平成27年7月　年4回季刊発行

NTT DOCOMO

テクニカル・ジャーナル

Technical Journal

Vol.23　Jul.2015 | No.2

DOCOMO Today

- お客様にご満足いただけるネットワークの進化をめざして

Technology Reports（特集）

PREMIUM 4G特集　－LTE-Advancedの導入－

- さらなるLTEの進化，スマートライフをサポートする LTE-Advancedの開発
- 高度化C-RANアーキテクチャを活用した LTE-Advanced商用開発
  —アドオンセルによる容量拡大と高度なセル間連携による安定した通信の実現—
- 高度化C-RANアーキテクチャを実現する 無線装置およびアンテナの開発
- LTE-Advancedカテゴリ6 キャリアアグリゲーションに 対応したルータ型移動端末の開発

LTE-Advancedのさらなる発展に向けて －Release12 標準化動向－

- LTE-Advanced Release 12 標準化技術概要
- さらなる高速大容量化を実現する キャリアアグリゲーション高度化およびDual Connectivity技術
- LTE-Advanced Release 12 における 高次多値変調／スモールセル検出／干渉制御技術
- LTE-Advanced Release 12 におけるD2D通信の実現
- LTE/LTE-Advancedシステムにおける アクセスクラス制御技術

Technology Reports

- ウェアラブル皮膚アセトン測定装置の開発と健康管理への応用

Collaboration Projects

- コスト削減と災害対策を両立するグリーン基地局向け電力制御技術

Standardization

- VoLTEローミング・最新標準化動向—S8HR方式概要—

NTT docomo

DOCOMO Today

お客様にご満足いただけるネットワークの進化をめざして

無線アクセス開発部　部長　前原（まえばら） 昭宏（あきひろ）

「いつでも，どこでも，だれとでも」……これは私が二十数年前にNTTに入社したときに，移動通信システムのめざす姿として上司や諸先輩方から教えていただいた言葉です．私が入社したすぐ後に，PDC方式で2.4kbpsの回線交換ベースのデータ通信サービスが始まりましたが，当時はそれを「非電話通信」と呼んでいたとおり，移動通信の利用は人と人とが直接通信する音声電話がほとんどを占めていました．「だれとでも」は当時のその様子を如実に表しており，時代の移り変わりを感じます．その後，1997年にPDC-P方式として28.8kbpsのパケット通信サービスが登場し，移動環境でのデータ通信を利用したサービスが発展してきました．さらにW-CDMAからHSPA，LTEを経て，本年3月にLTE-Advancedのサービスとして「PREMIUM 4G™*1」を開始して225Mbpsを超える時代を迎えることができました．

高速データ通信の実現によって，高精細な動画の配信やクラウドサービスなどの大容量コンテンツを扱うサービスが発展してきましたが，同時にリアルタイムなメッセージ通信サービスも普及しています．さらに，昨年開始したVoLTEサービスや音声定額制に象徴されるように，移動通信の原点である音声通信についても，改めてそのサービス性が見直されてきていると感じます．このように進化・多様化するサービスをお客様に快適に安心してご利用いただくためには，データ通信の高速化や大容量化はもちろんですが，特にメッセージ通信や音声通信では，「つながる」「途切れない」といった移動通信システムの基本的な品質の確保も大切です．それらのご要望にお応えするために，ネットワークを絶え間なく高度化していくことが我々移動通信システムを開発する者の使命です．

LTE時代になり，MIMOやキャリアアグリゲーションなどの高速化技術，さまざまな干渉低減技術がデバイスの進化に伴って次々と生まれ，移動通信のネットワークは飛躍的に進化してきました．また，災害時やイベント会場など非常に混雑している状況でも，より多くの方に通信していただくためのトラフィックコントロール技術など，安心してご利用いただくための技術も進歩してきました．そうした新しい技術が開発される一方で，効率良くネットワークのパフォーマンスを向上させるには，現在利用されている技術の使い方を工夫したり，複数の技術を組み合わせて使うことにより，新たな価値を生み出すということも有効です．そのような事例として，ドコモではLTE-Advancedの導入に向けて高度化C-RANのコンセプトを提唱して，そのシステム開発を行いました．これはキャリアアグリゲーションとヘテロジニアスネットワークという2つの技術の組合せにより，お客様に高速で高品質なネットワークサービスをご提供するものですが，ドコモがこれまでのネットワークオペレーションや標準化活動を通じてシステムを熟知しているからこそ考案できたものです．この経験を活かして，今後もこのように既存の技術もしっかり活用していきたいと考えています．

我々は，これまでiモードやスマートフォンなど，移動通信のトラフィックに大きな変化をもたらしたサービスや端末の普及に合わせて，ネットワークを強化してきました．来たるべきIoT時代には，さらに多様な通信形態の端末が登場し，移動通信のネットワークにはこれまでと異なる特性を有する通信トラフィックが発生することになると思います．その変化に柔軟に適合して，高いパフォーマンスを発揮するためには，「新しい技術の開発」と，「既存の技術の使いこなし」という両輪でバランスよく対応することが重要です．そして，お客様が「いつでも，どこでも」快適にご利用いただけるよう限られた資源である無線リソースを最大限に活用し，強固で柔軟なネットワークを構築していきたいと思います．

---

*1　**PREMIUM 4G™**：NTTドコモの商標．

NTT DOCOMO
テクニカル・ジャーナル
Technical Journal
Vol.23 No.2 Jul. 2015

Contents

DOCOMO Today

お客様にご満足いただけるネットワークの進化をめざして　前原 昭宏… 1

特 別 寄 稿

物語と価値　本郷 節之…… 4

Technology Reports（特集）

(P.19)

(P.25)

(P.54)

PREMIUM 4G特集　ーLTE-Advancedの導入ー

さらなるLTEの進化，スマートライフをサポートするLTE-Advancedの開発…… 6

高度化C-RANアーキテクチャを活用したLTE-Advanced商用開発
ーアドオンセルによる容量拡大と高度なセル間連携による安定した通信の実現ー…… 11

高度化C-RANアーキテクチャを実現する無線装置およびアンテナの開発…… 19

LTE-Advancedカテゴリ6キャリアアグリゲーションに対応した
ルータ型移動端末の開発…… 25

LTE-Advancedのさらなる発展に向けて　ーRelease 12 標準化動向ー

LTE-Advanced Release 12 標準化技術概要…… 30

さらなる高速大容量化を実現するキャリアアグリゲーション高度化
およびDual Connectivity技術…… 35

LTE-Advanced Release 12 における高次多値変調／スモールセル検出／干渉制御技術…… 46

LTE-Advanced Release 12 におけるD2D通信の実現…… 54

LTE/LTE-Advancedシステムにおけるアクセスクラス制御技術…… 63

Technology Reports

(P.74)

ウェアラブル皮膚アセトン測定装置の開発と健康管理への応用 …… 74

Collaboration Projects

(P.80)

コスト削減と災害対策を両立するグリーン基地局向け電力制御技術… 80

Standardization

VoLTEローミング・最新標準化動向　ーS8HR方式概要ー…… 86

News

(P.90)

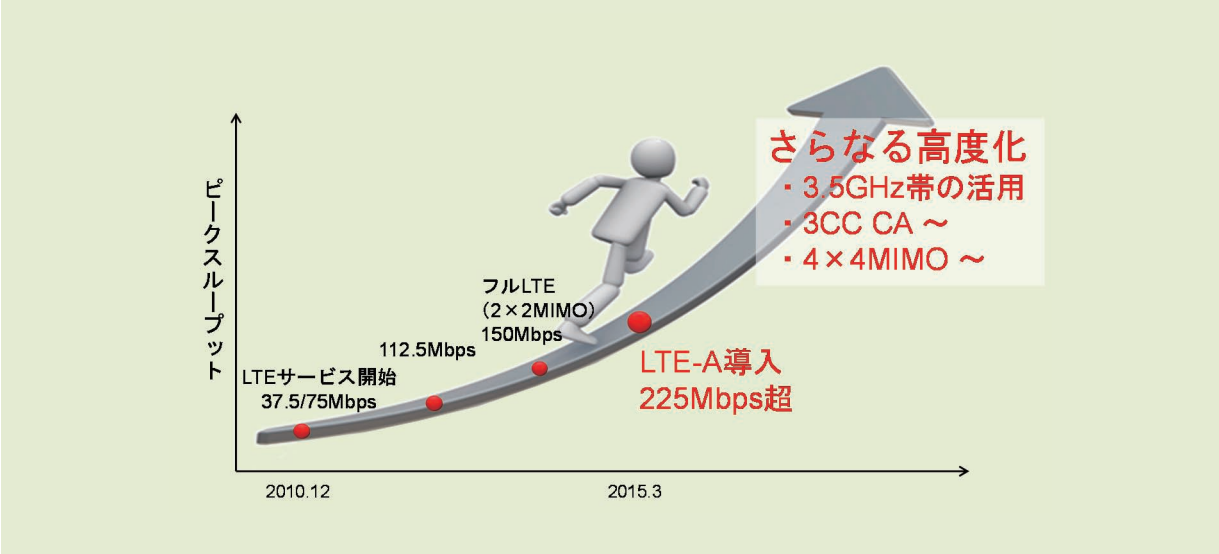
平成27年度科学技術分野の文部科学大臣表彰
「科学技術賞（開発部門）」受賞 …… 90

第60回「前島密賞」受賞 …… 91

第43回日本ITU協会賞「功績賞」「国際活動奨励賞」受賞 …… 92

情報処理学会「喜安記念業績賞」受賞 …… 93

電気通信協会「ICT事業奨励賞」受賞…… 94



Technology Reports（特集）　さらなるLTEの進化，スマートライフをサポートするLTE-Advancedの開発（P.6）
さらなる高度化へ

特別寄稿

北海道科学大学　教授　本郷（ほんごう）　節之（さだゆき）さん

物語と価値

北海道へ移り住んでから，早いもので5年の月日が過ぎました．現在私が勤務している北海道科学大学（旧北海道工業大学）は，札幌市最西端の手稲（ていね）区にあります．ここでは，校舎からスキー場のある手稲山が正面に見え，四季の移り変わりを，山肌の色彩から感じることができます．

こちらへ着任して間もなくの頃，地域の方々と交流する機会があり，年配の方から，「手稲」という地名の語源がアイヌ語であることを教えていただきました．その後調べてみると，手稲の語源は，小川の名である「テイネニタツ」「テイネノタフ」から派生したもので，「濡れている場所・湿地」（teyne-nitat）らしいとする調査報告書を見つけました[1]．確かに，この地域は昔から頻繁に洪水が発生していたようであり，手稲区のホームページを見ても，大雨が降った時などは，瞬く間に大量の激しい流れとなって街を襲ったという当時の状況[2]，そして，この地に住む人々の自然との闘いの物語が紹介されています．私はこの地に移り住んで以来，こうした物語に惹かれるものを感じ，しばしば週末などに，ゆかりのある場所をいくつか巡っては当時に思いを馳せたりしています．

こうした，地域と密接なつながりをもつ物語は日本各地にみられますが，北海道にも，いくつものこうした逸話のあることが知られており，代表的なものに，阿寒湖のマリモの物語があります．マリモにまつわる物語はいくつかあるようですが，例えば『阿寒湖のほとりの集落に住む村長の娘が婿を貰うことになったが，選ばれたのがならず者で知られる副村長の息子であった．娘は，実は下僕の青年を心密かに慕っており，彼のことを嫌った．ねたんだ副村長の息子が下僕の青年を殺めようとしたが逆に自らの命を落とすことになってしまった．罪を悔いた下僕の青年は，湖に身を投げ，それを知った娘も追うようにして身を投げて，このふたりがマリモになった』という悲しい物語があります[3]．この他にも，釧路湿原のタンチョウにまつわる物語などもいくつかあるようです[4]．

北海道内には，多くの観光地に，こうした物語，特に，先住民族であるアイヌの人々の，その土地や自然，動物にまつわる物語が残されており，それが，北海道という観光地の魅力の1つとなっています．そのことは，多くのガイドブックや各地域・自治体のパンフレットなどで紹介されていることからも伺い知ることができるでしょう．けれどもこの“物語”によって魅力を高める対象は，実は観光地だけではないのかも知れません．

健康ブームが広がり，最近でこそ食べる人が徐々に増えてきたものの，やはり大阪では，納豆はまだまだ抵抗のある人の割合が少なくない食品と言われています．しかしその大阪で「大阪産名品」として認証され，「大阪産PR大使賞」を受賞した納豆メーカーがあるというのです．それは，従業員がわずか8人の小さな会社，「小金屋（こがねや）食品」[5]．

創業者（現社長の父親）は，昭和26年，16歳で大阪の納豆工場に丁稚として奉公．やがて，大阪に納豆を広めたいという熱い想いから夫婦で小さな工場を立ち上げました．徐々にお客様も取引先も増えていきますが，ある時火災で工場が全焼します．しかし，納豆作りにかける情熱で，1年で工場を再建させました．また，1995年の阪神大震災のときには，物流がつながらないため商品を店舗に送り込むことができなくなりました．いま私たちが当時の惨状を思い描くだけでも，諦めるしかなかったであろうことは想像に難くありません．しかし創業者は決して諦めることなく，家族の反対を押し切って自分で冷蔵車を運転して一般道を神戸に向かい，往復19時間もかけて納品したのだそうです．

また，晩年，創業者はガンを患うのですが，最期の言葉は，「あのな，もう1個作りたい納豆があるねん」．納豆づくりへの情熱，執念を感じさせる逸話と言えるでしょう．

Profile

1984年岩手大学大学院修士課程修了．同年日本電信電話公社横須賀電気通信研究所入所．以来，ヒューマンインタフェース・視覚情報処理モデルの研究に従事．1987年ATR視聴覚機構研究所へ出向．1999年NTTドコモへ転籍．セキュリティ方式研究室を創設し，研究室長として研究開発を推進．2010年より現職．博士（工学）．著書『脳・神経システムの数理モデル』（共著）他．IEEE，IEICE各会員．IPSJ CSEC研究会運営委員．

その情熱に動かされ，それまで主婦であった創業者の娘さんが家業を継ぎます．しかし素人がやって俄かにうまく行くはずもありません．苦境に立たされた2代目は，「独自の価値」として，創業者の納豆に賭ける情熱を“物語”にして伝えることを始めました．Webサイトをリニューアルし，原材料や製法のこだわりに加え，創業者のエピソードを前面に押し出したのです[6].

情報発信方法の試行錯誤を繰り返す中，やがて，この創業者の物語，そしてその情熱が込められた納豆そのものが注目されるようになりました．そしてテレビや新聞，情報誌などさまざまなメディアに取り上げられて，今ではいろいろなところから引っ張りだこの，“大阪府も認める納豆会社”へと成長を遂げたのです．

創業者のエピソードという“物語”は，「小金屋食品」の魅力を増幅し，消費者の興味や関心を惹く可能性を格段にアップさせました．そして，消費者のそうした興味や関心が，商品に対する実際の購買行動へと少なからず結び付いていったのです．

こうした事例を見るにつけ，“物語”によるブランディングは，現代における有力なマーケティング手法の1つと言っても間違いではないでしょう．まず売るべきモノは，“商品”や“サービス”もさることながら，それ以上に，その企業にまつわる“物語”なのです．

日本の移動通信技術を黎明期からリードし，いち早く技術を事業に結び付けただけでなく，国際的な標準化の策定にも多大な尽力をしてきたドコモR&Dは，失敗や成功，挫折や栄光など，“物語”には事欠かない宝庫なのではないでしょうか．“物語”が“価値”を生む時代．ドコモR&Dには，これからもたくさんの“物語”を作り続ける舞台であり続けて欲しいと願っています．

文　献

[1] 渡邉 隆：“アイヌ語Teyne地名について，”郷土史研究会会報―郷土史ていね，Vol. 47, p.1, Nov. 2011.
http://www.unison-it.jp/teine/pdf/kaihou_20111109.pdf

[2] 札幌市手稲区市民部総務企画課：“まちが湖のように見えた，”Mar. 2011.
http://www.city.sapporo.jp/teine/tthanashi/honbun/hanashi11.html

[3] 阿部 敏夫：“「大正期におけるアイヌ民話集」・「北海道の義経伝説とアイヌ」．”
http://www.frpac.or.jp/about/files/sem1412.pdf

[4] 環境庁釧路湿原国立公園管理事務所：“アイヌ民話―湿原とタンチョウ，”p.119, Mar. 1989.

[5] 納豆BAR小金庵ホームページ：“小金屋食品物語．”
http://710-bar.co.jp/hpgen/HPB/entries/9.html

[6] 土肥 義則：“仕事をしたら“ストーリーができた：“納豆不毛地帯”の大阪で，なぜ小さな店の納豆がヒットしたのか，”ITmediaビジネスオンライン，Sep. 2014.
http://bizmakoto.jp/makoto/articles/1409/10/news018.html

LTE-Advanced　キャリアアグリゲーション　高度化C-RAN

Technology Reports

PREMIUM 4G特集　―LTE-Advancedの導入―

さらなるLTEの進化，スマートライフをサポートするLTE-Advancedの開発

2015年3月に「PREMIUM 4G™*1」としてサービスを開始したLTE-Advancedは，LTEをベースとして，さらなる高速化と大容量化を実現する携帯電話システムである．ドコモではLTE-Advancedの技術を最大限に活かし，通信速度の向上と無線容量の拡大を実現する「高度化C-RAN」およびLTE-Advanced対応の端末を開発した．高度化C-RANを活用することで，駅周辺や大規模商業施設などの通信量が特に多い地域においても，より快適で安定した高速通信の提供が可能となり，効果的にLTE-Advancedを展開することができる．

無線アクセス開発部　安部田（あべた） 貞行（さだゆき）
河原（かわはら） 敏朗（としろう）
移動機開発部　二方（ふたかた） 敏之（としゆき）

1. まえがき

スマートフォンが普及し，ソーシャルネットワーク，ビデオストリーミングに代表されるモバイルネットワークの新たな利用などにより，モバイルデータトラフィックが急増している．総務省の報告[1]によれば，日本では直近の約1年間において約1.5倍トラフィックが増加しており，その対策は移動通信事業者にとって共通の課題となっている．

ドコモでは，ユーザ体感の向上，サービスの新たな可能性につながる通信速度の高速化や，増加し続けるトラフィックを収容するために，2010年12月に，「高速」「大容量」「低遅延」の特長を有するLTEを導入した．LTEの導入により，従来のHSPA（High Speed Packet Access）*2に比べて，約10倍の高速化，約3倍の大容量化に加え，遅延を約1/4に低減することが可能となり，スマートフォンなどの利便性が大幅に向上した．

LTEは2015年3月現在において，約150カ国，300以上のオペレータによって運用されており，これまでに標準化されたどの携帯電話システムよりも，非常に早い速度で世界的に導入されている．このLTEの発展形がLTE-Advancedであり，今後普及していくであろう重要な技術である．

本稿では，ドコモが2015年3月に「PREMIUM 4G」として商用サービスを開始したLTE-Advancedの技術概要と，複数のセル間でのキャリアアグリゲーション（CA：Carrier Aggregation）を可能とし，モビリティ性能を確保したままスループット向上，容量増加を実現する，新たに開発した高度化C-RAN（Centralized Radio Access Network）の概要について解説する．なお，高度化C-RANの制御，装置，LTE-Advanced対応移動端末技術については，本特集内の各記事で詳細を参

*1　PREMIUM 4G™：NTTドコモの商標．
*2　HSPA：W-CDMAのパケットデータ通信を高速化した規格であり，基地局から移動端末への下り方向を高速化したHSDPA（High Speed Downlink Packet Access）と移動端末から基地局への上り方向を高速化したHSUPA（High Speed Uplink Packet Access）の総称である．

照されたい[2]〜[4].

2. LTE-Advancedの要求条件

LTE-AdvancedはLTEの発展形として，2008年6月に仕様検討が開始され，その要求条件は3GPPのテクニカルレポート[5]にまとめられている．LTEとの共存，LTEからのマイグレーションシナリオ，さらなる性能の向上に加えて，電力や運用のコスト低減などが記載されている．以下にその主要なものの詳細を紹介する．

⑴LTEとの共存

LTEに比較して，さらに高いシステム性能を実現するだけでなく，既存のLTEからのスムーズな移行を可能にすることが求められ，LTEとのバックワードコンパチビリティを保つことが重要な要求条件とされた．ここで，定義されたバックワードコンパチビリティとは，**図1**に示すようにLTEの端末がLTE-Advancedのネットワークに接続できることは当然のこと，LTE-Advancedの端末がLTEのネットワークにも接続することを可能にしつつ，LTE-Advancedのネットワークに接続した場合には，大きな性能向上が実現されることを意味する．

⑵最大データ速度，周波数利用効率，セル端ユーザスループットの向上

LTE-Advancedでは，LTEに対する基本的なシステムの性能向上が要求されている．最大データ速度の要求条件として，下りリンクで1Gbps，上りリンクで500Mbpsと飛躍的な向上が求められた．

一方，周波数利用効率においても，LTEに比べて，約1.5倍程度の改善が要求されている．当時，LTEが承認されたばかりであることを考慮すると，かなり挑戦的な目標であった．

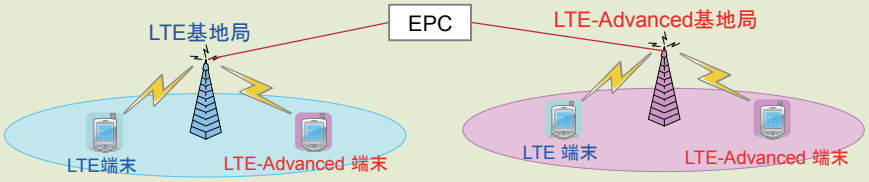
また重要な指標としてセル端のユーザスループットが考慮されている．これは，電波が弱くなり，他のセルからの干渉によって受信品質が劣化するセル端のユーザに対して，十分に満足できるサービスを提供できるかを示す重要なファクタである．LTEでも重要な指標とされたが，LTE-Advancedでは，特にこのようなセル端環境でのスループット改善に向けた技術が検討された．

3. LTE-Advancedの主な技術

LTE-Advancedでは，前記要求条件を満たすために，LTEをベースとして，以下に示すような無線インタフェース技術のさらなる高度化が仕様化された．

3.1 CA

LTEでは，最大20MHzまでの帯域幅において，4×4 MIMO（Multiple Input Multiple Output）*3をサポートすることにより下りリンクで最大300Mbpsを実現しているが，LTE-Advancedでは，下りリンクで1Gbps，



LTEとLTE-Advancedの互換性

	LTE基地局	LTE-Advanced基地局
LTE端末	LTE	LTE
LTE-Advanced端末	LTE	LTE-Advanced

EPC：Evolved Packet Core

図1　LTE-Advancedの互換性

＊3　MIMO：複数のアンテナから，異なる信号を，同時に送信することで高速化伝送を実現する技術．

上りリンクで500Mbpsのピークデータレートが要求条件として設定されたため，さらなる広帯域化が必要となる．一方でLTE-Advancedは，LTEとのバックワードコンパチビリティも確保する必要がある．そこで，LTEがサポートする帯域幅のコンポーネントキャリア（CC：Component Carrier）と呼ばれる周波数ブロックを複数組み合わせることにより，広帯域化を実現するCAが仕様化された[6]．CAにより既存LTEとのバックワードコンパチビリティを保ちつつさらなる高速化の実現，ならびに周波数間での瞬時のロードバランシング*4が可能になり，周波数の有効利用を図ることが可能となる．

3.2 マルチアンテナの高度化

LTEでは，下りリンクで最大4レイヤ*5までのシングルユーザMIMO*6多重がサポートされており，上りリンクではMIMO多重はサポートされていない．これに対して，LTE-Advancedでは，ピーク周波数利用効率（Peak Spectral Efficiency）*7の要求条件を満たすため，下りリンク最大8レイヤ，上りリンク最大4レイヤのシングルユーザMIMO多重をサポートした．また，システム容量を向上させるため，マルチユーザMIMO*8が高度化された．さらに，特にセル端ユーザスループットを改善するため，複数のセル間で協調して送受信を行うセル間協調送受信（CoMP：Coordinated Multiple Point transmission and reception）も仕様化された[6]．

3.3 HetNetにおける基地局間連携

LTE-Advancedでは，無線アクセスネットワーク（RAN：Radio Access Network）*9の低コスト化も重要な要求条件の1つであり，従来のマクロセル*10中心の構成に加え，スモールセル*11基地局などの送信電力の異なるさまざまな形態の基地局を適切に展開し，連携することでコスト低減が期待できる，ヘテロジニアスネットワーク（HetNet：Heterogeneous Network）と呼ばれる構成が注目されている．Het NetではCAと連動した異周波間連携，同一周波数での干渉を低減するeICIC（enhanced Inter-Cell Interference Coordination）などを高効率にサポートする無線インタフェースが仕様化された．

4. 高度化C-RANアーキテクチャの特長

LTE-Advancedの主な技術であるCAを用いることで，さらなる高速化が可能となるが，主要駅周辺などの通信量が非常に多い環境では，容量増大のための技術が特に重要である．このような環境では，周波数を追加してトラフィックを吸収するだけでなく，Het Netとして注目されているスモールセルなどを利用した小セル化により，エリア当りの容量増大を同時に図る必要がある．しかしながら，ユーザの移動に伴い，スモールセル間，あるいはマクロセル―スモールセル間のハンドオーバ（HO：Hand Over）*12の増加など，接続品質の劣化を伴う可能性がある．

一方，CAの導入によりさらなる高速化や，周波数間のロードバランシングによりユーザスループットの改善が期待できるが，通信量の多い基地局では，CAを行う周波数が隙間なく利用されているため，大幅な周波数利用効率の向上は期待できない．

そこで，マクロセル内に複数のスモールセルを追加（アドオン，以下アドオンセル）し，複数のアドオンセルとマクロセルがCAで連携する高度化C-RANアーキテクチャ（**図2**）をドコモは2012年3月に提唱[7]し，2013年より開発着手した．

高度化C-RANは，CAおよび，HetNetの特長を活かし，以下の特長を有する．

①CAによる高速化

マクロセル間，マクロセルと複数のスモールセル間のCAを実現し，トラフィック環境に応じた柔軟な高速化を実現．

②従来のマクロセルと同じモビリティ特性

マクロセルとの接続を保ちながらスモールセルを追加削除することで，HOの発生を従来のマクロセルのみと同程度とし，スモールセル環境下でも従来の移動性能を実現．

③アドオンセルによる大容量化

ユーザが多く，トラフィック量の多いエリアに効果的にアドオンセルを配置し，トラフィックのオフロードを実現し，エリ

---

*4 **ロードバランシング**：周波数間，あるいはセル間での負荷（ロード）の偏りをユーザを遷移させることで軽減すること．

*5 **レイヤ**：MIMOにおいて同時に送信するストリームの数．

*6 **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．

*7 **ピーク周波数利用効率**：仕様上実現することのできる最大の周波数利用効率．最大レートの効率．

*8 **マルチユーザMIMO**：同一時間周波数において，複数ユーザに対してMIMO伝送を行う技術．

*9 **無線アクセスネットワーク（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．

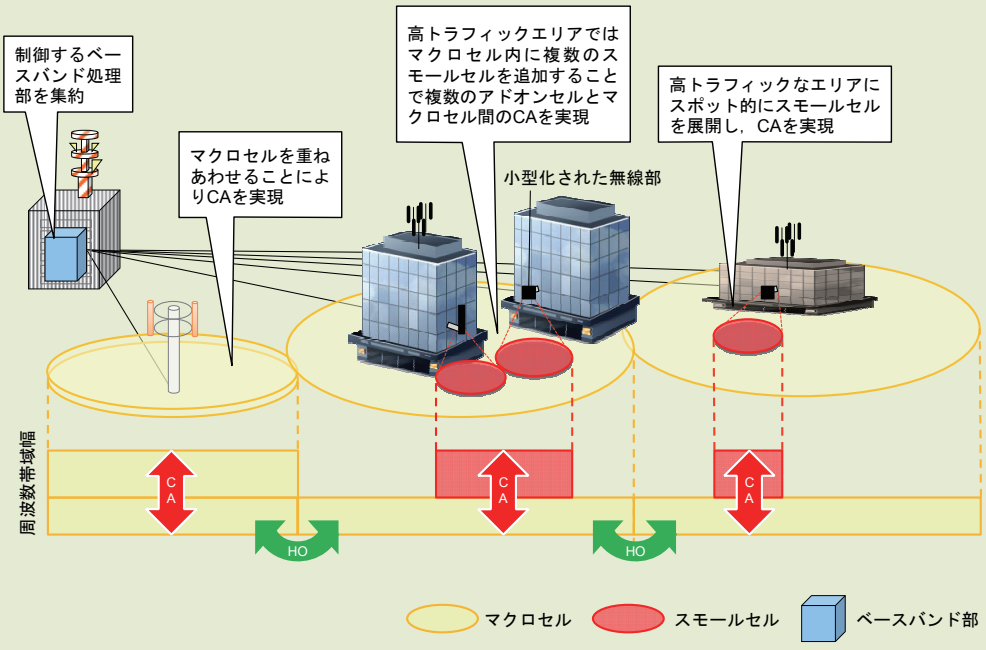


図2　高度化C-RANアーキテクチャ

ア全体の容量を増加することで，マクロセル，スモールセルともにユーザスループットを向上．

5. 展開シナリオ

ドコモでは，LTE向けに，基地局装置を制御するベースバンド＊13処理部を集約し，そこから光ファイバで接続された無線部を制御する構成（C-RAN構成）を2009年より運用[8]している．したがって，既存の無線部に手を入れることなく，ベースバンド処理部を高度化C-RANアーキテクチャに対応した新たな装置に置き換えるだけで，前述した特長を活かしたネットワーク構築が容易に実現できる．

また，アドオンセル向けに，従来よりも大幅に軽量化・小型化を行った無線部装置の開発を行っている[3]．従来装置に比べて1/5の大きさに抑えることができており，無線部の設置条件が緩和され，その適用領域が広がる．

ドコモではすでにLTE向けに4つの周波数を運用しており，これらの周波数を効果的に利用する必要がある．高度化C-RANアーキテクチャでは，周波数ごとに設置される無線部と，それらに共通のベースバンド処理部が独立しているため，どの周波数の組合せでも容易に実現可能である．導入当初は800MHzと1.7GHz，2GHzと1.5GHzの周波数組合せにより30MHz以上の合計帯域を実現し，225Mbps以上の最大スループットを実現した．

今後は3つの周波数の組合せ（3CC）や，新たな割当てが行われた3.5GHzのTDD（Time Division Duplex）＊14との組合せ，MIMOの高度化などを追加していくことで，さらなる高速化，容量増大を実現し，ユーザ体感を向上させていく予定である（図3）．

6. まとめ

本稿では，LTEの発展形でのあるLTE-Advancedの技術概要，およびLTE-Advancedの特長を最大限に生かすための高度化C-RANの概要について解説した．ドコモでは，ユーザ体感をさらに改善するために，LTEの導入から約5年後の2015年3月に「PREMIUM 4G」としてLTE-Advancedのサービスを開始した．今後は，エリアの拡大，端末ライン

＊10 **マクロセル**：1つの基地局がカバーする半径数百メートルから数十キロメートルの通信可能エリア．

＊11 **スモールセル**：送信電力が小さく，マクロセルに比較して小さいエリアをカバーするセルの総称．

＊12 **ハンドオーバ（HO）**：通信中端末が移動に伴い基地局を跨る際，通信を継続させながら基地局を切り替える技術．

＊13 **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．

＊14 **TDD**：双方向の送受信方式の1つ．上りリンクと下りリンクに同一の周波数帯を使用し，異なる時間を割り当てることにより双方向通信が可能．

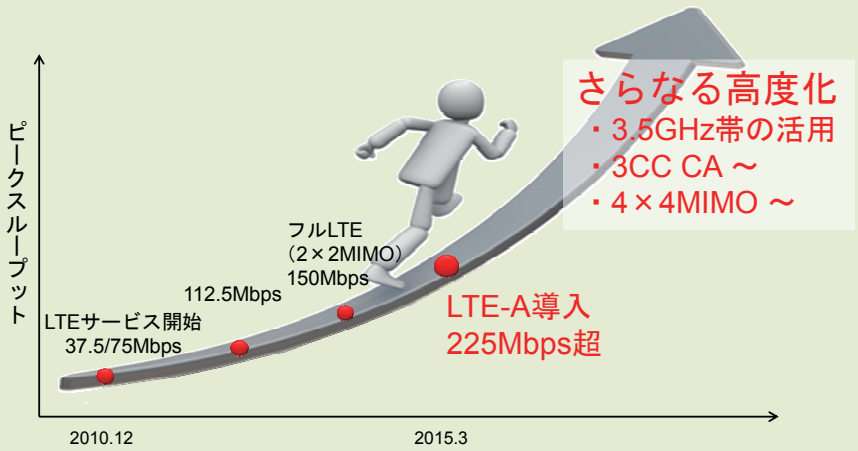


図3　さらなる高度化へ

ナップの充実などを進め，スマートライフのパートナーとして新しい豊かな生活基盤を提供し，社会に役立てることをめざす．

文　献

[1] 総務省 情報通信統計データベース：“我が国の移動通信トラヒックの現状．” http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/data/gt010602.pptx

[2] 清嶋，ほか：“高度化C-RANアーキテクチャを活用したLTE-Advanced商用開発―アドオンセルによる容量拡大と高度なセル間連携による安定した通信の実現―，” 本誌，Vol.23, No.2, pp.11-18, Jul. 2015.

[3] 吉原，ほか：“高度化C-RANアーキテクチャを実現する無線装置およびアンテナの開発，” 本誌，Vol.23, No.2, pp.19-24, Jul. 2015.

[4] 鈴木，ほか：“LTE-Advancedカテゴリ6 キャリアアグリゲーションに対応したルータ型移動端末の開発，” 本誌，Vol.23, No.2, pp.25-29, Jul. 2015.

[5] 3GPP TR36.913 V8.0.1: “Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (LTE-Advanced),” 2009.

[6] 3GPP TR36.814 V9.0.0: “Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects,” 2010.

[7] 安部田 貞行，新 博行：“超高速ブロードバンドサービスを実現する無線アクセスネットワーク，” 信学会総合大会論文集，Mar. 2012.

[8] 島津，ほか：“W-CDMA/LTEシステム共用の光張出し無線装置の開発，” 本誌，Vol.18, No.1, pp.33-37, Apr.2010.

LTE-Advanced　キャリアアグリゲーション　高度化C-RAN

Technology Reports

PREMIUM 4G特集　―LTE-Advancedの導入―

高度化C-RANアーキテクチャを活用したLTE-Advanced商用開発 ―アドオンセルによる容量拡大と高度なセル間連携による安定した通信の実現―

無線アクセス開発部　清嶋 耕平（きよしま こうへい）　瀧口 貴啓（たきぐち たかひろ）　河辺 泰宏（かわべ やすひろ）　佐々木 優輔（ささき ゆうすけ）

2015年3月，ドコモはLTEをさらに高度化した通信方式，LTE-Advancedを用いたサービスを「PREMIUM 4G™*1」として開始した．さらに，マクロセルとスモールセルをキャリアアグリゲーション技術により組み合わせる「高度化C-RANアーキテクチャ」を導入することで，通信の高速化のみならず，容量の拡大を実現し，より快適で安定した通信を提供する．本稿では高度化C-RANアーキテクチャの特長と効果および制御概要について解説する．

1. まえがき

近年，スマートフォンの普及に伴い，画像データや動画などの大容量コンテンツ利用によるトラフィックが急増している．そのため通信のさらなる高速化や，無線ネットワークの大容量化が求められている．そこで3GPPでは，2008年よりLTEのさらなる高速・大容量化などの性能改善，機能拡張を図ったLTE-Advanced*2の仕様策定を行い，2011年に標準化が完了した[1]．

ドコモでは，LTE-Advancedを効果的に展開するために，高度化C-RAN（Centralized Radio Access Network）アーキテクチャを提唱し，商用化にむけて本アーキテクチャに対応した無線基地局装置の開発を2013年2月に着手した[2]．そして，2015年3月に高度化C-RANアーキテクチャを用いたLTE-Advancedを導入し，下り最大225Mbpsの商用提供を「PREMIUM 4G」として開始した．高度化C-RANアーキテクチャとは，LTE-Advancedの主要技術であるキャリアアグリゲーション（CA：Carrier Aggregation）とヘテロジニアスネットワーク（HetNet：Heterogeneous Network）*3の組合せにより，高速・大容量化を実現するものである．また，本アーキテクチャは，現在世界的に注目されている次世代移動通信システムである5G*4においても，基礎となるアーキテクチャの1つとして検討が進められている[3]．本稿では，高度化C-RANアーキテクチャによるLTE-Advancedの特長とその効果および制御概要について解説する．

2. 高度化C-RANアーキテクチャ

LTE-Advancedの主要技術の1つであるCAは異なる周波数で運用される複数のLTEキャリア（コンポーネントキャリア）に同時に接続する技術であり，同時に使用できる周波

©2015 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます．

*1 PREMIUM 4G™：NTTドコモの商標．
*2 LTE-Advanced：3GPPにおけるIMT-Advancedの名称．IMT-Advancedは第3世代移動通信システムであるIMT-2000の後継システム．
*3 ヘテロジニアスネットワーク（HetNet）：電力の違うノードがオーバレイするネットワーク構成．従来の基地局に対し，より送信電力の小さい基地局などが混在，連携，統合化したネットワーク．
*4 5G：第4世代移動通信システムの後継にあたる次世代移動通信システム．

数帯域幅の拡大により通信の高速化を実現する[4]．加えて，ドコモではCAを高速化の目的のみではなく，マクロセル*5とそのエリア内に追加設置したスモールセル*6（以下，アドオンセルと呼ぶ）をCAで同時接続することで，無線容量拡大と通信の安定性の向上を同時に実現する目的でも使用する．CAは同時に接続するセル間の連携が必要であり，仕様上，接続するセルを同一基地局で制御する必要がある．したがって，アドオンセルによる容量拡大と安定性の向上を実現するために，異なる地点に設置されるマクロセルとアドオンセルを同一eNB（eNodeB）*7で制御しなければならない．

ドコモでは，ベースバンド*8処理部と無線部で構成される基地局装置からベースバンド処理部を分離し，無線部のみをサイト*9に設置している．ベースバンド処理部を高密度ベースバンド処理装置に集約することで，基地局設備の省スペース化および設備投資の削減を実現する，C-RANアーキテクチャの運用を2003年から開始している[5]．このC-RANアーキテクチャの特長を活かし，マクロセルと複数のアドオンセルをすべて同一のベースバンド処理部に収容する新たなアーキテクチャを採用し，CAによるマクロセルとアドオンセルとの柔軟な連携を可能とした．そして，本アーキテクチャを高度化C-RANアーキテクチャと呼び（**図1**），LTE-Advancedのスムーズな展開と無線容量拡大を進めていく．

高度化C-RANアーキテクチャにより得られる効果としては以下の3点が挙げられ，それぞれ解説を後述する．

- CAによる高速化と周波数利用率向上
- アドオンセルによる大容量化
- 通信の安定性向上

なお，マクロセルとアドオンセル間でのCAを前提として説明したが，高度化C-RANアーキテクチャはマクロセルとマクロセルのの CAもサポートしている．郊外地などのようにアドオンセル設置による無線容量拡大が必要でないエリアでは，マクロセル同士のCAを実施して高速化を狙うなど，エリアの状況に応じて柔軟に展開を行う．

2.1 CAによる高速化と周波数利用効率向上

(1)複数キャリア同時接続

ドコモにおける2015年3月のLTE-Advancedサービス開始時点のCAでは2つのLTEキャリアの同時接続を行う．実現できる最大の下り通信速度はCAにより同時接続を行うLTEキャリアの合計周波数帯域幅によって決まる（**表1**）．3GPP仕様上2つのLTEキャリアの同時接続では最大300Mbpsが実現できるが，これは合計周波数帯域幅が40MHzの場合である．ドコモではCAを行う周波数の組合せとして，2GHz帯（15MHz

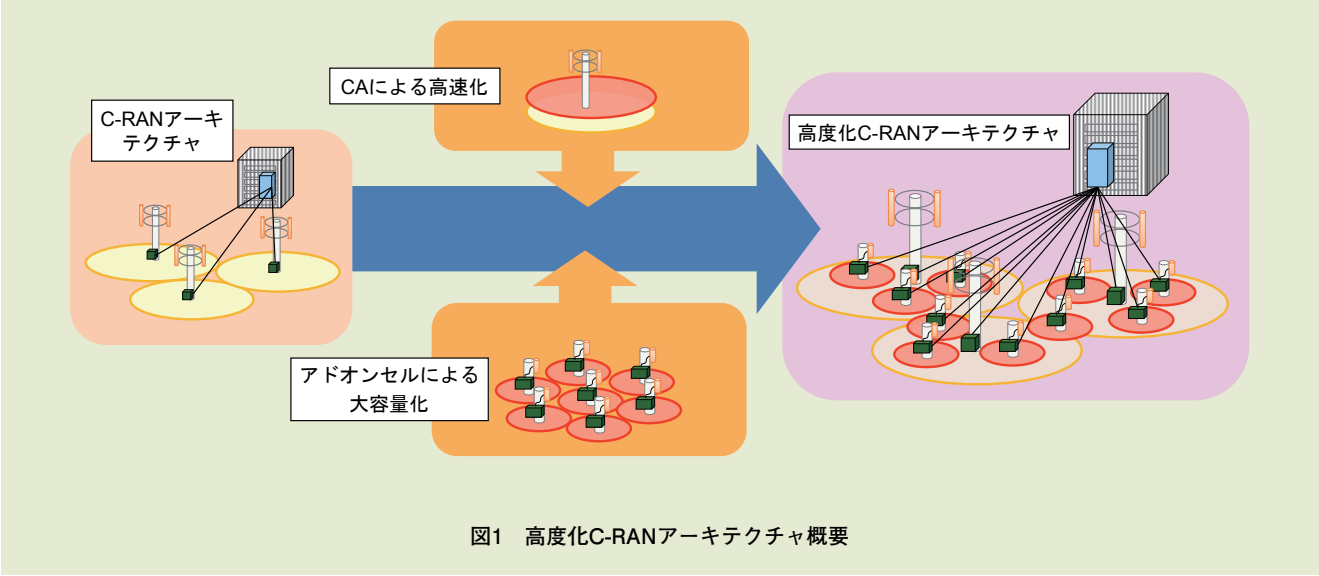


図1　高度化C-RANアーキテクチャ概要

*5 **マクロセル**：1つの基地局がカバーする半径数百メートルから数十キロメートルの通信可能エリア．
*6 **スモールセル**：送信電力が小さく，マクロセルに比較して小さいエリアをカバーするセルの総称．
*7 **eNB**：LTEの無線基地局装置．
*8 **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．
*9 **サイト**：基地局アンテナの設置場所．

幅）＋1.5GHz帯（15MHz幅）および800MHz帯（10MHz幅）＋1.7GHz帯（20MHz幅）の合計30MHz幅の2つの組合せを使用し，規格上，下り最大通信速度225Mbpsを実現する．また，一部エリアにおいて800MHz帯（15MHz幅）＋1.7GHz帯（20MHz幅）の組合せにより合計35MHz幅を使用した屋外商用環境における検証を実施しており，下り最大通信速度240Mbpsを達成することが確認できた（**図2**）．

なお，LTE-Advanced標準仕様では最大5つのLTEキャリアのCA（合計帯域幅100MHz）まで規定されており，今後さらなる高速化にむけた3つ以上のLTEキャリアのCAへの拡張も予定している．同一ベースバンド処理装置で多くのセルを収容し制御する高度化C-RANアーキテクチャでは，前記CAの拡張についても実現しやすい構成となっている．

(2)セル間ロードバランシング

CAは高速化だけでなく，セル間のロードバランシング*10にも有効である．商用環境ではユーザの分布や移動端末の対応周波数の偏りや周波数ごとの無線伝搬特性の違いなどにより，そのままでは周波数キャリア間の混雑度に偏りが生じる．そのため，複数の周波数に対応している移動端末の場合，なるべく混雑度の小さいLTEキャリアに接続させるように制御する．しかしながら，従来のLTEでは接続するセルを切り替えるためにハンドオーバ*11が必要であり，混雑度が短時間で変動する場合には，それに追従した切替えができない．一方，CAを適用している場合は，すでに複数のキャリアに同時接続しているため，短時間で混雑度が変動したとしても，それに応じたLTEキャリアを瞬時に選択でき，周波数利用効率の向上が期待できる（**図3**）．

表1　CAによるスループットの高速化

合計周波数帯域幅（MHz）	下り最大通信速度（Mbps）
5	37.5
10	75
15	112.5
20	150
25	187.5
30	225
35	262.5
40	300

2.2　アドオンセルによる大容量化

マクロセルのエリア内でトラフィックが集中するスポットに送信

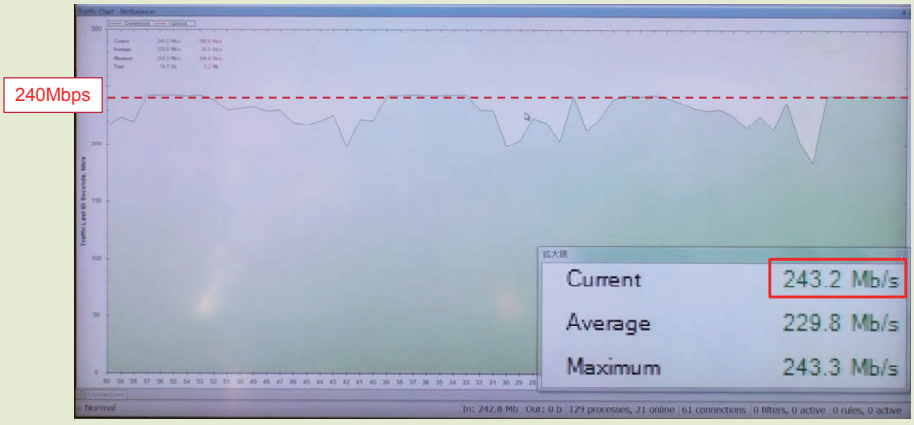


図2　商用環境における240Mbpsの達成

*10 **ロードバランシング**：セル間のトラフィック負荷分散．

*11 **ハンドオーバ**：移動端末が接続する基地局を切り替えること．

電力の小さいアドオンセルを配置し，マクロセル内のトラフィックをオフロードすることでシステムの無線容量拡大を実現するHetNetは世界的にも注目されている技術である[6]．ドコモでは，これを利用してマクロセルとアドオンセルをCAによって連携するため，マクロセルをエリアをカバーするカバレッジバンドとして，またアドオンセルを無線容量拡大のための容量バンドとしてそれぞれ別の周波数バンドを使用する．たとえばカバレッジバンドとして2GHz/800MHz帯などを使用し，容量バンドとして1.5GHz/1.7GHz帯などを使用する．

⑴シミュレーションによる評価

アドオンセルによる容量拡大効果についての計算機シミュレーション評価結果を解説する．本評価においては，カバレッジバンドはマクロセルのみの配置とし，容量バンドはカバレッジバンドと同様にマクロセルとして設置した場合（**図4**のCase 1）と，アドオンセルとして設置した場合（図4のCase 2）を想定し，両ケースの比較を行う．Case 1，Case 2ともにマクロセルは1つのマクロ基地局がカバーするエリアを3つに分割する3セクタ構成とし，カバレッジバンド，容量バンドの周波数帯域幅は共に10MHzで評価を実施した．Case 2においてはマクロセル内に複数のアドオンセルを配置し，ユーザは設置したアドオンセルの周辺に配置させている．つまり，ユーザ密集

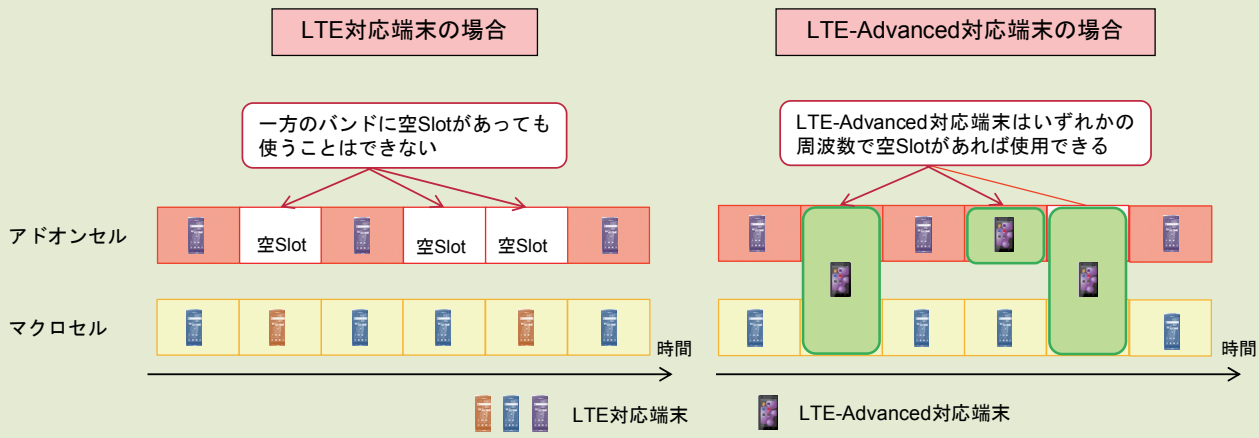


図3　CAによるロードバランシング

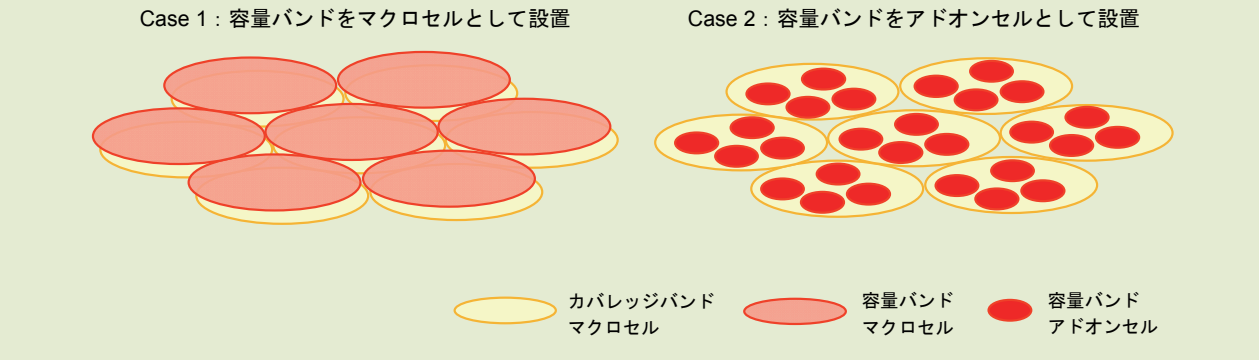


図4　シミュレーションのシナリオ

エリアに的確にアドオンセルを設置できた場合の評価となる．

⑵評価結果

図5，6に評価結果を示す．図5は各Caseにおけるセクタ容量（セクタ内のカバレッジバンドのセルおよび全容量バンドのセルの容量の合計値）を示す．なお，セクタ容量については，アドオンセルの容量効果を示すため，Case 1のセクタ容量に正規化したものを示している．Case 2においてセクタ当り4つのアドオンセルを設置した場合で，約2.5倍の容量効果が得られており，アドオンセル数の増加に伴い容量が増加していることが確認できる．また，図6はCase 2における1つのアドオンセル当りの容量を示す．容量はアドオンセル数の増加に伴い低下しているが，これはアドオンセルが増加したことでアドオンセル間の干渉が大きくなるためである．したがって，アドオンセルを過度に多く設置する場合，1アドオンセル当りの効果が減少し，費用対効果が低下してしまう．本評価条件ではセクタ当りのアドオンセル数は4または6程度が最適であると考えられるが，アドオンセルのアンテナ構成（ビーム幅や設置高など）やマクロセルのセル半径などの条件によって最適値は異なる．

2.3　通信の安定性向上

前述のとおりアドオンセルを追加しただけでは，セル容量は増加するが，複数のアドオンセルをエリア内に設置するとセルの境界となるエリアが増加してしまう．CAを用いずアドオンセルを設置した場合，移動中のユーザはアドオンセルのセル境界を高頻度でまたぐことになり，アドオンセル間の干渉やハンドオーバの処理により通信品質が劣化するという課題がある．一方，高度化C-RANアーキテクチャでは，CAによりアドオンセルとマクロセルに同時に接続しているため，通信の安定性をマクロセルで確保することが可能となり，移動時の品質の著しい劣化を抑えることが可能となる．

前述の通信の安定性の効果について，**図7**を用いて具体的に説明する．ポイント①ではLTE対応端末はアドオンセルAに接続しLTEが提供するスループットを実現する．一方，LTE-Advanced対応端末はマクロセルとアドオンセルAの両方のエリア内となるため，CAによる同時接続でLTE対応端末よりも高スループットが実現できる．その後ユーザがポイント②に移動した場合，アドオンセルのセル境界となりLTE対応端末はアドオンセル間の干渉およびハンドオーバ処理によりスループットは劣化する．一方LTE-Advanced対応端末についてもアドオンセルAとア

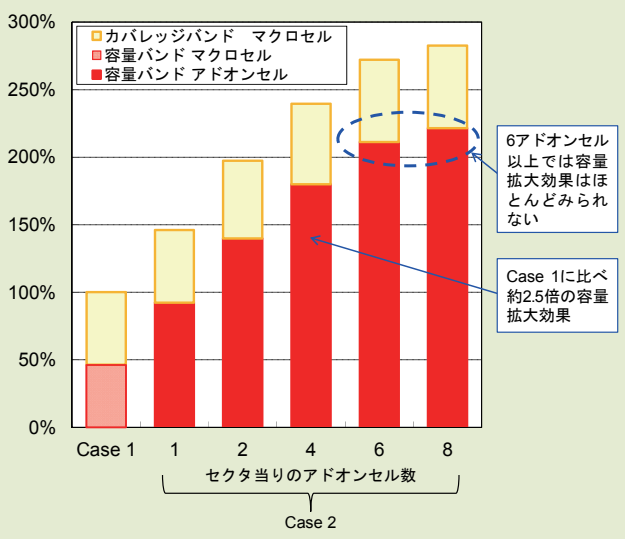


図5　アドオンセルによる容量効果

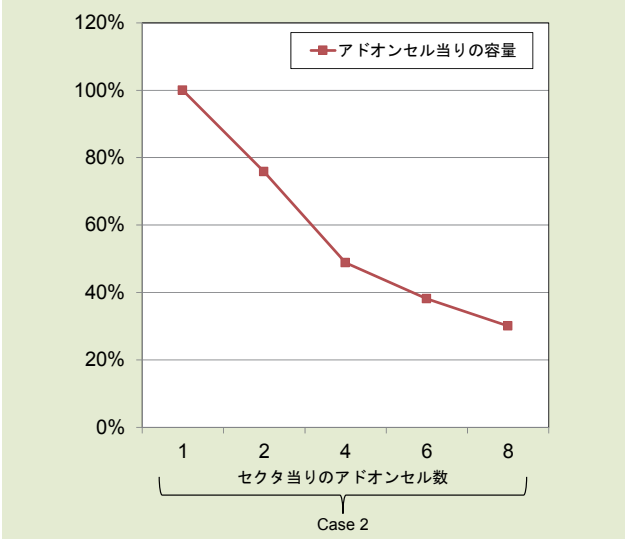


図6　アドオンセル当りの容量

ドオンセルBの切替えが行われるが，同時にマクロセルにも接続しているため，スループットが極端に劣化することはなく一定の通信品質が維持できる．このように，高度化C-RANアーキテクチャでは，LTE-Advanced対応端末をマクロセルに接続しつつアドオンセルを柔軟に切り替えて使用することができるため，高速かつ安定した通信が実現できる．この効果は屋外商用環境における検証でも確認できている（図8）．

3. 高度化C-RANにおけるSCell制御

CAでは複数のLTEキャリアに同時接続するが，移動端末が接続するLTEキャリアのうち，主キャリアをPCC（Primary Component Carrier）と呼び副キャリアをSCC（Secondary Component Carrier）と呼ぶ．またPCCで接続するセルをPCellと呼び，SCCで接続するセルをSCellと呼ぶ[7]．

高度化C-RANアーキテクチャにおいてはマクロセル内に複数のアドオンセルが存在するため，マクロセルに接続している移動端末の位置に応じて，どのアドオンセルをSCellとして設定するかを選択する制御を実施する．また，移動端末の移動に伴い，最適なアドオンセルは変わっていくため，それに応じてSCellとして設定するアドオンセルを切り替

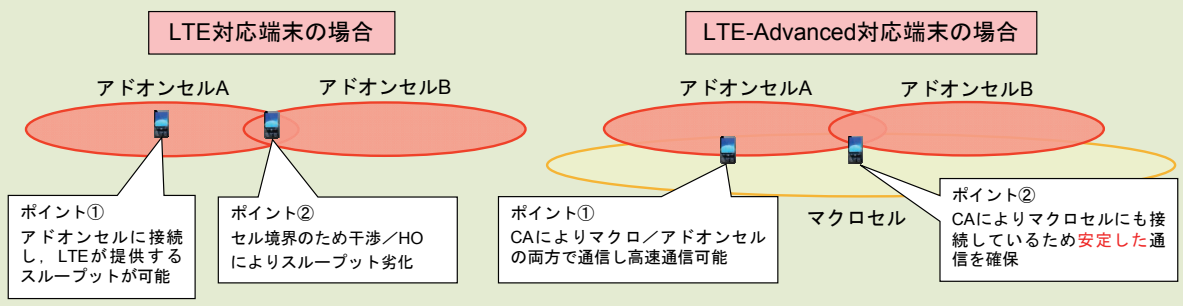


図7　高度化C-RANアーキテクチャによる通信

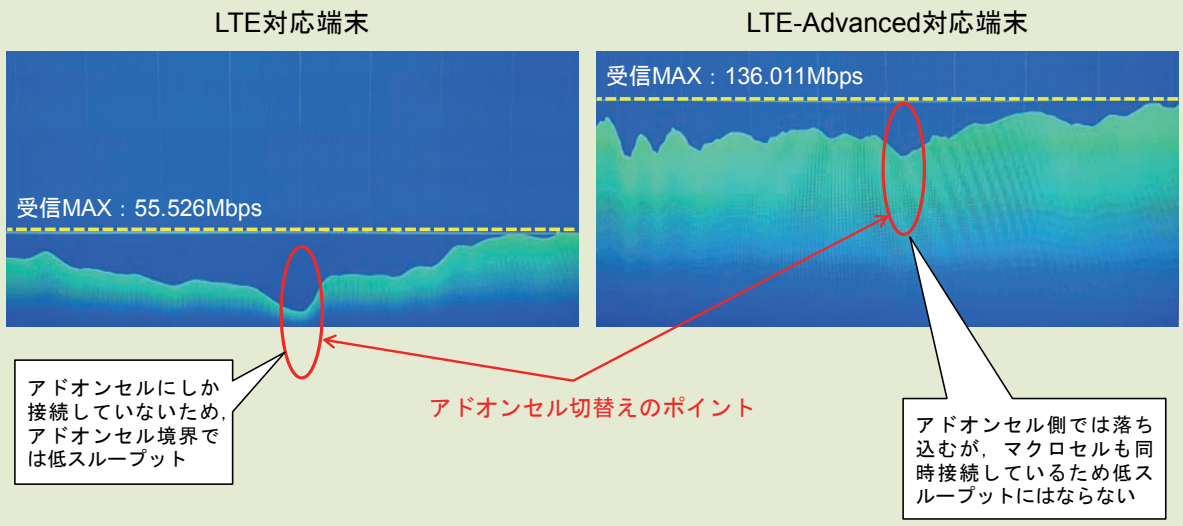


図8　商用環境におけるアドオンセル間移動時の比較

える．さらに，どのアドオンセルも品質が悪く接続する価値がない場合には，移動端末のバッテリー節約のためにSCellの設定を解除する．ドコモでは，これらの制御を3GPP標準仕様[8]において規定されている移動端末の無線品質測定とeNBへの測定情報の報告を用いた「SCellの追加」「SCellの変更」「SCellの削除」で実現している．

3.1　SCellの追加

マクロセルのみに接続している状態でSCellを追加する制御について**図9**①に示す．まず，eNBは移動端末に対して周辺にアドオンセルがあるか否かの測定を指示する．移動端末は周辺にアドオンセルがある場合，アドオンセルの無線品質情報をeNBへ報告する．eNBは報告された無線品質情報が一定の条件を満たす場合には，アドオンセルをSCellとして追加するように移動端末に対して指示を行う．これにより移動端末はCA状態となり，マクロセルとアドオンセルに同時に接続できるようになる．これにより移動端末の位置に応じて最適なアドオンセルをSCellに設定することができる．

3.2　SCellの変更

マクロセルとアドオンセルに接続中（CA状態）において，移動端末が異なるアドオンセルのエリアに移動する場合にSCellを変更する制御を図9②に示す．eNBは3.1節で示したSCell追加の際，SCellと同一周波数で現在のSCellより良い無線品質のセルが存在した場合に，eNBに報告を上げるための測定（Event A6測定）を移動端末に指示する．マクロセルとアドオンセル＃1に接続中の移動端末が，アドオンセル＃1とアドオンセル＃2のエリア境界に移動した際，SCell（アドオンセル＃1）の無線品質は劣化する一方で周辺に存在するアドオンセル＃2の無線品質が良くなる．これにより

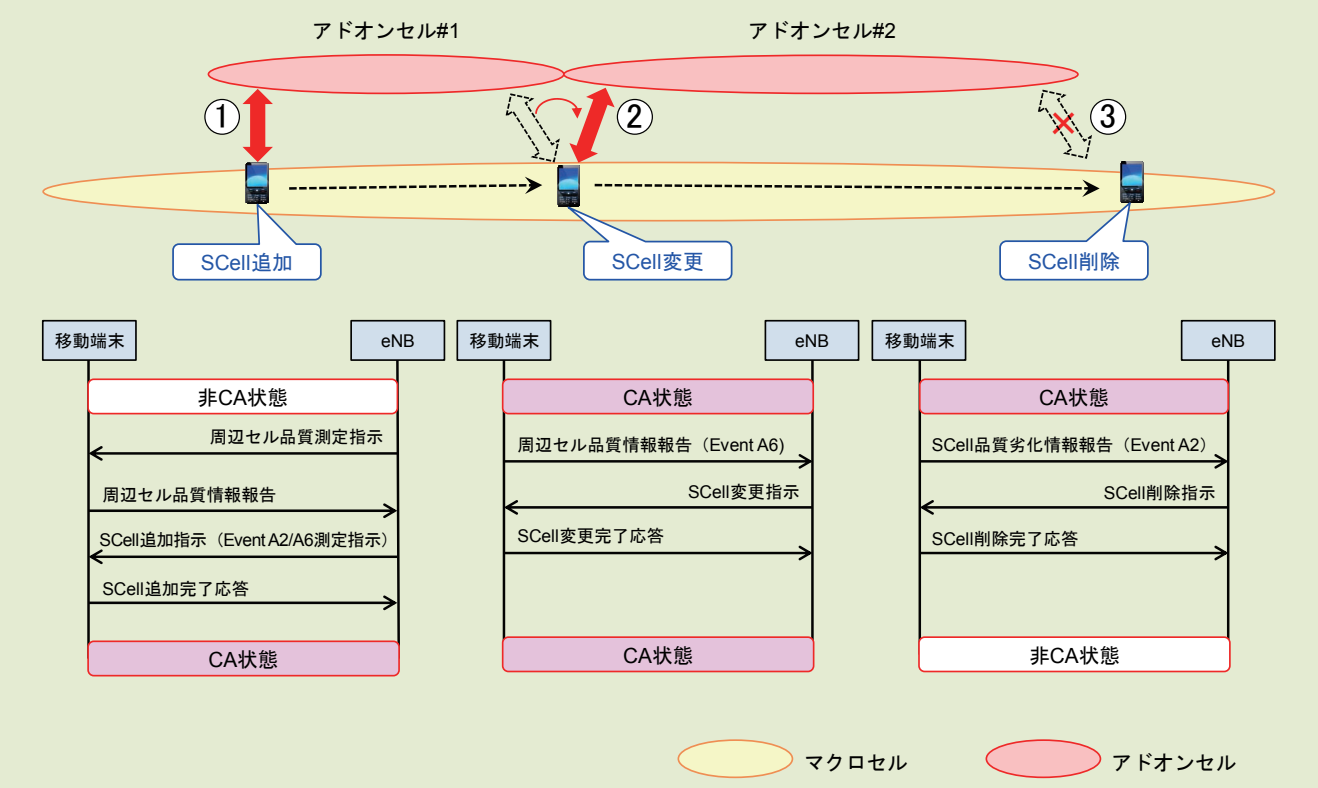


図9　高度化C-RANにおけるSCell制御

前述のEvent A6測定に基づき，移動端末はアドオンセル＃2の無線品質をeNBに報告する．その報告に従いeNBはSCellをより無線品質の良いアドオンセル＃2に変更するように移動端末に指示を行う．これにより移動端末の移動に追従して最適なアドオンセルをSCellとして設定することができる．

3.3 SCellの削除

CA状態において，移動端末がアドオンセルのエリア外に移動する場合にSCellを削除する制御を図9③に示す．eNBは3.1節で示したSCell追加の際，現在のSCellの無線品質が所定のしきい値以下に劣化した際に報告を上げるための測定（Event A2測定）を移動端末に指示する．なお，SCellを変更する場合でも，前述のEvent A2測定は継続される．マクロセルとアドオンセル＃2に接続中の移動端末がアドオンセル＃2のエリア外に移動すると無線品質が劣化するため，前述のEvent A2測定に基づき，移動端末はアドオンセル＃2の無線品質劣化をeNBに報告する．その報告に基づきeNBは，当該SCellを削除するように移動端末に指示を行う．これによりCA状態が解除され従来のLTE（非CA状態）での通信状態となる．適切なタイミングでCA状態を解除することで，eNBのリソースの消費や移動端末のバッテリー消費を抑えることが可能である．

4. あとがき

本稿では，高度化C-RANアーキテクチャによるLTE-Advancedの特長，シミュレーションによる容量拡大効果および制御概要について解説した．

高度化C-RANアーキテクチャにより，LTE-Advancedにおける通信速度の高速化および通信の安定性を維持しつつアドオンセルによる無線容量拡大が実現でき，ユーザの使用感を向上させることができる．今後はさらなる高速化の実現や無線周波数利用効率の向上のための検討を進めていく予定である．

文　献

[1] 中村，ほか：“LTE/LTE-Advanced高度化技術概要，”本誌，Vol.21，No.2，pp.6-9，Jul. 2013.

[2] 吉原，ほか：“高度化C-RANアーキテクチャを実現する無線装置およびアンテナの開発，”本誌，Vol.23，No.2，pp.19-24，Jul. 2015.

[3] NGMN :“5G WHITE PAPER,” Feb. 2015. https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf

[4] 三木，ほか：“LTE-Advancedにおける広帯域化を実現するCarrier Aggregation，”本誌，Vol.18，No.2，pp.12-21，Jul. 2010.

[5] 大矢根，ほか：“IP化対応無線基地局装置の開発，”本誌，Vol.15，No.1 pp.8-13，Apr. 2007.

[6] T. Takiguchi, K. Kiyoshima, Y. Sagae, K. Yagyu, H. Atarashi and S. Abeta: “Performance Evaluation of LTE-Advanced Heterogeneous Network Deployment Using Carrier Aggregation between Macro and Small Cells,” IEICE Trans. Commun., Vol.E96-B, No.6, Jun. 2013.

[7] 3GPP TS36.300 V10.12.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2,” Dec. 2014.

[8] 3GPP TS36.331 V10.15.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification,” Dec. 2014.

高密度BDE　SRE　スモールセル用基地局アンテナ

Technology Reports

PREMIUM 4G特集　―LTE-Advancedの導入―

高度化C-RANアーキテクチャを実現する無線装置およびアンテナの開発

ドコモは，LTEをさらに高度化したLTE-Advancedによる通信サービスを「PREMIUM 4G™*1」として2015年3月より提供開始した．本稿では，LTE-Advancedを効果的に展開する高度化C-RANアーキテクチャの実現・商用化に向け，新規に開発した高密度BDEとスモールセルの構築に用いるSREおよびアンテナの概要を解説する．

無線アクセス開発部　吉原 龍彦（よしはら たつひこ）　戸枝 輝朗（とえだ てるあき）　藤井 昌宏（ふじい まさひろ）　諏訪 真悟（すわ しんご）　山田 武史（やまだ たけふみ）†

1. まえがき

ドコモは，LTEのさらなる高速化・大容量化を実現する通信方式LTE-Advancedを活用した通信サービスを「PREMIUM 4G」として2015年3月より提供開始した．「PREMIUM 4G」では，LTE-Advancedの主要技術の1つであるキャリアアグリゲーション（CA：Carrier Aggregation）*2を活用することで，サービス提供開始時に国内最速となる受信時最大225Mbps（一部262.5Mbps）の通信速度を達成，2015年度内には同300Mbpsまで高速化を進めていく計画である．この「PREMIUM 4G」の実現においては，LTE-Advancedの効果的な展開を可能とする高度化C-RAN（Centralized Radio Access Network）*3アーキテクチャを採用している[1]．

高度化C-RANアーキテクチャは，これまでW-CDMA方式[2]およびLTE方式[3]での通信サービスの展開において導入してきた従来のC-RANアーキテクチャと同様に，ベースバンド（BB：Base Band）*4処理部と電波の送受信機能などをもつ無線部（RE：Radio Equipment）*5から構成され，BB処理部とREを光ファイバで接続し複数のREを1つのBB処理部で集中制御する構成（光張出し構成）をとる．この光張出し構成により置局の柔軟性を高めることで，都市部など置局スペースに制限がある地域においてもサービスエリアの展開を加速するとともに，集中制御によるCAや移動制御の実現など，セル間の高度な連携を可能にしている．

高度化C-RANアーキテクチャの実現に向け，ドコモはBB信号処理を行う無線基地局装置デジタル処理部（BDE：Base station Digital processing Equipment）を高密度化した高密度BDE，スモールセル*6用のREとなる小型低出力光張出し無線装置（SRE：low power Small optical remote Radio Equipment），およびスモールセル用の基地局アン

©2015 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます．

† 現在，イノベーション統括部

*1 PREMIUM 4G™：NTTドコモの商標．
*2 キャリアアグリゲーション（CA）：複数のキャリアを用いて同時に送受信することにより，既存のLTEとのバックワードコンパチビリティを保ちながら広帯域化を行い，高速伝送を実現する技術．
*3 高度化C-RAN：CA技術を活用し，マクロセルとスモールセルを協調させるドコモが提唱するネットワークアーキテクチャ．
*4 ベースバンド（BB）：デジタル信号処理を行う回路またはその機能ブロック．
*5 無線部（RE）：CPRIを介してBDEと接続される無線装置．
*6 スモールセル：送信電力が小さく，マクロセルに比較して小さいエリアをカバーするセルの総称．

テナを新規に開発した．本装置を用いた高度化C-RANアーキテクチャによるエリア展開イメージを**図1**に示す．本稿では，これら高密度BDE，SREおよびスモールセル用基地局アンテナの概要を解説する．

2. 高密度BDE

高密度BDEは光張出し構成におけるBB処理部に相当し，LTEおよびLTE-Advancedの同時運用が可能な装置である（**写真1**）．本装置は以下のような特長を有する（**表1**）．

2.1 収容セル数の増大およびセル間協調制御の高度化

高密度BDEは1台につき最大48本のCPRI（Common Public Radio Interface）リンク*7，最大48セルを収容できるなど，従来BDE[4]の8倍の収容能力を持つ．より多くのセル

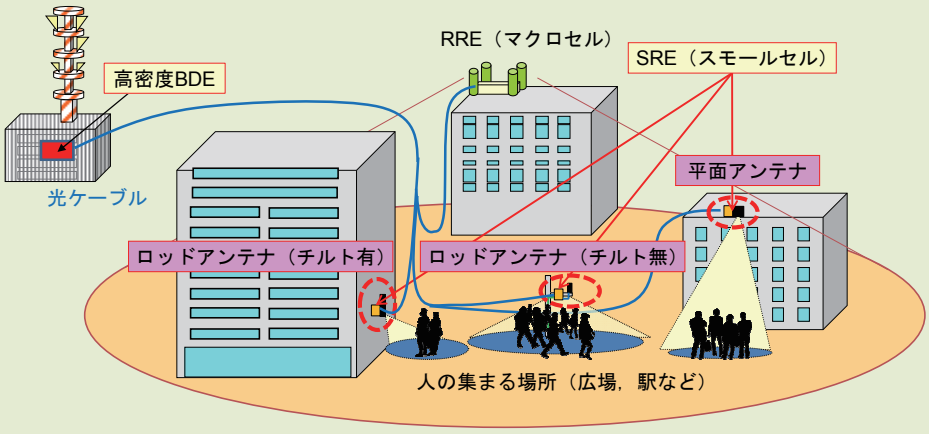


図1　高度化C-RANアーキテクチャによるエリア展開イメージ

写真1　高度化BDE外観例

*7 **CPRIリンク**：標準化された無線基地局の内部インタフェース仕様であるCPRIによるREとBDE間などの回線．高密度BDEにおいては，このCPRIリンクを最大48リンク運用できるため，REの接続数が最大48本となる．

を集中制御できるようになることで，CAなどセル間の協調制御をより柔軟な組合せで実施することが可能となる．また，本装置には，既存のマクロセル用のREのみならず，スモールセル用のSREも接続可能であり，帯域およびRE種別の制限なく任意の組合せでCAを可能としている．

CAによるピーク速度の向上を安定的に実現するためには，マクロセル／スモールセルにかかわらず，移動端末におけるコンポーネントキャリア（CC：Component Carrier）*8間の受信タイミング差を一定時間内に抑える必要がある[5]が，高密度BDEでは接続されたすべての無線装置（既存RRE（Remote RE）*9やSRE）の送信タイミングを調整し同期させる機能を具備している．そのため，設置場所が異なり，高密度BDEまでの光ケーブル長が異なるRE間であってもCAが可能である．

2.2 装置設置性の改善と光張出し距離の拡張

1セルあたりの設置スペースと消費電力の大幅な削減（設置スペース：従来BDE比約1/2，消費電力：従来BDE比約40％減）を実現するなど装置設置性について改善を図っている．また，BB処理部とREの光張出し距離に関しても従来装置に比べて1.5倍に拡張することで，より柔軟なエリア展開およびセル収容を実現している．

2.3 将来拡張性

高密度BDEは3G方式やTDD（Time Division Duplex）*10方式へも対応可能である．TDD方式対応においては，隣接するすべてのRE間の送信タイミング同期が必要となる．高密度BDEは時刻同期方式としてGPSおよびPTP（Precision Time Protocol）*11に対応しており，直接もしくはPTPネットワークを介してGPSと同期することにより，高密度BDE間の同期が実現される．PTPにより伝送路を介して同期可能なことから，一般的にTDDの時刻同期に用いられるGPSのアンテナの設置が難しい環境（地下など）においてもTDD方式でのサービス展開が可能となる．また高密度BDEは，CAのさらなる拡張として，既存のFDD（Frequency Division Duplex）*12帯域とのTDD-FDD CA[6]，3CC以上のCAに対応するほか，3.5GHz帯の高度特定基地局[7]の実現に向けたMIMO（Multiple Input Multiple Output）*13の拡張にも対応している．

3. SRE

SREは2本のアンテナ系統を有するLTE 1キャリア1セクタタイプのスモールセル用小型低出力光張出し無線装置である．容量バンド*14である1.5GHz帯対応装置と1.7GHz帯対応装置の2種類がある（**写真2**）．

SREは既存のRREと同様，主に無線送受信インタフェース機能部（TRX-INF：Transmitter and Receiver-INterFace）*15，無線送受信機能部（TRX：Transmitter and Receiver）*16，送信増幅器（T-PA：Transmission-Power Amplifier）*17，低雑音受信増幅器（LNA：Low Noise Amplifier）*18，送受共用器（DUP：

表1 高密度BDEの基本仕様

	高密度BDE	従来BDE
対応方式	LTE/LTE-Advanced	LTE
CPRIリンク接続数	最大48本	最大6本
光張出し距離	従来BDEの約1.5倍	—
下り最大通信速度（1セル当り）	225Mbps（30MHz幅使用時） ～3Gbps（将来対応）	50Mbps（20MHz使用時）
消費電力	125W（1セル当り）	200W（1セル当り）
サイズ	従来BDEの約1/2（1セル当り）	—

*8 **コンポーネントキャリア（CC）**：CAにおいて束ねられるキャリアを表す用語．
*9 **RRE**：光ファイバなどを使って基地局から離れた場所に設置した基地局無線装置．
*10 **TDD**：上りリンクと下りリンクで，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．
*11 **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．時刻情報を配信する装置（Master Clock）がGPSに同期し，高密度BDEがMaster Clockに同期することで，GPS時間を基準とした高密度BDE間の同期を行う．
*12 **FDD**：上りリンクと下りリンクで，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．
*13 **MIMO**：複数の送受信アンテナを用いて伝送容量を増大する無線技術．
*14 **容量バンド**：無線容量の増大を主な目的として使用する帯域．
*15 **無線送受信インタフェース機能部（TRX-INF）**：BBとTRX間で，IQ信号，および保守監視信号をCPRIフォーマットに従って変換し，光ファイバで伝送する機能部．
*16 **無線送受信機能部（TRX）**：入力された送信BB信号を直交変調により送信RF信号に変換する機能と，受信RF信号をA/D変換後，受信BB信号へ変換する機能を有する機能部．

DUPlexer）＊19から構成され，以下のような特徴を有する（表2）．

3.1 小型・軽量化，低消費電力化

SREは従来のRREより小型・軽量化，低消費電力化を実現したため，既存RREよりも新規設置基盤の確保に有利である．セル半径が小さく低出力であるSREを従来のRREよりも高密度かつ比較的低層に配置していくことで，無線容量を増やすことが可能となる．従来RREよりも最大送信電力が小さいSREでは，消費電力全体に対するT-PA機能部の寄与度に対して，TRX機能部の寄与度が相対的に大きい．TRX機能部内にはT-PAで増幅する際に発生する歪成分を抑圧する歪補償回路があり，この歪補償方式にSREの最大送信電力に適したものを採用することで，低消費電力化を実現している．また従来RREはDC電源を必要とするが，従来と異なる設置基盤において設置性を向上させるため，一般的な商用電源として提供されるAC電源を採用した．低消費電力化によって，従来装置に比べて放熱量が小さくなったため，従来の縦置き（正面，側面）設置に加えて装置をねかせて置く水平設置でも放熱が可能となり，設置性向上に寄与している．

RRH: Remote Radio Head

写真2　SRE外観例（左：マクロセル用RRE，右：SRE（3機種））

表2　SREの基本仕様

	1.5GHz帯SRE	1.7GHz帯SRE	（参考）既存 2GHz帯RRE
最大送信電力	2W／15MHz／ブランチ	2W／20MHz／ブランチ	20W／20MHz／ブランチ
ブランチ数	2		2
サイズ	3ℓ以下		13ℓ以下
装置重量	3kg以下		11.5kg以下
消費電力	30W以下		220W以下
電　源	AC 100V/200V		DC −48V

＊17 **送信増幅器（T-PA）**：TRXからの送信RF信号を規定レベルまで電力増幅する機能部．

＊18 **低雑音受信増幅器（LNA）**：アンテナで受信された信号を初めに増幅する装置．増幅時に加えられる雑音レベルが低く，微弱な受信信号でも歪みが少ない状態で増幅される．

＊19 **送受共用器（DUP）**：送信RF信号および受信RF信号を分離・多重し，T-PAおよびLNAに接続する．また，送信RF成分以外および受信RF成分以外の周波数成分をフィルタリングする機能を有する．

3.2　送受信性能の最適化

マクロセルとオーバーラップするエリアで，同一周波数帯のスモールセルを運用する場合もある．その場合においても，セルの所要エリア半径を確保できるようにSREの送信電力をあげることも可能である．またSREのアンテナ設置高は既存RREのそれより低くなるため，移動端末－基地局間の伝搬損失がマクロ装置と比較して小さくなる．そのためSREはマクロセルに接続した移動端末から大きな干渉を受ける場合があるが，そのような場合においても高品質に受信できるように，所要の受信ダイナミックレンジ＊20を有している．

4.　スモールセル用基地局アンテナ

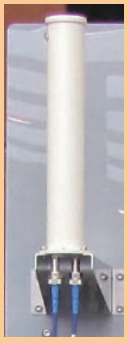
開発したスモールセル用の基地局アンテナの仕様概要を**表3**に示す．これらのアンテナは偏波＊21共用かつ1.5GHz帯と1.7GHz帯の2周波数共用である．周波数帯を分離・合成するためには，SREとアンテナの間に別途開発した小型共用器を設置する．本アンテナは小型なため，エリア化したい場所に容易に設置可能である．

スモールセル同士を隣接させてエリア化する場合，スモールセル間の干渉による通信品質の劣化が課題となる．これに対しては，最大放射方向を垂直面内で下向きにチルト＊22をかけることで，隣接セルへの干渉を低減し自セル内の受信レベルが上昇するため，スループットを向上させることができる[9]．この干渉低減と，さまざまな設置環境を考慮して開発した3種類のアンテナ特長は以下のとおりである．

(1)ロッドアンテナ（2種類）

水平面内が無指向性＊23で，ビル壁面や天井面などに設置し周囲をエリア化する場合に用いる．干渉低減効果を重視したチルト有タイプと小型化を重視したチルト無タイプの2

表3　基地局アンテナの仕様概要

アンテナ種別	ロッドアンテナ チルト有タイプ	ロッドアンテナ チルト無タイプ	平面アンテナ	（参考） マクロセル用アンテナ[8]
外　観				
対応周波数	1.5/1.7GHz帯			0.7/0.8/1.5/1.7/2GHz帯
水平面指向性	無指向性	無指向性	単指向性	単指向性
チルト対応	電気チルト （遠隔制御非対応）	チルト無	機械チルト （遠隔制御非対応）	電気チルト （遠隔制御対応）
サイズ（mm）	φ55×340以下	φ55×150以下	200×200×60以下	φ200×2,700以下

＊20 **ダイナミックレンジ**：入力された信号を歪みなく処理できる入力信号の範囲．

＊21 **偏波**：電界の振動する方向．電界が地面に対して垂直な面内で振動する場合を垂直偏波，水平な面内で振動する場合を水平偏波という．

＊22 **チルト**：アンテナから放射される電波の向きを垂直面内で傾けること．アンテナを物理的に傾ける機械チルト方式と，アンテナ素子の振幅・位相を制御して電波の最大放射方向を傾ける電気チルト方式がある．

＊23 **指向性**：どの方向にどのくらいの強さで電波が放射されるかを表す．

種類を開発した．チルト有タイプはアンテナ素子を垂直方向に複数並べて，各素子の振幅・位相を調整することで，電気チルトをかけている．ただし，チルト角を任意に変更することはできず，常に固定の角度である．

⑵平面アンテナ

利得＊24が高く，指向性を有するため，ビル屋上などの高い場所からスポット的にエリア化する場合に用いる．平面アンテナでは，金具で機械チルトをかけることで，干渉低減が可能となる．

5. あとがき

本稿では高度化C-RANアーキテクチャを実現するために新規開発した高密度BDE，SREおよびスモールセル用基地局アンテナについて概要を解説した．今後も，3.5GHz帯TDD対応装置の開発を含む，無線ネットワークのさらなる高速化や大容量化，品質の向上など，お客様満足度のさらなる向上の取組みを進めていく．

文　献

[1] 清嶋，ほか：“高度化C-RANアーキテクチャを活用したLTE-Advanced商用開発　―アドオンセルによる容量拡大と高度なセル間連携による安定した通信の実現―，”本誌，Vol.23, No.2, pp.11-18, Jul. 2015.

[2] 大矢根，ほか：“IP化対応無線基地局装置の開発，”本誌，Vol.15, No.1, pp.8-13, Apr. 2007.

[3] 島津，ほか：“W-CDMA/LTEシステム共用の光張出し無線装置の開発，”本誌，Vol.18, No.1, pp.33-37, Apr. 2010.

[4] 島津，ほか：“W-CDMAと共用可能なLTEシステム用基地局装置の開発，”本誌，Vol.19, No.1, pp.20-25, Apr. 2011.

[5] 3GPP TS36.300 V12.4.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2,” Dec. 2014

[6] 内野，ほか：“さらなる高速大容量化を実現するキャリアアグリゲーション高度化およびDual Connectivity技術，”本誌，Vol.23, No.2, pp.35-45, Jul. 2015.

[7] 総務省：“第4世代移動通信システムの導入のための特定基地局の開設指針の制定について，”Jul. 2014.

[8] 吉原，ほか：“700MHz帯導入に向けた5周波共用基地局アンテナの開発，”本誌，Vol.22, No.1, pp.26-31, Apr. 2014.

[9] 吉田 翔，吉原 龍彦，川合 裕之，井原 泰介，瀧口 貴啓，柳生 健吾：“スモールセルにおけるアンテナビームチルトの容量増加効果，”信学会技術研究報告，AP2014-47, pp.41-46, Jun. 2014.

＊24 **利得**：電波の放射が最大となる方向における電波の強さを表す．

LTE-Advanced　CA　カテゴリ6

Technology Reports

PREMIUM 4G特集　―LTE-Advancedの導入―

LTE-Advancedカテゴリ6キャリアアグリゲーションに対応したルータ型移動端末の開発

近年，コンテンツの大容量化に伴い，スループットのさらなる向上が求められている．そこで，LTE-Advancedの主要技術である，複数の周波数で同時に通信するCA技術が検討されてきた．

ドコモは，2015年3月のLTE-Advanced導入に向け，LTEカテゴリ6 CAに対応し，移動端末の能力として最大下りスループット300Mbpsを実現する2種類のルータ型移動端末を開発した．

移動機開発部　鈴木（すずき） 秀俊（ひでとし）† 大澤（おおさわ） 良介（りょうすけ）
西野（にしの） 雄記（ゆうき）
プロダクト部　宮田（みやた） 篤人（あつと）

1. まえがき

近年，動画などの大容量コンテンツが広く普及し，そのため従来のLTE方式との互換性を確保しつつ，さらなる高速・大容量化を実現するLTE-Advancedへの期待が高まっている．

ドコモでは，従来のLTEカテゴリ4と比較して最大2倍の高速化を実現するLTEカテゴリ6を採用し，最大下りスループットとして225Mbpsを実現するLTE-Advanced／「PREMIUM 4G™」*1を2015年3月に開始した．またサービス開始に合わせて新たな移動端末の開発を進めてきた．

本稿では，LTEカテゴリ6の特徴とLTEカテゴリ6キャリアアグリゲーション（CA：Carrier Aggregation）に対応したルータ型移動端末（以下，LTE-Advanced対応移動端末）の概要や特長とともに，3つの2DL CA（2 Downlink CA）*2の組合せを実現するRF（Radio Frequency）*3構成について解説し，屋内外試験により得られたスループット特性について解説する．

なお，最大下りスループット値は，適用可能な周波数帯域幅により変動する．本稿で紹介するルータ型移動端末は，LTEカテゴリ6の最大性能（40MHz幅）を用いて300Mbpsを実現することができる．しかし，ドコモの運用上，サービス開始当初においては30MHz幅までしか割り当てられないことからスループットは225Mbpsとなる．

2. 移動端末のカテゴリ定義

LTE対応移動端末では送受信能力に応じたカテゴリが3GPP（3rd Generation Partnership Project）で定義されている[1]．**表1**にLTEで用いられているカテゴリ4移動端末とLTE-Advancedに対応したカテゴリ6移動端末の比較を示す．

従来のカテゴリ4移動端末は最大

©2015 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます．

† 現在，ネットワーク部

*1 PREMIUM 4G™：NTTドコモの商標．
*2 2DL CA：下り（基地局から移動端末の向き）に2つの周波数を束ねることで高速通信を可能にするLTE-Advancedの技術の1つ．
*3 RF：無線回路部．

20MHzまでの送受信帯域幅をサポートしている．これに対し，カテゴリ6移動端末では，2つの周波数帯域を同時使用することにより20MHzを超える受信帯域幅を可能にし，最大40MHz幅までサポートする．同時使用が可能な帯域幅を広げることにより，カテゴリ4移動端末の2倍の300Mbpsのスループットを実現している．送信時は，既存のLTE移動端末と同様に1つの周波数帯域を使用して最大50Mbpsのスループットとなる．

上記は一般的なカテゴリ6の説明であるが，ドコモでは，2GHz＋800MHz*4，2GHz＋1.5GHz，および1.7GHz＋800MHzの3種類の周波数組合せのCAを運用している．2GHz＋800MHz，2GHz＋1.5GHzの組合せは全国，1.7GHz＋800MHzの組合せは東名阪エリアで運用している．2015年3月のサービス開始時における最大運用帯域幅は30MHzであるため，受信時最大スループットは225Mbpsである．上記周波数組合せは3GPP標準仕様において最大35MHz幅まで定義されており[2]，将来的には262.5Mbpsを実現可能である．

3. LTE-Advanced対応移動端末の概要

LTE-Advanced対応移動端末の外観を**図1**に，基本仕様を**表2**に示す．本移動端末はLTE-Advancedによる高速パケット通信が可能，かつ，安定通信を可能とするためクワッドバンドLTE*5に対応したモバイルWi-Fiルータである．LTE-Advancedによる高速通信をフルに活かせるよう，移動端末とWi-Fiクライアント間の無線LAN通信はWi-Fi電波干渉の影響を比較的受けづらい，Wi-Fi IEEE 802.11ac*6を採用して規格上876Mbpsの高速通信を可能としており，WAN側のみならずLAN側でも高速通信を意識した作りになっている．

今回開発したLTE-Advanced移動端末2機種（HW-02G，L-01G）は，ユーザの主な利用場所を意識して各種機能を検討してきた．

(1)HW-02G

HW-02Gは屋内での利用が比較的多いユーザに主眼を置き，書斎の卓上やリビングの電話台などにおいても邪魔にならない程度のサイズに抑えつつ，家のあらゆる場所でもWi-Fiが利用可能であることをコンセプトとした．そのため，一戸建やマンションなどの広い空間で移動端末からの距離があり，加えてドア，壁，家具などの遮蔽物がありWi-Fiの電波が届きにくい場所でも利用できるようWi-Fi機能の強化が行われている．具体的にはHW-02Gに同梱されているクレードル内に2.4GHz帯の

表1　カテゴリ4とカテゴリ6の移動端末の比較（Mbps）

		合計帯域幅（MHz）				
		20	25	30	35	40
スループット（理論値）	端末カテゴリ4	150	—	—	—	—
	端末カテゴリ6	150	187.5	225	262.5	300

図1　LTE Advanced対応Wi-Fiルータ

*4　**2GHz＋800MHz**：2GHz帯の周波数と800MHz帯の周波数を用いたキャリアアグリゲーションの表記として各周波数を“＋”でつなげて表現することとする．2GHz＋1.5GHzは2GHz帯の周波数と1.5GHz帯の周波数を用いたキャリアアグリゲーション，1.7GHz＋800MHzは1.7GHz帯の周波数と800MHz帯の周波数を用いたキャリアアグリゲーションを示す．

*5　**クワッドバンドLTE**：「2GHz／800MHz／1.5GHz／1.7GHz」の4つの周波数帯で運用するLTEサービス．

*6　**Wi-Fi IEEE802.11ac**：無線LANの標準規格で，5GHz帯の電波を用い，最大160MHzの帯域幅，変調信号の多値化（256QAM）およびMIMO方式の拡張（8×8 MIMO）により433Mbps～6.93Gbpsの高速なデータ通信を行うことができる仕様．

表2　HW-02G/L-01G基本仕様

		HW-02G	L-01G
周波数	LTE-Advanced	2GHz+1.5GHz/1.7GHz+800MHz/ 2GHz+800MHz※1	2GHz+1.5GHz/1.7GHz+800MHz/ 2GHz+800MHz※1
	LTE	800MHz/1.5GHz/1.7GHz※2/2GHz※2	800MHz/1.5GHz/1.7GHz※2/2GHz※2/ 2.6GHz※2, 3
	W-CDMA	800MHz/850MHz※2/2GHz※2	800MHz/850MHz※2/2GHz※2
	GPRS※2	—	850MHz/900MHz/1,800MHz/1,900MHz
最大通信速度 （UEカテゴリ）	LTE-Advanced	DL：262.5Mbps（カテゴリ6） UL：50Mbps（カテゴリ6）	DL：262.5Mbps（カテゴリ6） UL：50Mbps（カテゴリ6）
	LTE	DL：150Mbps（カテゴリ4） UL：50Mbps（カテゴリ4）	DL：150Mbps（カテゴリ4） UL：50Mbps（カテゴリ4）
	HSDPA/ HSUPA	DL：14.4Mbps（カテゴリ10） UL：5.7Mbps（カテゴリ6）	DL：14.4Mbps（カテゴリ10） UL：5.7Mbps（カテゴリ6）
サイズ		高さ 約90mm×幅 約35mm×厚さ 約12.9mm	高さ 約115mm×幅 約34mm×厚さ 約5.0mm （最厚部：約10.0mm）
質量		約110g	約187g
Wi-Fi（LAN側）※4		802.11a/b/g/n（2.4GHz/5GHz）/ac	802.11a/b/g/n（2.4GHz/5GHz）/ac
電池容量		2,400mAh	4,880mAh
Ethernet接続 （同梱クレードル利用時）		802.3ab（1000Base-T）	—

※1　ソフトウェアアップデートにて機能追加
※2　ローミング対応
※3　TD-LTE対応
※4　クレードル挿入時は2.4GHzWi-Fiのみ提供（802.11b，802.11g，802.11n）

Wi-Fi電波の出力電力が高いチップを搭載しており，HW-02G本体をクレードルに装着すると，屋内利用であると判断しHW-02G内蔵のWi-Fiチップを停止し，クレードル側のWi-Fiチップに切替えを行う．これにより屋内でWi-Fi接続を行う場合は，移動端末単体と比較して，より強い電波で送信できるようになり，広いエリアで使用することができる．

⑵L-01G

一方，L-01Gは外出先での利用が比較的多いユーザに主眼を置き，外出先で充電ができないような場合でも長時間利用できることをコンセプトとした．外出先でも長時間利用が可能となるよう4,880mAhの大容量電池を搭載しており，加えて補助電池としての機能も搭載している．そのため，本移動端末は外出中のデータ通信に利用するだけでなく，万が一スマートフォンやタブレットの電池が残量不足となった場合のモバイルバッテリとしても利用できる．さらに本移動端末は3G，GPRS（General Packet Radio Service）*7，FDD（Frequency Division Duplex）-LTE*8の海外ローミングに加えTD-LTE（Time Division-LTE）*9（2.6GHz）にも対応しており，海外での高速データ通信のニーズにも対応可能な製品である．

4. 2DL CAの3コンビネーションを実現したRF構成概要

4.1 2パターンの周波数分離方法

ドコモでは，1つの移動端末で3種

＊7　**GPRS**：GSM方式のネットワークを使用したパケット交換サービス．

＊8　**FDD-LTE**：周波数分割複信（FDD）技術を適用したLTE方式．

＊9　**TD-LTE**：時分割複信（TDD：Time Division Multiple Duplex）技術を適用したLTE方式．

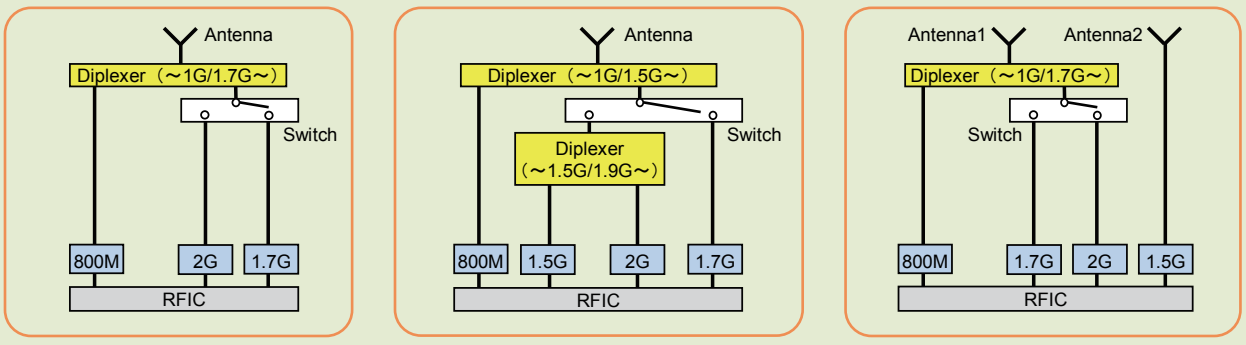
類の2DL CAを実装している．CAを実現する代表的なRF構成を**図2**に示す．CAを実現するためには，2つの周波数帯を分離して同時通信を可能にする必要があり，その実現方法は2つに分類される．1つはアンテナ直下に2つの周波数範囲を低損失で分離するフィルタ（DIP：Diplexer）*10を使用する方法（図2(a)，(b)）．もう1つは，同時通信するそれぞれの周波数でアンテナを分離する方法（図2(c)）である．DIPを使用する方法では，いかにデバイスの通過損失を抑えて信号の電力低下を抑えるか，アンテナを分離する方法では，アンテナの実装面積が大きくなるため，いかに大きさを抑えるかが技術的課題である．

4.2 RF構成

グローバルに用いられる2DL CAのRF構成（図2(a)）と今回開発したLTE-Advanced対応移動端末のRF構成（図2(b)，(c)）では異なったものとなっている．グローバル構成では，アンテナ直下にDIPを配置してLow band（1GHz以下）とHigh band（1.7GHz以上）を分離する方法が一般的であり，Low bandとHigh band間のCAが実現される．しかし，ドコモが採用する3種類のCA組合せを実現するためには，日本国内でのみ使用される1.5GHz帯の存在が課題となる．その理由は，上述のグローバル構成で用いるDIPを適用した場合，1.5GHz帯がDIPフィルタの特性により阻止帯域に当たるため，その損失が非常に大きくなってしまう．そのため，図2(b)のようにアンテナ直下に配置されるDIPの高い周波数側の通過帯域を1.5GHz帯まで拡張させた仕様を3GPPで標準化した[2]．本DIPを用い，さらにその直下に1.5GHz帯と2GHz帯を分離するDIPを連結した構成，あるいは，図2(c)のように1.5GHz帯のみ別アンテナで送受信を行う構成を適用することにより，Low bandとHigh bandを分離するグローバル構成で実現可能な2GHz＋800MHzと1.7GHz＋800MHzに加え，2GHz＋1.5GHzのMiddle bandとHigh bandの組合せによる2DL CAを実現している．

4.3 課題と対策

図2(b)のように，DIPを多段に配置する構成では，挿入損失の増加により使用時間の減少，発熱量の増加および受信感度の低下が発生するため，DIPの低損失化を図った．一方で，図2(c)のようにアンテナにより同時通信可能な周波数を分離した場合には，DIPの多段構成による損失は発生しない．しかしながら図2(c)の端末では，DLに2×2 MIMO（Multiple Input Multiple Output）*11に対応しつつ異なるアンテナを用いて周波数帯を分離するため，合計4つのアンテナを1つの筐体内に実装する必要があり，大きさの制約やアンテナ間のカップリングによるアンテナ性能の低下が発生する可能性がある．その対処のため，開発したLTE-Advanced対応移動端末では，アンテナ構造や送受信用アンテナ間の配置や



(a)グローバル構成　(b)1アンテナ構成　(c)2アンテナ構成

図2　移動端末のRF構成例

*10 **DIP**：2つの周波数帯を低損失で分離するフィルタであり，Low Pass Filter（低周波数側を通過帯域とし高周波数側を減衰帯域としたフィルタ）とHigh Pass Filter（高周波数側を通過帯域とし低周波数側を減衰帯域としたフィルタ）から構成される．

*11 **MIMO**：送受信に複数のアンテナを配備し，マルチパスによって生じる空間的な伝搬の性質の違いを利用することで，アンテナ数に比例して無線リンクの容量を増大させる無線技術．

受信用アンテナの配置に工夫をした．

5. LTE-Advanced対応移動端末の受信時速度の検証結果

屋内および屋外試験環境において，実際の基地局装置を使用してLTE-Advanced対応移動端末の最大スループットの検証を行った．屋内試験環境では，基地局と移動端末間は有線ケーブルで接続しており，干渉や無線品質の変動がない理想的な環境としている．ファイルサーバから移動端末に向けてデータを転送し，MAC（Medium Access Control）レイヤ*12 [3] [4]のスループットを測定した．結果を**表3**に示す．35MHz幅の例において，スループットは241Mbpsとなった．これは運用上必要な無線制御信号を差し引いた理論値と一致している．

次に屋外試験環境において，同様の検証を行った．基地局近傍かつ，周辺の基地局や他ユーザによる干渉が小さい場所において，静止状態での測定を行った．結果は35MHz幅の例において238Mbpsであり，屋内試験環境と同程度のスループットを確認できた．

実際に商用環境で使用される際には，接続ユーザ数や干渉量，基地局からの距離，無線品質の変動に応じて基地局が適応的に通信速度の制御を行う．そのため，使用環境により得られる通信速度は異なるが，本検証の結果，移動端末，基地局ともに十分な性能を有していることが確認できた．

表3　受信速度の理論値と検証結果（Mbps）

		合計帯域幅（MHz）				
		20	25	30	35	40
理論値		150	187.5	225	262.5	300
実測値	屋内試験環境	135	166	205	241	—
	屋外試験環境	—	—	199	238	—

6. あとがき

本稿では，2015年3月に提供を開始したLTE-Advanced／「PREMIUM 4G」に向け，LTE-Advanced対応移動端末として開発したHW-02GとL-01Gの概要およびその特長について解説した．また，ドコモで採用する2DL CAの3コンビネーションを実現するRF構成，移動端末のカテゴリ定義および屋内外試験環境におけるスループット特性を明らかにし，理論どおりのスループット特性が得られることを示した．

今後も複数ユーザ環境や，干渉影響の大きい環境における屋外環境評価を実施し，性能向上を図るとともに，さらなるスループット向上をめざして3つの周波数帯域を同時使用する3DL CA（カテゴリ9※）移動端末の開発などを進め，運用帯域幅として40MHzを適用することで300Mbpsのスループットを実現していく．

文　献

[1] 3GPP TS36.306 V10.11.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio access capabilities,” Dec. 2013.

[2] 3GPP TS36.101 V10.17.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception,” Dec. 2014.

[3] 3GPP TS36.321 V10.10.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification,” Dec. 2013.

[4] 3GPP TS36.213 V10.12.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures,” Mar. 2014.

*12 **MACレイヤ**：LTEおよびLTE-Advanced方式における無線インタフェースプロトコル．レイヤ2のサブレイヤであり，無線リソース割当て，データマッピング，再送制御などを行う．

※ 標準化規定上は，60MHz帯域幅，450Mbpsが上限．

3GPP　Release 12　LTE/LTE-Advanced

Technology Reports

LTE-Advancedのさらなる発展に向けて　―Release12 標準化動向―

LTE-Advanced Release 12 標準化技術概要

国際標準仕様策定団体である3GPPにおいて，LTEの拡張・発展を実現するLTE-Advancedの標準仕様がRelease 10として策定された．3GPPでは，その後もLTE/LTE-Advancedの機能をさらに高度化する拡張技術の検討が進められ，今般，Release 12の標準仕様を完成させた．本稿は，Release 12で策定された主な機能を解説する．

先進技術研究所　5G推進室　永田（ながた） 聡（さとし）　武田（たけだ） 和晃（かずあき）
無線アクセス開発部　高橋（たかはし） 秀明（ひであき）

1. まえがき

W-CDMA*1およびHSPA*2の標準仕様を策定した3GPP（3rd Generation Partnership Project）では，スマートフォンへのユーザニーズの高まりに対応しつつ，より競争力のある移動通信システムの実現をめざして，2008年にLTEの標準仕様をRelease 8として策定した．さらに，市場におけるさらなる性能改善の要求および多様化するサービスに対応するため，2011年にLTEを拡張・発展させたLTE-Advanced*3をRelease 10として策定した．その後も，LTE-Advancedの機能拡張・高性能化を図るため，2012年にRelease 11を，2015年3月にはRelease 12の標準仕様を完成させた．本稿ではLTE-Advancedの最新標準仕様であるRelease 12について，仕様検討にあたって考慮された背景や，新たに導入された主要機能について解説する．

2. Release 12仕様の検討背景

LTE-Advancedの初版標準仕様であるRelease 10では，モバイルトラフィックの増大に対応するため，LTEとの後方互換性（バックワードコンパチビリティ）を確保しつつ最大100MHzの広帯域化を実現するキャリアアグリゲーション（CA：Carrier Aggregation）*4技術や，下り最大8送信，上り最大4送信をサポートする高度化マルチアンテナ技術に関する仕様が策定された[1]．また，都市部などのトラフィック量の多いエリアに小セルを配置するヘテロジニアスネットワーク（HetNet：Heterogeneous Network）*5向けに，セル間干渉制御技術（ICIC：Inter-Cell Interference Coordination）*6に関する仕様が策定された．さらにRelease 11では，HetNetにおけるセル間協調（CoMP：Coordinated Multi-Point）*7送受信に関する仕様が策定されるとともに，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通信向けの仕様検討が行われた[2]．

＊1　**W-CDMA**：広帯域符号分割多元接続方式．
＊2　**HSPA**：W-CDMAのパケットデータ通信を高速化した規格であり，下り（基地局から移動端末）方向を高速化したHSDPA（High Speed Downlink Packet Access）と上り（移動端末から基地局）方向を高速化したHSUPA（High Speed Uplink Packet Access）の総称である．
＊3　**LTE-Advanced**：3GPPにおけるIMT-Advancedの名称．IMT-Advancedは第3世代移動通信システムであるIMT-2000の後継システム．
＊4　**キャリアアグリゲーション（CA）**：1ユーザの信号を複数のキャリアを用いて同時に送受信することにより，既存のLTEとのバックワードコンパチビリティを保ちながら広帯域化を行い，高速伝送を実現する技術．

このように近年は，多様化する移動通信市場の動向や要望をかんがみ，標準仕様の検討が行われている．今回のRelease 12で仕様策定した主な機能は，**図1**に示すように，①ユーザスループット*8・容量増大のための新技術，②サービス領域拡張のための新技術，③ネットワーク運用経験を踏まえた機能改善，と大まかに分類できる．

3. Release 12で策定された新たな機能

前述した標準仕様策定において3GPP参加各社からの関心が高く，活発な議論がなされたRelease 12機能（図1）の概要について，以下，検討領域ごとに解説する．

3.1 ユーザスループット・容量増大のための新技術

本検討領域では，トラフィック量の多いエリアにおいて，既設のマクロセル*9とは異なる周波数を用いて小セルを高密度に設置するCAに基づく異周波HetNetシナリオが注目された．これは多くのオペレータが複数の周波数をLTEに利用している状況で，CAによってマクロセルと小セルとの同時通信を確立することにより，カバレッジの小さい高周波数（例えば3.5GHz帯）を効率的に利用する方法とされているのが一因である．3GPPにおいては，異周波HetNetシナリオに対して，以下に示す6つの技術が高い関心を集め，これらについて仕様が策定された．

(1)TDD，FDD間のCA技術

ユーザスループットを向上させる技術として，Release 10においてCAの仕様が策定されたが，CAが可能なLTEキャリアは同一のDuplex方式，すなわち周波数分割複信（FDD：Frequency Division Duplex）*10間，あるいは時分割複信（TDD：Time Division Duplex）*11間に限定されていた．一方で，TDD方式のLTEで利用可能な周波数帯が増加している状況を踏まえ，すでにFDD方式のLTEを採用している日米欧のオペレータの要望に基づき，Release 12

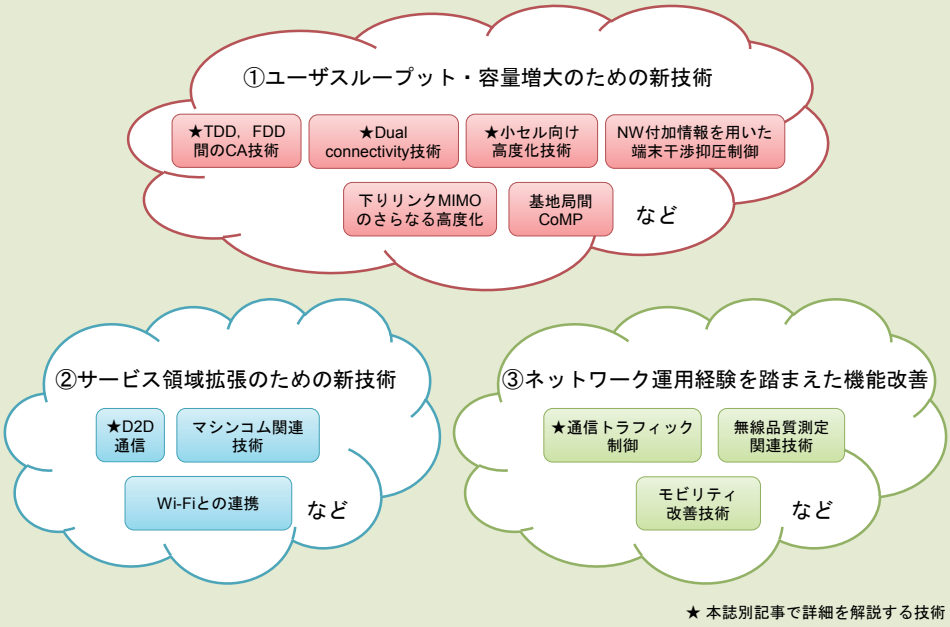


図1　Release 12で仕様策定した主な機能

*5 **ヘテロジニアスネットワーク（HetNet）**：電力の違うノードがオーバレイするネットワーク構成．従来の基地局に対し，より送信電力の小さいピコ基地局，フェムト基地局，Wi-Fiなど複数テクノロジーが混在，連携，統合化したネットワーク．

*6 **セル間干渉制御技術（ICIC）**：セル間で異なる時間・周波数の無線リソースを準静的に割り当て，セル間干渉の影響を低減する技術．

*7 **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．

*8 **ユーザスループット**：1ユーザが単位時間内に誤りなく伝送できるデータ量．

*9 **マクロセル**：主に屋外をカバーする半径数百メートルから数十キロメートルの通信可能エリア．通常，鉄塔上やビルの屋上などにアンテナが設置される．

*10 **周波数分割複信（FDD）**：上りリンクと下りリンクで，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．

*11 **時分割複信（TDD）**：上りリンクと下りリンクで，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．

においてはFDD周波数とTDD周波数間のCAが導入された．これによりオペレータは異なるDuplex間でのCAによるさまざまな周波数帯の連携が可能となり，さらなるユーザスループットの向上が実現できる．

⑵Dual Connectivity技術

これまでのCAの仕様検討では，同時送信を行う複数のLTEキャリアの運用条件として，同一基地局から送信されているか，異なる基地局間（例えば，マクロ基地局とリモート基地局（RRE：Remote Radio Equipment）*12）の場合には光ファイバで接続されているなど，バックホール*13の遅延が無視できる条件を想定して検討が行われていた．しかしながら，多くの国／地域においては，設置が比較的安価なことから遅延を許容したバックホールで接続した基地局が主に使用されている．このため，各国オペレータからの強い要望により，そうした基地局で提供される複数のLTEキャリアを用いて同時送受信することでユーザスループットの向上を図る技術が，Dual Connectivityという名称で仕様策定された．Dual Connectivityでは，X2*14インタフェースで接続されている任意の2つの基地局間でLTEキャリアの同時通信を行うことが可能となる．これによりオペレータは，よりさまざまな基地局展開シナリオでユーザスループットの向上を実現することができる．

⑶小セル向け高度化技術

さまざまな小セルの設置シナリオを検討する中で，高密度に配置された小セル環境を想定した各種技術が，「Small Cell Enhancements（SCE）」として採用された．小セル向けの高度化技術として，①下りリンクでの256QAMを用いる高次多値変調方式，②CA時にSCell（Secondary Cell）として設定された小セルを対象として，高密度に配置された小セル間の干渉を抑えるためのSmall cell on/offおよびSmall cell discovery技術が行われた．これらの技術を小セル環境で用いることにより，ユーザスループットの向上や容量の増大が期待できる．

⑷ネットワーク付加情報を用いた端末干渉抑圧制御

干渉抑圧制御については，Release 11では端末側のみで得られる情報を用いた干渉抑圧制御が規定されている．Release 12では，隣接セル情報などの付加情報を基地局から提供することにより，さらなるユーザスループットの向上，容量の増大が可能となる．

⑸下りリンクMIMOのさらなる高度化

ユーザスループット向上・容量増大技術である下りリンクMIMO*15の技術について，さらなる高度化が行われた．Release 12では，4素子の直交偏波基地局アンテナおよびマルチユーザMIMO*16伝送を想定し，Release 8よりも高い分解能を実現するコードブック*17が仕様化された．加えて，チャネル品質情報（CQI：Channel Quality Indicator）*18など端末から基地局へのフィードバック情報を，システム帯域を複数に分割したサブバンド単位で通知する，新たなフィードバックモードも仕様化されている．

⑹基地局間CoMP

Release 11で仕様化されたCoMPでは，光ファイバなどの遅延が無視できる回線を介して接続されたマクロ基地局／RRE間の協調による，動的なCoMP送受信技術を想定した仕様が策定された．一方，Release 12では，遅延を許容したバックホールで接続された基地局間のCoMP送受信を想定し，バックホールシグナリングに関する仕様が策定された．これにより，セル間干渉に対して準静的な干渉制御が可能となり，特にセル端のユーザスループットを向上することができる．

3.2 サービス領域拡張のための新技術

3.1節で示した携帯電話システムの基本的な性能向上とは別に，端末間（D2D：Device to Device）通信技術や，スマートメータなどのマシンコム端末通信，およびWi-Fi®*19との連携に対する関心が急速に高まっている．

⑴D2D通信

D2D通信の用途として，まず，公共安全（Public Safety）無線システムでの利用が想定されている．大規模災害などで基地局が停止した状況や，山岳地帯などの基地局カバ

*12 **リモート基地局（RRE）**：光ファイバなどを使って基地局から離れた場所に設置した基地局アンテナ装置．

*13 **バックホール**：コアネットワークから無線基地局への接続経路を指す．

*14 **X2**：3GPPで定義されたeNodeB間のリファレンスポイント．

*15 **MIMO**：送受信に複数のアンテナを配備し，マルチパスによって生じる空間的な伝搬の性質の違いを利用することで，アンテナ数に比例して無線リンクの容量を増大させる無線技術．

*16 **マルチユーザMIMO**：複数ユーザの信号をMIMO多重伝送することにより，周波数利用効率を向上させる技術．

*17 **コードブック**：あらかじめ決められたプリコーディングウェイト行列の候補．

*18 **チャネル品質情報（CQI）**：移動局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．

*19 **Wi-Fi®**：Wi-Fi Allianceの登録商標．

レッジ外でも通信手段を提供することを想定し，LTEネットワークとの共存を考慮した端末間の直接通信（Direct Communication）が仕様策定された．また，D2Dの用途としては，商用利用向けに端末近接度に基づいたサービス（Device to Device proximity services）もあり，これを受け，近接端末の発見技術（Device discovery）が導入された．

⑵マシンコム関連技術

スマートメータなど，WCDMA/HSPAやGSM＊20回線を介するマシンコム通信端末を用いたサービスでは，LTEへの移行がさかんに検討されている．ただし現状では，マシンコム通信端末向けLTEモジュールの価格がWCDMA/HSPAやGSMと比較すると高いため，より安価なモジュールの標準仕様策定が望まれていた．そこでRelease 12では，①データレートを最大1Mbpsに制限，②FDD Half Duplexのサポート，③1アンテナ受信のサポート，を特徴としたマシンコム通信端末向けの新たなカテゴリがサポートされた．また，マシンコム通信端末向けに消費電力をさらに低減するPSM（Power Saving Mode）や，通信トラフィック，ハンドオーバ＊21の発生頻度を考慮して通信状態持続時間を設定する機能が新たに策定された．

⑶Wi-Fiとの連携

Wi-FiをLTEのコアネットワークノードであるEPC（Evolved Packet Core）＊22に収容し，一部のトラフィックをWi-Fiにオフロードする技術はRelease 8から規定されている．しかし，これまではトラフィック種別や，事前に設定されたLTEとWi-Fiの優先度など，コアネットワーク側で得られる情報だけを用いたトラフィックオフロード制御のみ行われていた．Release 12では，LTEとWi-Fi双方の無線品質，およびWi-Fiの輻輳＊23状況を考慮して，LTEとWi-Fiの間でトラフィックオフロードを行う制御技術が策定された．

3.3 ネットワーク運用経験を踏まえた機能改善

LTE/LTE-Advancedネットワークにおけるオペレータの運用経験を踏まえた機能改善も実施された．本検討領域で代表的なものは，VoLTE＊24を考慮したトラフィック制御技術や，無線品質測定技術，モビリティ改善技術である．

⑴通信トラフィック制御技術

ドコモは，2014年6月より，LTE上で音声サービスを提供するVoLTEを国内でいち早く開始しており，海外事業者でもVoLTEの商用導入が進められている．VoLTEの普及により，データおよび音声のトラフィックに対するより柔軟な規制制御＊25を実現することが，オペレータのLTE/LTE-Advancedネットワーク運用において重要となってきている．

このような点を考慮して，Release 12では，新たに，①音声（VoLTE）トラフィックと，パケットトラフィックを独立に制御する技術（Smart Congestion Mitigation），②ユーザ端末が通信状態であっても音声（VoLTE）発信の規制を実現する制御技術（SSAC in connected）が規定された．

⑵無線品質測定関連技術

モバイルトラフィックの増大に対応するため，オペレータがLTE向けに運用する周波数帯が増加している．これにより，端末になるべく多くのLTE周波数を測定させ，常に品質の良い周波数を利用するような運用制御の必要性が，オペレータの間で高まっている．このような背景を受け，Release 12では，端末が同時に測定可能な異周波キャリア数を増やすことが可能となる仕様を策定した．また，無線品質の測定方法として，RSRQ（Reference Signal Received Quality）の測定精度を高めるための仕組みも規定された．

⑶モビリティ改善技術

同一周波数を用いるHetNet環境において，ハンドオーバ成功率を向上させるために，セル個別にハンドオーバ関連のパラメータを調整できる機能が規定された．また，待受状態の端末の移動速度（高・中・低速）とセル在圏履歴を基地局に通知し，モビリティ関連パラメータの調整に用いる仕組みも規定された．

4. あとがき

本稿では，LTE-AdvancedのRelease 12の検討背景，および新たに

＊20 **GSM**：デジタル携帯電話で使用される第2世代の移動体通信方式．

＊21 **ハンドオーバ**：通信中端末が移動に伴い基地局を跨る際，通信を継続させながら基地局を切り替える技術．

＊22 **EPC**：LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された，IPベースのコアネットワーク．

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

＊24 **VoLTE**：LTE無線を利用しパケット交換技術を用い，音声サービスを提供する機能．

＊25 **規制制御**：事故，災害，イベントなどの事象によるS-BE（Satellite-Base station Equipment）の処理異常や輻輳発生およびS-BEのダウン発生時における輻輳状態の早期復旧のために，移動局の位置登録／発信動作を制限する制御．

導入された主要機能を解説した．本稿で紹介したRelease 12の主要機能のうち，3.1⑴の「TDD，FDD間のCA」[3]，3.1⑵の「Dual connectivity技術」[3]，3.1⑶の「小セル向け高度化技術」[4]，3.1⑷の「ネットワーク付加情報を用いた端末干渉抑圧制御」[4]，3.2⑴の「端末間通信」[5]，および3.3⑴の「通信トラフィック制御技術」[6]については，本誌の特集記事でより詳細な内容を解説しているので，ご参照いただきたい．

また，現在Release 13の策定に取り組んでおり，LTE-Advancedのさらなる機能拡張を進めていく．

文　献

[1] 中村，ほか："LTE-Advancedの概要および標準化動向，"本誌，Vol.18, No.2, pp.6-11, Jul. 2010.

[2] 武田，ほか："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，"本誌，Vol.21，No.2，pp.18-25，Jul. 2013.

[3] 内野，ほか："さらなる高速大容量化を実現するキャリアアグリゲーション高度化およびDual Connectivity技術，"本誌，Vol.23，No.2，pp.35-45，Jul. 2015.

[4] 武田，ほか："LTE-Advanced Release 12における高次多値変調／小セル検出／干渉制御技術，"本誌，Vol.23, No.2, pp.46-53, Jul. 2015.

[5] 安川，ほか："LTE-Advanced Release 12におけるD2D通信の実現，"本誌，Vol.23, No.2, pp.54-62, Jul. 2015.

[6] 青柳，ほか："LTE/LTE-Advancedシステムにおけるアクセスクラス制御技術，"本誌，Vol.23，No.2，pp.63-73，Jul. 2015.

LTE-Advanced　キャリアアグリゲーション　Dual Connectivity

Technology Reports

LTE-Advancedのさらなる発展に向けて　―Release12 標準化動向―

さらなる高速大容量化を実現する キャリアアグリゲーション高度化およびDual Connectivity技術

3GPP Release 10において，LTE-Advancedの特長となる機能として仕様化されたCAは，ユーザスループットを向上する技術として世界的に商用導入が進められている．Release 12では，さらなる高速大容量化と柔軟な運用を実現するために，異なる複信方式のLTEキャリア間のCAの仕様，LTEキャリア数を増加させたCAの無線仕様，複数の基地局間でのLTEキャリアの同時通信（Dual connectivity）を行うための仕様が新たに規定された．

無線アクセス開発部　内野（うちの）　徹（とおる）　手島（てしま）　邦彦（くにひこ）
先進技術研究所　武田（たけだ）　一樹（かずき）

1. まえがき

3GPPでは，スマートフォンの普及などに伴って増加するトラフィックに対応するため，無線ネットワークの容量拡大に向けて，マクロセル*1の無線トラフィックを比較的送信電力の小さいスモールセル*2へとオフロードするヘテロジニアスネットワーク（HetNet：Heterogeneous Network）*3の検討が行われてきた．ドコモは，HetNetにRelease 10で仕様化されたキャリアアグリゲーション（CA：Carrier Aggregation）*4を適用することで，通信の安定性を維持しつつ，スモールセルによる無線容量の拡大を実現する“アドオンセル運用”を提唱している[1]．ドコモではこのアドオンセル運用の適用領域をさらに拡大するための検討を積極的に行っており，また，3GPPの参加各社も同様に，複数のLTEキャリアを用いた高速化や柔軟な運用を実現するための検討をそれぞれ積極的に行っている．このような背景のもと，Release 12では，CAの拡張技術として，周波数分割複信（FDD：Frequency Division Duplex）*5と時分割複信（TDD：Time Division Duplex）*6の異なる方式のLTEキャリア間でCAを実現するTDD-FDD CA技術の仕様化や，CAで利用するLTEキャリア数の増大に対応した無線仕様関連の規定（端末の実装の観点から必要となる規定など）が行われた．さらに異なる基地局（eNB：evolved Node B）*7間で複数のLTEキャリアによる同時通信を行うDC（Dual Connectivity）技術も規定された．本稿では，これらの技術について解説する．

2. CAの拡張

2.1 異なる複信方式のLTEキャリア間のCA

Release 12では，より多様な周波数バンドの組合せでCAを実現するため，異なる複信方式であるFDD

©2015 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます．

*1 **マクロセル**：1つの基地局がカバーする半径数百メートルから数十キロメートルの通信可能エリア．
*2 **スモールセル**：送信電力が大きいマクロセルと比較して送信電力が小さいセルの総称．
*3 **ヘテロジニアスネットワーク（HetNet）**：電力の違うノードがオーバレイするネットワーク構成．従来の基地局に対し，より送信電力の小さい基地局などが混在，連携，統合化したネットワーク．
*4 **キャリアアグリゲーション（CA）**：複数のキャリアを用いて同時に送受信することにより，既存のLTEとのバックワードコンパチビリティを保ちながら広帯域化を行い，高速伝送を実現する技術．

とTDDのLTEキャリア間でCAを行うための制御をTDD-FDD CA技術として仕様化した．FDDとTDDでは仕様の親和性は高いが，各々のフレーム構成に応じた送受信タイミング制御が規定されているため，キャリア間の連携を必要とするCAにおいて，複信方式ごとに異なる制御をそのまま流用して両者を束ねることは困難である．そこで，LTEキャリア間のフレーム構成の違いを意識せずに適用可能な制御が規定された．

以下，LTEのFDDとTDDそれぞれの制御と，両者を束ねるTDD-FDD CAの仕組みについて解説する．

⑴FDDとTDD

LTEで対応するFDDとTDDの概念図を**図1**に示す．FDDでは上下リンクで異なる周波数（ペアバンド）を用いて送受信を行う．一方，TDDでは上下リンクで同一周波数を用い，時間的に下りリンク（DL：Down-Link）と上りリンク（UL：UpLink）を切り替えて送受信を行う．なお，DLからULに切り替わるタイミングでは，下り受信区間（DwPTS），無送信区間（GP：Guard Period），上り送信区間（UpPTS）を含むSpecialサブフレーム*8が挿入される．また，LTEではサブフレームの上下比率や上下リンクの切替周期が異なる7つのUL/DL configurationが規定されている（**表1**）．

前述のように，FDDとTDDではフレーム構成が異なり，FDDでは任意のタイミングで送受信ができるのに対し，TDDでは送受信タイミングに制約がある．これにより，特定のタイミングで行う必要がある制御，例えばHARQ（Hybrid Automatic Re-transmission reQuest）*9制御に違いが生じる．HARQ制御では，ユーザ端末（UE：User Equipment）は自身に割り当てられたDL共有チャネル（PDSCH：Physical Downlink Shared CHannel）*10のデータ受信を試み，その復号判定結果（ACK（ACKnowledgement）*11またはNACK）を所定のULサブフレームでHARQ応答信号としてフィードバックする．複数のLTEキャリアを束ねるCAにおいては，PCell（Primary Cell）*12およびSCell（Secondary Cell）*13のDLで受信したデータに対するHARQ応答信号は，まとめてPCellのPUCCH（Physical Uplink Control CHannel）*14で送信される．FDDキャリア（ある

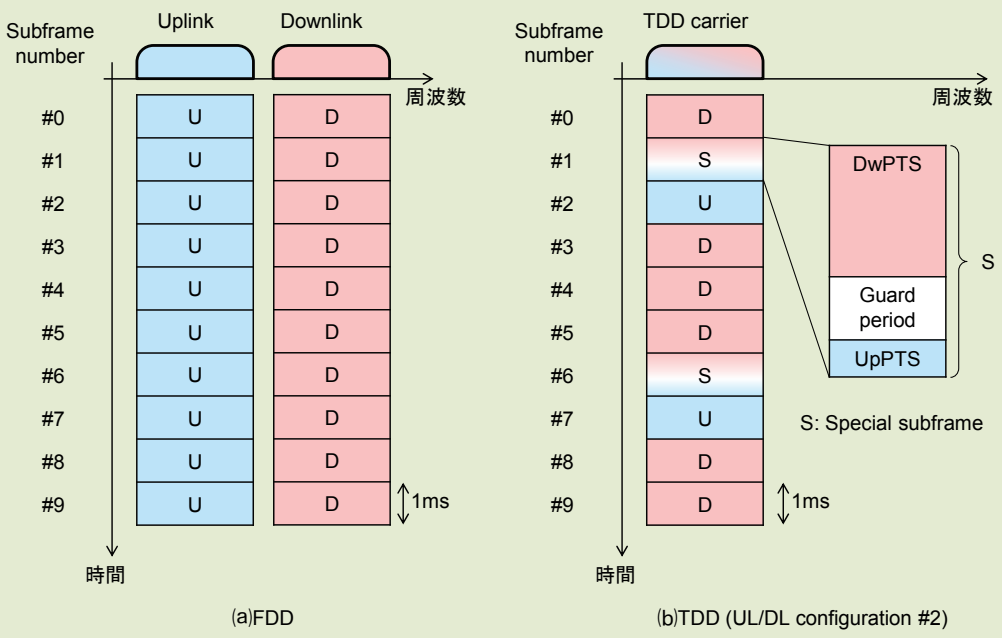


図1　FDDとTDDのフレーム構成

＊5　**周波数分割複信（FDD）**：上りリンクと下りリンクで，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．

＊6　**時分割複信（TDD）**：上りリンクと下りリンクで，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．

＊7　**eNB**：LTEにおける無線基地局．

＊8　**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．

＊9　**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．基地局より再送されたデータと過去に受信したデータを合成することにより，受信品質の向上と効率の良い伝送を実現するパケット再送方法．

＊10　**PDSCH**：LTEにおけるDLデータ送信に使用する共有チャネル．

＊11　**ACK**：データフレームの受信ノードが正常に受信した際に送信ノードに返送する受信確認．

いはFDDキャリア間CA）の場合，DLで受信したデータに対するHARQ応答信号は一律4ms後にPCellのULサブフレームで送信される（**図2**(a)）．一方，TDDキャリア（あるいはTDDキャリア間CA）の場合，PCellにおいてUL送信可能なサブフレームが限定されていることから，DLでデータを受信したサブフレームタイミングに応じて異なるHARQ応答信号送信タイミングが規定されている．具体的には，図2(b)に描かれるようにDLデータの受信タイミングから4ms以降，所定のPCellのULサブフレームで1つまたは複数のHARQ応答信号が送信される．

このように，FDDとTDDでは，それぞれのフレーム構成に基づいて一意に決定されるHARQ応答信号送信タイミングが適用される．

(2)TDD-FDD CA

TDD-FDD CAで規定された，フレーム構成の違いを意識せずに適用可能なHARQ応答信号送信タイミングについて，以下に具体的な例を挙げて説明する．

①PCellがFDDキャリアの場合

PCellがFDDキャリアの場合（FDD PCell），SCellとして追加されるTDDキャリア（TDD

表1　LTEで規定されているTDD UL/DL configuration

Uplink-downlink configuration	Downlink-to-Uplink switch-point periodicity	Subframe #									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

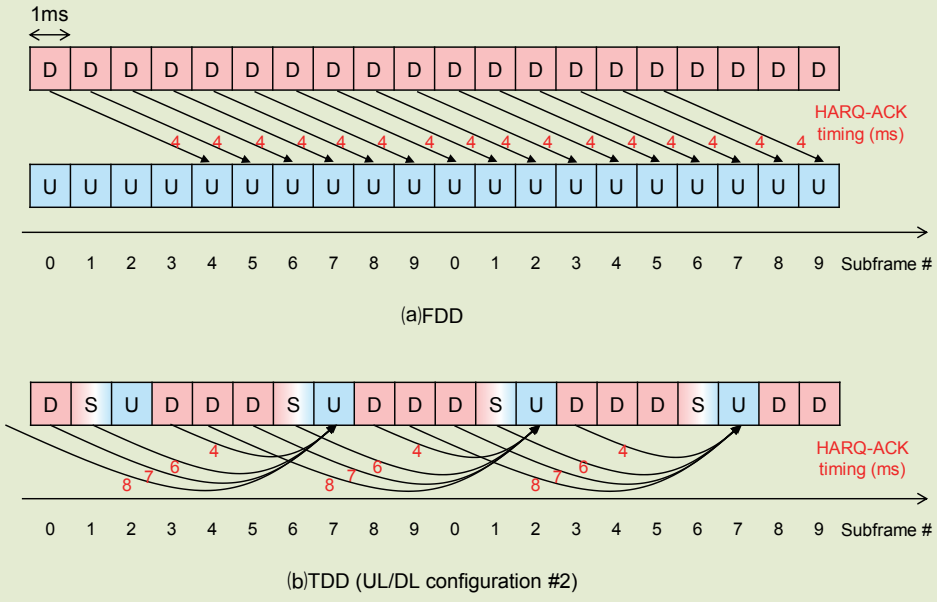


図2　FDDとTDDのDL HARQ-ACK送信タイミング

＊12 **PCell**：CAにおいてUE-NW間の接続性を担保するセル．
＊13 **SCell**：CAにおいてPCellに加えて無線リソースを提供するセル．
＊14 **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．

SCell）にTDD向けのHARQ応答信号送信タイミングを適用すると，PCellのULリソースを活用した高速なフィードバックを実現できないという問題がある．そこでPCellではすべてのサブフレームでPUCCHが送信可能であるというFDDの特徴を活かし，TDD SCellには，FDDキャリアと同じHARQ応答信号送信タイミングが適用されることとなった．具体的には，FDD PCellと同様に，TDD SCellでもデータ受信を試みたサブフレームから4ms後にHARQ応答信号を送信する（**図3**(a)）．このように，HARQ応答信号送信タイミングがFDDおよびFDDキャリア間CAと同一となるため，PCellとSCellでHARQフィードバック遅延を同じにできることに加え，TDD SCellに対しても，複信方式の違いを意識することなく，FDDキャリアのみで通信する際と同様のHARQ送信制御を適用することが可能である．

②PCellがTDDキャリアの場合

一方，PCellがTDDキャリアの場合（TDD PCell），従来のTDDの場合と同様に，PCellでは限定されたサブフレームでしかUL送信ができないという制約があることから，SCellとして追加されるFDDキャリア（FDD SCell）でデータを受信したタイミングから4ms後にULサブフレームがない場合がある．したがって，この場合

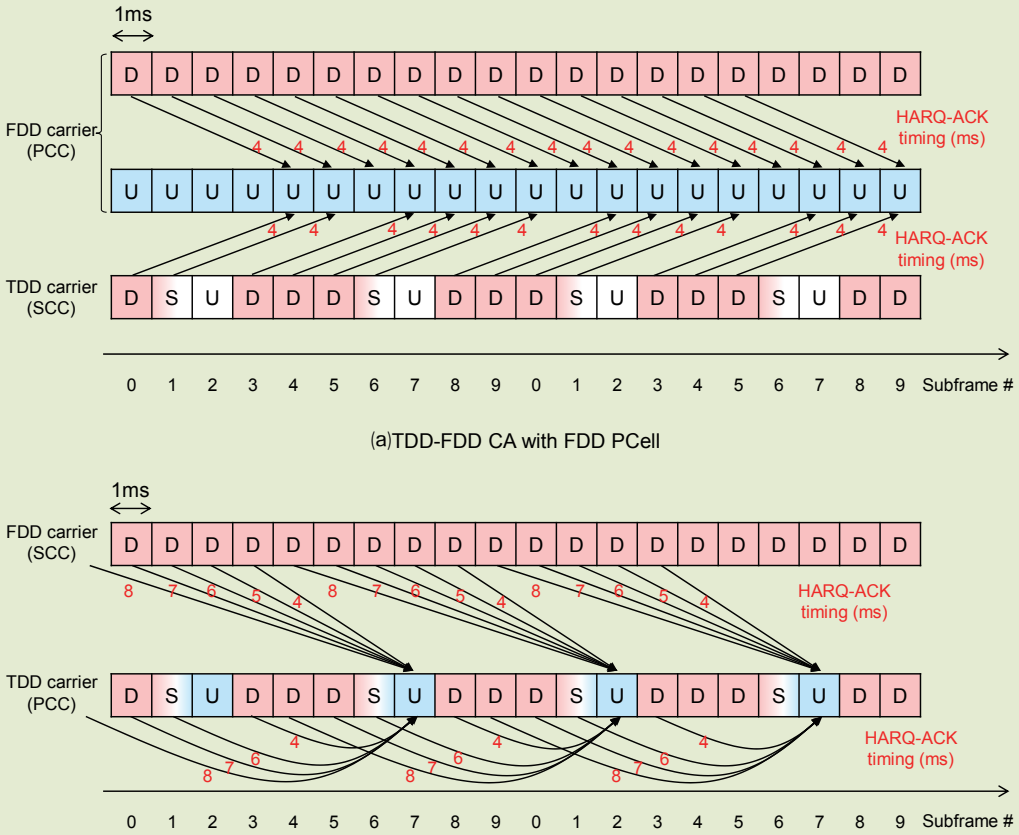


図3　TDD-FDD CAのDL HARQ-ACK送信タイミング

におけるFDD SCell向けに，新たなDLのHARQ応答信号送信タイミングが規定された（図3(b)）．ここで，FDD SCellのHARQ応答信号送信タイミングは，TDD PCellのUL/DL configurationに基づいて決定される．このように，TDD PCellの場合，FDD SCellに対しても，複信方式の違いを意識することなく，TDDキャリアのみで通信する際と同様のHARQ制御を適用することが可能である．

2.2 キャリア数増加に対応したCAのための無線仕様規定

CAはRelease 10から仕様規定されており，規格上，最大5つのLTEキャリア（CC：Component Carrier）*15を束ねて100MHzの広帯域通信を実現することができる．しかしながら，UEがCAを行う際に満たすべき無線仕様の要求条件（例えば，受信感度規定や送信スプリアス規定*16など）は，用いる周波数バンドやCC数，帯域幅などの組合せごとに異なり，無数に存在する．このため，特定の周波数の組合せに対応するUEを開発するためには，まず対応する無線仕様を標準規格上で規定する必要がある．3GPPでは，このようなCAの無線仕様が通信事業者のニーズに応じて順次規定されており，Release 10および11では，2つのCCを束ねる周波数の組合せに対する無線仕様が規定された．Release 12ではさらなる高速化を目指し，DLで新たに3つのCCを束ねる周波数の組合せに対する無線仕様が規定された．これにより合計60MHzを用いた，さらなる高速通信を実現するUEの開発が可能となる．

また，CAによるスループット向上の検討はULでも進められた．Release 11までは，同一周波数バンド内の2つのCCを束ねる周波数の組合せのみを規定したが，Release 12では異なる2つの周波数バンド間の組合せを規定した．

3. Dual Connectivity

本特集の冒頭記事[2]で述べたとおり，多くの国／地域で比較的安価で遅延を許容したバックホール*17を用いていることにかんがみ，遅延のあるバックホールで接続されたeNB間の複数CCを束ねてユーザスループットを向上させる技術が，Dual Connectivityという名称で仕様策定された．同一eNB内のCCを束ねる従来のCAと比較して，異なるeNB間のキャリアを束ねるために，次のように大きく3つの検討項目があった．

①異なるeNB間のキャリアを束ねるネットワーク（NW）構成
- 異なるeNBへのデータ配信方法
- C-plane*18/U-plane*19のプロトコル終端点
- MeNBとSeNB間連携

②異なるeNBと同時に接続する物理（Physical）レイヤの仕組み
- 制御信号の送信方法
- 同時送信時の送信電力制御*20方法

③同期／非同期NWへの対応

以下，DCの仕様を策定する際に上記課題をいかにして解決したか説明する．

3.1 異なるeNB間キャリアを束ねるNW構成

(1)異なるeNBへのデータ配信方法

Release 12のDCでは，Master-eNB（MeNB）およびSecondary-eNB（SeNB）と呼ばれる2つのeNBの無線リソース*21を使用してデータ通信を実現する．CA相当のスループットを実現するためには，同一ベアラ*22のユーザデータを2つのeNBから配信する必要がある．よって，DCではMeNBがユーザデータ伝送の分岐点となり，S-GW（Serving GateWay）*23からS1インタフェース*24を介して転送される下りデータをMeNBのキャリア，もしくはX2インタフェース*25を介してSeNB側へ配信し，SeNBのキャリアで伝送するアーキテクチャを規定している（**図4**(a)）．また，スループット効果よりもオフロード効果を重視した運用も考慮され，同一ベアラのユーザデータをSeNBのキャリアのみで伝送するアーキテクチャも規定されている（図4(b)）．この場合，MeNBを介さず，S-GWから直接下りデータがSeNBに到来する．なお，いずれのアーキテクチャにおいてもMME（Mobility Management Entity）との接続はMeNBとのみ確立される．

---

*15 **CC**：CAにおいて束ねられるキャリアを表す用語．
*16 **スプリアス規定**：不要発射による干渉を回避するために規定されている保護規格．
*17 **バックホール**：コアネットワークから無線基地局への接続回線を指す．
*18 **C-plane**：制御プレーン．通信の確立などをするための制御信号を転送するためのプロトコル．
*19 **U-plane**：ユーザプレーン．ユーザデータを転送するためのプロトコル．
*20 **送信電力制御**：受信側での信号対雑音電力比（SNR）または信号対干渉雑音電力比（SINR）が所要値以上になるよう送信電力を変化させる制御．
*21 **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．
*22 **ベアラ**：P-GW，S-GW，eNB，UE間で設定される論理的なユーザデータパケット伝達経路．
*23 **S-GW**：LTEネットワーク上でユーザデータを処理するパケット交換機．
*24 **S1インタフェース**：MMEやS-GWとeNBとをつなぐインタフェース．

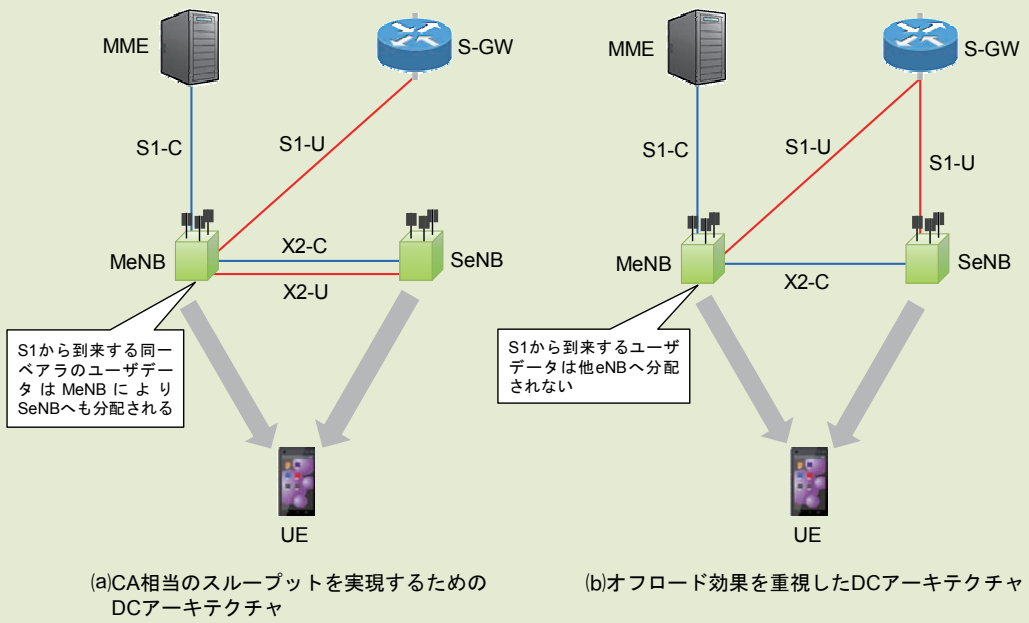


図4　DCにおけるアーキテクチャ

本稿では，スループット効果を重視したデータ配信方法について解説する．なお，Release 12では，2つのeNBによるデータ配信は下りのみ対応し，上りはいずれかのeNBに対してのみ伝送する仕様になっている．

(2)C-planeプロトコル終端

LTEでは，UEはNWに接続するために，1つのeNBに対してRRC (Radio Resource Control)*26コネクションを確立し，RRCコネクションを用いてeNBから無線リソース設定の通知や，ハンドオーバ*27などのため無線測定の設定や報告を実施する．DCでは，こうした従来のRRCコネクションの考え方を踏襲し，RRCコネクションはMeNBとのみ確立し，MeNBを介してSeNBの制御を実施している．制御の内容としては，例えば，SeNBが提供するキャリアをUEに設定するためのSeNB追加（SeNB Addition）や，そのキャリアを削除するためのSeNB削除（SeNB Releaseや Change of SeNB）プロシージャが規定されている．

また，MeNBにマクロセル，SeNBにスモールセルを設定する運用では，UEの接続性をMeNBで担保することで，HetNetシナリオにおけるアドオンセルにおけるの移動管理の考え方を採用することができる．ユーザの移動によって，複数SeNBをまたいでも，ハンドオーバ手順を実施することなく，RRC制御によるSeNB Addition，SeNB ReleaseやChange of SeNBで実現することで，モビリティの特性劣化を防ぐことができる．

(3)U-planeプロトコルの終端

従来のLTEでは，**図5**に示すようなプロトコルスタックが採用されており，eNB/UEにおいて上位からPDCP（Packet Data Convergence Protocol）*28レイヤ，RLC（Radio Link Control）*29レイヤ，MAC（Medium Access Control）*30レイヤ，物理レイヤが設置される構成となっている．一方，DCでは複数のeNBがUEと通信を行うために，eNB側ではMeNB内のPDCPレイヤの下でプロトコルスタックが分離され，RLCレイヤ以下についてはMeNBとSeNBそれぞれに従来と同様のプロトコルスタックが用意される．UE側では，それぞれに対応するプロトコルレイヤが用意される．

*25 **X2インタフェース**：eNB同士をつなぐインタフェース．
*26 **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．
*27 **ハンドオーバ**：通信中端末が移動に伴いセルを跨る際，通信を継続させながら基地局を切り替える技術．
*28 **PDCP**：LTE方式における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，秘匿，正当性確認，ヘッダ圧縮などを行うプロトコル．
*29 **RLC**：LTE方式における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，再送制御，重複検出，順序整列などを行うプロトコル．
*30 **MAC**：LTE方式における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．

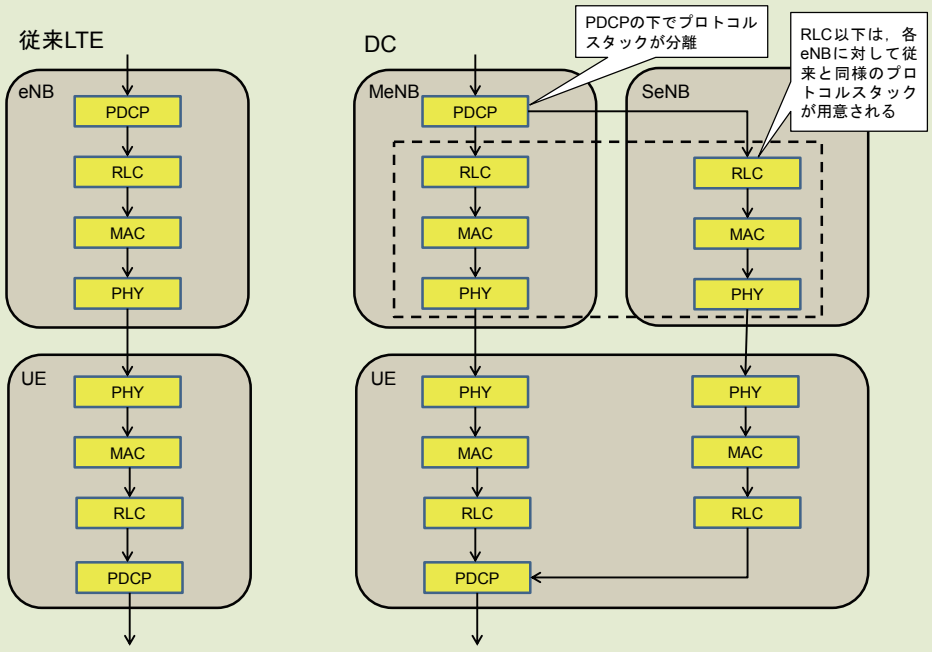


図5　従来のLTEおよびDCにおけるプロトコルスタック

⑷MeNBとSeNB間連携

⑴で説明したデータ配信方法を実現するためには，MeNBが，自身のキャリア，およびSeNBのキャリアで配信するユーザデータ量を適切に分配する必要がある．この目的のため，SeNB側から送信したユーザデータの送達確認，およびSeNB内の許容データバッファ量をSeNBからMeNBに対して通知するflow control制御が新たに規定された．

また，⑵で説明したUEに対する無線リソースの設定を可能にするため，X2インタフェースを用いてSeNBが割り当てる無線リソース情報をMeNBに通知する制御手順を規定した．**図6**は，DCにおけるSeNB Additionの制御シーケンスを示す．UEは最初にMeNBとして動作するeNBへ接続し，MeNBは他eNB（SeNBとして設定されるeNB）配下のセルの品質が良好になったことをUEから報告されると，以下のようにDC設定手順を行う．

①MeNBはSeNBに対し，DC設定要求（SeNB Addition Request）を通知する．

②SeNBは，DC設定要求に対し，応答信号（SeNB Addition Request Acknowledgement）に配下のセルの無線パラメータ情報を格納し，MeNBへ通知する．

③MeNBはSeNBからの応答信号を受信すると，UEに対して無線リソースの設定信号（RRC connection reconfiguration）を送信する．

④UEは，MeNBに対して設定信号に対応する完了通知（RRC connection reconfiguration complete）を送信，SeNBに対しては同期確立手順（Random Access procedure）を開始し，当該手順完了をもってSeNBとの接続確立状態となる．

⑤MeNBは，UEからの完了通知を受信すると，SeNBへ完了通知（SeNB reconfiguration complete）を転送し，DC設定手順完了となる．MeNBは以降，S-GWから到来する下りユーザデータをSeNBへ分配する．

3.2　異なるeNBと同時に接続する物理レイヤの仕組み

CAでは，束ねるキャリアは単一のeNBによって管理，スケジューリング

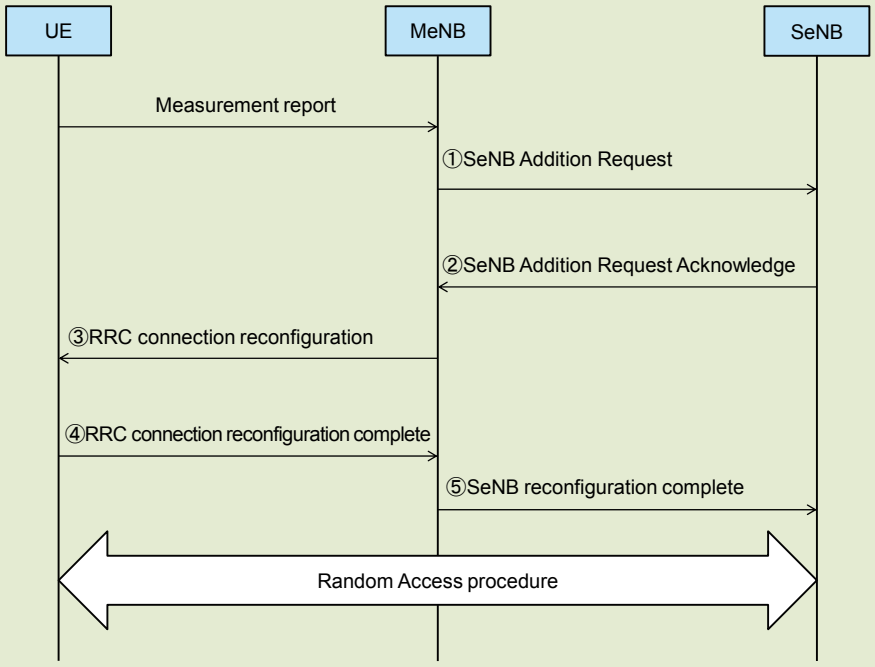


図6　SeNB追加手順

される．このため，束ねる各キャリアの情報は当該eNBによりリアルタイムに把握できる．一方，DCで束ねられるキャリアは遅延の大きいバックホールで接続され得る2つのeNBによって管理，スケジューリングされるため，eNBが各キャリアの情報をリアルタイムに共有・反映することは困難である．この課題を解決するため，キャリア間で動的な情報交換をせずとも通信を可能とするための物理レイヤ高度化が行われた．

⑴制御信号の送信方法

CAのPCellでは，Release 8でサポートされる物理チャネル[*31]・機能のすべてがサポートされ，SCellではその一部のみがサポートされている．例えば，SCellではPUCCHやCBRA（Contention Based Random Access）などはサポートされておらず，HARQ応答信号やDLの品質情報などといったUCI（Uplink Control Information）の送信や，eNBに対する上りのスケジューリング要求などは基本的にPCellで行われる．

一方，DCではキャリアを束ねるeNB間の遅延が大きいため，MeNBのPCellで受信した前記UCIやスケジューリング要求を，バックホールを介してSeNBへリアルタイム通知し，配下のSCellのスケジューリングに反映させることは困難である．そこでDCでは，PCellに加えてSeNB配下の1つのキャリアをPSCell（Primary SCell）としてPUCCH送信やCBRAなどをサポートし，SeNB配下の各キャリアに関するUCIやスケジューリング要求を，UEからSeNBへ直接送信することが規定された（**図7**）．これにより，eNB間の遅延に影響されることなく，複数のeNBとの通信を実現することが可能となる．なお，UEがSeNBとの送受信を安定して行えるように，PSCellはRadio Link Monitoring（下りの無線品質監視）機能など，これまでPCellでしかサポートされていなかった機能も備えている．

UEは，MeNBとSeNB各々に対し，PCellあるいは，PSCellに加えて従来のSCellを設定し，各eNBにCAを適用することでスループットを向上することも可能である．この時，UEはMeNB配下の各キャリアのUCIを

＊31 **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．

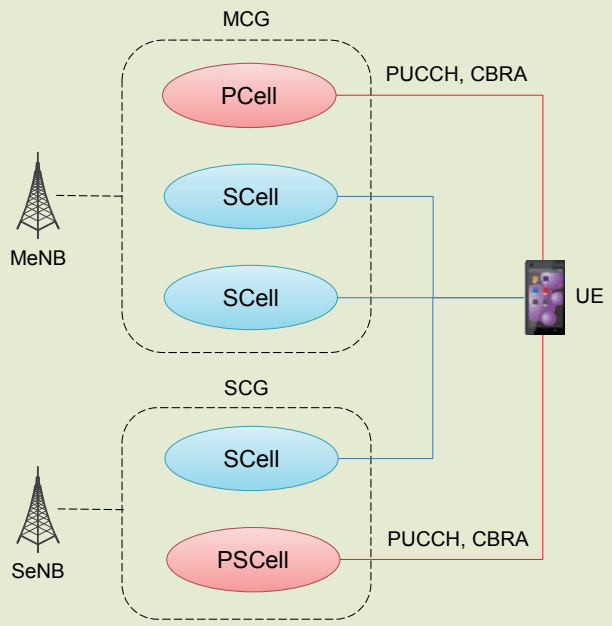


図7　DCにおけるCell-Group

PCellのPUCCHで，SeNB配下の各キャリアのUCIをPSCellのPUCCHで送信する．このように，UEに設定される各キャリアはPCellまたはPSCellのいずれかに関連付けられてCG（Cell-group）としてグルーピングされる．このことから，MeNB配下のCGをMCG（Master Cell-Group），SeNB配下のCGをSCG（Secondary Cell-Group）と呼び，スケジューリングをはじめとするMACレイヤ以下の制御はCGごとに実施される．

⑵同時送信時の送信電力制御方法

従来，UEに対して複数のULキャリアが設定される場合，eNBはUE当りの送信電力状況を管理し，許容最大値を超えないように各キャリアのリソース割当てや送信電力調整を行っていた．本制御は物理レイヤの制御信号によりTTI（Transmission Time Interval）*32単位で動的に行われる．ところがDCでは，各eNBがUE当りの送信電力をリアルタイムに把握して制御することが困難であるため，各eNBから指示されるCGのUL送信電力の和が，UE当りの許容最大値を超過する場合が生じる．このときUEは，送信電力を許容値内に収める必要があるため，UL信号に対する電力を減らさなければならない（スケーリング）．しかし，制御情報など重要なUL信号に対するスケーリングが多発すると，ユーザスループットの劣化につながる恐れがある．そこでDCでは，各eNBに対する最低限の上りカバレッジを担保し，重要なUL信号がスケーリングされることを回避するため，CGごとに所定の送信電力を最低限保証する制御が導入されている．具体的には，UEはeNBから指示される値（MGP：Maximum Guaranteed Power）に従い，所定の送信電力を各CGに対して優先的に確保する．UEは，両CGの送信電力の和がUE当りの許容最大電力を超える場合には，各CGに対して設定されたMGP分の電力はスケーリングせずに配分しつつ，残りの電力に対してスケーリングを行うことで，送信電力を許容値内に収めるよう制御する．

また，3.3節で後述するように，DCでは同期運用と非同期運用がサポートされるため，それぞれを想定した2つの電力制御モードが規定された．同期DC運用（モード1）では

＊32 TTI：信号を送信するための時間間隔．

MCGとSCGのサブフレーム境界がほぼ揃っている（図8(a)）ため，UEは各CGに対して配分すべき送信電力をほぼ同じタイミングで算出することが可能である．このため，UE当りの許容最大電力を超える場合，いずれのCGにおいてもMGPで保証されない電力分に対しては，UEがCAのように各キャリアにおけるUL送信のチャネル種別を判定し，チャネル種別に基づいて優先度の低いものからスケーリングを適用する．これにより，MGPで保証されない電力分についても，優先度の高い信号に対するスケーリングの発生を抑えることができる．

一方，非同期DC運用（モード2）ではMCGとSCGのサブフレーム境界が大きくずれている（図8(b)）ため，各CGに対して配分すべき送信電力は送信が発生したタイミングで決定される．このため，MGPで保証されない電力分は，送信タイミングが早いCGから逐次的に配分される．許容最大電力を超える場合，チャネル種別に関わらず，送信タイミングが遅いCGに対する電力配分が制限される．しかしながら，時間的にずれたMCGとSCGのサブフレーム間で優先度を判定してスケーリングを適用する制御が不要となることから，電力計算に要するUEの処理負担を軽減することが可能である．

3.3 同期／非同期NWへの対応

CAにおいて設定されるCCはすべて同一eNB配下のキャリアであり，キャリア間がほぼ同期しているため，従来のCA対応UEはキャリア間同期を前提とした実装となっている．一方，異なるeNB配下のキャリア間では，同一NW内であっても必ずしも同期しているとは限らない．このため，UEがキャリア間同期を前提とした実装では，非同期NWでDCを運用することができず，DCの適用領域が制限される可能性がある．そこで，より柔軟なDC運用を実現するために，eNB間の同期を前提とするDC制御に加えて，同期を前提としない非同期DC制御が規定され，DC対応UEはこれら2つの制御を想定して実装される．

同期DC制御については，CAと同程度のキャリア間の同期精度を前提としているため，eNB間が同期して

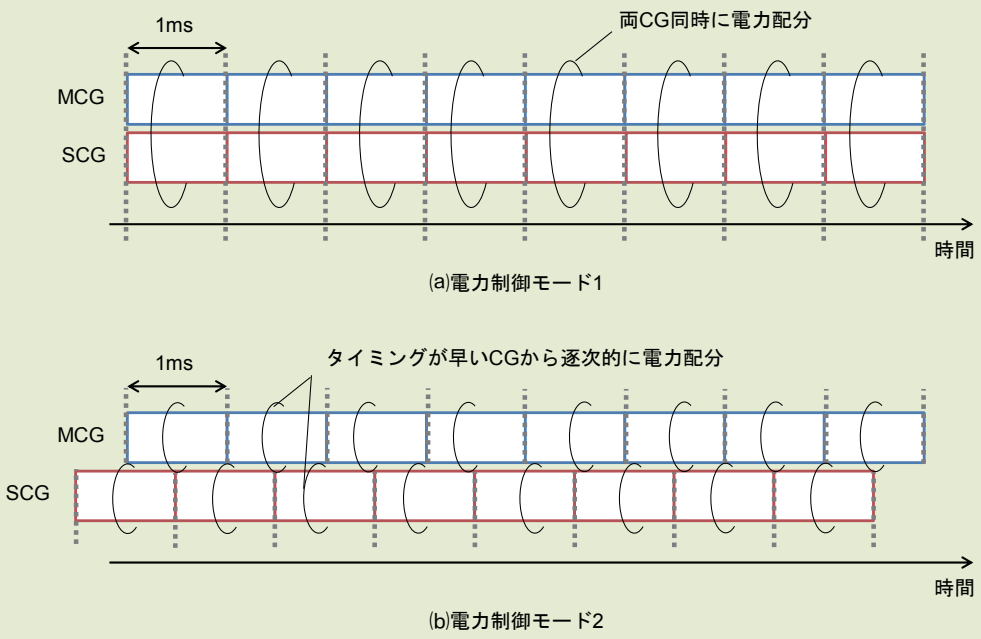


図8　同期および非同期DC運用における電力制御モード

いるNWでしか運用することができないが，UEとしてはCA実装を流用してDC実装を実現することができる．一方，非同期DC制御については，キャリア間で時間的に大きくずれて到来する信号を適切に処理する制御が必要となるが，通信事業者はeNB間を同期せずにDCを運用でき，より柔軟な置局構成が可能となる．

4. あとがき

本稿では，3GPP Release 12にて規定された，TDD-FDD CAや，CAで利用するCC数の増大に対応する無線仕様，およびDCについて，機能的特徴や基本制御を解説した．これらの機能によって，より柔軟なアドオンセル運用が可能となり，適用領域をさらに広げてユーザスループットを向上できる．

今後さらに増加するトラフィックに対応するため，Release 13では，100MHzを超える広帯域で通信を行う拡張CA制御の検討や，ULにおいても各eNBに対してユーザデータを送信してスループットを向上するなど，DCの拡張技術の検討が進められている．

文　献

[1] NTTドコモ報道発表資料：“「高度化C-RANアーキテクチャ」を実現する基地局装置の開発を開始，” Feb. 2013. https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2013/02/21_00.html

[2] 永田，ほか：“LTE-Advanced Release 12 標準化技術概要，” 本誌，Vol.23, No.2 pp.30-34, Jul. 2015.

SCE　NAICS　Advanced SU-MIMO receiver

Technology Reports

LTE-Advancedのさらなる発展に向けて　―Release12 標準化動向―

LTE-Advanced Release 12 における高次多値変調／スモールセル検出／干渉制御技術

近年，トラフィックの急増へ対応するため，低送信電力のスモールセルを活用したネットワーク容量の拡大技術がさかんに検討されている．しかし，スモールセルを高密度に設置した場合など，セル間の干渉が増大し，期待する容量拡大効果が得られにくくなる課題がある．本稿では，LTEのRelease 12仕様で新たに導入された高次多値変調技術，スモールセル検出技術，およびセル間干渉制御・除去技術について解説する．

先進技術研究所　5G推進室　武田 和晃（たけだ かずあき）　原田 浩樹（はらだ ひろき）　佐野 洋介（さの ようすけ）
ドコモ北京研究所　劉（リュウ）　柳（リュウ）

1. まえがき

近年，スマートフォン・タブレット端末の普及や高精細動画サービス・ビデオ通話などの広がりに伴う急激なモバイルデータトラフィックの増加に対応するため，セルの高密度化，特に低送信電力のスモールセル*1を活用したネットワーク容量の拡大技術がさかんに検討されている．スモールセル環境では，セルあたりのユーザ数が少ない，基地局からの直接波が受信しやすい基地局近傍など（以下，見通し環境と呼ぶ）では受信品質が非常に高い，低モビリティのユーザのみを収容するといった，従来のマクロセル*2環境とは異なる特徴がある．また，ネットワーク容量を拡大するためセルの高密度化が進むと，隣接セル間の干渉が増大し，期待する容量拡大効果が得られにくくなってしまうという課題がある．一方，高速伝送を実現するMIMO（Multiple Input Multiple Output）*3空間多重の適用により，自セル内においては，送信ストリーム間の干渉が問題となる．そのため，スモールセル間，およびスモールセルとマクロセル間の干渉に加えて，マクロセル内における干渉低減についても検討されている．

本稿では，3GPP LTE Release 12（以下，Rel.12）仕様にて新たに導入された高次多値変調技術，スモールセル検出技術，およびセル間干渉制御・除去技術について解説する．

2. SCE技術

2.1 SCEシナリオ

Rel.12仕様として策定されたLTE-Advancedにおいて，スモールセルに関する要求条件が規定され[1]，SCE（Small Cell Enhancement）に関する基本検討（SI：Study Item）が2013年1月のRAN（Radio Access Network）*4 WG（Working Group）1で開始された．また，SCEを評価する上で想定するシナリオについて

©2015 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます．

*1 スモールセル：マクロセル基地局と比較して送信電力が小さい基地局がカバーする通信可能エリアの総称．
*2 マクロセル：1つの基地局がカバーする半径数百メートルから数十キロメートルの通信可能エリア．
*3 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 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．

は，オペレータ間でさらに具体化するための議論が行われ，連名で寄書が提出された[2]．これをベースに以下の4つのシナリオが合意された．

①シナリオ＃1（同周波／屋外環境下）
・オーバレイしたマクロセル配下に設置
・屋外設置
・マクロセルと同一の周波数キャリアを使用

②シナリオ＃2a（異周波／屋外環境下）
・オーバレイしたマクロセル配下に設置
・屋外設置
・マクロセルと別の周波数キャリアを使用

③シナリオ＃2b（異周波／屋内環境下）
・オーバレイしたマクロセル配下に設置
・屋内設置
・マクロセルと別の周波数キャリアを使用

④シナリオ＃3（孤立セル環境／屋内環境下）
・オーバレイするマクロセルは存在せず
・屋内設置

上記評価シナリオにおいて，スモールセルに特化した技術提案がオペレータ，ベンダ各社からなされ，特に高次多値変調技術，およびスモールセル間干渉抑圧技術に関するシミュレーション評価が行われた．これら評価結果は，テクニカルレポート[3]にまとめられ，スモールセルシナリオにおいて，ピークデータレート・容量の増大効果が認められた．これを受け，仕様検討（WI：Work Item）において、高次多値変調技術の256QAM*5（256 Quadrature Amplitude Modulation）と，Small cell on/offおよびSmall cell discovery技術の仕様策定に至った．

2.2 変調方式の高度化

Rel.8～11の仕様では，変調方式としてQPSK（Quadrature Phase Shift Keying）*6，16QAM，および64QAMがサポートされている．変調多値数*7（1シンボル*8で送信できるビット数）の大きい変調方式は，受信信号対雑音および干渉電力比（SINR：Signal-to-Noise plus Interference Ratio）の高い領域で用いることができる．屋内環境や屋外の見通し環境に設置されたスモールセルでは受信SINR*9が高くなるため，変調多値数の大きい変調方式の利用可能性が，従来のマクロ環境下と比較してさらに高くなる．そこで，Rel.12では，ピークデータレートの向上を期待して，1シンボル当り最大8bitを送信することができる256QAMが，下りリンク向けに新たに導入された．具体的には，受信SINRに対応したユーザ端末（UE）からのCQI（Channel Quality Indicator）*10報告に基づいて，基地局ではこれら変調方式と誤り訂正符号の符号化率*11との組合せであるMCS（Modulation and Coding Scheme）*12を決定する．ただし，256QAMを導入する際に，CQIによる上りリンクのフィードバック情報量，およびMCSを通知する下り制御情報量の増大を避けるため，**図1**に示すように，既存のCQIおよびMCSの一部を256QAMに対応したCQIおよびMCSに置き換えている．結果として，256QAMを含むCQI／MCS表および含まないCQI／MCS表がサポートされることになり，これらは上位レイヤ信号により切り替えられる．例えば，UEの受信品質測定結果に基づいて，その結果があらかじめ決められたしきい値よりも良い場合は，256QAMを含むCQI／MCS表を設定する．こうすることで，受信品質の良好な屋内および見通し環境で256QAMを利用可能とし，高いピークスループットを実現することができる[4]．

2.3 Small cell on/offおよびSmall cell discovery技術

(1)課題

Rel.12 SCEでは，Rel.10/11におけるHetNet（Heterogeneous Network）*13よりも高密度にスモールセルを集中配置するシナリオが想定され，そのような高密度スモールセルの効率的な運用を促進する技術が検討された．高密度スモールセル環境では，従来のマクロセル環境と比べて各セルのカバーエリアが狭いため，**図2**に示すように一部のスモールセルにトラフィックが偏るような状況

＊5 **QAM**：デジタル変調方式の1つで，波の振幅と位相をビット列に対応させている．定義されるパターン数に応じて16QAM，64QAMなどの種類がある．
＊6 **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2ビットの情報を送信可能．
＊7 **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の場合は4，16QAMの場合は16である．
＊8 **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．各サブキャリアには複数のビット（例えばQPSKなら2bit）がマッピングされる．
＊9 **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．
＊10 **CQI**：移動局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．
＊11 **符号化率**：情報ビット数と，その情報ビットを誤り訂正符号化した後のビット数との比．例として，符号化率が3/4の場合は，情報ビット数3に対し，誤り訂正符号化により4ビットを生成する．

上位レイヤ信号によりテーブルを切り替える

既存のCQI表

CQI index	変調方式	符号化率（×1024）	周波数利用効率（bps/Hz）
0	Out of range		
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758
7	16QAM	378	1.4766
8	16QAM	490	1.9141
9	16QAM	616	2.4063
10	64QAM	466	2.7305
11	64QAM	567	3.3223
12	64QAM	666	3.9023
13	64QAM	772	4.5234
14	64QAM	873	5.1152
15	64QAM	948	5.5547

Rel.12で規定されたCQI表

CQI index	変調方式	符号化率（×1024）	周波数利用効率（bps/Hz）
0	Out of range		
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	193	0.3770
3	QPSK	449	0.8770
4	16QAM	378	1.4766
5	16QAM	490	1.9141
6	16QAM	616	2.4063
7	64QAM	466	2.7305
8	64QAM	567	3.3223
9	64QAM	666	3.9023
10	64QAM	772	4.5234
11	64QAM	873	5.1152
12	256QAM	711	5.5547
13	256QAM	797	6.2266
14	256QAM	885	6.9141
15	256QAM	948	7.4063

図1　256QAM導入時におけるCQI表の切替え

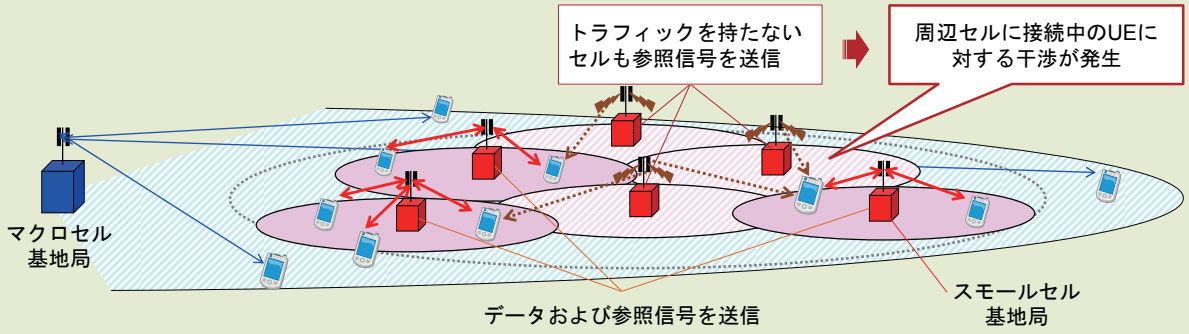


図2　高密度スモールセル環境におけるトラフィックの偏り

がたびたび生じ得る．そのような状況においてもUEによるセルの発見および受信品質測定がいつでもできるよう，トラフィックがないセルもSS（Synchronization Signal），CRS（Cell-specific Reference Signal）*14およびシステム情報などの制御情報を送信し続けており，特に毎サブフレームで送信されるCRSは周辺セルでの下りリンク通信への大きな干渉となる．セルの高密度化を進めていった場合，このCRS送信によるセル間干渉が増大し，スモールセルの導入による容量増大効果が得られにくくなってしまうという課題がある．

(2)Small cell on/offおよびSmall cell discovery技術

この課題を解決するため，Rel.12 SCEでは**図3**に示すようにトラフィックを持たないセルの参照信号送信を停止することにより，周辺の通信中

*12 **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．

*13 **HetNet**：電力の違うノードがオーバレイするネットワーク構成．従来のマクロ基地局のエリア内に，より送信電力の小さいピコ基地局，フェムト基地局，リレー基地局などが重畳配置されるネットワーク．

*14 **CRS**：下りリンクの受信品質測定などに用いられる各セル固有の参照信号．

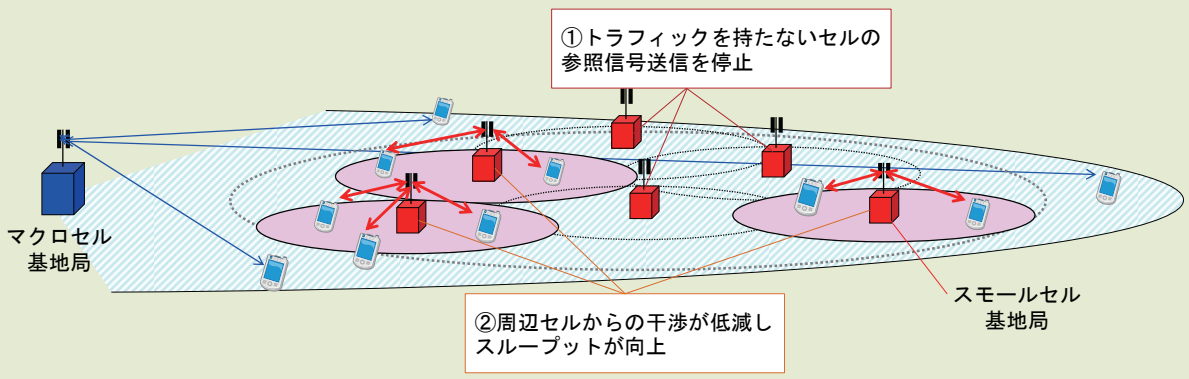


図3　Small cell on/off

UEに対する干渉を低減しスループットを向上させるSmall cell on/off技術が規定された[5]．しかし，OFF状態となったスモールセルがSSやCRSの送信を完全に停止してしまうと，UEはOFF状態のセルを検出し，受信品質を測定することができない．すなわち，通信中のUEがOFF状態のセルに近づいたときには，セルを素早くON状態に戻し，UEとの通信を確立する必要があるが，UEがOFF状態のセルを検出できていないと，通信を開始するまでに長い接続遅延時間（Transition time）が必要となってしまう．そこで，UEがSmall cell on/offを行っているスモールセルを効率的に発見できるようにするため，セル発見用信号（Discovery signal）を用いるSmall cell discovery技術が併せて規定された．**図4**にDiscovery signalを用いるSmall cell on/offの概要を示す．

Small cell on/offを適用するスモールセルは，40ms以上の長周期でDiscovery signalを送信する．Discovery signalはセルがOFF状態でも送信されるため，UEはOFF状態のセルに近づくと，そのセルを発見しネットワークへ報告を行う．これにより，適切なタイミングでセルをON状態へ移行することが可能となり，UEがそのセルと通信を開始するまでの遅延時間（Transition time）を最小限に抑えることができる．また，Discovery signalを長周期送信とすることで，OFF状態のスモールセルからのDiscovery signal送信が周囲のセルに与える干渉は，Small cell on/offを適用していない時に全サブフレームで送信されるCRSによる干渉と比較し，非常に小さく抑えられる．

Discovery signalはSSおよびCRSが周辺スモールセル間で同期して長周期で送信される構成となっているが，UEには接続中のセル（例えばマクロセル）からのアシスト情報として，Discovery signalの送信周期および基準サブフレームからの送信タイミングオフセットが通知される．これにより，UEは周辺の複数スモールセルからのDiscovery signalを受信するために行う，受信信号観測のタイミングを限定することが可能となり，バッテリ消費などの負担を抑えることができる．また，複数のスモールセル間に同一のセルID＊15を適用する共用セルID運用を効率的にサポートするため，SSおよびCRSに加え，CSI-RS（Channel State Information-Reference Signal）＊16をDiscovery signalに含めて長周期で送信することが規定された．セルIDを共用するスモールセル間では同一のSSおよびCRSが用いられるため，セルIDに応じて送信リソースが決定されるCRSについては周辺スモールセルのCRSとデータ信号との衝突がなくなり，CRS干渉を回避することができる．一方，UEは各スモールセルをSSおよびCRSによって識別・測定することができなくなる．そのため，Discovery signalとして個別のCSI-RSパターンを各スモールセルから送信させることに

＊15 **セルID**：セルごとに付与される識別情報．
＊16 **CSI-RS**：無線チャネルの状態を測定するためにアンテナごとに送信される参照信号．

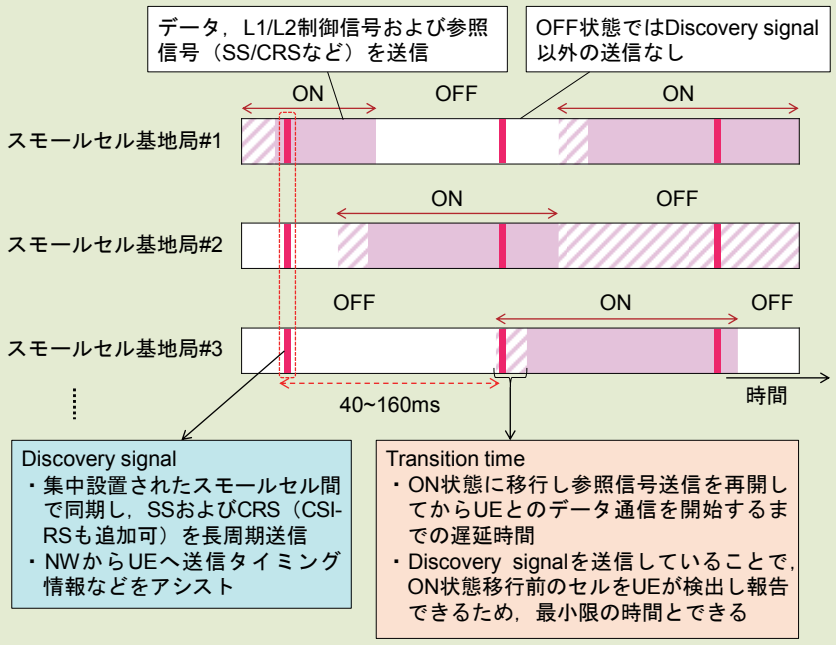


図4　Discovery signalを用いるSmall cell on/off

よって，UEが個々のスモールセルを識別し，受信品質を測定することができる[6].

3. 移動機における干渉除去技術

マクロセルの高密度化により，**図5**に示すように，隣接するマクロセルからの干渉信号が増大している．また，2.1節で述べたSCEシナリオ#1のような運用形態においては，マクロセルとスモールセル間の干渉はさらに大きくなることが想定される．一方，同じく図5に示すとおり，接続基地局近傍では隣接セルからの干渉は小さくなるが，スループット向上のためMIMO空間多重の適用が想定されることから，送信ストリーム間の干渉が問題となる．

Rel.12では，上記の隣接セル間干渉，および送信ストリーム間干渉の低減のため，NAICS（Network Assisted Interference Cancellation and Suppression）受信機，およびSU-MIMO（Single User-MIMO）受信機の適用がそれぞれ検討された．

3.1 隣接セル間干渉を低減するNAICS受信機

(1)従来のMMSE/MMSE-IRC受信機

Rel.8の仕様では，最小平均二乗誤差規範（MMSE：Minimum Mean Squared Error）*17に従ったMMSE受信機を想定して移動機の性能規定が策定されているが，ここにおいて標準となるMMSE受信機では，隣接セルからの干渉信号の影響を移動機における雑音と等価であると仮定して受信処理を行うため，それ自体を抑圧することができない．そのため，特にセル境界のような高干渉エリアでは，隣接セルからの干渉によりスループットが制限されてしまう．そこで，Rel.11の仕様では，隣接セルからの干渉の影響を低減するため，干渉抑圧合成（MMSE-IRC（Interference Rejection Combining）*18）受信機が検討され[7]，このMMSE-IRC受信機を想定した性能規定が策定された[8]．MMSE-IRC受信機は，複数の受信アンテナを利用して，干渉信号の到来方向に対してアンテナ利得*19の落ち込み点（ヌル）*20を作ることで干渉信号を抑圧することが

*17 **最小平均二乗誤差規範（MMSE）**：平均二乗誤差を最小とするように信号を復調する方法．

*18 **IRC**：干渉信号の到来方向に対して，アンテナ利得の落込み点を作り干渉信号を抑圧する方法．

*19 **アンテナ利得**：基準アンテナに対する放射電力の比．

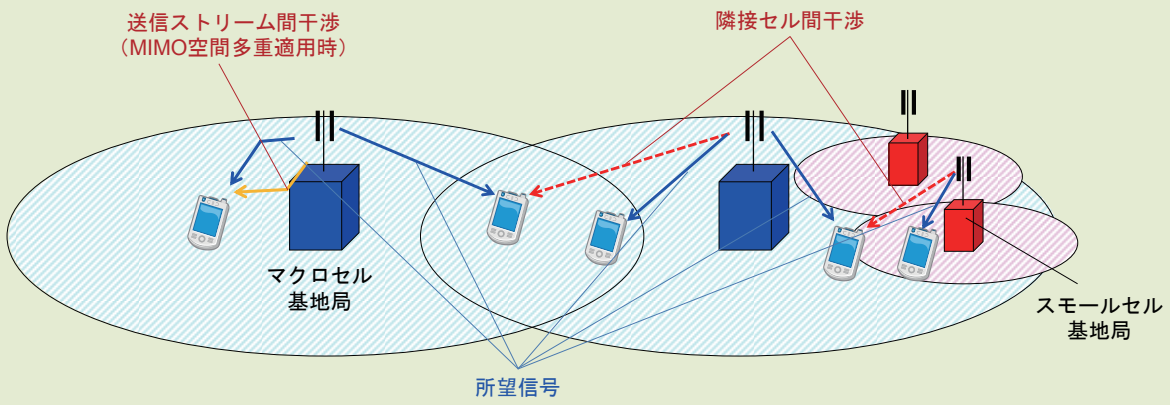


図5　隣接セル間および送信ストリーム間干渉

でき，主にセル境界近傍のスループットを改善することができる[9]．また，Rel.8をベースとしたネットワークであれば，特に基地局側の設定を変更せずに利用できるという利点も有している．

⑵NAICS受信機の特長

一方，Rel.12におけるNAICS受信機では，セル境界近傍におけるさらなるスループット改善のため，より高度な干渉除去技術の適用が検討された．具体的には，MMSE-IRC受信機と比較して，一層の干渉低減効果が期待される逐次干渉キャンセラ（SIC：Successive Interference Cancellation）*21 [10]，および最尤推定法（MLD：Maximum Likelihood Detection）*22 [11]の適用が検討された．ただし，移動機側でこれらの受信処理を適用するためには，干渉信号を一度送信シンボルレベルまで復調させる必要がある．例えば，SICの場合では，シンボルレベルまで復調した干渉信号と推定したチャネル行列*23を用いて干渉レプリカ信号を生成し，これを受信信号から減算することで，干渉信号を効果的にキャンセルする．しかし，Rel.8～11の仕様に準拠した基地局では，干渉信号の復調のために必要な隣接基地局の制御情報が移動機側へシグナリング*24されないため，上記のような受信処理は困難である．したがって，NAICS受信機では，接続基地局から移動機に対し，干渉信号の送信シンボルレベル*25の復調を可能とするため，隣接基地局の制御情報をシグナリングする機能が新たにサポートされた[12]．ただし，シグナリングオーバヘッドを低減するため，隣接基地局における一部の制御情報（物理セルIDやCRS情報など）のみがシグナリングされ，不足する情報を移動機側で推定する構成となっている．よって，上記のシグナリングや移動機の推定により得られた隣接基地局の制御情報を用いることにより，干渉信号に対するSICもしくはMLDの適用が可能となり，隣接セルからの干渉信号を一層効果的に低減することができる．

⑶NAICS受信機によるスループット改善効果

NAICS受信機によるスループット改善効果を**図6**に示す．ここでは，マクロセル環境を想定し，干渉信号電力レベルと雑音電力レベルの比（INR：Interference-to-Noise power Ratio）が十分に大きい2つの隣接セルがあるケースを前提に模擬している．また，所望信号については，セル境界近傍におけるMIMO送信ダイバーシチ*26を想定し，符号化変調方式をQPSK（符号化率1/3）とした．一方，干渉信号については，MIMO空間多重および64QAMを想定した．これにより，NAICS受信機は，既存のMMSE-IRC受信機と比較して，最大スループットに対する70％値を達成するための所要受信SINRを約1.0dB程度（スループット特性で約10％程度）改善できることがわ

*20 **ヌル**：ビームパターンにおいて，アンテナ利得が極小となる方向．

*21 **干渉キャンセラ（SIC）**：複数の信号が合成された受信信号から1つずつ信号を検出，キャンセルしながら信号分離を行う方法．ZF（Zero Forcing）やMMSEによる検出法よりも高い性能を有する．

*22 **最尤推定法（MLD）**：受信した信号と受信される可能性のある信号の系列すべてを比較し，受信信号のパターンに最も近い組合せを見つけだす方法．

*23 **チャネル行列**：各送信アンテナと，受信アンテナ間の伝搬路（チャネル）の振幅および位相の変動量で構成される行列．

*24 **シグナリング**：基地局と移動局間で，通信に必要となる情報（例えば帯域幅や符号化変調方式など）を事前に共有すること．

*25 **送信シンボルレベル**：デジタル変調された信号（シンボル）のこと．ここでは，受信した信号を，デジタル変調された信号まで復調することを意味する．

*26 **送信ダイバーシチ**：送信アンテナ間のチャネルの変動の違いを利用してダイバーシチ利得を得る技術．

かる．

3.2 送信ストリーム間干渉を低減するSU-MIMO受信機

(1)従来のMMSE受信機およびSU-MIMO受信機の特長

Rel.8の仕様では，MIMO空間多重適用時の移動機の性能規定は，前述したMMSE受信機を想定して策定されている．MMSE受信機は，3.1節に記載したとおり，隣接セル間干渉は抑圧できないが，MIMO空間多重適用時においては，複数の受信アンテナを利用して送信ストリーム間干渉を抑圧することができる．

Rel.12におけるSU-MIMO受信機では，上記の送信ストリーム間干渉をさらに高度な受信処理により低減し，基地局近傍にある移動機のスループットを改善することが検討された．具体的には，MIMO空間多重時の送信ストリーム間干渉をMLDにより低減することを想定した移動機の性能規定が策定された[8]．なお，SU-MIMO受信機はMMSE-IRC受信機と同様，Rel.8をベースとしたネットワークであれば特に基地局側の設定を変更せずとも適用可能な技術であり，NAICS受信機のような新たなシグナリングは規定されていない．

(2)SU-MIMO受信機によるスループット改善効果

SU-MIMO受信機によるスループット改善効果を**図7**に示す．ここでは，所望信号は接続基地局近傍を想定してMIMO空間多重を適用し，また符号化変調方式は16QAM（符号化率1/2）を想定している．また，隣接セルから到来する干渉はすべて雑音と等価であると仮定している．これにより，SU-MIMO受信機は，既存のMMSE受信機と比較して，所要受信SINRを約1.7dB程度（スループット特性で約30％程度）改善できることがわかった．

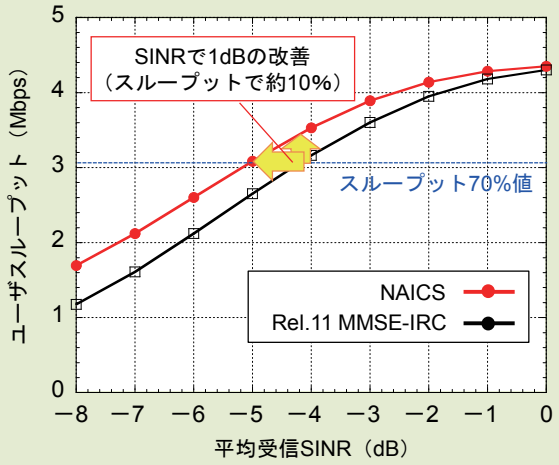


図6　NAICS受信機によるスループット改善効果

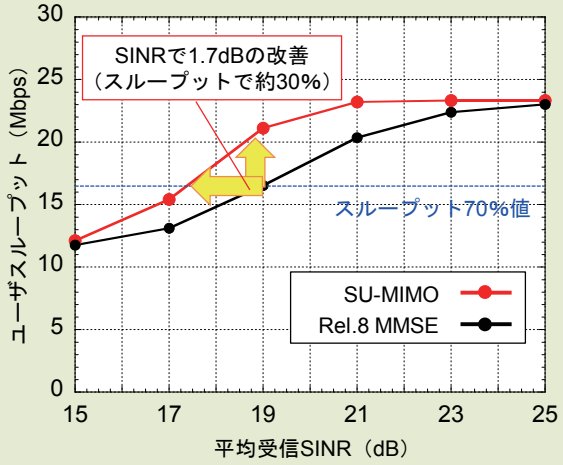


図7　SU-MIMO受信機によるスループット改善効果

4. あとがき

本稿では，ユーザスループット*27，およびネットワーク容量増大を実現

＊27 ユーザスループット：1ユーザが単位時間内に誤りなく伝送できるデータ量．

する技術として，LTE-AdvancedのRel.12仕様で導入された高次多値変調技術，スモールセル検出技術，およびセル間干渉制御・除去技術について解説した．今後もモバイルトラフィックの増加に対応すべく，ユーザスループット，および容量増大を実現する無線インタフェース技術の標準化を推進していきたい．

文　献

[1] 3GPP TR36.932 V12.1.0: "Scenario and requirements for small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN (Release 12)," Mar.2013.

[2] NTT DOCOMO, Deutsche Telekom, KDDI, Telefonica, Teliasonera, T-Mobile USA: "Scenario and migration for small cell enhancement," 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #72 R1-130659, Jan.-Feb. 2013.

[3] 3GPP TR36.872 V12.1.0: "Small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN - Physical layer aspects (Release 12)," Dec. 2013.

[4] Q. Mu, L. Liu, H. Jiang and H. Kayama: "Small Cell Enhancement for LTE-Advanced Release 12 and Application of Higher Order Modulation, " 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services, Vol.131, pp.794-805, Dec. 2014.

[5] 武田 和晃，姜 宇，原田 浩樹，石井 啓之："LTE-Advancedにおけるスモールセル検出用信号を用いるセル間干渉抑圧技術に関する一検討，" 電子情報通信学会技術研究報告，Vol.113, No.361, pp.59-64, Dec. 2013.

[6] 原田 浩樹，武田 和晃，永田 聡，石井 啓之，岸山 祥久："LTE SCEにおけるマクロセルとの連携を活用した効率的なスモールセル検出法のためのセル検出用信号に関する一検討，" 電子情報通信学会技術研究報告，Vol.113, No.361, pp.53-58, Dec. 2013.

[7] 3GPP TR36.829 V11.1.0: "Enhanced performance requirement for LTE User Equipment (UE)," Jan. 2013.

[8] 3GPP TS36.101 V12.7.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception," Jan. 2015.

[9] 寒河江，ほか："LTE Release 11仕様における移動機干渉除去・抑圧技術の高度化，" 本誌，Vol.21, No.2, pp.26-29, Jul. 2013.

[10] P. W. Wolniansky, G. J. Foschini, G. D. Golden and R. Valenzuela: "V BLAST: An Architecture for Realizing Very High Data Rates Over the Rich-Scattering Wireless Channel," in Proc. ISSSE, pp.295-300, Sep. 1998.

[11] A. van Zelst, R. van Nee and G. A. Awater: "Space division multiplexing (SDM) for OFDM systems," in Proc. IEEE VTC 2000-spring, pp.1070-1074, May 2000.

[12] 3GPP TS36.331 V12.4.1: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification," Jan. 2015.

D2D　Direct communication　Device discovery

Technology Reports

LTE-Advancedのさらなる発展に向けて　―Release12 標準化動向―

LTE-Advanced Release 12 におけるD2D通信の実現

現在，非常時の通信手段であるPublic safety無線システムの整備，運用コストの削減やブロードバンド化のため，Public safety無線システムへのLTEの導入が検討されている．Public safety無線システムでは，大規模災害などでeNBがダウンした状況でも通信手段を提供できることが望ましいため，3GPPのRelease 12 LTE仕様においてeNBを介さないD2DのDirect communication機能が導入された．また，近接端末に対する情報配信などCommercial D2Dが可能となるDevice discovery機能も導入された．本稿ではこれらD2DのDirect communicationとDevice discoveryについて解説する．

先進技術研究所　5G推進室　安川 真平（やすかわ しんぺい）　原田 浩樹（はらだ ひろき）　永田 聡（ながた さとし）

ドコモ北京研究所　赵 群（ジアオ チュン）

1. まえがき

現在，非常時の通信手段である公共安全（Public safety）無線システムの整備，ネットワーク運用コストの削減や通信のブロードバンド化のため，Public safety無線システムへのLTE導入が検討されている．Public safety無線システムでは，大規模災害などで基地局（eNB：eNodeB）*1がダウンした状況や，山岳地帯などのeNBカバレッジ外でも通信手段を提供できることが望ましい．そのため，米国政府などからLTEで端末間（D2D：Device to Device）の直接通信（Direct communication）をサポートすることを要請され，3GPP（3rd Generation Partnership Projcct）ではコアネットワーク*2を介さないD2D通信機能の標準仕様策定を行ってきた[1]～[3]．また，D2D通信の商用利用（Commercial D2D）も検討されており，端末近接度に基づいたサービス（ProSe：Device to Device Proximity Services）を利用できるよう，近接端末の発見技術（Device discovery）の標準仕様策定も同時に行われてきた．すなわち，**図1**に示すように，LTEにおけるD2D通信はDirect communicationおよびDevice discoveryの2つの機能から構成されることとなった．

LTEにおけるD2D通信では，eNBカバレッジ外においてD2Dで自律的に通信を行うケースと，eNBカバレッジ内でeNBからのアシスト情報を基にD2Dで通信を行うケースの2種類のシナリオが想定されており，後者のシナリオでは，eNBのアシス

©2015 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます．

*1　**eNB**：LTEの無線基地局装置．
*2　**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．

トにより効率的な通信を実現することも可能である[4]．ただし，eNBのアシストを受ける場合も，D2Dでやりとりされるデータそのものはコアネットワークを介さずにD2Dで直接送受信される．また周波数の有効活用および既存端末へのD2D通信機能の追加実装を最小限にするため，LTEにおけるD2D通信はLTEのeNB-端末間通信（セルラ通信）の上り無線リソース*3の一部を用いることが前提となっており，セルラ上りリンクとの周波数共用が課題の1つとなっている．

本稿ではこのようなコアネットワークを介さないD2D通信について，3GPP LTE Release 12で導入された機能を中心に解説する．

2. D2D通信の導入背景

2.1 Public Safety LTE

現在，各国におけるPublic safety通信システムはProject25（北米・オーストラリアなど）やTETRA（欧州など）などの通信方式を用いて，国ごと・機関（警察や消防など）ごとに独自に構築される場合が多く，通信システムの整備，ネットワーク運用コストの削減，そして国・機関間での相互運用性の向上が課題となっている．そこで，Public safety通信システムにLTEを用いることが各国（米国・英国・韓国など）で検討されており，以下のようなメリットが得られると考えられている．

- LTEのエコノミー・オブ・スケールによるネットワーク・端末の低コスト化
- 商用LTEネットワークとの設備共用による低コスト化
- 標準仕様による相互接続性確保
- ブロードバンド通信の実現

米国では9・11のテロを契機として，テロや災害時に緊急対応にあたる要員や現場の初動要員（First responder）が相互通信できるよう，LTEをベースとした全国規模で相互運用可能なPublic safetyネットワーク（FirstNet）を構築することを2012年に決定し，2013年には米国商務省から3GPPに対してユースケースや要求条件などが示されている[5][6]．この要求条件では，ネットワークカバレッジ外での直接通信・グループ通話・プッシュ通話（PTT：Push To Talk）*4のサポートが求められており，それぞれ3GPPにおいて標準仕様策定が進められている．以上から，Public safety LTEでは多くの場合セルラ通信に加えてD2Dの直接通信（特にDirect communication）も利用されることが想定される．

これらPublic safety LTEには，ITU-R（International Telecommunication Union-Radiocommunication sector）*5において議論が行われているブロードバンドPublic safetyおよび

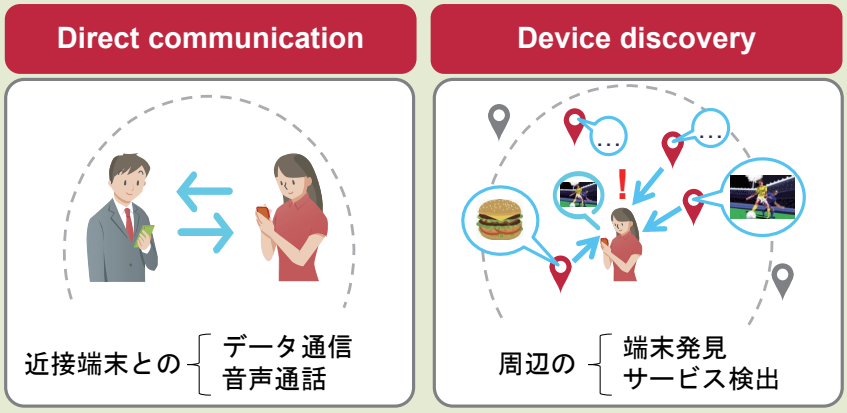


図1　Direct communicationおよびDevice discovery

*3　**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．

*4　**プッシュ通話（PTT）**：同時に1名だけが送信可能な半二重通信を用いた音声通話方式．グループ通話が可能で，トランシーバーの通話方式として一般的に用いられる．

*5　**ITU-R**：国際連合の電気通信分野における専門機関ITUにおいて，無線通信規則の改正や，各国間における周波数利用の調整など，無線通信に関する国際的な管理調整業務を行う部門．

災害救援（PPDR：Public Protection and Disaster Relief）周波数が使用され，米国・韓国はともに700MHz帯FDD（Frequency Division Duplex）*6の周波数を使用する予定である．

2.2 Commercial D2D

商用用途向けのD2D通信としては，近年ではBLE（Bluetooth® Low Energy）*7を用いたiBeacon®*8や，Wi-Fi Aware™*9などDevice discoveryに相当する各種通信機能が注目されており，それらは近接端末の発見用にビーコン（無線で送信される識別情報）送信機能がサポートされている．一般に，このようなDevice discoveryでは，ビーコンにユーザIDや興味情報に紐付けられたIDを埋め込むことでさまざまなサービスを実現することができる．近年注目されているシェアリングエコノミー*10への応用はその一例で，利用者の場所や興味に基づいて，サービス・プロダクト・金銭などを共有，交換するサービスが考えられる．また，周囲の端末に向けたローカル広告の配信や，旅行者への周辺案内，ペットの見守りなどへの応用も考えられる．

このようなサービスにLTEをベースとしたD2D通信を用いることで，さまざまな通信範囲における安定した通信，キャリアグレードのセキュリティ（なりすまし防止など）を提供することができる．

3. ネットワークアーキテクチャ

3.1 概　要

図2にLTE D2Dにおけるアーキテクチャ例を示す[7]．カバレッジ内の端末（UE：User Equipment）はD2D通信のためにEPC（Evolved Packet Core）*11上の論理機能であるProSe Function [8]と通信を行う．ProSe FunctionはHSS（Home Subscriber Server）*12を用いて端末の認証を行い，またSLP（SUPL（Secure User Plane Location）Location Platform）*13を用いて端末の位置に応

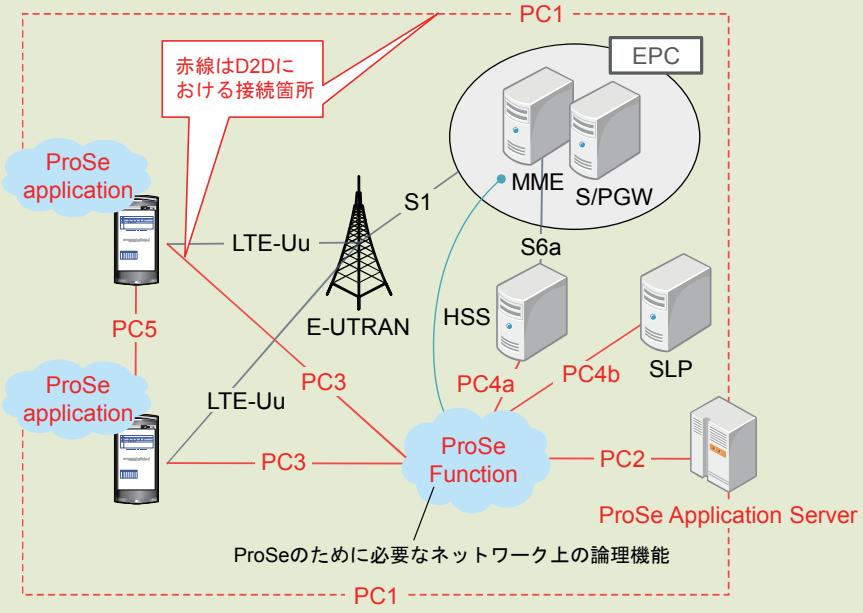


図2　LTE D2Dアーキテクチャ

*6 **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．

*7 **BLE**：Bluetooth®の拡張機能の1つで，低消費電力機器向けにBluetooth 4.0規格の一部として策定された規格．Bluetoothは携帯端末を無線により接続する短距離無線通信規格で，米国Bluetooth SIB Inc.の登録商標．

*8 **iBeacon®**：Apple社が開発したBLEを利用した近距離無線通信技術．発信機（ビーコン端末）から識別IDを発信することで，ビーコン端末からの情報配信を行ったり，電波の強弱で端末間の距離を推定して現在位置を特定したりすることができる．Apple. Inc.の登録商標．

*9 **Wi-Fi Aware™**：Wi-Fiを用いた近接端末検出のための規格．業界団体であるWi-Fi Allianceが仕様策定を行い，2015年3月現在，ドラフト仕様が公開されている．

*10 **シェアリングエコノミー**：共有型経済．物・サービス・金銭などの交換・貸出・共有などにより成り立つ経済で，狭義には個人が利用していない製品や資産，個人が提供できるサービスを他者に提供すること．

*11 **EPC**：LTE無線アクセスを含む各種無線アクセスシステムを収容できるコアネットワーク．

じた適切な通信用設定の配布を行う．

カバレッジ外での通信に必要な各種設定もあらかじめこのProSe Functionを用いて行うことが可能である．カバレッジ外通信用の設定は地域に紐付いており，免許上許可されない地域での送（受）信を避けることができる．また，ネットワーク側で鍵管理を行うことで，グループ通話などで高いセキュリティレベルを担保することも可能である[9]．このようなネットワークによる事前設定以外に，あらかじめ端末やSIM（Subscriber Identity Module）＊14カードに設定を記録しておく方法もある．

カバレッジ内ではProSe Functionからの設定配布に加え，eNBからD2D用無線パラメータの通知を行う．また，ProSe Application ServerではEPC ProSeユーザIDやProSe Function IDの格納および，アプリケーションレイヤのユーザIDとEPC ProSeユーザIDとの対応付けが行われる[10]．

これらカバレッジ外でのパラメータ設定またはカバレッジ内でのeNBからのパラメータ通知の後，端末はDirect communicationまたはDevice discoveryの通信が可能になる．ただし，カバレッジ外でのDevice discoveryは，Release 12ではサポートされておらず，Release 13で議論される予定となっている．

3.2 Device Discoveryにおけるネットワーク処理例

Device discoveryでは**図3**に示すとおり，送信ユーザがユーザIDないしユーザの興味情報（ProSe Application ID）や電話番号やURLなどのメタデータをProSe Functionに登録することで（図3 A①），実際に送信するビーコン（LTEではDiscovery messageと呼ぶ）に埋め込まれる184bitのID（ProSe Application Code）割当てが行われる（図3 A②）．受信ユーザ側では興味情報を登録することで（図3 B①），対応する受信フィルタの割当てが行われる（図3 B②）．送信ユーザは割り当てられたProSe Application Codeを他端末に対して報知し（図3 A③，B③），受信ユーザがProSe Application Codeの，受信フィルタへの適合結果をProSe Functionに対して報告する（図3 B④）ことで，ProSe Functionを経由して送信端末から登録されたメタデータを取得することができる（図3 B⑤）．なお，ProSe Application Codeは事業者（PLMN：Public Land Mobile Network＊15）ごとに名前空間（利用可能なビット列の領域）が分割されており，事業

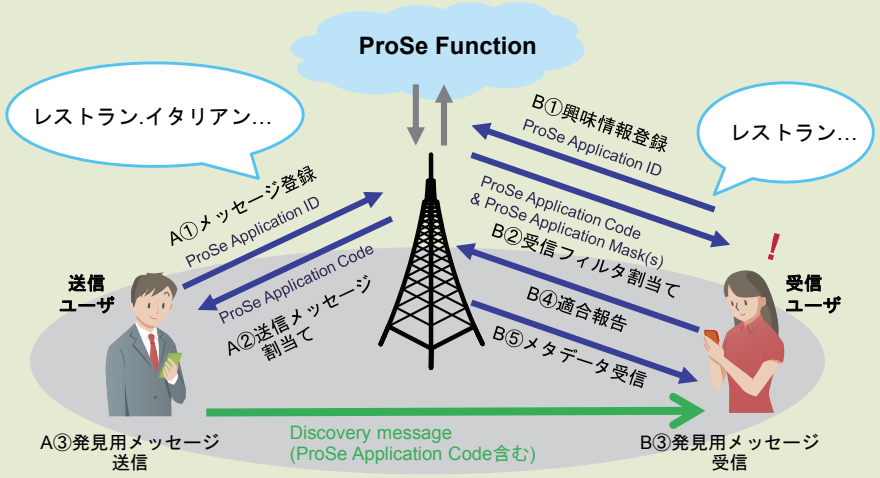


図3　Device Discoveryにおけるネットワークの役割

＊12 **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．

＊13 **SLP**：端末とサーバ間で位置情報を送受信する測位方法であるSUPLにおける位置情報サーバ．

＊14 **SIM**：携帯電話の契約情報を記録したICカード．

＊15 **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．

者共用ネットワークや事業者間でのDevice Discoveryにおいて各事業者がID情報の割当てを行う場合にIDの衝突を避けることができる．

3.3 EPC Level Discovery

また，UEから直接無線信号を送信するDevice discovery以外にも，ProSe Functionに対して各端末がユーザの興味情報およびUEの位置情報を登録し，登録された位置情報に基づいて他端末の近接を検知して端末に通知するEPC Level Discoveryも規定されている．本機能の応用例としてEPCのアシストによるWi-Fi Direct*16のセットアップ，起動が考えられている．

4. レイヤ1，2の基本構成

Release 12 D2Dの物理層（レイヤ1*17）およびMAC（Media Access Control）層（レイヤ2*18）の基本構成を以下に概説する．1章で述べたとおり，D2D通信にはセルラ通信の上り無線リソースの一部が用いられ，物理チャネル*19は**図4**のように構成される．以下で用途別に各信号・チャネルを解説する．

4.1 同期および無線パラメータ設定

(1)同期方法

①eNBカバレッジ内

eNBカバレッジ内では，eNBが送信する同期信号*20，すなわちPSS/SSS（Primary/Secondary Synchronization Signal）*21に同期してD2Dの送受信を行う．一部の例外を除き，D2Dの送信タイミングはPSS/SSSの受信タイミングとなり，セルラ上りリンク送信時に用いるTA（Timing Advance）は適用されない．

②eNBカバレッジ外

eNBカバレッジ外のD2D端末どうしの同期用の信号としてカバレッジ内外のUEが送信するPSSS/SSSS（Primary/Secondary Sidelink Synchronization Signal）*22が規定されている．PSSS/SSSSはPSS/SSSと同様に，それぞれZadoff Chu系列*23・M系列*24が用いられ，システム帯域の中心を用いて40ms周期で送信される．**図5**に示すようにカバレッジ内のUEがeNBの同期タイミングに基づきPSSS/SSSSを送信することで，カバレッジ外のUEもeNBの同期タイミングでDirect communicationを行うことができる．Direct communicationでは，PSSS/SSSSとともにPSBCH（Physical Sidelink Broadcast Control CHannel）*25によりD2D用フレーム番号やシステム帯域幅，TDD（Time Division Duplex）*26 UL/DLサブフレーム*27構成などを通知する．また，カバレッジ内でのみサポートされるDevice discoveryでも，異なるセルに

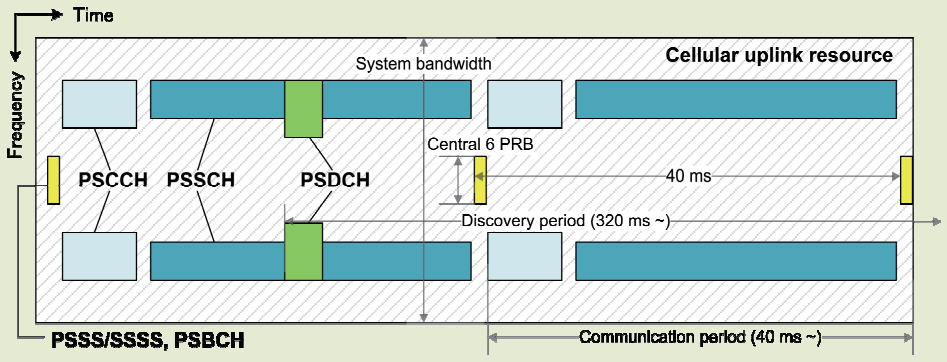


図4　D2Dチャネル構成例

*16 **Wi-Fi Direct**：Wi-Fiを用いたD2D通信のための規格．業界団体であるWi-Fi Allianceが仕様策定・対応機器の認定を行っている．

*17 **レイヤ1**：OSI参照モデルの第1層（物理層）．

*18 **レイヤ2**：OSI参照モデルの第2層（データリンク層）．

*19 **物理チャネル**：無線インタフェースにおいて，周波数，時間などの物理リソースによって分けられるチャネル．

*20 **同期信号**：移動局が通信の開始に必要な周波数と受信タイミングおよび同期元識別子（セルIDなど）の検出を行うための物理信号．

*21 **PSS/SSS**：LTEにおいて基地局が送信する同期信号．

*22 **PSSS/SSSS**：LTEにおいて端末が送信する同期信号．D2D通信のためにRelease 12から新たに仕様化された．

*23 **Zadoff Chu系列**：巡回シフトを用いる直交拡散系列（数列）の1つで，自己相関および相互相関特性に優れ，さらに時間および周波数の両領域において一定振幅でありPAPRが小さい特徴を有する．

存在するUE間の同期のためにPSSS/SSSSが利用される．

なお，上記のような同期タイミングのリレー[*28]に加え，Release 13ではカバレッジ内のUEがレイヤ3[*29]リレーを行い，カバレッジ外のUEのデータを転送するD2Dリレーによるネットワークカバレッジの拡張も検討される予定である．

⑵無線パラメータ

D2D用の無線パラメータは，カバレッジ内ではeNBから報知情報[*30]として通知される．例えば，PSSS/SSSSのリソースおよびPSCCH（Physical Sidelink Control CHannel），PSSCH（Physical Sidelink Shared CHannel），およびPSDCH（Physical Sidelink Discovery CHannel）[*31]送受信に用いられる時間・周波数リソースの候補（リソースプール）や，PSSS/SSSSの系列などが報知される．3章で述べたとおり，カバレッジ外のUEはD2D用の事前設定されたパラメータを用いる．

4.2 Direct Communication

Direct communicationではProSe Communication周期（例えば40ms周期）に基づいて定義されるPSCCHおよびPSSCHが用いられる．両チャネル共に上りリンクと同様に低PAPR（Peak to Average Power Ratio）[*32]を実現するため，PUSCH（Physical Uplink Shared CHannel）[*33]をベースとした信号構成が採用されている．PSCCHはPSSCHで送信されるデータのスケジューリング情報およびレイヤ2の宛先IDの一部を通知する制御チャネルである．PSSCHはDirect communication用共有データチャネルで，ProSe Communication周期内に複数MAC PDU（MAC Protocol Data Unit）[*34]を連続送信することで一度の制御情報（PSCCH）送信で複数MAC PDUの送信が可能になり，音声通話時の制御情報によるオーバヘッドを削減している．

レイヤ2のヘッダに付与される宛先IDはUnicast/Group-cast/Broadcast用にそれぞれ定義されており，従来のセルラ通信とは異なり，レイヤ2において受信フィルタリングが実現される．また物理レイヤのフィードバックチャネルは定義されておらず，ACK（Acknowlegement）/NACK（Negative ACK）送信[*35]などの多くの機能を上位レイヤ側で担保する点がDirect communicationの特徴である．

4.3 Device Discovery

Device discoveryにはProSe dis-

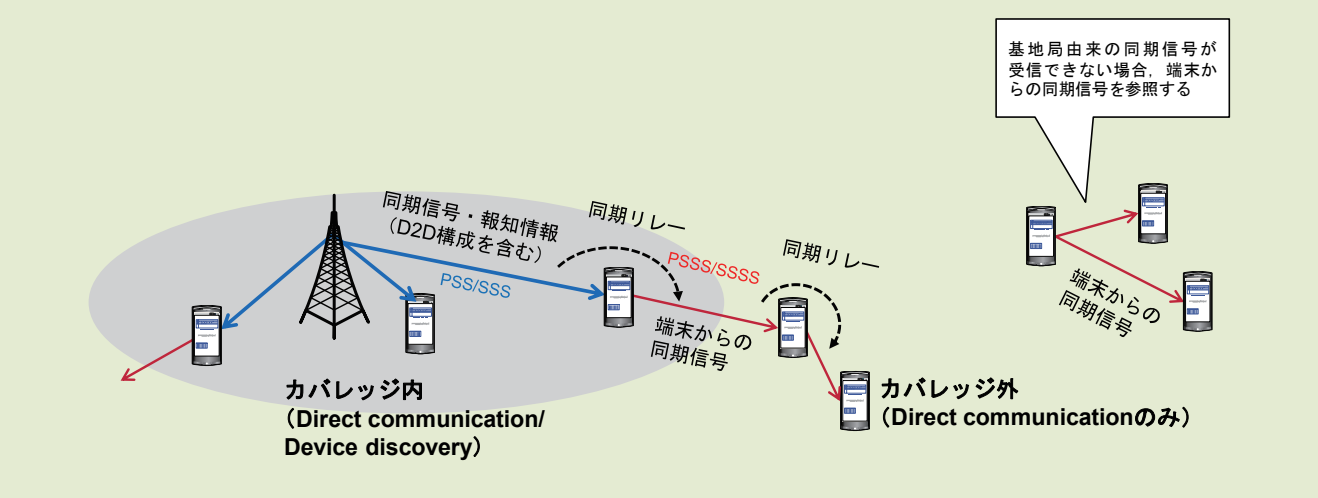


図5　カバレッジ内外での端末間通信による同期タイミングリレー

＊24 **M系列**：最大長シフトレジスタ系列．0（−1）と1の2値のみから構成される擬似乱数の一種で，鋭い自己相関特性を有する．
＊25 **PSBCH**：LTEにおけるD2D通信で端末が送信する報知チャネル．D2D通信のためにRelease 12から新たに仕様化された．
＊26 **TDD**：上りリンクと下りリンクで，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．
＊27 **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．
＊28 **リレー**：通信を中継して伝送する技術．
＊29 **レイヤ3**：OSI参照モデルの第3層（ネットワーク層）．
＊30 **報知情報**：移動端末における位置登録要否の判断に必要となる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等の情報，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．
＊31 **PSDCH**：LTEにおけるD2D通信において，端末が近接端末発見のためのDiscovery messageを送信する物理チャネル．D2D通信のためにRelease 12から新たに仕様化された．
＊32 **PAPR**：最大電力と平均電力の比．これが大きいと，信号歪みを避けるために送信側のパワーアンプのバックオフを大きくする必要があり，特に移動端末において問題となる．

covery周期（例えば320ms周期）で定義されるPSDCHが用いられ，UEはDiscovery messageを周期的に送信する．信号構成はPSCCH/PSSCHと同様にPUSCHベースである．Direct communicationとは異なりDevice discoveryではPSCCHのような制御情報を送信せず，受信UEはPSDCHリソースプール内のDiscovery messageを直接検出して，アプリケーション側で興味情報に基づいた受信フィルタリングを行う．一般にDiscovery messageの内容は頻繁には変更されないため，ProSe discovery周期は320ms～10sと，比較的長い周期に設定される．カバレッジ内においてeNBが送信するPSS/SSSに対してセル内の全UEが同期してDiscovery messageの送受信を行うため，このような低いデューティ比（Discovery messageの送信時間比）が実現できており，オーバヘッド・端末消費電力削減などの効果が得られる．

5. D2Dにおける課題と対策

D2Dにおける物理層課題の大半は，前述したセルラ通信との無線リソースの共用に起因するものであり，特にセルラ通信への与干渉（主に上りリンクへの干渉）低減は最も重要な課題である．カバレッジ外のUEの動作はeNBから直接制御できないため予期しない干渉が生じる恐れがあり，またカバレッジ内のUEについても，セルラ通信とD2D通信用の無線リソースを直交多重したとしても，**図6**(a)に示すように帯域内放射（In-band emission）＊36により隣接周波数リソースに高い干渉を与える危険性がある．

加えてD2Dでは送受信で共通の帯域を用いるため半二重通信（Half duplex）＊37となり，図6(b)に示すようにD2D通信の送受信が同時にできない制限が加わる．そのため送信UEは，自身が信号送信を行っている間にD2D信号を受信することができない．また，D2D通信に複数のキャリア周波数を用いる場合，キャリア周波数の切替えが必要になったり，端末の制御が複雑になる．以下でこれらの課題に対するRelease 12における対策を示す．

(1)リソース割当て

D2DではeNBによる送信リソース割当てとUEによる自律的な送信リソース選択の2種類のリソース割当法がサポートされている．前者を用いることで，カバレッジ内端末どうしで直交したリソース割当てや，効率的なセルラ／D2D間のリソース共用が可能となる．Direct communica-

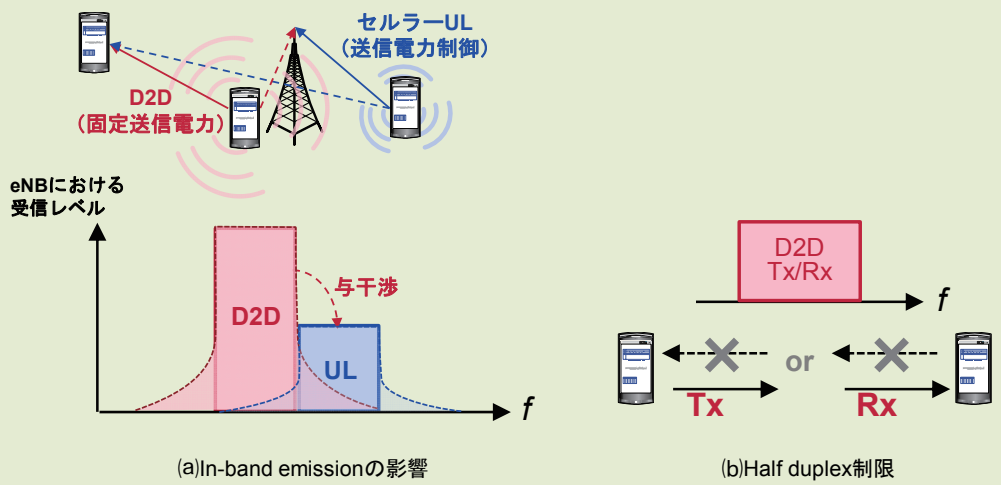


図6　D2Dにおける物理層の課題

＊33 **PUSCH**：LTEにおけるULデータ送信に使用する共有チャネル．無線アクセス方式として，低PAPR特性を備えたSC-FDMA（Single Carrier-Frequency Division Multiple Access）が用いられる．

＊34 **MAC PDU**：MACレイヤのProtocol data unit．PDUはヘッダやpayloadを含むプロトコルデータを表す．

＊35 **ACK/NACK**：再送要求信号．

＊36 **帯域内放射（In-band emission）**：隣接周波数リソースに対して干渉となり得る，帯域内の不要な輻射．

＊37 **半二重通信（Half duplex）**：同じキャリア周波数，周波数帯域を用いて，交互に信号伝送を行う方式．

tionにおけるeNBリソース割当ては下りリンクL1/L2制御信号（PDCCH（Physical Downlink Control CHannel）*38/EPDCCH）を用いてダイナミックに通知され，Device discoveryにおけるeNBリソース割当てはRRC（Radio Resource Control）*39シグナリング*40により行われる．

UEによる自律的な送信リソース選択はカバレッジ内外の双方において利用可能であり，送信UEは前述のリソースプールの中から任意のリソースを用いて送信を行う．そのため，D2Dで送信リソースが衝突する可能性が生じる．

(2)Repetition送信および時間・周波数ホッピング

PSCCH，PSSCH，PSDCHの送信において，同一の信号を繰り返し送信するRepetition送信および時間・周波数ホッピング送信がサポートされている．Repetition送信とUEごとに異なる時間ホッピングパターン*41を用いることで，衝突やHalf duplex制限の影響が低減される．加えてRepetitionおよび時間・周波数ホッピングにより合成利得または時間・周波数ダイバーシチ利得*42が得られるため，Public safety用途で重要となるカバレッジを確保する効果も期待される．

(3)送信電力制御

D2Dの送信電力制御ではD2Dのリンク品質に応じた送信電力制御は行われず，セルラ上りリンクへの与干渉レベルとD2Dのカバレッジとのバランスを取ることを目的としている．そのため，**図7**に示すとおりD2DでもDirect communication，Device discovery双方において，上りリンクと同様にOpen loop送信電力制御*43により，eNBに対する伝搬ロスに基づいてD2Dの送信電力を決定する．カバレッジ外ではこのような送信電力制御は不要なため，あらかじめUEに設定された固定の送信電力を用いる．

こうしたOpen loop送信電力制御により，eNB近傍のUEほどD2Dの通信可能範囲が狭くなる問題が生じるため，Direct communicationでは緊急時などにeNBからの送信電力制御（TPC：Transmit Power Control）コマンドにより，最大送信電

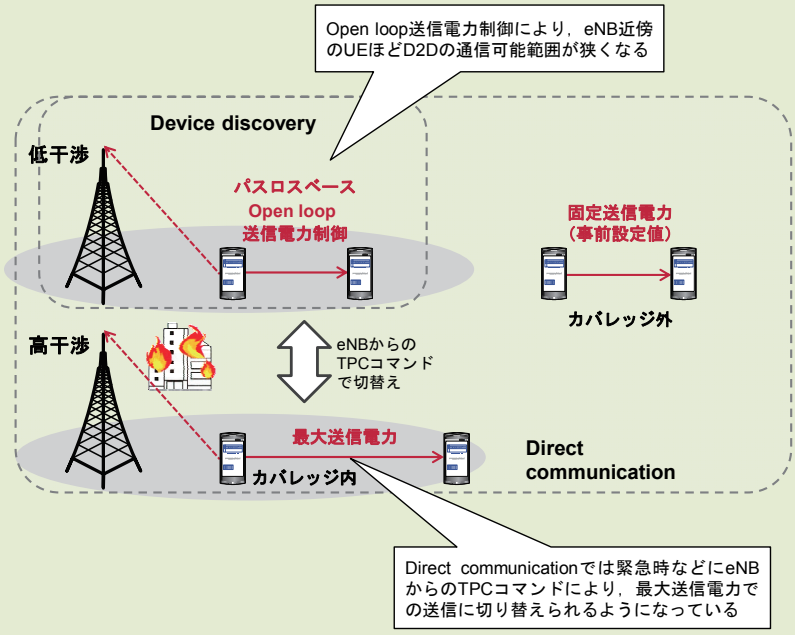


図7　D2Dにおける送信電力制御

*38 **PDCCH**：LTEにおける下り制御情報を送信するための物理チャネルであり，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．

*39 **RRC**：無線回線を制御するレイヤ3プロトコル．

*40 **シグナリング**：端末が無線制御装置および，交換機と通信を行うために必要な制御信号．

*41 **ホッピングパターン**：不連続な無線リソースを用いて信号を送信する際の時間・周波数リソースの決定パターン．

*42 **時間・周波数ダイバーシチ利得**：無線品質の時間的・周波数的な変動を利用して得られる通信品質の改善．

*43 **Open loop送信電力制御**：フィードバックを伴わない送信電力制御．

力での送信に切り替えられるようになっている．さらに，米国でPublic safety LTEに利用される予定のバンド（700MHz帯）では，最大31dBm[*44]まで送信可能なUEが規定されており，従来のUE（最大23dBm）よりも通信範囲を広げることができる．一方でDevice discoveryでは，最適な通信範囲は利用するサービスや地域に依存するため，UEの要求に合わせて最大送信電力を3段階に調整できるようになっている．

⑷事業者間Device discovery

Device discoveryを商用用途に用いる場合，他事業者のUEも相互に発見できることが望ましい．そのためUEは他事業者の周波数で送信されているDiscovery messageを受信する必要がある．Release 12ではUEが受信周波数を切り替え，①他事業者の報知情報からのD2D用無線リソース構成の取得，および②他事業者周波数でのDiscovery message受信，を行うことが想定されている．UE自身のセルラ通信を阻害しないよう，このような受信周波数の切替え機会は限定されるため，他事業者UEの検出には遅延が生じることが予想される．そのためRelease 13で事業者間およびキャリア周波数間Device discoveryの改善が検討される予定である．

6. あとがき

本稿ではLTE Release 12仕様で導入されたD2D通信の概要および適用シナリオについて解説した．各国で予定されているPublic safety無線システムのLTE化においてD2D直接通信技術が利用される可能性があり，また近接端末に対する情報配信などのサービスを実現することも可能となる．

LTE Release 13でもPublic safety用の機能を中心にD2Dの拡張が議論されており，D2D通信は多様化するサービス要求に応えるキー技術として，また5Gの無線インタフェースの一部としても期待される．

文　献

[1] 3GPP TR36.843 V1.2.0: “Study on LTE Device to Device Proximity Services; Radio Aspects,” 2014.

[2] 3GPP TR22.803 V12.2.0: “Feasibility study for Proximity Services(ProSe),” 2013.

[3] T. Doumi, M. F. Dolan, S. Tatesh, A. Casati, G. Tsirtsis, K. Anchan and D. Flore: “LTE for public safety networks,” Communications Magazine, IEEE, Vol.51, No.2, pp.106-112, 2013.

[4] G. Fodor, E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, N. Reider, G. Miklós and Z. Turányi: “Design aspects of network assisted device-to-device communications,” Communications Magazine, IEEE, Vol.50, No.3, pp.170-177, 2012.

[5] 3GPP R1-133186: “Typical Public Safety Use Cases, Performance Values, and E-UTRAN Characteristics for D2D ProSe Group Communication,” U.S. Department of Commerce, 2013.

[6] NPSTG Communications Report: “Public Safety Broadband Push-to-Talk over Long Term Evolution Requirements,” 2013.

[7] 3GPP TS23.303 V12.3.0: “Proximity-based services (ProSe); Stage 2,” 2014.

[8] 3GPP TS24.334 V12.1.1: “Proximity-services (ProSe) User Equipment (UE) to ProSe function protocol aspects; Stage 3,” 2015.

[9] 3GPP TS33.303 V12.2.0: “Proximity-based Services (ProSe); Security aspects,” 2014.

[10] 3GPP TS29.343 V12.2.0: “Proximity-services (ProSe) function to ProSe application server aspects (PC2); Stage 3,” 2015.

＊44 dBm：電力P[mW]とすると10log（P）とした時の値．1mWを基準としたときの相対値（1mW＝0dBm）．

ACB SSAC SCM

Technology Reports

LTE-Advancedのさらなる発展に向けて　―Release12 標準化動向―

LTE/LTE-Advancedシステムにおける アクセスクラス制御技術

スマートフォンの普及などによる通信トラフィックの劇的な変化により，それらを制御する技術がますます求められている．また，東日本大震災以降，災害時連絡手段を確保するうえでトラフィック制御の重要性はさらに高まっている．そのため3GPPでは通信トラフィック制御技術として，アクセスクラス制御技術を標準仕様に規定し，近年の動向に対応する形で更新してきた．本稿では最新のアクセスクラス制御技術について解説する．

無線アクセス開発部　青柳（あおやぎ） 健一郎（けんいちろう）†
ウリ A. ハプサリ
移動機開発部　竹田（たけだ） 晋也（しんや）
ネットワーク開発部　田中（たなか） 威津馬（いつま）

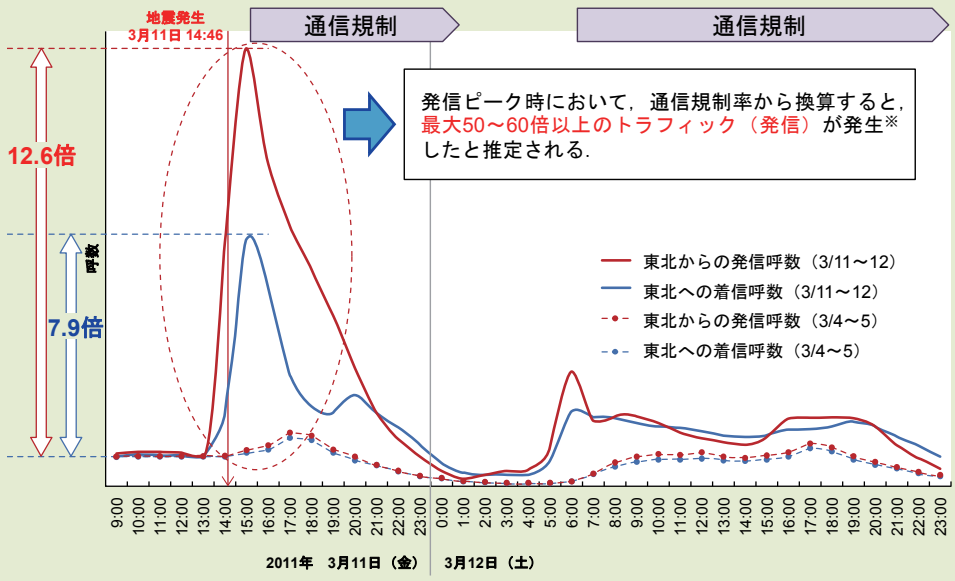
1. まえがき

近年目覚しい進化をみせるスマートフォンの普及は，移動通信システムにおいて大量のトラフィックを産み出すとともに，個々のアプリケーションが自律的にサーバと信号送受信を行うなど，通信トラフィックにおける構成比に劇的な変化をもたらしている．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うえで，通信トラフィック／輻輳制御の重要性は極めて高い．また，東日本大震災のような大規模な災害時には，通信トラフィックが想定外に増え，通信設備への負荷増大に起因した設備故障，ネットワークダウンといった深刻な局面に陥る可能性が懸念されている（**図1**）．移動通信システムでは，このような可能性を未然に防止する手段が必要である．さらに，緊急通報（110番，118番，119番）や災害用伝言板といった非常用連絡手段を確保する目的で，重要通信経路をできるだけ多くのユーザに提供することができるよう，一般の通信を抑制する通信トラフィック制御技術が必須となる．また，移動端末に通信トラフィック制御の機能を具備することは，国内法令でも定められている（引用：『電気通信事業法 端末設備等規則二十八条：移動電話端末は，重要通信を確保するため，移動電話用設備からの発信の規制を要求する信号を受信した場合にあっては，発信しない機能を備えなければならない.』）．

3GPPでは，通信トラフィックの制御を目的として各種制御技術の標準化を検討してきた．そこで代表的な通信トラフィック制御技術として，3Gより標準仕様に規定され，またLTEにおいても広く用いられているのが，端末に格納された優先度識別情報を用いたアクセスクラス（AC：Access Class）制御である．この制御は，近年の端末・通信サービスの発達，およびトラフィック傾向の劇的な変化に対応しつつ，よりきめ細やかな通信トラフィック制御を可能

©2015 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます．

† 現在，ネットワーク部



※15時台において80%の通信規制を行っていたため，
12.6÷（1－0.8）＝約60倍のトラフィックと予想できる．

図1　東北地域における携帯電話の輻輳発生と通信規制の例

とするため，大きな進化を遂げている．本稿では，主にLTE/LTE-Advancedシステムを対象としたアクセスクラス制御動向について，その概要を解説する．

2. 通信トラフィック制御におけるアクセスクラス制御の位置づけ

2.1 無線アクセス規制制御

無線アクセス規制制御とは，無線区間（移動端末と通信基地局間）で端末からの接続要求信号（RRC CONNECTION REQUEST）を規制することにより，緊急呼などの重要通信の接続性を確保しつつ，ネットワーク装置の保全，あるいは通信トラフィックの適正化を行うトラフィック制御技術の1つである．無線アクセス規制制御は制御方式の違いから，大きく2つの方式に分類される．

- アクセスクラス制御方式（移動端末における制御）
  移動端末側であらかじめ送信しようとする制御信号の種別を識別し，その判定によって接続要求信号の規制制御を決定する方式．
- RRC CONNECTION REJECT方式（通信基地局における制御）
  通信基地局において移動端末より受信した信号を識別し，個別に信号送信抑止の信号（RRC CONNECTION REJECT）を送信する方式．

上記の2つの無線アクセス制御は，ネットワークの輻輳状況や通信トラフィックの状況に応じて使い分けて実施することができる．本稿では，前者のアクセスクラス制御方式を中心に解説する．この方式は，基地局が常に配信している報知情報*1に後述のACごとの制御情報（規制率など）を設定してトラフィック制御を発動する方式であるため，該当エリアに在圏する端末に対して一斉に発動することができる．また，各端末からの発信時に接続要求信号の規制制御を行うことから，ネットワークへの処理負荷を与えない．したがって，たとえば基地局がバースト的な信号処理を行っているような過負荷状態においても，広範囲かつ迅速に発動することができる．

また，アクセスクラス制御は，移動端末側で規制対象呼種，あるいはサービスなどを識別できる．そのため，通信基地局側で実施するRRC CONNECTION REJECT方式と比

＊1　**報知情報**：移動端末における位置登録要否の判断に必要となる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等の情報，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．

較して，より決め細やかな単位（音声，アプリケーションなど）での無線アクセス規制制御を実現しやすく，拡張性の点で優位とされている．そこで，市場や通信事業者のニーズに応じて，3GPP標準仕様における機能拡張が，継続的に行われている．アクセスクラス制御の動向を以下に示す（**図2**）．

①まず，LTE/LTE-Advancedのネットワークアーキテクチャでは，音声を含めてすべてのサービスがPS（Packet Switch）ドメイン*2で実現されているため，パケット発信全般のための基本的なアクセスクラス制御としてACB（Access Class Barring）が3GPP Release 8で規定された（3章）．

②大規模災害などの発生時には，家族や友人などの安否確認のために，信頼性の高い音声サービスを利用する傾向にあり，音声トラフィックの急激な増加が見られる．これを背景にパケット発信の中で音声発信を識別，規制する必要が生じ，この要求条件を満たすために，VoLTE（Voice over LTE）で音声提供している際のアクセスクラス制御であるSSAC（Service Specific Access Control）や，CSFB（Circuit Switched Fallback）で音声を提供している際のアクセスクラス制御であるACB for CSFBが，それぞれRelease 9とRelease 10で規定された（4.1節）．

③スマートフォンでは通常，ユーザが意図するデータ通信に加え，端末と各アプリケーション・サーバ間におけるバックグラウンドのデータ通信のために頻繁な接続要求が行われる．そのため，花火大会やコンサート会場といった短時間にユーザが集中するシナリオでは，スマートフォンのデータ通信によってネットワークの輻輳*3が誘発される場合がある．前述のACB制御を適用してスマートフォンのデータ通信による輻輳を回避しようとすると，音声も含め全部のパケット発信が規制される対象になるため，音声サービスの疎通率が悪くなる．このため，パケット発信の中の音声発信を優先したいという要求が出ている．この要求条件を満たすために，音声サービス（VoLTE）を優先し，それ以外のパケット発信を規制するための制御として，SCM（Smart Congestion Mitigation）がRelease 12で規定された（4.2節）．SCMとACBやSSACなどを組み合わることにより，パケット発信と音声発信のための規制を独立に実施することが可能となる．

④また，近年は，M2M（Machine-to-Machine）通信に関する技術検討や導入が進んでいる．M2M端末を活用するビジネスはさま

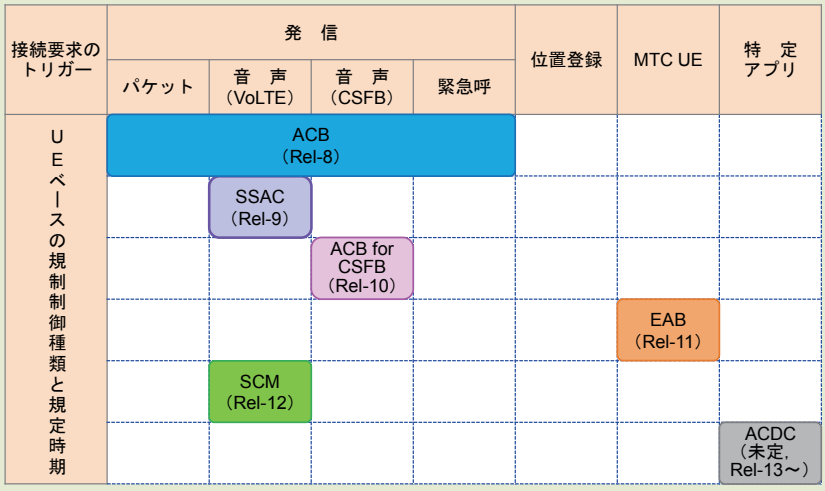


図2　LTE/LTE-Advancedシステムにおけるアクセスクラス制御

*2　**PSドメイン**：パケット交換（Packet Switch）に基づくサービスを提供するネットワークドメイン．

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

ざまあるが，自動販売機やスマートメータに搭載する例があり，多数のM2M端末からのアクセスが考えられる．このようなM2M端末と通常のユーザ端末が同じネットワークで収容する場合に，それぞれの端末を区別し無線アクセス規制制御をする必要があるため，EAB（Extended Access Barring）が，Release 11で規定された（5.3節）．

⑤さらに，災害などの緊急状況では，膨大な数のスマートフォンアプリの中から，例えば災害用伝言板向けのパケット発信を優先するような要求条件が議論されている．これを満たすため，Release 13向けに，ACDC（Access Control for general Data Connectivity）と呼ばれる新たなアクセスクラス制御が検討されている（5.1節）．

2.2　アクセスクラス制御の特色

アクセスクラス制御の基本となるACは，移動端末に搭載されたSIM（Subscriber Identity Module）＊4に書き込まれるユーザごとの優先度識別情報であり，通信オペレータにより端末ごとにあらかじめ割り当てられている．3GPPの標準仕様ではおもに一般の通信端末に割り当てられる0～9，緊急通報（110番，118番，119番）時に割り振られる10，および公共機関，保全業務などの特殊な端末に割り当てられる11～15のACが規定されている[1]．

アクセスクラス制御では，まず通信基地局が配信する報知情報に，ACごとの制御情報（規制率など）を設定することで，当該基地局に在圏するすべての移動端末に一斉に通知される（**図3**）．これによりネットワークに印加されるトラフィックを下げることができる（**図4**）．なお，この制御情報に設定する内容を適宜変更することで，ネットワークの輻輳状況に応じてアクセスを規制することができる．例えば，高輻輳状況では報知情報を変更し，規制率を上げる（疎通率を下げる）といった運用が可能である．端末側では何らかの接続要求を試みる際に，報知情報に設定されたこの制御情報を参照し，当該接続要求のACが規制対象であれば，設定条件に応じて，一定期間当

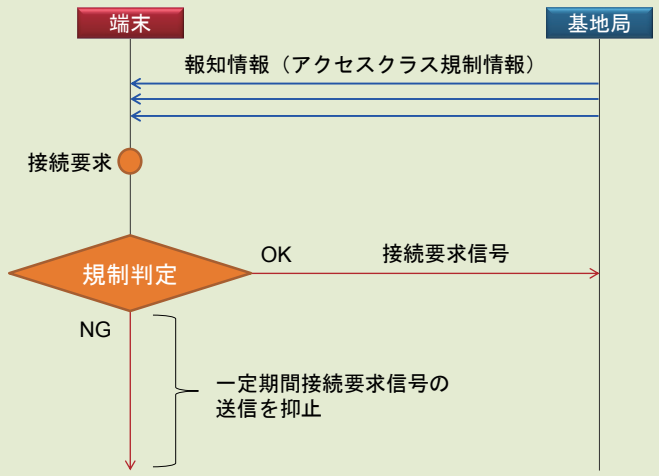


図3　アクセスクラス制御の流れ

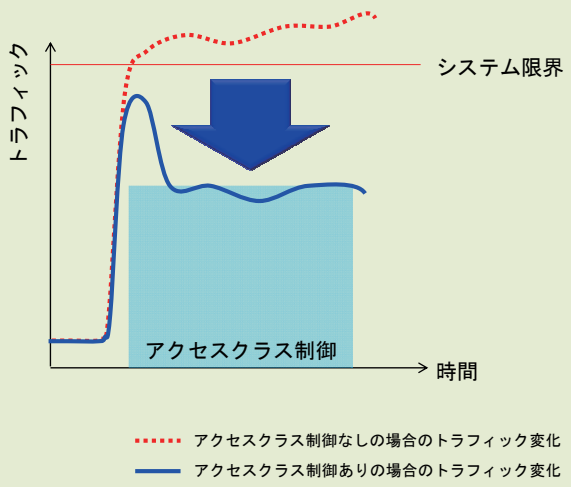


図4　アクセスクラス制御を行った場合のトラフィック変化

＊4　SIM：携帯電話の契約情報を記憶したICカード．

該接続要求信号を送信しないよう制御される．

また，このアクセスクラス制御情報は，一般的にはAC（0～9）に対してアクセスクラス制御を適用することでネットワーク装置の保全，および通信トラフィックの適正化を実施し，かつAC（10，11～15）をアクセスクラス制御による規制の適用外となるよう設定することで，重要通信を確保する運用が可能となる．

3. 基本的なアクセスクラス制御（ACB）

3.1 パケット発信規制

前述したように，LTE/LTE-Advancedのネットワークアーキテクチャは，音声サービス（VoLTE）を含めすべてのパケット通信をPSドメインのみで提供するため，VoLTEを含めたLTE端末が発信するトラフィックのすべてが，ACBの適用対象となる．

なお，3Gのネットワークアーキテクチャでは，音声通信を提供するCS（Circuit Switching）ドメインと，パケット通信を提供するPSドメインの複数ドメインで構成されていることから，ドメインごとに独立にアクセスクラス制御を適用するDSAC（Domain Specific Access Control）が規定され[1]，音声／パケットのサービスごとに独立したトラフィック制御が可能となっている．LTEと3Gのアーキテクチャの違いによるそれぞれのACBの実現方法を**図5**に示す．

ACBの動作は端末のRRCレイヤで実施する[2]．ネットワークが報知した規制情報に基づいてACごとに接続要求信号の送信を許可するか否か決定する．また，ACBで制御可能なパケット発信の種類の中に通常のデータ発信信号と緊急呼発信信号がある．緊急呼の場合，ACは10を使用する．

3.2 着信応答許容機能

3Gにおけるアクセスクラス制御の検討当初は，端末からの発信信号とネットワークから端末への着信（PAGING）に対する応答信号は同様の接続要求信号として扱われ，いずれも同等の規制制御を適用せざるを得なかった．

しかしながら，緊急呼に対する公共機関からの折返し連絡や災害時に警察・消防隊から被災者への安否確認など，音声サービスの着信応答についても重要通信の一環と考えられることから，LTEにおいては，着信応答信号についてはアクセスクラス制御の適用対象外とすべきとする技術検討がなされ，着信応答許容の動作がACBの機能の一部として規定された[3]．

また，3Gでも，これを実現するPPAC（PAGING Permission Access Control）と呼ばれる機能が3GPPのRelease 8にて規定された[1]．

3.3 位置登録信号規制制御

端末が3.2節に記載の着信（PAGING）を受信するためには，在圏エリアに対する位置登録（TAU：Tracking Area Update*5）をしている必要がある．しかしながら，3Gにおいては，データ通信や音声の発信とは独立に位置登録信号を規制することができず，データ通信や音声の発信時に規制がかかっている端末は，位置登録も規制されることにより，着信を受けることができなかった．そのため，位置登録を許容できるアクセ

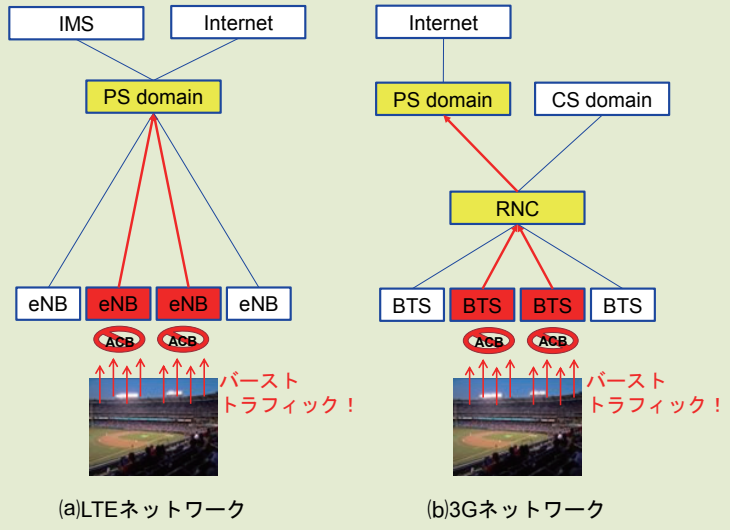


図5　LTEと3Gのアーキテクチャの違いによるそれぞれのACB実現方法

＊5　TAU：LTEにおける位置登録の更新の手順．

スクラス制御が必要となる．一方で，在圏エリアをまたぐ多くの端末が一斉に位置登録信号を送信することにより，ネットワークの輻輳を招く状況が想定され，位置登録信号の規制が必要となる状況は想定される．このため，LTEのACBでは，通常のデータ発信信号への規制（ac-Barring For MO-Data）とは独立に位置登録制御信号を規制（ac-Barring For MO-Signalling）できるように規定されている[1] [3]．位置登録信号の規制制御は，前述の3.1節で解説したパケット発信信号の規制制御と同等のやり方となる．本機能により，さまざまな運用シナリオにおける位置登録トラフィックを制御することが可能となる．例えば，災害時においてデータ通信を規制しつつも位置登録を許容し，端末が着信を受けることができる．また，通勤時間帯などにおいて，位置登録境界エリアを鉄道・バスなどが通過する際，乗客の端末が一斉に位置登録信号を送信し，ネットワーク輻輳を誘発する状況を防ぐことが可能となる．

なお，3Gにおいても前述のPPACで同様の位置登録単独規制の機能がRelease 8から規定されている[1]．

4. アクセスクラス制御の音声サービスへの拡張

4.1 音声サービス規制制御

大規模災害などの発生時は，安否確認をはじめとする音声トラフィックがバースト的に発生する．一般に大量のトラフィックが発生し，すべてのトラフィックを同等に疎通させることが困難な輻輳状況下では，少なくとも重要通信は確保しつつ，より多くのユーザに最低限の連絡手段を確保するため，通信リソースを占有する音声・ビデオコールのトラフィックを規制し，メール，災害用伝言板などのデータトラフィックの疎通を優先させる必要がある．そしてそのような傾向は，スマートフォンの普及に伴い，SNSをはじめとした多様なアプリケーションを用いた通信手段をもつ昨今においてますます重要になってきている．そのため3GPPでは音声サービスを規制する制御を規定しており，以下では，それらについて解説する．なお，いずれの規制も緊急呼については規制対象外とすることが可能である．

⑴VoLTE発信規制制御（SSAC，SSAC in connected）

①SSAC

LTEでは，音声・ビデオコールといったリアルタイムサービスはIMS（IP Multimedia Subsystem）*6を用いたVoLTEとして，PSドメインにおいて提供される．したがって，3GのDSACのようにドメインごとの規制ができないため，IMSベースの音声やビデオを規制するべく，新たにサービス単位の規制を実現するSSACが規定された[1]．なお，SSACはViLTE（Video over LTE）に対する独立規制も実施できるように設計されている．また，ドコモでは本機能を大規模災害時の重要通信を確保するための制御と位置づけ，2014年6月のVoLTEサービス開始と同時に導入している．

②SSAC in connected

近年増加しているスマートフォンにおいては，搭載された各々のアプリケーションが定期的にサーバと同期をとるなど，頻繁にネットワーク接続を行うことから，RRC connected状態（端末がネットワークとコネクションを張った状態，IDLEでない状態）に留まる時間が長くなる傾向にある．一方，アクセスクラス制御は，ネットワークへの接続要求信号を送信する際に規制制御するという考え方であることから，すでにネットワークと接続されているRRC connected状態については，その適用の対象外とされていた．しかしながら，災害時の著しい音声バーストトラフィックの影響は，基地局のみならずIMSなどのコアネットワーク*7装置への影響も懸念されることから，RRC connected状態の端末に対しても同様にSSACが適用されることが望ましい．そこでRRC Connected状態においてSSACを適用するSSAC in connectedと呼ばれる機能が3GPPのRelease 12にて規定された[1]．SSACのアクセスクラス制御は，基本的にACBの規制制御と同様であるが，RRCレイヤで実行するACBの規制制御と異なり，IMSレイヤにて規制制御を実行している．また，その際，

*6 **IMS**：3GPP移動通信網におけるIPマルチメディアサービス（VoIP，メッセージング，プレゼンスなど）を提供するサブシステム．呼制御プロトコルとしてSIPを用いる．

*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．

ネットワークが報知したSSACのためのアクセスクラス制御情報を用いてVoLTEの発信を許可するか否か判断する．

(2)CSFB発信規制制御（ACB for CSFB）

LTE端末のうち前述のVoLTE機能に対応していない端末は，CSFBにより音声サービスが提供される．CSFBとは端末がいったんLTEに接続した後，LTEから3Gのネットワークに遷移させ，CSドメインに接続させることで，音声サービスを提供する制御である．CSFBの場合，LTEでのアクセスクラス制御の適用如何に関わらず，LTEから3Gに遷移した端末は，3Gのアクセスクラス制御が適用される．すなわちCSFBにおけるCSドメインへの接続要求信号については，3章に記載した3Gのアクセスクラス制御であるDSAC，およびPPACを適用する．

またCSFBにおけるLTEの接続要求信号の送信自体を抑止するために，ACB for CSFB機能が規定されている[1]．ACB for CSFBのアクセスクラス制御は，ACBの規制制御と同様である．またその際，ネットワークが報知したCSFBのためのアクセスクラス制御情報を用いてCSFBの発信を許可するか否かを判断する．

4.2 音声サービス優先制御（非音声サービス単独規制）

前述したように，スマートフォンに搭載されるアプリケーションのバックグランドデータによって，接続要求信号が頻繁に発生する．これらのデータトラフィックを含め，突発的あるいは瞬間的にユーザが集中するような環境下（集客イベントや，鉄道・大型バスによる移動など）においても，ユーザ操作の伴う音声サービスを優先させるべきという要求があり，それを可能とする制御が規定された．以下では，音声サービスを優先する制御について解説する（図6）．

(1)VoLTE優先制御（SCM）

VoLTE対応端末による音声サービスを優先する制御として，VoLTEによる音声トラフィックをACBの適用対象外とするSCMが3GPPのRelease 12で新たに導入された[1]．SCMでは，報知情報の中にACBを適用しなくても良いサービス種別（VoLTE，ViLTE，SMS）が指定され，端末はその情報を見ることで，指定されたサービス種別の発信についてはACBを適用しない制御が可能となる．従来は，規制の制御を行う端末のモデムにおいて，パケットの中身を把握することができないため，パケット発信があった場合に，VoLTEの発信なのか，その他データ通信の発信なのか，といったサービス種別を特定することができず，特定サービスのパケットだけを疎通させるような制御は不可能だった．しかしながら，SCMでは，発信時に端末のIMSレイヤからモデムに対して，VoLTEなどのパケットのサービス種別を通知する機能が導入され，モデムがパケットのサービス種別を識別することを実現している．本制御により，ACB適用下においてもVoLTE発信を疎通させて，他のパケット発信については，ACBの対象とするVoLTE優先制御を実現できる（図6(a)下）．なお，SCM適用下でも4.1節記載のSSACを併用できるように設計されており，SSACとACBおよびSCMを組み合わせるこ

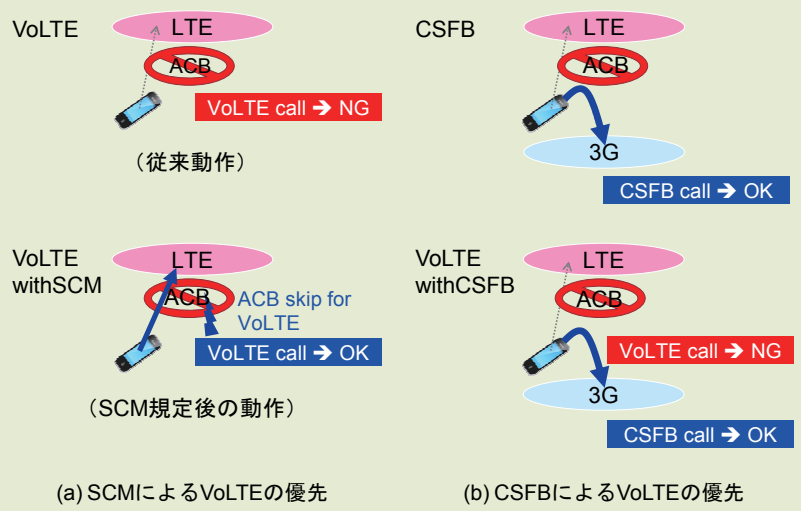


図6　SCMおよびCSFBによるVoLTE優先制御

とで，3GのCS/PSドメイン別規制制御と同等の，音声・パケットサービスごとに独立したアクセスクラス制御が可能となる．また，同様の制御をViLTE，SMSの発信に対しても実現することができる．

⑵ CSFB優先制御（ACB適用時CSFBの挙動）

LTEでACBが適用されている場合，CSFB発信を含む全般の発信がACBの対象となる．しかしCSFB発信がACB対象となった場合，LTEでの接続要求信号の送信は実施しないが，端末が自律的に3Gネットワークに遷移（Cell Selection）し，3GでCS接続要求信号を送信することが標準仕様上で規定されている[3]（図6⑹上）．すなわち本動作により，CSFB発信がACBの対象となっても，3GでのCS発信の疎通を実現できることから，実質的に音声サービスの優先制御を実現できる．このような規定が行われた背景としては，そもそもCSFBでは最終的に3GのCSドメインに接続することから，必ずしもLTEネットワークに接続要求信号を送信する必要はなく，またアクセスクラス制御の思想は，基本的にはあるシステム（この場合LTE）が，異なるシステム（この場合3G）のサービスを規制することは望ましくないという考えによるものである．なおLTEから3Gに遷移した以降は，4.1節の記載と同様にDSACなどの3Gにおける各種通信規制が適用される．

一方，VoLTE対応端末のうち4.2節で説明したSCMに端末，またはネットワークが対応していない場合，VoLTE発信はACBの規制対象となることから，音声発信ができない（図6⑹上）．これはユーザ体感上，VoLTE非対応のCSFB端末のほうが，VoLTE対応端末より接続しやすいという事態が生じ，無線アクセス規制制御の公平性の観点で課題である．このような状況を回避するため，VoLTE発信がACBで規制対象となった場合には，当該音声サービスの発信要求を実施するために端末が自律的にCSFB発信に切り変える端末動作が標準仕様で許容されている[4]．これにより，結果的にACB適用下においてVoLTE発信もCSFB発信と同様に音声サービスを提供することができる．なおドコモでは本機能についても，2014年6月のVoLTEサービス開始と同時に導入している．

5. 無線アクセス規制制御のさらなる拡張と今後の展開

5.1 アプリケーション単位のアクセスクラス制御（ACDC）

アクセスクラス制御の今後の展開としては，アプリケーション単位の優先制御を実現するACDC（Access Control for general Data Connectivity）が3GPPのRelease 13の機能として検討されている[1]．ACDCでは，端末内部にアプリケーションをカテゴリ分けした情報を保持し，ネットワークからは，各アプリケーションカテゴリに対する規制の情報が報知情報で通知される．端末はその情報から，アプリケーションが通信接続要求を出した際に，そのアプリケーションが属するカテゴリの規制情報を見て，接続するか，規制するかを判断する方式としている．ACDCの標準化が完了し，端末，ネットワークに実装されれば，特定のアプリケーションを接続許容，または，規制することが可能となり，アプリケーションに紐づくサービスの種別に応じた，より細かい粒度でのアクセスクラス制御が可能になる（**図7**）．

5.2 アクセスクラス制御のネットワークシェアリング対応

ネットワークシェアリングとは，異なる2つ以上の事業者が一部のネットワーク装置を共有する運用形態である．通信事業者ごとに提供するサービスのQoE（Quality of Experience）の考え方は異なるため，共有するネットワーク装置の輻輳レベルに対して，各事業者のポリシーに基づいて設定するACBの規制率の値が異なる場合が考えられる．また，ネットワークシェアリングを実施する状況では，一方の事業者の通信トラフィックの状況により，他方の事業者の品質を著しく損ねるようなアクセスクラス制御の適用は避ける必要がある．そのため，ネットワークシェアリングの環境下において，通信事業者ごとにアクセスクラス制御を適用することができる方式の導入が必要となった．

LTEのアクセスクラス制御のネットワークシェアリング対応は，3GPPのRelease 12で規定されてお

り[1]，通信事業者ごとに識別可能な識別子であるPLMN（Public Land Mobile Network）*8 IDにアクセスクラス制御パラメータを設定することで実現している．端末は，接続しているPLMNに対応するアクセスクラス制御パラメータが報知された場合，該当の規制パラメータを適用する．該当PLMNの規制パラメータがない場合は，PLMNに依存しない共通の規制パラメータが報知されていれば，共通規制パラメータを適用する．

5.3 M2M，MTCを対象にした無線アクセス規制制御

近年，自動販売機や，家電，各種メーターといった，モノ同士のインターネットを介した通信を実現するIoT（Internet of Things）の検討がさかんになり，たとえば自動販売機の在庫管理や，スマートメータを用いた電気の利用管理，バス停でのバス到着時刻を正確に提示する移動管理など，さまざまな利用シーンが想定されている．

移動通信ネットワークを用いてこれらを実現する手法として，通信機器間（M2M）通信，および通信機器とサーバとのMTC（Machine Type Communication）などの検討が進められており[5]，利用シーンやビジネス規模の拡大とともに，膨大な数のMTCモジュールおよび通信トラフィックが，将来移動通信ネットワークに大きな影響を与える可能性がある．

特に一部のサーバ故障などにより，ネットワークから切断されたMTC対応端末が同時一斉に接続要求を送信するなど，新たなトラフィックバーストを誘発する懸念が指摘されており，Release 10から11にかけて，MTC対応端末に特化したトラフィック制御の検討が行われてきた（**図8**）．なお，MTC端末に対するトラフィック制御についても，通常（非MTC）のトラフィック制御と同様，ネットワークの輻輳状況や通信トラフィックに応じて，アクセスクラス制御方式に相当する方式（EAB）とRRC CONNECTION REJECT制御方式に相当する方式（Delay Tolerant Access識別に基づいた通信基地局による接続要求のReject制御）を使い分けて実施することができる．本節においては，MTCのためのアクセス規制制御の全容を説明するため，両方式について解説する．

(1)Delay Tolerant Access識別に基づいた通信基地局による接続要求のReject制御

Release 8の仕組みでは，RRCコネクション接続要求のメッセージ（RRC Connection Request）に含まれるデータの識別（発信呼（mo-Data），着信呼（mt-Access），位置登録のような発信信号（mo-Signalling），緊急呼（emergency）など）を用いることで，ネットワーク装置は，輻輳レベルに応じて，接続要求のトラフィック種別を見分けてReject制御を行う制御ができる．しかしながら，上記のデータの識別から，MTC対応端末であるかどうかを見分けることができなかった．

そのため，Release 10ではRRCコ

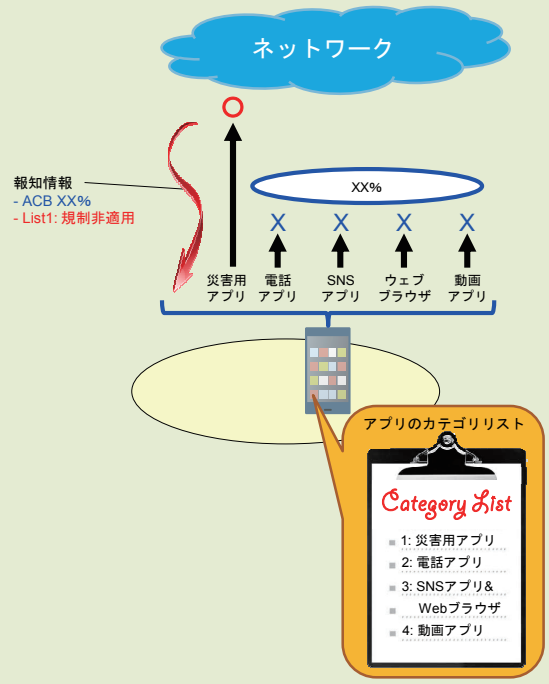


図7 ACDCによる規制制御

*8 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．

ネクション接続要求のメッセージにMTC対応端末を識別する“Delay Tolerant Access”が規定されている．ネットワーク装置は，Delay Tolerant Accessを用いてMTC対応端末であることを識別し，ネットワークの輻輳状況に応じて，MTC対応端末のアクセスを拒否するなどの制御が可能となる．MTCはモノなどからの自律通信を想定しており，接続時間や通信速度などの要求条件は，ヒト向けのインターネット閲覧やゲームサービスと比べると厳しくない想定にあり，上記のReject制御によってネットワークへの接続を遅延させるような制御が可能である[5]．

⑵EAB

さまざまなビジネスでMTCモジュールが適用される場合，莫大な数のMTC端末からの一斉発信によるバースト的なトラフィックを発生させるようなケース（サーバの故障，車載装置などの移動するモジュールが一斉にエリアに移動した場合，など）においては，ACBをはじめとしたアクセスクラス制御と同様に，端末内部で要求信号の送信自体を行わないための規制制御が効果的である．そのためRelease 11において，MTC端末向けに報知情報による規制制御（EAB：Extended Access Barring）が規定されている[1]．EABでは，2章に記載の端末ごとのACとは別に，端末のEAB Category情報を設け，Categoryごとに規制判断が行われる．EAB Categoryにおいては，MTC端末のローミング状況やネットワークシェアリング実施有無を識別することもできる．なおEABに対応するか否かは通信事業者による設定が可能であり，ネットワークはアタッチ*9などの際に，端末能力や契約情報などに基づいて，該当端末に対してEABの設定を行うことができる．

6. あとがき

本稿では，主にLTE/LTE-Advancedシステムを対象としたアクセスクラス制御の動向について，その概要を解説した．

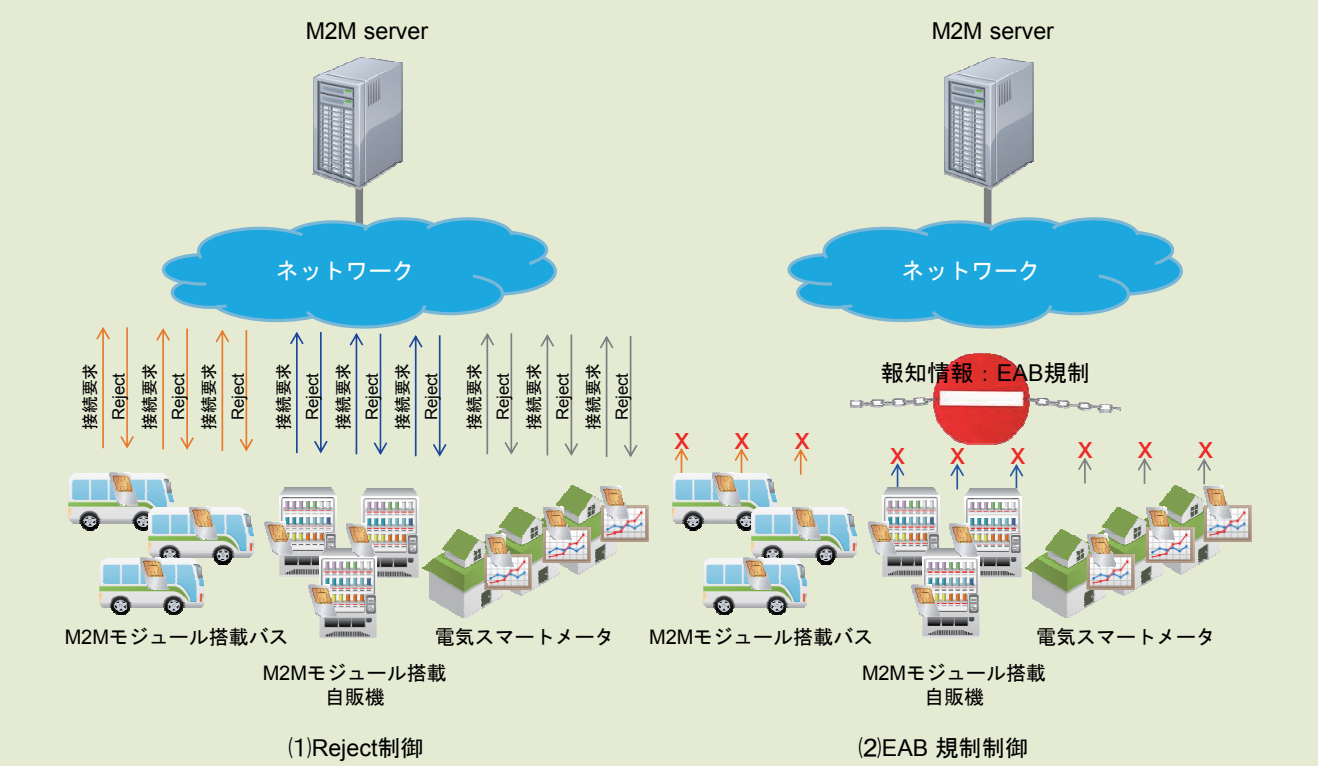


図8　MTCのための無線アクセス規制制御

*9　アタッチ：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．

LTEからLTE-Advanced，さらにその先の5Gへの進化とともに移動通信システムにおいては，さらなる高速化，大容量化へと向かっている．同時に，多種多様なトラフィックを，状況に応じてさらに柔軟かつ的確，ダイナミックに制御することが必要な場面も増加する．災害や突発的なイベント時にもリアルタイムに対応する通信トラフィック制御の研究開発は，将来にわたって移動通信ネットワークの信頼性を高めるための挑戦と位置づけられる．本稿で紹介したアクセスクラス制御をはじめ，通信トラフィック制御のさらなる発展は安心・安全の移動通信システムを支えるための基盤技術と考え，今後もさらなる研究・開発を推進していく．

文　献

[1] 3GPP TS22.011 V13.1.0: “Technical Specification Group Services and System Aspects; Service accessibility,” (Release 13), 2014.

[2] 3GPP TS36.331 V12.5.0: “Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification,” (Release 13), 2015.

[3] 3GPP TS24.301 V13.1.0: “Technical Specification Group Core Network and Terminals; Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3,” (Release 13), 2015.

[4] 3GPP TS24.229 V13.1.0: “Technical Specification Group Core Network and Terminals; IP multimedia call control protocol based on Session Initiation Protocol (SIP) and Session Description Protocol (SDP); Stage 3,” (Release 13), 2015.

[5] 3GPP TS22.368 V13.1.0: “Technical Specification Group Services and System Aspects; Service requirements for Machine-Type Communications (MTC); Stage 1,” (Release 13), 2014.

皮膚アセトン　バイオチップ　健康管理

Technology Reports

ウェアラブル皮膚アセトン測定装置の開発と健康管理への応用

先進技術研究所　山田 祐樹（やまだ ゆうき）　檜山 聡（ひやま さとし）　豊岡 継泰（とよおか つぐよし）

ドコモは採取が容易な生体サンプルを生化学的に分析することで，高度な健康管理や健康診断を可能とする「バイオチップ携帯」の実現に向けた取組みを進めている．健康管理を行ううえで注意を払うべき点はいくつかあるが，中でも肥満は万病の元といわれており，能動的な動作を行うことなく体脂肪の燃焼状態を自動的に測定できる技術が求められていた．そこで，身に着けるだけで日常生活における体脂肪燃焼状態を「見える化」できるウェアラブル皮膚アセトン測定装置を開発した．これにより，肥満の予防や改善に向けて，1日の中でも時々刻々と変化する体脂肪の燃焼状況に応じた個人別の健康アドバイスの提供が可能となる．

1. まえがき

国民医療費は増加の一途を辿っており，その中でも後期高齢者医療費*1の伸びは著しい．後期高齢者医療費は，2012年に39.2兆円であったが，2025年には52.3兆円まで増加する見通しであり[1] [2]，その抑制が急務となっている．その抑制のためには，介護を必要としたり，病気で寝たきりになったりせずに健康で自立した生活を営むことができる期間（健康寿命）をできるかぎり延ばすことが重要である．その鍵となるのが，生活習慣の改善と，疾病の発生や進行を未然に防ぐ予防医療*2である．

予防医療を成功に導くためには，能動的な動作を行うことなく簡単・手軽に自身の健康状態を理想的には毎日詳細に検査，確認できる測定装置と，各人の健康状態に応じたアドバイスを提供することが重要である．その点，携帯電話やスマートフォンの人口普及率は94.5％に達しており[2]，国民に広く普及している．そのため，これらの機器への測定装置の搭載ないしは，接続が可能なウェアラブル機器に測定装置を組み込むことができれば，予防医療サービスを展開するうえで有力なツールとなることが期待される．

ドコモは，呼気や皮膚ガス*3などの自身で容易に採取可能な生体サンプル*4を，携帯端末に接続可能なバイオチップ*5で生化学的に分析することで，個人差を考慮した高度な健康管理や健康診断などの予防医療サービスを行う「バイオチップ携帯」のコンセプトを世界に先駆けて掲げ，その実現に向けた研究開発を進めている[3]～[5]．

その一環として，皮膚ガス中に含まれる「アセトン*6（皮膚アセトン）」という体脂肪の燃焼マーカとなる化学物質の量を測ることができ，身に着けられるほど小型・軽量な世界初の測定装置を開発し，CEATEC JAPAN*7 2014に参考出展した[6]．本稿では，開発した測定装置の概要と健康管理への応用例を紹介する（**図1**）．

2. 皮膚アセトン測定の意義と課題

皮膚ガス中にはさまざまな成分が含まれており，体の状態との関連が

©2015 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます．

*1 **後期高齢者医療費**：75歳以上，および65歳以上の一定の障がいをもった方に要する医療費．
*2 **予防医療**：病気になることを未然に防ぐ医療行為や医療サービスなど．
*3 **皮膚ガス**：皮膚表面から放出されるガス．
*4 **生体サンプル**：生体由来の検査対象となる試料．
*5 **バイオチップ**：生体サンプルの検出や分析を行う機構が搭載されたチップ．
*6 **アセトン**：揮発性が高い有機化合物．化学式C_3H_6O．

知られている（**表1**）[7]～[9]．皮膚アセトンは，運動や空腹に伴い体脂肪が分解されることによって血中に代謝産物として産生されるアセトンが，皮膚表面から放出されたものである．そのため，脂肪代謝の動態を知るのに役立つと期待されている．肥満は万病の元といわれており，生活習慣病になるリスクを高めることからも，皮膚アセトンの放出量を測り，脂肪燃焼状況をモニタしながら日常の健康管理へ応用することは非常に有意義である．皮膚アセトンは常時，無意識に放出されていることから，ウォッチ型やインナーウェア型などのウェアラブル機器で皮膚アセトンを測定することができれば，身に着けるだけで予防医療サービスを受けることが可能となる．しかし，皮膚アセトンの放出量は極微量（通常10～200pg/cm^2・min＊8）であるため，これまでは大型の測定装置（例えばガスクロマトグラフィ装置）を使用することが通例であった．つまり，身に着けられるほど小型・軽量な皮膚アセトン測定装置は実用化されていなかった．

そこでドコモは，皮膚アセトンを濃縮して測定する新たなガス測定機構を提案し（**図2**），身に着けられるほど小型・軽量な世界初の測定装置を開発した．

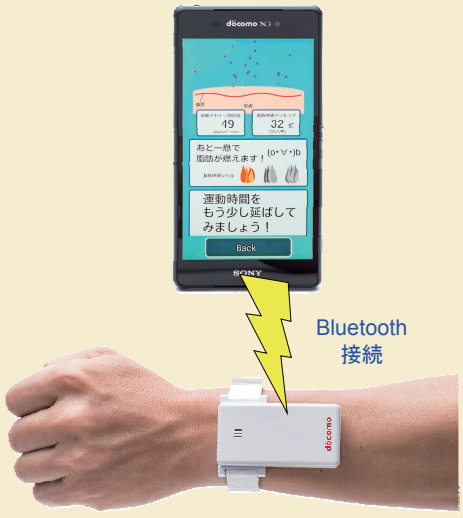


図1　CEATEC JAPAN 2014参考出展品

表1　皮膚ガス中の成分例と体の状態

皮膚ガス中の成分例	体の状態
アセトン	体脂肪の燃焼状況
エタノール	酔いの程度
アセトアルデヒド	二日酔いの程度
メタン	腸内環境の変化・便秘
ノネナール	老化・加齢の進行
ホルムアルデヒド	癌の発症・進行

3.　開発装置の概要

ウェアラブル機器に実装するガスセンサとしては，「小型」「高感度」「安価」「長寿命」「メンテナンスフリー」といったすぐれた特徴を有している半導体式ガスセンサ＊9が望ましい．しかし，世界最高レベルの測定感度を有する半導体式ガスセンサ[5]でも，センサ単体では皮膚アセトンの測定は難しい．例えば，皮膚アセトンを濃縮して濃度を高めた状態で測定するなどの工夫が必要となる．

そこで今回の開発装置では，半導体式ガスセンサと，アセトン分子径よりもやや大きい細孔を有する機能性材料＊10を備える構成とした．つまり，皮膚表面から自然放出されるアセトン分子を一定時間捕集することで，機能性材料に皮膚アセトンを吸着させる．そして，機能性材料を瞬間的に加熱することで，吸着させた皮膚アセトンを機能性材料から一斉に放出し，皮膚アセトンの濃度を一時的に高めた状態で半導体式ガスセンサにより測定する（図2）．なお，半導体式ガスセンサには，アセトンに対して特に高い感度を有する酸化タングステンを主な材料とするセンサを選定した．

＊7　**CEATEC JAPAN**：アジア最大規模の映像・情報・通信の国際展示会．

＊8　**pg/cm^2・min**：1分間に皮膚1cm^{2}あたりから放出されるアセトンの量を示す．1pgは1兆分の1g．

＊9　**半導体式ガスセンサ**：酸化金属などの半導体をセンサ素子とし，大気中のガス成分との酸化還元反応に伴うセンサ素子の電気抵抗の変化によって大気中のガス成分の濃度を測定するセンサ．

＊10　**機能性材料**：外部からの制御が可能な機能を有する材料．ここでは，分子を選択的に吸着する機能と，加熱などの外部刺激によって吸着した分子を放出する機能を有する材料を指す．

開発装置は重さが54g，大きさは40×78mmとクレジットカードより一回り小さく，厚さは13mmと胸ポケットにも収まるサイズである．従来の大型測定装置と比べて，重さで約1/120，体積で約1/380もの小型・軽量化に成功した．皮膚アセトンの測定結果はBluetooth®*11による無線伝送で対向するスマートフォンやタブレットに送信が可能である．対向するスマートフォンやタブレットには，開発装置からの送信データを受信し，皮膚アセトンの測定結果に応じて，現在の脂肪燃焼状況と健康的なダイエットに向けたアドバイスをGUI*12で視覚的に表現するアプリケーションを開発・実装した（**図3**）．

4. 性能評価実験

考案したガス測定機構の原理実証を行うため，開発装置の性能評価実験を実施した．皮膚アセトンは血管由来の生体ガス成分であるため，腕だけでなくさまざまな部位からの測定が可能であるが，比較的放出量が多いとされる掌の皮膚アセトンを複数名の被験者から測定し，本開発装置と従来の大型の測定装置（ガスクロマトグラフィ装置）とで比較評価を行った．その結果，本開発装置による測定結果は，従来の大型装置による測定結果と正の高い相関が認められた（相関係数*13 R=0.96）（**図4**）．これは，ユーザ自身が脂肪燃焼状況の傾向や目安を簡易的に把握する用途を想定すると，実用に耐えうるレベルである．本開発装置は，従来の大型装置に近い性能でありながら，

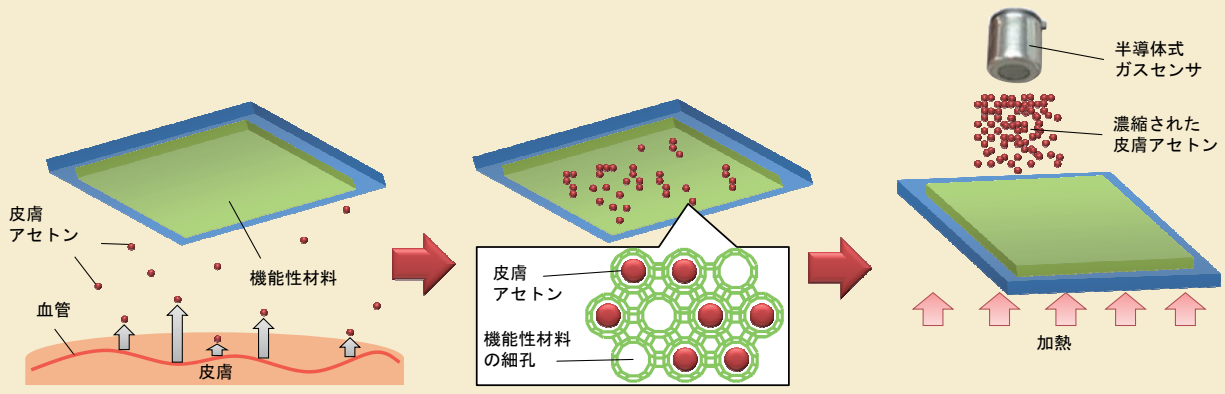


図2　濃縮測定機構

図3　皮膚アセトン測定結果の表示例

*11 **Bluetooth®**：免許申請や使用登録の不要な2.4GHz帯の電波を使った近距離無線通信規格の1つ（IEEE 802.15.1）．米国Bluetooth SIG Inc.の登録商標．

*12 **GUI**：操作や表示の対象が絵で表現され，直感的な操作や視認性に優れるインタフェース．

*13 **相関係数**：2つの変数の間の類似性の度合いを示す統計学的指標．1に近いほど類似性が高く，0に近いほど類似性が低い．

小型・軽量化に成功したと言える．

5. サービス展開例

(1)ダイエット支援

ダイエットへの関心が高いユーザやメタボリック症候群が気になるユーザが，自宅や職場などで日常的に利用する例が考えられる．具体的には，各人の代謝特性を踏まえ，食事や運動に適したタイミング，お薦めの食事メニューや食事量，適正な運動量や運動負荷といった情報をダイエット支援プログラムとして提供できる可能性がある（**図5**）．開発装置を1日身に着けて生活した場合の測定結果例を**図6**に示す．図6より，皮膚アセトンの放出量は1日の中でも変動していることが分かる．例えば，昼食前の皮膚アセトン放出量が少ない時は，体脂肪があまり燃焼しておらず，体内には糖分が豊富に残存しているものと推定される．そのような場合に多めの食事を摂ると太ってしまうため，軽食を勧めたり，炭水化物の摂取量を控え目にしたりするようアドバイスを行う．逆に，皮膚アセトンの放出量が極めて多い場合は，無理な食事制限を行っている可能性があり，過度なダイエットに注意を促すアドバイスを行う．別の使用例としては，運動の前後で皮膚アセトンの放出量を確認・比較し，実施した運動が体脂肪の燃焼に効果があったか否かを判定する．図6は運動の成功例を示しているが，運動前後の皮膚アセトン放出量に顕著な変化が見られない場合は，実施した運動の負荷が低いか，運動の時間が短いことが原因であると推定され，各人に合った運動負荷や運動時

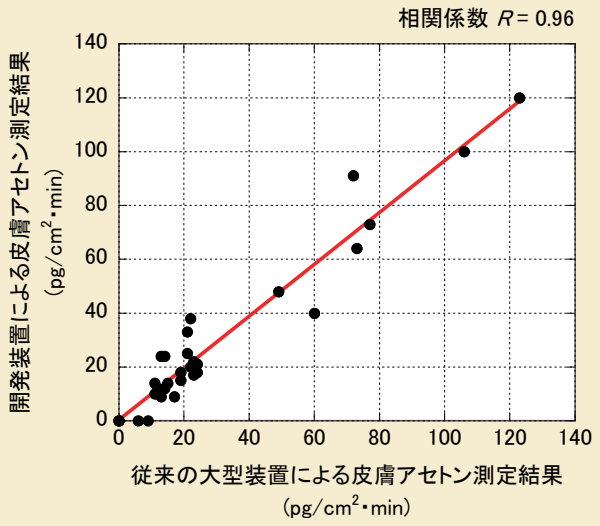


図4　皮膚アセトンの測定結果の比較

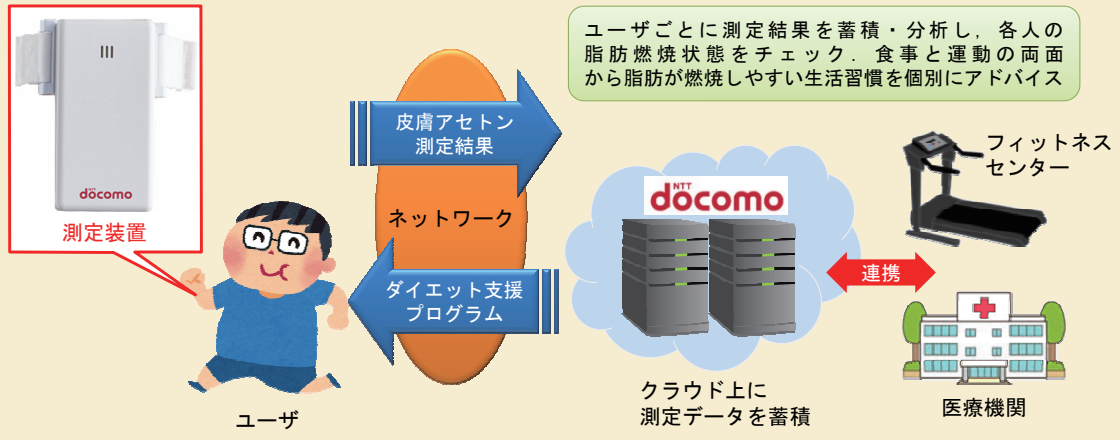


図5　ウェアラブル皮膚アセトン測定装置を用いたサービス展開例

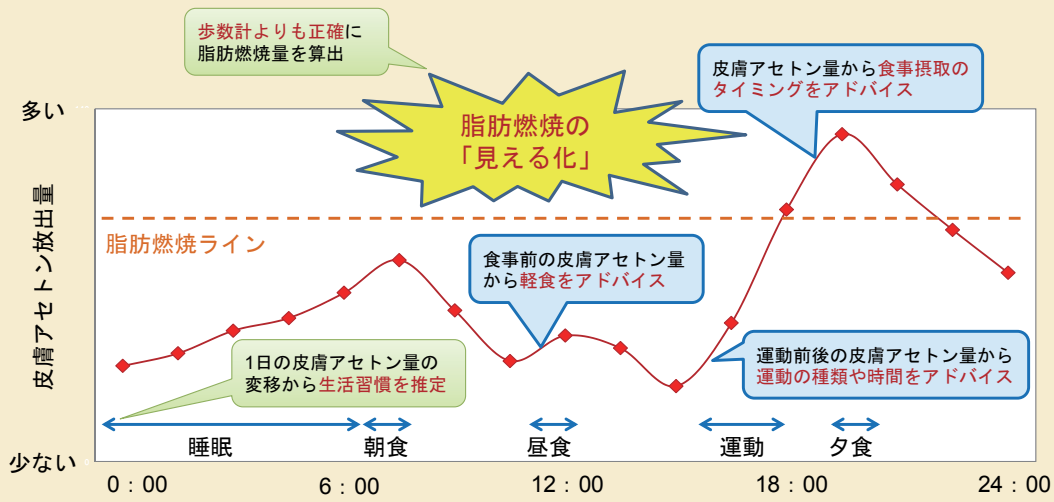


図6　皮膚アセトン放出量の測定結果と生活習慣改善に向けたアドバイスの例

間になるまで段階的に調整することを勧めるアドバイスを行う．

⑵高齢者の見守り支援

高齢者の介護や食事管理などでの利用が考えられる．高齢になると，極端に食事摂取量が低下したり，食事の摂取そのものを忘れてしまったりして，知らず知らずのうちに栄養失調に陥ることがある．このような場合には，皮膚アセトンの放出量は極めて高くなる．日常的に皮膚アセトン放出量を測定することで，食事がしっかり摂れているかを客観的に判断することができる．また，そのデータを家族や介護者と共有するといった，安心・安全分野での利用も期待される．

⑶糖尿病患者・予備軍への支援

糖尿病を患っているユーザとその予備軍による利用が考えられる．糖尿病と診断されると，まず食事による治療が試みられ，症状に改善がみられない場合などには，経口薬やインスリン注射による治療が行われるが，治療によるコントロールが有効に働いていない場合などでは，皮膚アセトンの放出量が高くなる傾向があり，糖尿病の診断や経過観察を行う上で1つの指標となる可能性がある．特に，外来患者の在宅での測定や，入院患者のベッドサイドでの測定など，これまで測定が困難であった場面での利用が期待される．

6.　あとがき

本稿では「バイオチップ携帯」の実現に向けた開発例として，身に着けるだけで体脂肪燃焼状況を「見える化」できるウェアラブル皮膚アセトン測定装置を紹介した．開発装置は，独自の濃縮測定機構を実装しており，従来の大型装置に近い性能でありながら，大幅な小型・軽量化を実現した世界初の測定装置である．

開発装置の測定機構をウォッチ型やインナーウェア型など，さまざまな形態のウェアラブル機器に組み込めば，ユーザの代謝特性に合わせたダイエット支援プログラムなどをより自然な形で提供することが可能となる．

今後も引き続き「バイオチップ携帯」の研究開発をすすめ，アセトン以外のガス成分などを総合的に分析可能な測定装置の開発を行っていく．そして，予防医療サービスの実現や，国民医療費の高騰といった社会問題の解決に取り組むなど，医療・健康分野での新たな価値創造に貢献していく．

文　献

[1]　厚生労働省：“平成24年度　国民医療費の概況．”
http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-iryohi/12/

[2]　総務省：“情報通信白書平成25年度版．”
http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h25/pdf/index.html

[3] 檜山，ほか：“分子通信の実現に向けた分子伝送技術，”本誌，Vol.16, No.3, pp.47-50, Sep. 2008.

[4] 山田，ほか：“「バイオチップ携帯」の実現に向けた呼気アセトン計測装置の開発，”本誌，Vol.20, No.1, pp.49-54, Apr. 2012.

[5] T. Toyooka, S. Hiyama and Y. Yamada: “A Prototype Portable Breath Acetone Analyzer for Monitoring Fat Loss,” J. Breath Res., Vol.7, No.3, 036005, 2013.

[6] NTTドコモ報道発表資料：“CEATEC JAPAN 2014への出展について，”Sep. 2014. http://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2014/09/18_00.html

[7] T. Tsuda, T. Ohkuwa and H. Itoh: “Findings of Skin Gases and Their Possibilities in Healthcare Monitoring,” Gas Biology Research in Clinical Practice. Baserl, Karger, pp.125-132, 2011.

[8] Y. Sekine, S. Toyooka and S. Watts: “Determination of Acetaldehyde and Acetone Emanating from Human Skin Using a Passive Flux Sampler — HPLC System,” J. Chromatography B, Vol.859, No.2, pp.201-207, 2007.

[9] C. Turner, B. Parekh, C. Walton, P. Spanel, D. Smith and M. Evans: “An Exploratory Comparative Study of Volatile Compounds in Exhaled Breath and Emitted by Skin Using Selected Ion Flow Tube Mass Spectrometry,” Rapid Commun. Mass Spectrom., Vol.22, No.4, pp.526-532, 2008.

グリーン基地局　電力融通　発電予測

Collaboration Projects

コスト削減と災害対策を両立するグリーン基地局向け電力制御技術

ドコモでは環境に優しく災害に強いグリーン基地局の展開を進めており，課題としてコスト削減と災害対策の両立が求められている．そこで，2016年予定の電力小売市場自由化を見据えた複数局間での予測制御および連携制御技術を考案し，グリーン基地局の電力使用効率最大化や蓄電池コスト削減，および，バックアップ時間の確保を実現した．なお，本研究は早稲田大学大学院 先進理工学研究科若尾研究室（若尾真治教授）との共同研究により実施した．

先進技術研究所　額田（ぬかだ） 一利（かずとし）　高畑（たかはた） 実（みのる）
松岡（まつおか） 保静（ほうせい）†　田村（たむら） 隆幸（たかゆき）

1. まえがき

現在，世界中でエネルギー問題が注目を集めている．国内では東日本大震災による停電被害が起こり，延べ停電軒数は東北電力で約466万軒，東京電力で約405万軒と大規模になり，エネルギー安定供給の脆弱性を露見させた[1]．ドコモでも震災発生時は基地局のバッテリ枯渇によって通信途絶が発生しており，災害時のエネルギー対策は重要な課題の1つとなった．

また，直近では2016年の電力小売市場自由化に備えた動きも見られており，例えば各電力会社は消費者のさまざまな生活パターンを想定した多様な電気料金プランを提供し始めている．また，スマートメータ*1設置などの背景により，料金単価の高い昼の電力使用量が多いとわかった場合，適切な電気料金プランに変更して電気料金を削減するといった，従来以上に利用者側の工夫が求められる世の中に変わりつつある．

このようにエネルギーをめぐる社会情勢が変化する中，ドコモグループの消費電力は2013年度におよそ29億kWh/年に達し，コスト削減やCO_2削減の観点から，環境・エネルギー問題は重要な経営課題となった．そのためドコモでは，自然エネルギーを活用し，災害に強く，環境に優しい無線基地局用エネルギーシステムの研究開発を進めている．大容量リチウムイオン蓄電池（以下，蓄電池）と太陽電池（以下，PV：PhotoVoltaics）パネルを備えたグリーン基地局はその一環であり，蓄電池あるいはPVのみの運用が状況によって可能となる．グリーン基地局の装置構成を**図1**に示す．

グリーン基地局は，昼間にPVで発電した余剰電力を蓄電池に蓄えたり，電気料金単価が安い夜間に蓄電池を充電して日中の商用電力削減のため蓄電池から放電したりといった，エネルギーの有効活用を実現する[2][3]．PVと夜間電力を活用した制御および蓄電池充電率（SOC：State Of Charge）の例を**図2**に示す．

グリーン基地局の有効性と信頼性を立証するため，現在までに関東甲信越地域にフィールド試験局として10局を設置済みであり，その実績から，全国に商用局としてのグリーン基地局を11局設置し，全国展開を開始した．

このような特徴を持つグリーン基地局の導入展開を進めるためには2つの主要な課題が存在する．

1つめの課題はコストである．既存基地局をグリーン基地局化するに

©2015 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます．

†　現在，サービスイノベーション部

*1　スマートメータ：電力の使用状況をリアルタイムに計測し，見える化するための装置．

は，災害直後の高トラフィック時間帯を6時間以上カバーするバックアップ能力を持つ蓄電池，十分な発電能力のPV，効率的な電力制御を可能とする電力コントローラを設置するため，追加のイニシャルコストが発生する．よって，グリーン基地局では電力制御をさらに高効率化させ，既存基地局以上のランニングコスト削減が必要である．

2つめの課題は災害対策である．前述したように，グリーン基地局はPVと蓄電池を備えており，環境面での配慮に加え，コスト面での費用対効果を高めるため，これまで破棄していたPV発電の余剰電力や夜間電力を蓄電池に充放電することで，日中使用する商用電力を削減している．だが，放電は災害時のバックアップ時間を減少させることにもつながるため，蓄電池容量や放電量などを算出し，放電を必要最低限に抑える必要が生じる．

したがって，グリーン基地局の導

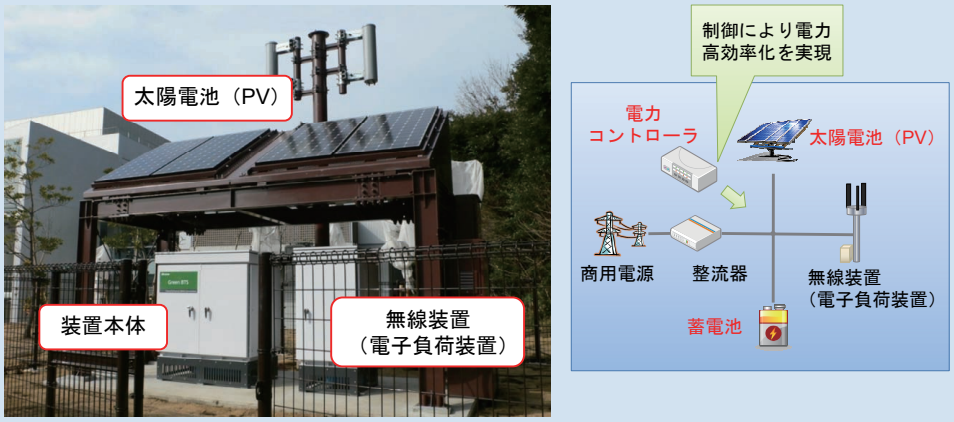


図1　グリーン基地局の装置構成

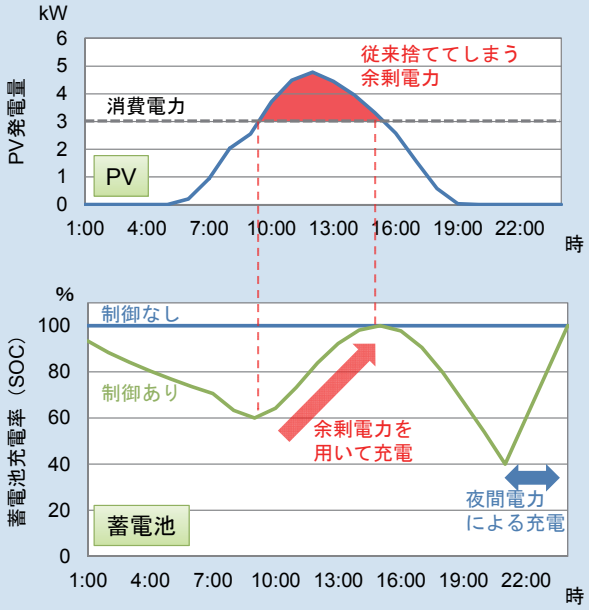


図2　PVと夜間電力を活用した制御およびSOCの例

入展開を進めるためには，コスト削減と災害対策をさらに向上させる手法の確立が必要である．本稿では，以上の2つの課題を解決するために実施した電力制御技術について解説する．

なお，本研究は早稲田大学大学院先進理工学研究科 若尾研究室（若尾真治教授）との共同研究により実施した．後述するように，本稿の課題解決には予測制御の活用が有効であることから，本研究においては気象庁GPV（Grid Point Value）データ*2，JIT（Just-in-Time）モデリング*3を用いて日射量予測を行う予測制御技術の確立について取り組んできた[4].

2. 電力制御最適化計算

2.1 多目的最適化

電力制御最適化においては，前述したようにトレードオフの関係にあるコストと災害対策の2つの課題を同時に解決する必要がある．本研究では多目的最適化計算による課題解決を検討した．

一般に最適化とは，1つの目的に対する最適化を意味することが多い．しかし，実社会に存在するさまざまな問題の多くは，複数の評価基準を同時に考慮する必要がある．このような問題に対処する手法として多目的最適化があり，この計算によって複数算出される解をパレート最適解と呼び，目的に合った制御を選択することが可能になる．

グリーン基地局に用いた場合の一例として，「蓄電池容量」と「電気料金」の2つを評価関数として計算したパレート最適解を**図3**に示す．図3のとおり，蓄電池容量を増やした場合，ランニングコストの電気料金は下がるがイニシャルコストの設置費用は上がる．蓄電池容量を下げた場合，電気料金は上がるが設置費用は下がる．このようなパレート最適解が数多く存在し，その中から「電気料金削減」を重視している解や「電池コスト削減」を重視している解など，状況に合わせた解を選択することが可能である．以下で具体的な計算条件について説明する．

2.2 評価関数および設計変数

今回は2つの課題を解決するため，「電気料金」と「耐災指標」の2つの評価関数を設定した．電気料金は電気料金単価と購入電力量の積とし，耐災指標は停電発生時の蓄電池での運用能力を指標化したものである．グリーン基地局の蓄電池容量と無線装置消費電力を考慮して評価する必要があるため，放電深度*4を最大バックアップ時間で除した値を用いて評価した．いずれの評価関数も値が小さいほど，優れた制御だと評価できる．また，電気料金と耐災指標の両面で最適な電力制御手法を算出するため，蓄電池の充放電量と他局

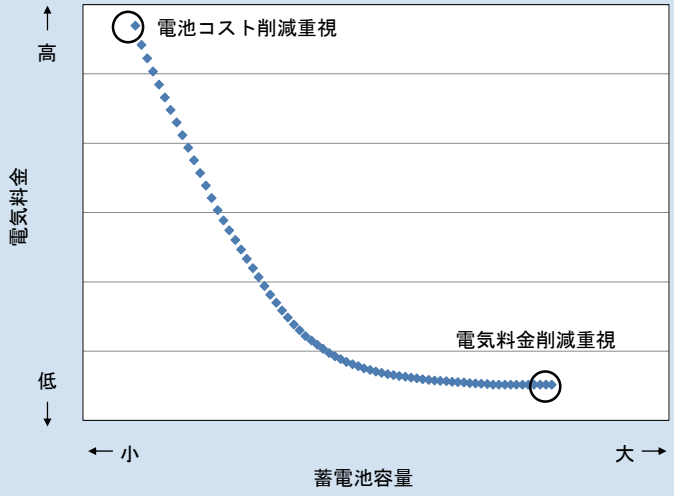


図3 パレート最適解の例

*2 **気象庁GPVデータ**：気象庁が提供している気象数値シミュレーションの格子点データ．

*3 **JITモデリング**：データベース中の近傍データを選択するブラックボックスモデリングの一種．

*4 **放電深度**：満充電したときに何％まで放電するかを表す指標．

に電力を送る電力融通量を変動させる設計変数*5をそれぞれ設定した．具体的には，発電予測を考慮した調整係数と，電力融通を考慮したSOCしきい値である．詳細については後述する．

2.3　その他の前提条件

計算の前提となるいくつかの条件について説明する．まず，充放電範囲は災害直後の高トラフィック時間帯をカバーするため，基地局バックアップ時間6時間を常に満たすこととした．また，グリーン基地局の装置条件は，実際に設置済みのフィールド試験局3局の装置仕様に基づき，PV発電についてはこの3局の実データを使用した．各局の装置条件を**表1**に示す．なお，電気料金は3局の設置場所にある該当電力会社の低圧電力を単価とした．

表1　フィールド試験局３局の仕様

	茨城局	長野局	新潟局
消費電力	1.2kW	2.3kW	1.0kW
蓄電池容量	40kWh	27kWh	9.3kWh
PV容量	2.0kW	3.0kW	4.5kW

3.　予測を用いた広域連携制御

3.1　予測制御

⑴概　要

実際に最適化計算を用いて電力制御を行う場合，不安定なPV発電を考慮する必要があるため，日射量予測技術を用いた発電予測が必要となる．また，放電量の制御について検討を行ったところ，余剰電力発生の直前に蓄電池から同量だけ放電する簡便な制御手法であるPDESP（Prior Discharge Equivalent to Surplus PV power）の有効性を確認できた[5]．しかし，コスト削減と災害対策の両方の課題解決に有効であるPDESPも，あくまで発電量の予測値を用いて制御するため，どうしても予測誤差の影響を受けてしまう．そのため，予測誤差を考慮した模擬的な予測値を使用して，誤差影響を最小限に抑える最適化計算を検討した．

⑵予測誤差への対応

予測誤差の影響として，余剰電力を過大予測した場合，充電可能量以上の放電をして低SOCに陥る可能性があるため，災害対策であるバックアップ時間が減少してしまう．また，過小予測した場合，余剰電力をすべて吸収しきるには蓄電池の空き容量が不足し，電力破棄に伴いコストが上がってしまう．そこで，過大予測，過小予測のそれぞれについて対応を行った．

過大予測への対応として，設計変数に予測の調整係数を設定する手法を導入した．具体的には予測値に減少率をかけて，低SOCに陥るのを防ぐという手法である．これにより，コスト削減にはほとんど影響を出さずに，耐災指標を大きく改善することができた．

過小予測への対応としては，SOC基準値を設定する手法を導入した．満充電にならないように商用電源からの充電に上限（SOC基準値）を設けて，蓄電池に過小予測誤差分を吸収できるようにする手法である．これにより余剰電力の破棄量を削減することができた．

3.2　連携制御

ドコモではこれまでに単局での電力制御に取り組んできたが，さらに電力制御を高効率化させるべく，基地局間で電力融通を行う連携制御について検討を行った．連携制御とは，天候が悪くPV発電量が低い基地局に対して，余剰電力が発生している基地局が電力を融通するといった制御である．これにより，蓄電池設置容量や充放電回数の削減が可能なため，蓄電池コスト削減，蓄電池長寿命化，バックアップ時間向上が期待できる．今回は電力売買や託送*6を想定した電力融通制御について最適化計算を行った．

電力小売市場自由化を前提として電力託送について考えた場合，需要に対して余分な供給はできないため，逆潮流*7電力より購入電力が多くなる条件を設定した．また，電力売買の場合，売電価格が低下傾向にある近年の動向と連携制御効果の明確化のため，売電単価と買電単価を等しいと仮定した．単価は基地局ごとに該当する電力会社の料金に応じて算出したものを合計した．

また，連携制御は2種類のパターンで計算を行った．単局視点と広域

＊5　**設計変数**：評価関数を最適化するために変動させる，変更可能なパラメータ．

＊6　**託送**：電力会社の送配電網を利用して，発電した電力を他の場所へ供給すること．

＊7　**逆潮流**：発電した電力を商用の配電線網に流すこと．

視点である．単局視点は他局の発電状況と関係なく単局でPDESPを行い，予測誤差によって吸収しきれなかった余剰電力のみ融通するという手法である．一方，広域視点は他局の発電状況を把握しながら電力制御する手法である．この広域視点制御を実現するために，最適化計算の設計変数にSOCしきい値を追加した．これまで，単局視点の場合，優先的に自局を満充電にしていたが，SOCしきい値を設定することにより，自局をSOCしきい値まで充電した後はPV発電量の少ない局やバックアップ時間の少ない局に優先的に電力融通する．つまり，充電しすぎて融通を受け取れなかったり，自局で余剰電力を消費しきるために限界まで放電するような状況を回避したりできる．

4. 電力制御計算結果

最適化計算結果を**図4**に示す．軸が評価関数を示しており，縦軸が耐災指標，横軸が電気料金を示している．なお，このグラフは表1で示した3つの基地局8カ月間合計の計算結果である．3種類の制御手法で最適化計算を行っており，1つめは電力融通を行わない単局における電力制御（図4（A））である．なお，（A）の耐災指標0の結果については充放電を全く行わないことを示しているので，制御なしの結果となる．2つめは単局視点の電力融通ありの制御（図4（B）），3つめは広域視点の電力融通ありの制御（図4（C））である．

まず（A）の計算結果から，予測制御により電気料金を削減できていることがわかる．さらに（B）と（C）の計算結果から，電力融通によって電気料金が下がり（図4①），広域視点にすることによって電気料金削減に加えて耐災指標が改善（図4②）していることがわかる．このように広域視点の連携制御により，従来制御に比べてさらなるコスト削減と災害対策向上の可能性を示した．

制御なしの場合と，この3種類の制御（図4（A，B，C））の効果が大きく表れている耐災指標1.5付近の電気料金，出力抑制量，自活率を示した結果を**図5**に示す．出力抑制量とは活用できなかった余剰電力量のことを指している．また，自活率は消費電力を発電で賄えた割合である．これは，バックアップと余剰電力活用を両立させるには蓄電池容量が不足している局と，比較的蓄電池

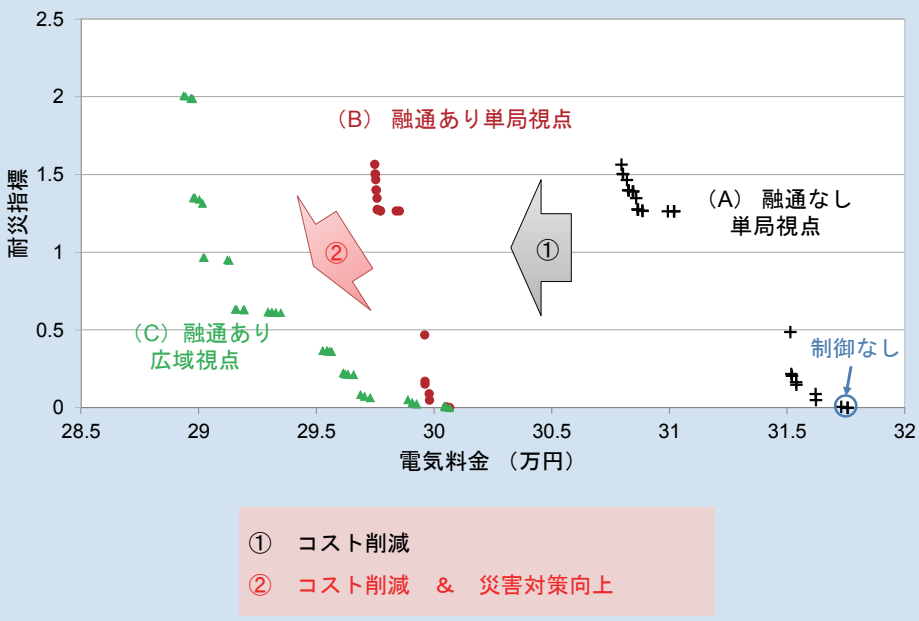


図4 最適化計算結果

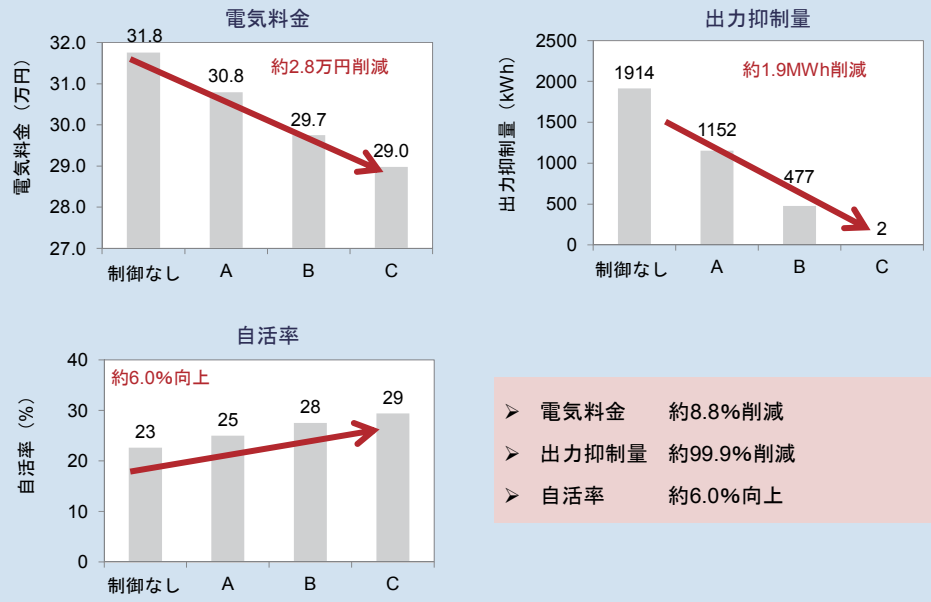


図5　3局8カ月分の結果比較（耐災指標1.5付近）

容量が大きい局それぞれの充放電電力をうまく配分して得られた結果である．つまり，電力融通と広域視点運用を導入することにより，単局制御で活用しきれなかった余剰電力を他局で活用できることを示している．3局8カ月における制御なしと広域連携制御を比べると，電気料金は約8.8％，出力抑制量は約99.9％の削減，自活率は約6.0％向上できる結果となった．全体として放電深度を浅くすることができるため，適切な制御により蓄電池劣化を抑制し，蓄電池更改の頻度やコスト削減につながることも期待できる．さらに商用電力削減にもつながり，環境負荷の低減も期待できる．

5. あとがき

本稿では多目的最適化計算による電力制御を用いた，グリーン基地局のコスト削減と災害対策の両立について解説した．本制御技術の導入により，電気料金削減や自活率向上だけでなく，蓄電池利用の大幅な効率化が期待できる．今後は多様化する電気料金プランに対応できる新たな制御手法についても研究開発を進めていく．また，本制御技術は，将来の移動通信システムの実現に不可欠な小型基地局にも対応する必要があるが，その場合，従来に比べて蓄電池容量を大幅に削減できる可能性がある．今後はさまざまな種類の基地局導入に向けて研究開発を進めていく予定である．

文　献

[1] 東京電力株式会社：“東北地方太平洋沖地震に伴う電気設備の停電復旧記録”，東京電力ホームページ，Mar. 2013.

[2] K. Nukada, T. Tamura and M. Takahata : “Energy Control Optimization of Green Base Stations to Reduce Disaster Risk and Energy Cost Based on PV Power Production Forecasts,” WCPEC-6, 8WePo.8.25, Nov. 2014.

[3] 小宮，ほか：“環境に優しく災害に強いグリーン基地局用試験システムの開発，” 本誌，Vol.21，No.1，pp.34-39, Apr. 2013.

[4] 鈴木 孝宣，後藤 悠主，寺園 隆宏，若尾 真治，大関 崇：“Just-In-Time Modelingに基づく日射量予測手法の開発，” 電気学会論文誌B，Vol.131, No.11, pp.912-919, Nov. 2011.

[5] Y. Hara, T. Yamazaki, S. Wakao, K. Nukada, T. Tamura and M. Takahata : “Robust Battery Operation of Green Base Stations Considering Forecast of PV Output,” WCPEC-6, 8WePo.8.22, Nov. 2014.

VoLTE　S8HR　ローミング

Standardization

VoLTEローミング・最新標準化動向　―S8HR方式概要―

VoLTEローミングの新方式「S8HR」を標準化の候補として新たに検討を進めることが，業界団体GSMAにおいて合意された．S8HRは従来方式と違い在圏網にIMS装置が不要となるため，より短い時間で実装でき，各種音声サービスを在圏網側の能力に依存せず提供できるというメリットがある．本稿では，S8HR方式の技術的特長，基本呼制御の概要，技術課題の実証実験，標準化完成に向けた今後の課題について解説する．

ネットワーク開発部　阿部 元洋（あべ もとひろ）　田中 威津馬（たなか いつま）　磯部 慎一（いそべ しんいち）

1. まえがき

VoLTEは，従来3Gで実現されていた音声およびSMSサービスを，回線交換機能を有さないLTE上で提供するための技術であり[1] [2]，3GPP（3rd Generation Partnership Project）標準技術のIMS（IP Multimedia Subsystem）*1を用いることにより実現している．

3GPPおよびGSMA（GSM Association）*2では，従来よりVoLTEローミング方式の仕様が存在していた[3]．しかし今回，インターネット系VoIPサービスとの競合などビジネス環境の変化を踏まえ，世界中で同一のユーザ体験を提供できるローミングサービスをより早く実装できる方式を提供するべくGSMAにて再検討を行い，新方式であるS8HR（S8 Home Routed）がVoLTEローミング方式標準化の候補として認められるに至った[4]．

本稿ではS8HR方式の技術的特長，基本的な呼制御，技術課題の実証実験および標準化の最新動向を解説する．

2. S8HR方式の技術的特長

S8HR方式のアーキテクチャを**図1**に示す．S8HRは，VoLTE Profile GSMA IR.92 [5]で規定されるVoLTE対応端末を用い，LTEデータローミングの基盤上でVoLTEローミングを提供することを特長とする．具体的には以下の3つである．

①IMS用のベアラ*3はLTEデータローミングと同様にS8参照点上に設定される．

②IMS制御装置（CSCF：Call Session Control Function*4など）はホーム網に存在する．そのため，VoLTEローミング呼にかかわる制御信号および音声データは常にホーム網を経由する．

③IMSの通信は端末とホーム網のP-CSCF*5との間で直接接続する．そのため在圏網および中継網はIMS制御信号などに基づくサービス種別を意識しない．サービス種別はAPN（Access Point Name）*6およびサービスに紐づけられるQoS*7レベルで特定する．

以上の特長により，ホーム網の

©2015 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます．

*1 **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呼制御通信方式．

*2 **GSMA**：ローミングルールの策定をはじめとした，さまざまなモバイル業界の活動を支援・運営する，世界最大の移動通信関連の業界団体．移動通信事業者と中継事業者や端末・装置ベンダ，ソフトウェアベンダなどの関連企業が参加している．

*3 **ベアラ**：PGWとSGWとの間などで設定される論理的なパケット伝達経路．

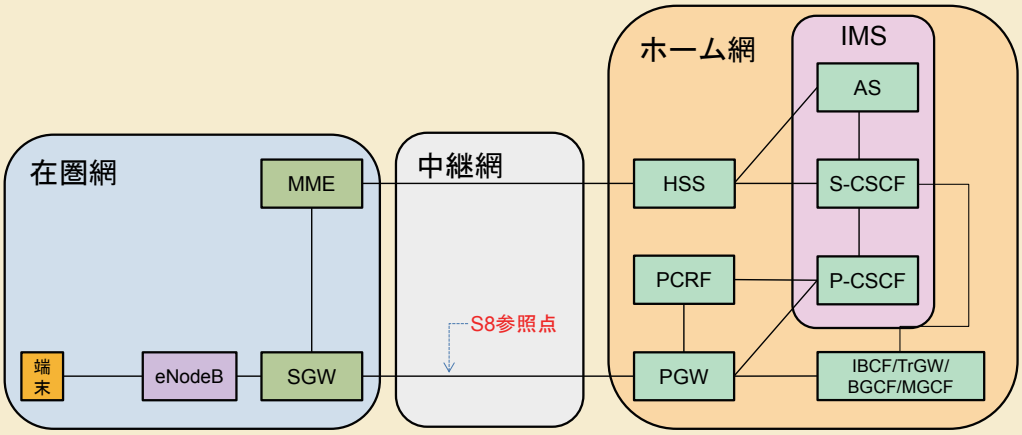


図1　S8HRアーキテクチャ

能力のみで全サービスが提供可能となり，在圏網の機能追加を最小化できる．その結果，より短い導入期間でのVoLTEローミング実現が可能となる．なお，図1中の「IBCF（Interconnection Border Control Function）」などの装置は，他網と相互接続する際に用いられる装置である．

3. S8HR呼制御手順概要

3.1　アタッチ手順

図2にS8HR方式利用時のアタッチ*8手順を示す．

手順①で端末がアタッチ要求信号（Attach Request）を送信してから手順③のUpdate Location Requestまでは，通常のLTEデータローミングのアタッチ手順との差分はない．

手順④にてHSS（Home Subscriber Server）*9はMME（Mobility Management Entity）*10に対しUpdate Location Answer信号を送信する．その際，MMEがホーム網のPGW*11を必ず選択するよう，信号に含まれるSubscribed Data内のAPNに対応づけられる情報要素「VPLMN Dynamic Address Allowed」の値を「(0) not allowed」に設定する必要がある．上記の設定により，IMS用ベアラ設定に際し，MMEはホーム網のPGWを選択することができる（手順⑤）．

手順⑥でSGW*12とPGW間でSIP*13用ベアラ（QCI*14＝5）を設定したのち，手順⑦において，MMEはS8HRによるVoLTEローミング協定があるかどうかの内部設定に基づき，端末側にVoLTE利用可能を示す情報要素「IMS Voice over PS Session Supported Indication」を設定したAttach Accept信号を送信する．

3.2　IMS呼制御手順

アタッチ完了後，端末はIMS利用登録（IMS Registration*15）手順を実施する．S8HR構成時におけるIMS Registrationの処理手順に変更はなく，非ローミング時のVoLTEの呼処理手順と同様となる．

さらに，IMS Registration完了後についても，音声やビデオコール，SMSのサービス種別によら

＊4　**CSCF**：VoIPのセッション制御を行うノード．
＊5　**P-CSCF**：EPCとの接続点に配置されるSIP中継サーバで，SIP転送だけでなく，EPCと連携しQoS制御を起動させる役割を担う．
＊6　**APN**：ネットワーク接続によりデータ通信を行う際，接続先として設定するアドレス名．
＊7　**QoS**：通信の目的に応じて最適な帯域を確保し，その通信に求められる通信品質を保証する技術．
＊8　**アタッチ**：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．
＊9　**HSS**：3GPP移動通信ネットワーク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．
＊10　**MME**：基地局（eNodeB）を収容し，モビリティ制御などを提供する論理ノード．
＊11　**PGW**：IMS基盤との接続点であり，IPアドレスの割当てや，SGWへのパケット転送などを行うゲートウェイ．

Standardization

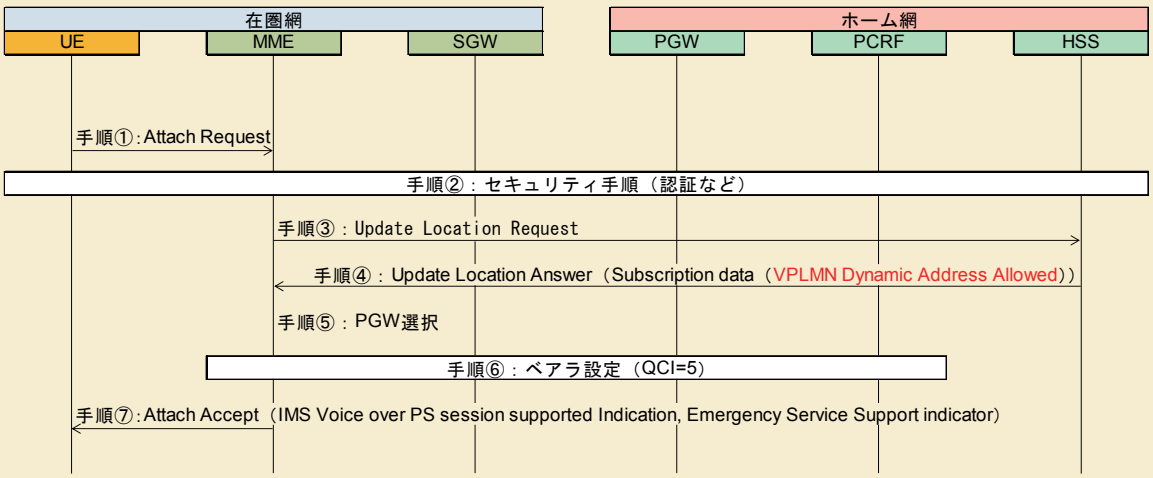


図2　S8HRアタッチ手順

ず，非ローミング時の発着信処理手順と同様となる．

3.3　緊急通報

3GPP標準上，ローミング時の緊急通報は，在圏網が位置する国の緊急機関に接続する必要がある（**図3**）．そのため，呼のルーチングは在圏網内で完結させる必要がある．

本方式では以下の2つのうちいずれかの対応により，緊急通報の提供が可能である．

①CSFB（CS FallBack）＊16による緊急呼接続

②LTEネットワーク上でのIMS緊急呼接続

どちらの緊急呼方式を使うかは，アタッチ手順でMMEから通知される在圏網の能力に基づき端末が決定する．

図2の手順⑦（Attach Accept）にて，IMS緊急呼利用可を示す情報要素（Emergency Service Support Indicator）を端末が受信していた場合は，IMSの緊急呼をLTEネットワーク上で行う．

上記情報要素を受信していない場合，かつ端末がCSFBのためのコンバイン位置登録＊17が完了している場合は，CSFBを用いて2G/3Gネットワーク上で回線交換による緊急呼接続を実施する．

IMS緊急呼の場合，ユーザ認証を行うためのEmergency Registration手順が必要である（図3手順1）．Emergency Registration手順では，在圏網のP-CSCFとホーム網のS-CSCF＊18の間でIMSレイヤの接続が必要となる．

ただし，何らかの理由でEmergency Registration手順が成功しなかった場合には，S-CSCFにて認証できていない旨を示す「Anonymous」情報要素を発信要求信号（INVITE＊19）に追加し再発信を行う．この手順も3GPP標準上規定されている[6]．

4.　音声品質確認のための実証実験

前述のとおり，S8HR方式ではすべての呼がホーム網を経由する．この要因による伝送遅延など音声品質への影響を確かめるため，GSMAの立会いのもと，ドコモ，

＊12 **SGW**：3GPPアクセスシステムを収容する在圏パケットゲートウェイ．

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

＊14 **QCI**：3GPPで規定されている，LTE/EPCにおけるベアラのQoSクラスのこと．1～9の値があり，数字が若いほど，帯域保障・低遅延を示す．

＊15 **Registration**：IMSにおいて，SIPを用いて移動端末が現在の位置情報をHSSに登録すること．

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

＊17 **コンバイン位置登録**：LTE上の端末がCSFBによる音声サービスを利用するためにEPCと回線交換システムの両方に対して行う位置登録手順．

＊18 **S-CSCF**：端末のセッション制御，およびユーザ認証を行うSIPサーバ．

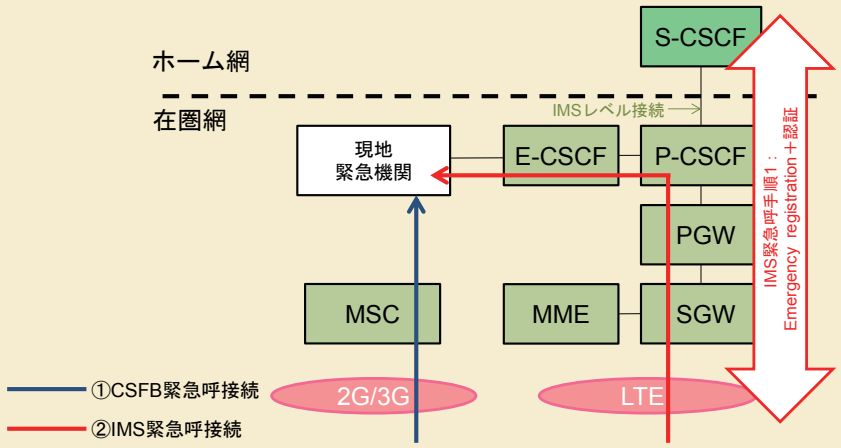


図3　S8HR緊急呼接続方式

韓国KT，米Verizon Wirelessの実証実験[7]をはじめとする各国の通信事業者各社で音声およびビデオコール発着信の実証実験が行われた．

ドコモは，商用のネットワークと同じ環境で実験し，その結果，S8HR方式のVoLTEローミング接続は従来の3Gネットワークを利用したローミング接続の音声品質と比較して，長距離間通信においても優れた品質であることを実証した．

それぞれの実証実験の結果は，GSMAでの標準化の判断基準として使われる見込みであり，今後さらに多くの企業による実証実験への参加が期待される．

5. あとがき

本稿では，S8HR方式によるVoLTEローミング技術の特長および制御の概要，実証実験，標準化について解説した．

従来の方式とS8HR方式のどちらが業界の大勢を占めるかはまだ定まっておらず，GSMAと3GPPでの技術検討，および各社による実証実験に基づく議論が今後も続く見込みである．

ドコモは，3GPPおよびGSMAの両団体で，本アーキテクチャ規定の検討に議長などの立場から大きく寄与してきた．今後も，VoLTEローミングの世界的な発展・普及に寄与すべく，標準仕様の合意に向けてさらなる貢献を続けていく．

文　献

[1] 田中，ほか：“VoLTE Profileの標準化概要，”本誌，Vol.19，No.4，pp.45-50，Jan. 2012.
[2] 徳永，ほか：“新たなサービスを実現するVoLTEの開発，”本誌，Vol.22，No.2，pp.7-23，Jul. 2014.
[3] 田中，ほか：“VoLTEローミング・相互接続の標準技術，”本誌，Vol.21，No.2，pp.35-39，Jul. 2013.
[4] 3GPP SP-150139: “LS on VoLTE Roaming Architecture,” Feb. 2015.
[5] GSMA PRD IR.92: “IMS Profile for Voice and SMS,” Apr. 2015.
[6] 3GPP TS23.167: “IP Multimedia Subsystem (IMS) emergency sessions,” Jun. 2014.
[7] NTTドコモ報道発表資料：“国内の通信事業者として初めてVoLTEによる国際ローミングの実証実験に成功，”Feb. 2015. https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2015/02/26_00.html

＊19 INVITE：SIPの信号の1つであり，接続要求を行うための信号．

News

平成27年度科学技術分野の文部科学大臣表彰「科学技術賞（開発部門）」受賞

2015年4月15日に行われた平成27年度科学技術分野の文部科学大臣表彰において，コンテンツビジネス推進部の大矢 智之氏†1，サービスイノベーション部の関野 公彦氏，プロダクト部の樋口 健氏†2の3名は，「ISDB-Tmm*1マルチメディア放送方式の開発」への功績により「科学技術賞（開発部門）」を受賞しました．文部科学大臣表彰とは，「科学技術に関する研究開発，理解増進等において顕著な成果を収めた者について，その功績を讃えることにより，科学技術に携わる者の意欲の向上を図り，もって我が国の科学技術水準の向上に寄与することを目的とする」もので，この中で科学技術賞（開発部門）とは，「我が国の社会経済，国民生活の発展向上等に寄与し，実際に利活用されている（今後利活用が期待されるものを含む）画期的な研究開発若しくは発明を行った者を対象」とするもので，文部科学大臣から授与されます．

ドコモからは，平成25年度に「S帯を用いる国内衛星移動通信システムの高度化に関する開発」，平成26年度には「標準化活動への貢献を含むLTEシステムの開発」により本賞を受賞しており，3年連続での受賞となります．

賞状

科学技術賞
開発部門
大矢智之殿
外二名

ISDB-Tmmマルチメディア放送方式の開発
本業績は平成二十七年度科学技術分野の
文部科学大臣表彰において審査の結果
我が国の科学技術の振興発展に顕著な
貢献をされたと認められましたのでこれを
賞します

平成二十七年 四月十五日
文部科学大臣 下村博文

地上波アナログTV放送が停波され，2012年4月よりその周波数跡地V-HIGH帯（207.5～222MHz）を用いた新しい携帯端末向けマルチメディア放送が開始されることとなり，技術的課題を解決する必要がありました．本開発では，伝送効率が高く携帯端末向けに低消費電力で動作する蓄積型放送技術，通信波と放送波の両方を利用した，セキュリティの高いライセンス管理技術，共通プラットフォームを用いたスマートフォン端末を実現しました．

これにより，放送設備構築や受信機開発が迅速に進み，地上波アナログTV放送が完全停波された直後から新しい商用サービスが開始され，すでに全都道府県で開局されています．対応するスマホ／タブレット受信機は57機種で約1500万台以上が出荷され（2015年3月末現在），2015年4月には，5つの新しい放送事業者が開局するなど，サービスが広く普及しました．

本成果によって，携帯端末向けに，高品質・高画質のリアルタイム型放送だけでなく，従来の放送にはない蓄積型放送や通信と放送の連携を可能とし，新聞・雑誌，電子書籍，ゲームなどのさまざまな形式のコンテンツを放送により提供する新たなサービスを実現しました．このように，貴重な周波数資源の有効活用に寄与していることが評価を受け，今回の受賞となりました．

†1 現在，株式会社mmbi出向中
†2 現在，北陸支社

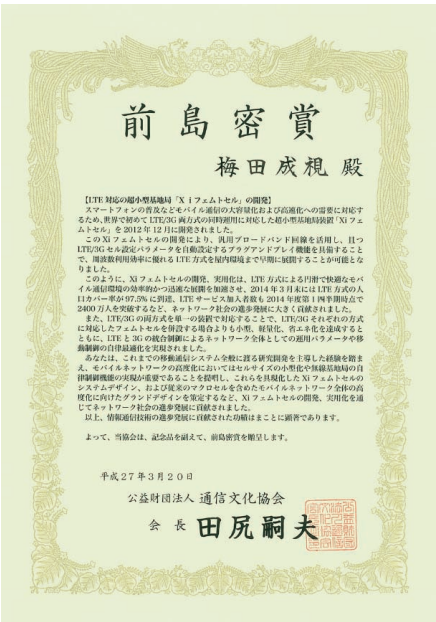
＊1 **ISDB-Tmm**：日本の携帯端末向けマルチメディア放送規格．携帯電話などによる移動受信を目的として地上デジタル放送規格であるISDB-Tをベースとして規格が策定された．

第60回「前島密賞」受賞

先進技術研究所の梅田 成視氏，無線アクセス開発部の河原 敏朗氏，福家 裕氏，イノベーション統括部の山田 武史氏，R&D戦略部の染谷 隆雄氏は，「LTE対応の超小型基地局『Xiフェムトセル』の開発」への功績が認められ，2015年3月20日に公益財団法人 通信文化協会より第60回「前島密賞」（研究開発）を受賞しました．

前島密賞とは，逓信事業の創始者「前島 密」氏の功績を記念し，情報通信および放送の進歩発展に著しい功績があった者に授与されるものです．ドコモは，昨年の「音声エージェントサービス『しゃべってコンシェル』の開発・実用化」に続いての受賞となりました．

受賞対象となった「LTE対応の超小型基地局『Xiフェムトセル』の開発」は，屋内エリアにおけるLTE方式の導入・展開の加速を目的に，世界で初めてLTE/3G両方式の同時運用に対応した超小型基地局であり，2012年12月より商用ネットワークへの全国導入を開始しました．



前島密賞

梅田成視 殿

【LTE対応の超小型基地局「Xiフェムトセル」の開発】

スマートフォンの普及などモバイル通信の大容量化および高速化への需要に対応するため，世界で初めてLTE/3G両方式の同時運用に対応した超小型基地局装置「Xiフェムトセル」を2012年12月に開発されました．

このXiフェムトセルの開発により，汎用ブロードバンド回線を活用し，且つLTE/3Gセル設定パラメータを自動設定するプラグアンドプレイ機能を具備することで，周波数利用効率に優れるLTE方式を屋内環境まで早期に展開することが可能となりました．

このように，Xiフェムトセルの開発，実用化は，LTE方式による円滑で快適なモバイル通信環境の効率的かつ迅速な展開を加速させ，2014年3月末にはLTE方式の人口カバー率が97.5%に到達，LTEサービス加入者数も2014年度第1四半期時点で2400万人を突破するなど，ネットワーク社会の進歩発展に大きく貢献されました．

また，LTE/3Gの両方式を単一の装置で対応することで，LTE/3Gそれぞれの方式に対応したフェムトセルを併設する場合よりも小型，軽量化，省エネ化を達成するとともに，LTEと3Gの統合制御によるネットワーク全体としての運用パラメータや移動制御の自律最適化を実現されました．

あなたは，これまでの移動通信システム全般に渡る研究開発を主導した経験を踏まえ，モバイルネットワークの高度化においてはセルサイズの小型化や無線基地局の自律制御機能の実現が重要であることを提唱し，これらを具現化したXiフェムトセルのシステムデザイン，および従来のマクロセルを含めたモバイルネットワーク全体の高度化に向けたグランドデザインを策定するなど，Xiフェムトセルの開発，実用化を通じてネットワーク社会の進歩発展に貢献されました．

以上，情報通信技術の進歩発展に貢献されたお働きまことに顕著であります．

よって，当協会は，記念品を副えて，前島密賞を贈呈します．

平成27年3月20日

公益財団法人 通信文化協会

会長 田尻嗣夫

「Xiフェムトセル」は，汎用ブロードバンド回線を活用し，かつ周辺のマクロセルなどと親和・協調し，無線ネットワーク全体として最適となるようXiフェムトセルの運用パラメータを自律的に調整するプラグアンドプレイ機能を具備することで，周波数利用効率に優れるLTE方式を屋内環境まで早期に展開しました．

また，LTE/3Gの両方式を単一の装置で対応することで，LTE/3Gそれぞれの方式に対応したフェムトセルを併設する場合よりも小型化，軽量化，省エネ化を達成するとともに，3G側セルとLTE側セルの両方を統合して制御することで，LTE/3G間の移行制御を高度化，音声通信時のLTEから3Gへの移行（CSFB：CS FallBack）や高速データ通信時の3GからLTEへの移行を最適化するなど，シームレスな無線ネットワークを実現しています．

以上のようにXiフェムトセルの開発は，円滑で快適なモバイル通信環境の効率的かつ迅速な展開を加速させ，ネットワーク社会の進歩発展に顕著な功績があったと認められ，今回の受賞となりました．

News

第43回日本ITU協会賞「功績賞」「国際活動奨励賞」受賞

2015年5月15日の「第47回世界情報社会・電気通信日のつどい」において，ネットワーク部の古川 憲志氏が一般社団法人日本ITU協会賞「功績賞」を受賞しました．功績賞は，世界情報社会サミットにおける基本宣言および行動計画の実現を含むITUの活動，または我が国のITU諸活動に貢献し，その他情報通信および放送の発展に寄与し，その功績が著しい者に贈られます．

また同日，先進技術研究所5G推進室の永田 聡氏，先進技術研究所の仲 信彦氏，無線アクセス開発部の梅田 大將氏が日本ITU協会賞「国際活動奨励賞 功績賞対象分野」を受賞しました．国際活動奨励賞は，功績賞および国際協力賞に該当する諸活動にすでに参加し，今後これらの領域において継続して寄与することが期待される者に贈られます．

古川氏は，1996年から長年にわたりITU-R（International Telecommunication Union-Radiocommunication sector）などにおいて，携帯電話（IMT：International Mobile Telecommunication），移動衛星に関する多くの標準化活動に貢献しており，特にWRC（World Radiocommunication Conference）*1での我が国への周波数割当て，IMT関連無線通信規則改定などに大きな貢献をしていることが認められ，功績賞を受賞しました．

永田氏は，3GPPにおけるLTE/LTE-Advanced標準仕様策定に対し，多くの技術提案をするとともに，RAN1 WG議長，副議長として，UMTS（Universal Mobile Telecommunications System）*2/LTE/LTE-Advanced無線アクセス技術仕様の策定に多大な貢献をしていることが認められ，国際活動奨励賞を受賞しました．

仲氏は，一貫して移動通信用音声・音響符号化の技術開発，標準化に貢献し，LTE向け音声サービスの拡大を予見して新たな標準化の方向を提唱，移動通信で超広帯域音声と音楽を同時に扱える符号化への要求仕様，選定・評価方法，圧縮技術など，多岐にわたって寄与したことが認められ，国際活動奨励賞を受賞しました．

梅田氏は，3GPPにおけるLTE/LTE-Advanced方式に関する仕様策定において，グローバルハーモナイズを考慮した無線仕様策定を多数実現するとともに，ラポータ*3を務め，仕様策定促進に多大な貢献を行っていることが認められ，国際活動奨励賞を受賞しました．

---

*1 **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．

*2 **UMTS**：第3世代移動通信システム．ドコモ採用のW-CDMA方式のほか，TD（Time Division）-CDMA方式などがある．

*3 **ラポータ**：例えば，LTEなどのWork Itemのような検討対象項目に対して，進捗の管理，議論のとりまとめ，議論結果をキャプチャしたテクニカルレポートのエディタなどを務める3GPPの役職．

情報処理学会「喜安記念業績賞」受賞

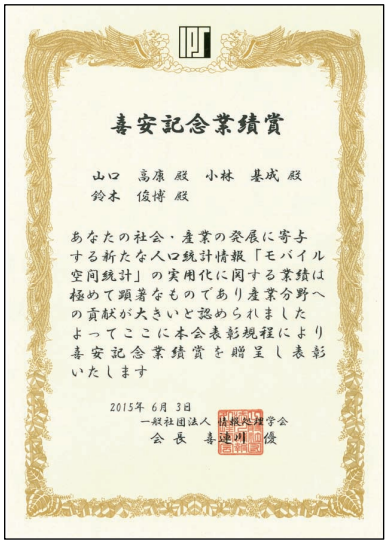
先進技術研究所の山口 高康氏，ビジネス基盤推進室の小林 基成氏，スマートライフ推進部の鈴木 俊博氏†の3氏は“社会・産業の発展に寄与する新たな人口統計情報「モバイル空間統計」の実用化”の業績により，2015年6月3日に一般社団法人情報処理学会から2014年度「喜安記念業績賞」を受賞しました．

喜安記念業績賞は，「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，その貢献者に贈呈されるものです．2013年には，ドコモは“音声エージェントサービス「しゃべってコンシェル」の開発”で2012年度「喜安記念業績賞」を受賞しています．

今回，受賞対象となった「モバイル空間統計」は，携帯電話の在圏情報などから推計された24時間×365日の日本全国の人口統計情報です．5年ごとに実施されている国勢調査を補完する画期的な統計情報として高く評価されています．また，さまざまな分野で実用化されており，具体的には，まちづくり分野では柏市商圏調査，防災計画分野では埼玉県帰宅困難者推計調査，観光分野では沖縄県外観光客調査など，政策の意思決定を支える新たな人口統計情報として，社会・産業の発展への貢献が評価されました．

また「モバイル空間統計」は，総務省研究会報告書や各種メディアなどでビッグデータの先行的な事例として紹介されており，携帯電話サービスのお客様にご安心頂けるよう，プライバシー保護の仕組みの導入や自主ガイドラインの公開など，有識者研究会の検討結果に基づく措置を通じて社会から受容されることにも成功している点が評価され，今回の受賞となりました．

† 現在，株式会社ドコモ・インサイトマーケティング出向中


喜安記念業績賞

山口 高康 殿 小林 基成 殿
鈴木 俊博 殿

あなたの社会・産業の発展に寄与する新たな人口統計情報「モバイル空間統計」の実用化に関する業績は極めて顕著なものであり産業分野への貢献が大きいと認められました
よってここに本会表彰規程により喜安記念業績賞を贈呈し表彰いたします

2015年 6月 3日
一般社団法人 情報処理学会
会 長 喜連川 優

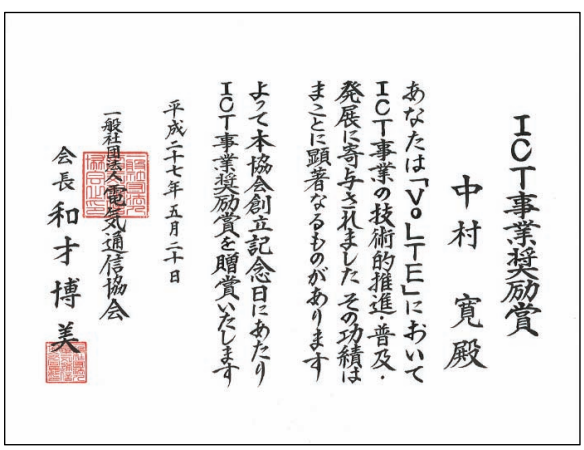
電気通信協会「ICT事業奨励賞」受賞

2015年5月20日に，R&D戦略部の中村 寛氏が「VoLTEの開発」への功績により「ICT事業奨励賞」を受賞しました．ICT事業奨励賞とは，ICT事業の技術的推進・普及・発展のために顕著な貢献をしており，中心的かつリーダー的役割を果たしている個人を対象に一般社団法人電気通信協会より授与されます．ドコモからは，平成25年度に「docomo LTE Xi（クロッシィ）」により中村 武宏氏が受賞しています．

本賞は，平成13年に始まった「ICT事業奨励特別賞」が，電気通信協会75周年（平成25年）を機に名称を「ICT事業奨励賞」として公募を開始し，受賞者数が拡大されたものです．前身の「ICT事業奨励特別賞」についてドコモは，第1回（平成13年）に，「iモード」により榎 啓一氏が受賞しています．

LTEは高速・大容量のデータ通信を実現する技術として広く普及していますが，音声通信は前世代の3Gを利用して提供されてきました．これに対してVoLTEはLTEを利用して音声通信を提供する技術であり，音声通信とデータ通信の両方をLTEで実現します．よってVoLTEの導入は，3Gに頼らない移動通信サービスを提供可能とし，3GからLTEへのシステム移行や周波数の有効利用に大きく貢献するものです．またVoLTEは高品質電話やビデオコールを用いた利用シーンが考えられ，音声通信の新たな市場拡大が期待できます．

中村氏は，このようなVoLTEの基盤であるLTEの標準化活動や開発に貢献し，さらにVoLTEにおいても，業界標準仕様の策定活動にて日本市場の要求条件を反映させるよう導くなど，LTEからVoLTEまで一貫して中心的役割を果たしてきました．また，ドコモにおけるVoLTE開発において，スマートフォン端末，無線アクセスネットワーク，コアネットワークすべてに関わる大規模開発プロジェクトを統括するリーダーとして指導力を発揮し，社会インフラの音声サービスとなるVoLTEを完成させ，安定した品質でお客様に提供していることは，事業的な貢献も極めて大きいものです．また，いち早くVoLTEの開発・導入を成し遂げたことで，ドコモはグローバルのVoLTE市場における先頭集団に属しており，日本の移動通信市場の発展においても大いに寄与したことが認められ，今回の受賞となりました．


ICT事業奨励賞

中村 寛殿

あなたは「VoLTE」において
ICT事業の技術的推進・普及・
発展に寄与されましたその功績は
まことに顕著なるものがあります
よって本協会創立記念日にあたり
ICT事業奨励賞を贈賞いたします

平成二十七年五月二十日

一般社団法人電気通信協会
会長 和才博美

NTT DOCOMO
テクニカル・ジャーナル　Vol.23　No.2

平成27年7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ー11ー1
山王パークタワー39階
TEL. 03-5156-1749

■ 発　　行 ■　一般社団法人 電気通信協会
〒163-1455
東京都新宿区西新宿 3ー20ー2
東京オペラシティタワー13階
（東京オペラシティ郵便局私書箱2522号）
TEL. 03-5353-0184

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会社名，商品名は，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．

© 2015 NTT DOCOMO, INC.