

テクニカル・ジャーナル

Technical Journal

Vol.28 No.2 | Jul. 2020



- ## ●リソースアシュアランスシステムの導入による保守業務効率化の実現

5Gのリアルと未来



ネットワークイノベーション研究所 所長
なかむら たけひろ
中村 武宏

2020年3月25日にドコモの第5世代移動通信システム（5G）の商用サービスが開始された。5Gの研究開発当初から携わったものとしては、“ようやくこの日が来た”と思う一方で、やっとスタートラインに立ったという思いもある。

2010年、LTEの商用化がスタートしたあたりから、5Gに向けた検討を始めた。移動通信システムにおいては、これまでほぼ10年サイクルで新たな世代が導入されてきたので、5Gの導入時期は最初から2020年をターゲットにしていた。基本コンセプトの検討から開始し、それを基に世界のキープレイヤーと地道に意見交換しながらグローバルコンセンサスを練り上げていった。2014年にはすでに、10Gbpsを超える伝送速度、ミリ秒レベルの低遅延など、主要要求条件や要素技術に対する世界的な共通認識がなされていた。こうした要求条件が技術的に達成可能であることを示すために、無線伝送実験を2014年から本格的に開始し、10Gbpsを超える伝送速度やミリ秒レベルの低遅延を達成した。さらに他業界の方々からの5Gに対する期待の高まりとともに、我々のビジネス化に向けても5Gユースケースを早期に開拓する必要性を感じ、2017年から多様な業界の方々とは5Gの特長を活かせる多くのユースケースの実証実験および展示を進めてきた。2018年には、さらに幅広いパートナーとともに新たな利用シーン創出に向けた取組みを拡大するため、ドコモ5Gオープンパートナープログラムを発足した。これらの活動は多くの報道や記事で取り上

げられ、5Gが社会課題解決や多くの産業に変革をもたらす可能性を全国的に訴求することができた。

その一方で、5Gの要求条件であらわされる高い性能や実証実験で扱った多くのユースケースがすぐに日本全国で実現可能という誤解を与えているのも事実である。現在の5G商用システムでは、10Gbpsの伝送速度もミリ秒レベルの低遅延も世界中で達成できておらず、エリアも限定的である。ユースケースにおいても、実証実験で実施したようなものの多くがビジネス的に展開できる状況に至っていない。これは過去の世代のシステムでも同様で、数年かけて性能向上が図られ、ビジネス的にも多くのユースケースが徐々に作られていくものだが、5Gが過去の世代と異なるのは、国内外で広く新サービス創出に向けた検討や実験が数多く実施され、公開されたこともあり、商用サービス開始前から多様な業界や自治体の方々には大きな期待をもたれている点である。この状況に対し、我々としては5Gの現状課題を踏まえつつ、将来的なさらなる発展をめざして研究開発を推進することが今後非常に重要である。現状のリアルな環境におけるリアルな性能を把握し、着実にサービス化・ビジネス化を図っていくとともに、リアルなマーケットニーズとのギャップを適切にとらえ、今後5Gの高度化も図っていく必要がある。多様な業界からの期待に応えるためには、公衆網としてのネットワークの発展だけでなく、工場や建設・建築現場、農地などで代表されるプライベートユースに対応する必要も出てきている。さらに、SDGs（Sustainable Development Goals）^{*1}やSociety 5.0^{*2}に代表される社会課題解決、社会変革の実現に向けた短中期的対応も着実に進める必要がある。

5Gが世界的に商用開始された今、2030年代に向けた長期的な未来の移動通信システムとして6Gの検討も世界的に始まっており、ドコモもすでに5Gの高度化と6Gに関する白書を発表して議論を推進している。ドコモのR&Dの一員として、一般ユーザおよび多様な業界の方々から期待される5Gシステムとビジネスを早期にリアルにしつつ、長期的な未来の移動通信システムの研究開発に引き続き尽力していく所存である。

^{*1} SDGs：2015年に国連総会で採択された2016年から2030年までの国際目標である。持続可能な社会の実現をめざし、17の目標と169のターゲットを掲げている。

^{*2} Society 5.0：政府が提唱する、狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続くICTを最大限活用して人々に豊かさをもたらす新たな経済社会。

[Contents]



DOCOMO Today

5Gのリアルと未来 中村 武宏 1



特別寄稿

最新情報通信技術が切り拓くDXによる地域創生 中尾 彰宏 4

5G特集(1)

—社会課題解決・社会変革実現に向けたドコモの挑戦—

Technology Reports (特集)

これまでの取組み 8

5Gコンセプト

5G実証実験

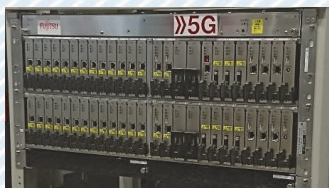
5Gユースケース

5G標準仕様策定における貢献 16

3GPP

5G標準仕様

O-RAN



(P.24)

5Gネットワーク 24

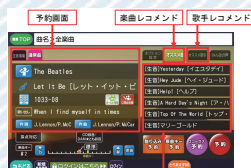
5G/NR

Sub6/mmW

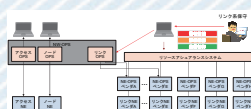
ノンスタンドアローン



(P.39)



(P.45)



(P.51)



(P.57)

生活を充実させるAI技術特集 Technology Reports (特集)

健診データからの健康リスク予測技術の開発 39

LIME

解釈モデル

健康経営

歌唱履歴の時系列性を考慮した楽曲レコメンド技術の開発 45

レコメンド

深層学習

楽曲

Technology Reports

リソースアシュアランスシステムの導入による
保守業務効率化の実現 51

オペレーション・システム

市販製品専用管理ソフトウェア

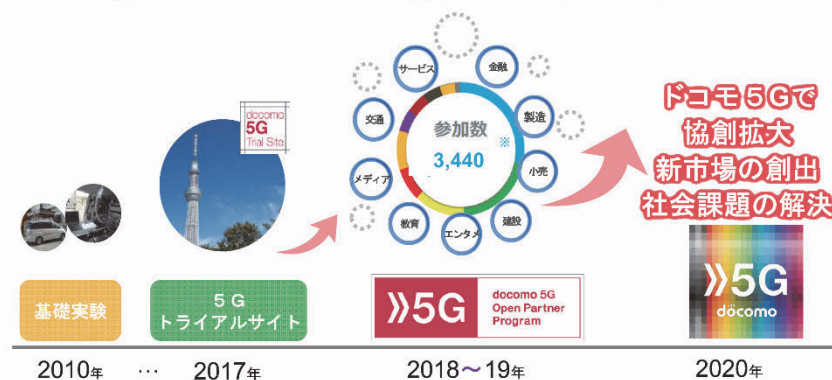
ネットワーク監視

News

令和2年度科学技術分野の文部科学大臣表彰
「科学技術賞（開発部門，科学技術振興部門）」受賞 57

「Impress DX Awards 2019」受賞 58

5Gを活用し、幅広くビジネスパートナーの皆様と
新たなビジネスの創出をめざす取組み



©2020 NTT DOCOMO, INC. All Rights Reserved.

Technology Reports (特集) これまでの取組み (P.8)
ドコモ5Gオープンパートナープログラム

最新情報通信技術が切り拓く DXによる地域創生

東京大学大学院 情報学環 教授 なか お あきひろ 中尾 彰宏さん

一般に聞かれるようになったデジタル革命・デジタルトランスフォーメーション（DX：Digital transformation）とは、情報通信技術（ICT：Information and Communication Technology）の利活用の浸透が人々の社会生活の質を革命的に改善するという概念である。DXを支える情報通信技術の1つが第5世代移動通信システム（5G）[1][2]であり、特に、5GやLocal 5Gの利活用により地域創生が促進され、我が国全体の生活の質（QoL：Quality of Life）の底上げに期待が集まっている。

筆者の研究室では、「世界の公共性に奉仕する大学」としての使命を踏まえ、地球と人類社会の未来への貢献に向けた協創を効果的に推進することを目的として設立された、東京大学未来社会協創推進本部（FSI：Future Society Initiative）のプロジェクトとして、さまざまな企業と連携し、5Gの地域での利活用や、成功モデルケースの横展開による国全体の技術利活用の進展に取り組んでいる。

こうしたプロジェクトの活動を進める際や、一般向け講演などで、しばしば聞かれる質問に、5Gが地域創生に最も有益なユースケースは何か？という問いがある。当方は、いくつかの5Gの地域展開の実証実験を手がけた経験から、大容量通信を利用する高精細映像遠隔監視、低遅延通信を利用する遠隔制御、超多数接続通信を利用する環境センシングを適用すること、と回答している。これらは、危険を伴う負担の大きい作業を、高精細なVR（Virtual Reality）映像や五感通信によるリアルタイムセンシングと、人間の知覚と同等以上の反応速度での遠隔制御で置き換えることを主眼としている。また、本稿の執筆時点では依然、世界は新型コロナウイルス感染症の脅威にさらされている。多数の犠牲者が

出ているグローバルな逆境の中で、人間の移動を、5Gなどの最新の情報通信による遠隔の社会活動で解決を図ることは、今後、人類が考えなくてはならない重要な課題とも言える。

本稿では、これらの観点から、ドコモとの共同研究により、農林水産業に代表される一次産業のDXを図るため、大容量通信と低遅延通信の同時利活用例として「5Gと水中ドローンを活用した漁場遠隔監視の実証実験」[3]を紹介する。その他、2018年度は、ドコモとの「5GとMECを活用した協調運転支援の実証」（2018年11月報道発表）[4]も実施しているが、本稿では紹介を割愛する。

本共同研究では、異種の無線技術の連携（Wi-Fiと5G）を利活用し、低コストWi-Fi商用機器である水中ドローンにより漁場の状態を遠隔監視・遠隔制御する手法を提案している（図1）。一般にスマートフォン以外の民生機器市場では、5Gの通信モジュールのインテグレーション*1に時間を要することが予想されることから、普及率の高いWi-Fi民生機器の通信範囲を5Gにより拡張する技術提案とその評価が目的である。

図2に示すように、水中ドローン制御のWi-Fiの通信範囲を拡張するために、2つのVPN（Virtual Private Network）*2ルータを用いて5GネットワークにおけるVPNトンネルを構築する。移動局側には、5G移動局、ARM開発ボード、水中ドローン [5] と水中ドローンのWi-Fi基地局を含む4つのデバイスを用いる。ARM開発ボードでは、水中ドローンのWi-Fi基地局にアクセスするためにネットワークアドレス変換（NAT：Network Address Translation）*3を設定する。基地局側には、5G基地局、Wi-Fiアクセスポイント、Androidデバイスを含む3つのデバ



Profile

1991年東京大学理学部，1994年同大学院修士課程修了。IBMテキサスオースティン研究所，東京基礎研究所などを経て，プリンストン大学大学院コンピュータサイエンス学科にて修士・博士学位取得。2005年，東京大学大学院情報学環 助教授に就任。2014年2月教授（現職）。2014年第5世代移動通信推進フォーラム（5GMF）ネットワーク委員長兼任。2016年学際情報学専攻長兼任。2019年より情報学環副学環長，東京大学総長補佐兼任。2020年より東京大学総長特任補佐兼任。専門は情報通信。5G/IoTに関する複数の産学連携プロジェクトのリーダーを務める。

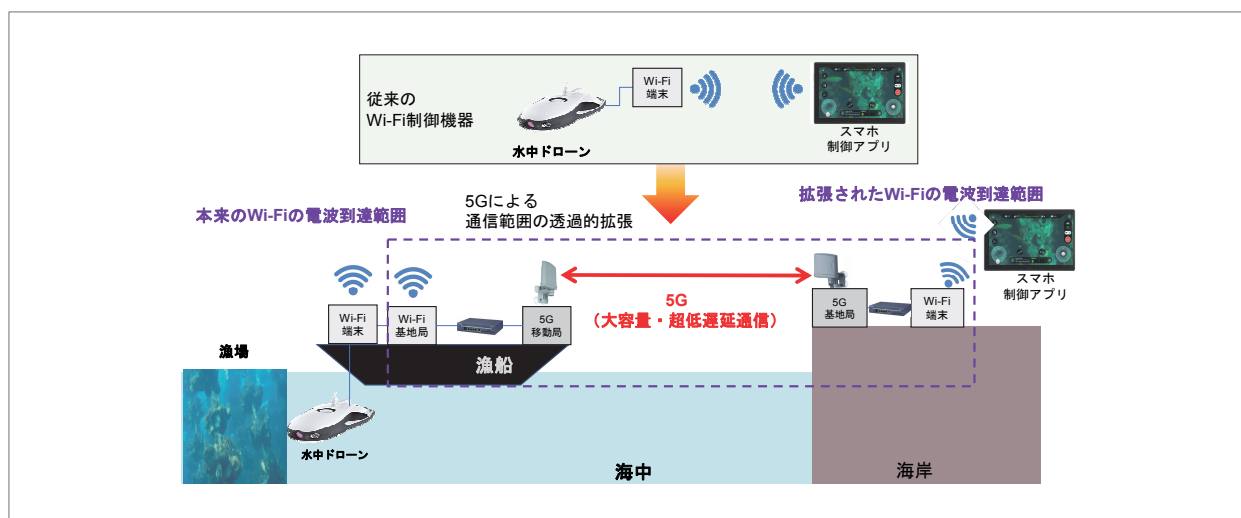


図1 Wi-Fi制御機器（スマートフォンからWi-Fi制御する水中ドローンなど）の制御範囲を5G通信により透過的に拡張する通信制御の実証実験

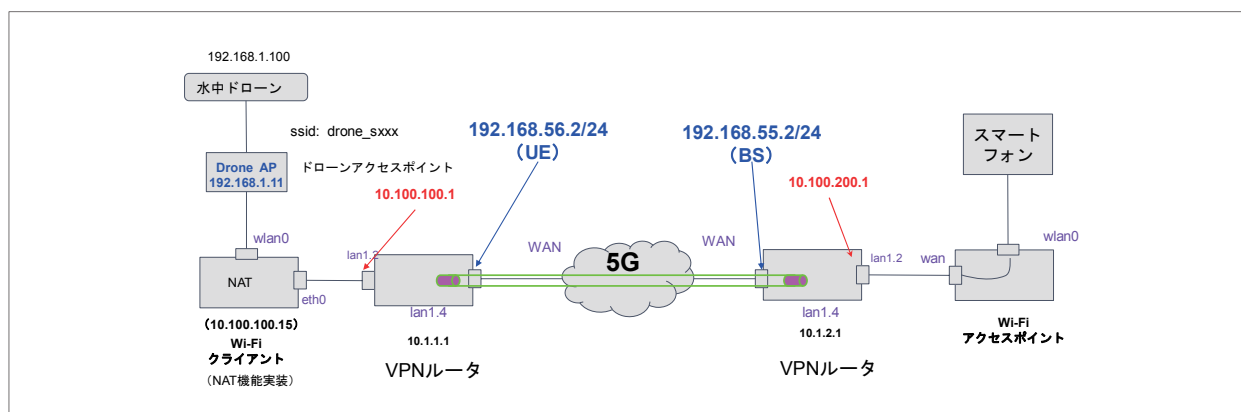


図2 Wi-Fi制御機器（スマホからWi-Fi制御する水中ドローンなど）の制御範囲を5G通信により透過的に拡張する通信制御方式

イスがある。Androidデバイスは，Wi-Fiアクセスポイントを経由して5G基地局に接続し，ドローン制御とライブ映像受信機として機能する。5G移動局と5G基地局の間の伝送の詳細は別途論文を参照されたい [6]。

図3は提案方式を研究室の予備実験において評

価した結果である。有線，LTE，5Gの3種類の通信におけるRTT（Round Trip Time）*4を比較する。イーサネットの有線通信が最小であるが，今回のユースケースには明らかに適合しない。LTE通信の平均RTTは108msに達し，5G通信よりも約5倍高い。このような大きな遅延は，高解像度のライブ映

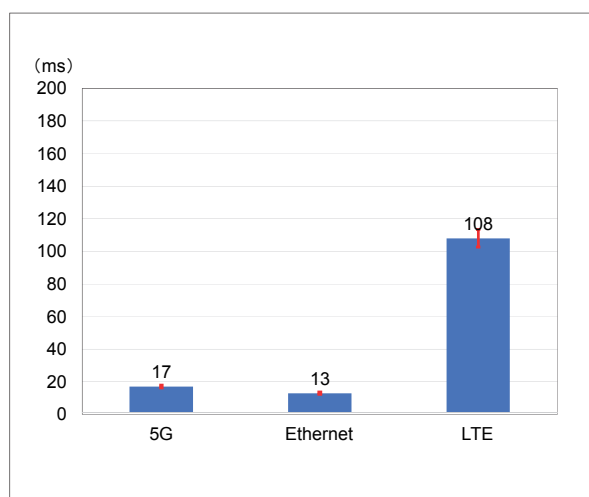


図3 有線（Ethernet）無線（5G・LTE）エンド・ツー・エンドの遅延の比較

像を円滑に配信することができず、さらにヘッドマウントディスプレイなどを用いたリアルタイム遠隔制御は困難となる。一方、5G通信の平均RTTは17msで、有線通信よりも4ms（17ms-13ms=4ms）だけ大きく、LTE通信よりもはるかに小さい。この予備実験により、5G通信がWi-Fiカバレッジの拡張に最適であることがわかる。

上記の予備実験評価を根拠とし、2019年11月に広島県江田島市の牡蠣養殖場でフィールド実験によるユースケース検証した結果を報告する。具体的には、5G移動局を海上に停泊する小型漁船に設置し、5G移動局機器に有線接続された水中ドローンをカキ養殖場の水中に配置する。水中ドローンのカメラで撮影した高精細ライブ映像を5G基地局に無線送信すると同時に、タイムラグのない水中ドローンの制御信号も5G基地局から5G移動局に無線伝送する。漁船は、カキ養殖場のいかだの位置に応じて、基地局から100～150mの範囲で係留される（漁船も将来的

には遠隔制御をすることが想定されている）。この距離において最大のアップリンク伝送速度は300Mbpsに達する。その結果、5Gの大容量通信によりドローンのカメラから高精細なライブ映像を取得し、5Gの低遅延通信によりタイムラグなしで水中ドローンの遠隔制御が可能となる。

水中ドローンからスマートフォンへのビデオストリーミングはUDP（User Datagram Protocol）*5ベースのRTP（Real-time Transport Protocol）*6/RTSP（Real Time Streaming Protocol）*7プロトコルを使用する。ビデオストリーミングのビットレートは約3.8Mbpsである。一方、スマートフォンから水中ドローンへの制御信号はHTTPプロトコルを使用している。制御信号のビットレートは約12kbpsである。映像の伝送と比べ、水中ドローンの操縦信号はビットレートは十分小さいものの、タイムラグなく水中ドローン进行操作するためには、5Gの低遅延通信を用いて無線区間の伝送遅延時間を削減することが重要となる。

本共同研究の結果は、ドコモオープンハウス2020にて一般公開し、多くの反響を呼んでいる。今回は単なる5Gの基本性能の確認だけではなく、5G端末の民生機器の市場が未熟である中で、すでに普及している異種の無線技術と5Gを組み合わせ、迅速に展開可能な技術の連携によりユースケースへの適用事例を示した点で大きな意義があると考えている。

なお、当方研究室では、以下の技術に取り組んでおり、今後はRAN（Radio Access Network）スライスを活用し、低遅延と大容量通信の独立性（アイソレーション）を確実に実現することに取り組む計画である。

・「ネットワークスライシング*8」[7][8] 多様な

アプリケーションを干渉なく収容可能としサービス提供の利便性を向上

- ・「ネットワークソフトウェア化」ソフトウェア実装のインフラに高度な機能を柔軟に実装し、セキュリティ高度化、通信効率化・障害予測などを実現
- ・「エッジコンピューティング」ネットワークエッジに配置される計算・ストレージ資源を駆使し、超低遅延通信により人間の知覚遅延に匹敵する低遅延通信制御の実現
- ・「機械学習・AIによる運用自動化」[9] ネットワークに導入される機械学習やAIを駆使し、運用人手不足問題の解決・自動的に最適な通信の提供を実現
- ・「IoT・AIによる地域創生」リモートセンシングやデータ解析による事象予測を駆使し、地域の課題解決や地場産業振興の推進

最後に、このような共同研究の機会をいただいたドコモ5Gイノベーション推進室、中国支社の皆様方に感謝をし、本技術報告とさせていただきます。

文 献

- [1] ITU-R M: "Minimum Requirements Related to Technical Performance for IMT-2020 Radio Interface(s)," IMT-2020.TECH PERF REQ, Nov. 2017.
 - [2] 3GPP TR38. 802: "Study on New Radio (NR) Access Technology Physical Layer Aspects," Mar. 2017.
 - [3] NTTドコモ報道発表資料: "5Gと水中ドローンを活用した漁場遠隔監視の実証実験に成功～水産業界における労働者の負担削減に向けた取り組み～," Nov. 2019. https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_191127_00.pdf
 - [4] NTTドコモ報道発表資料: "5GとMECを活用した協調運転支援の実証実験に成功～次世代モビリティの実現に向けた取り組み～," Nov. 2018. https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_181128_00.pdf
 - [5] 臻迪日本株式会社: "PowerRay." <https://www.powervision.me/jp/product/powerray>
 - [6] 外園 悠貴, 南田 智昭, 油川 雄司, 杜 平, 中尾 彰宏: "5Gにおける28GHz帯を用いた水中ドローン遠隔制御実験," 信学技報, NS2019-241, May 2020.
 - [7] GSA white paper: "5G network slicing for vertical industries," Sep. 2017.
 - [8] A. Nakao, P. Du, Y. Kiriha, F. Granelli, A. A. Gebremariam, T. Taleb and M. Bagaa: "End-to-End network slicing for 5g mobile networks," IPSJ Journal of Information Processing, Vol.25, pp.153-163, 2017.
 - [9] A. Nakao and P. Du: "Toward in-network deep machine learning for identifying mobile applications and enabling application specific network slicing," IEICE Transactions on Communications, E101-B, Vol.14, pp.153-163, 2018.
-
- *1 インテグレーション: 装置, またはシステムを, オペレータが運用しているネットワークに組み込むこと.
 - *2 VPN: 同一サービスのIP装置を論理的に接続する仮想ネットワーク.
 - *3 ネットワークアドレス変換 (NAT): 独立した2つのネットワークにおいてパケットのIPアドレスを変換すること.
 - *4 RTT: 装置間の往復伝送に要する遅延時間であり, 再送時では初回送信と再送を行うまでに要する時間.
 - *5 UDP: トランスポート層のプロトコルの1つで, 送達確認や輻輳制御などを行わないため処理が軽く, 途中でデータが抜け落ちても問題が少ない通信に用いられる.
 - *6 RTP: 音声や映像のストリーミングデータをリアルタイムに配送するための通信プロトコル.
 - *7 RTSP: ストリーミングサーバに対し, コンテンツの再生, 停止などの制御を行う通信プロトコル.
 - *8 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コアネットワーク分割して最適化するアーキテクチャ.

これまでの取り組み

ネットワークイノベーション研究所

岸山 祥久 須山 聡

ドコモは、2010年頃から検討を始めた5Gを用いた通信サービスを2020年3月から商用提供開始した。以来、5Gに対応したスマートフォン6機種とデータ通信製品（Wi-Fiルーター）1機種を順次発売し、高速・大容量といった5Gの特長を活かし、マルチアングル（多視点）視聴やVRライブを可能にした「新体感ライブCONNECT」をはじめとした7つのサービスを提供している。

本稿では、ドコモの5Gの実現に向けての検討開始からサービス提供までの道のりについて開発およびパートナー企業・団体との協創について概説する。

1. まえがき

ドコモは、LTEサービスが始まった2010年より、10年後の実現をめざして第5世代移動通信システム（5G）に向けての検討を開始した。5Gの基本的なコンセプトや無線アクセス技術について検討し、5Gシミュレータの試作、2014年には5Gホワイトペーパーの公開 [1] などを行った。また、同年より世界主要ベンダとの個別協力による5G伝送実験を開始し、5Gの周波数や無線アクセス技術の評価検証に取り組んだ。さらに、5G伝送実験の取り組みをさまざまな業界のパートナー企業との連携へと拡大させ、5Gの特長を活かした多くのユースケース

について共同実験を通じて開拓していった。2018年2月にはパートナーとのソリューション協創を促進するため「ドコモ5Gオープンパートナープログラム」を開始した。本稿では、これらのドコモにおける5Gの基本コンセプト提案から実証実験およびソリューション協創に至るまでの取り組みについて振り返る。

2. 5Gホワイトペーパーの公開まで（2010～2014年）

5Gコンセプトの対外発表の変遷を図1に示す。2010年頃は、10年後の2020年を見据え、移動通信のトラフィック量が10年で1,000倍程度に激増するこ

©2020 NTT DOCOMO, INC.

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、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

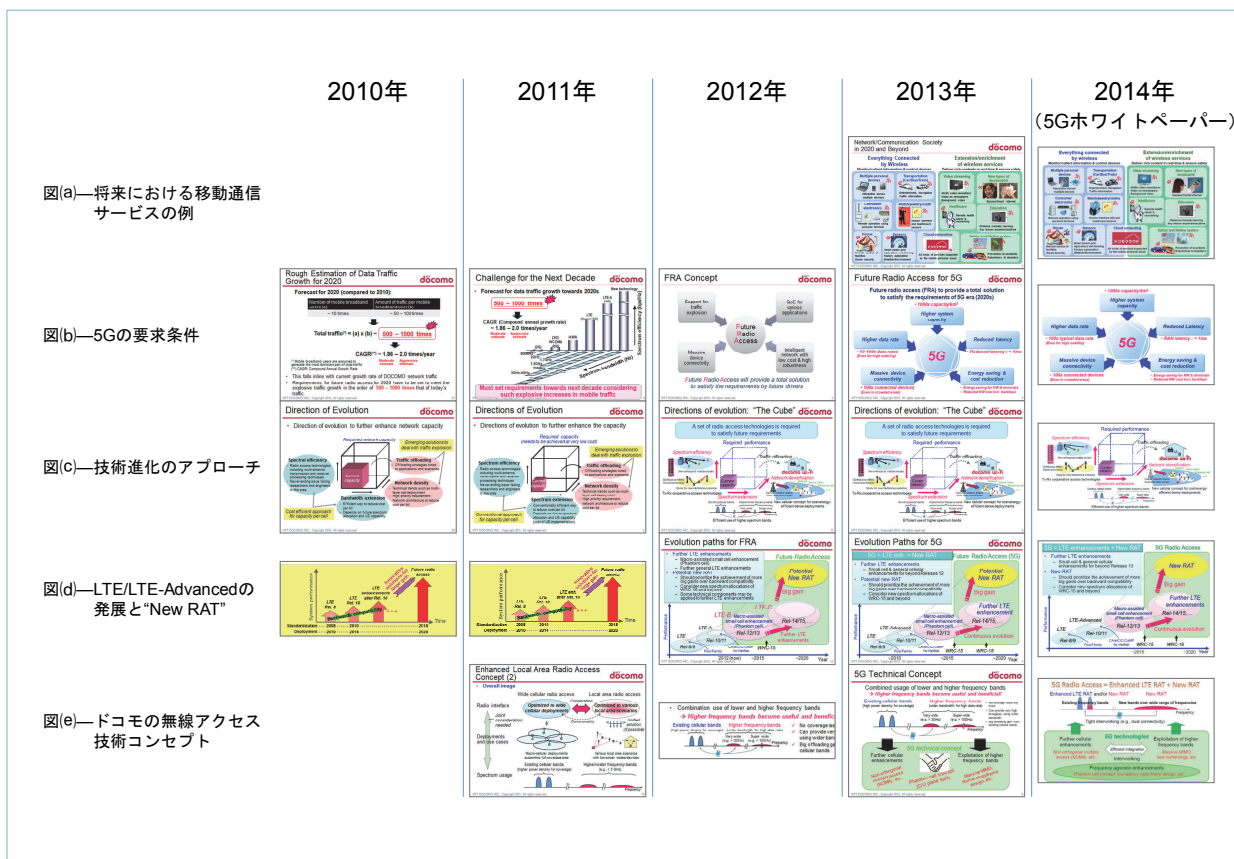


図1 5Gコンセプトの対外発表の変遷

とを要求条件として想定し、キューブ型のコンセプト（周波数利用効率^{*1}の改善×周波数帯域幅の拡大×ネットワークの高密度化）でそれを実現する技術進化の方向性を提案した [2]。2011年頃には、既存の低い周波数帯と5GHz以上の高い周波数帯を組み合わせる無線アクセス技術など、キューブ型のコンセプトを実現する具体的な技術候補を提案した [3]。2012年頃には、高速・大容量に加え、現在の5Gの特長である低遅延、多数端末接続といった要求条件の明確化、および5Gが「LTEの拡張」と「New RAT (Radio Access Technology)^{*2}」の組合せであるという「5Gの定義」についても提案した [4]。2013年頃には、すでに5G時代に実現をめざすサービスやアプリケーションを含め、2014年

公開の5Gホワイトペーパーに記載した技術コンセプト部分がほぼ完成した [5]。このような5Gの基本的なコンセプトや無線アクセス技術については、世界主要会社とのコンセンサスを構築しながら進めており、要求条件や高い周波数帯の開拓など共通のコンセプトを含む内容が他社からも提案されている [6] [7]。

「5G」という名称については、当初、ドコモは「Future Radio Access」と対外的には呼んでいたが、2013年10月のCEATECで「5G」のネーミングを初めて用いて発表した。この「5G」の初展示では、5Gの基本的なコンセプトや無線アクセス技術を可視化するシミュレータによるデモを実施し、「CEATEC AWARD 2013 総務大臣賞」を受賞することがで

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

*2 New RAT：4GのLTEと後方互換性 (Backward compatibility) のない新しい無線インタフェースの規格。5GのNR (New Radio) に相当する。

きた [8]。5Gシミュレータは、図2に示すように、その後もスタジアムモデルなどへとアップデートしつつ開発を進めた。「5G」のネーミングを用い始めた頃には、5Gの無線アクセス技術についても、高周波数帯を有効利用するため、多数のアンテナ素子をフル活用する Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output)*3が欧州の5G研究プロジェクトである METIS (Mobile and wireless communications Enablers for Twenty-twenty Information Society)*4などで着目され、ドコモが主導して提案したファントムセル*5 (C/U分離) [9] や、非直交アクセス (NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access)*6 [10] といった候補が出揃ってきていた。これらの無線技術やシミュレータ試作の取組みについても、その時点で最新のものを「ドコモ5Gホワイトペーパー」において公開した [1]。

3. 5G伝送実験およびユースケース開拓 (2014年～)

3.1 ドコモとパートナー企業による取組み

ドコモは、5Gの周波数やキーとなる無線アクセス技術の有効性を実証するため、世界主要ベンダとの個別協力による5G伝送実験を実施した。2014年5月に6社との実験協力を発表し [11]、2015年7月には13社まで拡大した [12]。各社との共同実験によって、最大70GHz帯までのさまざまな周波数帯で Massive MIMOなどの5G無線アクセス技術を検証し、2016年2月には、屋外環境で合計スループット 20Gbpsを超える5Gマルチユーザ通信実験に世界で初めて成功した (図3)。その他の報道発表を実施した主な5G伝送実験の成果を表1に示す。これらの5G伝送実験により、2018年3月までに170件の学会発表を実施した [13]。



図2 5Gシミュレータ

- *3 Massive MIMO：超多素子のアンテナを利用する大規模MIMOのこと。高い周波数帯ではアンテナ素子サイズを小さくすることができるため、同じ面積により多数のアンテナ素子を配置できる。
- *4 METIS：5G無線技術に関するEUの研究プロジェクトで、期間は2012年11月～2015年4月。通信ベンダ、通信事業者、大学な

どが参加。なお、継続プロジェクトのMETIS-IIの期間は2015年7月～2017年6月。

- *5 ファントムセル：ドコモが提案したC/U分離を基本コンセプトとする高度化スモールセルシステムの名称。5Gの標準化では「Dual Connectivity」に反映された。

2016年頃からは、5Gの特長を活かしたさまざまなユースケースを、さまざまな業界のパートナー企業の協力により開拓していった [14]。これらを実証する場として東京臨海副都心地区（お台場・青梅

地区）と東京スカイツリータウン周辺に5Gの実験環境を構築するなど、「5Gトライアルサイト」として、これまで430件（2020年6月時点）のサービス実証実験の取組みを行った。

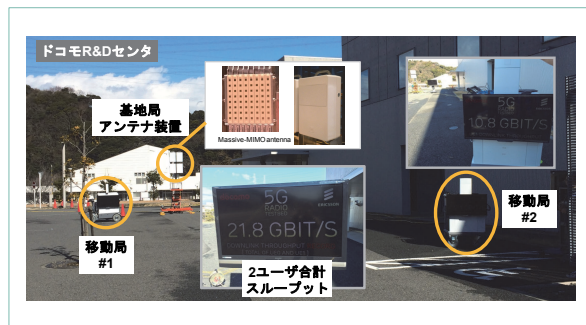


図3 20Gbps屋外実験

3.2 総務省5G総合実証試験での取組み（2017年～）

総務省は、5Gの実現による新たな市場や新しいサービス・アプリケーションの創出を目的に、さまざまな利活用分野の関係者が参画する「5G総合実証試験」を2017年度から3年間実施した [15]。ドコモが3年間に連携パートナーとともに全国で実施した5G総合実証試験の実施内容を表2に示す。試験グルー

表1 5G無線技術の実験における主な成果（報道発表）

報道発表日	実験の成果	実験パートナー
2015/3/3	15GHz帯を用いて受信時4.5Gbps以上のデータ通信に成功	Ericsson
2015/3/3	70GHz帯を用いて受信時2Gbps以上のデータ通信に成功	Nokia
2015/11/26	70GHz帯を用いて商業施設などの実利用環境で2Gbps以上の通信実験に成功	Nokia
2015/11/26	28GHz帯を用いて時速約60kmで高速移動する環境で受信時2.5Gbps以上のデータ通信に成功	Samsung
2016/2/22	15GHz帯を用いて屋外環境で通信容量20Gbpsを超える5Gマルチユーザ通信実験に成功	Ericsson
2016/5/24	70GHz帯を用いて8K映像のリアルタイム5G無線伝送に成功	Nokia
2016/11/16	28GHz帯を用いて時速150kmの高速移動時に2.5Gbpsの5G無線データ伝送実験に成功	Samsung
2016/11/16	4.5GHz帯を用いて屋外に配置した23台の端末との間で、合計で11.29Gbpsの高速・大容量通信を実現	Huawei
2017/11/2	4.5GHz帯を用いて5G高信頼低遅延通信（URLLC）の屋外実験に成功	Huawei
2017/11/2	世界初スマートフォンサイズのNOMA対応チップセットによる周波数利用の効率化実験に成功	MediaTek
2017/11/6	28GHz帯を用いてお台場エリアにおいてコネクテッドカー実現に向けた5G実証実験に成功	トヨタ, Ericsson, Intel
2018/4/23	28GHz帯を用いて時速300kmの超高速移動環境で5G無線通信実験に成功	NEC
2018/5/23	4.5GHz帯基地局間協調ビームフォーミングを用いた干渉低減による複数移動局への5G無線通信に成功	NEC
2018/7/25	28GHz帯を用いてコネクテッドカー向け「車両ガラス設置型アンテナ」による5G通信に成功	AGC, Ericsson
2018/11/22	28GHz帯を用いて屋外実験において通信速度27Gbpsに成功	三菱電機
2019/5/29	28GHz帯を用いて5G端末向けのガラスアンテナで通信に成功	AGC, Ericsson

*6 非直交アクセス（NOMA）：時間、周波数、符号のリソースを複数のユーザに割り当てる際、ユーザ間でリソースの重複を許すことで効率化を図る多元接続方式。

表2 2017～2019年度5G総合実証試験の実施内容・場所

試験 グループ	応用分野	ユースケース	実施場所	実施年度		
				2017	2018	2019
G I	エンター テインメ ント	① 5Gを活用したVR音楽ライブ体験	東京都墨田区	○		
		② 5Gを活用したMRコミュニケーション	東京都墨田区	○		
		③ 5Gを活用した8K映像マルチチャンネルMMT伝送	東京都墨田区	○		
		④ 5Gを活用した4K省電力デジタルサイネージ	東京都墨田区	○		
		⑤ ショッピングモール環境での高精細映像伝送	東京都墨田区	○		
		⑥ 5Gを活用したスポーツイベントのライブビュー イング	神奈川県横浜市	○		
		⑦ 5Gを活用したSL大樹への超高精細映像伝送	栃木県日光市		○	
		⑧ 5Gと8K映像を活用した観光客誘客	京都府京都市		○	
		⑨ 5Gを活用した車椅子バスケットボールのライブ映 像配信	神奈川県鎌倉市		○	
		⑩ 5GとVR技術を活用した遠隔博物館訪問	福井県勝山市		○	
		⑪ 5Gを活用した観光イベントにおけるライブビュー イング	福島県会津若松市		○	
		⑫ 5Gを活用したスポーツイベントの遠隔ライブ応援	神奈川県川崎市		○	
		⑬ 5G×Body Sharing技術を活用した沖縄県の観光 振興	沖縄県名護市他			○
		⑭ 5Gを活用したリアルタイムクラウド編集・中継ソ リューション	宮城県仙台市			○
	スマート シティ	① 5Gを活用した施設内監視	東京都江東区	○		
		② 5Gを活用した高所カメラによる広域監視	東京都墨田区	○		
		③ 5Gを活用したカーセキュリティ	徳島県神山町		○	
		④ 5Gを活用した地方見守りサービス	福島県会津若松市		○	
	医 療	① 5Gを活用した遠隔診療	和歌山県和歌山市、 和歌山県日高川町	○	○	○
		② 5Gを活用した救急搬送高度化ソリューション	群馬県前橋市		○	○
		③ 5Gを活用した高精度顔認証およびセンサによる見 守り・行動把握	広島県広島市			○
	ワーク プレイ ス	① 5Gを活用した動くサテライトオフィス	徳島県神山町		○	
		② 5Gを活用した高技能工員の労働安全確保	愛媛県今治市			○
	スマート ライフ	① 5Gを活用した伝統芸能の伝承（遠隔教育）	岐阜県中津川市			○
		② 5Gを活用した音の視覚化による生活サポート	岐阜県中津川市			○
G II	エンター テインメ ント	① 5Gを活用した高速移動体への高精細映像伝送	栃木県栃木市・鹿沼市、 埼玉県春日部市	○	○	
		② 5Gを活用したゴルフ場でのラウンド補助	長野県長野市			○
	交 通	① 5Gを活用した高速鉄道の安全運行監視	大阪府高槻市		○	
		② 5Gを活用した濃霧の中での運転補助	大分県大分市他			○
		③ 5Gを活用した地下鉄安全確保支援	大阪府大阪市			○
	スマート シティ	① 5Gを活用した雪害対策（除雪作業の効率化）	福井県永平寺町			○

ブGIでは低速移動環境、GIIでは高速移動環境（時速60km以上）の試験を行った。2017年度の5G総合実証試験では、人口密集地における10Gbpsの超高速通信の実証試験（GI）を実施し、エンターテインメント、スマートシティ、医療の3つの応用分野において、4.5GHz帯および28GHz帯を用いたサービス・アプリケーションの実証試験を行った [16]。また、ドコモは、NTTコミュニケーションズが実施主体となる高速移動時における2Gbpsの高速通信の実証試験（GII）にも参画し、エンターテインメント分野において、時速90kmで移動する高速移動体に対して28GHz帯を用いた実証試験を行った [16]。

2018年度の5G総合実証試験においては、5Gの最大性能だけではなく、平均的な性能を検証するため、屋外環境における平均4～8Gbpsの超高速通信の実証試験（GI）を実施し、2017年度の3つの応用分野に加えて、オフィス／ワークプレイス分野での実証も行った [17]。また、時速60～120kmで移動する高速移動体に対して平均1Gbpsの高速通信に関する

実証試験（GII）を実施し、エンターテインメント分野に加えて交通分野での実証を行った [17]。

2019年1月には、総務省は地方が抱えるさまざまな課題の解決につながる地方発のユニークなアイデアを発掘することを目的として、「5G利活用アイデアコンテスト」を開催した [18]。2019年度の5G総合実証試験では、上記のアイデアコンテストの結果とこれまでの技術検証の成果などを踏まえ、5Gによる地域課題の解決や地方創生に資する利活用モデルに力点を置き、新たな連携パートナーと多様な応用分野における実証試験を実施した [19]。

4. パートナーとのソリューション協創

幅広いパートナーとともに新たな利用シーン創出に向けた取組みを拡大するため、ドコモは「ドコモ5Gオープンパートナープログラム」を2018年2月から開始した（図4）。本プログラムは、パートナーとなる企業・団体に対し、5Gの技術や仕様に関す

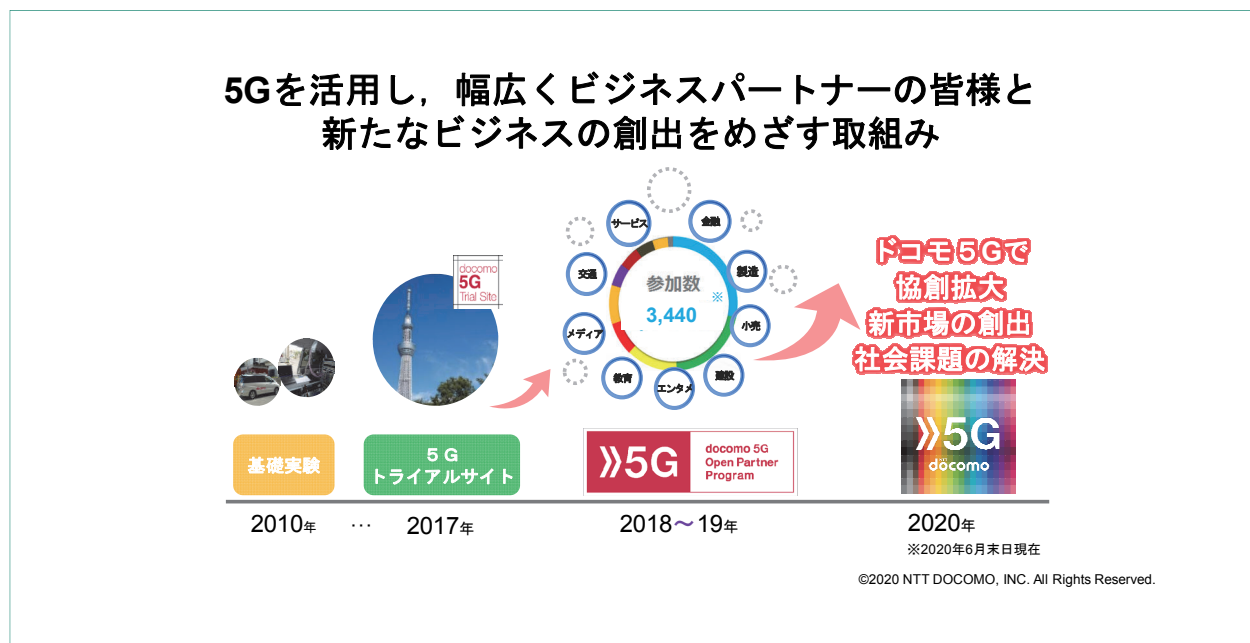


図4 ドコモ5Gオープンパートナープログラム

る情報の提供や、パートナー間の意見交換を行う5Gパートナーワークショップの場を提供するものである。パートナー数は2020年6月末で3,440である。

また、ドコモが常設する5G技術検証環境である「ドコモ5Gオープンラボ」においては、5Gの実験基地局装置や、実験移動局に接続する映像伝送機器などを、パートナーに対して無償で提供している。パートナーとなる企業・団体は、本プログラムへの参加を通じ、商用開始に先立ち一早く5Gを用いたサービス構築や検証が可能となっており、高速・大容量、低遅延、多数端末接続といった5Gの特長を活かして、自社サービスの品質向上や新たなサービスの創出に活用することができる。「ドコモ5Gオープンラボ」は2020年6月末現在、国内外に11カ所展開している。また、「ドコモ5Gオープンラボ」にクラウドコンピューティングの設備を直結した「ドコモオープンイノベーションクラウド」のトライアル環境を提供し、技術検証を進めた。

また、ドコモは2019年9月より「5Gプレサービス」を開始した。5G商用サービスと同じネットワーク装置や同じ周波数帯を利用し、ビジネス創出を本格的に開始することに加え、5G商用サービスと同環境の体験など、5G商用サービスにつながる実質的な5Gのスタートとなった。5Gプレサービスでは、「ドコモ5Gオープンパートナープログラム」に参加している3,000を超えるパートナーに対し、「5Gオープンラボ」の提供に加え、5Gプレサービス対応端末の貸出しにより、5Gを活用した産業創出や社会課題の解決に向けて、全国で200件を超えるフィールド検証を実施した。その中から5Gのスタートに合わせて、「産業の高度化」「働き方改革」といった社会課題の解決につながる領域を中心に、パートナーの皆様との協創によって生まれた新体感ライブCONNECTをはじめとする7つのサービスと22のソリューションの提供を発表した。今後も5Gの特長である高速・大容量・低遅延を活かした「遠隔作業支

援」や「高精細映像伝送」などを中心に、働き方の新しいスタイルの価値提供をめざす。

5. あとがき

本稿では、ドコモの5Gサービス開始までの道について解説した。ドコモは今後も5Gのさらなる進化をめざし、引き続き、技術の検討および研究開発を進めていく。

文 献

- [1] NTTドコモ：“ドコモ5Gホワイトペーパー,” Sep. 2014.
- [2] Y. Kishiyama: “LTE enhancements and future radio access,” APCC2010 Seminar on Future Wireless Technologies, Nov. 2010.
- [3] Y. Kishiyama: “LTE enhancements and future radio access towards next decade,” 1st NGMN Innovation Day, Stockholm, Sweden, Sep. 2011.
- [4] Y. Kishiyama: “Future radio access challenges,” WWRF Wireless World 2020 Workshop, Berlin, Germany, Oct. 2012.
- [5] NTT DOCOMO: “Future radio access for 5G,” ARIB 2020 and Beyond Workshop, Tokyo, Japan, Nov. 2013.
- [6] Ericsson: “White paper - 5G radio access,” Jun. 2013.
- [7] Nokia Solutions and Networks: “White paper - Looking ahead to 5G,” Dec. 2013.
- [8] NTTドコモ報道発表資料：“「CEATEC AWARD 2013」において「次世代移動通信（5G）」が総務大臣賞を受賞,” Oct. 2013.
- [9] H. Ishii, Y. Kishiyama, and H. Takahashi: “A novel architecture for LTE-B: C-plane/U-plane split and Phantom cell concept,” IEEE Globecom, Dec. 2012.
- [10] Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li, and K. Higuchi: “Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access,” IEEE VTC Spring, Jun. 2013.
- [11] NTTドコモ報道発表資料：“世界主要ベンダーと5G実験で協力,” May 2014.
- [12] NTTドコモ報道発表資料：“世界主要ベンダーとの5G実験を拡大,” Jul. 2015.
- [13] NTTドコモ：“世界主要ベンダーとの5G実験の概要.”
<https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/rd/>

- tech/5g/5g_trial/
- [14] 中村 武宏：“5Gが切り開く未来の展望 ―パートナーの強みを融合させた世界―,” 本誌, 25週記念号, Oct. 2018.
- [15] 総務省報道発表資料：“5G総合実証試験の開始,” May 2017.
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000297.html
- [16] NTTドコモ報道発表資料：“2017年度 総務省「5G総合実証試験」の成果について,” Mar. 2018.
https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/topics/2017/topics_180326_03.pdf
- [17] NTTドコモ報道発表資料：“2018年度 総務省「5G総合実証試験」の成果について ～地方創生に貢献する多様な5Gのユースケースと日本初の5Gの救急医療応用に関する実証～,” Mar. 2019.
https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_190319_01.pdf
- [18] 総務省報道発表資料：“「5G利活用アイデアコンテスト」の開催,” Dec. 2018.
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000362.html
- [19] NTTドコモ報道発表資料：“2019年度 総務省「5G総合実証試験」の成果について ～地方創生に貢献する多様な5Gの12のユースケースに関する実証～,” Mar. 2020.
https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_200316_00.pdf

5G標準仕様策定における貢献

ネットワークイノベーション研究所

ながた さとし
永田 聡

ネットワーク開発部

みのくち あつし
巳之口 淳

無線アクセス開発部

ウメシュ アニール

移動機開発部

おぐま ゆうた
小熊 優太

R&D戦略部

たけだ しんじ
竹田 真二†

3GPPにおいて、5G標準仕様の初版が2018年6月に完成した。また、O-RAN Allianceにて、5Gのオープンな無線アクセスネットワークを実現する標準仕様は2019年3月に公開されている。ドコモは3GPPやO-RANの標準仕様策定に積極的に貢献しており、2020年3月に商用サービスを開始した5Gも3GPPおよびO-RAN仕様に準拠している。本稿では、これらの標準仕様策定におけるドコモの貢献を概説する。

1. まえがき

2018年6月の3GPP TSG (Technical Specification Group) #84 プレナリ会合*1において、3GPP Release 15仕様の凍結が宣言され、5Gの初版仕様が完成した。5G標準仕様は、NR (New Radio) と呼ばれる新たな無線アクセス仕様と、5GC (5G Core

network) と呼ばれる新たなコアネットワーク*2仕様を中核とし、既存システムであるLTE (Long Term Evolution)/EPC (Evolved Packet Core)*3との連携機能を含んでいる。

3GPPでの5G標準化は、2015年9月にITU-R (International Telecommunication Union-Radio communication sector)*4が発行したビジョン勧告ITU-R

©2020 NTT DOCOMO, INC.

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、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

† 現在、移動機開発部

*1 プレナリ会合：3GPP TSG会合の最上位会合。TSG配下のWGでの仕様策定に関するスケジュールやWGで策定された仕様の承認が行われる。

*2 コアネットワーク：パケット転送装置、加入者情報管理装置などで構成されるネットワーク。移動端末は無線アクセスネットワークを経由してコアネットワークとの通信を行う。

*3 EPC：LTEをはじめとした無線アクセスネットワークを収容するコアネットワーク。

M.2083に基づき、①モバイルブロードバンドのさらなる高度化（eMBB：enhanced Mobile Broad-Band）、②多数同時接続を実現するマシンタイプ通信（mMTC：massive Machine Type Communication）、③高信頼・超低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communication）の3つの利用シナリオを想定して、2016年3月からRelease 14での要求条件や要素技術の基礎検討（SI：Study Item）が実施された。その後、2017年3月からRelease 15での詳細仕様検討（WI：Work Item）が実施された。

ドコモは、Release 14開始からRelease 15完了までの2年3カ月にわたる3GPPでの5G仕様策定作業において、技術提案や仕様書の取りまとめ、会合の議長・副議長を務めるなど、積極的な貢献を行っている。この間のドコモからの5G標準仕様への寄書入力件数は約3,700件であり、これは、3GPPに参画している全世界の企業の中で9位、通信事業者としては、首位の貢献となっている^{*1}。さらに、5G必須特許^{*5}候補の出願件数についても、通信事業者で首位と評価されている^{*2}。

また、3GPP標準化作業と並行する形で、ドコモは、2018年2月に、AT&T、China Mobile、Deutsche Telecom、Orangeとの連名で、O-RAN Allianceを設立した。O-RAN Allianceでは、5Gをはじめとする次世代の無線アクセスネットワーク^{*6}を、より拡張性が高く、よりオープンでインテリジェントに構築することを目的に、①相互接続が可能なオープンインタフェースの推進、②無線ネットワーク装置の仮想化、ホワイトボックス^{*7}化、③AI、ビッグデータの活用、に取り組んでいる。

これらの取組みの結果、2018年6月の3GPP Release 15仕様完成、および、2019年3月のO-RANフロントホール^{*8}仕様完成に至り、5G商用サービスのため

の装置開発が可能となった。

本稿では、5G標準仕様策定における活動内容とドコモの貢献について解説する。

2. 3GPPにおける5Gの 早期仕様策定に向けた活動と貢献

3GPPにおける5Gの標準仕様策定にあたっては、新しい無線アクセス方式であるNRにおいて、eMBBやURLLCの一部を実現するユースケースを対象とした仕様をRelease 15で標準化し、URLLCやmMTCを含めた残りの仕様を次の段階であるRelease 16以降で標準化することを目標として検討が進められた。あわせて、ノンスタンドアローン運用と呼ばれる4G基地局／コアネットワークと5G基地局の組合せで運用するケースの仕様をはじめに標準化し、5G基地局／コアネットワークのみで運用可能なスタンドアローン運用を含めた全仕様を次の段階で標準化するなど、多様な要求条件やユースケースが存在する5Gに対し、段階的な標準化を行うことにより、計画的に標準仕様策定を進めることが決められた。

ドコモは、5G標準化全体の推進のみならず、5G標準仕様の早期策定の実現にも大きく寄与した。具体的には、当初のスケジュールである2018年6月にノンスタンドアローン運用とスタンドアローン運用を同一のリリース（Release 15）で標準仕様化することを担保しつつ、ノンスタンドアローン運用の標準仕様策定を2017年12月までに終わらせることを明記したドキュメントを47社と連名で3GPPに提出し、早期策定に貢献した。これが、世界的な5G商用導入の加速に繋がっている。

*4 ITU-R：電気通信分野における国際連合の専門機関である国際電気通信連合（ITU）の無線通信部門で、無線通信に関する国際的規則である無線通信規則の改正に必要な検討、無線通信の技術・運用などの問題の研究、勧告の作成および周波数の割当て・登録などを行う機関。

*5 必須特許：標準規格に準拠した製品を製造する上で、ライセンスなどを受けなければ特許権の侵害を回避することができない特許。

*1：サイバー創研調べ、5G実現に資するETSI標準規格必須特許（5G-SEP）候補の出願動向と標準化寄書の提案動向。

*2：サイバー創研調べ、5G実現に資する5G-SEP候補と5G-SEP宣言特許の出願動向、および、標準化寄書の提案動向。

*6 無線アクセスネットワーク：コアネットワークと端末の間に位置する、無線レイヤの制御を行う基地局などで構成されるネットワーク。

*7 ホワイトボックス：装置などの内部構成や処理がオープンなこと。ブラックボックスの対語。

*8 フロントホール：基地局の集中制御装置と無線装置間の回線であり、光ファイバなどが用いられる。

3. 3GPP TSG SA/CTにおける活動と貢献

3GPPではプロジェクト全体を統括するPCG (Project Coordination Group) のもとに技術検討を行うTSGがおかれている。TSGにはTSG SA (Service and System Aspects), TSG CT (Core Network and Terminals), TSG RAN (Radio Access Network) の3つのグループがある。TSG SAは、ユースケースの検討とシステム要求条件の導出、アーキテクチャの決定と各機能単位への要求条件の導出、機能単位間の情報の流れと各機能単位での動作の決定を行っている。また、各々に関し標準仕様を規定している。TSG CTは、端末—コアネットワーク間、コアネットワーク内機能単位間のプロトコル、および、第三者利用に向けた外部API (Application Programming Interface)*⁹やUSIM (Universal Subscriber Identity Module)*¹⁰の詳細仕様を規定している。ドコモは、5G仕様規定作業の中で、TSG CT副議長およびSA-WG (SA-Working Group) 3副議長の要職を務め、仕様規定の全体方針や、スケジュール策定、技術検討の推進などに大きく貢献してきた。

5Gの標準仕様の規定において、TSG SA/CTは、ノンスタンドアローン方式と呼ばれるNRをEPCに収容するための機能拡充、および、新たなコアネットワーク仕様である5GCを検討した。

ドコモは、5Gエリア拡充に相応の時間を要することを考慮し、Release 14でのSI検討中に、ノンスタンドアローン方式での5Gサービス導入を主張した。検討当初は、ベンダに加えて通信事業者からも新たなコアネットワークに検討を一本化すべきという意見もあり、賛同を得ることができなかった。しかし

ながら、説明の繰返しとTSG RANでの技術検討の進捗（後述）により徐々に賛同が得られ、後にRAN/SA #72プレナリ会合にて、5Gとしてノンスタンドアローン方式の仕様化を優先して進められることとなった。このような経緯があったが、今ではノンスタンドアローン方式は5G導入初期の主要なネットワーク構成として世界中の多くのオペレータに採用されている。

また、5Gサービス発展期への適用に向けて、新しい概念のコアネットワークが5GCとして仕様化された。

ドコモは、NRのEPC収容（ノンスタンドアローン方式）、および5GC双方の仕様化作業の進展に貢献した。

(1)SA-WG1

ユースケースの検討とシステム要求条件の導出を行うSA-WG1では、ノンスタンドアローン方式に関しては検討せず、5GCのみが検討された。ドコモは、お客様の要望は多様化しロングテール*¹¹で分布すると想定し、そのためには画一的なネットワークでなく分割されたネットワーク（i.e.ネットワークスライス*¹²）が必要であると考え、それを推進した。加えて、オペレータとして基盤となる課題に取り組み、特に、アクセス規制の仕様化をリードした。

(2)SA-WG2

アーキテクチャの決定と各機能単位への要求条件の導出、機能単位間の情報の流れと各機能単位での動作の決定を行うSA-WG2では、ノンスタンドアローン方式、および、5GCの両方が検討された。

欧州通信事業者の一部はノンスタンドアローン方式をLTEの無線速度向上からの一連の流れとしてとらえていた。そこで、この方式は多くの通信事業者が導入できるようコアネットワークの変更無しで

*⁹ API：イネーブラが提供する機能を他の装置から利用するためのインタフェース。

*¹⁰ USIM：携帯電話会社と契約した加入者の識別子などを記録しているICカード。

*¹¹ ロングテール：ここでは、サービスごとにそれを要望するお客様の数を数の多い順番にグラフ化すると、分布図が、長いしっぽがあるように見える状態。つまり、多様なサービスそれぞれに少なくない数の要望がある状態。

*¹² ネットワークスライス：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コアネットワーク分割して最適化するアーキテクチャ。

も動作すること、コアネットワークに変更が入ることをいとわない通信事業者には高度な制御を可能にする機能を入れること、の方針を整理した。個別技術項目に関しても、後述するSA-WG3やCT-WGでの暗号化やS-GW選択の検討の方針を整理した。

5GCでは、複数社がラポータ^{*13}に名乗りを上げWID（Work Item Description）作成が滞ったことから、WGメンバからの依頼を受けてドコモがエディタ^{*14}としてWIDを完成させた。その後、ネットワークスライス、および、EPC-5GC相互接続の検討に貢献した。

(3)SA-WG3

セキュリティに関しユースケースからプロトコルまで網羅的な検討を行うSA-WG3でも、前述の2つの方式両方が検討された。ドコモは副議長を務め技術検討を主導した。ノンスタンドアローン方式では、セカンダリRAT（Secondary Radio Access Technology）^{*15}無線区間に適用するセキュリティは、MME（Mobility Management Entity）^{*16}が変更無しでも動作するよう、LTE用のセキュリティ能力をNR用のセキュリティ能力に読み替えることによって動作することとし、その仕様化を主導した。5GCの検討では、ドコモが5GC全体の主要仕様書のラポータとなり無線部分での暗号化強化や認証の改善を主導した。

(4)CT-WG1

端末ーコアネットワーク間のプロトコルの詳細規定、および、一部の基本機能についてはアーキテクチャから検討を行うCT-WG1では、5GCに関し、ETWS（Earthquake and Tsunami Warning System）^{*17}、SOR（Steering of Roaming）^{*18}、アクセス規制の仕様化を推進した。

(5)CT-WG4

コアネットワーク内機能単位間のプロトコルの詳細規定を行うCT-WG4では、ノンスタンドアローン方式において、高いトラフィックを収容する場合の適切なS-GW（Serving Gateway）^{*19}の選択方式の仕様化を推進した。

4. 3GPP TSG RANにおける活動と貢献

TSG RANは、無線アクセスネットワーク全般の仕様策定を行っている。ドコモは、TSG RAN配下のWGでの技術議論をリードするとともに、TSG RAN副議長を務めることで、5G無線アクセスネットワークの標準仕様策定に大きく貢献してきた。

(1)RAN-WG1

無線インタフェースの物理レイヤ^{*20}の検討を行うRAN-WG1では、無線アクセス方式の検討や複数送受信アンテナ技術の検討などが行われている。例えばNRでは多様なユースケースのサポートと、既存セルラで用いられている低周波数帯からミリ波帯を含めた高周波数帯までの広い周波数帯のサポートを目的として、複数のサブキャリア^{*21}間隔によるOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）^{*22}信号が定義された。ドコモは広帯域化技術やアンテナ技術、初期アクセス技術など多数の技術提案を行うとともに、5Gの標準仕様策定のラポータとして進捗管理や関係者との調整を図り、さらにRAN-WG1の議長や、各要素技術のリーダー役を務め、標準仕様の完成に大きく貢献した。

(2)RAN-WG2

無線インタフェースのアーキテクチャとプロトコルの検討を行うRAN-WG2では、LTEとNRのDual

^{*13} ラポータ：Work Itemのような検討対象項目に対して、進捗の管理、議論のとりまとめ、議論結果をキャプチャしたテクニカルレポートのエディタなどを務める3GPPの役職。

^{*14} エディタ：仕様書の作成・修正をとりまとめる役割。

^{*15} セカンダリRAT：SNで使われるNR、LTE、3G、GSM、Wi-Fiなどの無線アクセス技術のこと。

^{*16} MME：eNBを収容し、モビリティ制御機能などを提供する論理ノード。

^{*17} ETWS：地震や津波などの発生を知らせる緊急情報配信の仕組み。

^{*18} SOR：端末が、あるVPLMN（Visited-Public Land Mobile Network）に登録している時に、HPLMN（Home-Public Land Mobile Network）が当該端末を他のVPLMNへ登録させ直す仕

組み。

^{*19} S-GW：3GPPアクセスシステムを収容する在圏パケットゲートウェイ。

^{*20} 物理レイヤ：OSI参照モデルの第一層。例えば、物理レイヤ仕様とは、ビット伝送に関わる無線インタフェース仕様のことを指し示す。

^{*21} サブキャリア：OFDMなどのマルチキャリア伝送において信号を送信する個々の搬送波。

^{*22} OFDM：情報信号を直交サブキャリアで変調するマルチキャリア変調形式。デジタル変調方式の1つで、情報を複数の直交する搬送波に分割して並列伝送する方式。高い周波数利用効率での伝送が可能。

Connectivity^{*23}によりNRでの通信を既存LTEでの通信に上乗せできるようにした。本仕様は、ドコモがラポータとして推進し、Release 12で標準仕様化したLTEのDual Connectivity向けの規定がベースとなっており、加えて、ドコモが5G向けに新たに提案したSN（Secondary Node）^{*24}に終端されるsplit bearer^{*25} [1] も採用することで、既存のLTEネットワークを活かしつつNRによる高速化や低遅延化を可能にした。また、5Gの多様なユースケースや要求条件を実現するため、端末が基地局に報告する対応機能や能力、基地局が端末に設定するパラメータが膨大にあるが、それらを通知するために用いるRRC（Radio Resource Control）^{*26}メッセージの検討をリードするなど、ドコモは、標準仕様の完成に大きく貢献した。

(3)RAN-WG3

無線アクセスネットワークのアーキテクチャとインタフェースの検討を行うRAN-WG3では、eNB^{*27}間のX2^{*28}インタフェースを拡張し、LTEとNRのDual Connectivityの実現に必要なeNB—gNB間の連携を可能にした。また、性能向上やコスト効率化に向けて無線アクセスネットワークの展開柔軟性を高めるために、F1インタフェースを規定して基地局をCU（Central Unit、無線プロトコルのPDCP（Packet Data Convergence Protocol）^{*29}サブレイヤ以上を終端）とDU（Distributed Unit、無線プロトコルのRLCサブレイヤ以下を終端）に分離にすること、さらにはE1インタフェースを規定してCUをCU-CP（CU-Control Plane、制御プレーン^{*30}を終端）とCU-UP（CU-User Data Plane、ユーザプレーン^{*31}を終端）に分離することを可能にした [1]。ドコモは、これらのインタフェースのマルチベンダ相互接続性を高めるため、商用LTE網でのマルチ

ベンダ実現で培った経験を活かし、数多くの技術的な寄書を入力し、議論を推進させるためのモデレータ^{*32}を務めるとともに、標準仕様のエディタとしても貢献してきた。

(4)RAN-WG4

基地局や端末の無線（RF（Radio Frequency）^{*33}）性能や無線リソース制御^{*34}の仕様策定を担うRAN-WG4では、LTE/LTE-Advancedが利用してきた6GHz以下の周波数帯だけでなく、NRで新規導入された準ミリ波^{*35}／ミリ波^{*36}の周波数帯（Release 15では、FR2（Frequency Range 2）：24,250～52,600MHzの周波数帯として定義）の利用の検討がなされた。ドコモは、2015年より4年間の任期でRAN-WG4の副議長を務め、日本国内の5G向け周波数割当予定を考慮した周波数バンドの策定および基地局や端末のRF性能仕様の規定に向けた技術提案を活発に行い、議論を牽引してきた。国内の5Gの法制度化は、この策定された規定に従い進められた。

FR2では、広帯域通信が期待できる一方で、RF構成観点では、高周波数による無線部内部での電力損失や電波伝搬損失の増加と、広帯域化による電力密度低下がもたらすエリアカバレッジの縮小が課題となる。その解決には、カバレッジ確保が必要で、高いアンテナ利得^{*37}を実現するアンテナのアレイ化^{*38}が求められるが、狭い面積に無線信号の送受信機とアンテナを高密度に実装することが困難であるため、FR2では従来の測定用コネクタありのRF構成^{*39}を適用できない。このため、FR2のRF仕様規定ではコネクタなしのRF構成で試験をするOTA（Over The Air）^{*40}規定が導入された。

OTA規定では図1に示す、装置から放射される全電力を規定する総合放射電力（TRP：Total Radiated Power）に加えて、アンテナ特性を含めた

^{*23} Dual Connectivity：マスターとセカンダリの2つの基地局に接続し、それらの基地局でサポートされる複数のコンポーネントキャリアを用いて送受信することで、広帯域化を実現する技術。

^{*24} SN：Dual Connectivity中の端末に、MN（Master Node）の無線リソースに加えて、追加で端末に無線リソースを提供する基地局。LTE-NR Dual ConnectivityにおいてSNは、MNがLTE基地局（eNB）の場合はNR基地局（gNB）、MNがNR基地局（gNB）の場合はLTE基地局（eNB）がなり得る。

^{*25} split bearer：Dual Connectivityにおいて、MNとSNの両方の基地局を介して送受信されるベアラ。

^{*26} RRC：無線ネットワークにおける無線リソースを制御するプロトコル。

^{*27} eNB：LTEの基地局・無線制御装置。

^{*28} X2：3GPPで定義されたeNB間のリファレンスポイント。

^{*29} PDCP：レイヤ2におけるサブレイヤの1つで、秘匿、正当性確認、順序整列、ヘッダ圧縮などを行うプロトコル。

^{*30} 制御プレーン：通信データの転送経路などの制御処理。

^{*31} 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。

^{*32} モデレータ：電子メールで議論を行う際にとりまとめを行い、WGで報告を行う役割。

^{*33} RF：無線アナログ回路部。

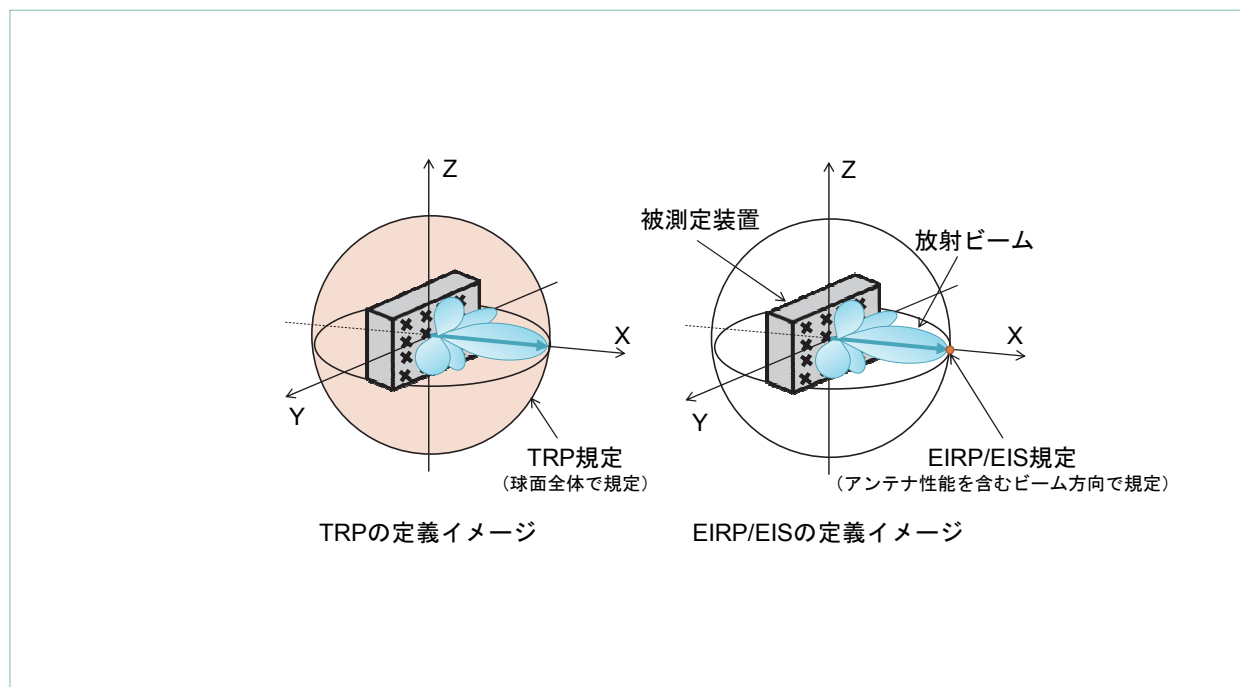


図1 NRの基地局および移動局RF規定で用いられる定義イメージ

ビーム方向における等価等方放射電力（EIRP：Equivalent Isotropic Radiated Power）^{*41}と等価等方感度（EIS：Equivalent Isotropic Sensitivity）^{*42}が定義されている。

端末では、FR2のEIRP最大送信電力について、端末を中心とした球面全体にビーム方向を操作した際に得られる各EIRP値の累積分布^{*43}を用いた規定が採用されている（図2）。本規定導入の目的は、意図した方向（通信を行う基地局方向）および必要な範囲に正しくビームを向けられることを統計的に担保することである。測定したEIRPのうち少なくとも1つが最低限満たすべき値をMin peak値、累積分布 $X\%$ における値、すなわち球面空間上の $(100-X)\%$ エリアが担保すべき値をSpherical coverageと定義した。ドコモは、オペレータとしてFR2のエ

リア性能担保のためにはSpherical coverageが要件であると考え、技術的实现性を考慮しつつ、各種規定の中でSpherical coverageが優先的に高い性能規定となるようオペレータ各社の賛同を集めながら議論を展開した。

5. O-RANにおける活動と貢献

ドコモは、5G時代における無線アクセスネットワークをより拡張性高く、オープンでインテリジェントに構築することを目的に、2018年2月にAT&T, China Mobile, Deutsche Telekom, OrangeとO-RAN Allianceを設立した。現在では、多くのオペレータとベンダ（2020年6月26日現在、加入メンバー200）が加盟し、WGにおいて無線アクセスネッ

^{*34} 無線リソース制御：有限である無線リソースの適切な管理や、端末・基地局間のスムーズな接続を実現するために実施する制御の総称。

^{*35} 準ミリ波：周波数帯域の区分の1つ。10GHzから30GHz程度のミリ波に近い周波数をもつ電波信号。

^{*36} ミリ波：周波数帯域の区分の1つ。30GHzから300GHzの周波数をもつ電波信号。

^{*37} アンテナ利得：アンテナの最大放射方向における放射強度。一般に等方性のアンテナを基準とした比で表される。

^{*38} アンテナのアレイ化：アンテナを複数配列し、合成して給電すること。

^{*39} 従来の測定用コネクタありのRF構成：基地局のRF性能仕様の

規定については、従来の6GHz以下の周波数帯においても、一部OTA（^{*40}参照）規定が導入されている。

^{*40} OTA：測定アンテナと対向し、基地局または端末のアンテナで送信／受信される電波の特性を測定する方法。NRの基地局および端末では、アンテナコネクタをなくした装置構成が定義され、本試験法による規定が設けられた。

^{*41} 等価等方放射電力（EIRP）：電波放射空間上に設けられた規定点における送信電力。

^{*42} 等価等方感度（EIS）：電波受信空間上に設けられた規定点における受信電力。

^{*43} 累積分布：評価する対象が、ある特定の値以下となる確率。

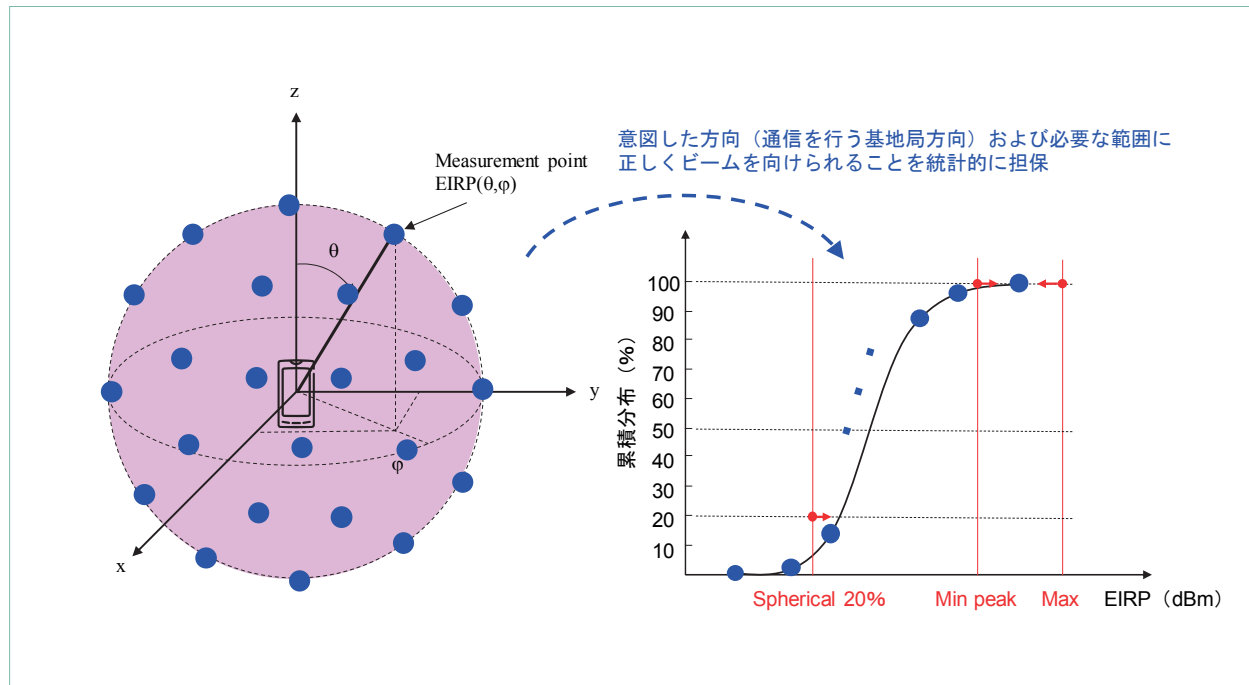


図2 累積分布を用いたOTA EIRP評価手法

トワークにおける相互接続可能なオープンインタフェース、仮想化、AI・ビッグデータ活用、ホワイトボックスハードウェア、オープンソースソフトウェアに関する検討を進め仕様を多数公開しており、注目を集めるとともに、多くの期待が寄せられている。

中でも、2019年3月に公開されたO-RANオープンフロントホール仕様は、それまでグローバルにはベンダ独自であった基地局の（集約設置される）デジタル処理部と（張り出して設置される）無線部の間のフロントホールインタフェースについて、マルチベンダ相互接続を可能にし、多くのオペレータやベンダがその採用を表明したことは [2]、業界に大きなインパクトを与え、注目を集めた。

ドコモは独自に、パートナーベンダと協力して、

すでにLTE世代から共通のフロントホールインタフェースを用いたマルチベンダRANを実現していた。そのノウハウと実績を活かして、2016年3月～2017年12月にかけて3GPP Release 14/15で行われた基地局機能分離に関するSIのラポータを務めた。さらに、O-RAN Allianceに統合される前のxRAN Forum^{*44}に2018年2月より参画して、賛同するオペレータやベンダと協力してフロントホールの標準仕様策定を推進し、現在でもO-RAN Allianceでオープンフロントホール仕様の主管であるWG4の共同議長も務めるなど、フロントホールの標準化を牽引してきている。さらに、商用5GネットワークにおけるO-RANオープンフロントホール仕様を用いたマルチベンダ相互接続も世界で初めて実現しており、今後も5GにおけるマルチベンダRANのグローバル

*44 xRAN Forum：拡張性の高い無線アクセスネットワークの推進を目的に活動していた業界団体。現在ではO-RAN Allianceに統合されている。

なエコシステム^{*45}の実現を推進していく。RANにおけるマルチベンダ相互接続性は、利用可能な基地局ソリューションのポートフォリオを拡大し、迅速、柔軟、かつコスト効率の高いネットワーク構築を可能にするものであり、多種多様な要件をもつ5Gにおいてこれまで以上に重要となる。

O-RAN Allianceにおいて、ドコモは他にも、X2やF1などの3GPPインタフェースのオープン化を検討するWG5の共同議長を務め、それらインタフェースのマルチベンダ相互接続性を確保するプロファイル^{*46}仕様の公開などに貢献している。さらに、仮想化やAI・ビッグデータ活用など、他のO-RAN Allianceの検討についても今後推進する予定である。

6. あとがき

本稿では、5Gの標準化に対して、3GPPおよびO-RAN Allianceにおける活動とドコモの貢献について解説した。

現在、3GPPでは、5Gを高度化したRelease 16の仕様策定が完了し、さらなる利用シーンに対応するため、Release 17の技術検討が進められている。また、O-RAN Allianceでは、オープンなインタフェースのさらなる検討に加え、無線ネットワークの仮想化やビッグデータ活用の技術検討が進められている。

ドコモは、5Gを今後20年の無線通信の基盤となる技術と位置づけ、その高度化のために、引き続き、3GPPおよびO-RANでの標準化活動に積極的に寄与していく予定である。

文 献

- [1] 内野, ほか, : “5GにおけるNR上位レイヤ仕様,” 本誌, Vol.26, No.3, pp.59-73, Nov. 2018.
- [2] NTTドコモ: “O-RANフロントホール開発とマルチベンダー-RANの推進へ,” Feb. 2019.
https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_190222_00.pdf

^{*45} エコシステム：複数の企業が連携して、お互いの技術や資産を活かし、社会を巻き込んで、技術開発から導入へと普及にいたる一連の流れを形作る共存共栄の仕組み。

^{*46} プロファイル：用途に応じて装置間の相互接続を確保するため、装置間メッセージの使用方法を標準化の合意により定義したもの。

5Gネットワーク

無線アクセス開発部

寒河江 佑太^{†1}

澤向 信輔

大渡 裕介

清嶋 耕平

ネットワーク開発部

神原 恵一^{†2}

ドコモ・テクノロジー株式会社 パケットNW事業部

高橋 匠

2020年3月にドコモは5G商用サービスを開始した。ドコモでは5G導入に際し、LTEで提供している機能／エリアを最大限活用することで、早期提供と安定した品質確保を実現している。

本稿では、5G商用サービスを提供するために実施した無線基地局装置、コアネットワーク装置の開発内容について解説する。

1. まえがき

第5世代移動通信システム（5G）は高速・大容量、低遅延、多数端末接続の特長を有しており、動画・サービスなどコンテンツのさらなるリッチ化などへの対応に加え、従来では困難であった社会的課題の解決や新たな産業創出が可能となることにも期待が高まっている。

ドコモは2019年9月に開始した5Gプレサービスに

続き、2020年3月に5G商用サービスを開始し、2020年7月6日時点において契約者数が17万件を超している。今後、5G需要の増加が見込まれていることから、端末ラインナップの充実、5G提供エリアの拡大を順次行っていく。

本稿では、5G商用サービス提供を行うための無線基地局装置、およびコアネットワーク^{*1}装置の開発内容について解説する。なお、5Gの特長である高速・大容量、低遅延、多数端末や構成システムに

©2020 NTT DOCOMO, INC.

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、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

†1 現在、経営企画部

†2 現在、(株)ドコモCS ソリューションインテグレーション部

*1 コアネットワーク：交換機、加入者情報管理装置などで構成されるネットワーク。移動端末は無線アクセスネットワークを経由してコアネットワークとの通信を行う。

関する技術的な概要は前号を参照されたい [1].

2. 5G向け周波数の概要

5Gにおいては、ユースケース、利用シナリオなどに応じたネットワークが求められており、技術面では、新たな無線技術（5G NR（New Radio））の採用、既存の周波数帯に加え、より高い周波数帯を活用することなどが求められている [2]. 5Gの技術的な概要は前号で記載しているため、5G向け周波数として、国内割当てで議論された周波数帯の概要を解説する。そのうえで、各周波数帯の技術的特徴について解説する。

5G向け国内周波数帯として、3.7GHz帯（3.6～4.1GHz）、4.5GHz帯（4.5～4.6GHz）、および、28GHz帯（27.0～29.5GHz、うち28.2～29.1GHzは非割当て）の3つの周波数帯が割り当てられている（表1）。特に前者2つの周波数帯がSub6帯、後者がmmW（millimeter Wave）帯^{*2}と呼ばれている。

Sub6帯は、5G国内周波数において100MHz幅／事業者と、LTEと比較して広帯域利用が可能であり、かつ、LTE 3.5GHz帯と同様のカバレッジを実現することが可能となる。一方でmmW帯は、これまでLTEで利用してきた周波数とは大きく異なり、超広帯域の割当てにより数Gbpsの高速伝送による

サービスをスポット的に展開することが期待されている。しかし、一般に高い周波数であるほど電波が飛びづらいため、既存LTE周波数やSub6帯と組み合わせたヘテロジニアス・ネットワークを構築していく必要がある。加えて、高周波数帯においてはアンテナの小型化が容易であり、Massive MIMO（Massive Multiple Input Multiple Output）^{*3}によるMIMO技術の高度化を活用したネットワーク展開が期待される。

さらに、国内では5G向け国内周波数帯において既存システムが運用されており、その既存事業者との共存・棲分けが重要である。特に3.7GHz帯は衛星システム事業者が利用しており、衛星システムとのシステム間の干渉調整を実施しながらの展開となるため、5G早期展開に有力な周波数帯として4.5GHz帯が注目されている（図1）。また、海外動向に注目すると3.7GHz帯や28GHz帯はすでに各国で利用開始がされており、端末の対応状況や今後のローミング対応の観点から、今後の5G特有の高速大容量などのサービス展開において有力である。これらの周波数の特徴、既存事業者との共存、そして、グローバル動向などを踏まえ、それぞれの周波数帯の強みを最大限活用した商用展開を実施していく。

これら国内周波数に対して、総務省による開設計画の認定 [3] の結果、ドコモはSub6帯については

表1 国内5G周波数の特徴

	3.7GHz帯	4.5GHz帯	28GHz帯
割当周波数	3.6～4.1GHz (500MHz幅)	4.5～4.6GHz (100MHz幅)	27.0～28.2GHz 29.1～29.5GHz (1.6GHz幅)
割当帯域幅	100MHz幅／オペレータ	100MHz幅／オペレータ	400MHz幅／オペレータ
Massive MIMO の活用	MIMO多重に活用		Beamformingによる カバレッジ拡張
他システムとの 利用状況	衛星システム	航空機電波高度計	衛星システム
海外動向	中国、韓国、欧州、米国	将来的に中国が利用予定	米国、韓国

^{*2} mmW帯：周波数帯域の区分の1つ。30GHzから300GHzの周波数であり、5Gで利用される周波数である28GHz帯を含めて慣習的にミリ波と呼ぶ。

^{*3} Massive MIMO：非常に多数のアンテナを用いるMIMO伝送技術の総称。MIMOとは同一時間、同一周波数において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技術。

3.6～3.7GHzおよび4.5～4.6GHzの合計200MHz、mmW帯は27.4～27.8GHzの400MHzが割り当てられている（図2）。これにより、下りピークレートとして、既存LTEシステムと組み合わせることでSub6帯では3.4Gbps、mmW帯では4.1Gbpsを提供可能である（表2）。

Sub6帯および28GHz帯はTDD（Time Division Duplex）*4バンドとして割当てが行われているが、

周波数の有効利用の観点で、隣接する携帯事業者間で同じ下り／上りリソース割当て（TDD Config*5）を利用しなければならない。国内においては、3GPP（3rd Generation Partnership Project）で合意されているTDD Configを基に、データトラフィック量や今後の5Gサービス予測をかんがみたと、図3に示すTDD Configでの運用を実施することとなっている。特に3.7GHz帯は隣接するLTE 3.5GHzとの干

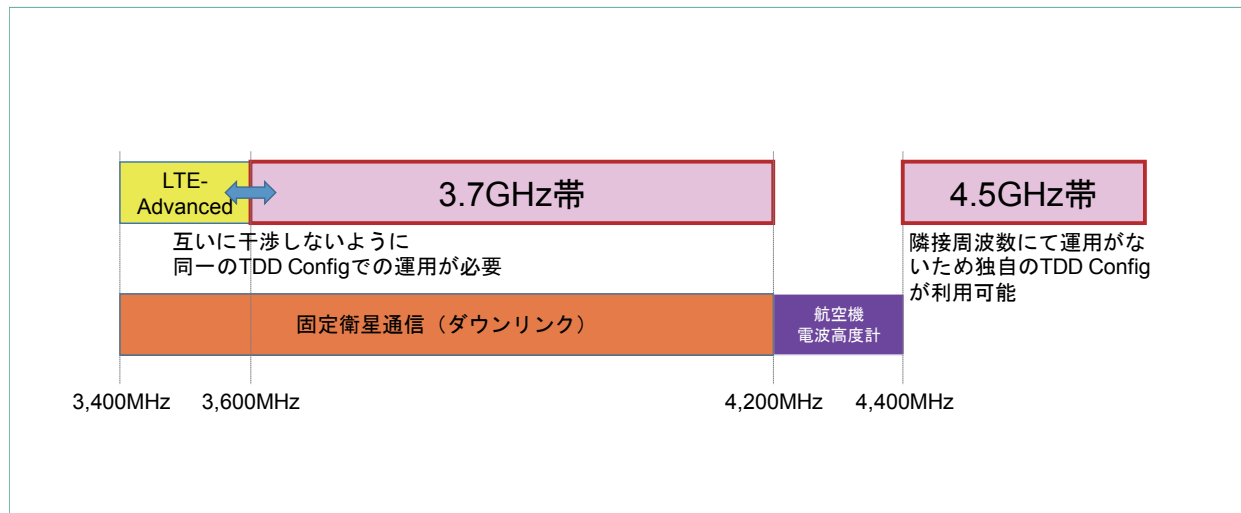


図1 3.7GHz帯の周波数割り当てとLTE 3.5GHz帯の関係

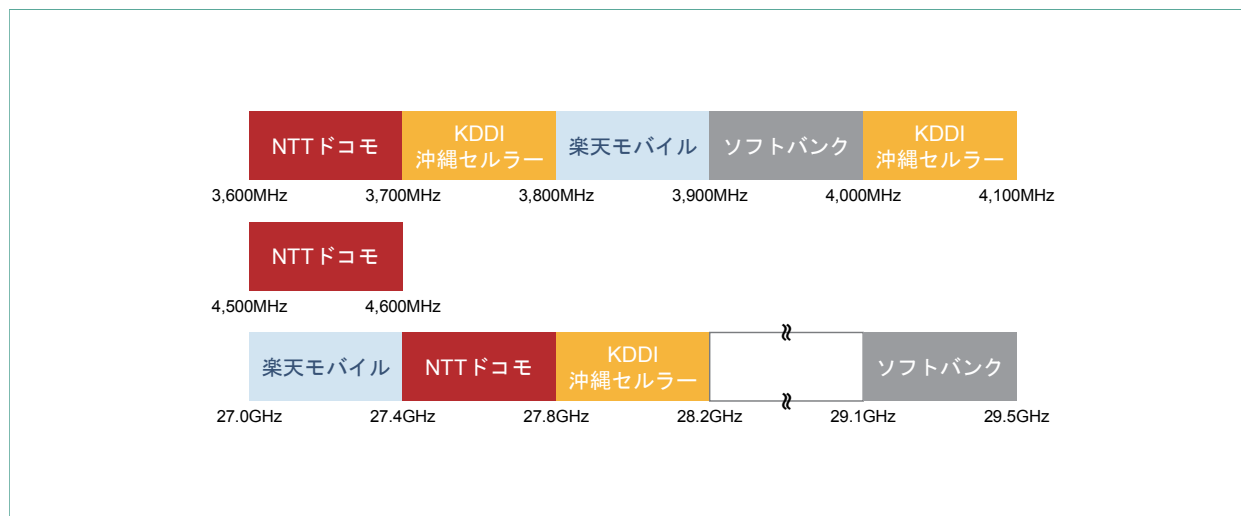


図2 5G周波数の国内割当て

*4 TDD：双方向の送受信方式の1つ。上りリンクと下りリンクに同一の周波数帯を使用し、異なる時間を割り当てることにより双方向通信が可能。

*5 TDD Config：TDDの上下スロットをどのように配分するかを決定するパラメータ。3GPP仕様にて規定されている。

表2 技術的特徴

	Sub6帯	mmW帯
Massive MIMOの活用方法	MIMO多重に活用	Beamformingによるカバレッジ拡張
カバレッジの考え方	LTE 3.5GHz帯と同様のカバレッジ	広帯域を活用した高スループットを提供 スポット的な展開
ピークレート (3GPP規格値, LTE含む)	下り3.4Gbps/上り182Mbps	下り4.1Gbps/上り480Mbps
MIMO数	下り4×4/上りSISO	下り・上り2×2MIMO
変調方式	下り256QAM/上り64QAM	下り・上り64QAM

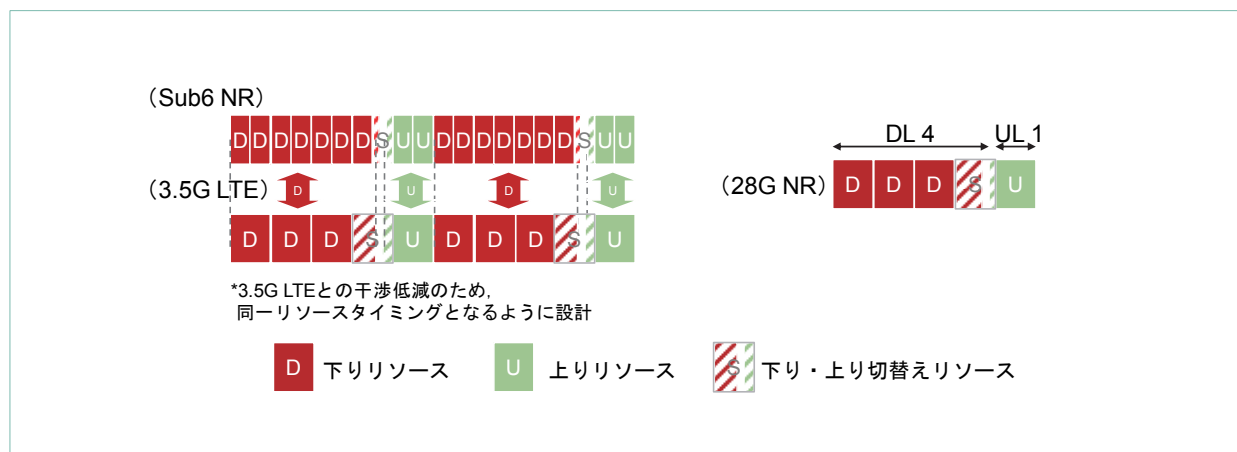


図3 国内周波数で利用されるTDD Config

渉を軽減させるために、同一タイミングにおいて、下り／上りリソースを使用するように設計されている（図3）。また、ドコモのみが獲得した4.5GHz帯においては、ユースケースに応じた独自のTDD Configを設定し、周波数を有効に活用していく。

3. 5G商用開発

3.1 5G基地局装置開発

5Gにおけるネットワーク構成を図4に示す。5Gのサービス開始に向けドコモは、5Gに対応したベースバンド（BB：Base Band）*6信号処理部を集約した親局（CU：Central Unit*7）を、既存のBB処理

装置である高密度BDE（Base station Digital processing Equipment）*8を拡張して開発し、加えて、電波の送受信機能などをもつ5G無線部（RU：Radio Unit*9）を新規に開発した。また、より多くのRUを1台のCUに収容するために、LTEにおいて導入していたフロントホール分配装置（FHM：FrontHaul Multiplexer）*10 [4] の5G対応版である5G FHMを開発した。これらの装置について概要を以下に解説する。

(1)CU

(a)開発コンセプト

5Gサービスのスムーズな展開に向け、3G/LTE/LTE-Advancedに対応したBB信号処

*6 ベースバンド（BB）：デジタル信号処理を行う回路またはその機能ブロック。

*7 CU：5Gシステムにおける無線基地局装置のデジタル信号処理部分。ベースバンド処理部や保守監視機能を備えている。

*8 BDE：LTEシステムにおける無線基地局装置のデジタル信号処理部分。ベースバンド処理部や保守監視機能を備えている。

*9 RU：フロントホールを介してベースバンド処理部と接続される無線装置。Massive MIMOにおけるビーム生成に必要な処理についても行う。

*10 フロントホール分配装置（FHM）：ベースバンド処理部と無線装置の間のフロントホール回線を複数に分配する装置。

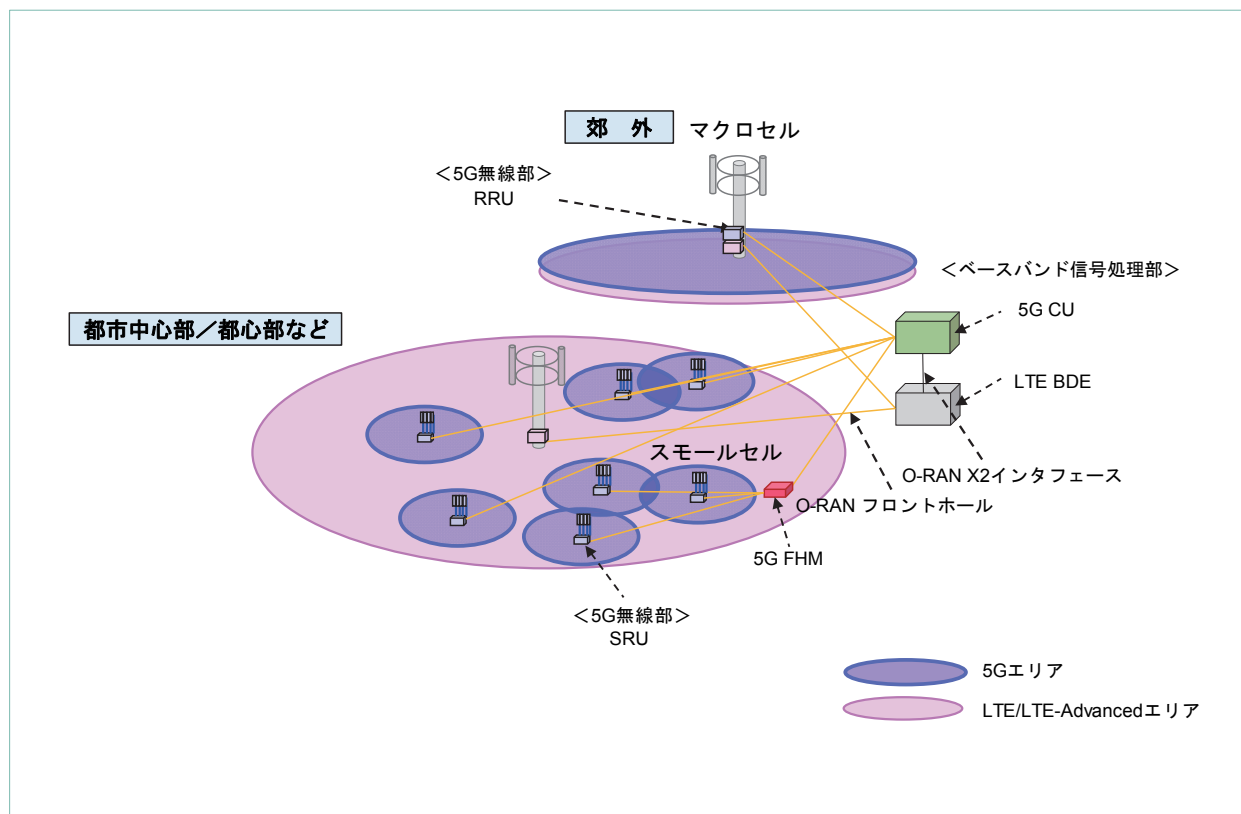


図4 5Gネットワーク構成

理を行う既存の高密度BDEを最大限活用し、高密度BDEの一部のカード交換、および5G対応ソフトウェアへのアップグレードにより、既存装置を置き換えることなく、工事期間や設備投資を抑えてエリア構築が可能なCUを開発した。

(b)CU基本仕様

今回開発したCUの装置外観例を写真1に示す。また、本装置は以下のような特徴を有する(表3)。

これまでに述べたように、本装置は既存装置である高密度BDEの一部のカード交換により5Gに対応した機能が実現可能となっている。また、今後のソフトウェアアップグレードにより、従来の3G/LTE/LTE-Advancedに対応したソフトウェアと5G対応ソフトウェアをそれ

ぞれ搭載することで、1台のCUにおいて、3Gから5Gの3世代に対応したネットワークを構築することが可能となる。

既存のLTE-Advancedではドコモが提唱する高度化C-RAN (Centralized RAN)^{*11}アーキテクチャ [5] を採用していたが、5Gにおいても本アーキテクチャに対応しており、CU・RU間はフロントホールを介して接続する。このフロントホールは、ドコモを含めたオペレータ5社により2018年2月に設立したO-RAN (Open RAN) Allianceで標準化を進められ、異なるベンダ間の相互接続を可能とするO-RANフロントホール仕様に、5Gサービス導入当初から準拠しており、同仕様に準拠したCU・RUはベンダを問わず接続可能としている。また、基地

^{*11} 高度化C-RAN：ドコモが提唱する新しいネットワークアーキテクチャで、LTE-Advancedの主要な技術であるキャリアアグリゲーション技術を活用し、広域エリアをカバーするマクロセルと局所的なエリアをカバーするスモールセルを同一の基地局制御により高度に連携させる無線アクセスネットワーク。



写真1 CU外観例

表3 CUの基本仕様

	3.7・4.5GHz帯	28GHz帯（予定）
対応方式	5G	
セル数	6セル以上	
下り最大通信速度（1セル当り）	3.4Gbps以上※	4.1Gbps以上※
収容ユーザ数（1セル当り）	1,500ユーザ	
消費電力	4kW以下	

※今後対応予定

局装置同士を接続するための仕様についてもO-RAN標準仕様に準拠しており、5G対応のCUとLTE-Advanced対応の高密度BDEについて異なるベンダ間の接続を可能としている [6]。これにより、ドコモでは既存の高密度BDEのベンダに依存せずにCUを導入可能となり、既存資産を活かしつつスピーディに必要な場所に柔軟にエリア展開することが可能である。なお、CU1台につき、6本以上のフロントホール接続が可能となっており、それぞれのフロントホールに対して接続先のRUを選択可能にしている。5GではLTE-Advancedに比較してさらなる広帯域伝送に対応するため、フロントホール伝送レートを従来の最大9.8Gbpsから最大25Gbpsに拡張しながら、CU・RU間の光張出し距離は従

来の高密度BDEと同等を実現した。

(2)RU

(a)開発コンセプト

ドコモでは、5Gサービス導入当初から柔軟なエリア構築を可能とするため、2019年9月の5Gプレサービス開始に合わせ、導入時の周波数帯である3.7GHz帯、4.5GHz帯、および28GHz帯にそれぞれ対応した、スモールセル用のRUとなる小型低出力張出しRU（SRU：low power Small Radio Unit）を開発した。また、5Gエリアの早期拡大に向け、郊外などにおける効率的なエリア化の実現を可能としたマクロセル用のRUである張出しRU（RRU：Regular power Radio Unit）についても開発した。

5G機能の1つとして、他セルへの干渉低減を

図り，ユーザ体感品質の向上が期待できるBeamforming^{*12}機能がある．本機能に対応したアンテナ・5G無線部一体型の装置（アンテナ一体型RU）を開発するとともに，既設の3G/LTE/LTE-Advanced向けの無線装置（RE：Radio Equipment）^{*13}に本装置を併設できるようにスペースなどが限られた箇所に対して柔軟に設置可能とすることを目的として，アンテナ・5G無線部分離型の装置（アンテナ分離型RU）を開発した．

(b)SRU基本仕様

SRUは，これまでに述べたように柔軟なエリア構築を可能とすることを目的とし，5Gプレサービス開始当初から，3.7GHz帯・4.5GHz帯・28GHz帯にそれぞれ対応したアンテナ一体型SRU，および3.7GHz帯・4.5GHz帯にそれぞれ対応したアンテナ分離型SRUを開発した（写真2）．これらの装置は以下のような特徴を有する（表4）．

アンテナ一体型RUについては，Beamforming機能を実現するアンテナパネルを具備している．

3.7GHz帯・4.5GHz帯では標準仕様上最大8ビーム，28GHz帯では標準仕様上最大64ビームであり，ドコモで利用するTDD Configなどに応じた送受信ビーム数にてエリアを形成可能としている．また，送受信ブランチ数は3.7GHz帯・4.5GHz帯では4，28GHz帯では2とし，1台で前者は最大4レイヤ^{*14}，後者は最大2レイヤのMIMO送受信が可能である．

アンテナ分離型SRUについては，設置性を考慮して省スペース化を目的とし，従来のRE同様に無線部のみの構成としており，SRUとアンテナを別の場所に設置することが可能である．なお，同周波数帯に対応したアンテナ一体型SRUと比較して装置容積を低減し，6.5ℓ以下を実現した．アンテナ分離型SRUでは，Beamforming機能には非対応となっているものの，同周波数帯のアンテナ一体型SRU同様に送受信ブランチ数は4としている．

(c)RRU基本仕様

RRUは，5Gエリアの早期拡大に向け，SRUと比較して高出力の装置として，5Gサービス



(a)アンテナ一体型SRU



(b)アンテナ分離型SRU

写真2 SRU外観例

^{*12} Beamforming：送信信号に指向性をもたせることで，特定方向の信号電力を増加／低下させる技術．複数のアンテナ素子（RF装置）の位相制御により指向性を形成するアナログビームフォーミングと，ベースバンド部において位相制御するデジタルビームフォーミングが存在する．

^{*13} 無線装置（RE）：フロントホールを介してベースバンド処理部

と接続される無線装置．

^{*14} レイヤ：MIMOにおいて同時に送信するストリームの数．

展開に合わせて開発された（写真3）。本装置は以下のような特徴を有する（表5）。

5Gの広帯域幅をサポートするために、従来のマクロセル用RE（RRE：Remote Radio Equipment^{*15}）と比較して装置サイズが大きくなる傾向となるが、最新のデバイス動向をかんがみ、早期に省スペース化・軽量化が期待できるアンテナ分離型を先行開発して導入した。最大送信出力はマクロセルのエリア半径を考慮し、36.3W/100MHz/ブランチ^{*16}とした。また、送受信ブランチ数は4としており、アンテナ分

離型SRUと同様のMIMO送受信レイヤ数を実現している。

ドコモでは、引き続きアンテナ一体型RRUについても導入予定であり、今後は設置場所などをかんがみながらそれぞれの機種を活用して柔軟に5Gエリアを構築していく予定である。

(3)5G FHM

5G FHMは、フロントホール上の無線信号を最大12分配、合成する機能をもつ装置であり、RRU同様に5Gサービス展開に合わせて開発された（写真4）。

5G FHMを用いない場合は、1台のRUごとに1セ

表4 SRUの基本仕様

	アンテナ一体型SRU			アンテナ分離型SRU	
周波数帯	3.7GHz帯	4.5GHz帯	28GHz帯	3.7GHz帯	4.5GHz帯
最大送信電力	－	－	－	2.76W／100MHz ／ブランチ	4.58W／100MHz ／ブランチ
最大EIRP	19.5W／100MHz ／ブランチ	32.4W／100MHz ／ブランチ	2.09W／100MHz ／ブランチ	－	－
ブランチ数	4		2	4	
サイズ	7ℓ以下			6.5ℓ以下	
装置重量	7kg以下			8kg以下	
消費電力	400W以下				
電 源	AC 100V／200V				

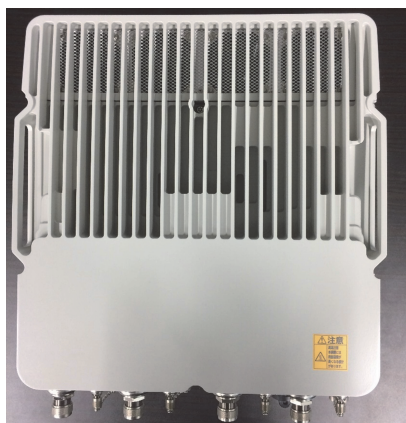


写真3 RRU外観例

表5 RRUの基本仕様例

	アンテナ分離型RRU
周波数帯	3.7GHz帯
最大送信電力	36.3W/100MHz/ブランチ
ブランチ数	4
サイズ	18ℓ以下
装置重量	16kg以下
消費電力	1kW以下
電 源	DC -48V

*15 RRE：光ファイバなどを使って基地局から離れた場所に設置した基地局無線装置。

*16 ブランチ：本稿では、アンテナおよびRF送受信機の総称。

ルとして収容するが、5G FHMを用いることにより、最大12台のRUを1セルとしてCUに収容可能となり、5Gサービス開始当初、必要な無線容量が少ない場所のエリア化において、より多くのRUを1台のCUに収容することが可能である（図5）。また、従来のFHM同様、全RUが同一セルの無線信号の送受信を行うため、RU間の干渉や、RU間をまたがるハンドオーバー（HO：Hand Over）^{*17}制御の発生を抑止することが可能である。なお、5G周波数帯である3.7GHz帯・4.5GHz帯・28GHz帯すべてに対応しており、それぞれの周波数帯の用途に応じて柔軟にエリア構築が可能となっている。

3.2 5G無線アクセスネットワーク対応

5Gサービスを実現するRANの構成と、無線アク

セスネットワーク^{*18}技術としてLTE-NR Dual Connectivity^{*19}、Beam Management技術、NR高速化対応に関する技術概要を解説する。

(1) RANの構成

5G商用サービス展開にあたっては、ドコモはNRの特徴の1つであるノンスタンドアローン運用にてサービスを提供している。ノンスタンドアローンとは、NR単独ではエリア提供せず、LTE/LTE-Advancedのエリアをアンカーとして利用し、サービスを提供する運用形態である。図6に示すように、NRのノンスタンドアローン運用においてeNB（evolved NodeB）^{*20}は、NRを提供する基地局であるgNB^{*21}とはX2^{*22}インタフェースを用いて接続する。また、eNBとgNBはEPC（Evolved Packet Core）^{*23}とS1インタフェースを用いて接続する。ノン



写真4 5G-FHM外観例

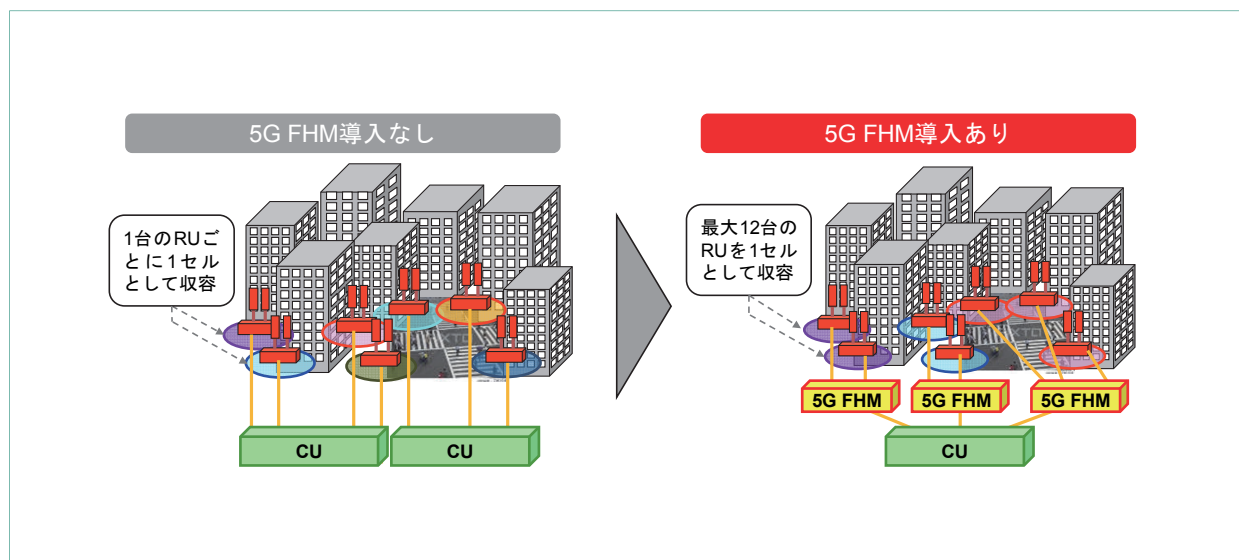


図5 5G FHM導入イメージ

^{*17} ハンドオーバー（HO）：通信中の端末が移動に伴い基地局をまたがる際、通信を継続させながら基地局を切り替える技術。

^{*18} 無線アクセスネットワーク：コアネットワークと端末の間に位置する、無線レイヤの制御を行う基地局などで構成されるネットワーク。

^{*19} Dual Connectivity：マスターとセカンダリの2つの基地局に接

続し、それらの基地局でサポートされる複数のコンポーネントキャリアを用いて送受信することで、広帯域化を実現する技術。

^{*20} eNB：LTE無線を提供する無線基地局。

^{*21} gNB：NR無線を提供する無線基地局。

^{*22} X2：3GPPで定義されたeNodeB間のリファレンスポイント。

スタンドアローンではLTEをアンカー^{*24}としているため、接続性に関してはこれまでと同等の品質レベルを実現しつつ、LTE装置との併用による既存ネットワークインフラの活用により早期に商用化を実現した。またeNBとgNB間の接続に際してドコモらが主導したO-RAN X2仕様に準拠し、LTEとNRの、異なるベンダ間における相互接続を可能とした。すでに展開されているLTEエリアに対して5Gエリアを迅速かつ柔軟に展開することもできるようになった。

今後提供予定のNRのスタンドアローンは、gNBのみでサービス提供を可能とするもので、RANは新しいコアネットワーク（5GC：5G Core network）に接続する。gNB間はXnインタフェースを用いて接続し、gNB-5GC間はNGインタフェースを用いて接続する。

(2)LTE-NR Dual Connectivity

前述の通り既存のLTE/LTE-AdvancedとNRとを組み合わせるサービス提供するノンスタンドアロー

ン構成において、UEに対してLTE／NR両方で同時に通信するアーキテクチャがLTE-NR Dual Connectivityである（図7）。LTE-NR Dual Connectivityでは、LTE/NRそれぞれの無線リソース^{*25}を同時に送るSplit Bearer^{*26}が規定されており、最大5つのLTEキャリア^{*27}とNRとの同時送信を実現し、高速化や柔軟な5G商用サービス展開を可能としている

LTE-NR Dual Connectivityの、LTE基地局がMN（Master Node）^{*28}となる運用においては、NR側の帯域が大きくなるに連れてLTE基地局側でMCG（Master Cell Group）Split Bearerを行う必要があり、そのため、NR装置に比べ能力に制限のあるLTE基地局装置側の増強が必要であり、それに伴う装置開発・運用コストの増加につながる。そこでLTE基地局装置の増強を抑えつつ、その装置能力によるスループットの制約を回避するために、LTE-NR Dual Connectivityではユーザデータの分岐点をNR装置であるSN（Secondary Node）^{*29}で設定でき

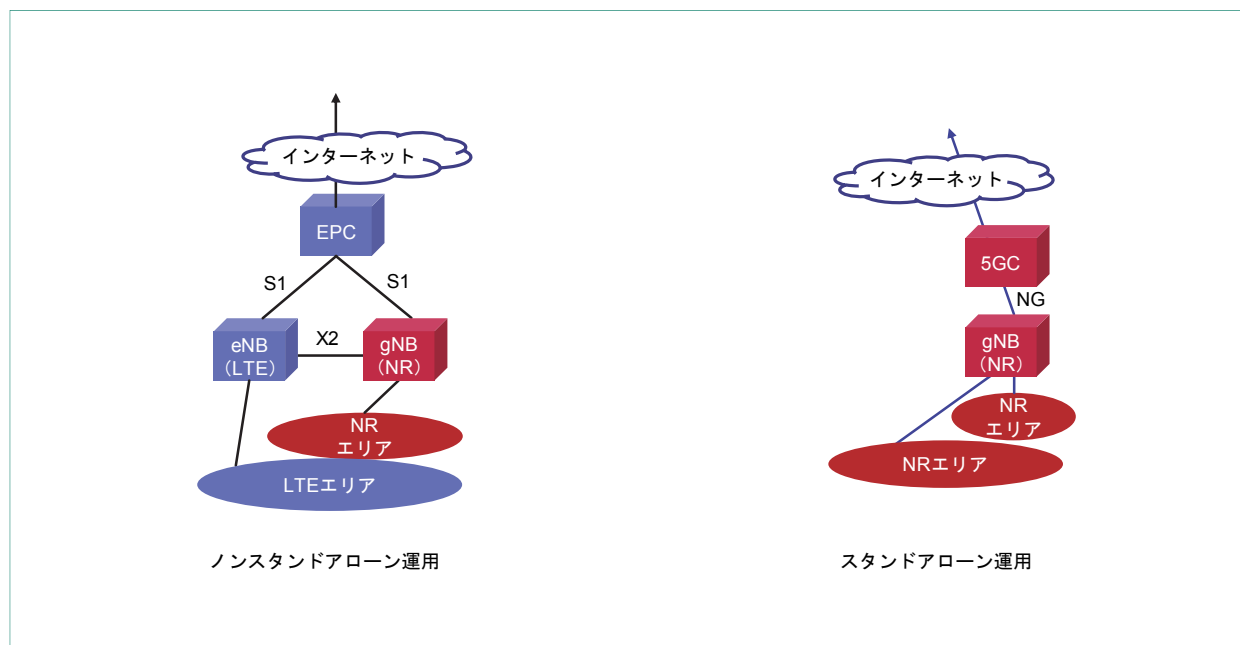


図6 5Gにおけるネットワーク構成

^{*23} EPC：3GPP移動通信網における主にE-UTRAを収容するコアネットワーク。

^{*24} アンカー：制御信号もしくは、ユーザペアラの切替え基点となる論理的ノード地点。

^{*25} 無線リソース：無線チャネル（周波数）割当てに必要となるリソースの総称。

^{*26} Split Bearer：Dual Connectivityにおいて、マスターとセカンダリの両方の基地局を介して送受信されるベアラ。

^{*27} キャリア：情報を伝達するために変調される電波（搬送波）。

^{*28} MN：Dual Connectivity中の端末とRRC connectionを確立する基地局。LTE-NR Dual Connectivityにおいて、MNは、LTE基地局（eNB）、もしくはNR基地局（gNB）がなり得る。

るようにSN terminated split bearer, およびSN Terminated MCG Bearerが仕様化されている(図8)。SCG split bearerはユーザデータをSNのキャリアに伝送しつつMNのキャリアにも転送を行い, SNおよびMN同時にデータをユーザに伝送できるようにする方法である。これにより高速化通信を実現して

いる。またSN terminated MCG BearerはNRのエリア外においてもSNからデータ転送を行えるようにする方法であり, これにより安定的な通信を実現している。

(3)Beam Management技術

NRでは新たにBeam Management技術を採用し

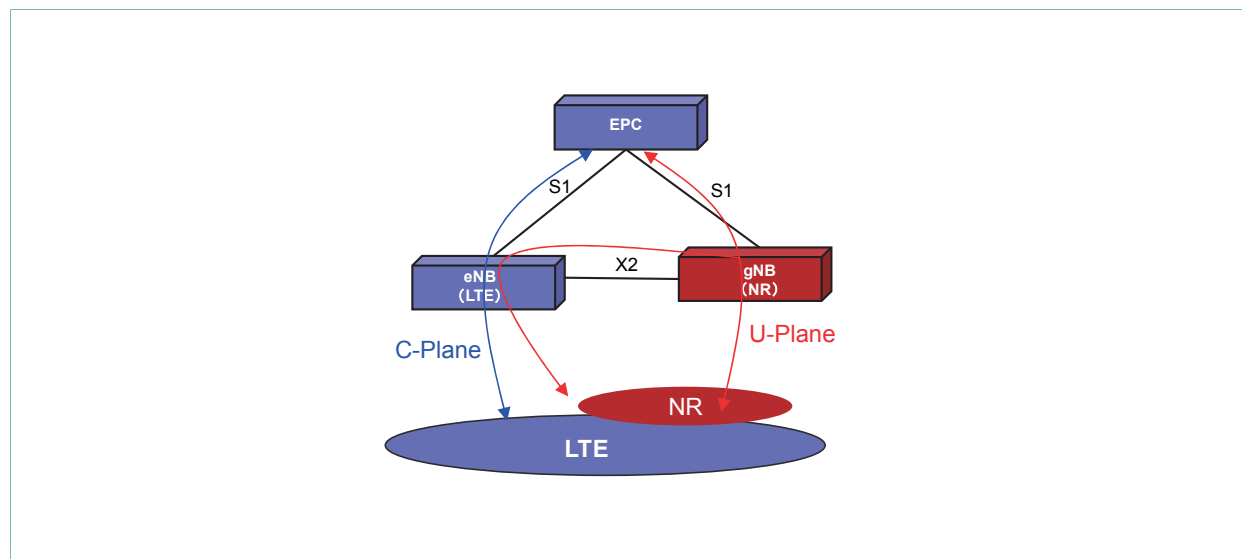


図7 LTE-NR Dual Connectivity接続イメージ

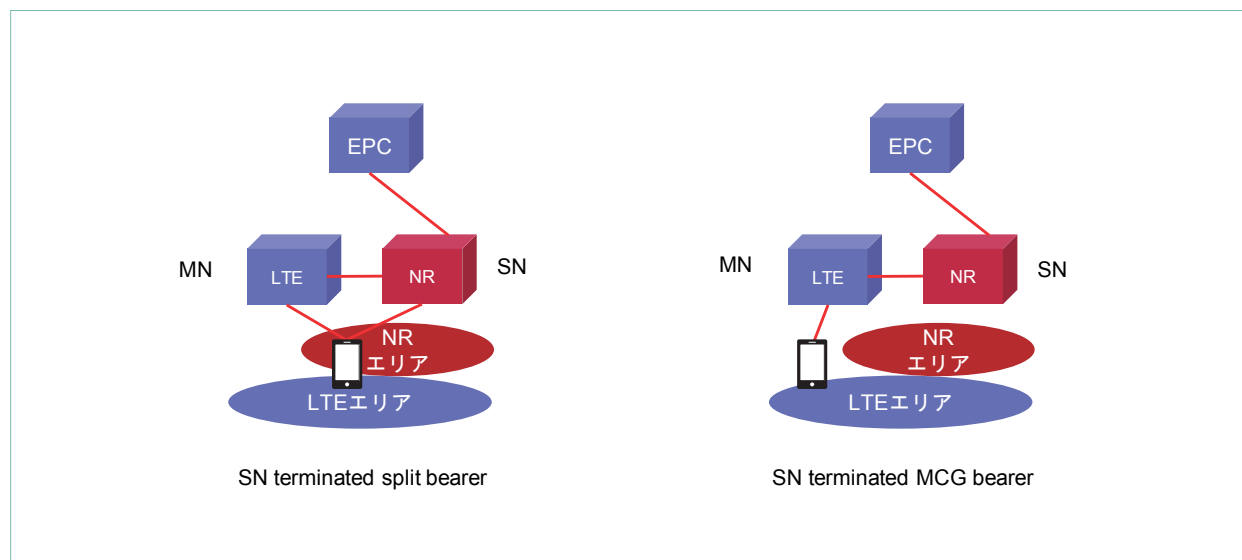


図8 SN terminated split bearerおよびSN terminated MCG bearer

*29 SN : Dual Connectivity中の端末に, MNの無線リソースに加えて, 追加で端末に無線リソースを提供する基地局。LTE-NR Dual Connectivityにおいて, SNは, MNがLTE基地局 (eNB) の場合はNR基地局 (gNB), MNがNR基地局 (gNB) の場合はLTE基地局 (eNB) になり得る。

ている。前述のようにアンテナ一体型RUについては複数ビームを形成するような構成となっている(図9)。

FR1 (Frequency Range 1)^{*30}ではBB信号に位相回転を与えることによりビーム形成するDigital beamformingを採用し、FR2 (Frequency Range 2)^{*31}ではRF (Radio Frequency) 信号^{*32}に位相を与えることによりビーム形成するAnalog beamformingを採用している。NR接続開始時の最適ビーム選択処理および、UEの移動などによる無線品質変更に伴いビームを変更するビーム切替え処理を具備し、通信するUEの位置に応じた最適な送受信ビームを使用することで、高周波数帯においてもカバレッジの確保を実現している。また、UEの位置に対してビームを向けることにより、不要な方向への電波の放射が抑制され、セル間の干渉の抑圧効果も期待できる。

(4)NR高速化対応

5GではLTE/LTE-AdvancedとNRとのDual ConnectivityにてNRも同時に利用することにより、さらなる高速通信が実現される。現在ドコモではLTE/LTE-Advancedにて、下り通信は5つのコン

ポーネントキャリア^{*33}をキャリアアグリゲーション^{*34}することにより下り最大1.7Gbpsのサービスを提供しているが、ドコモの5Gでは導入当初からLTE/LTE-Advancedの5つのコンポーネントキャリアとNRのDual connectivityを実現しており、NRとして3.7GHz帯または4.5GHz帯を利用する場合は最大3.4Gbps、NRとして28GHz帯を利用する場合は最大4.1Gbpsを実現している。

また、上り通信においては、28GHz帯において、合計200MHz (2コンポーネントキャリア) をキャリアアグリゲーションで同時利用することに加え、2×2 MIMOの導入により、合計480Mbpsを実現している。

さらに、今後、下り通信においては3.7GHz帯と4.5GHzのキャリアアグリゲーション、上り通信においては28GHz帯における400MHz (4コンポーネントキャリア) のキャリアアグリゲーションによりさらなる広帯域利用による高速化を狙う。

3.3 コアネットワーク装置開発

国際的な標準化団体である3GPPにおいては、5Gの提供に向けた複数のマイグレーションのアーキテ

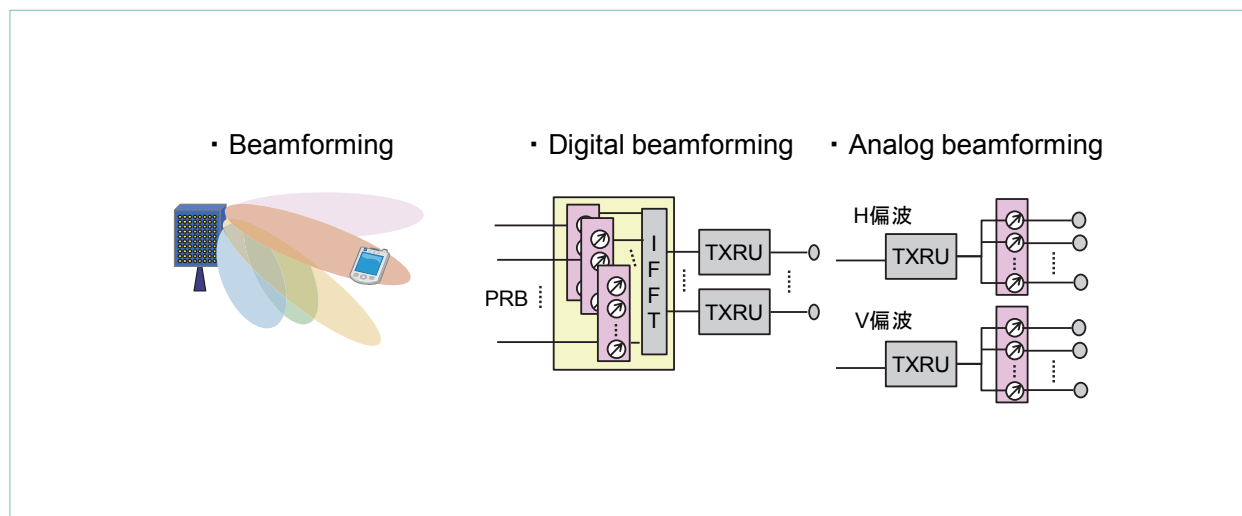


図9 Beamforming技術の種類

^{*30} 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。FR1：450～6,000MHz。

^{*31} FR2：3GPPにおいて規定されている周波数バンドについての分類。FR2：24,250～52,600MHz。

^{*32} RF信号：無線周波数帯の信号。

^{*33} コンポーネントキャリア：使用される搬送波を1つの周波数ブロックとしたもののLTEは最大20MHz、NRはFR1は最大100MHz、FR2は最大400MHz

^{*34} キャリアアグリゲーション：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。

クチャが規定されている。3GPPに規定されているアーキテクチャの一覧を図10に示す。Option 1がLTEで提供しているアーキテクチャであり、5Gを提供するにあたりOption 2～5, 7の、どのアーキテクチャを採用するかは各オペレータの判断になる。ドコモは前述した通り、5G導入当初においてはLTEで商用運用しているEPCを拡張することでNRと接続し、5Gを提供するOption 3アーキテクチャを採用している。これにより、LTE/LTE-Advancedで展開済みの安定した品質を担保可能としつつ、早期に5Gの商用提供を実現した。なお、5G導入当初は世界的に見て多くのオペレータがOption 3を採用している。

今後は新しいコアネットワークである5GCの導入も含め、将来のマイグレーションに向けた検討を続けていく。

(1)Option 3xアーキテクチャ

前述の通り、装置開発・運用コストを抑制するためのSCG split bearerによるユーザデータの転送処理を行っている。つまり制御系信号のやり取りはEPC-eNB間で行い、ユーザデータのやり取りはEPC-gNB間で行っている。これはOption 3xとして標準上規定されている。

Option 3xアーキテクチャを図11に示す。EPCはeNBとのS1インタフェースおよびUEとのNAS (Non-Access Stratum)^{*35}インタフェースを拡張することでNRを収容可能となるため、コアネットワーク装置への影響を軽減でき、安定した品質と早期導入を両立可能なことが最大の特長である。

(2)高スループット対応

5Gでは最大で4.1Gbpsの下りスループットを提供し、今後もより高速・大容量通信を実現するために

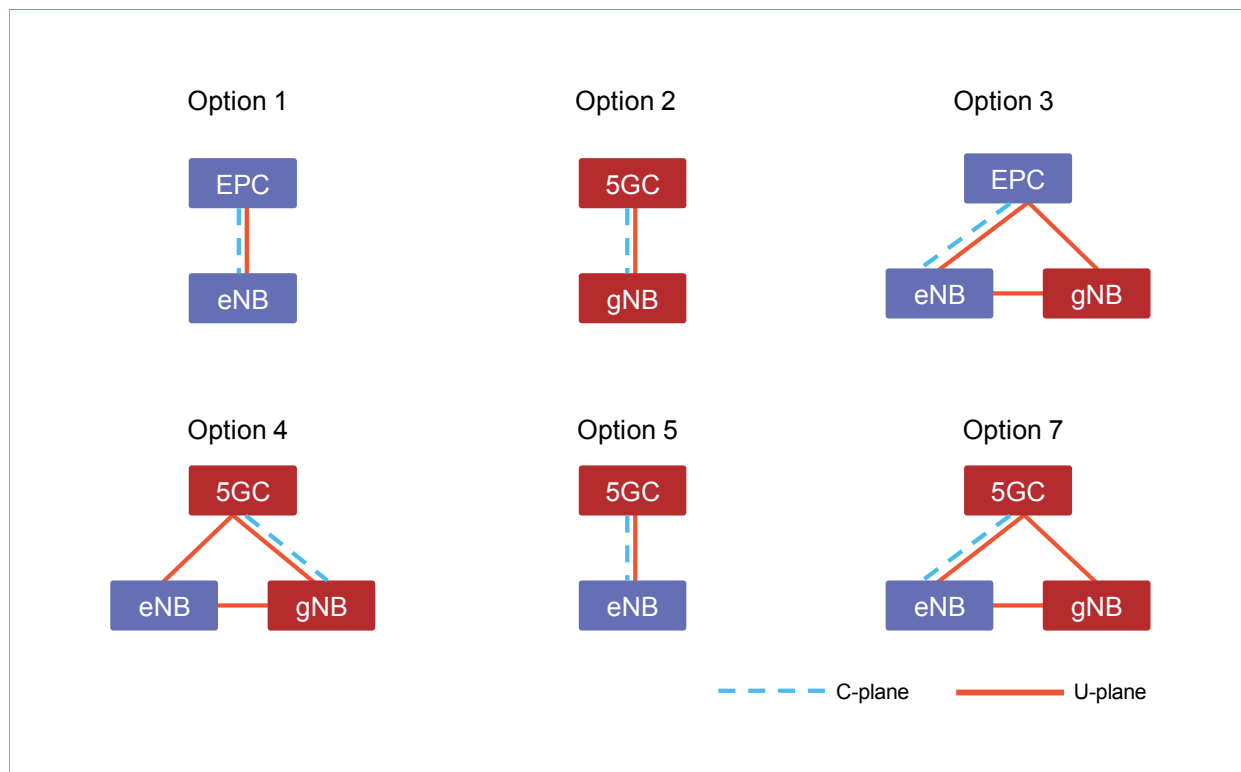


図10 5Gへのマイグレーションアーキテクチャ

^{*35} NAS : UEとコアネットワークとの間の機能レイヤ。

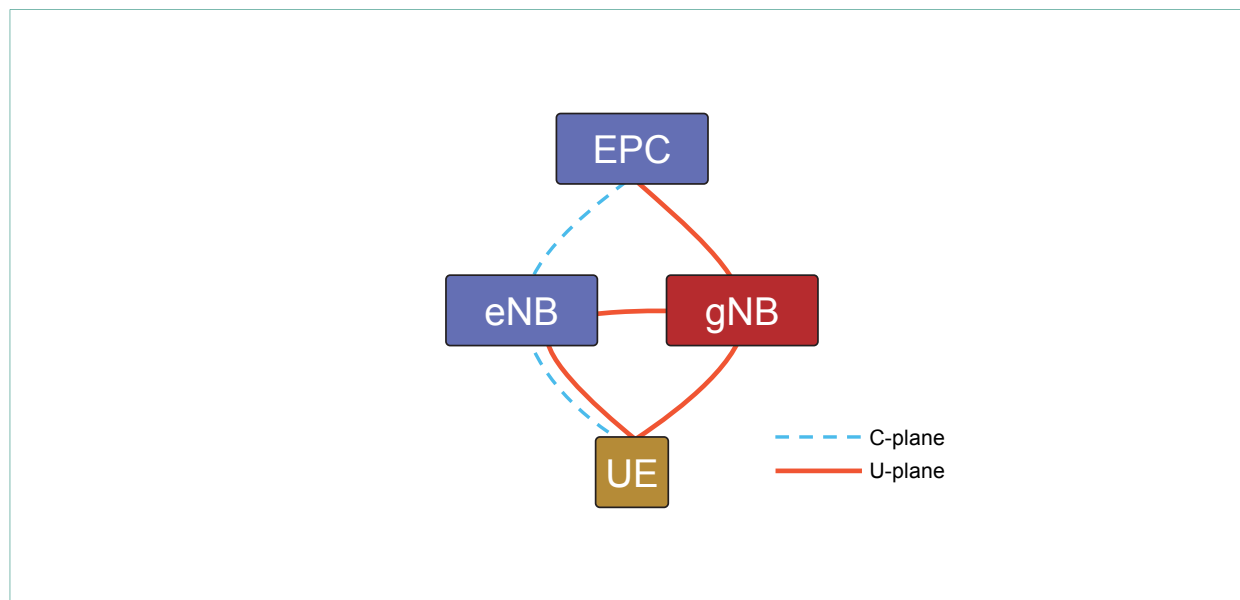


図11 Option 3x アーキテクチャ

開発を続けていく。一方、EPCはさまざまな能力の装置が混在しており、5Gの求めるスループットの提供が困難な装置も存在する。これらをかんがみ、EPCの中でデータ転送処理を担うS/P-GW（Serving Gateway/PDN Gateway）^{*36}を選択する際に、5Gのスループットを提供可能なS/P-GWを選択する開発を実施した。

具体的には、MME（Mobility Management Entity）^{*37}でS/P-GWを選択する際にTA（Tracking Area）^{*38}やAPN（Access Point Name）^{*39}をキーにDNS（Domain Name System）^{*40}を引くことで、応答に含まれるレコードからS/P-GWを選択しているが、DNSの応答に含まれるサービスパラメータ（network capability）に5G能力を示す値（+nc-nr）を追加した。5Gユーザに対しては、この値に応じて5Gのスループットを提供可能なS/P-GWを選択することで高速通信を実現している。

(3)低遅延ネットワーク

5Gの商用開始と同時にドコモオープンイノベーションクラウドの提供も開始した。ドコモオープン

イノベーションクラウドはMEC（Multi-access Edge Computing）^{*41}の1つの形態として提供しており、コアネットワークを含めたコンピューティングリソースを端末に近いところに配備することでEnd to Endの通信遅延を短縮することが可能になる。さらに接続端末とクラウド基盤間の通信経路を最適化することでネットワーク伝送遅延を短縮する「クラウドダイレクト™」も提供する。

ドコモオープンイノベーションクラウドのサービス概要などは次号以降の特集で扱う予定である。

4. あとがき

本稿では、5G商用サービス提供を行うための無線基地局装置、およびコアネットワーク装置の開発内容について解説した。

ドコモは5Gを通じてさまざまなパートナーと協創し、豊かな社会の実現に貢献するとともに、今後も先進的で高度な技術開発を進めていく。

^{*36} S/P-GW：S-GWは3GPPアクセスシステムを収容する圏パケットゲートウェイ。P-GWはPDNとの接続点であり、IPアドレスの割当てや、S-GWへのパケット転送などを行うゲートウェイ。

^{*37} MME：eNBを収容し、モビリティ制御機能などを提供する論理ノード。

^{*38} TA：1つまたは複数のセルから構成され、ネットワーク上で管理される移動端末の位置を示すセル単位。

^{*39} APN：ネットワーク接続によりデータ通信を行う際、接続先として設定するアドレス名。

^{*40} DNS：IPネットワーク上のホスト名とIPアドレスの対応付けを行うシステム。

文 献

- [1] 古城, ほか: “5G商用サービス概要,” 本誌, Vol.28, No.1, pp.6-10, Apr. 2020.
- [2] 総務省: “情報通信審議会 情報通信技術分科会 新世代モバイル通信システム委員会報告 (平成30年7月31日),” Jul. 2018.
https://www.soumu.go.jp/main_content/000567504.pdf
- [3] 総務省: “第5世代移動通信システムの導入のための特定基地局の開設計画の認定,” Apr. 2019.
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000378.html
- [4] 藤井, ほか: “3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた基地局装置の開発,” 本誌, Vol.24, No.2, pp.8-13, Jul. 2016.
- [5] 吉原, ほか: “高度化C-RANアーキテクチャを実現する無線装置およびアンテナの開発,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.19-24, Jul. 2015.
- [6] NTTドコモ報道発表資料: “(お知らせ) 世界初, O-RAN国際標準仕様を用いた4G・5Gマルチベンダー基地局を5Gプレサービスで運用開始,” Sep. 2019.
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2019/09/18_01.html

*41 MEC: ユーザに近い位置にサーバを設置したシステムのこと。通常サーバはインターネット上に設置されるが, MECサーバはキャリア網内に設置することで, 遅延を減らすことができる。これにより, 通信の応答速度(レスポンス)を大幅に向上させる。

健診データからの 健康リスク予測技術の開発

サービスイノベーション部 伊藤 拓 落合 桂一^{†1}
ふかざわ ゆうすけ^{†2} 深澤 佑介^{†2}

近年、従業員などの健康管理を、生産性向上や労働力確保といった経営的な観点で捉える健康経営という概念が重要視されてきている。社員の健康増進が結果として企業の業績アップや価値を高めることにつながるという概念である。その施策として、機械学習を用いた健康予測の実施が進んでいるが、学習モデルがブラックボックスとなっており、なぜそのような予測になるのか説明できないため、ユーザが納得できる解釈を提示することが望まれている。そこでドコモは、健康リスクの予測とその解釈を適切にできるモデル、および予測に基づきリスクを減らすための生活習慣レコメンドを行うサービスを開発した。予測結果と納得感ある解釈により、ユーザが自身の健康と日々の行動との関連を意識し、行動変容を起こして健康増進を図ることを目的としている。健康診断データの活用によりユーザの健康リスクの可視化が可能となり、健康増進に貢献することで健康経営につなげていくことが期待される。

1. まえがき

近年、生産性の向上、労働力の確保という経営的な観点から従業員の健康増進を図る、健康経営という概念が重要視されるようになってきた。健康診断や生活習慣に関する問診の結果に機械学習^{*1}を用い、健康リスク予測を本人へフィードバックすることで、

健康への意識改善を図る取り組みが多く行われている。意識改善を図るためには、予測結果を社員が納得し、生活習慣を改めることが可能な、原因を解釈できる形で出力できる機械学習手法が必要である。しかしながら、機械学習による予測モデルはブラックボックスとなっていることが多く、「なぜ健康リスクがこのように予測されたのか？」という理由を明示する

©2020 NTT DOCOMO, INC.

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、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

†1 現在、クロステック開発部

†2 現在、総務部

*1 機械学習：人間が、知覚、経験から知識や判断基準、動作などを獲得していくように、コンピュータにデータから知識や判断基準、動作などを獲得させる技術。

ことが難しかった。既存の解釈手法は、線形回帰^{*2}など解釈が可能な単純なモデルをそのまま予測モデルに当てはめるというものであった。予測モデルと解釈モデルが一体となっていることで、予測の高精度化と解釈の容易性がトレードオフとなってしまう。この問題を解決するため、XAI（Explainable AI）の概念が登場した。その手法の一例であるLIME（Local Interpretable Model-agnostic Explanations）[1]では、予測モデルと解釈モデルを独立して学習する。

ドコモは、LIMEを利用して社員の健康リスク予測モデルと、予測に基づきリスクを減らすための生活習慣レコメンドを行うサービスを開発した。オリジナルのLIMEに対して、予測の妥当性を高めるための改良を加えたカスタムLIMEを提案し、サービスに導入した。本稿では、提案手法と、本手法を用いた生活習慣レコメンドについて解説する。

2. 解釈可能な健康リスク予測および生活習慣レコメンド技術

解釈可能な健康リスク予測のための提案手法では、ある年の健康診断結果と、生活習慣に関する問診結果を入力すると、 N 年後に高血圧・メタボリックシンドローム^{*3}（以下、メタボ）になるリスクと、リスクに寄与している健康診断項目を出力する。以下、リスクを予測する手法と、リスクに寄与している検査項目を計算するための解釈モデルについて解説する。解釈モデルは、オリジナルのLIME、および説明の一貫性を高めるための改良を行ったLIME（以下、一貫性重視LIME）について述べる。

2.1 健康リスク予測アルゴリズム

健康リスク予測には、XGBoost（eXtreme Gradient Boosting）^{*4}を用いた。4年間連続して健康診断データが存在するドコモ社員に対して、 N 年分の

検査項目（11項目）および生活習慣に関する問診（13項目）を説明変数とし、これを用いて学習させることで、将来の $N+1$ 年、 $N+2$ 年、 $N+3$ 年の検査項目が危険値になっているか否かの目的変数を予測するモデルを、3年分×11検査項目の計33種類構築した。ここで、危険値の定義は厚生労働省の特定保健指導判定値（2020年3月30日時点）[2]を基準として策定した。危険値の定義を表1に示す。単純に前年度の検査値と同じ値になるとした予測のAUC（Area Under the ROC Curve）^{*5}と比較して、XGBoostによる予測のAUCは7～16%向上した。

2.2 LIMEによる健康リスク予測の解釈方法

XGBoostによる予測モデルの解釈を行う、LIMEについて述べる。LIMEの概要を図1に示す。

LIMEでは、予測モデルと解釈モデルを独立して学習させる。予測モデルにはどのようなアルゴリズムを用いてもよい。最適なアルゴリズムにより高精度化が実現できる。しかし、図1のように、例えば行動 X 、 Y から1年後のBMI危険値リスクを予

表1 各検査項目の危険値定義

検査項目	危険値の定義
BMI	25以上
拡張期血圧	85以上
収縮期血圧	130以上
中性脂肪	149以上
GOT	35以上
GPT	35以上
HDLコレステロール	40以下
LDLコレステロール	140以上
γ -GTP	50以上
尿酸	7以上
空腹時血糖	100以上

^{*2} 線形回帰：目的変数が説明変数の係数に対して線形の関係になっている回帰。

^{*3} メタボリックシンドローム：内臓脂肪型肥満に高血圧・高血糖・高脂血症のうち2つ以上を合併した状態。

^{*4} XGBoost：近年注目されているアンサンブル学習の一種。

^{*5} AuC：二値予測問題における評価指標。ROC（Receiver Operating Characteristic）曲線を描いた際の曲線化の面積で、ランダムに予測した場合は0.5、完全に予測が正解した場合は1.0となる。

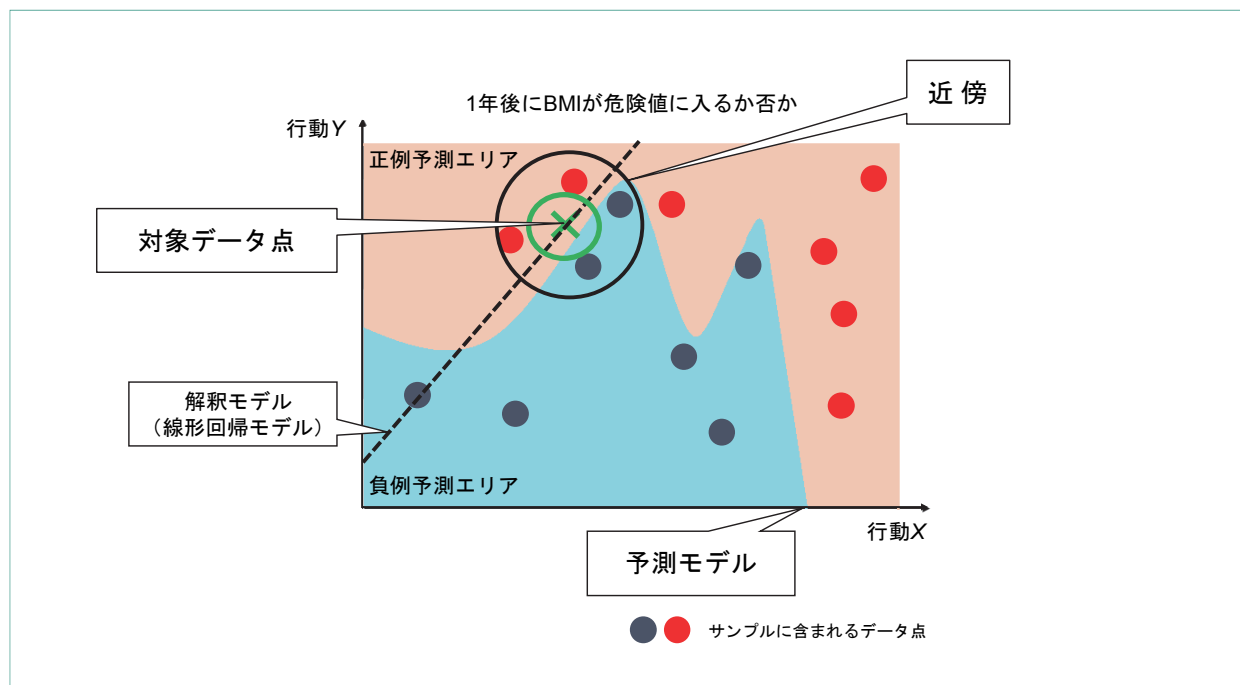


図1 LIMEの概要

測する回帰においてXGBoostなどの非線形モデル^{*6}を用いた場合、そのままでは解釈が困難である。そこで、「何がBMIの値に大きく寄与しているのか？」を説明したいユーザの、あるデータ点について、解釈を行うためのモデルを構築する。解釈モデルでは、説明したいデータ点と、その近傍にある数個のデータ点とを抽出し、それらで予測モデルを近似した線形回帰モデルを構築する。線形回帰モデルであるため、説明変数と偏回帰係数^{*7}の組合せを見ることで、どの説明変数が予測に大きく寄与しているかを読み取ることができる。このように、説明したいデータ点近傍で、予測モデルに近似したモデルにより解釈を行うため、データ点によって、生成される解釈モデルは大きく異なる。つまり、健康リスク予測では、予測対象の社員によって、健康リスクに寄与する生活習慣が異なる結果となることを意味し、個人に合わせた解釈を行うことが可能となる。

2.3 説明の一貫性を重視したLIMEのカスタマイズ

一貫性重視LIMEの概要を図2に示す。

(1)従来のLIMEの課題

従来のLIMEの場合、説明したいデータ点の近傍で近似モデルを作成するので、解釈モデルは抽出する近傍のデータ点に依存する。そのため、極端に一般的な傾向から外れたデータ点がある場合には、その外れ値によって解釈が歪められてしまう危険性がある。例えば、ある年に突然の疾患により一時的に体重が増加した、または血圧が上昇した、というサンプルが含まれていた場合、生活習慣が良くなかったゆえ疾患になったケースもあれば、生活習慣に関係なく発症してしまうケースもあるため、ランダムに近傍データ点を抽出する従来のLIMEでは、後者のデータ点も含んで解釈モデルを生成してしまう可能性があり、その場合生活習慣を改善させるための正しい解釈モデル生成はできない。

*6 非線形モデル：目的変数と説明変数の係数が、非線形な関係で表されるモデル。非線形モデルの方が一般的に表現力は強い。

*7 偏回帰係数：回帰分析において、得られる方程式における説明変数の係数。

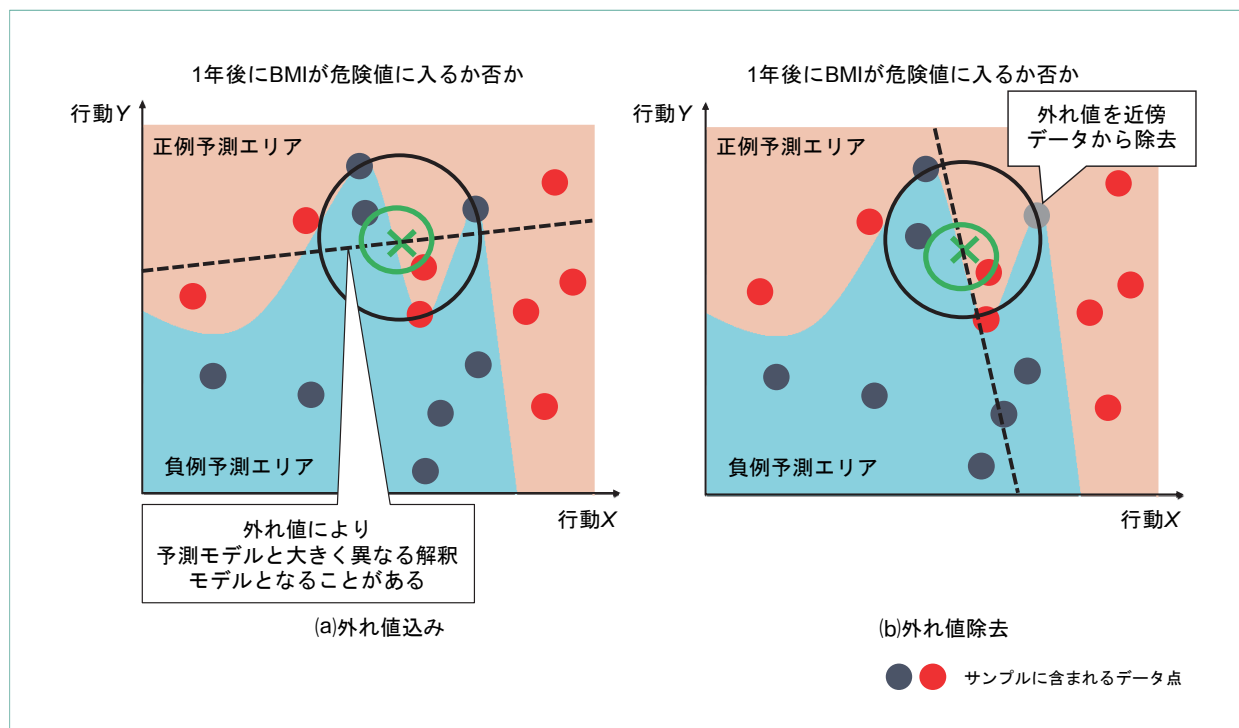


図2 一貫性重視LIMEの概要

(2)一貫性重視LIME

一貫性重視LIMEでは、予測の妥当性を高めるために改良を行った。具体的には、説明したいデータ点に対して近傍データ点を探索する際に、近傍点が外れ値でないかをチェックし、外れ値の場合それを除外する機構を追加する。

チェックにあたっては、まず説明したいデータ点と、近傍データ点候補との間の直線の傾きを計算する（以下、傾きA）。また、説明したいデータ点における予測モデルの微分係数を計算する（以下、微分係数B）。データ点の近傍で説明変数の特性が一致している場合、傾きAと微分係数Bは正負が一致していると考えられる。例えば、飲酒量と1年後のBMI予測値を考える際、説明したいデータ点の近傍では、「飲酒すると1年後のBMIが上昇する」という特徴があった場合、近傍で抽出されたデータ点でも、同じような傾向を示すはずである。しかし外れ値が

ある場合、予測モデルが描く曲面と大きく離れた位置にデータ点が存在する。そのため、傾きAと微分係数Bの正負が一致しないケースが発生する。したがって、この2つの値の正負が一致しないデータ点については、周辺のデータ点と傾向が大きく異なる外れ値であるとみなせるため、解釈モデルを生成する際のサンプルからは除外する。

外れ値を含む解釈モデルと、外れ値を除外した解釈モデルの比較を図2に示す。左図は、外れ値により予測モデルと大きく異なる解釈モデルが生成されているが、右図は外れ値を除去したことにより、予測モデルに近い解釈モデルを生成できている。以上が一貫性重視LIMEのアルゴリズムである。

(3)オリジナルLIMEと一貫性重視LIMEの比較結果

オリジナルLIMEと一貫性重視LIMEのリスク予測結果の違いを表2に示す。この表は、同一のサンプルに対してオリジナルLIMEと一貫性重視LIME

表2 オリジナルLIMEと一貫性重視LIMEによるリスク予測結果の変化

<オリジナルLIME>

1年後のBMIへの影響		2年後のBMIへの影響		3年後のBMIへの影響	
生活習慣	影響スコア	生活習慣	影響スコア	生活習慣	影響スコア
飲酒量	-0.14	身体活動	-0.17	体重増	0.08
飲酒習慣	0.09	早食い	-0.08	早食い	0.03
身体活動	-0.06				
一貫性のない予測					

<一貫性重視LIME>

1年後のBMIへの影響		2年後のBMIへの影響		3年後のBMIへの影響	
生活習慣	影響スコア	生活習慣	影響スコア	生活習慣	影響スコア
就寝前夕食	0.05	就寝前夕食	0.04	睡眠	0.03
飲酒習慣	-0.03	身体活動	-0.04	飲酒量	0.03
		睡眠	0.03		

を適用し、1～3年後それぞれのメタボリスクを予測し、そのリスクへの寄与度が高い生活習慣を比較したものである。オリジナルLIMEでは、2年後と3年後の「早食い」における寄与度が正負逆になっている。通常であれば、早食いの習慣を続けた場合に2年後のBMIは下がるが3年後のBMIが上がる、などとは考え難い。このような結果となったのは、近傍データ点の中に、2年後もしくは3年後どちらかに急激なBMI変化が記録されたサンプルがあったために、その影響を受けてしまったためと考えられる。一方で、一貫性重視LIMEではそのようなデータ点を排除しているため、上記のような直観に反する予測は行われていない。納得感のあるリスク予測結果を提示するためには、このような妥当性は重要であると考えられる。

3. 生活習慣レコメンド技術のサービス展開

上記技術を、ドコモのdヘルスケア上のサービス

に展開し、NTTグループの社員が、自身の健康リスクとそのリスクに寄与している生活習慣を確認できるサービスを昨年4月にリリースした。図3にサービス画面を示す。

サービスとしては、NTTの健康保険組合に加入している社員が、「NTT健康ポータルナビ」に登録されている自身の健康診断結果をdヘルスケアに転記する許可を行うと、dヘルスケアにデータが連携され、上記計算を行うライブラリ^{*8}を介して、健康リスクと、そのリスクに寄与している生活習慣を出力するというフローになっている。ライブラリ内のモデルは、ドコモが保有する数年にわたる10,000以上の健診データを基に学習を行った。

4. あとがき

本稿では、健康経営の重要性の高まりの中にあって、機械学習を用いた健康リスクの予測と、その解釈を行うためのモデルにおける、困難性と解決するためのアプローチについて解説した。

^{*8} ライブラリ：汎用性の高い複数のプログラムを、再利用可能な形でひとまとまりにしたもの。



図3 dヘルスケアにおける実際のサービス画面

実際に社員向けにサービス展開されており、また社外に向けては法人向けの健康経営支援サービスの提供も開始されたことから、今後も技術改良を加えながら、社員の健康増進に貢献するとともに、社外へのドコモの健康経営のアピールの一助としたい。

文 献

- [1] M. T. Ribeiro, S. Singh and C. Guestrin: ““Why Should I Trust You?”: Explaining the Predictions of Any Classification,” KDD’16, 2016.
- [2] 日本予防医学学会: “健康診断結果の見方: 特定健康診査 (メタボリックシンドローム).”
<https://www.jpnm1960.org/exam/exam01/exam15.html>

※本データはHealth Data Bankのデータを活用しており、本人に対して利用目的を明らかにし、同意を頂いた上で取得したものである。

歌唱履歴の時系列性を考慮した 楽曲レコメンド技術の開発

サービスイノベーション部 たなか しげき 田中 茂樹 ふかざわ ゆうすけ 深澤 佑介†

カラオケにおいては検索機能が充実しており（歌手別、年代別など）、ユーザはこれらを用いて楽曲を選択できる一方、システムが楽曲を能動的にレコメンドする機能を有することは稀である。これはカラオケにおけるレコメンドの困難さによるところで、特に対象がグループであること、過去に来店された時の歌唱履歴がないこと、場の雰囲気で選択される楽曲が変化することに起因する。そこで、ドコモでは深層学習を用いたレコメンドモデルを開発した。本モデルでは時系列を考慮した深層学習を用い、さまざまな楽曲情報と併せて学習させることで、未知のグループに対してシステムが適切なレコメンドを行うことが可能となった。

1. まえがき

機械学習*1の進歩により、レコメンド技術はオンラインショッピングサイトを始めたさまざまなサービスに導入され、ユーザ体験の向上やビジネスの活性化に貢献している。一方、カラオケにおいては下記のような性質から、適切なレコメンドの実現が非常に困難であった。

- ・ユーザは歌唱履歴のないグループである
- ・グループメンバはグループ構成や場の雰囲気に
よって歌唱曲を選択する

レコメンドの代表的な手法であり、さまざまな分野で活用されている協調フィルタレコメンド手法は、一般に個人の商品購入履歴やWeb閲覧履歴などから趣味・思考を理解し、似たユーザが興味をもつ商品に関連商品として推薦する。また、個々のプロフィールを組み合わせるグループのプロファイルへ拡張する手法も提案されている [1]。一方、カラオケではカラオケ端末へログインせず、過去に訪れた際の歌唱履歴をもたないユーザも多いため、プロフィールが困難である上にグループの人数すら不明

©2020 NTT DOCOMO, INC.

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、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

*1 機械学習：事例をもとにした統計処理により、計算機に入力と出力の関係を学習させる枠組み。

† 現在、総務部

である。

そのため、例えば第一興商では一番最後に歌われた楽曲に類似した楽曲をレコメンドするレコメンド機能を提供していた。しかし、カラオケをグループで利用する場合、メンバが順番に歌唱することが多く、直前に歌唱したメンバに対して類似楽曲をレコメンドできても、次に歌唱するのが別のメンバである場合にレコメンドの効果が得られない問題があった。

また、メンバがグループの構成や雰囲気によって歌唱曲を選択するという点も、レコメンドを困難にする要因である。例えば、グループが会社の同僚で構成される場合と友人・家族の場合では、選択されやすい楽曲が異なる可能性が高い。また、カラオケでは入室から退室までの間に場の雰囲気は変化し、盛り上がっている時の楽曲や締めめの1曲をもっているメンバも多い。このように、その場の空気が選曲に影響する場合は多く、レコメンドにおいてもその変化を読み取ることが肝要であるが、前述の協調フィルタに代表されるレコメンド手法は一般に長期的な趣味・嗜好を捉えるものであり、場や雰囲気によって常に変化する領域では期待される効果が得られないことが多い [2]。

そこで、ドコモでは深層学習^{*2}を用いたレコメンドモデルを開発した。

このモデルでは時系列を考慮し、楽曲が選択されるたびにその楽曲のさまざまなメタ情報を基に、次に選択される可能性の高い楽曲および歌手を予想する。これにより、過去の履歴がないグループにも効果的なレコメンドが可能となり、加えて歌唱の流れを捉えることでその場の雰囲気も考慮したレコメンドが可能となった。

本稿では、提案手法の詳細と、本手法を用いたリアルタイム楽曲レコメンドエンジンについて解説する。

2. 時系列考慮・多変量深層学習レコメンドモデル

ドコモが提案するレコメンドモデルは、直前に予約された楽曲のさまざまなメタ情報を入力することで次に選択する楽曲、もしくは歌手のレコメンドを行う。

2.1 モデル概要

提案モデルの概要を図1に示す。

本モデルは直前に歌唱された楽曲のIDに加え、歌手名、作曲者名、楽曲ジャンルといった情報を入力し、それらをモデル内で特徴量に変換する。例えば歌手名の特徴量は歌手同士の類似度などを表し、モデルは学習を通して各歌手をより良く表す特徴量を獲得する。これらの特徴量は再帰型ニューラルネットワーク（RNN：Recurrent Neural Network）へ入力される。RNNは隠れ状態と呼ばれる情報を保持する機能を有し、入力された特徴量と隠れ状態から出力演算を行い、同時に隠れ状態を更新する。この機構によって、過去に入力された情報もある程度加味することができる。モデルはRNNの出力を用いて次の楽曲と歌手のランキングを生成する。

本モデルの特長は、①RNNを用いていること、②多様な楽曲情報を入力していること、③複数のタスク（次の楽曲ランキング出力と歌手ランキング出力）を同時に行うことである。

①RNNを用いることで、今まで入力された楽曲情報がある程度記憶することが可能となる。これにより、入力された直近の楽曲情報だけでなく、グループが入室後に予約した1曲目からレコメンド直前に予約した曲までの履歴を時系列として捉え、順序などを考慮したレコメンドが可能となる。

②入力として楽曲のIDのみを扱う手法も一般的であるが、それに対し本モデルの学習では、多

^{*2} 深層学習：多層構造のニューラルネットワークを用いた機械学習。

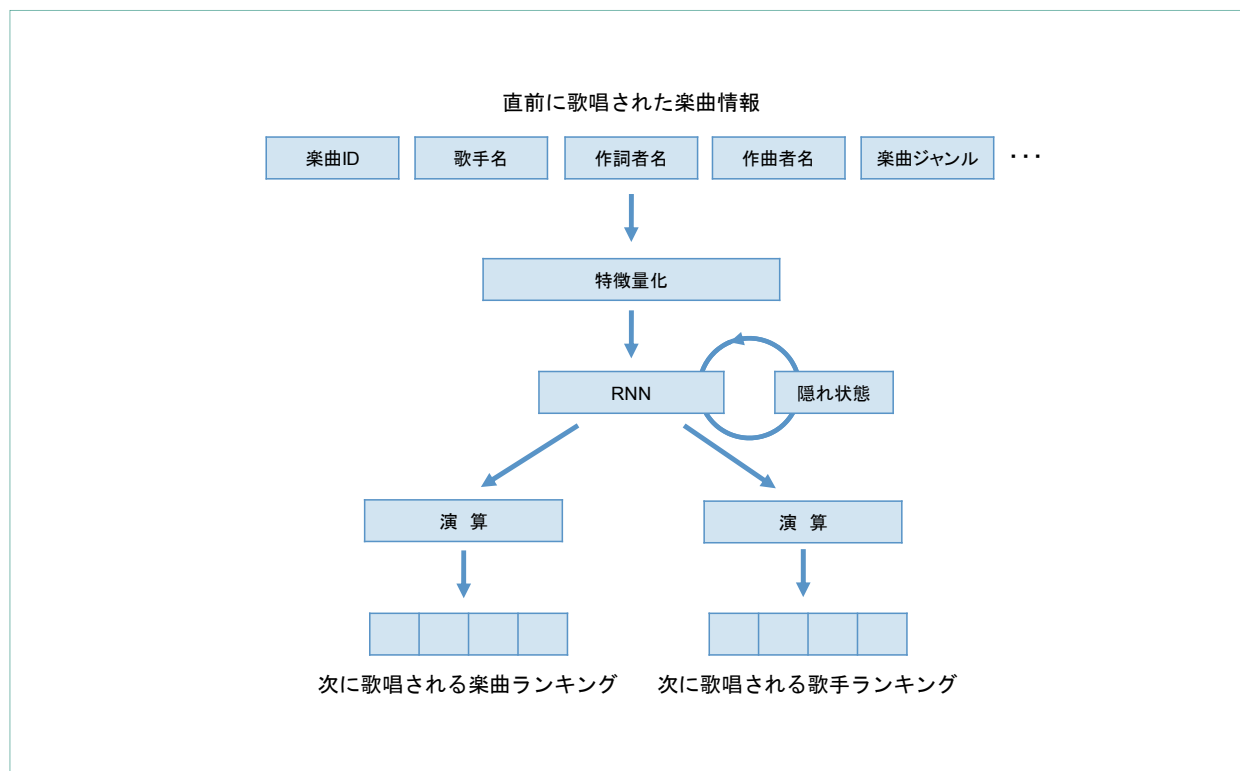


図1 提案レコメンドモデルの概要

様な楽曲情報を扱うことで、モデルが楽曲をより深く理解でき、レコメンドされた結果にメンバが歌おうとした楽曲が含まれる割合であるレコメンド精度の向上が期待できる。

- ③複数のタスクを同時に行うことでリソース活用の効率化が可能である。一般的な機械学習モデルは1つのタスクに特化して学習され、複数タスクがある場合は個々にモデルを生成するため、タスク数に比例してモデルの学習時間やモデル運用のためのリソース消費が増大する。複数のタスクを同時に解く設計はマルチタスク学習と呼ばれ、モデルは与えられた関連する複数のタスクを解くために、より広い視野での学習を行い、各タスクにおける精度の向上に寄与する。また、今回1つのモデルで2つの機能を実装できたことで、機能ごとにモデルを用意する場合に

対しリソース消費を半分に抑えることができた。

2.2 精度検証

提案手法の精度検証のため、第一興商の協力のもと1カ月間のカラオケ店舗のデータを用いて既存手法との比較を行った。前半3週間のデータを用いて各モデルを学習し、後半1週間の推定精度を比較した。

既存手法は以下の2手法とした。

- ・ランキング：学習期間で人気の高かった楽曲を常にレコメンドする。
- ・Item-kNN (k-Nearest Neighbor Algorithm)：アイテムベースの協調フィルタレコメンド手法で、学習期間での楽曲同士の類似度テーブルを事前に作成する。このテーブルはそれぞれの楽曲同士がどの程度同一グループに歌唱されやす

いかを示しており、レコメンド時には直近に歌唱された楽曲と類似した楽曲をレコメンドする。

MAP@ N ^{*3}での精度比較は図2の結果となり、楽曲と歌手のレコメンドいずれにおいても提案手法が既存手法を10%以上上回る精度を達成した。

また、図3では顧客の入室から退室までの履歴を3分割し、それぞれの精度の平均を評価することで時間経過による精度の推移を示している。ランキングによる精度が入室後、時間の経過とともに減少していることから、一般にグループ内ではメジャーな楽曲を始めに歌唱し、徐々に多様な楽曲を選択する

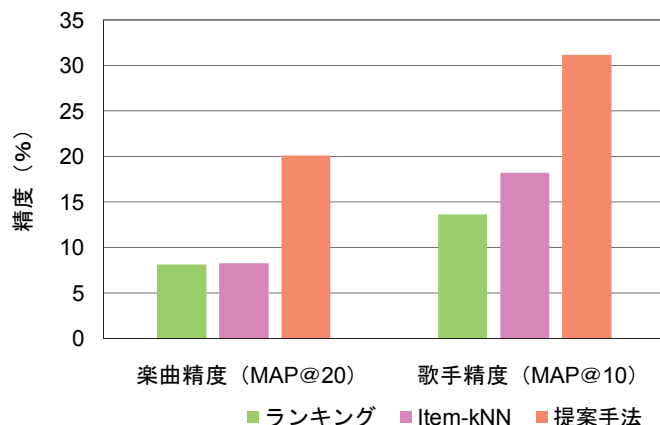


図2 各モデルの精度比較

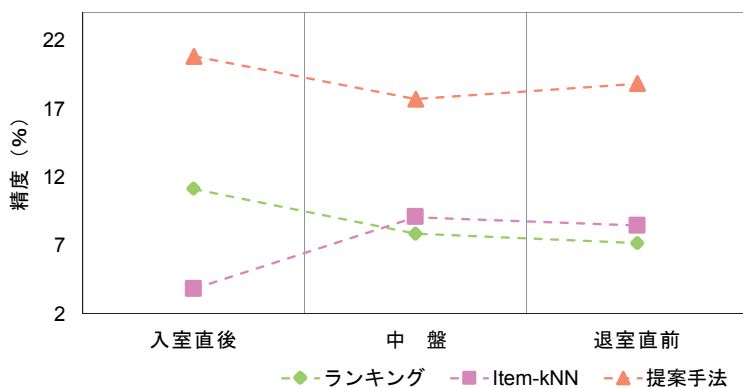


図3 各モデルの時間経過による楽曲精度推移 (MAP@20)

*3 MAP@ N : N 個アイテムをレコメンドした際、次にユーザーが選択したアイテムがその中に含まれる確率。

ことが分かる。また、Item-kNNによる精度が入室直後は非常に低く、中盤上昇してから再度低下していることから、メンバは始めに好きな楽曲を個々に選択し、中盤は他メンバの選曲に影響されるが、最後には自らの歌いたい楽曲で締める傾向があると推察される。これらの両モデルに対し、提案手法はすべてのタイミングで大きく上回る精度を達成しており、グループ内の雰囲気の変化も捉えられていることが分かる。

3. リアルタイム楽曲レコメンドエンジン

リアルタイム楽曲レコメンドエンジンは、提案モデルを用いたシステムとしてAWS (Amazon Web Services)^{*4}上に構築され、第一興商へAPI (Application Programming Interface)^{*5}経由でレコメンド機能提供を行っている。

システム概要図を図4へ示す。

本システムはバッチサーバとAPIサーバで構築さ

れる。バッチサーバはデータベースに蓄積された歌唱履歴や楽曲情報からレコメンドモデルの再学習を定期的に行い、APIサーバへ学習済みのモデルを送信し、APIサーバは学習済みモデルを最新に更新する。バッチサーバは、定期実行時以外は停止するが、APIサーバはレコメンドリクエスト処理のため、常に起動を続ける。レコメンドリクエストを受信したAPIサーバは、パラメータとして送信された端末情報や歌唱履歴を基に学習済みモデルで演算し、次にレコメンドする楽曲・歌手をレスポンスする。データベースの歌唱履歴は必ずしもリアルタイムで更新される訳ではないが、APIサーバは端末での歌唱履歴をレコメンドリクエストごとに受領するため、楽曲を予約するたびにレコメンドのリアルタイムな更新が可能となる。

レコメンド機能は図5のようにDAM (Daichikoshō Amusement Multimedia) 端末上の予約前画面で提供され、対応するタブをタップすることで今までの履歴に基づきレコメンドが表示される。

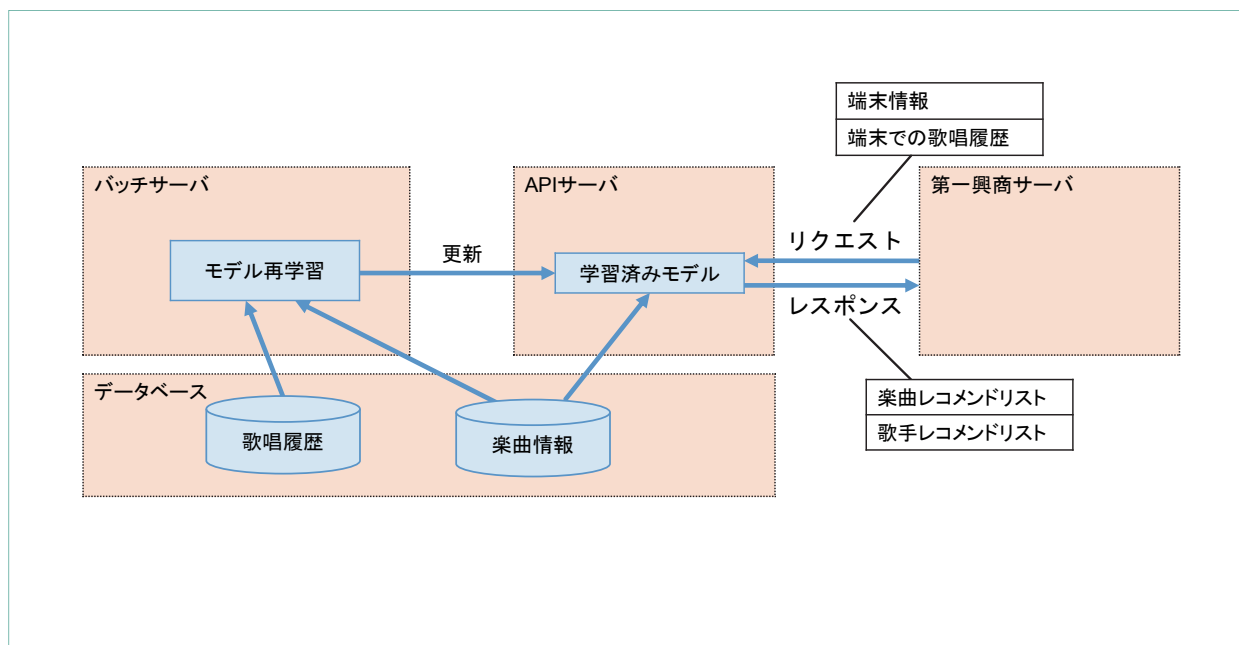


図4 レコメンドシステム概要

*4 AWS: Amazon.comが提供するクラウドコンピューティングサービス。

*5 API: ソフトウェアの機能を他のプログラムから利用できるように切り出したインターフェース。



図5 カラオケ端末上でのレコメンド表示画面

4. あとがき

本稿では、カラオケシステムにおいてレコメンドを行う際の課題と、それらを解決する深層学習を用いたレコメンド手法とその性能評価、および当手法を用いたレコメンドシステムについて解説した。

本稿執筆時点ではトライアルとしてレコメンド機能をカラオケ店舗に提供しており、フィードバックをいただきながら改善を行っている。今後正式な商

用サービスとし、広く使用してもらうことでユーザー体験の向上に貢献したい。

文 献

- [1] A. Felfernig, L. Boratto, M. Stettinger and M. Tkalčič: "Group recommender systems: An introduction," Springer, 2018.
- [2] M. Pazzani and D. Billsus: "Learning and revising user profiles: The identification of interesting web sites," Machine learning, Vol.27, No.3, pp.313-331, 1997.

Technology Reports

オペレーション・システム

市販製品専用管理ソフトウェア

ネットワーク監視

リソースアシュアランスシステムの導入による保守業務効率化の実現

ドコモ・テクノロジー株式会社 ソリューションサービス事業部

のむら けいじ
野村 恵司†1ふるたに まさのり
古谷 雅典†2まつした としひろ
松下 利宏

サービス運営部

やまもと こうじ
山本 浩司†3

近年、ドコモのネットワークにおいて、安価な市販製品が多く活用されるようになってきている。これら製品の監視業務は一般的に製品専用の管理ソフトウェアで行われる。このため、ネットワーク保守業務においては、製品ごとに異なるUIの管理画面を利用する必要があり、保守者に求められるスキルの高度化、作業の長時間化が課題となっている。

これらの課題に対応し、監視業務の品質を担保するため、複数の管理ソフトウェアにおける各UIの統合、監視業務の抽象化を実現するリソースアシュアランスシステムを開発した。これにより大規模なネットワークにおいても高度なスキルを必要とせず、効率的なネットワーク監視が可能となる。

1. まえがき

オペレーション・システム（OPS：Operation System）*1は、ネットワークを構成する各装置の稼働状況・警報発生状況の集約監視や、各装置に対する設定のために利用され、モバイルネットワークの安定運用において極めて重要なシステムである。

今後、モバイルネットワークの、さまざまな産業や社会生活を支える社会基盤としての重要度が増大

するにつれ、その拡大・複雑化が必至であるネットワークにおいて、SLA（Service Level Agreement）*2の異なるサービスごとに、効率的な運用を実現する必要がある。

ドコモでは、スマートOPS構想 [1] を掲げ、OPSの抜本的な効率化および高度化を推進している。

一方、近年のドコモネットワークにおいて、安価な市販製品の活用機会が増加しており、これに起因する保守者に求められるスキルの高度化、作業の長

©2020 NTT DOCOMO, INC.

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、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

*1 オペレーション・システム（OPS）：通信ネットワークを保守・運用するシステムの総称。

*2 SLA：提供するサービスの品質保証。

†1 現在、(株)ドコモCS中国

†2 現在、サービス運営部

†3 現在、コアネットワーク部

時間化といったネットワーク保守面の課題が浮彫りになってきている。この保守面の課題を解決して、OPSの高度化を実現するスマートOPS構想として、さまざまな装置の違いを隠蔽することで保守者に向けては統一的な操作感を提供し、AI、E2EO (End to End Orchestrator)^{*3}などの共通的に利用できるインタフェースをOPSに向けて提供するリソースアシュアランスシステムを導入した。これにより「監視業務の精度、作業効率の向上」「オペレーション業務の効率化」「OPSの開発期間およびコストの大幅な短縮、削減」を実現した。

本稿ではリソースアシュアランスシステムの概要を解説する。

2. OPSを取り巻く状況と課題

2.1 ネットワークオペレーションの自動化

3Gから4G、5Gへと進化していくにつれてネットワークは複雑化しており、今や手動での保守には限界がある。

2020年3月25日に、日本において本格サービスを開始した5Gでは通信の高速・大容量化、低遅延化、そして同時多端末接続が可能となり、これを活用して新たなビジネスモデルを創出するために、ネットワークスライス^{*4}が必須機能として定義されている。ユーザは高速・大容量通信、多端末同時接続などの多くのメリットを享受できるようになるが、通信キャリアにとってはネットワークの複雑化、管理層の階層化による動作の性能制限や、メモリ管理とデータ管理の困難、故障原因解析や対処の迅速化など、ネットワークオペレーションに関して、さらに解決すべき課題が多くなる。

これらの課題解決に向けた、ネットワークオペレーション自動化の取り組みである、Zero Touch Operationの実現について、ETSI ZSM (European

Telecommunications Standards Institute Zero Touch Network and Service Management)^{*5}、ONAP (Open Network Automation Platform)^{*6}、O-RAN (Open Radio Access Network) Alliance^{*7}など、さまざまな団体で議論が進んでいる。

2.2 通信キャリアの市販製品活用の拡大

従来、通信キャリアでは専用の装置を用いてネットワークを構築していたが、通信のIP化の進展とともに、通信キャリアにおいても市販製品の活用機会が増加している。これら製品で構成されるネットワークの監視業務については製品専用の管理ソフトウェアで行われることが一般的となっている。大規模な通信キャリアにおいては、さまざまな種類のネットワーク装置が利用されることが多く、これに比例して管理ソフトウェアの種類も増加傾向にある。

2.3 オペレーション業務における課題

ドコモにおいても市販製品活用の傾向は変わらない。ドコモでは、専用のOPSを利用してネットワークを構成する各装置の監視・制御を一元的に行っている。しかし近年、伝送装置と呼ばれる各データセンタ間を接続するために使われる装置においては、市販製品を活用する傾向にあり、製品専用の管理ソフトウェアで各装置の監視・制御を個別に行っている。管理ソフトウェアの増加はネットワーク構築、保守スキルの多様化をもたらし、それによる運用コストが増加している。また、管理ソフトウェアは市販製品であるがゆえ、必要な業務品質とギャップが生じることが多々ある。以下にドコモにおけるリンク系保守の具体的な課題を述べる(図1)。

(1)構成情報の多元管理および管理ソフトウェアごとのUI対応

市販製品についてのネットワーク構成、装置構成、警報情報などの各情報は管理ソフトウェア単位で管

^{*3} E2EO：サービスオーダーに基づくスライスのライフサイクル管理。OPS内のアクセス、コア、リンクなどの各Fulfillment-OSSを連携させることで、広範囲でのサービス・オーケストレーションを実現する概念である。

^{*4} ネットワークスライス：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。

^{*5} ETSI ZSM：ETSIは欧州電気通信標準化機構。ヨーロッパの標

準化団体。電気通信技術に関する標準化を行っている。本部はフランスのSophia Antipolisにある。ETSI ZSMでは、ネットワークとサービスの管理方法の変更、エンドツーエンドの自動化に必要な自律的なネットワークを実現することを目標に、ユースケースからネットワークスライステクノロジーとクロスドメインサービスオーケストレーションの自動化のため、要件とアーキテクチャ、管理インタフェースの規定に取り組んでいる。

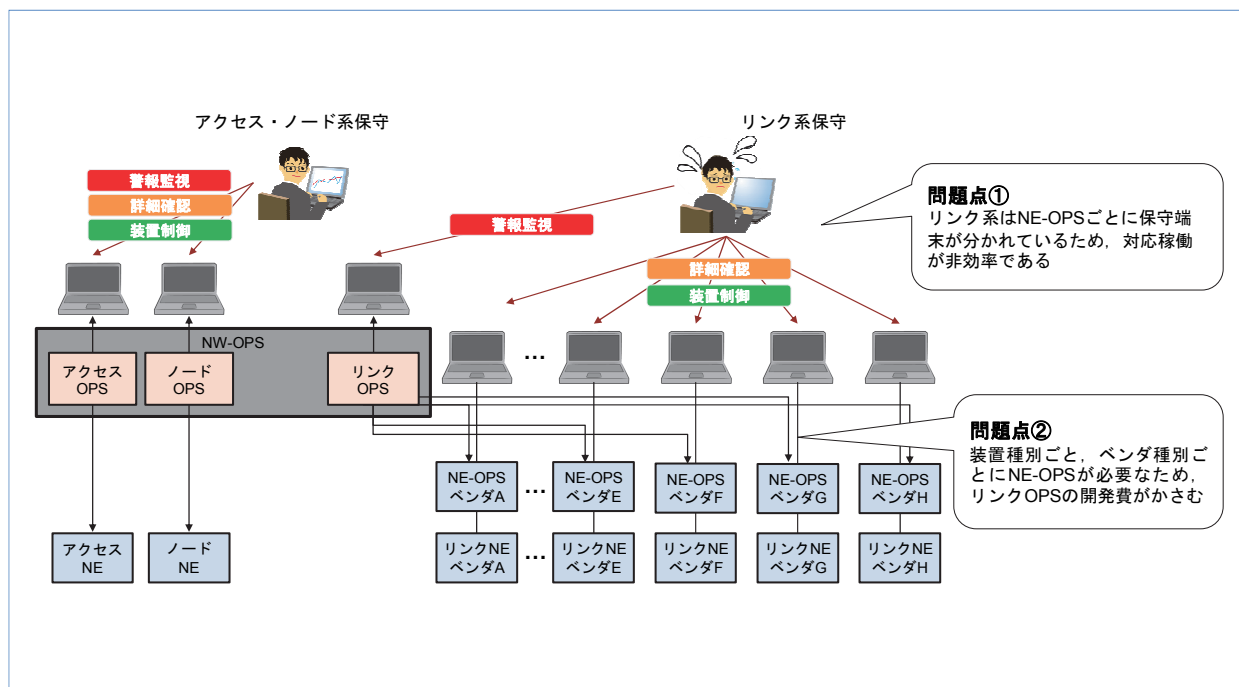


図1 管理ソフトウェア利用時の課題

理されており、故障が発生した際、各管理ソフトウェアから故障に関する情報および各装置の接続情報（ネットワーク構成情報）を取得する必要がある。故障箇所を特定するためには、取得した情報を結合し、ネットワークの全体構成を把握する必要があり、故障箇所の特定に時間を要している。また、故障箇所特定の際の各種情報入手には何種類もの管理ソフトウェアを同時に操作する必要があり、管理ソフトウェアごとに画面表示、操作方法が異なるため、保守者に多様なスキルが必要となっている。

(2)新規装置導入の際のコスト・時間の増加

近年のOPS製品はマイクロサービス^{*8}が主流となっており、複数の製品を組み合わせで1つのシステムを構築する傾向にある。製品の組合せにより、ある程度自由な機能実装が可能である反面、新規装置導入の際、OPS製品ごとに装置向けのUIを準備する必要があり、開発費の高騰、開発期間の長期化

が懸念されている。

(3)市販製品利用による提供スピード向上への対応

被監視対象である装置については、前述のとおり市販製品を活用する機会が増えており、これにより新規装置をネットワークに導入する期間は短縮される傾向にある。ネットワークオペレーションにおいては、ドコモ専用OPSの対応スピードと市販製品の対応スピードの乖離が発生しつつあり、OPSも製品の導入スピードに追従することが求められる。

3. リソースアシュアランスシステムの概要

リソースアシュアランスシステムとは、製品専用の管理ソフトウェアの監視UI差分を吸収し、統合的な監視画面と簡易制御機能を提供するものであり、現在、伝送装置の保守業務用システムとして活用し

^{*6} ONAP：オープンソースのネットワークプロジェクトの1つ。物理的または仮想的なネットワークエレメントをオーケストレーションや自動化することにより、すべてのライフサイクル管理を実現するためのプラットフォームを開発する。

^{*7} O-RAN Alliance：次世代の無線アクセスネットワークの拡張性をより高く、オープンでインテリジェントにすることを目的に活動している電気通信事業者および通信機器サプライヤによる団体。

^{*8} マイクロサービス：ソフトウェア開発の技法の1つであり、1つのアプリケーションを、機能に沿った複数の小さいサービスの集合体として構成し、軽量なプロトコルを用いて相互の通信を行う。

ている（図2）。本システムの導入により以下に記載した数多くのメリットを享受することができる。

3.1 監視業務の精度，作業効率の向上

装置ごとに異なる管理ソフトウェアの監視，制御画面を，装置情報の物理，論理を問わず統一的に表現することにより，伝送装置の監視業務の精度，作業効率の向上を実現した。

複数の管理ソフトウェアで管理されていた装置の接続情報を本システムが一元的に管理することで，異なる装置からなるネットワーク全体の構成を容易に把握可能になり，警報情報などの装置状態を表す情報を統一的な表現，描写に変換し表示することで，保守者に多くのスキルが求められることがなくなった。

3.2 オペレーション業務の効率化

インタフェース変換機能の実現による装置情報の抽象化を可能とし，すでに導入されているAI，今後導入を検討しているE2EOなど，OPSとの連携を

容易にすることで，オペレーション業務の効率化を可能とした。

収容位置（ポート*9番号などの装置内の位置）情報・警報情報などの装置情報は管理ソフトウェアごとに表現が異なるため，OPSでは，システムごとに各装置用のインタフェース変換を行う必要があった。図3に示すように，本システムに実装する「メディエーション部」では，統一的な表現でインタフェース変換を行う抽象化モデルを採用している。これにより外部システムは，本システムが提供する変換後の統一的な装置情報を利用可能となり，管理ソフトウェアごとにインタフェースを変換する必要がなくなった。

3.3 開発期間およびコストの大幅な短縮，削減

IP機器が一般的に採用するSNMP（Simple Network Management Protocol）*10，REST（REpresentational State Transfer）*11などの多岐にわたる標準的な装置向けUIをサポート，カスタマイズする機能によ

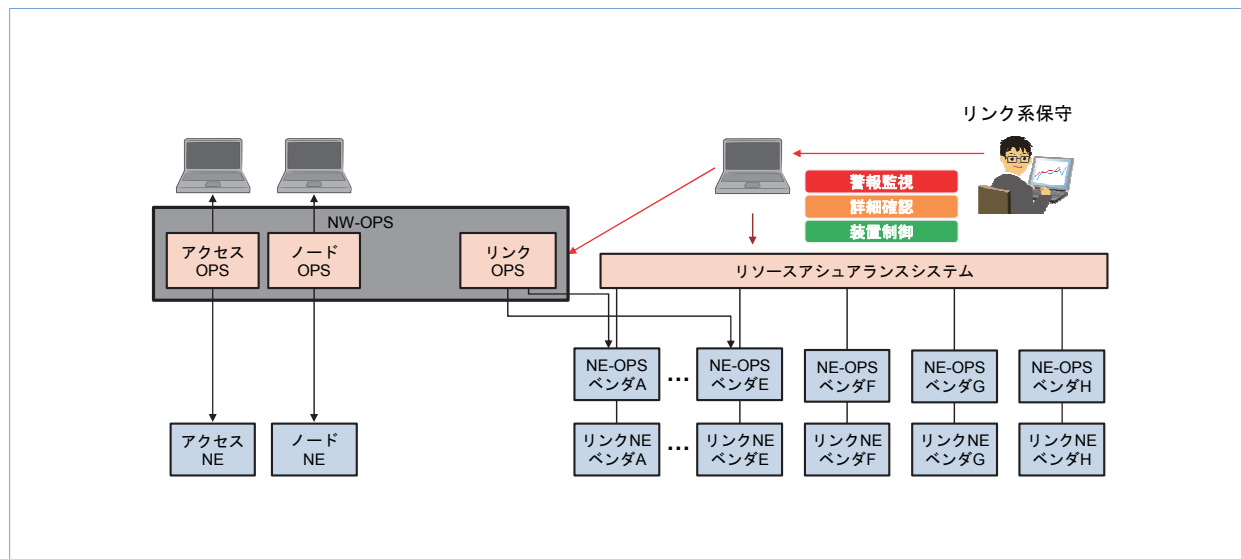


図2 リソースアシュアランスシステム導入後の構成

*9 ポート：他装置とデータをやり取りするためのインタフェース。

*10 SNMP：IPネットワーク上のネットワーク機器をモニタリング・制御するための情報の通信方法を定めるプロトコル。v1は5つのコマンド群，v2c，v3は2個のコマンドが追加され，7つのコマンド群からなる。パラメータとしてMIBを使用する。

*11 REST：APIの1つで，各リソース（URL）に対してGET，POST，PUT，DELETEでリクエストを送信し，レスポンスをXMLやjsonなどで受け取る形式のこと（レスポンスのフォーマット形式は指定されていない）。

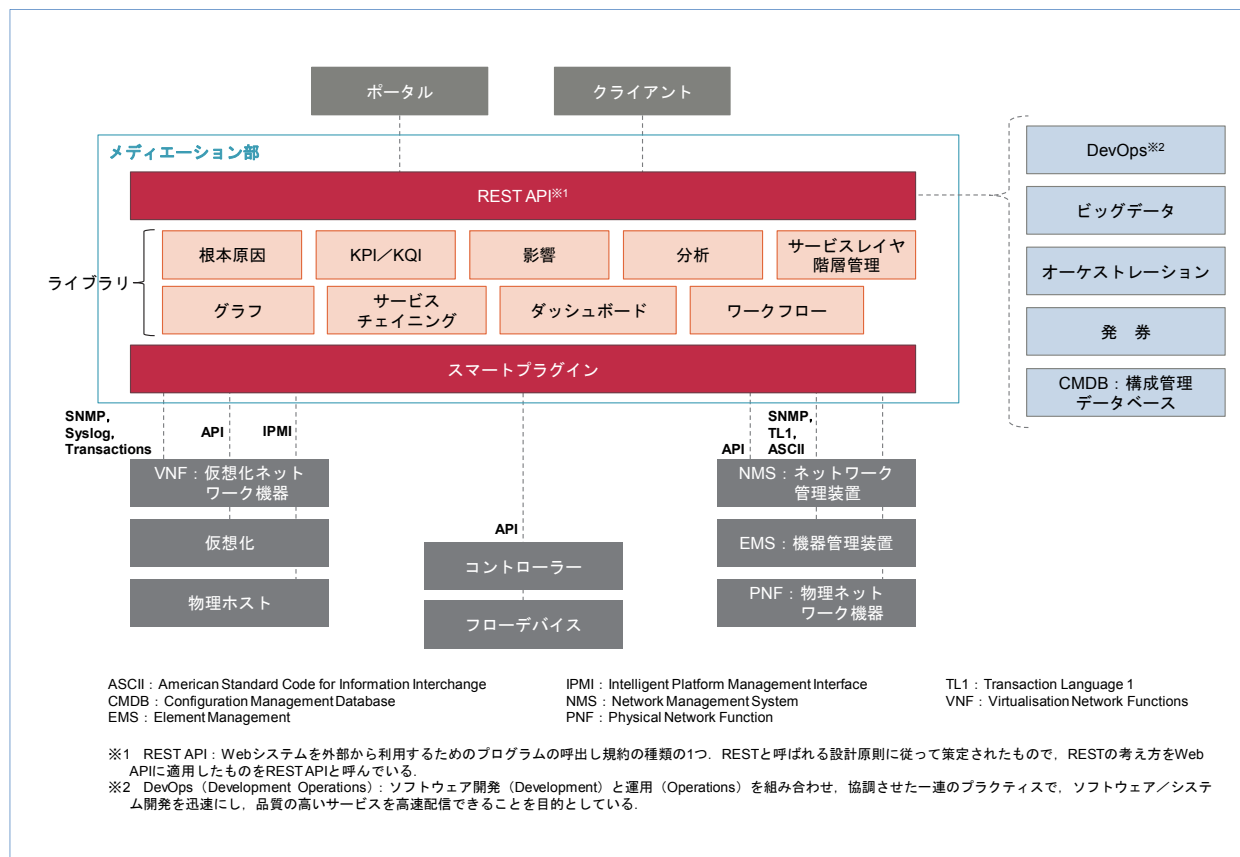


図3 スマートプラグインによるインタフェースの提供

り、本システムが新規導入装置を監視可能とするための開発期間およびコストの大幅な短縮、削減を可能とした。

本システムのメディエーション部には製品ライブラリ^{*12}として、世界中で一般に使用されている装置向けのUI変換ロジック（スマートプラグイン）が用意されており、これを必要に応じて修正することで新規導入装置の監視対応を可能とした。

また、今後の運用変化にもアプリケーションの改修を必要とせず、業務に追従できるユーザカスタマイズ機構を有している。

例えば、装置の警報情報追加／変更といった定期的に見直しが発生するものへの追従や、警報情報の

受信を契機とした自動復旧処理や装置制御のワンオペレーション化などの今後の運用改善／自動化の実現も、本システムにおけるカスタマイズ機能による外部シェル^{*13}の呼出し、URLアクセスなどにより、比較的容易に可能とした。

これらの機能により従来のOPSと比較し、開発期間およびコストの大幅な短縮、削減を可能とした。

4. 将来の展望

4.1 ネットワークスライシングへの対応

現在は、無線アクセスネットワーク^{*14}、コアネットワーク^{*15}などのネットワークを構成するパーツ

^{*12} ライブラリ: 汎用性の高い複数のプログラムを、再利用可能な形でひとまとまりにしたもの。

^{*13} シェル: OS（オペレーティングシステム）を構成するソフトウェアの1つで、ユーザからの操作の受け付けにより、プログラムを起動したり、実行中のプログラムを終了したり、起動パラメータなどを指定して動作モードを変更することができる。

^{*14} 無線アクセスネットワーク: コアネットワークと移動端末の間に位置する、無線基地局および無線回線制御装置などで構成されるネットワーク。

^{*15} コアネットワーク: 交換機、加入者情報管理装置などで構成されるネットワーク。移動端末は無線アクセスネットワークを経由してコアネットワークとの通信を行う。

ごとに保守作業も分かれて行われているが、今後、ネットワークスライシングが導入された際は、スライス単位でEnd to Endの表示をリソースアシュアランスシステムが可能とすることで、ユーザに提供するサービス（スライス）の観点で監視を行うことが可能となる。

4.2 Zero Touch Operationへの対応

現在は伝送装置でのみ適用されているが、今後は適用範囲を広げていく。OPS高度化の実現のため、これを構成するさまざまなシステムはリソースアシュアランスシステムが提供するインタフェース機能により、共通的なUIをサポートすることで、装置の違いを意識することなく、AIとの連携など必要な情報を取得することが可能となる。これにより、効率的に業務の自動化が可能となる。

5. あとがき

本稿では、リソースアシュアランスシステムについて解説した。

今後は、ネットワークスライシングへの対応、伝送装置以外のネットワーク領域への適用範囲拡大、他社ネットワークとの連携、さらには高度化によるネットワーク運用の自動化を実現し、ネットワーク故障時の対応の迅速化によるダウンタイムの削減、新規装置導入の迅速化によるサービス提供速度の向上をめざす。

文 献

- [1] 柴田，ほか：“スマートOPS概要” 本誌，Vol.27，No.1，pp.18～20，Apr. 2019.

令和2年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 「科学技術賞（開発部門，科学技術振興部門）」受賞

2020年4月7日に令和2年度科学技術分野の文部科学大臣表彰が発表され，無線アクセス開発部の安部田 貞行，新 博行，島津 義嗣^{†1}，河原 敏朗^{†2}の4名が，「高度化C-RANとFDD-TDD-CAの開発」への功績により「科学技術賞（開発部門）」を受賞し，先進技術研究所の池田 大造^{†3}が，「携帯電話基地局データから生成される人口流動統計の振興」への功績により「科学技術賞（科学技術振興部門）」を受賞しました※。

科学技術分野の文部科学大臣表彰とは，「科学技術に関する研究開発，理解増進等において顕著な成果を収めた者について，その功績を讃えることにより，科学技術に携わる者の意欲の向上を図り，もって我が国の科学技術水準の向上に寄与することを目的とする」もので，文部科学大臣から授与されます。

今回，開発部門において受賞した「高度化C-RANとFDD-TDD-CAの開発」は，スモールセルとマクロセルを組み合わせるキャリアアグリゲーションをする技術で，ドコモの4G高速化に大きく貢献したことが認められ，今回の受賞となりました。本技術

は，5Gの高速化にも利用できることが認められています。

また，科学技術振興部門において受賞した「携帯電話基地局データから生成される人口流動統計の振興」は，携帯電話ネットワークの運用データを基に「人口流動統計」を開発し，交通総量と移動経路・手段別の交通量推計を可能とし，まちづくり，交通計画，防災計画，地方創生やマーケティングなど広い分野で活用されていることが認められ，今回の受賞となりました。本件はモバイル空間統計の実用化事例の成果の1つですが，モバイル空間統計は他にもAI渋滞予知やAIタクシーなどさまざまな形で活用され，昨今の新型コロナウイルス感染症対策時の人口変動分析にも活用されています。

†1 現在，日本電信電話株式会社

†2 現在，電気興業株式会社

†3 現在，サービスイノベーション部

※国土交通省 関谷 浩孝氏，新階 寛恭氏，法政大学 今井 龍一准教授，復興庁 重高 浩一氏と共同受賞

本誌に掲載されている社名，製品およびソフトウェア，サービスなどの名称は，各社の商標または登録商標。



「Impress DX Awards 2019」受賞

2020年3月30日に、5Gイノベーション推進室（現：ネットワークイノベーション研究所）および、AGC株式会社、エリクソン・ジャパン株式会社が共同で企画開発した「ガラス一体型5Gアンテナ」が株式会社インプレスのImpress DX Awards 2019 エッジコンピューティング&デバイス部門で準グランプリを受賞しました。

Impress DX Awardsとは、少子高齢化に伴う労働人口減少や医療費の高騰など、企業や社会が解決しなければならない課題を解決するために、私たちの未来につながる先駆的な取り組みや、それを可能にする製品／サービスを選考し表彰されるものです。

ガラス一体型5Gアンテナは、28GHz帯の5G通信において車室や建物内では電波が弱まる傾向があることを回避するため、電波が弱まる前のガラス面での送受信を可能にした。DX（Digital Transformation）推進において重要な役割をもつ5Gの活用範囲の拡大への寄与が期待できるという点が評価され、今回の受賞となりました。

今後、商用環境での運用に向けて、パートナー企業と商材化に向けた実証をすすめていきます。

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

NTT DOCOMO
テクニカル・ジャーナル Vol.28 No.2

2020年7月発行

企画編集 株式会社NTTドコモ R&D戦略部
〒100-6150
東京都千代田区永田町 2-11-1
山王パークタワー39階

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

本誌掲載内容についてのご意見は
e-mail: dtj@nttdocomo.com宛

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、
サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標です。
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

© 2020 NTT DOCOMO, INC.