

# 5G SA方式に対応した無線基地局装置の開発

無線アクセス開発部

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

R&amp;D戦略部

うの のぶかず  
宇野 暢一

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

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

## 1. まえがき

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

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

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

©2023 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

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

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

\*2 NSA：LTE (eLTE (enhanced LTE)) との併用を前提とした5Gの無線アクセスネットワークへの接続形態。

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

いて解説する。

## 2. システム構成

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

### 2.1 NSAシステム構成

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

### 2.2 SAシステム構成

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

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

図1, 2では、NSA方式とSA方式の構成図を解説

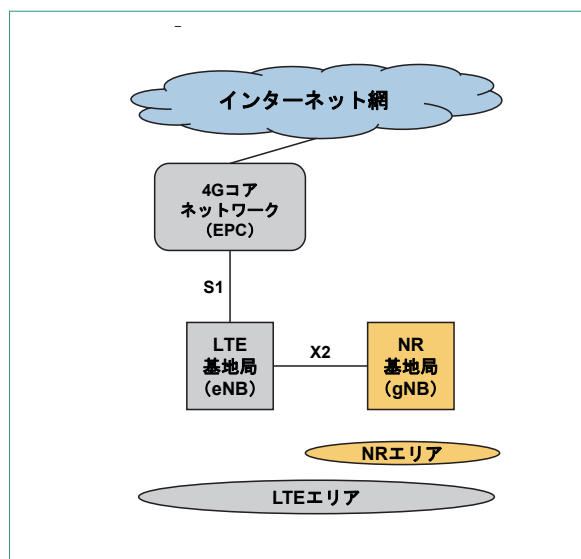


図1 NSA方式

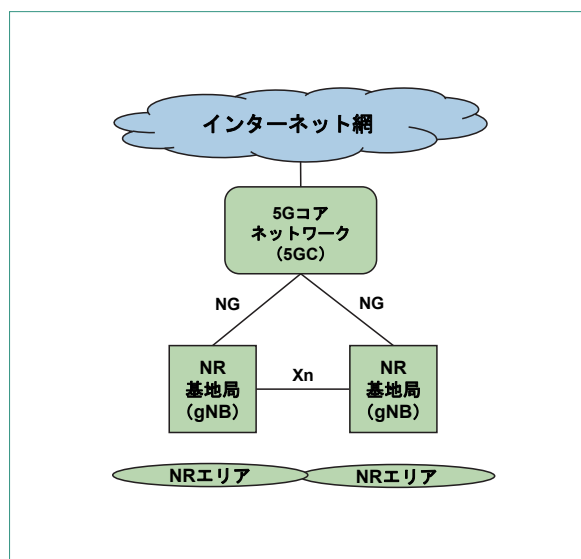


図2 SA方式

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

\*4 ネットワークスライシング：5G時代の次世代ネットワークの実現形態の1つ。ユースケースやビジネスモデルなどのサービス単位で論理的に分割したネットワーク。

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

\*6 RAN：コアネットワークと移動端末の間に位置する、無線レイ

ヤの制御を行う基地局などで構成されるネットワーク。

\*7 gNB：5Gの無線方式に対応した無線基地局。

\*8 eNB：LTEの無線方式に対応した無線基地局。

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

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

\*11 X2：3GPPで定義されたeNB間のリファレンスポイント。

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

### 3. 「高速・大容量」に寄与する機能の導入

スマートフォン対応5G SA方式のサービス開始に

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

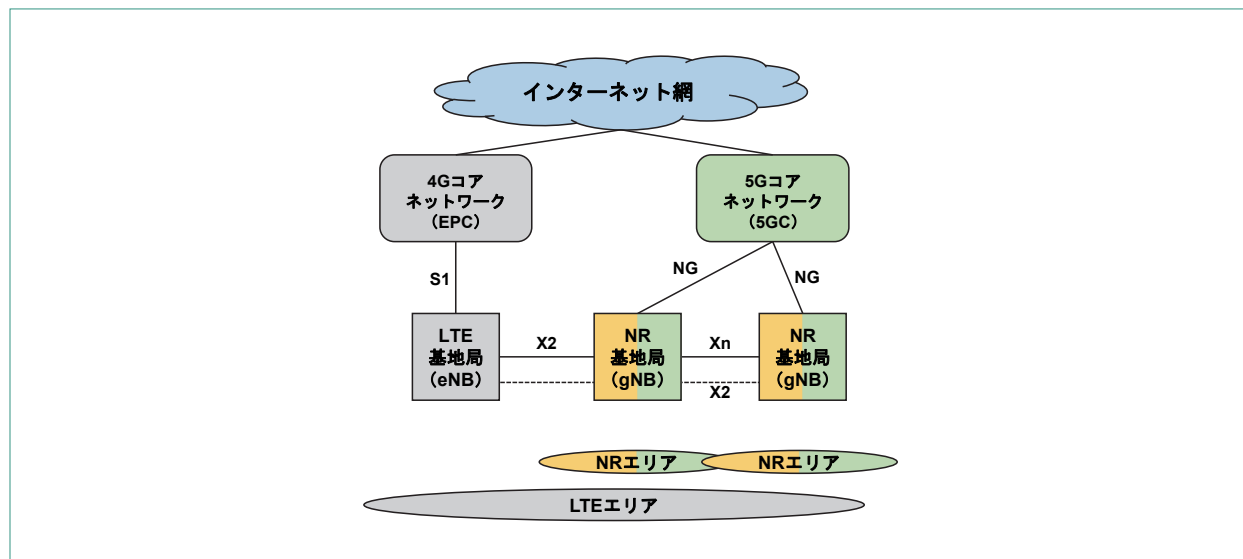


図3 5G NW運用（NSA方式／SA方式）

表1 NSA方式／SA方式の諸元

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

※1 スマートフォン対応「5G SA方式」サービス開始前時点

※2 LTEとNRの合計

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

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

\*13 S1：EPCとeNB間のインタフェース。

\*14 5GC：5Gのアクセス技術向けに3GPPで規定された第5世代のコアネットワーク。

\*15 Xn：gNB間のインタフェース。

\*16 NG：5GCとgNB間のインタフェース。

ならびにお客様体感の向上に繋げていく。

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

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

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

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

### 3.2 上りリンクMIMO方式の拡張 (2×2 UL MIMO)

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

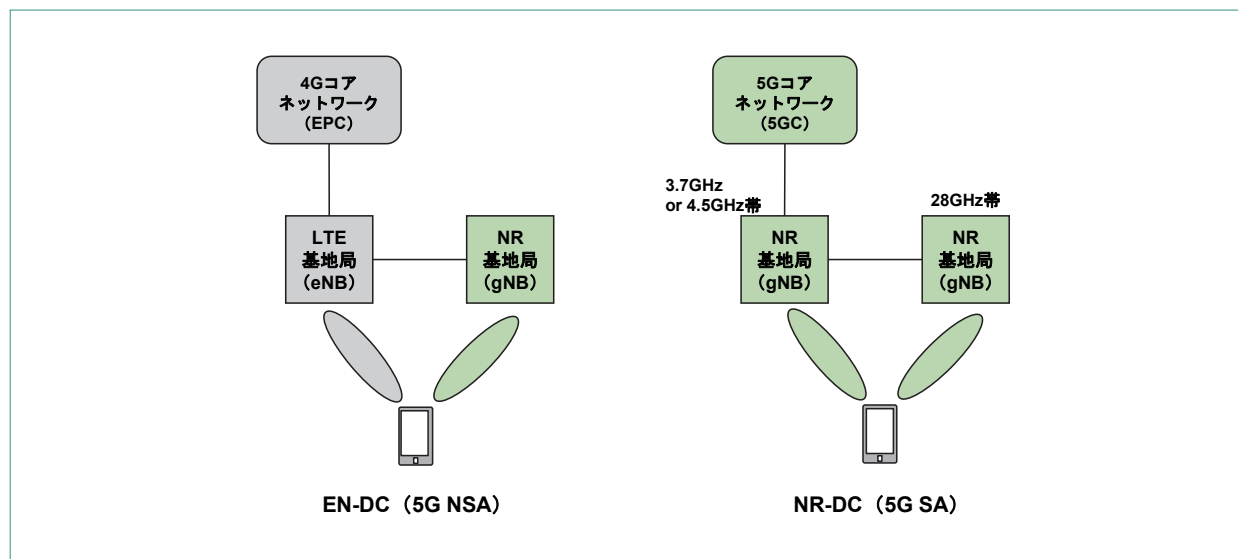


図4 EN-DCとNR-DC

- \*17 DC：複数の基地局に接続し、それらの基地局でサポートされる複数のコンポーネントキャリアを用いて送受信すること。
- \*18 EN-DC：NRノンスタンドアロン運用のためのアーキテクチャ。LTEとNRをDCにより束ねて同時通信を実現する。
- \*19 LTE-Advanced：LTEの発展形無線インタフェースであり、3GPP Release 10として標準化された。
- \*20 NR-DC：MN (Master Node) とSN (Secondary Node) が2つのNR基地局に接続し、それらの基地局でサポートされる複数

のキャリアを用いて同時に送受信を行うことにより、高速伝送を実現する技術。

- \*21 CA：複数のコンポーネントキャリアを束ねることで広帯域化し、高速通信を可能にする技術。
- \*22 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送信する個々の搬送波の間隔。
- \*23 スロット：データのスケジューリング単位。複数のOFDMシンボルから構成される。

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

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

### 3.3 下りリンク変調方式の拡張 (256QAM)

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

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

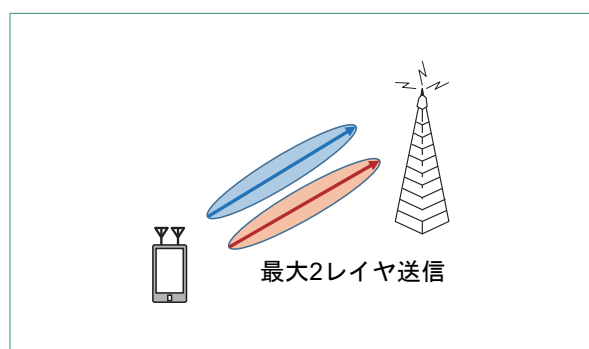


図5 UL MIMO

<sup>\*24</sup> 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。  
<sup>\*25</sup> 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。  
<sup>\*26</sup> 周波数利用効率：単位時間、単位周波数帯域当りに送ることのできる情報ビット数。  
<sup>\*27</sup> PDSCH：下りリンクでデータパケットを送受信するために用いる物理チャネル。

Indicator)<sup>\*29</sup>に基づいて決定される。

## 4. 5G SAシステムでの呼処理制御の導入

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

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

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

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

### 4.1 モビリティ

#### (1)待受け制御

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

##### (a)システム報知情報<sup>\*32</sup>配信

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

##### (b)ページング配信

5G SAシステムは、LTE同様に、着信時に

<sup>\*28</sup> QAM：変調方式の1つであり、振幅と位相の双方を利用して変調する方式。定義されるパターン数に応じて16QAM、64QAM、256QAMなどの種類がある。  
<sup>\*29</sup> 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。  
<sup>\*30</sup> コアノード：交換機、加入者情報管理装置などの上位ノード。  
<sup>\*31</sup> モビリティ制御：端末が移動しても、発着信および通信を継続して提供可能とする制御。

5G SA待受け中の端末を呼び出すページング配信に対応する。

#### (c)優先待受けシステムの指定

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

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

#### (2)ハンドオーバー制御

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

##### (a)Intra-RATハンドオーバー

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

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

##### (b)Inter-RATハンドオーバー

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

##### (3)再接続制御

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

## 4.2 その他の呼制御

### (1)音声制御

5G SAサービス開始初期においては、5G SAシス

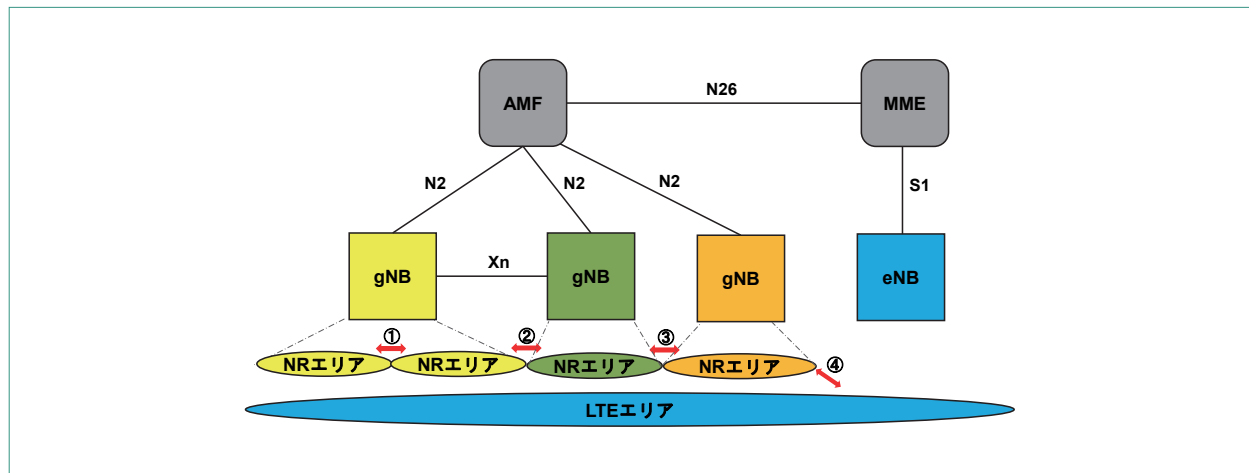


図6 ハンドオーバー制御

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

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

\*34 SIB：無線基地局から移動端末へ一斉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。

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

## (2) ネットワークスライシング制御

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

## (3) LTE同等機能への対応

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

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

## 5. 「安心・安全」を実現するためのアクセス規制機能の導入

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

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

### 5.1 背景・目的

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

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

### 5.2 主な特長

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

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

#### (1) アクセス不可規制

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

<sup>\*35</sup> EPS：LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された、IPベースのパケットネットワークの総称。

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

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

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

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

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

## (2)工事中規制

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

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

## (3)UAC（Unified Access Control）規制

NRでは、LTEにおいて複数存在していたアクセス規制方式を統一したUAC規制を新たに実装した。主に装置の輻輳やトラフィック変動が起きた場合などに、呼の流入量を抑えて通信を確保するために、呼種別と規制率を指定して本規制を使用する。UACでは端末における各種通信要求は1つのAccess Categoryと1つ以上のAccess Identityにマッピングされ、gNBはこの組合せごとに規制が可能となる。

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

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

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

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

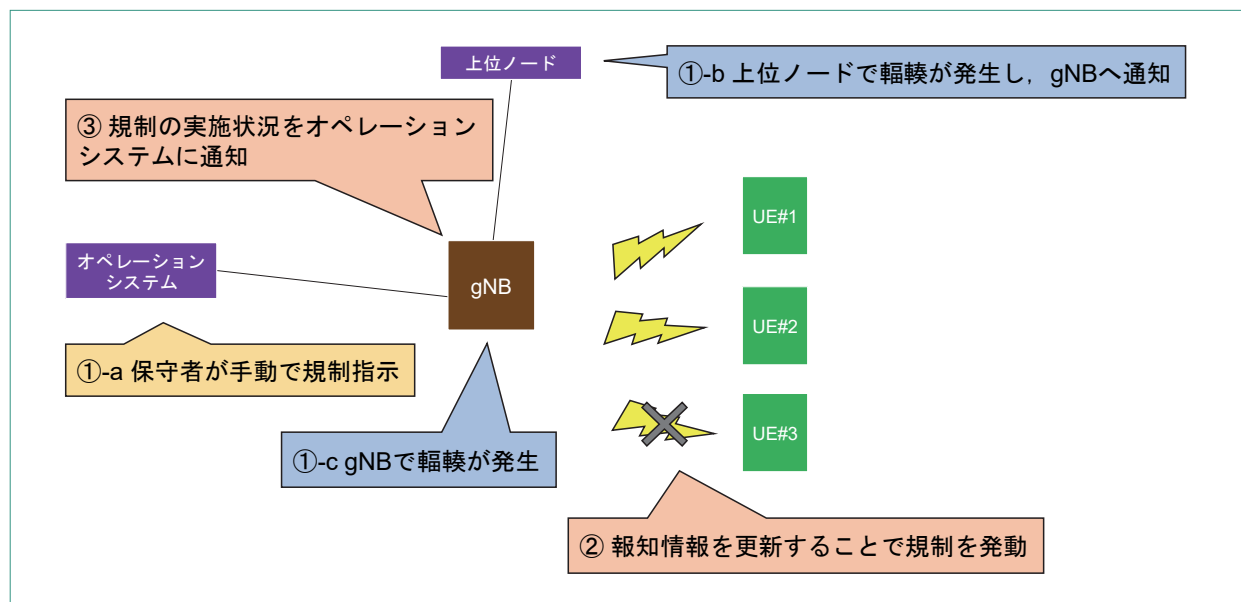


図7 手動規制および上位ノード/gNB輻輳時の自動規制の動作イメージ

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

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



foSetの設定内容を更新することでUAC規制としている。

(4)段階規制解除

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

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

## 6. あとがき

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

### 文献

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