

4 Beyond 5G 協創プラットフォーム

4 Beyond 5G Collaborative Platform

4-1 Beyond 5G に向けた総合テストベッド環境

4-1 ICT Integrated Testbed Environment toward Beyond 5G Society

児島 史秀

KOJIMA Fumihide

本稿では、Beyond 5G 時代のシステム、サービスの事前検証環境として不可欠なテストベッド環境の構築と運用に関する NICT の取組について述べる。JGN に代表されるネットワークレイヤのテストベッドだけでなく、仮想空間検証環境にも対応するミドルウェアレイヤ、データ分析やアプリケーション開発を含めた検証環境を提供するプラットフォームレイヤにまで及ぶ検証環境として、高信頼・高可塑 B5G / IoT テストベッドを提供している。本稿では、その中の B5G モバイル環境の利活用事例も含めた将来の無線リソース制御について取り上げ、オンデマンドリソース割当制御方式及び低速適応変調方式について述べる。さらに、将来の高度なシステム・サービス検証に有効な、各テストベッド環境の連携動作についても考察する。

This paper reports on NICT's activities for the testbed constructions and provisions that accelerate R&D and promotion of the future systems and services toward Beyond 5G society. The ICT integrated testbed, namely, "B5G / IoT Testbed with High Reliability and High Elasticity," supports not only network layer testbed such as the conventional JGN testbed, but also middle layer testbed enabling evaluations in the cyberspace, and platform layer testbed supporting data analysis operations and application development environments. This paper also introduces the future intelligent radio resource management schemes that includes the on-demand dynamic resource allocation technology and the slow adaptive modulation technology, which are partially tested in the B5G mobile evaluation environment. Furthermore, the paper shows the possible harmonized functions among the several testbed environments that are expected to usefully work for the evaluations on the highly complicated and advanced systems and services in the future.

1 まえがき

Beyond 5G (B5G: Beyond 5th Generation) や、6G (6th Generation) の名称で知られる次世代以降の無線通信システムの最大の特徴のひとつは、伝送速度等の単一スペックが高度化されるだけでなく、極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、省電力等の多様化する高度化要素をヘテロジニアスに具現化していくことが想定されている点である [1]。2020 年初頭より生じた新型コロナウイルス感染症のパンデミックは、テレワークや衛生管理といった生活様式の大規模な変化をもたらした。現代の社会課題は決してそれらにとどまるものでなく、環境問題、少子高齢化、

都市集中化、QOL 見直し等、枚挙にいとまがない。このような現状は前述の生活様式の変革も含めながら、生活要求自体の多様化・複雑化に直結し、それはそのまま無線通信システムの高度化と多様化を余儀なくするものにほかならない。

NICT は、無線通信システムにおける電波有効利用技術を含めた ICT に関する唯一の国立研究機関であるとともに、電波産業の方向性に合致し、先進的研究開発を公平性ある立場で行い、標準化・認証等を経て成果の社会展開を図っている。さらには、総合テストベッド研究開発推進センターでは、上述した将来の無線通信システムの設計・事前評価に不可欠といえる検証環境であるテストベッドを構築し、提供するという業務を担っていて、当該検証環境に関する研究開発を

積極的に進めている。本稿では、B5G / 6G 時代における高度化・多様化した無線通信システムの検証環境であるテストベッド構築・運用のための NICT による取組を取り上げながら、想定する検証環境として求められる要素技術と実際のテストベッド構築・運用実体について述べる。2022 年の 10 月からサービスが開始され、そのような B5G に向けたテストベッド検証環境の具現化事例といえる高信頼・高可塑 B5G / IoT テストベッドについて説明する。さらに本稿では、当該テストベッドの一環境である B5G モバイル環境の詳細について解説するとともに、将来の無線通信システムにおいて主要な制御技術のひとつである無線リソース制御について取り上げ、オンデマンドリソース割当制御方式及び低速適応変調方式について述べる。また、将来の高度なシステム・サービス検証に有効な、各テストベッド環境の連携動作についても考察する。

2 Beyond 5G に向けたテストベッド実証環境

2.1 Beyond 5G 時代の無線通信サービス要件

図 1 に、4G (4th Generation) や 5G と比較した B5G / 6G のイメージの一案を示したものである。4G 以前では、通信速度を中心とする単独の通信サービス要件について性能の向上が追求されていたのに対し、5G においては、サイバーフィジカル連携の導入により無線通信主体がヒトからヒト／モノまで拡張されると同時に、前章にて述べたように状況に応じて大容量、低遅延、多数接続等の複数の要件がそれぞれ満足される局面が生じた。6G の商用化は、当初は 2030 年と言われながら、前倒しとなる兆候が散見されている。図 1 に挙げた 6G のイメージは、当該無線サービス要件が、それぞれで

複合し、折衝し、調和しながら、更なる要件を形成し満たしていくような形態である。このような無線サービス要件間の作用を要件間連携と呼称するが、これをもたらすのに不可欠なのが前述のサイバーフィジカル連携基盤であると考えられる。すなわち、高精度かつリアルタイムな電波模擬技術により、要件間連携が、通信主体の需要や、伝搬路状況等の環境によって動的かつ適切に提供される形態が期待される。図 1 のように、非常に複雑な無線通信サービス要件を前提としながら将来のシステム、サービスについて評価していくためには、検証環境としてのテストベッドにおいても、従来の設備等では不十分となることが予想され、同様に抜本的な機能拡張等について考慮することが不可欠であると考えられる。

2.2 Beyond 5G に向けたテストベッド循環進化の方向性

図 2 に、Beyond 5G 時代のシステム、サービスの評価に対応するための、実証環境であるテストベッドの循環進化の方向性について示す。これまで NICT では、広域高速有線網である Japan Gigabit Network (JGN) [2] と、計算機環境である StarBED [3] を中心とするテストベッドを提供してきた。これらは、通信網等のインフラを基盤とする検証環境であり、利用事例としてはネットワークレイヤに関する検証評価に用いられる場合が主であった。一方で前述のとおり、今後の検証評価としては、ワイヤレスエミュレーション [4]-[6] のような仮想空間を活用した検証環境や、データ分析及びアプリケーション開発を含めた検証環境までが必要となると考えられることから、それぞれ、ミドルウェアレイヤ、プラットフォームレイヤへの拡張対応について考慮することが不可欠である。

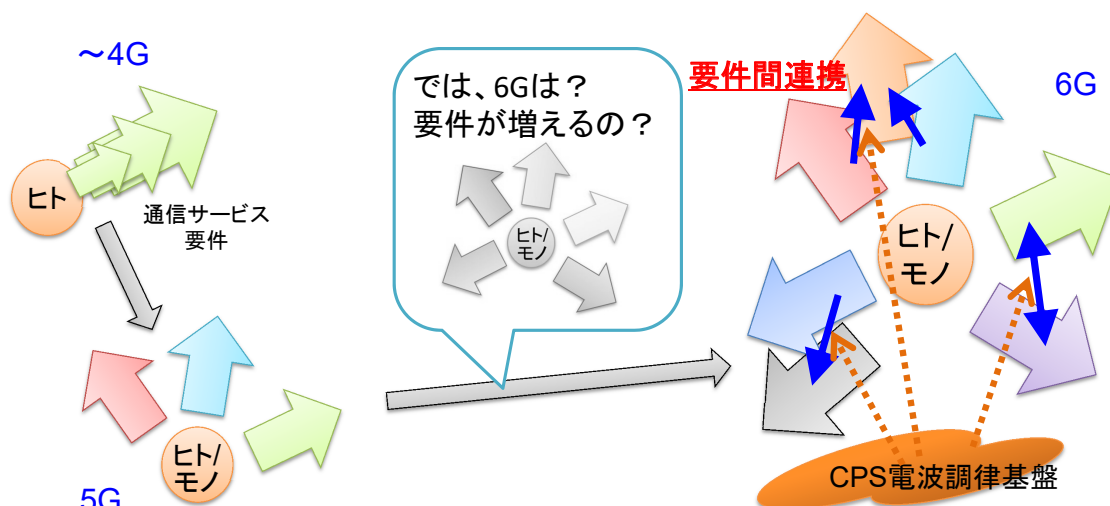


図 1 無線通信サービス要件の変遷

テストベッドのあるべき姿 方向性

- Society5.0実現に向けたB5Gシステムの技術開発に柔軟に利用可能な基本機能の保有
- 技術開発動向に合わせ機能拡張、外部開発技術の取込みが容易
- 外部利用を容易とする運用環境の保有

- サイバー・フィジカルシステム実現への貢献に向け、ネットワークからアプリケーションまでの研究開発、社会実証が可能な構成とする
- 技術開発動向に合わせて柔軟な機能拡張を進め、B5Gテストベッド機能の循環進化を進める
- スムーズな外部利用と運用効率化を両立する

開発の進め方

- ネットワークレイヤ機能からミドルウェア/プラットフォームレイヤ機能を拡張し、相互に連携利用できるよう開発
- HWとSW機能を分離しソフトウェアによる柔軟な機能拡張を実現
- 外部ニーズに即し、ネットワークレイヤ等のHW機能とミドルウェアレイヤを連携させ、将来のネットワーク機能のエミュレーションを実現
- 併せて、外部ニーズに即しながら各機能モジュール間のインタフェースを整理し、柔軟な機能拡張とともに運用性向上も実現
- 各機能開発の方向性を外部利用者と協調して進めるための外部連携体制の整備
- 上記開発事項に並行し、テストベッド活用推進のためのプロモーション活動を活性化



図2 テストベッド循環進化の方向性

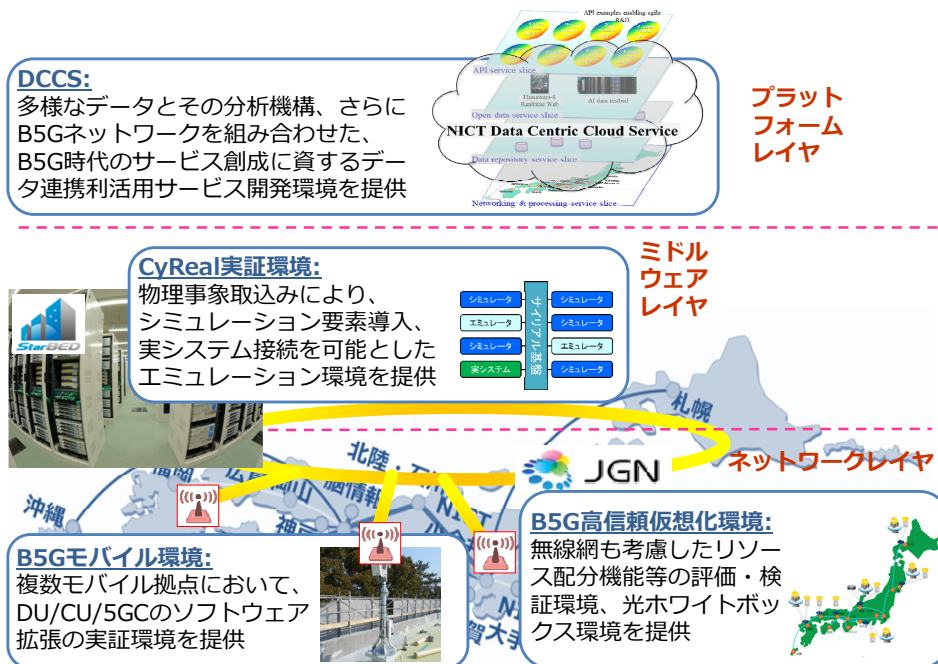


図3 高信頼・高可塑 B5G / IoT テストベッドの概要

3 高信頼・高可塑 B5G / IoT テストベッドのサービス開始・運用

3.1 ネットワーク、ミドルウェア、プラットフォームレイヤに及ぶ実証環境

本章では、前章で述べたテストベッドの循環進化の方向性を具現化した検証環境として、2022年10月より、順次各検証環境のサービス提供を開始した高信

頼・高可塑 B5G / IoT テストベッドについて述べる [7]。図3に、高信頼・高可塑 B5G / IoT テストベッドの概要を示す。本検証環境は、既存環境 JGN、StarBED を活用しながら、前述したネットワークレイヤ、ミドルウェアレイヤ、プラットフォームレイヤにわたり、図3のように4つのテストベッド検証環境を提供するものである。B5G 高信頼仮想化環境は、JGN 上に実装され、国内の複数 JGN 拠点にわたる実証が可能となる

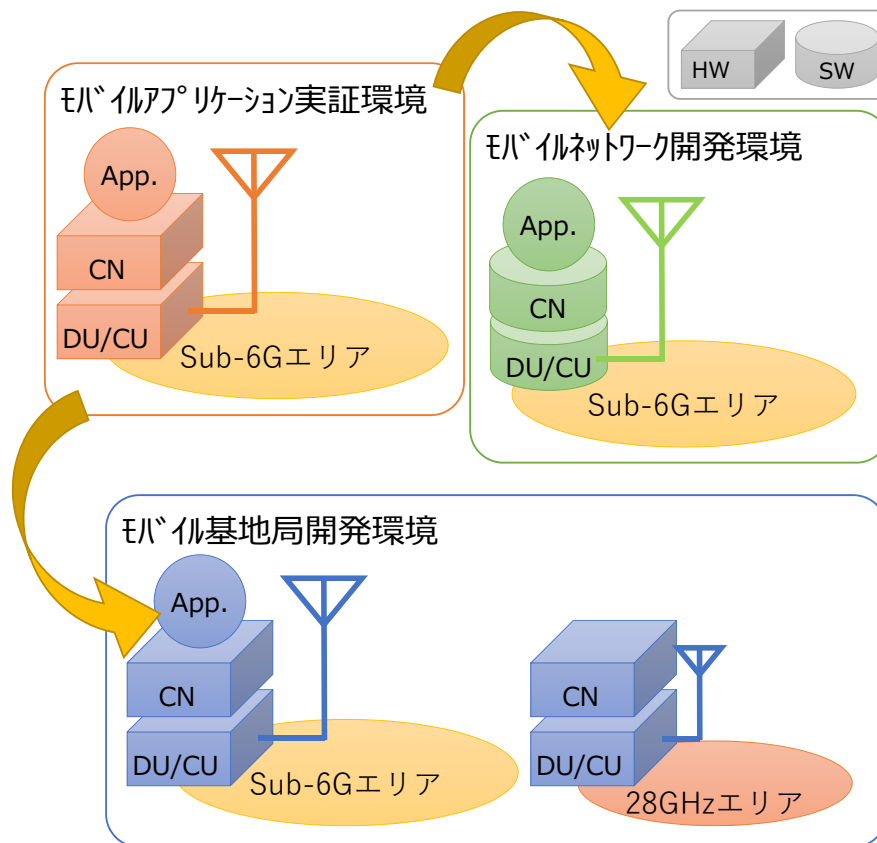


図4 B5G モバイル環境の概要

検証環境であり、各拠点における通信リソースの配分機能等の評価・検証を可能とするほか、伝送装置としての光ホワイトボックスを提供することも想定するテストベッドである。

B5G モバイル環境は、JGN に接続し、ローカル 5G システムに準拠するモバイル基地局拠点を東京、大阪、九州に設置し（一部コア設備は北陸拠点に設置）、各無線基地局の設定変更による無線通信サービスについて特性評価を可能とするテストベッドである。また、CyReal 実証環境は、StarBED 上に実装され、JGN による遠隔利用も想定の上で構築されたミドルウェアレイヤの検証環境であり、物理事象や、実機との接続も想定の上で、仮想空間上で、各種のエミュレーション動作、シミュレーション動作との複合動作を可能としながら、より多様な検証を可能とするためのテストベッドである。最後に Data Centric Cloud Service (DCCS) は、CyReal 実証環境と同様の StarBED 上や、他のエッジコンピューティング環境においても実装される検証環境で、膨大なデータの分析処理機能や、アプリケーションの開発環境を提供するテストベッドである。

3.2 B5G モバイル環境の詳細

本節では、前節で述べた、高信頼・高可塑 B5G / IoT

テストベッドが提供する 4 テストベッド環境のうち、ネットワークレイヤにおいて無線通信環境を提供する検証環境である B5G モバイル環境について詳細を述べる。図4に、B5G モバイル環境の概要を示す。当該検証環境は、図4に示すとおり、3つの検証環境に更に分類される。モバイルアプリケーション実証環境は、基地局設備、アンテナ等で構成される基本的なモバイルネットワーク環境を提供し、5G ネットワークを活用するアプリケーション技術の研究開発を実施しながら、課題抽出を経て B5G ネットワークの要件等を明確化することを想定した検証環境である。モバイルネットワーク開発環境は、汎用サーバーを用いたクラウドネイティブな基地局設備とアンテナ等によるモバイルネットワーク環境を提供することで、基地局機能のソフトウェア変更が可能で、C-Plane によるスライシング等の評価が実施できる検証として提供するものである。モバイル基地局開発環境は、複数基地局（28 GHz 帯、Sub-6 GHz 帯）及びこれらに接続可能なマルチバンド端末局を用いて、共通エリアにおける基地局選択等の制御について検証可能な環境を提供するものである。

B5G モバイル環境のうち、モバイルアプリケーション実証環境とモバイルネットワーク開発環境は、図3にも示すとおり、東京地区だけでなく、大阪地区、北

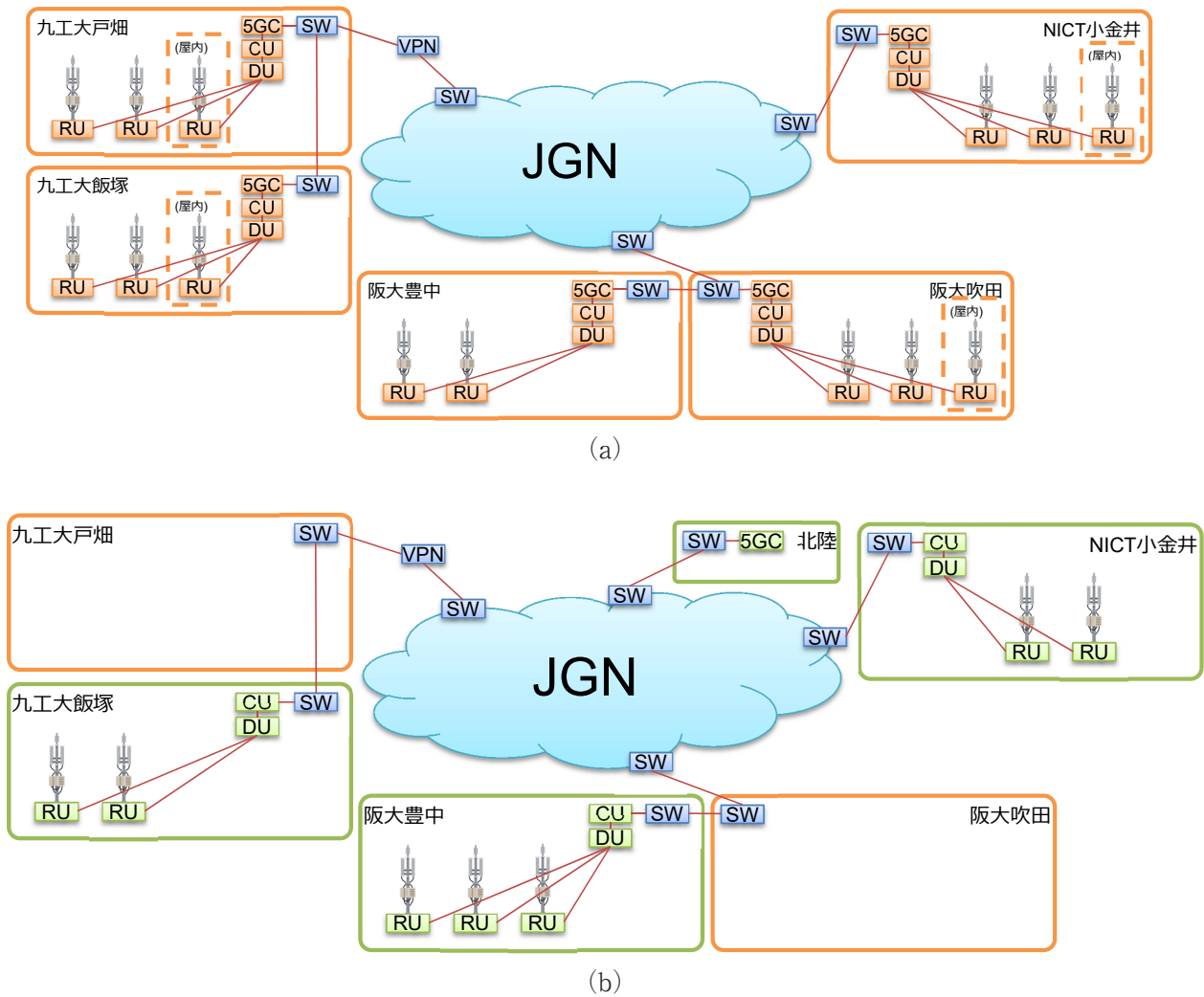


図5 B5G モバイル環境の構成詳細：(a) モバイルアプリケーション実証環境 (b) モバイルネットワーク開発環境

九州地区に環境を設置していて、それぞれ、NICT 本部、大阪大学、九州工業大学に基地局及び無線エリアが構築されている。図5に、各地域にわたる当該検証環境の設置概要を示す。

図6に、B5G モバイル環境の基地局設備のうち、NICT 本部（東京都小金井市）に構築された設備の外観を示す。図5に示すとおり、NICT 本部には、3つのモバイルアプリケーション実証環境基地局と、2つのモバイルネットワーク開発環境基地局が設置されている。

4 オンデマンドリソース割当制御の提案と実証

4.1 オンデマンドリソース割当ての概要

本章では、Beyond 5G 時代における無線通信システムにとって、最重要の課題のひとつとして知られる周波数資源有効利用技術について、前章でも述べた検証環境である高信頼・高可塑 B5G / IoT テストベッドによる検証評価を前提とした検討について述べる。本稿



図6 B5G モバイル環境の基地局外観

では、Beyond 5G 時代のセルラ / IoT システムにて予測される多様なトラフィックに対して、基地局構成のハードウェア及びソフトウェアによる機能拡張を実現することで、ローカル 5G 等に代表される基地局機能を高度化し、オンデマンド型のリソース割当制御を実

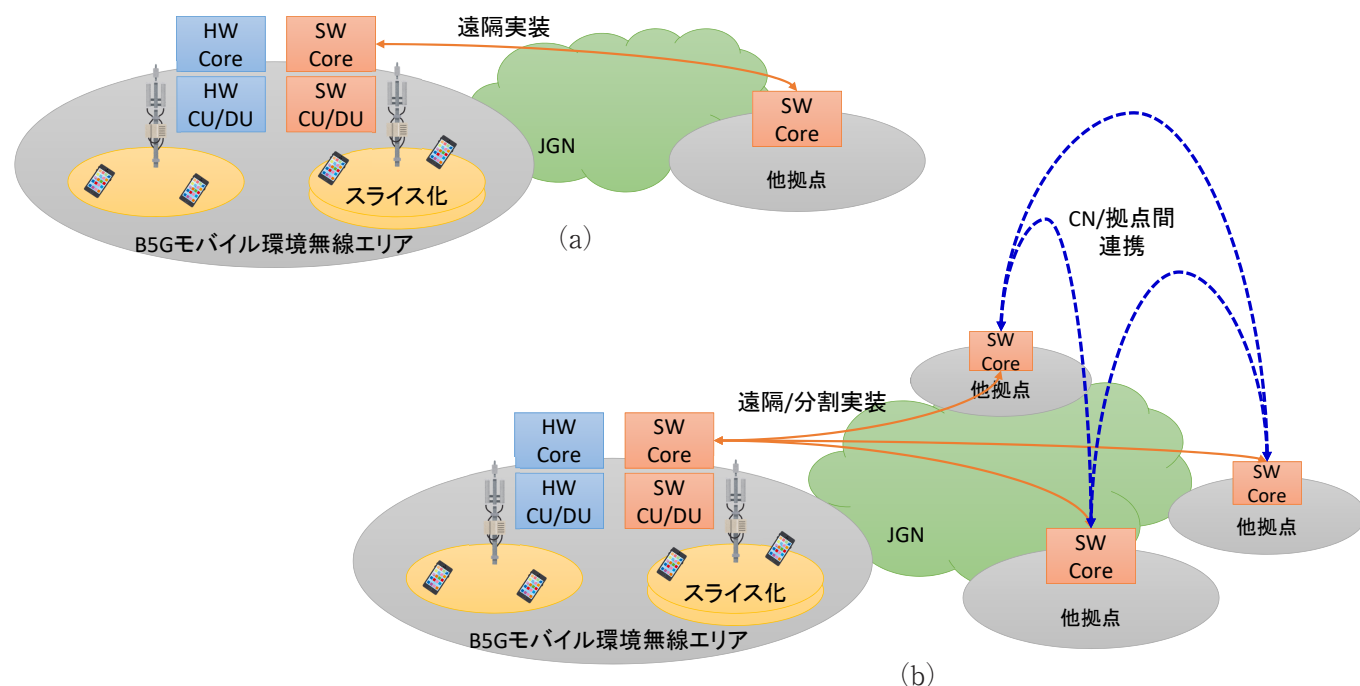


図7 提案するオンデマンドリソース割当制御の概要：(a) スライシングによるリソース割当て (b) 遠隔／分散コア構築を含めた実装

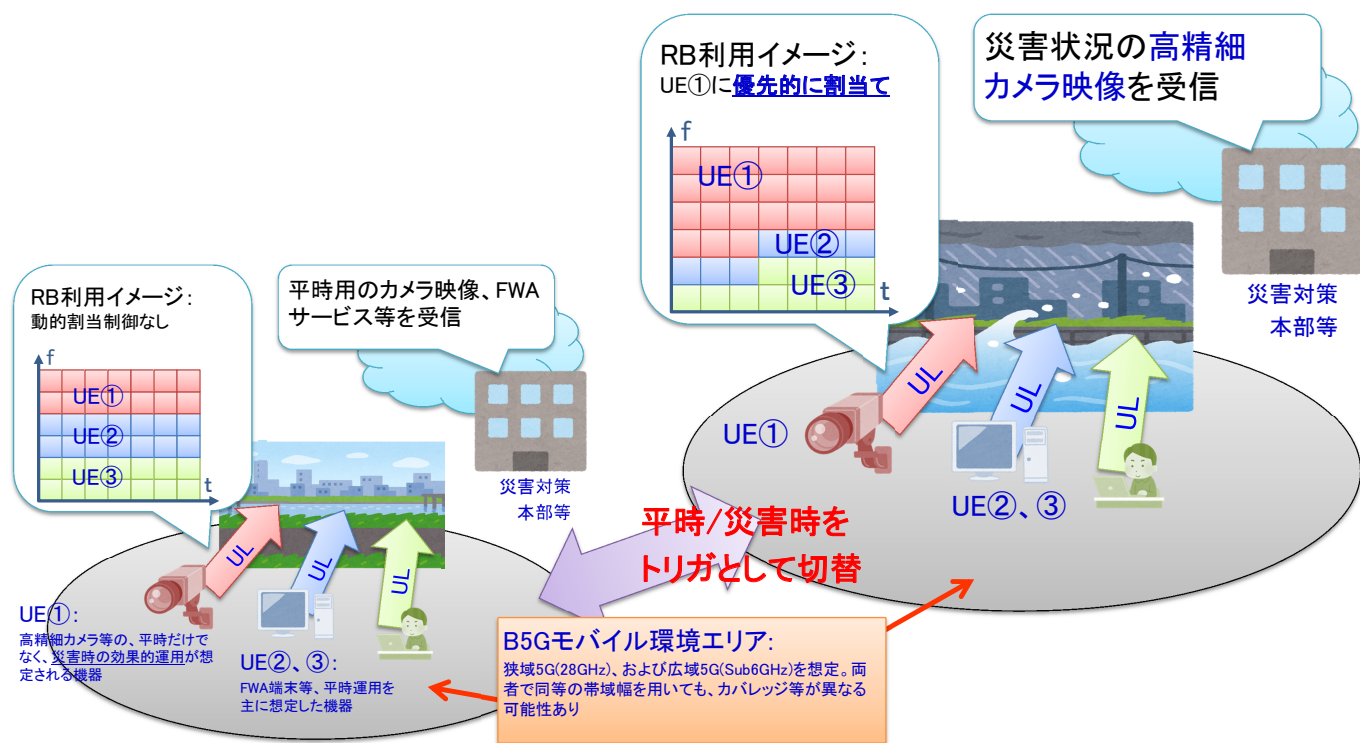


図8 オンデマンドリソース割当制御の効用の例

施することで、将来必須となる周波数資源の有効利用に有効な循環進化手法を提案する。本検討は、提案内容の評価のために、図3に示した高信頼・高可塑 B5G / IoT テストベッド B5G モバイル環境のモバイルネットワーク開発環境を利用した実証試験を前提とするものである。

図7(a)に、提案するオンデマンドリソース割当制御

の実証の概要を示す。本検討では、前述した高信頼・高可塑 B5G / IoT テストベッド B5G モバイル環境のモバイルネットワーク開発環境を活用の上で、検証環境内に、ローカル 5G 準拠の基地局を2台設置している。基地局はいずれも図のとおり、Central Unit (CU) / Distributed Unit (DU) 部と Core 部によって構成されるが、1台はハードウェア中心に実装される一方で、も

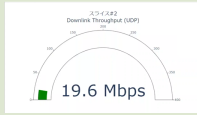
	「帯域大」スライシング	「帯域小」スライシング
スループット		
動画像品質		

図9 スライシングによる帯域制御動作例

う1台は、ソフトウェア技術を適用した変更拡張が可能な実装とする。

図7(b)に、モバイルネットワーク開発環境におけるコア機構がソフトウェア実装により構成及び設置場所を柔軟にカスタマイズできる特徴に注目し、コア機構の遠隔または分散構築を実施した検証動作例を示す。本構成では、利用者側で想定する無線通信アプリケーションの性質に応じて、適切なコア機構の設置が可能となるほか[8][9]、同図のように複数のコア機構による分散的な処理等の応用も想定できる。

オンデマンドリソース割当制御技術の応用例のひとつとして考えられる動的アップリンク(UL: Up Link)リソース割当ての動作例を図8に示す。図では、前節のB5Gモバイル環境に相当する無線エリアであるB5Gモバイル環境実証エリアにおいて、UE①、UE②、UE③と明示された3つのUser Equipment(UE)が同時に動作している状態を示している。このうちUE①は、4K等の高精度カメラに接続された無線端末を想定し、UE②及びUE③はそれ以外の無線端末としている。NICTで検討しているオンデマンドリソース割当制御では、図8に示すとおり、ローカル5G無線通信システムにおいても用いられるリソースブロック(RB: Resource Block)の割当てによる実装が想定されている。図のとおり、災害時等において高精度カメラを有するUE①からの映像信号が他UEからのデータよりも重要と判断された等のトリガによって、基地局、またはコアネットワークが、UE①に対して他のUEよりも多くのRBを動的に割当てすることで、UE①からの高精細の映像データのアップロードが適切に優先的に行われる動作例が示されている。

4.2 モバイルネットワーク開発環境を用いた実証評価

本節では、図7に示したモバイルネットワーク開発環境を用いて行われたオンデマンドリソース割当制御に関する基本検証結果について報告する。図9に、スライシング技術の適用による帯域制御動作の実証例を示す。本実証では、ひとつの基地局に接続する2台のUEに対して、スライシング技術により異なるRB数を割当てダウンリンク通信における伝送特性を測定した。図9にみられる動作例では、上記状況のことなるUEにおいて、それぞれ観測されたスループット特性と、動画像伝送アプリケーションの動作を示して、より多くのRBを割当てた、「帯域大」と示したケースのほうがより良好な伝送特性を得られることが確認できた。

次に図10に、同様のスライシング技術を帯域確保の目的で用いた場合の実証例を示す。本実証では、1台のUEに対し、iperfデータ伝送、動画像伝送という異なるアプリケーションを提供し、これを、それぞれ異なるスライスにおいて実施した場合と、同一のスライス(スライシング無し)において実施した場合の比較を行った。スライシングを行った前者(図10中の「帯域確保あり」)については、これらの異なるアプリケーションが異なるスライスで提供されることで干渉等を発生させず、それぞれ良好な特性が得られることが確認できた。

モバイルネットワーク開発環境を用いた実証として、図7(b)のようなコア機構の遠隔構築による影響について検証を行った。図11に、本実証で得られた動作結果例を示す。本実証では、東京地区の基地局及び無線エリアを利用するUEに対して、ソフトウェア構成のコア機構について、北陸地区に設置した場合と、東京地区

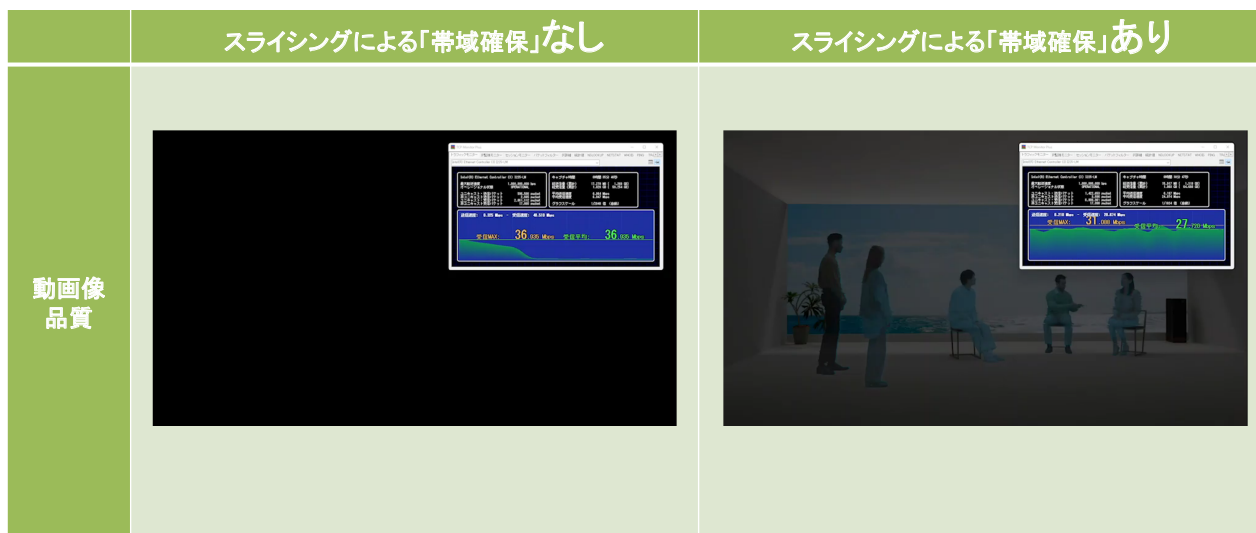


図 10 スライシングによる帯域確保動作例

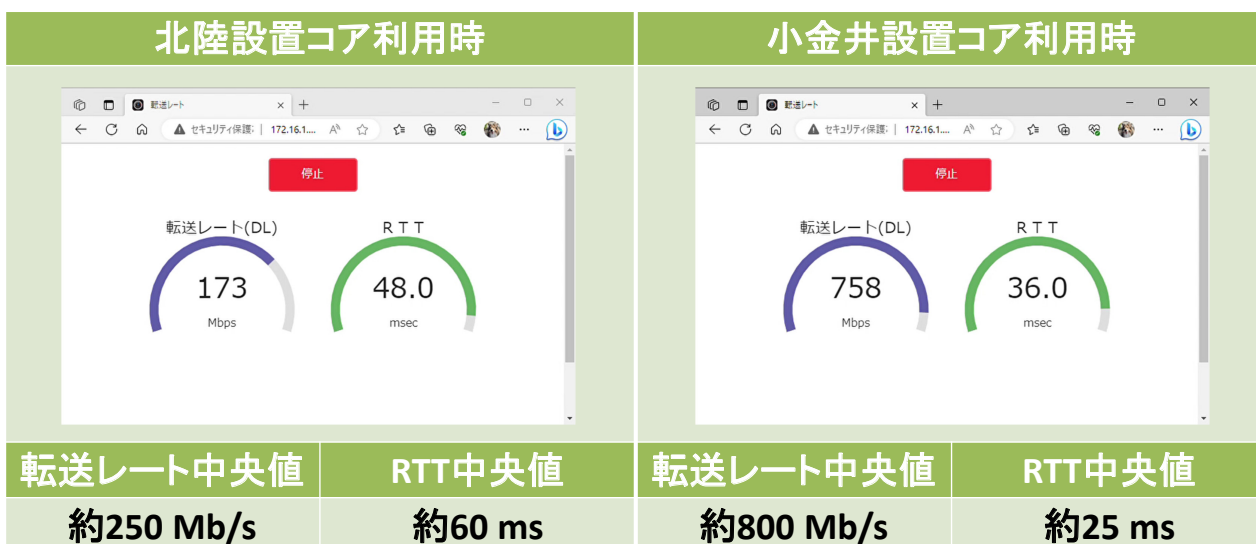


図 11 コア遠隔構築動作例

(NICT 本部(小金井市))に設置した場合にそれぞれ得られる伝送特性の比較を行った。図 11 の動作例では、得られたスループット特性のほか、伝送遅延に起因する RTT 特性の比較について示している。本動作例より、コア機構を北陸地区に設置した場合のほうが、距離による伝送遅延の影響が深刻となり、同時に発生する遅延により RB の効率的な割当てが実施できず、結果としてスループット特性も劣化することが確認できた。

5 更なる高度制御手法の実証評価検討

5.1 複数基地局を想定した低速適応変調方式の適用について

本章では、B5G モバイル環境を用いた更なる検証の可能性について検討する。本稿では、当該環境を用いた実証を想定しながら、無線周波数資源の有効利用技

術として知られる低速適応変調方式 [10] について考察する。図 12 に、低速適応変調方式の概要を示す。低速適応変調方式は、セルラシステム等において顕著となる、基地局からの距離等による地理的な伝搬路状況に応じて、異なる変調方式(変調多値数、シンボルレート)を割当てることにより、割当無線リソースにおける伝送効率や、無線リソースの繰返し距離等を制御し、システム全体として周波数利用効率を向上される制御方式である。本検討では、将来的に、B5G モバイル環境における UE の伝搬路状況に応じた動作特性や、複数基地局間の干渉を考慮した効率的な無線リソース割当特性について検証されることを想定しながら、低速適応変調方式に関する基礎的な特性について評価及び考察を行った。

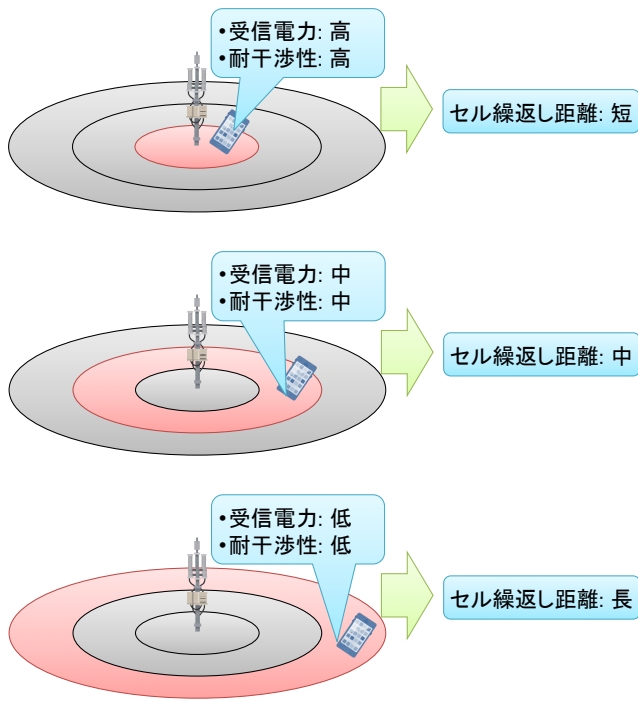


図 12 低速適用変調方式の概要

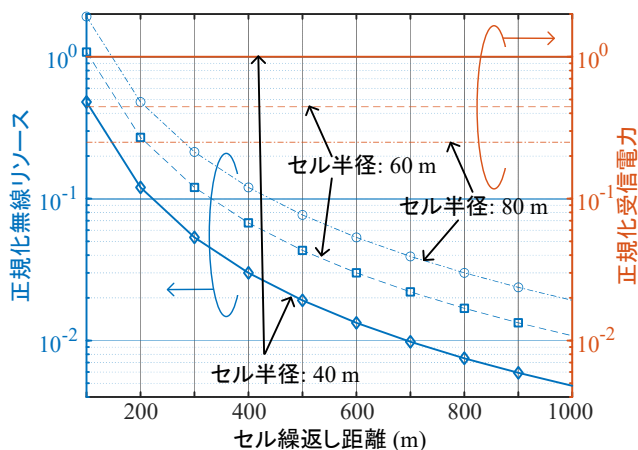


図 13 正規化無線リソースの基本特性

5.2 計算機シミュレーションによる基本特性評価

図 13 に、セル半径をパラメータとした、セル繰返し距離に対する正規化無線リソース特性を示す。ここでは、モデルとして 6 角形セルを想定した場合に、システム全体に与えられた無線リソースに対する、1 セルにおいて割当てられる無線リソースの割合を、正規化無線リソースとして検証している。併せて、セル半径 40 m の場合で正規化した UE の平均受信電力について、正規化受信電力として評価している。図 13 に示すとおり、セル半径を大きくするほど、また、セル繰返し距離を小さくするほど、無線リソースが分割される度合いが下がることから、正規化無線リソースは増加していくが、同図中に示す正規化受信電力の低下や、セル繰返し距離による干渉電力の増加の影響を受けて、

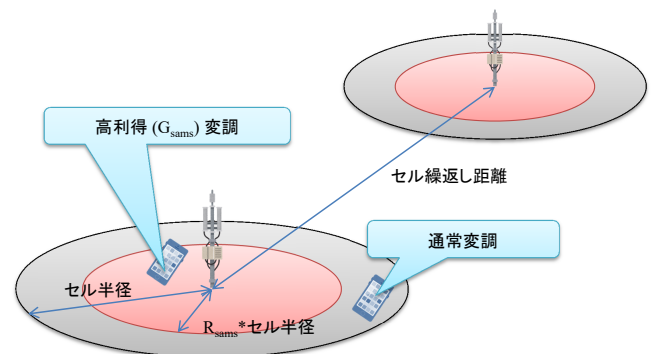


図 14 特性評価において導入するパラメータ

得られる無線伝送品質の劣化が予想される。

次に、図 12 に示したような異なる変調方式の適用に関する評価を行うために、システムのパラメータを導入する。図 14 に、本評価において導入されたパラメータについて示す。パラメータ R_{sams} は、 $0 \leq R_{sams} \leq 1$ で定義され、基地局から $R_{sams} \times$ セル半径以内の距離に存在する UE は、通常よりも高利得の変調方式を利用することができる状態を規定するパラメータである。また、当該高利得の変調方式は、パラメータ G_{sams} を正規化変調利得として定義することで規定される。

以上並びに図 14 によって導入されたパラメータ R_{sams} 、 G_{sams} に関するシステム全体の正規化無線リソース特性を図 15 及び図 16 に示す。セル中心部で適用された高利得変調方式により、正規化無線リソースが向上していることが確認でき、例えば、図 15 では 120 % までの特性向上が確認できた。一方で、図 12 に示されるように、そのような高利得変調方式の適用は、所望波電力、干渉波電力等の条件より、実際にシステムにおいて適用できるエリアは制限されることになる。このことから、本検討において導入したパラメータをはじめ、様々なシステム諸元の最適化は実際のシステム実装において不可避となることが予想される。本章で取り上げた低速適応変調方式の適用だけでなく、将来の無線積信システムとして想定される機能拡張の検討及び実証評価に際して、高信頼・高可塑 B5G / IoT テストベッドの B5G モバイル環境の有効な利活用が更に期待されるといえる。

6 各テストベッド実証環境間の連携動作

本章では、今後更に高度化・多様化が進むシステム、サービスの設計及び検証評価のために用いられることを想定したテストベッドの循環進化のひとつの方向性として、各テストベッド実証環境間の連携動作について検討する。図 17 に、高信頼・高可塑 B5G / IoT テストベッドに関する各テストベッド実証環境の連携の

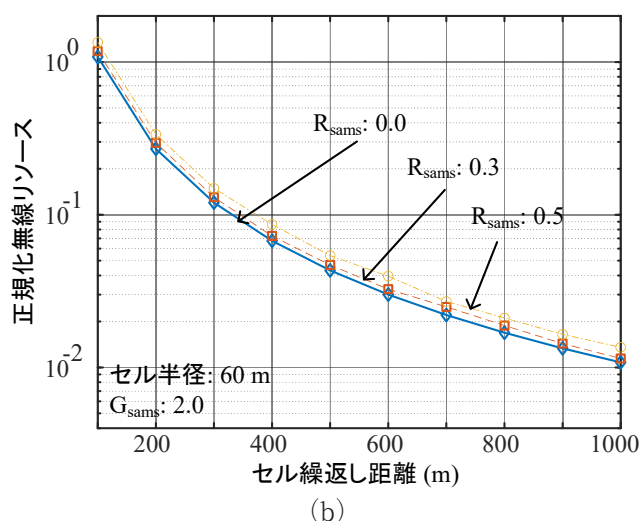
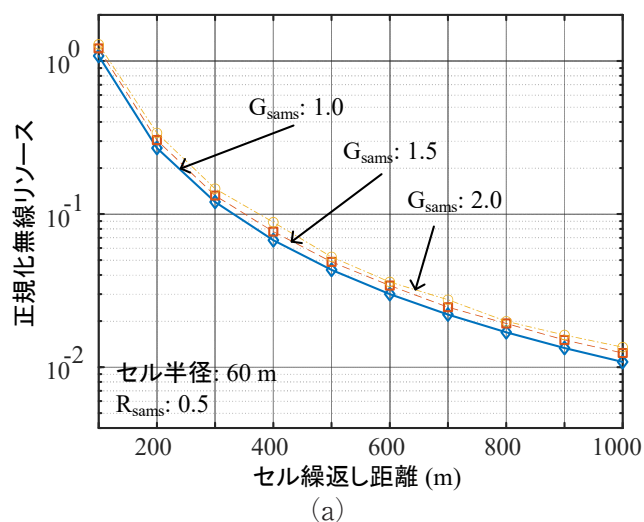


図 15 各パラメータに対する正規化無線リソース特性: (a) パラメータ G_{sams} に対する特性 (b) パラメータ R_{sams} に対する特性

概要を示す。本章で想定する連携については、図 17 に示されるとおり、B5G モバイル環境で検証されるシステム系の一部を、CyReal 環境による仮想空間におけるエミュレーション実装等により補完したり、DCCS におけるデータ分析等の動作について、実際の通信網として、B5G 高信頼仮想化環境におけるリソース配分状況を参照しながら検証したりする利用形態が予想される。また、広義の連携としては、やはり図 17 に示すとおり、ワイヤレスエミュレーション等の外部の拡張機能を CyReal 実証環境で取り入れ機能強化を図る形態や、B5G モバイル環境に対して、外部ネットワークレイヤテストベッドともいえる NTN 系との連携を実施

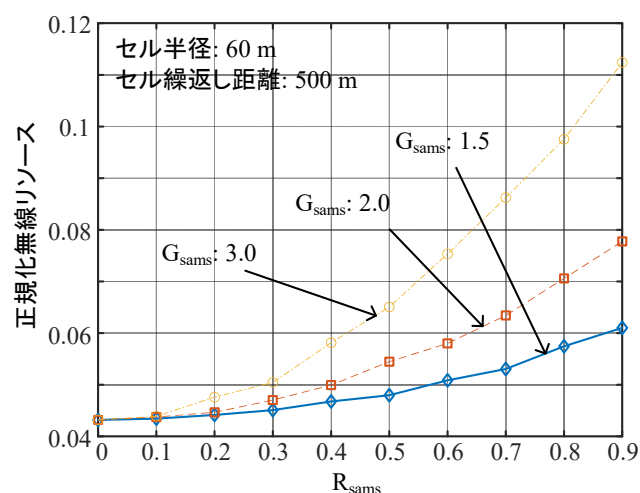


図 16 パラメータ R_{sams} 、 G_{sams} に対する正規化無線リソース特性

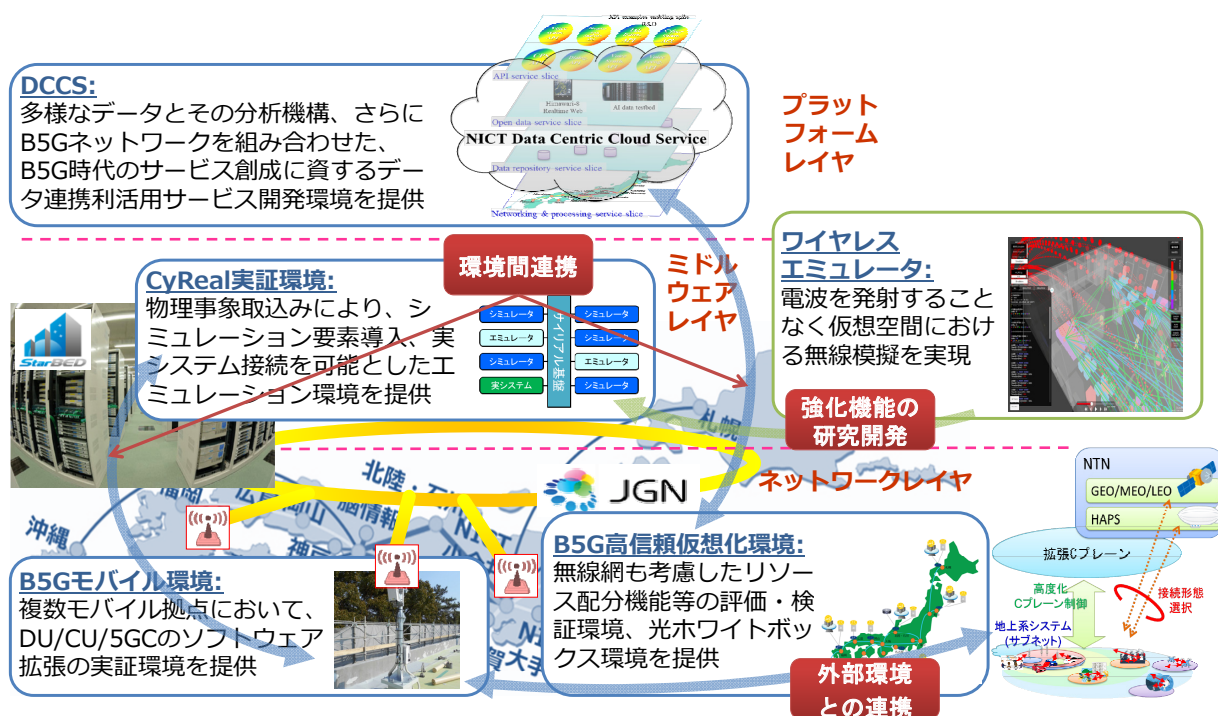


図 17 各テストベッド実証環境の連携の概要

する形態等も挙げられる。このような連携動作を有意義なものにするためにも、既存テストベッド環境における各インタフェースの適切な実装等が必要であり、テストベッド環境の循環進化の見地より最重要の課題のひとつだと考えられる。

7 むすび

本稿では、Beyond 5G 時代のシステム、サービスの事前検証環境として不可欠なテストベッド環境の構築と運用に関する NICT の取組みについて述べた。従来のネットワークレイヤのテストベッドだけでなく、仮想空間検証環境にも対応するミドルウェアレイヤ、データ分析やアプリケーション開発を含めた検証環境を提供するプラットフォームレイヤにまで及ぶ検証環境として、2022 年よりサービスを開始した高信頼・高可塑 B5G / IoT テストベッドを紹介し、その中の B5G モバイル環境の利活用事例も含めた将来の無線リソース制御について取り上げ、オンデマンドリソース割当制御方式及び低速適応変調方式について述べた。さらに、将来の高度なシステム・サービス検証に有効な、各テストベッド環境の連携動作についても考察した。外部連携を考慮したテストベッド環境の連携動作の実践や、ワイヤレスエミュレータとの連携による検証環境機能拡張が今後の課題のひとつとして考えられている。

謝辞

本研究開発は、総務省の「仮想空間における電波模擬システム技術の高度化に向けた研究開発 (JPJ000254)」によって実施した成果を含む。

【参考文献】

- 1 ITU-R, "IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," ITU-R Recommendations M.2083-0, 2015.
- 2 NICT, "JGN Website High Speed R&D Network Testbed," <https://testbed.nict.go.jp/jgn/english/index.html>
- 3 NICT, "StarBED5 Project website," <https://starbed.nict.go.jp/en/>
- 4 DARPA, "World's Most Powerful RF Emulator to Become National Wireless Research Asset: The Colosseum - a massive RF channel emulator used to run DARPA's Spectrum Collaboration Challenge - transitions to National Science Foundation's PAWR Program after October finale," <https://www.darpa.mil/news-events/2019-09-03>
- 5 DARPA, "Spectrum Collaboration Challenge (SC2)," <https://www.darpa.mil/program/spectrum-collaboration-challenge>
- 6 F. Kojima, T. Miyachi, T. Matsumura, H. Sawada, H. Harai, H. Harada, "A Large-Scale Wireless Emulation Environment with Interaction between Physical and Virtual Radio Nodes for Beyond 5G Systems," IEEE 33rd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Kyoto, Japan, 2022, pp.1-6, Sept. 2022.
- 7 原井洋明, 中村一彦, 寺田健次郎, 流田理一郎, 加藤拓也, 永野秀尚, 児島史秀, "循環進化した Beyond 5G モバイルテストベッドの構築," 信学技報, NS2022-63, Sept. 2022.
- 8 Hiroaki Harai, "Beyond 100Gbps R&D Network Testbed with Optical

Technology," Proceedings of the OECC 2019, pp.1-3, July 2019.

- 9 山中広明, 寺西裕一, 河合栄治, 永野秀尚, 原井洋明, "実験環境構築が容易なエッジコンピューティングテストベッドの実装と評価," 信学技報, CQ2020-91, Jan. 2021.
- 10 T. Ikeda, S. Sampei and N. Morinaga, "TDMA-based adaptive modulation with dynamic channel assignment for high-capacity communication systems," IEEE Trans. Vehicular Technology, vol.49, no.2, pp.404-412, March 2000.



児島 史秀 (こじま ふみひで)

ソーシャルイノベーションユニット
総合テストベッド研究開発推進センター
研究開発推進センター長
博士(工学)
無線通信、MAC、ワイヤレスエミュレーション、
テストベッド

【受賞歴】

2019 年 第 64 回 前島密賞
2018 年 第 55 回 電子情報通信学会 業績賞
2014 年 第 12 回 産学官連携功労者表彰 総務大臣賞