

# NTT 技術ジャーナル

ISSN 0915-2318 平成2年3月5日第三種郵便物認可  
令和4年11月1日発行 毎月1回1日発行 第34巻第11号(通巻404号)

# 11

NOVEMBER  
2022  
Vol.34 No.11

特集

## IOWN実用化に向けたトランスポートネットワーク技術 3GPP Release 17標準化活動

トップインタビュー

本間 洋  
NTTデータ 代表取締役社長

グループ企業探訪

NTTデータ数理システム

from NTTデータ

デジタル人財育成最前線——NTTデータの次世代トップ技術者育成施策



# NTT 技術ジャーナル

11 NOVEMBER  
2022  
Vol. 34 No. 11

## CONTENTS

### 4 トップインタビュー

着眼大局・着手小局の姿勢、  
高い志とパッションを携えて、  
真のグローバル企業へと成長  
本間 洋  
NTTデータ 代表取締役社長



### 8 特集

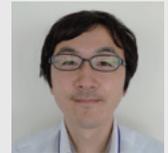
## IOWN実用化に向けた トランスポートネットワーク技術

10 APNの早期実用化加速に向けた光トランスミッション技術

14 ネットワークディスアグリゲーション・移動固定融合に向けた  
サービスノード構成技術

18 ネットワーク運用の高度化に向けた  
ネットワークコントロールシステム構成技術

23 主役登場 伊達 拓紀  
NTTネットワークイノベーションセンタ



### 24 特集

## 3GPP Release 17 標準化活動

26 5Gおよび5G-Advanced標準化動向

31 3GPP Release 17における5Gコアネットワークの高度化技術概要  
——システムアーキテクチャ

35 3GPP Release 17における5Gコアネットワークの高度化技術概要  
——コアネットワークと端末

39 3GPP Release 17における5G無線の高度化技術概要



#### 44 挑戦する研究者たち

古川 茂人

NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
上席特別研究員

一発逆転でなくていい。しっかり正しく  
追究すればその知識の蓄積が貴重な  
貢献となる



#### 49 挑戦する研究開発者たち

金城 皓羽

NTT西日本 ビジネス営業本部  
バリューデザイン部  
コミュニケーション基盤部門  
テックデザイン担当

めざすサービス像を営業と研究開発の  
観点から多角的に検討する



#### 54 明日のトップランナー

上田 悠太

NTTデバイスイノベーションセンタ  
特別研究員

高品質・低遅延の通信を実現する  
「電界制御による波長可変光源」



#### 58 グループ企業探訪

株式会社NTTデータ数理システム  
数理系のエンジニアがお客さまや  
社会の課題を解決する専門家集団



#### 62 from NTTデータ

デジタル人材育成最前線——NTTデータの次世代トップ  
技術者育成施策

Webサイト オリジナル記事の紹介 ..... 66

12月号予定

編集後記

NTT技術ジャーナルはWebで閲覧できます。

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



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](mailto:journal@ml.ntt.com)

本誌ご購入のお申し込み、  
お問い合わせ先

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

企画編集

日本電信電話株式会社  
〒100-8116 東京都千代田区大手町1-5-1  
大手町ファーストスクエア イーストタワー  
NTTホームページ URL <https://group.ntt.jp/>

発行

一般社団法人電気通信協会  
〒101-0003 東京都千代田区一ツ橋2-1-1如水会ビルディング6階  
TEL (03)3288-0608 FAX (03)3288-0615  
URL <http://www.tta.or.jp/>

©日本電信電話株式会社2022

●本誌掲載記事の無断転載を禁じます●

※本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェアなどの名称は、  
各社の商標または登録商標です。

## View from the Top

NTTデータ  
代表取締役社長

本間 洋

### PROFILE :

1980年日本電信電話公社に入社。2013年NTTデータ常務執行役員第三法人事業本部長、2014年取締役常務執行役員エンタープライズITサービスカンパニー長、2016年代表取締役副社長執行役員を経て、2018年6月より現職。



着眼大局・

着手小局の姿勢、

高い志とパッションを携えて、

真のグローバル企業へと成長

1967年、電電公社内にデータ通信本部が設立、1988年の会社創立を経て、およそ半世紀。NTTデータは、お客さまの業務を熟知し、テクノロジーを活用して、新しい社会の仕組みを構想・実現することで多くのお客さまの信頼を獲得してきました。お客さまとの長きにわたるLong-term Relationshipsの信念はそのままに、新しい変革に挑戦する本間洋代表取締役社長に、NTTデータの経営環境とトップとしての想いについて伺いました。

### 変わらぬ信念と変える勇気で質を伴った成長をめざす

まずはNTTデータを取り巻く経営環境等をお聞かせいただけますでしょうか。

私たちは2005年からグローバルへの事業拡大に取り組んできました。段階に応じて1st、2ndステージと呼んでいます。現在はGlobal 3rd Stageとして2025年にIT業界のグローバルトップ5以内に入り、世界中のお客さまから信頼される企業をめざしています。

その前段階として、2019年度から2021年度までの前中期経営計画では、「変わらぬ信念」と「変える勇気」でグローバルで質を伴った成長に取り組んできました。

当社はこれまでも多くのお客さまとともにシステムをつくり社会に貢献してきました。お客さまとの長い付き合い、「Long-term Relationships」に基づく信頼関係は、今後も守り育てていく「変わらぬ信念」として位置付けています。その一方で、しっかりと利益を出して、前向きな投資に回すことにも徹底的にこ

だわりました。海外は事業構造改革にも取り組むことで、グローバルオファリングによるビジネスの拡大や各リージョンにおけるさまざまなデジタルビジネスの獲得などの成果を創出しています。これが「変わる勇気」です。

その結果、4つの経営目標のうち、連結売上高2.5兆円、顧客基盤80社以上、連結営業利益率8%の3つを達成しました。海外EBITA率7%については、新型コロナウイルス感染症の影響もあり6.5%と未達でしたが、北米では7%を達成しています。



前中期経営計画は新型コロナウイルス感染症の大きな影響下にありました。私たちの事業の中心であるB2Bビジネスには、アゲインストとフォローの2つの風が吹いたといえます。まず、ウイズコロナ社会において、交通・旅行業、サービス業などのお客さまが厳しい環境におかれ、IT投資が抑制されました。これがアゲインストの風です。多くのお客さまがシステムの維持管理や保守・運用コストの低減を望まれました。私たちもさらなる業務の自動化、生産性のアップ、開発のスピードアップ等、仕事のやり方を変革し対応しています。一方、新たな社会の実現に向け、ITやデジタルを活用して新しいサービスや商品、ビジネスモデルを生み出す流れが加速しました。このフォローの風をうまくとらえて、成長の機会とすべく取り組んできました。

**Global 3rd Stage：お客さま事業の成長を支え、お客さまとともにサステナブルな社会の実現をめざす**

コロナ禍にあっても目標を達成するとは素晴らしいですね。新しい中期経営計画ではどのような戦略が展開されるのでしょうか。

前中期経営計画の目標指標はほぼ達成しましたが、Global 3rd Stageの達成にはさらなる高みをめざして

いかなければなりません。この5月に発表した新しい中期経営計画(2022～2025年度)では、前中期経営計画の理念をさらに進めたものとなりました。

前述のフォローの風でもお話ししたとおり、IT投資の目的が企業の既存業務のIT化から、IT・デジタルを使った新しいサービスやビジネスモデルの創出に変わってきています。社会課題の解決・地球環境の保全に向けたDX(デジタルトランスフォーメーション)も加速しています。また、さまざまなプレーヤーが社会・テクノロジーの変化に合わせてサービスラインアップを拡充しており、競争環境はより一層激化しています。

こうした背景から、私たちもさらなる競争力の強化に向けた取り組みが必要です。海外事業の質を伴った成長と、デジタル対応力のさらなる強化は継続した課題と考えています。加えて、世界的にIT人材・技術者が不足しています。私たちのビジネスは人材がすべてといっても過言ではなく、社員力・組織力を高めていくことが重要です。

新中期経営計画では、Trusted Global Innovatorとしてお客さまの事業成長を支え、お客さまとともにサステナブルな社会を実現していくために、これまで培ってきた2つの力を高めていきます。1つは、顧客理解と高度な技術力でシステムをつくる力。もう1つは、さまざまな企業システムや業界インフラを支え、

人と企業・社会をつなぐ力です。

これまででは、既存の業務や社会の仕組みをITシステムに置き換えることが目的であるケースが多く、高い信頼性のシステムをいかにつくるか、“How”が重要であったため、システムの生産技術革新などに力を入れてきました。これからは、ITやデジタルを使って、どのような新しいサービスや商品・ビジネスモデルをつくるかが重要となり、何をつくるか、“What”が大事になってきています。この時代やニーズにこたえるため、お客さま業界の先を見通すForesight起点でのコンサルティング力を強化して、新しいサービスやビジネスモデルをお客さまと一緒につくっていきたく考えています。もちろん、その仕組みをどうつくるか、アーキテクチャも大事になります。私たちが培ってきた高い技術力を活かして、実現可能なものを提案できる点が強みになってくるでしょう。

また、近年の気候変動や新型コロナウイルス感染症の流行をはじめとする数々の事象は、多くの社会課題を浮き彫りにしました。これらの解決には、ITやデジタルの活用が鍵になります。私たちだけでなく、ビジネスパートナー企業やお客さまのデジタル対応力も高めて業界全体を底上げし、社会全体のデジタル化を通じて社会課題の解決に貢献していきたいと考えています。そのため、新中期経営計画では「Realizing a Sustainable Future」をスローガンに、改めて事業活動を通じて社会課題解決に貢献していくことをより明確に位置付けています。

**新戦略はお客さまやパートナー、そして業界の向上、社会課題解決を見据えているのですね。**

電電公社にNTTデータの前身であるデータ通信本部が設立された1967年から55年余り、私たちは「社会のために」という姿勢で事業に臨んできました。NTTデータの企業理念も「情報技術で、新しい仕組みや価値を創造し、より豊かで調和のとれた社会の実現に貢献する」です。脈々と受け継いできたこのスピリットと、私たちが大事にしている「Long-term Relationships」で、お客さま

とともに未来の社会をつくっていきます。

現代はIoE(Internet of Everything)と評されるように、デジタル化の加速によってあらゆる人とモノが繋がっています。Edgeから収集するデータもあれば、スマートフォンなどからの顧客接点のデータも広がっています。「21世紀の石油」ともいわれるデータを、セキュアに収集、分析し、企業や業界の枠を超えて活用することで、複雑な社会課題が解決できるようになります。そのような世の中にしていけないといけないと思っています。

このような大量のデータを高信頼性で扱えるようにしていく必要がありますが、これを実現するのがNTTグループのIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想に期待されていることです。私たちNTTデータも社会動向やお客さまのニーズをとらえ、IOWN技術シーズの検証、社会実装を進めるために、2021年1月にIOWN推進室を設立しました。特に私たちは「データ連携基盤」と「DTC (Digital Twin Computing)」に注力しており、多種多様な業界・業種横断で活用される社会DXのためのデジタルツイン基盤を構想し、実現に向けて取り組んでいます。

また、NTTグループとして一体となって「NTT環境エネルギービジョン」の実現に向けても取り組んでいます。グリーン化については、当社自身のCO<sub>2</sub>排出削減に向けた「Green Innovation of IT」の取り組みと、



事業活動を通じ、お客さま・社会全体のCO<sub>2</sub>削減に向けた「Green Innovation by IT」という2つの軸で取り組んでいます。

「of IT」では、SBT目標である2030年までにCO<sub>2</sub>排出量を2016年度比で60%削減することを目標に取り組んでいます。私たちの電力消費量の約70%は、当社が提供するデータセンタでの電力消費です。これを革新的な冷却・空調技術や先進のIT技術を導入することで2030年までに全データセンタの使用電力をすべて再生可能エネルギーにすることをめざします。さらに、2040年にはScope1, 2のカーボンニュートラル、2050年にはScope3を含めたネットゼロをめざしています。

「by IT」では、当社が提供するシステムやサービスを通じて排出量削減に貢献していきます。例えば貿易情報連携プラットフォーム「Trade Waltz」では、これまでほとんどが紙ベースで行われていた契約から決済、通関業務などの貿易事務業務をデジタル化することで、作業効率の向上やコスト削減はもとより、森林保全とCO<sub>2</sub>削減にも寄与しています。日本の貿易実務にかかわる全プレイヤーが「Trade Waltz」を利用した場合、紙の削減により年間で最大3万800本の森林保全、431トンのCO<sub>2</sub>削減を実現できる試算です。

### 強みづくり、価値づくり、人づくりの「3づくり」

本間社長はこうした理念をどのようなご経験によって培われたのでしょうか。

私は1980年に電電公社に入社しました。そのころ、電電公社では当時の副総裁の北原安定氏が中心となって、通信ネットワークをすべてデジタル化して統合し、その統合ネットワークで電話、データ通信、画像通信等すべてのサービスを提供するという、INS (Information Network System) 構想を立ち上げ、世界から注目されていました。私は、この構想がまとめられた本を読んで、「この仕事、面白そうだ」と啓発されて入社し、現在に至ります。

40年にわたるNTT人生は、時には

苦労しつつも、日々楽しく過ごしています。私たちが行っているシステム開発は、プロジェクトベースで仕事をしますから、苦労も喜びもチーム全体で分かち合います。最後にその仕事が仕上がったときは皆抱き合って、肩を叩き合う。その喜びは他の何物にもかえがたいものがあります。よく言われるAll for One, One for All, このスピリットはとても大事だと思います。

ともに苦労や喜びを分かち合うのはお客さまも同様です。印象深いのは、旅行業システムのプロジェクト。当時私たちも不慣れな業界で、いわゆる問題プロジェクト化していた案件です。最初は何とか順調に運ぼうと頑張っていました。時間の経過とともに社員は疲弊してきます。優秀な人が問題解決に投入されますが、それは一方で新たなビジネス機会の損失にもつながってしまいます。

そこで、私たちはお客さまに当社の状況を包み隠さずご説明して、プロジェクト成功のためにお客さまにも協力していただきたいとお願いに伺いました。実はここがものすごく大事なのです。発注者と受注者という関係性では物事はうまく運びません。私たちもお客さまも同じ船に乗っていることを認識し、互いに協力し合うことが、プロジェクトの成功につながり、仕上がったときの大きな喜びにつながっていくのです。

このように、私はワンチームとして全く同じ立場で協力し合い、一緒に良いモノをつくっていく、組織力をとても大切にしてきました。良い組織は個人の実力のみでは成立しません。NTTデータは優秀な人が集まり、実力はあります。そこに、組織にみなぎる活力、仕事の魅力や上司や仲間の魅力、お客さまと私たち双方が互いに感じる魅力を高めていくと良い結果が出るのです。組織力はいわば実力×活力×魅力なのです。

別の言葉で表現すると、良い成果を生み出すために必要なのはSkillとWillです。Skillはとても重要ですが、やはりそれだけではダメで、「よっしゃ！成し遂げよう」というWillが大切。そこにチーム力を掛け合わせることで大きな成果を生み出します。お話しした旅行業のプロジェクトも、



PM (Project Manager) が本社ビルの隣にあるホームセンタから模造紙やリボンを買ってきて、進捗を可視化してディスカッションしやすくしてくれました。おかげでいいムードが生まれて組織全体の力が高まりました。

**お話を伺っていると本間社長は常に物事を包括的にとらえていらっしゃる感じがします。トップとして大切にしていることを教えてください。**

私はお客さまとの「Long-term Relationships」を大切に仕事をしてきました。長年のお客さまと

の関係には良いときもそうでないときもありますが、そうでないときにこそお客さまのためにBestを尽くすことはものすごく大事ですね。「ここまでやってくれるのか、そこまで考えてくれるのか」とお客さまは、私たちの仕事をよく見ていてくださいます。それが信頼関係につながるのです。

こうした姿勢を貫くために、私は「凡事徹底」を大切にしています。とても平凡なことでも、決めたことを徹底してやり続ける姿勢は、これからも大切にしていきたいと考えています。

また、私は強みづくり、価値づくり、そして、人づくりの「3づくり」も大切にしています。特に価値づくりにおいてはNTTの研究所をはじめとして、皆さん得意な領域をお持ちですから、私たちの価値と掛け合わせて、より良いサービスとしてお客さまに提供していきたいと考えています。

最後に、トップは着眼大局・着手小局の姿勢、高い志とパッションで仕事に臨まなければならないと考えています。しかし、強い意志を持ってここをめざすのだといっても、上り坂もあれば、下り坂もあります。そして「まさか」という坂もありますよ。下り坂や「まさか」でも、踏みとどまって前に進む力はトップには大事だと思います。特に、今の時代は、ビジネスの世界でも明確な海図がありませんよね。それでも、トップは羅針盤を持たなければならない。たとえ環境が変わったとしても指針を示すことが重要です。

(インタビュー：外川智恵/撮影：大野真也)

※インタビューは距離を取りながら、アクリル板越しに行いました。

## インタビューを終えて

柔らかな笑みを湛え、お約束の時間ぴったりにインタビュー会場に到着された本間社長。お話は常に簡潔でありながら丁寧で、時折、ジョークを挟んで和ませてくださいました。そのお姿に何事もスタイリッシュに対応されているのではないかと、本間流の仕事の技があるのではないかとお話を伺うと、「いつも良い結果が出るわけではないのですが、やり続け、踏みとどまってしっかりと挑めば良い結果は得られると信じているのです。ただ、メンタルを常に保ち続けるのは難しいこともありますから、フィジカルなルーチンを大事にしています」とおっ

しゃいます。ゴルフでは必ず歩くこと、ウォーキング、そして、読書は一度に読むボリュームを決めていらっしゃるのです。絶妙なメンタルとインプルーブメントのバランスは圧巻です。「やらないと気持ち悪くなるまでになれば最高ですよ」と、大切なことを獲得する喜びと重要性をご教授くださいました。写真撮影の最中も「それが、知らず知らずのうちにやれるようになるのがいいですね」と、スマートにインタビュー内容をフォローしてくださる優しさに、たゆまぬ努力の大切さを教えていただいたひと時でした。



特集

# IOWN実用化に向けた トランスポートネットワーク技術

本特集では、通信インフラを支えるリンクシステム、サービスノードシステム、コントロールシステムのそれぞれで、オールフォトニクス・ネットワーク(APN)の早期実用化加速や、ホワイトボックススイッチや移動固定融合・ネットワーク運用高度化の技術確立と早期の商用展開をめざし、NTTネットワークイノベーションセンターで取り組んでいるさまざまなプロダクト、ネットワーク技術について紹介する。

光伝送

オープン光インターフェース

遅延マネジメント

ネットワークOS

リアルタイム情報収集

## Transport Network Technology

## APNの早期実用化加速に向けた光トランスミッション技術 ————— 10

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) を支えるオールフォトニクス・ネットワーク (APN) を実現する光伝送ネットワークの実用化のための技術開発・システム開発について紹介する。

## ネットワークディスアグリゲーション・移動固定融合に向けたサービスノード構成技術 ————— 14

ホワイトボックススイッチ用ネットワークOS「Beluganos®」、および「ネットワーク系プラグブル付加価値基盤技術」について、それぞれが提供するネットワーク機能の概要について紹介する。

## ネットワーク運用の高度化に向けたネットワークコントロールシステム構成技術 ————— 18

フロー統計情報やテレメトリ、遅延情報を効率的に収集し運用に活用するネットワーク情報収集基盤、および運用・制御の自動化・高度化に向けたコントロールシステムを構成する技術について紹介する。

## 主役登場 伊達 拓紀 (NTTネットワークイノベーションセンタ) ————— 23

社会を変える通信基盤をめざして

# APNの早期実用化加速に向けた 光トランスミッション技術

NTTネットワークイノベーションセンタは、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) を支えるオールフォトニクス・ネットワーク (APN) を実現する光伝送ネットワークの実用化のための技術開発・システム開発を行っています。APNの先行リリースの次期光伝送ネットワークとして、通信トラフィック増加に対応する高速化・大容量化のみならず、さまざまなシステムやデバイスを光のまま接続する光インタフェースのオープン化、光ネットワークの提供する付加価値の向上、およびこれらを保守運用するための保全技術について取り組んでいます。

すだ 須田	さちお 祥生	あおやぎ 青柳	けんいち 健一
すがの 菅野	やすたか 康隆	たけち 武智	ひろと 宏人
いぬづか 犬塚	ふみかす 史一	だて 伊達	ひろき 拓紀
うすい 臼井	そういちろう 宗一郎		

NTTネットワークイノベーションセンタ

## はじめに

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) の基盤となるオールフォトニクス・ネットワーク (APN)<sup>(1)</sup> は、フォトニクスベースの技術を導入することにより、情報処理基盤のポテンシャルを大幅に向上させようというものです。それに加えて、各機能部を分割整理しオープンなインタフェースを用いて再構成することで、低消費電力、高品質・大容量、低遅延な伝送を実現することをめざしており、「伝送容量を125倍に」「電力効率を100倍に」「エンド・ツー・エンド遅延を200分の1に」の3つの目標性能が掲げられています。APNを実際に利用できるシステムとして作り上げていくためには、さまざまな最先端の要素デバイスや最新技術をオープンなインタフェースなど各種規約や制約の下で統合し、組み上げていくための高度なエンジニアリングが求められることになります。

私たちは、APNの早期実現に向け、

技術およびマーケットの両面からの先行リリースとなる次期光伝送ネットワークに向けた技術開発およびエンジニアリングを行っています。次期光伝送ネットワークでは、①現時点での最先端の光通信デバイスや最新技術・ノウハウを採用することで伝送容量を10倍に拡大する一方で、ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) 機能部と光送受信機をオープンな光インタフェースで分離し、光—電気変換を削減することによるシステム消費電力の大幅削減をめざすシステム構成、②APNが提供する付加価値の1つとして、伝送遅延や遅延変動にセンシティブな利用用途に対して、絶対遅延量をマネジメントすることで、インターネットやL2VPNに対してエンド・ツー・エンド遅延および遅延揺らぎを抑制することのできる光送受信機、③これらをシステムトータルで運用していくための保全・制御サブシステムなどの研究開発を行っています。

## 高速化・広帯域化とオープンな 光インタフェース

次期光伝送ネットワーク (図1) は、高密度波長多重技術 (DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing) およびデジタルコヒーレント技術をベースとした光伝送ネットワークでありつつも、複数波長バンドにまたがって、1波長当たり約1 Tbit/sの光信号を多重することで、伝送容量の拡大を実現します。また、ROADM機能と光送受信機能を機能分離 (ディスプレイグレート) し、その間をオープンな光インタフェースとして規定することにより、さまざまな光送受信機を用いて遠隔地を光信号のまま接続できることをめざしています。

### ■ 1波長当たり1T級の光信号伝送

次期光伝送ネットワークでは、光送受信機に世界最先端のデジタル信号処理プロセッサ (DSP: Digital Signal Processor)<sup>\*1</sup>を採用し、光信号の変調レートの高速度と変調多値度の向上を図ることで、1波長当たりの伝送

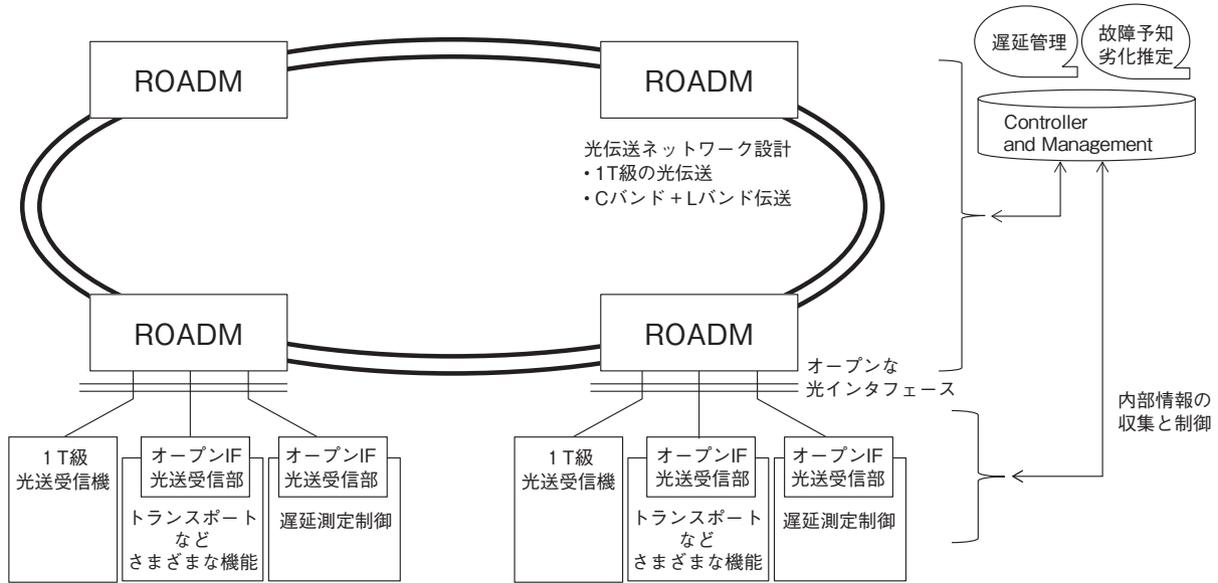


図1 次期光伝送ネットワーク

容量を増加させます（長距離：800 Gbit/s/波長，短距離：1 Tbit/s/波長）。また，ROADM機能部の光設計を見直し，光雑音や光信号の歪みを適切にコントロールすることで，高速な光信号を安定的に伝送できるようにします。

### ■複数波長バンドを用いた多重

従来，NTTの光伝送ネットワークにおいては，長距離伝送に適しているとされた分散シフトファイバ（DSF：Dispersion Shifted Fiber）<sup>(2)</sup>を使用してきました。しかし，DSFはその特性上，高速光伝送を行ううえで大きな波形歪みの原因となるゼロ分散波長が存在することで，実質上，Cバンドを使用した光伝送を行うことができず，Lバンドしか利用することができませんでした。今回，カットオフシフトファイバ（CSF：Cut-off Shifted Fiber）<sup>(3)</sup>を利用できる環境が整ったことから，次世代光伝送ネットワークではCSFに適した光設計・システム設計を行い，CバンドとLバンドの両方を活用することで，伝送容量を倍増させます。

### ■オープンな光インタフェース

光伝送ネットワークの各機能部間をマルチベンダで接続して相互運用するためのインタフェースを定義したOpen ROADM MSA (Multi-Source Agreement) <sup>\*2</sup>では，400 G対応ノードへの拡張が進められています<sup>(4)</sup>。また，QSFP-DD (Quad Small Form-factor Pluggable-Double Density) <sup>\*3</sup>などのプラグブル光モジュール間の相互運用仕様を定義したOpen ZR+ MSAでは技術仕様2.0版が新たに公開される<sup>(5)</sup>など，通信事業者やハイパースケラ，光モジュールベンダの参加による光伝送システムのオープン化やディスアグリゲーションに向けた動きが加速しています。

次期光伝送ネットワークでは，これらのMSA標準を積極的に採用することで光インタフェースのオープン化を実現し，APNのめざすさまざまなシステムやサービスへのエンド・ツー・エンドの光接続の提供をめざします。

### 遅延をマネージする光送受信機

遅延量をマネジメントできる光送受信機として，遅延マネージド伝送シス

テムの研究開発を進めています。

通信ネットワークの利用高度化やコロナ禍の影響により，リモートアクティビティが急速に拡大している中で，複数拠点間での協調性や同期性が重要視されるアクティビティでは，通信遅延やその揺らぎがユーザエクスペリエンス（UX）に与える影響は非常に大きなものとなっています。

例えば，複数拠点から選手が参加するeスポーツ大会において，選手の参加拠点によっては公平な試合が成立しなくなってしまいます。eスポーツ用サーバを東京に設置した場合，東京と福岡では約30 ms（60 FPSの場合，2フレーム）の差が生じてしまいます（図2左）。これは，物理的な距離が異なることによる伝送遅延（濃いグレー）のほかに，インターネットサービスプロバイダ（ISP）などのネットワーク

\*1 DSP：NTT研究所では2022年に1 Tbit/s級の信号処理が可能な最新のDSPを開発しました。 <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/09/05/220905a.html>  
 \*2 MSA：製品仕様の標準化によりユーザ利便性を高め，市場規模を拡大することを目的として，互換性のある共通仕様の製品を各社が開発・製品化するための取り決め。  
 \*3 QSFP-DD：光モジュール規格の一種。



図2 eスポーツ大会への適用例

内部でのルータ等の機器による処理遅延（薄いグレー）が生じるからです。さらにISPネットワーク内部での処理遅延は一定ではなく、eスポーツ以外のトラフィックの影響を受けて時刻により変化（オレンジ矢印の幅）していきます。

一般的に低遅延で接続するユーザのほうが早く反応し操作できることから、サーバが設置された東京に近い拠点から参加している選手が明らかに有利となってしまいます。

遅延マネージド伝送システムでは、インターネットを介さない通信環境を用意することで遅延発生を極限まで抑制する（図2右 薄いグリーン）とともに、ユーザ間の遅延時間の公平性を保つ目的で遅延が大きい回線に合わせて遅延を付与する制御を行います（図2右 濃いグリーン）。これにより、ユーザ間での遅延差をゼロにすることができます。このような超低遅延で通信遅延差がなくかつ遅延揺らぎもない安定した通信環境の実現により、公平な対戦が可能になります。

### ■ OTNプロトコルを活用した通信制御

遅延マネージド伝送システムでは、まず、物理的極限に迫る低遅延を実現するため、OSI（Open Systems Interconnection）参照モデル\*4の物理層であるレイヤ1のOTN（Opti-

cal Transport Network）\*5プロトコルを用いています。レイヤ1通信は回線交換方式であり、通信相手との接続が確立した後は、通信帯域が占有され、原理的には遅延揺らぎもなく通信帯域が固定された通信を実現できます。また、レイヤ1だけで通信制御を行う場合は、レイヤ2や3のようなパケット再送処理やパケットキューイング処理が不要なため、物理的な限界に近い低遅延を実現できます。

次に、遅延マネジメントを実現するために、遅延マネージド伝送システムを構成する装置内で、ITU-T G.709で規定された遅延測定情報を用いてエンド・ツー・エンドでの遅延時間を測定し、OTN信号データをユーザ間の所望の遅延時間分だけ装置内のFIFOメモリに蓄積して遅延時間を調整します。

### ■ eスポーツ大会への適用を想定したデモンストレーション

2021年11月に開催された“NTT R&D FORUM — Road to IOWN 2021”と2022年1月に開催された“docomo Open House'22”にて、対戦格闘ゲームを用いたeスポーツ大会のデモンストレーションを行いました。プロチームに所属するeスポーツ選手2名が、50msの遅延時間差のある従来のインターネットを模擬した通信環境と、選手間の通信遅延差がゼロの通信環境でそれぞれ対戦しました。

インターネット接続を模擬した不公平な通信環境では、遅延がある側の選手の勝率は10.9%と明らかに低くなりました。一方、遅延を同一に調整した公平な通信環境下では、同選手の勝率は54.3%となりました。

遅延マネージド伝送システムにより、eスポーツを含むエンタテインメント領域を皮切りに、文化芸術、リモートワーキング、教育、遠隔医療、遠隔コラボレーションなど、遅延にセンシティブなアプリケーションにおけるUX変革をもたらすことができると考えています。

### 保守・運用の高度化に向けた取り組み

光伝送ネットワークは、容量増加により光伝送装置の故障時の影響も増大します。光パス両端の光送受信機で通信エラーが発生するような光信号の品質低下が発生していても、その起因となる異常が光パスの中継区間にあるROADMを構成する光アンプや波長選択スイッチにあった場合には、ROADMでは異常を検出できないケースがあります。こうしたケースでは、広範な被疑部位から品質低下を引き起

\*4 OSI参照モデル：国際標準化機構による通信機器機能を階層構造に分割したモデル。  
\*5 OTN：国際標準化機関ITU-Tで規定される光伝送網に関する通信規格。

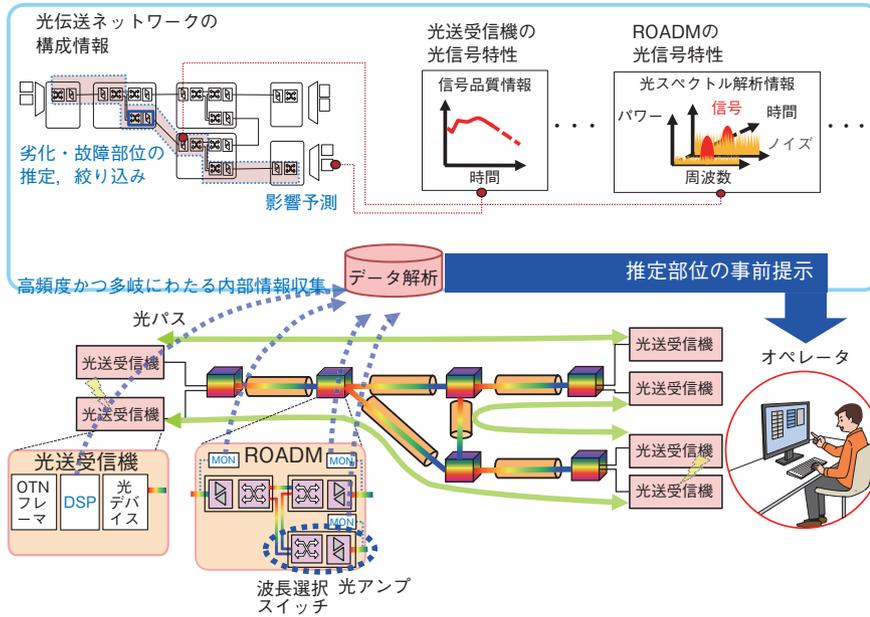


図3 劣化の推定・故障予測

こした部位を速やかに特定することができず、設備復旧が長期化してしまうことがあります。

そのため、高速化・大容量化や光インタフェースのオープン化により光接続領域を拡大させていくときには、光伝送ネットワークの故障の影響を極小化するとともに、早期に設備故障を把握できるように保守のための技術も高度化していくことが必要となります。

そこで、私たちは、従来の警報監視のみでは故障復旧までの期間が長期化してしまう課題を解決するために、故障にはまだ至らないレベルの光信号の特性変化を予兆としてとらえ、故障が予想される部位を事前に特定しておくことで、故障交換までの時間を短縮すること、ひいては事前交換による故障回避に向けた光伝送ネットワークのプロアクティブ保守技術を検討しています。

本技術では、保守運用には活用されていなかった光信号の特性情報をきめ細かく収集・解析することで、故障予兆の検出と部位特定を高精度に実現することをめざしています。光伝送ネットワークから取得する特性情報として

は以下の3点を検討しています。

- ① 性能情報 (Performance Monitor) : 従来15分単位でしか取得できていなかった性能情報を、より短いインターバルで測定しリアルタイムに収集することで故障解析に活用します。
- ② DSPの内部情報 : 光送信機において光信号の劣化を補償し復調するDSPから、光信号の強度、雑音量、波形歪みなどの情報を新たに収集し解析します。
- ③ 光スペクトル情報 : 中継区間ごとのROADM内部の光信号・雑音比などを新たに収集し解析します。

これらの特性情報を光パスの収容を含む光伝送ネットワークの構成情報と紐付け、故障に至るであろう劣化部位を高精度に特定すること(図3)、および劣化部位の特性の時系列変動からサービス影響時期を予測することを検討しています<sup>(6)</sup>。

## おわりに

APNの早期実用化に向けて、その先行版となる次期光伝送ネットワーク

における研究開発の取り組みについて説明しました。今後も、APNの要素技術については、実験室レベルで完成度が高まった技術を、順次、適切なタイミングで、システム化に向けてエンジニアリングしていくことにより、低消費電力、高品質・大容量、低遅延の光伝送ネットワークの実現に向けて研究開発を進めていきます。

## 参考文献

- (1) 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.
- (2) <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.653/en>
- (3) <https://www.ttc.or.jp/application/files/9015/5419/2769/JT-G654v1.pdf>
- (4) <https://www.ofsoptics.com/wp-content/uploads/OFC-22-OpenROADM-press-release-final.pdf>
- (5) <https://openzrplus.org/documents/>
- (6) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/07/21/220721b.html>



(上段左から) 須田 祥生/ 青柳 健一/  
菅野 康隆

(下段左から) 武智 宏人/ 犬塚 史一/  
伊達 拓紀/ 臼井 宗一郎

私たちは、実際に動き使えることを重視して技術開発やシステム開発に取り組んできました。それは、本稿で紹介した高速広帯域化、遅延マネージ、保守・運用の高度化であっても変わりません。来るべきIOWN時代に向けて、使える光ネットワーク技術を提供していきますので期待ください。

## ◆問い合わせ先

NTTネットワークイノベーションセンター  
企画担当  
TEL 0422-59-3113

# ネットワークディスアグリゲーション・ 移動固定融合に向けたサービスノード 構成技術

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) におけるネットワーク要件や要望される付加価値の多様化に向け、ネットワーク機能をソフトウェアにより内製化することで迅速なネットワークサービスの提供をめざしています。これを実現する技術であるホワイトボックススイッチ用ネットワークOS「Beluganos®」ならびにネットワーク系プラグブル付加価値基盤技術について、それぞれが提供するネットワーク機能の概要について紹介します。

よこい <b>横井</b>	としひろ <b>俊宏</b>	もちづき <b>望月</b>	このみ
なかむら <b>中村</b>	たかゆき <b>孝幸</b>	にしま <b>西山</b>	さとし <b>聡史</b>
たかはし <b>高橋</b>	けんすけ <b>謙輔</b>	おおさか <b>大坂</b>	たけし <b>健</b>

NTTネットワークイノベーションセンター

## はじめに

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) はさまざまな産業のICT基盤サービスで共通的に利用されることを目標としており、その1つの適用領域として固定網・移動網をシームレスに収容し、エンド・エンドでクラウドやインターネットなどに接続が可能な移動固定融合ネットワークをめざしています。

移動固定融合ネットワークでは、社会インフラとして今後ますます重要となるIoT (Internet of Things) 端末や、ドローン等のロボット、eスポーツなどの高速低遅延が求められるサービスなど、場所を問わず多種多様な要件を満たしたネットワークサービスをオンデマンドに提供することが求められます。

私たちは、それら要件を実現し迅速にネットワークサービスを提供するために、これまでのハードウェア中心のキャリアネットワークの機能をソフトウェア化し、柔軟にネットワークを組

み上げることが可能とするため、ホワイトボックスハードウェアやクラウド上でのネットワーク制御ソフトウェアを用いた統合的サービスノード構成技術を開発しています。

今回は、図1に示すホワイトボックススイッチ用ネットワークOS「Beluganos®」および「ネットワーク系プラグブル付加価値基盤技術」について紹介します。

## NTT内製ネットワークOS (Beluganos®) の概要

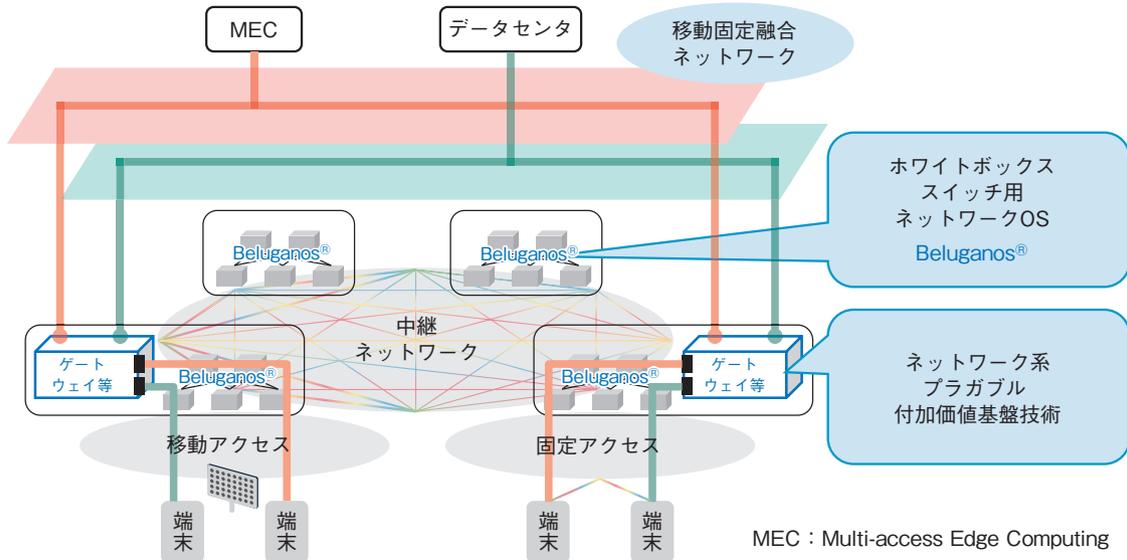
Beluganos®は、データセンタスイッチ、キャリア向けルータ、伝送装置など、幅広いホワイトボックスネットワーク装置をターゲットとして、開発を進めています。

ホワイトボックスネットワーク装置を使用することで得られるメリットは大きく2つあります。1つは、ハードとソフトが分離した形態により、ハード、ソフトを自由に選択して利用するため、例えば、ハードが製造終了したとしてもOSソフトウェアを継続使

用でき、監視システムの変更対応や、マニュアル整備の削減が可能となります。もう1つは、ハードウェアを自由に選択できるようになることでランシーバ等の部品を含め、長期間、低価格で購入できる点です。これらの特徴により、開発・導入・運用のトータルコストを低減します。

一方で、ソフトウェアとして、市販のネットワークOSを利用する場合、2つの課題があります。まず、従来のネットワーク装置と同様に新機能の追加や問題発生時の改修がベンダマターとなり、利用者であるキャリアが必要なタイミングで利用できないという課題です。次に、運用機能の不足です。ホワイトボックスネットワーク装置では異なるベンダのハードとソフトを利用しますが、市販のネットワークOSは必要十分な機能は有しているものの、キャリアが運用上必要とする、監視や経路可視化といった運用機能の実装が十分でないという課題があります。

このような課題を解決するため、NTT内製ネットワークOSとして、



MEC : Multi-access Edge Computing

図1 ホワイトボックススイッチ用ネットワークOS「Beluganos<sup>®</sup>」および「ネットワーク系プラグブル付加価値基盤技術」概要

Beluganos<sup>®</sup>を開発しています。これにより、機能追加や改修をNTTが必要なタイミングで実施できるようにするとともに、キャリアが必要とする運用機能の実装を実現します。以降では、実装を進めている運用機能を紹介いたします。

### Beluganos<sup>®</sup>機能（運用機能）の紹介

ここでは、データセンタ内のIPファブリックを構成するスイッチにBeluganos<sup>®</sup>を適用する際に有効となる運用機能について紹介します。

IPファブリックは、CLOSネットワークトポロジ上で、汎用ルーティングプロトコルを用いてマルチパス構成のL3ネットワークを構築します。

さらにオーバーレイの仮想ネットワークをEVPN/VXLANプロトコルを用いて構成することで、L2フラットなネットワークを構築し、運用性を向上させ、VM (Virtual Machine) のモビリティの問題に対応します。

しかし、このようなオーバーレイネットワークにおいては、以下2点が課題として挙げられます。

- ・トラフィックがどのアンダーレイを通過しているか分からない。
- ・オーバーレイトンネル単位の高速度障害検知機能が存在しない。

これらの課題解決のために、オーバーレイネットワークOAM (Operations, Administration, Maintenance) 機能として、「Loopback機能」「Pathtrace機能」「Continuity Check機能」を実装します (図2)。

「Loopback機能」はオーバーレイトンネル上でのpingを、「Pathtrace機能」はオーバーレイトンネル上でのTracerouteを実行する機能です。本機能により、オーバーレイトンネルを通過するトラフィックがどのアンダーレイリンクを通過しているかを確認できます。また、実トラフィックを模擬した情報をパケットに挿入し、ロードバランス結果をシミュレーションする機能も実装しており、トンネルを通過するパケットがどのアンダーレイリンクを通過するかを確認できるようになります。

「Continuity Check機能」は、オーバーレイトンネルの端点を指定して、オーバーレイトンネルの正常性を定期的に監視するパケットを双方向にやり取

りし、このパケットが一定時間到着しなかった場合に障害として検知します。既存技術では、複数あるアンダーレイリンクすべてで独立に正常性監視機能を動作させる必要がありましたが、本機能では、オーバーレイトンネルを指定することで、間のアンダーレイリンクすべてを監視することが可能となります。これにより、アンダーレイの構成によらず予期せぬ障害を高速に検知し、サービスへの影響を最小限に抑えます。

### Beluganos<sup>®</sup>の技術ロードマップ

将来のIOWNでのオープンハードウェア制御の活用に向けて、制御可能デバイスの拡大と、運用技術の発展という2軸で開発を進めます。

まず、制御可能デバイスの拡大です。将来の光および光電融合デバイスの制御を見据えて、本開発では、スイッチASIC (Application Specific Integrated Circuit) のみならず高性能ルータASICを制御可能とするネットワークOSを開発することで、ノウハウを蓄積していきます。

もう1つの軸の運用技術の発展とし

Loopback機能：

OAMフレームを起点スイッチから送信し、終点スイッチで折り返し、戻ってくるかどうかを確認する機能

Pathtrace機能：

OAMフレームが通過したすべてのスイッチが応答フレームを送信元スイッチに返す機能

Continuity Check機能：

検査用のフレーム（OAMフレーム）を定期的に送り、接続性を確認する機能

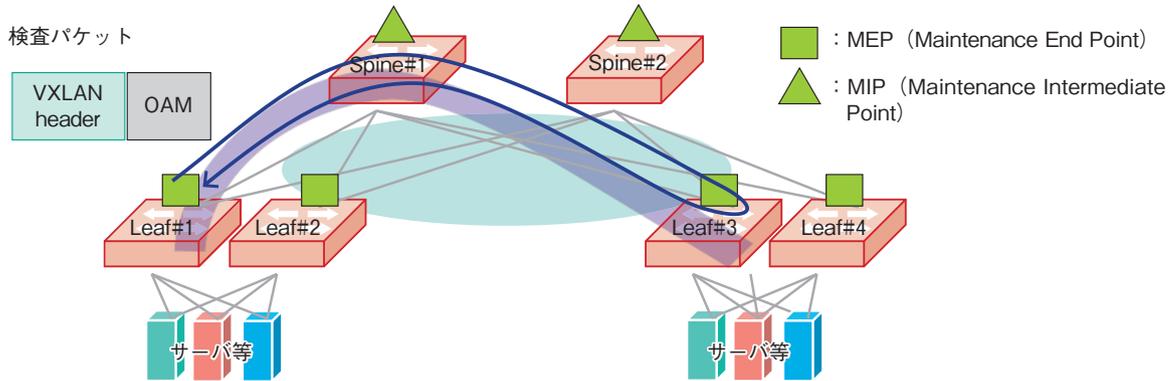


図2 オーバレイネットワークOAM機能

てコントローラとの連携を進めます。今回、ノード単体での運用高度化技術を確立しましたが、将来はネットワークオーケストレーションや伝送装置への適用によるエンド・ツー・エンド波長利用の効率化の実現をめざします。

ネットワーク系プラグブル付加価値基盤技術

IoTサービスや自動運転、スマートファクトリ等によりキャリアネットワークに求められる品質や機能の要件の多様化が見込まれます。多様化するサービスに対して、サービスを提供する事業者へタイムリーにネットワークを提供するためには、従来のキャリアネットワークには次の課題があります。

- ・要件に応じて個別のネットワーク装置を採用していたため、要件の多様化に伴い装置種別が増加してネットワークの運用が複雑化すること。
- ・ネットワーク機器設定の設計・設定投入を事業者の要望に応じて個別に対応していたため、リードタイムの短縮が困難であること。

私たちは、これらの課題の解決に向けて、多様なネットワーク機能をオン

デマンドに提供するネットワーク系プラグブル付加価値基盤技術（プラグブル基盤）を検討しています。

ネットワーク系プラグブル付加価値基盤技術の特徴

図3に示すプラグブル基盤が持つ4つの特徴を紹介します。

■付加価値サービスゲートウェイ技術

1点目の特徴は、柔軟にネットワーク機能を組合せ可能とする付加価値サービスゲートウェイ技術です。本技術は、汎用サーバ上でオンデマンドに構築するサービス提供者別の仮想ゲートウェイとして提供されます。本仮想ゲートウェイが持つネットワーク機能を、コンテナで分割した機能要素の組合せにより構成することで、柔軟・迅速な機能追加を可能としています。例えば、セキュアな閉域網を要望するサービス提供者には、閉域網を構成するトンネル終端機能や端末認証機能を具備するコンテナを持つ仮想ゲートウェイをネットワーク利用開始時にオンデマンドに構築します。また、認証結果等に応じた経路振分やQoS（Quality of Service）制御等のネッ

トワークサービス制御によりさまざまなサービス提供事業者の要望に対応可能としています。

仮想ゲートウェイの生成や削除、設定変更のライフサイクル管理は制御用コントローラを介して実行可能としています。本制御用コントローラはWeb系アプリ開発で広く採用されるRESTful API（Application Programming Interface）を提供しています。開発に際してはSwaggerやFlask等のWeb系技術を取り入れ、開発・メンテナンスコストの削減を図っています。

■ワンストップオペレーション技術

2点目の特徴は、サービス提供者に対してネットワーク・クラウド・アプリケーション等の複数サービスを一括で構築・保全可能とするワンストップオペレーション技術です。本技術により、Northbound API（NBI）としてTMF（TeleManagement Forum）APIsに準拠したAPIを公開し、サービス提供者に対して連携させたいサービスごとの設定に必要なAPIの抽象化を可能としています。また、連携させたいサービスが増えた場合は連携サービスが有するAPIのTMF APIへの変換アダプタの追加の

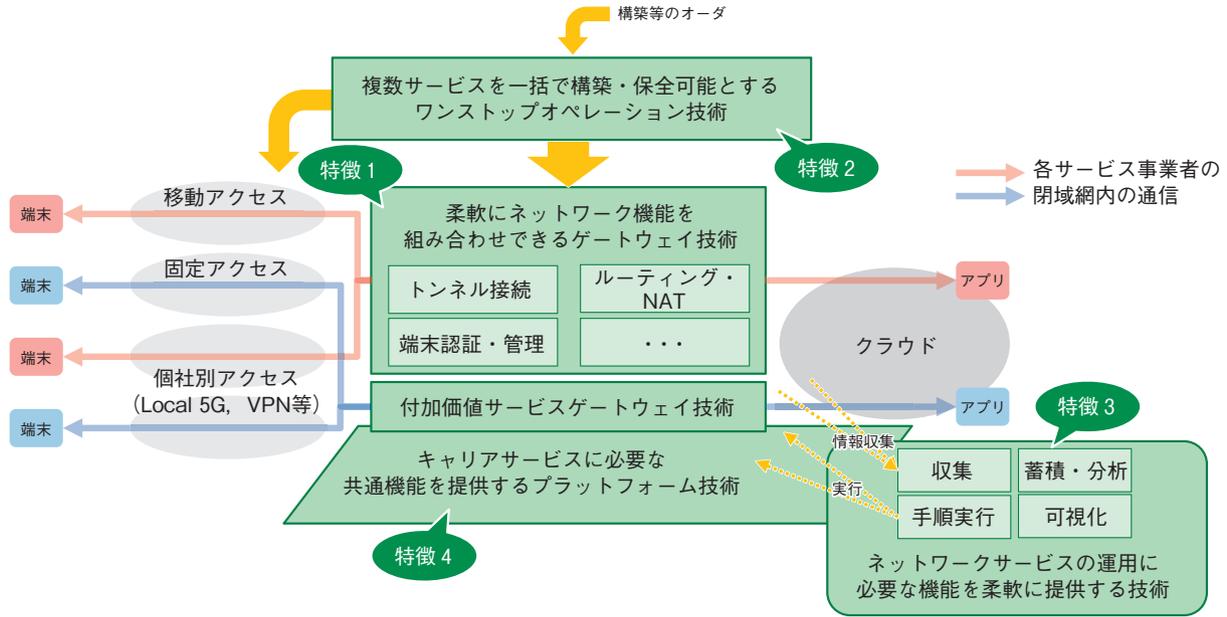


図3 プラガブル基盤が持つ4つの特徴

みで対応可能となります。さらに、監視・分析・判断・制御等のClosed Loopに従う保全機能も有しており、各サービスに適したオペレーション機能をマイクロサービスとして開発し組み合わせることで、例えば管理対象としているサービスの障害発生時には自律的な回復措置の実施まで可能としています。

プラガブル基盤においては、ワンストップオペレーション技術が仮想ゲートウェイに必要な設定をデプロイ先の仮想化基盤に合わせて自動で生成することで、サービス提供事業者は仮想化基盤の差分等を意識せず、所望するネットワークの構築を実現しています。

### ■ネットワークサービス運用支援技術

3点目の特徴は、仮想化基盤や各機器からのログ・メトリック等のデータを収集・蓄積し、分析・レポート・可視化、およびファイル更新や運用手順の自動実行等のネットワークサービス提供に必要な運用支援技術を持つことです。本技術では、さまざまな仮想化環境に対応するために、OSや仮

想化レイヤ、コンテナ、アプリケーションのそれぞれに適したツールの組合せ、入れ替えを可能とすることで、要件等の変化に柔軟に対応可能としています。

### ■仮想化プラットフォーム技術

4点目の特徴は、仮想環境上に配備したアプリケーションに対しキャリアサービスとして信頼性や保守運用性、性能を担保するために共通的に必要となる、ロードバランサやステート管理、故障復旧・死活監視のプラットフォームを持つことです。本プラットフォームにより機能拡充を容易にしています。

### ネットワーク系プラガブル付加価値基盤の今後の展望

プラガブル基盤では、増加し続ける通信量に対応するための高速化、ネットワークオペレーションのさらなる効率化を実現する保守・運用の高度化に向けた研究開発を行っています。具体的には、FPGA (Field Programmable Gate Array) 等の高速なデータ処理が可能なハードウェアアクセラレータの活用や、収集したデータをAI (人工知能) 等により解析して環境の変化

にも適応可能なオペレーション技術の確立に取り組んでいます。



(上段左から) 西山 聡史/ 高橋 謙輔  
(下段左から) 大坂 健/ 横井 俊宏/  
中村 孝幸/ 望月 このみ

キャリアネットワークがネットワーク機器に求める要件は市場とは大きく異なることが多いですが、ソフトウェアの時代になり、その要件をキャリア自らがコントロールし、リードしていきます。

#### ◆問い合わせ先

NTT ネットワークイノベーションセンター  
企画部  
E-mail [nic-kensui-p@hco.ntt.co.jp](mailto:nic-kensui-p@hco.ntt.co.jp)  
URL <https://www.rd.ntt/ nic/>

# ネットワーク運用の高度化に向けた ネットワークコントロールシステム構成技術

従来よりも遥かに大容量かつ低遅延なトラフィックを扱うオールフォトニクス・ネットワーク（APN）上でのサービス提供へ向けて、さらなるネットワークの品質管理・運用の高度化が必要となります。本稿では、NTTネットワークイノベーションセンターにて研究開発を進めている、フロー統計情報やテレメトリ、遅延情報を効率的に収集し運用に活用するネットワーク情報収集基盤、および運用・制御の自動化・高度化に向けたコントロールシステムを構成する技術について解説します。

はやし <b>林</b>	ゆうへい <b>裕平</b>	きはら <b>木原</b>	たく <b>拓</b>
すとう <b>須藤</b>	あつし <b>篤史</b>	たけい <b>武井</b>	ゆうき <b>勇樹</b>
わたなべ <b>渡辺</b>	ゆうた <b>裕太</b>		

NTTネットワークイノベーションセンター

## はじめに

NTTが提唱するIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想を実現する3本の柱の1つとしてネットワークから端末まですべてにおいて光をベースとするオールフォトニクス・ネットワーク（APN）があります<sup>(1)</sup>。APNは従来のネットワークインフラと比べ、圧倒的な大容量・低遅延を誇るものとなっており、扱うトラフィックも劇的に増加し、求められる通信品質も従来とは一線を画すレベルで高くなります。こうしたネットワーク上で利用ユーザへサービスを提供していくためには、より効率的かつ高い水準での品質管理・運用が求められることとなります。

## ネットワーク情報収集分析・制御による運用高度化の取り組み

ネットワーク品質管理・運用の高度化へ向けては、例えば、遅延やトラフィックなどのネットワーク情報を収集・分析し、品質低下の兆候がみられ

る場合にはユーザトラフィックを品質影響がない経路に退避させるなど、ネットワークの状態を把握したうえで適切な対処（制御）を行う必要が出てきます。特にAPNにおいては、多くのユーザトラフィックに対し、厳格な品質要件を満たすべく管理しなければならず、ネットワーク情報収集の観点では、高い効率性やリアルタイム性が、ネットワーク制御の観点では、きめ細やかな制御が強く求められます。

こうした要件を満たすべく、APNにおけるネットワーク情報の収集分析・制御に寄与する技術として、私たちは図1に示すネットワーク情報収集分析・制御連携技術の研究開発を進めています。

本稿では、ネットワークのフロー統計情報やテレメトリ、遅延情報を効率的に収集・分析して運用に活用するネットワーク情報収集分析基盤技術や、ネットワーク運用・制御の自動化・高度化に向けたネットワーク制御基盤を構成する技術を解説します。

## ネットワーク情報収集分析基盤技術

将来的なAPNへの適用を見据え、種々のネットワーク情報を収集可能な技術として図2に示すネットワーク情報収集分析基盤技術の研究開発を進めています。本技術は、基盤の名の通り、収集および分析に寄与する複数の要素技術を容易に組み合わせることが可能です。例えば、フロー統計情報、遅延情報に対応する要素技術を搭載し組み合わせることでVPN (Virtual Private Network) サービス監視としての活用や、あるいは、フロー統計のみの分析など一部のみの利用も可能です。さらに、要素技術を追加していくことで、収集対象項目の拡張も容易に実現できます。

将来的には種々の情報収集・分析に対応予定ですが、ここでは現在実用化を進めている遅延情報や導通性、フロー統計情報の収集分析技術に焦点に当て解説します。

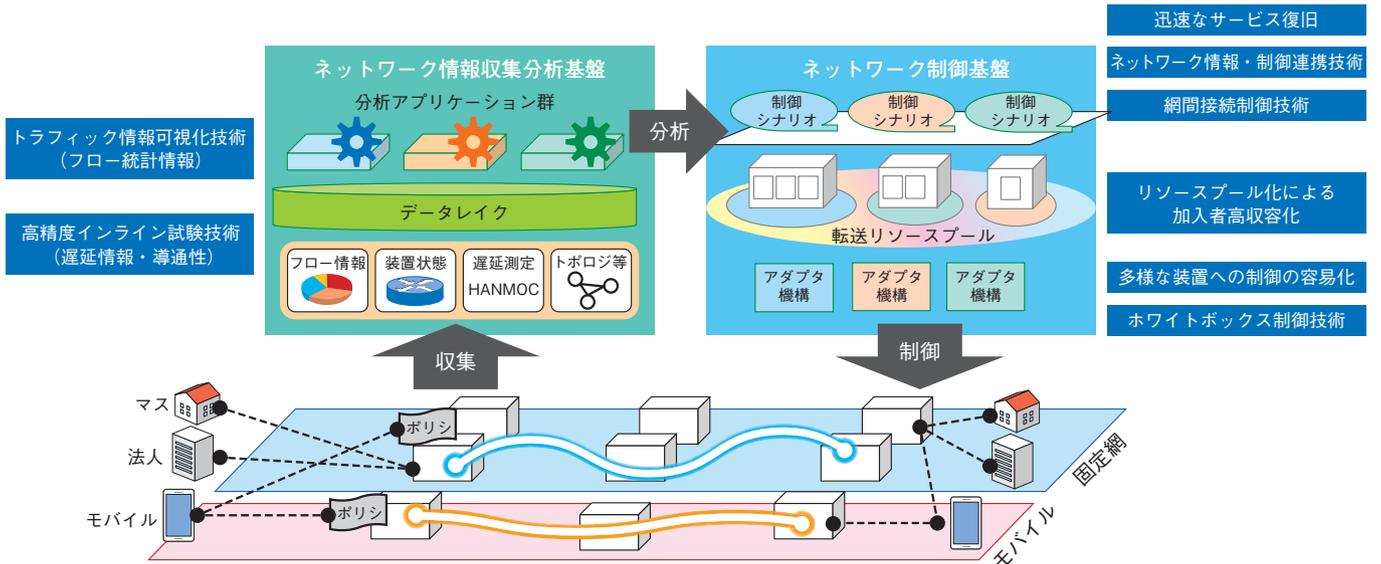


図1 ネットワーク情報収集分析・制御連携技術

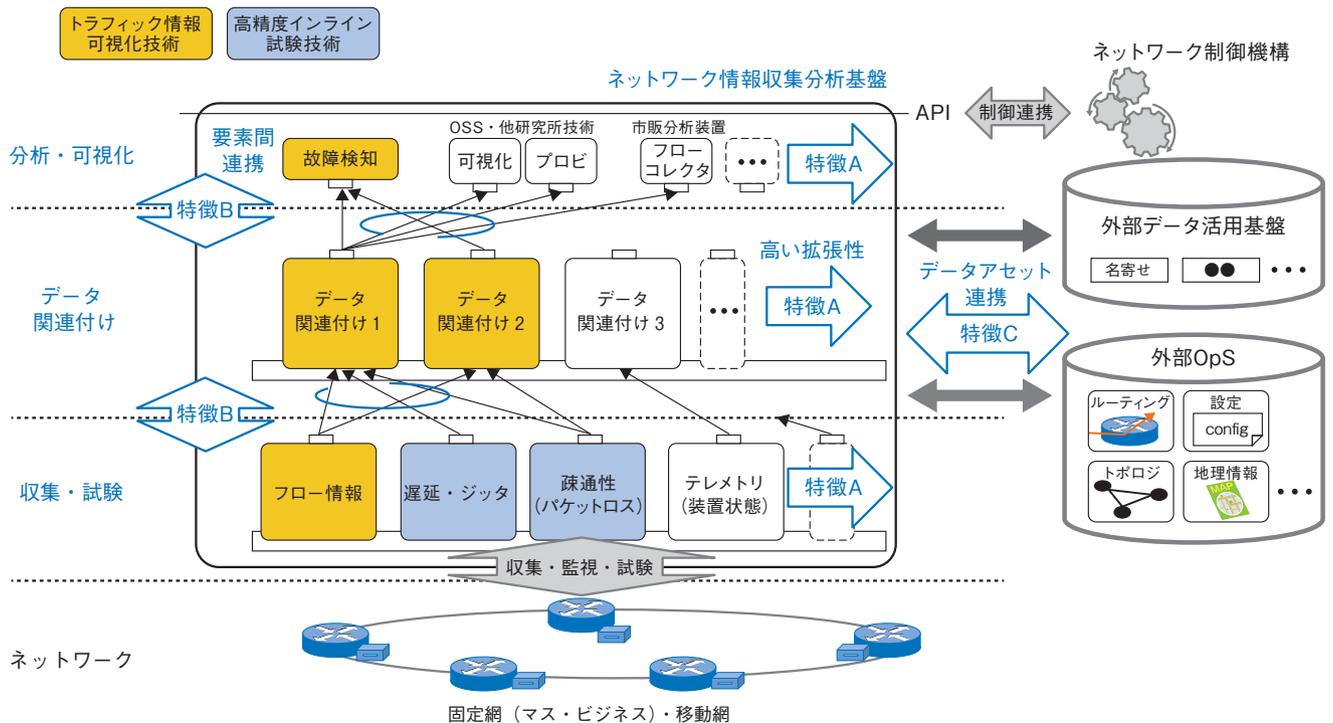


図2 ネットワーク情報収集分析基盤技術概要

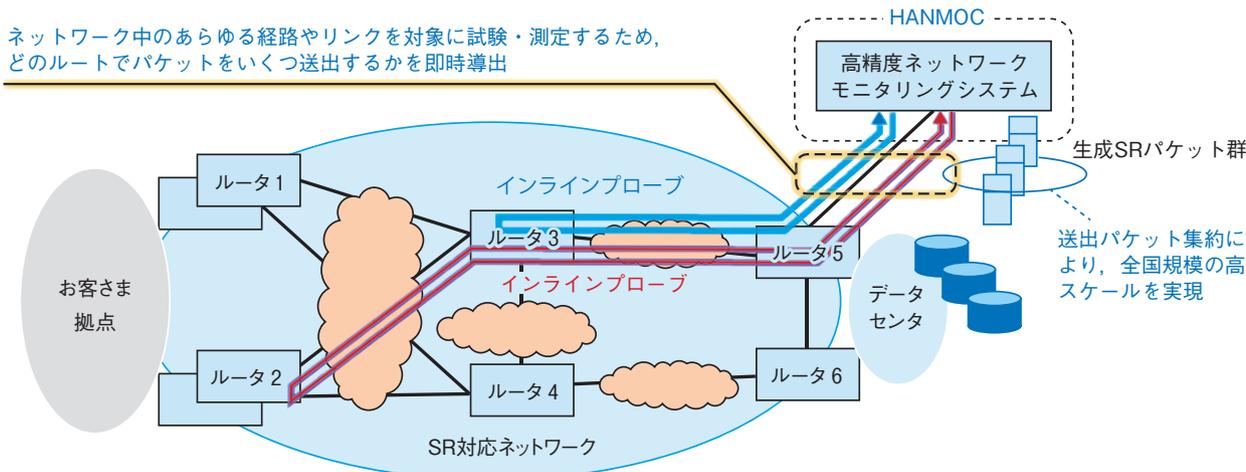


図3 高精度インライン試験技術概要

■遅延情報・導通性

5G（第5世代移動通信システム）で規定されているサービスの遅延量は多くがミリ秒オーダーであり、APNにおいては、より厳しいマイクロ秒オーダーの遅延要件が想定されます。そのため、遅延測定において一層高い精度が求められます。また、キャリア網の品質管理を行ううえでは、全国規模を対象とした測定ができる必要もあります。

これらの課題を解消するため、私たちは高精度インライン試験技術を研究開発しています。本試験技術では、SR（Segment Routing）技術を活用し測定用パケットを生成、測定経路を即時導出して生成したパケットを送出することでネットワーク中のあらゆる経路に対し、瞬時に遅延や導通性を測定することが可能です。DPDK（Data Plane Development Kit）を利用することで従来よりもさらに精度の高いマイクロ秒精度（分解能としてはナノ秒精度）も実現します。加え

て、一般的な遅延等の測定方法の1つであるプローブ対地測定のように測定用機器をネットワーク内の多数個所に設置することなく、ネットワークの単一個所に接続するだけで全国規模の測定を実現します（図3）。

本試験技術における所望の経路に対する測定が可能という特徴を利用し、例えば、ユーザ通信が不通になっていないかといったVPNのサービス正常性監視などへの活用が可能です。

■フロー統計情報

IOWN APNはもとより、昨今のキャリア網では、帯域要求が異なるユーザ通信を多数重畳しています。そのため、網内でユーザ通信を要求どおり転送できているか確認することは、網運用上ますます重要となっています。

そこで私たちは、転送パケット制御基盤・トラフィック情報可視化技術のコア技術であるFast xFlow Proxy<sup>(2)</sup>という技術を研究開発してきました。本技術では、ルータからヘッダサンブ

ルやパケットを収集し、プロトコル解析やグルーピング、ヘッダ除去やトラフィック集計を行います。その結果を、フロー統計情報として市中の分析技術の入力とすることで、さまざまなフロー分析が可能となります（図4）。なお、これら処理をFPGA（Field Programmable Gate Array）やDPDKを用いて高速化している点が、本技術の特徴です。具体的には、ハードウェアとソフトウェアでの適材適所な機能配備、ハードウェアからソフトウェアへメタデータを渡す処理連携、スケール性向上のための振り分け機能の具備等により、キャリアレベルの大容量通信の監視を可能としています。

本技術を用いることで、例えばSR-MPLS（Multi-Protocol Label Switching）上でVPNをユーザに提供する網で、ユーザ通信の帯域や実際に経由した経路の監視が可能となります。また、あるユーザ通信のトラフィックの現在・過去の値の比較、ユーザ間

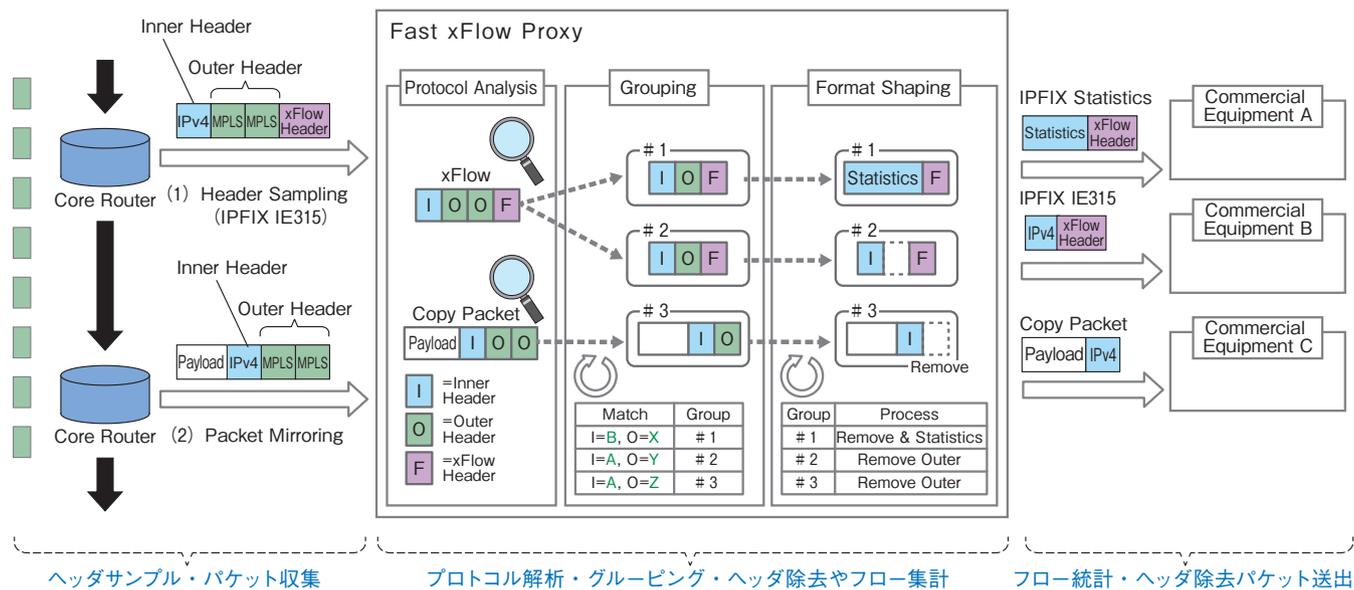


図4 トラフィック情報可視化技術におけるフロー統計収集機能 (Fast xFlow Proxy) の概要

トラフィックの比較分析を通じ、通信不可事象が発生した際に原因がユーザ・キャリア網のどちらにあるか切り分ける応用も可能となります。

### ネットワーク制御基盤技術

APNの実用化に向けてネットワーク情報収集分析基盤と連携して、ネットワークを効果的に制御するネットワーク制御基盤技術に関する研究開発を行っています。本技術では主に加入者収容を担うネットワーク装置（収容装置）の①仮想化によりリソースを集約管理（リソースプール化）し、全体を俯瞰した収容制御による加入者高収容化、②大規模な障害時の迅速なサービス復旧、③多様なネットワーク装置への制御の容易化の3点に取り組んできました。

### ■リソースプール化による加入者高収容化

これまで加入者管理システムや装置のリソース管理システムから収容装置まで固定した収容識別情報（装置やインタフェース）を一貫して利用することで、非常に多くのユーザを誤りなく収容していました。一方で、広い地域に展開している加入者を効率的に収容することが困難で、高価な収容装置の利用効率が低水準であることが課題となっていました。ネットワーク制御基盤では各収容装置のリソースをプール化して一元的な管理を行います。加入者管理システム等ではリソースプール内の仮想的な収容識別情報を用いますが、本基盤が効率的に収容できる位置を決定、物理的な収容識別情報への変換を担うことで広範囲のユーザを効率的に収容することを可能としました。

### ■迅速なサービス復旧

従来のサービス提供においては収容装置が冗長構成をとれなかったり、冗長系の配置に物理的な距離の制約があったりするなどして、ビル罹災などの大規模な障害時にはサービス提供が停止することが課題となるものがありました。本技術ではネットワークの運用情報などから大規模罹災時には引き続きサービス提供が可能なリソースプール内の別リソースへの収容替え制御により迅速なサービス再開を可能としました。

### ■多様な装置への制御の容易化

機種ごとに収容装置のインタフェースの実装状況やコンフィギュレーションが異なることから、これまでは個々の機種への対応が必要であり、マルチベンダでの加入者収容が困難であることが課題となっていました。本技術では

各装置への設定を行うコンフィグレーションをプラグインモジュール化することや仮想的な収容識別情報と物理的な収容識別情報の変換ロジックを柔軟化することで多様な装置への制御の容易化を実現しました。

### 制御対象の拡張・制御技術の高度化

前述のネットワーク制御基盤技術の対象拡張・高度化を目的に、以下の制御技術に取り組んでいます。

#### ■ネットワーク情報・制御連携技術

ネットワーク制御は突発的なネットワーク障害等に対して迅速かつ適切な対処が求められます。そこで、私たちは、ネットワーク情報収集分析基盤と連携し、リアルタイム情報を用いたネットワーク制御の自動化検討を行っています。例えば、品質劣化を抑えるようトラフィックを最適パスに配置する場合、その経路計算時間の短縮に加え、制御対象外の通信への影響も考慮する必要があります。そこで、アプリケーション単位でのネットワーク利用率の最適化に加え、経路変動による通信影響を最小化するロジックを実装しました。このようなトラフィックエンジニアリングだけでなく、特定トラフィックに対する能動的な対処も検討しています。本技術により、運用コストを抜本的に改善する情報収集・分析からネットワーク制御の自動化をめざします。

#### ■ネットワーク間接続制御技術

ネットワーク制御対象の拡張を目的

とし、異なるネットワーク間を相互接続する技術にも取り組んでいます。現状のネットワークは固定・モバイル、マス系・ビジネス系と個々に独立しており、ユーザの用途に合わせ、柔軟に組み合わせたネットワーク提供が困難です。異なるネットワークをまたがるリソース情報を管理することで、低遅延経路などの最適なネットワーク間の相互接続点位置を決定します。またユーザごとの閉域性を考慮した接続点制御を行うことで、ネットワーク間相互接続のセキュアかつワンストップ提供をめざします。

#### ■ホワイトボックス制御技術

ホワイトボックススイッチに対応したネットワーク構築自動化やネットワーク試験機能を拡張する技術検討も実施しています。トポロジ情報や払い出し可能なリソース状態の管理により、ユーザごとのVPNの構築を自動化します。さらにネットワーク内の任意個所に情報収集分析基盤のエージェントを配備させる機能により、ネットワーク試験や情報収集の拡張に取り組んでいます。

### 今後の展望

ネットワーク情報収集分析基盤機能については現在、ルータやスイッチから構成される転送系ネットワークを対象とした遅延・導通性やフロー情報を含めたトラフィック情報の収集分析機能について実用化を進めているところですが、今後に向けては、伝送系ネットワークにおける光遅延情報の収集を通じた遅延マネージド伝送システムへ

の要素技術適用や、同じく伝送系ネットワークから収集した各種PM (Performance Monitoring) 情報と転送系ネットワークから収集した情報の関連付けによる光レイヤ・サービスレイヤの統合可視化等の技術確立による運用高度化を考えています。

またネットワーク制御基盤技術においても今後、遅延マネージド伝送システムとの連携など光レイヤの制御技術の拡充を図り、IOWN実現への貢献をめざしています。

#### ■参考文献

- (1) [https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-System\\_and\\_Technology\\_Outlook\\_1.0-1.pdf](https://iowngf.org/wp-content/uploads/formidable/21/IOWN-GF-RD-System_and_Technology_Outlook_1.0-1.pdf)
- (2) S. Kamamura, Y. Hayashi, Y. Miyoshi, T. Nishioka, C. Morioka, and H. Ohnishi: "Fast xFlow Proxy: Exploring and Visualizing Deep Inside of Carrier Traffic," IEICE Trans. Commun., Vol. E105.B, No. 5, pp. 512-521, 2022.



(左から) 林 裕平 / 木原 拓 /  
須藤 篤史 / 武井 勇樹 /  
渡辺 裕太

APNを通じたサービス提供へ向け、トランスポートネットワークにおける新たな収集分析・制御技術の確立を達成し、ネットワークのさらなる運用高度化へ貢献していきます。

#### ◆問い合わせ先

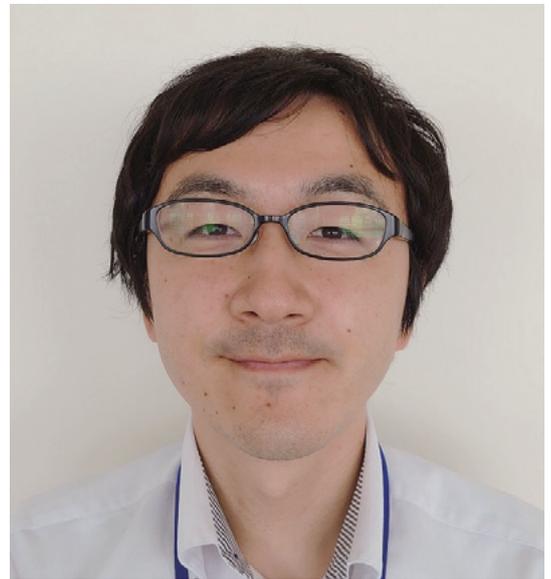
NTT ネットワークイノベーションセンター  
光トランスポートシステムプロジェクト  
TEL 0422-59-3506  
E-mail ntop-manager-p-mi@hco.ntt.co.jp

## 主役登場

### 社会を変える通信基盤を めざして

## 伊達 拓紀

NTT ネットワークイノベーションセンタ  
主任研究員



私が情報通信技術の研究者となることを選んだのは、人・モノをつなぐ情報通信技術がこれからの社会にはなくてはならないものであり、その重要性はますます増えていくだろうと考え、その発展に携わり、社会に貢献したいと思ったからです。あれから10年以上経った今、人・モノが通信するデータ量（通信トラフィック）は莫大に増え、社会におけるその重要性はその通信トラフィック以上に大きく増しているといっても過言ではないと思います。

今、私が研究開発に携わっている光伝送ネットワークは、大容量・長距離の安定した通信を実現し、基盤としてさまざまな通信サービスを支える情報通信の根幹ともいえる存在です。デジタルトランスフォーメーション（DX）、IoT（Internet of Things）の進展、5G（第5世代移動通信システム）の普及、ますます進むリモート化によって、今後も莫大に増え続ける通信トラフィックに対応するために、この光伝送ネットワークがより大容量の通信を行えるようにしていく必要があります。一方で、大容量化していただくだけではなく、同時にその構築、保守の運用を行いやすいように高度化していくことも同じくらい重要であると考えています。

私は、NTTグループ会社において、光伝送ネットワークを構成する新しい光伝送システムの導入、構築・保守の運用支援に数年間携わりました。このときに、多くの構築・保守のスペシャリストが光伝送ネットワークを支えていることを実感しました。同時に、このスペシャリストの方々を力をもっと活かせるような技術を取り入れていければ、

より迅速に構築し、より安定した通信基盤を実現できるのではないかと感じました。これまでも蓄積されてきている運用の知識・ノウハウが光伝送システムそれ自体にも蓄積され、より活用しやすくすることがまた新たな知識・ノウハウにつながっていくような環境が実現できれば、通信基盤のあり方に変化をもたらせるかもしれない、この実現に貢献する技術に取り組みたいと考えるようになりました。

大容量のトラフィックを運ぶ光伝送ネットワークは、どうしても故障時の影響が大きくなることから、早期の故障復旧を実現し、安定した通信基盤が実現できるよう、まず保守の高度化に着目しています。きめ細かく収集した監視データの蓄積と解析、データの変動パターンと保守対応方法・結果を紐付けたフィードバックの活用による解析精度向上から、故障の予兆段階から部位を特定可能とすることで、故障発生時の即時交換、さらには事前対応による故障自体の回避を実現することめざして研究開発に取り組んでいます。

光伝送システムの運用高度化の実現には、研究開発の段階から光伝送システムを実際に扱うメンバと密に連携することが重要であると考えています。また当然、光伝送システムのつくり、システムを構成するさまざまな革新デバイスへの理解も不可欠であり、各デバイスの研究開発に取り組むメンバとの連携も重要です。これからも、光伝送ネットワークに携わる多くの方々と協力し、通信基盤を支えるだけでなく、少しでも新しい変化をもたらし、より良い社会につながっていけるよう研究開発に尽力していきます。

特集

# 3GPP Release 17 標準化活動

5G(第5世代移動通信システム)による商用サービスが世界各国で広まっており、日本国内においても2020年3月の商用サービス開始以降、エリアの拡大、ミリ波帯の活用、スタンドアローン(SA)方式の提供開始など5Gネットワークの展開が進められている。本特集では、NTTドコモの3GPP(3rd Generation Partnership Project) Release 17標準化活動について紹介する。

3GPP

5G

Release 17

コアネットワーク

無線

## 3rd Generation Partnership

## 5Gおよび5G-Advanced標準化動向 26

5Gおよび5G-Advancedの標準化動向として、Release 17までの5G標準化の主な内容、5G-Advancedの位置付けや3GPP Release 18検討項目、および仕様化項目について紹介する。

## 3GPP Release 17における5Gコアネットワークの高度化技術概要 ——システムアーキテクチャ 31

Release 17で拡張された技術分野の概要について、エッジコンピューティング、ネットワークスライシング、ネットワーク自動化、NPN (Non-Public Network) に焦点を当てて紹介する。

## 3GPP Release 17における5Gコアネットワークの高度化技術概要 ——コアネットワークと端末 35

Release 17で行われた機能拡張のうち、PLMN (Public Land Mobile Networks) 選択、SOR (Steering Of Roaming)、UDR (User Data Repository) 関連プロファイルの復旧手順についてを中心に紹介する。

## 3GPP Release 17における5G無線の高度化技術概要 39

Release 17で仕様化された主な拡張技術として、モバイルブロードバンド向け高度化技術、および産業創出・ソリューション協創向け高度化技術について紹介する。

# Project Release 17

# 5G および5G-Advanced 標準化動向

5Gによる商用サービスが世界各国で広まっており、日本国内においても2020年3月の商用サービス開始以降、エリアの拡大、ミリ波帯の活用、スタンドアローン（SA）方式の提供開始など5Gネットワークの展開が進められています。3GPPでは5Gのさらなる進化に向け、Release 17仕様を2022年6月に完成させ、現在、Release 18以降の仕様を5G-Advancedとして検討開始しています。本稿では3GPPにおける5Gおよび5G-Advancedの標準化動向を概説します。

はらだ ひろき ながた さとし  
原田 浩樹 永田 聡  
みのくち あつし たけだ しんじ  
巳之口 淳 竹田 真二

ウメシュ アニール

NTTドコモ

## はじめに

移動通信の技術は約10年ごとに新世代の方式へと進化・発展しており、近年では2018年に仕様化が完了した3GPP (3rd Generation Partnership Project) Release 15 (Rel-15) が第5世代移動通信システム (5G) として世界各国で商用化されています。日本でもNTTドコモは2020年3月に5G商用サービスを開始し、5Gの高速・大容量、低遅延・高信頼、多数端末同時接続といった技術的特長によって、4Gまでのモバイルブロードバンドサービスをさらに高度化させることに加え、これからの産業や社会を支える基盤技術として新たな価値を提供することをめざしています。

一方で、5Gの商用化が始まろうとしていたころから、次の世代である第6世代移動通信システム (6G) についての検討プロジェクトが世界各国で

立ち上がり、6G関連のホワイトペーパーも国内外の研究機関や主要ベンダが続々と発表するようになってきています。NTTドコモも2020年1月に「ドコモ6Gホワイトペーパー」の初版を公開し、現在4.0版まで更新を行っています<sup>(1)</sup>。6Gは2030年ごろの商用化をめざして検討が行われています。6Gおよび6Gにつながる5Gの進化により、モバイルマルチメディアに続く新たなマーケットへの価値提供の波がもたらされることが期待されています。3GPPでは、Rel-15の仕様策定後、その発展としてRel-16およびRel-17仕様にて5Gの機能拡張や性能改善を行ってきており、またRel-18以降を「5G-Advanced」と定義し、2022年からRel-18仕様策定作業を開始しました。

本稿では、5Gおよび5G-Advancedの標準化動向として、Rel-17までの5G標準化の主な内容、5G-Advancedの位置付けや3GPP Rel-18検討項目および仕様化項目について概説します。

## 5G および5G-Advanced 標準化動向

### ■ Rel-17までの5G 標準化概要

5Gの最初の仕様であるRel-15では、モバイルブロードバンドの高度化 (eMBB: enhanced Mobile Broad Band)<sup>\*1</sup>に重点を置き、新たな無線アクセス技術 (NR: New Radio)<sup>\*2</sup>の標準仕様およびLTEの高度化技術の標準仕様が2018年6月に策定されました。Rel-16の仕様策定では、モバイルブロードバンドのさらなる高度化技術に加えて、高信頼・低遅延通信 (URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communication)<sup>\*3</sup>向けの高度化技術や、産業分野でのIoT

- \*1 モバイルブロードバンドの高度化 (eMBB): 高速大容量を必要とする移動体通信の総称。
- \*2 5G NR: 5G向けに策定された無線方式規格。4Gと比較して高い周波数帯 (例えば、3.6 GHz帯、4.5 GHz帯や28 GHz帯) などを活用した通信の高速化や、高度化されたIoTの実現を目的とした低遅延・高信頼な通信が可能。
- \*3 高信頼・低遅延通信 (URLLC): 低遅延かつ、高信頼性を必要とする通信の総称。

\* 本特集は「NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル」(Vol.30, No.3, 2022年10月) に掲載された内容を編集したものです。

(Internet of Things) を促進する IIoT (Industrial IoT) \*4 といった新規事業を創出するための拡張技術が、2020年6月に規定されました。

Rel-17では、Rel-15およびRel-16において導入された機能に対する拡張が行われたほか、新規シナリオ・ユースケースに対応するため、52.6 GHzまでから71 GHzまでへの5G利用可能周波数帯の拡張、さらなるエリア拡大に向け衛星を活用した非地上ネットワーク (NTN: Non-Terrestrial Network) \*5 のサポート、ウェアラブル端末や工場用センサデバイス、監視カメラ向けの低コストNR端末カテゴリ (RedCap: Reduced Capability) の追加、大規模障害が発生したネットワークの端末を救済するための災害時ローミングのサポート、ドローンの識別や認証認可を支える仕組みの検討などが行われ、2022年6月に仕様策定が完了しました。Rel-17における5Gの高度化の概要については、本特集記事にて紹介します<sup>(2)~(4)</sup>。

## ■5G-Advancedの位置付け

3GPP は、2021年4月のPCG (Project Co-ordination Group) \*6 #46会合において、Rel-18以降を5G-Advancedと定義することを決定しました。これまでもRel-8以降をLTE、Rel-10以降をLTE-Advanced、Rel-13以降をLTE-Advanced Pro、Rel-15以降を5Gと定義しており、新たな機能やサービスが提供されるリリース群を過去のリリース群と区別するためにこれらの名称が用いられてきました。5G-Advancedは2020年代後半を商用ターゲットとしており、2030年ごろをターゲットとした6Gへのス

テップになります。2010年代および2020年代の3GPP標準化タイムラインを図1に示します。5G-Advancedの最初のリリースであるRel-18は、2021年12月に検討・仕様化項目が合意され、仕様化が始まりました。仕様化完了予定は2023年12月です。図の6G関連のスケジュールは2030年ごろの商用化というターゲットから逆算した予想であり、今後の3GPP Releaseのスケジュールや6Gとの対応関係も現時点では未定ですが、5G-Advancedの標準化は6G仕様ができる直前のRel-18~20となると考えられます。

5G-Advancedについて今後どのような検討・仕様化を行っていくかは3GPPでの議論次第ですが、5G仕様ができる直前のRel-12~14を振り返ると、そこで検討・仕様化された項目には主に以下の3点の役割がありました。

### (1) 商用サービス中の現行世代の移動通信システムの改善

現行世代の移動通信システムが商用開始されて数年が経ったタイミングで、運用上見えてきた課題への対処や性能改善を標準化上検討・仕様化し、早期に商用の現行世代システムをアッ

グレードすることは、運用上の課題解決に加え、前世代システムから現行世代システムへの移行のさらなる促進にもつながります。具体的には、4GにおいてはRel-12で仕様化された下りリンク256QAM (Quadrature Amplitude Modulation) \*7 のサポートやTDD (Time Division Duplex) \*8 キャリアとFDD (Frequency Division Duplex) \*9 キャリアのCA (Carrier Aggregation) \*10 のサポートなどが挙げられ、これらの機能が商用導入されたことにより、4Gのピークスループットが向上し、3Gから4Gへの世代移行にもつながりました。

### (2) IoTなどの新サービス領域への対応

Rel-12~14において検討・仕様化された技術の中でも特に注目を集めたものとして、IoTやLPWA (Low Power Wide Area) \*11 向け仕様であるLTE-MTC (Machine Type Communication) \*12 やNB (Narrow Band) -IoT \*13 があります。これらの技術はIoT時代の到来に対してタイムリーに仕様策定・商用化されたことでIoT市場の拡大を促進し、今日においてもさらなる市場の成長が期待されて

\*4 IIoT: 工場などにおける産業用機器への通信の総称。

\*5 非地上ネットワーク (NTN): 衛星やHAPSなどの非陸上系媒体を利用して、通信エリアが地上に限定されず、空・海・宇宙などのあらゆる場所に通信エリアが拡張されたネットワーク。

\*6 PCG: 3GPPの最高意思決定機関。3GPP活動全体の計画や進捗管理などを行います。

\*7 256QAM: 変調方式の種類。256QAMは振幅と位相が異なる256通りの信号点に情報ビットを変調。1回の変調で8ビットの情報を伝送することができます。

\*8 TDD: 上りリンクと下りリンクで同じ周波数を用い、時間スロットで分割して信号伝送を行う方式。

\*9 FDD: 上りリンクと下りリンクで、異なる周波数を用いて信号伝送を行う方式。

\*10 CA: 複数のコンポーネントキャリアを用いて同時に送受信することで広帯域化を実現する技術。

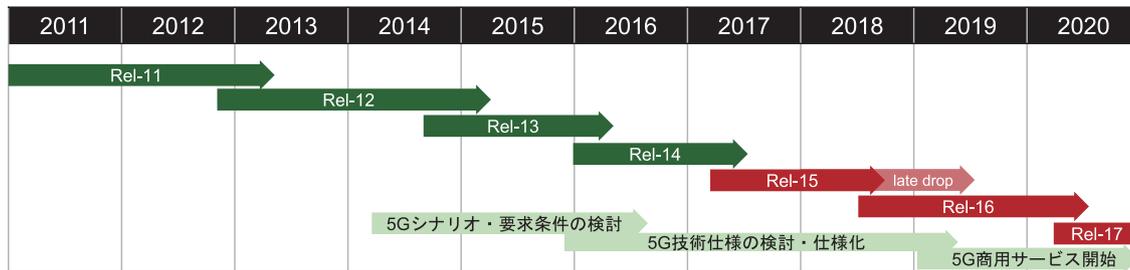
\*11 LPWA: 低消費電力でキロメートルレベルの広い領域を通信範囲にできる無線通信技術。

\*12 LTE-MTC: 通常のLTEの帯域の一部を用いてIoT向けにデータ通信を行う、LTE通信仕様の1つ。

\*13 NB-IoT: LTE-MTCよりもさらに狭い周波数帯を用いてIoT (センサなど) 向けにより低速なデータ通信を行います、LTE通信仕様の1つ。

4G→

5G



5G→

6G

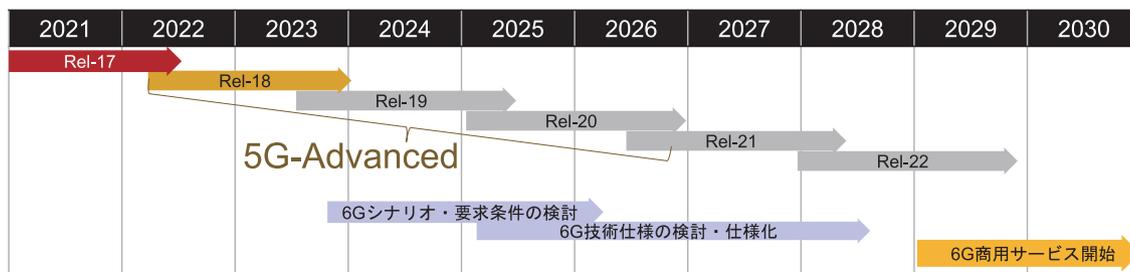


図1 2010年代および2020年代の3GPP標準化タイムライン

います。また、同リリースで検討・仕様化された端末間通信技術に基づく公共安全無線PS (Public Safety)-LTE<sup>\*14</sup>や車通信LTE-V2X (Vehicle to X)<sup>\*15</sup>なども新たなサービス領域として導入され、今後も市場の広がりが期待されます。

(3) 次世代移動通信システムを見据えた新規技術の検討・仕様化

Rel-12~14では、商用の4Gネットワーク向けには広く導入はされなかったものの、その次世代の移動通信システムである5Gにおける基本的な機能へとつながった新機能が複数検討・仕様化されました。具体的には、2つの基地局に同時に接続するDual connectivity、3次元空間におけるビームフォーミング<sup>\*16</sup>を考慮したFull-Dimension MIMO (Multiple Input Multiple Output)<sup>\*17</sup>、低遅延化のためサブフレーム<sup>\*18</sup>より短い単位でデータ送信を行うShort TTI

(Transmission Time Interval)、基地局からの動的な送信指示を使わずに上りリンク送信を行うAutonomous uplink、などが挙げられます。

■ Rel-18検討項目および仕様化項目

3GPPは、2021年6月にTSG RAN (Technical Specification Group Radio Access Network)<sup>\*19</sup>でのRel-18 workshopを、2021年9月にTSG SA (Service and System Aspects)<sup>\*20</sup>でのRel-18 workshop

を開催しました。また、各社からの提案に基づきRel-18検討・仕様化項目に関する議論をworkshop後にも継続的に行い、2021年12月および2022年3月にRel-18検討・仕様化項目を決定しました。Rel-18の標準化スケジュールは文献(5)に、Rel-18の全検討項目および仕様化項目は文献(6)にまとめられています。Rel-18の検討項目および仕様化項目は、モバイルブロードバンドの進化とさまざまな業界への

\*14 PS-LTE：警察や消防など公共安全のためにLTEを使って展開されるネットワークやサービスの総称。

\*15 LTE-V2X：車車間の直接通信 (V2V：Vehicle to Vehicle)、車と路側機 (道路脇に設置されている無線通信設備) 間の直接通信 (V2I：Vehicle to Infrastructure)、車両と歩行者間の直接通信 (V2P：Vehicle to Pedestrian)、LTE網を経由して通信する広域通信 (基地局経由通信、V2N：Vehicle to Network) などの総称。

\*16 ビームフォーミング：複数のアンテナそれぞれの振幅および位相の制御によってアンテナ全体に対して指向性パターンを形成し、特定方向に対するアンテナ利得を増加・減少させる技術。

\*17 Full-Dimension MIMO：複数の送受信アンテナを用いて信号伝送を行うMIMO伝送法において水平方向と垂直方向の両方で複数のアンテナ素子を用い、3次元的に空間を活用する方法。

\*18 サブフレーム：時間領域の無線リソースの単位であり、複数のOFDMシンボル (LTEでは14 OFDMシンボル) から構成。

\*19 TSG RAN：3GPPにおいて、技術仕様の策定を担うグループの1つ。無線インタフェース仕様や無線アクセスネットワークインタフェース仕様などを策定。

\*20 TSG SA：3GPPにおいて、技術仕様の策定を担うグループの1つ。サービス要求条件、アーキテクチャ、セキュリティに関する仕様などを策定。

5G展開、短期的なニーズと中長期的なニーズ、デバイスの進化とネットワークの進化のそれぞれの観点でバランスのとれた内容となっています。数多くの検討項目および仕様化項目の中から、前述した5G-Advancedの位置付けや5G-Advancedへの期待を踏まえ、いくつかの項目を紹介します。

#### (1) 上りリンク通信の性能改善

5Gの商用導入後、ピーク通信速度や実効速度が4Gと比較して向上していますが、主に下りリンク通信での速度向上となっていることが多く、上りリンク通信の実効速度は4Gとあまり変わらず数十Mbit/s程度であることが多々あります。一般に下りリンクのトラフィックは上りリンクのトラフィックよりも多く、また下りリンク、すなわち基地局の送信電力は、上りリンク、すなわち携帯端末の送信電力よりも大きくなります。このため、下りリンクと上りリンクの通信速度や通信品質に差があるのは、無線リソースの効率的な割当ての観点や送信電力の差の観点では必然ともいえます。

一方で5Gのユースケースにおいては、リアルタイムのストリーミング配信やセンサ端末からの情報収集、ホームルータのように固定回線の代替として5G利用をする場合の上りリンク通信など、複数のユースケースで上りリンクの性能向上が求められています。

このような背景からRel-18では多くの会社から上りリンク通信の性能改善を検討・仕様化することが提案され、いくつかの項目が合意されました。具体的には、ホームルータや車載端末、工業用デバイスなどを想定した複数アンテナパネルでの同時送信や、4より

多いレイヤ数のMIMO送信のサポート、複数の上りリンク用キャリアの動的な切替えによる効率的な活用、端末送信電力を向上させるための拡張などが、仕様化に向けて検討されています<sup>(7)~(9)</sup>。

#### (2) NRによるIoTサポート

通信事業者にとって、過去の世代から新しい世代の移动通信システムへスムーズに移行を進めることは非常に重要であり、複数の世代の移动通信システムを維持・運用し続けることは効率的ではありません。このため、5Gが商用導入された後の2020年代に3Gサービスを終了することが多くの事業者から発表されています。また5Gは、4Gからのスムーズな移行のためLTEとNRを併用するNSA (Non-StandAlone)<sup>\*21</sup>方式で導入されるケースが多く、NRのみを用いるSA方式への置換えが進んでおり、6Gが導入される2030年ごろには4Gサービスの終了が検討されると考えられます。

一方、IoTデバイスは低コスト、低消費電力で長期間運用されることが求められるため、新しい世代の移动通信システムへの置換えが進みにくく、過去の世代の移动通信システムが長く使用され続ける課題があります。例えば、2010年代後半に導入されたIoTデバイスは使用可能年数が10年程度であり、2020年代後半に置換えが必要となる可能性があります。このときLTEのIoTデバイスを継続するかどうかで状況が異なり、新たにNRのIoTデバイスおよびネットワークを導入せず、LTEのデバイスを継続した場合には2030年代後半まで4Gのサービスを終了できなくなる可能性があります。

このような背景のもと、5GではRel-17において、従来のIoT向けLTE仕様とNR仕様の間あたりをターゲットとして、性能やサポートする機能を抑えることでコストを安くする簡易NR端末 (RedCap) 仕様を規定し、Rel-18では従来のIoT向けLTE仕様の一部を置換え可能となるようなさらなる簡易NR端末 (eRedCap: enhanced RedCap) 仕様の検討・仕様化が提案され、合意されました<sup>(10)</sup>。NRおよびLTEの端末仕様ターゲットを図2に示します。

#### (3) 5GS (5G System)<sup>\*22</sup>によるIndustrial IoTサポート

産業内閉域網での各種制御にかかわる通信をサポートするIndustrial IoTは、5Gの新サービスと考えられています。3GPPでは、Rel-16からサービス提供のために必要となる時刻同期や確定性通信の実現に向けた仕様化を進め、Rel-17で完成しました。

Rel-18では、5GSが提供するIndustrial IoTの性能を一層高めるため、特に、5GS内通信のエンドツーエンドでの低遅延性向上の検討が合意されました<sup>(11)</sup>。具体的には、コアネットワークの制御プレーンと、N3<sup>\*23</sup>に置くTSN (Time Sensitive

\*21 NSA: LTE (eLTE: enhanced LTE) との併用を前提とした5Gの無線アクセスネットワークへの接続形態。

\*22 5GS: コアネットワーク、無線アクセスネットワーク、および通信端末で構成される5Gのネットワークシステム。

\*23 N3: 無線アクセスネットワークとコアネットワークの間でユーザデータを転送する経路。

\*24 TSNトランスポート網: 無線アクセスネットワークとコアネットワークを接続するネットワークのうちTSN機能を具備したものの、あるいは、それぞれのネットワーク内の装置間を接続するネットワークのうちTSN機能を具備したものの。

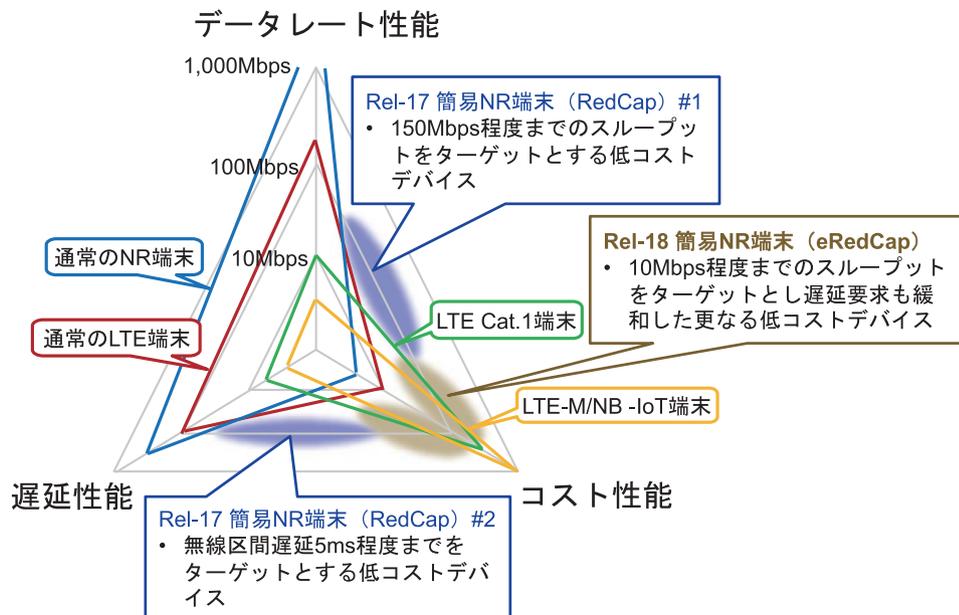


図2 NRおよびLTEの端末仕様ターゲット

Networking) トランスポート網\*24との間のインターワーク、下りリンクパケットRAN伝送スケジュールのRANからアプリケーション機能への通知を検討します。Industrial IoTでは、個々の端末でなく、端末群を制御することとなりますが、Rel-18でこの部分を検討することも合意されました<sup>(12)</sup>。

### おわりに

本稿では、5Gおよび5G-Advancedの標準化動向として、Rel-17までの5G標準化の主な内容、5G-Advancedの位置付けや3GPP Rel-18検討項目および仕様化項目について概説しました。NTTドコモは、3GPPにおける5Gおよび5G-Advanced標準化推進に寄与しており、今後も移動通信のさらなる発展に貢献していきます。

### 参考文献

(1) [https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper\\_6g/](https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/)

DOCOMO\_6G\_White\_PaperJP\_20211108.pdf  
 (2) 原田・熊谷・小原・谷口・下平：“3GPP Release 17における5G無線の高度化技術概要,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.11, pp.39-43, 2022.  
 (3) 巳之口・鈴木・Thakolsri・Guerzoni・Sama・Civelek：“3GPP Release 17における5GCの高度化技術概要——システムアーキテクチャ,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.11, pp.31-34, 2022.  
 (4) 石川・彦坂・西田・Al-Bakri：“3GPP Release 17における5GCの高度化技術概要——コアネットワークと端末,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.11, pp.35-38, 2022.  
 (5) [https://www.3gpp.org/images/PDF/Release\\_timeline\\_march22\\_v3.pdf](https://www.3gpp.org/images/PDF/Release_timeline_march22_v3.pdf)  
 (6) [https://www.3gpp.org/images/PDF/Release\\_18\\_features\\_tsg95\\_v03.pdf](https://www.3gpp.org/images/PDF/Release_18_features_tsg95_v03.pdf)  
 (7) 3GPP RP-213598：“New WID：MIMO Evolution for Downlink and Uplink,” Dec. 2021.  
 (8) 3GPP RP-221435：“Revised WID on Multi-carrier enhancements,” June 2022.  
 (9) 3GPP RP-221858：“Revised WID：Further NR coverage enhancements,” June 2022.  
 (10) 3GPP RP-221161：“Revised SID for Study on further NR RedCap (reduced capability) UE complexity reduction,” June 2022.  
 (11) 3GPP SP-211634：“Study on 5G Timing Resiliency and TSC & URLLC enhancements,” Dec. 2021.  
 (12) 3GPP SP-211603：“Study on generic group management, exposure and communication enhancements,” Dec. 2021.



(上段左から) 原田 浩樹 / 永田 聡 / 巳之口 淳  
 (下段左から) 竹田 真二 / ウメシュ アニール

ドコモは、お客さまにより良いサービスを提供するため、またモバイル通信の未来を切り拓くため、研究開発や標準化活動に取り組んでいきます。

◆問い合わせ先  
 NTTドコモ  
 R&D戦略部  
 E-mail dtj@nttdocomo.com

# 3GPP Release 17における 5GCの高度化技術概要

## ——システムアーキテクチャ

3GPP Release 15 (Rel-15) で策定された5GCのアーキテクチャでは、ネットワーク機能やインタフェースにサービスベースのアーキテクチャ (SBA) の考え方をを用いて、ネットワーク機能のモジュール化、再利用化、自己完結型を実現しました。この基盤機能を充実させ、特に産業分野で必要とされる機能や要素の不足を埋めるため、同アーキテクチャはRel-16およびRel-17でさらに拡張されました。本稿では、Rel-17で拡張された技術分野の概要について、エッジコンピューティング、ネットワークスライシング、ネットワーク自動化、NPN (Non-Public Network) に焦点を当てて解説します。

みのかち あつし すずき ゆうじ  
巳之口 淳 鈴木 悠司

Srisakul Thakolsri Riccardo Guerzoni

Malla Reddy Sama Tugce Erkilic Civelek  
NTTドコモ

### はじめに

5G システム (5GS : 5G System)\*<sup>1</sup> は、5G コアネットワーク (5GC : 5G Core network)\*<sup>2</sup>、5G 無線アクセスネットワークおよび端末 (UE : User Equipment)\*<sup>3</sup> から構成されます。ここで、5GCの基本設計原則はSBA (Service-Based Architecture)\*<sup>4</sup>に基づいており、すべてのネットワーク機能およびインタフェースが自己完結しており、再利用が可能となっています。ネットワーク事業者は、コアネットワークとその機能を、特定のユースケースに合わせてカスタマイズすることができます。

Rel-17では、エッジコンピューティング\*<sup>5</sup>、ネットワークスライシング、ネットワーク自動化、NPN (Non-Public Network) において拡張があり、本稿では、これらの拡張について解説します。

\* 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol.30, No.3, 2022年10月)に掲載された内容を編集したものです。

### エッジコンピューティングのサポート

#### ■ Rel-15におけるサポート

3GPP 5Gシステムアーキテクチャでは、Rel-15以降、エッジコンピューティングをサポートする機能が導入されています。TS23.548では、3GPP SA WG2で規定されたエッジコンピューティングを実現する5Gネットワークアーキテクチャでサポートされる以下の3点の接続モデル<sup>(1)</sup>(図1)の概要が示されています。

- ①分散アンカーポイント
- ②セッションブレイクアウト
- ③複数PDUセッション

#### ■ Rel-17におけるエッジコンピューティングのサポート

- (1) EAS (Edge Application Server) の (再) 発見のサポート

5GCでは、EASの発見および再発見を前述の3つの接続モデルでサポートしています。この機能は、EASのFQDN (Fully Qualified Domain

Name)\*<sup>6</sup>をネットワーク上でUEに近いEASのIPアドレスに変換できるようにすることを意図したものです(図2)。この機能を基礎として、5GCでは以下の追加の機能をサポートすることが3GPP SA WG2で規定されました。

- ① 分散アンカーポイントによるEASの発見

5GCはPDUセッション確立時に、UEの場所に基づいて5GCが選択したDNSリゾルバ・サーバの情

\*1 5Gシステム (5GS) : コアネットワーク、無線アクセスネットワーク、および通信端末で構成される5Gのネットワークシステム。

\*2 5Gコアネットワーク (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。

\*3 UE : ユーザ端末。3GPP仕様向け無線インタフェースを介したネットワークサービスへのユーザアクセスが可能。

\*4 SBA : 5GCで採用されているネットワークアーキテクチャで、ネットワーク機能群ごとにNFを定義し、各NF間は統一したSBI (Service Based Interface) を介して、相互にサービスを利用。

\*5 エッジコンピューティング : システムのよりエッジ (末端) にデータ処理や保管の機能を分散配置することで、通信量や遅延、より上位ノードの演算負荷などを抑える手法。

\*6 FQDN : DNSのツリー階層内の正確な場所を指定。すべてのドメインレベルを指定。

報をUEに設定します。それに基づき、EASの発見手順が実行されます。

② セッションブレイクアウトによるEASの発見

以下に基づいてEASの発見を行います。

- ・動的セッション分岐：EASDF (EAS Discovery Function)\*7 のサポートにより、セッションブレイクアウト (ULCL/BP: Uplink Classifier/Branching Point) を動的に確立する。
- ・事前確立セッションブレイクアウト：事前に設定されたDNSリゾルバ・サーバを用いてEASを発見し、静的にセッションブレイクアウトを確立する。

③ 複数PDUセッションによるEASの発見

URSP (UE Route Selection Policy) ルールを用いてEASの発見が行われます。URSPルールは5GC制御プレーンによってUEに設定され、UEのアプリケーショントラフィックを適切なPDUセッションにマッピングします。

(2) エッジの移転のサポート

TS23.548では、エッジの移転、つまりEASの変更および、またはPSA UPFの移転をサポートするさまざまな手順について説明しています。具体例を以下に挙げます。

- ・パケットロス低減のためのパケットバッファリング
- ・AF (Application Function)\*8 の変更を伴うエッジの移転
- ・EAS IPの置換えを用いたエッジの移転
- ・ソースおよびターゲットPSAの同時接続に関するAF要求
- ・ユーザプレーン\*9 遅延要件を考慮したエッジの移転
- ・AFによって起動されるエッジの

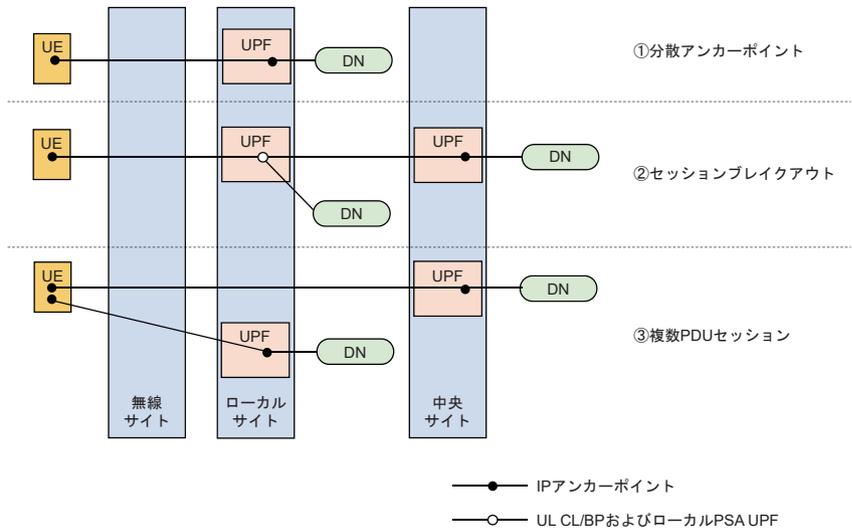


図1 接続モデル

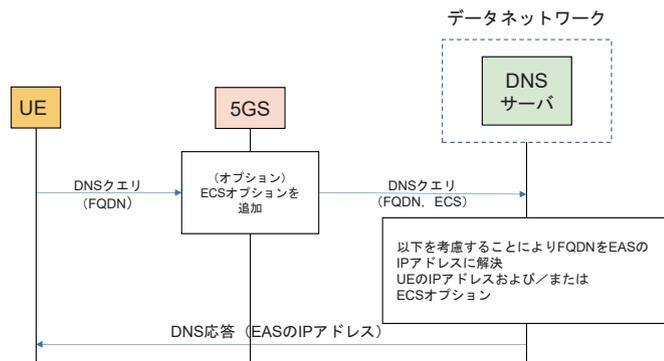


図2 5GS Rel-17でサポートされたEASの発見

移転

■エッジアプリケーションを実現するためのアプリケーションレイヤーアーキテクチャ

3GPP TS23.558では、エッジアプリケーションをサポートするために、3GPP SA WG6 (SA6) によって標準化されたアプリケーションレイヤーアーキテクチャについて説明しています。

図3は、エッジアプリケーションを実現するためにSA6によって導入されたアーキテクチャの概要を示しています<sup>(2)</sup>。

TS23.558にて、Rel-17の機能として規定されている代表的な手順を紹介します。

(1) サービスプロビジョニング

ECS (Edge Configuration Server) は、EESのアドレス情報などの必要な情報をEEC (Edge Enabler Client) に設定できます。このプロセスは、エンドユーザがエッジコンピューティングサービスを利用できるようにするもので、サービスプロビジョニングと呼ばれます。

(2) 登録

エッジコンピューティングのエンティティ〔例：EAS, EES (Edge

\*7 EASDF: DNSを用いてEASを発見するための機能部。  
 \*8 AF: アプリケーションを提供する、ネットワーク機能。  
 \*9 ユーザプレーン: 通信で送受信される信号のうち、ユーザが送受信するデータの部分。

Enabler Server), ECS, EEC) が相互にやり取りするために、各エンティティに関する情報を他のエンティティに配信するプロセスです。Rel-17では、EES に対する EEC 登録 (EDGE-1 経由)、EES に対する EAS 登録 (EDGE-3 経由)、ECS に対する EES 登録 (EDGE-6 経由) の 3 種類をサポートしています。

### (3) サービスの継続性

UEの移動、EASの過負荷状態、保守によるEASのグレースフルシャットダウン\*<sup>10</sup>などでサービスを継続するための手順を規定しています。

## ネットワークスライシングの拡張

### ■ NSAC

Rel-17 では NSAC (Network Slice Admission Control)\*<sup>11</sup>が導入されました。NSACは、ネットワークスライスが収容するUEの数およびPDUセッションの数が、サービスレベル契約 (SLA: Service Level Agreement)\*<sup>12</sup>に基づいてGST (Generic Slice Template)\*<sup>13</sup>で指定された割当て量を超過しないようにします、一連の制御である。NSACF (NSAC Function) が、監視し制御します。

### ■ ネットワークスライス内のデータレートの制御および制限

Rel-17では新たにUE-Slice-MBR (UE Slice Maximum Bit Rate) が導入され、1UEが特定の1ネットワークスライスに持つすべてのPDUセッションに関し、それらに含まれるGBR (Guaranteed Bit Rate)\*<sup>14</sup>および非GBRの全データフローの合計ビットレートを制御および制限できるようになっています。AMFがUE-Slice-MBRをRAN (Radio Access Network) に提供し、RANがビットレートの制限を実施します。

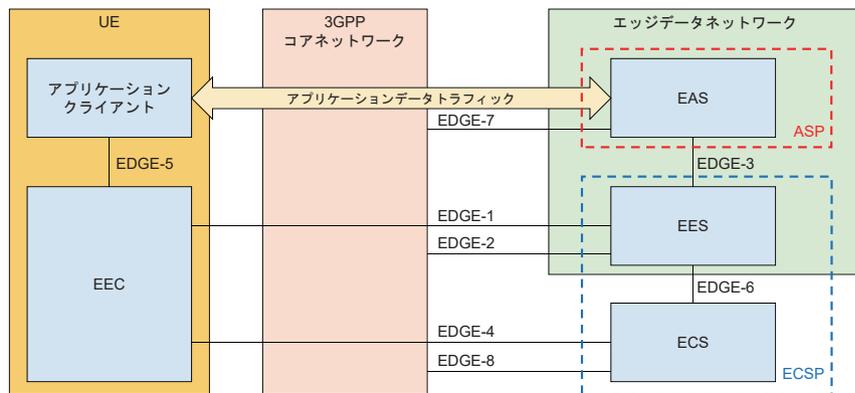


図3 アプリケーションレイヤーアーキテクチャ

さらに、Rel-17では、同じネットワークスライス内でのすべてのUEのデータレートの制御および制限を実行することも可能です。この機能をサポートするため、UDR (User Data Repository)\*<sup>15</sup>はネットワークスライスのすべてのUEに関する最大データレートの情報と、ネットワークスライスごとの残りのデータレートの情報を格納します。そして、PCF (Policy Control Function)\*<sup>16</sup>は、これらの情報を参照し、現在のデータレートがネットワークスライスで許可されている最大値を超えないようにします。

### ■ ネットワークスライスの同時登録に関するアクセス制限

5GCは複数のネットワークスライスの同時利用を制限しなければならない場合があります。この制限をサポートするため、UDM (Unified Data Management) はNSSRG (Network Slice Simultaneous Registration Group)\*<sup>17</sup>情報を加入者情報の一部として自身に格納してそれをAMFに提供し、UEから要求を受け取った場合にAMFが制限を実施できるようにしています。

### ■ ネットワークスライス固有周波数帯に基づく転送

異なるネットワークスライスが異なる周波数帯を使用するよう構成される

場合があります。しかし、Rel-17以前のUEはどのネットワークスライスがどの周波数帯で運用されているか認識しません。そこでRel-17では、AMFがRANにターゲットNSSAI (Network Slice Selection Assistance Information)\*<sup>18</sup>を送り、それが示すネットワークスライスをサポートするセルに、RANがUEを振り向けることができるようにしました。

## ネットワークデータ解析の拡張

### ■ NWDAFの拡張

Rel-17では、NWDAF (NetWork Data Analytics Function) は以下に分けられました。

- \*10 グレースフルシャットダウン: 計画的なシャットダウン。
- \*11 NSAC: オペレータが、ネットワークスライスごとに、登録端末数や、PDUセッション数を監視制御できるようにする、5GS Rel-17以降の機能。
- \*12 サービスレベル契約 (SLA): サービス提供者とサービス消費者との間の契約。
- \*13 GST: ネットワークスライス、あるいは、ネットワークスライスが提供するサービス、の種別を特徴付ける一連の属性。GSMA NG.116が規定。
- \*14 GBR: ビット速度が保証されていること。
- \*15 UDR: 5GCにおけるレポジトリ。
- \*16 PCF: QoS制御、ポリシー制御、課金制御などを担う、5Gコアネットワークのネットワーク機能。
- \*17 NSSRG: 加入者情報の一部として含まれる、同時に使うことのできるネットワークスライスを制約する情報。
- \*18 NSSAI: ネットワークスライスの選択を支援する情報。

- ・ MTLF (Model Training Logical Function) : ML (Machine Learning) モデルを訓練し、訓練済みMLモデルを新しく定義されたサービス (Nnwdaf\_MLModel) を介して AnLF (Analytics Logical Function) に共有します。

- ・ AnLF : 推論を実行し、解析結果を利用するNF、AF、OAM (Operations, Administration, Maintenance) の要求に基づいた統計および予測情報を解析結果として導き出します。

MTLFおよびAnLFは、スタンドアロン機能として別々に実行することも、組み合わせて1つのNWDAFに含めることもできます。

### ■新しい機能セットの導入

図4に示すように、Rel-17では、以下のような新しい機能セットがネットワークデータ解析の枠組みに導入されました。

- ・ DCCF (Data Collection Coordination Function)<sup>\*19</sup> : データConsumerはデータ要求を、データソースに直接送信するのではなく、DCCFに送信します。DCCFは別のデータConsumerがすでに同じデータを要求していないかどうか評価し、すでに要求があり同じデータが利用できる場合、DCCFはそれを直接Consumerに提供します。データが利用できない場合、DCCFはデータソースからデータ収集を開始します。
- ・ メッセージングフレームワーク :

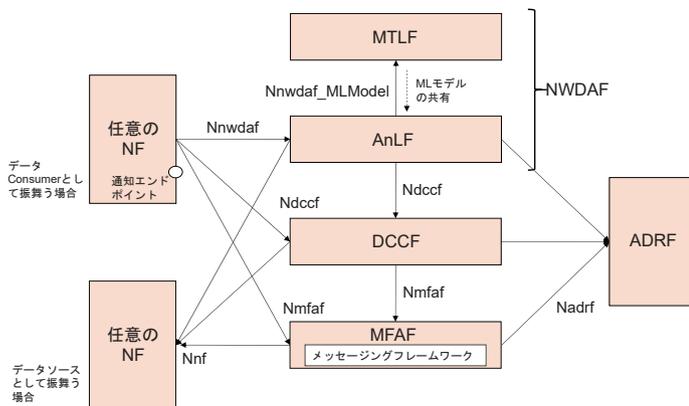


図4 Rel-17の新しく導入されたネットワーク機能とそのサービス名

標準化されていません。3GPPの仕様書では、5GSがメッセージングフレームワークとやり取りできるようにするサービスとして、MFAF (Messaging Framework Adaptor NF)<sup>\*20</sup>について説明しています。

- ・ ADRF (Analytics Data Repository Function) : データConsumerがデータおよび解析結果を、格納および取得できるようにするストレージ機能です。

### ノンパブリックネットワークの拡張

Rel-17では、SNPN (Standalone NPN) の認証方法の2つの点が拡張されました。

- ① SNPNではなく外部の企業体がUEを認証するメカニズムが仕様化されました。
- ② 最初はデフォルトの認証情報を使うことで、SNPNによってUEが適切な認証情報を取得できるようにするメカニズムが仕様化されました。

### おわりに

本稿では、Rel-17で規定された5GCへの拡張について解説し、エッジコンピューティング、ネットワークスライシング、ネットワーク自動化、NPN

について紹介しました。NTTドコモは、今後も3GPPにおける5G-Advanced標準化に寄与し、移動通信のさらなる発展に貢献していきます。

### ■参考文献

- (1) 3GPP TS23.548 V17.3.0 : “5G System Enhancements for Edge Computing : Stage 2,” June 2022.
- (2) 3GPP TS23.558 V17.4.0 : “Architecture for enabling Edge Applications,” June 2022.



(上段左から) 巳之口 淳 / 鈴木 悠司 / Srisakul Thakolsri  
(下段左から) Riccardo Guerzoni / Malla Reddy Sama / Tugce Erkilic Civelek

ドコモは、お客さまに新しい体験を提供するため、また、お客さまのビジネスのデジタル化対応をお支えるため、今後とも研究開発や標準化活動に取り組んでいきます。

### ◆問い合わせ先

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

\*19 DCCF : NWDAFに代わって、データを集める、また、データ収集を調整する、ネットワーク機能。

\*20 MFAF : 5GSがメッセージングフレームワークとNmfaf機能を用いて連携できるようにする、ネットワーク機能。

# 3GPP Release 17における 5GCの高度化技術概要

## ——コアネットワークと端末

3GPPのCTグループは、主にSAグループによって定義されるサービスおよびアーキテクチャの要件に対応するプロトコルの定義を行います。さらに、アーキテクチャの更新や変更の必要がない一部の機能拡張もCTグループが規定します。本稿では、Release 17で行われた機能拡張のうち、PLMN選択、SOR、UDR関連プロファイルの復旧手順、サービスベースのインタフェースなどのプロトコルの拡張の一部など、NTTドコモが注目した拡張に焦点を当てて解説します。

いしかわ

石川

にしだ

西田

NTTドコモ

ひろし

寛

しん

慎

ひこさか

彦坂

まおき

真央樹

Ban Al-Bakri

### はじめに

3GPP (3rd Generation Partnership Project) のCT (Core network and Terminals)\*<sup>1</sup>グループは、3GPPのサービスおよびアーキテクチャの要件に対応するプロトコルの定義を主に担っています。加えて、一部の特定の機能などについては、CTグループがアーキテクチャの要件そのものの定義〔SOR (Steering Of Roaming)\*<sup>2</sup>、PLMN (Public Land Mobile Networks)\*<sup>3</sup>の選択、復旧手順、PWS (Public Warning Systems)\*<sup>4</sup>、番号・アドレス・識別の形態に関するStage2要件定義など〕を担っています。Release 17 (Rel-17) において、CTグループは、主に第5世代移動通信システム(5G)の機能拡張とそのプロトコルの拡張に携わりました。

本稿では、主に3GPP Rel-17で事

\* 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol.30, No.3, 2022年10月)に掲載された内容を編集したものです。

業者の関心事になっている機能を中心に、3GPP CT関連の仕様に導入されたソリューションと拡張について解説します。具体的には、eCPSOR (enhancement of Control Plane SOR)\*<sup>5</sup>、ReP\_UDR (Restoration of Profiles related to User Data Repository)\*<sup>6</sup>、PLMNの選択〔MINT (Minimization of service Interruption)\*<sup>7</sup>、5GSAT (5GC architecture for SATellite networks)\*<sup>8</sup>のサポート〕を紹介します。

### SORの拡張

SORは、HPLMN (Home PLMN)\*<sup>9</sup>がローミング中の契約者に対し、ローミング先地域の複数の事業者(VPLMN: Visited PLMN\*<sup>10</sup>)の中からローミング先として優先したいVPLMNに誘導する機能です<sup>(1)</sup>。本機能は、GSM (Global System for Mobile communications)\*<sup>11</sup>以来使

5Gでは、CP-SOR (Control

Plane SOR)\*<sup>12</sup>と呼ばれるソリュー

- \*1 CT: 3GPPにおいて、コアネットワーク内、および移動端末とコアネットワーク間のプロトコルの仕様化を行っているグループ。
- \*2 SOR: 優先事業者選択機能のことで、複数利用可能なVPLMNの中から、HPLMNの方針により端末を特定のVPLMNへ登録することを促す仕組み。
- \*3 PLMN: 移動通信システムを用いたサービスを提供するオペレータのこと。
- \*4 PWS: 災害などを念頭に、緊急情報を最優先としてリアルタイムに配信するシステムの機能。
- \*5 eCPSOR: 3GPPで仕様化されたSOR (優先事業者選択の制御)の1つで、従来のSMSに代わり制御信号 (Control Plane) を用いて優先事業者を通知する方式 (CP-SOR) の拡張版。
- \*6 ReP\_UDR: 3GPPの検討項目名称で、UDRが保持するデータの信頼度が下がった場合 (DB破損によるデータ破損など) にネットワークサービスの継続性を担保するための復旧手順を規定。
- \*7 MINT: 3GPP Rel-17で規定された、ネットワークが被災した場合のユーザ影響を最小限に抑えるための機能。
- \*8 5GSAT: 3GPP Rel-17で規定された、NR衛星アクセスをサポートするために必要な機能。
- \*9 HPLMN: 加入者が契約している、ホームオペレータ。
- \*10 VPLMN: 加入者がローミングした先のオペレータ (在圏オペレータ) のこと。
- \*11 GSM: デジタル携帯電話で使用される第2世代の移動体通信方式。
- \*12 CP-SOR: 3GPPで仕様化されたSOR (優先事業者選択の制御)の1つで、従来のSMSに代わり制御信号 (Control Plane) を用いて優先事業者を通知する方式。

ションが導入されましたが、本ソリューションでは、制御プレーンを介してSOR-info (SOR information)<sup>\*13</sup>を提供します。SOR-infoにはユーザに優先的に接続させたい事業者が含まれており、SOR-infoを受信したユーザ端末 (UE : User Equipment) は、その事業者を優先して接続します。

このSOR実施の際、UEはIdle状態となる必要がありますが、従来、Connected状態のUEがSOR-infoを受け取ると、Idle状態になるまで待機してから、優先事業者へ接続する場合があります。するとHPLMNは、ローミング時の接続料や加入者プロフィールなどに基づいて最適なVPLMN (主に海外の通信事業者) を決定しているにもかかわらず、長時間SORが実行されないこととなります。

そこでRel-17ではeCPSORが規定され、HPLMNは、SORを実行するために進行中のPDUセッション<sup>\*14</sup>を中断させUEを即座にIdle状態へ遷移させることができるようになりました。なお、単にセッションを中断させIdle状態へ遷移させると、利用中の通信やサービスが切断されるなどユーザ体験が悪くなる可能性があるため、HPLMNが特定の通信の種類 (例えば音声通話) を指定し、UEがその通信を優先させられるようになりました。このCP-SORの機能拡張のために、SOR-CMCI (SOR Connected Mode Control Information)<sup>\*15</sup>と呼ばれる追加の情報をSOR-infoにて送信できるようになりました。

## MINT

MINT (Minimization of service INTerruption) は、地震や津波などによる災害発生時、ネットワークが通信サービスを提供できない場合に、

ユーザへの影響を最小限に抑えるために導入された機能です。なお、MINT機能の実装はオプションとなっています。HPLMNは本機能を利用するかどうかをUEに対して設定可能です。また、この機能の利用には事業者間の協定が前提となります。

MINT機能により、ユーザは許可されているPLMNが利用できない場合に、別のPLMNからの報知情報を当該UEが読み取ることによって、通常はアクセスが禁止されているPLMNに一時的にローミングできます。

UEは災害時ローミング用として以下を満たすPLMNを選択します。

- ・「災害時に使用するPLMNのリスト」に含まれているPLMN
- ・「災害関連報知情報」を報知しているPLMN

「災害時に使用するPLMNのリスト」は、VPLMNまたはHPLMNによってあらかじめUEへ提供されています。

MINTの機能により災害時ローミングを行うと、被災地域の膨大な数のUEがPLMNに同時アクセスする可能性があるため、ネットワークの過負荷を最小限に抑える必要があります。この目的のために、UEには「災害時ローミング待機時間レンジ」と呼ばれるタイマーが事前に設定されています。

被災していたネットワークが復旧し災害時ローミングがなくなった時点で、ネットワークはUEからのアクセスを拒否するか、または位置登録解除 (Deregistration) を実施します。

## NR衛星アクセス

NR (New Radio) 衛星アクセスは、衛星に搭載された基地局と地上のUEが通信する方式であり、Rel-17でサ

ポートされるようになりました。NR衛星アクセスを使用すると、全国または複数の国をカバーする広範なエリアを持つ衛星アクセスセルをつくることができます。また、衛星アクセスに対応したUEが衛星アクセスセルのエリア内にある場合、そのUEは、当該セルをPLMN選択の候補とすることができます。

## PAP/CHAP

PAP (Password Authentication Protocol)<sup>\*16</sup>/CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol)<sup>\*17</sup>は、データネットワークへ接続する際のユーザ認証に用いられるプロトコルです。EPS (Evolved Packet System)<sup>\*18</sup>ではすでにサポートされていますが、5GS (5G System) (Rel-15で規定) では当初、サポートされるか否かは標準仕様上明確ではありませんでした。

しかし、次の理由から、5GSの標準仕様にもPAP/CHAPが明記されることとなりました。

- ・EPSでは企業ネットワークへの接続のためにPAP/CHAPが利用されており〔例：サードパー

\*13 SOR-info : CP-SORを実現する際、UDMからUE宛に送信するSORに用いる情報。優先事業者リストや正常な受信の検証を促す情報などが含まれます。

\*14 PDUセッション : データのやり取りを行うための仮想的な通信路。

\*15 SOR-CMCI : HPLMNがUEに対しSORを実行するためにどのタイミングでConnected状態 (通信中状態) からIdle状態 (非通信状態) に移行するかを制御するための情報。

\*16 PAP : ユーザ認証を行うためのプロトコルの一種。インターネットプロバイダなどで広く用いられています。

\*17 CHAP : ユーザ認証を行うためのプロトコルの一種。認証情報の暗号化により認証時のセキュリティを高めています。

\*18 EPS : LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された、IPベースのパケットネットワークの総称。

ティーが所有するDN-AAA (Data Network Authentication, Authorization and Accounting) \*19サーバでのPAP/CHAP認証のサポート)、EPSから5GSへのマイグレーションの際にも継続利用できるため、5GSネットワークの展開時、特にスタンドアローン\*20のSMF (Session Management Function) \*21の展開時に、サードパーティーが所有するDN-AAAサーバ、またはローカルネットワークでのPAP/CHAP認証のサポートが必要になる可能性があるため。

## UDR関連プロファイルの復旧

### ■ UDRの役割と破損時の影響

5GCでは、サブスクリプションデータ (加入者情報) と加入者UEの状態などのコンテキスト情報をUDRに保管します。仮に、UDRに保管されたデータが装置故障などのために破損し、加入者情報の内容または状態の、他のエンティティで保持するものとの一貫性が失われた場合、最新の加入者情報または位置情報を必要とするネットワークサービスが提供できなくなります。また、SMS着信 (SM-MT: Short Message-Mobile Terminated) や、IMS (Internet protocol Multimedia Subsystem) \*22が適切な音声着信ドメインを判別するT-ADS (Terminating Access Domain Selection) \*23も失敗する可能性があります。

### ■ Rel-17におけるResetに類似した機能の仕様化

3GPPにおける5GC導入前のアーキテクチャでは、HSS (Home Subscriber Server) \*24やHLR (Home

Location Register) \*25に格納される加入者情報やコンテキストの状態が保証できず、他の装置の状態と不一致になる可能性がある場合、Reset<sup>(3), (4)</sup>を使用して回復するよう規定されています。

一方5GCでは当初Resetと同様の規定が策定されてきませんでした。しかし、遠隔地でのバックアップでは保管されたデータの一貫性が予期せず失われる可能性があること、また装置故障によりデータ不一致が起きた場合、保守者契機で加入者情報の一致化を計る使用方法があるなど、Resetには運用上の観点で必要性もいくつかみられたので、Rel-17にて類似の機能をReP\_UDRという名称で仕様化しました。

この機能により、UDRとUDM、PCF (Policy Control Function) \*26、NEF (Network Exposure Function) \*27などのUDRの関連NF (Network Function) Consumer (UDR Consumer) との間、さらにはUDMとAMF (Access and Mobility management Function)、SMF、SMSF (Short Message Service Function)、AUSFなどのUDMの関連NF Consumer (UDM Consumer) との間でプロファイルの復旧が可能になり、UDRに保管されたデータが失われたり破損したりした場合でも、可能な限り最新のステータスを維持することができます (図)。

### ■ UDR復旧のための運用体制と手順

UDRに保管されたデータは、通常の運用の中で自動的に更新されます。UDRに保管されているもっとも重要な情報は各UEの位置情報であり、加入者情報 (サブスクリプションデータ)

やポリシーデータの更新に必要な送信先 (コールバック情報など) といった重要な情報がその後続きます。これらの情報の喪失または破損は、サブスクリプション登録者に提供されるサービスの質に重大な影響を及ぼします。したがってRel-17では、UDRの障害によって引き起こされる影響を限定し、情報を自動的に復旧させるための運用体制と手順が規定されています。

この運用は、揮発性のストレージユニットの複製とデータの周期的なバックアップを前提としています。周期的なバックアップデータを利用する場合でもUDRで保持するデータの完全性を確保できない場合に備え、必要な手順が規定されています。

\*19 DN-AAA: データネットワークとUEの間の認証のこと。

\*20 スタンドアローン: 既存のLTE/LTE-AdvancedとNRをLTE-NR DC (Dual Connectivity) を用いて連携して運用するノンスタンドアローンに対し、NR単独で運用する形態。

\*21 SMF: 5GCにおいてセッションを管理する機能部。EPCにおけるSGW (Serving Gateway)-C/PGW (Packet Data Network Gateway)-Cに相当します。

\*22 IMS: 3GPPで標準化された、固定・移動通信ネットワークなどの通信サービスを、IP技術やインターネット電話で使われるプロトコルであるSIPで統合し、マルチメディアサービスを実現させる呼び出し制御方式。

\*23 T-ADS: 音声着信時にIMSとCSのどちらを経由する着信にするか選択する機能。端末が在圏しているアクセス網を特定、アクセス網での音声サポートの特定などを踏まえて決定します。

\*24 HSS: 3GPP移動通信網における加入者情報データベースであり、認証情報および在圏情報の管理を行います。

\*25 HLR: 3GPP上で規定される加入者情報の管理機能および呼処理機能を有する論理ノード。

\*26 PCF: QoSなどのポリシー制御や、課金制御を担う5Gコアネットワークの機能部。

\*27 NEF: 5GCで規定されたネットワーク機能の1つ。3GPP規定外の外部サーバやアプリケーションなどへのAPIを提供。

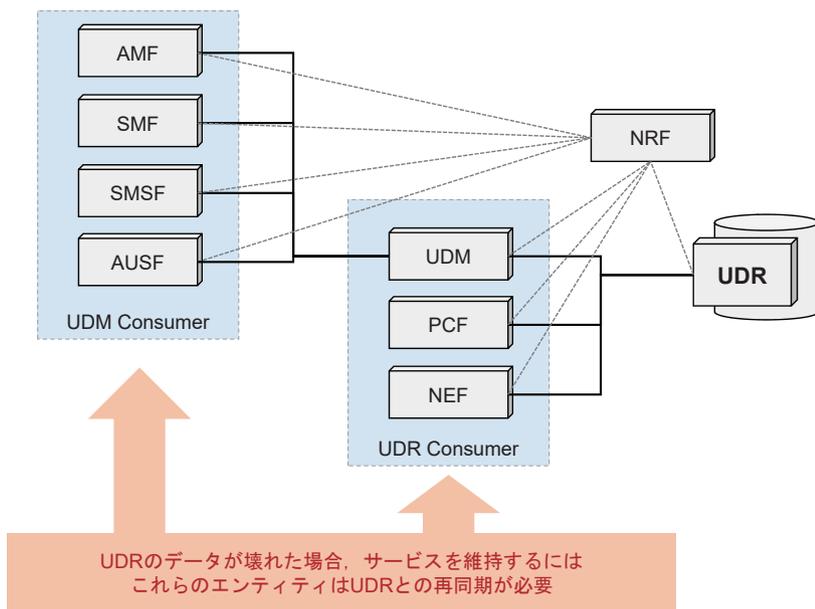


図 UDR関連プロファイルの復旧に関するNF

引き続き5Gシステムの拡張に関する標準化作業に貢献していきます。

■参考文献

- (1) 青柳・石川・巳之口：“3GPP Release 16における5Gコアネットワークの高度化技術の概要,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.28, No.3, pp.45-56, Oct. 2020.
- (2) 3GPP TS23.122 V17.7.1 - Annex C.4：“Non-Access-Stratum (NAS) functions related to Mobile Station (MS) in idle mode,” June 2022.
- (3) 3GPP TS29.002 V17.2.0：“Mobile Application Part (MAP) specification,” June 2022.
- (4) 3GPP TS29.272 V 17.3.0：“Mobility Management Entity (MME) and Serving GPRS Support Node (SGSN) related interfaces based on Diameter protocol,” June 2022.

コアネットワーク内をサービスベースのインタフェースを用いたSMS (サービスベースSMS)

SMSのサポートはGSMから規定されており、コアネットワーク内でのメッセージの配信はMAP (Mobile Application Part) プロトコルを使用して実現しています。その後EPSでDiameterプロトコルを使用するようになり、さらにIMSを介したSMSでSIP (Session Initiation Protocol) を使用するように徐々に方式を追加しました。

5GCの場合、規定当初のRel-15でUEとコアネットワークの間でNAS (Non-Access Stratum) を介してSMSメッセージを処理するSMSFが導入されていますが、コアネットワーク内の配信では依然として既存のネットワークプロトコルを使用するようになっていました。そこで、Rel-17では、コアネットワーク内でSMSを配信するサービスベースのインタフェースを新たに導入する作業が行われました。

- ・ サービスベースのインタフェースをサポートし、新しいサービスベースのAPI (Application Programming Interface) を規定するための、既存のSMS関連エンティティの拡張
- ・ SM MT, SM MO (SMS Mobile Originated) のサービスベースのインタフェースを使用する手順
- ・ GPSI (例えば、電話番号) からサブスクリプションへのマッピングのサポート
- ・ ローミング以外の目的、つまり事業者 (PLMN) 間のSMSメッセージ転送でのN32の使用

おわりに

本稿では、3GPP CTグループがRel-17で行った機能拡張の一部を解説しました。これらの機能はコアネットワークとUEに影響を及ぼしています。3GPP CTグループはさらに、新しい要件に基づいて5Gシステムの拡張を続けていきます。NTTドコモは



(上段左から) 石川 寛 / 彦坂 真央樹  
(下段左から) 西田 慎 / Ban Al-Bakri

プロトコルを中心に担当するCTグループでは、常に新たな要求条件とこれまでの仕様化したプロトコルの改善・拡張について取り組んでいます。ドコモはこれらの活動に積極的に寄与し、より高度化する5GCやNASの仕様化に貢献していきます。

◆問い合わせ先

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

# 3GPP Release 17における5G無線の高度化技術概要

3GPPにおいて、5G向けに新たな無線アクセス技術であるNRの標準仕様がRelease 15 (Rel-15)として策定された後、その拡張技術としてRel-16仕様が2020年6月に策定されました。さらなるRel-15/Rel-16仕様の拡張として、3GPP Rel-17の仕様検討が2019年12月より開始され、2022年6月に仕様策定が完了しました。本稿では、Rel-17仕様における5G無線の高度化技術について概説します。

はらだ 原田	ひろき 浩樹	くまがい 熊谷	しんや 慎也
おはら 小原	ともや 知也	たにくち 谷口	まさと 真人
しもだいら 下平	ひでかず 英和		

NTTドコモ

## はじめに

5G向けの新たな無線アクセス技術であるNR (New Radio)<sup>\*1</sup>について、3GPPにおけるRelease 15 (Rel-15)およびRel-16の仕様策定では、モバイルブロードバンドの高度化(eMBB: enhanced Mobile BroadBand)<sup>\*2</sup>向けの無線技術やそのさらなる高度化、高信頼・低遅延通信(URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communication)<sup>\*3</sup>向けの高度化や、産業分野でのIoT (Internet of Things)を促進するIIoT (Industrial IoT)<sup>\*4</sup>といった新規事業を創出するための拡張技術が規定されました。

Rel-17は、これまでのリリースで規定されたMIMO (Multiple Input Multiple Output)<sup>\*5</sup>機能やURLLC向け機能などのさらなる拡張が行われたことに加え、さらなる伝送速度の高速化のための52.6~71 GHzまでの周波数帯のサポート、さらなるエリア拡大に向けた衛星を活用した非地上ネッ

トワーク (NTN: Non-Terrestrial Network)<sup>\*6</sup>のサポート、5Gユースケース拡張のための簡易NR端末カテゴリ (RedCap: Reduced Capability<sup>\*7</sup>)の追加などにより、5Gが新たな価値を提供することへ貢献しています。Rel-17で仕様化した主な機能を図に示します。本稿では、これらのRel-17で仕様化された主な拡張技術と、その検討で考慮された背景を概説します。

## Rel-17仕様における5G無線の高度化技術

### ■モバイルブロードバンド向け高度化技術

(1) DC (Dual Connectivity) および CA (Carrier Aggregation) 向け機能拡張

① DCにおける端末消費電力削減  
Rel-16の仕様においては、PSCell (Primary SCeLL) にNRの高い周波数を用いる場合などにおいて消費電力の低減ができない課題がありました。

Rel-17では、PSCellも含めDCの副ノードのセル全体 (SCG:

Secondary Cell Group) を非アクティブ化するSCG deactivation機能が追加され、DCにおいても高い消費電力削減効果を得られるようになりました。

② DC・CAの処理遅延の低減

Rel-16では、DC時のPSCellごうしの切替遅延の削減や切替え時の通信の信頼性向上のため、あらかじめ切替え先のPSCell候補と切替えを実施するための電波品質の条件をUE (User Equipment) に通知し

- \*1 NR: 5G向けに策定された無線方式規格。4Gと比較して高い周波数帯 (例えば、6 GHz帯以下や28 GHz帯)などを活用した通信の高速化や、高度化されたIoTの実現を目的とした低遅延・高信頼な通信が可能。
- \*2 モバイルブロードバンドの高度化 (eMBB): 高速大容量を必要とする通信の総称。
- \*3 高信頼・低遅延通信 (URLLC): 低遅延かつ、高信頼性を必要とする通信の総称。
- \*4 IIoT: 工場などにおける機器のネットワーク接続など、産業分野向けのIoT。
- \*5 MIMO: 複数の送受信アンテナを用いて信号の伝送を行い、通信品質および周波数利用効率の向上を実現する信号伝送技術。
- \*6 非地上ネットワーク (NTN): 衛星やHAPSなどの非地上系媒体を利用して、通信エリアが地上に限定されず、空・海・宇宙などのあらゆる場所に通信エリアが拡張されたネットワーク。
- \*7 RedCap: Rel-17 NRにおいて導入された簡易端末カテゴリの名称で、通常のNR端末よりサポートする送受信アンテナ数や帯域幅を減らすことでデバイスの複雑さを低減。

\* 本特集は「NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル」(Vol.30, No.3, 2022年10月)に掲載された内容を編集したものです。

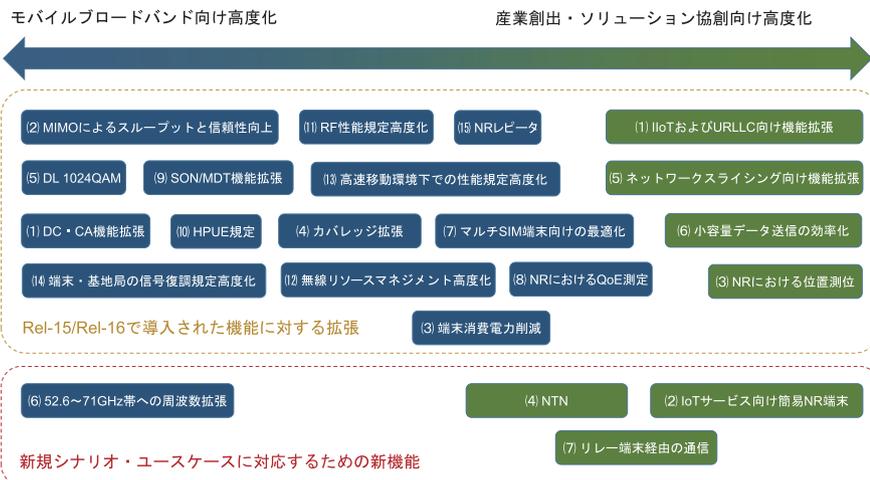


図 Rel-17で仕様化した主な機能

ておくCPC (Conditional PSCell Change) と呼ばれる技術が盛り込まれました。Rel-16では、変更元・変更先のPSCellが同一の基地局に属している場合のみCPCに対応していましたが、Rel-17では異なる基地局のセル間でCPCを行うことが可能になりました。また、DCの開始をCPCと同様にあらかじめ決められた候補セル・条件で行うCPA (Conditional PSCell Addition) の機能がRel-17で盛り込まれ、DC開始の遅延低減が可能になりました。

(2) 分散MIMOによるスループットと信頼性向上

Rel-16 NRにおいて、同一セルの基地局の複数アンテナパネルあるいは送受信点を用いて、下りユーザデータを分散MIMO<sup>\*8</sup>送信し、高次ランクの利用や、信頼性の向上を可能にする機能が規定されました。

Rel-17 NRにおいて、基地局の2つの異なるセルの送受信点を用いて、下りユーザデータを分散MIMO送信することが可能になりました。これにより、分散MIMOの適用可能なシナリオを拡大でき、実行スループットや信頼性の向上を実現できます。

(3) 端末消費電力削減

Rel-16では主にconnected-mode時の端末の消費電力削減が可能な機能が規定されました。Rel-17ではさらに、NR SA (Stand Alone) 運用におけるidle/inactive-mode時の端末の消費電力削減、FR2 (Frequency Range 2) 運用におけるconnected-mode時の端末の消費電力削減、Rel-16 UE assistant情報<sup>\*9</sup>の有効活用といった観点で、Rel-16における課題を解決するための技術拡張を行いました。

(4) カバレッジ拡張

ネットワークサービスを提供するうえで、カバレッジ特性はネットワーク品質や、CAPEX (CAPital EXpenditure), OPEX (OPerating EXpense) などに影響を及ぼすため、重要な要素の1つとして挙げられます。NRはLTEと比べて高い周波数帯が使用されており、高い周波数ほど伝搬損失が増大するためカバレッジ特性の検証が重要となります。そこで、Rel-17ではカバレッジ特性の検証が実施されました。その結果、PUSCH (Physical Uplink Shared CHannel)<sup>\*10</sup>、PUCCH (Physical Uplink Control CHannel)<sup>\*11</sup>、およ

びMsg3 PUSCH<sup>\*12</sup>が、カバレッジ特性の改善が必要なチャンネルとして特定され、これらのチャンネルのカバレッジ改善技術が導入されました。

(5) DL (DownLink) 用 1024QAM (Quadrature Amplitude Modulation)<sup>\*13</sup>

データ変調はDL/ULともに256QAM<sup>\*14</sup>がRel-16 NRまでに使用可能でした。これに対してRel-17 NRでは、さらなる高速化・周波数利用率向上を目的として、かつLTEですでに仕様化済みの機能でありNRにおいてもサポートされるべきとして、DL向けに1024QAMが導入されました。1024QAMはSINR (Signal to Interference plus Noise power Ratio) が十分に大きく、端末移動が全くない、またはほぼない環境でのみ適用可能となるため、主にFWA (Fixed Wireless Access) などの静的なリンクを想定した機能です。1024QAM対応のために、CQI (Channel Quality Indicator) tableおよびMCS tableの追加や、新規MCS tableに対応するPT-RS (Phase-Tracking Reference Signal) の周波数・時間リソース内の密

\*8 分散MIMO: 複数の基地局から異なるMIMOストリームを1つのUEに送信してMIMO伝送を行う技術。  
 \*9 UE assistant情報: 基地局の適切なスケジューリングなどに活用するために伝達される端末の状態や端末からの要求に関する情報。  
 \*10 PUSCH: 上りリンクでデータを送受信するために用いる共有チャンネル。  
 \*11 PUCCH: 上りリンクで制御信号を送受信するために用いる物理チャンネル。  
 \*12 Msg3 PUSCH: ランダムアクセス手順において、UEのPRACH送信に対してスケジューリングされる上りデータチャンネル。  
 \*13 1024QAM: 変調方式の種類。1024QAMは振幅と位相が異なる1,024通りの信号点に情報ビットを変調します。1回の変調で10ビットの情報を伝送することができます。  
 \*14 256QAM: 変調方式の種類。256QAMは振幅と位相が異なる256通りの信号点に情報ビットを変調します。1回の変調で8ビットの情報を伝送することができます。

度決定方法の仕様化が行われました。

(6) 52.6～71 GHz帯への周波数  
拡張

Rel-16以前の3GPP仕様では、0.41～7.125 GHz帯 (FR1<sup>\*15</sup>) および24.25～52.6 GHz帯 (FR2) が使用周波数として規定されています。Rel-17では、WRC (World Radio-communication Conference)<sup>\*16</sup>-19において66～71 GHz帯がIMT (International Mobile Telecommunications) 向け周波数として合意されたこと、および57～66 GHz帯のアンライセンス帯域を用いるIEEE 802.11ad/ayの標準化が完了したことを受けて、新たに52.6～71 GHz帯を使用周波数として規定し、当該周波数帯域にてNRを動作させるために必要な機能をサポートしました。これにより、通信容量のさらなる拡大が可能となりました。

新たにサポートされた機能として、高いSCS (SubCarrier Spacing) や広いチャネル帯域幅の新規サポート、アンライセンス帯を使用する際に必要なチャネルアクセス手法のサポート、端末の制御チャネル・データチャネル送受信時の信号処理にかかる負荷の増大を回避する手法のサポートなどが挙げられます。

(7) マルチSIM (Subscriber Identity Module) 端末向けの最適化  
すべてのSIMで同時に通信を行うことができないマルチSIM端末においては、あるSIMで通信をしながら、時折別のSIMで別のネットワークの着信を待ち受けるなど、限られた送受信回路で複数のネットワークとの通信を行う必要があります。これまでは端末の実装によりこの課題を解決していましたが、端末の振舞いをネットワークの動作と協調させることでパフォーマンスを改善することを目的に、

Rel-17ではマルチSIM端末向けの機能が標準化されました。

Rel-17で規定された機能として、それぞれのSIMと通信を行うネットワーク間のpagingの衝突回避、別ネットワークへの通信切替え (通信中であるネットワークとの通信の終了や、間欠的な通信休止) を補助する機能、UEがあるSIMで通信中に別のSIMへの音声着信に 응답できるようにpagingが音声着信か否かを通知する機能が挙げられます。

(8) NRにおけるQoE (Quality of Experience) 測定

Rel-15 LTEにおいて、ビデオストリーミングなどのサービスのアプリケーションレイヤにおける品質 (QoE) をUEが測定し、ネットワークに報告する機能が規定されています。Rel-17では、NRにもストリーミング・音声通話・VR (Virtual Reality) のアプリケーションレイヤにおけるQoEを測定する機能が盛り込まれました。Rel-17特有の機能として、ネットワークスライシング<sup>\*17</sup>におけるスライスごとのQoE測定機能や、QoE測定結果をRAN (Radio Access Network) が参照可能なかたちで報告することで、RANの最適化を補助する機能なども追加されました。

(9) SON (Self-Organizing Network)<sup>\*18</sup>/MDT (Minimization of Drive Test)<sup>\*19</sup>機能拡張

Rel-16でNRにおいても基本的なSON/MDTの機能が盛り込まれましたが、Rel-17では、LTEに盛込み済みでNRでは未提供の機能への追従や、NR特有の機能を考慮したSON/MDTの機能拡張が行われました。

(10) HPUE (High Power UE) 規定

一般的なHandheld UEの送信電力は、PC3 (Power Class 3) として

最大23 dBmで規定されていますが、それよりも3 dB大きな電力で送信可能なPC2の規定もHPUE規定としてこれまでに導入されてきました。PC2は、Rel-16まではEN-DC (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network New Radio Dual Connectivity)<sup>\*20</sup>のみが対象となっていました。Rel-17において対象シナリオがNR-CA<sup>\*21</sup>およびSUL (Supplementary UpLink)<sup>\*22</sup>にも拡張され、対象についてもTDD (Time Division Duplex) のみではなくFDD (Frequency Division Duplex) バンドも含める拡張が行われました。また、PC2よりもさらに3 dB大きな電力で送信可能なPC1.5の規定もn77<sup>\*23</sup>、n78およびn79を対象として導入されました。既存の電波防

\*15 FR1: 3GPPにおいて規定されている周波数バンドについての分類。FR1: 450～6,000 MHz。

\*16 WRC: 各周波数帯の利用方法、衛星軌道の利用方法、無線局の運用に関する各種規定、技術基準などをはじめとする国際的な電波秩序を規律する無線通信規則の改正を行うための会議で、各国主管庁およびITUに登録している事業者などの関係団体が出席し、通常3～4年ごとに開催されます。

\*17 ネットワークスライシング: 5G時代の次世代ネットワークの実現形態の1つ。ユースケースやビジネスモデルなどのサービス単位で論理的に分割したネットワーク。

\*18 SON: eNB設置時の自動設定やパラメータの自動最適化などを含む、無線ネットワーク自己最適化機能の通称。

\*19 MDT: 3GPPにて標準化されている、通信中の無線切断やHOの失敗など、端末からネットワークに対して事象の発生した位置情報やその原因などを通知し、QoEを収集する技術。

\*20 EN-DC: NRノンスタンドアロン運用のためのアーキテクチャ。LTE無線でRRC connectionを行い、追加の無線リソースとして加えてNRを用います。

\*21 NR-CA: 複数のNRキャリアを用いて同時に送受信することにより後方互換性を保ちながら帯域拡大により高速伝送を実現する技術。

\*22 SUL: 通常用いられるアップリンクダウンリンクのペアとは別に上りカバレッジ確保のために補完的に用いられる別周波数帯のアップリンクのこと。通常用いられるアップリンクとの同時利用はできません。

\*23 n77: NR向けに定義されたTDDの周波数帯域 (3,300～4,200 MHz)。

護指針を前提とした規定であるため、適切なDuty cycle<sup>\*24</sup>を設けるなどの制限はあるものの、対象となるUEは、高い電力での送信が比較的容易なFWAのみではなくHandheld UEも含まれています。これら機能により、広いユースケースにおいてULカバレッジ拡大効果が期待されます。

#### (11) RF (Radio Frequency) 性能規定高度化

FR11について、UEのRFのアーキテクチャの高度化に合わせて、限られたRF chainをより品質の良いCarrier/MIMOレイヤ数で利用するためのTx antenna switching<sup>\*25</sup>の、Rel-16からのさらなる高度化が行われました。また、intra-band UL CA時のHPUE規定、およびUL MIMO適用ケースへの拡張がFR1を対象に行われました。具体的には、Rel-16のTx antenna switchingでは片方のCarrierで1Tx（片方のポートのみ使用可能）、もう片方のCarrierで2Tx（両方のポートが使用可能）のケースだったものを、Rel-17では両Carrierに対して2Tx利用できるケースへの拡張、また、送信電力増大のためのHPUEおよび送信MIMOレイヤ数向上のためのUL CA/UL MIMO併用時のRF規定<sup>\*26</sup>の拡張を行うことで、RF性能としてULスループットの向上が期待されます。

FR2についてはRel-16で議論しきれなかった、近接する異なる周波数バンドを束ねるCAの性能等のRF性能向上に関する検討項目に対して、さらなる高速化に向けた性能規定が示されました。

#### (12) 無線リソースマネジメント (RRM: Radio Resource Management) 高度化

RRMのさらなる高度化として、最適なUL送信アンテナ選択のための

SRS (Sounding Reference Signal) antenna port switchingのRRM規定、NR SAからEN-DCにHOする際に、最適なEN-DCセルの組合せをHO直後から利用できるようにするためのHO with PSCellのRRM規定、およびPUCCH SCell利用時におけるセル有効化時間などのRRM規定を策定することで、端末が最低限満たすべき性能が担保され、これらの機能の商用導入によるユーザーエクスペリエンス体感向上が期待されます。

また、MG (Measurement Gap) のさらなる柔軟な設定や無通信区間の削減を図るために、BWP (BandWidth Part) ごとに異なるMGを設定可能とするPre-configured MG pattern、用途の異なる複数のギャップを同時に効率良く用いるためのMultiple concurrent and independent MG patterns、必要最低限のギャップ区間だけを用いて無通信区間を極小化するNetwork Controlled Small Gapの3機能が新たに規定されました。これらの発展的な機能を用いることで無通信区間が削減されスループット向上が期待されます。

#### (13) 高速移動環境下での性能規定高度化

Rel-16では最大移動速度500 km/h、最大周波数3.6 GHzの環境までを想定したHST (High Speed Train) シナリオについて最低限満たすべき性能規定が議論されましたが、Rel-17ではさらなる通信速度高速化のためにCAの規定が新たに策定されました。また、Rel-16 HSTはFR1を対象が絞られていましたが、Rel-17ではFR2にも対象が拡張されました。FR2に対する規定は、基本的にはRel-16 FR1と同様ですが、最大移動速度が

350 km/hとなっています。また、適用可能な最大周波数は30 GHzとなっています。この規定により高速移動環境において、FR2がシングルキャリアに限り利用可能となり、高速通信を享受可能なエリアの拡大が期待されます。

#### (14) 端末・基地局の信号復調規定高度化

Rel-15、Rel-16において策定しきれなかったUE demodulation規定がRel-17で策定され、これにより下り・上りともにさらなるスループットの向上が期待されます。

#### (15) NRレピータ<sup>\*27</sup>

LTE以前に運用されていたRFレピータについて、Rel-17においてNRの性能規定も議論され策定されました。

### ■産業創出・ソリューション協創向け高度化技術

#### (1) IIoTおよびURLLC向け機能拡張

Rel-16では、工場の機器制御などのために基地局とUEとの間で時刻を同期する機能が盛り込まれましたが、基地局・端末間の電波の伝搬遅延が大きい場合に誤差が生じる問題がありました。Rel-17では、伝搬遅延誤差を補償する機能が盛り込まれ、より広いエリアにおいても時刻同期が適用可能となりました。

また、Rel-16では、NRをアンライセンズバンド<sup>\*28</sup>でeMBB向けに運用

\*24 Duty cycle: ある一定期間内に占めるアップリンク送信期間のこと。

\*25 Tx antenna switching: UEが信号送信に用いるアンテナを動的にスイッチングする技術であり、より品質の良い信号送信が可能なアンテナを選択することで品質の改善やスループットの向上が期待できます。

\*26 RF規定: 不要発射や受信感度など、無線部分に関する特性規定。

\*27 レピータ: 基地局からの下り受信信号を電力増幅して移動局への送信を行う物理層の中継機器。

\*28 アンライセンズバンド: 行政による免許割当てが不要で、特定の通信事業者に限定されずに使用可能な周波数帯。

可能になりましたが、Rel-17ではアンライセンスバンドで、かつ他システムからの干渉の頻度が低い環境でURLLC通信を実施するための機能拡張がなされました。

#### (2) IoTサービス向け簡易NR端末

LTE-IoTにより提供されるローエンドIoTと、NRにより提供されるURLLCやIIoTといったハイエンドIoTとの間のミドルレンジIoTサービスをターゲットとしたRedCapの仕様が、Rel-17において策定されました。

#### (3) NRにおける位置測位

RAT (Radio Access Technology) 信号でUE位置を推定する機能はLTEからサポートされていますが、NRではRel-16で初めてサポートされました。Rel-16 NRでは、E-CID (Enhanced Cell-ID), DL-TDOA (Time Difference of Arrival), UL-TDOA, Multi-RTT (Multiple-Round Trip Time), UL-AoA (Angle of Arrival), DL-AoD (Angle of Departure) の測位方式がサポートされたことにより、NRにおいてもRATベース測位が可能となりました。

Rel-17 NRでは一般ユースケースに加え、工場など産業利用を想定した機能拡張が議論され、サブメートルレベルの測位精度や物理レイヤでの測位処理遅延10 ms未満をターゲットとした拡張機能が仕様化されました。

#### (4) NTN

Rel-16までのLTE/NR仕様は地上ネットワークを対象としていましたが、Rel-17ではさらなる5Gのエリア拡大などを目的として、衛星や飛行体を介

して通信を行うNTN向けの無線技術の仕様化が行われました。

#### (5) ネットワークスライシング向け機能拡張

##### ① スライスを考慮した待受けセル選択

Rel-17ではUEが利用したいスライスを提供するセルを優先した待受けを行うことで、ネットワークからの移動指示を待たずに所望のスライスを利用することが可能となりました。

##### ② スライスを考慮したRACH (Random Access CHannel) の優先制御

Rel-17ではスライスに応じたRACHの分離や、優先制御の機能が仕様化されました。本機能追加により、通信開始時にもスライスによるリソース制御を適用することが可能となりました。

##### (6) 小容量データ送信の効率化

小容量・低頻度通信における端末消費電力低減・信号オーバーヘッド削減のために、RRC\_INACTIVE<sup>\*29</sup>状態においても簡易な手順によりデータ送信を行う機能が追加されました。

##### (7) リレー端末経由の通信 (Sidelink relay)

端末 (リモート端末) が別端末 (リレー端末) を介してネットワークと通信を行うUE-to-network relayが仕様化されました。本技術により、通信を行うセルと別のセル配下やネットワークの圏外にリモート端末が位置する場合においても通信が可能になり、サービスの提供エリアを拡張する効果が見込まれます。

## おわりに

本稿では、3GPP Rel-17仕様で策定された5G無線の高度化技術を概説しました。3GPPでは、2021年12月か

ら、5G Advancedの最初の仕様としてRel-18仕様の作成を開始しています<sup>(1)</sup>。NTTドコモは、3GPPにおける5G標準化推進に寄与しており、今後も5G標準化のさらなる発展に貢献していきます。

### ■参考文献

- (1) 原田・永田・巳之口・竹田・ウメシユ：“5Gおよび5G-Advanced標準化動向,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.11, pp.26-30, 2022.



(上段左から) 原田 浩樹 / 熊谷 慎也 / 小原 知也

(下段左から) 谷口 真人 / 下平 英和

ドコモは、今後も3GPPにおける5G標準化のさらなる発展に貢献し、地球のあらゆるところで、いつでも、誰もがつながることのできる世界を実現します。

### ◆問い合わせ先

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

\*29 RRC\_INACTIVE：端末のRRC状態の1つであり、端末は基地局内のセルレベルの識別をもたず、基地局およびコアネットワークにおいて端末のコンテキストが保持されています。

# 挑戦する 研究者たち CHALLENGERS



古川 茂人

NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
上席特別研究員

## 一発逆転でなくていい。しっかり正しく追究すればその知識の蓄積が貴重な貢献となる

世界聴覚白書によると、2050年まで世界で約25億人（4人に1人）が難聴を抱える可能性があるといえます。また、難聴は認知症発症の主な危険因子とされています。聴覚は環境を把握し、コミュニケーションを成り立たせるために欠かせない情報処理機構であり、感情に直結する感覚世界を構成する重要な要素でもあります。「聞こえ」のメカニズム解明に挑むNTT コミュニケーション科学基礎研究所 古川茂人 上席特別研究員に研究活動の進捗と研究者としての姿勢を伺いました。



### 聴覚の「中次」情報処理を追究

2年ぶりのご登場ですね。現在、手掛けていらっしゃる研究の概要と進捗をお聞かせいただけますか。

一般的に、基礎研究の活動において2年というのはとても短いもので、この2年間で一気に課題解決に至ったような進捗という点で、お伝えできることはあまりないかもしれません。しかし、研究活動は続けていますので、わずかでも進んだことや新たに始めた共同研究などをご報告します。

私は、聴覚の心理物理学・神経生理学を中心に、快適なコミュニケーションを支える感覚知覚メカニズムの研究を

しています。聴覚情景分析メカニズム、生理機能の計測・評価・モデリング、聞こえの困難のメカニズムと評価を手掛けるほか、感覚知覚や心的状態にかかわる神経の働きの解明をめざしています。同じ音でも人によって聞こえ方が異なる、同じ人が同じ音を聞いても状況に応じて聞こえ方が異なるといった「聞こえ」の違いにも興味を持っています。これにより人と他者・社会・環境を快適につなげる技術の基盤の提供をめざしています。

聴覚のメカニズムは、空気の振動である音が鼓膜や内耳により神経信号に変換され（低次処理）、それが脳に伝わり、特に大脳皮質で認知、理解、解釈されている（高次処理）

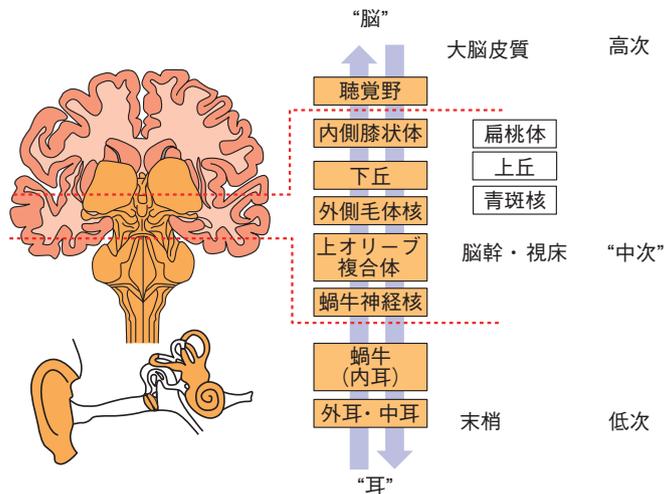


図1 聴覚情報処理の流れ

と思われがちですが、実は耳から得られた信号は大脳皮質に伝わる途中で脳幹を通過しており、その脳幹の中でも多段階な処理が行われています（中次処理：造語；図1）。例えば、音の高低等の基本的な情報の抽出や、重要度を反映した情報の取捨選択の一部も脳幹で行っていると考えられています。

私は、この脳幹で行われる中次処理に注目して、脳波や眼球運動等の生体計測とコンピュータを使ったモデルにより間接的な方法で分析しています。例えば音を聞かせた際の脳波を測定すると、聞かせた音に近いパターンの周波数成分が確認できます。この成分は脳幹に由来するものと考えられていますので、それを解析することで脳幹での周波数分析に関連する活動を調べることができます。また、脳幹における覚醒レベルや注意にかかわる神経細胞群の活動と、瞳孔の大きさが連動していることが分かっています。こういった測定と解析により、脳に電極を刺さなくても脳幹の働きにアクセスすることができます。さまざまな測定手法やモデリングを組み合わせることで、意識に上らないレベルで自然に起きている聴覚の働きを体の外側から確認できると期待しています。

**前回お話いただいた「注意と聴覚」というキーワードはユニークですね。**

例えば、音楽を聴いている状況を考えてみましょう。その曲が好きかどうかは人それぞれですし、同じ人が聴いてもその時々で曲の楽しさは変わでしょう。音楽を楽しんでいる背景には、つい意識が向いてしまうフレーズや、逆にスムーズながらも飽きさせない仕掛けや気付きがあったりします。曲を聴いているときの生体反応を測ることで、人それぞれ、その時々を感じ方を観察できるようにしたいと考えています。いろいろな切り口はあるでしょうが、例えば、瞳孔の測定により、どの音に注意を向いているか分かるようにするのはその一歩にならないかと考えています。先行研究によって、瞳孔は実際に視線を向けなくとも、注意を向ける方向の物理的な明るさでも変化することが明らかとなっています。私たちはこの現象を聴覚の注意にも応用できることを見出しました。

また、瞳孔だけでなく、無意識に生じる微小眼球運動（マイクロサッカード）も視覚刺激や聴覚刺激に対する注意と関連するような反応をすることが知られています。このマイクロサッカードと聴覚の空間的注意との関連について実験を繰り返しながら調べたところ、聴覚の注意の方向に応じてマイクロサッカードの発生パターンが変動し、その特性が聴覚タスクの成績とも関連することを発見しました（図2）。マイクロサッカードと視覚的注意の関連は多くの研究で示されていますが、聴覚的注意の方向や聴覚系の情報

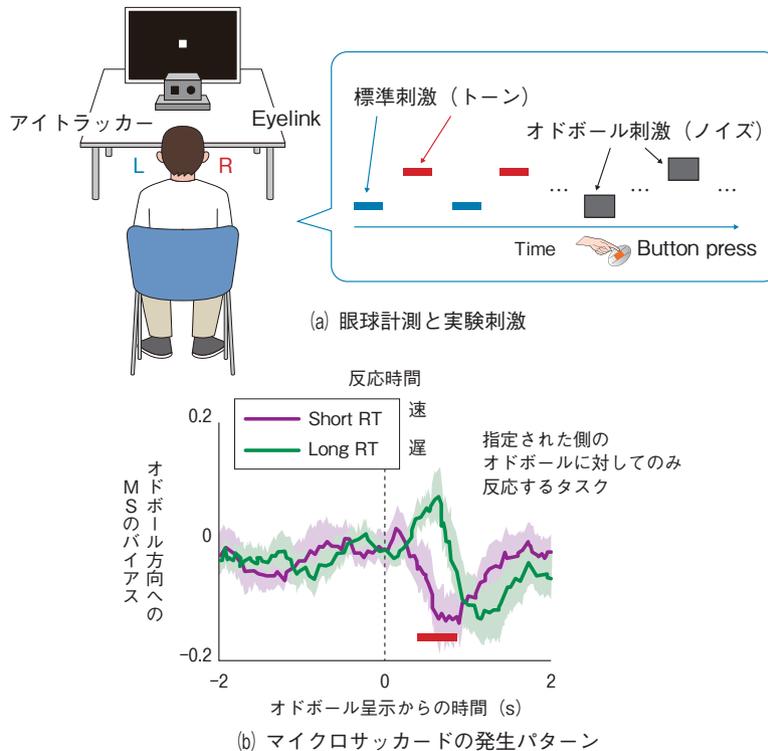


図2 眼球運動（マイクロサッカード）と聴覚的注意の関連

処理とも関連することを示したといえます。

今後の方向性の1つとしては、人の注意状態を外部からの観測により推定する技術の確立があります。パーティー会場のように、多くの人があちこちで会話しているときに、どの声に注意を向けているのかといった情報を眼から読み取れるようになるかもしれません。人がその時々に応じて注意を振り分けるメカニズムを解明し、その時々に応じて適切な情報を提示する技術につながることも期待しています。



音を認識するために訓練された人工ニューラルネットワークが脳における音の表現と類似した表現を獲得することを発見

学術的にも大きなインパクトのある新たな研究にも着手していらっしゃるそうですね。

前にご説明したように、哺乳類の脳では、音が耳に届いてから認識されるまでに、脳幹から大脳皮質にいたる多段

階の処理で音の特徴が分析されます（図1）。例えば振幅の緩やかな変化（振幅変調）は、音の認識に重要な手掛かりとなる特徴の1つです。神経生理学ではこれまで神経細胞が「どのように」振幅変調を表現しているのかについて、聴覚神経系における多数の脳部位について明らかにしてきました。

しかし、神経細胞が「なぜ」そのように振幅変調を表現するようになったのか（必然性はあるのか）、という疑問については、同様な実験を重ねても答えに到達することはできません。神経細胞の性質と進化の過程との関係を、一般的な実験的アプローチでは確かめることが原理的に難しいからです。私自身も、振幅変調とは別の特徴について、脳幹の神経細胞の特性を調べたこともありますが、どんなに頑張っても「どのように」の一端を掴むだけで、「なぜ」の問題には迫れないことにフラストレーションを感じていました。

一方で、最近では、人工ニューラルネットワークを用い

ることで、自然で複雑な音の波形から直接その音のカテゴリなどを認識できるようになってきました。幸運にも、この分野に明るい意欲的な研究者と組むことができ、この人工ニューラルネットワーク技術によって先ほど述べた疑問にアプローチしました。人工ニューラルネットワークの中でも、特に深層ニューラルネットワーク（DNN）は多数の素子—これは生物では神経細胞に相当します—からなる多数の層が縦列した構造をしている点で、聴覚神経系（図1）と同様な構造を持っているといえます。しかし、DNNはその点以外は、聴覚系の具体的な神経回路を模擬したものではありません。

私たちは自然音の分類課題のためにDNNを訓練したうえで、そのDNNにさまざまな変調周波数を持つ音を入力し、DNNを構成する個々の素子ごとに出力を調べました。動物の脳の神経生理学実験に用いられるパラダイムをそのままDNNにも適用したわけです。その結果、素子によっては特定の変調周波数にのみ強く反応することや、その反応特性が、処理段階が進むとともに規則的に変化することなど、動物の聴覚神経系について過去の研究で報告されているものと同様な性質がDNNに発現していることがわかりました。

また、DNNの訓練が進む過程で脳との類似性が徐々に獲得されること、音の認識精度が高いDNNほどその類似性が高いこと、自然音の認識において、訓練しなかったDNNでは類似性がみられないこともわかりました。これらは動物の脳において観察されてきた振幅変調の表現も、音の認識に適した性質が進化してきた過程で合理的に獲得されたものであるという可能性を示唆するものといえます。この結果は、これまで地道に神経系の特性を調べてきた生理学者にとっても、勇気を与えるものではないかと思っています。今のところ、振幅変調に対する反応を見ているのみですが、方法論は一般性がありますので、今後はさまざまな方向に発展していくことを期待しています。

**長きにわたり研究されてきた分野を前進させたとは素晴らしいですね。また、社会的意義のある共同研究もなされていると伺いました。**

2021年から静岡県立総合病院とともに難聴や人工内耳を

装着している方の音声・言語認知の共同研究を始めました。難聴者における聴覚機構の態様を明らかにし、音声知覚・言語発達の個人差の背後にあるメカニズムを解明することを目的としています。

最近ではデジタル補聴器、人工内耳という補聴機器が普及しています。特に、先天的に聴覚に障がいがあっても乳幼児期早期に人工内耳を装着すると、健聴児と同様に音声言語を獲得できることが実証されています。しかし、音を知覚し、ことばを認知するまでの過程にはいまだ不明な点が多く、人工内耳が与える電気信号から語音認知に至るまでの情報処理や発声・歌唱能力とのかかわりについて、その脳のメカニズムや発達の過程は解明されていません。このため、補聴技術の効果を最大限に発揮するために何をすべきなのか、何ができるのか、研究の余地は大きいのです。医療と脳科学の両面から研究者が協力して研究を充実させることが期待されています。このような状況の中で、新生児聴覚スクリーニング検査や難聴児支援についての先進的な取り組みを展開し、難聴児の多様なデータや対応実績がある医療機関と、聴覚メカニズムや幼児言語発達プロセス研究に取り組むNTT研究所とが手を組めたことは、意義深いことだと思います。先ほどご紹介した瞳孔・眼球運動やモデリングに関する研究もここで活かされる可能性があります。こういった複合的、多角的な共同研究により、人間の聴覚メカニズムの本質的な解明を進められると期待しています。もちろん、その科学的なエビデンスに基づいて、将来的には難聴に対するサポートを多くの方に提供したいです。



**本質を突く、教科書に載るような貢献したい**

**ポストク時代を含めれば約30年の研究活動を通じて実感していることをお聞かせください。**

前回、幼いころに将来は博士になろうと思っていたとお話をしました。その当時は、博士はどんなことでもこたえられる存在だと思っていましたが、今となっては、必ずしもそうではないと実感しています。例えば、難聴という



も、人間の認知や行動はさまざまなメカニズムの積み重ねで成り立っているわけですので、聴覚に関する知識だけでは、難聴者の困りごと全体をカバーできるとはかぎりません。仮に私に何らかの知識があり、何に問題があるのかを推定できたとしても、実際に難聴でお困りの方の問題をすぐさま解決できるわけではありません。現実社会の問題を本当に解決するには政治や教育等も含めてさまざまな力が働きます。そういった意味でも広い視野が必要であると知りました。だからこそ、さまざまな分野の研究者どうしの横のネットワークを持ち、そこから得られる視点や知識は私にとっては必要です。もちろん、私の専門領域の知見がお役に立つならそのネットワークに貢献したいと考えています。

研究はやってもやっても終わらないものです。1つずつのポイントが「こうかもしれない」と分かることはあっても、それですべてを理解できるとは到底思えません。もちろん知りたいと思って追究しているのですが、一気に氷解するようなことはほとんどないのです。ちょっとやそっと研究をしたからといって真に何か解明されるほど甘くはないと実感しています。ですので、研究には地道な継続が必要だと思っています。

一方で、限界を感じて目先を変えて違う研究をしてみようとすることもあります。それがいい方向に進むときもあれば、やはり本質的に重要な問題から離れていくと感ずることもあります。今になっても悩みながら活動しているというのが正直なところです。

このように、至らなさを常に感じながらも、私は基礎研究者として長期的にインパクトのある研究を手掛ける研究者でありたいという願望はあります。長期的なインパクトといってもいろいろなかたちがあるでしょうが、一言でいえば、教科書に残るような研究をしたいですね。アッと驚くような発見にも憧れますが、地味だけれども長々続けて1つの体系を築くような研究もそれと同じくらい重要だと思っています。

**研究者としての強い信念を感じます。研究活動において日頃から心掛けていることは何でしょうか。そして後進の研究者の皆さんに一言お願いします。**

研究活動において、一発逆転はなくていいと思っています。「あいつ、まだ同じようなことやっているな」と言われようとも、学術的に本質的な疑問に答えるようにしっかり正しく追究していくと、その知識の蓄積は学術的に貴重な貢献となります。教科書に載り長く引用されるような研究はそういう地道なものでしょうし、それができている研究者を尊敬します。

「本質」といってもその姿は1つではなく、立場や背景によっても異なるものだと思います。どれが良い・悪いとは言えない中で迷ったときは、私は例えば「これを追究したら誰の喜ぶ顔が想像できるだろうか」と思いめぐらして、視点を変えて考えることもあります。この「誰」というのは隣にいる同僚の研究者、学会の偉い先生、あるいは歴史上の偉人だったり、特定の人ではなくても、社会の中で何か困っている人だったりもします。

さて、私は上席特別研究員としての研究者と、人間情報研究部長としてのマネジメントの2つの立場を持っていました。研究者としての立場と、マネジメントの立場の折り合いをつけることが難しいのではないかと聞かれることもあります。確かに、自分自身の考えが基準となる研究者と、他者や組織のあり方を考えるマネージャーとは、自分の中で対立することもあります。ですが、マネジメントの立場に立つことで見えてきた研究テーマもあり、それをきっかけに自分の世界が広がることもありました。結果的には、相乗効果もありましたので、研究者としてもありがたい機会をいただいたと思っています。

最後に、後進の研究者の皆さん。先輩方をうまく活用してください。指導する側、される側というだけではなく、自分自身やチームを高める手段として、先輩方の知識や経験や人脈も利用していただければと思っています。

# 挑戦する 研究開発者たち CHALLENGERS



## 金城皓羽

NTT西日本  
ビジネス営業本部 バリューデザイン部  
コミュニケーション基盤部門  
テックデザイン担当

## めざすサービス像を 営業と研究開発の観点 から多角的に検討する

「ソーシャルICTパイオニア」としてあらゆる産業や社会のDX（デジタルトランスフォーメーション）を推進し、社会課題の解決を図るNTT西日本。IoT（Internet of Things）のデータ収集・装置の遠隔制御において、LPWA（Low Power Wide Area）とドライブバイ方式（移動型ゲートウェイによるデータ収集技術）でお客さまをサポートしています。最前線で研究開発に臨むNTT西日本 金城皓羽氏に研究開発の概要と仕事に向き合う姿勢について伺いました。



### LPWA不感地エリア解消技術に挑む

現在手掛けている研究開発の概要を教えてください。

昨今、通信機器に限らず、身近なモノであれば冷蔵庫などの家電等もインターネットでつながって通信できる、いわゆるIoT（Internet of Things）が急速に普及してきました。日本政府も第5期科学技術基本計画においてSociety 5.0を提唱し、IoTやデータ利活用による製造業、農業、交通、サービス業などの広範囲にわたる課題解決に言及しています。政府も言及するように多岐にわたる分野において、IoT機器の導入、あるいは導入の検討が進んで

いて、IoT向けのアプリケーションは多様な要件の通信ニーズに対応することが求められています。

一般的にデータ収集におけるIoTデバイスとの通信は、頻度が低く、1回の通信当りのデータ量も少ない一方で、多くのIoTデバイスとの通信が発生します。このような通信要件に特化してIoT向けの新しい無線通信技術として開発されたのがLPWA（Low Power Wide Area）で、長距離のデータ通信と低消費電力の2つの条件をカバーする無線通信技術です。

LPWAは使用電波の周波数帯により、大きく免許帯（携帯電話用周波数帯等）と免許不要帯（920 MHz帯等）に



分けることができます。NTT西日本では免許不要帯であるLoRaWAN<sup>®</sup>に着目し、事業を提供しています。LoRaWAN<sup>®</sup>はSemtech社やAmazon社、Microsoft社などの企業を中心に世界400社以上が参加するLoRa Allianceによって仕様策定され、パブリックに公開されている方式です。オープンな仕様であることから、対応デバイスの開発が盛んに行われ、すでに北欧をはじめ世界100カ国以上の国で利用されています。

LoRaWAN<sup>®</sup>はデバイス、GW（ゲートウェイ）と呼ばれる基地局、ネットワークサーバ、アプリケーションサーバで構成されています（図1）。LoRaWAN<sup>®</sup>の規格では、消費電力や下り通信の応答性が異なる3つの通信クラス（クラスA～C）が用意されています。クラスAはLoRaWAN<sup>®</sup>の3つの通信クラスの中でもっとも低消費電力ですが、下り通信の応答性が低い通信方式です。クラスBは消費電力を抑えながら、下り通信の応答性を向上した方式です。クラスCは、デバイスが常時アクティブ状態で

あるため、もっとも下り通信の応答性が高い方式となっていますが、その分もっとも消費電力の高い方式です（図2）。このうち、NTT西日本ではクラスB通信をすでに実装しており、世界で初めて商用提供を行っています。

しかしながら、LPWAの運用にあたって、特に屋内（工場や地下）では建物による遮蔽や屋内等電波が届かない不感地エリアや圏外エリアが点在的に発生し、データの収集や制御が困難になります。これにより、計器の値の確認や、機器の稼働状況の自動確認が困難となり、作業員を確保・派遣しなければならないといった課題に直結します。また、社会インフラや製造設備は一般に立ち入りが難しく、計器や機器は長期にわたり利用されるため、既存環境へ大掛かりな手を入れずに「後付け」できることも重要なポイントになります。

そこで私たちは、電波の届かないエリアに対するデータ収集課題に関して取り組み、LoRaWAN<sup>®</sup>をベースとしたデバイスとGWの通信方式の開発、データの見える化と

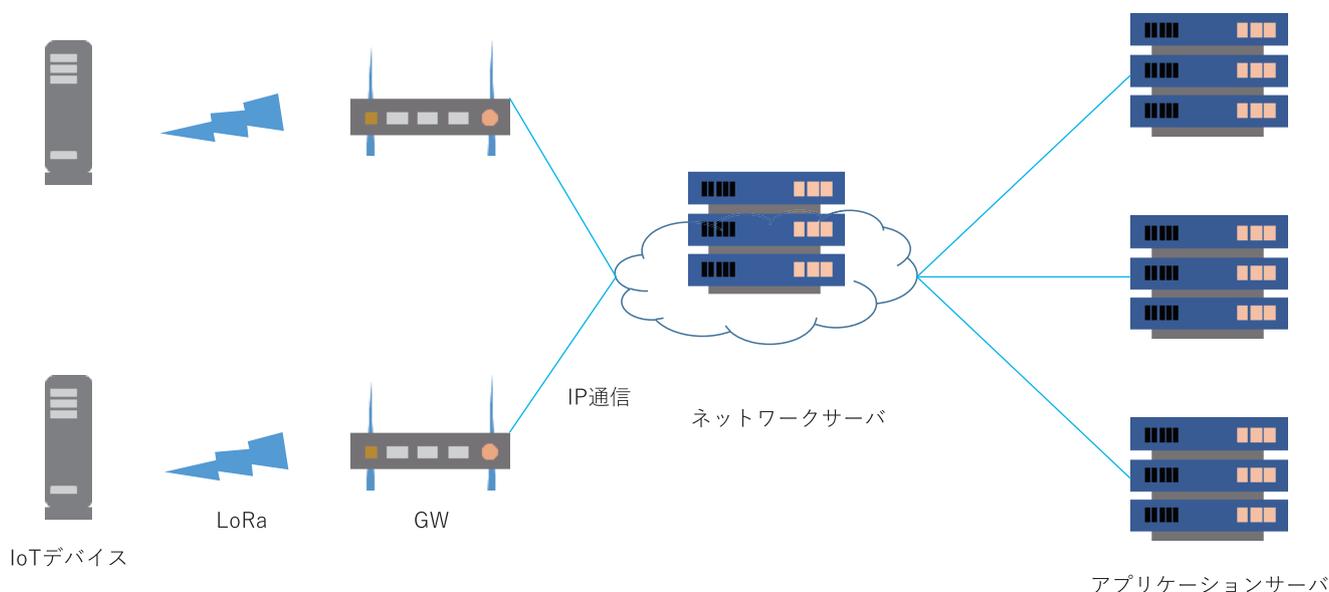


図1 LoRaWAN<sup>®</sup>のシステム構成

制御を行うアプリケーションの開発、加えてそれらのフィールド検証を進めてきました。

## めざすは「電波の届かない場所」でのデータ収集・制御の実現

お客さまからはどのようなご要望があるのですか。

一例ではありますが、設備の保安点検や環境のモニタリングを実施している業界では、計器の値の読み取りや、扉の開閉状態の確認など、センタ側から端末に遠隔かつ省電力で状態確認したいというご要望をいただいています。

このご要望にこたえるため、NTT西日本では2016年から国内におけるLoRaWAN<sup>®</sup>の有効性の確認や、事例創出のためフィールドトライアルを実施しています。

トライアルではNTT西日本がネットワークの提供だけでなく、センサやクラウドとの接続性の検証を行っています。また、実証のフィールドについてはパートナーとともに準備し、さまざまなユースケースを探索しています。

2016年には、積水化学工業株式会社とともに、滋賀県野洲市の水田にてLoRaWAN<sup>®</sup>の給水栓装置の遠隔制御のトライアルを行い、電波伝搬試験や季節、稲穂などの周辺環境の電波への影響を確認したところ、従来の無線規格では

天候の影響や、稲穂が伸びることにより電波環境が悪化するなど課題がありましたが、LoRaWAN<sup>®</sup>を用いたことにより夏から秋までの季節を通じ、問題なく通信可能であることが分かりました。2022年現在では、農業分野でのLoRaWAN<sup>®</sup>の導入実証や活用検討が進んでいます。

また、同じく2016年には、LoRaWAN<sup>®</sup>クラスBの事業化に向けた検証を実施しました。スマートメータなどへの導入を想定し、テスト用ガスメータの遠隔制御、検針データの収集を行う実証実験で、システム遅延や通信成功率を検証し、実用化できるレベルであることを確認しました。

さらに、2017年11月には前述のとおり双方向通信を実現する「クラスB」通信の商用提供を世界で初めて開始し、現在も商用提供中です。クラスB通信を用いることで、トラフィック量の削減によるコスト削減や電波の有効利用による通信状況の改善を実現しています。

**着実に実装が進んでいるようですが、実際の運用における課題はまだ残されているのでしょうか。**

私たちはLoRaWAN<sup>®</sup>を利用しているデバイスに対して屋内外問わずデータ収集・制御可能となる将来をめざしていますが、工場や港湾、山間部、地下などでは、携帯電話サービスのエリア外や、屋内等遮蔽物により電波が届か

クラス名	下り通信の特徴	下り通信の応答性	消費電力
クラスA	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ デバイスは基本的にスリープ状態</li> <li>・ アップリンク送信の直後しかダウンリンクを受信しない</li> </ul>	低	小
クラスB	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ デバイスは定期的にアクティブ状態をとる</li> <li>・ デバイスはあらかじめスケジュールしておいたタイミングでダウンリンクを受信することが可能</li> </ul>	↑ ↓	↑ ↓
クラスC	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ デバイスは常時アクティブ状態</li> <li>・ アップリンク送信時以外はダウンリンクを受信することが可能</li> </ul>		

図2 LoRaWAN<sup>®</sup> クラス



ない不感地エリアが点在しています。このような場所ではデータ収集や遠隔制御を行うのが難しい状況です。

LPWAを用いてデータ収集や制御をする際に生じる、「電波が届かない」という課題の解消には、GWを追加設置する、ビルの屋上等の見通しの良い場所に設置する等の対応が一般的です。しかし、不感地が数多く点在するエリアにおいては、GWの設置・運用コストの増大に懸念があります。さらに、デバイスとの位置関係や遮蔽物の形状、材質によっては、どれだけGWを設置しても電波の減衰が大きく、通信状況が安定しないこともあります。この課題に対する1つのアプローチがドライブバイ方式（移動型GWによるデータ収集技術）です。この方式はGWを固定設置するのではなく、携帯移動基地局車のようにGWを移動させるとイメージしてみてください。私たちは、街中を巡回するごみ収集車等の車両にGWを搭載し、点在する不感地エリア付近を走行したタイミングでデータ収集や制御することを考えています。このように車（Vehicle）が走行しながらデータを集めて回る様子を、蜂（Bee）が集める際に、花粉を無意識に運び、花を咲かせていることに重ねて、このドライブバイ方式に「Beeacle<sup>®</sup>」と名前をつけています。

これまで、私たちは3つのGW機能開発を手掛けました。まず、Sub-GHz帯である920 MHz帯にてデバイスを起動させるための起動ビーコンを出力する機能、デバイスを特定せず起動させるブロードキャスト通信の機能、特定のデバイスのみ起動させることができるユニキャスト通信の機能です。そして、デバイス機能開発については、GWから送出されるブロードキャスト通信、またはユニキャスト通信によりデバイスが起動する機能と、起動ビーコンを受信した場合、起動してデータ送信し、通信が完了したら省電力モードとなる間欠受信機能を開発しました。

それから、アプリケーションサーバの機能については、GWから送出する起動信号方式（ブロードキャスト通信・

ユニキャスト通信）を選択する機能と、ユニキャスト通信の場合は起動信号の送信先となるデバイスを選択する機能、そして、起動信号の送信回数やSF値等のパラメータ設定ができる機能を開発しました。ドライブバイ方式はこれらの技術を結合したものです。

ただ、車両にGWを搭載して不感地エリアを解消することはそう簡単ではありません。通常の屋外GWでデータを取得できないデバイスだけを対象に、GWを搭載した車両が近づいたタイミングでデバイスを起動させてデータ収集する必要があるからです。

ドライブバイ方式では、車両に搭載したGWからデバイスに対して起動信号（起動ビーコン）を送信して、省電力モードで待機しているデバイスを起動、その後デバイスからGWに対してデータを送信させてデータを収集します。言葉にすると簡単そうに聞こえてしまう仕組みなのですが、電波は壁等で反射する性質があるため、ちょっとした壁の凸凹や建物の金属の含有量等によって反射が異なります。開発や実証にあたっては、反射波が原因で発生するトラブル1つひとつに対応し、パラメータやアンテナを調整するというとても地道な作業が必要になりました。例えば、滑走路跡地で行った検証では、地面による反射が影響し、電波が届かなかった等の意外なトラブルもありました。GWは信号を送れているか、デバイスは信号を受信できているかログを確認することはもちろん、アンテナの向きは影響していないか、デバイスの配置は問題ないかなどさまざまな要因を想定しながら、パラメータの調整を進めてきました。

今後、ドライブバイ方式の普及が進めば、デバイスの省電力化を図りつつ、屋外GWの電波環境の悪い場所でのデータ収集が実現できるだけでなく、例えばバスやごみ収集車のような住宅街を巡回する車両に搭載することで従来の業務に支障なく、ドライバーがGWやデバイスを意識することなく、移動しながらデータ収集が可能となります。また、ドローンやロボットへの搭載など今後の技術動向に

応じたユースケースの広がりも期待されます。計画は順調に運んでおり、現段階までの検証においては実用に耐え得ることが確認できており、2025年の大阪・関西万博を見据え、2023年あるいは2024年までには社会実装ができるだろうと見込んでいます。加えて、集積情報を可視化できるアプリも開発していますので、今後はさらに特定の商用を想定した検証等を実施して、お客さまのニーズに即した実装のあり方を検討する段階へと進みます。



## 疑問が残るものに対して とことん議論をする

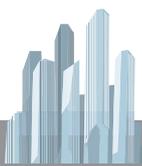
**研究開発者にはどんなスキルや姿勢を求められているとお感じですか。**

めざすサービス像を具体的に持ち、技術の信頼性と可用性を地道に高めることが大切だと考えています。現在の業務で携わっているドライブバイ方式は、インターネットに接続するすべてのモノを対象とするIoT技術であり、大量のデバイスを扱うユースケースが想定されます。設置環境も必ずしもデバイスにとって良好な場所とは限りませんが、したがって、システムの不具合や障害発生リスクを最小化するために、開発段階でさまざまな条件を考慮し、検証することが必要と考えています。ドライブバイ方式の検証にあたっては、大量のデバイスがどのように設置されるのか、データ収集はどのような環境で行われるのかを想定し、パラメータを設計しました。また、性能評価においては、結果の再現性に注意を払って、否定的な結果を見落とし、比較パラメータや検証データが不足したりしないよう慎重に検討を進めてきました。このような地道な検討やデータの集積が技術としての信頼性、可用性を高め、お客さまへの提案活動につながり、さらには、NTT西日本グループに任せいただき、お客さまの環境に合ったシステムを提供することへつながると感じています。

また、積極的にコミュニケーションをとる姿勢も大切だと考えています。私はNTTセキュアプラットフォーム研究所（当時）で暗号技術の研究に携わってきましたが、サービス化に近いところで業務をしたいという思いがあり、2020年からはNTT西日本で事業化に直結する研究開発に従事しています。研究所とはプロジェクトのフェーズも分野も異なることもあり、現在の業務に携わった当初はプロジェクトの進め方にギャップを強く感じていました。そのような中で、私が恵まれていると思うのは、プロジェクトにかかわる皆様に親身に接していただき、疑問が残るものに対してとことん議論ができたことです。事業会社の研究開発では、めざすサービス像を営業観点・研究開発観点で多角的に検討する必要がありますが、それぞれの専門の方々に助言や議論をいただきながら、実用化に向けた取り組みを進めてきました。相互コミュニケーションを図りやすい環境があることが、事業開発にとって、研究開発にとって大事であると改めて感じています。

最後に、少し先に社会人になった立場から、大学院生等のこれから研究開発者をめざす方々に私の経験をお話します。何か分からないことがあったり、間違っているかもしれないと思うと先輩方との議論になかなか参加しづらいことがあります。しかし、先輩の研究開発者や上司は私が突拍子のないことを言っても、「それ、なんだか面白いね」などと言って受け入れてくださいます。皆さんも面白いアイデアをお持ちだと思いますので、どうぞ臆することなく議論に臨んでください。一緒に議論する機会を持てるのを楽しみにしています。

# 明日のトップランナー

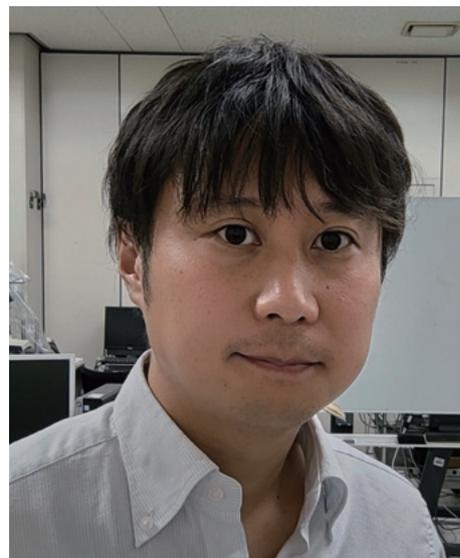


NTTデバイスイノベーションセンタ

## 上田悠太 特別研究員

### 高品質・低遅延の通信を実現する 「電界制御による波長可変光源」

NTTが提唱しているIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想では、低電力・高品質・高速の通信の未来を実現するために、光通信機器の早急な進化が求められています。特に近年では、IoT (Internet of Things) の進展などによるネットワーク接続デバイスの増加や、リアルタイム性の高い通信アプリケーションの出現を背景として、通信インフラの消費電力や遅延は世界的に大きな問題になっています。今回は、これらの課題を解決する「電界制御による波長可変光源」の技術について、上田悠太特別研究員にお話を伺いました。



◆PROFILE：2011年早稲田大学大学院博士課程修了。博士（工学）。博士課程在学中に日本学術振興会特別研究員。同年、日本電信電話株式会社に入社。NTTフォトリクス研究所に所属。2022年よりNTTデバイスイノベーションセンタ、およびNTT先端集積デバイス研究所特別研究員。半導体波長可変光源に関する研究に従事。2012年電子情報通信学会学術奨励賞、2022年電子情報通信学会論文賞等を受賞。2020年より九州大学客員准教授。



#### ◆「電界制御による波長可変光源」とはどのような技術なのでしょうか。

「電界制御による波長可変光源」とは、簡単にいうならば「光通信に使う光の色を電圧で制御する」という技術です。光の波長とは可視光というならば色に対応します。光通信に使う光の「色」にはさまざまな色があり、例えば赤色にはAの信号、緑色にはBの信号というように、個別の信号を違う色のレーザに乗せて、1つの光ファイバに入れることができます。それによって色の種類に応じて容量が何倍にも増えることが光通信の利点の1つです。以前から波長可変光源に求められていたのは、1種類の半導体チップだけで好きな色を出すことで、通信事業者が準備しておくレーザチップの共用化を図ることで在庫を減らし、通信を低コストに運用するという点でした。さらにこの在庫低減の目的に加えて、IoT (Internet of Things) の進展などによるネットワーク接続デバイスの増加も背景にして、光の波長を制御するための消費電力も問題になっている中、根本的に電力を削減する手立てが物理レベルでなかったというのが、この分野の課題の1つとしてありました。

また、近年では波長可変光源を単に光波長の種類を増やすためではなく、光通信の最中において波長を動的に切り替えることで新しい機能を発現しようという試みがなされています。例えばさまざまな波長（色）を含む太陽光をプリズムに通すと、色ごとに光の進む道が変わることから想像できるように、波長を動的に変化させることで光通信経路を切り替えることができるのです。プリズムに光を通すだけならば複雑な電気制御は一切不要であり、つまり波長を光経路に対応させれば高速・低電力な経路制御が可能となります。この波長を高速に動かすという現象は、通信に限らずにセンシング応用、例えば最近ではLiDAR (Light Detection And Ranging: 光による検知と測距) といったキーワードも新聞などでも盛んに見かけますが、そのような新しい光システムへの対応にも非常に期待されています。しかし、これまでの半導体レーザは波長を高速に動かすとレーザの雑音が大きくなってしまい、新しい光システムに求められる高速性と低雑音性の両立が、通信・非通信にかかわらず歴史的に困難でした。

これらの課題を解決するのが「電界制御による波長可変光源」の技術です。この技術のポイントは「電気信号を加える際に電流ではなく電圧を用いて光の波長の制御を行う」という点です。電圧で光の波長を制御する利点はさまざまですが、まず1つは消費電力をとっても小さくすることができます。中学理科で習ったとおり、電力は電圧と電流の掛け算ですが、電圧制御ということは言

い換えると電流が不要（ゼロ）ということなので、簡単にいうと波長制御のための電力を限りなくゼロに近づけることができます。さらに電圧は半導体に対して非常に速く作用する性質があり、高速な波長制御が期待できるうえに、半導体デバイスでしばしば雑音の元となる電流が発生しないために波長制御に伴うレーザ雑音による劣化も少ないという特長もあります。したがって、消費電力・高速制御・雑音のすべての観点で既存の技術を凌駕することができます。従来のさまざまな光システムの課題を解決できるのではないかと研究を進めてきました。

電界制御による波長可変光源は以上のとおり、利点が多くあるのですが、実現は不可能とされていました。その理由は、電界制御型の波長可変光源は波長を変化できる幅が著しく狭いため、実用的な“波長可変”機能が実現できないとされていたためです。この問題に対してNTTが長年研究してきた光半導体技術と、私の独自発明の半導体光フィルタ回路の技術を合わせることで、実用的な波長可変幅を持ちつつも、電界制御の利点を活かした低電力・高速・低雑音な波長可変光源の原理確認を実現するに至ることができたのです。

◆「電界制御による波長可変光源」は具体的にどのような方法で行うのでしょうか。

私は元々NTTの研究所で「変調光源」という技術分野のチームにいたのですが、そのときに培った経験やアイデアが現在の研究に生きていると感じています。変調光源とは、レーザ光源と、光源から出力されたレーザに信号を載せる変調器の2つが一緒に集積されている半導体チップのことです。そのチームでレーザ波長の異なる複数の変調光源からの光を合わせるための波長合波器という技術についても取り組んでいました。先ほど紹介したとおり、複数の波長の光信号を1本のファイバへ入射することで通信容量を増やせるのです。実は波長合波器は見方を変えると「複数の波長から1つの波長を抜き出す」という使い方ができる、つまり波長フィルタとして使えるという性質があります。波長合波器にも多くの種類がある中で、当時研究していた波長合波器は、電気信号に対する波長の選択のルールが敏感で、電圧信号のような波長制御には適さない信号でも実用的な波長フィルタが実現できるとことに気付きました。これを応用した「電界制御による波長可変光源」の技術では、独自発明の半導体光フィルタ回路に電圧をかけて、その波長選択ルールを変えることによって異なる波長の光を生成するという行っています。

## 取り組んでいる技術：電界制御による波長可変光源

- ・ 電界制御はカバー波長域(変化できる光の色の幅)を除けば理想的な制御方式
- ・ このカバー波長域の問題を克服して、世にない性能の波長可変光源を創出

	温度制御	電流制御	電界制御
発光部 波長制御部 半導体レーザ共振器			
カバー波長域	○ >35 nm	○ >35 nm	○ <5nm
切替時間	× 100 μs	△ 1 ns (100 μs*) <small>*熱ドリフト</small>	○ <1 ns
線幅(雑音)	○ 100 kHz	× 1000 kHz	○ 100 kHz

※上記以外の利点として、電界制御は電力も非常に小さい

歴史的に電界制御の波長可変光源が不可能だった理由

図1 従来の技術と電界制御による波長可変光源技術の比較

もちろん従来の技術として、フィルタに電気信号を与えて波長の選択のルールを変えるという技術は存在しており、例えば半導体を温めたり電流を流したりする手法が採られていました。しかし、これら技術では波長選択をする際の消費電力が大きい、あるいは波長変化の高速化とレーザーの低雑音化の両立が原理的に困難という問題がありました。電界制御はそれらの課題を一気に解決できる一方で、前述のとおり実用的な波長可変幅が得られないという問題があり、実用化には至っていませんでした。そこで、変調光源のプロジェクトにおける着想を活かして、電界制御でも実用的な波長可変幅を持つ波長可変光源の実現に挑戦したのです。

結果的に試作した波長可変光源は、例えば従来の温度による制御技術と比較して、波長制御スピードが100万倍ほど速くなりつつも、レーザー雑音（線幅）は実用に十分な低雑音に抑えられています。そして実用的な波長可変幅を示しており、これからの高性能な光通信や光センシング技術に大きく貢献する技術になると考えています。また、波長を変えるのに使う電力は10分の1以下であり、外部回路の負担軽減も考慮するとさらなる省電力化が見込まれるため、現在問題になっている通信におけるエネルギー問題の解決や、通信コストの大幅な削減にも貢献できます(図1)。

多くの社会課題を解決し、**IOWN構想の未来を創造する**

◆「電界制御による波長可変光源」の技術を用いた今後の展望について教えてください。

NTTが提唱しているIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想における、オールフォトンクス・ネットワーク (APN : All-Photonics Network) の取り組みでは、低消費電力の実現のため「電力効率を100倍に」という目標があります。「電界制御による波長可変光源」は光ネットワークの低電力化の側面から、APNの基盤技術にしたいという展望があります。電界で波長可変を制御することによって、光通信にかかる電力とコストを削減し、情報処理基盤のポテンシャルの大幅な向上に貢献できると考えています。またノイズが少なく切り替え時間が短いという点からも、「低遅延」「大容量・高品質」といったAPNの他の実現目標も達成するというのが今後の展望です。

また、光センシングなどの非通信分野への応用も視野に入れています。例えば、IOWN構想のデジタルツインコンピューティング (DTC : Digital Twin Computing) において、実社会をコンピュータの社会に転換してデータ処理することで、社会にとって有益な情報の発信、例えば公共空間における感染回避や事

## 波長可変光源の応用例

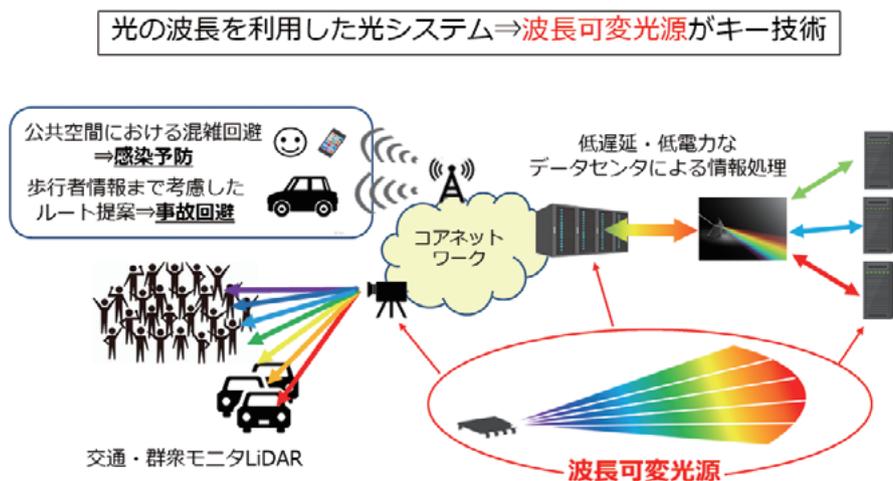


図2 波長可変光源技術を応用したさまざまな社会課題の解決

故防止といった貢献が可能になると考えています。「実社会をコンピュータの社会に転換」の部分はまさにセンシング技術であり、実世界に対するデジタル世界の「目」としての機能実現にも「電界制御による波長可変光源」の技術は期待できると考えています。このようにさまざまな社会課題を、通信・非通信の分野にかかわらず解決し、多くの人の暮らしに貢献できるような技術をめざしていきます（図2）。

◆研究者や学生へメッセージをお願いします。

NTTでは「もしこんな技術があったら、世界が変わるのではないだろうか」というコンセプトベースから仕事ができます。そのうえで自分たちで実用レベルまで仕上げ、デバイスビジネスにも取り組みながら、販売をして意見をフィードバックして開発を続け、研究・開発・ビジネスと広く手掛けることができることに、NTTで研究を行うことの面白さを感じています。必ずしもこれらのスキームすべてをNTT研究所内で完結させるのではなく、必要に応じて外部のパートナーと連携できる点もNTTの強みですね。もちろん論文を書いてNTTの技術力を宣伝することはとても大事な仕事なのですが、NTT研究所の中でも特に私がいる光半導体の分野では「世のため人のため」という思想の下、研究を重ねて実用化を行い、新しい社会的な価値をつくり出すということが大事です。誰かが技術を必要として、それに対してお金を出していただけることは、つまり世の中の役に立っているということですのでとてもやりがいを感じます。これからの研究では、今回ご紹介してもらった「電界制御による波長可変光源」の技術に限らず、広い技術・アイデアをさまざまな場面で役に立て、多くの人が幸せになる社会の実現に貢献していきたいと思っています。

私は現在、光半導体の分野でデバイス研究を行っていますが、



（今回はリモートにてインタビューを実施しました）

そこではそれぞれに得意分野を持った多くの研究者が集まり、1つのデバイスをつくるために日々研究をしています。研究やビジネスパートナーにはもちろん海外機関も含まれます。そうした中で強く思うことは、研究を円滑に進めていくうえでチーム力が非常に大事だということです。デバイス研究は1人では絶対できないので、得意分野がある人を尊敬してたくさんのことを学びながら、協力をして研究を進めなければいけません。「多様性」というのは昨今非常に重要な社会テーマで私も非常に大事だと思いますが、一方で研究のプロジェクト、特に実用化を前提としたプロジェクトでは最終的に1つの意思決定を下す必要性に迫られることが多くあり、衝突も珍しくありません。そういった中で「プロジェクトとしての意思決定」と「研究の議論の深みを増すための多様性」の両方を達成するというのはとても大変ですが、考えが違う人たちとの折り合いをつけながら、相互理解を試みていく姿勢が非常に重要であると感じます。

もちろん大前提として、個々の研究者が自分の意見と興味を持っているからこそそのチーム力です。自分自身の専門分野に対する思想を持っていなければ研究者とは呼べないと思っています。私が修士課程の学生だったころ、指導教員に「若いときに何かを突き詰めたら、その後に違う景色が見える」というアドバイスをいただいて博士課程に進学したという経緯があるのですが、これを読んでいる若い研究者の方々には、自分の感性を大事にして研究を突き詰めてもらいたいなと思います。たとえそれが仕事ではなくて、趣味でも当てはまることだと思うのですが、好きという気持ちがあれば続けることができるし、突き詰めることができます。だからこそ、感受性が豊かな若いうちに、自分が楽しいと思えるものをぜひ大事にしてほしいです。現在、世界的に半導体研究に活気がある一方で、日本では激しい競争の中で楽観できない厳しい状況でもあると思いますが、その中でも恵まれた環境を持っているのがNTTの研究所です。これからの未来を担っていく若い研究者たちの皆さん、ぜひ私たちの仲間になってもらって、通信の未来を一緒に創造していきましょう。

# NTT DATA

## 株式会社NTTデータ数理システム 数理系のエンジニアがお客さまや 社会の課題を解決する専門家集団



NTTデータ数理システム 箱守聡社長

NTTデータ数理システムは、数理最適化、科学技術計算・シミュレーション、アナリティクス・AIを駆使して企業の課題解決に貢献している専門家集団の会社だ。データサイエンティスト等を中心にエンジニア不足が表面化する中、約100名の数理系エンジニアを擁し、DX推進や環境問題等の社会課題解決、そして将来的なグローバル展開に向けた思いを箱守聡社長に伺った。

数理最適化、科学技術計算・シミュレーション、  
アナリティクス・AIに関するパッケージやコンサルティングを提供

### ◆設立の背景と会社概要について教えてください。

NTTデータ数理システムは、半導体CADや科学技術計算一般を主たる事業として1982年4月に設立された株式会社数理システムを母体とし、2012年2月にNTTデータグループの一員となり、2013年9月に現在の社名となりました。

NTTデータグループの会社ではありますが、SIerではなく、データマイニング、機械学習、数理最適化、シミュレーション、科学技術計算など、数理科学とコンピュータサイエンスを駆使して問題解決していくという専門家集団で、約120名の社員のうち約100名が技術者です。現在、データサイエンティストやデータアナリストの不足が言われていますが、当社は数学、物理、情報工学専攻の修士もしくは博士を中心に新卒採用し、社内で数理系エンジニアやデータサイエンティスト、データアナリストとして育成しており、時代の最先端を行く人材を擁する会社です。

### ◆どのような事業をしているのでしょうか。

数理最適化、科学技術計算・シミュレーションについては、過去から継続して当社の事業の基礎をなす分野で堅調に事業が拡大している中で、アナリティクス・AIといった比較的新しい分野の事業が最近際立って伸びてきています。これらの分野において、プロダクト事業とコンサル受託開発事業の2つの事業を展開しています(図)。

プロダクト事業では、数理科学を駆使し、データ分析や

数理最適化、シミュレーションを行うソフトウェアパッケージ製品を自社開発して、販売しています。会社設立以降一貫して提供している数理最適化をはじめ、AIの基本技術である機械学習や統計解析、自然言語処理、データ分析、シミュレーションといったパッケージ製品を、こうした技術のニーズの高まりに合わせて提供してきました。

コンサル受託開発事業では、画像認識やマーケティング分析・異常検知・予測、スケジューリングといった今まさに世の中で注目されているような分野を中心に、プロダクトのパッケージ単体では解決できないお客さま個別の課題に対して、私たちの技術を使い対応しています。

2つの事業の具体的な事例として、株式会社ぐるなび様、横河電機株式会社様、株式会社パルコ様の「マーケティングにおけるテキストマイニングやデータ分析」、大阪ガス株式会社様、東日本旅客鉄道株式会社様の「勤務シフト管理ツール」、NTTデータの「道路交通や航空管制のシミュレーション」、NTTコミュニケーション科学基礎研究所の「テーマパークにおける人流シミュレーション」、東京ガス株式会社様、株式会社明電舎様、横河電機株式会社様の「エネルギー関連の最適設計・計画システム」、ネットロック株式会社様、株式会社カネカ様における「物流や配車計画の最適化システム」等、数1000以上、年間約400社の実績があります。当社は、各社のビジネスのみならず、渋滞解消、省エネ、CO<sub>2</sub>削減といった社会課題解決にも貢献しています。

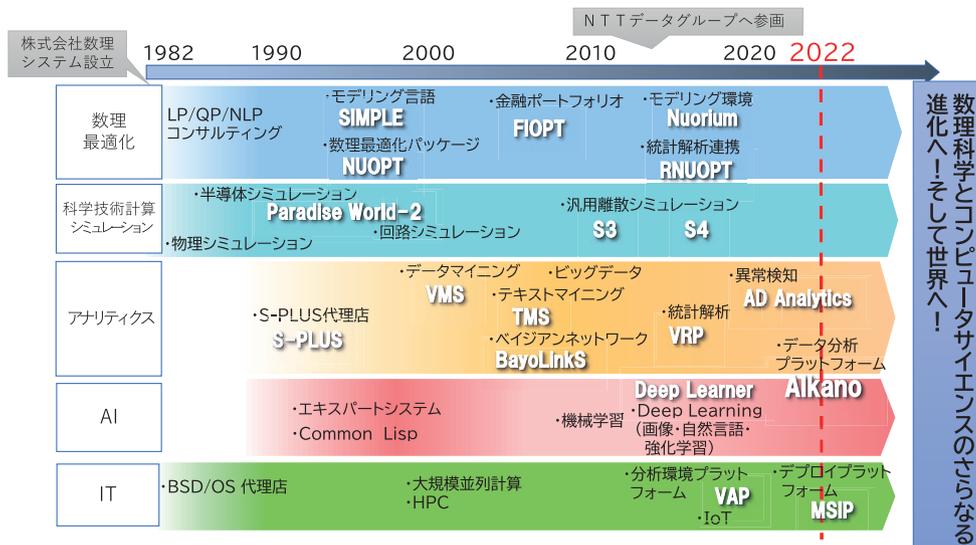


図 事業分野とプロダクト

## ◆ データサイエンティスト等を中心としたエンジニア不足の今こそチャンス

### ◆ データサイエンティストやデータアナリストの不足が言われている中、市場はどのような状況にあるのでしょうか。

お客さまのご要望は基本的に問題解決であり、その典型的な例として、業務効率化等を目的とした数理最適化やシミュレーションに関する需要は以前から根強くありました。それに加えて最近では、デジタルトランスフォーメーション（DX）や効果的なマーケティングが注目されるようになり、その手段としてビッグデータや統計解析のようなアナリティクス、機械学習に代表されるAIに関する需要が大きく伸びてきています。

こうした需要に対応していくためには、数理系のエンジニア、データサイエンティスト、データアナリストといったエンジニアが必要になるのですが、ご存じのとおり日本においてはかなり不足しているのが現状です。

一般的にソリューションを提供しているSIerや、パッケージ製品の開発ベンダ、企業のシステム部門では、データアナリティクスのスキルよりもシステム構築のスキルに重きが置かれるため、データアナリティクスのエンジニアがいない、もしくは少数というのが現状です。

一方で、10数名のエンジニアを擁してデータ解析等特定の分野で事業展開しているベンチャー企業も何社かあるものの、約100名のエンジニアで数理最適化、シミュレーション、アナリティクス、AIといった幅広い分野で長期にわたる実績のある会社は、当社のほかにはすぐに思いつきません。

当社のプロダクトやサービスは、お客さまへ当社が直接提供するほか、パートナー会社のプロダクトやソリューションと連携してお客さまに提供しておりますが、需要の伸び、エンジニア不足、競合不在といった非常に恵まれた環境に

あることも影響し、多くのお客さまやパートナーからお声掛けをいただき、対応を少しお待ちいただくこともあるほどの有り難い状況です。また、NTTデータグループ以外のお付き合いが約80%あり、グループ内外で当社を認識していただけていると感じています。

### ◆ 今後の展望についてお聞かせください。

過去からの実績もあり当事業の基盤の1つでもある数理最適化の分野は、現在着実に伸びていますが、より強固な基盤としていくためには、まだまだこの技術の認知度が低いと考えています。数理最適化の効用には、最近注目を集めているDX推進、効率的なエネルギー管理、CO<sub>2</sub>削減といったものがあり、グリーンやSDGsでの課題解決には必須の技術です。これらの事例を可能な限り公開し、訴求していくことで、認知度向上を図っていきます。

一方、AI、アナリティクスの分野は現在まさに市場が拡大中であり、技術の進歩も非常に速い領域です。こうした市場特性から、多くの注目を集めて競争環境も厳しくなり、いわゆるレッドオーシャンになることは容易に想像がつかれます。これに対しては重点的にリソースシフトをかけていくことで、エンジニア不足で足踏みしている周囲に対して、1歩でも2歩でも先行して市場獲得していくつもりです。

また、アナリティクスの分野として、2021年にリリースした「Alkano」という次世代データ分析プラットフォームプロダクトの販売にも注力していきます。Alkanoは2000年代にリリースした「VMS」というデータマイニングプロダクトをベースに、約20年にわたる実績・経験、ノウハウを取り込んで進化させたデータ分析プラットフォームです。当面、Alkanoを主力プロダクトとして販売強化していきます。

そして、市場環境が良好な現段階で力を蓄えて、将来的には、当社としても実績豊富な数理最適化を中心に、グローバル展開も視野に入れていきたいと考えています。

## 「データから学ぶ」のではなく 「現実をモデリングする」ことで 真の最適化をめざす数理最適化

数理計画部 部長  
多田 明功 さん



### ◆担当されている業務について教えてください。

数理計画部は、数理最適化に関する国産唯一のソルバー（計算エンジン）を有する、汎用数理最適化パッケージ「Nuorium Optimizer」の開発・販売、および数理最適化技術を利用したコンサルティングやシステム開発を主な業務とする部署です。

数理最適化とは、お客さまの課題解決を目的として、その実現のために考えられる多くの手段の中から一定のルールの範囲内で最適なものを選び出すプロセスです。このプロセスを実行していくうえで、何を変えるかという「変数」、何の値を最大化（最小化）するかという「目的関数」、満たすべき条件としての「制約条件」の3要素がキーファクターとなります。例えば製品製造の場合、コスト、設備稼働率、作業平準化、廃棄量等が目的関数となり、生産量、製造順序、人員配置、在庫量等が変数に、需要、設備やライン等の資源、生産能力、必要人数、スキル等が制約条件になります。コスト最小化を目的関数とすれば、与えられた制約条件の中で、その目的を達成するための最適変数が導かれます。

このアプローチは、機械学習と似ているのですが、全く異なるものです。機械学習のアプローチは、過去の「データから学ぶ」もので、選び出されたその結果は「確率的に最適に近い」ものです。一方で、数理最適化のアプローチは「現実をモデリングする」もので、モデルで定義された制約条件を満たしながら変数を変化させることでその結果が最小（最大）となるパターンを選び出すことであり、

その結果は「真に最適な」ものとなります。

数理最適化は、コスト削減や売上・効果の増大といった効率化向上のための計画立案や、熟練者のノウハウを抽出してモデル化することでプロセスの自動化や標準化を図ることが可能となります。こういった特性をうまく組み合わせることで導出された結果を業務に適用することは、まさに業務のデジタル化そのものであり、改革にも結び付いていきます。具体例として、ある運輸会社でのトラック等による配送ルート最適化においては、単なるコスト削減だけではなく6%のCO<sub>2</sub>削減という副次的効果も出ています。また、ある電力会社では、電力の安定供給とコスト削減という二律背反するような課題を、数理最適化により需給調整することで解決しています。

ちょっと変わった事例としては、公益社団法人日本将棋連盟様の例があります。奨励会員どうしの対戦表を作成するのに数理最適化を導入し、熟練の技が必要であった複雑な考慮条件をクリアしながらも、これまで人手で1日2時間半かかっていた対戦表作成作業がほぼ瞬時にこなせるようになりました。

### ◆どのような点にご苦労されていますか。

数理最適化を実務に適用する際には、お客さまからのヒアリングと、それを基にした算出結果に対するお客さま側の納得感が重要になります。したがって、数理最適化によりお客さまの課題を解決する際には、お客さまと議論を重ねともに推進していく、という点に注力しています。

導入を進めるにあたって、ヒアリングによりモデル化を行うのですが、実はほとんどの場合初期の段階では7～8割程度の条件しかヒアリングできません。この状態で数理最適化の計算を行うと、必ずしもお客さまに納得いただける結果が出てきません。場合によっては感覚的に理解できない、といった評価をいただくこともあります。実際、残りの2～3割のところから暗黙知を始めとしたキーとなる重要な条件が存在していることが多く、それを見つけるためにさらにヒアリングを繰り返すことで、最終的にはお客さまに納得いただける結果を導き出せるモデル化が実現できます。

また、この導き出した結果を現場に適用させる段階では、

それぞれの現場の事情が表面化することで、部分最適な傾向が出てくるケースも存在します。お客さまの協力を得ながら全体最適化を図っていくことにより、数理最適化の実務への適用を実現しています。

#### ◆今後の展望について教えてください。

数理最適化の認知度がまだまだ低いことが課題です。専門家の間では当社の数理最適化技術には高い評価をいただいておりますので、この評価も含め、数理最適化の力をさまざまなか所でアピールしていきたいと思っております。最近ではエネルギー関連やCO<sub>2</sub>削減といった環境関連が社会課題として注目を浴びており、数理最適化技術はこのような分野においての課題解決にも非常に有効です。こうした社会貢献や専門家の評価を訴求していくことで、当社の実績をさらに増やして認知度向上を図ります。

また、数理最適化の導入はお客さまのデジタル化に貢献するものであり、それをきっかけとしてお客さまの企業内の変革や、新サービス展開といったDXの推進にもつなげていきたいと考えています。

現在は、こうした活動を国内企業中心に展開していますが、製造系やエネルギー系等グローバル企業のお客さまとの連携により海外展開も視野に入れた活動もしたいと考えています。

## NTTデータ数理システム ア・ラ・カルト

### ■日本を代表する専門家集団

約100名の数学、物理、情報工学専攻の修士卒もしくは博士卒を中心としたエンジニアがお客さまのためにアウトプットを出すことがビジネスなのですが、その傍らで研究開発の活動もしており、国内外の学会で発表をするほど成果も出ているそうです。また、海外の研究所へもエンジニアを派遣し、技術交流をすることでそれぞれの技術のブラッシュアップを図っている例もあり、まさにこの分野で日本を代表するような技術者集団です。そして、こうした成果をお客さまに提供してこそ「真の成果」という意識が強くなるそうです。

### ■広々と開放感あるオフィス

以前よりリモートワークに取り組んでいましたが、コロナ禍がきっかけでリモートワークが定着し、今では総務等の共通業務を除いて出勤率は10%程度とのこと。全員分のデスクが必要なくなってきたので、フロア中心に緑色のカーペットを敷いて広めの導線を確認したうえで、今まで個別のブースがあったところを、休憩コーナー、打合せコーナーも含めてオフィス全体をフリーアドレスに変えたそうです。広々とした明るいスペースに、フリーアドレスならではの開放感を感じます。この先、コロナ感染状況が落ち着いてきたときにはフリーアドレスを活用した社員交流を図っていききたいそうです。

### ■バーチャル社員旅行

コロナ禍で忘年会、新入社員歓迎会等のイベントはオンラインとなりました。その中で、以前は2年に1回のペースで行っていた社員旅行をバーチャルで行ったそうです。参加者はヘッドマウントディスプレイを装着してVR (Virtual Reality) でホノルル観光という企画です。VRとはいえ海外への社員旅行ということで、「旅行のしおり」までつくったとのこと。想定よりも多くの社員が参加したことにより、システムトラブルも発生したようですが、リアルな「旅行のしおり」を前にそれなりの雰囲気は感じることができたのかもしれません。それゆえに次回に向けた意気込みは並々なものではないそうです。

## デジタル人財育成最前線 ——NTTデータの次世代トップ技術者育成施策

NTTデータでは、デジタル人財100%化という目標を掲げ全社員のデジタル対応力強化を進めています。技術集約組織にあたる技術革新統括本部では、高い技術力の獲得に向けて全社の技術者育成を推進しており、ここでは特徴的なデジタル人財育成の育成プログラムを紹介します。

### はじめに

近年、人材不足が深刻化していますが、解消の兆しはなく、多くの企業が人材確保の問題に直面しています。特にIT人材は2030年には最大で79万人不足するとの試算結果が経済産業省より発表<sup>(1)</sup>されています。世界中でデジタルトランスフォーメーション（DX）が加速化する中で、お客さまの要望にこたえるためにも、必要とされるIT人材の育成は急務となっています。

NTTデータでは、全社員のデジタル対応力強化に向けて、デジタル人財\*を3つのタイプに分類して育成を進めています。「デジタルコア人財」は先進デジタル技術の研究開発を先導する人財、「デジタル専門人財」がそのデジタル技術を基にサービスを設計・開発する人財、「デジタル活用人財」はデジタル技術を活用して新たな価値を創造する人財であり、それぞれの高い専門性を持つ人財の育成に向けて、基本的な知識を身に付けるレベルから実践を伴う高度なトレーニングへと段階的な育成プログラムを展開しています（図1）。

デジタルビジネスの拡大に向けてはプロジェクトをリードできる中核人財を育てていく必要があります。中核人財は研修・セミナーだけでは十分な育成ができません。実践型育成を実現するためにどのような育成プログラムを提供できるのかという課題感がありました。技術革新統括本部は、技術集約組織として高度なデジタル技術を持つ技術者「デジタルコア人財」「デジタル専門人財」の育成に力を入れており、実践型の育成プログラムとして社内留学制度「Digital Acceleration Program」、社内トップ技術者による徒弟制度「技統本塾」を展開しています。また、デジタル技術は技術革新のスピードが速く学ぶべき内容も変化していくため、クラウドベンダ等のパートナーと連携して最先端の

トレーニングコンテンツやセミナーを提供する「アライアンス育成」も拡大しています。技術革新統括本部では2021年度にはNTTデータグループの全社員向けに3万人超にトレーニングを提供しました。

### 社内留学制度： 「Digital Acceleration Program」

「Digital Acceleration Program」は、全社員を対象にデジタル技術に強みを持つ組織へ社員を異動し、2年間をかけて知識・経験を身に付けて元の組織に戻るという社内留学制度となります（図2）。異動した社員はまず数カ月は研修でクラウド技術やアジャイル開発等のデジタル技術を集中的に学び、その後実際のプロジェクトに入り、実践の場で育成していきます。具体的な異動先としてはクラウドアーキテクト、AI（人工知能）/データサイエンティスト、セキュリティコンサルタント等のポストを設定しており、若手社員から現場のリーダー層までさまざまな社員が参加をしています。自組織の社員を2年間派遣するという点では、送り出す組織にとってハードルの高い取り組みとなりますが、参加した社員の満足度は高く、実践的なスキルを身に付けて戻ることによって、元の組織でリーダーとしてノウハウを広げてもらうという効果も出ています。

### 社内トップ技術者による徒弟制度： 「技統本塾」

次世代トップ技術者の育成のため、より深く技術を追求したり、新しい技術を吸収したりする場として、社内のトップエンジニアが塾長となり直接指導をする独自の“徒弟制度”に取り組んでいます。このような徒弟制度は、近年米国の大手IT企業でも「アプレントイスシップ プログラム（Apprenticeship Programs）」として注目されてきてお

\* NTTデータの施策については「人財」の表記を使用しています。

## デジタル人材育成の全体像

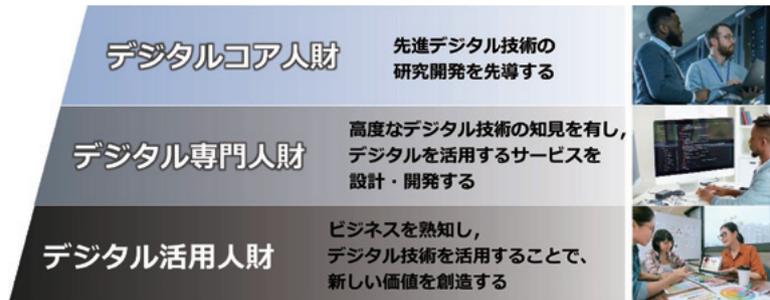
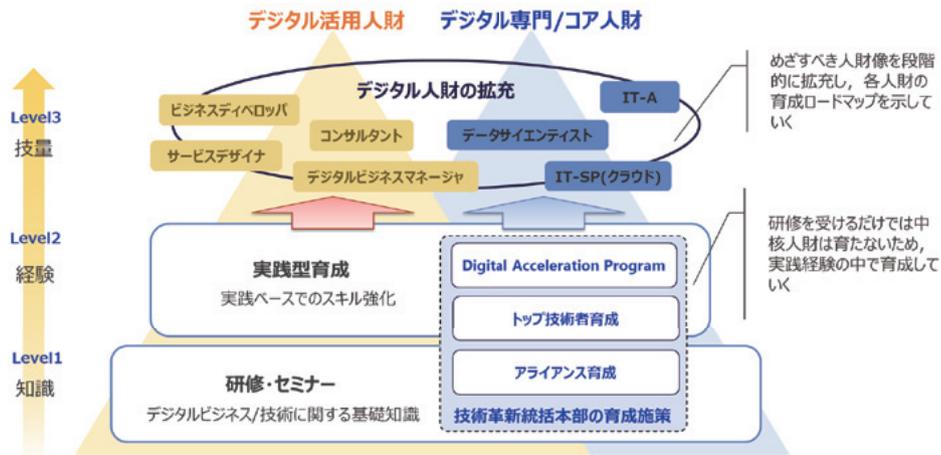


図1 NTTデータのデジタル人材育成



図2 Digital Acceleration Program

り、IT人材を自社で育成・確保する取り組みが活発になってきています。「技統本塾」の塾長はAdvanced Professional (ADP) 制度とTechnical Grade (TG) 制度で採用・認定された社員を中心に選出しています。ADPは、先進技術領域で卓越した専門性を持つ人材を高額報酬で採用する制度であり、TGは高い専門性を軸にキャリアを高める制度のことです。このように極めて技術力や専門性の高いトップ技術者から指導を受けられる貴重な機会としています(図3)。

基本的な進め方は、最初に活動計画を立て、仮説立案や環境構築を経て本格検証を行い、半年の活動期間の最後に修了発表を行います。テーマは、普段の業務に関連したものもあれば、個人の興味のある技術を設定する場合もあり、さまざまです。活動では、環境構築や実機検証など手を動かすことを重視しています。塾長は解決のためのアドバイスは行いますが、塾生自身に考えさせることで自分の力で問題を突破する能力を養わせるなどしています。非常に活況で人気のある施策となっており、2017年の開講からの累計では300人以上が入塾しています。また、2021年度からはNTTデータグループ会社の社員の受け入れも開始し、現在までに13社24人が入塾しています。塾生からは「実際に手を動かすことで生きた知識・ノウハウを蓄積できた」「組織内で当該知識の有識者として認知され、学んだ技術を活かせるプロジェクトにアサインされた」といった声が上がっています。

塾生は、技統本塾で得た知見を社外で発表することにも取り組んでいます。これらの活動をパートナーに評価いただいたことで、トップエンジニアとして認定される塾生も輩出しています(図4)。

また、技統本塾は、技術コミュニティとしての役割も担っており、各技術分野の塾生は、同じ技術を探求するものどうしで協力関係を築き、コミュニケーションを深めています。ティーチングアシスタント制度も導入し、修了した塾生がOB/OGとして指導にもあたっています。技術分野間の交流を深めるために、ライトニングトーク形式の中間報告会や技術テーマを設定したディスカッションを開催し、分野を越えた意見交換の場を設けており、技術者どうし、同じ考え方や課題などを見つけ、切磋琢磨できる環境となっています。

## パートナーとのアライアンス型の育成：「アライアンス育成」

アマゾン ウェブ サービス (AWS) ジャパン、日本マイクロソフト、グーグル・クラウド・ジャパンなどと連携して、デジタル人材の裾野拡大にも取り組んでいます。パートナーから提供される最先端のトレーニングを活用してラーニングジャーニーを設定し、社員1人ひとりのスキルアップや試験バウチャー提供による資格取得を支援しています。2021年度はパートナー協力の下、年間250回以上の勉強会や試験対策セミナーを開催しました。競争型ラーニングイベントを開催しているのも特長の1つです。

Microsoft Cloud Skills Challengeでは、トレーニングをいかに効果的に利用して認定資格を取得したかをポイント化し、高得点の参加者を表彰しています。また、NTTデータ版AWS Jamでは、海外のNTTデータグループ会社を含めてトラブルシューティング技術を競うイベン

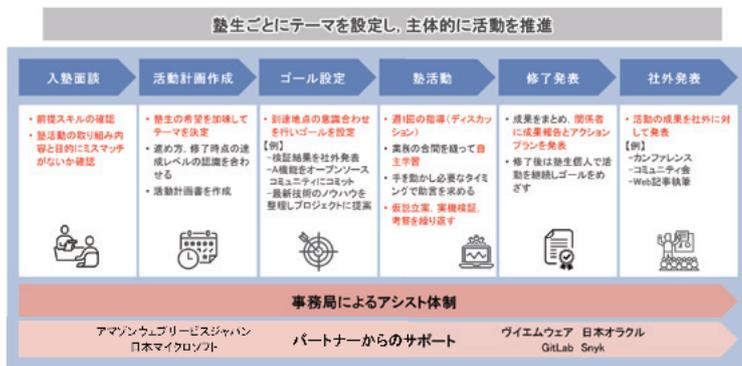
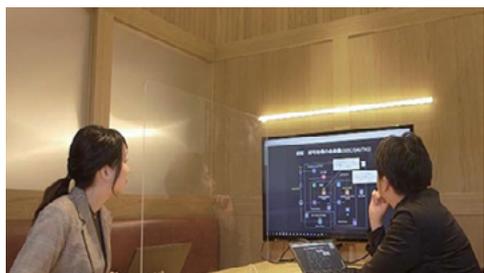


図3 技統本塾

パートナー認定, 社外発表登壇・受賞, Web記事執筆など多様なかたちで活躍!

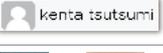
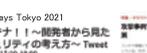
パートナー 認定	AWS Top Engineers 2022に選出 Cloud Native・Kubernetes/クラウドネイティブ・マイクロサービスアーキテクチャ 宇都宮雅彦PostgreSQL/ 分散処理基盤 野口達也		AWSの中核した技術力を持つ2022 AWS Partner Ambassadors / 2022 APN AWS Top Engineersに選出
	Google Cloud Partner Top Engineer 2021に選出 Cloud Native・Kubernetes/クラウドネイティブ・マイクロサービスアーキテクチャ 宇都宮雅彦		パートナー業績 業績評価 業績評価 業績評価
	VMware vExpertに認定 2020-2022 仮想化 堤健太		Years vExpert ★★★★★ Employer NTT DATA Corporation
社外発表	日本オラクル社から感謝状 ~OCIの非機能要件レベルの検証~ DB (Oracle) 平岡義規		
	Cloud Native Days 2021への登壇、発表内容の取材記事(@IT,ThinkIT) Cloud Native・Kubernetes 望月敬太, 宇都宮雅彦		
	ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2021 企業・ポスター賞受賞 クラウドネイティブ・マイクロサービスアーキテクチャ 横井一輝		
Web記事	情報処理学会 第138回数理モデル化と問題解決 研究発表会 AI 田原英一	第138回MPS・第70回BIO合同研究発表会 日時：2022年6月27日(月)~29日(水)	
	@IT/連載 Cloud Native チートシート 記事ランキング月間1位 Google「Observability」検索ランキング1位 Cloud Native・Kubernetes 伊藤司, 望月敬太, 宇都宮雅彦, 北村卓也, 毛利健太郎, 貴志一樹 OS(Linux) 栗田裕亮		
	CodeZine/連載 クラウドネイティブ時代の実践カオスエンジニアリング クラウド(Azure) 中野一成	Chaos Toolkitでカオスエンジニアリングを体験しよう~ Azure上のVMにカオス導入 CodeZine	

図4 パートナー認定, 社外発表実績

を開催しています。ゲーミフィケーションと実践的なトレーニングを兼ね備えていることで、どちらのイベントも非常に高い人気を博しています。これはパートナーとの関係が深いNTTデータならではの取り組みと考えています。自社のサービスや製品に精通した技術者を増やしてビジネスを拡大したいパートナーと、人材育成を進めたいNTTデータとの協力関係により成り立っています。

## 社会全体のデジタル対応力底上げ

その他の取り組みとして、社会全体でIT人材が不足している課題に対して、デジタル技術に関する育成プログラムの社外展開も進めています。例えば、協力会社を含めた技術者の育成として「Altemista デジタル高度人材認定制度」を2021年に開始しました。Altemista とは、NTTデータのDX 実践ソリューション群のことであり、現在は約800社の協力会社を対象に、DXプロジェクトに求めら

れる人材〔プロダクトオーナー (PO)、スクラムマスター (SM) 等〕を定義し、認定制度を通じてスキル向上をめざしてもらっています。協力会社からの引き合いも多く、すでにアジャイル関連は年間4000人に近い研修を実施しています。

今後もNTTデータは、グループ18万人に技術者育成プログラムを適用できるよう施策を拡大し、Global No.1の技術力獲得を人材面からも加速させていくとともに、さらには社会全体のデジタル対応力底上げにも貢献していきます。

### ■参考文献

- 1) [https://www.meti.go.jp/shingikai/economy/daiyoji\\_sangyo\\_skill/pdf/001\\_s03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/economy/daiyoji_sangyo_skill/pdf/001_s03_00.pdf)

### ◆問い合わせ先

NTTデータ

技術革新統括本部 企画部 人事育成担当

E-mail platformedu@am.nttdata.co.jp