

NTT 技術ジャーナル

7 JULY
2026
Vol.38 No.7
NTT



特集

IOWN関連技術を活用した リモートプロダクションへの取り組み

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(前編)

グループ企業探訪

NTTイーアジア

from NTT西日本

ネットワークデジタルツインを活用したネットワークオペレーション業務への適用検討



4 特集

**IOWN関連技術を活用した
リモートプロダクションへの取り組み**

- 6 映像制作におけるIOWN関連技術
- 11 IOWN APNを活用したリモートプロダクションの商用展開への取り組み
- 17 リモートプロダクションの社会実装に向けた事業化検討
- 21 IOWN Global Forumにおけるグローバル化に向けた取り組み
- 27 主役登場 田中 克哉 NTTスマートコネク



28 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（前編）**

36 挑戦する研究者たち

山本 秀樹

NTT物性科学基礎研究所 上席特別研究員

唯一無二の物質創製技術とともに
——新高温超伝導体の薄膜創製と超伝導機構解明をめざす



特集

For the Future

42 挑戦するイノベーター

中村 祐喜

NTTドコモ クロステック開発部 エネルギー技術開発担当

グリーン基地局における電力制御技術で通信サービスや
電力需給の高信頼化を実現



特別企画

46 明日のトップランナー

岡本 創

NTT物性科学基礎研究所 特別研究員

機械振動で光を操る革新デバイスの創出



挑戦する研究者たち

50 グループ企業探訪

NTTイーアジア株式会社

東南アジアのすべての地域社会・コミュニティと
地域密着型のDX・価値創造を実現



挑戦するイノベーター

明日のトップランナー

54 From NTT西日本

ネットワークデジタルツインを活用した
ネットワークオペレーション業務への適用検討

58 Webサイト オリジナル記事の紹介

8月号予定
編集後記

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

IOWN関連技術を活用した リモートプロダクションへの取り組み

本特集では、APN(All-Photonics Network)等の

IOWN(Innovative Optical and Wireless Network)関連技術を用いた

リモートプロダクションやバーチャルプロダクションなどの

映像プロダクションDX(デジタルトランスフォーメーション)における技術的な特長や実証、

ビジネス化の検討、さらにはグローバル化に向けた活動について紹介する。

映像制作におけるIOWN関連技術

6

APNを中心とするIOWN関連技術が、映像制作におけるDXをどのように支えるか、NTT IOWN総合イノベーションセンタの取り組みについて紹介する。

IOWN APNを活用したリモートプロダクションの 商用展開への取り組み

11

初期の技術検証に加え、音楽イベントや大規模スポーツの生放送への適用、大阪・関西万博での設備共有、分散GPU活用など、NTT研究所と事業会社の連携による代表的事例を紹介する。

リモートプロダクション

Media over IP

映像制作 DX

IOWN Global Forum

APN

IOWN

Innovative Optical and Wireless Network

All-Photonics Network

Low Latency Communication

リモートプロダクションの社会実装に向けた事業化検討 ————— 17

NTTグループが取り組んでいる、リモートプロダクションのオペレーションや映像データ活用までの基盤サービス、および放送・配信業界のDXと新たな価値創出について紹介する。

IOWN Global Forumにおけるグローバル化に向けた取り組み ——— 21

IOWN Global Forumにおける放送業界向けリモートプロダクションを題材に、課題整理からユースケース策定、PoC（Proof of Concept）の実施や評価結果の公開に至る一連の取り組みを紹介する。

主役登場 田中克哉 NTTスマートコネクト ————— 27

大阪・関西万博におけるリモートプロダクションの実情



映像制作におけるIOWN関連技術

放送分野等での映像制作においては、リモートプロダクションやバーチャルプロダクションなどさまざまな制作手法の進展に伴い、映像や音声といった大容量のデータを遠隔地に低遅延で伝送することが可能な通信環境が求められています。本稿では、APN (All-Photonics Network) を中心とするIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 関連技術が、映像制作におけるDX (デジタルトランスフォーメーション) をどのように支えるかを解説します。キーワード：#リモートプロダクション、#Media over IP、#映像制作DX

いとう てつろう
伊藤 哲郎
たけうち たろう
竹内 太郎

NTT IOWN総合イノベーションセンタ

映像制作の課題とリモートプロダクション

スポーツイベントや音楽イベント等の映像制作では、複数のカメラで撮影した映像の切り替えや合成、CGによる演出付加に加え、音声の調整・統合といった処理が必要となります。これらの処理のためには、映像のスイッチャー^{*1}や音声のミキサー^{*2}などの必要な機材を撮影現場付近の中継車^{*3}内やプレハブに配置し、多数の制作スタッフを撮影現場に派遣する必要がありました。

* 1 スwitchャー：複数のカメラや映像素材をリアルタイムで切り替え、最適な画を選んで1つの映像として出力する装置。スイッチャーを用いた映像切替のことをスイッチングといいます。

* 2 ミキサー：複数の音声（マイク・楽器・BGMなど）を混ぜ合わせ、音量や音質・バランスを調整したうえで、1つの音声として出力する装置。ミキサーを用いた音声調整のことをミキシングといいます。

* 3 中継車：テレビ局等の制作拠点から離れた現場（スポーツ、イベント、報道現場など）において、撮影した映像や音声を放送局へリアルタイムで送信するための通信機器や映像・音声調整機材を搭載した専用車両。

* 4 スタジオサブ：テレビやラジオのスタジオに隣接し、番組制作における映像や音声、照明の制御をリアルタイムで切り替え・調整する「司令室」。

放送局等の映像制作事業者にとって、この中継車の導入や維持管理に伴うコスト負担が大きいことに加え、人口減少を背景とした映像・音声技術者の不足への対応も求められています。このため、コスト抑制と高品質な制作体制の両立が大きな課題となっていました。

こうした課題に対し、イベント会場などの撮影拠点（ベニュー）とそこから離れた場所にある放送局内のスタジオサブ^{*4}などの制作拠点を、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) APN (All-Photonics Network) 等の通信ネットワークで接続することで、制作設備や制作スタッフの一部または全部を撮影拠点に送り込まず、制作を遠隔拠点から実施することが可能になります。これにより、制作拠点の場所にとらわれない効率的で柔軟な映像制作体制を実現できます。

このように撮影現場から離れた場所から映像制作を行う手法をリモートプロダクションと言います（図1）。リモートプロダクションは略してリモプロと呼ぶことがあります。

リモートプロダクションにおけるIOWN関連技術の特長

2019年のIOWN構想の発表以降、IOWN関連の研究開発やプロダクト化、実用化は着実に進展してきました。2023年には、IOWN APN技術を活用した国内初の商用サービスがNTT東日本・西日本から提供開始されました。その後NTTコミュニケーションズ（現NTTドコモビジネス）からも全国70拠点以上のデータセンタを大容量・低遅延で接続するサービスが展開されています。

初期フェーズである「IOWN1.0」では、IOWN APNを中心に、光通信技術を活用した大容量・低遅延の次世代ネットワーク基盤の実現が進められてきました。IOWN APNは、大容量映像の高速伝送や、遠隔医療、製造現場の遠隔監視・制御など、幅広い分野で活用検討が進んでおり、従来のネットワークでは実現が難しかった低遅延かつ高品質な通信を可能とすることで、業務効率化と新たな価値創出に貢献しています。

リモートプロダクションの分野に

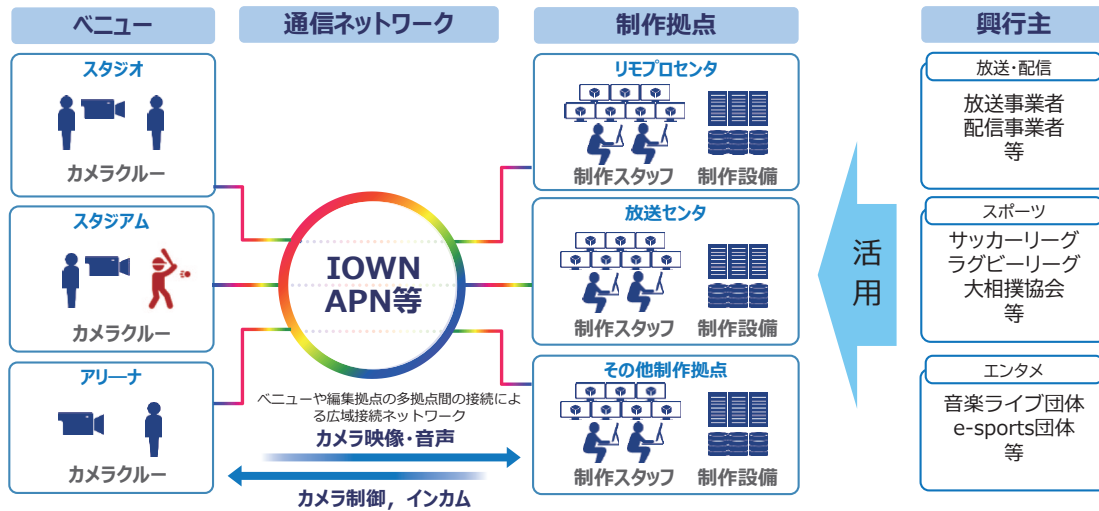


図1 リモートプロダクションとは

においても、これらIOWN関連技術の特長を活かすことで、従来の映像素材伝送や単一カメラの映像中継にとどまらず、複数のカメラ映像の同時伝送や、撮影現場の中継車と同等以上の制作を遠隔拠点で実現できます。IOWN APNを活用したリモートプロダクションには以下の3つの特長があります。

■特長①：大容量・低遅延

数十台規模のカメラ映像をリアルタイムにスイッチングする大規模なスポーツイベントや、数百の音源をミキシングする音楽ライブ、さらには3Dボリュメトリック映像制作のように、多数の映像信号を同時に取り扱う高度な制作現場では、多くのカメラ映像や音声の通信環境が必要になります。

10 Gbit/sから800 Gbit/sさらにはそれ以上の高速化が可能なIOWN APNを接続回線に用いることで、

複数のカメラ映像を非圧縮または軽圧縮のまま、画質劣化や遅延をほとんど生じさせずに、離れた制作拠点へ伝送でき、大容量・低遅延の安定した通信で、現場と同等のリアルタイム制作を遠隔拠点において実現できます。

また、現場スタッフとのインカムによる通話や音声ミキシング、映像関連装置の遠隔操作といった用途では、通信容量が比較的小さくてもよ

一方で、極めて低い遅延が求められます。IOWN APNはコミュニケーションや遠隔操作などの低遅延要件の厳しい通信に加え、大容量の映像伝送を含む多様なトラフィックにも対応できるため、リモートプロダクションに必要な高品質で安定した環境の確保に適しています(表)。

■特長②：安定した時刻同期

リモートプロダクションのように拠点間で映像制作を行う環境におい

表 非圧縮、軽圧縮、高圧縮の比較

	非圧縮	軽圧縮 ^{※1}	高圧縮
圧縮方式	-	JPEG XS 等	H.265/HEVC 等
圧縮遅延	なし	～数10 ms	数10～数100 ms
映像品質	高	中	低
伝送容量 ^{※2}	FHD	約3 Gbit/s	約300 Mbit/s程度
	4K	約12 Gbit/s	約1 Gbit/s程度
	8K	約48 Gbit/s	約5 Gbit/s程度

※1 軽圧縮は10分の1で計算

※2 フレームレートは60 Pの前提

ては、映像機器間の高精度な時刻同期が重要な要件となります。同一スタジオや中継車での現地制作では、各機器間で高精度な時刻同期が行われており、フレーム単位でタイミングを一致させることで、映像や音声の遅延や不整合のない制作環境が実現されています。これと同等の制作品質を遠隔拠点間で実現するため、PTP (Precision Time Protocol) *5の時刻同期を使用します。長距離の離れた拠点間でPTPの高精度な時刻同期を実現するためには、PTPの時刻同期信号を拠点間で流通する必要があります。

時刻同期の代表的な情報源の1つにGNSSアンテナ*6で衛星から取得するクロック情報*7がありますが、場所によっては衛星との通信のための条件が良いアンテナ環境の確保が難しいことや、天候による衛星との通信の不安定化、さらに近年ではスプーフィング*8やジャミング*9とい

たセキュリティ上の課題も懸念事項となっています。

これに対して、伝送遅延の揺らぎがないIOWN APNをPTPの時刻同期信号の拠点間伝送に利用することが有効な解決策となります。従来のネットワークでは、拠点間の伝送遅延の揺らぎがPTP時刻信号の安定伝送における課題となっていました。IOWN APNを利用することで揺らぎを極小まで抑えることができ、短時間でのPTPロック*10やロック外れのない安定した伝送環境が実現できます。

PTPの時刻同期では1マイクロ秒未満の揺らぎを満たす伝送環境が求められ、これを超える揺らぎが存在する環境では安定した同期の維持が困難となります。一方IOWN APNでは、安定した拠点間時刻同期の維持が可能で2025年に実施したAPN接続実証における日本-台湾間約3000 kmの長距離において、数十ナ

ノ秒レベルの揺らぎという極めて高い安定性を実現し、同期状態の維持に成功しています(図2)。

■特長③：高品質な冗長化

IOWN APNの揺らぎなしの特長は回線の冗長化においても活かされます。2系統の異経路APNパス上では、放送業界の標準規格の1つである SMPTE (Society of Motion Picture and Television

- * 5 PTP：ネットワーク上の機器（サーバ・装置など）の時刻を高精細に同じ時刻に合わせるためのプロトコル。
- * 6 GNSSアンテナ：GPSなどの衛星測位システムから送られてくる電波を受信するためのアンテナ。受信した信号はGNSS受信機に渡され、位置（緯度・経度・高度）や時刻の計算に使われます。
- * 7 クロック情報：ネットワーク上で時刻を同期するためにやり取りされる時刻・品質・遅延に関する情報。
- * 8 スプーフィング：時刻情報やクロック情報を偽装し、誤った時刻同期をさせる攻撃。
- * 9 ジャミング：時刻同期通信を妨害して利用不能または精度低下を引き起こす攻撃。
- * 10 PTPロック：機器の内部クロックがPTPで配信される基準時刻（マスター）に正しく同期している状態。

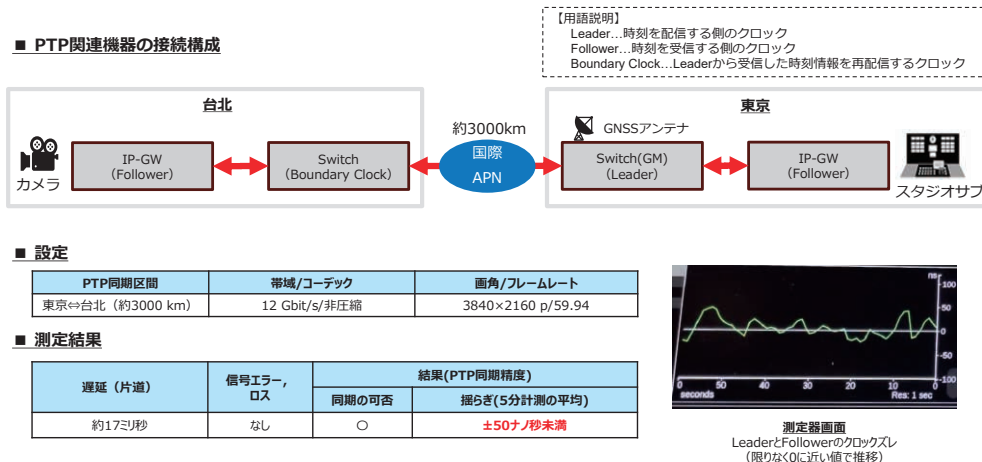


図2 PTP同期における揺らぎなしの特長

Engineers) のST2022-7^{*11}に対応した映像機器により両系統での同時送受信を実施します。受信側では、各経路からのパケットを比較し正常なパケットを選択的に受信することで、伝送品質を担保する仕組みとなっています。仮に、映像機器でパケットロスが発生した場合でも、受信側においてパケットレイヤの遅延差を吸収することにより、映像の欠損や瞬断を伴わない切り替えが可能となります。

IOWN APNでは、遠隔拠点間においても、ローカル拠点内と同等レベルであるClass D（遅延差150マイクロ秒）の冗長化を確認しており、同一拠点での環境と同等のバッファリング^{*12}での無瞬断環境を構成可能です（図3）。さらに、150マイクロ秒以上の遅延差がある異経路間でも、IOWNの遅延調整技術を用いることで、その差を150マイクロ秒以内に収束させることもできます。これにより、極めて高品質な拠点間通信環境が確保され、運用上はリ

モート拠点の存在を意識することなく、同一拠点内に装置を設置する場合と同等の環境が実現できます。

さらなる映像制作DXに向けた開発

リモートプロダクションでは、制作拠点から接続するスタジアムやアリーナなどが多数存在し、音楽イベントやスポーツイベントの開催に合わせて接続先が変わるため、IOWN APNの接続先を柔軟に変更するという利用形態が求められます。また、イベント中継を行う際は、中継時間や事前事後の準備に必要となる最低限の期間だけを利用可能とすることで、施設利用料や回線利用料を抑制することが求められています。

IOWNでは、光パスの切り替え技術などの開発が進められており、将来的には拠点間の柔軟な接続が見込まれます。さらに「IOWN2.0」では、光化の対象をサーバなどのコンピュータ領域に拡大し、拠点間で

GPU等をリソースシェアリングでできるAIコンピューティング基盤^{*13}などの開発が進められています。これにより、拠点間をまたぐ大規模映像データ処理やAIによるリアルタイム映像処理など、自動化と効率化がさらに進むと期待されます（図4）。

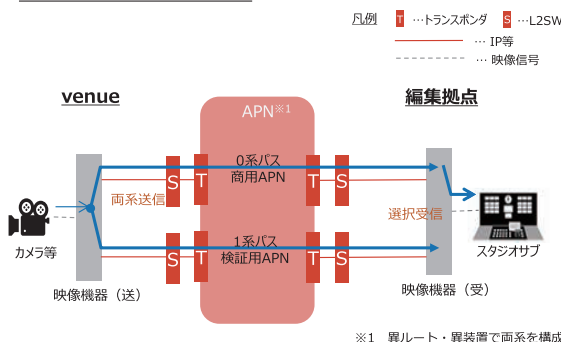
さらに、プライベートクラウド拠点等に映像データや映像制作、編集に関する機能と装置を集約できます。例えば、AIによる編集技術の活用により、CG表現の高度化やスロー再生、スポーツ中継におけるビデオアシスタントレフェリーなどを高度化・自動化することもできます。このような高度なシステムもセンタで共有することで、設備投資を抑制しつつ利用率を向上させることが可能です。さらに地方局など比較的小規模な映

*11 ST2022-7：IPネットワーク上で映像・音声を“途切れなく”伝送するための冗長化（リダンダンシー）規格。

*12 バッファリング：データを一時的にためて、遅れや揺らぎを吸収する仕組み。

*13 AIコンピューティング基盤：IOWNにおける、ネットワークと計算資源（GPUなど）を一体化し、AI処理を最適に実行する次世代インフラ。

■ 冗長化検証の接続構成



■ 実施結果

項目	内容
瞬断・無瞬断	無瞬断 (ST2022-7)
Class	Class D 0系と1系の遅延差が極小(150マイクロ秒未満)
冗長化方式	Active/Active

図3 IOWN APNによる無瞬断冗長化

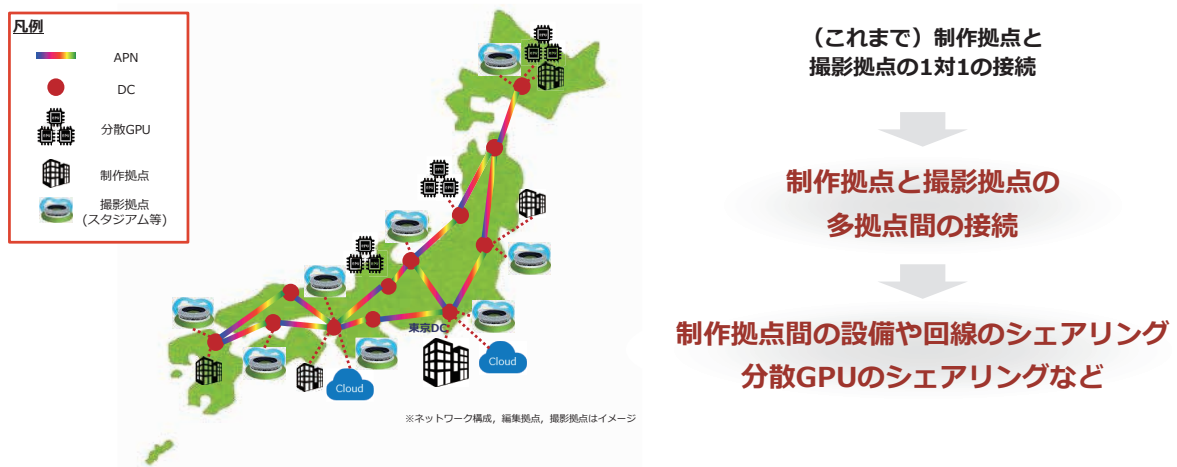


図4 映像制作DXプラットフォームのイメージ

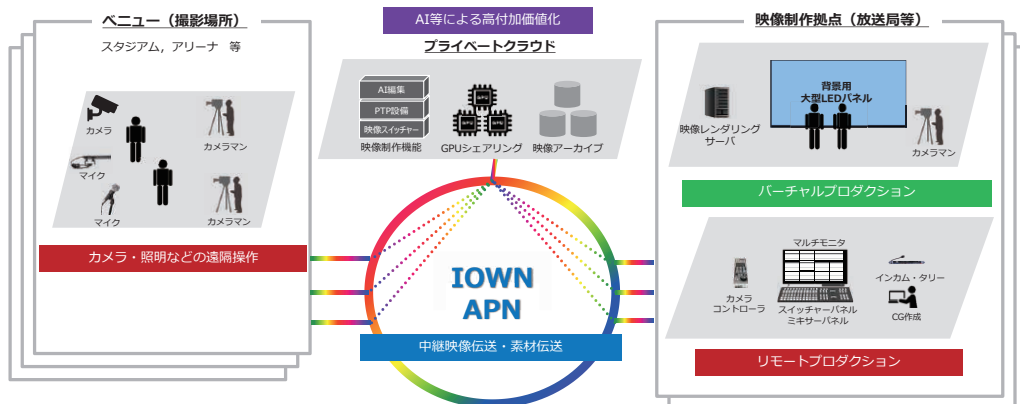


図5 映像制作DXのユースケースイメージ

映像制作事業者においても、IOWN APN経由で集約したシステムに接続することで最新の制作機能を利用しやすくなります。

このように、IOWN APNやAIコンピューティング基盤によって映像制作機能をシェアリングし、その活用を拡大する取り組みも含めた、映像制作の効率化、高付加価値化の取り組み全体を総称して「映像制作DX」と位置付け、ユースケースの展開と併せて、プラットフォームの

高度化に向けた開発と実証を進めています (図5)。



(左から) 伊藤 哲郎 / 竹内 太郎

大容量、低遅延、揺らぎなしのIOWN APNをベースに、AIコンピューティング基盤を組み合わせることで、柔軟な映像制作環境が実現できるとともに、映像制作の付加価値を高めることができます。今後も映像制作のさらなる高度化に貢献していきます。

◆問い合わせ先

NTT IOWN総合イノベーションセンタ



IOWN APNを活用したリモートプロダクションの商用展開への取り組み

これまで、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 関連技術を活用し、リモートプロダクションの商用展開に向けた技術実証、事業性検証、商用イベントでの利用が進められてきました。本稿では、初期の技術検証に加え、音楽イベントや大規模スポーツの生放送への適用、大阪・関西万博での設備共有、分散GPU活用など、NTT研究所と事業会社の連携による代表的事例を紹介します。キーワード：#リモートプロダクション、#Media over IP、#映像制作DX

いとう てつろう
伊藤 哲郎
たけうち たろう
竹内 太郎

NTT IOWN総合イノベーションセンタ

初期の技術実証の取り組み

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) APN (All-Photonics Network) をはじめとするIOWN関連技術を利用するリモートプロダクション等において商用展開するためには、映像制作における多様なユースケースに対して適用可能であることを、段階的に実証していく必要があります。

技術実証や事業性検証を経て、商用利用における運用可能性や経済合理性が確認されることで、ビジネス主体による本格的な商用展開や社会実装の進展が期待されます。商用展開においては、類似分野における関連組織への水平展開も見込まれます。また、研究開発組織は、さらなる付加価値創出に向けた技術実証を継続的に実施します。これにより、取り組みの高度化を図り、当該分野全体のDX (デジタルトランスフォーメーション) 推進へとつなげていきます。

放送業界等において国際的に広く認知されている標準化団体である

SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) *1が策定する規格は、異なるメーカー間の映像・音声機器やシステムにおける高い相互接続性を実現するための標準規格の1つとなっています。

SMPTEではIPプロトコルをベースとした映像信号・音声信号・機器制御信号に関する各種規格が整備されており、これらを活用することで、異なる機器間においても統一的な通信や制御が可能となります。IOWN APNはマルチプロトコルに対応した伝送であることから、これら SMPTE 規格と組み合わせることで、多様な制作機器を柔軟かつ高品質に接続することができます。

具体的には、SMPTEでは映像・音声のIP伝送を規定するST2110、時刻同期を規定するST2059、冗長化伝送を規定するST2022-7などの関連規格が整備されています。2024年に研究所主体で実施した初期の技術実証においては、これらの SMPTE 標準規格に加え、デファク

トスタンダードとして多く用いられている一般市中技術やプロトコルも対象とし、それぞれについてIOWN APNの適用性や動作検証を実施しました。そのうえで、従来ネットワークとの比較を通じて、低遅延性や安定性といった観点における優位性が発揮されることを確認しました (図1)。

事業性検証の取り組み

これまでも映像や音声の大容量・低遅延伝送技術を、遠隔拠点で映像制作を行うリモートプロダクションに活用しようとする取り組みは、放送事業者等により進められてきました。しかしながら、回線容量や遅延の制約などが存在し、商用適用の拡大には至っていません。

リモートプロダクションにIOWN APNを活用することで、大

*1 SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) : 映画・テレビ・映像配信などの分野における技術標準を策定する国際的な専門団体。



図1 技術実証の対象とした規格

容量・低遅延の映像伝送を軸に、映像のスイッチングや音声のミキシング、タリー^{*2}やインカムを用いた現地とのリアルタイムな信号と音声の連携、さらには各拠点の装置間の高精度な時刻同期など、多様な信号のやり取りを統合的に実現することができます。これを踏まえ、さまざまなビジネスユースケースに対してそれぞれの運用要件や品質要件を満たすことができるかについて、事業性検証を通じた評価を行いました。

■大規模音楽イベントでの音声リモートプロダクション

IOWN APNのサービス提供開始初期においては、低遅延の特長を活かせるユースケースとして、音声を非圧縮かつ低遅延で遠距離伝送する取り組みから着手しました。例えば、2023年にNTT東日本を中心として東京、大阪を含む全4拠点を接続し、遠隔合奏を実現した「未来の音楽会」では、東京—大阪間で往復約8ミリ秒の遅延環境のもと、指揮者とオー

ケストラが異なる拠点でのクラシック演奏や、離れた拠点間でのピアノ連弾を実施しました。

その後、さまざまな音楽ライブイベントへのIOWN APNの活用が検討される中で、最初の大規模な地上波生放送音楽番組への商用利用は、2024年末の生放送音楽番組「輝く！日本レコード大賞」^{*3}での音声リモートプロダクションです。大規模な音楽イベントでは大量の音声信号を扱う必要があることから、音声中継車とそこに搭載した音声ミキサーなどの機材に加え、多くの制作スタッフをイベント開催拠点に配置する必要があり、コスト抑制と高品質な制作環境の確保が前年度までの課題となっていました。

従来は、約300チャンネルに及び音声のミキシングをすべて現地の駐車場に停めた複数の音声中継車にて実施していましたが、本実証ではこのうち64チャンネルをリモートプロダクションに切り替え、離れた放送局内

のスタジオサブ環境にて実施しました。その結果、従来の音声中継車で行っていた音声のミキシングと同等の品質で、かつ音響、空調、作業スペースの面で良好な環境で音声プロダクションを実施できるようになりました(図2)。

音声プロトコルには、音声信号を非圧縮のままIP化してリアルタイム伝送する代表的な手法の1つであるDANTE^{*4}を用いました。IOWN APNを使うことで、音声ミキサーを設置したスタジオサブから、実際のイベントが行われた音楽ホールまでの約30キロメートルのルートにおいて、往復約5.6ミリ秒の低遅延伝送を実現しました。この遅延は人の

*2 タリー：映像制作・放送現場で使われる「どのカメラや映像が今使われているか」を知らせる信号。

*3 輝く！日本レコード大賞：日本の音楽を代表する曲やアーティストを表彰する、年末のTBS系列の音楽賞・テレビ番組。

*4 DANTE：IPネットワーク上で非圧縮音声をリアルタイムに伝送する音声規格(Audio over IP)。



図2 大規模音楽イベントでの音声リモートプロダクション

知覚に影響を与えないレベルであり、現地で実施するのと同等の操作性が確保されました。さらに、音声リモートプロダクションで用いられる時刻同期プロトコルPTP (Precision Time Protocol) についても、DANTEで使用されるPTPおよびSMPTE ST2110の映像伝送で使用されるPTPといった、異なるバージョンが混在する環境において、高精度な時刻同期を実現しました。

この生放送での音楽番組における音声リモートプロダクションは翌年の生放送の際にも引き続き利用されており、イベント開催現場と、離れたスタジオサブでの音声ミキシングをより柔軟に分散する取り組みが続けられています。

■大規模スポーツイベント等での映像リモートプロダクション

IOWN APNを映像伝送に活用する取り組みとしては、2025年に伝統芸能と最新のデジタル技術を融合した新しい公演「超歌舞伎」において日本と台湾の遠隔拠点間をIOWN

APNで接続し、双方の舞台に演者を同時に登場させました。また、2026年にはNTTドコモ主催の「Tokyo Girls Collection」にて、名古屋のIGアリーナと横浜BUNTAIを接続し、アイドルユニットのリアルタイムコラボレーションを実施するなど、エンタテインメント分野においても、より高いリアルタイム性が求められるユースケースへと適用範囲が広がっています。

映像系の大規模なリモートプロダクション実証としては、「NTT R&D FORUM 2024」において、地上波生放送番組「ひるおび」*5のリアルタイムスタジオカメラ映像38チャンネルのスイッチング実証に成功しています。

その後開催された2025年の地上波生放送の大規模スポーツイベントでは、遠隔拠点での制作機能を備えたリモートプロダクションセンターを開設し、当時の生放送向けのリモートプロダクションとしては過去最大規模となる、1映像当り1.5

Gbit/sの非圧縮映像信号20チャンネルのリアルタイム映像スイッチングや音声ミキシング、インカムやタリ、さらにはリアルタイム性と安定操作性が求められるカメラや照明機器の遠隔コントロールなど、統合的な遠隔制作環境を通信容量100 Gbit/sのIOWN APNを用いることで実現しました(図3)。

本取り組みでは、生放送における高い信頼性を確保するため、標準規格SMPTE ST2022-7対応機器を用いた無瞬断切替方式を採用し、イベント会場とリモートプロダクション拠点をIOWN APNにより完全に異なる経路で接続しました。両経路間の遅延差は60マイクロ秒で、その差が揺らがない安定性を保ったまま、無瞬断の運用が可能であることを確認しました。これは、両経路が備える低遅延かつ揺らぎのない特長があってこそ実現できたものです。

*5 ひるおび：TBS系列で平日の昼に放送されている情報・ニュース系のワイドショー番組。



図3 大規模スポーツイベントでの映像リモートプロダクション

この結果から、従来は大規模イベントの現地だけで行っていた映像制作やスイッチングの全部または一部を、リモートプロダクションセンターからの操作・制御で代替し、両拠点が連携して実現できることを確認しました。併せて、人件費、交通費、設営費、機材輸送費といった運用コスト削減の可能性も確認できました。さらに、地上波生放送の大規模スポーツイベントのような高い品質が求められる環境においても、リモートプロダクションが実用的かつ有効な手法であることを示しました。

付加価値向上に向けた取り組み

■大阪・関西万博における設備シェアリング型リモートプロダクション

これまで、音声や映像のリモートプロダクションについては、地上波生放送番組など極めて高い品質が求められるユースケースにおいて商用利用が進められてきました。一方で、

回線環境や制作設備への投資、さらに設備運用コストの負担は依然として課題でした。この課題に対し、リモートプロダクションに必要な回線環境や、SMPTE等の標準規格対応の設備を共通基盤として提供し、複数の放送事業者で共同利用する「設備シェアリング型」のアプローチが検討されました。その具体的な取り組みが、万博会場と複数の在阪放送局をセンターのプライベートクラウドデータセンター経由で接続した、2025年の大阪・関西万博での共同実証です。

本実証では、大阪市内に所在するNTTスマートコネクットのデータセンターを共同利用型のメディアハブ拠点と位置付け、その拠点にプライベートクラウド環境を構築しました。そのうえで、映像のスイッチャーや時刻同期のためのPTPグランドマスタークロック (GM)^{*6}機能を共通機能として提供し、放送局各社がこれらの機能を利用できる環境を整備しました。これにより、各社はデー

タセンタ上の装置や機能を利用して、大阪・関西万博会場で実施されるイベントにおいて、複数カメラ映像を用いた生中継番組の制作が可能となりました(図4)。

本実証により、それまで確認してきた音声・映像のリモートプロダクション拠点での実施可能性に加え、シェアリングした設備が接続先変更にも柔軟に対応可能であり、多様な放送局の番組制作要件に適応可能であることを確認しました。今回は手動での切り替えでしたが、切り替えの自動化やスケジューラなどのコントローラ機能を導入することでさらに柔軟に必要なリソースを複数社で共同利用できるようになり、放送局の設備投資や維持コストの最適化につながる可能性があることを示しました。

*6 PTPグランドマスタークロック：PTPネットワーク内で「全体の基準時刻」を配る最上位の時計装置。

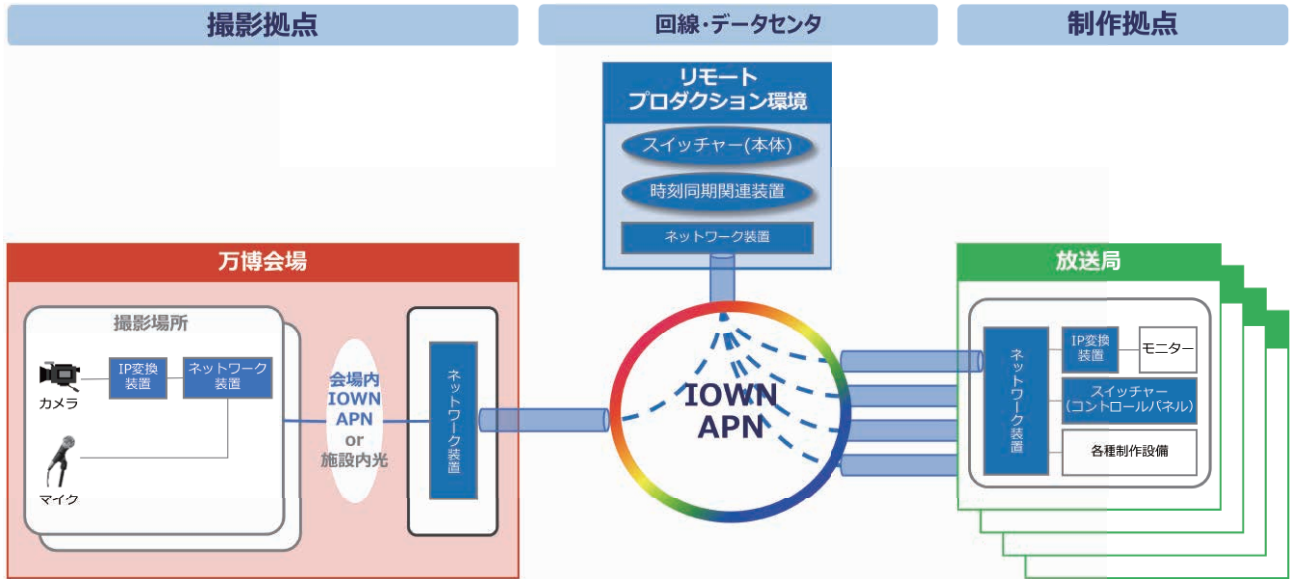


図4 大阪・関西万博における設備シェアリング型リモートプロダクション



図5 バーチャルプロダクション

■バーチャルプロダクションにおける分散GPU活用実証

ここまでのリモートプロダクションや設備シェアリングの発展形の一例が、バーチャルプロダクション*7における分散GPUの活用です。

従来、映像制作に用いるGPUは同一拠点内に設置していましたが、本取り組みではこれらのGPUを遠

隔拠点に配置された共通基盤上に集約し、日本縦断相当の長距離（約3000キロメートル）のIOWN APNで接続しました。また本環境を用いて、映像制作用ゲームエンジン*8の時刻同期や、カメラ・照明の座標情報など制作に必要な各種データのリアルタイム伝送を実現しました（図5）。

本実証の結果、撮影カメラとLED背景表示の間で往復約84ミリ秒の低遅延を実現し、スタジオ内のGPU

*7 バーチャルプロダクション：実写とCG（仮想空間）を撮影現場でリアルタイムに合成する映像制作手法。

*8 ゲームエンジン：リアルタイムに映像・音などを処理し、インタラクティブなアプリケーションを開発するためのソフトウェア基盤。

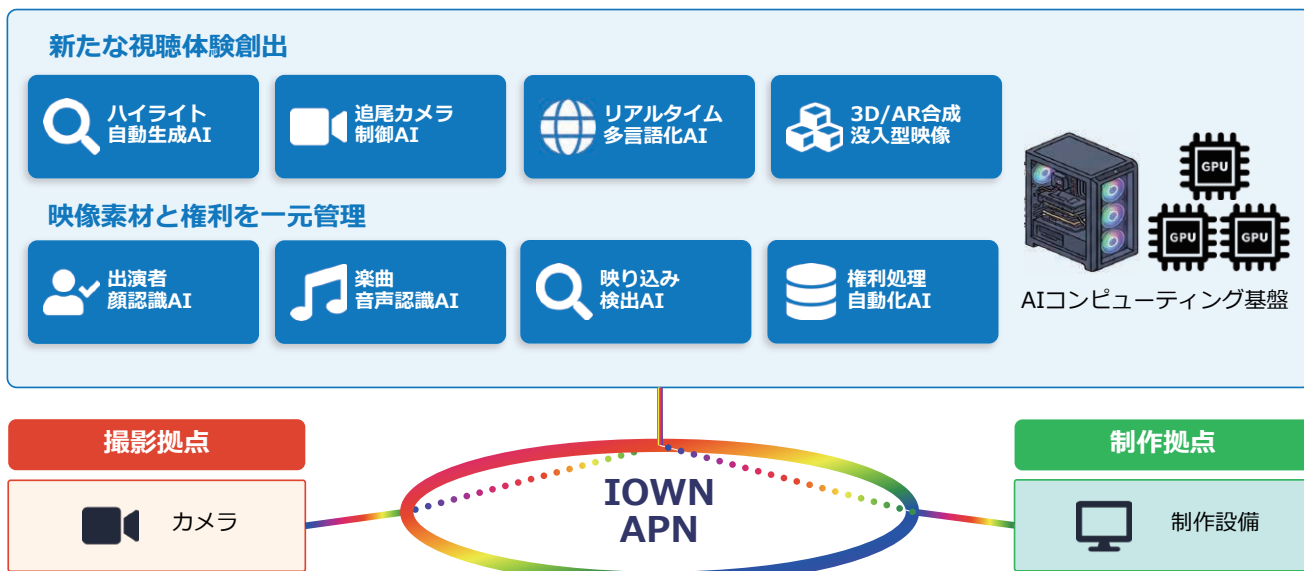


図6 AIによる新たな価値創造

を利用する場合と同等の品質や操作性を確保できることを確認しました。

技術面では、IOWN APNの低遅延かつ揺らぎのない拠点間接続によるゲームエンジン間の高精度な時刻同期と、SMPTE ST 2110に準拠した非圧縮映像伝送をGPUメモリダイレクトで低遅延に実現しました。映像制作向けゲームエンジンのサーバ基盤には、複数のGPUを一元管理して柔軟に割り当て可能とするCDI (Composable Disaggregated Infrastructure)^{*9}を用いました。これにより、LEDパネルの規模や映像の画素数、フレームレートの高度化に応じてGPUリソースを柔軟かつスケラブルに割り当てられることによる拡張性も示しました。

*9 CDI: GPU, ストレージなどのリソースをモジュール単位で分離・統合し、サーバを固定構成ではなく、部品単位で構成可能とするインフラアーキテクチャ。

今後の高度化、自動化に向けて

これまでの技術実証、事業性検証および商用利用を通じて、リモートプロダクションにより、業務の効率化が大規模生放送の商用レベルで可能となり、将来的な技術者不足への対応が図れることが示されてきました。さらに、設備シェアリングによる設備コスト抑制の可能性についても示されました。また、これらを業界共通のプラットフォームとして展開することで、映像制作業界全体の生産性向上が見込まれます。

一方で、生産性向上にとどまらず、映像制作の高付加価値化による新たな視聴体験の創出が求められており、その実現に向けたAI (人工知能) 関連技術の応用が期待されています。

例えば、AIを活用したスポーツや音楽イベントでのハイライトの自動生成や、リアルタイム多言語字幕への

の対応、さらに3D/AR技術による没入型映像の生成などは、新たな視聴体験の創出につながります。また、高度なメタデータの自動生成や権利処理の効率化は、過去の映像作品の利活用促進にもつながり、これらのユースケースにおけるAI技術の活用が期待されます (図6)。



(左から) 伊藤 哲郎 / 竹内 太郎

これまでさまざまなイベントを通じてIOWNによるリモートプロダクション等の映像制作DXの可能性を提示してきました。今後は効率化に加え新たな視聴体験の創出が重要であり、AI活用と基盤整備を軸に技術・事業性検証を通じたさらなる商用展開を進めていきます。

◆問い合わせ先

NTT IOWN総合イノベーションセンタ



リモートプロダクションの社会実装に向けた事業化検討

リモートプロダクションは、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) APN (All-Photonics Network) 等の進展により技術実証段階から事業化段階へ移行しつつあります。背景には制作費の上昇、人材不足、視聴体験ニーズの多様化があり、遠隔制作による効率化・コスト削減・体験価値向上が期待されます。NTTグループは回線提供にとどまらず、リモートプロダクションのオペレーションや映像データ活用まで含む基盤サービスを提供し、スポーツ分野から段階的に展開しながら、放送・配信業界のDX (デジタルトランスフォーメーション) と新たな価値創出をめざします。

キーワード：#リモートプロダクション、#Media over IP、#映像プロダクションDX

ふじもと けんた
藤本 健太
まくにや ただし
萬國谷 忠
あずま みちあき
東 宙成

NTT ドコモビジネス

技術検討フェーズから事業化への転換

これまでの実証等をおおしての技術的な検証を経て、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) APN (All-Photonics Network) をはじめとする大容量・低遅延ネットワークの進展により、映像制作機能の一部を現地から遠隔側へ移し、高品質な中継制作を実現するための技術的条件は整いつつあります。今後は実証にとどめず、継続的な事業としての実現可能性を高めていくことが重要となります。そのために、技術以外の市場性、顧客課題、提供範囲、運用体制、収益モデルを検討し、利用者が持続的に使える仕組みにする必要があります。

NTTグループでは、リモートプロダクションの事業化可能性について、市場分析、競合分析、ニーズ分析、事業概要、提供機能・構成、事業性評価、展開フェーズ・シナリオと検討を進めてきました。事業範囲は狭義の遠隔制作にとどまらず、映

像伝送と制作機能の遠隔化を起点としながら、その先にある映像データの蓄積・加工・再利用、さらに視聴体験の高度化やファンとの接点拡張までを含め、映像制作を核とした新たな価値創出の可能性を見据えています。本稿では、その検討の背景、想定する提供価値、ねらう市場、提供モデル、NTTグループが担う役割について述べます (図1)。

事業化検討の背景と市場環境

本検討の背景には放送・配信業界を取り巻く経営環境の変化がありま

す。配信プラットフォームの拡大や収益構造の変化により、従来と同じ制作体制を、従来と同じコスト水準で維持し続けることが難しくなりつつある一方で、視聴者や主催者が求める価値は急速に高度化し、かつ多様化しています。高品質な映像・音声はもはや前提となりつつあり、加えて、没入感、多様な視点、リアルタイム性、データに基づく演出など、より豊かな視聴体験への期待が高まっています。すなわち、放送・配信事業者には低コストでの運営と品質向上を両立させる新たな仕組みが求められていると思われま

こうした経営環境の変化は映像制



図1 NTTグループ新規事業構想図

作業界に複数の課題として表れています。

第一に制作費の上昇です。人件費、交通費、宿泊費、機材費、回線費などライブ中継制作を成立させるための費用項目は多岐にわたり、各々のコストが上昇する中で各興行における制作費の削減が求められています。現地に多くの機材と人員を配置する従来型の体制はイベントの品質を確保する上で有効である一方、イベント主催・運営側にとって大きな負担となっています。また、中継車や編集設備などの設備は非常に高価であり、更新のコスト負担も大きく、またイベント毎に現地へ機材を持ち込み、設営・撤収を行う運用は機器寿命の短縮、故障リスクの増大につながります。

第二に人材面の課題です。映像制作に必要な技術人材は専門性が高く、確保・育成には多大な時間を要します。近年は放送に加え、OTT (Over-The-Top) 映像配信のメディア事業者数の増加に伴い、関連市場の雇用が拡大し、映像人材の流動化が進んでいます。こうした状況は従来型の制作現場における運営を困難にしており、業界の大きな課題となっているようです。

第三に映像視聴体験に関する多様なニーズへの対応です。視聴者の価値観やライフスタイルは多様化しており、

- ・特定の選手や出演者に注目したい
- ・複数のアングルを切り替えなが

- ら観戦・視聴したい
- ・短時間で見どころを把握したい
- ・現地に行けなくても臨場感を味わいたい

など、求める視聴体験は細分化・多様化しています。こうしたニーズに対応するには、制作プロセスの変革と、それを支える堅牢・受難な映像伝送基盤が必要になると考えています。

前述のような制作体制の変革によるリモート化・集約は単なる効率化施策ではなく、制作リソースの有効活用、柔軟な働き方の実現、設備や移動の最適化によるサステナブルな制作体制の構築にも資するものであり、映像流通や地域会場の活用、スポーツ・エンタテインメント興行の価値向上までを見据えると、放送・配信業界のDX（デジタルトランスフォーメーション）は社会的意義を持つ取り組みであると考えます。NTTグループはこうした産業変革に対し、「産業・地域DXのプラットフォームフォーマー」として、放送・配信業界の制作プロセスと顧客体験の双方に変革をもたらすプレイヤーになることをめざしています。

想定する提供価値

NTTグループでは、リモートプロダクションを単なる遠隔制作の方式ではなく、映像伝送、監視運用、利用支援、映像データ活用を組み合わせたIaaSとしてとらえたいと考えています。想定する提供価値は、

「制作業務効率化」「コスト削減」「体験価値向上」の3つです。

第一の業務効率化は、制作機能を遠隔拠点へ集約することにより人員・設備・機材の稼働率を高めることで、現地（ベニュー）ごとに制作体制を都度構築するのではなく、遠隔側に中核機能を集約することで、同一拠点から複数案件に対応しやすくなり、限られた技術人材をより効率的に活用し、稼働率を高めることができるようになります。また、制作フローの標準化や運用ノウハウの蓄積も進めやすくなり、属人的なオペレーションに依存しにくい体制構築は継続的な事業運営の観点からも重要となります。

第二のコスト削減は、イベント単位で必要な設備や作業をシェアリングすることにより、中継車等の投資を含む機材費や移動・宿泊を含めた人件費等が抑えられる点です。さらに、この制作コスト削減によって生まれた余力を、興行主側でより高品質な制作や新たな表現へ再投資することで、より価値の高い興行を実現することができると考えています。

第三の体験価値向上は本構想の中でも特に重要な要素です。リモートプロダクションによって、カメラ映像や音声を放送・配信用映像にする前段階の素材を一括集約することが可能となります。

従来の制作では、最終的に1つの完成映像としてまとめます（完パケ）。個別の映像素材を横断的に活用する余地には限界がありました。これに

対し、リモートプロダクションでは、すべてのカメラ映像や関連データの全量をIOWN APNで遠隔側に集約することで、加工・分配・保存の自由度が高まります。配信・放送後の映像データを「完成品」から、「用途やシーンに応じて活用できる柔軟なデータ」へと変換することで、多様な視聴体験の提供が可能となります。例えば、視聴者が見たい角度を自身で選択できるマルチアングル配信、視聴者層別の関心に応じたサブチャンネル、見どころを短時間で把握できるショート動画、多言語による実況・解説、競技やパフォーマンスの理解を深めるスタッツ高度化などは、ファン層や利用シーンに応じて映像や情報提供の方法をフレキシブルにすることで、興行価値を向上させ、ファンの拡大・定着・LTV向上につながります。

また、リモートプロダクション環境は、複数拠点の映像・音声・演出要素を統合的に扱ううえでも有効です。複数会場を接続したライブビューイングや同時開催型の興行、照明・歓声を含めた臨場感の再構成、バーチャル表現との融合など、従来の完パケ中心の制作では実現が難しい演出がより現実的なものになります。ベニュー自体の魅力向上や興行価値の拡張と、来場しない視聴者に対し、参加の動機付けができます。

さらに重要なのが映像データの蓄積と利活用です。映像にメタデータを付与し、検索・再利用しやすいかたちで蓄積することで、ハイライト

生成、スポーツにおける戦術分析、映像資産の再活用など新たな価値創出が可能となります。視聴、来場、購買などの行動データと統合して活用できればマーケティングに有効となります。

ねらう市場と段階的な展開方針

事業化に際しては、シェア型リモートプロダクションセンタを中核に、複数の提供形態を想定しています。「制作環境のみを提供する形態」と「制作環境に加え、運用・制作支援までを含めて提供する形態」です。利用者の要件に応じて必要な機能を段階的に選択することが可能となります。また、サービスメニューとして、映像伝送回線、監視運用、現地接続支援、サポートデスク、状況可視化、全体監視・管理などを組み合わせることで、設備提供ではなく、運用基盤としての価値を高めることをめざしています。

収益項目は、回線・インフラ利用料、制作環境利用料、運用支援費用をベースとしながら、将来的には映像コンテンツ、配信コンテンツ、場内演出、ファンダムサービスなどの付加価値領域へ拡張していくことを想定しており、リモートプロダクションセンタを制作効率化サービスとして閉じるのではなく、映像制作を起点とした視聴体験高度化や映像データ利活用へと広げていきたいと考えています。

また、スポットでのニーズが多いイベント事業者向けに日、週、月単位での利用メニューを設定することで、初期投資、固定費を抑制します。

ねらう市場は、効果が発揮されやすい条件として以下3点を重視しています。

- ・同一会場での継続利用が見込める
- ・開催頻度が高いこと
- ・高品質な映像制作ニーズが存在する

これらの条件を満たす領域では回線や接続環境の整備効果を最大化しやすく、制作拠点の集約や運用標準化につながりやすいと考えています。初期段階では前述の3条件と合致しており、導入成果を可視化しやすい「スポーツ分野」から着手し、その後「エンタメ領域」等へと段階的に拡大する方針です。

また、ライブビューイング施設やスタジアム・アリーナ等のベニューも映像の出口として重要な役割を担います。事業展開は一足飛びではなく、以下の順序で段階的に設計する予定です。

- ・リモートプロダクションそのものによる制作最適化・コスト削減
- ・蓄積された映像データを活用した高度な制作や映像の二次利用
- ・ファン体験高度化やマーケティング支援

段階的なアプローチにより、導入効果の可視化と事業リスクの低減の両面を実現し得ると考えています。

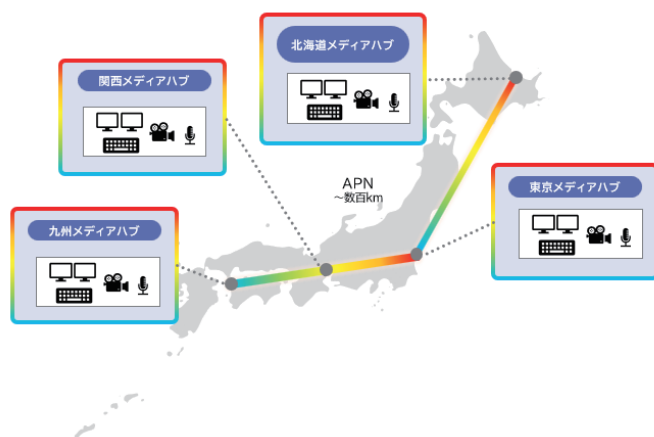


図2 リモプロにおけるNTTグループ連携シナジー

NTTグループが担う役割

NTTグループの役割は高性能ネットワークをベースとした「顧客が安心して利用できるインフラサービスを一気通貫で設計・提供できる点にあります。

映像制作の現場では、信頼性（品質）、可用性（止まらない運用）、堅牢性（高セキュリティ）、運用性（迅速なサポート体制）が重要になりますので、回線、監視運用、顧客管理、会場の接続支援といった機能を一元的に準備します。グループ各事業会社の持つアセットを活用し、映像制作DX、視聴体験高度化、ファンダム形成を支え、放送・配信事業者、興行主、ベニュー、スポンサー、ファンをつなぐ新たな価値創造基盤を構築します。映像流通・制作基盤の高

* メディアハブ構想：NTT西日本のデータセンターをハブ（中継拠点）とし、複数のイベント会場と制作拠点をAll-Photonic Connectで接続し、リモートプロダクション機能を共同利用型で提供する構想。

度化に向けて、グループ間で連携した広域サービスとして展開予定です。

NTTドコモビジネスのリモートプロダクションセンタ、NTT西日本のメディアハブ構想*で、相互に補完しながら、NTT東日本・西日本のIOWN APNとも接続することで、全国のベニューを接続先として取り込みながら、NTTグループ全体で新たな映像制作基盤の実現に取り組み、リモートプロダクションをベースにした映像制作基盤を高度化し、放送・配信業界のDXに貢献します（図2）。

おわりに

リモートプロダクションは、制作費の最適化や人材不足への対応に資するだけでなく、映像制作プロセスそのものを変革し、新たな視聴体験とデータ活用を生み出す可能性を持っています。遠隔制作を可能にする技術的条件が整いつつある現在、求められているのは持続可能なサー

ビスとして具体化することです。

NTTグループは、IOWN APN等の最新技術を活用した映像伝送、監視運用、利用支援、映像データ活用を一体で支える基盤を構築・提供し、放送・配信業界の制作DX、体験価値向上、ファンダム形成を支える役割を担っていきます。

また、今後NTTグループ以外の企業とも協力し、放送業界ソリューションを機能として取り込み、市場ニーズにマッチした「産業・地域DXのプラットフォーム」として、リモートプロダクションの社会実装と映像制作分野における新たな価値創出に取り組みます。



（左から）藤本 健太 / 萬國谷 忠 / 東 宙成

IOWN APNを使った遠隔制作は実証から事業段階へ。NTTグループはコスト削減と高付加価値体験を両立し、映像データ活用まで拡張。放送業界のDXと新たな価値創出を本気で実現します。

◆問い合わせ先

NTTドコモビジネス
ビジネスソリューション本部
第四ビジネスソリューション部



IOWN Global Forumにおけるグローバル化に向けた取り組み

本稿では、IOWN Global Forumにおける放送業界向けリモートプロダクションを題材に、課題整理からユースケース策定、PoC（概念実証）実施、評価結果公開に至る一連の取り組みを紹介します。特に、Use Case WG（UC-WG）およびReference Implementation Model Task Force（RIM-TF）では、産業別ユースケースにおけるIOWNの価値を明確化し、技術面に加え経済性の観点も踏まえたリファレンス実装モデルを策定・公開しています。これにより、Forumメンバーで合意された共通モデルとして、国際社会への実装の加速を図っています。

キーワード：#IOWN Global Forum, #リモートプロダクション, #映像プロダクションDX

IOWN Global Forumの 設立とこれまでの活動

IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想は、超低遅延・大容量・低消費電力を実現するネットワークや情報処理基盤により、新たな社会価値の創出をめざすものです。この実現に向け、2020年1月にNTT、Intel、Sonyを創設メンバーとしてIOWN Global Forum（IOWN GF）が設立されました。2026年4月時点で170社を超える企業・組織が参画しています。

IOWN GFは、通信事業者、ICTベンダ、ユーザ企業、研究機関などが参画する国際的なフォーラムであり、ユースケースの開発、技術仕様やアーキテクチャの策定とともに、社会実装を推進しています。その特徴は、単一技術に閉じることなく、ネットワーク、コンピューティング、データ、アプリケーションを含むエンド・ツー・エンドの観点で議論を

行う点にあります。

IOWN GFにおける技術やユースケースの開発活動は、主にUse Case Working Group（UC-WG）やTechnology Working Group（T-WG）、ならびにそれらの配下に設置されたTask Force（TF）により推進されています。UC-WGでは、IOWNの価値を具体化するユースケースを定義し、その意義や適用領域を整理します。T-WGでは、それらのユースケースを実現するために必要となる技術やアーキテクチャの検討・開発を行います。

TFでは、T-WGやUC-WGの方針のもと、個別テーマごとのWork Item（WI）やStudy Item（SI）に基づき、具体的な要件整理、実装検討、および技術検証を行います。特に、UC-WGとT-WGが密接に連携し、ユースケース起点で必要技術を整理する体制をとっている点が、IOWN GFの大きな特徴です。

このような体制のもとIOWN GF

しんどう かつし
進藤 勝志
ほうまん たけし
寶満 剛

NTT研究企画部門

では、ユースケース文書、技術文書、PoC（Proof of Concept）Reference、PoC Reportなどを整備・公開することで、IOWNの具体化と社会実装を推進しています。このようにIOWN GFは、ユースケースを起点とした技術開発と実証を一体的に進める枠組みです。

RIM-TFにおけるリモート プロダクションユースケー ス開発

リモートプロダクションのユースケースに関する詳細検討は、UC-WG配下のRIM-TFを中心に進められています。RIM-TFは、IOWN GFが提案するアーキテクチャや技術を活用し、ユースケースの要件を満たしつつ、技術的妥当性と経済合理性を両立したリファレンス実装モデル（RIM）を策定・評価することを目的とします。また、その評価を通じて潜在的な技術課題を

明確化し、IOWN GFにおけるアーキテクチャや技術仕様のさらなる高度化に貢献する役割を担います。

RIM-TFでは、早期社会実装が見込まれるリモートプロダクションのほか、金融、建設、リモートGPUを活用した生成AI・LLM向けグリーンコンピューティングなどのEarly Adoption Use Caseに加え、2030年ごろの実現をめざすFuture Looking Use Caseなど、複数のユースケースが検討されています。各ユースケースはRIM-TFのWork Itemとして管理され、参加企業が協調して要件や課題の整理、および実装モデルの検討を行います。

RIM-TFでは、以下の成果物を段階的に整備します。

- ・リファレンスユースケース文書：課題、価値、適用効果の整理（パリュポジションの具体化）

- ・RIM文書：実装モデルおよび要件の定義
- ・PoC Reference文書：実証構成および設計指針
- ・PoC Report：実証結果の評価および価値の検証

これらの成果により、関係者間で共通理解を形成しつつ、社会実装を前提とした検討や開発を進めることが可能となります。リモートプロダクションをはじめとする各ユースケースでは、これらの成果物をフォーラム外にも公開し、社会実装をグローバル規模で推進しています（表）。

リモートプロダクション ユースケースのPoCと評価 結果

リモートプロダクションでは、3つの構成パターンに基づくユース

ケースが定義されています。本PoCは、ユースケース文書やRIM文書で定義された要件およびリファレンス実装モデルに基づき、PoC Reference文書で示された検証・評価すべき構成を実環境で再現するかたちで実施されました。これにより、実運用を想定した技術評価と価値の証明を行いました。

■ ユースケース1 (UC #1) : Media Production from Remote Site (遠隔拠点からの制作)

(1) ユースケース概要

UC#1は、遠隔拠点のオペレータが放送局側の制作機器を遠隔操作することで、柔軟な制作ワークフローと人材確保（地理的制約の緩和）を実現するものです（図1）。

(2) 評価項目（PoC Referenceで規定）

UC#1では、(i) 遅延（ $T1+T2 < 16.6 \text{ ms}$ ）、(ii) 可用性（ダウンタイム等）、(iii) コスト（必要資源の整理）を評価対象とします。

Event Venue（イベント会場）—Remote Office（遠隔拠点）間の遅延を（ $T1+T2$ ）として評価します。

(3) PoCでの実施内容・結果（PoC Report）

PoC Reportでは、UC#1の遅延条件を「Event Venue—Remote Office間の遅延（ $T1+T2 < 16.6 \text{ ms}$ ）」として定義しています。

本PoCでは測定値から距離条件

表 Early Adoption Use Cases

Use Case名	公開文書
Remote Media Production for Broadcast Industry Use Case	Use Case文書 PoC Reference文書 PoC Report
Services Infrastructure for Financial Industry Use Case	Use Case文書 PoC Reference文書 PoC Report
Green Computing with Remote GPU Service for Generative AI / LLM Use Case	Use Case文書 PoC Reference文書 PoC Report
Use Case and Technology Evaluation Criteria - Construction Site	Use Case文書
Eco-Central Computing for Warehouse Optimization	Use Case文書

に基づく換算を行い、UC#1に相当する距離（1000 km）での往復遅延が11.06 msと算出され、成立条件（16.6 ms未満）を満たすことを確認しました。

可用性評価については、Broadcast Center—Operation Center間で冗長構成を用い、片系断時の映像・音声フレームドロップ

や制御動作の観点で評価を行う枠組みがPoC Reportに示されています。

■ ユースケース2 (UC #2) : Network Resource Sharing (ネットワークリソース共有)

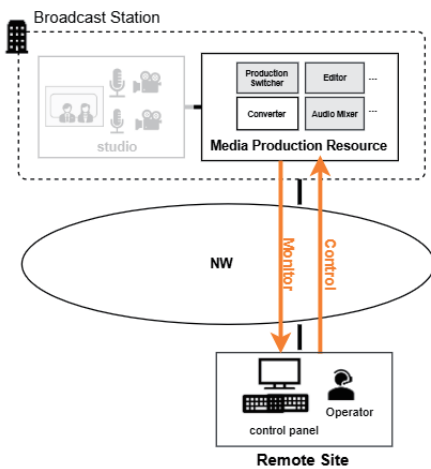
(1) ユースケース概要

UC#2は、イベント発生時にイベント会場から放送局へ必要なネットワークリソースをオンデマンドに

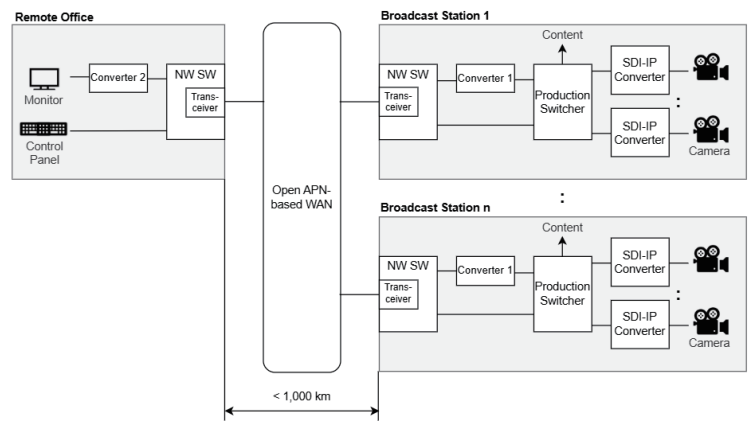
確保し、複数の映像ストリームを高品質に伝送することで、従来方式よりコスト効率の高い制作をめざすものです（図2）。

(2) 評価項目（PoC Referenceで規定）

UC#2では、(i) 遅延（T1 < 16.6 ms）、(ii) コスト（必要資源の整理）を評価対象とします。Event

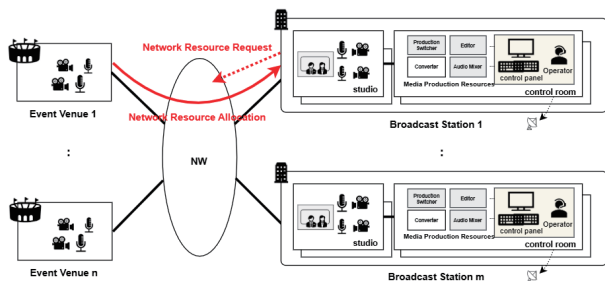


ユースケース

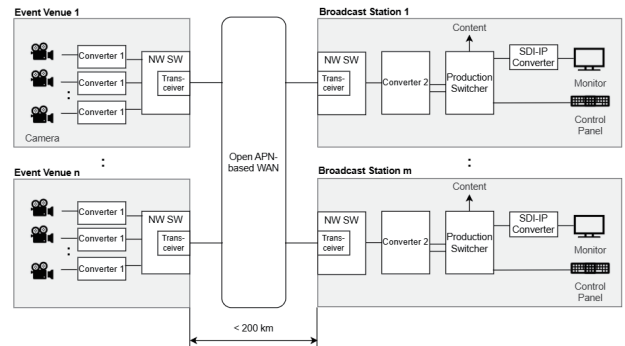


実装モデル

図1 ユースケース1: Media Production from Remote Site (遠隔拠点からの制作)



ユースケース



実装モデル

図2 ユースケース2: Network Resource Sharing (ネットワークリソース共有)

Venue（イベント会場）— Broadcast Station（放送局）間の遅延を T1 として評価します。

(3) PoCでの実施内容・結果 (PoC Report)

PoC Reportでは、UC#2の遅延条件を「Event Venue—Broadcast Station間の遅延 (T1) < 16.6 ms」として定義しています。

本PoCでは測定値から距離条件に基づく換算を行い、UC#2に相当する距離 (200 km) での遅延が1.11 msと算出され、成立条件 (16.6 ms未満) を満たすことを確認しました。

■ ユースケース3 (UC #3) : Media Production Resource Sharing (制作機材・制作拠点の共有)

(1) ユースケース概要

UC#3は、制作機材をメディア

プロダクションセンタ側に集約・共有し、複数拠点からの利用を可能にすることで、設備投資効率と運用効率の向上をめざすものです (図3)。

(2) 評価項目 (PoC Referenceで規定)

UC#3では、(i) 遅延 ((T1+T2) および (T3+T4) が各々16.6 ms未満)、(ii) 可用性、(iii) コスト、(iv) (任意) 切り替え時間を評価対象とします。

Broadcast Station（放送局）— Media Production Center（制作センタ）間の遅延を、2つの測定区間 (T1+T2) と (T3+T4) として評価する (いずれも Broadcast Station と Media Production Centerの間の遅延として定義されます)。

(3) PoCでの実施内容・結果 (PoC Report)

PoC Reportでは、UC#3の遅延条件を「Broadcast Station—Media Production Center間の遅延 (T1+T2 および T3+T4) < 16.6 ms」として定義しています。

本PoCでは測定値から距離条件に基づく換算を行い、UC#3に相当する距離 (1000 km) での往復遅延が11.06 msと算出され、成立条件 (16.6 ms未満) を満たすことを確認しました。

可用性評価では、IMDD方式を採用した25 GのDWDM波長可変トランシーバ (25 G APN T) を用い、さらにAPN-S (DWDMフィルタを備えたスプリッタ) による波長切り替えを組み合わせることで、運用拠点 (Operation Center) 側を切り替え可能な構成を採用しています。

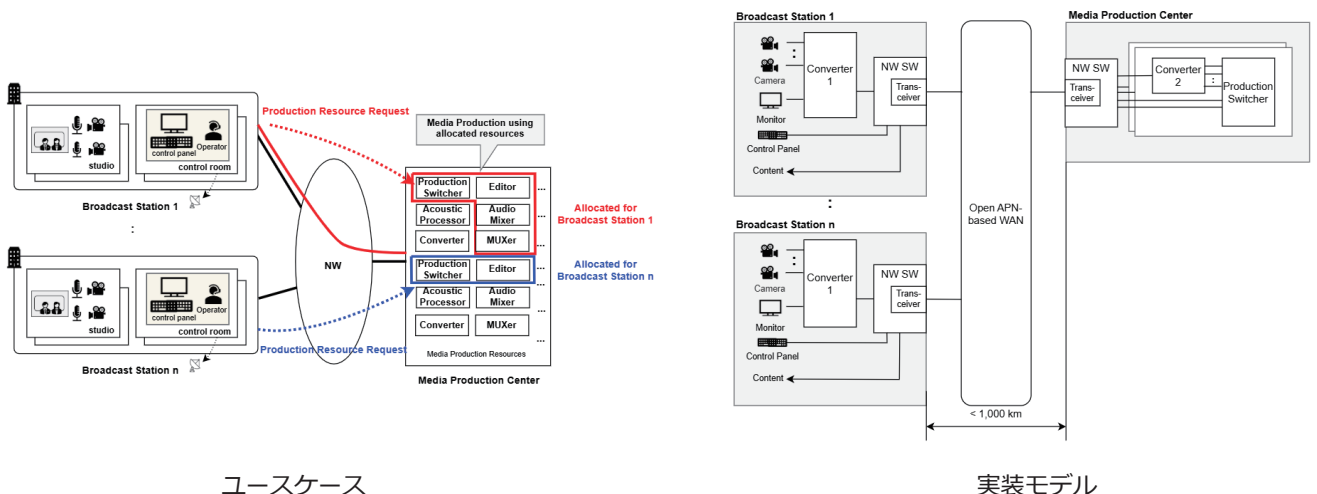


図3 ユースケース3: Media Production Resource Sharing (制作機材・制作拠点の共有)

PoC Reportでは、APN Controller (APN-C) がAPN-Tに対して波長切り替えや送信ON/OFFを制御し、APN-Sによりデータプレーンの切り替えをパッシブに実現する手順が説明されています。

本PoCでは冗長経路上でSMPTE ST2022-7のシームレスプロテクションスイッチングを適用し、片系断を意図的に発生させた際のメディア品質と制御動作を測定しています。

片系断時に映像の乱れやノイズがないこと、音声の途切れがないこと、および制御系が正常に動作することを確認しました。

またUC#3において、APN-Cによる経路切替試験では、前述のTS1 (切替操作開始) ~TS2 (リンクアップ通知) ~TS3 (映像表示復帰) ~

TS3' (制御認識) の時刻定義に基づき、光レイヤ・メディア層・制御層の切替時間を評価しました。

切替時間の測定結果として、光レイヤ (APN layer) 平均8.354秒、メディア層 (Media layer) 平均18.3秒、制御層 (Control layer) 平均103秒が示されています。

この結果は、イベントスケジュール等に応じた接続先の変更を一定の手順と所要時間で実施可能であることを示します。

切替時間の評価は、PoC Reportで定義されたTS1 (切替操作開始) ~TS2 (リンクアップ通知) ~TS3 (映像表示復帰) ~TS3' (制御認識) に基づき、光レイヤ (TS2 - TS1) 等の切替時間を測定する枠組みで行われました。

以上より、IOWN APNの低遅延性に加え、25 GのDWDM波長可変トランシーバ (25 G APN T) とAPN S、ならびにAPN-Cを組み合わせた構成により、冗長化と運用切替を含むリモートプロダクションの技術的成立性が示されました (図4)。

また本PoCは、複数のIOWN GFメンバが見聞・技術・設備を持ち寄る共同PoCとして実施されています。PoC Reportの参加者として、ソニーグループ、TBSテレビ、TBSアクト、住友電工、NTTグループを含む体制で実施しました (図5)。

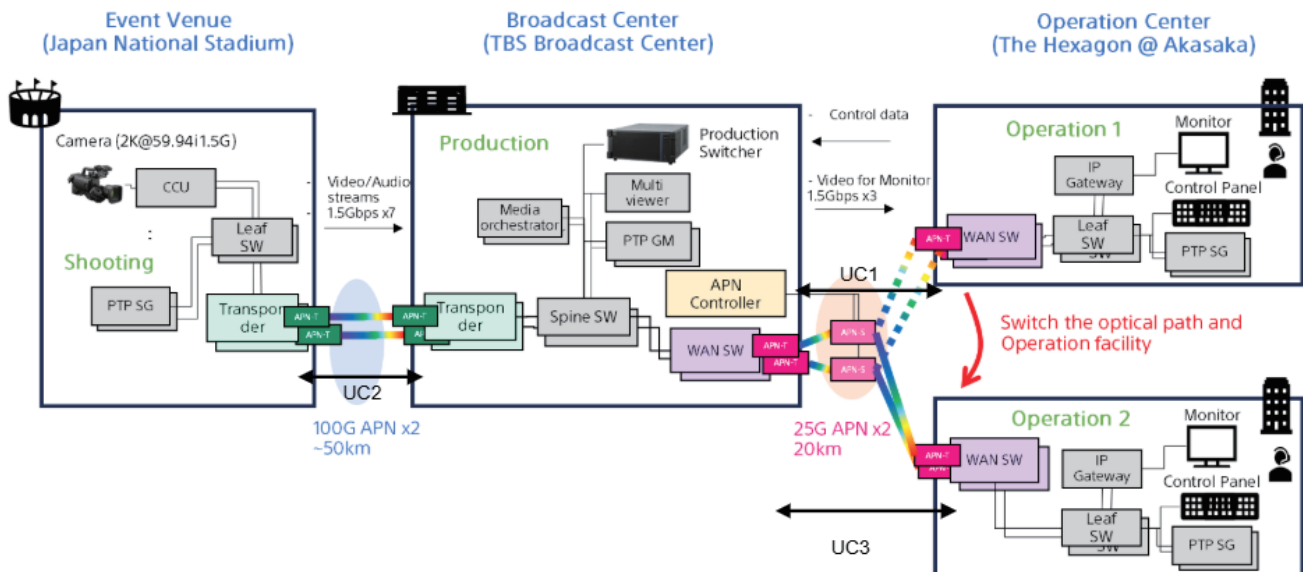


図4 PoCの環境



図5 PoCの様子

今後の展望と社会実装に向けた取り組み

IOWN GFのパートナーによるリモートメディアプロダクションのPoCを通じて、ユースケースの実現に必要な基本的技術要件やアーキテクチャの確認が完了しました。PoCでは、PoC Reference文書に基づく構成を実環境で再現し、ネットワーク性能や制作オペレーションへの影響を評価することで、IOWN技術を活用したリモートプロダクションユースケースの成立性を具体的に示しました。

これにより、本ユースケースは概念検討や技術的可能性の段階を越え、実運用を見据えた検討フェーズへと進んでいます。一方で、社会実装や事業化に向けては、技術的成立

性に加え、経済性や導入効果を定量的に示すことが重要です。

今回のPoCで得られた知見をもとに、設備構成や運用モデルを踏まえた経済性評価および従来方式との比較による価値の可視化を進めています。これにより、導入検討や投資判断に資する指針の提示が期待されます。

IOWN GFでは、これまでのPoC成果を活用しながら、リモートメディアプロダクションを含む各ユースケースについて、技術・運用・ビジネスの観点を統合した検討を継続し、IOWN技術による価値創出と社会実装の加速をめざしていきます。

Japan National Stadium (Shooting)



Akasaka Broadcast Center, TBS Television (Production)



■参考文献

- (1) <https://iowngf.org/remote-media-production-for-broadcast-industry-use-case/>
- (2) <https://iowngf.org/reference-implementation-model-and-proof-of-concept-reference-of-remote-media-production-for-broadcast-industry-december-2024/>
- (3) <https://iowngf.org/remote-media-production-in-broadcast-industry/>
- (4) <https://iowngf.org/>



(左から) 進藤 勝志 / 寶満 剛

IOWN Global Forumでは、リモートプロダクションに限らず、多様なユースケースの創出と、それに伴う価値・技術方式・評価結果を体系化し、グローバルに推進しています。新たなユースケース創造を共に進める仲間として、ぜひご参加ください。

◆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



主役登場

大阪・関西万博におけるリモートプロダクションの実情

田中克哉 Katsuya Tanaka

NTTスマートコネク ト メディアビジネス部 マネージャー

大阪・関西万博における共同利用型のリモートプロダクションにおいて、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) を含む全体ネットワーク設計・構築・運用を担当しました。万博では、IOWN APN (All-Photonics Network) のTypeを分けた2系統の回線を活用し、放送局からデータセンタを介して会場まで接続し、SMPTE ST 2022-7での冗長化を実現しました。片系断を交互に発生させても音声・映像が乱れることは一切ありませんでした。また、データセンタから各拠点に配布したPTP (Precision Time Protocol) についても、会期中一度も同期が外れることはなく、APNの安定性が実証できました。実際に放送や配信にも利用され、低遅延双方向通信や4K HDRの大容量伝送など、従来の設備では実現困難であった新たな演出の可能性を示すことができました。

苦労した点は、放送機器とネットワーク機器の多様性と接続性です。設計段階から放送とIPそれぞれの知識が必要であり、Media over IPの習熟が不可欠となります。機器や通

信の種類によってセグメントを細かく分け、L3でフラッディングを抑制しつつマルチキャストルーティングすべきもの、L2でしか動作しないものなどさまざまあり、複数局での共同利用も行うため、そのすべてに対応するネットワークを構築する必要がありました。またBUM (Broadcast/Unknown unicast/Multicast) 通信の処理も機器によってさまざまであり、SMPTEやIEEEの仕様に準拠していない動作を含む機器も存在しました。現地作業では、SFPのFEC (Forward Error Correction) アルゴリズムの不一致や、光ケーブル接点の接続不良や汚れによる受光レベル低下が原因のトラブルも多々ありました。パケットレベルで動作を確認していき不具合修正や機器自体の取り換えなど日々対応に追われましたが、開幕までに実運用可能なレベルに構築を終えることができました。

運用期間中は、各局の実証内容によってたびたび構成変更等がありましたが、自社のIP運用スキルを活かし、確実な構成管理と柔軟なIP統合監視の整備により会期184日間の長

期運用をトラブルなく無事にやり遂げることができました。

期待の声としては、メディアネットワークと制御ネットワークが疎通できれば、設置場所を意識することなく機器構成や人員配置に合わせた柔軟なリモートプロダクション環境を構築できるという点が挙げられました。中継車や電源車を持ち込まなくても高品質なコンテンツ制作が可能となり、現場機材の削減によりスペース効率と作業効率が向上します。

一方で課題も挙げられています。ネットワーク技術者の育成が必要であること、自社所有でない機材を使用すると習熟に時間がかかること、中継車運用時と比較して事前テスト時間が増加することなどです。コスト面では、揺らぎのないIOWN回線は魅力的であるものの、より使いやすいコストや仕組みが求められています。現場機材の削減による設営効率向上、中継車を必要としない高品質コンテンツ制作、そして複数拠点の同時並行運用といった将来像の実現に向け、今後も放送局の皆様と連携しながら技術検証と課題解決に取り組んでいきます。





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（前編）

データセンタは、クラウドや生成AI（人工知能）の進化を受けて市場成長を続けており、社会のデジタル化の基盤としての役割を担う「デジタルの工場」となっています。一方で、急増する需要への対応や、消費電力量の増大、経済安全保障が課題となっています。これを解決するための方策として、ネットワークの活用が検討されています。今後、AIがより重要な役割を担うようになり、さらにAI向けのデータセンタ需要が増えると、それに対応したデータセンタ、ネットワークが求められます。

キーワード：#データセンタ、#AI、#クラウド



はじめに

データセンタへの注目が高まっています。データセンタは、ITシステムのサーバやネットワーク機器などの設置・運用に特化した施設として、社会のデジタル化やクラウド化の進展を支える役割を担ってきました。生成AI（人工知能）の普及によって、データセンタの役割はますます重要なものとなっています。

令和7年（2025年）版情報通信白書（総務省）は、「データセンタは、今日のデジタル社会を支える重要なデジタル基盤の1つ」と述べています。データセンタは、クラウドやAIのための「デジタルの工場」なのです。

一方で、急増するデータセンタ需要への対応や、消費電力量の増大が課題となっています。日本での、AI活用などのデジタル化による成長と

脱炭素の実現に向けて電力と通信（ネットワーク）の効果的な連携を進める「ワット・ビット連携」の検討など、この課題を解決するための取り組みが世界各地・各社で進んでいます。今回は2回にわたり、データセンタ市場の現状と、AI需要への対応に向けた動向について報告します。

市場概況

■市場の成長とその要因

まずは市場の動向を数字でみておきましょう。調査会社Statistaの2025年9月の発表によれば、データセンタ市場は、2025年の4525億ドルから、2029年に6240億ドルに達する（年平均成長率は8.4%）と予測されています（図1）。

この成長において大きな役割を果たしているのが主に大手クラウド事

業者、ITサービス事業者など（ハイパースケーラー）による大規模施設である「ハイパースケールデータセンタ」です（注：「ハイパースケールデータセンタ」について、公式の定義が存在するわけではありませんが、日経ビジネス等によれば、5000サーバ以上のデータセンタを指すとされています⁽¹⁾。また、JLLによれば、通常80MWかつ1万ラック以上とされています⁽²⁾。また、データセンタの数（建物の数）だけでなく、1データセンタ当りの処理能力も増すとみられています。これは、個々のデータセンタがより多くの電力を消費するという点でもあります。

データセンタに関し、このように大きな需要が発生している背景には、クラウドの成長と生成AIを含むAIの拡大があります。まずクラウドについて、例えばパブリッククラウド市場は依然活発に成長しており、Statistaの予測（2025年7月）によ

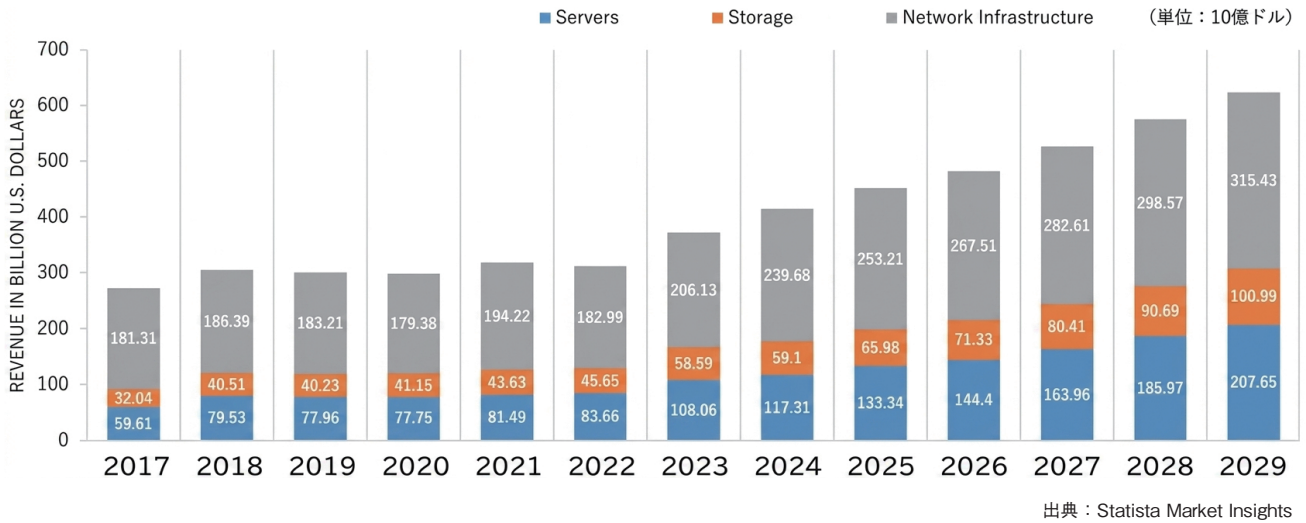


図1 世界のデータセンタ市場予測

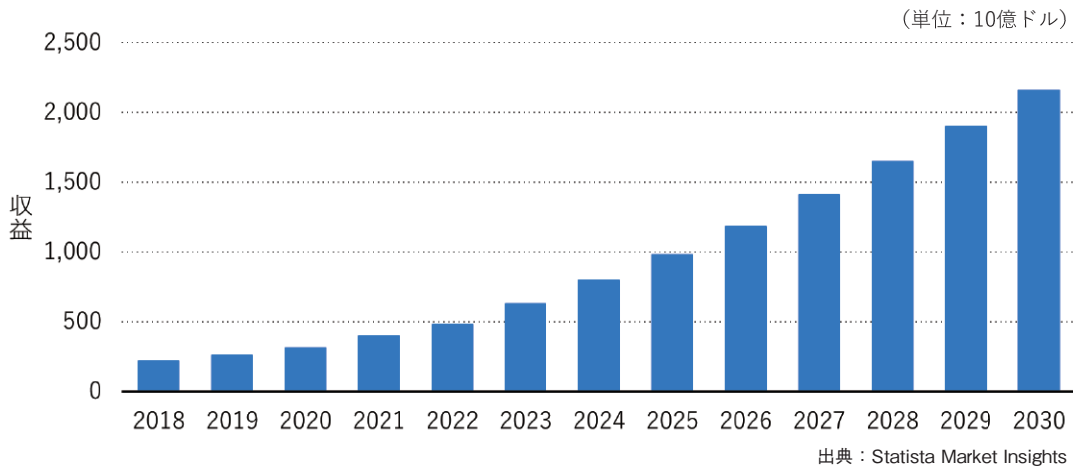


図2 パブリッククラウド市場予測

れば、2030年には市場規模が2兆1598.6億ドル（2025年の2.2倍）に達するとみられています（図2）。また、AI市場はより急速に成長するとみられています。Statistaの予測（2026年2月）によれば、2030年には市場規模が1兆2188億ドル（2025年の4.9倍）に達するとみられています（図3）。そして、クラウドもAIも、基本的にサーバはすべてデータセンタに格納されています。クラウドやAIの需要が増すということは、データセンタへの需要が増すという

ことなのです。

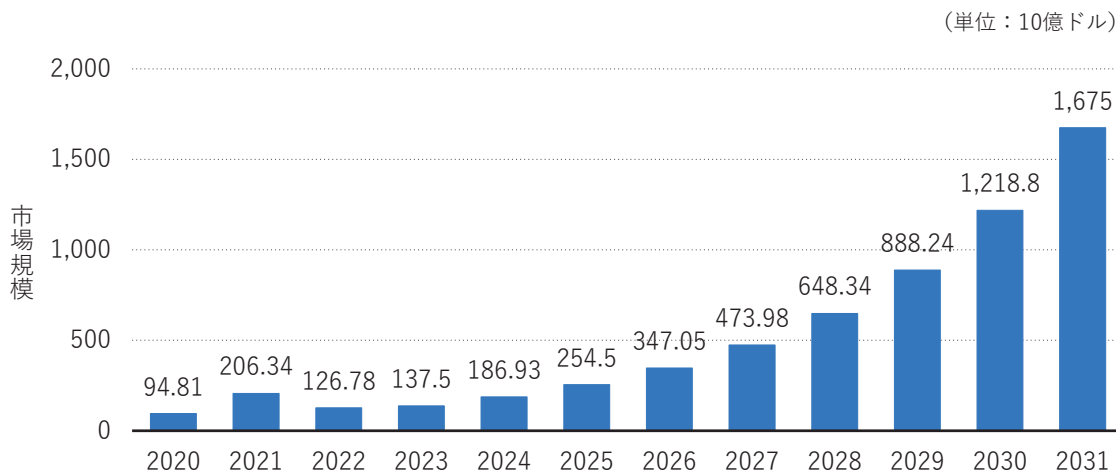
■市場の構造と大手事業者

データセンタが提供される構造についてみておきましょう（図4）。データセンタは提供形態により、リテール（コロケーション）型とホールセール型に大別されます。リテール（コロケーション）サービスでは、多くの場合、データセンタ事業者がエンドユーザ（企業等）に対しラック等でサービスを提供します。ホールセールの場合は、データセンタ事業者が卸で、ハイパースケーラーな

ど他事業者にサービスを提供します。ホールセールの場合、フロアや建物単位など、比較的大規模となる傾向があります。

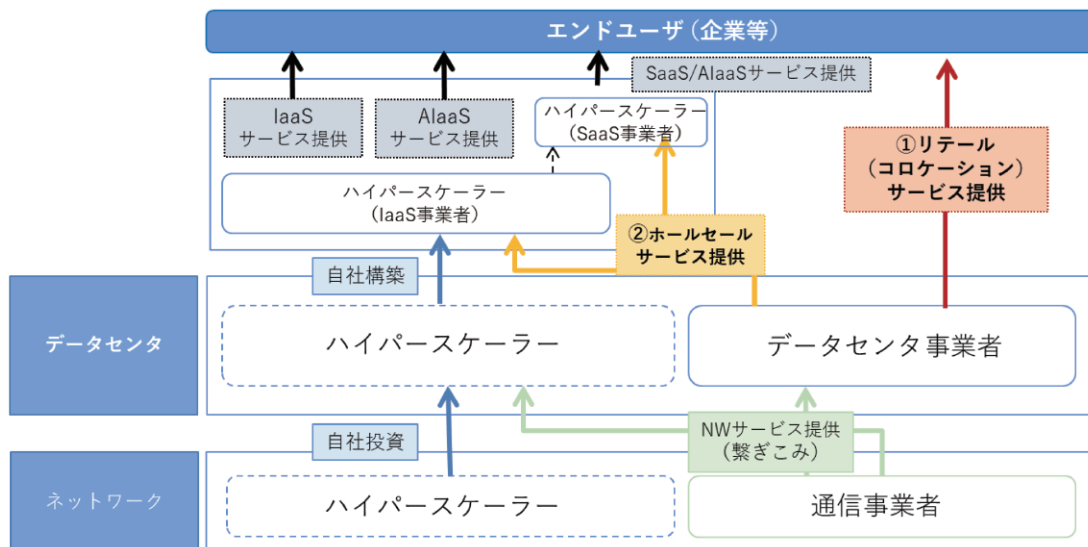
データセンタの大需要家であるハイパースケーラーは、データセンタ事業者からサービス提供を受けるだけでなく、自らデータセンタを構築することもあります。2023年にGoogleが千葉県印西市に自社データセンタを開設したのはその一例です。ハイパースケーラーは、各国の市場で、自社での構築や他社サービ

For the future



出典：Statista Market Insights

図3 AI市場予測



(注) 提供パターンは例であり、それ以外がないことを意味するものではない

出典：各種情報より筆者作成

図4 データセンターのサービス提供モデル

ス利用を使い分けています。また、ハイパースケーラーは、海底ケーブルなど、ネットワークにも自社投資を行っています。

大手事業者についてみておきましょう。まずデータセンター事業者としては、複数社の報告において、Equinix, Digital Realty, NTTの3社が大手とされています。

また、Statista (Omdia) の報告

によれば、グローバルクラウド市場では、上位3社 (AWS, Microsoft, Google) 合計で世界市場の60%以上を占めています。

生成AI関連サービスにおいても、AWS, Microsoft, Googleは大きなシェアを占めており、IoT Analyticsの発表 (2025年3月) によれば、基盤モデルと管理プラットフォームの領域で、これら3社が、

OpenAI や Anthropic を抑えてトップ3となっていると報告されています⁽³⁾。

課題と解決の方向性

■電力需要

クラウド・生成AI市場の拡大とデータセンター需要の増加を背景に、

電力需要も増え続けており、これが社会的な課題となっています。世界の状況を見ると、国際エネルギー機関 (IEA) が2026年2月に発表した報告書「IEA Electricity 2026」では、電力消費量の急増要因の1つとしてデータセンタの急速な拡大があると指摘しており、先進国では15年間停滞していた電力需要が再び成長に転じ、AI・データセンタ・先端製造業・「electrification of everything*1」がその牽引力となっているとされています⁽⁴⁾。米国では、データセンタの拡大が2030年までの需要増加の約50%を占めると予測されています(図5)。

さらに、IEAが2026年4月に発表したAIとエネルギーの関連性に関

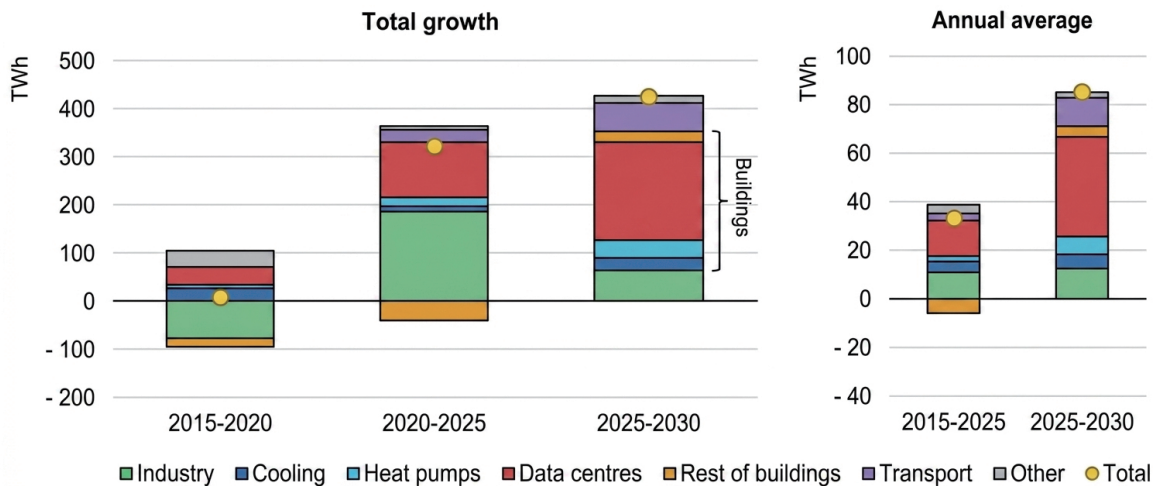
* 1 electrification of everything: これまで化石燃料の直接燃焼(ガソリン・天然ガス・石炭など)に依存していた交通、暖房、産業プロセスなどのエネルギー消費を、すべて電気駆動のシステムへと移行させること。

する報告書では、2025年のデータセンタ電力消費は約485 TWhで、世界電力需要の約1.5%となっている一方、AI特化型データセンタの電力消費は2025年に50%と全体を大きく上回って急増していると報告しています⁽⁵⁾。また、この報告ではAmazon、Microsoft、Alphabet (Google) にMetaを加えた4社での2024年合計電力消費は110 TWhで、これは前年比20%増となっています。

日本においても、データセンタによる電力需要の増加が指摘されています。電力広域的運営推進機関(OCCTO)は、2024年1月発表の「全国及び供給区域ごとの需要想定(2024年度)」において、経済成長およびデータセンタ、半導体工場の新増設に伴う需要増加により、減少傾向にあった電力需要が2024年度から増加に転じると発表しました⁽⁶⁾。また、2026年1月発表の報告では、

データセンタと半導体工場の新増設による最大需要電力が、2035年度には2026年度比で約9倍になるとの予測を発表しています(図6)。そして、2035年度には、データセンタと半導体工場分が全体(全国)の4.63%を占めるとみられています。

電力需要の問題は、マクロでの量に関するものだけではありません。データセンタが必要な電力を消費するためには、データセンタのある場所に、必要な量の電力が、必要とされる時期に供給されなくてはなりません。しかし、前述のIEAの2026年の報告によれば、多くの地域で、系統接続待ち時間は5~10年に及ぶことがあると指摘されています。これは、エネルギー関連機器のサプライチェーン問題(例えば変圧器やガスタービンなどの機器調達に要する時間)などによるものです。また、現在、日本を含む多くの地域で多くの接続申請が行われていますが、その



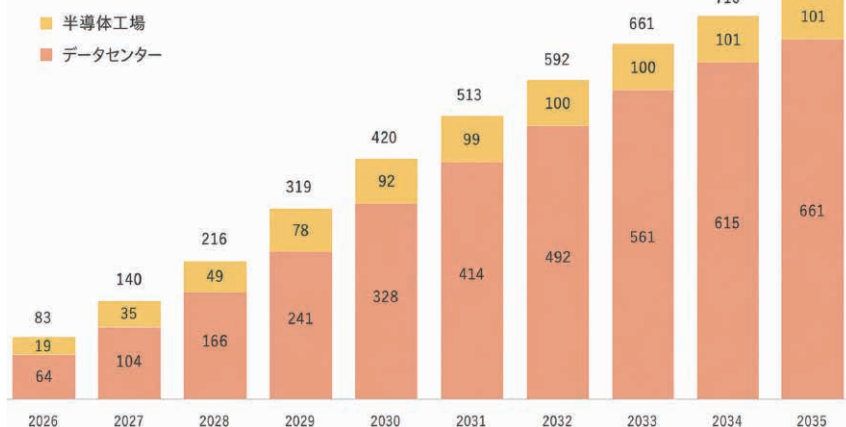
IEA. CC BY 4.0.

出典: IEA, Electricity 2026 (2025年2月)

図5 米国における電力需要の増加(業種・最終用途別)



データセンター・半導体工場の新增設に伴う個別計上
最大需要電力（万kW）



出典：電力広域的運営推進機関（OCCTO）「2026年度 全国及び供給区域ごとの需要想定について」（2026年1月）

図6 データセンター・半導体工場の新增設に伴う個別計上最大需要電力

すべてが実現するわけではなく、投機的な性質を持つ申請があることも指摘されています。

電力需要に関しては、サステナビリティに関する課題もあります。IEAによれば、データセンターからのCO₂排出量は2035年に350 Mtに倍増するとみられており、これはエネルギー部門全体排出の2%となります。一方で再生可能エネルギー利用も進んでおり、2030年にはデータセンター向けの電源構成の3分の1を超えるとみられています。ハイパースケイラーは、各社の脱炭素目標の達成に向けて再生可能エネルギーの確保などを進めています。もちろんデータセンター事業者も空調の効率化などの対応を進めていますが、サーバ等により電力を消費し、空調を利用するのは顧客であり、電力消費量を直接コントロールするのは難しい立場にあることから、顧客に再生可能エネルギー利用や、液体冷却など

の選択を可能にする取り組みも行われています。

また、この課題に対応する手段として原子力発電や地熱発電への注目が高まっています。原子力発電に関しては、既存の原子力発電所の活用のほか、SMR（Small Modular Reactor：小型モジュール炉）が新技術として期待されています。例えば、Microsoftは2024年にペンシルベニア州スリーマイル島の原子力発電所の再稼働に向けた電力供給契約を締結しました。また、AWSとGoogleは、同年にSMRの開発や電力供給に関する契約を締結しています。2025年には、AWSがペンシルベニア州にあるサスケハナ原子力発電所から電力を調達するための契約を締結しました。ただし、SMRなど新型原子炉の導入には時間がかかることや、使用済み核燃料の保管問題などの課題も指摘されています。

また、地熱発電についても、

Googleが2026年に地熱発電容量の提供に関する契約を締結するなどの動きがあり、ベースロードとなる低排出電源として注目されています。

■経済安全保障

データセンターは社会・経済活動を支えるインフラであり、大量のデータの処理・保存先となっていることから、データセンターとそこにあるデータを守ることも、経済安全保障における重要な課題の1つと考えられます。

いわゆる「データ主権（ソブリン）」といわれるものがあります。これは、簡単にいえば、データにどの国の法規が適用されるか、という問題です。

国の領土、領海、領空では、その国の法規が適用されます。もちろんデータやデータセンターに関しても、それらがある場所の法規が適用されることとなります。外国のデータセンターでデータを保存、処理すれば、出した先の国の法規が適用されてしまうということです。また、国によっては、その国の企業に対し、国外であっても、保存されているデータの開示を義務付けることもあります。データは一度流出してしまったり、流出前の状態に戻すことはほぼ不可能です。

この課題への対応として、自国のデータは自国に置き、他の国・地域の法令の影響を排除する動きも各国で出てきています。日本でも、経済安全保障法の整備などに関する議論が進められています。データセンターの場所を知らないままクラウドサー

ビスを使うとしても、データセンターがどこに置かれ、どこでデータが処理されているかは重要な課題となっています。さらに、データ主権には、データを活用する際に、流れるデータがどこを通過するか、すなわちネットワークがどのようになっているのかも含まれます。最近では、ソブリンネットワークに関する検討も進んでいます。

また、最近の中東では、紛争の中で、データセンターが物理的な攻撃を受ける事態も発生しています。2026年3月、AWSのUAEリージョンとバーレーンリージョンが攻撃を受けたと発表されました。UAEリージョンは深刻な被害を受け、AWSの4月の報告によれば、復旧には数カ月を要するとされています。一方、テヘランの2カ所のデータセンターも攻撃を受けました。その後には、大手クラウド企業3社を含む米国の7社のデータセンターが標的として名指しされる事態も発生しています。データセンターが社会を支えるインフラであるだけでなく、軍事的な役割を担っている（とみなされた）こととなります。今後、データセンターを守るためには、サイバーセキュリティや不審者対策だけではなく、物理的な攻撃への対処も重要になるとみられます。

■日本における「ワット・ビット連携」の取り組み

クラウドや生成AIの利用が増えるに伴い、データセンターへの需要が増加する一方で、電力や用地など

の課題も大きくなり、大都市やその近郊に十分な規模のデータセンターを建設することが難しくなってきました。また、災害などの対策を考えても、少数の場所にデータセンターが集中するのは望ましいことではなく、地理的な分散が求められます。

電力や用地などの課題を解決し、地理的にも拠点を分散させつつ、ユーザへの提供品質を維持しようとすれば、ネットワークが近距離の場合と同様に利用できることが求められます。このような方向性の実現を示しているのが、「ワット・ビット連携」です。

総務省と経済産業省は、「ワット・ビット連携官民懇談会」を2025年3月から6月にかけて開催し、「取りまとめ1.0」が6月12日に公表されました。「ワット・ビット連携」とは、クラウドやAIの進展によって、今後さらなる増加が見込まれるデータセンター需要を背景に、データセンター整備を見据えた、電力と通信の効果的な連携を指しています。「懇談会」は官民の連携・協調の場とされており、関係省庁をはじめ、学識経験者、電力業界、通信事業者、日本データセンター協会が参加して検討が行われました。

「取りまとめ1.0」においては、3つの方向性が提示されました。1番目としては、足元のデータセンター需要への対応として、電力インフラ整備を待たず、既存の系統設備を活用した短期的な需要への対応を進めることが示されました。2番目として

は、計算資源の効率的運用のため、電力・通信インフラを整備し、新たなギガワット級となるデータセンターの集積拠点を複数造成するとして、その地域の選定と電力・通信インフラの先行整備をめざすとしています。3番目としては、経済合理性を踏まえ、多様な地域におけるDX推進の基盤となり、国土強靱化にも資するデータセンターの地方分散を継続的に促進するとしています。また、この取りまとめにおいては、「通信インフラの整備は一般的に電力インフラの整備よりもリードタイムおよびコストが小さい」として、APN (All Photonics Network) の活用が明記されていること、分散データセンターでのワークロードシフトにより、余剰電力等の有効活用を図ることが盛り込まれていることが特徴的です。取りまとめの公表以降にも、GX戦略地域の選定など、具体化が進められています。

今後の動向——AIデータセンター需要への対応

AIが幅広い業界で、業務効率化の補助的な役割だけでなく企業の中心的な業務を担うようになり、車やロボットといったフィジカルAIの分野にも広がり活用されるようになると、「エージェント型AI」などで日常的により複雑な推論が行われるようになり、推論の比重が相対的に増すものとみられます。調査会社



Gartnerの予測によると、2026年にはAI最適化IaaS支出の55%が推論ワークロードを支えるようになり、2029年までに65%を超えると見込まれています⁽⁷⁾。推論の単位コストは低下していますが、需要はそれを上回って増えているのです。この推論の多くが行われているのもデータセンタであり、データセンタは、推論のタスクを、より大規模かつより効率的に処理しなくてはなりません。また、「学習から推論へ」というシフトはあっても、ポストトレーニング（事後学習）を含め、学習も引き続き必要であり、必ずしも学習の減少を意味するものではないことに注意が必要です。

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にも達するといわれています。推論のワークロードは少ない電力消費で動作しますが、それでも従来のコンピューティングより高い要件となります。AIのためのデータセンタは、それぞれの目的に適したものでなくてはなりません。コンピューティング能力だけでなく、そのための冷却などにおいても最適化が求められます。データセンタの立地や構造も、目的に応じて変えていく必要があります。

また、AIを活用するためには、推論のインプットやアウトプットにせよ、学習のソースにせよ、データがあるべき場所にあることも必要です⁽⁸⁾。これを実現するためには、推論や学習が行われるデータセンタや

ビジネスの拠点間でボトルネックを生じさせることなくデータを移動する必要があります。学習のためのデータは一定の遅延を許容されるかもしれませんが、製造現場のロボットのコントロールや自動運転車の動作にかかわる判断など、一瞬の応答時間が業務の成否を左右する場合、データセンタへの往復遅延は許容されないでしょう。むしろ、低遅延だけでなく、クリティカルな業務に対応した信頼性の高いネットワークが必要となります。コスト最適化も考慮すると、ネットワークが、通信量や遅延も考慮しつつ設計されており、かつ、スケーラビリティを持つことも重要です。

さらに、そのような要件は固定されたものでなく、さまざまな状況によって可変となる（例えば、大規模なイベントの際には会場に自動運転車が集中するなど）と考えられることから、このネットワークも、必要に応じ、帯域その他の設定を動的に変更できるものでなくてはなりません。このためには、光ファイバなど、高性能なインフラが十分にあることが前提となりますし、信頼性を高めるためには、異経路などの冗長性も不可欠です。また、動的変更の頻度や複雑さを考えれば、すべての設定変更を人が行うのは非現実的です。状況判断や故障対応も含めた自律化や自動化（Autonomous Network）、人が複雑な設定方法に習熟しなくても、人の意図を実現できる仕組み（Intent-based Network）も重要

になるでしょう。

AIデータセンタ需要に対応するということは、データセンタとGPUのような計算資源を調達し利用可能とするだけでなく、前述のような電力調達、経済安全保障といった課題をクリアしつつ、データが必要なときに、あるべき場所にある状態を、コスト効率的に構築することといえます。これを実現するためのさまざまな取り組みについて、引き続き後編でお届けします。

■参考文献

- (1) <https://business.nikkei.com/atcl/gen/19/00745/051900003/>
- (2) <https://www.jll.com/ja-jp/insights/what-is-the-edge-data-center-attracting-global-attention>
- (3) <https://iot-analytics.com/leading-generative-ai-companies/>
- (4) <https://www.iea.org/reports/electricity-2026>
- (5) <https://www.iea.org/reports/key-questions-on-energy-and-ai>
- (6) https://www.occto.or.jp/news/juyousoutei_2023_240124_juyousoutei_2024.html
- (7) <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2025-10-15-gartner-says-artificial-intelligence-optimized-iaas-is-poised-to-become-the-next-growth-engine-for-artificial-intelligence-infrastructure>
- (8) <https://www.unifiedaihub.com/blog/ai-infrastructure-shifts-in-2026-from-training-to-continuous-inference>



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物性科学基礎研究所
上席特別研究員

山本 秀樹 Hideki Yamamoto

唯一無二の物質創製技術とともに —— 新高温超伝導体の薄膜創製と 超伝導機構解明をめざす

ある温度以下で電気抵抗がゼロになる超伝導。その発現温度をいかに高めるかは21世紀最大の難問の1つです。NTT物性科学基礎研究所の山本秀樹上席特別研究員は、NTTで構築し進歩させてきた独自の世界最高水準の薄膜合成技術を用いて、新たな超伝導体の創製に挑み続けています。未踏領域にある高温超伝導体の創製と、その超伝導発現機構解明に迫る研究は将来的にカーボンニュートラルに資するものと期待されています。



薄膜合成法による室温超伝導体創製 をめざして—— 複合酸化物から複合 窒化物へ

現在、手掛けている研究について教えてください。

私たちは長年、NTT独自の装置を構築・発展させながら、非常にクオリティの高い既知の複合酸化物の薄膜の作製や未知の新超伝導物質の創製、さらにその物性を調べる研究を行ってきました。これまでに、結晶構造で大別して6種類の新超伝導体と2種類の新磁性体を合成・発見しました。新超伝導体の中には、人工超格子構造をデザインすることで実現した新しいタイプのもの^{(1),(2)}も含まれます。超伝導とは、ある物質を超伝導転移温度 (T_c) 以下に冷却したときに電気抵抗がゼロになり、また磁場を排除する「マイスナー効果」を示す現象です。この超伝導性を示す物質を「超伝導体」と呼び、すでに数千種類が知られています。ただし、いまだに室温超伝導体は見つかっていません。

最初に超伝導を発見したのはヘイケ・カメルリング・オネス (1853-1926) というオランダの物理学者で、自身が液化に成功したヘリウムを用いて、1911年に水銀の電気抵

抗が約4.2 K (ケルビン)、すなわち摂氏マイナス269 °Cという極低温で突然ゼロになることを見出しました。その後、超伝導物質は次々と発見されましたが、 T_c の上昇スピードは極めて緩やかでした。1986年に銅酸化物超伝導体の発見というブレークスルーがあって、集中的な研究により、数年間で T_c が一気に100 °C以上も上がりました。このように高い T_c を示す物質は「高温超伝導体」と呼ばれています。液体ヘリウムよりずっと安価な液体窒素で冷却するだけで超伝導を発現する物質も含まれ、すでに電力ケーブルへの応用や高磁場発生マグネットなどの用途で実用化も始まっています。さらに2019年には、200万気圧という超高圧下ではあるものの、マイナス25 °Cという室温に近い T_c を示す水素化合物も発見されました。これは未発見の室温超伝導体の存在を強く示唆します。最近では、銅酸化物と似た結晶構造を持ち、高い T_c が期待されるNi (ニッケル) 酸化物の超伝導体にも注目が集まっています (図1)。

一方、近年、「室温超伝導の発見」とされる論文の捏造や撤回もありました。もし常圧下で室温超伝導を示す物質が発見されれば、送電線や回路内配線の電気抵抗 (電力の損失) をゼロにでき、カーボンニュートラルの実現に大きなインパクトをもたらします。そのため各国で競争が続い

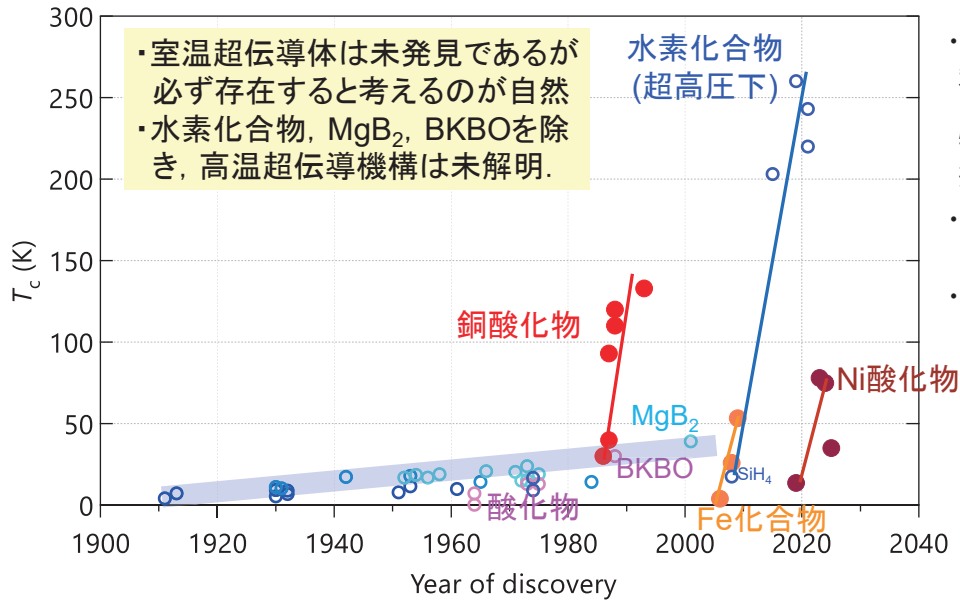


図1 超伝導体の発見とT_cの推移

ており、功を焦る人がいても不思議ではありませんが、非科学的な報告は厳しく排除されなければなりません。

なお、低温超伝導の発現機構についてはBCS理論^{*1}で明らかにされていますが、高温超伝導のほうは未解明です。私自身も高いT_cを持つ新超伝導体の探索・合成に挑むとともに、並行して高温超伝導の発現機構の解明、さらには高温超伝導を示す物質の設計指針の構築に取り組んでいます。私たちの新超伝導体創製の最新成果としては、薄膜合成したRuO₂（ルテニウム酸化物）での超伝導発現があります。この物質はバルク^{*2}では超伝導にならず、薄膜試料でのみ超伝導を発現することが知られていました。その原因は基板から薄膜結晶に加わる歪みにあると考えられていました

*1 BCS理論：1957年にJohn BardeenとLeon N. Cooper, John R. Schriefferによって提案された超伝導の基本理論。通常の単独の電子どうしは同じ電荷を持つため反発し合いますが、金属中では電子が結晶格子をわずかに歪ませ、その格子振動（フォノン）を介して別の電子との間に引力が生じることがあります。この相互作用により2つの電子が結びついた「クーパー対」が生じると、電子が一体となってまとまった状態で流れるようになり、電気抵抗がゼロになります。ただしBCS理論では高温超伝導の発現を完全には説明できません。

*2 バルク：物質自体の「塊（かたまり）」（通常ミリメートル以上の大きさ）を意味し、基板と呼ばれる「土台」の上に作製される薄膜（厚さはナノメートルからマイクロメートル）とは異なります。

が、研究チームのKrockenberger主任研究員が中心となってRuO₂薄膜をさまざまな結晶方位に成膜し構造解析を行ったところ、そもそもバルクとは違う新たな結晶相で超伝導が発現することが明らかになりました⁽³⁾。同じ化学式で表される物質であっても構造の違いによって異なる物性が現れるという、非常に興味深い結果です。

新超伝導体に関しては2021年ごろから複合窒化物の創製にも取り組んでいます。その理由の1つは、窒化物は酸化物に比べると共有結合性が高い、つまり、電子を原子どうしで共有して結びつく性質が強いためです。私は、銅酸化物超伝導体がそうであるように、結晶内のある部分に共有結合性が高い構造を含む物質ほどT_cが高くなる傾向にあると考えており、複合窒化物が銅酸化物を凌ぐT_cを持つ超伝導体になり得ると期待しています。空気の約8割は窒素（残りはほぼ酸素）であるにもかかわらず、これまでに合成された窒化物は酸化物に比べて圧倒的に数が少なく、未開拓の物質群です。これは、「多くの金属は空気中に置いていても窒化されることがない」ように、できにくい、あるいはつくりづらい物質だからだと考えられ、そこに魅力を感じています。瀧口耕介研究員やKrockenberger主任研究

員が中心となって、すでに私たちは全く新しい複合窒化物の薄膜合成に成功しています。これを足掛かりに、まずは現在の窒化物での最高記録の約25 Kの $T_c^{(4)}$ を更新する物質の創製・発見をめざしています。

こうした研究のベースにはNTTが誇る世界最高の薄膜合成技術があります。良く知られた物質であるTiN（窒化チタン）では、最近バルクを凌ぐ世界最高品質の超伝導単結晶薄膜を作製し、その物性を明らかにしました⁽⁵⁾。このように私たちは、唯一無二の技術を継承・改良しながら、超高品質の薄膜材料をつくってその物性を調べ、さらには未知の超伝導体を探索するという、他に類をみない研究を行っています。

薄膜合成に携わってきたからこそ 独自の超伝導機構仮説を導き出せた

どのような苦労があったのでしょうか。

酸化物・窒化物共通の技術として、薄膜を構成する複数の元素の供給量（蒸着レート）を同時に、高精度に制御す

る技術があります。常圧の10兆分の1程度の高い真空（宇宙空間に匹敵）中で、薄膜の土台となる基板と呼ばれる単結晶上に、原料を原子や分子のかたちで供給し反応させて薄膜を合成するという、分子線エピタキシー（MBE）法を用いて成膜しています。複合酸化物・窒化物に関してはNTTで開拓し、ノウハウを蓄積してきた独自技術です（図2）。

その薄膜を構成する元素の供給量の精密制御に、NTTでは1990年代から電子衝撃発光分光法（EIES）というキーテクノロジーを用いてきました。これは、各元素の原料源から真空中を飛んで来る原子の流束にフィラメントから出た電子を加速してぶつけ、各原子が放つ発光をセンシングするものです。いわば、花火の色からどんな発色剤がどれくらい使われているのかを判別するセンサのようなものです。このEIESを使うことで、薄膜を構成する各元素の供給レートを原子レベルで精密に制御することができるのです。ところがこのEIES装置は、製造元の製造中止や買収など、たびたび存続の危機に見舞われてきました。結局、2025年には完全に製造中止となりましたが、私たちはこの事態を予

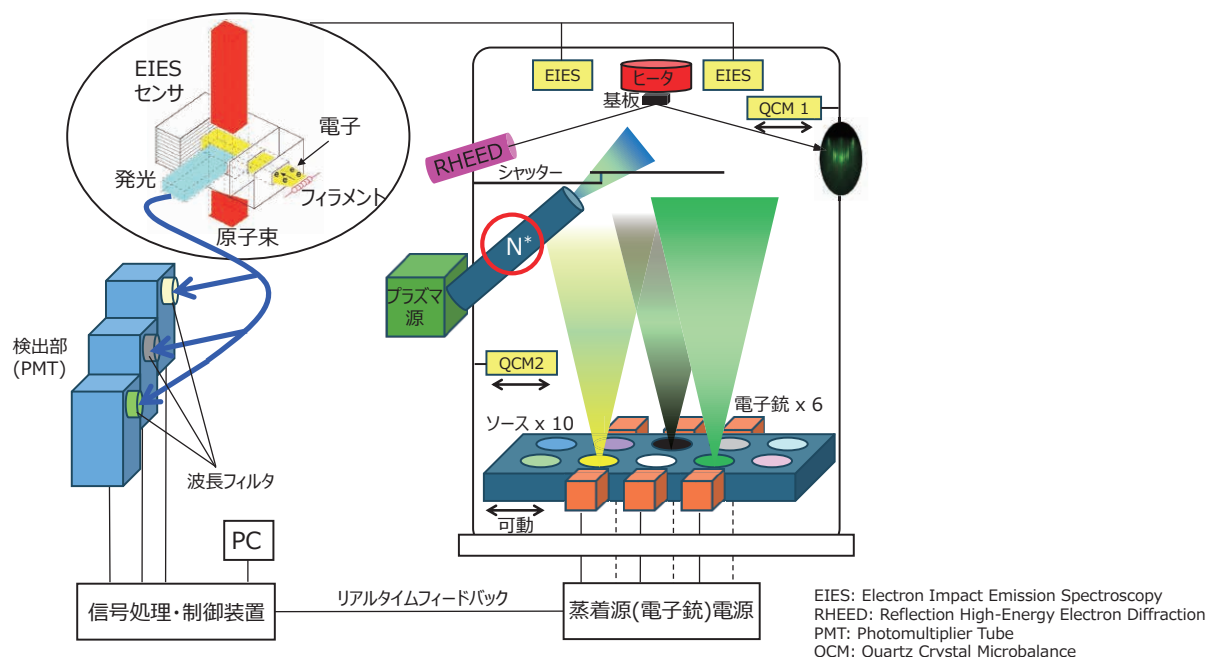


図2 複合窒化物薄膜作製用MBE装置

見し、約5年をかけてNTTオリジナル装置を開発するに至りました。技術を潰えさせることなく次世代の研究者に継承できる見通しが立ち、ほっとしています。

次に窒化物に特化すると、すでに述べたように、非常に作りづらいという課題がありました。窒化物（新物質を含む）の合成には、時に1000℃を超える温度が必要になります。私たちはレーザー加熱方式を採用することにして、ポーランドの企業から装置を導入しました。単に装置を買って取り付けただけと思われるかもしれませんが、実際には、成膜装置全体の他の機能と両立させながら成膜温度の高温化技術を開発し、それを再現性高く稼働させる技術を確立するには大変な苦勞がありました。さらに、超高真空下という成膜環境下でどうやって効率的に窒化を行うのかにも腐心しました。プラズマソースに工夫を凝らして効率的に原子窒素を生成できるようにしたり、窒化力の強さを系統的に変えることができるようにしたりと、独自の技術開発をしています。

独自の研究に不可欠な装置開発に苦勞されたということですが、なぜ薄膜に着目したのでしょうか。

物性研究は光り輝くバルクの大型単結晶の試料で行うのが王道であり、薄膜や多結晶の試料での実験結果に勝る、というドグマのようなものがありますが、薄膜の示す物性がバルク単結晶を凌ぐ科学的な理由があれば薄膜試料が真実を語ることもあります。この観点からも、世界に誇れるNTTの成膜技術を潰えさせるわけにはいきません。

また、薄膜研究から得られた着想もあります。私の研究の柱の1つに高温超伝導機構の解明がありますが、高温超伝導体が、なぜある結晶構造的・化学結合的特徴を共通に持つのか、さらにどんな物質をつくれば高 T_c を示す物質となるのか、自分なりの解釈と戦略を持たたのは、まさに薄膜を研究してきたからこそです。例えば銅酸化物の薄膜はバルクに比べて表面積/体積比が格段に大きく、また膜厚方向の酸素の拡散に要する距離が圧倒的に短いことから、酸素量や酸素の配置のわずかな変化で物性が大きく変わること気付きました。また通常、共有結合は強い結合とさ

常圧下でもっとも T_c が高い銅酸化物超伝導体の結晶構造

超伝導の舞台である2次元な『CuO₂面』を他のイオン結晶(ブロック層)で挟んだ構造

<例>

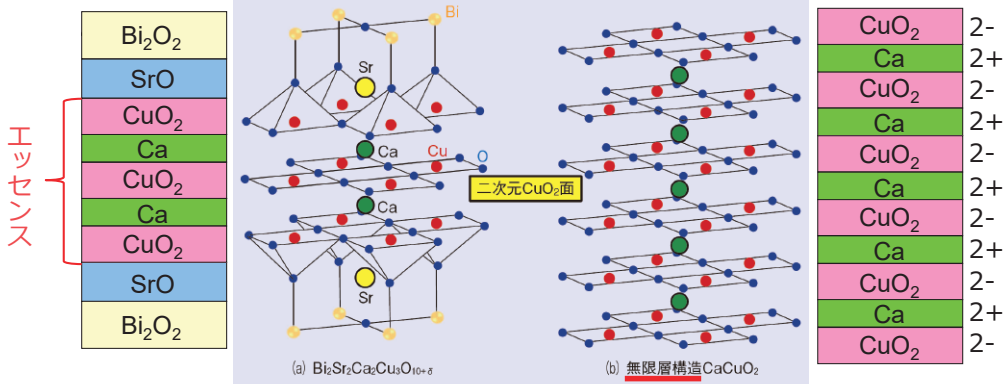
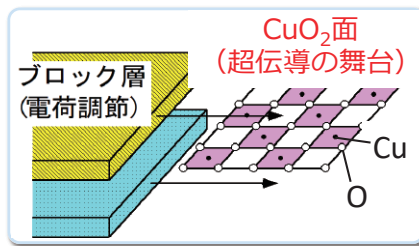


図3 銅酸化物高温超伝導体の結晶構造

れますが、銅酸化物超伝導体中で超伝導を担うCuO₂面でのCu—O結合のように弱い共有結合があり得ることに気が付きました（図3）。

高温超伝導の発現機構については、すでに間接的な証拠に基づく有力な仮説がいくつか出ていますが、私自身は異なる仮説を立てています。多くの研究者が支持しているのは、物質の中にある反強磁性的な秩序の揺らぎが電子の持つスピンを媒介して電子をペア（クーパー対）にすることで超伝導が発現する、というものです（スピン揺らぎ機構）。一方私自身は、高温超伝導もBCS理論を拡張することで説明できる可能性があると思っています。詳細は省きますが、銅酸化物超伝導体のように、弱い二次元的な共有結合金属の層（超伝導発現層）が、イオン結合の層（電荷貯留層）に挟まれて辛うじて安定化されているような状況では、BCS理論では想定されていなかったような大きな格子と電子の相互作用が実現して、高いT_cが発現する可能性が残されているのではないかと考えているのです。

なお、高温超伝導の発現には、CuO₂面のような二次元的な構造自体（二次元性）が重要だとする説もありますが、もしそうであれば、薄膜をより薄くしていくと超伝導性が增强されると考えられます。実際にはそのような事象は観測されません。これは高品質な薄膜試料を再現性良く作製できる実験技術があって初めて分かることです。理論や仮説を検証するうえで高度な実験でしか培われない勘所や審美眼があるのです。いずれにせよ、私のように考える研究者はマイノリティで、なかなか賛同を得られない、という苦労もあります。

一方最近では、長年の薄膜研究の経験から、どのような実験を行い、何を明らかにすれば決定的な証拠を得られるのか、道筋が見えてきました。逆に、なぜこれまでその実験ができなかったのかも分かってきました。簡単にいうと道具が未発達だったのです。

その実証のためにどのような取り組みをされているのですか。

光電子分光法やX線吸収分光法などを用いて電子の振る舞いを調べています。そのため、2024年4月から東北大学（仙台市青葉区）に隣接した敷地内で運用を開始した世界最先端放射光施設「NanoTerasu」を使って計測を始めました。放射光とは、電子を光速近くまで加速してリング状の軌道を走らせたとき、リングの接線方向に放射される光のことです。放射光施設といえば、国内最大のSPring-8（特に波長0.1 nm以下の硬X線領域の光が強い）が有名ですが、NanoTerasuは軟X線領域（波長0.1～10 nm）に強く、これまで見えなかった電子の状態や化学結合などをナノレベルで調べるのに適しています。

NanoTerasuで特徴的なのは官民地域パートナーシップで建設された点で、NTTはコアリションメンバとして施設建設費の一部を負担したため、優先的に実験の予約ができるメリットがあります。高輝度・高品質な光を使うことで、2日程度で十数種類のサンプルの電子状態を調べられるなど、従来に比べると非常に短時間での実験が可能になりました。今後はさらにNanoTerasuでの測定装置の高度化にも寄与できればと思っています。

2015年から研究部長としてマネジメントに携わってきましたが2024年3月で退任し、現場に戻って2年が経ちました。いまだに勘を取り戻すのに苦労していますが、やはり現場はしっくりきます。今後も引き続き新超伝導体の合成・発見への挑戦と並行して、高品質薄膜試料と先進分光技術の組み合わせによる高温超伝導機構の解明に注力していきたいと思っています。

オンリーワンの研究を生み出すために複数の専門性を

後進に向けたメッセージをお願いします。

地道な共同研究が知名度の高い論文誌への掲載といった大きな成果に結実することがあります^{(6)~(8)}。NTTで作製

した唯一無二な高品質の試料の物性を、共同研究先の協力のもと、海外の大型放射光施設を含む先進的な分光手法で調べ成果につながった例が挙げられます。海外機関との共同研究は契約締結だけでも苦労が多く時間もかかりますが、オンリーワンの成果が見込めるのであれば積極的なチャレンジをお勧めします。世界をリードする研究の遂行には海外での研究経験や海外との交流も非常に重要だからです。

一方近年、研究も世界情勢と無縁ではないと再認識する場面が増えています。欧米では日本よりはるかに物価が高く円安もあって、研究費の据え置きは実質目減りを意味します。また、米国で開催された伝統ある物質科学分野での最大・最高峰の国際会議に、特定の国の研究者がビザの関係でほぼ参加できないこともありました。近年は中国開催の国際会議への参加も厳しいのが実情です。このような厳しい情勢ではありますが、世界的に見てオンリーワンの成果や長年の蓄積に基づく迫力のある成果を創出すれば、インターネットを通じて瞬時に世界中に情報共有される時代でもあります。ぜひ、そのような成果を出せるよう腰を据えて研究を継続していきましょう。

次に、複数の専門性を持てるよう研鑽していただければと思います。例えば、高品質TiNの作製とその物性研究の中心を担ったのは、2023年当時まだ入社2年目の瀧口研究員です。彼は実験家としての腕を磨きながら北陸先端科学技術大学院大学（JAIST）に滞在して共同研究を行い、計算科学の技術を身に付け、バルクと異なる構造の薄膜の電子状態を自ら計算しました⁽⁵⁾。複数の専門性が成果に結実した好例です。

最後になりますが、特に定説に反するような実験結果や解釈がでた場合、例えhigh profile誌でなくとも論文にしておくことをお勧めします。私自身の例でいえば、高温超伝導発現の鍵を握る「電子相図」——物質の電子状態が温度やドーピング^{*3}によってどう変わるのかを示した地図——に関する研究があります。後に別の方が行った研究を契

機に急に注目されたり、あるいは20～30年後の測定技術の進歩によって明らかになった事実によって再評価されたりすることもあります。ここ30年での測定技術の進歩には目を見張るものがあり、私が研究を始めたころには想像もしていなかったような測定が可能になりました。この好機をぜひ活かしていただければと思います。

■参考文献

- (1) A. Ikeda, Y. Krockenberger, Y. Taniyasu, and H. Yamamoto: "Designing Superlattices of Cuprates and Ferrites for Superconductivity," ACS Appl. Electron. Mater., Vol.4, No.6, pp.2672-2681, 2022.
- (2) A. Ikeda, Y. Krockenberger, Y. Taniyasu, and H. Yamamoto: "On the criteria for superconducting superlattices using CaCuO₂," Supercond. Sci. Technol., Vol.37, 055002, 2024.
- (3) Y. Krockenberger, J. Ruiters, H. Irie, Y. Taniyasu, and H. Yamamoto: "Polymorphism and Superconductivity in RuO₂," J. Phys. Chem. C, Vol.129, No.40, pp.18157-18163, 2025.
- (4) S. Yamanaka, K. Hotehama, and H. Kawaji: "Superconductivity at 25.5K in electron-doped layered hafnium nitride," Nature, Vol.392, pp.580-582, 1998.
- (5) K. Takiguchi, Y. Krockenberger, T. Ichibha, K. Hongo, R. Maezono, Y. Taniyasu, and H. Yamamoto: "Electronic transport properties of titanium nitride grown by molecular beam epitaxy," Phys. Rev. B, Vol.112, 224520, 2025.
- (6) M. Kang, J. Pellicciari, A. Frano, N. Breznay, E. Schierle, E. Weschke, R. Sutarto, F. He, P. Shafer, E. Arenholz, M. Chen, K. Zhang, A. Ruiz, Z. Hao, S. Lewin, J. Analytis, Y. Krockenberger, H. Yamamoto, T. Das, and R. Comin: "Evolution of charge order topology across a magnetic phase transition in cuprate superconductors," Nature Physics, Vol.15, pp.335-340, 2019.
- (7) L. Martinelli, K. Wohlfeld, J. Pellicciari, R. Arpaia, N. B. Brookes, D. Di Castro, M. G. Fernandez, M. Kang, Y. Krockenberger, K. Kummer, D. E. McNally, E. Paris, T. Schmitt, H. Yamamoto, A. Walters, K-J. Zhou, L. Braicovich, R. Comin, M. M. Sala, T. P. Devereaux, M. Daghofer, and G. Ghiringhelli: "Collective Nature of Orbital Excitations in Layered Cuprates in the Absence of Apical Oxygens," Phys. Rev. Lett., Vol.132, 066004, 2024.
- (8) Y. Seki, Y. K. Wakabayashi, T. Takeda, K. Inagaki, S. Fujimori, Y. Takeda, A. Fujimori, Y. Taniyasu, H. Yamamoto, Y. Krockenberger, M. Tanaka, and M. Kobayashi: "Correlated Ligand Electrons in the Transition-Metal Oxide SrRuO₃," Phys. Rev. Lett., Vol.135, 046402, 2025.

*3 ドーピング：物質にわずかに別の元素（不純物）を加えて、電子の数や振る舞いを意図的に変える操作のこと。



NTTドコモ
クロスステック開発部 エネルギー技術開発担当

中村 祐喜 Masaki Nakamura

グリーン基地局における電力制御技術で通信サービスや電力需給の高信頼化を実現

NTTドコモは東日本大震災における基地局での長時間停電を教訓に、自前電源の所有へと舵を切り、いち早くグリーン基地局の設置に乗り出しました。また昨今は需給ひっ迫時に基地局が備える蓄電池を有効活用するデマンドレスポンスサービスへ参入するとともに、最先端のクリーンエネルギー源の発掘にも挑んでいます。NTTドコモ クロスステック開発部の中村祐喜氏は、モバイル通信キャリアにおいては貴重な電力制御を専門とする研究者で本取り組みの中心人物です。今回の取材では一連の研究開発実績を振り返っていただくとともに、今後の展望やご自身のモットーについて伺いました。



震災を契機に始まったグリーン基地局構想，通信キャリアならではの技術開発と海外展開

NTTドコモのグリーン基地局について教えてください。

私たちは2011年3月に発生した東日本大震災をきっかけに、グリーン基地局の開発に取り組んできました。震災時は電波を届けるアンテナ設備（基地局）において、長時間の停電が発生し、バックアップ電源も失われ、お客さまにサービスを提供することができなくなりました。

この経験を教訓に、停電時でも商用電力に頼らない自前の電源を持ち、通信サービスを維持できる仕組みの必要性が認識され、基地局にソーラーパネルを設置した「グリーン基地局」の研究開発が始まったのです。ここではソーラーパネルで発電した電力を活用し、停電時でも基地局に備わった蓄電池と連携しながら電波を継続して届けることができます。また、このシステムは化石燃料由来の商用電力に依存せず、再生可能エネルギーで基地局を運用できますから、近年政府が掲げているカーボンニュートラルの実現という

目標にも貢献が期待され、一層設置に追い風が吹いています。

ここでの技術的なポイントはソーラーパネルで発電したエネルギーをいかに無駄なく電波に変換できるかという点です。具体的には、パネルで発電した電力を効率良く48Vに変換し基地局の無線機へ供給する制御方法や関連の装置開発、そして蓄電池の充放電制御やソーラーパネルとの連携制御で、電力余剰時は蓄電池に充電し、不足時には発電して無線機へ電力供給するといった技術開発に取り組んできました。こうした研究成果で、電子情報通信学会 通信ソサイエティ論文賞や、「ICT分野におけるエコロジーガイドライン協議会」（一般社団法人情報通信ネットワーク産業協会、一般社団法人電気通信事業者協会など主催）において、エコICT AWARD 2016優秀賞など社外表彰を受賞してきました。

また、ソーラーパネルの建設方法にも工夫がなされ、例えば無線信号の処理装置が納められた「収容函」の屋根にも設置できるようにしました。こうして、敷地内に遊休地がなくてもパネルを設置することが可能となり、グリーン基地局のさらなる拡大につながっています。

このように、グリーン基地局は2011年の震災をきっかけ

に研究開発が始まり、2014年には商用化されました。現在では、全国に329箇所導入されており、災害対策と環境保全の両面で重要な役割を果たしています（図1）。また最近、経済産業省の国家プロジェクト「令和6年度 二国間クレジット取得等のためのインフラ整備調査事業（JCM実現可能性調査）」を受託してフィリピンをはじめとする東南アジア各国への技術提供を推進しているところです。

近年はデマンドレスポンスの研究開発・商用化に取り組まれてきたようです。

グリーン基地局の蓄電池は発電量が天候に左右されるソーラーパネルと連結しているため、余剰発電を充電して有効活用するためには、充電・放電を頻繁に繰り返す必要があります。そこで、従来使われてきた鉛蓄電池よりも充放電特性に優れ、充放電サイクルによる劣化も小さい新たな蓄電池候補の発掘に取り組む必要がありました。研究開発の段階ではニッケル水素電池なども検討していましたが、その結果、やはり携帯電話でも実績のあるリチウムイオン電池が性能面でもっとも優れていることが分かり、これを導入するに至りました。

また、この蓄電池については電圧や充電量等のパラメーターを遠隔から常時監視・制御し、効率的な充放電計画を立てているのですが、「この遠隔監視制御システムを別の用途にも活用できないだろうか」との発想がわき「デマンドレスポンス（DR）」に取り組むことになりました。



図1 NTTドコモのグリーン基地局 津慈局（徳島）

DRは、電力会社から需給ひっ迫時に節電要請を受け、それに応じて節電し対価を受け取るビジネスモデルです。これは節電だけではなく、逆の対応も可能で、電力会社から「この時間帯に電力をたくさん使ってほしい」という需要造成の要請が来た場合は、蓄電池を充電し一時的に需要を増やすことができます。こうした需給調整を基地局の蓄電池と、さらにドコモショップの災害用蓄電池とも連携したシステムがドコモのDRサービスです（図2）。

この取り組みは2016年に資源エネルギー庁の国家プロジェクトとして「バーチャルパワープラント構築実証事業」が開始したことを受け、当時のNTTファシリティーズ（2019年以降はNTTアノードエナジーへ事業承継）とともに2017年に参画し、2021年より商用運用を開始しています。

ところで、DRの仕組みでは、電力会社から「100 kW節電してほしい」といった大きな単位で節電要請が届きます。実は、ドコモの基地局個々での消費電力は家庭程度で、蓄電池から放電させても数kWしか節電できないのです。加えて、搭載している装置割合（4G/5G）によって消費電力は基地局ごとに異なりますし、放電できる時間もまちまちです。

このような少容量でかつバラバラな放電能力を持つ基地局を多数束ねることで、電力会社からの大容量な節電要請にこたえるのは技術的に課題がありました。すなわち、各基地局からの放電量を縦軸：放電可能電力、横軸：放電可能時間の長方形面積としてとらえると、電力会社から「100 kWで3時間放電してほしい」という要請に対して、小さな多数の（面積の異なる）長方形^{*1}をいかに組み合わせるか、という最適化問題を解く必要がありました。ドコモはこうした技術を磨き続け、EMS（Energy Management System）基盤を実用化してきたのです（図2）。

このDRの成果はモバイルコンピューティング推進コンソーシアム（MCPC：Mobile Computing Promotion Consortium）の主催する「MCPC award 2022」の「ユーザー部門」で「モバイルテクノロジー賞」を受賞しているほか、直近では2025年のNTTグループサステナビリティカ

*1 各基地局において放電可能電力（縦軸）はおおよそ一定、放電可能時間（横軸）は蓄電池の遠隔監視で常時モニター可能。よって各基地局の放電可能量は長方形面積として簡略的に計算できます（図2参照）。

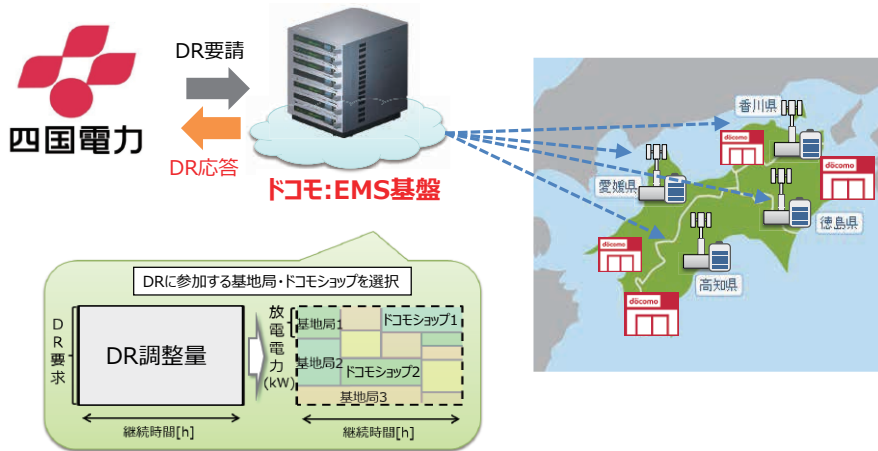


図2 NTTドコモのデマンドレスポンスの仕組み(四国の例)

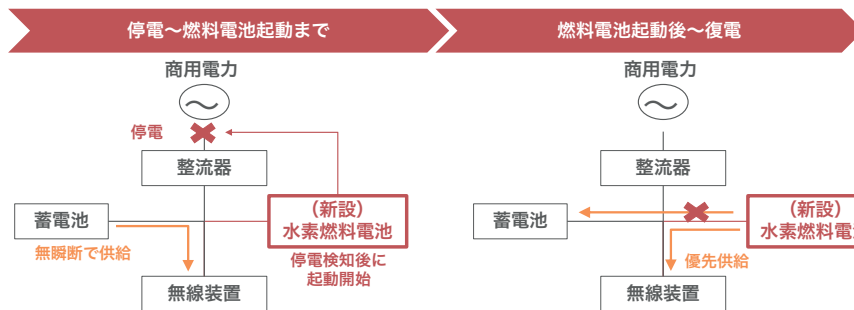


図3 水素燃料電池の基地局適用イメージ

ソファレンスにおいて優秀賞を受賞しました。さらに社内でもベストサステナビリティ表彰の環境部門賞を受賞するなど、社内外双方で高く評価されました。

直近はグリーン水素燃料電池の基地局適用にも取り組まれていると伺いました。

水素インフラが将来国内で整えば、クリーンな水素ガス^{*2}を電源とする燃料電池も基地局設置の再生可能エネルギー源の1つとして期待できると考えます。そこで、私たちはこの水素燃料電池が発電した電力を、高効率で基地局に供給する仕組みを開発しています。現在市場にある水素燃料電池システムは、出力をDC/AC変換させ商用電力経由で家庭や工場へ電力供給する形態をとっています。しかし、このシステムを使って基地局へ給電する場合はさらにACをDC48Vへ変換する必要があり、一度、AC変換した

電力をさらにDC変換するという2段の変換が必要となり効率は悪く、水素燃料電池で発電した電力を有効に使うことができません。そこで開発したのが水素燃料電池の直流出力をダイレクトに基地局へ接続する技術です。

図3はドコモが検討しているバックアップ電源に水素燃料電池を適用する際の系統図です。停電で商用電力の供給が止まると、まず無瞬断で蓄電池へ系統が切り替わります(既存設備の標準動作)。同時に停電が感知され、その通知で水素燃料電池は起動します。この水素燃料電池は給電可能な状態になるまで約1分を要し、その後、水素燃料電池からの給電に切り替わります。ここで、後付けで設置した水素燃料電池は既存の蓄電池と並列につないでいるため、電圧条件によっては蓄電池を充電させてしまう可能性があります。

蓄電池の充放電時での電力損失は20%に達することもあるといわれ、水素燃料電池から蓄電池に電力供給せず、直接基地局へ届ける技術開発に取り組みました。ここでは電

*2 本実験ではソーラーパネルなどクリーンなエネルギー源で水を電気分解して製造された水素ガスを燃料に使用しています。

池の出力電圧制御や電圧推移予測を中心に実験で実証しました。この研究成果についてIEEEが共催する英国で開催されたスマートグリッド分野の国際会議であるicSmartGrid2025で発表を行い、「First Best Paper Award (最優秀論文賞)」を受賞し、世界からも高く評価されました。

今後の展望をお聞かせください。

昨今はカーボンニュートラルの社会的要請もあり、グリーン基地局やDRについて、さらに使命感をもって取り組んでいかなければいけないと感じています。

グリーン基地局の開発では、外国特許も取得していますので、フィリピンを皮切りに世界中のオペレータへ技術提供をめざしていきます。また、ソーラーパネルの材料は、従来のガラスを基板としたシリコン系以外に、最近では塗布型で軽量のペロブスカイト系など日本が力を入れている新素材も発展しており、そういった最先端の太陽電池を擁するグリーン基地局へも検討を広げていきます。

DRについては2021年に東京電力、2024年に四国電力、2026年には北海道電力と連携を進めてきました。今後は更なる地域の大手電力会社とも取り組んでいきます。そのような中で、ドコモには全国で約20万カ所以上の基地局が存在しますので、対象とする拠点が広がるほど組合せ最適化問題が発生し、制御が難しくなっていきます。例えば1万カ所ともなれば計算時間は膨大にかかってしまうでしょう。

また、DRは「1週間後に節電してください」と時間に余裕をもって知らせてくれるわけではありません。予測できない事象だからこそ急に節電要請が届きます。今、私たちが参加している容量市場では3時間前に要請が来ますので、それなりに計算猶予があるといえますが、需給調整市場では数分前に来ることもあり、計算を超短時間で実施しなければなりません。将来的にこういった要請の厳しい市場へも参入していく場面を想定し、莫大な数の最適化問題を解くのに優れている量子アニーリング^{*3}手法を現在検討しているところです。

*3 量子アニーリング：組合せ最適化問題を量子力学の重ね合わせとトンネル効果を用い高速に解く技術。自然界がエネルギー最小になるようにする物理現象（焼きなまし）を応用しています。

ご自身の経歴やモットーとしていること、後進へのメッセージをお聞かせください。

東日本大震災以降、ドコモでエネルギー研究が立ち上がりました。当時の通信エネルギー分野はNTTやNTTファシリティーズの研究所の皆さんが主導されており、私も学会などでそういった方々に教えていただきながらドコモにおいて黎明期のエネルギー研究を推進してきました。

こうして入社以来、エネルギー分野の研究開発業務一筋に過ごしてきました。その間に、九州大学で博士号を取得し、電気学会や電子情報通信学会などで専門委員や常任査読委員を務め、大学院の客員教授も拝命するなど学術分野で幅広く活動を続けています。ドコモではエネルギー分野の研究者は今でも少なく、今後もこのフィールドを牽引していきたいと思っています。

現在、私の課に所属する社員は11名で、多くは若手です。最近ではキャリア採用に力を入れており、エネルギー分野に精通した方も採用されています。前述のとおり、私自身が研究畑の出身ですから、安易に短期的な成果は求めず、じっくり仕事に取り組むよう指導しています。そして、自分のやりたいことを大切にしてほしいと常に伝えています。こうすることで成果創出のプレッシャーも軽減されると思いますし、自己裁量で進めていくほうが今の若手に適しているのではないかと感じています。

最後に、私が好きな漢詩「鶴鵲楼（かんじゃくろう）に登る」を紹介します。この詩は鶴鵲楼という高い楼閣から眺める黄河の雄大な景色や夕日が沈む際の様子を見ると、もっと遠景を見てみたいと上段に登ろうとするさまを描いたもので、単なる風景描写にとどまらず、「より高みをめざして努力すれば、さらに広い世界が見えてくる」という、現状に満足せず成長をめざす向上心を説く教えとして広く親しまれています。私自身、大学ではワンダーフォーゲル部に所属し、現在もこれを趣味にしていることもあり、高い地点に着いたら一体どんな景色が見えるのだろうと、いつもワクワクしながら登っています。若い人には、今見えているところから目標を少しずつ上げながら一歩ずつ登り、一階層ごとに見えるその場その場で異なった景色をぜひ味わってほしいなと思います。



NTT物性科学基礎研究所
特別研究員

岡本 創 Hajime Okamoto

機械振動で光を操る革新デバイスの創出

微小な機械振動子に発光体を組み込むことで実現した「振動で光を制御できる省エネルギー型オプトメカニカル素子」。この素子にソフトマテリアルを融合させる全く新しい手法で、性能の飛躍的な向上と多機能化を図る研究が進められています。電気や磁場ではなく機械振動を用いて高度に光制御できる本技術は次世代の革新技術です。今回はこの「オプトメカニカル素子」のトップランナー、岡本創特別研究員にお話を伺いました。

◆PROFILE：2000年早稲田大学 理工学部材料工学専攻 修士課程修了。同大学の大学院材料工学専攻博士後期課程へ。2004年博士（工学）号取得、同年、NTT物性科学基礎研究所 博士研究員。2005年日本電信電話株式会社入社。ナノメカニカル素子の研究に従事。主な受賞歴として、2010年&2025年 応用物理学会優秀論文賞、SSDM (International Conference on Solid State Devices and Materials) 2010 Paper Award、2014年 文部科学大臣表彰 若手科学者賞。



無限の可能性をはらんだ「新機能素子」をつくり出すために

■研究の基礎になる「機械振動子」と「オプトメカニカル素子」について教えてください。

一般的に「機械振動子」とは、ばねや質量、ダンパーなどの機械要素で構成され、一定の力を加えると周期的に往復運動（振動）する系を指し、弾性変形を周期的に繰り返すことにより機械的な振動が継続する人工構造体です。身近なもので例えば、鐘や鉄琴など楽器の振動板もこの1種となります。NTTでは2年ほど前に公式発表していますが、通信波長の光に共鳴する希土類元素（エルビウム）を添加した表面弾性波素子【機械振動の一種である表面弾性波（＝超音波）を用いて電気信号をフィルタリング・共振・遅延させる高周波デバイス】を作製することにより、数ミリ秒の長い寿命を持つ光励起電子とギガヘルツ超音波のハイブリッド状態を生成することに成功しました。これにより、低電圧な超音波励起でコヒーレンスの高い希土類電子を制御でき、将来的な省エネ量子光メモリ素子への応用が

期待されています（図1、2）。

この素子では、軽量の圧電材料である窒化アルミニウムを振動励起・検出用の圧電薄膜として用い、かつ櫛型電極の間隔を800ナノメートルにまで狭めることにより、2ギガヘルツの高速な表面弾性波を励起することができます。表面弾性波により生み出される結晶の歪みは表面近くで最大となりますが、結晶内部にもある程度染み出します。この染み出した

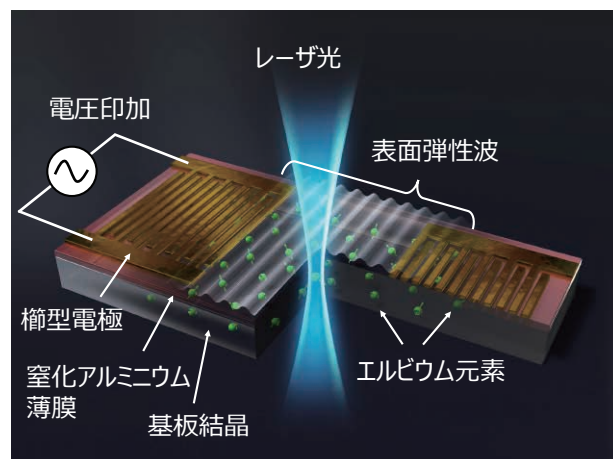


図1 発光体を埋め込んだ表面弾性波素子

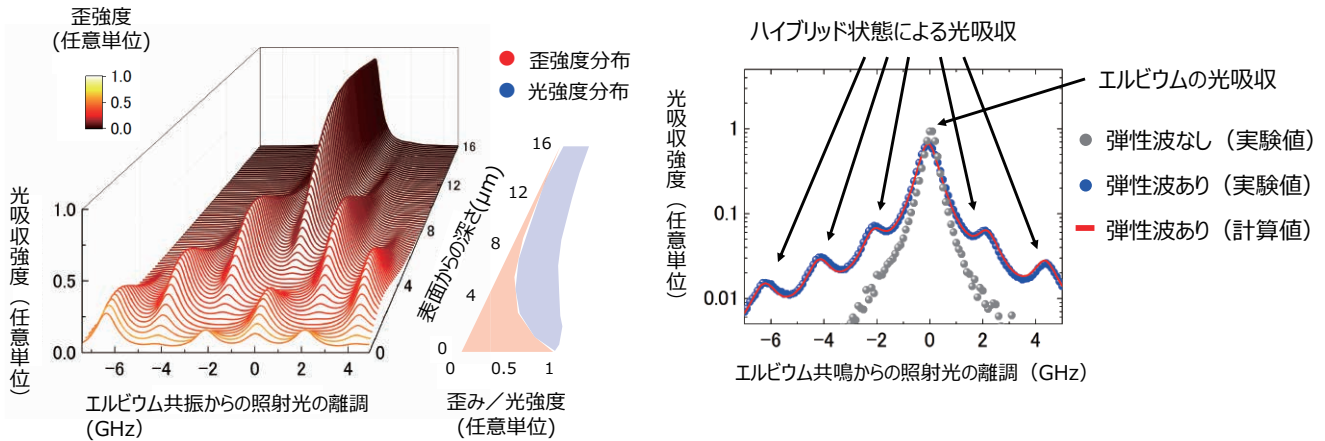


図2 機械振動に影響を受けるエルビウムの光共鳴

歪みを用いることにより、結晶に埋め込んだ発光体に歪みを与えて、その発光特性を制御することができます。

このように表面弾性波素子を用いて、結晶内部に埋め込んだ発光体を制御することに成功しましたが、残念ながら、結晶に埋め込むことができる発光体の種類には制限があり、素子設計の自由度において大きな課題がありました。このような制限による高機能化や多機能化への課題に直面した状況の中、私たちは新たなアプローチを模索していました。そんなあるとき、同研究所の別グループでポリマー材料を扱っている研究者と意見交換をした際に、シリコン系ソフト材料の1つであり、ソフトコンタクトレンズの素材でもあるポリジメチルシロキサン (PDMS) を表面弾性波素子と融合するというアイデアが浮かびました。それは私にとってはまさに目から鱗の発想で、すぐに本研究を開始することになりました。

■「微小な機械振動を用いた新機能素子の創出」について教えてください。

「オプトメカニカル素子」は、発光デバイスなどの光学素子に機械的な自由度を付加した機能素子として注目されています。しかし、前述したとおり、この機械振動子の結晶内部に埋め込むことのできる発光体の種類は非常に限られているため、高機能化や多機能化といった点で大きな課題が残ります。このような課題に対して、私の研究ではさまざまな発光体を液体に混ぜて用意することのできるポリマー薄膜を、1辺が数ミリメートル程度の小さな結晶片に

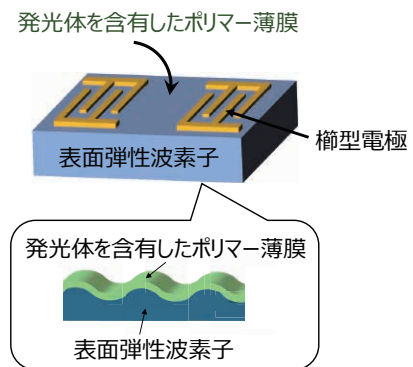


図3 ポリマーハイブリッド表面弾性波素子のイメージ

造り込んだ表面弾性波素子の上に配置した「ポリマーハイブリッド表面弾性波素子」の提案・実証に取り組んでいます。これは、通常は機械振動子の結晶内部に埋め込むことが難しいさまざまな発光体をポリマー薄膜に埋め込むことで、「オプトメカニカル素子」のさらなる高性能化、多機能化を図るのが目的です (図3)。

表面弾性波により生み出される歪みは基板結晶内部に染み出すことは前述しましたが、素子表面にポリマー薄膜を形成した場合にはポリマー薄膜にも歪みが染み出すことが想定されます。この効果を活用して、ポリマーに含有した発光体に歪みの影響を与えるのが本研究のねらいです。これを実現するにはポリマーの膜厚を歪みが十分に浸透できる程度の薄さ (数マイクロン以下) まで薄膜化する必要があります。また、そのようなポリマー薄膜の微細なパターンを2つの櫛型電極パターン間に組み込む融合プロセスが必要となります。



■研究で苦労されている点や今後の課題について教えてください。

この研究を進めるには、まずポリマーの薄膜を用意する必要がありますが、これが容易ではありません。なぜなら、硬化プロセスを実施する前のポリマー前駆溶液はハチミツのように粘性の高い液体であるため、スピン塗布などの技術を用いても数マイクロメートル以下の薄い膜を形成することは技術的に困難です。さらに、所望のパターン形状を得るためには、後工程で膜を薄くし、加えてエッチングなどで不要部を除去するなどの加工プロセスが必要となり、これらをナノスケールの精度で実現するのは非常に困難です。このような技術課題を解決する手法の開発から取り組まなければならない点ですが、本研究が挑戦的である理由の1つです。このような課題に対して取り組みを進めた結果、ごく最近、任意の膜厚のポリマー薄膜による所望のパターンを紫外線描画で形成する新技術の開発に成功しました。この技術により、複雑な工程を要することなく、数ナノ～数百ナノメートル厚さのPDMS薄膜パターンを基板上に簡便に作製することができます。

次の挑戦的な課題は、「いかにして歪みの影響をポリマー薄膜内部の発光体に伝えるか」です。ポリマーは、紫外線を当てるなどの硬化プロセスを実施した後、ゴムのような柔らかい固形状態となります。このようなゴム状態では歪みの影響が内部の発光体まで十分に及ばないことが想定されます。なぜなら、ゴム状態はポリマーを構成する分子の鎖が自由に変形できる状態であるため、歪みが分子鎖の変形で緩和されてしまい、それがショックアブソーバのようになり、ポリマー間に挟まれた発光体に影響が届かないためです。これに対して、ポリマーがゴム状態からガラス状態へと強化できたとすれば、ポリマーはもはやショックアブソーバとして機能せず、発光体に歪みの影響を直接届けることが期待できます。このようなゴムからガラスへの状態変化はガラス転移と呼ばれ、ポリマーを冷却した際に現れる現象として知られていますが、同様の現象がポリマーに機械刺激を与えた際、その速度がある値を超えた場合にも現れることが予想されます。例えば速度200 km/hのパワーボートがクラッシュすると、投げ出されたときの水面の強度はコンクリート並みの硬さになるといわれていますが、

これと似たような原理です。つまり、高速な機械刺激を与えた際には、ソフトなポリマーがあたかもハードに振る舞う、といった現象が起こり得ます。私たちは現在、ギガヘルツ領域の高速な機械刺激で強化が期待されるPDMSポリマーを用いて、PDMSに混ぜ込んだ発光体を機械振動で制御する取り組みに挑んでいます。

■将来は複合機能型メカノ電子・光デバイスで大幅な小型化・省エネ化を実現

■この研究によって実現される事象や応用先を教えてください。

本研究の将来的な目標は、複数の機能を1つに統合した「複合機能型メカノ電子・光デバイス」の実現にあります。従来の考え方立つと、多機能化のためには複数の素子を物理的に集積する必要があり、デバイスの肥大化が課題でした。しかし、本研究により、異なる機能を持つ材料を一緒に混ぜ込むことによって単一素子での多機能化が可能になれば、劇的な小型化と省エネ化が達成されます。また、デバイス応用だけでなく、開発過程で得られるポリマー材料の学術的知見も非常に重要です。特に、ギガヘルツ帯の高周波領域におけるポリマーの挙動は、これまで実験装置の不在により未解明でありましたが、本研究のアプローチによりこれが可能となるのが大きな強みです。本研究は、メガヘルツ以下の低周波領域の研究にとどまっていた従来の材料科学に対し、高周波応答という新たな評価軸を提示する画期的なアプローチとなります。この研究はまだ提案ベースの域を出ませんが、今後の展望としては、まず3年後までにメガヘルツ～ギガヘルツ帯域でPDMSの機械応答や動的粘弾性を評価できる系を構築することが目標です。そして、5年後には、さまざまな発光体のメカニカル制御に取り組み、2030年代前半には、異種発光体を混合した全く新しいかたちの「複合機能型メカノデバイス」を創出したいと考えています。

■研究を進めるうえで大切にしていることがありましたら教えてください。

特にこれといったモットーはないのですが、強いていえば「まだ誰もやっていないことをやろう」です。誰かの役

に立つことをやらねばといった大それたことは考えておりませんが、まだ誰も知らないことや誰もアクセスできていない領域を開拓できるならば、それはやりがいがあることだと個人的には感じています。ある意味で「教科書の新しいページをつくっていく」という作業に自分も加われるのであれば、それは研究者としてとても有意義なことだと思います。また、研究を進めるにあたっては「何でも楽しんでしまおう」と考えることにしています。よく壁にぶつかるか壁を乗り越えて、なんてことをいわれませんが、基礎研究の世界というのは壁しかないという感じです。壁は乗り越えるものではなくて、どこに向かっても突き当たるものという感覚です。研究を一步進めると新しい問題が生まれる。その問題をなんとか解決して、また一步進めるとまた新たな問題発生というように。ですから、壁に当たることそのものを楽しんでしまおうというメンタルでないとなかなか継続的にやっていけない。基礎研究というのは、ポジティブ思考で、なおかつある種鈍感なメンタルでないといふと周りから潰されてしまいますから。

■所属されているNTT物性科学基礎研究所について教えてください。

NTT物性科学基礎研究所は企業内組織でありながら、大学の研究室が複数集まったかのような独自の形態を持つ研究所です。研究領域は半導体や電子・光物性から、生体模倣技術、量子技術に至るまで極めて多岐にわたります。民間企業の研究所としては珍しく、目先の製品開発にとどまらない「基礎研究」に特化している点が最大の特徴です。ただ、現在の日本で企業として基礎研究所を維持しているところはほとんどなくなってきています。実験設備などの充実度も大学の施設とは比べ物にならないですし、貴重な存在だと思います。本当に基礎研究をやりたいと考えている方にとってはとても良い環境だと思います。まだ誰もやっていないことにチャレンジし、新しい研究成果を学術論文として世に出していくのが研究所としての大切なミッションです。研究者全員が教科書を新たにをつくっていくという意気込みです。

また現在、NTT全体としてはリモート勤務を推奨していますが、物性科学基礎研究所に限っては実験装置や設備全

体が会社にあるため、多くの社員は適用除外されています。研究に際しての実験はもちろんですが、私は研究グループのリーダーもしているので、社員の安全管理や研究補助などもあって毎日出社しています。

■最後に研究者、学生へメッセージをお願いします。

基礎研究の成果は、通信量の倍増や効率の数パーセント向上といった即物的な数値として直ちに現れるものではありません。「今すぐ何かの役に立つ」という実用性とは一定の距離を置いています。しかし、その探求から得られる新たな知見や技術の芽は、巡り巡って将来の産業構造や学術のあり方を根底から変える可能性を秘めています。目に見える数値を超えた未来の発展を支える「種」を蒔くことこそが、基礎研究の真の意義であると考えています。最近感じているのは、若手の研究者の方々がとにかく早めに良い成果や業績をあげておきたいという方向に走りがちだということです。もちろん、そうした傾向は良い面もあるのですが、中には腰を据えて長期間続けないと結果が出ない重要な研究もあります。そうした研究がなおざりにされてしまうのはネガティブな面もあるということです。特に将来のある若手研究者の方々には、失敗を恐れずにチャレンジする姿勢を大切にしてほしいと思います。私も基礎研究者として、この部分を大切にしていきたいと考えています。

私が現在進めている異分野を融合した新規研究は非常に挑戦的ではありますが、新たなブレークスルーを生み出す可能性を秘めており、やりがいを感じています。このような異分野融合型の研究を進める際には、さまざまな分野の方々の知見を取り入れることがとても大切と感じています。海外の方との積極的な交流も重要です。私のグループでは、米国やフランス、オランダといった海外からの学生インターンも多数迎え入れており、年齢を超えた「研究人」としての交流を進めています。実際に皆さんとても優秀で、彼らが行った成果が論文となるケースも多いです。年齢・国籍・分野を超えた人間の交流が新たな気付きやひらめきを生み出し、「教科書の新しいページをつくっていく」ことを願っています。



NTT イーアジア株式会社

<https://www.ntte-asia.co.jp/>



東南アジアのすべての地域社会・コミュニティと地域密着型のDX・価値創造を実現

NTT イーアジアはベトナムにおける通信インフラの整備事業を皮切りに、NTT 東日本グループの強みである地域密着の取り組みで、東南アジア各国のステークホルダーと信頼関係を地道に築きながら、現地でのFTTH (Fiber To The Home) 基盤やデジタル基盤の整備を着実に進め、2026年に設立30周年を迎えました。こうしてテクノロジーと現地の力を掛け合わせ、東南アジアの持続可能な未来をかたちづくる地域ソーシャルイノベーション企業として貢献するNTT イーアジア 長江靖行社長に、最新の取り組みについて伺いました。



NTT イーアジア
長江靖行社長

ベトナムでの固定電話共同事業から30年、 今では東南アジア各国とICTを推進

■設立の背景と会社の概要について教えてください。

NTT イーアジアは1996年に設立され、本年でちょうど30周年の節目を迎えます。設立当初の目的は、ベトナムにおいて現地国営通信事業者VNPT (Vietnam Posts and Telecommunications Group) と固定電話回線の敷設・運営に関する共同事業を行うことでした。このプロジェクト完了後は、ベトナムをはじめとする東南アジアを中心にICT分野の海外事業を形成・推進し、さらにオフショアを活用したソフトウェア開発や業務BPOサービスを新たな事業の柱として立上げ、現在に至ります。

事業の柱は大きく2つです。まず、アジア地域における現地国パートナー企業と連携した通信インフラ・デジタルサービスなどのICT事業です。そして、オフショア活用 (NTT e-MOI社連携) などによるソフトウェア開発事業です。東南アジア各国には、社会インフラの整備、デジタルデバイドの解消、地球温暖化対策など、その地域固有の課題や日本と共通する課題も数多く存在しています。こう

した課題を解決するため、NTT 東日本グループのDXソリューションを当該国でも活用し、現地のパートナーと共に持続的な成長・発展に貢献することが当社のミッションです。また、日本国内においては、地域社会の課題解決に向けた新たなDXソリューション開発を下支えするソフトウェア開発のケイパビリティを提供しています。

こうした現在の姿に至るまでには、決して平坦ではない道のりがありました。ベトナムでの通信インフラ共同事業が満了となった後は、社内外の環境変化による海外事業への逆風が幾度となく吹き荒れました。それでも、現地国との関係性や人材、ノウハウを途絶えさせることなく継承し続けたことで、現在の事業が結実しているのです。

現地のパートナーと挑むデジタルデバイドの解消

■最近注力している通信インフラ事業について教えてください。

海外事業を担う戦略企画部では、現在3つの主要プロジェクトを推進しています。まず、インドネシアのPT

Integrasi Jaringan Ekosistem (IJE) 社への出資参画を通じた同国でのFTTH (Fiber To The Home) 事業です。次に、ベトナム発スタートアップであるAWING Technologies & Media JSC (AWING) 社への出資参画を通じた、Wi-Fi広告配信プラットフォーム事業、そして、ベトナムのホーチミン市 (旧ビンズオン省) におけるVietnam Technology & Telecommunication JSCとのFTTH共同事業です。

その中で、2025年7月にIJE社へ出資し、FTTH事業へ参画した取り組みについて紹介します (写真1)。インドネシアはFTTHの世帯普及率が約15%と周辺国と比較しても低く、インドネシアのプラボウォ大統領自らがその解消を公約に掲げるほど国家的な課題となっています。IJE社は、所得が高くない世帯にも利用可能な価格帯でFTTHの拡大を企図しており、当社はNTT東日本が培ってきた設計・構築・保守運用のノウハウを提供することで高品質なサービスの実現に貢献しています。

具体的には、地場通信建設会社の設計・構築・保守運用の品質向上を実現するため、IJE社と共にジャワ島内の5カ所で研修センタを立ち上げ現地技術者への指導を行っています。研修センタでは座学だけでなく実習を行える電柱等の設備も備えており、研修センタ立ち上げにもNTT東日本グループのノウハウが詰め込まれています。各研修センタへはNTT東日本グループよりエキスパートが派遣され、それぞれがIJE社のコア技術者と二人一組のバディ体制を取り、日々技術者の育成に取り組んでいます。引き続きIJE社の事業拡大に貢献し、将来的には日本より人口が多いインドネシアにおいてNTT東日本を上回る加入者数の実現をめざしていきます。

SESからSIへと事業を拡大

■最近オフショアを活用したDX支援にも取り組まれているそうですね。

オフショア活用によりソフトウェア開発・業務BPOサービスなどを廉価に提供し、グループ会社組織を含めた顧客



写真1 IJE社出資参画時の記念撮影

のDXに貢献することを目的に、2021年にデジタル推進部を設立しました。立上げ当初はわずか2名で、SIの課題を解決するための機動力ある遊撃部隊としての組成でした。ベトナムオフショアの立上げ、NTT東日本内にとどまらない技術者集団の募集・組成、パートナー開拓など、やるべきことが山積みの中で案件は増え、事業は拡大していきました。「組織を大きくして複数の開発を一気通貫で実行できるチームに」という当初からの思いが、約5年越しでようやく実現しつつあります。その中心を担うのが、NTT東日本としては貴重な元大手Sier等のPM経験者たちであり、当社もさまざまな案件に対応できる実力が備わってきました。

当初はSES (System Engineering Service) *が売上の中心でしたが、2025年度はSI開発がSESの売上を逆転するという大きな転換点を迎えました。億単位の案件も含め、要件定義から上流工程のプロジェクトマネジメントまでを自社で担う案件が増えており、ベトナムでのオフショアなども活用しながら幅広くグループとしてのDXの内製化に寄与しています。開発手法は、OutSystemsを中心としたローコード開発を主軸としながら、近年はさまざまなシステム開発需要にスクラッチで対応するケースも増えています。また、BPO/ITO受託も急速に拡大しており、最近の注力分野としてAI (人工知能) 技術者の養成やコンサルティング、実開発への挑戦も進めています。

* SES : エンジニアの技術力や労働力を時間単位で提供する準委任契約に基づくサービス。

通信キャリアとの協業モデルを構築しAWINGの展開を推進

戦略企画部

佐々木 勇蔵 さん

■担当されている業務についてお聞かせください。

私は現在、AWINGのフィリピン展開の事業開発を担当しています。AWINGは、フリーWi-Fiを活用した広告配信プラットフォームであり、この事業拡大には「Wi-Fiを保有する企業とのパートナーシップ構築」と「Wi-Fi経由で広告配信を行う広告主の獲得」が不可欠です（図）。この実現に向けて現在取り組んでいるのが、NTTグループも出資しているフィリピンの大手通信キャリアPLDTとの協業モデルの構築・推進です。AWINGをPLDTが提供するエンタープライズ向けマネージドWi-Fiの付加価値サービスと位置付け、迅速かつ広範な展開をねらっています。

一方、ベトナムのスタートアップであるAWINGとPLDTとの橋渡しをするうえでは、文化や意思決定のスピード、期待値やリスク許容度の違いといったギャップに日々向き合っています。まずPLDTの事業計画に即した実証（PoC）を設計・推進し、「目に見える成果」を着実に創出するスモールステップでの実績づくりを重視しています。次に、ベトナム・フィリピン双方の幹部が現地へ赴き、直接意見交換できる場を設け、トップ層どうしが相互理解を深めるよう支援しています。さらに、先方のオフィスへの



常駐を通じて日常的なコミュニケーションを確立し、課題の早期把握・解決にも努めています。

■今後の展開についてもお聞かせください。

PLDTとの協業を通じてサービス設計・営業プロセス・収益モデル・運用体制を一体的に整理し、通信キャリアとの協業モデルを確立することで、AWINGの海外展開を面的に拡大することが目標です。将来的には他国・他キャリアへの横展開も視野に入れ、複数国をまたいだ広告配信を実現させ、クロスボーダーで統一的な広告価値を提供できるプラットフォームへの発展をめざします。

組織として再現性ある開発体制を確立

デジタル推進部

吉田 航佑 さん

小村 政樹 さん

■担当されている業務についてお聞かせください。

私たちは現在、主にNTT東日本グループの社内システム案件で内製化・SIを中心に、プロジェクトマネジメントを担当しています。要件定義・基本設計などの上流工程から開発・運用までを通貫で担いながら、個別案件の推進と同時に、組織としての開発プロセスや品質管理の整備・定着にも取り組んでいます。加えて、生成AIを活用した業務DX需要への対応は待ったなしの状態であり、さまざまなケイパビリティ拡大にも積極的です。

顧客ニーズの多様化により開発案件はさまざまな種類のものがありますが、各メンバーの経験やスキルを最大限活かして、案件属性ごとに分担しながら対応をしています。

吉田はプロジェクトリーダーとして、主に生成AIに関す

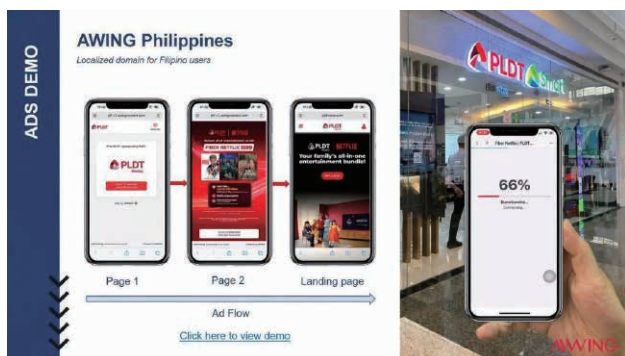


図 AWING フィリピン展開時の広告配信イメージ

る案件推進を担っており、小村はプロジェクトマネージャーとして、主に社内システム内製化推進を担っています。特に、上流工程を含めた開発品質の確保と、開発プロセスや進め方の型化・整理を通じて、個々人の経験に頼らない再現性ある開発体制の構築を進めています。

NTT東日本ではSI事業拡大に伴い経験者採用社員が多数参画し急成長している一方、品質・コスト・納期（QCD）のばらつきやナレッジ化不足、開発環境やルールの未成熟が課題です。こうした状況に対し、Slerとして「当たり前」の開発プロセスや品質管理の考え方を内製開発組織として機能するよう翻訳し、対話やすり合わせを重ね定着を図っています。また、個別案件での課題や工夫をフェーズゲートの設定などを通じて抽象化・共有し、経験やスキルに依存しないシステム開発体制をめざしています。

■今後の展開についてもお聞かせください。

NTT東日本グループのSI事業を単なる個別案件の集合ではなく事業の柱へと発展させていくことをめざします。一部の経験者や個人の力量に頼るのではなく、組織として安定的かつ継続的に価値を提供できる体制へと成熟させ、「地域通信事業にとどまらない会社」という認識を社内外に定着していきます。そのために、得られた知見やノウハウを再利用可能なプロセスや判断基準で整理・蓄積し、NTT東日本デジタル革新本部へと展開、さらにはグループ全体のスタンダードとして根付かせていく考えです。Sler出身者の開発知見・プロジェクトマネジメントの経験とグループで培った業務理解や顧客・地域との信頼関係を掛け合わせ、システム開発の切り口からも地域課題の解決に貢献できるSI事業へと発展させていきます。

NTTイーアジア ア・ラ・カ・ル・ト

■現地に飛び込み信頼を積む——海外現場でのエピソード

海外とのやり取りが多いNTTイーアジアならではの日常を伺うことができました。東南アジアとの協業では時差に振り回され、現地出張中は定時前、国内にいるときは定時後の会議になりがちのこと。当初は昼食を取れないことも多々あったそうですが、気付けば体内時計が2つになった気分で、すっかり慣れてしまったとのことでした。

また、英語を共通言語とした会議ではまれに、合意したと思っていた内容が会議後に別の結論として出てくることもあるようです。言語だけでなく心理的な壁も影響しているとも感じており、会議後に食事を共にする機会を通じて相手の国の文化を知ることがもっとも重要だといいます。

ベトナムでは、度数の高いお酒や未知の料理を体験しながらパートナーとの関係性を深め、信頼を獲得し業務を円滑に進められるようになったそうです。さらに現地移動では、交通量の多い交差点を渡る際、途中で足を止めずに歩き続けることが重要だと言います。運転手が歩行者のスピードを考慮し運転しているため、この阿吽の呼吸を体得することが現地でのコミュニケーション向上にも通じているようです（写真2）。



写真2 ベトナムの交通事情

ネットワークデジタルツインを活用した ネットワークオペレーション業務への適用検討

本稿では、ネットワーク運用の高度化に向けたネットワークデジタルツイン(NDT)の活用について述べます。そして、通信シミュレーションにより学習データを生成し、AI(人工知能)による故障復旧や工事シナリオ作成を支援する手法を提案します。これにより、効率性・迅速性と品質の両立を実現するネットワーク運用基盤の可能性を示します。

はじめに

近年、業務のDX(デジタルトランスフォーメーション)化やシステムのクラウド移行の進展に伴い、通信ネットワークの重要性は一層高まっています。令和7年度通信白書においても、情報通信インフラは社会経済の基盤として不可欠性を増しており、その役割は継続的に拡大していると指摘されています。今後も生成AI(人工知能)をはじめとするAI技術の普及や分散コンピューティングの進展により、ネットワークのさらなる高度化と重要性の増大が見込まれています。

一方で、将来的な労働力不足やネットワーク用途の多様化・複雑化といった社会環境の変化も予想されています。このような環境下においても、社会インフラとして安定した通信品質を維持するためには、ネットワーク運用の効率化と高度化が不可欠です。

NTT西日本R&Dセンタでは、これらの課題解決に向けて「ネットワークデジタルツイン(Network Digital Twin: NDT)」の活用を検討しています。NDTをネットワーク運用に適用することで、オペレーションの効率化と高品質な通信サービスの提供の両立をめざします。

ネットワークデジタルツイン構想

一般にデジタルツインは、製造業などの分野において、設備や製品の状態をデジタル空間に再現する技術として活用されています。一方、通信ネットワークにおいては、トポロジ構成や装置状態に加え、トラフィック量や経路制御などが時間的に大きく変動するという特性があります。そ

のため、単にネットワーク構成を静的に再現するだけでは、実運用の課題検討には十分とはいえません。

本稿で扱うネットワークデジタルツインは、構成情報の再現に加え、運用操作やトラフィック変動を含む動的な振る舞いを再現可能とする点に特徴があります。これにより、設計・検証用途にとどまらず、運用フェーズも含めた包括的なネットワーク高度化を支援する基盤としての活用をめざしています。

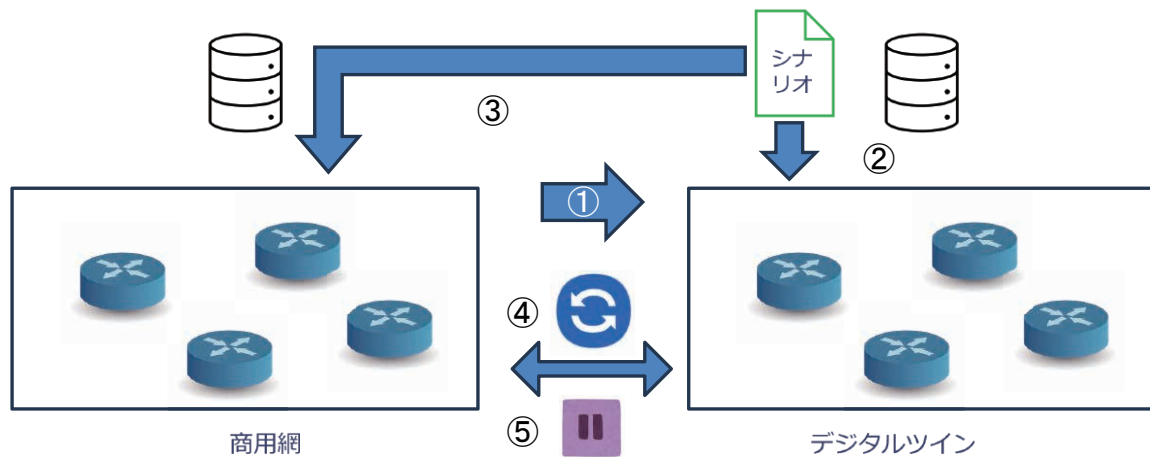
近年、生成AIを活用したネットワークの設計・構築・運用支援技術の研究開発が進展しています。しかしながら、多くの手法は過去のデータに基づく学習に依存しており、未知事象や複雑事象への対応には限界があります。また、ネットワーク構成や設定の変更に伴い再学習が必要になるなど、運用上の課題も存在します。

学習データ拡張の手法として、既存データの加工や実機検証によるデータ生成が考えられますが、ネットワークデータは多様かつ複雑であり加工は容易ではありません。また、実機検証では環境構築コストや運用負荷が大きく、効率性・即応性の観点で課題があります。

これらの課題に対し、NTT西日本R&Dセンタでは、通信シミュレーションを活用して学習データを生成する基盤としてNDTの活用を検討しています。主なユースケースとしては、「ネットワーク構成変更工事」と「ネットワーク運用」が挙げられます。

NDTを活用するために必要な主な機能は以下のとおりであることが知られています⁽¹⁾(図1)。

- ① 商用網構成のデジタル空間への再現
- ② 工事や運用操作がネットワークへ与える影響の事前検証



- ネットワーク構成変更の工事とネットワーク運用の両方にネットワークデジタルツインを活用するために、以下の機能が必要
- ① 商用網の構成（の一部）をデジタルツインにコピーする
 - ② 工事や操作によるユーザ通信に対する影響を、デジタルツイン上で確認できること
 - ③ デジタルツインで作成した工事シナリオを商用網で実行する（デジタルツインでの操作を商用網に反映する）
 - ④ 商用網の状態（故障状態、トラフィック）をリアルタイムにデジタルツインに反映するモードを持つ（監視モード）
 - ⑤ デジタルツインでの操作が商用網に影響を与えないようにネットワークデジタルツインを分離するモードを持つ（検証モード）
- 本施策では、デジタルツイン（ネットワークシミュレータ）をシナリオのデバッグ環境として用いる

図1 ネットワーク構成変更の工事とネットワーク運用の両方にネットワークデジタルツインを活用するために必要な機能

- ③ 自動化シナリオの実行および検証
- ④ 商用網状態のリアルタイム反映（監視・運用モード）
- ⑤ 商用網と分離した検証環境の提供（検証・デバッグモード）

NDTを商用ネットワーク運用へ適用するにあたっては、実網への影響を最小限に抑える設計が重要となります。本検討では、商用網とデジタルツイン環境を論理的に分離し、検証・デバッグ時の操作が商用環境へ波及しない構成を前提としています。また、商用網の状態をNDTへ反映する際には、リアルタイム性と運用負荷のバランスを考慮し、用途に応じた情報粒度や反映タイミングを設計しています。

これらの設計思想により、安全性を確保しつつ、運用に資する情報を柔軟に活用できるNDT環境の構築をめざしています。

特に検証・デバッグモードでは、AI未学習の故障パターンを意図的に再現し学習データを生成できるほか、AIが生成したコマンドや工事シナリオの事前検証が可能となります。これにより、生成AIのハルシネーションの影響を抑制しつつ、商用環境での安全なAI活用が期待されます。

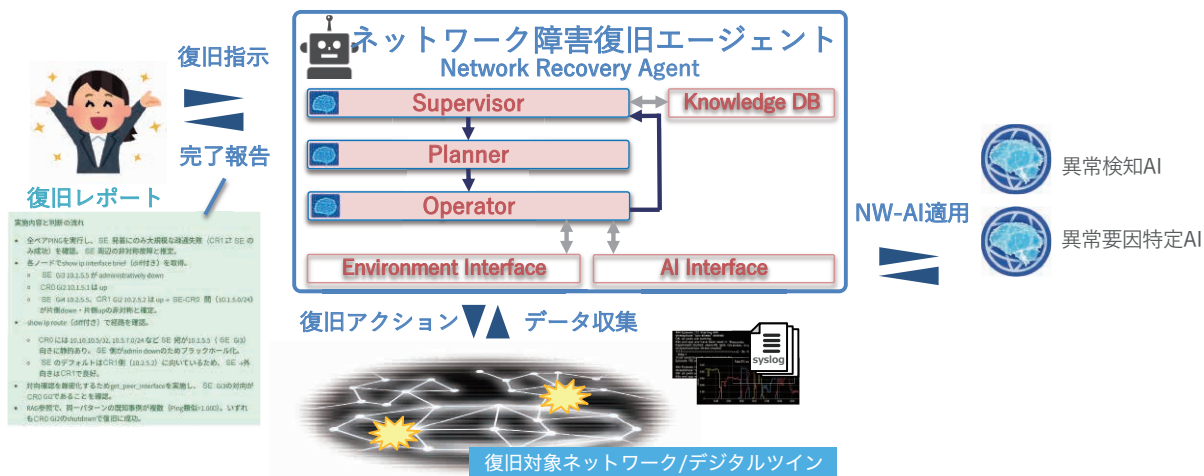
ネットワークデジタルツインの活用想定事例

■AIを活用した故障復旧

本取り組みでは、AIエージェントがネットワーク状況をリアルタイムに把握し、自律的に復旧処理を行うことでネットワーク運用の高度自動化をめざします（図2）。AIエージェントの開発はNTTネットワークサービスシステム研究所の持つネットワーク障害復旧エージェント技術を活用しています⁽²⁾。

従来、AIによる復旧にはKnowledge DBに十分な障害情報が必要ですが、実際には過去の障害履歴に依存しており、網羅性に課題がありました。そこで、NDT上で商用規模のネットワークを再現し、二重故障などの多様な障害パターンを網羅的に生成し、強化学習により復旧動作を学習させました。

今回NDTには、各ネットワーク装置のOSを仮想環境上に再現する方式、いわゆるエミュレータ型のNDTにてネットワークの再現を行いました。この方式では装置のソフトウェア挙動を高い忠実度で再現できる利点があります。この方式で実装することにより、論理的なネットワーク構成



- AIエージェントが次のアクションを考案し、リアルタイムなネットワークの情報収集や復旧作業を自ら判断して実行。サービスが復旧するまで、自律的に作業を進めます
- ネットワーク運用完全自動化の実現で、迅速なサービス回復をめざします

図2 ネットワーク障害復旧エージェントの機能詳細および復旧対象ネットワーク/デジタルツインとの関係性

を実環境と同等な環境を仮想的にシミュレーションすることができます。

その結果、バックアップ回線切替時のサイレント障害に対し、誤ってアクティブ状態となったインタフェースを特定・閉塞することで復旧するなど、複数の障害パターンにおいて自律復旧を確認しました。

一方で、スケーラビリティの課題が顕在化してきました。それは論理的な構成を完全再現するために、ノード数が増加する度に接続する対応装置も爆発的に増加するため、必要な計算資源やライセンスコストが増大することに起因します。実際、ノード数増加に伴い学習時間は急激に増大し、60ノード規模では理論上極めて長時間を要する結果となりました。今後は本技術が対応可能な業務領域を見極めていくと同時に、大規模なネットワークにも適用可能な別のシミュレーション手法も含め検討し、ネットワークの規模やユースケースに応じ適切な手法を選択していく必要があると考えています。

ネットワーク運用におけるAI活用においては、初期段階から完全自律をめざすのではなく、人とAIの役割分担を前提とした段階的な自動化が現実的であると考えています。具体的には、故障要因の候補抽出や復旧手順案の提示と

いった判断支援をAIが担い、最終的な実行判断は人が行う運用モデルです。

NDTを活用することで、AIが提示する判断根拠となる情報を網羅的かつ事前に検証可能となり、運用者の意思決定を高度に支援することができるようになります。

今後は、小規模ドメインへの適用から実用化を進めるとともに、スケーラビリティ課題の解決に向けた検討を継続します。

■工事シナリオのデバック環境検討について

ネットワーク工事においては、自動化ツールの活用が進展していますが、その実行に必要な工事シナリオの作成には自動化プログラムの検討やコーディング、その動作検証等に稼働がかかり、自動化ツールによる効率化の効果を圧縮、場合によってはむしろ導入前に比べて稼働増となるケースもあります。

本取り組みでは、AIエージェントが工事シナリオを生成し、NDT上でデバックおよび検証を行う仕組みを検討しています(図3)。

具体的には、AIが生成したシナリオを直接商用環境に適用するのではなく、まずNDT上で実行し、期待どおりの動作となるかを検証します。結果が不十分な場合は、その

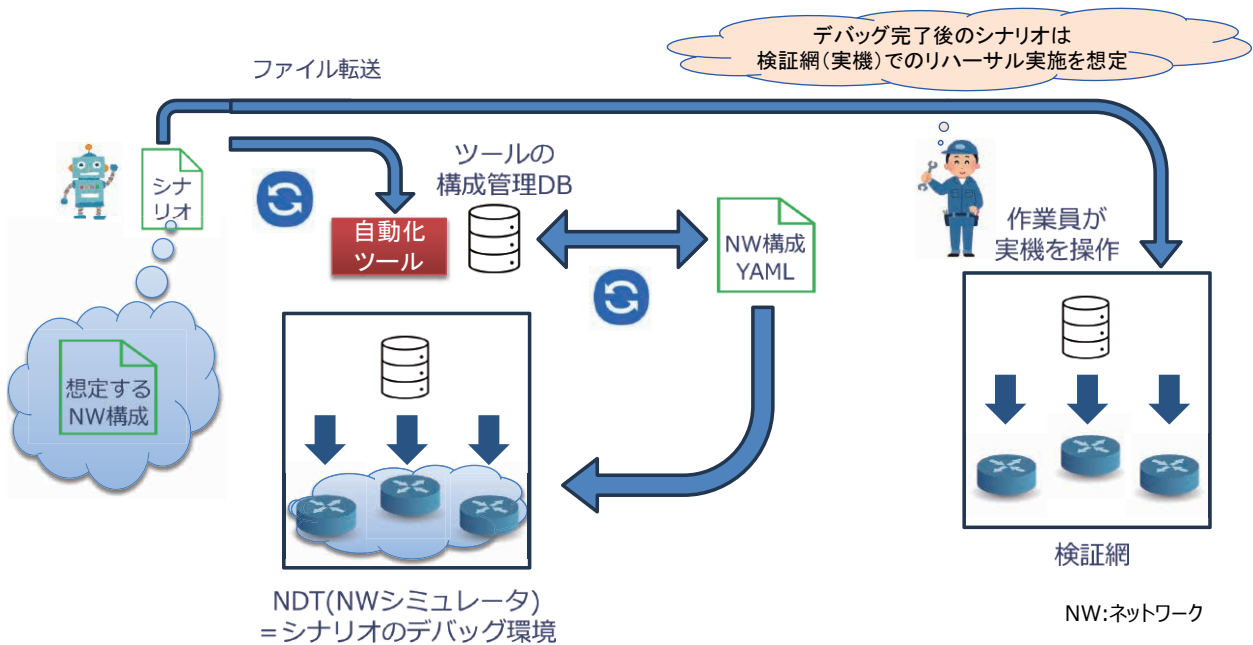


図3 AIエージェントが作成した自動化シナリオをデバッグするための環境構成

情報をフィードバックし再生成を行います。このサイクルを繰り返すことで、シナリオの品質を向上させます。

さらに、検証済みシナリオを実機検証環境で確認したうえで商用適用することで、効率性・迅速性・品質を損なうことなく、ネットワーク工事の高度化が可能となります。

今後の展望

本取り組みの一部は、NTT西日本R&Dフォーラムにおいて展示を行いました。展示では、ネットワークデジタルツイン環境を用いた故障復旧支援や工事シナリオ検証のコンセプトを紹介し、運用担当者や技術者から多くの意見を得ることができました。特に、商用網に直接影響を与えずに事前検証ができる点や、AI活用時の安全性を担保できる点について高い関心が寄せられました。

一方で、大規模ネットワークへの適用時の計算コストや、運用フローへの組み込み方法など、実用化に向けた課題も明確になりました。これらの知見を踏まえ、今後の技術検証や検討を進めていきます。

従来、ネットワーク運用においては効率性・迅速性の向上と品質の確保はトレードオフの関係にあり、適切なバラ

ンス設計が求められてきました。

しかしながら、AIおよびNDTの活用により、これまでリソース制約から省略されていた検証や、机上検討に頼っていた項目を実環境に近いかたちで検証可能となります。これにより、従来は困難であった網羅的な検証やデータ取得が実現できます。

すなわち、NDTは物理的・時間的制約を解消し、ネットワーク運用における効率性・迅速性と品質向上の両立を可能とする基盤技術として期待されます。

今後は、実運用への適用を見据えた技術検証および課題解決を進め、次世代ネットワーク運用基盤の確立をめざします。

■参考文献

- (1) 清水・池内・高橋・岡部：“通信ネットワークのデジタルツインの取組事例,” 人工知能, Vol.40, No.4, pp.482-489, 2025.
- (2) <https://www.rd.ntt/forum/2025/doc/C14-j.pdf>

◆問い合わせ先

NTT西日本
デジタル革新本部 技術革新部
R&Dセンタ 技術方式担当