

# どこでも安定的な通信品質を実現する LTEフェムトセル基地局向け干渉制御技術の開発

森田 基樹 信清 貴宏 濱辺 孝二郎

## 要旨

モバイル通信サービスには安定的に利用できる信頼性が求められています。モバイル通信のデータトラヒック増加への対策として、屋外の広い範囲をカバーするマクロセル基地局に加え、屋内の狭い範囲をカバーするフェムトセル基地局を多数設置することが有効です。本稿では、フェムトセル基地局を高密度に設置しても、マクロセル基地局との電波干渉による通信品質の劣化を抑制する干渉制御技術として、フェムトセル基地局のデータトラヒックに応じて送信電力を制御し、通信速度を最大化する技術を紹介します。また、フェムトセル基地局の送信電力を個別に制御し、多量のデータを継続的に送受信するヘビーユーザーの影響を最小化する技術も紹介します。



モバイル通信／フェムトセル／マクロセル／電波干渉／送信電力制御／データトラヒック／ヘビーユーザー／LTE

## 1. まえがき

モバイル通信サービスは、人々の生活や企業活動に広く利用されるようになり、水道や電気などのライフラインと同様に重要性が増し、安定的に利用できる信頼性が求められるようになっています。そして、近年、モバイル通信の高速・大容量化を実現するLTE通信の普及が進み、モバイル通信サービスの利用者（ユーザー）が動画などの多量のデータを送受信するようになり、今後も更なるデータトラヒックの増加が予想されています。その対策として、モバイル通信を支える無線アクセスネットワークにおいては、屋外の広い範囲をカバーするマクロセル基地局（以下、マクロ基地局）に加え、屋内の狭い範囲をカバーするフェムトセル基地局（以下、フェムト基地局）を、多くの人々がモバイル通信サービスを利用する住居やオフィスなどに設置することが有効と考えられています。

しかし、データトラヒック増加に備えて、フェムト基地局を多数設置すると、図1のように、高密度に設置したフェムト基地局の電波が、マクロ基地局の電波と干渉することにより、場所によっては通信品質（つながりやすさや通信速度）が低下する可能性があります。また、一部の利用者が多量のデータを継続的に送受信することで、通信品質の低下が継続的

に発生し、モバイル通信サービスを安定的に利用できなくなる可能性があります。このためデータトラヒックが大きく増加する将来においても、モバイル通信サービスをどこでも安定的に利用できるようにすることは、社会的課題と考えられます。

本稿では、この社会的課題を解決するために開発したフェムト基地局の干渉制御技術として、第2章で、データトラヒックが大きく増加しても、電波干渉による通信速度の低下を抑制できる技術を説明します。また、第3章で、多量の

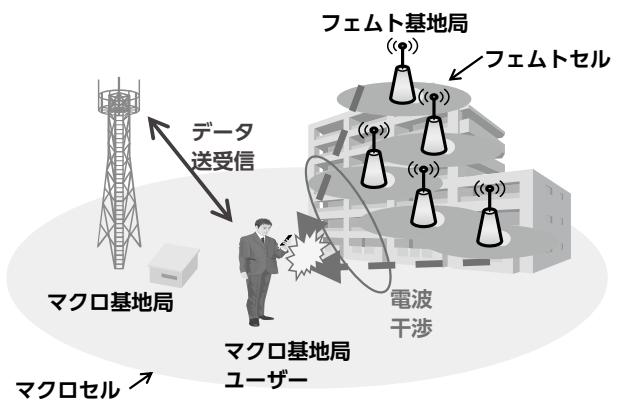


図1 フェムトセルとマクロセル間の電波干渉

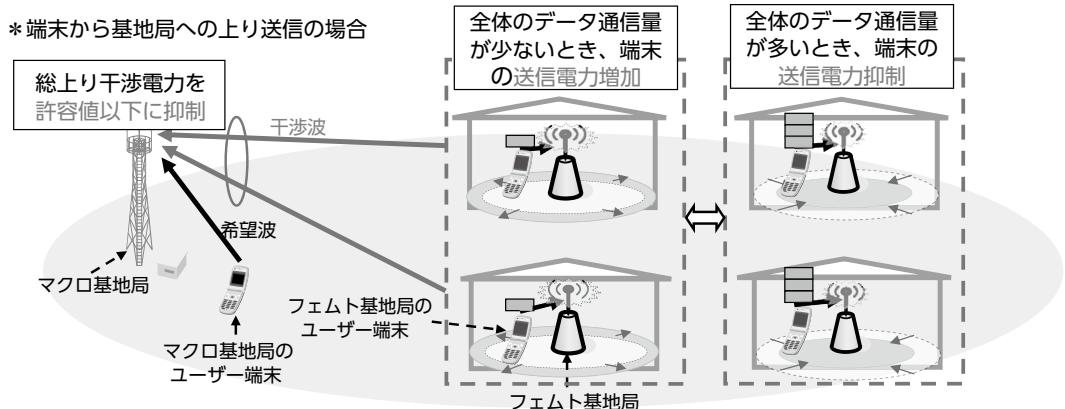


図2 フェムト基地局全体のデータ通信量に応じた送信電力制御

データを継続的に送受信するヘビーユーザーがフェムト基地局を利用しても、通信速度の低下を抑制できる技術を説明します。

## 2. データトラヒックに応じた送信電力制御

### 2.1 開発技術

開発した送信電力制御技術の概要を説明します。図2に、端末から基地局に送信する（上り送信）場合の電力制御の概要を示します。まず、フェムト基地局は、接続中のユーザー端末（以下、フェムト端末）おのおのがマクロ基地局に与える上り干渉電力を一定以下に抑制できるように、上り送信電力を決定する希望信号の目標受信電力の基準値を設定します。次に、フェムト基地局が送受信するデータトラヒック（以下、データ通信量）を測定し、各マクロ基地局のカバー範囲（以下、マクロセル）内に位置するフェムト基地局全体のデータ通信量に応じて、全フェムト端末共通の電力調整量を計算し、その調整量を基準値から減算することで、各フェムト端末の目標受信電力を決定します。

図2に示すように、フェムト基地局全体のデータ通信量が多いときは、調整量を大きくしてフェムト端末の送信電力を抑制します。これにより、マクロ基地局での総上り干渉電力を許容値以下に抑制でき、マクロ基地局に接続中のユーザー端末（以下、マクロ端末）の通信速度劣化を抑制できます。一方、全体のデータ通信量が少ないとときは、調整量を小さくすることで、データ通信量が多いときに比べてフェムト端末の送信電力を増加させます。これにより、フェムト端末

の通信速度を増加させることができます。

### 2.2 性能評価

開発技術の効果を評価した結果を説明します。携帯電話システムの国際標準化団体である3GPP (3rd Generation Partnership Project) の評価条件に基づいて、LTEシステムのシミュレーションを行いました。各フェムト基地局にはフェムト端末が1台接続すると仮定しました。比較のために、(1) 調整量を0とする場合（電力調整なし）、(2) フェムト基地局数に基づいて調整量を計算する場合（フェムト基地局数に基づく電力調整）、(3) フェムト基地局全体のデータ通信量に基づいて調整量を計算する場合（開発技術）の3つのケースを評価しました。なお、MUE (Macro User Equipment) はマクロ端末を、HUE (Home User Equipment) はフェムト端末をそれぞれ表します。ユーザースループットは、送信データ量を送信に要した時間で割った値で定義され、ユーザーの体感速度を表します。

図3は、各フェムト基地局のデータ通信量が多いときの、マクロセル内に位置するフェムト基地局数に対するMUEの平均ユーザースループットです。データ通信量が多いときのマクロ端末への影響を確認できます。図3より、開発技術を適用すると、フェムト基地局数が増えたとき、MUEの平均ユーザースループットの劣化を抑制し、同一のMUE平均ユーザースループット（例えば1.1Mbpsの点線）を達成できるフェムト基地局数を3倍に増加させることができます。

また、図4において、各フェムト基地局のデータ通信量が

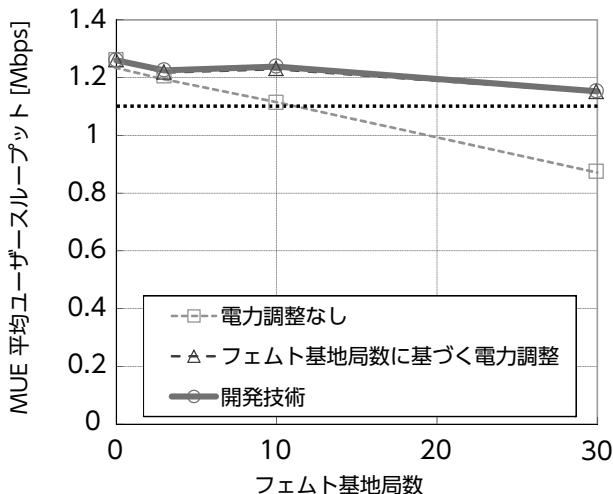


図3 各フェムト基地局のデータ通信量が多いときのマクロ端末(MUE)のスループット特性

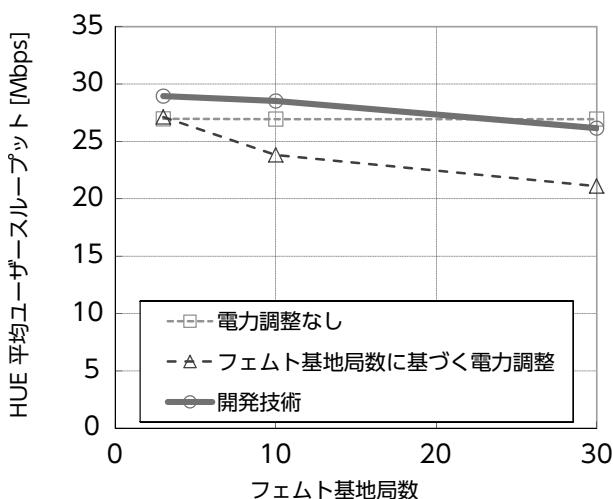


図4 各フェムト基地局のデータ通信量が少ないときのフェムト端末(HUE)のスループット特性

少ないとき、マクロセル内に位置するフェムト基地局数に対するHUEの平均ユーザースループットを示します。データ通信量が少ないときのフェムト端末への影響を確認できます。図4より、開発技術を適用すると、フェムト基地局数に基づく電力調整と比較して、例えばフェムト基地局数が30のときにHUEの平均ユーザースループットを約1.2倍に増加できることが分かります。

以上のように、開発技術を適用することで、マクロ基地局への電波干渉を抑えながら、多数のフェムト基地局を設置できるとともに、フェムト基地局全体のデータ通信量が少ないときはフェムト端末のスループットを改善できます。

### 3. ヘビーユーザーの影響を最小化する送信電力制御

#### 3.1 開発技術

開発した送信電力制御技術の概要を説明します。図5に、基地局から端末に送信する(下り送信)場合の電力制御の概要を示します。まず、データ通信量を端末ごとに所定期間測定して、ヘビーユーザーかそれ以外の一般ユーザーかを判定し、ヘビーユーザーが利用するフェムト基地局を特定します。次に、ヘビーユーザーが利用するフェムト基地局の送信電力を抑制し、一方でマクロ端末への干渉電力を許容値以下に抑制する範囲で、一般ユーザーが利用するフェムト基地局の送信電力を増加させます。

#### 3.2 性能評価

開発技術の効果をLTEシステムのシミュレーションにより評価した結果を説明します。比較のため、(1)ヘビーユーザーがない場合(MUEとHUEは共に一般ユーザー)と、

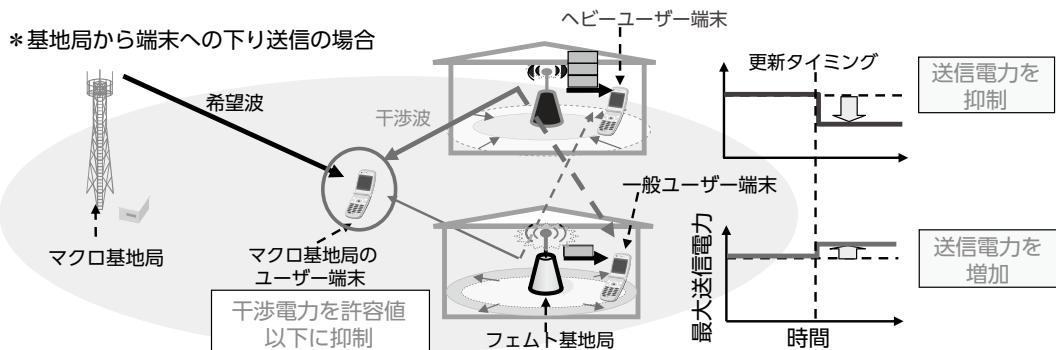


図5 ヘビーユーザーがフェムト基地局を利用する場合の電力制御

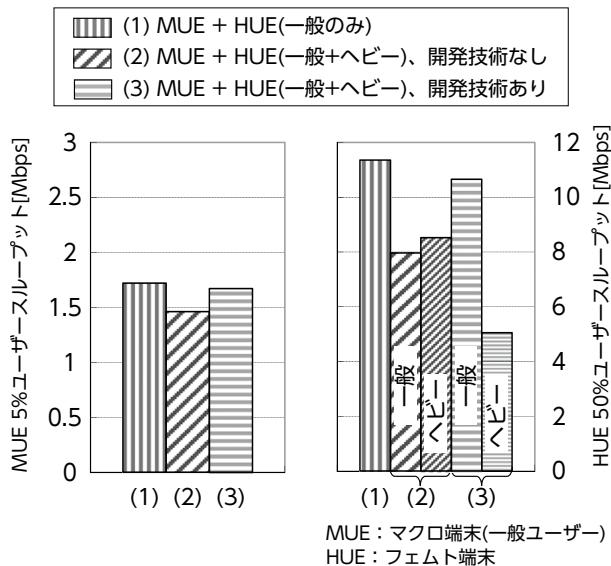


図6 ヘビーユーザーによるスループット特性への影響

HUEの一部がヘビーユーザーとなる場合を評価し、後者は更に(2)開発技術なしの場合と、(3)開発技術ありの場合で評価しました。(2)と(3)では、HUEのうち約3%がヘビーユーザーとなり、一般ユーザーのHUEに比べて約25倍のトラヒックを発生させる(HUE全体の約半分)と仮定しました。ユーザースループットは累積確率分布で評価しました。

図6の左は、MUEのユーザースループットの下位5%値です。フェムト基地局からの干渉により低速になるMUEの影響を確認できます。また、図6の右は、HUEの下位50%値(中央値)です。電力制御によるHUEへの影響を確認できます。図6の左から、ヘビーユーザーが存在する場合、MUEの5%ユーザースループットが15%劣化したのに対し、開発技術によりその劣化が3%と大幅に抑えられることが分かります。一方で、図6の右から、一般ユーザーのHUEのスループットも、開発技術により、劣化が大幅に抑制できることが分かります。

以上のように、開発技術を適用することで、フェムト基地局にヘビーユーザーが存在するときに、一般ユーザーのマクロ端末やフェムト端末のスループット劣化を抑制できます。

#### 4. むすび

本稿では、データトラヒックが大きく増加し、ヘビーユーザーが多量のデータを継続的に送受信しても、モバイル通

信サービスをどこでも安定的に利用できるようにするフェムト基地局の干渉制御技術を紹介しました。今後も本技術の開発を進めて実用化を目指し、安定的に利用できるモバイル通信サービスの信頼性向上に貢献します。

\* LTE、3GPPは、欧州電気通信標準化協会(ETSI)の登録商標です。

#### 参考文献

- 1) 森田 基樹、信清 貴宏、濱辺 孝二郎：リソース使用率の集計に基づくLTEフェムトセルの上り送信電力制御方法の提案、電子情報通信学会技術研究報告：信学技報 112(29), pp.7-12, RCS2012-23, 2012.5
- 2) 森田 基樹、濱辺 孝二郎：ヘビーユーザの通信速度を抑制するフェムトセルの電力設定方法、電子情報通信学会総合大会 B-5-111, 2012.3
- 3) 3GPP TR36.814 v9.0.0, Further advancements for E-UTRA physical layer aspects, 2010.3

#### 執筆者プロフィール

**森田 基樹**  
グリーンプラットフォーム研究所  
主任

**信清 貴宏**  
グリーンプラットフォーム研究所  
主任研究員

**濱辺 孝二郎**  
グリーンプラットフォーム研究所  
所長代理

# NEC 技報のご案内

NEC技報の論文をご覧いただきありがとうございます。  
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご一読ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

## Vol.66 No.1 社会的課題解決に貢献するNECの事業活動特集

社会的課題解決に貢献する NEC の事業活動特集によせて  
「社会価値創造型」企業への変革を目指して～事業活動をとおした社会的課題解決への貢献～

### ◇ 特集論文

#### 信頼性の高い情報通信インフラの構築

新東名高速道路での導入事例にみる次世代交通管制システムの特徴  
国際通信を支える光海底ケーブルネットワークの大容量化及び高信頼化技術  
基幹系ネットワークを支える要素技術とパケット光統合トランスポート装置  
どこでも安定的な通信品質を実現するLTE フェムトセル基地局向け干渉制御技術の開発

#### 気候変動(地球温暖化)への対応と環境保全

第一期水循環変動観測衛星「しづく」の定常観測  
データセンターの省電力化へ貢献する「Express5800シリーズ」「iStorage Mシリーズ」  
新原理「スピンドル効果」による熱電変換の可能性

#### 安全・安心な社会づくり

CONNEXIVE 放射線測定ソリューション  
市町村同報系防災行政無線システム～災害情報伝達の多様化に向けて～  
消防救急無線通信システムのデジタル化推進  
NECのBCソリューション～企業の事業継続を支えるiStorage HS～  
水中からの脅威に対処する水中監視システム及びその関連技術  
監視用小型無人機システムとその関連技術  
クラウドを用いたプライバシー保護型データ処理技術  
信頼できるクラウドストレージの実現に向けて

#### すべての人がデジタル社会の恩恵を享受

介護施設における安全確保のための「徘徊防止ソリューション」の実証実験  
遠隔地からの聴覚障がい者向け要約筆記作業支援システム  
対話のきっかけとなる話題提供によるコミュニケーション活性化技術

### ◇ NEC Information

#### 社会貢献活動のご紹介

NECの社会貢献プログラムの基本方針と活動事例  
ICTによる復興支援への取り組み



Vol.66 No.1  
(2013年8月)

特集TOP