

採択番号 02401
研究開発課題名 完全ワイヤレス社会実現を目指したワイヤレス電力伝送の高周波化および通信との融合技術

(1) 研究開発の目的

本研究開発ではミリ波帯におけるワイヤレス電力伝送 (WPT: Wireless Power Transfer) と通信の連携・融合を実現し、IoT デバイスの爆発的普及への電力利用インフラ構築する為の基礎検討を完了する。また、WPT セル内において数 100 μ W-数 mW 程度の消費電力を有する受電デバイスを想定したワイヤレス電力伝送システム・デバイス開発の研究を行う。

研究開発項目 1 では、超多素子アンテナシステムの放射近傍界距離での簡易制御手法の適応検討を行う。また、ミリ波多素子アンテナ、高効率ミリ波レクテナ、多素子レクテナなどのデバイス単体での研究を実施する。

研究開発項目 2 では、WPT 装置と通信装置との連携に関する検討を実施する。特に、WPT としては最大 EIRP 75dBm を有するフェイズドアレイアンテナを開発し、時間同期を想定したミリ波送電装置を構築する。

研究開発項目 3 では既存通信基地局からの電力利用の実現を目指した研究開発を実施する。システム全体での最大効率を得られるようなワイヤレス電力伝送用のダミー信号を生成し、基地局から IoT デバイスに対してワイヤレス電力伝送を行う。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 6 年度 (4 年間)

(3) 受託者

ソフトバンク株式会社<代表研究者>
国立大学法人京都大学
学校法人金沢工業大学

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 3 年度から令和 4 年度までの総額 390 百万円 (令和 4 年度 192 万円)
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 : ワイヤレス電力伝送の高周波化・アンテナ大開口化
担当 : 京都大学、金沢工業大学、ソフトバンク

研究開発項目 2 : ワイヤレス電力伝送と通信の連携および融合
担当 : ソフトバンク

研究開発項目 3 : 通信電波の利用
担当 : ソフトバンク

(6) 特許出願、外部発表等

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	13	10
	外国出願	10	10
外部発表等	研究論文	8	6
	その他研究発表	85	56
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	14	8
	展示会	0	0
	受賞・表彰	4	4

(7) 具体的な実施内容と成果

• 研究開発項目 1-a 超多素子アンテナシステム簡易制御・高周波化 (委託契約締結日～2022年3月)

2022年度には、低コストで新型移相器を使用する9×9の簡易制御型28GHzフェイズドアレイと2段ロットマンレンズとRFスイッチ使用する簡易制御型の2種類のフェイズドアレイを開発した。これらのシステムを実現に向け、数種類アンテナ給電方式の検討(スロット給電、ビア給電、垂直給電)、間引き給電アレイアンテナ、焦点ビームアンテナなども開発した。ソフトバンクが開発した通信・WPT連携システムのベースバンド部、金工大の開発したレクテナ、京大の簡易制御型フェイズドアレイと連合し、無線通信と送電融合伝送システム検証実験を行い、設計した誘電体レンズでゲインを増強して、IoT端末を動かせる電力を確認した。

• 研究開発項目 1-b 高周波・超多素子アンテナの最適ビームフォーミング (2023年4月～2025年3月)

2023年度以降の目標。

• 研究開発項目 1-c 高周波レクテナの高効率化 (委託契約締結日～2022年3月)

2022年度には、0.5μm GaAs プロセスによる28GHz帯100mWレクテナMMICをSB社の模擬基地局と対向させ評価した。1dBm入力時に0.2Vの出力(感度点)を得た。基地局EIRP74dBm、距離5mでの受電電圧は0.19Vが得られた。また本ICを用いるレクテナアレーの試作を行った。

高効率ワイヤアンテナと、高インピーダンス微小ループアンテナを集積化したレクテナICを電磁結合させる構成を考案した。0.18μm GaAs プロセス、45nm SOICMOS プロセスによるIC試作、レクテナ試作を完了した。

上記アイデアの検証として、ワイヤ・ループアンテナに0.18μm GaAs 整流器ICをFC実装した1mW～10mW級レクテナの試作を完了した。SB社の模擬基地局と対向させ評価した。-2dBm入力時に0.2Vの出力(感度点)を得た。入力電力12dBmにおいて67.9%の世界最高の整流効率を得た。基地局EIRP70dBm、距離5mでの受電電圧は0.4Vが得られた。

• 研究開発項目 1-d 微弱電力レクテナの開発 (2022年4月～2025年3月)

2022年度には、高効率ワイヤアンテナと、高インピーダンス微小ループアンテナを集積化したレクテナICを電磁結合させる構成を検討した。45nm SOICMOS プロセスによるIC試作を完了した。

• 研究開発項目 1-e 受電レクテナの多素子化 (委託契約締結日～2022年3月)

2022年度には、入力電力に分布を持つ整流器の最適な直並列接続の検討を完了した。入力電力分布に応じた最適接続により、最大で10%の効率改善を確認した。

2021 年度開発の解析手法との比較検討では、高精度に測定結果が再現されたことを確認した。また、あらゆる DC 上記最適な接続を電子的に実現する、スイッチング素子を用いたマトリクスによるグリッド型負荷回路を考案した。

• 研究開発項目 1-f ビームフォーミングを用いたターゲット捕捉および選択的給電手法
(2023 年 4 月～2025 年 3 月)

✓ 2023 年度以降の目標

• 研究開発項目 2-a ワイヤレス電力伝送装置の API 化 (委託契約締結日～2022 年 3 月)

2022 年度には、192 素子 75dBm EIRP ビームフォーマの TCP/IP 制御によるビーム制御の実証を完了した。イーサネット経由で接続された制御用 PC 上の GUI により、全アンテナ素子の振幅位相が制御可能であることを実証した。ビームフォーマ制御試験では、開発したアンテナに対してフォーカスビームフォーミングを実装し伝搬試験を実施した。近傍界領域において 5 ポイント以上の伝搬効率改善を確認した。開発したビームフォーマと金工大開発ミリ波レクテナとの結合試験では、5m の伝搬距離において 100 μ W の DC 受電電力を確認した。

• 研究開発項目 2-b ミリ波通信とワイヤレス電力伝送の装置間同期制御手法 (委託契約締結日～2022 年 3 月)

2022 年度には、Zadoff-chu (ZC) 系列信号の生成・フォーカスビーム制御・金工大ミリ波レクテナとの結合試験を完了した。ミリ波レクテナに関して、信号を 64QAM 信号から ZC 系列信号にすることで整流器最大効率を 10%以上改善されることを確認した。通信・WPT アンテナ間連携ベースバンド部開発では、通信・WPT アンテナ間連携システム実現に向けたベースバンド部実証完了した。また、WPT 出張局アドインのための通信/WPT 用変調信号の信号生成部・時分割多重部・2 ポート出力部の実装を完了した。WPT 出張局用信号及び通信信号の有線による RF 信号の測定し、WPT 用 ZC 信号及び通信用 64QAM 信号が各ポートにおいて時分割に出力されることを確認した。

• 研究開発項目 2-c 通信・ワイヤレス電力伝送基地局の一体化 (2023 年 4 月～2025 年 3 月)

✓ 2023 年度以降の目標

• 研究開発項目 3-a 既存基地局に対する WPT 制御 (委託契約締結日～2022 年 3 月)

2022 年度には、ミリ波通信/WPT の時空間分離システムの実証試験を完了した。ミリ波通信用アンテナに対して WPT フレームの挿入とアンテナ連携により、同一周波数帯での TDD での時間分離およびビームフォーミングによる空間分離の両機能を実現・実証した。また、WPT フレームにおいてミリ波レクテナから DC 出力を確認した。

通信アップリンク (UL) 信号を介した WPT 制御システムの実証を完了した。通信子機装置からの UL 信号を介し、WPT 受電電力の親機側へのフィードバックを実施し、WPT 出力電力等の制御を可能とするシステムを実証した。例として、受電電力がアンテナ距離によらず一定となるシステムの実証を完了した。

(8) 今後の研究開発計画

<京都大学>

2023 年度以降は、近傍界領域でのアンテナ効率劣化を解消するためにフォーカスビーム等のビームフォーミング技術について議論し、大開口アンテナへの機能実装を目指す。さらに、2022 年度までに開発を完了した簡易制御可能な多素子アンテナを用い、

ビームフォーミング技術の実証をおこなう（研究開発項目 1-b）。

<金沢工大>

2023 年度以降は、0.18 μm GaAs レクテナおよびアレー化の評価を継続して行う（研究開発項目 1-e）。さらに 45nm SOICMOS レクテナおよびアレー化の評価を継続して行う。これにより多素子化による伝送距離の延伸の効果を確認する（研究開発項目 1-d、1-e）

<ソフトバンク>

2023 年度以降の研究開発として、研究開発項目 1-e では多素子レクテナの多元接続手法について継続して検討する。特に、入力電力分布による効率劣化をキャンセルするようなマトリックススイッチング回路の試作・実証を実施する。

研究開発項目 2-c では通信基地局の出張局として WPT アンテナをシステムに組み込む。2023 年度以降の研究開発では、開発した 75dBm ビームフォーマと通信アンテナを連携するベースバンド装置を用い、電波伝搬試験を含む通信/WPT 時分割連携システム実証を実施する。

研究開発項目 3-a ではミリ波通信アンテナの拡張機能として WPT を実装する。2023 年度以降の研究開発では、画像検出及び近距離通信による受電デバイスの位置検出機能をアンテナシステムに実装し、受電デバイスの位置に応じたビームフォーミング制御を実証する。さらに、通信/WPT の時間リソースをアクティブに最適化可能なアンテナシステムを検討する。

研究項目	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	担当
研究開発項目1 ワイヤレス電力伝送の高周波化・アンテナの大開口化					
研究開発項目1-a) 超多素子アンテナシステム簡易制御・高周波化	→				京大
研究開発項目1-b) 高周波・超多素子アンテナの最適ビームフォーミング			→		京大
研究開発項目1-c) 高周波レクテナの高効率化	→				金工大
研究開発項目1-d) 微弱電力レクテナ開発		→			金工大
研究開発項目1-e) 受電レクテナの多素子化	→	→	→	→	SB,京大,金工大
研究開発項目1-f) ビームフォーミングを用いたターゲット捕捉および選択的給電手法			→		SB
研究開発項目2 ワイヤレス電力伝送と通信の連携および融合					
研究開発項目2-a) ワイヤレス電力伝送装置開発とAPI化	→				SB
研究開発項目2-b) ミリ波通信とワイヤレス電力伝送の装置間同期制御手法	→				SB
研究開発項目2-c) 通信・ワイヤレス電力伝送基地局の一体化			→		SB
研究開発項目3 通信電波の利用					
研究開発項目3-a) 既存基地局に対するWPT制御	→				SB

図1. 研究開発実施計画マイルストーン