

＜基本計画書＞

空間伝送型ワイヤレス電力伝送の干渉抑制・高度化技術に関する研究開発

1 目的

電波の送受信により電力を伝送する空間伝送型ワイヤレス電力伝送システム（WPT）は、配線が不要で多数の機器に給電が可能であるため、IoT センサ等の給電無線化ニーズ等の高まりを受け、920MHz 帯、2.4GHz 帯、5.7GHz 帯の各帯域を使用するシステムについて、屋内限定で使用可能とすることや出力制限等、一定の制約の下における技術的条件の答申（「空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件」のうち「構内における空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件」答申書（令和 2 年 7 月 14 日））を受け、制度化に向けて対応中である。

最近では、5G の高速・低遅延な無線通信技術を活用した多様なモバイル機器や、多数の IoT 向けセンサ等に給電可能な利用環境に制限のない WPT の実現に期待が高まっており、そのために用いるワイヤレス電力伝送技術についても現行システムより大容量化・多数化を図った給電方式に対応する必要がある。

WPT は通常の無線通信に比べて送信電力が大きく、従来技術のまま大容量化・多数化を実現しようとした場合、空間電力漏洩量が増大し他の無線局への干渉等が課題となる。他方で、他の無線システムの共存性を精緻に評価できないために、WPT の利用環境が過剰に制限されるといった課題もあり、これらの解決のためにはワイヤレス電力伝送技術の向上と共存性評価技術の精緻化が必要となる。

本研究開発では、モバイル機器や多数の IoT 接続デバイスへの屋内外における空間伝送型ワイヤレス給電に伴って生じうる他の無線システムに対する干渉問題を抑制し、干渉抑制・高度化技術を確立することで、周波数の有効利用に資することを目的とする。

2 政策的位置付け

- ・「デジタル変革時代の電波政策懇談会 報告書（令和 3 年 8 月総務省）」

「第 3 章 デジタル変革時代の電波有効利用方策」「1. デジタル変革時代に必要とされる無線システムの導入・普及」「(1) 5G・ローカル 5G などの普及・促進」

「④ワイヤレス電力伝送システムの普及・促進」において、「適切な電波利用環境を維持しつつ、屋内利用の状況や将来利用を見据え、屋内（人との共存範囲など）や屋外への利用拡大につながる、必要な技術開発や対応を推進する必要がある。」旨が記載されている。

- ・「統合イノベーション戦略 2020」（令和 2 年 7 月 17 日閣議決定）

「第 II 部 新型コロナウイルス感染症(COVID-19)による我が国の難局への対応」

の中の「3. デジタルトランスフォーメーション（DX）の推進と強靱で持続可能な社会・経済構造の構築 ～反転攻勢と社会変革～」において「③強靱で持続可能な社会・経済構造の構築」において、「○ 5G 等の情報通信技術の製造現場での本格活用のための技術開発や先行事例の創出に向けて取り組む。」旨が記載されている。

- ・「電波有効利用成長戦略懇談会 報告書（平成 30 年 8 月総務省）」

「第 2 章 電波利用の将来像と実現方策」「3. 2030 年代の革新的な電波エコシステムの実現」において「2030 年頃までの【実現イメージ】」として、「ワイヤレス電力伝送（WPT）対応の自動車が普及し、家庭でも、家電等への WPT の利用が広がり、WPT が身近なものとなる。また、屋内外では、情報通信機器等に対し、短距離・小電力の空間伝送型 WPT による給電が可能となると思われる。」とされ、「空間伝送型の WPT については、距離が 10m 程度、電力が数 W 以上の電力伝送技術が開発されるものと考えられる。」旨が記載されている。

3 目標

給電能力を向上させた大容量・多数給電対応 WPT の使用時に、他の無線局に与える干渉レベルを抑制しつつ、WPT に係る周波数利用効率を 10 倍以上向上させ^{※1}、周波数の有効利用に資する。

研究開発の成果を国内制度化の検討に活かすとともに、国際標準化に向けた活動に早期に着手することで、我が国の国際競争力の強化を図る。

4 研究開発内容

(1) 概要

大容量・多数給電に対応した WPT の本格的利用に当たり、適切な電波環境を維持しつつ実現できるよう、以下の 3 技術課題に取り組む。

ア 新たな高周波数帯を活用した電力伝送効率化技術

(a) 高出力鋭角ビームの送信技術

(b) 5G 準ミリ波との共用化技術

イ 空間環境に応じた多数デバイス給電制御技術

(a) MAC 層的アクセス技術

(b) 漏洩電力量最小化技術

^{※1} 現行の WPT と比較したときに、他の無線システムとの共用条件を満たした上で、WPT の給電能力（時間当たり給電量）を 10 倍以上に向上する。技術課題ア、イ、ウにより、給電の大容量化・多数化、送電スケジューリング等の向上により達成するものとする。また、本研究開発で新たに検討する 24GHz 帯 WPT についての給電能力は、WPT（2.4GHz 帯、5.7GHz 帯）と比較するものとする。

ウ 共存性評価技術

- (a) 共存性評価に係る基盤データの整備
- (b) 干渉評価システム技術

(2) 技術課題及び到達目標

技術課題

ア 新たな高周波数帯を活用した電力伝送効率化技術

現行の WPT の使用が想定される周波数帯(920MHz 帯、2.4GHz 帯、5.7GHz 帯)では、既に無線 LAN をはじめとした多数の無線システムが普及しており、一般的な無線通信に比べて送信電力が大きい WPT においては、既存の他無線システムへの電波干渉問題の観点から利用の制約が大きい。5G の進展に伴い期待されるモバイル機器への給電ニーズに対応するためには、低消費電力のセンサへの給電を想定している現状システムと比べて大幅な給電能力の向上が必要である。

このような状況において、以下の観点による対応が有効と考える。

- ・他の無線システムによる利用が少ない新たな高周波数帯を活用することで、他の無線システムに対する電波干渉問題を抑制する。
- ・大幅な給電能力の向上と意図しない方向への漏洩電力を低減するため、ビームフォーミングの鋭角化を図る。その際に、電波特性としてビームフォーミングの鋭角化に有利な高周波数帯を活用する。

したがって、本課題では 24GHz を中心とした準ミリ波帯を対象として、ビームフォーミングの鋭角化が可能な、新たな高周波数帯(準ミリ波)の送電用デバイスを開発し、送信側と受信側 1 対 1 の電力伝送の効率を向上させる技術を開発する。24GHz 帯は、既制度化周波数帯より高周波数帯のためビームをより一層鋭角化することが可能であり、到達範囲を相対的に絞ることが可能であることから、屋内だけではなく屋外での利用も想定し、研究開発を行う。

5G の進展に伴いニーズが高まるモバイル機器への給電において、準ミリ波帯送電アンテナと 5G 基地局アンテナを共用化することで、電波発射を一体的に制御することで干渉低減が効率的に図られ、加えて、アンテナ設置が効率化され利便性が向上することから、5G 準ミリ波との共用化技術を開発する。

(a) 高出力鋭角ビームの送信技術

新たな周波数帯利用を視野に入れて、高出力鋭角ビームの送信機を開発し、数 W クラスの WPT の実現を図る。

(b) 5G 準ミリ波との共用化技術

24GHz を中心とした準ミリ波帯送電アンテナと 5G 基地局アンテナを共用

化し、高電力となる給電システムから 5G 通信への干渉低減を図る。

イ 空間環境に応じた多数デバイス給電制御技術

5G の進展に伴い、多様なモバイル機器や多数の IoT センサが普及しつつあり、特に IoT 向け産業用センサ市場は急速な拡大が見込まれている。その中で、モバイル機器や IoT センサへのワイヤレス給電が期待されており、WPT 送電装置に対して、多数のデバイスに給電するケースが想定される。

給電の大容量化・多数化に対して、一般的な無線通信に比べて送信電力が大きい WPT においては、他の無線システムに影響を与える漏洩電力を抑制することが実利用において重要となる。

したがって、本課題では 920MHz 帯、2.4GHz 帯、5.7GHz 帯およびアで開発する 24GHz を中心とした準ミリ波帯を対象として、多様なモバイル機器や多数の IoT センサ等の給電タイミングやビーム方向等を適切に制御することで、給電時間割合を向上させ、給電の大容量化・多数化に対して必要送信出力の増大を抑制させるとともに漏洩電力量の最小化を実現する。

(a) MAC 層的アクセス技術

多種多様なマルチデバイスを適切に送電スケジューリングするための標準的な WPT アクセス制御プロトコルを開発する。

(b) 漏洩電力量最小化技術

空間環境に応じてビーム方向や空間電力およびタイミング等を調整し、特定空間への漏洩電力の影響を最小化するために必要な技術を開発する。

また、課題ウとの連携により効率的な研究開発を目指す。

ウ 共存性評価技術

一般的な無線通信に比べて送信電力が大きい WPT においては、他の無線局システムとの共存、与干渉の適切な評価が課題としてあげられており、WPT の実用化において評価技術は必須となる。

したがって、本課題では他の無線システムへの与干渉を適切に評価する共存性評価技術を確立し、他者が管理する無線システムとの離隔距離を適切に設定することで、空間的稠密化を向上させる。

(a) 共存性評価に係る基盤データの整備

建築資材の電波の透過・反射特性等に関するデータや建物・構造物特性に関する基礎データについて、実測等を含め収集・整備・公開し、運用調整に活用する。

(b) 干渉評価システム技術

上記の基盤データを活用し、屋外等のエリア外の電波強度を予測し、他の無線システムと共用可能な要件（出力、離隔、時間等）を解析することが可能なシステムを開発する。

到達目標

ア 新たな高周波数帯を活用した電力伝送効率化技術

(a) 高出力鋭角ビームの送信技術

5G 基地局よりも多素子の高出力鋭角ビームフォーミング技術を確立する。WPT エリアを局所化し漏洩電力量を抑制する。高周波利用による送受電機小型化により、ロボット・EV 等の移動体への搭載を想定して、バッテリーを搭載した可搬型送信システムも実現する。

開発の方向性は、国内外の技術開発動向や製品化動向を踏まえ、新たな周波数帯利用として有効な準ミリ波高周波数帯の候補を選定し、その候補となる周波数帯についてのデバイス（ビームフォーミング IC）開発を実施する。ビームフォーミング IC 内の増幅器密集配置に伴って発生する排熱問題に対応した設計を実現し、実際の利用環境においての給電効率の低下を抑制させる。

(b) 5G 準ミリ波との共用化技術

新たな周波数帯利用を視野に入れた準ミリ波高周波数帯の送電局と 5G 基地局との共用アンテナを開発し、以下の研究開発により 5G 通信と WPT との干渉影響の抑制を実現する。

開発の方向性は、5G 通信アンテナと WPT 送信アンテナについて、素子の共通化も視野に入れ、アンテナ素子配列、偏波間結合などの最適化を行い、干渉抑制効果を高める。

現状の WPT が想定する受電装置の動作必要電力は 2.4GHz や 5.7GHz 帯において数 mW ～ 2W 程度のところ、これら二つの技術を確立することで、24GHz を中心とした準ミリ波帯において、USB Type-C によるスマートフォン充電と同程度の動作必要電力（7.5W 程度）を実現する給電能力を目指す。

イ 空間環境に応じた多数デバイス給電制御技術

(a) MAC 層的アクセス制御技術

多数端末を端末属性、充電量、位置、利用可能周波数帯等に応じて、多種多様なマルチデバイス給電を適切にスケジューリングするための WPT アクセス制御プロトコルを開発し、5G もしくは既存無線通信システムと連携さ

せ、給電効率の高い多数デバイス給電制御を実現する。また、有人環境に対応するため、WPT から発射される電波と人の存在状況等を空間的・時間的に精緻に評価し、電波防護指針によって定められている指針値以下となるよう給電制御を行い、給電時間割合を向上させる。

開発の方向性は、WPT として、多数デバイスに給電を行う場合に必須となる、無線通信システムの MAC 層での制御に相当する送電制御（アクセス制御）技術を世界に先駆けて実現する。第一段階としては、既存の遮断回避技術等を活用してビーム遮蔽物状況や他無線システムの配置状況（メインビームからの離隔角度）を元に、ビーム幅、サイドローブ特性、ヌル深度などアンテナ性能を考慮した上で、WPT 送電可否判断基準を明確化する。次段階としては、多数の受電端末の位置、端末属性（必要電力、優先度など）、電池残量、利用可能周波数帯等に応じて、電力伝送効率やユーザメリットを最大化する送電スケジューリングなどを行うためのプロトコルを確立する。最終的には、シミュレーションにより、開発したプロトコルの検証を行う。

また、社会実装するためには、高電力な WPT の人体への安全性をどのように保障にできるのかが重要であることから、WPT の電波の人体への放射が電波防護指針値以下となることの担保方法や検証方法についても研究を行う。

(b) 漏洩電力量最小化技術

建築資材の電波の透過・吸収・反射特性等のデータに加え、空間における電波強度を位置と時間の属性とともにモニタリングする仕組みを開発し、把握された空間環境に応じて、ビーム方向や送信電力等を調整し、特定空間への漏洩電力の影響の最小化を実現可能にする。建築資材の電波の透過・吸収・反射特性等による干渉対策技術についても研究開発を行う。

開発の方向性は、人物や機器などのパラメータも含めたモデリングを行うとともにデータ分析を行い、データ分析の成果は研究課題ウ(a)の干渉評価技術に活用する。

これら二つの技術を確立することで、920MHz 帯、2.4GHz 帯、5.7GHz 帯およびアで開発する 24GHz を中心とした準ミリ波帯において、送信装置 1 台当たりモバイル機器 10 台又は、IoT センサ等 50 個以上が存在する環境での給電時間割合について現状 20%程度から 80%程度に向上させる。

ウ 共存性評価技術

(a) 共存性評価に係る基盤データ整備

シミュレーション評価、共存制御技術での利用を想定し、建築資材の電波の透過・反射特性等に関するデータや建物・構造物特性に関する基礎データを実測し、収集したデータの公開・整備を行う。なお、典型的な利用環境を想定したデータ実測を行うものとする。

(b) 干渉評価システム技術

研究課題イ(b)の漏洩電力量最小化技術を用いたデータ分析結果及び研究課題ウ(a)の基盤データを活用し、屋外等のエリア外の電波強度を予測し、他の無線システムと共用可能な要件（出力、離隔、時間等）を解析することが可能なシステムを開発する。

開発の方向性は、共存すべき無線システムを想定した上で、与干渉・被干渉モデル等をシミュレーションに取り入れ、先に示した技術開発とも連携し、開発技術と本システム間での双方のフィードバックにより精度の向上を図る。

ウ (a) (b)二つの技術を確立し、シミュレーションにより共用可能要件（出力、離隔、時間等）の精緻化を実現するとともに、ア、イの技術を取り込み共用可能要件の緩和について実証を交えて検証を行う。

また、公共建築工事標準仕様書（建築工事編）に記載されている、天井及び壁の仕上げに用いられる代表的なボード類を中心に 15 種類以上の材料について、工法による違いも考慮してデータベースを作成するとともに、データを実測しデータベースとして公開・整備すべき材料の最適数についての検討も併せて行う。データベースの整備においては、実環境における建築構造を想定し、データベースに資するための電気定数に関して検討を行うとともに、WPT 送信アンテナの設置位置や WPT 送信アンテナ近傍の建築部材等の影響に配慮し解析を行う。また、屋外等への電波漏洩の解析については、建築外壁との距離をパラメータとしたシミュレーションや実測等を行うなど、共用可能な要件を分析するために必要なデータを取得する。

課題ア、イ、ウを連携して研究開発することで、全体目標である「WPT に係る周波数利用効率を 10 倍以上向上」を達成するものとする。どのように全体目標を達成するかについても提案書に記載すること。また、成果が明らかになるように、テストサイトの伝搬環境の考え方も提案書に記載すること。

また、課題ア、イ、ウのそれぞれの成果を活用し合うなど連携させて、効率的・効果的な研究開発を行うこと。

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。

＜令和４年度＞

ア 新たな高周波数帯を活用した電力伝送効率化技術

(a) 高出力鋭角ビームの送信技術

高出力鋭角ビームの送信機を開発するための基本設計及び IC 一次試作

(b) 5G 準ミリ波との共用化技術

24GHz を中心とした準ミリ波帯送電アンテナと 5G 基地局アンテナ共用化のための機器試作シミュレーション

イ 空間環境に応じた多数デバイス給電制御技術

(a) MAC 層的アクセス技術の開発

多種多様なマルチデバイスを適切に送電スケジューリングするための標準的な WPT アクセスのための基本設計の開発

(b) 漏洩電力量最小化技術

空間環境に応じてビーム方向や送信電力等を調整し、特定空間への漏洩電力の影響量を最小化するために必要な技術の開発

ウ 共存性評価技術

漏洩電力量評価技術一次試作

建築建材電波特性評価環境構築

建物・構造物特性評価環境構築

＜令和５年度＞

ア 新たな高周波数帯を活用した電力伝送効率化技術

(a) 高出力鋭角ビームの送信技術

一次試作結果の評価と課題整理による二次試作

(b) 5G 準ミリ波との共用化技術

共用アンテナの試作を実施し、アンテナ単体での共用化技術の評価

イ 空間環境に応じた多数デバイス給電制御技術

(a) MAC 層的アクセス技術の開発

アクセスプロトコルの設計とシミュレーション評価

(b) 漏洩電力量最小化技術の開発

一次実装

ウ 共存性評価技術

漏洩電力量評価技術の評価と二次試作

建築建材電波特性基礎評価

建物・構造物特性基礎評価

<令和6年度>

ア 新たな高周波数帯を活用した電力伝送効率化技術

(a) 高出力鋭角ビームの送信技術

(b) 5G準ミリ波との共用化技術

両課題を通じて、共用アンテナ等の試作改良を実施する。

イ 空間環境に応じた多数デバイス給電制御技術

アクセスプロトコルの設計

ウ 共存性評価技術

漏洩電力量評価技術の二次試作の改良と最終設計

建築建材電波特性データ収集

建物・構造物特性データ収集

<令和7年度>

ア 新たな高周波数帯を活用した電力伝送効率化技術

システム統合・実証実験

イ 空間環境に応じた多数デバイス給電制御技術

プロトコル検証・システム統合・実証実験

ウ 共存性評価技術

漏洩電力量評価技術のシステム統合・実証実験

建物・構造物特性データベースの作成

5 実施期間

令和4年度から令和7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ものとする。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12年度までの実用化・製品展開等を実現するために必要な取組を図ることとし、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ともに、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の説明等を行うこと。

④ 研究開発成果のオープンな利用促進

本研究開発成果が広く一般に利用されるために、可能な限り特定の機器及び技術への依存を排除し、基礎的な技術については容易に利用可能な技術を採用することを検討すること。

(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こと。また、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。

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頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。

なお、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。