高性能フェムトセル　プラグアンドプレイ　家庭内設置

Technology Reports

家庭内における新たなサービスを提供するフェムトセル技術

無線アクセス開発部　寺山 武志（てらやま たけし）　大矢根 秀彦（おおやね ひでひこ）
ネットワーク開発部　佐藤 豪一（さとう ごういち）
移動機開発部　滝本 拓也（たきもと たくや）

家庭内のエリア品質改善やマクロセルのトラフィックをフェムトセルに分散させるだけでなく，在圏情報や家電融合などを利用した新サービスの提供という観点においても世界で注目されているフェムトセルシステムを開発した．本システムでは，既存基地局台数よりも大量の基地局設置が必要となることから，自律分散制御により汎用ブロードバンド回線を利用した接続および簡易設置を可能とすることで，エリア構築コストを抜本的に削減し，登録ユーザに限定したさまざまなサービスの提供を可能とした．

1. まえがき

ドコモは，小規模店舗などのエリア品質を改善する目的で，すでに2007年にフェムトセル基地局装置[＊1]（フェムトBTS）[1]を開発し，商用サービスを開始している．今回さらに家庭内設置を前提とし，屋内や地下を含めたホームエリアの充実やユーザサービス向上を目的に，新サービスの提供とユーザ限定（CSG：Closed Subscriber Group）機能，プラグアンドプレイ（PnP）[＊2]機能を有したフェムトセルシステムを提供した．

家庭内設置用のフェムトBTSを実現するにあたり，既存のFOMAシステムとの親和性を保つ方式を採用し，高機能化したフェムトBTS，その接続基盤および対応携帯電話の開発を行った．また，ユーザ契約の汎用ブロードバンド回線利用を可能とし，PnP機能による簡易設置を実現した．さらに，登録ユーザに限定して在圏情報や家電融合などを利用した新サービスの提供を可能とした．本システムにより提供が可能となるサービスイメージは次のとおりである．

(1) ユーザ限定によるサービス

フェムトセル配下のユーザを限定することで，動画などの大容量コンテンツを連続再生することが可能となり，登録ユーザ用の専用動画・音楽コンテンツなどの利用も可能となる．例えば2009年11月にサービスを開始した「マイエリア™[＊3]」[2]では，マイエリア登録者向けの専用コンテンツとして，指定サイトからダウンロードしたプレイリスト内の最新曲を順にストリーミング受信し連続再生できる（**図1**）．

(2) 在圏情報を活用したサービス

登録ユーザの在圏情報をあらかじめ設定されたユーザに通知したり，在圏をトリガに伝言などを登録ユーザに通知することが可能となる．例えばマイエリアでは，子どもやお年寄りの在宅確認サービス（イマスカ機能）の利用が可能である（**図2**）．

(3) 家電融合によるサービス

登録ユーザの在圏をトリガにして家電を制御したり．在圏情報をデータベース化し家電の制御に適用することが可能となる．

新サービスを可能とする各機能に加えて，一般的なフェムトセルの課

＊1　**フェムトセル基地局装置**：半径数十メートル程度の極めて小さいエリア（フェムトセル）をカバーする超小型基地局．

＊2　**プラグアンドプレイ（PnP）**：装置を自宅のブロードバンド回線に接続するだけで，装置の設置状況などに応じて自動的に各種パラメータの設定および調整を行い，運用を開始する機能．

＊3　**マイエリア™**：「マイエリア」および「マイエリア」ロゴは㈱NTTドコモの商標．

題として挙げられる干渉対策・キャンプオン問題[*4]についても配慮した．フェムトセルの接続イメージを**図3**に示す．

本稿では，マイエリアとしてサービスを開始した家庭内設置用のフェムトセルシステムに適用した技術について解説する．

2. フェムトセルシステム概要

フェムトセルシステムを構築するアーキテクチャは，3GPPなどでIub型[*5]を軸に議論されており複数の方式が存在する．一例を**図4**に示す．ドコモは，既存のFOMA網を最大限に利用して効率的かつ経済的にフェムトセルシステムを導入するためにIub型[*6]を採用している．Iub型を採用すると，既存RNC（Radio Network Controller）[*7]への機能追加でフェムトセルに関する移動制御処理を行え，新規装置の追加を最小限とすることが可能である．

家庭内設置用のフェムトセルシステムを構築するにあたり，フェムトBTS管理，登録・非登録ユーザ制御，フェムトBTS簡易設置の適用をしている．

3. フェムトBTS管理

3.1 エリア情報管理

フェムトセルに在圏するユーザからの発信時，フェムトセルからの発信である旨のガイダンス通知やフェムトセル発信を意識した課金制御を実現するため，コアネットワーク（CN：Core Network）で

図1　ユーザ限定によるサービス例

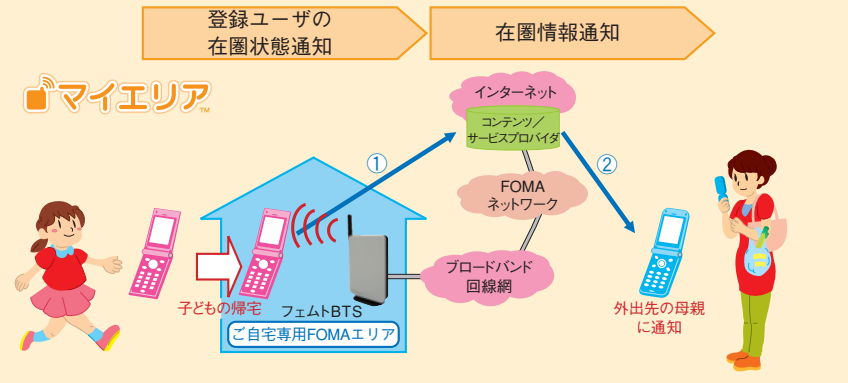


図2　在圏情報を活用したサービス例

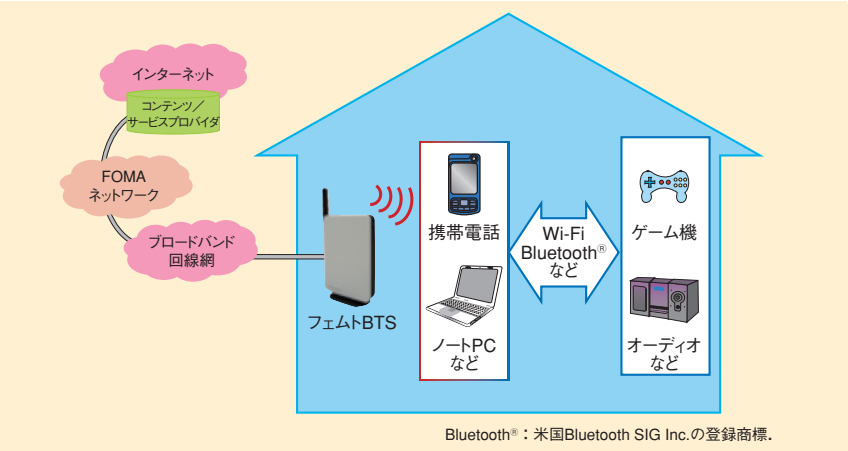


図3　フェムトセル接続イメージ

＊4　**キャンプオン問題**：フェムトセルが複数周波数に設置された場合，移動端末が円滑にフェムトセルに在圏できない問題．

＊5　**Iub型**：3GPP標準仕様におけるNode BとHNB-GWとの間の論理的なインタフェースであるIubにてフェムトBTSが接続される構成．

＊6　**Iub型**：3GPP標準仕様におけるNode B(基地局)とRNCの間の論理的なインタフェースであるIubにてフェムトBTSが接続される構成．

＊7　**RNC**：無線ネットワーク制御装置，FOMAネットワークにおいて3GPP上規定されている無線回線制御や移動制御を行う装置．

のフェムトセル在圏管理が必要となる．本システムは，位置登録による在圏／離圏管理を利用するため，フェムトセル用のエリア情報[*8]を新規に規定した．位置登録手順をそのまま利用する場合，フェムトセルごとに位置登録用エリア情報をもち，かつ一意である必要があるが，それにより，個々のオペレータが使用できるエリア情報値を枯渇させる懸念がある．そこで，移動端末が認識するエリア情報とCNが認識するエリア情報を別々に定義し，そこに対応関係をもたせ，移動端末用エリア情報は繰返し利用することでエリア情報値の有効利用を図った．また，PnP機能にて近接フェムトセル間でエリア情報が重複しないようにしている．

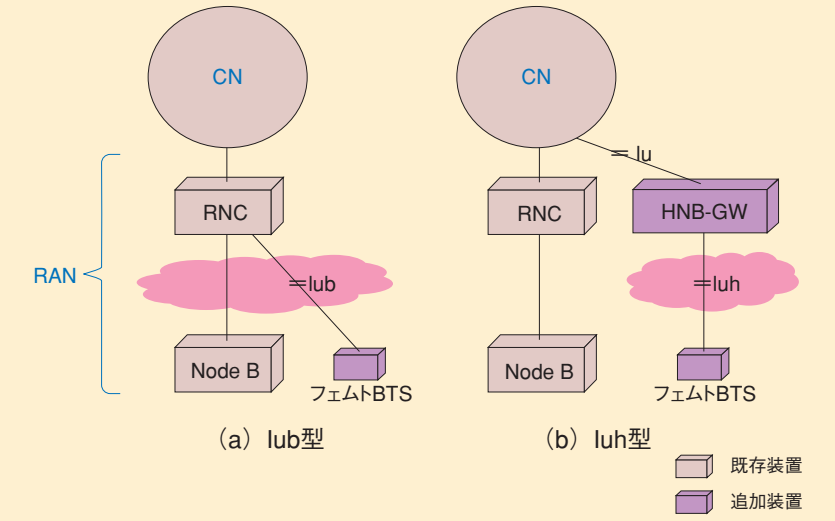
移動端末がマクロセル[*9]からフェムトセルへ入ったときの位置登録の処理概要を**図5**に示す．

①移動端末はフェムトセルのエリア情報が変わったことを認識し，それまで在圏していた周辺BTSのエリア情報を含む位置登録要求信号をCNに送信する．同時にRNCはInitial UE Messageに移動端末用のエリア情報と，それに対応するCN用のエリア情報の両者を設定し，CNに通知する．

②CNは，Initial UE Messageに設定されている移動端末用エリア情報を位置登録応答信号に設定し移動端末に返送する．移動端末は受信した新在圏（フェムトセル）のエリア情報を記憶する．一方，CN側はCN用に設定されたエリア情報にて該当移動端末の在圏情報を管理する．

3.2 FemtoID管理

フェムトセルには，呼制御用および管理用識別子として契約時に一意な番号（FemtoID）が割り当てられ，ネットワーク上のデータベースで管



HNB-GW（Home Node B -Gateway）：3GPP上規定されているフェムトBTSであるHNBをコアネットワークに接続するためのゲートウェイ装置．

RAN：Radio Access Network

図4　アーキテクチャ例

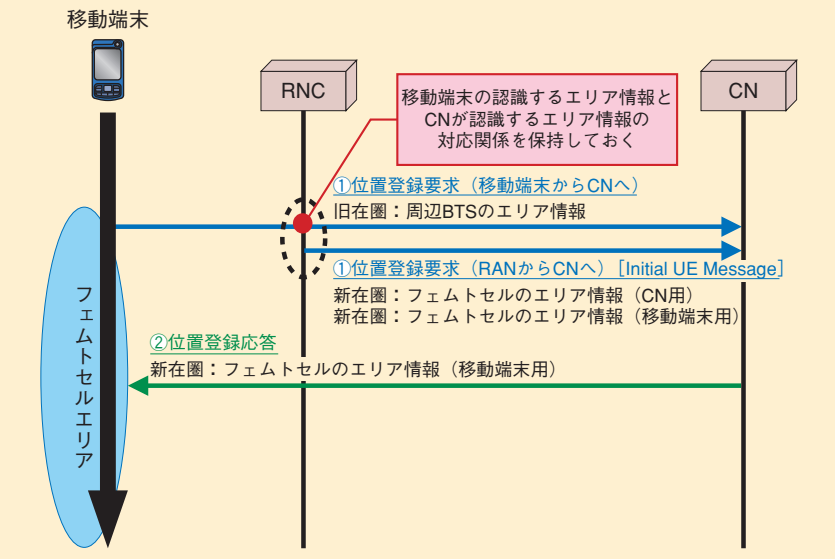


図5　位置登録処理概要

＊8　**エリア情報**：移動通信システムで利用しているエリア識別子（LAI：Location Area Identity，RAI：Routing Area Identity）情報．

＊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話エリア．通常，鉄塔上やビルの屋上などにアンテナが設置される．

理される．CNは携帯電話加入者プロファイル上に，利用許可されたフェムトセルに対応するFemtoIDリストを保持し，位置登録時の在圏可否判定などに利用される．

4. 登録／非登録ユーザ制御

4.1 フェムトセル在圏誘導特番機能

PnP機能によりフェムトセルに設定される周波数は一意ではない．そのため，別周波数在圏の移動端末はフェムトセルが設置された周波数に遷移する必要があるが，そのトリガは移動端末の機能およびFOMAネットワーク側からの制御に依存するため，フェムトセルに円滑にキャンプオンできない場合がある．そこで，該当移動端末をフェムトセル設置周波数に誘導する手法として，フェムトセル在圏誘導特番機能を開発した．

移動端末から特番へ発信後，ネットワーク側からフェムトセルへ誘導する旨のガイダンスを流し通信を切断する．この通信切断時にフェムトセル設置対象となる周波数候補のうち任意の周波数をネットワーク側から指定し，移動端末に捕捉指示を行う．該当移動端末が，利用可能なフェムトセル（利用可否は，位置登録時に通知されるFemtoIDで判定）経由での位置登録を実施すれば誘導完了とし，この位置登録が実施されない場合，別の周波数にネットワーク側から誘導することを繰り返す．利用可能なフェムトセルのエリアに位置する移動端末は最終的にフェムトセル在圏が可能となる．

4.2 CSG制御

本システムでは，フェムトセルに在圏可能なユーザ（登録ユーザ）のみ在圏させ，非登録のユーザにはフェムトセルに在圏させないCSG機能を開発した．概要を**図6**に示す．前述のとおり，周辺のマクロ

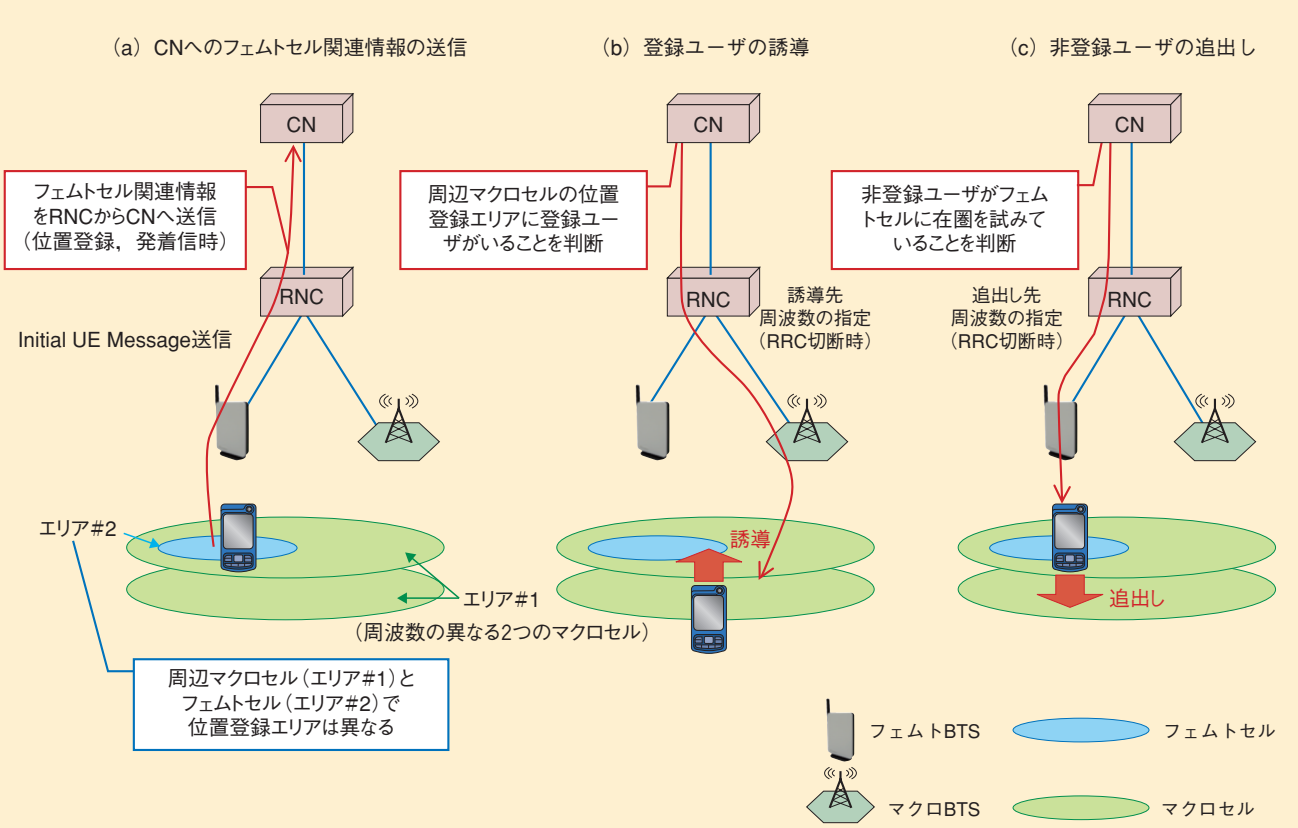


図6　CSG機能概要

セルとフェムトセルの位置登録エリアは別となっているため，移動端末がフェムトセルに在圏する際には位置登録が実施される．

RNCでは，フェムトセルで位置登録や発着信が実施されたことをトリガとし，前述のCN制御（登録／非登録ユーザの識別）に必要なFemtoID，設置周波数やオーバーレイする周辺マクロセルのエリア情報などのフェムトセル関連情報をCNにInitial UE Messageにて通知する（図6(a)）．

CNでは，登録ユーザがそのフェムトセルにオーバーレイする周辺マクロセルの位置登録エリア内で位置登録や終話手順を行ったことをトリガに，誘導対象となるフェムトセルの周波数に登録ユーザの移動端末を誘導するよう，RNCに指示を行う．RNCは指示を受けると，RRC（Radio Resource Control）コネクション解放時に周波数を指定する（図6(b)）．

また，CNでは，非登録ユーザの移動端末がフェムトセルに在圏を試みていると判断した場合，当該フェムトセルへの位置登録を拒否するとともに，当該フェムトセルとは異なる周波数に非登録ユーザを在圏させる．その後，フェムトセルが形成するエリアを一時的に縮小させることを目的に，他の通信ユーザへの影響を考慮し，その総送信電力を弱める指示をフェムトBTSに対して行うことも可能である（図6(c)）．

5. フェムトBTSの簡易設置を実現する機能

5.1 PnP機能

フェムトBTSのPnP機能概要を**図7**に示す．フェムトBTSにEtherケーブルや電源プラグの接続を行うと，フェムトBTSはブロードバンド回線網の網終端装置にPPP（Point-to-Point Protocol）により接続を行い，ブロードバンド回線上での盗聴やデータの改ざんを防止するため，フェムトBTSとFOMAネットワークとの区間にインターネット上の暗号化技術であるIPsec（IP security）[*10]を設定する．

さらにフェムトBTSは，ネットワークから自局の運用に必要なRNCなどの接続先ノードの情報などをIPsec回線上で自動的に取得し設定することで，FOMAネットワークに接続する．

なお，IPsecを確立する際の認証方式としては，すでにホームUサービス[3]でネットワークと端末間の認証に適用しているEAP-AKA（Extensible Authentication Protocol Method for 3rd Generation-Authentication and Key Agreement）[*11]方式を採用しており，フェムトBTSに挿入されるUSIM（Universal Subscriber Identity Module）[*12]の認証鍵情報に基づき認証を実施する．

5.2 無線パラメータ自動調整機能

フェムトBTSでは，初回接続時のみでなく定期的に設置場所での

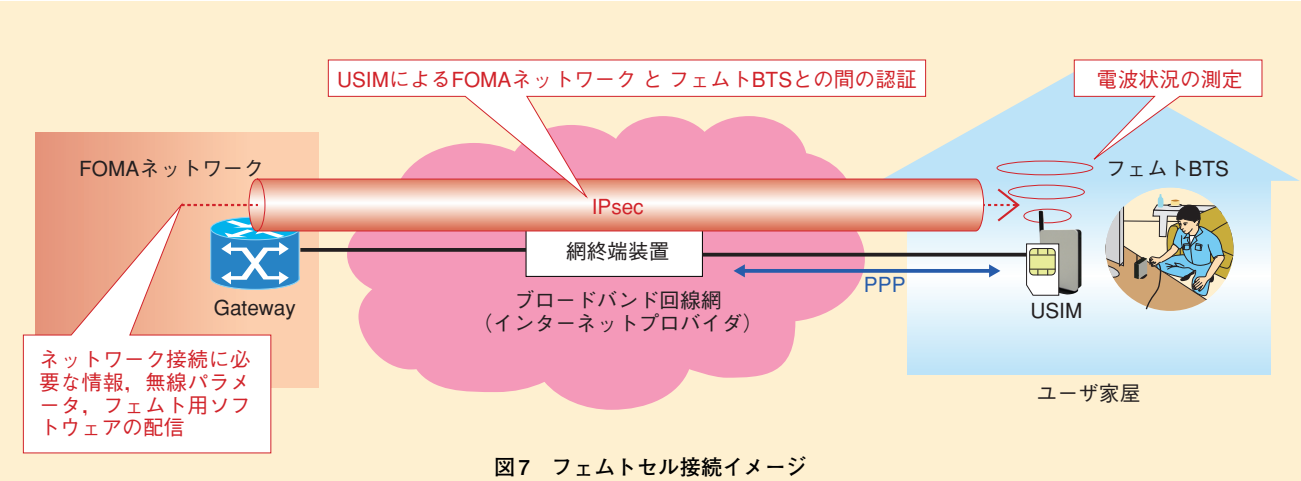


図7　フェムトセル接続イメージ

＊10 **IPsec**：IPパケットそのものを暗号化したり，認証することで，セキュリティの高い通信を行うプロトコル．

＊11 **EAP-AKA**：IETF（Internet Engineering Task Force）で標準化された第3世代移動通信システムの認証と鍵共有方式．

＊12 **USIM**：携帯電話会社と契約した情報を記録しているICカード．3GPPでのW-CDMA用途の移動通信用加入者識別モジュール．

電波状況を観測し，ネットワークにその観測情報を通知する．フェムトBTSおよびネットワークでは，その観測情報内の電波状況に基づき，周辺マクロ・フェムトセル環境への影響を考慮した最適な無線パラメータ（周波数，送信出力，コードなど）の決定をPnP動作内にて行い，その設置場所に応じたフェムトBTSの最適な運用を可能とする．

なお，フェムトセルでの緊急通信に対応するため，その設置場所が正規であるか否かを確認する必要がある．本システムでは，フェムトBTSから通知された観測情報から，その設置場所の認証を自動的に行う機能にも対応している．

5.3 自動ファイル更新機能

家庭内での運用開始後，システムの機能追加に対応するため，フェムトBTSでは運用中のソフトウェアが最新か否かを定期的にチェックし，最新でない場合には，自動的にネットワークから最新ソフトウェアをダウンロードして反映する機能を開発した．

6. 高性能フェムトBTS

本システムに対応する高性能フェムトセル基地局装置は，従来のフェムトBTSと比較して，通信速度の高速化およびPnP機能を実現している（**写真1**）．

通信速度については，HSPA（High Speed Packet Access）[＊13]技術を採用し，送信速度で約4倍，受信速度で約15倍の高速化を図っている一方，LSI（Large Scale Integration）化などの技術を採用することにより，従来のフェムトBTSと同等の大きさ・消費電力を実現している（**表1**）．これにより，ユーザは自宅などで動画や音楽などの大容量コンテンツを，より良好な通信環境で楽しむことが可能となる．

7. 対応移動端末機能概要

本システムでは，フェムトセル配下にて在圏した移動端末限定で専用サービスを行うことを想定する．そのため，「フェムトセルに確実に在圏させる」，「フェムトセル在圏中であることを識別させる」ための機能を開発し，2009年度冬春モデルとして発売する移動端末（F-01B，SH-01B，P-01B，N-01Bなど）から搭載した．

(1) フェムトセル在圏機能

サービス利用者がフェムトセルに在圏するために，前述のフェムトセル在圏誘導特番機能とは別に，優先して自発的にフェムトセルに在圏するためのフェムトセル優先在圏機能

写真1　高性能フェムトセル基地局装置

表1　高性能フェムトセル基地局装置ハードウェア仕様

装置名	従来のフェムトセル基地局装置	高性能フェムトセル基地局装置
出力（mW）	20	20
最大同時接続ユーザ数	4	4
通信速度※1（ハードウェア能力値）	送信：最大　3.6Mbit/s（HSDPA） 受信：最大　384kbit/s	送信：最大　14Mbit/s（HSDPA） 受信：最大　5.7Mbit/s（HSUPA）※2
伝送路インタフェース	IP（10BASE-T/100BASE-TX）	IP（10BASE-T/100BASE-TX）
大きさ（mm）（高さ×幅×厚さ）	184×135×40	180×135×35
重量（kg）	約0.6	約0.6
消費電力	12W以下	12W以下

※1　通信速度は送受信時の技術規格上の最大値であり，実際の通信速度を示すものではなく，ベストエフォート方式による提供となり，実際の通信速度は，端末の仕様，通信環境およびネットワークの混雑状況に応じて変化する．
※2　本装置はHSUPAに対応しているが，本装置によるHSUPAの提供時期は未定．

＊13 **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．

を開発した．

一度在圏したフェムトセルの周波数およびスクランブリングコード＊14を移動端末にセル単位で候補リストとして記憶し，待受け中に定期的に候補リストのセルをサーチすることで，自発的にフェムトセルへ在圏できる機能を実現した（**図8**）．

(2) 在圏ピクト表示機能

フェムトセル在圏時，(G) MM information（(General Packet Radio Service) Mobility Management information）＊15をトリガに表示されるピクト部（待受け画面の表示部分）のアイコンにより，在圏状態を確認できる機能を開発した．

8. あとがき

本稿では，2009年11月にマイエリアとしてサービスを開始したFOMAサービスにおける，家庭内フェムトセルシステムについて，適用した技術を解説した．

今後，本システムの拡張，LTE (Long Term Evolution) フェムトBTSも考慮したシステム開発を検討していく．

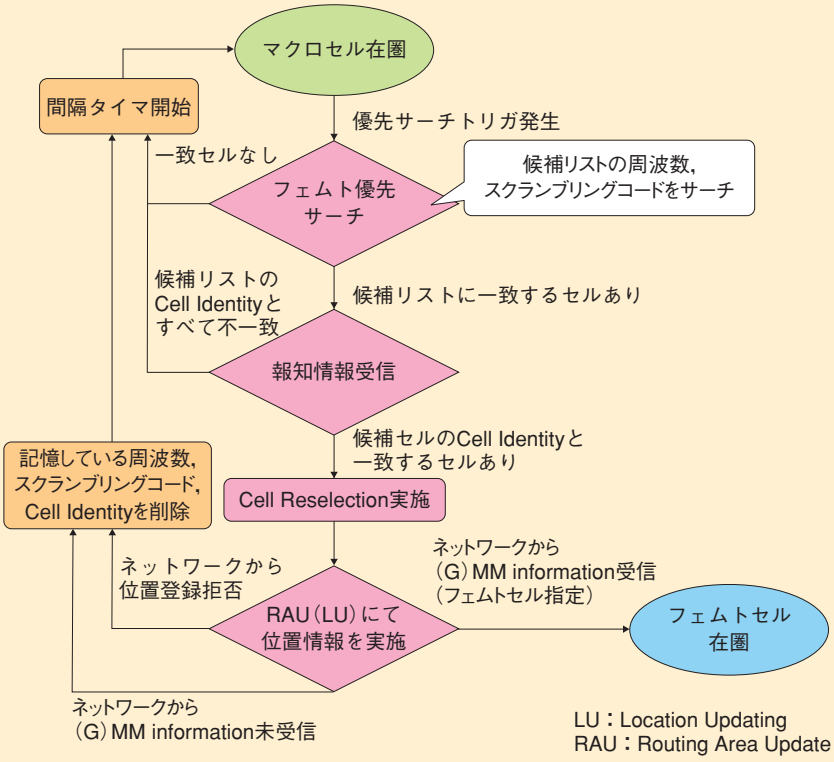


図8　フェムトセル優先サーチフロー

文　献

[1] 渡辺，ほか：“フェムトセル用超小型基地局装置の開発，”本誌，Vol.16, No.2, pp.61-65, Jul. 2008.

[2] NTTドコモ報道発表資料：“【新サービス】「マイエリア™」の提供開始について，”Nov. 2009.

[3] 山内，ほか：“ホームUサービスのシステム開発，”本誌，Vol.16, No.3, pp.6-12, Oct. 2008.

＊14 **スクランブリングコード**：W-CDMA方式において，拡散処理に利用されるコード．下りリンク（基地局から移動端末）はセルを識別するためにセルごとに割り当てられる．

＊15 **(G)MM information**：移動端末の位置登録手順時などにCNから移動端末に通知されるW-CDMA方式の移動制御メッセージ名．