ISSN 0915-2318 平成2年3月5日第三種郵便物認可
令和7年5月1日発行　毎月1回1日発行　第37巻第5号（通巻434号）

# NTT 技術ジャーナル

5 MAY 2025
Vol.37 No.5

特集
## IOWN開発現場の最前線
### ――IOWNを支えるハードウェアおよびソフトウェアの開発と社会実装活動

For the Future
## 量子コンピュータで社会やビジネスはどう変わるか―前編―

グループ企業探訪
## NSFエンゲージメント
## NTTビズリンク

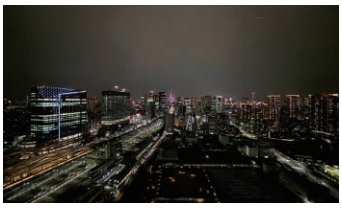
from NTTファシリティーズ
## 目視での建物点検を画像異常検知AIで代替するための共同検証

NTT 技術ジャーナル
5 MAY 2025 Vol.37 No.5

# CONTENTS

URL https://journal.ntt.co.jp/backnumber/2025/vol3705
DOI https://doi.org/10.60249/25050000

4 特集
## IOWN開発現場の最前線 ——IOWNを支えるハードウェアおよびソフトウェアの開発と社会実装活動



6 IOWN社会実装に向けたユースケース開拓・実証の取り組み
10 IOWN実用化に向けたデバイス技術開発の取り組み
15 IOWN実用化に向けたネットワーク技術開発の取り組み
20 IOWN実用化に向けたData-Centric Infrastructure (DCI) の技術開発の取り組み
24 主役登場　伊藤 哲郎　NTT IOWNプロダクトデザインセンタ

26 For the Future
## 量子コンピュータで社会やビジネスはどう変わるか ―前編―

32 挑戦する研究者たち
### 熊田　倫雄
NTT物性科学基礎研究所　上席特別研究員
原子１層からなる原子層物質におけるキャリアダイナミクスの学理構築と機能開拓に挑む

36 挑戦する研究開発者たち
山田 渉
NTTドコモ　サービスイノベーション部　担当課長
好奇心を持って前向きに取り組み，チャレンジしてめざす
空間データ基盤と高度技術者育成X-Lab

40 明日のトップランナー
西口 克彦
NTT物性科学基礎研究所　特別研究員
シリコントランジスタを用いて単一電子の制御と検出を可能にし，
高性能デバイスの開発と消費エネルギー削減をめざす

44 グループ企業探訪
株式会社NSFエンゲージメント
経営者と同じ目線に立ち，課題の発見，解決策を提案．
「戦略総務」でお客さまの変革をサポート

48 グループ企業探訪
NTTビズリンク株式会社
「もっとお客さま側へ / お客さまを創造する」
お客さまに寄り添い，お客さまの課題解決・ビジネス変革の
ために貢献

51 from NTTファシリティーズ
目視での建物点検を画像異常検知AIで代替するための共同検証

54 Webサイト　オリジナル記事の紹介
6月号予定
編集後記

本誌掲載内容についてのご意見，お問い合わせ先
NTT技術ジャーナル事務局
問い合わせページ　https://journal.ntt.co.jp/contact

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

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

©日本電信電話株式会社2025
●本誌掲載記事の無断転載を禁じます●　※本誌に掲載されている社名，製品およびソフトウェアなどの名称は，各社の商標または登録商標です．

特　集

# IOWN開発現場の最前線
# ――IOWNを支えるハードウェアおよびソフトウェアの開発と社会実装活動

IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想は
APN（オールフォトニクス・ネットワーク）商用化や大阪・関西万博出展など着実な進展をみせている．
2025年7月で発足から4周年となるNTT IOWN総合イノベーションセンタ（IIC）は，
IOWN構想のさらなる実現に向けて，ハードウェアとソフトウェアの垣根を超えた広範な技術領域を対象に，
技術開発だけでなく標準化や社会実装までを含めたさまざまな活動を行っている．
本特集では，IOWN開発の最前線であるIICに属する各センタの取り組みを紹介する．


## IOWN社会実装に向けたユースケース開拓・実証の取り組み ―― 06

IOWN構想の早期実現をめざし，IOWN技術を活用したユースケースの開拓や実証を推進しているNTT IOWNプロダクトデザインセンタ（IDC）の取り組みを紹介する．

## IOWN実用化に向けたデバイス技術開発の取り組み ―― 10

NTTデバイスイノベーションセンタ(DIC)で開発を進めてきた，信号処理デバイス，コンピューティングデバイス，光インターコネクトデバイス，ライフアシストデバイスについて，それぞれの技術とその取り組みについて紹介する．

## IOWN実用化に向けたネットワーク技術開発の取り組み ―― 15

インフラ，アクセスネットワーク，コアネットワーク，ネットワークサービス，そしてオペレーションとネットワーク全体の社会実装を行っているNTTネットワークイノベーションセンタ（NIC）の取り組みを紹介する．

## IOWN実用化に向けた Data-Centric Infrastructure（DCI）の技術開発の取り組み ―― 20

NTTソフトウェアイノベーションセンタ（SIC）が注力する Data-Centric Infrastructure（DCI）の技術開発の取り組みに関して，NTT R&Dフォーラム2024でのDCI展示の内容と，IOWN Global Forumにて文書化・公開を行った実装モデルの解説を中心に紹介する．

## 主役登場　伊藤　哲郎　NTT IOWNプロダクトデザインセンタ ―― 24

IOWN展開におけるユースケース実証の取り組みについて

URL　https://journal.ntt.co.jp/article/33813
DOI　https://doi.org/10.60249/25055001

# IOWN社会実装に向けたユースケース開拓・実証の取り組み

本稿では，IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想の早期実現をめざし，IOWN技術を活用したユースケースの開拓や実証を推進しているNTT IOWNプロダクトデザインセンタ（IDC）の取り組みを紹介します．

キーワード：#IOWN，#ユースケース，#実証

水野（みずの） 志郎（しろう）／菊地（きくち） 能直（よしなお）
長竹（ながたけ） 幸輝（ゆきてる）／太齋（たさい） 秀樹（ひでき）
堤（つつみ） 敏昭（としあき）／原田（はらだ） 薫明（しげあき）
NTT IOWNプロダクトデザインセンタ

## はじめに

IOWNプロダクトデザインセンタ（IDC）は，IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）技術の普及展開を加速するため2022年5月にNTT IOWN総合イノベーションセンタ（IIC）の4番目の構成組織として新設されました．

同じくIIC構成組織であり，ネットワーク・アクセスシステムの研究開発を担う「ネットワークイノベーションセンタ」，コンピューティング基盤ソフトウェアの研究開発を担う「ソフトウェアイノベーションセンタ」，光・電子デバイスの研究開発を担う「デバイスイノベーションセンタ」と連携しながら，世の中のニーズを汲み取ってタイムリーにIOWN構想を具現化し普及展開するべく活動しています．

具体的には，IOWNによるさらなる付加価値の提供をねらいICTソリューション事業領域，通信ネットワーク事業領域におけるIOWN技術のサービス化・プロダクト化に取り組むとともに，性能と電力効率の向上をめざしてIT機器・端末事業領域においても，光電融合技術を軸としたサービス化・プロダクト化の取り組みも進めています[1]．

次に，各領域の最新動向と，社会実装をめざした最新のPoC（Proof of Concept: 概念実証）案件や実証案件を紹介します．

## IT機器・端末事業領域での取り組み

本領域ではIOWN構想を支える次世代のコンピューティング基盤として研究開発に取り組んでいるDCI（Data-Centric Infrastructure）について，そのユースケースを紹介します．従来のコンピューティング基盤ではGPU（Graphics Processing Unit）制御等に多くのCPU処理の介在が必要でありその消費電力が課題でした．また通信遅延の問題などから遠隔地に設置したGPUを活用することも困難でした．ここでリアルタイム性が必要な処理を行うエッジデータセンタも活用されていますが，この場合でも建設の用地確保や，電力の不足という点が課題となっています．

DCIでは，このような課題を踏まえ，NTTが強みを持つ光通信分野の技術も活かしながら，GPUのようなアクセラレータの効率活用技術の研究開発に取り組んでいます．一例としてAPN（All-Photonics Network）と連携することで，遠隔地にある郊外型データセンタでのAI（人工知能）分析のようなユースケースを検討しています（**図1**）．十分な用地と再生可能エネルギーを利用可能な郊外型データセンタを用いつつも，リアルタイム性が必要なアプリケーションの要求にこたえられるコンピューティング基盤の実現をめざしていきます．

NTTも参加するIOWN Global Forumでは，DCIの要素技術とAPNを活用したユースケースの議論やPoCが実施されています．例えば，多数のカメラからの映像をデコードし，前処理を行い，AI推論を行う処理の消費電力を最大で約60%削減できるケースなどが報告されています[2]．

今後は，映像解析にとどまらず，生成AIなど大規模なデータ処理を行う基盤等への活用に向けた研究開発を進めていきます．すでに大阪・関西万博におけるNTTパビリオンでもDCIが情報処理の基盤として活用されており，2026年9月末に商用化版で

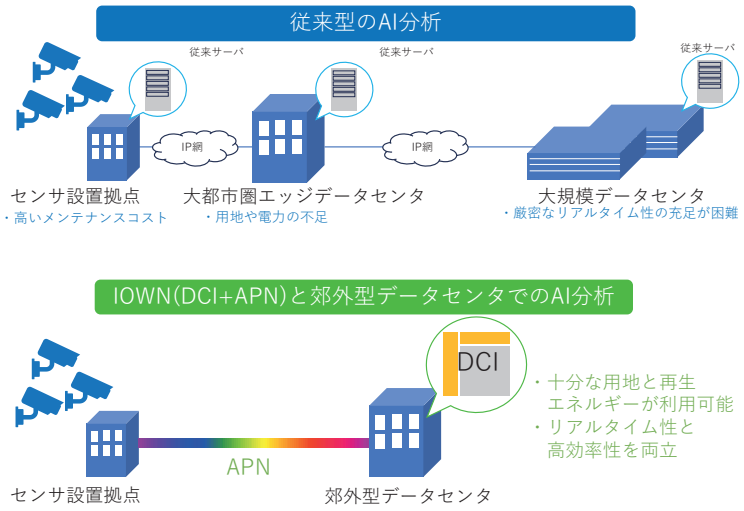



図1　DCIのユースケース

あるDCI-2の研究開発完了を計画しています．続くDCI-3の実現により，革新的なコンピューティング基盤へと進化を遂げる見込みです．

## 通信ネットワーク事業領域での取り組み

この領域ではさらなる付加価値の提供をねらい，各業界の課題に対してIOWN APNを用いた解決アプローチの実証を進めるとともに，爆発するトラフィック需要に対してIOWN APNを適用することによるネットワークの効率化や電力削減に向けた実証に取り組んでいます．

**■放送業界におけるリモートプロダクション**

近年，ネットメディアの参入による映像コンテンツ事業の競争が激化しており，さまざまな撮影現場と制作拠点とを大容量・低遅延・遅延揺らぎ（ジッタ）なしのAPNで接続することによる，高品質なコンテンツを提供する映像プロダクションDX（デジタルトランスフォーメーション）の実用化が進められています．2024年11月に開催された「NTT R&Dフォーラム2024」にて，TBS赤坂のスタジオで撮影している生放送の情報番組に対して，NTT武蔵野研究開発センタから映像切替や音声ミキシングする実証をしました．またAPNの利用定着に向けたさらなる取り組みとして，2024年12月30日に開催されたTBSテレビの「輝く！日本レコード大賞」の生放送における，音声リモートプロダクションを実証しました．大規模な音楽番組制作では，大量の音声用ミキシング機材やスタッフを現地に準備する必要があり，コスト抑制と高品質なコンテンツ制作を行う環境の確保が課題となっていました．本施策では，拠点間の接続に対して，PTP（Precision Time Protocol）の時刻同期信号をネットワーク上で透過させ，装置間を継続的に同期させるとともに，遠隔での音声プロダクションを往復5 ms未満の遅延で実現し，音源の約半分を赤坂のTBS放送センター内のサブ環境からリモートでミキシングすることに成功しました（**図2**）．今後は，スポーツイベントなどでのフルリモートプロダクション化に向けた検討・実証を進めていく予定です．

**■リモート重機操作**

建設業界が抱える人手不足・技術者の高齢化・長時間労働などの課題を解決するために，リモート操作による労働環境の改善や業務効率化が求められていますが，このためにはリモートから重機を操作する感覚を現場での操作感に近づける必要があり，多様なシーンでAPNの実用化を推進しています．2023年11月に開催された「NTT R&Dフォーラム2023」にて，建設機械の遠隔操作・現場環境の把握を実現するAPNを実証しました．NTT武蔵野研究開発センタにリモート操作する2台のコックピットを設置し，約80 km離れた千葉県千葉市に設置された油圧ショベルと，約500 km離れた大阪府堺市に設置されたタワークレーンをそれぞれ操作する実証を実施しました（**図3**）．低遅延・揺らぎなしというAPNの特性により，東京-大阪間での伝送遅延が，お客さまが従来利用している4G（第4世代移動通信システム）などの回線の数10 msに対して，わずか数msにまで短縮されるとともに，映像伝送機器においてデータ通信の遅延や揺らぎに対応するためのバッファ時間も短縮することが可能となることで，リモート操作においても現地作業のときと遜色ない結果を得ました．現在は，APN×リモート重機操作の実証ノウハウに加え，ラストワンマイルの無線接続の多様化による利便性向上および，触覚や聴覚等の情報も共有することなど，建設現場からのより高度な要望への対応検討を進めています．また，港湾におけるガントリークレーンのリモート操作の拠点集約化やオペレータ人材不足への対応といった課題解決に向け，蓄積したノウハウ展開を図っています（**図4**）．

**■製造や物流拠点のリモート運用**

建設業におけるリモート重機操作の実証に加え，製造業へのAPN適用の検討および実証提案等も進めています．複数工場の集約・リモート運用化による人材不足・作業環境改善といった課題があり，工場の制御システムの各種ソフトウェアをクラウドに集約配置してAPN接続することによって，集約運用拠点におけるリアルタイムな保守や各工場のデータ集約・分析等を実現するプラットフォームを検討しています．例えば，産業用ロボットや運搬ロボットのリモート操作・保守や，工場で生産された製品のリアルタイムでの品質検査といったユースケースが考えられ顧客提案や実証実験環境の準備を進めています．

**■医療分野での取り組み**

医療分野での取り組みも進めています．

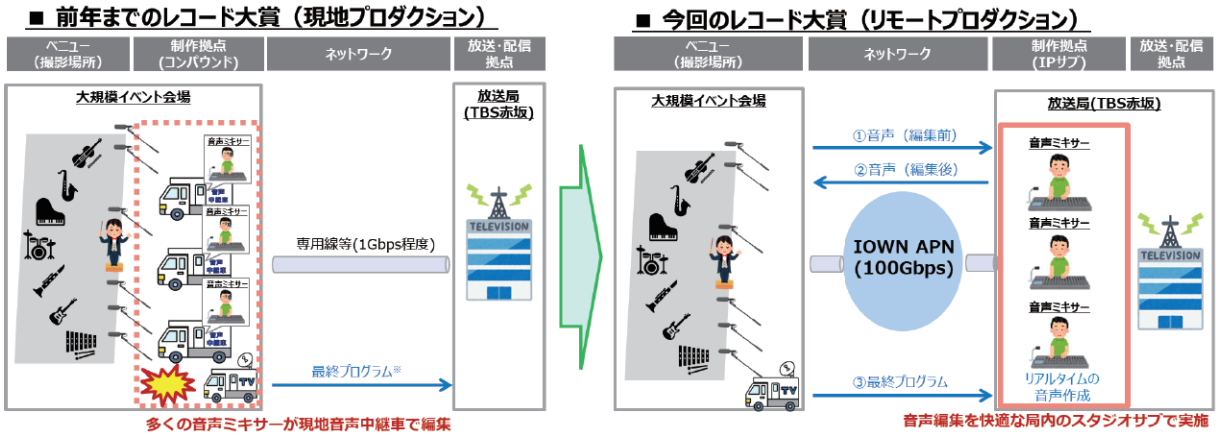



図2　APNによる映像プロダクションDX実証

現在の内視鏡は，病変部位の特定などの映像処理を内視鏡装置内のソフトウェアで行っています．内視鏡の映像処理の機能は年々高度化しており，今後，映像処理のためのハードウェアの性能限界や，ソフトウェア更新などのメンテナンス性が課題になることが予想されます．

これらの課題を解決するため，ハードウェアとソフトウェアを分離させ，映像処理等処理負荷の高い一部の機能をクラウド上で分担する「内視鏡システムのクラウド化」について，オリンパス社との共同で世界で初めて実証実験を行いました．

本共同実証実験では，NTTのIOWN APN 実験網を介して，約150 km離れた内視鏡と映像処理サーバ間を接続するかたちでクラウド内視鏡システムを構築しました．

術者が内視鏡で撮影した映像を非圧縮のまま映像処理サーバに転送し，サーバがAI等による映像処理や圧縮処理を行い，最終的に術者が閲覧するモニタに処理後の映像を出力しました．

本実験の結果，150 kmのAPN遅延は1.1 msであり，内視鏡手術に適用可能なレベルでリアルタイム映像伝送・映像処理が可能であることを確認しました．APNの低遅延，低ジッタの性能を活かすことにより本実験で確認したクラウド内視鏡だけでなく，リアルタイム性が求められる他の画像処理システムのクラウド化（ソフトウェア分離）への応用も期待される結果となりました．

**■インフラ高度化に向けた取り組み**

APNはサービス活用だけでなく、インフラの高度化への活用にも検討を進めています．

現在，5G（第5世代移動通信システム）の技術が普及する中で，モバイルトラフィックは増加傾向にあり基地局や通信設備の消費電力が増加しつつあります．モバイルキャリアやモバイルベンダにとって電力の効率化が重要な課題となっています．

APNをDU-RU間のインタフェースであるモバイルフロントホールに用いることで，RU（Radio Unit）と DU（Distributed Unit）間の1対1で物理的に直結した接続構成からRUが接続するDUを動的に経路変更することが可能な構成になります．モバイルトラフィック量が高いときにはすべてのDU拠点を稼動させ，トラフィック量が少なくなってきたらRUは接続先のDU拠点を切り替え，サービスを継続しながら運用するDU拠点を片寄せすることが可能となります．不稼動となるDU拠点は，通信装置だけではなく空調含め拠点全体での電力削減を実現します．さらに，動的経路変更はRUとDU間の経路に障害が発生した際に，障害部分を迂回させ運用可能なDU拠点に迅速に切り替えることが可能となります．これによりRUがカバーしているエリアのサービスを継続させることができ，ネットワークの信頼性向上につながります．

本実証では，動的経路変更時の通信影響を可能な限り少なくするため，RUの収容変更とAPNの経路変更を最適に組み合わせた手順を検討し，その手順にて動的な経路変更が可能であることの検証を行いました．検証の環境として，2つのモバイルフロントホールを30 kmの距離とし，その間にAPNを適用し，ユーザトラフィックを流している環境下でvDU（virtualized Distributed Unit）装置のRU収容の設定変更とAPN装置の光パス切り替え設定を行い，動的経路変更にかかる時間と通信に対する品質を含めた影響，切り替えた後の通信品質を確認しました．

結果として，伝送距離30 kmの環境で動的経路変更が8 min以内で完了し，切り替え後データ転送時の速度やロス率などの通信の品質に影響がないこと，変更した経路のユーザトラフィックは中断となるが，それ以外の経路には影響がでないこと，また経路変更前後で，消費電力が20%程度削減できることを確認しました．

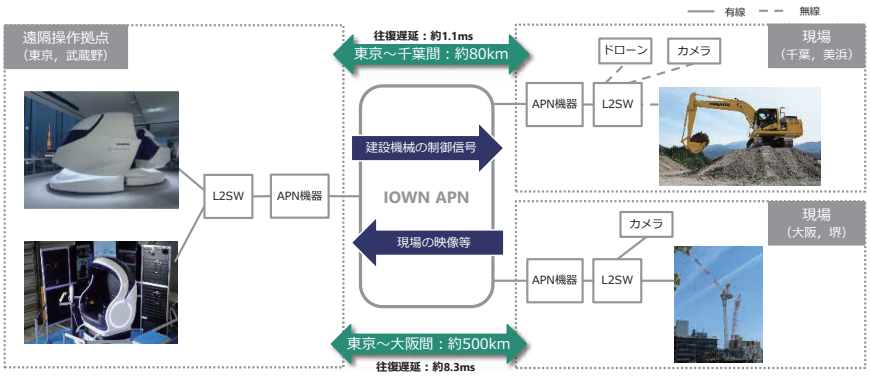



図3　リモート重機操作の実証

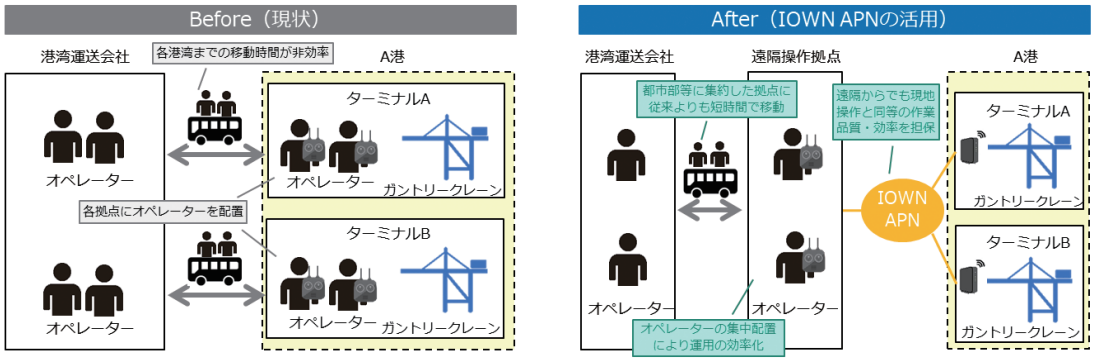



図4　港湾のガントリークレーン遠隔操作へのAPN適用

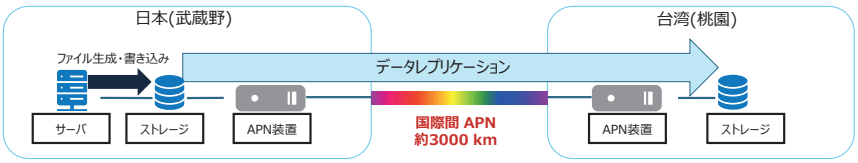



図5　データレプリケーション実証概要

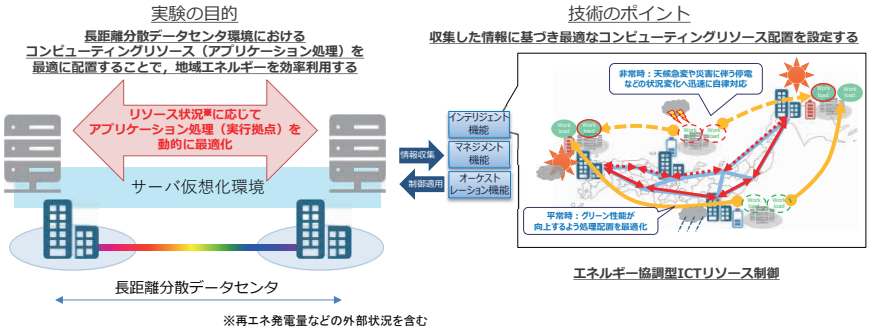



図6　分散データセンタ上のリソース利用柔軟化実証概要

今回の実証実験により，APNをモバイルフロントホールに適用することで動的経路変更が正常に動作できることを実証しました．これにより，モバイルトラフィック変動や障害時に動的なDU拠点運用が可能となり，電力削減やサービス影響の低減が図れます．今後は，実際の基地局の構成やユーザ数やトラフィックを模擬し，トラフィック予測による自動経路変更判断を組み合わせ，APNの動的経路変更による電力削減効果の実証実験とサービス影響の極小化に向けて動的経路変更にかかる時間短縮に取り組み，電力効率が高く，強靭なネットワークの実現をめざします．

## ICTソリューション事業領域

この領域では，IOWNによる新たな価値提供としてサービスの高度化および柔軟化を図り，既存事業における競争力優位性の確保をめざしています．その一環が，「国際APNを活用したデータレプリケーション」「分散データセンタにおけるリソース利用柔軟化」の実証実験です．

### ■国際APNを活用したデータレプリケーション

データレプリケーションとは，バックアップ方式の1つであり，常にデータを複製して保持する仕組みです．プライマリストレージと1つ以上のセカンダリストレージとの間でデータを同期することで，万が一プライマリストレージが故障しても，セカンダリストレージのデータを利用して迅速にサービスの復旧が可能となり事業の継続性が高まります．従来，プライマリ・セカンダリのストレージ間の距離には制約があり，遠隔地での運用は困難でした．しかし，APNを活用することで，長距離間でのデータレプリケーションが実現可能となります．今回は台湾と日本の間に敷設されたAPN回線を利用し，約3000 kmの距離で製造業や金融業での利用を想定した試験ファイルセットでのデータレプリケーションを実施しました（**図5**）．その結果，APNの低遅延性とロスレス特徴により，従来のIP網（インターネット）を用いた場合に14 min 以上かかっていた40 GB分のデータレプリケーション処理時間を約50 secに短縮可能であることを確認しました．

### ■分散データセンタにおけるリソース利用柔軟化

分散データセンタは地理的に離れた複数のデータセンタをAPNで接続し，1つの仮想的なデータセンタとする運用方法のことです．今回は，分散データセンタ上に構築したサーバ仮想化環境において，リソース利用柔軟化（消費電力やサーバ負荷といったリソース状況に応じてアプリケーション処理の配置を動的に変更すること）を検討しています．この検討のねらいは，各種リソース情報を収集するためのマネジメント機能と各種システム処理を一元管理・実行指示するためのオーケストレーション機能に，各種処理判断を自動化するためのインテリジェント機能としてNTTネットワークサービスシステム研究所で検討中のエネルギー協調型ICTリソース制御を組み合わせることで，リソース利用柔軟化の自律制御を実現することです（**図6**）．AI需要の高まりに伴うデータセンタの消費電力増加が課題となる中，これからのICTソリューションにおいては，ICTシステムと電力システムの双方を考慮することが不可欠となっています．分散データセンタにおけるリソース利用柔軟化は，持続可能なサービス基盤として有望な運用方法であると期待できます．

NTT研究所では，これらの実証を通じて従来のデータセンタにおける地理的な制約を緩和するユースケースを提案するとともに，実証パートナーと連携して将来のビジネス化をめざします．

### ■参考文献

(1) https://www.rd.ntt/idc/overview/
(2) https://iowngf.org/wp-content/uploads/2025/02/PoC_Report_-_Sensor_Data_Aggregation_and_Ingesiton_Phase_1_v1.1_28129.pdf

（上段左から）水野　志郎／菊地　能直／長竹　幸輝
（下段左から）太齋　秀樹／堤　敏昭／原田　薫明

さまざまなステークホルダの方々に対して新たな価値を，できるだけ早期に，より効果的な形で提供していけるよう，多方面の方々と具体的な事例でコラボレーションしながらサービス化・プロダクト化を推進していきます．

◆問い合わせ先
NTT IOWNプロダクトデザインセンタ
企画担当

URL　https://journal.ntt.co.jp/article/33811
DOI　https://doi.org/10.60249/25055002

# IOWN実用化に向けたデバイス技術開発の取り組み

本稿では，これまでにNTTデバイスイノベーションセンタで開発を進めてきたデバイス関連技術開発について紹介します．開発案件を大別すると，信号処理デバイス，コンピューティングデバイス，光インターコネクトデバイス，ライフアシストデバイスであり，それぞれの技術とその取り組みについて解説します．

キーワード：#IOWN，#光電融合，#データセントリックインフラストラクチャ

木坂　由明　/清水　俊幸
佐々木　雄三　/津田　昌幸
NTTデバイスイノベーションセンタ

## 信号処理デバイス

NTTデバイスイノベーションセンタでは，IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想におけるオールフォトニクス・ネットワーク（APN）実現の基盤となる光・電子信号処理デバイスの研究開発に取り組んでいます．光信号処理デバイスとしては，石英系平面光波回路（PLC：Planar Lightwave Circuit）を用いた光スイッチ，光フィルタ，マルチコアファイバ用Fan-In/Fan-Out（FIFO）等の光ノードを大規模化・マルチバンド化するデバイスの開発・実用化を進めています．電子信号処理デバイスとしては，大容量・長距離光伝送を低消費電力で実現するデジタルコヒーレント光伝送システムの主要なデジタル信号処理を行うコヒーレントDSP（Digital Signal Processor）の開発・実用化を推進しています．本稿では，大容量光ネットワークを支える信号処理デバイスとして，PLCデバイスとコヒーレントDSPについて解説します．

### ■PLCデバイス

ここでは，大容量ネットワークの伝送で幅広く用いられている，石英系の平面光波回路デバイスについて解説します．PLCデバイスは光学性能，信頼性，製造性などに優れており，合分波フィルタとして利用されるアレイ導波路回折格子（Arrayed-Waveguide Grating：AWG）や，CDC-ROADM（Colorless，Directionless，Contentionless - Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexing）システムで用いられるマルチキャストスイッチなどが代表例として挙げられます．近年，ネットワークの大容量化技術として利用する波長帯域幅を拡大するマルチバンド伝送技術が注目されていることを背景に，光ファイバの損失波長依存性や波長多重光信号間で生じるパワー遷移を補償する用途に好適な，可変光フィルタの開発を進めています．本可変光フィルタは，複数の方向性結合器間を，位相シフタを装荷する適切な光路長差の導波路対を経由して縦続接続する回路構成（**図1左**）で，位相シフト量の調整により各種の滑らかな曲線形状の透過スペクトルを生成します．透過スペクトルの設定例（図1右）に示されるように，従来から用いられている通信用波長帯域であるC帯*1やL帯*2に加えて，今後の実用化が期待されるS帯*3でも動作可能です[(1)]．このように，伝送用波長帯域の拡大などの伝送技術のトレンドを踏まえて，光ノードの高度化・大容量化に貢献するデバイスの実用化を推進しています．

### ■コヒーレントDSP

ここでは，大容量デジタルコヒーレント光伝送における主要な信号処理を担うコ

＊1　C帯：1530-1565 nm付近の波長帯．
＊2　L帯：1565-1625 nm付近の波長帯．
＊3　S帯：1460-1530 nm付近の波長帯．

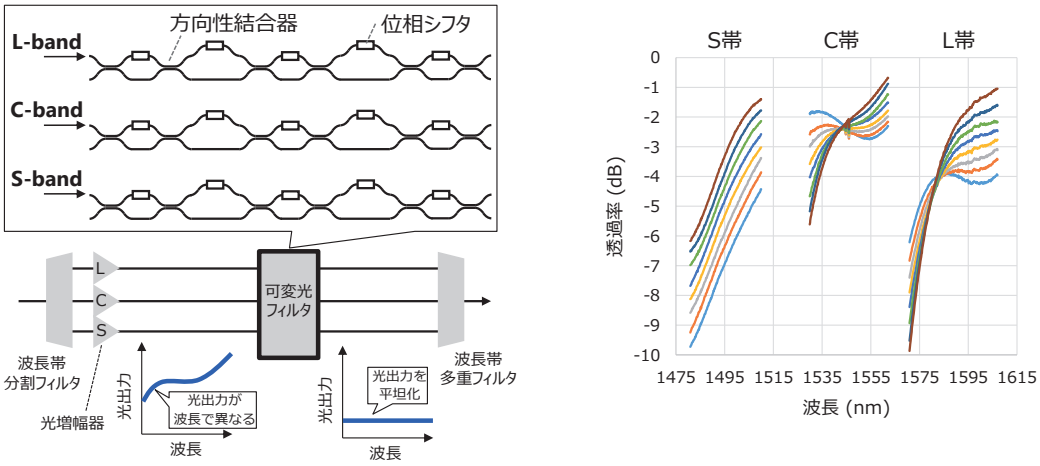



図1　可変光フィルタの概要

ヒーレントDSP（**図2**）について解説します．コヒーレントDSPでは，光信号の偏波，振幅，位相の情報をすべてデジタルデータとして取り込み，高度な信号処理によって光ファイバ伝送路や光・電子デバイスで発生する光信号歪みを補償します．これにより，伝送容量の飛躍的な大容量化を可能とします．

デジタルコヒーレント光伝送では，これまでに1波長当り100 Gbit/sから1.2 Tbit/sまで大容量化が進み，そこでは変調速度が32 Gbaudから140 Gbaudまで高速化してきました．同時に，経済的にシステム実装密度を上げるために，低電力化の進展も著しく進んできており，光トランシーバの1 bit当りの伝送エネルギーは，500 pJ/bit以上から40 pJ/bit以下まで1桁以上に及ぶ電力効率の改善が進展してきました．最近では，1波長当りの伝送容量800 Gbit/sを25 pJ/bit程度で実現する低電力コヒーレントDSPの研究開発に成功しており，光送受信デバイスと一体パッケージ実装した光電融コパッケージの開発も進めています．これらのデバイスは，QSFP-DD（Quad Small Form Factor Pluggable Double Density）や OSFP（Octal Small Form Factor Pluggable）といった小型光トランシーバモジュールに実装可能であり，大容量の光伝送システムを低電力・高密度に実現できます．現在は，1 Tbit/s超級のデジタルコヒーレント光伝送をより小型・低電力に実現する次世代コヒーレントDSPの研究開発を進めています．今後もデータセンタネットワークやコアメトロといった基幹ネットワークの光伝送システムの大容量化・低電力化を実現する光電融合デバイスの実用化を推進していきます．

## コンピューティングデバイス

環境負荷を高めることなく膨大なデータ処理を可能とするコンピューティングアーキテクチャの創出と，その社会実装を目標とした研究開発を行っています．ここでは特に，光電融合技術を適用した51.2 Tbit/sの大容量イーサネットスイッチ（光電融合スイッチ，**図3**）と，4K映像に対してリアルタイムかつ低電力でAI（人工知能）推論処理を実行可能な超高精細映像AI推論LSI（**図4**）の研究開発に関する取り組みを解説します．

### ■51.2 Tbit/sの大容量イーサネットスイッチ（光電融合スイッチ）

これまでNTTでは，電子回路と光回路を統合することで小型・大容量・低消費電力をめざした光電融合技術に取り組んでおり，まずは光通信ネットワークシステムへの適用に向けてデジタルコヒーレント光トランシーバに搭載される「PEC-1」と呼ぶ光電融合デバイスを実用化してきました．この光電融合デバイスの次の展開として「ディスアグリゲーテッドコンピューティング」と呼ぶ新しいアーキテクチャへの適用を検討しています．これは従来のCPUを中心としたサーバ筐体に閉じたリソース制御から脱却する新しいアーキテクチャであり，多数のCPU，GPU（Graphics Processing Unit），FPGA（Field Programmable Gate Array）などの計算リソースをプール化したうえで光接続して制御することをめざす構想です．この構成により，ラックスケールでの柔軟性の高いリソース制御を可能とするとともに，高性能なコンピューティングをより低消費電力

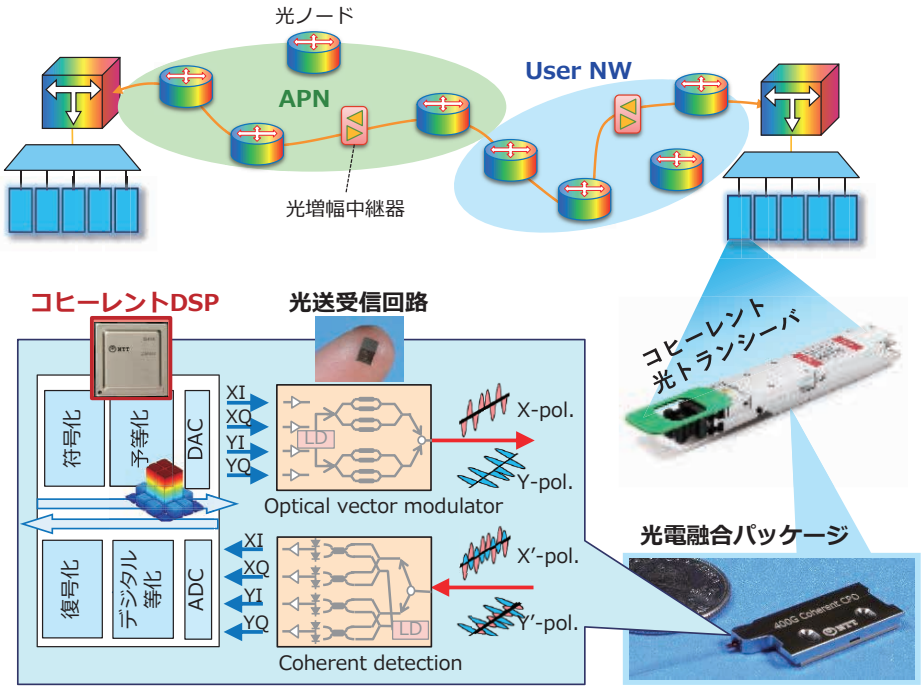



図2　コヒーレントDSPの概要

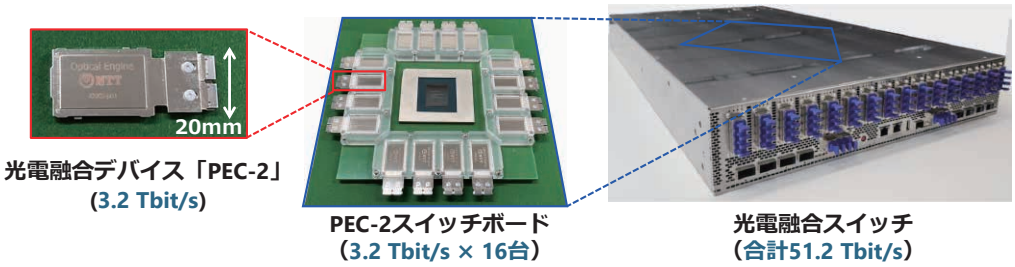



図3　PEC-2搭載光電融合スイッチの概要

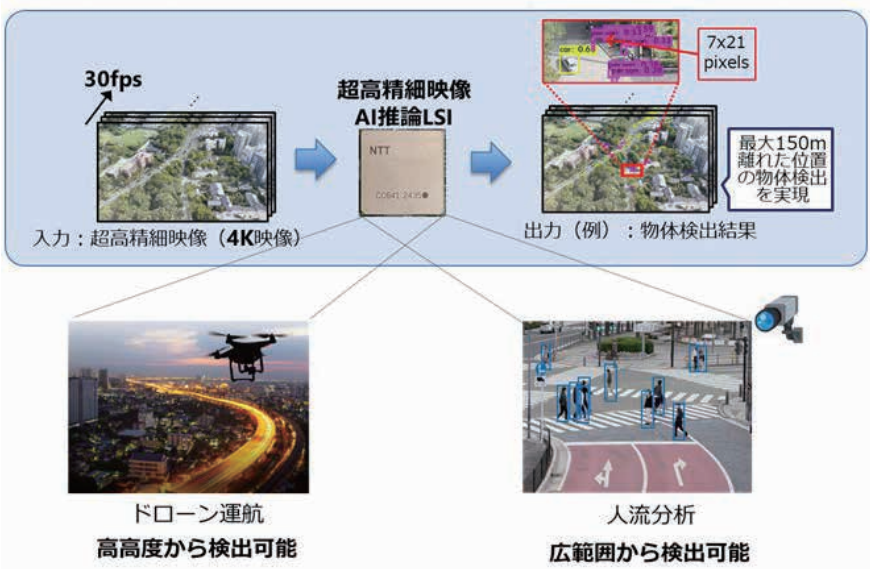



図4　超高精細映像AI推論LSI

で実現できます[2]．このディスアグリゲーテッドコンピューティングにおいては，各計算リソースを大容量かつ高速に接続するインターコネクト部が非常に重要であるため，このインターコネクト部の性能を最大限に引き出すべく光電融合デバイス「PEC-2」を搭載した光電融合スイッチを試作しました．この光電融合スイッチは電気回路であるスイッチLSIチップの周囲に，3.2 Tbit/sの光電融合デバイス「PEC-2」を16台隣接配置することで最大51.2 Tbit/sもの大容量なスイッチング機能を実現できます．さらに，従来のレイヤ2スイッチはフロントパネルにプラガブル型の光トランシーバが多数配置される構造だったことからスイッチLSIからフロントパネルまでの電気配線が長くなり消費電力の増加を招いていましたが，本試作の光電融合スイッチではスイッチLSIの近傍に光電融合デバイスを配置する構造のため配線由来の電力消費を最大限抑えることができ，PEC-2単体の電力性能と併せて従来のスイッチ機器と比べて大幅な電力低減を実現しました．このPEC-2搭載光電融合スイッチによって計算リソースを柔軟に活用した大容量・低消費電力なディスアグリゲーテッドコンピューティングを実現し，社会に貢献していきます．

**■超高精細映像AI推論LSI**

一般に，映像に対するAI推論は，計算量の低減と学習容易性の観点とから，入力画像サイズに制限があります．このため，市中技術では，たとえ4Kカメラで被写体を撮影した映像でも，実際には小さい画像サイズに縮小してAI推論を行っており，小さな物体がつぶれて検出困難になっていました．リアルタイム性，消費電力の面でも課題です．

上記の課題解決のために，NTTでは，4K映像のままで効率的にAI推論を実行可能にする技術を確立しました．本技術は2つの技術から構成されます．1つは，AI推論の解像度制約を4K映像にまで拡張する高精細化技術，もう1つはこれをリアルタイムかつ低電力で実行可能にする独自AI推論エンジンです．

高精細化技術では，画像縮小なしで推論するために，入力画像サイズを制約サイズにまで分割して，分割画像ごとに推論を実施します．これにより，小さな物体が検出できるようになります．これと並行して，分割画像をまたぐような，大きな物体も検出できるようにするために，画像全体を縮小しての推論も行います．こうして得られた画像全体からの結果と，分割画像からの結果とを合成することで，最終的な検出結果を得ます．これにより，4K映像に対しても，大小両方の物体を検出可能となります．

一方で，この高精細化技術は，4K映像において，分割画像数が多く，そのままでは演算量が膨大となります．このため，独自AI推論エンジンでは，フレーム間相関を利用した演算効率化などにより，検出精度を確保しつつ，演算量の削減を実現し，低電力での4Kリアルタイム実行を可能にしています．

同技術を搭載した超高精細映像AI推論LSIを，エッジ・端末などに搭載し，画角の広い4K映像に対してリアルタイムAI推論を行うことで，例えば，ドローン無人航行では，飛行ルート下の通行人や車などの

所望の物体を，より高高度から検出しながら飛行可能になり，人流分析用途では，より広範囲から所望の物体を検出できるようになります．また，同LSIをデータセンタ向けの映像AI推論アクセラレータとして活用することで，クラウドを用いたさまざまな映像AIサービスの電力消費を削減することも可能になる見込みです．

## 光インターコネクトデバイス

現代の社会を支える通信ネットワーク上では日々膨大なデータがやり取りされ通信容量は拡大の一途をたどっており，それに伴い通信で消費される電力も爆発的に増大しています．IOWN構想では通信システムの低消費電力化を大きな目標の1つとしており，その実現に向けて光電融合技術の確立と普及が不可欠となっています．そもそも光通信は電気通信に比べて通信速度が高速化しても消費電力が増加しにくいという特徴があります．現在の光通信技術は大陸間やメトロ・アクセス網，データセンタ内など比較的長距離の通信で用いられているのに対し，ボード内やLSI間の接続，チップ内の通信には一般的に電気配線が用いられています．IOWN構想においては，光電融合技術を用いボード内やLSI間などの短距離領域にも光通信の導入を進め，ネットワークからコンピューティングに至るあらゆる領域でデータ伝送速度の大幅な向上と低電力化をめざしています．

現在，開発を進める光電融合技術「PEC-3」はLSI等ロジック回路のパッケージ間光配線技術です．現状，LSIとの信号の入出力は電気配線だけが用いられていますが，これをより高速かつ低電力で接続するためにPEC-3ではLSI間を光電変換モジュールで接続する光チップレットと呼ばれる光電融合デバイスを開発しています．ここで，LSI間を高速・高密度かつ低電力で接続するためのキー技術となるのがメンブレンデバイスです．メンブレンは薄膜構造を意味し，化合物半導体であるInP（インジウムリン）から成る厚さ200～400 nm程度の薄膜光機能素子がSi（シリコン）による大規模光回路上に貼り付けられた構造を持ちます．電子回路等で広く用いられるSiは高度な微細加工技術が利用可能で，Siフォトニクスと呼ばれる低損失かつ大規模な光回路を実現できる一方で，発光素子の作製が困難というデメリットがあります．

これに対し光通信用の半導体レーザなどに用いられるInP系化合物半導体は発光や変調などの光や光信号の生成を得意とし，メンブレンデバイスはこれらの材料の長所を活用したNTT独自の異種材料集積技術です．さらに，メンブレンデバイスでは半導体薄膜の横方向に電流を流す構造を用い，薄膜の上下方向を$SiO_2$（二酸化ケイ素）等の半導体に対して屈折率の小さい絶縁材料で挟み込む構造を採用しています．これにより従来の半導体レーザに対しておよそ10分の1の非常に小さい領域に光を閉じ込めることで半導体内の光増幅や光吸収を効率的に行い高速かつ極めて低電力な動作を実現可能です．PEC-3におけるメンブレンデバイスでは，光を生成するメンブレンレーザおよび光変調を行う電界吸収型変調器など多様な機能デバイスを集積した光機能素子の開発を進めています．

**図5**には開発中のメンブレンデバイスを搭載した光チップレットの概要を示します．ここでは，16チャネルのメンブレンデバイスが指先に乗る程度の極めて小さなSiフォトニクスチップ上に集積されています．メンブレンデバイスの各チャネルは100 Gbit/s超の高速信号を送信可能です．さらに，この光半導体チップは電気チップと積層されるかたちで光チップレットに実装され光ファイバに接続することで光送信器としてモジュール化されています．現在，これら光電融合技術の開発においてはメンブレンデバイスの長期信頼性の確保と光チップレットの量産化技術の早期の立上げを最大の目標としており，2028年の実用化をめざすIOWN3.0への搭載を想定しています．

光チップレットはロジック回路であるLSIを高速・低電力で接続する技術であり，これを広くサーバやコンピューティングシステムに応用することで，複数のリソースを最適に接続し処理を行うこと（ディスアグリゲート）が可能となります．小さな半導体チップに関する技術ではありますが，世界を大きく変革し得る可能性を秘めたIOWN構想を支える基盤技術であり，いち早く社会実装と普及を進めるべく研究開発を進めています．

## ライフアシストデバイス

IOWNのプレイヤである「人」と，土台となる「インフラ」を対象として，その長寿命化を図ることで，豊かで持続可能な社会の実現に貢献することをミッションとしたデバイスの開発を行っています．

「人」に対しては，NTTグループの医療・

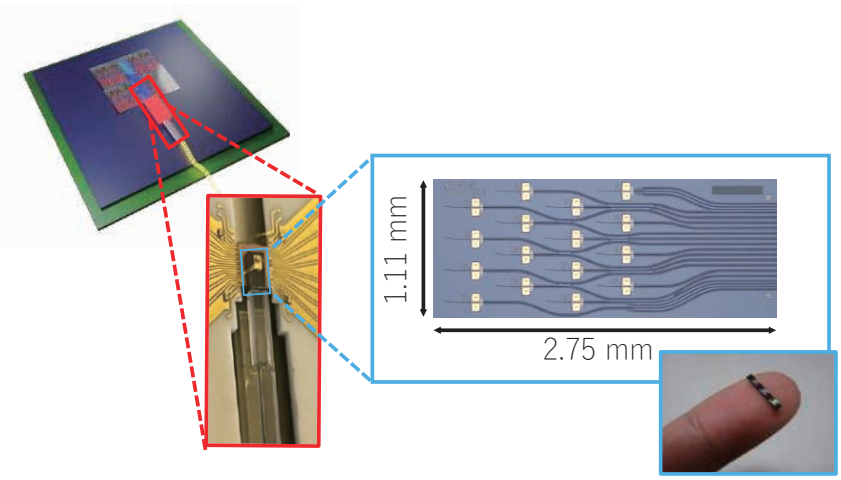



図5　光チップレットの概要

図6　ウェアラブル生体・環境センサー

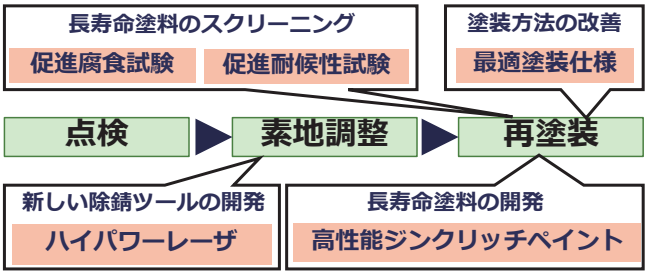



図7　鉄塔のメンテナンス工程と開発技術

ヘルスケア事業を推進し，健康管理に貢献が可能なウェアラブルデバイス技術の開発を行っています．その代表的な開発デバイスがNTTテクノクロスから商用化されている「ウェアラブル生体・環境センサー：TX02」（**図6**）です．本センサは，NTTと東レ社が共同開発した，電気を流すことができるテキスタイル素材であるhitoe®＊4を適用したウェア（シャツやベルト）に取り付けることで，着用者の生体情報（心電・心拍），衣服内の温度・湿度，加速度を自動取得するデバイスです．計測したデータを基にセンサの内部で心拍数や歩数などの特徴量を解析する機能を備えており，データは無線モジュールによりセンサ着用者のスマートフォンやIoT（Internet of Things）ゲートウェイに送信され，リアルタイムでのモニタリングが可能です．また，複数のセンサで連続的に計測・解析・通信を行うと動作時間が短くなり，頻繁な充電や大きな電池が必要になりますが，本センサではCPUを休止させた状態でデータをバッファに蓄積し，短時間だけCPUを起動させて一括して波形処理や特徴量解析を実行するマルチセンサデータ信号処理技術を構築したことで，小型電池でも40時間以上の連続計測が可能となっています．センサで測定されたデータは，国立大学法人名古屋工業大学との共同研究により確立した，体内温度変動のリアルタイム推定手法により体内温度の変動および体調不調リスクとして推定し，作業者の暑熱による体調不良リスクの管理に活用されます（NTTテクノクロスより「hitoe®暑さ対策サービスfor Cloud」として提供中です[3]．ウェアラブルデバイスの開発だけでなく，そのデバイスが収集するデータの活用方法についても技術開発を進めています．

「インフラ（ここでは主に屋外で使用される通信用設備を対象にしています）」に対しては，材料そのものの劣化を分析することで材料の観点から設備を長寿命化・延命化する技術，また開発したデバイスをツールとして活用することで点検・保守の作業効率を向上する技術の開発を行っています．ここでは通信用鉄塔のメンテナンスを事例として，その一例を紹介します．鉄塔のメンテナンスにおいては，その構造材である鋼を保護するための手段として塗装を行っています．塗装の前には，鋼の表面の古い塗料や生成している錆を落とす，素地調整という作業が必要になり，点検，素地調整，再塗装の工程でメンテナンスが行われます（**図7**）．素地調整においては，電動工具や手工具などが用いられますが，これらに代わるツールとして，塩分除去ができ，反作用力がなく自動化も見込めるツールであるハイパワーレーザによる素地調整技術の開発を行っています．また塗装においては，促進腐食試験や促進耐候性試験による長寿命な塗料をスクリーニングする評価技術や，複数塗料の塗り重ね方（塗装仕様）の最適化のほか，ジンクリッチペイント（高濃度亜鉛粉末含有塗料）という塗料そのものの性能向上を図る技術開発により，鉄塔のメンテナンス効率化およびメンテナンス期間の延伸（設備の長寿命化）を進めています．

＊4　hitoe®：東レ株式会社とNTTが開発した，体から発している微弱な電気信号である生体信号を，無意識に近い状態で収集するための機能素材です．機能素材hitoe®は両社の商標登録です．

■参考文献

(1) Y. Morimoto, K. Suzuki, K. Yamaguchi, F. Hamaoka, M. Nakamura, T. Kobayashi, Y. Miyamoto, and O. Moriwaki: “Lattice-type Reconfigurable Spectral Filter for S/C/L Multiband WDM Signal Equalization,” Proc. of ECOC2024, Paper M2G.2, 2024.
(2) 岡田・木原・岡崎：“IOWNを支えるディスアグリゲーテッドコンピューティング，” NTT技術ジャーナル，Vol.33，No.5，pp.40-44，2021.
(3) https://www.ntt-tx.co.jp/products/lifesupport_solution/

（左から）　木坂　由明／清水　俊幸／佐々木　雄三／津田　昌幸

本稿では，NTTデバイスイノベーションセンタにおけるデバイス開発の取り組みを紹介しています．今後，これらの開発成果を普及・発展させ，デバイスを通じてIOWN構想に貢献していきます．

◆問い合わせ先
NTTデバイスイノベーションセンタ
DIC企画部

URL　https://journal.ntt.co.jp/article/33809
DOI　https://doi.org/10.60249/25055003

# IOWN実用化に向けたネットワーク技術開発の取り組み

IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想では，光を中心とした革新的な技術を活用した高速大容量通信，膨大な計算リソース等を提供可能なネットワーク・情報通信基盤の実現をめざしています．NTTネットワークイノベーションセンタは，IOWN構想の具現化と社会実装に向け，インフラ，アクセスネットワーク，コアネットワーク，ネットワークサービス，そしてオペレーションとネットワーク全体の社会実装に取り組んでいます．本稿では，NTTネットワークイノベーションセンタの取り組み概要について述べます．

キーワード：#APN，#ネットワークサービス基盤，#アクセスネットワーク基盤

岩佐（いわさ）　絵里子（えりこ）
渡辺（わたなべ）　裕太（ゆうた）
松井（まつい）　健一（けんいち）
NTTネットワークイノベーションセンタ



## IOWN実用化に向けたNTTネットワークイノベーションセンタの取り組み

IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想では，光を中心とした革新的な技術を活用した高速大容量通信，膨大な計算リソース等を提供可能なネットワーク・情報通信基盤の実現をめざしています．NTTネットワークイノベーションセンタは，IOWN構想の具現化と社会実装に向け，インフラ，アクセスネットワーク，コアネットワーク，ネットワークサービス，そしてオペレーションといったネットワーク全体の社会実装に取り組んでいます．

ネットワーク系のR&Dを取り巻く環境は，AI（人工知能）進展等に伴い流通するトラフィックの増加，災害の頻発化・激甚化，カーボンニュートラル・環境への関心の高まり，といった継続的なトレンドに加えて，通信インフラに対するサイバー攻撃・障害による国民生活や社会活動への影響度の拡大，モバイル事業に代表されるネットワーク品質競争激化，生成AIに代表されるAI・デジタル技術の革新など，大きく変化しています．このような変化をふまえ，NTTネットワークイノベーションセンタでは，エンド・ツー・エンド（E2E）での光波長パスを提供するオールフォトニクス・ネットワーク（APN）の早期実用化加速，サステナビリティ向上に向けたネットワークサービス基盤の高度化，ネットワーク運用における自律化推進とAI技術適用範囲の拡大，アクセスネットワーク基盤の高度化と運用スマート化に取り組んでいます．

## APNの早期実用化加速に向けた取り組み

APNはIOWNを構成する主要な技術分野の1つで，端末からネットワークまで，すべてにフォトニクス（光）ベースの技術を導入し，E2Eでの光波長パスを提供する波長ネットワークにより，圧倒的な低消費電力，高速大容量，低遅延伝送の実現をめざします．IOWN構想の中でも先行したサービス化が推進されており，2023年にAPN IOWN1.0として商用サービスが開始されています．

NTTネットワークイノベーションセンタでは，より高速・大容量な通信性能，低遅延，高セキュリティ，かつ低消費電力をめざしたシステム開発を通じて，APNのさらなる発展を支えています．具体的には，大幅な電力効率の向上と伝送容量の拡大を実現する，1波長当り1 Tbit/s級の光信号伝送が可能なAPNノードの開発，E2Eでの通信遅延をマネジメントし，さまざまな信号の低遅延収容や遅延制御高度化を可能とする遅延マネージドネットワークシステム，オープン光トランスポート装置に耐量子計算機暗号機能を統合し，拠点間を光伝送のまま，かつセキュアに接続する，セキュア光トランスポートシステム等のプロダクト開発を進めています．また，光パスを提供する際に，専用線のように光パスを張った状態をキープする形態ではコスト負担が大きく，利用開始時には光パス開通のための設定や設計の時間がかかります．そこで，光パスを柔軟に制御するオンデマンド化が必要となり，APN統合管理や自動化・オンデマンド化により，保守運用コストを抑制するAPNコントローラのプロダクト開発も進めています．

本稿では，1波長当り1 Tbit/s級の光信号伝送が可能なAPNノードと，APN統合管理や自動化・オンデマンド化を実現するAPNコントローラについて紹介します．

## 1 Tbit/s級の光信号伝送が可能なAPNノード

1 Tbit/s級の光信号伝送が可能なAPNノードでは，最先端の光通信デバイスや最新技術を採用することで伝送容量を拡大する一方で，ROADM（Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer）機能部と光送受信機をオープンな光インタフェースで分離し，光 - 電気変換を削減することによるシステム消費電力の大幅削減をめざすシステムの構成方法を採用しています（**図1**）．

具体的には，高密度波長多重技術（DWDM）とデジタルコヒーレント技術を基盤とし，1波長当り約1 Tbit/sの光

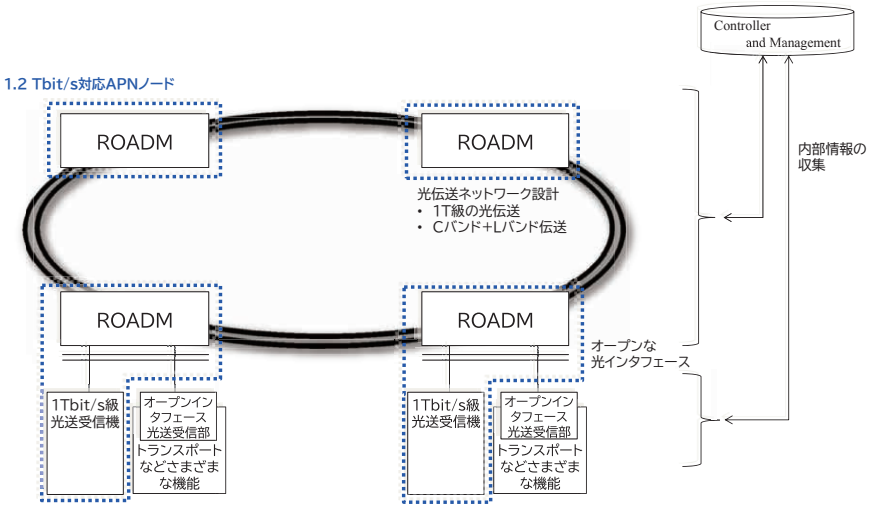



図1　1.2 Tbit/s対応APNノードで構成される次期光伝送ネットワーク

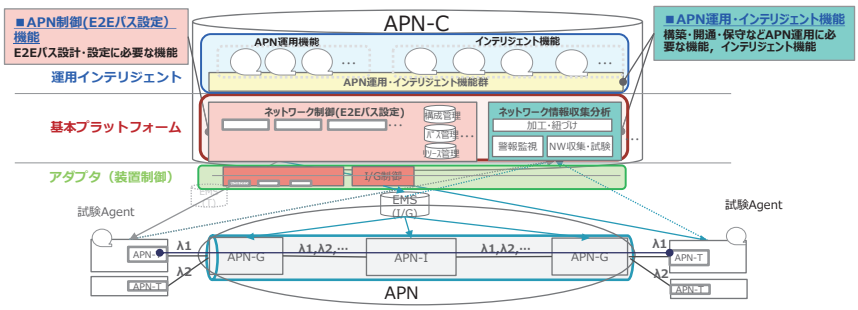



図2　APNコントローラ構成イメージ

信号を多重することで，伝送容量を拡大します．さらに，ROADM機能と光送受信機能を分離し，オープンな光インタフェースを規定することで，さまざまな光送受信機を用いて遠隔地を光信号のまま接続することが可能になります．本APNノードでは，世界最先端のデジタル信号処理プロセッサ（DSP）を採用し，光信号の変調レートの高速化と多値度の向上を図ります．その結果，長距離では800 Gbit/s，短距離では1.2 Tbit/sの伝送容量を達成できます．さらに，光雑音や光信号の歪みをコントロールすることで，高速な光信号を安定的に伝送できる設計になっています．従来のネットワークでは利用できなかったCバンドとLバンドの両方に対応する光設計・システム設計を行うことにより，伝送容量を倍増させます．また，Open ROADM MSAとOpen ZR+ MSAの標準を採用することで，マルチベンダ環境での相互運用性を向上させ，光インタフェースのオープン化を実現します．

## APN統合管理や自動化・オンデマンド化を実現するAPNコントローラ

APNコントローラは，マルチベンダ環境において E2Eの光パス設定と保守を行うための機能を提供します．APNコントローラは，APN制御（E2Eパス設定）機能とAPN運用・インテリジェント機能で構成されます[1]（**図2**）．APN制御機能は，マルチベンダ環境でE2Eのパス設計と設定を実現し，中継伝送装置（APN-I/G）とトランシーバ（APN-T）をシームレスに制御します．APN運用・インテリジェント機能は，E2Eパスの情報収集や警報監視を行い，光レイヤとサービスレイヤをまたぐネットワーク情報の可視化やパフォーマンスモニタリング（PM）を活用して，障害を未然に防止する機能を提供します．

APNコントローラは基本プラットフォーム，アダプタ（装置制御），運用インテリジェントの3層で構成され，ネットワーク制御と情報収集分析，設定パラメータや制御シナリオの調整，一元的なネットワーク情報の収集と分析を行います．これにより，マルチベンダ環境での効率的なパス設定と保守が可能になります．

## サステナビリティ向上に向けたネットワークサービス基盤の高度化の取り組み

6G（第6世代移動通信システム）/IOWNの時代では，多様なアクセス形態を意識させずシームレスにE2Eで高機能通信を提供することがとても重要となります．NTTネットワークイノベーションセンタは，IOWNにおいて場所・利用形態を問わずさまざまなユーザ要望にこたえる高品質・高機能な通信を提供するために，移動網と固定網を融合させた制御・管理の高度化，XR（Extended Reality）・メタバースを支えるネットワーク付加価値，システムの省電力化・セキュリティ付加価値を提供する技術開発を推進しています．具体的には，アクセスネットワークやデータセンタネットワーク等の複数のネットワークドメインをまたがる信頼性・通信品質の確保を可能とするリライアブル制御プラガブルネットワーク連携基盤，メタバースサービス向けコミュニケーション基盤，電力観点での負荷配置・基盤設定の最適化制御やアクセラレータやCPUの省電力機構等を効果的に活用し省電力化を実現するサーバ省電力化技術，複雑かつ変動する利用環境や要件に追従・先回りした無線通信環境を実現するマルチ無線プロアクティブ制御技術等のプロダクト開発を推進しています．

本稿では，複数のネットワークドメイン

をまたがる信頼性・通信品質の確保を可能とするリライアブル制御プラガブルネットワーク連携基盤，電力観点での負荷配置・基盤設定の最適化制御によるサーバ基盤の省電力化について紹介します．

## ネットワークドメインをまたがる信頼性・通信品質の確保を可能とするリライアブル制御プラガブルネットワーク連携基盤

社会インフラにおける通信キャリアの役割が拡大する中で，アクセスネットワークやデータセンタネットワーク等の複数のネットワークドメインをまたいで俯瞰的に信頼性・品質を確保する仕組みが求められています．また，通信キャリアの提供するMEC（Multi-access Edge Computing）やデータセンタを活用したAR（Augmented Reality）/VR（Virtual Reality）等の新しいユースケースが広がり，移動アクセス・固定アクセスから適切なアクセス手段を選択することも求められています．信頼性と通信品質を確保するためには，複数ネットワークドメインをまたがる影響を伴う故障からの迅速な復旧と，E2Eでのサービス品質保証に向けたネットワークドメインをまたがるリソース管理・品質可視化が重要です．

これらの要件を満たし，複数のネットワークドメインをまたがる信頼性・通信品質の確保を可能とするために，リライアブル制御プラガブルネットワーク連携基盤を提供します[2]（**図3**）．

リライアブル制御プラガブルネットワーク連携基盤はネットワークドメイン間運用協調技術，オンデマンド品質可視化・制御技術で構成されます．ネットワークドメイン間運用協調技術は，複数のネットワークドメインをまたがる設定・運用を協調させて早期の故障復旧を可能とする技術です．複数のネットワークドメインに影響する故障発生時に，ドメイン横断でアラートを分析し被疑事象を推定することで，復旧対処までの時間を短縮するドメイン間被疑事象推定機能や，移動と固定のアクセス手段によらず必要な通信制御ポリシーを一元的に管理し，ネットワーク提供リードタイムを削減するドメイン間ポリシー情報連携機能を提供します．オンデマンド品質可視化・制御技術は，ドメインをまたがるユーザ通信の品質保証を可能にする技術です．ユーザが要望する通信品質要件に応じて，ネットワーク監視や品質監視対象の変更を動的に行い，端末・サーバ・アプリケーションの構成の変化に追従するオンデマンド品質監視機能や，各ドメインから取得した品質メトリクスに基づく品質劣化推定・回復措置のリコメンデーションを行うドメイン間品質判定連携機能，アクセスネットワークの品質制御能力を活用した品質確保のための制御を適用するアクセス品質制御機能を提供します．

## 電力観点での負荷配置/基盤設定の最適化制御によるサーバ基盤の省電力化

IPトラフィックが指数関数的に増加する中，そのトラフィック・データ処理によって消費される電力増加が大きな課題になっています．特にAIや機械学習の需要が急激に高まっており，それらを稼動させるサーバ群の省電力化は急務です．

IOWNにおいては分散配置されたCPUやGPU等の計算デバイスを光回線によって柔軟に組合せ可能なディスアグリゲーテッドコンピュータが提唱されています．デバイスの組合せパターンが極めて膨大となるディスアグリゲーテッドコンピュータにおいて，制御下にあるデバイスを電力効率の高い状態へ誘導し，高効率なデバイスを選んでリクエストを処理させるのが，サーバ基盤の省電力化技術であるパワーアウェア動的配置制御技術（PADAC）です（**図4**）．

PADACはソフトウェアベースの制御技

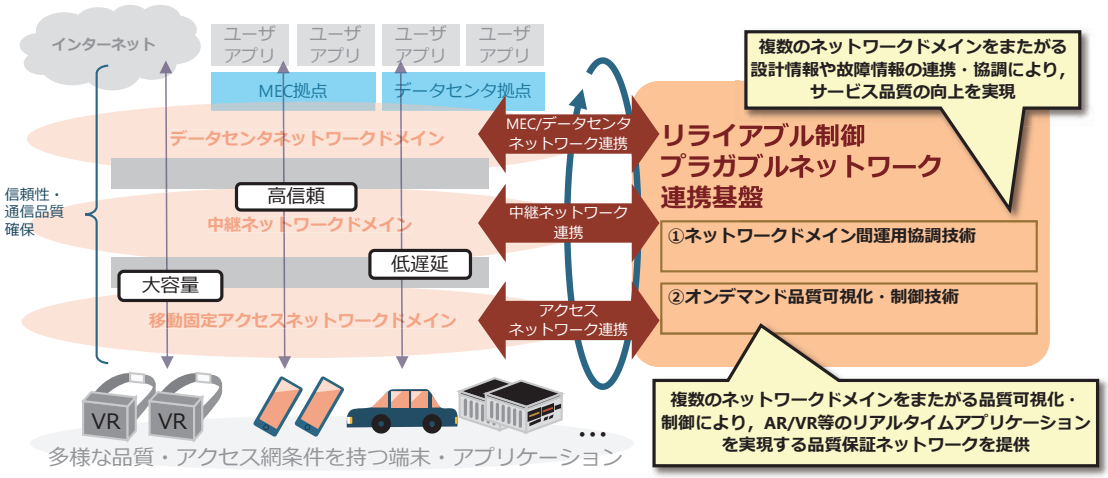



図3　リライアブル制御プラガブルネットワーク連携基盤の概要

術として実装することで，既存のアプリケーションを改造することなく，低コストで導入可能である点が特長です．PADACの要素技術の1つであるCPU省電力制御技術では，CPUの省電力機能である，アイドル時の省電力機能C-stateと動作クロックと電圧の制御機能P-state を活用し，Sleep状態（C-state）のCPUコアを増やすためのプロセス配置（Sleepコアの増加）と，Sleep状態が解除されにくいプロセス配置（Sleep解除の防止）を実行し，アプリケーションの性能を可能な限り維持しながら消費電力を削減する制御技術を提案しています．PADACは，仮想化システム群をKubernetesやOpenStackなどのリソースコントローラにより制御し，複数サーバの環境で高い省電力効果を発揮します．

## ネットワーク運用における自律化推進とAI技術適用範囲の拡大の取り組み

ネットワーク障害のもたらす社会影響が拡大している今日，ネットワークの運用はますます重要性を増しています．しかし，多様化・複雑化が進むネットワークをすべて人手で運用することには限界があります．そこで，NTTネットワークイノベーションセンタでは，AI技術を活用することで，人が行っているアラームの分析や故障個所の特定などの業務プロセスを自動化し，新たな装置の追加やネットワーク構成の変更といったさまざまな環境変化に自律的に対応することをめざしています．これにより，災害や障害が発生した際にも，AIが自律的に最適な状態へと早期に回復するようになり，社会課題の解決にもつながります．本稿では，ゼロタッチオペレーションを実現する保全系AI技術について紹介します．

## ゼロタッチオペレーションを実現する保全系AI技術

故障対応業務のゼロタッチオペレーションには，アラーム相関分析や故障原因分析などの複雑な工程を保守者に代わり遂行するAI技術が必要です．このとき，故障対応業務のミスによる社会的な影響を最小限にできる高精度なAI技術の確立が重要です．これらの要件を満たし故障対応業務を全自動化するゼロタッチオペレーションの実現に向けて，保守者のノウハウを取り入れた高精度な保全系AI技術を研究開発しています[3]（**図5**）．

具体的には，大量の装置ログや各種メトリクスを分析することで，アラーム化されていない特異事象の早期検知を実現するNW-AI（平常時乖離分析機能），大量のアラームを故障ごとに分類・集約することで分析を容易化し故障対応の迅速化や故障の見落とし防止を実現するNW-AI（アラーム集約機能），故障個所を推定・提示することで保守者の判断・措置の迅速化を実現するNW-AI（非定型故障個所推定機能）と，それら各NW-AI の連携を実現するNW-AI 連携シナリオ管理機能の開発を進めています．また，AIの誤りを検知し，保守者と同等の視点で出力の妥当性を検証・判断するAIOps-GW技術や，環境変化によるAIの精度劣化に対して，AI自身が再学習を行うことで精度を維持する半自律的再学

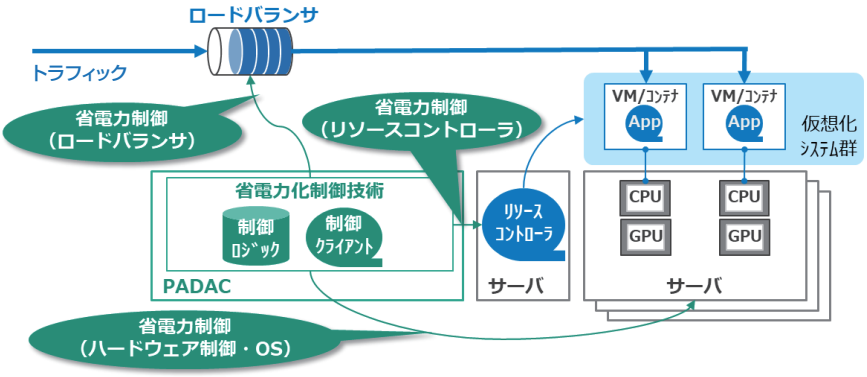



図4　パワーアウェア動的配置制御技術（PADAC）の概要

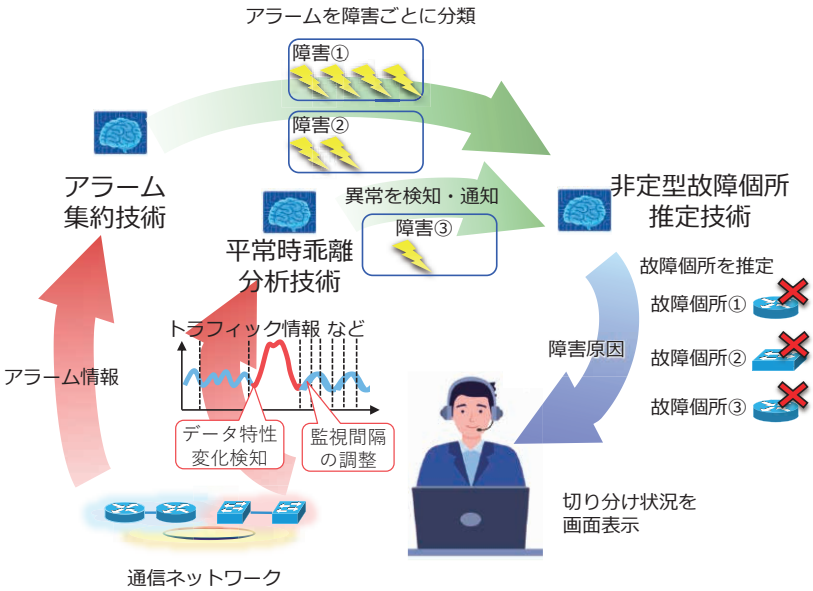



図5　ゼロタッチオペレーションを実現する保全系AI技術

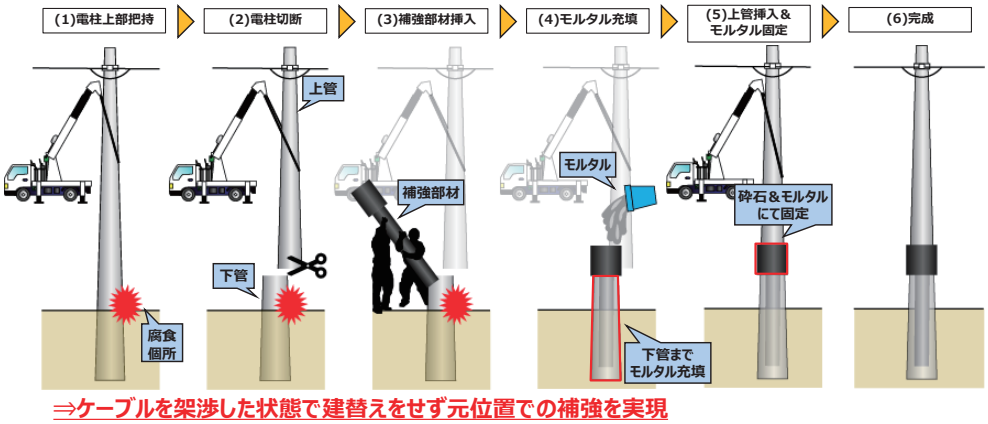



図 6　地際補強工法の概要

習技術についても検討を進めています．

本技術をキャリアネットワークやクラウドのデータセンタ内ネットワークの監視業務自動化に適用することで，ネットワーク運用の効率化と信頼性向上を実現します．

## アクセスネットワーク基盤の高度化と運用スマート化の取り組み

前述のAPN実用化に向けた取り組みに合わせて，足回りとなるアクセスネットワーク基盤の構築・運用・維持管理のスマート化が求められています．NTTネットワークイノベーションセンタでは，アクセスネットワーク基盤の強靭化・カバレッジ拡大のための高速大容量化，所外系電気通信設備の保守・点検業務のスマート化や，新工法・新技術によるさらなる作業効率化・安全作業に貢献する技術開発を推進しています．

具体的には，データトラフィック量の増加課題への対応，設備構築コストの削減を実現する，空間分割多重技術を活用した多心光ファイバケーブルの技術開発，所外系電気通信設備工事を抜本的に改革し，施工自動化・省力化による人力施工の負担軽減に貢献するスマートエンジニアリング技術開発，および点群・画像データを使った所外系電気通信設備の維持管理業務のDX（デジタルトランスフォーメーション）を推進する技術開発に取り組んでいます．

本稿では，スマートエンジニアリング技術の１つとして，地際補強工法・新素材電柱について紹介します．

## スマートエンジニアリング技術（地際補強工法・新素材電柱）

少子高齢化に伴いインフラ設備の点検・工事に携わる工事従事者が減少しています．しかし，電柱設備の総量は変わらず老朽化も進むため，安全性を担保しつつ省力的な電柱工事を実現する技術が必要となります．そこで，腐食した鋼管柱の更改工事において，ケーブル等を架渉したまま建替えをせずに元位置で補強を完結する地際補強工法（**図 6**）の確立や，重機が使用できない狭隘地などにおいて電柱の人力施工の作業負担を軽減するため，既存の電柱素材より軽量な新素材電柱の開発を行いました．

具体的には，地際補強工法では，健全な鋼管柱と同等以上の強度を担保する補強部材の確立，安全作業を可能とする電柱把持工具を用いた工法の開発，新素材電柱では，コンクリートや鉄鋼とは異なる新しい素材を活用しつつ，積層構造における材料の巻き角度や断面形状を最適化させることで，軽量でありながら鋼管柱と同等以上の強度を実現する構造の開発を進めてきました．これらの技術確立により，電柱工事の省力化，安全性向上を実現するとともに，災害時の早期復旧にも貢献します．

## おわりに

NTTネットワークイノベーションセンタは，ネットワーク領域のIOWNの具現化・実用化を担う組織として，引き続きグローバルな市場・トレンドを見据えつつ，中長期的な視点で技術をとらえ技術開発に取り組んでいきます．

■参考文献

(1) https://www.rd.ntt/iown_tech/post_69.html
(2) https://www.rd.ntt/iown_tech/post_74.html
(3) https://www.rd.ntt/research/NIC0010.html

（左から）　渡辺　裕太／ 岩佐　絵里子／
松井　健一

NTTネットワークイノベーションセンタの取り組み概要とIOWN具現化に向けた進化をご覧ください．

◆問い合わせ先
NTTネットワークイノベーションセンタ
企画部

URL　https://journal.ntt.co.jp/article/33807
DOI　https://doi.org/10.60249/25055004

# IOWN実用化に向けたData-Centric Infrastructure（DCI）の技術開発の取り組み

NTTソフトウェアイノベーションセンタ（SIC）では，IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想実現に向けた取り組みを進めています．本稿では，SICが注力するData-Centric Infrastructure（DCI）の技術開発の取り組みに関して，NTT R&Dフォーラム2024でのDCI展示の内容と，IOWN Global Forumにて文書化・公開を行った実装モデルの解説を中心に紹介します．

キーワード：#IOWN，#Data-Centric Infrastructure（DCI），#DCI Cluster RIM

にのかた　かずお
二ノ方　一生
Christoph Schumacher
NTTソフトウェアイノベーションセンタ

## はじめに

IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想実現に向けた取り組みをNTTとして進めていますが，NTTソフトウェアイノベーションセンタ（SIC）ではIOWNの全体アーキテクチャにおける重要な基盤の1つである，Data-Centric Infrastructure（DCI）の具体化に向けた取り組みに力を入れています．

本稿では，NTT R&Dフォーラム 2024およびFUTURES Taipei 2024でのDCIに関する展示内容と，IOWN Global Forumにて文書化・公開を行ったDCIのリファレンス実装モデルの解説を中心に紹介します．

## 取り組みの背景

IOWN Global Forumにおいて，IOWN APN（All-Photonics Network）の高速，低遅延といった特長を活用した新たなICT基盤であるDCIが提案されています．DCIはIOWN Global Forumが定義する全体アーキテクチャにおいて，分散データセンタ環境やヘテロジニアスなコンピューティング環境における高効率なデータ処理を可能とする基盤レイヤとして位置付けられています（**図1**）．これまで，IOWN Global ForumにおけるDCIのリファレンス実装モデルの文書化のための議論をSICがリードし，2025年3月の文書[1]の公開に至りました．

また，NTTではDCIがDCIコントローラソフト，光電融合スイッチ，コンポーサブルサーバの3つの要素により構成されるものとし，コンポーサブルサーバのシステムやデバイスのベンダ各社と連携したエコシステム構築にも力を入れています（**図2**）．それまでのコンポーサブルサーバ製品のインテグレーションや実証実験の成果を，NTT R&Dフォーラム2024[2]やFUTURES Taipei 2024（IOWN Global Forumメンバ会合併催の公開イベント）[3]での展示として紹介し，エコシステム構築に向けたエンゲージメントの強化につなげています．

なお，NTTではこれまでも，DCIを活用したコンセプト実証をサイバーフィジカルシステム（CPS）における映像解析のユースケースにおいて行い，アクセラレータを活用したデータ処理パイプラインの効果[4]やas a Service化の有用性[5]を示してきました．また，DCIコントローラソフトのコンセプトを示すリファレンス実装をOSS（Open Source Software）[6]としても公開しました．

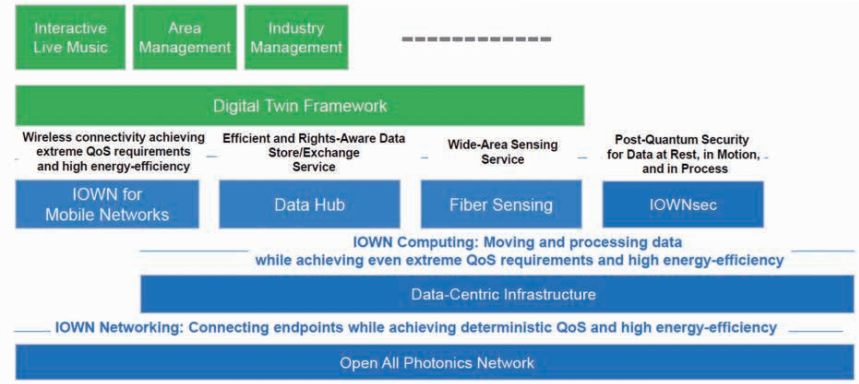



図1　IOWN Global Forum全体アーキテクチャ

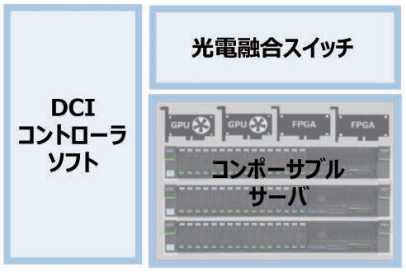



図2　DCI基本構成

DCIの利点として，アクセラレータを活用した高効率なデータ処理が可能となることが挙げられます．従来のデータ処理はホストCPU上でのソフトウェア処理が中心でしたが，計算コストが高いデータ処理では，データやワークロードに適したアクセラレータが活用されます．AI（人工知能）・映像処理におけるGPU（Graphics Processing Unit）やネットワーク通信におけるSmart NIC（Network Interface Card）/IPU（Infrastructure Processing Unit）/DPU（Data Processing Unit）

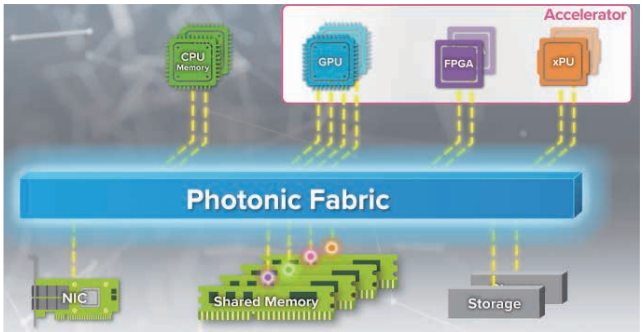



図3　光電融合・ディスアグリゲーション技術による
リソースプールの構成

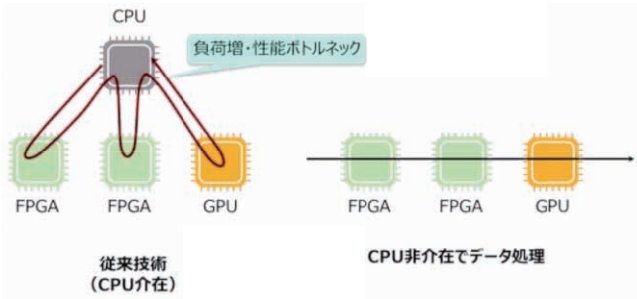



図4　CPU非介在のデータ処理による高速化

の活用がその典型です．これらのアクセラレータを適切に活用することでデータ処理の高効率化が可能となりますが，サーバを基本単位とする従来のコンピューティング基盤では，データやワークロードによってはアクセラレータを効率的に活用できず無駄が生じます．この課題に対して，DCIコントローラソフトによりコンポーサブルサーバ，光電融合スイッチを適切に制御して，データ処理の高効率化を図ることがDCIの基本的なコンセプトです[7]．

データ処理を担うコンポーサブルサーバの特徴としては，光電融合・ディスアグリゲーション技術によりサーバ筐体を超えてコンピューティングのリソースプールを構成し，データとワークロードに適したアクセラレータによるデータ処理を可能とすることが挙げられます（**図3**）．さらに，CPUを介さない自律的な通信および一連のデータ処理の設計・実装により，アクセラレータ主体のデータ処理を可能として処理の高速化と電力効率の向上にもつながります（**図4**）．

## エコシステム構築に向けたエンゲージメント強化の取り組み

DCIにおいてデータ処理を担うコンポーサブルサーバは，市中技術であるPCIe（Peripheral Component Interconnect-Express）やCXL（Compute Express Link）を適用したPCIe/CXLファブリックスイッチやPCIe/CXL拡張ボックス，アクセラレータにより構成されるリソースプールと計算サーバにより構成されます．NTTとしては，市中技術ベースで実装された複数ベンダの市販製品でコンポーサブルサーバを構成可能とすることが，先進技術の活用と継続的な運用の観点で重要と考えており，外部の研究機関やシステム・製品ベンダと連携したエコシステムの構築を戦略的に推進しています．また，NTT R&Dフォーラム 2024やFUTURES Taipei 2024での取り組み成果の展示を通じてエンゲージメントの強化にもつなげました．

## NTT R&Dフォーラム 2024

2024年11月25～29日の5日間にわたり「NTT R&D FORUM 2024 - IOWN INTEGRAL」が開催され，NTTにおけるDCIの取り組み成果を「DCIによるアクセラレータの活用・接続技術」として展示しました．

NTTではDCIの実用化において，コンポーサブルサーバのシステムと構成品（デバイス）の各レベルで複数のベンダ採用（マルチベンダ化）を戦略的に推進しています．NTT R&Dフォーラム 2024では，システムベンダやデバイスベンダと連携したDCIの

図5　DCI展示（上から光電融合スイッチ，
コンポーサブルサーバ2システム）

エコシステム構築の成果として，光電融合スイッチのモックアップ展示と合わせて，コンポーザブルサーバ2システム（そのうち，1システムは複数ベンダの市販製品を組み合わせて構成）の実機展示を行いました．

また，光電融合スイッチについては，光電融合デバイス（PEC-2）を搭載したものをモックアップとして展示しました（**図5**）．現在の光伝送装置の多くはフロントパネルにプラガブル型の光トランシーバを多数配列しており，信号速度が高速になった際のマザーボードの伝送損失増加が課題となりますが，スイッチASICの近傍へ光電融合デバイスを配置することで，システムの総電力削減やフロントパネルへより多くの光

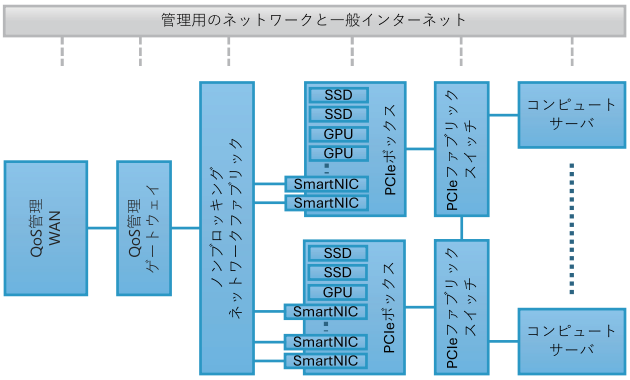



図6　Composable Disaggregated Infrastructureを用いたクラスタ

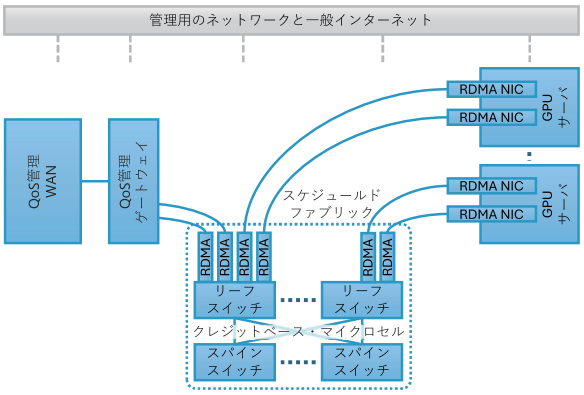



図7　スケジュールドファブリックを用いたクラスタ

ファイバを収容可能となります．

なお，2025年から始動する「IOWN2.0」に向けて，光電融合デバイスを導入したDCI（Data-Centric Infrastructure）の実現をめざすことを基調講演で表明し，大阪・関西万博のNTTパビリオンでは，消費電力を8分の1に削減することをめざしたサーバを実装し，来場者に体感していただく機会を設けることを明らかにしました．さらに，2026年の商用化，2028年のチップ間通信の光化，2032年以降の半導体チップ内の光化と，段階的な進化を経て，最終的には消費電力を100分の1にすることをめざすロードマップを明らかにしました．

## FUTURES Taipei 2024

コンポーサブルサーバに関しては，国内外のシステム・デバイスベンダと連携したエコシステムの構築を重視しています．その一例として，IOWN Global Forumメンバ会合に併催された公開イベントであるFUTURES Taipei 2024[3]では，台湾の工業技術研究院（ITRI：Industrial Technology Research Institute）とNTTにより共同で設計・検証を行ったコンポーサブルサーバを展示し，映像やポスターを使って紹介しました．今後も，コンポーサブルサーバのアーキテクチャ設計や仕様検討の成果を展示会やコミュニティでの活動を通じて展開し，システム・デバイスベンダへのエンゲージメント強化とエコシステム構築の推進を図っていきます．

## DCIに関連するIOWN Global Forumの活動

上記では，DCIにおいてデータ処理を担うコンポーサブルサーバのエコシステム構築に向けた取り組みについて説明しましたが，今後DCIとして必要となる機能である，「WAN（APN）への接続・スケールアウト・地理的分散」は，検討が必要な課題として残されています．これらの上位機能はIOWN Global Forum[8]でも検討されており，SICもそこでの議論をリードしています．また，IOWN Global Forumでの議論を踏まえて，4つのコンピュートクラスタの実装モデルが文書としてまとめられて公開されました[1]．ここでは，当該文書においてまとめられたそれぞれの実装モデルについて紹介します．

**■モデル1：物理デバイスから論理サーバを構成**

**図6**が示すモデルは，リソースプールに収納されている物理デバイス（アクセラレータやストレージ）から論理的にサーバを構成することを前提にしています．これらのサーバ構成技術は，本稿で紹介されたコンポーサブルサーバのシステムにおいても使われています．論理サーバを構成するために，バスフレームを転送するファブリックが導入されています．アプリによる論理サーバ間あるいはサーバとゲートウェイの間の通信のために，別の品質管理可能なイーサーネットワークも存在します．さらに，高性能なSmart NICもリソースプールに配置されており，バスファブリックを用いてオンデマンドでWAN（Wide Area Network）をまたぐ接続やローカル接続用にサーバに割り当てることが可能です．

**■モデル2：スケジュールドファブリックにて通信品質を管理**

**図7**が示すモデルは，WANへの接続ゲートウェイとサーバの間にあるネットワークの構成にフォーカスを当てています．このモデルでは，AI学習用の大規模なGPUクラスタにおけるGPUどうしの通信とGPUからのWANをまたぐ通信も想定しています．ネットワークは2段階に分かれており，第1段階のスイッチは直接各GPUと接続し，GPUの通信レートを一般的なRDMAプロトコルで制御しています．第1段階のスイッチは各パケットをセルに分解し，第2段階のスイッチを経由してパケットスプレイング式の負荷分散を行います．これにより，パケットの宛先にインキャスト輻輳

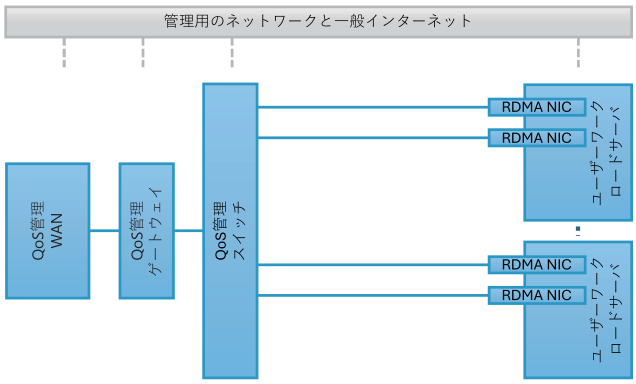



図8　QoS管理スイッチ1台のみを用いたクラスタ

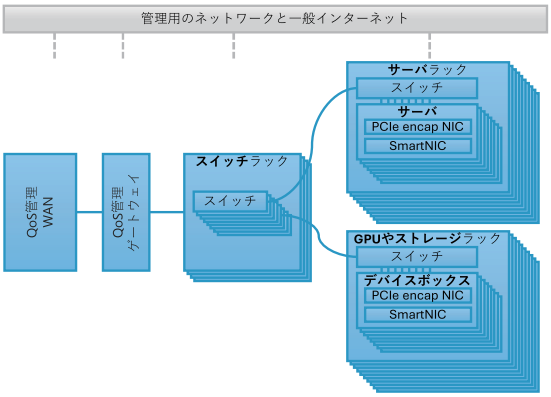



図9　スケーラビリティ重視のクラスタ構造

（ふくそう）が発生しないように別のファブリック内制御プロトコルで管理されます．

**■モデル3：少数のサーバとスイッチ1台にスケールダウン**

**図8**が示すモデルは，少数のサーバをQoS（Quality of Service）管理されたWANに接続する構成です．想定される主要なユースケースは，仮想マシンの長距離かつ短時間でのマイグレーションです．このモデルでは，ローカルネットワークと仮想マシンに必要なRDMA対応ハードウェアを利用し，採用されることが想定されるプロトコルに関しても言及しています．さらに，ローカル通信用のトランシーバやケーブルの種類の候補も提案しています．

**■モデル4：巨大クラスタへのスケールアップ**

**図9**が示すモデルでは，バス通信をイーサネットパケットでカプセル化することに特化したNICとイーサネットスイッチからなるファブリックを用いて，論理サーバをオンデマンドで組み合わせられる巨大なリソースプールを提案しています．カプセル化されたバスフレーム転送とアプリによるイーサネット通信用のネットワークは分離することも統合することも可能で，統合する場合には各スイッチにQoS管理機能が必要となります．カプセル化を行う専用NICのサーバへの導入が必要となりますが，動的に割り当てたい物理デバイスは専用のデバイスボックスに格納されます．

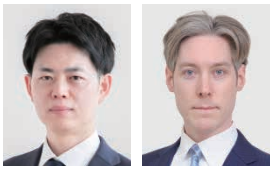
## 今後の展開

本稿では，IOWN構想実現に向けたDCI具体化の取り組みとして，NTT R&Dフォーラム2024およびFUTURES Taipei 2024での成果の展示内容と，IOWN Global Forumにて文書化・公開を行ったDCIのリファレンス実装モデルの解説を中心に紹介しました．

今後は，2026年度の商用化をめざすDCI-2[(9)]の実現に向けた研究開発を強化していきます．具体的には，IOWNのもう1つの技術要素であるAPNを活用した郊外型データセンタの活用を進めるとともに，DCIの各種オペレーション機能の拡充に向けて，DCIコントローラソフトの技術開発やIOWN Global Forumへのシステムリファレンスの提案を行います．また，AI・映像処理を必要とするモビリティユースケースや，映像処理以外のユースケースへの技術の展開も図ります．

**■参考文献**

(1) https://iowngf.org/wp-content/uploads/2025/03/IOWN-GF-RD-DCI_Cluster_RIM-1.0.pdf
(2) https://www.rd.ntt/forum/2024/
(3) https://iowngf.org/futures-taipei-2024-2/
(4) https://iowngf.org/sensor-data-aggregation-and-ingestion/
(5) https://iowngf.org/wp-content/uploads/2025/02/Heterogeneous-and-Disaggregated-Computing-for-DCI-as-a-Service-r3.pdf
(6) https://github.com/openkasugai
(7) https://www.rd.ntt/research/JN202311_23718.html
(8) https://iowngf.org
(9) https://www.rd.ntt/forum/2024/keynote_2.html



（左から）　二ノ方　一生／
Christoph Schumacher

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

◆問い合わせ先
NTTソフトウェアイノベーションセンタ
企画部

URL　https://journal.ntt.co.jp/article/33805
DOI　https://doi.org/10.60249/25055005

主役登場

# IOWN展開におけるユースケース実証の取り組みについて

伊藤　哲郎　Tetsuro Ito
NTT IOWNプロダクトデザインセンタ
担当課長

2019年に発表したIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想を受け，2022年に早期の事業化，プロダクト化および研究開発へのフィードバックを加速する組織としてIOWNプロダクトデザインセンタが発足しました．現在，市場に流通する多くのデバイスやアプリケーションは既存のネットワーク容量や遅延の制約を踏まえた仕様となっています．IOWNの高い性能を活かして国内外の市場に展開していくためには，多くのユースケースでの適用を積み重ねて前述のデバイス等の仕様やお客さまの困りごとなどを深く理解することが必要です．そのためにもプロジェクト推進においては，常に以下の3つのことを大切にしています．

**■ゴールイメージを詳細に描き続けること**

IOWNの特性を活かしたユースケースの1つとして，撮影したデータを，高速通信を利用して速やかに遠隔地にある放送局などへ送り映像制作をするリモートプロダクションがあります．映像制作業界は世界的にも競争が激しい中で，リモートプロダクションは，従来のように撮影現場に中継制作車や多くの制作スタッフを派遣する必要がなく効率的であり，近年検討が加速しています．

リモートプロダクションへのIOWN活用においては，全国の制作拠点と撮影拠点をAPN（All-Photonics Network）により多対多で接続し，クラウドも用いることで広域に効率的な映像制作を可能とするプラットフォームをゴールイメージに掲げました．放送局様のコミュニティにおける講演などを通じその有用性をアピールすることで実証のご要望をいただくようになり，ネットワーク上の時刻同期プロトコルのPTP（Precision Time Protocol）におけるAPNの圧倒的な遅延揺らぎの少なさなど，フィールド実証などを通じその価値が認知されはじめました．2024年度にはTVの生放送番組への活用が始まるまで進展し，さらには柔軟な光パス切り替えなどの開発に期待が寄せられています．まさに，アプローチ当初より描いていたIOWNを活用したゴールイメージの具体化の一例です．

**■業界のキーマンとの信頼関係を築くこと**

さまざまなお客さまへのアプローチを進める中で，業界のキーマンに徹底的に寄り添うことで真の課題がみえ新たな開発への足掛かりになると同時に，お客さまから各種講演や記事などでIOWNの価値を発信していただけるなど，業界全体へのプロモーションや市場導入に向けた後押しをいただいています．また，お客さまや関連メーカ等と技術協定（MoU）を結ぶなど，ユースケースを通じて，より強固で親密な関係構築が進んでいます．

学術系のお客さまにおいては，全国規模の大規模研究情報の広域利活用における課題感を研究機関のキーマンと徹底的に議論し，研究拠点をつなぐIOWNの実証を進め，相互の課題理解を深めました．日々の大量な研究データの扱いに関する困りごとなどを多くの研究者から直接ヒヤリングさせていただくことで，付加価値の高い商用導入に向けた共同検討へつながってきています．このような活動を通じ，業界やお客さまをリードするキーマンとの信頼関係を築いています．

**■イノベーションを促進するプロモーションをすること**

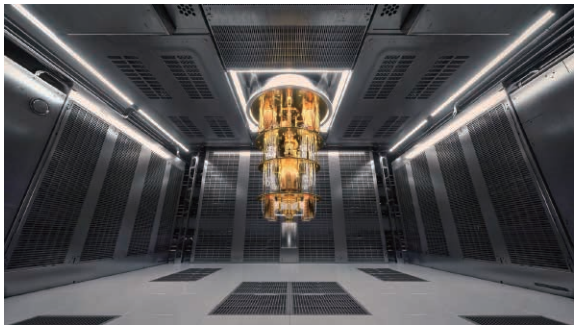
手術ロボットの遠隔操作ユースケースでは，まだAPNサービスが世に出る前の2022年から複数回にわたり国際的な展示会等でのプロモーションを実施しました．各国政府や地域の方々など多くの参加者にその有用性をアピールすべく本物の手術室のような展示とし，遠隔拠点であることを感じさせない低遅延操作と遠隔コミュニケーションを体感いただくようリアリティを追求しました．こうしたプロモーションを通して，APNの価値が新聞やTVニュースにも多く取り扱われ，2024年度には遠隔手術の保険収載に向けた政府プロジェクトにおける実証回線の1つとしてAPNを採用いただくなど，知名度向上およびイノベーションの促進が着実に進んできています．

IOWNがこれからもさらに発展していく中で，イノベータやアーリーアダプタが唸るような技術進化と同時に，引き続く多くのユーザにもメリットを分かりやすくお伝えしながら，真の課題をとらえることで，市場浸透までに直面する溝「キャズム」を飛び越えることが必要です．常にお客さまと接しユースケースを積み重ね，多くの研究者や開発者との連携を密にしていく先に大きなイノベーションがあると信じて，これからもさらなる市場開拓と攻略を進めていきたいと思います．

URL https://journal.ntt.co.jp/article/33803
DOI https://doi.org/10.60249/25052001

# 量子コンピュータで社会やビジネスはどう変わるか ー前編ー

量子コンピュータ関連技術がここ数年で大きく進化し，実用化に向けた議論が行われています．その一方で，量子コンピュータをはじめとする量子技術の本格的な導入はまだ先だという議論もあるのが現実です．本稿においては，量子コンピュータをはじめとする量子技術，量子コンピュータの特徴と可能性，またその技術的，ビジネス的課題について概説します．また，量子コンピュータ等が社会に大きなインパクトを与える可能性が明らかになるにつれ，国家レベルでの開発戦略が進んでいることについて米国，欧州，中国，日本を例にその内容について紹介します．
キーワード：＃量子技術，＃量子コンピュータ，＃国内外の量子関連政策



## はじめに

かつてSFの世界の話のように思えた量子コンピュータに関連する技術は，ここ10年程度で大きく進化し，実用化に向けた議論も活発に行われるようになってきました．特にここ数年はさまざまなプレイヤがビジネス化に向けた動きをみせており，技術的なブレイクスルーも散見されるようになってきました．

例えば，IBMは2022年11月に433量子ビットの「IBM Quantum Osprey」を発表し，2025年には1092量子ビットの量子コンピュータの開発を予定しています[1]．量子ビットは多ければ多いほどより多くの情報を同時に処理できる能力を持ちます．Googleは2024年12月，105個の物理量子ビットを搭載する量子コンピュータ用チップ「Willow」を発表しました．Googleによれば，最新のスーパーコンピュータ「Frontier」で10の25乗年かかるとする計算を5分で計算できるとしています[2]．

このような動きをとらえると，すぐ目の前に量子技術が活用される世界が到来するように感じます．しかし，量子コンピュータをはじめとする量子技術の本格導入はまだ先であるという議論も存在します．例えば，NVIDIAのCEO ジェンスン・ファン氏は2025年1月のCES（Consumer Electronics Show）において，量子コンピュータの実現には15～30年かかるとの見解を述べ，量子コンピュータ関連企業の株価が下がるなど，大きな注目を集めました[3]．現在の量子コンピュータは計算におけるエラー率の高さや安定性の問題が完全に解決されていないのが現状です．しかし，後述するように世界各国で国を挙げた開発競争が始まっていること，日本市場だけでも2032年までに28億7737万米ドル規模に成長すると予測[4]されていることから量子技術が新しい市場を開拓することが待ち望まれていることが分かります．

量子コンピュータが実現すると，現在の社会はどのように変化していくのでしょうか．また，従来のコンピュータ（古典コンピュータ）と比較してどのような点が異なり，どのようなことが期待されているのでしょうか．前半では，量子コンピュータをはじめとする量子技術の動向や実用化に向けた取り組みを紹介するとともに，量子コンピュータへの期待や課題，国内外の量子分野の政策について解説します．

## 量子技術の全体像と市場展望

「量子技術」という言葉を聞くと，多くの方はまず量子コンピュータを思い浮かべるかもしれません．しかし，量子技術はコンピュータに限らず，通信やセンシングといった幅広い分野での利用が期待されています．量子技術は，量子力学の原理を応用した技術の総称であり，主に以下のカテゴリに分類されます（**図1**）．

(1) 量子コンピュータ

量子重ね合わせや量子もつれなどの量子力学の基本的な現象を利用して，従来のコンピュータでは解くのに膨大な時間が必要となる特定の問題を高速に解くことができるコンピュータです．例えば，新材料開発や化学反応の解析などに活用することが期待されています．

(2) 量子暗号通信

量子力学の原理を利用した暗号通信技術で，理論上絶対に解読できない通信を実現します．

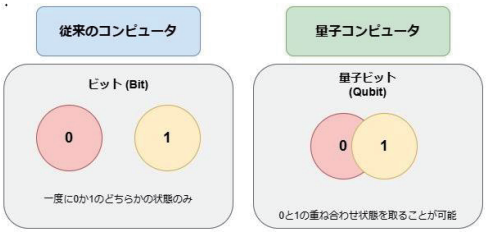
(3) 量子センシング

量子力学の原理を活用して，原子や分子レベルでの変化をとらえることにより微細な現象の観測・測定が可能となります（超高感度センシング）．

これらの量子技術は，同時に実現されるものではなく，それぞれ異なる成熟度と市場規模を持っており，実用化の時期も異なります．**表1**は，各量子技術の市場規模予測，主要プレイヤ，本格的な利用開始時期の見通しをまとめたものです．

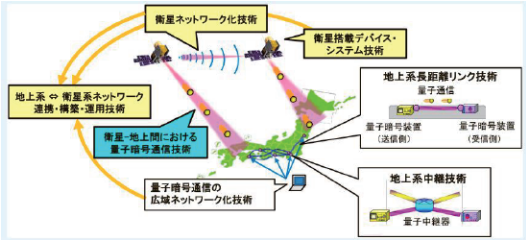
## 量子コンピュータの特徴と可能性

前述のような複数の量子技術が存在する中で，市場規模や実用化に向けた動きが加速しており，近年大きく注目されているのが量子コンピュータです．



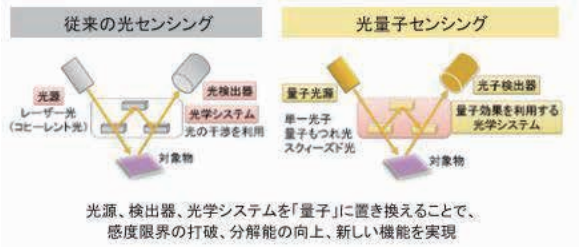

各種資料を基に情報通信総合研究所作成

（1）量子コンピュータ




出典：総務省情報通信白書令和4年版第4章7節
https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r04/html/nf407000.html

（2）量子暗号通信




出典：京都大学光量子センシング社会実装コンソーシアム
https://qforum.org/wp-content/uploads/2023/10/A4kyodai-leaf-ol_231025.pdf

（3）量子センシング

図1　量子技術のカテゴリ

表1　各量子技術の主要プレイヤ，市場規模，実用化時期

| 技術分野 | 国内外のプレイヤの例 | 市場規模（全世界） | 実用化時期 |
|---|---|---|---|
| 量子コンピュータ | 【海外】<br>量子アニーリング方式：D-Wave, 1QBit<br>量子ゲート方式：IBM, Google, IonQ<br>【国内】<br>量子アニーリング方式：NEC<br>量子ゲート方式：富士通・日立製作所 | 90億ドル（2032年） | 量子アニーリング方式については一部実用化.<br>本格的な2030年代以降 |
| 量子暗号通信 | 【海外】ID Quantique, Thales<br>【国内】東芝, NTT | 量子暗号通信：約55億ドル（2030年） | 一部，実用化済み.<br>本格普及は2030年代後半以降 |
| 量子センシング | 【海外】Qnami, ColdQuanta<br>【国内】島津製作所 | 約12億ドル（2032年）<br>※量子センサー市場が対象 | 2020年代後半から2030年代以降 |

出典：公開情報などから筆者が作成
※市場規模については，すべて異なる調査会社の数値を用いていることに注意.
量子コンピュータ：Straits Research,2024年8月（https://straitsresearch.com/jp/report/quantum-computing-market）
量子暗号通信：MarketsandMarkets, 2024年11月（https://ex-press.jp/lfwj/lfwj-news/lfwj-biz-market/65911/）
量子センシング：KD Market Insights, 2023年（https://www.kdmarketinsights.jp/report-analysis/quantum-sensors-market/325）

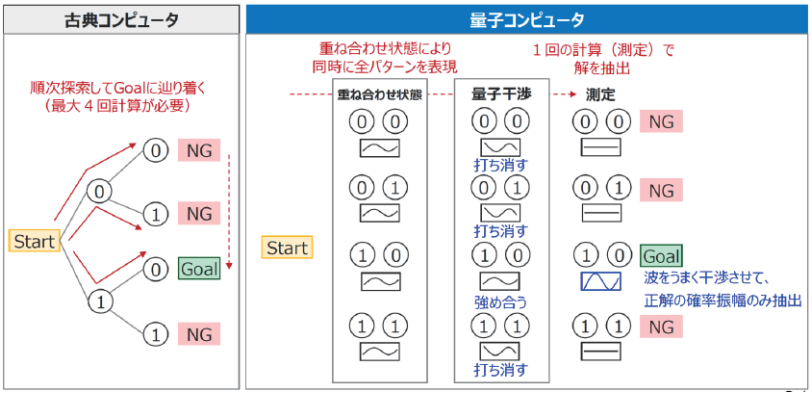
量子コンピュータは，現在広く利用されている古典コンピュータと比較して桁違いの速度で特定の計算を 行うことが可能になると考えられています.

では，古典コンピュータと量子コンピュータの違いはどのような点にあるのでしょうか．両者の根本的な違いは，**図2**に示すとおり情報の処理方法にあります.

古典コンピュータで取り扱う情報の基本単位は「ビット」で，0か1のどちらかの値をとります．計算は逐次的に行われ，複雑な問題を解くには多くの計算ステップが必要です.

量子コンピュータでは，量子力学の原理（重ね合わせ，量子もつれ）を利用して計算を行うことになります．情報の基本単位は「量子ビット（qubit)」で，0と1の重ね合わせ状態を取ることができ〔0と1の状態（値）を同時に取ることができ〕，重ね合わせ状態を相互に干渉させて正解の確率を高めることができるため，高速なアルゴリズムが発見されている問題に対して指数関数的な速度向上が期待できます.

量子コンピュータの最大の特徴は，前述のように量子の重ね合わせ状態とその相互干渉を利用することで，従来のコンピュータでは現実的な時間で解けない問題を解決できる可能性があることです．例えば，大きな数の素因数分解や大規模なデータベース検索，複雑な最適化問題などが，量子コ




出典：“量子コンピュータの概説と動向 ～量子コンピューティング時代を見据えて～，” 株式会社日本総合研究所 先端技術ラボ，2020年7月14日．

図２　古典コンピュータと量子コンピュータの違い

ンピュータによって大幅に高速化される可能性があります．

量子コンピュータが実用化された場合，どのような分野での利用が期待されているのでしょうか．現時点で検討されている主なものを産業別にまとめてみると，以下のようになります．

**■製薬・バイオテクノロジ産業**

製薬・バイオテクノロジ産業においては「分子シミュレーション」「創薬プロセスの効率化」などに活用することが考えられています．特に製薬の分野では，新たな効果を持つ薬をつくり出すことが求められます．薬に使用する成分の分子の動きをシミュレーションする場合においては，分子が多くなるほど，シミュレーションの結果を得るまでに時間がかかっていましたが，量子コンピュータの利用によりこの短縮化が期待できます．

**■金融サービス業**

金融サービス業では，「金融資産のポートフォリオ最適化」「詐欺検出」といった利用が期待されています．金融資産のポートフォリオについては，数多くの資産と制約条件を考慮した最適なポートフォリオを高速で計算することに期待が集まっています．また，金融サービス業では，カードの不正利用といった詐欺を検出することが必要不可欠となりますが，量子機械学習という手法を導入することで，現在よりも高精度に詐欺や不正利用，取引の検知を行うことが期待されています．

**■製造・自動車産業**

製造・自動車産業においては「新素材の開発」「サプライチェーンの最適化」「生産スケジュールの最適化」といった利用が検討されています．「新素材の開発」では，例えば電気自動車に搭載されるバッテリの素材に関するシミュレーションに活用が期待されています．また，「サプライチェーンの最適化」「生産スケジュールの最適化」については，製造業がグローバル化する中でサプライチェーンや生産スケジュールの最適化はコストに直結するため，研究が進んでいます．

**■物流・運輸業**

上記の製造・自動車産業におけるサプライチェーンや生産スケジュールの最適化と類似する内容ですが，物流・運輸業においては，「配送ルート最適化」「倉庫管理と在庫の最適化」「交通システムの最適化」が検討されています．いずれの問題についてもコスト効率的な企業経営を進めるために期待されています．

ここでは産業別に，現在検討されている主な利用シーンについて紹介してきました．しかし，産業における量子コンピュータの利用については端緒に就いたばかりであり，今後は上記以外の利用シーンが出てくることが期待されています．

## 量子コンピュータの計算・実装方式

次に量子コンピュータを実現する方法を紹介します．量子コンピュータにおける計算方式には，主に以下の２つがあります．

**■量子アニーリング方式**

この方式は，量子系の状態のエネルギー最小状態を見つけることで，複雑な組合せの最適化問題を解くことに特化した方式です．比較的早い段階から実用化が進んでいますが，汎用的な計算には向いていないとされています．この方式を採用する企業としては，カナダのD-Wave Systemsが先駆的な開発を行っています．

**■量子ゲート方式**

量子アニーリング方式が最適化問題を解くことに特化したものでしたが，量子ゲート方式は，汎用的な量子計算を実現するための方式とされています．量子ビットに対して量子ゲート操作を行います．これは，古典コンピュータでAND，OR，NOTといった論理ゲートの操作で計算を行っていたものに相当し，計算の正解確率を高める量子アルゴリズムが利用されます．より広範な問題に適用可能であると考えられますが，技術的な課題も多く，実用化にはまだ時間がかかると考えられています．この方式に取り組む企業としては，IBM，Google，Microsoftなどが挙げられます．

これらの計算方式を実装するハードウェアとして，超伝導体・半導体・中性原子・イオン・光・トポロジカル量子現象を利用するものの研究開発が行われています．いずれの方式もいまだ揺籃期にあると考えられます．各方式の概要と課題をまとめたものを**表２**に示します．

## 量子コンピュータの課題

量子コンピュータの本格的な実現に期待は集まりつつあるものの，現時点では技術的課題とビジネス的課題の両面で多くのハードルが存在しています．以下ではまず，現在考えられている主な技術的課題について説明していきます．

**■技術的課題**

(1)　スケーラビリティ

実用的な量子コンピュータには数1000から数100万の量子ビットが必要といわれています．量子ビットは，多ければ多いほどより多くの情報を同時に処理できる能力を持っていることになりますが，現在の量子コンピュータはまだ小規模で，解ける問題

表 2　量子コンピュータの計算方式と課題

| 方式 | 概要 | 課題 |
|---|---|---|
| 量子アニーリング | ・複雑な組合せの最適化問題を解くことに特化した方式で実用化が進んでいる． | ・実用化が進んでいるが，汎用的な計算には向いておらず用途が限定的とみられている． |
| 量子ゲート | ・量子ゲート方式は，汎用的な量子計算を実現するための方式． | ・より広範な問題に適用可能であると考えられるが，技術的な課題も多く，実用化にはまだ時間がかかる見込み． |

が限定されています．より広範な利用をめざすならば，量子ビット数を増やすことが求められますが，現状では技術的に非常に困難であり，システムの複雑性も指数関数的に増加するため，簡単に増やすことはできないとされています．

⑵　エラー訂正

量子状態は非常に脆弱であり，量子コンピュータは周囲の熱といったノイズなどに非常に敏感といわれています．ノイズ等が発生すると量子状態が変化する結果，計算にエラーが生じるため，これらを訂正する技術が必要となります．エラー訂正の方法の１つとして，１つの量子ビットの情報を複数の量子ビットを用いて冗長化するということが検討されています．ある量子ビットがエラーとなっても，他の量子ビットから正しい情報を再度構築するというものですが，多くの量子ビットが必要とされています．

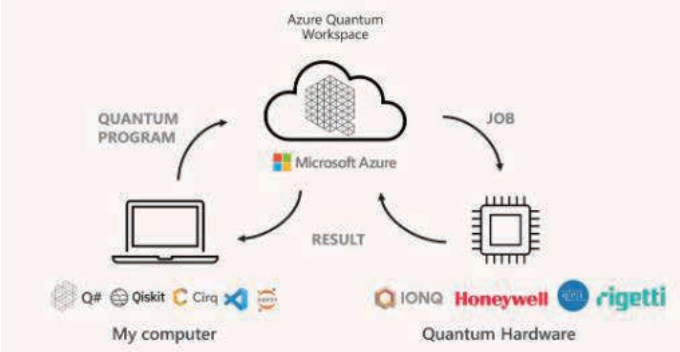
⑶　量子コヒーレンス時間

量子ビットは量子コヒーレンス（量子ビットどうしの重ね合わせや量子のもつれの状態）を維持できる時間が限られており，計算を完了する前に量子情報が失われる可能性があります．コヒーレンス時間の長いハードウェアの開発が必要となります．

⑷　アルゴリズム開発

量子コンピュータの計算においても，現在私たちが利用している従来のコンピュータと同様に，ソフトウェア，つまり計算を行うためのアルゴリズムが必要となります．しかし，現在開発されている量子コンピュータ向けの効率的なアルゴリズムは限定的であり，量子コンピュータの計算速度を活かして多様な問題を解決するためには，さらなるアルゴリズムの開発が求められています．

次に，ビジネス的な課題です．前述の技術的課題をクリアしたとしても，量子技術から収益（ビジネス）を生み出すことができなければ，宝の持ち腐れとなることが考えられます．ビジネス面ではどのような課題が考えられているのでしょうか．




出典：Microsoft
https://azure.microsoft.com/en-us/blog/quantum/2021/12/06/azure-quantum-open-flexible-and-future-proofed/

図 3　Microsoft の Azure Quantum

■ビジネス的課題

⑴　ユースケースが限定的

現在の量子コンピュータ（量子アニーリング方式）は，前述した「最適化」といった特定の問題に対して優位性を持ちますが，現在私たちが利用しているコンピュータのような汎用的な用途で力を発揮する（量子ゲート方式の実用化）には，まだ時間が必要となります．最適化以外のユースケースが見出せないと産業としては広がりを持てないのではないかとの懸念があります．

⑵　ビジネスモデルの不在

ユースケースが限定的であることの裏返しでもあるのですが，量子コンピューティング技術の商業化に関しては，まだ明確なビジネスモデルが確立されていません．IBM や Google，Microsoft といった企業が，クラウドコンピューティングの形式で量子コンピュータを提供しており（**図 3**），これが１つのビジネスモデルとなる可能性が高いですが，まだ確立されたものではないと考えられます．

⑶　人材不足

量子コンピューティングは高度に専門化された分野であり，必要な専門知識を持つ人材は現時点では限られています．企業で利用するためには量子技術の専門家を採用するか，現在いる従業員を教育，訓練する必要があります．また，量子コンピュータの技術だけではなく，現実社会で量子コンピュータの強みをどのように利用していくかという技術以外のビジネスセンスも問われることになるでしょう．

## 量子コンピュータをめぐる政策動向

■世界的な量子技術政策の流れ

量子コンピュータなどの量子技術が社会に大きなインパクトを与える可能性が明らかになるにつれて，世界各国で国家レベルの量子技術開発戦略が策定・実施されるようになりました．米国，中国，欧州連合（EU），日本などの主要国・地域が相次いで量子技術に関する国家戦略を発表し，巨額の研究開発投資を行っています．

近年，経済安全保障や国家安全保障という言葉を目にする機会が多くなってきています．量子技術の政策についても，このキーワードと深い関係があります．量子技術，特に量子コンピュータと量子暗号通信は国

家安全保障に直結する技術と位置付けられています．量子コンピュータによる現行暗号解読の可能性は，各国の情報セキュリティ戦略に大きな影響を与えるからです．

以下では，主要国の政策についてポイントを絞って紹介します．

**■主要国・地域の量子技術政策**

⑴　米国

米国は量子技術分野での先進的な国であり，包括的な国家戦略を展開しています．具体的な政策は以下のとおりです．

①　国家量子イニシアチブ法（National Quantum Initiative Act，2018年[5]）では，5年間で約12億ドル（約1700億円）の研究開発資金を政府が提供しています．エネルギー省（DOE），国立科学財団（NSF），国立標準技術研究所（NIST）を中心に研究が行われるとともに，量子情報科学研究センター（QISRCs）が設立されています．

②　量子経済開発コンソーシアム[6]（QED-C）では，産業界主導の官民パートナーシップで，IBMやGoogleなど180以上の企業・団体が参加．サプライチェーン開発，標準化，人材育成などを推進しています．

③　2023年8月には，バイデン前大統領が「懸念国における米国の特定の国家安全保障技術および製品への投資に関する大統領令[7]」に署名し，半導体，AI（人工知能），量子技術の3分野において米国の企業および個人による中国などの懸念国に対する投資を規制すると発表しています．

⑵　中国

中国は特に量子暗号通信分野で世界をリードする成果を上げています．具体的な政策は以下のとおりです．

①　第13次・第14次五カ年計画において，量子技術を国家戦略的重点技術として位置付けています．また，安徽省合肥市に国家量子情報科学研究所を設立するなど，具体的な投資額は公開されていないものの，国として取り組んでいることがうかがえます．さらに，量子暗号通信の分野では以下の取り組みが世界から注目されています．

②　量子暗号通信衛星「墨子号」：2016年に世界初の量子科学実験衛星「墨子号」の打ち上げに成功し，その後，地上1200 kmの距離での量子もつれ配信や，7600 km離れた北京とウィーン間の量子暗号通信実験に成功しています．

③　量子暗号通信ネットワーク：北京～上海間の約2000 kmの量子暗号通信幹線網「京滬幹線」を2017年に完成しています．報道情報[8]になりますが，2023年には中国電信（China Telecom）が300万人規模のユーザを抱えているという情報もあり，量子暗号通信を活用する動きがあることが見て取れます．

⑶　欧州連合（EU）

欧州においては，欧州での取り組みと加盟国独自の取り組みがあります．欧州の取り組みとしては，研究機関と産業界の連携を促進し，量子技術の実用化をめざしていることがうかがえます．

具体的な政策，取り組みは以下のとおりです．

①　Quantum Flagship Program[9]は2018年に開始した10年間のプログラムで，総額10億ユーロ（約1500億円）を投資し，量子コンピューティング，量子シミュレーション，量子暗号通信，量子計測・センシングの4分野に注力するものとなっています．24カ国から150以上の研究機関・企業が参加していることが大きな特徴です．

②　EuroQCI（European Quantum Communication Infrastructure[10]）は，EU加盟全27ヵ国が参加する量子暗号通信インフラ構築イニシアチブであり，2027年までに地上と衛星を組み合わせた量子暗号通信ネットワークの構築をめざしています．

⑷　日本

最後に日本の政策を紹介します．日本は複数の戦略を策定し，量子技術の産業応用を促進しています．

①　2020年1月には，「量子技術イノベーション戦略[11]」が政府の統合イノベーション戦略推進会議において策定されました．この戦略においては，量子コンピュータ，量子計測・センシング，量子マテリアル，量子通信・暗号の4領域が重点分野に設定されました．また，量子技術イノベーション拠点が設置され，国立研究開発法人である理化学研究所，産業技術総合研究所，国立情報学研究所などを中心に研究開発を推進しています．

②　「量子未来社会ビジョン[12]」（2022年4月），「量子未来産業創出戦略[13]」（2023年4月）が内閣府により公表され，量子コンピュータをはじめとするイノベーション創出の取り組みが進められています．

③　内閣府の国家プログラムである戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の第3期課題「先進的量子技術基盤の社会課題への応用促進」に，NTTが参画しており，量子技術の社会実装のための方向性などを決める重要なポジションであるプログラムディレクタとして，NTT先端技術総合研究所 常務理事 基礎・先端研究プリンシパルの寒川哲臣氏が就任しています．

**■各国における量子分野の強み**

各国・地域は量子技術の異なる分野で競争優位性を持っており，それぞれの強みを活かした戦略を展開しています．

⑴　米国

米国は包括的な国家戦略が展開されている一方で，Google，IBM，Microsoft，Intelなどの大手IT企業と，IonQ，Rigetti，PsiQuantumなどの量子コンピュータ関連の量子ベンチャーが誕生しています．Mckinseyが2024年4月に公表した「Quantum Technology Monitor」によれば，政府による総投資額が37.5億ドルであったのに対して，民間投資額が約38億ドルという調査結果が出ています．また，量子関連のスタートアップ数は，75件で世界1位となっており，民間投資と量子スタートアップ数で世界をリードしているといえるでしょう．

⑵　中国

中国の強みは，国家主導の長期的な政策と，量子暗号通信分野での実用化の速さ，特許件数の多さにあります．前述のように世界に先駆け，2016年に世界初の量子科学実験衛星「墨子号」の打ち上げに成功するなど，量子暗号通信分野に強みを持つと考えられます．また，日本経済新聞が報じたところによれば情報解析を手掛けるVALUENEXが2024年10月に特許論文情報

表３　各国の量子戦略の投資額と主な取り組み

| 地域・国 | | 投資額 ($B)*1 | 主な取り組み |
|---|---|---|---|
| 北米 | 米国 | 3.8 | 2018年に「国家量子イニシアチブ法」が成立し、5年間で12億USDを投資。現在、現法案の再承認・更新を検討。 |
| | カナダ | 1.4 | **2023年に「量子国家戦略」を発表。**7年間で3.6億CADを投資。**研究、人材、商業化の３本柱に焦点を当て推進。** |
| 欧州 | EU | 1.1 | 2018年に「量子フラッグシップ」を発表。10年間で10億EURを投資。5,000人以上の研究者が参画。 |
| | 英国 | 4.3 | **2023年に10年後のビジョンを設定した新たな国家量子戦略を発表。**10年間で公約25億GBP、民間10億GBPを投資。 |
| | オランダ | 1.0 | 2019年に「量子技術国家アジェンダ」を策定。**'23年にQuantum Delta NL (国家エコシステム)が 6,020EUR投資。** |
| | ドイツ | 5.2 | **2023年に €30億の量子コンピュータ開発プロジェクト ('23年～'26年)を発表。** |
| | フランス | 2.2 | 2021年に量子戦略を発表。4年間で官民合わせて18億EURの資金提供を行う(政府からは10億EUR1を投資)。 |
| | スウェーデン | 0.001 | 2018年に量子国家研究プログラムとして量子技術センター (WACQT)を設立。12年間で10億SEKを投資。 |
| | デンマーク | 0.15 | **2023年に量子技術戦略 (①研究・イノベーション、②商業化・応用の2部構成)を発表。2023～27年で総額10億デンマーク・クローネを投資。** |
| | ロシア | 0.8 | 2021年に量子コンピュータの研究に5年間で7.9億USDを投資することを発表。 |
| アジア | 中国 | 15.3 | 安全保障・防衛、AIへの応用も視野に**量子技術の研究開発に150億USD以上を投資** (推定値、政府の公式発表はない)。 |
| | 日本 | 1.8 | **2023年に量子クラウドコンピューティングへ42億円の資金提供。FY24予算額として、約1,200億円を計上。** |
| | イスラエル | 0.4 | **2023年にイノベーション庁が1.15億ILS (新シェケル)(約48億円)の資金提供を行うコンソーシアムを設立。** |
| | 豪州 | 0.16 | **2023年に「量子国家戦略」を発表。**'30年まで5つの重点テーマで取り組む。10億AUD(約1,030億円) を投資。 |
| | 韓国 | 2.4 | **2023年に「量子科学技術戦略」を発表。**'35年までに**民官協力で**最低でも3兆KRW(ウォン)(約3,300億円) 以上を投資。 |
| | インド | 1.7 | **2023年に8年間で60億INR (約108億円) の投資を行う「国家量子ミッション」を発表。** |

出典："量子コンピュータの動向と展望，"株式会社日本総合研究所，2024年10月29日．

を分析した結果[14]，中国の量子暗号通信の特許数ランキングでは，トップ10社のうち７社を中国企業が占めていることが明らかになりました．このことからも，量子暗号通信の分野で中国の強みがあることを裏付けているといえるでしょう．

⑶　欧州連合（EU）

欧州の強みは，前述したようなQuantum Flagship Programで実現されるような域内の多様な研究機関・企業の連携体制にあります．また，加盟各国でも独自に量子コンピュータに関する開発が進んでおり，特に英国は独自の量子戦略を展開しています．

⑷　日本

最後に日本ですが，大手企業による量子技術の取り組みが１つの強みになりそうです．例えば，東芝は光ファイバを使った量子暗号通信で世界をリードしており，2020年10月には，量子暗号通信システムを事業として国内外に展開することを公表しています．

特許数といった定量的側面からみると，米国のところでも参照したMckinseyの調査「Quantum Technology Monitor」では世界第３位となり（１万3689件），その内訳をみてみると，量子コンピュータがもっとも多く（１万1861件）となっています．

⑸　その他

主要国，地域が量子戦略を進める際に投じた予算やその内容をまとめたのが**表３**です．すべて公式情報からまとめられた情報ではないことに注意が必要ですが，中国，米国が突出して資金を投入していることが分かります（米国は38億米ドル，中国は153億米ドル）．

## ま と め

本稿においては，量子コンピュータをはじめとする量子技術の動向や実用化に向けた取り組みを紹介するとともに，量子コンピュータへの期待や課題，国内外の量子分野の政策について紹介してきました．

最後に紹介した各国の政策をみても明らかなように，量子コンピュータは次世代の技術として期待されています．熾烈な技術競争やビジネス化に向けた動きがありますが，本格的な実用化にはまだ課題が残されていることが明らかになりました．

続く，後編においては，国内外で進むユースケースを紹介するとともに，生成AIの急速な普及を背景に注目が集まる量子コンピューティングとAIについて解説します．

■参考文献


⑴ https://www.ibm.com/quantum/assets/IBM_Quantum_Developmen_&_Innovation_Roadmap_Explainer_2024-Update.pdf
⑵ https://blog.google/technology/research/google-willow-quantum-chip//
⑶ https://www.nikkei.com/article/DGKKZO85964270Z00C25A1ENG000/
⑷ https://www.sphericalinsights.com/jp/reports/japan-quantum-computing-market
⑸ https://ww2.aip.org/fyi/federal-science-bill-tracker/115th/national-quantum-initiative-act
⑹ https://quantumconsortium.org/
⑺ https://home.treasury.gov/system/files/206/TreasuryDepartmentOutboundInvestmentFinalRuleWEBSITEVERSION_0.pdf
⑻ https://uchubiz.com/article/new53555/
⑼ https://qt.eu/
⑽ https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-quantum-communication-infrastructure-euroqci
⑾ https://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/ryoushisenryaku.pdf
⑿ https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/ryoshi_gaiyo_print.pdf
⒀ https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/230414_mirai.pdf
⒁ https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC112UM0R11C24A0000000/

株式会社情報通信総合研究所
主任研究員　三本松憲生

■監修
NTT物性科学基礎研究所
畑中大樹／樋田啓

URL https://journal.ntt.co.jp/article/33801
DOI https://doi.org/10.60249/25051101

NTT物性科学基礎研究所
上席特別研究員

熊田倫雄 Norio Kumada

# 原子１層からなる原子層物質におけるキャリアダイナミクスの学理構築と機能開拓に挑む

IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想の実現におけるコアデバイスとして，半導体チップ内における光電融合や光による信号増幅・制御を行う光トランジスタがあります．光トランジスタに限らず，現在の情報通信で利用されている能動的デバイスのほとんどは半導体がベースになっています．一方，原子１層からなる原子層物質は，2004年のグラフェン作製以来，新たな物質も登場し，次々と新たな現象・特性が発見・解析され，その特性を応用した新たなデバイス開発に向けて，研究が進められています．原子層物質におけるキャリアダイナミクスの学理構築と機能開拓に挑む，NTT物性科学基礎研究所 熊田倫雄上席特別研究員に，原子層物質の組合せとパフォーマンスの関係を理解することにより，超高速デバイスの実現をめざす研究の成果，そして研究プロセスの楽しさを伺いました．

## 世界最速のグラフェン光検出器の実現と，世界最短のグラフェンプラズモン波束の電気的発生・伝搬制御・計測に成功

**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．**

原子層物質と呼ばれる物質を利用して，特に超高速な電気信号を読み出し，電気的な制御を行う研究で，具体的には「オンチップTHz（テラヘルツ）電流測定による原子層物質キャリアダイナミクスの学理構築と機能開拓」というテーマに取り組んでいます．

原子層物質というのは，原子１層からなるシート状の物質で，結晶から原子層１枚を剥離することで作製されます．代表的なものにグラファイトから原子層１枚だけ剥離することで，2004年に世界で初めて作製が可能となったグラフェンがあり，このグラフェンの製法により英マンチェスター大学の２名の博士が2010年にノーベル物理学賞を受賞しています．その後，さまざまな物質で原子層物質を作製可能になってきています．さらに異なる原子層物質を積層させることで，新たな特性を持つ別の物質が作製されるため，物性研究において新たに注目を集める分野の１つになっています．一方で，作製にあたっては，手で単原子層を剥離して積み重ねることから，その特性などの測定手法が限られてくるため，まだ十分にその真価が評価されていないという状況です．このように，原子層物質は実現レベルでは非常に歴史の浅い分野であることから，未知の領域も多く，世界中の多くの研究者がそれぞれの立場でその特性分析や応用開拓にチャレンジしています．

さて，既存デバイス，例えば半導体受光素子では，電気抵抗により動作速度の制限があり，動けない電子と自由電子とのエネルギーの差であるバンドギャップにより対応可能な光の帯域の制限があります．また，シリコンフォトニクスでは光の回折限界からサイズの制限があります．こうした既存デバイスの制限を打破する新たな物質・物理現象・制御技術の開拓をめざして，私たちは原子層物質中の電子の，１ピコ秒という非常に短い時間内の動きを詳細に測定しています．デバイスに光を当てた瞬間に中の電子が動き，それが電気信号に変換される，という光検出器の動作を詳細に解析・理解し，原子層物質の組合せとパフォーマンスの関係を理解することで，種々のデバイスの作製を提案するところを目標としています．

## 広帯域高速光検出器材料としてのグラフェンの有望性実証と，テラヘルツ周波数の超高速信号処理の実現に貢献

**最近，２つの成果が出たそうですね．**

「世界最速，グラフェン光検出器のゼロバイアス動作220 GHzの実現と光-電気変換プロセスを解明し，広帯域高速光検出器材料としてのグラフェンの有望性実証〔国立研究開発法人物質・材料研究機構（NIMS）と共同〕」と「世界最短のグラフェンプラズモン波束の電気的発生・伝搬制御・計測に成功し，テラヘルツ周波数の超高速信号処理の実現に貢献（国立大学法人東京大学およびNIMSと共同）」という２つの成果を出すことができました．

グラフェン光検出器に関する成果については，これまでグラフェンは，THz波から紫外光までの超広帯域で動作すること，わずか原子１層で2.3%の光を吸収するため高効率化が可能であることが理論的に示されています．一方，ソース・ドレイン電極間に電圧を印加しないで行うゼロバイアス下の実証動作速度は，デバイス構造や測定機器の問題により70 GHzに制限されており，グラフェンが本来持っている応答を調べることができませんでした．このため，200 GHz（理論的動作速度は200 GHz以上）の動作速度を実証するとともに，グラフェンにおいてどのようなプロセスによって光信号が電気信号に変換されているのか，といった本質的な物性を明らかにすることが，グラフェンによる広帯域高速光検出器実現の課題でした．

実験は，サファイア基板上に，絶縁体であるNIMS製造の六方晶窒化ホウ素（hBN）でグラフェンを挟んだものに，金属のソース・ドレイン電極を接続した構造のデバイスを作製し，表面をアルミナ（$Al_2O_3$）絶縁膜で覆った後，一般的な金属ゲートで生じる電流遅延を回避するために酸化亜鉛（ZnO）をゲートとして成膜したグラフェン光検出器を作製しました（**図１**）．このグラフェン光検出器にポンプ光（280 fsのレーザパルス）を照射することで生じた光電流はドレイン電極を伝搬し，光伝導スイッチにプローブ光を照射することで検出され，ポンプ光とプローブ光の時間差を変えることによる光電流の波形を計測しました（**図２**）．その結果，グラフェン光検出器が本来持つと期待されていた高速動作（220 GHz）を実証することに成功しました．また，品質の異なるグラフェンを用いて作製した光検出器の特性を比較することで，動作速度と感度にトレードオフの関係があることを示しました．

さらに，これらの結果を解析することで，グラフェンにおける光-電気変換プロセスを解明しました．特に，これまでの常識とは異なり，電流の応答時間は光検出器の大きさにほとんど依存しないこと，および光照射後に電流が発生するまでの時間を電荷密度によって100 fs以下から４ps以上まで大きく変化させることが可能なことを示しました．この成果は，情報処理やセンサ等の用途に合わせてグラフェン光検出器を設計するために不可欠な情報であり，2022年８月25日に英国科学誌『Nature Photonics』に掲載されました．

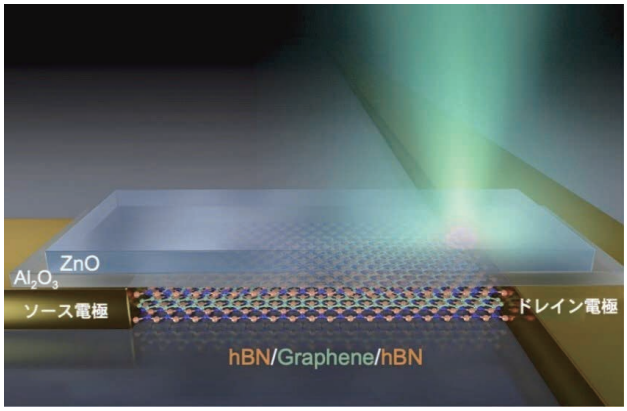



図１　グラフェン光検出器の模式図

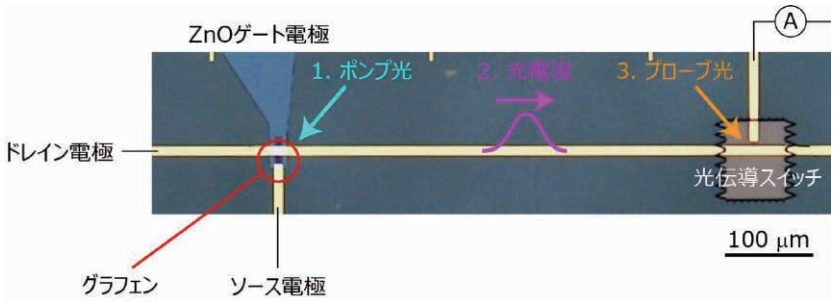



図２　サファイア基板上に作製されたグラフェン光検出器とオンチップTHz分光回路の顕微鏡写真

今後は，さまざまな原子層物質で同様の測定を行うことで，光検出器の動作速度を1 THz以上まで上げていくことにトライするつもりです．

### もう1つの成果はどのようなものでしょうか．

高速な無線通信やセンシング，イメージングに有望なTHz領域は長年未開拓領域とされてきましたが，自由空間を伝搬するTHz波のユースケースとしての社会実装への道筋が見えつつあります．一方，回路中のTHz電気信号の制御技術はまだ発展途上にあり，一般的に集積回路が取り扱うことができる信号帯域はギガヘルツ（GHz）帯で律速されています．この限界を突破し，より高速な信号処理を実現する新しい方法論としてグラフェンプラズモン*1に注目しています．

実験は，パルス幅が1.2ピコ秒のTHz電気パルスをグラフェンに印加することで，グラフェンプラズモン波束*2を発生・伝搬させ（**図3**），金属ゲートによりグラフェンプラズモンの位相・振幅を制御し，ZnOゲートにより電気パルスとプラズモンの変換効率を高め，その実時間波形をサブピコ秒の時間分解能で計測することで，伝搬特性およびその制御性，プラズモン発生効率を評価しました（**図4**）．

この実験により，次の3点が初めて明らかになりました．

① 1.2ピコ秒の超短グラフェンプラズモン波束をチップ上で発生・伝搬制御・計測することに成功しました．このパルス幅は入射前の電気パルスの時間幅と同等であり，電気的に励起されたプラズモン波束として世界最短であることが分かりました．これはTHz領域の電気信号を歪ませることなく伝送できていることを示しています．

② グラフェンの電荷密度をゲートにより電気的に変調することで，プラズモン波束の位相と振幅を制御できることが分かりました．位相と振幅の制御は，あらゆる信号処理を実現するための基本的な操作であり，THz領域の電気信号を扱う新しい素子動作を実証できたことを意味します．

③ ゲート電極の材料を最適化することで電気パルスからグラフェンプラズモン波束への変換効率が最大で35%に達することが確認できました．この値は，従来の光からプラズモンへの変換効率を数桁上回るものであり，グラフェンプラズモンはTHz領域の電気信号を扱うことに本質的に適していることを示しています．また，変換効率だけでなく閉じ込め効果や伝搬速度，パルス幅がゲート電極によって大きく変化することを明らかにしました．これらの知見により，目的に応じてデバイス構造を最適化することが可能になります．

この成果は，2024年7月17日に英国科学誌『Nature Electronics』に掲載されました．

今後は，広帯域かつ高速な信号を電子回路中で制御する技術であるプラズモニクスへの応用に展開すること，別の切り口から，量子情報処理応用として，電子の飛行量子ビットについて極低温THz測定，超短単一電子パルス励起につなげ，量子もつれ対のオンデマンド生成・配送に展開していきたいと考えています．

**発生する現象の詳細なプロセス，メカニズムを解明し，最終的に最適な物質を探すことにつなげる研究で成果を出し，それをアピールすることで興味を誘い，トップランナーをめざす**

### 研究者として心掛けていることを教えてください．

現在取り組んでいる研究分野は，グラフェンの実物が登場するようになって以降，理論の検証ばかりではなく，さまざまな新たな物理現象も発見されてきています．また，グラフェン以外の原子層物質も登場し，まさに新しい世界が一気に広がってきたよう

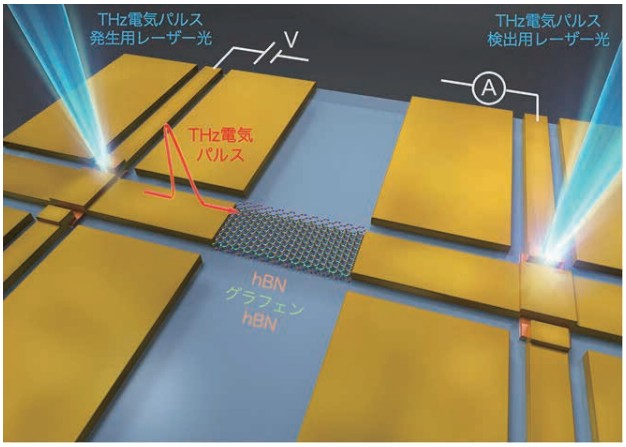
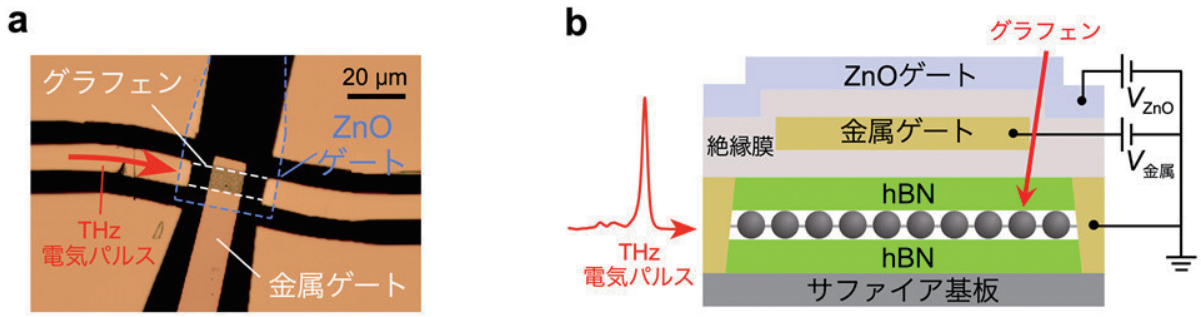



図3　THz電気パルスのグラフェンへの印加によるグラフェンプラズモン波束発生実験の概略図

＊1 グラフェンプラズモン：プラズモンとは電荷密度の振動であり，光のような波としての性質を有しながら，自由空間の光に比べて極めて小さな領域に電磁場を閉じ込められる特徴があります．特に，グラフェン中の自由電子の振動であるグラフェンプラズモンは，THz領域でロスが小さいことが知られており，さらに電子密度を変化させることにより波長や伝搬速度等を制御できる特徴があります．

＊2 波束：限られた範囲にだけ存在する波．移動する1個の波動の塊のように振る舞います．




(a)　THz電気パルスのグラフェンプラズモンへの変換　　(b)　グラフェンデバイスの断面模式図

図 4　伝搬特性およびその制御性，プラズモン発生効率の評価実験

な状況です．各研究者はそれぞれの研究対象を見つけて取り組んでおり，いわば，誰もがトップランナーをめざすことができるような分野です．

こうした中，現在の半導体デバイスのブラッシュアップの延長では絶対到達できないようなパフォーマンスを，別な物質で示し，それを発表したいという思いを持って研究に取り組んでいます．その意味では私の研究対象分野においてはトップランナーをめざしているところです．そのために，基礎研究者として，各プロセスで発生する現象について，詳細なメカニズムで解明すること，例えば，光を当てたときに励起された電子が最終的にエネルギーを失って元に戻るときに，何かと相互作用して，最終的に元に戻る途中にどのような電気信号を，どのようなプロセスで発生させるのかといったメカニズムの解明が，最終的に最適な物質を探すことにつながるはずだ，という信念でその研究を行い，結果をアピールしていくことを意識しています．

さらに，同じ手法で研究を行っているグループが少ないこともあり，多くの人に興味を持ってもらえるようなアピールも重要だと思っています．先端的な研究は国際的なチームで共同研究することも多く，そのチームメンバーを選んだり選ばれたりするような入り口段階においては，興味を持ってもらえるかどうかという点が非常に大きな意味を持ちます．このため，学会や国際会議といったアピールの場，タイミング，プレゼンテーションの仕方 1 つで参加者の興味の持ち方が変わってくるので，いろいろと作戦を考えて対応しています．もちろん一番大切なことは，アピールするべき成果なのはいうまでもありません．幸いなことに前述のとおり同じ分野の研究者の数はまだ少なく，分野の狭い範囲ではそれぞれがトップランナーでもあるので，お互いに発表内容を理解し合い，そこに対する相互リスペクトもしやすく，さらにより多くの人に興味を持ってもらいたいという意識は共通なので，お互いに切磋琢磨していくことでこうした課題が解決していくのではないかと思っています．

こうした状況から，最近，ヨーロッパのコンソーシアムのファンドに，パートナーとして議論に参加できるようになり，また，前述の 2 つの成果のインパクトが大きかったので，招待講演なども増えており，少しずついい方向に向かっている気がします．こういったチャンスを活かして良い状況を継続していきたいと思っています．

## 研究のプロセスを楽しむ

### 後進の研究者へのメッセージをお願いします．

私自身は「たとえ小さな発見であっても，誰も見たことないところを見て，それを学術的に整理して，外部に対して発表し，それを世界中の人に認めてもらう」というプロセスが面白く，楽しいと思って研究しています．私と同じような考え方の人もいると思いますし，何か目的を達成したくて研究している人もいると思いますが，そういった初心を忘れずに研究を進めていただきたいと思います．

URL https://journal.ntt.co.jp/article/33799
DOI https://doi.org/10.60249/25051201

NTTドコモ
サービスイノベーション部　担当課長

山田　涉　Wataru Yamada

# 好奇心を持って前向きに取り組み，チャレンジしてめざす空間データ基盤と高度技術者育成X-Lab

最近3D表示のカーナビ，電柱や道路等のインフラ設備の点検，不動産物件の内見，XR（eXtended Reality），屋内のナビゲーション等，空間データを活用したサービスが数多く登場しており，AI（人工知能）の高精度化により，空間データの利用価値はさらに向上することで，こういったサービスもさらに多様化・高度化していくことが予想されます．多くの可能性を秘めた空間データの活用を促進するための基盤が，NTTドコモが開発中の空間データ基盤です．NTTドコモ　サービスイノベーション部　山田渉氏に空間データ基盤による空間活用の可能性と高度技術者育成，好奇心を持って前向きに取り組み，チャレンジする思いを伺いました．

## 通信や建築などのDXに向けた空間データ基盤

**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．**

空間データ基盤に関する研究開発の企画から運営まで行っています．

空間データ基盤は，屋内外のあらゆる空間を安価に3Dスキャン可能な技術を確立し，通信インフラ構築・運用の効率化や建築や点検の支援，不動産内見等の実空間サービスの開発・展開につなげるための基盤です．

少子高齢化等により，インフラを維持管理できる技術者の減少が進む中で，通信や建築などをはじめとしたさまざまな業界でさらなる業務の効率化が求められています．特に，実空間がかかわってくる分野では，さらなる効率化のためには，実世界の空間の形状を正確に把握し，適切に活用することが重要になります．例えば，通信業界では，携帯電話の基地局（基地局）周辺の地形や建物の配置を把握し詳細に分析することで，基地局の位置の最適化が可能となり，空間の隅々まで従来よりも効率的に電波を届けることができると考えています．また，建築業界では，現場の状況を3Dスキャンすることで，工事の進捗状況をリアルタイムで把握できるようになり，遅れ等の発生の場合は必要に応じて迅速に対策を講じることが可能となります．さらに，構造物の劣化具合を正確に把握することで，修繕が必要な個所を特定し，効率的な修繕計画を立てることも容易になります．

しかし，このような精密な3Dスキャンを行うためには，従来，LiDAR（Light Detection And Ranging）と呼ばれる光を照射し，その反射によって距離を測定する特殊なセンサが主に用いられてきました．このセンサは自動運転技術の発展などにより低価格化が進んでいるものの，それでも数百万円を超える製品が主流であり，その運用には専門的な知識も必要とされるため，現場での活用には敷居が高い技術でした．空間データ基盤では，このような高価なセンサを使用せずに，市販されているカメラを利用することで安価に精密な3D空間をスキャンできることをめざしています．

空間データ基盤では，まず空間をカメラでくまなく撮影し，撮影された動画からカメラの撮影位置を推定し，3Dシーンの再現を行います（**図1**）．

3Dシーンの再現においては，Gaussian Splatting（GS）[(1)]という，「拡散」を伴う3次元点群によって3Dシーンを再現する技術を活用しています．GSは，①カメラで撮影した動画から非常に高精細な3Dシーンを再現可能，②従来の手法と比べてレンダリングコストが低いため，汎用PCで高解像度映像のリアルタイムレンダリングが可能，③点群データ（＋拡散パラメータ）で構成される高精細な3Dモデルであるため，これまでの点群処理技術や画像解析の技術の適用が可能，といった特長があります．

さらに，GSのためには，空間をさまざまな角度でくまなく撮影する必要があるのですが，通常のカメラで撮影するのには大きな時間と労力が必要となります．そこで，私たちは，全方位を同時に撮影可能な全方位カメラに対応した新たな3Dスキャンシステムを開発しています．もちろん，スマートフォンやドローンの

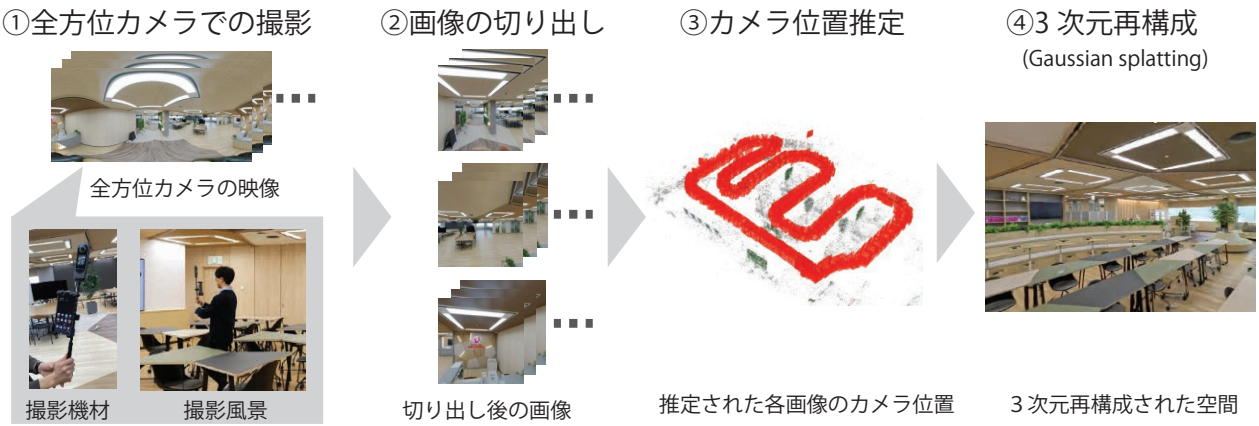
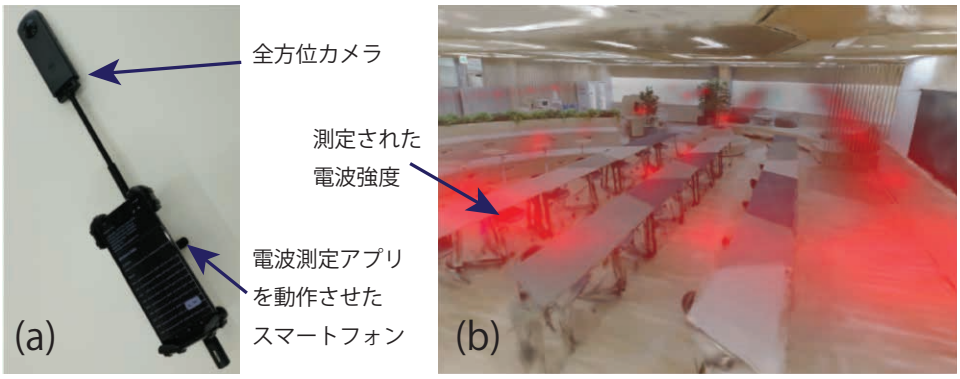



図 1　全方位カメラを使った空間データの作成の流れ




(a)　撮影と電波測定機材

(b)　空間データと電波測定データを重畳描画した例
（赤色の濃い部分が電波強度の高い地点）

図 2　3D スキャン技術と電波測定を組み合わせた技術

カメラなどにも対応しており，手持ちの全方位カメラでは撮影が難しい屋外の広大な領域などにも柔軟に対応することも可能です．

また，全方位カメラに電波情報を収集可能なスマートフォンを取り付けて空間のスキャンを行う，3Dスキャン技術と電波測定を組み合わせた技術（**図 2**）の開発にも取り組んでいます．この技術は，図 1 の全方位カメラでの撮影の際に，スマートフォンで電波強度などを測定しながら，撮影を行います．そしてカメラ位置推定により，各電波強度がどこで取得されたものか明らかになるため，再構成した3Dシーンに収集したその電波情報を重ねて表示しています．これにより，空間中のどの地点が電波が強く，または弱いのかが可視化され，基地局配置の改善に活用できると考えています．将来的には3Dシーン中で電波シミュレーションを行うことも検討しており，6G（第 6 世代移動通信システム）時代に増加が予想される基地局について，効率的な設置・運用が可能になると考えています．

さらに，現在は静止した環境で 1 台のカメラを動かして撮影して静的な3D化を行っていますが，大量のカメラを配置することで動的な環境の3D化の実現に向けた検討をしています．これは例えば，スポーツやライブ会場などに多くのカメラを配置し，撮影した映像から3Dシーンを復元することで，イベントを好きな位置から視聴することが可能になります．このように，静的な3Dシーンだけでなく，時間情報も加わった動的なシーン，つまり 4 次元のシーンを再現可能にすることで，新たなユーザ体験をもたらすサービスの提供もめざしています．

## X-Labとはどのような取り組みなのでしょうか．

X-Labとは，競争力のあるサービスの研究開発に必要な，高度な技術者の育成を目的として，2021年10月に創設した，組織横断型のOJT型の育成施策です．私自身もNTTドコモで研究開発をしている中で，さまざまな論文をトップカンファレンスと呼ばれる権威ある国際会議で発表し，またそれらの技術を事業化する過程で多くのことを学びました．このような経験と学びを後進に伝えたいと思い，データサイエンスのトップカンファレンスである「KDD」での論文発表や，KDDで行われる世界最高峰のデータ分析競技会「KDD Cup」において，2019年に「Regular ML Track Task2」部門でNTTドコモが 1 位を獲得したときにチームを率いたデータサイエンティストの落合桂一と 2 人で本企画を始めました．また，2025年からは，さらにメンターとしてロボット系のトップカンファレンスのICRAをはじめとしたさまざまな国際会議で

発表した研究者である北出卓也も加わりました．

X-Labでは革新的なサービスの創出に向けて，新技術構想から著名な国際会議での発表，事業部提案・事業化まで一連の業務を，それらの経験がある私たちが直接，伴走しながら実施します．参加者は毎年10名程度で，トップカンファレンスでの発表や「技術発の事業創出」に興味ある社員を，各R&D組織から希望制で募っています．

指導は，大きく講義，実践，交流の3つのフェーズで行っています．講義では，メンターである私たちが今まで学会投稿や事業化で得た経験を基に作成した資料で研究開発方法について説明をします．この資料は，研究のアイデア出しから実際の研究方法，さらには論文執筆のコツなど多岐にわたっており，参加者はこの資料を基に効率的に研究開発のノウハウを習熟していきます．

しかし，講義だけでは，実際に研究を形にすることは難しいため，次のフェーズとして実践での学びになります．この実践では，参加者に研究のアイデアを考えてもらい，それについて私たちが逐次アドバイスし，アイデアから研究へと昇華し，論文投稿や，事業化をめざします．これによって机上で学んだ研究の進め方を実際に身につけてもらいます．

最後は，交流です．X-Labでは，定例をはじめとしたさまざまな機会で参加者どうしがコミュニケーションする機会があります．X-Labで研究しているテーマは非常に多様です．ロボットの光学マーカーの研究や，ワークエンゲージメントの推定や，ポイント投資の銘柄推薦，新しい音声コミュニケーション，ネットワーク品質推定などです．このような多様なテーマについて，メンバーどうしで互いにアドバイスを行い，議論をすることでコミュニティの中でさまざまな考え方や視点を学び合うことができます．さらに，普段の仕事では，自部署内のコミュニケーションに閉じることが多い中で，さまざまな部署からの参加者が，組織の壁を超えたつながりを生む機会にもなっています．

こうした取り組みの結果，著名な国際会議であるICRAやCHI，UISTなどをはじめとしたさまざまな国際会議や論文誌での採択，情報処理学会 山下記念研究賞を受賞などの多くの研究成果を出しています．また研究だけでなく，本取り組みで開発した技術がメディアや自治体や他社の注目を集めて，日本テレビの『世界一受けたい授業』で紹介されたり，実証実験にもつながっています．さらにX-Labに参加している方の中には，さらなる専門性を得るために，会社の支援のもとで大学院の博士課程に進学している方もいます．

## 趣味の「ものづくり」と「ハッカソン」の挑戦がスキルの成長に活かされた

**開発者として研究開発の経験について教えてください．また，研究開発のテーマが変わることによるスキルのフォローはどのようにしてきたのでしょうか．**

私は2012年にNTTドコモに入社し，先端技術研究所に配属された後，2023年7月にサービスイノベーション部に異動するまで，組織改編を伴いながら，研究所の流れを引き継ぐ組織で技術開発を担当してきました．専門技術はHuman-Computer Interactionというユーザインタフェースで，**図3**に示す浮游球体ドローンディスプレイ，羽根のないドローン，超広視野角VR（Virtual Reality）ゴーグルなどの技術，そして現在の空間データ基盤と，さまざまな分野の技術開発に取り組んできました．中でも浮遊球体ドローンディスプレイは，報道発表後，国内メディアだけでなく，英国のBBCやフランス通信社など海外からの取材も来るほどの反響がありました．そして，著名な音楽番組の生放送での利用や，東京オリンピックの聖火リレーの演出の一部にも採用されました．また業務だけでなく，東京大学大学院学際情報学府の博士課程にも進学し，研究についての理解を深めました．また2024年度に同博士課程を修了し，大変，光栄なことに同専攻の総代に選ばれました（**写真**）．ただ，博士課程の修了までの道のりは決して平坦でなく多くの苦労がありました．その試行錯誤の経験もX-Labの指導で活きていると考えています．

また私が専門としている研究では，電気回路からプログラミング，機械学習などの多様なスキルが求められます．こうしたスキルは個々の研究テーマに取り組む中で勉強してきました．元々，私はプログラミングや電子工作等をはじめとするものづくりを趣味にしており，ドローンも世の中で今ほどに話題になる前から自作していました．さらに，ハッカソンへの参加も趣味にしており，NASA Space Apps や Junction Asia，TechCrunch Tokyo Hackathonなどのさまざまなハッカソンで賞をいただいてきました．これらの経験をとおして，研究だけでなく，短期間の集中的な問題発見や開発などの実践的なスキルも習得することができ，これも現在の業務やX-Labにおいて大いに役立っています．

浮遊球体ドローンディスプレイ

羽根のないドローン

超広視野角 VR ゴーグル

図3　これまで取り組んできた技術開発

## 好奇心を持って前向きに取り組み，チャレンジする

### 開発において大切にされていることは何でしょうか．

好奇心を持って前向きにチャレンジすることが大切です．空間データ基盤プロジェクトでPM（Project Manager）になりましたが，チームメンバーにもこれを説いており，そのための環境づくりもしています．技術はどんどん進化を続けていくため，技術者として好奇心がないと，技術の進化に取り残されて，そこで成長が止まってしまうと考えているからです．

現在，開発を進めている空間データ基盤では，通信関連業務のさらなる効率化やビル，インフラの維持管理の効率化や，空間データを使った新サービスの創造などを狙っています．ただし，これらの実現は容易なことではないため，さらなる技術力の向上が必要となります．そのため，チームメンバー一丸となって取り組むとともに，好奇心を持って技術を高めて挑戦していきたいと思っています．

### 後進へのメッセージをお願いします．

私は，研究者や開発者にとってもっとも大切な素養は好奇心だと考えています．

X-Labでは，研究とは「未開の領域の地図をつくること」に似ていると伝えています．研究の過程を例にとると，先行文献という既存の地図を見ながら自分の立ち位置や周辺の領域を探ったり，まだ開拓されていない領域を見つけたり，あるいは，行き止まりにぶつかりながらも回り道をして進み，後進の技術者が迷わないように地図として残す，といったようにその過程は地図づくりに非常に似ています．実際の研究においては，前に進むために技術力も大事ですが，それ以前に未開の領域へ踏み込む勇気や先を知りたいという気持ち，好奇心が不可欠なのです．私は，そうした気持ち，つまり好奇心を大切にし，決してそれを止めないでほしいと伝えています．今取り組んでいることが将来どうなるか分からず，不安に感じることもあるかもしれません．しかし，本当に自分が興味を持ち，信じられるものならば，それはきっと他者にとっても魅力的なものであり，とことん突き詰めてほしいと思います．逆に，自分が本当に興味を持てないことに取り組むと，研究そのものが苦しくなるだけでなく，そうして生まれた技術も他者にとって魅力的なものにならないことが多いのです．

さて，少し話は変わりますが，無線通信の根幹原理である電磁波の存在を証明した研究者をご存じでしょうか？　その偉大な研究者こそ，周波数の単位「Hz」の由来にもなったハインリヒ・ヘルツ氏です．1885年に行われたヘルツ氏の電磁波の実証実験は，1864年に発表されたマクスウェルの方程式が予言した電磁波の存在を証明するためのものでした．この実験の成果により，電磁波の存在は見事に証明されました．しかし，当時ヘルツ氏自身は「この実験が何の役に立つのか？」と尋ねられた際，「理論の証明をするための実験であり，実用的な目的はない」と答えたと伝えられています．ところが現在では，無線通信のための電磁波は世界中を駆け巡り，巨大な産業として確立し，もはや社会に不可欠な存在となっています．さらに，ヘルツ氏はこの実験を10年ほど温めていた形跡があるともいわれています[2]．つまり，無線通信という偉大な発明は，ヘルツ氏が自身の興味に従い，時間をかけてとことん突き詰めた結果，生まれたのです．

撮影　東京大学本部広報課

写真　学位記授与式の様子

「好きこそものの上手なれ」という言葉がありますが，特に技術の世界では，義務感で研究をしている人は，好きでやっている人には敵わないと思います．もし現段階で「好きなこと」「興味のあること」が見つかっていないならば，ぜひさまざまなことに挑戦し，自分が夢中になれるものを探してほしいです．

未来がどうなるかは誰にも分かりません．だからこそ，自分が興味を持てることをとことん突き詰め，それを会社の中だけでなく，世界に向けて発信していってほしいと思います．そして，無線通信のように「世界中のどこでも使われ，当たり前になった技術」を生み出す偉大な人物が，未来の技術者の中から誕生することを願っています．

■参考文献


(1) B. Kerbl, G. Kopanas, T. Leimkühler, and G. Drettakis: “3D gaussian splatting for real-time radiance field rendering,” ACM Trans. Graph., Vol.42, No.4, 139-1, 2023.

(2) https://kitnet.jp/backup/article/21/a21.html

URL https://journal.ntt.co.jp/article/33797
DOI https://doi.org/10.60249/25051301

NTT物性科学基礎研究所
特別研究員

西口克彦 Katsuhiko Nishiguchi

# シリコントランジスタを用いて単一電子の制御と検出を可能にし，高性能デバイスの開発と消費エネルギー削減をめざす

テレビやPC，スマートフォンなど多くの身近な家電には半導体が使用されています．半導体デバイスの中で，電気信号増幅やスイッチングなどの重要な役割を持つのが「トランジスタ」です．また，近年注目されているAI（人工知能）は高速処理を必要としており，それにより半導体性能の飛躍的な向上に貢献しています．しかし，AIなど新しい技術やサービスの発展には膨大な電力が必要となることから，今後のサステナブルな発展には消費電力を抑制する新たな対策が必要です．今回は単一の電子を室温で制御できる世界唯一のトランジスタを実現し，半導体の消費電力を削減する革新的な技術の開拓をめざしている西口克彦特別研究員にお話を伺いました．

◆PROFILE：2002年東京工業大学大学院理工学研究科電子物理工学専攻博士課程修了．同年，日本電信電話株式会社に入社．現在に至るまで，低消費電力化・新機能化をめざしたナノ構造のシリコンデバイスの研究に従事．2008年フランス国立科学研究センター客員研究員．2012～2013年デルフト工科大学（オランダ）客員研究員．2015年東京工業大学客員准教授．現在，量子電子物性研究部，ナノデバイス研究グループリーダ特別研究員． 2013年応用物理学会優秀論文賞，2013年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞，2023年 MNC2023 Most Impressive Presentation Award.

## 世界で唯一の技術「電子1個=1 bit」とするシリコンデバイス

**■どのような研究をされているのか教えてください．**

テレビなどで半導体という言葉を耳にする機会があると思います．本来，半導体とは主としてテレビやスマートフォンなどで使われる「計算する部品（デバイス）」を構成する材料を表す言葉なのですが，今や部品や産業全体の総称となるほど大きな意味を持つ言葉になりました．

その半導体は，トランジスタという，電子の流れを制御するスイッチの寄せ集めで成り立っており，半導体の性能を上げるには装置の中にトランジスタをたくさん詰め込み（集積），計算処理の性能を上げるのが一般的な方法です．そのため，最先端の技術といわれているスマートフォンの中には190億個以上ものトランジスタが入っています．

しかし，トランジスタは，バイオテクノロジのように生命の力を借りて乳酸菌を大量に培養するような方法では増やせません．トランジスタは板や薄いフィルムを削ったり，加熱したりといった高度に人工的な工程によってつくられるため，単純に集積数を増やすことが非常に難しいのです．その結果，製造コストが高く，工場の建設には何千億円，時には兆円単位の投資が必要とされます．

ほかにも大きな課題があります．現在はAI（人工知能）が注目を集めており，世界中の多くの人がAIサービスを利用していますが，AIサービスの裏側では最先端の半導体を使ってAIに「学習」をさせています．その学習を1回実施するだけで原子力発電所1基分に相当する電力を消費しており，AIの高度な機能と引き換えにすさまじい電力が必要になっています．また，ユーザがAIで検索した際には，学習した結果を基に答えを推定しているのですが，そのエネルギーも従来の検索方法に比べ1桁大きいといわれています．身近なもので例えるならスマートフォンで1回の検索（情報取得）をするだけで，バッテリの3分の1ぐらいを使用するようなものです．今後も，AIを使ったさまざまなサービスや社会発展が期待されている一方，その消費電力量の削減が今後の大きな課題になるといわれています．

AIの電力消費に対する課題を解決するためには，発電量を増や

すことと，半導体の消費電力を下げることが必要になります．米国では発電量を増やすため，1979年に発生した事故以降稼動を停止しているスリーマイル島原子力発電所の運転再開や，小規模の原子力発電所の活用，または広大な土地を利用した太陽光発電などの再生可能エネルギーの活用が積極的に検討されています．一方，日本では同じ取り組みが可能であるかは未知数ではありますが，電力供給については避けて通れない課題です．このような背景のもと，半導体の消費電力を削減する重要性が高くなっています．

そこでNTTでは，新しい原理を用いて消費電力を劇的に下げる取り組みをしています． AIサービスを例に消費電力を下げることの重要性を述べましたが，消費電力を劇的に削減することで新たな効果が期待できます．例えば，水や体温から得られる極めて小さいエネルギーで動く，バッテリを必要としない半導体といった未来も訪れるかもしれません．ただ，そのためには今の技術の発展ではなく大きなブレークスルーが必要で，10年レベルでの長期スパンで研究を行っています．

ブレークスルーに向けて，具体的には電子１個を1 bitとして動作させる単一電子デバイスをつくっています．コンピュータなどで使う２進数の情報の単位をbitと呼ぶのですが，それを通常は10万個とか100万個の電子により，「０」か「１」という２進数の情報として表現します．つまり電子を100万個使おうが，結局０か１の情報しか表せないということになります．

私たちは従来の電子100万個で１ bitではなく，電子１個で１bitを表すことで消費電力の削減を実現しようとしています．電子１個で１ bitを表すこと自体とても難しいのですが，非常に小さいトランジスタをうまく使うことで電子１個を動かし，それを正確に読み出すことで１ bitを表すことが可能になります．一例としてはとても小さな消費電力で電子１個を１ bitにしたデジタル-アナログ変換回路やパターン認識回路が実現しています．また，電子１個を読み出す性能をセンサとして使えば，血液中のイオンを識別することも可能になります．

この電子１個を扱う研究は，一般的にはマイナス270 ℃など非常に低い温度で行う必要があるとされていましたが，15年ほど前，NTT独自の技術を使って世界で初めて電子１個を20 ℃前後の室温環境で操作できるようになりました．これは今でも世界でNTTだけしかできない技術といわれています（**図１**）．

室温環境で操作できることがなぜ重要かというと，そもそも温度をマイナス270 ℃まで下げるのにも電気やエネルギー，もちろん費用もかかります．また，今の半導体では，そのまま温度を下げても，上手く動作しないことも分かっており，新たな半導体製造技術が必要になります．

室温で電子１個を操作するためには，デバイスをナノメートル（100万分の１ミリメートル）まで小さくすれば，これが可能となります．前述のとおり，トランジスタは材料を削るなどの加工によって人工的に作成しますが，NTTでは，そのような小さなサイズまで加工する技術を長年培っていたので，世界に先駆けて室温で電子１個の操作を実現できました．

しかし，その実現により見えてきた課題もあります．それは，加工精度に関するものです．私たちはシリコンという材料を使ってデバイスをつくっているのですが，ナノメートルというサイズでは，材料の最小単位であるシリコン原子がせいぜい数10個ぐらいしか存在しません．このため，トランジスタを加工するときに目標より原子を数個多く削ってしまうことで，デバイスの特性が大きく変わってしまいます．原子１個レベルで正確に加工する技術がないわけではありませんが，億単位のデバイスを量産するレベルでは，今の世の中には存在しません．

現在，私たちは電子１個を操作することに成功していますが，

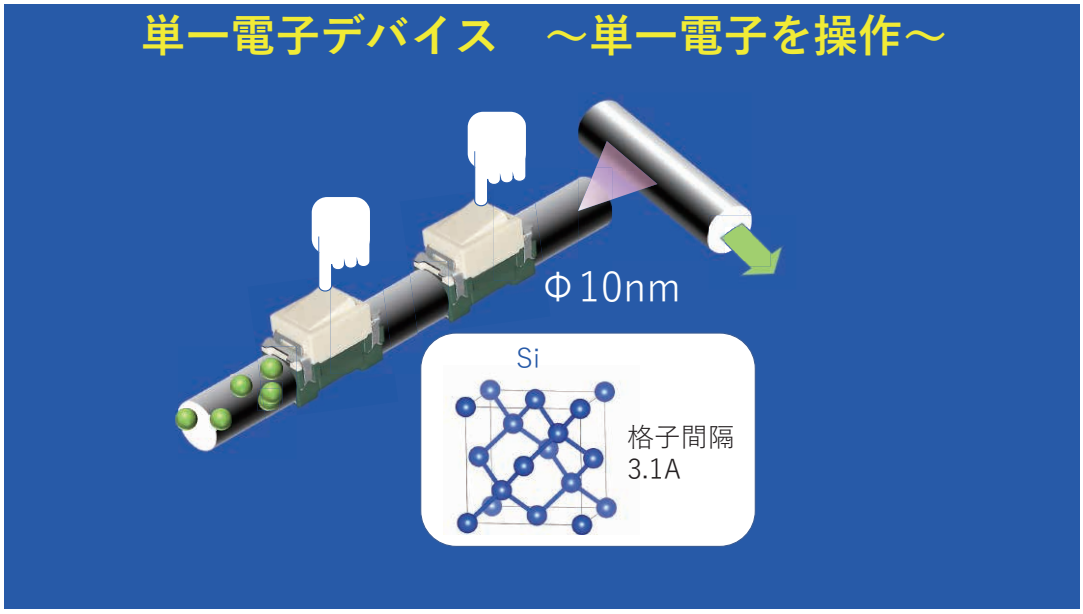



図１　世界で唯一の単一電子デバイス

このような理由から近い将来においても，デバイスを集積化するということは容易ではないと考えています．しかし，20年前は室温での動作は極めて困難といわれていた中，それを実現したことは技術的可能性を示した大きな意味があると考えています．また，この技術が実現できたことをきっかけに，半導体の消費電力を下げる別の視点を見つけたのですが，その証明には私たちのデバイスが極めて重要であることも分かり，現在は違うアプローチによる低消費電力化に取り組んでいます．

**■研究環境や研究チームについて教えてください．**

埃等が極めて少ないクリーンルームという大きなスペースで多くの装置や薬品を使ってトランジスタを作製しています（**写真**）．多くのノウハウと経験を頼りに半年ほどかけて作製するのですが，研究者自らがほとんど手作業で作製しており，NTT研究所の中でも珍しいグループだと思います．一方で，例えば，新しい構造のデバイスをつくるときなどは，自ら積み上げた経験を活かせることから，外部の研究グループとの差異化につながっていると考えています．

作製したデバイスは，電流計などの測定機器を用いて評価します．評価では，ねらった性能が得られているのか，予期していなかった未知の性能が現れていないかなどを，さまざまな手法により調べていきます．この過程で，動作原理などもっとも本質的な要素を理解することで，デバイス性能の向上や，新たな性能を生み出しコントロールすることなどが可能となります．そのためには，世界中の先人たちにより何10年も蓄積されてきた学術的な知見や工学的な知見を活用し，今の技術に展開することが重要になります．実際に，ごく最近の半導体技術の中には，数10年前の技術をリバイバルさせた例も数多くあります．このように，デバイス評価は作製とは別の難しさがある半面，研究者としての成果が見えてくるクライマックスともいえます．

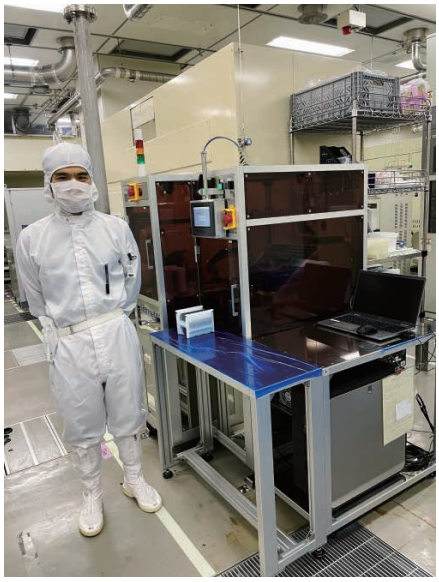


写真　クリーンルームでトランジスタ作製の様子

**■本研究ならではの強みや特性を教えてください．**

まだ世界で私たちしかできていない，室温環境で単一電子デバイスをつくれることが大きな強みです．ほかにもマイナス270 ℃でしかできないと考えられていた理論にのっとった究極的な動作検証が，室温でも検証できることです．これは私たちにとっても非常に大きいメリットで，世の中では極低温でしかできないと理解されていることが多い中で，実際に室温で操作することで判明する汎用性の高い理論がとても大切なのだと気付くことができました．

また，私たちの単電子デバイスはシリコントランジスタを改良したものです．シリコントランジスタは，多くの企業や大学，研究機関などから見出されたさまざまな優れた技術や知見を寄せ集め，半導体企業が技術を成熟させて製品につなげています．そのため，私たちが見出した技術や知見だけでは高性能な半導体が実現できなくても，例えば低消費電力化技術として半導体に組み込むことで世の中の役に立てるのではないかと思っています．同様な研究は，超電導材料や光を使う技術でも行われていますが，そういった観点では，シリコンを使うこと自体が大きな強みかもしれません．

## これまでの研究を理論化し，特許取得と汎用拡大をめざす

**■これからの展望や解決すべき問題を教えてください．**

回路などの消費電力を下げることが目的ですが，現状の立ち位置としては世界唯一の単一電子デバイスがあることは大きな強みで，3～4年前からはそのデバイスによるツールを使って，消費エネルギーを削減する方法を学術的な観点から見出しています．ゴールまでの距離が感覚的に少し遠くなっているかもしれませんが，得られた知見はそのゴールに行くための汎用的な知見になると期待しています．前述のとおり電子1個を1 bitとする展開は，加工精度の観点から難しいことは分かっていますが，一般的な半導体に適用できる汎用的な技術を見出すことができれば，加工精度の課題に悩むことなく低消費電力化ができるのではないかという期待があります．

私たちが取り組んでいる分野では年間何100本も論文が出てくる分野ですが，その中で私たちが得意とする半導体やデバイス分野の表現を使う論文は年に数本あるかないかのレベルです．理論論文は，基本的には汎用的な理論を提供しているはずなので，それを半導体にも活用できるのですが，例えば日本語しか分からない私にいきなりスペイン語で話されているような感覚で，その理論を半導体に展開することの難しさを感じています．

その難しさに対峙するのに助かっているのは，ほかのグループメンバとの協力関係です．理論論文を読み解くことが得意なメンバもいれば，同じ論文に対し興味を持つポイントが異なるメンバもいます．これは，大学時代を含め，これまでの研究活動の違いによるところだと思っているのですが，これら個々人が得意とすることが上手く絡み合うことで，得られる成果が膨らんでいると

図２　NTT物性科学基礎研究所でのデバイス（半導体）研究

感じています．グループリーダとなった私ですが，論文を書いて学会発表をする際には，いまだに私の未熟な理論面は得意なメンバに助けてもらい，また成果の価値を高めるためのアドバイスをメンバにもらいながら活動しています．

そして，最近になってようやく理論を半導体に展開する方法が見えてきて，成果が出てきたところです．とはいえ，まだまだ私たちが求める世界には届いてはおらず，そのためいくつもの壁を乗り越える必要があります．ただ，この壁を乗り越えることができれば，半導体産業への波及効果は大きいと考えています（**図２**）．

### ■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．

私たちの研究所には，フランスやカナダ，米国の大学から学生がインターンシップで来ており，一緒に研究しています．海外からの学生たちは，元々この分野に長けているわけではないのにかかわらず，半年ぐらいで論文が書けるレベルの成果を出してきます．ある学術論文の賞を取った例もあり，貴重な戦力になっています．一方，私はある大学に講師として行っているのですが，そこの学生たちは計算式を解くことや物は知っているのですが，こうしたインターンシップの学生と比較して，問題解決力に物足りなさを感じており，危惧しています．

海外の学生と日本の学生の違いは，例えば，ある研究に取り掛かるとき，海外の学生は，その研究の価値や本質をしっかりと理解しようとする印象が強くあります．自分が得意としている分野ではなくても，分からなければ勉強して理解しようとします．そうしてから実際の研究に取り組むため，自発的に何をすべきか考え，問題に遭遇したときも解決のための思考ができるのではないかと思います．研究の価値や本質をしっかりと理解できていないと，自発的に動くことができません．日本の学生は，単位を取るために授業に出ているのではないかと思える学生や，興味を示さないのは授業の内容が悪いからだと転嫁する学生の存在を感じます．ただ，大学は知識を習得し，物を考える場所だと私は信じているので，授業への興味の有無に関係なく，１カ月必死に調べ・考えてレポートに取り組むくらい「骨のある授業」が必要なのではないかと思っています．

こうした背景から，学生の皆さんには大切な大学時代を「しっかりと勉強し，物を考える貴重な時間」と思って過ごしていただきたいです．今の時代，自分のキャリアを高めることが重要で，キャリアを高めれば，どの会社に行っても活躍できますし，会社という枠に捕らわれず自分で道を切り拓くことができます．そのためには大学生活をどのように過ごすかということが重要であることを知ってほしいと願っています．

### ■ビジネスパートナーの方に向けてメッセージをお願いします．

10年前に，電子を１個動かせる技術ができたのをご存じなかった人がいるのではないでしょうか．これは，私たちのアピールが足りなかったと反省しています．学会などでいろいろな分野の方に，こういった技術がすでにあることをアピールできていれば，結果的に汎用性がさらに上がると思っています．

この業界の流れをみても，私たちが行っている「モノをつくる際の，設計の重要性」は間違いなく高くなっており，理論化してその知見をIP（知的財産・特許など）というかたちで出せるようにしたいと考え，現在は理論の分野にも取り組んでいます．そして製造工程や製造方法など，IPの理論的な部分に加えて実際に使ってもらえるように整備して，私たちの知見を活用してもらい，皆様の研究に役立てていただければと思います．

URL https://journal.ntt.co.jp/article/33795
DOI https://doi.org/10.60249/25053001

# 株式会社NSFエンゲージメント

https://www.nsf-e.com/

NSF ENGAGEMENT

## 経営者と同じ目線に立ち，課題の発見，解決策を提案.「戦略総務」でお客さまの変革をサポート

NSF エンゲージメント
梅澤恭太社長

コロナ禍を経て，オフィスへの回帰が進み，リモートワークとオフィスワークを組み合わせた，ハイブリッドワークが普及してきました．こうした環境において，NSFエンゲージメントは，オフィスは単なる業務スペースではなく，リアルなコミュニケーションを通じたイノベーション創出の場としての最適化をめざして「戦略総務」を提唱しています．「総務を進化」させていくことで，社員エンゲージメント向上をはじめとしたお客さまのパートナーとして付加価値向上に貢献しています．NSFエンゲージメント梅澤恭太社長に，「戦略総務」の役割と，従来の「管理総務」から「戦略総務」への進化をめざす考えについて伺いました．

### 幅広い事業領域(総務・FM・ワークプレイス・保険・EHS）を活かし，複合型ソリューションを展開

**■設立の背景と会社の概要について教えてください．**

NSFエンゲージメントは，NTTファシリティーズとソニーコーポレートサービス（現ソニーピープルソリューションズ）の合弁会社として，2019年5月に誕生しました．ソニーの“働く場”を支えてきた「総務の専門家集団」が母体となり，NTTファシリティーズとの合弁により，働く場の進化と社会的課題の解決にチャレンジしています．NSFエンゲージメントという社名は，New Standards for Engagementの略です．VUCA（Volatility，Uncertainty，Complexity，Ambiguity）時代といわれる，将来を予測するのが難しい今こそ，“社員エンゲージメント”がますます重要になってきます．私たちは「日本の総務を再定義する」というミッションのもと，「場から人をエンゲージメントする」をビジョンに掲げています．約500名の社員が「働き方とオフィスの変革」「環境負荷とエネルギーコストの低減」「多様化する災害リスクへの対策」など専門性の高いソリューションを提供することで，従来の総務の枠を越えた新しいStandardsを創造し，“総務を進化”させ，お客さまのパートナーとして新しい価値を生み出しています．

**■どのような事業展開をしているのでしょうか．**

『これからの「働く」をつくる，支える．～ハイブリットワーク時代の「働く」をコンサルティングから運営まで～』をコンセプトに，「総務サービス」「ワークプレイスソリューション」「ファシリティソリューション」「空間ソリューション」「リスクソリューション」「保険ソリューション」と，幅広い領域を活かした複合型ソリューションを展開しています．企業の働き方が多様化する中で，オフィスは単なる業務スペースではなく，リアルなコミュニケーションを通じたイノベーション創出の場としての役割が強まっています．そのため，社員エンゲージメント向上を軸に，働く環境の最適化を支援するさまざまなサービスを提供しています（**図1**）．

「総務サービス」は，働く場であるオフィスを充実させるために，社員食堂・売店・飲料販売機などの飲食にかかわる，生活支援サービス提供やイベント企画，運用サポートなど，社員エンゲージメント向上につながる提案を行っています．

「ワークプレイスソリューション」は，中長期的な拠点戦略の策定から，オフィス設計・空間デザイン・イベント企画運営までを手掛け，時代に合った働きやすい空間づくりを支援しています．お客さまの抱える課題の本質に迫るクリエイティブディレクションを提供するほか，プロジェクトマネジメントを通じて品質・コスト・スケジュールの最適化を図ります．また，福岡ではスモールオフィス事業「Mol.t」も展開しています．

「ファシリティソリューション」は，①省エネルギー推進サービス，②BCP（Business Continuity Plan）アシストサービス，③FM（Facility Management）-DX（Digital Transformation）

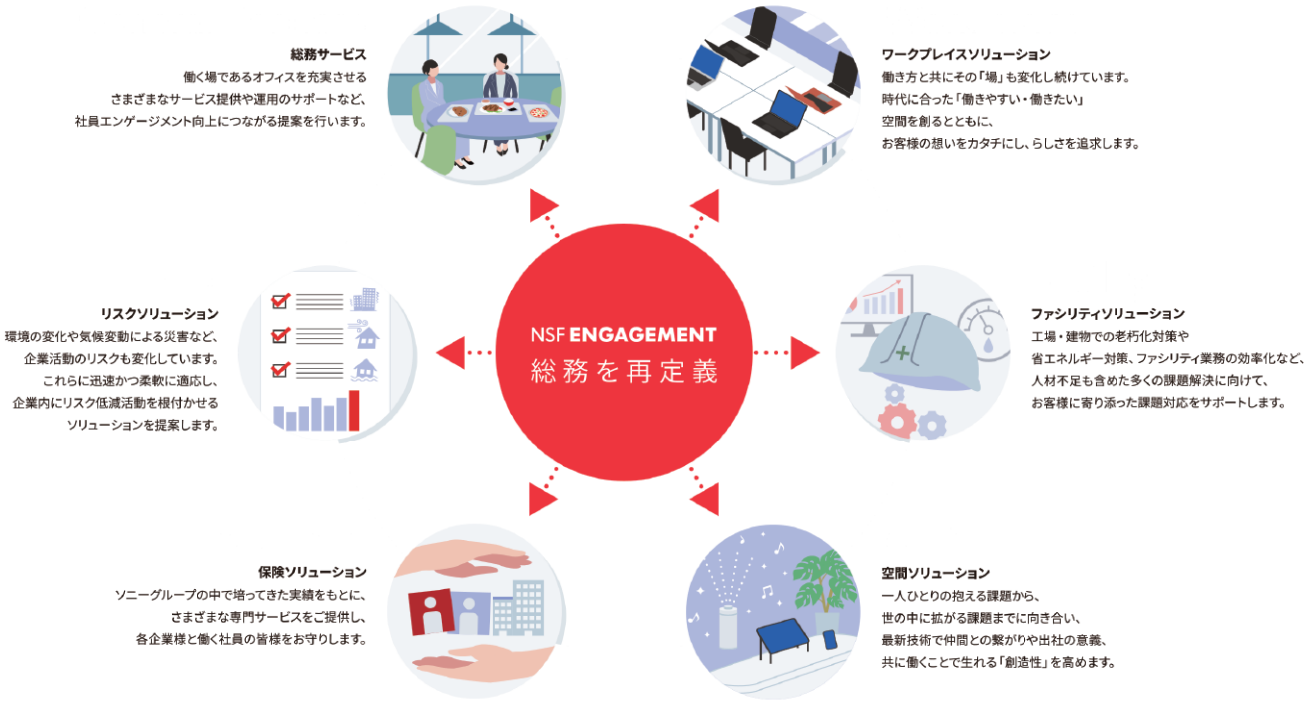



図1　NSFエンゲージメントの事業領域

推進サービス，④PM（Procurement Management）/CM（Construction Management）サービスの4種類のサービスにより，サービス工場・建物での老朽化対策や省エネルギー対策，ファシリティ業務効率化などの課題解決に向けて，お客さまに寄り添った課題対応をサポートします．

「空間ソリューション」は，①受付業務の総合DXソリューションである「coe's concierge」，②ホテリング機能（座席予約機能）にレコメンド機能を付加したハイブリッドワーク支援サービス「スマートホテリング」により，1人ひとりの抱える課題から，世の中に広がる課題までに向き合い，「場」に新しい価値と今までにない解決を届けます．

「リスクソリューション」は，①リスクアセスメントからはじめる防災コンサルティング，②“場に適した”・“場で考える”EHS（Environment，Health，Safety）活動の提案，③災害時にワークする体制・計画（BCP）の提案，の3つの活動により，環境の変化や気候変動による災害など，変化する企業活動のリスクに迅速かつ柔軟に適応し，企業内にリスク低減活動を根付かせるソリューションを提案します．

「保険ソリューション」は，法人向けと社員・個人向けがあります．法人向けは，リスク分析・戦略構築のサポートを行い，最適な補償の設計・調達を支援します．社員・個人向けは，お客さま各社の福利厚生保険制度の設計・調達・運営に至るまで，最適なソリューションを提供します．

### ■市場環境はどのような状況でしょうか．その中，どのような事業に注力されていますか．その具体的な事例も教えてください．

新型コロナウイルスの感染拡大を機に，在宅を中心としたリモートワークが浸透しました．その後，新型コロナウイルス感染症の5類感染症移行に伴い，オフィスへの回帰が進むことで，リモートワークとオフィスワークを組み合わせた，ハイブリッドワークが普及してきました．リモートワークの拡大期においては，社員の帰属意識や企業文化の醸成が課題となり，ハイブリッドワークへの移行が進む中においても，こうした課題をベースとした社員エンゲージメントの重要性は高まっています．また，ハイブリッドワークの定着に伴い，働く場所や時間の柔軟性を確保しつつ，

企業の生産性や創造性をいかに維持・向上させるかということが新たな経営課題となっています．

今オフィスは，単なる業務スペースではなく，リアルなコミュニケーションを通じたイノベーション創出の場としての役割が強まっています．また，社員エンゲージメントを高めるための仕組みとして，企業のビジョンや価値観を社員に浸透させ，組織の一体感を生み出すために，物理的な環境整備だけでは足りないといえます．私たちはオフィスの最適化を通じて，リモートワークにより減少したリアルな対話の機会を創出し，デジタルツールの活用と組み合わせたハイブリッドワーク環境を整備します．さらに，リスクアセスメントや防災対策を強化し，企業が持続的に成長できる環境を提供しています．

私たちは，これからも時代の変化をとらえながら，働く場の進化を支えるソリューションを提供していきます．

### ■今後の展望についてお聞かせください．

従来のような「管理総務」では，時代の変化に対応できません．私たちは「戦略総務」という考え方を提唱し，経営者と同じ目線に立ちながら，企業の課題を発見し，最適なソリューションを提案・実行する支援を行っています．経営課題に直結するソリューションの企画・実行を通じて，お客さまの安定した事業基盤の確立を支援し，提供サービスの品質向上や従業員の成長機会創出に取り組みます．さらに，これまで蓄積してきた製造業向けFMのノウハウを活かし，事業拡大を推進することで，社会に貢献していきます．

また，NTTファシリティーズとのシナジー効果を強化し，両者の強みを活かした販路拡大を図ります．当社が持つ幅広い事業領域（総務・FM・ワークプレイス・保険・EHS）を活かし，単一のソリューション提供にとどまらず，複合型ソリューションの展開により，さらなる収益拡大をめざします．

当社の強みは何といっても唯一無二といえる幅広い分野のソリューションを複合的に提供できることです．こうした多様な取り組みにより，単なる総務機能サポートにとどまらず，企業経営を支えるパートナーとしての存在感を高め，持続的な企業成長を実現していきます．今後も市場変化を的確にとらえながら，積極的な事業展開を進めていきます．

担当者に聞く

## 企画，構築，運用の各フェーズで柔軟にかかわりながら，オフィスを起点とした課題解決と価値創造に貢献していくことが使命

チーフクリエイティブディレクター
**高野 昌幸**　さん

### ■担当されている業務について教えてください．

ワークプレイス領域を中心に，お客さま企業のエンゲージメント向上やコミュニケーション・コラボレーション活性化等を目的としたオフィスによる課題解決，価値創造のコンサルティングから企画・構築・運営支援を担当しています．

お客さまと話をしている中で，「ABW（Activity Based Working）のオフィスを構築したが，うまく活用されない」「リモートワークやABWを導入したものの，エンゲージメント向上やコミュニケーション活性化の方法が分からない」といった「ハイブリッドワーク」や「エンゲージメント」に関するご相談を多くいただいています．また，こうした働き方の変化を契機とした「企業変革」に関するご相談もあります．

これらのご相談に対して，NSFエンゲージメントの特長である，「企画から運営まで一気通貫の支援」「先進的な知見とロールモデル」「エンゲージメント向上のための多角的アプローチ」を活かして，例えば，食堂やカフェスペースをつくる場合には，それを「昼食時間以外はどのように使われるべきか」「企業文化にどう溶け込ませるか」まで考え，単にオフィスを設計・構築するだけでなく，その空間が本来の目的やコンセプトに沿って活用されることも重視して具体的な施策を提案します．また，コミュニケーションイベントの実施も単発ではなく，企業の風土や価値観に根ざしたかたちで継続的な施策として組み込んで提案します．さらに，ハイブリッドワークのオフィスづくりとして，「ワーカー視点」ではなく「チーム視点」で考えることで，「個人のABWでなく，チームのABW」を提案しています（**図2**）．

### ■今後の展望について教えてください．

近年，ワークプレイスや働き方に関する市場環境は大きく変化

**「チームのABW」のポイント**

**チームで、オープンに、アクティブに、デジタルを活用して、働く。**

| | |
|---|---|
| チーム | ・チームで集まって、働ける<br>・チームを超えて、働ける |
| オープン | ・メンバーの様子が分かり、コミュニケーション（声掛け）しやすい<br>・仕事の様子が分かり、状況（例：進捗、課題、出社）を共有しやすい |
| アクティブ | ・相手や目的に合わせて、場を選べる<br>・直ぐに（Agility）、簡単に（Useability）、柔軟に（Flexibility）、使える |
| デジタル | ・デジタルを活用したコミュニケーション、コラボレーション<br>・デジタルを活用したワークフロー、情報・状況の共有 |

図2　「個人のABWでなく，チームのABW」の提案

しています．リモートワークが定着する一方で，オフィスの価値を見直す動きも強まっており，単なるワークスペースではなく「企業文化やチームワーク，コミュニティの拠点」としてのオフィスのあり方が求められています．

こうした環境の変化を踏まえ，私たちはオフィスを単なる「働く場所」ではなく，企業文化を醸成し，社員が自然にエンゲージメントを高められる場へと進化させる支援を強化していきます．そのために，企画，構築，運用の各フェーズで柔軟にかかわりながら，オフィスを起点とした価値創造に貢献していくことが私たちの使命だと考えています．

## NSFエンゲージメント ア・ラ・カ・ル・ト

### ■NTTファシリティーズ初となるファミリーデーに参画

2024年8月2日，NTTファシリティーズ（NTT-F）本社のあるグランパークで，NTT-F初となるファミリーデーが華やかに開催され，グランパークビルで働く社員とそのご家族を対象に，100名を超える参加者が集まりました（**写真**）．

イベントでは，2種類の長さのチューブとコネクタにより自由な発想でブロック遊びを楽しめる知育玩具で，小さな作品からダイナミックな作品まで，親子でクリエイティブな体験をしていただきました．また，約50名のお子様を7つのグループに分け，お子様が会社や仕事を楽しく体験できるよう，家族が働く職場での見学時間を長めに設定し，社長席に座しての記念撮影等を行ったそうです．

NTT-FグループのNSFエンゲージメントは，このイベントを総務サービスの一環と位置付けて，イベントの企画運営担当として事務局に参画しました．これまでのイベント運営経験に基づく豊富な知見・ノウハウを最大限に活かし，オペレーションの企画提案に多くのアイデアを盛り込み，皆さんの思い出に残る企画を提供でき，イベントの参加者だけではなく，企画運営にかかわった社員も自分が参加したかのように，とても喜んだとのことです．

写真　ファミリーデー

URL https://journal.ntt.co.jp/article/33793
DOI https://doi.org/10.60249/25053002

# NTTビズリンク株式会社

https://www.nttbiz.com/

NTTビズリンク
浦宗陽社長

## 「もっとお客さま側へ / お客さまを創造する」お客さまに寄り添い，お客さまの課題解決・ビジネス変革のために貢献

NTTビズリンクは，設立以来20年以上にわたり，法人のお客さまに，ビデオ通信やシステムインテグレーションを中心としたコミュニケーション＆コラボレーション，およびデータセンタの運用・工事を担うデータセンタソリューションを，トータルソリューションとしてワンストップで提供しています．「Empathy & Smart（共感 & スマート）」をビジョンとして掲げ，「Challenge & Innovate」を合言葉に，法人のお客さまのICTパートナーとして歩み続ける浦宗陽社長に，多様な事業分野をバックグラウンドとしたトータルソリューションと，「もっとお客さま側へ / お客さまを創造する」に込めた思いを伺いました．

### 複数企業との事業統合によりさまざまなバックグラウンドを持つ企業

**■設立の背景と会社の概要について教えてください．**

NTTビズリンクは企業向けデータセンタサービスを提供する，ホスティング・ASP（Application Service Provider）事業者として2001年に設立されました．2003年にNTTフェニックス通信網の「テレビ会議多地点接続サービス事業」，2004年にNTT-MEの「データセンタ事業」，2005年にぷららネットワークスの「アカウントアグリゲーションサービス」，2007年のNTTコミュニケーションズ70%，NTT東日本30%の出資からなる共同出資会社化に伴い，NTTコミュニケーションズのデータセンタ運用事業を当社が引き継ぎました．このような経緯を活かして，私たちは，設立以来20年以上にわたり，法人のお客さまのICTパートナーとして，ビデオ通信やシステムインテグレーションを中心としたコミュニケーション＆コラボレーション事業，およびデータセンタの運用・工事を担うデータセンタソリューション事業に磨きをかけてきました．

そして，2022年からはドコモグループの一員として法人事業ブランド「ドコモビジネス」の下，法人のお客さまにトータルソリューションをワンストップで提供しています．

当社は，「共冠：Vision first」「共歓：Customer first」「共観：Action first」「共敢：Innovation first」「共間：Communication first」「共完：Settlement first」の6つの“思考”と，「スマートなICT」「スマートなValue」「スマートな働き方」「スマートな数字目標」の4つの“実考”からなる「Empathy & Smart（共感 & スマート）」をビジョンとして掲げ，「私がやります．お客さま企業・その人々・その社会のために，そのワクワクする夢・感動のために，未来を超えるビジネス・リンクの価値のために，私は加わります，実現します，拡げます，続けます．」という言葉に思いを込めた，“Challenge & Innovate”を合言葉に，これからも技術の変化を先取りし，お客さまやパートナーの皆様の声に耳を傾け，社員一同一層の努力を重ねていきます．

**■どのような事業展開をしているのでしょうか．**

近年，デジタル技術を活用して企業のビジネスや社会全体に変革をもたらす取り組みであるDX(デジタルトランスフォーメーション)や顧客体験や顧客経験価値を高めるCX(Customer Experience)はどの企業においても非常に注目されています．

当社はお客さまが求めるDX/CXのニーズに合わせて，以下のような事業を展開しています．

① NTTグループで培ったデータセンタのノウハウや技術により，導入コンサルティングから設計，構築，24時間365日のオンサイト運用，セキュリティシステムや省人化を実現する総合ソリューションをワンストップで最前線に立って提供．また，NTTグループおよび外部のデータセンタ，オペレーションサービスの提供（常駐データセンタ約40拠点，駆け付けデータセンタ約50拠点，遠隔受付約30拠点（**図1**）．

② NTTグループの堅牢なデータセンタ内で提供するICT基盤を活用して，クラウド・ゼロトラスト化のコンサルティングや構築からサーバ攻撃などに備える24時間365日の運用監視やセキュリティに貢献するインフラ＆セキュリティーソリューション提供．

③ オフィスのウェルビーイングに貢献する快適なコミュニケー

図1　データセンタ拠点

図2　アーバンネット御堂筋ビルの共用スペース

図3　共用スペースの映像システム

ションのトータルコーディネート（映像・音響など）．失敗できない映像イベントのサポートや常設型配信プラットフォーム，インターネットを利用した簡単・便利な配信などについて提案・設計から構築・運用・サポートまで，映像イベント＆配信ソリューションをワンストップで提供．

④　現場の人手不足や生産性向上に貢献する，遠隔作業支援などの映像サービスや，建物や施設の調査や情報の見える化などコンサルティング・ソリューション提供．スマートグラスやタブレットを用いた映像コミュニケーションによる遠隔作業支援ソリューションや，建物内画像をストリートビューのようにデジタルアーカイブする“Beamo”など，“現場のDX”を推し進めるさまざまなソリューションを提供．

⑤　顧客体験や顧客経験価値を高めるCX強化に貢献するクラウド型コンタクトセンターソリューションの提供．小規模からあらゆる規模で迅速に導入可能なクラウド型ソリューションにより，CTI（Computer Telephony Integration）機能，チャットやあふれ呼管理機能，これらのトータルなソリューションに，AI（人工知能）などの先進技術も組み合わせることにも対応するNTTの信頼性に加えて，迅速かつ柔軟な対応と，お客さまの事業成長と共に歩むことをモットーとしたコンタクトセンターソリューションを提供．

## ユーザニーズにこたえる確かな提案力と技術力

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

近年では，労働人口の減少，価値観の変化，働き方改革の推進といった背景をふまえて，業務効率化や生産性向上のためのサービス・ソリューションの導入だけではなく，働く場所の快適さを含む「ウェルビーイング」が重要視されており，従業員の心身健康を支えるオフィス環境を整えることの市場ニーズが高まっています．加えて，クラウドサービスの利用拡大，すべての通信を信頼しないことを前提に，さまざまなセキュリティ対策を講じるゼロトラスト化などにより，特に，ICTにかかわる社内リソースが不足している中堅中小企業におけるセキュリティの強化やシステムやネットワークの運用効率化については課題になっており，このようなお客さまの業務課題をトータルで解決することが求められています．

こうした課題に対して，当社は単にサービス導入の提案・提供だけではなく，企業のセキュリティ対策やネットワークの監視運用なども総合的にご提案し，お客さまに代わり，お客さまシステムの問題解決をサポートする運用保守まで積極的に行っています．お客さま課題をトータルで解決するソリューションの１つとして，長年，映像コミュニケーションのパイオニアとして培ってきた知見を活かした，オフィスの映像・音響システムのトータルコンサルティングに力を入れています．

典型的な導入事例として，当社が映像・音響面でトータルコーディネートさせていただいたNTT都市開発の手掛ける「アーバンネット御堂筋ビル」があります．開発時の課題として，

・これまでにない「ウェルビーイングを実現するワークプレイス」を実現するため，特定のメーカに偏ることなく，真に空間に適した映像・音響システムをトータルコーディネートする必要があった．

・「リフレッシュスペース」として１つひとつのインテリアやデザインにもこだわりぬいた空間のため，その世界観にフィットした機器を選定するのが困難だった．

ということがありました．これらに対して，NTTビズリンクは，数ある製品の中から品質とコストを両立する最適なものを提案し，上質なリフレッシュスペースの実現をサポートすることをめざして，ウェルビーイングを実現する新たなオフィスビルで，入居者に高い満足度をもたらす共用スペースの映像・音響システムを導入しました（**図2，3**）．その結果，共用スペースの映像・音響システムの充実ぶりを入居の決め手に挙げる企業が多い中，１つひとつの製品を熟知した熱量の高い提案によって，映像・音響環境を整える側面からウェルビーイングを支援することで，要望以上の理想の空間が実現でき，入居者から高い評価をいただくことができました．また，建物利用者の健康とウェルネスを高める空間づくりを評価する「WELL認証（WELL Core）」ゴールドランクを西日本エリアの賃貸ビルで初めて取得しました．

### ■今後の展望についてお聞かせください．

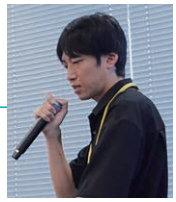
市場の変化は速く，お客さまのニーズも多様化する中，お客さまと積極的なコミュニケーションを取り信頼関係を築く，お客さまの声を聞き，フィードバックを積極的に取り入れ，サービスの改善に役立てお客さまに合わせたサービス・ソリューションを提供し，お客さまの満足度を高めることが重要だと考えています．

NTTビズリンクは，「もっとお客さま側へ / お客さまを創造する」を合言葉に，一味違う営業力・ソリューション力でお客さまの課題解決に挑戦し続けたいと思っています．

## お客さまの運用課題から導き出す新たな価値を創造し，社会やビジネスに貢献する

プラットフォーム本部
プラットフォーム運営部
担当課長

**桝谷 勝久**　さん



### ■どのような業務を行っているのでしょうか．

システムエンジニアとして，お客さまの社内ネットワークの構築や，Wi-Fiアクセスポイントの設計・構築などを担当しています．要件定義から設計，機器の設定，通信試験，工事などを行っており，特に，ネットワーク運用における効率化や環境整備に注力しています．

お客さまのオフィス回帰・ワークスタイル変革に伴い，オフィスのリノベーションや既存オフィスの課題への問合せを多くいただいており，特にWi-Fi関連での問合せも多く，NTT コミュニケーションズをはじめとするNTTドコモグループ，NTTグループ各社にもご支援をいただきながらお客さま提案を進めています．

2024年度は，文部科学省のGIGAスクール構想実現に向けた事業の１つである「GIGAスクール構想における教育現場の環境整備」で提供した当社のマルチプラットフォーム監視可視化のサービス「マルモ」を活用した案件で，NTT Com DD社からの紹介もいただき，初挑戦したCatalyst Meraki D-1グランプリに参加しました．

Catalyst Meraki D-1グランプリは，シスコシステムズのMeraki（ダッシュボード）およびCatalyst（ネットワーク製品）が公開しているAPI（Application Programming Interface）を利用して，サードパーティ製品やソリューションと組み合わせることで新たな価値を創造し，社会やビジネスに貢献できる作品を競い合うコンテストで，私たちはそのテーマの中から，「教育・労働改革」を選択しました．

小・中・高等学校の教育現場では，ネットワーク環境は整備されているにもかかわらず，いざPCやタブレットを活用した授業を行う際に，「通信状況が悪い，つながらない」，あるいは「今日はつながらないかもしれない」といったネットワークの混雑状況が怖くて結局紙の教材も授業に持って行ってしまう，という声がありました．この問題を解決するために，NTTビズリンクが提供している，マルチプラットフォーム監視可視化クラウド「マルモ」を活用することで，リアルタイムでのWi-Fi通信情報と，時間割型の混雑情報の閲覧を実現しています（**図４**）．

本コンテストでは，帯域を考慮したデジタル授業を実施するためのWi-Fi通信の利用状況を教職員が簡単に把握できる点や，ネットワーク管理ツールを操作したことがない教職員が，デジタル授業を運営する際に使うことを考慮した設計が評価され，アイデア賞受賞しました．

### ■今後の展望についてお聞かせください．

お客さまの新しいワークスタイルに対応したネットワークソリューションや，多様なデバイスの利用によるネットワークの効率的な管理と強固なセキュリティ対策など，お客さまの課題に寄り添った総合的なネットワークソリューションの提供を行い，社会やビジネスの発展に貢献していきたいです．

図４　Wi-Fi通信情報と，時間割型の混雑情報の閲覧を実現する学校Wi-Fi交通情報Web

## NTTビズリンク　ア・ラ・カ・ル・ト

### ■社会福祉法人ふる里学舎の月１回のパン販売＆経営幹部によるコーヒー提供「カフェ春日」

障害者福祉向上のため，共同生活支援，就労支援，放課後デイサービス等の多機能拠点として活動している「社会福祉法人ふる里学舎」で製造する手づくりパンを毎月１回お昼に販売を行っているとのことです（**写真**）．販売されているパンは，惣菜系から甘系まで種類が豊富で，価格もリーズナブルなため，当日は出遅れると欲しいパンが買えないほどの大盛況だそうです．また，パン販売の日に合わせて，定期的に「カフェ春日」と題し，浦社長自らがこだわり選んだコーヒー豆でいれたおいしいコーヒーを社員に振る舞っています．その他の幹部もエプロンをつけ，コーヒーサーブを手伝っているそうです．

写真　「カフェ春日」と手づくりパンの販売

URL https://journal.ntt.co.jp/article/33791
DOI https://doi.org/10.60249/25053101

# 目視での建物点検を画像異常検知AIで代替するための共同検証

NTTファシリティーズとLiLz株式会社（リルズ）は，施設所有者・管理者が直面する施設管理技術者の担い手不足や労務費高騰などの課題に対応するため，リルズの提供する画像異常検知AI（人工知能）「LiLz Guard（リルズガード）」を活用した検証プロジェクトを共同で開始しました．このプロジェクトは，2024年12月から東京・大阪エリアの管理建物13件を対象に，従来の目視点検業務の一部をAIによる代替をめざす国内初の試みです．本検証を通じて，2025年度からの本格運用を視野に入れた取り組みを展開し，建物点検のDX（デジタルトランスフォーメーション）を推進します．

## 建物維持管理における現状の課題

建物維持管理業界では，担い手不足と業務負担の増大が継続的な課題となっています．従来の目視点検は技術者の知識と経験に基づいて行われていますが，熟練技術者の不足，特に高齢化や新規担い手の減少により，建物点検業務の効率性と精度維持が難しくなっています．以下に建物点検業務の課題を述べます．

**■人的負担の増大**

目視点検は，膨大な設備や施設全体の状態を人の五感によって確認するため，点検業務に多くの時間を要します．さらに，建物維持管理業界では労働力不足が深刻化しており，点検者の負担が増加しています．点検業務は人の五感によるという性質上，DX（デジタルトランスフォーメーション）化による代替が難しく，効率化が進まないという構造的な課題も存在します．

**■ミスや見落としのリスク**

人的な作業には常にミス・エラー発生のリスクが伴い，特に劣化状態や経年変化など，微細な異常を見逃す可能性があります．これにより，設備の劣化が進行する一方で，トラブルの発見や対応が遅れるケースが生じています．

**■運用コストの増加**

技術者が建物の目視点検を行えるようになるにはある程度の経験と時間を要しますが，こうした経験を持つ熟練技術者の不足や労務費の高騰が，維持管理業務全体の運用コストを押し上げる要因となっています．このような状況は，企業や施設所有者にとって大きな負担をもたらしています．

こうした状況において，IoT（Internet of Things）技術やAI（人工知能）技術の進化に伴い，これらの課題を解消するためのソリューションが登場しつつあります．特に，画像異常検知技術のような新たなアプローチは，点検業務の効率化と品質向上を同時に実現する手段として注目されています．

## 共同検証の概要と目的

検証プロジェクトは，NTTファシリティーズとLiLz株式会社（リルズ）の協力により，建物点検業務のDX化を目的として実施しています．本プロジェクトは，以下の具体的なステップを含む段階的な実証を行っています．

**■初期実験（2023年度）**

NTTファシリティーズは，2023年度よりリルズと共同で，建物日常点検の，リルズの提供する画像異常検知AIである「LiLz Guard（リルズガード）」への代替検証に取り組んできました．維持管理現場の疑似環境としてモデル設備機械室でリルズガードの性能試験を実施しました．性能試験において異常状態を検知することができた日常点検項目は以下のとおりです．

・防火シャッター等付近の閉鎖障害物
・給水・汚水制御盤等のランプ故障・不点灯
・照明器具の不点灯個所
・配管・ドレンパン・設備機器等からの漏水
・天井，壁，床や設備機器等の外観破損・剥がれなど

検証の結果，技術者の目視精度以上（検出率97%）で異常を検知し，ビル運営の管理品質向上に寄与できることが確認できました（**図1**）．

**■「リルズガード」の管理建物への導入**

2024年度には，首都圏および関西エリアの13棟の管理建物を対象に，「リルズガード」を実運用環境に導入し，人による点検の異常検知率とAIによる異常検知率の有効性を比較検証し，現場環境下での信頼性と性能の評価を行っています．これらの検証データに基づき，システムの最適化と運用体制の整備を行い，2025年度からの本格運用開始をめざしています．

これらの検証は，熟練技術者による目視点検業務をAIで代替し，省力化と高精度化を同時に実現することを目的としています．また，迅速なトラブル対応や異常の早期発見を通じて，安全性と運用効率の向上をめざします．

## 検証に採用した画像異常検知AIの技術的特長

共同検証では，「導入の初期コストが抑制できること」「運用時のカメラ自体のメンテナンス作業の負担が少ないこと」「広範囲の建物設備に設置可能なこと」「点検用IoTカメラの初期設定に専門知識を要しないこと」を特長に持つ，「リルズガード」を採用しました．「リルズガード」の具体的な特長は下記のとおりです．

(a) 正常状態写真

(b) リルズガードの検知画像

図 1　閉鎖障害物の異常検知事例

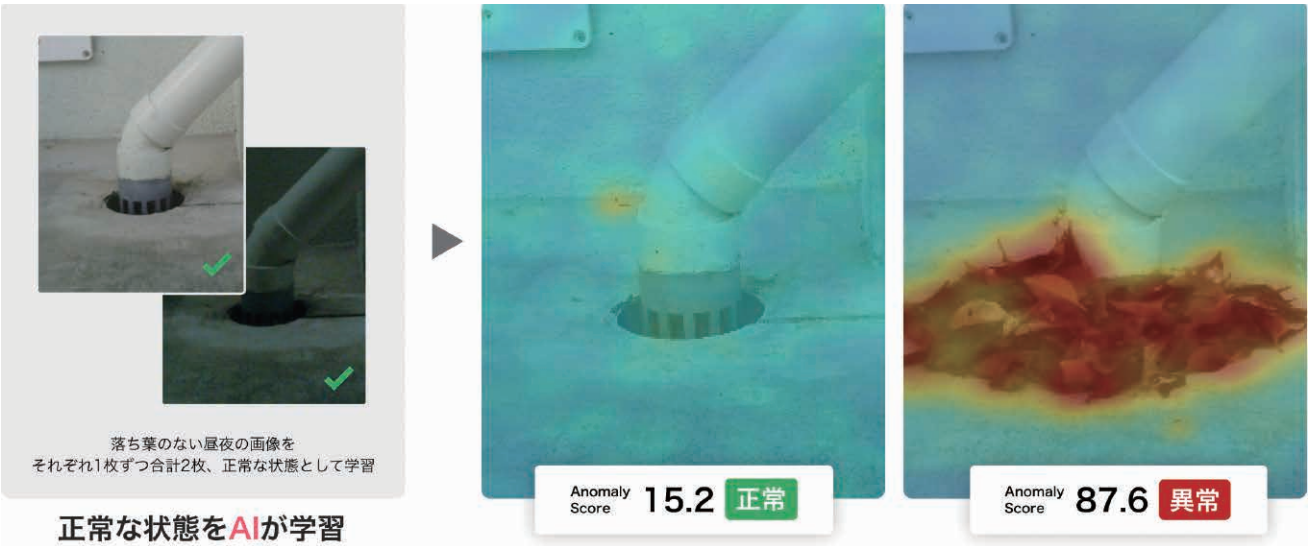



図 2　少量画像の学習による異常検知

**■点検用IoTカメラ**

- LTE（Long Term Evolution）通信モジュールおよびリチウムイオン電池を内蔵しており物理的な電源ネットワーク工事が不要
- 低消費電力設計により 1 日当り約 3 回の撮影頻度で充電なしで約 3 年間の継続使用が可能
- 外部信号を受信し自動撮影機能を持つIoTカメラへの代替も可能
- 外部信号受信機能を持っており外部からの撮影コントロールが可能

**■育成型画像異常検知AI**

- 4 枚の正常画像の学習により異常検知が可能な判定モデル（**図 2**）
- 異常画像の範囲や異常値の閾値をIoTカメラ単位に設定が可能
- 撮影画像の学習データへの追加による異常検知精度が継続的に向上

**■クラウドベースのインタフェース**

- ユーザによるクラウド上での異常検知IoTカメラの初期設定（**図 3**）

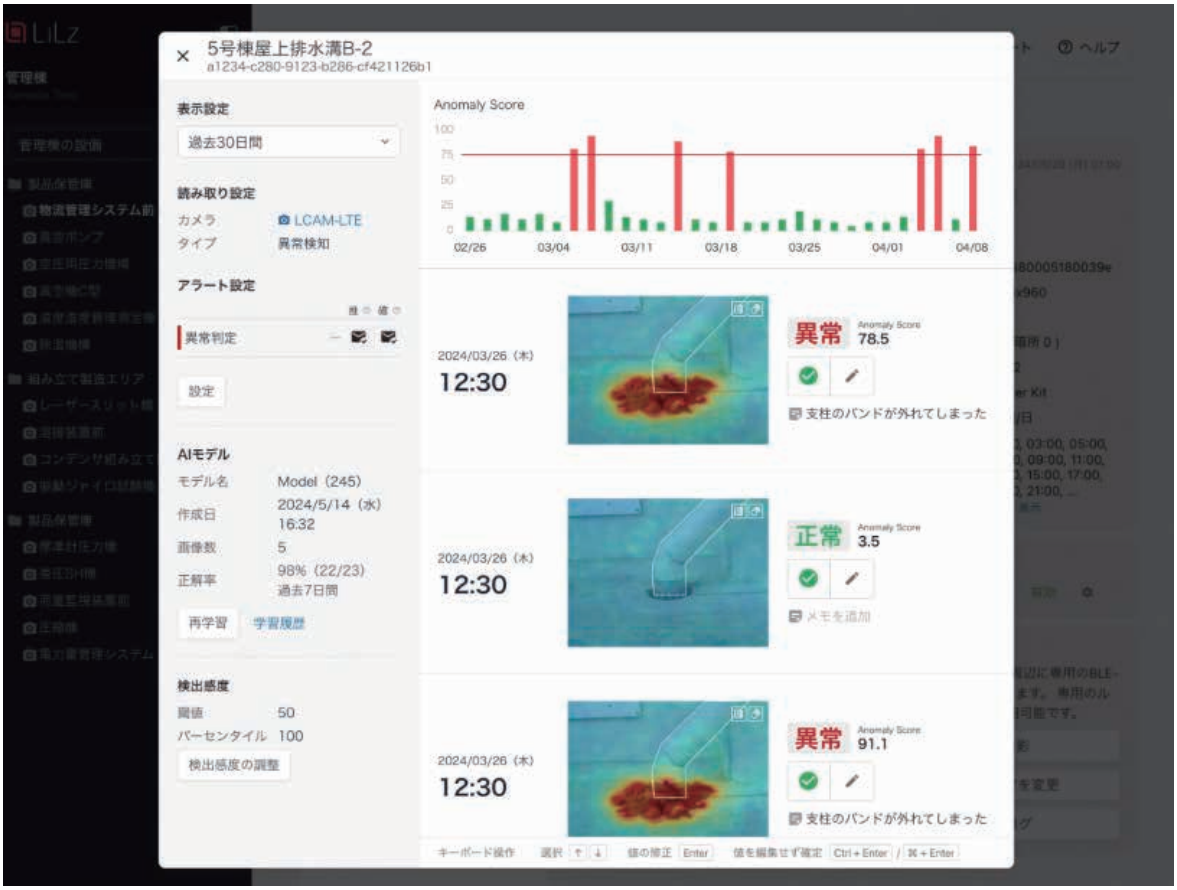



図3　クラウドでのインタフェース

**■異常通知機能**

・外部連携用API（Application Programming Interface）により，メールやチャットツールでのさまざまな異常通知が可能

## 今後の展望

本共同検証の次なるフェーズとして，NTTファシリティーズ管理物件13ビルにおけるPoC（Proof of Concept）を踏まえ，2025年度内にNTTファシリティーズ管理建物への本格運用を開始する見込みです．検証期間中に収集された運用データを基に，改善点を洗い出すとともに，最適な運用体制の構築をめざします．

また，目視以外の五感代替ソリューションも，本共同検証によって段階的に実証を進め，順次導入をめざしていきます．これにより，従来の人手による点検では把握しきれなかった異常状態の監視が可能となり，従来の人手による点検に代わる新たな手法の実現が期待されます．

## おわりに

NTTファシリティーズは，これまで技術者のノウハウに支えられて提供してきた安心で安全なサービスを今後も継続していくために，技術者の負担軽減とお客さまサービス品質の向上を両立させる建物維持管理のDXを推進しています．この取り組みにより，施設所有者や管理者が直面する課題の解決に貢献することをめざしています．

リルズとは今後も継続して共同検証を進め，五感点検を代替するIoT・AIソリューションの開発・提供を進めることで，建物維持管理業界の課題解決に貢献します．

**◆問い合わせ先**

NTTファシリティーズ
経営企画部　広報担当