

## 2 地上通信技術の研究開発

### 2-1 柔軟なアーキテクチャと周波数共有を実現する次世代移動通信システムに向けた研究開発

石津健太郎 村上 誉 伊深和雄 児島史秀

第5世代移動通信システムをはじめとする次世代の移動通信システムは、今後出現する様々な無線通信アプリケーションの通信インフラとして広く利用されることが期待される。このような移動通信システムは、あまねく広いエリアにマクロセルを展開するセルラー通信事業者に加え、利用シナリオに応じた通信性能に特化し、きめ細かく柔軟にエリアを展開するマイクロセル通信事業者の協調により構築されると考えられる。本稿では、その概念及び必要なシステムアーキテクチャを提案するとともに、プロトタイプを用いた動作検証の結果を示す。また、移動通信システムの国際ローミングにおける課題を整理する。

#### 1 まえがき

第5世代移動通信システム(5G)の要求条件としては、超高速、超低遅延、多数同時接続が挙げられている。5Gの通信性能としては、最高伝送速度10 Gbps、100万台/km<sup>2</sup>の接続機器数、1ミリ秒程度の遅延など、従来の移動通信システムと比較すると大きく向上した目標が挙げられている[1]。今後のInternet of Things(IoT)時代においては、5Gの通信性能を必要とする多くのアプリケーションが新たに出現してくることが予想される。その例としては、高画質映像のオンデマンドな発信/視聴、自動車の自動運転支援やリアルタイムなロボットの遠隔操作、生活に必要なセンサ情報の収集などが挙げられる。今後、5Gは移動通信のためのシステムでありながら、社会インフラとして通信における必要性はますます大きくなり、前述のアプリケーションの実現を支える技術になると考えられる。

5Gの通信性能を全て満たす単一の無線システムを展開することは困難であることから、5Gシステムの展開は、基本的には異種無線(ヘテロジニアス無線)ネットワークの構成となり、異なる通信性能を持つ無線システムを適応的に組み合わせることになる。異なるサービス要求を満たすアクセスエリアを展開するためには、従来の移動通信システムの概念である大きなアクセスエリアを中心とした方法では対応ができず、異なる性能を持つ小出力基地局などにより、マイクロセルを場所や状況に応じてきめ細かく展開する必要がある。このような展開は、単一の通信事業者により全て対応できるとは考えにくく、複数の通信事業者が一定の規則に基づき有機的に協調するという新たな5G

概念の実現が求められる。

個別のサービスが要求する機能や性能は、その施設の管理者やサービス運用の主体者が最も把握している。このことから、マイクロセルの利用に当たっては、従来のように通信事業者が設置したものに加え、その主体者の意向に基づき設置されたものが、移動通信システムの性能に関して一定の信頼性を担保しながら、インフラとして統合されることが有効である。この際、通信事業者による現在の移動通信システムの運用は継続的に保障されるべきであることから、移動通信システムの設計思想に可能な限りインパクトを与えず、必要最小限のインターフェイスの拡張に限定されることが望ましい。

現在、移動通信システムに向けた周波数の割当ては逼迫しており、多くのマイクロセルを運用する場合には、その周波数の割当てが問題となる。2015年11月のITUの世界無線通信会議(World Radiocommunication Conference: WRC)では、2019年に開催されるWRC-19に向けて24.25-86 GHzにおいて将来のIMT向け周波数を特定する議題(議題1.13)が承認された。このことから、マイクロセルを運用するための新たな周波数の一部はミリ波帯が中心になることも考えられる。この際、マイクロセルはセル半径が小さいことが特徴であり、従来のマクロセルほどの網羅的なセル配置は期待されていない。電波伝搬の観点からは、ミリ波帯は自由空間における伝搬損失が大きく、建物等による大きな減衰が考えられる。したがって、ミリ波帯の共用による相互干渉の懸念は減少することから、各基地局に対する厳密な周波数の割当て管理は必要がなくなる可能性が高い。しかし、無数に展開されるであ

## 2 地上通信技術の研究開発

ろうマイクロセルに対して、個別に周波数を割り当てて管理することは現実的ではない。以上のことから、マイクロセルは一部の周波数帯を共用することが望ましく、そのために必要な技術要素の研究開発も必要である。

これまで NICT では、通信事業者の協調が可能な異種無線ネットワークの実現に向けて、コグニティブ無線ネットワークを基礎技術として制御アルゴリズムやシステムアーキテクチャに関する研究開発を長年行ってきた。その一部は市町村規模による社会実証試験 [2] や東日本大震災における被災地支援 [3][5] などを通して有効性が確認でき、コグニティブ無線ルータとしても実用化してきた [6]。また、コグニティブ無線ネットワークの基礎アーキテクチャに関する国際標準規格として世界初となる IEEE 1900.4 等の策定 [7][8] にも大きく貢献した。NICT によるこの研究開発は、管理が異なる無線ネットワークの協調を前提とする観点から前述した 5 G の概念と一致するものであり、基礎技術の研究開発や直近での実用化としては意義が大きかったと考える。しかしながら、それは移動通信システムを中心とする 3 GPP (Third Generation Partnership Project) において策定される規格 (以下、3 GPP 規格) とは独立した検討であり、将来における本格的な実用化を見据えた場合には、必要な技術を 3 GPP 規格に定められる各機能と対応付け、共通のインターフェイスに従い、さらに検討を行う必要がある。そこで NICT では、2016 年 4 月から開始した中長期

計画を踏まえ、3 GPP において検討される 5 G 向け規格の検討も考慮し、前述の 5 G 概念を実現する技術の研究開発を行っている。

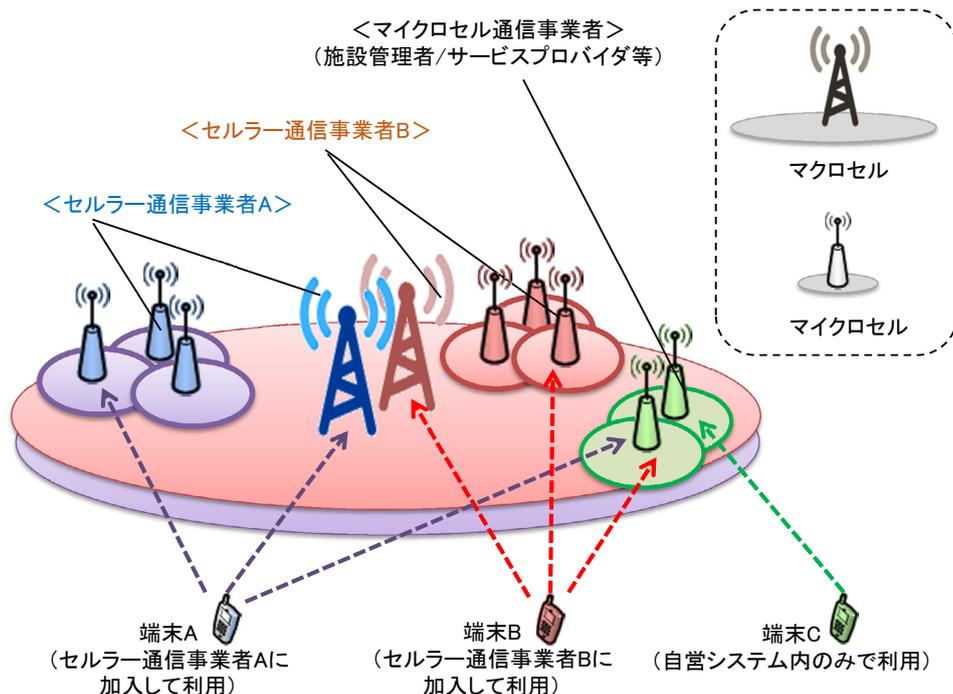
一方で、周波数共用に関しても、NICT ではテレビ放送帯を中心としたホワイトスペース技術 (TVWS 技術) の研究開発を実施してきた [9]。TVWS 技術は、大電力で一方向的に伝送するテレビ放送と小電力の双方向無線通信の間の干渉を管理することに技術的な困難さがあり、各国の規制にも見られるように、データベースを用いた集中管理方式が干渉を回避するための技術の根幹である。しかし、5 G における小電力のマイクロセル同士の周波数共用に向けては、より有効で簡易な方式も考えられ、更なる研究開発が求められる。

本稿では、前述の 5 G 概念を実現するため、移動通信システムにおいてプライベート空間の概念を導入し、そこにマイクロセルを柔軟に設置することを可能にする 3 GPP ベースのシステムアーキテクチャを提案し、プロトタイプを用いた動作検証の結果を示す。また、移動通信システムの国際ローミングにおける課題を整理する。

## 2 プライベート空間におけるマイクロセル運用

### 2.1 プライベート空間の導入とマイクロセル通信事業者の位置づけ

将来の移動通信システムにおいて想定するセル展開



と端末の接続形態の概念を図1に示す。セルラー通信事業者とは、従来の移動通信サービスのように自ら加入者を管理し、通信範囲が広いマクロセルを自ら展開して運用する通信事業者を指す。セルラー通信事業者は、通信範囲の半径が最大10 km程度の従来のマクロセルに加えて、ミリ波等の新たな周波数帯も活用して、通信範囲の多くは半径100 m以下のマイクロセルを多数展開し、マクロセルと一体として運用する。

一方で、マイクロセル通信事業者(必ずしも自ら加入者を管理せず、通信範囲を限定したマイクロセルを展開して運用する通信事業者)は、施設の管理者や通信サービスのプロバイダであり、セルラー通信事業者がカバーしきれない通信エリアを補完して移動通信サービスを提供する。セルラー通信事業者に加入している端末は、図1に示す端末A及び端末Bのように、加入している通信事業者が運用するマクロセル基地局あるいはマイクロセル基地局に接続するほか、マイクロセル通信事業者が運用するマイクロセル基地局(図1の緑のマイクロセル通信事業者)にも接続して通信する。この他に、マイクロセル通信事業者が自ら管理し、セルラー通信事業者に加入しない端末も存在し、端末Cのように該当するマイクロセル通信事業者が管理するマイクロセル基地局のみに接続して通信する。

移動通信システムにおけるセル展開場所は、図2に示すように、パブリック空間とプライベート空間の2つの運用区域に区分して検討する[10]。パブリック

空間とは、セルラー通信事業者が通信サービスを展開している空間である。それに対してプライベート空間とは、特定の個人や組織が管理してセルが展開されている空間であり、マイクロセル通信事業者はプライベート空間においてセルを展開する。プライベート空間では、その施設の所有者や管理者が必要な無線通信の特徴や性能の要求を最も把握していると考えられるため、所有者の意思に基づき、マイクロセルが展開される。管理空間の例としては、会社、駅、工場、地下街、大学、商業施設、自宅などが考えられる。パブリック空間は全ての空間を対象としていることから、パブリック空間とプライベート空間は一般的には重複する。

プライベート空間のマイクロセルは、必要最小限のインターフェイスによりセルラー通信事業者の管理装置に接続する。そして、プライベート空間において運用されているマイクロセル基地局の位置、性能(通信速度、遅延、等)、周波数、帯域幅、などの情報をセルラー通信事業者に提供する。この情報は、セルラー通信事業者のマクロセルのうち制御チャネルを利用して、その通信エリア内にブロードキャストされる。端末はこの情報を受信することにより、マイクロセル通信事業者が展開するセルの情報を把握する。そして端末は、使用するアプリケーションの種類や状態、ネットワーク機器の負荷や無線通信品質などの情報に基づき、セルラー通信事業者とマイクロセル通信事業者をまたいで最適なセルを選択し、接続して通信を開始する。

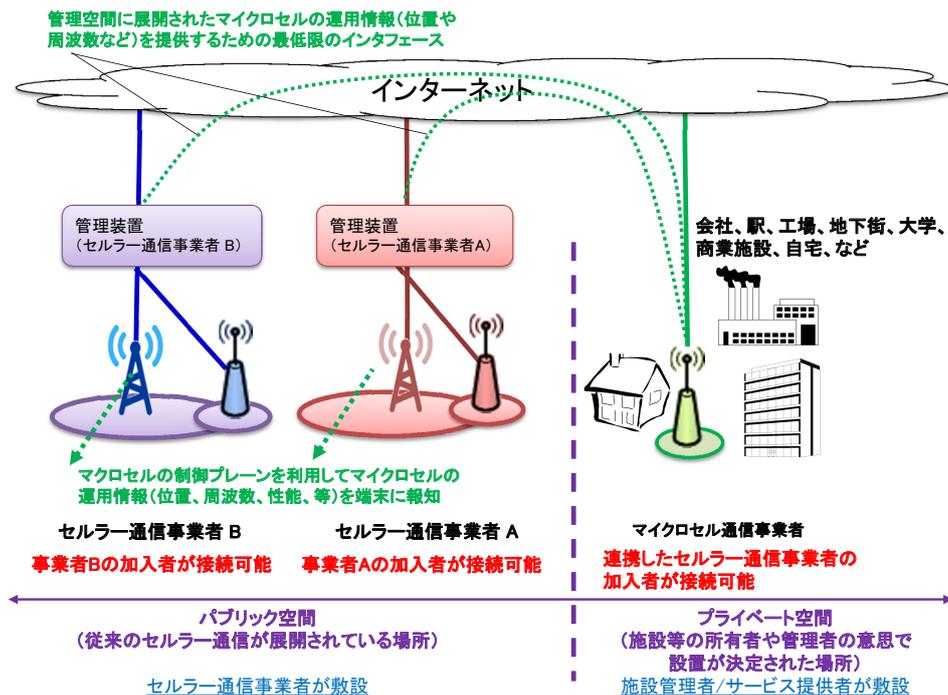


図2 プライベート空間におけるマイクロセル通信事業者の導入

### 2.2 移動通信ビジネスの創生と担い手

本稿においてマイクロセル通信事業者という用語は、いわゆる電気通信事業者だけを指すものではなく、単に施設の管理者や個人の場合も含むと考える。例えば、乗客や来場者にブロードバンド通信を展開したい鉄道事業者やスタジアム運営団体が、駅やスタジアムに独自にマイクロセルを展開するということが可能になる。また、企業において社屋内にマイクロセル基地局を設置することや、一般住宅において家電量販店で購入した基地局を購入してマイクロセルを開設するということが考えられる。

マイクロセル通信事業者は柔軟にセル展開が可能であるという利点を生かし、セルラー通信事業者がセル展開をすることが困難な場所を補完する役目を担うことにもなる。特に、低遅延通信や多数高信頼通信などのブロードバンド以外の性能要件について、採算の見込みが無いなどの理由でセルラー通信事業者によるセル展開が遅れている場所においては、マイクロセル通信事業者が積極的に必要な性能を持つセルを展開できる。

今後新たに移動通信システムに割り当てられる周波数は、特定の通信事業者に免許するものだけではなく、一部の周波数帯に登録制度あるいは免許不要制度を導入することにより、マイクロセル通信事業者が基地局を容易に設置することが可能になる。これにより、マイクロセルの自発的な展開と無線通信インフラの拡大が促されると考える。

このようにして、セルラー通信事業者はマイクロセル通信事業者が展開したセルを仮想的に取り込み、端末の接続エリアや通信性能を向上させる。一方で、マイクロセル通信事業者は、必要な性能を持つ通信エリアの展開を肩代わりするものである。したがって、本稿で述べるマイクロセル通信事業者の概念は、セル

ラー通信事業者のビジネス領域を圧迫するものではなく、双方が恩恵を得つつ、新たなビジネスが創生され、生活の利便性を向上させるものである。このような周波数利用の概念が進めば、周波数は通信事業者に割り当てるといった概念から共用するという概念に移行し、電波資源をより有効に利用できるため、結果的にビジネス領域の拡大が期待できる。

## 3 協調制御システムの設計と実証

マイクロセルを有効に活用するためには、プライベート空間の限定された地域において運用されているマイクロセルの位置、周波数、通信性能などの運用情報を端末に提供し、端末が必要な時に適切に選択し接続できることが必要である。そのために、マイクロセルの運用情報をマイクロセル通信事業者からセルラー通信事業者へ提供し、通信範囲が広いセルラー通信事業者のマクロセルを活用し、その運用情報をブロードキャストすることにより、端末が有効にマイクロセルを利用する方式を提案する。

この提案方式について、3 GPP 規格等に基づき実現可能性を検証し、技術的課題を明確にする。この際、3 GPP 規格に基づき必要な機能を実現し機能評価を行う必要があるが、5 G 向けの規格は現在議論中であり確定していないため、4 G 向けの規格に基づき提案方式を検証することにした。5 G 向けには、この検証を行いつつ、必要な機能の提案を行っていく。

### 3.1 提案方式の概要

提案方式の概要を図3に示す。マイクロセル通信事業者が運用するマイクロセルの情報を配信する手段として3 GPP が規定する Cell Broadcast Service (CBS) を利用するものとする。Microcell Operator Manager

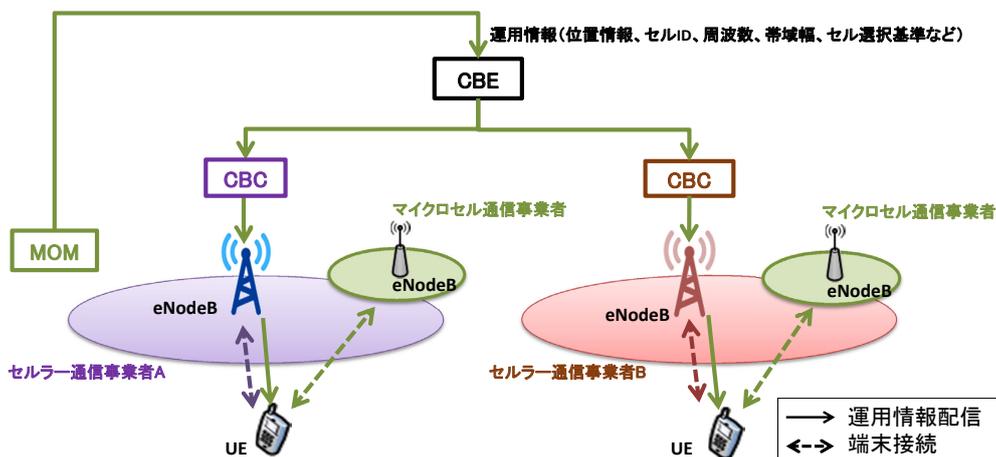


図3 セルラー通信事業者とマイクロセル通信事業者の協調

(MOM) は 3 GPP に規定されていない構成要素であり、新たに定義した。MOM はマイクロセル通信事業者が運用する機器である想定とする。MOM の機能は、マイクロセル通信事業者が運用するマイクロセルの運用情報を CBE に通知することである。運用情報とは、後述するように、周波数、チャンネル番号、位置などのパラメータである。運用情報は、マイクロセルごとに異なることが前提である。運用情報は、CBE と CBC を介してセルラー通信事業者の eNodeB から端末にブロードキャストされ、端末はその情報に基づいてマイクロセル通信事業者とそのセルを選択して接続する [10]。

CBS は、Cell Broadcast Centre (CBC) と Cell Broadcast Entity (CBE) により実現される。利用例としては、3 GPP で規定された Earthquake and Tsunami Warning System (ETWS) [11][12] を用いた緊急地震速報が挙げられる。この場合、例えば気象庁などの地震情報配信サーバが CBE にあたり、通信事業者内の情報配信サーバが CBC にあたる。CBC は、CBE から提供された情報を、MME を通じて対象とする eNodeB のセルから配信するように指示する。

対象のセルは、eNodeB 配下のセル識別子である Cell ID、端末の位置登録の単位である Tracking Area Identifier (TAI)、通信事業者が任意に定義可能なエリアである Emergency Area (EA) などにより指定可能する。

### 3.2 システムアーキテクチャと制御情報

図 4 に提案するシステムアーキテクチャを示す。セルラー通信事業者は Home Subscriber Server (HSS)、Mobility Management Entity (MME)、Packet Data Network Gateway (PGW)、Serving Gateway (SGW)、eNodeB、CBC から構成される。これらはいずれも 3 GPP において規定された構成要素である。

一方、マイクロセル通信事業者は MME、PGW、SGW、eNodeB、MOM から構成される。前述したように、MOM は新たに定義したものである。

マイクロセル通信事業者における端末の認証は 2 つの場合を想定し、その内部で認証を行う場合と、セルラー通信事業者に認証を転送する場合がある。そのため、マイクロセル通信事業者は内部に HSS を運用すると同時に、セルラー通信事業者の HSS とも接続をする。端末の認証を内部と外部の HSS のうちどちらで行うかは、MME が持つ USIM ID と通信事業者 ID の対応表に基づき判断する。その判断の結果、認証はいずれかの HSS に振り分けられる。なお、接続する HSS は必ずしも単一のセルラー通信事業者だけではなく、複数のセルラー通信事業者となる場合もある。

### 3.3 プロトタイプの試作と機能評価

図 4 に示したシステムアーキテクチャを試作したプロトタイプを図 5 に示す。このプロトタイプシステムでは、セルラー通信事業者とマイクロセル通信事業者をそれぞれ 1 つずつ模擬したネットワークを構築した。

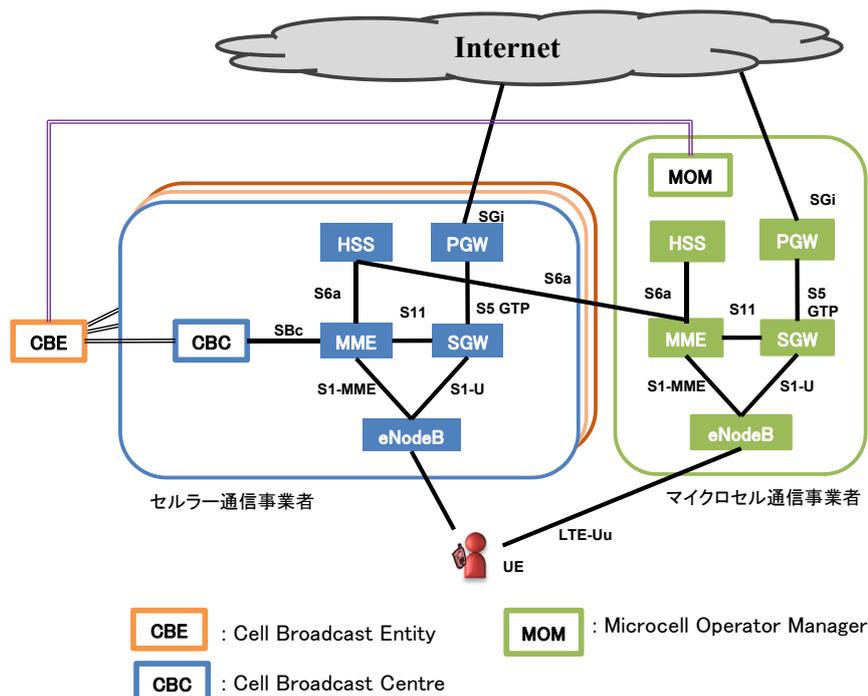


図 4 Cell Broadcast Service を利用してマイクロセルの運用情報を配信するシステムアーキテクチャ

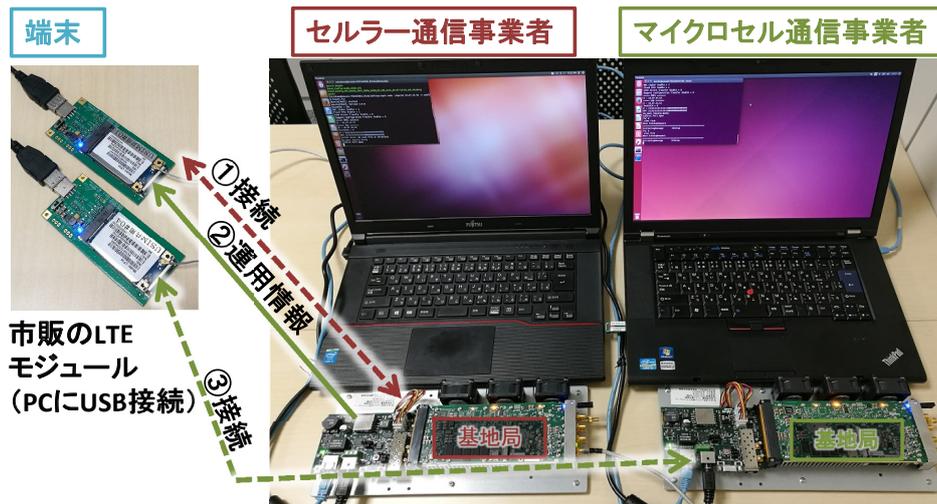


図5 提案方式の動作評価を行うためのプロトタイプ開発

それぞれの通信事業者ネットワークは、PC上でCBCやMOMを含むコアネットワーク機能を動作させた。CBEは、機能の動作に影響が無いことから仮想的にセルラー通信事業者のPC上で動作させた。それぞれの通銀事業者ネットワークでは、基地局が1台運用されている。それぞれの基地局には、2.6 GHz帯のうち重複しない周波数帯を割り当てた。端末はノートPCとして上記周波数帯に対応した市販のLTEモジュールをUSBによりノートPCに接続した。基地局とLTEモジュールの間は、RFケーブルにより接続した。

このプロトタイプ装置により、以下の手順で動作することを確認した。なお、セルラー通信事業者のセルを「マクロセル」、マイクロセル通信事業者のセルを「マイクロセル」と表記する。

- ① 端末がマクロセルに接続
- ② マイクロセルが運用開始、運用情報がマクロセルから配信し端末が受信
- ③ 端末がマイクロセルに接続

この後、マイクロセルの運用を停止すると端末はマクロセルから切断し、自動的にマクロセルに再接続する。

以上の機能試験により、マイクロセル通信事業者の運用情報がCBSによりセルラー通信事業者から端末に通知でき、それを契機にして端末がマイクロセルに接続できることが確認できた。

#### 4 移動通信システムの国際ローミングにおける課題

移動通信システムに利用される周波数は、国の制度等により異なる。現状の移動通信システムでは、端末

が可能性のある全ての周波数帯に対応しているため、国をまたいでも移動先の周波数で運用されている無線システムに接続し、ローミング利用が可能な場合が多い。しかし、5G時代にはミリ波帯を含め非常に広い周波数帯が利用の候補になり、さらに、超高速、低遅延、多数接続などの性能を満たすために異なる規格の無線システムが運用される可能性もある。この場合、端末が全ての無線システムにアクセスする機能を持つことは一般的とは言えなくなる。

図6にローミングにおける移動通信システムの典型例を示した。X国の事業者Dに加入する利用者がY国に移動して通信する場合を考える。Y国には事業者A、B、Cが無線通信サービスを展開しているが、事業者Aはマクロセルのみ、事業者Bはマクロセルとマイクロセル、事業者Cはマクロセルとストリートセルを運用している。なお、ストリートセルとは、連続するマイクロセルを直線上に配置した一連のセルを指す。ここで、端末は事業者Aのマクロセル、事業者Bのマイクロセル、事業者Cのストリートセルにしか対応していないものとする。現在のローミング方式では、端末は事業者A、B、Cのうちいずれかの事業者にしか接続できず、同時に複数の事業者が展開するセルを利用することはできない。しかし、同時に利用するアプリケーションの要求次第では、マクロセルとストリートセルの両方に接続が必要な場面が発生する。これを解決するためには、以下の機能が必要となる。

- ・ 複数の事業者へのローミング接続を同時に受け付けるコアネットワーク及び端末の機能
- ・ 各事業者が運用するセルの周波数や無線アクセス技術などにに基づき、最適な事業者やセルを選定する機能

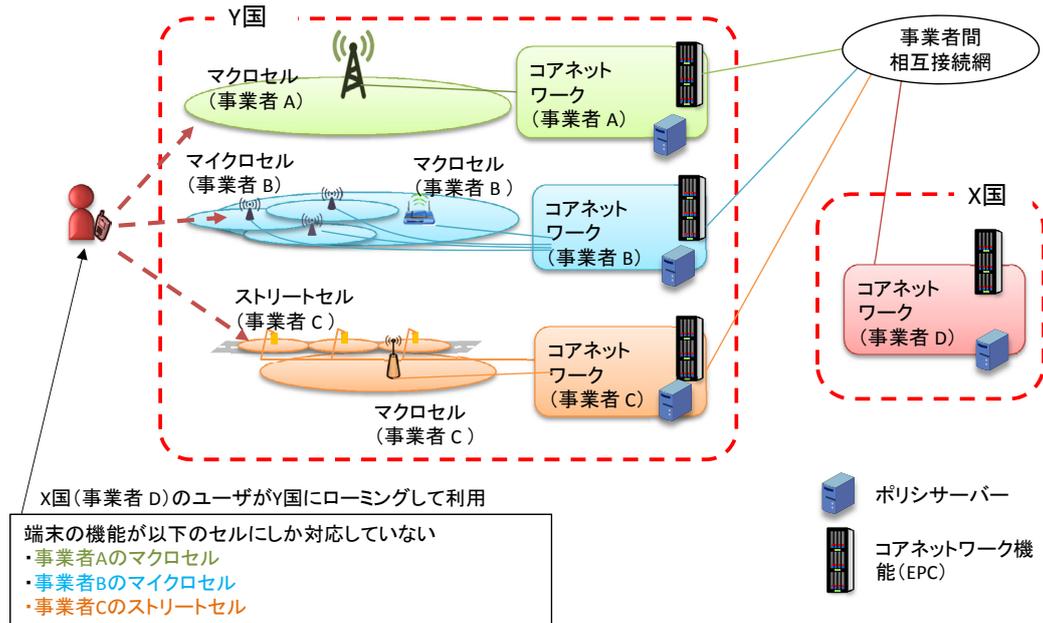


図 6 ローミングにおける移動通信システムの課題

- 異なる事業者が運用するセルであっても必要に応じて上位層で統合して通信する機能

現在、上記の機能を満たすシステムを提案し、試作装置を用いて動作を検証しているところである [13]。

## 5 まとめ

本稿は、5G時代の移動通信システムでは、広くエリア展開するセルラー通信事業者に加え、利用シナリオに応じて特定の通信性能に特化してきめ細かく柔軟にエリア展開が可能なマイクロセル通信事業者が相互に協調してインフラを構築する必要性を説明した。そして、そのための提案方式をプロトタイプにより評価した。また、より広い周波数帯の利用が想定される中、国際ローミングにおける問題点を指摘し、今後の研究開発の必要性を示した。

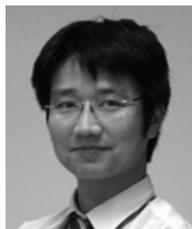
本稿で示した提案の一部は 3GPP SA2 等において提案を行っており、次世代の移動通信システムで実現されるように活動を継続していく予定である。

## 謝辞

本研究の成果は、総務省の委託研究開発「複数移動通信網の最適利用を実現する制御基盤技術に関する研究開発」及び「第5世代移動通信システムにおける無線アクセスシステムの相互接続機能に関する研究開発」によるものである。

## 【参考文献】

- “電波政策 2020 懇談会 報告書” 総務省 電波政策 2020 懇談会, 2016 年 7 月 15 日.
- 石津 健太郎, 村上 誉, 原田 博司, “市町村規模の最適無線選択制御を実証可能な広域コグニティブ無線テストベッドの構築,” 電子情報通信学会 ソフトウェア無線研究会, vol.110, no.153, pp.81-87, July 2010.
- Kentaro Ishizu, Homare Murakami, and Hiroshi Harada, “Cognitive Wireless Network Infrastructure and Restoration Activities for The Earthquake Disaster,” WPMC 2011, Oct. 2011.
- 原田 博司, 石津 健太郎, 村上 誉, “情報インフラ混乱時におけるコグニティブ無線ルータの有効活用,” 電子情報通信学会 学会誌, 95 巻 3 頁, pp.207-212, 2012 年 3 月.
- Kentaro Ishizu, Homare Murakami, and Hiroshi Harada, “Lessons from The Earthquake through Restoration Activity of NICT for Network Infrastructure,” IEEE R10-HTC2013, Aug. 2013.
- K. Ishizu, H. Murakami, H. Harada, “Cognitive Wireless Router system by distributed management of heterogeneous wireless networks,” IEICE Transactions on Communications, vol.E93-B, no.12, pp.3311-3322, Dec. 2010.
- 石津 健太郎, 村上 誉, フィリノ スタニスラフ, 原田 博司, 宮本 剛, チャン ハグエン, 加藤 修三, “【招待講演】IEEE P1900.4 の動向と NICT の取り組み,” 電子情報通信学会 ソフトウェア無線研究会, vol.107, no.352, SR2007-58, pp.83-90, Nov. 2007.
- 村上 誉, フィリノ スタニスラフ, 石津 健太郎, 宮本 剛, 原田 博司, “ITU-R 及び IEEE P1900.4 におけるコグニティブ無線技術の標準化動向,” 電子情報通信学会 ソフトウェア無線研究会, vol.109, no.442, pp.17-24, March 2010.
- 石津 健太郎, 村上 誉, 藍 洲, チャン ハグエン, 原田 博司, “データベースと連携して TV ホワイトスペースで運用可能な無線ネットワークシステム,” 信学技報, vol.112, no.55, SR2012-4, pp.23-30, 2012 年 5 月.
- 石津 健太郎, 村上 誉, 伊深 和雄, 児島 史秀, “第 5 世代移動通信システムに向けた複数の無線ネットワークの協調制御と周波数共有に関する研究開発,” 信学技報, vol.117, no.56, SR2017-7, pp.39-46, 2017 年 5 月.
- 3GPP TS29.168 V8.1.0, “Cell Broadcast Centre Interfaces with the Evolved Packet Core; Stage 3,” 2009.
- 3GPP TS22.168 V8.1.0, “Earthquake and Tsunami Warning System (ETWS) requirements; Stage 1,” 2009.
- 伊深 和雄, 村上 誉, 石津 健太郎, 児島 史秀, “【技術展示】次世代移動通信システムにおける国際ローミング時の複数ネットワーク同時利用を可能にする USIM 共用端末の試作,” 信学技報, vol.117, no.56, SR2017-11, pp.59-65, 2017 年 5 月.



**石津健太郎** (いしづ けんたろう)  
ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
ワイヤレスシステム研究室  
研究マネージャー  
博士(情報科学)  
移動通信システム、周波数共用



**村上 誉** (むらかみ ほまれ)  
ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
ワイヤレスシステム研究室  
主任研究員  
移動通信システム、周波数共用



**伊深和雄** (いぶか かずお)  
ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
ワイヤレスシステム研究室  
研究員  
移動通信システム、周波数共用



**児島史秀** (こじま ふみひで)  
ワイヤレスネットワーク総合研究センター  
ワイヤレスシステム研究室  
室長  
博士(工学)  
無線通信、無線アクセス制御