター等へのCPSによるサービス展開・拡大を、APNやCognitive Foundationといった技術で支えることにより、遠距離間でのリアルタイム性担保や効率的なスケールを実現、NTTグループでめざす事業拡大に貢献し、企業価値を高めていきたいと考えています（図5～7）。

◆問い合わせ先

NTTコムウェア
ネットワーククラウド事業本部 IOWN推進部
E-mail nc-v8iown-cps@srv.cc.nttcom.co.jp