

氏 名 三 浦 健 史
 学位(専攻分野) 博 士 (情報学)
 学位記番号 情 博 第 15 号
 学位授与の日付 平成 12 年 3 月 23 日
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
 研究科・専攻 情報学研究科通信情報システム専攻
 学位論文題目 Study of Microwave Power Receiving System for Wireless Power Transmission
 (無線電力伝送におけるマイクロ波受電システムに関する研究)

論文調査委員 (主査) 教授 松本 紘 教授 橋本弘藏 教授 佐藤 亨

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、マイクロ波無線電力伝送技術の実用化を目指し、高効率にマイクロ波電力を直流電力へと変換するマイクロ波受電システムの構成を目的とした研究をとりまとめたものである。実際にマイクロ波無線電力伝送システム構築を進めながら効率低下の原因を探り、実証実験システムに必須となる素子開発及び改良を進めてきたものであり、以下の5章で構成されている。

第1章は序論であり、これまでに提案されてきた宇宙太陽発電構想のレビューを行い、構想実現に必須となる無線電力伝送技術の役割に関してまとめている。また、これまで行われてきた無線電力伝送実験をまとめ、これまでの実験に対する本研究の位置付けについて述べている。

第2章では、大電力受電用の整流回路開発を行い、その有効性を示している。これまでのレクテナは素子当りの入力電力が数 mW から 5 W 程度で動作し、ロボットや電気自動車を駆動するような大電力受電には使用不可能であった。本研究では、素子当りの大電力受電を可能とするために電力分配器と複数の整流回路を組み合わせた電力分配整流回路を考案し、設計過程及び試作の結果について報告している。多段電力分配器は回路幅が広く、アンテナ部との接合が困難となる。ゆえに、回路を小型化するために5層基板を用いた両面電力2分配器を考案し、設計寸法の最適化及び試作を行った。最終的に両面電力2分配器を含めた電力8分配器と整流回路8素子を組みあわせることにより、入力電力6.7 W で最高効率68.6%を達成している。また、入力電力16 W においても65%近い変換効率を得ている。入力電力10 W を超えるレクテナの例はこれまでになく、本研究が初めての報告となる。

第3章では、受電システムにおける素子の接続法が効率にどのように影響を与えるか明らかにするために、レクテナ2素子を用いた動作解析を行っている。無線電力伝送システムにおいて、受電システムに到達するマイクロ波ビームのエネルギー密度は不均質であるため、各レクテナ素子の出力電力に分布が生じる。各素子はそれぞれの入力電力に応じた最適負荷抵抗を有するため、出力を合成するために素子同士を接続した場合、効率低下を生じる。この原因を明らかにするために、レクテナ2素子を用いて出力特性の測定を行い、結果に対する考察を行っている。その結果、これまで指摘されてきた直列接続時に効率が大きく低下する原因が、出力特性図上の動作点の動きから説明できるということを明らかにした。

また、非線形回路モデルを用いた出力特性の推定についても述べている。最適な接続法の検討や最適負荷抵抗の決定、故障診断を行うためには、回路特性を忠実に示すモデルが非常に有用なものとなる。レクテナ各素子を線形内部抵抗と内部電圧源による電源として扱う従来のモデルは高効率で動作するレクテナにのみ有効で、接続されたレクテナ出力の推定値が実験値に比べて大きく異なっていた。そこで、全ての条件における出力特性の予測が可能となるように、新たに内部抵抗を非線形抵抗としたモデルを提唱し、その有効性を検証している。

第4章では、実際に無線電力伝送システムを構成し、諸特性を得ることによりシステム全体の効率向上に向けた指針を得

ている。無線電力伝送システムの効率は主に3つの要因で決まる。直流からマイクロ波への変換効率（DC-RF変換効率）、送電アンテナから効率良く受電システムへエネルギーを集中させる効率（電力収集効率）、マイクロ波から直流へと変換する効率（RF-DC変換効率）である。システム効率向上に向けて、DC-RF変換効率の高いマグネトロンを用いた実験及び電力収集効率を高めた近距離送電実験を行った。この二つの実験より、最適入力電力の異なる複数種のレクテナをエネルギー密度分布に応じて配置することが、システム効率の向上に必須であることを明らかにした。複数種のレクテナの採用により、すべての素子を同一効率で動作させることで、大幅な出力増加が期待できることも示している。

第5章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、無線電力伝送システムの実現に向け、受電システムの素子開発及びシステム内の動作解析を行い、高効率化に向けた研究成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. マイクロ波受電素子レクテナの大電力化を図るために、一つのアンテナに複数の整流回路を配置する方式を考案した。この設計により、入力電力16Wにおいてマイクロ波-直流変換効率65%が得られている。レクテナでマイクロ波電力10W以上を受電した報告はこれまでになく、無線電力伝送システムの応用範囲を広げる成果である。

2. 入力電力の異なる素子を直列に接続した際に変換効率が大きく低下する現象に関して、出力特性図上の動作点の動きから説明できることを明らかにした。また、入力電力の差によって、一方の素子が動作しない場合があることを初めて示した。

3. レクテナ特性の出力電力低下量や負荷特性を高精度で予測できる非線形回路モデルを新しく提案した。この成果は、レクテナアレイの最適な接続法の検討や最適負荷抵抗の決定、故障診断に有用なものである。

4. 受電システムのマイクロ波-直流変換効率を向上させるために、最適入力電力の異なる複数種のレクテナをエネルギー密度分布に応じて配置することが必須であることを明らかにした。複数種のレクテナの採用により、すべての素子を同一効率で動作させることで、大幅な出力増加が見込めることも示した。

本研究における成果は、無線電力伝送システムを構築する際の具体的な手法と課題を明らかにするものであり、無線電力伝送システムの実現に大きく寄与するものである。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年2月18日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。