

2 NICT における総合テストベッドの概要と B5G に向けた取組

2 Outline of the ICT Testbed and NICT's Activities toward B5G

児島史秀

KOJIMA Fumihide

本稿では、総合テストベッド研究開発推進センターの主要業務であるテストベッド環境の構築と運営について、これまで提供してきたテストベッド環境の概要を述べると同時に、当該環境の拡張環境にも合致する高信頼・高可塑 B5G/IoT テストベッドの導入を含めた第 5 期中長期計画における B5G 時代の取組について説明する。高信頼・高可塑 B5G/IoT テストベッドの最大の特徴は、従来の有線・無線通信網等のインフラを提供してきたネットワークレイヤのテストベッドの概念に加えて、ビッグデータを含めた各種データの高度な連携と利活用を実現するプラットフォームレイヤ、データ連携・可視化を実現するミドルウェアレイヤも併せて実装し、テストベッドとして包括的に運用する概念を含めた点である。さらに、以上の概念を具現化するために不可欠な要素技術として、サービスレイヤテストベッド構築技術と、ワイヤレスエミュレーション技術について述べる。

This paper presents development and management of ICT testbed, which is considered one of the most important missions of ICT Testbed Research and Development Promotion Center. This center's activities include realization of high reliability and elasticity B5G/IoT testbed that is an advanced environment under the fifth mid-to-long-term plan from the existing testbed. One of the most typical features of this new testbed is that it assumes platform layer testbed that provides data combination and utilization, and middleware layer testbed that provides data analysis and visualization as well as the conventional network layer testbed providing a simple communication infrastructure. Finally, as most significant technologies to realize such testbed environments in B5G era, the service layer testbed technology and the wireless emulation technology are described in detail.

1 まえがき

次世代の地上系移動通信システムとされる B5G (Beyond 5th Generation) 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、状況に応じて適切に選択、あるいは組み合わせながらヘテロジニアスに具現化していくことだと考えられる [1][2]。5G 以降の時代には、4G 以前とは比較にならないほどの多様なサービスの実現が想定されていることは言うまでもない。併せて、2021 年の初頭より深刻化し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、衛生管理といった生活様式の大変革をもたらした。現代の社会課題は決してコロナ禍のみ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、枚挙に暇がない。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 [3]-[8]。

上述のような、B5G 時代に予想される高度化・多様化がなされたシステムを設計し、十分な検証の上で実用化するためには、時間及び労力等のコストは増加の一途をたどることが予想されている。すなわち、検証環境自体の構築が容易なものではなくなるほか、環境によっては、検証行為自体が既存のシステムに干渉等の悪影響を及ぼす可能性についても配慮する必要が生じる場合もある。結果的に、このようなコスト増加による検証の困難さが、システムの実用化・社会展開を妨げる事例が深刻となることが考えられる。このような問題に対して、有効な解法のひとつとして挙げられるのが、テストベッド環境を構築し、同環境上において検証対象システムに関して想定される多様な動作を

2 NICTにおける総合テストベッドの概要とB5Gに向けた取組

柔軟に実現可能としながら、なおかつ、ネットワークインフラや計算機が予想されるその構成要素については、実環境から適切に隔離されることによる安全性も確保しながら、上述したようなシステムの検証を効率的に進行する方向性である。総合テストベッド研究開発推進センターでは、以上のような観点よりこれまで、超高速研究開発ネットワークテストベッドであるJGNと、大規模エミュレーションテストベッドであるStarBEDを含めた総合テストベッド環境を構築し、運用してきた。当センターでは、2021年度より始まった第5期中長期期間において、既存のテストベッド環境に加えて、B5G時代において上記のような課題の適切な解決策となるようなテストベッドへの拡張のための取組を開始している。本稿では、NICT総合テストベッド研究開発推進センターのB5Gに向けたテストベッド環境構築・運用のための取組について述べる。

2 B5Gに向けた展望

2.1 B5G時代の無線通信サービス要件の考察

本節では、前述した無線通信システムの高度化・多様化に関して、無線通信サービス要件という見地で考察する。図1は、B5G時代の無線通信サービス要件として、4Gや5Gにおける状況からの遷移についてまとめている。4G以前では、通信速度に代表され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、物理世界と、仮想的なサ

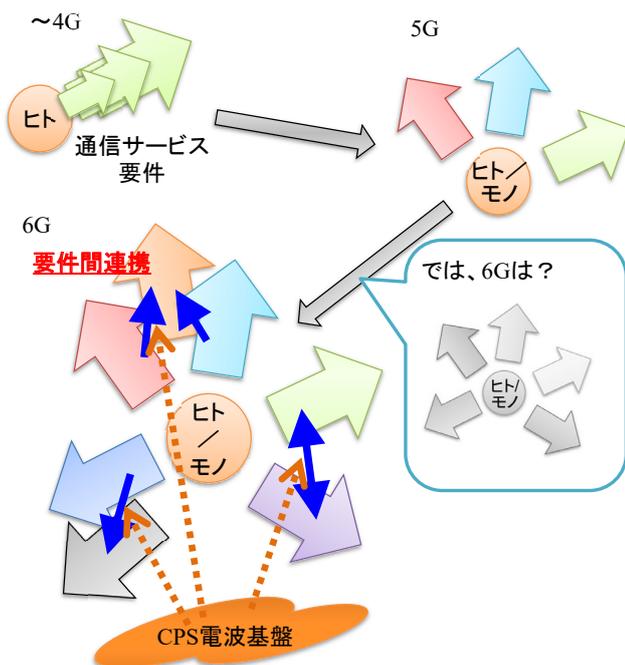


図1 B5G時代の無線通信サービス要件

イバー空間の双方を考慮する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、冒頭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選択的に満足される局面が生じることとなる展望を示している。6Gの商用化は、当初は5G商用化の単純な10年後とする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、当該無線通信サービス要件が、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。このような無線通信サービス要件間の作用を要件間連携と呼称しているが、これをもたらすために不可欠な技術要素となる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、テストベッド環境により具現化される、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。

2.2 B5G時代の研究開発の方向性

図2に、B5G時代における地上系無線システムに関する研究開発の方向性を示す。実用化された5Gシステムにおいて、バーチャルセクタと呼ばれる異なる無線通信要件がサイバー空間を介して管理・運用される

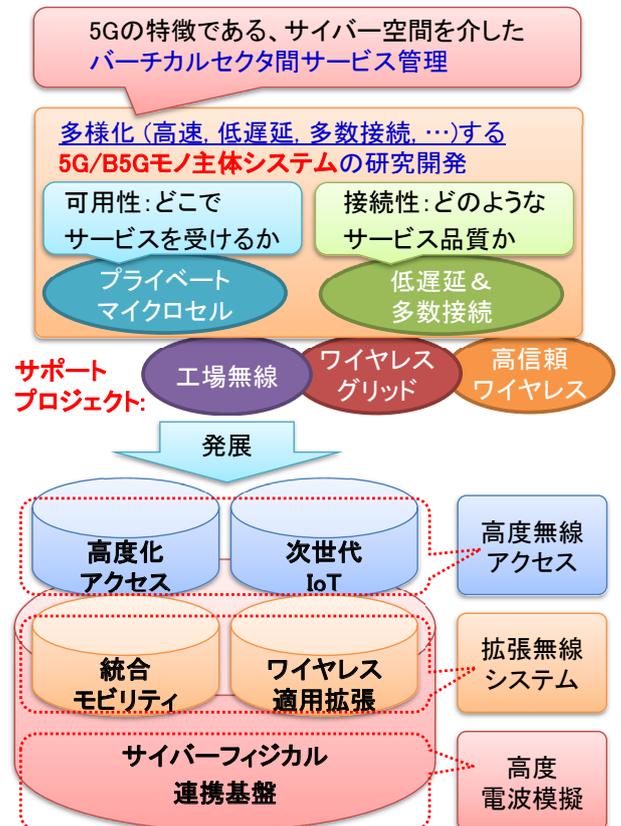


図2 B5G時代の研究開発の方向性

ことを特徴とすることを前提とし、そのようなシステムの可用性と接続性について検討する一方で、サポートプロジェクトとして、将来的な連携・融合を見越した補完的な無線システムについても検討の意義が挙げられる。今後、B5G時代においては、上述したサイバー空間に関連したサイバーフィジカル連携を基盤としながら、高度化アクセス技術、IoT (Internet of Things) 技術、モビリティ管理、さらには、無線適用環境の拡張を柱とした無線通信システム創出のための研究開発を指向している。これらの研究開発テーマは、図2に示されるように更に整理され、それぞれ高度無線アクセス技術の研究開発、拡張無線システム技術の研究開発、さらに、高度電波模擬技術の研究開発にまとめることができる。

2.3 電波に関する段階的な社会変遷についての考察

B5G時代には、シーズ、あるいはニーズに応じた無線通信システムとその運用技術が高度化され、展開していくと同時に、そのような技術を利用する一般ユーザーの見地より、無線通信システムに対する見識、捉え方が変遷していくことを予想している。例として、図3のような段階的な社会変遷が挙げられる。図3は、電波のそれぞれ可視化、カスタマイズ化、最適化により電波が「みえる」社会が、電波が「わかる」社会を経て、電波が「いきる」社会がもたらされるという、電波利用の多様性と透明性の段階的な拡張を示しているものである。このような電波パラダイムシフトが、新たな電波ニーズを生み出し、さらに将来の、次々世代の無線通信システムの創出につながっていくことは想像に難くない。

そうしたテストベッド環境の構築・運用を通じて、ICTの新たな価値創造、社会課題解決への寄与、さらに、ICTサービスエコシステムの形成がそれぞれ実現されることが望まれている。また、図4に示すとおり、テストベッド環境の構築と運用については、NICTが我が国唯一のICTに関する公的研究機関として、光・量子通信技術等も含めて世界最先端水準の研究開発に資するものであることを想定している。加えて、NICTの中立性、透明性を活用しながら、フォーラム活動や、国家プロジェクトの共同受託等を介して、複数の研究開発機関間の有効な連携の実現と活性化を図ることも求められている。また、そうしたテストベッド環境構築・運用の業務を通じて、さらには利用側の要件に応じた適切なテストベッド機能の循環進化も前提とした上で、最終的には国際的にも魅力のある研究開発ハブの形成に資することが究極のミッションであるとも考えられる。

3.2 これまでの総合テストベッド環境の詳細

本節では、総合テストベッド研究開発推進センターが、これまで運用してきた総合テストベッド環境の詳細

電波が「みえる」社会	電波が「わかる」社会	電波が「いきる」社会
電界強度や干渉電力等の専門性の高い情報が、一般ユーザーにも享受可能な社会	一般ユーザーが原理・性質を解し、設定の変更や拡張ができるまでに電波システムのリテラシが向上した社会	システム内/システム間の連携により、ネットワーク環境がオンデマンドで最適に構成される社会
電波の可視化	電波のカスタマイズ化	電波の最適化



図3 電波パラダイムシフトの概念

3 総合テストベッド研究開発推進センターのミッション

3.1 ミッションを果たすための総合テストベッドの構築と運用

本節では、総合テストベッド研究開発推進センターのミッションを述べ、これまでの取組と、今後の方向性について述べる。図4に、総合テストベッド研究開発推進センターのミッションの概要を示す。当センターでは、1にても述べたとおり、B5G時代の高度化・多様化が予想される無線通信システム及びサービスに関して有意義な設計と、それに伴う適切な評価と実証に資するテストベッド環境を提供することを最重要のミッションとしている。そのためには、社会的ニーズ及び技術的ニーズの双方に対しても十分なテストベッド環境を構築し、運用することが必須である。加えて、

- Beyond 5G時代の社会的・技術的ニーズを検証可能なテストベッドを構築し、循環進化
- テストベッドを通じた価値創造、社会課題解決寄与、ICTサービスエコシステム形成

我が国のICT分野の研究開発・技術実証・社会実装・国際連携に貢献

- 光・量子通信技術等の世界最先端技術の実証環境を支える

新たな価値創造及び社会課題の解決に寄与

- フォーラム活動、国プロ等の機会を通じ、機構、研究機関、通信事業者、ベンダ、ベンチャーなどのテストベッド利用者の研究開発能力をテストベッドに結集

国際的に魅力ある研究開発ハブの形成に向けた取組を推進

- テストベッドの利用、運用及び改善を通じたテストベッドの実証環境の循環進化

図4 総合テストベッド研究開発推進センターのミッション

2 NICTにおける総合テストベッドの概要と B5G に向けた取組

細について述べる。図5に、これまで当センターが構築・運用してきた総合テストベッドの概要を示す。総合テストベッドは主に、超高速研究開発ネットワークテストベッドとして構築され、国際網とも接続することで地球規模での広域・高速通信網による検証環境を提供可能である JGN と、JGN に接続された大規模エミュレーションテストベッドとして機能し、ハードウェア、ソフトウェアの拡張をも想定しながら無線通信システムの評価・実証に資するエミュレーションを具現化する StarBED により構成されている。

図6に、JGN の概要を示す。JGN は、ICT 技術開発の基盤となる超高速研究開発ネットワークであり、国

内だけでなく、海外を含めたアクセスポイント間を 100 Gb/s の広帯域回線で接続することで、L2/L3 接続、仮想化サービス、光テストベッド等のサービスの検証を可能とするテストベッドである。JGN は、リアルな広域ネットワーク環境を用いて、B5G 時代までも含めたバックボーンネットワークに関する技術の検証を可能とするものであり、大規模エミュレーションテストベッドである StarBED と接続し、これに対してネットワーク環境を提供することも想定されたネットワークテストベッドである。JGN は、国内外に広がるアクセスポイントの敷設と、相互接続ネットワークを想定していて、拠点間において適切な L2 及び L3 接続を提供することができる。また、各拠点における仮想ルータを適用した広域のネットワーク実証試験を行うことも可能としている。

図7に、StarBED の概要を示す。StarBED は、多数の PC、サーバで構成された大規模計算環境であると同時に、特に実世界と同等の OS やソフトウェアを適用することを前提とした、エミュレーションによる各種システムの検証を可能とすることを主要な活用目的としている。これは、従来の計算機シミュレーション等では検証が不可能であるアプリケーション等上位層のふるまいが加味された実証が可能であることを示している。このようなエミュレーション技術は、サイバーフィジカル連携がもたらす革新的な効用のひとつであるといえる。また StarBED における検証では、イ

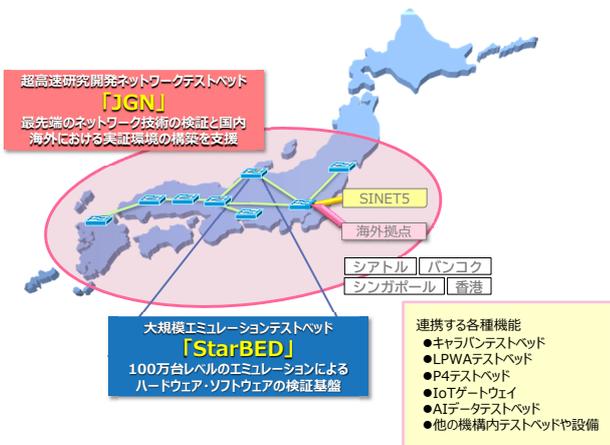


図5 総合テストベッドの概要

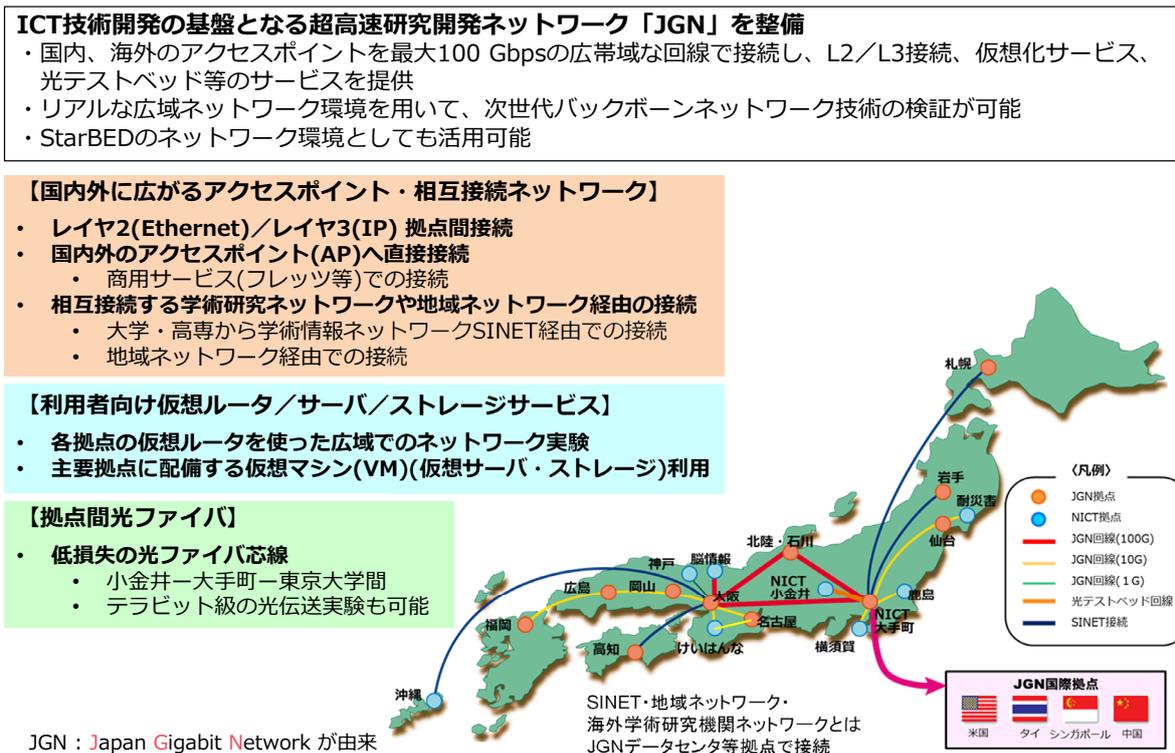


図6 JGNの概要

- ◆ 実験専用のPC群
 - ◆ 実世界と同じOSやソフトウェアが動作
 - ◆ PCをそのまま貸し出すのでOSの入れ替えも可能
 - ◆ 持ち込んだハードウェアを接続可能
 - ◆ ネットワーク構成も自由に設定可能
 - ◆ インターネットから隔離されているので「失敗」を許容
 - ◆ マルウェア等の動作検証も可能
 - ◆ 約500台のPCが存在するため大規模な環境での検証が可能
 - ◆ 実時間で動作
- ◆ 実験PC群を簡単に操作可能なミドルウェアの提供
- ◆ 石川県能美市のNICT北陸StarBED技術センターに設置



図7 StarBEDの概要

インターネットより隔離された環境で行われることも特徴のひとつとしていて、エミュレーション等の実行によって生じる実世界への深刻な影響を回避することができるため、マルウェアの検証等、「失敗」を許容する実証が可能である点においても高い意義を有するテストベッド環境と言える。

4 第5期中長期におけるテストベッドの方向性と、B5G テストベッドの概要

4.1 B5G 時代のテストベッド環境

本節では、前述したこれまで総合テストベッド環境を拡張する形で実現・提供していく B5G 時代のテストベッドについて述べる。図8に、第5期中長期目標期間における総合テストベッドの方向性を示す。本期間においては、従来の総合テストベッド環境によって提供してきた、有線・無線通信インフラであるネットワークテストベッド環境に加えて、将来やり取りされる膨大かつ多様化したデータの高度利活用を反映するサービスレイヤテストベッドを構築し併せて運用していく形態を想定している。また、ネットワークテストベッドについては B5G 地上系無線通信システムにおいて想定される様々な利用局面を実現できるように、ソフトウェア化技術を適切に実装したモバイル網及び基幹部構造を適用することを想定している。

4.2 高信頼・高可塑 B5G/IoT テストベッドの構築

総合テストベッド研究開発推進センターでは、上述した B5G 時代のテストベッドを具現化するものとして、高信頼・高可塑 B5G/IoT テストベッドの構築を進めている。図9に、高信頼・高可塑 B5G/IoT テストベッドの概要を示す。これは、図8に示した B5G 時代のテストベッドの方向性を、国内の各拠点を想定した具体的な構築として具現化したものである。本テストベッド環境は、B5G により実現される通信ネットワークシステムにおいて安定かつ大容量・低遅延などのサービス品質を限られた設備で満たすために、従来のシステムと比較して、高信頼性と高い可塑性が求められることを重視し構築されるものであり、加えて、B5G システムの高い信頼性・可塑性確保には、産学官が多様な技術を持ち寄って研究開発・実証を行う必要があることを考慮した上で検証環境として整備されるものである。

4.3 高信頼・高可塑 B5G/IoT テストベッドの構成論

図10に、高信頼・高可塑 B5G/IoT テストベッドの構成論を示す。本テストベッド環境は、構成理念として、検証対象とする技術、ファシリティの拡張可能性を最重要の事項としていて、具体的には時空間同期技術や、後述する DCCS 等のデータ連携・利活用技術等の適用にも対応することを想定している。以上のように

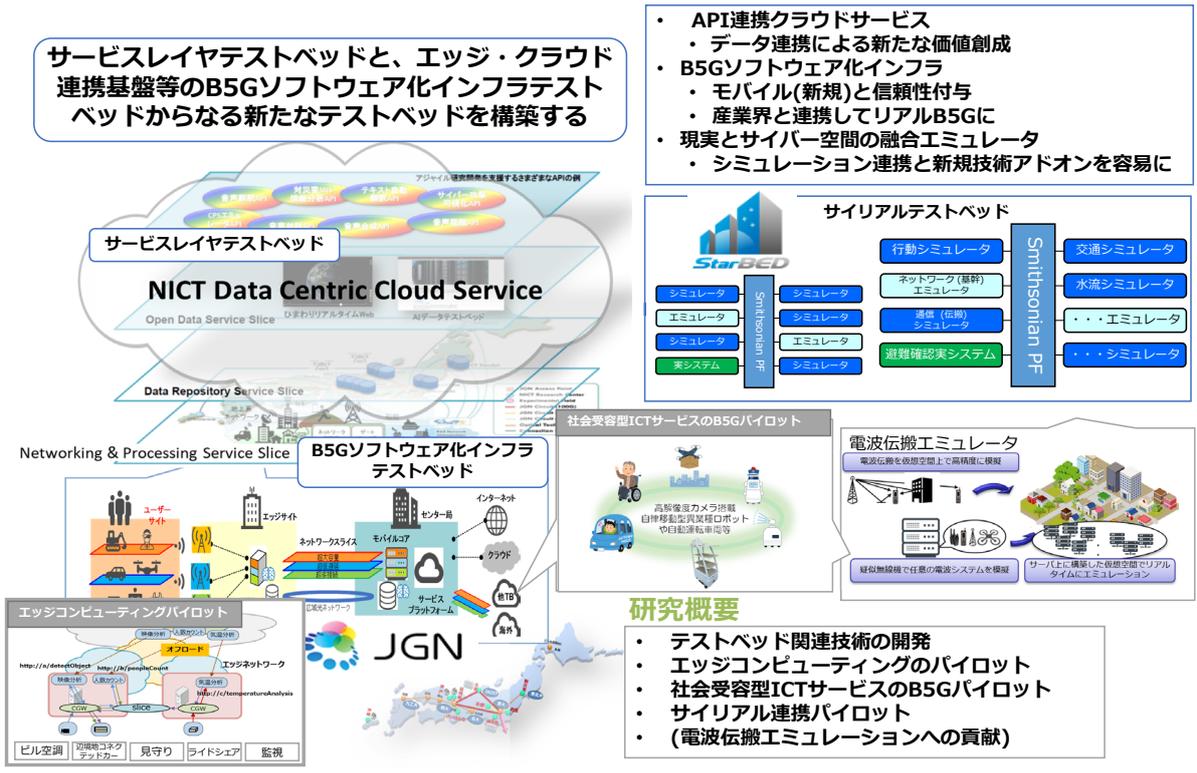


図8 今後の総合テストベッドの方向性

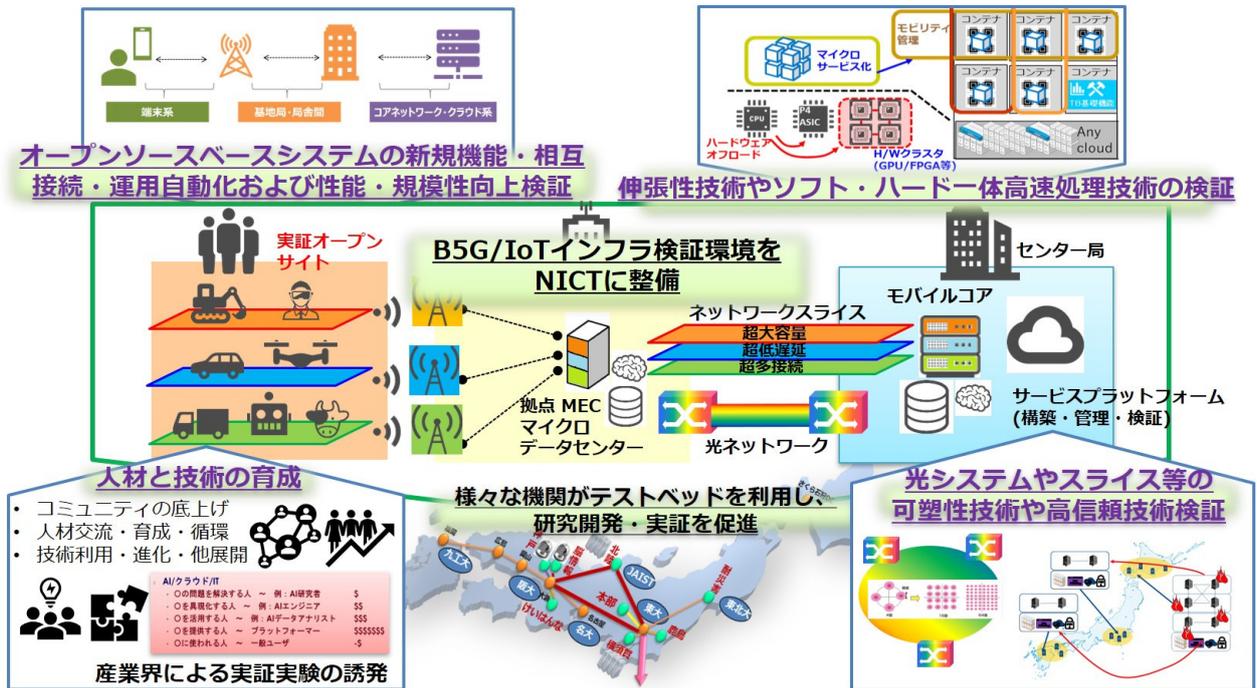


図9 高信頼・高可塑 B5G/IoT テストベッドの概要

な前提から、構成自体は拡張や変更に対して柔軟性を確保するために、図10にて示すような複数の機能ブロックによって構成され機能することを想定している。図10ではさらに、このような複数の機能ブロックが、図8で示したB5G時代のテストベッド環境に含められた技術領域すなわち検証対象に符合している点を示し

ている。

図11は、B5G時代のテストベッド環境に対して、従来のネットワークテストベッドからの拡張をも意識した上での運用検討について示している。ここでは、B5G時代のテストベッド環境について、ネットワーク、プラットフォーム、ミドルウェアの3つのレイヤに関

構成理念：

- ・ ファンクショナリティの**拡張性**を前提
- ・ **時空間同期技術**への対応検討
- ・ DCCS等の**データ連携技術**への対応検討
- ・ 構成は**ブロック化** (機能ブロック) し、**要素間連携**を明確化

運用理念：

- ・ 利用者の**環境持込み**にも対応し**循環進化**
- ・ Blackboxに徹せず、**ソフトウェア改変**による拡張も可能
- ・ 適切な**運用管理レイヤ**(OAM、制御線等)導入による**システム化・DX対応**
- ・ **外部データ活用**、**AI解析**等に際し**利用者間連携・外部連携**を拡張

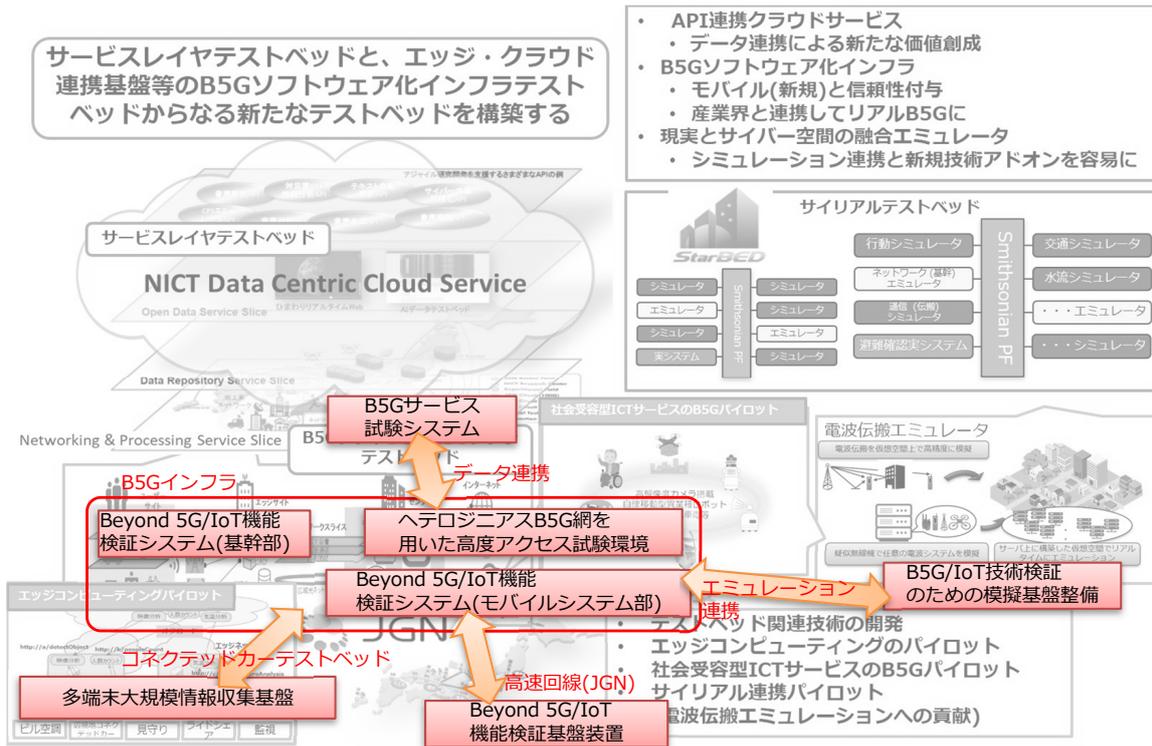


図 10 高信頼・高可塑 B5G/IoT テストベッドの構成論

する分割を行い、それぞれに関する技術的な運用を実施していく運用例を示している。ネットワークレイヤは、有線・無線ネットワークインフラや、これに付随するクラウド、エッジ構造を対象とするものであり、上述したソフトウェア化等の技術も含めながら B5G ネットワークの検証環境の構築と運用を進めるものである。プラットフォームレイヤは、B5G ネットワーク上で実現されるデータ連携・利活用をはじめとする、APIを通じた様々なアプリケーションを対象とするものであり、図 8 に示されるようなデータ連携・利活用のための要素技術の検証を可能とするものである。また、ミドルウェアレイヤは、以上の 2 レイヤの間に位置付けられるものであり、このレイヤ間連携を効果的に実現するためのサイバーフィジカル連携や、可視化等の技術を対象とした上で、データ分析や可視化のための要素技術の検証のためのテストベッド環境を提供していくものである。

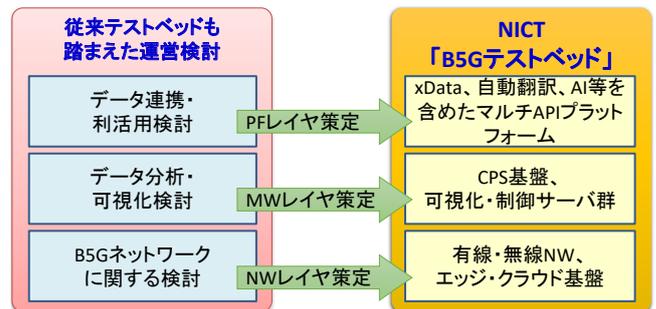


図 11 高信頼・高可塑 B5G/IoT テストベッドの概要

以降では、本節にて述べた B5G 時代のテストベッド環境において、重要な位置を占めると考えられる技術要素について、総合テストベッド研究開発推進センターにおいて進められているテストベッド見地からの取組について述べる。

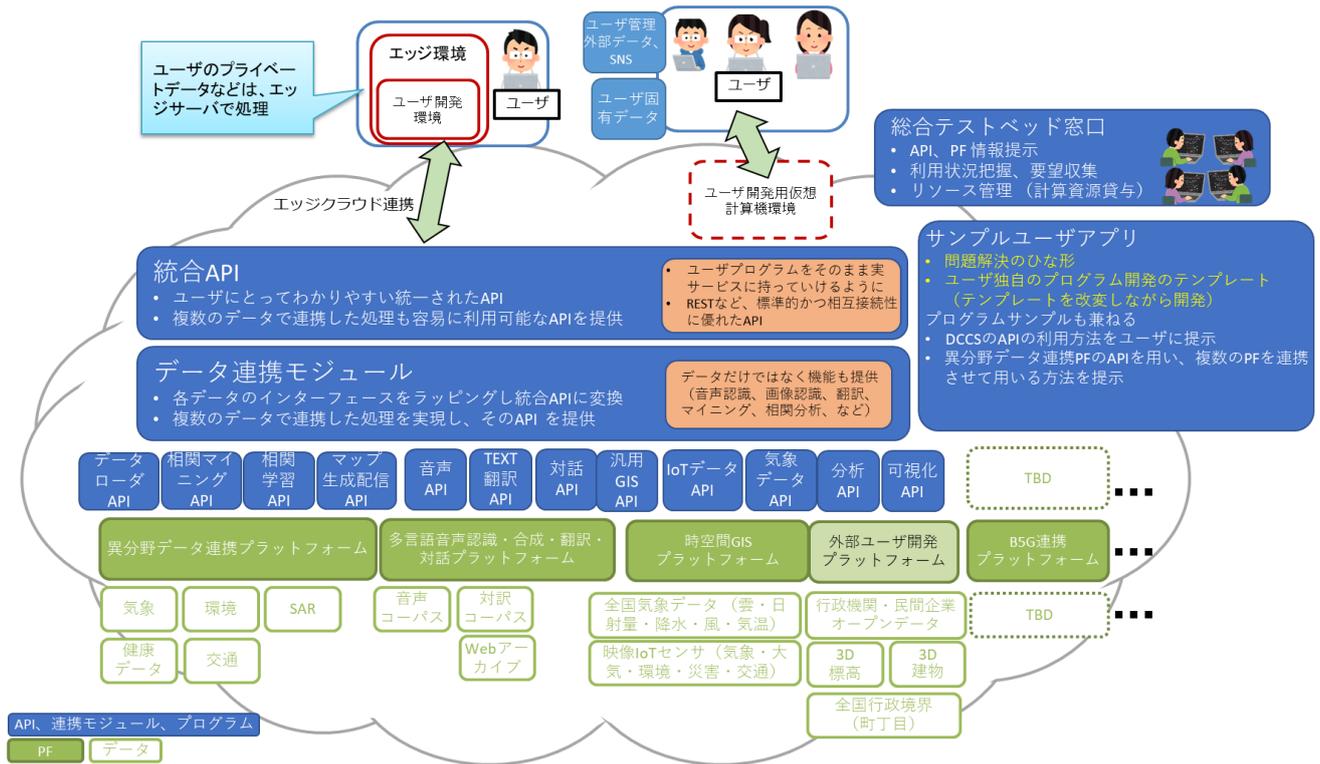


図 12 サービスレイヤテストベッドの概要

5 サービスレイヤテストベッドを実現する高度データ連携・利活用技術

図 12 に、サービスレイヤテストベッドの概要を示す。これは、図 8 にも整理されているように、B5G 時代の無線通信システムにおいて存在し、やり取りされる膨大かつ多様なデータを取り上げ、適切に分析することで、システムの利用者に対して、高度な情報を適宜提供する等の、様々なアプリケーションを、複数の API を通じて B5G のネットワークテストベッドの上で実装し、検証を可能とする概念である。アプリケーションに相当するプラットフォームは、上述したような異分野データ連携プラットフォームだけでなく、多言語音声認識・合成・翻訳・対話プラットフォームや、時空間 GIS プラットフォームへの拡張対応を想定している。

6 ワイヤレスエミュレーション技術

6.1 ワイヤレスエミュレーションの概要

電波を発生することなく無線システムの挙動を模擬し、評価を可能とするワイヤレスエミュレーション技術は、B5G 時代のテストベッド環境の最も意義の高い利活用事例として注目されていて、我が国では総務省の研究開発プロジェクト「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」を通じて研究開発

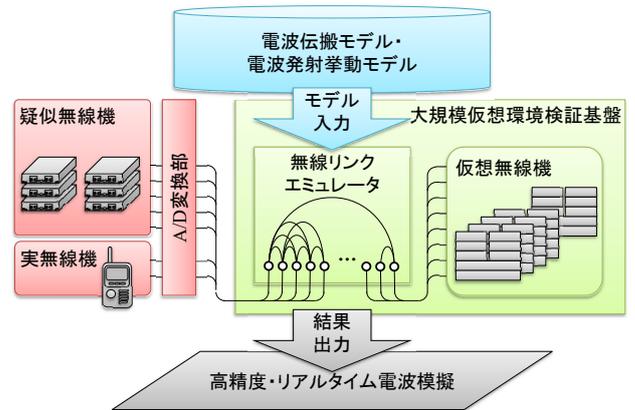


図 13 ワイヤレスエミュレーションの概要

と実用化の促進が図られている。総合テストベッド研究開発推進センターは、本プロジェクトの受託者であり、ワイヤレスエミュレーションの中核である大規模仮想環境検証基盤を整備し、テストベッド環境として有効な利活用を進めている [9]-[11]。本節では、ワイヤレスエミュレーションプロジェクトの概要と当センターの取組を述べ、大規模仮想環境検証基盤に基づくテストベッド環境整備の進捗について報告する。

図 13 に、ワイヤレスエミュレーションの概要を示す。ワイヤレスエミュレーションは、複数の高性能サーバにより構成される大規模仮想環境検証基盤上で行われ、当基盤上において構成され、電波伝搬モデル・電波発射挙動モデルを適切に反映した無線リンクエ

ミュレータにおいて、外部の無線機（ソフトウェア無線機等の疑似無線機、または商用機器を含む実無線機）の動作を反映し相互作用させることで、これらの無線機間の現実の現象を模擬し、精緻かつリアルタイムに出力する。加えて大規模仮想環境検証基盤上には、仮想的に多数の無線機動作を模擬できる仮想無線機が実装され、前述の外部の無線機との間で、または仮想無線機同士で上述した相互作用を実現することが想定されている。

表 1 に、本研究開発における電波模擬の対象である

表 1 模擬対象とする電波システム

電波システム	想定シナリオ
5G/B5G システム	B5G 実現のための新規要素技術検証
ドローン/ロボット	遠隔インフラ点検、防災・減災・救護活動支援
ITS	無線通信とセンサを融合した自動運転等を志向した統合型 ITS
スマートオフィス	スマートオフィス高度化のための無線通信の利活用
スマート工場	人・センサ・機械混在環境での電波環境最適モデリング
次世代スマートメータ	スマートシティ、スマートメータ実現のための新規要素技術検証

電波システムを示す。6つのシステムはそれぞれ表のようなシナリオを想定していて、前述した電波システムの多様化を包括するものとなっている。

6.2 エミュレーションのためのテストベッド環境構築

図 14 に、図 13 の大規模仮想環境検証基盤を中心とするワイヤレスエミュレーションシステムの構成を示す。無線機間の電波的な相互作用を模擬する無線リンクエミュレータは、仮想無線機間の場合と、疑似無線機間または疑似-仮想無線機の相互接続の場合では実装が異なる。前者では伝搬パラメータ計算エンジンを参照するソフトウェア (SW) による無線リンクインタフェースで、後者では FPGA で構成された FPGA 無線リンクエミュレータでそれぞれ電波伝搬パラメータを参照した相互作用が実装される。

図 15 にエミュレーション実行の概要を示す。本研究開発では、A～D の 4 つの実行ステップと、各ステップにおいて詳細情報のやり取りを行うための 13 の機能ブロックを定義する。機能ブロック間の情報のやり取りと、各機能ブロックの詳細をそれぞれ図 16、表 2 に示す。模擬全体の調整に関わるオーケストレータを黄色とし、テストベッド制御が灰色、無線システムの検証部をそれ以外の色で示している。

大規模仮想環境検証基盤上に実装される仮想無線機

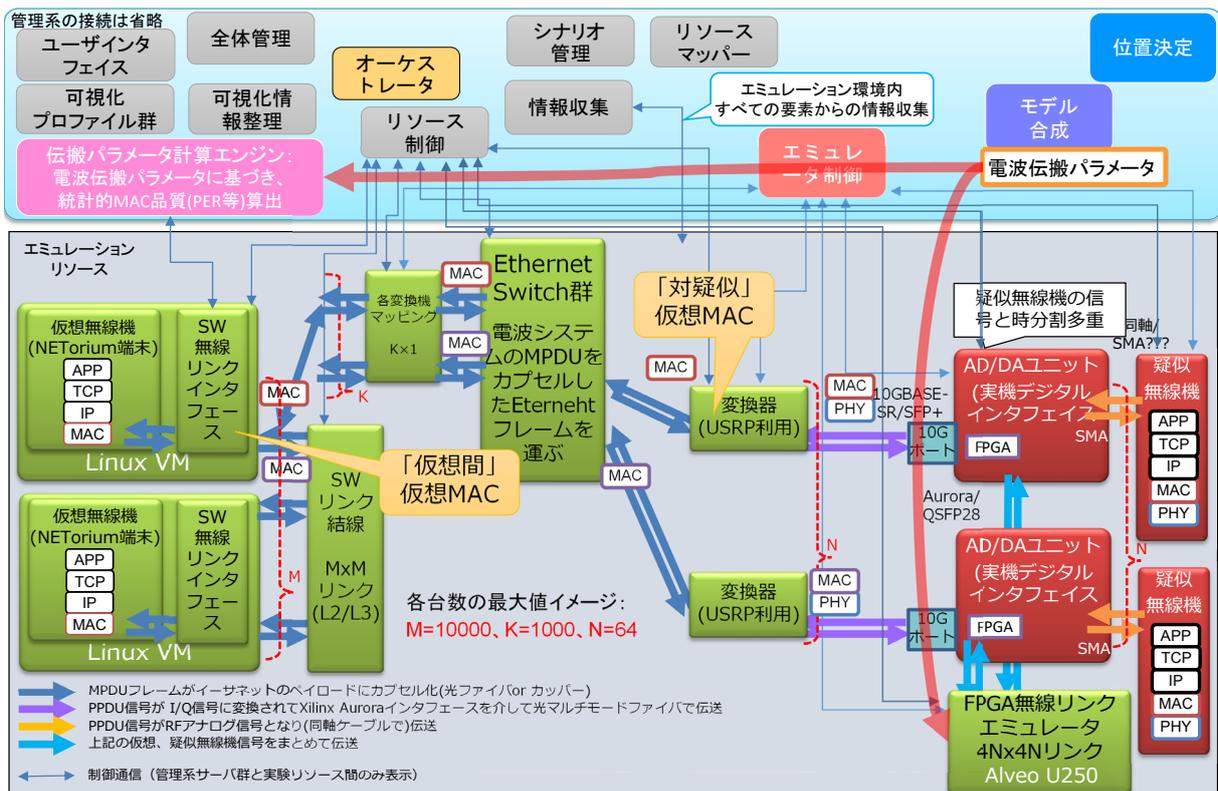


図 14 ワイヤレスエミュレーションシステムの構成

2 NICTにおける総合テストベッドの概要とB5Gに向けた取組

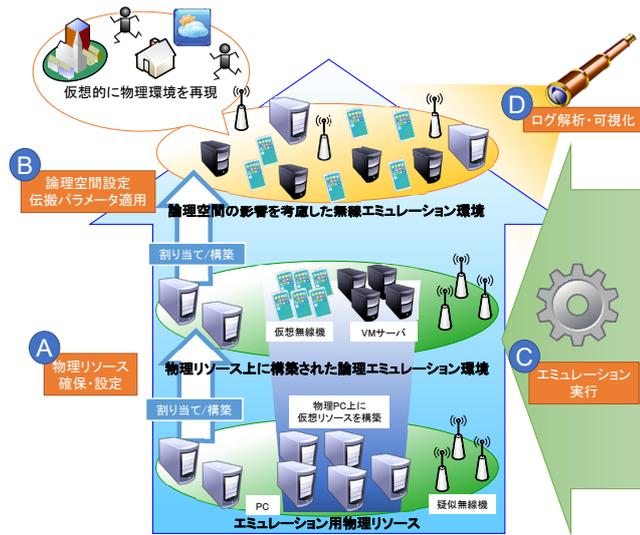


図 15 エミュレーション実行の概要

表 2 各機能ブロックの詳細

機能ブロック名	機能の詳細
全体管理	CPS エミュレータ全体管理
ユーザインタフェース	ユーザからの入力受付
オーケストレータ	ユーザ要求を実現するための各要素との連携を仲介
シナリオ管理	ユーザの入力を理解し、構築すべき環境と各ステップでのオブジェクト挙動の制御のためオーケストレータを通じ各機能を連携
リソースマッパー	ユーザからの要求を満たすための実験リソースを提供
位置決定	ユーザ指定やエミュレーション環境のフィードバックを得てオブジェクト位置を決定
モデル合成	各ステップにおける無線リンクエミュレータへの入力(元)データの生成
リソース制御	ユーザ定義による検証環境構築、シナリオ実行
エミュレータ制御	モデル合成による情報を疑似無線機・仮想無線機の入力に変換し適切なタイミングで適用
伝搬パラメータ計算エンジン	エミュレータ制御サブシステムとして、伝搬パラメータから統計的MAC品質を算出
情報収集	環境内に存在するオブジェクトの情報を収集
可視化情報整理	情報収集で得た結果のフォーマットを整形し可視化しやすい形に変換・保持
可視化プロファイル群	可視化情報整理の結果を利用者へ提供(用途によりその形式を変更可能に)

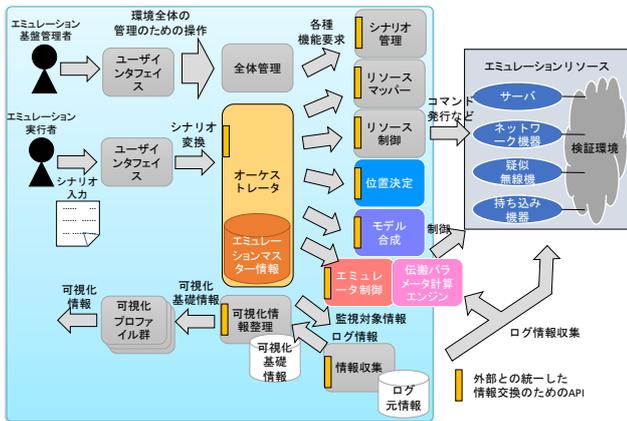


図 16 機能ブロック間の情報のやり取り

が、電波模擬の状況に応じて異なる無線リンクエミュレータを介して動作することはすでに述べた。図 17 は、仮想無線機の接続動作を示す。特に、無線リンクインタフェースでは、NICTで開発されたNEToriumに準じた制御の適用を検討していて、仮想無線機の信号として、PHY フレーム化しないカプセル化されたパケットに対する統計的な処理を行う。

6.3 これまでの成果

図 18 に、電波伝搬パラメータの実装の一形態を示す。図は、電波模擬が対象とする三次元の空間において、離散的な格子点を定義し、各点に関する電波伝搬パラメータを定義し参照する例を示している。

仮想-疑似無線機間の相互接続に関する検証について図 19 に示す。図は、仮想無線機からの信号が、図 14、図 17 に示す変換器を介して PHY フレーム化された後に、疑似無線機の信号同様に、FPGA 無線リンクエミュレータに出力される設計を示したものである。

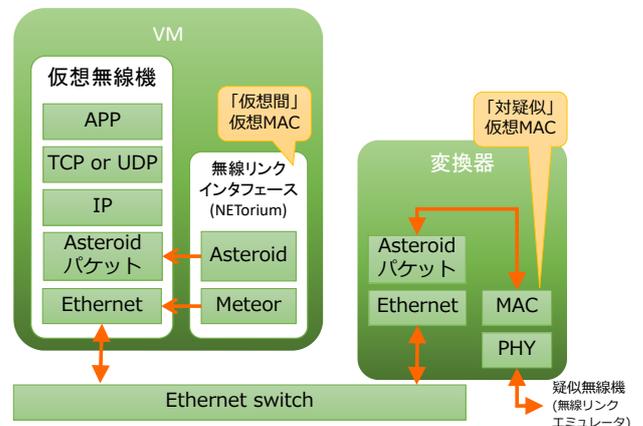


図 17 仮想無線機の接続動作

7 おわりに

本節では、B5G時代の高度化・多様化がなされた無線通信システム・サービスの効率的な設計・検証に不可欠なテストベッド環境の構築と運用を目的として、これまでに当センターで運用してきた総合テストベッド環境の拡張である高信頼・高可塑 B5G/IoT テストベッドについて説明した。さらに、当該テストベッド環境に関連する主要な技術であるデータ利活用技術と、電波エミュレーション技術について詳細を取り上げながら、NICT 総合テストベッド研究開発推進センターの B5G に向けたテストベッド環境構築・運用のための取組について述べた。

謝辞

本稿で取り上げた研究開発は、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】

- ITU-R, "IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," ITU-R Rec. M.2083-0, 2015.
- 総務省, "Beyond 5G 推進戦略 - 6Gへのロードマップ-,", 2020年6月.
- T. Matsumura, K. Ibuka, H. Murakami, K. Ishizu, and F. Kojima, "A Prototype of Multi-RAN eNB with Dynamic Baseband Resource Allocation for Heterogeneous Private LTE Networks," Conf. Rec. 21st International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, 2018.
- 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ルスポットセルへの高速接続," 信学技報, RCS2018-301, pp.107-112, 2019.
- T. Matsumura and F. Kojima, "Prototype of Analog Self-interference Cancellation based on Super-heterodyne Architecture," Proc. WPMC2020, pp.38-41, 2020.
- F. Kojima and H. Harada, "Superframe Division Multi-Hop Data Collection with Aggregation on Wi-SUN Profile for ECHONET Lite," Conf. Rec. 2014 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops, pp.116-121, 2014.
- Toshinori Kagawa, et al., "Multi-hop wireless command and telemetry communication system for remote operation of robots with extending operation area beyond line-of-sight using 920 MHz/169 MHz," Advanced Robotics, vol.34, pp.756-766, 2020.
- F. Rinaldi, et al., "Non-Terrestrial Networks in 5G & Beyond: A Survey," IEEE Access, vol.8, pp.165178-165200, 2020.
- DARPA, "Spectrum Collaboration Challenge (SC2)," <https://www.darpa.mil/program/spectrum-collaboration-challenge>
- 松村武, 沢田浩和, 児島史秀, 宮地利幸, 原井洋明, 實迫巖, 高田潤一, 原田博司, "サイバーフィジカル融合によるB5Gネットワーク実現を目指した高度電波模擬システム -仮想無線機と実無線機の相互接続による大規模仮想環境検証基盤-,", 信学技報, vol.120, no.238, SR2020-41, pp.120-127, 2020.
- Kunio Akashi et al., "NETorium: high-fidelity scalable wireless network emulator," Proc., AINTEC 2016, pp.25-32, 2016.

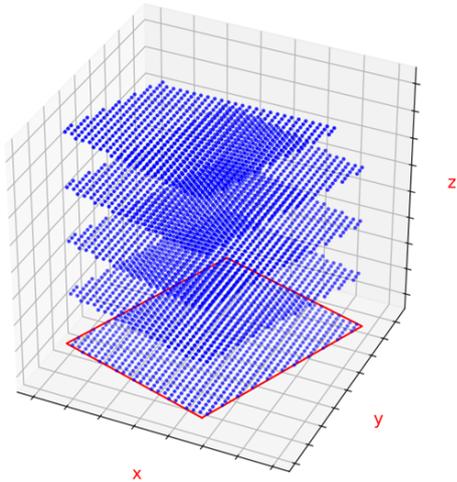


図 18 電波伝搬パラメータの実装例

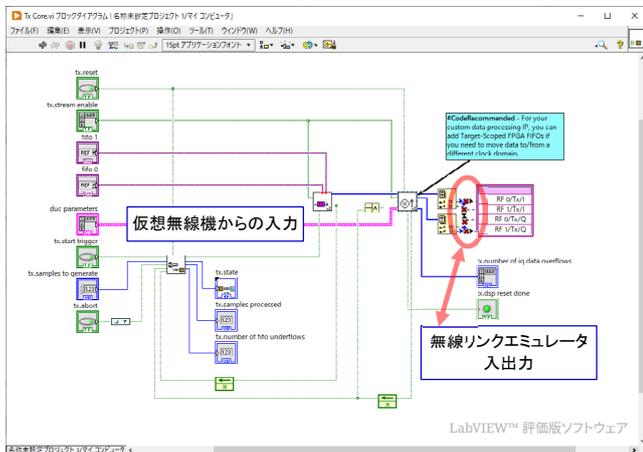


図 19 仮想無線機出力の無線リンクエミュレータへの入力動作の検証例

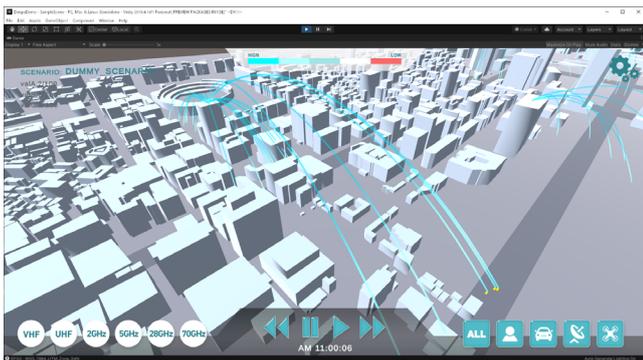


図 20 エミュレーションの可視化の例

電波模擬結果の可視化に関する検討について、動作例を図 20 に示す。図 20 は、横浜市を想定した都市環境に点在する無線機間の通信状況をそれぞれ示したものである。

2 NICT における総合テストベッドの概要と B5G に向けた取組



児島史秀 (こじま ふみひで)

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、テストベッド、アクセス制御