

NTT DOCOMO

# テクニカル・ジャーナル

Technical Journal

Vol.30 No.4 | Jan. 2023



## DOCOMO Today

- オープンRANによる変革と価値創出

## Technology Reports (特集)

### 5G SA方式特集

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

## Technology Reports

- 英語スピーキング採点技術の開発
- スマートフォンログによる要介護リスク低減を目指したフレイル推定AI

# オープンRANによる変革と価値創出



無線アクセス開発部 部長

ますだ まさひさ  
増田 昌史

オープンRAN (Radio Access Network)\*1導入の機運が世界中で高まりを見せています。オープンRANとは、従来、単一の通信機器ベンダが垂直統合で製造していたクローズドな無線アクセスネットワーク (RAN) に対して、構成要素をオープン・インタフェースにより分割し、構成要素ごとに複数のベンダ製品を選択可能にする水平分業への構造転換を意味します。比喩的に言うと、完成品のPCに対して、メモリやCPUなどの好きな部品を買ってきて、PCを自作できるようになることに相当します。ドコモを含む通信事業者にとっては、市場の多様なベンダ製品を柔軟に取り込むことができるようになり、PCの比喩で言うと動画編集用にハイエンドのグラフィック・ボードを使うように、お客様のニーズに応えた柔軟な機能拡張が可能になります。また、タイム・トゥ・マーケットの短縮、サプライチェーン・地政学リスクの軽減、透明性確保によるセキュリティ向上などの利点ももたらします。

一方、課題もあります。そもそも構成要素間のオープン・インタフェースを仕様規定し、対応製品を増やさなくてはなりませんし、組み上げたものは垂直統合の完成品に対してトータル・コストが高くなるようなことはないか、要求される性能・品質基準を満たすことができるのか、といった懸念もあります。ドコモは早くからオープンRANに取り組み、2018年には世界の通信事業者と連携しつつ「O-RAN ALLIANCE\*2」を設立、さらに、2021年には12社のパートナー企業と「5GオープンRANエコシステム (OREC: Open RAN ECosystem)\*3」の協創プログラムを開始しました。ドコモが長年蓄積したオープンRANの知見を提供し、世界中の通信事業者やパー

トナー企業と連携しながら、前述の諸課題に対するソリューションを提供すべく活動を進めています。

ドコモにとってのORECの直接的な狙いは、オープンRANの海外展開です。世界には、オープンRANを導入したくてもノウハウ不足で導入できない通信事業者が一定数存在しますが、それらの通信事業者に対してドコモのオープンRANの技術やノウハウを提供し、事業化するというものです。従来、ドコモのネットワーク関連のR&Dでは、ドコモ自社ネットワークでの成果利用を前提に活動を行ってきましたが、これからはドコモのみでなく世界中の通信事業者が対価を支払ってでも導入したいと思える製品や技術を開発しなくてはならず、マインドセットを大きく変革する必要があると考えています。

オープンRANの取組みは、オープン・イノベーションでもあります。経済学者のシュンペーターが「新結合」としてイノベーションを説明したのは周知のとおりですが、オープンRANは、まさに市場にある技術や製品を幅広くオープンに取り込み、結合させることで新しい価値を生む取組みです。

O-RANが指向しているオープン化、仮想化は、光ファイバ系のアクセス網や、中継系のネットワークでも検討、導入が進んでおり、将来的にはこうしたドメインとクロス・ドメインでの基盤の統一化やオーケストレーション、データ収集・活用などへの発展が見込まれるとともに、NTTグループが総力を挙げて推進しているIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想\*4の構成要素にもなります。低消費電力化によるカーボンニュートラルへの寄与など、世界規模の社会課題へのソリューションの提供にも貢献します。オープンRANの取組みを通じて、外向き、グローバル志向にマインドセットを変え、オープン・イノベーションによる価値創出を進め、未来へ向けた終わりのない挑戦を続けていきます。

\*1 RAN: 3GPPにおいて、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。

\*2 O-RAN ALLIANCE: 5G時代におけるRANのオープン化、インテリジェント化の推進を目的に、2018年2月にドコモと海外の主要なオペレータにより設立された団体。

\*3 5GオープンRANエコシステム (OREC): 多様なニーズに応えられる柔軟なネットワークの構築を可能とする、オープンな無線アクセスネットワークの海外展開を目的としたドコモとパートナー会社との取組み。

\*4 IOWN構想: NTTが2019年5月に発表した、ICTインフラ基盤構想。従来の電子技術 (エレクトロニクス) から光技術 (フォトンクス) にシフトし、より「低遅延」「低消費電力」「大容量・高品質」のネットワークを実現しようというもの。

## [ Contents ]

### DOCOMO Today



オープンRANによる変革と価値創出 増田 昌史 1

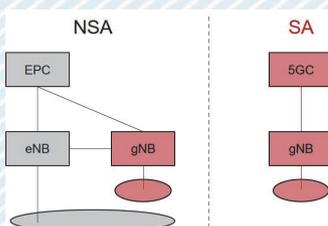


### 特別寄稿

研究テーマを求めて 西村 寿彦 4

## Technology Reports (特集)

### 5G SA方式特集



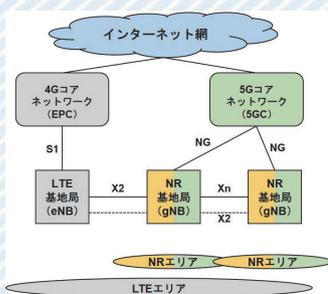
(P.6)

5G SA方式を実現する5Gコアネットワーク技術概要 6

5G Standalone 5GC ネットワークスライシング

5G SA方式での音声通話を実現するコアネットワーク技術概要 18

5GC EPSFB 優先制御



(P.30)

5G SA方式に対応した無線基地局装置の開発 30

5G 5G Standalone 無線基地局装置



(P.39)

# Technology Reports

英語スピーキング採点技術の開発 39

自動採点    ディープラーニング    言語処理

スマートフォンログによる要介護リスク低減を目指したフレイル推定AI 46

ヘルスケア    行動変容    介護費抑制



(P.54)

## News

情報通信技術委員会（TTC）2022年度「TTC会長表彰」受賞 53

国際会議APCC 2022「Best Paper Award」受賞 54

第55回「電気通信産業功労賞」受賞 55

MCPC award 2022 ユーザ部門「モバイルテクノロジー賞」、  
サービス＆ソリューション部門「優秀賞」受賞 56



(P.56)

	AQUOS R7 SH-52C	Galaxy S22 SC-51C	Galaxy S22 Ultra S-52C	Xperia 1 IV SO-51C	Galaxy Z Flip4 SC-54C	Galaxy Z Fold4 SC-55C	Wi-Fi STATION SH-54C
	ドコモスマートフォン    ハイスベックモデル						データ通信製品
端末外観							
受信時最大速度 (5G SA)	4.9Gbps	4.9Gbps	4.9Gbps	4.9Gbps	4.9Gbps	4.9Gbps	4.9Gbps
送信時最大速度 (5G SA)	1.1Gbps	1Gbps	1Gbps	1.1Gbps	1Gbps	1Gbps	1.1Gbps
発売日	2022年7月15日	2022年4月21日	2022年4月21日	2022年6月3日	2022年9月29日	2022年9月29日	2023年1月以降
SA対応日	2022年8月24日	2022年8月30日	2022年8月30日	2022年9月12日	2022年12月5日	2022年12月5日	発売日より対応予定

Technology Reports (特集) 5G SA方式での音声通話を実現するコアネットワーク技術概要 (P.6)  
2022年度発売の5G SA方式対応機種

## 研究テーマを求めて

北海道大学 情報科学研究院 メディアネットワーク部門 情報通信システム学分野 教授 にしむら としひこ 西村 寿彦さん

この原稿の執筆依頼をいただいたのは8月下旬でした。学部生は夏休みですが、ここ2年はコロナ禍で今までのように青春を謳歌できないのはちょっと可哀想です。大学院生は、自分の研究があるので夏休みはあまり関係ないですが、最近では修士1年の夏からインターンシップに参加する学生もいて、いろいろ忙しそうです。話を戻すと、8月の多くの大学教員は、こぞって研究テーマを考えて書類にまとめる作業をしているはず。そう、日本学術振興会の科学研究費助成事業 [1]、いわゆる科研費に応募するのです\*1。大学の研究者は、所属機関から支給される研究費だけでは自分のやりたい研究を行うのに十分でない場合が多く、いわゆる外部資金と呼ばれる研究経費を獲得し研究活動を行っています。私の認識では、そのうちの最も多くの研究者が応募するのが科研費です。

正確には、科研費の応募はその研究の規模や性質に応じていくつか種類があり、それぞれで募集時期が若干異なっているので、すべての大学教員が毎年8月に応募の作業をするわけではありません。また、申請は複数年にわたる研究に対して行われるので、一度申請が採択されると、2~6年はその研究を続けることになります。ただ、多くの研究者が基盤研究と呼ばれる種目に応募するのですが、その締切が9月または10月の下旬なので、夏休みに応募書類を書く研究者は少なくないと思います。かくいう私も、採択されていた研究の期間が今年度で終了するため、今回新たに応募することになりました。でも、今年私がどんなテーマで応募したかは、これから審査にかけられるので秘密です。

研究テーマは、指導している学生に課すものもあるし、科研費の申請以外の外部資金を獲得するためのプロジェクトへの応募にも必要になるので、独創的で先駆的な研究テーマを考えること自体が、研究者の最も重要な仕事の1つです。最初にそのようなテーマを見つけた人が、外部資金を獲得して研究を行います。仮に完全な問題解決に至らなかったとしても、後続の研究者たちが、それをヒントに派生した研究テーマを考え、研究の技術トレンドが出来上がります。そのような訳で、多くの大学の研究者は、常に研究テーマを求めて日々頭を悩ませています。

私の専門は無線通信なので、もちろん、B5G

(Beyond 5G) や6Gの技術開発に貢献できるテーマを模索しています。昨年、電子情報通信学会の学会誌で、「6Gがひらく2030年の超スマート社会」という特集があり、その中で「光の領域と融合する無線通信」という話を書かせていただきました [2]。ご存じのとおり、無線通信の高速大容量化を実現する方法の1つとして、キャリア周波数の高周波数化があります。6Gでは、テラヘルツ帯までも視野に入れた検討が進められています。そこで、文献 [2] では無線通信技術が光の周波数に近づくことで、その融合技術が必要になることを予見し、この時点での融合領域の研究として、テラヘルツ通信、軌道角運動量 (OAM (Orbital Angler Momentum) モード多重) 通信、光MIMO (Multiple Input Multiple Output) \*1の3つを紹介しました。

ところで、電子情報通信学会は、通信分野の多くの国内研究者が各自の研究発表を行う場として認識されていると思います。従って、そこでどのような研究発表が行われてきたかを見ることで、国内の研究のトレンドが見えてきます。そこで、電子情報通信学会の総合大会とソサイエティ大会でどのくらいの数の発表が、先ほどのテラヘルツとOAMをキーワードとして挙げてきたかを過去10年分カウントしてみました\*2。その結果が図1です。

OAMは、等位相面が螺旋状となる電波伝搬の形態で、従来の無線通信で用いてきた平面波や球面波と異なる方法で直交多重が可能となることから、最近注目している研究者が出てきました。図1を見る

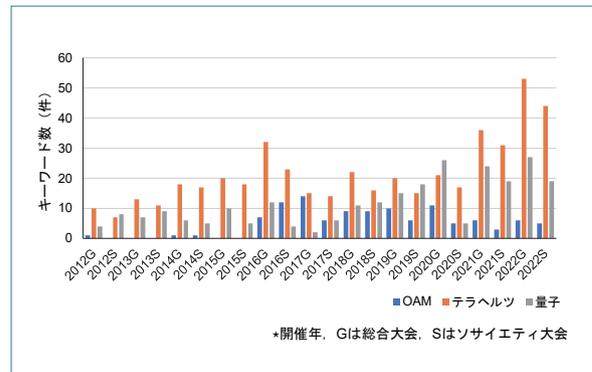


図1 電子情報通信学会の大会でのキーワードの数



## Profile

1992年北大・理・物理卒。1994年同大学院理学研究科修士課程了。1998年同大学院工学研究科博士後期課程了。同年同大学院・工・電子情報・助手，2004年同大学院・情報科学・メディアネットワーク・助手，2007年同助教，2017年同准教授，2021年同教授，現在に至る。MIMOシステムによる高速通信に関する研究に従事。工博。1999年度本会学術奨励賞，2006年度本会論文賞，2007年度電気通信普及財団賞（テレコムシステム技術賞）。電子情報通信学会，IEEE各会員。

と、2016年からキーワードが現れ始めており、そのことが良く分かります。2014年以前に1件ずつあるのは、光ファイバを媒質としており、2016年以降の無線での検討とは少し異なります。なお、OAMという用語は、2013年以前は、“Operations, Administration and Maintenance”の略語として用いられることが一般的でした（図1ではカウントから外しています）。2016年以降は、何度か企画<sup>\*3</sup>も行われ、コンスタントに研究が続いていることが分かります。なお、OAMの無線応用については、1992年のL. Allenらの論文が最初といわれており、今年2022年はちょうど30年目の記念すべき年です。

テラヘルツ通信については、デバイスと通信、およびその融合研究がありますが、図1ではそれらすべてをカウントしています。2016年に小さなピークが見られますが、このころはデバイスにかかわる研究がほとんどでした。その後、2018年頃から通信にかかわる研究が出てきて、ここ数年は通信にかかわるものの方が多くなっています。これは、まずデバイスの研究が進んで、テラヘルツ帯の実験装置が手に入れやすくなる必要があったこと、その後、2020年に5Gのサービスが始まって無線の研究者の目が6Gに向き始め、6Gではテラヘルツ波の利用も視野に入れるようになったことから、関連の企画も多く開催されるようになってきたことと相関があると思われます。

ところで、この原稿が書き終わるころに、ノーベル賞の受賞発表がありました。物理学賞は「量子もつれ」の研究者に贈られました。受賞者は残念ながら日本人ではありませんでしたが、私の個人的な興味で、図1には量子にかかわるキーワードもカウントしてみました。なお、量子もつれのほかに、量子通信、量子暗号や量子コンピュータなども一括してカウントしましたが、量子化や量子雑音は、本質的に異なるので外しています。図1から分かるように、10年前から（実際にはそれ以上前から）国内でも研究されてきています。また、図1からは分からないのですが、2019年以降は、量子通信や量子コンピュータ、特に最近は量子アニーリング<sup>\*2</sup>といった量子効果そのものの研究ではなく、その応用に移行してきた印象があります。

そのほかにも、機械学習やMIMO、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)<sup>\*3</sup>など

の研究テーマの変遷も、今回のようにカウントするとそのトレンドの栄枯盛衰（この3つのテーマは、まだまだ枯れることはないですが……）が可視化できて興味深いです。機会があれば、どこかでその話をするかもしれません。ただし、この手法は過去から現在までの状況は可視化できますが、未来を占うことはできませんし、新たなテーマを創出する手掛かりには残念ながらならないかもしれません。それでも、新たな研究テーマを見つけて、それを社会貢献に繋がるよう努力し続けます。この原稿をお読みいただいた方が、面白そうなテーマをご存じでしたら、私にこっそり教えてください。

## 文献

- [1] 日本学術振興会：“科学研究費助成事業。”  
<https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/index.html>
- [2] 西村 寿彦, 佐藤 孝憲, 小川 恭孝, 大鐘 武雄：“光の領域と融合する無線通信,” 電子情報通信学会誌, Vol.104, No.5, pp.485-489, May 2021.
- [3] L. Allen, M. W. Beijersbergen, R. J. C. Spreeuw and J. P. Woerdman：“Orbital angular momentum of light and the transformation of Laguerre-Gaussian laser modes,” Phys. Rev. A, Jun. 1992.

\*1 光MIMO：光信号を直接遅らせたり干渉させたりすることで、電波のMIMO通信のように異なる信号を同時に送受信して高速伝送を実現する技術。

\*2 量子アニーリング：量子効果を利用することで、組合せ最適化問題処理を高速かつ高精度に実行する手法。

\*3 OFDM：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。

※1 科研費に応募できるのは、大学の教員だけではなく、応募資格を満たす研究機関に所属している研究者も可能。

※2 光MIMOについては、用語が一般化されていないためか、キーワードとしてはあげられることがなかったため、今回は調査をしなかった。ただし、最近では、光○○という形で、光・無線融合技術が挙げられてきている。

※3 ここでの企画とは、大会内で行われる特定テーマの講演を集中させたシンポジウムやパネルディスカッションなどのこと。

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。

## 5G SA方式特集

# 5G SA方式を実現する 5Gコアネットワーク技術概要

ネットワーク開発部

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

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

## 1. まえがき

5G SA（Standalone）方式\*1を実現するために開発・導入した5GC（5G Core network）\*2では、例えば以下2つのような先進的な技術を活用している。

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

これら技術は、後述する各ネットワーク機能（NF（Network Function）\*5）を疎結合にし、通信の利用用途に合わせて柔軟に各NFを組み合わせることを可能とする。これにより、ネットワークスライシング\*6をはじめとした5G時代のネットワークに求められる新たな価値提供が可能となる。

本稿では、前世代4G/LTEのコアネットワーク\*7装置であるEPC（Evolved Packet Core）\*8と対比し

©2023 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 5G SA方式：第5世代移動通信システムの無線技術NRを利用する際に、NRにて制御信号およびユーザーデータの送受信を行う方式。本稿では3GPPの5G Deployment Optionのうち、ドコモが採用しているOption 2を指す。

\*2 5GC：5G専用のコアネットワーク。5G NSA方式（\*9参照）でも実現されていた高速・大容量に加え、5Gの特長である高信頼・低遅延、多数端末同時接続に対応する際に必要となる。

\*3 REST API：ここではURI（\*22参照）を指定してHTTP/2（\*17参照）でアクセスすることでJSON（\*18参照）を返却するAPIを意味する。

つつ、上記2つの先進技術と新たな価値であるネットワークスライシングを中心に解説する。

## 2. 5G NSAと5G SAでの コアネットワーク装置構成の比較

ドコモは、5Gの初期導入時の方式として、既存のEPCに5G基地局を接続して5Gサービスを実現する5G NSA (Non-Standalone) 方式<sup>\*9</sup>を採用した。この方式は、5G用の基地局装置gNB (gNodeB)<sup>\*10</sup>、4G用の基地局装置eNB (eNodeB)<sup>\*11</sup>および、第4世代のコアネットワーク装置であるEPCから構成される(図1左側)、5G用の装置だけではなく4G用の装置を用いるため、5G NSA方式と呼ばれる[1]。この方式では、ユーザデータの送受信を行うU-Plane (User Plane)<sup>\*12</sup>処理に5G基地局装置および4G基地局装置を利用し、信号の制御を行うC-Plane (Control Plane)<sup>\*13</sup>処理に4G基地局装置を利用する。5G NSA方式を採用した理由は、EPCを利用することでC-Plane処理は従来と同等の品質レベルを実現可能で

あること、加えて既存ネットワークインフラを活用でき早期導入が可能になるためである。

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

5G SA方式で新規に導入された5GCは、複数のNFで構成されている。その構成を図2に示す。4Gのコアネットワーク装置であるEPCと比較し特徴的なのは、NRF (Network Repository Function)<sup>\*14</sup>とNSSF (Network Slice Selection Function)<sup>\*15</sup>である。NRFはNFを管理するリポジトリとして導入された。これは後述のSBAの実現に大きく寄与している。NSSFは5GCにて、後述のネットワークスライシングを実現するための専用NFとして導入された。そのほかのNFについては、EPCに類似の機能があるものがほとんどである。

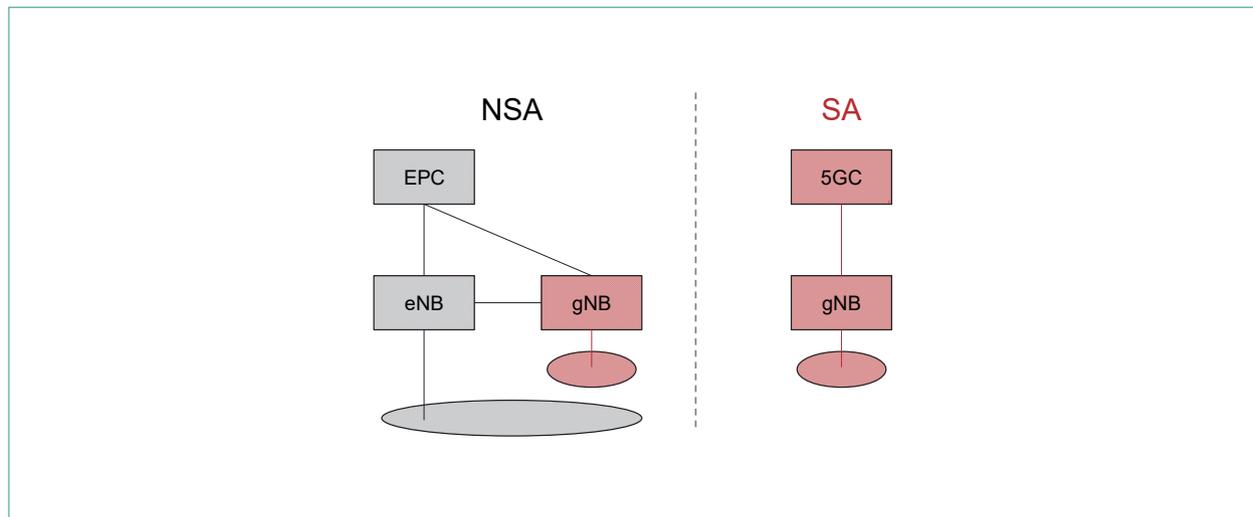


図1 5G NSA方式/5G SA方式の構成

\*4 SBA：5GCで採用されているソフトウェアアーキテクチャの1つで、コアネットワークの各NFを、SBIと呼ばれるバス型の統一のインタフェースを介して接続し、相互作用させるアーキテクチャ。SBIにはNFがNFを発見するための機能などが定義されている。

\*5 NF：5GCを構成するネットワーク機能。

\*6 ネットワークスライシング：ネットワークインフラ上に、特定のネットワーク機能とネットワーク特性を提供する論理ネットワーク（スライス）を構成するネットワークアーキテクチャ。異なる要件をもつユースケースやビジネスモデルに特化したス

ライスを作成して提供・運用することで柔軟なサービス提供を可能にする。

\*7 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。

\*8 EPC：LTE/4Gのコアネットワークを指す。MME (Mobility Management Entity)、SGW (Serving GateWay)、P-GW (Packet data network GateWay)、PCRF (Policy and Charging Rules Function) などにより構成される。

### 3. データ通信関連技術

#### 3.1 SBAの実装

5GCシステムのアーキテクチャとしてSBAが採用されている。5GCでは個々の機能をNFとして定義しており、それぞれのNFは他のNFに対してサービスを提供している [2]。この際に用いるインターフェ

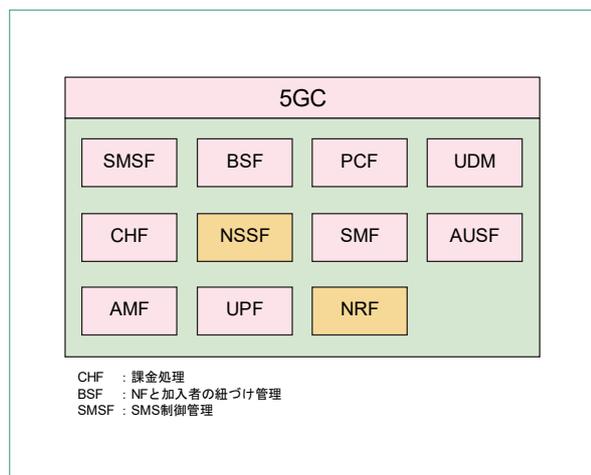


図2 5GCのNF構成と各NFの役割

スがSBI (Service Based Interface) である。5GCの中で、SBIが適用されているNFについて図3に示す。Rel-15時点でSBAを利用するのは、5GCの制御信号を送受信するC-PlaneのNFであり、ユーザデータを送受信するU-PlaneのNFでは、SBAは用いられていない。

(1)プロトコルスタック\*16

SBAでは、アプリケーション層のプロトコルとしてHTTP/2 (HyperText Transfer Protocol version 2)\*17を利用し、表記方法としてJSON (JavaScript Object Notation)\*18形式を用いる。また、トランスポート層は、基本的にはTLS (Transport Layer Security)\*19への対応が必須となっている。

(2)SBI

SBIはNFのサービスを提供するインターフェースとして、NFごとに表現されている (図3)。例えば、AMF (Access and Mobility Management Function)\*20の場合はNamf, SMF (Session Management Function)\*21の場合はNsmfと表現される。Rel-15では下記のSBIが定義されている。

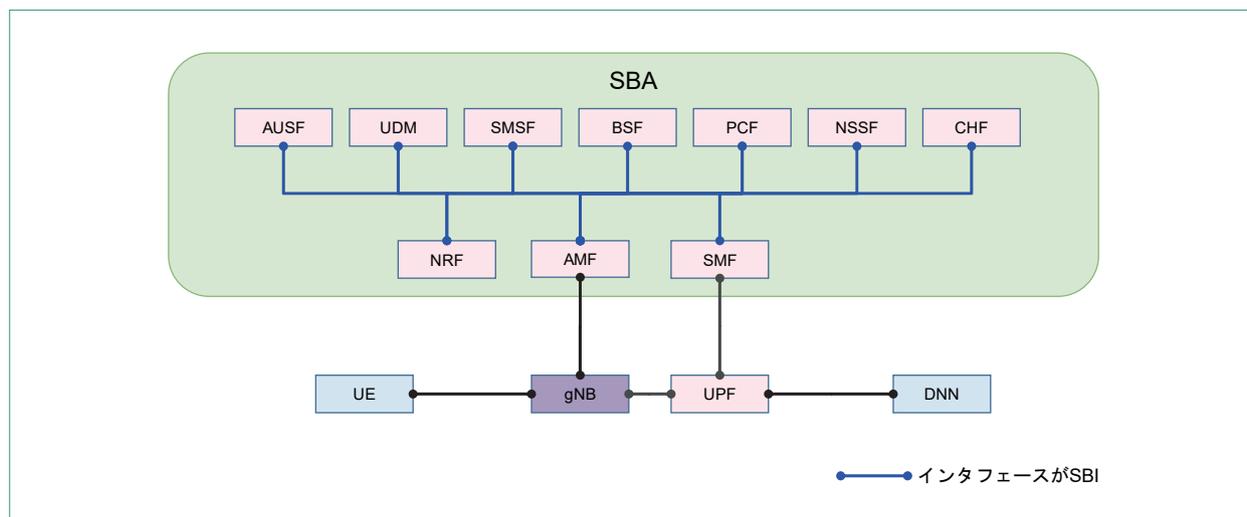


図3 SBIが適用されるNF

\*9 5G NSA方式：5Gの無線技術NRを利用する際に、LTE側で制御信号をやり取りし、ユーザデータのやり取りにのみNRとLTEを協調動作させて使う方式。本稿では3GPPの5G Deployment Optionのうち、ドコモが採用しているOption 3xを指す。

\*10 gNB：5Gの無線技術NRにおける無線基地局。

\*11 eNB：4Gの無線技術LTEにおける無線基地局。

\*12 U-Plane：ユーザデータの送受信を指す。

\*13 C-Plane：通信の制御などを行う信号の送受信を指す。

\*14 NRF：NF ConsumerによるNF ProducerやNF Serviceの発見、登録されたNF Producerの状態変更がある際の通知を実現

するための登録・情報提供装置。

\*15 NSSF：加入者が利用するネットワークスライスを選択するNF。

\*16 プロトコルスタック：プロトコル階層。

\*17 HTTP/2：IETF RFC (Internet Engineering Task Force Request For Comment) 9113で規定される通信プロトコル。

\*18 JSON：IETF RFC 7159で規定されるデータ記述言語。

\*19 TLS：IETF RFC 8446などで規定される通信の暗号化プロトコル。

\*20 AMF：基地局 (gNB) を収容し、モビリティ制御などを提供する論理ノード。

Namf, Nsmf, Nudm, Nnrf, Nnssf, Nausf, Nnef, Nsmsf, Nudr, Npcf, N5g-eir, Nlmf, Nnwdaf.

### (3) REST API

SBIでは、それぞれのサービスにアクセスする際に、REST APIを利用する。例えば、Rel-15のNF Discovery Serviceでは下記形式のURI (Uniform Resource Identifier)<sup>\*22</sup>が定義されている。

```
{apiRoot}/nnrf-disc/nf-instances?nfInstanceId={nflInstanceId}
```

## 3.2 コンテナ基盤の実装

### (1) コンテナの概要

ドコモが導入した5GCの動作基盤では、コンテナを採用している。コンテナは仮想化<sup>\*23</sup>技術の1つであり、ホストOS<sup>\*24</sup>を共有しながら仮想的にリソースが分離された空間を作り出すことができる。

一般的な仮想マシン (VM: Virtual Machine)<sup>\*25</sup>型の仮想化方式ではゲストOSが必要であるが、コンテナ型仮想化では不要である。こうした構成上の違いにより、コンテナ型仮想化では、VMと比較し、「軽量」「迅速な起動/停止」といったメリットが挙げられる。

### (2) ドコモにおける5GCの仮想化方式

一方、ドコモでは、VM型仮想化に相当する形で、コアネットワークの仮想化 (NFV (Network Functions Virtualisation)<sup>\*26</sup>) を推進してきた [3]。このような状況の中、コンテナを導入するにあたり、①VM型仮想方式 (以下、VM方式)、②VM上にコンテナをデプロイ<sup>\*27</sup>する方式 (以下、コンテナ on VM方式)、③物理サーバ上に直接コンテナをデプロイする方式 (以下、ベアメタルコンテナ方式) の比較検討を実施した。これら方式のアーキテクチャを図4に示す。

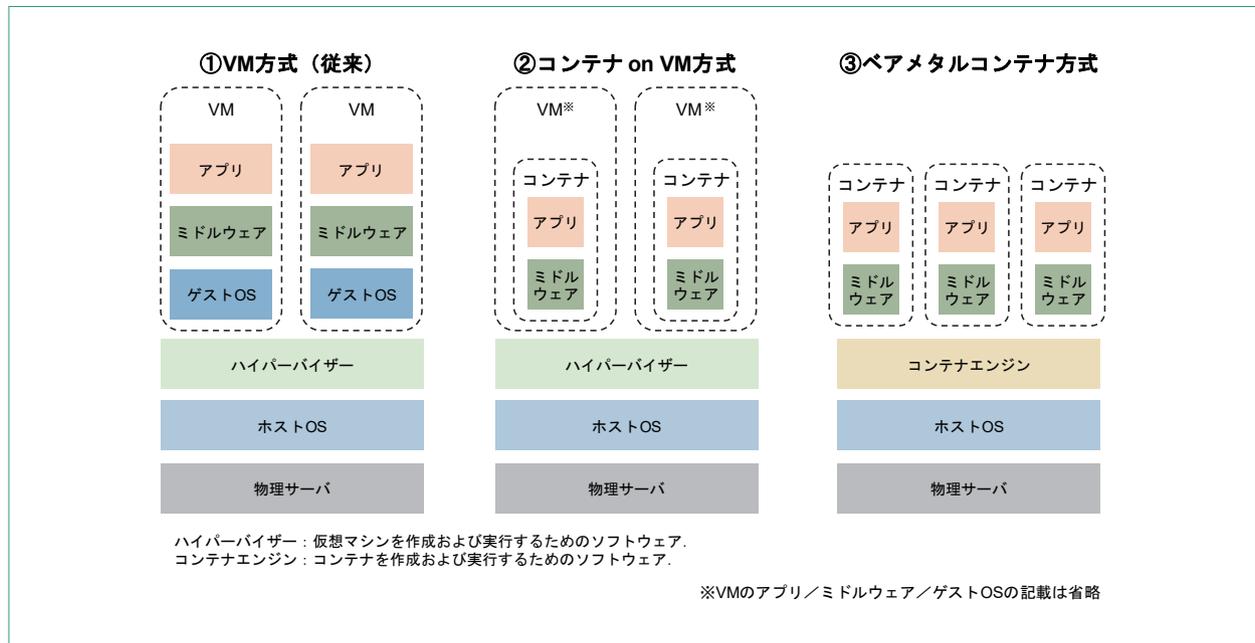


図4 コンテナ実装方式ごとのアーキテクチャ

\*21 SMF: PDU Session (\*40参照)を管理し、QoSやポリシーの実施などのためにUPF (\*45参照)を制御する5Gコアネットワーク内の機能。EPCにおけるSGW-C/PGW-Cに相当する。

\*22 URI: Webで利用できるリソースを示す識別子。RFC3986 (Request For Comments 3986)にて規定。

\*23 仮想化: CPUやメモリなどのハードウェアリソースをソフトウェアによって論理的に分割、または、それらの動作を再現することで、仮想的な計算機環境やハードウェアリソースを作り出す技術。仮想化により物理リソースを論理的に分けて利用することができる。

\*24 ホストOS: ゲストOS (VM (\*25参照)にインストールされたOS)と対比で使われる用語で、物理サーバにインストールされたOSを示す。

\*25 仮想マシン (VM): コンピュータの動作を再現するソフトウェアによって仮想的なコンピュータを構築する技術。

\*26 NFV: ネットワーク仮想化。通信キャリアのネットワーク機能をソフトウェアで実装し仮想化技術により汎用ハードウェア上で実現するネットワークアーキテクチャ。

\*27 デプロイ: アプリケーションやコンテナ、VMなどをそれらの実行環境に配置して展開すること。

なお、②のコンテナ on VM方式では、図4に示すとおりVMとコンテナの多段構成となる。このため、オーバーヘッド\*28観点においても評価を行った。これら方式のドコモ観点での比較評価表を表1に示す。また、①は従来方式でコンテナがかかわらないため、②と③の比較とする。

コンテナ on VM方式は、ベアメタルコンテナ方式に比較するとわずかなオーバーヘッドがあるものの、機能面で差が無く、既存資産を有効に活用できる。このためドコモでは、基本的にコンテナ on VM方式の採用とした。ただし、U-Plane処理部など、VMが適する機能部もあるため、それらはVM方式

を採用した。

(3)マイクロサービスとコンテナを掛け合わせた設計

前述のとおり、5GCでは標準上SBAが採用されている。SBAはマイクロサービス\*29を意識したアーキテクチャであり、マイクロサービスでは、サービスの単位を小規模化した上で各サービスのインタフェースを疎結合化することで、機能追加や改修を迅速・柔軟に行うことが可能となる [4]。

また、今回採用したコンテナでは実行環境が分離されており、コンテナごとに改修が可能のため、各サービスの独立性が必要となるマイクロサービスとの相性が良い。このイメージを図5に示す。

表1 コンテナ実装方式の比較

	②コンテナ on VM方式	③ベアメタルコンテナ方式
オーバーヘッド	○ ③と相対的にはあるが、大きくない	◎ コンテナ本来の軽量性を活かした、迅速起動/移動が可能
機能面	◎ コンテナの機能を③と差分無く利用可能	◎ コンテナの機能をフルに利用可能
既存資産の活用性	◎ 既存仮想化基盤を活用可能	△ 新規の専用ハード構築が必要

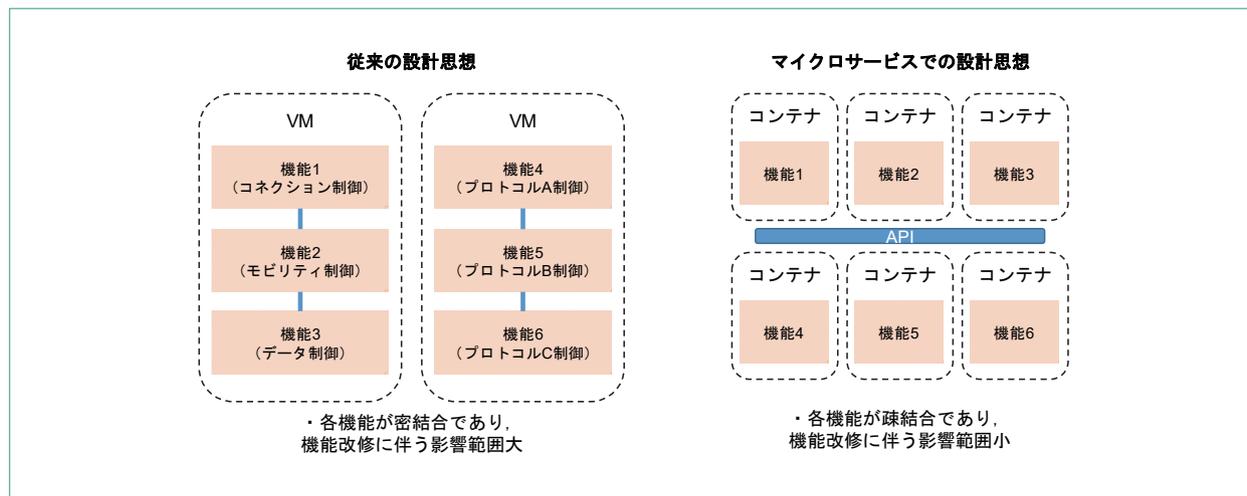


図5 マイクロサービスの設計思想

\*28 オーバーヘッド：ある処理に対して、目的外に発生する付加的な処理や負荷。

\*29 マイクロサービス：ソフトウェア開発の技法の1つ。1つのアプリケーションを、機能に沿った複数の小さいサービスの疎結合な集合体として構成し、軽量なプロトコルを用いて相互の通信を行うことで全体を構成するソフトウェアアーキテクチャ。

マイクロサービスとコンテナを掛け合わせた設計においては、従来と比較してアプリ機能が最小化されており、機能単位ごとの改修やデプロイを並列に行うことができる。これにより、後述するネットワークスライシングにおける、柔軟で多様に変化するネットワーク需要に対して、特定機能の拡充や追加といった対応を、コンテナの可搬性／迅速起動性／スケーラビリティを活かして効率的に行えることが期待される。

### 3.3 ネットワークスライシングと5GCの基本呼処理

#### (1) ネットワークスライシングの概要

ネットワークスライシングとは、物理的なネットワーク上に特定のネットワーク機能とネットワーク特性を提供する論理ネットワーク（スライス）を構成することをいう。ネットワークスライシングの一般的な用途は、スライスごとに異なるリソース割当てを行うことにより、同時に実現が困難なネットワーク特性—低遅延高信頼通信、広帯域通信、多端末通信などを1つのコアネットワークで実現することである [5] [6]。

#### (a) S-NSSAI

コアネットワークにおけるスライスの識別子は、S-NSSAI (Single-Network Slice Selection Assistance Information)<sup>\*30</sup> (以下、スライスID) と呼ばれ、機能やサービスについてスライスの振舞いを示すSST (Slice/Service Type) 8ビットと、同一のSSTにおいて複数のスライスを区別するためのSD (Slice Differentiator) 24ビットの合計32ビットで構成される (図6)。SSTは0~127が標準化された範囲で、そのうち1~5は用途が標準規定されている。また、128~255はオペレータ固有となっている [5] [7]。

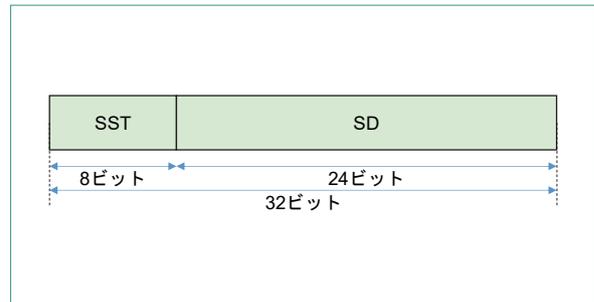


図6 S-NSSAIのフォーマット

#### (b) スライス数

1つのAMF、gNBがサポートできるスライス数は最大で66559と定められているため [8]、各エリアで使えるスライス数は66559が上限となる。信号サイズへの影響を踏まえるとさらに小さな値となる。すべてのエリアで使用可能なスライスを定める場合においても同様となるため、いわゆるIPネットワークにおけるオーバーレイネットワーク<sup>\*31</sup>などを用いた仮想ネットワーク<sup>\*32</sup>のように、U-Planeを分離する技術とは異なるものと考えるのが妥当である。

#### (2) ユーザのPDUセッション確立までの流れ

##### (a) Registration<sup>\*33</sup> プロシージャ<sup>\*34</sup>

端末 (UE: User Equipment) の電源ON時に実施されるRegistrationプロシージャを、図7に示す [9]。

- ・ステップ①~③: UEは、Registration RequestをgNBに送信する。gNBは、UEから要求されたスライスID (以下、要求スライスID) などに基づいてAMFを選択し、AMFにRegistration Requestを送信する。
- ・ステップ④~⑤: AMFは、SUPI (Subscription Permanent Identifier)<sup>\*35</sup>/SUCI (Subscription Concealed Identifier)<sup>\*36</sup>に基づいてAUSF (Authentication Server Function)<sup>\*37</sup>

<sup>\*30</sup> S-NSSAI: ネットワークスライシングにおいて、呼処理信号上でスライスを示すための識別子。NFインスタンスの選択に使用される。

<sup>\*31</sup> オーバーレイネットワーク: 物理的に構成されたネットワークの上で、物理構成にとらわれずに論理的に独立したネットワークを構成する技術。

<sup>\*32</sup> 仮想ネットワーク: MPLSやVLANなどの管理ドメインを分離する技術やオーバーレイネットワークなどを用いて、ネットワーク上に論理的に独立して構成された仮想的なネットワーク。

<sup>\*33</sup> Registration: 5Gにおいて、移動端末が現在の位置情報をUDMに登録すること。

<sup>\*34</sup> プロシージャ: 基地局間や基地局 - コアネットワーク間、基地局 - 端末間などにおける信号処理手順。

<sup>\*35</sup> SUPI: 5GSで用いる加入者を識別する情報。

<sup>\*36</sup> SUCI: 5GSで用いる加入者を識別する情報 (SUPI) を暗号化したもの。

<sup>\*37</sup> AUSF: 5GCにおける認証を担う、5Gコアネットワークのネットワーク機能。



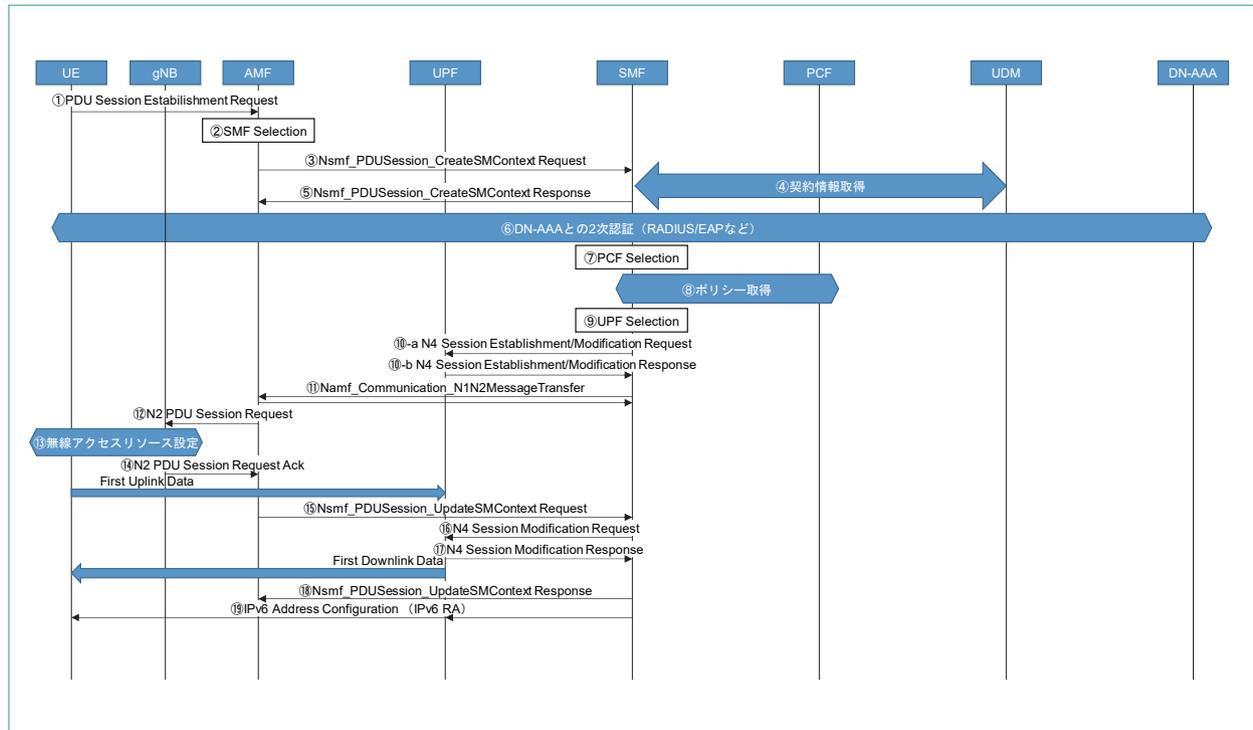


図8 UE-requested PDU Session Establishmentプロセス

establishmentのプロシーダが実施される [9].

- ・ステップ①～②：UEがAMFにPDU Session Establishment Requestを送信する。AMFは、要求スライスID、DNN (Data Network Name)\*41などを用いてSMFを選択する。
- ・ステップ③～⑥：AMFはSMFにPDUセッションの確立を要求し、SMFはUDMから契約情報を取得する。SMFは、スライスID、DNN、ローカルの構成情報を基に2次認証要否を判断し、必要があればDN-AAA (Data Network Authentication, Authorization and Accounting)\*42にRADIUS (Remote Authentication Dial In User Service)\*43プロトコルやEAP (Extensible Authentication Protocol)\*44などを用いて2次認証を実施する。

- ・ステップ⑦～⑧：SMFはスライスID、SUPIに基づいてPCFを選択し、PDUセッションに適用するポリシーを取得する。
- ・ステップ⑨～⑩：SMFはスライスID、DNN、UEの位置情報などに基づいてUPF (User Plane Function)\*45を選択し、UPFとN4\*46セッションを確立する。
- ・ステップ⑪～⑬：SMFからAMFを介してgNBにUPFの情報が通知され、無線アクセス区間の設定が行われ、UEからのアップリンクの通信経路が確立される。次にgNBの情報がAMFを介してSMFに通知され、SMFがN4セッションを更新してUE宛パケットの転送先を通知されたgNBに設定することで、UEへのダウンリンクの通信経路が確立され

\*41 DNN：端末の通信先。UEがコアネットワークを介して接続するデータネットワークの識別名。

\*42 DN-AAA：UEに対するDN特有のAAA (利用者認証・認可・アカウント管理)を行うサーバ。

\*43 RADIUS：IETFで標準化されたネットワークのAAAを一元的に扱うためのプロトコル。コアネットワークでは、DNによるUEの認証・認可やUEへ払い出すIPアドレスの決定、DNへの通信量通知などに利用される。

\*44 EAP：IETFで標準化された認証方式などをクライアント・サーバ間で折衝するためのプロトコル。代表的な認証方式は公

鍵認証を行うEAP-TLS、TLS暗号化により安全にパスワード認証を行うEAP-TTLSなどがある。5GCでは、RADIUSプロトコルにおける認証方式の折衝手段として利用される。

\*45 UPF：5Gコアネットワークのネットワーク機能の1つ。ユーザパケットのルーティングおよび転送、パケット検査、QoS処理を担う機能。

\*46 N4：SMFとUPFの間の参照点。

る。ここまでのステップによりUE～gNB～UPF～DN (Data Network)<sup>\*47</sup>間のアップリンクおよびダウンリンクのパケットの通信路が構成され、PDUセッションの確立が完了する。

- ・ステップ⑩：IPv6<sup>\*48</sup>を含むPDUセッションの場合は、SMFからUPFを介してUEに対してIPv6 RA (Router Advertisement)<sup>\*49</sup>が行われ、UEにIPv6アドレスやデフォルトゲートウェイの設定が行われる。

### (3)コアネットワークにおけるネットワークスライシングの特徴とIPネットワークとの違い

#### (a)コアネットワークにおけるネットワークスライシングの特徴

前述した動作から分かるように、スライスIDはSMF、UPF、PCFなどの各NFの選択に使用されるパラメータであり、コアネットワークを構成する各NFインスタンス<sup>\*50</sup>にはどのスライスIDをサポートするのかを指定する。コアネットワークでは、そのスライスを構成するNFインスタンスをスライスの特徴や用途に応じて変えることで、スライスへの柔軟なリソース割当てが実現される。例えば、表2のように特定のスライスIDから選択し得るSMFおよびUPFのインスタンスをスライスの特徴に適した組合せにすることで、高速通信のスライス

や低遅延通信のスライスなどを構成する。

コアネットワークでは、移動管理、セッション管理、ポリシー制御<sup>\*51</sup>などのC-Plane処理の負荷の割合が高くなるため、U-Planeの収容分離だけでなくC-Planeの収容分離も重要となる。このため、NF選択によりスライスを構成する考え方は合理的であるといえる。

また、スライスIDはC-Plane、U-Planeともにパケットヘッダには含まれないため、コアネットワークとそれを下支えするトランスポートネットワーク<sup>\*52</sup>とのリソース制御の連携において、直接的にスライスIDを流通させることはできない。コアネットワークとトランスポートネットワークの連携においては、スライスIDに紐づくコアネットワーク内のQoS (Quality of Service) ポリシーを、トランスポートレイヤのQoSパラメータ (DSCP (Differentiated Services Code Point)<sup>\*53</sup>など) にマッピングし、これらのパラメータに基づいてトランスポートレイヤにおけるQoS制御<sup>\*54</sup>を行う形などが考えられる。

#### (b)スライシング観点でのIPネットワークとの違い

IPネットワークの文脈では、ネットワークスライシングはSRv6 (Segment Routing IPv6)<sup>\*55</sup>やVxLANなどのいわゆるオーバーレイネットワーク技術やMPLS (Multi-Protocol Label

表2 S-NSSAIによるスライス用途に応じたNF選択の例

スライスID	用途例	エリア (gNB/AMF)	選択対象のSMF	選択対象のUPF
1-000001	高速通信	主要ターミナル	大容量装置	大容量装置
2-1000a1	遠隔手術	医療機関など	高信頼装置	低遅延高信頼装置
3-c00010	河川無人監視	河川沿いなど	多端末対応装置	低容量装置
4-a00011	自動運転	主要道路	高信頼装置	低遅延装置

\*47 DN：UEがコアネットワークを介して接続される外部のネットワーク。インターネットへの接続性を提供するISP (Internet Service Provider) や、サードパーティのネットワーク、閉域サービスの場合は加入者のネットワークなどがある。

\*48 IPv6：インターネットで使われる通信規約の1つ。現在広く使われているIPv4よりも、はるかに多くのIPアドレス (固有番号) を使用可能である。

\*49 RA：IPv6の各種情報をリンク内の端末へ通知するためにルータから送信する信号。

\*50 インスタンス：クラウドコンピューティングにおけるオンデマ

ンドで提供される仮想サーバ。ある処理が発生したときのみ仮想サーバが起動し終了するなど、仮想サーバの起動から終了までのライフサイクルは散発的である。

\*51 ポリシー制御：ネットワークあるいは加入者情報などに基づいて、QoS、パケット転送可否、課金などの通信制御を行う技術。

\*52 トランスポートネットワーク：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。かつ、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。

Switching)<sup>\*56</sup>やVLANなどの管理ドメインを分離する技術などを用いて論理分割された仮想ネットワークを意味することが多い。仮想ネットワークのための識別子がU-Planeのパケットヘッダに含まれ、ルータなどの転送装置がそれら識別子によりパケット転送テーブルを選び分けることで、ネットワークを論理的に分割する。あくまでU-Planeの分離が主役となる点から、コアネットワークとは思想が大きく異なることが分かる。

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

#### (4) ネットワークスライシングを用いたMEC (Multi-access Edge Computing)<sup>\*57</sup>の実現

MECでは、UEに近傍の適切なコンピューティングリソース（以下、MECリソース）と、それに対するクローズドな接続経路を提供する。しかし、一般的なパブリッククラウド<sup>\*58</sup>のようにオンデマンドにリソースを払い出す提供形態は、ユーザごとに個別のDNNを払い出して、それらをコアネットワークやUEに設定するという従来の方法では実現が困難である。また、IoTのようなユースケースでは接続先MECリソースを位置や状況などに応じて遠隔地から変更したいケースなども考えられる。このため、UEに設定するDNNを変えずに、UEの位置情報や契約情報から、コアネットワーク側で接続先のMECリソースやMECリソースを収容するSMF、

UPFを選択できる必要がある。

このようなケースにおけるスライスIDを活用したMECリソースへの接続の流れを図9に示す。

- ・ステップ①～④：UEには要求スライスIDを設定せず、サービスを示すDNN—ここでは低遅延 MEC 用 DNN—を設定する。UEがRegistrationを行い、この際AMFは要求スライスが通知されないためUDMから契約情報を取得してNSSFと折衝し、許可スライスIDが決定される。AMFは許可スライスIDをUEの接続先のスライスIDとしてUEに設定する。
- ・ステップ⑤⑥：Registration完了後、UEからPDU Session Establishment Requestが開始される。AMFはUEから通知されたスライスIDとDNNに基づいて低遅延対応SMFを選択し、PDUセッション確立を要求する。
- ・ステップ⑦～⑨：SMFはDNN、スライスID、UEの位置情報から適切な低遅延対応UPFを選択し、UPFにPFCP (Packet Forwarding Control Protocol)<sup>\*59</sup>セッションの確立を要求する[10]。UPFはDNNとスライスIDを基にプロファイルを選択し、プロファイルに基づいてMECリソースAに対する通信路を設定する。

#### (5) ネットワークスライシングを用いたNFの選択

UEがコアネットワークにおいて異なるトラフィック特性を示す場合は、その特性に合わせて異なるNFに収容することが好ましい。しかし、それらが同じDNに接続されるケースでは、DNNを用いてNFを選び分けることができない。具体的には、図9下部のケースのように、IoT端末と一般的なスマートフォンが同じDNやIMS (Internet protocol Multimedia Subsystem)<sup>\*60</sup>を共有する場合などが挙げられる。このような場合においては、それぞれの端末のコアネットワークにおけるトラフィック特性の

\*53 DSCP：IPパケットのQoS優先度制御を行う際に、パケットの優先度を表す値。IPヘッダのType of Serviceの先頭6ビットで表現され、64段階の優先度を指定することができる。

\*54 QoS制御：パケットの優先転送など、通信の品質を制御する技術。

\*55 SRv6：データの送信元が途中経路を決定するソースルーティング手法の1つ。Segment Routing HeaderにIPv6で表現されるセグメント情報（受信したパケットに対する操作）を書き込むことで通信経路上の経路装置でのパケット処理をプログラムすることができ、経路制御やオーバーレイネットワークなどを実現する。セグメントは次に送信する宛先、適用するルーティング

テーブル、パケットに適用する変換処理などさまざまな指示を関連付けることができる。

\*56 MPLS：ラベルに基づいたスイッチングにより高速なデータ転送を行う技術。ラベルに基づいて異なるルーティングテーブルを適用することでネットワークを論理的に分離することができる。

\*57 MEC：通信局舎などのユーザに近い位置にコンピューティングリソースを配備し、利用できるようにするコンピューティングアーキテクチャ。インターネット上に配備する場合に比べて通信遅延を低減でき、サービスの応答速度を向上できる場合がある。

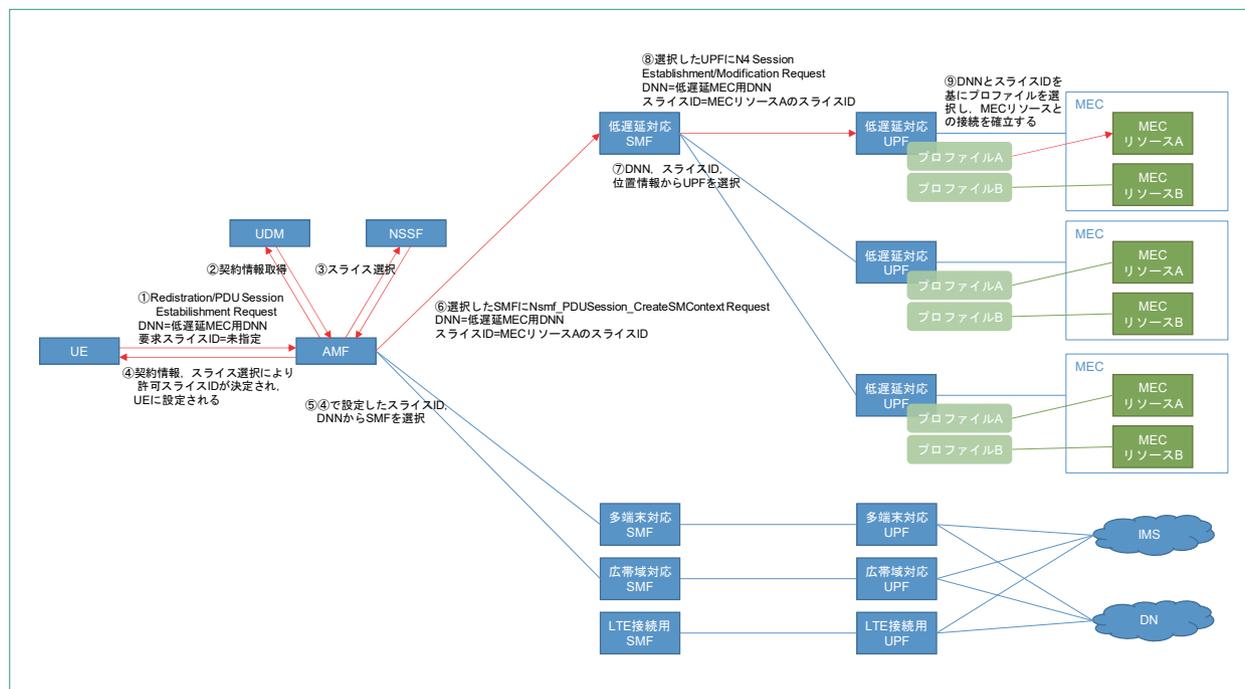


図9 スライスIDを用いた接続先選択

違いから、SMFやUPFを選び分ける必要性が生まれ、スライスIDを活用することで問題を解決できる。まず、IoT端末契約用とスマートフォン契約用のスライスIDを用意する。AMFによるSMF選択の際にスライスIDを用いて前者には多端末用のSMF、UPF、後者には広帯域用のSMF、UPFを選択させることで、トラフィック特性に適したNFを選択させることが可能となる。また、EPS (Evolved Packet System)<sup>\*61</sup>とのインターワーク<sup>\*62</sup>においても、LTEからの接続の際に選ばれるスライスIDを用意しておくことで、同様に適した性能のSMFやUPFを割り当てることなども可能である。

## 4. あとがき

本稿では、5G SA方式実現のために導入した5G

で活用されているSBAやコンテナ基盤などの先進的な技術を述べ、これらの技術により実現可能となるネットワークスライシングについて、導入形態の例を含め解説した。

今後の展望としては、5G SA時代のネットワークに求められる新たな付加価値である、End-to-Endのネットワークスライシング（以下、E2ES）の実現が一例として挙げられる。

E2ESは、コアネットワークとそれを取り巻くアクセスネットワーク、トランスポートネットワーク、データネットワーク、アプリケーションすべてのレイヤにまたがるEnd-to-Endのネットワークスライシングである。E2ESでは、UE上のアプリケーションから、サーバサイドのアプリケーションの間で適切なポリシー制御が適用され、これまで以上に要件の厳しいネットワークサービスの提供が可能になる。

\*58 パブリッククラウド：インターネットを介して誰でも利用できるクラウドコンピューティングサービス。

\*59 PCF：N4、Sx参照点で用いられるUPF/SBW-U/PBW-UなどのU-Plane機能の制御を行うためのC-Planeプロトコル。パケットの転送、廃棄、書換え、滞留、優先処理、カウントなどのパケット処理のルールをU-Plane機能に通知する。

\*60 IMS：音声通話を制御するコアネットワークの装置群を指す。P-CSCF (Proxy-Call/Session Control Function)、S-CSCF (Serving-Call/Session Control Function)、AS (Application Server) などにより構成される。音声通話をIPで実現するた

め、IP以下の伝送路に極力依存しないよう設計されている。

\*61 EPS：LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された、IPベースのネットワークの総称。

\*62 インターワーク：通信システム間の相互動作。

E2ESの実現には、コアネットワークだけでなく、UE、無線アクセスネットワーク、トランスポートネットワーク、サーバサイドのアプリケーションのすべてのレイヤでネットワークスライシングへの対応が必要になる。その上で、各レイヤにまたがるQoSポリシーの連携した制御や各レイヤで異なる実装となるスライス同士の連携と接続、スライスのプロビジョニング\*63など数多くの課題がある。今後は、これらの課題を解決するとともに、ドコモのネットワークスライシングの発展を進めていく。

### 文 献

- [1] 巳之口, ほか: “3GPPにおける5G標準化動向,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.6-12, Oct. 2017.
- [2] 巳之口, ほか: “5Gコアネットワーク標準化動向,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.44-49, Oct. 2017.
- [3] 鎌田, ほか: “ドコモネットワークにおける仮想化基盤システムの実用化,” 本誌, Vol.24, No.1, pp.20-27, Apr. 2016.
- [4] 音, ほか: “5G時代の社会インフラに向けたコアネットワーク,” 本誌, 25周年記念号, pp.22-30, 2018.
- [5] 3GPP TS23.501 V15.13.0: “System architecture for the 5G System (5GS); Stage 2,” Mar. 2022.
- [6] 青柳, ほか: “産業創出・ソリューション協創に向けた5G高度化技術,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.65-81, Oct. 2020.
- [7] 3GPP TS23.003 V15.11.0: “Numbering, addressing and identification,” Dec. 2021.
- [8] 3GPP TS38.413 V16.10.0: “NG-RAN; NG Application Protocol (NGAP),” Jun. 2022.
- [9] 3GPP TS23.502 V15.16.0: “Procedures for the 5G System (5GS); Stage 2,” Jun. 2022.
- [10] 宮崎, ほか: “トラフィック特性に応じた柔軟なU-Plane処理を実現するCUPSの開発,” 本誌, Vol.29, No.3, pp.35-46, Oct. 2021.

---

\*63 プロビジョニング: サービスを提供するために必要となるネットワークなどのリソースの設計とそれを稼働させるためのハードウェアおよびソフトウェアの各種設定・構築業務を指す。

# 5G SA方式での音声通話を実現するコアネットワーク技術概要

ネットワーク開発部

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

ドコモは2022年8月に、第5世代移動通信システム単独で動作する5G SAのスマートフォン対応の商用サービスを開始した。これを提供するにあたり、5G SAでの音声通話サービスや5Gエリア外にて4G/LTEへの通信の引継ぎサービスを可能とする機能を開発・導入した。本稿では、これらの技術について解説する。

## 1. まえがき

ドコモは2022年8月に、第5世代移動通信システム(5G)単独で動作する5G SA (Standalone) 方式<sup>\*1</sup>のスマートフォン対応の商用サービスを開始した。

ドコモでは、2022年度に5G SA方式対応機種としてスマートフォン6機種、Wi-Fiルータ1機種の合計7機種の提供を予定している(図1)。どの機種もNR-DC (New Radio Dual Connectivity)<sup>\*2</sup>と呼ばれる無線の同時通信技術を採用し、5G NSA (Non-Standalone) 方式<sup>\*3</sup>と比較して最大通信速度が向上している。

5G SAをスマートフォン向けに提供する上では、

以下の2つの計画の実現が必要となる。

- ・5G SAのエリア拡充までの4G LTE/5G NSAエリアの提供
- ・緊急通報を含めた音声通話サービスの提供

これらを実現すべく、ドコモでは5GC (5G Core network)<sup>\*4</sup>において、下記3機能を開発・導入した。

- ・5G SAエリア外での通信を実現するEPC (Evolved Packet Core)<sup>\*5</sup>との連携
- ・音声通話を実現するEPSFB (Evolved Packet System<sup>\*6</sup> Fallback) および5GCでの音声通話のQoS (Quality of Service) 制御<sup>\*7</sup>

©2023 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 5G SA方式：5Gの無線技術NRにて制御信号およびユーザデータの送受信を行う方式。本稿では3GPPの5G Deployment Optionのうち、ドコモが採用しているOption 2を指す。

\*2 NR-DC：5Gの無線技術NRの電波を同時に2つ接続する方式。一般的には、6GHz以下のFR (Frequency Range) 1と、ミリ波に相当するFR2の2つに同時接続する。これにより、最大通信速度の向上が期待できる。

	AQUOS R7 SH-52C	Galaxy S22 SC-51C	Galaxy S22 Ultra S-52C	Xperia 1 IV SO-51C	Galaxy Z Flip4 SC-54C	Galaxy Z Fold4 SC-55C	Wi-Fi STATION SH-54C
	ドコモスマートフォン ハイスペックモデル						データ通信製品
端末外観							
受信時最大速度 (5G SA)	4.9Gbps	4.9Gbps	4.9Gbps	4.9Gbps	4.9Gbps	4.9Gbps	4.9Gbps
送信時最大速度 (5G SA)	1.1Gbps	1Gbps	1Gbps	1.1Gbps	1Gbps	1Gbps	1.1Gbps
発売日	2022年7月15日	2022年4月21日	2022年4月21日	2022年6月3日	2022年9月29日	2022年9月29日	2023年1月以降
SA対応日	2022年8月24日	2022年8月30日	2022年8月30日	2022年9月12日	2022年12月5日	2022年12月5日	発売日より対応予定

図1 2022年度発売の5G SA方式対応機種

### ・5Gでの重要通信の優先制御と緊急通報

本稿では、上記技術について、4G/LTEのコアネットワーク\*8装置であるEPCや4G/5Gでの音声提供装置群であるIMS (Internet protocol Multimedia Subsystem)\*9との連携を含め、解説する。

## 2. スマートフォン対応の5G SAサービス提供に向けたLTEエリアとの連携

新しい技術の市場におけるライフサイクルは、常に4つのステージを経る。それは黎明期、成長期、成熟期、衰退期である。技術が最初に導入される黎明期においては、新しい技術の良さをいかに市場に理解してもらうかという点が非常に大切である。市場の理解度が高ければ高いほど需要は高くなり、その技術はいち早く成長期、成熟期へと向かう。日本における4Gの展開では、スマートフォンが4Gの技術に対する市場の理解を高める役割を担った。3Gの最後に市場に登場したスマートフォンにより、

3Gよりもはるかに高速なパケット通信を可能とする4Gが市場に求められ、爆発的な広がりを見せた。

パケット通信においては、4G端末が異世代間をスムーズに移動するためのインタフェースが標準規定され、3Gに在圏しながらも、EPC側にアンカーポイント\*10を維持することが可能となっていた。5Gにおいても同様に異世代間をスムーズに移動するためのインタフェースが規定されており、黎明期における5G SA無線エリアの狭さを補完するために4Gと5G/5G SA間をスムーズに移動できる仕様となっている (図2)。

黎明期の無線エリアの狭さは、前世代のエリアとの切替えが頻発することによりユーザ体験の向上という観点において大きな障害となる。特に音声通話に関しては、コアネットワーク間でユーザが移動する処理の際に、一瞬の通信の停止が発生し、ユーザとしては、通話が一瞬途切れて聞こえてしまう。そのため黎明期の4Gにおいて音声通話の際には、音声品質を優先させ3Gを使わざるを得なかった。前世代の視点に立ってみると、世代の衰退期において

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

\*4 5GC：5G専用のコアネットワーク (\*8参照)。5G NSAでも実現されていた高速・大容量に加え、5Gの特長である高信頼・低遅延、多数端末同時接続に対応する際に必要となる。

\*5 EPC：LTE/4Gのコアネットワーク (\*8参照)を指す。MME、S-GW (Serving Gateway)、P-GW (Packet Data Network Gateway)、PCRF (Policy & Charging Rules Function) などによ

り構成される。

\*6 EPS：EPCおよびeNBを合わせた第4世代移動通信システム。EPS在圏は、EPSを利用している状態。

\*7 QoS制御：パケットの優先転送など、通信の品質を制御する技術。

\*8 コアネットワーク：位置制御・呼制御・サービス制御を司るネットワークシステム。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。

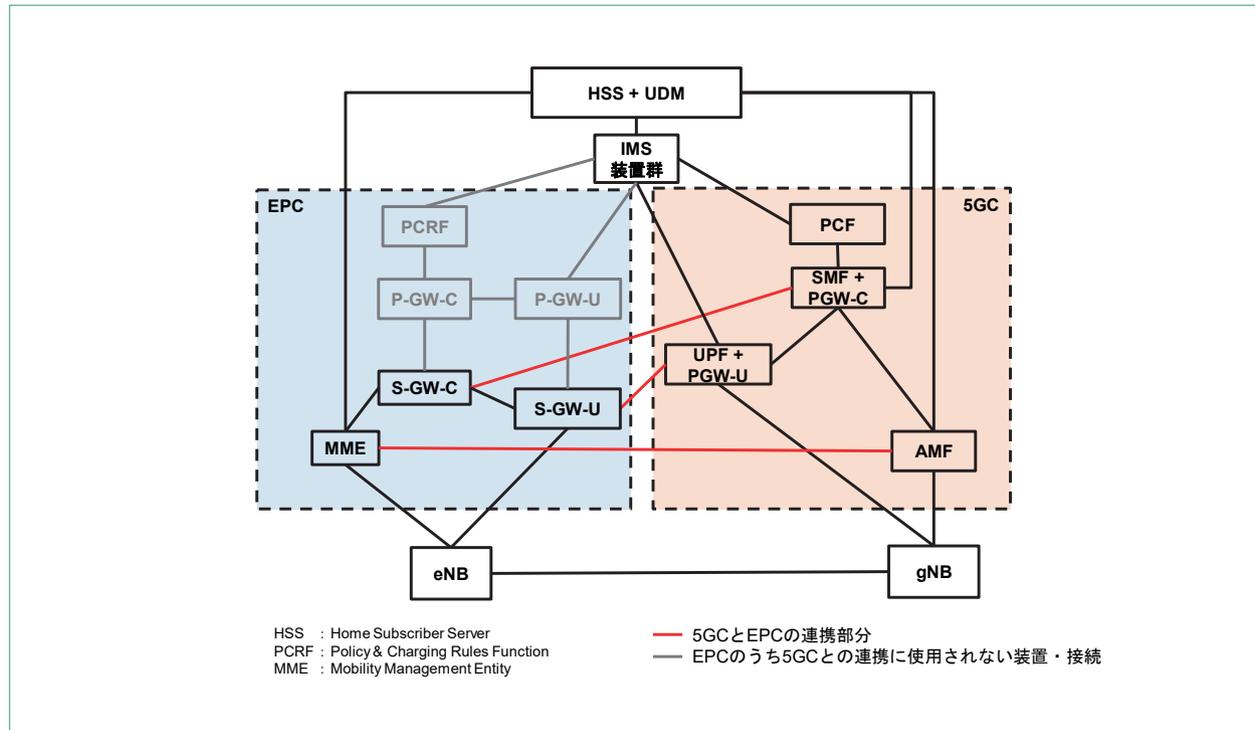


図2 5GCとEPC, IMSとの連携

次世代のバックアップとしての役割を担っていたともいえる。この3Gと4Gとの関係性は、4Gと5Gの関係性と同様である。

4Gは、その衰退期においても、隙間のないカバレッジ<sup>\*11</sup>と成熟したVoLTE (Voice over LTE)<sup>\*12</sup>の技術を活かした高品質音声通話を、5Gと連携して5G SAユーザへ提供する。しかしながら、3GとEPC、EPCと5GCではその関係性の違いから連携の方法が大きく異なる。最も大きなポイントとして、3Gでは音声とパケット通信はそれぞれCS (Circuit Switched) ドメイン<sup>\*13</sup>とPS (Packet Switched) ドメイン<sup>\*14</sup>という概念でコアネットワークが分離していることが挙げられる。

EPCの黎明期における音声の提供では、CSFB<sup>\*15</sup>という技術を使用していた [1]。CSFBでは、着信

の場合はコアネットワークが端末に指示することで、4GからCSドメインの3Gネットワークへ端末を遷移させ、発信の際には端末が自律的に4GからCSドメインの3Gネットワークへ遷移する。5GCでは、CSFBとは異なり端末が自律的に動作するということではなく、コアネットワークと無線基地局からの指示で端末を4Gへ遷移させるEPSFBという機能を使用する [2]。CSFBとEPSFBの2つの機能は、音声通話の際に前世代の無線およびコアネットワークを利用する (フォールバックする) というコンセプトは同じであるが、動作は異なる (図3)。このEPSFBは、5GC/5G SAが成長期に入り、VoNR (Voice over New Radio)<sup>\*16</sup>が普及するまでの間、4GにおけるCSFBのように広く長く使われる機能となる。

\*9 IMS : 音声通話を制御するコアネットワークの装置群を指す。P-CSCF (Proxy-Call/Session Control Function), S-CSCF (Serving-Call/Session Control Function), AS (Application Server) などにより構成される。音声通話をIPで実現するため、IP以下の伝送路に極力依存しないよう設計されている。

\*10 アンカーポイント : 切替えの起点。

\*11 カバレッジ : 携帯電話などの無線通信において、電波の送受信が可能なエリア。

\*12 VoLTE : 第4世代相当の移動体通信技術であるLTE上で、パケット交換方式で提供される音声通話サービス。

\*13 CSドメイン : 3Gネットワークにおいて、回線交換 (Circuit Switch) 方式を採用した部分。主に音声通話サービスを提供する部分を指す。

\*14 PSドメイン : 3Gネットワークにおいて、パケット交換 (Packet Switch) 方式を採用した部分。主にIPによるデータ通信サービスを提供する部分を指す。

\*15 CSFB : LTE在圏中に音声などの回線交換サービスの発着信があった場合、W-CDMA/GSMなどのCSドメインのある無線アクセス方式に切り替える手順。

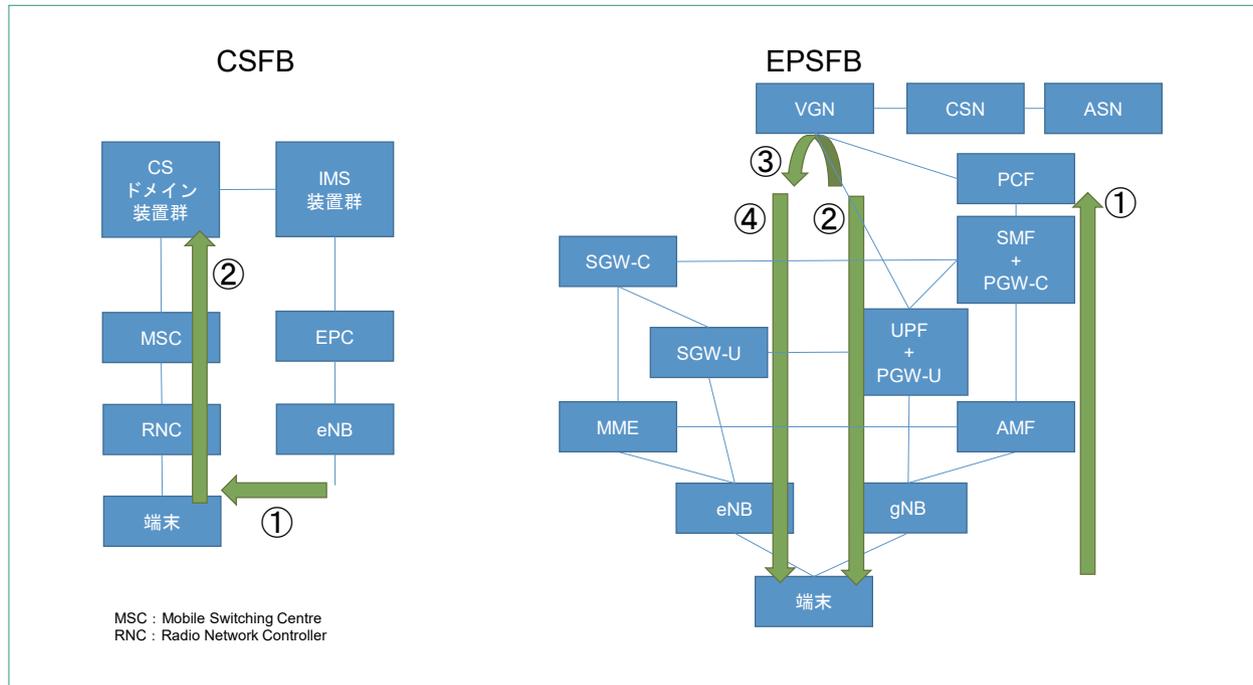


図3 CSFBとEPSFBの比較

### 3. 音声通話関連技術

#### 3.1 EPSFB

EPSFBとは、5GS (5G System)<sup>\*17</sup>で待受けもしくは通信中の端末をEPSに移動させ、LTEにて音声を提供する方式である。最新世代の5GCおよびNRを用いる5GSから、前世代のEPCおよびLTEを用いるEPSに切り替える（フォールバックする）ため、EPSFBと呼ぶ。3GPP TS23.502 [3] の4.13.6.1章をベースにTS23.228 [4], TS29.512 [5] についても考慮したEPSFBの処理シーケンスの概要を図4①～⑩に示す。以下、各手順での処理の概要を述べる。①発信側の端末から発信側のVGN (VoLTE Gateway Node)<sup>\*18</sup>に対してSIP (Session Initiation Protocol)<sup>\*19</sup>\_INVITE<sup>\*20</sup>信号を送信し、②VGNは位置情報取得を実施する。③位置情報にて5GS在圏を確認した後、

発信側VGNはPCF (Policy Control Function)<sup>\*21</sup>にDiameter<sup>\*22</sup>\_AA-Request<sup>\*23</sup>信号を送信する。同時に、発信側のCSN (Call Session control Node)<sup>\*24</sup>を通じて着信側の装置にSIP\_INVITE信号を送信する。④PCFからの指示で、SMF (Session Management Function)<sup>\*25</sup>, UPF (User Plane Function)<sup>\*26</sup>, gNB (next generation NodeB)<sup>\*27</sup>において、音声通話のための仮想伝送路 (QoS Flow<sup>\*28</sup>) の生成のため、PDU (Protocol Data Unit) session<sup>\*29</sup> modification動作を開始する。⑤音声通話と判断したgNBが、AMF (Access and Mobility management Function)<sup>\*30</sup>に対してEPSFBを要求。⑥AMFからSMFに対して、EPSFB実施のため、PDU session modificationの保留を要求し、⑦端末がEPSへのハンドオーバーを行う。その後、⑧端末からの位置登録 (TAU (Tracking Area Update)<sup>\*31</sup>) を契機に、⑨

\*16 VoNR : 前世代の4Gに依存せず、第5世代移動体通信の無線技術NRおよび5GC単独で音声通話を提供する方式。

\*17 5GS : 5GCおよびgNBを合わせた第5世代移動通信システム。5GS在圏は、5GSを利用している状態。

\*18 VGN : VoLTEでの音声通話を制御する装置で、3GPP標準のP-CSCFおよびIMS-AGW相当の動作をするドコモの装置。

\*19 SIP : IMSのアプリケーションサービスにおいて、音声、映像やテキストの交換などのために必要なセッションの開始、変更、終了を行う標準プロトコル。

\*20 INVITE : SIPの信号の1つであり、接続要求を行うための信号。

\*21 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。

\*22 Diameter : 認証や認可を行う標準プロトコル。

\*23 AA-Request : Diameterの信号の1つであり、認証および認可要求を行うための信号。

\*24 CSN : CS-IP NWにおいて、セッション制御を実施するノード。IMSの標準アーキテクチャ上では、I/S-CSCF (Interrogating/Serving-Call/Session Control Function) に相当する。

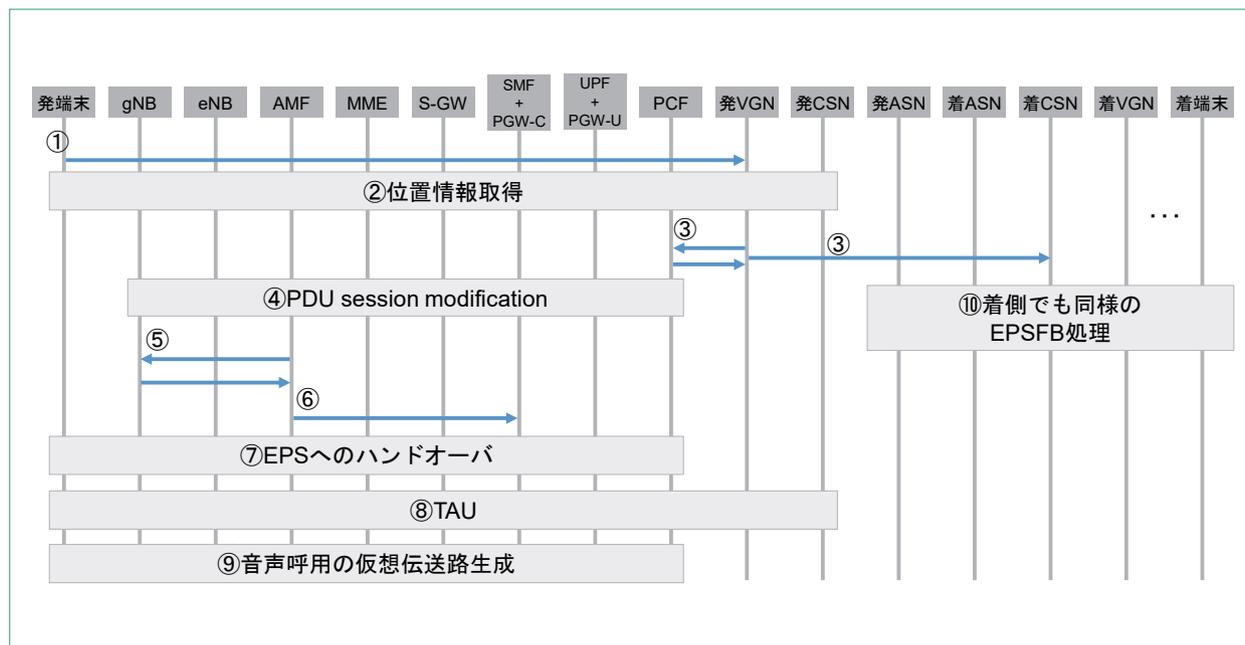


図4 EPSFB処理シーケンス

音声通話のための仮想伝送路（QoS Flow/Dedicated Bearer<sup>\*32</sup>）を生成する。⑩着信側も5GSに在圏している場合は、④から⑨までの処理を並行実施する。

上記のとおり、VoLTEと比較し5GSからEPSにフォールバックする手順が追加で必要となるため、EPSFBの接続処理時間はVoLTEの接続処理時間より大きくなる。そこでドコモでは、発信側のEPSFB後に着側でEPSFBするという動作を変更し、手順③にて着信側にSIP\_INVITEを送ることで、発信側と着信側の並列処理を実現し、EPSFBの接続処理時間短縮を実現した。

## 3.2 QoS制御

サービスを特定の品質で届ける際に必要となる機能の総称がQoS制御と呼ばれるものである。4Gにおいても同様のものがあったが、5GC/5G SAでは以下の通り、大きく2つの変更点がある。

(1) flow based

変更点の1つはflow basedと呼ばれる方式に変わったことである。4Gでは、必要となるQoS特性をeNBも含めたネットワーク全体で実現する際に、Bearer/セッション<sup>\*33</sup>単位で単一のQCI（Quality Class Identifier）<sup>\*34</sup>を付与していた。そのため、同一のAPNに対して複数のQoS特性のパケットを転送する際には、別なBearer/セッションを生成する必要があった。さらに、Bearer/セッションは、IPアドレスとポート番号の組合せなどの宛先単位で生成されるため、同一QCIのBearerが複数生成されることがあった。

5GC/5G SAでは、QCIは5QI（5G network Quality of service class Identifier）という名称に代わり、Bearer/セッション単位ではなくQoS Flow単位での付与となった（図5）。加えて、QoS FlowにはQFI（QoS Flow Identifier）という識別子が設定される。

\*25 SMF：PDU Sessionを管理し、QoSやポリシーの実施などのためにUPFを制御する5Gコアネットワーク内の機能。EPCにおけるSGW-C/PGW-Cに相当する。

\*26 UPF：5Gコアネットワークのネットワーク機能の1つ。ユーザパケットのルーティングおよび転送、パケット検査、QoS処理を担う機能。

\*27 gNB：第5世代移動体通信の無線技術NRにおける無線基地局。

\*28 QoS Flow：QoS単位に生成される仮想伝送路。

\*29 PDU session：UEとデータネットワーク間のデータのやり取りを行うための仮想的な通信路。

\*30 AMF：5Gコアネットワークにおいて、基地局（gNB）を取容し、モビリティ制御などを提供する論理ノード。

\*31 TAU：端末の位置登録情報を更新する処理。

\*32 Bearer：用途ごとに生成される仮想伝送路。Bearerのうち、Defaultでなく、用途が限定されるものをDedicated Bearerと呼ぶ。

\*33 セッション：U-Planeにおいてデータのやり取りを行う仮想的な通信路、通信路でやり取りされるデータ、およびその通信路に関してC-Planeでやり取りされる管理情報などのメタデータを含めた総称。

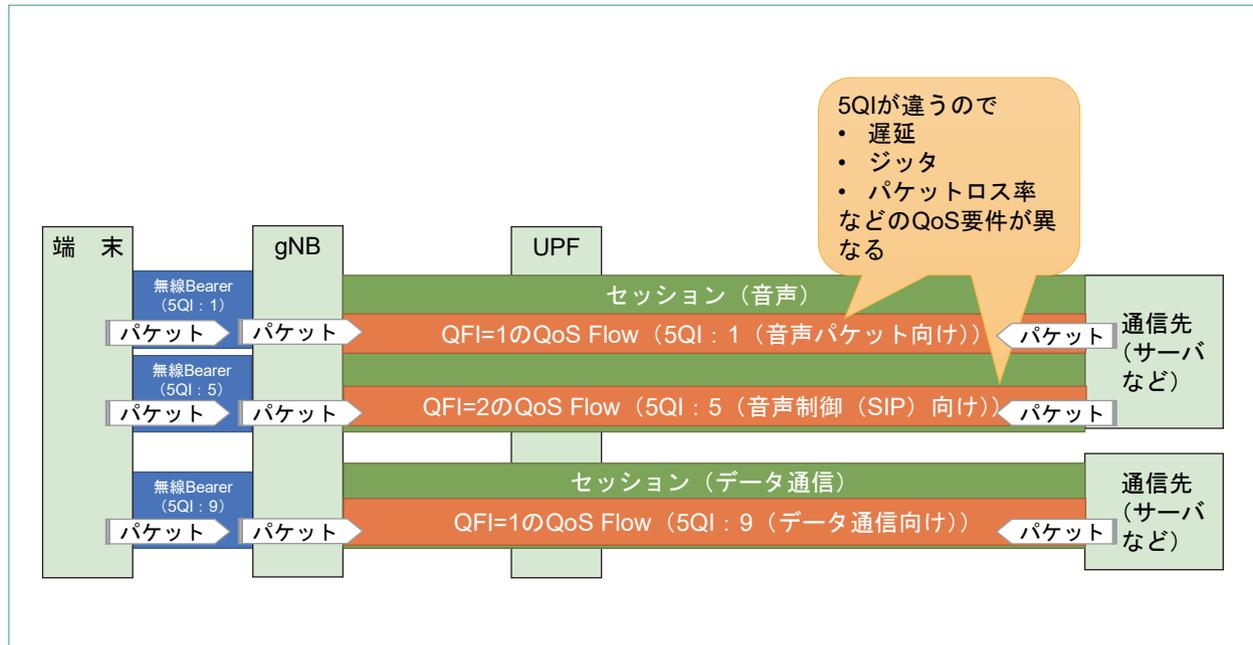


図5 QoS Flowおよび5QIによるQoS制御

5GCのNFは、QFIによってそのパケットがどのQoS Flowに属するか識別し、QoS Flowごとに設定された5QIのQoS要件に従ってパケットを処理する。これにより同一のDNN (Data Network Name)<sup>\*35</sup>に対して複数のQoS特性のパケットを転送する際に別なセッションを作成せず、同一セッション内で複数のQoSを付与することが可能となった。また、QoS要件が同じ場合は、IPアドレスとポート番号の組合せなどの宛先が異なっても単一のQoS Flowに集約することが可能となった。

4Gでは、無線BearerとコアネットワークのBearerは常に1対1で構成されていたが、5GC/5G SAでは1つのセッションに対して複数の無線Bearerを保持することが可能となる。

5QIは、QCIと同様に特性が3GPP標準仕様として規定されている1~127、オペレータに裁量が任されている128~254の2つのグループから構成される。

音声通話などで用いられる代表的な5QIを表1に示す。

1~127のグループは、ローミング<sup>\*36</sup>を考慮し、ユーザがほかのオペレータが運用しているネットワークへローミングした際にも、一定品質のサービスが提供されるように規定されている。その中には音声パケット用として割り当てられている1やベストエフォートパケット通信に割り当てられている9などがある。

特に、GBR (Guaranteed Bit Rate)<sup>\*37</sup>については明確に規定されている。これは、ネットワーク全体のリソース設計、特に有限のリソースである無線区間の制御に大きな影響があるためである。そのためGBRの使用用途は必要最低限に規定されている。ただし、オペレータによってはビジネス上の都合や、法令上の都合によって標準規定されている範囲では対応しきれないユースケースも発生する。その際には、オペレータの裁量に任されている範囲 (128~

\*34 QCI：3GPPで規定されている。LTE/EPCにおけるBearerのQoSクラスのこと。

\*35 DNN：端末の通信先。

\*36 ローミング：利用者が契約している通信事業者のサービスエリア外でも、提携事業者のサービスエリア内であれば、契約している事業者と同様のサービスを利用できる仕組み。

\*37 GBR：ビット速度が保証されていること。

表1 5QIごとのQoS要件

5QI	リソース確保方式	優先度*	遅延時間	エラー率	用途
1	GBR	20	100ms	10 <sup>-2</sup>	音声パケット
2		40	150ms	10 <sup>-3</sup>	ビデオパケット
5	Non-GBR	10	100ms	10 <sup>-6</sup>	音声制御 (SIP)
8		80	300ms	10 <sup>-6</sup>	ビデオパケット
9		90	300ms	10 <sup>-6</sup>	データ通信

※数字が小さいほど優先度が高いことを示す。

254) を使い、各オペレータ独自のQoS特性を設計する。

#### (2) Reflective QoS

もう1つの変更点はReflective QoSである。これはダウンリンクパケットで受け取ったQoSパラメータを基に端末側でルールを作成し、そのルールに当てはまるパケットに特定のQoSを適用するというものである。4Gの場合は何らかの方法でQoSルール、例えばアップリンクのパケットフィルターなどを端末まで届ける必要があった。一方、本機能ではUPFからのダウンリンクパケットのヘッダにQoSルール情報を付与することが可能となり、端末がルールを取得、もしくはネットワークがルールを送信するための制御信号が不要となり、ネットワークの負荷軽減に貢献している。

## 4. 重要通信の確保と緊急通報

### 4.1 重要通信の考え方

標準仕様において、ミッションクリティカル<sup>\*38</sup>通信や警察消防などへの緊急通報などを判定し、一般通信と異なる制御が可能な機能が規定されている。本規定では、特殊な通信について各国地域の規定や通信事業者ポリシーおよびベンダの製品仕様に応じ

て、優先的に処理することや、発信規制などの対象外とすることが可能である。

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

### 4.2 重要通信を判断する技術

重要通信判定のシーケンスイメージを図6に示す。モバイルネットワークでは、gNBと各コアネットワーク装置が連携して通信を提供することから、各装置で重要通信であることを把握する必要がある。重要通信の判定に用いる要素は主に2種類あり、契約情報とSIM (Subscriber Identity Module)<sup>\*39</sup>に含まれるパラメータをそれぞれ使用する。

なお、緊急通報は、発端末の属性に依存せず発呼されるため、発呼時の情報から都度判定を行う。

\*38 ミッションクリティカル：サービスを継続的に提供できることが極めて重要であり、障害などによる中断が許されない、あるいは非常に大きな損害になり得るシステムを指す。

\*39 SIM：携帯電話の契約情報を記録したICカード。

(1) プロシージャ\*40初期における重要通信の判定

プロシージャ初期における重要通信の判定パラメータ例を表2に示す。各プロシージャの初期

フェーズにおいては、gNBやAMFは加入者の契約情報を保持していないケースが存在する。このためプロシージャの開始時に契約情報に基づく重要通信

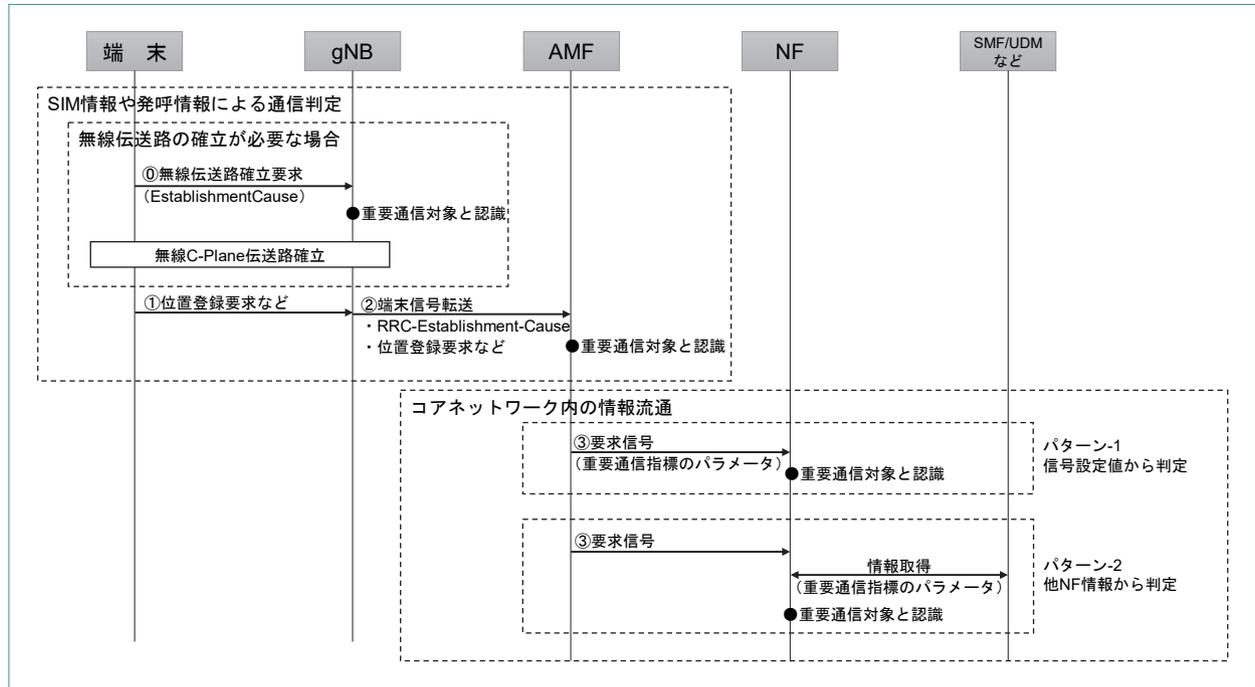


図6 優先制御のシーケンスイメージ

表2 プロシージャ初期における重要通信の判定パラメータ例

パラメータ名	プロトコル	説明
Establishment Cause	RRC	端末と基地局間の接続確立時に端末が通知する値であり、接続確立のきっかけとなった情報を示す。SIMに優先情報が設定されている場合、HighPriorityAccessが設定される。緊急通報の場合、Emergencyが設定される。
RRC-Establishment-Cause	NGAP	RRCで通知されたEstablishment Causeを同様に設定する。
5GS Registration Type	NAS	端末は緊急通報に起因する位置登録を実施する場合、emergency registrationを設定する。
Request Type	NAS	端末は緊急通報を発呼する場合、initial emergency requestを設定する。緊急通報発呼中であればexisting emergency PDU sessionを設定する。
Service Type	NAS	SIMに優先情報が設定されている場合、high priority accessが設定される。緊急通報に起因する場合はemergency services, emergency services fallbackのいずれかを設定する。

NGAP : Next Generation Application Protocol  
 NAS : Non-Access-Stratum

\*40 プロシージャ：基地局間や基地局 - コアネットワーク間、基地局 - 端末間における信号処理手順。

の判定を行えないリスクがある。これに対応するため、まずgNBとAMFは端末の送信した要求信号に基づき重要通信対象か判定を行う。端末はSIMに設定されたAccessClassと呼ばれる指標に基づき、無線伝送路確立要求信号のEstablishmentCauseに“highPriorityAccess”などのパラメータを設定することで、gNBに対して自身の通信が重要通信対象であることを伝える [6]。

一方、緊急通報の場合は、重要通信の指標とは異なる値である“emergency”をEstablishmentCauseに設定することでgNBに伝える。

gNBはEstablishmentCauseを参照することで、重要通信もしくは緊急通報として制御可能になる。

AMFが重要通信もしくは緊急通報であることを判定する方法は2種類あり、無線伝送路確立処理が行われたか否かで変わる。

発呼に伴い無線伝送路確立処理が行われた場合、gNBはEstablishmentCauseを把握できているためRRC (Radio Resource Control) \*41-Establishment-CauseとしてマッピングしAMFに通知する [7]。AMFは受信したRRC-Establishment-CauseをgNB同様に参照することで、重要通信もしくは緊急通報であることを判断可能である。

直前に無線伝送路確立処理が行われていない場合、

端末がAMFに対して送信した位置登録信号などに設定された各種パラメータを参照して判断する。

(2)コアネットワーク内における重要通信の判定

コアネットワーク内で流通する重要通信の判定パラメータ例を表3に示す。5GCの各NFは2種類の方法で重要通信であることを認識可能である。1点目は、重要通信であることを把握しているNFが、対向するNF側に要求信号を用いて重要通信対象適否を伝える方法である (図6パターン-1)。2点目は、NF自身が契約情報および緊急セッション有無を管理するサービスに問い合わせる方法である (図6パターン-2)。

(a)NF同士の要求信号を用いた伝達

1点目のNF間で重要通信であることを伝える方法について、手法は大きく2種類存在する。プロトコルのヘッダを用いて通知する方式と、プロトコルで規定されたパラメータを用いて通知する方式である。各プロトコルのMessagePriorityの特徴を表4に示す。

プロトコルのヘッダを用いるケースとしてGTPv2 (GPRS Tunneling Protocol version 2) \*42-C, PFCP (Packet Forwarding Control Protocol) \*43, HTTP (HyperText Transfer Protocol) \*44が考えられる。これらのプロトコルに

表3 コアネットワーク内で流通する重要通信の判定パラメータ例

パラメータ名	関連プロトコル	説明
ARP	NGAP, GTPv2-C, HTTP (SBI)	該当呼のリソース確保およびリソース保持の優先度に関する指標を設定する。
mcsPriority	HTTP (SBI)	ミッションクリティカル通信の指標。
mpsPriority	HTTP (SBI)	マルチメディア向けの優先制御を行う際に設定する指標。
MessagePriority	GTPv2-C, PFCP	各プロトコルのヘッダに存在するパラメータであり、信号の優先度を示す。
3gpp-Sbi-Message-Priority	HTTP (SBI)	SBIにおける信号の優先度を示す。

\*41 RRC：無線ネットワークにおける無線リソースを制御するレイヤ3プロトコル。

\*42 GTPv2：ユーザデータの伝送を行うために利用される、コアネットワーク内での通信経路設定およびデータ転送などの機能を提供する通信プロトコル。

\*43 PFCP：Sx参照点で用いられるC-Planeプロトコル。SGW-C/PGW-C/SMFはSGW-U/PGW-U/UPFに対してPFCPを用いてパケット制御方法を指示する。

\*44 HTTP：WebブラウザとWebサーバの間で、HTML (HyperText Markup Language) などのコンテンツの送受信に用いられる通信プロトコル。

表4 各プロトコルのMessagePriorityの特徴

プロトコル	設定可能値	未設定時の扱い	優先度の考え方
GTPv2-C	0~15	オペレータポリシーに準ずる	値が小さいほど高優先
PCF	0~15	オペレータポリシーに準ずる	値が小さいほど高優先
HTTP (SBI)	0~31	24として解釈する	値が小さいほど高優先

はMessagePriorityというフィールドが規定されている。PCFとGTPv2については、標準上の規定が類似しており、プロトコル間のマッピングも容易である [8] [9]。しかし、HTTPはPCF、GTPv2-CとMessagePriorityでの設定可能な値や未設定時の扱いが異なるため注意が必要である [10]。例えば、PDUセッションを新規確立する場合、AMFがSMFにセッション確立のためHTTPによる要求信号を送信し、それを受けたSMFはUPFに対してPCFを用いてセッション確立を要求する [11]。このようにプロシージャで取り扱うプロトコルは複数種類にまたがることから、MessagePriorityは関連プロトコルで共通設定可能な0~15の範囲で運用するなどの考慮が必要である。

一方でプロトコルヘッダを用いないプロトコルで規定されたパラメータを用いる方法ではマッピングの整理は基本的に不要である。重要通信に関連するパラメータとして、ARP (Allocation and Retention Priority)<sup>\*45</sup>やmcsPriorityなどが存在するが、これらが扱える値の範囲はどのプロトコルでも基本的に同一であるためである。しかし、表3では重要通信を示す用途で使用可能なパラメータを記載しただけであり、厳密なパラメータの意味は考慮が必要である。例えばARPであればリソースの確保優先度を示すパラメータとなるため、直接重要通信を示

すものではない点に注意が必要である。

プロトコルヘッダとプロトコルパラメータのどちらを活用する場合においても、オペレータポリシーおよびベンダ製品仕様に基づいて調整を行う必要がある。

#### (b)NFによるサービスへの問合せ

2点目の、NF自身が契約情報やセッション情報を管理するサービスに問い合わせる方法については、SBI (Service Based Interface)<sup>\*46</sup>の特性を活かすことで容易に実現が可能である。SBIはマイクロサービスアーキテクチャ<sup>\*47</sup>を採用し各NFが提供するサービスを相互利用できることから、任意のタイミングで加入者情報にアクセス可能である。これは、EPCをはじめとした従来のプロトコル規定では実現が難しい5GC固有の技術といえる。当該通信が重要通信対象呼であるかを判定するにはUDM (Unified Data Management)<sup>\*48</sup>にNFが問合せを行い、緊急通報に起因するかを判定するにはAMF/SMFにNFが問合せを行う [12] [13]。ただし、本手法では標準で規定されたプロシージャ以上のやり取りが必要なため、オペレータ固有の処理となるリスクがある。さらに、LTE在圏時であればEPCに接続しているため、SBIを使用できないことからこの手法は使用できない。

1点目と2点目の評価基準として、技術難度と信号

\*45 ARP：4Gおよび5Gのコアネットワークにおける、加入者の優先度を示すパラメータ。1~15までであり、数字が若いほど優先度が高いことを示す。

\*46 SBI：5GCで制御装置間の通信に導入された統一的なインタフェース。HTTP/2を通信プロトコル、JSON (JavaScript Object Notation) をデータ記述言語としたRESTful API (Application Programming Interface) をもつことが特徴である。

\*47 マイクロサービスアーキテクチャ：アプリケーションを構成する要素をマイクロサービスと呼ばれる小さな単位に分離し、機能間の独立性を高める考え方。

\*48 UDM：5GCにおける加入者データ、移動機の在圏情報、セッション情報などの格納や情報提供を行う情報管理装置。

量の2つの軸が挙げられる。技術難度の観点では、1点目の技術は、NF間における重要通信の判定に使用するパラメータの合意およびプロトコル間のマッピング条件の検討が必要なため、2点目と比較して難易度が高いといえる。一方で、信号量に着目すると、2点目は各NFが都度問合せを行う必要があることから、それに要する負荷とネットワーク内の信号量が増加するデメリットがある。このため、装置の諸元やプロトコルの適用領域を踏まえて、重要通信に関する情報の流通方法を適切に選択することが必要である。

### 4.3 緊急通報の提供方式

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

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

どちらの方式も緊急通報自体の提供はEPS在圏で

行われる。両者の違いは5GSに在圏している場合に、ネットワークがEPSへ遷移を促すのか、端末が自律的に遷移するのかわである。ネットワークがどちらの方式に対応しているかを、位置登録 (Registration)<sup>\*49</sup>の際にネットワークが端末に通知する。端末は、ネットワーク接続中は通知された方式を保持し、緊急通報時にそれぞれの方式に応じた動作を実行する [14]。

#### (1)ES-FB

緊急通報の提供がEPS在圏のみであり、かつ5GSに在圏している場合に、ネットワーク側からEPSへの遷移を促す方式である。3GPP標準ドキュメントTS23.502の4.13.4章に記載がある [3]。

ES-FB方式の動作概要を図7に示す。動作シーケンスとしては下記のとおりである。

- ①端末が緊急通報のためにIMS Emergency Sessionの確立をAMFに対して要求する。
- ②AMFからgNBに対してES-FBを要求する。
- ③NR無線からLTE無線へのハンドオーバーを実施する。5GCがIMS Emergency Sessionの確立に対応していない場合、コアネットワーク装置を

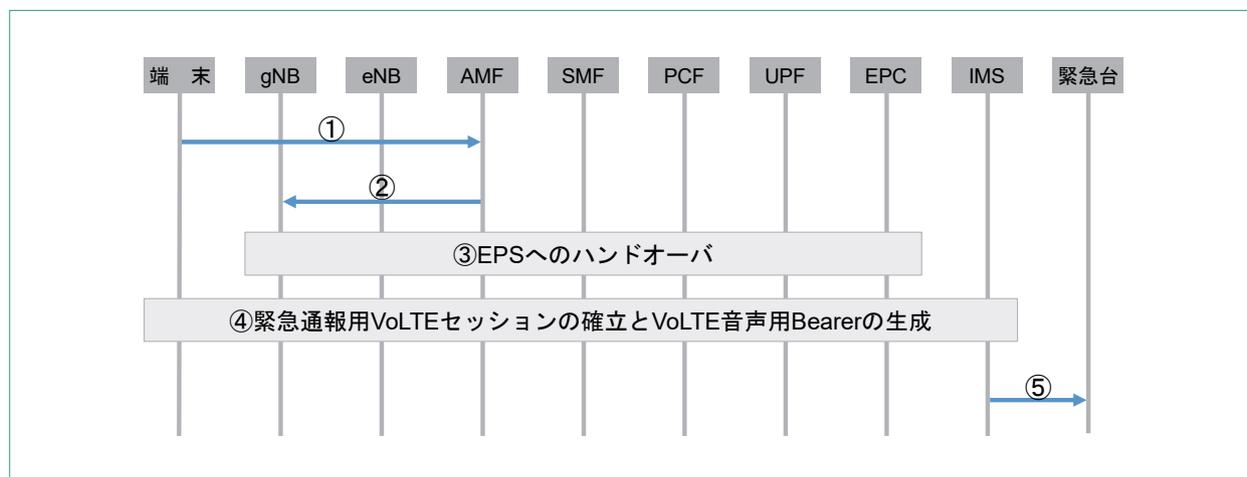


図7 ES-FB方式動作概要

\*49 位置登録 (Registration) : 5Gにおいて、移動端末が現在の位置情報をUDMに登録すること。

5GCからEPCへ切り替える。

- ④コアネットワーク装置をEPCに切り替えた場合はVoLTE同様、EPSとIMSの連携による緊急通報用VoLTEセッション（IMS Emergency Session）の確立および音声用Bearerの確立を行う [15]。コアネットワーク装置が5GCの場合は、5GCとIMSの連携によるIMS Emergency Sessionの確立および音声用QoS Flowの確立を行う。

- ⑤固定電話網との相互接続などを介してIMSと緊急台\*50との接続を行う。

#### (2)端末の自律EPS遷移 (N1mode-disable)

緊急通報の提供がEPS在圏のみであり、5GCがES-FBに対応していない場合、端末は緊急通報のためのIMS Emergency Sessionの開始をする際に、自律的にEPSに遷移する。その際、ネットワークに向けては、一時的に端末能力がSA能力無しとなった旨を通知する (N1mode-disable) [14]。

EPS遷移後はES-FBの図7④以降の動作を実施する。ES-FB方式と比較し、緊急通報発信までの動作時間が短いことから、ドコモは本方式を採用している。

## 5. あとがき

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

今後はNR単独で音声通話を実現するVoNRなど、5G SA方式の音声通話関連技術や、QoS制御の音声

通話以外への適用などの技術の検討を通して、モバイルネットワークのさらなる発展に寄与していく。

### 文献

- [1] 田中, ほか: “LTEと3G回線交換サービスの連携を実現するCS Fallback機能,” 本誌, Vol.17, No.3, pp.15-20, Oct. 2009.
- [2] 青柳, ほか: “産業創出・ソリューション協創に向けた5G高度化技術” 本誌, Vol.28, No.3, pp.65-81, Oct. 2020.
- [3] 3GPP TS23.502 V15.16.0: “Procedures for the 5G System (5GS),” Jun. 2022.
- [4] 3GPP TS23.228 V15.5.0: “IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2,” Dec. 2021.
- [5] 3GPP TS29.512 V15.11.0: “5G System; Session Management Policy Control Service; Stage 3,” Jun. 2021.
- [6] 3GPP TS38.331 V15.18.0: “NR; Radio Resource Control (RRC) protocol specification,” Jun. 2022.
- [7] 3GPP TS38.413 V16.10.0: “NG-RAN; NG Application Protocol (NGAP),” Jun. 2022.
- [8] 3GPP TS29.244 V15.10.0: “Interface between the Control Plane and the User Plane Nodes; Stage 3,” Sep. 2020.
- [9] 3GPP TS29.274 V15.9.0: “Evolved General Packet Radio Service (GPRS) Tunnelling Protocol for Control plane (GTPv2-C); Stage 3,” Sep. 2019.
- [10] 3GPP TS29.500 V15.7.0: “5G System; Technical Realization of Service Based Architecture; Stage 3,” Sep. 2020.
- [11] 3GPP TS29.502 V15.10.0: “5G System; Session Management Services; Stage 3,” Mar. 2021.
- [12] 3GPP TS29.503 V15.10.0: “5G System; Unified Data Management Services; Stage 3,” Dec. 2021.
- [13] 3GPP TS29.518 V15.13.0: “5G System; Access and Mobility Management Services; Stage 3,” Mar. 2022.
- [14] 3GPP TS24.501 V15.7.0: “Non-Access-Stratum (NAS) protocol for 5G System (5GS),” Jun. 2022.
- [15] 徳永, ほか: “新たな音声サービスを実現するVoLTEの開発,” 本誌, Vol.22, No.2, pp.7-23, Jul. 2014.

\*50 緊急台: 110番・119番などの緊急通報を受ける緊急機関の総称。警察や消防などを指す。

# 5G SA方式に対応した無線基地局装置の開発

無線アクセス開発部

さいとう  
齊藤けいすけ  
敬佑ながしま  
長嶋れい  
嶺ほしざき  
星崎ゆうや  
祐哉

R&amp;D戦略部

うの  
宇野のぶかず  
暢一

ドコモは2020年3月にNSA方式で5G商用サービスを開始し、さらに5G専用のコアネットワーク設備である5GCと5G無線基地局を組み合わせた「5G SA方式」を2021年12月に商用サービス開始した。

本稿では、5G SA方式の商用サービスを提供するために実施した5G無線基地局装置の開発内容について解説する。

## 1. まえがき

ドコモは、2020年3月に4G/5Gの無線装置と4Gのコアネットワーク\*1装置を連携したNSA (Non-Standalone)\*2方式により、5Gサービスの提供を開始した。NSA方式では、需要の高いエリアなどを中心に、5Gシステムの特長の1つである「高速・大容量」のサービス展開を行ってきた。「高速・大容量」に加え、その後さらに「高信頼・低遅延」「多数端末同時接続」にも対応したネットワークサービ

スを提供するため、5G SA\*3方式の商用サービスの提供を2021年12月から開始した。本5G SA方式の導入に伴い、ネットワークスライシング\*4によるアプリケーションを意識した柔軟なサービス提供、モバイル・エッジ・コンピューティング (MEC: Mobile Edge Computing)\*5による低遅延サービスの提供などの新たな産業創出を実現していく。

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

©2023 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 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。

\*2 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。

\*3 SA：スタンドアロン方式。端末が単独の無線技術を用いて移動通信網に接続する形態。

いて解説する。

## 2. システム構成

5Gサービスを実現するRAN（Radio Access Network）\*6システムの構成について解説する。

### 2.1 NSAシステム構成

2020年3月に提供を開始した5G商用サービスは、NSA方式を採用している。NSA方式とは、gNB（next generation NodeB）\*7装置のみではエリア提供せず、eNB（evolved NodeB）\*8装置をアンカー\*9として利用し、サービスを提供する形態である。図1に示すように、NSA方式運用では、eNBはNR（New Radio）\*10を提供するgNBとはX2\*11インタフェースを用いて接続され、またeNBとgNBは、EPC（Evolved Packet Core）\*12とS1\*13インタフェースを用いて接続される。NSA方式に関する技術的な概要は、文献 [1] を参照されたい。

### 2.2 SAシステム構成

2021年12月よりドコモは、SA方式に対応した5G商用サービスを法人顧客ユーザ向けに導入し、さらに2022年8月にコンシューマユーザ向けに高速化や音声対応などの機能を追加した。ドコモではSA方式として、無線装置gNBとSA方式専用のコアネットワーク（5GC：5G Core network\*14）のみでサービス提供をするネットワーク構成（Option2アーキテクチャ）を採用している。Option2アーキテクチャなどのネットワークアーキテクチャに関する技術的な概要は、文献 [1] を参照されたい。

図2に示すように、ドコモで採用しているgNB - gNB間はXn\*15インタフェースを用いて接続し、gNB - 5GC間はNG\*16インタフェースを用いて接続する。

図1、2では、NSA方式とSA方式の構成図を解説

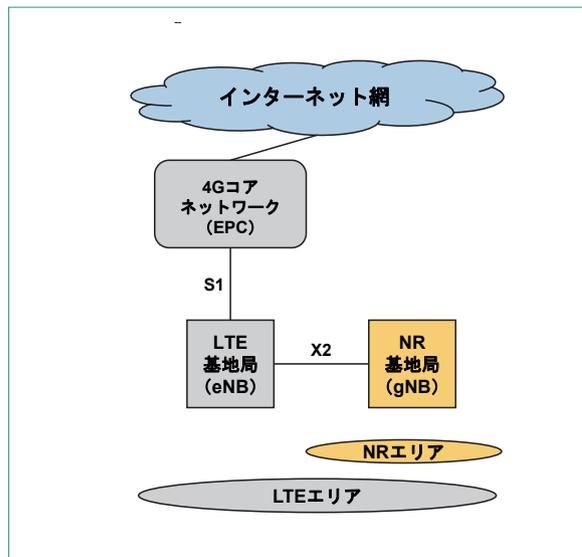


図1 NSA方式

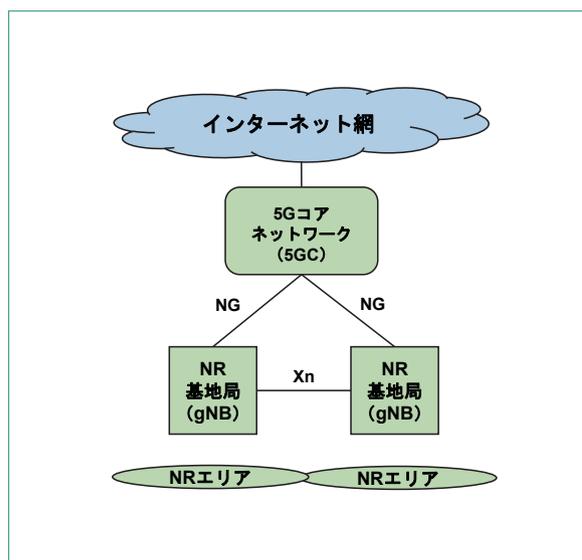


図2 SA方式

するため、便宜上分けた記載としているが、実際のドコモ商用ネットワーク運用では、1つのgNB装置にてNSA方式とSA方式双方を運用するため、実運用を踏まえた5Gネットワーク構成は図3となる。なお、gNB装置でのSA機能対応にあたっては、新規

\*4 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。

\*5 モバイル・エッジ・コンピューティング（MEC）：移動通信網において、ユーザにより近い位置にサーバやストレージを配備する仕組み。低遅延により、リアルタイム性の高いサービス提供が可能となる。

\*6 RAN：コアネットワークと移動端末の間に位置する、無線レイ

ヤの制御を行う基地局などで構成されるネットワーク。

\*7 gNB：5Gの無線方式に対応した無線基地局。

\*8 eNB：LTEの無線方式に対応した無線基地局。

\*9 アンカー：制御信号もしくは、ユーザベアラの切替え基点となる論理的ノード地点。

\*10 NR：3GPP Release15で規定された基地局（gNB）と端末（UE）間の無線インタフェース。

\*11 X2：3GPPで定義されたeNB間のリファレンスポイント。

ハードウェア導入は不要であり、ソフトウェアアップデートのみで対応可能である。

### 3. 「高速・大容量」に寄与する機能の導入

スマートフォン対応5G SA方式のサービス開始に

伴い、ドコモでは「高速・大容量」に寄与する機能をあわせて導入することで、高速・大容量化を実現した(表1)。以下では導入した主な3つの機能に関して解説する。なお、今後はNSA方式と比較してSA方式の拡張に、より注力する方針の下、タイムリーに「高速・大容量化」関連機能を開発／導入することでモバイルネットワークのいち早い高度化、

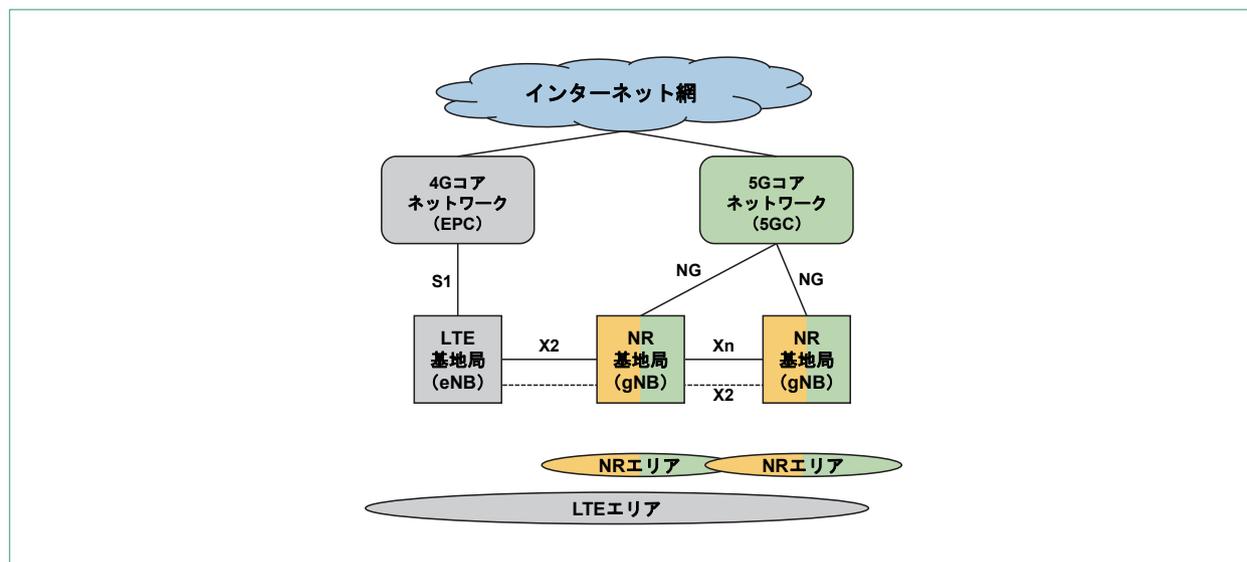


図3 5G NW運用 (NSA方式/SA方式)

表1 NSA方式/SA方式の諸元

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

※1 スマートフォン対応「5G SA方式」サービス開始前時点

※2 LTEとNRの合計

※3 スマートフォン対応「5G SA方式」サービス開始にあわせ256QAMに拡張

\*12 EPC: LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された第4世代のIPベースのコアネットワーク。

\*13 S1: EPCとeNB間のインタフェース。

\*14 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。

\*15 Xn: gNB間のインタフェース。

\*16 NG: 5GCとgNB間のインタフェース。

ならびにお客様体感の向上に繋げていく。

### 3.1 3.7GHz帯／4.5GHz帯と、28GHz帯の Aggregation (NR - DC方式への対応)

5G NSA方式では、LTE運用の周波数と、NR運用の周波数をDC (Dual Connectivity)<sup>\*17</sup>にて組み合わせるEN-DC (EUTRA-New Radio DC)<sup>\*18</sup>により、LTE/LTE-Advanced<sup>\*19</sup>と比較して高速・大容量化を実現し、これにより、3.7GHz帯と4.5GHz帯との組合せで下り最大4.2Gbps、28GHz帯の使用で上り最大480Mbps (LTEとNRの合計) のサービスを提供している (スマートフォン対応5G SA方式サービス開始前時点)。ドコモは2022年8月のスマートフォン対応5G SA方式サービスの開始にあたり、SAサービスにおける高速・大容量通信を実現するため、3.7GHz帯もしくは4.5GHz帯と、28GHz帯を束ねて同時通信を実現する技術としてNR-DC<sup>\*20</sup>を世界で初めて商用ネットワークに導入した (図4)。

複数の周波数を束ねて広帯域化を実現する技術としては、DCのほかにCA (Carrier Aggregation)<sup>\*21</sup>

があり、LTE/LTE-Advancedや5G NSA方式の高速化 (3.7GHz帯と4.5GHz帯のDL (Down Link) CA) でも導入されている。一方で、3.7GHz帯／4.5GHz帯と28GHz帯は、電波の伝搬特性が異なる点に起因してサブキャリア間隔<sup>\*22</sup>やスロット<sup>\*23</sup>長が異なり、より周波数間で密な連携制御が要求されるCAとの親和性が低い。これらの点をかんがみした結果、DCを導入する結論に至った。NR-DCの導入により、3.7GHz帯および4.5GHz帯で100MHz幅、28GHz帯で400MHzを組み合わせた最大500MHz幅の広帯域通信を実現し、ピークレート向上および大容量化を実現している。

### 3.2 上りリンクMIMO方式の拡張 (2×2 UL MIMO)

上り通信に用いるPUSCH (Physical Uplink Shared Channel)<sup>\*24</sup>に関して、NSA方式では3.7GHz帯および4.5GHz帯におけるレイヤ数は最大1レイヤであった (LTE：1レイヤ、NR (3.7GHz帯および4.5GHz帯)：1レイヤ)。SA方式では上りリンクの高速化を

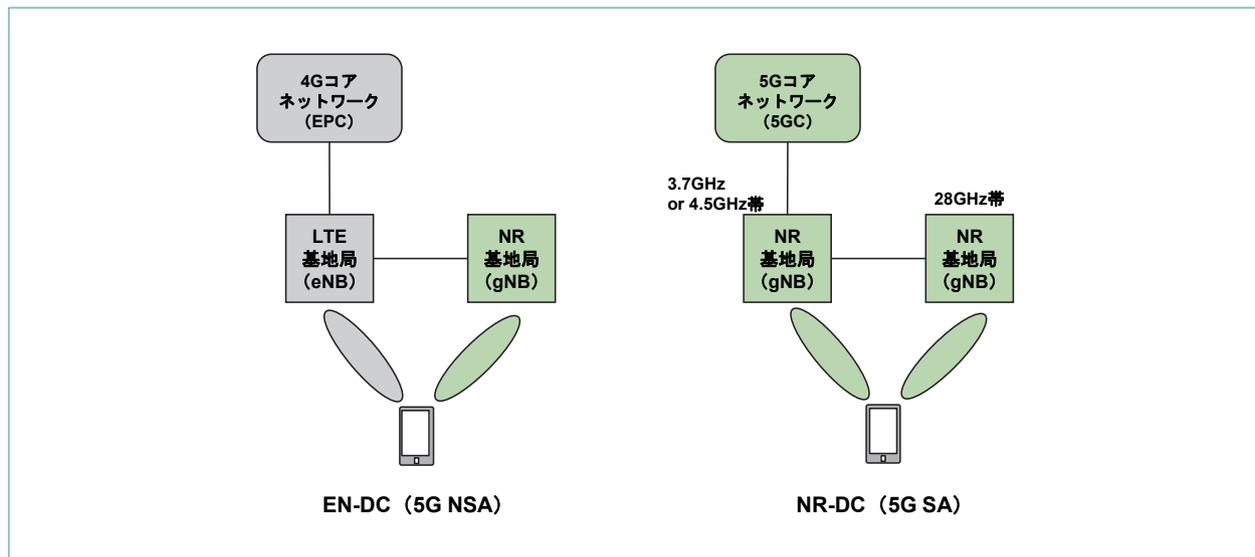


図4 EN-DCとNR-DC

<sup>\*17</sup> DC：複数の基地局に接続し、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。  
<sup>\*18</sup> 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とNRをDCにより束ねて同時通信を実現する。  
<sup>\*19</sup> LTE-Advanced：LTEの発展形無線インタフェースであり、3GPP Release 10として標準化された。  
<sup>\*20</sup> NR-DC：MN (Master Node) とSN (Secondary Node) が2つのNR基地局に接続し、それらの基地局でサポートされる複数

のキャリアを用いて同時に送受信を行うことにより、高速伝送を実現する技術。

<sup>\*21</sup> CA：複数のコンポーネントキャリアを束ねることで広帯域化し、高速通信を可能にする技術。

<sup>\*22</sup> サブキャリア間隔：OFDMなどのマルチキャリア伝送において信号を伝送する個々の搬送波の間隔。

<sup>\*23</sup> スロット：データのスケジューリング単位。複数のOFDMシンボルから構成される。

目的に3.7GHz帯および4.5GHz帯において最大2レイヤの2×2 UL MIMO (Multiple Input Multiple Output)<sup>\*25</sup>を新たに導入する (図5)。

本機能の導入により、3.7GHz帯および4.5GHz帯における上り通信のピークスループットが2倍に向上し周波数利用効率<sup>\*26</sup>も向上する。上り通信の高速化により、動画のアップロードなど、近年ニーズが高まっている上り通信のユーザ体感の向上が期待される。

### 3.3 下りリンク変調方式の拡張 (256QAM)

下り通信に用いるPDSCH (Physical Downlink Shared CHannel)<sup>\*27</sup>の変調方式に関して、28GHz帯において従来は最大64QAM (Quadrature Amplitude Modulation)<sup>\*28</sup>の適用であった。3GPP Rel-16仕様で、28GHz帯の下りリンク256QAMに関する性能が新たに規定されたことを受け、ドコモでは5G SA方式の導入に合わせて本変調方式を導入した。

256QAMの適用によって1サブキャリアあたり最大8ビットを送信することが可能となり、従来の64QAM (1サブキャリアあたり最大6ビット送信)と比較して約1.3倍のピークレート向上を実現する。なお、無線品質に応じて適切な変調方式を選択する必要があり、256QAMの適用は端末から基地局への無線品質の報告値であるCQI (Channel Quality

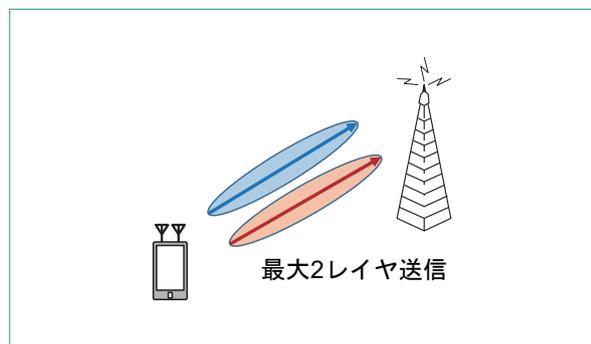


図5 UL MIMO

\*24 PUSCH：上りリンクでデータパケットを送受信するために用いる物理チャネル。

\*25 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。

\*26 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。

\*27 PDSCH：下りリンクでデータパケットを送受信するために用いる物理チャネル。

Indicator)<sup>\*29</sup>に基づいて決定される。

## 4. 5G SAシステムでの呼処理制御の導入

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

NRをアンカーバンドとするため、gNBで端末・コアノード<sup>\*30</sup>との制御信号でのやり取りを行い、これにより待受けやハンドオーバーなどのモビリティ<sup>\*31</sup>や音声、ネットワークスライシングなどの呼処理制御 (Call Processing) を実施する。

呼処理制御では、gNBは標準インタフェースを用いたメッセージにより制御信号を端末・コアノードとやり取りし、各端末の状態管理を実施する。

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

### 4.1 モビリティ

#### (1)待受け制御

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

##### (a)システム報知情報<sup>\*32</sup>配信

5G SAシステムは、LTE同様に端末がセルへの接続手順に必要なシステム情報などの報知情報 (MIB (Master Information Block)<sup>\*33</sup>/SIB (System Information Block)<sup>\*34</sup>) の配信に対応する。また、LTEシステム側でも、SIB24での周辺5G SAセル情報の配信に対応する。

##### (b)ページング配信

5G SAシステムは、LTE同様に、着信時に

\*28 QAM：変調方式の1つであり、振幅と位相の双方を利用して変調する方式。定義されるパターン数に応じて16QAM、64QAM、256QAMなどの種類がある。

\*29 CQI：端末で測定された下りリンクの伝搬路状況を表す受信品質指標。

\*30 コアノード：交換機、加入者情報管理装置などの上位ノード。

\*31 モビリティ制御：端末が移動しても、発着信および通信を継続して提供可能とする制御。

5G SA待受け中の端末を呼び出すページング配信に対応する。

(c)優先待受けシステムの指定

5G SAシステムは、LTE同様に端末の優先待受けRATを指定でき、5G SAシステム優先かLTEシステム優先かを指定する制御に対応する。

また、LTEシステムでも、5G SAシステムのエリアの広さや端末の能力や契約情報に基づいて、端末ごとに待受けRATを制御することに対応する。

(2)ハンドオーバー制御

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

(a)Intra-RATハンドオーバー

5G SAと5G SAのシステム間のハンドオーバーであり、遷移先ノードの別にgNB内ハンドオーバー（図6①）、gNB間ハンドオーバーがある。さらに、gNB間ハンドオーバーにもgNB間の論理イン

タフェースであるXnハンドオーバー（図6②）と、gNBとAMF（Access and Mobility management Function）間の論理インタフェースであるN2により信号処理を行うN2ハンドオーバー（図6③）がある。

(b)Inter-RATハンドオーバー

5G SAとLTEのシステム間ハンドオーバーであり、5G SAからLTE、LTEから5G SAへのハンドオーバーがある（図6④）。gNBとeNB間の論理インタフェースは、gNBとAMF間の論理インタフェースであるN2およびAMFとMME間の論理インタフェースであるN26、MMEとeNB間の論理インタフェースであるS1の3つがあり、これらにより信号処理が行われる。

(3)再接続制御

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

## 4.2 その他の呼制御

(1)音声制御

5G SAサービス開始初期においては、5G SAシス

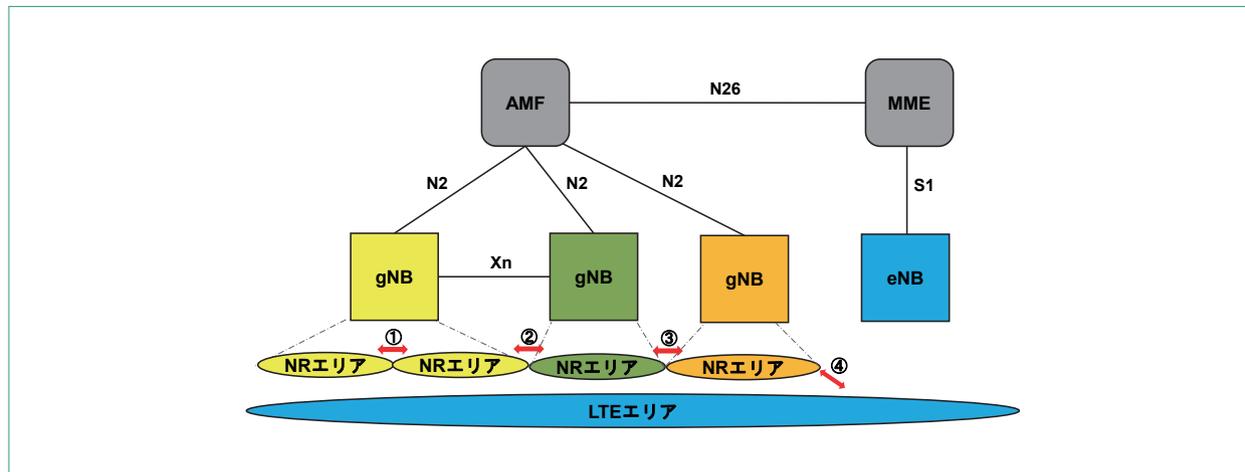


図6 ハンドオーバー制御

\*32 報知情報：移動端末における位置登録要否の判断に必要な位置登録エリア番号、周辺セル情報とそのセルへ在圏するための電波品質などの情報、および発信規制制御を行うための情報などを含み、セルごとに一斉通報される。

\*33 MIB：無線基地局から移動端末へ一斉通報される報知情報を受信するために必要な報知情報であり、cellBarred状態情報や物理層の情報などが含まれる。

\*34 SIB：無線基地局から移動端末へ一斉通報される報知情報は、

無線ブロックに分割されており、そのブロック単位を示す。SIBのうちSIB1には、ランダムアクセスを行うために必要なULキャリア情報やランダムアクセス信号構成情報などが含まれる。

テムは音声機能に非対応のため、LTEシステムが音声サービスを提供する。5G SAで待受け、もしくは通信中の端末に音声サービスを提供する際は、LTE回線交換システムへのEPS (Evolved Packet System)<sup>\*35</sup>フォールバック<sup>\*36</sup>のためのLTEへのリダイレクション<sup>\*37</sup>を行い、LTEシステムで音声サービスの提供を行う。

#### (2) ネットワークスライシング制御

5G SAシステムは、単一のネットワークを異なるサービス要求条件に応じた複数のスライスに分ける、ネットワークスライシング制御に対応する。今後は、高速・大容量、高信頼・低遅延、多数端末同時接続などの5Gの技術的特長を各サービス要求に応じて、より柔軟に提供する機能向上に取り組んでいく予定である。

#### (3) LTE同等機能への対応

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

- ・緊急地震速報配信
- ・NAS (Non-Access Stratum)<sup>\*38</sup>メッセージ転送
- ・RRC (Radio Resource Control)<sup>\*39</sup>コネクション管理
- ・無線ベアラ<sup>\*40</sup>管理
- ・無線セキュリティ設定
- ・測定項目設定、報告制御
- ・対向ノード間のNG/Xnリンク管理

## 5. 「安心・安全」を実現するためのアクセス規制機能の導入

スマートフォン対応5G SA方式サービスにおいて、ドコモでは「安心・安全」を実現するためのNRの

アクセス規制機能を導入する。以下ではNRのアクセス規制機能の導入目的および機能概要について解説する。

### 5.1 背景・目的

高速・大容量時代の移動通信システムにおいて、さまざまな環境下でも安定したサービスを維持する上で、通信トラフィック／輻輳<sup>\*41</sup>制御の重要性は極めて高い。

5G SAシステムでは、無線区間における端末からの接続要求信号を規制し、緊急呼などの重要通信の接続性を確保しつつネットワーク装置を保全するためのトラフィック制御技術を採用・実装している。また、遠隔監視作業によるネットワークコントロール<sup>\*42</sup>実現の1手段としての手動アクセス規制や、装置負荷軽減を目的とした自動アクセス規制・段階規制制御解除機能を具備している。

### 5.2 主な特長

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

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

#### (1) アクセス不可規制

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

<sup>\*35</sup> 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 packets ネットワークの総称。

<sup>\*36</sup> フォールバック：音声発着信時に移動端末を5G SAシステムから、それと重なって存在するLTEシステム回線交換ドメインに切り替える機能。

<sup>\*37</sup> リダイレクション：端末とネットワーク間の通信を一度切断し、端末を待受け状態としたあと、端末からの再接続要求信号により接続した通信セル／基地局において通信を再開する通信技術。

<sup>\*38</sup> NAS：アクセス層 (AS) の上位に位置する、移動端末とコアネットワークとの間の機能レイヤ。

<sup>\*39</sup> RRC：無線ネットワークにおける無線リソースを制御するレイヤ3プロトコル。

<sup>\*40</sup> ベアラ：UPF、gNB、UE間などで設定される論理的なパケット伝達経路。

## (2)工事中規制

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

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

## (3)UAC（Unified Access Control）規制

NRでは、LTEにおいて複数存在していたアクセス規制方式を統一したUAC規制を新たに実装した。主に装置の輻輳やトラフィック変動が起きた場合などに、呼の流入量を抑えて通信を確保するために、呼種別と規制率を指定して本規制を使用する。

UACでは端末における各種通信要求は1つのAccess Categoryと1つ以上のAccess Identityにマッピングされ、gNBはこの組合せごとに規制が可能となる。

呼種別はAccess CategoryとAccess Identityに分類 [1] され、音声通話・データなどのサービス種別単位を規制対象として指定することができる。ま

た、規制率は0～100%まで指定ができる。例えば、30%を指定した場合は、70%の呼はアクセスでき、30%の呼が規制されることとなる。

保守者は装置の負荷状況やトラフィックの変化を監視し、UAC規制を手動で実施することができる。また、装置自律でのUAC規制機能も有し、gNBもしくは上位ノードが過負荷状態となり輻輳と判断された場合に、gNB自身と、上位ノードから通知された上位ノードの過負荷状態の両者を考慮し、gNBは自動で適切な呼種別、規制率でUAC規制を実施する。輻輳状態の判定については、パラメータ変更によって柔軟にチューニングすることができる。NRでは、規制率の変更に加え、装置ごとの過負荷状態の判定ロジックの実装により、装置の特性に合わせた規制が可能となっている。

オペレーションシステムからの保守者による手動規制、および上位ノードもしくはgNBが輻輳状態となった際の自動規制の動作イメージを図7に示す。実現手段としては、報知情報（SIB1）のbarringIn-

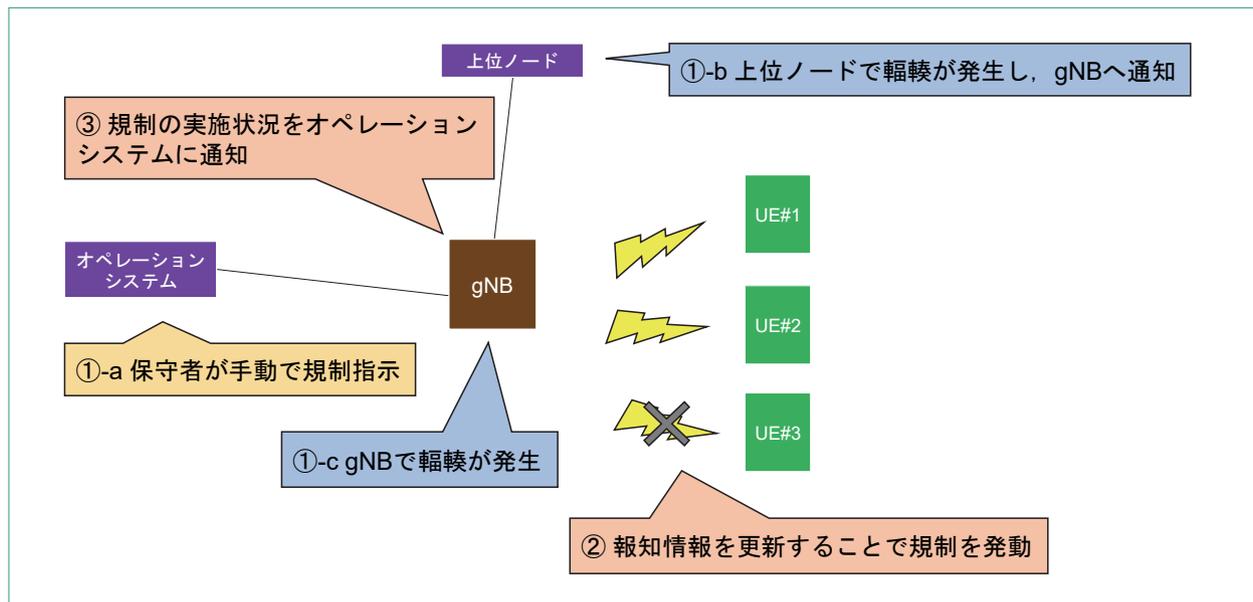


図7 手動規制および上位ノード/gNB輻輳時の自動規制の動作イメージ

\*41 輻輳：通信の要求が短期間に集中して通信制御サーバ/回線の処理能力を超え、通信サービスの提供に支障が発生した状態。

\*42 ネットワークコントロール：災害時などにおいて通信設備の処理能力を大幅に上回る通信の集中によりネットワーク障害を引き起こす恐れのある場合に、重要通信の確保を目的に、ネットワーク側で通信を制限すること。

foSetの設定内容を更新することでUAC規制としている。

#### (4)段階規制解除

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

実現手段としては、UAC規制を一定時間ごとに自動更新することで段階規制解除としている。

## 6. あとがき

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

### 文献

- [1] 寒河江, ほか: “5Gネットワーク,” 本誌, Vol.28, No.2, pp.24-38, Jul.2020.

# 英語スピーキング採点技術の開発

サービスイノベーション部

さわやま あつき  
澤山 熱気

株式会社みらい翻訳

まつおか ほうせい  
松岡 保静

近年、日本の英語教育では、「聞く」「読む」「書く」「話す」の4技能をバランス良く習得することが求められている。特に、「書く」「話す」といった能動的なスキルの習得が重要視されている。しかし、個人で学習することは難しいため、ドコモでは、個人で「話す」練習が可能な、スピーキング採点技術を開発した。本技術により、面接試験をベースとしたスピーキング練習ならびに自動採点が可能になった。

本稿では、その技術の概要と応用について解説する。

## 1. まえがき

近年、日本の学校教育における英語学習では、「聞く」「読む」「書く」「話す」の4技能をバランス良く習得することが求められるようになってきている。中でも、「書く」「話す」といった、能動的スキルを生徒が習得できることに重点が置かれている。その結果、能動的なスキルを判定可能な資格取得が推奨されるようになり、英検®などの資格が授業単位として認定されたり、資格取得によって入学試験の一部免除が行われたりするなど、生徒にとって大きな変化が起きている。

そのような中で、生徒の能動的スキルを高める指

導のために教員の負担がさらに増大し、大きな問題となっている。例えば、外部試験・入試対策のための面接試験練習は、教員が放課後などの授業外の時間に指導しなければならないことが多い。その上、教員の時間には限りがあるため、生徒が十分な指導を受けられないなどの問題もある。

このような背景から、AI技術によって生徒の学習サポートや自動採点を実現することが、生徒の能動的スキルの向上や、教員の負担軽減に有効と考えている。

これまでドコモでは、これらの課題を解決するための最初のステップとして、AIを用いたライティングの採点・添削機能 [1] を開発し、その機能を中

©2023 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。

高生向け英語4技能の学習サービス「English 4skills」[2]におけるAIライティング機能として提供してきた。これにより、「書く」スキル学習における生徒の学習支援や教員の採点・指導の稼働削減に貢献してきた。

一方、学校教育の観点からは、「話す」スキルについても、取り組むべき喫緊の課題であると考えている。「話す」スキル習得をサポートするには、生徒が発話した内容に対して、提供中のAIライティング機能と同様に、人手を介在せずに評価できる機能が必要となる。加えて、AIライティング機能と異なり、生徒の英訳文を採点するだけでなく、生徒が英語で話した状況説明や意見を採点できる必要がある。

そこでドコモは、「話す」スキル習得の練習が可能な、英語スピーキング採点技術を開発した。本技術は、「問題カードを用いた状況説明問題の採点技術」と「一問一答問題の採点技術」からなり、対面の面接試験を想定したスピーキング採点システムにこれらを組み込むことで「話す」スキル習得の練習が可能となった。

本稿では、開発した英語スピーキング採点技術について解説する。

## 2. 面接練習問題の概要

本技術を用いたスピーキング採点システムは、Webアプリケーションの形式で対面の面接試験を想定した練習ができるように設計されている。生徒は「試験官との挨拶」から始まり、「問題カードの受取り」「問題カードを用いた状況説明問題」「一問一答問題」「問題カードの返却」「試験官との挨拶」という一連の流れをスマートフォンやタブレットなどを使って練習できる（図1）。

本システムは、生徒がスマートフォンやタブレットなどのマイクに向かって行った発話を音声認識し、採点処理を行う。試験官との挨拶が終わると、一連の面接試験の採点結果が生徒に提示される。採点システムで実装した2種類の問題（問題カードを用いた状況説明問題、一問一答問題）について解説する。



図1 面接試験練習の流れ

## 2.1 問題カードを用いた状況説明問題

この問題では、問題カードに記載されたパッセージやイメージに関する内容について出題があり、生徒は記載内容の状況説明や、説明についての理由を述べる。問題カードに記載されるイメージの例を図2に示す。問題図に描かれている人物それぞれが行っている行動について状況説明する問題などが試

験官から出題される。

## 2.2 一問一答問題

この問題では、問題カードなどの参照資料を使わず、トピックに関する出題がなされる。生徒は自分自身の立場や意見を回答する(図3)。試験官は回答した生徒の意見を踏まえて、理由などについて追



図2 問題カードに記載されるイメージの例



図3 一問一答問題のイメージ

加で質問する。

### 3. スピーキング採点技術の概要

本システムが提供する「問題カードを用いた状況説明問題」「一問一答問題」の2形式に用いられる採点技術について解説する。

#### 3.1 問題カードを用いた状況説明問題の採点

問題カードを用いた状況説明問題の採点は、図4に示すように、(1)回答からの人物・状況の推定、(2)人物・状況の模範解答集合からの模範解答選択と(3)英作文添削技術を活用した回答採点・添削の3つのステップで行う。

最初に(1)のステップでは、事前に用意した、問題図に複数描かれた人物それぞれの状況を説明した模範解答と、今回入力された生徒の回答を比較し、生徒の回答が問題図のどの人物・状況に該当するかを推定する。

続いて、(2)のステップでは、推定された人物・状況に対応する模範解答集合の中で、生徒の回答と最も類似する模範解答を選択し、選択された模範解答とペアデータになっている模範解答の日本語文を出力する。

その後、(3)のステップにより、選択された模範解答に対応する日本語文を英作文添削技術 [1] を用

いて英訳し、生徒の回答と比較することで、意味の観点で生徒の回答の採点・添削を行う。

これら3つのステップにより、生徒の回答が、問題図のどの人物や状況に関する説明なのかを推定しつつ、生徒の回答の意味的な添削まで行うことを可能としている。

##### (1)回答からの人物・状況の推定

入力された生徒の回答に類似する問題図の人物・状況を推定するにあたり、あらかじめ問題図に描かれた人物それぞれの状況を説明した複数の英文と日本語文のペアデータをまとめた模範解答集合を用意しておく。この模範解答集合は構造化されており、1階層目は、問題図中のどの人物や状況を示すかの情報が、2階層目は、各人物・状況を表現するさまざまな模範解答が格納されている（図5左）。

人物・状況の模範解答集合の推定ステップの動作例を述べる。生徒の回答「A man wearing suit.」が入力されると単語単位に分割する。次に、回答文中の単語をWord2Vec\*1 [3] を用いて単語ベクトルに変換する。その後、単語ベクトルを足し合わせ、文ベクトルを作成する [4]。同様に、問題図に描かれた人物・状況の模範解答集合の各模範解答文についても、あらかじめ文ベクトル化しておき、生徒の回答の文ベクトルと、それぞれの模範解答集合に含まれる各文の文ベクトルとのコサイン類似度\*2を算出し、生徒の回答と模範解答集合との平均類似度が

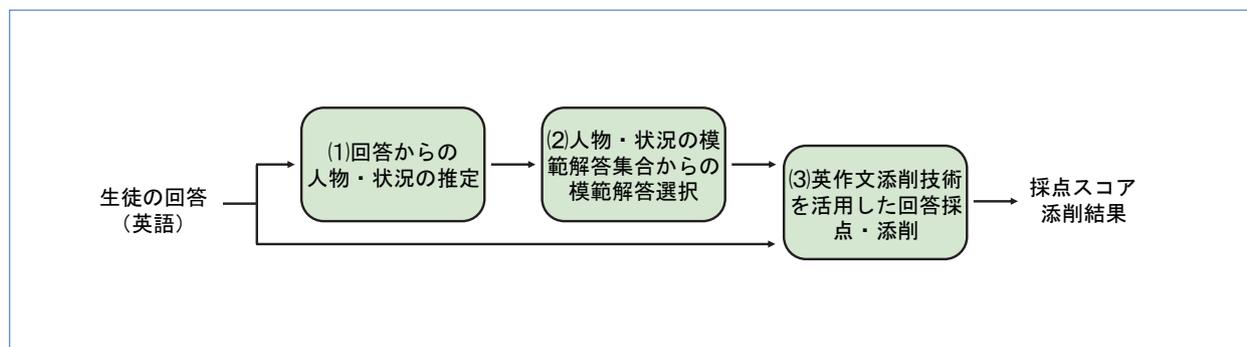


図4 問題カードを用いた状況説明問題の採点フロー

\*1 Word2Vec：テキストデータを解析し、各単語の意味をベクトル表現化する手法の1つ。

\*2 コサイン類似度：2つのベクトルの向きがどの程度近いかを数値化したもの。

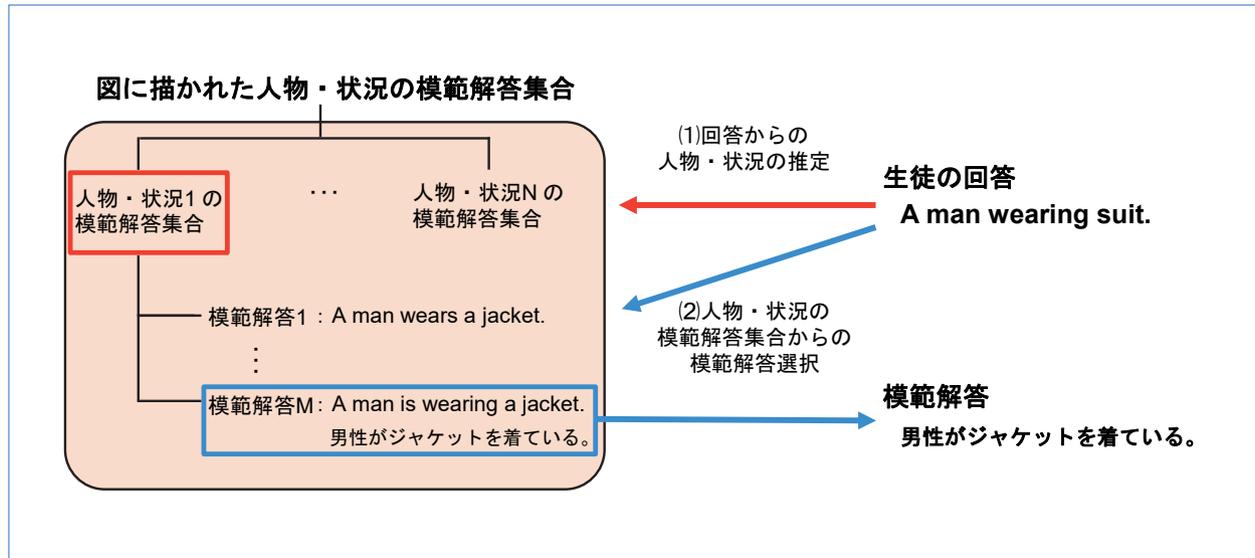


図5 模範解答集合の構造と「回答からの人物・状況の推定ステップ」の流れ

ら、最も類似する模範解答集合を選択する。

#### (2)人物・状況の模範解答集合からの模範解答選択

生徒の回答の文ベクトルと(1)で選択された模範解答集合に含まれる模範解答の文ベクトルを比較し、最も生徒の回答と類似する模範解答を選択する。図5では「A man wearing suit.」に最も類似する「A man is wearing a jacket.」が選択される。このとき、後段の英作文添削技術を活用した生徒の回答の採点・添削には、選択した模範解答の日本語文「男性がジャケットを着ている。」が用いられる。

#### (3)英作文添削技術を活用した回答の採点・添削

続いて、(2)で選択された模範解答に対応する日本語文を基に英作文添削技術を用いて生徒の回答の採点と添削を行う。この技術は、日英翻訳モデルをベースとした英文の採点ができ、日本語文の模範解答から英文を生成する過程で、生徒の回答の言回しに近い文章が生成できる。これによって、英語で書かれた模範解答と生徒の回答との比較だけでは難しい、模範解答と意味が似ているが、言回しが異なる生徒の回答も採点・添削できる。

採点の例として、日本語の模範解答を「男性が

ジャケットを着ている.」, 生徒の英語回答を「A man wearing suit.」とした場合の動作を示す。まず、日本語の模範解答を単語分割し、日英翻訳モデルをベースとしたエンコーダ・デコーダモデル<sup>\*3</sup>のエンコーダに入力する。そうすると、模範解答文の英訳が始まり、予測単語が推定される。予測単語と生徒の回答した単語から、単語ごとの点数と、添削結果が出力される。すべての単語の点数と添削結果とが出力されると、文としての点数が計算される。このようにして、生徒の回答の採点・添削結果が表示される（図6では添削結果のみ表示）。

### 3.2 一問一答問題の採点

一問一答問題の採点技術では、回答がシステムに入力されると、採点システムは質問と生徒の回答のペアに一貫性があるか（回答が質問に答えられているか）を評価し、点数を出力する。これによって、提示された質問に対し、回答がどの程度正しく回答できているかを採点することが可能である。

生徒の回答が質問に答えられているかを採点するにあたり、あらかじめ質問と質問に正しく答えてい

\*3 エンコーダ・デコーダモデル：ある時系列データの入力から時系列データを生成するリカレント・ニューラルネットワークの構造。ディープラーニングの一種。

る回答のペア（正例）と、質問と質問に答えていない回答のペア（負例）を大量に用意した。この際、人手作成した正例・負例のペアのみを学習に用いるのではなく、正例ペアの質問と回答をランダムに組み替えて疑似的な負例データを作成し、学習データに追加した。その後、単語分割を行った質問と回答のペアを分割トークン「<SEP>」で結合したものを入力系列とし、ディープラーニングの一種である、構造化アテンションモデル [5] に学習させた。これによって、質問文と回答文の意味を理解して、質問に答えられている回答かどうかを採点できる。

質問文を「Do you like dogs?」、回答文を「Yes,

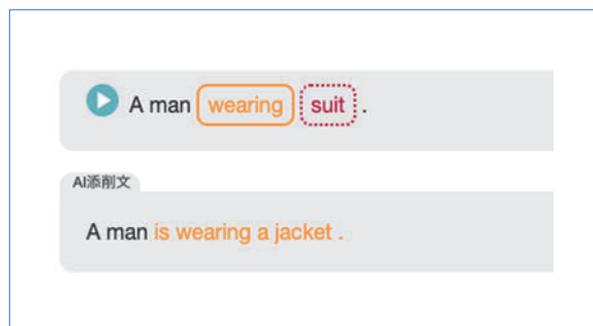


図6 問題カードを用いた状況説明問題の採点例  
(図2の左下の男性に対する説明)

I do.」として、採点モデルに入力した場合の採点の動作を図7に示す。まず、上記のように作成された質問・回答ペアを採点モデルに入力する。その後、各入力の隠れ層\*4を結合し、アテンション層\*5に入力することで、質問文と回答文のどの部分に関連しているかを計算する。その後、質問回答ペアの一貫性の点数が0から1の範囲の値で出力され、出力値を10点満点に正規化する。最後に、質問文に対して、明らかに短い回答がされている場合は、質問に対して内容が不十分であるとし、質問文と生徒の回答文の文長の差をペナルティー（Brevity penalty）として与え、最終的な生徒の回答の点数とする。

生徒の回答の採点例を図8に示す。質問に答えている文章は高い点数を出力しつつ、質問文に使われている単語が含まれていても、質問に答えられていない文章には低い点数を出力する。

## 4. あとがき

本稿では「話す」スキルの練習が可能な英語スピーキング採点技術を解説した。面接試験練習用として開発した採点技術を学習アプリに組み込むこと

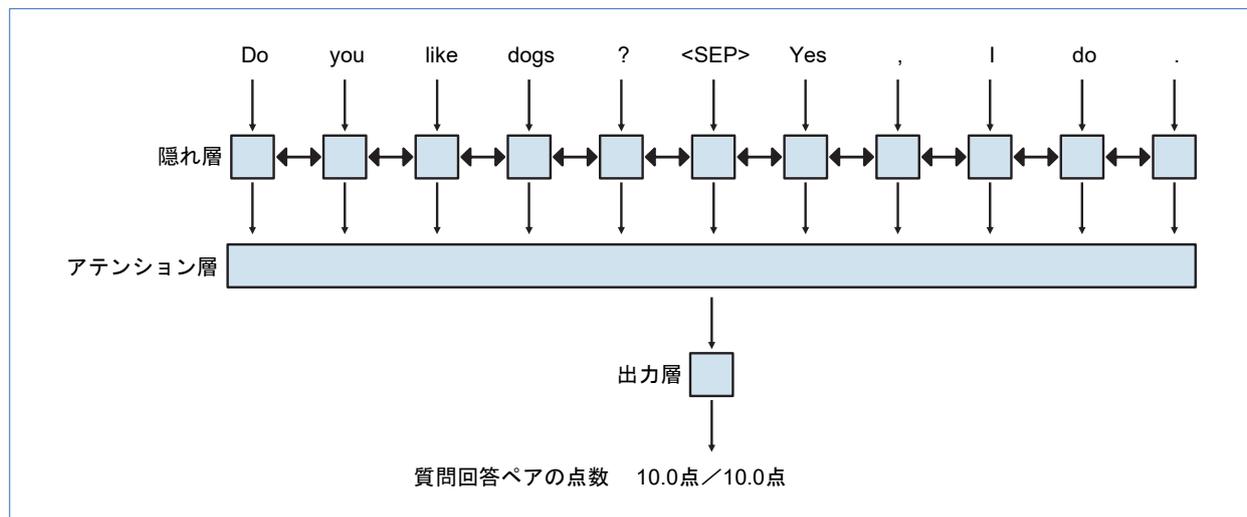


図7 一問一答問題のモデル採点概要

\*4 隠れ層：ある入力があった際に、学習されている重みなどに基づき、内部的な値を計算し、出力層に伝播させる層。

\*5 アテンション層：ある出力をする際に、入力データ中のどの部分に着目するか（重きをおくか）を出力計算する層。今回の採点では、セルフアテンションと呼ばれる、入力された文中の、単語と単語などの相対的な関係性をとらえることができる手法を用いている。

## 面接官の質問 : What usually do you do on Sunday ?

回答例1 : I usually go shopping on Sunday.



回答例2 : I usually spend my free time in playing the guitar.



回答例3 : Sunday is the best day of the week.



図8 一問一答問題の採点例

で、これまで個人での練習が難しかった、リアルな面接試験のシーンを想定した、自由な回答を許容するスピーキング練習が可能となった。本技術は、ドコモが提供する、英語4技能の学習サービス「English 4skills」内で「AIスピーキング」として実装されており、実際に教育現場で活用され始めている。今後は、より高度な自由会話の採点が可能な技術も開発していきたい。

## 文献

- [1] 松岡, ほか: “英作文採点・添削技術の開発,” 本誌, Vol.27, No.4, PP.56-60, Jan. 2020.
- [2] NTTドコモ: “English 4skills,” Apr. 2018.  
<https://e4skills.com/>

- [3] T. Mikolov, I. Sutskever, K. Chen, G. Corrado and J. Dean: “Distributed representations of words and phrases and their compositionality,” *Advances in neural information processing systems* 26, Oct. 2013.
- [4] D. Shen, G. Wang, W. Wang, M. R. Min, Q. Su, Y. Zhang, C. Li, R. Henao and L. Carin: “Baseline needs more love: On simple word-embedding-based models and associated pooling mechanisms,” *arXiv preprint arXiv: 1805.09843*, May 2018.
- [5] Z. Lin, M. Feng, C. Nogueira dos Santos, M. Yu, B. Xiang, B. Zhou and Y. Bengio: “A structured self-attentive sentence embedding,” *arXiv preprint arXiv: 1703.03130*, Mar. 2017.

# スマートフォンログによる要介護 リスク低減を目指したフレイル 推定AI

クロスステック開発部

やまうち たかふみ くまたに さつ き  
山内 隆史 熊谷 沙津希  
こばやし しょうた やまだ ゆう き  
小林 昌太 山田 祐樹

フレイルとは、加齢とともに心身の働きが弱くなった要介護の前段階を示す。介護費抑制などの観点から、早期発見・早期介入のニーズが高まっているが、対面診断や質問票を用いた既存手法では住民への幅広い調査が困難であった。ドコモは日常生活を通して誰もが健康を維持・増進できる世界の実現に向けて、自動的に取得できるスマートフォンログを用いたフレイル推定AIを開発した。本技術により、少ない負荷でフレイルリスクを把握でき、また個人ごとに改善すべき生活習慣を特定し、行動変容に繋げることが可能となる。

## 1. まえがき

ドコモは、医療・ヘルスケアを成長領域の1つとして掲げており、これまで、dヘルスケアなど、健康への意識付けや関心づくりのきっかけとなるサービスを提供してきた。ドコモでは、自社サービスのさらなる進化や、日常生活を通して誰もが健康を維持・増進できる社会の実現を目指し、人々の健康状態を推定し健康行動に繋げるAIの開発を進めている。

フレイルとは、健康な状態と要介護状態の中間で、身体機能や認知機能の低下がみられる状態を示し、プレフレイル\*1を含めると高齢者の49.5%が該当す

ると報告されている [1]。人々の健康寿命を延伸し、10兆円を超す介護費を抑制するためには、要介護の前段階であるフレイルをいち早く検知し、生活習慣改善などの要介護リスク低減に向けた取組みを行うことが重要である。

しかし、現状、フレイルの診断は、対面診断での握力や歩行速度の測定、あるいは、25項目におよぶ問診票（以下、基本チェックリスト）への回答など、診断対象者に一定の負担を強いるため、シニアへの幅広い調査や継続的な追跡が困難であった [2]。そこで、ドコモでは、自社の強みであるスマートフォンという顧客とのタッチポイントを活かし、同意取得の上、スマートフォンでユーザの生活習慣情報など

©2023 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 プレフレイル：フレイルの前段階で、健常とフレイルとの中間状態。

を自動的に取得し、それらの情報からフレイルリスクを推定し、リスクや個人の生活習慣に合わせて行動変容を促すフレイル推定AIを開発した。スマートフォンは60歳代で80%、70歳代で62%とシニアにおいても普及していることから [3]、フレイル推定AIを活用することで、幅広い高齢者へのアプローチが可能になる。

本稿では、フレイル推定AIの概要や、実証実験の結果、商用サービスへの機能実装について解説する。

## 2. フレイル推定AIの概要

### 2.1 AI開発方法

フレイル推定AIの概要を図1に示す。ドコモのdポイントクラブアンケートなどを活用し、同意取得の上、数百名のdポイントクラブ会員（以下、協力者）から基本チェックリストへの回答と、歩行情報、

睡眠情報、位置情報、コミュニケーションアプリの利用状況など、生活習慣に関するスマートフォンログを収集した。その後、自社のデータ分析環境にて、フレイルリスクの推定に寄与すると考えられる平均歩数などの特徴量をスマートフォンログから作成した。続いて、基本チェックリストへの回答結果を基に、協力者ごとにフレイル／健常のラベル付けを行った。基本チェックリストのいくつかの項目は、直近2週間の生活習慣や心の状態を質問していることから、基本チェックリストへの回答からさかのぼって過去2週間分のスマートフォンログを用い、特徴量とフレイル／健常との関係性を機械学習<sup>\*2</sup>の手法によりAIに学習させた。これにより、スマートフォンログが入力された際、その個人のフレイルのリスクをAIが出力することが可能となる。

### 2.2 行動変容ロジック

フレイル推定AIは、スマートフォンログに基づ

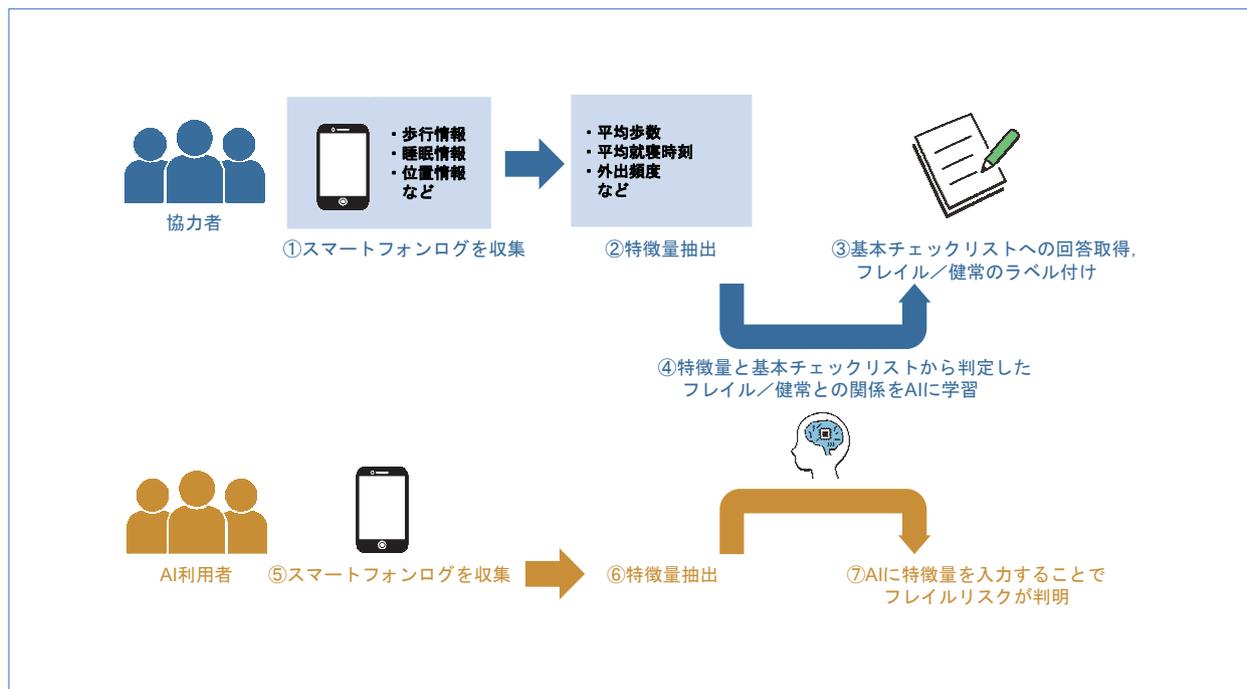


図1 フレイル推定AIの概要

\*2 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。

きフレイルリスクを提示するだけでなく、個人に合わせて改善すべき生活習慣と目標値も提示し、ユーザに行動変容を促す。

改善すべき生活習慣の提示では、まず、XAI (Explainable AI)<sup>\*3</sup>の技術を用い、個人ごとにフレイルリスクを高めているスマートフォンログを特定する。リスクを高めているスマートフォンログのうち、個人が解釈可能かつ行動変容可能で、最もリスクを高めている項目（例えば、1日の平均歩数や就寝時刻）を、改善すべき生活習慣として提示する。なお、改善すべき生活習慣を複数提示することも可能だが、選択肢過多効果<sup>\*4</sup>により、どの生活習慣から改善すればよいかをユーザが意思決定できない可能性があるため、最もリスクを高めている生活習慣のみを提示する仕様としている。

生活習慣の改善には、個別的・具体的・実現可能な目標値の提示が重要とされている [4]。そこで、フレイル推定AIでは、個人の過去2週間分のスマートフォンログから、改善すべき生活習慣の分布を把握し、個人にとって適度に難易度があると考えられる目標値を提示する (図2)。

### 3. 実証実験

#### 3.1 実証実験内容

フレイル推定AIのリスク推定性能および行動変容効果を確認するため、同意取得の上、都民や都内に勤務する50歳以上の約200名（以下、実証参加者）に対して、フレイル推定AIの実証実験を行った (図3)。実証参加者には、自身のスマートフォンに実証実験専用のアプリ（以下、専用アプリ）をインストールしてもらった。実証参加者は2つのグループにランダムで振り分けられ、一方のグループは専用アプリ上でフレイル推定AIの機能が提供される介入群、他方は当該機能が提供されない対照群とした。なお、介入群／対照群にかかわらず、すべての



図2 当社サービスにおけるフレイル推定AIの提供画面

実証参加者から、実証実験期間中、専用アプリを通してスマートフォンログを収集し、さらに、実証実験参加時と終了時に、基本チェックリストへの回答を取得した。

また、介入群には、実証実験への参加後、2週間以上のスマートフォンログ収集期間を経たのち、フレイル推定AIのリスク判定結果を基に、フレイルリスクと改善すべき生活習慣および目標値が、専用アプリから週1回の頻度で4週間に渡り通知された。

\*3 XAI：説明可能なAIのこと。AIの出力に対して、人間が解釈できる理由や根拠を示す技術。

\*4 選択肢過多効果：選択肢が多い場合、選択すること自体が心理的に負担となり、選択や行動ができなくなる現象。

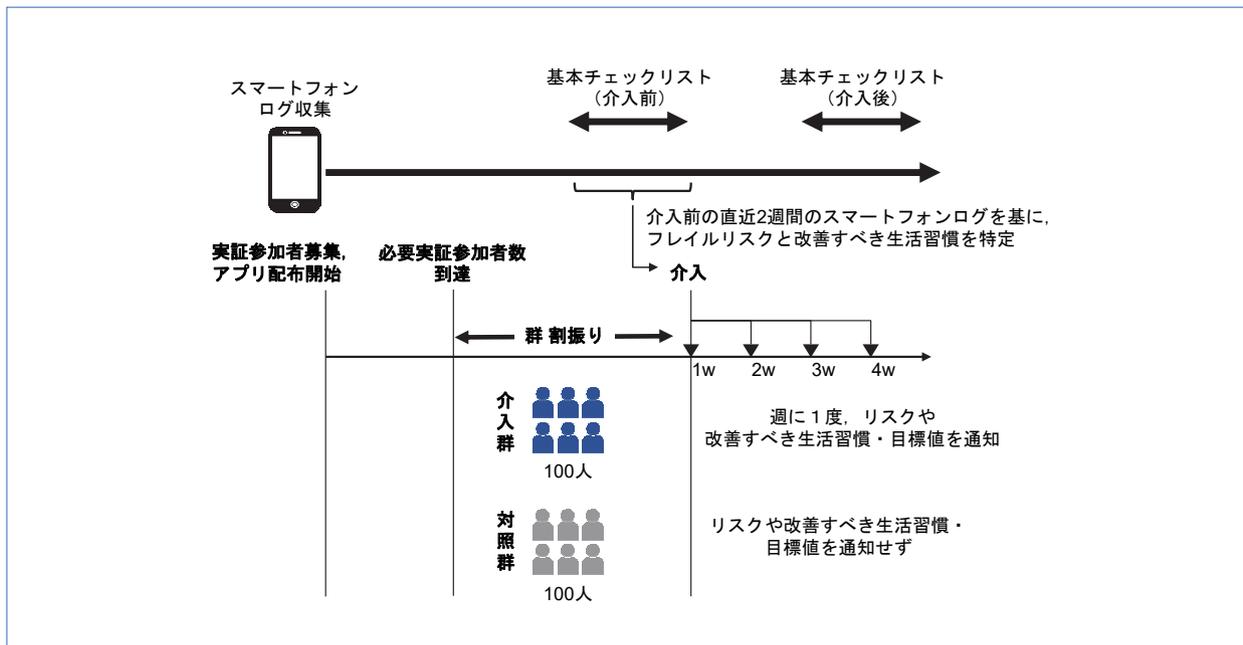


図3 実証実験の概要

### 3.2 分析方法

#### (1)フレイル推定AIのリスク推定性能の評価

フレイル推定AIのリスク推定性能の評価には、実証実験参加時の2週間分のログをインプットしたフレイル推定AIのアウトプット（フレイルリスク）と、同じく実証実験参加時に取得した基本チェックリストを用いた。フレイルリスクがあらかじめ設定した基準値を上回る、つまりフレイル推定AIがフレイルの可能性が高いと判断した実証参加者のうち、基本チェックリストにおいてもフレイルと判断された実証参加者の割合を感度\*5、フレイルリスクがあらかじめ設定した基準値を下回る、つまりフレイル推定AIがフレイルの可能性が低いと判断した実証参加者のうち、基本チェックリストにおいても健常と判断された実証参加者の割合を特異度\*6、とそれぞれ定義し、リスク推定性能の評価指標とした。

#### (2)行動変容効果の評価

行動変容効果の評価には、介入群におけるフレイル推定AIの機能提供（介入）前後の2週間において、

生活習慣に差が生じたかを確認した。また、フレイル推定AI以外の外的要因（天候など）の影響を確認するため、同タイミングにおける対照群の生活習慣の変化を分析した（図4）。なお、例えば、介入群において1日の平均歩数の行動変容効果を確認する場合、改善すべき生活習慣が歩数と提示された実証参加者に限定して分析を行った。一方、対照群は、特定の生活習慣について介入を受けていないため、全実証参加者のデータを用いて分析した。

### 3.3 実証実験結果

#### (1)リスク推定性能の評価結果

リスク推定性能の評価結果は、感度、特異度ともに0.8となり、スマートフォンログのみを用いたこれまでにない技術であるフレイル推定AIが、従来のフレイル判定手法に近いフレイル検知能を有することを確認した。

#### (2)行動変容効果の評価結果

行動変容効果の評価結果を図5に示す。例えば、

\*5 感度：検知したい異常な事象、あるいは症例（本稿の場合、フレイル）を有する人のうち、異常もしくは症例を有すると正しく識別できた事象、あるいは人の比率。

\*6 特異度：異常ではない事象、あるいは症例をもたない（本稿の場合、健常）人のうち、異常ではないもしくは症例をもたないと正しく識別できた事象、あるいは人の比率。

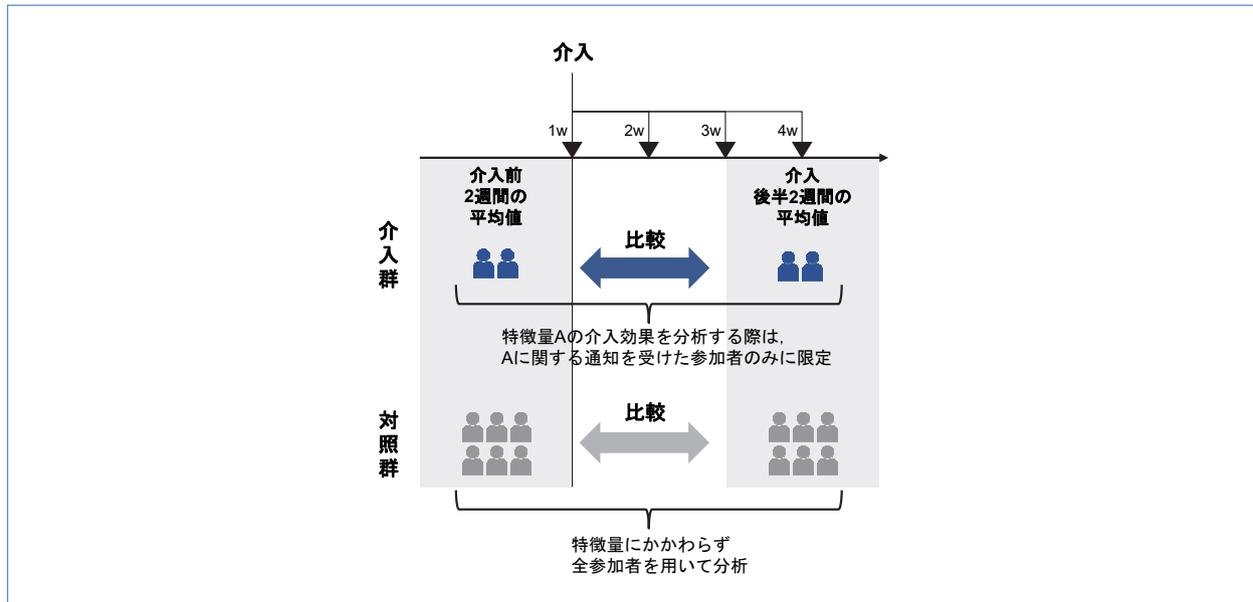


図4 行動変容効果の評価方法

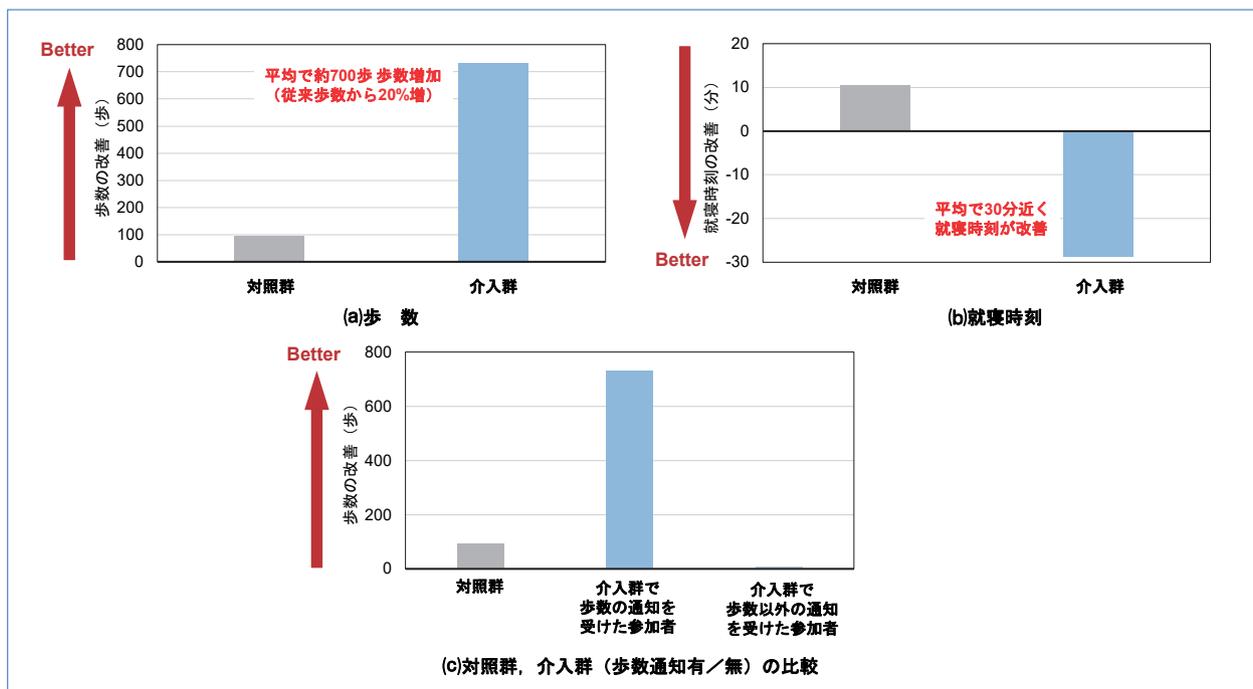


図5 行動変容効果の評価結果

歩数については、介入群のみにおいて有意な歩数増加（平均約700歩）が確認できた。これは、介入前

と比較し、20%も歩数が増加したことになる。さらに、就寝時刻についても、介入群のみにおいて有意

な行動変容を確認した（図5(a)(b)）。

次に、リスク提示とともに、具体的な生活習慣や目標値を提示する効果を可視化するため、介入群において、改善すべき生活習慣が歩数と提示された実証参加者と、それ以外の生活習慣が提示された実証参加者とで、歩数の行動変容に差があるかを評価した。その結果、改善すべき生活習慣が歩数と提示された実証参加者においてのみ、有意な行動変容が生じており、具体的な生活習慣や目標値を提示する意義を確認することができた（図5(c)）。

### (3)フレイルリスク低減の有無の評価結果

フレイル推定AIを利用することによる、フレイルリスク低減の有無を評価した。図6に示すとおり、介入群において、介入前と比較して平均で10%のフレイルリスク低減を認めた。また、対照群と比較しても大きなフレイルリスク低減が確認でき、フレイル推定AIの利用が、要介護状態に陥ってしまうリスクを低減し、健康の維持や増進に寄与する可能性が示唆された。なお、対照群においてもフレイルリスクの低減がみられるが、外的要因、もしくは対照群にも「生活習慣を見直すことで、からだところの健康の維持・増進をはかりましょう」という固定

のメッセージを表示したため、多少の行動変容が生じたものと考えられる。

## 4. 商用サービスへの機能提供

長引く新型コロナウイルス感染症による感染拡大の影響などに伴い、外出や対面交流などを控える暮らしが続き、高齢者の身体や認知機能の低下を懸念する自治体が増加している。そこで、ドコモが運用する自治体向けの健康増進サービス「健康マイレージ」に、フレイル推定AIを「からだところの健康度チェック」機能として、2022年9月26日より商用提供を開始した [5]。

また、ドコモは、ヘルスケアに関連する各種AIを集約・搭載したHealthTech（ヘルステック）基盤を構築しており、フレイル推定AIも当該基盤に搭載されている。HealthTech基盤とAPI（Application Programming Interface）連携\*7することで、ドコモのサービスに限らず、社外パートナーのサービスにもフレイル推定AIを簡易に提供でき、今後、さまざまなサービスへの展開を推進していく予定である（図7）。

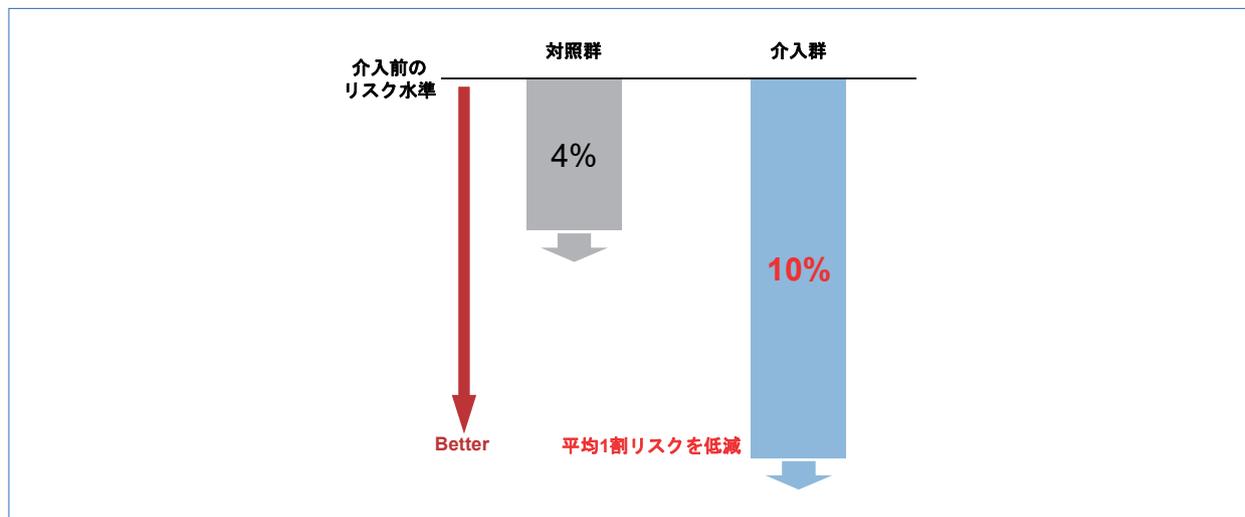


図6 フレイル推定AIによるフレイルリスク低減の効果

\*7 API連携：あらかじめ定義したインタフェースを介し、異なるプログラムやソフトウェアを連携すること。

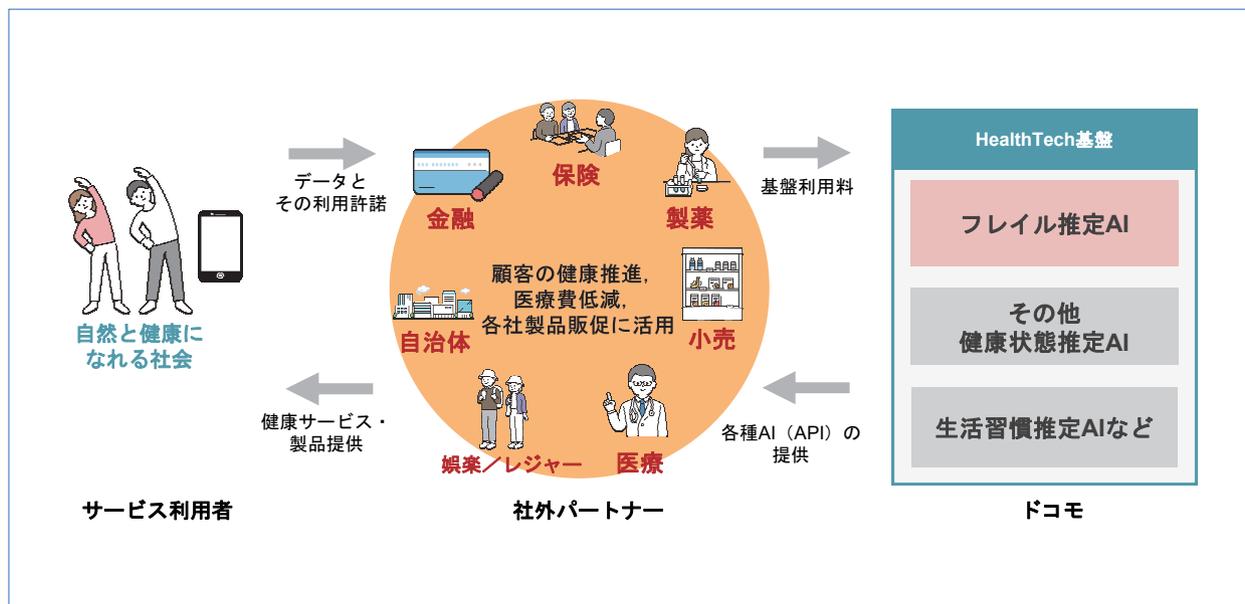


図7 HealthTech基盤とのAPI連携によるフレイル推定AIの社外パートナーサービスへの提供

## 5. あとがき

本稿では、フレイル推定AIの概要や、実証実験の結果、商用サービスへの機能実装について解説した。今後は、フレイル推定AIの長期利用による介護費抑制効果などを評価することで、フレイル推定AIに関するさらなるエビデンスを蓄積していく予定である。

### 文献

- [1] 地方独立行政法人東京都健康長寿医療センター研究所：“<プレスリリース>「日本人高齢者全体のフレイル割合は8.7%」,” Sep. 2020.  
<https://www.tmghig.jp/research/release/2020/0903.html>

- [2] 荒井 秀典：“フレイル診療ガイド（2018年版）,” 株式会社ライフ・サイエンス, Mar. 2018.
- [3] モバイル社会研究所：“シニアのスマホ所有率上昇ペース増す 60代8割, 70代6割を超える,” May 2021.  
<https://www.moba-ken.jp/project/seniors/seniors20210526.html>
- [4] 福田 吉治：“一目でわかるヘルスプロモーション 理論と実践ガイドブック,” 国立保健医療科学院, Mar. 2008.
- [5] NTTドコモ報道発表資料：“自治体向けに提供する住民の健康増進サービス「健康マイレージ」に健康支援機能や見守り機能を追加,” Sep. 2022.  
[https://www.docomo.ne.jp/info/news\\_release/2022/09/26\\_02.html](https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2022/09/26_02.html)

## 情報通信技術委員会（TTC）2022年度 「TTC会長表彰」受賞

2022年6月16日、情報通信技術委員会（TTC：The Telecommunication Technology Committee）より、2022年度情報通信技術賞の受賞者が発表され、コーポレートエバンジェリストの1人、チーフセキュリティアーキテクトの森山 光一が、「W3C及びFIDOにおけるパスワード課題を解決する認証に関する国際標準化及びその普及推進にかかわる功績」によりTTC会長表彰を受賞しました。

TTCは、情報通信ネットワークにかかわる「標準」を作成することにより、情報通信分野における標準化に貢献するとともに、その普及を図ることを目的としており、その目的に沿う事業の遂行に多大な貢献をした者に対して毎年表彰が行われています。

本年度は、情報通信技術賞総務大臣表彰（2名）、情報通信技術賞TTC会長表彰（4名）、功労賞（15名）が授与されました。

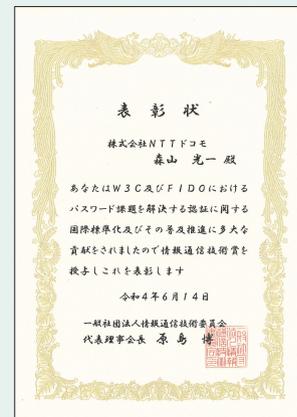
現在、オンラインサービスで主に利用されているパスワードによる認証には、推測や漏洩のリスクなどの課題があり、FIDO（Fast IDentity Online）ア

ライアンスは、こうしたパスワードの課題を解決するため、2012年に設立され、FIDO認証の仕様策定と認定プログラムの展開など国際標準化活動を推進しております。また、Web技術の国際標準化を推進するコンソーシアムであるW3C（World Wide Web Consortium）と協力して検討することで、FIDO認証モデルを基にしたWeb認証をW3Cの「勧告」とし、世界中のさまざまな方々に提供できるようになりました。

森山は2015年からFIDOアライアンスボードメンバー、そして2019年1月から執行評議会メンバー（2018年に制定した新しいガバナンスモデルにおいて定められたボードメンバーからの選出で決まる実質的な取締役）を務め、特に、FIDO認証を業界のエコシステムの一部として組み込むことに尽力しました。また、日本国内においては2016年からFIDO Japan WG（Working Group）座長を務め、国内のFIDO認証の普及に尽力しました。これら国内外の貢献が認められ、今回の受賞となりました。

また、2022年10月に新組織に移行したW3Cの取締役会の最初の取締役の1人として選出され、これからも国際標準化とグローバルなオープンイノベーションに取り組むことが期待されています。

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。



## 国際会議APCC 2022 「Best Paper Award」受賞

6G-IOWN推進部の青木 すみれ、濱田 裕史、山本 大斗、福田 敦史、岡崎 浩司、鈴木 恭宜、日本電信電話株式会社NTT先端集積デバイス研究所の徐 照男氏、高橋 宏行氏は、2022年10月19～21日に、韓国 済州島で開催された国際会議APCC 2022 [The 27th Asia-Pacific Conference on Communications]において「Best Paper Award」を受賞致しました。

本会議は、KICS (Korea Information and Communications Society), SatComForum, IEICE-CS (The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers-Communications Society), IEEE-CS (The Institute of Electrical and Electronics Engineers-Communications Society), CIC (China Institute of Communications) が中心となり開催され、無線および有線通信に関する幅広い技術についての検討結果が発表される会議です。本年度のAPCCには、アジア地域を中心に20の国から256件が投稿され、そのうち、155件採録されました(採録率: 61%)。「Best Paper Award」はこの中から特に業績が優れていると評価された5件の論文に授与されたものです。

受賞対象となった論文は、「A Design of InP-HBT 100-GHz Diode Linearizer Toward 6G」です。

2030年ごろの実現が期待されている第6世代移動通信システム(6G)では、100Gbps級の無線通信を実現するために、これまでの移動通信では利用されていない超高周波数帯、具体的には、100～300GHz程度までの周波数帯(サブテラヘルツ帯)を活用することが検討されており、世界中の通信キャリア、ベンダ、大学で研究開発が進められています。これまで移動通信に使用されていない周波数帯のため、サブテラヘルツ帯の移動通信への適用に必要な研究開発は、デバイス、電波伝搬、無線通信システムなど多岐にわたります。今回の発表は、その中でもデバイスにかかわるものです。

サブテラヘルツ帯では、その周波数の高さから、移動通信用の単体デバイス、例えば、電力増幅器

(PA (Power Amplifier)) や低雑音増幅器(LNA (Low Noise Amplifier)) を実現することに大きなハードルがありました。ただし、近年のトランジスタ技術の進展により、サブテラヘルツ帯におけるこれら単体デバイスが徐々に報告されるようになってきました。それでも、現状の移動通信で使用されているような、実用化のために必要となるさまざまな技術、例えば、歪補償技術\*1などは十分な検討がなされていませんでした。

今回、受賞者らは、100GHz帯における歪補償技術の有効性を検証するために、ダイオードリニアライザと呼ばれる歪補償回路を100GHz帯のPA回路に適用することを検討しました。100GHz帯で動作する電子回路を実現するために、NTT先端集積デバイス研究所が保有する、優れた高周波特性を有するトランジスタであるインジウムリン・ヘテロ接合バイポーラトランジスタ(InP-HBT: Indium-Phosphide-based Heterojunction Bipolar Transistor)を用いて増幅器およびダイオードリニアライザの回路設計を行いました。さらに、100GHz帯のような高周波数帯で問題となるトランジスタの寄生容量\*2を除去する新規ダイオードリニアライザ回路を提案し、本回路をPAに適用することで、100GHz帯においても、PAの歪補償が可能であることを、シミュレーションにより実証することができました。

今回は、本検討がサブテラヘルツ帯における歪補償技術に関して、回路シミュレータを用いた具体的な検証により有用性を示したことが、ひいては、来る6G時代におけるサブテラヘルツ帯の超高速無線通信応用の可能性を示したことが評価され、本受賞に繋がったものと考えられます。

なお、本検討は、総務省「電波資源拡大のための研究開発」における「100GHz以上の高周波数帯通信デバイスに関する研究開発」(令和3～5年度)での一検討として行われた研究です。

- \*1 歪補償技術: 増幅器などのデバイスにおいては、扱う電力が大きくなると、入力信号に対して出力信号の波形が歪み、通信の品質劣化の原因となる。歪補償技術とは、この歪みを軽減する手段の総称のことであり、ダイオードリニアライザや、デジタルプリディストーションなどが知られている。
- \*2 寄生容量: トランジスタやダイオードなどの電子デバイスにおいて、物理的な構造に起因して発生する、本来意図していない容量の総称。通常、その容量値は小さいため、低周波数帯では電子デバイスの特性に悪影響は与えないことが多いが、サブテラヘルツ帯のような高周波数帯においては、電子デバイスの特性劣化(利得やスイッチのON/OFF比の低下など)を引き起こす。

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。



## 第55回「電気通信産業功労賞」受賞

2022年11月22日に開催された第55回電気通信産業功労賞贈賞式において、ドコモ・テクノロジー株式会社の大森 博雄、6G-IOWN推進部の原田 篤が電気通信産業功労賞を受賞しました。

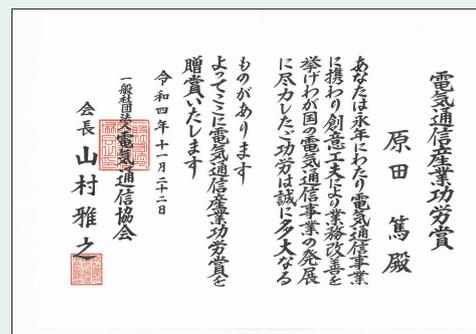
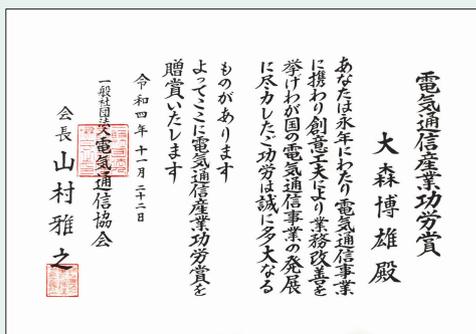
同賞は、電気通信技術の普及・啓発活動などに取り組む一般社団法人電気通信協会（昭和13年設立）が表彰しているもので、電気通信事業またはこれに関連する事業に従事し、創意工夫により業務改善をあげ、あるいは機器の開発・改良により、事業の発展に貢献された方の功績を顕彰するものです。

大森は、等化アルゴリズムや第4世代無線アクセス方式の研究に従事しながら、3GPP（3rd Generation Partnership Project）標準仕様策定業務を牽引し、国内外の移動通信ネットワークで利用可能な第3世代移動通信端末の商用化に大きく貢献しました。その後、移動通信ネットワークの設計業務に従事し、インド「タタドコモ」の第3世代移動通信の導入支援を行い、また、第4世代移動通信のVoLTE・

データ通信の高速化、第5世代移動通信端末の商用化を実現するなど、長きにわたり新たな通信サービスを提供することに貢献したことが大きく評価されて今回の受賞となりました。

原田は、第3.9/4世代移動通信方式の実証に貢献し、その後、第5世代移動通信システムの実証実験およびパートナー企業とのトライアルを通じたユースケース協創に従事し、5Gの先進性アピールとパートナー連携促進やパートナーソリューションの事業化企画や国産MECの事業化に携わり、ドコモオープンイノベーションクラウド（現、docomo MEC）商用提供開始に貢献しました。第3世代から第5世代までの移動通信システムにおける無線方式の研究・標準化および開発に貢献したことが大きく評価されて今回の受賞となりました。

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。



## MCPC award 2022 ユーザ部門「モバイルテクノロジー賞」、サービス&ソリューション部門「優秀賞」受賞

2022年11月24日、モバイルコンピューティング推進コンソーシアム（MCPC：Mobile Computing Promotion Consortium）が主催する「MCPC award 2022」の表彰式が開催され、「ユーザ部門」表彰としてクロスステック開発部の竹野 和彦、中村 祐喜がNTTアノードエナジー(株)とともに「無線基地局インフラを用いた広域節電制御の商用展開」にて「モバイルテクノロジー賞」を、「サービス&ソリューション部門」表彰として同部の赤塚 裕人、寺田 雅之が、NEXCO東日本とともに「AI渋滞予知」にて「優秀賞」をそれぞれ受賞しました。

MCPCでは2003年以降、「MCPC award」を開催し、モバイルシステムの導入により、IoT/AI分野での「業務効率化」「業績向上」「顧客満足度向上」「社会貢献の推進」「先進的なモバイル活用」などの成果を上げた事例を顕彰し、モバイルソリューション、IoT/AIシステムのさらなる普及促進を図っています。

「無線基地局インフラを用いた広域節電制御の商用展開」では、国内の電力不足などを解決するデマンドレスポンス（DR（Demand Response））への対応のため、基地局群から要請節電量を適切に満たすよう基地局を選択でき、かつ基地局に具備する蓄電池の充放電を遠隔制御できるEMS（Environmental Management System）基盤を開発し、システム連携にて節電量を取引可能にしました。本基盤においては、通信インフラでの再生エネルギーの活用や災害対応のためにこれまで培ってきたグリーン基地局や通信用蓄電池のノウハウ・実績を活用し、加えて新たにAI予測技術を導入してDR成功率・効率を向

上させることで、国内の電力ひっ迫時のDR要請に対しても速やかに対応可能としました。今後も、本EMS基盤やDR制御を通信インフラのみならず、地域自治体やEV（Electric Vehicle）へも展開し、通信インフラの安心安全と「2030年カーボンニュートラル宣言」の実現に寄与して参ります。

「AI渋滞予知」では、当日お昼時点までの人口分布に基づき、当日14時以降の30分ごとの交通需要や所要時間を予測し、ドライバーに配信することで、混雑時間帯を避けるなどの行動変容を促し、交通渋滞の緩和を促進することが可能です。NEXCO東日本と連携し、2017年に開始した東京湾アクアラインでの渋滞予測実証実験の成功をうけ、関越自動車道、京葉道路へと着実に適用先を広げてきました。今後も、導入範囲の拡大と交通分散効果の向上を図り、渋滞緩和による経済損失の削減と排出ガス削減による環境への貢献・社会課題の解決に努めて参ります。

### 文献

NTTドコモ：“2030年カーボンニュートラル宣言。”

[https://www.docomo.ne.jp/corporate/csr/ecology/environ\\_management/carbon\\_neutral/](https://www.docomo.ne.jp/corporate/csr/ecology/environ_management/carbon_neutral/)

ドラぶら（NEXCO東日本）：“高速道路AI渋滞予知（NEXCO東日本&NTTドコモ）。”

[https://www.driveplaza.com/trip/area/kanto/traffic/ai\\_traffic\\_prediction.html](https://www.driveplaza.com/trip/area/kanto/traffic/ai_traffic_prediction.html)

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。



### 第20回MCPC award 2022表彰式



**NTT DOCOMO**  
**テクニカル・ジャーナル Vol.30 No.4**

2023年1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。

© 2023 NTT DOCOMO, INC.