

研究成果報告書

研 究 題 目	広い空間での安定したワイヤレス給電を実現する 複数送電器の開発	実 施 年 度	
		2022-2023 年度	
代 表 研 究 者	所属	岡山大学 学術研究院環境生命自然科学学域	
	氏名	石原 将貴	印

1. 研究の目的・背景

磁気結合を用いたワイヤレス給電技術の次世代の応用例として、電子・電気機器をどこにおいても給電可能な「ワイヤレス給電デスク」がある（図1参照）。ワイヤレス給電デスクは利便性を高めるだけでなく、タコ足配線やコンセントの除去による安全性の向上にも期待できる。通常、ワイヤレス給電デスクのような広い平面での電力伝送では、平面に複数の送電コイルを配置する。

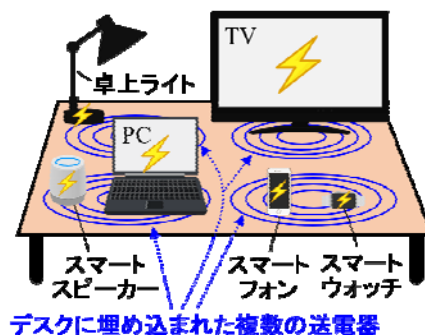


図1 ワイヤレス給電デスクの概念図

現状、ワイヤレス給電デスクが実用化出来ていないのは、①送電共振器の共振周波数のバラつき ②複数送電器間の磁気干渉 の二つの問題に

対して、実用的な解決方法が確立されていないことが大きい。これらの問題は、送電器が生成する磁界を著しく低減し、受電器へ十分な電力を伝送することを困難にする。

そこで本研究では、上述した二つの問題を自動的に解決し、安定した磁界を生成可能な複数送電器を実現することを目指す。本研究を実施するに先立ち、申請者は、上述の二つの問題に対して複数送電器が安定して磁界を生成するには、「すべての送電器に流れる電流の振幅と位相がそれぞれ一定であり続ける」ことが本質的な要件であることを見出している。この要件を自動的に達成する具体的かつ実用的な送電器として、図2に示す複数送電器を提案し、実機によって実現可能性および有効性を確認する。提案送電器は、送電器電流の振幅を制御するための力率制御インバータと、位相を制御するためにリアクタンス補償回路を有する。なお、本申請で提案する送電器は実用化を考慮して ISM 帯である 6.78 MHz で動作させる。

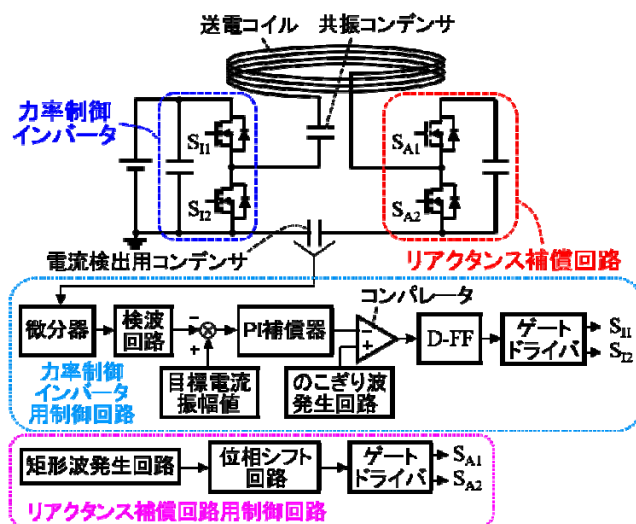


図2 制御回路ブロックを含む提案する各送電器
(複数受電器のうち、一つの送電器のみ抽出した図)

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

本研究は、申請時に以下の3つのステップに分けて研究を実施していくと計画していた。各ステップにおける成果および考察を報告する。

■ステップ1：回路シミュレータを用いた原理検証

これまでブロック図で表現されていた構想段階の提案複数送電器の制御回路をシミュレーション上に具体的に実装し、動作確認をした。その結果、共振周波数のバラつき（ $\pm 10\%$ ）と磁気干渉（送電器間の結合係数 0.01~0.1）があっても、各送電器電流の振幅や位相が変動しないことをシミュレーションにより裏付けることに成功した。また、リアクタンス補償回路の直流電圧値が回路方程式から求めた理論的な値とおおよそ一致することを確認し、動作の妥当性を確認した。さらに、限界感度法を用いて制御回路のパラメータ設計を行った。以上の結果より、ステップ1の達成度は100%であると考ええる。

■ステップ2：実機構築と動作評価試験

シミュレータ内に実装した回路を実際の実用的な回路図へ落とし込み、これを基に回路基板を作製した。また、受電器も作製し、数十W程度の給電試験をする実験環境（図3）を構築し、提案送電器の有効性を確認した。その結果、送電器間の距離を互いに隣り合うように配置して、送電器間の相互干渉が発生する条件でワイヤレス給電をしても、相互干渉に依らず安定した送電器電流振幅と位相を達成できることを確認した。また、原理検証をした速報データを国内学会（2022年産業応用部門大会）および国際会議（IEEE ECCE 2022）で発表した。さらに、詳細な原理検証結果を加えた成果を令和5年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会で発表した。以上より、ステップ2の達成度も100%であると考ええる。

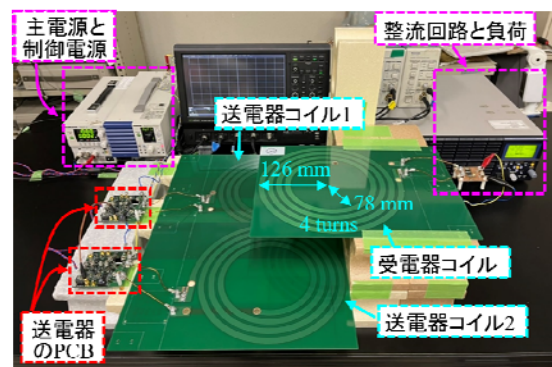


図3 構築した実験環境

た送電器電流振幅と位相を達成できることを確認した。また、原理検証をした速報データを国内学会（2022年産業応用部門大会）および国際会議（IEEE ECCE 2022）で発表した。さらに、詳細な原理検証結果を加えた成果を令和5年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会で発表した。以上より、ステップ2の達成度も100%であると考ええる。

■ステップ3：制御回路パラメータの最適設計手法の確立

ステップ3に関しては、研究の優先順位を変更して当初計画していたステップ3とは別の内容を実施していたため、達成できなかった。したがって、当初予定していたステップ3の達成度は0%である。当初予定したステップ3の内容に替わり、具体的には、送電器電流の位相情報を受電器に送るための無線通信技術の開発に取り組んでいた。上述した複数送電器の二つの問題は、複数受電器においても同様の問題が発生する。これを解決するためには、送電器電流の位相情報に基づいて受電器自身が制御する必要がある。したがって、図1のシステムを実用化するためには、複数送電器は、受電器へ位相情報をリアルタイムに伝えるための無線システムが必要になる。そこで本研究では、図4に示す無線信号基板を新たに開発し、実現可能性を実機検証した。

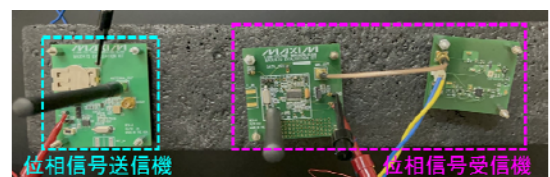


図4 開発した電流位相の送受信機

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

【設備備品費】

当初の計画通り、1.5 GHz アクティブプローブの購入に充てた。アクティブプローブは提案複数送電器の制御回路や、無線通信基板の動作波形の取得のために使用した。

【消耗品費】

提案複数送電器の回路基板や無線通信基板を作製するための電子部品の一部を本助成金により購入した。また、提案型複数送電器基板と従来型複数送電器基板を様々な動作条件下で比較する必要があったが、高周波動作であるため、条件によっては過剰にパワー半導体デバイスが発熱する。そのため、放熱に用いるフロリナートを新たに購入した。また、各回路基板のゲート駆動回路を動作させるための直流電源も新しく購入した。

【旅費】

ワイヤレス給電や GaN-HEMT を用いた高周波インバータに関する情報収集のため IPEC-Himeji 2022・ECCE Asia に参加するための旅費に充てた。また、本助成金で得られた研究成果を発表するために、2022 年産業応用部門大会、電気・電子・情報関係学会東海支部 2023、半導体電力変換技術委員会へ参加した際の旅費にも使用した。

【その他】

上記の旅費に対応する学会の参加費に充てた。また、前述のステップ 2 とステップ 3 を実施するための回路基板作製費にも使用した。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

今後、実用化に向けて、下記の 2 点に取り組んでいく。

1. 送電器電流位相の低遅延・低ノイズ通信技術の開発

前述のように、送電器電流位相を受電器にリアルタイム送信するための無線通信技術を開発してきたが、現状の試作機では信号の遅延量が大きく、6.78MHz といった高周波においてはこの遅延量が大きな影響を及ぼすことが分かった。また、通信距離が現状最大で 70cm と未だ十分ではなく、様々な角度や距離であっても正確に位相情報を通信する必要がある。そこで今後は、これらを解決するための無線通信技術を開発して提案複数送電器に搭載していく予定である。

2. 制御回路パラメータの最適設計手法の確立

当初の予定にあったように、制御回路の設計手法は依然として確立する必要がある。提案複数送電器に搭載されているリアクタンス補償回路内のコンデンサの静電容量は、静電容量が大きいため制御性に悪影響を及ぼす恐れがある。したがって、今後は、提案する複数送電器の制御特性を定式化し、具体的なリアクタンス補償回路内のコンデンサの静電容量や補償器の設計方法を確立していく予定である。

上記 2 点の開発が迅速に進めば、数年以内に実用化できると見込んでいる。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

【国際学会】

1) M. Ishihara, K. Matsuura, A. Konishi, K. Umetani, and E. Hiraki, “Cross-Interference Free 6.78 MHz Multiple-Transmitter Using Power Factor Based Control for Wide-Area Wireless Power Transfer Systems,” in *Proc. IEEE Energy Convers. Congr. Expo.*, Detroit, MI, USA, 2022.

【国内学会・国内研究会】

1) 石原將貴・松浦晃大・小西晃央・梅谷和弘・平木英治：「送電器間・受電器間の相互干渉に影響されない 6.78MHz ワイヤレス給電を実現する力率制御型複数送電器」, 2022 年電気学会産業応用部門大会, 東京（上智大学）, 1-66 (2022)

2) 西尾颯真・石原將貴・梅谷和弘・平木英治：「6.78MHz ワイヤレス給電システム用自動リアクタンス調整回路における制御信号伝搬遅延の固定時間補償の課題抽出」, 半導体電力変換/モータドライブ合同研究会, 大阪（大阪公立大学）, SPC-24-015 (2024)

【招待講演】

1) 石原將貴・松浦晃大・小西晃央・梅谷和弘・平木英治：「送電器間・受電器間の相互干渉に影響されない 6.78MHz ワイヤレス給電を実現する力率制御型複数送電器」, 令和 5 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 愛知（豊橋技術科学大学）, 11-2 (2023)