

# NTT

# 技術ジャーナル

12 DECEMBER  
2023  
Vol.35 No.12

特集

IOWN Global Forumの最新動向

5G SA方式におけるコアネットワーク技術概要と  
無線基地局装置の開発

トップインタビュー

塚野 英博

NTTイノベティブデバイス 代表取締役社長

グループ企業探訪

NTTデータユニバーシティ

from NTTフィールドテクノ

社会インフラ設備の管理省力化に向けたNTTフィールドテクノの取り組みについて



4 トップインタビュー

**止まった瞬間に退化する. だから, 走り続ける.  
成功体験を積み上げて, 「やればできる」を  
醸成する**

**塚野 英博**

NTTインベティブデバイス 代表取締役社長



8 特集1

**IOWN Global Forumの最新動向**

- 10 IOWN Global Forumの最新動向
- 15 Open APNの詳細化, 実用化に向けた取り組み
- 20 IOWN for Mobile Network の技術検討
- 25 IOWN Data Hubの実現に向けた取り組み
- 30 IOWN Global Forum が推進するDCIのアーキテクチャについて



36 特集2

**5G SA方式におけるコアネットワーク技術概要と  
無線基地局装置の開発**

- 38 5G SA方式を実現する5Gコアネットワーク技術概要
- 41 5G SA方式での音声通話を実現するコアネットワーク技術概要
- 45 5G SA方式に対応した無線基地局装置の開発

For the Future

- 49 **5Gで変わる世界の通信業界:  
新たなプレイヤー, 新たな通信ネットワークの姿—後編—**

57 挑戦する研究者たち

村木 康二

NTT物性科学基礎研究所 上席特別研究員

理論の予言から20年以上検証されていなかった現象を初めて実験で示す



特集

61 挑戦する研究開発者たち

川邊 隆伸

ジャパン・インフラ・ウェイマーク 開発部 サービス開発担当 担当課長

成長し続けるAI解析プラットフォーム  
「Waymark cloud -PQRS-」が設備点検業務を支援



For the Future

特別企画

65 明日のトップランナー

斎藤 忍

NTTコンピュータ&データサイエンス研究所 特別研究員

ソフトウェアのゴミを削減し、持続可能なIT社会を実現する  
「ソフトウェアデジタルツイン」



挑戦する研究者たち

69 グループ企業探訪

株式会社NTTデータユニバーシティ

お客さまの「人材育成パートナー」として、未来を創る  
組織開発・人材育成への道をお客さまとともに楽しく走りたい



挑戦する研究開発者たち

73 from NTTフィールドテクノ

社会インフラ設備の管理省力化に向けた  
NTTフィールドテクノの取り組みについて

明日のトップランナー

76 Webサイト オリジナル記事の紹介

1月号予定

編集後記

77 総目次

グループ企業探訪

本誌掲載内容についてのご意見、ご要望、お問い合わせ先

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

本誌ご購入のお申し込み、お問い合わせ先

日本電信電話株式会社 電気通信協会 ブックセンター  
TEL (03)3288-0611 FAX (03)3288-0615  
ホームページ http://www.tta.or.jp/

NTT技術ジャーナルは  
Webで閲覧できます。

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



from  
NTTフィールドテクノ

NTTイノベティブデバイス  
代表取締役社長

## 塚野 英博 Hidehiro Tsukano

### PROFILE

1981年富士通株式会社入社。半導体を中心に調達部門に従事。2001年同社経営戦略室長。2017年同社代表取締役副社長/CFO、CHO/CSOを歴任し、社長補佐として全部門を管掌。2019年同社副会長。2020年NTTアドバンステクノロジー顧問、およびNTT研究企画部門シニアアドバイザー、2021年NTT IOWN総合イノベーションセンタ長、2023年8月より現職。



# 止まった瞬間に退化する。だから、走り続ける。 成功体験を積み上げて、「やればできる」を醸成する

光電融合デバイスの設計開発、製造、販売等の機能をフルスコープで備える専門メーカーとして歩み始めたNTTイノベティブデバイス。IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想の基幹インフラを構成する各種装置の核となる戦略デバイスを設計開発、製造することで、IOWN構想が提案している光を中心とした革新的な技術による高速大容量通信がもたらす電力削減など持続可能な社会の実現による社会貢献を追求する塚野英博NTTイノベティブデバイス代表取締役社長に、事業の内容とトップとしての心構えを伺いました。

### 光電融合デバイスの設計開発、製造、販売等の機能をフルスコープで備える専門メーカー

会社設立、そして社長就任おめでとうございます。NTT IOWN総合イノベーションセンタ長と同時に新会社の代表取締役社長も担われるのですね。

2021年にNTT IOWN総合イノベーションセンタ長に就任以来、研究者とのディスカッションや研究成果の報告等とおして、NTT R&Dの持つパワーと、IOWN総合イノベーションセンタの持つミッションの重要性を実感しました。そして、IOWN総合イノベーションセンタ設立当時は、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想が発表された2年後で、IOWNの実現に向けて具体的に動き出した時期でもありました。2023年8月に既存の事業会社であったNTTエレクトロニクスと統合した新会社、NTTイノベティブデバイスを設立し、そのトップとして、

IOWNの核となる光電融合デバイスの開発、製品化というかたちでIOWNを実現していく立場も担うことの重責を、現実のものとして改めて実感しました。

プロダクトの提供に向けて、2年以内に関連技術やプロセスを整理整頓し、プロセスのパイプラインを整流化し、環境を整えてプロダクトとして製造していくことに努めていますが、スピード感覚的にはその効果を3年目にビジネスとして享受できたらいいと考えています。

33万人の社員、売上高13兆円のNTTグループにおいて、私たちは1100人の社員、連結売上高443億円のデバイス事業会社で、製造部門を有するという事業形態をみても、ある意味で非常に特異な位置付けにある会社です。

### NTTイノベティブデバイスの具体的な事業内容とビジョンをお聞かせいただけますか。

私たちは光電融合デバイスの設計開発、

製造、販売等の機能をフルスコープで備える専門メーカーです。前身のNTTエレクトロニクスでは、お客さまにコヒーレントDSP (デジタルシグナルプロセッサ)・光送受信デバイス等の中長距離光伝送向け中核部品を提供する事業で、通信キャリアを中心とする中長距離通信領域が主な最終顧客市場でした。そこでは、LSIの微細加工技術を利用してシリコン基板上に光デバイスを作製する技術、このデバイスと中長距離光伝送向けのデジタルコヒーレント用のデバイスを一体化して同一パッケージに収める技術により製品が製造されてきました。

そして、NTTイノベティブデバイスとなり、新たな市場と考えるコンピューティング領域に商品拡大を図りたいと考えています。従来の中長距離光伝送領域においても、より一層の大容量・長距離光伝送の実現に向けて進化を続けるとともに、中長期的に大容量伝送を追求しつつ、低消費電力近距離光伝送商品の開発を加速しています。その最初のお披露目の場として、2025年の



大阪・関西万博を予定しています。

そして、中期的には、光電融合デバイスを筐体のエッジからボードのエッジへの実装をめざし、データセンタ内のクラスタ、サーバ・ストレージ間等の大容量・近距離光伝送領域に取り組みます。長期的には光電融合デバイスとして、LSIと光デバイスを同一基板上に形成することで小型・薄型化されたチップレット化を図り、システムボードのエッジからボード上の半導体パッケージのエッジへの実装導入を進め、さらに、半導体パッケージ内のシリコンダイのエッジへの実装導入によって、チップレットがより多くのxPU等ロジックLSIのパッケージ内に内蔵される市場創出をめざします。将来には、さまざまな領域で光チップレットの導入が進み、2050年には95億人と推定される世界中の人々が、低消費電力・低遅延・大伝送容量等の光の力の恩恵を享受できるようにしたいと考えています。

### IOWN構想の基幹インフラを構築するための戦略デバイスを担う

明確なビジョンを描かれているのですね。具体的にどのようなミッションを担われるのですか。また、ビジネスインパクトについてもお聞かせください。

「IOWN構想の基幹インフラを構築するための戦略デバイスを担い、NTTグルー

プが掲げる電力削減による持続可能な社会の実現による社会への貢献の追求」をミッションに掲げました。

まず、IOWN構想そのものは膨大な領域をカバーしているビジョンです。この構想は4層構造となっています。第1層はデバイスで、その上の第2層にデバイスを使ってIOWNの世界を実現するための基幹インフラの要素を創ります。これはいわゆるカード等の「ボックス」系です。さらにその上の第3層にネットワークアプリケーションがあり、さらにその上の最上層、第4層に、外部のお客さまに対してのソリューションサービスや付加価値を提供するビジネスがあります。

私たちのミッションであり、一番のねらいは、最終的に第4層の価値を大きくしていくことです。そのためには、最下層のデバイスを使ったパフォーマンスを上げて、大容量伝送を追求しつつ、低消費電力近距離光伝送商品の開発を加速することが重要です。

では、期待感、ビジネスへのインパクトはどうでしょうか。売上高においてめざしているのは「4桁」億円です。NTTエレクトロニクスの連結売上高が400億円超ですから、まずはその2倍のレンジが最初のハードルだろうと見込んでいます。この目標をどれだけ早く実現できるかは商品開発をどれだけ加速できるかにかかってくるから、

私たちはここに必死に取り組んでいるのです。

「4桁」億円の実現が待ち遠しいですね。ミッションを実現するための具体的な戦略をお聞かせください。

光電融合デバイスが超小型・薄型チップレット化するという事は、構造的にモジュールから半導体に近くなることです。このことから、私たちのダイレクトなお客さまはこの半導体を利用するメーカーともいえます。国内はもとより、主戦場になっている1つは北米、次が欧州、中でも一番進んでいるのはフランスで、アジアにもアクセスしています。

まず、この市場で勝ち抜いていくため、より広範なコンピューティング領域に光電融合チップレットの導入をめざしていくことですが、それには1にも2にも物量がないと成り立ちません。そのためにも、量産技術の確立による物量供給力とコストダウンを進めていく必要があります。

では、この市場におけるポジショニングについてはどうでしょうか。技術面において、私たちの製品はこれまでNTT R&Dが20~30年あまり蓄積してきた光関連技術の研究開発をベースにしていますから、他のプレイヤーと比較しても、私たちはリーディングエッジにいます。ただし、最先端の技術を持っている、あるいは最先端の商

品知識は優れていても、研究成果の技術移転をベースとした会社なので、ある意味仕方がない部分もありますが、「プロダクトアウト」的な展開である以上、事業的な考え方に関しては競合他社と比較して、その販売力を含めて明らかに劣勢であると実感しています。一言でいえば、NTTインノベティブデバイスの事業を、「商売」の視点でとらえ直し、「マーケットイン」の発想で展開したいのです。このため、現在、すべてのオペレーションを私の富士通時代26年間の経験を活かして、徹底的に「商売」の観点から見直し、各責任者にダイレクトで指示しています。

これまで研究所でつくられた技術やアイデアが、開発のフェーズに入って、グループの事業会社に提供され、サービスやプロダクトとして「商売」の観点から眺めたときに、市場ニーズへの適合やコスト削減などを目的に調整したいと思っても、製造部門を有していないために、提供された技術やアイデアを変更して市場投入することはできませんでした。NTTインノベティブデバイスには製造部門があるので、バックキャストする最終地点を「商売」にして、各地点で議論をし、製品を仕立てていく流れをつくることで、NTTエレクトロニクス時代から繰り広げられてきた「商習慣」を相当改善できると考えています。

## マーケットインの視点で従来の事業プロセスを見直す

これまでとはプレゼンス自体も大きく変えようですね。ところで、冒頭で2年以内に整理整頓、整流化とお話がありました。この時間軸にはどんな意味があるのでしょうか。

前職の富士通在職中、そしてIOWN総合イノベーションセンタ長として蓄積してきた知識や経験に基づいた信念を、NTTインノベティブデバイスに少しでも早く、深く埋め込んでいきたいと考えています。1年で変革できることは変革して、2年目からその効果を享受できるようにしたいと考えました。とはいえ、状況的には、私1人で1100人の社員にインプリンティングするわけですが、習慣となっているプロダクトアウト手法をマーケットインの考え方に、どれくらいのスピードで変革できるかは分かりません。

習慣となっているものを変革するというには大きなエネルギーを使うので、その結果、1年後、私は信念を埋め込んでいくことに疲れてしまっているのではないかと考えることがあります。人間誰しも、甘えがありますよね。諦めてしまいそうな自分への恐怖心もあるのです。だから、短期決戦でやるしかない、2年レンジで構造改

革、3年目で目視できる結果を出したいですね。これはある種の自己評価ともいえます。とにかく実行しないことには何も始まらないので、会社を設立した8月1日以降に信念を伝え始めて、9月末時点で95%は思い描いた姿になりました。恐ろしく速いですよ。このようにNTTインノベティブデバイスの立ち位置が変化したという実感を持たせたこと、やればできるという成功体験を積み上げていくことは非常に重要であると考えています。とはいえ、すべてが順調に運ぶことはなく、時には「糠に釘」ならず、「水に釘」という場合も無きにしも非ずです。そのような状態からの脱却において、あまり時間はかけたくはないのですが、粘り強く努めていくしかないのではと思います。とにかく変革に向けて一生懸命、追い詰めていきたいですね。

私がこんなふうには仕事に駆り立てられるのは、止まった瞬間に退化すると感じるからなのです。好きなことを自分のスピードで貫いていきたいし、世の中に置いていかれたくないのです。

最後に、トップとはどんな存在か、どうあるべきか、ありたいかを教えていただけますでしょうか。そして、研究所やお客さま等へのメッセージもお願いします。

単純に言ってしまうえば、トップの後ろには誰もいません。責任を取るのが社長です。良いことも悪いことも含めて、ビジネス上に起こり得ることは社長という自分の責任です。また、ある意味でトップは孤独な存在です。トップから社員に「変えよう、こうしよう」と声をかけなければ、このままでもいいと思っている人たちは変わりません。組織の大きさや社会的責任も会社によってそれぞれだと思いますが、社長業という見方をすれば、その本質は同じ存在ではないでしょうか。つまり、自分の責任と名前を判断しなくてはいけないのがトップです。選択をできるだけ迅速にして、決断するべきでしょう。

私は、NTTインノベティブデバイスはNTTグループの一員であるというセーフティネットを当てにしているとはいえないと考えています。NTTインノベティブデバイスを独立したデバイスカンパニーとして生きていけるようなマインドセットを構築





していきたいのです。

ご存じのとおり、第5世代の製品を発表する2032年までのロードマップがNTTから公表されました。公表は、NTTの自信の表れでもありますが、それにより、材料やサービス等について話を聞きたいと各社が集まってくださいました。また、公表を通じてエコシステムが出来上がってきていますし、競合他社の反応もみられ、マーケットの潮目を読むこともできました。

冒頭でも申し上げたとおり、2025年にNTTイノベティブデバイスの第3世代

の製品を公表する予定です。NTT R & Dで手掛けていることは幅広く、さまざまなところに目利きがあります。私たちが、シャープペンシルの芯を3回ノックして送り出すように、プロセスのパイプラインを整流化したことで、優れた技術や商品を社会に送り出すタイミングを世代当り、3、4年分くらいの時間を稼ぎました。

お客さまやパートナーの皆様には、明確に示した目標をご確認いただき、材料やサービス等にどうエンゲージしたいか、していけるかをどんどん持ち込んでいただきたい

と考えています。バリューチェーンもサプライチェーンも誰かが1人で勝手にやって成り立つものではありません。従来はクモの糸のように細くて長かったチェーンを共に太く、堅牢で、柔軟なものにしていきたいと考えています。

(インタビュー：外川智恵/撮影：大野真也)

## インタビューを終えて

塚野社長との2年ぶりの再会が叶った今回は、品川にある真新しいオープンスペースがインタビュー会場となりました。凝らされたデザインのデスクやチェアも目的に応じて自由にレイアウトできるスペースで、ここからどんな素晴らしい未来が生まれるのだろうと期待の高まる空間です。

そんな希望に満ちた空間に颯爽と登場されたダークブルーのスーツに遊び心も感じられるネクタイの塚野社長。笑顔でお迎えくださいました。再会を喜び「お元気でしたか？」と声をかけると、目を細めて「ボロボロですよ」とおっしゃいます。足取りの力強さからは全く想像がつきませんでし

たが、お話を伺っていくと次から次へとビジョンや目標が飛び出して、先の先まで見通し、細やかに対応されているご様子です。週末もお仕事から離れられないこともあるとおっしゃる塚野社長。「ボロボロ」とは日々のお仕事がいかにハードで、日々挑んでいらっしゃるかを表す言葉なのだと感じました。

「最近（スポーツカーで）走る距離が長くなりましたね。そして、農業のまねごととは続けています。ある意味で二重人格のようなストレス解消ですね」と、塚野社長らしいユニークな表現で、人生の機微やビジネスパーソンとしての緩急のバランスを教えていただいたひと時でした。



# IOWN Global Forumの最新動向

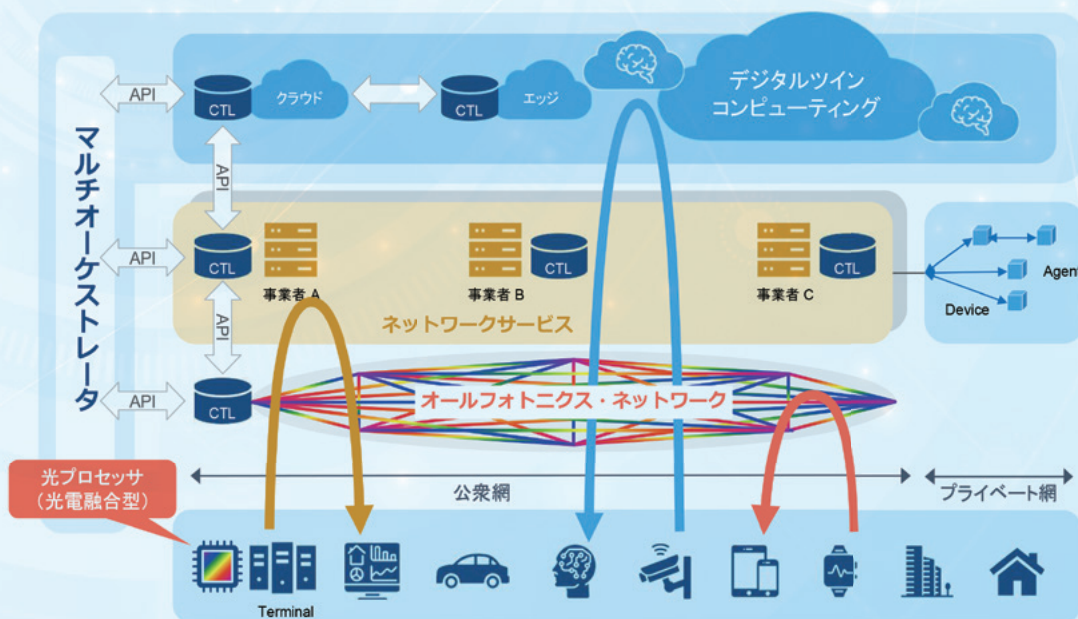
設立から4年目となるIOWN Global Forumは、「Vision to Reality」として、社会実装に向けてさまざまな取り組みを展開している。

本特集では、IOWN(Innovative Optical and Wireless Network)構想実現のためにIOWN Global Forumでさまざまな企業にフィードバックをもらいながらグローバルパートナーと推進してきた取り組みを総括して紹介する。

## IOWN Global Forumの最新動向

10

IOWN Global Forumの最新の活動状況、およびその成果であるPoC (Proof of Concept) リファレンス文書、リファレンス実装モデル文書について紹介する。





IOWN

Open APN

PoC リファレンス

仮想データレイク

データセントリック

## Open APNの詳細化, 実用化に向けた取り組み ————— 15

アーキテクチャ文書である「Open APN Functional Architecture Release 1」を発行してからのOpen APNの詳細化, 実用化に向けた取り組みについて紹介する.

## IOWN for Mobile Networkの技術検討 ————— 20

IOWN for Mobile Network Task Forceのこれまでの活動について, グローバルベンダ, および通信キャリアなどと議論してきたトピックを中心に紹介する.

## IOWN Data Hubの実現に向けた取り組み ————— 25

IOWN Global Forum におけるストレージサービスの検討の進捗ならびにNTT研究所におけるIOWN Data Hubに関連する取り組みについて紹介する.

## IOWN Global Forum が推進するDCIのアーキテクチャについて — 30

IOWN Global Forumが定義するData Centric Infrastructure (DCI) のアーキテクチャを解説し, 今のICT基盤が抱えるスケーラビリティ, パフォーマンス, 低消費電力の課題に対するDCIの優位性について紹介する.



# IOWN Global Forumの最新動向

スマートワールドの実現に向け、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想では超大容量、超低遅延、超低消費電力を実現する次世代コミュニケーション基盤をめざしています。IOWN Global Forumは、グローバルなメンバ企業と共同でIOWNの技術アーキテクチャおよびユースケースを策定し、PoC (Proof of Concept)、実装検証を進めてきました。本稿では、IOWN Global Forumの最新の活動状況およびその成果であるPoCリファレンス文書、リファレンス実装モデル文書について紹介します。

キーワード：#IOWN, #Global Forum, #ネットワーク

たしま よしたけ  
田島 佳武  
あらがね ようすけ  
荒金 陽助

NTT 研究企画部門

## IOWN構想とIOWN Global Forum

NTTは、2019年5月に、サステナブルで豊かなスマートワールドの実現に向けて現在の限界を打破し、超大容量、超低遅延、超低消費電力なインフラを実現するIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想を提唱し、2030年までに電力効率を100倍、伝送容量を125倍、エンド・エンドの低遅延性能を200倍にする目標を掲げて研究開発を進めています。しかし、これには情報処理、コミュニケーション、ネットワーク基盤の大きな転換が必要となり、多くの革新的な技術を創造し、

組み合わせることが必要となるため、NTTグループのみで実現できることではありません。そこで、2020年1月に、インテルコーポレーション、ソニー株式会社、NTTの3社で、コミュニケーションの未来をめざした国際的な非営利団体「IOWN Global Forum」を設立しました。それからまもなく4年となるようとしています。IOWN Global Forumは、上記の目標に向けて、革新的な技術フレームワーク、技術仕様、リファレンスアーキテクチャの開発等を進め、新たなコミュニケーション基盤、IOWNの実現を推進してきました。図1にIOWN全体の技術構成を示します<sup>(1)</sup>。まずネットワークとして、確定的な転送レ

ト、遅延での通信を可能とするOpen All-Photonic Network (Open APN) を構成しています。そのうえで、「Data Centric Infrastructure (DCI)」という、データの転送とアクセラレータでの処理を効率的に行うアーキテクチャを策定しています。遠隔に離れた2つのDCIがAPNを活用して高速低遅延にデータを転送し、複数の分散されたデータセンタをAPNで結合し、仮想的に1つの大きなデータセンタとすることも可能にします。さらにこれを活用し、分散アーキテクチャのデータベース・ストレージをクラスタ内で分散させながら、スケラブルで高可用なデータベース・ストレージを実現する「IOWN Data Hub

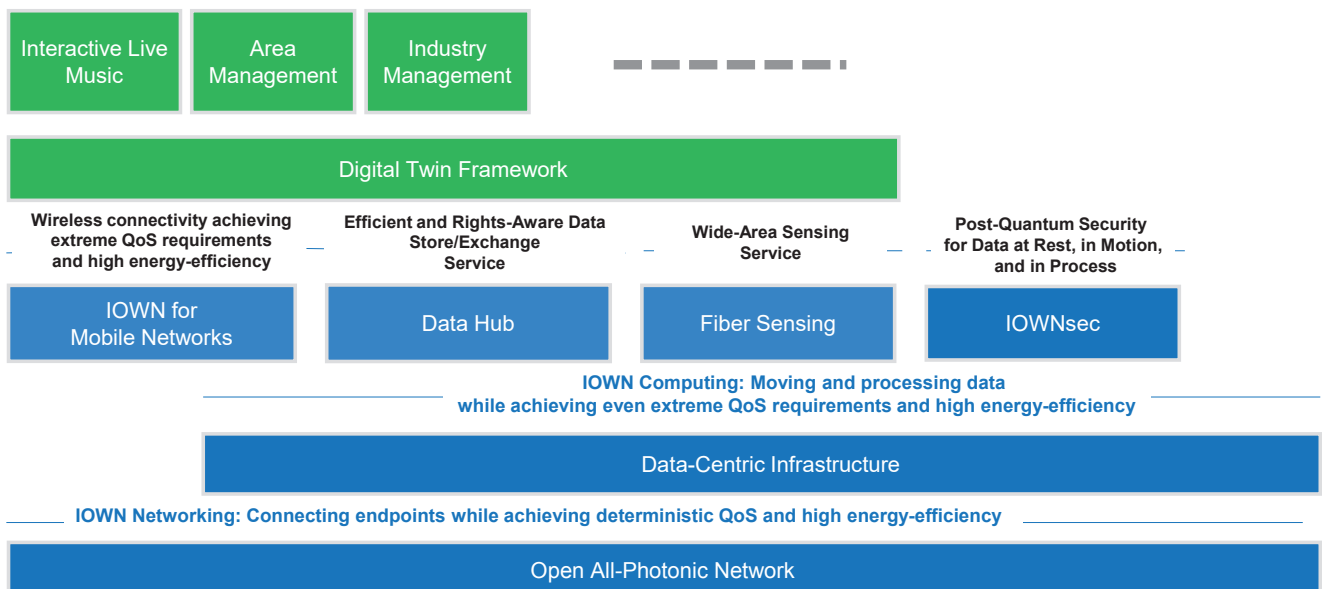


図1 IOWNの技術構成

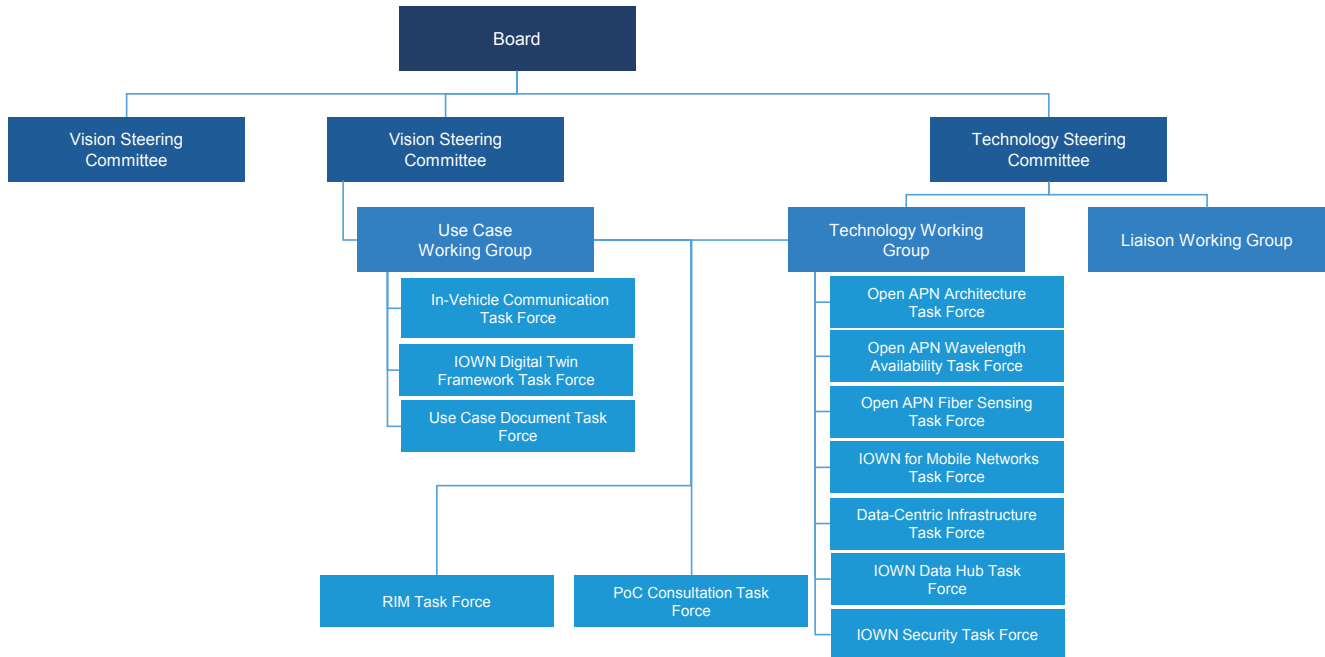


図2 IOWN Global Forum 組織構成

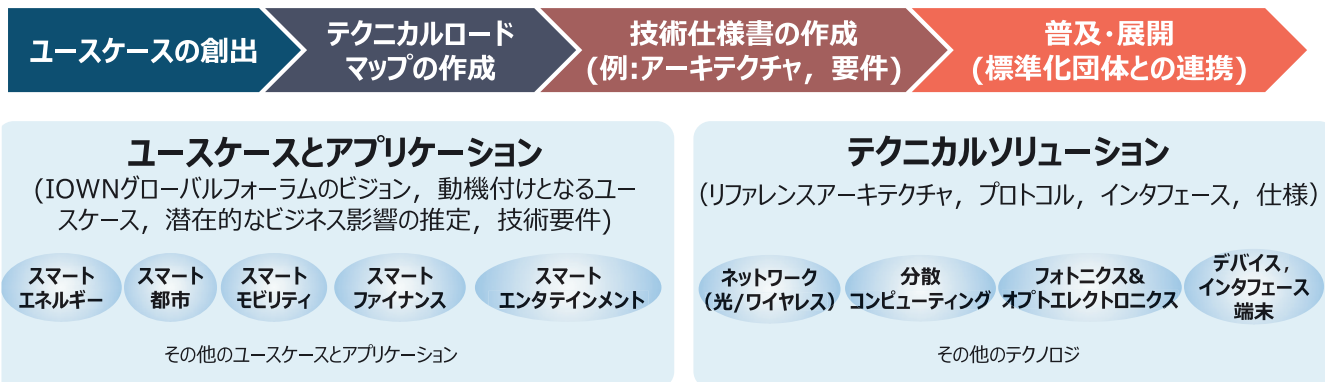


図3 IOWN Global Forumの活動

(IDH)」を策定しています。そのうえで、さまざまなユースケースを実現していき、現実世界のさまざまな対象をデジタル化したデジタルツインを、それぞれ連携させたデジタルツインコンピューティングを実現し、現実世界へとフィードバックすることでスマートな世界を創出します。

IOWN Global Forumの活動の特徴は、実現すべきスマートな世界を、より具体的に描き、具体的に実現していくために、テクノロジーの検討だけでなくユースケースの検討にも取り組んでいることです。そのため、Use CaseとTechnologyの2つのWorking Group (WG) を設置しています (図2)。Use Case WGではスマート

な世界のビジョンに沿ったアプリケーションの具体化、潜在的なビジネス影響の推定、技術要件を議論し、Technology WGでは、テクニカルソリューションとして、リファレンスアーキテクチャ、プロトコル、インタフェース、仕様を議論し、両者が相互に連携して活動しています (図3)。

IOWN Global Forumは、これまで約1年半ごとの期間を1つのフェーズとしてロードマップを策定し、活動してきました。最初のフェーズ1 (2022年1月まで) は、“Direction and Plan Definition”として、ビジョンの策定、主なユースケースの策定、技術的な基礎フレームワークと検討課題の策定等を行いました。次のフェーズ2 (2023

年7月まで) は、“Acceleration toward Vision 2030/Use Case realization”として、ビジョン、ユースケース、アーキテクチャのアップデートを行うとともに、技術仕様の策定、実装モデルリファレンスの策定、PoC (Proof of Concept) 活動を行ってきました。現在、フェーズ3 “Preparation of Real World Deployment and Business Impact”として、IOWN実現に向けた取り組みを加速させようとしています (図4)。

本稿では、最近のIOWN Global Forumの主な取り組みとしてフェーズ2の成果と、組織や活動の状況、今後に向けた取り組みなどを紹介します。

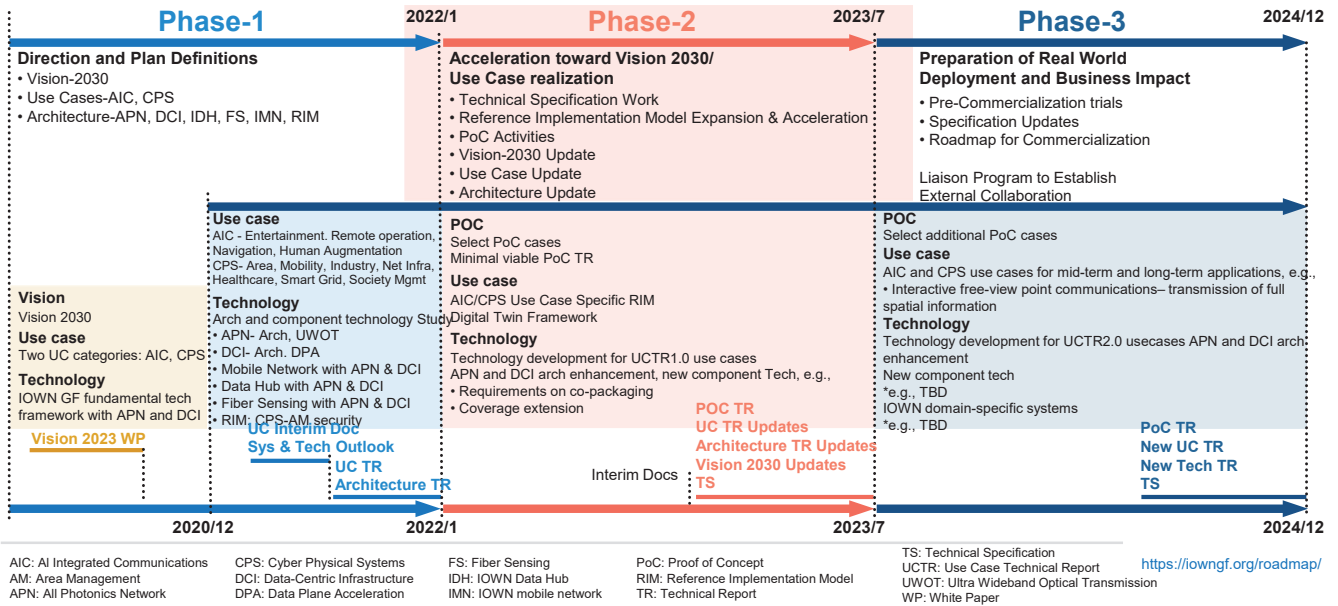


図4 IOWN Global Forum活動ロードマップ

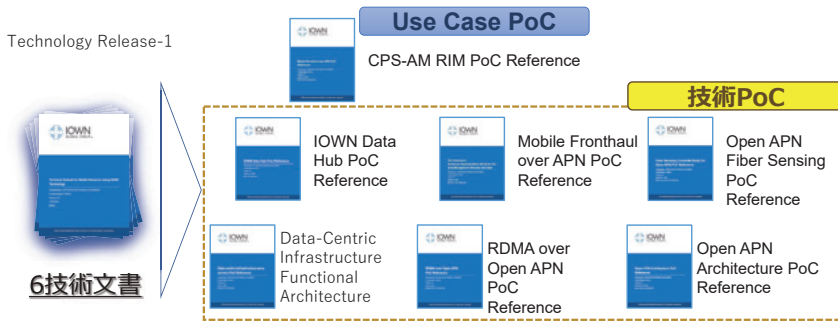


図5 PoC リファレンス文書 7件の公開

## フェーズ2の取り組みと主な成果

### ■PoCリファレンス

フェーズ1では、主要な技術要素として、Open APN, DCI, IDH等のアーキテクチャの検討を行い、6つの技術文書を2022年1月に発表しました。

フェーズ2の主な取り組みは、フェーズ1成果のアーキテクチャをベースとして、実装を具体化し、PoCを進めることです。PoC活動を促進し、技術的実証だけでなく市場への展開と関係者の連携を推進するために、各技術テーマにおいてリファレンスとなるユースケースや、主要技術に求められる特徴や評価観点等をまとめたPoCリファレンス文書をまとめ、2022年11月までに以下の7件について発表しました(図5)。

- ① Open APN Architecture PoC Reference

- ② RDMA over Open APN PoC Reference
  - ③ Data-centric-infrastructure-as-a-service PoC Reference
  - ④ Mobile Fronthaul over APN PoC Reference
  - ⑤ IOWN Data Hub PoC Reference
  - ⑥ Fiber Sensing Crosstalk Study for Open APN PoC Reference
  - ⑦ PoC Reference : Reference Implementation Model for the Area Management Security Use Case
- ここでは、本特集の各記事で解説する主なPoCリファレンス文書を紹介します。

Open APN Architectureは、確定的な転送レート、遅延での通信を可能とするAPNをマルチベンダで構築するためのオープンアーキテクチャです。①のPoCリファレンスでは、動的な光パス設計やオープン

インタフェース、マルチベンダ環境のサポート等について示されています。

また、④Mobile Fronthaul over APN PoCリファレンスでは、Open APNをモバイルフロントホールに適用し、モバイルネットワーク事業者がOpen APNを具体的に活用できるようにインタフェースの要件や動的パス切り替え等について示されています。

次に、IDHは、厳しい要件を満たすために階層的に分散させたデータベース・ストレージのアーキテクチャです。⑤のPoCリファレンスでは、IDHを適用するスマートファクトリー、スマートグリッド、メタバースのシナリオを示し、実装の構成と評価等について示しています。

さらに、DCIは、アクセラレータ等のデータ処理モジュールにネットワークインタフェースを備え、データ転送を効率化するアーキテクチャです。遠隔に離れた2つのDCIがAPNを活用して高速低遅延にデータを転送することを可能とし、複数のDCIがITリソースを共有することが可能となります。③のPoCリファレンスでは、エリアマネジメント、VRAN、ディスアグリゲートされたIDH等のユースケースを示し、PoCの実装と評価について示しています。

### ■リファレンス実装モデル

また、有望なユースケースについては、リファレンス実装モデル (Reference Im-

## アジア・米州・欧州を含む 130組織・団体が参画 ※2023年9月時点

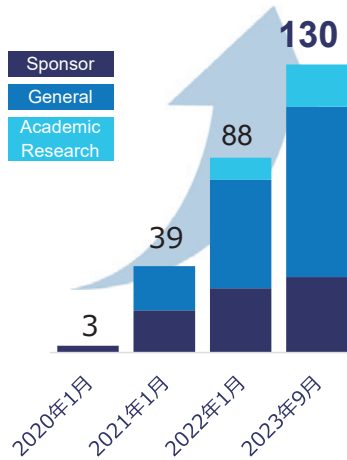


図6 IOWN Global Forum 加入団体数の推移

plementation Model : RIM) を策定しています。ユースケースごとの特性に配慮しながらフルスタックでエンジニアリングすることが重要であり、全体の実装のベストプラクティスを示しています。現時点で、以下の3件を発表しています。

- ① RIM for the Interactive Live Music Entertainment Use Case
- ② RIM for the Area Management Security Use Case
- ③ RIM for the Remote-Controlled Robotic Inspection Use Case

Interactive Live Music Entertainment は、AI-Integrated Communication の1つとして示されているユースケースで、アーティストのリアルタイムな演奏をボリュメトリックビデオやオーディオで配信し、聴衆の反応をバーチャル空間に反映するユースケースです。①のRIM文書では、これらのユースケースで構成要素となるデバイスの技術仕様やシステムの機能要件等を示して、全体構成の実装のガイドラインを示しています。

また、Area Management Securityは、Cyber-Physical Systemの1つとして示されているユースケースで、Open APN, DCI, IDH等を適用し、都市のエリアや施設において多数のカメラを導入して、防犯、安全確保を実現するユースケースです。②

のRIM文書では、実装構成におけるカメラ映像等のデータフローとワークロードの分析を示し、各技術の適用時の構成と効果について示しています。

さらに、Remote-Controlled Robotic Inspectionは、石油化学工場における生産工程等、工場の遠隔制御に関するユースケースです。③のRIM文書では、取得されるデータと遠隔制御の要件やデータフローの分析を示し、実装構成と効果について示しています。

このように、これらのIOWN構成技術ごとのPoCリファレンス文書に基づき、具体的なユースケースのPoCにおける実装モデルにおいて要件の分析や効果等がリファレンスとして検討され、発表されており、それらをベースとして実際のPoC検証が進められています。今後は、具体的なPoCにおける成果レポート発表が予定されています。

### IOWN Global Forumの組織と活動の状況

#### ■メンバ拡大

発起人3社（インテル、ソニー、NTT）で2020年1月に設立したIOWN Global Forumですが、2021年1月時点で39社、2022年1月時点で88社と、メンバ数を急速に拡大しながら活動を続けてきました。その後さらに多くのメンバが加入し、2023年9月時点でメンバ数は130を超える組織となっています。ほぼ毎月、複数の新しいメンバが加入している状況です（図6）。

ユースケース検討と技術検討が連携する活動の特徴を反映し、IOWN Global Forumの技術を検討開発するメンバだけでなくその技術を利用するメンバも数多く参加しています。また企業メンバだけでなく、研究機関、大学・学術機関も参画しています。また自治体からの参画もあり、最近では世界の主要都市からの関心も寄せられている状況です<sup>(2)</sup>。

#### ■最近のGlobal Forumの活動

IOWN Global Forumは設立当初より新型コロナウイルス感染（コロナ）拡大が直撃し、オンラインベースで活動が進められてきました。しかし、2022年後半に、世界的にコロナが減少となり社会活動が回復

してきたことを受け、IOWN Global Forumの会議運営も完全オンラインの活動からハイブリッド型の活動へ徐々にシフトしました。2022年10月には初の現地メンバ会合となる第5回メンバ会合を米国・ニューヨークで、ハイブリッド形式で開催し、各国44のメンバ団体から、136名が現地参加、300名以上がオンライン参加しました。

また、日本のコロナ第8波ピークを過ぎた2023年4月には、初の現地年次メンバ会合となる第3回年次メンバ会合を日本・大阪で開催しました。各国から78メンバ団体、400名以上の参加者が大阪に集まるとともに、オンライン参加者も含めたハイブリッド会議の形式で開催されました。ビジョンのアップデート、ユースケース議論や技術検討等、活発な議論が行われました。

さらに2023年9月には、第6回メンバ会合をドイツ・ミュンヘンで開催しました<sup>(3)</sup>。初めてのヨーロッパ開催となり、各国から89メンバ団体、400名以上（現地190名）のメンバが参加しました（図7）。すべての会議がハイブリッド形式で運営され、現地での密な議論に加えて、多くのオンライン参加者も会議に参加することができました。フェーズ3の取り組みに向けて会合前に出されたCall for Proposal (CFP) には34件もの提案が提出され、ミュンヘン会合にて、各カテゴリに分かれてブレイクアウトワークショップを編成して、これら提案に対し大変活発な技術議論が行われました。また、重要な価値と技術進化のロードマップを示したリファレンス文書を正式リリースしました<sup>(4)</sup>。価値として、全体的アプローチ、実装主導、システムレベルのソリューション重視等を示し、また、ネットワークおよびコンピューティングの進化のロードマップを示しています。また、初めてのRecognized PoC Reportとして、“An Implementation of Heterogeneous and Disaggregated Computing for DCI as a Service” が承認されました。今後さらにIOWN技術の価値や性能の実証を示すPoCの報告が発表されていくことが期待されています。

#### ■その他の活動

Use Case WG, Technology WG と並行して、IOWN Global ForumのLiaison



図7 ミュンヘンメンバ会合の様子

son WGは、他の技術団体、標準化団体との連携を推進しています<sup>(5)</sup>。連携団体とさまざまな情報交換を行い、共同の仕様検討を進め、IOWN Global Forumの技術が標準化されるよう取り組みます。現在、ITU-R、ITU-T、The Linux Foundation、Open ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) 等の団体と連携しており、今後も連携団体を拡大していく予定です。

またIOWN Global Forumでは、マーケティングの一環として対外的活動にも活発に取り組んでいます。各メンバ企業が開催するイベントに協力して講演発表、デモ出展していただくだけでなく、情報通信業界の関連イベントや学術会議に参加して講演発表、展示等を行っています。

2023年は、2月にスペイン・バルセロナで開催されたMobile World Congress (MWC) における各社との共同展示や、3月に米国・サンディエゴで開催されたOFC Conference、6月にイタリア・ローマで開催されたIEEE ICC等における講演を実施しました。また、2023年6月には、日本・千葉で開催されたInterop Tokyo 2023において、NTTブース内で、Open

APNを用いた超低遅延のデモとして、ロボット遠隔制御や遠隔GPUを用いたVR (Virtual Reality) 卓球アプリケーションを展示しました。

### フェーズ3に向けた取り組み・展望

今後、IOWN Global Forumでは、フェーズ3 “Preparation of Real World Deployment and Business Impact” において、IOWN実現に向けたさらなる技術展開、組織・活動の拡大とビジネス化をめざし、さらに具体的なユースケースにおけるPoC・技術評価を進めて、PoC成果レポートを発表していく予定です。また、技術仕様文書を策定するとともに他団体との連携を深め、標準化に向けた取り組みを進めます。また、数多くのユーザ企業それぞれが、それぞれのビジネスにIOWNを活用できるように、各国・地域に合わせた検討加速を図るため、ローカルイベント・セミナーの開催等、メンバへのサポートも拡大しながら、IOWN実現を進めていく予定です。

#### ■参考文献

- (1) <https://iowngf.org/technology/>
- (2) <https://iowngf.org/members/>
- (3) <https://iowngf.org/event/iown-global-forum-6th-member-meeting-highlights/>
- (4) [https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-KVaTE\\_Roadmap-1.0-1.pdf](https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-KVaTE_Roadmap-1.0-1.pdf)
- (5) <https://iowngf.org/liaisons/>



(左から) 田島 佳武/ 荒金 陽助

IOWN Global Forumの活動は、PoCからIOWN実現に向けた取り組みを加速させようとしています。さまざまなユースケースへの適用とビジネス化にご期待いただきたく、また、皆様と一緒に実現と展開に向けて取り組んでいきたいです。

#### ◆問い合わせ先

NTT 研究企画部門  
IOWN 推進室  
E-mail [iown-info@ntt.com](mailto:iown-info@ntt.com)

# Open APNの詳細化, 実用化に向けた取り組み

IOWN Global Forumでは、低遅延・低消費電力を実現するネットワーク基盤としてOpen All-Photonic Network (Open APN) を提案しており、昨年度アーキテクチャ文書である「Open APN Functional Architecture Release 1」を発行しました。本稿では、アーキテクチャ文書を発行してからのOpen APNの詳細化, 実用化に向けた取り組みについて紹介します。

キーワード: #IOWN, #Open APN, #PoC

かいぬま よしひこ たけだ とものり  
海沼 義彦<sup>†1</sup> / 武田 知典<sup>†2</sup>  
かに じゅんいち にしざわ ひでき<sup>†4</sup>  
可児 淳一<sup>†3</sup> / 西沢 秀樹<sup>†4</sup>

NTT 研究企画部門<sup>†1</sup>  
NTTネットワークサービスシステム研究所<sup>†2</sup>  
NTTアクセスサービスシステム研究所<sup>†3</sup>  
NTT未来ねっと研究所<sup>†4</sup>

## はじめに

Open-All Photonic Network (Open APN) は、IOWN Global Forum (IOWN GF) で提案されたフォトニクスネットワークのオープンアーキテクチャであり、サービスプロバイダがフォトニクスネットワーク機能をコンピューティングやネットワークのインフラ全体とよりきめ細かく統合できるよう検討を推進しています。2022年初めにアーキテクチャ文書である「Open APN Functional Architecture Release 1」<sup>(1)</sup>が公開されて以降、アーキテクチャ文書に基づくPoC (Proof of Concept) の実施, またアーキテクチャの拡充・詳細化を行った「Open APN Functional

Architecture Release 2」文書の公開などを行ってきています。本稿ではRelease 1アーキテクチャ文書発行以降の活動について紹介します。

## Open APN

まずは、Open APNについて簡単に紹介します。Open APNは、さまざまな拠点間を光波長パスでダイレクトに接続することを可能としたネットワークであり、Open APN ト ラ ン シ ー バ (APN-T)、Open APN ゲ ー ト ウ ェ イ (APN-G)、Open APN インターチェンジ (APN-I) により構成されます。APN-Tは光波長パスの端点であり、光信号の送受信機能を有し

ます。APN-Gは光波長パスのゲートウェイであり、収容するAPN-Tに対する制御チャンネルの設定, 光信号のユーザプレーン・アドミッションコントロール, 光波長パスの多重化・逆多重化, 光波長パスの折り返し接続, 光波長パスの合分波の各機能を有します。APN-Iは光波長パスの中継機能部であり、波長クロスコネクタ, インタフェース間のアダプテーションの各機能を有し

ます (図1)。具体的なアーキテクチャの詳細については本誌2022年3月号記事『IOWN Global Forumにおけるオープンオールフォトニクス・ネットワークの検討』<sup>(2)</sup>と併せてご覧ください。

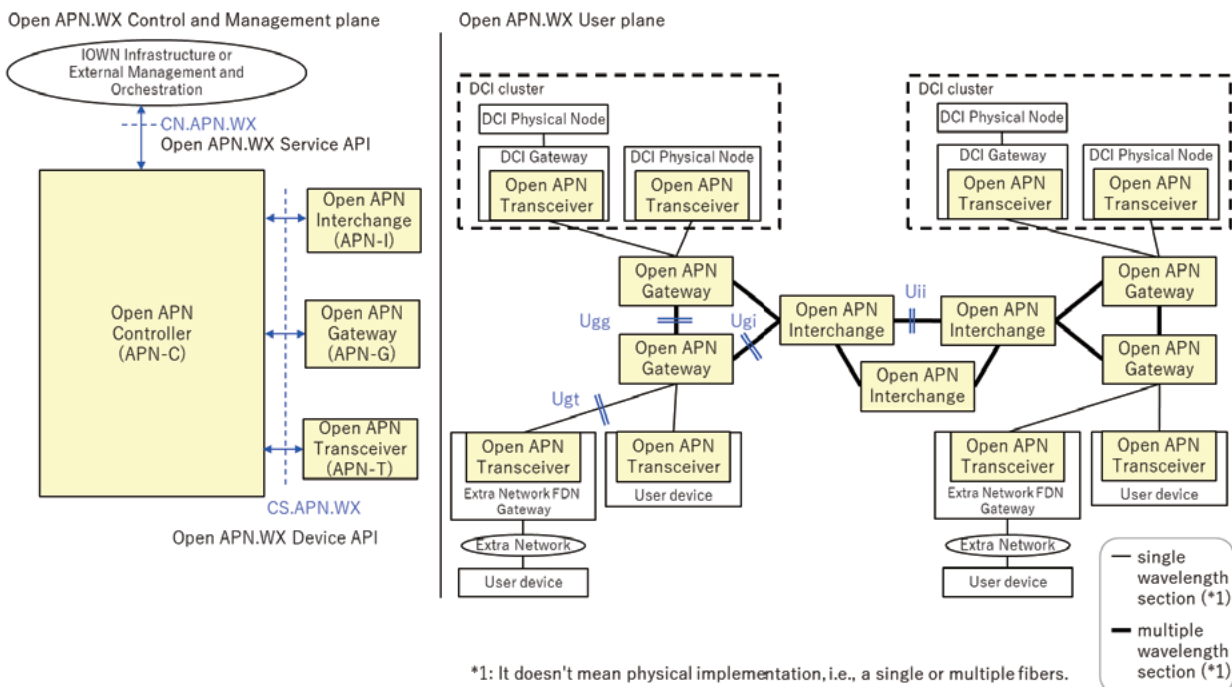


図1 Open APN リファレンスアーキテクチャ (光波長パスサービス)

## Open APN PoC

Open APN PoC<sup>(3)</sup>は、Open APN Functional Architectureが未来の技術ではなく、すでに世に出ている技術を活用して構築・運用可能であることをグローバル市場に示すために計画されました。この活動を通じて、世界中の多くの組織がOpen APNを構築・導入し、ユースケースを創出し、グローバルな市場に拡大していくことをめざしています。IOWN GFでは、さまざまなPoCを実施するためのガイドラインとしてPoC Reference Documentを発行しており、誰もが共通のガイドラインの下、PoCを実施できるようにしています。Open APNのPoC Reference Documentでは、以下の項目についてのガイドラインが示されており、Open APN Functional Architectureの検討を行っているチーム（Task Force：TF）であるOpen APN Architecture TF、Open APN Wavelength Availability TFのみならず、光ファイバを活用したセンシング技術検討を行っているOpen APN Fiber Sensing TFで定めたアーキテクチャを包括的に実証できるようつくられています。ここでは、PoC Reference Documentに定められた評価対象とする機能について紹介します。

### ■APN-Gの基本機能

- (1) APN-Tに対する制御チャネルの設定
- (2) 光信号のユーザプレーン・アドミッシェンコントロール
- (3) 光波長パスの多重化・逆多重化
- (4) 光波長パスの折り返し接続
- (5) 光波長パスの合分波
- ① Flexible Bridging Service：エクストリームなQoS（Quality of Service）要件を持つ複数のデータフローを集約して単一の光波長パス上で伝送するサービス
- ② オープンインタフェース：オープンインタフェースによるさまざまなベンダの機器のOpen APN Controller（APN-C）との接続、またオープンインタフェース上でのAPN-Cによる制御
- ③ マルチベンダサポート：異なるベンダによるAPN-TとAPN-Gのインターオペラビリティ

- ④ 自動プロビジョニング：ファイバ種別やパワープロファイルなどのリンクパラメータによる物理設計を含む光波長パスの自動プロビジョニング
  - ⑤ ユーザ拠点トランシーバ接続のメカニズム：光波長パスを終端するユーザ拠点のトランシーバの自動登録
  - ⑥ モニタリング：APN-CによるAPN-TおよびAPN-Gからのモニタリングデータの自動・定期収集
  - ⑦ ファイバセンシング：以下条件下でのAPN-Gでのファイバセンシングの確認
    - ・ Interrogatorは、一般損失測定用のOptical Time Domain Reflectometer（OTDR）であり、波長は1550 nmである
    - ・ サーキュレーターやカプラーは、一般的な市販品である
    - ・ 光スイッチ機能は1550 nmに対応した商用スイッチである
    - ・ センシングファイバは、10 kmを超える商用シングルモード光ファイバである
- 多数のIOWN GFのメンバ企業が本PoC Reference Documentに基づくPoCを実施しており、今後はIOWN GFとしてPoC実施結果を公開し、さらなる検討の推進および参画メンバの拡大をめざします。

## アーキテクチャ文書の更改

IOWN GFは、2023年9月にOpen APN Functional Architecture Release 2ドキュメントを発行しました。このドキュメントは、2022年当初に発行したRelease 1アーキテクチャ文書をベースに、主に基本アーキテクチャ、コントロールプレーンアーキテクチャ、ユーザプレーンアーキテクチャを拡充・詳細化したかたちでアップデートされています。

### ■基本アーキテクチャ

Open APNの基本アーキテクチャに新たにファイバレイヤのアーキテクチャを定義し、Release 1ドキュメントで定義された波長レイヤとの2層構造をとるかたちに進化しました。波長レイヤのアーキテクチャをOpen APN Wavelength Exchange（Open APN.WX）、ファイバレイヤのアーキテクチャをOpen APN Fiber Ex-

change（Open APN.FX）と呼びます。Open APN.FXでは、Open APNのエンドポイント間を物理的なファイバで接続するファイバパスを構築するためのゲートウェイであるAPN-FXおよびファイバパス上の各種インタフェースが新たに定義され、各層をどのように組み合わせるかが明確化されています（図2）。

また、Release 1ドキュメントではPoint-to-Point（PtP）を前提としたアーキテクチャになっていましたが、1つの信号を複数にブランチするかたちのPoint-to-MultiPoint（PtMP）についてもアーキテクチャが新たに示されました。本文書では、Open APN.WXにおけるPtMPと、Open APN.FXにおけるPtMPの双方について示されています。

### ■コントロール・マネジメントプレーンアーキテクチャ

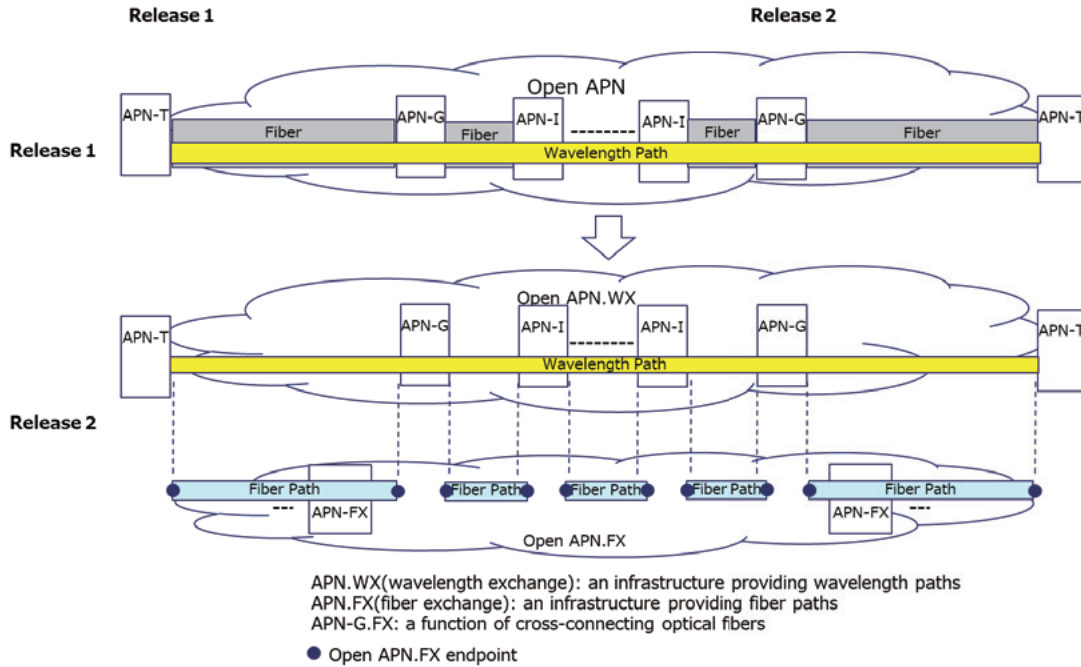
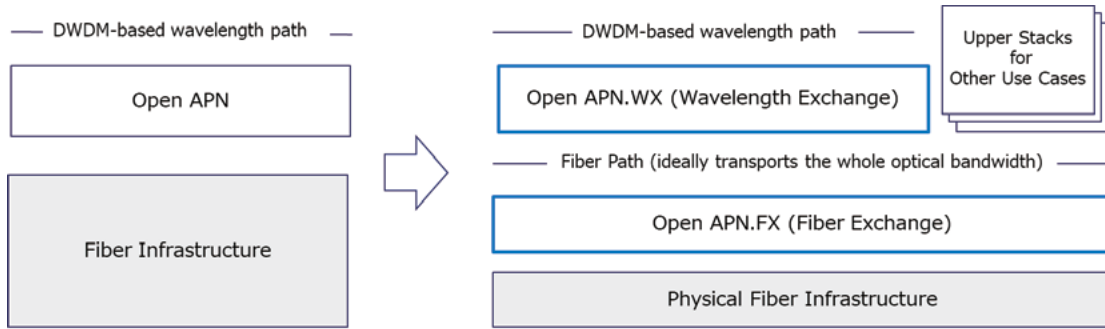
PtPの光波長パスを対象としたコントロール・マネジメントプレーンアーキテクチャがより詳細化されました。APN-Tがユーザ拠点に配置されるリファレンスモデルを想定し、Open APNのコントローラであるAPN-Cがユーザ装置を含めたエンド・ツー・エンドでの光波長パスを設定するために必要な機能、またオーケストレータ・各APNノードと連携するためのAPIが体系的に示され、APN-Cが各エンティティとどのように連携し光波長パスをコントロール・マネジメントするかが明らかになりました（図3）。

また、サウスバウンドインタフェースの実装にあたり、OpenConfig、OpenROADM（Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer）、TAPI（Telephony Application Program Interface）など既存のオープンインタフェースの利用についても新たに記載が加えられました（図4）。

### ■ユーザプレーンアーキテクチャ

Release 1ドキュメントでは、Open APNにおいて、光のまま互いに接続が可能なサブネットワークとしてGroup of Optically Interoperable Ports（GOIP）という概念が定義されました。このGOIPについて、Release 1ドキュメントでFuture StudyとされていたGOIP間のネットワークについて新たに記載が加えられまし





APN.WX(wavelength exchange): an infrastructure providing wavelength paths  
 APN.FX(fiber exchange): an infrastructure providing fiber paths  
 APN-G.FX: a function of cross-connecting optical fibers

図2 Open APNにおけるファイババスと波長バス

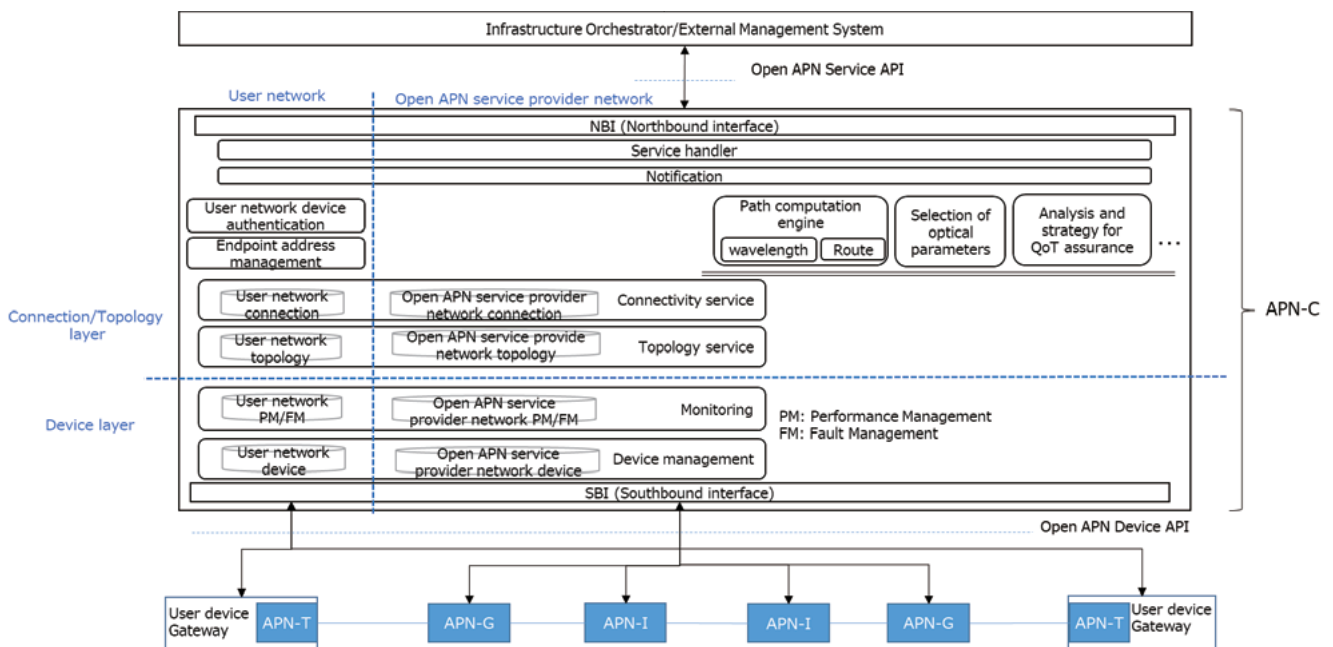


図3 APN-C機能モデルのリファレンス例

た。波長の割当てが可能でかつ伝送特性を満たす場合に光のまま接続する方式、O/E/OリピータやEthernet/OTN (Optical Transport Network) コネクションを活用した電気変換して接続する方式が規定され、GOIPを超えたよりスケールしたOpen APNの構築も可能となりました (図5 (a), (b))。

また、これらのアップデートに加え、本ドキュメントのannexとして、Open APNの各ノードの実装方法、ユースケース、PtMPの実装例などが追加されており、Open APNを実装・活用するうえでのよ

り詳細なガイドラインとなっています。

### NTTにおける取り組み

NTTとしては、これらIOWN GFの活動に文書の寄稿のみならずさまざまななかちでコントリビュートを行ってきました。その中で、特に2つの取り組みについて紹介します。

#### ■Open APN機能群の動作実証実験

Release 2 ドキュメントの発行に先駆けて、NTT 研究所ではOpen APN Architectureにおいてさらなるユースケース拡

大のために必要とされる「必要なときに、必要な対地間にて大容量低遅延通信を可能とする機能群」についてラボ内での実証実験を行いました<sup>(4)</sup>。この機能により、ユーザ拠点を含めたさまざまな拠点到Open APNのエンドポイントを設置することが可能となります。この機能群は以下3つの機能から構成されます (図6)。

- ① ユーザ拠点端末と通信事業者機器が連携・協調した、サービス条件を満足する光波長パスの自動設計・最適モード選択等の調整機能
- ② ユーザ拠点端末における光波長端点の設定管理機能、端末の認証状態に基づいた通信事業者機器における光信号の通過・停止機能
- ③ 異なる種類の光ファイバを同一の光波長パスのまま接続可能とするアダプテーション機能

そして、柔軟かつ相互接続性に優れたオープンな光伝送システムを促進する団体であるOpen ROADM MSA (Multi-Source Agreement) やTelecom Infra Project Open Optical & Packet Trans-

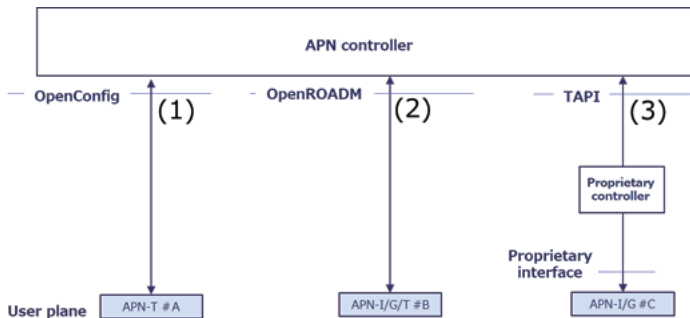
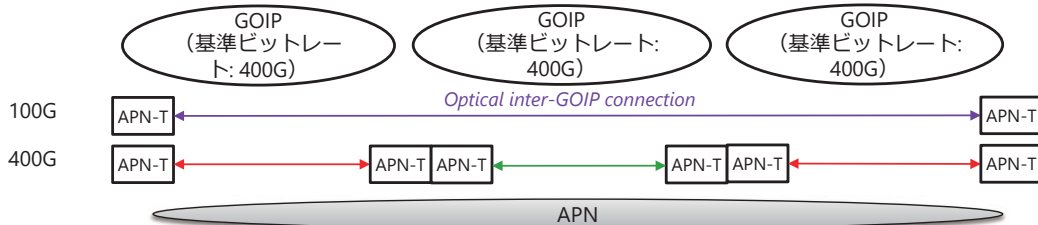
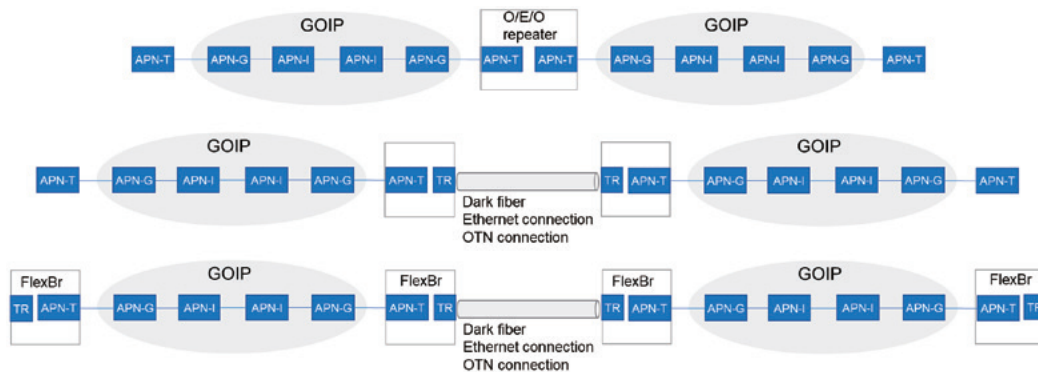


図4 APN-C サウスバウンドインターフェースの推奨セット



(a) 光のまま接続する方式



(b) 電気変換して接続する方式

図5 GOIP間接続方式例

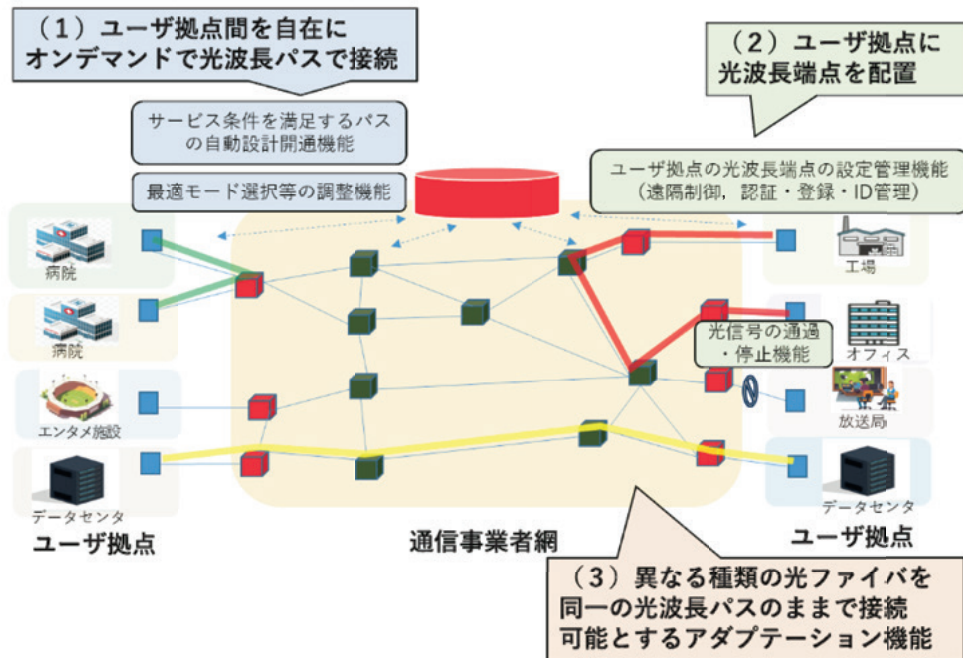


図6 必要とときに、必要な対地間にて大容量低遅延通信を可能とする機能群

portの成果を活用し実環境のファイバ長や損失レベルなどのさまざまな条件下で動作することを実証するための、首都圏でフィールド実証を行っています。その結果を踏まえ、Release 2 ドキュメントへの寄稿を行っています。

#### ■展示会での動態展示をととした実環境でのOpen APNの活用

2023年6月に開催されたInterop Tokyo 2023にて、Open APNの動態展示を行いました<sup>(5)</sup>。この動態展示の主な特徴としては以下3点が挙げられます。

- ① 複数の離れた拠点間を接続するネットワークを構築
- ② GPU as a Service, Public Cloud アクセス, Internet アクセスなど、さまざまなサービスを提供
- ③ APN-G/Iのマルチベンダ接続、マルチベンダAPN-Tの収容

この動態展示をととし、Open APNがマルチベンダにより構築可能な低遅延・低ジッタなネットワークであることを実際に示すだけでなく、Interopのような大規模な展示会において会場外と接続してさまざまなサービスを提供するにあたり、Open APNはサービスごとに別々のファイバを利用することなく、1本のファイバで提供することが可能であるコスト最適な

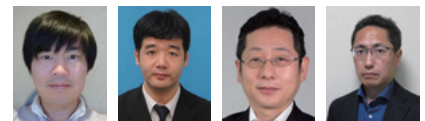
ソリューションであることも示すことができました。これまでのOpen APNの構築は限られた環境での実証目的が主でしたが、さまざまなサービスを提供するネットワークとして実用に近いかたちでOpen APNを提供するのは初めてのケースとなります。Open APNがPoCの段階から実用の段階に移り変わるうえでの新たな一歩となり得る取り組みとして、2023年9月にドイツ・ミュンヘンで行われたMember Meetingでも報告しています。

#### 今後の展開

本稿では、Open APNについて、Release1アーキテクチャ文書が発行されてからの取り組みを紹介しました。Open APNは本号で紹介するDCI (Data Centric Infrastructure) と組み合わせることでさまざまなユースケースへの活用が期待されます。その他本号で紹介するIOWN Data Hub (IDH) やIOWN Mobile Network (IMN) においてもネットワーク基盤としてエクストリームな要件を満たす非常に大きな役割を果たしています。引き続き、NTTはIOWN GFの多くのパートナーとともに議論や実証を重ね、さらなる技術の発展や社会実装に貢献していきます。

#### ■参考文献

- (1) <https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-Open-APN-Functional-Architecture-1.0-1.pdf>
- (2) 西沢・可児・濱野・高杉・吉田・安川: "IOWN Global Forumにおけるオープンオールフォトニクス・ネットワークの検討," NTT技術ジャーナル, Vol. 34, No. 3, pp. 12-16, 2022.
- (3) [https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-Open-APN-Architecture\\_PoC\\_Reference-1.0.pdf](https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-Open-APN-Architecture_PoC_Reference-1.0.pdf)
- (4) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/11/14/221114a.html>
- (5) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/06/12/230612b.html>



(左から) 海沼 義彦 / 武田 知典 / 可児 淳一 / 西沢 秀樹

引き続きIOWN GFのメンバ企業とのコラボレーションをととしてOpen APNアーキテクチャの詳細化および実用化を進め、Open APNの早期の社会実装をめざします。

#### ◆問い合わせ先

NTT 研究企画部門  
IOWN 推進室  
TEL 03-6838-5334  
E-mail [iown-info@ntt.com](mailto:iown-info@ntt.com)



# IOWN for Mobile Networkの技術検討

IOWN for Mobile Network Task Force (IMN-TF) にて IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) におけるモバイルおよびトランスポートネットワークにかかわる技術トピックとして、モバイル領域における5G（第5世代移動通信システム）の現状から6G（第6世代移動通信システム）に向けたトランスポートネットワークの主要要件の検討、IOWN Global Forum がめざすユースケースを実現するうえでの技術ギャップの分析と解決提案、さらに APN (All-Photonics Network) および DCI (Data Centric Infrastructure) フレームワークを活用した将来のトランスポートネットワーク・アーキテクチャの探究などの活動を行っています。本稿では、その活動内容を紹介します。

キーワード：#Technical Outlook for Mobile Networks Using IOWN Technology, #PoC Reference, #IMN

## Technical Outlook for Mobile Networks Using IOWN Technology

IOWN for Mobile Network Task Force (IMN-TF) では、IOWN Global Forum (IOWN GF) のインフラストラクチャを利用するモバイルおよびトランスポートネットワークに求められるユースケースや技術についてグローバルベンダ、および通信キャリアなどと研究、提案、議論を行っており、これまで2022年1月に Technical Outlook for Mobile Networks Using IOWN Technology<sup>(1)</sup>、2023年4月に Technical Outlook for Mobile Networks Using IOWN Technology- Advanced Transport Network Technologies for Mobile Network<sup>(2)</sup>の文書を公開しています。今回は現在IMN-TFにてこれまでの活動として議論してきたトピックを中心に紹介します。

5G（第5世代移動通信システム）で求められる多くの先進的ユースケースにおいて、例えば、エリアマネジメント、遠隔手術、AR (Augmented Reality)・VR (Virtual Reality)、産業オートメーションなどの映像中心のアプリケーションや遅延にセンシティブなケースでは、モバイルネットワークに対し膨大なエンド・ツー・エンド帯域容量、高い信頼性と可用性、そして極めて低遅延が要求されます。モバイル・セルサイトにトランスポートネットワークを提供する場合にはさまざまな技術がありま

すが、中でもファイバは、大容量でかつ広く設置されているため、固定ネットワークサイトには最適なソリューションです。そこで、IOWN GFのDCI (Data Centric Infrastructure) および Open All-Photonic Network (Open APN) アーキテクチャに関連するモバイルネットワーク用のファイバベース光伝送ネットワークを用いた実現方法の提言をIMN-TFで行っています。

5Gではミリ波周波数帯を利用して、広い帯域幅で高いデータレートを実現していますが、エリアをカバーするにはセルサイトをより高密度に配置する必要があります。一方でモバイルネットワークのインフラストラクチャは、クラウドネイティブなネットワーク機能仮想化へと進化しているためサービス導入の改善、プロビジョニングのアジャイル性の向上、運用コストの削減などの技術的・経済的な観点から、技術トレンドに合わせさまざまなトランスポートネットワークの選択肢と構成について研究と議論を行っています。

5Gで実現する新サービスやアプリケー

ションでは、拡張モバイルブロードバンド (eMBB: enhanced Mobile Broadband)、超高信頼低遅延通信 (uRLLC: ultra-Reliable Low Latency Communication)、大量のマシンタイプ通信 (mMTC: massive Machine Type Communication)、高速固定無線アクセス (FWA: Fixed Wireless Access) の技術が用いられます。これらの新サービスやアプリケーションは、より大量のデータを発生するとともに、その低遅延要求は極めて厳しくなっています。モバイルネットワークのデータが増えると、バックホールからデータセンタまでの全トランスポートネットワークが大容量となることを求められる一方で、モバイルユーザが利用する、時間にセンシティブなアプリケーションは増え続けており、それらはミリ秒オーダーの超低遅延が要求されます。3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) 技術報告書のうち、3GPP TR 38.801<sup>(3)</sup>、3GPP TR 38.806<sup>(4)</sup>、3GPP TR 38.816<sup>(5)</sup>には、8つの可能な RAN (Radio Access Network) 機能スプリットオプションの規定がありますが、

すぎはら まなぶ  
杉原 学<sup>†1</sup>  
しまつ よしつぐ<sup>†2</sup>  
島津 義嗣<sup>†2</sup>

NTT 研究企画部門<sup>†1</sup>  
NTT 技術企画部門<sup>†2</sup>

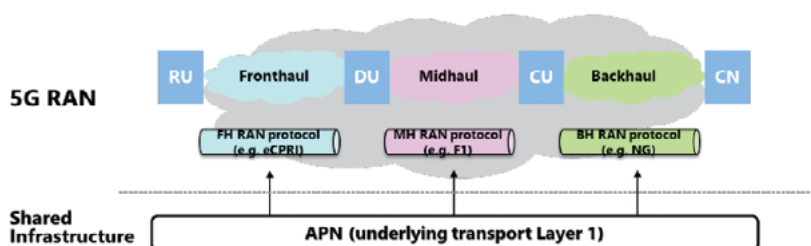


図1 RANとAPN

表 さまざまなRANスプリットオプションでの目標とするフロントホール帯域幅と遅延要件

KPI	5G (2020)	6G (2030) (Projected)
E2E		
Peak Data Rate	<10Gbps	<100Gbps~1Tbps
User Plane Latency (ms)	1	0.1
TRANSPORT : LOWER LAYER SPLIT (OPTION 7)		
Bandwidth	<25~50Gbps	<250Gbps~5Tbps
Frame delay (one-way)	0~160us Fiber delay : 0~150us (0~30km) Packet delay Variation (PDV) : 0~160us (0~2swiches)	0~larger than 160us Fiber delay : 0~larger than 150us (0~larger than 30km) PDV : 0~less than 10us
TRANSPORT : HIGHER LAYER SPLIT (OPTION 2)		
Bandwidth	<10Gbps	<100Gbps~1Tbps
Frame delay (one-way)	Up to ms order (up to 100km order)	Up to ms order (up to 100km order)

モバイルキャリアが検討している要件の中でもっとも厳しい要件を表に示します。これらの厳しい要件に対しトランスポートネットワークソリューションの実現可能性についてPoC (Proof of Concept) を実施することとしています (図1)。

さらに、主にAPNとDCI技術を活用したIOWNモバイルネットワークについて、IOWN GF APN/DCI上でのRAN展開シナリオやDCIとAPNによる高可用性や障害耐性、またモバイルトラフィックの昼と夜の変動に応じた最適な数での基地局運用で、低消費電力を実現するエラスティックロードバランシングのユースケース議論などを行っています。

#### ■ APN/DCI上でのRAN展開シナリオ

APN/DCI上でのRAN展開シナリオを検討するにはトランスポートレイヤの接続機能と性能を考慮する必要があります。トランスポート接続サービスの定義には、一般に、トポロジー、UNI (User Network Interface)、トラフィック・帯域幅プロファイル・特性、プロトコル、そのサービス属性の集合などが含まれますが、RAN機能に接続する際には例えば、FH (Fronthaul) RANプロトコルの標準化されたeCPRI (enhanced Common Public Radio Interface) での接続のようにRAN領域の特性をサポートすることが重要です。

各RAN機能をAPNに接続する方法には、光トランシーバで直接波長パスを終端する方法と、フレキシブルブリッジサービスな

どのブリッジ機能を利用する方法があります。

RU (Radio Unit) 側にAPNに直接接続する方法としてPON (Passive Optical Network) 技術が利用可能であり、TDM (Time Division Multiplexing) -PON がその実現方法の1つです。しかし、TDM-PONを適用する場合、PDV (Packet Delay Variation) 要件 (10マイクロ秒) を超える影響を吸収するために、RU-DU (Distributed Unit) 間の距離を10 kmに制限する必要があります。一方で、フレキシブルブリッジサービスは、ユースケースに応じて複数のQoSレベル (遅延やジッタなど) をサポートするために、複数タイプのサービスを定義することができるのが利点です。フレキシブルブリッジサービスを含めさまざまなAPN適用ソリューションを議論し、厳しいモバイルフロントホール要件や多種多様な基地局設置形態を満足するMobile FH over APNの実証モデルをPoC Reference<sup>6)</sup>にまとめています。

#### ■ 高可用性とエラスティックロードバランシング

APN、DCIとサブシステムであるRANインテリジェントコントローラ (RIC : Intelligent Controller) を組み合わせることで、FHネットワークはDCIリソースプール内でDUを柔軟にスイッチすることができるようになります。vDU (virtualized DU) はネットワーク機能仮想化基盤 (NFVI : Network Functions Virtualiza-

tion Infrastructure) 上で動作する仮想ノードであり、異なる地理的位置にある複数のNFVI上で自由に再構成できるようになるため、この特徴を活かし低消費電力の実現が可能と考えています。FHネットワークにおける物理サーバDUとRUの関連付けは、関係するコンポーネントの故障状態、ロードバランシング要件、省エネ要件などの外部トリガに基づいて変わります。トラフィックの変動やネットワークによって検出された障害やサービス低下などの問題の検知などのトリガの発生により、RUとDUの間の物理的関連付けをAPN波長パス切り替えの機能を用いて変更し、高可用性を実現します。

例えば、RUに接続されたすべてのユーザデバイス (UE : User Equipment) が、物理的に異なるサーバ上で再設定された新しいDUに再接続を行う、また、DUに接続されているRUの一部が、物理的に異なるDUにリソースのバランスを取りながら接続変更されるなどのケースです。このFHネットワークにおける柔軟性とリソース利用率の向上をめざして検討しているのがエラスティックロードバランシング機能です。これにより、従来のFHと比較して、RANシステムの可用性と電力効率の向上が期待され、例えば、電力効率の面では、未使用のDCIリソース (vDU) をシャットダウンし電力消費を可能な限り減らすことで、RANシステムの電力効率向上をめざしています (図2)。

■拡張CTI

現在のIMN-TFのメインのワークアイテムとして、上記2点以外にIOWN技術を利用したエンド・ツー・エンド低遅延・低ジッタサービスを提供するために、モバイルネットワークとAPNの間の拡張CTI(Extended Cooperative Transport Interface)の研究と議論をしています。

モバイルシステムのトランスポート網として光アクセスシステムを使用する場合、モバイルシステムで許容される遅延時間が非常に短いことから光アクセスシステムの遅延時間を低減させる必要がありました。そこで、モバイルシステムと連携して光アクセスシステムの通信タイミングを決定することで遅延時間を低減する機能であるCO-DBA (Cooperative Dynamic Bandwidth Allocation) が規定され、CO-DBAを動作させるために必要となる情報をやり取りするためのモバイルシステムと光アクセスシステム間のインタフェースがO-RAN (Open Radio Access Network) WG (Working Group) 4でCTIとして規定されました。既存のCTI仕様は、低遅延が要求されるサービスをモバイルネットワークで提供するショートTTI (Transmission Time Interval) やモバイルMH (Midhaul) /BH (Backhaul) には適用できないため、CTI仕様をIOWN GFアーキテクチャにおける拡張CTIとして機能拡張する必要があります。遅延制御に向けトラフィック負荷の集計などのモバイル情報を収集し、モバイルネットワークとAPNを連携するオーケストレータがAPNコントローラにデータを転送する方法を検討しています。また、ロボット等の高精度遠隔制御や自動運転を実現する場合、パケット到着時間の揺らぎ(ジッタ)が大きいと安定した制御が難しくなることから、これまでのネットワークでは性能要件として規定されていなかったジッタについても一定時間以内に抑える必要があります。

無線区間の送信タイミングや送信量に関する情報を用いてモバイルシステムとトランスポート網を構成する装置を制御することで、遅延揺らぎを抑制する手法の実現に向け取り組んでいます(図3)。

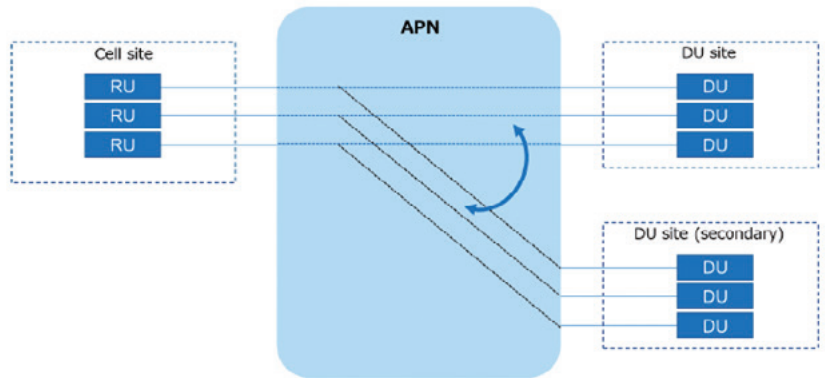


図2 高可用性とElastic Load Balancingのためのパスの動的切り替え

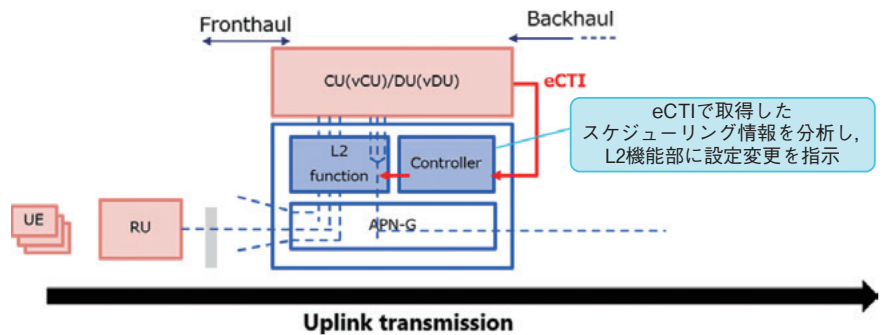


図3 eCTI概要

PoC Reference

IOWN GFが想定するユースケースをサポートするためにIMN-TFでは、非常に厳しいO-RANのFHの要件を満足することが必要であるとの認識で一致しています。Open APNは、このような要件を満たす有望なソリューションであると考えており、APNを適用したモバイルFH実現可能性について実証が必要となっています。これまで、さまざまな技術やアーキテクチャがFHソリューションとして検討されていますが、APNの適用価値を実証することで、主要なFHソリューションとして広く認知されることをタスクフォースの活動としてめざしています。

このPoCの目的は、モバイルネットワーク事業者やFHをサービスとして提供したいと考えている他の事業者に対して、FHソリューションとしてのOpen APNの利点とO-RAN KPIの実現可能性を示し、実証結果を提示することです。そしてAPN上のMobile FH (MFH) が実行可能で有望なソリューションとして認識されることで、

世界中のモバイルネットワーク事業者で採用が進み、IOWN GF関連技術をさらに促進することを期待し取り組んでいます。

PoCで実証したい点は2点あります。1つは、APNのエネルギー効率が他の代替ソリューションよりも優れている可能性があるというベンチマークです。これは、例えば、APNが電気から光への変換やその逆の変換を削減し、その結果、運用コストを削減が可能と考えているためです。もう1つは、高可用性サービスとエラスティックロードバランシングをサポートするネットワークの機能の実現です。エラスティックロードバランシングは、DU上の実際の負荷に基づいて、一連のvDUへのRU接続をアクティブで動的に切り替えることを可能にするユースケースを定義した用語です。RUとvDUを専用ダークファイバで接続し、RUが多重化などを行わずにDUに直接接続することはAPNを使用するよりも効率的ですが、専用ダークファイバでは、モバイルネットワーク事業者はトラフィックの変動に応じてDUに対し動的に計算資源などの必要なリソースを柔軟に割り当てるこ

とができません。APNの波長パスを動的に切り替えられる特徴を活かし、トラフィック量やその他の要因に応じて、宛先のコンピューティングリソースを柔軟に利用することを可能とします。これにより、APNは、モバイルネットワークオペレーターがDUコンピューティングリソースを最適化したうえで運用することを可能にし、その結果、消費電力を含めた運用コストや基地局コストの削減が実現可能になると考えています。

PoCでは、この2つの可能性をステップで分けて証明することにしています。

Step1は、APNを介したモバイルFHの実現可能性の評価です。非常に厳しいO-RAN MFH要件を満たすことを示します。この要件は、O-RAN仕様〔O-RAN Fronthaul Interoperability Test Specification (IOT)〕やIMN文書の技術要件に規定されています。

Step2は、エラスティックロードバランシングによるエネルギー効率の評価です。エネルギー効率について、通常の運用形態におけるダークファイバ上でL2/L3スイッチを使用するパケット多重化のモデルとエラスティックロードバランシングを適用したモデルを比較し、どの程度消費電力が低減されているかを実証しました。また一方でサービスや運用への影響の観点で、エンド・ツー・エンドスループットの低下やvDUホストの切り替えに要する合計時間や、DUホストのスイッチング中のエンド・ツー・エンドスループットの変化などを検証しサービス継続性への課題やその他技術的な課題の有無について明確にします。

Step1のPoCでは、下記のネットワーク構成で実際に、vRAN (virtualization of RAN) 装置とAPN装置を用いてS-Plane, C(Control)-Plane, U(User)-Planeのレイテンシやスループットのデータを取得することでO-RAN KPI (Key Performance Indicator) を満たすことを示します。

ネットワーク構成は、RUとDUのMFHが一定距離で離れて設置され、vDUが同じサイトに集約されているケースをモデルとしています。最小構成として、1つのセ



図4 PoC Step1のネットワーク構成図

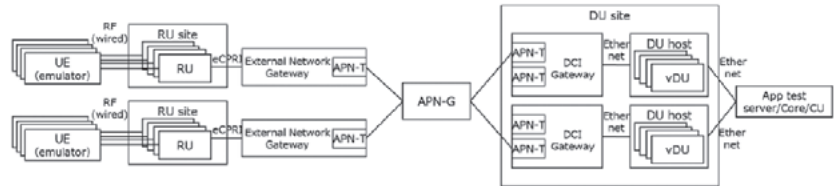


図5 PoC Step2のネットワーク構成図

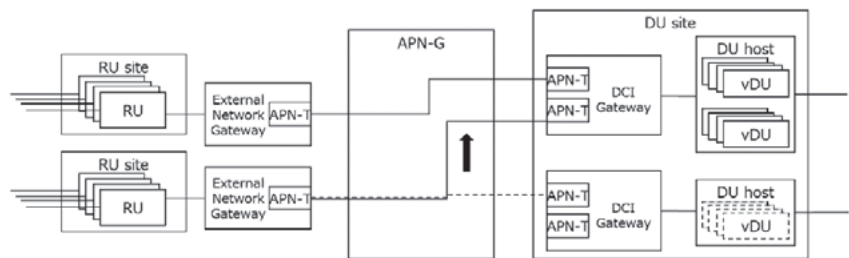


図6 光スイッチングベースの方式

ルサイトに複数のRUサイトがあり、それらを1つのファイバにAPNにて多重化するため、少なくとも2つのRUサイトが必要と定義しています\* (図4)。

Step2のPoCでは、下記のネットワーク構成でエラスティックロードバランシングの概念のフィージビリティ確認のためStep1のデータ取得に加えて、有効性と有用性を評価するために、Step1の環境を拡張し、vDUの複数ホストでの分散処理から1つのホストでの集中処理への切り替えができるように複数配置します (図5)。

このAPNの波長切り替えとして2つの動的パススイッチング方式の評価を定義しています。

方法1は光スイッチング方式です。この方式は、APN-Gが、vDUごとに集約されたトラフィック変動を元にして最適な運用数のvDUにて再構成されるときに、Extra Network GatewayとDCI Gatewayの

間の光パスを切り替える方式です。RUサイトとDUホストがそれぞれで接続された状態でDU側のワークロードが減少すると、上位の1つのDUホストにて集中して処理できるように、下位DUホストに接続されている光パスを上位DUホストに接続するように切り替えるケースを想定しています (図6)。

方法2はパケット交換方式です。この方式は、トラフィック変動によるvDUの再設定時に、DCIゲートウェイがDCIゲートウェイとDUホスト間のL2/L3パスを切り替えます。RUサイトとDUホストがそれぞれで接続された状態でDU側のワークロードが減少すると、上位の1つのDUホストにて集中して処理できるように、L2/L3パスを上位DUホストに接続するように切り替えるケースを想定しています (図7)。

Step2では、Step1のレイテンシやスループットの測定項目に加えRUサイトとDU

\* RU当りの帯域幅：10G/25G/50G, RUとDU間の距離：2パターン、10~30 km.

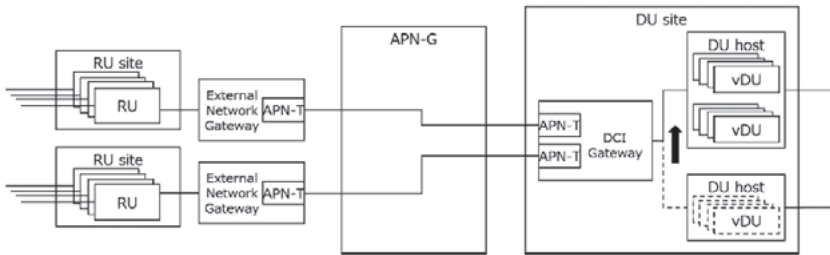


図7 パケット交換ベースの方式

サイト間のOpen APNおよび外部ネットワークのエネルギー消費量や、切り替え時間、サービス中断時間など運用やサービスレベルにかかわるデータ測定を規定しています。

## PoCの実施状況

PoCは2023年度にStep1, Step2を実施するスケジュールで、IMN-TFメンバの各社と議論やPoCに着手しています。Step1のPoCは、各社で進めており、現在5つのPoCを実施中もしくは、PoC実施に向けた準備をしている状況です。PoC実施向けには、各社よりさまざまなMFH over APNの詳細なネットワーク構成の提案を受け議論し、最終的にPoC Referenceに準じてAPN技術をベースに下記2つのモデルで合意をしました。また、提案のあったソリューションについても、有望なソリューションになり得るか引き続きメンバ間で議論し、ユースケース、メリットの明確化のうえその後PoCの実施と整理を図りつつ進めています。

一方、Step2においては、今後2023年下期に向けて本格的に詳細なユースケースや動作の条件規定やKPIや取得データの議論をしてPoC Referenceの改版をめざしているところです。

## NTTグループのIMN-TFの取り組み

IMN-TFにおけるNTTグループの取り組みは2点あります。

1点目は、NTT研究所からの光無線連携制御技術の研究活用に向けた提案です<sup>7)</sup>。無線区間を構成するモバイルシステムは基

地局装置間やコアネットワークとの接続のためのトランスポート網として有線ネットワークを使用しますが、従来、モバイルシステムとトランスポート網は、それぞれ独立して設計・構築・運用されており、モバイルシステムの状態に応じてトランスポート網の動作を動的に変更するような一体としての動作は行われてきませんでした。低遅延が要求されるサービスをモバイルネットワークで提供するには、DUなどのネットワーク装置が提供するモバイル情報を用いて、光パスやDCIゲートウェイを介して遅延を低減、制御する必要があります。遅延時間の低減機能はO-RAN WG 4でCTIとして規定されていますが、NTT研究所では、CTI仕様をIOWN GFアーキテクチャにおける拡張CTIとして機能拡張し、APNコントローラが拡張CTIを介してCU/DUからモバイル情報を取得し、エンド・ツー・エンドで低遅延・低ジッタを実現する方法の研究を行い、提案と実証に向けた議論を主導しています。

2点目は、2022年4月よりNTTドコモがCo-coordinatorとしてIMN-TFを運営・サポートしている点です。Open RAN商用展開とOREXを通じたvRAN推進の経験を踏まえ、他TFとも連携をしながら、IMN-TFにおける活動計画の策定、各トピックのゴール・ターゲット設定、メンバミーティングの議題や論点の整理、3GPPやORANなどの国際標準化動向の入力など、各社メンバとのコミュニケーションを通して、取り組みが円滑に進むようリードしています。

これからもIMN-TFの活動にてエラストックロードバランシングを用いたモバイル領域での課題解決検討に取り組んでい

きます。

## 参考文献

- (1) <https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-Technical-Outlook-for-Mobile-Networks-1.0-1.pdf>
- (2) <https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-IMN-PHSE2-1.0.pdf>
- (3) <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3056>
- (4) <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3307>
- (5) <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3364>
- (6) [https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-MFH-over-APN-PoC-Reference\\_1.0.pdf](https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-MFH-over-APN-PoC-Reference_1.0.pdf)
- (7) <https://journal.ntt.co.jp/article/23110>



(左から) 杉原 学 / 島津 義嗣

IOWN GFがめざすユースケースを実現するためのモバイルおよびトランスポートネットワークにかかわる技術課題について、GFメンバとともに解決に取り組んでいきます。

## ◆問い合わせ先

NTT 研究企画部門  
IOWN 推進室  
TEL 03-6838-5648  
FAX 03-6838-5349  
E-mail iown-info@ntt.com





# IOWN Data Hubの実現に向けた取り組み

IOWN Global Forum では、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 技術の社会実装に向けた取り組みが進んでいます。本稿では、新たに発行されたIOWN Data Hub Functional Architecture 2.0およびPoC (Proof of Concept) Referenceを中心に、IOWN Global Forum におけるストレージサービスの検討の進捗ならびにNTT研究所におけるIOWN Data Hub (IDH) に関連する取り組みについて紹介します。

キーワード：#ストレージ、#データベース、#仮想データレイク

みなみはた くにひこ<sup>†1</sup>  
南端 邦彦<sup>†1</sup>  
いのうえ ともひろ<sup>†2</sup>  
井上 知洋<sup>†2</sup>  
たかや かずゆき<sup>†3</sup>  
高屋 和幸<sup>†3</sup>

NTT 研究企画部門<sup>†1</sup>

NTT 社会情報研究所<sup>†2</sup>

NTTソフトウェアイノベーションセンタ<sup>†3</sup>

## IOWN Data Hubが求められる背景

現実世界とバーチャル世界を融合し、バーチャル空間でのシミュレーション結果を現実世界にフィードバックすることで、察知した危険に迅速に対応したり、変化を最小限に抑え心地良い環境を維持したりするなど、さまざまな恩恵を受けることができるようになります。しかし、その融合のためには、現実世界でセンシングされた膨大なオブジェクトのデータやその動作をリアルタイムにサイバー空間と同期させる必要があります。現状のネットワークではその遅延の大きさから、広範囲に膨大なデータを同期させることは難しく、広大な空間に高精細なデジタルツインを構築することは困難です。そのため、現実世界で分散したデータを超高速で流通させるための仕組みとして、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) のインフラであるOpen APN (All-Photonic Network) やDCI (Data-Centric Infrastructure) のように構築された新たなデータ流通基盤となるIOWN Data Hub (IDH) が必要となります。本稿では、IDHアーキテクチャ文書のアップデートと、IDHの実現に向けたPoC (Proof of Concept) の取り組みにフォーカスして紹介します。

## IOWN Global ForumにおけるIDHの活動

2022年1月、IOWN Global Forum メンバであるNTT、Oracle、NEC等が協力

し、IOWN Data Hub Functional Architecture 1.0を策定、公開しました。IDHの基本的な仕組みやコンセプトについては、本誌『IOWN Global Forumにおけるストレージサービスの検討』<sup>(1)</sup>を参照ください。その後、IOWN Global Forumで社会実装に向けた議論を重ね、2023年7月、IOWN Data Hub Functional Architecture 2.0<sup>(2)</sup>にアップデートしました。主なアップデートのポイントは、以下2点です。

① ユースケース要件の具体的提示：CPS/AICユースケース文書<sup>(3)</sup>、<sup>(4)</sup>で提示する各ユースケースのデータ種別、必要な帯域幅などの要件を整理

② ギャップの本質化：より具体的な実装モデルに基づくギャップ分析

上記①で記載しているユースケースの要件を表1にピックアップしました。これら将来のユースケースは、データ処理と共有に関する多様で厳しい要件を満たす必要があります。例えば、リアルタイムの要件を満たすには、元のデータに近いそのままのデータを処理する必要があり、大量のデータフローに対応するためには、超高速かつ高品質なネットワーク上で動作するように、分散型データ管理エンジンの大幅な改良が必要となります。将来的には、複数の当事者間で高速かつ信頼できるデータ交換を行うための堅牢なデータセキュリティとデータ利用を制御するメカニズムが求められるようになるでしょう。

上記②では、今日のコンピューティング環境におけるギャップに加え、それを構成するデータセンタやデータ流通、処理モデルにおける問題点を抽出しています。

## ■データセンタにおける基本的な課題

ユースケースの要件を満たすIDHサービスを構築する際には、次に挙げるような現在のネットワークおよびデータセンタ技術におけるいくつかの基本的な問題がありません(図1)。

(1) データセンタ間のネットワーク品質  
今日のクラウドで利用されるデータセンタ間のネットワーク品質は、現状のユースケースにフォーカスされており、パケットの並べ替えや損失が起こるため、信頼性を確保するためにTCP (Transmission Control Protocol) がUDP (User Datagram Protocol) などの他のプロトコルよりも頻繁に使用されます。これらのネットワークでは、IOWN時代のユースケースが求める地理的に分散されたデータベースやストレージシステムなどのワークロードのパフォーマンスが十分に発揮できません。

(2) データセンタ内のネットワーク品質  
クラウドを構成するハイパースケールデータセンタでは、リソースを接続するネットワーク品質が十分ではありません。例えば、片方向の遅延は1ミリ秒を超えることがあり、深刻なネットワーク輻輳時にはパケット損失が1%を超えることがあります。帯域幅も同様に不安定です。これは基本的にネットワーク装置が持つ容量を超える帯域予約を可能にするオーバサブスクリプションによるもので、実際にはデータセンタ内のコンピューティングリソースどうしをつなげるネットワークは、各リソースに割り当てられた総帯域幅を保証できません。

(3) ストレージ・パフォーマンス  
データの永続性を確保するために、スト

表1 IOWN Global Forumのユースケースと高度なデータ要件

ユースケース	期待する要件			
	データ種別	データ生産者と消費者	データ収集帯域	通信遅延
エリアマネジメント セキュリティ	・映像データ ・LiDARデータ	○データ生産者 ・映像データ 1000台x100-1000エリアで継続データ送信 ・LiDARデータ 1000台x100-1000エリア ○データ利用者 ・セキュリティ管理 ~1000台/エリアでアラート発生時に受信 ・セキュリティ監視 ~50台/エリアで随時確認	・45-60 Mbit/s台 (フルHDモーションJPEG相当) ・600-800台 27-48 Gbit/sビル 数千, 数百万のビル (エリアに依存)	データ収集から分析, 警告まで: 1秒 理想的には100ミリ秒
インダストリーマネジメント 工場遠隔操作	・ロボット・ドローンデータ 8K高精細映像 音声 センサデータ	○データ生産者 ・マシンおよびロボット 10000台/工場 オペレーション中の継続データ送信 ○データ利用者 ・マシンおよびロボット 10000台/工場で要求ごとにデータ受信 ・工場エンジニア ~数千名でアラート情報および要求時にデータ受信	・2.35 Gbit/sロボット・ドローン	データ収集から分析, フィードバック制御まで: 10ミリ秒, 1秒または1秒以内 (想定ユースケースによる)
スマートグリッドマネジメント 再生可能エネルギー最適化	・プロシューマからのセンサデータ ・外部データソース (天候, 人流など)	○データ生産者 ・スマートメータ, 電磁自動車他 ・パワーグリッド設備 ・100000台以上で継続データ送信 ○データ利用者 ・スマートメータ, 電磁自動車他 ・パワーグリッド設備 ・100000台以上で制御信号を受信	・24 Tbit/s (データ生産者より受信) ・128 Pbit/s (2030年に電気自動車からのデータ送信) ・3.2 Gbit/s (他データソース)	データ収集から表示まで: 50ミリ秒 データ収集から分析, フィードバック制御まで: 200ミリ秒

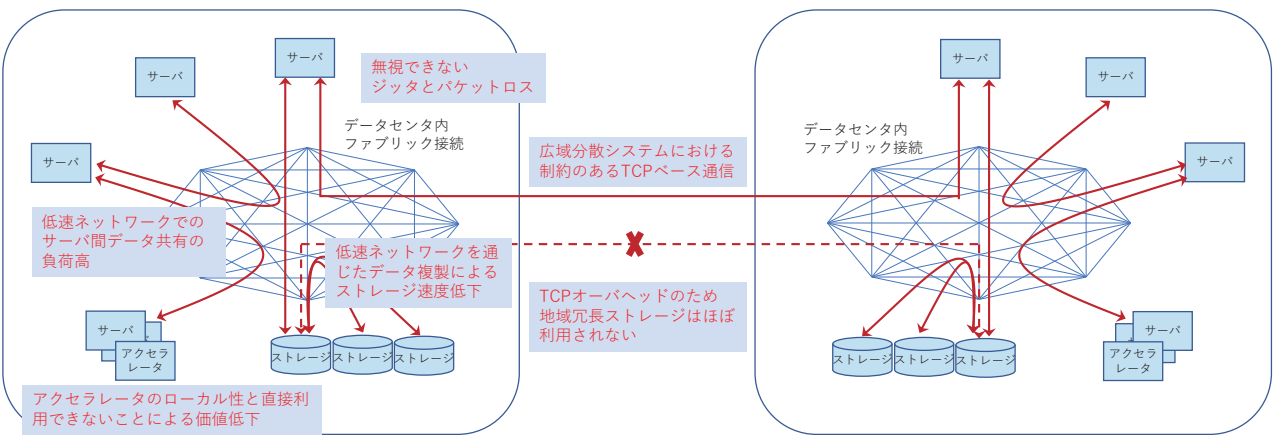


図1 今日のテクノロジー環境におけるギャップの起源

レージは通常、複数のサーバにデータを同期します。しかし、同期には負荷が大きくなるため、パフォーマンスはとても不安定になります。その結果、今日のクラウドのストレージエリアネットワークを介して接続されたストレージシステムは、直接接続されたストレージデバイスよりも動作が遅くなる傾向があります。例えば、ストレ

ジシステムの応答時間は数10ミリ秒を超えることがあり、一般的なデータベースのワークロード、さらには冗長化されたストレージシステムには適していません。

(4) データ共有のパフォーマンス

データを複数のサーバで協調して処理する場合、データの再配布など、サーバ間で一定量のデータ交換が必要となり、全体の

性能に大きく影響します。このようなデータサーバを高速化するために、一部の実装ではRDMA ファブリック接続でサーバ間をつなぎます。しかし、実運用環境でのRDMAの適用は、パケットの損失がなく順序入れ替えも起こらないという厳しい要件が必要なため、今日のクラウド環境では非常に限られた目的でしか使用されていま

せん。

#### (5) アクセラレータの使用

GPU (Graphics Processing Unit) や FPGA (Field Programmable Gate Array) などのアクセラレータは、汎用CPU上のソフトウェアベースの処理に比べて、10倍以上のパフォーマンス、コスト効率、およびエネルギー効率を達成する可能性があります。しかし、このようなアクセラレータの使用は、各サーバ内に配備する必要がありますが、またデータロードを合理化するために外部のクライアントに直接アクセスできません。したがって、現在のネットワークおよびデータセンタ技術では、高速かつ低オーバーヘッドで複数の汎用コンピューティングリソース間でアクセラレータリソースを共有することはできません。

#### ■今日の実装モデルと本質的なギャップ

前述の問題を踏まえ、IDHのようなデータサービスを今日の技術で実現するためには、以下のような制約を受け入れる必要があります。

#### (1) 1カ所でのデータ処理の完了

データセンタ間ネットワークの品質の問題で処理効率が著しく低下する場合、地理的に分散したデータサービスの実現は困難になります。現在のサービスは、単一のデータセンタ内、または近隣のアベイラビリティゾーン内に実装されるように設計されています。実際、今日のクラウドはそのようなサービスの集合体になっているため、クラウドデータセンタの規模は巨大になり、利用可能なクラウドリージョンの数は、世界中で多くても30程度であり、非常に限られています。つまり、データの生成場所に関係なく、すべてのデータをクラウドデータセンタのいずれかに転送し、すべてのデータ処理をそこで完了する必要があるため、エネルギー消費の点では非常に効率の悪いシステムになってしまいます。

#### (2) スケーラブルなトランザクション分散RDBを構築するための基盤としての非同期データ・レプリケーション

一般的に、スケーラブルなトランザクションRDB (Relational Database) システムを構築するために、複製された読み取り専用のデータを各RDBサーバの近くに配置します。しかし、このような複製は、ネットワークのパフォーマンスが遅いため、非

同期的に実行される傾向があります。また、低速ネットワークでのデータ複製の負荷を軽減するため、データそのものでなく、しばしばトランザクションログまたは変更ログのみを伝播します。この場合、性能は向上しますが、各サーバのログデータからテーブルデータを再構築する必要があり、その処理のためのコストや消費電力の増加は避けられません。

#### (3) スケーラブルなKVS, Message Brokerと分析用分散RDBを構築するためのシャード化されたデータ処理

シャードとは、関連するデータをまとめて複数のデータベースに分散させることで応答時間を短くし、スケールできるようにする技術です。KVS (Key-Value Store) などのスケーラブルなシステムを構築するために使用されます。しかし、データ再配置のための移動やサーバ間の通信はなくなり、むしろ、さまざまな角度からデータを扱う必要がある高度なデジタルトランスフォーメーション (DX) サービスでは、より増加する可能性があります。さらに、シャード化されたシステムではスケールアウト操作とスケールイン操作の間に一定量のデータ移動が必要であるため、今日のクラウドにおけるデータサービスでは、スケラビリティの動的な変更について制限されています。

#### (4) キャッシュ層の利用

低速なネットワークとストレージシステムによる制約により、データはプロセスごとに管理され、非同期な分散処理が多用される傾向にあります。実際、現在のクラウドでは、このような実装を合理化するために、さまざまなキャッシュデータ管理サービスが提供されています。しかし、これによってエンド・ツー・エンドの遅延が増加し、同じデータがクラウド内で複数回余計にコピーされてしまうため、コストとエネルギー消費の点で望ましくありません。

#### (5) 実験段階にあるアクセラレータの利用

前述の問題解決の方向として、GPUやFPGAなどのアクセラレータを用いて、分散RDBにおけるクエリなどのデータ処理を高速化することが考えられます。実際にこのようなソフトウェアが開発され検証されていますが、実用的にはパフォーマンス

とコスト効率はほとんど改善されず、しばしば悪化します。これは主に、アクセラレータの起動時にデータを事前にロードする必要があるためです。

IDHは、今日のクラウドが有する基本的、本質的な課題を解決するよう設計する必要があり、これからますます求められる広範囲かつリアルタイムなサイバー・フィジカルシステムのユースケースに適應するために、さらなる技術開発を進めていかななくてはなりません。そのためには、実際にユースケースに沿って繰り返しIDHの検証を行い、さらなるフィードバックを通じて必要な機能や設計手法をより具体化していく必要があります。

## IDHに関するPoCの取り組み

IOWN Global Forumは、このIDHの実現に向けて、2022年10月にIOWN Data Hub PoC Reference<sup>(5)</sup>を策定しました。Open APNによりハイブリッド・マルチクラウド接続が超高速化されるに伴い、ハイパースケラの一極集中からエンタープライズデータセンタやエッジクラウドの活用がより進むことが想定されます。そのため、それに合ったデータ流通のアーキテクチャ変革が求められています。IDHは、これまでハイパースケラがセントラルクラウドで行っていた処理・機能群を disaggregate し、エッジクラウドなどにそれらを再配置します。IOWN Global Forumは、このOpen APNやDCIで接続される新たなIDHアーキテクチャを多くのユースケースで検証し展開を図るため、本PoCリファレンスを公開し、IOWN Global Forumのメンバに限らず広く仲間を募っています。

#### ■IDH PoCリファレンスについて

本PoCリファレンスは、さまざまなDXサービスの厳しい要件を満たすIDHアーキテクチャを検証するために策定されました。本リファレンスでは、ユースケースの例として、スマートファクトリー、スマートグリッド、メタバースを挙げ、5つのPoCシナリオを定義しています。

例えば、一般にメタバースサービスを構築するには、参加者に関する情報を収集し、仮想空間内でアバターとして表現し、仮想

空間内でアバターが相互に対話できるようにする必要があります。そのためには、高品質なメタバースサービスにおいて、以下の要件を満たさなければなりません。

- ・最大数100万人の参加者のモーションデータを収集し、数10ミリ秒のサイクルでそれぞれが対応するアバターの動きに反映
- ・多くの仮想建物やその他の構造要素を含む仮想空間内でアバターを移動させ、相互にコミュニケーション
- ・アバターの視点に基づいて、数10ミリ秒以下のモーションtoフォトンレイテンシーで仮想空間の風景をレンダリング

このようなユースケースに対応したIDHアーキテクチャを実証するために、前提となるIDHサービスの地理的分散展開を考慮したPoCテスト環境を定義し、PoCを行うべきポイントを示しています(図2)。

本モデルでは、IDHシステムのフロントエンドサーバのサブグループをリージョナルエッジセンタに配置し、接続されたIoT(Internet of Things)デバイス等に対して低遅延のサービスを提供します。IDHシステムの一部であるデータサービスサーバやストレージサーバを遠隔地のデータセンタやセントラルクラウドに配置し、データの永続化やデータの利用をサポートします。

このモデルをベースに、以下の5つのPoCシナリオを規定しています。

- ・シナリオ1：Open APNによるFrontend-to-Data Service PUT通信の高速化
- ・シナリオ2：Open APNによるデータサービスからフロントエンドへのGET通信の高速化
- ・シナリオ3：Open APNによるデータサービス間通信の高速化
- ・シナリオ4：DCIを使用したエラストリック高速共有可能ストレージ
- ・シナリオ5：低遅延応答と効率的な地域分散処理をサポートする新しいフロントエンドの実装

さらにそれぞれのシナリオに対して、概要、具備すべき機能、可変条件、期待するベンチマーク等が記載されており、読者がこれらの情報に基づいてIDHのPoCを進められるようになってきています(表2)。

現在、IOWN Global Forumメンバ各社が、本PoCリファレンスを参考にそれぞれのシナリオに関するPoCを始めており、IDHの実現に向けた取り組みが着実に進んでいます。

### NTTグループにおける取り組み

NTTソフトウェアイノベーションセンタでは、IDHの実現に寄与するため、IDHリファレンスアーキテクチャの機能セットとして定義されている仮想データレイクなどの研究開発を進めています。

デジタルツインコンピューティングで構成される仮想世界と現実世界には、さまざまなステークホルダが存在しています。冒頭で述べたようなフィードバックループをリアルタイムで回すためには、データを高速に伝送するだけでなく、立場の違うステークホルダ間でセキュアにデータ交換を行えなければなりません。そのため、流通させるデータのガバナンスを永続的に保ちながら、最新のデータがあたかも手元にあるかのように扱えることが必須になります。

NTTソフトウェアイノベーションセンタが開発中の仮想データレイクは、異なる組織・企業が管理し、地理的にも多拠点に分散している遍在データを仮想的に集約・一元化し、データ利用者がオンデマンドに必要なデータのみを効率良く取得・活用することを可能にします。そのために、データ利用者が膨大なデータの中から必要とするデータをメタデータ(データの意味情報や形式情報など)に基づいて探索・発見する機能や、データ提供者が定めたポリシーに基づいて許可されたデータのみをデータ利用者に表示・利用させてガバナンスを維持する機能などを備えます。これらにより、組織・企業の垣根を越えた多種・大量データの、速く、容易で、安全確実な相互活用を実現します。

今後、IDHプラットフォームを実用的なものにするために、IDH PoCリファレンスなどを参考に、実証を行っていきます。

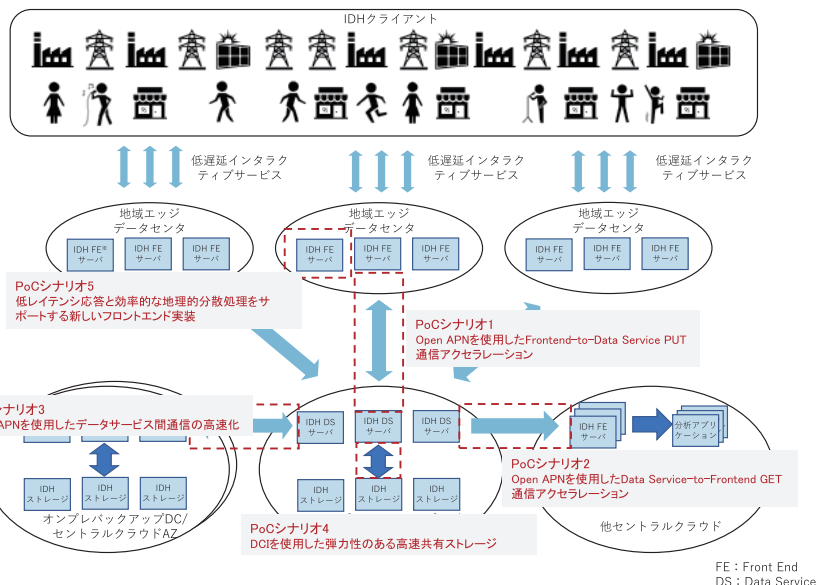


図2 地理的分散IDH導入モデルとIDH PoCシナリオマッピング

表2 各シナリオのベンチマーク要件

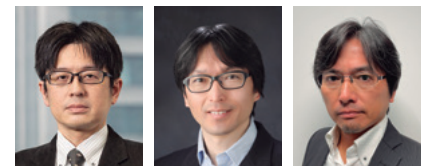
	具備すべき機能	可変条件	期待するベンチマーク
PoCシナリオ1 Open APNを使用したFrontend-to-Data Service PUT通信アクセラレーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>Open APNを介したPUT通信</li> <li>データ転送前のデータ前処理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ネットワークタイプ、遅延、ジッタ、帯域幅、パケット損失、およびパケット順序変更の影響</li> <li>ネットワークプロトコルパラメータ</li> <li>データオブジェクトのサイズとデータ圧縮の有無</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>単位システムリソース当りのスループット</li> <li>単位システムリソース当りのエネルギー消費量</li> </ul>
PoCシナリオ2 Open APNを使用したData Service-to-Frontend GET通信アクセラレーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>クラウドデータセンターのフェデレーション機能</li> <li>Open APNを介した通信の取得</li> <li>オンプレミスDCでのデータのフィルタリングと前処理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ネットワークタイプ、遅延、ジッタ、帯域幅の影響</li> <li>ネットワークプロトコルパラメータ</li> <li>データオブジェクトのサイズ</li> <li>関連データの比率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>必要なデータ転送時間</li> </ul>
PoCシナリオ3 Open APNを使用したデータサービス間通信の高速化	<ul style="list-style-type: none"> <li>Open APNを介したサーバ間通信</li> <li>継続的なデータ取り込みとデータ使用</li> <li>データのプルアクセス</li> <li>データのプッシュ配信</li> <li>Message Broker、分散RDBおよびKVSの複数のデータサービスサーバ間での同期データ複製</li> <li>スケールアウト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ネットワークタイプ、遅延、ジッタ、帯域幅の影響</li> <li>取引規模の影響</li> <li>データレコードサイズの影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>データハブの応答時間とジッタ</li> <li>単位システムリソース当りのスループット</li> <li>単位システムリソース当りのエネルギー消費量</li> <li>スケール係数</li> </ul>
PoCシナリオ4 DCIを使用した弾力性のある高速共有ストレージ	<ul style="list-style-type: none"> <li>DCIによる、ゲートウェイサーバを経由するデータサービスサーバとストレージサーバ間の通信経路の確立</li> <li>iSCSIなどの標準プロトコルの使用</li> <li>データの連続的かつ同時書き込みと読み込み</li> <li>共有ストレージ</li> <li>スケールアウト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>データブロックサイズの影響</li> <li>ランダム・シーケンシャルアクセス</li> <li>読み取り・書き込み動作の比率</li> <li>ストレージシステムのトポロジ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ストレージシステムの応答時間</li> <li>単位システムリソース当りのスループット</li> <li>単位システムリソース当りのエネルギー消費量</li> <li>スケール係数</li> <li>データハブのパフォーマンス</li> </ul>
PoCシナリオ5 低レイテンシ応答と効率的な地理的分散処理をサポートする新しいフロントエンド実装	<ul style="list-style-type: none"> <li>Open APNを介したデータ取り込み</li> <li>Message Brokerとその他のデータハブサービスのコンバージェンス</li> <li>インメモリのデータベースのデータ処理</li> <li>Message Broker (バッファリング) ロールと他のデータハブロール間でのメモリ領域の共有</li> <li>継続的なデータ取り込みとその後のデータ処理</li> <li>リソース制御</li> <li>スケールアウト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ネットワークタイプ、遅延、ジッタ、帯域幅の影響</li> <li>取引規模の影響</li> <li>データレコードサイズの影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エンド・ツー・エンドの応答時間とジッタ</li> <li>単位システムリソース当りのスループット</li> <li>単位システムリソース当りのエネルギー消費量</li> </ul>

## 今後の展開

IDHは、Open APN、DCI上で動作するデジタルツインコンピューティングを支える“データベース is ネットワーク”のプラットフォームとして、例えば広域の自動運転といったミッションクリティカルなユースケースへの活用も今後期待されます。NTTは、多くのパートナーと一緒に、IOWN時代のユースケース要件を達成するIDHのさまざまな実装モデルを検証し、社会実装を進めていきます。

### ■参考文献

- (1) 井上：“IOWN Global Forumにおけるストレージサービスの検討,” NTT技術ジャーナル, Vol. 34, No. 3, pp. 23-27, 2022.
- (2) [https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-Data\\_Hub\\_Functional\\_Architecture-2.0.pdf](https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-Data_Hub_Functional_Architecture-2.0.pdf)
- (3) [https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-CPS\\_Use\\_Case\\_1.0.pdf](https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-CPS_Use_Case_1.0.pdf)
- (4) [https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-AIC\\_Use\\_Case\\_1.0.pdf](https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-AIC_Use_Case_1.0.pdf)
- (5) [https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-IDH-PoC-Reference\\_1.0.pdf](https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-IDH-PoC-Reference_1.0.pdf)



(左から) 南端 邦彦 / 井上 知洋 / 高屋 和幸

次世代のデータ流通プラットフォームをめざすIDHは、多くの皆様と一緒につくり上げる必要があります。ぜひIDHにご興味をお持ちいただき、社会実装に向けた取り組みと一緒に進めていきましょう。

### ◆問い合わせ先

NTT 研究企画部門  
IOWN 推進室  
E-mail [iown-info@ntt.com](mailto:iown-info@ntt.com)



# IOWN Global Forum が推進するDCIのアーキテクチャについて

IOWN Global Forumは、IOWN APN (All-Photonics Network) の高速、低遅延といった特徴を活用した新たなICT基盤、「Data Centric Infrastructure (DCI)」を提案しています。本稿では、2023年3月に発表された「DCI機能アーキテクチャ2.0版」を基にIOWN Global Forumが定義するDCIのアーキテクチャを解説し、今のICT基盤が抱えるスケーラビリティ、パフォーマンス、低消費電力といった課題に対するDCIの優位性を説明します。IOWNが提案する新たなICT基盤、DCIへの理解を深めてください。

キーワード：#データセントリック、#IOWN Global Forum、#DCI

よしだ ひろし

吉田 寛

NTT 研究企画部門

## はじめに

本誌2023年11月号では、『IOWN時代のデータ処理を支えるデータセントリック基盤とそのコンセプト実証』<sup>(1)</sup>と題して、Data Centric Infrastructure (DCI) のデータ処理基盤やアクセラレータの概説と、映像解析をユースケースとしたコンセプトの実証について紹介しました。

本稿では、先月号に続かたちで、IOWN Global Forumが2023年3月に公開した「DCI機能アーキテクチャ2.0」<sup>(2)</sup>を中心に、DCIの全体像を解説します。ぜひ先月号の特集とともに読んでいただき、IOWNが提案する新たなICT基盤、DCIへの理解を深めてください。

## 現在のICT基盤の課題

### ■スケーラビリティに対する課題

ICT基盤は、大量の問い合わせに対する応答を必要とするオンライントランザクション処理や、大規模なデータ処理を実施するデータバッチ処理など、要求の異なるさまざまなデータ処理に対応する必要があります。また、例えばセール等のイベントに伴ってインターネット通販サイトに大量のアクセスが発生するなど、ICT基盤のデータ処理に対する要求が急激に変化し、数分または数時間の間に対応を迫られることもあります。現在のICT基盤にはこうした要求の変化に対して柔軟に対応するスケーラビリティが求められます。

### ■パフォーマンスに対する課題

例えば、仮想空間において各参加者の動きを周囲の人間に伝えたり、金融において高速なトランザクションを処理したりする場合など、応答時間について厳しい要件を持つデータ処理が存在します。現在のICT基盤では、こうした高い要求条件に対して、特にデータ転送の観点で十分対応することができません。

### ■エネルギー消費に対する課題

現在のICT基盤では、さまざまなボトルネックが存在します。例えばデータ転送がボトルネックとなっている場合、CPUはその処理能力の大半をデータ転送の待ち合わせのために消費することになります。また、最近では画像処理に特化することで高

速な処理が可能なGPU (Graphics Processing Unit) や、ネットワーク処理、セキュリティ処理等特定の計算に特化したDPU (Data Processing Unit) など、CPUと得意分野が異なるアクセラレータに処理を分担させることが一般化しています。計算リソースを効率活用し、かつ適切に役割分担させることは、ICT基盤全体としての電力効率の最適化を実現します。

## DCIについて

DCIは、こうした課題に対処するためにIOWN Global Forumが提案する新しいICT基盤のアーキテクチャです。まず、図1をご覧ください。この図は、DCIを中心

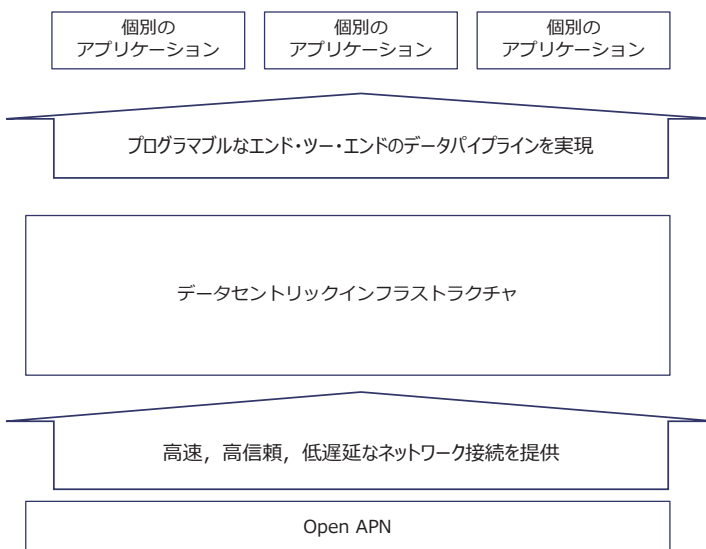


図1 DCIを中心としたICT基盤の全体像

としたICT基盤の全体像を表しています。このICT基盤の階層構造では、一番下にOpen APN (All-Photonic Network) が位置します。そして最上位には複数のアプリケーションが存在します。DCIは、Open APNが提供する大容量かつ低遅延なネットワーク環境を前提として、各アプリケーションに対して「プログラマブルなエンド・ツー・エンドのデータパイプライン」を提供し、各アプリケーションの機能を実現させます。

本稿では、「Open APN」「データパイプライン」の概念について説明したうえで、DCIがどのようにアプリケーションの機能を実現させるのかについて説明します。

#### ■Open APNとは

Open APNとは、その全区間を光通信によって構成された高速なネットワークです。その特徴としては、大容量かつ低遅延のネットワーク、特に遅延が予測可能なネットワークを提供できることにあります。Open APNは、その大容量と低遅延を活かし、ネットワークに接続されたさまざまな機器、装置の間で、実際の距離や設置場所によらず「すぐ近く」にあるかのようにデータを転送することができます。Open APNの詳細、およびNTTの取り組みは、本特集記事『Open APNの詳細化、実用化に向けた取り組み』<sup>(3)</sup>でも紹介していますので、ぜひご参照ください。

#### ■データパイプラインとは

次に、DCIが実現する「データパイプライン」の概念を説明します。データパイプラインとは、さまざまなアプリケーションが要求するデータの取得、処理、変換、提示等の機能を実現する統一されたストリームです。データパイプラインの例を図2に示します<sup>(4)</sup>。図2は、監視カメラの映像を、メタデータを基に集計・分析するシステムのデータパイプラインの例を示しています。この例では、監視カメラの映像が解析サーバに送られ、写っているものの情報などのメタデータが解析されます。メタデータについては集計のために分析サーバに送られ

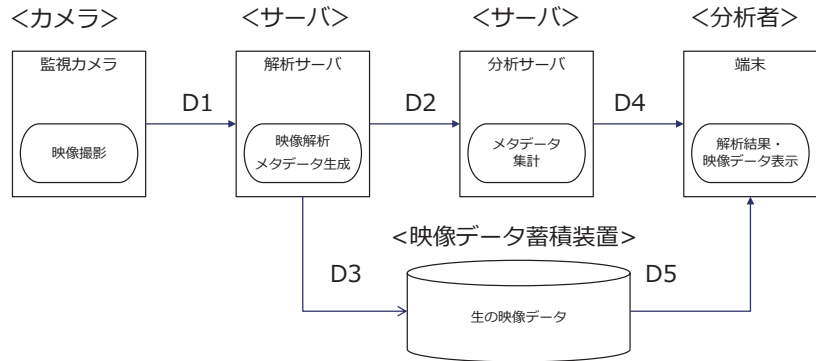


図2 監視カメラの映像をメタデータを基に集計・分析するシステムのデータパイプラインの例

るとともに、生の映像データがストレージに蓄積されます。分析サーバでメタデータについての集計が行われ、分析者は端末を用いてメタデータで解析を行うとともに、実際の映像データをストレージから参照することができます。丸みを帯びた楕円形は「データプロセッシング」、つまりデータの収集や解析といった自律的な動作の集合を意味します。プロセスを実行するために、プロセスの外側に長方形で示される「機能ノード」が存在します。ドラムで表現される「データベース/ストレージ」は典型的にはファイルシステムやデータベースであり、データを蓄積する機能を意味します。これらをつないだものが「データフロー」であり、「データプロセッシング」や「ストレージ」にデータを転送する機能を意味します。IOWN GFが「データパイプラインダイアグラム」としてこのデータパイプラインの表現方法を定義しました<sup>(4)</sup>。データパイプラインは、アプリケーションの機能を実現するためのリソースを抽象化したものになります。

### DCIの各種リソース

では、DCIはどのように「データパイプライン」を実現するのでしょうか。それについて説明する前に、まずDCIが各種リソースをどのように管理しているかを説明します。

#### ■機能カード、物理ノードとDCIクラスタ

DCIが管理する各種リソースの概念図を図3に示します。

「データプロセッシング」は、前述の通りデータパイプラインのうち、データの収集や解析を実施する機能を意味し、典型的にはCPUによって実現されています。また最近では、画像処理に特化することで高速な処理が可能なGPU (Graphics Processing Unit) や、ネットワーク処理、セキュリティ処理等特定の計算に特化したDPU (Data Processing Unit) なども注目されています。同様に「ストレージ」は、SSDやHDDによって実現されます。

DCIでは「データプロセッシング」と「ストレージ」を「ホストボード」と「機能カード」の2つに分類します。「ホストボード」は典型的にはCPUとメモリから構成され、一般的なサーバにおけるマザーボードに相当します。「機能カード」はそれ以外の部品、例えばGPU、DPUやネットワークインタフェース、あるいはストレージなどを指し、一般的なサーバにおけるNIC (Network Interface Controller) やグラフィックカード等の拡張ボードやSSD等のストレージに相当します。「ホストボード」と複数の「機能カード」を組み合わせたものが「DCI物理ノード」であり、DCI物理ノード内でホストボードと機能カードを接続するのが「ノード内インタコネクト」となります。現在サーバ等で広く採用されているPCI Expressはノード内インタコネクトの一例

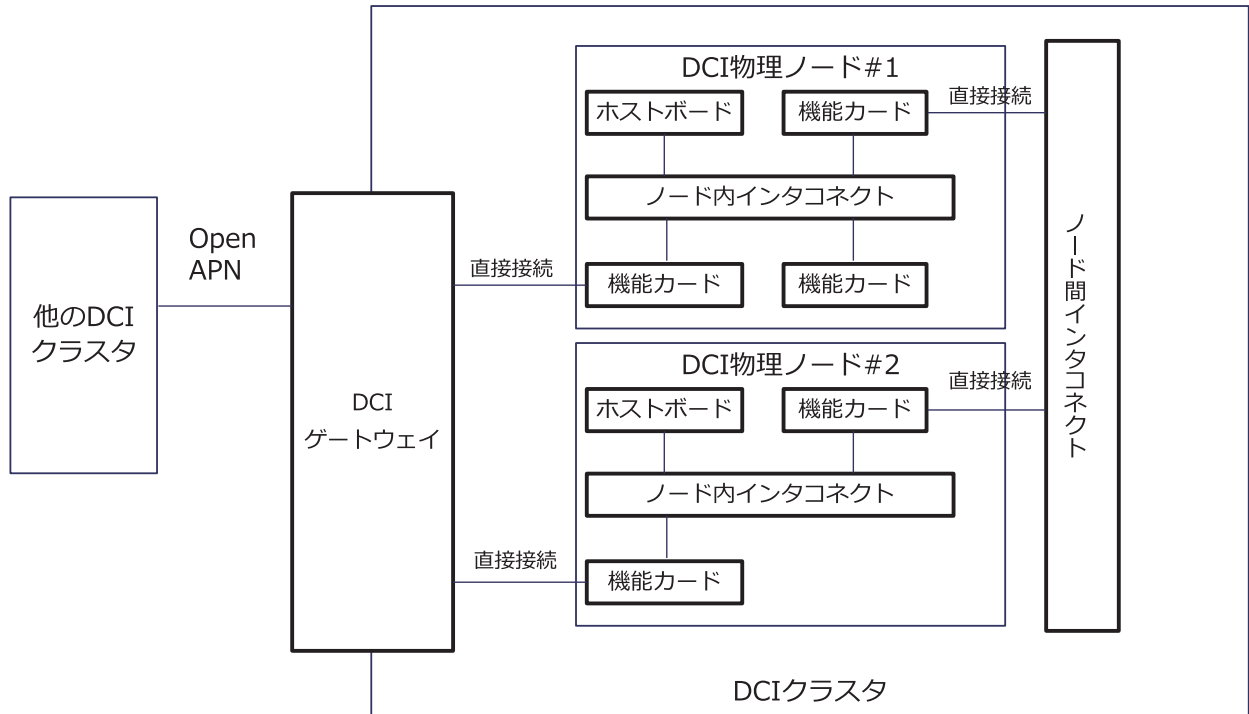


図3 DCIが管理する各種リソースの概念図

となりますが、CXL (Compute Express Link) など、より柔軟性の高い規格も検討されています。

さらに、このようなDCI物理ノードを複数集めて構成される計算インフラが「DCI クラスタ」です。DCI クラスタは複数の物理ノードから構成されますが、特徴的な機構として「ノード間インタコネク」 と「DCI ゲートウェイ」を持ちます。

ノード間インタコネクはDCI物理ノード間を接続するネットワークです。一般的なクラスタにおいてもクラスタを構成するサーバ間を接続するネットワークは存在しますが、ノード間インタコネクの特徴として、一部の機能カードは直接このノード間インタコネクにアクセスできます。このようにノード間インタコネクに直接アクセスできる機能カードを「ネットワーク対応機能カード」と呼びます。ネットワーク対応機能カードは、所属する物理ノードのノード内インタコネクを経由することなく、他の物理ノード内の機能カードやホ

ストボードと直接データ転送が可能です。NICは当然ネットワーク対応機能カードですが、DCIではGPUやストレージなどの機能カードの中にもネットワーク対応機能カードがあることを想定しています。

DCIゲートウェイは、DCIクラスタ間を接続するゲートウェイにあたり、他のDCIクラスタとOpen APNで接続されます。ネットワーク対応機能カードは、DCIゲートウェイに対しても直接アクセス可能であり、他のDCIクラスタに属する機能カードともOpen APNを経由して高速なデータ伝送を行うことができます。

■ LSNとデータパイプラインの実現

次に、DCIクラスタによって、アプリケーションごとにデータパイプラインを実現する仕組みについて解説します。データパイプラインを実現するためには、DCIクラスタ内の機能カードやホストボードをピックアップして、論理サービスノード (LSN: Logical Service Node) を構成します。

もしLSNが1つの物理ノード内の要素で

構成されるのであれば、データパイプラインのデータフローをすべてその物理ノードのノード内インタコネクによって実現することも可能です。しかしLSNが複数の物理ノードにまたがる場合、データフローを実現するためにはノード間インタコネクが必要になります。また、データパイプラインは所属するDCIクラスタが異なる複数のLSNによって構成することも可能です。この場合、LSNをまたがったデータフローはDCIゲートウェイを経由する必要があります。

データパイプラインの構成例を図4示します。今回DCIクラスタからは黄色く塗った機能カードA、B、CをピックアップしてLSNを構成することとしました。機能カードAはネットワーク対応機能カードではないので、ノード間インタコネクに直接接続することができず、一度ノード内インタコネクおよび機能カードXを経由してノード間インタコネクに接続します。

一方DCI物理ノード#2の機能カードB



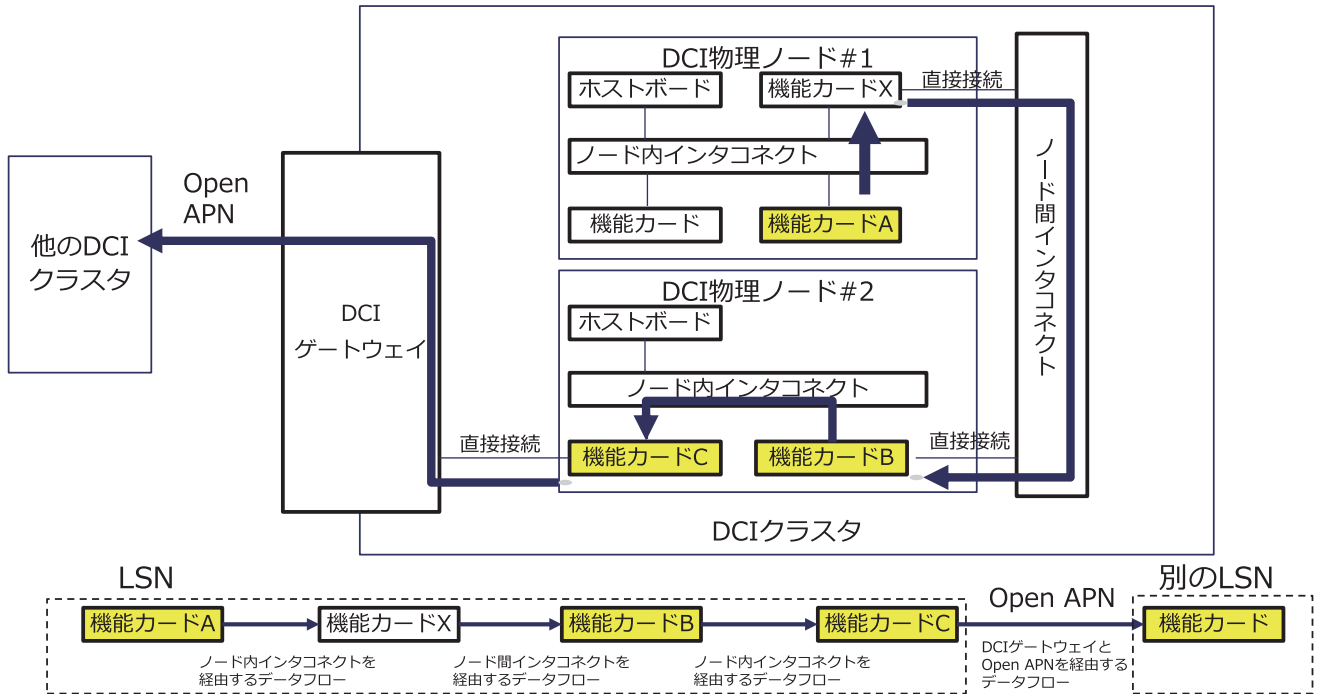


図4 データパイプラインの構成例

はネットワーク対応機能カードなので、ノード間インタコネクタから直接機能カードBに接続することができます。また機能カードCもネットワーク対応機能カードでDCIゲートウェイにつながっているため、機能カードCから直接DCIゲートウェイを経由して他のDCIクラスタにある別のLSNに接続することが可能となります。

このようにDCI物理ノードやDCIクラスタをまたがった柔軟なデータパイプラインを設定できることがDCIの特徴となります。

## DCIの課題と解決

ここまで、DCIがデータパイプラインを提供する仕組みについて説明しました。ではDCIによって、前述したスケーラビリティ、パフォーマンス、低消費電力の課題がそれぞれどのように解決されるのかについて次に述べます。

### ■スケーラビリティに対する課題の解決

従来のICT基盤では、計算を行うコン

ピューティングと、データを転送する広域ネットワークが独立して進化してきたため、物理ノードやクラスタをまたがった柔軟なスケールが困難でした。しかしDCIではネットワーク対応機能カードがノード間インタコネクタを経由して直接相互接続されるため、データ転送がボトルネックとなることがなくなります。さらにDCIゲートウェイを経由して異なるDCIクラスタのLSNまでを容易に統合できるため、物理ノードやクラスタをまたがったリソースを統合によるスケーラビリティを実現します。

### ■パフォーマンスに対する課題の解決

DCIではネットワーク対応機能カードがノード間インタコネクタを経由して直接相互接続されることから、それらの間のデータ転送はCPUを経由することなく極めて高速に実行されます。そしてDCIクラスタをまたがるデータ転送もOpen APNを介することで高速な実行が実現します。このことから、応答時間について厳しい要件を求められるアプリケーションに対しても、

十分な応答性能を提供することが可能となります。

### ■エネルギー消費に対する課題

DCIではデータ転送におけるボトルネックが少ないため、CPUがデータ転送を無駄に待ち続けることがありません。また、計算の要求に応じて、GPUやDPUといったアクセラレータを柔軟に選択することができます。このことから、計算リソースの利用効率が改善するとともに、システム全体としてのエネルギー消費を最適化することができます。

## KEY VALUES AND TECHNOLOGY EVOLUTION ROADMAP と今後のDCIの発展

最後に、2023年8月に発表されたKEY VALUES AND TECHNOLOGY EVOLUTION ROADMAP<sup>(5)</sup>を参照しつつ、DCIに関連する各技術が今後の発展を示すロードマップ上にどのように表現されたかにつ

表 IOWN コンピューティングの発展ロードマップ

要素	Phase 1 (現在)	Phase 2 (3-5年)	Phase 3 (by 2030)
計算リソースの割り当て管理単位	サーバレベル	計算デバイスレベル	計算デバイスレベル
エネルギー効率	測定を実施 ワークロード/イベント/トラフィックに依存しない	正確に測定され、制御されるワークロード/イベント/トラフィックと密接に一致	フェーズ2と比較して大幅な削減を目指す
データ転送	ホストボードによって支援される	XPU (GPU, DPU) 間の直接接続	XPU (GPU, DPU) 間の直接接続
キャッシュコヒーレンスメモリスペース	COTSスケール	ラックスケール (CXL 経由)	ラックスケール (CXL 経由)
RDMA	データセンタ内での適用	データセンタをまたがった適用 (by RDMA over APN)	データセンタをまたがった適用 (by RDMA over APN)
論理サーバの構成	サーバレベル	モジュールカードレベル (PCIe カード, CXL カードなど)	チップレベル
セキュリティ	現在の暗号 (例: RSA, DH)	ポスト量子暗号	ポスト量子暗号にくわえ、そのゼロトラスト概念による管理
計算リソースの構成時間	数時間	数分	数秒
非常に厳しい時間的制約や決定論的処理時間を必要とするアプリケーション	実現不可	ms レベルで決定論的に処理時間を担保可能	ms レベルで決定論的に処理時間を担保可能
ストレージ/データ移動	ローカルレベルでの移動	地域レベルでの移動	国家レベルでの移動

いて説明します。

まず現在サーバレベルとなっている計算リソース割当管理単位を、Phase2で要素単位、つまりホストボードや機能カード単位にすることを実現します。また、Phase2では、前述したネットワーク対応機能カードにより、GPUやDPU間で直接伝送を実現します。

また、計算リソースの構成時間について現在は1時間単位で掛かっていますが、本稿で述べたLSNの実現により、Phase2では分単位、Phase3では秒単位での構成を可能としています(表)。

## 結論とまとめ

本稿では、DCI機能アーキテクチャについて概要を説明しました。

IOWNがデータ駆動型社会の高度なITを活かすためには、「QoSが管理された高速ネットワーク」を前提として、計算基盤とネットワークを融合させた「新たなICT基盤」が求められており、IOWNのDCI

はそれにあたるものです。

なお、本稿では文字数の都合から、DCIを支えるいくつかの重要な概念、例えば「インフラストラクチャオーケストレータ」や「機能別ネットワーク」「リソースプール」について説明することができませんでした。これらについては、IOWN Global Forumが公開しているDCI機能アーキテクチャ2.0版に記載がありますので、ぜひご参照ください。

## 参考文献

- (1) 樽林・石崎・Sampath・Christoph・水野：“IOWN時代のデータ処理を支えるデータセントリック基盤とそのコンセプト実証,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No. 11, pp. 47-52, 2023.
- (2) [https://iowngf.org/wp-content/uploads/2023/04/IOWN-GF-RD-DCI\\_Functional\\_Architecture-2.0.pdf](https://iowngf.org/wp-content/uploads/2023/04/IOWN-GF-RD-DCI_Functional_Architecture-2.0.pdf)
- (3) 海沼・武田・可児・西沢：“Open APNの詳細化、実用化に向けた取り組み,” NTT技術ジャーナル, Vol. 35, No. 12, pp. 15-19, 2023.
- (4) Figure B.2-2: An Example of Data Pipeline Diagram (Big Mail System): <https://iowngf.org/wp-content/>

- uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-RIM-for-AM-Use-Case-1.0.pdf  
(5) [https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-KVaTE\\_Roadmap-1.0-1.pdf](https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-KVaTE_Roadmap-1.0-1.pdf)



吉田 寛

DCIについてはまだまだIOWN Global Forum内で議論中の概念であり、併せてフォーラムメンバがPoCを通じた評価を進めております。DCIがもたらす新たなICT基盤にぜひご期待ください。

## ◆問い合わせ先

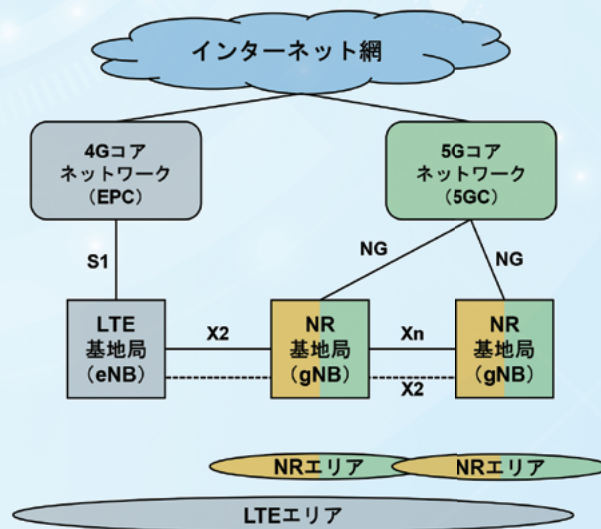
NTT 研究企画部門  
IOWN 推進室  
E-mail [iown-info@ntt.com](mailto:iown-info@ntt.com)

# 5G SA方式における コアネットワーク技術概要と 無線基地局装置の開発

NTTドコモは5G(第5世代移動通信システム)単独で動作する5G SA(Standalone)を実現するため、5G専用のコアネットワーク装置(5GC)を開発・導入し、2021年12月に法人向けとして、商用サービスを開始した。また、2022年8月に5G SA方式の一般消費者向け商用サービスも開始した。本特集では5G SA方式を実現するための各技術について紹介する。

## 5G SA方式を実現する5Gコアネットワーク技術概要 ——— 38

前世代4G(第4世代移動通信システム)/LTE(Long Term Evolution)のコアネットワーク装置であるEPC(Evolved Packet Core)と対比しつつ、2つの先進技術と新たな価値であるネットワークスライシングを中心に紹介する。



5G Standalone

5GC

ネットワークスライシング

優先制御

gNB

## 5G SA方式での音声通話を実現する コアネットワーク技術概要

41

5G単独で動作する5G SAの一般消費者向け商用サービスを提供するにあたり、5G SAでの音声通話サービスや5Gエリア外にて4G/LTEへの通信の引継ぎサービスを可能とする機能について紹介する。

## 5G SA方式に対応した無線基地局装置の開発

45

5G SA方式のシステム構成、「高速・大容量」に寄与する機能、呼処理制御機能、「安心・安全」を実現するためのアクセス規制機能について紹介する。



# 5G SA方式を実現する5Gコアネットワーク技術概要

NTTドコモは5G（第5世代移動通信システム）単独で動作する5G SA（Standalone）を実現するため、5G専用のコアネットワーク装置（5GC）を開発・導入し、2021年12月に法人向けとして商用サービスを開始しました。5GCではSBA（Service Based Architecture）やコンテナ基盤のような先進的な技術を導入し、ネットワークスライシングなどの5G時代のネットワークに求められる新たな価値創造を実現していくことが可能となります。本稿では、これらの技術について解説します。

キーワード：#5G Standalone, #5GC, #ネットワークスライシング

## はじめに

5G SA（Standalone）方式<sup>\*1</sup>を実現するために開発・導入した5G（第5世代移動通信システム）専用のコアネットワーク装置（5GC：5G Core network）<sup>\*2</sup>では、例えば以下2つのような先進的な技術を活用しています。

- ・REST API（REpresentational State Transfer Application Programming Interface）<sup>\*3</sup>ベースで制御装置間の連携をするSBA（Service Based Architecture）<sup>\*4</sup>
- ・更新や立上げが容易なコンテナ基盤

これら技術は、後述する各ネットワーク機能（NF：Network Function）を疎結合にし、通信の利用用途に合わせて柔軟に各NFを組み合わせることを可能とします。これにより、ネットワークスライシングをはじめとした5G時代のネットワークに求められる新たな価値提供が可能となります。

本稿では、前世代4G（第4世代移動通信システム）/LTE（Long Term Evolution）のコアネットワーク装置であるEPC（Evolved Packet Core）<sup>\*5</sup>と対比しつつ、上記2つの先進技術と新たな価値であるネットワークスライシングを中心に解説します。

## 5G NSAと5G SAでのコアネットワーク装置構成の比較

NTTドコモは、5Gの初期導入時の方式

\* 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」（Vol.30 No.4, 2023年1月）に掲載された内容を編集したものです。

として既存のEPCに5G基地局を接続して5Gサービスを実現する5G NSA（Non-Standalone）方式<sup>\*6</sup>を採用しました。この方式は、5G用の基地局装置gNB（gNodeB）、4G用の基地局装置eNB（eNodeB）および第4世代のコアネットワーク装置であるEPCから構成され（図1(a)）、5G用の装置だけではなく4G用の装置を用いるため、5G NSA方式と呼ばれます<sup>(1)</sup>。この方式では、ユーザデータの送受信を行うU-Plane（User Plane）処理に5G基地局装置および4G基地局装置を利用し、信号の制御を行うC-Plane（Control Plane）処理に4G基地局装置を利用します。5G NSA方式を採用した理由は、EPCを利用することでC-Plane処理は従来と同等の品質レベルを実現可能であること、加えて既存ネットワークインフラを活用でき早期導入が可能になること、の2点です。

一方5G SA方式は、5G用基地局装置であるgNB、および5G用コアネットワーク装置である5GCによって構成されます（図1(b)）。5G SAでは、4G用の装置を使わないシンプルな構成となり、U-Plane処理、C-Plane処理共に5G装置を利用して行います。このネットワーク構成では、ネットワークスライシングなどの第5世代向けのより高度な制御が可能となります。

5G SA方式で新規に導入された5GCは、複数のNFで構成されています。その構成を図2に示します。4Gのコアネットワーク装置であるEPCと比較し特徴的なのは、NRF（Network Repository Function）<sup>\*7</sup>とNSSF（Network Slice Selection Function）<sup>\*8</sup>です。NRFはNFを管理するリポジトリとして導入されました。こ

たなか ゆうた    あらかわ まさや  
田中 優多 / 荒川 雅矢  
おくだ けんぞう    しみず かずと  
奥田 兼三 / 清水 和人  
くにとも こういちろう  
國友 宏一郎

NTTドコモ

れは後述のSBAの実現に大きく寄与しています。NSSFは5GCにて、後述のネットワークスライシングを実現するための専用

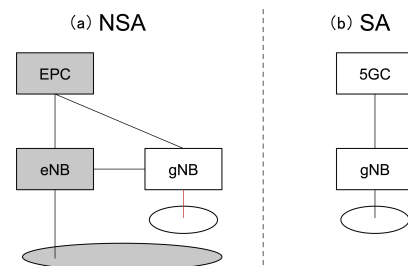


図1 5G NSA方式・5G SA方式の構成

- \* 1 5G SA方式：5Gの無線技術NRを利用する際に、NRにて制御信号およびユーザデータの送受信を行う方式。本稿では3GPPの5G Deployment Optionのうち、NTTドコモが採用しているOption 2を指します。
- \* 2 5GC：5G専用のコアネットワーク。5G NSA方式<sup>\*6</sup>でも実現されていた高速・大容量に加え、5Gの特長である高信頼・低遅延、多数端末同時接続の対応に必要。
- \* 3 REST API：ここではURIを指定してHTTP/2<sup>\*9</sup>でアクセスすることでJSONを返却するAPI。
- \* 4 SBA：5GCで採用されているソフトウェアアーキテクチャの1つで、コアネットワークの各NFを、SBIと呼ばれるバス型の統合的なインタフェースを介して接続し、相互作用させるアーキテクチャ。
- \* 5 EPC：LTE/4Gのコアネットワークを指します。MME（Mobility Management Entity）、S-GW（Serving Gateway）、P-GW（Packet data network Gateway）、PCRF（Policy and Charging Rules Function）などにより構成。
- \* 6 5G NSA方式：5Gの無線技術NRを利用する際に、LTE側で制御信号をやり取りし、ユーザデータのやり取りにのみNRとLTEを協調動作させて使う方式。本稿では3GPPの5G Deployment Optionのうち、NTTドコモが採用しているOption 3xを指します。
- \* 7 NRF：NF ConsumerによるNF ProducerやNF Serviceの発見、登録されたNF Producerの状態変更がある際の通知を実現するための登録・情報提供装置。
- \* 8 NSSF：加入者が利用するネットワークスライスを選択するNF。

NFとして導入されました。そのほかのNFについては、EPCに類似の機能があるものがほとんどです。

## データ通信関連技術

### ■SBAの実装

5GCシステムのアーキテクチャとしてSBAが採用されています。5GCでは個々の機能をNFとして定義しており、それぞれのNFは他のNFに対してサービスを提供しています<sup>(2)</sup>。この際に用いるインタフェースがSBI (Service Based Interface) です。5GCの中で、SBIが適用されているNFについて図2に示します。3GPP (Third Generation Partnership Project) の標準規格Release-15 (Rel-15) 時点でSBAを利用するのは5GCの制御信号を送受信するC-PlaneのNFであり、ユーザデータを送受信するU-PlaneのNFではSBAは用いられていません。

SBAでは、アプリケーション層のプロトコルとしてHTTP/2 (HyperText Transfer Protocol version 2)<sup>\*9</sup>を利用し、表記方法としてJSON (JavaScript Object Notation) 形式を用います。また、トランスポート層は、基本的にはTLS (Transport Layer Security) への対応が必須となっています。SBIはNFのサービスを提供するインタフェースとして、NFごとに表現されています。SBIでは、それぞれのサービスにアクセスする際にREST APIを利用します。

### ■コンテナ基盤の実装

NTTドコモが導入した5GCの動作基盤では、コンテナを採用しています。コンテナは仮想化技術の1つであり、ホストOS<sup>\*10</sup>を共有しながら仮想的にリソースが分離された空間をつくり出すことができます。一般的な仮想マシン (VM: Virtual

\*9 HTTP/2: IETF RFC (Internet Engineering Task Force Request For Comment) 9113で規定される通信プロトコル。

\*10 ホストOS: ゲストOS (VMにインストールされたOS) と対比で使われる用語で、物理サーバにインストールされたOSを指します。

\*11 マイクロサービス: ソフトウェア開発の技法の1つ。1つのアプリケーションを、機能に沿った複数の小さいサービスの疎結合な集合体として構成し、軽量のプロトコルを用いて相互の通信を行うことで全体を構成するソフトウェアアーキテクチャ。

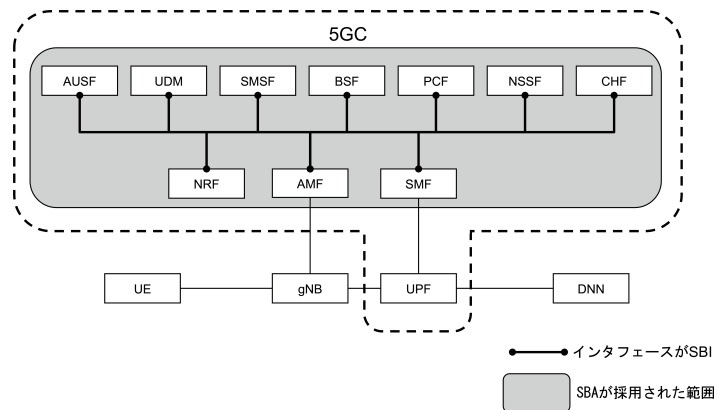
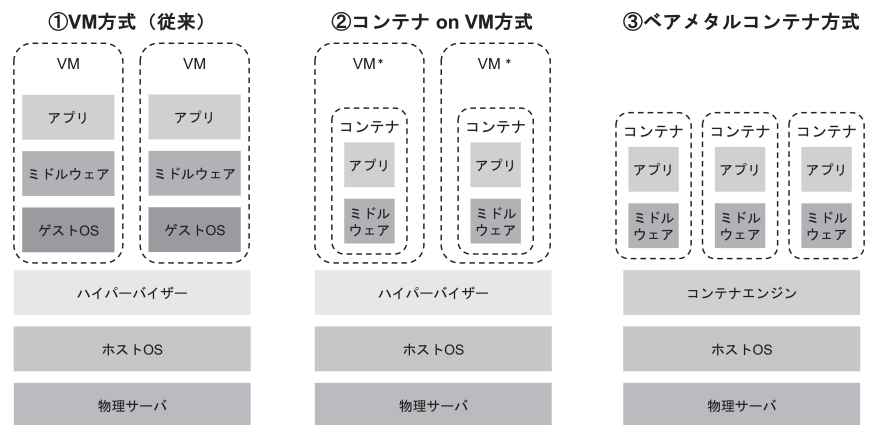


図2 SBIが適用されるNF



ハイパーバイザー: 仮想マシンを作成および実行するためのソフトウェア。  
コンテナエンジン: コンテナを作成および実行するためのソフトウェア。

\* VMのアプリ/ミドルウェア/ゲストOSの記載は省略

図3 コンテナ実装方式ごとのアーキテクチャ

Machine) 型の仮想化方式ではゲストOSが必要ですが、コンテナ型仮想化では不要です。こうした構成上の違いにより、コンテナ型仮想化では、VMと比較し、「軽量」「迅速な起動・停止」といったメリットが挙げられます。

一方、NTTドコモでは、VM型仮想化に相当するかたちでコアネットワークの仮想化を推進してきました<sup>(3)</sup>。このような状況の中コンテナを導入するにあたり、①VM型仮想方式 (VM方式)、②VM上にコンテナをデプロイする方式 (コンテナ on VM方式)、③物理サーバ上に直接コンテナをデプロイする方式 (ベアメタルコンテナ方式) の比較検討を実施しました。これら方式のアーキテクチャを図3に示します。

②のコンテナ on VM方式は、VMとコンテナの多段構成となるため、ベアメタルコンテナ方式と比較するとわずかなオーバーヘッドがあるものの、機能面で差分がなく

既存資産を有効に活用できます。このためNTTドコモでは、基本的にコンテナ on VM方式の採用としました。ただし、U-Plane処理部などVMが適する機能部もあるため、それらはVM方式を採用しました。

マイクロサービス<sup>\*11</sup>を意識したSBAの採用とコンテナによる実装から、5GCのNFは従来と比較してアプリ機能が最小化されており、機能単位ごとの改修やデプロイを並列に行うことが可能です。これにより、後述のネットワークスライシングのような柔軟で多様に化するネットワーク需要に対して、特定機能の拡充や追加といった対応を効率的に行うことが可能となります。

### ■ネットワークスライシングと5GCの基本呼処理

(1) ネットワークスライシングの概要  
ネットワークスライシングとは、物理的

なネットワーク上に特定のネットワーク機能とネットワーク特性を提供する論理ネットワーク(スライス)を構成することをいいます。ネットワークスライシングの一般的な用途は、スライスごとに異なるリソース割当てを行うことにより、同時に実現が困難なネットワーク特性(低遅延高信頼通信、広帯域通信、多端末通信など)を1つのコアネットワークで実現することです<sup>(4),(5)</sup>。

コアネットワークにおけるスライスの識別子は、S-NSSAI (Single-Network Slice Selection Assistance Information, スライスID) \*12と呼ばれ、32ビットのうち先頭8ビットが機能やサービスについてスライスのタイプを示し、続く24ビットが同一タイプにおけるスライスの識別に使用されます<sup>(4),(6)</sup>。

コアネットワークではC-Plane、U-PlaneのいずれのパケットのヘッダにもスライスIDが書き込まれず、スライスIDを用いて、通信の特徴などに応じて適切なNFを選択することでネットワークスライシングを実現します。一方、IPネットワークではオーバーレイネットワークなどを用いた仮想ネットワークのように、U-Planeパケットのヘッダに識別子を付与し分類することでネットワークスライシングを実現しており、根本的なアーキテクチャが異なります。

## (2) 5GCの基本呼処理

ユーザが端末(UE: User Equipment)の電源を入れてから通信可能となるまでに、大きく2つの処理—コアネットワークにUEの在圏基地局を登録するRegistration\*13プロシージャ\*14、インターネット等の外部ネットワークへの通信経路を確立するPDU (Protocol Data Unit) Session Establishmentプロシージャが実施されます。

\*12 S-NSSAI: ネットワークスライシングにおいて、呼処理信号上でスライスを示すための識別子。NFインスタンスの選択に使用されます。  
\*13 Registration: 5Gにおいて、移動端末が現在の位置情報をUDMに登録すること。  
\*14 プロシージャ: 基地局間や基地局-コアネットワーク間、基地局-端末間などにおける信号処理手順。  
\*15 MEC: 通信局舎などのユーザに近い位置にコンピューティングリソースを配備し、利用できるようにするコンピューティングアーキテクチャ。インターネット上に配備する場合に比べて通信遅延を低減でき、サービスの応答速度を向上できる場合があります。

Registrationプロシージャは、UEからの要求を契機に開始され、認証、契約情報の突合、無線アクセスのセキュリティ設定、UEに使用を許可するスライスIDの選択、ポリシーの適用、位置登録などの処理が実施されます<sup>(7)</sup>。

Registrationが完了するとUEはコアネットワークに対してセッションの確立を要求し、UE-requested PDU Session Establishmentのプロシージャが実施され、スライスID、DNN (Data Network Name)、位置情報などを用いたSMFやUPFの選択、外部ネットワークとのDN-AAA (Data Network Authentication, Authorization and Accounting)、アップリンク・ダウンリンクのトンネルの確立、端末へのIPアドレスの払い出しなどが実施されます<sup>(7)</sup>。

## (3) ネットワークスライシングを用いたMECの実現

MEC (Multi-access Edge Computing) \*15では、UEに近傍の適切なコンピューティングリソース (MECリソース) と、それに対するクローズドな接続経路を提供します。しかし、ユーザごとに個別のDNNをコアネットワークやUEに設定するという従来の提供方法では事前の設備構築に必要な期間が長く、パブリッククラウドのように即座にリソースを提供することが困難です。また、IoT (Internet of Things) のようなユースケースでは端末位置や状況などに応じて接続先MECリソースを遠隔地から変更したいケースなども考えられます。このため、UEに設定するDNNを変えずに、UEの位置情報や契約情報からコアネットワーク側で接続先のMECリソースやMECリソースを収容するSMF、UPFを選択できる必要があります。

このようなケースではUEがRegistrationをする際にネットワーク側で契約情報から許可スライスIDを決定することで、特定のMECリソースへの接続にネットワークスライシングを活用することができます。

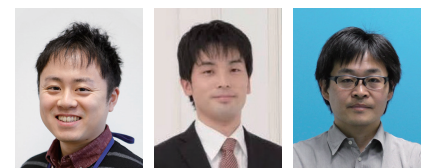
## おわりに

本稿では、5G SA方式実現のために導入した5GCで活用されているSBAやコンテンツ基盤などの先進的な技術を述べ、これら

の技術により実現可能となるネットワークスライシングについて、IPネットワークとの基本概念の違いや導入形態の例を含め解説しました。

## 参考文献

- (1) 巳之口・磯部・高橋・永田: “3GPPにおける5G標準化動向,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.25, No.3, pp.6-12, Oct. 2017.
- (2) 巳之口・磯部: “5Gコアネットワーク標準化動向,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.25, No.3, pp.44-49, Oct. 2017.
- (3) 鎌田・久野・田村・岩見屋: “ドコモネットワークにおける仮想化基盤システムの実用化,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.24, No.1, pp.20-27, April 2016.
- (4) 3GPP TS23.501 V15.13.0: “System architecture for the 5G System (5GS); Stage 2,” March 2022.
- (5) 青柳・巳之口・原田・関・高橋・吉岡: “産業創出・ソリューション協創に向けた5G高度化技術,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.28, No.3, pp.65-81, Oct. 2020.
- (6) 3GPP TS23.003 V15.11.0: “Numbering, addressing and identification,” Dec. 2021.
- (7) 3GPP TS23.502 V15.16.0: “Procedures for the 5G System (5GS); Stage 2,” June 2022.



(上段左から) 田中 優多/ 荒川 雅矢  
(下段左から) 奥田 兼三/ 清水 和人/  
國友 宏一郎

NTTドコモにおける5G SA方式を実現するコアネットワークの取り組みについて紹介しました。5G時代に必要とされるコアネットワークに向けてさらなる進化をめざします。

## ◆問い合わせ先

NTTドコモ  
R&D 戦略部  
E-mail dtj@nttdocomo.com



# 5G SA方式での音声通話を実現する コアネットワーク技術概要

NTTドコモは2022年8月に、5G（第5世代移動通信システム）単独で動作する5G SA（Standalone）の一般消費者向け商用サービスを開始しました。これを提供するにあたり、5G SAでの音声通話サービスや5Gエリア外にて4G（第4世代移動通信システム）/LTE（Long Term Evolution）への通信の引継ぎサービスを可能とする機能を開発・導入しました。本稿では、これらの技術について解説します。

キーワード：#5GC, #EPSFB, #優先制御

## はじめに

NTTドコモは2022年8月に、5G（第5世代移動通信システム）単独で動作する5G SA（Standalone）方式<sup>\*1</sup>の一般消費者向け商用サービスを開始しました。

5G SAを一般消費者向けに提供するうえでは、スマートフォンなどハンドセットでの利用が前提となります。その場合、以下の2つの計画の実現が必要です。

- ・5G SAのエリア拡充までの4G（第4世代移動通信システム）LTE（Long Term Evolution）/5G NSA（Non-SA）<sup>\*2</sup>エリアの提供
- ・緊急通報を含めた音声通話サービスの提供

これらを実現すべく、NTTドコモでは5GC（5G Core network）<sup>\*3</sup>において下記3機能を開発・導入しました。

- ・5G SAエリア外での通信を実現するEPC（Evolved Packet Core）<sup>\*4</sup>との連携
- ・音声通話を実現するEPSFB（Evolved Packet System Fallback）および5GCでの音声通話のQoS（Quality of Service）制御
- ・5GCでの重要通信の優先制御と緊急通報

本稿では、上記技術について4G/LTEのコアネットワーク装置であるEPCや4G/5Gでの音声提供装置群であるIMS（In-

ternet protocol Multimedia Subsystem）<sup>\*5</sup>との連携を含め解説します。

## 一般消費者への5G SA サービス提供に向けたLTEエリアとの連携

4Gでのパケット通信においては、4G端末が異世代間をスムーズに移動するためのインタフェースが標準規定され、3G（第3世代移動通信システム）に在圏しながらもEPC側にアンカーポイントを維持することが可能となっていました。5GCにおいても同様に異世代間をスムーズに移動するためのインタフェースが規定されており、黎明期における5G SA無線エリアの狭さを補完するために4Gと5GC/5G SA間をスムーズに移動できる仕様となっています（図1）。

各世代黎明期の無線エリアの狭さにより、前世代のエリアとの切替が頻発することによりユーザ体験の向上という観点において大きな障害となります。特に音声通話に関しては、コアネットワーク間でユーザが移動する処理の際に一瞬の通信の停止が発生し、ユーザとしては通話が一瞬途切れて聞こえてしまいます。そのため黎明期の4Gにおいて音声通話の際には、音声品質を優先させ3Gを活用しました。5Gの導入期では、この3Gと4Gとの関係性と同様に前世代となる4Gが隙間のないカバレッジと成熟したVoLTE（Voice over LTE）の技術を活かした高品質音声通話を、5Gと連携して5G SAユーザへ提供します。しかし、3GとEPC、EPCと5GCでは連携の方法が大きく異なります。

しみず かずと あべ もとひろ  
清水 和人 / 阿部 元洋  
みやざき ゆうや おはら ひろき  
宮崎 祐哉 / 小原 啓希

NTTドコモ

EPCの黎明期における音声の提供では、CSFB（Circuit Switched FallBack）<sup>\*6</sup>という技術を使用していました<sup>(1)</sup>。CSFBでは、着信の場合はコアネットワークが端末に指示することで4GからCS（Circuit Switched）ドメイン<sup>\*7</sup>の3Gネットワークへ端末を遷移させ、発信の際には端末が自律的に4GからCSドメインの3Gネットワークへ遷移します。5GCではCSFBとは異なり端末が自律的に動作するという事はな

\*1 5G SA方式：5Gの無線技術NRにて制御信号およびユーザデータの送受信を行う方式。本稿では3GPPの5G Deployment Optionのうち、NTTドコモが採用しているOption 2を指します。

\*2 5G NSA方式：5Gの無線技術NRを利用する際に、LTE側で制御信号をやり取りし、ユーザデータのやり取りにのみNRとLTEを協調動作させて使う方式。本稿では3GPPの5G Deployment Optionのうち、NTTドコモが採用しているOption 3xを指します。

\*3 5GC：5G専用のコアネットワーク。5G NSAでも実現されていた高速・大容量に加え、5Gの特長である高信頼・低遅延、多数端末同時接続に対応する際に必要。

\*4 EPC：LTE/4Gのコアネットワークを指します。MME、S-GW（Serving Gateway）、P-GW（Packet Data Network Gateway）、PCRF（Policy & Charging Rules Function）などにより構成。

\*5 IMS：音声通話を制御するコアネットワークの装置群。P-CSCF（Proxy-Call/Session Control Function）、S-CSCF（Serving-Call/Session Control Function）、AS（Application Server）などにより構成。音声通話をIPで実現するため、IP以下の伝送路に極力依存しないよう設計されています。

\*6 CSFB：LTE在圏中に音声などの回線交換サービスの発着信があった場合、W-CDMA/GSMなどのCSドメインのある無線アクセス方式に切り替える手順。

\*7 CSドメイン：3Gネットワークにおいて、回線交換（Circuit Switch）方式を採用した部分。主に音声通話サービスを提供。

\* 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」（Vol.30 No.4, 2023年1月）に掲載された内容を編集したものです。



く、コアネットワークと無線基地局からの指示で端末を4Gへ遷移させるEPSFBという機能を使用します<sup>(2)</sup>。CSFBとEPSFBの2つの機能は、音声通話の際に前世代の無線およびコアネットワークを利用する(フォールバックする)というコンセプトは同じですが動作は異なります(図2)。このEPSFBは、5GC/5G SAが成長期に入りVoNR (Voice over New Radio)<sup>\*8</sup>が普及するまでの間、4GにおけるCSFBのように広く長く使われる機能です。

音声通話関連技術

■EPSFB

EPSFBとは、5GS (5G System)<sup>\*9</sup>で待受けもしくは通信中の端末をEPSに移動させ、LTEにて音声を提供する方式です。最新世代の5GCおよびNRを用いる5GSから前世代のEPCおよびLTEを用いるEPSに切り替える(フォールバックする)ため、EPSFBと呼びます。複数の3GPP (Third Generation Partnership Project) 標準<sup>(3)~(5)</sup>に基づいたEPSFBの処理シーケンスの概要を図3に示します。各手順での処理概要は以下のとおりです。まず、発信側の端末から発信要求を受信した発信側のVGN (VoLTE Gateway Node)<sup>\*10</sup>は位置情報取得により5GS在圏を確認した後、PCF (Policy Control Function) にQoS制御を要求します。同時に、発信側のCSN (Call Session control Node)<sup>\*11</sup>を通じて着信側の装置に通信確立を要求しま

- \* 8 VoNR : 前世代の4Gに依存せず、第5世代移動体通信の無線技術NRおよび5GC単独で音声通話を提供する方式。
- \* 9 5GS : 5GCおよびgNBを合わせた第5世代移動通信システム。5GS在圏は、5GSを利用している状態。
- \* 10 VGN : VoLTEでの音声通話を制御する装置で、3GPP標準のP-CSCFおよびIMS-AGW相当の動作をするNTTドコモの装置。
- \* 11 CSN : CS-IP NWにおいて、セッション制御を実施するノード。IMSの標準アーキテクチャ上では、I/S-CSCF (Interrogating/ Serving-Call/Session Control Function) に相当。
- \* 12 SMF : PDU Sessionを管理し、QoSやポリシーの実施などのためにUPFを制御する5Gコアネットワーク内の機能。EPCにおけるSGW-C/PGW-Cに相当。
- \* 13 AMF : 5Gコアネットワークにおいて、基地局 (gNB) を収容し、モビリティ制御などを提供する論理ノード。
- \* 14 Bearer : 用途ごとに生成される仮想伝送路。Bearerのうち、Defaultでなく、用途が限定されるものをDedicated Bearerと呼びます。

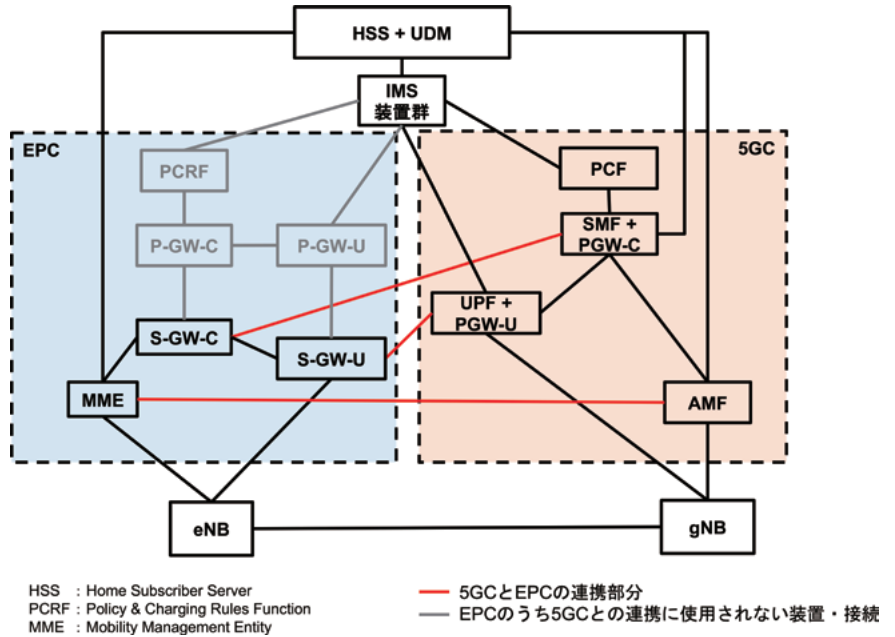


図1 5GCとEPC、IMSとの連携

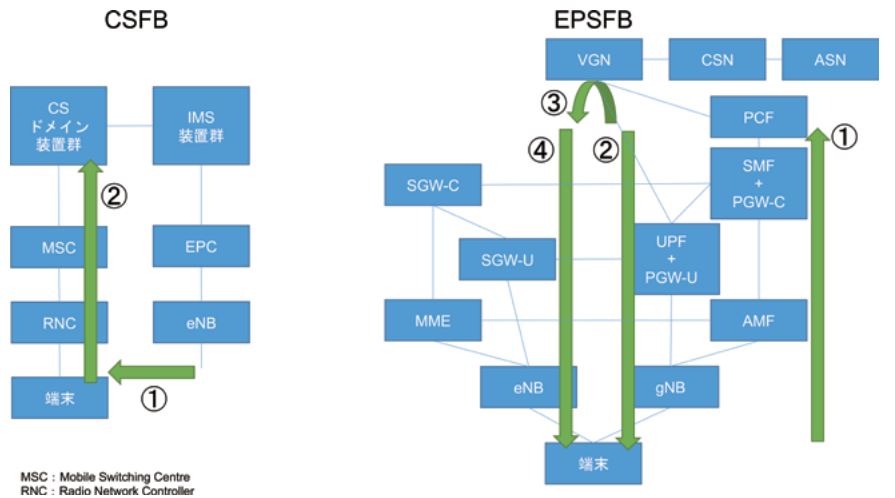


図2 CSFBとEPSFBの比較

す。PCFからの指示で、SMF (Session Management Function)<sup>\*12</sup>、UPF (User Plane Function)、gNB (next generation NodeB)において、音声通話用QoS制御のための仮想伝送路 (QoS Flow) を生成します。ここで音声通話と判断したgNBが、AMF (Access and Mobility management Function)<sup>\*13</sup>に対してEPSFBを要求し、端末がEPSへのハンドオーバを行います。その後、端末からの位置登録 (TAU : Tracking Area Update) を契機に、音声通話のための仮想伝送路

(QoS Flow/Dedicated Bearer<sup>\*14</sup>)生成を完了します。着信側も5GSに在圏している場合は、上記処理を並行実施します。

上記のとおり、VoLTEと比較し5GSからEPSにフォールバックする手順が追加が必要となるため、EPSFBの接続処理時間はVoLTEの接続処理時間より大きくなります。そこでNTTドコモでは、発信側のEPSFB後に着信側でEPSFBするという動作を変更し発信側と着信側の並列処理を実現することで、EPSFBの接続処理時間短縮を実現しています。

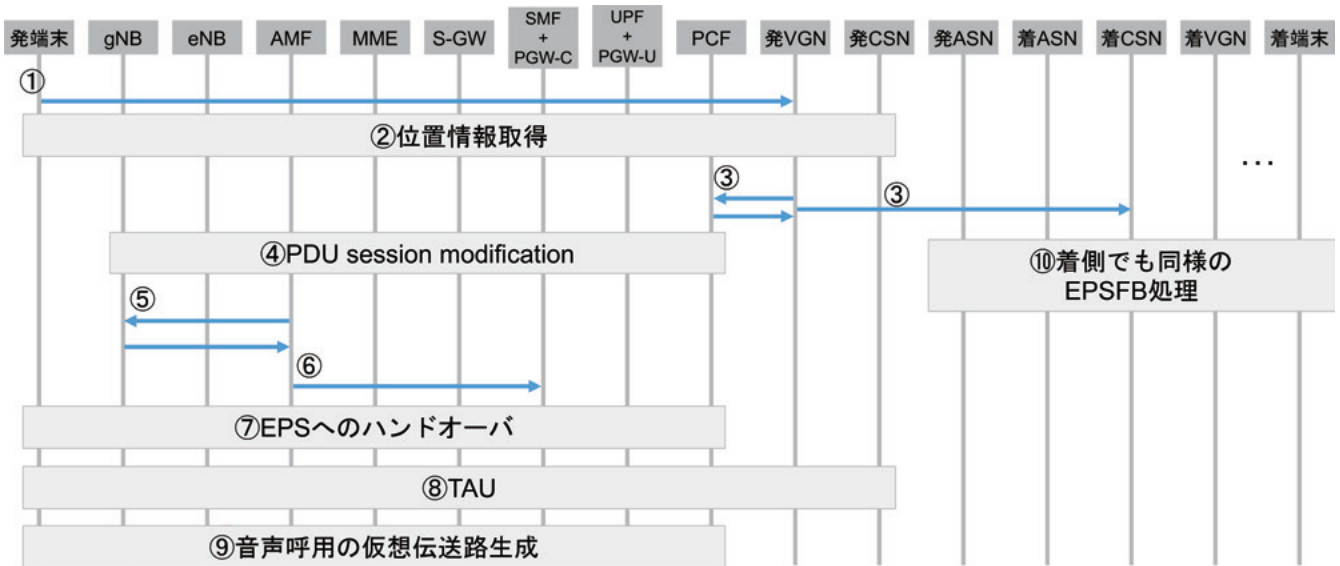


図3 EPSFB処理シーケンス

## ■ QoS制御

サービスを特定の品質で届ける際に必要となる機能の総称がQoS制御です。4Gと比較し、5GC/5G SAでは大きな変更点としてflow basedと呼ばれる方式に変わったことが挙げられます。4Gでは、必要となるQoS特性をeNBも含めたネットワーク全体で実現する際に、Bearer・セッション単位で単一のQCI (Quality Class Identifier) を付与していました。そのため、同一のアクセスポイント (APN) に対して複数のQoS特性の packets を転送する際には、別なBearer・セッションを生成する必要がありました。5GC/5G SAでは、QCIは5QI (5G network Quality of service class Identifier) という名称に代わり、Bearer・セッション単位ではなくQoS Flow単位での付与となりました(図4)。これにより同一のDNN (Data Network Name) に対して複数のQoS特性の packets を転送する際に別なセッションを作成せず、同一セッション内で複数のQoSを付与することが可能となりました。

5QIは、QCIと同様に特性が3GPP標準仕様として規定されている1~127、オペレータに裁量が任されている128~254の2つのグループから構成されます。前者には音声パケット用として割り当てられている1、ベストエフォートパケット通信に割り当てられている9など含まれます。

## 重要通信の確保と緊急通報

### ■重要通信の考え方

標準仕様において、ミッションクリティカル<sup>\*15</sup>通信や警察消防などへの緊急通報などを判定し、一般通信と異なる制御が可能な機能が規定されています。この規定では、特殊な通信について各国地域の規定や通信事業者ポリシーおよびベンダの製品仕様に応じて、優先的に処理することや発信規制などの対象外とすることが可能となっています。

日本では、電気通信事業法において重要通信の確保について規定されています。例えば、災害時における防災機関などの連絡や連携を想定して、これらの通信を確保することについて言及しています。これに基づき、各通信事業者は災害時優先通信という名称で重要通信の確保に努めています。またNTTドコモは、人命救助や公共安全・治安維持にかかわる警察や救急消防などの機関に対する緊急通報も扱っており、これに必要な機能を有することが電気通信事業法 事業用電気通信設備規則により義務化されています。

### ■重要通信・緊急通報を判断する技術

モバイルネットワークではgNBと各コアネットワーク装置が連携して通信を提供することから、各装置で重要通信であることを把握する必要があります。重要通信の

判定に用いる要素は主に2種類あり、契約情報とSIM (Subscriber Identity Module) に含まれるパラメータをそれぞれ使用します。緊急通報は発端末の属性に依存せず発呼されるため、発呼時の情報から都度判定を行います。

gNBとAMFは端末の送信した要求信号に基づき重要通信対象か判定を行います。端末はSIMに設定されたAccessClassと呼ばれる指標に基づき、無線伝送路確立要求信号に“highPriorityAccess”などのパラメータを設定することで、gNBに対して自身の通信が重要通信対象であることを伝えます<sup>(6)</sup>。一方、緊急通報の場合は重要通信の指標とは異なる値である“emergency”を設定することでgNBに緊急通報であることを伝えます。gNBはこれらのパラメータを参照することで、重要通信もしくは緊急通報として優先制御します。

発呼に伴い無線伝送路確立処理が行われた場合、gNBは重要通信・緊急通報であることを把握できているためその情報をAMFに通知することで、AMFは重要通信もしくは緊急通報であると認識します<sup>(7)</sup>。直前に無線伝送路確立処理が行われていない場合は、端末がAMFに対して送信した

\*15 ミッションクリティカル：サービスを継続的に提供できることが極めて重要であり、障害などによる中断が許されない、あるいは非常に大きな損害になり得るシステム。

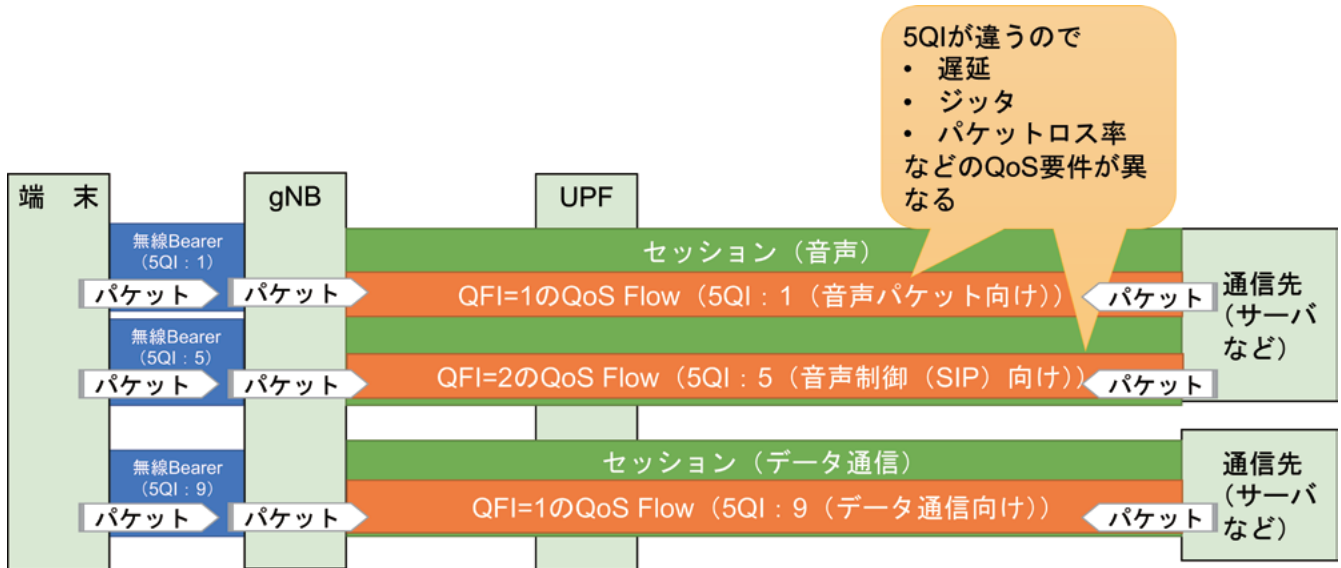


図4 QoS Flowおよび5QIによるQoS制御

位置登録信号などに設定された各種パラメータを参照して判断します。

AMFから先の5GCの各NFはAMFからの通知もしくは契約情報から重要通信もしくは緊急通報であることを認識します。

■緊急通報の提供方式

VoNR導入以前のEPSFB方式時期における5G SAでの緊急呼の提供方式としては、主に下記の2つ挙げられます。

- ・ネットワークがEPS遷移を促すES (Emergency Service) -FB
- ・端末の自律EPS遷移 (N1mode-disable)

どちらの方式も緊急通報自体の提供はEPS在圏で行われます。両者の違いは5GSに在圏している場合に、ネットワークがEPSへ遷移を促すのか、端末が自律的に遷移するののかという点です。ES-FBは、緊急通報の提供がEPS在圏のみでありかつ5GSに在圏している場合にネットワーク側からEPSへの遷移を促す方式です<sup>(3)</sup>。一方、緊急通報の提供がEPS在圏のみであり5GCがES-FBに対応していない場合は端末の自律EPS遷移 (N1mode-disable) となり、端末は緊急通報を開始時に自律的にEPSに遷移します。その際、ネットワークに向けては一時的に端末能力がSA能力なしとなった旨を通知します (N1mode-disable)<sup>(6)</sup>。

位置登録 (Registration) の際にネットワークが対応している方式を端末に通知し

ます。端末は、ネットワーク接続中は通知された方式を保持し、緊急通報時にそれぞれの方式に応じた動作を実行します<sup>(6)</sup>。

NTTドコモでは、緊急通報発信までの動作時間が短いことから端末の自律EPS遷移方式を採用しています。

おわりに

本稿では、5G SAにおいて、緊急通報を含めた音声通話サービスの提供、および4G LTE/5G NSAエリアの利用による5G SAのエリア拡充までの利便性向上を実現する技術について、4G/LTEのコアネットワーク装置であるEPCや4G/5Gでの音声提供装置群であるIMSとの連携を含め、解説しました。

■参考文献

- (1) 田中・輿水・西田：“LTEと3G回線交換サービスの連携を実現するCS Fallback機能,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.17, No.3, pp.15-20, Oct. 2009.
- (2) 青柳・巴之口・原田・関・高橋・吉岡：“産業創出・ソリューション協創に向けた5G高度化技術,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.28, No.3, pp.65-81, Oct. 2020.
- (3) 3GPP TS23.502 V15.16.0：“Procedures for the 5G System (5GS),” June 2022.
- (4) 3GPP TS23.228 V15.5.0：“IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2,” Dec. 2021.
- (5) 3GPP TS29.512 V15.11.0：“5G System;Session Management Policy

5QIが違うので  
 ・遅延  
 ・ジッタ  
 ・パケットロス率  
 などのQoS要件が異なる

- Control Service : Stage 3,” June 2021.
- (6) 3GPP TS38.331 V15.18.0：“NR;Radio Resource Control (RRC) protocol specification,” June 2022.
- (7) 3GPP TS38.413 V16.10.0：“NG-RAN; NG Application Protocol (NGAP),” June 2022.
- (8) 3GPP TS24.501 V15.7.0：“Non-Access-Stratum (NAS) protocol for 5G System (5GS),” June 2022.



(左から) 清水 和人/ 阿部 元洋/ 宮崎 祐哉/ 小原 啓希

NTTドコモにおける5G SA方式での音声通話を実現する取り組みについて紹介しました。今後は、NR単独で音声通話を実現するVoNRなど5G時代に期待される音声通話実現に向けて、さらなる深化をめざします。

◆問い合わせ先

NTTドコモ  
 R&D戦略部  
 E-mail dtj@nttdocomo.com

# 5G SA方式に対応した無線基地局装置の開発

NTTドコモは、2020年3月にNSA (Non-Standalone) 方式で5G (第5世代移動通信システム) 商用サービスを開始し、さらに5G専用のコアネットワーク設備である5GC (5G Core network) と5G無線基地局を組み合わせた「5G SA (Standalone) 方式」を2021年12月に商用サービスを開始しました。本稿では、5G SA方式の商用サービスを提供するために実施した5G無線基地局装置の開発内容について解説します。

キーワード：#5G SA, #gNB, #NR-DC

さいとう けいすけ ながしま れい  
齊藤 敬佑 / 長嶋 嶺  
ほしざき ゆうや うの のぶかず  
星崎 祐哉 / 宇野 暢一

NTTドコモ

特集

## まえがき

NTTドコモは、2020年3月に4G (第4世代移動通信システム) /5G (第5世代移動通信システム) の無線装置と4Gのコアネットワーク装置を連携したNSA (Non-Standalone) 方式により、5Gサービスの提供を開始しました。NSA方式では、需要の高いエリアなどを中心に、5Gの特長の1つである「高速・大容量」のサービス展開を行ってきました。「高速・大容量」に加え、その後さらに「高信頼・低遅延」「多数端末同時接続」にも対応したネットワークサービスを提供するため、5G SA

(Standalone) \*1方式の商用サービスの提供を2021年12月から開始しました。本5G SA方式の導入に伴い、ネットワークスライシングによるアプリケーションを意識した柔軟なサービス提供、MEC (Mobile Edge Computing) \*2による低遅延サービスの提供などにより新たな産業創出を実現していきます。

本稿では、5G SA方式のシステム構成、「高速・大容量」に寄与する機能、呼処理制御機能、「安心・安全」を実現するためのアクセス規制機能について解説します。

## SAシステム構成

5G SA サービスを実現するRAN (Radio Access Network) \*3システムの構成につ

いて解説します。

2021年12月よりNTTドコモは、SA方式に対応した5G商用サービスを法人顧客ユーザ向けに導入し、さらに2022年8月にコンシューマユーザ向けに高速化や音声対応などの機能を追加しました。NTTドコモでは、SA方式として無線装置gNB (next generation NodeB) とSA方式専用のコアネットワーク (5GC : 5G Core network \*4) のみでサービス提供をするネットワーク構成 (Option 2アーキテクチャ) を採用しています。Option 2アーキテクチャなどのネットワークアーキテクチャに関する技術的な概要は、文献(1)をご参照ください。

図1に示すように、NTTドコモで採用しているgNB - gNB間はXnインタフェースを用いて接続し、gNB - 5GC間はNGインタフェースを用いて接続します。

図1では、SA方式の構成図を解説するため、便宜上SA方式に関する記載のみとしています。実際のNTTドコモ商用ネットワーク運用では、1つのgNB装置にてNSA方式とSA方式の双方を運用するため、

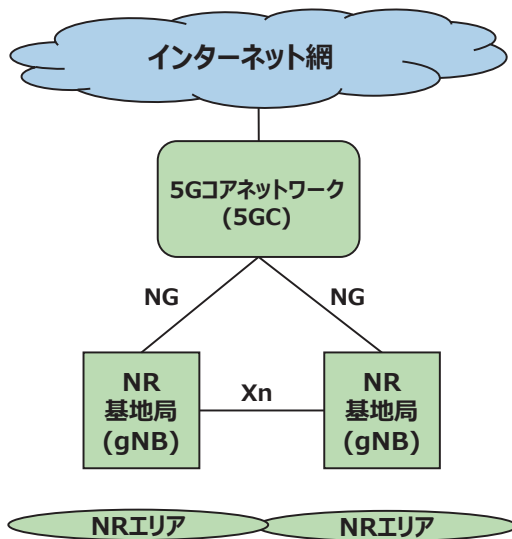


図1 SA方式

\* 1 SA : スタンドアローン方式。端末が単独の無線技術を用いて移動通信網に接続する形態。  
\* 2 MEC : 移動通信網において、ユーザにより近い位置にサーバやストレージを配備する仕組み。低遅延により、リアルタイム性の高いサービス提供が可能となります。  
\* 3 RAN : コアネットワークと移動端末の間に位置する、無線レイヤの制御を行う基地局などで構成されるネットワーク。  
\* 4 5GC : 5Gのアクセス技術向けに3GPPで規定された第5世代のコアネットワーク。

実運用を踏まえた5Gネットワーク構成は図2となります。なお、gNB装置でのSA機能対応にあたっては、新規ハードウェア導入は不要であり、ソフトウェアアップデートのみで対応可能です。

「高速・大容量」に寄与する機能の導入

スマートフォン対応5G SA方式のサービス開始に伴い、NTTドコモでは「高速・大容量」に寄与する機能を併せて導入することで、高速・大容量化を実現しました(表)。以下では、導入した主な3つの機能に関して解説します。なお、今後はNSA方式と比較してSA方式の拡張に、より注力する方針の下、タイムリーに「高速・大容量化」関連機能を開発・導入することで、

モバイルネットワークのいち早い高度化、ならびにお客さま体感の向上につなげていきます。

■3.7 GHz帯・4.5 GHz帯と、28 GHz帯のAggregation (NR - DC方式への対応)

5G NSA方式では、LTE (Long Term Evolution) 運用の周波数と、NR (New Radio) 運用の周波数をDC (Dual Connectivity) にて組み合わせるEN-DC (EUTRA-New Radio DC) \*5 により、LTE/LTE-Advancedと比較して高速・大容量化を実現し、これにより、3.7 GHz帯と4.5 GHz帯との組合せで下り最大4.2 Gbit/s、28 GHz帯の使用で上り最大480 Mbit/s (LTEとNRの合計) のサービスを提供しています(スマートフォン対応5G SA方式サービス開始前時点)。NTTドコモは2022年8月のスマートフォン対応5G SA方式サービ

スの開始にあたり、SAサービスにおける高速・大容量通信を実現するため、3.7 GHz帯もしくは4.5 GHz帯と、28 GHz帯を束ねて同時通信を実現する技術として、NR-DC \*6 を世界で初めて商用ネットワークに導入しました(図3)。NR-DCの導入により、3.7 GHz帯および4.5 GHz帯で100 MHz幅、28 GHz帯で400 MHzを組み合わせた最大500 MHz幅の広帯域通信を実現し、ピークレート向上および大容量化を実現しています。

■上りリンクMIMO方式の拡張(2x2 UL MIMO)

上り通信に用いるPUSCH (Physical Uplink Shared CHannel) に関して、NSA方式では3.7 GHz帯および4.5 GHz帯におけるレイヤ数は最大1レイヤでした[LTE: 1レイヤ, NR (3.7 GHz帯および4.5 GHz帯): 1レイヤ]。SA方式では上りリンクの高速化を目的に3.7 GHz帯および4.5 GHz帯において最大2レイヤの2x2 UL (Uplink) MIMO (Multiple Input Multiple Output) を新たに導入します。

本機能の導入により、3.7 GHz帯および4.5 GHz帯における上り通信のピークスループットが2倍に向上し、周波数利用効率\*7も向上します。上り通信の高速化により、動画のアップロードなど、近年ニーズが高

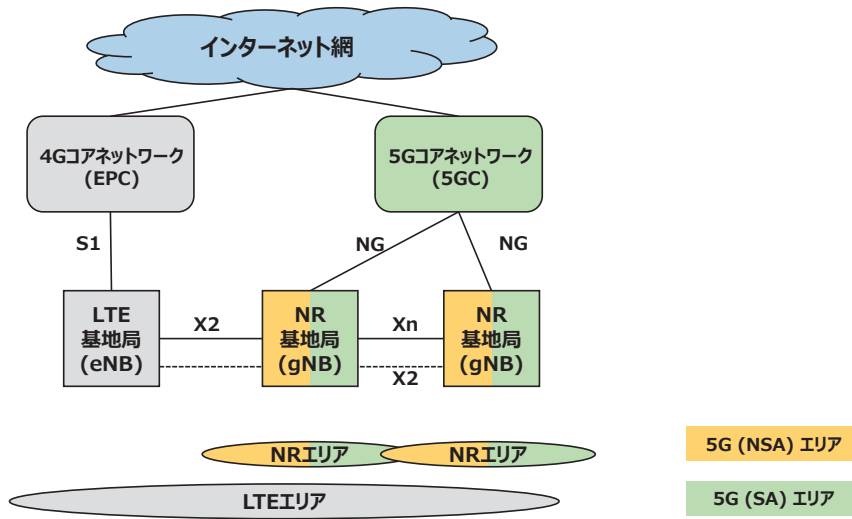


図2 5G ネットワーク運用 (NSA方式/SA方式)

\*5 EN-DC: NRノンスタンドアローン運用のためのアーキテクチャ。LTEとNRをDCにより束ねて同時通信を実現します。  
 \*6 NR-DC: MN (Master Node) とSN (Secondary Node) が2つのNR基地局に接続し、それらの基地局でサポートされる複数のキャリアを用いて同時に送受信を行うことにより、高速伝送を実現する技術。

表 NSA方式/SA方式の諸元

	5G NSA *1		5G SA
周波数	3.7 GHz帯+4.5 GHz帯 (NR-CA)	28 GHz帯	3.7 GHz帯+28 GHz帯 (NR-DC) 4.5 GHz帯+28 GHz帯 (NR-DC)
変調方式 (最大)	下り256QAM/上り256QAM	下り64QAM*3/上り64QAM	3.7 GHz帯/4.5 GHz帯: 下り256QAM/上り256QAM 28 GHz帯: 下り256QAM/上り64QAM
レイヤ数 (最大)	下り4/上り1	下り2/上り2	3.7 GHz帯/4.5 GHz帯: 下り4/上り2 28 GHz帯: 下り2/上り2
NR帯域幅 (最大)	200 MHz (100 MHz+100MHz)	400 MHz	500 MHz (100 MHz+400 MHz)
ピークレート	下り4.2 bit/s / 上り218 Mbit/s*2	下り4.1 Gbit/s / 上り480 Mbit/s*2	下り4.9 Gbit/s / 上り1.1 Gbit/s

\*1 スマートフォン対応「5G SA方式」サービス開始前時点  
 \*2 LTEとNRの合計  
 \*3 スマートフォン対応「5G SA方式」サービス開始に合わせて256QAMに拡張

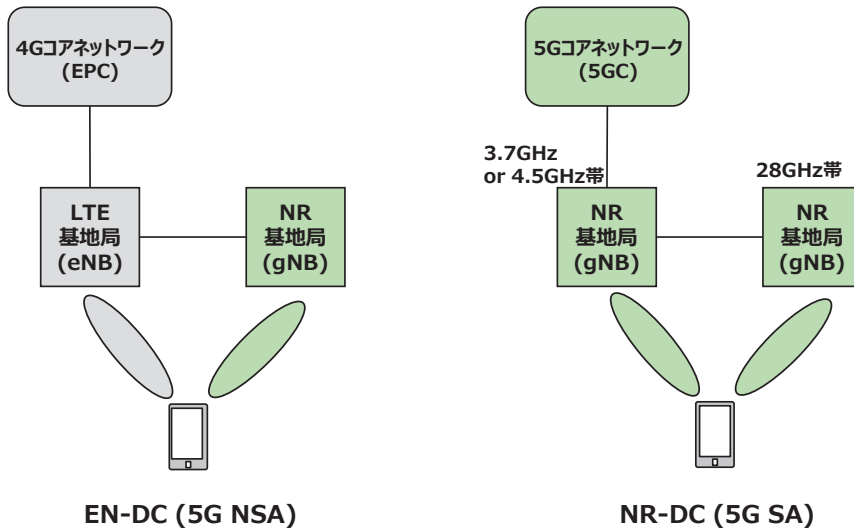


図3 EN-DCとNR-DC

まっている上り通信のユーザ体感の向上が期待されます。

#### ■下りリンク変調方式の拡張 (256QAM)

下り通信に用いるPDSCH (Physical Downlink Shared CHannel)<sup>\*8</sup>の変調方式に関して、28 GHz帯において従来は最大64QAM (Quadrature Amplitude Modulation)の適用でした。3GPP (Third Generation Partnership Project) Release-16仕様で、28 GHz帯の下りリンク256QAMに関する性能が新たに規定されたことを受け、NTTドコモでは5G SA方式の導入に合わせて本変調方式を導入しました。

256QAMの適用によって1サブキャリア当たり最大8ビットを送信することが可能となり、従来の64QAM (1サブキャリア当たり最大6ビット送信)と比較して約1.3倍のピークレート向上を実現します。

### 5G SAシステムでの呼処理制御の導入

NSAシステムでは、LTEバンドがアンカーとなる方式であるのに対し、5G SAシステムでは、NRバンドをアンカーとして、サービスを提供します。

NRをアンカーバンドとするため、gNBで端末・コアノードとの制御信号でのやり取りを行い、これにより待受けやハンドオーバーなどのモビリティや音声、ネットワークスライシングなどの呼処理制御 (Call Pro-

cessing) を実施します。

以下では、スマートフォン対応5G SA方式サービスの開始で導入した呼処理制御機能のうち、主な機能に関して解説します。

#### ■モビリティ

##### (1) 待受け制御

5G SAシステムは、待受け状態の端末に対して、接続手順に必要なシステム報知情報<sup>\*9</sup>の配信、着信時のページング配信、優先待受けシステムの指定を行い、待受け状態の端末を管理しています。

- システム報知情報配信：5G SAシステムは、LTE同様に端末がセルへの接続手順に必要なシステム情報などの報知情報 [MIB (Master Information Block)<sup>\*10</sup>/SIB (System Information Block)<sup>\*11</sup>]の配信に対応します。また、LTEシステム側でも、SIB24での周辺5G SAセル情報の配信に対応します。
- ページング配信：5G SAシステムは、LTE同様に、着信時に5G SA待受け中の端末を呼び出すページング配信に対応します。
- 優先待受けシステムの指定：5G SAシステムは、LTE同様に端末の優先待受けRAT (Radio Access Technology)を指定でき、5G SAシステム優先かLTEシステム優先かを指定する制御に対応します。また、LTEシステムでも、5G SAシステムのエリアの広さや端末の能力や契約情報に基づいて、端

末ごとに待受けRATを制御することに対応します。

##### (2) ハンドオーバー制御

5G SAシステムは、5G SAシステム内でのハンドオーバー (Intra-RATハンドオーバー)と5G SAとLTEのシステム間でのハンドオーバー (Inter-RATハンドオーバー)に対応し、端末の移動に伴うエリア品質の変化が要因の通信断を回避することで、ユーザビリティの向上を図っています。

##### (3) 再接続制御

5G SAシステムは、LTE同様に端末のセル品質劣化検出やハンドオーバー失敗を契機とした再接続制御に対応することで、早期の通信断の回復を実現します。

#### ■その他の呼制御

##### (1) 音声制御

5G SAサービス開始初期においては、5G SAシステムは音声機能に非対応のため、LTEシステムが音声サービスを提供します。5G SAで待受け、もしくは通信中の端末に音声サービスを提供する際は、LTE回線交換システムへのEPS (Evolved Packet System) フォールバック<sup>\*12</sup>のためのLTEへのリダイレクション<sup>\*13</sup>を行い、LTEシステムで音声サービスの提供を行います。

\*7 周波数利用効率：単位時間、単位周波数帯域当りに送ることのできる情報ビット数。

\*8 PDSCH：下りリンクでデータパケットを送受信するために用いる物理チャネル。

\*9 報知情報：移動端末における位置登録要否の判断に必要な位置登録エリア番号、周辺セル情報とそのセルへ在圏するための電波品質などの情報、および発信規制制御を行うための情報などを含み、セルごとに一斉回報されます。

\*10 MIB：無線基地局から移動端末へ一斉回報される報知情報を受信するために必要な報知情報であり、cellBarred状態情報や物理層の情報などが含まれます。

\*11 SIB：無線基地局から移動端末へ一斉回報される報知情報は、無線ブロックに分割されており、そのブロック単位を示します。SIBのうちSIB1には、ランダムアクセスを行うために必要なULキャリア情報やランダムアクセス信号構成情報などが含まれます。

\*12 フォールバック：音声発着信時に移動端末を5G SAシステムから、それと重なって存在するLTEシステム回線交換ドメインに切り替える機能。

\*13 リダイレクション：端末とネットワーク間の通信を一度切断し端末を待受け状態としたあと、端末からの再接続要求信号により接続した通信セル・基地局において通信を再開する通信技術。

## (2) ネットワークスライシング制御

5G SAシステムは、単一のネットワークを異なるサービス要求条件に応じた複数のスライスに分ける、ネットワークスライシング制御に対応します。

## (3) LTE同等機能への対応

5G SAシステムは、その他、既存LTEシステムと同等の制御を実現可能とするため、次のような処理を可能とする手順、メッセージもサポートされています。

- ・緊急地震速報配信
- ・NAS (Non-Access Stratum) メッセージ転送
- ・RRC (Radio Resource Control) コネクション管理
- ・無線ベアラ管理
- ・無線セキュリティ設定
- ・測定項目設定、報告制御
- ・対向ノード間のNG/Xnリンク管理

## 「安心・安全」を実現するためのアクセス規制機能の導入

スマートフォン対応5G SA方式サービスにおいて、NTTドコモでは「安心・安全」を実現するためのNRのアクセス規制機能を導入します。以下ではNRのアクセス規制機能の導入目的および機能概要について解説します。

### ■背景・目的

高速・大容量時代の移動通信システムにおいて、さまざまな環境下でも安定したサービスを維持するうえで、通信トラフィック・輻輳制御の重要性は極めて高いものです。

5G SAシステムでは、無線区間における端末からの接続要求信号を規制し、緊急呼などの重要通信の接続性を確保しつつネットワーク装置を保全するためのトラフィック制御技術を採用・実装しています。また、遠隔監視作業によるネットワークコントロール<sup>\*14</sup>実現の一手段としての手動アクセス規制や、装置負荷軽減を目的とした自動アクセス規制・段階規制制御解除機能を具備しています。

<sup>\*14</sup> ネットワークコントロール：災害時などにおいて通信設備の処理能力を大幅に上回る通信の集中によりネットワーク障害を引き起こすおそれのある場合に、重要通信の確保を目的に、ネットワーク側で通信を制限すること。

### ■主な特徴

NRの規制では、保守者がオペレーションにより手動で規制の実施・解除を行う機能と、gNBが装置負荷状況をかんがみ、自動で規制の実施・解除を行う機能を有します。また、規制の実施状態が変化した場合は、gNBからオペレーションシステムへ随時最新の状態が通知され、保守者がリアルタイムでgNBの規制状態を監視可能な機能を有します。

規制機能としては大きく「アクセス不可規制」「工事中規制」「UAC規制」「段階規制解除」の4つが存在します。

#### (1) アクセス不可規制

アクセス不可規制では、主に装置や回線の故障によりSAサービスが提供できなくなった場合に、すべての端末からのアクセスを自動で規制します。実現手段として、報知情報 (MIB) の cellBarred を barred とすることでアクセス不可規制としています。

#### (2) 工事中規制

工事中規制を実施することで、サービス開始前などに、保守用の端末などの特定呼のみアクセス可能とすることができます。

実現手段として、報知情報 (SIB1) の cellReserved-ForOperatorUse を Reserved とすることで工事中規制としています。

#### (3) UAC (Unified Access Control) 規制

NRでは、LTEにおいて複数存在していたアクセス規制方式を統一したUAC規制を新たに実装しました。UACでは端末における各種通信要求は1つのAccess Categoryと1つ以上のAccess Identityにマッピングされ、gNBはこの組合せごとに規制が可能となります。

呼種別はAccess CategoryとAccess Identityに分類され、音声通話・データなどのサービス種別単位を規制対象として指定することができます。保守者は装置の負荷状況やトラフィックの変化を監視し、UAC規制を手動で実施することができます。また、装置自律でのUAC規制機能も有し、gNBもしくは上位ノードが過負荷状態となり輻輳と判断された場合に、gNB自身と、上位ノードから通知された上位ノードの過負荷状態の両者を考慮し、gNBは

自動で適切な呼種別、規制率でUAC規制を実施します。輻輳状態の判定については、パラメータ変更によって柔軟にチューニングすることができます。NRでは、規制率の変更に加え、装置ごとの過負荷状態の判定ロジックの実装により、装置の特性に合わせた規制が可能となっています。

実現手段としては、報知情報 (SIB1) の barringInfoSet の設定内容を更新することでUAC規制としています。

#### (4) 段階規制解除

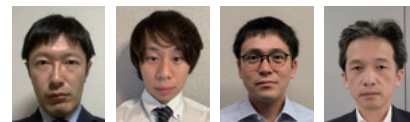
装置や回線の復旧時に、一気に呼が流入することによるgNBと上位ノードへの大量アクセスを防ぐため、自動で段階的に規制率を下げていき、呼を徐々に入れていく機能を有します。

## あ と が き

本稿では、5G SA方式の商用サービス提供を行うための無線基地局装置について解説しました。今後もタイムリーに機能拡張を実施し、5Gの特長を活かしたサービスをさまざまなパートナーと協創することで、豊かな社会の実現に貢献していきます。

### ■参考文献

- (1) 寒河江・澤向・大渡・清嶋・神原・高橋：“5Gネットワーク,” NTT DOCOMOテクニカルジャーナル, Vol.28, No.2, pp.24-38, July 2020.



(左から) 齊藤 敬佑 / 長嶋 嶺 / 星崎 祐哉 / 宇野 暢一

5G SA方式を実現する5G無線基地局装置の開発内容を紹介しました。引き続きネットワークの高機能化に取り組み、新たな価値提供・新たな産業創出をめざします。

### ◆問い合わせ先

NTTドコモ  
R&D戦略部  
E-mail dtj @nttdocomo.com



## 5Gで変わる世界の通信業界：新たなプレイヤー、 新たな通信ネットワークの姿—後編—

前編では、5G（第5世代移動通信システム）の登場と普及で、通信業界のプレイヤーの構図が変わりつつある点について紹介しました。後編では、5Gとその先にあるBeyond 5G/6G（第6世代移動通信システム）がめざす新たな通信ネットワークの姿について、具体的な利用シーンも含め展望します。

### 5Gは社会・産業の基盤をめざす

5G（第5世代移動通信システム）は、実はそれ以前の4G（第4世代移動通信システム）までと、同じ通信ネットワークですが、めざす方向に違いがあります。4Gまでは人がコミュニケーションを行うための通信手段という位置付けでしたが、5Gではそれに加えて社会・産業の基盤としての位置付けがあります。

ではどのような経緯で、5Gを社会・産

業の基盤に、という方向になったのでしょうか。世界のモバイル通信業界のトレンドがかたちづくられる代表的な場として、毎年スペインのバルセロナで開催される「MWC（モバイルワールドコンGRESS）Barcelona」という国際会議・展示会があります。世界の通信業界の多くの企業が一堂に会し、世界に向けて情報発信を行っています。参加者が例年10万人規模となる、通信業界では世界最大級のイベントです。

MWC Barcelonaの場で「5G」が初め

て主要テーマの1つとして取り上げられたのは2016年2月の開催時でした。その前年の2015年から主要テーマとなっていた「IoT（Internet of Things）」に適したモバイル通信技術として、大手通信機器ベンダから「5G」が語られ始めたのです<sup>(1)</sup>。5Gを人がスマートフォンを使って通信するためだけではなく、モノをつなぐ通信の基盤として発展させようとしたわけです。モノをつな



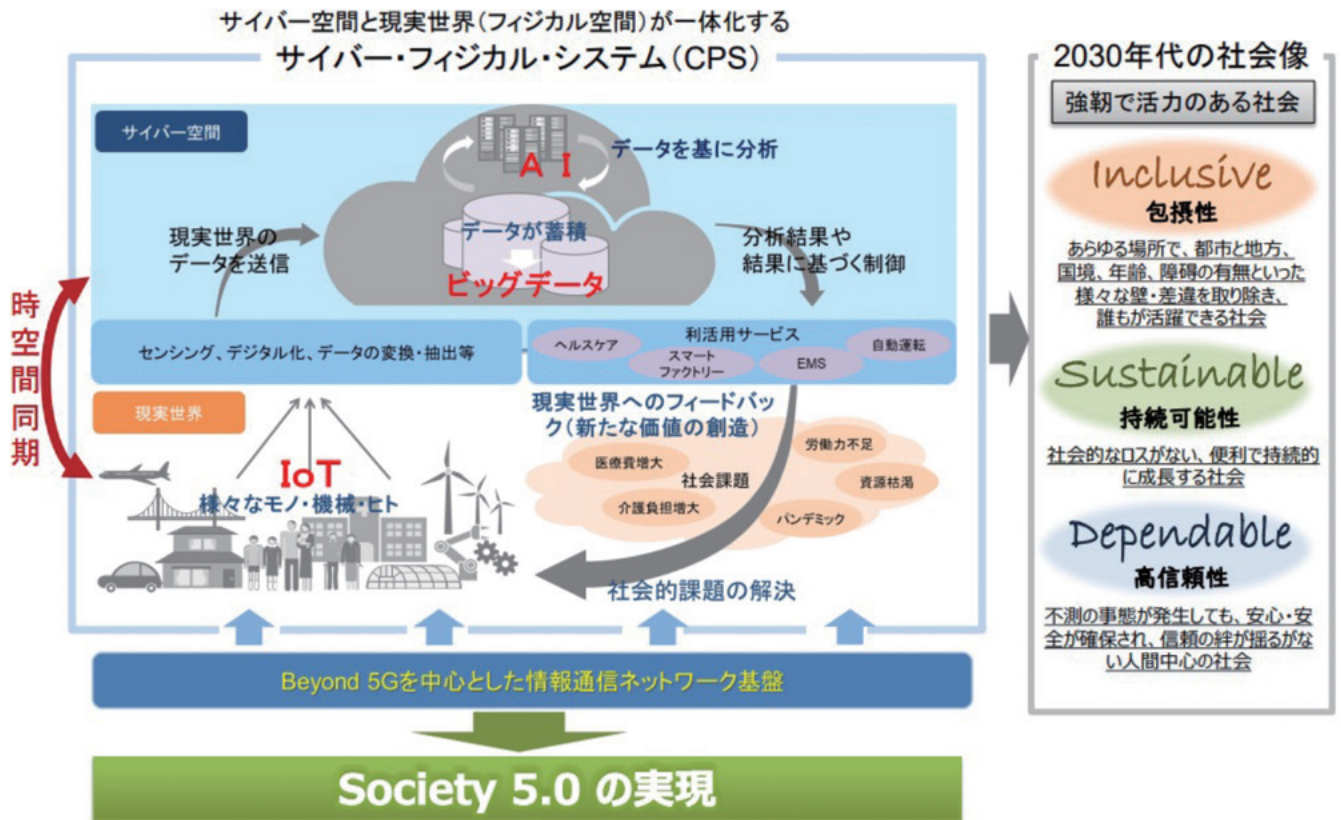
表1 産業・社会基盤としての5G普及に向けた海外の取り組み事例

活動主体	時期	取り組み概要
欧州委員会	2016年9月	「5G for Europe: An Action Plan」を採択。欧州各国の5G導入目標時期を2020年と設定するとともに、主要産業での5G活用（自動運転、遠隔ヘルスマニタリング、ドローン配送等）をめざすとした。
GSA（世界の通信機器ベンダーの業界団体）	2017年9月	ホワイトペーパー「5G Network Slicing for Vertical Industries」を発表。産業のデジタル化を支える5Gの新技术としてネットワーク・スライシングと適用想定例を紹介。エリクソン、ノキア、ファーストウェイが協力。
クアルコム（米国チップ開発製造大手）	2018年6月	資料「How will 5G transform Industrial IoT?」を発表。5Gはインダストリー4.0を次のレベルに引き上げると説明。
KT（韓国通信事業者大手）	2019年3月	動画「KT 5G x Hyundai Heavy Industries Digital Transformation」発表。大手企業のデジタル化における5G活用事例を紹介。
AT&T（米国通信事業者大手）・サムスン電子（韓国）	2019年6月	研究開発施設「5Gイノベーションゾーン」の設置を発表。製造業において生産効率、安全性、セキュリティ、運用パフォーマンスの向上を念頭に5G活用を促進する取り組み。
エリクソン（スウェーデン通信設備ベンダー大手）	2019年10月	レポート「5G for business: a 2030 market compass」を発表。産業のデジタル化には通信事業者による大手企業の5G導入促進が重要、その結果産業構造変革が5Gのマネタイズにつながる、と言及。
5G IA（5G Infrastructure Association）	2020年6月	「Smart Networks and Services：SNSパートナーシップ」を提案。欧州通信業界が、産業のデジタル化を加速させつつ次世代通信技術とサービス開発・展開で主導的立場を得ることを狙った営み。欧州官民共同研究プログラム「5G-PPP」の民間側の活動。
エリクソン（スウェーデン通信設備ベンダー大手）	2021年10月	公式ブログにて「Realizing Time-Critical Communication with 5G」を投稿。高精度な時間管理を求める産業用途の例（産業用オートメーションシステムのリアルタイム制御等）と課題について説明。
GSMA（世界の通信事業者を中心とした業界団体）	2022年2月	5Gイノベーション・ポータルサイト「5G Transformation Hub」をMWC Barcelona 2022に合わせて開設。革新的な5Gソリューションをケーススタディとして多数紹介。
クアルコム（米国チップ開発製造大手）	2022年6月	自社ウェビナーにて「Realizing mission-critical industrial automation with 5G」を発表。5Gで高度化する機能が産業や企業の自動化にどう活用されるかを説明。

(注) 世界の通信関連企業、政策当局等は上記のような5Gの啓蒙活動や研究開発に加え、数多くの実証実験を各業界、自治体等とともに実施している。

出典：情報通信総合研究所調べ





出典：総務省「Beyond 5G推進戦略(概要)」(2020年6月)

図1 CPSの進展と2030年代の社会像

ぐことで、5Gが各産業分野、社会基盤へ浸透する将来像が描かれました。その方向性は2023年の現在まで通信業界のテーマとして継続しています(表1)。例えば世界の通信関連の業界団体であるGSMAはMWC Barcelona 2022に合わせて5Gイノベーション・ポータルサイト「5G Transformation Hub」を開設し、革新的な5Gソリューションをケーススタディとして多数紹介しています。エリクソン、クアルコムといった通信業界大手企業も、公式ブログや自社ウェビナーなどの媒体を通じて5Gの産業用途への適用例などを継続的に紹介しています。

### 5Gの普及が経済・産業にもたらす影響と現状

では、5Gの普及が日本の経済・産業にどれだけの経済的な影響を与えると予測されているのでしょうか。5Gビジネスの経

済効果について、総務省主催の「デジタル変革時代の電波政策懇談会」内に設置された「5Gビジネスデザインワーキンググループ」が2023年7月に公表した報告書(案)によると、「5G潜在層を含むあらゆる産業に5G活用の効果が波及し、生産性向上や投資促進が経済成長に寄与・発現していく“成長シナリオ”においては、内閣府「中長期の経済財政に関する試算」のベースラインケースのシナリオと比べて、実質GDP成長率が長期的に0.7%程度押し上げられるとされ、社会経済への実装は「我が国経済において、重要な意義があることが示唆された」としています<sup>(2),(3)</sup>。

しかし、一方で5Gビジネスには課題も指摘されています。同報告書(案)では、5Gならではのユースケースが広がらない、5G機器・端末が普及せずコストが高止まりする、通信事業者に5Gインフラ投資インセンティブが働きにくい、という主旨の指摘です。

携帯電話が広く普及し始めた2000年代以降、こうした光景はあまりみられませんでした。その背景として、市場拡大の予見性における違いがあるでしょう。通信業界は4Gまでは「人がつながる」市場がターゲットで、人がつながりたいという主体的な欲求を潜在市場として予見できました。一方、5Gがめざす「モノがつながる」市場では、モノをつなげたいという企業等のニーズを予見することが難しいといえます。したがって通信業界は、そのニーズ開拓を数年間かけて行っているのです。

### 5G, Beyond 5Gは社会を支える存在へ

日本では、内閣府主導による科学技術政策として「Society 5.0」が2016年より提唱されてきました。Society 5.0とは、サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させたシステム(CPS:

金融	建設・不動産	物流・運輸	情報通信	メディア	エネルギー・資源
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ オンライン化・キャッシュレス化が進捗し、全顧客との接点のデジタル化</li> <li>◆ AIや取引データ等の活用による、高付加価値ビジネスや他業界との連携・融通等</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ VR技術による遠隔協業・ロボット遠隔操作</li> <li>◆ IoT、無線センシングによる保守管理・監視等</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 倉庫・物流における荷物の追跡・管理や機械・ロボット等の自動運転・ドローン運航</li> <li>◆ 衛星やHAPSを利用した海上ルート含む物流支援</li> <li>◆ 航空・鉄道のシームレスな乗換えや自動運行等</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 誰一人取り残さないデジタル化</li> <li>◆ アバター等によるリアルな体感や、AIによる高精度の需要予測と供給の最適化</li> <li>◆ AIを活用した自律的で災害に強いネットワーク等</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 身体所有体験を含む没入型メディア体験</li> <li>◆ 個々の視聴環境等へのパーソナライズ化等</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 資源の採掘・加工の現場作業を安全に行う、没入型遠隔操作・自動化</li> <li>◆ リサイクルデータ共通利用基盤等</li> </ul> 
<b>2030年代のあらゆる産業・社会活動の基盤としてのBeyond 5G</b>					
<b>自動車</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 高精度な車両の検知・予測による安全運転支援</li> <li>◆ 道路・交通状況のリアルタイム画像によるダイナミックマップ作成等</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 超高速大容量サービス</li> <li>■ 超低遅延性が求められるサービス</li> <li>■ 多数のIoTセンサが同時接続されるサービス</li> <li>■ 時間・場所の制約からの解放</li> <li>■ 利用者が求めるサービス品質を安定的かつセキュアに提供</li> </ul> 				<b>機械・電機・工場</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ IoT、ロボット導入による工場無人化</li> <li>◆ XR等を用いた高精度の機械遠隔操作</li> <li>◆ 農機の自動化・高機能化・遠隔操作による農業のスマート化等</li> </ul> 
食品・農業	流通・小売・卸	医療	公共・行政・教育	防災・地域	宇宙・HAPS
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 無人トラクターの自動走行や農業散布用ドローンの制御・遠隔監視</li> <li>◆ センサー・カメラ等による作物や家畜の遠隔モニタリング等</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ あらゆる地域で利便性が確保される輸送・配送の高度化</li> <li>◆ サプライチェーンにおけるデータの取得・連携・流通基盤の構築等</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 高解像度の映像・通信技術による遠隔手術</li> <li>◆ センサーによる生体情報のリアルタイム取得とAI診断による健康管理等</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 利用者がどこでも手続可能なUIを備えたワンストップ行政システム</li> <li>◆ XR等を用いた臨場感のある遠隔教育等</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 災害予知システムや、救助・避難訓練支援システム、避難誘導システム</li> <li>◆ HAPS等による災害時の通信基盤確保等</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ HAPS等を活用した陸海空を網羅する通信基盤によるスマートシティ実現やデジタルハイド解消</li> <li>◆ 宇宙空間での活動への地上からの遠隔操作等</li> </ul> 

出典：総務省「Beyond 5G に向けた情報通信技術戦略の在り方 - 強靱で活力のある2030年代の社会を目指して - 中間答申概要」（2022年6月）

図2 Beyond 5G ユースケース（概要）

Cyber Physical System) により、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会 (Society) を指します<sup>(4)</sup>。CPSは現実世界のデータをクラウドに送信し、AI (人工知能) を活用した分析結果を基に、現実世界のサービスへフィードバックし社会的課題を解決しよう、というシステムです (図1)。

総務省は、5Gの先にある「Beyond 5G」が、Society 5.0のバックボーンとして中核的な機能を担うことを期待しています<sup>(5)</sup>。CPSは、一見すると5Gでなくとも実現できそうに映るかもしれませんが、しかし、各業界が通信ネットワークに求める技術水準は高く、既存の5Gの性能では足りないケースも多々あります。これは後ほど紹介します。

こうした中、総務省は「Beyond 5G 推進戦略懇談会」を設置し議論を重ね、研究開発戦略や知財・標準化戦略、展開戦略についての推進方針をまとめ、2020年6月に

「Beyond 5G 推進戦略」として公表しました。そして、それを行動に移すため2020年12月に産学官で構成される「Beyond 5G 推進コンソーシアム」が設立されました。同コンソーシアムでは、Beyond 5G 推進戦略に基づいて実施される具体的な取り組みの共有や、取り組みの加速化と国際連携の促進を目的とする国際カンファレンスの開催などが行われています。

### Beyond 5G のユースケース例

Beyond 5G 推進コンソーシアムでは、利用者の日常生活、あるいは多くの産業にまたがる広範囲の利用シナリオを想定し、これを通して多角的な観点から社会基盤としての通信システムが備えるべき要件の検討を行っています。その成果を「Beyond 5G ホワイトペーパー ～2030年代へのメッセージ～」として公開しており<sup>(6)</sup>、具

体的には各業界からのBeyond 5Gへの期待、Beyond 5Gに求められる能力、技術トレンド等が書かれています。業界ごとにユースケースをまとめており、各業界の課題に沿った対策案やソリューションの想定イメージが、多岐にわたり掲載されています (図2)。

また、ホワイトペーパーでは業界ごとのユースケースを踏まえ、Beyond 5Gの条件についても整理しています。通信ネットワークが求められる性能は5Gの要求条件 (高速大容量、低遅延、同時多数接続) よりも厳しいケースがあり、また5G要求条件にはなかった新たな性能も求められています (図3)。

業界によりユースケースは異なり、そのユースケースが求める通信ネットワークの性能も異なります。この中で、新たな通信ネットワークのかたちについても言及がありますが (表2)、本稿では、新たな通信ネットワークの形を複数取り上げている自動車



	4G/LTEの要求性能	5Gの要求性能	業界が求めるBeyond 5Gの性能 (業界名)
高速・大容量	<ul style="list-style-type: none"> <li>下り最大100 Mbit/s</li> <li>上り最大50 Mbit/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>下り最大20 Gbit/s程度</li> <li>上り最大10 Gbit/s程度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>数10~数100 Gbit/s (メディア)</li> <li>10~100 Gbit/s (小売卸流通)</li> <li>50 Gbit/s (自動車)</li> <li>数10 Gbit/s超 (医療)</li> </ul>
低遅延	<ul style="list-style-type: none"> <li>待受から通信状態: 100ミリ秒以下</li> <li>間欠受信から通信状態: 50ミリ秒以下</li> <li>無線アクセスネットワーク (RAN) 内のデータ転送にかかる片道遅延: 5ミリ秒以下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1ミリ秒程度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エンド・ツー・エンドで1ミリ秒 (自動車, 半導体)</li> <li>エンド・ツー・エンドで数ミリ秒 (鉄道)</li> <li>エンド・ツー・エンドで100ミリ秒 (エネルギー資源)</li> <li>ローカルネットワーク内でミリ秒オーダー (物流, 機械)</li> </ul>
多数同時接続	(対象外)	<ul style="list-style-type: none"> <li>100万台/km<sup>2</sup>程度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>数100万~数1,000万个/km<sup>2</sup>のデバイス (医療)</li> </ul>
測位・センシング		(対象外)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1~2cmの測位精度 (建設・不動産)</li> <li>cm級のセンシング精度 (自動車)</li> </ul>
低消費電力			<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽電池で運用 (宇宙)</li> </ul>
カバレッジ拡張			<ul style="list-style-type: none"> <li>国土カバー率 100% (通信・IT)</li> <li>衛星や HAPS (High Altitude Platform Station), 車車間 (V2V) などの通信によりさまざまなサービスを継続して利用できるレジリエンス機能 (自動車)</li> <li>旅客機 (高度10 km程度) に比べ高い高度を飛行する超音速旅客機および宇宙空間の高度 100 km 超でのカバレッジ (航空)</li> <li>ドローンとの通信 (航空)</li> <li>水中ドローンのため水中もNTN化 (水産)</li> </ul>
安全・信頼性			<ul style="list-style-type: none"> <li>10<sup>-6</sup> (遠隔監視と遠隔制御 (自動車))</li> <li>10<sup>-7</sup> (遠隔手術 (医療)) ※単位はブロック誤り率</li> </ul>

出典: Beyond 5G推進コンソーシアム「Beyond 5G ホワイトペーパー 2.0版」(2023年3月)を基に情報通信総合研究所にて作成

図3 各業界が通信ネットワークに求める主な性能 (例)

業界についてピックアップしてみます。

### 自動車業界のユースケース

ホワイトペーパーでは、自動車業界の現状と課題が次の3点に整理されています。

- ① 地方における利用交通手段の制限: 日本の人口減少から、地方部では運転士不足、収益性の悪化によって公共交通機関の維持はますます厳しい状況であり、また、地方は自家用車の利用率が高い特徴がある一方で、免許を持たない住民の移動手段が制限される可能性があります。
- ② 都市部の人口集中による移動時間の制約: 交通渋滞が深刻な地域が多く、移動・通勤時間が長くなり、生活時間が制約を受けている状況であり、また今後高齢化が進むことにより自家用車で移動できない住民が増加し、高齢者

の移動の自由の制約となる可能性があります。一方、公共交通機関の利用率が高い地域では、自家用車と物流車両が集中することで交通渋滞を引き起こし、それによる生活時間の制約が生じているとしています。

- ③ エネルギーと環境問題: 自動車産業のカーボンニュートラルへ向けた政策は、電気自動車へのシフト、脱炭素燃料の利用、そしてそれらを支えるインフラの整備などが主体であるとしています。一方で「車の使い方の変革」として、次世代の交通システムの基盤となる高精度デジタル地図・OTA (Over The Air) 機能・狭域通信機能の社会実装の必要性も挙げられています。

こうした諸課題を解決すべく、同白書ではBeyond 5Gで実現が期待される活用例について「安全運転支援」と「自動運転」の2つの観点から説明されており、求められる通信ネットワークのかたち而言及して

います。

### 安全運転支援を支える通信

まず、安全運転のための通信技術について説明します。例えば、災害で通常の交通手段が使えなくなったときでも、車は近くの危険を早めに知らせ、必要なら衝突を避ける動きが求められます。これを支援するために通信を活用するのですが、衛星やHAPS (High Altitude Platform Station: 高高度基盤ステーション) といった空の上にある通信設備とつながったり、他の車との間でやり取りする (車車間通信: V2V) 新しい通信のかたちが想定されています。また「Beyond 5G」方式の基地局にはものを検知するセンシング機能が搭載されるため、車に装備されているレーダーによる障害物等の検知も、現在よりも広い範囲で、また速く動くものもより正確に検知できる

表2 各業界がBeyond 5Gに期待する性能と新たな通信のかたち

業界	高速大容量	低遅延	多数同時接続	安全信頼性	低消費電力	時刻同期精度	測位センシング	カバレッジ拡張	新たな通信の形
金融	◎	◎	◎	◎				◎	
建設・不動産	◎	◎	○	◎	○	○	◎		
倉庫・物流	○	◎	○	◎	○	◎	◎	○	NTN
航空	◎	◎		◎	◎		◎	◎	NTN
鉄道	◎	◎	○	◎	○		◎	◎	
通信・IT	◎	○	○	○				○	NTN
メディア	○								
エネルギー・資源・素材	○	○	○	○				◎	NTN
自動車	◎	◎		◎			○	○	NTN V2X
工作機械	◎	◎	◎	◎		◎	◎		
建設機械	○	◎		◎		◎	○		
農業機械	◎	◎				○	○		
ロボット	◎	◎		◎		◎	◎		
造船・船舶		◎	◎	◎	○	◎	◎	○	NTN
電機・精密	◎	◎	◎	○	◎				
半導体	◎	◎	◎	○			◎		
農業・水産業	○	○	◎	○	◎		◎	◎	
食品	◎	◎			◎	○	◎		
生活・文化用品	◎	◎			◎	○	◎	◎	
小売・卸・流通分野	◎	◎	◎	◎	○		◎	◎	
医療	◎	◎	◎	◎	◎			◎	
行政、教育	◎	◎	◎	◎			○	◎	
飲食業界（外食産業）	◎	◎		◎	◎		◎	○	
娯楽・レジャー	◎	◎	◎		◎	◎	◎		
学問・その他	◎	◎	○	◎	○			◎	NTN

・ ○：例示ユースケースで要求される機能 ◎：例示の複数のユースケースで要求される機能  
 ・ 「新たな通信の形」欄は、出所資料に具体的な表記がある場合に記載

出典：Beyond 5G推進コンソーシアム「Beyond 5G ホワイトペーパー 2.0版」（2023年3月）を基に情報通信総合研究所にて作成

ことが期待されています。

### 自動運転を支える通信

5Gなどの通信技術を使えば、最新の地図データや車のソフトウェアをいつでも更新できるようになります。さらに、車からの情報を集めてデータベースに保存し、それを基に新しいサービスを提供することも可能になると考えられています。ただし、今後想定されている地図はダイナミックマップというもので、現在は開発段階にあります。これは高精度な3次元地図情報に、車両やさまざまな交通情報など、動的な情報を載せることで刻々と更新されるデータベース的な地図のことです。地図自体は静的情報ですが、交通規制や事故情報、周辺車両や歩行者、信号情報など動きのある情報が載ることで、自動運転などへの活用が期待されるデジタルインフラです<sup>7)</sup>。情報

量が大きく、更新も頻繁に行われることが想定されるため、Beyond 5Gのような大容量通信技術が求められます。

また、車が道路のカメラや信号機、センサと通信（V2I）し、周辺の状況をより細かく認識できるようになることで、自動運転レベル3とそれ以下（レベル2、1）の間での運転の切り替え（ハンドオーバ）もスムーズになると考えられています。自動運転のレベル3では、運転者はよそ見をできるのですが、レベル2では手放し運転はできるものの、運転者は進行方向などを常時監視している必要があります。レベル3からレベル2へ切り替わると、運転者は自分で車を制御する必要が出てくる、ということになります。

では、今説明した中に出てきた新たな通信ネットワークのかたちとして「NTN（Non-terrestrial Network）」と「V2X（Vehicle to X）」を紹介します。

### 新たな通信のかたち① NTN：車が空の通信設備と直接つながる

先述した「HAPS」とは、通信ネットワークの一部となる設備を、機材として空に飛ばして、地上のさまざまな機器と通信を行う技術です。一般のジェット旅客機は、おおむね高度10 km程度を飛行することが多いですが、HAPSが飛行する高度がその2倍の高度20 km程度の成層圏エリアになるため、成層圏プラットフォームと呼ばれることもあります<sup>8)</sup>。

空からの通信としては、他に衛星通信があります。通信用衛星では、静止衛星（GEO：高度3万6000 km）による商用通信サービスが40年以上も前から提供されていますが、ここ数年は低軌道周回衛星（LEO：高度数百km～2000 km）が注目を集めています。LEO衛星を数多く周回させて、地上を面的にエリアカバーするシステムは、衛星コンステレーションと呼ばれます。



表3 衛星コンステレーション/HAPSを開発・提供する主な企業

企業名	グローバルスター (米)	イリジウム (米)	スペースX (米)	ワンウェブ (英)	ASTスペースモバイル (米)	アマゾン (米)	HAPSモバイル (日)	アールト (エアバス子会社) (仏)
サービス・プロジェクト名	グローバルスター	イリジウム	スターリンク	ワンウェブ	ASTスペースモバイル	プロジェクト・カイパー	サングライダー (機体名)	ゼファー (機体名)
分類	衛星コンステレーション	衛星コンステレーション	衛星コンステレーション	衛星コンステレーション	衛星コンステレーション	衛星コンステレーション	HAPS	HAPS
通信サービス提供状況	商用提供中	商用提供中	商用提供中	提供予定 (2023年内に開始予定)	未提供	未提供	- (機体の提供)	- (機体の提供)
高度	約1400 km	約780 km	約340 km～1150 km	約1200 km	約700 km	約600 km	約20 km	約20 km
国内大手通信事業者との関係	-	KDDIと提携 (販売代理)	KDDIと提携 (中継回線の利用, 販売代理) ソフトバンクと提携 (販売代理)	ソフトバンクが出資	楽天が出資	-	ソフトバンク子会社	NTT, NTTドコモと提携
海外大手通信事業者との関係	- ※iPhoneの一部機種で、同社衛星との直接通信ができる国がある	-	米TモバイルUSと提携	印パーティが出資	英ボーダフォンが出資 米AT&T, 仏オレンジ, 西テレフォニカ等15社以上と提携	米ベライゾンと提携	-	-

出典：各種公表情報より情報通信総合研究所作成（2023年9月）

す。米国スペースX社（サービス名：スターリンク）が、衛星コンステレーションを提供するその代表的な企業です。また、Amazonもカイパー（Kuiper）というプロジェクト名でLEO衛星による通信サービス提供を準備中です。2023年10月には試験衛星を打ち上げました<sup>9)</sup>。

HAPSや衛星通信などを総称したネットワークは「NTN」と呼ばれます。NTNが展開されると、これまで高速データ通信が繋がらなかったエリアにおいても高速通信が可能となります。従来の衛星通信では、動画を見る等の高速データ通信のためには大きな地上アンテナが必要でした。また手のひらサイズの衛星通信用端末では、SMS（Short Message Service）のやり取り程度しかできませんでしたが、現在では、車はもちろんスマートフォンでも、より高速なデータ通信ができる技術の開発が行われています。車があらゆる場所で高速データ通信ができるようになれば、どこでもイン

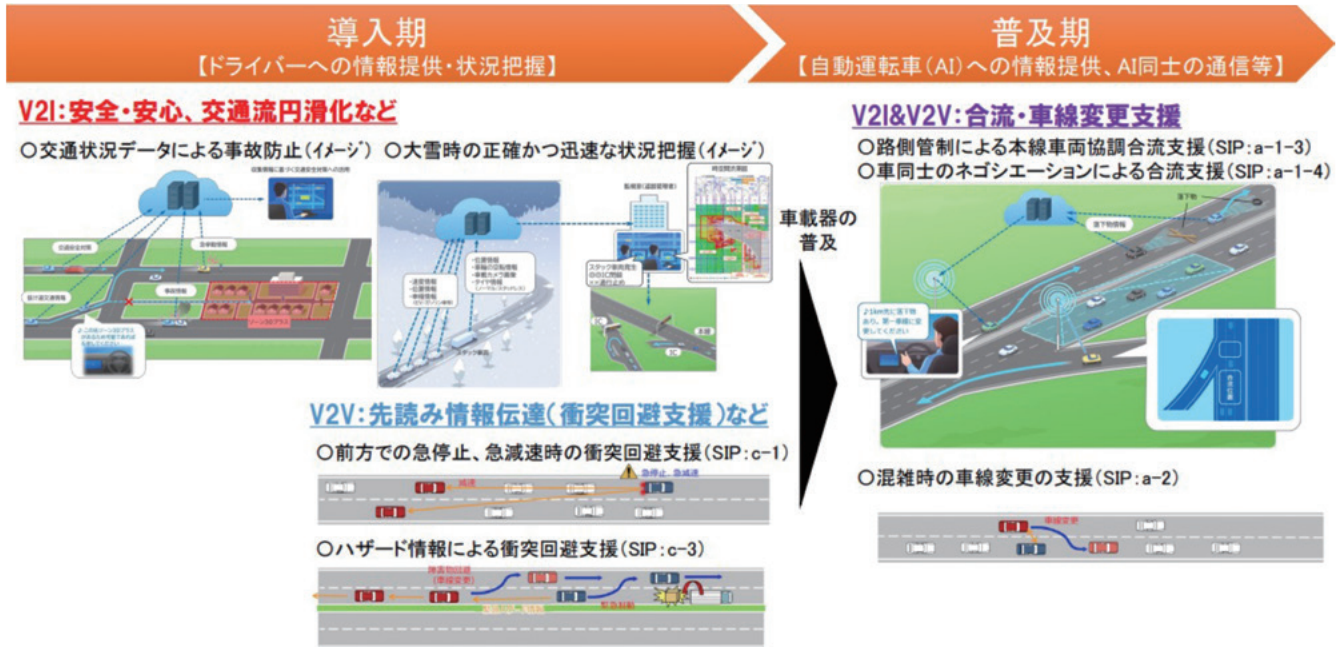
ターネット、クラウドとつながることで、安全運転支援でも自動運転でも有用な、情報収集や遠隔監視・制御などができるようになります。

NTNについては、我が国においても大手通信事業者が積極的に取り組んでいます。NTTは、宇宙統合コンピューティングネットワークの構築をめざしています。KDDIは米スペースXと、衛星とスマートフォンの直接通信サービスを2024年に提供予定と発表しました。ソフトバンクは出資するHAPSモバイルとOneWebの2社を活用した構想を掲げていますし、楽天モバイルは出資先の米ASTスペースモバイルと、衛星とスマートフォンの直接通信の試験に成功しました。

海外の大手通信事業者も同様にNTNへ取り組んでおり、地上網とNTNが一体的に運用される通信ネットワークのかたちを実装する取り組みが加速するものと思われます（表3）。

## 新たな通信のかたち② セルラーV2X：車が周囲とつながる

通信を使って車や道路を高度化する研究開発の歴史は古く、DSRC（Dedicated Short-Range Communications）という自動車業界独自の通信規格で実証実験が重ねられてきたものの、商用導入は限定的です。日本ではETC2.0（従来の通行料金の自動決済システムに加え、全国の高速度道路に設置されたITSスポットで情報を収集・提供するサービス）がこの技術を使っています。一方、車両がその周辺環境である道路との通信（V2I）、車両（V2V）、歩行者（V2P）、さらにはネットワーク・クラウドとの通信（V2N：Vehicle to Network）を行うことで、車両運行を高度化する試みが通信業界から提案されてきました。[V2I][V2V][V2P]などを総称して「V2X」と呼び、ここにモバイル通信方式を採用したものを「セルラーV2X（C-V2X）」と呼び



出典：総務省「自動運転時代の“次世代のITS通信”研究会 中間とりまとめ概要」（2023年8月）より抜粋

図4 V2Xの想定ユースケース

ます。海外では米国がセルラーV2X推進に舵を切り、DSRCを推進してきた欧州もセルラーV2Xとの併用に動いています。セルラーV2Xでは4G/LTEを使った実験が行われてきましたが、現在は5Gを使った実験も行われています。セルラーV2Xの導入で、路車間(V2I)・車車間(V2V)・歩車間(V2P)通信の異なる通信形態を単一規格で実現できるようになり、また、グローバルでのエコシステムを形成しやすくなるため自動運転の普及促進に貢献できるとしています<sup>(10)</sup>。

総務省「自動運転時代の“次世代のITS通信”研究会」では、次世代のITS通信の活用を想定するユースケースが示されていますが(図4)、自動運転技術の商用導入と熟成が進む中で、さまざまな企業がこの市場の成長を期待して準備を進めています(表4)。新たな社会インフラとして期待されている領域の1つです<sup>(11)</sup>。

このように、Beyond 5G時代に向け、具体的な利用シーンごとに求められる通信

を実現すべく、研究開発が進められています。そこでは通信ネットワークを利用するのは人ばかりではなく、機械や社会インフラも通信ネットワークを活用するようになる将来が描かれています。それに伴い、例えば地図がダイナミックマップに高度化する、道路インフラがV2Xで高度化するなど、通信以外の業界にも新しい市場が広がる可能性があります。2025年の大阪・関西万博では、基本方針に「5Gの次の世代の無線通信システムであるBeyond 5Gの導入に向けて、“Beyond 5G readyショーケース”として大規模な展示を行い、世界の人々が日本の最先端技術を体感できる機会を提供する」と謳われています<sup>(12)</sup>。社会インフラを支える存在として日本が世界へBeyond 5Gをアピールする姿を期待したいところです。

## おわりに

本誌『5Gで変わる世界の通信業界：新たなプレイヤー、新たな通信ネットワークの姿』では全2回にわたり、普及が進む5Gについて、現状と将来を見据えた動きについて展望しました。

Beyond 5Gとして始まった次世代の通信ネットワークへの取り組みも、時間の経過とともに現在ではBeyond 5G/6G(第6世代移動通信システム)と表記されることが増えました。これは、海外で6Gという言葉で将来を語る企業が増えてきたためでしょう。とはいえ、6Gについて、コンセプトづくりは世界的にもこれからですし、技術開発についても多くの企業がさまざまなものを提案している段階です。5Gの導入時から通信業界が謳った、社会産業の基盤としての通信ネットワークの存在価値は、6Gでより明確にみえるかたちになるのか



表4 セルラーV2Xに取り組む主な企業（例）

企業名	ポッシュ (独)	コンチネンタル (独)	アプティフ (旧デルファイ) (米)	クアルコム (米)	オートトックス (イスラエル)	パナソニック (日)
事業領域	車載向けセンサー	○	○	○	—	—
	車載向け通信チップ セット・モジュール	○	○	○	○	○
	C-V2X向け ソフトウェア	○	○	○	○	—
	C-V2X 統合ソリューション	○	○	○	—	○
	C-V2Xインフラ	○	○	○	—	○
V2X関連の近年の動き	<ul style="list-style-type: none"> <li>フォルクスワーゲン他16社と実証実験「5G NetMobilプロジェクト」(V2V, V2I, V2N) 実施 (2020.5)</li> <li>メルセデスベンツと自動パレーパーキング商用化 (V2I 活用) (2022.11)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>DSRCとC-V2XのハイブリッドV2Xソリューション開発 (2019.1)</li> <li>クアルコムと提携 (2022.7)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>クラウドソフトウェアのウィンドリバーを買収 (2022.1)</li> <li>クアルコムと提携 (2022.10)</li> <li>交通インフラ関連のCubicと提携, V2I普及を強化 (2023.3)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>C-V2X向け無線通信チップセットを開発 (2017.9)</li> <li>V2Xチップセット開発のオートトックスを買収 (2023.5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>STマイクロ (2014), デンソー (2016), ハーマン (2019), 村田製作所 (2022), ヒュンダイモビリティ (2023) 等が「同社V2X通信チップセットを採用」</li> <li>トヨタの支援ファンドが出資 (2017)</li> <li>クアルコムが同社を買収 (2023.5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>クアルコム, フォード, パナソニック北米法人がC-V2X導入で提携 (2018.6)</li> <li>V2Xプラットフォーム「CIRRUS by Panasonic」をCESで展示 (2020.1)</li> </ul>
国内大手通信事業者との関係	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>ドコモ, クアルコム, コンチネンタル, エリクソン, 日産, 沖がC-V2X実証実験 (2018.1)</li> <li>ドコモ, 柏の葉キャンパス駅周辺でC-V2X実験環境を提供 (コンチネンタル, 古河電工, 日本信号, ヴァレオ, 3大学参加 2021.11)</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>ドコモ, クアルコム, コンチネンタル, エリクソン, 日産, 沖がC-V2X実証実験 (2018.1)</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>ドコモ, クアルコム, コンチネンタル, エリクソン, 日産, 沖がC-V2X実証実験 (2018.1)</li> </ul>

出典：各種公表情報より情報通信総合研究所作成（2023年9月）

もしれません。各業界が想定するニーズ、ユースケースが、時間とともにより広がる可能性もあるでしょう。これらの変化に対していかに柔軟に対応できるか、が今すでに通信ネットワークに求められています。通信ネットワークの将来像や求められる要求水準も、各業界のビジネスシーンやユースケースに応じて高度化していきます。読者の皆様におかれましても、社会産業の基盤として高度化が進展する通信ネットワークにぜひご注目ください。

#### ■参考文献

- (1) [https://www.ericsson.com/4ada75/assets/local/reports-papers/white-papers/wp\\_5g.pdf](https://www.ericsson.com/4ada75/assets/local/reports-papers/white-papers/wp_5g.pdf)
- (2) [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000893999.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000893999.pdf)
- (3) [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000878155.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000878155.pdf)
- (4) [https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/index.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html)
- (5) [https://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/kenkyu/Beyond-5G/02kiban09\\_04000453.html](https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/Beyond-5G/02kiban09_04000453.html)

- (6) <https://b5g.jp/output/>
- (7) [https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/iinkai/jidousoukou\\_30/siryosho-2-1-1.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/iinkai/jidousoukou_30/siryosho-2-1-1.pdf)
- (8) <https://www.icr.co.jp/newsletter/wtr403-20221028-matsuda.html>
- (9) <https://www.aboutamazon.com/news/innovation-at-amazon/amazon-project-kuiper-latest-updates>
- (10) [https://b5g.jp/doc/whitepaper\\_jp\\_2-0.pdf](https://b5g.jp/doc/whitepaper_jp_2-0.pdf)
- (11) [https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2023/20230317\\_02/](https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2023/20230317_02/)
- (12) [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000736029.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000736029.pdf)



株式会社 情報通信総合研究所  
ICTリサーチ・コンサルティング部  
主席研究員 岸田重行


NTT物性科学基礎研究所  
上席特別研究員

**村木 康二** Koji Muraki

## 理論の予言から20年以上検証されていなかった現象を初めて実験で示す

物性物理学の世界では、現象に関する理論が発表されてから20年、30年後にそれが実験により検証されたということがよくあります。その一例である、電子がお互いに影響を及ぼし合うことで全体として元々はなかった性質を獲得するという現象—「多体効果」—の研究を通して、超伝導体と通常の金属の接合界面で起こる「アンドレーエフ反射」に類似する現象を、超伝導体以外の物質で世界で初めて観測することに成功したNTT物性科学基礎研究所 村木康二上席特別研究員に、その実験と、その舞台となる分数量子ホール効果（多体効果の1つ）の研究、「基礎研究は地図をつくるような仕事である」という例えとそれに臨むチャレンジへの思いを伺いました。



 「分数量子ホール効果」により、バラバラの電子では得られない新しい機能を持った量子デバイスを開拓することをめざす  
現在、手掛けていらっしゃる研究について教えてくださいませんか。

電子が持つ波動性や重ね合わせ、スピンといった量子力学的性質に加え、電子間の相互作用によって生じる多体効果や相関効果に注目し、それらを半導体や原子層物質のヘテロ構造・ナノ構造を用いて生成・制御することで、バラバラの電子では得られない新しい機能を持った量子デバイスを開拓することをめざして研究に取り組んでいます。

その中で前回（2021年1月号）のインタビューでは、半導体のヘテロ構造により、物質の内部は絶縁体でありながら表面は電気を通す「トポロジカル絶縁体」ができること、ゲート電極に電圧を加えることで、通常の絶縁体になったりトポロジカル絶縁体になったり、電気的に制御できることを実験により示したことについて紹介しましたが、今回は「多体効果」について紹介します。

「多体効果」というのは、電子がお互いに影響を及ぼし合うことで、全体として元々はなかった性質を獲得するという現象で、超伝導や強磁性などがその代表例です。私たちが対象としているのは「分数量子ホール効果」という現象で、これは強い磁場の中で電荷 $e$  ( $< 0$ )を持った電子どうしがうまく避け合おうとする結果、

ある種の秩序が生まれ、密度揺動のない液体のような状態です。面白いのは、この均一な状態からのずれは電子の電荷の $1/3$ を単位にして起こることです。この電子密度の凸を準粒子、凹みを準正孔といいますが、それらは $\pm e/3$ の電荷を持った粒子のように振る舞います。分数量子ホール効果自体は歴史が長く、1982年に発見され、翌年にその基礎となる理論が出ており、これらの研究に対して1998年にノーベル物理学賞が授与されています。そして、2000年代に、ある種の状態では準粒子・準正孔を使って量子計算をすることができるという理論提案があり、それ以来、その検証に向けた研究が続いています。

さて、分数量子ホール状態の準粒子が $e/3$ の電荷を持っていることは、電流に含まれる微弱なノイズを測定して解析することからすでに明らかになっていました。また、準粒子を用いた量子計算に向けた要素技術として、リング状に加工した微小な素子を用いて準粒子の干渉を測定することが必要ですが、実はそのような実験が世界で初めて成功したのはここ数年のことで、米国の研究グループが報告し、大きな話題になりました。これらの実験は $e/3$ の電荷を持った準粒子の性質を調べているわけですが、電極やリード線など測定器につながっているのは通常の金属で、そこを流れているのは電荷 $e$ の電子です。電荷 $e/3$ の準粒子が通常の金属である電極に入ったとき、何が起こるのでしょうか。実は1990年代にそのようなことを考えた理論があり、それによると電荷 $e/3$ の準粒子2つが入射すると、電荷 $e$ の電子が金属中に入っていく、その「お釣り」として電荷 $-e/3$  ( $> 0$ )の準正孔が入射



側にはね返ってくるというものでした。これは超伝導体と通常の金属の接合界面で起こる「アンドレーエフ反射」(図1)と類似する現象で、私たちはこれを世界で初めて観測することに成功しました<sup>(1)</sup>。これは準粒子という電子よりも小さいレベルでの電荷保存や、準粒子の散乱・反射の素過程を解明したという意義に加え、準粒子を用いた回路において考えるべき新たな視点を提示しています。つまり、回路の中には準粒子だけではなく、「お釣りの電荷を運ぶ準正孔も流れているわけで、準粒子の干渉(の有無)を議論する際にはその影響も考えなければいけないことを意味しています。

理論の予言から20年以上検証されていなかった現象を初めて実験で示すことができたのはとても嬉しいことでした。1990年代に理論の論文を書いた研究者が私たちの論文を見て、「ありがとう」というメールを送ってきてくれました。さらにその後の研究では、このような散乱・反射過程の際に生じる雑音や熱についても理解を進めることができました<sup>(2)</sup>。結果だけ書くと簡単なようですが、研究開始から「これだ」という結果が出るまではかなり長い道のりでした。

電子よりも電荷の小さい準粒子の性質を調べるには非常に高い実験技術が必要で、そのような実験ができる研究グループは世界でも片手で数えられるぐらいしかありません。今回の成果によって、これらの研究グループの人たちが私たちの研究に注目してくれるようになったのも大きな変化でした。また、これらの研究では私はサポート役で、私の主な貢献は研究を主導するメンバーに質問を続けることでしたが、若い研究者が世界に羽ばたくきっかけとなる研究にかかわった経験は、今までとは違う達成感があります。

非常にインパクトのある実験が行われたのですね。

この実験は、準粒子の性質を調べるために、より精密な測定技術が必要になってきたので、同じようなことに興味を持ち、必要な技術と知識を持った研究者がグループに加わり、その研究者の提案により行われたものです。

図2に実験の概要を示します。まずGaAs半導体ヘテロ構造中の二次元電子系に低温で垂直磁場を印加し、電子系全体がランダウ準位占有率\*が1の整数量子ホール状態になるように磁場の強さを調整しました。図2(a)は、試料の電子顕微鏡写真に色付けしたもので、赤色領域は電極1にゲート電圧1を印加して形成したランダウ準位占有率1/3の分数量子ホール(分数QH)領域です。黄色領域は二次元電子系を狭窄するための電極2、青色領域はランダウ準位占有率1の整数量子ホール(整数QH)領域(電極3は0Vに固定)で、ここでは電荷eの電子が電流を運ぶ通常の金属の役割を担っています。それ以外の濃いグレーの領域は半導体をエッチングして削った領域、薄いグレーの領域は本実験で使用しないゲート電極、緑色の円で囲った領域の中心部に微小な分数-整数量子ホール接合が形成されます。量子ホール領域では試料の端のエッジチャネル(図中矢印)に沿って一方向に電流が流れるため、透過電流と反射電流をそれぞれ測定することができます。

また、図2(b)は、分数-整数量子ホール接合(図2(a)で緑色の円で囲った領域)の概念図です。電極2にゲート電圧2を印加して直下の二次元電子系を空乏化すると、分数領域と整数領域が1

\* ランダウ準位占有率：磁場(磁束密度)に対する電子密度の比。この値が整数値に近づくと整数量子ホール効果が生じ、特定の分数値(1/3など)に近づくと分数量子ホール効果が生じます。

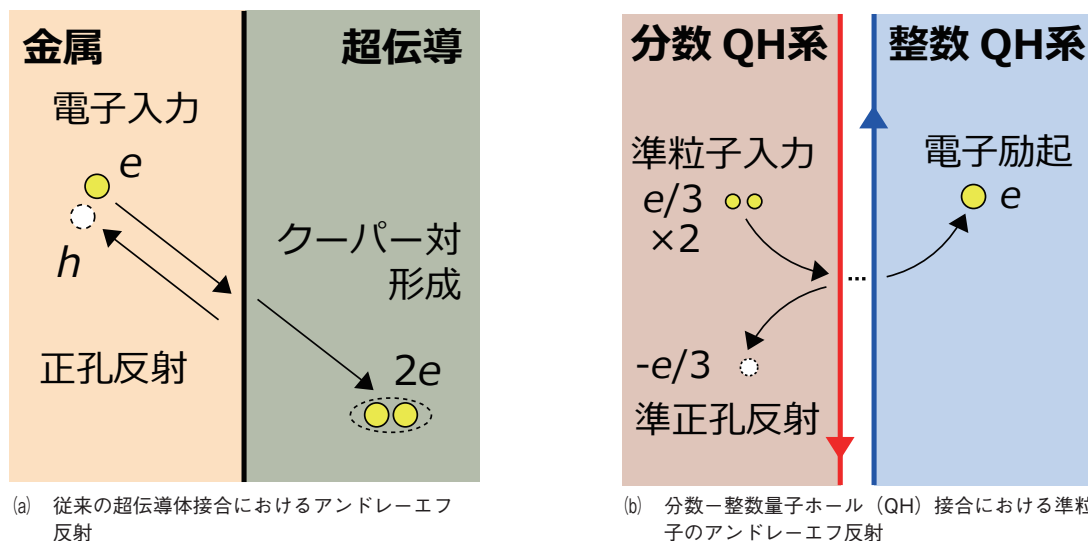


図1 アンドレーエフ反射の概念図

$\mu\text{m}$ 以下の幅で接触した接合を形成できます。接合の幅は、ゲート電圧2の負電圧が大きくなり空乏領域が広がるほど狭くなります。

測定ではこの接合に分数側から電流を入力し、整数側に流れ出る透過電流を測定しました。すると、ゲート電圧2の値によって(接合の幅を変えることに相当)、入力した電流よりも大きな透過電流が観測される場合があることが分かりました(図3(a))。またこのとき、接合から分数側に返ってくる反射電流を測定すると、入力したものと逆符号の電流が観測されました(図3(b))。これら透過電流の増大、および負の反射電流は、分数電荷のアンドレーエフ反射が生じていることを示しています。この結果は、アンドレーエフ反射が超伝導特有の現象ではなく、普遍的なものであるということを示したもので、物性物理学の重要な成果だといえます。

今後、どのような研究に注力されるのでしょうか。

トポロジカル絶縁体も分数量子ホール効果も、それらが面白い物性を示す原因は試料(物質)の内部にあるのですが、それが実験に観測される現象として現れるのは、試料の内部ではなく試料の端や表面、つまり真空や通常の物質との界面です。したがって、理論的に予想されているような興味深い現象を実験的に観測するためには、純良な結晶だけでなく、良質な界面をつくることが重要です。今回はお話ししませんでした。理論によれば、トポロジカル絶縁体と超伝導体の界面も、新しい物性が現れる舞台です。理論の予測を実証しようと、世界中で実験家が研究に取り組んでいますが、理論どおりの結果が出なかったり、あるいは理論が予想するのと異なる結果が出て、別の解釈の可能性を排除することができなかったりすることで、統一的理解に至っていません。

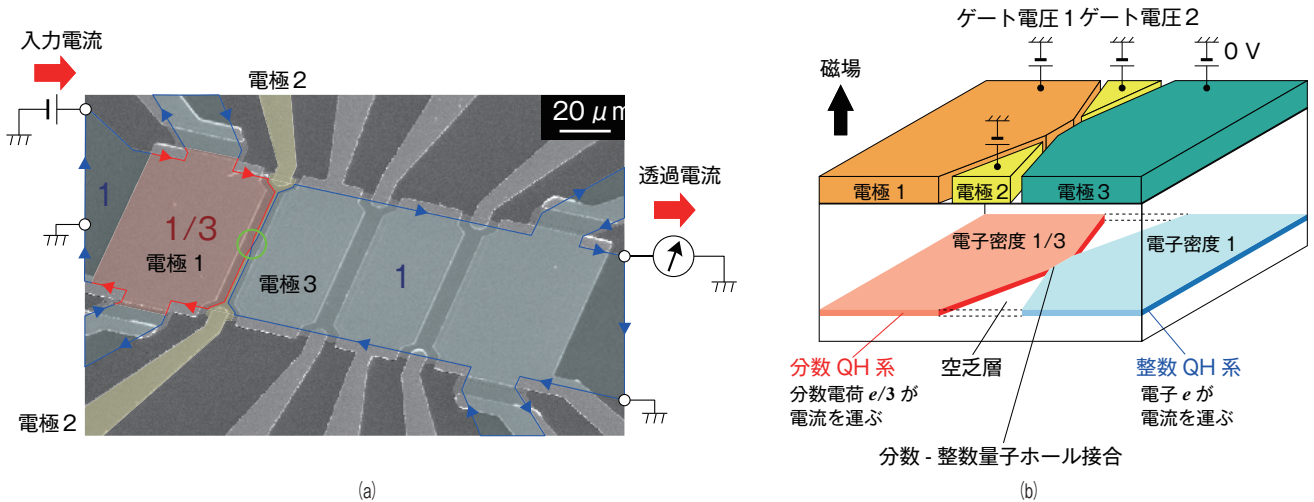


図2 実験の概念図

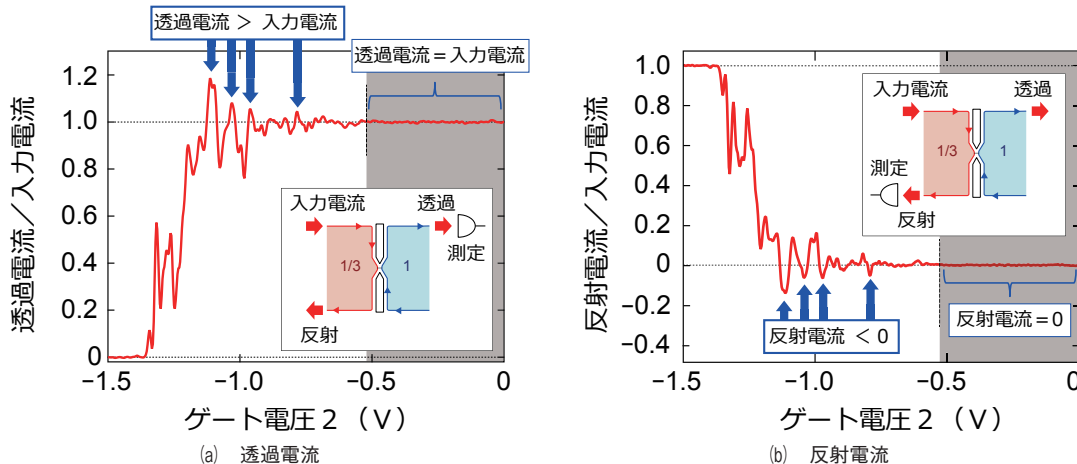



図3 ゲート電圧2を印加して二次元電子系を狭化したときの測定結果

挑戦する  
研究者たち

私たちは現在、超伝導接合を含むさまざまな界面を、これまで誰もやったことのない方法でつくることに注力しています。もちろん、実際に研究を行っているのはグループの若い研究者で、私はそのサポート役です。私たちの研究によって理想的な界面ができて、これまでの理論と実験のギャップを埋めることができることを期待しています。前例がないので試行錯誤の連続ですが、その分やりがいも楽しみもあります。

 **基礎研究は、例えるなら地図をつくる仕事のよ  
うなもの。正しいチャレンジを続けて、良き社  
会、良きコミュニティにとってプラスになる**

**研究者として心掛けていることを教えてください。**

前回もお話ししましたが、自分がやっているような基礎研究は、例えるなら地図をつくる仕事のようなものだと思います。特に物理や物性の世界では、理論だけではそれが正しいかどうかは決まりません。この段階は地図のおおまかな輪郭ができたところです。それを正確な地図として更新するためには理論を明らかにして検証する実験が必要です。ノーベル賞研究のように地図が大きく書き変わるような研究もありますが、小さなアップデートの積み重ねも重要です。私は、物質の界面を制御して電子の新しい性質を引き出すという研究を通して地図づくりに貢献したいと考えています。そして、その新しい性質がエラー耐性のある量子計算に使えるかもしれないということが、社会的意義として、動機付けになっています。

さて、以前は、研究は自己実現の手段という意識でしたので、自分のアイデアかどうか、自分が実行したことか、研究者として自分がまわりからどう評価されているか、といったことが自分の中で重要な指標だったように思います。しかし、歳を重ねるごとに相対的に自分が小さくなって、逆にまわりを取り巻くあらゆる人・モノの重要性やありがたみを大きく感じるようになりました。それは「巨人の肩の上に立つ」ということだけでなく、あらゆる普通の人・モノも含んでいます。自分のアイデアかどうかということや、自分がどう評価されるかということにかかわらず、全体として良き社会、良きコミュニティにとってプラスになるようなことにエネルギーを使っていきたいと考えています。全体としてプラスという意味ですが、できそうなことを人より早くやるというよりは、できるかどうか分からない、難しそうだけれどやる価値のあることをやりたい。誰もやらないようなことにチャレンジして、その結果が思うようなものでなかったとしても、それをやる意味が正しいものであれば、得られた知見は自分の外の世界も含めて考えれば役に立つもののはずです。「あれがブレークスルーだった」と言われるような研究がしたいという気持ちは変わりますが、そのためにも何よりも正しいチャレンジを続けていき

いでですね。

**後進の研究者へのメッセージをお願いします。**

この先、大きなことを成し遂げる可能性は若い人のほうが高いことは間違いありませんから、とにかく自分の可能性を信じて突き進んでほしいですね。ここ数年、自分が関係している研究分野で、それまでになかったような大きな進展がいくつもありましたが、それらを成し遂げたのはいずれも若い研究者たちです。中には自分も惜しいところまで考えていたこともありますが、実際にブレークスルーとなった研究を目にすると、惜しかったというよりも、むしろ自分のアイデアの突き詰め方が全然足りなかったということに気付かされます。いいところまで進んでいても、最後のピースがそろわなければ、いいところにいるのかどうか分かりませんし、そこでやめてしまえばその先にあったかもしれない可能性は閉ざされてしまいます。アンテナを高くして外からの情報に敏感でいることも重要ですが、本当にめざしていることがあるのならば、「もう何年もがんばったのだから」とか「これだけやったんだから」といったことを理由に自分を納得させるのではなく、本当にやるべきことを全部やったのか、ほかにもっといいやり方がないのか、自分に問い続けるべきだと思います。これは若い人向けだけではなく、自戒の意味も込めて自分にも言いたいことです。

■参考文献

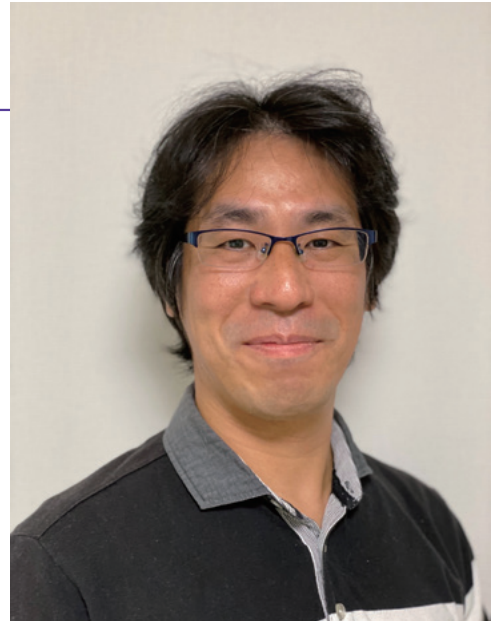
- (1) M. Hashisaka, T. Jonckheere, T. Akiho, S. Sasaki, J. Rech, T. Martin, and K. Muraki : "Andreev reflection of fractional quantum Hall quasiparticles," *Nature Commun.*, Vol. 12, No. 2794, 2021.
- (2) M. Hashisaka, T. Ito, T. Akiho, S. Sasaki, N. Kumada, N. Shibata, and K. Muraki : "Coherent-Incoherent Crossover of Charge and Neutral Mode Transport as Evidence for the Disorder-Dominated Fractional Edge Phase," *Phys. Rev. X*, Vol. 13, 031024, 2023.

ジャパン・インフラ・ウェイマーク  
開発部 サービス開発担当 担当課長

**川邊 隆伸** Takanobu Kawabe

## 成長し続けるAI解析プラットフォーム「Waymark cloud -PQRS-」が設備点検業務を支援

少子高齢化が進む中で、設備点検業務は経験の積み重ねにより異常分析等が行われている部分が多く、そういったスキルを有する高齢者が退職している現状にあります。一方で次世代を担う若手の就労人口も減少しており、スキルの継承が大きな課題となっています。こうした状況の中、AI（人工知能）によりスキルを代替することが普及し始めています。このようなAIの1つであるAI解析プラットフォーム「Waymark cloud -PQRS-」（「PQRS（ピクルス）」）の開発を行っている、ジャパン・インフラ・ウェイマーク 開発部 担当課長の川邊隆伸氏に、完備ではないAIとの付き合い方、お客さまが使えるものをつくる、という開発への思いを伺いました。



### 設備点検業務の有スキル者不足への対応と業務効率化を支援

現在、手掛けている開発の概要をお聞かせいただけますか。

インフラ設備点検等の外業で取得したデータを、ポータルサイトにアップロードを行い、AI（人工知能）解析、レポートを行うAI解析プラットフォーム「PQRS」の開発を行っています。

通信インフラ設備の老朽化が進む中、設備点検は現地に行き目視、もしくは写真を撮影して拠点に戻って解析するというプロセスに多大な稼働が必要になるという課題があります。一方で、設備点検結果の解析ができる人材が減少しているという課題も顕在化しています。現地における設備点検等はドローンを使って写真撮影を行う等により省力化が進んでいますが、解析については設備に応じた特殊なスキルが必要となるため、課題解決に向けた対応が後手に回ってしまうという現実があります。

PQRSはドローン等により撮影した写真等の画像解析のほか、作業者のスキルレス化およびデスクにおける各種関連業務の効率化を目的に、

- ユーザに操作画面等を提示するポータルサイト機能
- 解析データの元となる写真等を蓄積するストレージ機能
- インフラ設備の識別、劣化診断等を行うAI解析機能
- インフラ設備の位置座標、診断結果のデータ出力等を行うレポート機能
- 既存解析の再学習、新たな解析対象設備のクラス実装を行う

AI追加学習機能があり（図1）、これらがSaaS（Software as a Service）としてお客さまに提供されています。

システム的には、この機能単位にサブシステムが定義された構成になっています。中でも特徴的な点として、AI解析部は、お客さまごと、あるいは対象とする設備群ごとに個別に開発している点で、現時点で約10種類のAIが稼働しています（図2）。AI関連の技術は日進月歩なところがあるので、2年前にはまだ出ていなかった新しいAIが、現在ではすでに出ており、それよりも性能の良いAIも出ているということが、当たり前のように起きています。したがって、常にトレンドをフォローしながら、案件が出てきた時点で最適なAIエンジンをチョイスして解析部分を開発しています。そのため、AIエンジンはすべてバラバラです。もちろんお客さまごとに要求条件が異なるので、開発においてはそれに合うかたちで開発を進めています。

例えば、NTTで鉄塔の点検を行う際に、サビの具合をチェックし、その進み具合で手当ての要否を判断するのですが、ガス会社の場合はサビに関する点検は行うものの、手当ての基準は異なり、鉄塔すらありません。共通的な部分はあるとしても、それを判定のロジックに組み込んでしまうと、それぞれの事情に応じた部分との連携においてすべてに対して最適なたちはとれないので、かえって使いづらいものとなります。そこで、開発時点で最適なAIエンジンを使って個々に開発するという発想です。さらに、AI判定結果の活用に関しては、それぞれお客さまにより異なるので、判定結果のデータをエクスポートする機能を提供し、道路面のひ

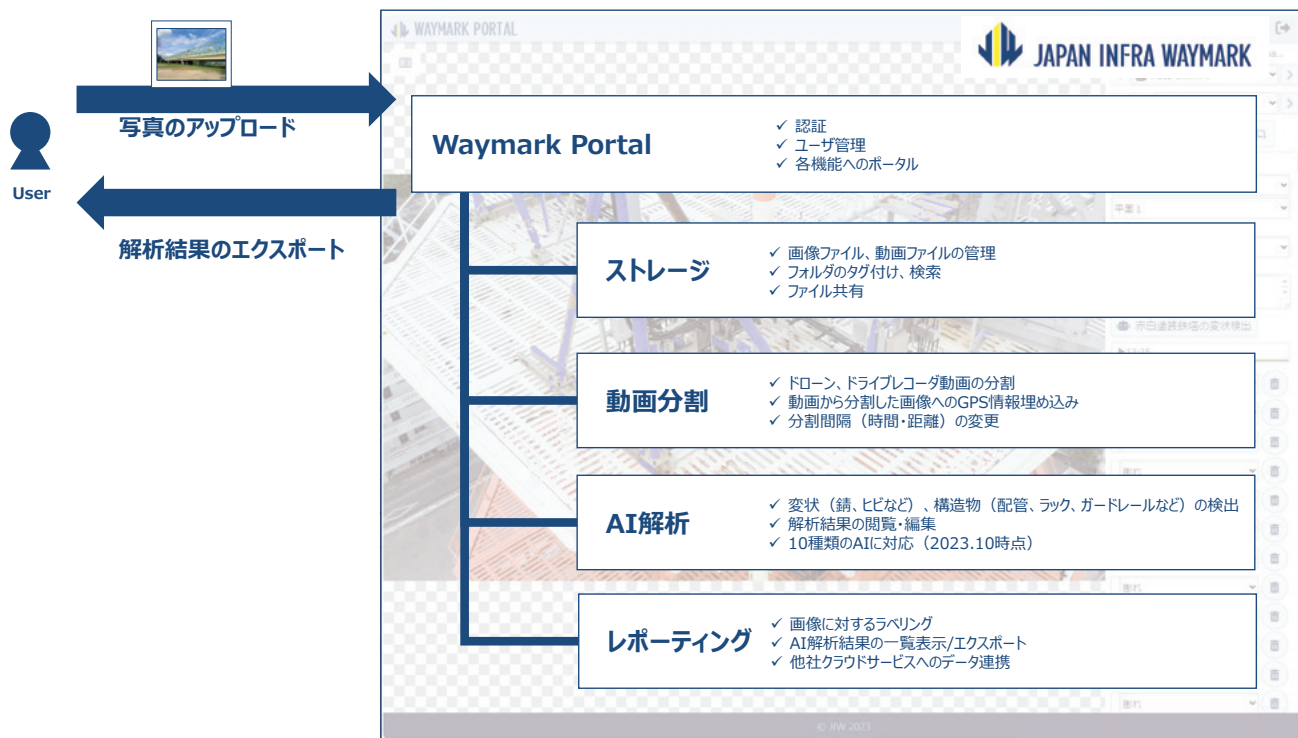


図1 AI解析プラットフォーム (PQRS) の機能概要

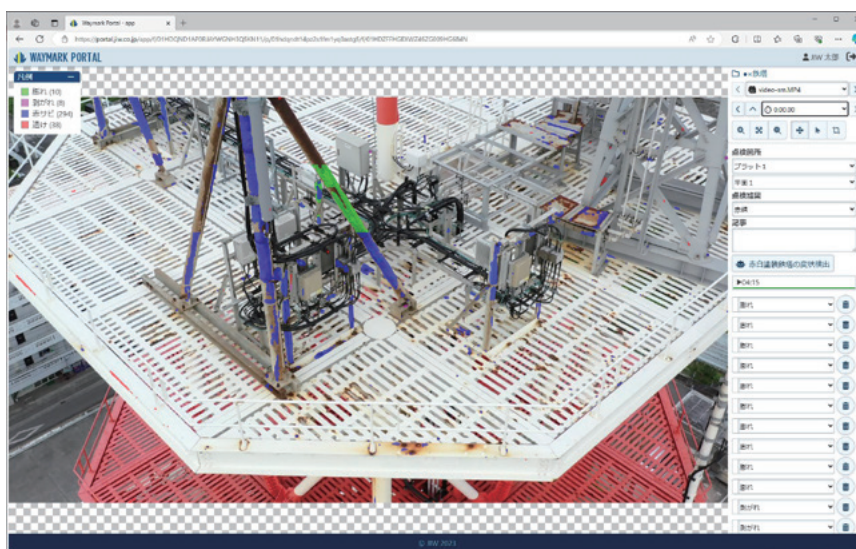


図2 鉄塔点検AIの実行結果イメージ

び割れ状況の写真を地図上へプロットするというような業務への活用については、エクスポートされたデータを使ってお客さま側で対応していただくようにしています。

**お客さまへの提供事例はあるのでしょうか。**

NTTフィールドテクノの「Audin AIサービス」のプラットフォームとして、PQRSを提供しています。NTTフィールドテクノが保

有している社会インフラ設備の画像データと、劣化診断AIを組み合わせ、社会インフラ設備に係る設備台帳のデジタルデータ化、並びに劣化診断結果についてポータルサイト上でのレポート（リスト形式、マップ形式）を提供しています（図3）。「Audin AIサービス」では、道路構造物、路面塗装、路面の3設備種別を対象に、各設備の画像データをAIにより分析することで、道路構造物の特定および劣化診断を行い、設備台帳に反映します。

このほか、ガス会社や自治体にも設備点検・管理ツールとして

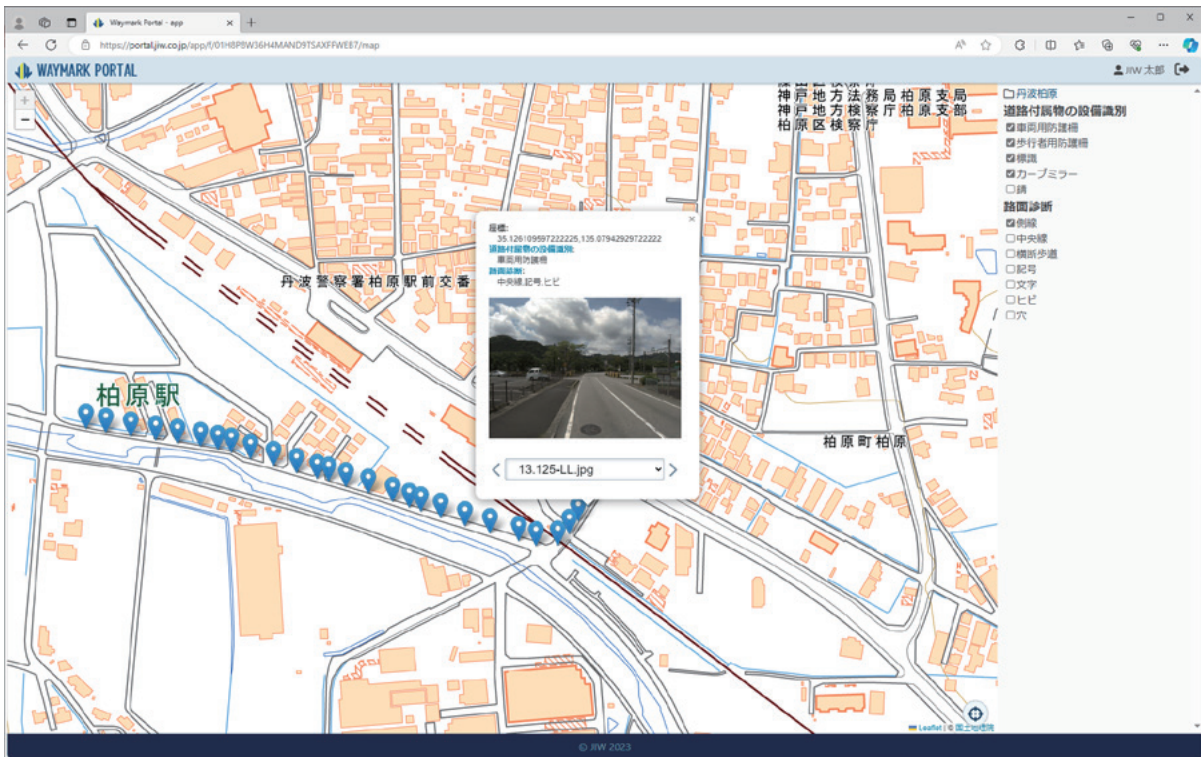


図3 ドライブレコーダの動画解析結果から条件に合致する写真を地図上に表示

提供しています。

AIの活用においてどのような課題があるのでしょうか。

実際にシステムが出来上がったといってもそれで終わりではなく、新たな学習データの取り込みによるチューンや、解析・判定アルゴリズムの追加、そしてAIエンジンそのものの性能向上といった課題は常についてきますし、当然それらへの対応も継続していかなければなりません。

さて、これとは別に現在のAIは、100%の精度が出ないといわれています。鉄塔のサビの例でも精度は約90%で残りは見落としになっています。これは、AIを活用していく際に、業務を完全にAIに置き換えることはできない、ということを意味します。精度向上を図ることは当然としても、この不完全な部分がある前提で、AIをどのように業務の中に組み込んでいくのかという観点で考えていかなければなりません。これについては、理論も絶対的な正解もない世界なので、業務の中にいかにAIを組み込んでいくのか、業務をいかにAIにフィットさせていくのかといったことを考えながら、お客さまと一緒に試行錯誤をPoC (Proof of Concept) 的に繰り返していくことになります。

システム開発としてもこの試行錯誤に柔軟に対応していく必要があります。そのためにプロトタイプ開発を継続して行いながら、実際に役に立つようチューンしていくつもりです。

## 👤 お客さまが使えるものをつくる。使ってもらえなければ開発の意味がない

開発者としてスキルの維持、スキルアップはどうしていますか。

私はNTT西日本に入社し、初期配属のNTTネオメイトでネットワーク設備の保守等の現場業務を行った以降は、NTT研究所、NTT西日本研究開発センター、NTTスマートコネクストにおいて、お客さまエンドポイント近くの装置からクラウドサービス上のシステムまで幅広い分野における開発を手掛けてきました。ジャパン・インフラ・ウェイマークへ異動し、AI関連の業務を担当することになったわけですが、開発は行ってきたものの、業務でAIにかかわるのはこれが初めてです。学生時代にロボットの画像処理とAIの研究をしていたのですが、当時、深層学習はまだ理論の世界で、今のAIとはレベルが違うので、本を買ってきて勉強しました。また、開発を行っていた関係でオープンソースの活用には経験があったので、数多くあるAIオープンソースから適当なものを選んで、GPU (Graphics Processing Unit) 付のノートPC上にAIを実行する環境を構築して、それをいろいろと操作することでスキルアップを行いました。

現在のチームは少人数であり、AIエンジニアはいるのですが、システム開発のプロジェクトマネージャがいらないため、開発プロジェクト経験のある私が必然的にプロジェクトマネージャになっています。プロジェクトマネージャの業務はある程度分かっているので、基本となるスキルはあるのですが、実践をとおしてその

スキルアップを図っています。また、お客さまの話を伺いながら要件定義をしていく必要もあり、SEとしてのスキルも要求されます。点検業務についてはNTTネオメイト時代に経験があるので、それをベースとして、実践の中でスキルアップを図ってきました。もちろん、AIについても直接手を動かして開発する立場でもありません。

### 開発において大切にしていることは何でしょうか。

お客さまが使えるものをつくるということが一番大きいです。使ってもらわなければ意味がないと思っていますし、そのうえで自分がつくったもので少しでも世の中が良くなる、という実感が自分にとってものをつくり続けるモチベーションになっています。

以前、NTT研究所にいたときにIPv6 NAT (Network Address Translation) の研究をしていたのですが、IPv6ではNATは必要ないはずなのになぜ研究テーマとしているのか不思議に思ったことがあります。事業上の必要性がその理由だったのですが、技術的な正解とサービスとして提供することは異なるということが、私にとってかなりインパクトがある経験でした。これが原体験となり、お客さまに使ってもらえて、世の中の役に立つという考え方がつながっています。

実際、お客さまと接しているときも、自分がつくりたいもの、技術的にエレガントだと思っていることと、お客さまの求めていることが合っていないことはよくあります。技術レベルについては、必ずしもお客さまが同レベルにいるわけではないので、逆にお客さまの要望に合うように、もったいないけれどもこの技術は使わない、正確ではないけれども誤差として許容する等の工夫をしながら、使ってもらえるものをつくる、使う人たちの市場に合わせていくことで、独りよがりな開発にならないようにしていかなければならないと思います。

## 技術を楽しんで開発を進める。周囲の後押しでAIとともに成長する

将来的に何をめざして開発を続けたいのでしょうか。

完璧ではないAIをどう使っていくのか、というある意味長期にわたるテーマに取り組んでおり、これを継続していきたいと思っています。その中で、今まさにチャレンジングな開発に取り組んでいます。

多数読み込ませた鉄塔の写真の中から、サビのある鉄塔を見つけるような、対象が絞られている場合は、前述のとおり90%の精度ではありますが現在のAIで対応できますが、何かよく分からないけれども怪しいものを見つけてくるような、対象が絞られない場合のAIの開発です。学会等の発表の場でAIが専門の大学教授に、「だいぶ先の話だ」と言われたほどチャレンジングな開発です。過去に撮影した写真と今撮影した写真を比較して差分を見つけて報告する仕組みでこれを実現するよう開発中で、これまでにない

サービスとして2年ほど先をめざしています。

100%の精度がなければAIが使えないというのではなく、サビと判断できなくても何らかの異常があるところをレポートし、その異常を技術者が分析して対応することで、完璧ではない10%のところを補完し、AIと技術者の共存が図れることとなります。

### 後輩、パートナーへのメッセージをお願いします。

後輩に向けて、楽しくなければ続けることができないので、技術を楽しんでもらいたいと思います。仕事のためだからと思ってやっていると、新しいものに貪欲に取り組むことができません。「好きこそもの上手なれ」の精神でやってほしいと思います。とはいえ、仕事には苦勞がつきもので面白いと思えなくなることもあるので、なるべく自分の好きな土俵に持ち込んで仕事してほしいと思います。人からやれと言われてたからやるのではなく、なるべく自分の好きな土俵に意識を持ち込んで、自分はこういうことが好きだからこのやり方で進めたい、という思いをつなげるといいのではないのでしょうか。さらに、忙しくなってくると、仕事の外でできる自己研鑽の時間がすごく少なくなってきます。だからこそ、いかに新しいことに仕事の中でチャレンジするかが重要になってきます。そういう意味でも人から言われたことをやるのではなく、自分の好きなことを好きなようにやるということを、意識してほしいと思っています。

パートナーの皆様には、ぜひ長い目でみていただきたいと思います。AIはこれからますます進化していきますが、私たちもつって終わりという世界にはせず、今後使い方を良くしていくためにどう改善していけばよいかを踏まえて常に開発にフィードバックしていきます。それには皆様にも使い方を考えるという、結構重要な仕事をお願いしなければならないと思っています。そのためには、業務をよく分かっている現場の人の協力が必須なのですが、現場の人は忙しい人も多く、短期間で成果を求めるとなると、なかなか一緒にさせていただく機会もありません。そこで、周囲の人が現場の人のチャレンジに対して背中を押してあげることで、AIがより使いやすく育つとともに、参加メンバーも一緒に育っていくことができると思います。



NTTコンピュータ&データサイエンス研究所  
特別研究員

齋藤 忍 Shinobu Saito

## ソフトウェアのゴミを削減し、持続可能なIT社会を実現する「ソフトウェアデジタルツイン」

2022年の世界のITサービスのマーケット規模は1.3兆USドル(約150兆円)と報告されており、市場の要求によって生み出された膨大なソフトウェアは、私たちの生活に大きな価値をもたらす一方で、さまざまな問題を引き起こすことも指摘されています。これらの問題の解決に向けて、ソフトウェアを増やす(生産)ことに目を向けるだけではなく、ソフトウェアを減らす(減量)ためのアプローチが期待されています。今回は「ソフトウェアデジタルツイン」の研究に取り組む、齋藤忍特別研究員にお話を聞きました。

◆PROFILE: 2001年慶應義塾大学大学院修士課程修了。同年、NTTデータ入社。2007年慶應義塾大学大学院博士課程修了(工学)。デジタル時代における新たなソフトウェアエンジニアリングの研究に従事。2022年度情報処理学会コンピュータサイエンス領域功績賞、APSEC2022 Best SEIP Paper Awardなどを受賞。2016年~2018年カリフォルニア大学アーバイン校ソフトウェアリサーチ研究所 客員研究員。2018~2021年NTTソフトウェアイノベーションセンター 特別研究員。2021年よりNTT コンピュータ&データサイエンス研究所に所属。



### ソフトウェアの3R (Reduce, Reuse & Recycle) で、ユーザ・開発者にとって理想的な環境を実現

#### ■「ソフトウェアデジタルツイン」とはどのような技術でしょうか。

私が研究している「ソフトウェアデジタルツイン」とは、ソフトウェア内部の状況をコンピュータ上のデジタル世界で再現することで、ソフトウェアの見直しや削除すべき箇所(プログラム)を発見・予測する技術です。近年のソフトウェアを取り巻く状況として「ソフトウェアのゴミ」と呼ばれる、全く活用されていないソフトウェアの増加が大きな課題として指摘されています。本来、より良い世界を実現することを目的として生産されたソフトウェアが、結果的にさまざまな問題を引き起こしているのです。これらの問題はビッグコード(Big code)やソフトウェア膨張(Software bloat)と呼ばれています。前者は、ソフトウェアが大きくなり過ぎた結果、限られた人(開発者)では維持が難しくなっていることを意味しており、いずれソフトウェアの量はプログラマの能力でカバーできる範囲を超えると予測されています。実際に海外の調査では、半数以上のプログラマが「10年前と比較して扱うプログラムのコード量が100倍以上に増えている」と回答しているほどです。そして後者は、増えすぎた(膨張した)ソフトウェアがCPUやメモリといったシステムのリソースを大量に消費してしまうことを意味します。その結果として、たくさんの電力消費とCO<sub>2</sub>排出をもたらす、地球環境にも悪影響を与えてしまいます。

私自身はNTTデータに入社してから、「ユーザにとって良いソ

フトウェアを開発者がラクにつくるためにどうすればよいのか」を長年考えてきました。しかし数年前、ある経済誌に書かれていた「企業で活用されずにユーザに無視されているソフトウェアはゴミである」「平均的な企業のIT予算の3分の1はゴミに浪費されている」という記事を見て大きな衝撃を受けました。確かにこれまでも「開発されたシステムの機能の半分以上はほとんど使われていない」といった報告もありましたが、「私の研究が結果として、人や地球の環境に悪影響を与えている可能性もあるのではないか?」という想いを抱くようになり、現状を打破するアプローチを考えるようになりました。

そのようなことを考えていたある日、小学生の子どもの夏休みの宿題を手伝っているとき、子どもの教科書に3Rという環境問題にまつわるコンセプトが紹介されていました。3Rとは「Reduce(発生抑制), Reuse(再使用), Recycle(再生利用)」の総称です。これを見て私は「ソフトウェアを生産してばかりのITの社会にも、このコンセプトを当てはめていくべきでは?」と思うようになりました。今後も人々の暮らしを豊かにするソフトウェアを「つくる」ことは必要である一方、作り過ぎた、増えすぎたソフトウェアを「なくす」ことも人や環境にとっては重要になると考えたからです。そのような着想から生まれたコンセプトが「ソフトウェア3R」です(図1)。この「ソフトウェア3R」ではソフトウェアをつくるだけではなく、不要なソフトウェアを減らすことや既存のソフトウェアを使い回すことを推進しています。これによって、ソフトウェアのユーザや開発者にとって持続可能なIT社会を実現できると考えています。昨年、ソフトウェア工学の国際会議でこ



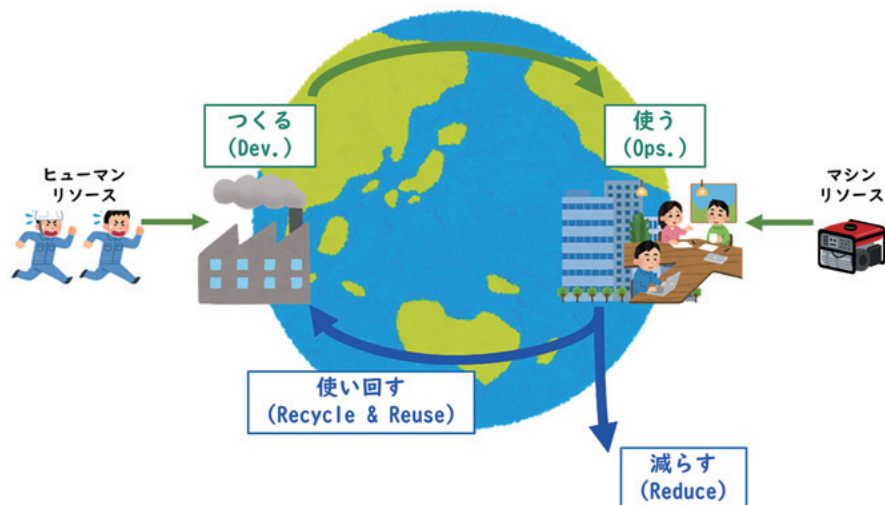


図1 ソフトウェア3Rが実現する世界

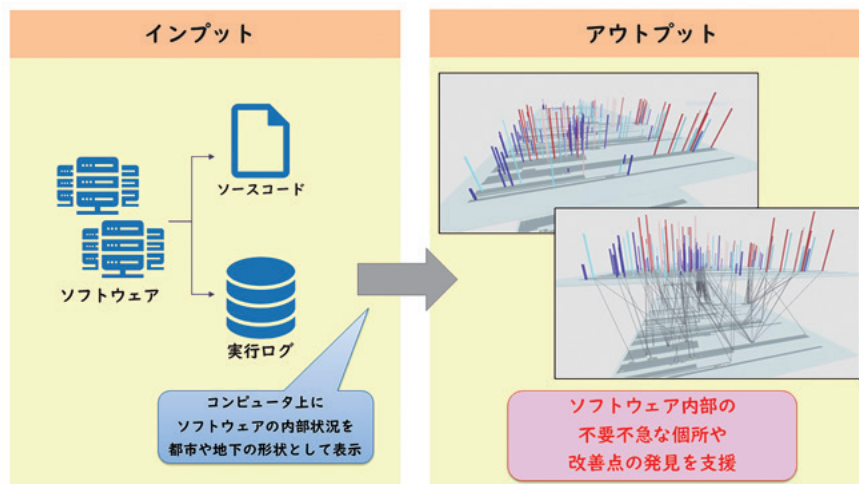


図2 ソフトウェアデジタルツインの概要

のコンセプトを発表したところ、参加されていた研究者の方からも面白いと言ってもらえました。

■具体的にどのようなアプローチで研究をされているのでしょうか。

「ソフトウェア3R」のコンセプトを実現するアプローチとして、現在研究を進めているのが「ソフトウェアデジタルツイン」です。これは都市や人体など現実世界の対象から収集したデータをコンピュータ上のデジタル世界で再現する「デジタルツイン」の研究から着想を得ています。例えば人体のデジタルツインでは、現実

に動いている脳や心臓を直接観察することが困難なため、それらをデジタル空間上に表現して、病気の原因究明や将来の病気の予測とそれに対する予防等に活用する研究などが進められています。ソフトウェアもたくさんのプログラムの集合体として構成されており、動いているソフトウェアの内部の状況を直接観察することが難しい対象であるといえます。そのため「よく使われているプログラムはどこか」「逆に使われていないのはどこか」といったことを正確に把握することは困難を極めます。そこで「ソフトウェアデジタルツイン」では、ブラックボックスのソフトウェアの内部状況を高精度に再現し中身を「丸見え」にすることで、不要不急や改善すべき箇所（プログラム）の発見・予測をめざしています（図2）。

この研究はNTTが提唱するIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想において、デジタルツインコンピューティング (DTC : Digital Twin Computing) とのかかわりが非常に強いです。現在のDTCでは都市や医療といった現実 (リアル) の世界を対象とした領域で検討が進んでいます。この「リアルの世界をサイバーの世界に再現」するアプローチに対して、私の研究では「サイバーの世界を別のサイバーの世界に再現」、つまり「コンピュータ上で動いているソフトウェアの内部を別のコンピュータ上に再現」しようとしています。サイバーのものを別のサイバーのものとして再現するというのは一見すると不思議かもしれませんが、これによって初めてソフトウェアの内部を人が正しく理解することができ、予測やシミュレーションが可能になると考えます。

ソフトウェアの実行状況を高精度に再現するために扱う主なデータは、プログラムが記述された「ソースコード」と、プログラムの動作内容を記録した「実行ログ」の2種類です。後者の実行ログの収集が、研究を進めるうえでも実務で導入するうえでも大きなハードルです。理想は、ソフトウェア内部の「すべての個所 (プログラム)」の動作の記録を、ソフトウェアが実行されている「すべての期間」において収集することです。しかしそのためには、すべての個所の動作を記録するための新たなプログラムを人が作成する必要があります。またすべての期間において実行ログを収集しようとする、システムのリソースも余計に消費してしまいます。これでは本末転倒で、人にも環境にも悪影響を与える結果となってしまいます。

そこで現在取り組んでいる研究では、ソフトウェア内部の限られた個所において限られた期間で得られた実行ログのデータから、ソフトウェア内部の全体の実行状況を推定したり、予測したりするための手法を検討しています。大学との共同研究などを通じて、統計分析や機械学習を応用することで手法の確立をめざしています。

## 研究を基礎研究で終わらせないために、「孤独」と「交流」の営み続ける

### ■今後の研究ビジョンについて教えてください。

ソフトウェアデジタルツインにおけるこれまでの研究成果の1つとして、業務システムの各機能の利用頻度や、システム全体のオペレーションを3次元で可視化する技術「ProcessCity (プロセスシティ)」があります。すでにNTTの複数の事業会社に成果を提供しており、昨年のNTT R & Dフォーラムでは提供先の1つの会社と共同出展や報道発表もしています。また別の提供先の会社と共著で書いた論文は、昨年開催されたソフトウェア工学のアジア・太平洋地域で最大規模の国際会議においてベストペーパー

として表彰されました。

現在、レガシーシステムと呼ばれる老朽化・複雑化した古いシステムを維持するための費用が、企業のIT予算の6~7割にのぼるともいわれています。またそれらのシステムから縮小・廃止する機能を発見するための調査は、期間が何カ月にもわたるケースがあります。そこで本研究の成果を活用することで、まずは調査期間の短縮化や調査内容の精度向上を実現して、調査段階の工数を2~3割削減、最終的には10分の1にまで減らすことをめざします。

2022年の世界のITサービスのマーケット規模は1.3兆USドル (約150兆円) というレポートがあり、先ほどの経済誌の記事によれば、これらのITサービスの約3分の1である50兆円がゴミとして浪費されている試算になります。もちろんNTT単体で世界中のソフトウェアのゴミを減らすことは難しいでしょうが、国家予算の規模にもなるこれらの莫大なゴミを削減するための技術を創出し、NTTの顧客企業などへの大きな価値提供につなげていきたいと考えています。

さらに今後のITサービス業界では、「ソフトウェアを安心・安全に解体するための産業が形成されてくるのではないかと」予想しています。これは、ソフトウェアを生産するのが建設業だとすれば、ソフトウェアを取り除く (削除する) のは解体業であるという考え方です。今後も研究を進めることで新たな産業の形成や事業機会の創出につなげ、NTTのコア事業領域の1つとしてソフトウェア解体業が新たに追加されることが私の究極の目標です (図3)。

### ■NTT研究所にはどのような印象をお持ちでしょうか。

私が所属しているNTTコンピュータ&データサイエンス研究所では、名前のおりコンピュータとデータに関する研究をしており、あらゆる業界業種にわたる多種多様な研究に取り組んでいます。その中でグループ企業内にソフトウェアをつくる企業も使う企業も存在していて、ユーザと開発の両方のフィールドがあることは非常に強みだと感じます。ステークホルダの間口が広く、私も実際に研究を進めるうえでソフトウェアを使う立場のグループ企業と意見交換できる場を設けていただいたこともあり、とても恵まれている環境だと思います。

またグループ外の企業の方々とお付き合いする際には、NTTのネームバリューを実感する場面も多いです。例えば10年前にある国際会議に初めて参加したとき、誰も知り合いがいなかったため、受付でネームプレートをもって1人で会場まで歩いていると、隣を歩いていた方が私のネームプレートを見て、「NTTなんだ、〇〇さんを知っているよ」ととても気さくに声をかけていただいたことがあります。その方はソフトウェア工学の世界ではとても

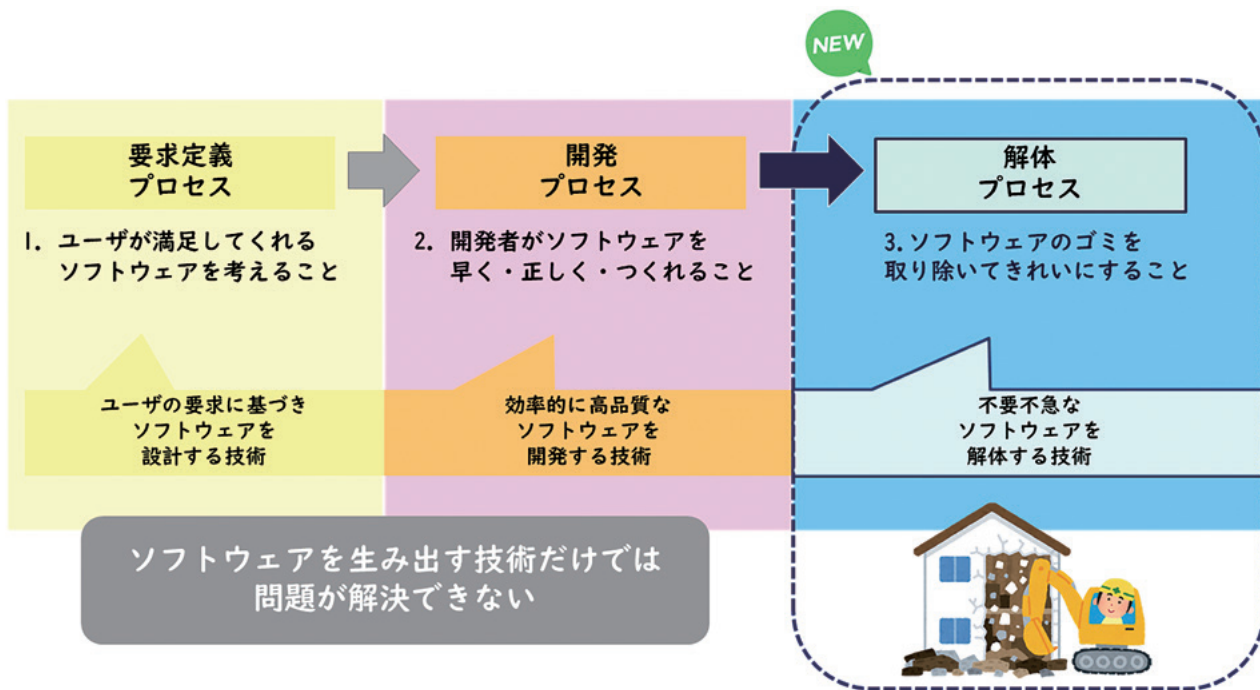


図3 ソフトウェア開発における解体プロセス

有名な先生で、その出来事がきっかけで今でも国際会議でお会いするとお話しして、研究についての相談をするなどのつながりがあります。もちろんNTTのネームバリューがあるからといって必ずしも研究がうまくいくということではありませんが、自分の知らない環境や場所に行く際には非常に心強いものであると感じています。

■最後に研究者・学生・ビジネスパートナーの方々へメッセージをお願いします。

NTTで研究を進める中で、私は「基礎研究で終わる研究はない」という言葉を信条にしています。これは私がNTTデータに入社したころ、研究所から自部署に来られた方に教えていただいた言葉です。その意味は、「すぐに用途が見込めないような基礎的な研究であっても、その研究が何の役に立つのかという意味が必要である。意味がない（語れない）のであればそれは基礎研究ではなく、そもそも研究でもない」ということでした。私はこの言葉をいつも心にとめて、研究費をかける以上は研究成果が何の役に立つのかといった「研究の意味」を提示することを心掛けています。

同じ時期にやはり先輩社員の方から聞いた「本来、研究は“孤独”なものである」という言葉も記憶に残っています。研究はオリジナリティが求められるため、孤独というのはある面では正しいです。私自身の研究を振り返ってみても、基本的なコンセプト

を考えていく段階は、自分でうまく言語化ができず、1人で悩み続けることが多いと思います。しかしそのコンセプトを実現する段階では、多くの方の協力を得ることが必要です。NTTでは他者・他社と「交流」ができる環境や機会もあるので、分野外の新たな知識を得たり、自分1人では到達できない新たな世界が見えたりすると、とても高揚（ドキドキ）することも多々あります。今後も強い気持ちと信念を持って研究に取り組み、自分に足りないものを多くの皆さんと交流をしながら一緒に研究ができればと思っています。



(今回はリモートにてインタビューを実施しました)

## 株式会社NTTデータユニバーシティ

<https://www.nttdata-univ.co.jp/>

# NTT Data

株式会社NTTデータユニバーシティ

## お客さまの「人材育成パートナー」として、未来を創る組織開発・人材育成への道をお客さまとともに楽しく走りたい



NTTデータユニバーシティ  
藤原慎社長

NTTデータユニバーシティは、人材育成サービス提供を専門とする会社で、NTTデータグループ社員の人材育成の体系構築や制度設計・研修運営を支援しているほか、そこで蓄積した知見を活かした人材育成サービスを多様多彩なお客さまへ提供しています。近年注目を浴びている人材育成というテーマに向き合う藤原慎社長にお話を伺いました。

### 人材育成サービスを提供する会社だからこそ、お客さまから学ばなくてはいけない

#### ■設立の背景と会社の概要について教えてください。

NTTデータユニバーシティは、NTTデータ人材開発部を前身として、NTTデータグループ各社の人材育成を担うシェアードサービス会社として2001年に設立されました。

設立当初は、人材育成施策を中心に事業展開してきましたが、ここで得られた経験や知見をアセットとして活かし、変化・拡張させながら、人材育成のプロフェッショナル集団を擁する「人材育成パートナー」として、NTTデータグループのお客さまをはじめとして、あらゆる業界のお客さまへ人材育成関連サービスを展開し、お客さまから継続して信頼いただけることをめざして日々活動しています。

さて、ここ20年ほどの間にITやその活用分野も、スマートフォン、IoT (Internet of Things)、生成AI (人工知能) の登場等、大きく変貌を遂げました。このように新たな技術を活用して効率化とイノベーションにつなげていく、デジタルトランスフォーメーション (DX) に世の中の注目が集まる中で、経済産業省においても、新たな時代に即したデジタル人材政策の1つとして「デジタルスキル標準 (DSS)」を取りまとめるなど、IT×人材を育成していくことの重要性・関心はあらゆる分野で高まり続けています。

進歩し続けるITを活用しリードしていくデジタル人材は、ITに関する知識・スキルに加え、モラル・コンプライアンスに対する高い知見や豊かな人間力を身に付けていくことが必要になります。当社は、これまでもIT関連ビジネスを担う人材を育成する観点から、最先端の技術から成熟した技術、会社運営スタッフが必要と

する知識に至るテクニカルスキル・ハードスキルと、組織マネジメント・リーダーシップ・人間力といったビジネススキル・ソフトスキルの両面で多彩な研修コンテンツを、時代の要請に沿うように常に見直しを行いながら取りそろえ、提供しています。

#### ■具体的にどのような事業展開をしているのでしょうか。

当社は、2022年4月に更新した統合人材育成サービスプラットフォーム「Olive One®」を中核に、「研修サービス」「人材育成コンサルティング」「研修運営アウトソーシング」「eラーニング制作運用」等のサービスを提供しています (図)。お客さまの経営課題と人材育成施策が調和するように、お客さまの人材状況調査や人材育成計画立案の支援を通して、目的に合った研修を受講していただくことにより、ニーズに適応した施策を実現していただけます。また、それをさらに効果的なものにしていくことにも取り組んでおり、①HR (Human Resource) アナリティクス、②組織開発、組織サーベイ、③キャリア支援等、Edtechを組み合わせたサービスを進化させています。

今はデータを管理するだけではなく、より積極的かつ実効的に活用していく時代ですから、お客さまには人材育成・組織開発においても、人材育成に関する各種データ提供・分析に注力することで、よりデータを重視した取組みを実践していただけるようにしたいと考えています。

また、人材育成のプロセスを通して、組織としてのパフォーマンス向上を図ることもめざして、組織状況の調査やそれに基づく対策のご相談にも応じています。

そして、少子高齢化・人生100年時代・リスキル・ジョブ型雇用の拡大など、ジョブキャリア・ライフキャリアを取り巻く状況

豊富な実績とデータドリブンな知見でお客様に信頼いただける人財育成パートナー



図 サービスイメージ

も変化しつつあることから、お客さまのキャリア支援にも精力的に取り組んでいます。

これらの取り組みにおいては、個々人の力だけでなく、複数の力を掛け合わせることでより大きな知恵を生み出すことができると考え、コミュニティ形成やコミュニティ運営のサポートもしています。

市場・お客さまの人財育成ニーズの変化への対応

■事業を取り巻く環境はどのような状況でしょうか。

従来の研修事業は、受講者が研修会場に集まって学ぶスタイルの対面・集合形式が中心となっていました。新型コロナウイルス感染拡大にあたっては、新入社員研修を含めたほぼすべての研修をオンラインに切り替える必要がありました。このため、オンライン会議システムを活用したライブオンライン型や、いつでも受講することができる動画を活用したオンデマンド型で研修を提供するために、コンテンツ内容や運用をすべて見直し、提供しています。

コロナ禍で研修を運営していく中で、現時点のITの技術水準を背景としたライブオンライン、オンデマンド、対面それぞれのメリット・デメリットが明らかになってきています。グループでの演習やディスカッションといった対面での集合形式が効果を発揮するものと、ライブオンラインやオンデマンドで提供すべきものを効果的に組み合わせ、人財育成のDX化をさらなるステージに加速・昇華させることで、刻々と変わりゆくお客さまニーズに合った研修を提供していく必要があると考えています。

また、最近ではお客さまの経営においてもタレントマネジメントや人的資本開示がキーワードとして大きく取り上げられるようになり、HRデータ活用の重要性がより高まっています。当社では、「Olive One®」を活用し、お客さまニーズに合った研修の提供とともに、受講履歴やアンケート・テストデータを蓄積することや、

受講者の人材タイプ（職種）に合わせてスキルの可視化や研修のレコメンド（推奨）を行っています。また、お客さまのサポートができる機能の拡充を図り、さまざまなHRデータを、アセスメントや調査と組み合わせながら、最適な配置やサクセッションプランなどに活用できるようなコンサルティングサービスの提供も開始しています。

■今後の展望についてお聞かせください。

お客さまとのお付き合いを通して、人財育成や組織についての悩みや課題は、各社各組織に共通することもあります。お客さまごとに異なるものも多々あることを教えていただきました。昨今は、人材への関心がより一層高まっており、人財育成に関する課題を背景事情も含めてより深く共有させていただき、お客さま自身が策定する計画・施策として実現していくこと等を支援することで、お客さまの事業にできる限りの貢献をしていきたいと考えています。

さらには、お客さまへの貢献を通じて得た実績や知見については、付加価値を高めながら継続し意義ある支援に結び付けていきたいと考えていますし、それを通じて社会全体への人財育成高度化の一助とすべく活動することができれば嬉しいです。このためには、当社や当社の社員自身が、お客さまとともに学び続けることがとても大切だと感じています。

当社の社員は、さまざまな業種・業態の会社・組織から入社した方が多く、NTTデータグループ各社の持つITサービスに関する知見・経験に加えて、多種多様な視点を組み合わせお客さまとともに学び、支援ができることも、より強みとしていきたいと考えています。

お客さまの「人財育成パートナー」として、事業の未来を創る組織開発・人財育成をお客さまと切磋琢磨しながら進めていきたいです。

## 担当者に聞く

### コロナ禍が、お客さまを継続的に支える私たちの価値を再認識させてくれた

サービスオペレーション部

林 寛 さん

#### ■担当されている業務について教えてください。

NTTデータグループ各社の入社1、2年目社員向けの研修やIT関連の研修の運営を担当しています。

コロナ禍以降、研修サービスは、対面型の研修から、自宅や職場からオンラインで参加する研修へと提供方法が大きく変わりました。

当初は、研修をオンラインで開催することは未経験でしたので、集合研修を開催しながら、手探りでオンラインへと徐々に切り替えていく状況で、外部のWeb会議システムや、クラウドサービスを検証しながら採用し、研修で利用できるよう環境を整備してきました。

研修の継続も危ぶまれる状況下において、研修が途切れることがないように対応していく中で感じたのは、多くのお客さまにとって、研修は受講者個々人のスキル向上だけでなく、お客さまの業務や組織の継続性に直結しているということでした。

新入社員研修をはじめ、多くの研修では、業務に必要なスキルを研修で習得してから、現場に配属するように計画されています。そのため、研修が開催できなくなると、現場への配属の遅延や、スキル未習得のまま現場へ配属となる等、お客さまの業務に大きな影響を与えることとなります。そうした意味でも、研修を中断させることなく、オンライン研修を提供できたことは、当社の価値を改めて見直すきっかけとなりましたし、多くのお客さまからも評価いただいた理由ではないかと思えます。

#### ■今後の展望について教えてください。

今後も、当社サービスの継続性がお客さまの業務や組織の継続性につながっているという自覚のもと、お客さまのニーズや社会環境の変化に合わせて、迅速、かつ柔軟に対応し、お客さまの事業や組織の成長に寄り添った、サービス提供を続けていきたいと思っています。



### 新たな技術、新たなサービスで、お客さまの社員個人と組織の成長を支えたい

サービスディベロップメント部

猪狩 義貴 さん

#### ■担当されている業務について教えてください。

サービスディベロップメント部のR&Dチームにて、主に新サービスのプロトタイプングやデータ分析などの業務を担当しています。

プロトタイプングでは、クラウド上での演習環境の開発、BERTやGPTなど最新の自然言語モデルを活用した社内での問合せ対応システムの検討などを行ってきました。

またデータ分析業務としては、研修の効果測定をはじめ、テレワーク普及に伴う社内コミュニケーションの変化に関する調査などにも取り組みました。

最近ではNTT DATAと連携し、人事データを基に人材育成におけるボトルネックを分析し、人事施策の検討をデータドリブンで支援するといったことも行っています。データ分析業務においては、新人研修など研修効果を分析し、改善を続けてきた社内のノウハウと、AIサービス関連の認定資格を保有する自身の知見を活かし、お客さまに $\alpha$ の価値を提供できるよう心掛けています。

#### ■今後の展望について教えてください。

今後は、キャリア自律支援に一層注力していきたいです。お客さまの社員1人ひとりが理想のキャリアを描き、自律的にスキルアップを追求する姿勢をサポートすることが、組織全体の成長につながると考えています。現在R&DでChatGPTやAIを使いキャリア面談の効果向上に向けて取り組んでおり、この活動で得た知見を活用し新規サービスの開発を進めたいです。

また、私が所属するチームでは個人の成長のみならず組織全体の成長を支える取り組みも行っています(人材育成と組織開発)。研修の分析を通じ1人ひとりの成長の知見を蓄積し、チームコンディションの予測や組織コミュニケーションサーベイから組織開発の知見も蓄積しています。

個人と組織の成長支援に向けてテクノロジー面から支援できるよう取り組みたいと考えています。



## NTTデータグループ各部署、各社とも連携して、お客様の課題に向き合っていきたい

セールスプロモーション部

西澤 仁 さん

### ■担当されている業務について教えてください。

セールスプロモーション部にNTTデータグループ各社以外の一般顧客(外販)の営業担当をしています。

コロナ禍以降、各社のDXが進みIT施策のみならずDX施策に関してどのような取り組みを実施すべきかお悩みの企業が増えました。全社員のDXリテラシーを向上させたい、どこから手を付けてよいか分からないなど、各社の悩みはさまざまです。個



別の研修の提供のみを行う場合もありますが、当社にてアセスメントやサーベイを実施し、現状の可視化を行い、人材像定義やスキル定義の策定、各定義・レベルに合わせた研修体系の策定を行うなど人材育成全般の対応をしています。

その際に、NTTデータグループ各社の各法人担当CR(Client Representative, 営業担当)やコンサルティング部門と連携し、NTTデータグループ各社の知見を入れながらお客様の人材育成の悩みや課題に関して解決策を提示することも多くあります。また、CRからお客様の要望に即した提案ができないか相談を受けるケースもあり、今までの事例など示しながら提案を行い、各施策の提供を行っています。

### ■今後の展望について教えてください。

NTTデータグループとして協力することで上流から下流まで一気通貫で人材育成に携わることができ、顧客満足の上につながると考えています。今後もお客さまから1ベンダでなくパートナーとして考えていただけるように、引き続きお客さまに寄り添ったサービスをしていきたいと思っています。

## NTTデータユニバーシティ ア・ラ・カ・ル・ト

### ■全面リニューアルした食堂「駒テラス」

本社の周囲は、文教地区のため、高層ビルはなく、緑豊かな公園と高校などの教育施設に囲まれています(写真1)。地下1階から地上4階建ての社屋は、「NTTデータ駒場研修センター」の名称が示すとおり、1階から3階までは、可動式階段椅子を備えた最大500人程度収容可能なイベントホール、各種教室など、すべて研修施設となっています。



写真1 駒場研修センター外観



写真2 駒テラス

また2020年に全面リニューアルし、とても綺麗でお洒落な空間となった食堂「駒テラス」があり、来館いただいた皆様に温かな食事とリラックスマンナーが提供されるそうです(写真2)。

### ■弥生式土器が出土

駒場研修センター建築工事中、敷地を整地していたところ「弥生式土器」が出土したことから、急遽文化財保護目的で、発掘調査が開始されることとなったそうです。そのときに出土した弥生式土器は、駒場研修センター完成後、数年間にわたり、エントランスに陳列(現在は区に返還)されていたので、昔からの訪問者の中には、記憶に残っておられる方もいらっしゃるのではと思います(写真3)。当時は、土器を見ながら弥生時代のこの地に思いをはせた方もおられたかもしれません。

### ■有志による清掃活動

駒場研修センターの周囲は緑が多く、特に正面玄関前は桜並木が続いています。社会貢献活動における小さな取り組みとして、月1回有志による周辺の清掃活動を行っているそうです。葉桜に移りゆく時期の桃色の絨毯や、紅葉時期の落ち葉拾いは、なかなか骨が折れる作業ですが、毎年春になり見事に咲き誇る姿を見れば、苦にならないとのことでした。



写真3 出土した弥生式土器

# 社会インフラ設備の管理省力化に向けた NTTフィールドテクノの取り組みについて

NTTフィールドテクノ（フィールドテクノ）とジャパン・インフラ・ウェイマーク（JIW）では、NTT西日本の通信設備に関する維持メンテナンス業務を営む過程で得たノウハウを活用した「点検代行」や、プラットフォームサービス等を活用した「社会インフラ設備の維持管理・修繕DX」により社会基盤を支え、社会インフラの課題解決・スマートシティの実現に向けて取り組みを加速させています。このたび、2023年8月よりこの両社にて、社会インフラ設備の画像データを用いてAI（人工知能）による台帳整備・劣化診断を行うクラウドサービス「Audin AI」の提供を開始しました。ここでは、両社のこれらの取り組みとそのねらいなどについてお伝えします。

## 社会インフラが抱える課題

道路や電柱といった高度経済成長期に整備された社会インフラは、今後20年で「建設後50年以上」を経過する施設の割合が大きく増加していきます。これらの徐々に老朽化する社会インフラの維持管理コストを社会全体の負担としないためにも、事故や破損が生じてから対処する事後保全ではなく、定期的な巡視巡回により設備の状況を把握し適時適切な対処を行いつつ設備を運用していく予防保全型管理の必要性が高まるとみられています。

その一方で、社会インフラを維持・管理する主体である自治体などでは、設備の巡視巡回に必要な労働力の減少や、維持・管理コストの増大にどう対応するかが大きな課題となっています。実際、地方部を中心とした多くの自治体では、社会インフラの巡視巡回に充てる体制の維持が難しくなっているという声も聞かれています。

私たちNTTフィールドテクノ（フィールドテクノ）の取り組みにおいては、この課題を重要なものにとらえ、電気通信設備業務で蓄積・収集したノウハウやデータを“シェアリング”することや、新たな価値を加えて提供することで、自治体やインフラ事業者が抱える課題を共に解決し、安心・安全なまちづくりに貢献します。

## これまでの取り組み

フィールドテクノでは、これまでも自社のデータや業務をシェアリングし社会の課題解決につなげるという取り組みを進めてきました。私たちは、西日本エリアの約200拠点、約4000のビルに及ぶ広いエリアでの多くの電気通信設備の保守・点検業務において、多くの業務用車両を保有しており、日々の業務ではかなりの距離の道路走行を行っています。これらの車両で、日常の業務の過程で“移動しながら”設備データを収集することで、低コストで広範囲のデータを獲得し効果的な点検を実現することをめざし、数度の実証実験等を実施してきました（図1）。

その中でも、広島県北広島町とNTT西日本グループらが共同

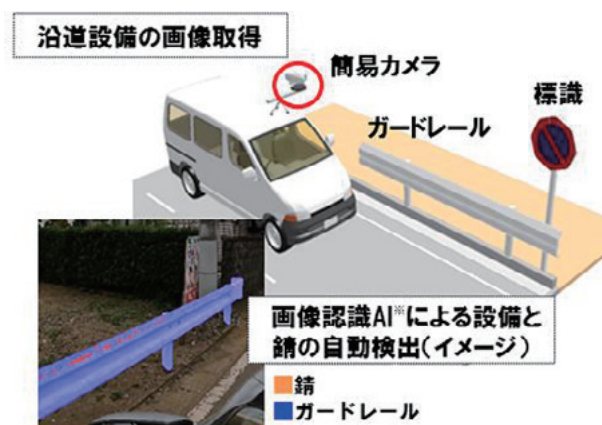


図1 日常業務中の設備データの収集イメージ

で実施した実験においては、高度な撮影設備ではなく市販でも入手可能な簡易なカメラを両者（北広島町、NTT西日本）の所有する普通自動車に設置し、その撮影画像を用いて設備点検ができるかどうかの検証を行いました。

この実験の中では、いわゆる“ながら”で収集したデータによる点検で、自治体にとって十分な品質が担保できることを確認いただけたため、フィールドテクノとしても今後の取り組みに向けて十分な安心材料とすることができました。

フィールドテクノでは、これらの取り組みで得られたノウハウ・知見を活かし、新たな人手も 特殊な機材も増やすことなく点検業務を実施するための準備を進めてきたところです<sup>(1)</sup>。

## 新サービス「Audin AI」の取り組み

前述の取り組みを経て、フィールドテクノでは業務車両に搭載したドライブレコーダーの映像により収集した市中のデジタルデータを活用し、かつジャパン・インフラ・ウェイマーク（JIW）の劣化診断を掛け合わせることで、道路構造物等の台帳のデジタル化および道路構造物の錆、路面塗装の剥離、路面等のひび等の劣化診断をポータルサイト上で提供するプラットフォーム型サービ



ス「Audin AI」\*をリリースしました。本サービスのリリースにあたり、これまで一緒に取り組んできた多くの実証実験での知見を活用しています。

このAudin AIは、JIWが管路点検などで活用してきたクラウドシステム（PQRSシステム）の上で、NTTアクセスサービスシステム研究所（AS研）が開発したAI（人工知能）などを実行させることで実現しています。このAS研のAIは、画像認識技術により社会インフラ設備の抽出が高精度でできるだけでなく、鏽の検出においても優れた精度を発揮するものであるため、道路標識・ガードレール等の社会インフラの台帳整備・劣化診断等に課題を抱えられている自治体・警察などのお客さまに対しては、非常に有用なサービスであると考えています（図2～4）<sup>(2)</sup>。

また、Audin AIにおいては、お客さまの日常の業務との親和

性を踏まえ、お客さまの既存の設備管理台帳のレイアウトに極力沿うような、柔軟性に富んだレポートフォーマットの作成を実現しています。AIを用いたサービスと聞くと、ややもすると技術面での先進性を前面に出しすぎて、現業の運用との乖離が生じがちですが、その間を埋める柔軟性を意識した仕様としています（図5）。

なお、私たちのサービスの圧倒的な強みは、お客さまが本サービスを利用開始される前に、すでに必要な画像データが8割方揃っている点です。前述のとおりAudin AIはフィールドテクノの業

\* サービス名称は、知識に対して貪欲な神話の神「Ordin」に由来し、Automatic digital inspection to future prediction（点検DXから「未来予測」へ）、とのメッセージを込めています。

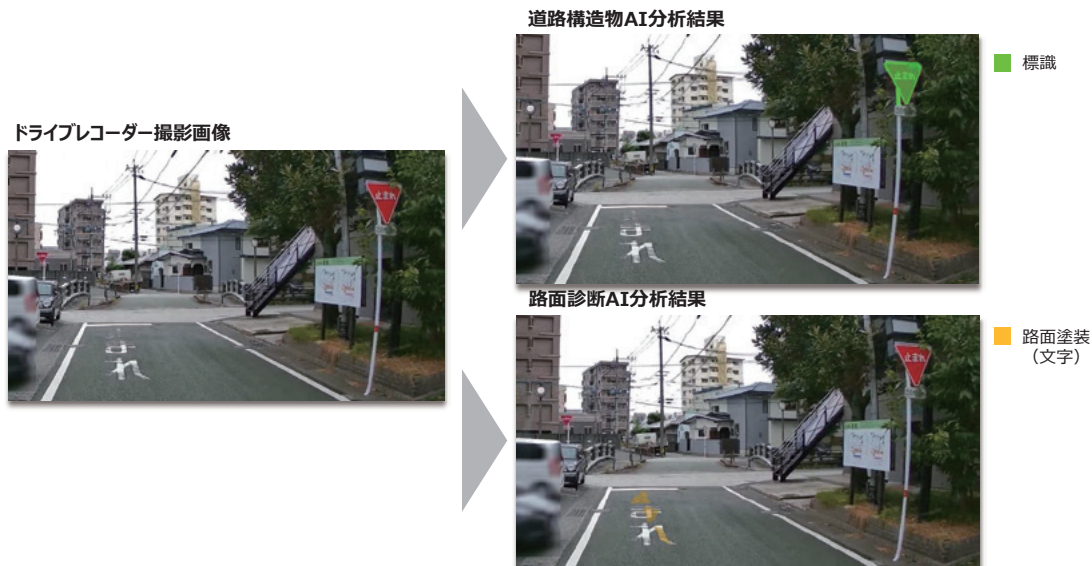


図2 収集データのAudin AIによるAI分析結果例

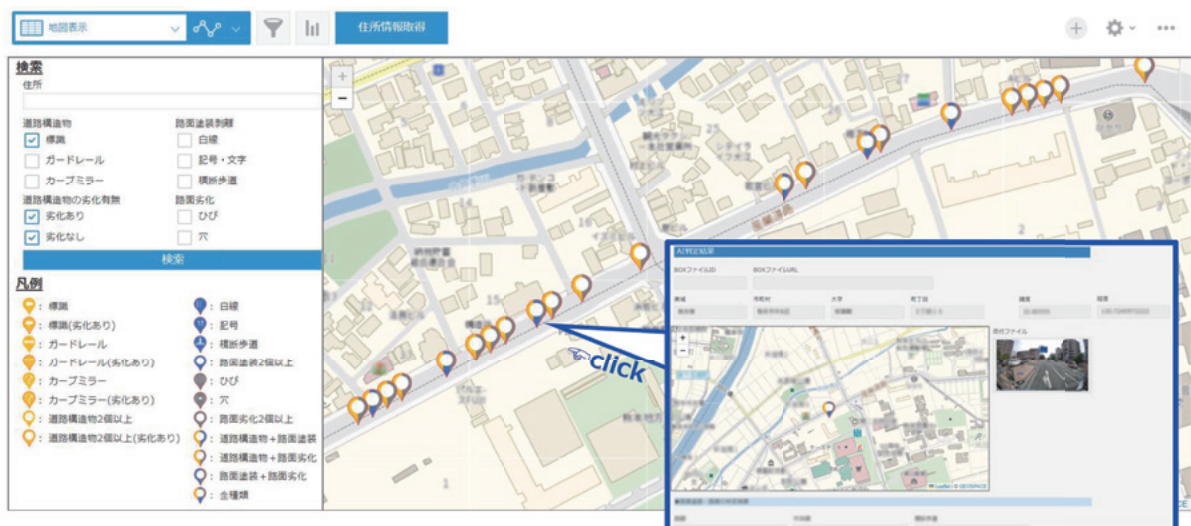


図3 提供イメージ（データの地図一覧表示）

