

<基本計画書>

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

1. 目的

5Gを始めとする無線通信技術により、2020年代後半にはIoT環境を基盤とする社会生活が浸透していくと考えられる。そこでは、自動車の自動走行やドローンの自律飛行など、新たな利用サービスが実用化されることが想定され、そのための通信性能を満たす様々な無線システムの開発が必要となる。また、このような無線通信を必要とする機器の数は爆発的に増加するため、相互干渉を考慮した無線機器の設置検討はますます複雑になるとともに、周波数の一層の有効利用が求められると考えられる。

このような状況に適切に対処するためには、様々な利用用途に向けた新たな無線システムの開発や展開を柔軟かつ迅速に行う必要がある。しかしながら、新たな無線システムの導入にあたっては、実機の試作や既存無線システムとの調整などに大きな時間と費用を要することに加えて、実試験による周波数の共用検討では特定の環境における評価しか行えないことから、実際の通信環境で想定されるような大規模検証の実施は困難である。

このような課題に対応するため、無線システムの周波数帯・通信方式等を大規模かつ高精度で模擬可能な電波模擬システム（電波エミュレータ）の実現が必要である。電波エミュレータを用いれば、実機による試験の回数を減らすことができる上、実環境における評価試験で課題となる環境変化に影響されない性能評価が可能となるため、多くのシステムを比較評価する際に同一の環境で再現性の高い評価が可能になる。この結果、新たな無線システムの研究開発にかかわる期間や費用を圧縮し、無線通信を活用した新たなサービスの早期の導入・普及の促進を行うことが可能となるため、結果として我が国の国際競争力強化に資するとともに、周波数の有効利用を促進できる。本研究開発では、電波伝搬を仮想空間上で模擬可能な技術の実現とその検証基盤の確立を目指すとともに、電波伝搬を模擬するに当たり必要な各種モデルの検討を行う。本検証基盤を活用し、模擬環境における無線システムの評価手法を確立することにより迅速な研究開発を可能とするほか、高精度な干渉評価により、制度化に求められる検討作業の効率化や、周波数利用効率の向上に資することを目指す。

2. 政策的位置付け

- ・成長戦略フォローアップ

（令和元年6月21日：閣議決定）

「I. Society5.0の実現 1. デジタル市場のルール整備 ii) データ流通の促

進 ②流通・活用環境の整備 イ) ネットワークの更なる強化と高度化の推進」において「円滑かつ迅速な導入に必要となる実世界の電波伝搬を模擬的に再現する試験環境に関する研究開発を推進する」旨の記載あり。

- ・ 世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画
(令和元年6月14日：閣議決定)

「第一部 世界最先端デジタル国家創造宣言 V. 社会基盤の整備 1 5Gを軸とした協業促進によるインフラ再構築 (3) 5G環境等の普及、光ファイバ網の整備」において「円滑かつ迅速な導入に必要となる実世界の電波伝搬を模擬的に再現する試験環境等に関する研究開発を推進する」の記載あり。

- ・ デジタル時代の新たなIT政策大綱
(令和元年6月7日：IT総合戦略本部決定)

「【2つめの柱】官民のデジタル化の推進」において「円滑かつ迅速な社会実装の観点から、実世界の電波伝搬を模擬する試験環境に関する研究開発を推進する」の記載あり。

- ・ 「令和」時代・経済成長戦略
(令和元年5月14日：自由民主党政務調査会経済成長戦略本部)

「6. データ駆動社会の基盤整備 (2) デジタル基盤整備 ①5G環境の普及、光ファイバー網の整備」において「5Gの高度化等の研究開発を強化するとともに、その成果のビジネス化支援やオープンイノベーションを促進する環境整備を行う」旨の記載あり。

- ・ デジタル変革時代のICTグローバル戦略懇談会 報告書
(令和元年5月31日)

「5. 3. 研究開発・標準化の推進方策 ②オープンイノベーションを促進する環境整備 イ 研究開発環境の整備、研究データの共有」において「Society 5.0時代の実空間とサイバー空間が有効なサイバーフィジカル空間(CPS)における新しいインフラ/システム/プラットフォーム/アプリケーション・サービスのデザイン、評価、検証を可能にするため、多様な無線システムの周波数帯・通信方式等を大規模かつ高精度で模擬可能な電波エミュレータ(高精度な電波シミュレータ)の開発」の記載あり。

3. 目標

電波伝搬を仮想空間上で模擬し、大規模に無線システムの性能評価を行う検証基盤技術を確立するとともに、電波伝搬を模擬するために必要な電波伝搬や空間のモデル化技術と、得られたモデルを検証基盤上で統合して処理する技術を確立

する。このための取り組みは、単一无線機による動作検証から、複数無線機の連携動作までの拡張検証、想定アプリに基づく通信品質や適用場所を包含した検証まで段階的に進める。最終的には、これらの取り組みにより、実環境における測定結果と比較して相対誤差 20%以下(例：通信エリアの確定に必要なキャリアセンスが可能な電波環境において、推定値と実測値の短区間中央値について RMSE (二乗平均誤差：Root Mean Squared Error) 1 dB 程度)を満たす電波環境の模擬と、模擬した環境における 10,000 台規模の無線機を想定した利用シナリオに基づく通信性能評価を実現する。

4. 研究開発内容

(1) 概要

本研究開発では、仮想空間上に電波伝搬環境を構築し、様々な条件下で無線システムの評価をリアルタイムに行うための電波模擬システム技術の研究開発を行う。

現在、新たな無線システムの開発を行い、その動作確認や性能評価を行うためには、実環境において試験を行う必要があり、試験の環境構築や実施に多大なコストと時間を要する。加えて、試験結果に応じて無線システムの機能等を改修して同様の試験を繰り返す必要があるが、実環境における試験では同一条件を再現できないため、精度よく改修前後の比較検証を行うことが困難である。さらに、近年は無線システムを用いるアプリケーションやサービスは高度化・多様化が進んでおり、例えば多数の高速移動体や飛翔体などを想定する無線システムの試験環境を実環境で構築できない場合も多い。このとき、仮想空間上に検討対象となる屋外／屋内の周辺環境や空間を構築し、実際のサービスに即した無線システムの電波発射や移動を再現することができれば、無線システムの試験を効率化させることができる。また、その環境で実アプリケーションを用いた無線通信システムをリアルタイムに模擬することで、実環境では不可能な条件での試験を網羅的に実施することも可能となる。これにより、電波資源の時間的あるいは空間的な利用可能性をきめ細かく検証でき、結果的に周波数の利用効率も向上する。

この点に着目し、仮想空間上で電波環境を模擬するために必要な様々な環境における電波伝搬のモデル構成手法の検討や実際の測定に基づくモデルの策定を行う。また、仮想空間上で検討する無線システムが対象とする周辺の地形や構造物などの周辺空間を高精度に構築し、その空間における電波伝搬を模擬するためのモデル構成手法の検討や実際の測定に基づくモデルの策定を行う。さらに、実無線システムを模擬し、仮想空間に接続することが可能な模擬無線システム及び模擬無線システムに依らず仮想空間上で構成される無線システムの構成技術を実現する。これらの技術に基づき、具体的な利用シナリオに従って最適なモデルを、後述のとおり利用シナリオの地理的な規模等に基づき適切に選択・合成しながら適用し、模擬無線システム及び仮想空間上の通信性能等をリアルタイムに評価す

るために必要な検証基盤を構築する技術を実現する。本検証基盤の構築に当たっては、本検証基盤に入力するモデルが実環境における測定結果と精度よく合致することを確認することで検証基盤の妥当性が検証されるものとする。また、本検証基盤を用いることで、仮想空間上でのシステム動作の検証が可能となる。具体的な取り組みは、単一无線機による動作検証から、複数無線機の連携動作までの拡張検証、想定アプリに基づく通信品質や適用場所を包含した検証まで段階的に進めることとする。

(2) 技術課題および到達目標

技術課題

ア 電波伝搬・空間モデルの構成技術

ア① シナリオ適用可能性に優れた電波伝搬モデルの構成技術

シナリオ適用可能性に優れた電波伝搬モデルの構成するためには、電波伝搬特性モデルと干渉特性モデルについて高度化を検討し、一体としてモデルを構築する技術の構築が必要である。

電波伝搬特性モデルに関して、無線通信における無線局間の電波伝搬特性は、対象とする無線通信システムの周波数や周辺的环境によって異なるため、様々なユースケースを想定した電波模擬システムの構築には、周波数や環境に応じた電波伝搬特性のモデル化が課題となる。また、電波伝搬特性のモデル化においては、屋内と屋外、静止と移動、地上と上空、見通し内と見通し外など、条件によって最適なモデルを選定する必要がある。本技術課題では、令和2年に実施予定の「電波模擬システムに関する調査検討（仮称：技術試験事務）」において実施される測定結果に加え、これまでに取得されている電波伝搬特性の測定結果（論文等の文献資料や提案者が保有する測定結果をいう。以下同じ。）に基づく電波伝搬モデル化を実施する。電波伝搬モデル化に当たっては、電波エミュレータにおいてリアルタイムかつ利用シナリオに即した電波模擬の処理を行う必要があることから、既存の伝搬モデルの利用に加え、機械学習等を用いた推定速度・精度向上技術の利用可能性についても検討も行うこと。また、フェージングを考慮した検証環境を構築し、取得した電波伝搬特性モデルの検証を行う必要がある。このモデル化においては、利用が想定される環境が様々であることからモデルの拡張性についても検討する必要がある。また、電波伝搬モデルを有効利用するために、モデルの分類やリスト化などを行い、環境や要件ごとの最適モデルを選択する仕組みの確立も必要となる。なお、当電波伝搬モデルは、後述する干渉特性モデルと同様に、アンテナからの距離で考えた場合に比較的遠方となる無線通信システム適用時に支配的に考慮される解析レイヤであり、レイトレーシング等による解析レイヤ、電磁界解析による解析レイヤを適切に組み合わせながら適用されるものである。特に、解析レイヤとの接続性、連続性については具体的な環境を想定し、電波伝搬特性の測定結果を有していない場合

には電波伝搬特性の測定を行い、その結果からモデルの拡張性を検証する必要がある。

干渉特性モデルに関しては、当該モデルへの影響も重要であることから、他ノード等による干渉特性のモデル化が課題であり、電波伝搬特性モデルと同様に条件によって最適なモデルを選定する必要がある。本技術課題では、令和2年に実施予定の「電波模擬システムに関する調査検討（仮称：技術試験事務）」において実施される測定結果に加え、これまでに取得されている干渉特性の測定結果に基づく干渉特性モデル化を実施する。さらにモデルの拡張性については、解析レイヤにおける干渉特性モデルとの接続性、連続性について具体的な環境を想定して検討する。なお、干渉特性の測定結果を有していない場合には干渉特性の測定を行い、その結果から拡張性を検証する必要がある。また、干渉特性モデルを有効利用するために、モデルの分類やリスト化を行い、環境や要件ごとの最適モデルを選択する仕組みの確立も必要となる。周波数や環境に応じた基礎特性の取得及びモデル化を実施する必要がある。

アー② 高精度な電波利用空間模擬モデルの構成技術

高精度な電波利用空間模擬モデルを構成するためには、周辺環境を精緻に3Dモデル化する技術と、環境変動及び構造・材料特性に対応可能な空間をモデル化する技術が必要である。

周辺環境を精緻に3Dモデル化する技術に関しては、無線通信における送信電波の電波伝搬特性は屋内外の周辺空間の地形や構造物の配置、利用する周波数などによって異なるため、想定されるユースケースと周辺環境に応じた電波伝搬特性のモデル化が課題となる。そのためには、屋内外の周辺空間の地形や構造物を仮想空間上に高精度に再現するための技術の研究開発が必要である。

また、環境変動及び構造・材料特性に対応可能な空間をモデル化する技術については、再現した空間における無線局間の電波伝搬特性は、対象とする無線通信システムの諸元及び周波数や周辺の環境によって異なるため、様々なユースケースを想定した電波模擬システムの構築には、周波数や環境に応じた伝搬特性のモデル化技術の研究開発が必要である。また、当該伝搬特性のモデル化においては、屋内と屋外、静止と移動、地上と上空、見通し内と見通し外などの条件に加え、周辺環境の変動や構造物の材質などの影響を含む、条件に応じた最適なモデルを選定する必要がある。本技術課題では、令和2年に実施予定の「電波模擬システムに関する調査検討（仮称：技術試験事務）」において実施される測定結果に加え、これまでに取得されている周波数や環境に応じた伝搬特性の測定結果に基づく空間モデル化（課題アー①同様、機械学習等の利用可能性に係る検討も行うことを含む。）を実施する。また、実無線通信システムを用いた検証環境を構築し、環境変動及び構

造・材料特性を含む空間モデルの検証を行う必要がある。このモデル化においては、利用が想定される環境が様々であることからモデルの拡張性についても検討する必要がある。また、取得した空間モデルを有効利用するために、モデルの分類やリスト化などを行い、環境や要件ごとの最適モデルを選択する仕組みの確立も必要となる。なお、この空間モデルは、アンテナからの距離で考えた場合に遠方にも近傍にも当たらず、周囲の建物等からの反射を考慮する必要がある解析レイヤであり、電波伝搬モデルによる解析レイヤ、電磁界解析による解析レイヤを適切に組み合わせながら適用されるものである。特に、解析レイヤとの接続性、連続性については具体的な環境を想定し、電波伝搬特性の測定結果を有していない場合には電波伝搬特性の測定を行い、その結果からモデルの拡張性を検証する必要がある。

イ 仮想環境対応無線システムの構成技術

イー① 疑似無線機の連動動作による模擬無線システムの構成技術

電波模擬システムでリアルタイムに無線システムの挙動を検証するためには、対象となる様々な無線システムを再現できる疑似無線システムの構築が課題となる。疑似無線システムは、疑似無線機として様々な無線システムが模擬可能な実無線機を複数適用して構成されるが、干渉特性の評価や、Massive MIMO 等のマルチアンテナ無線システムの評価等を行うために多数の実無線機を同時に動作させる必要があり、実無線機を連携動作させるための同期手法の実現が必要である。これらの実無線機は、大規模環境においても動作を検証する必要がある、その大規模環境を模擬する検証基盤と接続してリアルタイムに動作させることが求められる。

イー② 電波発射挙動モデルの構成技術

実無線機の様々な周波数の電波を検証基盤で処理可能とするために、対象とする無線システムの電波発射の挙動について、電波発射指向性等の諸特性を再現する技術が求められる。なお、当電波発射挙動モデルは、アンテナ近傍の電磁界を解析するレイヤであり、課題アで検討する電波伝搬モデルによる解析レイヤや、レイトレーシング等による解析レイヤを適切に組み合わせながら適用されるものである。

ウ 大規模仮想環境の検証基盤技術

ウー① 大規模仮想環境の構成運用技術

時々刻々と変動する電波伝搬を正しく検証するためには、限定された数の無線機による実験室環境での機能・性能の検証だけではなく、現実的な利用シナリオに基づき、適切な伝搬モデル・干渉モデル・空間モデルに従って仮想環境を構築して、上述の疑似無線機を接続した仮想システム上での動作検証を実施する基盤が必要となる。そのため、仮想環境において、電波伝搬モデルの特徴を決めるパラメータや仮想無線機(物理的に存在する疑似無線

機に対して、コンピュータ内の仮想環境に存在する無線機を仮想無線機と呼ぶ)の位置などを変化させながらアプリケーションを実行させ、必要な試験を大規模な環境で容易かつ柔軟に繰り返し実行するための検証基盤を管理する機能の確立が求められる。その上で、検証基盤に疑似無線機を接続し、同様の処理が可能とするための検証基盤を管理する機能の確立することが求められる。また、疑似無線機に加えて、評価の対象となる無線通信方式を実装した実無線機を併せて接続できる必要がある。評価対象となる疑似無線機及び実無線機は、仮想環境における仮想無線機と一体として動作させながら、それら全ての無線機のパラメータを同時に変化させてアプリケーションを動作できることが求められる。

ウー② 大規模仮想環境のデータ収集分析技術

大規模検証においては、検証結果の起因になった事象を実験終了後に確認する必要がある。大規模な仮想環境に存在する仮想無線機やサーバ機器に加え、仮想環境を特徴付ける各モデルの状態など、仮想環境を構成する個別の情報を効率的に収集・解析し、実験中にそれぞれの情報が想定通りに反映されているかを確認して、実験終了後にはさまざまな事象の因果関係を解析できる収集・分析・可視化システムが必要となる。

到達目標

ア 電波伝搬・空間モデルの構成技術

- 環境変動などを含めた電波伝搬・干渉特性（主に、実証環境に即した平均受信電力特性等）を統計的に 80%以上の精度（例：通信エリアの確定に必要なキャリアセンスが可能な電波環境において、推定値と実測値の短区間中央値について RMSE（二乗平均誤差：Root Mean Squared Error）1 dB 程度）で仮想空間上に再現可能な電波伝搬・干渉モデルの構成技術を確立する。（具体的には、オフィスを対象とした場合の 1 フロア、ITS を対象とした場合の複数交差点を含むエリアなどのユースケースを想定する。）
- 屋内外の周辺空間の地形や構造物を誤差 1m 以下の精度で仮想空間上に再現可能な 3D モデルの構成技術を確立する。
- 想定する電波システムの諸元及び周波数における電波伝搬に関して、周辺環境の変動特性及び構造・材料特性の影響を考慮し、電波伝搬特性を統計的に 80%以上の精度で反映した高精度な電波利用空間模擬モデルの構成技術を確立する。（具体的には、オフィスを対象とした場合の 1 フロア、ITS を対象とした場合の複数交差点を含むエリアなどのユースケースを想定する。）

イ 仮想環境対応無線システムの構成技術

- 最大信号帯域幅 400 MHz の信号を扱う様々な無線システムをソフトウェアで構築可能なハードウェア疑似無線機技術を確立する。
- また、最大 100 台程度の上記ハードウェア疑似無線機が連携動作する模擬無線

システムを確立する。

- 無線システムのアンテナの電波発射指向性や筐体による減衰等の電波発射の挙動について、対象とする無線システムの電波発射指向性の半値角に対して±30%の精度で再現するための技術を確立する。

ウ 大規模仮想環境の検証基盤技術

- 課題アのモデルに従い仮想環境を構築し、課題イの仮想環境において模擬的に動作可能な無線システムを組合せることで、実環境において電波を送出することなく無線方式やアプリケーションの動作や性能を検証可能とする。
- 10,000 台規模の無線機を再現可能な仮想環境を、利用シナリオに基づき自動的かつ柔軟に構築できる基盤技術を実現する。
- 実験中に仮想環境が想定通りに構成されているかを確認できる機能を持ち、さらに実験終了後にさまざまな事象の因果関係を解析可能とする、収集・分析・可視化システムを実現する。

なお、上記の目標を達成するに当たっての年度毎の目標については、以下の例を想定している。また、本研究開発中及びその後のマイルストーンは別紙のとおり。

<令和2年度>

ア 電波伝搬・空間モデルの構成技術

距離等に応じた電波伝搬特性の取得及びモデル化の基礎検討を行う。また、取得した電波伝搬・干渉特性モデルのアーカイブ化手法の基礎検討を行う。また、周辺環境の 3D モデル化技術の基礎検討と周辺環境の変動特性に加え、構造・材料特性の取得及びモデル化の基礎検討を行い、模擬に資するレイトレーシング等、解析手法の基礎検討を行う。なお、本計画書における「基礎検討」とは、単一无線機による動作や、1対1の干渉等の、最小規模の検討であるとし、例えば複数無線機による連携を考慮する場合等、次年度以降における拡張検討に発展する可能性がある。

イ 仮想環境対応無線システムの構成技術

Sub6GHz において 100MHz 帯域幅の信号を扱う疑似無線機の基礎検討および一次試作を行う。また、同周波数帯の信号と課題ウとの接続インターフェイスの基礎検討および一次試作を行う。さらに電波発射挙動の模擬手法の基礎検討を行う。

ウ 電波伝搬検証基盤技術

単純かつ限定的な電波伝搬および空間モデルを用いて疑似無線機を数十台接続可能な仮想環境の構築技術を確立し、その性能を評価する。また、仮想無

線機や仮想サーバを含めた仮想環境の制御を可能とするシナリオ管理機構の試作を行う。さらに実無線機の接続インターフェイスの基礎設計を行い、仮想環境と実環境の接続を可能にする。最終的な目標である 10,000 台規模の無線機を再現可能な仮想環境およびそれを支える環境全体の観測システムの基礎設計を行う。

<令和3年度>

ア 電波伝搬・空間モデルの構成技術

仮想空間における電波伝搬モデル構成技術及び干渉特性モデル構成技術の基礎検討と課題ウへの最適な入力形式について検討する。また、仮想空間における周辺環境 3D モデル構成技術の基礎検討と仮想空間への構造・材料特性の反映手法について検討及び評価を行う。さらに仮想空間におけるレイトレーシング等、解析手法の適用手法について検討し、課題ウへの最適な入力形式について検討する。

イ 仮想環境対応無線システムの構成技術

ミリ波帯において 400MHz 帯域幅の信号を扱う疑似無線機の基礎検討および一次試作を行う。また、同周波数帯の信号と課題ウとの接続インターフェイスの基礎検討及び一次試作を行う。さらに数十台規模の疑似無線機の同期手法について検討する。また、電波発射挙動の模擬手法のモデル化検討を行い、課題ウへの最適な入力形式について検討する。

ウ 電波伝搬検証基盤技術

前年度に作成された課題アによるモデルを受け付け保存するためのストレージ技術の試作実装を行い、その性能を評価する。同モデルを用いて疑似無線機を 100 台程度接続可能な仮想環境を構築し、シナリオ管理機構と連携させユースケースに従った動作が可能であることを仮想無線機を用いて実証する。また、実無線機との接続インターフェイスの試作を行い、仮想環境に接続して動作可能であることを実証するとともにその性能を測定する。

<令和4年度>

ア 電波伝搬・空間モデルの構成技術

課題ウと連携し、仮想空間上に構成した電波伝搬および仮想空間上に構成した構造・材料特性を含めた 3D モデルの評価及び検証を行う。また、課題ウと連携した、レイトレーシング等、解析手法の検討及び評価を行う。

イ 仮想環境対応無線システムの構成技術

課題ウと連携し、数十台規模の疑似無線機と仮想空間上の仮想無線機との同

期手法の検討及び評価を行う。また、課題ウと連携し、電波発射挙動を模擬したモデルの仮想空間への反映手法の検討及び評価を行う。

ウ 電波伝搬検証基盤技術

各モデルのストレージ機能について、電波伝搬モデル、空間モデル、電波発射挙動モデルの保存および読み込みを効率的に実施できるための拡充を行う。また、10,000台規模の無線機を再現可能な仮想環境の構築およびシナリオ管理および観測ができるよう機能拡充を行い、性能について評価を行う。

<令和5年度>

ア 電波伝搬・空間モデルの構成技術

環境変動などを含めた電波伝搬・干渉特性（主に、実証環境に即した平均受信電力特性等）を統計的に80%以上の精度で仮想空間上に再現可能な電波伝搬・干渉モデルの構成技術を確立する。また、空間の地形や構造物を誤差1m以下の精度で仮想空間上に再現可能な3Dモデルの構成技術を確立する。周辺環境における電波伝搬に関して、周辺の変動特性及び構造・材料特性を統計的に80%以上の精度で反映した高精度な電波利用空間模擬モデルの構成技術を確立する。

イ 仮想環境対応無線システムの構成技術

最大信号帯域幅400MHzの信号を扱う疑似無線機技術を確立する。また、最大100台程度の疑似無線機が連携動作する模擬無線システムを確立する。さらに、無線システムのアンテナの電波発射指向性や筐体による減衰等の電波発射の挙動について、対象とする無線システムの電波発射指向性の半値角に対して±30%の精度で再現するための技術を確立する。

ウ 電波伝搬検証基盤技術

前年度までに開発した機能のユーザインタフェースを拡充し、本システム利用者がより容易に環境構築および検証可能な、オープンなテストベッドとして提供出来る基盤を整備する。

5. 実施期間

令和2年度から令和5年度までの4年間

6. その他

(1) 成果の普及展開に向けた取組等

①国際標準化等への取組

国際競争力の強化を実現するためには、本研究開発の成果を研究期間中及び終了後、速やかに関連する国際標準化規格・機関・団体へ提案を実施することが重要である。このため、研究開発の進捗に合わせて、国際標準への提案活動を行うとともに国際標準化機関の検討グループの議長等の先導的地位を確保して積極的に貢献するものとする。本国際標準は、研究開発成果であるモデルを参照し、同時に当該モデルの公表（本国際標準の作業班構成員等に制限された場合も含む）を前提とするものである。なお、提案を想定する国際標準規格・機関・団体及び具体的な標準化活動の計画を策定した上で、提案書に記載すること。

②実用化への取組

研究開発期間終了後も引き続き取り組む予定の「本研究開発で確立した技術の普及啓発活動」及び令和10年度までの実用化・製品展開等を実現するためにモデルの拡張等の必要な取組（別紙に記載のマイルストーンに沿った取組を含む。）を図ることとし、その活動計画・実施方策については、提案書に必ず具体的に記載すること。

③研究開発成果の情報発信

本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施すると共に、総務省が別途指定する成果発表会等の場において研究開発の進捗状況や成果について説明等を行うこと。併せて、研究開発成果であるモデルのオープンデータ化（例えば、電波模擬システムの開発者及び利用者からなるフォーラムを設置し、そのフォーラム会員のみ公表することを含む。）に取り組むこととし、その実施方法については、提案書に必ず具体的に記載すること。

(2) 提案および研究開発に当たっての留意点

提案に当たっては、基本計画書に記されている目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めるとともに、従来の技術との差異を明確にした上で、技術課題及び目標達成に向けた研究方法、実施計画及び年度目標について具体的かつ実効性のある提案を行うこと。また、本研究開発において実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について、研究計画書の中にできるだけ具体的に記載すること。

なお、技術課題アについては、実施するモデル化が対象とする具体的な利用シナリオ（少なくとも別紙に示すユースケースを含むこと。）を提案し、モデルを適用できる場面、対象とする周波数帯、モデル化の手法、モデルの利点と欠点などについて、可能な限り記述すること。技術課題イについては、電波を模擬する装置の構成や機能について具体的に記述するとともに、目標とする性能

についても、その根拠とともに記載すること。技術課題ウについては、構築する検証基盤装置の構成を記述し、模擬可能な無線通信環境の規模や精度などを、その根拠とともに明確に示すこと。

また、技術課題アにおけるモデル化については、令和2年に実施予定の「電波模擬システムに関する調査検討（仮称：技術試験事務）」において実施される測定結果を可能な限り活用し、提案する方式の有効性を確認すること。さらにこれまでに取得されている電波伝搬特性の測定結果も用いてモデル化の検証を行うこと。

研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くと共に、実際の研究開発の進め方について適宜指導を受けるため、研究開発運営委員会等を開催し、外部の学識経験者や有識者等を参画させること。また、研究開発全体の統括を行い、効率的・効果的な研究開発実施を可能とするための責任者を課題間で調整し、選定すること。

電波模擬システムに関するマイルストーン (イメージ)

		利用シーン・マイルストーン			
		～2021	～2023	～2025	～2030
ユースケース	スマートオフィス (920 MHz帯、2.4 GHz帯、5.8 GHz帯、28GHz帯)	1部屋 (数十台規模、数システム)	1フロア (数百台規模、十数システム)	建物全体 (数千規模、数十システム)	オフィス街全体 (数万台規模、数十～数百システム)
	ITS (700 MHz帯、5.8 GHz帯、70 GHz帯)	交差点、料金所 (小域、路車・車車、数十台規模)	ITS以外存在しない限定地域 Level4 (中域、路車・車車、数十台規模)	高速道路Level4 (広域、路車・車車、数百台規模～)	一般道Level4 (広域、路車・車車・歩者、数百台規模～)
	ドローン (169MHz帯、2.4 GHz帯、5.7 GHz帯等)	開放地(農場を想定:小域、ほぼ平面・建物なし、数台)、山間部(広域、起伏あり、数台)	配達:ルーラル (中広域、起伏あり・建物なし、数台規模)	配達:アーバン (広域、起伏あり・建物あり、数十台規模～)	空飛ぶ車 (超広域、起伏あり・建物あり、数百台規模～)
	スマート工場 (920 MHz帯、2.4 GHz帯、5.8 GHz帯、28GHz帯、60 GHz)	単一ライン(小域、屋内狭小空間、数台)	複数ライン(小域、屋内狭小空間、数台～10数台)	建屋全体(小域、ワンフロア、数10台～数100台)	工場全体(屋外屋内含む工場空間、数1000台規模～)
	次世代スマートメータ (920 MHz帯、2.4 GHz帯)	10数軒規模(小域、屋外、数10台)	住宅街・団地(中域、屋外、100台規模)	町内規模(中域、単一システム、数100台)	複数町内(中広域、複数システム、数1000台規模～)
	Beyond 5G (3.7 GHz帯、4.5 GHz帯、28 GHz帯等)	ユースケース案出現 (ミリ波帯の移動体通信の基本伝搬特性の収集・モデル化)	ユースケース案実証 (具体的なユースケースに合わせた模擬環境の構築・実証)	ユースケース案実用化 (実用化に向けた同一ユースケース内でのスケラビリティの確保)	ユースケース拡大 (多様なユースケースへの対応に向けたスケラビリティの確保)
電波模擬システムのスペック	対応環境(周波数帯)	限定環境・限定システム	準汎用環境、準汎用システム	汎用環境・汎用システム	随時対応環境の精緻化、対応システムの拡大
	精度	上記ユースケースについて、実証パラメータ(主に、実証環境に即した平均受信電力特性等)に対する精度が80%以上	～2021のユースケースで85% 上記ユースケースで80%	～2021のユースケースで90% ～2023のユースケースで85% 上記ユースケースで80%	～2021のユースケースで95% ～2023のユースケースで90% ～2025のユースケースで85% 上記ユースケースで80%
	無線局の規模	実機相当の無線機 数十台 仮想的な無線機 数千台	実機相当の無線機 100台 仮想的な無線機 1万台	実機相当の無線機 百数十台 仮想的な無線機 1万台	実機相当の無線機 数百台 仮想的な無線機 数万台
データ利活用	本事業でモデル化に必要なデータ収集を行うものの、受託企業が既に有する伝搬特性のデータも一部活用		研究開発で得られた様々な環境での伝搬特性測定結果やモデル化したデータのオープン化		
国際標準化	-	国際標準化に向けたインプット	国際標準化(レポート)	国際標準化(勧告)	
電波模擬システムの活用	-	電波模擬システムの技術試験事務への利用・一般開放			