

# NTT 技術ジャーナル

8 AUGUST  
2026  
Vol.38 No.8  
NTT



## 特集

シリコンバレーから世界へ：  
NTT Research 2.0に向けた取り組み  
つくばフォーラム2026に見る  
アクセスネットワークの研究開発

For the Future

社会基盤としてのデータセンタ:AI需要への対応と持続可能性(後編)

グループ企業探訪

NTT AI-CIX

from IOWN Global Forum

IOWN Global Forum アニュアルメンバーミーティング(シドニー)と活動の報告



4 特集1

## シリコンバレーから世界へ： NTT Research 2.0に向けた 取り組み



- 6 NTT Research 2.0: シリコンバレーの熱をNTT Groupへ
- 10 From Research to Reality——NTT Research 2.0で  
始動したビジネスインキュベーター「Scale Academy」と第1号プロジェクト「SaltGrain」
- 15 白紙のデバイスに光で機能を書き込むプログラマブルフォトリソ
- 20 ACIS——急性心不全の自律的な治療制御技術
- 24 知性の本質に迫る「AIの科学」
- 28 主役登場 Marc Jankowski NTT Research, Inc. Physics & Informatics Laboratories



30 特集2

## つくばフォーラム2026に見る アクセスネットワークの研究開発



- 32 アクセスネットワークで拓く未来 新たな価値創造とサステナブル社会への貢献
- 36 光とAIを軸に研究開発CoEをめざすNTT研究所  
——IOWN, tsuzumi, 光量子コンピュータの社会実装を通して
- 45 NTT西日本グループにおけるサービスとネットワークの過去・現在・未来
- 52 将来のアクセスネットワークを実現する研究開発の取り組み
- 58 CONNECT & SENSEによる無線アクセス研究開発
- 63 AI時代を支える光アクセスネットワーク技術

67 For the Future

## 社会基盤としてのデータセンタ： AI需要への対応と持続可能性（後編）

75 挑戦する研究者たち

永田 昌明

NTTコミュニケーション科学基礎研究所 上席特別研究員

LLM時代の機械翻訳の現在地  
——「次の単語の予測」から「推論」へ



特集

For the Future

80 明日のトップランナー

胡間 遼

NTTアクセスサービスシステム研究所 特別研究員

世界一となるチャンスがたくさんある  
新しいAPN実現とその先へ



特別企画

84 グループ企業探訪

株式会社 NTT AI-CIX

AIは業界を飛び越え、つながる「連鎖型AI」時代に  
——NTT AI-CIX設立の背景にある技術者の挑戦



挑戦する研究者たち

88 From IOWN Global Forum

IOWN Global Forum アニュアルメンバーミーティング(シドニー)と活動の報告

挑戦するイノベーター

92 Webサイト オリジナル記事の紹介

9月号予定  
編集後記

明日のトップランナー

グループ企業探訪

From

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>

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



グローバルスタンダード  
最前線

# シリコンバレーから世界へ： NTT Research 2.0に向けた 取り組み

2019年に米国シリコンバレーに設立したNTT Research, Inc.は、  
基礎研究に注力し研究成果を上げることで、NTTグループの技術ブランドを高める取り組みを行ってきた。  
本特集では、NTTグループのグローバルビジネスのさらなる発展に向けて、  
新たな社会の要請に合わせた研究や、シリコンバレー的に社会実装にもチャレンジする  
NTT Research 2.0構想について紹介する。

## NTT Research 2.0: シリコンバレーの熱をNTT Groupへ ——— 6

AI（人工知能）の大きな進展といった社会の変化に合わせて、研究テーマの見直しも必要となっている。次の10年間にに向けて、NTT Research, Inc. がNTTグループの発展に寄与するための展望について紹介する。

## From Research to Reality ——NTT Research 2.0で始動したビジネスインキュベーター 「Scale Academy」と第1号プロジェクト「SaltGrain」——— 10

NTT Research, Inc. は学術的な発明を市場価値へと転換するインキュベーター「Scale Academy」を立ち上げた。研究機関の新たな使命と、第1号プロジェクト「SaltGrain」が切り拓くデータセキュリティの可能性を紹介する。

## 白紙のデバイスに光で機能を書き込むプログラマブルフォトニクス – 15

光デバイスの機能（プログラム）を光を用いてリアルタイムに書き込むことができる、新方式のプログラマブルフォトニクスの開発について紹介する。

NTT Research 2.0

スタートアップビジネスインキュベーター

プログラマブルフォトリクス

バイオデジタルツイン

生成 AI

## ACIS——急性心不全の自律的な治療制御技術 20

NTT Research, Inc. のMedical & Health Informatics Laboratoriesでは、急性心不全を対象とした自律的治療システムの臨床応用をめざした研究開発に取り組んでいる。その研究背景と技術概要、および臨床応用に向けた取り組みについて紹介する。

## 知性の本質に迫る「AIの科学」 24

生成AIの急速な発展に伴う安全性の確保が課題となっている。AIの創発的能力やバイアスのメカニズムを解明し、社会実装を支える科学的基盤の構築をめざすための取り組みについて紹介する。

## 主役登場 Marc Jankowski

## NTT Research, Inc. Physics & Informatics Laboratories 28

薄膜二オプ酸リチウム（TFLN）における非線形光学の新たな可能性



# NTT Research 2.0: シリコンバレーの熱をNTT Groupへ

シリコンバレーでは、大学等の基礎研究成果を基にしたStartupの例がいくつもあります。NTT Research, Inc. (NTT Research) が過去7年間行ってきた基礎研究においても、ビジネス化可能な技術が生まれてきています。またAI（人工知能）の大きな進展のように、社会の変化に合わせて研究テーマの見直しも必要となっています。本稿では、次の10年間にに向けて、NTT Research がNTT Groupの発展に寄与するための展望について紹介します。

キーワード：#NTT Research 2.0, #シリコンバレー, #研究のビジネス化

おざわ ひであき<sup>†1</sup>  
小澤 英昭<sup>†1</sup>  
そうがわ てつおみ<sup>†2</sup>  
寒川 哲臣<sup>†2</sup>

NTT Research, Inc. CTO<sup>†1</sup>  
NTT Research, Inc. Physics &  
Informatics Laboratories 所長<sup>†2</sup>

## はじめに

2026年NTT Research, Inc. (NTT Research) は設立から7周年を迎えました。この会社は、2019年7月に、光量子計算、暗号の基礎理論、医療を目的としたBio Digital Twinという3つのテーマにおいて、基礎研究に特化した活動を行うという方針のもと、わずか10数名の研究者でスタートしました。その設立の目的は、基礎研究分野において世界トップレベルの研究を行うことで、NTTグループが世界に冠たる研究開発力、技術力を持っていることを示し、NTTグループの技術ブランドを世界規模でアピールしていく、ということにあります。

この7年間で研究者は56名にまで増え、Natureをはじめとして著名な学術誌や、世界トップレベルの国際会議で多数の研究発表を行うなどの成果を上げてきました。一方、7年間の継続的な研究の結果、学術的な基礎研究の結果生まれた技術の中

で、比較的近未来のビジネス展開が可能と考えられる技術や、国家プロジェクトの方向性と合致する研究活動も生まれつつあります。

またNTT Researchが位置するシリコンバレーは、大学や国立研究所の基礎研究から生まれた成果を基に、ビジネスを築き上げていく文化やエコシステムがあります。NTT Researchにおいても、基礎研究活動をさらに活発化させるとともに、基礎研究から生まれた技術をシリコンバレーのエコシステムの中でビジネス化していくことや国家プロジェクトへの参画による新たなビジネスチャンスの探索といった取り組みを行うところに活動範囲を広め、「NTT Research 2.0」として変革しようとしています。

## 7年間の成果

NTT Researchでは、アカデミアの中で貢献する研究としての成果を計測するために、良い論文を多く発

表するというKPI (Key Performance Indicator) を定めています。具体的には、論文が他者にどれくらい参照されたのかという指標を基にしたImpact Factorという数値を基準として「論文の質」を評価し、同領域の研究者であれば誰もが知っているレベルと認識される「5.0以上（同じような論文の参照を基準としたh5-medianで約70以上）」の論文を、ハイインパクトな論文と定めています。そのうえで、研究者1人当たりハイインパクトな論文を年間1本以上発表することを目標にしています（表）。

結果として、研究活動を開始した2019年7月から2026年3月までの約7年間に、ハイインパクトな論文を467件発表し、また、その中には、世界最高峰の科学誌として知られるNature 5件、Science 1件、Nature姉妹誌26件が含まれています。また、研究分野によっては論文誌ではなく特定の国際会議において発表を行うことが、アカデミ

アの中で技術的なポジション確立への貢献度が大きい場合もあります。暗号の基礎理論や、AI（人工知能）が、このような分野に当たります。暗号理論においては世界最高峰の国際会議といわれるCrypto、EuroCryptにおいて、他の世界的研究組織を大きく凌駕する件数の発表を行い、この分野における世界的研究リーダーとしての地位を確立しました。またAI分野においても、NeurIPS、ICML、ICLRという機械学習関連の国際会議で継続的に論文発表することで、NTTのブランド価値の向上を図っています。

NTT Researchでは、このような研究成果を上げ続けていくために、優れた研究者を世界中から採用することにも力を注ぎできました。Stanford大学、MITなどの米国の研究大学と呼ばれるトップレベルの大学には、米国だけでなく世界中からの優秀な学生が博士課程に進学してきています。NTT Researchにおいても、現在米国出身者が約30%、ヨーロッパ・中東の出身者が約20%、日本人約20%、日本以外のアジア・オセアニア約30%と世界中から研究者が集まる研究所となっています。

また優れた学術的な研究の中には、特許として知的財産を確保すべき技術も多数あり、この7年間に143件の特許を出願し、すでに41件の特許が登録されています。

表 研究者数と論文数の推移

| 年度          | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| ハイインパクトな論文数 | 18   | 39   | 68   | 83   | 82   | 92   | 85   |
| 年度末研究者数     | 29   | 37   | 43   | 48   | 49   | 50   | 55   |

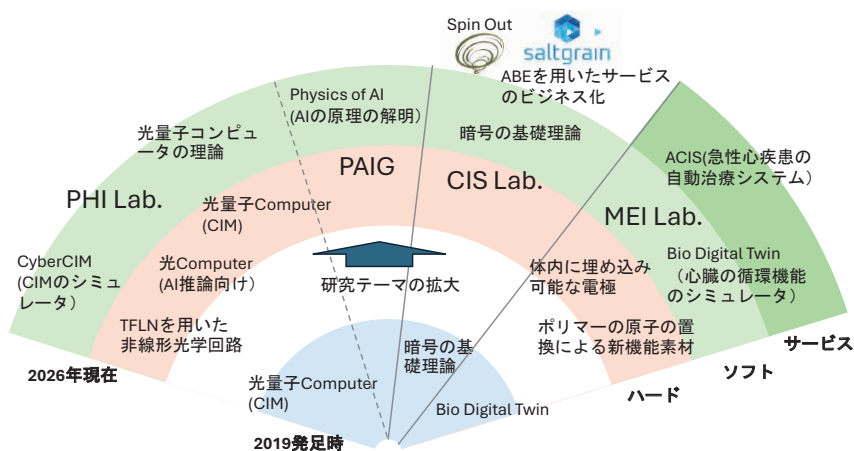


図1 発足時と現在の研究テーマの比較

## 基礎研究の今後

2019年にNTT Researchの研究テーマは、光量子計算、暗号の基礎理論、医療を目的としたBio Digital Twinという3つのテーマで始まりましたが、現在、図1に示すように、新素材の探求といったハードウェアに関する研究から、AIや医療分野のようなソフト的な研究まで幅広く活動を行っています。

光量子計算については、古典的なコンピュータが真空管から半導体、特にシリコンウエハ上の大規模集積回路（LSI）に移行することで実用性が向上したのと同じように、レンズを組み合わせた光学系の装置から、光を通す薄膜上に集積された光回路を作成する光LSIを実現することで、

光量子コンピュータ、並びにLLM（Large Language Models：大規模言語モデル）の推論を高速化・低消費電力化する光コンピュータの研究開発を新しい重点項目として取り組んできています。最近のこの研究成果の1つは、ハードウェアとしては1つの光デバイスに複数の機能を持たせることができる、すなわち、Programmableな光デバイスです。これについては、本特集の中で紹介します。

他には、急速に発展しているAIについては、AIのメカニズムや学習、推論の過程のダイナミズムを解析することにより、AIをブラックボックスとして扱うのではなく、AIの本質的な動作を解明することを行っています。この研究の大きなゴールは、

人間とAIが今後どのように共存・協調していくべきかという大きなテーマに対する解を見出していくことであり、この取り組みについても、本特集で紹介します。またBio Digital Twinの精度を高めるために、生体情報を正確に計測するための医療用の計測デバイスや、そのデバイスに必要な機能を持たせるための新素材の開発といった研究も推進しています。

このようにNTT Researchは、次の5年、10年後の社会の要請にこたえるために、新しいテーマを加えつつ研究開発に取り組んでいます。その中で2026年5月に、今まで7年間光コンピュータ、光量子計算の研究をリードしてきたPhysics & Informatics Laboratories (PHI Lab.) 所長の山本喜久に代わり、元NTT先端技術総合研究所所長の寒川哲臣を新たな所長として迎えています。

### PHI Lab.新所長からの挨拶

PHI Lab.ではこれまでコヒーレントイジングマシン (CIM: Coherent Ising Machine)<sup>\*1</sup>の研究基盤をつくとともに、次世代の光デバイスのプラットフォームとして期待されるTFLN (Thin-Film Lithium

Niobate: 薄膜リチウムナイオベート) とシリコンフォトニクス技術を融合した新しい光機能デバイスの研究を加速中です。CIMは単独の「最適化専用マシン」としてだけでなく、物理系を使ったサンプリング、確率的探索、生成モデル、組合せ最適化アクセラレータとして再定義したうえで、NTT物性科学基礎研究所とも連携し、当初の目的であった光量子ニューラルネットワークの実現に挑みます。TFLNベースの非線形集積フォトニクス技術は、AI時代のボトルネックとなる高効率なMAC (Multiply-accumulate calculation) 演算<sup>\*2</sup>・メモリ・通信・I/O・電力の課題解決に貢献するために強化していきます。

### NTT Research 2.0の取り組み

NTT Researchの設立の目的でもあるNTTグループの技術ブランドの向上のために、NTT Researchでは、自身の研究開発の成果に限らずNTTグループの研究開発、新サービスを基に、主に日本国外向けにNTTグループの技術力について、NTT ResearchのTechnology EventであるUpgrade (図2)や、事業会社からの依頼によるビジネスイベントでの講演、顧客向けの個別の講演といった活動を積極的に行ってきました。

技術力についてのマーケティング活動も重要ですが、この7年間の研

究活動の結果の中には、社会実装が可能と思われる成果も出てきています。シリコンバレーでは、大学や国立研究所で生まれた基礎研究の成果を基にしたStartupを育てていくエコシステムと文化があります。シリコンバレーという言葉自身、ベル研究所でトランジスタを発明したウィリアム・ショックレーが、Beckman Instruments (現 Beckman Coulter: 医療系のテスト装置の会社。創業者のBeckmanもカリフォルニア工科大学の教授からこの会社を興した)の子会社として、ショックレー半導体研究所 (Shockley Semiconductor Laboratory) を創設したことに由来しており、新しい技術をStartupとしてビジネス化していく文化は、Startupのつくり方が、大きな会社の子会社から、新しいビジネスに投資するVenture Capital主体のエコシステムへと変化してきた中でも連綿として続いています。一方で単にStartupとしてすぐに市場の中でビジネス化できるというよりは、国家プロジェクトのように社会の大きな方向性の中で、基礎研究から生まれた技術を社会実装に役立てたほうが良い場合もあり、このような取り組みに対してもNTT Researchの研究活動が組み込まれ始めています。

NTT Researchでは、今後も基礎研究については継続的に世界的な研究者に集ってもらいながらその活動をさらに加速化していきます。同時に、シリコンバレーのエコシステム

\*1 CIM: 光学技術を基にした組合せ最適化問題向け量子コンピュータ。

\*2 MAC 演算: 積和演算といい、積の和を求める処理で、ニューラルネットワークを基にしたAIで非常に多く用いられます。



図2 NTT Research, Technology Workshop: Upgrade

の中での技術のビジネス化や、国家プロジェクトによる近未来での社会実装の実現といった取り組みをNTT Research 2.0として総称し、2026年に新たな事業方針として制定しました。ビジネス化については、Scale Academyと呼ぶチームを立ち上げ、このチームが中心になりNTT Research発の技術をStartupのかたちとしてSpinout（特定の技術・サービスに注力する新会社）させるために、元の技術に関連機能を付加することで売り物として仕立てることや、最適なビジネスパートナーの開拓を行う活動を始めました。最初のビジネス化の取り組みは、NTT Research Cryptography & Information Security Laboratoriesで研究開発してきた暗号技術であるABE（Attribute-Based Encryption）を基にし、社内外での情報流通やAgent AIなどのデータの学習時に個人情報、機

密情報を守ること、情報流通の促進と個人情報・機密情報の保護を両立させるSaltGrainサービスです。この取り組みについても、本特集の中で紹介します。

また国家プロジェクトについては、日本の国立研究開発法人である産業技術総合研究所に協力し、PHI Lab.で進めているTFLN上に光の集積回路を作成し、センシングや演算などの機能を実現するプロジェクトを進めています。Medical & Health Informatics LaboratoriesにおいてもHarvard大学などと共に、米国における国立研究プロジェクトに対し、IPS細胞を基にした小児心臓疾患の患者に対する補助人工心臓の研究開発を行う予定です。

### 次の7年、10年に向けて

15年前には、概念として遠い将来AIが人間と同じように知的な処理が

できるのではないかとわれていましたが、2025年に現在のようなLLMやGenAIができるとは、とてもわれていませんでした。一方で研究の分野によっては、15年前も現在も基礎研究として着実に研究を進めて、ゴールに到達させる努力を必要とする研究もあります。NTT Researchの研究には、このどちらの側面も含まれていると考えています。

今までの7年の活動と経験をもとに、NTT Researchは時代にあった、未来の社会を見据えた基礎研究で世界をリードしNTTの技術ブランドを高めていくとともに、シリコンバレーならではのエコシステムの活用による社会実装の両輪で、NTTグループに貢献し続けていきたいと考えています。



（左から）小澤 英昭/ 寒川 哲臣

シリコンバレーでは基礎研究の成果を基に生まれたStartupがいくつもあります。Startupのチャレンジは失敗に終わることもありますが、シリコンバレーは多くの失敗や成功を繰り返して進んでいく熱量があります。NTT ResearchもNTT Research 2.0として、シリコンバレーの中でチャレンジしていきます。多くの経験、気付き、ネットワーク、成功、失敗をもとに、シリコンバレーにおける新しいビジネスを成功させる手法や、新しいビジネスを生み出していく熱を、NTTグループへ還元していきたいと考えています。

#### ◆問い合わせ先

NTT Research, Inc.



# From Research to Reality——NTT Research 2.0で始動したビジネスインキュベーター「Scale Academy」と第1号プロジェクト「SaltGrain」

基礎研究が生んだ知見は、社会に実装されて初めてInnovationとなります。NTT Research, Inc.は創設7年目を機に、学術的な発明を市場価値へと転換するインキュベーター「Scale Academy」を立ち上げました。本稿では、その背景にある研究機関の新たな使命と、第1号プロジェクト「SaltGrain」が切り拓くデータセキュリティの可能性について紹介します。

キーワード：#スタートアップビジネスインキュベーター、#属性ベース暗号（ABE）、#きめ細かなアクセス制御（Fine-Grained Access Control）

Bennett Indart

Fang Wu

ほ そ い ま さ よ し

細井 正善

NTT Research, Inc. Scale Academy

## 研究の力を社会へ届ける ——NTT Research 2.0 への転換

優れた基礎研究は、既存の社会課題の解決に直接貢献するだけでなく、まだ誰も認識していない原理や知見を明らかにし、将来の技術革新や新たな価値創造の源泉となります。

しかし、どれほど先駆的なInvention（発明）であっても、社会に実装され人々の手に届いて初めてInnovation（革新）となります。研究成果を確実に社会へ届けるこの橋渡しの仕組みこそが、NTT Research, Inc.（NTT Research）が今まさに構築しようとしているものです。

2026年4月、NTT Researchはシリコンバレーで開催した年次イベント「Upgrade 2026」において、スタートアップビジネスインキュベーター「Scale Academy」の設立と、その第1号プロジェクト

「SaltGrain」を発表しました（図1、2）。本稿では、Scale Academyのコンセプトと運営体制、およびSaltGrainの技術的特長と社会的意

義について紹介します。

NTT Researchはこれまで基礎研究に重点を置いた研究機関として、光・量子コンピュータ、暗号理論、



図1 Scale Academyのコンセプト



図2 SaltGrainのロゴ

医療情報処理、AI（人工知能）の各分野において、世界のパートナーとともに最先端の研究を推進し、着実に成果を積み上げてきました。その中で暗号分野では、世界最高峰の暗号国際会議であるCryptoやEurocryptにおいて全採択論文の約15%を占めるなど、他の研究機関・大学を凌駕する実績を誇っています。

その一方で、生まれた技術を事業へつなげるという課題は常に意識されてきました。こうした背景から、NTT Researchは創設7年目を機に「NTT Research 2.0」を宣言し、基礎研究のさらなる強化と並行して、有望な技術資産を確実に市場へ届けることを正式な使命として加えました。「Research to Reality」の歩みにおける次のステップとして、Scale AcademyはNTT Researchが蓄積してきたInventionを選定・評価・推進し、より多くの人々や社会に届くInnovationへと昇華させるエンジンとして立ち上げられました。

## Scale Academy——研究とビジネスの橋を架ける

### ■ミッションと体制

Scale Academyのミッションは「強いビジネスポテンシャルを持つ

技術を特定し、事業の初期成功フェーズへと導くこと」です。NTTグループ内で生まれた科学的発見や独自コンセプトを商業化・スケール化するための専門的なビジネスインキュベーターとして位置付けられています。

まずはNTT Research自身が保有する技術資産を対象に取り組みを開始し、将来的にはNTT R&DやNTTグループ各社のラボとの連携へと範囲を広げていく構想を持っています。責任者はBennett Indart（SVP of Business Innovation, NTT Research）であり、ビジネス開発・アプリケーション開発・投資判断・事業化を担う専任チームを編成して取り組みを進めています。

### ■技術を市場価値へ転換するプロセス

Scale Academyは技術の発掘（Discovery）から育成（Incubate）、商業化（Commercialize）、スケール（Scale）という段階的プロセスで技術を市場へと導きます。各段階にはマイルストーンとファンディングゲートを設け、規律ある意思決定を担保する設計となっています。

重要なのは、このプロセスが「優れた技術が必ずしも市場を生むわけではない」という先端的な技術研究を基にした事業化の本質を踏まえた設計になっている点です。要素技術

はその組み合わせ方によって適用可能なユースケースが大きく広がる一方、可能性が広がりすぎることで注力すべき領域がみえにくくなる側面もあります。そのため、要素技術を具体的な機能へと落とし込み、真に価値あるユースケースを丁寧に探索・検証するプロセスが不可欠です。InventionがInnovationへと至る成功確率を高めるこうした知見を、Scale Academyは組織として蓄積していきます。

### ■シリコンバレーを起点としたオープンな事業展開

NTT Researchがシリコンバレーに立地するという環境の優位を、Scale Academyは最大限に活かします。VC（ベンチャーキャピタル）との早期連携を前提とした資本設計、グローバルマーケットエコシステムへの即時リーチ、将来的なスピンアウト（独立会社化）も視野に入れた柔軟な出口戦略——これらはすべて、シリコンバレーというエコシステムの中でこそ自然に実現できるアプローチです。

有望な技術に対して外部資本や外部パートナーとの協業も積極的に取り込みながら、NTTグループの研究資産をより広く社会へ届けていきます。こうした開かれた姿勢こそが、Scale Academyがめざす新しい研

究機関の役割を体現しています。

## 第1号プロジェクト 「SaltGrain」——暗号理論 の発明がデータセキュリティ を変える

### ■ ABEの誕生と進化——基礎研究 が創造した Inventionの軌跡

SaltGrainの中核技術は、属性ベース暗号（ABE：Attribute-Based Encryption）です。ABEは2004年にUCLAのAmit Sahai博士と、現在はNTT ResearchのCIS（Cryptography & Information Security）LaboratoriesのDirectorを務めるBrent Waters博士が共同提唱した暗号方式であり、2020年には国際暗号学会（IACR：International Association for Cryptologic Research）からTest of Time Awardを受賞しています<sup>(1)</sup>。

発表当時は1つの暗号理論に過ぎませんでしたが、その後20年にわたる研究深化の中でデジタルデータの爆発的増大・クラウドシフト・AIの台頭という技術環境の大きな変化と交差し、今まさにその真価を発揮する時を迎えています。基礎研究が将来のトレンドを先んじて創造し得ることを示す、象徴的な事例です。

ABEは暗号文とアクセスポリシーを一体化する方式であり、復号の可否をユーザの「属性（役職・所属・許可レベル等）」と「ポリシー条件」の一致によって制御します。従来の公開鍵暗号が「1対1」の鍵管理を前提とするのに対して、ABEは「1対多・条件付き」の柔軟なアクセス制御を暗号レベルで実現する点に根本的な違いがあります。複数年にわたり、研究者はポスト量子暗号を含むABEの性能と機能の充実化を進めてきました。その結果、技術の成熟度は着実に高められ、Scale Academyの第1号プロジェクトとして事業化の軌道に乗せました。

### ■ 「データそのもの」を守る—— SaltGrainの技術的特長

従来のセキュリティアーキテクチャは「境界防御」を基本としてきました。しかし、データが組織の境界の外に出た瞬間に保護が保証されなくなるという根本的な脆弱性を抱えており、クラウド・マルチベンダ環境やAIを活用した業務フローが常態化した今日、この限界はより深刻さを増しています。

従来のアクセス制御手法であるRBAC（ロールベースアクセス制御）やABAC（属性ベースアクセス制御）は、クラウド上でのきめ細かなアクセス管理を可能にしますが、データ

自体は暗号化されていないため、システムへ侵入された場合にはデータがそのまま漏洩するリスクがあります。一方、共通鍵暗号によるデータ暗号化だけでは、鍵を保有するすべての者がデータを復号できてしまうため、データがクラウド外へ持ち出された場合の制御が困難になることがあります。

SaltGrainはABEの仕組みによってこの両方の課題を同時に解決します。データを暗号化しながら、復号の可否をユーザの属性とポリシー条件の一致によって制御するため、正当な権限を持たない者はたとえデータを入手しても復号することができません。これにより、データ層レベルのきめ細かなアクセス制御（Fine-Grained Access Control）と、データそのものの暗号化保護を一体的に実現します。テキスト・画像・動画等の形式を問わず、ファイル内の特定コンテンツ単位での選択的保護にも対応します。さらにポスト量子暗号（PQC：Post-Quantum Cryptography）への対応も実装済みであり、量子コンピュータが実用化される時代を見据えた長期的な暗号安全性を担保しています。なお、製品名「SaltGrain」は、「Salt（ハッシュセキュリティの強化を意味する暗号用語）」と「Grain（ABEが実

現する粒度の細かいアクセス制御)」を組み合わせた命名です。SaltGrainのアーキテクチャは、ABE 暗号エンジン・ポリシー管理基盤・鍵管理システムを中核コンポーネントとして構成されています。既存のIAM (Identity and Access Management) システムなどとのAPIによる統合を前提とした設計となっており、既存システムへの導入障壁を低減しています。また、ABEの主要な差別化機能の1つである複数の認証局との接続を可能とすることで、複数組織にまたがるデータ共有においても、各組織が独立したポリシー管理権限を持つアクセス制御

を実現しています。

### ■AI エージェント時代のデータ保護基盤として

生成AI・AIエージェントの急速な普及は、企業のデータ活用に大きな恩恵をもたらす一方で、データセキュリティの観点から新たな課題を生み出しています。従来のセキュリティ設計は「人」がデータにアクセスすることを前提としていましたが、AI エージェントが自律的に大量のデータを参照・処理する環境では、アクセス主体の多様化と処理速度の飛躍的な向上により、意図しないデータ漏洩や不正利用のリスクが質的に変化しています。境界防御や人

手による監視では追いつかない、新たなデータ保護の仕組みが求められているのはこのためです。

SaltGrainはABEの仕組みを活用することで、AIエージェントがアクセスできる情報の範囲を属性・ポリシーレベルで精密に制御します。その適用は複数のシナリオにわたります。

RAG (Retrieval-Augmented Generation) 環境では、ドキュメントの検索結果をABEで暗号化した状態でAIに渡し、利用者の属性に応じて復号する方式を採ることが考えられます(図3)。これにより、同一のRAGシステムを使用してい

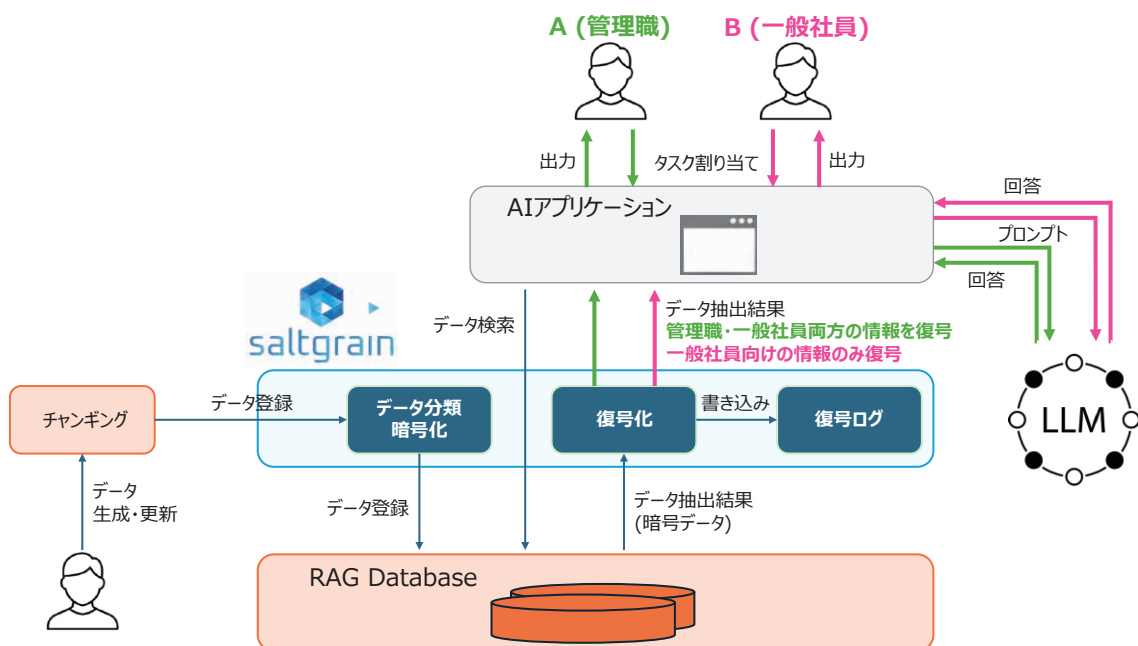


図3 RAG環境におけるABEの活用

ても、利用者の権限に応じて参照できる情報の範囲が暗号レベルで制御され、機密情報と非機密情報が混在するドキュメント群からの意図しない情報流出を防ぐことができます。マルチエージェント環境においては、役割の異なるAIエージェントそれぞれに対して、その役割に応じたデータだけを復号・入力として与えることが可能になります。

さらに、SaltGrainが備える復号ログ機構により、「いつ・どのAIエージェントが・どのデータに・どのような権限でアクセスしたか」を記録することができます。AIエージェントの行動を可視化・監査可能な状態に置くこのアプローチは、AIガバナンスの観点からも重要な意義を持ちます。AIワークフロー上の入力・出力双方を保護対象とすることで、「AIを安全に活用するための基盤」として機能します。

「データ活用とセキュリティのトレードオフをなくす」というSaltGrainの価値提案は、潜在顧客との対話においても強い共感を生み出しています。AIやDX（デジタルトランスフォーメーション）の推進を加速したいが、データの安全な取り扱いと活用の両立という課題に直面している企業・組織から大きな期待が寄せられており、多くの個人情報

報や機密データを扱う金融・医療・政府機関・製造業など、あらゆる業種においてその需要は広がりを見せています。

### 研究機関の新たな使命—— Invention を Innovation へ、そして社会実装へ

2004年の一本の論文から始まったABEというInventionが、20年余りの歳月を経てSaltGrainというInnovationとして市場に届こうとしています。これは偶然ではなく、基礎研究が将来のトレンドを創造し得るという確信のもとで研究を積み重ねてきた結果です。NTT Researchがシリコンバレーに立地し、VCエコシステムやグローバル市場と直接接続できる環境にあるからこそ、Scale Academyはその第一歩を踏み出すことができました。

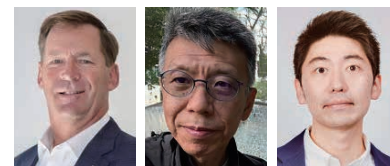
先端的な技術研究を基にした事業化には、通常の新規事業開発とは根本的に異なる困難が伴います。技術の優位性だけでは市場は生まれず、問題・技術・価値・顧客という要素がすべてそろって初めてビジネスが成立します。Scale Academyはこの事業化の本質を理解したうえで、Inventionが確実に事業価値を持つInnovationへと結実するための成

功確率を高める知見と体制を組織として蓄積していきます。

基礎研究は、単に社会の課題を解決するだけでなく、まだ誰もみえていない将来のトレンドを先んじて創造します。そのようなInventionを、世界に実装されたInnovationへと変換し続ける場として、Scale AcademyはNTT Research 2.0の中核を担っていきます。

#### ■参考文献

(1) <https://www.iacr.org/testovertime/>



(左から) Bennett Indart/ Fang Wu/  
細井 正善

SaltGrainのプロジェクトを推進しながら事業化のノウハウを積み上げ、Scale Academyの取り組みをさらに具体化・拡大していく——その意気込みはチーム全体に共有されています。「Our work to upgrade reality」——この言葉を体現するScale Academyの挑戦と、そこから生まれる次のInnovationに引き続き注目していただきたいと思います。

#### ◆問い合わせ先

NTT Research, Inc.



# 白紙のデバイスに光で機能を書き込む プログラマブルフォトンクス

本稿では、光デバイスの機能（プログラム）を光を用いてリアルタイムに書き込むことができる新方式のプログラマブルフォトンクスの開発について紹介します。このデバイスは製造時には何の機能も持たない、白紙の板のような形状をしています。利用時にその表面に光パターンを照射することで任意の機能を書き込むことができます。これにより、1つのチップで数多くの複雑な機能を一挙に実装することが可能になりました。光コンピューティングや光量子への応用が期待されています。

キーワード：#プログラマブルフォトンクス、#光量子、#光コンピューティング

## 「彫刻」としての現代ナノ フォトンクスとその課題

現代社会において、光の技術は社会のあらゆる場面で利用されています。その応用範囲は光通信、センシング、イメージングなど従来からの応用に加え、現代社会で新たに登場したAI（人工知能）データセンタや量子技術にまで急速に拡大しています。このような需要にこたえ、光デバイスもより洗練された高度かつ複雑な構造を持つようになってきており、世界の最先端を行く光集積回路の美しさには息を呑むものがあります。

このような光デバイスは程度の差こそあれ、原材料の構造を複雑なナノ構造に加工する「彫刻」のような方式で作成されており、デバイスの持つ形そのものに機能が彫り込まれています。これまでの光技術、特に微細な構造を作成することを志向するナノフォトンクスは、このような微細加工の技術をより高度に、正確

に、最適に進歩させることによって発展を遂げてきました。

この光デバイスを「彫刻」として作成するパラダイムは現代まで大きな成功を収めてきた一方で、現代社会での複雑化する課題へ対応しようとした際にその限界も明らかになってきました。彫刻を元の石に戻すことができないように、一度作成した光デバイスはあらかじめ決められた1つの機能しか満たすことができません。また、光デバイスの作成時のエラーはそのまま機能の欠陥となり、使用現場での要求・環境の変化などにも対応が難しくなります。さらに、デバイスの設計・作成・テストに長い時間を要するため、研究開発は長期化し、コストも増大することとなります。上記のような弱点は、光技術に要求される機能が複雑化・高度化していく中で致命的な問題となり得ます。

やなぎもと りょうたつ  
柳本 凌達

Martin M. Stein

NTT Research, Inc.  
Physics & Informatics Laboratories

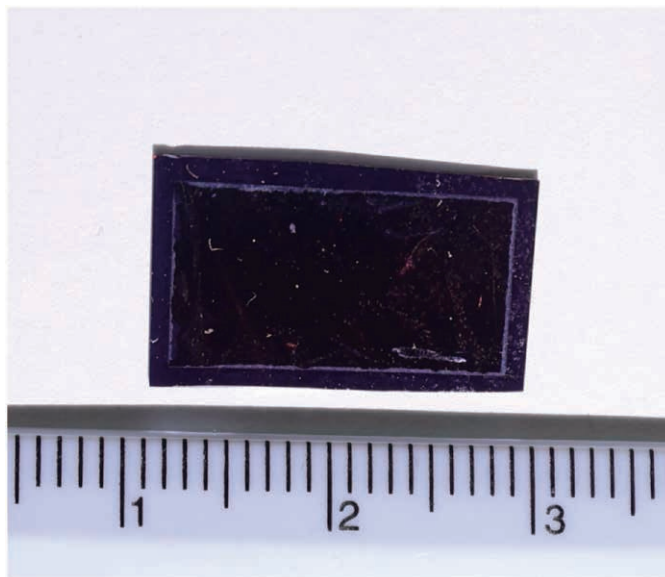
## 何者でもないからこそ何者 にでもなれる光デバイス

これらの問題に対応するため、NTT Research, Inc.ではCornell大学と共同で全く逆のアプローチを取ることを考えました。すなわち、作成段階では可能な限り光デバイスを設計せず、つくり込まず、最適化もせず、「白紙」のような形で完成させます。そしてこのデバイスに、運用段階で必要な機能をリアルタイムで書き込むというアイデアです。私たちが作成したデバイスの写真を図1に示します。極めて複雑な光回路から構成される従来のナノフォトンクスと異なり、何の構造もない、拍子抜けするほどシンプルな白紙の板であることが見て取れるかと思います。しかしながらこのデバイスは何の機能も持たずにつくられているからこそ、何にでもなれる可能性を秘めているのです。ここではこのデバイスを「白紙プログラマブルフォトンクス」と呼びます。「プログラ

マブル」は、機能を運用時にプログラムのようリアルタイムで書き込めることを指しています。

白紙プログラマブルフォトニクスは、従来のプログラマブルフォトニクスと同様の課題の解決をめざしつつも、正反対のアプローチをとっています。従来の方式では、あたかもFPGA（Field Programmable Gate Array）のように複雑かつ精巧な大規模光回路を作成し、その回路に多くの自由パラメータを持たせていました。これにより、デバイスの利用時にそれらの自由パラメータを任意に設定することで回路を切り替え、機能を変化させることができるようになるのです。一方で白紙プログラマブルフォトニクスは、ベースとなる光回路さえもつくり込まず、すべてを運用時に、白紙状態のデバイスに書き込むという点で正反対の設計思想となっているのです。

白紙プログラマブルフォトニクスの動作原理を図2に示します。このデバイスの基部は、シリコン基盤の上に作成された板型の二次元光導路で構成されており、この段階ではただ光を通すことのできる板に過ぎません。重要なのはその上に積層された光導電体の層と透明電極です。デバイスを運用する際には、透明電極と基盤の間に電圧をかけ、さらに上部から緑色光のパターンを照射します。ここで光導電体は緑色光を吸収



参考文献(2) R. Yanagimoto et al.: "Programmable on-chip nonlinear photonics," Nature, Vol.649, pp.330-337, 2026. より抜粋.

図1 実際の白紙プログラマブルフォトニクスの写真

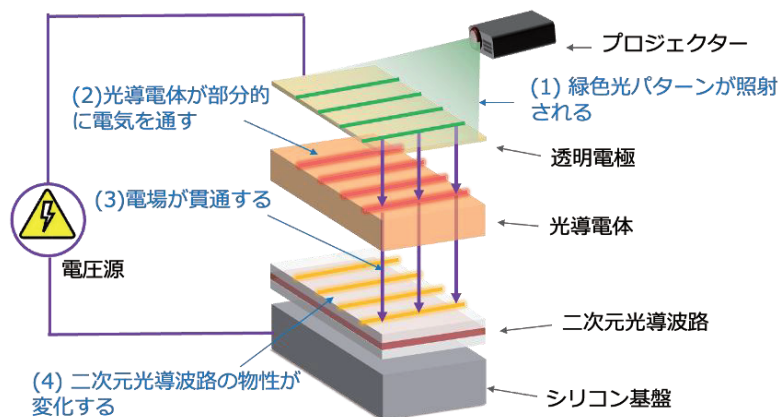


図2 白紙プログラマブルフォトニクスの動作原理

することで、光が当たった部分だけが電気を通すようになります。これにより、照射した光のパターンに対応した電場の分布がつけられ、それが二次元光導路上に印加されることになります。一般に物質は電場が印加されるとその物性を変化させます。

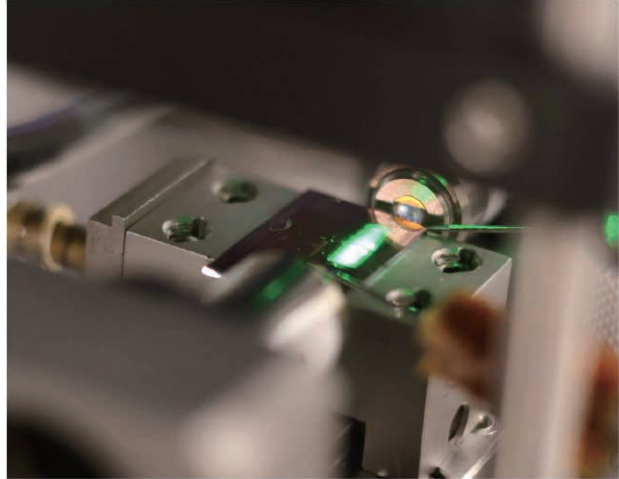
そのため、照射する光のパターン→電場のパターン→物性の変化パターン、と同等のパターンが引き継がれ、結果として光のパターンを用いてデバイスの機能を自在に書き換えることが可能になります。直感的には、ここでの光の照射パターンはデバイ

スに機能を書き込むプログラムの役割を果たしています。光の照射パターンはプロジェクターによって作成されており、100万近い数のパラメータを、各ピクセル数マイクロンの解像度で、毎秒10回程度更新することができます。図3に実際の実験装置の様子を示します。

今回の研究では二次元光導路のコア材質として、ニオブ酸リチウムと窒化珪素を用いた2種類のデバイスを作成しました。前者では電気光学効果によって、照射した光のパターンと同じ形状の屈折率の変化を生み出すことができます。後者では、電界によって二次的非線形光学効果が誘起され、自在に光の色を変換できるようになります。以下ではこれらの2つのデバイスによる実証実験の内容を説明します。

### 光によってプログラムを書き込む光コンピューティングの実証

光技術によるブレークスルーが期待されている大きな社会課題として、AIデータセンタにおけるエネルギーコストの爆発があります。特に光を用いた新たなコンピューティングの形には大きな期待がかかっています。光の持つユニークな計算能力について直感的に理解するには、眼鏡を例に考えると分かりやすいかもしれま



緑色光はミクロンスケールの複雑なパターンを有している

図3 デバイス表面に投影する緑色光パターンによって機能を書き込んでいる様子

せん。眼鏡はぼやけた画像をシャープな画像に変換する画像処理計算装置であると考えられます。特筆すべきは、眼鏡がこの複雑なタスクを、一切のエネルギーを使うことなく、膨大なデータ量に対して休むことなく実行しているということです。この例は、光がある種の計算タスクに対して極めて効率的な計算能力を提供できることを示唆しています。

私たちの作成したニオブ酸リチウムを利用したプログラマブルフォトリクス上では、自由に光の屈折率分布を変化させることができます。これは直感的には、極めて複雑な形状の「眼鏡」を自在に実現できることに対応します。Nature Physics誌に掲載された今回の研究結果では、この機能を用いて光を用いた機械学習を実証しました<sup>(1)</sup>。

一例としては、デバイスに入力す

る光に手書き数字の画像情報をエンコードし、その画像認識処理を行う実証を行いました。ここでは、入力された光がデバイスを通じた後に、対応した手書き数字の値によって別の場所に集光されるように、緑色光の照射パターンが最適化されています。すなわち緑色光の照射パターンが「手書き数字を認識するプログラム」を書き込んでいる形になっているのです。結果としてMNIST (Modified National Institute of Standards and Technology database) データセットで86%の画像認識精度を実現しました。

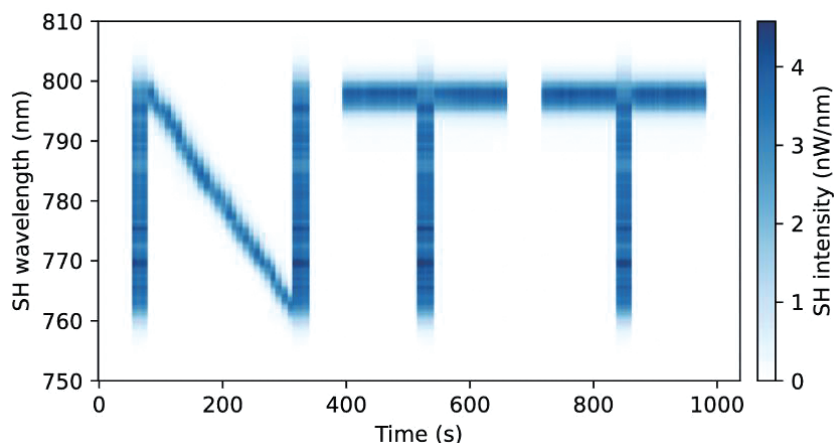
この実証において示されたような光コンピューティングへの応用には、デバイスが「プログラマブル」であることが非常に重要となります。この1番目の理由としては、コンピュータとしての性質上、複数のタ

スクをこなすことが求められる場面が多くあるからです。私たちのデバイスでは、緑色光の照射パターンを切り替えることで、例えば「音声認識」のような別のタスクを実装できます。2 番目の理由として、光コンピューティングにおいては、要望する計算タスクに対応するデバイスのパラメータを学習によって最適化する必要があるからです。プログラマブルなデバイスであれば、その都度一から新しいデバイスを作成する必要なく、その場でパラメータを最適化することが可能になります。

最後に重要なのは白紙プログラマブルフォトンクスが計算に要するエネルギーについてです。実際の「眼鏡」とは異なり、白紙プログラマブルフォトンクスではその機能を維持するために緑色光のパターンを常に照射し続ける必要があります（機能の揮発性）。現状では最低でも10 mW程度の光エネルギーが必要となっています。ただしこのエネルギーコストはデバイスの行う計算量には比例しない一定の値であり、入力光信号をよりスケールアップすることによって、単位計算量当りのエネルギー消費を押し下げることができます。

### 自在に光の色を変えるプログラマブル非線形光学の実証

私たちが普段目にしている光学は



白紙プログラマブルフォトンクス上で非線形光学効果（第二次高調波発生）を制御することで、任意の光スペクトルを生成し、それをリアルタイムで切り替えることが可能。ここでは光のスペクトルの時間トレース上に「NTT」の文字をつくり出すことのできる程度の制御を実現。

参考文献 (2) R. Yanagimoto et al.: "Programmable on-chip nonlinear photonics," *Nature*, Vol.649, pp.330-337, 2026. より抜粋。

SH: Second harmonics

図 4 白紙プログラマブルフォトンクス上で非線形光学効果

一般に「線形」な光学と呼ばれています。これは光が互いにぶつからず、相互作用をしないことを意味しています（空中で懐中電灯の光をクロスさせても光どうしがぶつからない状況をイメージしていただくと分かりやすいかと思います）。一方で、特殊な「非線形」な媒質中では光が強く相互作用をし、その結果光が光を曲げるなど、通常の線形光学では不可能な機能を実現することができま。例えば光の色を変化させる波長変換や、量子コンピュータに重要な量子もつれを持った光の作成、光周波数コムの実現などにはこのような非線形光学が必須となります。しかしながらこれまで、非線形光学デバイスの機能は主に作成時に固定され、

それによって応用範囲が狭められてしまっていました。

Nature 誌に掲載された私たちの研究では、窒化珪素のコアを用いた白紙プログラマブルフォトンクスによって、非線形光学効果を自在に操ることができることを実証しました<sup>(2), (3)</sup>。例えば図 4 にあるようにリアルタイムで光のスペクトルを自由な形に整形したり、光を色によって別の位置に集光したりすることができるようになり、さらには従来のデバイスでは動作が不可能なレベルの環境変化に対応できる機能を実証したりすることが可能になりました。ここでこれらの機能はすべてたった 1 つのデバイス上で、プログラムに対応する緑色光の照射パターンを変

化させることによって実現されています。

将来的にはデバイス機能をより向上させることで、自在な量子もつれを持った量子光を生成できるプログラマブルな量子光源や、量子インターネットに活用できる量子シグナルの波長変換などにも応用できると期待されています。

## 未来の光学に向けて

今回の研究では一切の構造をつくり込まず、すべての機能をデバイスの使用タイミングで光を用いて書き込む「白紙プログラマブルフォトリクス」の原理実証実験を行いました。具体的にはニオブ酸リチウムと窒化珪素をコアに用いた2種類のデバイスを作成し、それぞれでプログラマブルな屈折率と非線形効果を実現しています。機能としては基礎的な光による機械学習、行列ベクトル積の計算、リアルタイムでの広帯域可変スペクトル光の生成などが実証されました。一方で、これらは原理的に実現可能な無数の機能のほんの一部にすぎません。光デバイスの利用現場で、リアルタイムで機能を再設定できるという能力は、これまでにない光デバイスの開発・応用方式を切り拓く可能性を秘めています。

例えば従来の方式であればあらかじめ精密にデバイスの機能を設計・

作成しなければなりません。プログラマブルなデバイスであれば白紙の状態です。製品を送り出し、現場でユーザからのフィードバックを基に自動的に機能を逆設計する、というアプローチが可能になります。これにより利用現場での環境や用途の変化にも柔軟に対応することが可能になり、従来では不可能であったような範囲まで応用の可能性がみえてきます。

一方で私たちのアプローチが広く実用に至るまでには、改善が必要な要素がいくつか残っています。特に現状では「どんな機能でも実装できる代わりに、どの機能も性能が低い」という、器用貧乏な側面があります。例えば光コンピューティングの応用については、いまだに計算可能な規模は電気回路に比べると小さく、非線形光学応用についても波長変換効率は低い値にとどまっています。今後、真にあらゆる機能を万能に実装できるようになるためには、デバイス、物性、光学系の側面からさらなる研究・開発が重要です。

歴史的にも社会課題の変遷とともに技術は大きく変化してきました。数十年の先にある光デバイスも、現代のパラダイムの延長にないような予想不可能なことも十分考えられます。今は奇異なアプローチにみえるかもしれない私たちの研究ですが、これからの光学を考えるうえでの1

つの未来予想図となれば嬉しいです。

### 参考文献

- (1) T. Onodera, M. M. Stein et al.: "Arbitrary control over multimode wave propagation for machine learning," *Nature Physics*, Vol.22, pp.164-171, 2026.
- (2) R. Yanagimoto et al.: "Programmable on-chip nonlinear photonics," *Nature*, Vol.649, pp.330-337, 2026.
- (3) K. Srinivasan: "Shape-shifting electrodes tune optical-frequency converter," *Nature*, Vol.649, pp.298-300, 2026.



(左から) 柳本 凌達 / Martin M. Stein

NTT Research Physics & Informatics Laboratoriesでは、光技術の持つ可能性を今までにない方向に推し進めるべく、物理、量子、アルゴリズム、ハードウェアなどさまざまな方向から研究開発を行っています。現在大学との共同研究も積極的に行っています。

### ◆問い合わせ先

NTT Research, Inc.



# ACIS —— 急性心不全の自律的な治療制御技術

NTT Research, Inc. Medical & Health Informatics Laboratoriesでは、急性心不全を対象とした自律的な治療システムの臨床応用をめざした研究開発に取り組んでいます。薬剤や医療機器を統合的に制御する治療アルゴリズムと、患者ごとの循環状態を再現するバイオデジタルツイン技術の融合により、複雑な治療判断を支援する新たな医療技術の実現をめざしています。本稿では、その研究背景と技術概要、および臨床応用に向けた取り組みについて紹介します。

キーワード：#治療制御、#バイオデジタルツイン、#急性心不全

かたおか やすゆき  
片岡 泰之

NTT Research, Inc. Medical & Health Informatics Laboratories

## 急性心不全治療の難しさ

心不全は高齢化に伴い患者数が増加しており、日本では2030年ごろに130万人に達すると予測されています。この状況は「心不全パンデミック」<sup>(1)</sup>とも呼ばれ、社会的課題として注目されています。その中でも急性心不全は、突然の循環不全により生命を脅かす重篤な病態であり、迅速かつ適切な治療介入が求められます。

しかし、急性心不全の治療は、「血圧を上げる」「血流量を増やす」といった単純な対応では十分ではありません。心臓への負担を抑えながら、全身の臓器へ適切に血液を循環させる必要があるため、臨床現場では複数の薬剤や機械補助を組み合わせた複雑な治療判断が行われています。例えば、強心薬は血圧や血流量を改善する一方で、心筋酸素消費量を増加させ、心臓への負担を高める可能性があります。逆に心臓を休ませようとすると、全身への血流が不足する場合があります。このように、急性心不全治療には複数の治療目標間のト

レードオフが存在します。さらに、患者ごとの病態差、集中治療室（ICU）における計測情報の制約、薬剤や補助循環装置の複雑な相互作用などにより、急性心不全治療の自律化は、次世代医療の実現に向けた重要な研究課題となっています。

## 制御問題としての心不全治療

急性心不全の治療を制御工学の観点からみると、大きく3つの難しさがあります。

第一に、「モデリング」の難しさです。急性心不全治療では、多様な薬剤や機械的補助が同時に作用する一方、血圧、血流、肺うっ血、心筋酸素消費量など複数の治療目標を考慮する必要があります<sup>(2)</sup>。さらに、心臓、体循環、肺循環、循環血液量が相互作用する全身循環系を対象とするため、本問題は本質的に多入力多出力の複雑な制御対象となります。

第二に、「制御」の難しさです。実際の臨床現場では、常に十分かつ正確な計測データが得られるわけではなく、限られた情報から患者状態

を推定しなければなりません。また、患者間差や同一患者内での生理応答の変動が大きいと、高いロバスト性も求められます。さらに、薬剤投与量の上限や禁忌、機械装置の制約など、臨床的・生理的制約を考慮しながら最適な治療方針を決定する必要があります。

第三に、「検証」の難しさです。臨床応用に至るまでには、シミュレーション検証、動物検証、後ろ向き臨床データ解析、医療認可など、多段階の検証が必要となります。そのため、シミュレータの生理学的妥当性の検証、実験・臨床データの取得、医療認可の要件理解<sup>(3),(4)</sup>のためには、医療機関との密接な連携が不可欠です。

## ACIS：急性心不全の自律的な治療支援アルゴリズム

Medical & Health Informatics Laboratories (MEI Lab.) では、急性心不全の治療支援を目的として、ACIS (Autonomous Closed-Loop Intervention System) の研究開

発<sup>(5),(6)</sup>を進めています。ACIS は、薬剤や機械補助の入力を最適化し、血圧、心拍出量、左心房圧、右心房圧などの血行動態を目標範囲へ維持しながら、心筋酸素消費量を最小化することをめざしたシステムです（図1）。

その基盤となるのが、薬理学モデルと生理学モデルを組み合わせた循環器の数理モデルです（図2）。薬理学モデルは薬剤が心血管系パラメータに与える影響を表現します。

生理学モデルは左心、体循環、右心、肺循環、循環血液量の相互作用から血行動態を表現します。さらに、左室循環補助装置などの機械的補助もこの枠組みの中で表現でき、薬剤と医療機器を統合的に扱えるモデル表現<sup>(7)</sup>となっています。

また、臨床現場では心収縮力や循環血液量など直接計測できない状態も多いため、限られた計測データから患者状態を推定するアルゴリズム<sup>(8),(9)</sup>を組み込んでいます。制御計

算では、最適な介入を制約付き最適化問題として解きます。血圧や血流を目標範囲に維持しながら心臓への負担を最小化し、薬剤投与量の上限や禁忌の組合せなどの臨床的制約も同時に考慮することで、最適な治療方針を導出します。

## バイオデジタルツインによるシミュレーション検証

ACISのシミュレーション検証に

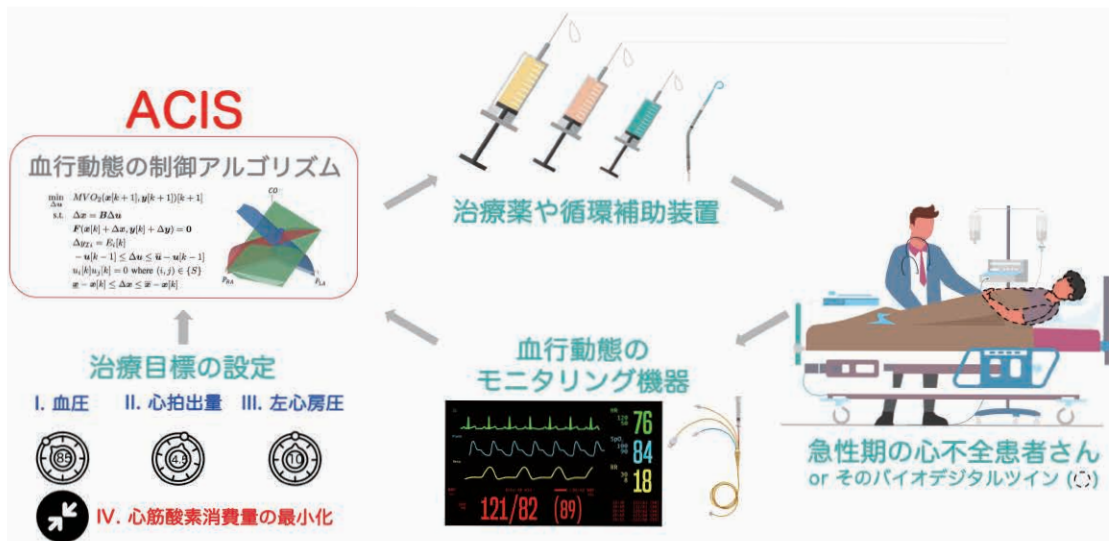


図1 ACISの概略図

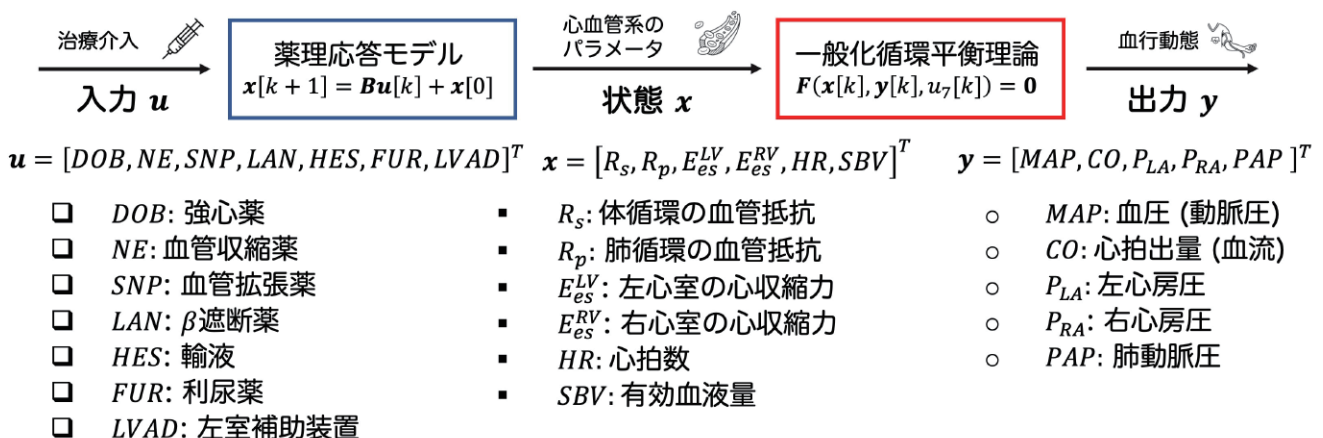


図2 ACISのシステム表現

は、MEI Lab.で研究開発している循環器のバイオデジタルツイン<sup>(10)</sup>を活用しています。このデジタルツインでは、循環器を電気回路モデルとして表現し、さまざまな心不全状態を数値シミュレーションできます。さらに、圧受容体反射などの生体反応、薬剤や循環補助装置の介入、腎機能などの生理機能も再現でき、数理モデルだけでは表現が困難な生理現象を緻密に再現しています。

このバイオデジタルツイン上で、重症心不全患者に対してACISを適用するシミュレーションを行いました(図3)。その結果、血圧、心拍出量、左心房圧、右心房圧を同時に目標範囲へ制御しながら、心筋酸素消費量を大幅に低減できることを確

認しました。

本シミュレーションでは、制御入力を連続的ではなく離散的に更新しています。これは、ICUで広く使用される肺動脈カテーテルによる心拍出量や左心房圧の評価が間欠的に行われるためです。この特徴は、ACISの臨床応用において重要な意味を持ちます。

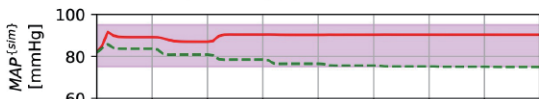
すなわち、完全自動化された治療システムとしてだけでなく、「次への薬剤をどの程度投与すべきか」を医師へ提示する意思決定支援システムとしても活用できる可能性があります。このような段階的な自律化は、自動運転分野における運転支援システムから完全自動運転への発展過程と類似しており<sup>(11)</sup>、臨床応用

において重要な考え方とされています。最終的な治療判断は医師が担いながら、システムが複雑な循環動態を解析し、治療方針の決定を支援します。

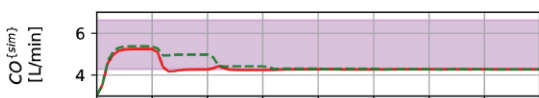
## 臨床応用に向けた取り組み

現在MEI Lab.では、ACISを実際の臨床現場で活用することを想定した推薦システムの開発も進めています(図4)。このシステムでは、ACISが計算した薬剤の組合せや投与量を表示し、同時にその結果として予測される血行動態の結果を表示します。また、心血管系パラメータの変化量も示すことで、介入から血行動態の結果までの因果関係を説明

### 目標 I: 血圧 → 目標範囲に収束



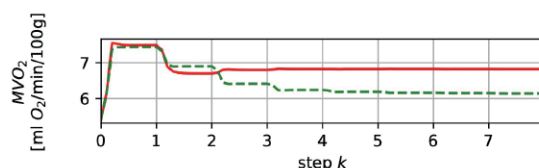
### 目標 II: 心拍出量 → 目標範囲に収束



### 目標 III: 左心房圧 → 目標範囲に収束



### 目標 IV: 心筋酸素消費量 → 最小化



■ 臨床治療の目標範囲

— 3次元の血行動態制御 のみ

- - 3次元の血行動態制御 かつ 心筋酸素消費量最小化

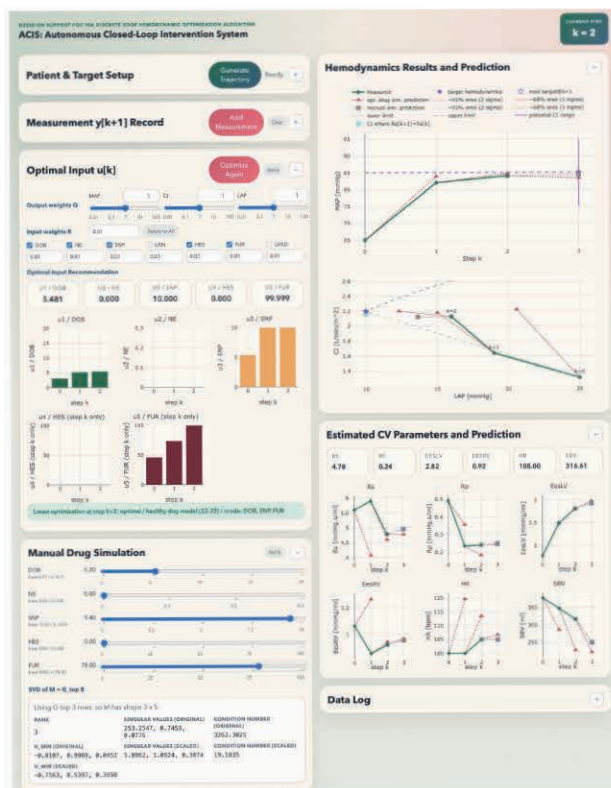


図3 循環制御シミュレーションの結果

図4 意思決定支援ツール：心不全治療の推薦システム

できるように配慮しています。さらに、医師が実際に選択した治療方針と比較できるようにし、意思決定支援ツールとしての可視化も調整しています。

臨床応用に向け、国立循環器病研究センターとの連携のもと、動物実験、臨床向けチューニング、アプリケーション機能の高度化を継続的に実施しています。これらの取り組みを通じて、実際の医療現場で利用可能なシステムの実現をめざしています。

## まとめと今後の展望

本稿では、MEI Lab.で研究開発を進めている急性心不全の自律的治療支援システムについて紹介しました。ACISは、薬剤治療と循環補助装置を統合的に扱いながら、多次元の血行動態を同時に最適化できる点を特徴としています。急性心不全治療は高度な専門知識と経験を必要とする分野ですが、ACISはその治療判断を支援することをめざしています。

現在MEI Lab.では、患者データから個別パラメータを推定し、患者ごとのバイオデジタルツインを構築する研究も進めています。これにより、デジタル空間上で「薬剤治療だけで管理可能か」「機械的補助循環の導入が必要か」といった複数の治療戦略を比較検討し、臨床現場の意思決定を支援できる可能性があります。

私たちは、医療の自律化が医師を置き換えるものではなく、医師の意思決定を支援し、より安全で質の高い医療を実現するための技術であると考えています。将来的には、患者ごとに構築されたバイオデジタルツインと自律制御技術を融合し、1人ひとりに最適化された治療をリアルタイムに提供できる医療システムの実現をめざしています。

このような未来の医療を実現するためには、単一の研究機関や企業だけでなく、医療従事者、研究者、医療機器メーカー、規制当局を含めた幅広い連携が不可欠です。この研究は、制御工学、循環器医学、医療機器工学、ゆくゆくはAI（人工知能）技術の融合によって初めて実現できる挑戦です。MEI Lab.では、学会活動や共同研究、国際コミュニティへの参画を通じて、グローバルかつオープンな協力体制の構築を推進していきます。

### 参考文献

- (1) M. Isobe: "The heart failure "pandemic" in japan: Reconstruction of past trends and future projections," JMA Journal, Vol. 2, No. 1, pp. 26-36, 2019.
- (2) P. A. Heidenreich et al.: "2022 AHA/ACC/HFSA guideline for the management of heart failure," Circulation, Vol. 145, No. 18, pp. e895-e1032, 2022.
- (3) B. Parvinian et al.: "Regulatory Considerations for Physiological Closed-Loop Controlled Medical Devices Used for Automated Critical Care: Food and Drug Administration Workshop Discussion Topics," Anesthesia and analgesia, Vol.126, No. 6, pp. 1916-1925, 2018.
- (4) Food and Drug Administration: "Technical considerations for

medical devices with physiologic closed-loop control technology: Guidance for industry and food and drug administration staff," Sept. 2023.

- (5) Y. Kataoka et al.: "A Discrete Hemodynamic Control Framework: Proof-of-Concept Study for Autonomous Drug Therapy in Acute Heart Failure," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2026.
- (6) <https://vimeo.com/897450724>
- (7) Y. Kataoka et al.: "Modeling Partial and Total Support of Left Ventricular Assist Device for Discrete Hemodynamic Control Framework," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2026.
- (8) K. Uemura et al.: "Prediction of circulatory equilibrium in response to changes in stressed blood volume," American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology, Vol. 289, No. 1, pp. H301-H307, 2005.
- (9) Y. Kataoka et al.: "Inverse ESPVR Estimation with Singularity Avoidance via Constrained EDPVR Parameter Optimization," in 2023 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society, Sydney, Australia, July 2023.
- (10) J. Alexander: "バイオデジタルツイン研究の最新状況," NTT 技術ジャーナル, Vol.33, No.11, pp. 44-46, 2021.
- (11) D. S. Bitterman et al.: "Approaching autonomy in medical artificial intelligence," The Lancet Digital Health, Vol. 2, No. 9, pp. e447-e449, 2020.



片岡 泰之

心不全治療の自律化は、次世代医療を支える重要な研究分野です。MEI Lab.は本分野の先駆的な研究開発に取り組んでいます。自律治療やバイオデジタルツインにご興味をお持ちの方は、ぜひ今後の取り組みにご注目ください。

### ◆問い合わせ先

NTT Research, Inc.



# 知性の本質に迫る「AIの科学」

生成AI（人工知能）の急速な発展に伴い、その振る舞いの理解と安全性の確保が喫緊の課題となっています。Physics of Artificial Intelligence Groupでは、物理学・脳科学・認知科学を横断する「AIの科学」を通じて、AIの創発的能力やバイアスのメカニズムを解明し、信頼できる社会実装を支える科学的基盤の構築をめざします。

キーワード：#生成AI, 物理学, #AI Safety

## Physics of Artificial Intelligence Groupの取り組み

生成AI（人工知能）の急速な進展により、AIは単純なツールとしての役割を超え、ユーザの認知や意思決定に深くかかわる存在へと変化しつつあります。大規模言語モデル（LLM：Large Language Model）は、文脈を汲んだ対話を通じて、ユーザの意思決定を支援するようになっています。こうした変化は、「AIをどう使うか」という実用上の問いに加え、「AIは人の判断をどう変えるのか」、さらには「AIと人の認知は相互作用の中でどのように変化するか」という、より根本的な問いを私たちに投げかけています。これらの問いに答えるためには、AIの仕組みに関する理解に加え、人の脳や認知の仕組みに関する知見が不可欠です。Physics of Artificial Intelligence Group（PAI Group）では、Harvard University Center for Brain Scienceとの連携を通じて、AI・脳科学・認知科学を横断する研究に取り組んでいます。

これまでのAI研究では、ベンチマーク上の性能や応用可能性といっ

た指標が重要な役割を果たしてきました。これらの指標は、AI技術の進展を測り、実用化を進めるうえで欠かせないものです。一方で、ベンチマーク上で高い性能を示すAIについても、その動作原理が十分に理解されているとは限りません。AIが正しい答えを返したとしても、それがどのような内部表現に基づくのか、どのような条件で誤るのか、どのような文脈でバイアスを増幅するのか分からなければ、AIを社会の中で安定的に活用することは困難です。PAI Groupでは、AIの振る舞いを観察可能な現象としてとらえることで、その背後にある法則やメカニズムの解明をめざしています。

ここで鍵となるのが、複雑な現象の背後にある法則を探る現象論的なアプローチです。一見複雑に見える現象を観察し、その背後にある法則性を抽出し、数理モデルとして記述することで、予測や制御につなげていく考え方です。その視点は、膨大なパラメータを持つAIがどのように学び、どのような条件で新しい能力を示し、どのような場合に予期しない振る舞いをするのかを理解するうえでも有効です。水が氷や水蒸気

おおかわ まや  
大川 真耶  
たなか ひでのり  
田中 秀宣

NTT Research, Inc. Physics of Artificial Intelligence Group

へと状態を変える相転移のように、AIにも、規模や条件がある水準を超えたときに、それまでみられなかった能力が突然現れることがあります。PAI Groupは、こうした「創発」の背後にある原理の解明に取り組んでいます。

## 概念を組み合わせるAIの能力

具体的な研究の1つが、画像生成モデルにおける合成的汎化の研究です<sup>(1)</sup>。合成的汎化とは、既知の概念を分解し、それらを新しい組み合わせとして扱う能力のことです。人間であれば、「紫色の犬が透明な傘を差している」という文を初めて聞いても、その場面をある程度想像できます。これは、「紫色」、「犬」、「透明な傘」、「傘を差す」という概念を分けて理解し、それらを新しく組み合わせることができるからです。AIが本当に柔軟な知性を持つためには、訓練データに頻出するパターンを再現するだけでなく、概念を分解し、未知の状況に応じて再構成できる必要があります。本研究では、この能力を定性的に評価するだけでなく、

概念変数、概念値、概念クラスからなるConcept graphとして定式化し、訓練データに存在しない概念の組み合わせを生成できるかを検証しています。例えば、色、形、大きさなどを制御した人工的な画像生成課題を設計し、条件付き拡散モデルが未観測の組合せに対してOut-of-distribution（分布外）な生成を行えるかを調べます。その結果、モデルは訓練データを単に記憶するだけでなく、ある条件を満たしたときに概念を組み合わせる能力を獲得することが分かってきました。特に、複数の基本能力がそろったときに合成能力が急激に現れるというMultiplicative emergenceの性質は、生成AIの創発的能力を理解するうえで重要な手掛かりになります。

## LLMが理解する人間の感情

画像生成モデルにおける合成的汎

化の研究は、AIが概念をどのように分解し、新しい入力に応じて再構成できるのかを明らかにしようとするものです。この問題意識は、画像生成に限られません。AIが人間のように柔軟に振る舞うためには、物体や色、形といった視覚的な概念だけでなく、人間の感情や認知のような抽象的で文脈依存的な概念も適切にとらえる必要があります。PAI Groupでは、このような観点から、LLMが人間の感情をどのように表現し、どのような構造として整理しているのかを研究しています<sup>(2)</sup>。具体的には、オープンウェイトなLLMの内部表現を解析し、条件付き確率に基づいて感情の木構造を抽出することで、モデル内部に形成される感情概念の階層構造を解析します。直感的には、本手法は文章中の感情の共起関係を調べるものです。例えば、モデルがある状況における感情を「安堵」と判断する場面では、多くの場

合「幸せ」とも判断しやすいと考えられます。一方で、「幸せ」と判断される場面が常に「安堵」を表すとは限りません。これは、「いちご」は果物の一種ですが、「果物」と言ったときに必ずしも「いちご」を意味するわけではない、という関係に近いものです。このような非対称な条件付き確率の関係を用いることで、「幸せ」のような広い感情を親ノード、「安堵」のような具体的な感情を子ノードとして配置し、LLM内部における感情の木構造を推定します。この木構造により、LLMが感情をどの程度細かく区別し、階層的に整理しているかを評価できます。その結果、LLMの内部では、「喜び」「恐怖」「怒り」「悲しみ」といった基本的感情を上位概念として、「希望」「樂觀」「不安」「心配」などの具体的な感情が分化する、階層的な構造がみられました（図1）。こうした構造は心理学で提案されてきた感情分類とも

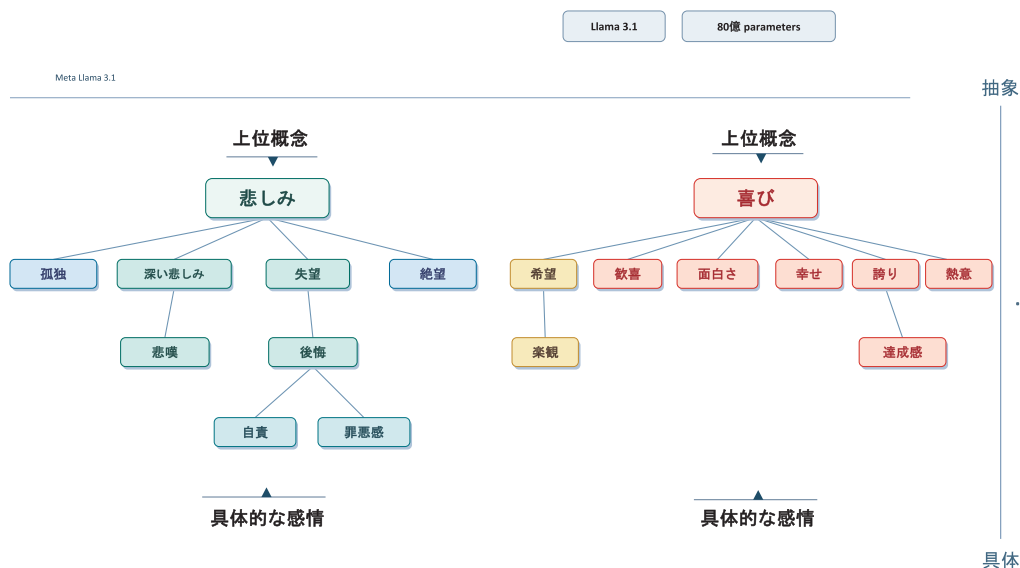


図1 LLMが理解する人間の感情（80億パラメータ）

対応しており、LLMが人間の感情をどのような枠組みで理解しているのかを知る手掛かりになります。また、LLMの規模、すなわちパラメータサイズが大きくなるほど、感情の階層構造がより深くなる傾向もみられました（図2）。これは、より高性能なモデルほど、広い感情カテゴリだけでなく、その下にある具体的な感情も細かく区別していることを示しています。一方で、感情理解にはバイアスもあります。利用者の属性や文脈によって、同じ状況でもAIが異なる感情として解釈してしまうことがあり、特にメンタルヘルスケアや教育などの領域では注意が必要です。

## LLMを支援に活かす

こうした感情理解の研究は、応用

へも広がっています。PAI Groupでは、Harvard Medical SchoolのDepartment of Psychiatryと連携し、LLMによる感情状態や思考の偏りの理解を支援に活かす研究も進めています。ユーザの発言には、不安、自己否定、完璧主義、過度な一般化といった認知の歪みが表れることがあります。AIが言葉の内容だけでなく、その背後にある感情状態や思考パターンをとらえられれば、利用者が自分の認知の偏りに気付くための手掛かりになります。一方で、共感的な応答は常に有効とは限りません。相手の感情を受け止めることは支援の出発点になりますが、過度な共感には、認知の歪みを修正するのではなく、それをさらに助長しかねません。PAI Groupでは、この問題を「LLMの応答がユーザの認知の歪みをどのように変えるか」という制御の問題

として再定義しました。

本研究では、認知の歪みを定量的に評価するために、ゲーム理論<sup>\*1</sup>の枠組みを用います。ゲーム理論に基づく課題では、特定の条件のもとで、合理的な参加者であればどの選択をするかを理論的に定めることができます。また、ナッシュ均衡<sup>\*2</sup>などの解概念を用いて、ユーザの選択を比較するための基準点を設定します。例えば、本来であれば相手と協調する選択が安定した結果につながる課題において、ユーザが相手を過度に疑い、非協力的な選択を繰り返す場合、その行動は基準点からのずれとしてとらえられます。評価の際は、

\*1 ゲーム理論：複数の意思決定者が互いに影響し合う状況で、最適な行動を分析する理論。

\*2 ナッシュ均衡：他のプレイヤーの戦略が決まっているときに、誰も自分だけ戦略を変えても得をしない状態。

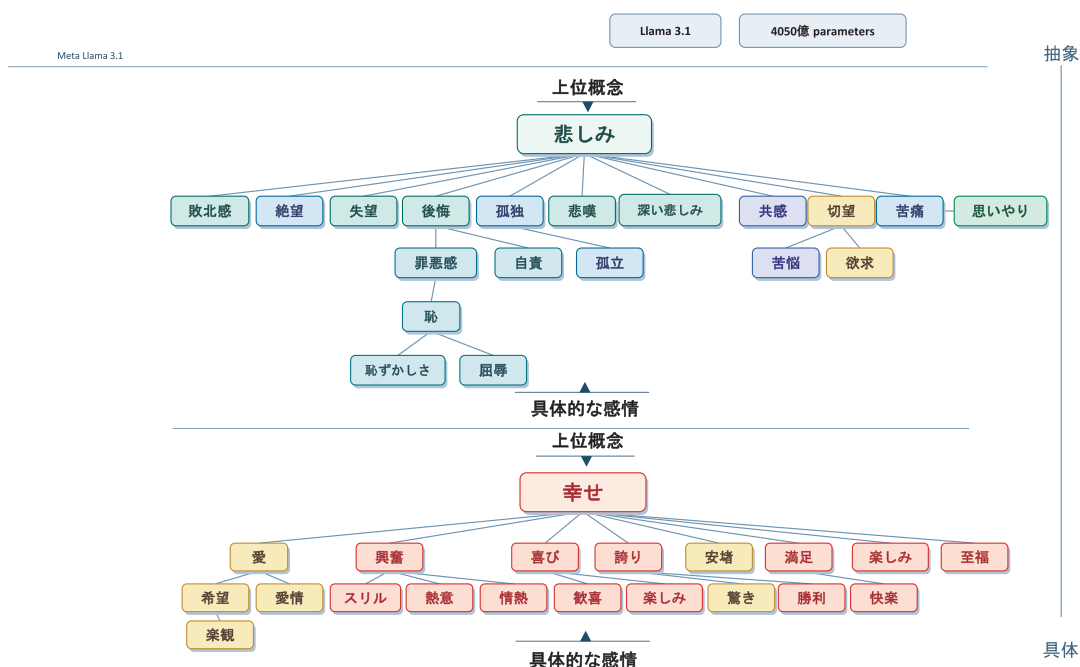


図2 LLMが理解する人間の感情（4050億パラメータ）

まずLLMのフィードバックを受ける前のユーザの選択が、基準点からどれだけ離れているかを数値化します。次に、フィードバック後の選択を同じ基準で再び測定し、そのずれがどれだけ小さくなったかを確認します。これにより、LLMの応答が単に妥当にみえるだけなのか、それともユーザの意思決定を理論上より妥当な方向へ動かす助けになっているのかを評価できます。その結果、適度な共感の有効である一方で、過度な共感はユーザの意思決定の偏りがかえって強めてしまうことが分かりました。さらに、ユーザの心理状態や認知状態に応じて、共感的な応答と批判的な応答を動的に切り替えるアルゴリズムも提案しています。

## 複数のAIエージェント間の相互作用

こうした取り組みは、複数のAIエージェントが相互に作用するマルチエージェントLLMの研究へも広がっています<sup>(3)</sup>。複数のAIが役割を分担し、互いの回答を参照しながら意思決定を行う仕組みは、今後さまざまな領域で広がっていくと考えられます。異なる観点を比較・統合することで、単独のモデルでは見落とされる誤りを補い、判断の正確性や頑健性を高める可能性があるためです。一方で、LLMどうしが互いの回答に強く影響されると、個々のLLMに含まれる小さな偏りが増幅され、集団全体として不公平な判断に至る

可能性があります。

本研究では、この現象を統計物理学で用いられるスピンモデルを用いて解析しています。各LLMの判断をスピン状態、LLMどうしが互いの回答を参照する強さを相互作用係数、LLMのサンプリングによって生じる確率的揺らぎをノイズとして扱い、どのようなシステムノイズの条件下で偏った合意が生じるのかを理論・実験の両面から解析しました。本解析では、3つの同一LLMによる議論や、1つだけ異なるLLMを含む議論などを比較しました。その結果、LLM間の相互作用は判断を安定化させる一方、同質性が高くサンプリングノイズが小さい場合には、個々のLLMの小さなバイアスが増幅され、集団全体が偏った合意に収束しやすいことが分かりました。さらに、異種LLMや適度なノイズを導入することで、偏った合意を抑制し、投資シミュレーション等で高性能な解を得やすくなることを示しました。

## PAI Groupがめざす「AIの科学」

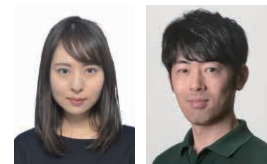
こうした取り組みは、生成AIの能力がどのような条件で生まれ、社会の中でどのように影響を持つのかを明らかにするものです。AIが概念を組み合わせるとき、感情を読み取るとき、人の思考に働きかけるとき、あるいは複数のAIが互いに影響し合うとき、その背後にはそれぞれ固

有のメカニズムが存在します。PAI Groupがめざす「AIの科学」とは、そうしたメカニズムを観察し、数理的に記述し、予測可能なかたちで理解するための基礎研究です。

生成AIは、人の知性や感情、社会のあり方と深くかかわる存在になりつつあります。AIは、私たちの考え方や価値観を映し出す一方で、人間との相互作用を通じて、私たちの判断や行動にも影響を与えます。私たちは、AIを人間の知性や感情、社会的な意思決定との関係の中でとらえ直すことで、AIが社会の中で持続的に機能していくための学術的基盤を築いていきます。

### ■参考文献

- (1) <https://robertdick.org/publications/okawa23dec.pdf>
- (2) <https://arxiv.org/pdf/2507.10599>
- (3) M. Okawa: "Emergence of Biased Consensus in Multi-Agent LLM Debates," ICML - International Conference on Machine Learning, 2026.



(左から) 大川 真耶/ 田中 秀宣

AIを安全に社会実装するには、AIがどのように振る舞い、人間や社会とどのようにかかわるのか理解することが重要です。PAI Groupの研究は自然科学・社会科学を横断しながら、AIの振る舞いを原理から理解しようとするものです。本稿を通じて、「AIの科学」という新しい研究の広がりに関心を持っていただければ幸いです。

### ◆問い合わせ先

NTT Research, Inc.



## 主役登場

# 薄膜ニオブ酸リチウム (TFLN) における非線形光学の新たな可能性

## Marc Jankowski

NTT Research, Inc. Physics & Informatics Laboratories  
Group Head



薄膜ニオブ酸リチウム (TFLN) は、集積フォトニクスにおける汎用性の高い技術基盤として注目されています。ニオブ酸リチウムを基盤とする非線形光学導波路は、光場の生成や制御を行う多機能なツールとして長く研究されてきました。これらのデバイスは、原理的に400~4500 nmで動作する多くのレーザや光増幅器の代替となり得るほか、量子計算ではリソース状態の生成にも利用できます。しかし、非線形導波路は電力消費が大きく、小型・軽量・低消費電力・低コストが重要な応用分野では制約となります。

TFLNでは、強く閉じ込められた構造で各場の相互作用が増強され、さらに相互作用する波の速度も制御でき、多くの応用分野で性能が向上しています。表面弾性波フィルタはこの特性を最初に活用したデバイスであり、膜厚の調整で音響波の速度を変え、帯域幅を拡張できます。また、TFLNによる低損失光導波路の開発で、広帯域の電気光学変調器が続いて実現されました。波長スケールの強い閉じ込めで、半波電圧が1

Vに近い変調器が可能となり、さらに光場と高周波電場の速度を設計して、100 GHzを超える帯域幅の変調器が実現されています。

TFLNにおける非線形光学の初期実験では設計原理の拡張に焦点を当てており、最初期の非線形導波路は逆プロトン交換に基づく拡散型導波路に比べ電力要求が20分の1に低減されました。その後、私たちの研究では、幾何学的分散エンジニアリングを用いて相互作用する波の速度を制御し、周波数変換器や光パラメトリック増幅器の帯域幅を制御しました。この過程で、分散設計された非線形導波路が質的に新しいダイナミクス（動的挙動）を示すことが発見され、それが新しい機能の実現につながったのです。

新しいダイナミクス領域を設計できる自由度により、従来デバイスの性能を制限していた設計上の制約を克服できるようになります。その初期の例の1つが、TFLN導波路における二次非線形効果に基づく新しいスーパーコンティニューム生成 (SCG) 手法の発見でした。従来の

三次非線形性に基づくデバイスで異常分散を用いた導波路は比較的低い電力で広帯域幅を実現できますが、その代償として余分なノイズが生じます。一方、通常分散を用いた導波路は低ノイズ動作は可能ですが、帯域幅が制限され、より大きな電力が必要です。これに対し、この新しいSCGは、これらのトレードオフを克服し、三次非線形導波路と比較して2桁低い電力でマルチオクターブのスペクトルを実現でき、原理的にはショットノイズ限界の揺らぎを示すことが可能です。

新たなダイナミクス領域で動作する、分散設計された非線形導波路は現在、量子光学の新しいデバイスを実現する技術基盤として注目されています。TFLNデバイスは、比較的小数の光子でも飽和した非線形相互作用に到達することで、非線形光学の限界を超える可能性があり、量子非破壊測定に対する新しいアプローチや、非ガウス状態を確実に生成できる光源といった新たな可能性が生まれています。

# つくばフォーラム2026に見る アクセスネットワークの研究開発

本特集では、2026年5月27～28日に開催された「つくばフォーラム2026」での講演を基に、NTTグループの最新のアクセスネットワーク技術について、AI時代を見据えた将来のネットワーク構成など、新たな価値創造と持続可能な社会の実現に向けた取り組みについて紹介する。

## アクセスネットワークで拓く未来 新たな価値創造とサステナブル社会への貢献 ————— 32

新たな価値創造とサステナブル社会への貢献に向けてアクセスサービスシステム研究所が描く「アクセスネットワークで拓く未来」の紹介、およびアクセス分野の最新技術を展示した「つくばフォーラム2026」について紹介する。

## 光とAIを軸に研究開発CoEをめざすNTT研究所 —— IOWN, tsuzumi, 光量子コンピュータの社会実装を通して —— 36

NTT研究所の戦略テーマである「IOWN」「tsuzumi」「光量子コンピュータ」について、木下真吾NTT研究企画部門長の基調講演を基に紹介する。

## NTT西日本グループにおけるサービスと ネットワークの過去・現在・未来 ————— 45

大きな転換点を迎えているNTT西日本グループにおけるサービスとネットワークを「過去・現在・未来」の観点で整理し、NTT西日本が担う役割と今後の取り組みを、桂一詞NTT西日本代表取締役副社長の基調講演を基に紹介する。

アクセスネットワークで拓く未来 新たな価値創造とサステナブル社会への貢献

# TSUKUBA FORUM 2026

## アクセスネットワーク

IOWN

オールブロードバンド化

無線通信

光アクセス

特集

## 将来のアクセスネットワークを実現する研究開発の取り組み ————— 52

アクセスサービスシステム研究所が描く将来のアクセスネットワークと、この実現に向けた各技術分野の課題や主な取り組みについて紹介する。

## CONNECT & SENSEによる無線アクセス研究開発 ————— 58

マルチ無線プロアクティブ制御技術（Cradio®）による無線のつながりと、無線信号による環境の把握の検討状況、将来の高度化に向けた研究開発技術について紹介する。

## AI時代を支える光アクセスネットワーク技術 ————— 63

本格的なAI時代の到来を見据え、アクセスサービスシステム研究所で取り組んでいる、AIが光アクセスにもたらす変化と影響を概観するとともに、研究開発の方向性と関連技術について紹介する。



# アクセスネットワークで拓く未来 新たな価値創造とサステナブル社会への貢献

NTTアクセスサービスシステム研究所は、お客さまとNTTビルを結ぶアクセスネットワークに関する研究開発を行っています。アクセスネットワークを取り巻く環境は近年大きく変化しており、新たな価値創造とサステナブル社会への貢献に向けてNTTアクセスサービスシステム研究所はチャレンジを続けています。本稿では私たちが描く「アクセスネットワークで拓く未来」の紹介と、アクセス分野の最新技術을展示した「つくばフォーラム2026」について紹介します。

キーワード：#アクセスネットワーク、#IOWN、#APN

こまつ こうじ  
小松 宏至

NTTアクセスサービスシステム研究所  
所長

## はじめに

情報通信ネットワークにおいて、NTTアクセスサービスシステム研究所が所掌する「アクセスネットワーク」はお客さまとの接点を担い、情報通信の発展を広げていくという大変重要な役割を担っています。アクセスネットワークの発展は目覚ましく、光通信においては2001年にFTTH（Fiber To The Home）のサービスが開始されて25年が経過し、光ファイバの整備率は全国で97%を超えました。無線通信においても、5G（第5世代移動通信システム）サービスの人口カバー率は98%を超えています。アクセスネットワークは経済活動のベースになっていることに加え、個々人の生活レベルにも深く浸透しており、すでに社会にかかすことのできない重要な社会インフラの1つとなりました。

一方で、アクセスネットワークを取り巻く環境も大きく変化しています。1番目は、新たな需要・プレイ

ヤの登場です。近年の目覚ましいAI（人工知能）の発展や、AIを支えるデータセンタへの投資の増加は目を見張るものがあります。今後、人々が当たり前AIを利用する将来では、アクセスネットワークの役割も変化が求められています。2番目は、インフラ設備の老朽化と維持・運用の問題です。2025年に発生した八潮の陥没事故に端を発し、インフラ設備の老朽化は喫緊の社会問題となっています。高度経済成長期以降に整備された、道路橋、トンネル等のインフラ設備は、2040年にはその多くが建設から50年を超えますが、私たちNTTの通信設備も同様の状況にあります。また、2050年までに生産年齢人口が3000万人以上減少すると見込まれており、老朽化していく社会インフラをどのように維持・運用していくのが問われている状況です。加えて、近年激甚化する豪雨災害などの自然災害への対応も避けては通れない大きな課題です。

このように変化する環境の中で、

将来のアクセスネットワークはどのように利用され、どのような技術が重要になってくるかを想像した世界観を「アクセスネットワークで拓く未来」として紹介します。

## アクセスネットワークで拓く未来

図1は少し先の将来、アクセスネットワークの発展によって実現される多様なユースケースを散りばめた世界観です。少し先の将来では、さまざまな分野でAIとの連携が当たり前となり、自律的に稼働する工場や、自動化・遠隔化が進んだ一次産業、エンターテインメントの分野では場所の制約を超えたサービスの提供、モビリティの分野では輸送の3次元化・自律化が進むと予想しています。また、社会インフラそのものは人手不足の問題に対応すべく、運用の自動化が実現されていると想像しています。このような未来社会においては、アクセスネットワーク



図1 アクセスネットワークで拓く未来



図2 多数/多様な端末・用途、環境変化に応じた柔軟な収容

を支える光インフラ設備やオペレーションの重要性がますます高まっていくと考えています。

工場におけるロボットとフィジカルAIの連携や、新たなエンターテインメント体験では、多数・多様な端末を用途や環境変化に応じて柔軟に収容することが求められます。そのためには、低遅延アクセスネットワークとセンシングなどの環境把握が重要となります(図2)。

モビリティや一次産業の分野では、陸・海・空すべてのモビリティの収容と運用自律化が必要となり、無線

のカバレッジ拡大と大容量化、センシングによる環境把握が重要となります(図3)。

社会インフラでは自動的な状態把握や劣化・故障の予測・復旧による運用自動化が求められます。そのためには、光ファイバセンシングや衛星モニタリングに加え、データ統合と協調管理が重要となります(図4)。

このような未来を実現するために、これからのアクセスネットワークは「AIなどさまざまな通信を支える設備」への進化が求められます。AIとの連携が当たり前となった世界にお

いて、通信需要にこたえる大容量化や、データセンター内の超並列光接続、アクセスも含めたAPN(All-Photonics Network)の展開などIOWN(Innovative Optical and Wireless Network)構想の具体化とともに、メタル回線撤去に伴う電柱の削減やルーラルエリアにおける無線化などによる、通信設備の最適化を進めていきます。また、設備だけではなく運用面の進化も求められます。情報通信ネットワークの運用ではAIを最大限に活用し、AIによる状況把握だけではなく対処ま

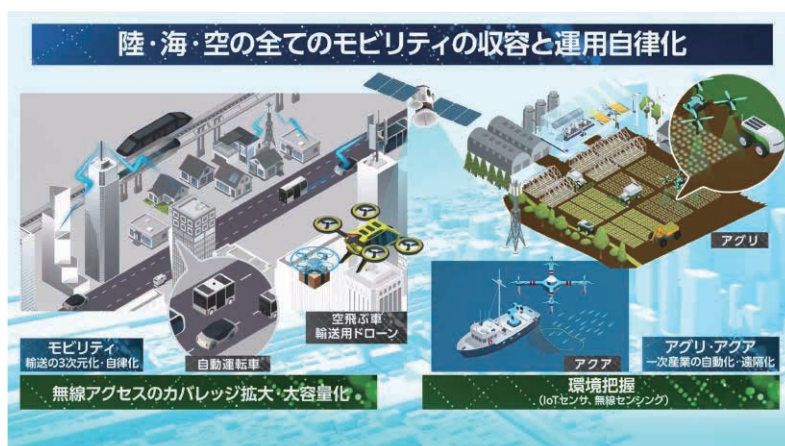


図3 陸・海空のすべてのモビリティの収容と運用自律化



図4 社会インフラ運用の自動化

でも完結する完全自律運用を進めていきます。

次に「アクセスネットワークで拓く未来」の実現に向けて、NTTアクセスサービスシステム研究所の最新技術を展示した「つくばフォーラム2026」について紹介します。

## つくばフォーラム2026

NTTアクセスサービスシステム研究所は毎年5月に茨城県つくば市のNTT筑波研究開発センタにて「つくばフォーラム」を開催しています。

つくばフォーラムは1990年にアクセスネットワークの最新技術を紹介する展示会・技術交流イベントとして始まり、2026年は第36回となります。NTT研究所をはじめとして、NTTグループ各社や共催団体など多くの皆様にご参加いただき、年を重ねるごとに規模を拡大しており、2026年は出展社数113社、来場者数9367人の大規模なイベントとなりました(図5)。

つくばフォーラム2026は「アクセスネットワークで拓く未来 新たな価値創造とサステナブル社会への

貢献」をテーマとして、前述した未来を実現すべく、アクセス分野の最新技術を「光通信」「無線通信」「オペレーション」「通信インフラ設備」「社会インフラ設備」の5つのカテゴリで展示しました。これらの最新技術については、NTTアクセスサービスシステム研究所のプロジェクトマネージャー、グループリーダーから本特集の中で紹介します。

つくばフォーラム2026では初めての取り組みとして、NTTアクセスサービスシステム研究所の検証設備の見学ツアーを開催し、ご来場い

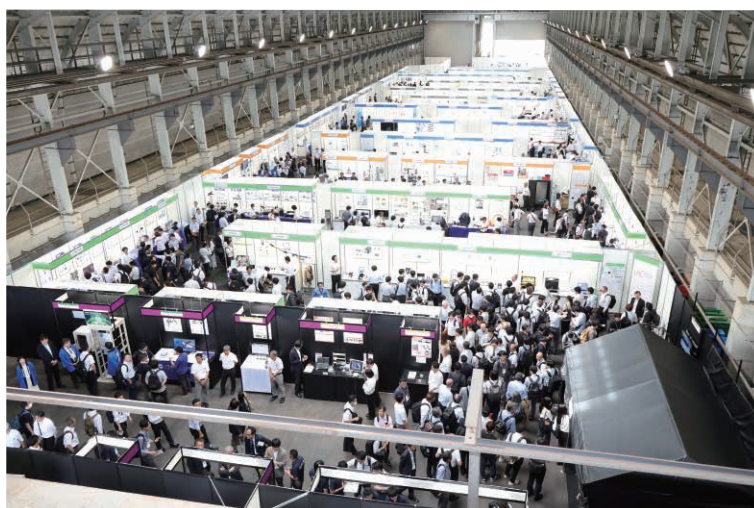


図5 つくばフォーラム2026の様子



図6 検証設備ツアー

ただいた皆様に世界最先端のアクセス分野の研究開発を支えてきた大規模な検証設備をご覧いただきました(図6)。また、テーマの1つである「新たな価値創造」に向けて業界を横断した技術交流やビジネス創出を目的とした「社会インフラ技術展示」コーナーを設け、NTTグループを含む13社の企業に出展いただきました。同じくテーマの1つである「サステナブル社会の貢献」に向けて「環境・エネルギー展示」コーナーを設け、NTT宇宙環境エネルギー研究所のレーザー無線給電やドローンによ

る雷誘発・誘導などの最新技術に加え、サステナブル社会の実現に資する製品などを共催団体8社より出展いただきました。

## おわりに

本稿では私たちが描く「アクセスネットワークで拓く未来」の紹介と、アクセス分野の最新技術を展示した「つくばフォーラム2026」について紹介しました。NTTアクセスサービスシステム研究所は最先端のアクセスネットワーク技術の研究と実用

化により、社会課題の解決と新たな事業価値の創造に挑戦し続けます。



小松 宏至

NTT アクセスサービスシステム研究所は、お客さまとNTT ビルを結ぶアクセスネットワークに関する研究開発を行っています。本稿では私たちが描く「アクセスネットワークで拓く未来」とその最新技術を展示した「つくばフォーラム2026」について紹介します。

### ◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所  
企画担当



# 光とAIを軸に研究開発 CoEをめざすNTT研究所 —— IOWN, tsuzumi, 光量子コンピュータの社会 実装を通して

本記事は、2026年5月27～28日に開催された「つくばフォーラム2026」における、木下真吾 NTT研究企画部門長の基調講演を基に構成したもので、NTT研究所の戦略テーマである「IOWN」「tsuzumi」「光量子コンピュータ」について紹介します。

キーワード：#IOWN, #tsuzumi, #光量子コンピュータ

きのした しんご  
木下 真吾

NTT 執行役員 研究企画部門長

## AI開発は「超大規模な装置産業」へ

NTT研究所では、現在、本講演のサブタイトルにある「IOWN」、生成AI（人工知能）である「tsuzumi」、光量子コンピュータの3つを、重要戦略テーマとして進めています。今日はなぜこの3つが重要なのか、それぞれの研究テーマの進捗について報告します。

背景として、なぜこの3つに研究所が取り組んでいるのかを説明します。今のAIの進化は凄まじいものがありますが、いったん、AIの開発という観点で状況を眺めたいと思います。AIの開発の状況は、一言でいうと「超大規模な装置産業」という見方ができると思います。この超大規模というところを数字で見たいと思います。

まず、膨大な開発、学習コストについてです。スタンフォード大学が出しているAIのIndex Reportによると、今のGPT-5.5の1.5世代前のGPT-4でさえ数兆パラメータとい

う非常に大きいもので、それを開発するのに約150億円から200億円かかるといわれています。これは1回つくるだけで、何回もつくり直したり、バージョンが上がるたびに作り直すと、この約10倍から100倍の開発費用がかかるといわれています。

また、消費電力の観点からみると、先ほどのGPT-4、このクラスのLLM（Large Language Model：大規模言語モデル）を1回つくるのに、消費電力が約40 GWh、これは原発40基分を1時間動かすという膨大なエネルギーでつくられています。一方、学習に対して推論、つまり実際にこのLLMを使うときには、消費電力量は今までのGoogleが0.3 Whであるのに対し、ChatGPTではその10倍の2.9 Whが消費されるといわれています。

また、実際にこのLLM、AIをつくるための投資も、莫大な額が動いています。例えば民間企業が投資する金額は、米国で2850億ドル、日本は260分の1ぐらいの11億ドルと格差もあります。

このようなニーズにこたえるために、データセンタ需要が非常に大きくなっており、例えば米国で2035年に123 GWhクラスのデータセンタが建設されると予想されています。一方、日本では2034年に6 GWhのデータセンタの需要が見込まれています。

さらに技術者、研究者の数について見てみます。主な生成AIに関する論文の共著者数について、普通、学術論文を書く場合は、大体5名から多くても10名で一緒に研究をするのですが、例えばGoogleのGeminiは、2023年という古いデータですが論文の共著者数が1350人ぐらいと、ほとんど大きな映画を超えるようなプロジェクトの規模になっています。

さて、このような超大規模な装置産業、リソース産業みたいな体をしているAIですが、今後の進化に向けて、私たちはどのような研究開発をしていくべきなのかを、改めて考えないといけないと思っています。そのときの問いとして、例えばこの

まま計算機のリソースを増やしていくべきなのか。あるいは日本という立場に立ったときに、そういう計算機リソースを増やせるのか。そしてこのようにリソースを増やした場合、それが本当に人類や地球のためになるのかを、いろいろ考えながら研究開発の戦略を練っていかないとけないと考えています。

## NTT研究所のアプローチ

NTTがAIに対してどういう戦略を打っているかを図1で紹介します。AIの実行環境、すなわち開発や推論を動かすための環境自身を効率化する意味でのIOWN。それからAI自身を軽量化し効率化していく意味でのtsuzumi。まずこの2つを基本的なアプローチとして考えています。ただこの2つのアプローチは現在の情報処理、いわゆる古典情報処理と呼ばれる領域においてのアプローチ

となっています。

さらにこれが加速していった場合に、古典情報処理では、なかなか解決が厳しいのではという声もあります。そこでNTTは、古典情報処理から量子情報処理の領域まで拡大し、計算性能の飛躍的、圧倒的な向上をめざす光量子コンピュータ。それと人間の脳に近い効率性を持つAI、すなわち量子AI。この4つを大きな柱として、これからの巨大なリソースが必要になるAIの進化に対する研究開発の戦略アプローチを考えています。

### ■ IOWN

IOWNを語るうえで、まず電気と光の性質の違いを説明します。電気配線の場合、伝送距離が15 cmを超えたあたりから急激に消費電力が増加します。さらに10 GHzから20 GHzと動作周波数を高めれば、さらに消費電力が増えるという特性があります。一方光の配線は、距離が伸

びてもほとんど消費電力が変わらない、さらに動作周波数を高めてもあまり変わらないという非常に優れた特性があります。この特性を活かしてIOWNをつくり上げていますが、IOWNを一言でいうと「電気から光への転換による情報通信処理の限界打破」という言葉で表現できると考えています。伝送性能と消費電力、この2つの相反する要求条件に対する両立手段と考えています。

IOWNでは、どこで電気を光に置き換えるのが非常に重要になります。どこの部分を光に変えるのかによって、IOWNは4つのステップに分かれています(図2)。まずIOWN 1.0、これはネットワークの中における光の活用です。データセンタ間を完全光化するのが1.0です。2.0以降はいよいよコンピュータの中に光が入ります。まず2.0ではサーバ、つまりデータセンタの中のサーバのボード間の完全光化。そして3.0

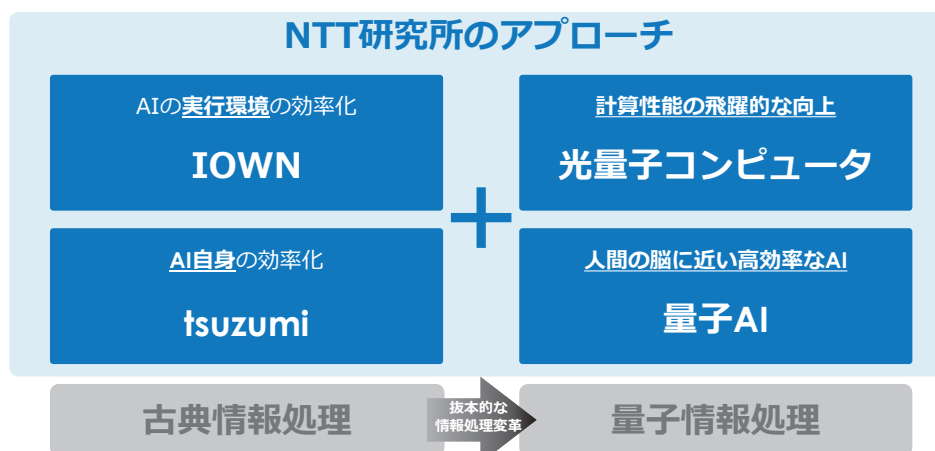


図1 NTT研究所のアプローチ

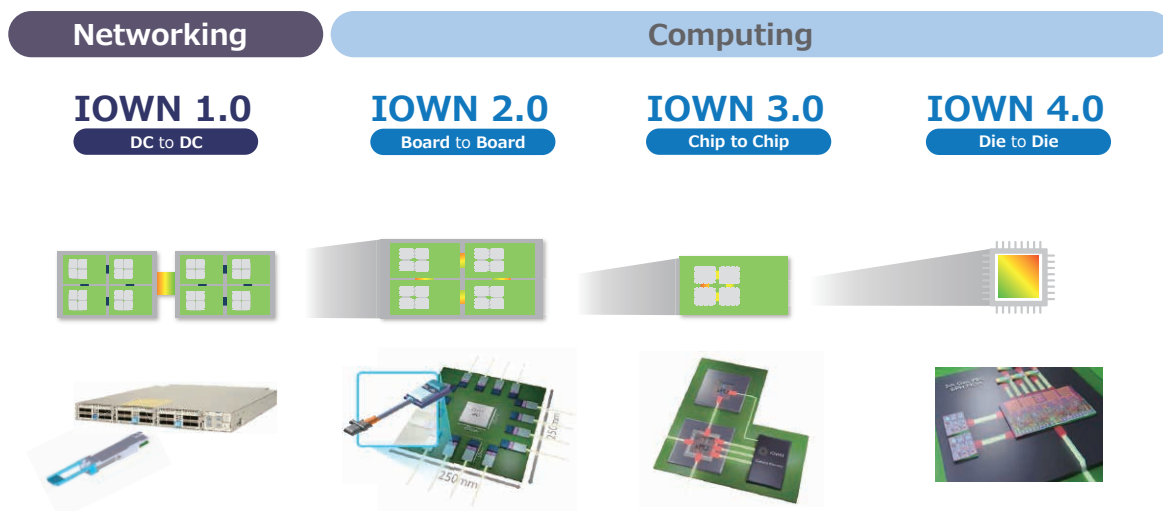


図2 IOWNロードマップ

はボード上のチップ間の完全光化。そして4.0は、チップの中のダイと呼ばれる最小単位のチップ、そのダイ間を完全光化し、局所的にかなり細かいところまで光を入れて、先ほどの両立をめざしていきたいと考えています。

この1.0、すでに2023年にはNTT東日本・西日本、NTTドコモビジネスから商用サービスとして提供を開始しています。1.0のAPN (All-Photonics Network) のユースケースでは、特に超低遅延性を活かしたエンタープライズサービスがさまざまな場面で活用されています。

このAPNは、エンド・ツー・エンドのエンタープライズサービスだけではなく、データセンタのビジネスにも非常に有効と考えています。データセンタについて今1番の課題は用地不足です。現在、日本の88%のデータセンタがいわゆる首都圏、

大阪圏に集中しているといわれています。ここで、新たなデータセンタをつくる用地の確保が大きな課題となっています。

そこで今注目されているのがワットビット連携です(図3)。データセンタはどうしても都市側、つまりユーザの近い地域に置きたい要望が強く、都市圏にデータセンタを配置します。これにより、赤い線のとおり、電力線、いわゆるワットの部分は非常に長距離を飛ばす必要があり、この電力線が非常に高いということが課題になっています。これに対し、APNで遅延時間を極限まで削減することで、例えばデータセンタを郊外に置くことができますし、発電所の近くに置くことができます。赤の部分の電力線の距離を短くすることで、トータルのケーブル敷設コストを削減できます。一説によると100分の1ぐらいになるのではといわれ

ており、ワットビット連携、いわゆるデータセンタの郊外設置が大きく期待されています。

これを発展すると、先ほどは静的なワットビット連携であったものが、ダイナミックなワットビット連携もできるのではないかと期待が高まっています。例えば、九州、北海道、関東にデータセンタがあった場合に、九州での発電量が少ない場合には北海道に処理を移して、北海道で処理を継続するということです。これによって、例えば再生可能エネルギーのトータルな利用率を圧倒的に高めることができ、ここにもAPNの大容量、低遅延性が効いており、今さまざまな実証実験を行っているところです。

続いてIOWN 2.0、いよいよコンピューティングの中に入ってきている状況を紹介したいと思います。AIデータセンタの中にはこのIOWN

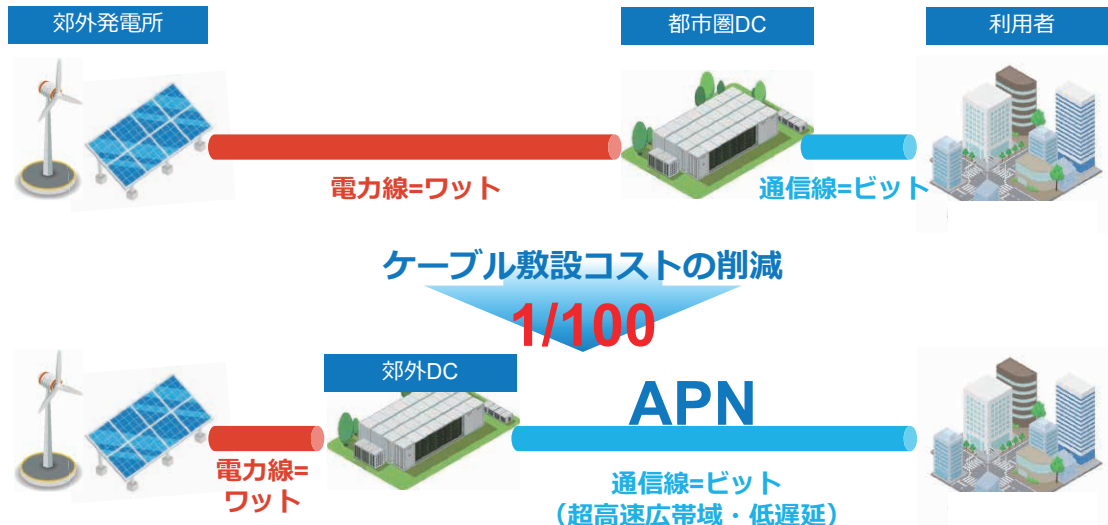


図3 ワット・ビット連携

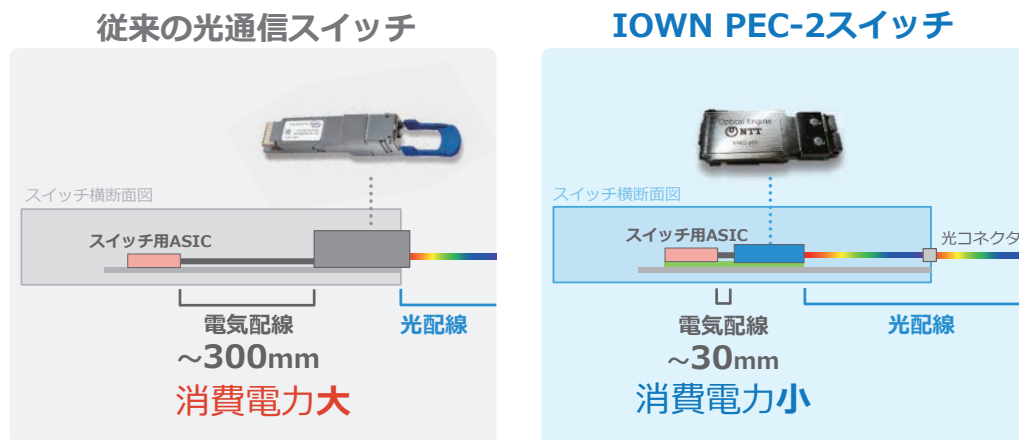


図4 IOWN PEC-2 スwitchの低消費電力化

2.0が使われるのではないかと期待を持っています。

大規模なAIを開発するシステムには、非常に多くのGPU (Graphics Processing Unit) をまとめてスイッチする構成が必要になってきています。GPUが1000台あったとし、1000台それぞれが他の999台と毎回コミュニケーションを取る際に、

1000の2乗ぐらいの通信量が発生します。これを非常に高速にスイッチすることが全体性能の課題になってきます。AIデータセンタ用の超高速スイッチは、現在はNVIDIAのInfiniBandやUltra Ethernetが使われています。ここにIOWN 2.0の光電融合デバイス (PEC) を使ったスイッチであるPEC-2スイッチをつ

くり、圧倒的な低消費電力と圧倒的な高速処理を実現しようと考えています。

この私たちがつくるPEC-2スイッチが、なぜ低消費電力にできるのかを説明します(図4)。図左側は従来の光スイッチを横から見た絵とってください。スイッチの前面に挿してあるのがトランシーバで、ピ

ソクのところはスイッチ用のASICです。トランシーバまでは光配線ですが、トランシーバからASICまでの30 cmに電気配線が残っています。この30 cmは、前述のとおり10 Tbit/sを超えると消費電力が莫大になってきます。図右側の私たちNTTのPEC-2のスイッチは、この電気配線をわずか3 cmに抑えることによって、消費電力を削減するというアプローチをとっています。2026年度末に商用版を提供予定で、ASICのチップをBroadcom社、光エンジン・スイッチのモジュールをNTTイノベティブデバイス社、それを組み上げたスイッチのボックスをAccton社が担当し、商用化を予定しています。

#### ■ tsuzumi

続いて、AI自身の効率化でtsuzumiを紹介します。2023年にNTT独自のLLM、tsuzumiを開発しました。当時は7 Bという70億パラメータのサイズでしたが、より性能を上げるべく30 B、300億パラメータの生成AI「tsuzumi 2」を開発しました。なぜこの30 Bにこだわったかといいますと、30 Bは現在のGPU 1台に載るといわれているからです。1台のGPUで済むということは、オンプレミス、つまり企業が自分のサーバを立てて、そこで容易に動かすことができる。そうすると、コストや消費電力が下がりますし、さらに情報を外に出しませんの

で、非常に高セキュアなAIを実現できるのではということで、この30 Bという数字にこだわって開発しました。

小さいと性能が出ないのではないかといわれるのですが、私たちは、小さいながらも日本語に特化することで、日本語の性能は世界トップクラスを実現しています。日本語の知識、解析能力、指示遂行能力、安全性のベンチマークを取った結果、tsuzumi 2と同じぐらいの大きさの世界的に有名なLLMと比べて勝っていますし、tsuzumi 2よりも数倍以上大きなGPT-5に対しても引けを取らないようなレベルを実現しています。

また今回のtsuzumi 2は、金融、自治体、医療という分野に賢く性能が出るような特化モデルとして考えています。例えば金融のファイナンシャルプランニング技能検定、FP2というテストがあるのですが、どれぐらい追加学習したら合格するかという評価をしました。GoogleのGemmaですと約1900問予習した段階で合格できたのですが、tsuzumi 2ですと200問ぐらい予習ただけで合格スコアが出たということで、約10倍学習効率が向上していると考えています。

また、2026年5月19日に、tsuzumi 2のアップデートとして、視覚読解機能を追加したものを発表しました(図5)。視覚読解とは、図の下のと

おり、図表入りドキュメント、図表入りのスライド、あるいはグラフやチャート、こういったものも含めて解析してくれるLLMです。こちらでも同図のとおりさまざまなベンチマークを測った結果、同クラス帯ではナンバーワン、それから大きなものを含めても引けを取らない性能レベルまで達成しています。

最後の特徴は国産AIです(図6)。最近ソブリンという言葉がよく使われていますが、ここにもtsuzumiは非常にこだわっています。最近、AnthropicのMythosというすごく性能の高いAIが出て、いろいろなソフトウェアの脆弱性が発見されやすくなったといわれています。今はその安全性を考慮して、一部の企業にしか提案、開示しておらず、日本ですと3つのメガバンクがこのMythosを使えるようにと、政府を含めて交渉しているニュースも聞いたことがあると思います。これを踏まえて、例えばもし他国のAIの利用を一方的に制限されたらどうしましょう？ また、もし日本の文化や言語、こういったものが他国のAIによって操作干渉されたらどうでしょうか？ そして、もし日本にAIを開発できる会社、あるいは技術者が少なくなる、あるいはいなくなったらどうでしょうか？ というところを、経済安全保障の観点から真剣に考えないといけないと感じています。私たちは国産AI、ソブリンティ

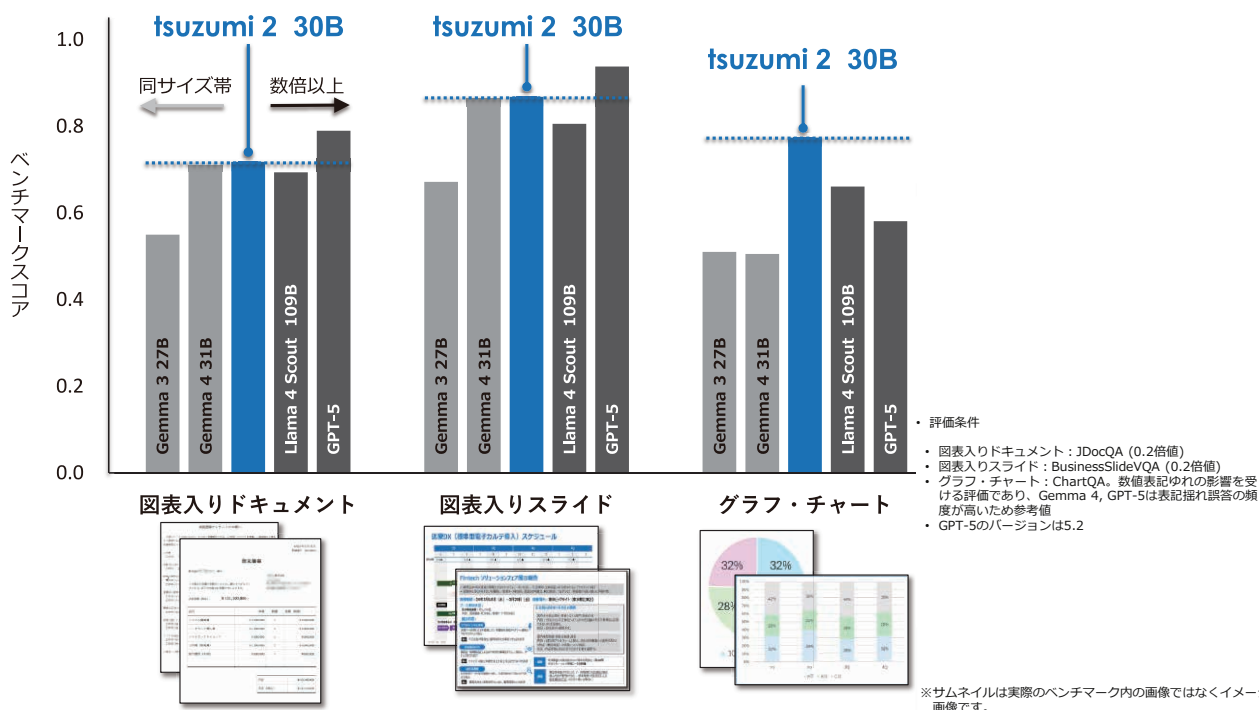


図5 世界トップクラスの視覚読解性能

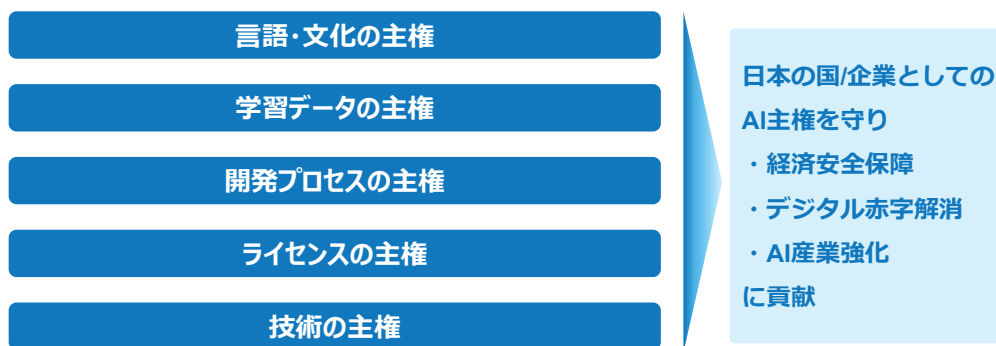


図6 国産AI

を非常に重要視しています。言語、文化を自分たちでちゃんと守っていく主権。学習データを自分たちで選んで学習させていく主権。開発のプロセス、どういう順番で開発するか、いつ開発するかという主権。それから利用のライセンスに関する主権、つまり、いつ何時使わせない、ある

いは非常に高額な請求をされるような戦略的なリソースになっていますので、そういった主権もやはり守りたい。そして技術の伝承、あるいは技術を守っていききたいという意味での主権。こういったところを大事にしながら、tsuzumiはNTTとして独自にスクラッチからつくり、日本の

経済安全保障を守っていききたいと考えています。

#### ■光量子コンピュータ

最後に、私たちが研究開発している光量子コンピュータについて説明します。量子コンピュータにもいろんな種類がありますが、そのうち私たちは光量子コンピュータという方

式を研究しています。この基本動作を紹介したいと思います。まず、量子光をつくります。これには量子光源というデバイスが必要です。この量子光は光パルスで、次にこの量子もつれをつくって、これを例えば糸を編んで布をつくるようなイメージで量子もつれのクラスタをつくっていきます。そこに0か1のようなプログラミングを行い、それを測定することによって一気に計算ができるという、ラフな動作になっています。

量子コンピュータの性能を上げるためには、この光源を非常に高品質で高スピードのものをつくらないといけない。また、もつれのクラスタを大規模にできれば、一気に処理できる計算量が増え、大規模計算ができます。また測定器がどんどん速くなればなるほど、計算のスピードも

上がっていく。この3つが光量子コンピュータの中では非常に大きな課題となっています。

実際にこの光量子コンピュータをつくるのにどんなハードウェア構成になっているか、ソフトウェア構成になっているかを図7に示します。左に量子光源、その右の赤い線が光ファイバやミラーなどを組み合わせた光学系の装置です。観測制御装置があって、量子特有の計算機能とソフトウェアで構成されています。青色の部分がキーポイントになります。NTTがこの中でどこを強みとしているかというと、量子光源と観測装置です。ここに使われるデバイスが光パラメトリック増幅器で、実は元々光通信の中継、増幅、それから波長変換のために使っていたデバイスです。これが、量子コンピュータ

には非常に良いと、量子コンピュータ用に少し改造して適用してみたらすごい性能が出て、東京大学の古澤先生と組んで、今、世界ナンバーワンのデータを出しているところです。

量子コンピュータにはさまざまな方式があります（図8）。例えば超伝導方式、中性原子、イオントラップ、そして私たちがやっている光です。これらを比べたときに光が圧倒的に良いのは、動作環境と書いているところです。超伝導ですと超低温、極低温、それから真空という条件があります。よく量子コンピュータとしてシャンデリアみたいな物がありますが、あれはすごく大きいです。ほとんど冷却装置で、その中に小さい量子チップがあります。超伝導方式ですと、どんどん量子ビットを増やそうとすると、あの装置ごと増や

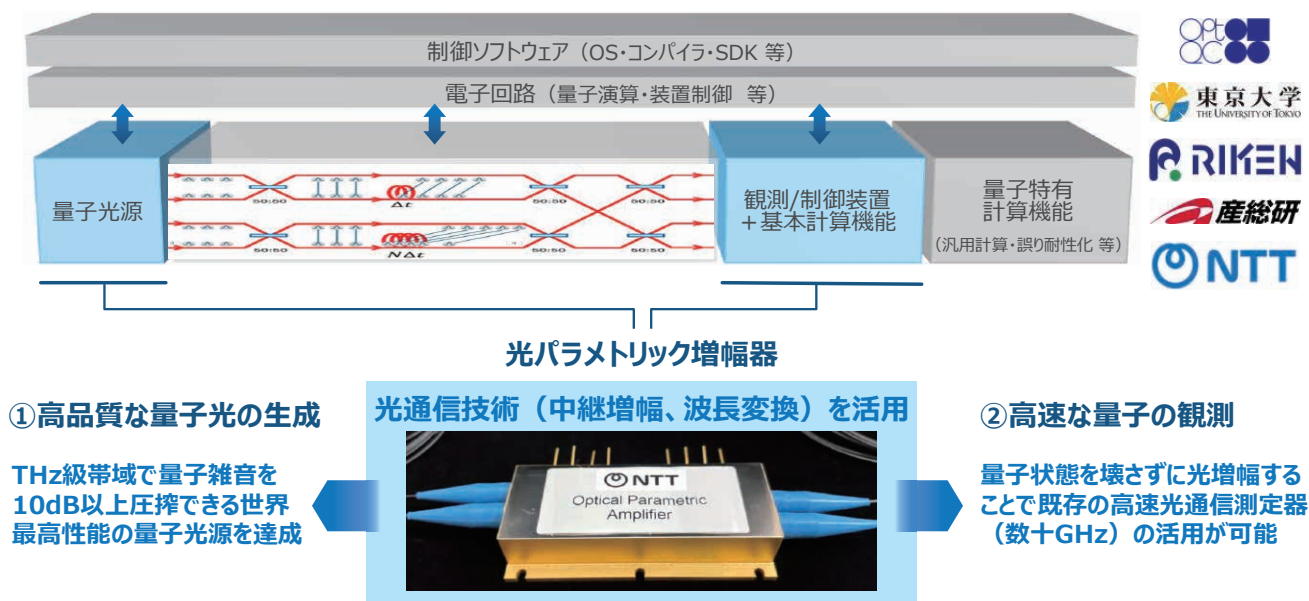


図7 NTTの技術：光パラメトリック増幅器

|                    | 超伝導 <sup>1)</sup>                                                                 | 中性原子 <sup>2)</sup>                                                                | イオントラップ <sup>3)</sup>                                                              | 光                                                                                   |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                    |  |  |  |  |
| 動作環境               | 極低温・真空                                                                            | 真空                                                                                | 極低温・真空                                                                             | 常温・常圧                                                                               |
| 消費電力 <sup>4)</sup> | 25 kW                                                                             | 7 kW                                                                              | 2 kW                                                                               | 数百 W                                                                                |
| エネルギー面<br>の特徴      | 巨大な<br>冷却装置が必要                                                                    | 大規模な<br>光学系制御装置が必要                                                                | 大規模な<br>イオン制御装置が必要                                                                 | 光による<br>抜本的な省エネ化                                                                    |

1) <https://www.ibm.com/quantum/blog/goldeneye-cryogenic-concept-system>

2) <https://www.quera.com/media-kit>

3) <https://investors.ionq.com/news/news-details/2022/Introducing-IonQ-Forte-Improving-Quantum-Performance-with-a-Software-Configurable-Dynamic-Laser-System/>

4) <https://www.jri.co.jp/MediaLibrary/file/advanced/advanced-technology/pdf/15330.pdf>

図8 唯一常温・常圧で動作する光方式

さないといけませんので、例えばテニスコートの何面も使って1000量子ビットをつくるようなかたちで、スケーラビリティに非常に課題があるだろうといわれています。一方、光は常温、常圧で動作しますので、スケーラビリティのメリットは非常に大きいといわれています。

また、光通信技術との高い親和性も武器となっています。光通信技術である光源技術、波長変換技術、そして低損失の光ファイバやマルチコアファイバ、それから波長の分割多重伝送技術もこの光量子コンピュータに使えますし、光通信の受信機で使っている光の高速検出も量子コンピュータの観測に使えますので、光通信に投資していた技術が少し改造するだけでこの光量子コンピュータに活用できることも大きなメリット

です。

この光量子コンピュータの実用化に向けて、先ほどの東京大学の古澤先生という光量子コンピュータの大家がつくられたOptQCというベンチャーとNTTが業務提携を行い、2027年、2030年、それから2040年というマイルストーンで光量子コンピュータの実用化をめざしていきます（図9）。まず2027年には1万量子ビットということで、大規模な通信、交通等の最適化問題が解けます。2030年の100万量子ビット、これができると肥料の生産、環境負荷の問題を低減することができます。そして1億量子ビットまでいくと、新薬を80億人レベルでそれぞれカスタマイズすることができます。このような社会課題が解けてくると期待されています。

## ■IOWNと量子の関係

最後にIOWNと量子の関係について整理します（図10）。先ほど紹介したIOWN 1.0から4.0、これは光伝送の領域でした。データセンタ間、あるいはチップの中というように、どんどん小さくなっていきますが、あくまでも光を伝送するという領域でした。この次、光を使った演算に発展していくと思われます。ここでは、NTTでも光のトランジスタや光の論理ゲート、ニューラルネットワークなどを研究開始しています。ただここも光の演算といいながら、実は古典演算が中心です。さらに圧倒的な性能を求めるにはやはり量子性が必要なので、光の量子演算となると、先ほど紹介した光量子コンピュータとなります。今IOWNで定義している4.0からこういった方

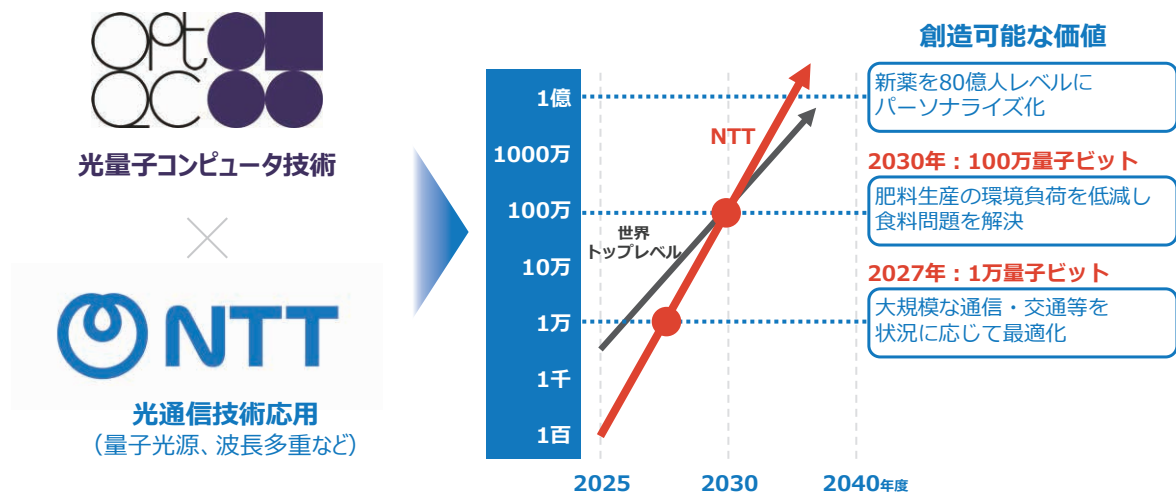


図9 光量子コンピュータの実用化にむけて

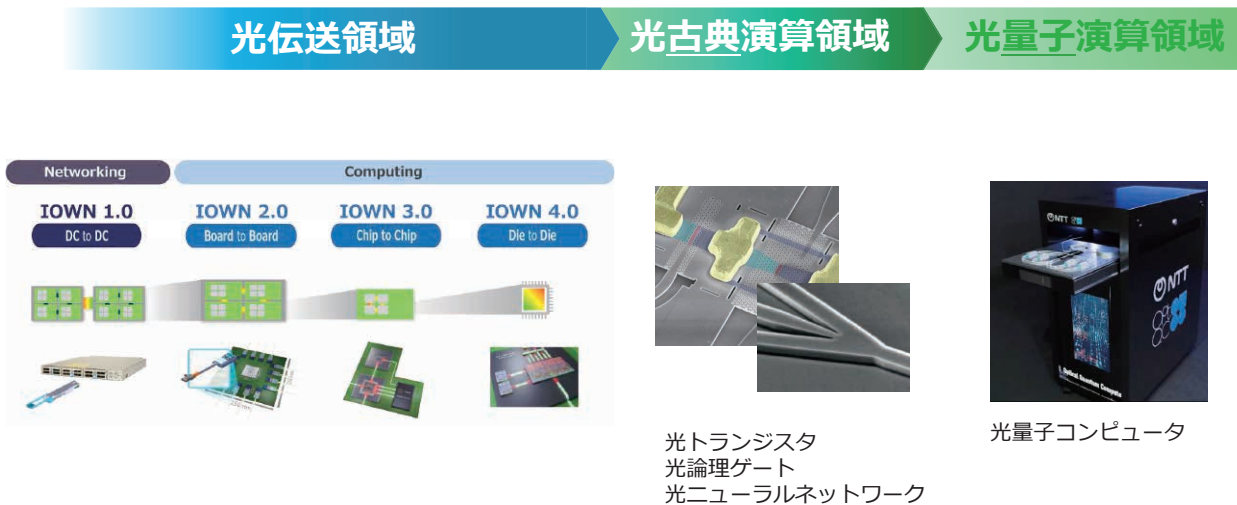


図10 IOWNと量子の関係

向に発展し、光を演算領域まで活用していくことを考えています。

## おわりに

将来のAIの進化に向けて、非常に大きなリソースが必要となっている現状ですが、NTTの研究開発としては、AIの実行環境自体の効率化

としてのIOWN、次にAI自身の効率化としてのtsuzumi、それから量子領域において計算性能を飛躍的に向上させる光量子コンピュータ、さらに今日はあまり説明できませんでしたが量子AIと、こういった古典、量子にまたがる幅広い研究開発をすることで、これからのAI社会に貢献していきたいと考えています。

## 参考文献

(1) [https://www.rd.ntt/ai\\_tech/](https://www.rd.ntt/ai_tech/)



木下 真吾



# NTT西日本グループにおけるサービスとネットワークの過去・現在・未来

メタル設備を利用した固定電話サービスの終了や日本のオールブロードバンド化等に向けた「最終保障提供責務」の創設など、地域通信事業は大きな転換点を迎えています。本稿では、NTT西日本グループにおけるサービスとネットワークを「過去・現在・未来」の観点で整理し、NTT西日本が担う役割と今後の取り組みを紹介します。なお、本記事は、2026年5月27～28日に開催された「つくばフォーラム2026」における、桂一詞NTT西日本代表取締役副社長の基調講演を基に再構成したものです。

キーワード：#オールブロードバンド化、#HCF、#IOWN APN

かつら かずのり

桂 一詞

NTT西日本 代表取締役副社長  
副社長執行役員 CTO CIO

特集

## 日本の過去・現在・未来

### ■ヒト・モノ・文化

NTT西日本の過去・現在・未来を述べる前に、まず日本の過去・現在・未来を概観します。

現生人類は約20万年前にアフリカで出現し、日本列島へは約4万年前に到達したとされています。その後、比較的早い時期に磨製石器がつくられていたことが岩宿遺跡で確認されており、世界最古級のものであると考えられています。また、約1.6万年前の地層からは土器が出土しており、これも世界最古級で、縄文時代の始まりと考えられるようになっています。

約1.1万年前に氷期が終わると大陸との地理的な分断が進みますが、その後も大陸と日本列島の往来は継続したと考えられています。さらに、約3000年前には長江流域から稲作文化が九州へ直接伝来したとされており、以降、渡来人との混血が進みつつDNAの断絶なく発展してきま

した。

このような歴史を踏まえると、日本には高度な技術や適応力を持つ人類が移り住み、世界的にみても非常に古い時代から独自の磨製石器や土器を用いた生活様式が確立されていたことが分かります。すなわち、日本は「世界最古のモノづくりの国」であるといえるのではないのでしょうか。そして異民族による大規模な征服もなかったことから、「DNAや文化の断絶なく、渡来人と“共生”しながら発展してきた」稀有な国であると考えられます（図1）。

補足ですが、宗教においても、日本固有の宗教である「神道」、6世紀ごろに伝来し神道と融合してきた「仏教」、さらに16世紀以降に伝来してきた「キリスト教」、近代になって入ってきた「イスラム教」などが存在し、世界三大宗教が共存している日本は稀有な国であると考えられます。ここにも「共存・共生する」日本の文化をみることができるのではないのでしょうか。

### ■商売・サービス

次に、近世から現代にかけての商売・サービスの側面から日本をみてみます。日本は戦後直後の「安かろう悪かろう」という状況から、持ち前の「モノづくり精神」で高い品質を実現し、「ジャパン・アズ・ナンバーワン<sup>(1)</sup>」と称されるまでに高度経済成長を遂げました。このような成功体験から「品質に対する高い期待水準」が日本にあると考えられます。また、近江商人の経営理念である「三方よし」に代表されるように、自社の利益だけでなく、顧客や社会に対する責任を重視する価値観も、日本の商慣行の特徴といえる要素の1つです。

### ■失われた30年

ところが、1990年代後半以降の日本経済は、「失われた30年」と呼ばれる長期停滞の局面を迎えました。1990年以降の各国の名目GDP（Gross Domestic Product：国内総生産）の推移を比較すると、他国が大きくGDPを伸ばす中、日本は

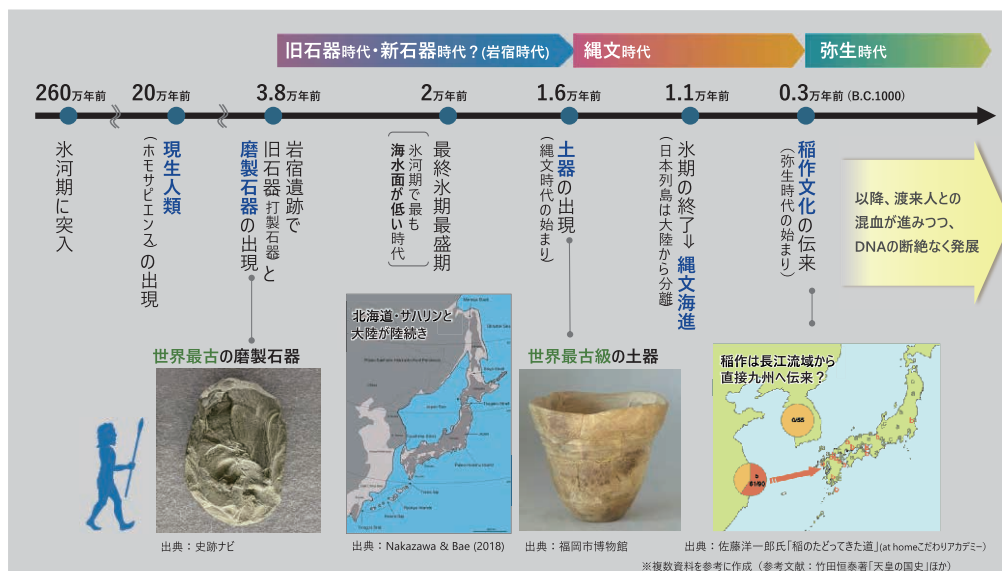


図1 ヒト・モノ・文化の歴史

長年低迷しています。一方で、GAFAM [Google, Apple, Facebook (Meta), Amazon, Microsoft] を中心とした海外企業の時価総額の向上については著しいものがあります。

では、なぜこのような状況に至ったのでしょうか。一般に指摘されている要因として、1つは日本独自のエコシステムに固執するあまり、そこから脱却できず、いわゆるガラパゴス化してしまったという点です。また、商品・サービスの品質は高い水準にあるものの、均質化が進んだ結果、価格競争に陥り、新たな付加価値による差別化を図ることができなかった点も要因として考えられます。

#### ■日本の価値観と直面している課題

以上を踏まえると、日本には「共生・つなぐ文化」「モノづくり精神」「品質に対する高い期待水準」といった価値観を持つ一方で、グローバルなエコシステムへの適応や、新技術・

新サービスによる価値創出、すなわちゲームチェンジが進んでいないという課題に直面していると考えています。

日本的価値観として守り続けるべきものは何か、また、グローバルなエコシステムに合わせ、変えるべき価値観は何か、考えていくことが重要です。そして、地域通信事業を担うNTT西日本としても、何を守り、何を变えていくべきか、見極めていく必要があります。

#### NTT西日本の過去・現在・未来【光サービス】

NTT西日本では、2001年以降、フレッツ光の提供を開始し、契約者数は2025年度末で約1050万まで拡大しています。多くの国民や企業が光による高速通信サービスを利用できるようになり、国際競争力の源泉になっていると考えています。

また、面的な光サービスの展開に

あたっては、さまざまな構築手法を工夫しながら、これまでに約50万kmの光ケーブルを敷設してきました。その結果、ユーザカバー率は約95%に達しています。

一方で、残る約5%の地域には光サービスが未提供であり、これを面積に置き直すと、ルーラル地域を中心に約3分の1のエリアでは光サービスが提供できていない状況にあります。したがって、日本のオールブロードバンド化を今後どのように実現していくかが、大きな課題となっています(図2)。

#### ■日本のオールブロードバンド化(最終保障提供責務)

これまで、ブロードバンドサービスについては、NTT東日本・西日本を含めて提供責務を担う事業者はいませんでした。しかし、電話・ブロードバンドの双方について「最終保障提供責務」が創設され、2027年以降の導入が予定されています。これは、日本のオールブロードバン

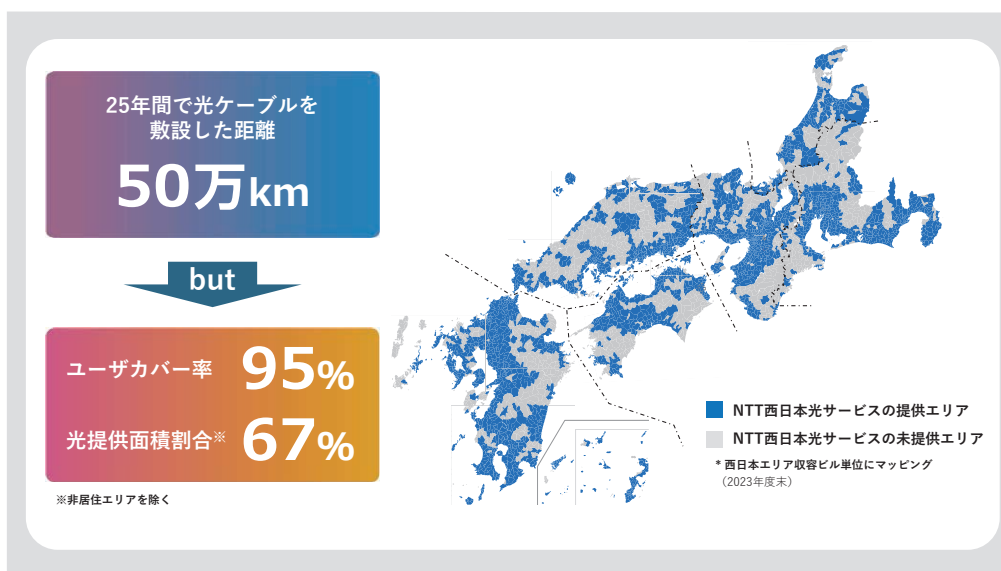


図2 光サービスの展開状況

ド化に向けて、複数事業者が連携してエリアをカバーし、サービス提供可能な事業者が存在しない地域では、NTT東日本・西日本が提供の責任を負うという考え方です。

電話サービスでは、すでにNTT東日本・西日本にユニバーサルサービスの提供義務が課されていますが、今後はブロードバンドについても、事業者と連携しながら提供責務を担うことになります。

ここで課題となるのが、前述の約3分の1の光未提供エリアです。仮にこれらの地域をすべてNTT西日本の固定光でカバーする場合、膨大なコスト（稼働）が必要となり、最終的には、国民負担につながるようになります。さらに、電話のユニバーサルサービスにおいても、現在NTT西日本では年間約350億円の赤字が生じていることを踏まえると、NTT西日本単独で最終保障提供責務を果たしていくことには大きな課題があります。

例えば奈良県では、NTT西日本の光サービス提供エリアは北西部の都市部に集中している一方で、南部の人口密度が低い中山間地域ではCATV（Cable Television：ケーブルテレビ）事業者がサービス提供を担っています。そのため、こうした広域の中山間地域を新たにNTT西日本の固定光でカバーする場合、膨大なコストが必要になることが分かります（図3）。

よって、将来にわたって日本の電話・ブロードバンドサービスの“最終保障提供責務”を果たしつつ、交付金投入による国民負担を抑制するためには、すでにサービス提供を行っている事業者との連携や、モバイル・衛星を含めた最適な提供手段の選択が必要不可欠です。最終保障提供責務制度が持続可能な仕組みとなるよう、国・事業者との議論を進めていきます。

### NTT西日本の過去・現在・未来【ネットワーク】

ネットワークは、技術革新やサービスの変遷に伴い、大きく進化してきました。NTT西日本としても、伝送装置の大容量化・高速化を進めるとともに、電話、マス向け、法人向けなど、個別に構築してきたネットワークの統合によって、効率的なネットワークの実現を進めてきました。これらの進化は、高速かつ高付加価値なサービスの提供に寄与してきました。

近年は、AI（人工知能）活用、クラウド利用、映像コンテンツ利用の拡大に伴い、NTT西日本のネットワークを流れるインターネットトラフィックは過去4年間で約2.2倍に増加しています。また、データセンタ需要の高まりにより、データセンタ間トラフィックは2024年からの10年間で約5倍に増加するとの予測もあります（図4）。

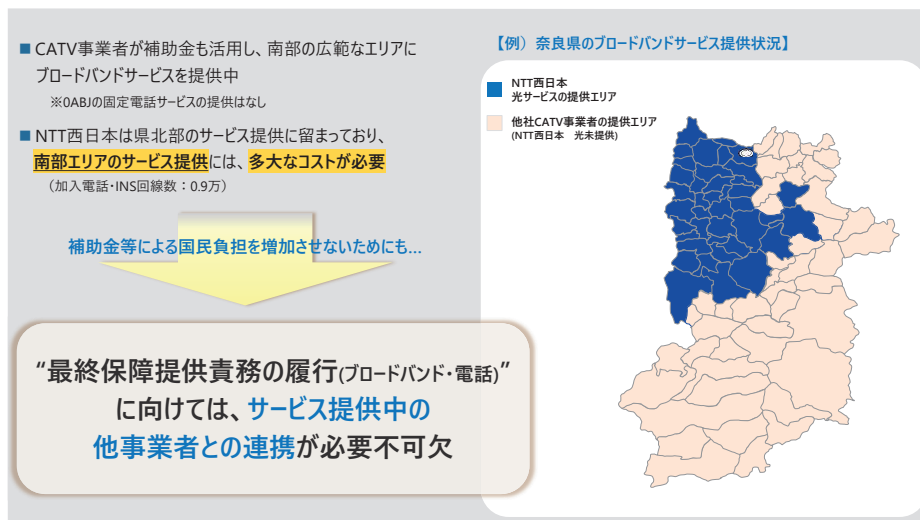


図3 奈良県のブロードバンドサービス提供状況と事業者連携

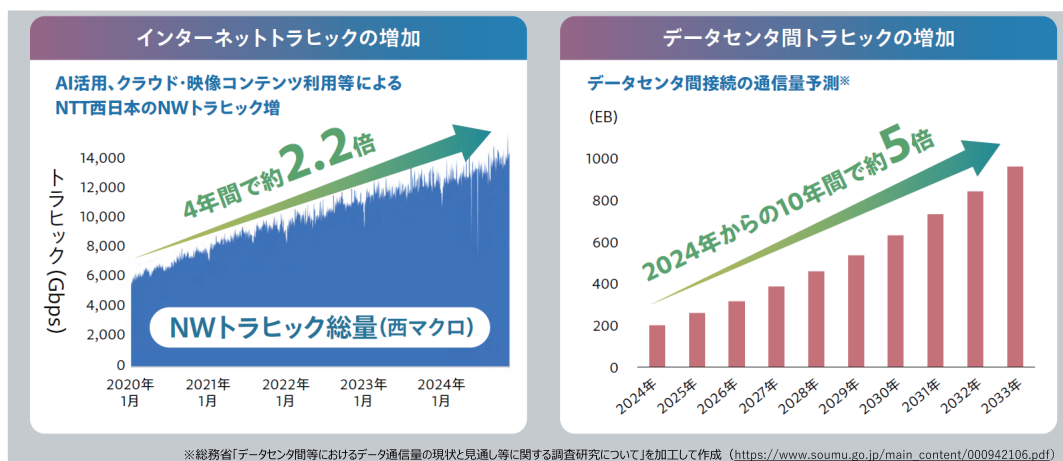


図4 ネットワークトラフィックの増加

しかし、インターネットトラフィックの増大に対して、NTT西日本の光サービスは定額制で、収入とコストのバランスが悪化してきています。その一方で、GoogleやMicrosoftなどのハイパースケーラー<sup>\*1</sup>は、データセンタを用いたクラウドサービスの拡大を背景に売上や企業価値を大きく伸ばしています。さらに、ネットワーク装置や光ケーブルの大量調

\*1 ハイパースケーラー：大規模データセンタを世界規模で構築・運用し、クラウドやAIサービスを提供する事業者のこと。

達を通じて、ハイパースケーラーを中心としたエコシステムが形成されており、NTT西日本の物品調達の優先度や価格交渉力にも影響を及ぼし始めています。

このため、NTT西日本としては、光サービスの“土管化”を防ぎ、付加価値の提供によるネットワークサービスのマネタイズや、ハイパースケーラー中心のエコシステムに対応するためのネットワーク・技術の高度化に取り組む必要があります。

## ■ネットワークのマネタイズ（付加価値の提供）

ネットワークのマネタイズに向けては、「統合型マネージドネットワークサービス」の提供を考えています。多様なコネクティビティに加え、セキュリティ・AIなどの付加価値を統合的に提供するネットワークサービスをNTTグループ各社と連携して実現していきます。また、NTT西日本としては、24時間365日の監視・出張修理や、IT資産管理といった「オペレーション・オンサイトの強み」

を最大限に活かすことで、他社と差別化した付加価値を提供することが可能です（図5）。

### ■ハイパースケーラー等のニーズに合わせたネットワーク・技術の進化

AIの急速な発展・普及に伴い、データセンタ需要は急速に拡大しています。土地や電力供給の制約が大きい日本では、データセンタの分散配置が進むと想定されます。また、諸外国でも、地理的に離れた複数のデータセンタを高速・低遅延のネットワークで結び、1つの巨大な計算基盤として運用する「スケール・アクロス」という考え方も広がりつつあります。

このようなデータセンタ分散へ対応するには、①離れたデータセンタ間を接続するための大容量・低遅延の長距離伝送、②リージョン<sup>\*2</sup>内のデータセンタ間を接続する光ファイバケーブルのさらなる大容量・低遅延化、③データセンタ内部における演算処理の低消費電力化、が重要です。NTT西日本としても、これらに対応するネットワーク・技術の進化に取り組んでいきます。

まず、「①大容量・低遅延な長距離伝送」については、IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想に基づくオールフォトリクス・ネットワーク（APN）の全国展開を進めており、NTT西日本でも2027年度末までに整備を完了させる計画です。さらに、プラグブル光トランシーバのオープン規格であるOpenZR+<sup>\*3</sup>などとIOWN技術を組み合わせることで、市場動向に適応した大容量な長距離伝送の実現をめざします。

次に、「②光ファイバケーブルの大容量化・低遅延化」については、現在、データセンタ間のケーブルリングビジネスにおいて、ハイパースケーラーの需要に合わせたオーダーメイド型のサービス提供を行っています。加えて、HCF（Hollow core fiber）やMCF（Multi core fiber）といった低遅延・大容量を実現する次世代光ファイバの導入も検討していきます。

このHCFとは、光が通る中心部（コア）が空気となっている次世代光ファイバであり、石英がコアの従来型光ファイバと比べて約30%の低

遅延化が実現可能といわれています。一方で、実フィールド導入に向けては、大量生産や長尺化、従来型光ファイバとの接続時における低損失化といった技術課題に加え、クリーン環境下での接続作業や、許容曲げ半径を踏まえたクロージャ構造の再設計など、施工・運用上の課題もあります。しかし、このような課題を克服しない限り、日本独自のエコシステムから脱却できないため、技術や考え方を見直していくことが重要です。

さらに、「③データセンタ内部の低消費電力化」については、IOWNにおけるPEC（Photonics-Electronics Convergence）-2、PEC-3<sup>\*4</sup>などの技術を最大活用する必要があります。NTT西日本としては、これら

- \*2 リージョン：クラウド事業者がデータセンタ群を地理的な単位で管理・提供する際の区分のこと。
- \*3 OpenZR+：OpenZR+MSA仕様に準拠したプラグブル光トランシーバのこと。
- \*4 PEC：光電融合技術を用いて開発したデバイス群のこと。PEC-2はボード間、PEC-3は半導体パッケージ間の光通信を実現する光電融合デバイス。

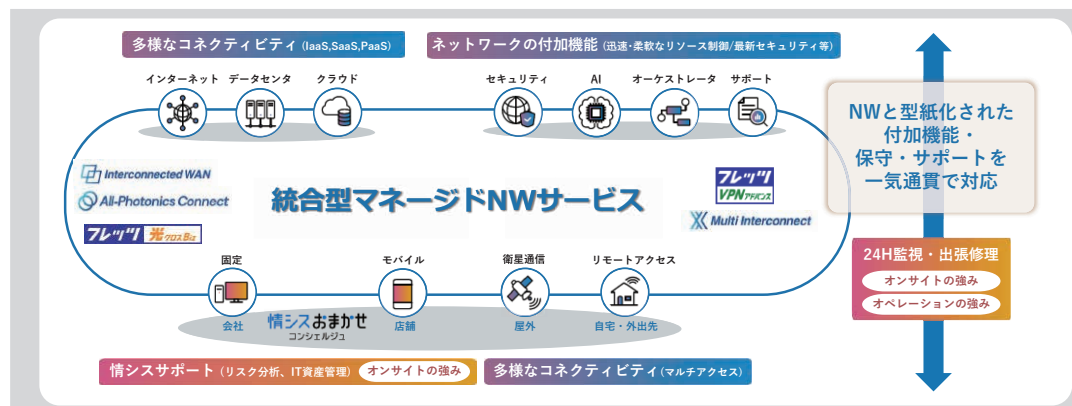


図5 統合型マネージドネットワークサービス

の技術をエンジニアリングも含めて一元的に提供できる準備を進めています（図6）。

## NTT西日本の過去・現在・未来【基盤】

NTT西日本は、通信ビル約4000棟、管路約33万 km、電柱約616万本、ケーブル約108万 kmに及ぶ膨大な通信設備を保有しており、これらを維持・管理しながら、信頼性の高い通信サービスを提供しています。また、これらの設備は他事業者にも

オープン化しており、社会インフラへの二重投資の抑制や、モバイルを含む通信サービスの早期発展、面的展開にも貢献しています。さらに、災害発生時の影響最小化や早期復旧に向けて、点（ビル・装置）、線（中継網）、面（アクセス区間）の設備強靱化にも取り組んでいます。

一方で、NTT西日本が保有するこれらの設備の固定資産額は約2.4兆円にのぼり、年間の設備維持費用も約3500億円と大きな負担になっています。固定資産2.4兆円の内訳をみると、民営化前の電電公社時代

に取得した設備は減価償却が進み約0.2兆円ですが、民営化以降に取得した設備は約2.2兆円と全体の約9割を占めています（図7）。

さらに、民営化以降、累計約20兆円規模の施設保全費を投じて、設備の維持・更改を継続してきたことから、現在の通信インフラは民営化以降に構築・維持してきた設備を主として成り立っていることが分かります。これら設備の維持については、今後もNTT西日本が主体的に担っていく考えです。一方で、設備を将来にわたり安定的に維持するために

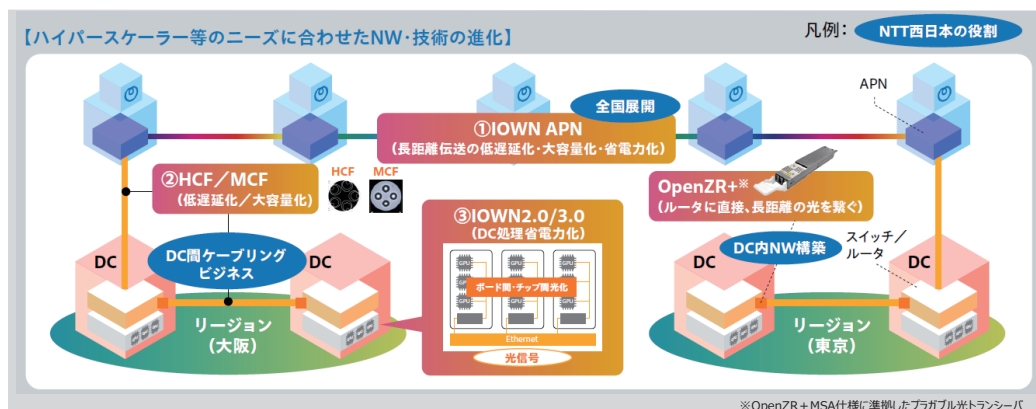


図6 ハイパースケーラー等のニーズに合わせたネットワーク・技術の進化

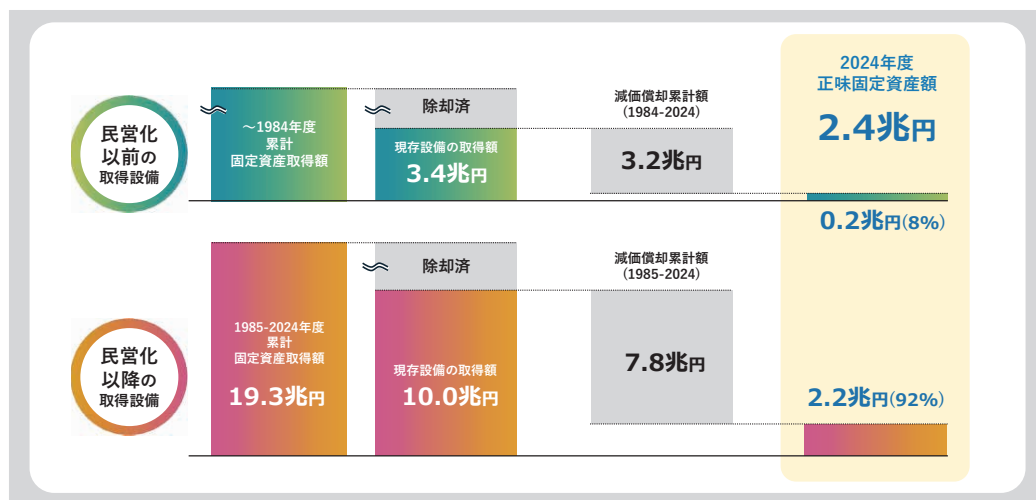


図7 NTT西日本における民営化前/民営化後の固定資産

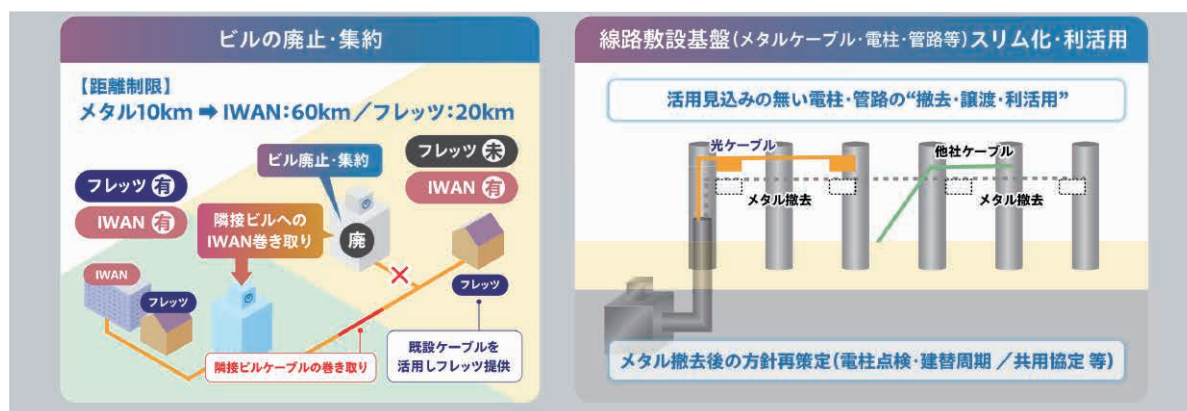


図8 リーンな設備の実現

は、事業者間の連携やコスト負担等の仕組みについて国や事業者との議論を進めていく必要があります。そのうえで、NTT西日本としても、膨大な設備を効率的に運用していくため、「リーンな設備の実現」や「点検・保守のスマート化」を着実に推進し、安定した設備の維持・運用をめざしていきます。

### ■リーンな設備の実現とオンサイト保守のスマート化

今後、メタルサービスの終了に伴いサービス提供は光中心へと移行していきます。これに伴い、NTTビルからのサービス提供距離は、メタル設備では10 kmであったものが、フレッツ光ネクストでは20 km、IWAN (Interconnected WAN) では60 kmに延伸されます。これを契機に、フレッツ光を提供していない通信ビルなど、これまで距離制限上必要であったビルを廃止し、隣接ビルへ集約することによって、整備・維持コストの削減をめざします。また、電柱や管路などについても、メタルケーブル廃止後に活用見込みのないものは、撤去や他事業者への譲

渡を進め、設備のスリム化を図っていきます(図8)。

オンサイト保守の効率化に向けては、ドローンを活用した橋梁下部の管路点検や、複数カメラを搭載したMMS (Mobile Mapping System) 車両による電柱点検、これらから取得した画像データのAI解析に取り組んでいます。さらに、他社設備や道路構造物も併せて撮影することで、点検業務の受託といった新たなビジネス展開にもつながっています。このように、通信設備にとどまらず、社会インフラ全体を対象とした保守業務のスマート化にも取り組んでいます。

## おわりに

本稿では、日本の価値観や直面している課題を踏まえ、過去・現在・未来の観点から、NTT西日本グループのサービスとネットワークの役割および今後の取り組みについて述べました。今後、NTT西日本には、社会に不可欠な通信インフラを持続可能なかたちで維持・整備すると

もに、変化するグローバルエコシステムの中で新たな価値を創出する役割が求められます。これまでの取り組みを踏まえながら、変えるべき点は着実に変革し、豊かな未来社会を共創する「バリュークリエーションパートナー」として、社会課題解決および新たな価値創造に取り組んでいきます。

### ■参考文献

- (1) E. F. Vogel: "Japan as Number One: Lessons for America," Harvard University Press, 1979.



桂 一詞

この春「愛される未来につなげよう」という新たなコーポレートスローガンを策定しました。過去・現在と受け継がれてきた通信インフラを守りつつ、新たな変革にチャレンジし、愛される未来の実現に向けて取り組んでいきます。NTT西日本グループへのご支援・ご指導を引き続きよろしくお願い致します。

### ◆問い合わせ先

NTT西日本  
設備本部 ネットワークデザイン部  
企画部門 企画担当



# 将来のアクセスネットワークを実現する 研究開発の取り組み

NTTアクセスサービスシステム研究所（AS研）は、光通信・無線通信やインフラ設備およびオペレーションといった技術分野において、アクセスネットワーク（NW）を支える研究開発を進めています。アクセスNWを取り巻く環境変化を踏まえて、AS研が描く将来のアクセスネットワークと、この実現に向けた各技術分野の課題や主な取り組みについて紹介します。

キーワード：#光通信・無線通信、#インフラ設備、#オペレーション

たにぐち ともひろ  
谷口 友宏  
やまさき じん  
山崎 仁  
あべ じゅんいち  
阿部 順一

NTTアクセスサービスシステム研究所

## 将来のアクセスネットワークと実現に向けた課題

NTTアクセスサービスシステム研究所（AS研）では、光通信・無線通信やインフラ設備およびオペレーションといった技術分野において、アクセスネットワーク（NW）を支える研究開発を進めています。AS研は将来のアクセスNWの実現を通じて、新たな価値創造とサステナブル社会に貢献することをめざしていますが、将来のアクセスNWを考えるにあたって、特に注目すべき取り巻く環境の変化として以下が挙げられます。

① 人口・都市動態<sup>(1)</sup>：今後の人口減少の加速に伴って、各産業の労働人口はもちろんアクセスNWの構築や運用にかかわる方々の人数も減っていくことが考えられます。また、無居住化が進み、居住地域がコンパクトになるという予測もされており、人口・トラフィックが密集する都市部とルーラルそれぞれのエ

リア特性に応じたメリハリのあ  
るアクセスNWの設計や運用  
が求められると考えられます。

② インフラの老朽化<sup>(2)</sup>：道路やトンネル、水道などといった社会インフラについて、建設後50年を超える設備の割合増加が加速することから、通信分野でインフラを担う者として、関連課題への対策の期待が高まると考えています。

③ メタル回線からの移行<sup>(3),(4)</sup>：メタル回線サービスの光・モバイルへの移行に伴って、膨大なメタル設備の撤去、また、メタルを撤去した後のアクセスNW、つまり、アフターメタルのアクセスNWはどうあるべきかという検討課題があると考えています。

④ NW利用の様相：2040年ころのトラフィック予測<sup>(5)</sup>によると、トラフィック帯域は2020年比で数10倍から300倍程度になり、トラフィックの内訳については人による動画やSNS/

Web利用が中心だったものが、AI（人工知能）やモビリティ、ロボティクスやIoTがメインになるだろうと報告されています。また、NTTとしても、人々との通信だけではなく、モノどうしやAI・ロボットどうしの通信や、リアルタイムAI推論などユーザ近傍でのデータ処理へも対応するAIネイティブインフラへの転換をめざした方針を発表しています<sup>(6)</sup>。

これらの変化を踏まえ、AIとともに大きく進化していく社会に対して、AS研として以下のような将来のアクセスNWの姿を描いています。

- ・多数・多様な端末・用途、環境変化に応じた柔軟な収容（工場でのロボット・AI連携や新たなエンタテインメント体験など）
- ・陸・海・空のすべてのモビリティの収容と運用自律化（無線力バレッジ拡大と大容量化、センシングによる環境把握）
- ・社会インフラ運用の自動化（状態把握、劣化・故障の予測・

復旧)

- ・AIなどさまざまな用途の通信を支える設備〔大容量化・超並列光接続, All-Photonics Network (APN) 展開, 通信設備の最適化〕
- ・ネットワーク運用の自律化と社会基盤連携 (AIによる状況把握と対処, モビリティ・インフラなどの社会基盤との協調運用)

このような将来のアクセスNWの実現に向け, 技術分野ごとの主な課題を以下のようにとらえたうえで, 研究開発を進めています。

- ・光通信: 光インフラの大容量化, APNの特徴を活かしたさまざまなサービスの創出
- ・無線通信: 無線アクセスの品質向上, ミリ波帯・NTN (Non-Terrestrial Network) の活用推進
- ・インフラ設備: アフターメタルを見据えた検討, 社会インフラ

への技術展開

- ・オペレーション: NW運用の自律自動化

## 光通信に関する主な取り組み

光インフラの大容量化に向けては, マルチコア光ファイバの適用拡大に取り組んでいます。今後, AI・クラウドサービスの進展により, データセンタを中心にマルチコア光ファイバを適用した容量拡大が期待されています。これを実現するための課題としては, 同時接続コア数の増加と光中継の省電力化の課題があります。前者については, マルチコア光ファイバが集積された状態で接続する各ファイバを回転させてコアの位置を調心する高集積ファイバ回転機構, 後者については, 1つの励起光による高効率な4コア一括光増幅の技術検討を進めています。

APNサービスの創出については, オンデマンドで迅速な提供を実現するためのAPNトランシーバの遠隔制御やラインアップ化に取り組んでいます。遠隔制御では例えば, つないだら自動開通するプラグアンドプレイ機能の実現により, 作業員派遣を不要とすることで開通時間低減をめざしています。また, さまざまなユースケース [モバイルフロントホール, 企業データセンタ (DC) 間接続, クラウド事業者内DC間接続・中継網など] に対応するために伝送速度が異なるAPNトランシーバのラインアップ化にも取り組んでおり, これらについても遠隔制御対応することをめざしています (図1)。

## 無線通信に関する主な取り組み

無線アクセス品質向上については, リアルタイムアプリケーションの拡

## マルチコア光ファイバ (MCF) の適用拡大 APNのオンデマンド・迅速な提供



図1 光通信に関する主な取り組み

大に対応するための、無線通信の設計技術・把握技術・制御技術の3つを連携させて、つながり続ける無線を実現する技術群であるCradio®の取り組みを紹介します。CradioとNW運用データや外部データ（物流データ、ビル内データ、地図データなど）を連携させ、無線環境のリアルタイムでの把握や広い領域での無線品質の予測を行って、マルチ無線を制御するという仕組みを構築することで、高速移動や変動する無線環境に対応するマルチ無線サービスとして、例えばスマートシティにおける遠隔運転、工場や建築現場のDX（デジタルトランスフォーメーション）・ドローン監視などのユースケースの実現をめざしています。

ミリ波帯の活用推進に向けては、分散MIMO（Multiple-Input Multiple-Output）技術やWiGig

（Wireless Gigabit）制御技術により、遮蔽環境での通信品質安定化・大容量化の実現をめざしています。これらの技術についてはフィールド実証に取り組んでおり、分散MIMO技術についてはトンネルでのフィールド実証、WiGig制御技術については自動運転バス実証実験<sup>(7)</sup>を通じて、さまざまな利用シーンでミリ波帯をさらに活用拡大することをめざしています。

NTNの活用推進に向けては、JAXAとの連携で、低軌道衛星MIMO/IoTの軌道上実証実験を進めています。AS研の技術ポイントは、衛星通信にMIMO伝送を適用した大容量化であり、低軌道衛星によるMIMO伝送は世界初の実証です。この技術の確立を通じて、各種の衛星観測精度の向上や大規模衛星センシングサービスの実現をめざし

ています（図2）。

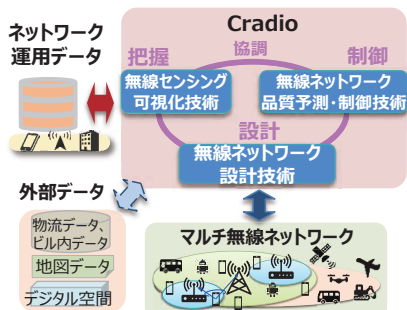
## インフラ設備に関する主な取り組み

主に通信インフラを対象としたアフターメタルを見据えた検討として、2つの取り組みを紹介します。

1番目はメタル撤去技術です。AS研では、特に架空メタルケーブルの撤去に関する技術として、張力を緩めず非昇柱で、安全にケーブルを切断・撤去することを目的とし、作業性・安全性を両立する撤去工具や、点群や画像による現場張力の可視化と提案手法の実施可否判定、また、発生する不平衡荷重や衝撃荷重がケーブルや電柱に与える影響の把握と安全に実施できる条件の明確化を検討しています。この技術の確立を通じて、架空メタルケーブルの維

### Cradio®

#### マルチ無線プロアクティブ制御技術



### ミリ波分散MIMO技術



### 低軌道衛星MIMO/IoT 軌道上実証実験

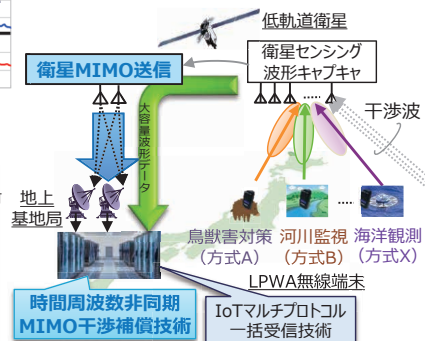
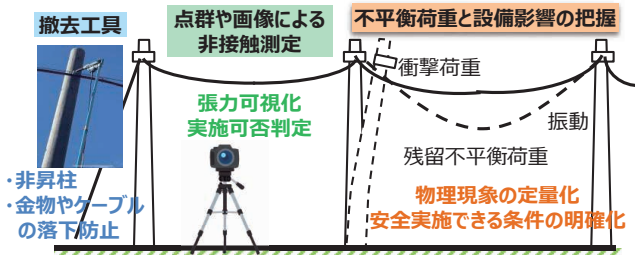
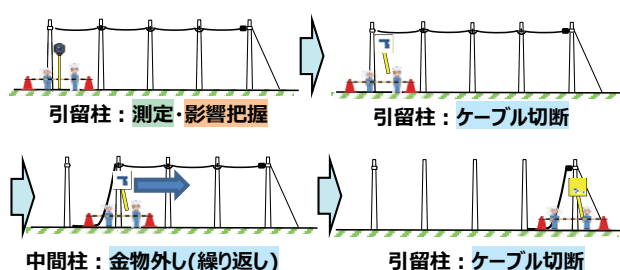


図2 無線通信に関する主な取り組み

## メタル撤去技術

張力を緩めず非昇柱でケーブルを切断または金物から外して撤去

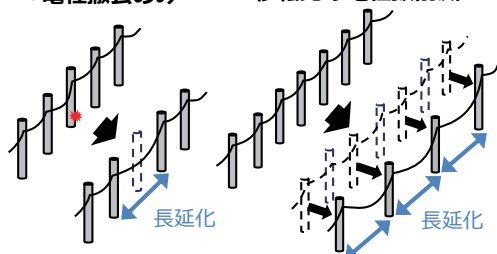


## 電柱本数削減に向けたスパン長延化技術

適用シーン

① 電柱更改  
→ 電柱撤去のみ

② 支障移転  
→ 移転先の電柱数削減



【課題】

・ 長スパン振動の影響評価

・ 既設スパンとの不平衡解消  
・ ケーブル地上高確保

【取り組み】

① 実験・シミュレーション



② 弛度大ケーブル高上げ方法  
の設備影響確認

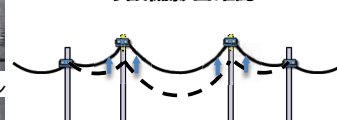


図3 通信インフラに関する主な取り組み

持管理・撤去コストの削減や作業者・設備の安全性の確保をめざしています。

2 番目は、電柱本数削減に向けたスパン長延化技術です。メタルケーブルを撤去した電柱のスパンを長延化し、本数を削減することで、根本的な設備維持コストの削減をめざしています。具体的には、実験・シミュレーションによる長スパン振動の影響評価、および不平衡解消と地上高確保を同時に実現する弛度大ケーブル高上げ方法の設備影響を確認しています（図3）。

次に、社会インフラへの技術展開

に関する取り組みを紹介します。

まずは、光ファイバ環境モニタリングで、これは既設の光ファイバを用いてセンサ網を構築する技術です。AS研では高精度な振動センシング技術に取り組んできましたが、加えて、ユースケースにおける振動データの解析技術への取り組みを通じて、NTT内設備への活用だけでなく、さまざまな社会インフラ課題解決に向けて地中空洞検知、橋梁点検などの技術確立をめざしています。

また、衛星・データ分析の取り組みでは、震災や豪雨といった激甚災害におけるリスク見える化を通じた

地域防災力の向上を目的としています。技術ポイントの1つは、通信で培った電柱の被災予測モデルを応用した道路被災予測であり、災害時避難・物資輸送の事前想定により孤立を防止することをめざしています。もう1つは、衛星電波解析技術を用いた地下を含めた異常スクリーニングであり、衛星画像を用いた重要道路の地下異常監視による道路陥没の防止につなげたいと考えています。

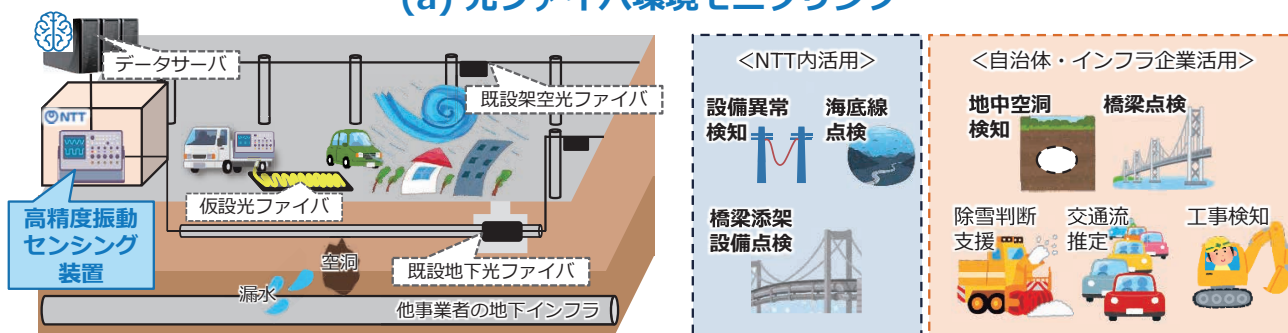
さらに、地上・地下インフラ3D管理の高度化にも取り組んでいます。地上については、3DGS（3D Gaussian Splatting）を用いたドラ

イブレコード画像内の設備位置特定技術に取り組んでおり、高精度な位置特定を通じて、維持管理の稼働・コスト削減や劣化の将来予測、都市

計画/防災シミュレーションの実現をめざしています。また、地下については、AI技術を用いた地中レーダ波形解析の高度化に取り組んでおり、

位置・管径推定、材質推定手法の確立を通じて、社会インフラの維持管理DXに貢献することをめざしています（図4）。

### (a) 光ファイバ環境モニタリング

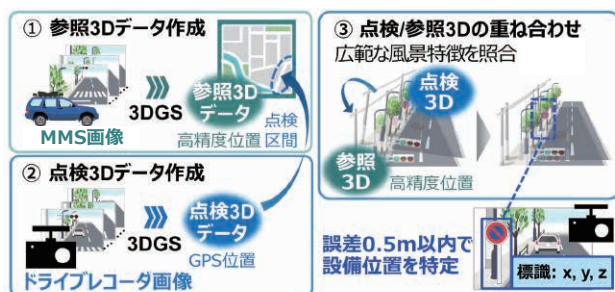


### (b) 衛星・データ分析を活用した強靱なまちづくり



### (c) 地上・地下インフラ3D管理の高度化

#### [地上] 3DGSによるドライブレコーダ画像内の設備位置特定



3DGS: 3D Gaussian Splatting

#### [地下] 地中レーダ波形解析高度化



図4 社会インフラに関する主な取り組み

## AI導入を促進するネットワーク情報基盤NOIM

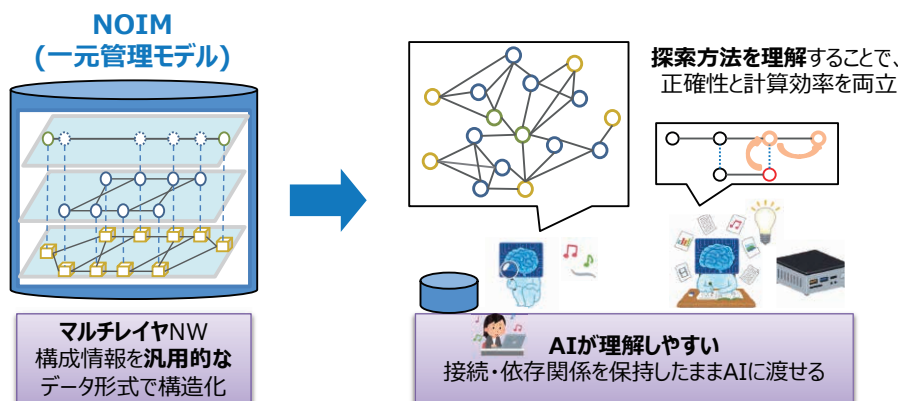


図5 オペレーションに関する主な取り組み

### オペレーションに関する 主な取り組み

NW運用の自律自動化の実現にあたっての重要なポイントとして、AIの導入が挙げられます。現在、NW構成情報が一元管理されておらずバラバラなデータ管理になっていることや、接続・依存関係をAIに理解させるための用途別チューニングが必要で負担が大きいことが課題になっています。これに対してAS研では、AI導入を促進するネットワーク情報基盤NOIM (Network Operation Injected Model) の取り組みを進めています。ポイントとして、物理～サービスのマルチレイヤNW構成情報を汎用的なデータ形式で構造化すること、また、接続・依存関係を保持したままAIに渡し、AIが探索方法を理解することで正確性と計算効率を両立することに取り

組んでいます。これらの技術確立を通じて、複雑なネットワーク運用へのAI導入を迅速化し、NW運用の自律自動化につなげたいと考えています (図5)。

### おわりに

本稿では、AS研が描く将来のアクセスNWとこれを実現する取り組みについて紹介しました。光通信における光インフラの大容量化やAPNサービス創出、無線通信における無線アクセス品質向上やミリ波帯・NTNの活用推進、インフラ設備についてのアフターメタルを見据えた検討や社会インフラへの技術展開、さらにオペレーションにおけるNW運用の自律自動化への取り組みを通じて、将来のアクセスNWを実現していきます。

### 参考文献

- (1) [https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/kokudo03\\_sg\\_000030.html](https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/kokudo03_sg_000030.html)
- (2) [https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02\\_01.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html)
- (3) [https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20250929\\_01.html](https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20250929_01.html)
- (4) <https://www.ntt-west.co.jp/news/2509/250929a.html>
- (5) [https://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/kenkyu/digital\\_business/02kiban09\\_04000633.html](https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/digital_business/02kiban09_04000633.html)
- (6) [https://group.ntt.jp/ir/library/nttis/management\\_strategy.html](https://group.ntt.jp/ir/library/nttis/management_strategy.html)
- (7) <https://www.ntt.com/about-us/press-releases/news/article/2026/0114.html>



(左から) 谷口 友宏/ 山崎 仁/  
阿部 順一

本稿で挙げた各技術分野における取り組みを通じて、将来のアクセスNWを実現し、新たな価値創造とサステナブル社会に貢献します。

### ◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所  
アクセスサービスシステムプロジェクト



# CONNECT & SENSEによる無線アクセス研究開発

NTT研究所では、6G（第6世代移動通信システム）/IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）時代に向けて、無線通信を快適にご利用いただくための技術であるマルチ無線プロアクティブ制御技術（Cradio<sup>®</sup>：クレイディオ）の検討を進めています。本稿では、Cradioにより構築する無線通信によるつながり（CONNECT）と、無線信号による環境の把握（SENSE）の検討状況を紹介し、さらに、将来の高度化に向けた研究開発技術について紹介します。

キーワード：#無線アクセス、#センシング、#無線通信

く どう り い ち  
工藤 理一

NTTアクセスサービスシステム研究所

## 6G/IOWN 時代の無線アクセス

無線アクセスの普及が進み、今やいつでもどこでもネットワークに接続し、さまざまなアプリケーションを利用できることが当たり前になりつつあり、SNSや動画視聴など、無線信号を介したアプリケーション利用であっても、お客さまの期待する品質に満たない場合には、大きなストレスを感じるようになっていきます。また、端末がネットワークに接続するために、利用可能な無線アクセスも、Wi-Fi<sup>\*1</sup>、WiGig<sup>\*2</sup>、LTE（Long Term Evolution）<sup>\*3</sup>、5G<sup>\*4</sup>

など、さまざまな選択肢があるほか、それぞれの無線アクセスにおいても、周波数・送信電力・ビットの送受信方法にかかわる設定など、さらに多様な設計が無線通信品質に影響しています。

無線アクセスが普及し、私たちの周りには常に無線信号があふれていますが（図1）、無線信号は目に見えないため、これら無線アクセスをどのように利用するのが、お客さまとネットワークの間のつながり（CONNECT）を決定付けることに

なります。お客さまの期待する品質を満たすような、CONNECTを実現し、維持していくには、無線アクセスを高度に設計・制御していく技術が求められるようになっていきます。一方で、図1のように、空間を伝搬するさまざまな周波数の無線信号を、通信以外の用途でも利用する新しい取り組みも始まっています。ISAC（Integrated Sensing and Communication）<sup>\*5</sup>と呼ばれる新しい技術は、通信と環境の把握（SENSE）を融合し、環境にあふれ

- \*1 Wi-Fi：Wi-Fi Allianceに認定された無線LAN標準規格IEEE802.11の無線ネットワークであり、現在はWi-Fi 4～Wi-Fi 7までが市販されています。
- \*2 WiGig：主に60 GHz帯の無線を用いる無線通信規格です。
- \*3 LTE：国際標準化団体3GPPにおいて標準化された携帯電話の通信規格です。
- \*4 5G：国際標準化団体3GPPにおいて標準化された第5世代移動通信システムで、「高速・大容量」「低遅延」「多数端末との接続」の特徴を持つよう進化した携帯電話の通信規格です。
- \*5 ISAC：通信とセンシングの機能を1つのシステム・電波で同時に統合する技術です。



図1 無線アクセスの普及と無線信号のあふれる世界のイメージ

ている無線信号に新たな価値を生み出す可能性があります。

NTTアクセスサービスシステム研究所 (AS研) 無線アクセスプロジェクトでは、CONNECTを支え、SENSEを可能にする、マルチ無線プロアクティブ制御技術 Cradio<sup>®</sup>\*6の検討を進めてきました。Cradioのイメージを図2に示します。Cradioは、さまざま無線アクセスの利用環境に対し、大容量・高信頼・低遅延など、ユースケースに応じた多様な要求に対応するため、検討を進めてきた技術群の総称です。大きな機能として、無線を利用する環境に合わせて、無線アクセスを「設計」する技術、その環境で用いられる無線トラフィックや利用端末の動きに対して、無線品質を「予測・制御」する技術、無線信号を用いて物理的な環境や端末を「把握」する技術、からなります。本稿では、快適なCONNECTを実現する技術として、

「設計」と「予測・制御」、SENSEに挑戦する技術として「把握」を取り上げ、紹介します。

## CONNECTのための研究開発

無線アクセスを当たり前のものとして使うために、もっとも重要なこととして、電波という公共の資源を利用するために国際的な調和を取りつつ、法制度を整備する必要があります。無線アクセスプロジェクトでは、国際電気通信連合の無線通信部門ITU-R (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector) において、作業部会の議長職 (WP3K Vice-Chair, WP3K 3K3 Chair, WP5C WG5C4 Chair) についており、国際的な調和の中で、快適に無線アクセスが利用できるよう、無線信号の電波伝搬なども考慮した勧告・報告の策定に貢献しています。また、広く普及している無線LAN標準規格IEEE802.11bn (Wi-Fi8と

して市場に登場見込み)のSecretary職も担当し、積極的に仕様策定に貢献しています。このような取り組みが、無線アクセスの快適な利用を支えています。

### ■設計技術

多様な選択肢から、電波環境を考慮し、無線アクセスを設計することは、快適なCONNECTを実現するための第一歩となります。Cradioの設計技術であるマルチバンド対応無線エリア設計技術は、あるエリアに無線アクセスを構築したい場合に、無線品質における目標値に対し、基地局の置局や設定に対する設計案を作成することができます。図3に、マルチバンド対応無線エリア設計技術の基本フローを示します。快適な無線アクセス環境を構築するためには、その場所における基本設定を用意します。具体的には設置する環境の3Dモデルや、無線基地局に用いるアンテナや周波数などの設定、通信エリアにおいて重視する評価点、などが挙げられます。これらの情報を基に、レイトレース技術による電

\*6 Cradio<sup>®</sup>: 設計、予測・制御、把握により、無線アクセスをより快適にお使いいただくための技術群です。

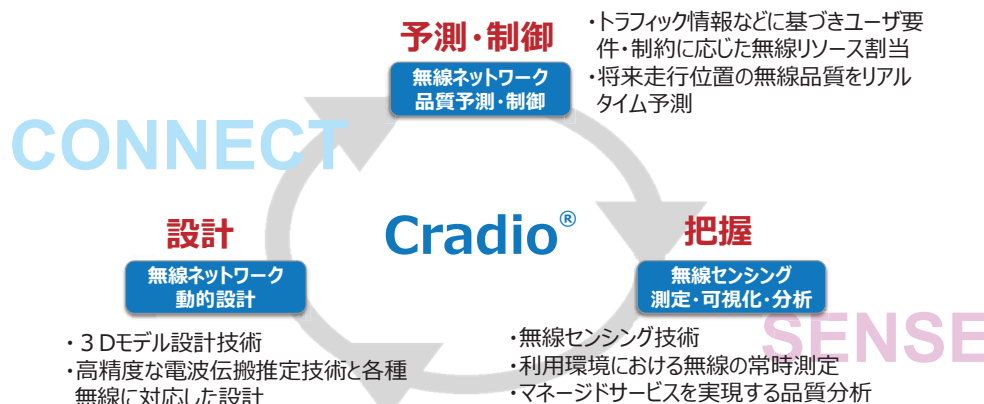


図2 Cradio技術によるCONNECT & SENSE

波伝搬の計算を行うことができます。利用する環境におけるヒートマップや統計情報を可視化することができ、目標値を設定すると、基地局の設置位置を強化学習により最適化し、設計プランを出力することができます。複数のバンドで設備が共用されている場合において、設計プランは、置局・角度・出力等を合わせたうえで、複数のバンドで総合し最適となる設計値を選択することができます。また、得られた設計に対する目標値はスループットなどの指標で確認することができ、ユースケースに応じた品質を満たしているのか、評価する

ことができます。

また、ここで大きな手間になる利用環境の3Dモデルも、図4に示すような3Dモデル構築技術により、低コストに作成可能です。大きく2つの構成技術があり、2DのCAD情報から、必要な情報のみを抽出したうえで3Dモデルを構築したり、簡易な点群データ作成システムにより、現地での測位情報から3Dモデルを構築したりすることもできます。この基本設定コストを下げることで、さまざまな環境でのニーズに迅速に対応することが可能です。

## ■予測・制御技術

CONNECTを支えているCradioの予測・制御技術としては、バンド分散技術と無線品質予測技術を紹介します。図5はモバイル網に対するバンド分散技術を示すイメージ図です。LTEや5Gでは、さまざまな周波数帯（バンド）で、基地局とスマートフォンなどの端末との間で無線通信を提供しています。端末とやり取りする無線トラフィックは年々増大しているほか、都市部や郊外地等場所属性、および通勤時間や土日祝日等時間属性によって、基地局を介してやり取りされるデータ量がダイナ

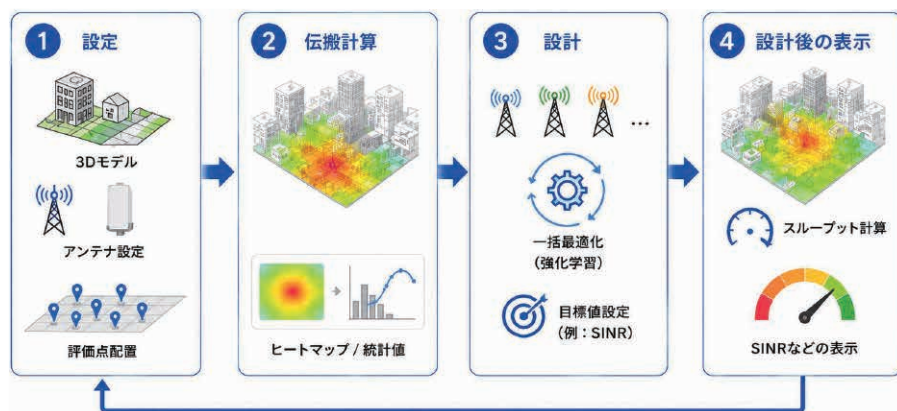


図3 Cradioの置局設計フロー

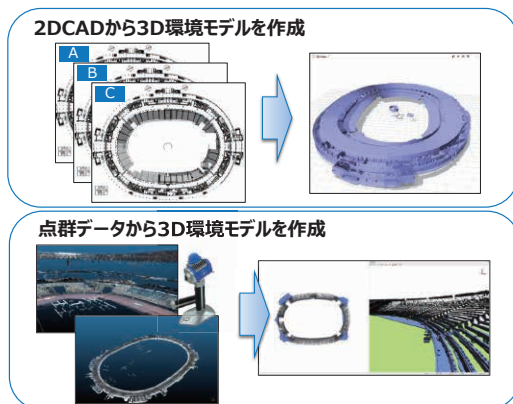


図4 3Dモデル構築技術

ミックに変わります。この時、利用できる周波数はこのデータを流すための伝送路となっているのですが、その場所で利用可能な複数の周波数候補に、基地局から端末への下り通信と、端末から基地局への上り通信へのトラフィックを効率的に分配しないと、ある伝送路にデータが集中して、品質低下を引き起こします。このため、バンド分散技術では、LTEや5Gにおける無線周波数と利用可能な帯域に対し、過去のトラフィック情報の経験値を基にした制御により効率的なデータ流通を実現しました。本技術については、2026年6月にIEEE VTC2026-Spring 国際会議にて報告しました<sup>(1)</sup>。

もう1つの制御技術として、無線品質予測技術が挙げられます。無線品質予測技術は、自動運転車両などの途切れない無線アクセスを必要とする移動端末において、車両の移動により生じる無線通信品質の変化をあらかじめ予測し、品質の変化にプロアクティブに対応が可能となる技

術です。例えば予測に基づいて、複数のネットワークのプロアクティブな切替制御、遠隔管制用の映像伝送におけるプロアクティブな映像コーデックの動的制御、通信品質劣化を回避・緩和するための加減速や走行ルート変更などの車両の走行制御などに活用できます。無線品質の予測には、機械学習モデルを用い、受信電力などの無線信号情報や基地局のIDや周波数、車両の位置などから予測モデルに入力する特徴量を生成しています。あらかじめ想定される車両の運行経路に対して事前学習を行い、機械学習モデルを生成しているほか、学習していない経路での評価や、機械学習モデルの汎化性能の向上にも取り組んでいます。無線品質予測技術は、自動運転関係の実証実験に貢献しています<sup>(2),(3)</sup>。

### SENSEへの挑戦

近年、無線アクセスのために送信される通信信号をセンシングにも活

用するISACが注目されています。LTE、5G、そして6Gに向けた無線通信仕様の策定を担う3GPP (3rd Generation Partnership Project) では、ISACの代表的なユースケースとして、スマートホーム、スマート交通、UAV (Unmanned Aerial Vehicle)、スマートシティ、スマート工場、スマートヘルス、スマートエンタテインメントなどが挙げられており、今後、多様な分野での展開が期待されています<sup>(4)</sup>。無線アクセスプロジェクトにおいても、無線信号の付加価値を高めるとともに、将来的な事業展開につなげることを目的として、センシングに関する研究開発を推進しています。

現在、ISACの中でも特に注目度の高い人体検出に着目し、実環境を想定した実証実験を実施しています。図6に、商用網のLTE基地局から送信される2 GHz以下での複数の周波数を用いて、人体検出を行った実験の様子を示します<sup>(5)</sup>。本実験では、LTE基地局から送信され

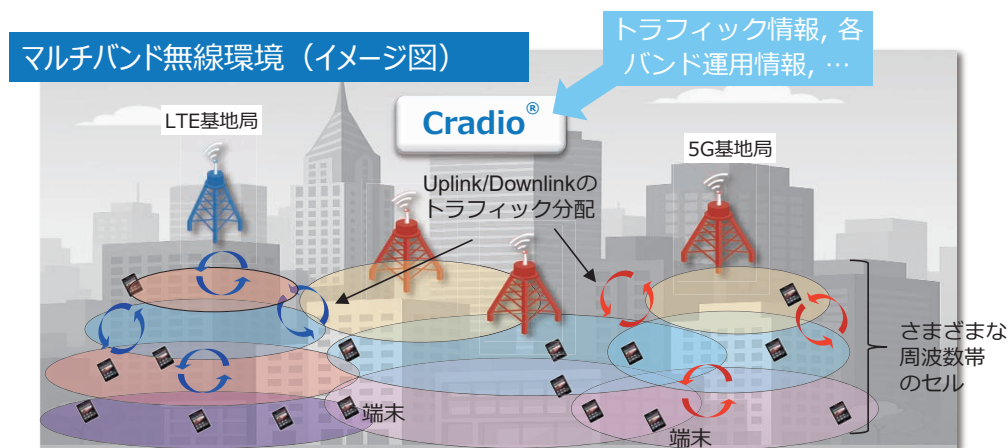


図5 Cradioの制御技術

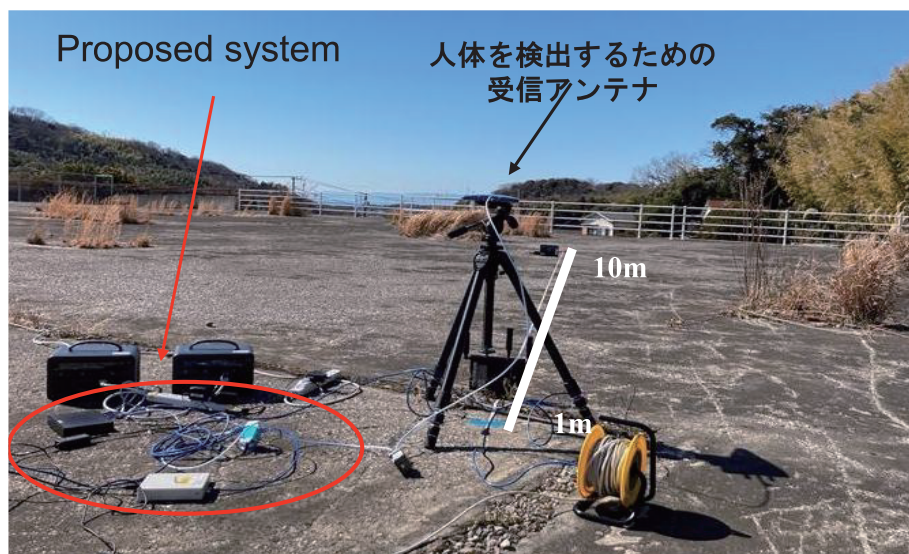


図6 LTE 商用網の電波による人体検出の実験写真

る参照信号を一定時間観測し、得られたデータを機械学習モデルに入力することで、人体の有無を推定しました。その結果、80%以上の精度で人体検出に成功しており、既存の通信インフラから得られる無線信号が、センシング用途にも有効であることを確認しています。さらに、実証実験では、信号強度の揺らぎの情報を用いるなど、入力特徴量を拡張することで、特定の場所を通行する歩行者数のカウントにも取り組んでいます<sup>(6)</sup>。このように、単なる人体の有無の検出にとどまらず、人の動きや通行状況などのより詳細な実空間情報の取得に向けた検討を進めています。今後は、無線通信を通じて得られる情報を、物理的な現実世界の状態や変化を表す情報へと変換するための基礎技術を構築していきます。併せて、実環境における検証を継続し、具体的なサービスの創出や社会実装に向けた検討を進めていきます。

## おわりに

本稿では、AS研無線アクセスプロジェクトで取り組んでいる、CONNECTとSENSEの研究開発について紹介しました。CONNECTの技術により、快適なモバイルサービスの基盤を支えるとともに、SENSEの技術により、非通信の分野でも新しい価値を生み出すため、センシング技術の検討を進めています。将来の無線アクセスネットワークが新しいつながりの基盤となり、無線アクセスだけでなく、安心・安全な社会インフラの基盤となっていけるよう、研究開発を進めていきます。

### 参考文献

- (1) H. Abeysekera, M. Inomata, Y. Asai, Y. Taguchi, K. Nagano, and T. Hirose: "WATARI: A Water-Filling-Inspired Congestion-Aware Multi-Band Resource Allocation with Uplink and Downlink Traffic Asymmetry," VTC-spring 2026, June 2026.
- (2) [https://www.ntt.com/about-us/press-releases/news/article/2025/](https://www.ntt.com/about-us/press-releases/news/article/2025/1127.html)

1127.html

- (3) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2025/10/08/251008a.html>
- (4) [https://xgmf.jp/pdf/6g-pj/Beyond-5G-White-Paper-Sensing\\_v1.pdf](https://xgmf.jp/pdf/6g-pj/Beyond-5G-White-Paper-Sensing_v1.pdf)
- (5) H. Otani, T. Murakami, K. Ohara, S. Otsuki, Y. Takatori, and T. Ogawa: "An Open-Source SDR-Based Device-Free Sensing Platform for Integrated Sensing and Communication (ISAC)," in IEEE Open Journal of the Communications Society, Vol. 6, pp. 9982-9990, 2025.
- (6) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2025/05/26/250526a.html>



工藤 理一

利用が進み、より複雑になる無線アクセスを、生活の一部として快適に当たり前にお使いいただくとともに、センシングのような新たな領域にも挑戦し、ワイヤレス技術でさらに豊かな社会生活を実現するため、研究開発を進めていきます。

### ◆問い合わせ先

NTT アクセスサービスシステム研究所  
無線アクセスプロジェクト



# AI時代を支える光アクセスネットワーク技術

近年AI（人工知能）の性能が飛躍的に向上し、さまざまな産業においてAI適用によるビジネスの効率化や変革が急速に進行しています。NTTアクセスサービスシステム研究所（AS研）では、本格的なAI時代の到来を見据え、各種光アクセスネットワーク技術の研究開発に取り組んでいます。本稿では、AIが光アクセスにもたらす変化と影響を概観するとともに、研究開発の方向性と関連技術について紹介します。

キーワード：#光アクセス、#フィジカルAI、#APN

しまだ たつや  
島田 達也

NTTアクセスサービスシステム研究所

特集

## 光アクセスを取り巻くサービス変化

トラフィック量の増大に伴い、光アクセスの高速化が順調に進められています。商用ベースでは10 Gbit/sクラスのサービスが普及拡大し、標準化ベースでは50 Gbit/s級の検討はおおむね完了し、100 Gbit/s級に議論はシフトしてきています。近年のAI（人工知能）の飛躍的な性能向上に伴い、さまざまな産業においてAI適用によるビジネスの効率化や変革が急速に進行しています。その結果、光アクセスを取り巻く環境にも変化が訪れようとしています。参考文献(1)によると、トラフィック量は2020年比で2030年には約14倍、2040年には約348倍に増加するという試算が出ています。また、用途にも変化が生じ、放送・動画・Webなどから、自動運転やメタバース、フィジカルAI、ドローン等の遠隔制御などの割合が増加すると予想されています。

自動運転などのトラフィックは、その地域だけで利用される、いわゆ

る地産地消型のトラフィックと呼ばれます。地域内で通信が閉じるため、バックボーン回線の帯域やコスト削減につながる、通信距離が短くなるため低遅延化が図られレスポンスが速くなる、各種データを処理するサーバがエッジに配置される、など今後の光アクセスネットワークを検討するうえでの示唆が含まれています。特にAI処理を行うサーバがネットワーク上のどこに配置されるかは重要なポイントで、将来的にはAgentic AIが人を介さずに自律的にタスクを行うためにAI間で情報をやり取りし始めると、トラフィック量や流れを想定するのが難しくなってきます。また、フィジカルAIも今後の光アクセスを検討するうえで重要です。フィジカルAIは、低遅延性、リアルタイム性が求められるため、APN（All-Photonics Network）のユースケースなどでも各種取り組みが紹介されています。

将来の光アクセスネットワークを検討するうえでは、このようなサービスの変化に加え、2030年代の商用化をめざす6G（第6世代移動通

信システム）の要件（超高速、超低遅延、多数同時接続等）<sup>(2)</sup>なども考慮する必要があります。こうした変化や厳しい性能要件にこたえていくために、NTTアクセスサービスシステム研究所（AS研）光アクセスシステム基盤プロジェクトでは、以下の3つの方向性で研究開発を進めています。

## 光アクセスネットワーク技術の方向性

### ■方向性①：高柔軟性

サービスの多様化、トラフィックの変化に対応するためには、単なる高速・大容量化だけではなく、幅広い帯域サービスを経済的に提供していくことが重要です。また、利用時間、場所、用途、環境に対する柔軟性も求められます。例えば、フィジカルAIの利用が進むと、人が働く日中帯だけでなく夜間もロボットを稼働することなどが想定され、ネットワークの利用時間も変化してきます。さらに、環境変化を自ら学習しAIが自律的に安定的に動作するため

には、それに追従したネットワークの提供が必要となります。

### ■方向性②：低遅延・低ジッタ化

現在商用で広く用いられているTDM-PON (Time Division Multiplexing Passive Optical Network) は、複数のユーザで上り帯域をシェアする方式で、ベストエフォート型のシステムとなります。今後は、AIの普及拡大に伴い、低遅延・低ジッタな性能を保証するギャランティ型のサービスのニーズが顕在化してくるものと想定されます。また、AIがもたらすサービス目線で考えると、光アクセス部分だけでなく、無線アクセス、エッジサーバも含めたトータルでいかに性能を保証するかも重要なポイントとなります。

### ■方向性③：効率的な運用

AI for Networkは光アクセスにおいても今後必須となる技術です。ネットワークの設計・保守・運用に

おいては、AIを活用し自動化・自律化を進めることで、効率化を図ります。また光アクセスにおいては、ユーザ宅に置かれる通信機器も保守・運用に含まれるため、遠隔から設定・制御を可能とする技術や、サービスの継続の利用を担保し、使いたいときにいつでも使えるといった可用性を提供していくことも重要となります。

以下では、AI時代を見据え、現在私たちが取り組んでいる研究開発の一部を紹介します。

## 光無線連携制御技術

方向性②で示したとおり、サービス目線で考えたときには、低遅延・低ジッタ化を進めるうえで、光アクセス+無線アクセス+エッジサーバのトータルで性能、品質を設定・制御していくことが重要です。光アク

セス+無線アクセスの例として、**図1**に検討中の技術概要とドローンを使った遠隔点検の実証を示します。

今回の実証では、無線区間にはローカル5G (第5世代移動通信システム)、有線区間にはフレッツVPNを利用し、操縦者は、点検用のドローンからの映像を見ながら、遠隔操作を行いました。ローカル5Gでは、上り下りで同じ周波数を利用して通信するTDD (Time Division Duplex) 方式が採用されているため、上り下り信号ともに決められた時間・タイムスロットでしか信号を送信することができません。また、他のユーザ利用により輻輳が発生し遅延やパケットロスによる再送も発生することがあります。そのため、周期的に送信される映像信号がローカル5G区間でジッタが発生し、その結果、操縦者に届く映像は乱れ、ドローン操縦がしづらくなっ

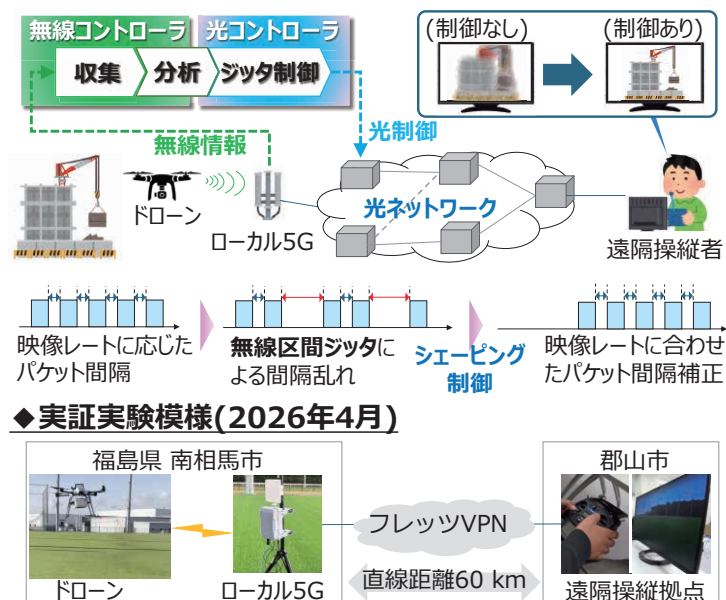


図1 光無線連携制御技術

てしまいます。光無線連携制御技術は、このような無線区間で生じるジッタを低減するため、無線基地局から無線区間の送信タイミングに関する制御情報を無線コントローラで収集し、光コントローラを用いて光区間で信号間隔を均一にすることで（低ジッタ化することで）、映像品質を安定にすることができます。本技術により、ドローンの遠隔からの安定操作が可能となります<sup>(3)</sup>。

本技術については、福島県南相馬市にドローンを配置し、約60 km離れた郡山市から遠隔操縦を行う実証実験を行いました。実証実験では、無線区間をローカル5G、2 拠点間をフレッツVPNで接続した環境を構築し、ドローンからの映像を見ながら遠隔操縦できることを確認しています。今後はさらなる適用拡大に向け、ドローンに限らず無人航空機・ロボットの操縦等への幅広い適用をめざして、実用化を推進中です。

## 産業用機器SDN\*化技術

フィジカルAIの一例として産業用ロボットがあります（図2）。産業用ロボットを動作させるために、現在専用の制御機器（ハード）が主に用いられていますが、制御機能をソフト化し、エッジに実装することで、機能の変更を柔軟に行うことや、AIと組み合わせた高度なロボット制御が可能となります。例えば、パレタイズ（荷物の積み上げ作業）動作を実装する際、ロボットごとに異なる制御ドライバ、パレタイズする作業モデルと汎用的に利用されている画像分析AIを組み合わせることで、ソフトをゼロからつくる必要がなくなり、すでにつくられた機能モジュールを利用するだけで作業内容の実装が簡単にできるようになります。また、作業内容の変更は、難しいプログラムの書き換え等は必要とせず、LLM音声認識により自動設定変更も

可能となります。本技術では、産業用ネットワークで広く使用されている、EtherCATやPROFINETのプロトコルドライバをソフトウェア実装しており<sup>(4)</sup>、ロボット作業の変更、メーカーの異なるロボットへの取り換えなどが簡単に実現できるようになります。これにより、産業分野におけるフィジカルAIの普及拡大が期待できます。

## 遠隔制御対応APN光トランシーバ構成技術

本技術は、方向性①、③に関する検討で、APNにおいて、ユーザ拠点に設置される光トランシーバ（APN-T）<sup>(5)</sup>に対し、遠隔で設定・制御を行う技術です（図3）。

\* SDN (Software Defined Network) : ネットワーク機器の制御を柔軟にソフトウェアで行えるようにしたネットワークの設計思想や技術のこと。

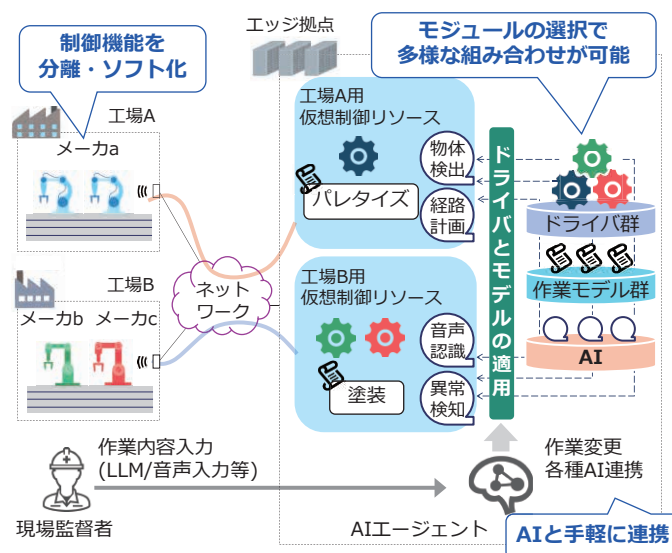


図2 産業用機器SDN化技術

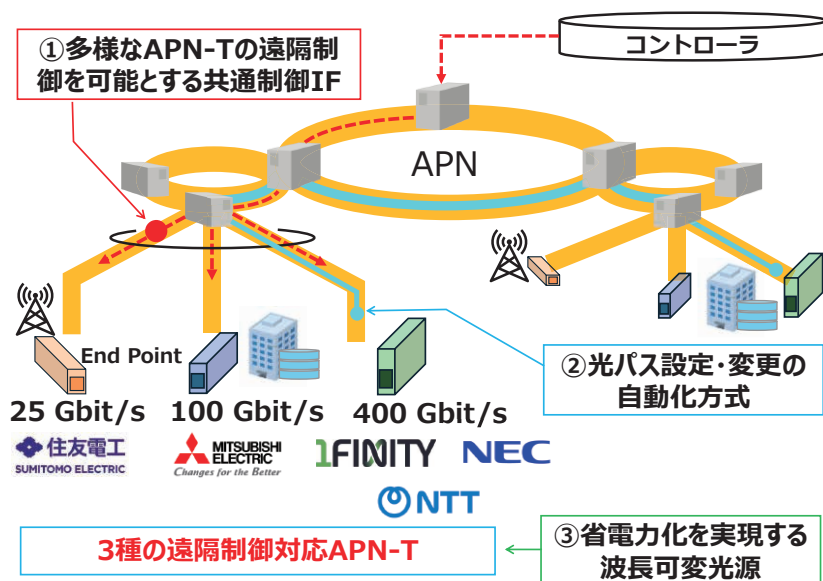


図3 遠隔制御対応 APN 光トランシーバ構成技術

コントローラは遠隔に置かれるさまざまな光トランシーバとやり取り可能な共通の制御インタフェース<sup>(6)</sup>を介し、主信号と同じ光ファイバに制御信号を多重して送受信します。本機能を活用することで、APNの開通時に必要な光パス設定（APN-Tの波長設定や送信光パワーの設定等）を自動的に行うことが可能となります。そのため、APN開通時に、作業者を派遣する必要がなくなり、開通時間を100分の1程度にまで大幅に削減することができます。

現在他企業様と連携し、25 Gbit/s、100 Gbit/s、400 Gbit/sのAPN-Tの研究開発を進め、用途に応じたサービス提供をめざしています。技術実証と並行し、Open ROADM MSAへの提案など、標準化に向けた取り組みも実施中です。なお、本技術の研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）の助成事業（JPJ012368G50201）により得られたものです。

## 今後の展望

本稿では、AIが光アクセスに与える影響について述べるとともに、光アクセスの研究開発の方向性、検討中の技術について紹介しました。AIを基盤としたより豊かな社会の実現をめざすうえでは、光アクセスの役割は非常に重要です。APNの面的展開が進むことで、光アクセスにもAPNが適用されれば、ユーザが享受するサービスの幅が一気に拡大していく可能性があります。今後もAIの普及速度に負けない、スピード感のある光アクセスの研究開発を推進していきます。

### 参考文献

- (1) <https://www.mri.co.jp/knowledge/insight/policy/hd2tof0000009hiu-att/er20230928.pdf>
- (2) [https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper\\_6g/DOCOMO\\_6G\\_White\\_PaperJP\\_20221116.pdf](https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/DOCOMO_6G_White_PaperJP_20221116.pdf)
- (3) K. Miyamoto, T. Harada, H. Ujikawa, T. Shimada, and T. Yoshida: "Application-Level E2E

Demonstration of Reducing Uplink Jitter Due to Radio Transmission Toward Real-Time and Stable Remote Operation," VTC2025-Spring, pp. 1-5, Oslo, Norway, 2025.

- (4) Y. Koyasako, T. Suzuki, T. Hatano, T. Shimada, and T. Yoshida: "Demonstration of Industrial Ethernet Protocol Softwarization and Advanced Motion Control for Full Software-Defined Factory Network," IEEE Access, Vol. 12, pp. 104020-104030, 2024.
- (5) <https://iowngf.org/open-all-photonics-network-functional-architecture/>
- (6) 妹尾・原・可児・島田: "オール光ネットワークのための遠隔制御対応光トランシーバ構成技術の概要," 信学技報, Vol.125, No.315, CS2025-69, pp.58-62, 2026.



島田 達也

AIがもたらす新しい社会に向け、光アクセスの研究開発を推進していきます。

### ◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所  
光アクセスシステム基盤プロジェクト



# 社会基盤としてのデータセンタ：AI需要への対応と持続可能性（後編）

成長を続けるデータセンタ市場においては、AI（人工知能）需要への対応が重要となっています。データセンタがAIに対応するためには、目的に応じて、立地や構造など、従来のデータセンタとは異なるものとする必要があります。本稿では、AIデータセンタと従来のデータセンタとの違いと、求められるものは何かを踏まえ、AIデータセンタの新設動向や、課題解決をめざしたネットワーク技術、サービスの進展について報告します。

キーワード：#データセンタ，#AI，#クラウド



## はじめに

前編では、最近注目が高まっているデータセンタについて、市場の概況と変化、それがもたらす電力需給のひっ迫、経済安全保障上の課題と解決の方向性、今後の動向について報告しました。今後の動向としてもっとも重要なのはAI（人工知能）需要への対応です。AIの社会的な役割が増し、AIへの需要が増えるにつれて、データセンタへの需要も増加します。また、データセンタがAIに対応するには、学習や推論などの目的に応じたものでなくてはならず、冷却の方法、立地や構造も、従来のデータセンタとは異なるものが求められます。

増えるAI需要にこたえるには、単体のデータセンタの能力を向上させるだけでは十分ではありません。学習や推論のデータがあるべき場所

にあって、求められる時間内に、求められる「答え」を出す必要があります。クリティカルな業務には、信頼性の高さも重要です。また、状況に応じて変わる要件へ動的に対応できる柔軟性や、自律化、自動化も必要になります。今回は、そのようなAI能力を備えるAIのためのデータセンタに関する動向を報告します。

## AIデータセンタ

### ■ AIデータセンタに求められるもの

最近、世界各国や日本で「AIデータセンタ」新設に関するニュースが相次いでいます。では、AIデータセンタは従来のデータセンタと何が異なるのでしょうか。

従来のデータセンタは、クラウドサービスや業務アプリケーション、データベースなどCPU中心の汎用的な処理を想定してつくられていま

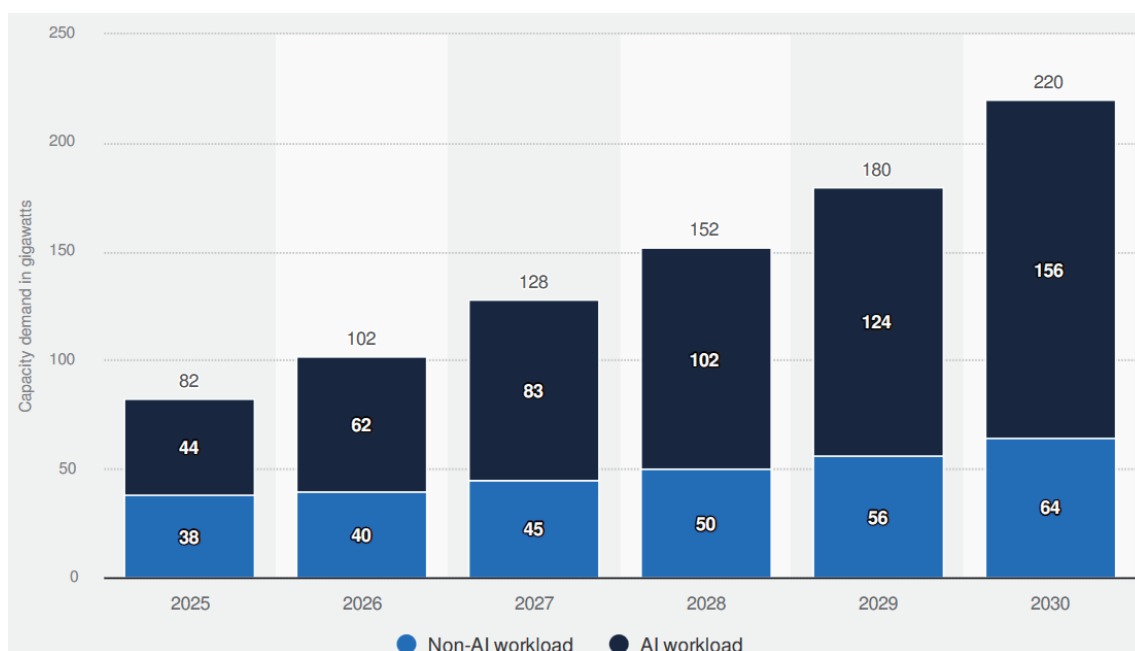
す。一方、AIデータセンタはGPU（Graphics Processing Unit）、TPU（Tensor Processing Unit）といったアクセラレータを大量に用い、AIの学習（training）や推論（inference）に最適化されています。

このように、用途と使われる機器が異なることから、AIデータセンタにおいては、消費電力が大きく、エネルギー源、建物の構造、冷却方式も従来と異なることが多くなっています。このことは、立地、ネットワークの違いにもつながっています。

#### (1) 消費電力

AI関連のワークロードの電力需要は、AI関連以外のものよりも急速に成長するとみられています（図1）。2030年のAI向け電力需要は2025年の約3.5倍と、非AI向けの約1.7倍に比べて大幅に増加する見込みです。

ラック単位でみても、AIにおける学習のワークロードは、数年以内にラック当たり1 MWにも達するとい



2030年のAI向け電力需要は2025年の約3.5倍（非AI向けは約1.7倍）

出典：Statista

図1 AI関連と非AI関連ワークロード向け電力需要（GW：ギガワット）の見通し（2025～2030年）

われています。これにより、データセンタ当りの電力消費量も増加しますので、これに対応した電力調達が必要になります。従来からデータセンタへの送配電は大きな課題となっていますが、データセンタの電力需要がさらに増すことで、この問題がさらに大きくなっています。系統整備のために数年以上の工期を要することもあり、これがデータセンタプロジェクトの遅延につながっています。また、系統整備にかかる費用負担も課題となっています。データセンタへの電力供給に必要な新たな電力インフラの費用が、消費者に転嫁される場合があることも指摘されています。

さらに、系統が整備できたとしても、AIデータセンタは従来のデータセンタと比べて、電力需要の変動が

激しいことも新たな課題となっています。送電網への接続に時間を要することから、敷地内で天然ガス発電などオンサイト発電のプロジェクトが進んでいますが、電力需要の変動に対応するためには、蓄電池も不可欠な技術となりつつあります。

## (2) エネルギー源

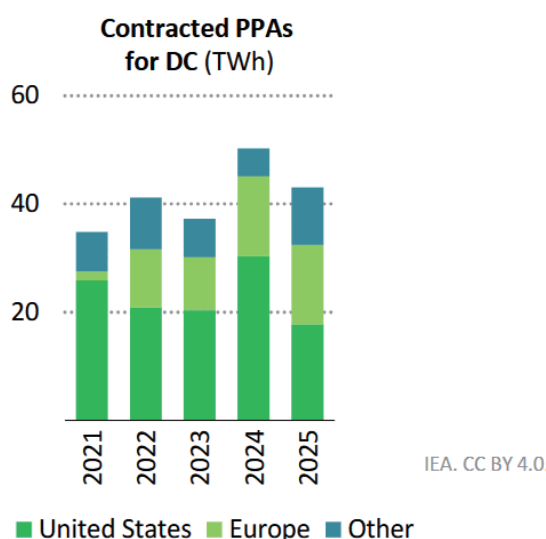
AIデータセンタにおいては、必要な電力を調達できればよいだけではなく、エネルギー源についても考慮する必要があります。再生可能エネルギーへの需要が増加しています。国際エネルギー機関（IEA）の報告によれば、2025年に締結された再生可能エネルギー電力購入契約（PPA）の中で、テクノロジー業界によるもの（多くはデータセンタ関連と思われる）が約40%を占めたとされています<sup>(1)</sup>。近年、データセンタでは、

再生可能エネルギー源を含むPPAの採用がますます進んでおり、年ごとの増減はあるものの増加傾向にあります。国・地域別の割合をみると、米国一国で、欧州全体を上回る量の契約が行われています（図2）。

再生可能エネルギーPPA全体でみた電力の用途としても、データセンタの占める割合が高まっています。各地域での再生可能エネルギーPPAにおけるデータセンタのシェア（2021年から2025年）をみると、米国の約65%はデータセンタ向けでした（図3）。このほか、前編でも述べたように、原子力や地熱発電活用に向けた取り組みも進められています<sup>(2)</sup>。

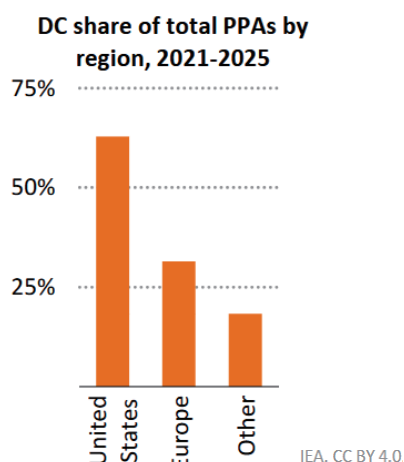
## (3) 建物の構造

AIデータセンタでは、建物の構造も従来のデータセンタとは異なります。大きな要因の1つは床荷重です。



出典：Key Questions on Energy and AI (IEA, 2026)

図2 データセンタ向け再生可能エネルギー契約



出典：Key Questions on Energy and AI (IEA, 2026)

図3 再生可能エネルギー契約に占めるデータセンターのシェア（地域別）

従来型のサーバーラックが500～700 kgであったのに対し、フル実装のGPUラックは、1000～1,500 kg、場合によってはそれ以上に達するともいわれています。この重量を多層階で支えるとコストが割高になることから、階数が少ない構造が選ばれやすくなっています。例えば、Microsoftの最新鋭のAIデータセンタである「Fairwater」は2階建て

ですが、それでも実現は簡単ではなかったとみられています。

それから、床荷重の増大により、従来のデータセンタで多く使われていたフリーアクセスフロア（二重床）が見直され、直置きを採用する動きも出てきています。安価で、より大きな床荷重に対応でき、機器の固定も容易であること、耐震性に優れることなどが評価されています。

#### (4) 冷却方式

冷却も課題です。データセンタでは、機器から熱を発生しますが、機器の動作環境を維持するために（熱による機器の誤動作等を防ぐために）、温度を一定範囲に保つ必要があります。このため、従来のデータセンタでは、アイルコンテインメント（排熱の熱気と空調の冷気を分離して空調効率を高める仕組み）などを活用しつつ、空冷（空調）で冷却されていました。しかし、GPUなどの発熱には空冷では対応できなくなりつつあります。

これに対応するのが液冷です。水の体積当り熱容量は空気の約3300倍となります。液体を用いることで、高性能で発熱も多くなりがちなGPUサーバなどを効率的に冷却することができるのです。なお、実際には水ではなく特殊な液体が使われることもあります（表）。

液冷の方式はいくつかありますが、代表的なものを2つ挙げます。1つは直接液体冷却方式（DLC：Direct Liquid Cooling）です。冷却水をチューブでサーバ内部に引き入れ、GPUなどに取り付けた「コールドプレート」に流し込んで冷却します。Statistaのデータによれば、DLCの需要は急増しており、市場規模をみると、2029年には2024年の5倍以上となるとの予測もあります。

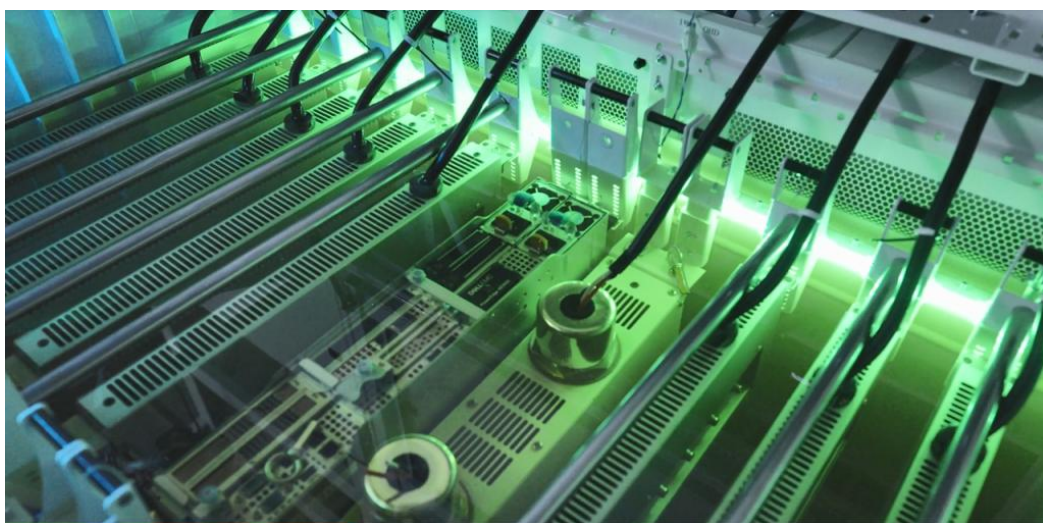
もう1つは、液浸冷却です。これはサーバを、熱を吸収するための液体に浸漬して冷却します（図4）。もちろんこの場合、冷却には電気を



表 空冷と液冷の違い

|           | 空冷          | 液冷               |
|-----------|-------------|------------------|
| 冷却効率      | 低           | 高（液浸はDLCよりさらに高い） |
| 電力効率（PUE） | 高           | 低                |
| 初期コスト     | 比較的低い       | 高額になりがち          |
| 設置、改修、保守  | 標準的であり比較的容易 | 専用設備となり難度高       |
| 騒音        | ファンがあるため大きい | ファンがなく低音         |

出典：筆者作成



冷却用の液体（オイル）の中にサーバが浸されている。高熱を発するサーバを効率的に冷却することができる。

出典：METI Journal 2025/ 5 /12 <https://journal.meti.go.jp/policy/202505/39339/>

図 4 液浸冷却（イメージ）

通さない液体が使われます。液浸は、冷却効率が極めて高くなるのが最大の利点で、DLCよりも高効率です。また、サーバにファンを設置する必要がなくなることから、同じ設置面積により多くの計算資源を収容することができます。一方で、すべての部品が液体に耐えなくてはならず、専用の機器が必要になること（例えば、光ファイバコネクタは浸漬できないため、機器の構造を変える必要がある）などの課題もあります。

また、DLCにしても液浸にしても、液体が漏洩した場合には大きな障害

につながります。導入には高額の初期投資を要しますし、保守も空冷に比べより複雑になります。液冷技術自体は長年にわたり研究、提案されていますが、これらの問題から普及が進んでいませんでした。しかし、AIデータセンタで排熱の問題が大きくなるにつれて注目が集まり、最近導入が進んでいます。

#### ■ AIデータセンタの新設動向

AIデータセンタの立地（サイト選定）も変わりつつあります。AIデータセンタでは、上記の課題を踏まえ、立地の決定要因が、「利用者への近

さ」から「電力・冷却・土地の確保しやすさ」へと大きくシフトしています。

具体的には、電力と通信の効果的な連携をめざす日本の「ワット・ビット連携」について前編で紹介しましたが、国内では、ソフトバンクが北海道苫小牧市で、2026年度中の開業をめざして「北海道苫小牧AIデータセンタ」の建設を進めています<sup>(3)</sup>。NTT東日本グループのNTT-MEも、北海道石狩市でコンテナ型AIデータセンタ「JPDC AI Container Village@石狩」のプロジェクトを

開始しており、最短で 2027 年 4 月の稼働開始を計画しています<sup>(4)</sup>。

#### (1) 米国の動き

海外でも同様で、一例として米国をみてみると、AI インフラを提供する Crusoe は、2024 年 6 月に米テキサス州アビリーンで Stargate キャンパス建設を開始し、最初の 200 MW を 2025 年 9 月に稼働開始しました。これは、風力、太陽光を含む、低コスト、未使用の電力の活用を想定して選定されたとされています。ただし、系統電力への接続に 5 年程度を要するため、オンサイトでの天然ガス発電を併用します。その後の増設計画では混乱もみられたものの、大都市、データセンタ集積地ではなかった場所で、安価で広大な土地と安価な電力を確保する方向です<sup>(5)</sup>。このほかにも、立地選定にあたり電力や土地の確保しやすさを重視したとみられる AI データセンタが複数開設されています。例えば、Meta がルイジアナ州リッチランド郡で開設した「Hyperion」や xAI がテネシー州メンフィスに開設した「Colossus」、AI 特化型プロバイダである CoreWeave のノースダコタ州、ワイオミング州などがあります。

#### (2) 大手クラウド事業者の動向

「ハイパースケーラー」とも呼ばれる大手クラウド事業者は、従来のクラウドサービスに加えて AI サービスを強化しており、このための大規模データセンタを拡充しています。AWS は、米インディアナ州ニューカーライル近郊で巨大なデータセン

タキャンパスを構築しており、これを中心として、「Project Rainier」と呼ばれる「マルチロケーション型スーパーコンピュータ」により、(Amazon の出資先でもある) Anthropic の Claude モデルのトレーニングをより効率的に実行できるようにしています。また、これとは別に OpenAI 向けにも別のキャパシティを提供していますし、AWS 自身の AI サービスも自社顧客向けに提供しています<sup>(6)</sup>。

Microsoft は、2025 年 9 月、米ウィスコンシン州マウント・プレザントに AI データセンタ「Fairwater」を新設したと発表しました。これは OpenAI と Microsoft AI Superintelligence Team が高度な GPU を使うために設計されています。また、Fairwater は単一で巨大な AI スーパーコンピュータとして動作するよう構築されており、フラットなネットワークで数十万個の最新 NVIDIA GPU を接続しています。第 2 の Fairwater サイトがアトランタに設置されているほか、米国の複数拠点で同一仕様の Fairwater サイトを建設中です<sup>(7),(8)</sup>。

Google は、「AI Hypercomputer」として、「AI/ML のワークロードをサポートするために最適化されたスーパーコンピューティングシステム」を提供しています。「campus-as-a-computer」として、キャンパス全体を 1 台のコンピュータとみなすとの考え方を提示し、「トレーニングの需要は、もはや単一の

データセンタの電力やスペースの限界を超え、統合されたマルチデータセンタ・ドメインを必要としている」として、複数サイトを束ねてコンピューティング能力を提供していると述べています。なお、同社は AWS や Microsoft のように中心となる AI データセンタがどれかを明示せず、個々のデータセンタの情報のみを示しており、どれが「AI Hypercomputer」向けかは開示していません<sup>(9)</sup>。また、Google も Anthropic への TPU キャパシティの提供契約を締結しています。

このように、大手クラウド事業者は、構築や情報開示の考え方に差はあるものの、AI インフラやサービスを大規模に提供するため、AWS のニューカーライルのように従来のデータセンタ集積地（大都市近郊）から離れた場所で大規模な AI データセンタを開設し、さらに、Microsoft のマウント・プレザントとアトランタのように複数のデータセンタを連携させることで、大規模なコンピューティング需要にこたえています。

### ネットワークが支える AI データセンタ

多くのユーザがいる大都市から離れた場所で複数のデータセンタを連携させてコンピューティングを行うには、ユーザとのデータのやり取り、データセンタ間連携でのデータのやり取りのいずれにおいても、大容量、



低遅延のネットワークが求められます。ユーザのリアルタイムの要求にこたえる推論と比べると、学習では一定の遅延が許容されるとの考え方もありますが、大規模な同期学習では、遅延すると速い機器が遊休化し、性能が落ちてしまいます。また、障害の影響をシステム全体に波及させないためには、ネットワークの信頼性も重要です。

### ■AIを支える3つのネットワーク

AIを支えるネットワークは、3つに大別することができます。

まずはスケールアップが進むラック内です。複数のアクセラレータ（GPU・TPU・専用ASIC等）を束ね、1つの巨大な単一アクセラレータとして利用するため、大容量の帯域と、サブマイクロ秒～ナノ秒級の超低遅延が求められます。電力密度が高く、冷却には空冷では足りず、液冷が必須となることもあります。配線について、NVLink + NVSwitchでは距離が短いため銅配線が主流になっている一方で、TPUのスケールアップでは光回路スイッチを用います。ラック内の制約を超えてスケールアップ・ネットワークを拡張する動きもあります<sup>(10)</sup>。

次に、ラック間です。同一データセンタ内で、多数のラックを相互接続し、数千～数十万のアクセラレータのクラスタを構成します。スケールアウト・ネットワークとも呼ばれます。800 GがAIバックエンド網の標準になりつつあるとみられていますが、2027年までには大半が1.6

Tbit/sに移行し、2030年までにはほとんどが3.2 Tbit/sになるとの予測もあります。機器の遊休化を避けるため、高帯域とともに、予測可能な遅延が重要です。ここでは、光ファイバの利用が中心とされます<sup>(11)～(13)</sup>。

次は、データセンタ間のネットワークです。大手クラウド事業者の動きについて述べてきたように、単一のデータセンタでは、学習などの需要にこたえきれなくなっており、複数の建物、地域にまたがって計算が行われています。Data Center Interconnect (DCI) と呼ばれ、ここでは、長距離の光ファイバが用いられます。Google Cloudの公式ブログ（2026年5月）によれば、AIネイティブなCloud Interconnectは400 Gbit/sリンクを3.2 Tbit/s刻みで拡張し、Pbit/s級の容量に達するとされています<sup>(14)</sup>。

### ■ネットワークの進化

3つのネットワークそれぞれの分野で技術革新が続いています。銅線が使われている部分でも、速度や消費電力の観点から光化が進むとみられており、光をチップやスイッチASICの近くまで安価・低電力で持ち込む「コパッケージド・オプティクス（CPO）」の開発も進んでいます。

DCIについては、例えば、米LumenがAIデータセンタの相互接続向けのサービスを強化しています。同社は、2025年11月に米ダラスで開催されたイベント「GNE（Global NaaS Events）2025」で、「Cloud 2.0」をアピールしました。「ネット

ワーク帯域こそがAI学習コストを決定する」として、GPUのアイドルコストを考えれば、帯域への投資コストは取るに足らないと主張し、高帯域・低レイテンシ（400 G～1.6 Tbit/sが最低水準）や、新たな「AIコリドー」への地理的拡張などがAI経済のために必要と述べました。既存の主要ハブでの密集化と、電力・水・用地を求めた非伝統的立地への分散化が同時に起こり、フラットなWANから、エッジ・データセンタ間相互接続・ハイパースケールバックエンドファブリックへの三層分解が進むとしています。そして、「顧客がオンデマンドで頻繁に接続を変更できる、柔軟なネットワークファブリック」を提供することにより、顧客企業がこれらのネットワークを所有・運用・保守する必要は実質的になくなると述べています。

また、NTTは2026年4月、グループ各社とともに、AI需要の拡大に合わせ、データセンタの拡張や液冷対応の高度化を継続的に進めるとともに、GPU等の計算・ネットワーク・電力といったリソースを最適化し、エッジまで含めたオペレーションを実現するAIネイティブインフラ「AIOWN」を展開すると発表しました。データセンタの旺盛な需要にこたえ、現状のIT電力容量約300 MWから2033年度に向けて3倍超の約1 GWに拡張する計画で、多くの企業が集まり、より低遅延性が求められる都市型、AI学習のために豊富な計算資源を持つ郊外型、低価

格かつ再生可能エネルギーの活用が活発な遠隔地型のそれぞれを戦略的に展開するとしています。また、これには NaaS (Network as a Service) への対応、複数の拠点の GPU リソースを、あたかも同一の環境のように統合的に、AI 利用に合わせて最適に利用できるリソースマネジメント機能なども含まれています。これまでにも、IOWN APN (All-Photonics Network) のサービスがありましたが、これをさらに拡充するものです。分散配置されたデータセンタや、サーバ間をつなぐ低遅延ネットワークなどの需要にこたえるものといえるでしょう。

このような光ネットワークへの需要増加は、光ファイバベンダ各社にも好影響をもたらしています。Corning は Lumen と 2024 年 8 月に光ファイバの供給契約を締結し、契約後 2 年間、Corning のグローバル光ファイバ生産能力の 10% が AI 対応データセンタ相互接続用に確保されるとしました。また、2025 年 5 月、Corning は Broadcom と、データセンタ内の処理能力を大幅に増加させる CPO インフラに関する協業を発表しました。日本企業でも、フジクラや古河電気工業など関連企業が急成長しています。マルチコアファイバなど、長年技術開発が行われてきた分野にも、改めて注目が集まっています。

## 世界各地の動き

これまでは米国の状況を中心に述べてきましたが、欧州やアジアでも AI データセンタの拡充に向けた活発な動きがみられます。

### ■欧州

欧州では、都市部での新たなデータセンタ建設が難しくなっていることを背景に、北欧など、冷涼で自然エネルギーの活用がしやすい場所でのデータセンタ活用が進められています。例えば、Microsoft は 2025 年 9 月、AI ハイパースケーラーの Nscale と産業投資会社 Aker との間での契約で、ノルウェー北部 (Narvik) で計画される大規模 AI インフラプロジェクトからコンピューティング能力を調達することを明らかにしました。Microsoft はこれにより「欧州全域に持続可能な AI インフラを提供する」としています。

### ■アジア

アジアをみますと、シンガポールでは、データセンタ建設に関し、一時モラトリアムの状態となっていました。現在は解除されており、シンガポールと周辺地域 (マレーシアなど周辺国を含む) での役割分担が進んでいます。中国では、東部地域のデータを西部地域に移転して計算する「東数西算」プロジェクトによるデータセンタ配置の最適化が進んでいます。東部の大都市圏から離れた西部のデータセンタは、リアルタイムな計算や超低遅延を必ずしも必

要としないことから、エネルギー集約型の計算を行っていると考えられます (一方で、東部と西部のハブノード間のネットワークレイテンシが 20 ms の要件を満たしたとの発表もあり、低遅延に向けた取り組みは進められています)。いずれも、電力や土地の確保のしやすさなどを優先した動きといえます。

## まとめと今後の見通し

AI による社会変革、社会課題の解決への期待が高まる中で、AI に不可欠であり、サービスをつくり出す「デジタルの工場」であるデータセンタへの期待も高まっています。一方で、AI データセンタによる大量の電力消費など課題も顕在化しており、今後は、AI の役割がより重要なものとなる中で、AI を持続可能な方法で、より安定的に活用するにはどうすればよいかに注目が集まるものと予測されます。データセンタの立地に影響する要因としては、データセンタの目的 (用途) に加えて、ネットワーク、電力、用地、建設、人、規制、地域との関係といったものが考えられます (図 5)。

それぞれの重要度は、目的・用途や市場の状況によって異なります。電力が大きな課題になっていますし、ほかにもさまざまな課題がありますが、AI データセンタの最適化に向けた課題解決の重要な鍵の 1 つがネットワークです。個々のアクセラレー



| (目的・用途) |                          |        |                   |
|---------|--------------------------|--------|-------------------|
| (生成) AI | クラウド                     | 企業サーバ  | その他               |
| ネットワーク  | レイテンシ                    | 用地     | コスト               |
|         | 通信容量                     |        | 規模確保、拡張可能性        |
|         | コスト                      |        | 自然条件（気温等）         |
|         | 冗長性                      |        | 水使用               |
|         | バックボーンアクセス（IX、海底ケーブル等含む） |        | 災害危険性             |
| 電力      | 容量                       | 建設     | コスト               |
|         | コスト                      |        | 冷却・排熱技術           |
|         | リードタイム                   | 人      | 有スキル人材の確保         |
|         | 冗長性                      |        | 人の移動              |
|         | 安定性                      | 規制等    | 国・地元の規制（建設許可、税制等） |
|         | 再生可能エネルギー                | 地元との関係 | 地元の理解、地元との関係構築    |

出典：筆者作成

図5 データセンタ立地に与える要因

タやサーバの機能改善だけでは需要にこたえきれなくなっており、ネットワークによるラック内、データセンタ内の高速化と、分散されたデータセンタによる連携処理が不可欠となっています。また、課題解決だけではなく、より積極的な取り組みもあります。ネットワークを活用したワークロードシフトや、データセンタの排熱をエネルギーとして活用することなども提案されています。

データセンタはデジタル社会の黒子的な存在でしたが、AI、クラウドの普及と社会的重要性の高まりにつれて、その役割や課題への認識も高まりました。社会になくってはならない存在として、これからもさらに注目が集まるものと思われます。今後のさらなる進化が期待されます。

#### ■参考文献

- (1) <https://www.iea.org/news/data-centre-electricity-use-surged-in-2025-even-with-tightening-bottlenecks-driving-a-scramble-for-solutions>
- (2) <https://www.iea.org/reports/key-questions-on-energy-and-ai>
- (3) [https://www.softbank.jp/sbnews/entry/20250421\\_01](https://www.softbank.jp/sbnews/entry/20250421_01)
- (4) [https://www.ntt-me.co.jp/topics/pdf/release\\_20251022.pdf](https://www.ntt-me.co.jp/topics/pdf/release_20251022.pdf)
- (5) <https://climatetech-japan.com/crusoe-ai-datacenter-renewables/>
- (6) <https://datacenter.news/story/aws-s-11bn-indiana-data-centre-powers-anthropic-s-ai-growth>
- (7) <https://interestingengineering.com/innovation/microsoft-ai-superfactory>
- (8) <https://blogs.microsoft.com/blog/2025/09/18/inside-the-worlds-most-powerful-ai-datacenter/>
- (9) <https://cloud.google.com/blog/products/networking/introducing-virgo-megascale-data-center-fabric>
- (10) <https://www.viksnewsletter.com/p/a-beginners-guide-to-ai-interconnects>
- (11) <https://www.delloro.com/beyond-the-gpu-arms-race-the-potential-role-of-oxc-in-building-next-gen-ai-infrastructure/>
- (12) <https://introl.com/blog/cables-interconnects-dac-aoc-aec-800g-ai-data-center-2025>
- (13) [https://medium.com/@Elongated\\_musk/how-to-build-an-ai-datacenter-part-2-networking-and-storage-f08f41aba146](https://medium.com/@Elongated_musk/how-to-build-an-ai-datacenter-part-2-networking-and-storage-f08f41aba146)
- (14) <https://cloud.google.com/blog/products/networking/data-center-and-global-networks-built-for-ai-era>



株式会社 情報通信総合研究所  
ビジネス・法制度研究部  
主任研究員 左高 大平

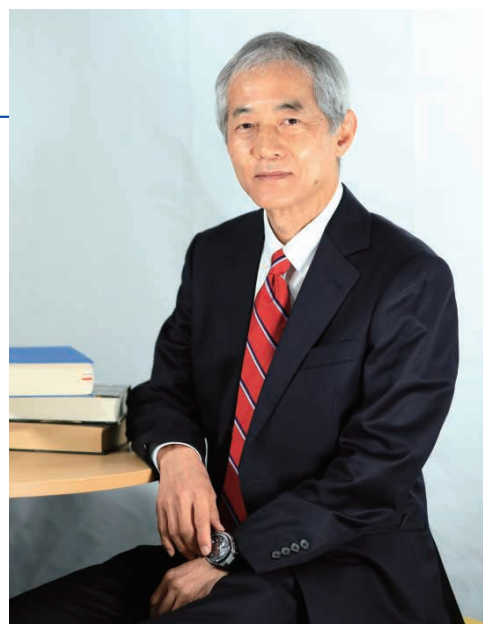


NTTコミュニケーション科学基礎研究所  
上席特別研究員

**永田 昌明** Masaaki Nagata

## LLM時代の機械翻訳の現在地—— 「次の単語の予測」から「推論」へ

ChatGPTやGeminiなど、いまや大規模言語モデル（LLM）を搭載した生成AIによる翻訳は日常的に使われています。その背景には、ルールベース翻訳から統計翻訳、ニューラル翻訳を経てLLM翻訳へ至る長い開発史があります。その変遷を研究の最前線で見続けてきた永田昌明上席特別研究員に、LLMにおいて何がブレークスルーとなったのか、また「推論モデル」や「AIエージェント」が主流となる中で、どのような研究をしているのか伺いました。



### 統計翻訳からニューラル翻訳、 そしてLLMへ

ご研究の分野について教えてください。

私は統計的機械翻訳の研究を経て、2014年ごろからニューラル機械翻訳が主流になると、日英対訳コーパスや対訳文の単語対応を求めるプログラムの研究に携わってきました。なぜ、こうした研究をしてきたのかをお話する前に、簡単に機械翻訳の技術史を振り返らせてください。

機械翻訳の研究が始まったのは、古くは1950年ごろのことです。最初は「ルールベース」と呼ばれる手法が使われていました。日本語は、「主語-目的語-動詞」、英語は「主語-動詞-目的語」といったように語順に違いがあります。したがって、目的語と動詞をひっくり返して、単語を辞書で置き換えれば翻訳できる、と考えたわけです。この研究に人類は半世紀も費やしましたが、人間の言語表現は多彩なため人手でルールを網羅するのは困難で、結局、うまくいきませんでした。

次に出てきたのが、IBMのワトソン研究所から始まった「統計的機械翻訳」で、私自身も1990年代から研究を始めました。これは数十万～数百万文の対訳データから、「ど

の単語がどの単語に対応するか」「どの語順がどれくらい出現するか」を統計的に学習する方法です。2006年からサービスを開始したGoogle翻訳などで比較的うまくいったものの、日本語から英語など、語順が大きく異なる言語では精度が上がりませんでした。

その後、2016年にGoogleが発表した、これまでとは全く異なる「ニューラル翻訳」で精度が格段に上がり、人間に近づいたと世間を驚かせました。これは、エンコーダ・デコーダモデル（符号化器-復号器モデル）といって、入力を処理する「エンコーダ」と、出力データを生成する「デコーダ」に再帰ニューラルネットワーク（RNN：Recurrent Neural Network）を使い、単語を1つずつ入力して内部状態を更新しながら次の単語を予測する手法です。このネットワークを2つ（翻訳元言語と翻訳先言語）接続することで、例えば日本語文を入力したら英語を単語ずつ予測して出力できるようになりました。

ニューラル翻訳で画期的だったのは、単語の意味情報をベクトル、つまり数字で表現したことにあります。すべての単語の意味を約1000次元という多次元のベクトル空間の1つの点として表しています。そして、たくさんの対訳データを使って訓練することで、「これはペンです」と“This is a pen”や「私は日本人です」と“I am a Japanese”といっ

た文の意味ベクトルが距離的に近い位置に配置されるようになります。これにより、元の文意を汲むような流暢な訳が可能になりました。なお、このニューラル翻訳を開発したイリヤ・スツケヴァー氏は、2024年にノーベル物理学賞を受賞したジェフリー・ヒントンの教え子であり、後にChatGPTを生み出したOpenAIの共同設立者です。

RNNを用いたニューラル翻訳は革新的でしたが、並列化が難しく、時間がかかるうえ、長文の翻訳も苦手でした。この問題を解消したのが、2017年にGoogleの研究者らが発表したTransformerです。これは、注意機構（Attention Mechanism）という仕組みを使って、文に含まれる単語どうしの関連性を、同時並列で処理するニューラルネットワークです。これにより、10億文といった大量のデータを扱えるようになりました。実はこのTransformerのデコーダ（次の単語を予測するネットワーク）だけを取り出して巨大化し、大量のテキストデータで訓練したものが現在の大規模言語モデル（LLM：Large Language Model）<sup>\*1</sup>なのです。

ちなみに、このデコーダが巨大になればなるほど、また学習するデータ量や計算量が増えれば増えるほど、性能が向上することを2020年にOpenAIが明らかにしています（スケールリング則）。つまり、LLMの精度向上には莫大なリソースが不可欠なのです。大航海時代に例えるなら、地球は丸いと信じて西回りの航海に臨んだコロンブスがOpenAI、資金を援助したスペインのイサベル女王がマイクロソフトということになるのかもしれません。

さて、こうした機械翻訳の開発史の中で、私自身、時代ごとに重要な研究テーマを見出してきました。ルールベース翻訳から統計翻訳への移行期には「形態素解析」といっ

て、自動で正しく単語を区切るアルゴリズムを開発しました。これは後にかな漢字変換に応用されました。ニューラル翻訳では、対訳データの収集が重要であることから、4000万対を超える日英対訳コーパスを集めたJparaCrawl<sup>\*2</sup>や、3億文対を超える特許に関する日英対訳コーパスの作成を主導しました。近年は、研究開発用に小型のLLMが公開されていることから、これらを使ってLLMによる翻訳精度を高める研究をしています。

## LLMを使った機械翻訳でいかに精度を高めるか

最近の研究について教えてください。

LLMは、①大量のデータから次単語予測を学ぶ「事前訓練」、②想定問答から正解を学ぶ「指示チューニング」、③適切な出力のための調整「アライメント」という3つの訓練ステップを経て学習します。例えば②では、「日本で梅雨がないのは北海道とどこか」→「小笠原諸島」といったような指示と回答をセットで学習します。また、③では「爆弾のつくり方を教えて」と問われた際に、「爆弾をつくるのは違法なのでお答えできません」といったように、人間社会に適応すべく調整を繰り返していきます。なお、アライメントでは正解を教えるのではなく、LLMの答えの良し悪しを、人間が判断して学習させる「強化学習」を用います（図1）。

そして私はここ数年、このLLMの学習の仕組みを機械翻訳に応用する研究を行ってきました。最初是对訳データを使って指示チューニングで精度を上げようと試みたのですが、あるレベルまで到達すると、その後どれだけ対訳データを与えても賢くならないという問題に直面しました。そこで試行錯誤の結果、機械翻訳のシステムを賢くするには、次の単語を予測する事前訓練の段階で、大量の対訳データを与えると良いことを発見したのです（2024年、筑波大との共同研究）。この研究に関しては、ほぼ同時に3つの研

\*1 大規模言語モデル：10億個（one billion:1B）を超える膨大なパラメータを持つニューラルネットワークを使って大規模なテキスト（>100億トークン、10B）から学習された言語モデル。自然言語の理解や生成に優れています。

\*2 JparaCrawl：世界中で公開されているWebページを大規模に巡回・収集し、そのデータを公開している非営利プロジェクトCommon Crawlの成果を利用して、日本語と英語および日本語と中国語の対訳データを大量に集めるNTTコミュニケーション科学基礎研究所のプロジェクト。

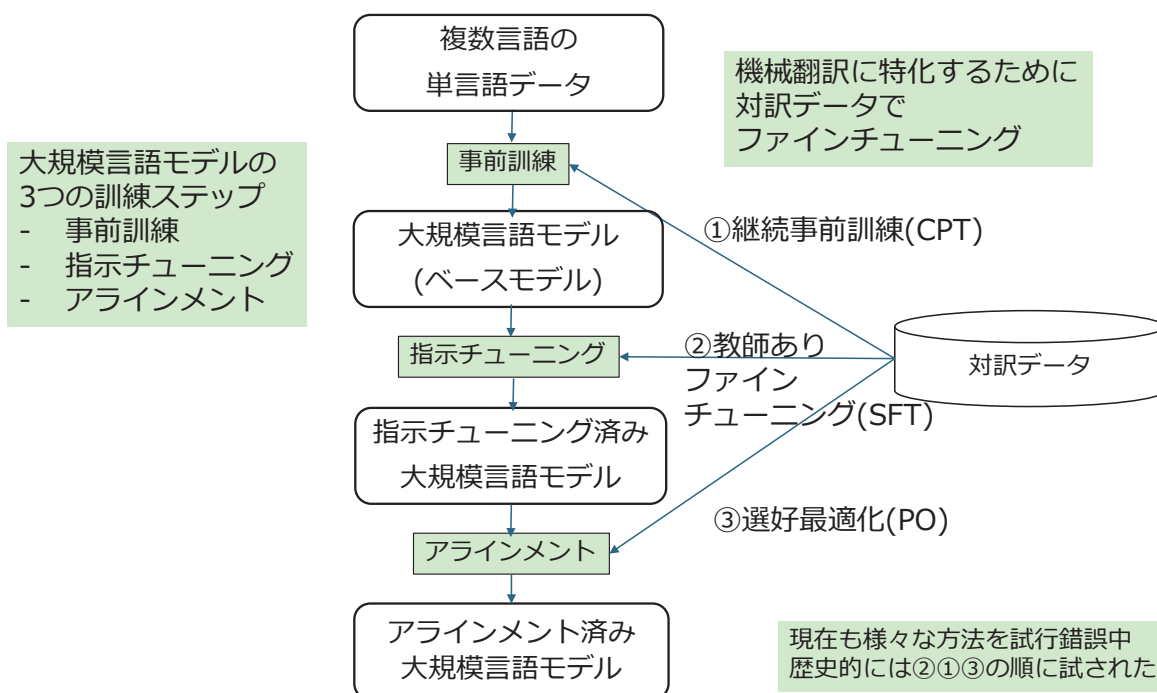


図1 大規模言語モデルを用いた翻訳 (LLM 翻訳)

究グループが同内容の論文を発表したことから、3カ月の差で別のグループに先を越されてしまいました。論文提出の半年前には気付いていたのですが、検証に時間をかけてしまいました。まさにこの世界はスピード勝負だと痛感しました。

次に取り組んだのが、LLMで問題とされるハルシネーション<sup>\*3</sup>を防ぐためのアラインメントの研究（「単語対応を用いた選好最適化」2024年、東大との共同研究）です。例えば、「There was some damage to cars and buildings in Belgrade due to the snow」という文が、「セルビアの首都ベオグラードは雪で被害を受けた」と訳されたとなると、「セルビア」が勝手に生成されたうえ、「車や建物に」という部分が抜け落ちたことが分かります。そこで、入力文の単語が出力文に訳出された割合である単語カバー率を

求める技術を開発しました。これには、以前から私たちが取り組んできた、世界でもっとも精度の高い単語対応の技術が役立ちました。これを使って単語カバー率が高いものを良しとする強化学習を行うことで、「訳抜け」や「湧き出し」を軽減しました。この論文はよく読まれ、今も多く引用されています（図2）。

なお、この分野はさらに進んでいて、今は自動品質評価、すなわち翻訳の良し悪しについてLLMを使って判断する研究が注目されています。私たちも特許の「請求項」<sup>\*4</sup>の翻訳のための自動評価プログラムを開発して評価を行っています。請求項は一文で書かれていて構造も複雑なため翻訳が非常に難しいのですが、権利範囲を明確にするために極めて正確な訳が求められます。このように絶対に間違いが許されない文の翻訳に、LLMによる品質評価や強化学習を適用して、翻訳精度を上げる研究に取り組んでいるところです。

\*3 ハルシネーション：LLMにおいて、原文にない語が湧き出したり、もっともらしい嘘や間違った文をつくり出したりすること。

\*4 請求項：出願人が発明の内容を具体的に特定し、その独占権の範囲を区別して記載する項目のこと。

入力（原文） There was some damage to cars and buildings in Belgrade due to the snow

出力1（訳文） セルビアの首都ベオグラードは雪で被害を受けた

入力（原文） There was some damage to cars and buildings in Belgrade due to the snow

出力2（訳文） ベオグラードでは雪のせいで車や建物に被害が出た

出力2（優先）

ベオグラードでは  
雪のせいで  
車や建物に被害が出た

単語カバー率  
>

出力1（非優先）

セルビアの首都  
ベオグラードは  
雪で被害を受けた

単語対応を用いて単語カバー率を計算し、  
選好データを作成してLLMを選好最適化  
⇒訳抜け・湧き出しを軽減

図2 単語対応を用いた選好最適化

## 急速に進展する技術を追いながら、 諦めることなく新たな研究を

どのような苦勞があったのでしょうか。

実は2020年にGPT-3が開発された際には、Transformerが巨大化しただけなので、さほど衝撃を受けなかったのです。ところが2024年9月にOpenAIから「o1（オーワン）」というLLMが発表されたときには、世界がガラッと変わったと感じました。これは、推論モデル<sup>\*5</sup>と呼ばれるもので、LLMに思考過程をしゃべらせながら回答させ、試行錯誤を繰り返しながら回答精度を高めるという画期的な手法です。

さらに翌2025年1月には、中国のAI企業DeepSeekから「R1」というLLMが発表されると、中国のベンチャーが米巨大テックよりはるかに低いコストで高性能モデルをつくったとして「DeepSeekショック」が起きました。さらに、2026年に米・アンソロピックがシステムの脆弱性

を探索するAIモデル「Claude Mythos」を発表すると、話題になると同時にソフトウェアのセキュリティを脅かすとして衝撃が走りました。このように、LLMの世界は数カ月ごとに新しい技術が登場し急速に変化していくため、私もその動きを常にキャッチアップしなければなりません。実のところ、私自身は2カ月に一度くらいの頻度で4～8件の論文の査読を頼まれるため、否応なく最新の技術を学ぶことになります。

とはいえ、新技術を試行錯誤しながら理解し、使いこなすところにはまた新しい技術が出てくる。2年後に自分がいたいどんな研究をしているのか、全く想像がつかないのが実情です。

## 今後の課題と、後進へのアドバイスをお願いします。

昨年、私がオーガナイザーの1人を務めるWMT（Conference on Machine Translation）と呼ばれる機械翻訳の国際会議のコンテストで、中国・テンセントのチームがニューラルネットを用いた自動評価で圧勝する出来事がありました。ところがプロの翻訳者による人手評価では勝てていなかったのです。つまり、彼らは自動採点プログラムに最適化されたシステムを開発してきたということ。

\*5 推論モデル：次の単語を予測するだけでなく、内部で複数の手順を検討し、答えに至るまでの考えを組み立てる（Chain of thought）ように設計されたAI。これにより、それまで苦手とされていた数学の文章題も解けるようになりました。

## Tencentのhunyuan-MTが自動評価では断トツ1位。でも人手評価は…

| English-Japanese   |                 |                |          |               |                 |                             |                               |                                   |               |
|--------------------|-----------------|----------------|----------|---------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| System Name        | LP<br>Supported | Params.<br>(B) | Humeval? | AutoRank<br>↓ | CometKiw<br>XL↑ | GEMBA-<br>ESA-<br>CMDA<br>↑ | GEMBA-<br>ESA-<br>GPT4.1<br>↑ | MetricX-<br>24-<br>Hybrid-<br>XL↑ | XCOMET<br>XL↑ |
| → Shy-hunyuan-MT   | ✓               | 7              | ✓        | 1.0           | 0.687           | 82.2                        | 89.6                          | -5.5                              | 0.592         |
| In2x               | ?               | 72             | ✓        | 2.3           | 0.711           | 78.4                        | 86.3                          | -5.9                              | 0.575         |
| ▲ Gemini-2.5-Pro   | ✓               | ?              | ✓        | 2.4           | 0.672           | 83.2                        | 91.2                          | -5.7                              | 0.55          |
| ▲ GPT-4.1          | ✓               | ?              | ✓        | 2.9           | 0.674           | 81.8                        | 89.7                          | -5.9                              | 0.558         |
| Wenyiil            | ✓               | 14             | ✓        | 2.9           | 0.682           | 79.6                        | 88.6                          | -5.7                              | 0.553         |
| KIKIS              | ✓               | 18             | ✓        | 3.1           | 0.678           | 80.2                        | 85.4                          | -5.5                              | 0.551         |
| Algharb            | ✓               | 14             | ✓        | 3.2           | 0.678           | 80.8                        | 89.2                          | -5.8                              | 0.541         |
| CommandA-WMT       | ✓               | 111            | ✓        | 3.6           | 0.694           | 76.5                        | 85.5                          | -5.8                              | 0.55          |
| ▲ DeepSeek-V3      | ?               | 671            | ✓        | 4.6           | 0.667           | 80.5                        | 87.7                          | -6.2                              | 0.531         |
| ▲ Mistral-Medium   | ?               | ?              | ✓        | 5.4           | 0.675           | 77.6                        | 86.2                          | -6.4                              | 0.532         |
| GemTrans           | ✓               | 27             | ✓        | 5.5           | 0.667           | 72.3                        | 80.2                          | -5.5                              | 0.553         |
| ▲ Claude-4         | ✓               | ?              | ✓        | 5.7           | 0.677           | 78.3                        | 86.3                          | -6.5                              | 0.516         |
| Yolu               | ✓               | 14             | ✓        | 5.9           | 0.697           | 69.9                        | 77.9                          | -5.9                              | 0.541         |
| ▲ ONLINE-B         | ✓               | ?              | ✓        | 6.1           | 0.684           | 72.4                        | 80.0                          | -6.0                              | 0.527         |
| UvA-MT             | ✓               | 12             | ✓        | 6.4           | 0.691           | 72.5                        | 82.0                          | -6.3                              | 0.517         |
| bb88               | ?               | ?              | ✓        | 7.2           | 0.674           | 74.6                        | 82.6                          | -6.5                              | 0.498         |
| ▲ CommandA         | ✓               | 111            | ✓        | 7.3           | 0.674           | 74.8                        | 82.9                          | -6.6                              | 0.504         |
| ▲ Qwen3-235B       | ✓               | 235            | ✓        | 7.3           | 0.667           | 74.3                        | 83.2                          | -6.4                              | 0.499         |
| Systran            | ✓               | 18             | ✓        | 7.3           | 0.703           | 68.7                        | 77.1                          | -6.5                              | 0.523         |
| ▲ Gemma-3-27B      | ✓               | 27             | ✓        | 7.9           | 0.666           | 74.3                        | 82.2                          | -6.6                              | 0.497         |
| NTTSU              | ✓               | 14             | ✓        | 8.0           | 0.676           | 67.7                        | 74.3                          | -5.6                              | 0.498         |
| ▲ TowerPlus-72B[M] | ✓               | 72             | ✓        | 8.6           | 0.671           | 71.4                        | 80.6                          | -6.8                              | 0.499         |
| ▲ Llama-4-Maverick | ✓               | 400            | ✓        | 9.1           | 0.661           | 71.5                        | 81.1                          | -6.8                              | 0.487         |

\*AutoRank は、LLMによる評価（GEMBA）、正解訳との類似度（XCOMET）、原文との類似度（CometKiwi）など複数の異なる自動評価尺度の出力を総合的に加味した順位。1 から参加システム数までの値の範囲に正規化されている。テンセントの Hunyuan-MT の人手評価は、例えば英中翻訳では2位グループ（2位から4位）だが、中日翻訳は8位グループ（8位から12位）と必ずしも1位ではない。

出典：<https://arxiv.org/abs/2508.14909>より引用

図3 WMT2025 汎用機械翻訳（GMT）の自動評価

裏を返せば、LLMの自動評価はいまだ人間の能力に達していません。今後の機械翻訳の課題は頑健な自動評価尺度の開発にあるのです（図3）。

そこで私たちは、アジア言語の機械翻訳に関するワークショップWAT（Workshop on Asian Translation）における、特許請求項翻訳タスクでの専門家の評価を踏まえて、より精度の高い自動評価プログラムの開発を行っています。人間の評価自体も不安定なので、いかにして安定した評価指標をつくるのが現在の課題です。

さらに現在、LLMの推論モデルを使った意識にも取り組んでいます。例えば「井の中の蛙大海を知らず」を英語に訳すのは容易ではありませんが、推論モデルを使って思考過程をLLMにしゃべらせると、意味を汲んだ訳を出せます。これを出発点として、今話題のAIエージェント機能を機械

翻訳に取り入れて、専門用語や固有名詞などの正確な翻訳、前後の文脈や文化的背景に即した自然な翻訳ができるよう、自分で判断して外部ツールを呼び出して推論するような機械翻訳エージェントの開発をめざしています。

このように目まぐるしく状況は変わりますが、私自身、諦めずに研究を続けてきたからこそ成果を生み出すことができました。生成AIでかなりのことができるようになってきたものの、特許や法律、医療などの分野では、まだまだ精度向上が求められています。今後はさらに、人間と機械のより良い協調も検討していかなければなりません。いまや最先端の研究にキャッチアップする良いツールもたくさんあるので、それらを使って自己研鑽しながら社会に貢献できる研究をしていてもらいたいと思います。



NTTアクセスサービスシステム研究所  
特別研究員

胡 間 遼 Ryo Koma

## 世界一となるチャンスがたくさんある 新しいAPN実現とその先へ

AI（人工知能）の急速な普及に伴うデータセンタ間の通信量増やエッジコンピューティングの需要への対応が急務となっています。NTTが推進する超低遅延・大容量なAPN（All-Photonics Network）によるデータセンタ網の整備に加え、さらなるサービス展開に向けて、経済性と大容量通信を両立するような伝送システムが必要不可欠となります。そこで今回は、この次世代ネットワーク技術のトップランナー、胡間遼特別研究員にお話を伺いました。

◆PROFILE：2010年東京理科大学理工学部電気電子情報工学科卒業。2012年東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻 博士前期課程修了。同年、日本電信電話株式会社入社。NTTアクセスサービスシステム研究所入所。2017年NTT 東日本ネットワーク事業推進本部サービス運営部技術協力センタへ異動し、宅内系特異故障解析業務に従事。2018年北海道大学大学院情報科学研究科にて博士（工学）取得。2020年NTTアクセスサービスシステム研究所へ異動。APN・将来光アクセス伝送技術に関する検討と、ITU-T、およびオペレータや通信機器メーカーで構成される業界団体であるFSAN（Full Service Access Network initiative）での標準化業務に従事。2023年准特別研究員任用。2025年特別研究員任用。2025年日本TTC協会功労賞受賞。



### 高速光伝送方式による近未来のAPN実現と その先へ

#### ■最初にAPNについて教えてください。

APN（All-Photonics Network）というのは、NTTの「IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想」の基盤となる技術で、端末からバックボーンまで「できるだけ光のまま」伝送することをめざしたネットワークです。近年、AI（人工知能）の急速な普及により、データセンタ間の通信量や、エッジコンピューティングの需要が増加しており、APNの超低遅延・大容量・低消費電力での通信を提供可能という特徴を活かし、NTTではデータセンタ網への適用を検討しています。例えば、「JPDC All-Photonics Connect」として、2026年1月から実際に東京都内の一部のデータセンタ間で提供が開始されました。

現行のAPNでは、ユーザ間で光波長・パスを占有することで両端の超高速・低遅延通信を実現する「PtP（ポイ

ント・ツー・ポイント）型」接続を用いたネットワーク構成が想定されています。まずはこの技術を全国的に拡大し、しっかり確立することが大切です。また、近年では、ユーザ近傍に位置するエッジデータセンタにユーザがアクセスし、AIなどのアプリケーションを利用するエッジコンピューティングの需要が増加しています。現在は、既存のネットワークを介しての接続形態をとっていますが、ネットワークで生じる遅延がAIなどのアプリケーションの性能を損ねるといった課題もあります。さらに将来に目を向けると、APNの低遅延性を活かし、ユーザがAPNを介し直接データセンタに接続する未来が来るかもしれません。

ただし、従来の「PtP型」では、多数のユーザを収容する際にいくつかの懸念点が考えられます。第1に、利用できる波長数に限りがある点が課題となります。1ユーザが光波長を占有する接続形態ですが、1本のファイバ上で多重できる波長数には限りがあり、多数のユーザを収容したり、データ量が増える場合、光ファイバを増設し通信経路を増

やす必要があります。第2に、高速・大容量通信を実現するためのユーザ側の光伝送装置が複雑、かつ高価な点もさまざまなユーザが広く利用するうえで課題となり得ます。そのため、「コストを抑えつつ性能を高める」ための新しい仕組みが必要不可欠となります。そこで、こうした懸念点を払拭するために現在私が研究・提案しているのが、「PtP型」を一歩進めた「PtMP（ポイント・ツー・マルチポイント）型」接続と呼ばれる方式を利用した高速光伝送方式です（図1）。

### ■「PtMP型」接続ではどのようにして「PtP型」の懸念点を解決するのですか。

PtMP型接続は、光合分波器で集線し同一波長内で信号

多重化することで、APNに流れる光波長数とファイバ数を大幅に削減します。既存の光アクセス網の設備を再利用し効率的に接続できる一方、従来の光アクセス網で活用されてきた「IM-DD（Intensity Modulation/Direct Detection：強度変調・直接検波）方式」は、安価で低消費電力ですが、光の減衰やファイバ伝搬による波形劣化に弱く「伝送距離20 km・32分岐」が限界でした。とはいえ、超高速・長距離伝送が可能で高度な「デジタルコヒーレント方式」は、コストと消費電力が大きく一般普及には向きません。そこで、経済的にこの限界を打破するために、IM-DDの手軽さとデジタルコヒーレントの高性能を組み合わせた「ハイブリッド構成」と、「デジタルコヒーレント簡易化技術」の両輪で研究を進めています（図2）。

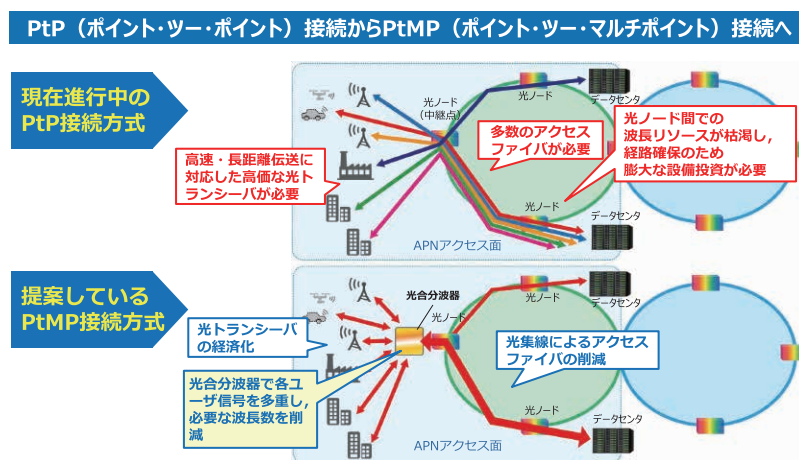


図1 PtP接続による現状のネットワークとPtMP接続の比較

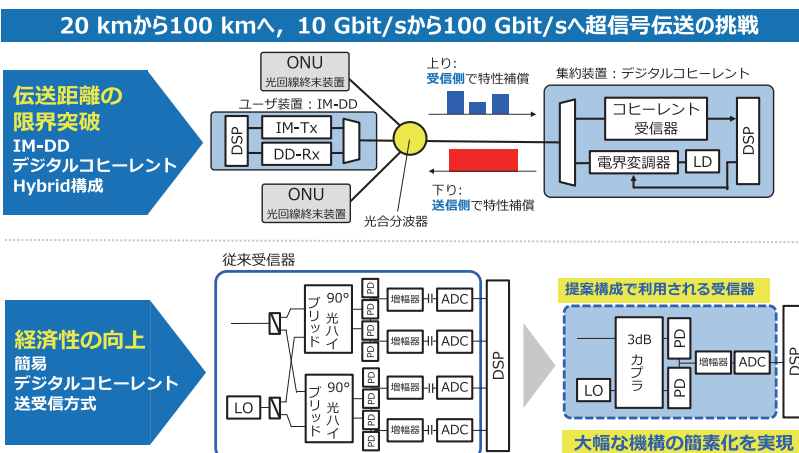


図2 伝送距離限界突破と経済性向上



「ハイブリッド構成」では、通信の集約側（PtMPのP側）が複数のユーザにシェアされる非対称な構成に着目し、P側に光伝送路で生じる特性劣化を補償する機能を集中させることで、ユーザ側に配置される光送受信器を経済化するためのものです。「デジタルコヒーレント簡易化技術」は、その名のとおり、デジタルコヒーレント伝送技術のキーとなるコヒーレント受信器とDSP（Digital Signal Processor）構成を、DSP処理構成や、伝送するデータ形式を工夫することで簡易にする検討です。この研究では、PtMPの特徴を活かした伝送機能の再配置と抜本的な光伝送方式の改善によって伝送距離の拡大と通信量の大容量化、そしてコストの軽減という3つの課題を同時に解消したいと考えており、研究成果をトップ国際会議であるOFC2026、ECOC2025、ECOC2024にて継続的に発表しています。今のところ、実用化は2035年以降になると思われますが、さまざまなユーザに対して、現在の光アクセスネットワークで主流となりつつある10 Gbit/sからその10倍となる100 Gbit/sのサービスを提供することを見込んでいます。

#### ■「デジタルコヒーレントの簡易化技術」についてさらに詳しく教えてください。

デジタルコヒーレントの簡易化技術は、ケンブリッジ大学によって提案されました。従来の方式では、光の性質（偏波や位相）をフルに活用するために、受信側に非常に複雑

で高価な光学部品が必要でした。しかしこの新方式では、無線通信の技術を応用した特別な信号パターン（時間偏波符号）を用いることで、複雑な「偏波の分離」をデジタル計算だけで処理できるようにしました。さらに、受信側のレーザ光の波長をあえて少しずらして受信し（ヘテロダイン受信）、混ざり合った信号を後からデジタル処理で正しく仕分ける（IQ分離）ことにも成功しています。

端的に言えば、デジタルコヒーレントの簡易化技術というのは、本来は大掛かりで高コストになりがちなコヒーレント受信器を、構成や信号処理の簡略化によって「小型・低消費電力・低コスト」にする方式のことです。NTTはこの従来方式に加え、送信側にIQ位相の信号情報を時間軸上で交互に送信することにより、受信器の電気帯域を削減する方式を提案しています。この方式により、送信側の装置が複雑（IQインターリーブ装置増設が必要）となるものの、ユーザ装置側にデジタルコヒーレント受信器を配置可能になり、さらなる性能向上が期待できます（図3）。



#### 「高速光伝送方式」が描く、未来の可能性

#### ■この研究で実現する事象の展望や応用先について教えてください。

「PtMP」接続の研究から派生するさまざまな技術が実用化できれば、これまでデータセンタ間だけで行われていた

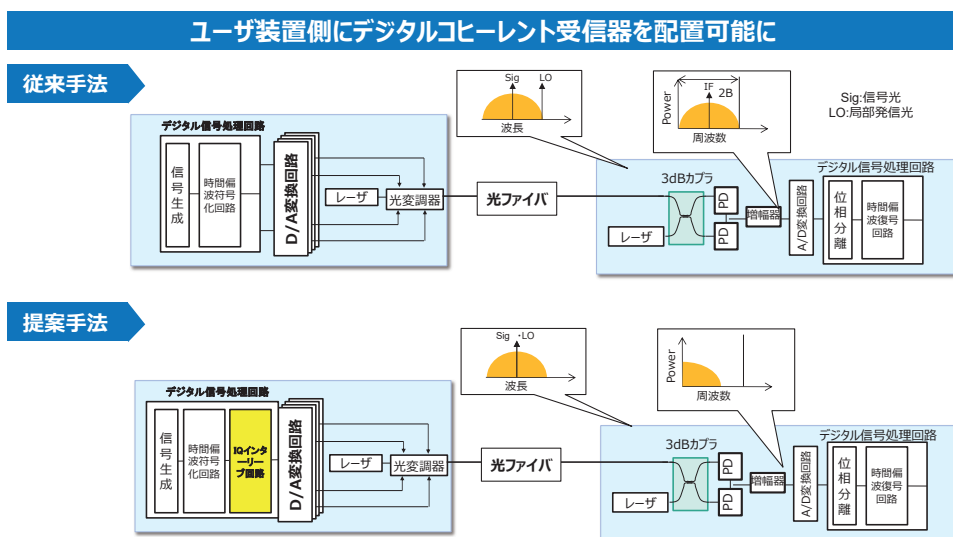


図3 デジタルコヒーレントの簡易化技術

デジタルコヒーレント方式による長距離・大容量伝送の恩恵の一部を、さまざまなユーザが受けられるようになるという点が非常に大きなことだと思います。もちろん、簡易型ですから本家のデジタルコヒーレントとは性能差があるのは事実です。しかし、ユーザのニーズに応じて、簡易に、経済的に高速・大容量伝送ができるような構成を実現するのは通信オペレータとして重要なことだと思っています。

また本技術の応用先については、非常に多岐にわたります。まず映像配信の分野では、高解像度なポリュメトリックビデオ（3D空間映像）や多視点映像の、拠点間リアルタイム伝送が可能になります。また、スマートファクトリーやスマートハウスへの応用に加え、自動運転車や無人タクシー、産業用ドローンのリモート制御といった、生活に身近なモビリティ分野への貢献が期待されています。さらに遠隔医療などの分野では、高精細映像とロボット制御信号をほぼ遅延なくやり取りできるようになるため、遠隔地の2つの病院にある手術支援ロボットをAPNで接続しつつ、エッジデータセンタによる画像解析をベースとした病巣の検知など、より高度な遠隔手術を支援し、命を救う最前線への応用も視野に入っています。

#### ■所属されているNTTアクセスサービスシステム研究所について教えてください。

NTTアクセスサービスシステム研究所は、情報ネットワーク総合研究所配下の研究所として、先端的なコア研究から、実用化開発まで幅広く経験ができる研究所です。また、線路・土木・無線・有線といったネットワーク基盤技術から、オペレーション、ロボティクス、画像解析まで、非常に幅広い分野のスペシャリストがそろっています。私のように多様な技術を組み合わせて「効率的かつ実用的な通信システム」を研究する立場では、同じ社内だけでこれほど多角的な知見を集約できる環境は、大きなアドバンテージです。さらに、NTT東日本・西日本やNTTドコモといった事業会社との距離が近く、現場の担当者と直接連携して人的交流を図れる点も、システムの実用化を加速させる大きな魅力です。なぜなら、光通信システムの開発は単一の要素技術を突き詰めるだけで完結するものではなく、システムと

して、そして事業として全体の完成度を高めていく必要があるからです。当研究所は、先進的な研究者が一体となり、そのときどきの社会情勢に沿った成果を継続的に創出し続けています。私個人としても、最近ではトップ国際会議への継続的な投稿、委員活動、招待講演などを通じて、海外のメーカやオペレータ、大学関係者と議論する機会が非常に増えています。こうしたグローバルな刺激を受けながら研究を進めるうえで、私は単に「自分の検討」に終始するのではなく、「チームとして成果を最大化するために、自分がどう寄与できるか」を常に意識しています。最先端の成果を生み出すことと同じくらい、実用化や効率化を見据えた「仲間づくり（人的ネットワーク）」も極めて重要です。これからもNTT内外のつながりを大切に育みながら、多様なスペシャリストたちとともに、自分が思い描く「ネットワークのあるべき姿」を確実に実現していきたいと考えています。

#### ■最後に読者の方々へのメッセージをお願いします。

研究開発という業務には、計り知れない魅力があります。スポーツの国際大会と同様に、世界中の優秀な技術者と切磋琢磨しながら、自らの手で「世界一」をつかみ取れるチャンスがいくらかでもある世界だと確信しています。将来のNTTグループの収益向上や事業貢献に資する研究を推進していくことに強い責任を感じていますが、同時にそれが私自身の大きな原動力であり、やりがいにもつながっています。

私の研究も、単独の力では決して実現できません。大学やメーカ、国内外のオペレータ、そして日々の運用や構築を担う現場の方々まで、すべてのステークホルダーが協調して歩みを進める必要があります。この壮大な挑戦に、少しでも共感や興味を抱いてくださった方は、ぜひお気軽にご連絡ください。共に未来のネットワークを創り出せる日を、心より楽しみにしています。



## 株式会社NTT AI-CIX

<https://aicix.jp/>



### AIは業界を飛び越え、つながる「連鎖型AI」時代に ——NTT AI-CIX 設立の背景にある技術者の挑戦

「AI（人工知能）は目の前の課題を解決するだけでなく、一歩先の潜在課題にも対応できるフェーズに入っています」そう語るのは、2024年8月に設立されたNTT AI-CIXの社家一平社長です。同社は、NTTグループが研究開発を進めてきたデジタルツインコンピューティング（DTC）を基に、業界や業務をまたいでAIを連携させる「連鎖型AI」の社会実装を進め、トライアルホールディングスとの合併会社Retail-CIXを設立するまでに至りました。技術者がお客さまにとことん寄り添うことをモットーに、流通構造改革からエネルギー、ヘルスケア領域へと進めていく社家社長に、会社設立の舞台裏から事業構想まで詳しく伺いました。



NTT AI-CIX  
社家一平社長

#### 「個別AI」から「連鎖型AI」への転換によって 産業全体の変革をめざす

#### ■会社設立の背景や業務概要、めざしているところについて教えてください。

NTT AI-CIXは、「個別AI」から「連鎖型AI」への転換によって、産業全体の変革をめざす企業です。DTC技術を核に、複数のAI（人工知能）が業務や業界の垣根を越えて連携し、個別業務の最適化にとどまらず、サプライチェーン全体の最適化まで幅広く取り組んでいます。社名の「AI-CIX（AI-Cross Industry transformation）」には、業界横断でAIを活用し、その最適化をコアコンピタンスと位置付けることで、新たな産業変革をめざすという意味が込められています。

現在は主に、サプライチェーンマネジメント（SCM：Supply Chain Management）の最適化、農業分野における仮想市場構築、ビル管理における共有部空調の最適化の3分野を中心に、パートナー企業と連携しながら社会実装を加速させています。

私自身は、光ファイバ伝送技術の開発からキャリアをス

タートし、NGN（Next Generation Network）開発推進を経て外部企業との連携業務へと歩みを進めてきました。NTTスマートデータサイエンスセンタではトヨタ、パナソニック、日立、三菱重工などを担当し、業界ごとに抱える課題の違いと、それを解決するためのアプローチの複雑さを実感してきました。

通信サービスの課題は想像が付きますが、他業界は全く異なります。そういった中でAIやデータ活用を推進すると、技術者がもっとお客さまの事業に直接寄り添って、現場で課題認識をしなければならないと考えようになりました。すると、研究開発したテクノロジーの知見をベースに、さまざまな業界の現場理解を深めることで、これまでになかった新たなソリューションがみえてきたのです。

#### 技術者だからこそみえる「将来」の課題と 「業際ビジネス」の可能性

#### ■技術者として直接お客さまに向き合うことで得られた気づきについて教えてください。

技術者として直接お客さまと向き合うことを続けている

と、さらに大きな利点があることに気付きました。現在多くの企業では、顕在化している「現在」の課題解決にAIを活用していますが、DTCをAIに掛け合わせて使うと、まだみえていない「将来」の課題にも解決策を提示できます。将来的にこの技術が必要ですが今はありません、ではなく、私たちならつくれますといえるのが技術者の強みです。

さらに着目したのは、DTCで異なる業界や業務のデータを組み合わせることで生まれる「業際ビジネス」の可能性でした。例えば、ビルの混雑状況、エレベーターの動作間隔、飲食店の混み具合、オフィスの稼働状況は一見独立した事象ですが、実は密接に関連しています。これらが共有されればビル全体の最適化が実現し、新たなビジネス機会が生まれます。この考え方が「連鎖型AI」のコンセプトへと発展していきました。

デジタルツインがあって何かができるのではなく、何かをやりたいからそれに必要なデジタルツインをつくるのです。目的や課題に応じて必要な情報を収集し、複数の事業者や業務プロセスをまたいだ最適化こそが、DTCがめざすべき姿だと考えました。

## トライアルホールディングスとの協業が示した成果

### ■注目すべき具体的な取り組み事例について教えてください。

現在は小売・流通、農業、ビルマネジメントなどの領域に注力しており、中でも注目すべき事例が、小売・流通のSCMにおけるトライアルホールディングスとの連携です。この協業の背景には、企業どうしの深い共感がありました。

トライアルホールディングスの永田久男会長は、小売・流通業界の慣習による無駄の削減を訴え、そのために自社の情報をオープンにして仲間づくりを進めるという高い志を持つ経営者です。トライアル社はさまざまな企業とチームを構築し、単独企業の効率化ではなく、業界全体を巻き込んだ連携による変革を模索していました。永田会長は当時、「横のDX（デジタルトランスフォーメーション）」と呼んでいました。

トライアル社のグループ会社であるRetail AIは、タブレット搭載ショッピングカートやAIカメラを活用したスマートストアなどのDX推進を進めていましたが、AI連携をした最適化の領域には未開拓でした。私がDTCや連鎖型AIについて説明したところ、複数の事業者間で最適化を図るというコンセプトが、まさにトライアル社のめざす「横のDX」と一致したのです。

2024年1月から本格化したトライアル社との共同検討では、「補充発注自動化」「棚割最適化」「物流効率化」「1to1マーケティング」の4つのテーマを設定し、年間売上40億円規模の大型スーパーマーケットなど数店舗で実証実験を実施しました。

技術的な核心は業務プロセス間の関係性を数理モデル化することにありました。発注のタイミングを曜日でまとめ、ある程度まとまった量で調整すれば、配送回数も作業回数も減りトータルコストは大幅に下がります。こうした業務間の影響を数理モデル化したことがブレークスルーとなり、店舗作業コスト20%削減、店舗在庫20%圧縮、物流10%効率化、欠品・廃棄5%削減という成果にめどが立ちました（図1）。

## 合併会社Retail-CIX設立、「CIX-ORDER™」の全国展開へ

### ■トライアル社との協業はどのように発展したのでしょうか。

こうした成果を踏まえ2025年7月8日、当社とRetail AIは資本金1億円、出資比率50：50の対等な関係で合併会社「Retail-CIX」を設立しました。私が代表取締役を兼任しており、50：50の対等出資とすることで意思決定のスピードを重視した体制としています。

Retail-CIXは小売・流通にとどまらず、卸売業向けの需要予測による在庫最適化、メーカー向けの生産・出荷計画最適化など、サプライチェーン上流との連携も視野に入れており、製造現場の作業平準化と残業削減、返品率・廃棄率の大幅削減といった川上への波及効果をめざしています。

設立後、Retail-CIXで開発したAIとデジタルツイン技術

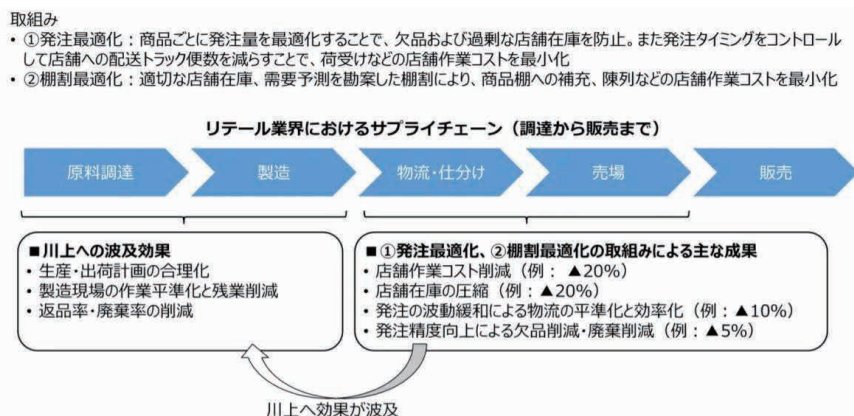


図1 上流工程まで含めたSCM最適化の範囲拡張

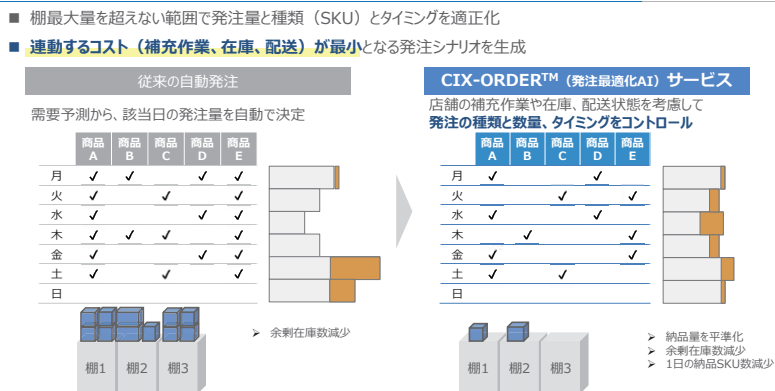


図2 CIX-ORDER™ サービスのイメージ

を用いた発注最適化ソリューション「CIX-ORDER™」は、2025年9月より順次導入が進められ、トライアルカンパニーのスーパーセンターを中心とする264店舗（2026年2月10日時点）への本格導入が完了しました（図2）。対象はグロサリー、菓子、日配品、生活消耗品など約2万8000SKU（Stock Keeping Unit）に及びます。本ソリューションは、複数の発注をまとめ納品回数を最適化する「納品効率化・集約機能」と、棚割情報と売場状態から適正量を自動算出する「棚割連動型在庫最適化」を備えています。発注業務の効率化や過剰在庫抑制にとどまらず、補充作業などのオペレーションコスト削減を実現しており、店舗ごとに180人時/月相当の作業人時の削減と過剰在庫の約30%削減が見込まれています。

## ■今後の展望についてお聞かせください。

現在注力している3分野のうち、農業分野として農産物

流DXの実証実験を進めていた神明ホールディングスの東京シティ青果（東京都江東区豊洲）において、AIによる分荷自動化サービスの導入が決定し、2026年下期でのサービス提供を予定しています。今後は神明ホールディングスのその他の青果卸売市場へのサービス展開を順次進めていき、デジタル空間で農産物の需給調整による仮想市場の実現に向けて、また、持続可能な農産物流通の実現に向けて挑戦を続けていきます。

当社の事業競争力を向上させ、さらなる成長を果たすためには業務・業界横断的な機能スキルが重要な要素となります。そのために現場観察と文脈理解、GAP構造とトレードオフの構造化、解決手段の探索、デジタルツインによる再現と最適化のフレームワーク化を推進していくとともに、業界の横展開の営業を強化し稼ぐ力を成長させて、エネルギーや医薬品物流といった新たな領域への応用も視野に入れて業界の変革に貢献していきます。

担当者に聞く

## サプライチェーン全体最適で小売の未来をつくる ——流通事業チーム

産業・流通事業本部  
流通事業部

福田 健一 さん  
星野 安泉 さん  
片桐 実奈 さん



### ■担当されている業務についてお聞かせください。

私たち流通事業チームは、小売・卸・メーカーを横断したサプライチェーン全体の最適化に取り組んでいます。在庫過剰や返品・廃棄コストの増加、人手不足による配送コスト・人件費の上昇といった流通小売業界の構造的課題を、すべてのプレイヤーが恩恵を受ける「全体最適」で解決することをめざしています。現在の主力サービスは店舗における発注業務の自動化ですが、チームの取り組みはシステム開発にとどまりません。店舗や物流センタに自ら足を運び現場を深く理解し、問題設計という上流工程から社会実装まで一気通貫で手掛けていることが大きな特徴です。

チームメンバのうち、3名の役割について紹介します。福田は顧客との対話を通じて解くべき問題を設計し、効果的かつ実運用可能な技術の検討から商用開発チームへの引き渡しまでを一貫してリードしています。星野はデータ分析を軸に店舗・物流センタでのヒアリングを重ね、KPIを確認しながら発注ロジックの設計・改善を続けています。片桐は店舗視察や利用者ヒアリングを通じてサービスの効果と課題を把握し、お客さまの経営層への報告と社内へのフィードバックを通じてシステム改善につなげています。

### ■今後の展開についてもお聞かせください。

今後は対象カテゴリーの拡大やさまざまなジャンルの小売店への横展開に加え、卸売やメーカーへと取り組みの範囲を広げていきます。サプライチェーン全体を俯瞰し関係者が連携することで、個社単位では解消しきれないムリ・ムラ・ムダを解決できると考えています。需要予測・在庫最適化・物流最適化までを統合した意思決定基盤の構築をめざすとともに、これまで注力してきた「効率化」に加え、「売上向上」への貢献にもチャレンジし、業界全体の持続的な成長を支えていきます。

## NTT AI-CIX ア・イ・エ・ス・エ・ス

### ■「自己裁量を最大化」し、新しい働き方を実現するオフィス環境づくり

EX向上に資する社員の働き方の促進、および事業拡大に伴う組織強化に対応するため、2026年1月にNTT AI-CIXは田町にオフィスを移転したとのこと。新しいオフィス環境の構築にあたり、ABW（Activity Based Working/アクティビティ・ベースド・ワーキング）という、業務内容や気分に合わせて、もっとも生産性が高い場所、時間を自己裁量で自由に選択するという働き方のコンセプトを取り入れたそうです。個人の席を決めず好きな席に座るフリーアドレスとは異なり、「一人で集中したいときは静かな個室」「新しいアイデアを考えるときはリラックスできる空間」「チームで意見を交わすときは皆が集まりやすい場所」等、今行っている仕事にもっとも適した場所を社員が自由に選択できるオフィス環境になりました（写真）。また、植物が人の視界に入ること、精神の安定を示す脳波「アルファ波」が増えるといわれており、オフィスの緑化にも取り組んでいるそうです。「新オフィスは“自然の中で働ける場所”として活用いただけると嬉しい」とコーポレート部の半瀬さんはおっしゃいます。



写真 新オフィスの様子



# IOWN Global Forum アニュアルメンバミーティング (シドニー) と活動の報告

IOWN Global Forum (IOWN GF) は、2026年4月14～17日に、オーストラリア・シドニーにて、アニュアルメンバミーティングを開催しました。世界各国から約250名のメンバが参加し、これまでの活動実績を振り返りつつ今後の活動に向けた計画やユースケース、技術検討について活発な議論がなされました。特に今回の会合では、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) の技術的優位性に加えて、導入効果や経済価値の実証、さらにはビジネス展開の方向性に関する議論が進展した点が大きな特徴となりました。4月16日には、IOWN GFの公開イベントであるFUTURESも併催され、IOWN技術の重要性や展開について講演がありました。ここでは本会合の様態と合わせて最近の活動状況について報告します。

## IOWN GF 2026年アニュアルメンバミーティング (シドニー) 開催報告

IOWN Global Forum (IOWN GF) では、毎年4月に全メンバ向けの年次会合を開催し、年間活動実績の共有や貢献メンバへの表彰、およびSC (Steering

Committee) /WG (Working Group) /TF (Task Force) のミーティングを実施しています。

今回、現地には世界の約70の会員企業・組織から250名以上の参加者を迎え (写真1)、オンライン参加者も加わって活発な議論が行われました。

オープニングプレナリーでは、President and Chairperson



写真1 IOWN GF 2026年アニュアルメンバミーティング (シドニー) 参加メンバ

の川添雄彦氏（NTT）がオープニングメッセージとして、フォーラムの成果に対するメンバの貢献に感謝の意を示しました。また、AI（人工知能）需要の増加を受けて、ネオクラウドと呼ばれる事業者が登場するなど、ネットワークやコンピューティング基盤に期待される要件に変化が起こっている点について言及し、このような新たな要件に対応するOpen APN（All-Photonics Network）アーキテクチャの重要性を訴えました。さらに、IOWN GFとOCP（Open Compute Project）が連携して新たに開始した「AI Computing Continuum」の取り組みに言及し、AI基盤の実現を加速するうえで、両組織が協力してAIコンピューティングの発展を推進していくことの重要性を強調しました。また、OCPのGeorge Tchapanian CEOからもAI Computing Continuumの考え方への賛同が示され、IOWN GFと協力してAI基盤インフラを実現することへの期待が述べられました。

基調講演では、Macquarie Asset ManagementのAni Satchcroft氏が、AccentureのJefferson Wang氏との対談において、データセンタ投資の観点から、オーストラリアにおけるAIによるデータセンタ需要の増加という課題について議論しました。また、その解決アプローチとして、IOWN GFがめざすAPNを活用した分散型データセンタ展開の有効性について講演しました。

続いて、NTT DATAの中澤里華氏は、オーストラリアにおけるNTT DATAの事業展開を説明するとともに、現地での実現が期待されるIOWNのユースケースの一例として、採掘現場での遠隔操作の取り組みを紹介し、IOWN GFのメンバとともにIOWN（Innovative Optical and Wireless Network）を活用・展開していくことへの大きな期待を示しました。

また、今回のアニュアルメンバミーティングでは、任期満了となるIOWN GFのディレクターの選出結果発表があり、Per Beming氏（Ericsson）、Derrick Buckley氏（Microsoft）、Dr. Rong-Ruey Lee氏（Chunghwa Telecom）、Giovanni Manto氏（Nokia）、Chris Wright氏（Red Hat）の5名の再選が報告されました。さらに、IOWN GFの活動において卓越した貢献を寄せた

メンバを表彰する年間表彰プログラムにおいて、PoCや技術検討の推進、外部団体との連携、外部へのプロモーションなどの取り組みを推進した計8名のメンバの表彰が行われました。

会合では、これらのほかに、WG/TFでのワークショップや分科会が行われました。そこでは、エネルギー効率、データセンタの相互接続、リファレンス実装モデルなど、最新のユースケースや業界へのインパクトに関するさまざまな議論が活発に行われました。なお、今回のメンバミーティングは2026年9月30日～10月3日に、オランダ・アムステルダムで開催される予定です。

## FUTURES シドニー2026

2026年4月16日にアニュアルメンバミーティングに併催して、IOWN GFの一般公開イベントであるFUTURES シドニーが開催されました。FUTURESの目的は、IOWN GF外部も含めたIOWN関連技術関係者にIOWN技術開発やユースケース創出の状況・展開を伝えるとともに、メディアやアナリストをとおしてIOWN GFの取り組みの重要性やインパクトに対する認知を広げて、IOWNのエコシステムを拡大し普及を加速することです。

今回のFUTURES シドニーでは、フォーラムの重要な作業に関するプレゼンテーションやパネルディスカッションが行われました。

Marketing Steering CommitteeのGonzalo Camarillo氏（Ericsson）からのプレゼンテーションでは、IOWN GFは単なる標準化団体ではなく、実装モデルを策定する組織であり、技術検証（Proof of Concept）にとどまらず、価値検証（Proof of Value）、ビジネス実証（Proof of Business）の3段階を経て、市場への大規模な商用導入をめざすアプローチが示されました。

後半のパネルディスカッションでは、豪州で米国に関する政策研究などを行う研究機関であるUnited States Studies Centre（USSC）のOlivia Shen氏、豪州の大手通信事業者であるTPG TelecomのGiovanni Chiarelli氏らが加わり、マクロ経済や地政学、通信キャリアの視点を

交えた議論が行われました。急増するAIデータセンタ需要の観点からは、電力網や土地の制約から、地方や新興国への分散が不可避となっていると示される一方、大規模データセンタの建設にあたっては、地域の電力・水資源の消費に対する住民や自治体からの懸念が高まっており、再生可能エネルギーの直接調達やIOWNの光電融合技術による抜本的な省電力化を進めることが重要であると示されました。また、キャリアの視点からは、高額な設備投資と、日々進化する先端技術を導入するリスクのバランスに言及し、これらを克服して信頼性の高いインフラを構築するためには、IOWN GFが推進するような業界横断的なコラボレーションが不可欠であると結ばれました。

またメンバ組織による技術展示も行われ、1Finity, KCCS, ITRI, NTT, Nokiaなどが光ネットワーク・コンピューティングに関する最新技術や取り組み事例を紹介しました。

## IOWN Global Forumの活動状況

IOWN GFでは、FUTURESのほかにも対外的な連携を加速しています。IOWN GFは2025年11月にTrinity College DublinのCONNECTセンタおよびTelecom Infra Project (TIP) と提携し、APN機器のマルチベンダ制御等のライブデモンストレーションを実施しました。この取り組みは同月にアイルランド・ダブリンで開催されたFYUZ2025において、光ネットワークのオープン化と相互接続を実現する先進的な実証内容として展示ブースで紹介されました。

2026年3月にバルセロナで開催されたMWC26では、セッションおよび展示ブースの両面からAI時代を支える次世代インフラの取り組みを発信しました(写真2)。

Partner Programmesセッションでは、「Beyond Connectivity: From AI Ambition to Infrastructure Reality」と題し、Accenture, Ciena, Ericsson, Intel,



写真2 IOWN GF MWC2026出展模様

KDDI, Microsoft, Northeastern University, NTT, NTTドコモ, Orange, NVIDIA, Red Hat, Sonyが登壇しました。本セッションはIOWN GFがめざす方向性やビジョンを示すとともに、ネオクラウド事業者の登場などによる分散型クラウド時代におけるインフラのあり方、さらにB5G/6Gに向けた国際連携とユースケース展開について議論が行われ、特にAPNによる低消費電力・低遅延・大容量通信が、AI時代の基盤として有効である点が示されました。

展示ブースでは、APNアーキテクチャを実装する機器やソリューションを展開するIOWN GFメンバ組織の協力のもと、APNアーキテクチャのジオラマ紹介や実機展示が行われました。また、APNを中核としたユースケースとして、リモートGPUによるAI学習の高度化や、金融分野におけるマルチデータセンタ連携、放送メディアや建設現場における遠隔操作の事例などが紹介されました。加えてETSIとの協力に関する調印式が行われ、標準化連携を通じたIOWN構想のグローバル展開に向けた重要な進展が示されました。

同月にロサンゼルスで開催されたOFC2026では、マルチドメイン・マルチベンダ環境において相互運用可能なOpen APNの実現性を示すデモが、IOWN GFのブースで行われました。また、IOWN GF技術ワーキンググループ議長である川島正久氏（NTT）が司会を務め、「IOWN Global Forum's Vision for Future AI Networking: What Industry Collaboration is Needed for Scalable AI Cluster Networks?」と題したパネルセッションが開催されました。このパネルには、OCPおよびIOWN GFのプロジェクトメンバが登壇し、OCPとIOWN GFが効果的に相互補完する関係にあることで合意しました。IOWN GFでは、これら以外にもECOCなどの光通信分野における主要な国際会議やOCPやLinux Foundationなど外部団体と連携して対外的な情報発信にも積極的に取り組んでいます。

またIOWN GFは、IOWN技術の実装を促進するため、IOWN GFが公開するPoC Reference文書に基づいて開発されたPoCを認定するプログラムを実施しています。

2026年に入ってから、Remote Media Production in Broadcast Industry（1月）、Green Computing with Remote GPU for AI Training with Image Data（2月）およびGreen Computing with Remote GPU over APN（2月）の計3件のPoCが「Recognized PoC」として承認され、PoC Reportとして公開されました。

中でも、Remote Media Production in Broadcast IndustryのPoC Reportは経済的な観点からの適用可能性を評価するテクノ・エコノミクス分析の実施結果を含めており、より社会実装を想定した検討結果を報告するレポートとして発行されました。

これらの活発な活動を反映して、IOWN GFは新たなメンバを迎えています。2026年に入ってから、Red Universitaria Nacional (REUNA), Trinity College Dublin, Politecnico di Torino, National Yang Ming Chiao Tung University, Singapore University of Technology and Design, Airbus SASなどが新たに参画し、2026年5月末現在、世界中の約170の企業・組織が加入しています。IOWN GFは、今後も新メンバの加入を促進するとともにメンバ間で連携した活動を加速していきます。

#### ■参考文献

- (1) <https://iowngf.org/iown-global-forum-and-open-compute-project-join-forces-to-deliver-on-the-next-wave-of-ai/>
- (2) <https://www.opencompute.org/community/aicc>
- (3) <https://iowngf.org/iown-global-forum-at-mwc-barcelona-2026-advancing-the-infrastructure-behind-the-ai-era/>
- (4) <https://iowngf.org/iown-global-forum-at-fyuz-2025-accelerating-open-optical-networking-for-the-ai-era/>
- (5) <https://iowngf.org/iown-global-forum-showcased-vision-for-future-ai-networking-at-ofc-2026/>

#### ◆問い合わせ先

NTT 研究開発マーケティング本部  
研究企画部門  
IOWN推進室