

NTT DOCOMO

テクニカル・ジャーナル

Technical Journal

Vol.30 No.3 | Oct. 2022



DOCOMO Today

- 複合価値の創出に向けて

Technology Reports (特集)

3GPP Release 17標準化活動

- 5Gおよび5G-Advanced標準化動向
- 3GPP Release 17における5GCの高度化技術概要
—システムアーキテクチャ—
- 3GPP Release 17における5GCの高度化技術概要
—コアネットワークと端末—
- 3GPP Release 17における5G無線の高度化技術概要

- 3GPP Release 17における産業創出・ソリューション協創向け高度化技術
- 3GPP Release 17におけるモバイルブロードバンド向け高度化技術
- 3GPP Release 16および17における確定性通信の実現に向けた高度化技術

Collaboration Projects

- ローカル5Gを活用した閉域ネットワークによる離島発電所での巡視点検ロボット運用の実現

複合価値の創出に向けて



クロステック開発部 部長

ひらまつ よしあき
平松 孝朗

今年はドコモが1992年7月1日にNTTから分社し営業を開始してからちょうど30周年を迎える節目の年となりました。分社当時から今日に至るまでドコモはパートナーの皆様とともに多くの「新しいコミュニケーション文化の世界を創造」してきました。アナログ方式による第1世代ネットワークにおいて自動車電話サービスからスタートした移動通信も、2020年3月には第5世代ネットワーク「5G」の商用サービスを開始し、コンシューマ向け情報サービスからビジネスソリューションに至るまで、毎日の生活に無くてはならない生活インフラへと発展しました。それと同時に、今後の社会の持続的発展に向けて、我々が担う社会的責務も格段に重くなっており、コロナ禍以降、さらに激しく変化する社会環境の中、多様化・複雑化する課題を的確にとらえ、タイムリーにそして持続的に新たな付加価値を創出し続けることがますます重要になってきていると感じています。

このような環境の中でドコモR&Dでは、これから先、1人ひとりが輝き、寄り添いながら、あらゆる可能性が広がっていく、より豊かでより持続的な社会“Wellbeing Society”の実現を、ビジョンとして掲げています。この“Wellbeing Society”の実現に向けた取組みとして、「イノベーション共創基盤」の開発と「ライフスタイル共創ラボ」による実証があります。

イノベーション共創基盤は、ドコモが研究開発を行っているAIやIoTなどの技術とNTT研究所の技術アセットをさまざまな産業分野で活用可能とする基盤です。各技術アセットとサービスデリバリーにかかわる機能・システムを疎結合とすることで、産業分野横断での基盤技術活

用を容易にするとともに、スピーディなサービス展開を狙っています。

そしてライフスタイル共創ラボは、“Wellbeing Society”の実現に向け、生活者の視点から新たなライフスタイルの創出を目指す取組み領域を5つ定め、パートナーの皆様とお客様とともにイノベーション共創基盤を活用して創出する新たな価値について検証を進める取組みとなります。ライフスタイル共創ラボを通じた検証を繰り返し実施することで、イノベーション共創基盤に実装された各技術アセットを磨き続け、持続的に発展する付加価値の創出を目指しています。昨年同期以降、8プロジェクト10案件の取組みが進められています [1]。

私自身、これらの取組みを推進していく上で、特に挑戦したいと考えていることが「複合価値」の創出です。イノベーション共創基盤上の技術アセットを各産業分野に提供していくということに加え、各技術アセットを組み合わせた複合価値、もしくは事業領域を組み合わせた複合価値を検討することにより、新たな付加価値の創出に繋げていけるのではと考えているからです。その際に重要となるのは、やはりお客様視点での検討であると考えています。これまでも多くのビジネス検討において、お客様視点に立った検討が実践されてきていますが、事業やサービスといった検討対象となる領域における顧客ターゲットに基づき、お客様ニーズを深掘りするアプローチが中心であったと感じています。複合価値の創造においては、お客様1人ひとりのライフスタイルに着眼し、例えば、一日、一週間、ひと月、一年といったお客様の生活における時間を軸とした視点を加えることで、お客様が利用されるサービスの関係性を事業やサービス横断でとらえ、カスタマージャーニーを起点とした付加価値連鎖の創造（複合価値の創出）に繋げていきたいと考えています。

お客様と共に新たな付加価値を創造していくイノベーション共創基盤とライフスタイル共創ラボの活動を通じて、これからもドコモR&Dは「お客様と世界を変えていく」というスローガンの下「新しいコミュニケーション文化の世界」の創造を目指して、挑戦し続けていきたいと考えています。

文 献

[1] ライフスタイル共創ラボ：“案件詳細。”

<https://smartcity.ad.nttdocomo.co.jp/project.php>

[Contents]

DOCOMO Today

複合価値の創出に向けて 平松 孝朗 1

特別寄稿

小型反響チャンバを用いたMIMOアンテナの評価 本間 尚樹 4

Technology Reports (特集)

3GPP Release 17標準化活動

5Gおよび5G-Advanced標準化動向 8

3GPP

5G-Advanced

Release 18

3GPP Release 17における5GCの高度化技術概要
—システムアーキテクチャー— 15

エッジコンピューティング ネットワークスライシング ネットワーク自動化

3GPP Release 17における5GCの高度化技術概要
—コアネットワークと端末— 30

NAS/SBA信号拡張

SOR

5GC復旧手順

3GPP Release 17における5G無線の高度化技術概要 43

5G

NR

RAN

3GPP Release 17における産業創出・ソリューション協創向け高度化技術 54

IoT

NTN

ネットワークスライシング

3GPP Release 17におけるモバイルブロードバンド向け高度化技術 78

eMBB

高速大容量

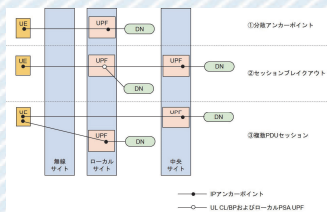
5G NR

3GPP Release 16および17における確定性通信の実現に向けた高度化技術 101

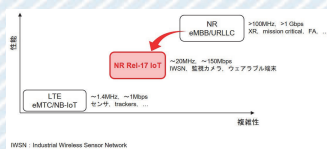
5GS

TSN

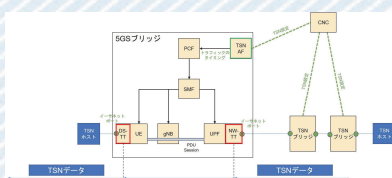
時刻同期



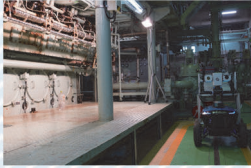
(P.15)



(P.54)



(P.101)



(P.111)

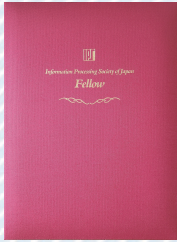
Collaboration Projects

ローカル5Gを活用した閉域ネットワークによる離島発電所での
巡視点検ロボット運用の実現 111

ローカル5G

巡視点検ロボット

MECダイレクト



(P.120)

News

2021年度情報処理学会「業績賞」受賞 119

2021年度情報処理学会フェロー称号受贈 120

第33回電波功績賞「総務大臣表彰」受賞 121

電子情報通信学会 2021年度「通信ソサイエティ論文賞」受賞 122

ドコモが「ASIA IP Elite 2022」に選出 123

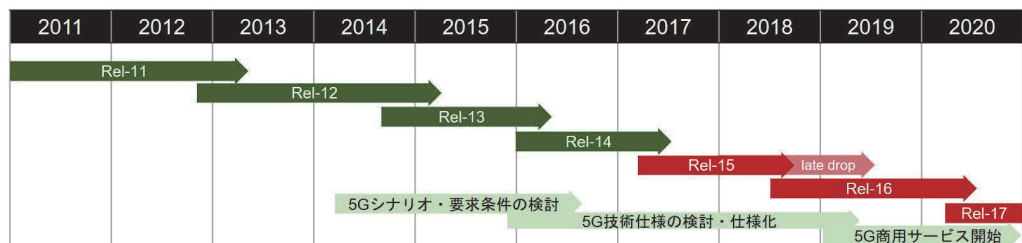
世界最高峰のデータ分析競技会「KDD CUP 2022」で入賞 124



(P.122)

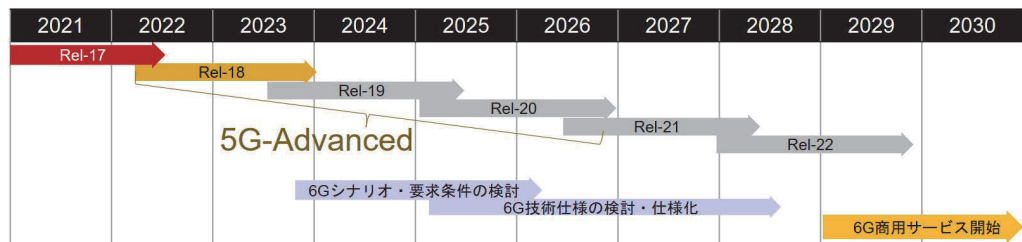
4G→

5G



5G→

6G



Technology Reports (特集) 5Gおよび5G-Advanced標準化動向 (P.8)
2010年代および2020年代の3GPP標準化タイムライン

小型反響チャンバを用いた MIMOアンテナの評価

岩手大学 理工学部 システム創成工学科 教授 ほんま なおき
本間 尚樹さん

1. まえがき

MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) アンテナは、複数信号の並列伝送を実現するキーデバイスであり、無線通信速度向上・大容量化に大いに貢献している [1]。しかし、端末用MIMOアンテナは小型端末に多数のアンテナを近接して配置する必要があるため、空間相関の上昇やアンテナ素子間の相互結合などのアンテナ特性に起因するシステム性能低下が問題となる。このようなMIMOアンテナの特性を厳密に評価するためには、全方位のアンテナ指向性評価のための高価な測定系が必要となる。

指向性を直接用いないMIMOアンテナの評価法として、MIMO OTA (Over The Air)*¹測定法が検討されている。複数プローブ*²を用いた方法 [2] と、金属製の反響チャンバを用いた方法 [3] が主

に用いられるが、より低コストかつ簡易な評価が可能な手法が望ましい。

本稿では、小型反響チャンバを用いたMIMOアンテナ評価法について述べる。反響チャンバの小型化を図るため、送受信アンテナを別々に用意せず単独のMIMOアンテナで評価を行う方式とした。この方式によって、MIMOアンテナ特性評価の低コスト化および簡易化が期待できる。

2. 小型反響チャンバを用いた MIMOアンテナ評価法

提案法を概念を図1に示す。図1(a)は自由空間に置かれたアンテナで、図1(b)は反響チャンバ内に置かれたアンテナである。ここでアンテナは送受信アンテナであり素子数は N である。提案法ではベクトルネットワークアナライザ*³を用いることを前提とし

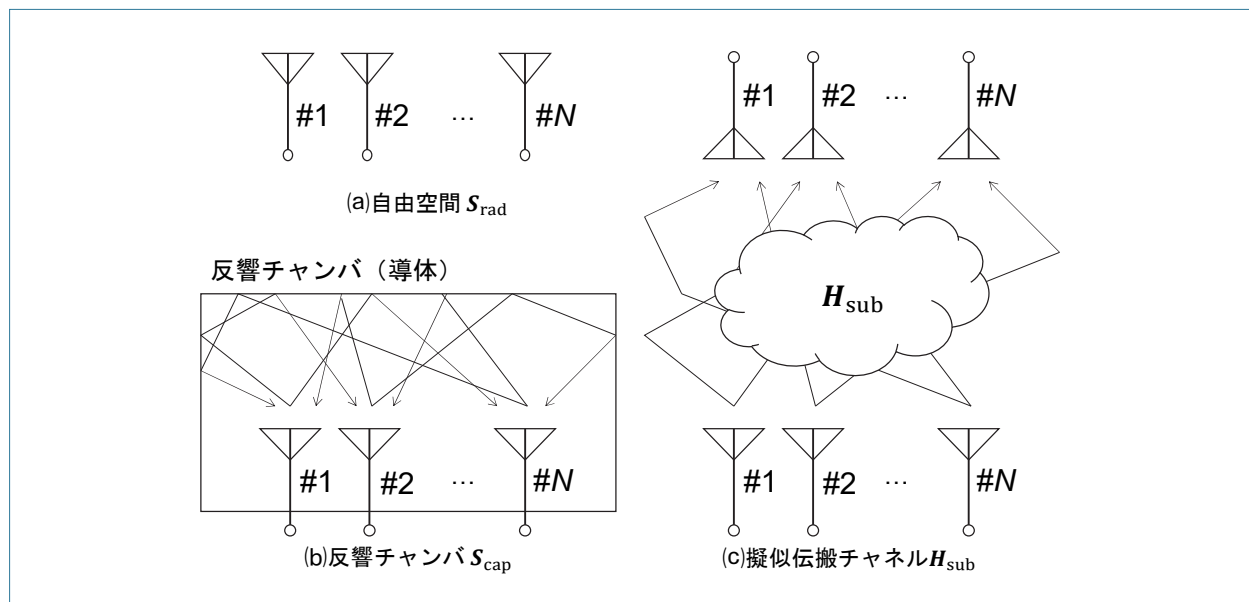


図1 提案法概念図



Profile

1996年東北大学・工学部卒業。1998年同大学院工学研究科修士課程了。2005年同大学院博士課程修了。博士(工学)。1998年日本電信電話(株)入社。以来、主として高速無線通信用平面アンテナ、MIMOアンテナシステムに関する研究に従事。2009年岩手大学工学部・准教授、2016年岩手大学理工学部・教授。2002年年度電子情報通信学会学術奨励賞、2003年APMC Best Paper Award、2006年本会通信ソサイエティ論文賞、2014年日経エレクトロニクスジャパン・ワイヤレステクノロジー・アワード、APMC 2014 Prize受賞。IEICE、IEEE会員。

ており、自由空間中にアンテナが置かれた場合のSパラメータ行列 S_{rad} と、銅などのできるだけ抵抗損の少ない金属で構成された反響チャンバ内で測定されたSパラメータ行列 S_{cap} を測定する。 S_{cap} は、アンテナ自体がもつ反射成分 S_{rad} と、アンテナから放射したのちチャンバ内で反射し、ふたたびアンテナに戻る反響成分の合計である。この反響成分は、図1(c)のように反響チャンバにより生成されるMIMOアンテナ自身の鏡像とMIMOアンテナの間の擬似的なMIMOチャネルであると考えることが可能である。従って、伝搬成分である擬似MIMOチャネルを、 S_{cap} から S_{rad} を減算し、

$$\mathbf{H}_{\text{sub}} = \mathbf{S}_{\text{cap}} - \mathbf{S}_{\text{rad}} \in \mathbb{C}^{N \times N} \quad (1)$$

により算出する。ここで、 $\mathbb{C}^{N \times N}$ は N 行 N 列の複素行列を意味する。しかし、このままでは伝搬チャネル行列は常に固定であり、統計的な性質が得られない。そのため、反響チャンバ内に攪拌機を配置しチャネルを変動させるかアンテナ自体をチャンバ内で移動させるなどの手段によって、伝搬路を攪拌する。

3. 実験評価

本実験環境の写真を図2に示す。中心周波数が5.2GHzのモノポールアンテナ2素子をアレー化し、

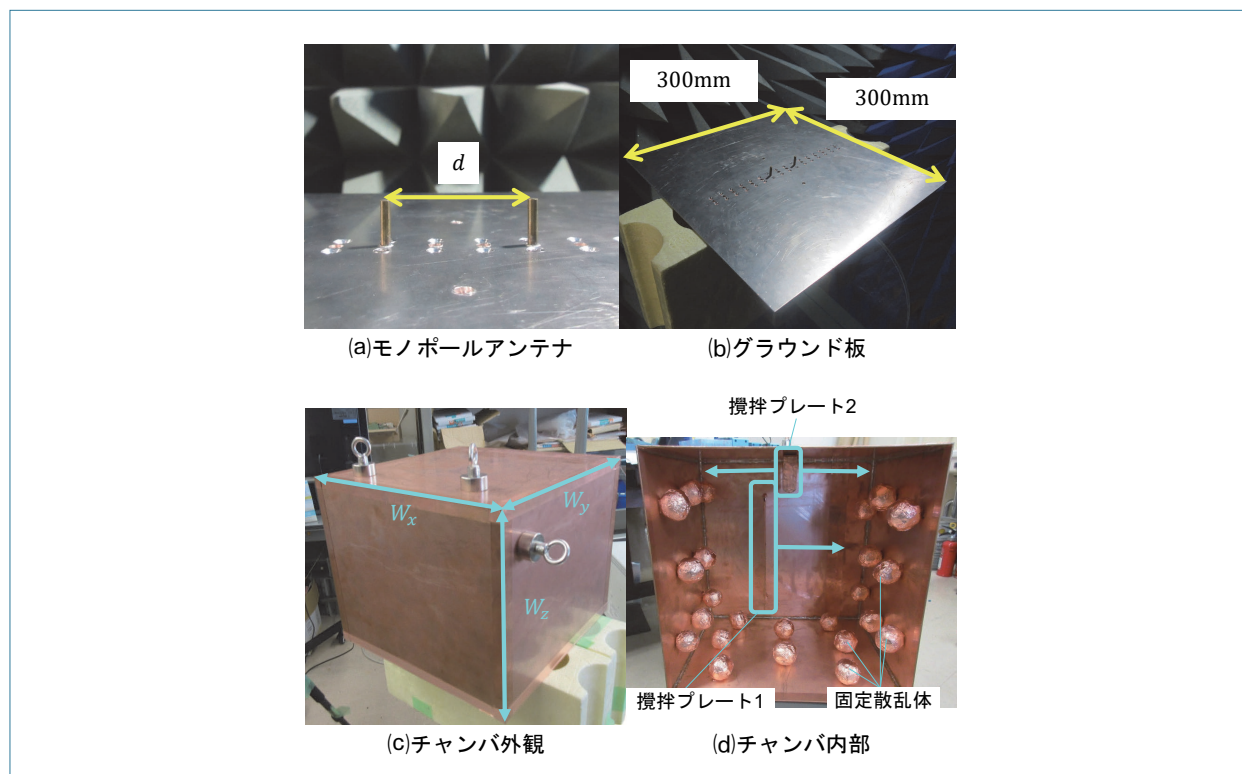


図2 実験に用いたアンテナと反響チャンバ

素子間隔距離を $d=14.4\text{mm}$ (約1/4波長), 28.8mm (約1/2波長), 43.2mm (約3/4波長) のいずれかとし, $2\times 2\text{MIMO}$ の評価を行う. ここでアンテナ素子長は 13.4mm とし (図2(a)), アンテナのグラウンドは $300\times 300\text{mm}^2$ のアルミ板を用いた (図2(b)). 反響チャンバは $W_x\times W_y\times W_z=300\times 300\times 250\text{mm}$ の直方体とした (図2(c)). 図2に示すように, 直径約 36mm の銅テープで覆われた球 (固定散乱体) を反響チャンバ内部の側面3面に一面あたり8個ランダムに配置し (図2(d)), またグラウンド基板に, 基板の中心から半径約 130mm の円周上に等間隔に固定散乱体を12個配置した.

また, 本実験では, 反響チャンバ内にて攪拌プレートを移動させ統計評価を行った. 図2(d)に示すように $1.6\times 185\times 80\text{mm}$ の攪拌プレート1をチャンバ上面内側に, $1.6\times 43\times 124\text{mm}$ の攪拌プレート2をチャンバの側面内側に配置した. ここで, 図2(d)中の矢印は攪拌プレートの可動範囲を表している. 攪拌プレートは鉄製であり, チャンバ外部より磁石により固定および移動が可能である. なお, 攪拌プレートによる導体損を避けるため, 攪拌プレートを銅テープで覆い損失を低減した. 以上の実験系により, MIMOチャネル容量とMIMOチャネル容量中央値の素子間隔特性の評価を行った.

MIMOチャネル容量の累積確率分布 (CDF: Cumulative Distribution Function) *4を図3に示す. ここで, 素子間隔を1/4波長, 信号対雑音比 (SNR: Signal-to-Noise Ratio) *5を 20dB と設定した. 提案法による固定散乱体を配置した実験結果を「Proposed (w/fixed scatterers)」, 固定散乱体を配置していない実験結果を「Proposed (w/o fixed scatterers)」とし, アンテナ指向性から3次元的かつ均一にパスが分布すると仮定したJakesモデル [4] により算出した結果を「3D-Uniform」とした. チャネル容量は,

$$C = \log_2 \left| \mathbf{I} + \mathbf{H}\mathbf{H}^H \frac{\gamma}{N} \right| \quad (2)$$

で表されるShannonチャネル容量式より計算した. ここで, $\mathbf{I}$ は $N\times N$ の単位行列, $\mathbf{H}$ は $N\times N$ のチャネル行列, γ はSNR, $|\cdot|$ は行列式, $\{\cdot\}^H$ は複素共役転置である.

3D-uniformとProposed (w/fixed scatterers) は良好に一致することが確認でき, 固定散乱体を配置することで3D-uniformと近いMIMOチャネルが得られることが確認できる. 一方で, Proposed (w/o fixed scatterers) は分布の広がり狭くなり, 十分な攪拌効果が得られないことが明らかになった.

MIMOチャネル容量中央値の素子間隔特性を図4に示す. 固定散乱体を配置することで3D-uniform

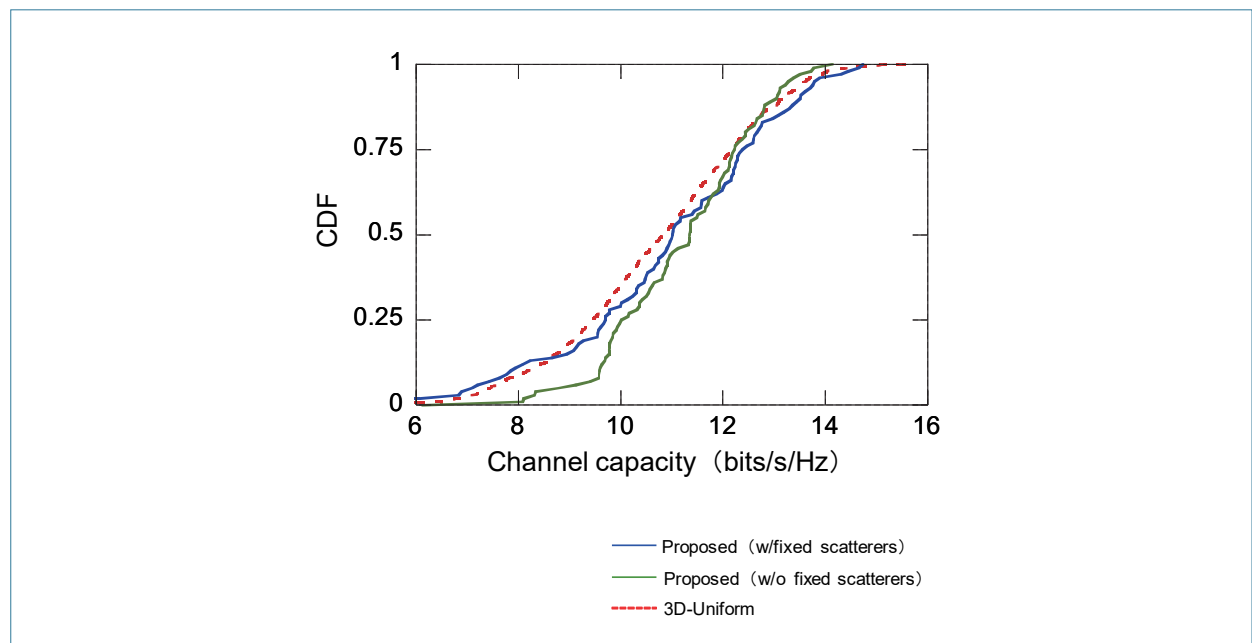


図3 チャネル容量の累積確率分布 ($d=1/4$ 波長)

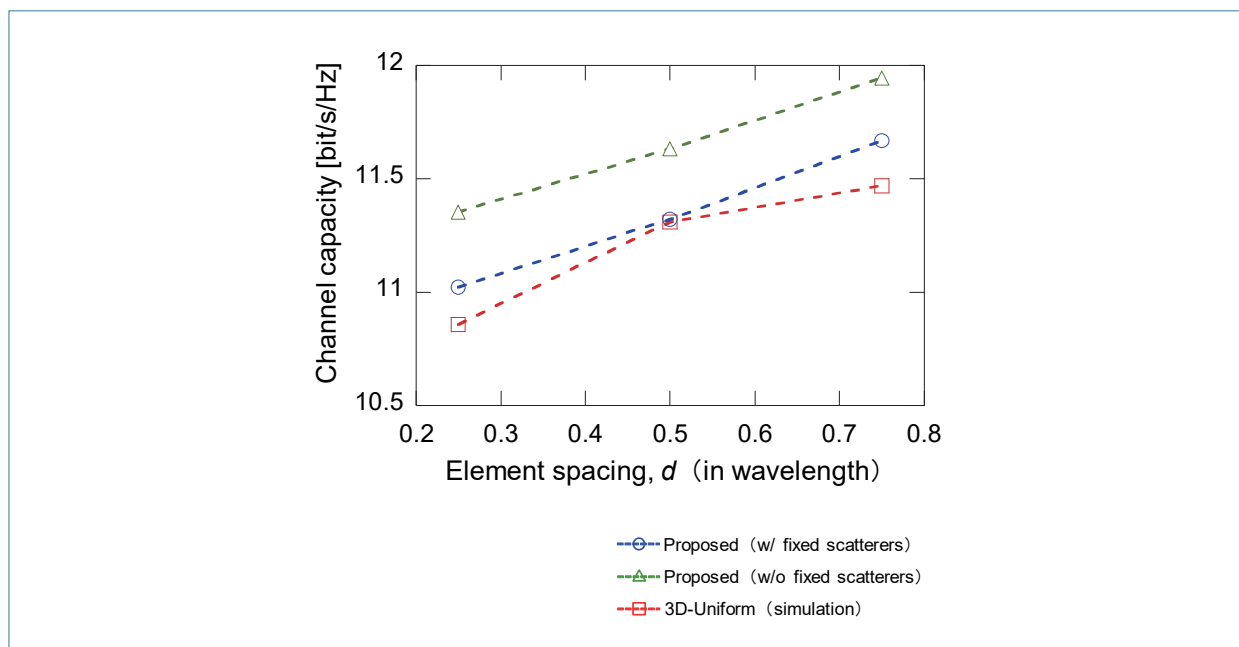


図4 チャンネル容量中央値の素子間特性

の結果と近いチャンネル容量特性が得られることが分かる。今回は一例として3D-uniformと比較したが、提案法によってアンテナ指向性を測定せずに、Sパラメータだけでチャンネル容量特性の評価が可能になることを明らかにした。

4. あとがき

本稿では、小型反響チャンバと単独のMIMOアンテナを用いたアンテナ性能評価法について述べた。本実験において、Sパラメータの測定によってマルチパス環境におけるMIMOチャンネル容量を推定できることが明らかになった。これにより低コストかつ簡易にMIMOアンテナの性能評価の実現が期待できる。

文 献

- [1] G. J. Foschini and M. J. Gans : "Capacity when using diversity at transmit and receive sites and the Rayleigh-faded matrix channel is unknown at the transmitter," Proc. of WINLAB Workshop on Wireless Information Network, Mar. 1996.
- [2] S. Tsutomu, A. Yamamoto, K. Ogawa and J. Takada :

"MIMO channel capacity measurement in the presence of spatial clusters using a fading emulator," Proc. of 2009 IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications, pp.97-101, Sep. 2009.

- [3] P. S. Kildal and K. Rosengren : "Correlation and capacity of MIMO systems and mutual coupling, radiation efficiency, and diversity gain of their antennas : simulations and measurements in a reverberation chamber," IEEE Communications Magazine, Vol.42, Issue.12, pp.104-112, Dec. 2004.
- [4] W. C. Jakes : "Microwave mobile communications," John Wiley & Sons, Inc., 1974.

-
- *1 OTA：無線通信信号をある空間上で伝送させることにより性能を評価する測定方法。
 - *2 プローブ：無線評価におけるプローブとは、任意の点の電波を測定もしくは送信するための装置の末端を指し、通常小形なアンテナ素子が用いられる。
 - *3 ベクトルネットワークアナライザ：元々は高周波回路素子の伝達関数を測定する装置であるが、回路素子の代わりにアンテナを接続することによって、伝搬路の伝達関数の測定が可能となるため、近年は近距離伝搬路の計測にもよく用いられている。
 - *4 CDF：確率変数の分布を累積して示したもの。
 - *5 SNR：雑音電力に対する所望信号電力の比。

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。

3GPP Release 17標準化活動

5Gおよび5G-Advanced標準化動向

6G-IOWN推進部	はらだ ひろき 原田 浩樹	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	
移動機開発部	たけだ しんじ 竹田 真二	
無線アクセス開発部	ウメシュ アニール	

5Gによる商用サービスが世界各国で広まっており、日本国内においても2020年3月の商用サービス開始以降、エリアの拡大、ミリ波帯の活用、スタンドアローン（SA）方式の提供開始など5Gネットワークの展開が進められている。

3GPPでは5Gのさらなる進化に向け、Rel-17仕様を2022年6月に完成させ、現在、Release 18以降の仕様を5G-Advancedとして検討開始している。本稿では3GPPにおける5Gおよび5G-Advancedの標準化動向を概説する。

1. まえがき

移動通信の技術は約10年ごとに新世代の方式へと進化・発展しており、近年では2018年に仕様が完了した3GPP（3rd Generation Partnership Project）^{*1} Release 15（以下、Rel-15）が第5世代移動通信システム（5G）として世界各国で商用化されている。

日本でもドコモは2020年3月に5G商用サービスを開始し、5Gの高速・大容量、低遅延・高信頼、多数端末同時接続といった技術的特長によって、4Gまでのモバイルブロードバンドサービスをさらに高度化させることに加え、これからの産業や社会を支える基盤技術として新たな価値を提供することを目指している。

©2022 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} 3GPP：移動通信システムの規格策定を行う標準化団体。

一方で、5Gの商用化が始まろうとしていたころから、次の世代である第6世代移動通信システム（6G）についての検討プロジェクトが世界各国で立ち上がり、6G関連のホワイトペーパーも国内外の研究機関や主要ベンダが続々と発表するようになってきている。ドコモも2020年1月に「ドコモ6Gホワイトペーパー」の初版を公開し、現在4.0版まで更新を行っている[1]。6Gは2030年ごろの商用化を目指して検討が行われており、5Gは6Gを見据えた進化が図られている。6Gおよび6Gに繋がる5Gの進化により、モバイルマルチメディアに続く新たなマーケットへの価値提供の波がもたらされることが期待されている。3GPPでは、Rel-15の仕様策定後に、その発展としてRel-16およびRel-17仕様にて5Gの機能拡張や性能改善を行ってきており、またRel-18以降を「5G-Advanced」と定義し、2022年からRel-18仕様策定作業を開始した。

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

2. 5Gおよび5G Advanced標準化動向

2.1 Rel-17までの5G標準化概要

5Gの最初の仕様であるRel-15では、モバイルブロードバンドの高度化（eMBB：enhanced Mobile Broad Band）^{*2}に重点を置き、新たな無線アクセス技術（5G NR（New Radio）^{*3}）の標準仕様およびLTEの高度化技術の標準仕様が2018年6月に策定された。Rel-16の仕様策定では、モバイルブロードバンドのさらなる高度化技術に加えて、高信頼・低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communication）^{*4}向けの高度化技術や、産業分野でのIoT（Internet of Things）を促進するIIoT

（Industrial IoT）^{*5}といった新規事業を創出するための拡張技術が、2020年6月に規定された。

Rel-17では、Rel-15およびRel-16において導入された機能に対する拡張が行われたほか、新規シナリオ・ユースケースに対応するため、52.6GHzまでから71GHzまでへの5G利用可能周波数帯の拡張、さらなるエリア拡大に向け衛星を活用した非地上ネットワーク（NTN：Non-Terrestrial Network）^{*6}のサポート、ウェアラブル端末や工場用センサデバイス、監視カメラ向けの低コストNR端末カテゴリ（RedCap：Reduced Capability）の追加、大規模障害が発生したネットワークの端末を救済するための災害時ローミング^{*7}のサポート、ドローンの識別や認証認可を支える仕組みの検討などが行われ、2022年6月に仕様策定が完了した。Rel-17における5Gの高度化の概要については、本特集別記事にて紹介する[2]～[4]。

2.2 5G-Advancedの位置付け

3GPPは、2021年4月のPCG（Project Co-ordination Group）^{*8} #46会合において、Rel-18以降を5G-Advancedと定義することを決定した。これまでもRel-8以降をLTE、Rel-10以降をLTE-Advanced、Rel-13以降をLTE-Advanced Pro、Rel-15以降を5Gと定義しており、新たな機能やサービスが提供されるリリース群を過去のリリース群と区別するためにこれらの名称が用いられてきた。5G-Advancedは2020年代後半を商用ターゲットとしており、2030年ごろをターゲットとした6Gへのステップともなる。2010年代および2020年代の3GPP標準化タイムラインを図1に示す。5G-Advancedの最初のリリースであるRel-18は、2021年12月に検討・仕様化項目が合意され、仕様化が始まった。仕様化完了予定は2023年12月である。図の6G関連のスケジュールは2030年ごろの商用化というターゲットから逆算した予想で

^{*2} モバイルブロードバンドの高度化（eMBB）：高速大容量を必要とする移動体通信の総称。

^{*3} 5G NR：5G向けに策定された無線方式規格。4Gと比較して高い周波数帯（例えば、3.6GHz帯、4.5GHz帯や28GHz帯）などを活用した通信の高速化や、高度化されたIoTの実現を目的とした低遅延・高信頼な通信を可能にする。

^{*4} 高信頼・低遅延通信（URLLC）：低遅延かつ、高信頼性を必要とする通信の総称。

^{*5} IIoT：工場などにおける産業用機器への通信の総称。

^{*6} 非地上ネットワーク（NTN）：衛星やHAPSなどの非陸上系媒体を利用して、通信エリアが地上に限定されず、空・海・宇宙などのあらゆる場所に通信エリアが拡張されたネットワーク。

^{*7} 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。

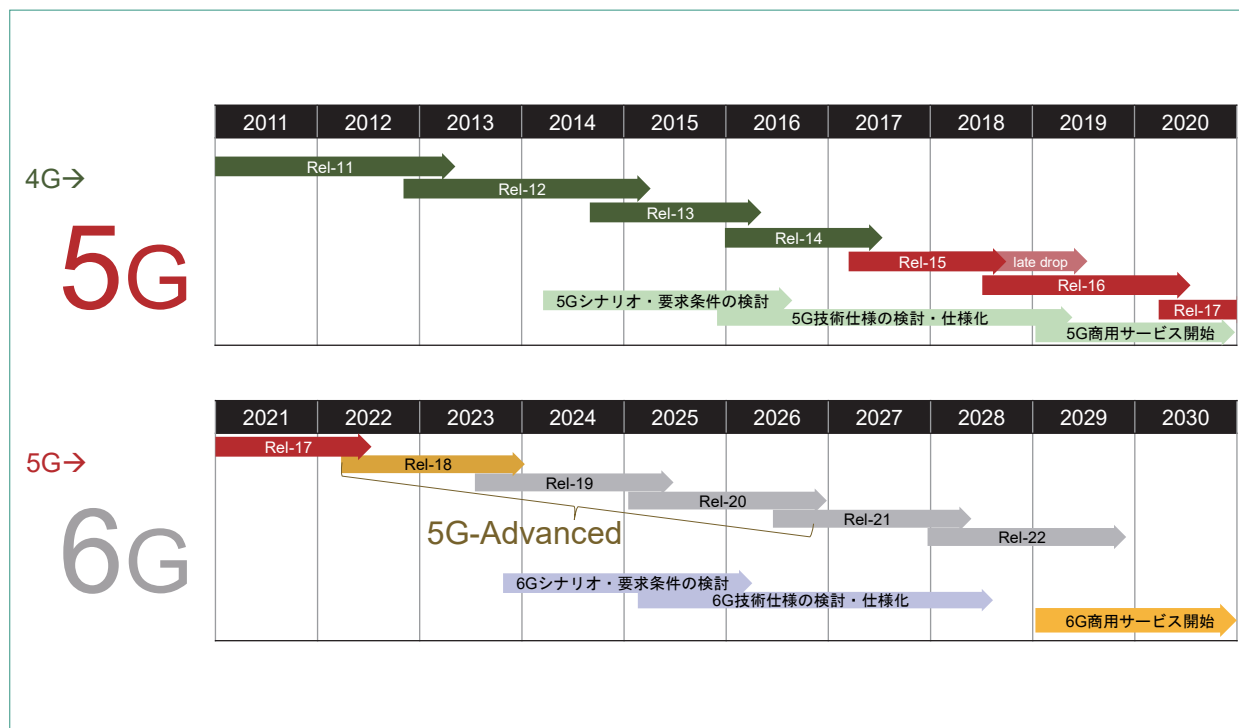


図1 2010年代および2020年代の3GPP標準化タイムライン

あり、今後の3GPP Releaseのスケジュールや6Gとの対応関係も現時点では未定であるが、5G-Advancedの標準化は6G仕様ができる直前のRel-18～20となると考えられる。

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

(1) 商用サービス中の現行世代の移动通信システムの改善

現行世代の移动通信システムが商用開始されて数年が経ったタイミングで、運用上見えてきた課題への対処や性能改善を標準化上検討・仕様化し、早期に商用の現行世代システムをアップグレードすることは、運用上の課題解決に加え、前世代システムか

ら現行世代システムへの移行のさらなる促進にも繋がる。具体的には、4GにおいてはRel-12で仕様化された下りリンク256QAM (Quadrature Amplitude Modulation)*⁹のサポートやTDD (Time Division Duplex)*¹⁰キャリアとFDD (Frequency Division Duplex)*¹¹キャリアのCA (Carrier Aggregation)*¹²のサポートなどが挙げられ、これらの機能が商用導入されたことにより、4Gのピークスループットが向上し、3Gから4Gへの世代移行にも繋がった。

(2) IoTなどの新サービス領域への対応

Rel-12～14において検討・仕様化された技術の中でも特に注目を集めたものとして、IoTやLPWA (Low Power Wide Area)*¹³向け仕様であるLTE-MTC (Machine Type Communication)*¹⁴やNB (Narrow Band) -IoT*¹⁵がある。これらの技術はIoT時代の到来に対してタイムリーに仕様策定・商

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

*9 256QAM：変調方式の種類。256QAMは振幅と位相が異なる256通りの信号点に情報ビットを変調する。1回の変調で8ビットの情報を伝送することができる。

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

*11 FDD：上りリンクと下りリンクで、異なる周波数を用いて信号

伝送を行う方式。

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

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

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

用化されたことでIoT市場の拡大を促進し、今日においてもさらなる市場の成長が期待されている。また、同リリースで検討・仕様化された端末間通信技術に基づく公共安全無線PS (Public Safety) -LTE^{*16}や車通信LTE-V2X (Vehicle to X)^{*17}なども新たなサービス領域として導入され、今後も市場の広がりが期待される。

(3)次世代移動通信システムを見据えた新規技術の検討・仕様化

Rel-12~14では、商用の4Gネットワーク向けには広く導入はされなかったものの、その次世代の移動通信システムである5Gにおける基本的な機能へと繋がった新機能が複数検討・仕様化された。具体的には、2つの基地局に同時に接続するDual connectivity、3次元空間におけるビームフォーミング^{*18}を考慮したFull-Dimension MIMO (Multiple Input Multiple Output)^{*19}、低遅延化のためサブフレーム^{*20}より短い単位でデータ送信を行うShort TTI (Transmission Time Interval)、基地局からの動的な送信指示を使わずに上りリンク送信を行うAutonomous uplink、などが挙げられる。

2.3 Rel-18検討項目および仕様化項目

3GPPは、2021年6月にTSG RAN (Technical Specification Group Radio Access Network)^{*21}でのRel-18 workshopを、2021年9月にTSG SA (Service and System Aspects)^{*22}でのRel-18 workshopを開催した。また、各社からの提案に基づきRel-18検討・仕様化項目に関する議論をworkshop後にも継続的にを行い、2021年12月および2022年3月にRel-18検討・仕様化項目を決定した。Rel-18の標準化スケジュールは文献 [5] に、Rel-18の全検討項目および仕様化項目は文献 [6] にまとめられている。Rel-18の検討項目および仕様化項目は、モバイルブロードバンドの進化とさまざまな業界への5G展開、短期的な

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

(1)上りリンク通信の性能改善

5Gの商用導入後、ピーク通信速度や実効速度が4Gと比較して向上しているが、主に下りリンク通信での速度向上となっていることが多く、上りリンク通信の実効速度は4Gとあまり変わらず数十Mbps程度であることが多い。一般に下りリンクのトラフィックは上りリンクのトラフィックよりも多く、また下りリンク、すなわち基地局の送信電力は、上りリンク、すなわち携帯端末の送信電力よりも大きい。このため、下りリンクと上りリンクの通信速度や通信品質に差があるのは、無線リソース^{*23}の効率的な割当ての観点や送信電力の差の観点では必然ともいえる。

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

このような背景からRel-18では多くの会社から上りリンク通信の性能改善を検討・仕様化することが提案され、いくつかの項目が合意された。具体的には、ホームルータや車載端末、工業用デバイスなどを想定した複数アンテナパネルでの同時送信や、4より多いレイヤ数のMIMO送信のサポート、複数の上りリンク用キャリアの動的な切替えによる効率的な活用、端末送信電力を向上させるための拡張などが、仕様化に向けて検討されている [7]~[9]。

^{*15} NB-IoT：LTE-MTCよりもさらに狭い周波数帯を用いてIoT（センサなど）向けにより低速なデータ通信を行う、LTE通信仕様の1つ。

^{*16} PS-LTE：警察や消防など公共安全のためにLTEを使って展開されるネットワークやサービスの総称。

^{*17} LTE-V2X：車車間の直接通信（V2V：Vehicle to Vehicle）、車と路側機（道路脇に設置されている無線通信設備）間の直接通信（V2I：Vehicle to Infrastructure）、車両と歩行者間の直接

通信（V2P：Vehicle to Pedestrian）、LTE網を経由して通信する広域通信（基地局経由通信、V2N：Vehicle to Network）などの総称。

^{*18} ビームフォーミング：複数のアンテナそれぞれの振幅および位相の制御によってアンテナ全体に対して指向性パターンを形成し、特定方向に対するアンテナ利得を増加／減少させる技術。

(2)5G NRによるIoTサポート

通信事業者にとって、過去の世代から新しい世代の移動通信システムへスムーズに移行を進めることは非常に重要であり、複数の世代の移動通信システムを維持・運用し続けることは効率的ではない。このため、5Gが商用導入された後の2020年代に3Gサービスを終了することが多くの事業者から発表されている。また5Gは、4Gからのスムーズな移行のためLTEとNRを併用するNSA（Non-StandAlone）^{*24}方式で導入されるケースが多かったが、NRのみを用いるSA方式への置換えが進んでおり、6Gが導入される2030年ごろには4Gサービスの終了が検討されると考えられる。

一方、IoTデバイスは低コスト、低消費電力で長期間運用されることが求められるため、新しい世代の移動通信システムへの置換えが進みにくく、過去の世代の移動通信システムが長く使用され続ける課題がある。例えば、2010年代後半に導入されたIoTデバイスは使用可能年数が10年程度であり、2020年

代後半に置換えが必要となる可能性があるが、このときLTEのIoTデバイスを継続するかどうかで状況が異なり、新たに5G NRのIoTデバイスおよびネットワークを導入せず、LTEのデバイスを継続した場合には2030年代後半まで4Gのサービスを終了できなくなる可能性がある。

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

(3)5GS（5G System）^{*25}によるIndustrial IoTサポート

産業内閉域網での各種制御にかかわる通信をサポートするIndustrial IoTは、5Gの新サービスと考えられている。3GPPでは、Rel-16からサービス提

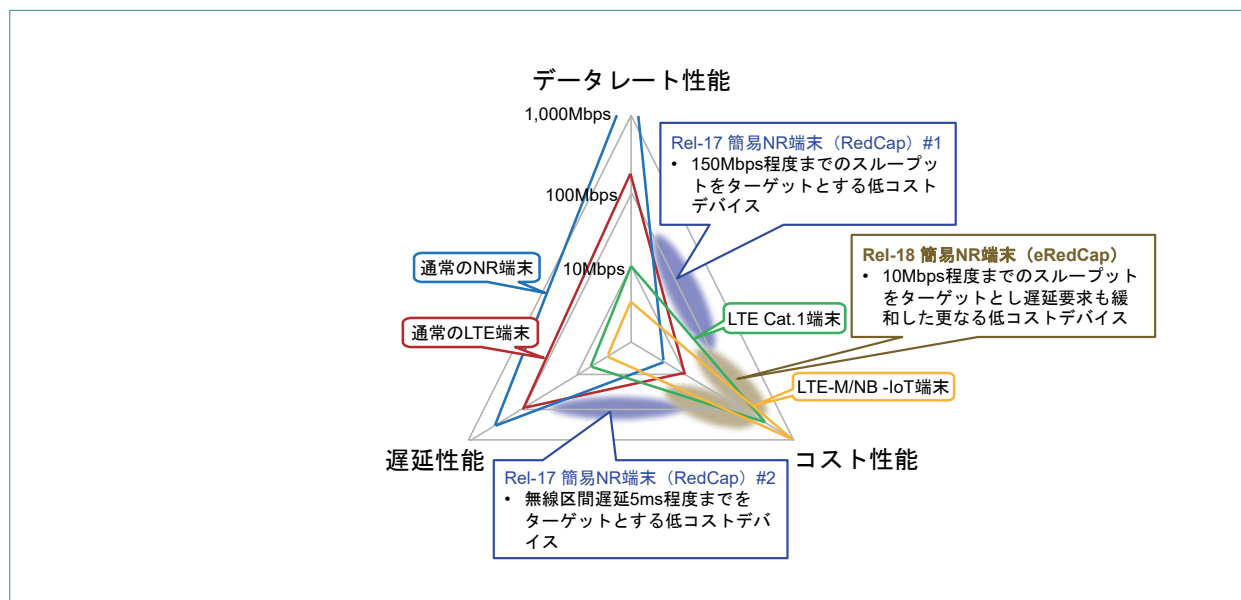


図2 NRおよびLTEの端末仕様ターゲット

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

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

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

タフェース仕様などを策定する。

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

*23 無線リソース：無線通信を行うために必要なリソース（無線送信電力、割当て周波数など）の総称。

*24 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。

供のために必要となる時刻同期や確定性通信の実現に向けた仕様化を進め、Rel-17で完成した。これらの取組みについては、本特集別記事にて詳細を紹介する [11]。

Rel-18では、5GSが提供するIndustrial IoTの性能を一層高めるため、特に、5GS内通信のエンドツーエンドでの低遅延性向上の検討が合意された [12]。具体的には、コアネットワーク^{*26}の制御プレーン^{*27}と、N3^{*28}に置くTSN (Time Sensitive Networking) トランスポート網^{*29}との間のインターワーク^{*30}、下りリンクパケットRAN伝送スケジュールのRANからアプリケーション機能への通知を検討する。Industrial IoTでは、個々の端末でなく、端末群を制御することとなるが、Rel-18でこの部分を検討することも合意された [13]。

(4)6Gを見据えた新規技術領域の検討

Rel-18では中長期的なニーズを踏まえ、Rel-18期間中に仕様化までは行わず、検討のみを行う新規技術領域の項目が含まれている。例えば人工知能 (AI)・機械学習 (ML: Machine Learning)^{*31}技術の無線インタフェースへの適用について、チャネル状態情報のフィードバック、ビーム制御、端末位置測位などのユースケースを想定した検討を行うことが合意された [14]。また、下りリンクと上りリンクの多重 (duplex) の拡張として、TDDバンドにおいて下りリンクリソースと上りリンクリソースを周波数多重し、基地局側にて同時送受信 (full duplex) に対応することで、特に上りリンクとして使用可能な時間リソースを拡張し上りリンク性能を改善する検討が合意された [15]。

なお、AI/ML技術は、3GPPシステム全体としても、着実に検討が進んでいる。Rel-17にて、コアネットワーク制御プレーン機能が利用する各種分析情報の生成に当該技術を活用するとして、検討が開始され、Rel-16で規定したNWDAF (Network Da-

ta Analytics Function)^{*32}をモデル訓練、推論、データ収集、データ格納の機能に分離した。この取組みは、本特集別記事にて詳細を紹介する [3]。Rel-18では、前記検討を進め、異なるベンダ間での訓練済モデルの共有、協調学習のための拡充、オペレーション側のデータ分析機能との連携などを検討することが合意された [16]。また、外部AI/MLモデルサービスプロバイダをサポートする機能の検討もRel-18で行うことが合意された [17]。

3. あとがき

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

文 献

- [1] NTTドコモ：“ドコモ6Gホワイトペーパー 第4版,” Nov. 2021.
https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/DOCOMO_6G_White_PaperJP_20211108.pdf
- [2] 原田, ほか：“3GPP Release 17における5G無線の高度化技術概要,” 本誌, Vol.30, No.3, pp.43-53, Oct. 2022.
- [3] 巳之口, ほか：“3GPP Release 17における5GCの高度化技術概要—システムアーキテクチャー,” 本誌, Vol.30, No.3, pp.15-29, Oct. 2022.
- [4] 石川, ほか：“3GPP Release 17における5GCの高度化技術概要—コアネットワークと端末,” 本誌, Vol.30, No.3, pp.30-42, Oct.2022.
- [5] 3GPP: “Release_timeline,” Mar. 2022.
https://www.3gpp.org/images/PDF/Release_timeline_march22_v3.pdf
- [6] 3GPP: “Release 18 features ts95 v03,” Apr. 2022.
https://www.3gpp.org/images/PDF/Release_18_features_

^{*25} 5GS: コアネットワーク、無線アクセスネットワーク、および通信端末で構成される5Gのネットワークシステム。

^{*26} コアネットワーク: 移動通信システムの構成要素であり、登録制御、セッション制御、サービス制御などを司り、無線アクセスネットワークと外部ネットワークの間でユーザデータを転送するネットワーク。

^{*27} 制御プレーン: コアネットワークでは、登録制御、セッション制御、サービス制御など、一連の制御処理を行う部分。

^{*28} N3: 無線アクセスネットワークとコアネットワークの間でユーザデータを転送する経路。

^{*29} TSNトランスポート網: 無線アクセスネットワークとコアネットワークを接続するネットワークのうちTSN機能を具備したもの。あるいは、それぞれのネットワーク内の装置間を接続するネットワークのうちTSN機能を具備したもの。

^{*30} インターワーク: 通信システム間の相互動作。

- tsg95_v03.pdf
- [7] 3GPP RP-213598 : “New WID : MIMO Evolution for Downlink and Uplink,” Dec. 2021.
 - [8] 3GPP RP-221435 : “Revised WID on Multi-carrier enhancements,” Jun. 2022.
 - [9] 3GPP RP-221858 : “Revised WID : Further NR coverage enhancements,” Jun. 2022.
 - [10] 3GPP RP-221161 : “Revised SID for Study on further NR RedCap (reduced capability) UE complexity reduction,” Jun. 2022.
 - [11] J. Mutikainen, ほか : “3GPP Release 16および17における確定性通信の実現に向けた高度化技術,” 本誌, Vol.30, No.3, pp.101-110, Oct.2022.
 - [12] 3GPP SP-211634 : “Study on 5G Timing Resiliency and TSC & URLLC enhancements,” Dec. 2021.
 - [13] 3GPP SP-211603 : “Study on generic group management, exposure and communication enhancements,” Dec. 2021.
 - [14] 3GPP RP-221348 : “Revised SID for AI/ML for NR air-interface,” Jun. 2022.
 - [15] 3GPP RP-221352 : “Revised SID : Study on evolution of NR duplex operation,” Jun. 2022.
 - [16] 3GPP SP-220678 : “Study on Enablers for Network Automation for 5G - Phase 3,” Jun. 2022.
 - [17] 3GPP SP-220071 : “Revised SID on System Support for AI/ML-based Services,” Mar. 2022.

*31 機械学習 (ML) : サンプルデータから、有用な判断基準をコンピュータに学習させる仕組み。

*32 NWDAF : 5GCで規定されたネットワーク機能の1つ。ネットワーク内のさまざまなデータを収集、分析し結果を返す。

3GPP Release 17における 5GCの高度化技術概要 —システムアーキテクチャー—

ネットワーク開発部 みのくち あつし 巳之口 淳 すずき ゆうじ 鈴木 悠司

ドコモ欧州研究所 Srisakul Thakolsri Riccardo Guerzoni

Malla Reddy Sama Tugce Erkilic Civelek

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

1. まえがき

5Gシステム（5GS：5G System）^{*1}は、5Gコアネットワーク（5GC：5G Core network）^{*2}、5G無線アクセスネットワーク^{*3}および端末（UE（User Equip-

ment）^{*4}）から構成される。ここで、5GCの基本設計原則はSBA（Service-Based Architecture）^{*5}に基づいており、すべてのネットワーク機能およびインタフェースが自己完結しており、再利用が可能となっている。5GCにより、ネットワーク事業者は、ネッ

©2022 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システム（5GS）：コアネットワーク（^{*7}参照）、無線アクセスネットワーク（^{*3}参照）、および通信端末で構成される5Gのネットワークシステム。

^{*2} 5Gコアネットワーク（5GC）：5Gのアクセス技術向けに3GPP（^{*13}参照）で規定された第5世代のコアネットワーク（^{*7}参照）。

^{*3} 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。

^{*4} UE：ユーザ端末。3GPP仕様向け無線インタフェースを介したネットワークサービスへのユーザアクセスを可能にする。

トワークスライシング^{*6}の概念を用いてコアネットワーク^{*7}とその機能を、特定のユースケースに合わせてカスタマイズすることができる。

Release 16（以下、Rel-16）では5GCのさまざまな分野で進展があった。例えば、①サービスフレームワーク^{*8}の拡張、②NSSAA（Network Slice Specific Authentication and Authorization）^{*9}のための新しいネットワーク機能の導入、③ネットワーク自動化を可能にするため、収集した情報に基づいてネットワークデータ解析を行う新しいネットワーク機能の導入、④サードパーティまたは移動通信事業者が運営する専用ネットワークの構築、および、統合された接続性、最適化されたサービス、安全な通信手段を特定領域内で可能にするNPN（Non-Public Network）^{*10}の導入などがあった。

Rel-17では、エッジコンピューティング^{*11}、ネットワークスライシング、ネットワーク自動化、NPNにおいて、以下の拡張があった。

エッジコンピューティングのサポートに関しては、5G Rel-17でRel-15の基本的な仕様の上に大幅な拡張が行われており、それにはEAS（Edge Application Server）^{*12}の（再）発見、EASの再配置をサポートする新しい機能、EASへの5GC機能の公開、3GPP（3rd Generation Partnership Project）^{*13}アプリケーションレイヤーアーキテクチャのサポートが含まれる。

ネットワークスライシングは基本的な5GS機能であり、Rel-17では、ネットワークスライス受付制御、ネットワークスライス内のデータレート制御および制限のサポート、ネットワークスライスの同時登録に関する契約ベースの制限の導入、ネットワークスライス固有周波数帯に基づく転送のサポートによって、その機能が拡張された。

ネットワークデータ解析については、Rel-17で、

NWDAF（NetWork Data Analytics Function）^{*14}の内部にAI/ML（Artificial Intelligence and Machine Learning）^{*15}機能を含むことが仕様に示された。また、データ収集や解析結果配布のための機能、収集したデータや解析結果の保管のための機能が新たに規定された。さらに、UEからのデータ収集、複数NWDAFをもつ網構成、NWDAFが支援するRFSP（RAT/Frequency Selection Priority）^{*16}決定、ネットワークスライス負荷解析のサポートによって、ネットワークデータ解析機能が拡張された。

Rel-17ではさらに、SNPN（Standalone NPN）^{*17}とは別の主体による認証情報の所有、SNPNのIMS（Internet protocol Multimedia Subsystem）^{*18}音声および緊急サービスのサポート、SNPNのUEオンボーディング^{*19}の提供によってNPNが拡張された。本稿では、これらの拡張について解説する。

2. エッジコンピューティングのサポート

3GPP 5Gシステムアーキテクチャでは、Rel-15以降、エッジコンピューティングをサポートする機能が導入されている。Rel-17では、その機能が拡張されており、専用の技術仕様書（TS：Technical Specification）23.548 [1] が導入され、TS23.501 [2]、23.502 [3]、23.503 [4] も更新された。

3GPP TS23.558（Rel-17）[5] は、3GPP SA（Service & Systems Aspects）^{*20} WG6（Working Group 6）で標準化されたが、本技術仕様書ではエッジアプリケーションを実現するアプリケーションレイヤーアーキテクチャについて説明している。

2.1 Rel-15におけるサポート

TS23.548では、3GPP SA WG2で規定されたエッ

^{*5} SBA：5GCで採用されているネットワークアーキテクチャで、ネットワーク機能群ごとにNFを定義し、各NF間は統一的なSBI（Service Based Interface）を介して、相互にサービスを利用する。

^{*6} ネットワークスライシング：ネットワークのさまざまな通信リソースを用途に応じて分割し、スライスごとにさまざまな要件を満たす通信サービスを提供する機能であり、5GCに導入されている。

^{*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} サービスフレームワーク：SBAを構成する汎用的な枠組み。

^{*9} NSSAA：加入者情報に基づいたネットワークスライス固有認証認可。ネットワークスライスのNSSAAにかかわる情報は、AMFに格納され、端末移動に伴うAMF変更の際には、AMF間でそれが転送される。

^{*10} NPN：特定のユーザやグループのみが使用するために構築されたネットワーク。公衆移動通信網が収容する形態、あるいは、公衆移動通信網とは独立して構築される形態で提供される。

^{*11} エッジコンピューティング：システムのよりエッジ（末端）にデータ処理や保管の機能を分散配置することで、通信量や遅延、より上位ノードの演算負荷などを抑える手法。

ジコンピューティングを実現する5Gネットワークアーキテクチャでサポートされる以下の3点の接続モデル（図1 [1]）の概要が示されている。

- ①分散アンカーポイント：UEの近くにあるアンカーUPF（User Plane Function）*21を選択して、エッジコンピューティング用のPDU（Protocol Data Unit）セッション*22を確立する。
- ②セッションブレイクアウト：ULCL（UpLink Classifier）/BP（Branching Point）*23を利用して、エッジコンピューティング用のトラフィックを選択的にローカルのUPFに振り分ける。
- ③複数PDUセッション：エッジコンピューティングアプリケーションと他のアプリケーションで、複数のPDUセッションを使い分ける。すなわち、エッジコンピューティングアプリケーションはローカルサイトのアンカーUPFに繋がるPDUセッションを使用し、他のアプリケーションは

中央サイトのアンカーUPFに繋がるPDUセッションを使用する。

2.2 Rel-17における

エッジコンピューティングのサポート

(1)EASの（再）発見のサポート

5GCでは、EASの発見および再発見を前述の3つの接続モデルでサポートしている。この機能は、EASのFQDN（Fully Qualified Domain Name）*24をネットワーク上でUEに近いEASのIPアドレスに変換できるようにすることを意図したものであり、DNS（Domain Name System）*25サーバに着信DNSクエリ*26のソースIPアドレス、および／またはEDNSクライアントサブネット（ECS：Extension Mechanisms for DNS Client Subnet）*27オプション（RFC 7871 [6] で規定）を通知することにより行う（図2）。

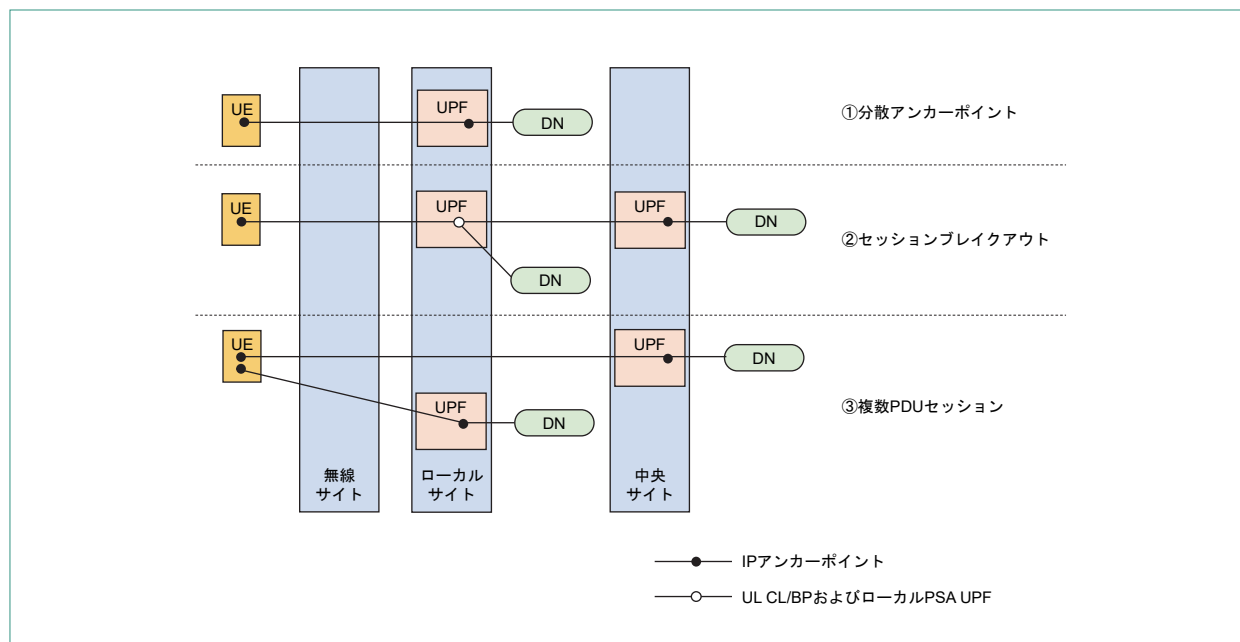


図1 接続モデル

*12 EAS：エッジホスティング環境の常駐アプリケーションソフトウェア。

*13 3GPP：移動通信システムの規格策定を行う標準化団体。

*14 NWDAF：5GCで規定されたネットワーク機能の1つ。ネットワーク内のさまざまなデータを収集、解析し結果を返す。

*15 AI/ML：モデルを用いて推論すること、および、推論に用いるモデルを機械学習により生成すること。

*16 RFSP：gNBが行う端末ごとの無線リソース管理を支援するために、コア網がgNBに送る情報。

*17 SNPN：NPNの一形態であり、公衆移動通信網とは独立に構築

される。

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

*19 オンボーディング：ネットワークを介して、端末に認証情報を設定すること。

*20 3GPP SA：3GPPにおいて、サービス要求条件、アーキテクチャ、セキュリティ、コーデック、ネットワーク管理に関する仕様化を行っているグループ。

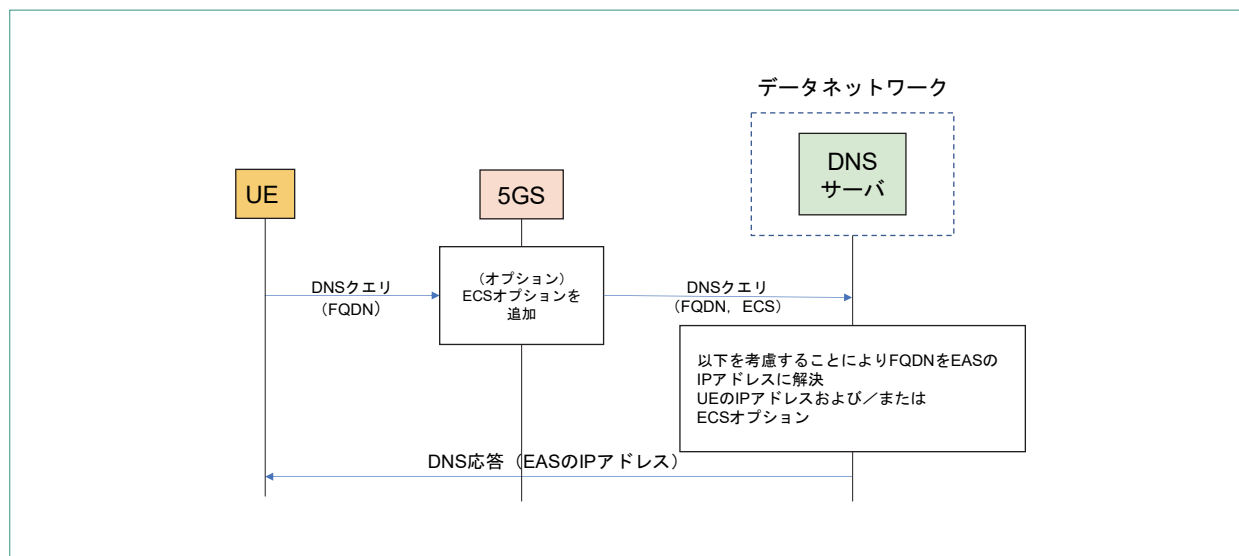


図2 5GS Rel-17でサポートされたEASの発見

この機能を基礎として、5GCでは以下の追加の機能をサポートすることが3GPP SA WG2で規定された。

①分散アンカーポイントによるEASの発見

分散アンカーポイントの接続モデルでは、5GCはPDUセッション確立時に、UEの場所に基づいて5GCが選択したDNSリゾルバ／サーバの情報をUEに設定する。それに基づき、EASの発見手順が実行される。UEがローカルPSA（PDU Session Anchor）UPF経由でDNSクエリをDNSリゾルバ／サーバに送信すると、以下のどちらかが実行される。

- ・DNSクエリは、DNSリゾルバによって解決される。DNSリゾルバは、DNS ECSオプションを追加し、DNSクエリを上位の権威DNSサーバに送信する。
- ・DNSクエリは、PSA UPFに近いDNSサーバによって解決される。ただし、権威DNSサーバがDNSクエリのソースIPアドレスを考慮す

る場合がある。

②セッションブレイクアウトによるEASの発見

セッション分岐の接続モデルでは、EASの発見は以下に基づいて行うことができる。

- ・動的セッション分岐：Rel-17で導入された新しい5GC機能であるEASDF（EAS Discovery Function）^{*28}のサポートにより、セッションブレイクアウト（ULCL/BP）を動的に確立する。EASDFは、UEから受け取ったDNSクエリをDNSサーバ（ローカルまたは中央サイト）に転送する。次に、EASDFはDNS応答を受け取り、DNS応答に含まれている情報（例：EASのIPアドレス）をSMF（Session Management Function）^{*29}に通知する。この情報に基づいて、SMFはローカルアンカーUPFおよびULCL/BPを通信路に挿入してトラフィックのルートを変更する。

EASDFの構成はアプリケーションレイヤで制御できる。アプリケーションレイヤは

*21 UPF：5Gコアネットワークのネットワーク機能の1つ。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。

*22 PDUセッション：UEとデータネットワーク間の論理接続。

*23 ULCL/BP：ULCLおよびBP機能は、同じデータネットワークに関連した2つのN6インタフェース間で、アップリンクトラフィックを選択的に振り分けるUPFの機能である。

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

*25 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。

*26 DNSクエリ：ドメイン名からIPアドレスに変換するために、DNSサーバ宛に送られるリクエスト。

*27 EDNSクライアントサブネット（ECS）：DNSクエリの送信元が属するサブネットの情報を示すために、DNSクエリとともに送られるオプション。

*28 EASDF：DNSを用いてEASを発見するための機能部。

*29 SMF：5GCにおいてセッションを管理するネットワーク機能。

EAS配備構成を5GC制御プレーン^{*30}に提供することができ、これには、アプリケーションでサポートされるFQDNのリスト、データネットワークの各ローカルアクセスおよび関連するDNSサーバ識別子に対応するIPアドレス範囲が含まれる。

- ・事前確立セッションブレイクアウト：事前に設定されたDNSリゾルバ／サーバを用いてEASを発見し、静的にセッションブレイクアウトを確立する。

③複数PDUセッションによるEASの発見

複数PDUセッションでは、URSP (UE Route Selection Policy) ルールを用いてEASの発見が行われる。URSPルールは5GC制御プレーンによってUEに設定され、UEのアプリケーショントラフィックを適切なPDUセッションにマッピングする。URSPルールは複数PDUセッションの接続モデルだけでなく、他のエッジ接続モデルのどれでも使用できる。

また、TS23.548では、5GC制御プレーンがアプリケーションレイヤから受け取るサービスパラメータを基にURSPルールを生成する方法について説明している。例えば、アプリケーションレイヤによって指定された宛先のFQDNまたはIPアドレスを使用して、UEは、その宛先向けのトラフィックを検出したときに、専用のPDUセッション（所定のデータネットワークまたはスライスが対象）を確立することもできる。

(2)エッジの移転のサポート

TS23.548では、以下に示すように、エッジの移転、つまりEASの変更および／またはPSA UPFの移転をサポートするさまざまな手順について説明している。

- ・パケットロス^{*31}低減のためのパケットバッファリング

EASが移転する際にパケットロスが発生しないよう、ULトラフィックをバッファリングする手順。

- ・AF (Application Function)^{*32}の変更を伴うエッジの移転

データネットワークのローカル部分に配備されたEAS、あるいは、中央にあるアプリケーションサーバの移転が、AFの移転も意味するシナリオを扱う手順。

- ・EAS IPの置換えを用いたエッジの移転

ローカルPSA UPFが、エッジコンピューティングを用いるアプリケーションに関連するトラフィックに対し、EASのIPアドレスやポート番号の置換えを行う手順。

- ・ソースおよびターゲットPSAの同時接続に関するAF要求

エッジ移転時に、AFがネットワークに対してソースPSAとターゲットPSA両方への同時接続を要求することを可能にする手順。

- ・ユーザプレーン^{*33}遅延要件を考慮したエッジの移転

AFがネットワークにユーザプレーン遅延要件を通知し、SMFがその要件を満たすためにエッジ移転が必要かどうか判断できるようにする手順。

- ・AFによって起動されるエッジの移転

AF内部トリガ（例：EASの負荷バランスの偏りや、メンテナンス作業の影響でEASが使えない場合）、あるいは、SMFからAFへ通知されるユーザプレーンパス変更通知により、EAS移転が生じる手順。

^{*30} 制御プレーン：端末の登録や通信データの転送経路の設定などの制御処理を行う、ネットワーク機能群。

^{*31} パケットロス：情報誤りの発生や輻輳などにより、データパケットが宛先に届かないこと。

^{*32} AF：アプリケーションを提供する、ネットワーク機能。

^{*33} 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。

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

3GPP TS23.558では、エッジアプリケーションをサポートするために、3GPP SA WG6 (SA6) によって標準化されたアプリケーションレイヤアーキテクチャについて説明している。前述した3GPP SA WG2によって規定された5Gコアアーキテクチャと、SA6のアプリケーションレイヤアーキテクチャとの間は明確に区別されている。

図3 [5] は、エッジアプリケーションを実現するためにSA6によって導入されたアーキテクチャの概要を示している。この図が示すように、SA6のアプリケーションレイヤの構成要素はSA6で規定されたインタフェースEDGE-2, 7, 8を介して、NEF (Network Exposure Function)^{*34}などによって公開された3GPPコアネットワーク機能サービスを利用できる。

UEでアプリケーションレイヤ構成を取得できるようにするため、5GCは、ECS (Edge Configuration Server)^{*35}の識別子をUEにプロビジョニング^{*36}できる。SA6アーキテクチャにおけるECSの役割は、UEのEEC (Edge Enabler Client)^{*37}がエッジデータネットワークのEES (Edge Enabler Server)^{*38}と接続するために必要なサポート機能を提供することである。

ECSとEESはECSP (Edge Computing Service Provider)^{*39}が所有しており、EASはASP (Application Service Provider)^{*40}が所有している。ECSPとASPは、MNO (Mobile Network Operator)^{*41}でもサードパーティのプロバイダでも構わない。

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

(1) サービスプロビジョニング

ECSは、EESのアドレス情報などの必要な情報を

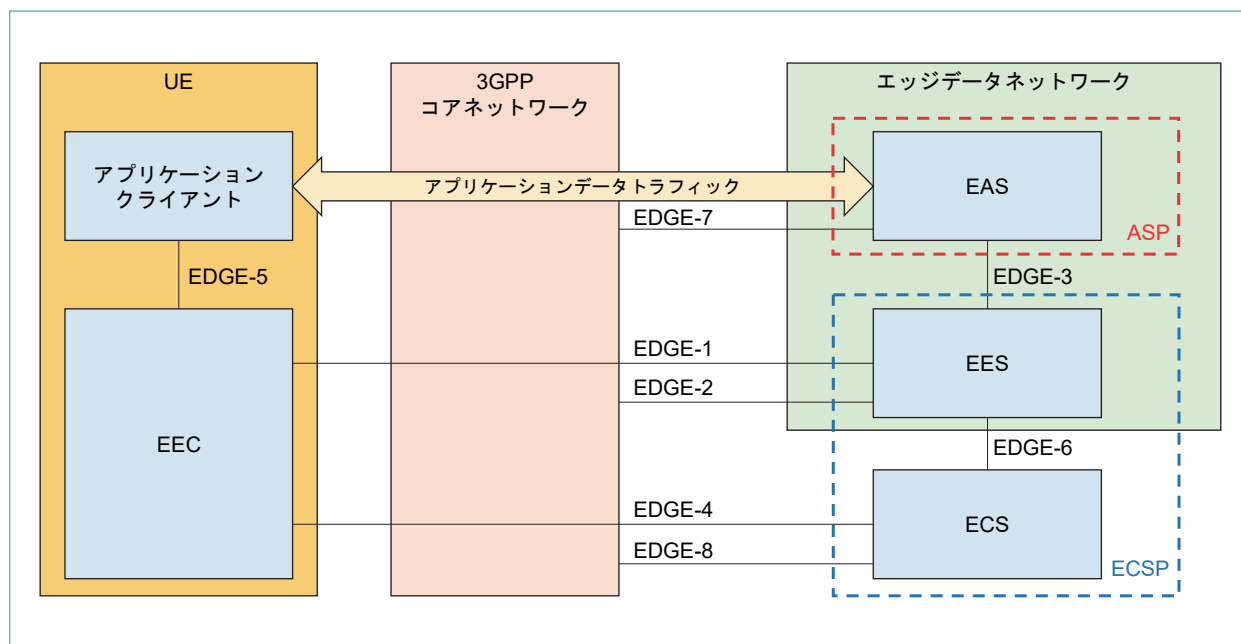


図3 アプリケーションレイヤアーキテクチャ

*34 NEF：5GC外のアプリケーションなどから、5GC内の情報取得や、5GC内の制御を実施するためのAPIを提供するNF。

*35 ECS：エッジコンピューティングに必要な設定を管理する機能部。

*36 プロビジョニング：アプリケーションを実行するために必要となる、端末やサーバやネットワークなどのリソースの確保、および、それらを動作させるための各種設定作業。

*37 EEC：端末側でエッジコンピューティングサービスを実現するための機能部。

*38 EES：サーバ側でエッジコンピューティングサービスを実現するための機能部。

*39 ECSP：ECSおよびEESを提供するエッジコンピューティングサービス事業者。

*40 ASP：EASを提供するアプリケーション事業者。

*41 MNO：移動通信事業者。

EECに設定できる。このプロセスは、エンドユーザがエッジコンピューティングサービスを利用できるようにするもので、サービスプロビジョニングと呼ばれる。

サービスプロビジョニングの手順では、要求／応答モデルと購読／通知モデルの両方をサポートしている。要求／応答モデルの場合、EECはサービスプロビジョニング要求をECSに送信し、ECSは要求に対してエッジデータネットワーク構成の情報で応答する。購読／通知モデルの場合、EECはまずECSにサブスクライブし、ECSは、サービスプロビジョニング情報が更新されたなどのトリガ条件が満たされるとEECに通知を送信する。サービスプロビジョニング後、EECはEESにアクセスして、登録などの操作をさらに実行できる。

(2)登録

エッジコンピューティングのエンティティ（例：EAS, EES, ECS, EEC）は、エッジコンピューティングサービスをサポートするため、相互にやり取りする必要がある。登録は、各エンティティが自身に関する情報を他のエンティティに配信するプロセスである。

Rel-17の仕様では3種類の登録をサポートしている。すなわち、EESに対するEEC登録（EDGE-1経由）、EESに対するEAS登録（EDGE-3経由）、ECSに対するEES登録（EDGE-6経由）である。EEC, EAS, EESの各エンティティは、手順に従って登録、更新、登録解除を実行できる。また、EESによるEEC登録ではEECコンテキスト^{*42}移転手順もサポートしている。この手順では、EECに関連する情報（EECコンテキスト）をもとに元の登録先であるEESから別のEESに移転する。この手順は通常、UEが新しい場所に移動し、現在のUEの場所により近い別のEESを使用してエッジコンピューティング

サービスを続行する場合に使用される。

(3)サービスの継続性

前述したEECコンテキスト移転に加えて、SA6はサービスの継続性をサポートする手順をいくつか規定している。サービス継続性手順は、UEの移動、EASの過負荷状態、保守によるEASのグレースフルシャットダウン^{*43}などでの使用を想定している。サービス継続性手順の間に、ソースEAS（S-EAS）に存在するアプリケーションクライアントの情報（アプリケーションコンテキスト）はターゲットEAS（T-EAS）に移転される。このようなEAS間のアプリケーションコンテキストのやり取りによるサービス継続性手順はACR（Application Context Relocation）と呼ばれる。

サービスの継続性の状況とACRに関係する各エンティティの役割に応じて、サービスの継続性は5つのシナリオに分けることができる。各シナリオで、アプリケーションコンテキストは、S-EASからT-EASに移転され、ACR手順後にUEはT-EASによってサービスを提供される。

3. ネットワークスライシングの拡張

3GPPでは、Rel-15以降ネットワークスライシング機能を提供している。この機能は、EPS（Evolved Packet System）^{*44}のDecor（Dedicated Core Network）^{*45}から発展したものである。ネットワークスライシングを利用すると、論理ネットワークの区分と分離によって、顧客ごとにサービス要件が相反するような場合であっても、多様なビジネスニーズを満たすことができる。その後、GSMA（Global System for Mobile communications Association）^{*46}では、顧客によるネットワークスライスリソースの使用に関する制御性が向上するよう検討が進められ、

^{*42} コンテキスト：ネットワーク機能やアプリケーションが個々の端末やクライアントを扱う際に用いる、各端末、各クライアントに特有の情報。

^{*43} グレースフルシャットダウン：計画的なシャットダウン。

^{*44} EPS：LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された、IPベースのパケットネットワークの総称。

^{*45} Decor：端末に割り当てられたコアネットワークをRANが選択できるようにする、EPSの機能。

^{*46} GSMA：世界中の移動通信事業者およびモバイル産業界に関連するメンバーで構成され、移動通信業界全体の発展をめざした活動を行っている団体。

結果がNG (Networks Group). 116 [7] にまとめられた。3GPPではRel-17において、ネットワークスライシングの商業的な実行可能性をさらに向上させるため、特にNG.116で定義されているパラメータを5GSでサポートするため、多くの機能が導入された。

3.1 NSAC

NSAC (Network Slice Admission Control)^{*47}は、ネットワークスライスが収容するUEの数およびPDUセッションの数が、サービスレベル契約 (SLA : Service Level Agreement)^{*48}に基づいてGST (Generic Slice Template)^{*49}で指定された割当て量を超過しないようにする、一連の制御である。NSACF (NSAC Function) が、各ネットワークスライス上のUEの数およびPDUセッションの数を監視し制御する。割当て量は、構成に応じて、アクセスタイプ (3GPPのアクセスタイプまたは3GPP以外のアクセスタイプ) 依存または非依存にできる。またNSACFは、イベントに基づいた通知により、AFや他NFに、各ネットワークスライス上のUEの現在の数およびPDUセッションの現在の数を知らせることができる。

NSACFは、配備の際にさまざまな展開が可能である。例えば、NSACFを特定のネットワークスライス専用にすることもできるし、複数のネットワークスライスに適用することもできる。1つのPLMN (Public Land Mobile Network)^{*50}に1つのNSACFが存在するようにもできる。または、1つのPLMNに複数のNSACFを存在させてそれぞれにサービス提供領域を設けることで、広い運用エリアをもつPLMNをサポートすることもできる。

割当て使用状況の監視・制御の正確性を確保するため、AMF (Access and Mobility Management Function)^{*51}とSMFは、NSACの影響下にあるネッ

トワークスライスを認識している必要がある。また、UEからの新しい要求については、AMFとSMFはUEの要求を受け入れる前にNSACFに確認する必要がある。割当量に達したことを確認した場合AMFは、要求されたネットワークスライスを拒否する。NSACFに対する割当て量確認のためにUEの登録手順で遅延が増大することを回避するため、オペレータはオプションのEAC (Early Admission Control)^{*52}機能を使用することもできる。この機能を使用すると、AMFは登録受付応答をUEに送信してからNSACFに確認できる。

3.2 ネットワークスライス内のデータレートの制御および制限

図4は、Rel-17より前に可能であったこととRel-17で可能になったことを示している。Rel-15・16では、1UEにおける全ネットワークスライスの合計ビットレートしか制御・制限できなかったが、Rel-17では新たにUE-Slice-MBR (UE Slice Maximum Bit Rate) が導入され、1UEが特定の1ネットワークスライスにもつすべてのPDUセッションに関し、それらに含まれるGBR (Guaranteed Bit Rate)^{*53}および非GBRの全データフローの合計ビットレートを制御および制限できるようになっている。

本動作においては、AMFはUDM (Unified Data Management)^{*54}からUE-Slice-MBRを取得し、それをRANに提供し、RANがビットレートの制限を実施する。

さらに、Rel-17では、同じネットワークスライス内でのすべてのUEのデータレートの制御および制限を実行することも可能である。この機能をサポートするため、UDR (User Data Repository)^{*55}はネットワークスライスのすべてのUEに関する最大データレートの情報と、ネットワークスライスごと

^{*47} NSAC : オペレータが、ネットワークスライスごとに、登録端末数や、PDUセッション数を監視制御できるようにする、5GS Rel-17以降の機能。

^{*48} サービスレベル契約 (SLA) : サービス提供者とサービス消費者との間の契約。

^{*49} GST : ネットワークスライス、あるいは、ネットワークスライスが提供するサービス、の種別を特徴付ける一連の属性。GSM NG.116が規定する。

^{*50} PLMN : 公衆移動通信網。国番号および事業者に対応するIDにより各国における事業者を識別する。

^{*51} AMF : 5GCにおけるUEの在圏収容装置。

^{*52} EAC : ネットワークスライスごと端末数制限確認を、Allowed NSSAI (ie. 在圏網で端末が利用できるネットワークスライス) 決定の前に行うか、後に行うかを指定できる機能。

^{*53} GBR : ビット速度が保証されていること。

^{*54} 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。

^{*55} UDR : 5GCにおけるレポジトリ。

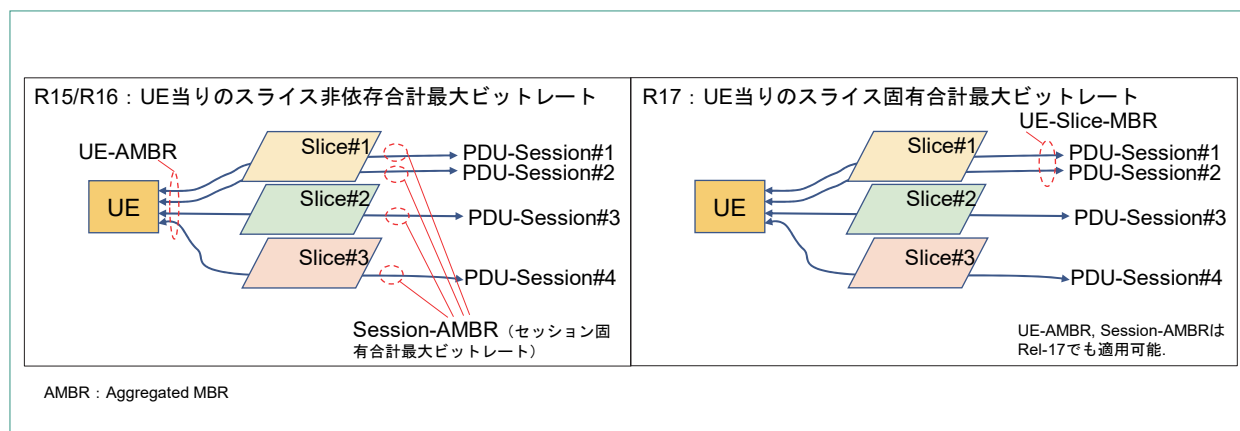


図4 UE当りのスライス固有合計最大ビットレート

の残りのデータレートの情報を格納する。そして、PCF (Policy Control Function)^{*56}は、これらの情報を参照し、現在のデータレートがネットワークスライスで許可されている最大値を超えないようにする。

3.3 ネットワークスライスの同時登録に関するアクセス制限

UEが異なるネットワークスライスにアクセスしようとしていても、網構成、規制、またはSLAのために、5GCはそこで提供される複数のサービスの同時利用を制限しなければならない場合がある。この制限をサポートするため、UDMはNSSRG (Network Slice Simultaneous Registration Group)^{*57}情報を加入者情報の一部として自身に格納してそれをAMFに提供し、UEから要求を受け取った場合にAMFが制限を実施できるようにしている。

3.4 ネットワークスライス固有周波数帯に基づく転送

不均一な網構成のために、特定の地理的な位置で、異なるネットワークスライスが異なる周波数帯を使用するよう構成される場合がある。しかし、Rel-17

より前のUEはどのネットワークスライスがどの周波数帯で運用されているか認識しない。このため、最初に特定の周波数帯で運用されるネットワークスライスに登録したUEが、後に別の周波数帯で運用される別のネットワークスライスに登録しようとする場合、その別のネットワークスライスは現在のトラッキングエリアでは利用できず、UEのその要求は常に拒否されてしまうという事象が起こり得る。そこでRel-17では、AMFがRANにターゲットNSSAI (Network Slice Selection Assistance Information)^{*58}を送り、それが示すネットワークスライスをサポートするセルに、RANがUEを振り向けることができるようにした。

4. ネットワークデータ解析の拡張

4.1 NWDAFの拡張

5GSでは、インテリジェントなネットワーク自動化をサポートするために、AIと機械学習 (ML: Machine Learning)^{*59}の技術をサポートしている。

Rel-15では、NWDAFが独立したコアネットワーク機能として導入された。Rel-16ではNWDAFを中

^{*56} 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。

^{*57} NSSRG: 加入者情報の一部として含まれる、同時に使うことのできるネットワークスライスを制約する情報。

^{*58} NSSAI: ネットワークスライスの選択を支援する情報。

^{*59} 機械学習 (ML): サンプルデータから統計処理により、有用な判断基準をコンピュータに学習させる技術。

心とするネットワークデータ解析にかかわる5GCの全機能が専用のTS23.288 [8] で詳しく規定されている。また、API (Application Programming Interface)*⁶⁰の詳細はTS29.520 [9] で定義されている。これは、5GSでのネットワーク自動化を可能にするために、ネットワークデータ解析を提供することを目的としている。

図5に示すように、NWDAFは、NF (例：AMF, SMF, PCF), AF, OAM (Operations, Administration, Maintenance)*⁶¹などからデータを収集する。NWDAFは、入力データに基づいてネットワークデータ解析を行い、NF, AF, OAMなどにネットワークデータ解析結果を提供する。Rel-16では、推論とモデル訓練の機能が単一のNWDAFに実装されており、それ以上の詳細は規定されていない。Rel-17では、NWDAFは以下に分けられている。

- ・ MTLF (Model Training Logical Function) : MLモデルを訓練し、訓練済みMLモデルを新しく定義されたサービス (Nnwdaf_MLModel) を介してAnLF (Analytics Logical Function) に共有する。
- ・ AnLF : 推論を実行し、解析結果を利用するNF, AF, OAMの要求に基づいた統計および予測情報を解析結果として導き出す。

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

4.2 新しい機能セットの導入

図6に示すように、Rel-17では、以下のような新しい機能セットがネットワークデータ解析の枠組みに導入された。

- ・ DCCF (Data Collection Coordination Function)*⁶² : すべてのデータ要求を管理するための中心となるエンティティである。例えば、データを使う側つまりデータConsumerはデータ要求を、データを提供する側つまりデータソースに直接送信するのではなく、DCCFに送信する。DCCFは別のデータConsumerがすでに同じデータを要求していないかどうか評価し、すでに要求があり同じデータが利用できる場合、DCCFはそれを直接Consumerに提供する。データが利用できない場合、DCCFはデータソースからデータ収集を開始する。
- ・ メッセージングフレームワーク : データソースから受け取ったデータを処理し、データConsumerによって指定された、またはDCCF [8] によって決定された、すべてのデータConsumerの通知エンドポイント*⁶³に通知を送信する。

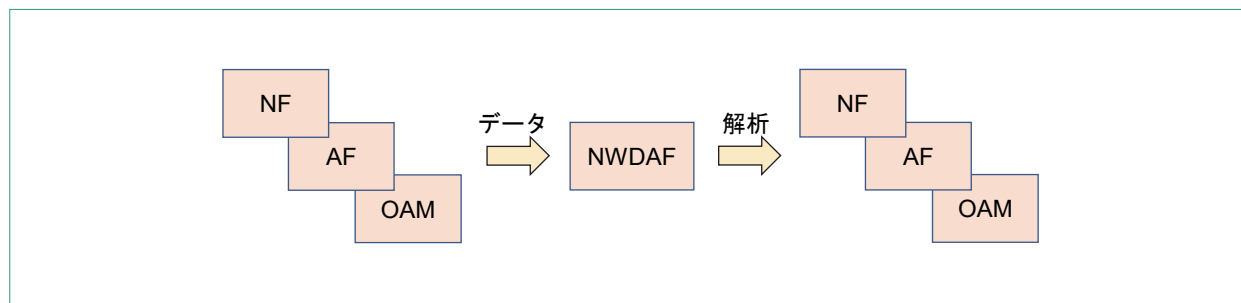


図5 NWDAF機能の概要

*⁶⁰ API : 5GCの装置間で互いにやりとりするのに使用するインタフェースの仕様。

*⁶¹ OAM : ネットワークにおける保守運用管理機能。

*⁶² DCCF : NWDAFに代わって、データを収集する。また、データ収集を調整する、ネットワーク機能。

*⁶³ エンドポイント : APIにアクセスするためのURL。

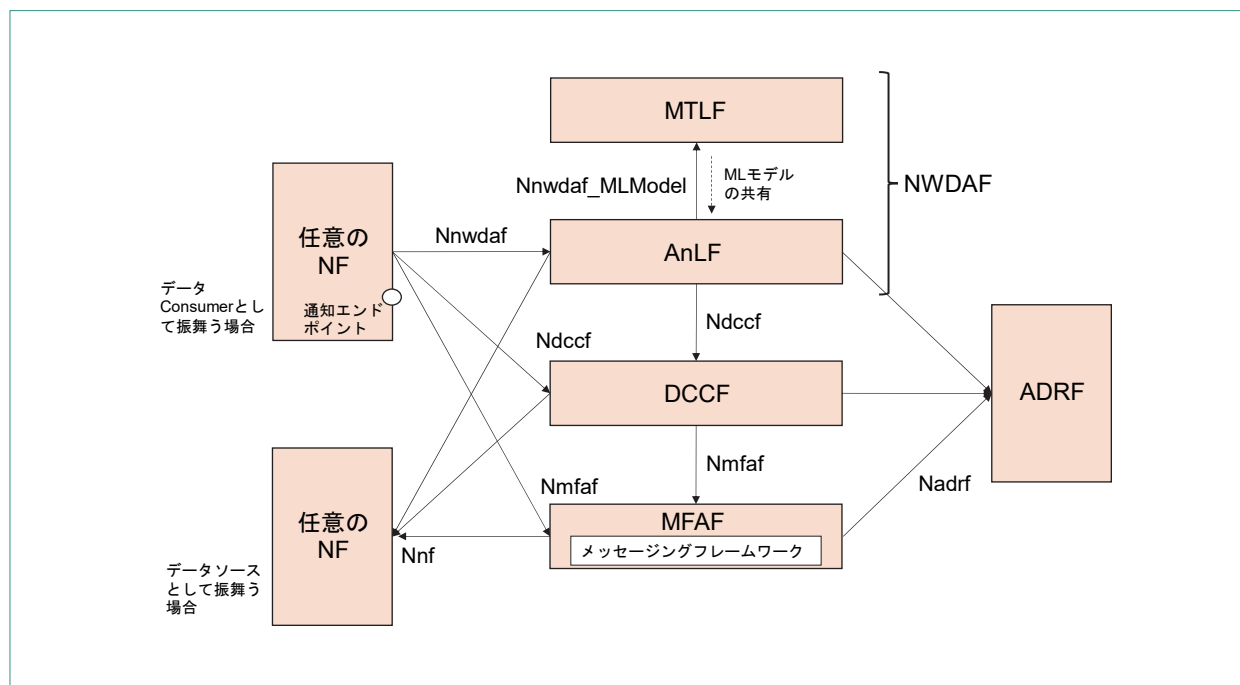


図6 Rel-17の新しく導入されたネットワーク機能とそのサービス名

なお、メッセージングフレームワークは3GPPの仕様書では標準化されていない。3GPPの仕様書では、5GSがメッセージングフレームワークとやり取りできるようにするサービスとして、MFAF (Messaging Framework Adaptor NF) ^{*64} について説明しているのみである。メッセージングフレームワークの内部ロジックは3GPPの対象外である。

- ・ ADRF (Analytics Data Repository Function) : データ Consumer がデータおよび解析結果を、格納および取得できるようにするストレージ機能である。ADRFは、5GSでのデータウェアハウス ^{*65} / データレイク ^{*66} と考えることができる。例えば、ADRFはオープンソースのHadoop ^{*67} をベースに実現することが可能である。

4.3 新しい解析項目の導入

さらに、Rel-16で定義されたネットワークデータ解析はRel-17で拡張されており、従来のほかに5つの新しい解析項目が導入されている。セッション管理輻輳制御をUE間で公平に適用するための情報として用いるため過去の適用状況の統計情報を与える「セッション管理輻輳制御体験解析」、URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communications) ^{*68} サービスで冗長伝送を行うかどうか決めるための情報として用いるため冗長伝送の効果の統計情報や予測を与える「冗長伝送体験解析」、UEのWLAN (Wireless Local Area Network) パフォーマンスを判別する「WLANパフォーマンス」、あるUEが行った活動量 (データ量、制御メッセージ量など) の、場所やネットワークスライスごとの割合であり、注目すべき場所やネットワークスライスをランク付けしたり、特

^{*64} MFAF : 5GSがメッセージングフレームワークとNmfaF機能を用いて連携できるようにする、ネットワーク機能。

^{*65} データウェアハウス : 処理済みのデータを格納するストレージリポジトリ。

^{*66} データレイク : 処理前のデータを格納するストレージリポジトリ。

^{*67} Hadoop : 並列分散処理を実現するためのプラットフォーム。HadoopはApache Software Foundationの登録商標。

^{*68} URLLC : 高信頼通信および低遅延通信を同時に要求するサービス。

定の場所やネットワークスライスに関し使用頻度の高いUEを特定したりできるようにする「UE分散」、特定のエッジコンピューティングアプリケーションのユーザプレーンパフォーマンスを判別する「データネットワークパフォーマンス」である。

5. ノンパブリックネットワークの拡張

3GPPでは、Rel-16において、工程自動化または工場自動化ユースケースをサポートするために、通常はPLMNオペレータ以外の企業によって運用されるプライベートネットワークであるSNPNの概念が導入された。Rel-17では、プロの音響映像制作の以下のユースケースをサポートするために、SNPNの認証方法の2つの点が拡張されている [10]。

- ① イベントの主催者はSNPNをイベント会場に配備する。放送局の機器はUEとして、SNPNを介して接続を行う。一方イベントごとに異なる企業が、放送や音響映像制作をサポートするため、適宜自らがもつ機器を持ち込む。このユースケースのために、SNPNではなく外部の企業体がUEを認証するメカニズムが仕様化された。
- ② SNPNを展開するスタジオに新しいデバイスを持ち込む。このユースケースのために、最初はデフォルトの認証情報を使うことで、SNPNによってUEが適切な認証情報を取得できるようにするメカニズムが仕様化された。

これらのユースケースをサポートするメカニズムについては、以下で解説する。

なお、Rel-17では、PLMNオペレータがSNPNを無線アクセスとして利用する場合に備えて、SNPNの緊急通話のサポートを規定している。さらに、一部の欧州諸国の大規模なプライベートネットワーク

に関する規制に準拠して、SNPNのPWS (Public Warning System)*69のサポートを規定している。

5.1 外部の企業体がUEを認証できるようにするメカニズム

CH (Credential Holder)*70と呼ばれる外部の企業体は、以下の(1)(2)いずれかのメカニズムを用いてUEの主認証を実行できる。

- (1) AAA (Authentication Authorization Accounting) サーバ*71があるCH

図7は、このケースに関連のあるNFを示している。CHはAAAサーバを配備し、AAAサーバはEAPサーバ*72として機能する。SNPNはNSSAAF (Network Slice specific and SNPN Authentication and Authorization Function)*73を配備し、NSSAAFはAUSF (Authentication Server Function)*74とAAAサーバの間で転送されるメッセージを処理する。

このシナリオでは、EAP-AKA (Improved Extensible Authentication Protocol-Authentication and Key Agreement)*75、EAP-TLS (EAP-Transport Layer Security)*76、EAP-TTLS (EAP-Tunneled Transport Layer Security)*77の認証方法をサポートしている。なお、EAP-TTLSはUE認証情報を必要としない。

UE登録手順で、AUSFはUEからSUCI (Subscription Concealed Identifier)*78を受け取ってUDMに提供する。UDMはSUCIをSUPI (Subscription Permanent Identifier)*79 (NAI (Network Access Identifier) 形式) に復号化し、加入者情報をチェックして、主認証をCH AAAサーバに依存することを決定する。UDMはこの情報をAUSFに提供し、AUSFはEAPメッセージをNSSAAFに送信する。NSSAAFはEAPメッセージをCH AAAサーバに転送し、必要に応じてプロトコルを変換する。

*69 PWS：各国で呼び名が異なるが、日本では、緊急地震速報を提供するシステム。

*70 CH：SNPNを構築する際には、端末認証を行う部分と、それ以外の部分を、別々の主体が担うことができる。CHは、そのうち、前者の部分あるいは前者を担う主体を指す。

*71 AAAサーバ：認証、認可、課金を管理するサーバを指す一般的な用語。

*72 EAPサーバ：複数の認証方法をサポートする認証の枠組みで用いる。拡張認証プロトコルを終端するサーバ。

*73 NSSAAF：ネットワークスライス固有認証認可、あるいは、

SNPN認証認可を担うネットワーク機能。本稿では後者の機能。すなわち、認証関連メッセージ転送機能を指す。

*74 AUSF：認証サーバの役割を担うネットワーク機能。

*75 EAP-AKA'：IETFで標準化された第3世代移动通信システムの認証と鍵共有方式の拡張。

*76 EAP-TLS：IETFによって規定された認証プロトコルの1つ。クライアント、サーバの双方で電子証明書を発行し、相互に認証が行われる。

*77 EAP-TTLS：EAP-TTLSは、携帯端末側へIDとパスワードを設定する方式。

CH AAAサーバはEAPサーバとして機能し、主認証手順を続行する。

(2)AAAサーバがなくAUSFおよびUDMを用いるCH

図8は、このケースに関連のあるNFを示している。ローミング*80に類似する手順を主認証に使用する。

5.2 UEが適切な認証情報を取得できるようにするメカニズム

このシナリオでは、UEへの認証情報の提供を補助するSNPNはON-SNPN（ONboarding SNPN）と呼ばれ、認証情報を所有するSNPNはSO-SNPN（Subscription Owner SNPN）と呼ばれている。

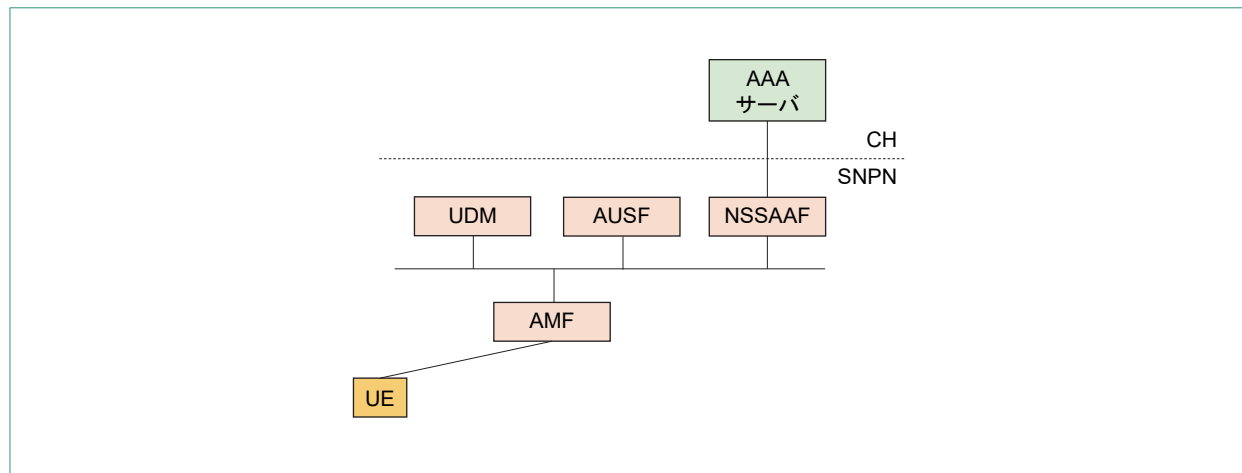


図7 AAAサーバがあるCHによる主認証

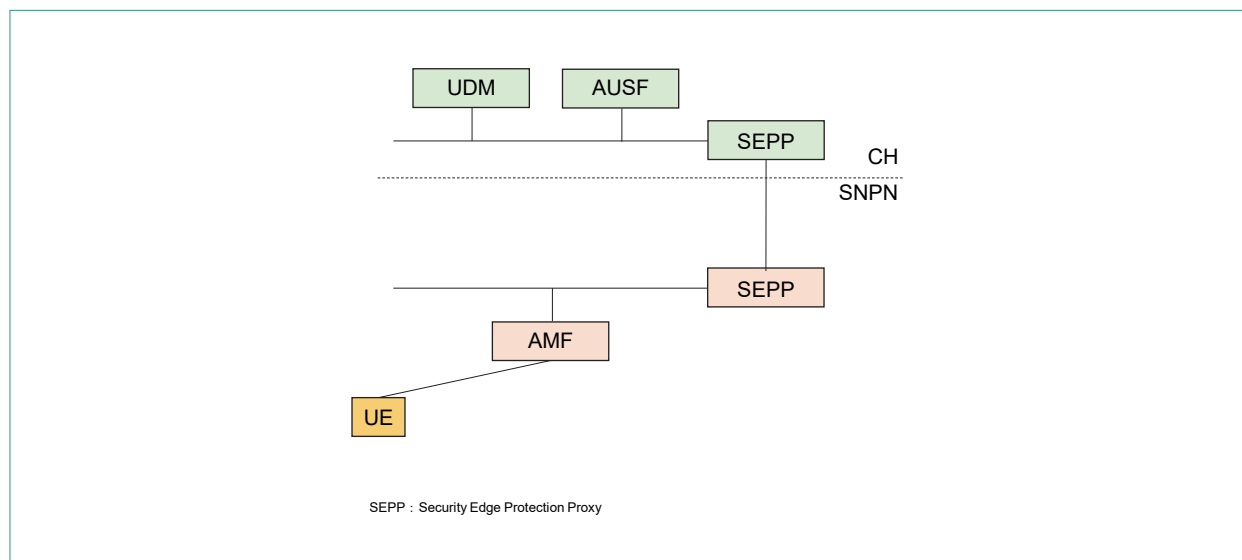


図8 AAAサーバがなくAUSFおよびUDMを用いるCHによる主認証

*78 SUCI：5GSで用いる加入者を識別する情報（SUPI（*79参照））を暗号化したもの。

*79 SUPI：5GSで用いる加入者を識別する情報。

*80 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。

ON-SNPNとSO-SNPNを、同一とすることも別々にすることもできる。SO-SNPN認証情報を提供するサーバはPVS (ProVisioning Server)*⁸¹と呼ばれている。図9は、このメカニズムに関連のあるNFを示している。PVSはN6*⁸²に配備される。

UEに、デフォルトの認証情報とON-SNPN選択情報が設定される。ON-SNPNのgNB (gNodeB)*⁸³は、オンボーディングが許可されていることをブロードキャストする。これを受信したUEはON-SNPNを選択し、デフォルトの認証情報を使ってそのON-SNPNにアクセスして、オンボーディングのためのアクセスであることを示す情報をRRC (Radio Resource Control)*⁸⁴メッセージに含める。UEは登録時に、その種類をSNPNオンボーディングとして設定する。ON-SNPNのAMFに、OAMが事前にオンボーディング構成データを設定しておく。UEに、PVSのIPアドレスまたはFQDNが事前に設定されている場合がある。設定されていない場合は、ON-SNPNのSMFがPDUセッションの確立時にPCO (Protocol Configuration Options)*⁸⁵を用いてその情報をUEに提供する。UEはPVSから認証情報を取得し、これによってUEはSO-SNPNにアクセスでき

ることとなる。ON-SNPNのAMFは、時間切れになったらUEを登録解除する。

ON-SNPNは、前述したように、デフォルトの認証情報の主認証に関してCHに依存することができる。図10は、このケースに関連のあるNFを示している。CH AAAサーバはDCS (Default Credential Server)*⁸⁶と呼ばれている。UDMは手順には関係しない。AUSFはEAPメッセージを直接NSSAAFに送信する。

6. あとがき

本稿では、Rel-17で規定された5GCへの拡張について解説し、エッジコンピューティング、ネットワークスライシング、ネットワーク自動化、NPNに焦点を当てた。2022年の初め以来、3GPP SA WG2はRel-18の研究を開始しており、5Gのさらなる拡張を目指している。Rel-18の研究の一部は、本稿で解説した機能のさらなる拡張を目標としている。ドコモは、今後も3GPPにおける5G-Advanced標準化に寄与し、移動通信のさらなる発展に貢献していく。

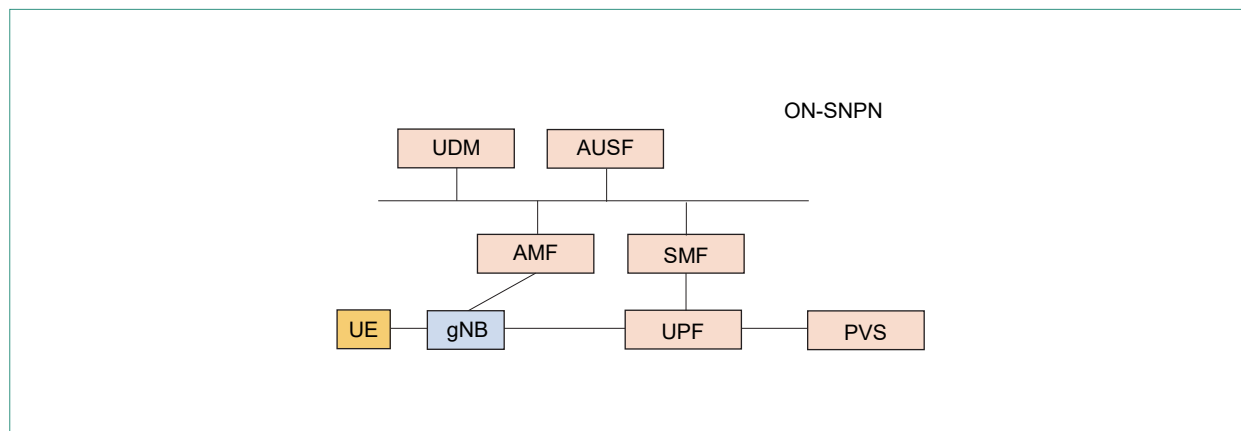


図9 ON-SNPNによって支援されるUEのオンボーディング

*⁸¹ PVS：認証用のクレデンシャル（認証処理時に用いる、端末が保持する情報）を提供するサーバ。

*⁸² N6：UPFとDNの間の参照点。

*⁸³ gNB：5Gの無線方式に対応した無線基地局。

*⁸⁴ 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。

*⁸⁵ PCO：ベアラ確立信号で、各種プロトコルのオプションを転送する。

*⁸⁶ DCS：端末が事前にデフォルトでもつ、認証用のクレデンシャルを認証するサーバ。

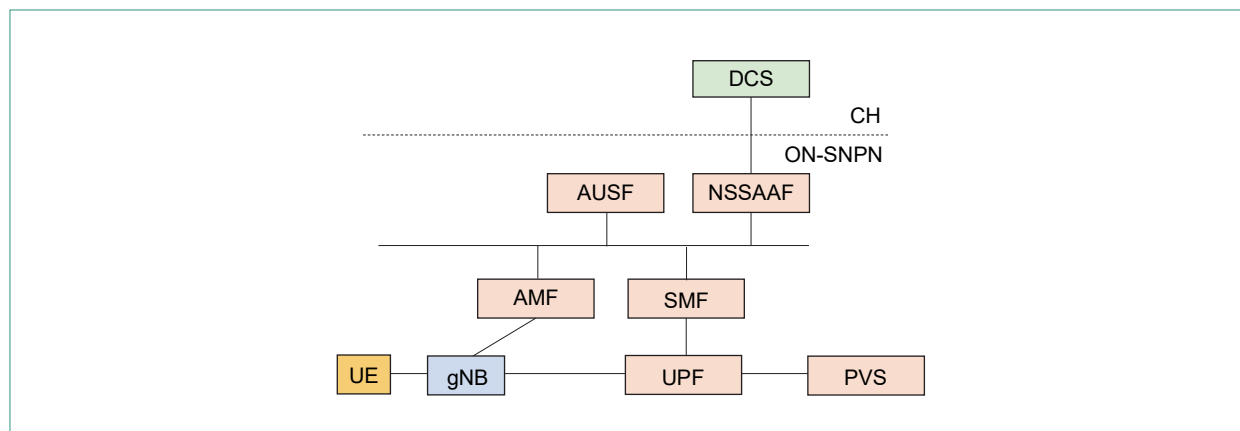


図10 ON-SNPNおよびDCSによって補助されたUEのオンボーディング

文 献

- [1] 3GPP TS23.548 V17.3.0 : “5G System Enhancements for Edge Computing ; Stage 2,” Jun. 2022.
- [2] 3GPP TS23.501 V17.5.0 : “System architecture for the 5G System (5GS),” Jun. 2022.
- [3] 3GPP TS23.502 V17.5.0 : “Procedures for the 5G System (5GS) ,” Jun. 2022.
- [4] 3GPP TS23.503 V17.5.0 : “Policy and charging control framework for the 5G System (5GS) ; Stage 2,” Jun. 2022.
- [5] 3GPP TS23.558 V17.4.0 : “Architecture for enabling Edge Applications,” Jun. 2022.
- [6] IETF RFC7871 : “Client Subnet in DNS Queries,” May 2016.
- [7] GSMA NG.116 V1.0 : “Generic Network Slice Template,” May 2019.
- [8] 3GPP TS23.288 V17.5.0 : “Network Data Analytics Services ; Stage 2,” Jun. 2022.
- [9] 3GPP TS29.520 V17.7.0 : “Network Data Analytics Services ; Stage 3,” Jun. 2022.
- [10] 3GPP TR22.827 V17.1.0 : “Study on Audio-Visual Service Production ; Stage 1,” Jan. 2020.

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

ネットワーク開発部 石川 寛†
移動機開発部 ひこさか 彦坂 まおき 真央樹
ネットワーク開発部 にしだ 西田 しん 慎
MeadowCom Ban Al-Bakri

3GPPのCTグループは、主にSAグループによって定義されるサービスおよびアーキテクチャの要件に対応するプロトコルの定義を行う。さらに、アーキテクチャの更新や変更の必要がない一部の機能拡張もCTグループが規定する。

本稿では、Rel-17で行われた機能拡張のうち、PLMN選択、SOR、UDR関連プロファイルの復旧手順、とNASプロトコルやサービスベースのインタフェースなどのプロトコルの拡張の一部など、ドコモが注目した拡張に焦点を当てて解説する。

1. まえがき

3GPP (3rd Generation Partnership Project)*¹のCT (Core network and Terminals)*²グループは、3GPPのサービスおよびアーキテクチャの要件に対

応するプロトコルの定義を主に担っている。加えて、一部の特定の機能などについては、CTグループがアーキテクチャの要件そのものの定義 (SOR (Steering Of Roaming)*³, PLMN (Public Land Mobile Networks)*⁴の選択、復旧手順、PWS (Public Warning

©2022 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、R&D戦略部

*¹ 3GPP：移動通信システムの規格策定を行う標準化団体。

*² CT：3GPPにおいて、コアネットワーク (*⁵⁷参照) 内、および移動端末とコアネットワーク間のプロトコルの仕様化を行っているグループ。

*³ SOR：優先事業者選択機能のことで、複数利用可能なVPLMN (*¹²参照)の中から、HPLMN (*¹⁰参照)の方針により端末を特定のVPLMNへ登録することを促す仕組み。

*⁴ PLMN：移動通信システムを用いたサービスを提供するオペレータのこと。

Systems)^{*5}、番号・アドレス・識別の形態に関するStage2要件定義など)を担っている。Release 17(以下、Rel-17)において、CTグループは、主に第5世代移動通信システム(5G)の機能拡張とそのプロトコルの拡張に携わった。

本稿では、主に3GPP Rel-17で事業者の関心事になっている機能を中心に、3GPP CT関連の仕様に導入されたソリューションと拡張について解説する。具体的には、eCPSOR(enhancement of Control Plane SOR)^{*6}、ReP_UDR(Restoration of Profiles related to User Data Repository)^{*7}、PLMNの選択(MINT(Minimization of service INTerruption)^{*8}、5GSAT(5GC architecture for SATellite networks)^{*9}のサポート)を紹介する。

2. SORの拡張

SORは、HPLMN(Home PLMN)^{*10}がローミング^{*11}中の契約者に対し、ローミング先地域の複数の事業者(VPLMN(Visited PLMN)^{*12})の中からローミング先として優先したいVPLMNに誘導する機能である[1]。本機能は、GSM(Global System for Mobile communications)^{*13}以来使用されている。

5Gでは、CP-SOR(Control Plane SOR)^{*14}と呼ばれるソリューションが導入されたが、本ソリューションでは、制御プレーン^{*15}を介してSOR-info(SOR information)^{*16}を提供する。SOR-infoにはユーザに優先的に接続させたい事業者が含まれており、SOR-infoを受信したユーザ端末(UE: User Equipment)^{*17}は、その事業者を優先して接続する。

このSOR実施の際、UEはIdle状態となる必要があるが、従来、Connected状態のUEがSOR-infoを受け取ると、Idle状態になるまで待機してから、優先事業者へ接続する場合があった。するとHPLMN

は、ローミング時の接続料や加入者プロファイル^{*18}などに基づいて最適なVPLMN(主に海外の通信事業者)を決定しているにも関わらず、長時間SORが実行されないことになる。

そこでRel-17ではeCPSORが規定され、HPLMNは、SORを実行するために進行中のPDUセッション^{*19}を中断させUEを即座にIdle状態へ遷移させることができるようになった。なお、単にセッションを中断させIdle状態へ遷移させると、利用中の通信やサービスが切断されるなどユーザ体験が悪くなる可能性があるため、HPLMNが特定の通信の種類(例えば音声通話)を指定し、UEがその通信を優先させられるようになった。このCP-SORの機能拡張のために、SOR-CMCI(SOR Connected Mode Control Information)^{*20}と呼ばれる追加の情報をSOR-infoにて送信できるようになった。以降で、本SOR-CMCIを用いた端末制御、SOR-CMCIのプロビジョニング^{*21}、SOR-CMCIの構成および端末への保存について詳細を解説する。

2.1 SOR-CMCIによる端末動作制御

SOR-CMCIは、SORよりも優先させたい通信種別を指定するための情報であり、本情報により、実行中の通信種別に応じ、Connected状態のローミングUEがIdle状態に移行してSORを実行するタイミングを制御することができる。具体的には、SOR-CMCIで指定された種別の通信がUEで実行中の場合、UEは当該通信が終了するか、SOR-CMCIに含まれるタイマーの時間待機してからSORを実施することになる。これにより、優先ネットワーク事業者の選択(PLMN選択)を開始するタイミングをHPLMNが制御できるようになった。

3GPP Rel-17ではUEによるSOR-CMCIのサポートは必須であるが、HPLMNによるSOR-CMCIのサ

^{*5} PWS: 災害などを念頭に、緊急情報を最優先としてリアルタイムに配信するシステムの機能。

^{*6} eCPSOR: 3GPPで仕様化されたSOR(優先事業者選択の制御)の1つで、従来のSMSに代わり制御信号(Control Plane)を用いて優先事業者を通知する方式(CP-SOR(^{*14}参照))の拡張版。

^{*7} ReP_UDR: 3GPPの検討項目名称で、UDR(^{*23}参照)が保持するデータの信頼度が下がった場合(DB破損によるデータ破損など)にネットワークサービスの継続性を担保するための復旧手順を規定。

^{*8} MINT: 3GPP Rel-17で規定された、ネットワークが被災した場合のユーザ影響を最小限に抑えるための機能。

^{*9} 5GSAT: 3GPP Rel-17で規定された、NR衛星アクセスをサポートするために必要な機能。

^{*10} HPLMN: 加入者が契約している、ホームオペレータ。

^{*11} 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。

^{*12} VPLMN: 加入者がローミングした先のオペレータ(在圏オペレータ)のこと。

ポートと提供は、オプションとして規定されており、事業者のポリシーに基づいて運用可能である。

2.2 HPLMNによるSOR-CMCIの プロビジョニング

SOR-CMCIを含むSOR-infoの情報は、SOR-AF (Application Function for SOR)^{*22}、またはHPLMNのUDR (Unified Data Repository)^{*23}に保管され、HPLMNによって管理される (図1)。この情報は、VPLMNへの登録手順 (Registration) の際かVPLMNへの登録後にUEに提供できる。HPLMNは、UEがHPLMNのネットワーク内に在圏するときにも、端末にSOR-CMCIを設定することができる。

SOR-CMCI関連の情報は、HPLMNのUDM (Unified Data Management)^{*24}とUEの間でセキュアに交換される必要がある。そのために、HPLMNのUDMは、AUSF (Authentication Server Function)^{*25}の機能を利用して情報のセキュリティを確保する。SOR-infoは、HPLMNのネットワークからVPLMNを介してUEに透過的に転送され、UEはあらかじめ保持しているセキュリティ情報とAUSFが施した完全性を保証する内容からVPLMNによるSOR-infoの改竄が検知できるようになっている。HPLMNは、SOR-info送信に際し、情報を安全に受け取ったことを示す通知を送り返すようUEに要求することができる。

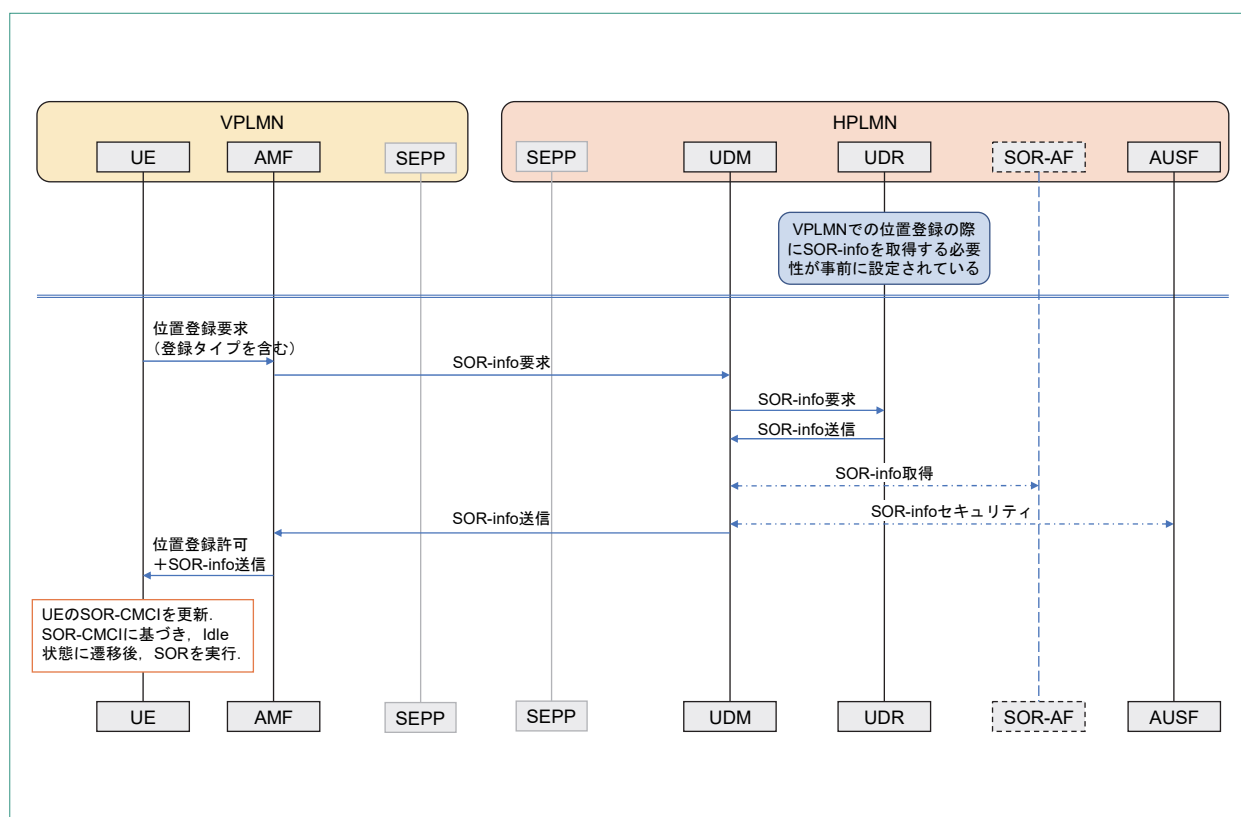


図1 SOR-CMCIのホーム事業者からローミングUEへの送信 (位置登録時)

- *13 GSM：デジタル携帯電話で使用する第2世代の移動体通信方式。
- *14 CP-SOR：3GPPで仕様化されたSOR（優先事業者選択の制御）の1つで、従来のSMSに代わり制御信号（Control Plane）を用いて優先事業者を通知する方式。
- *15 制御プレーン：通信データの転送経路などの制御処理。
- *16 SOR-info：CP-SORを実現する際、UDM（*24参照）からUE宛に送信するSORに用いる情報。優先事業者リストや正常な受信の検証を促す情報などが含まれる。
- *17 ユーザ端末（UE）：3GPPに準拠した機能をもつ移動機。
- *18 加入者プロファイル：契約、ユーザ設定、在圏情報などのサー

- ビス制御に必要な情報。
- *19 PDUセッション：データのやり取りを行うための仮想的な通信路。
- *20 SOR-CMCI：HPLMNがUEに対しSORを実行するためにどのタイミングでConnected状態（通信中状態）からIdle状態（非通信状態）に移行するかを制御するための情報。
- *21 プロビジョニング：管理対象となる装置へ必要な情報を通知し、設定を実施すること。

2.3 SOR-CMCIのパラメータ

SOR-CMCIはSOR-CMCI ruleと呼ばれるルールで構成されており、各ルールは以下のパラメータで構成されている [2]。

(a)通信種別. HPLMNがUEで優先させたい通信種別を指定するために用いるもので、以下の情報で構成される。

- ・ PDU (Packet Data Unit) *²⁶セッションの属性. これにはスライス、接続先のデータネットワーク名 (DNN: Data Network Name) *²⁷などの、UEで確立されているPDUセッションの属性を指定可能。
- ・ サービス種別. 音声通話、ビデオ通話、SMS (Short Message Service) などの、UEで実行中のサービス種別が指定可能。
- ・ SORセキュリティ検証結果. SOR-infoのセキュリティチェックのUEでの失敗有無が指定可能。
- ・ すべての通信種別. UEのPDUセッションまたはサービスに、SOR-CMCIで定義されたものと一致する基準がない場合に用いられる。

(b)各通信種別に紐づくタイマー値

- ・ (a)で示された基準にマッチする場合は、このタイマーの時間経過後にIdle状態に遷移することとなる。

2.4 UEでのSOR-CMCIの保存

SOR-CMCIはUSIM (Universal Subscriber Identity Module) *²⁸あるいは端末自体の不揮発性メモリに保存される。これは、SOR-CMCIをHPLMNからUEに転送できないVPLMN (例えば、当該事業者がRel-16準拠のため) でのローミングのために導入された。HPLMNは、UEにSOR-CMCIを事前に送信し、端末に保存させておくことが可能である。な

お、不揮発性メモリに保存されているSOR-CMCIは、USIMに保存されているSOR-CMCIより優先される。

3. Rel-17におけるPLMN選択のその他の拡張

3.1 MINT

MINT (Minimization of service INTerruption) は、地震や津波などの災害が発生した場合のような、ネットワークが通信サービスを提供できない場合に、ユーザへの影響を最小限に抑えるために導入された機能である。なお、MINT機能は韓国の規制要件に基づいて導入され、UEとネットワークのいずれにおいても実装はオプションな機能になっている。HPLMNは本機能を利用するかどうかをUEに対して設定可能である。また、この機能の利用には事業者間の協定が前提となる。

(1)MINT機能利用時のフロー

MINT機能により、ユーザは許可されているPLMNが利用できない場合に、通常はアクセスが禁止されているPLMNに一時的にローミングできる。図2は、MINT機能利用時の全体のフローを示している。まず、災害が発生して、UEが在圏するPLMN-1が利用できなくなった場合、MINT機能がHPLMNによって有効に設定されていれば、そのUEはPLMN-1が被災したことを認識することとなる (図2①)。これは、別のPLMNからの報知情報を当該UEが読み取ることによって判別される。例えば、PLMN-1が被災したことをPLMN-2が認識した場合、PLMN-2は「他網へ災害時ローミングが可能な被災PLMNのリスト」にてPLMN-1のPLMN-IDを報知し、PLMN-1が被災したことを配下のUEに知らせる。

その後、UEは災害時ローミング用として以下を満たすPLMNを選択する (図2②)。

*22 SOR-AF: UE向けに通知するSteering関連の情報を生成するApplication Functionで、優先事業者リスト、SOR-CMCIなどやそれを暗号化したデータ (Secured Packet) を提供する。

*23 UDR: 5GCにおける構造を定義したレポジトリ。加入者情報や加入者や一部装置の状態を格納する。

*24 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。他装置とのやり取りなどのアプリケーション処理を中心に行い、実際のデータの格納・抽出はUDRを用いる。

*25 AUSF: 5GCのNFの1つで、UEからアクセスする加入者の認証

や認可を行う。

*26 PDU: プロトコルレイヤ・サブレイヤが処理するデータの単位。

*27 データネットワーク名 (DNN): UEが接続するデータネットワークの名称のこと。例えば、UEが通信に用いるPDUセッションを確立する際、DNNを指定して確立される。

*28 USIM: SIMやSIMカードと同じもの。

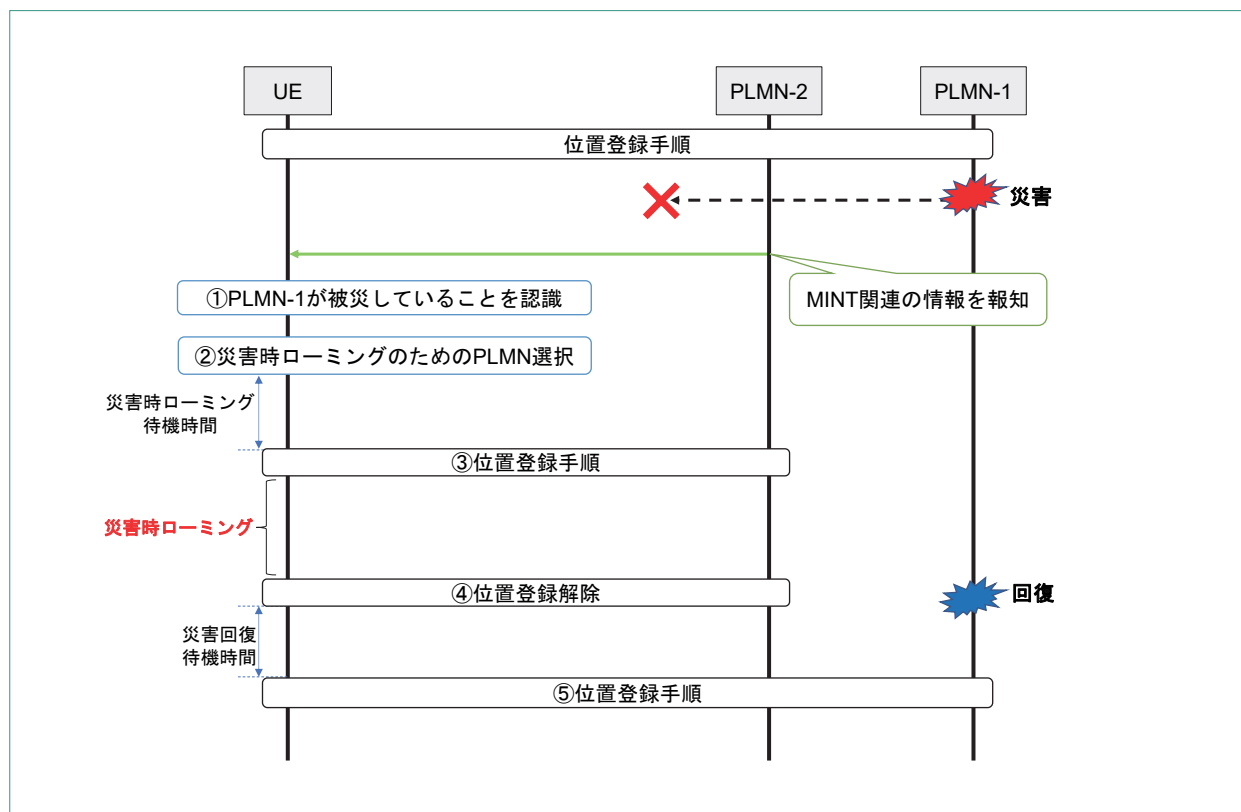


図2 MINT機能利用時の全体のフロー

- ・「災害時に使用するPLMNのリスト」に含まれているPLMN
- ・「災害関連報知情報」を報知していて災害時ローミングを受け入れているPLMN

「災害時に使用するPLMNのリスト」は、VPLMNまたはHPLMNによってあらかじめUEへ提供されている。なお、UEがVPLMNからこのリストを受け取った場合、このリストはHPLMNによって提供されたリストより優先されるが、UEがVPLMNから得たリストを使用するのは、HPLMNがVPLMNによって提供されたリストを適用できるように、UEに設定している場合のみである。

(2)災害回復待機時間レンジ

ただし、MINTの機能により災害時ローミングを行うと、被災地域の膨大な数のUEがPLMNに同時アクセスする可能性があるため、ネットワークの過負荷を最小限に抑える必要がある。この目的のために、UEには「災害時ローミング待機時間レンジ」と呼ばれるタイマーが事前に設定されている。図2②で災害時ローミング用のPLMNを選択した後、UEは、「災害時ローミング待機時間レンジ」で指定された範囲内のランダムな時間を待機し、それから災害時ローミング用のPLMNにアクセスできる。この際、UEが災害時ローミングのために接続していることをネットワークに通知するために位置登録

(Registration) 要求メッセージでその旨を通知する(図2③)。

被災していたネットワークが復旧し災害時ローミングが必要なくなった時点で、ネットワークはUEからのアクセスを拒否するか、または位置登録解除(Deregistration)を実施する(図2④)。なお、UEが元のPLMNに戻るときにおいてもネットワークの過負荷を最小限に抑えるため、UEは、「災害回復待機時間レンジ」(Registrationの際に通知されるか、USIMに設定されている)で指定された範囲内のランダムな時間待機した後に元のPLMNに戻る(図2⑤)。

3.2 NR衛星アクセス

NR (New Radio) 衛星アクセスは、衛星に搭載された基地局と地上のUEが通信する方式であり、Rel-17でサポートされるようになった。NR衛星アクセスを使用すると、全国または複数の国をカバーする広範なエリアを持つ衛星アクセスセルを作ることができる。また、衛星アクセスに対応したUEが衛星アクセスセルのエリア内にある場合、そのUEは、当該セルをPLMN選択の候補とすることができる。

(1)USIMに設定可能な情報

PLMN選択をNR衛星アクセス向けに拡張するために、USIMには以下の情報が設定可能となった。

- ・衛星アクセスのRAT (Radio Access Technology) 優先順位
- ・衛星アクセス利用時の高優先PLMNの検索周期

RAT優先順位に関する情報は、PLMN選択を行う際にUEで利用される。これにより、例えば衛星アクセスを一般のアクセス方式より優先させる、といったことが可能である。また、UEがローミング中の場合、一般にUEはより優先順位の高いPLMNを

周期的に検索するが、それに加えて衛星アクセス専用の探索周期をUSIMに設定することも可能である。

(2)国外にあるUEの接続要求の拒否

衛星アクセスセルは複数の国をカバーするが、各国・地域の規制や通信傍受の要件により、事業者は自国にあるUE以外にサービス提供できない場合がある。このため、ネットワークは、国外にあるUEの接続要求を拒否できる必要がある。このようなケースにおいて、ネットワークはUEの位置情報を取得し、この情報に基づいてUEの接続の可否を決定し、拒否の場合は、「このPLMNは現在のUEの位置では運用できない」ことをUEに通知する。UEは、その後も自身が当該ネットワークへ接続要求を送付することを防ぐため、この拒否通知を受け取った場合、以下の情報を記憶する。

- ・この衛星アクセスセルのPLMN ID
- ・接続要求拒否を受けた際の端末位置

その後、UEはこの記憶された情報に関連付けられた端末実装依存のタイマーを起動するとともに、PLMNによって接続要求拒否を受けた際の端末位置から現在の端末位置までの距離を計算する。タイマーが動作している限り、または接続要求を拒否された端末位置から一定距離UEが離れない限り、UEはその衛星アクセスのネットワークに接続要求を送信しない。

4. PAP/CHAP

PAP (Password Authentication Protocol) *²⁹/CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol) *³⁰は、データネットワークへ接続する際のユーザ認証に用いられるプロトコルである。EPS (Evolved Packet System) *³¹ではすでにサポートさ

*²⁹ PAP：ユーザ認証を行うためのプロトコルの一種。インターネットプロバイダなどで広く用いられている。

*³⁰ CHAP：ユーザ認証を行うためのプロトコルの一種。認証情報の暗号化により認証時のセキュリティを高めている。

*³¹ EPS：LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された、IPベースのパケットネットワークの総称。

れているが、5GS (5G System) (Rel-15で規定) では当初、サポートされるか否かは標準仕様上明確ではなかった。

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

- ・ EPSでは企業ネットワークへの接続のためにPAP/CHAPが利用されており (例: サードパーティーが所有するDN-AAA (Data Network Authentication, Authorization and Accounting) ^{*32}サーバでのPAP/CHAP認証のサポート), EPSから5GSへのマイグレーションの際にも継続利用できるため。
- ・ 5GSネットワークの展開時、特にスタンドアローン^{*33}のSMF (Session Management Function) ^{*34}の展開時に、サードパーティーが所有するDN-AAAサーバ、またはローカルネットワークでのPAP/CHAP認証のサポートが必要になる可能性があるため。

後方互換性を確保するため、Rel-15およびRel-16において、UEが5GS内でPAP/CHAPをサポートする場合、UEはNAS (Non-Access Stratum) ^{*35}プロトコルで送信されるePCO (extended Protocol Configuration Options) ^{*36}情報要素でPAP/CHAP識別子をネットワークへ送信できることが、暫定的に規定された。

一方、Rel-17では、UEとネットワークでPAP/CHAPのePCOパラメータをサポートするようにし、さらにPAP/CHAP認証を実行するためにSMFとDN-AAAサーバとの相互のやり取りが定義された。

UEは、データネットワークに対する新しいPDUセッションを確立する場合、そのデータネットワーク向けの端末設定に基づいて、PAP/CHAPプロトコルパラメータをePCOに含めることができる。SMF

は、外部のデータネットワークに関連付けられたポリシーとUEの加入者情報に基づいて、PAP/CHAPの使用を受け入れるかどうか決定する。

5. UDR関連プロファイルの復旧

5.1 UDRの役割と破損時の影響

5GCでは、サブスクリプションデータ (加入者情報) と加入者UEの状態などのコンテキスト^{*37}情報をUDRに保管する。仮に、UDRに保管されたデータが装置故障などのために破損し、加入者情報の内容または状態の、他のエンティティ^{*38}で保持するものとの一貫性が失われた場合、最新の加入者情報または位置情報を必要とするネットワークサービスが提供できなくなる。例えば、最新の位置情報が失われた場合、音声着信の失敗や、最新の契約に基づくサービスが提供できない可能性がある。また、SMS着信 (SM-MT (Short Message-Mobile Terminated) ^{*39}) や、IMS (Internet protocol Multimedia Subsystem) ^{*40}が適切な音声着信ドメインを判別するT-ADS (Terminating Access Domain Selection) ^{*41}も失敗する可能性がある。

5.2 Rel-17におけるResetに類似した機能の仕様化

3GPPにおける5GC導入前のアーキテクチャでは、HSS (Home Subscriber Server) ^{*42}やHLR (Home Location Register) ^{*43}に格納される加入者情報やコンテキストの状態が保証できず、他の装置の状態と不一致になる可能性がある場合、Reset [3] [4] を使用して回復するよう規定されている。

一方5GCでは、DLA (Data Layered Architecture) ^{*44}の使用などによるステートフル^{*45}なデータは失われないという思想となっており、ネットワー

^{*32} DN-AAA: データネットワークとUEの間の認証のこと。

^{*33} スタンドアローン: 既存のLTE/LTE-AdvancedとNRをLTE-NR DC (Dual Connectivity) を用いて連携して運用するノンスタンドアローンに対し、NR単独で運用する形態。

^{*34} SMF: 5GCにおいてセッションを管理する機能部。EPCにおけるSGW (Serving Gateway) -C/PGW (Packet Data Network Gateway) -Cに相当する。

^{*35} NAS: アクセス層 (AS: Access Stratum) 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。

^{*36} ePCO: NASでネットワークとUEの間でやり取りされる情報

の一種。データネットワークとUEの間の通信に用いられるプロトコルに関する設定情報を送受信する。

^{*37} コンテキスト: 該当する加入者や装置に関する状態・ステータス情報。

^{*38} エンティティ: 論理アーキテクチャにおいて、機能を提供する構成要素。

^{*39} SM-MT: SMS着信のこと。

クサービスに影響を与えるステータスの一貫性が失われる可能性はまずありえないと考えられた。従って、5GCでは当初Resetと同様の規定が策定されてこなかった。しかし、遠隔地でのバックアップでは保管されたデータの一貫性が予期せず失われる可能性があること、また装置故障によりデータ不一致が起きた場合、保守者契機で加入者情報の一致化を計る使用方法があるなど、Resetには運用上の観点で得られる必要性もいくつか見られたので、Rel-17にて類似の機能をReP_UDRという名称で仕様化した。

この機能により、UDRとUDM、PCF（Policy Control Function）^{*46}、NEF（Network Exposure Function）^{*47}などのUDRの関連NF（Network Function）Consumer^{*48}（以下、UDR Consumer）との間、さらにはUDMとAMF（Access and Mobility management Function）^{*49}、SMF、SMSF（Short

Message Service Function）^{*50}、AUSFなどのUDMの関連NF Consumer（以下、UDM Consumer）との間でプロファイルの復旧が可能になり、UDRに保管されたデータが失われたり破損したりした場合でも、可能な限り最新のステータスを維持することができる（図3）。

5.3 UDR復旧のための運用体制と手順

UDRに保管されたデータは、通常の運用の中で自動的に更新される。UDRに保管されている最も重要な情報は各UEの位置情報であり、加入者情報（サブスクリプションデータ）やポリシーデータの更新に必要な送信先（コールバック情報など）といった重要な情報がその後に続く。これらの情報の喪失または破損は、サブスクリプション登録者に提供されるサービスの質に重大な影響を及ぼす。従っ

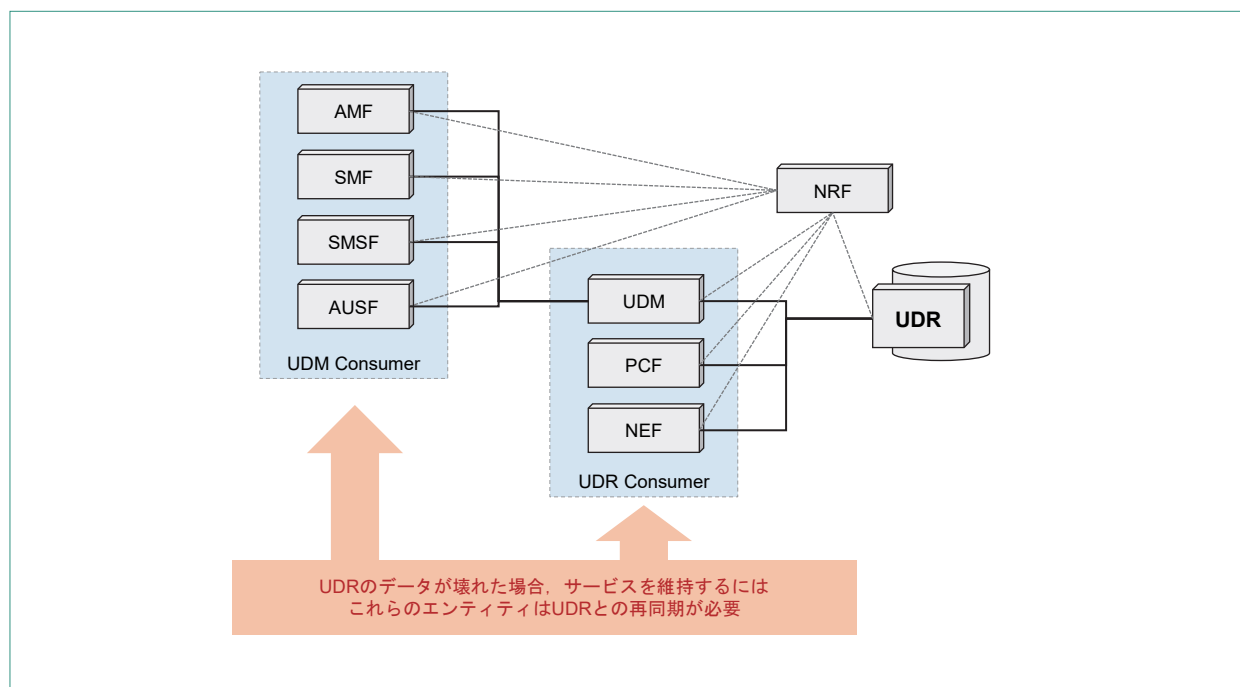


図3 UDR関連プロファイルの復旧に関するNF

*40 IMS：3GPPで標準化された、固定・移動通信ネットワークなどの通信サービスを、IP技術やインターネット電話で使われるプロトコルであるSIP（*60参照）で統合し、マルチメディアサービスを実現させる呼び制御通信方式。

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

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

*43 HLR：3GPP上で規定される加入者情報の管理機能および呼処

理機能を有する論理ノード。

*44 DLA：データを保持する装置とデータを扱うフロントエンド装置を分ける構造。

*45 ステートフル：状態（ステート）を保持して、後から発生するイベントに対応した処理を行う仕組み。状態を保持せず都度の入力に即した処理を行うステートレスの反対の仕組みとなる。

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

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

てRel-17では、UDRの障害によって引き起こされる影響を限定し、情報を自動的に復旧させるための運用体制と手順が規定されている。

この運用は、揮発性のストレージユニットの複製とデータの周期的なバックアップを前提としている。周期的なバックアップデータを利用する場合でもUDRで保持するデータの完全性を確保できない場合に備え、必要な手順が規定されている。それらの手順は基本的に以下の3つのフェーズに分けられる(図4)。

(1)フェーズ1：通常フェーズ

UDR/UDM ConsumerはNRF (Network Repository Function)*51へ登録を行う。この際に、UDR/UDM Consumer自身の宛先となるNRFからの通知用の通知先(いわゆるCallback URI (Uniform Resource Identifier)*52)を通知(図4①)し、さらに必要に応じて、UDRからUDR/UDM Consumerへの再同期が必要であることを通知・指示する際の通知先を、UDRまたはUDMへ通知する。その後、UDR/UDM Consumerは、UDR/UDMサービスを通常の方法で利用する(図4②)。

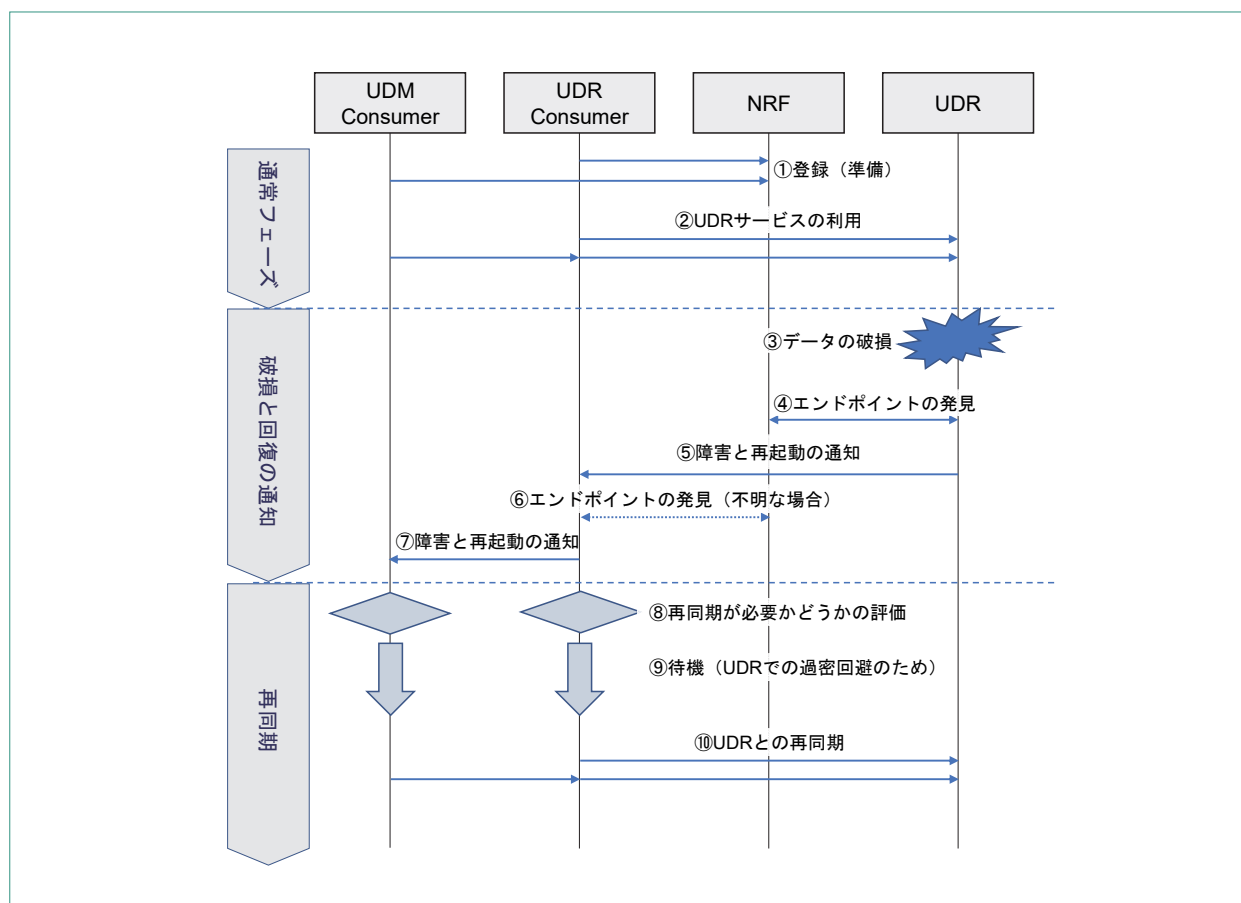


図4 UDR関連プロファイルの復旧

*48 NF Consumer：NF Producerの提供するNF Serviceを利用するNF。

*49 AMF：5GCにおけるUEの在圏収容装置。

*50 SMSF：5GCにおけるNAS経由のSMSを扱うNF。

*51 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。

*52 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。

(2)フェーズ2：破損および回復の通知

UDRのデータが破損して（図4③）、その後、破損したUDRのデータがバックアップによって回復すると、UDRはConsumerに通知を送信する（図4⑤）。その際、必要に応じてNRFに問合せ（クエリーを送信）を行いNF Consumerのエンドポイント^{*53}を発見する（図4④）。UDR ConsumerがUDMの場合は、UDMからUDM Consumerにも通知する（図4⑦）。なお、UDMは通知前に、必要に応じてNRFへ問合せ（図4⑥）を行い、UDM Consumerを発見する。

(3)フェーズ3：再同期

UDR/UDM ConsumerにUDRのデータの破損および回復が通知されると、UDR/UDM Consumerは、UDRに保管されている関連データを再同期して最新のステータスを維持・更新する必要があるかどうかを評価する（図4⑧）。UDR/UDM Consumerは自身の保持するデータとUDRの保持するデータの関係において、UDRのデータが信頼できると判断しない限り、関連するすべてのエンドユーザのデータを再同期する（図4⑩）。

5.4 新たに規定された機能拡張

これら3つのフェーズを実現するために、以下で説明する拡張が規定された。

(1)UDRおよびUDR/UDM Consumerのプロファイルの準備

登録（Registration）の際、UDRからUDR/UDM Consumerへの通知を送信するためのCallback URIがUDRに提供される。なお、Callback URIはUDR/UDM ConsumerからNRFへの登録時にも提供される。

UDRからUDR/UDM Consumerに、登録または認証の時刻とReset IDに関する情報を通知する。この情報は後で、再同期の起動の必要性和指示の検出に使用する。

(2)UDRからUDR/UDM Consumerへの通知パス

UDRが、保管されたデータの破損、不一致などを検出すると、UDRからUDR/UDM ConsumerにNotificationにてその情報が通知される。通知に用いるCallback URIは、UDR/UDM Consumerが通常フェーズで登録・設定したNRFから得られる。UDMがUDR Consumerである場合、通知はさらにUDMからそのUDM Consumerに送信される。

(3)通知の内容

UDRからUDR/UDM Consumerへ送信する通知の内容には、最後の複製と回復の時刻（それら2つの時刻に挟まれた期間に、UDRで潜在的にデータの破損が発生する、またはUDRとUDR Consumerの間でデータの不一致が発生する可能性がある。詳しくは、図5を参照）が含まれ、加えて影響を受ける可能性のあるSUPI（Subscription Permanent Identifier）^{*54}/GPSI（Generic Public Subscription Identifier）^{*55}範囲、準備フェーズで1つに結合するReset-ID、S-NSSAI（Single-Network Slice Selection Assistance Information）^{*56}、DNN、PLMN IDとセットになったUDRまたはUDM Group ID、UDRのPLMN IDを含めることができる。

(4)同期のトリガー

UDRから通知を受け取ったときにUDR/UDM Consumerがどのタイミングで再同期などの応答をするかは、各UDR/UDM Consumerの実装や通信事業者のポリシーに依存する。

(5)同期の手順

各UDR/UDM Consumerは、直接UDRに対して、またはUDMを介して、UDRサービスの再利用を試みる。AMF/SMF/SMSF/AUSFの場合、UDMに対して再同期のための登録であることを専用のフラグ（udrRestartInd）を設定して通知する。これにより、UDRはプロファイルの適切な処理方法を判断する。

^{*53} エンドポイント：APIにアクセスするためのURL。

^{*54} SUPI：3GPPが仕様化し、5GSで用いられる識別子で、加入者を識別するためのもの。

^{*55} GPSI：3GPPが仕様化する識別子で、外部から対象利用者を特定するために用いるもの。

^{*56} S-NSSAI：5GCにおいて用いられるNetwork Sliceを特定する識別子。

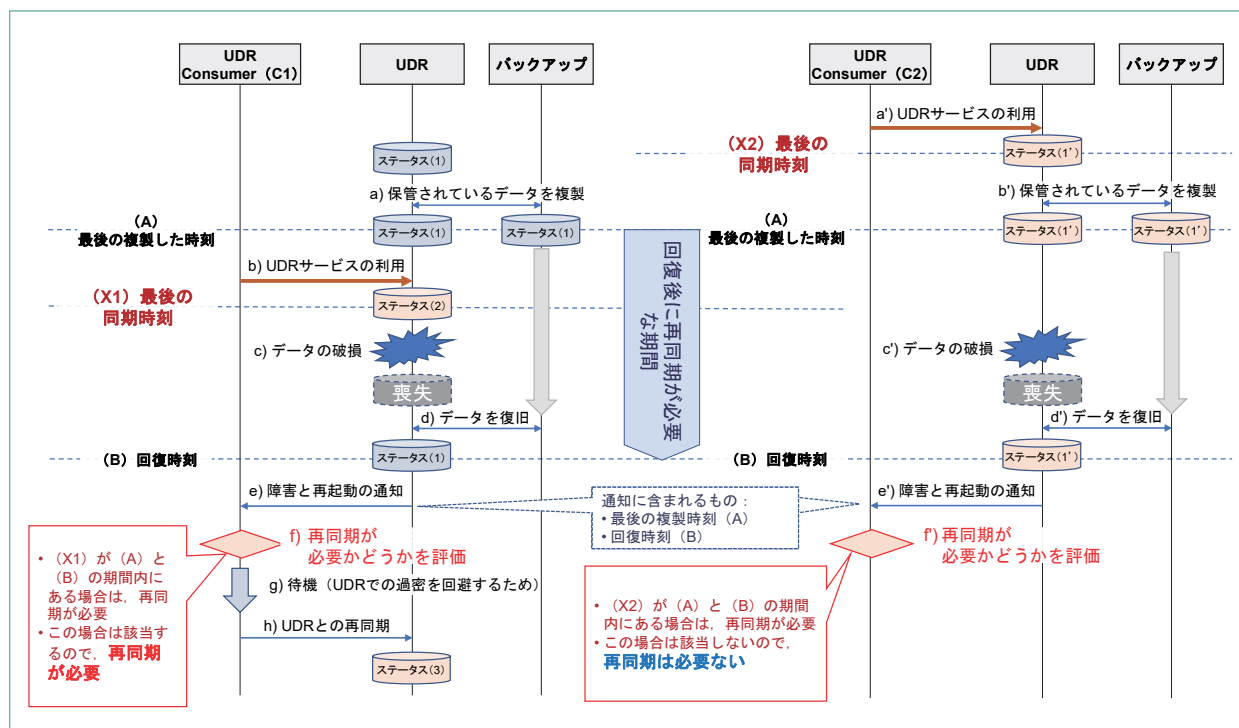


図5 UDR Consumerにおける障害通知受信時の再同期要否の判定方法イメージ

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

(1)5GCで採用したアーキテクチャ・プロトコルに合わせたSMSの拡張

SMSのサポートはGSMから規定されており、コアネットワーク^{*57}内でのメッセージの配信はMAP (Mobile Application Part)^{*58}プロトコルを使用して実現している。その後EPSでDiameter^{*59}プロトコルを使用するようになり、さらにIMSを介したSMSでSIP (Session Initiation Protocol)^{*60}を使用するよう徐々に方式を追加した。

5GCの場合、規定当初のRel-15でUEとコアネットワークの間でNASを介してSMSメッセージを処

理するSMSFが導入されているが、コアネットワーク内の配信では依然として既存のネットワークプロトコルを使用することになっていた。そこで、Rel-17では、コアネットワーク内でSMSを配信するサービスベースのインタフェースを新たに導入する作業が行われ、以下のような内容となった。

- ・サービスベースのインタフェースをサポートし、新しいサービスベースのAPI (Application Programming Interface)^{*61}を規定するための、既存のSMS関連エンティティの拡張
- ・SM MT, SM MO (SMS Mobile Originated) のサービスベースのインタフェースを使用する手順
- ・GPSI (例えば、電話番号) からサブスクリプションへのマッピングのサポート

^{*57} 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。

^{*58} MAP：3GPPで仕様化した位置登録の管理などを行う通信プロトコル。

^{*59} Diameter：IETF (Internet Engineering Task Force) で標準化された、RADIUS (Remote Authentication Dial In Use) の改良版プロトコル。

^{*60} SIP：VoIP (Voice over IP) を用いたIP電話などで利用される、IETFで策定された通信制御プロトコルの1つ。

^{*61} API：5GCの装置間で互いにやりとりするのに使用するインタフェースの仕様。

- ・ローミング以外の目的、つまり事業者（PLMN）間のSMSメッセージ転送でのN32の使用

図6は、サービススペースのアーキテクチャを使用してSMSを実現するためのエンティティおよび関連APIを示しており、文献 [5] で規定されている。これらには、5GC規定前からの既存のエンティティに対してサービススペースAPIを新たに規定したもの（SMS-IW-MSC（Interworking MSC For Short Message Service）^{*62}，SMS-GMSC（Gateway MSC For Short Message Service）^{*63}，IP-SM-GW，SMS Router），5GCですでにあるサービスAPIのうち既存NFサービスを拡張したもの（NRF，AMF），5GCですでにあるサービスAPIのうち新規のNFサービスを規定したもの（SMSF，UDM）がある。

(2)事業者間相互接続SMS向けのSEPPとN32の規定の拡張

3GPPは規定当初のRel-15でSEPP（Secure Edge Protection Proxy）^{*64}と呼ばれるエンティティを規定している（図7）。これはPLMNの端（いわゆる

境界）に配置され、別のPLMNのSEPPとやり取りしてPLMN間の信号伝達を処理する。2つのPLMNにあるSEPPは、N32インタフェースで規定される接続を確立して、2つの異なるPLMNのNF間の信号伝達を中継できるようにする。N32は2つのステップで確立される。

- ①N32-cインタフェース上での信号により使用する機能を取り決める。
- ②取り決めた機能に基づいて、実際のメッセージ転送（例えば、AMFからUDMへのメッセージ転送）を担うN32-fインタフェースの接続を作成する。

当初、N32はローミングで使用されることを念頭に規定された。例えば、VPLMNのAMFはHPLMNのUDMサービスを利用できるようにするため、VPLMNのNFがHPLMNのNFと通信（またはその逆向きの通信）をする際の通信パスとしてN32は使用される。そして、サービススペースSMSの登場により、N32の使用目的に、異なるPLMNのユーザ間

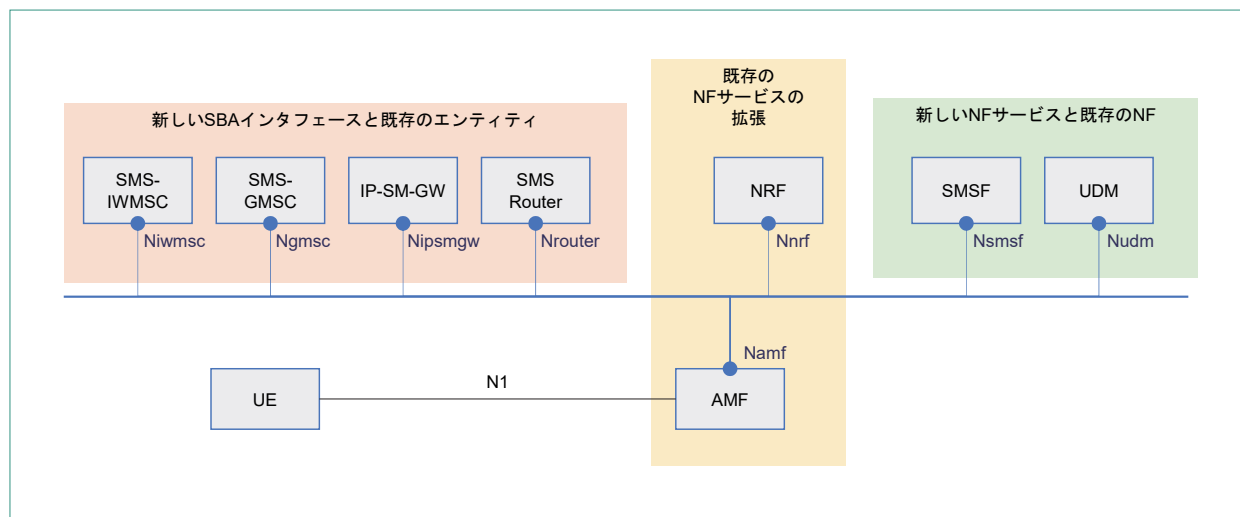


図6 サービススペースのアーキテクチャを使用してSMSを実現するためのエンティティおよび関連API

*62 SMS-IW-MSC：着信用のショートメッセージを相手側交換機より受信し、着信先のSC（Service Centre）宛に送信する、MSC内の機能。

*63 SMS-GMSC：送信用のショートメッセージをSCより受信し、HLRへの宛先問合せと相手先交換機への送信を行う、MSC内の機能。

*64 SEPP：制御信号を扱う装置で、事業者間で5GCを接続する際の境界に設置される装置。

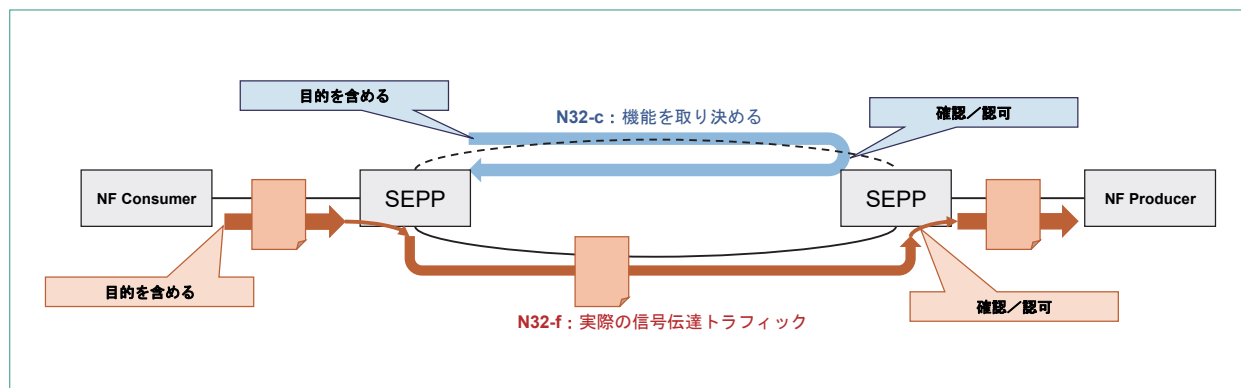


図7 追加されたSEPPの接続確立（N32-c）と実際の通信（N32-f）での用途の取り決め・通知イメージ

のSMSの送信という、いわゆる相互接続の用途が追加された。追加されたN32を使用する理由と方法を事業者が識別できるように、Rel-17でN32の生成・利用の「用途・目的」をN32-cとN32-fの両方に設定できるよう機能追加された。これにより、2社間の契約関係に基づき2つのPLMN間で正当な用途に限ったメッセージだけをやり取り、例えば用途外のものとは拒絶できるようになった。

7. あとがき

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

テムの拡張に関する標準化作業に貢献していくつもりである。

文 献

- [1] 青柳, ほか: “3GPP Release 16における5Gコアネットワークの高度化技術の概要,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.45-56, Oct. 2020.
- [2] 3GPP TS23.122 V17.7.1 - Annex C.4: “Non-Access-Stratum (NAS) functions related to Mobile Station (MS) in idle mode,” Jun. 2022.
- [3] 3GPP TS29.002 V17.2.0: “Mobile Application Part (MAP) specification,” Jun. 2022.
- [4] 3GPP TS29.272 V 17.3.0: “Mobility Management Entity (MME) and Serving GPRS Support Node (SGSN) related interfaces based on Diameter protocol,” Jun. 2022.
- [5] 3GPP TS23.540 V17.0.0: “5G System: Technical realization of Service Based Short Message Service; Stage 2,” Jun. 2022.

3GPP Release 17における 5G無線の高度化技術概要

6G-IOWN推進部

はらだ ひろき
原田 浩樹くまがい しんや
熊谷 慎也

移動機開発部

おはら ともや
小原 知也

無線アクセス開発部

たにぐち まさと
谷口 真人しもだいら ひでかず
下平 英和

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

1. まえがき

5G向けの新たな無線アクセス技術であるNR (New Radio)^{*1}について、3GPPにおけるRelease 15 (以下、Rel-15) およびRel-16の仕様策定では、モバイルブロードバンドの高度化 (eMBB: enhanced Mobile BroadBand)^{*2}向けの無線技術やそのさらな

る高度化、高信頼・低遅延通信 (URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communication)^{*3}向けの高度化や、産業分野でのIoTを促進するIIoT (Industrial IoT)^{*4}といった新規事業を創出するための拡張技術が規定された。

Rel-17は、これまでのリリースで規定されたMIMO (Multiple Input Multiple Output)^{*5}機能やURLLC

©2022 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} NR: 5G向けに策定された無線方式規格。4Gと比較して高い周波数帯 (例えば、6GHz帯以下や28GHz帯) などを活用した通信の高速化や、高度化されたIoTの実現を目的とした低遅延・高信頼な通信を可能にする。

^{*2} モバイルブロードバンドの高度化 (eMBB): 高速大容量を必要とする通信の総称。

^{*3} 高信頼・低遅延通信 (URLLC): 低遅延かつ、高信頼性を必要とする通信の総称。

^{*4} IIoT: 工場などにおける機器のネットワーク接続など、産業分野向けのIoT。

向け機能などのさらなる拡張が行われたことに加え、さらなる伝送速度の高速化のための52.6～71GHzまでの周波数帯のサポート、さらなるエリア拡大に向けた衛星を活用した非地上ネットワーク（NTN：Non-Terrestrial Network）^{*6}のサポート、5Gユースケース拡張のための簡易NR端末カテゴリ（RedCap（Reduced Capability）^{*7}）の追加などにより、5Gが新たな価値を提供することへ貢献している。Rel-17で仕様化した主な機能を図1に示す。本稿では、これらのRel-17で仕様化された主な拡張技術と、その検討で考慮された背景を概説する。

2. Rel-17仕様における5G無線の高度化技術

2.1 モバイルブロードバンド向け高度化技術

(1)DC（Dual Connectivity）^{*8}およびCA（Carrier Aggregation）^{*9}向け機能拡張

(a)DCにおける端末消費電力削減

Rel-16以前の3GPP（3rd Generation Partnership Project）^{*10}仕様では、SCell（Secondary Cell）^{*11} deactivationと呼ばれる消費電力低減機能が利用可能である。この機能は、CA中において、利用するデータ量が一時的に少ない場合などに、

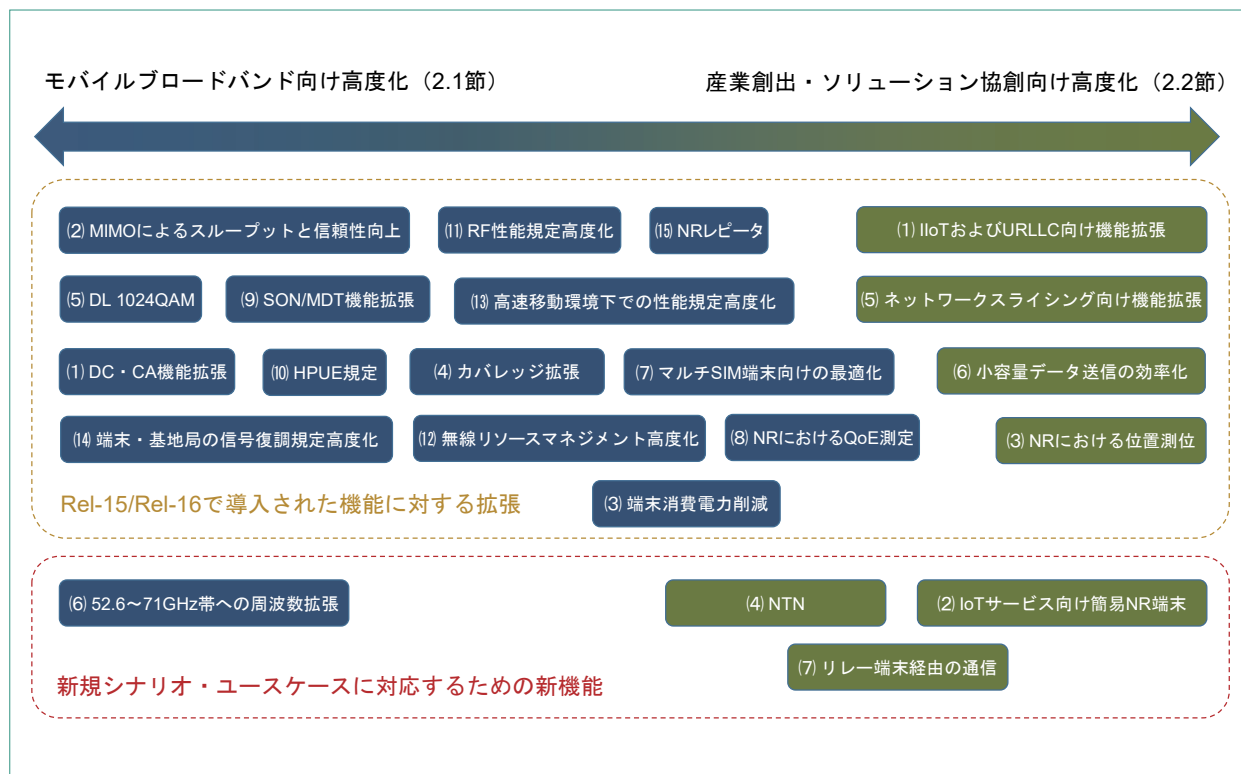


図1 Rel-17で仕様化した主な機能

^{*5} MIMO：複数の送受信アンテナを用いて信号の伝送を行い、通信品質および周波数利用効率の向上を実現する信号伝送技術。
^{*6} 非地上ネットワーク（NTN）：衛星やHAPSなどの非地上系媒体を利用して、通信エリアが地上に限定されず、空・海・宇宙などのあらゆる場所に通信エリアが拡張されたネットワーク。
^{*7} RedCap：Rel-17 NRにおいて導入された簡易端末カテゴリの名称で、通常のNR端末よりサポートする送受信アンテナ数や帯域幅を減らすことでデバイスの複雑さを低減する。

^{*8} DC：1つの端末が複数の基地局に異なる周波数帯を用いて接続する技術。
^{*9} CA：1つ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。
^{*10} 3GPP：移動通信システムの規格策定を行う標準化団体。
^{*11} SCell deactivation：CA中に利用する複数のキャリアのうち、接続を担保するキャリア（PCell、PScell）ではないキャリアを非アクティブ化することで、UEとNWの消費電力を低減する技術。

CAのSCellで行う処理を一時的に限定（非アクティブ化）することで、消費電力を低減するものである。DCにおいても、SCellにはSCell deactivationが適用可能であるが、Rel-16の仕様においては、PSCell（Primary SCell）^{*12}は非アクティブ化できず、PSCellにNRの高い周波数を用いる場合などにおいて消費電力の低減ができない課題があった。

Rel-17では、PSCellも含めDCの副ノードのセル全体（SCG（Secondary Cell Group）^{*13}）を非アクティブ化するSCG deactivation^{*14}機能が追加され、DCにおいても高い消費電力削減効果を得られるようになった。

(b)DC・CAの処理遅延の低減

Rel-16では、DC時のPSCell同士の切替遅延の削減や切替え時の通信の信頼性向上のため、あらかじめ切替え先のPSCell候補と切替えを実施するための電波品質の条件をUE（User Equipment）^{*15}に通知しておくCPC（Conditional PSCell Change）^{*16}と呼ばれる技術が盛り込まれた。Rel-16では、変更元・変更先のPSCellが同一の基地局に属している場合のみCPCに対応していたが、Rel-17では異なる基地局のセル間でCPCを行うことが可能になった。また、DCの開始をCPCと同様にあらかじめ決められた候補セル・条件で行うCPA（Conditional PSCell Addition）の機能がRel-17で盛り込まれ、DC開始の遅延低減が可能になった。

CAの観点では、非アクティブ化したSCellを再度アクティブ化する際に、UEがネットワークから送信されるTRS（Tracking Reference Signal）^{*17}を用いることで時間・周波数同期^{*18}

などの処理を高速化させ、SCellのアクティブ化の遅延を低減する機能改善も行われた。

(2)分散MIMOによるスループット^{*19}と信頼性向上

Rel-16 NRにおいて、同一セルの基地局の複数アンテナパネルあるいは送受信点を用いて、下りユーザデータを分散MIMO^{*20}送信し、高次ランクの利用や、信頼性の向上を可能にする機能が規定された。

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

また、上りユーザデータや上り物理レイヤ制御情報を、UEが複数の送受信点に向けて繰り返し送信する機能も仕様化された。これにより、UEと片方の送受信点との間のチャネルの品質が劣化した場合も、もう片方の送受信点との間のチャネルを用いて信号送信できるので、上りリンク^{*21}の信頼性を向上できる。

(3)端末消費電力削減

端末消費電力の削減は、ユーザエクスペリエンス^{*22}を向上させる重要な要素の1つである。Rel-16では主にconnected-mode時の端末の消費電力削減が可能な機能が規定された。Rel-17ではさらに、NR SA（Stand Alone）^{*23}運用におけるidle/inactive-mode時の端末の消費電力削減、FR2（Frequency Range 2）^{*24}運用におけるconnected-mode時の端末の消費電力削減、Rel-16 UE assistant情報^{*25}の有効活用といった観点で、Rel-16における課題を解決するための技術拡張を行った。

idle/inactive-mode時の端末消費電力削減機能としては、paging^{*26}の早期通知、idle/inactive-mode

^{*12} PSCell：DCまたはMR-DCにおいてセカンダリ基地局でサポートされるコンポーネントキャリアの中で、接続を担保するコンポーネントキャリア。

^{*13} SCG：DC中の基地局の内、端末と接続の確立を実施しない基地局（SN：Secondary Node）配下のセルグループ。

^{*14} SCG deactivation：SCGを非アクティブ化することで、UEとNWの消費電力を低減する技術。

^{*15} UE：3GPPに準拠した機能をもつ移動機。

^{*16} CPC：PSCell Change実施方法の1つ。PSCell Change実施時に指示するのではなく、あらかじめ切替先と切替条件をネットワーク側からUEに事前通知を行う。

^{*17} TRS：下りリンクにおける時間および周波数の変動をトラッキングする際に用いられる参照信号。

^{*18} 周波数同期：時刻を刻む速度が装置間で一致している状態。

^{*19} スループット：単位時間当りに、誤りなく伝送される実効的なデータ転送速度。

^{*20} 分散MIMO：複数の基地局から異なるMIMOストリームを1つのUEに送信してMIMO伝送を行う技術。

^{*21} 上りリンク：端末からネットワーク方向への情報の流れ。

^{*22} ユーザエクスペリエンス：製品やサービスなどを使用・消費・所有した際に、ユーザが体験できる内容。

^{*23} 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。

^{*24} 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。

^{*25} UE assistant情報：基地局の適切なスケジューリングなどに活用するために伝達される端末の状態や端末からの要求に関する情報。

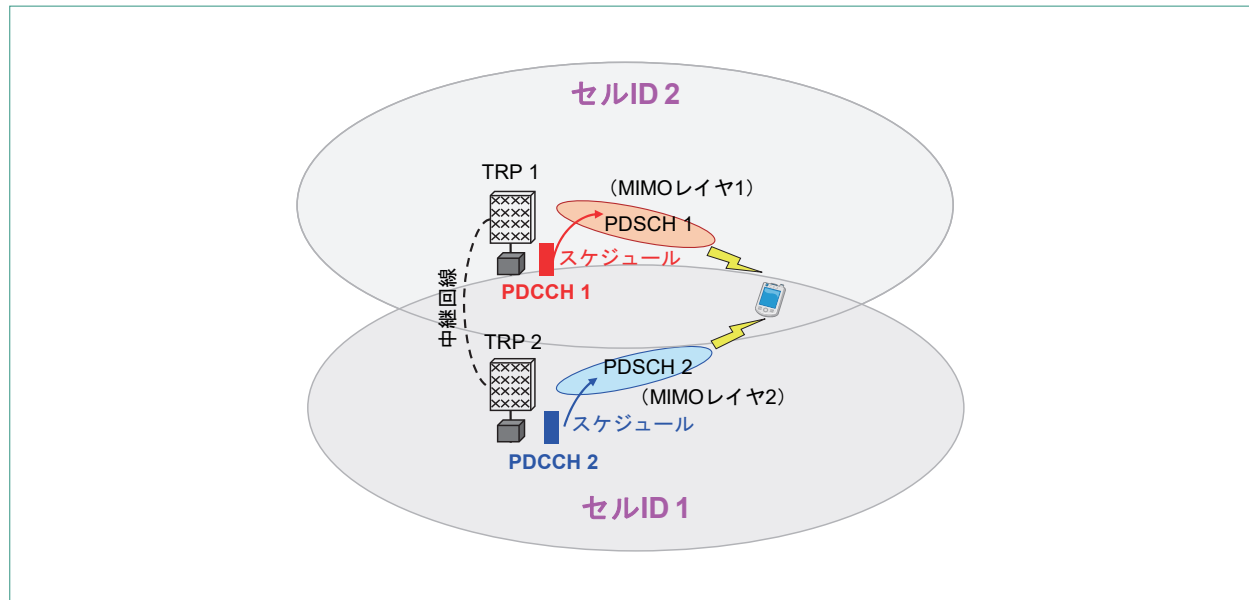


図2 Rel-17における2つのセルを用いた分散MIMO送信

時の端末向けTRS通知の機能が導入され、connected-mode時の端末消費電力削減機能としては、制御信号モニタリングのスキップ、制御信号モニタリング設定の切替え、物理リンク監視/ビーム障害検出測定を緩和する機能が導入された。

(4)カバレッジ^{*27}拡張

ネットワークサービス^{*28}を提供する上で、カバレッジ特性はネットワーク品質や、CAPEX (CAPital EXpenditure)^{*29}、OPEX (OPerating EXpense)^{*30}などに影響を及ぼすため、重要な要素の1つとして挙げられる。Rel-15において時間領域^{*31}の繰返し送信や周波数領域^{*32}のアグリゲーションなど、カバレッジ特性の向上に寄与する技術が規定された。一方、NRはLTEと比べて高い周波数帯が使用されており、高い周波数ほど伝搬損失^{*33}が増大するためカバレッジ特性の検証が重要となる。そこで、Rel-

17ではカバレッジ特性の検証が実施された。その結果、PUSCH (Physical Uplink Shared CHannel)^{*34}、PUCCH (Physical Uplink Control CHannel)^{*35}、およびMsg3 PUSCH^{*36}が、カバレッジ特性の改善が必要なチャネルとして特定され、これらのチャネルのカバレッジ改善技術が導入された。

PUSCHを改善するために、繰返し送信回数を増加させ、また、Available UL (UpLink) スロット^{*37}に基づく繰返し送信を導入することにより、実効的な繰返し送信回数を増加させた。加えて、複数スロットにまたがるTB (Transport Block)^{*38}送信が導入された。例えば、サービスエリア端のUEは低いMCS (Modulation and Coding Scheme)^{*39}でPUSCHを送信する事が考えられるが、小さなサイズのTBのデータを細切れに送信する必要が生じるため符号化利得の観点で効率が悪い。従って、複数

^{*26} Paging：着信時に待受け状態中の端末を呼び出す手順および信号。自身宛のpagingメッセージの有無が事前には分からないため、pagingの早期通知を行って不要な同期処理などを削減することで端末消費電力の削減が可能。

^{*27} 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。

^{*28} ネットワークサービス：通信ネットワークを用いて、ユーザに情報通信やサービスを提供すること。

^{*29} CAPEX：設備投資のために支出する金額。

^{*30} OPEX：設備を維持し運用するために発生する費用。

^{*31} 時間領域：信号などの解析において、その信号が各時間においてどのくらいの成分をもっているかを示すのに用いられる。時間領域の信号をフーリエ変換することで周波数領域の信号に変換することができる。

^{*32} 周波数領域：信号などの解析において、その信号が各周波数においてどのくらいの成分をもっているかを示すのに用いられる。周波数領域の信号を逆フーリエ変換することで時間領域の信号に変換することができる。

^{*33} 伝搬損失：送信局から放射された電波の電力が受信点に到達するまでに減衰する量。

^{*34} PUSCH：上りリンクでデータを送受信するために用いる共有チャネル。

^{*35} PUCCH：上りリンクで制御信号を送受信するために用いる物理チャネル。

^{*36} Msg3 PUSCH：ランダムアクセス手順において、UEのPRACH送信に対してスケジューリングされる上りデータチャネル。

^{*37} Available ULスロット：PUSCHやPUCCHが送信可能なULスロット。

のPUSCHスロットで1つのTB送信を実現することで符号化利得の向上を可能とした。PUCCHの改善技術として、繰返し送信回数の動的な通知が導入され、UEのチャネル品質などに応じた動的な繰返し送信回数の指示を可能とした。Msg3 PUSCHの改善技術として、最大8回の繰返し送信が導入され、基地局の受信SNR (Signal to Noise Ratio) ^{*40}の向上を可能とした。

PUSCHとPUCCHの共通の改善技術として復調用参照信号 (DM-RS : DeModulation Reference Signal) ^{*41} のバンドリング ^{*42} が導入された。Rel-15/Rel-16では、PUSCH/PUCCHリソース内に配置されるDM-RSを用いてチャネル推定が行われる。一方、図3に示す通りUEが定められた区間内で一定の電力かつ連続性をもつ位相でDM-RSを送信することで、基地局は複数スロットに配置されるDM-RSを用いてチャネル推定することにより、チャネル推定 ^{*43} の精度向上を可能とした。

(5)DL (DownLink) 用 1024QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ^{*44}

データ変調はDL/UL共に256QAM ^{*45}がRel-16 NR

までに使用可能となっていた。これに対してRel-17 NRでは、さらなる高速化・周波数利用効率 ^{*46} 向上を目的として、かつLTEですでに仕様化済みの機能でありNRにおいてもサポートされるべきとして、DL向けに1024QAMが導入された。1024QAMはSINR (Signal to Interference plus Noise power Ratio) ^{*47} が十分に大きく、端末移動が全くないまたはほぼない環境でのみ適用可能となるため、主にFWA (Fixed Wireless Access) ^{*48} などの静的なリンクを想定した機能である。1024QAM対応のために、CQI (Channel Quality Indicator) ^{*49} tableおよびMCS tableの追加や、新規MCS tableに対応するPT-RS (Phase-Tracking Reference Signal) ^{*50} の周波数・時間リソース内の密度決定方法の仕様化が行われた。

(6)52.6~71GHz帯への周波数拡張

Rel-16以前の3GPP仕様では、0.41~7.125GHz帯 (FR1 ^{*51}) および24.25~52.6GHz帯 (FR2) が使用周波数として規定されている。Rel-17では、WRC (World Radiocommunication Conference) ^{*52}-19において66~71GHz帯がIMT向け周波数として合意

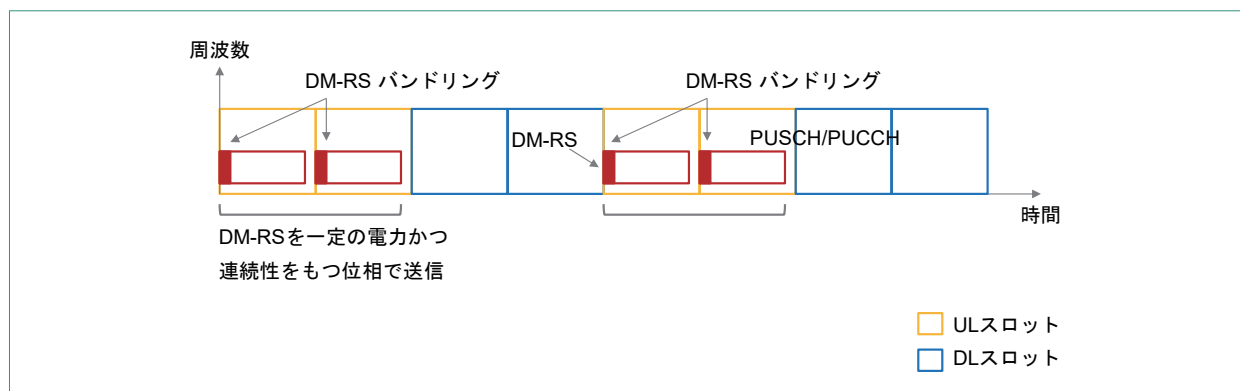


図3 DM-RSバンドリングの概要

^{*38} TB：データ伝送などの処理を行う際の基本単位。

^{*39} MCS：適応変調を行う際にあらかじめ決めておく変調方式と符号化率の組合せ。

^{*40} 受信SNR：所望波信号の受信信号電力と雑音電力の比。

^{*41} 復調用参照信号 (DM-RS)：下り・上りリンクの送受信データを復調する際に用いられるチャネル推定用の参照信号。

^{*42} バンドリング：複数の機能や要素を組み合わせて動作させること。

^{*43} チャネル推定：信号が無線チャネルを経由した際に受けた減衰量および位相回転量などを推定すること。得られた推定値 (チャネル情報) は、受信側でMIMO信号分離や復調などに用いられるほか、送信信号の最適化のためにも用いられる。

^{*44} 1024QAM：変調方式の種類。1024QAMは振幅と位相が異なる1,024通りの信号点に情報ビットを変調する。1回の変調で10

ビットの情報を伝送することができる。

^{*45} 256QAM：変調方式の種類。256QAMは振幅と位相が異なる256通りの信号点に情報ビットを変調する。1回の変調で8ビットの情報を伝送することができる。

^{*46} 周波数利用効率：単位時間、単位周波数帯域当りに送信できる情報ビット数。

^{*47} SINR：所望波信号の受信信号電力と、それ以外の干渉波信号と雑音電力の和の比。

^{*48} FWA：屋外の固定された基地局と端末の間で行われる無線通信。

^{*49} 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。

^{*50} PT-RS：高い周波数帯で課題となる位相雑音の推定を目的とする参照信号。

されたこと、および57～66GHz帯のアンライセンス帯域を用いるIEEE 802.11ad/ay^{*53}の標準化が完了したことを受けて、新たに52.6～71GHz帯を使用周波数として規定し、当該周波数帯域にてNRを動作させるために必要な機能をサポートした。これにより、通信容量のさらなる拡大が可能となった。

新たにサポートされた機能として、高いSCS (SubCarrier Spacing)^{*54}や広いチャネル帯域幅の新規サポート、アンライセンス帯を使用する際に必要なチャネルアクセス手法のサポート、端末の制御チャネル・データチャネル送受信時の信号処理にかかる負荷の増大を回避する手法のサポートなどが挙げられる。

(7)マルチSIM (Subscriber Identity Module) 端末^{*55} 向けの最適化

すべてのSIMで同時に通信を行うことができないマルチSIM端末においては、あるSIMで通信をしながら、時折別のSIMで別のネットワークの着信を待ち受けるなど、限られた送受信回路で複数のネットワークとの通信を行う必要がある。これまでは端末の実装によりこの課題を解決していたが、端末の振舞いをネットワークの動作と協調させることでパフォーマンスを改善することを目的に、Rel-17ではマルチSIM端末向けの機能が標準化された。

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

(8)NRにおけるQoE (Quality of Experience)^{*56}測定

Rel-15 LTEにおいて、ビデオストリーミングなどのサービスのアプリケーションレイヤにおける品質 (QoE) をUEが測定し、ネットワークに報告する機能が規定されている。Rel-17では、NRにもストリーミング・音声通話・VR (Virtual Reality)^{*57}のアプリケーションレイヤにおけるQoEを測定する機能が盛り込まれた。Rel-17特有の機能として、ネットワークスライシング^{*58}におけるスライスごとのQoE測定機能や、QoE測定結果をRAN (Radio Access Network)^{*59}が参照可能な形で報告することで、RANの最適化を補助する機能なども追加された。

(9)SON (Self-Organizing Network)^{*60}/MDT (Minimization of Drive Test)^{*61}機能拡張

Rel-16でNRにおいても基本的なSON/MDTの機能が盛り込まれたが、Rel-17では、LTEに盛込み済みでNRでは未提供の機能への追従や、NR特有の機能を考慮したSON/MDTの機能拡張が行われた。具体的には、セルカバレッジの最適化、PCI (Physical Cell ID)^{*62}の衝突回避、成功したハンドオーバー (HO: HandOver)^{*63}における切替先基地局の潜在的な問題に関する情報の収集、EN-DCにおけるNRセルの自動休止・起動、LTE・NRセル間の負荷分散、Rel-16で規定されたCHO (Conditional HO)^{*64}やDAPS (Dual Active Protocol Stack)^{*65} HOの失敗時の情報収集などのための機能拡張が行われた。

(10)HPUE (High Power UE)^{*66}規定

一般的なHandheld UE^{*67}の送信電力は、PC3 (Power Class 3)^{*68}として最大23dBmで規定されているが、それよりも3dB大きな電力で送信可能なPC2の規定もHPUE規定としてこれまでに導入され

^{*51} 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。

^{*52} WRC: 各周波数帯の利用方法、衛星軌道の利用方法、無線局の運用に関する各種規定、技術基準などをはじめとする国際的な電波秩序を規律する無線通信規則の改正を行うための会議で、各国主管庁およびITUに登録している事業者などの関係団体が出席し、通常3～4年ごとに開催される。

^{*53} IEEE 802.11ad/ay: 60GHz帯を利用する無線LANの規格。

^{*54} SCS: 端末との通信を終端し、M2Mアプリケーションを実装する装置。

^{*55} マルチSIM端末: UEのうち、1台で複数のSIMを利用することができる端末。

^{*56} QoE: ユーザの体感から導き出されるサービス品質。

^{*57} VR: まるであたかも仮想世界にいるかのように錯覚を与える技術。

^{*58} 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。

^{*59} RAN: 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。

^{*60} SON: eNB設置時の自動設定やパラメータの自動最適化などを含む、無線ネットワーク自己最適化機能の通称。

^{*61} MDT: 3GPPにて標準化されている、通信中の無線切断やHOの失敗など、端末からネットワークに対して事象の発生した位置情報やその原因などを通知し、QoEを収集する技術。

^{*62} PCI: 物理的なセル識別子。NRでは1,008通りのPCIが繰返し利用される。

^{*63} ハンドオーバー (HO): 端末とネットワーク間の通信を継続したまま、通信セル/基地局の切替えを行う通信技術。

てきた。PC2は、Rel-16まではEN-DC（Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network New Radio Dual Connectivity）^{*69}のみが対象となっていたが、Rel-17において対象シナリオがNR-CA^{*70}およびSUL（Supplementary UpLink）^{*71}にも拡張され、対象についてもTDD（Time Division Duplex）^{*72}のみではなくFDD（Frequency Division Duplex）^{*73}バンドも含める拡張がなされた。また、PC2よりもさらに3dB大きな電力で送信可能なPC1.5の規定もn77^{*74}、n78およびn79を対象として導入がなされた。既存の電波防護指針を前提とした規定であるため、適切なDuty cycle^{*75}を設けるなどの制限はあるものの、対象となるUEは、高い電力での送信が比較

的容易なFWAのみではなくHandheld UEも含まれている。これら機能により、広いユースケースにおいてULカバレッジ拡大効果が期待される。

(1) RF（Radio Frequency）^{*76}性能規定高度化

FR1について、UEのRFのアーキテクチャの高度化に合わせて、限られたRF chain^{*77}をより品質の良いCarrier/MIMOレイヤ数で利用するためのTx antenna switching^{*78}の、Rel-16からのさらなる高度化がなされた。また、intra-band UL CA時のHPUE規定、およびUL MIMO適用ケースへの拡張がFR1を対象になされた。拡張された機能を図4に示す。具体的には、Rel-16のTx antenna switchingでは片方のCarrierで1Tx（片方のポートのみ使用

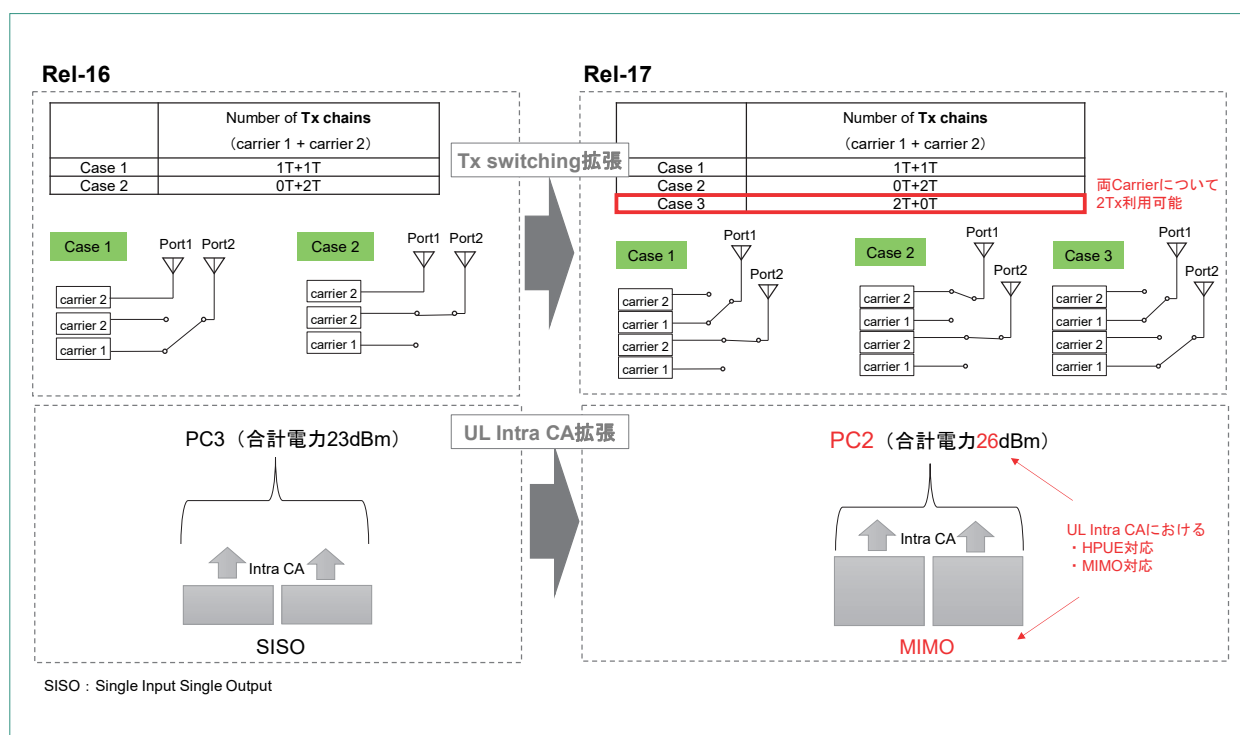


図4 FR1 UE RF性能規定高度化

^{*64} CHO：HO実施方法の1つ。HO実施時に指示するのではなく、あらかじめ切替先と切替条件をネットワーク側からUEに事前通知を行う。

^{*65} DAPS：HOにおいてUEが通信できない時間を短縮するために、HO前／後両方の通信経路を過渡的に同時利用する機能。

^{*66} HPUE：通常のUEよりも大きな電力で送信可能なものの総称。

^{*67} Handheld UE：いわゆるスマートフォンのような、ユーザが手に保持して用いるデバイスを指す。

^{*68} PC3：Power Class 3の略称。3GPP標準仕様において最大空中線電力などでいくつかのPower Classが規定されている。

^{*69} EN-DC：NRノンスタンドアロン運用のためのアーキテクチャ。LTE無線でRRC connectionを行い、追加の無線リソースとして加えてNRを用いる。

^{*70} NR-CA：複数のNRキャリアを用いて同時に送受信することにより後方互換性を保ちながら帯域拡大により高速伝送を実現する技術。

^{*71} SUL：通常用いられるアップリンクダウンリンクのペアとは別に上りカバレッジ確保のために補完的に用いられる別周波数帯のアップリンクのこと。通常用いられるアップリンクとの同時利用はできない。

^{*72} TDD：ULとDLで、同じキャリア周波数、周波数帯域を用いて、時間スロットで分割して信号伝送を行う方式。

^{*73} FDD：ULとDLで、異なるキャリア周波数、周波数帯域を用いて信号伝送を行う方式。

^{*74} n77：NR向けに定義されたTDDの周波数帯域（3,300～4,200MHz）。

可能), もう片方のCarrierで2Tx (両方のポートが使用可能) のケースだったものを, Rel-17では両Carrierに対して2Tx利用できるケースへの拡張, また, 送信電力増大のためのHPUEおよび送信MIMOレイヤ数向上のためのUL CA/UL MIMO併用時のRF規定^{*79}の拡張を行うことで, RF性能としてULスループットの向上が期待される。

FR2についてはRel-16で議論しきれなかったRF性能向上に関する検討項目, 具体的にはFR2 inter-band DL CAにおいて28GHz帯+28GHz帯, あるいは, 40GHz帯+40GHz帯など近接する異なる周波数バンドを束ねるCAの性能規定, FR2 inter-band UL CAにおいて端末がそれぞれのバンドに対して別ビームを形成できる場合の性能規定, および通信

の安定性確保のためのCalibrationに用いるGap規定が策定され, FR2のさらなる高速化に向けた性能規定が示された。inter-band CAの拡張について図5に示す。

(12)無線リソースマネジメント (RRM: Radio Resource Management)^{*80}高度化

RRMのさらなる高度化として, 最適なUL送信アンテナ選択のためのSRS (Sounding Reference Signal)^{*81} antenna port switchingのRRM規定, NR SAからEN-DCにHOする際に, 最適なEN-DCセルの組合せをHO直後から利用できるようにするためのHO with PSCellのRRM規定, およびPUCCH SCell利用時におけるセル有効化時間などのRRM規定を策定することで, 端末が最低限満たすべき性能が担

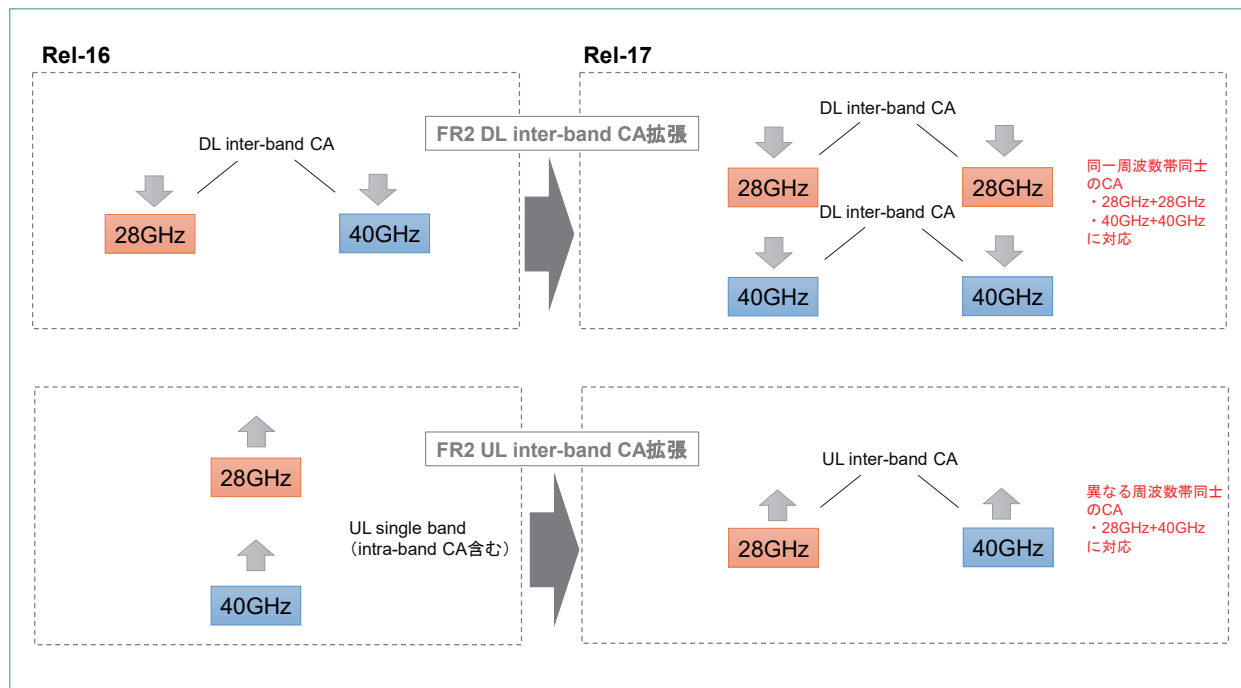


図5 FR2 UE RF性能規定高度化

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

*76 RF: 無線アナログ回路部。

*77 RF chain: アンテナやアップコンバータ/ダウンコンバータ, 発振器, アンプなどのアナログ信号処理部全般を指す。

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

*79 RF規定: 不要発射や受信感度など, 無線部分に関する特性規定。

*80 RRM: 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。

*81 SRS: 基地局側で上りリンクのチャネル品質や受信タイミングなどを測定するための参照信号。

保され、これらの機能の商用導入によるユーザエクスペリエンス体感向上が期待される。

また、MG (Measurement Gap)*⁸²のさらなる柔軟な設定や無通信区間の削減を図るために、BWP (BandWidth Part)*⁸³ごとに異なるMGを設定可能とするPre-configured MG pattern、用途の異なる複数のギャップを同時に効率良く用いるためのMultiple concurrent and independent MG patterns、必要最低限のギャップ区間だけを用いて無通信区間を極小化するNetwork Controlled Small Gapの3機能が新たに規定された。これらの発展的な機能を用いることで無通信区間が削減されスループット向上が期待される。

(13)高速移動環境下での性能規定高度化

Rel-16では最大移動速度500km/h、最大周波数3.6GHzの環境までを想定したHST (High Speed Train)*⁸⁴シナリオについて最低限満たすべき性能規定が議論されたが、Rel-17ではさらなる通信速度高速化のためにCAの規定が新たに策定された。また、Rel-16 HSTはFR1に対象が絞られていたが、Rel-17ではFR2にも対象が拡張された。FR2に対する規定は、基本的にはRel-16 FR1と同様だが、最大移動速度が350km/hとなっている。また、適用可能な最大周波数は30GHzとなっている。この規定により高速移動環境において、FR2がシングルキャリアに限り利用可能となり、高速通信を享受可能なエリアの拡大が期待される。

(14)端末／基地局の信号復調規定高度化

Rel-15、Rel-16において策定しきれなかったUE demodulation*⁸⁵規定、具体的には下りのセル間干渉／UE間干渉を削減可能なadvanced receiverに関する規定、およびFR1 UL 256QAMの性能規定が策

定された。これら規定により下り／上り共にさらなるスループットの向上が期待される。

(15)NRレピータ*⁸⁶

LTE以前に運用されていたRFレピータについて、Rel-17においてNRの性能規定も議論され策定された。特に高速通信が期待される3GHz以上の高い周波数帯では、電波の減衰が大きくカバレッジ確保が課題となるため、RFレピータの利用により高速通信が可能な5Gエリアを拡大し、不感地帯を削減することが期待される。

2.2 産業創出・ソリューション協創向け高度化技術

(1)IIoTおよびURLLC向け機能拡張

Rel-16では、工場の機器制御などのために基地局とUEとの間で時刻を同期する機能が盛り込まれたが、Rel-16時点では、基地局のカバーするエリアが広いなどの理由で基地局・端末間の電波の伝搬遅延が大きい場合に誤差が生じる問題があった。Rel-17では、伝搬遅延誤差を補償する機能が盛り込まれ、より広いエリアにおいても時刻同期が適用可能となった。

また、Rel-16では、NRをアンライセン্সバンド*⁸⁷でeMBB向けに運用可能になったが、Rel-17ではアンライセン্সバンドで、かつ他システムからの干渉の頻度が低い環境でURLLC通信を実施するための機能拡張がなされた。

その他、遅延低減や信頼性向上のため、優先度の異なるパケットのスケジューリングや再送制御、UEからの電波状況報告の機能が拡張されている。

(2)IIoTサービス向け簡易NR端末

LTE-IoTにより提供されるローエンドIoTと、

*⁸² MG：通信中の周波数以外の周波数を測定するために設けられる区間のことを指す。

*⁸³ BWP：キャリアの最大帯域幅よりも狭い帯域幅のみを利用する必要がある場合に用いられる部分的な帯域のこと。通信に用いるべきBWP情報（帯域幅、周波数位置、サブキャリア間隔）をUEごとに設定可能。

*⁸⁴ HST：高速移動環境下向けには特別に規定が用意されており、その規定を適用するシナリオを総称してHSTシナリオと呼ぶ。

*⁸⁵ UE demodulation：端末の受信信号処理の総称。

*⁸⁶ レピータ：基地局からの下り受信信号を電力増幅して移動局への送信を行う物理層の中継機器。

*⁸⁷ アンライセン্সバンド：行政による免許割当てが不要で、特定の通信事業者に限定されずに使用可能な周波数帯。

NRにより提供されるURLLCやIIoTといったハイエンドIoTとの間のミドルレンジIoTサービスをターゲットとしたRedCapの仕様が、Rel-17において策定された。RedCapでは監視カメラ・ウェアラブル端末・産業向け無線センサなどを対象のユースケースとしており、これらの要求条件を満たしながら端末のコストを削減するため、端末がサポートする最大帯域幅、受信ブランチ数・最大DL MIMOレイヤ^{*88}数、最大変調多値数^{*89}および複信方式^{*90}が、Rel-15・Rel-16 NR端末と比較し簡易化されている。簡易化にあたっては、非RedCap端末と同一セル内で運用されることを想定し、非RedCap端末とは異なるBWPにおける動作や、RedCap端末であることを初期アクセス中に基地局へ通知する機能などが策定された。

(3)NRにおける位置測位

RAT (Radio Access Technology)^{*91}信号でUE位置を推定する機能はLTEからサポートされているが、NRではRel-16で初めてサポートされた。Rel-16 NRでは、E-CID (Enhanced Cell-ID)^{*92}、DL-TDOA (Time Difference of Arrival)^{*93}、UL-TDOA^{*94}、Multi-RTT (Multiple-Round Trip Time)^{*95}、UL-AoA (Angle of Arrival)^{*96}、DL-AoD (Angle of Departure)^{*97}の測位方式がサポートされたことにより、NRにおいてもRATベース測位が可能となった。

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

(4)NTN

Rel-16までのLTE/NR仕様は地上ネットワークを

対象としていたが、Rel-17ではさらなる5Gのエリア拡大などを目的として、衛星や飛行体を介して通信を行うNTN向けの無線技術の仕様化が行われた。NTNにおける課題として伝搬遅延が非常に大きいこと、および端末が接続するセルと隣接セルの電波品質差が小さいことが挙げられる。前者に対しては同期確立および維持にかかわる技術や、スケジューリングおよびHARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest)^{*98}を実行可能かつ高効率にする技術が検討され、導入された。後者の課題に対しては電波品質以外の要素に基づいてHOを実施する技術が仕様化された。

(5)ネットワークスライシング向け機能拡張

(a)スライスを考慮した待受けセル選択

周波数・セルによって、サービスを提供するネットワークスライスが異なる運用を行う場合には、電波品質の良好なセルにUEが接続しても、そのセルでユーザの利用したいスライスが提供されていないケースが生じると考えられる。Rel-16までは接続後にネットワークの指示によりセルを移動する動作で対応していたが、Rel-17ではUEが利用したいスライスを提供するセルを優先した待受けを行うことで、ネットワークからの移動指示を待たずに所望のスライスを利用することが可能となった。

(b)スライスを考慮したRACH (Random Access CHannel)^{*99}の優先制御

Rel-16までの標準仕様においても、通信中のリソース割当てにネットワークスライスを考慮することは基地局動作により可能であったが、通信開始時に利用するRACHについてはスライスが考慮されないため、例えばRACHが混雑し

^{*88} MIMOレイヤ：MIMOにおいて、異なるアンテナを用いて同じ無線リソース上で異なる信号を空間多重する際の多重数。

^{*89} 変調多値数：データ変調における信号位相点の数。例えば、QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) の場合は4、16QAM の場合は16である。

^{*90} 複信方式：相対する方向で送信が同時に行われる通信方式をいう。一般に、周波数分割複信 (FDD)、時分割複信 (TDD) がある。

^{*91} RAT：NR、LTE、W-CDMA、GSMなどの無線アクセス技術のこと。

^{*92} E-CID：基地局から報知されたセルIDとその基地局から送信された参照信号の受信強度や受信品質、さらに基地局端末間の信号往復時間 (RTT) などを用いて端末の位置を推定する測位技術。

^{*93} DL-TDOA：複数の基地局それぞれから同時に送信された下りリンクの参照信号を端末が受信し、その到来時間差と各基地局

の座標に基づいて端末の位置を推定する測位技術。

^{*94} UL-TDOA：端末から送信された上りリンクの参照信号を周辺の複数の基地局が受信し、その到来時間差と各基地局の座標に基づいて端末の位置を推定する測位技術。

^{*95} Multi-RTT：端末と複数の基地局それぞれとの間の信号往復時間 (RTT) および各基地局の座標に基づいて端末の位置を推定する測位技術。

^{*96} UL-AoA：端末から送信された上りリンクの参照信号を基地局が受信し、水平方向および垂直方向の到来方向に基づいて端末の位置を推定する測位技術。

^{*97} DL-AoD：基地局から送信された下りリンクの参照信号を端末が受信し、受信したビームのインデックスと受信強度および基地局側でのビームの水平方向および垂直方向の発射方向に基づいて端末の位置を推定する測位技術。

ている場合に、優先的にサービスを提供したいスライスの通信のRACHがネックとなり開始できない可能性があった。Rel-17ではスライスに応じたRACHの分離や、優先制御の機能が仕様化された。本機能追加により、通信開始時にもスライスによるリソース制御を適用することが可能となった。

(6)小容量データ送信の効率化

スマートフォンからのインスタントメッセージや、IoT・ウェアラブル端末からのセンシングデータに代表される、小容量・低頻度通信における端末消費電力低減・信号オーバーヘッド削減のために、RRC_INACTIVE^{*100}状態においても簡易な手順によりデータ送信を行う機能が追加された。

(7)リレー^{*101}端末経由の通信 (Sidelink relay^{*102})

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

3. あとがき

本稿では、3GPP Rel-17仕様で策定された5G無線の高度化技術を概説した。本稿で紹介したモバイルブロードバンド向け高度化技術、および産業創出・ソリューション協創向け高度化技術については、本特集別記事でより詳細に解説しているので、参照されたい [1] [2]。3GPPでは、2021年12月から、5G Advancedの最初の仕様としてRel-18仕様の作成を開始している [3]。ドコモは、3GPPにおける5G標準化推進に寄与しており、今後も5G標準化のさらなる発展に貢献していく。

文 献

- [1] 松村，ほか：“3GPP Release 17におけるモバイルブロードバンド向け高度化技術，” 本誌，Vol.30，No.3，pp.78-100，Oct. 2022.
- [2] 熊谷，ほか：“3GPP Release 17における産業創出・ソリューション協創向け高度化技術，” 本誌，Vol.30，No.3，pp.54-77，Oct. 2022.
- [3] 原田，ほか：“5Gおよび5G Advanced標準化動向，” 本誌，Vol.30，No.3，pp.8-14，Oct. 2022.

^{*98} HARQ：自動再送要求（ARQ）と誤り訂正符号を組み合わせることにより、再送時に誤り訂正能力を向上させ、再送回数を低減させる技術。

^{*99} RACH：上り方向の共通チャネルで、制御情報およびユーザーデータの送信に使用するチャネル。各ユーザーが独立に信号をランダムに送信することにより、1つのチャネルを複数ユーザーで共通に使用する。

^{*100} RRC_INACTIVE：端末のRRC状態の1つであり、端末は基地局内のセルレベルの識別をもたず、基地局およびコアネットワークにおいて端末のコンテキストが保持されている。

^{*101} リレー：通信を中継して伝送する技術。

^{*102} Sidelink relay：サイドリンク通信においてリレーを行うことでカバレッジ拡張を行う技術。

3GPP Release 17における産業創出・ソリューション協創向け高度化技術

6G-IOWN推進部

くまがい しんや たかはし ゆうき
熊谷 慎也 高橋 優元よしおか しょうへい
吉岡 翔平

無線アクセス開発部

いのうえ しょうき びん てんよう
井上 翔貴 関 天楊

移動機開発部

おかむら まさや
岡村 真哉

近年、スマートファクトリーなど、移動通信業界にとどまらないさまざまな産業分野において、5G技術の活用が想定されている。3GPP Rel-17では、Rel-16と比較してさらに幅広いユースケースおよび高度なソリューションをターゲットとした仕様化が行われた。本稿では、3GPP Rel-17における産業創出・ソリューション協創に資する無線アクセス仕様を解説する。

1. まえがき

第5世代移動通信システム（5G）技術は、さまざまな産業の発展や多岐にわたる社会課題の解決を支える重要な要素として考えられており、その中でも特定のユースケース・サービスの実現に資する無線

アクセスネットワーク技術の検討が進められてきた。3GPP（3rd Generation Partnership Project）Release 17（以下、Rel-17）では、Rel-16において想定された産業連携領域に向けた無線技術のさらなる高度化、および産業連携領域を拡大する技術の仕様化が行われた。

©2022 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。

本稿では、産業連携を主なターゲットとした各種ソリューション（以下、産業連携ソリューション）について、3GPP Rel-17の検討背景および実現のための無線関連の要素技術を解説する。

2. 産業連携ソリューションの検討背景

3GPP Rel-17に関連する産業連携ソリューションとその背景、および技術要件について以下にまとめる。

2.1 スマートファクトリー

産業連携ソリューションの1つであるスマートファクトリーでは、高信頼・低遅延な無線ネットワークを通じて工場内のあらゆる機器が相互に接続して自動制御などが行われる。Rel-16においてこれを実現するための要素技術がすでに仕様化されたが [1]、さらなる高信頼化・低遅延化を目的としてRel-17においても引き続きスマートファクトリーが検討の対象とされた。

例えば、工場モーション制御自動化^{*1}についてはRel-16およびRel-17において「20bytesのパケットを、2ms以下の遅延かつ99.9999%以上の信頼度で送信すること」を目標値としている。また、確定性通信^{*2}のための時刻同期精度として「1 μ s以下」を目標値としている。加えて、スマートファクトリーの実現のためには機器の正確な位置情報をリアルタイムに取得することが求められる [2]。しかしながら、屋内においてはGNSS (Global Navigation Satellite System)^{*3}信号の受信が難しいことから、RAT (Radio Access Technology)^{*4}信号を用いた高精度測位と低遅延測位の実現が要求され、水平誤差0.2m未満・垂直誤差1m未満の測位精度と、エンドツーエンドで100ms未満の測位遅延をターゲットに仕様化され

た。またAGV (Automated Guided Vehicle)^{*5}のように安全性を求められるケースにおいては、位置測位の信頼性が確保できていることを確認するために、位置測位に対するインテグリティが仕様化された。

2.2 IoT

これまでのセルラ通信では、スマートフォンや産業用などの高機能端末、およびセンサなどのIoT端末を対象とした無線規格が仕様化されてきた。IoT端末のうちハイエンドIoT端末に対してはモバイルブロードバンドの高度化 (eMBB: enhanced Mobile BroadBand) や高信頼・低遅延通信 (URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communications) にかかわる無線仕様が用いられ、ローエンドIoT端末については、NB (NarrowBand) -IoT^{*6}やeMTC (enhanced Machine Type Communication)^{*7}といったLTE-IoT規格が収容する。一方で、これらの無線仕様やLTE-IoT規格などは、ハイエンドIoT端末とローエンドIoT端末との間を補完するミドルレンジIoT端末、例えば産業向け無線センサ、監視カメラ、ウェアラブル端末には最適化されておらず、ミドルレンジIoT端末に適した無線規格の検討が進められた (図1)。それぞれのユースケースに対する要求条件を図2に示す。

2.3 空中・海上・山間部などの新カバレッジ

多様な産業連携ソリューションの実現のために、これまでモバイルネットワークによってカバーされていないエリア、例えば空中・海上・山間部などあらゆる場所へ5Gネットワークを拡張することが望まれている。一方で、従来の地上基地局でこれを実現することはコスト観点から非常に難しく、災害に対する堅牢性の課題も存在する。そこで5Gネットワークの領域拡大に向けて非地上ネットワーク

^{*1} 工場モーション制御自動化：工場内で生産マシンの動作（移動や回転など）を所定の周期で厳格にコントロールする自動制御システムのことを指す。例えば、大型印刷マシンやパッケージングマシンにこのモーション自動制御システムが組み込まれている。

^{*2} 確定性通信：許容遅延時間内にデータ到達を保証する通信のこと。

^{*3} GNSS：GPSや準天頂衛星などの衛星測位システムの総称。

^{*4} RAT：NR、LTE、3G、GSM、Wi-Fiなどの無線アクセス技術のこと。

^{*5} AGV：無人搬送機。移動型ロボットの種類で、自動操縦で工場や倉庫において商品や材料などを搬送することができる。

^{*6} NB-IoT：eMTCよりもさらに狭い周波数帯を用いてIoT（センサなど）向けに低速データ通信を行う端末用LTE通信仕様。

^{*7} eMTC：狭い周波数帯を用いてIoT（センサなど）向けに低速データ通信を行う端末用LTE通信仕様。

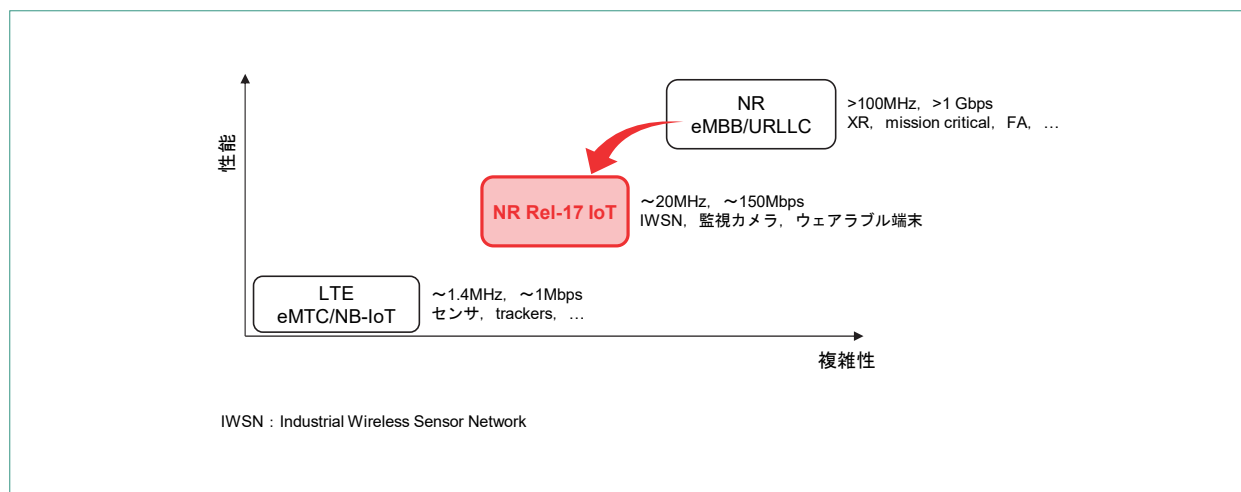


図1 Rel-17 IoTの位置づけ

	産業向け無線センサ	監視カメラ	ウェアラブル
端末コスト／複雑性	Rel-15/16 ハイエンドeMBB/URLLC 端末以下		
端末サイズ	コンパクト		
設置シナリオ	FR1 : 410~7,125MHz, FR2 : 24,250~52,600MHz, FDD/TDD全バンド対応		
信頼性	99.99%	99~99.9%	—
遅延	<100ms 5~10ms (Safety-related)	<500ms	—
データレート	<2Mbps	2~4Mbps (economic) 7.5~25Mbps (high-end)	DL : 5~50Mbps, UL : 2~5Mbps (reference) DL : Up to 150Mbps, UL : Up to 50Mbps (Peak)
電池寿命	数年以上	—	最大 1~2 週間

図2 Rel-17 IoTの対象ユースケースと要求条件

(NTN : Non-Terrestrial Network)^{*8}が注目を集めており (図3), 衛星通信業界から多数の企業が3GPPに参加して議論が進められてきた。この5G

ネットワーク拡張によりモバイルブロードバンド通信や放送系サービス, 安全・防災 (Public safety) サービスなどを, 移動時や災害時を含めて常に提供

^{*8} 非地上ネットワーク (NTN) : 衛星やHAPSなどの非陸上系媒体を利用して, 通信エリアが地上に限定されず, 空・海・宇宙などのあらゆる場所に拡張されたネットワーク。

することが可能になる。NTNの具体的な対象ユースケースは、文献[3]にまとめられており、図4に示すとおり大きく4つに分類することができる。

3. 産業連携ソリューションを実現する要素技術

前述した3つの産業連携ソリューションや、これ

らにとどまらないさまざまな産業連携ソリューションの実現に向けて、Rel-17では以下の無線技術の検討および仕様化が行われた。例えば、URLLC/TSN (Time Sensitive Network)^{*9}/Positioning^{*10}/RAN (Radio Access Network)^{*11}Slicingをスマートファクトリーに、後述するRedCap (Reduced Capability)をIoTに、NTNを空中・海上・山間部などの新カバレッジに、それぞれ適用することが期待される。

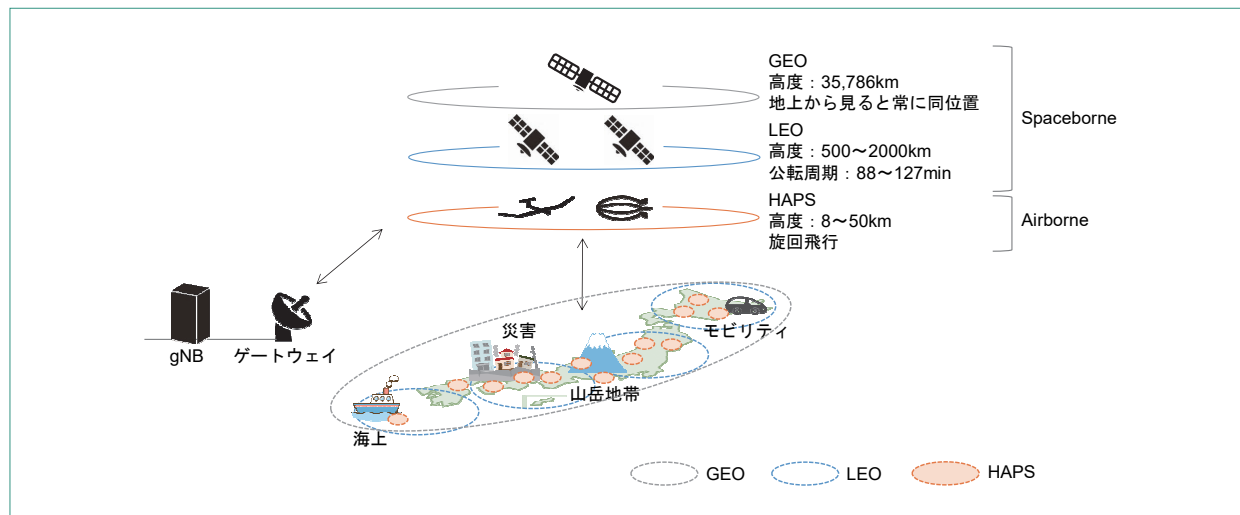


図3 NTN概要

カテゴリ	Deployment/Coverage	Availability	Multicast/Broadcast	Public safety
ユースケース	- Hot spot on demand - Multi connectivity - Fixed cell connectivity - Mobile cell connectivity - Trunking	- Network resilience - Mobile cell hybrid connectivity	- Edge network delivery - Direct to node broadcast - Direct to mobile broadcast	Wide/Local/Regional area public safety

図4 NR NTNのユースケース

*9 TSN：時刻を厳密に取り扱うネットワークのことを指す。

*10 Positioning：位置測定のことを指す。

*11 RAN：コアネットワークと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。

3.1 URLLC

(1)低遅延通信のための技術拡張

- (a)サブスロット構成^{*12}の上りリンク制御チャネル（PUCCH：Physical Uplink Control CHannel）^{*13}送信および繰返し送信

URLLCを目的として、サブスロット構成のPUCCH送信機能が拡張された。Rel-16では、HARQ-ACK（Hybrid Automatic Repeat Request-ACKnowledgement）^{*14}の単一送信のみがサブスロット構成のPUCCHでサポートされていた。Rel-17では、図5に示すようなサブスロット単位のPUCCHの繰返し送信もサポートされた。また、HARQ-ACKに加えて、CSI（Channel State Information）^{*15}およびSR（Scheduling Request）^{*16}を含むすべてのUCI（Uplink Control Information）^{*17}がサブスロット構成のPUCCH送信でサポートされる。

(b)PUCCHセルの切替え

Rel-16までの端末は、PUCCH送信のための無線リソース^{*18}が設定されるPCell（Primary Cell）^{*19}またはPSCell（Primary Secondary Cell）^{*20}、PUCCH-SCell^{*21}のみでPUCCH送信を実施する。しかし、TDD（Time Division

Duplex）^{*22}動作において、上記PUCCH送信が実施可能なセルのTDD構成によってUL（UpLink）の送信機会が少ない場合、PUCCHの送信遅延が発生する可能性がある。そこで、あるセルのPUCCHを、異なるTDD構成をもつ他のセルで送信する機能が規定された。

移行先PUCCHセルは、DCI（Downlink Control Information）^{*23}による動的通知や上位レイヤシグナリング^{*24}によるセルパターンによって設定される。DCIによる動的通知では、DCIで移行先PUCCHセルおよびPUCCHを送信するスロットを指示する。上位レイヤシグナリングによる通知では、スロットごとに移行先PUCCHセルを示すセルのインデックスが含まれるセルパターンを設定し、端末はセルパターンに基づいて、移行先PUCCHセルを決定する。

(2)システム利用効率向上のための技術拡張

- (a)SPS（Semi-Persistent Scheduling）^{*25}下りリンクデータチャネル（PDSCH：Physical Downlink Shared CHannel）^{*26}に対するHARQ-ACKの延期送信

SPS PDSCHに対するHARQ-ACKの送信機会を延期する機能が仕様化された。SPS PDSCH

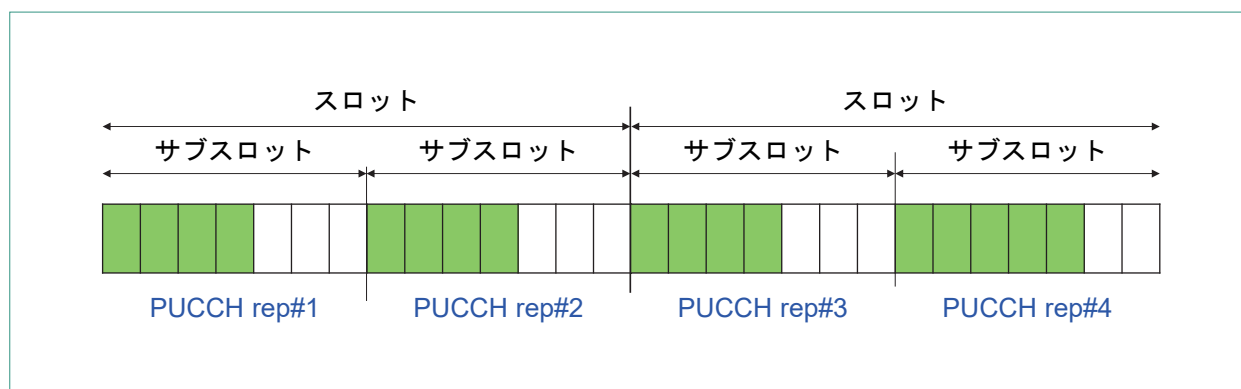


図5 サブスロット構成のPUCCH繰返し送信

*12 サブスロット構成：スロットを複数のOFDMシンボル（*36参照）単位で分割したスケジューリングの単位。
 *13 上りリンク制御チャネル（PUCCH）：UL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。
 *14 HARQ-ACK：データの受信ノードが正常に受信（復号）できたか否かを送信ノードに通知する受信確認信号。
 *15 CSI：信号が経由した無線チャネルの状態を表す情報。
 *16 SR：ユーザが基地局に対し、ULの無線リソース割当てを要求する信号。
 *17 UCI：ULにおけるHARQ-ACKやCSI、SRのような信号の総称。

*18 無線リソース：ユーザごとに通信のため割り当てられる時間および周波数の単位。
 *19 PCell：CAにおいて複数用いるキャリアの中で、接続を担保するコンポーネントキャリア（*31参照）／セル。
 *20 PSCell：DCまたはMR-DCにおいてセカンダリ基地局でサポートされるコンポーネントキャリア（*31参照）／セルの中で、接続を担保するもの。
 *21 PUCCH-SCell：CAにおいて複数用いるキャリアの中で、PCellまたはPSCellでないコンポーネントキャリア（*31参照）／セルであり、PUCCH送信のための無線リソースが設定されるもの。

は、上位レイヤによって設定される周期に基づいて基地局から送信される。また、SPS PDSCHに対する端末からのHARQ-ACKの送信タイミングは、基地局からのアクティベーションDCIによって通知されるか、上位レイヤシグナリングによって設定される。

SPS PDSCHに対するHARQ-ACKの送信タイミングが、DL (DownLink) シンボル、SSB (Synchronization Signals/Physical Broadcast CHannel Block) シンボル^{*27}、CORESET (COntrol REsource SET) #0シンボル^{*28}のタイミングと衝突する場合、当該HARQ-ACKの送信は中止される。その結果、当該HARQ-ACKに対応するSPS PDSCHの再送信が行われるため、システム利用効率の低下に繋がる。そこで、上記衝突時に、HARQ-ACKの送信タイミングを次のULスロットまで延期して送信する機能が仕様化された(図6)。

(b)単発のHARQ-ACK再送

システム利用効率の向上を目的として、DLシンボルとの衝突や高優先のHARQ-ACKとの

衝突などによって送信が中止されたHARQ-ACKの再送手段が仕様化された。具体的には、基地局は再送対象となる1つのHARQ-ACK CB (CodeBook)^{*29}をDCIにより動的に通知し、端末は当該DCIで通知されるPUCCHスロットにおいてHARQ-ACK CBの再送を行う。

(c)Type 3 HARQ-ACK CBの機能拡張

Rel-16で仕様化されたType 3 HARQ-ACK CBについて、Rel-17ではシステム利用効率の向上を目的とし、これらに含まれるHARQ-ACKビット^{*30}数を柔軟に変更する機能が仕様化された。Type 3 HARQ-ACK CBには、全コンポーネントキャリア (CC : Component Carrier)^{*31}の全HARQプロセス番号^{*32}分のHARQ-ACKビットが含まれる。従って、UCIビット数が大きく、システム利用効率が低下する可能性がある。そこで、任意のCCまたは任意のHARQプロセス番号に対するHARQ-ACKのみをHARQ-ACK CBに含めて再送するEnhanced Type 3 HARQ-ACK CBが仕様化された。HARQ-ACK CBに含める任意のCCまたは任意のHARQプロ

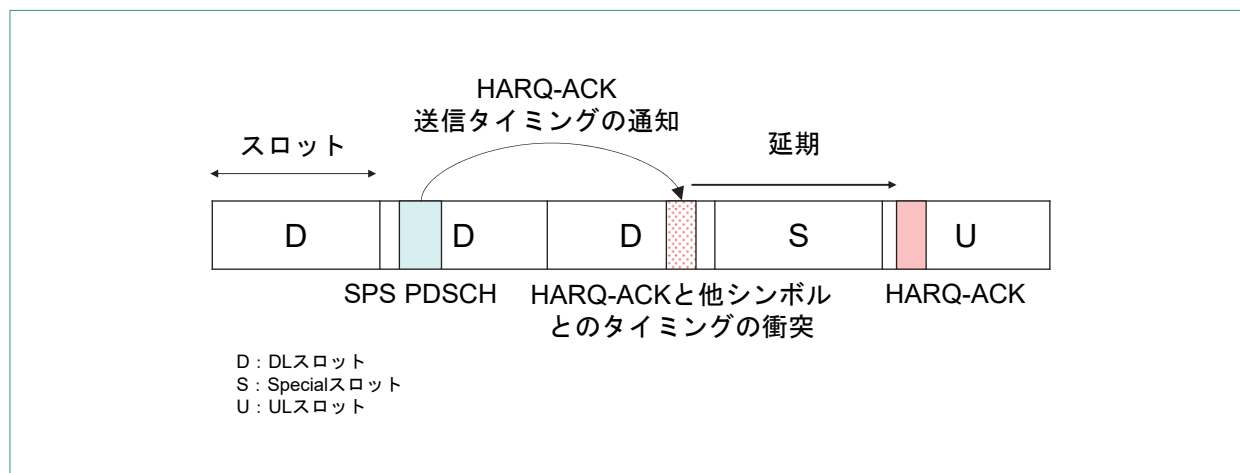


図6 SPS PDSCHに対するHARQ-ACKの延期送信

^{*22} TDD : ULとDLで、同じキャリア周波数、周波数帯域を用いて時間スロットで分割して信号伝送を行う方式。

^{*23} DCI : 各ユーザがデータを復調するために必要なスケジューリング情報、データ変調、およびチャネル符号化率の情報などを含むDLで送信する制御情報のこと。

^{*24} 上位レイヤシグナリング : 本稿では、MACレイヤまたはそれよりも上位のレイヤにおいて端末制御のために送受信されるシグナリング (例えばRRC (^{*86}参照) メッセージ、MAC CE (^{*87}参照) など) を表す。

^{*25} SPS : 半固定的なリソース割当てを行うスケジューリング手法。

^{*26} 下りリンクデータチャネル (PDSCH) : DL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。

^{*27} SSBシンボル : 基地局が定期的に送信する、通信に必要なセルの周波数と受信タイミングなどの検出を行うための同期信号および主要無線パラメータを通知する報知チャネルを端末が受信するシンボル。

^{*28} CORESET #0シンボル : 初期アクセスにおいて、SIB (^{*120}参照) 1の受信を行うために必要なスケジューリング情報を含む制御情報を受信するシンボル。

セス番号は、上位レイヤシグナリングで設定される。

(3)通信の信頼性を向上させる技術拡張

(a)サブスロット構成のHARQ-ACK送信に対する Type 1 HARQ-ACK CB^{*33}

Rel-16では、スロット構成のPUCCHのHARQ-ACK送信に対して、準静的にHARQ-ACK CBを生成するType 1 HARQ-ACK CBの送信がサポートされていた。また、前述のサブスロット構成のPUCCHのHARQ-ACK送信に対しては、動的にHARQ-ACK CBを生成するType 2 HARQ-ACK CB^{*34}のみがサポートされていた。

Rel-17では、サブスロット構成のPUCCHのHARQ-ACK送信に対して、準静的にHARQ-ACK CBを生成するType 1 HARQ-ACK CBもサポートされる。Type 2 HARQ-ACK CBでは、端末がDCIを正常に受信できなかった場合、基地局と端末との間で異なるHARQ-ACK CBが想定され、通信の信頼性が低下する可能性がある。一方、Type 1 HARQ-ACK CBでは基地局から準静的に設定される情報に基づいてHARQ-ACK CBを生成するためこの問題が生じない。従って、サブスロット構成におけるHARQ-ACK送信の信頼性の向上に繋がる。

サブスロット構成のPUCCHのHARQ-ACK送信に対するType 1 HARQ-ACK CBの生成手順は、スロット構成のType 1 HARQ-ACK CBの生成手順の一部を変更することで仕様化された。スロット構成のType 1 HARQ-ACK CBは、以下の手順で生成される。

Step①：HARQ-ACKを送信するULスロットに対して、当該ULスロットでHARQ-ACK送信を実行するように指示されるPDSCHを含み得るDLスロットを端末が決定する。

Step②：上記DLスロットに対して、TDRA (Time-Domain Resource Allocation) テーブル^{*35}を基に、PDSCHを受信する可能性のある機会（PDSCH受信機会候補）を決定する。

Step③：上記DLスロットのPDSCH受信機会候補のうち、TDD構成でULと設定または指示されているスロット・シンボルとOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) シンボル^{*36}単位で重複する場合、当該PDSCH受信機会候補を除外する。

Step④：残りのPDSCH受信機会候補に対して、OFDMシンボル単位で重複するPDSCH受信機会候補同士をグループ化する。

Step⑤：端末が各グループに対して、HARQ-ACKビットを生成する。

サブスロット構成のPUCCHのHARQ-ACKに対するType 1 HARQ-ACK CBでは、前述のStep②の手順を変更している。具体的には、Step①で決定されたDLスロットにおいて、サブスロット構成を適用した場合のHARQ-ACK送信タイミングの基地局からの通知に基づいて、端末がPDSCH受信機会候補を決定する。

動作例を図7に示す。以下では、図7のサブスロット#6で、サブスロット構成のPUCCHのHARQ-ACKを送信することを想定する。

Step①にて、スロット#3でHARQ-ACK送信を実行するように指示されるPDSCHを含み得るスロットが、DLスロット（スロット#2）として決定される。ここではスロットに含まれるPDSCHに対して、HARQ-ACK送信タイミングが1スロット後と基地局から通知されることを想定しており、スロットのPDSCH受信機会候補に対応するHARQ-ACK送信がスロット#3

^{*29} HARQ-ACK CB：複数のHARQ-ACKビット（^{*30}参照）を1つのULチャネルで送信する際の、当該ビットの集合のことを指す。

^{*30} HARQ-ACK ビット：HARQにおけるACKまたはNACK (Negative ACK) を、1または0のビットで表したもの。

^{*31} コンポーネントキャリア (CC)：CAにおいて束ねられる周波数帯の1つを表す用語。

^{*32} HARQプロセス番号：PDSCH受信に対するHARQ-ACKを管理するためのプロセス番号。

^{*33} Type 1 HARQ-ACK CB：PDSCH受信機会候補に対して準静的

にHARQ-ACKビットを生成し、HARQ-ACK CBを構成する方式。

^{*34} Type 2 HARQ-ACK CB：実際に受信するPDSCHに対して動的にHARQ-ACKビットを生成し、HARQ-ACK CBを構成する方式。

^{*35} TDRAテーブル：端末に対する、データチャネルの時間リソースの割当て候補情報。

^{*36} OFDMシンボル：伝送するデータの単位であり、OFDMの場合は複数のサブキャリアから構成される。各シンボルの先頭にはCP (Cyclic Prefix) が挿入される。

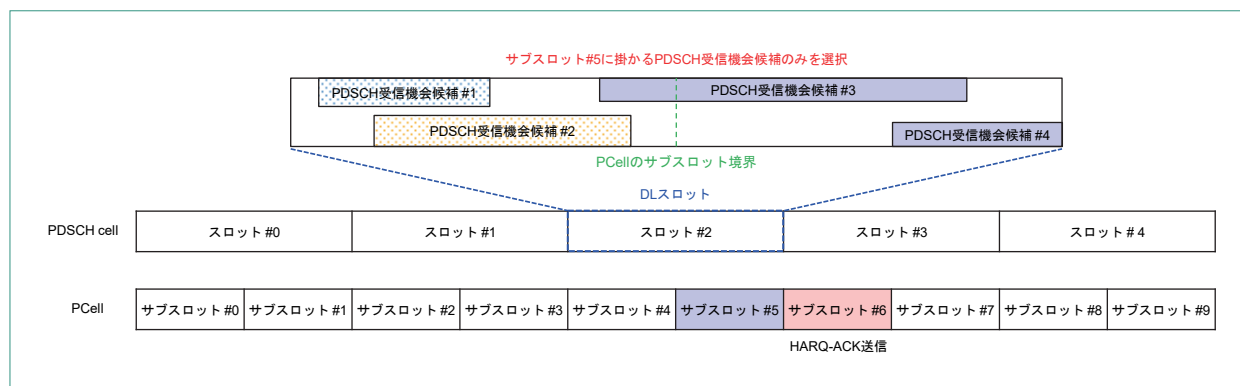


図7 サブスロット構成のType 1 HARQ-ACK CBの生成手順

で実行するように指示される可能性がある。従って、スロット#2がDLスロットとして決定される。

次に、Step②にて上記HARQ-ACK送信タイミングの単位をサブスロットとして解釈し、上記DLスロットのPDSCH受信機会候補を決定する。ここではHARQ-ACK送信タイミングを1サブスロット後と想定するため、HARQ-ACKを送信するサブスロット#6の1つ前のサブスロットであるサブスロット#5に掛かるPDSCH受信機会候補を選択する。上記DLスロットにおいて、サブスロット#5と時間的に同一となるPDSCH受信機会候補#3および#4のみを受信機会候補として決定する。一方、PDSCH受信機会候補#1およびPDSCH受信機会候補#2は、サブスロット#5と時間的に同一でないため、候補から除外される。

(b)高粒度のサブバンド^{*37}CQI (Channel Quality Indicator)^{*38}報告

高粒度のサブバンドCQIの報告が仕様化された。CQIの報告はワイドバンド^{*39}またはサブバンド単位で実施することができる。Rel-15/Rel-16において、サブバンドCQIの報告値は、

表1に示すように、4ビットの値を用いたワイドバンドのCQIインデックス値からのオフセット値^{*40}を、2ビットの値(4パターン)を用いて報告していた。オフセット値が2以上または-1以下の場合、丸め込んだ値が報告される。従って、サブバンドのCQIインデックスを正確に報告することができず、最適なMCS (Modulation and Coding Scheme)^{*41}が選択されないことで信頼性が低下する可能性があった。そこで、Rel-17ではワイドバンドと同様に4ビットの値(0~15)を用いて、サブバンドのCQIインデックスを実値で報告することを仕様化した。

(4)eMBBのURLLCのための技術拡張

工場内の制御機器のUL送信については、端末内から遅延・信頼性の要求条件が異なるデータや信号が送信される時、端末内において衝突が発生し、重要な制御データが遅延して届くなどのケースが想定される。遅延・信頼性に対する要求条件が厳しいデータの送信が中止されないよう、UE (User Equipment) 内で異なる優先度を有する、複数のULの送信が衝突する際の動作がRel-16で仕様化された。PUCCHや上りリンクデータチャネル (PUSCH: Physical Uplink Shared Channel)^{*42}、サウンディング

^{*37} サブバンド：全周波数帯域を複数に分割したうちの1つ。

^{*38} CQI：端末で測定されたDLの伝搬路状況を表す受信品質指標。

^{*39} ワイドバンド：全周波数帯域のことを指す。

^{*40} オフセット値：オフセットとは、ある位置を基準点からどれだけずれているか(差があるか)を表した値のこと。オフセット量はその度合い。

^{*41} MCS：適応変調を行う際にあらかじめ決めておく変調方式と符号化率の組合せ。

^{*42} 上りリンクデータチャネル (PUSCH)：UL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。

グ参照信号（SRS：Sounding Reference Signal）^{*43}に対して2値の優先度（高優先／低優先）がサポートされており、衝突時には低優先のUL送信が中止され、高優先のUL送信のみが行われる。従って、eMBBなどの低優先のUL送信は再送する必要がある。遅延の増大や信頼性の低下を招く課題があった。Rel-17では、低優先のUL送信の遅延および信頼性向上を目的とし、一部の衝突の組合せにおいて、高優先と低優先の両方のUL送信を行う機能が仕様化された。以下の2つの方法が規定されている。

(a)低優先および高優先通信の多重送信

低優先と高優先のUL送信が、OFDMシンボル単位で同時に送信されるようにスケジューリングされた場合、低優先および高優先のUL送信を単一のULチャンネルに多重して行う。ただし、多重送信がサポートされる衝突の組合せは一部であり、それ以外の組合せでは、低優先の上り送信は中止され、高優先の上り送信のみが行わ

表1 2ビットのサブバンドCQI報告

サブバンドCQIの 差分インデックス	オフセット値
0	0
1	1
2	≥ 2
3	≤ -1

れる。具体的には、表2および表3に示すとおり、衝突するPUCCHのUCI typeおよびPUSCHの組合せによって動作が定義される。例えば、低優先のHARQ-ACKのみを含むPUCCHと高優先のHARQ-ACKのみを含むPUCCHとが衝突する場合、端末は両方のHARQ-ACKを多重して高優先のPUCCHリソースを用いて送信する。また、低優先のSRのみを含むPUCCHと高優先のHARQ-ACKのみを含むPUCCHとが衝突する場合、端末は、低優先のPUCCHの送信を中止し、高優先のHARQ-ACKのみを含むPUCCHを送信する。なお、表2および表3に含まれない衝突の組合せの場合、端末は低優先のUL送信を中止し、高優先のUL送信のみを行う。

(b)低優先および高優先通信の同時送信

inter-band CA（Carrier Aggregation）^{*44}において、異なるセルの異なる優先度を有するPUCCHおよびPUSCHがOFDMシンボル単位で衝突する場合、両方のチャンネルを同時に送信する機能が仕様化された。この機能により、低優先の上りチャンネルの遅延の低減および信頼性の向上が図れる。

(5)アンライセンスバンド^{*45}におけるURLLC機能の技術拡張

NR（New Radio）のアンライセンスバンドでの活用が検討され、NR-U（NR Unlicensed）がNR

表2 PUCCH衝突時の動作

	HP HARQ-ACK	HP HARQ-ACK+SR
LP HARQ-ACK	すべてを多重 [*]	すべてを多重 [*]
LP SR	LP SRの送信を中止	LP SRの送信を中止し、他を多重 [*]
LP HARQ-ACK+SR/CSI	LP SR/CSIの送信を中止し、他を多重 [*]	LP SR/CSIの送信を中止し、他を多重 [*]

HP：High Priority
LP：Low Priority

^{*}多重はHP PUCCHへの多重を意味する。

^{*43} サウンディング参照信号（SRS）：基地局側でULのチャネル品質や受信タイミングなどを測定するための参照信号。

^{*44} inter-band CA：異なるバンドのキャリアを用いたCA。

^{*45} アンライセンスバンド：行政による免許割当てが不要で、特定の通信事業者に限定されずに使用可能な周波数帯。

表3 PUCCHおよびPUSCH衝突時の動作

		PUCCH			
		HP HARQ-ACK	LP HARQ-ACK	HP+LP HARQ-ACK	LP HARQ-ACK+ CSI/SR
LP PUSCH	w/o CSI	すべてを多重*	すべてを多重*	すべてを多重*	LP SRの送信を 中止し、他を多重*
	w/ CSI part 1			CSI part 2の送信を 中止し、他を多重*	
	w/ CSI part 1, part2				
HP PUSCH	w/o CSI	すべてを多重*	すべてを多重*	すべてを多重*	LP CSI/SRの送信を 中止し、他を多重*
	w/ CSI part 1		LP HARQ-ACK の送信を中止し、 他を多重*	LP HARQ-ACK の送信を中止し、 他を多重*	LP HARQ-ACK+ CSI/SRの送信を中止し、 他を多重*
	w/ CSI part 1, part2				

w/ : With
w/o : Without

※多重はPUSCHへの多重を意味する。

Rel-16の一機能として仕様化された。Rel-17では、アンライセンスバンドにおけるURLLC機能の親和性を向上させることや、さらなる遅延の低減を目的として、次の機能拡張が行われた。

(a)FBE (Frame Based Equipment)*⁴⁶動作におけるUE-initiated COT (Channel Occupancy Time)*⁴⁷

Rel-16 NR-Uでは、FBE動作 [4] の場合、基地局がトリガするCOT [4] のみがサポートされており、送信は常にDLから開始される。Rel-17では、UL送信の遅延の低減を目的として、端末がトリガするCOTが策定された。端末は、ULのトラフィックがある場合、所定の周期でLBT (Listen Before Talk)*⁴⁸ [5] を行い、他端末の送信が検出されなければCOTをトリガし、当該COTにおいてULの送信を開始する。

(b)Rel-16で導入されたNR-UおよびURLLC向けのCG (Configured Grant) PUSCH*⁴⁹の設定の最適化

Rel-16において、NR-UおよびURLLC向けのCG PUSCHに対する機能拡張が別々に行われた。Rel-16 NR-UおよびURLLCのCG PUSCH動作を表4に示す。HARQプロセス番号およびRV (Redundancy Version)*⁵⁰の決定方法、CG PUSCHに対するHARQ-ACK送信などについて、Rel-16 NR-UおよびURLLCで異なる動作が規定されている。Rel-16では、これらの動作の切替え方法が未定義であったため、Rel-17 URLLCにおいて明確化された。具体的には、上位レイヤシグナリングによる設定で当該動作の切替えが実施される。

3.2 TSN

(1)高精度時刻同期

スマート工場内では、ロボットなどの生産マシン

*⁴⁶ FBE：所定の周期で固定のキャリアセンス期間に基づくLBT (*⁴⁸参照)を行う動作。

*⁴⁷ COT：基地局または端末がデータ送受信のために占有する時間区間のこと。

*⁴⁸ LBT：端末がデータを無線上で送信する前に、他の端末がデータ送信を行っていないかを事前に確認する仕組み。

*⁴⁹ CG PUSCH：基地局からあらかじめユーザ個別にPUSCHリソースを割り当てておき、ULデータが発生したら、SR送信を行わずに端末が当該リソースでPUSCHを送信できる仕組みのこと。

*⁵⁰ RV：符号化後のデータビット系列において、一定周期で間引いたデータビット列。

表4 Rel-16 NR-U/URLLCにおけるCG PUSCH動作

CG PUSCHの機能	Rel-16 NR-U	Rel-16 URLLC
HARQプロセス番号	端末が決定・報告	送信機会・上位レイヤ設定に基づく定式式によって決定
RV	端末が決定・報告	送信機会・上位レイヤ設定に基づいて決定
CG PUSCHに対するACK/NACKフィードバック	サポート	非サポート
再送タイマー	サポート	非サポート
再送方法	DCIによる通知 +自動再送	DCIによる通知

間の高精度時刻同期の需要が大きい。従来は生産マシンをイーサネットケーブルでGMC (Grand Master Clock) *51に接続し、TSNプロトコル *52 (IEEE Std 1588 *53, IEEE Std 802.1AS *54など) に基づき同期を実現していた。しかし、有線ケーブルは、取回しの煩雑さで柔軟に生産ラインを変更できないなどの欠点が存在する。このため、Rel-16では5GS (5G System) *55を用いた高精度時刻同期メカニズムが導入された。

Rel-16仕様においては、UEとgNB (gNodeB) *56間の高精度な時刻同期を実現するために、基地局がUEに高精度な参照時刻 (時刻粒度: 10ns) をブロードキャストあるいはユニキャストにより送信する機能が仕様化された。ところが、セル半径が大きい場合、UEとgNBとの間の無線伝搬遅延により、gNBからの送信時とUEの受信時との間で参照時刻に誤差が生じる。

そこで、Rel-17ではUEとgNB間の伝搬遅延補償を考慮した時刻同期機能が規定された。具体的には、TA (Timing Advance) *57とRTT (Round Trip Time) *58に基づく2種類の補償法が仕様化された。前者では、参照時刻から、TA値を差し引くことで、伝搬遅延の影響を取り除いた時刻情報が得られる。

後者は、以下に示す伝搬遅延測定の手順を実施することで、TAより高精度に伝搬遅延を補償する方式である (図8, 9)。

- ①gNBはUEに対してRx-Tx time difference *59の測定を設定する。
- ②gNBはTRS (Tracking Reference Signaling) *60あるいはDL-PRS (Positioning Reference Signal) *61を送信する。さらにUEはSRSをgNBに送信する。
- ③上りと下りの伝搬遅延に差分があることを考慮し、UEとgNB間でそれぞれRx-Tx time differenceの測定を行う。
- ④gNBはgNB側のRx-Tx time difference測定結果をUEに送る。
- ⑤UEはUE Rx-Tx time differenceとgNB Rx-Tx time differenceに基づき伝搬遅延を算出し、補償を実行する。

なお、伝搬遅延補償はUEとgNBのいずれにおいても実施可能である。図8ではUEが補償を行っているが、図9④のように、UEはUE Rx-Tx time differenceの測定結果をgNBに送信し、gNBが伝搬遅延補償を実行する方式も仕様化されている。

*51 GMC: 高精度時刻同期に使われる親時計であり、精度の高い時刻情報を下位装置に配信する。

*52 TSNプロトコル: イーサネットにおいてリアルタイム性を実現するための第2層のプロトコルである。TSNプロトコル仕様はIEEE 802.1 Time-Sensitive Networkingタスク・グループにより策定されていて、代表的なTSN仕様はIEEE Std 1588/IEEE Std 802.1ASなどがある。

*53 IEEE Std 1588: 金融や通信システムなどにおいて使用する高精度時刻同期のプロトコルを定義したIEEE標準規格。

*54 IEEE Std 802.1AS: Local and Metropolitan Area Networkに

おける時刻同期制御に関する規格。

*55 5GS: 5Gに接続する無線アクセスネットワーク、および通信端末で構成されるネットワークシステム。

*56 gNB: NR無線を提供する無線基地局。

*57 TA: 基地局のUEに対する所望上り信号の受信タイミングと、実際の上り信号の受信タイミングとの差分を指す。

*58 RTT: 端末と基地局間の往復伝送に要する遅延時間。

*59 Rx-Tx time difference: 信号の送受信の時間差。

*60 TRS: DLにおける時間および周波数の変動をトラッキングする際に用いられる参照信号。

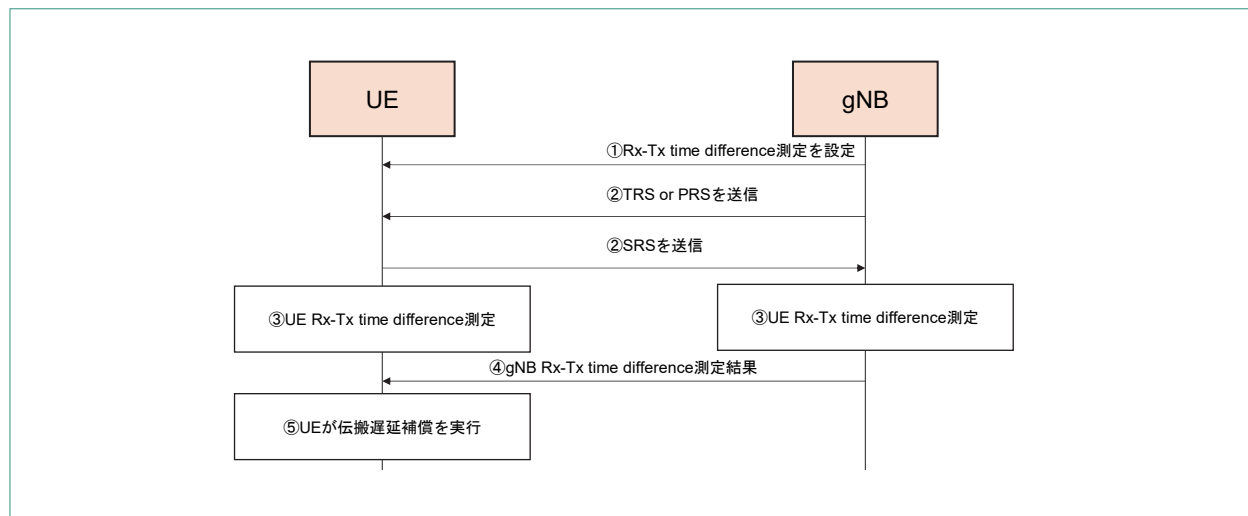


図8 UE側RTTに基づく伝搬遅延測定プロシーチャ

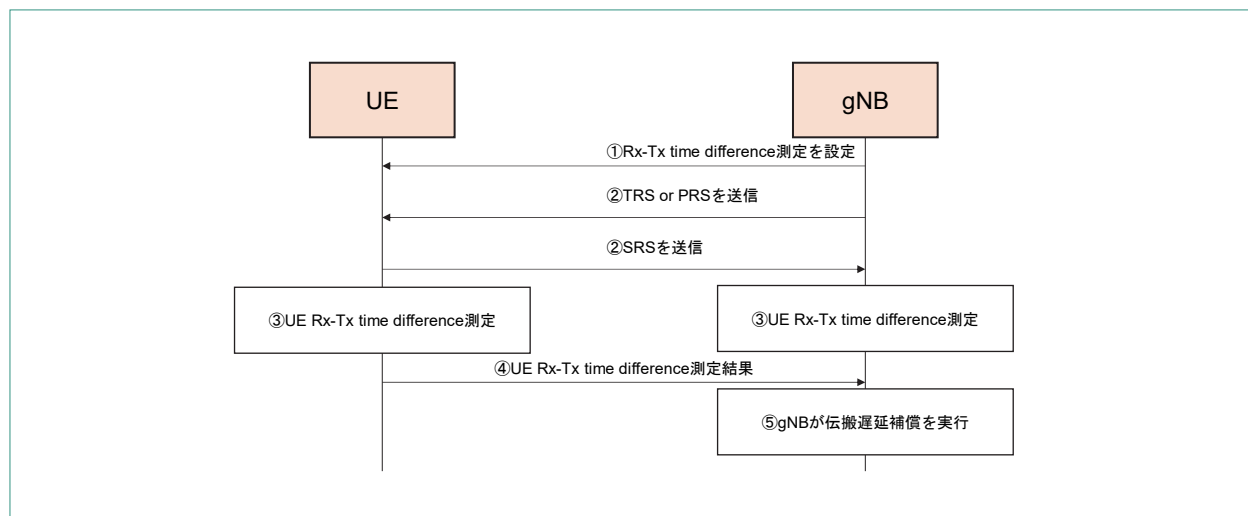


図9 gNB側RTTに基づく伝搬遅延測定プロシーチャ

(2)TSNトラフィックに基づく信頼性向上技術

Rel-16において、TSC (Time Sensitive Communication)^{*62}のトラフィックパターンなどの補助情報をAMF (Access and Mobility management Function)^{*63}からgNBに通知することが仕様化された。この補助情報を用いて、gNBは、TSCのトラフィッ

クの特徴に応じてCG, SPSあるいはDynamic Grant^{*64}を選択することで、より効率的かつ確定的にデータのスケジューリングを図ることができる。

Rel-16に導入されたTSCの補助情報としてPeriodicity^{*65}とBurst arrival time^{*66}があるが、それに加え、Rel-17では新たにSurvival time^{*67}と呼ばれ

*61 PRS：測位専用の参照信号。DL信号はDL-PRS、UL信号はSRS for positioningが規定されている。

*62 TSC：リアルタイム性の高い通信を指す。

*63 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。

*64 Dynamic Grant：UEがスケジューリングを要求し、基地局からDCIを送信してULデータの送信リソースを割り当てる仕組みのこと。

*65 Periodicity：TSCトラフィックの周期のことを指す。

*66 Burst arrival time：Data burst（短時間に発生するデータ）の最初のパケットがRANに到着する時間のことを指す。

*67 Survival time：アプリケーションがdata burstがなくてもサバイバルできるtime periodのことを指す。

る情報が追加された。この情報に基づいて、基地局スケジューラはTSCトラフィックのスケジューリングの緊急度を把握し、適切なスケジューリングや高信頼の無線リンクの設定を行うことができる。

また、上りデータ送信の信頼性を向上させる拡張が行われた。具体的には、無線品質が悪い際、gNBによるCGの再送スケジューリングを通じて、UEがSurvival time stateと呼ばれる状態に遷移することが可能になった。Survival time stateにおいて、UEは内部の複数のRLC (Radio Link Control) entity^{*68}を自律的にアクティベートしてデータを複製送信することで冗長性を高め、データ送受信の失敗を防ぐことができる。このときのデータ複製に用いるRLC entityは、DRB (Data Radio Bearer)^{*69}ごとに基地局から事前に設定される。

3.3 Positioning

RAT信号を用いた測位機能であるNR PositioningはRel-16から採用されている。前述のとおり、Rel-17ではスマートファクトリー向けの厳しい要求条件に耐え得る高精度測位と低遅延測位を実現する技術の仕様が行われた。また、そのほかの幅広いユースケースを想定し、測位精度の向上と測位遅延の軽減を目的とした機能拡張が行われた。さらに、GNSS信号を用いた場合を対象に測位の信頼性評価を実現する技術の仕様が行われた。

(1)測位精度向上技術

NRにおけるRATベース測位では、測位専用参照信号としてPRSが採用されている。PRSを用いた測位方式はDL-TDOA (Time Difference Of Arrival)^{*70}、UL-TDOA^{*71}、Multi-RTT^{*72}のTimingベースと、DL-AoD (Angle of Departure)^{*73}、UL-AoA (Angle of Arrival)^{*74}のAngleベースに分けることができ、それぞれのベースでTRP (Transmission and Re-

ception Point)^{*75}・UEの測定情報が異なる。Rel-17では、(a)Timingベースと(b)Angleベースそれぞれの測位精度を向上させる機能が仕様化された。

(a)Timingベース

Timingベースの場合、TRPとUE間のPRS到来時間差もしくは往復到来時間から位置を推定し、この計算にはPRS送信・受信時刻が用いられる。

PRSは、デジタル信号としてベースバンド^{*76}で生成・処理された後にアナログ信号へ変換されてアンテナから送信されるが、Rel-16ではデジタル信号の状態における時刻がPRS送信・受信時刻として参照されていた。従ってアナログ信号への変換にかかる遅延が考慮されないことによるnsオーダーの時間誤差が生じ、これが測位精度の劣化を招いていた。

Rel-17ではサブメートルオーダーの測位精度をターゲットとしたため、このnsオーダーの時間誤差を補償する機能が採用された。具体的には、TEG (Timing Error Group) と呼ばれる時間誤差が同じグルーピング規定と、比較的誤差の大きいTEG同士の時間誤差を計算する仕組みが採用された。例えば、1つ以上のアンテナパネルやアンテナ素子でグルーピングしたTEG間で同一のPRSを受信し、異なる測定情報 (例えばRSRP (Reference Signal Received Power)^{*77}、UE/gNB Rx-Tx time difference, RSTD (Reference Signal Time Difference)^{*78}、RTOA (Relative Time Of Arrival)^{*79}) をLMF (Location Manager Function)^{*80}へ報告することで、時間誤差の推定および影響軽減が可能となった。実装次第ではあるが、TEG単位はアンテナパネルやアンテナ素子などが想定されている。

^{*68} RLC entity：レイヤ2のサブレイヤの1つで、再送制御などを行う機能。

^{*69} DRB：無線区間においてU-planeデータを流すベアラ。

^{*70} DL-TDOA：複数TRP (^{*75}参照) から送信されるDL-PRSをUEで受信し、到来時間差から位置推定する測位方式。

^{*71} UL-TDOA：UEから送信されるUL-PRSを複数TRP (^{*75}参照) で受信し、到来時間差から位置推定する測位方式。

^{*72} Multi-RTT：複数TRP (^{*75}参照) からUEへDL-PRSを送信し、UEから複数TRPへUL-PRSを送信することによって、TRPとUE間の往復到来時間差から位置推定する測位方式。

^{*73} DL-AoD：TRP (^{*75}参照) からUEへDL-PRSを送信し、TRPのDL-PRS発射角度から位置推定する測位方式。

^{*74} UL-AoA：UEからTRP (^{*75}参照) へUL-PRSを送信し、TRPのUL-PRS到来角度から位置推定する測位方式。

^{*75} TRP：基地局側の無線信号送受信点。

^{*76} ベースバンド：デジタル信号処理を行う回路またはその機能ブロック。

^{*77} RSRP：端末で測定される参照信号の受信電力。端末の受信感度を表す指標の1つ。

(b)Angleベース

Angleベースの場合、PRSの到来方向もしくは発射方向から位置を推定する。

Rel-16では、受信電力が大きいPRSリソースの到来・発射方向から測位を行う思想で仕様が規定されていた。一方で、例えばTRPとUE間に直接波が存在する見通し（LOS：Line Of Sight）^{*81}環境では、反射波であれば受信電力が大きいPRSリソースであっても測位に用いず、直接波を用いることで、より正確な到来方向・発射方向の推定が期待できる。

そこでRel-17では、測定対象のPRSに対して時間的に最初に検出された伝搬路のPRSリソースで測位演算する機能が採用された。加えて、伝搬路がLOS環境である確からしさを0, 1の2値もしくは0～1の0.1ステップ（0.1, 0.2, 0.3, …）で数値化する機能も採用された。また、近年のML（Machine Learning）^{*82}技術向上による伝搬環境のモデリング高度化を目的に、gNB・UEからLMFへ報告可能な測定伝搬路数が2から8へ拡張された。ほかにも、gNB・UEにおけるPRS送信方向・受信方向を最適化するため、あらかじめgNB・UEへPRSリソースの想定到来方向・発射方向を通知する機能も採用された。

(2)測位低遅延化技術

Rel-17位置測位は、スマートファクトリーの低遅延要求条件を達成するために、(a)MG（Measurement Gap）^{*83}の事前設定ベース測位、(b)MG-less測位、(c)RRC（Radio Resource Control）_INACTIVE^{*84}状態の測位、(d)on-demand DL-PRSの4種類の機能拡張が行われた。

(a)MG事前設定ベース測位

Rel-16の測位機能においては、UEがノンサービング周波数^{*85}上でDL-PRSを測定する際に

MGの設定が必要になる。しかし、MGの設定はgNBからRRC^{*86}シグナリングで行われる必要があるため、遅延の要因となる。

そこで、Rel-17ではMGの事前設定の機能拡張が行われた。MGの事前設定は、MGをRRCシグナリングで事前に設定しておき、必要となる際にgNBからMAC CE（Medium Access Control Control Element）^{*87}によりMGのアクティブ化を指示する仕組みである。MG事前設定によって、RRCシグナリングによる設定遅延が短縮される。詳しい設定手順を以下に示す（図10）。

- ①準備段階としてLMFがサービング・隣接gNBと、測定に必要となるTRP情報を交換する。
- ②LMFがサービングgNB^{*88}に隣接gNBのDL-PRS情報を提供し、MGの事前設定を要求する。
- ③サービングgNBがLMFからの補助情報とUE能力に基づき、RRCの送信によってUEにMGの事前設定を行う。
- ④UEがMGを設定し、完了RRCメッセージをサービングgNBに返す。
- ⑤サービングgNBが設定完了メッセージをLMFに返す。
- ⑥MGが必要なときに、UEあるいはLMFからMGのアクティブ化の要求をサービングgNBに送信する。
- ⑦サービングgNBはMAC CEをUEに送信しMGのアクティブ化を指示する。

例えば、UEに対してアクティベートされているMGよりも早いタイミングでの測位要求が行われた場合、UEはUL MAC CEを用いてgNBへMG更新を要求し、gNBはDL MAC CEで異なるMGをアクティベートする。またRel-16で

*78 RSTD：主にUEで測定される、2TP（Transmission Point）間の相対受信時間差。

*79 RTOA：主にTRPで測定される、2RP（Reception Point）間の相対受信時間差。

*80 LMF：5GCにおいて規定された位置情報サービスに関する通信制御を担う機能。

*81 LOS：送受信間に遮蔽物がなく、直接波を使用した通信が主となる状態。

*82 ML：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。

*83 MG：通信中の周波数以外の周波数を測定するために設けられる区間。

*84 RRC_INACTIVE：端末のRRC（*86参照）状態の1つであり、端末は基地局内のセルレベルの識別をもたず、基地局およびコアネットワークにおいて端末のコンテキストが保持される。

*85 ノンサービング周波数：端末が基地局との間で送受信に使われるサービング周波数以外の周波数のことを指す。

*86 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。

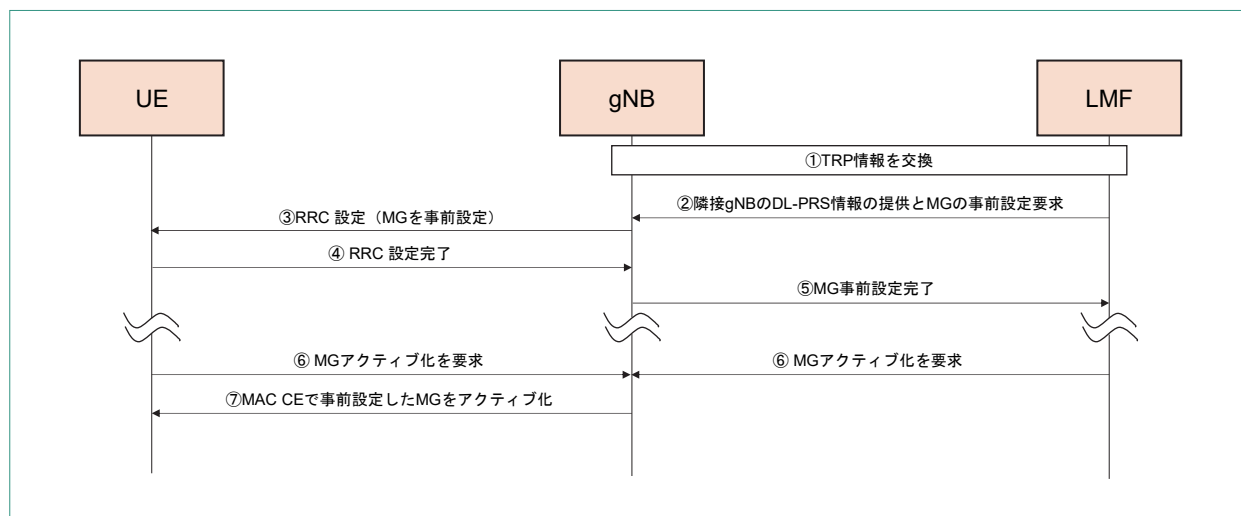


図10 MG事前設定プロシージャ

は、UEがDL-PRS測定を行う際に測定情報（例えばRSRP）の平均化などの目的でDL-PRSの Measurement sample^{*89}数が4となっていたが、低遅延化のため新たにMeasurement sample数1と2が追加され、目的に応じてsample数1, 2または4を柔軟に設定することが可能となった。

(b)MG-less測位

MG事前設定ベース測位の低遅延化に加え、より柔軟かつ低遅延に優先度の高い測位要求へ対応するため、Rel-17ではUEがMG外でDL-PRSを測定できるようにするMG-less測位機能が仕様化された。具体的には、MG外でDL-PRS受信を想定するウィンドウ（PPW：PRS Processing Window）と、PPW設定タイミングにおけるDL-PRSと他DL信号の受信優先度などが規定された。DL-PRSがPPW中に設定されていて、かつほかの高優先の信号との衝突が無ければ、UEはMGを用いずにDL-PRSを測定する。

PPWはDL BWP（BandWidth Part）^{*90}ごとに最大4つまで設定でき、LMFからgNBへの測

位要求に応じて1アクティブDL BWPごとに最大1PPW、全アクティブDL BWPで合計4PPWsまでアクティベート可能である。さらに、DL-PRSと他DL信号（PDCCH（Physical Down-link Control CHannel）^{*91}・PDSCH・CSI-RS（Channel State Information-Reference Signal）^{*92}）が衝突した場合のUE動作も議論され、事前にDL-PRSと他DL信号の受信優先度をUEへ通知するPriority stateが規定された。また、UE能力に応じて柔軟にDL-PRSを測定できるよう、受信優先度の粒度としてDL CC・アクティブDL CCs単位、PPW・シンボルレベルがそれぞれ仕様化された。例えば、DL CC共通のPriority stateが適用される場合では、シンボルレベルで受信優先度決定できるUEであれば同一PPWの異なるシンボルでDL-PRSと他DL信号を受信することができるが、PPWレベルで受信優先度決定するUEは同一PPWではDL-PRSもしくは他DL信号のいずれかしか受信することができない。ただし、SSBにはこれらの受信優先度

*87 MAC CE：MACサブレイヤで伝送される定められた構成の制御信号。

*88 サービングgNB：端末と接続状態中のgNB。

*89 Measurement sample：ここでは、UEにおけるDL-PRSリソースの測定単位を指す。

*90 BWP：CCごとに設定される、端末が通信に用いるべき帯幅・周波数位置・サブキャリア間隔の総称。

*91 PDCCH：DLにおける物理レイヤの制御チャンネル。

*92 CSI-RS：無線チャネルの状態を測定するために送信される参照信号。

は適用されず、常に最優先で受信する規定となっている。これにより、例えばPDCCHやPDSCHなどのDL信号がスケジュールされるタイミングであっても、LMFから優先度の高い測位要求があった場合に、UEが優先してDL-PRSを受信し測位を行うことが可能となった。

(c)RRC_INACTIVE状態の測位

従来の測位は、UEがRRC_IDLE^{*93}状態からRRC_CONNECTED^{*94}状態に入ってから行われていたが、RRC_IDLE状態からRRC_CONNECTED状態に入る時間は遅延の要因となる。特に産業用IoT端末の場合、測位が終わった後に次の通信パケットが無く、もう一度RRC_IDLE状態に入ることも多い。測位を行うたびに毎回RRC_IDLE状態からRRC_CONNECTED状態に移移することは非効率で端末の電力消費も大きい。

そこで、Rel-17においてはRRC_INACTIVE状態における測位方法が新たに導入された。具体的には、UEは、RRC_INACTIVE状態において、Rel-17 SDT (Small Data Transmission)^{*95}のフレームワークを利用し、gNBとお互いにはランダムアクセス^{*96}やCGを用いて測位メッセージやSRS設定などの送受信を行うことが可能となった。

(d)on-demand DL-PRS

測位に使われるDL-PRSは、測位をしていないときにgNBから送信されることもあるため、UEに受信のための不要な電力消費が生じる。一方、電力を節約するためにDL-PRSの周期を長く設定した場合、測位に遅延が生じるなどの問題が生じる。このような課題の対策として、必要ときだけ送信されるon-demand DL-PRSが導入された。

on-demand DL-PRSの送信はUEとLMFのいずれからも要求が可能であり、UEから要求するときの具体的な設定手順以下に示す(図11)。

- ①LMFとgNB間でサポート可能なon-demand DL-PRSの設定を交換する。
- ②UEはon-demand DL-PRS送信パラメータ設定(DL-PRSの開始時間、周波数、帯域幅、周期など)についてLMFに要求する。
- ③LMFがon-demand DL-PRSの送信を決定する。
- ④UEがサービングgNBと隣接gNBのDL-PRSを測定する必要があるため、LMFがon-demand DL-PRSの送信を、サービングgNBと隣接gNBに要求する。
- ⑤サービングgNBと隣接gNBはon-demand DL-PRSをUEに送信する。
- ⑥サービングgNBと隣接gNBはon-demand DL-PRS送信完了をLMFに報告する。

なお、④ですでに進行中のDL-PRS送信がある場合、LMFがon-demand DL-PRSを送信せずに進行中のDL-PRSの送信パラメータを変更することも可能である。

(3)インテグリティ

位置測位におけるインテグリティとは、取得した位置情報に対してどの程度の信頼が置けるかを計る指標である。この指標とユースケースに応じて必要とされる信頼性を比較し、確保できていない場合には、適時ユーザに警告を発することにより、位置情報を起因とする誤動作や事故を未然に防止することができる。インテグリティは、前述のスマートファクトリーやその他の信頼性が要求されるサービス(航空分野、自動車、鉄道、物流の管制や、課金サービスへの適用など)において、安全な運用を実現するために利用されることができる。

^{*93} RRC_IDLE：端末のRRC状態の1つであり、端末は基地局内のセルレベルの識別をもたず、基地局において端末のコンテキストが保持されていない。コアネットワークにおいて端末のコンテキストが保持されている。

^{*94} RRC_CONNECTED：端末と基地局間にリソースが割り当てられた状態。

^{*95} SDT：Rel-17に導入されたIoT端末向けの新機能で、UEがRRC_INACTIVE状態中にランダムアクセスあるいはCGリソースを利用することで、少量のパケットデータを送信可能となる。

^{*96} ランダムアクセス：端末が基地局と上り同期を確立、上り送信

リソースを基地局から受信するために行われる最初のアクセス手順。

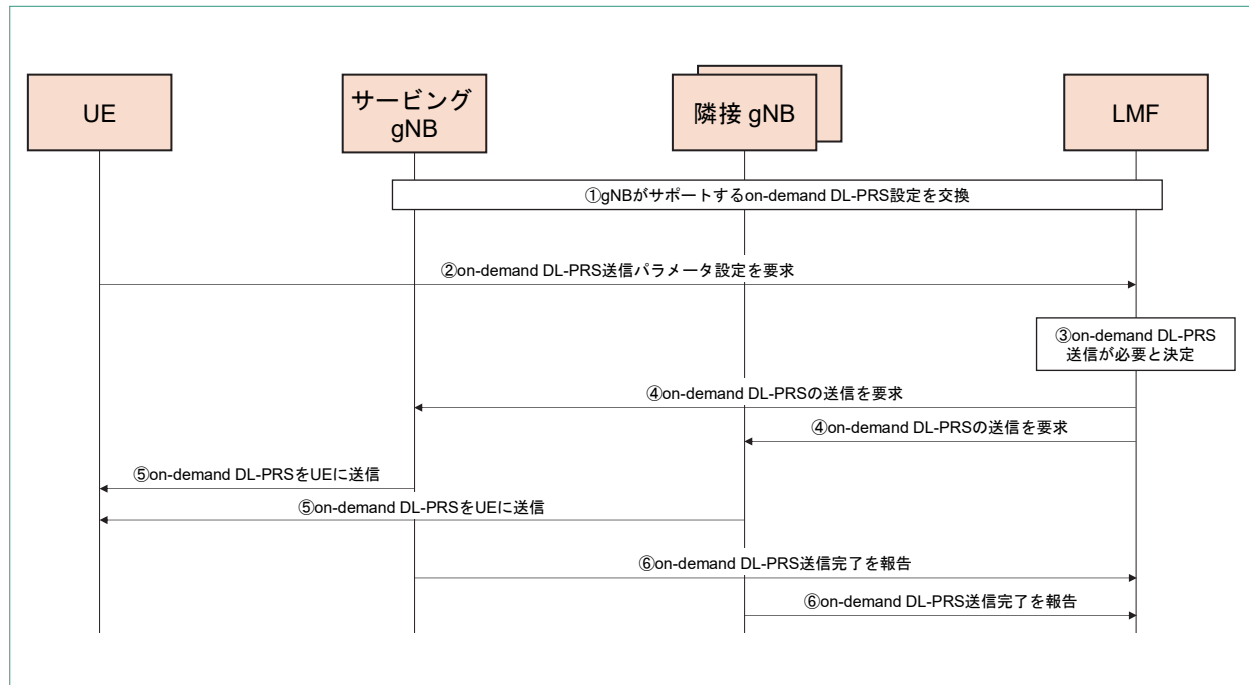


図11 on-demand DL-PRSリクエストプロシージャ

Rel-17でのインテグリティ機能は「GNSSベース測位」を対象に提供され、主に「各誤差要因の情報通知」「不適切な衛星の通知」「ユースケースに応じた安全性の確保」に分類される。

まず、衛星の状態（軌道・クロック・バイアス誤差・電離層の信号遅延など）を、測位誤差の要因としてネットワークから端末へ通知することが可能となった。また、クロック誤差が規定値より大きくなっている場合など、インテグリティ機能を提供するにあたり適切な情報を提供できない衛星については、端末に「当該衛星が利用できない」ことを通知することも可能となる。これらの情報の一部は報知情報^{*97}として端末に提供することも可能であり、端末側においてインテグリティ機能を使用する場合でも、多数の端末が適宜必要な情報を入手することができる。

ユースケースに応じた安全性の確保には、主にTTA（Time To Alert）^{*98}、AL（Alert Limit）^{*99}およびTIR（Target Integrity Risk）^{*100}の3つ指標を用いて評価を行う。GNSSの誤差要因を考慮し、ユースケースに応じた所望のTIRに対して測位誤差の上限であるPL（Protection Level）^{*101}を導出する。ALに対してPLが小さい場合には、十分な信頼性を有していることを示し、その差分だけマージンをもって安全性を確保していることになる。一方で、ALに対してPLが大きい場合には、TTA以内に警告を発することができ、ユーザ／アプリケーションはサービスが利用できない、もしくは異なる手段を使用する必要があることを認識できる。

本機能は、Rel-17においては「GNSSベース測位」を対象に提供されるが、Rel-18においては「RATベース測位」にも対象が拡張される予定である。

^{*97} 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、セルごとに一斉同報される。

^{*98} TTA：PL（^{*101}参照）がAL（^{*99}参照）を超過した場合に、インテグリティ機能が警告を通知するまでに許容される最大経過時間。

^{*99} AL：アプリケーションにおいて許容可能な最大誤差。

^{*100} TIR：インテグリティ機能によりTTA以内にAL超過を報告できない確率、単位時間当たりの確率として表される。

^{*101} PL：その時点においてTIRを満たすことのできる位置誤差の上限。

3.4 RAN Slicing

5Gにおけるネットワークスライシングは、ネットワークをさまざまなニーズに応じて複数の論理ネットワークに分けてサービスを提供する新機能として業界で注目されている。Rel-17では、これまで標準化されてきた5GC (5G Core network)^{*102}のスライシング機能に加え、RANのスライシング機能を拡充した。

(1)スライスを意識したセル再選択

従来は、RRC_IDLE状態のUEによるセル再選択は電波品質を考慮して行われていた。しかし、ある特定のスライスを利用したいケースにおいては、UEが品質の良好なセルを選択し接続要求を行った後に、当該セルにおいて所望のスライスがサポートされないことが判明する場合がある。このとき、UEはいったんRRC_CONNECTED状態になってから別のセルへ移動する必要がある。特にURLLCサービスを利用したいUEにとって、上記のようなセル選択・接続のプロセスは非効率であり遅延をもたらす。そこでRel-17ではRRC接続状態にならずにスライスを意識したセル再選択機能が導入された。

具体的には、スライスを意識したセル再選択を補助する情報を、報知情報やRRC Release^{*103}メッセージによりネットワークからUEに送信できるようになった。補助情報の例として、周波数ごと・スライスグループごとのセル再選択の優先度および、スライスグループに対応するセルのリストがある。ここで、スライスグループとは、類似のスライスをグループ化したものであり、これを用いた仕組みでは、セキュリティへの配慮から、セルが収容するスライスの識別子をそのまま報知せず、スライスグループに識別子を付与して報知するように工夫されている。UEのNAS (Non-Access Stratum)^{*104}レイヤから、利用したいサービスのスライスグループと

その優先度をUEのAS (Access Stratum)^{*105}レイヤに通知し、ASレイヤがスライスグループの優先度と、ネットワークから受信したスライスを意識したセル再選択を補助する情報に基づいて、セル再選択を実行する。この機能によって、UEは利用したいスライスが提供されるセルを的確に選択することが可能となる。

(2)スライスを考慮したRACH (Random Access Channel)^{*106}の優先制御

UEはRRC_IDLE状態からRRC接続状態に入るときにランダムアクセスを行う必要がある。ランダムアクセスは衝突ありと衝突なしの2種類がある。前者では、UEが報知情報中のRACH preamble^{*107}プールから1つを選択してgNBに送信する際、他のUEと同じタイミングで同一RACH preambleを選択した場合に衝突が生じ得る。一方、後者では、gNBから指定されたRACH preambleでランダムアクセスを行うため、衝突が起きることがなくスムーズにネットワークに接続できる。

衝突ありのランダムアクセスにおいて、衝突により接続が完了しなかったUEは、ランダムアクセスバックオフ^{*108}のバックオフ期間と呼ばれる時間待機をした後、送信電力を上げて (power ramping^{*109}) 再度ランダムアクセスを試みる。このバックオフ期間は遅延をもたらすため、低遅延を要求するサービスには望ましくない。

そこで、Rel-17では高優先スライスを利用するUEに対して、専用のpower ramping・バックオフのパラメータを設定することが可能になった。具体的には、バックオフ期間にスケーリング係数^{*110}を乗ずることで、一般のUEよりバックオフ期間を短縮できるようになった。また、power rampingにおける送信電力の増加量を一般のUEよりも大きく設定することが可能となることで、優先疎通しやすく

^{*102} 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。

^{*103} RRC Release：端末をRRC_CONNECTED状態からRRC_IDLE状態に遷移させるRRCメッセージ。

^{*104} NAS：UEとコアネットワークとの間のプロトコルスタックにおける機能レイヤ。

^{*105} AS：UEと基地局との間のプロトコルスタックにおける機能レイヤ。

^{*106} RACH：ランダムアクセス手順において端末が基地局に最初送信する物理チャネル。

^{*107} RACH Preamble：ランダムアクセス手順において端末が基地局に最初送信する物理信号。

^{*108} ランダムアクセスバックオフ：ランダムアクセスにおいて、RACH preambleを送信したUEが、基地局からランダムアクセスレスポンスを受け取っていない、またはランダムアクセスレスポンスIDがそのUE用ではない場合に、そのUEがある期間を待ってからランダムアクセスをやり直すことを指す。

なった。

また、RACH resource partitioningという新機能も導入された。具体的には、RACHリソースを分割し、その一部を高優先スライス利用者のために保留しておき、高優先スライス利用者はこの専用のRACHリソースを使用することで、ランダムアクセスにおける一般UEとの衝突を防ぐことができる。RACH優先制御の対象スライスグループは、gNBから報知情報でUEに通知され、UEは、NASからASに通知されるスライスグループとその優先度を考慮し、高優先スライスのRACH優先制御用のパラメータや専用RACHリソースの利用可否を判断する。

3.5 RedCap

前述のとおり、Rel-17ではNB-IoTやeMTCといったLTE-IoTが提供するローエンドIoTサービス（LPWA（Low Power Wide Area）^{*111}の1つ）と、URLLCや産業向けIoTといったハイエンドIoTサービスとの間を補完するミドルレンジIoTサービスを対象に仕様が行われ、その対象端末はRedCap端末と呼ばれる。

(1)簡易化機能とコスト削減効果

図2に示す要求条件を満たしつつ端末のコストを

削減するため、Rel-17 RedCapでは以下の簡易化機能が仕様化された。これら簡易化機能について、非RedCap端末（ハイエンドIoT端末）からのコスト削減効果に関する3GPPでの検討結果を表5に示す [6]。

- ・ 端末がサポートする最大帯域幅：20MHz（FR（Frequency Range）1^{*112}）、100MHz（FR2^{*113}）
- ・ 受信ブランチ数/最大DL MIMO（Multi Input Multi Output）^{*114}レイヤ数：1 or 2
- ・ 変調多値数^{*115}の必須対応緩和：256QAM（256 Quadrature Amplitude Modulation）^{*116}対応を任意化（FR1 DL）
- ・ 複信方式^{*117}：半二重（HD（Half Duplex）^{*118}） - FDD（Frequency Division Duplex）^{*119}

なお、簡易化機能の仕様化にあたっては、RedCap端末と非RedCap端末が同一セル内で運用されることを想定し、両者の共存を保証することが考慮された。特にgNBからセル共通の信号として送信されるSSBやSIB（System Information Block）^{*120}、ページング信号^{*121}、ランダムアクセスにかかわるDL/UL信号を、gNBの設定に応じて非RedCap端末と共通の帯域または個別の帯域で送受信するためのBWP関連の仕様が行われた（図12）。図12では、

表5 Rel-17 RedCap向け簡易化機能のコスト削減効果

	非RedCap端末	RedCap端末	コスト削減効果
端末がサポートする最大帯域幅	FR1：100MHz FR2：200MHz	FR1：20MHz FR2：100MHz	FR1 FDD：～32% FR1 TDD：～33% FR2：～16%
受信ブランチ数／最大DL MIMOレイヤ数	FR1 FDD：2Rx FR1 TDD：4Rx FR2：2Rx	1 or 2 Rx	FR1 FDD（2Rx → 1Rx）：～37% FR1 TDD（4Rx → 2Rx）：～40% FR1 TDD（4Rx → 1Rx）：～60% FR2（2Rx → 1Rx）：～40%
最大変調多値数	FR1 DL：256QAM	FR1 DL：64QAM （256QAM対応は任意）	～6%
複信方式	Full-duplex FDD	Half Duplex FDD	～7%

^{*109} Power ramping：ランダムアクセスにおいて、RACH preambleを送信したUEが、基地局からランダムアクセスレスポンスを受信できない、またはcontention resolutionに負けた場合に、送信電力を上げてRACH preamble再送することを指す。

^{*110} スケーリング係数：数値に小数を乗算すること。

^{*111} LPWA：低消費電力でキロメートルレベルの広い領域を通信範囲にできる無線通信技術。

^{*112} FR1：450～6,000MHzの周波数帯を指す。

^{*113} FR2：24,250～52,600MHzの周波数帯を指す。

^{*114} MIMO：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伝送技術。

^{*115} 変調多値数：データ変調における信号位相点の数。例えば、QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）の場合は4,16QAMの場合は16である。

^{*116} 256QAM：変調方式の種類。256QAMは振幅と位相が異なる256通りの信号点に情報ビットを変調する。1回の変調で8ビットの情報を伝送することができる。

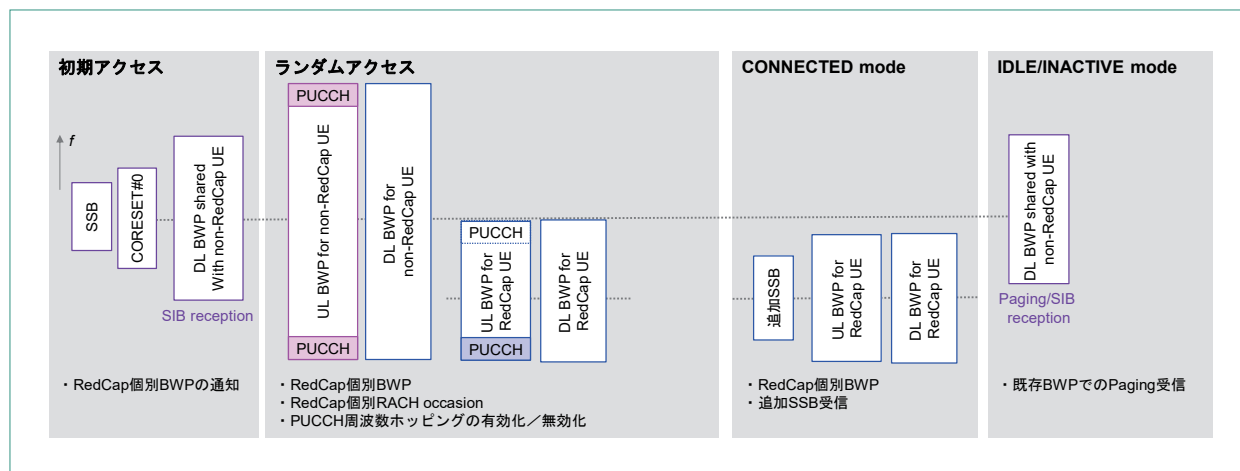


図12 RedCap端末のBWP運用例

ランダムアクセスにかかわるDL/UL信号などについてRedCap端末向けのBWPが設定されている。また、初期アクセス中にRedCap端末であることを通知する機能や、RedCap端末がセルにアクセス可能かどうかをgNBが報知する機能が仕様化された。

(2) 端末省電力機能

図2に示す電池寿命の要求条件を満たすため、Rel-17 RedCapでは以下の端末省電力機能が仕様化された。なお、これらの機能はRedCap端末向けに仕様化されたが、非RedCap端末もサポート可能である。

- ・待受け中（RRC_IDLE/INACTIVE状態）におけるeDRX（Extended Discontinuous Reception）：最大DRX^{*122}周期10,485.76秒（RRC_IDLE状態）、最大DRX周期10.24秒（RRC_INACTIVE状態）
- ・隣接セルのRRM（Radio Resource Management）^{*123}測定の緩和：RRM測定周期1時間以上（静止端末、およびセル端以外の端末）

例えば、3GPPでの検討では、DRX周期を10,485.76

秒に拡張することで最大80～90%の消費電力削減効果が得られること、RRM測定周期を1時間に拡張することで最大40%の消費電力削減効果が得られることがそれぞれ報告されている [6]。

そのほか、Rel-17でRRC_IDLE/INACTIVE状態の端末およびRRC_CONNECTED状態の端末向けに端末省電力機能 [7] が仕様化されたが、これは任意の端末を対象としており、Rel-17 RedCap端末に適用可能である。

(3) カバレッジ拡大機能

図2に示すとおり、RedCap端末は端末サイズを小さくすることが要求されたため、FR1においてアンテナ利得^{*124}が非RedCap端末と比較して最大3dB低いことを想定してカバレッジの検討が3GPPで行われた。本検討では、非RedCap端末のカバレッジのボトルネックチャンネルを基準として、RedCap端末の以下のチャンネルのカバレッジが縮退することが示された [6]。

- ・PUSCH：3dB
- ・ランダムアクセス中のMsg2 PDSCH：1～6dB
- ・ランダムアクセス中のMsg3 PUSCH：3dB

^{*117} 複信方式：相対する方向で送信が同時に行われる通信方式をいう。一般に、周波数分割複信（FDD）（^{*119}参照）、時分割複信（TDD）がある。

^{*118} HD：一方（例えば基地局）が送信（受信）している間は他方（例えば移動端末）が受信（送信）を行う、同時には一方のみにしか伝送できない通信方式。

^{*119} FDD：周波数分割複信。無線通信などで同時送受信を実現する方式の1つで、異なる周波数にて送信と受信を同時に行う方式。

^{*120} SIB：無線基地局から移動端末へ一斉同報される報知情報

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。

^{*121} ページング信号：着信時に待受け中の端末を呼び出す信号。

^{*122} DRX：端末の消費電力の低減を目的とした間欠受信制御。

^{*123} RRM：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。

- ・ランダムアクセス中のMsg4 PDSCH：2～3dB
- ・セル共通PDCCH：1dB

上記チャネルのうち、PUSCHおよびMsg3についてはRel-17 RedCap端末に特化した仕様化は行われなかったが、任意の端末を対象とするカバレッジ拡大機能がRel-17で仕様化され [7]，Rel-17 RedCap端末に適用可能である。上記の残りのチャネルについてはgNBの実装または既存技術によってカバレッジの縮退を解決できるとして、カバレッジ拡大技術の仕様化は不要と結論付けられた。

3.6 NTN

3GPPにおけるNTN仕様では、図3に示すとおり、静止軌道（GEO：Geostationary Orbit）や低軌道（LEO：Low Earth Orbit）などの衛星、および成層圏における中継局となるHAPS（High Altitude Platform Station）^{*125}などの飛行体を想定している。GEO/LEO/HAPSはそれぞれ35, 786km, 500～2, 000km, 8～50kmの高度で運用され、片方向の伝搬遅延はそれぞれ約120ms, 3ms, 0.1msとなる。こうした伝搬遅延が大きな環境において基地局－端末間で通信を実行するために必要な機能が議論され、仕様化された。端末としてはVSAT（Very Small Aperture Terminal）端末^{*126}およびスマートフォンなどの小型端末で、かつGNSS機能を備えているものが想定されている。

(1)時間／周波数同期^{*127}

前述のとおり伝搬遅延が非常に大きく、かつ中継局が移動し得ることから時間方向の新しい同期機能が必要となる。中継局の移動の軌跡は規則的なものであるため、時間方向の同期機能として軌跡情報を利用したTA値の決定手法が採用された。具体的には、従来のTA値の決定方法に加えてフィーダリン

ク^{*128}の伝搬に対応するTA値（以下、共通TA）およびサービスリンク^{*129}の伝搬に対応するTA値（以下、端末固有TA）の計算方法が導入され、それらすべての和を最終的に使用するTA値とする。概要を図13に示す。ただし、共通TAはフィーダリンク全区間に対応するTA値ではなく、中継局とRP（Reference Point）との間に対応するTA値である。RPは地上局と中継局との間のいずれかの点にすることが可能であり、ネットワークが決定する。RPを地上局とすると、DL/ULのタイミングが地上局で揃うことでネットワーク実装の複雑化を回避でき、RPを中継局とすると、共通TAが常に0となることで端末動作が簡易になる。

共通TAについては、共通TA計算にかかわる数式（2次までのテイラー級数^{*130}）が定義されており、数式内の各項に対応する係数がパラメータとして与えられる。同パラメータはNTN用のSIBで通知され、端末はPRACH（Physical Random Access Channel）^{*131}送信前に取得するとともにRRC接続後に定期的に同SIBを受信して導出式の最新化を行う。どの程度の頻度で同SIBを受信するべきかについては、ネットワーク依存であり、上記係数の有効期間として同SIBで通知される。フィーダリンクは端末間で共通であり、かつ各UEからは見えない部分であるため、パラメータをネットワークから通知する方法が用いられる。

端末固有TAについては、端末の位置情報と中継局の軌道情報とに基づいて、各端末で個別に計算する。計算方法は仕様化されておらず、UEの実装に依存する。位置情報はGNSSによって取得され、中継局の軌道情報は共通TA計算のための係数と同様に取得・更新される。

また、時間同期に加えて周波数で同期にかかわる動作も実行される。中継局の移動に伴って周波数シ

^{*124} 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。

^{*125} HAPS：地上約20kmなどの成層圏に位置し、地表から見て静止また又は旋回する飛行体。人工衛星のように通信局としての運用が期待される。低高度であることから、片道伝搬時間0.1ms程度の低遅延性や端末直接通信の容易さが利点として挙げられる。

^{*126} VSAT端末：小型のパラボラアンテナなどを使用して飛行体と通信を行う装置。スマートフォンと比較すると大型であり、当該装置の先に有線でハブ・固定電話・PCなどを接続

する構成が想定される。

^{*127} 周波数同期：キャリアの中心周波数の認識が基地局と端末間で一致している状態。

^{*128} フィーダリンク：NTNにおける地上局と飛行体とを結ぶ無線リンク。

^{*129} サービスリンク：NTNにおける飛行体と端末とを結ぶ無線リンク。

^{*130} テイラー級数：関数 $f(x)$ を、 $x=a$ に関する導関数の値から計算される項の和として表現したもの。

フト^{*132}が生じるため、各端末は上記の端末固有TA計算と同様に位置情報および軌道情報を用いて、UL送信時に事前補償を行う。ただし、具体的な補償方法は仕様化されておらず実装依存となる。フィーダリンク側の周波数シフトについては地上局で補償するため端末側の動作は規定されない。

(2)スケジューリング／HARQ

前述の方法で決定されたTA値は非常に大きな値となり、従って、あるスロット n におけるDL受信タ

イミングとTA適用後のUL送信タイミングとの間の時間も非常に大きくなる。この場合、DL信号を受信するスロット n と当該DL信号に対するUL信号を送信するスロットとの間のオフセット（ K_1 ：PDSCHとPUCCHとのオフセット、 K_2 ：PDCCHとPUSCHとのオフセット）を大きな値にする必要があるが、図14に示すとおりRel-16までの仕様で適用可能なオフセットでは、スロット n より前のタイミングで送信されるスロットが指示されてしまう。この課題解

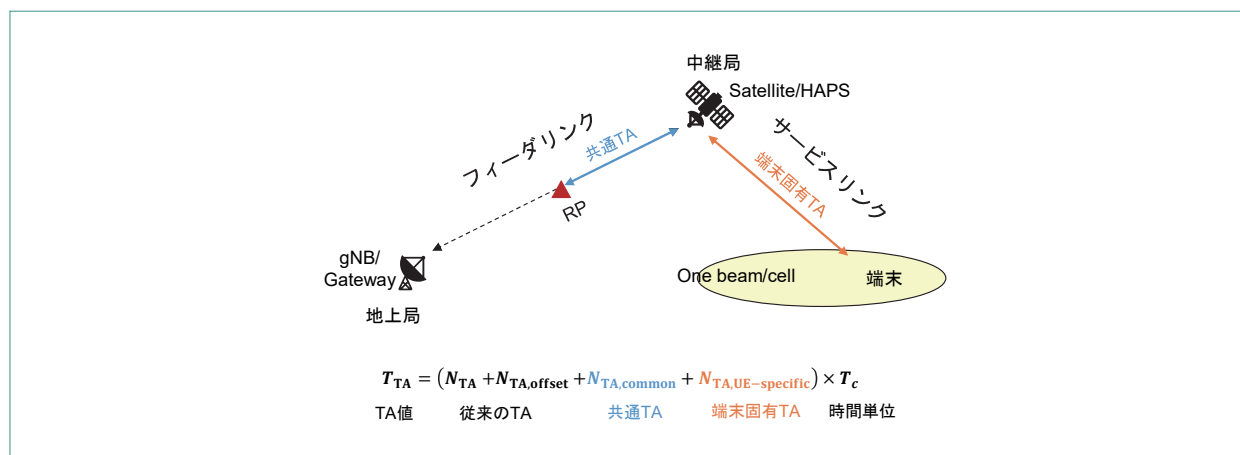


図13 NTNにおけるTA値の決定方法

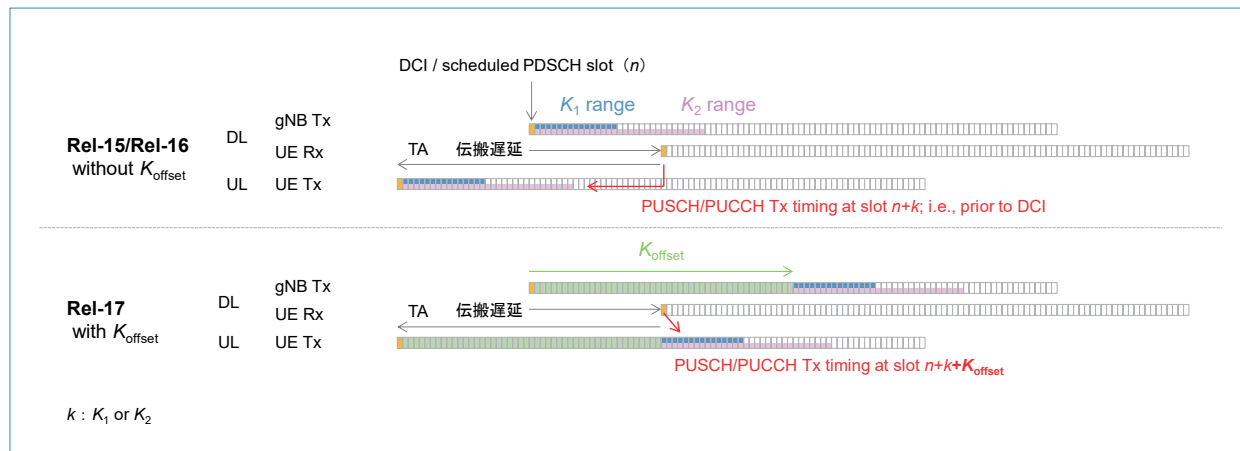


図14 NTNにおけるスケジューリング（同じサブキャリア間隔の場合）

*131 PRACH：ランダムアクセス手順において移動端末が最初に送信する物理チャネル。

*132 周波数シフト：ドップラー効果によって生じる搬送波周波数のずれ。

決のためにRel-17 NR NTNではパラメータKoffsetが導入された。K₁もしくはK₂にKoffsetが加えられた値を上記オフセットとしてUL送信のスロットが決定される。これによりスロット n より後のタイミングで送信されるスロットを指示することが可能になる。パラメータKoffsetは、端末間共通パラメータとしてNTN用のSIBで通知されるが、端末個別に設定することも可能である。

また、HARQにかかわる機能追加も行われた。NR仕様では、あるHARQプロセスについて、PDSCH受信からPUCCH送信までの間は同HARQプロセスを別のPDSCHに使用することができない。従って伝搬遅延の大きい環境では、ある端末への連続送信可能なデータ数に限界が生じてしまう。この課題について、最大HARQプロセス数を16から32へ増加させること、あるいはHARQフィードバック^{*133}機能自体を無効にすることで解決が図られた。HARQフィードバック機能の無効化についてはHARQプロセスごとに設定されるため、重要な情報の送信に対するHARQフィードバック機能を有効に保つことも可能である。

(3)Mobility

(a)UEとセル参照位置との距離、セルカバレッジ有効時間のトリガへの追加

NTNにおいては、衛星・中継局までの距離の関係からサービングセルと隣接セルの電波品質の差が通常の地上ネットワークと比較して小さくなる。この特徴を考慮し、従来の電波品質しきい値に加え、UEとセル参照位置^{*134}との距離が、セル再選択やハンドオーバー (HO)^{*135}の補助的なトリガとして追加された。

なお、HAPSなどで想定されるQuasi-earth fixed cell^{*136}の場合、NTNセルが地表に対して移動するため、UEがセルの範囲から外れるま

でのセルカバレッジの有効時間を考慮した上で、セル再選択を行う必要がある。そこで、Rel-17ではセルカバレッジの有効時間がセル再選択やHOのトリガに追加された。

(b)UEとセル参照位置との距離の所定しきい値、t-serviceの報知

従来のRRC_IDLE状態のセル再選択においては、UEはサービングセルの品質が所定のしきい値を下回るときにセル再選択を実行する。それに対して、NTNの場合はUEとセル参照位置との距離の所定しきい値が新規情報としてSIBで報知されるようになり、NTNサービングセルの品質が所定しきい値以上のときでも、UEとセル参照位置との距離が報知情報中の所定しきい値より大きくなった (UEが地理的にサービングセルを離れる) 場合に、UEはセル再選択を行うことができる。

また、Quasi-earth fixed cellの場合にセルカバレッジの終了時刻を表すパラメータ (t-service) も新規情報として報知されるようになった。UEは、t-serviceの時刻が到来する前にセル再選択のための周波数測定を行い、セルカバレッジが終了する前にセル再選択を実行する。

(c)条件付きイベントD1・A4・T1の追加

HOの信頼性を向上させるために、NTNにもRel-16で仕様化された条件付きHO (CHO: Conditional Handover)^{*137}が適用可能となる。さらに、Rel-17ではNTNの特徴を踏まえてCHOのイベントが拡張された。

まず、CHO実行条件として従来の電波品質に基づく条件付きイベントA3^{*138}やA5^{*139}などに加え、UEとセル参照位置との距離を考慮した条件付きイベントD1が追加された。具体的には、UEとサービングセルの参照位置との距

^{*133} HARQフィードバック: HARQにおいて、データの受信側が正常にデータを受信 (復号) できたか否かを送信側に対して通知する動作。

^{*134} セル参照位置: NTNセルの位置を特定するための情報 (例: セル中心の位置)。

^{*135} ハンドオーバー (HO): 端末とネットワーク間の通信を継続したまま、通信セル/基地局の切替えを行う通信技術。

^{*136} Quasi-earth fixed cell: NTNのサービスリンクにおいて、一定期間内で特定のエリアをカバーするよう形成されたセル。

^{*137} 条件付きHO (CHO): Rel-16にHOの信頼性を向上するために導入された新機能である。UEからの品質報告を受け取ったあとに、基地局から複数のHO先の候補セルと実行条件をUEに事前設定する。その後、UEが実行条件を監視し、条件が最初に満足された候補セルに自律的にHOする仕組み。

^{*138} イベントA3: HO時に品質測定報告をトリガするイベントの1つであり、隣接セルの品質が自セルの品質よりオフセットだけ良ければ、品質測定報告がトリガされる。

離が設定されたしきい値より大きく、隣接セルの参照位置との距離が別に設定されたしきい値より小さいときに、当該イベントが満足され、CHOが実行される。

また、NTNサービングセルと隣接セルの品質差分が小さいという特徴を考慮し、従来のサービングセルと隣接セル品質の両方を監視する条件付きイベントA3とA5に加え、隣接セルの品質のみを監視する条件付きイベントA4が導入された。具体的には、隣接セルの品質が設定されたしきい値より良くなったときに、当該イベントが満足され、CHOが実行される。

さらに、quasi-earth fixed cellの場合、セルカバレッジの有効時間を考慮し、UEのHO期間を制限する条件付きイベントT1も新規に作られた。所定時刻を過ぎてから、所定期間内であれば、当該イベントが満足され、CHOが実行される。この所定時刻以前、あるいは所定期間を過ぎてしまうと、当該イベントが満足されない。これにより、HOのタイミングをセルカバレッジの有効時間に応じて制御可能となる。

なお、条件付きイベントD1やT1は電波品質に基づく条件付きイベントA3、A4、A5のいずれかと同時に設定することが必須で、セルとの物理距離やカバレッジの有効時間を考慮しつつ、適切なタイミングで電波品質の良好なセルにHOを行うことが可能となる。

4. あとがき

本稿では、Rel-17で規定された産業連携ソリューション向け無線技術について解説した。Rel-18においてもRedCap/NTNの拡張技術や、仮想現実（VR：Virtual Reality）／拡張現実（AR：Augmented Reality）といったXR（eXtended Reality）向け技術の検討が進められており、さらなる産業創出・ソリューション協創を目指した仕様化が見込まれる。ドコモは引き続き5Gのさらなる発展に貢献していく。

文 献

- [1] 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.
- [2] 3GPP TS22.261 V17.10.0：“Service requirements for the 5G system,” Mar. 2022.
- [3] 3GPP TR38.811 V15.4.0：“Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks,” Oct. 2020.
- [4] 松村，ほか：“モバイルブロードバンド向けの5G高度化技術,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.82-95, Oct. 2020.
- [5] 原田，ほか：“LTE-Advanced Release 13における広帯域周波数の活用技術,” 本誌, Vol.24, No.2, pp.50-58, Jul. 2016.
- [6] 3GPP TR38.875 V17.0.0：“Study on support of reduced capability NR devices,” Mar. 2021.
- [7] 松村，ほか：“3GPP Release 17におけるモバイルブロードバンド向け高度化技術,” 本誌, Vol.30, No.3, pp.78-100, Oct. 2022.

*139 イベントA5：HO時に品質測定報告をトリガするイベントの1つであり、自セルの品質がしきい値より悪くなり、隣接セルの品質がしきい値より良くなったときに品質測定報告がトリガされる。

3GPP Release 17におけるモバイルブロードバンド向け高度化技術

6G-IOWN推進部

まつむら ゆうき
松村 祐輝しばいけ なおや
芝池 尚哉くりた だいすけ
栗田 大輔

移動機開発部

おはら ともや
小原 知也おぐま ゆうた
小熊 優太

無線アクセス開発部

わたなべ そうき
渡邊 壮輝おおかわ りき
大川 立樹たかみや こうたろう
高宮 康太郎

2020年3月、ドコモは3GPP Rel-15仕様を用いた5G通信サービスを開始した。5G通信サービスは今後の普及拡大に伴い、さらなる無線通信ネットワークの高速大容量化が求められる。このため、3GPPにおいて、Rel-15/Rel-16仕様を機能拡張・高性能化するRel-17仕様が2022年6月に策定された。本稿では、Rel-17における高速大容量化技術の無線アクセス仕様を解説する。

1. まえがき

2020年3月、ドコモは3GPP (3rd Generation Partnership Project) Release 15 (以下、Rel-15) 仕様で策定されたNR (New Radio)*1を用いた5G通信サービスを開始した。Rel-15仕様は、高速・大容量

という特長をもち、これによりさまざまな5G通信サービスが可能となったが、今後の5G通信サービスの普及拡大に伴い、さらなる無線通信ネットワークの高速・大容量化が求められている。これを踏まえ、3GPPにおいて、Rel-15/Rel-16仕様の機能を拡張・高性能化するRel-17仕様が、2022年6月に策定

©2022 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 NR: 5G向けに策定された無線方式規格。4Gと比較して高い周波数帯 (例えば、3.7GHz帯や4.5GHz帯、28GHz帯) などを活用した通信の高速・大容量化や、高度化されたIoTの実現を目的とした低遅延・高信頼な通信を可能にする。

された。3GPP Rel-17仕様では、モバイルブロードバンドの高度化（eMBB：enhanced Mobile Broad-Band）向けに、品質・性能向上を図る機能、カバレッジ^{*2}を拡大し5G NRの適用エリアを拡大する機能、およびユーザ（UE（User Equipment））の低消費電力化を実現する機能が規定された。本稿では、品質・性能向上を図る機能として、システム容量およびユーザスループットを向上させるMIMO（Multiple Input Multiple Output）^{*3}高度化技術、52.6～71GHzの周波数帯域を利用可能にする技術、および置局柔軟性を拡大するMR-DC（Multi-Radio Dual Connectivity）^{*4}/CA（Carrier Aggregation）^{*5}拡張技術を解説する。また、カバレッジを拡大する機能としては、物理チャネル^{*6}のカバレッジ性能を改善する技術、レピータ^{*7}を活用する技術、および上りリンク^{*8}の最大送信電力を増加させる技術について述べる。さらに、UEの消費電力を低下させる技術についても解説する。

2. 高速・大容量化

2.1 MIMO高度化

(1)異なるセルIDのTRP（Transmission and Reception Point）^{*9}間のMulti-TRP

Rel-15では、下りリンクデータ共有チャネル（PDSCH：Physical Downlink Shared CHannel）^{*10}において、基地局側は1つの送受信点を用いる、最大8 MIMOレイヤ^{*11}のシングルユーザMIMO^{*12}がサポートされていた。Rel-16では、基地局側が同一の物理セルID（PCI：Physical Cell Identifier）^{*13}の2つのTRPを協調し、最大8 MIMOレイヤのPDSCHを分散MIMO^{*14}（Multi-TRP）送信する機能が仕様化された。分散MIMO送信により、相関の低い無線

伝搬経路数を増加させ、より高次ランクのMIMO送信を適用可能にし、システム容量およびユーザスループットを改善できる。しかしながら、実環境のFR2（Frequency Range 2）^{*15}運用を想定すると、Rel-16のMulti-TRP技術には課題があった。

Rel-15においては、1つのセル当り最大64個のSSB（Synchronization Signals/physical broadcast channel Block）^{*16}が仕様化されており、基地局は、最大64個のSSBビームによってそれぞれカバーされるエリアが互いに重複しないようにSSBを送信することで、セルのカバレッジを最大化できる（図1①）。しかしながら、Rel-16 Multi-TRP機能を使うためには、基地局は、各TRPのSSBビームがカバーするエリアがそれぞれ重複するようにSSBを送信しなければならない。このとき、図1②に示すように、Rel-15 Single-TRPのネットワークと比べてカバレッジが縮小する。

そこで、Rel-17では、異なるPCIのTRP間でMulti-TRPを用いたPDSCHの協調送信を行う機能が仕様化された。これにより、2つのTRPがそれぞれのSSBビームを重複するようにSSBを送信しても、Rel-15と同等のカバレッジを維持でき、FR2におけるMulti-TRP運用の課題を解決できる（図1③）。

(2)TRPごとのビーム障害回復

Rel-15/Rel-16において規定されたビーム障害回復（BFR：Beam Failure Recovery）では、下りリンク制御チャネル（PDCCH：Physical Downlink Control CHannel）^{*17}のビームの受信品質が所定値を下回った場合に、UEが基地局に対して、ビーム障害の発生と変更先の新ビーム情報を報告することで、低遅延にビーム障害を回復できる。しかしながら、Rel-15/Rel-16のビーム障害回復は、Single-TRPを想定して仕様化されたので、Multi-TRP環境において、

^{*2} カバレッジ：基地局当りのUEとの通信を行うことができるエリア（セル半径）。カバレッジが大きいかほど設置する基地局数を低減できる。

^{*3} MIMO：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伝送技術。

^{*4} MR-DC：LTEとNR基地局またはNR基地局とNR基地局に接続したDCの総称。なおDCとは、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。

^{*5} CA：1つ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。

^{*6} 物理チャネル：周波数、時間などの物理リソース上にマッピングされ、制御情報や上位レイヤのデータを伝送するチャネルの総称。

^{*7} レピータ：通信における中継器であり、電気信号を受信し、より高いレベルや出力で再送信する装置のこと。

^{*8} 上りリンク：UEから基地局方向への情報の流れ。

^{*9} TRP：基地局において、1つの場所に設置された、1つまたは複数の送受信アンテナポートの集合。1つの場所に設置された送受信アンテナポートのみを用いる基地局構成をシングルTRPと呼び、複数の場所に設置された送受信アンテナを用いる基地局構成をマルチTRPと呼ぶ。

片方のTRPのビーム障害が発生した場合に、適切にビーム障害回復を行うことはできなかった。そこで、Rel-17では、Multi-TRP環境において、少なくともいずれか片方のTRPのビーム障害が発生した場合に、UEが該当TRPのビーム障害回復要求を通知し、障害の発生した1つまたは2つのTRPの、変更先の新ビーム情報を報告する機能が仕様化された

(図2)。これにより、Multi-TRP環境においても、各TRPのビーム障害を低遅延で回復できる。

(3)L1/L2 (Layer 1/Layer 2)^{*18}ビーム指示を用いたセル間モビリティ

セル端付近のUEは、一時的にサービングセル^{*19}からの受信品質より別セルからの受信品質が高い場合がある。Rel-15/Rel-16では、一定期間の受信品質

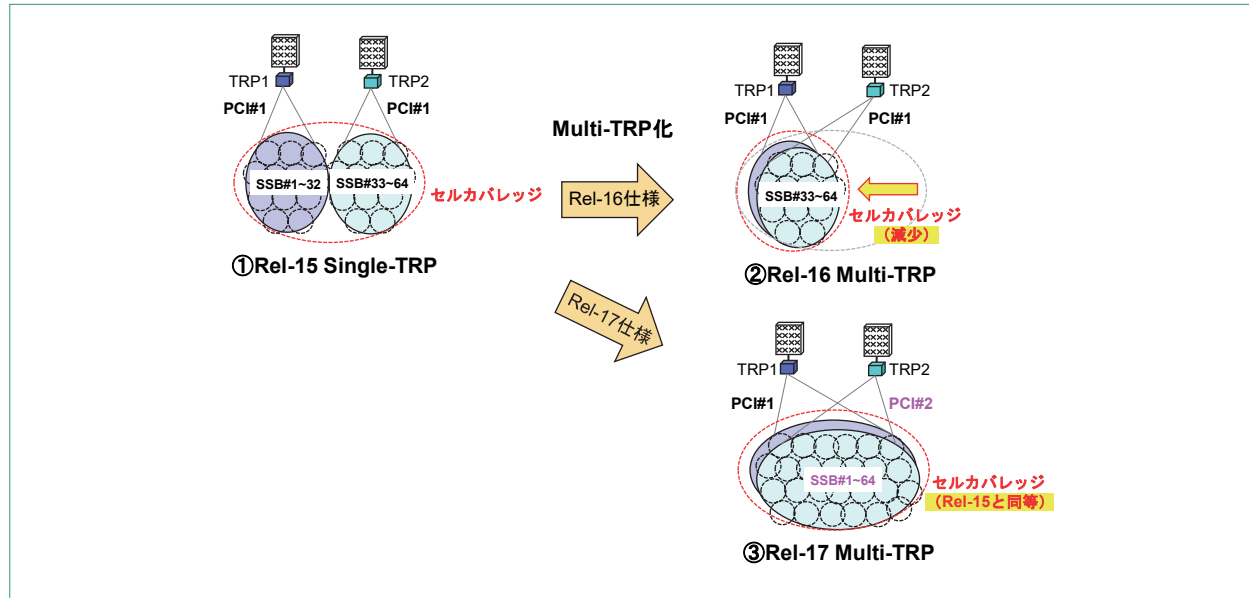


図1 Single-TRP運用からMulti-TRP運用への進化

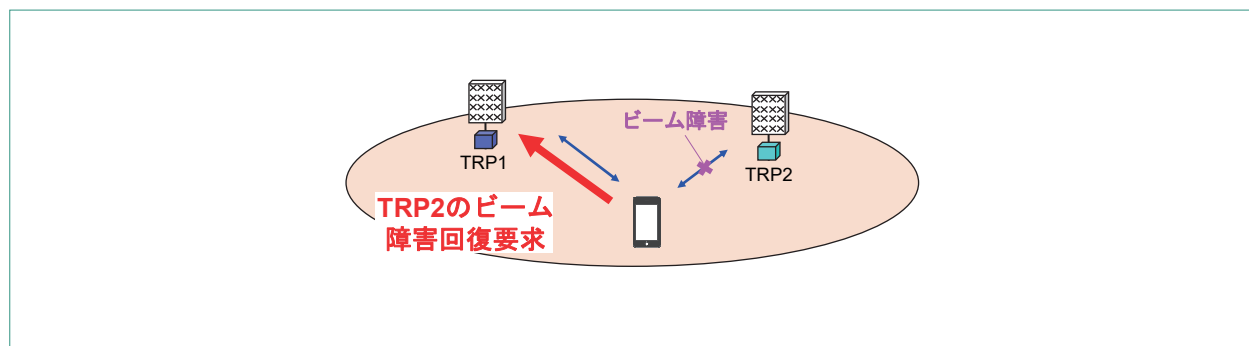


図2 TRPごとのビーム障害回復

*10 下りリンクデータ共有チャネル (PDSCH): ユーザデータや上位レイヤからの制御情報を送信するための物理チャネル。

*11 MIMOレイヤ: MIMOにおける空間ストリーム。

*12 シングルユーザMIMO: 同一時間周波数において、単一ユーザに対してMIMO伝送を行う技術。

*13 物理セルID (PCI): 物理的なセル識別子。NRでは、1,008通りのPCIが繰り返し利用される。

*14 分散MIMO: 場所の離れた複数の基地局送受信アンテナポートを用いて異なるMIMOストリームを1つのUEに送信してMIMO伝送を行う技術。

*15 FR2: 24.25~52.6GHzの周波数帯域。

*16 SSB: 基地局が定期的に送信する、通信に必要なセルの周波数

と受信タイミングなどの検出を行うための同期信号および主要無線パラメータを通知する報知チャネル。

*17 下りリンク制御チャネル (PDCCH): 下りリンクにおける物理レイヤの制御チャネル。

*18 L1/L2: 開放型システム間相互接続 (OSI: Open Systems Interconnection) 参照モデルの第1層 (物理層) および第2層 (データリンク層)。

*19 サービングセル: UEが現在無線リンクを確立しているセルのこと。

を比較して、別セルからの受信品質がサービングセルからのものより高い場合は、ハンドオーバー^{*20}を行い、別セルに切替えを行う。しかし、ハンドオーバーを行うと、通信中断期間^{*21}が発生するため、高頻度のハンドオーバーは望ましくない。

そこで、Rel-17では、L1/L2を用いたビーム制御機能を拡張し、サービングセルと接続した状態のまま、別セルの信号を送受信できるように仕様化した(図3)。

UEは、サービングセルと周辺セルの、両方のSSBまたはCSI-RS (Channel State Information-Reference Signal)^{*22}を測定し、L1を用いたビーム報告により、受信電力が上位のSSBまたはCSI-RSリソース番号を基地局に報告する。拡張されたビーム指示の仕組みに従い、基地局は周辺セルのビームをUEに指示すると、UEは指示された周辺セルのビームでユーザデータの送受信を行う。この機能では、ハンドオーバーを行わないので、通信中断期間が発生しない。これにより、一時的に別セルの受信電力がサービングセルの受信電力より大きい場合に、別セルの信号の送受信が可能になり、送受信信号の受信電力およびユーザスループットを改善できる。

2.2 52.6～71GHz帯への周波数拡張

Rel-15では、NRの利用可能な周波数帯域としてFR1 (0.41～7.125GHz帯) およびFR2 (24.25～52.6GHz帯)を定義した。一方で、さらなる通信速度向上および通信容量拡大のため、Rel-17では52.6～71GHz帯を新たにNR利用可能周波数帯とし、その帯域におけるNR運用に必要な技術がRel-15およびRel-16機能をベースに仕様化された。これは、57～66GHz帯を利用するIEEE 802.11ay^{*23}の仕様策定が2021年7月に完了したことや、WRC (World Radiocommunication Conference)^{*24}-19において新たに66～71GHz帯がIMT (International Mobile Telecommunications)^{*25}向け周波数として合意されたことなどの3GPP外の情勢に対応するものでもあった。

(1)52.6～71GHz帯利用の課題

52.6～71GHz帯で期待される、より高速大容量な通信を多くの運用形態で利用可能とすべく、既存の周波数帯と52.6～71GHz帯をCA/DCによって束ねて用いる運用に加え、52.6～71GHz帯のみのスタンドアローン (SA: Stand Alone)^{*26}運用も想定された。しかしながら、新しい周波数帯である52.6～71GHz帯を利用可能とするためには、いくつかの課

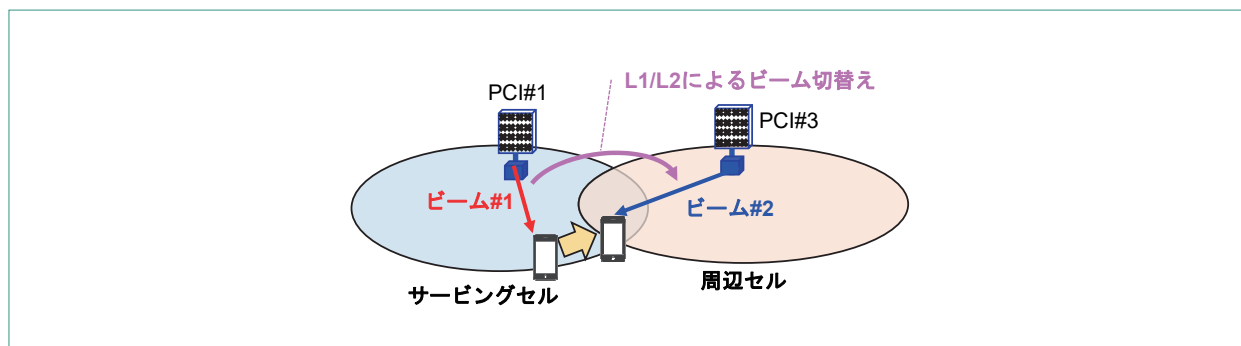


図3 L1/L2ビーム指示を用いたセル間モビリティ

^{*20} ハンドオーバー：UEが接続先のサービングセルを切り替えること。

^{*21} 通信中断期間：UEがハンドオーバー中に基地局とユーザデータの送受信ができない期間。

^{*22} CSI-RS：無線チャネルの状態を測定するために送信される参照信号。

^{*23} IEEE 802.11ay：IEEEが策定した無線LAN規格の1つ。5GHz帯を使用する無線LAN規格をベースに、高周波数帯利用のための拡張を追加で仕様化したもの。802.11ad（通称WiGig）の後継規格にあたる。

^{*24} WRC：世界無線通信会議。3～4年ごとに開催される。

^{*25} IMT：ITUにおいて標準化されている国際移動通信システム。IMT-2000（3G）、IMT-Advanced（4G/LTE）、IMT-2020（5G）など。

^{*26} スタンドアローン（SA）：既存のLTE/LTE-AdvancedとNRをMR-DCを用いて連携して運用するノンスタンドアローンに対し、NR単独で運用する形態。

題を解決する必要があった。例えば、52.6～71GHz帯は52.6GHz未満の帯域に比べ、位相雑音^{*27}や伝搬損失^{*28}が大きい。また、52.6～71GHz帯はアンライセンスバンド^{*29}を含む(表1) [2] ため、地域ごとの法規制に準拠した機能が必須となる。Rel-17では、このような課題の解決を目指した機能が主に仕様化された。

(2)52.6～71GHz帯におけるWaveform^{*30}、サブキャリア間隔^{*31}および帯域幅

Waveformについては、FR1/FR2におけるNRと同様、52.6～71GHz帯のNRにおいてもCP-OFDM

(Cyclic Prefix-Orthogonal Frequency Division Multiplexing)^{*32}およびDFTS (Discrete Fourier Transform Spread) -OFDM^{*33} (ULのみ) がサポートされた。一方でサブキャリア間隔については、Rel-15 FR2ですでにサポートされていた120kHzに加えて、新たに480および960kHzを52.6～71GHz帯においてサポートした。これにより、本周波数帯を利用する上で課題とされる位相雑音の影響の低減と、信号処理時のFFT (Fast Fourier Transform)^{*34}ポイント数の増加が無い送信帯域幅の拡張の2点が達成された。

表1 各国における52.6～71GHz帯のライセンス状況

		Frequency (GHz)										
		52.6 ～ 54.25	54.25 ～ 55.78	55.78 ～ 56.9	56.9 ～ 57	57 ～ 58.2	58.2 ～ 59	59 ～ 59.3	59.3 ～ 64	64 ～ 65	65 ～ 66	66 ～ 71
ITU Region 1	Europe/CEPT					U (Mobile)						
	Israel											
	South Africa					U (Mobile)						
ITU Region 2	USA					U (Mobile)						
	Canada					U (Mobile)						
	Brazil					U (Mobile)						
	Mexico					U (Mobile)						
ITU Region 3	China							U (Mobile)				
	Japan					U (Mobile)						
	Korea					U (Mobile)						
	India											
	Taiwan					U (Mobile)						
	Singapore					U (Mobile)						
	Australia					U (Mobile)						

*27 位相雑音：局部発信信号における搬送波周波数以外の周波数成分によって発生する位相変動。

*28 伝搬損失：送信局から放射された電波の電力が受信点に到達するまでに減衰する量。

*29 アンライセンスバンド：運用するにあたり免許を必要としない周波数帯域。

*30 Waveform：信号送信時に用いられる送信波形。

*31 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。

*32 CP-OFDM：直交波周波数分割多重方式で、CPを挿入したもの。

*33 DFTS-OFDM：CP-OFDMにおけるIFFT (Inverse Fast Fourier Transform) 処理の前の信号に対してDFT処理を行うもの。

*34 FFT：高速フーリエ変換。時間方向の離散データを周波数領域の離散データに変換する高速アルゴリズム。

設定可能な帯域幅の最大値および最小値については表2のとおりサブキャリア間隔ごとに定義された。特に、サブキャリア間隔として960kHzが設定された場合はコンポーネントキャリア^{*35}当り最大2GHzの帯域幅が設定可能となった。これは11ayのチャネル当りの帯域幅とほぼ同一であり、11ayと同等の通信容量が達成可能となっている。

(3) アンライセンスバンド向けチャネルアクセス

(a) Type 1～3のチャネルアクセス規定

ヨーロッパや日本などにおいては、5GHz帯アンライセンスバンド利用時と同様に、52.6～

71GHz帯のアンライセンスバンドでの送信に先立ってLBT (Listen Before Talk) ^{*36}が必要となる。一方でその他の地域においては、52.6～71GHz帯のアンライセンスバンドでの送信前のLBTは必須ではない。これらを考慮し、Rel-17では52.6～71GHz帯運用向けにType 1～3の3種類のチャネルアクセスを規定した(図4)。

Type 1はヨーロッパの法規制[3]に準拠したLBTを動作させるものであり、ランダムバックオフ^{*37}に基づいてLBT期間が可変となる。Type 2はランダムバックオフに基づかず、LBT

表2 52.6～71GHzにおける帯域幅の最大および最小値

SCS (kHz)	Min. BW (MHz)	Max. BW (MHz)
120	100	400
480	400	1,600
960	400	2,000 (5x of Rel-16 NR)

BW (Bandwidth) : 帯域幅

SCS (Subcarrier Spacing) : サブキャリア間隔

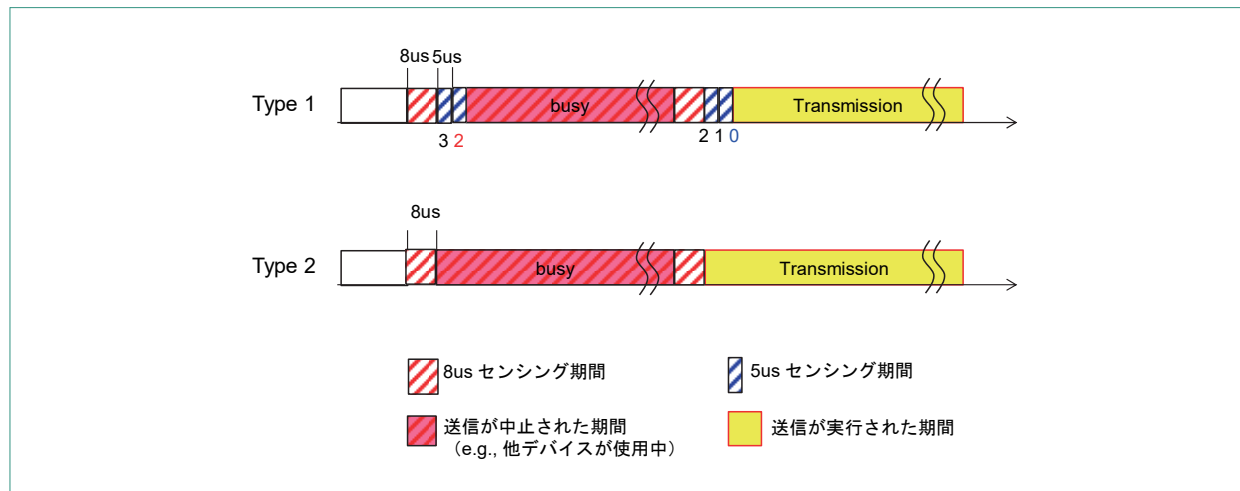


図4 52.6～71GHz帯のアンライセンスバンドにおけるチャネルアクセスタイプ

^{*35} 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。LTEは最大20MHz、NRはFR1は最大100MHz、FR2は最大400MHz。

^{*36} LBT：デバイスがデータを無線上で送信する前に、他のデバイスがデータ送信を行っていないかを事前に確認する仕組み。

^{*37} ランダムバックオフ：LBT期間長をランダムに設定することで、複数送信が同時に発生し衝突することを防ぐための技術。

期間が固定となる。これは、日本の法規制やその他の地域における他システムとの共存を考慮しつつ、LBT動作によるリソース利用効率の低下を最小限に抑えることを意図して規定された。Type 3についてはライセンスバンドと同様、LBTの動作無しに送信を開始するもので、ヨーロッパや日本以外の地域での使用が意図されている。また、ヨーロッパにおいても一定の条件を満たすことで利用可能と規定されている。

(b)LBTにおける狭ビームの使用

また、上記のチャンネルアクセスにおけるLBTの際に用いられる受信ビーム^{*38}についても、すでにNRでサポートされているビームフォーミング^{*39}に従う形で狭ビームを使うことで、干渉検出の感度を向上させることが可能となった。52.6～71GHz帯では電波の直進性が強く伝搬損失が大きいことから、ビームフォーミングを適用した送受信を行うことが想定される。これに対して、指向性ゲインを得られない無指向性の受信ビームを使ったLBTでは、チャンネルの干渉検出・測定に不十分である可能性があり、その後のデータ送信開始の際に周辺の通信と衝突する可能性がある点が考慮された。

(4)52.6～71GHz帯における初期アクセス

SSBやPRACH (Physical Random Access Channel)^{*40}についても、他の信号やチャンネルと同様に480および960kHzのサブキャリア間隔がサポートされた。52.6～71GHz帯ではFR2と同様に、1SSBバースト^{*41}内に64のSSBをそれぞれ異なるビームで送信することが想定されるが、480/960kHzサブキャリア間隔設定時は120kHzサブキャリア間隔設定時に比べシンボルの時間長が縮退することに伴い、各OFDMシンボル^{*42}のCP長も短くなる。そのため、480/960kHzサブキャリア間隔設定時に、2つのSSBを連続で配置した場合、そのSSB間の送信ビームの切替えに必要な時間がCP長を超えてしまい、SSB送信品質が低下することが懸念された。

そこで、広いサブキャリア間隔を用いた、SSB送信向けに最適化された時間方向配置がサポートされた(図5)。具体的には、Rel-16までのNRにおいて120kHzサブキャリア間隔を用いる場合は2つのSSBが時間的に連続する配置であることに対して、480および960kHzサブキャリア間隔を用いる場合は、1つのスロット内の2つのSSBの間には3OFDMシンボルのガードピリオド^{*43}が挿入される配置が規定された。

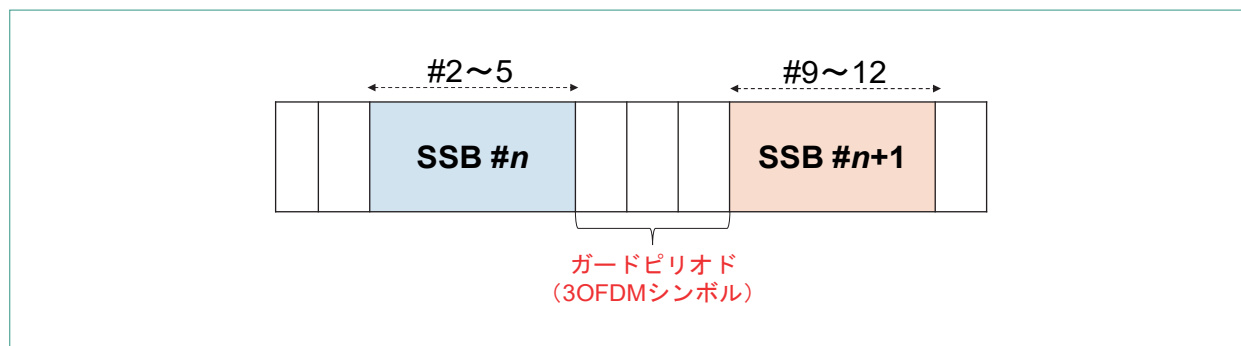


図5 480/960 kHzサブキャリア間隔設定時のSSB時間方向配置

*38 受信ビーム：ビームフォーミングを受信時にも適用することで、特定方向から到来する信号電力を増加／低下させる受信動作。

*39 ビームフォーミング：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。

*40 PRACH：UEが初期アクセスやハンドオーバーなどにより、セルとコネクション確立を行う場合などに送信される物理チャンネル。

*41 バースト：一回のLBTに基づいて行われる時間的に連続した送信のこと。

*42 OFDMシンボル：伝送するデータの単位であり、OFDMの場合は複数のサブキャリアから構成される。各シンボルの先頭にはCPが挿入される。

*43 ガードピリオド：TDD方式を用いる場合に設けられる時間。伝搬遅延により下り信号と上り信号が衝突してしまうことを防止する。

(5) 52.6～71GHz帯における制御チャネル

PDCCHに関しては、480/960kHzサブキャリア間隔設定時のPDCCHのブラインド復号^{*44}にかかる負荷の増大をいかに避けるかが、最大の議論ポイントとなった。480/960kHzサブキャリア間隔設定時は、120kHzサブキャリア間隔設定時と比べてスロット長がそれぞれ1/4および1/8となるため、120kHzサブキャリア間隔設定時と同程度のPDCCHのブラインド復号を毎スロットで行おうとすると、UEにかかる負荷はそれぞれ4および8倍程度となることが懸念された。一方で単純にスロット当りのPDCCHブラインド復号最大数およびリソース量を削減すると、PDCCHのリソース設定における柔軟性が失われることが懸念された。

これらを考慮した結果、480および960kHzサブキャリア間隔設定時におけるPDCCHの受信は、連続する X スロットを1グループとして、そのスロットグループ中に含まれる連続 Y スロットでのみ行われ

るというUE動作がサポートされた（図6）。 X は480kHzサブキャリア間隔設定時には4となり、960kHzサブキャリア間隔設定時には4または8となる。また、 Y は480/960kHzサブキャリア間隔のいずれの場合も1もしくは $X/2$ となる。この結果、PDCCHブラインド復号処理にかかる負荷は、 X スロット当りで120kHzサブキャリア間隔設定時と同程度に保ちながら、PDCCHのリソース設定における柔軟性についても120kHzサブキャリア間隔設定時のそれと同程度を Y スロット内で達成することが可能となった。

(6) 52.6～71GHz帯におけるスケジューリング・HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest)^{*45}

スケジューリングについては、前述したとおり、特に480および960kHzサブキャリア間隔設定時に於いて、PDCCHの時間方向のブラインド復号頻度が毎スロットよりも少なくなるため、時間方向でのスケジューリング効率を改善する必要性が指摘された。

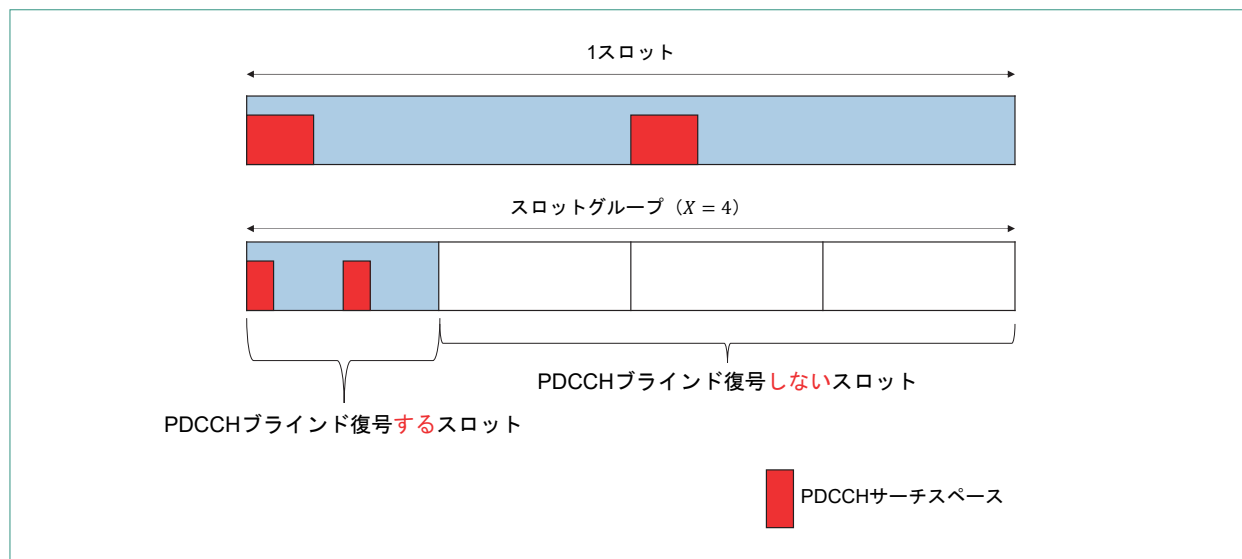


図6 52.6～71GHz帯におけるPDCCH復号例（上）120kHz設定時（下）480kHz設定時

*44 ブラインド復号：信号が送信される可能性のあるリソースすべてに対して復号処理を試みること。

*45 HARQ：誤り訂正技術である、チャネル符号化とARQを併用する技術。

このため、Rel-16において仕様化された1つのPDCCHによる複数PUSCH（Physical Uplink Shared Channel）^{*46}スケジューリングの技術をPDSCHスケジューリング向けにも拡張し、時間方向において複数PDSCHもしくはPUSCH（最大8）を1つのPDCCHでスケジューリングすることが可能となった（図7）。これにより、480/960kHzサブキャリア間隔設定時のPDCCHプラインド復号の際にも、効率良く上りおよび下りデータのスケジューリングを行うことが可能となった。

(7)52.6～71GHz帯の周波数定義と基地局・UE RF

（Radio Frequency）規定^{*47}

(a)52.6～71GHz帯の周波数定義

Rel-15では以下のFR1とFR2の2つの周波数範

囲が定義された。

- ・ FR1：410～7,125MHz
- ・ FR2：24,250～52,600MHz

Rel-17では、グローバルにおける5G活用への期待と、さらなる高速データ通信の実現を考慮して、52.6～71GHzの新規周波数帯が議論された。既存のFR2ベースの基地局およびUEのRF実装を最大活用するため、3GPPではFR2の定義の上限を52.6GHzから71GHzまで拡張した。合わせて、以下の通り、従来のFR2帯域はFR2-1、新規拡張されたFR2帯域はFR2-2と定義された（図8）。

- ・ FR2-1：24,250～52,600MHz

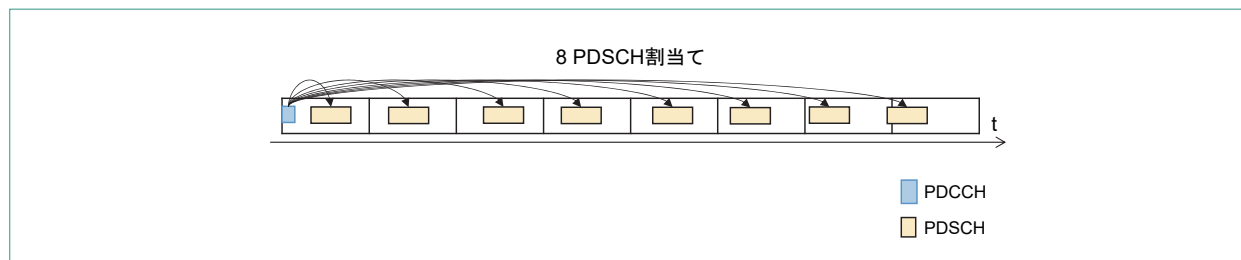


図7 1PDCCHによる複数データ送信スケジューリング例

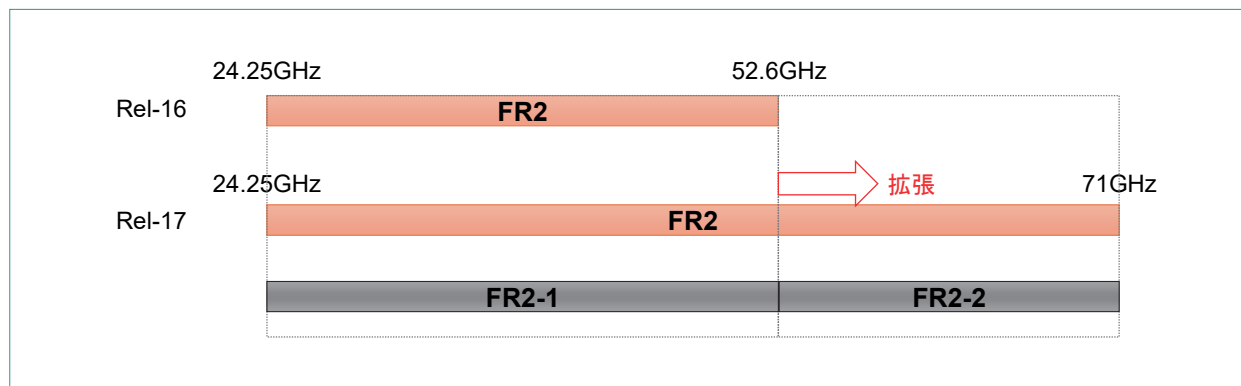


図8 FR2の周波数帯域の拡張

^{*46} 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。

^{*47} RF規定：不要発射や受信感度など、無線部分に関する特性規定。

・FR2-2：52,600～71,000MHz

(b)52.6～71GHz帯における基地局・UE RF規定

基地局側のRF規定としては、480kHzおよび960kHzのサブキャリア間隔が追加されたことや、帯域幅が最大2GHzまで拡張されたことに伴い、これらをカバーする各RF要件が規定された。従来のFR2-1に対して規定されている各RF要件と同様の項目をFR2-2向けにそれぞれ規定しており、基本的にはFR2-1策定時と同様の方針で検討がなされた。FR2-2においても例えば、隣接チャネル漏洩電力比（ACLR：Adjacent Channel Leakage Ratio）^{*48}や隣接チャネル選択度（ACS：Adjacent Channel Selectivity）^{*49}については、FR2-2用の検討条件を精査した後、3GPPにおいて過去に実施された70GHz帯における無線基地局装置と、その隣接周波数を利用するUEあるいは無線基地局装置との間の干渉影響（共存検討）シミュレーションの結果を用いながら、要件が規定された。

UE側のRF規定としては、基本的に従来の規定を流用している。しかしながら、従来規定の考え方をそのままFR2-2帯域に適用してしまうと、高周波数化に伴い大きくなる伝搬損失により、セルカバレッジの縮小が懸念された。このため、ドコモはFR2-2帯におけるアンテナ素子の技術検討を実施し、高周波数化に伴い素子数の小型化が期待される点を考慮して、アンテナ素子構成の見直しを実施した。ドコモは3GPP標準化会合において、UEのアンテナ素子数の想定数をFR2-1の4素子から、FR2-2では8素子に増加させる提案を行い、合意がなされたことで、技術実現性を保ちつつFR2-2帯におけるセルカバレッジ向上を実現した。

2.3 MR-DC拡張技術

Rel-16ではMR-DC/CAの技術拡張が策定され、高効率・低遅延なMR-DCの設定や復帰、迅速なNR SCell（Secondary Cell）^{*50}のアクティブ化、素早いMCG（Master Cell Group）^{*51}リンクの回復などの機能が導入された。Rel-17では、さらなるMR-DC/CA処理遅延の低減やUEの消費電力削減を目的として、(1)SCG（Secondary Cell Group）^{*52}の非アクティブ化（SCG deactivation）、(2)PSCell（Primary Secondary Cell）^{*53}の追加と変更の信頼性・堅牢性向上、および(3)Temporary RS^{*54}を用いたSCellの迅速なアクティブ化の技術拡張を行った。

(1)SCGの非アクティブ化

Rel-16以前のMR-DCにおけるUEは、主ノードのセルグループ（MCG）および副ノードのセルグループ（SCG）の両方に向けた無線リンク^{*55}を常に維持する必要がある、UEとNWの消費電力が増大する点が課題だった。

そこで、Rel-17では、UEおよびNWの消費電力を低減するために、通信量がSCGリンクを必要としない量に収まっているときは、当該SCGをdeactivated状態に遷移させる（非アクティブ化する）ことが可能になる仕様が策定された。SCG deactivated状態のときは、UEはSCGを経由してデータを送受信せず、副ノードセルの物理レイヤ^{*56}の品質測定を設定次第で省略することが可能であるため、SCG activated状態よりもUEとNWの消費電力を低く抑えることが期待される。また、SCG deactivated状態時に、UEはdeactivated SCGに対する設定とSCGに対するベアラ^{*57}を保持しており、SCGを再アクティブ化する際にそれらを再利用し、SCGの設定およびSCGベアラの確立に要する手順を省略することができる。一方でSCGの解放では、SCGの設定および

^{*48} 隣接チャネル漏洩電力比（ACLR）：変調波を送信するときに、本体の送信帯域信号電力と、それに隣接するチャネルに発生した不要波電力との比。

^{*49} 隣接チャネル選択度（ACS）：希望波と当該希望波に隣接する妨害波の信号電力比が所定の条件においても、希望波を正しく選択（フィルタリング）して受信できる能力。

^{*50} SCell：CA中に利用する複数のキャリアのうち、接続を担保するキャリア（PCell）ではないキャリア。

^{*51} MCG：DC中のUEとの接続を確立する基地局（MN）配下のセルグループ。

^{*52} SCG：DC中の基地局の内、MNではない基地局（SN：Secondary Node）配下のセルグループ。

^{*53} PSCell：DC中のSCGに含まれるセルのうち、接続を担保するセル。

^{*54} Temporary RS：迅速なSCellのアクティブ化を指示するMAC CE（^{*68}参照）において指定される参照信号。

^{*55} 無線リンク：UEと無線アクセスネットワークのアクセスポイントであるセル間の論理的な繋がり。

^{*56} 物理レイヤ：無線信号伝送のため、無線周波数キャリアの変調や、符号化データ変調などの処理を行うレイヤ。

^{*57} ベアラ：ユーザデータパケットの経路。

RLC (Radio Link Control)*⁵⁸ベアラが解放されることをかみみると、一度非アクティブ化したSCGをアクティブ化する場合は、一度解放したSCGを再度追加する場合よりも短い時間でSCGの通信を開始することが期待される。

また、SCGの再アクティブ化に際して、SCGに対する同期が維持されている場合、すなわち、SCG deactivated中にSCGのPSCellのビーム障害を規定回数以上検知していない、SCGのPTAG (Primary Timing Advance Group)*⁵⁹に紐づくTA (Timing Advance)*⁶⁰タイマが満了していない、などの条件を満たす場合、UEはRA (Random Access)*⁶¹を省略することができ、より迅速にSCGを再アクティブ化することが可能になる。

(2)PSCellの追加と変更の信頼性・堅牢性向上

Rel-16ではハンドオーバーやPSCell change*⁶²の信頼性・堅牢性を向上させることを目的としてCHO (Conditional HandOver)*⁶³、CPC (Conditional PSCell Change) が規定された。しかし、Rel-16に

おけるCPCは副ノードのみが開始可能で、MN (Master Node)*⁶⁴が関与しない同一副ノード内のPSCellのみが変更先のセルとして設定できる仕様であり、適用可能なシナリオが限定されていた。そのため、Rel-17ではCPCのシナリオ拡張、機能向上が行われた。

Rel-17のCPCでは、主ノード・副ノードのいずれからでもCPCを開始することができる。

Rel-17のCPCの一例として、主ノードが開始する、異なる副ノード間でのCPCの動作を図9に示す。

- ①CPCを開始するノードは、変更先候補となるセルのリソース確保を、候補セルが属する副ノードに要求する。
- ②要求を受けた副ノードは、リソース確保の可否を判断し、可の場合は、リソース確保可能セルの設定リストを主ノードに送信する。
- ③主ノードは、候補セルリスト、候補セルへのPSCell changeの実行条件を含んだCPC設定をUEに送信する。PSCell changeの実行条件の例

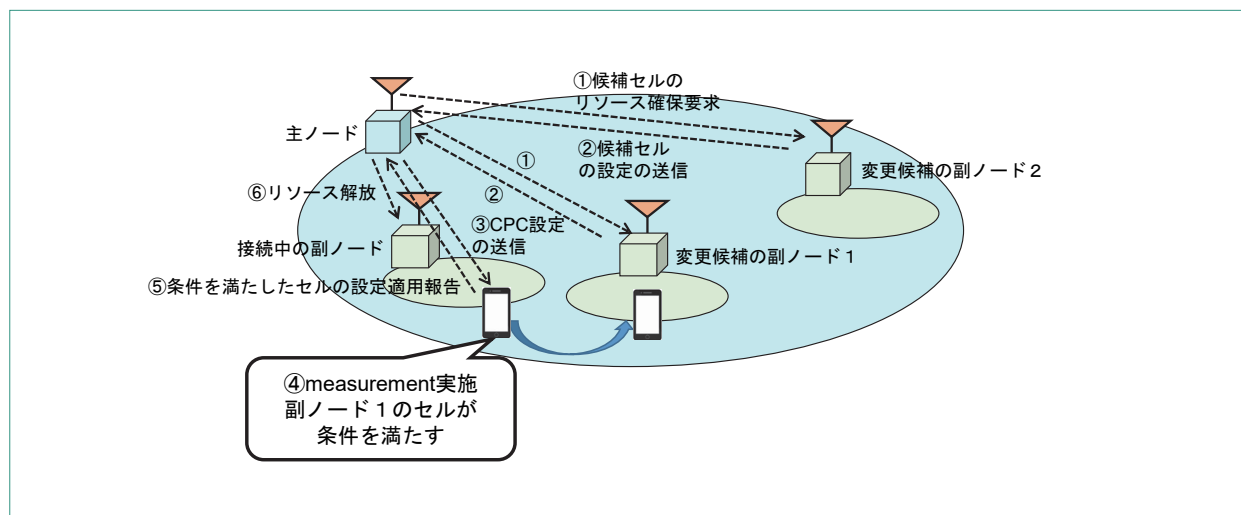


図9 異なる副ノード間でのCPCの動作例

*⁵⁸ RLC：無線インタフェースのレイヤ2のサブレイヤの1つで、再送制御などを行うプロトコル。

*⁵⁹ PTAG：TAGのうち、PCellまたはPSCellが含まれるもの。なおTAGはCA中、各キャリアに対して異なるTA (*⁶⁰参照)が必要とされる場合に、TAをグループ分けしたもの。

*⁶⁰ TA：複数UE間の信号の直交性を保つために、UE側で調整する送信タイミングの量。

*⁶¹ RA：UEが発信時やハンドオーバーなどにより、基地局と接続を確立する場合や再同期を行う場合に行う手順。

*⁶² PSCell change：UEが接続するPSCellを変更する動作。

*⁶³ CHO：UEにハンドオーバーを実施する候補セルとハンドオーバー実行条件を設定し、実行条件が満たされた際にUEが自律的に

ハンドオーバーを実施する動作。

*⁶⁴ MN：DC中のUEとRRC connectionを確立する基地局。MR DC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。

としては、候補セルが接続しているセルより一定以上通信品質が高いなど、通信品質を用いるものがある。

- ④UEは、CPC設定を受けて、measurementを行い、いずれかの候補セルがCPCの実行条件を満たした場合、PSCellを当該候補セルに変更する。
- ⑤UEは、CPCを適用したこと、CPC実行先セルを主ノードに通知する。
- ⑥主ノードは、変更前のPSCellが属する副ノードに対してリソース解放の手続きを開始する。

Rel-17では上記の新たなCPCに加え、DC開始時、つまりPSCellの追加においても、CPCのように複数の候補セルと実行条件を設定するCPA（Conditional PSCell Addition）が新たに規定された。CPCやCPAは、FR2が使用されるなど、通信品質の変化が激しい環境において、UEが最新のmeasurement結果に基づいて迅速にPSCell addition/changeが実施できるため、信頼性・堅牢性の向上が可能となる。

Rel-17におけるシナリオの拡大を受けて、CHO、CPC、CPAの共存についても議論が行われた。それぞれの機能をUEに同時設定することを可能としつつ、いずれかの設定が条件を満たし、UEが設定を適用した際には、その他の設定をリリースすることが規定された。

(3) Temporary RSを用いたSCellの迅速なアクティブ化

Rel-16のMR-DC/CA技術拡張では、deactivated状態のSCellをアクティブ化するとき、CSI^{*65}測定およびAGC（Automatic Gain Control）^{*66}に長い時間を要する点を懸念して、新たにdeactivatedとactivatedの中間にあたるdormancy状態を定義し、dormancy状態のSCellに対しては、CSI測定やAGC

をactivated状態と変わらず行うことができることとした。

一方Rel-17では、deactivated SCellを迅速にアクティブ化するために、Temporary RSを用いたSCellのアクティブ化が規定された。Rel-17 MR-DC拡張では、MAC（Medium Access Control）^{*67}レイヤにて、アクティブ化するSCellとTemporary RSの組を指定する新たなMAC CE（Control Element）^{*68}を導入した。従来のSCellアクティブ化では、UEがMAC CEを受信した後、定期的に送信されるSSBの到来を待つ必要があった。しかし新たなSCellアクティブ化スキームでは、基地局は当該MAC CEを送信した直後にTemporary RSを送信する。そして当該MAC CEを受け取ったUEは、指定されたTemporary RSをCSI測定およびAGCに用いることによって、定期的に送信されるSSBの到来を待つ必要がなくなり、より迅速にSCellをアクティブ化することが期待される。

2.4 FR2帯同士のキャリアアグリゲーション

5Gで新規導入されたFR2帯におけるキャリアアグリゲーションについて、Rel-16ではDL向けに、28GHz帯と40GHz帯の2つの周波数帯を束ねるキャリアアグリゲーションが仕様化された。Rel-17では、28GHz帯同士、あるいは、40GHz帯同士の2つの帯域を束ねるDLのキャリアアグリゲーションが仕様化され、より多様な周波数帯の組合せに対応できるように拡張された。

また、ULのさらなる広帯域通信実現のため、28GHz帯と40GHz帯の2つの周波数帯を束ねるULキャリアアグリゲーションも仕様化された。ドコモは、日本国内における追加周波数の割当て対象として40GHz帯が検討されている点をかんがみて、割当

*65 CSI：基地局とUEを結ぶ無線チャネルの状態。

*66 AGC：受信信号の強度の変動を抑え、一定程度に保つための制御。

*67 MAC：無線インタフェースのレイヤ2におけるサブレイヤの1つで、無線リソース割当て、TB（*80参照）へのデータマッピング、HARQ再送制御などを行うプロトコル。

*68 MAC CE：MACサブレイヤで伝送される定められた構成の制御信号。

済みの28GHz帯と40GHz帯を束ねるキャリアアグリゲーションの仕様化を3GPPにおいて推進した。本技術により、将来40GHz帯が割り当てられた際には、さらなるULスループット向上が期待される（図10）。なお、現状では、消費電力と発熱の観点を考慮し、ULキャリアアグリゲーションについては、スマートフォンなどの携帯用UEではなく、FWA（Fixed Wireless Access）^{*69}などサイズの大きなUEへの適用が想定されている。

3. カバレッジ拡大

3.1 物理チャネルのカバレッジ性能改善

無線通信システムのカバレッジ性能は、サービスエリアを提供するために必要な基地局の置局密度やコスト、UEのネットワークへの接続安定性やユーザ体感品質に影響するため、重要な要素の1つとして挙げられる。ここで、NRはLTEと比べて直進性が高く伝搬損失が増大しやすい高周波数帯が使用されているため、カバレッジ性能の低下が懸念される。

3GPPでは、これまでにRel-15の仕様に基づき、

FR1におけるカバレッジ性能評価が行われてきたが、Rel-16の仕様に基づいた評価およびFR2の評価は実施されていなかった。従って、Rel-17ではRel-16の仕様に基づいたFR1およびFR2のカバレッジ性能評価が実施され、改善が必要な信号・チャネルを特定するとともに、カバレッジ改善技術を策定した。

(1)カバレッジ性能の改善が必要な信号・チャネルの特定

Rel-17 Coverage enhancementのStudy Item^{*70}において、LLS（Link Level Simulation）^{*71}を用いてFR1およびFR2におけるカバレッジ性能改善が必要な信号・チャネルが検討された。検討に用いられたシナリオ、周波数、サービス、および目標の通信速度を表3にまとめる。これらの要件を満たすためのLLSの諸元が定められ、シミュレーションから得られたSINR（Signal to Interference plus Noise power Ratio）^{*72}を用いてリンクバジェット^{*73}を算出し、信号・チャネルごとに許容される伝搬損失^{*74}が導出された。その上で、特定のISD（Inter-Site Distance）^{*75}を実現するために許容される伝搬損失を上回るチャネルを表4の通りボトルネックチャネル

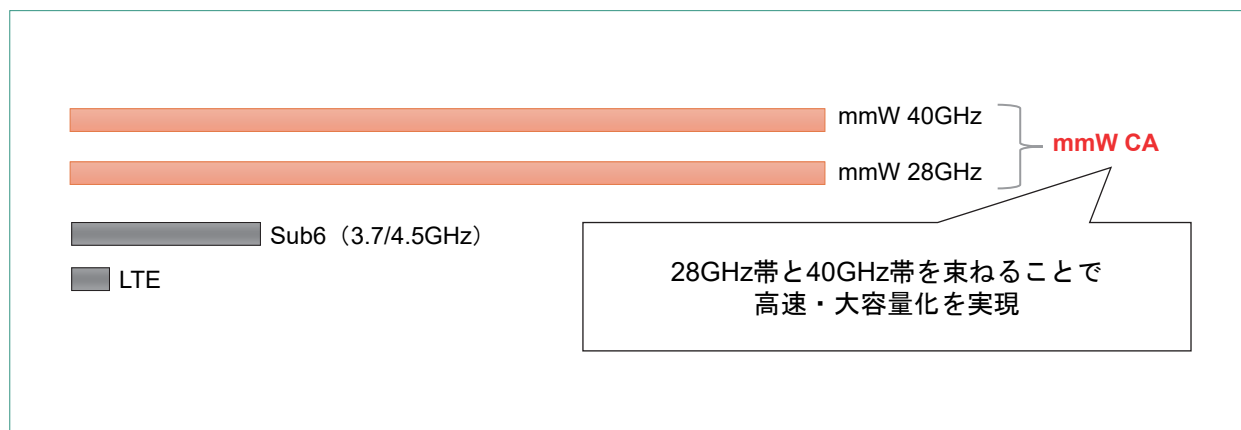


図10 28GHz帯と40GHz帯を束ねるキャリアアグリゲーション

^{*69} FWA：無線通信規格の1つで、固定無線アクセスシステムを指す。携帯用UEとは異なり固定されて使用する想定のため、一般的に、携帯用UEと比較して大きなデバイス容積で実装しやすい。

^{*70} Study item：仕様作成における課題の検討作業。

^{*71} LLS：基地局、UEの機能および無線伝送路の伝搬特性をモデル化し、基地局と移動局間の通信特性や性能を評価するシミュレーション。

^{*72} SINR：受信信号のうち、所望信号の電力と所望信号以外（他セル／他セクタからの干渉波および熱雑音）の電力の比を表す。

^{*73} リンクバジェット：基地局とUEの間の平均的な電力レベル配分の設計値のこと。送信電力や周波数、受信感度などの各種無線パラメータから、セル半径を算出する場合などに用いられる。

^{*74} 伝搬損失：送信電力と受信電力との差分から推定される伝搬経路損失。

^{*75} ISD：基地局間距離。

表3 カバレッジ性能評価に用いられたシナリオ、周波数、サービス、パケットサイズ、および目標通信速度

	FR1	FR2
シナリオ	Urban, Rural	Indoor, Urban, Suburban
周波数	700MHz, 2.6GHz, 4GHz	28GHz
サービス	VoIP, eMBB	VoIP, eMBB
パケットサイズ (VoIP)	320bits (データ到着間隔: 20ms)	320bits (データ到着間隔: 20ms)
目標の通信速度 (eMBB)	Urban DL: 10Mbps, UL: 1Mbps Rural DL: 1Mbps, UL: 100kbps	Indoor/Urban DL: 25Mbps, UL: 5Mbps Suburban DL: 1Mbps, UL: 50kbps

表4 ボトルネックチャネル

	FR1	FR2
ボトルネックチャネル	第1優先 ・ PUSCH for eMBB and VoIP 第2優先 ・ PRACH ・ Msg3 PUSCH ・ PUCCH ・ PDCCH	・ PUSCH for eMBB and VoIP ・ PUCCH ・ PRACH ・ Msg3 PUSCH

として特定した [4]。さらにFR1においては、多くのシナリオ、周波数やサービスに対してボトルネックチャネルとして特定され、かつ改善必要量が大きなPUSCHが、第1優先として位置付けられた。

(2)カバレッジ性能改善技術

Study Itemにおいて特定されたボトルネックチャネルの中で、より多くのシナリオやサービスで特性改善の必要性が見つけられたもの、および大きな改善が必要とされた信号・チャネルを選定し、Work Item^{*76}において改善技術が策定された。

(a)PUSCH repetition type A^{*77}の改善

Rel-15において、基地局の受信SNRを向上するためにスロットごとにPUSCHを繰返し送信

するPUSCH repetition type Aが規定された。一方、繰返し送信回数は連続するスロットに対して設定されるため、TDD (Time Division Duplex)^{*78}においてはULスロットだけでなくDLスロットもPUSCH送信として回数がカウントされる。DLスロットと衝突したPUSCH送信はキャンセルされるため、実効的な繰返し送信回数が減少する課題がある。そこでRel-17では、実効的な繰返し送信回数を増加させるために以下の2つの機能が規定された。

①最大繰返し送信回数の増加

PUSCHの最大繰返し送信回数は、Rel-15では8回、Rel-16では16回であったが、Rel-17

^{*76} Work Item：仕様の規定作業。

^{*77} PUSCH repetition type A：Rel-15で規定されたPUSCHのスロット単位の繰返し送信。

^{*78} TDD：上りリンクと下りリンクで同じ周波数を用い、時間スロットで分割して信号伝送を行う方式。

では32回に拡張された。

② Available UL slot^{*79}に基づく繰返し送信

Rel-15/Rel-16では、PUSCHの繰返し送信回数はTDDにおいてはDLスロットもPUSCH送信として回数がカウントされるため、Rel-17では、繰返し送信の回数のカウントをPUSCH送信が可能なスロット（Available UL slot）単位で行う方法も適用可能となるように拡張され、繰返し送信の途中でDLスロットが存在する場合でも実際に設定された回数の繰返し送信を行うことが可能となった。

(b) PUSCHの複数スロットにまたがるTB（Transport Block）^{*80}送信（TBoMS（TB processing over Multiple Slots））

Rel-15/Rel-16では、PUSCHで送信するUL

データのTBS（TB Size）は、割り当てられたスロット内のPUSCHに利用可能なRE（Resource Element）^{*81}数などに基づいて算出される。ここで、サービスエリア端の移動局を想定すると、図11(a)の様に繰返し送信を行うほかに、低いMCS（Modulation and Coding Scheme）^{*82}および少ないPRB（Physical Resource Block）^{*83}数を用いてPSD（Power Spectrum Density）^{*84}を高めることで、誤りにくいPUSCH送信を行うことが考えられる。一方で、そのような送信方法ではスロット内で送信可能なデータサイズが小さくなってしまうため、例えば図11(b)のように小さなTBSのデータを細切りに送信する必要が生じ、これは符号化利得の観点で効率が悪い。

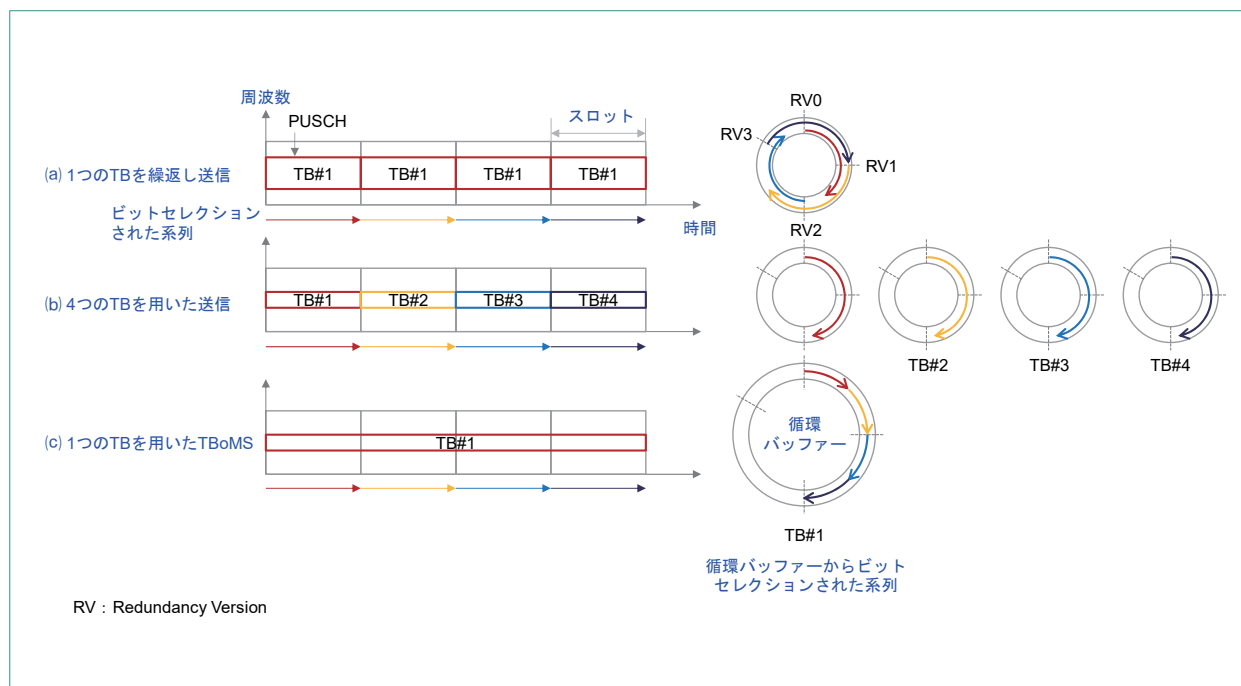


図11 PUSCHのTBの割当ておよびTBoMSの概要

*79 Available UL slot：PUSCHもしくはPUCCHの送信が可能なULスロット。

*80 TB：データ伝送などの処理を行う際の基本単位。

*81 RE：下りリンクのリソースの構成要素であり、1サブキャリア、1OFDMシンボルで構成。

*82 MCS：適用変調を行う際にあらかじめ決めておく変調方式と符号化率の組合せ。

*83 PRB：無線リソースの割当て単位であり、1サブフレーム、および12サブキャリアから構成される。

*84 PSD：周波数に対する信号の電力密度。

このような課題を解決するため、図11(c)に示すように、複数のスロット内のPUSCHに利用可能なRE数などに基づいてTBSを計算し、循環バッファから連続的にビットセレクションされた系列を各スロットにマッピングすることで、複数のPUSCHスロットで1つのTBを送信するTBoMSが規定された。これを実現するため、1つのTBを割り当てるスロット数の通知が新たに導入され、移動局は通知されたスロット数に基づきTBSを算出するとともに、複数スロット数にまたがりTBを送信する。

(c)PUSCHおよびPUCCH (Physical Uplink Control Channel) *85における復調用参照信号 (DM-RS : DeModulation RS) *86のバンドリング

サービスエリア端の移動局において、チャネル推定 *87 誤差による通信特性劣化を防ぐため、チャネル推定精度が重要である。Rel-15/Rel-16では、スケジューリングされたPUSCH/PUCCHに対する基地局によるチャネル推定は、そのPUSCH/PUCCHリソース内に配置されるDM-

RSを用いて行われる。

Rel-17では、チャネル推定精度を高めるため、スケジューリングされたPUSCH/PUCCHに対するチャネル推定を行う際、そのPUSCH/PUCCHリソース内に配置されるDM-RSだけでなく、別のPUSCH/PUCCHリソースに配置されるDM-RSを合わせて用いるDM-RSバンドリングが規定された。これを実現するために、TDW (Time Domain Window) *88が導入され、基地局の設定もしくは移動局の能力などに応じて、連続する複数スロットに対してNominal TDW *89が設定される。図12に示すように、基地局が設定する名目上のTDW (Nominal TDW) の範囲内で、移動局は1つ以上の実質のTDW (Actual TDW *90) が設定可能であり、Actual TDWの開始位置や長さはTDDのULおよびDLスロットや周波数ホッピングなどに応じて決定される。移動局がActual TDW内のDM-RSを一定の電力かつ連続性をもつ位相で送信する事で、基地局はActual TDW内の複数のPUSCH/PUCCH

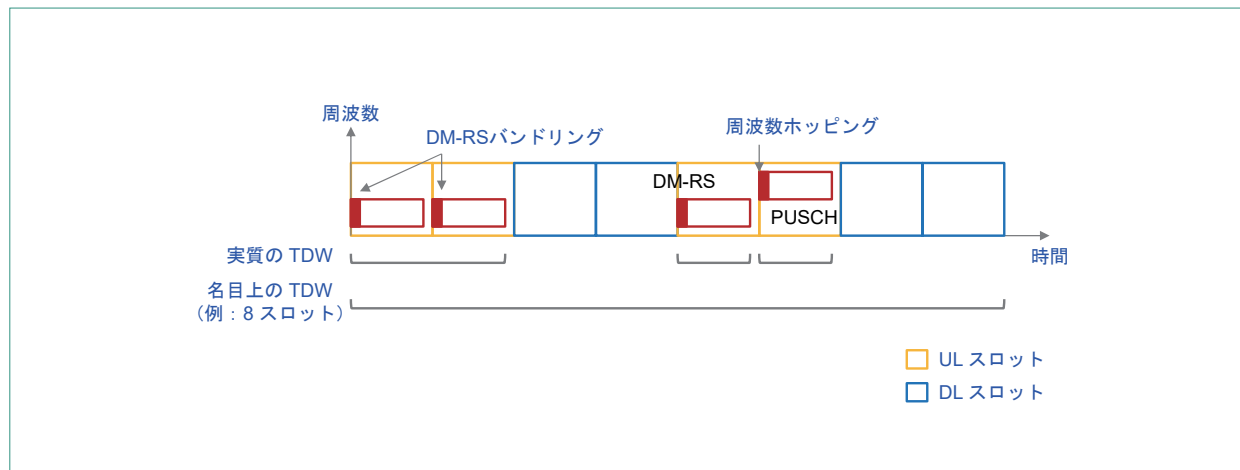


図12 DM-RSバンドリングの概要

*85 PUCCH：上りリンクで制御情報を送受信するために用いる物理チャネル。

*86 復調用参照信号 (DM-RS)：下り・上りリンクの送受信データを復調する際に用いられるチャネル推定用の参照信号。

*87 チャネル推定：信号が無線チャネルを経由した際に受けた減衰量および位相回転量を推定すること。

*88 TDW：DM-RSバンドリングのため、移動局がDM-RSを一定の電力かつ連続性をもつ位相で送信する区間。

*89 Nominal TDW：基地局が設定する名目上のTDW。

*90 Actual TDW：ULおよびDLスロットや周波数ホッピングなどに応じて決定される実際のTDW。

リソースに配置されるDM-RSを用いたチャネル推定を行うことが可能となる。

(d)Msg3 (Message3)^{*91} PUSCHの繰返し送信

Rel-15/Rel-16では、初期アクセスなどで使用されるMsg3 PUSCHに対して繰返し送信を適用することはできない仕様となっていたが、カバレッジ改善のためには、RRC (Radio Resource Control)^{*92}接続後のPUSCHの繰返し送信だけでなく、初期アクセスで使用されるMsg3 PUSCHの繰返し送信も行うことが有効である。

そこで、Rel-17では、基地局の受信SNRを向上させるために最大8回のMsg3 PUSCHの繰返し送信が導入された。基地局は繰返し送信の要求可否を判断するためのRSRP (Reference Signal Received Power)^{*93}のしきい値を移動局に通知し、移動局は受信するRSRPがしきい値を下回る場合、繰返し送信を要求できる。基地局は、要求の有無に応じて選択可能な異なるPRACHのPreamble index^{*94}もしくはPRACH occasion^{*95}を通知し、移動局は繰返し送信の要求の有無に応じてPreamble index/PRACH occasionを選択し、PRACHを送信する。基地局は移動局の繰返し送信要求に応じてMsg2^{*96} PDSCHで送信するRAR (Random Access Response) UL grant^{*97}内のMCSフィールドを用いて繰返し回数を指示する。この時、繰返し送信を要求した移動局は、MCSフィールドの内容を読み替えるとともに指示された回数のMsg3 PUSCH送信を行う。

(e)PUCCHにおける繰返し送信回数の動的な通知

Rel-15/Rel-16では、PUCCHの繰返し送信回数はすべてのPUCCHリソースに対して共通に

設定される。Rel-17では、移動局の通信環境に応じて適切な繰返し送信回数を設定できるように、繰返し回数の動的な通知が導入された。これを実現するため、PUCCHリソースごとに異なる繰返し回数の設定が可能となり、Rel-15/Rel-16の動作に準じてDCI (Downlink Control Information)^{*98}のPRI (PUCCH Resource Indicator)^{*99}フィールドを用いてPUCCHリソースを指示する事で、チャネル品質などに応じた動的なPUCCHの繰返し送信回数の指示が可能となった。

3.2 NR Repeater

5Gエリアのさらなるカバレッジ拡大に資する装置として、NR Repeaterの仕様が規定された。NR Repeaterは、無線基地局装置とUEの間で送受信される電波の増幅中継を行うRF RepeaterをNR向けに拡張したものである。RF Repeaterは日本国内においても、屋内や山間部といった不感地帯に対して電波の増幅中継を行う小電力レピータ・陸上移動中継局として利用されているため、本規定によりNR向けのRF repeaterの開発や法整備が進むことで、高速通信が可能な5Gエリアのさらなる拡張・高密度化が期待される。

(1)NR Repeaterの検討条件

NR Repeaterは、無線基地局装置とUEの間で送受信される電波の増幅中継を行うため、基地局対向リンク（上りリンク）とUE対向リンク（下りリンク）をもつ（図13）。それぞれのリンクに対して、送信電力や周波数偏差^{*100}、隣接チャネル漏洩電力比（ACLR）、スプリアス^{*101}発射といった無線特性の基本パラメータの検討が行われ、各無線特性要件が規定された。

*91 Msg3：ランダムアクセス手順においてMsg2を受信した移動局が送信するネットワークへ接続を要求する情報。

*92 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。

*93 RSRP：UEで測定される参照信号の受信電力。UEの受信感度を表す指標の1つ。

*94 Preamble index：UEが送信するプリアンプルの特有なパターンに付与されるインデックス。

*95 PRACH occasion：PRACHを送信可能な送信機会。

*96 Msg2：ランダムアクセス手順において基地局がPRACHを検出した際に応答として送信する移動局の一時的な識別子やMsg3送信リソースの割当てなどの情報。

*97 RAR UL grant：基地局がPRACHを検出した際に応答として送信する移動局の一時的な識別子やMsg3送信リソースの割り当てなどの情報。

*98 DCI：各ユーザがデータを復調するために必要なスケジューリング情報、データ変調、およびチャネル符号化率の情報などを含む下りリンクで送信する制御情報のこと。

*99 PRI：基地局が設定する複数のPUCCHリソースの中から使用するPUCCHリソースを指示する情報。

*100 周波数偏差：装置が仕様値としてもつ周波数と、実際に送信している周波数（測定値）のズレを比で表したもの。

*101 スプリアス：信号を送信するときに本来の信号周波数帯以外に放射される不要波のこと。

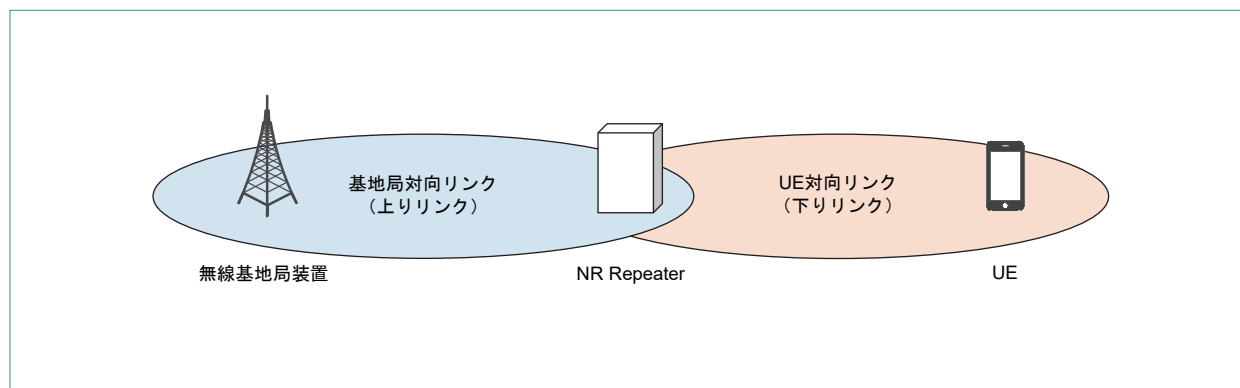


図13 NR Repeaterの各リンクのイメージ

通常、無線特性要件を議論する場合、要件を適用する装置と隣接周波数を利用するUEあるいは無線基地局装置との間の干渉影響（共存検討）をシミュレーションにより評価する。しかしNR Repeaterでは送信可能な最大電力の検討条件を、基地局対向リンクにおいてはUE相当に、UE対向リンクにおいては無線基地局装置相当に設定し、3GPPで過去に実施した5Gシステム向けのUEおよび無線基地局装置に関するシミュレーション結果を流用する形をとることで検討の簡略化を図った。

また、Rel-17におけるNR Repeaterは、受信した信号の復号や復調を行わずに電波の増幅中継のみを行うことを前提に検討がなされた。よって、無線基地局装置から受信する信号の中身をNR Repeaterは認識しないため、制御信号に基づいて各UEに対して好適なビームを設定する適応ビームフォーミング制御は、この時点のNR repeaterでは想定されておらず、特定方向にビーム形状を固定したビームフォーミングのみが想定されている。なお、基地局からの制御信号に基づいた適応ビームフォーミング制御が可能なNR Repeaterについては、Network-controlled RepeaterとしてRel-18において検討され

ている。

(2)対応周波数の拡張

NR Repeaterでは対応可能な周波数帯がさらに拡張された。LTEにおけるRFレピータは3,590MHzまでのFDD（Frequency Division Duplex）バンド*102にのみ対応していたが、Rel-17におけるNR Repeaterは5G無線基地局装置用に規定されている全周波数帯のうち、アンライセンストバンドと前述したFR2-2以外のFDD・TDDバンドをすべて対象としている。よって、日本国内で5G向けの周波数帯として利用されている3.7GHz帯（n77*103/n78）や4.5GHz帯（n79）、28GHz帯（n257）を含むNR TDDバンドの利用が新たに可能となった。

なお、TDDバンドで運用する場合、NR Repeaterは他のネットワークシステムとの干渉を避けるため、無線基地局と同期して信号の送受信のタイミングを合わせる必要があるが、Rel-17 NR Repeaterでは、無線基地局との同期や送受信のタイミング調整に必要な制御は各製造業者の個別実装で実現する整理とし、標準仕様上では統一的な実現方法は仕様化されていない。

*102 FDDバンド：上りリンクと下りリンクで周波数を分割して信号伝送を行う方式。

*103 n77, n78, n79：FR1帯におけるTDD方式の周波数バンドであり、n77（3,300～4,200MHz）、n78（3,300～3,800MHz）、n79（4,400～5,000MHz）を指す。

(3)装置構成の再整理

新たにFR2へ対応が拡張されたことに伴い、NR Repeaterの装置構成が改めて整理された。FR1の周波数帯では、電波を放射する送受信用アンテナとNR Repeaterの無線部^{*104}が分離された構成（Repeater type 1-C）を想定して各無線特性要件が規定されており、これらの要件ではNR Repeaterの物理アンテナコネクタに測定器を有線接続して測定する。

対してFR2の周波数帯では、回路内の電力損失が大きくなることから、アンプ・フィルタ・送受信用アンテナなどが集積化され一体となった構成（Repeater type 2-O）を想定して、各無線特性要件が規定されている。有線接続可能な物理アンテナコネクタが実装されないため、伝搬空間上を規定点とするOTA（Over The Air）^{*105}で各無線特性要件を測定する。

3.3 FR1 High power UE

FR1におけるULのカバレッジ拡大のため、UEの送信電力を向上する技術（High power UE）が期待されている。Rel-17において、Rel-16以前で規定済のUEの最大送信電力から2倍まで引き上げる技術や、従来TDDバンドのみ導入されてきたHigh power UEの機能をFDDバンドに導入する新機能が議論さ

れ、High power UEの機能拡張が行われた（表5）。

(1)単一キャリア送信におけるHigh power UE

単一キャリア送信におけるUE送信電力について、Rel-16以前においては、スマートフォンなど携帯用UE向けの最大出力は最大23dBmのパワークラス3、あるいは最大26dBmのパワークラス2が規定されてきた。今後のさらなるカバレッジ拡大のために、パワークラス2よりもさらに2倍の大きな電力（29dBm）で送信可能なパワークラス1.5の規定が、n77、n78、n79を対象として導入された。既存の電波防護指針を前提とした規定であるため、適切なUL送信比率を設けるなどの制限はあるものの、ULカバレッジ拡大効果が期待される規定となっている。

また、単一キャリア送信におけるUE送信電力について、従来ではTDDバンドに限定されてきたが、Rel-17では新規にFDDバンドにも導入がなされた。FDDは周波数を送信帯域と受信帯域に分割して同時に送受信を行う複信方式であるが、UE自身の送信帯域から受信帯域への干渉影響があるため、送信電力の向上に伴う受信感度の劣化量を考慮した規定が導入された。

(2)複数キャリア送信におけるHigh power UE

複数の送信キャリアを束ねるキャリアアグリゲー

表5 Rel-17におけるHigh power UEの機能拡張

	単一キャリア送信		複数キャリア送信	
	通信方式	最大送信電力	通信方式	最大送信電力
Rel-16	TDD	26dBm	EN-DC	26dBm
Rel-17	TDD, FDD	26dBm	EN-DC, NR-CA, NR-DC, SUL	26dBm
	TDD	29dBm	EN-DC, NR-CA, NR-DC	27.8dBm

※赤字はRel-17で追加された新機能。

*104 無線部：信号の送受信を行うためのアンプやフィルタ、デュプレクサなどをまとめた無線機能部のこと。

*105 OTA：測定アンテナと対向し、レピータのアンテナで送信される電波の特性を測定する方法。

ションにおけるUE送信電力については、Rel-16以前はEN-DC (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network New Radio Dual Connectivity) *106のみがHigh power UEの対象となっていたが、Rel-17において対象シナリオがNR-CA, NR-DC *107およびSUL (Supplementary UpLink) *108にも拡張され、より広いユースケースにおいてHigh Power UEを利用することが可能となった。

また、Rel-16以前は、複数の送信キャリアの合計電力が26dBmまで制限されていたが、Rel-17では各バンドのパワーアンプ出力を最大限まで活用できるように、従来の合計電力の上限から各バンドの最大出力の合計値まで引き上げる新機能も導入された。例えば、23dBmの送信電力を出力できるパワーアンプと、26dBmの送信電力を出力できるパワーアンプの2つを搭載している場合、従来では合計26dBmまでの送信電力しか出力できなかったが、新機能では各パワーアンプを最大出力で動作させて23dBm + 26dBm = 27.8dBmの送信電力を出力できるようになっており、キャリアアグリゲーションにおけるカバレージ拡大が期待できる。

4. UE消費電力削減

ユーザエクスペリエンス向上に向けては、データレート・遅延向上の観点だけでなくUE消費電力の削減の観点も重要な要素として挙げられる。Rel-16では接続状態DRX (connected-mode Dis-continuous Reception) *109におけるwake up signal *110, 最大MIMOレイヤ数の適応, SCell dormancy状態 *111, cross-slotスケジューリング *112の改善, UEアシスト情報通知などのUE消費電力削減のための技術拡張を行った。Rel-17では、NR SA運用における待受

け状態 (idle/inactive-mode) のUE消費電力, FR2運用における接続状態 (connected-mode) のUE消費電力, などの特定のユースケースを考慮した場合におけるRel-16の課題を解決するために以下の技術拡張を行った。

4.1 待受け状態のUE消費電力削減

NR SA運用における待受け状態のUEは一定の周期ごとにPaging Occasion *113にてページングメッセージ *114の監視を行う必要があり、ページングメッセージの受信に必要な時間/周波数同期 *115およびAGCをPaging Occasion前に行う必要がある。これらを行う際には無線品質などに応じて複数の参照信号が必要となり、SSBの送信周期である数十msごとにUEがwake upしなければならない場合があった。SSBの送信周期の間では十分なスリープ時間が確保できず、電力効率の良いスリープ (Deep Sleep) ではなく電力効率の悪いスリープ (Light sleep) に遷移することになり消費電力効率の悪化が見込まれるため、上記課題の解決にあたって以下の2つの機能がRel-17で追加された。

(1) ページングの早期通知 (Paging early indication)

待受け状態のUEは、Paging Occasionにおける自身宛のページングメッセージの有無が事前には分からないため、そのメッセージの有無にかかわらず前述のとおりページングメッセージを受信するために必要な時間/周波数同期およびAGCを行う。そのとき、実際には自身宛のページングメッセージの送付が無い場合には、不必要な動作を行うことになる。そこでRel-17では、ページングの早期通知 (Paging early indication) を行うことにより、図14(a)の通り、事前にページングメッセージの有無をUEに通知し、不必要な時間/周波数同期およびAGCを削

*106 EN-DC : LTEの周波数帯とNRの周波数帯を束ねて通信することで広帯域化を実現する技術を指す。

*107 NR-CA, NR-DC : NR-CAは、NRの周波数帯とNRの周波数帯を束ねてキャリアアグリゲーションする通信方式を指す。複数のNR周波数帯について、同一の基地局に接続する場合はNR-CA、異なる基地局に接続する場合はNR-DCと呼ぶ。

*108 SUL : 上り通信にのみ使用される周波数バンドおよびそれを用いた通信方式を指す。

*109 接続状態DRX : 下り制御信号などを間欠受信とすることでUE消費電力削減を行う手法。

*110 wake up signal : UEのハードウェアなどをアクティブ化する (wake up) 必要があるかどうかを事前に通知する信号。

*111 dormancy状態 : SCellのPDCCHをモニタリングしないことでUE消費電力削減が可能となり、かつCSI測定などの通信に必要な準備を行っておくことで素早くactivation状態に復帰可能な状態。

*112 cross-slotスケジューリング : 下り制御信号を受信したスロットとは異なるスロットにスケジューリングする方法。

*113 Paging Occasion : ページングを受信する無線リソース。

*114 ページングメッセージ : 待受け中のUEに対して、ネットワークと接続するように呼び出すための信号。

*115 周波数同期 : 時刻を刻む速度が装置間で一致している状態。

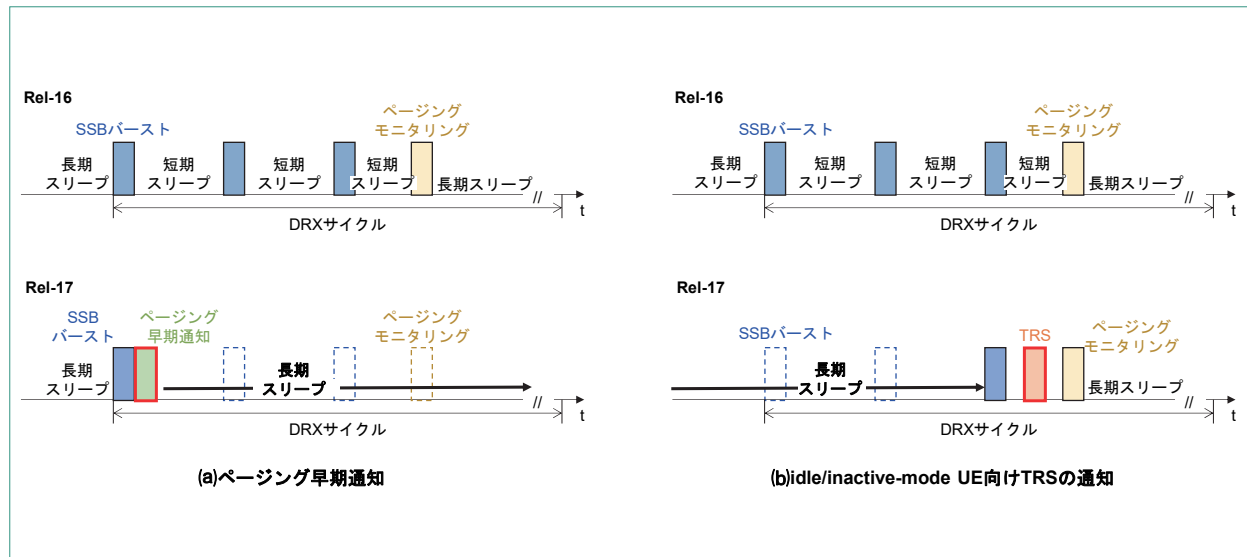


図14 待受け状態のUE消費電力削減

減することでUE消費電力の改善を行った。ページングの早期通知ではUEのサブグループごとにページングメッセージの有無を通知可能となっており、サブグループはCN (Core Network) *116による割当てもしくはUE IDによる割当てが可能となっている。

(2)待受け状態UE向けTRS (Tracking Reference Signal) *117の通知

Rel-16ではTRSは接続状態のみに利用可能だったが、Rel-17では待受け状態においても利用可能となるように、報知情報 *118によりTRS関連情報が通知可能となった。図14(b)に示すように、待受け状態のUEがページング受信前に、時間／周波数同期およびAGCのために複数の参照信号を受信する必要がある場合、Rel-16ではSSB受信ごとにwake upする必要があったが、Rel-17では時間／周波数同期およびAGCにおいてSSBに加えてTRSを活用することで、SSBのみで同期を行う場合と比較してwake up

回数を減らすことができ、効率よくスリープ時間を確保できるためUE消費電力を削減できる。接続状態のUE向けに通知しているTRSを待受け状態のUE向けにも通知することで、リソースオーバーヘッドを増加させずにUE消費電力を削減することができる。

4.2 接続状態のUE消費電力削減

接続状態のUE消費電力削減について、FR2運用における下り制御信号 (PDCCH) モニタリングの削減および物理リンク監視 (Radio Link Monitoring) / ビーム障害検出 (Beam Failure Detection) 測定の緩和の観点から、以下の機能がRel-17で追加された。

(1)下り制御信号モニタリングの削減

FR2運用ではスロット長が短くなるため、一般には単位時間当りの下り制御信号モニタリングの回数が増加することになる。そこで、ユーザデータの送

*116 CN：ゲートウェイ装置、位置管理装置、加入者情報管理装置などで構成されるネットワーク。移動通信システムを構成するネットワークのコア部分。移動機は無線基地局などで構成される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。

*117 TRS：主に同期処理などに用いる参照信号。

*118 報知情報：移動UEがセルへの接続手順を実施するために必要となる規制情報、共通チャネル情報、ランダムアクセスチャネル情報などを含み、セルごとに一斉同報される。

受信が無いことが見込まれる場合に、不必要な下り制御信号モニタリングを削減するために以下の機能が導入された。

(a)下り制御信号モニタリングスキップ

基地局は、UEに下り制御情報（DCI）を用いて、指定した期間の下り制御信号モニタリングのスキップを通知することが可能となり、UEのスリープ期間を確保することでUE消費電力が削減できる（図15(a)）。指定可能なスキップ期間については、UEに最大100msまでの期間を最大3つまで事前設定可能となっており、下り制御情報によるスキップ通知ごとにそれら3つのうちから指定可能となっている。

(b)下り制御信号モニタリング設定の動的切替え

基地局は、UEに下り制御情報を用いてサーチスペースセットグループ*119の切替えを指示することが可能となり、サーチスペースセットに紐づく下り制御信号モニタリング設定を動的に切替えることが可能となった（図15(b)）。例えば、トラフィック状況などに応じて高頻度もしくは低頻度なモニタリング周期を設定することで、不必要な下り制御信号モニタリングを減らしUE消費電力削減が可能となる。サーチ

スペースセットグループは最大3つまで設定可能となっており、それら3つのグループの間で下り制御情報によりグループ遷移を指示可能である。一定期間データスケジューリングを伴う下り制御信号を受信しなかった場合には、事前に設定されたデフォルトサーチスペースセットグループに遷移する。

(2)物理リンク監視／ビーム障害検出測定緩和

FR2運用では小さいセル半径やビームフォーミングの活用により、物理リンク障害の発生やビーム切替えが頻繁に発生する可能性がある。そこで、低速で移動するUEや受信品質が良好なUE向けに、物理リンク監視／ビーム障害検出測定にかかわる規定を緩和することで、消費電力を削減することを可能とした。

5. あとがき

本稿では、Rel-17 NR仕様の高速・大容量化、カバレッジ拡大、端末消費電力削減向けの主要機能を解説した。本稿で解説した機能をはじめとしたRel-17 NRの機能を用いることで、5G NRの通信ネットワークのさらなるユーザエクスペリエンス向上が期

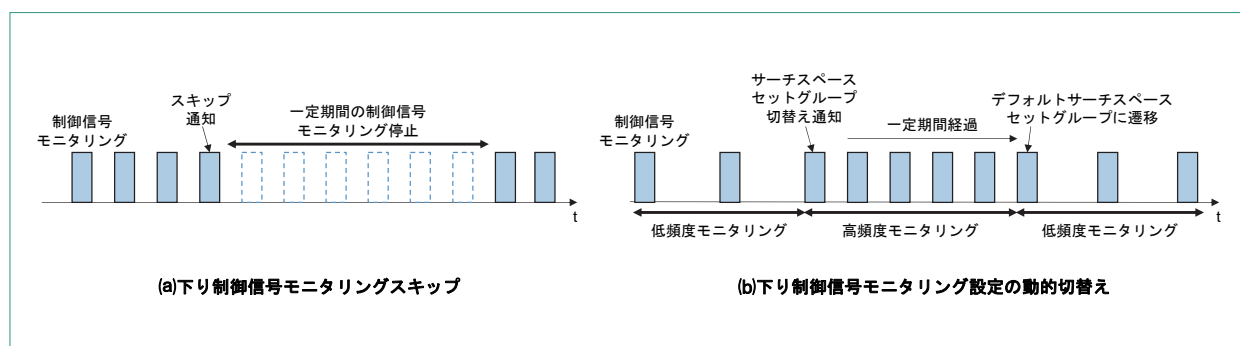


図15 接続状態のUE消費電力削減

*119 サーチスペースセットグループ：UEが下り制御信号の復号を試みる領域群（サーチスペースセット）が複数含まれるグループ。

待できる。ドコモは、3GPPにおける5G標準化推進に寄与しており、今後も5G標準化のさらなる発展に貢献していく。

文 献

[1] 原田，ほか：“3GPP Release 17における5G無線の高度化技術概要,” 本誌, Vol.30, No.3, pp.8-14, Oct. 2022.

- [2] 3GPP TR38.807 V16.1.0 : “Study on requirements for NR beyond 52.6 GHz,” Apr.2021.
- [3] ETSI EN302 567 V22.1 : “Multiple-Gigabit/s radio equipment operating in the 60 GHz band ; Harmonized Standard for access to radio spectrum,” Jul.2021.
- [4] 3GPP TS38.830 V17.0.0 : “Study on NR coverage enhancements,” Dec. 2020.

3GPP Release 17標準化活動

3GPP Release 16および17における 確定性通信の実現に向けた高度化技術

ドコモ欧州研究所 ネットワーク開発部 Jari Mutikainen
Riccardo Guerzoni
みのくち あつし
巳之口 淳

5GSは、有界遅延、無衝突、高信頼性を担保する、確定性通信をサポートする。3GPP Rel-16で規定された5GSは、IEEE 802.1Qブリッジネットワークと統合され、製造業および関連する産業用アプリケーション向けのイーサネットベースの確定性通信をサポートする。Rel-17で拡張された5GSは、IPベースの確定性通信もサポートする。

1. まえがき

3GPP (3rd Generation Partnership Project)^{*1}は、製造業および関連する産業用アプリケーションをサポートするため、5Gシステム (5GS: 5G System)^{*2}に対し、3GPP Release 16 (以下、Rel-16) で確定性通信の主要な要件を定めた。

今日の産業用アプリケーションは、通常、さまざまな種類の産業用イーサネットを使用する。このため、産業用イーサネットの仕様を統一する必要がある。

り、これらの検討が進められてきた。IEEE TSN (Institute of Electrical and Electronics Engineers Time-Sensitive Networking)^{*3}は、IEEE 802ネットワークで確定性通信を提供する一連の標準規格を指し、今後、産業用イーサネットに共通的に適用されることが期待されている。

Rel-16では、5GSが、TSN機能をもつ仮想的なIEEE 802.1Q^{*4}ブリッジ^{*5}となり、IEEE TSNネットワークとシームレスに統合できるよう、システムアーキテクチャと手順を規定した。また5GSブリッジ

©2022 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} 3GPP: 移动通信システムの規格策定を行う標準化団体。

^{*2} 5Gシステム (5GS): コアネットワーク、無線アクセスネットワーク、および通信端末で構成される5Gのネットワークシステム。

^{*3} IEEE TSN: 遅延やジッタ (^{*13}参照) の許容値を超えずに配送されることが要求されるデータストリームを扱うために、IEEEで規定された一連の規格、あるいは、それらを基に構築されるネットワーク。

^{*4} IEEE 802.1Q: Local and Metropolitan Area Networkにおけるブリッジ (^{*5}参照)、およびブリッジ構成によるネットワークに関する規格。

は、IEEE 802.1AS^{*6}が規定する時刻同期もサポートする。これは、IEEE TSNで時刻を意識したスケジューリングによってTSNストリーム^{*7}の有界遅延^{*8}を提供するために、必須となる構成要素である。

通信の有界遅延、無衝突、信頼性を提供するには、実際の通信を開始する前にトラフィック特性を把握し、ネットワークの準備を整えておく必要がある。

Rel-16では、中央制御装置、つまりIEEE 802.1Qcc [1] で定義されているCNC (Central Network Controller)^{*9}が5GSを制御する。CNCはIEEE 802.1Q管理オブジェクト^{*10}を使用してトラフィック特性を5GSに示し、5GSはそうしたトラフィックのために必要な無線通信とコアネットワークのリソースを準備する。

Rel-17では確定性通信が拡張され、リソースを予約する3GPP独自のサービスインタフェースが規定された。外部ネットワークは、このインタフェースを使用して、3GPP QoS (Quality of Service)^{*11}リソース予約手順の一部としてトラフィック特性を5GSに示すことができる。これはIEEE TSNを配備しないネットワーク、および、IPベースのようなIEEE TSNを配備できないネットワークに有用である。

イーサネットベースの時刻同期 [2] のサポートに加えて、Rel-17では、IEEE 1588仕様 [3] に基づくIPベースの時刻同期のサポートが追加された。イーサネットベースの時刻同期が製造分野で重要であるのと同時に、IPベースの時刻同期は、プロの音響映像制作業界などの、より多様なユースケースで必要とされる。またRel-17では、5GSがもつ時刻同期機能を外部ネットワークから制御するための、サービスインタフェースも規定した。

本稿では、Rel-16およびRel-17で規定された5GSの確定性通信機能の概要について解説する。

2. 確定性通信のユースケース

確定性通信とは、TSC (Time-Sensitive Communication)^{*12}のために、最大遅延、最大ジッタ^{*13}、無衝突を保証するネットワーク機能のことである。確定性通信で想定されるユースケースを以下に述べる。

2.1 製造業

確定性通信の主要な応用分野の1つは製造業である。製造業では、従来、時間制約の厳しい通信に、フィールドバス^{*14}を基にした産業用プロトコルを使用してきたが、その後、産業用イーサネット (例：PROFINET, EtherNet/IP, CC-Link IE) を使用するように進展してきた。産業用イーサネットは、自動化および制御システムが必要とするリアルタイム通信のために低遅延や帯域を保証する、専用のイーサネットである。

IEEE仕様は、イーサネットでこのようなリアルタイム通信をサポートしなかったため、産業界の各フォーラムがこの課題に対して独自のソリューションを定義してきた。しかし、独自のソリューションをIEEEイーサネットネットワークに適用するには、IEEE標準準拠のイーサネットブリッジに対するハードウェアの変更が必要であった。

そこでIEEEでは、この不足分を埋めるためTSNを規格化し、IEEE標準準拠のイーサネットネットワークでリアルタイム通信をサポートできるようにした。IEEE TSNの主な利点は、汎用のイーサネットブリッジを使用して、時間制約の厳しい産業用のデータには確定性通信を提供し、そのほかのデータにはベストエフォートサービスを提供できることである。

PROFINETやCC-Link IEなどの一部の産業用

^{*5} ブリッジ：複数のポートをもちそれらの間でイーサネットフレームをリレーするネットワーク装置であり、IEEE 802.1Q規格に沿ったもの。

^{*6} IEEE 802.1AS：Local and Metropolitan Area Networkにおける時刻同期制御に関する規格。

^{*7} ストリーム：ネットワークに特定の同一の処理を要請するデータ列。

^{*8} 有界遅延：最大遅延、および、最大遅延の変動が予測可能であること。

^{*9} CNC：TSNにおいてTSNブリッジのコントロールを行うコン

ポーネント。

^{*10} 管理オブジェクト：ネットワークの特定の構成要素を表す一連の情報。

^{*11} QoS：サービスごとに設定されるネットワーク上の品質。使用帯域の制御により遅延量や廃棄率などの制御が行われる。

^{*12} TSC：遅延やジッタ（^{*13}参照）の許容値を超えずに配送されることが要求されるデータストリームを扱うために3GPPで仕様化されている通信サービス。

^{*13} ジッタ：信号などにおける、遅延時間の揺らぎ、時間軸方向のずれのこと。

イーサネットベースプロトコルは最近更新され、IEEE TSNのサポートをプロトコルに含めるようになっていく。Rel-16の5GSでのIEEE TSNのサポートは、そうした産業用プロトコルのサポートを目標としている。

一部の産業用プロトコルは、IEEE TSNが提供する確定的リアルタイム通信機能を必要としないが、IEEE TSNの時刻同期機能 [3] を必要とする。例えば、EtherNet/IPのアプリケーションではタイムスタンプ^{*15}が伝えられるため、送信側および受信側のアプリケーションの時刻が同期している必要がある。

2.2 リアルタイムのメディアアプリケーション

確定性通信の別のユースケースは、リアルタイムのオーディオ／ビデオ、クラウドゲームや、拡張現実 (AR: Augmented Reality)^{*16}、複合現実 (MR: Mixed Reality)^{*17}、仮想現実 (VR: Virtual Reality) など、リアルタイムのメディアアプリケーションである。こうしたアプリケーションにおけるトラフィックには、多くの場合周期性やバーストサイズ^{*18}などにパターンがある。そうしたトラフィックを、遅延やジッタの許容値を超えずに、効率的に伝送し、結合したり再生したりすることが求められる。

産業用アプリケーションとは異なり、こうしたアプリケーションプロトコルは通常UDP (User Datagram Protocol)^{*19}/IPで伝送される。これらのアプリケーションプロトコルは、タイムスタンプを伝えて、リスナーがデータフレームを同期できるようにする。例えば、音響映像制作では、マイクやカメラなど複数のソースからストリームを取得するオーディオ／ビデオミキサーがリスナーの一例である。各データソースは送信するストリームにタイムスタンプ

を加える。リスナーは、受信する複数のストリームの同期をとることができなければならない。つまり、このユースケースでは、各データソースとリスナーで時刻が同期されていなければならない。

今日、時刻同期は、GNSS (Global Navigation Satellite System)^{*20}受信機をデータソースやリスナーの近傍に配備することで提供される。GNSSはタイムソースとして使用され、GNSSの共通参照時刻が、GNSS受信機から通信に参加するアプリケーションに配信される。音響映像制作業界では通常、GNSS受信機とアプリケーションの間の時刻同期に、SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) プロファイル^{*21} [4] を用いたIEEE 1588 PTP (Precision Time Protocol)^{*22}を使用する。

しかしこの手法では、データソースやリスナーが広範囲に点在する場合にGNSS受信機が多数必要となり、またそもそもGNSSの受信は屋内では問題がある。Rel-17では、こうした問題の解消を目指して、5GSがIEEE 1588 PTPをサポートすること、また、5GSをタイムソースとしてより柔軟に用いることができることを目標とした。

3. 5GSとIEEE TSNの統合

Rel-16では、5GSをIEEE TSNネットワークと統合することができる。5GSは、TS23.501 [5] で規定されているように、TSN機能の一部をサポートする仮想IEEE 802.1Qブリッジとしてモデル化される。特に5GSは、時刻を意識したスケジューリングとPSFP (Per-Stream Filtering and Policing)^{*23}をサポートする。

5GSブリッジのIEEE TSN機能は、完全中央制御モデル [1] [6] を使用して、外部のCNCによって

^{*14} フィールドバス：リアルタイム制御に用いられる、独立して発展してきた複数の産業用ネットワーク技術の総称。

^{*15} タイムスタンプ：時刻を示す情報。

^{*16} 拡張現実 (AR)：現実世界を写した映像に、電子的な情報を実際にそこにあるかのように重ねて、ユーザに提示する技術。

^{*17} 複合現実 (MR)：現実世界を写した映像に、電子的な情報を重ねて、ユーザに提示する技術。ARと異なり、自由視点での表示など情報を実際にそこにあるかのように提示する。

^{*18} バーストサイズ：QoSフローごとに設定される、無線アクセスネットワーク内遅延許容値内で送られる最大データ量。

^{*19} UDP：トランスポート層のプロトコルの1つで、送達確認や輻射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。

^{*20} GNSS：全地球航法衛星システム、GPS、GLONASS、Galileoなどを指す。

^{*21} SMPTEプロファイル：IEEE 1588 (PTP (^{*22}参照)) のプロトコルプロファイルの1つであり、SMPTEが仕様化したもの。

^{*22} PTP：ネットワークに接続された装置間で高精度な時刻同期をするためのプロトコル。

管理される。なお、5GSブリッジは、送信元MACアドレス^{*24}およびVLAN ID (Virtual LAN ID)^{*25}の学習やそれに基づく動的フィルタリング^{*26}エントリの更新など、基本的なIEEE 802.1Qブリッジ機能もサポートしている。CNCは、5GSからブリッジ情報（例えば、LLDP (Link Layer Discovery Protocol)^{*27}を介して発見されたポートの数やリンク層トポロジ^{*28}の情報）を読み取り、5GSブリッジに静的フィルタリングエントリ^{*29}を設定することができる。静的フィルタリングエントリは、5GSブリッジ内でのフレームの転送やフィルタリングの規則を規定する。

3.1 アーキテクチャ

5GS内の仮想IEEE 802.1Qブリッジの内部アーキテクチャを図1に示す。

CNCはTSN AF (Application Function)^{*30}を介して5GSと通信する。CNCとTSN AFの間のインタフェースは3GPPで規定されていないが、CNCとTSN AFは、例えば、IEEE 802.1QおよびSNMP (Simple Network Management Protocol)^{*31}で規定されている管理対象オブジェクトを用いて通信できる。TSN AFは、管理対象ブリッジとして5GSをCNCに公開し、CNCと、5GSブリッジの一部であるDS-TT (Device-Side TSN Translator)^{*32}とNW-TT (NetWork-side TSN Translator)^{*33}との間で制御メッセージを配信する役割を担う。

DS-TTはUE (User Equipment)^{*34}と結び付き、NW-TTはUPF (User Plane Function)^{*35}と結びつく。この2つは、5GSのブリッジ機能のほとんど、例えば時刻を意識したスケジューリングやPSFPなどを実装する。1つの5GSは複数の仮想ブリッジを

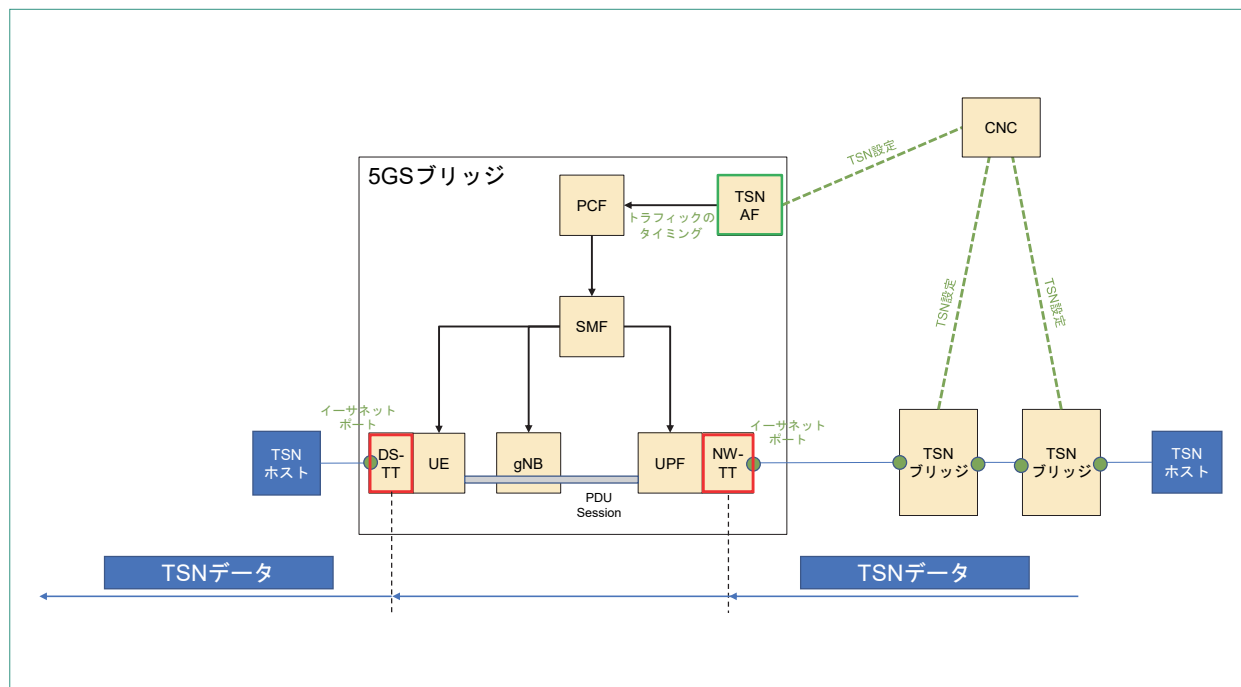


図1 5GSにおけるIEEE TSNのサポート

- *23 PSFP: 受信したデータストリームごとに、フィルタリング、ボリシング、キューイングを行うためのブリッジの機能。
- *24 MACアドレス: 各イーサネットボードに割り振られる、12桁の固有の物理アドレス。
- *25 VLAN ID: VLANは、物理的な接続構成に依存せず、論理的なネットワークを構築することを可能にするイーサネット技術。VLAN IDは、その論理的なネットワークの識別子。
- *26 フィルタリング: 入力されたメッセージを、その後の処理の区別のために、フィルタと照合して、振り分けること。
- *27 LLDP: リンク層発見プロトコル。本プロトコルを用いるエー

ジェントは、隣接装置への接続情報や、隣接装置のポート情報などを取得する。

- *28 トポロジ: 機器の位置関係やネットワーク構成。
- *29 静的フィルタリングエントリ: 1つあるいは一群のMACアドレスを宛先にもつ受信したイーサネットフレームをブリッジのどのポートに出すのかを決める情報のうち、静的であって管理側から設定できるもの。
- *30 TSN AF: 5Gコアネットワークの一部であり、5GSとIEEE TSNネットワークの統合のために、制御プレーントランスレータ機能を提供する。5GSとCNCが協調動作をすることを可能にする。

もつことができ、それぞれの仮想ブリッジは、TSN AF、UPF/NW-TT、複数のDS-TT/UEで構成される。DS-TTとNW-TTはイーサネットポートを外部のネットワークに公開する。DS-TT/UEは、イーサネットタイプのPDU (Protocol Data Unit) Session^{*36}を介してUPFに接続されている。5GSブリッジ内のトラフィックルーティングはイーサネットフレーム^{*37}の宛先MACアドレスとVLAN IDに基づいて実行される。

3.2 ブリッジ遅延と伝搬遅延を読み取る機能

CNCの重要な機能の1つは、5GSブリッジからブリッジ遅延および伝搬遅延を読み取る機能である。ブリッジ遅延とは、データフレームがブリッジ内で入口ポートから出口ポートに通過する際に費やす内部滞留時間である。これは、ポートペアごと、サポートされるトラフィッククラスごとにCNCに示される。伝搬遅延は、5GSブリッジの出口ポートから隣接するデバイスの入口ポートまでの遅延である。5GSブリッジ (DS-TTまたはNW-TT内) の出口ポートはgPTP (generic PTP)^{*38}を使用して伝搬遅延を測定する。TSN AFはこの測定値をCNCに報告する。

3.3 ブリッジ設定の流れ

CNCは、ブリッジ遅延、伝搬遅延、その他のブリッジ情報 (例：リンク層トポロジ) を使用して、ネットワーク内での、TSNストリームに関するスケジューリングや明示的な経路を決定する。CNCは、ネットワークの各ブリッジからブリッジ情報を取得したところで、それらのブリッジを設定する準備が整うこととなる。TSN AFは、CNCから設定情報を受け取ると、対応するDS-TTおよびNW-TTにその情報を配信する。設定にTSNストリームの

PSFP情報が含まれている場合、TSN AFはその情報を使用して、要求5GS遅延、最大バーストサイズ、プライオリティなどのTSC QoS情報を決定する。またTSN AFはPSFP情報を使用して、TSCAC (TSC Assistance Container)^{*39}を決定する。TSCACは、TSNストリームのトラフィックパターン、つまり、UL (Up Link) 方向およびDL (Down Link) 方向のBAT (Burst Arrival Time)^{*40}、および、周期性を定義する。最後に、TSN AFはTSC QoS情報とTSCACをPCF (Policy Control Function)^{*41}に提供する。

SMF (Session Management Function)^{*42}は、PCFが決定したQoS情報を用いて、QoSフロー^{*43}を設定する。SMFは、PCFが転送するTSCACを使用してTSCAI (TSC Assistance Information)^{*44}を導き出し、QoSフロー設定要求とともにgNB (gNodeB)^{*45}に提供する。gNBは、TSCAIを参考に、UL方向の設定グラントやDL方向のセミパーシステントスケジューリング^{*46}など、無線リソース^{*47}を割り当てる。

4. 5GSにおける時刻同期のサポート

4.1 概要

前述したように、通信の確定性を実現するメカニズムの1つは、ネットワークでの時刻を意識したスケジューリングの適用である。このスケジューリングでは、ネットワーク上に複数あるブリッジがそれぞれにもつ時計が、互いに時刻同期していることが必要である。アプリケーショントラフィック内のタイムスタンプも、それらの時計に時刻同期していることが必要である。

時刻同期は通常、PTPを使用してネットワーク内でグランドマスタ (GM: Grand Master)^{*48}から他のクロックにタイムスタンプを配信することで行

^{*31} SNMP: IPネットワーク上のネットワーク機器を監視・制御するための情報の通信方法を定めるプロトコル。

^{*32} DS-TT: デバイス側のTSNトランスレータ。UEの背後の相互接続デバイスに向けたTSNの入口ポートと出口ポートおよびPTPポートを提供する。

^{*33} NW-TT: ネットワーク側のTSNトランスレータ。データネットワーク (DN: Data Network) の相互接続デバイスに向けたTSNの入口ポートと出口ポートおよびPTPポートを提供する。

^{*34} UE: ユーザ端末。3GPP仕様向け無線インタフェースを介したネットワークサービスへのユーザアクセスを可能にする。

^{*35} UPF: 5Gコアネットワーク内のユーザデータの送受信処理機能。

^{*36} PDU Session: UEとデータネットワークの間の論理接続。

^{*37} イーサネットフレーム: イーサネットLANの通信を行う際に使用するデータのフォーマット。

^{*38} gPTP: IEEE 1588 (PTP) のプロトコルプロファイルの1つであり、IEEE 802.1ASで規格化されたもの。

^{*39} TSCAC: TSNストリームのUL方向およびDL方向のBAT (^{*40}参照)、および、周期性を定義する情報。TSN AFあるいはTSCTSF (^{*63}参照) からSMF (^{*42}参照) に通知される。

われる。PTPを用いるにあたり、IEEE 1588では、イーサネットやUDP/IPv4 (IP version 4)^{*49}またはUDP/IPv6^{*50}を含む複数のトランスポートプロトコルが使えるとしている。IEEE TSN仕様の時刻同期は、IEEE 802.1ASで規定されているgPTPによって提供される。gPTPは、PTPのプロトコルプロファイルの1つであって、IEEE 802.1Qブリッジで実装できるイーサネットをトランスポートに使用する。

4.2 Rel-16/17における

(g) PTPメッセージの処理

Rel-16は、外部IEEE TSNネットワークとの統合をサポートしており、時刻同期に関してgPTPをサポートしている。5GSを外部IEEE TSNネットワークと統合すると、5GSはPTPリレー [3]^{*51}として動作する。DS-TTとNW-TTはPTPリレーのPTPポー

トを実装し、イーサネットポートを外部IEEE TSNネットワークに公開する。この場合、イーサネットタイプのPDU SessionがDS-TT/UEとUPF/NW-TTの間で使用される。

Rel-17ではIEEE TSNを統合しない網構成のサポートが追加されている。この場合、5GSは境界クロック^{*52} [2] か、エンドツーエンドまたはピアツーピアの透過クロック^{*53} [2] として動作し、PTPメッセージはIPタイプのPDU Sessionを使用して直接UDP/IP上で伝えることができる。

PTPのプロトコルプロファイルとして、イーサネット上で動作するgPTPを用いる場合でも、UDP/IP上で動作する他のプロトコルプロファイル (e.g. SMPTEプロファイル) を用いる場合でも、5GS内のgPTPあるいはPTPのメッセージは、NW-TTおよびDS-TTが同様に処理する。詳細を、図2を用い

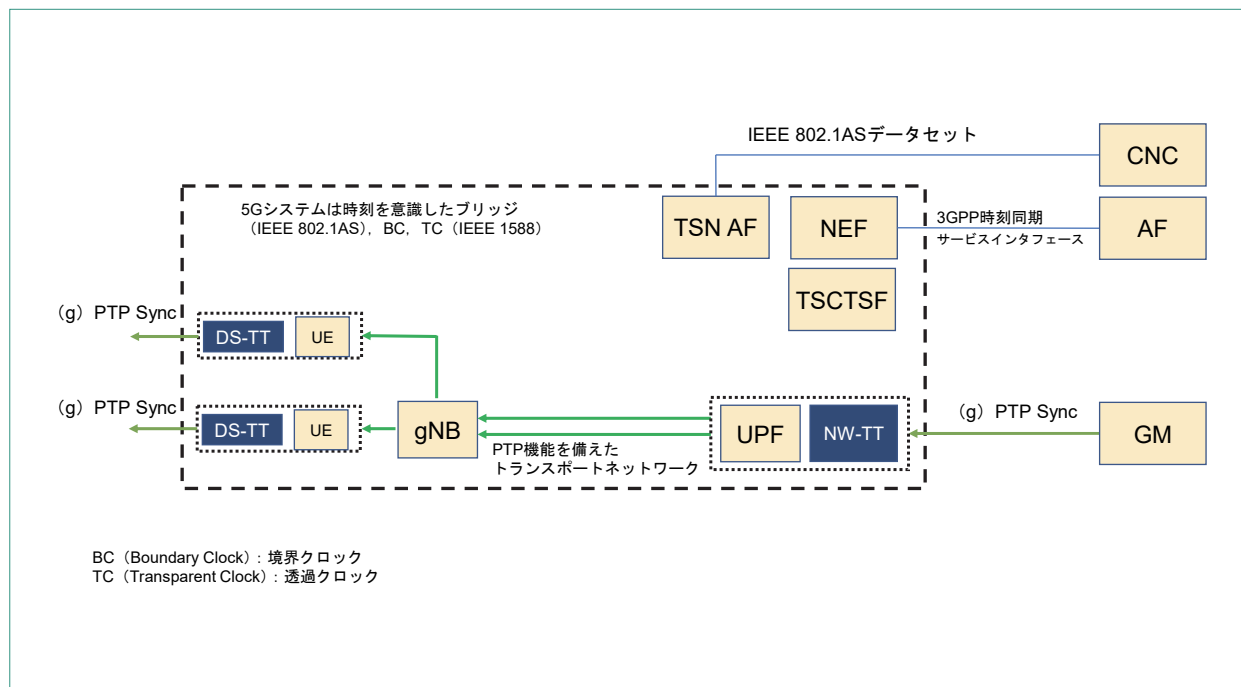


図2 5GSにおける時刻同期のサポート

*40 BAT : データバーストが到着する時刻。TSCACで用いられる場合は、UL方向ではDS-TT、DL方向ではNW-TTへの到着時刻であり、TSCAI (*44参照) で用いられる場合は、UL方向ではUE、DL方向ではgNBへの到着時刻である。

*41 PCF : QoSやポリシーを決定しSMF (*42参照) に提供する5Gコアネットワーク内の機能。

*42 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。

*43 QoSフロー : 5GSのQoS転送処理における最も細かい粒度。

*44 TSCAI : QoSフローのUL方向およびDL方向のBAT、および、

周期性を定義する情報。SMFからgNBに通知される。

*45 gNB : 5Gの無線方式に対応した無線基地局。

*46 セミパーステントスケジューリング : gNBが端末にあらかじめ周期的にDL無線リソースを割り当てておくこと。

*47 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。ここでは、ユーザごとに通信のため割り当てられる時間および周波数。

*48 グランドマスタ (GM) : ほかの時計が同期を取る対象となる時刻情報を提供する時計。

で解説する。なお、図中あるいは以下の解説で (g) PTPと示す場合、gPTPあるいはPTPを指すとする。

(1) GMの位置とPTPポート状態

Rel-16では、5GSは、N6^{*54}インタフェースに接続する外部ネットワークにあるGM、および、NW-TT内部のGMをサポートしている。ブリッジ外にPTPメッセージを送るPTPポートはマスタ状態、ブリッジ外からPTPメッセージを受けて処理するPTPポートはスレーブ状態であることから、つまり、NW-TTのPTPポートは、外部GMの場合はスレーブ状態、内部GMの場合はマスタ状態となり、DS-TTのPTPポートは常にマスタ状態である。Rel-17はDS-TTに接続する外部ネットワークにあるGMもサポートしており、従ってDS-TTのPTPポートもスレーブ状態となる場合がある。

Rel-16では、DS-TTやNW-TTのPTPポート状態は、5GSでローカルに事前設定する必要がある。Rel-17は、そういった事前設定に加えて、BMCA (Best Master Clock Algorithm)^{*55}もサポートしている。BMCAは、ネットワークの最適なGMを選択し、PTPポートの状態を適切な方法で自動的に構成する手順である。

(2) 内部滞留時間の測定

時間情報の誤差を引き起こす重要な原因の1つは、(g) PTP Syncメッセージ^{*56}を入口ポートから出口ポートに配信する際にブリッジ内で費やされる内部滞留時間であると考えられる。ここで、入口ポートおよび出口ポートは、DS-TTポートあるいはNW-TTポートである。内部滞留時間の考慮は、(g) PTP SyncメッセージがgNBとUEの間の無線インタフェースを越える必要があり、そのためメッセージが比較的大きく遅延する5GSでは特に重要である。内部滞留時間を考慮するために、入口ポートは、(g) PTP Syncメッセージを5GSユーザプレーン^{*57}

を介して出口ポートに送信する前に、メッセージに受信時刻のタイムスタンプを追加する。出口ポートでは、タイムスタンプを使用して内部滞留時間を計算し、それを (g) PTP Syncメッセージに追加した上で、5GS外に送出する。

内部滞留時間を正確に測定するには、DS-TT/UE、gNB、UPFの内部参照クロックが同期していることが必要である。これは、gNBとUPFの間に、PTPのテレコムプロファイル^{*58} (ITU-T G.8265.1など) をサポートするトランスポートネットワーク^{*59}を配備する、あるいは、ローカルGNSSをgNBおよびUPFのタイムソースとして使用することで実現できる。gNBは、TS38.331 [7] で定義されているブロードキャストまたはユニキャストRRC (Radio Resource Control) シグナリング^{*60}を介して、gNBの内部参照クロックをDS-TT/UEに配信する。ここで配信される時刻はgNBが送信した時刻を示すため、UEは、正しい時刻を得るために、gNBとUEの間の伝搬遅延を加える必要がある。Rel-16では、UEは、自身が測定するタイミングアドバンス^{*61}を流用し、gNBから受け取る5G参照時刻をローカルに修正する。

(3) 伝搬遅延を考慮した修正の正確さの向上

伝搬遅延を考慮した修正の正確さは、Rel-17で向上している。Rel-17では、gNBは、自身で送受信時間差を計測してUEに提供し、UEは、自身で送受信時間差を計測する。その後、UEは、2つの送受信時間差を用いて、伝搬遅延を計算する。

(4) ブリッジ内外のクロックの進み方の違いを考慮した内部滞留時間の調整

GMが5GSの外部にある場合、5GSの内部クロックと外部のGMは同期されない。これはつまり、これら2つのクロックの間で時間の進み方に違いがある可能性があるため、測定された5GSブリッジの内

^{*49} IPv4：現状のインターネットで利用されているインターネットプロトコル。アドレス資源を32bitで管理している。

^{*50} 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。

^{*51} PTPリレー：PTPでプロファイルの1つであるgPTPを用いる場合の、高精度な時刻同期をするための装置。

^{*52} 境界クロック：GMとなり他のクロックに時刻情報を提供する能力のあるクロック。

^{*53} 透過クロック：内部滞留時間を測定し、PTP関連メッセージに

書き込んで転送することのできる装置。

^{*54} N6：UPFとDNの間の参照点。

^{*55} BMCA：ネットワーク内の最適なGMを選択し、各PTPポートの状態を自動的に構成する手順。

^{*56} Syncメッセージ：PTPプロトコルで時刻同期を行うために交換されるメッセージ。

^{*57} 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。

^{*58} テレコムプロファイル：PTPのプロファイルの1つ。主に公衆網のトランスポートネットワークで用いられる。

部滞留時間は調整する必要がある。DS-TTとNW-TTのPTPポートが、自身が依存する時計すなわち5GSの内部クロックと外部のGMとの間の時間の進み方の比を測定し、5GSの内部クロックで測定された内部滞留時間をその比率により調整する。

(5)PTPインスタンスの遠隔設定

Rel-17は、DS-TTおよびNW-TTにおけるPTPインスタンス^{*62}の遠隔設定をサポートしている。

5GSを外部IEEE TSNネットワークと統合した場合、5GSのPTPインスタンスはTSN AFによって管理される。TSN AFから外部コントローラに至る実際のインタフェースは3GPPで規定されていないが、例えばIEEE 802.1ASおよびSNMPで規定されているデータモデルが使用可能である。

IEEE TSNを統合しない網構成では、TSCTSF (TSC Time Synchronization Function)^{*63}がTSN AFの役割を果たして、5GSのPTPインスタンスを管理する (図2)。この網構成の場合、Rel-17では、TS 29.522 [8] で規定されているように、外部AFが、NEF (Network Exposure Function)^{*64}およびTSCTSFを介して5GSのPTPインスタンスを制御する、3GPP固有のサービスインタフェースも定義している。このようにして、外部AFは、例えばPTPドメイン番号、PTPインスタンス種別 (PTPリレー、境界クロック、透過クロック)、PTPプロファイル (SMPTEなど)、トランスポートプロトコル^{*65}、GMが5GSに存在する場合の (g) PTP Syncメッセージ伝送間隔などを、NW-TTおよびDS-TTに設定することができる。また外部AFは、サービスインタフェースを使用してgNBを設定し、5GS内部参照クロックを一群のUEに配信することもできる。この場合、5GSは (g) PTP Syncメッセージを生成しない。代わりに、UEが、実装依存の手法で、自身を利用するアプリケーションに5GS参照

時刻を配信する。

5. IEEE TSNによらない網構成における確定性通信のサポート

Rel-17では、IEEE TSNによらない網構成、つまり外部ネットワークにブリッジを制御するCNCがない場合でも、5GSで確定性通信をサポートできる。この場合、5GSは仮想IEEE 802.1Qブリッジとしてモデル化されず、IPタイプまたはイーサネットタイプの複数のPDU Sessionのセットとして動作する。そのような網構成で確定性通信をサポートする場合の5GSの内部アーキテクチャを図3に示す。

外部のAFは、TS29.522 [8] で規定されているサービスインタフェースを介して、PDU SessionのQoS情報を5GSに提供できる。

イーサネットタイプのPDU Sessionの場合、UPFがUEからイーサネットフレームを受信すると、そのイーサネットフレームの送信元MACアドレスがPDU Sessionに関係付けられる。IPタイプの場合、PDU Sessionは、ネットワークがUEに割り当てたIPアドレスに関係付けられる。

AFは、イーサネットタイプのPDU Sessionに関連付けられているMACアドレスまたはIPタイプのPDU SessionのIPアドレスをNEFに示すことによって、要求メッセージを特定のPDU Session向けとすることができる。

AFから5GSへの要求メッセージは、要求するQoSパラメータ (要求5GS遅延、保証ビットレート、最大ビットレート、最大パーストサイズなど)、および、トラフィックとの照合に使用するトラフィックフィルタのフロー記述 (IPタブル^{*66}またはイーサネットフレームのプライオリティの値など) を含む。AFから5GSへの要求メッセージは、トラ

^{*59} 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。

^{*60} RRCシグナリング：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。

^{*61} タイミングアドバンス：ULフレームの端末からの送信タイミングをDLフレームの端末での受信タイミングと比較して早めるための値。

^{*62} PTPインスタンス：必要な設定がされた、PTPを処理する実体。

^{*63} TSCTSF：時刻に敏感な通信および時刻同期のためのネット

ワーク機能。5GSがIEEE TSNと統合されていない網構成において5GSの時刻同期および確定性通信サービスを管理する。

^{*64} NEF：機能やイベントをサードパーティーのAFなどに向けて公開できるようにする機能。

^{*65} トランスポートプロトコル：トランスポート層で用いるプロトコル。インターネットにおける主なトランスポートプロトコルとしては、コネクション型のTCP (Transmission Control Protocol) と、コネクション・レス型のUDPがある。

^{*66} IPタブル：送信元IPアドレス、送信元ポート番号、宛先IPアドレス、宛先ポート番号、プロトコル番号。

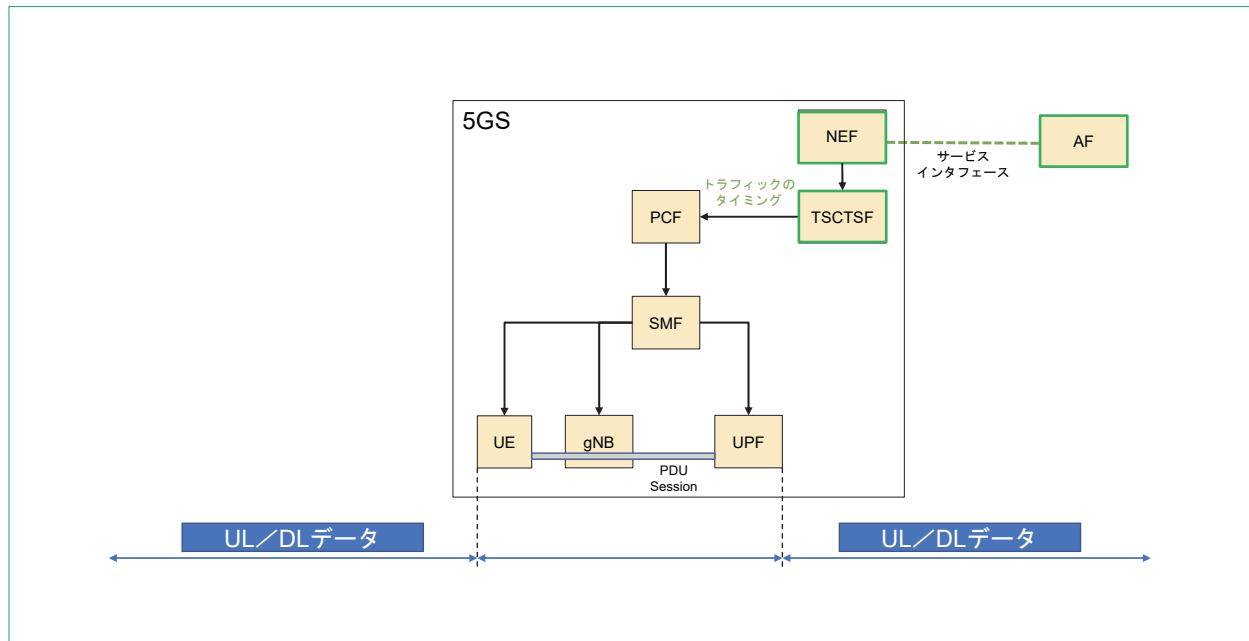


図3 IEEE TSNを統合しない確定性通信のサポート

フィックパターン（UL方向およびDL方向のBAT、周期性）を説明する属性を含む場合もある。QoS要求はNEFを介してTSCTSFに送信され、TSCTSFはPDU Sessionを管理しているPCFを呼び出す。PCFは、前述の説明と類似の方法で、SMFに対してディレイクリティカルGBR（Guaranteed Bit Rate）^{*67} QoSフローを設定するよう指示する。AFによってトラフィックパターンが提供された場合は、SMFはTSCTSFを決定してgNBに提供する。アプリケーショントラフィックフローが周期的で、アプリケーションが時刻同期を要求する場合は、AFは時刻同期サービスインタフェースを介してPDU Sessionに対して時刻同期を起動することもできる。

6. あとがき

本稿では、Rel-16およびRel-17で規定されている

確定性通信および時刻同期をサポートする5GSの手順の概要について解説した。Rel-16の規定により、5GSは産業用アプリケーション向けの主要なIEEE TSN機能をサポートすることができる。さらにRel-17では、5GSは、IEEE TSNを統合しない網構成におけるIPベースの確定性通信および時刻同期をサポートしている。今後は、IETF（Internet Engineering Task Force）DetNet^{*68}もサポートし、加えて、低遅延性向上を目途として、5GSとトランスポートネットワークとの連携強化およびRANとAF間のスケジューリング連携に取り組む予定である。

文 献

- [1] IEEE Std 802.1Qcc-2018: “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Bridges and Bridged Networks - Amendment: Stream Reservation Protocol (SRP) Enhancements and Performance Improvements,” Oct. 2018.

^{*67} ディレイクリティカルGBR：QoSフローのリソース種別の1つ。遅延要求の厳しいQoSフローをサポートすることを目的に導入された。GBRで指定する属性に加え、最大データバースト量（MDBV：Maximum Data Burst Volume）も指定する。

^{*68} IETF DetNet：IETFで検討されている確定性通信の仕様。

- [2] IEEE Std 802.1AS-2020 : “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications,” Jun. 2020.
- [3] IEEE Std 1588-2008 : “IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems,” Jul. 2008.
- [4] SMPTE ST 2059-2 : 2015 : “SMPTE Standard - SMPTE Profile for Use of IEEE-1588 Precision Time Protocol in Professional Broadcast Applications,” Apr. 2015.
- [5] 3GPP TS23.501 V17.5.0 : “System architecture for the 5G System (5GS) ; Stage 2,” Jun. 2022.
- [6] IEEE Std 802.1Q-2018 : “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Bridges and Bridged Networks,” Sep. 2018.
- [7] 3GPP TS 38.331 V17.1.0 : “NR ; Radio Resource Control (RRC) ; Protocol Specification,” Jun. 2022.
- [8] 3GPP TS 29.522 V17.6.0 : “5G System ; Network Exposure Function Northbound APIs ; Stage 3,” Jun. 2022.

ローカル5Gを活用した閉域ネットワークによる離島発電所での巡視点検ロボット運用の実現

九州支社法人営業部 立川 順一^{たちかわ じゅんいち} 倉本 佑太^{くらもと ゆうた} 時津 賢一^{ときつ けんいち} 松坂 信^{まつざか まこと} 坂本 光弘^{さかもと みつひろ} 直塚 浩二^{なおつか こうじ}

ドコモは、総務省の「令和3年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」の公募に対し、ローカル5Gを用いた課題解決の具体的事例を開拓するため「ローカル5Gを活用した閉域ネットワークによる離島発電所での巡視点検ロボット運用の実現」を提案し、採択された。本稿では、採択を受け実施した実証実験について解説する。

なお本実証実験は、株式会社正興電機製作所を代表機関とした、九州電力送配電株式会社、西日本技術開発株式会社およびドコモの4社がコンソーシアムを組み、実施された。

1. まえがき

現在、電力分野においては「構成する設備の高齢化や電気保安人材の高齢化・不足といった課題」、そして再生可能エネルギー業者などの参入により「産業構造の変化に伴う課題」に直面している。また、近年大型台風や豪雨などの自然災害の激甚化や、新型コロナウイルス感染症への対策を行いつつながらの電力の安定供給の実現などの「外部環境に起因する課題」も多く出現している。電力は社会活動の基盤となる重要インフラであり、その安定供給に必要不可欠である保安作業についても安定性と効率性の向上および高度化を図っていくことが必要である。

ドコモでは、5Gの活用による社会課題解決を目指し、さまざまなユースケースの実現に取り組んでいる。その取組みの一環として、総務省の「令和3

年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」の公募に対し、「ローカル5Gを活用した閉域ネットワークによる離島発電所での巡視点検ロボット運用の実現」[1]を提案し、採択された。本稿では、採択を受け実施した実証実験について解説する。

なお、本実証実験は株式会社正興電機製作所を代表機関とした、九州電力送配電株式会社、西日本技術開発株式会社およびドコモの4社がコンソーシアムを組み、実施した。

2. 実証実験の背景

2.1 発電設備を取り巻く課題

内燃力発電所を含む火力発電所においては、再生可能エネルギーの導入拡大、脱炭素化への潮流、発

©2022 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。

電・送電分野の分離などさまざまな要因に伴い、老朽化が顕在しつつある。九州電力管内の火力発電設備の経年別台数を図1に示す。保有発電設備のほぼ半数が運用開始後30年を超える高経年機となりつつある。

併せて、当該設備の運用、メンテナンスを行うための電気保安人材の高齢化や減少も避けられない状況である。

電力の安定供給のためには、現在電力業界が置かれている環境において引き続き火力発電設備の維持が必要不可欠であるため、これらの課題について一層の対策が必要となっている。

2.2 九州の離島の概要

九州は、その地理的特性から大小さまざまな離島を抱えている。有人島内の電力供給は、その地理的特性から内燃力（ディーゼル機関設備）、水力、太陽光、風力などが中心となっているが、建設期間の短さ、電力調整力の高さといったメリットから、島内発電設備容量のうち内燃力発電所が占める割合は

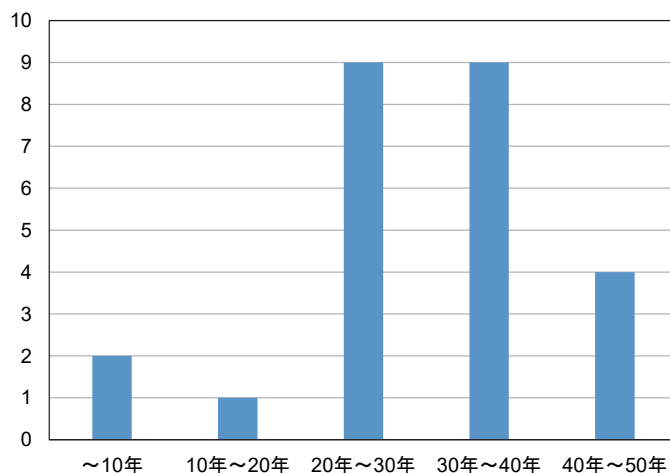
非常に大きい。設備容量ベースでは全国の内燃力発電設備の約50%が九州管内に集中している。

また、昨今島内における再生可能エネルギー電源の増加に伴い、系統電力調整のためのディーゼル機関の低出力運転や機関の運転・停止回数の増加によるトラブルの増加、このほか、屋外プラント^{*1}機器の老朽化の進展も漏油など重大なトラブルに繋がる危険性を秘めている。発電設備のトラブルの中でも漏油・漏水は設備停止に繋がる事象であり、早期検知が保安上重要となる。

このような状況から内燃力発電所運転保安員は2名×3直の勤務体系で日常巡視点検、運用調整業務、不具合対応などを行っている。発電所での巡視点検の様子を写真1に示す。

3. 本実証実験の概要

長崎県壱岐市（壱岐島）の新壱岐発電所において、ローカル5Gなどの電波伝搬特性^{*2}・性能評価といった技術実証、およびディーゼル発電設備の巡視



出典：九州電力ホームページより

図1 九州電力管内の火力発電設備の経年別台数

*1 屋外プラント：燃料供給設備、冷却水供給設備など、発電に必要な発電機設備以外の外部設備を指す。

*2 電波伝搬特性：実証環境における伝搬損失などの特性を指す。

を流れるデータ量を最小限とした。

3.1 ライン方式のハイパースペクトルカメラの活用

漏油・漏水検知にあたり、複数の油・水を種類ごとに判別するためには、一般的な画像認識では難しく、波長データ（分光データ^{*3}）を用いた検知が有効である。特に黒色の油、透明の水を検知するためには精緻な波長データが必要となり、ピクセルごとに、数十～数百バンド^{*4}の波長情報を取得することができる「ハイパースペクトルカメラ」を選定した。人間の目やRGBカメラでは評価困難な物性の違いを可視化して評価することができるため、判別が難しい油や水の検知が期待できる。

本実証で撮影対象となるディーゼル機関は、片面高さ約2m×横幅約10mと非常に大きく複雑な機構となっている。そのため、検知にあたっては広範囲かつ、高い精度が要件として求められる。その要件を満たすべく、巡視点検ロボットと、より高い精度をもつライン方式^{*5}のハイパースペクトルカメラを

組み合わせた。ライン方式のカメラは通常固定設置で利用され、食品などのライン生産の検査において使用されることが多い。本実証では、巡視点検ロボット側にカメラを固定設置し、安定した等速走行で撮影することにより、ディーゼルエンジン全体の撮影を実現することができた。

検知対象となる油・水を図3、巡視点検ロボットにて漏油・漏水を検知する様子を写真2に示す。

3.2 ローカル5Gを活用した通信

ハイパースペクトルカメラでの撮影においては、送信されるデータ容量が膨大になるため、巡視点検ロボットに搭載されたスペクトル解析用PCにより油と水の検知が可能なサイズのキューブデータ形式^{*6}に変換させることで通信の安定性を向上させた。その上で、ローカル5Gを利用してdocomo MECにアップロードした。ローカル5G～クラウド間で送信できる通信容量は、撮影データを50Mbpsと想定し実証を行った。

ローカル5Gアンテナ・アンテナユニット装置は、



図3 検知対象となる油・水

^{*3} 分光データ：光を波長に分割し取得したデータを指す。物質の成分や特性を定量的・定性的に分析・同定する事に利用される。

^{*4} バンド：電波の周波数帯。ハイパースペクトルカメラは100バンド以上の波長情報を取得することができる（RGBカメラは3バンド、マルチスペクトルカメラは10バンド程度）。

^{*5} ライン方式：カメラまたは対象物のどちらかを一定の速度で移動させ、合成することでデータ取得が完了する撮影方式。

^{*6} キューブデータ形式：分光データを画像の位置情報と波長情報で合成するデータ形式のこと。

既設監視カメラの架台へ取り付け、発電機室内をカバーするようにした（写真3）。

3.3 閉域ネットワークの構築

本実証場所となる壱岐島と遠隔監視を行う福岡で閉域ネットワークを構築するため、ローカル5Gとdocomo MECを専用線（広域イーサ）で接続し、福岡からはMECダイレクト^{*7}にてdocomo MECに接続した。この構成は全国初の試みであり、インターネットを介することなく高いセキュリティを確

保したまま、全国からローカル5G環境へのアクセスが可能となった。

本実証で使用したシステム構成を図4に示す。

3.4 実証実験結果

本実証実験の結果は以下のとおりである。

- ・漏油においては床面に20cm以上広がっていれば100%検知した。
- ・漏水においては床面に10cm以上広がっていれば100%検知した。

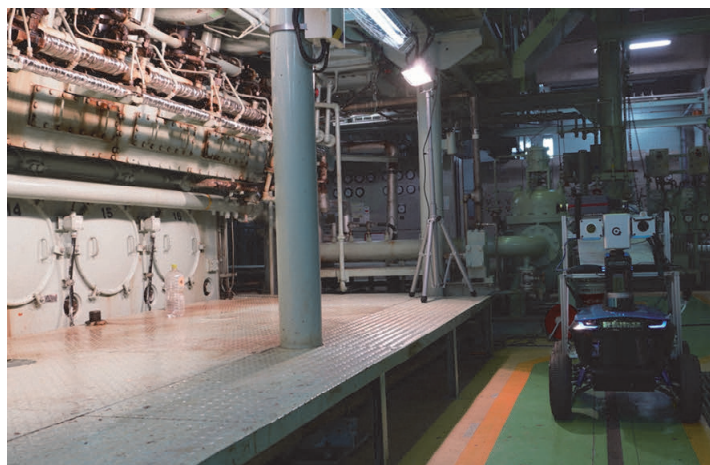


写真2 巡視点検ロボットにて漏油・漏水を検知する様子

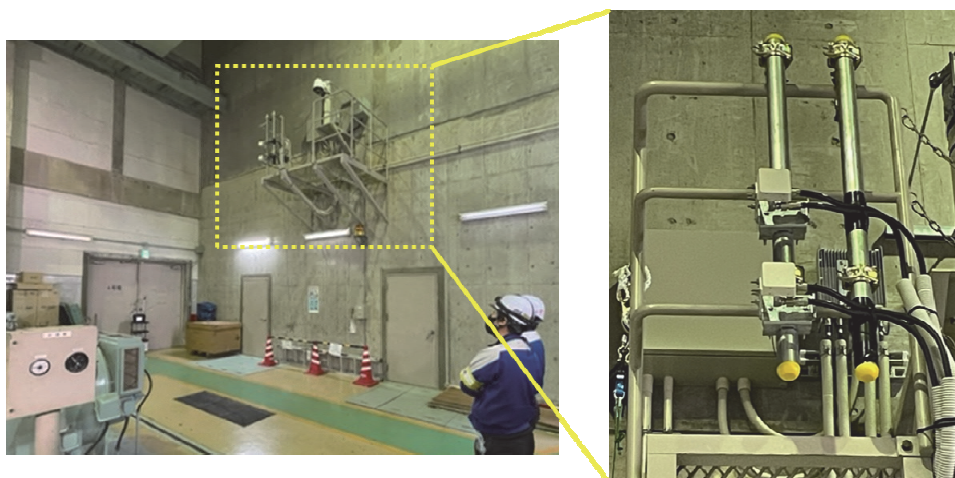


写真3 ローカル5G アンテナ設置場所

^{*7} MECダイレクト：ドコモの5G回線においてインターネットから分離された閉域通信を提供するサービス。

異常検知カラーマッピングを図5、漏油・漏水検知の流れを図6に示す。

破損などで漏油・漏水が発生した場合は20cmを

を超える量が漏れるため、この結果により、重大なインシデントについては作業員の代替として本システムを活用することができ、当該作業における作業員の

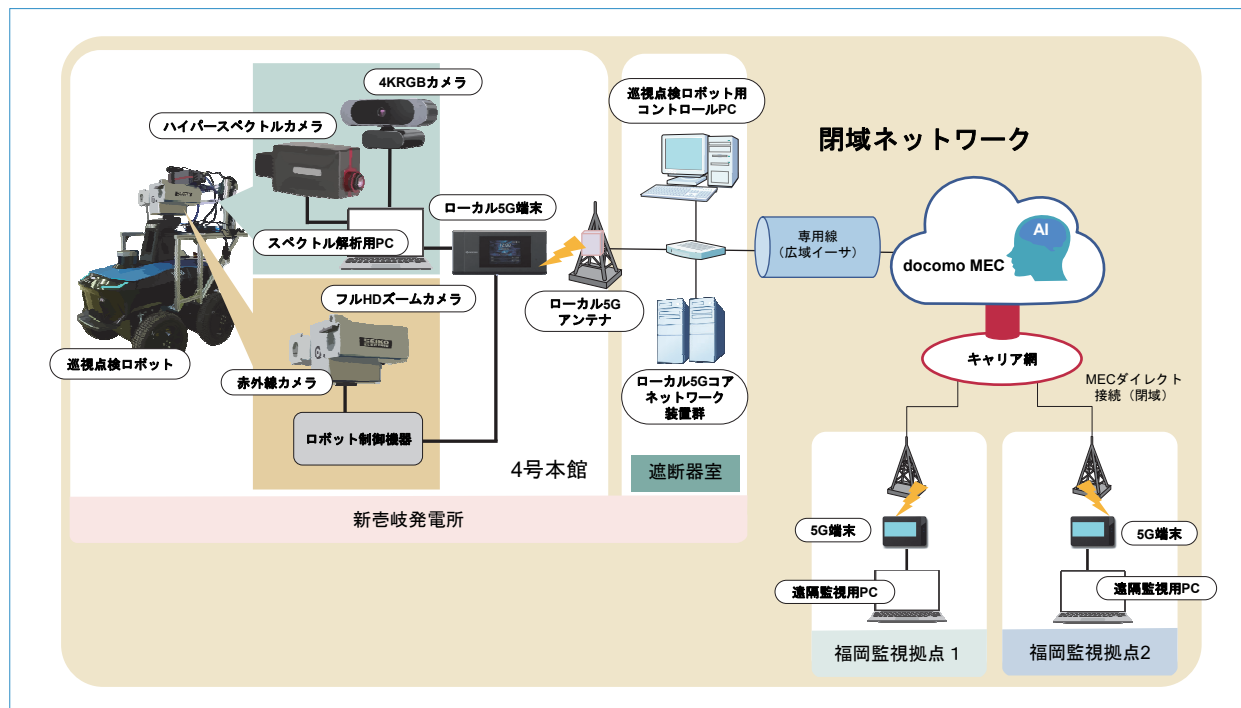


図4 システム構成図

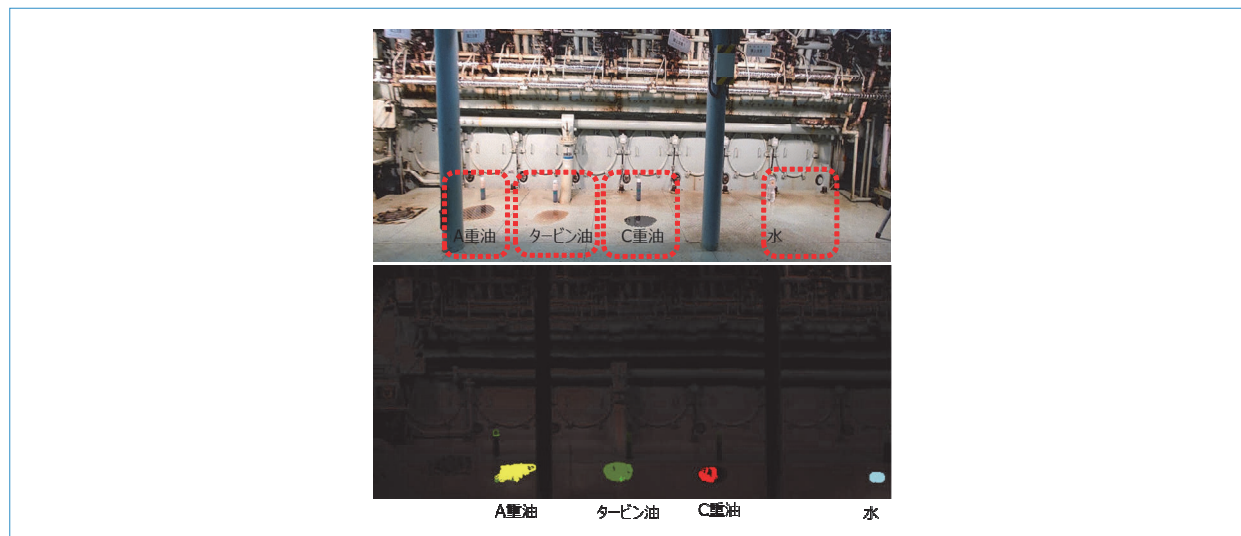


図5 異常検知カラーマッピング (検知可パターン)

稼働削減に繋がることが確認できた。

3.5 巡視点検ロボットの遠隔操作手法の検証

作業員による遠隔監視を想定し、新壱岐発電所から約65km離れた福岡県古賀市にある株式会社正興電機製作所の古賀事業所から、巡視点検ロボットの

走行開始／停止操作、可視カメラ・赤外線カメラの操作を行う検証を実施した。発電所内での巡視点検ロボットは低速で走行するため、遠隔操作においては多少の遅延が発生したが支障が出ない範囲に収まった。巡視点検ロボットの遠隔操作の様子を写真4に示す。

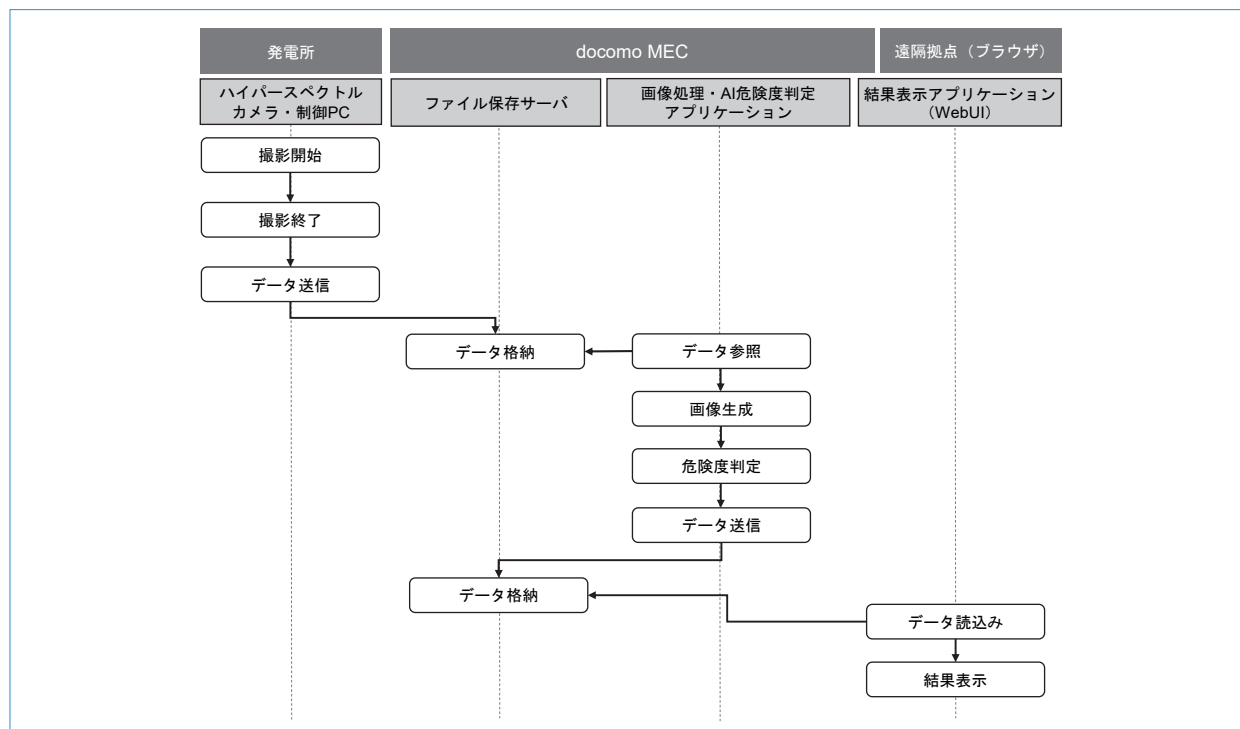


図6 漏油・漏水検知の流れ



写真4 巡視点検ロボットの遠隔操作の様子

4. あとがき

本稿では、「ローカル5Gを活用した閉域ネットワークによる離島発電所での巡視点検ロボット運用の実現」について解説した。今回の実証により、内燃力発電設備において、ローカル5G、ハイパースペクトルカメラによる巡視点検、および漏油・漏水の検知手法の有効性が確認できた。大型プラント設

備や工場などの分野への応用も期待できる。今後は大型プラント設備や工場などの分野への適用を進めていきたい。

文 献

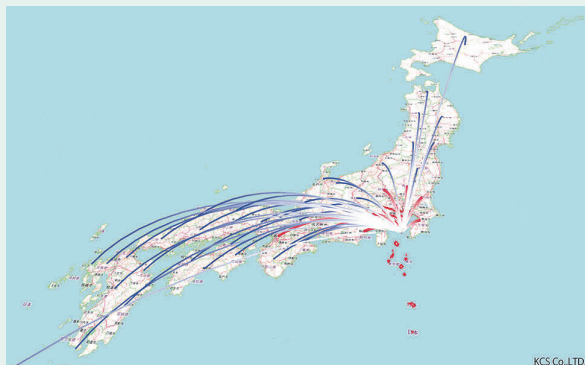
- [1] 総務省：“令和3年度ローカル5G開発実証報告書.”
<https://go5g.go.jp/carrier/令和3年度ローカル5g開発実証報告書/>

2021年度情報処理学会「業績賞」受賞

2022年6月7日に一般社団法人情報処理学会より、サービスイノベーション部の池田 大造[†]は法政大学（東京大学兼務）の今井 龍一氏，国土交通省の重高 浩一氏，新階 寛恭氏，関谷 浩孝氏とともに、「公的統計として活用できる日本最大級の交通ビッグデータ：人口流動統計の開発と実用化」の功績により業績賞を受賞しました。

業績賞は産業界における顕著な業績を顕彰するため、平成13年度に新設され、情報技術に関する新しい発明、新しい機器や方式の開発・改良、あるいは事業化プロジェクトの推進において、顕著な業績をあげ、産業分野への貢献が明確になったものに対して贈られるものです。

業績賞受賞の対象となった人口流動統計は、携帯電話ネットワークの運用データに基づき生成された、エリア間の移動実態を日本全域で24時間365日にわたり把握できる国内最大規模の交通ビッグデータであり、交通総量、移動経路・手段別の交通量推計が可能です。通信業界と土木業界の技術を融合し、業界をまたぐ産学官の連携により創出された世界でも先駆的なイノベーションです。行政機関や民間企業において交通にかかわる統計調査、まちづくり、交通計画、防災計画、観光分野やマーケティングなど幅広い産業界にわたり数多く活用されており、その有用性が高く評価されていることから今回の受賞

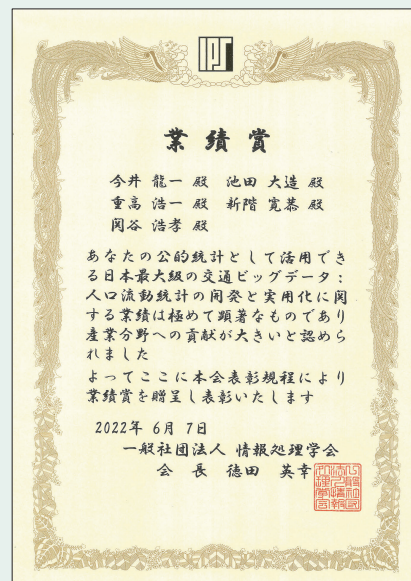


人口流動統計の出力イメージ

となりました。公的統計であるパーソントリップ調査では、アンケート調査を補完する交通ビッグデータとして初めて活用され、全国からの流入人口の実態が初めて明らかになりました。国土交通省都市局と連携して作成したビッグデータ利用の手引きが公開されており、地方公共団体が活用しやすい環境も構築しています。関連する取組みが内閣官房の「新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言による人口変動分析」などでも活用されています。

[†] 現在、日本電信電話株式会社

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。



2021年度情報処理学会フェロー称号受贈

クロステック開発部の寺田 雅之は、2022年6月7日付で情報処理学会よりフェローの称号を受贈しました。

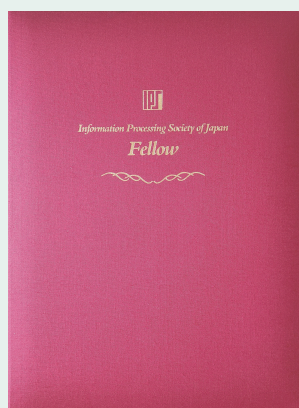
本称号は情報処理学会への貢献が大きく、かつ学問・技術または関連する事業に関して功績が認められた者に対して贈呈されるものです。2021年度は18名がフェローの称号を贈呈されました。

本贈呈は、「プライバシー保護技術を活用した大規模統計データの実用化と社会課題の解決」の貢献が認められたものです。寺田は、統計データにおけるプライバシー保護の問題を中心として、データの有用性とプライバシーの安全性を両立させるプライ

バシー保護技術の確立と実用化に精力的に貢献しました。

特に、差分プライバシーに基づく大規模統計データへの実用的なプライバシー保護技術の確立に関する一連の研究成果は、ドコモの「モバイル空間統計」にて実用化され、帰宅困難者対策などの防災計画、観光振興やまちづくりなどの地域活性化、商圈分析などのビジネスオペレーションの最適化などに広く活用されており、顕著な業績と認められ、今回の贈呈に繋がりました。

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。



第33回電波功績賞「総務大臣表彰」受賞

2022年6月28日に第33回電波功績賞が発表され、常務執行役員 ネットワーク本部長の小林 宏が代表となり、ソフトバンク株式会社、KDDI株式会社と連名で「5G SA方式の開発とサービスの実用化」の功績により、それぞれ「総務大臣表彰」を受賞しました。

電波功績賞は、一般社団法人電波産業会（ARIB：Association of Radio Industries and Businesses）により、電波の有効利用に関する調査、研究、開発において画期的かつ具体的な成果をあげた者、あるいは電波を有効利用した新しい電波利用システムの実用化に著しく貢献した者に対して授与されるものです。

5Gには高速大容量化のみならず低遅延化や信頼性の向上、大量のデバイスとの接続など、多様なニーズを満たす社会インフラとしての機能が求められており、このような要求を満たすためには、ネットワークをより柔軟に構築できるアーキテクチャが必要となります。今回受賞した「5G SA方式の開発とサービスの実用化」は、将来的にはEnd to Endのネットワークスライシングを実現し、ユーザーの多様なニーズに応じたネットワーク性能を柔軟に提供可能とすることが評価されました。

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。



電子情報通信学会 2021年度 「通信ソサイエティ論文賞」受賞

2022年5月11日に一般社団法人電子情報通信学会通信ソサイエティより、ネットワークイノベーション研究所（現、6G-IOWN推進部）の奥山 達樹、野中 信秀^{†1}、須山 聡、奥村 幸彦^{†2}、浅井 孝浩が、共著英文論文「Base Station Cooperation Technologies Using 28 GHz-Band Digital Beamforming in High-Mobility Environments」に対する2021年度通信ソサイエティ論文賞のBest Paper Awardを受賞しました。本賞は、2020年10月から2021年9月までの1年間に電子情報通信学会通信ソサイエティの英文論文誌に掲載された論文の中で特に優秀と認められた論文に与えられるものです。

受賞の対象となった論文は、今後の5Gシステムの普及・発展において多様な環境下でミリ波帯の有効利用を促進するため、ミリ波帯（28GHz帯）を用いる5Gシステムの性能向上に向けた新技術として、複数の基地局を連携させることにより広範囲でのエリア構築を実現しつつ、さらに、複数の端末が高速移動する環境において高速データ伝送を実現できるミリ波帯基地局連携技術を提案しています。具体的には、送信プリコーディングを含むフルデジタルビームフォーミングを搭載したMassive MIMOアンテナユニットにより構成されるミリ波帯基地局を、複数協調させて動作させる基地局連携アルゴリズム

μ^{*1}を考案し、計算機シミュレーションでその性能を明らかにしています。加えて、試作装置によるフィールド走行実験を行い、最大時速120kmで移動する端末と2つのMassive MIMOアンテナユニット搭載基地局との間で同時接続・連携動作させた状態で高速データ伝送に成功した結果に基づいて当該技術の有効性を論じています。

これらの本論文の内容は、セル端においても高いスループットを示しておりシステムとしての性能が高いこと、計算機シミュレーションに加えて実証実験による提案方式の有効性を確認しその信頼性が高いことなどが評価され、今回の論文賞受賞に至りました。なお、本論文の内容にはドコモが総務省の委託を受けて実施した「電波資源拡大のための研究開発（JPJ000254）」の成果の一部が含まれています。

†1 現在、無線アクセス開発部

†2 現在、ドコモ・テクノロジー株式会社 携帯事業部

*1 基地局連携アルゴリズム：見通し伝搬環境において複数の基地局が連携することで発生する複雑なドップラー周波数シフトを基地局側で補償しつつ、さらに複数の端末を同時に収容することで発生する端末間干渉を抑制し、複数のMassive MIMOアンテナユニットによるビームフォーミング効果を最大化するデジタル信号処理方法。

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。



ドコモが「ASIA IP Elite 2022」に選出

2022年5月、ドコモは国際的に著名な知財メディアであるIAM (Intellectual Asset Management) 社 (本社：英国ロンドン) が選考する「ASIA IP Elite 2022」に選出されました。これは、アジア・太平洋地域における知的財産創造の代表的な取組みを紹介するため、知的財産をビジネス戦略の中心に位置づけている企業・組織を選ぶものであり、今回は合計80の企業・組織が選ばれています (国内は20企業が選出)。

ドコモの選出理由としては、現在主流の第4世代

移动通信システム (LTE) に関する特許ライセンスの推進、これから普及が進んでいく第5世代移动通信システム (5G) に関する特許の取得など、通信分野における国内外の主要プレーヤーと連携してモバイル通信の国際標準化を推進しながら、知的財産の活用・取得を並行して進めている点が挙げられており、ドコモのR&D・知的財産組織が一体となって進めた取組みがその評価の基礎となっています。

ドコモは今後も、自らが描くモバイル通信の未来を切り開くため、R&D技術力を培い、研究開発に取り組んでいくとともに、事業に貢献する知財活動を進めて参ります。

THE ASIA
IP ELITE

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。

世界最高峰のデータ分析競技会 「KDD CUP 2022」で入賞

2022年8月17日に、クロステック開発部の落合 桂一、サービスイノベーション部の福島 悠介、劉冠吟、若元 亮樹、内村 優太がデータ分析競技会であるKDD CUP 2022にて世界第9位に入賞しました。

KDD CUPは国際計算機学会（ACM：Association for Computing Machinery）が主催するデータマイニング関連の国際会議KDD（Knowledge Discovery and Data Mining）で開かれるデータ分析競技会で、1997年、まだビッグデータやデータサイエンティストという言葉が無い時代から続く世界最高峰かつ最も歴史のあるデータ分析競技会です。

2022年の競技会は4つの部門に分かれ、今回第9位に入賞した部門は、オンラインショップの商品検索で、ユーザが入力した検索キーワードに対して検索結果の商品が代替品として使えるかどうかを分類する精度を競うものでした。日本語、英語、スペイン語の3言語を対象とし、商品名、商品の説明文、ブランド名など商品に関する複数の文を利用し分類を行う点が特徴でした。

落合らのチームは自然言語処理で広く使われてい

るTransformerという機械学習モデルを使い、日本語、英語、スペイン語の言語別に学習したモデルと3言語全て利用して学習したモデルを組み合わせることで複数言語に対応するAIを開発しました。さらに、商品分類の偏りや検索文と商品名の一致率など、データ分析から得た知見を取り入れることで、高い分類精度を達成しました。

ドコモは2016年からKDD CUPへの参加を続け、今回は2019年の優勝、2020年の3部門入賞に続く2年ぶり4回目の入賞となります。ドコモでは多数のデータサイエンティストを擁し、日頃からパートナー企業との協業の中で、AI・ビッグデータを有効活用し、さまざまな課題の解決に取り組んできたことが、今回の受賞に繋がりました。本大会で評価された世界最高レベルのAI・ビッグデータ分析技術を活用し、AI・ビッグデータ活用ビジネスの拡大とともに社会課題解決の取組みを促進していきます。

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.30 No.3

2022年10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。

© 2022 NTT DOCOMO, INC.