

LTE-Advanced Release 13標準化

LTE Release 13におけるIoTを実現する新技術

近年、その普及に伴い、IoTサービスに特化したUE向けの要素技術やネットワーク制御技術がさかんに検討されている。IoT向けのUEでは、大量生産・導入のための低コスト化や10年以上のバッテリー交換不要など、これまでのデータ通信の高速化とは異なる要求条件が求められている。そこで3GPPでは、LTE Release 13にてIoT向けの仕様を新たに規定した。本稿では、LTEのRelease 13仕様で新たに導入されたIoT端末の低コスト化、カバレッジ広域化、および低消費電力化を実現するための要素技術、コアネットワークの最適化を解説する。

先進研究所 5G推進室	たけだ かずあき 武田 和晃
無線アクセス開発部	ウリ A. ハブサリ
ネットワーク開発部	たかはし ひであき 高橋 秀明
ドコモ・テクノロジー株式会社 パケットNW事業部	ふじしま だいすけ 藤島 大輔
	みやお じえん 繆 震

1. まえがき

3GPP (3rd Generation Partnership Project) では、スマートフォンに対するユーザーニーズに応えるためのLTEの無線高速大容量化に加え、IoT (Internet of Things)^{*1}向けに特化した要素技術やネットワーク制御技術も、LTEをベースにその拡張が検討されている。特にRelease 13仕様では、IoTサービスに対する市場の需要の高まりに応えるため、

端末の低コスト化、カバレッジ広域化、低消費電力化を実現する要素技術、およびコアネットワーク最適化の検討がさかに行われた。本稿では、Release 13で規定されたIoT向け新技術を解説する。

2. Release 13におけるIoT向けUEカテゴリ

2.1 概要

(1) カテゴリ0

近年、スマートメータ（通信機能

を持たせた電気・ガスメータ）などのIoTサービスを対象にした端末（以下、UE (User Equipment)）について、さまざまな団体で検討が行われている。LTEでは、Release 12仕様において、①データレートを最大1Mbpsに制限、②FDD (Frequency Division Duplex) Half Duplex^{*2}のサポート、③1アンテナ受信のサポート、を特徴とした、IoT向けの低価格なUEカテゴリ（カテゴリ0）がサポートされた。

©2016 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

^{*1} IoT：さまざまな「モノ」がインターネットやクラウドに接続され、制御・情報通信される形態の総称。

^{*2} FDD Half Duplex：周波数分割複信。上りリンクと下りリンクで、異なる周波数、周波数帯域を用いて信号伝送を行う方式。異なる周波数にて送信と受信を同時に行う方式をFDD Full Duplexと呼び、異なる周波数にて送信と受信を時間で切り替えて行う方式をFDD Half Duplexと呼ぶ。

(2)カテゴリM1とNB-IoT

Release 13仕様においては、さらなる低価格化、およびカバレッジの拡張を実現すべく、2つのUEカテゴリがサポートされた(表1)。

- ・1つめは、カテゴリ0の特徴に加えて、①端末の送受信帯域幅を1.08MHzに制限、②カテゴリ1から約15dBのカバレッジ拡張のサポート、を特徴としたUEカテゴリ(カテゴリM1)である。送受信帯域幅の制限によるUEチップのコストの低減効果が大きい[1]。
- ・2つめは、当初GSM(Global System for Mobile communications)*3の周波数帯向けに技術検討が行われていたが、LTEの周波数バンドでも使用できるように仕様検討が共通化された、NB(NarrowBand)-IoTカテゴリである。これは、①端末の送受信帯域幅を180kHzに制限、

②カテゴリ1から20dB超のカバレッジ拡張のサポート、を特徴としている。カテゴリM1に比較して、データレートや周波数利用効率*4が低下するものの、さらなる狭帯域化により、チップをより低価格化にすることが期待されている。以下、UEカテゴリM1とNB-IoTカテゴリでサポートされている機能の概要について解説する。

2.2 カテゴリM1

カテゴリM1は、LTE送受信帯域の一部の1.08MHzを使用して信号の送受信を行う特徴をもつ(図1(a))。カテゴリM1の送受信帯域はLTEの送信帯域内で可動であり、LTEの送受信帯域内であれば異なる1.08MHzを使って運用することも可能である。ただし、カテゴリM1 UEは1.08MHzに相当する6PRB(Physical Resource Block)*5しか受信できないため、

LTEバンドで6PRBよりも広い帯域で送信される下り信号を受信することができない。具体的には、データや報知情報(SIB: System Information Block)*6がマッピングされた下り共有チャネル(PDSCH: Physical Downlink Shared Channel)を割り当てるための下り制御チャネル(PDCCH: Physical Downlink Control Channel)*7を受信することができないため、LTEの報知情報を取得できない(図2の①)。

(1)M-PDCCHとSIB新規定

そこで、カテゴリM1UE向けに、6PRB内にマッピングされた、SIBなどを割り当てるためのMTC(Machine Type Communication)*8向け下り物理制御チャネル(M-PDCCH: MTC-PDCCH)と、カテゴリM1に特化したSIBが新たに規定されている。このように6PRB内に閉じた新しい下り制御チャネルおよび上位レイヤ信号の導入により、カテゴリM1の

表1 IoT端末向けUEカテゴリ

	カテゴリ1	カテゴリ0	カテゴリM1	NB-IoT
策定期期	Release 8	Release 12	Release 13	Release 13
運用周波数帯	運用中のLTEバンド (専用周波数では、専用周波数用のエリアを構築する必要あり)			
				LTEバンド外(ガードバンド内)
送受信帯域幅	20MHz	20MHz	1.08MHz	180kHz
周波数利用効率	既存LTEと同じ	既存LTEと同じ	カテゴリ1より低下 (1アンテナ受信、帯域幅制限により)	カテゴリM1より低下 (さらなる帯域幅制限により)
カバレッジ	既存LTEと同じ	既存LTEと同じ	カテゴリ1+15dB	カテゴリ1+20dB
モビリティ	既存LTEと同じ	既存LTEと同じ	既存LTEと同じ (カバレッジ拡張時低速)	ハンドオーバー非対応 待受け時のモビリティは対応
消費電力	既存LTEと同じ	既存LTEと同じ	カテゴリ1/0より低	
送信電力	既存LTEと同じ	既存LTEと同じ	3dB低下	3dB低下(検討中)

*3 GSM: デジタル携帯電話で使用される第二世代の移動通信方式。

*4 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。

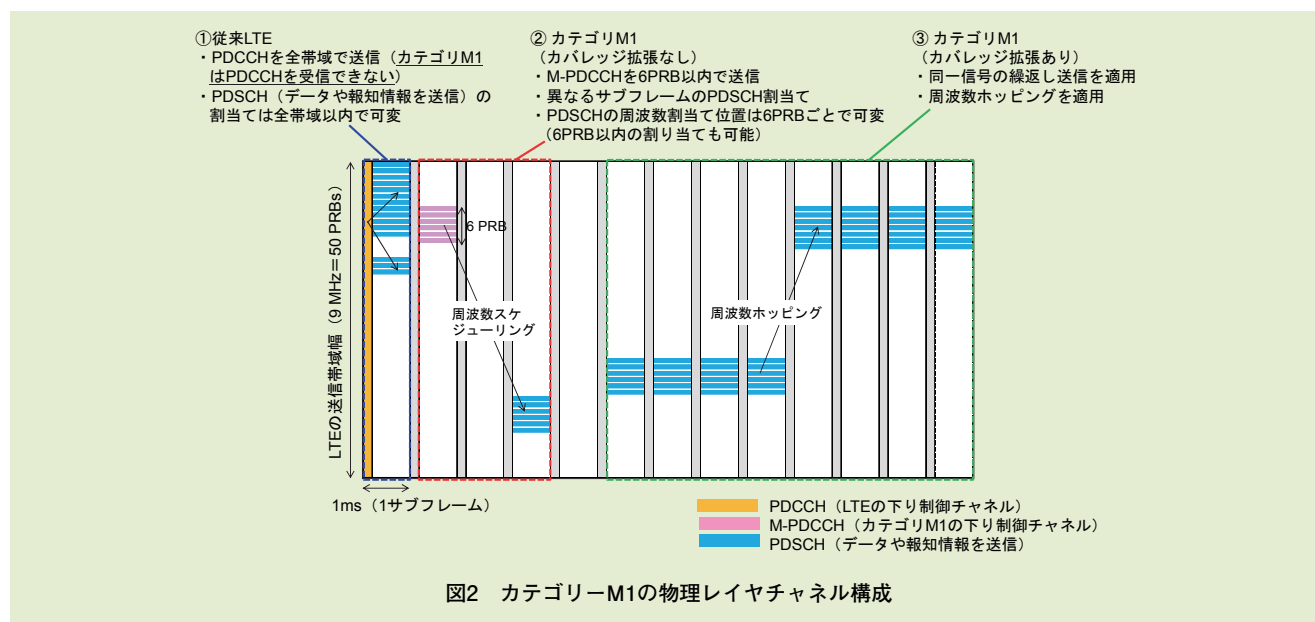
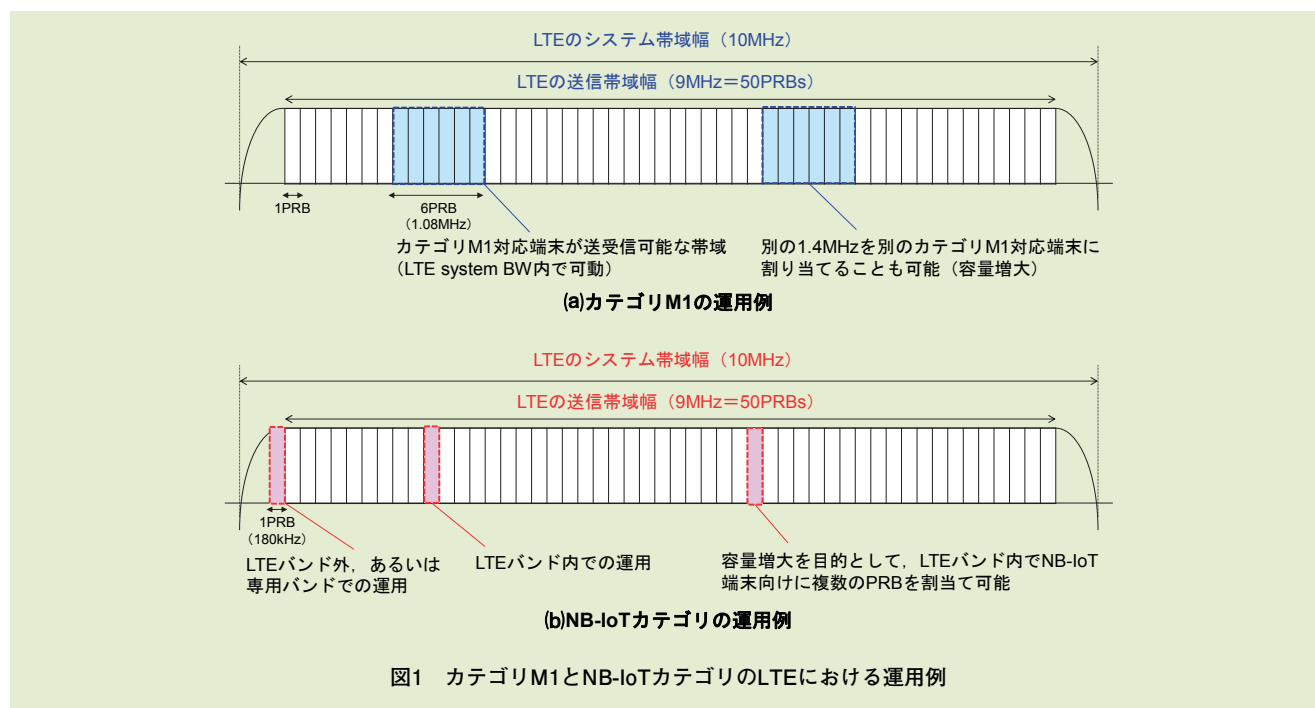
*5 PRB: 無線リソースの割当て単位であり、1サブフレーム、および12サブキャリアから構成される。

*6 報知情報(SIB): 移動端末における位置登録要否の判断に必要な位置番号、周辺セル情報および発信規制制御を行うための

情報などを含み、周辺セルごとに一齐同報される。

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

*8 MTC: マシン型通信。人間による通信操作を介しない機械通信の3GPPにおける総称。



送受信帯域幅を1.08MHzに制限し、モジュールの低価格化を実現している。図2②に示すように帯域制限により割当て可能なPRB数が少なくなるため、異なるサブフレームのM-

PDCCHを用いて、PDSCHの割当てを行う。なお、前述の通り、カテゴリM1の送受信帯域はLTEの送受信帯域内で可動であるため、図2②に示すように、異なるサブフレーム^{*9}

では、PDSCH (または、PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)) を異なる周波数6PRBに割り当てることもできる。これにより、受信品質の良い6PRBを用いてPDSCHと

^{*9} 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 (一般的には14OFDMシンボル) から構成される。

PUSCHを送受信することが可能となる。

(2)新たな電力クラス規定

また、モジュールの低価格化を実現する方法として、従来のLTEモジュールと同じ電力に加えて、これと比較して送信電力が3dB低い、新たな電力クラスも規定されている。

(3)カバレッジ拡張のための新機能

カバレッジ拡張を実現するための機能としては、図2③に示すように、複数のサブフレームを用いて、同一信号を繰返し送受信する機能が規定されている。繰返し送信の適用により、カテゴリM1UEは、受信信号対干渉および雑音電力比（受信SINR：Signal-to-Interference plus Noise power Ratio）^{*10}が低い環境下においてもMTC向けの信号を送受信できる。ただし、15dB程度のカバレッジ拡張を実現するためには、同一信号を100サブフレーム以上にわたり送信する必要があることから、スループット^{*11}や周波数利用効率が著しく低下してしまう。そこで、LTE送信帯域内の異なる6PRBを用いて同一の信号を送信する周波数ホッピング^{*12}がサポートされている。図2の③に示すように、ある一定の区間（例えば4サブフレーム）ごとに、送信信号の周波数をホッピングさせることで、周波数ダイバーシチ^{*13}効果を得ることができ、受信SINRを改善して、カバレッジ拡張を行いながらもスループットや周波数利用効率を大幅に向上させることができる。

2.3 NB-IoT

カテゴリM1がLTE送受信帯域内で運用されるのに対して、NB-IoTカテゴリでは、LTEバンド内にNB-IoT UEと通常のLTE UE（例えばスマートフォン）と共存して運用する形態に加えて、LTEのバンド外（以下、ガードバンド^{*14}）とNB-IoT UEのみ存在する専用周波数帯での運用がサポートされている。LTEバンド内の運用向けには、前述の通りLTE用に送信されているPDCCHなどを考慮して、物理レイヤ信号を設計する必要がある。一方、ガードバンドや専用周波数帯では、LTEの物理レイヤ信号を送信する必要がなく、これらを考慮しなくて良い点が異なる。

(1)NB-PSS/SSSとNB-PBCH新規定

NB-IoTカテゴリは、カテゴリM1に比較してさらなるコストの低減を実現するために、より狭帯域な180kHz（1PRBに相当）を使用して信号の送受信を行う（図1(b)）。従って、PDCCHなどに加えて、LTEやカテゴリM1向けに6PRBで送信されている同期チャネル（PSS/SSS：Primary Synchronization Signal/Secondary Synchronization Signal^{*15}）や、PBCH（Physical Broadcast Channel）^{*16}も受信できなくなる。このため、NB-IoTカテゴリ向けに、1PRB内で送信可能な、NB-PSS/SSS、およびNB-PBCHも新たに規定されている。

(2)カバレッジ拡張におけるさらなる機能

カバレッジについても、より要求

条件の厳しい上りリンクの機能が拡張されている。まずは、1PRBよりも小さいサブキャリア^{*17}（15kHz）単位（1PRBは12サブキャリアで構成）での送信（以下、シングルトーン送信）が規定されている。上りは端末の送信電力が限られているため、データレートを犠牲にして、シングルトーン送信で1サブキャリアに送信電力を集中させることで、受信SINRを改善することができる。また、15kHzのサブキャリアをさらに狭帯域化し、3.75kHzのサブキャリア間隔もサポートしている。

(3) $\pi/4$ -QPSK変調と $\pi/2$ -BPSKサポート

さらに、変調方式についても、平均電力に対するピーク対平均電力比（PAPR：Peak-to-Average Power Ratio）^{*18}を低減するために、従来のQPSK（Quadrature Phase Shift Keying）^{*19}変調に位相回転を加えた $\pi/4$ -QPSK変調や $\pi/2$ -BPSK（Binary Phase Shift Keying）^{*20}変調がサポートされている。位相回転を加えることで、変調信号の振幅が零点となることを避けて、振幅変動を抑えることができるためPAPRを低減できる。

3. 省電力化のためのeDRX技術

IoTのシナリオでは、IoTモジュールのバッテリー交換周期が10年以上であるという要求条件がよく知られている[2]。そのため、従来のLTE UEの消費電力と比べて、より高いバッ

^{*10} 受信信号対干渉および雑音電力比（受信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。

^{*11} 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量。

^{*12} 周波数ホッピング：送信ごとに異なる周波数、あるいは周波数リソースを用いて送信を行う方法。

^{*13} 周波数ダイバーシチ：ダイバーシチの一種で、異なる周波数を用いることによって受信品質の向上を図る。ダイバーシチは、複数の経路を用い、受信品質の良い経路を選択するなどして受信品質の向上を図る方法。

^{*14} ガードバンド：システム間の電波干渉を防ぐため、システムごとに割り当てられる周波数帯域間に設けられる帯域。

^{*15} PSS/SSS：セルの検出、時間・周波数同期などを行うための同期チャネル。

^{*16} PBCH：下りのシステム帯域幅、システムフレーム番号などの主要無線パラメータを通知するための物理報知チャネル。

^{*17} サブキャリア：OFDMなどのマルチキャリア伝送において信号を伝送する個々の搬送波。

テリセービング効果をもつ技術が求められている。

従来の省電力技術として、DRX (Discontinuous Reception) が3GPP Release 8から規定されている。DRXは、間欠的な信号受信により、受信していない期間ではRF (Radio Frequency) 機能部^{*21}を停止させてスリープ状態とすることで消費電力を抑える技術である。DRXの動作は、RRC (Radio Resource Control) _IDLE^{*22}およびRRC_CONNECTED^{*23}において、PDCCHの信号を間欠的に受信する際に適用され、最大2.56sのDRX cycleが規定されている。IoTシナリオの要求条件を満たすためにはDRX cycleをさらに延長する必要があるため、信号の間欠受信の期間を大幅に延長したeDRX (extended DRX) がRelease 13で新たに規定された。

3.1 eDRXの動作概要

Release 13で規定されるeDRXでは、バッテリーセービングの効果を向上させるために、スリープ状態を長くすることを実現している。RRC_CONNECTEDでは、最大のeDRX cycleを10.24sと設定することができる。RRC_IDLEでは最大のeDRX cycleを、カテゴリM1の場合43.96分、NB-IoTの場合、2.91時間と設定することができる。eDRX機能を適用しているUEの状態はeDRX状態と呼ぶ。eDRX状態のUEは、ネットワークが指定したeDRX cycleごとに、信号を受信することを試みる。IoT

のシナリオの多くは、小データ量、長期間隔 (24時間に1回) の発呼、通常のスマートフォンと比較すると着信の回数が少ない、報知情報の更新頻度が小さい、などの特徴を持っている。このような通信パターンにおいては、RRC_CONNECTED中の時間がスマートフォンと比べると極めて短く、RRC_CONNECTED中のeDRXよりもRRC_IDLEのeDRXの動作のほうがバッテリーセービングの効果に大きく貢献すると考えられる。また、異なるIoTシナリオは、異なるPaging^{*24}応答時間の要求条件をもつ場合が考えられる。そのため、データ発呼の頻度が低い (24時間に1回) IoTシナリオであっても、自身宛てのPagingに対して一定時間 (たとえば2分以内にPaging応答を必要としている場合は、2分程度の適切な値) のeDRX cycleを設定する必要がある。

(1)H-SFNの定義

LTEでは、UEとeNBが刻む時間のリファレンスとして、SFN (System Frame Number)^{*25}が定義されている。UEは、セルに在圏する際に、eNB (evolved NodeB)^{*26}が報知しているSFN情報を取得し、UEとeNB間で時間同期をする。eDRXでは、従来のSFNにH-SFN (Hyper SFN) の概念が新規に導入されている。H-SFNの情報はSFNと同様、報知情報で通知されている。

1SFNの長さは、10ms、SFNの番号は0~1023と定義されているため、それらをトータルしたSFN cycleの長

さは10.24sとなる。長期間のeDRX cycleを規定するため、1H-SFNの長さは、SFN cycleの長さ (10.24s) とし、H-SFNの番号は0~1023と定義している。

(2)eDRX cycleの設定

ネットワークは、UEごとにeDRX cycleを設定することができる。eDRX cycleは、H-SFNの連続するフレームからなる長さであり、H-SFNの長さの整数倍で表す。MME (Mobility Management Entity)^{*27}は、各UEのeDRX cycleを決定し、その値をS1 I/Fを介してeNBに通知する。

UEはeDRX cycleごとに信号の受信を試みるため、ネットワークは、そのタイミングに合わせて、信号を送信する。

3.2 RRC_IDLE時のPagingメッセージの受信

(1)UEの動作

RRC_IDLE時のPagingメッセージの受信方法を図3に示す。従来どおり、eNBとUEの間は、SFNレベルで同期している。eDRXを実現するために、MME、eNB、UEの間で、H-SFNレベル (数秒) で同期している必要がある。よって、MMEとUE、MMEとeNBとの間のH-SFNの開始時間が数秒ずれているが、MME、eNBとUEは同じH-SFN番号を持っている。

UEはeDRX cycleごとに、特定のH-SFNでPagingの受信を試みる。UEがPagingの受信を試みるH-SFNをPH (Paging Hyperframe)^{*28}と呼ぶ。

^{*18} ピーク対平均電力比 (PAPR) : 最大電力と平均電力の比。電力増幅器の性能やその消費電力を評価する際に用いられる指標の1つ。

^{*19} QPSK : デジタル変調方式の1つ。位相の異なる4つの信号を組み合わせることにより、同時に2bitの情報を送信可能。

^{*20} BPSK : デジタル変調方式の1つで、2つの

位相にそれぞれ1つの値を割り当てることにより、同時に2値 (1bit) の情報を送信可能。

^{*21} RF機能部 : 無線信号の送受信を行う機能部。

^{*22} RRC_IDLE : LTEにおけるUEのRRC状態の1つであり、UEはeNB内のセルレベルの識別をもち、eNBにおいてUEのコンテ

キストが保持されていない。MMEにおいてUEのコンテキストが保持されている。

^{*23} RRC_CONNECTED : LTEにおけるUEのRRCレイヤの状態の1つであり、UEはeNB内のセルレベルで識別でき、eNBにおいてUEのコンテキストが保持されている。

^{*24} Paging : 着信時に待受け在圏中のUEを呼び出す手順および信号。

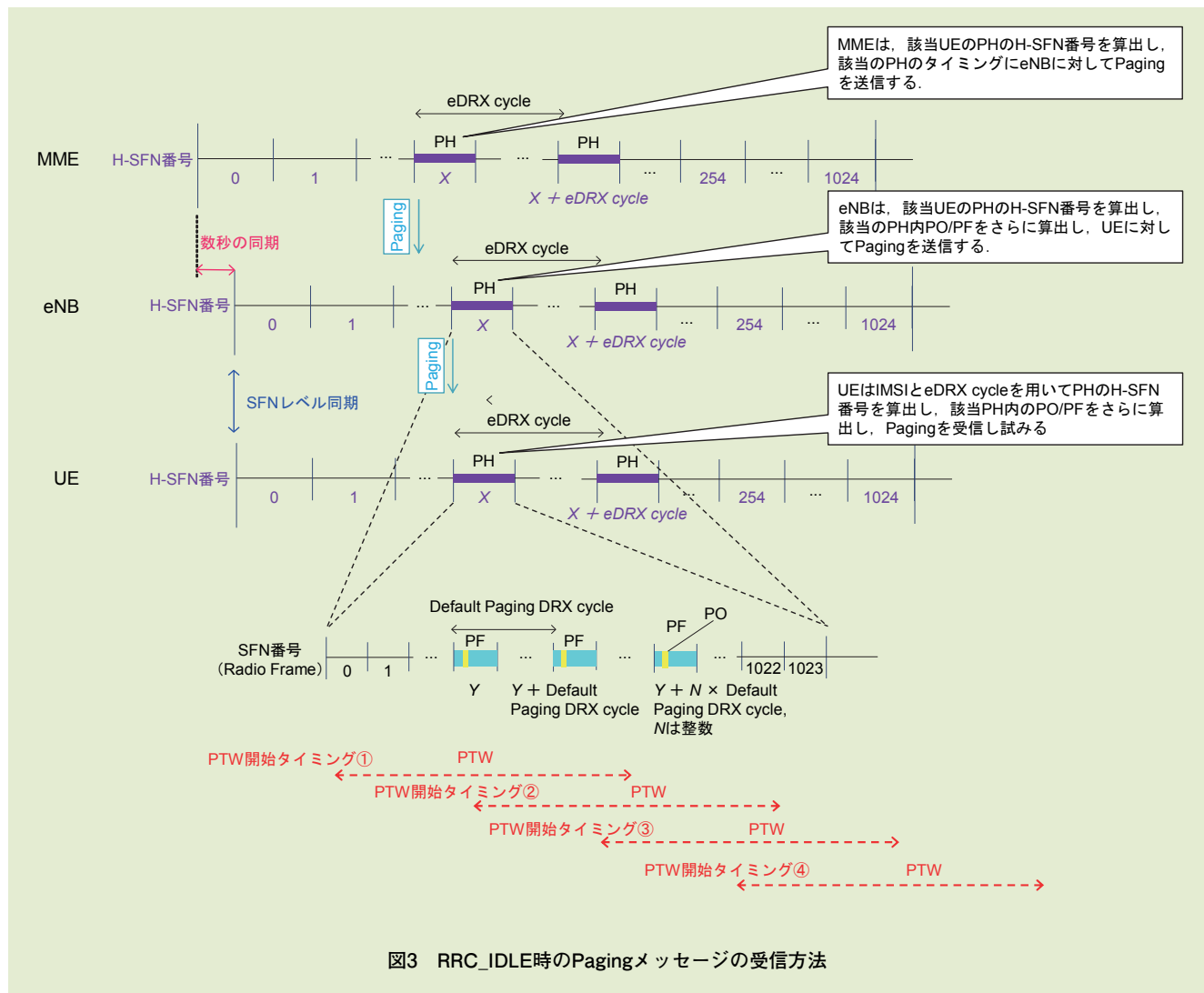


図3 RRC_IDLE時のPagingメッセージの受信方法

UEは、IMSI (International Mobile Subscriber Identity)^{*29}とeDRX cycleを用いて、どのH-SFN番号がPagingを受信すべきPHとなるかを算出する。該当のPH内において、PTW (Paging Time Window)^{*30}の間にPagingメッセージの受信を試みる。Pagingを受信する確率を高めるために、PTWの間にMMEまたはeNBがPagingの繰返し送信を実施することができる。PTWの開始タ

イミングは、該当PHのH-SFNの中に4カ所で分散することができる。PTWは、MMEが決めるものであり、eDRX cycleと一緒にS1 I/Fを介してeNBに通知される。

PTWが開始された時点から、従来のPagingを受信する仕組みに従い、Default Paging DRX cycleを用いて、どのSFN番号がPagingを受信すべきPF (Paging Frame)^{*31}となるか、また、そのPF中のどのサ

ブフレームが該当するPO (Paging Occasion)^{*32}であるかを算出し、Pagingの受信を試みる。

なお、カバレッジ拡張機能を適用するUEは、同一信号の繰返し送受信を実施する。eDRXを適用している場合、UEは、Pagingメッセージの繰返し受信を上記算出の最初のPO/PFのサブフレームから開始する。

*25 SFN: LTEにおけるUEとeNBにおけるリファレンス時間。

*26 eNB: LTEにおける無線基地局。

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

*28 PH: eDRX中のUEがPagingの受信を試みるH-SFN。

*29 IMSI: UIM (User Identity Module) 内に

格納される。移動通信で使用するユーザごとに固有の番号。

*30 PTW: eDRX中のUEがPagingの受信を試みる時間の長さ。

*31 PF: IDLE時のDRX中のUEがPagingの受信を試みるSFN。

*32 PO: IDLE時のDRX中のUEがPagingの受信を試みるSFN内のサブフレーム。

(2)MMEとeNBの動作

MME, eNBでは, 上記で説明したUEにおけるPHの算出方法と同様の方法で, 各UEの該当するPHとなるH-SFN番号を算出する。MMEは, 該当のH-SFNのタイミングでeNBがPagingメッセージを送信できるように, そのタイミングに合わせS1 I/Fを用いてPagingメッセージをeNBに送信する。eNBは, S1 I/Fを介して受信しているPagingメッセージをしかるべくH-SFN番号およびPO/PFのサブフレームのタイミングでUEに送信する。上記の動作を可能にするためには, MMEとeNBは, H-SFNレベル(数秒)の同期精度が推奨されている。eNBがMMEからPagingメッセージを受信した場合, Pagingメッセージを送信すべき該当のH-SFNが開始するまでに, eNBにおいて保持する必要がある。MMEとeNBとの同期精度が高くなると, eNBがS1 I/Fを介してPagingメッセージを受信したH-SFNから, 該当のH-SFNの開始タイミングまでの差が短くなり, eNBにおけるPagingメッセージを保持するための必要なバッファ量^{*33}が少なくなる。

3.3 HLCOM

eDRXをサポートするためのMMEとその上位レイヤのコアネットワーク^{*34}ノードにおける機能拡張をHLCOM(High Latency Communication)機能として規定している。HLCOMでは, データ, SMS^{*35},

LCS(LoCation Service)^{*36}着信に対してその機能が利用される。本稿では, データ着信時のHLCOM機能に注目し詳細解説をする。

前述のようにMMEは, 各UEについてのPHは既知である。S-GW(Serving GateWay)^{*37}から着信データの通知される際にMMEは, UEがeDRX状態にあると認識しているため, UEに対してPagingを送信することができないと検知し, UEと無線がベアラ^{*38}接続できるまでの時間を予測し, S-GWに対してバッファリングを要求する。MMEはUEごとにS-GWに要求したバッファリング時間を保持し, その時間内にUEからアクセスがあった場合U-Plane(User Data Plane)^{*39}を確立する。その際, UEが移動時にMMEをまたがっても上記の制御ができるようにMME間でバッファリング時間を引き継げるようにする。一方, S-GWにおいてもMMEに要求されたバッファリング時間は着信データを保持する。

4. IoTに向けたコアネットワークの最適化

NB-IoTが断続的な小容量データ伝送向けの無線技術として仕様化される一方, コアネットワークにおいても大容量通信に適したEPS(Evolved Packet System)^{*40}をNB-IoT向けに最適化する必要性がある点について, 2015年3月の3GPP SA(Service and System Aspects)プレナリ^{*41}で議論

された。その結果, SA2にてCIoT(Cellular IoT)に対するEPS最適化のためのアーキテクチャ検討が2015年7月より開始された。その結果, 仕様化されたCIoT向けEPS最適化について以下に解説する。

4.1 CIoT向けEPS最適化の概要

(1)特長

CIoT向けEPS最適化は, 以下の特性をサポートしている。

- ・UEの超低消費電力化
- ・セル当りの在圏デバイス数の向上
- ・狭帯域への適応
- ・ページングの最適化

(2)2種類のCIoT向けEPS最適化方式

CIoT向けEPS最適化の方式は2種類が標準化された[3]。

①1つは, NAS PDU(Non-Access Stratum Protocol Data Unit)^{*42}

でユーザデータをC-Plane(Control Plane)^{*43}のシグナリングメッセージにカプセル化^{*44}する, C-Plane CIoT向けEPS最適化である。

②もう1つは, ユーザデータ送信方式は既存のEPSと同様にU-Planeベアラを用いるものの, RRCレイヤに「Suspend(保留)」と「Resume(復旧)」の新たな状態を導入してNB-IoT UE, eNB, MMEで接続情報を保持することで, 断続的なユーザデータ転送に適したU-Planeベアラ制御を効率的に行う,

^{*33} バッファ量: ユーザデータやシグナリングを一時的に記憶するための場所のサイズ。

^{*34} 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。

^{*35} SMS: 主に移動端末どうしでテキストベースの短い文章を送受信するサービス。

^{*36} LCS: 移動端末の位置を特定するサービス。

^{*37} S-GW: LTEネットワーク上でのパケット交換機。P-GWとの間でユーザデータの送受信を行う。

^{*38} ベアラ: ユーザデータパケットの経路。

^{*39} U-Plane: 制御信号の伝送路であるC-Planeに対して, ユーザデータの伝送路のこと。

^{*40} 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。

^{*41} SAプレナリ: 3GPPのTSG SA会合の最上位会合。

^{*42} NAS PDU: アクセス層(AS(*62参照))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。

U-Plane Clot向けEPS最適化である。

それぞれの方式のアーキテクチャ概要図を図4に示す。SA2にて、NB-IoT UEでのサポートが、①はマンドトリー（必須）、②はオプションと決定された。

(3) Clot向けEPS最適化の方式選択

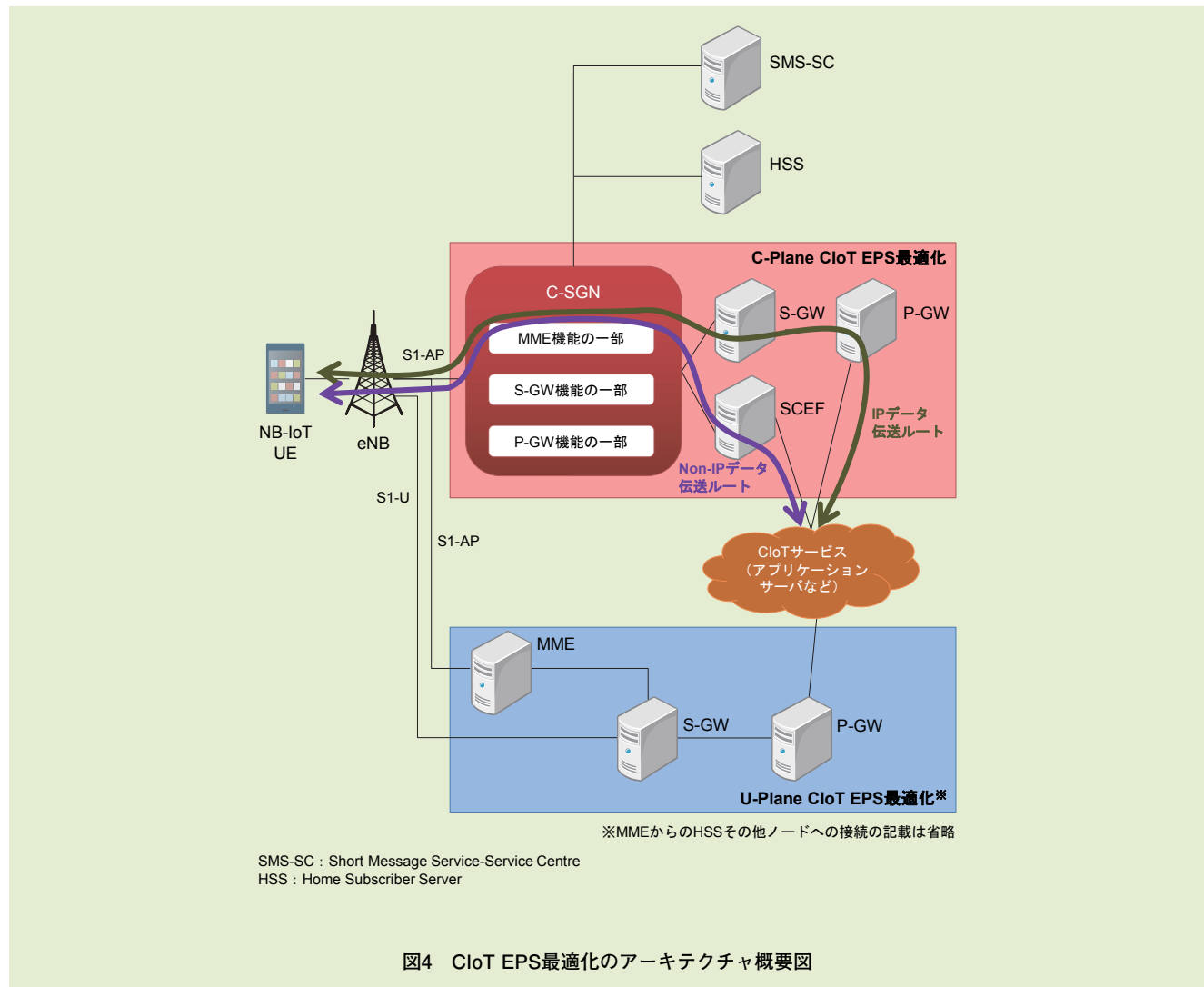
NB-IoT UEとコアネットワーク間でどちらのClot向けEPS最適化方式

を使用するかは、まずNB-IoT UEがサポートする方式の情報をAttach^{*45}/TAU (Tracking Area Update)^{*46}/RAU (Routing Area Update)^{*47} Request信号に含めてコアネットワークに送信し、それを基にコアネットワークが選択した方式の情報をAttach/TAU/RAU Accept信号に含めてNB-IoT UEに伝達することで決定される。ただし、NB-IoT UEからコアネットワークがサポートし

ない方式での接続を要求された場合は、適切なコードを設定してAttach/TAU/RAU Rejectを行う。

(4) コアネットワークへの振分け機能

Clot向けEPS最適化は、NB-IoT UEのデータ転送を最大限に効率化する目的で仕様化されており、NB-IoT UEは既存のEPSには接続しないことを前提としている。そのため、eNBは既存EPSとClot向けEPSを見分け、従来のUEは既存EPSに、



*43 C-Plane：制御プレーン。通信の確立などをするためにやり取りされる、一連の制御処理を指す。

*44 カプセル化：データを別のプロトコルに組み込み、プロトコルが限定されたネットワークでも通信できるようにする技術。

*45 Attach：移動端末の電源ON時などにおいて、移動端末をネットワークに登録する処理。

*46 TAU：LTE向けに移動端末が移動した際、移動端末をネットワークに再登録、もしくは登録するネットワーク装置を変更する処理。

*47 RAU：3G向けに移動端末が移動した際、移動端末をネットワークに再登録、もしくは登録するネットワーク装置を変更する処理。

NB-IoT UEはCIoT向けEPSに振り分ける機能がRRC信号と紐づけて実装される。これは、本機能と同じくRelease 13で仕様化されたDCN (Dedicated Core Network) *48 [4]の振分けとは異なる仕組みである。ただし、CIoT向けEPS最適化のコアネットワークをDCNとして配備することも可能である。

(5)非サポート機能

一方、NB-IoT UEやCIoT向けEPS最適化は機能簡素化のため、既存のUEやEPSが提供する機能の一部はサポートされない。以下はその一例である。

- ・緊急呼サービスは提供されない
- ・LIPA (Local IP Access) *49やSIPTO (Selected IP Traffic Offload) *50などのオフロード技術は適用できない
- ・ECM (EPS Connection Management)_IDLE *51モードでのモビリティのみサポートされ、ECM_CONNECTED *52モードでのハンドオーバー*53はサポートされない
- ・GBR (Guaranteed Bit Rate) ベアラ *54やDedicatedベアラ *55の確立はサポートされない

4.2 C-Plane CIoT向けEPS最適化

(1)特長

C-Plane CIoT向けEPS最適化は、前述のとおりC-Planeメッセージでカプセル化されたユーザデータを転送する方式であるが、小容量データ

転送時のC-Planeメッセージ数を減らし、結果としてUEの超低消費電力化や狭帯域デバイスの使用帯域削減に寄与する効果が期待される。本方式では、既存EPSと同様（ただしNon-IPデータの転送を除く）以下の機能をサポートしている。

- ・IP/Non-IPデータの転送
- ・移動制御に関するローカルの接続点（アンカーポイント）提供
- ・ヘッダ圧縮（IPデータ転送のみ）
- ・ユーザデータの暗号化
- ・ユーザデータの通信傍受（Lawful Interception）

(2)C-SGN

本方式のための新しいノードとしてC-SGN (CIoT Serving Gateway Node) が規定されているが（図4参照）、これは既存EPSのC-PlaneノードであるMMEおよびU-PlaneノードであるS-GW、P-GW (Packet data network GateWay) *56それぞれの最低限の機能を集約し、1つの論理エンティティ *57として定義したものである。C-SGNの機能は既存EPSのMMEに配備してもよい。

本方式でのユーザデータの転送はS1-AP I/Fを使用してC-SGN経由で行うことができるため、IPデータ転送に関してはeNB～S-GW間のS1-U I/FでのU-Planeベアラの確立は不要としてもよい。そのため、NB-IoT UEはAttach RequestのESM (EPS Session Management) container *58にダミーデータを設定してS1-U I/FのU-Planeベアラ確立

を省略することが可能である。ただし、4.3節に解説するU-Plane CIoT向けEPS最適化が同時にサポートされている場合は、従来通りS1-U I/FでのU-Planeベアラを確立してIPデータを転送することも可能である。

(3)HLComの適用

IoT通信ではPSM (Power Saving Mode) *59やeDRXなどの機能を併用して間欠受信を行う場合が想定される。その場合でも、本方式へHLComの機能を適用することが可能。つまり、IPデータの場合はS-GWにて着信データをバッファすることが可能である。この場合、S-GWがダウンリンクパケットを受信すると、S-GWからC-SGNへDownlink Data Notificationでその通知を行うが、C-SGNはその応答信号にて次にNB-IoT UEがECM_CONNECTED状態となるタイミングまでの時間をS-GWに通知し、S-GWでのバッファ量（時間やパケット量）を拡張することが可能である。また、TAUの際はC-SGN間でその時間情報を共有する。一方、Non-IPデータの場合はSCEF (Service Capability Exposure Function) *60で発着信データのバッファが可能であるが、本稿では説明を割愛する。

4.3 U-Plane CIoT向けEPS最適化

U-Plane CIoT向けEPS最適化は、図4に示す通り既存EPSと同等のアーキテクチャや制御方式・データ

*48 DCN：移動端末種別をあらわす端末識別子に応じてコアネットワークを分離し、同じ端末識別子が割り当てられた移動端末を集めて在圏させる専用のコアネットワーク。

*49 LIPA：3GPPで規定されたオフロード技術の1つ。無線アクセス網を通じて、コアネットワークの経由なしでインターネット網と接続し、特定のパケットを送受信する

方法。

*50 SIPTO：3GPPで規定されたオフロード技術の1つ。無線アクセス網を通じて、コアネットワークの一部のみを経由してインターネット網と接続し、特定のパケットを送受信する方法。

*51 ECM_IDLE：移動端末と無線ネットワーク間のリソースが解放された状態。

*52 ECM_CONNECTED：移動端末が無線ネットワークのリソースを確保し、データ送受信可能な状態。

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

*54 GBRベアラ：帯域保証型サービスを提供するために確立するベアラ。

転送方式を用いるものの、RRC接続とベアラ制御に関してNB-IoT UEおよび各ノードで状態をストアすることで、RRC再接続とベアラ再確立を迅速かつ効率的に行う方式である。本方式はベアラ確立をオンデマンド化することにより、主にUEの超低消費電力化やセル当りの在圏デバイス数の向上といった効果が期待される。本方式では、既存のEPSでサポートする機能に加え、P-GW経由でのNon-IPデータ転送もサポート可能である。

前述のとおり、本方式ではRRC制御に「Suspend (保留)」と「Resume (復旧)」の新たな2つの状態が導入されているが[5]、それぞれの状態に遷移する手順は以下となる (図5)。

(1) RRC Suspend手順

eNBが発動契機となって、対応するNB-IoT UE～eNB間のRRC接続およびeNB～S-GW間のS1-Uベアラを解放する手順である。まずeNBはUE伝達情報保留要求を送信して、MME経由でS-GWにおけるNB-IoT UEに関連したベアラ情報の解放を行う (手順①②)。S-GWはNB-IoT UEに関連したeNB間のS1-Uベアラを解放するが、S-GWアドレスとダウンリンクのTEID (Tunnel Endpoint Identifier)^{*61}の情報のみを解放するだけで、その他の情報は保持したままとする。 (手順③)。S-GWでのS1-Uベアラの解放が完了すると、MMEを経由してUE伝達情報保留応答でeNBはその通知を受けるが (手順④⑤)、その後eNBはNB-IoT

UE向けのAS (Access Stratum)^{*62} 情報、S1-AP接続情報およびベアラ情報をストアしてRRC接続保留のメッセージをUEに送信する (手順⑥⑦)。一方MMEはNB-IoT UE向けのS1-AP接続情報およびベアラ情報をストアしてECM_IDLEに遷移する (手順⑧)。eNBからRRC接続保留のメッセージを受けたNB-IoT UEはAS情報をストアしてECM_IDLEに遷移する (手順⑨)。

(2) RRC Resume手順

Suspend (保留) 状態にあるNB-IoT UE～eNB間のRRC接続および解放されたeNB～S-GW間のS1-Uベアラを再確立 (復旧) する手順である。UE起動の接続復旧の場合、NB-IoT UEが発動契機となり、RRC Suspend手順でストアしたAS情報を用いて、ネットワークとの接続を復旧する (手順①②)。eNBはRRC接続復旧の際、NB-IoT UEのセキュリティチェックを行う。またeNBは、復旧した無線ベアラのリストをNB-IoT UEに提供し、NB-IoT UE～eNB間でEPSベアラ状態の同期を行う (手順③)。上記が正常に完了した後、eNBはMMEにUE伝達情報復旧要求を送信することでNB-IoT UEとの接続を安全に復旧させたことを通知する (手順④)。MMEはeNBからの復旧通知を受けて、保留したUE向けのS1-AP接続情報、ベアラ情報を復旧してECM_CONNECTED状態に遷移し、S-GWのアドレスおよび関連のNB-IoT UEのS1-AP接続情報を含めてeNBにUE伝達情報

復旧応答を送信する (手順⑤⑥)。

この直後より、NB-IoT UEからS-GW向けのアップリンクデータ転送が可能となる (手順⑦)。一方MMEは、S-GWにベアラ修正要求でeNBアドレスとダウンリンクのTEIDを送信することにより、ダウンリンク向けのNB-IoT UE～S-GW間のS1-Uベアラ再確立 (復旧) を行う (手順⑧⑨)。復旧が完了すると、S-GWはMMEにベアラ修正応答を送信し、直後よりeNBへのダウンリンクパケット転送が可能となる (手順⑩⑪)。

一方、S-GWでダウンリンクパケットを受信した場合、S-GWでダウンリンクパケットをバッファするとともに、既存EPSの処理と同様、S-GWとMMEの間でDownlink Data Notification手順が動作した後、MMEからNB-IoT UEへページングすると、UE起動の接続復旧手順が発動する (図5の「着信ありの場合」を参照)。

(3) S1-AP接続情報削除

NB-IoT UEのセル間移動の影響を最小限にするため、AS情報はeNB間で転送される[5] [6]。よってeNBが変更となった場合でも、旧eNBにて(1)の手順でSuspend (保留) された接続状態を、新eNBにて(2)の手順でResume (復旧) させることが可能となる。一方MMEが、あるNB-IoT UEに対して関連のS1-AP接続情報を保持している状態で、以下のイベントが発生した場合は、MMEおよび関連のeNBはS1解放手順を通じて、

^{*55} **Dedicatedベアラ**：各APNにおいて2本目以降に確立するベアラ。IMS-APNにおいてはRTP (Realtime Transport Protocol) やRTCP (RTP Control Protocol) の送受信に使用される。

^{*56} **P-GW**：PDNとの接続点であり、IPアドレスの割当てや、S-GWへのパケット転送などを行うゲートウェイ。

^{*57} **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。

^{*58} **ESM container**：LTEで使用される、モビリティ (EMM) のメッセージであるAttachやTAUなどにセッション管理 (ESM) のベアラ構築・変更・切断に関するメッセージを含める領域。

^{*59} **PSM**：低消費電力技術の1つで、ネット

ワーク上への登録を継続しつつ、UEが一定時間擬似的に電源断と同じ状態に移転する動作。

^{*60} **SCEF**：3GPP標準のモバイルネットワーク内に設置された、3GPPサービスのいくつかを3rdパーティーのアプリケーションプロバイダーに提供するための標準インタフェースを持ち合わせる論理ノード。

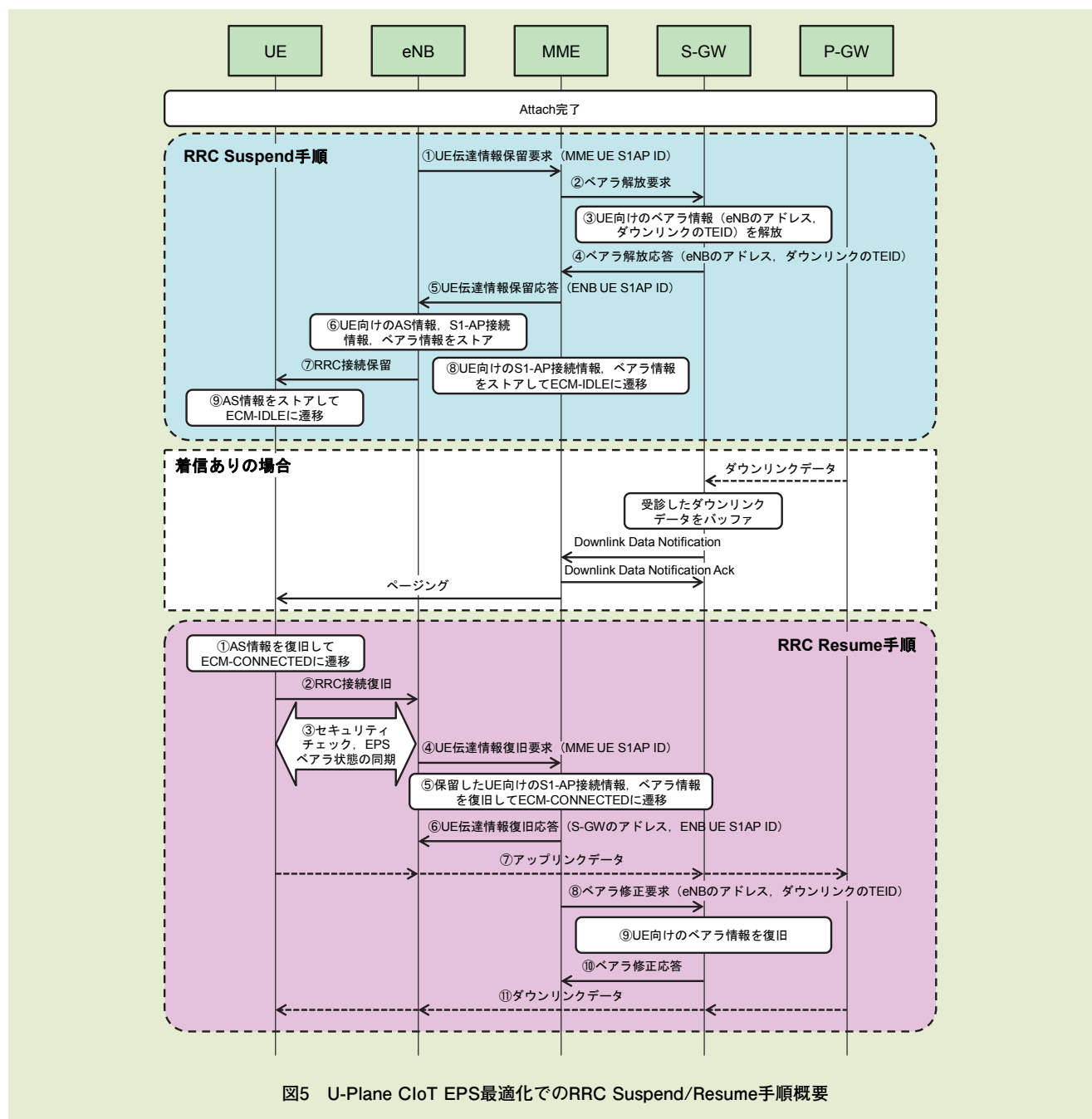
以前保持していたS1-AP接続情報を削除する[3] [7].

- ・MMEがそのNB-IoT UEに関連した別の論理S1接続経路で新たなEMM (EPS Mobility Man-

agement)^{*63}手順を受信する.

- ・MME変更に伴うTAU手順が発動する.
- ・NB-IoT能力を持つ3G/LTE接続可能なUEが3Gで再Attachをし

てTAUでLTEに遷移する際にSGSN (Serving General packet radio service Support Node)^{*64}からContext Requestを受信する.



*61 TEID : GTPのプロトコル上で使用される、接続パスの識別子.

*62 AS : 移動端末と無線ネットワークとの間の機能レイヤ.

*63 EMM : LTEで使用される、UEの位置状態や秘匿、認証、接続の管理情報、またはそれらの登録・変更・削除に関する処理.

*64 SGSN : パケット交換およびパケット通信を行う移動端末の移動管理などの機能を提供する、3GPP標準規格上の論理ノード.

- ・UEがDetach^{*65}する。

(4)HLComの適用

PSMやeDRXなどの間欠受信機能を使用した通信では、NB-IoT UEがSuspend状態にある際にS-GWがダウンリンクパケットを受信した場合は、前述したC-Plane CIoT向けEPS最適化の場合と同様の方法でS-GWでのバッファ量拡張が可能であり、TAUの際はMME間でその時間情報を共有する。

5. あとがき

本稿は、Release 13仕様で策定されたIoTサービス向け新技術を解説した。これらは、サービスのコアとなる要求条件を満たす技術であり、

その普及に伴い今後本格的に導入されることが期待される。同時に、3GPPではRelease 13仕様のさらなる高度化も計画されており、ドコモは、IoTサービスの普及を促進する技術を今後も提供すべく、標準化活動を進めていく。

文 献

- [1] 3GPP TR36.888 V12.0.0: "Study on provision of low-cost Machine-Type Communications (MTC) User Equipments (UEs) based on LTE," Jun. 2013.
- [2] 3GPP TR45.820 V13.1.0: "Cellular system support for ultra-low complexity and low throughput Internet of Things (CIoT)," Dec. 2015.
- [3] 3GPP TS23.401 V13.6.1: "General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access," Mar. 2016.
- [4] 藤島, ほか: "端末種別に基づいてトラフィック分離を実現するDedicated Core Network," 本誌, Vol.23, No.4, pp.76-84, Jan. 2016.
- [5] 3GPP TS36.300 V13.4.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2."
- [6] 3GPP TS36.423 V13.4.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP)."
- [7] 3GPP TS36.413 V13.3.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP)."

*65 Detach: 端末の電源切断などにより、ネットワークが端末の登録状態を削除する処理。