

[5G時代の幕開けに向けた研究開発と実証]

6 ローカル 5G エリアの 可用性向上のための検討 —プライベートマイクロセル構造の高度化技術—



児島史秀 | 国立研究開発法人情報通信研究機構

プライベートマイクロセル構造の 概要と意義

5G (5th Generation) や B5G (Beyond 5G) の呼称で、次世代以降の陸上移動通信システムは、近年急激に認知され始めた。本システムの最大の特徴の1つは、伝送速度等の個々の通信性能が高度化されるだけでなく、きわめて多様化したシステム要求を満足するために、高スループット、高モビリティ、低遅延、大容量、多数接続、省電力等の高度化要素を状況に応じて多様化しながら組み合わせ、具現化していくことが想定されている点である^{1)~3)}。このようなシステム要求は、従前のシステムでは十分に対応が想定されていなかったサービスを含むものであり、具体的には、モノ同士の無線通信を想定するIoT (Internet of Things) や、コネクテッド・カーや、自動運転を実現するITS (Intelligent Transport Systems)、また、生産ラインの変更等にも柔軟な無線回線を用いるスマート工場等が例として挙げられる。このような多様化したシステム要件にそれぞれ特化したサービス、ひいては関連産業分野はバーチャルセクタと呼ばれ、5G サービスの特徴であるとともに、5G 無線通信システムの国際的な標準化プロジェクトである3GPP (3rd Generation Partnership Project) においても強く意識される概念となっている。

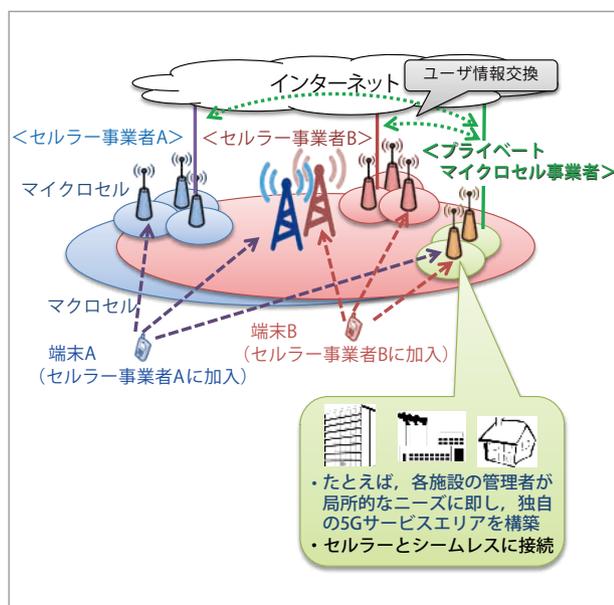
多様化した5G サービスを実現するためには、ミリ波やそれより高い周波数帯の新たな割当てが必須

だと考えられる。2018年より開始された総務省によるローカル5G検討作業班では、4.6~4.8GHz帯、および28.2~29.1GHz帯について、地域ニーズに関連した比較的小規模な5G環境構築のための周波数割当て検討が進められている。無線電波の一般的な特徴として、周波数が高くなるほど、距離による減衰は大きく、伝搬距離は短くなり、さらに、直進性が高く、障害物に邪魔されやすくなることが知られている。一方で、これまでに利用されていない帯域を、広く確保し広帯域の伝送を行うことで、伝えられる情報量が多くなる、アンテナ等機器の小型化が可能になる等の、システムとしては長所として捉えられる特徴も併せて知られている。特に、ミリ波帯以上の周波数帯を用いる場合には、従来のセルラー事業者がマイクロ波帯等で適用してきたセル半径の大きなマクロセルに対して、よりセル半径の小さいマイクロセルによるカバレッジの展開が予想される。一方で、従来のセルラー事業者によるマイクロセルの設置は考えられるが、上記のような多様化サービスへの対応という見地からは、想定されるすべてのサービスエリアにマイクロセルを設置していくことは困難であると予測される。たとえば、ITS用途の交差点や、スマート工場用途の敷地内が、該当するエリアとして挙げられる。

このような問題に対して解法となり得るのが、プライベートマイクロセル構造の概念である。図-1に、プライベートマイクロセル構造の概要を示す。本図では、従来のセルラー事業者A、および、B

がそれぞれ自身のマクロセルと、マイクロセルを敷設し、サービスを展開する様子を示している。一方で、これらのセルラー事業者とは別に、マイクロセルのみを敷設する新しい事業者、プライベートマイクロセル事業者が考えられる。本事業者は、自身で設置するマイクロセル（プライベートマイクロセル）をセルラー事業者 A、B のユーザ端末に利用させ、その際には、図-1 中に示されるように、セルラー事業者 A、B が保有するユーザ情報を共有し、適宜参照することを前提としている。本構造により、セルラー事業者は、新たなマイクロセルサービスエリアを利用でき、一方でプライベートマイクロセル事業者は、事業者 A、B が管理するユーザ情報を共有し、参照することで、事業者 A、B のユーザに対して自身のマイクロセルサービスを提供することができる。プライベートマイクロセル構造は、ローカル 5G を含む次世代移動通信サービスの展開にきわめて有効に資する概念だといえる。

本稿では、上述のような国内外における 5G システム標準化動向を背景としながら、本システムの主要な要素であるローカル 5G サービスの可用性向上を目的として、プライベートマイクロセル構造を実



■図-1 プライベートマイクロセル構造の概念

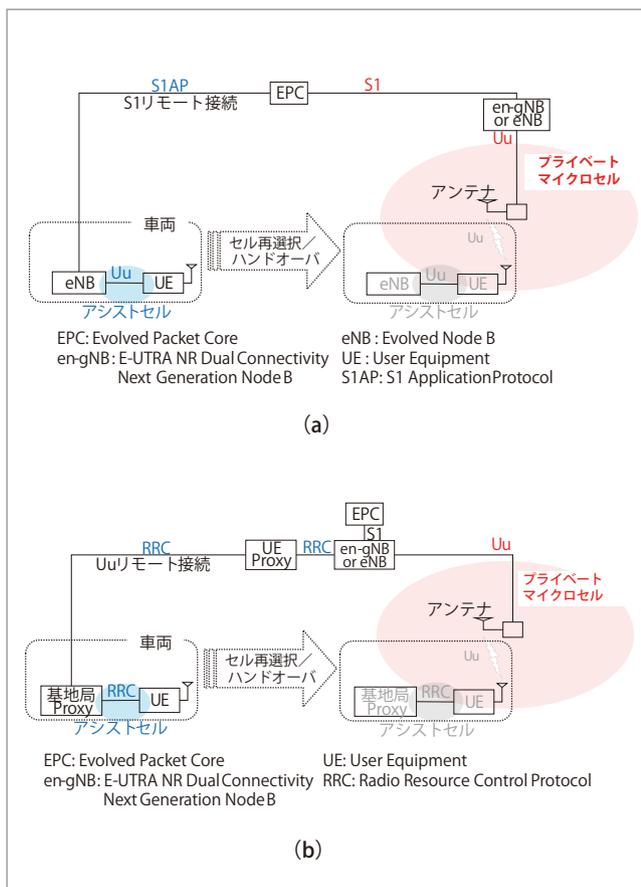
現する主要な要素技術として、ユーザ端末の移動に即して適切にプライベートマイクロセルへの接続を実現する事前仮想接続技術、プライベートマイクロセル内の加入者容量を向上させる周波数共用技術、さらに、このような要素技術を具現化することを前提とする基地局構成技術について、国立研究開発法人情報通信研究機構における研究開発、ならびに社会展開のための取り組みを中心として詳細を述べる。

プライベートマイクロセル接続のための事前仮想接続技術

ユーザ端末がプライベートマイクロセルのカバレッジ内で5Gサービスを受ける際に、特に当該ユーザ端末の高速移動等を考慮した場合、プライベートマイクロセル滞在時間中に想定どおりの5Gサービスを受けるために、図-1に図示されるように、マクロセル接続を介して事前接続処理を行う形態が可能である。一方で、このようなマクロセル接続に依存することなく、マイクロセルへの高速接続を可能とする事前仮想接続技術について、検討が行われている¹⁾。図-2は、このような検討事例の1つといえる、アシストセルを適用することによる事前仮想接続技術の概念を示している。事前仮想接続技術は、マクロセルを介した事前接続処理を代替する仕組みとして、プライベートマイクロセルへの接続をアシストするアシストセルをリモート接続によりユーザ端末の近傍に配置し、当該ユーザ端末がプライベートマイクロセルに到着する前に、接続遅延の要因である、セルサーチや認証の手続きを済ませるものである。この事前仮想接続により、プライベートマイクロセル接続を想定したセル再選択や、ハンドオーバが短時間で実行できる。具体的には、アシストセルからプライベートマイクロセルの情報を周辺セル情報としてユーザ端末に報知しておくことで、セル再選択が可能となり、また、アシストセルからユーザ端末にプライベートマイクロセルに対する受信品

質の計測指示を出すことで、能動的なハンドオーバーが可能となる。

事前仮想接続技術の基礎特性評価について、**図-3**に示す。本図では、マイクロセル到着時の時刻を0とし、ユーザの体感的な遅延を数値で表している。すなわち、事前仮想接続技術では、時刻0以前にアシストセルを介してセルサーチ等の処理を事前に行う動作を想定している。アシストセルを適用する事前仮想接続により、プライベートマイクロセル内における最も時間を要するセルサーチを事前に済ませることで、マイクロセル到着時に短時間で通信開始が可能となることが分かる。

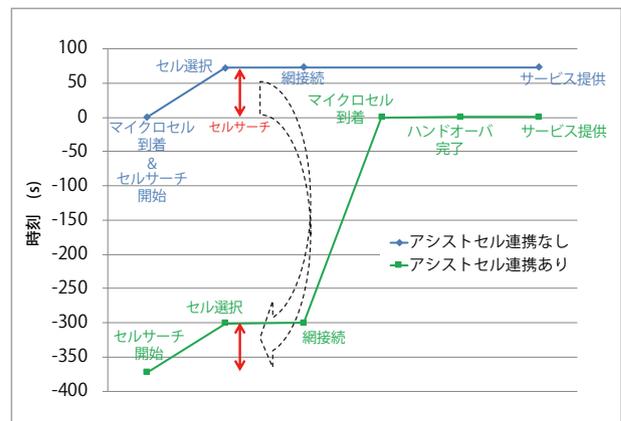


■図-2 アシストセルの適用による事前仮想接続技術の概念：(a) 基地局—コアネットワークリモート接続，(b) 基地局—端末間リモート接続

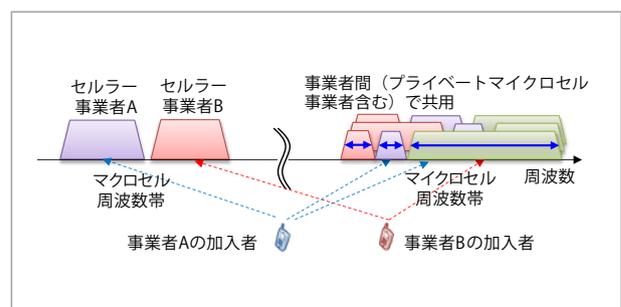
マイクロセル加入者容量向上のための周波数共有技術

マイクロセル周波数帯の有効な利用形態について、事業者間（セルラー事業者、プライベートマイクロセル事業者）で動的割当てを行う周波数共有技術について検討している²⁾。**図-4**に、マイクロセル周波数帯における周波数共有の概念を示す。マイクロセル周波数帯を、特定のセルラー事業者に専有的に割り当てる帯域だけでなく、プライベートマイクロセル事業者を含む事業者間で共用する帯域を設けることで、各事業者加入者のトラフィック状況に応じて、システム加入者容量の向上が図られると考えられる。

周波数共有技術の効用について計算機シミュレーションによる基礎評価を行った。**図-5**に評価結果を示す。本評価では、3つのマイクロセル事業者が、それぞれ一部の周波数帯を他事業者と共用する前提で、エリア内の端末（**図中** UE；User Equipment）



■図-3 事前仮想接続技術の基礎特性評価結果



■図-4 マイクロセル周波数帯の周波数共有

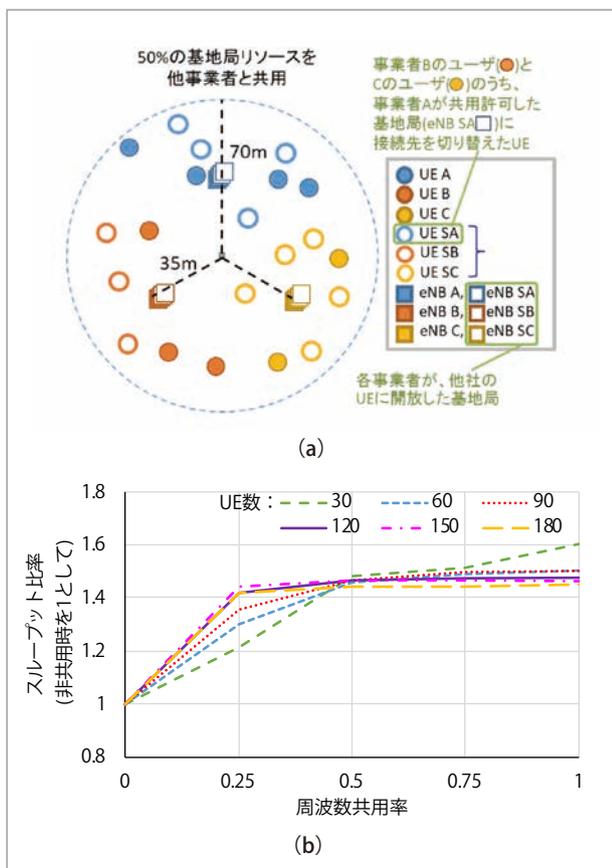
の数や、共用とする周波数帯の全体に対する比率である周波数共用率をパラメータとして、評価指標であるスループット特性をまとめた。図-5 (a) のとおり、3カ所のマイクロセル基地局（図中 eNB；

enhanced Node B) の周辺において、それぞれのマイクロセル基地局が提供する共用周波数帯に、他事業者の加入者が見られることが分かった。このような周波数共用技術による利用可能周波数帯の拡大効果のため、図-5 (b) によると、半分程度（周波数共用率が 50%）の周波数帯を共用した場合に、40%程度ものスループットの向上が確認できた。

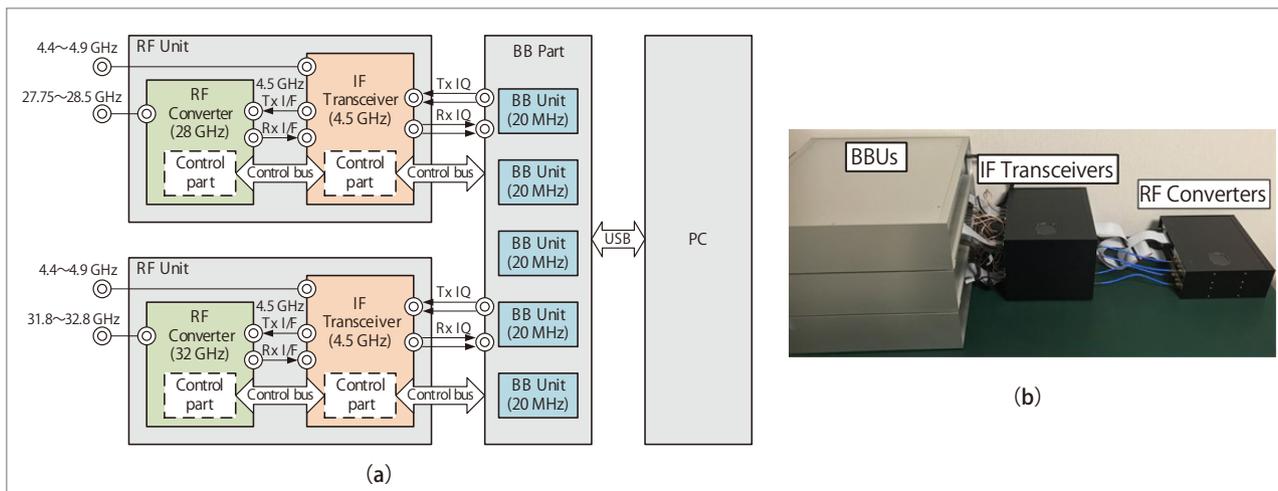
周波数共用を前提とした基地局構成技術

本章では、周波数共用基地局の試作開発について述べる³⁾。

図-6 に、当該基地局のブロック図と外観を示す。開発した共用基地局は多段の周波数変換技術を用い、それぞれが 20MHz 帯域幅を有する 5つの BB (Base Band) ユニットの入出力を、2つの RF (Radio Frequency) ユニットで周波数変換し、ミリ波帯を含む複数の周波数帯で運用可能としている。具体的には、商用の LTE eNB に IF (Intermediate Frequency) 変換ボードを接続し、2.6GHz 帯の LTE 信号を IF 帯である 4.5GHz 帯に変換する。さらに、4.5GHz 帯の LTE 信号を 2つの RF 変換ボードにより、ミリ波帯である 28GHz 帯あるいは 32GHz 帯に変換している。2つの RF ユニットは同時に異なる



■ 図-5 周波数共用技術の基礎評価結果：(a) 各基地局、端末の配置に対する接続先特性、(b) 周波数共用によるスループット改善効果

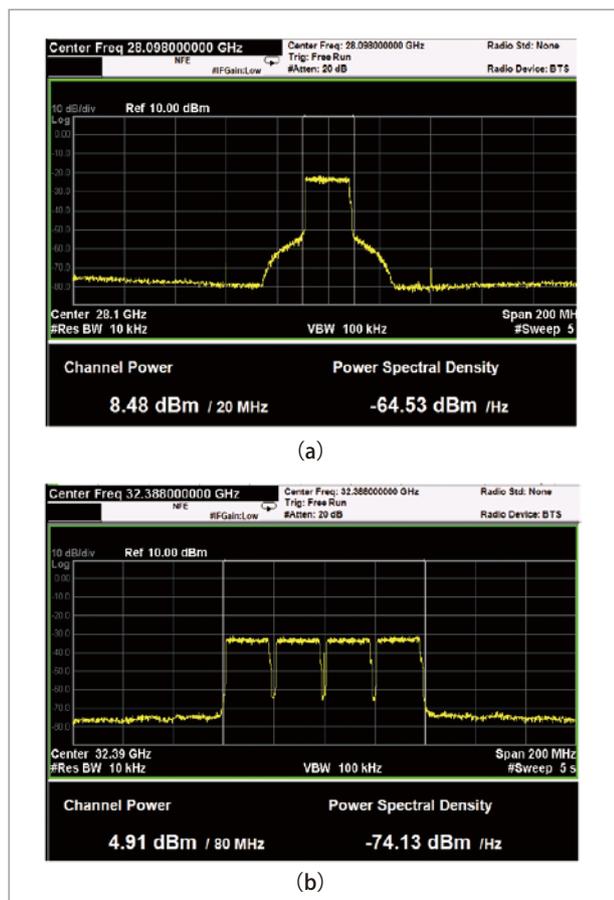


■ 図-6 周波数共用基地局：(a) ブロック図、(b) 基地局外観

る RF 信号を扱うことができ、同時に動作可能な組合せは、28GHz & 32GHz, 4.5GHz & 28GHz, または 4.5GHz & 32GHz である。

本稿では、このような RF ユニットの同時動作について基本評価を行った。本評価においては、28GHz 帯における 20MHz 帯域幅信号と、32GHz 帯における 80MHz 帯域幅信号の同時動作について、スペクトル波形、および、Down link, Up link それぞれにおける UDP (User Datagram Protocol) スループット特性について評価を行った。図-7に、RF スペクトル波形を示す。20MHz 帯域幅を有する5つの BB ユニットが適切に分配され動作することで、両帯域において、いずれも妥当なスペクトル波形を確認することができた。

また、図-8、および図-9に、図-7と同じ動作

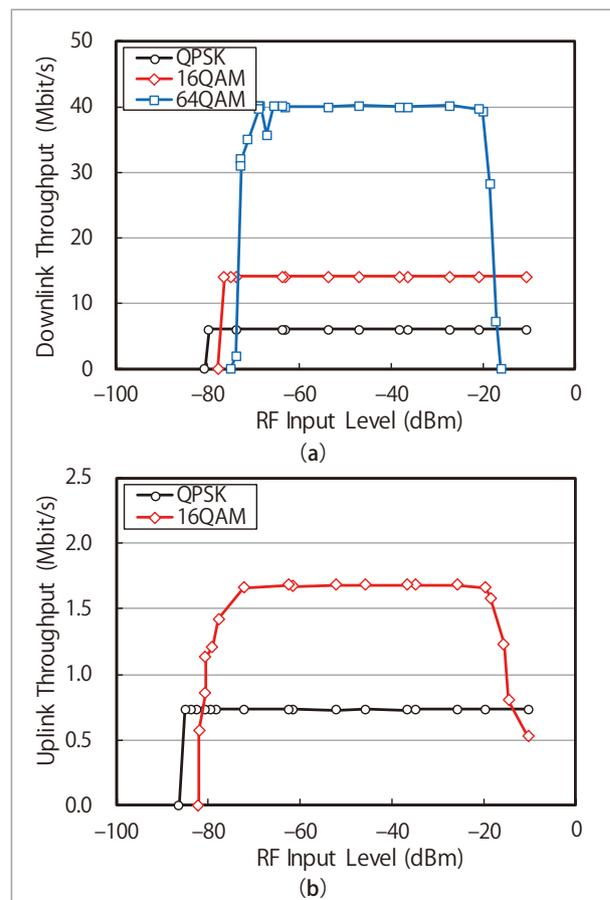


■ 図-7 同時動作時の RF スペクトル：(a) 28GHz 帯 20MHz 帯域幅信号、(b) 32GHz 帯 80MHz 帯域幅信号

時における、UDP スループット特性を示す。図より、UDP スループットの最大値を見ると、32GHz 帯では 28GHz 帯の約 4 倍の特性が得られていることが確認でき、帯域幅に準じた妥当な特性が得られていると考えられる。また、本実証における動作のように、異なる周波数帯で同時に複数の RF 信号を運用できたことは、本稿にて前述した、セルラー事業者、およびプライベートマイクロセル事業者間で、マイクロセル周波数帯を共用し利用していく形態に関しても、本開発基地局の有効性、現実性が十分に示されたと考えられる。

結論

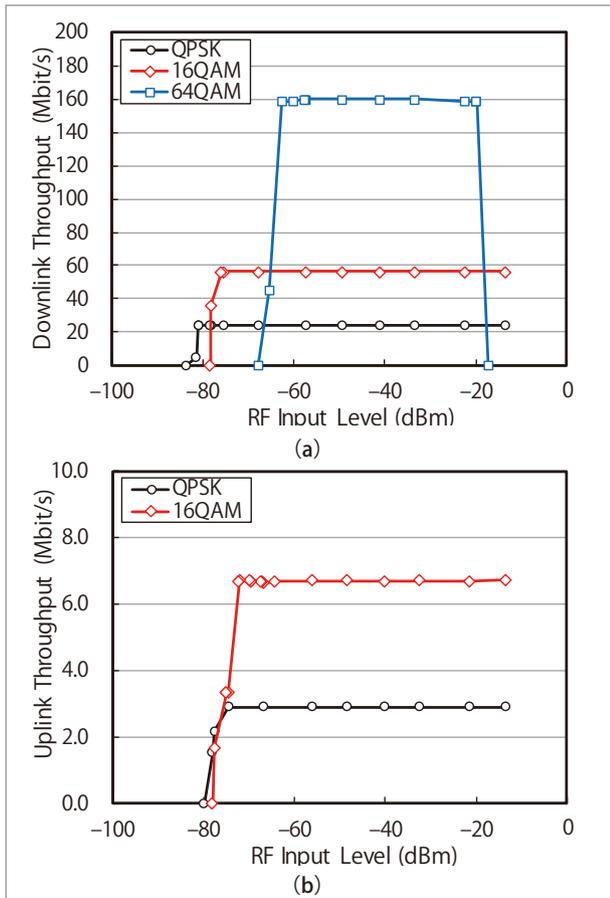
本稿では、ローカル 5G の高度化に有効なシステム基盤として、従来の事業者ではサービス展開が困



■ 図-8 UDP スループット特性 (28 GHz 帯)：(a) Down Link, (b) Up Link

難なエリアにプライベートマイクロセル事業者が5Gマイクロセルを敷設し、従来事業者のユーザ端

末に対してサービスを提供するプライベートマイクロセル構造について述べた。本構造を構成する要素技術として、ユーザ端末の移動に即し適切にプライベートマイクロセルへの接続を実現する事前仮想接続技術、プライベートマイクロセル内の加入者容量を向上させる周波数共用技術、以上の機能を実現するための基地局構成技術について述べた。



■図-9 UDPスループット特性(32GHz帯): (a) Down Link, (b) Up Link

参考文献

- 1) 伊深和雄, 松村 武, 村上 誉, 石津健太郎, 児島史秀: 事前仮想接続によるローカスポットセルへの高速接続, 信学技報, RCS2018-301, pp.107-112 (Mar. 2019).
- 2) 村上 誉, 石津健太郎, 児島史秀: 屋内環境における基地局共用時のスループット性能に関する一検討, 信学技報, SR2018-122, pp.9-16 (Mar. 2019).
- 3) Matsumura, T., Ibuka, K., Murakami, H., Ishizu, K. and Kojima, F.: A Prototype of Multi-RAN eNB with Dynamic Baseband Resource Allocation for Heterogeneous Private LTE Networks, Proc. WPMC2018 (Nov. 2018).
(2019年12月15日受付)

■児島史秀 f-kojima@nict.go.jp

1999年大阪大学大学院工学研究科通信工学専攻博士後期課程修了。工博。同年郵政省通信総合研究所入所。現在情報通信研究機構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。地上系無線システムの研究開発・標準化に従事。

