

## Technology Reports

# W-CDMA/LTE に対応した 超小型基地局装置 (Xi フェムトセル) の開発

モバイルトラフィック需要の急激な増加に伴い、通信サービスエリアの迅速かつ柔軟な展開が急務となっている。

2012年11月、ドコモはW-CDMAおよびLTE方式の両方に対応した超小型基地局装置を開発、同年12月から運用を開始した。本装置は、汎用ブロードバンド回線を用いたエリア構築が可能であり、かつ各種運用パラメータを自動的に設定できるPnP機能を具備することで、経済的かつ迅速なエリア構築を可能としている。

無線アクセス開発部

やまだ たけふみ そめや たかお  
山田 武史 染谷 隆雄

はせがわ ふみき ふくだ あつし  
長谷川 史樹 福田 敦史

ふけ ゆたか  
福家 裕

## 1. まえがき

近年、スマートフォンの普及や動画などマルチメディアコンテンツの拡充などに伴い、モバイルネットワークへの需要が拡大している。この需要に対処するために、ドコモではW-CDMA方式に比べ周波数利用効率<sup>\*1</sup>に優れたLTE方式を用いた通信サービス「Xi」(クロッシィ)を2010年12月から開始している。

また通信エリアの小セル化による通信容量の増大、およびきめ細やかなエリアの拡充についても喫緊の対応が必要であり、基地局装置についてもラインナップの拡充が必要である。特に従来の基地局では設置が難しい場所へのエリア拡充においては、装置の軽量化および小型化を進める必要がある。

ドコモは2007年に小規模店舗な

どでの屋内環境においてFOMAエリアの品質改善を目的に、W-CDMA方式に対応した小さな通信エリア(フェムトセル)を構築するための超小型基地局装置(以下、フェムトセル基地局)を開発し、商用サービスを開始している[1]。また、2009年には屋内や地下に加え家庭宅内への設置を考慮するとともに、FOMAエリアの改善だけでなく新規サービスの提供を目的としたフェムトセル基地局およびフェムトセルシステムを開発、運用している[2]。

そして2012年11月、ドコモはW-CDMAおよびLTEの両方式に対応したフェムトセル基地局(以下、Xiフェムトセル基地局)を開発、同年12月から運用を開始している。

本稿ではXiフェムトセル基地局の適用領域、システムアーキテクチャ、および装置仕様について解説する。

## 2. フェムトセル基地局の概要

通常、鉄塔やビル屋上などに設置され、比較的大きな通信エリア(マクロセル)を構築するための屋外基地局装置(以下、マクロセル基地局)に対して、主にユーザ宅内や小規模の店舗およびオフィスといった比較的小さく区切られた屋内空間をエリア化するための基地局装置がフェムトセル基地局である。マクロセルに比べてカバーするエリアが非常に狭いことにちなみ、10の15乗分の1を表す単位であるフェムト(Femto)を用いて呼称されている。ただしその定義は厳密なものではなく、例えばショッピングモール、スタジアムなどの比較的大規模施設への適用も視野に入れた小型基地局装置を含む場合もある。あるいは前述

の小型基地局装置とフェムトセル基地局両方を含めてスモールセル基地局として呼称される場合もある。

### 3. フェムトセル基地局の特長

#### 3.1 迅速かつ経済的な通信エリア構築

マクロセルを構築する場合、マクロセル基地局以外にも鉄塔、屋外収容箱、アンテナといった比較的大規模な装置を設置する必要がある。その設置場所には制限が生じる。このため、屋内、ビルなどの高層階、地下街など、屋外からの電波が微弱でエリア品質を十分に確保できない場所が局所的に発生することがある。また設置にかかる期間も比較的長期にわたるため、前述のようなエリア品質の改善の対処速度は必ずしも十分とは言えない場合がある。

設置場所の制限問題に対して、ドコモは屋内エリアの構築において、設置条件、トラフィック量に応じたさまざまな手法を用意している。例えば、ビルや地下施設に設置された基地局から屋内アンテナに電波を送ることにより屋内エリア品質を改善するIMCS (Inbuilding Mobile Communication System)<sup>\*2</sup>がある。また、デジタル信号処理や保守監視機能などを備えた基地局装置（親局）と電波の変復調機能を担う無線装置（子局）を光ファイバで接続し、子局を対象の施設内に設置することで、マクロセル基地局だけではカバーできない地下やビルなどをエリア化する光張り出し基地局が

ある。

しかしながらこれらは比較的大規模の基地局が必要であり、装置コストなどを考慮すると、高層ビルなどの大規模施設への展開には適するものの小規模施設などへの展開は困難である。また設置や敷設にかかわる工事も比較的長期間となり、エリア展開の速度には限界がある。

一方で数十人規模の小規模オフィスや店舗、および数人規模の家庭を対象とした屋内エリア構築手法として、小電力レピータの利用が挙げられる。小電力レピータは屋外基地局からの電波を増幅することでエリアを拡大する装置であり、屋外からの電波が一定の基準以上のレベルで届いていることが設置の条件となる。そのため、環境によっては設置条件に合致せず、エリア品質の改善が達成できない場合があった。

これら既存の屋内エリア構築手法に対して、フェムトセル基地局は既設の基地局からの電波が届かない圏外エリアであっても単独でエリアを構築できるため、小電力レピータなどのブースタでのエリア改善が困難な環境でも適用が可能である。また、フェムトセル基地局は一般家庭にも広く普及している汎用ブロードバンド回線を用いてドコモのネットワークへ接続できる構成としており、新規伝送路の敷設が不要なことから伝送路コストおよび設置にかかわる工事期間を大幅に短縮できる。加えて、後述するプラグアンドプレイ (PnP)<sup>\*3</sup>機能により、フェムトセル基地局の運用に必要なパラメー

タの自動取得および設置環境に応じた各種パラメータの自動調整を実現しており、設置・運用にかかわるコストを劇的に低減できる。

このように、フェムトセル基地局は一般家庭でも利用可能な商用電源と汎用ブロードバンド回線があれば設置できる機動性と装置自律でのパラメータ設定による経済性を兼ね備えており、迅速かつ経済的なエリア展開を可能としている (図1)。

#### 3.2 通信品質の改善

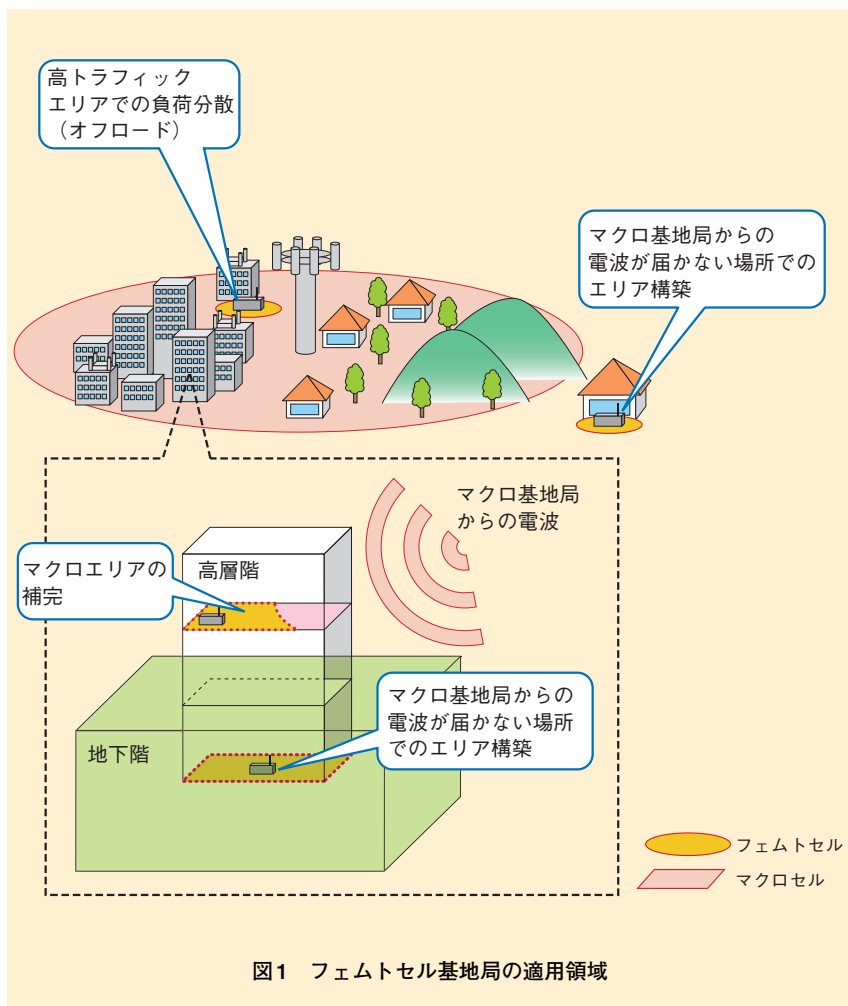
データ通信では基地局の通信容量を複数のユーザで共有するため、1ユーザ当りの通信速度は当該の基地局に接続している他ユーザの数および通信状況に影響を受ける。

フェムトセル基地局の場合はそのエリアが限られることから接続ユーザ数が比較的少人数となり、他ユーザの通信状況に影響を受けにくい。加えて、屋内環境では伝搬距離も短く比較的良好な通信環境を維持しやすいことから、マクロセル基地局配下での通信時に比べて良好な通信品質を安定して実現しやすいという利点がある。

また店舗などでユーザが一定の場所に集中しており、局所的にトラフィックの高いエリアに対してフェムトセル基地局を導入することで、これまではマクロセル基地局で処理していたトラフィックの一部をフェムトセル基地局に分散 (オフロード) させることができる。結果、無線ネットワーク全体としての処理能力を効率的に増大させることができる (図1)。

\*2 IMCS：高層ビルや地下街などの携帯電話がつながりにくい、あるいはつながらない場所でも通信を可能とするドコモのシステム。

\*3 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。



## 4. 装置概要

### 4.1 基本仕様

Xiフェムトセル基地局とフェムトセル基地局の基本仕様を表1に示す。また、Xiフェムトセル基地局の外観を写真1に示す。本装置は屋内専用装置であり、W-CDMAとLTE両方式の同時運用に対応している点が最大の特徴である。動画やマルチメディアコンテンツの比較的大容量のデータ通信サービスはLTE方式を利用し、音声サービスはW-CDMA方式を利用するなど、サービスごとに最適な通信方式を割り当てることで、快適な通信環境の提供を可能としている。また、サービスに適した通信方式の自動切替え制御も可能であり、ユーザは意識することなく各種サービスをシームレスに利用できる。

W-CDMA、LTEともに2GHz帯の1キャリアに対応しており、LTEは最大15MHzの帯域幅に対応し、

表1 Xiフェムトセル基地局とフェムトセル基地局の基本仕様

対応通信方式	Xiフェムトセル基地局		フェムトセル基地局
	LTE	W-CDMA	W-CDMA
通信速度 (ハードウェア能力値)	下り：最大112.5Mbit/s 上り：最大37.5Mbit/s	下り：最大14Mbit/s 上り：最大384Kbit/s	下り：最大14Mbit/s 上り：最大5.7Mbit/s
周波数帯域	2GHz		2GHz
帯域幅/キャリア数	最大15MHz/1キャリア	5MHz/1キャリア	5MHz/1キャリア
最大送信電力	10mW/5MHz/ブランチ	20mW/5MHz/ブランチ	20mW/5MHz/ブランチ
送信ブランチ数	2 (MIMO対応)	1	1
伝送路インターフェース	10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T		10BASE-T/100BASE-TX
大きさ (高さ×幅×厚さ)	約1.45リットル (175mm×185mm×45mm)		約0.85リットル (180mm×135mm×35mm)
重さ	約0.7kg		約0.4kg

下り最大112.5Mbps，上り最大37.5Mbpsの高速通信が可能である。

装置回路構成においてW-CDMA機能とLTE機能の共用化を行った結果，装置サイズの小型化および低消費電力化，ならびに自然空冷式による騒音の低減を実現した。アンテナは内蔵とし，小型化および価格低減を実現している。

また，3GPPで規定される無線特性（表2）として，フェムトセルでの利用を想定して策定されたHome BS<sup>\*4</sup>[3][4]の規格があり，国内法制度の整備を受け，Xiフェムトセル基地局に適用された。Home BSの場

合，周波数安定度や受信感度などの条件が緩和されるため，マクロセル基地局へ適用されるWide Area BS<sup>\*5</sup>の規格と比較して，水晶発振器<sup>\*6</sup>などの内部回路についてより低価格なデバイスを採用することが可能となる。

加えて，Xiフェムトセル基地局は外部の高精度クロック装置との同期処理を通じて，自装置内の時刻を定期的に補正する機能を有している。Xiフェムトセル基地局はマクロセル基地局に比べ比較的多数の装置導入が見込まれ，ドコモのネットワークに接続した形態での運用となること

から，Xiフェムトセル基地局共通で参照できる高精度クロック装置をドコモのネットワーク側に用意することで，より安価な水晶発振器などの内部デバイスが採用可能となりさらなる装置コストの低減を実現している。

## 4.2 ネットワーク構成

Xiフェムトセル基地局のネットワーク構成例を図2に示す。

(1)汎用ブロードバンド回線への対応

装置IPアドレスの取得方法として，Xiフェムトセル基地局はPPPoE（Point-to-Point Protocol over Ethernet）<sup>\*7</sup>およびDHCP（Dynamic Host Configuration Protocol）<sup>\*8</sup>に対応している。Xiフェムトセル基地局がPPPoE終端しブロードバンド回線の網終端装置から取得する方法と，ブロードバンドルータがPPPoEを終端しDHCPで構成された宅内LAN環境内のルータから取得する方法があり，設置環境に応じた多様なネットワーク構成に対応可能である。また，汎用的な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，FOMAネットワークおよび



写真1 Xiフェムトセル基地局

表2 3GPPで規定されるHome BSとWide Area BSの比較

規格		Home BS		Wide Area BS	
通信方式		W-CDMA	LTE	W-CDMA	LTE
送信系	最大送信電力	+20dBm		規定なし	
	周波数安定度	± (0.25ppm+12Hz) 以内		± (0.05ppm+12Hz) 以内	
受信系	受信機の感度	-106.3dBm	-92.8dBm/5MHz	-120.3dBm	-100.8dBm/5MHz
	隣接チャンネル選択度	-38dBm	-28dBm	-52dBm	-52dBm
	スプリアスレスポンス	-30dBm	-27dBm	-40dBm	-43dBm
	相互変調特性	-38dBm	-36dBm	-48dBm	-52dBm

\*4 Home BS：3GPPで規定される無線特性規格であり，家庭・屋内向けBTSを想定して策定されたBTS classificationである。

\*5 Wide Area BS：3GPPで規定される無線特性規格であり，屋外向けBTSを想定して策定されたBTS classificationである。

\*6 水晶発振器：水晶の圧電効果を利用して高い周波数精度の発振を起こす回路。

\*7 PPPoE：Ethernet上にてPPPの機能を利用するためのプロトコル。PPPは，IPアドレスの自動割当てやユーザ認証などの機能をもつ。

\*8 DHCP：ネットワークに接続したコンピュータに，IPアドレスなどの情報を自動的に割り当てるプロトコル。

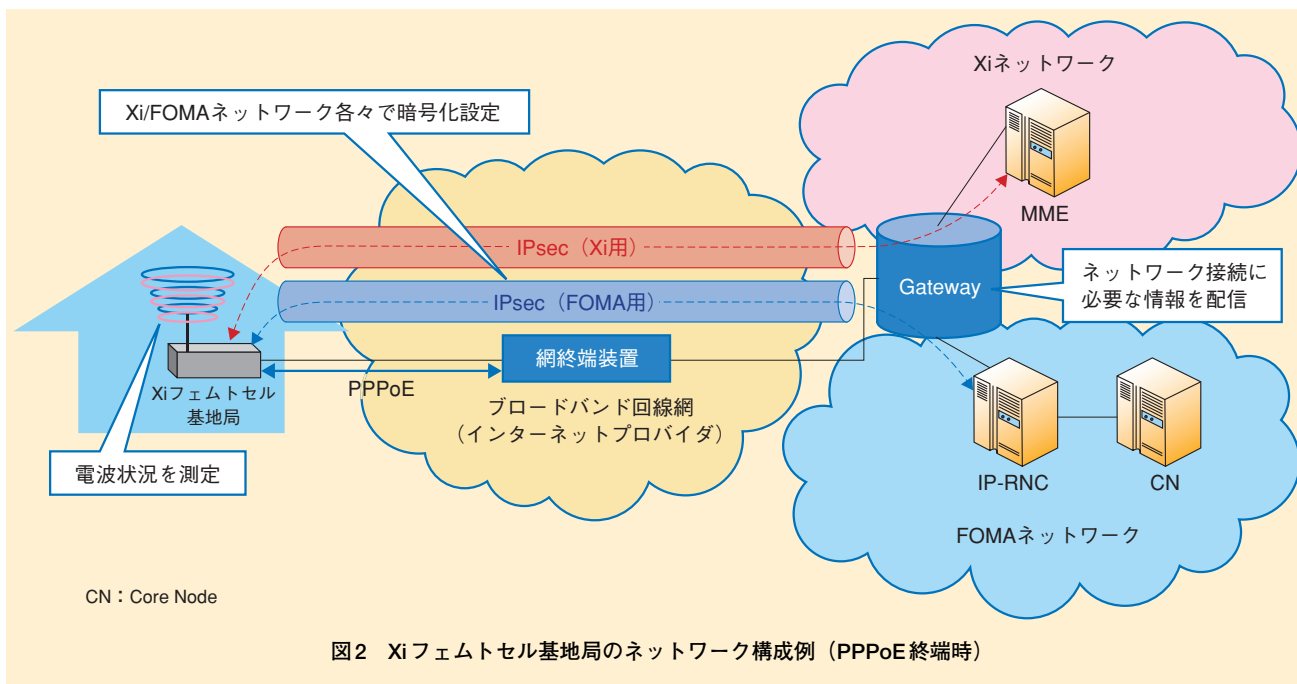


図2 Xiフェムトセル基地局のネットワーク構成例 (PPPoE 終端時)

Xi ネットワーク各々の区間にインターネット上の暗号化技術であるIPsec (Security Architecture for Internet Protocol)<sup>\*9</sup>を設定する。ネットワークごとにIPsecを設定することで、1つのイーサネットポートでFOMAデータとXiデータの識別が可能となる。

(2)PnP機能

①有線PnP機能

Xiフェムトセル基地局は、ネットワークから自局の運用に必要なMME (Mobility Management Entity)<sup>\*10</sup>/IP-RNC (IP-Radio Network Controller)<sup>\*11</sup>などの接続先情報を前述のIPsec回線上で自動的に取得し設定することで、自律的なFOMA/Xiネットワークへの接続を可能としている。なお、IPsecを確立する際の認証方式としては、

EAP-AKA (Extensible Authentication Protocol method for 3rd generation-Authentication and Key Agreement)<sup>\*12</sup>方式[5]を採用しており、Xiフェムトセル基地局に挿入されるUSIM (Universal Subscriber Identity Module)<sup>\*13</sup>の認証鍵情報に基づき認証を実施する。

②無線PnP機能

Xiフェムトセル基地局は初回起動時および定期的な間隔にて、設置場所の電波環境を測定している。測定結果に基づき、周辺の電波環境を考慮した無線パラメータ (周波数、送信出力、コードなど) を決定し、当該のXiフェムトセル基地局を含めたネットワーク全体として最適なエリア形成を実現している。

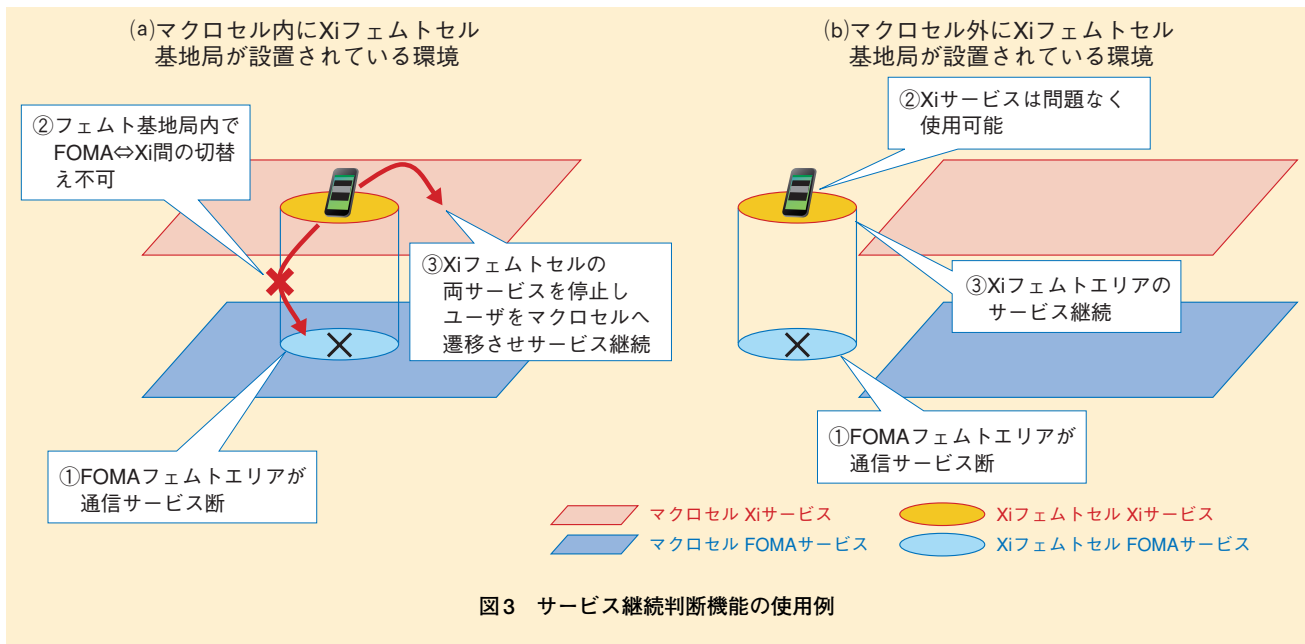
4.3 その他の特徴

Xiフェムトセル基地局はFOMAおよびXiサービスの両方に対応しているが、マクロセル内にXiフェムトセル基地局が設置されている環境において、例えば、装置故障や回線障害などの理由でXiフェムトセル基地局のFOMA通信サービスが利用できなくなった場合、Xiフェムトセル基地局内でのFOMA、Xi間の切替えができなくなることが考えられる。このような場合、通信サービスへの影響を最小限に留めるため、Xiフェムトセル基地局の両通信サービスを停止し、Xiフェムトセル基地局配下の全ユーザをマクロセルへ遷移させる必要がある (図3(a))。一方、マクロセル外にXiフェムトセル基地局が設置されている環境では、例えばFOMA通信サービスが利用できない状態でも、Xi通信サービスを継続す

\*9 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。  
 \*10 MME : eNBを収容し、モビリティ制御機能などを提供する論理ノード。  
 \*11 IP-RNC : 無線リソース制御などを行う

3Gノード、IP技術をベースに開発され、IPおよびATMインタフェースを有した装置。  
 \*12 EAP-AKA : IETF (Internet Engineering Task Force) で標準化された第3世代移动通信システムの認証と鍵共有方式。

\*13 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用途の移动通信加入者識別モジュール。



ることに利点がある (図3(b)).

このように、周辺のエリア環境に応じて通信サービス継続有無の判断を行う必要があるため、Xiフェムトセル基地局のFOMAおよびXiの運用状態を監視し、一方の通信サービスが利用できない場合にもう一方の通信サービス継続有無を判断する機能を有している。

## 5. あとがき

本稿では、2012年11月に開発したW-CDMAおよびLTE方式に対応

した超小型基地局装置について、その概要を解説した。今後さらなる高性能化および適用領域の拡大についても検討していく。

### 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] 寺山, ほか: “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,” 本誌, Vol.17, No.4, pp.19-25, Jan. 2010.
- [3] 3GPP TS 25.141 V11.4.0 “Base Station (BS) conformance testing (FDD),” Jan.

2013.

- [4] 3GPP TS 36.141 V11.3.0 “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) conformance testing” Jan. 2013.
- [5] 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.