

令和 8 年度事後事業評価書

政策所管部局課室名：総合通信基盤局 電波部 電波環境課

評価年月：令和 8 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

（1）研究開発名称

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

（2）関連する主要な政策

V. 情報通信（ICT 政策） 政策 13「電波利用料財源による電波監視等の実施」

2 研究開発の概要等

（1）研究開発の概要

・実施期間・総事業費

実施期間：令和 4 年度～令和 7 年度（4 か年）

総事業費：17.0 億円

・概 要

5 G 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で利用環境に制限のない空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの実現（以下「空間伝送型 WPT システム」という。）に期待が高まっている。しかし、空間伝送型 WPT システム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、空間伝送型 WPT システム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 WPT システムの運用に伴って生じ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した。

具体的には、大容量・多数給電に対応した空間伝送型 WPT システム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 つの技術課題に取り組んだ。

ア 新たな高周波数帯を活用した電力伝送効率化技術

イ 空間環境に応じた多数デバイス給電制御技術

ウ 共存性評価技術

これにより、従来の空間伝送型 WPT システムと比較したときに、他の無線システムとの共用条件を満たしたうえで、時間当たりの給電能力を 10 倍以上に向上することを数値目標とした。

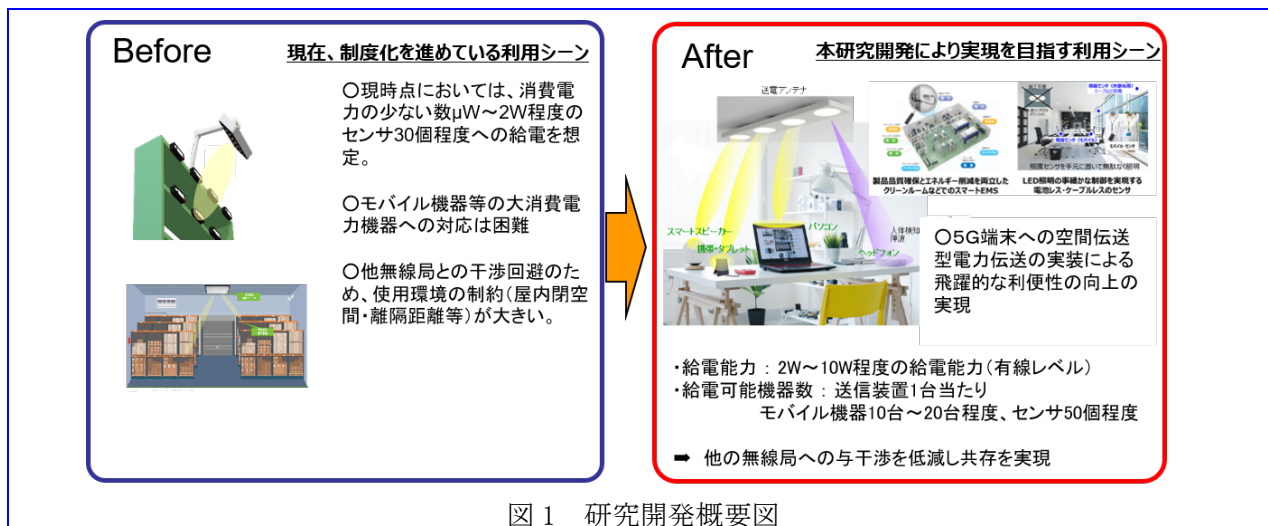


図1 研究開発概要図

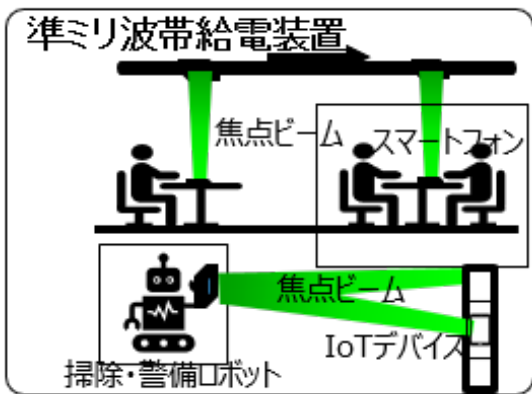
技術の種類	技術の概要
研究課題ア 新たな高周波数帯を活用した電力伝送効率化技術	ビームフォーミングの鋭角化が可能な、新たな高周波数帯（準ミリ波帯）の送電用デバイスを開発し、送信電力当たりの給電可能量を向上させる。 - 新たな高周波数帯利用を視野に入れて、高出力鋭角ビームの送信機を開発し、数Wクラスの空間伝送型 WPT システムの実現を図る。 - 準ミリ波帯送電アンテナと 5 G 基地局アンテナを共用化し、高電力となる給電システムから 5 G 通信への干渉低減を図る。  
研究課題イ 空間環境に応じた多数デバイス給電制御技術	多数デバイスの給電タイミング等を適切に制御することで、給電時間割合を向上させる。 - 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アクセス制御プロトコルを開発する。有人環境に対応するため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を制御する。 - 空間環境に応じてビーム方向等を調整し、特定空間への漏洩電力量を最小化する技術を開発する。

図2 準ミリ波帯の送電用デバイス開発イメージ

	MAC層的アクセス技術 WPT 送電装置 共存する他無線機器 ①所望の受電端末のみへ電力伝送 ②遮蔽物や他の無線システムへの干渉回避 WPT 受電端末 共存する他無線機器 漏洩電力量最小化技術 図 3 多数デバイスの給電制御イメージ
研究課題ウ 共存性評価 技術	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、空間的稠密度を向上させる。 干渉量評価技術 電力漏洩量 <実測> 電力漏洩量 <予測> 送電器 予測の精緻化 共存性評価に係るデータベースの構築 図 4 共存性評価技術イメージ

(2) 目標の達成状況

空間伝送型 WPT システムの高度化と利用効率の向上を目指し、各技術課題において当初の想定を上回る顕著な成果を得ることができ、目標を達成した。主要な成果は以下の通りである。

- ①給電電力の向上 (研究課題ア) : 1 対 1 の環境下における動作必要電力を、現行の 2W から 8.2W (平均値) へと 4.1 倍に向上させることに成功した。
- ②給電効率の改善 (研究課題イ) : 給電時間割合を、現行の 20%程度から 80%へと 4 倍まで向上させ、より連続的かつ効率的な給電を可能とした。
- ③共存検討のための基盤構築 (研究課題ウ) : 建材の電波透過・反射特性に関する基盤データベースを構築した。これにより、エリア外への電波強度予測の精度が向上し、電波伝搬シミュレーションの精緻化を実現。他の無線システムと共用するための具体的な要件 (出力、離隔、時間等) の策定を可能とした。

上記要素技術の相乗効果 (4.1 倍×4 倍) により、現行の空間伝送型 WPT システムと比較して、時間当たりの給電能力を 16.4 倍に向上させた。

なお、達成目標等については、事前評価書に記載のとおりである。

https://www.soumu.go.jp/main_content/000766956.pdf

技術の種類

目標の達成状況

研究課題ア
新たな高周波数帯を活用した電力伝送効率化技術

本研究課題では、24GHz 帯を用いた USB Type-C 相当 (7.5W) の給電実現及び利用範囲の拡大を目的とし、評価基盤の整備と制度化・標準化を推進した。

研究成果の要点は、制度化・標準化の着実な進展、高効率な送受電性能の実証、及びシステム共用と装置最適化の達成である。本研究により、実用化の障壁であった制度及び熱管理上の課題が大きく改善され、屋外や有人環境における空間伝送型 WPT システムの社会実装に向けた基盤が整った。

(a)-1 「WPT システム構成設計と全体最適化」

○研究開発の背景と管理体制

本課題では、要素技術の統合・体系化を図るため、独自の「成果のロードマップ (成果の木)」を策定した。設定したマイルストーンに基づき計画的な進捗管理を徹底した結果、当初目標に合致する成果を得た。

○技術的成果：給電能力の飛躍的向上

各要素技術の相乗効果により、現行システムを大幅に上回る給電性能を実証した。

- ・給電能力の向上： 給電電力の 4.1 倍向上と 4 倍効率化を達成。
- ・総合評価： 他の研究課題成果の統合により、時間当たりの給電能力を従来比で合計 16 倍に向上させることに成功した。

(a)-2 「WPT システム全体の定量的評価」

本課題では、空間伝送型 WPT システムの実用化及び普及を目的とし、実証試験の実施、干渉評価システムの構築、及び実証フィールドでの統合評価を通じた制度化・標準化に向けた活動を推進した。

○実証評価試験と標準化に向けた調整

(a)-1 と連携し、外部機関やメーカーとの連携を通じて研究成果の公開、評価パラメータの定量評価に向けた関係機関との調整を実施した。

具体的には、4 年間の実証期間において、計 4 バンド・32 種類の既存無線システムを対象とした実証評価試験を遂行した。本試験により、各無線システムへの干渉影響を詳細に把握するとともに、許容基準値の策定等、制度化に向けた技術的根拠を明確化した。

周波数帯	被干渉の無線システム	種類	備考
920MHz 帯	・高度MCAシステム移動局 ・デジタルMCAシステム移動局 ・RFID特定小電力無線局システム ・RFIDテレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備	2機種 3機種 3機種 (3メーカー) 3機種 (3メーカー)	
2.4GHz 帯	・2.4GHz帯無人移動体画像伝送システム ・N-STAR携帯移動地球局 ・2450MHz帯構内無線局 (特定小電力) ・無線LANシステム	1機種 1機種 2機種 (2メーカー) 3機種	ATR暗室 ATR暗室
5.7GHz 帯	・5.7GHz帯無人移動体画像伝送システム ・無線LANシステム ・気象レーダーシステム	1機種 3機種 1機種	筑波気象研究所
24GHz帯	・自動車用車両検知レーダーシステム ・24GHz帯レーダーモジュール ・移動体検知センサ ・空港面検知レーダー	2機種 (2車両) /1システム 3機種 3機種 1機種	JARI施設 つくば/城里 伊丹空港

表 1 実証実験を実施した被干渉無線システム

○干渉評価システムの構築と検証

実運用環境を想定した評価手法として、JWPT (ワイヤレス電力伝送運用調整協議会) と連携し、今後設置される空間伝送型 WPT システムの無線設備に適用可能な「干渉評価システム」の構築を行った。本システムの活用により、周辺無線環境に対する影響の定量的な評価が可能となり、より信頼性の高い運用調整プロセスの確立に寄与するものである。

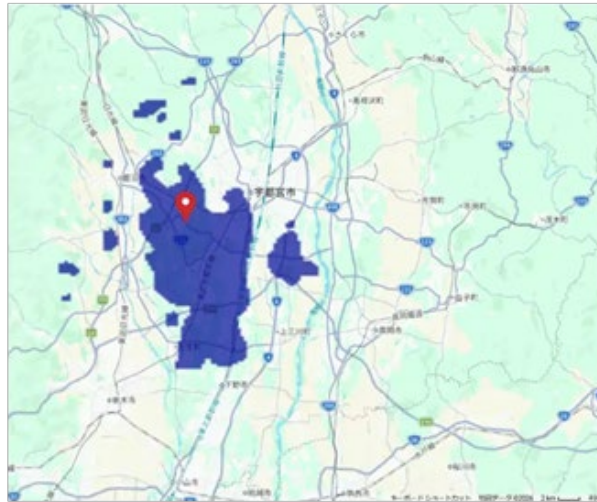


図5 空間伝送型 WPT システムによる干渉影響コンタ図の例

○実証フィールドによる成果確認

開発された各要素技術を統合的に評価するため、実証フィールドでの成果確認を実施した。ここでは、個別の技術評価に留まらず、各評価手法の連携を図ることで、システム全体としての整合性を検証し、フィールド実証を通じて、実運用環境における技術の有効性を最終的に確認した。

(b)-1 「高出力鋭角ビームの送信技術に関する研究」

24GHz の可搬型 WPT 送電装置の高出力化装置を試作した。256 素子構成で空中線電力 12.85W を実現し、高出力かつ鋭角ビーム構成を実現した。なおアンテナ内で 2 分岐構成としているため、論理的には 2 倍の約 25W まで電力拡大が可能となる。図 6 に、アンテナから 0.5m 離れた 10cm 角の平面における電界分布を示す(シミュレーション値)。

さらに可搬型 WPT 送電装置として、移動ロボット (AGV) に搭載した形で、PC で空間伝送型 WPT システムの指向性を自由に制御できるようにした。ロボットの移動と指向性の制御の組み合わせにより、給電範囲の拡大が確認できた。

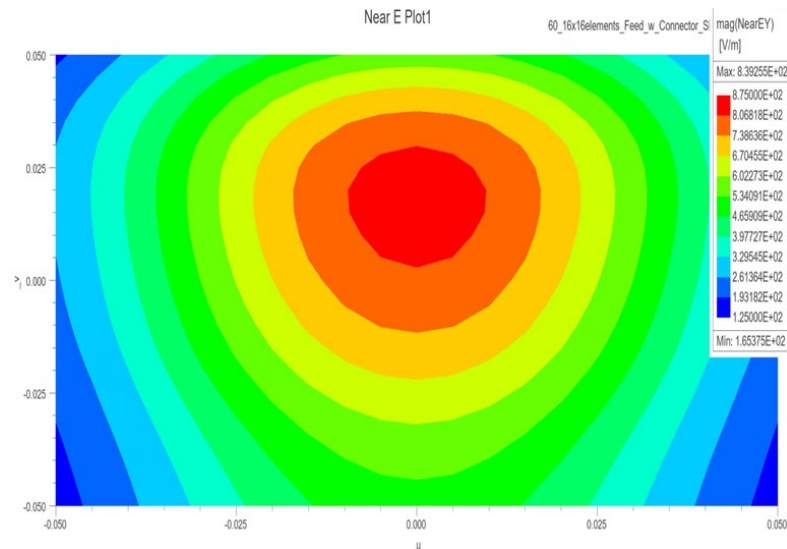


図6 256 素子アンテナにより 0.5m 地点での電界の様子 (シミュレーション)

(b)-2 「高効率パワーアンプ IC に関する研究開発」

GaN HEMT プロセス ($L_g=0.1\mu\text{m}$) を用いて、出力 1W、ドレイン効率 60%、電力負荷効率 51% のパワーアンプを実現し、電力損失を従来比 16.6%削減した (目標 15%)。

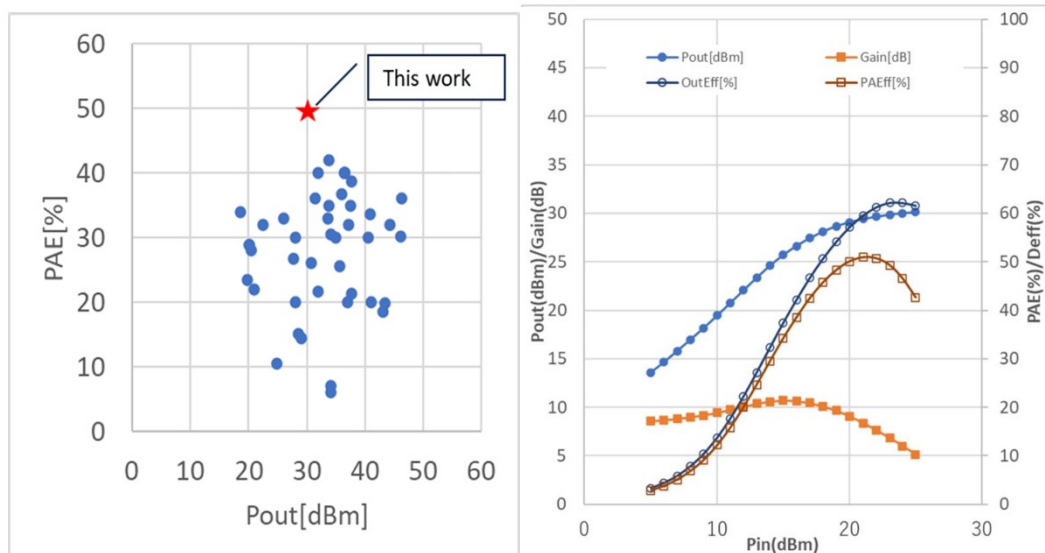


図7 試作パワーアンプ IC の入出力特性と他機関発表パワーアンプ IC との特性比較

(b)-3-1「大電力高効率受電レクテナに関する研究」

本課題では、USB Type-C 相当 (7.5W) の給電を実現するため、DC 電力 7.5W 以上を出力可能なレクテナアレーを開発することが目標である。これに適用する 24GHz 帯 1WGaAs レクテナの開発を行った。図8に構成を示す。

開発したレクテナの特長は以下の通り：

- (1) GaAs SBD よりも高電流密度である GaAs E-pHEMT により Gated anode diode (GAD) を構成し、これを整流用ダイオードとして用い、大電力化した。
- (2) アンテナと整流用ダイオードを直接接続する Diode on Antenna (DoA) 構成を適用し、回路損失を抑制。世界トップの整流効率 72.7%@入力電力 1W を得た。
- (3) GaAs MMIC 上のループアンテナとワイヤアンテナを電磁結合させ非接触給電を実現。アンテナとダイオードの接続損失を抑制し、放射効率 95%、利得 8.1 dBi を得た。
- (4) ワイヤアンテナを窒化アルミウム基板に構成し、その上にレクテナ MMIC を搭載する放熱構造とした。

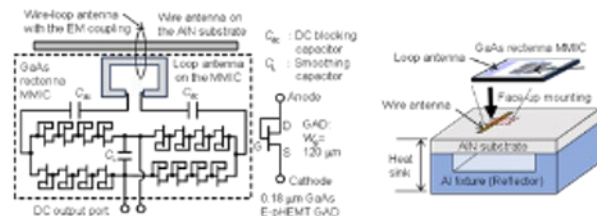


図8 24GHz 帯 1W レクテナの構成

このレクテナにより、図9に示す 16 アレーを構成し、24GHz 帯電力 15.9W 照射時に DC 出力 11.4W (効率 72%) を得た。さらにこれを用い、電気興業製 1024 素子アレーアンテナ (EIRP:82dBm) と対向させ、DC 出力 7.58W を得て、所期の目標を達成した。



図9 24GHzでの無線電力伝送実験

大電力受電時に課題となる発熱を抑え、高効率に動作するレクテナ実装技術の高度化に取り組んだ。具体的には、GaN素子をグラファイト及びAlN+グラファイト複合構造へ安定して実装する圧着技術を確認するとともに、凹凸のある基板にも対応できる専用のチップ押し付けジグを開発した。その結果、10W級GaN素子において、従来のAuSn溶ダ接着と比べて約25%の熱抵抗低減を確認した。さらに、複合構造基板はAlN単体より温度上昇を抑えられることもシミュレーションで示され、受電レクテナの高出力化・高信頼化に有効な基盤技術を得た。

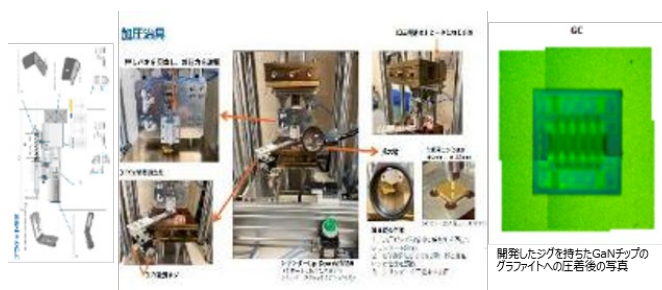


図10 GaN素子の圧着装置と実装したGaNチップ

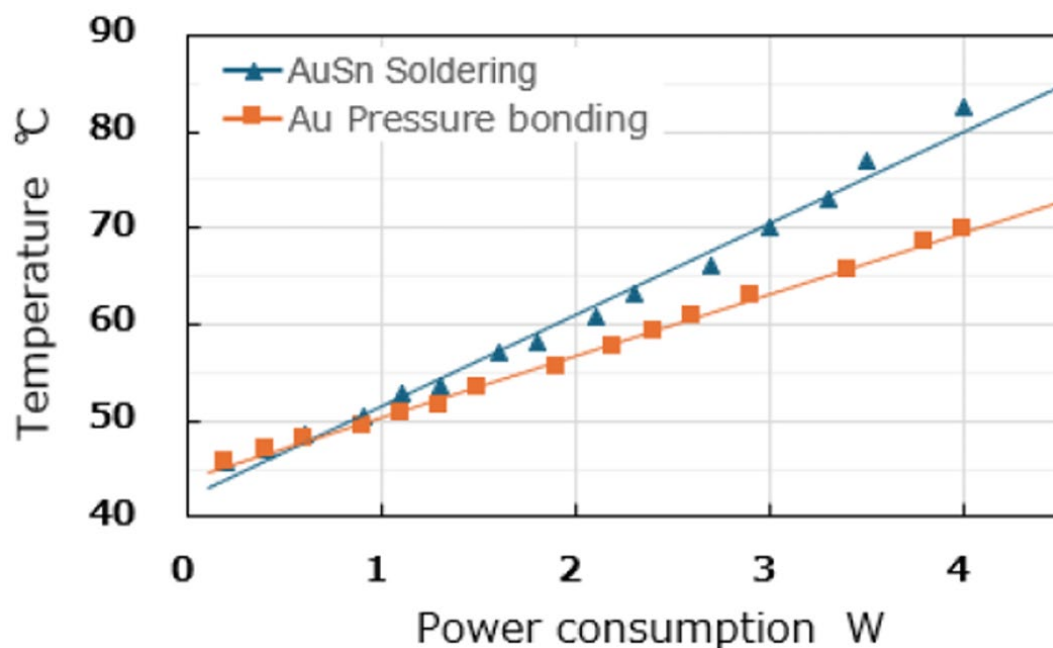


図 11 従来の AuSn 接着剤と圧着技術を用いて作製した GaN 実装基板の温度上昇比較

(b)-3-2「大電力受電素子の開発」

準ミリ波帯 GaN-GAD の基本デバイスを作製し、良好な DC 特性を確認した。実測 I-V と S パラメータに基づいて GAD の SPICE モデルを抽出した。ワット級 GAD を設計し、シミュレーションにより 1 W 受電動作可能であることを確認した。これにより、ワット級 GAD 整流器の試作を完了した。

また、10W 級 GAD のレイアウトを設計し、試作を完了した。DC、S パラメータの温度特性の測定結果に基づいて自己発熱導入 GAD モデルを開発した。GAD モデルに基づいて 10W 級倍電圧回路 ($W_g = 1.2 \text{ mm}$) の整流特性を計算した結果、40dBm 入力時の変換効率 73.3%、38dBm 入力時の変換効率 77.0% を予測した。



図 12 準ミリ波 GaN-GAD の素子構造と DC 特性（測定結果）と 10 W 級 TEG の整流特性のゲートピッチ依存性（計算結果）

既存のロードプル・ソースプル評価装置を活用することで、整流器特性を効率的に評価できる測定系を整備し、構造設計から実測評価までを短期間で回せる体制を構築した。その結果、試作した GaN-GAD の 24GHzRF 入力条件で最大 35% の変換効率を確認しており、大電力受電素子の実用化に向けた有望な成果が得られた。

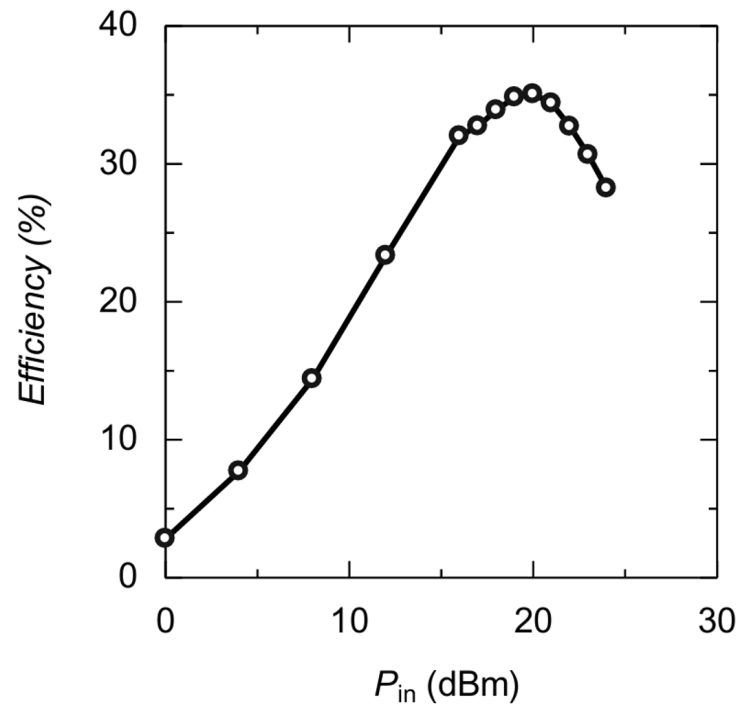


図 13 準ミリ波 GaN-GAD の 24GHz 入力における変換効率-入力電力特性

(c) 「5G 準ミリ波との共用化技術」

本課題では、メタマテリアルアンテナ技術を活かし、円偏波複偏波アンテナによる可変偏波を可能とした 1024 素子アレーにより構成される、WPT 送電装置を開発し、OTA (Over the Air) 設備評価にて、目標 EIRP+82 dBm 以上を実現した。また、レクテナ全面に平均化し、高い効率を得るフラットビーム成形により、7.58W の DC 出力を達成した。

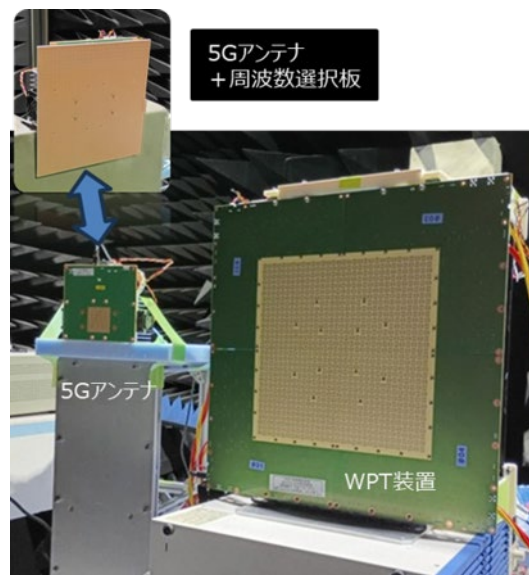


図 14 24GHz 帯 1024 素子 WPT 装置と 5G 装置検証

28GHz 帯 5G 基地局との共用化において、WPT 反射波による 3dB 以上の受信レベル圧縮が課題となったが、5G 装置前面への周波数選択板の配置により影響をほぼ解消し、両システムの共用化を可能とした。

次世代空間伝送型 WPT システム用の空冷化と高効率化の実現に向け、パワーアンプ及び通信部の構成を最適化し、空間伝送型 WPT システムに最適なビームフォーミング IC の回路設計を推進した。

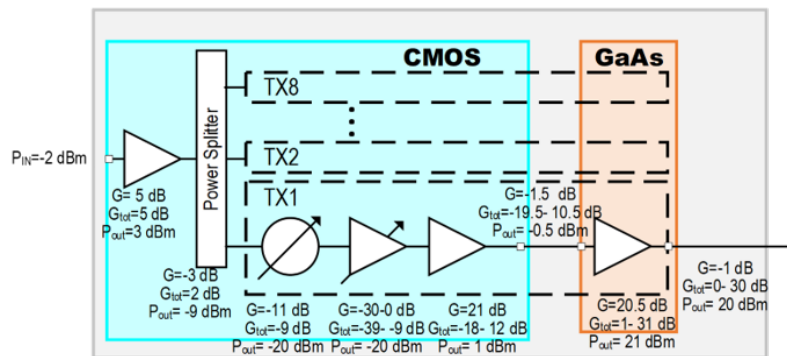


図 15 WPT 用ビームフォーミング IC の構成概要

本研究課題では、漏洩電力量を最小化し、給電時間割合 80%を実現することを目標とした。空間伝送型 WPT システム全体の定量的評価及び共存性評価技術と連携し、漏洩電力スペクトラム観測技術により評価環境を整備した。実証評価試験の実測に基づいて、キャリアセンス不要で空間伝送型 WPT システムを運用できる条件を明確化した。漏洩電力量可視化技術を用いた人体暴露指針遵守の給電停止運用を行うと共に、通信給電混在型メディアアクセス制御技術や、MAC 層のアクセス技術による時分割多重等により効率的な給電制御を実現することで、目標を達成した。

(a)-1 「給電用メディアアクセス制御」

本課題では、複数端末に対して効率的かつ安定的に電力を供給するための給電用メディアアクセス制御 (MAC) 手法の検討と、グループ給電の実現を目的として研究を行った。電力供給を通信ネットワークの資源配分問題として捉え、図 16 に示す電力をパケットとして扱う「パワーパケット」モデルを導入した。

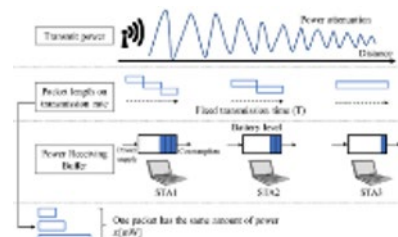


図 16 電力パケット変換方式の概要図

これにより、複数端末からの給電要求をキューとして管理し、スケジューリングに基づいて電力を分配する MAC 制御を構築した。さらに、PTDD (時間分割給電) に対して、RR (Round Robin) 方式を基準とし、これを拡張した MFQ (Multilevel Feedback Queue) 方式を提案した。MFQ 方式では、端末のバッテリー状態や消費電力に応じて優先度を動的に変更することで、給電機会を適応的に制御する。シミュレーション評価の結果、RR 方式では公平な給電機会は確保されるものの、条件差に対する適応性に課題があるのに対し、MFQ 方式では端末間の電力偏りや枯渇を抑制し、より安定した給電制御が実現できることを確認した。

また、本研究では、シミュレータを用いた給電制御設計手法を確立し、その結果を実機に実装して実証実験を行った。実験結果より、提案手法により端末間の電力偏りが抑制され、安定したグループ給電が実現できることを確認した (図 17)。

研究課題イ
空間環境に
応じた多数
デバイス給
電制御技術

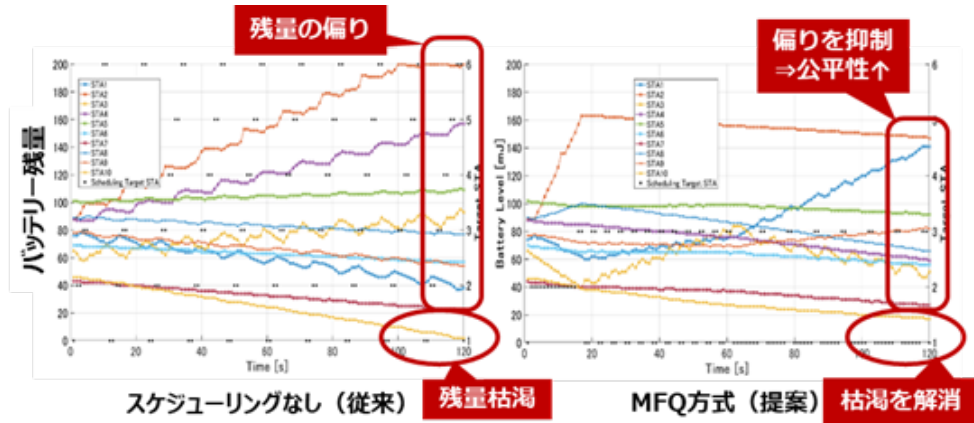


図 17 実証実験による方式の効果比較

(a)-2 「通信給電混在型メディアアクセス制御技術」

空間伝送型 WPT システムの送電システムと通信システムの共存方式の開発を行った。現場に設置したセンサで検知した電波情報に基づいて、制御サーバで機械学習を用いて空間伝送型 WPT システムからの電波を識別し、無線通信の状況に応じて以下の制御することで、空間伝送型 WPT システムと共存可能な無線通信制御機能を開発した。

- ・無線通信の占有率が低い場合：空間伝送型 WPT システムとの時分割制御により同一周波数で棲み分ける
- ・無線通信の占有率が高い場合：無線通信の周波数を切り替える

時分割制御により空間伝送型 WPT システムと無線 LAN とを共存させた様子を、図 18 に示す。図より 130ms ごとに空間伝送型 WPT システムと無線 LAN とを切り替え、共存を行っていることを確認できた。



図 18 時分割共存の様子

(b)-1 「漏洩電力量可視化技術」

本研究課題では、建築資材の透過・反射特性等を考慮し、空間内の電界状況を可視化する技術を確立した。これに基づき、空間伝送型 WPT システムと通信の共存に向けた伝搬解析（レイトレース法）による「相互影響エリアの特定」や「キャリアセンス閾値の調整」等の機能を備えた可視化プラットフォームを構築した。同プラットフォームでは、複数システムの連続切り替え表示機能等の有効性を検証し、相互影響の効率的な把握を可能とした。



図 19 可視化プラットフォーム

伝搬解析においては、レイトレース法を「経路探索部」と「電界計算部」に分離し、計算負荷の高い経路探索結果を再利用することで、精度を維持したまま計算を高速化する手法を提案した。大規模な実証評価試験環境において、本手法により計算時間を従来比で 60～80%削減しつつ、計算結果の再現誤差を同室内で 1dB 以内、室外で 2dB 以内に抑えることが可能であることを確認した。

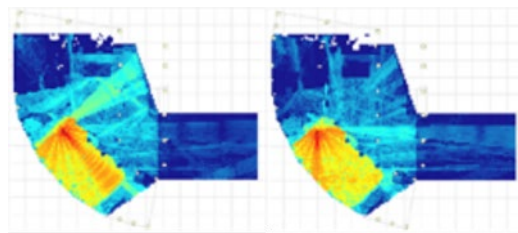
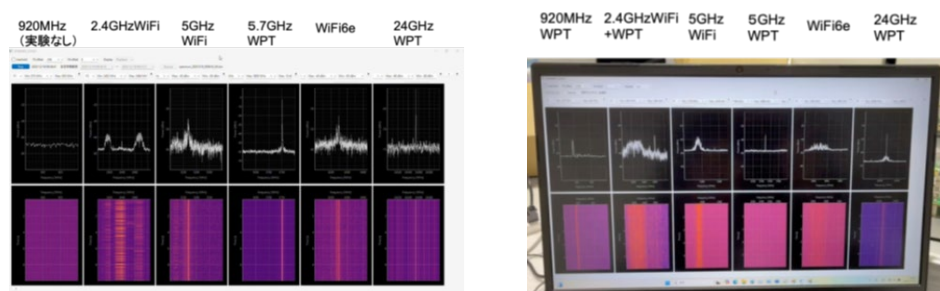


図 20 実証評価試験環境(YRP)での評価例

(b)-2「漏洩電力スペクトラム観測技術」

漏洩電力スペクトラム観測技術は、無線帯域への妨害を考慮し、無線 IoT+WPT スペクトラム周波数を同時に観測する事を目標とした。低コスト化を念頭にしたダイレクト RF アンダーサンプリング法による試作したスペクトラムモータを用いて、実証フィールド実験にて、2.4GHzWiFi、5GHzWiFi、5.7GHzWPT、WiFi6e、24GHzWPT のスペクトラム観測を行った。その結果、上記信号帯スペクトラムの観測に成功し、さらに、WLAN 信号の周波数チャネル変更の状況もスペクトログラムとして観測に成功(図 21(a))した。実証フィールド実験では 920MHz 帯の実験がなかったため、920MHz 帯スペクトラムは得られていないが、暗室内事前確認実験では、920MHz 信号の観測に成功(図 20(b))している。これにより、本研究の目標(無線 IoT+WPT スペクトラム周波数を同時に観測)を達成した。



(a) 実証フィールド実験での結果

(b) 事前実験での結果

図 21 スペクトラム、スペクトログラム観測結果

研究課題ウ
共存性評価
技術

「(a) 共存性評価に係る基盤データ整備」、「(b) 干渉評価システム技術」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、「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」、「技術課題イ 空間環境に応じた多数デバイス給電制御技術」と連携し、共用可能要件の緩和について実証を交

えて検証を行った。

具体的には、シミュレーション評価、共存制御技術での利用を想定し、24種類の建材の電波透過・反射特性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た。また、建材の電波透過・反射特性をデータベースとして活用し、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し、実証試験によりシミュレーションによる建物内外の電界強度の予測値と実測による測定値を比較し、その精度を検証した。

このように、技術課題ア及びイと連携し、実証実験を通じて電波伝搬シミュレーションシステムの精度を検証した結果、920MHz帯、2.4GHz帯及び5.7GHz帯では概ね $\pm 10\text{dB}$ 以内に収まる非常に高い精度でシミュレーションできることが確認され、特定空間への漏洩電力の影響を最小化するための技術の評価に活用可能なシミュレーション環境が整備された。

(a)-1「建築材料、建物構造物の電気特性実験」

屋外漏洩電力評価のためのレイトレース法によるシミュレーションの高精度化に向けて、実施工状態を模擬した24種の建材の920MHz、2.4GHz、5.7GHz、24GHzにおける透過及び反射特性を評価した。なお、屋外漏洩の主要因と考えられる窓ガラス材料については24GHz帯の複素比誘電率についても測定し、建材特性データベースを構築した。また、このデータベースを反映した電波伝搬シミュレーションの解析精度評価のため実物件2件において、屋外漏洩電力分布を測定した。測定の結果、目標精度である $\pm 10\text{dB}$ 以内の計算精度が得られていることを明らかとした。

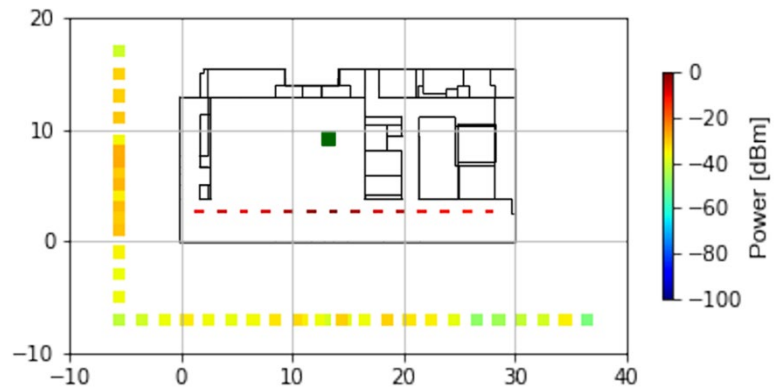


透過特性



(b) 反射特性

図 22 自由空間法による建材の透過反射係数の測定系



(a) 屋外の受信系

(b) 920MHz における受信電力分布

図 23 屋外漏洩電力の測定

(a)-2 「実験用 5.75GHzWPT 送信システムの試作」

屋外等のエリア外の電波強度のシミュレーションモデルを検証するため、送電出力とアンテナ素子数・開口径の異なる 2 種の 5.75GHzWPT 送信システム（16 素子・21W 出力と 36 素子・216W 出力）を開発し、実物件 2 件における電波伝搬・屋外漏洩電力分布を測定評価する実証試験を行った。また、これらの装置を用いて WLAN と 5.75GHz 帯 WPT 送信波との干渉評価試験を行い、共存性に関する技術要件案を策定し、制度化検討推進団体に提案を行った。



(a) 16 素子送電装置 (b) 36 素子送電装置

図 24 試作した実験用 5.75GHzWPT 送信システム

(a)-3 「国内外規格の調査、提案書作成」

2025 年 4 月、日本建築学会において「空間伝送型ワイヤレス給電システムを使用する建築部材の電磁波特性評価ガイドライン・同解説」の策定を開始し、2026 年 3 月時点で、WD (Working Draft) の策定を完了した。

(b) 「干渉評価システム技術」

24 種類の建築部材の測定値をデータベース化した。本研究では、実際の建築物に利用する実大の建設資材及び実際の建築物と同様の施工法で製作した建物・構造物試験体の透過減衰量の周波数特性、反射減衰量の角度特性を実測し、自由空間透過法を利用して、透過・反射減衰量の角度特性をデータ化した。これにより、測定のみでは把握が困難な透過・反射減衰量の角度特性に対応した電波特性データベースを整備した。また、他の研究機関と

の連携を目的として、構造計画研究所がリリースしているレイトレース法による電波伝搬解析ツール Wireless InSite に本研究で開発した電波特性データベース及びアンテナ指向性を実装した。

電波特性データベースを用いて 4 周波数帯の建物内外の漏洩電力をシミュレーションし、測定値との比較を実施した。920M、2.4G、5.7GHz 帯では概ね±10dB 以内に収まり非常に高い精度でシミュレーションできることを確認した。

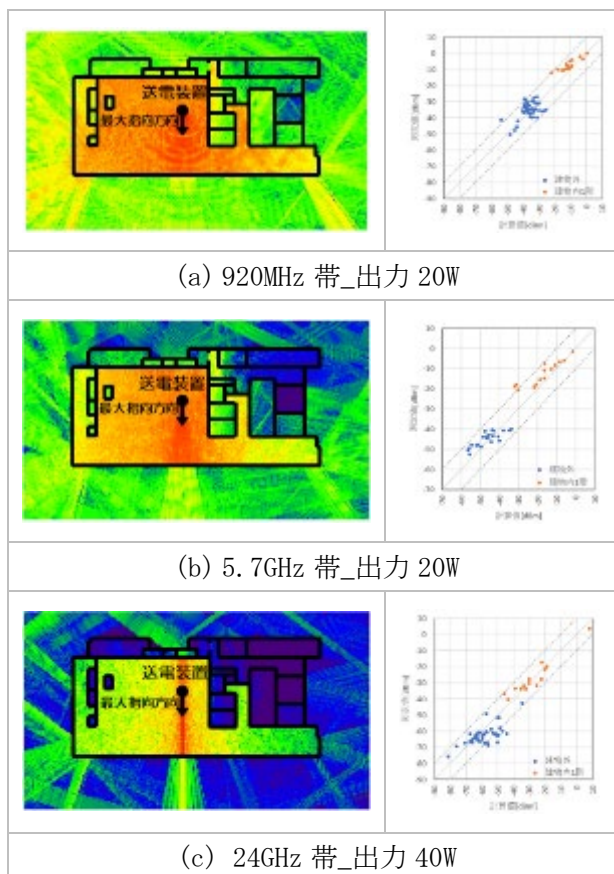


図 25 電波伝搬シミュレーション結果(左)計算値と測定値の比較(右)

3 政策効果の把握及び有識者の知見の活用

研究開発の評価については、各要素技術における目標の達成状況、論文数や特許出願件数などの指標が用いられ、これらを基に専門家の意見を交えながら、必要性・効率性・有効性等を総合的に評価するという手法が多く用いられている。本政策においても、「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（令和 5 年 3 月、令和 6 年 3 月及び令和 7 年 3 月）において、目標の達成状況等に関して外部評価を実施し、当初の目的の達成や事業実施の妥当性について確認したほか、外部有識者からの個々の要素技術を円滑に統合するためのロードマップ及びマイルストーンや指摘や論文発表や特許取得の活動状況への指摘等をいただいております、これらを本研究開発の評価に活用した。

また、外部発表や特許出願件数、国際標準提案件数等も調査し、必要性・有効性等を分析した。口頭発表数は目標を大きく上回り、査読付き口頭発表論文数は目標を達成した。さらに、10 件の受賞を得た。

主な指標	令和4年度	令和5年度	令和6年度	令和7年度	合計
査読付き誌上発表論文数	1件（1件）	2件（0件）	6件（4件）	8件（2件）	17件（7件）
査読付き口頭発表論文数 （印刷物を含む）	0件（0件）	1件（1件）	8件（8件）	14件（13件）	23件（22件）
その他の誌上発表数	8件（0件）	1件（0件）	2件（0件）	2件（0件）	13件（0件）
口頭発表数	29件（3件）	56件（7件）	53件（4件）	59件（3件）	197件（17件）
特許出願数	4件（0件）	4件（1件）	8件（0件）	4件（0件）	20件（1件）
特許取得数	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）
国際標準提案数	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）
国際標準獲得数	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）
受賞数	2件（0件）	5件（1件）	3件（0件）	0件（0件）	10件（1件）
報道発表数	0件（0件）	2件（0件）	8件（0件）	7件（0件）	15件（0件）
報道掲載数	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）	0件（0件）

注1：各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。（括弧）内は、その内海外分のみを再掲。

注2：「査読付き誌上発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読（peer-review（論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、論理性等の観点より判定されたもの）のある出版物に掲載された論文等（Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等および査読のある小論文、研究速報、レター等を含む）を計上する。

注3：「査読付き口頭発表論文数（印刷物を含む）」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集（電子媒体含む）に掲載された論文等（ICC、ECOC、OFC など、Conference、Workshop、Symposium 等での proceedings に掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。）を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等（電子情報通信学会技術研究報告など）は、「口頭発表数」に分類する。

注4：「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等（査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む）を計上する。

注5：PCT（特許協力条約）国際出願については出願を行った時点で、海外分1件として記入。（何カ国への出願でも1件として計上）。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。

注6：同一の論文等は複数項目に計上しない。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数（印刷物を含む）」及び「口頭発表数」のそれぞれに計上しない。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行ったのち、当該学会より推奨を受ける等により、改めて査読が行われて論文等に掲載された場合は除く。

4 政策評価の結果（総合評価）、今後の課題及び取組の方向性

（1）政策評価の結果

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空間伝送型 WPT システムの実現に期待が高まっている中、他の無線局に与える干渉レベルを抑制しつつ、給電方式を向上させることが課題であった。本研究開発の技術は、この課題に取り組むものであり、空間伝送型 WPT システムの周波数利用効率を向上させ、周波数の有効利用に資するものであることから、国が実施すべき研究開発として推進する必要があったと認められる。

本研究開発では、技術的数値目標として、現行の空間伝送型 WPT システムと比較して、時間当たりの給電能力を10倍以上向上させることを目指していた。研究開発の結果、16.4倍と目標を大幅に上回る給電能力を達成したほか、24GHz帯において、実用化を見据えた基盤技術（半導体技術）を確立し、さらに精緻化したシミュレーションと建材の基盤データベースの整備を完了するなど、目標を達成することができ、空間伝送型 WPT システムの実用化に寄与する成果を得た。よって、本研究開発には有効性があると認

められる。

(2) 今後の課題及び取組の方向性

本研究開発では、目標を上回る要素技術が得られ、今後の社会実装に向けた課題の整理とロードマップに基づく取組が積極的に進められている。個々の要素技術については、今後は受託者において、24GHz 帯送電装置の空冷化を含む低コスト化、効率的な給電プロトコル・制御技術の組込みに向けた標準化、簡易なシミュレーションによる精緻化した評価方法の確立などの社会での活用や実用化に向けた応用研究、国際規格化活動、論文などによる情報発信が行われる予定であり、これらについて追跡調査等でフォローアップしていく。

5 評価に使用した資料等

○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）

https://www.soumu.go.jp/main_content/000766569.pdf

○統合イノベーション戦略2020（令和2年7月17日）

https://www8.cao.go.jp/cstp/togo2020_honbun.pdf

○電波有効利用成長戦略懇談会 報告書（平成30年8月31日）

https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000273.html

○本研究開発については、「総務省情報通信研究評価実施指針（第6版）」に基づく評価を行っており、関連資料は、以下のURLに掲載されている。また、本研究開発については、研究開発終了後一定の期間を経過してから、研究開発の直接の成果（アウトプット）から生み出された効果・効用（アウトカム）や波及効果（インパクト）等を確認することは有益であるほか、研究開発施策等の評価の基礎的なデータを取得するため、学会や海外における評価や関連特許、技術移転等の実用化に関する状況を調査し、活用状況等を把握する追跡調査を実施することとしている。

<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/>