

Technology Reports

LTE/LTE-Advanced のさらなる発展 — LTE Release 10/11 標準化動向 —

LTE/LTE-Advanced 高度化における スマートフォン・マシンコム通信向け無線システム最適化

近年のスマートフォンの普及に伴いトラフィックがますます増加し、またマシンコム通信市場も今後拡大が予想される。それら近年の動向を考慮し、第4世代移動通信システムLTE-Advancedのさらなる機能拡張・高性能化を図る要素技術として、下り個別物理制御チャンネルの拡張、マシンコム用規制制御、およびスマートフォン通信向け最適化制御が、国際標準仕様策定団体である3GPPにおいて、LTE Release 11仕様で策定された。

無線アクセス開発部

ウリ A. ハプサリ

たけだ かずあき†
武田 和晃たかはし ひであき
高橋 秀明

先進技術研究所

もりおか やすふみ
森岡 康史

1. まえがき

3GPPでは、近年のスマートフォンの普及に伴う急激なトラフィックの増加、およびマシンコム通信による市場の拡大を考慮し、無線システムを最適化する要素技術を検討している。

本稿では、LTE Release 11仕様（以下、Rel.11 LTE）で策定されたスマートフォン・マシンコム通信を意識した要素技術である下り物理個別制御チャンネルの拡張、マシンコム用規制制御（EAB：Extended Access Baring）、およびスマートフォン通信向け最適化制御を解説する。

2. 下り物理個別制御チャンネルの拡張

2.1 Release 10 LTEまでの 下り制御チャンネルの概要

LTE Release 8～11仕様において、下りリンクではOFDMA（Orthogonal Frequency Division Multiple Access）^{*1}ベース、および上りリンクではSC-FDMA（Single-Carrier Frequency Division Multiple Access）^{*2}ベースの無線アクセス方式が採用されている。上下リンク共に、12個のサブキャリア^{*3}からなるPRB（Physical Resource Block）^{*4}を周波数スケジューリング^{*5}の最小割当て単位として用いる。この周波数スケジュー

リングの制御は、下りリンクにおいて14個のOFDMシンボル^{*6}で構成されるサブフレーム^{*7}（1 msec）ごとに行われる。したがって、周波数スケジューリングの情報（具体的には、PRBの位置）や送信データのチャンネル符号化、適応変復調・チャンネル符号化（AMC：Adaptive Modulation and Coding）^{*8}に関する下り制御情報（DCI：Downlink Control Information）^{*9}をサブフレームごとに送信する必要がある。そこで、Release 10（以下、Rel.10）までのLTEでは、各サブフレームの先頭最大3 OFDMシンボルに割り当てられるPDCCH（Physical Downlink Control Channel）^{*10}を用いてDCIを送信

© 2013 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

† 現在、先進技術研究所

*1 OFDMA：直交周波数分割多重（OFDM）を用いた無線アクセス方式。OFDMは、高速データレートの広帯域信号を多数の低速データレートのマルチキャリア信号を用いて並列伝送することにより、マルチパス干渉（遅延波からの干渉）に対する耐性の高い高品質伝送を実現する方式。

*2 SC-FDMA：単一ユーザの信号をシングルキャリア伝送しつつ、異なるユーザの

信号は、異なる周波数を割り当てることにより多元接続する無線アクセス方式。

*3 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のことをいい、副搬送波とも呼ばれる。

*4 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。

する。

2.2 Rel.11 LTEにおける 拡張型下り物理制御 チャンネルの概要

近年、スマートフォンの普及により、多種多様なデータトラフィックが発生し、PDCCHのキャパシティ不足が懸念されている。具体的には、大きなパケットサイズのデータ通信に加え、アプリケーションごとに発生する制御情報など小さなパケットサイズのデータ通信が頻繁に行われるため、同時接続ユーザ数が大幅に増大し、DCIの数が大幅に増加すると予想される。しかし、従来のPDCCHは最大で3OFDMシンボルまでしか利用できないため、DCIのキャパシティが不足してしまう。また、Rel. 10 LTEでは、同一時間・周

波数リソースを用いて複数ユーザを多重する技術であるマルチユーザMIMO (Multiple Input Multiple Output)^{*11}がサポートされた。この場合、1サブフレーム当りの同時接続ユーザ数が増大するので、DCIの数も増加してしまう。

このような懸念からDCIのキャパシティをさらに増大させる必要があるため、Rel. 11 LTEでは、拡張型下り物理制御チャンネル (EPDCCH: Enhanced PDCCH) の仕様検討が行われた。図1にEPDCCHを用いる送信フレーム構成を示す。EPDCCHは、PRB単位でPDSCH (Physical Downlink Shared CHannel)^{*12}と周波数分割多重^{*13}される。これらEPDCCH用のPRBは上位レイヤ信号によりUE個別に設定される。このように、PDSCHの領域に新たにEPD-

CCH用のPRBを設定することにより、DCIのキャパシティを増大できる。また、EPDCCHでは、以下の技術を適用することにより、さらなるDCIのキャパシティ増大が期待できる。EPDCCHはPDSCHと周波数分割多重されているため、PRB単位のセル間干渉コーディネーション^{*14}、および周波数スケジューリングの適用が可能となる。また、EPDCCHの復調にはUEの復調用参照信号DM-RS (DeModulation Reference Signal)^{*15}を用いて、UE個別の送信ビームフォーミング^{*16}を適用することも可能である。

EPDCCHはUE固有であるため、スケジューリング情報などUE固有のDCIがEPDCCHで送信される。一方、システム情報などセル共通の制御チャンネルは、従来のPDCCHで

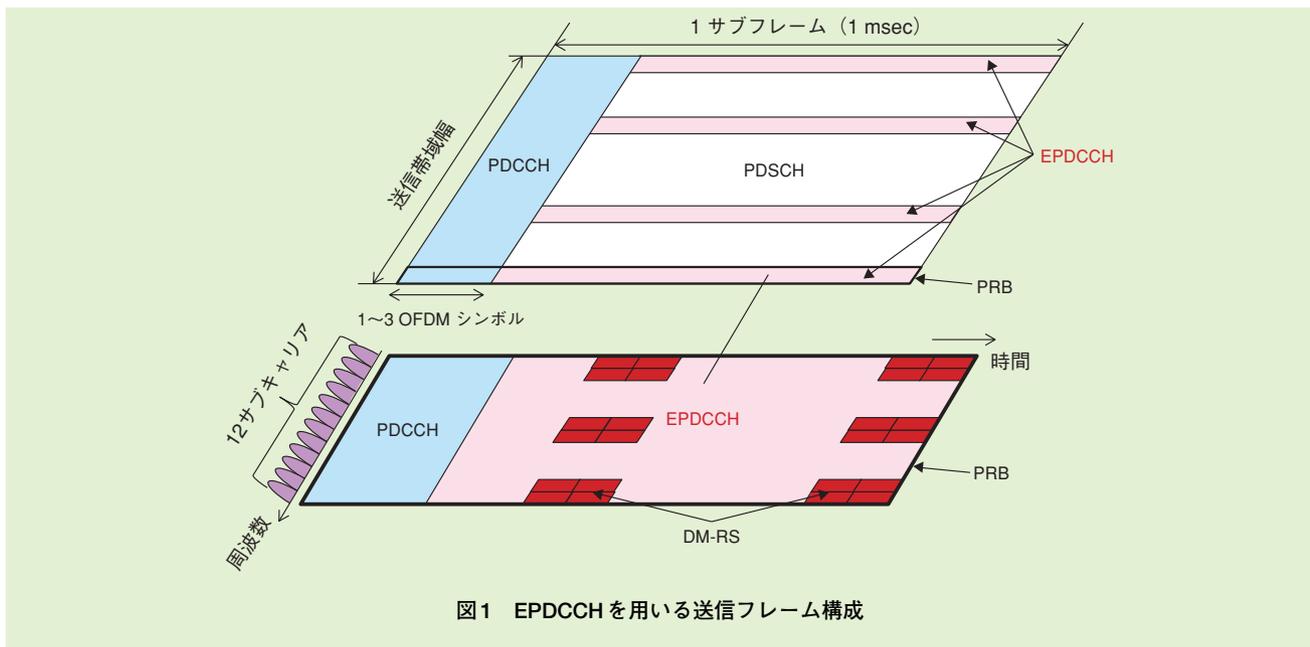


図1 EPDCCHを用いる送信フレーム構成

- *5 周波数スケジューリング：周波数方向のチャンネル品質情報を用いて、チャンネル品質の良い無線リソース(例えばPRB)に各ユーザのデータを割り当てること。
- *6 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。
- *7 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。

- *8 適応変復調・チャンネル符号化 (AMC)：例えば、受信信号電力対干渉電力比などの受信品質に応じて、最適なデータ変調およびチャンネル符号化率を選択することによって、伝送速度を適応制御する方法。
- *9 下り制御情報 (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、およびチャンネル符

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。

- *10 PDCCH：下り制御情報を送信するための物理チャンネルであり、各サブフレームの先頭最大3シンボルを用いて送信される。
- *11 MIMO：同一時間・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。

送信される。

2.3 EPDCCHの送信法

(1) Distributed送信とLocalized送信

EPDCCHではDCIの送信法として、Distributed送信とLocalized送信がサポートされている。Distributed送信とLocalized送信は、上位レイヤのシグナリングにより設定される。図2にEPDCCHの各送信法を示す。一般的に、制御チャンネルの送信では、フェージングチャンネル^{*17}の変動に対する耐性が求められる。したがって、Distributed送信では、各DCIを複数のリソースに分割し、異なるPRBにマッピングすることで、周波数ダイバーシチ^{*18}効果を得ることができる。一方、Localized送信では、UEからのチャンネル品質情報に基づいてDCIをPRBにマッピングすることで周波数スケジューリン

グ効果を得ることができる。さらに、チャンネル品質情報よりUE個別の送信ウェイト^{*19}を算出し、各DCIに乗算することで送信ビームフォーミングゲインを得ることができる。

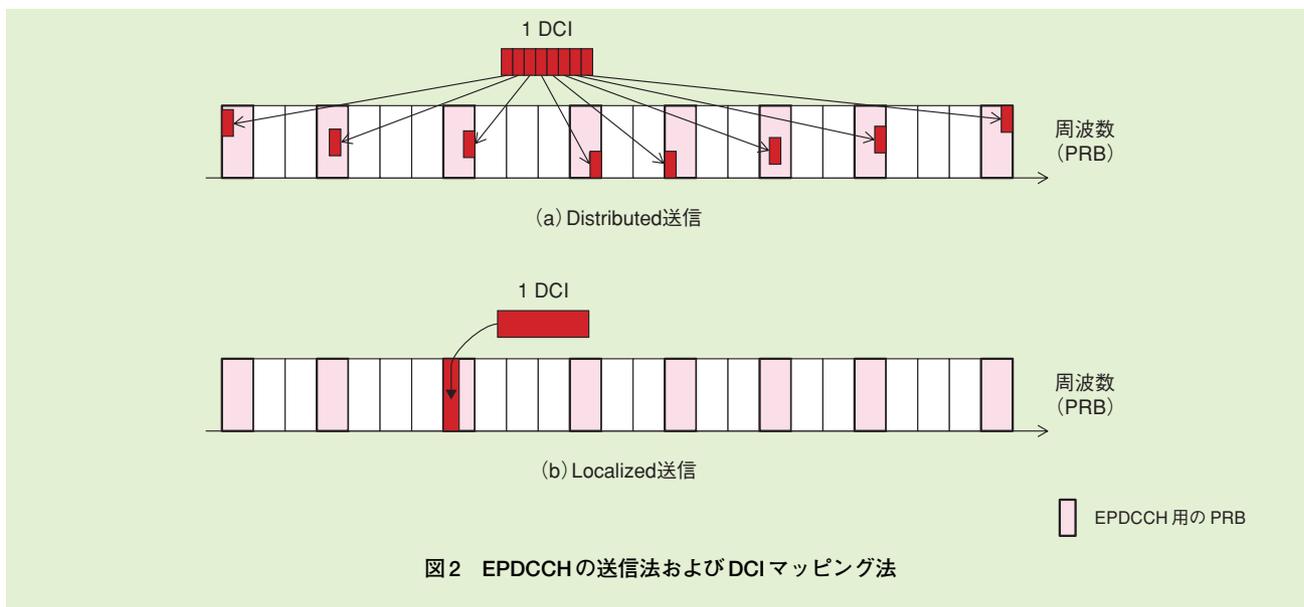
(2) 複数EPDCCHセットのサポート

EPDCCHでは、DCIがマッピングされるPRB数が多いほど高い周波数ダイバーシチ効果が得られる。一方、EPDCCHはPDSCHの送信領域を用いるため、EPDCCH用のPRB数は少ないほうが望ましい。そこで、周波数ダイバーシチ効果が十分得られるような最小のPRB数がサポートされている。具体的に4 PRBで良好な特性が得られることが報告されており、2, 4, および8 PRBがサポートされている(2は狭帯域用にサポート)。

DCIがマッピングされるPRBをEPDCCHセットと定義する。ただ

し、このEPDCCHセットは前述のように最小限のPRBのみサポートしているため、DCIのキャパシティを十分に増大できないおそれがある。そこで、UE当り最大2つまでのEPDCCHセットがサポートされている。

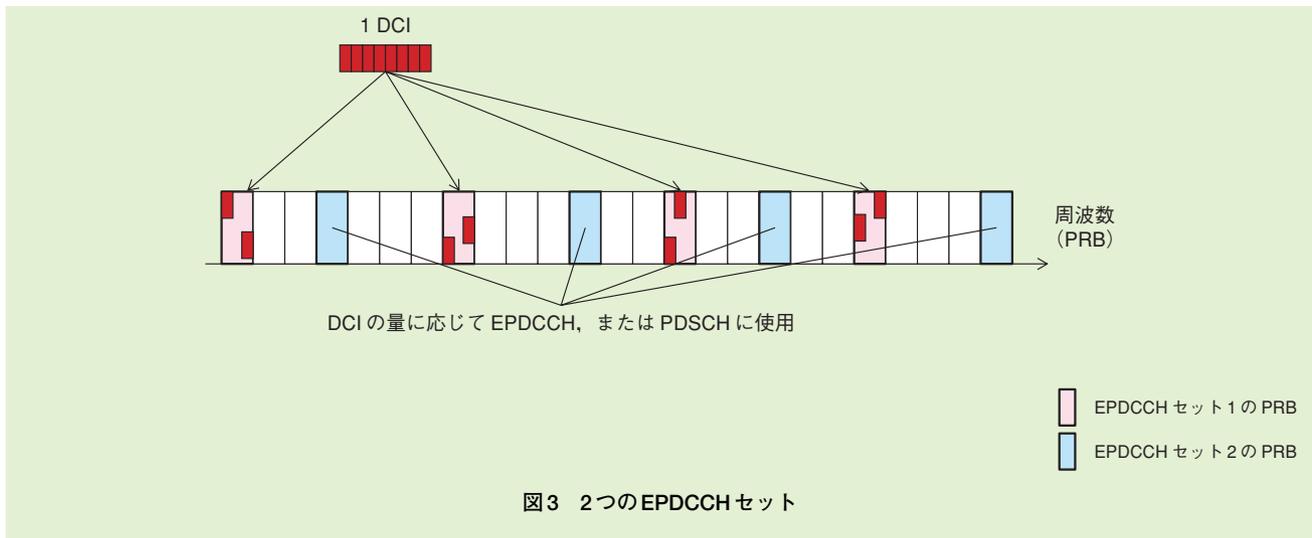
図3に2つのEPDCCHを用いる場合の概念図を示す。2つのEPDCCHセットは、DCIの量に応じてEPDCCH、PDSCHに使用が可能である。例えば、DCIの数が少ないサブフレームでは、1つのEPDCCHセットをDCIの送信に用い、もう片方をPDSCHの送信に用いることができる。一方、DCIの数が多きサブフレームでは、2つのEPDCCHセットをDCIの送信に用いることができる。また、複数EPDCCHセットは、Rel. 11 LTEで仕様化されたセル間協調 (CoMP: Coordinated Multi-Point)^{*20}



*12 PDSCH: 各ユーザの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ンネルであり、各サブフレームにおいてPDCCHに用いているOFDMシンボル以降のOFDMシンボルを用いて送信する。
 *13 周波数分割多重: 周波数を分割し、各移動端末に無線チャンネルを割り当てる多元接続方式。
 *14 セル間干渉コーディネーション: セル間

の無線リソースが干渉し合わないよう(直交するように)各セルの無線リソースを割り当てること。
 *15 DM-RS: データ復調に用いるフェージングチャンネルを推定するためのユーザ個別の、基地局と移動局で既知の参照信号(パイロット信号)のこと。
 *16 ビームフォーミング: 送信側において、チャンネル情報または他のフィードバック情報に基づいてプレコーディングを行

い、受信側での信号分離性能を向上させる方法。
 *17 フェージングチャンネル: 送信局から送信された信号は建物に散乱、反射し受信局で受信されるため、移動機端末が移動すると、受信電力が時々刻々と変動する。このように受信電力が時々変動することをフェージングチャンネルと呼ぶ。



送受信にも有効である。CoMPでは、セル端のスループット^{*21}を改善することを目的に、複数の基地局を用いて（例えば最適な送信基地局から）データの送受信を行う。このような場合、1つのEPDCCHセットを基地局1、もう片方のEPDCCHセットを基地局2から送信することで、データ同様、最適な基地局からEPDCCHを送信することが可能である。なお、UEは、PDCCH、EPDCCHで送られるDCIを総当りで探索するブラインド復号を行うため、DCIの検出候補数を限定している。2つのEPDCCHセットを用いる場合、このブラインド復号の回数が増えないよう検出候補数を2つのセット間で分割している。

3. EABの規定

3.1 背景となる問題点

スマートメータ（電気・ガスメー

タ）などのLTE通信モジュールを搭載した端末（以下、マシンコム端末）とネットワークとの通信を、LTEネットワークを用いて提供する場合、膨大な数のマシンコム端末から一斉発信するようなケースが大きな懸念点である。無線ネットワークの基地局（eNB（eNodeB）^{*22}）だけでなく、コアネットワーク（CN：Core Network）^{*23}におけるリソース逼迫が起これば、輻輳^{*24}状態を引き起こす。その結果、通常の端末もアクセスが難しくなり、無線通信サービスを受けられなくなる。この懸念の対処として、マシンコム端末からの要求信号を抑止するメカニズムが必要である。なお、本稿では、主に無線アクセスネットワーク（RAN：Radio Access Network）^{*25}とマシンコム端末間で実施するメカニズムの説明となる。CNとマシンコム端末間で実施するメカニズムについては文

献[1]で説明する。

3.2 Rel.10における規制制御

Rel.10では、接続要求信号の中にマシンコムであることを示す識別子を定義し、ネットワークで、上記の識別子に基づいて接続要求を拒否すべきかどうかを判断可能な仕組みが規定された[2]。ただし、Rel.10の方法は、マシンコム端末からの要求信号をいったん受け付ける必要があり、要求信号を受け付けたり、拒否したりするための処理にネットワークリソースが必要であった。

3.3 Rel.11における規制制御

(1) EABの概要

Rel.11では、アクセスクラス（AC：Access Class）に基づいた従来の規制方法であるアクセスクラスパーリング（ACB：Access Class Barring）^{*26}の規制方法を踏襲して、

* 18 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（主に複数アンテナ）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。
 * 19 送信ウェイト：複数のアンテナの振幅および位相の制御によってアンテナに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／減少させるための

送信重み係数。

* 20 セル間協調（CoMP）：あるUEに対して、複数のセクタあるいはセルと信号の送受信を行う技術。複数のセルが協調して送受信を行うことにより、他セル干渉低減および所望信号電力の増大を実現する。
 * 21 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。本稿では、スループット＝（送信側のデータ転送速度）×（単位時間当りに誤り

なく受信されるパケット数）／（単位時間当りに送信されるパケット数）により定義される。

* 22 eNB：LTEの無線基地局装置。

* 23 コアネットワーク（CN）：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。

EABが規定された[3]。ネットワークによってEABの規制情報が報知された場合、マシンコム端末において自身が規制対象となっているかの評価を行う。規制対象と評価した場合、自ら接続要求信号を発行しない仕組みとなっている[2]。なお、ACBと同様、EABはアイドル状態からの発信信号が抑止対象となる。

EABと従来のACB規制情報を報知するイメージ図を図4に示す。ACBと同様EAB規制情報を報知情報にて報知する。ACB規制情報を報知情報ブロック(SIB: System Information Block)^{*27}で報知するのに対してEAB規制情報を新たに規定したSIB14で報知する。マシンコム端末で規制有無を評価するために、ネットワークから以下のEAB規制情報を報知する[2]。

- ・ EAB規制対象のAC(ビットマップ情報^{*28})
- ・ UEカテゴリ

マシンコム端末は、上記のEAB報知情報を用いて規制対象の評価をすべきか否かは事前に設定されている。上記のEAB評価対象の設定は無線レイヤではなく、デバイスマネージャ(DM: Device Management)レイヤで行う。

EAB規制対象のAC情報は、各一般AC(AC 0-9)について接続要求の発信の可否を示すビットマップ情報である。

EAB規制情報を用いたEAB規制

評価のアルゴリズムを図5に示す。EAB評価対象であると事前設定されているマシンコム端末は、自身のACおよびカテゴリ(当節(3)を参照)をチェックし、報知情報で規制対象となっているACのビットマップおよびカテゴリ情報に当てはまれば、接続要求の発信規制を適用し、接続要求信号を送信しない。また、優先AC(AC 11-15)をもつマシンコム端末はEABを適用せずに、従来の規制情報ACBが報知される場合は、ACBの規制情報にしたがって、規制対象か否かの評価を行う。さらに、マシンコム端末は、EAB情報を用いて規制評価を行った結果は規制無しであったとしても、ACB規制情報が報知されている場合、ACB規制情報を用いて再度規制評価を行う。つまり、マシンコム端末は、EAB規制情報とACB規制情報とが両方報知される場合、2度規制評価を行う。

報知情報におけるEAB情報が更新されない限り、現状の規制状態をそのまま適用する。EAB規制情報の更新はページングメッセージ^{*29}を用いて通知する。UEは、EAB情報更新という識別子が入っているページングメッセージを受信する場合、EAB情報が含まれる報知情報を受信して更新する。

(2) ローミング状況におけるEAB規制方法

また、Rel.11のEAB規制方法は、ローミングケースの観点も考慮し、ローミングインして来るマシンコム端末と他のマシンコム端末とを区別して異なるアクセス規制をかけるユースケースを想定している。

UEカテゴリは、ローミング状況に応じたEAB規制対象を示すための情報である。Rel.11では、以下の3つのカテゴリが定義されている。

- ①カテゴリA: EAB評価対象が事

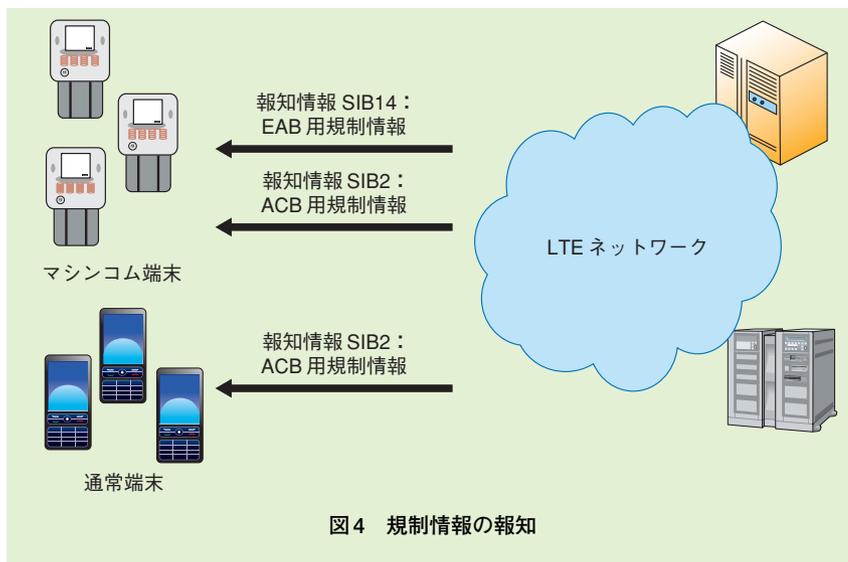


図4 規制情報の報知

* 24 輻輳: 通信の要求が短期間に集中してネットワークの処理能力を超え、通信に支障が発生した状態。
 * 25 無線アクセスネットワーク(RAN): 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。
 * 26 アクセスクラスパーリング(ACB): 災害やイベント(e.g., 正月や花火大会)などでパースト的な接続要求信号を抑制す

るための方法であり、ネットワークから報知した、各端末が属するアクセスクラス(AC)ごとの規制パラメータを用いて端末自身で規制対象となっているかどうかを評価し、規制対象と評価した場合、端末自身から接続要求信号を送信しないメカニズムである。
 * 27 報知情報ブロック(SIB): GSMおよびW-CDMA方式では、無線基地局から移動端末へ一斉同報される報知情報は、複数

のブロックに分割されており、そのブロック単位を示す。
 * 28 ビットマップ情報: 情報量を減らすための情報表現の方法であり、送受信側で既知のパラメータに対応する該当状況を0と1で表現し、その情報のみを送受信する。
 * 29 ページングメッセージ: 待受け中の端末に対して、ネットワークと接続するように呼び出すための信号。

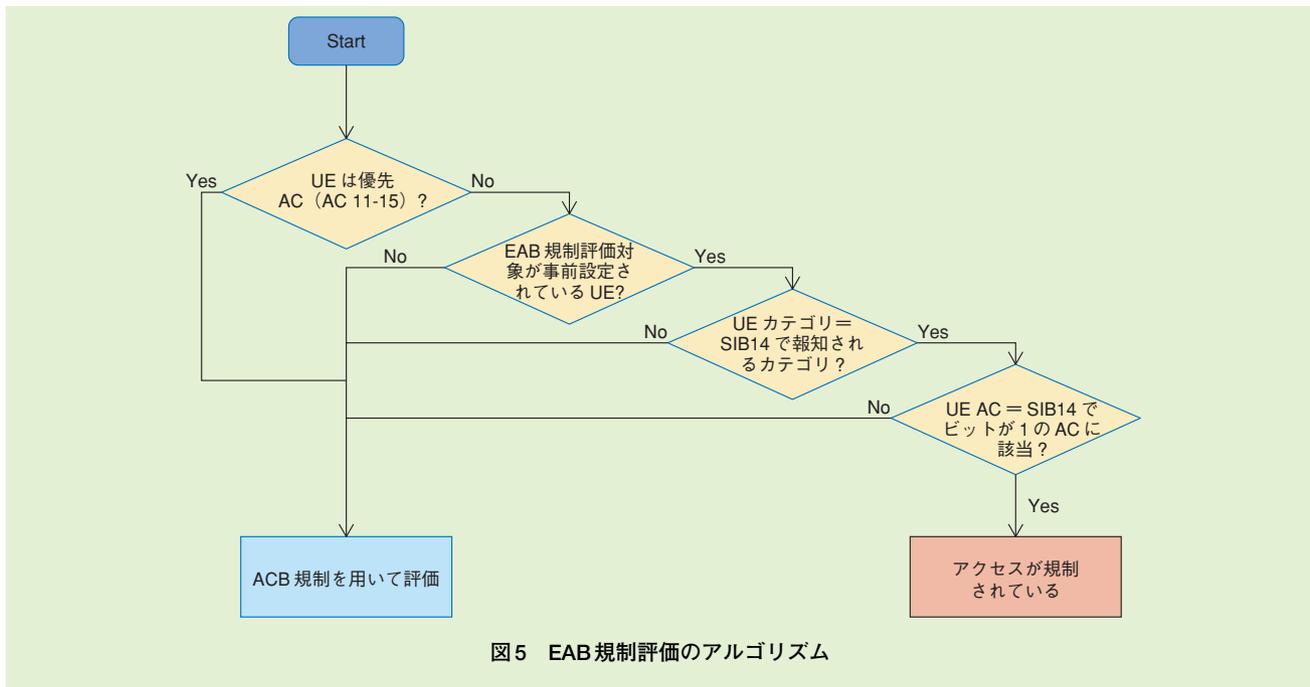


図5 EAB規制評価のアルゴリズム

前設定されているすべてのマシンコム端末

- ②カテゴリB：EAB評価対象が事前設定されており，ローミング中のマシンコム端末
- ③カテゴリC：EAB評価対象が事前設定されており，USIM (Universal Subscriber Identity Module)^{*30}カードに書かれている各国についての most preferred PLMN (Public Land Mobile Network)^{*31}以外でローミング中のマシンコム端末

ローミング状態に基づく各UEカテゴリは，EAB評価対象端末の設定と同様，ネットワークからDMレイヤにて事前設定される。マシンコム端末は，自身のUEカテゴリが，報

知されているUEカテゴリ情報に該当する場合，EAB規制情報を用いて，規制対象か否かの評価を行う(図5)。

(3) コアノードにおける輻輳回避

EAB規制方法は，無線基地局eNBにおける輻輳回避の対処方法だけでなく，コアノードにおける輻輳回避の対処方法としても有効である。特にいくつかのオペレータのコアノードが共通の無線ネットワーク(eNB)を使う場合，オペレータのコアノードごとに，別々のEAB規制情報を定義して適用する必要がある。そのために，報知情報にて，それぞれのオペレータPLMNに対して上記2つのEAB規制情報(ビットマップ情報とUEカテゴリ)を設定することが可能となる。現状のLTE仕

様では，最大6つのオペレータがeNBを共有して使用することができたため，最大6つセットのPLMN識別子(PLMN ID：PLMN Identity)とそれに対応するEAB情報を報知することは可能となっている。つまり，UEは，UEが選択し登録しているPLMN IDが報知されている場合，そのPLMN IDに対応するEAB規制情報を用いて規制対象か否かの評価を行う。

4. スマートフォン通信向け最適化制御

現在急速に普及が進んでいるスマートフォンの特徴は，各々の移動端末が種々のアプリケーションを自由にインストールして実行できること

* 30 USIM：携帯電話会社と契約した電話番号などを記録しているICカード。3GPPでのW-CDMA/LTE用途の移動通信用加入者識別モジュールをUSIMと呼ぶ。

* 31 most preferred PLMN：USIMに記載される情報の1つであり，契約している通信事業者が，ローミング時に接続する優先度の最も高いローミング先の通信事業者を設定する情報である。

にある。これにより、急激なトラフィック増加のみならず、通信に伴う移動端末の消費電力量の増加といった問題が生じている。

そこで、Rel.11 LTEにおいて、移動端末の電力消費最適化を目的とした制御が規定された。具体的には、移動端末が消費電力低減を要求する状態（以下、Low Power Consumption状態）になった時に、移動端末から電力消費低減の必要性を基地局に通知する機能が追加された。

4.1 電力消費最適化制御

通信に伴う移動端末の消費電力量増加への対策として規定された電力消費最適化制御の手順を図6に示す。基地局は、本制御に対応する移動端末に対して、PPI（Power Preference Indicator）有効化メッセージを送信することで、電力消費低減の必要性を基地局に通知する機能を有効にする。PPI送信が有効化された移動端末は、Low Power Consumption状態か否かをPPIにより基地局に通知することができる。移動端末がLow Power Consumption状態か否かを判定する条件は、実装依存となっており、例えば、電池残量や端末画面のオン・オフによる状態判定などが考えられる。PPIを受信した基地局は、通知された状態に基づき、移動端末に設定する無線パラメータを最適化する。例えば、Low Power Consumption状態の移動端末に対して、間欠受信間隔の長いDRX（Dis-

continuous Reception)^{*32}を設定し、電力消費を抑えることが考えられる。一方、通常状態の移動端末に対しては、通信開始時の遅延を短縮するため、間欠受信間隔の短いDRXを設定することが考えられる。ただし、無線パラメータの最適化方法は標準では規定されておらず、実装依存となっている。一方、移動端末がLow Power Consumption状態であっても、移動端末が音声のように品質を重視する通信を行っている場合には、基地局は通信品質を適切に保証

する要求条件も併せて規定されている。

本制御により、基地局は移動端末の状態に応じて無線パラメータを最適化できるため、通信品質をほとんど劣化させることなく、移動端末の電力消費を低減できることが期待される。

4.2 制御信号輻輳の抑制機能

PPIは移動端末の状態に基づいて送信されるため、移動端末からの頻

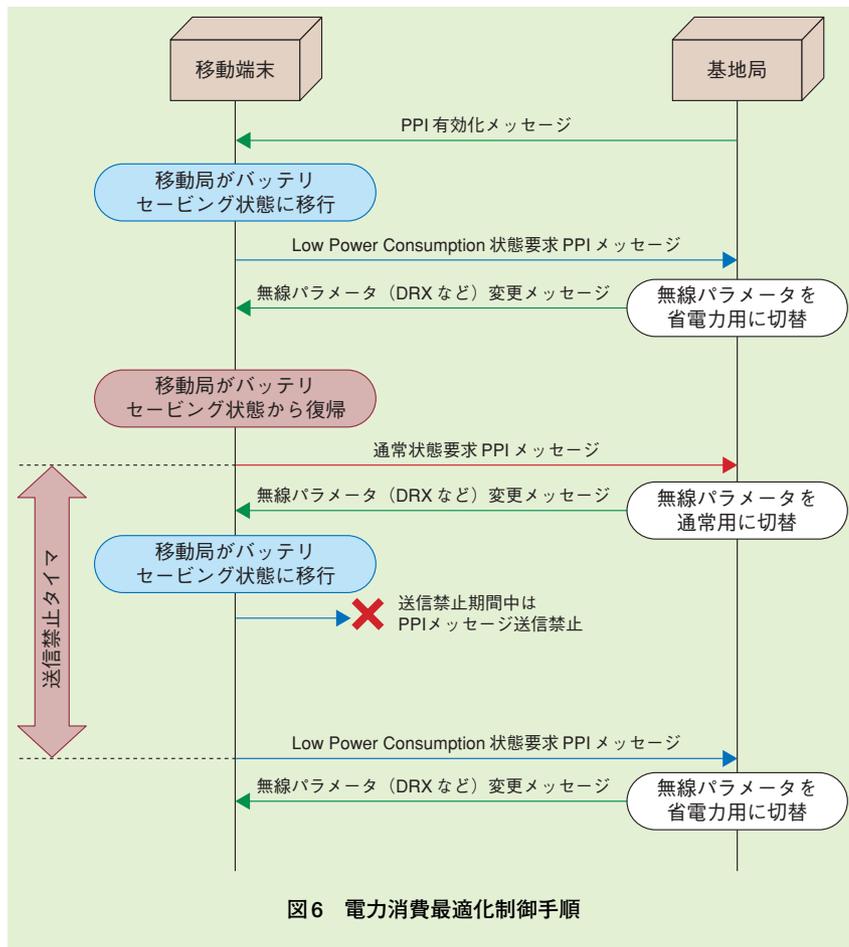


図6 電力消費最適化制御手順

* 32 DRX：UEの電力消費の低減を目的とした間欠受信制御。

繁なPPI送信による制御信号輻射が生じる懸念がある。それを防ぐため、基地局がPPIを有効化する際には送信禁止タイマ^{*33}を設定する。これにより、一度通常状態のPPIを送信した移動端末は、送信禁止タイマが満了するまではLow Power Consumption状態のPPIを送信できない。また、同一PPIの連続送信も禁止されている。これらの規定により、制御信号輻射を押し止める。

5. あとがき

本稿では、Rel.11 LTEで策定された、スマートフォン・マシンコム通信向けに無線システムを最適化する要素技術を解説した。スマートフォンの普及、およびマシンコム通信による新たなサービス需要に伴う無線システムの最適化はドコモにおいても重要な課題であり、今後もさらなる高機能化、経済化をめざし、標準

化を推進していく。

文献

- [1] 笹田, ほか: “M2M通信コアネットワーク基盤と輻射対策技術,” 本誌, Vol.21, No.2, pp-30-34, Jul. 2013.
- [2] 3GPP TS36.331 V11.3.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification,” Mar. 2013.
- [3] 3GPP TS22.011 V11.3.0: “Service accessibility,” Mar. 2013.

* 33 送信禁止タイマ: 制御信号の連続送信を防止するためのタイマ。移動端末は、送信禁止タイマで設定された期間は、同一の制御信号を連続して送信することを禁止される。