

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04144

研究課題名（和文）複雑多様化する無線送電環境のレイアウトを可能にするメタ表面の提案

研究課題名（英文）A proposal for a meta-surface that enables the layout of complex wireless power transmission environments

研究代表者

藤森 和博 (Fujimori, Kazuhiro)

岡山大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：70314705

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：ワイヤレス電力伝送技術は配線が不要であるため、日常生活の様々なシーンにシームレスに適用でき、生活様式を一変させる可能性を秘めている。一方、送電設備と受電機器との配置には一定の制約があり、どんなものにもでも電力を送ることは難しい。本研究では、送電設備で制約となる背面に置かれたものの影響をなくするためのメタ表面を提案し、解析および実験でその有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従前より提案されてきたメタ表面は直交座標系で周期配列されたものであった。本研究では、ワイヤレス電力伝送で用いられるコイルに流れる電流に適合するよう円環状に周期配列されたメタ表面を提案している。このメタ表面は、金属膜のみが使用されているため、磁性材料よりはるかに薄く軽量で、安価に作製でき、湾曲させることも可能である特徴を持っている。また、部品を実装するだけでメタ表面と金属膜の特性を切り替えられる可能性も秘めており、ワイヤレス電力伝送できる機器の種類、配置に飛躍的な自由度を与えることができる。

研究成果の概要（英文）：Wireless power transmission technology can be seamlessly applied to various scenes of our daily life because it does not require wiring, and it has the potential to transform our lifestyle. On the other hand, it is difficult to transmit power to any object due to certain restrictions on the placement of power transmission equipment and power receiving equipment. In this study, we proposed a meta-surface to eliminate the influence of objects placed behind the power transmission equipment, and confirmed its effectiveness through analysis and experiments.

研究分野：電磁波工学

キーワード：メタ表面 メタマテリアル ワイヤレス電力伝送

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1990年代にコードレス電話などに適用されて爆発的に普及した電磁誘導方式無線送電に加えて、2006年にMITが磁界結合方式無線送電を発表したことで、これまで電源ケーブルを必要とした電子デバイスの充電形態を一新し、「何時でも」「何処でも(動いていても)」「大電力でも」充電できる世の中が間近に迫っている。現時点における研究開発は、電気自動車や身の回りの家電・電子デバイスへの充電システムといった利便性を追求するフェーズにある。使用周波数割り当てに関する活動も活発化しており、今後は人体や周囲環境の安全性の担保や電磁環境のコントロールが重要な課題になると予測される。

本研究課題では、これらの無線送電システムの低姿勢化を達成するメタ表面の実現からスタートとし、このメタ表面の創成に過程で得られた知見を応用することで、無線送電空間に電磁気的禁制空間の実現可能性を検討する挑戦的な課題である。

2. 研究の目的

本研究の目的の一つは、直交座標系で報告例のある磁気壁特性を示すメタ表面を座標変換し、円環配列構造のメタ表面を創成することである。このメタ表面を用いることで、理論上はコイル上の電流の一様性を維持しつつ、コイルと磁気壁との距離を零とでき、磁気壁上に誘導されるコイルと同方向のイメージ電流によって、磁気壁上の半球面で利得が増大し、電磁誘導方式や磁界結合方式無線送電システムの低姿勢化・省電力化が達成できる。

もう一つの目的は、無線送電系の中に電磁気的禁制空間を発現しうるメタ表面/メタリングの実現可能性を明らかにすることである。無線送電システムは巨大な磁気ダイポールとみなせ、平行に逆の位相変化を示す別のダイポールを置くか、ダイポールと直交する平面に磁気壁を置くかすることで、電磁気的に禁制な半空間が実現できる。これにより、人の生活する領域と無線送電する空間を自由にレイアウトできる可能性が生まれる。

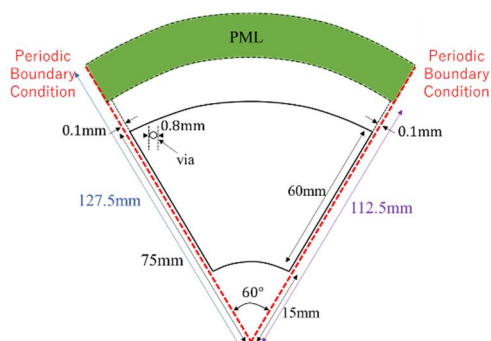
3. 研究の方法

本研究の3年間での達成目標の要約は以下の4点であった。ただし、4.の達成目標については32年度以降に本格化させるためのフェジビリティスタディという位置付けで計画していた。

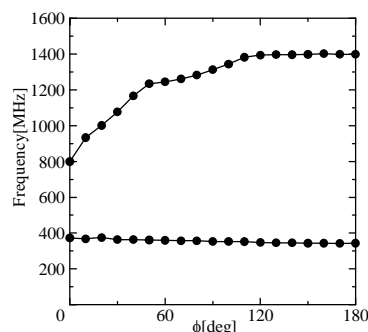
1. 円環配列構造のメタ表面の設計、基礎特性の把握、磁気壁特性の評価(30年度)
2. 無線送電システムへの円環配列メタ表面の適用と効果の評価(30~31年度)
3. 円環配列メタ表面を内在させた無線送電システムの電磁界の解析的検討(31~32年度)
4. 上記3.のメタ表面を用いた無線送電システムのプロトタイプ作成と実証(32年度~)

4. 研究成果

本研究では、マッシュルーム構造と呼ばれる周期構造を基に、結合型無線送電システムに適したEBG構造について検討した。マッシュルーム構造では、元々構造が持つ直列インダクタンス、並列キャパシタンスに加えて、単位構造間のギャップによって直列キャパシタンス、単位構造を接地させることで並列インダクタンスを付与し、このような構造で構成された伝送線路をCRLH (Right Hand/Left Hand System Compounding) 線路と呼んでいる。この伝送線路は無限周期とすることで所望の左手系バンド、右手系バンド、バンドギャップを示すため、有限の周期構造では周期構造の打ち切りによる特性劣化が起こることになる。一方、研究対象である結合型無線送電システムでは、円環状に流れる電流を利用することになる。そこで、1次元配列CRLH線路を円環状にした構造を提案している。円環状にすることで、打ち切りの問題は解消するとともに、常に電流に沿って周期構造が配置されることになる。この構造の単位構造を設計するにあたり、Ansoft HFSSのeigenmodeを利用し、分散特性を検討した。以下に単位構造の解析モデルと、最適パラメータにおける分散特性を示す。



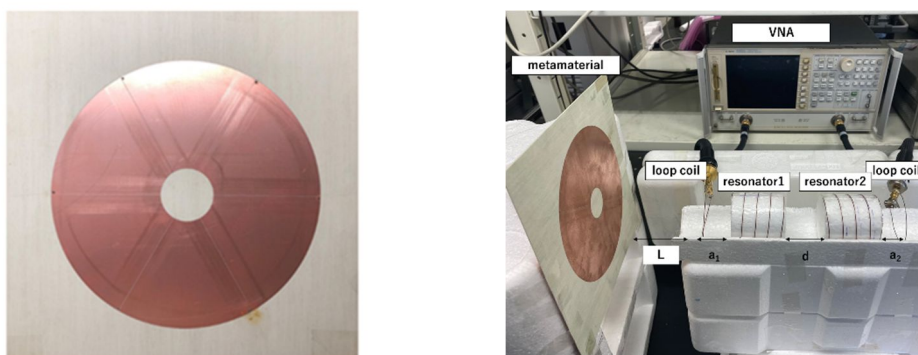
(a) 単位構造の解析モデル



(b) 最適パラメータ時の分散特性

図1 円環配列メタ表面の単位構造と分散特性

解析では、両面銅張誘電体基板 Rogers R04350B を想定しており、銅箔の厚さを 0、材料定数には銅のバルクの値を用いた。図 1(b)における横軸は位相、縦軸は周波数を示している。約 400~800MHz にバンドギャップが見て取れ、このバンドギャップを使用することで磁気壁特性を得ることができる。無線送電システムにおける効果を実証するため、バンドギャップ帯域内である 455MHz においてメタ表面を試作し、実験を実施した。下図に試作したメタ表面とこれを適用した無線送電実験の写真を示す。



(a) 試作したメタ表面 (b) メタ表面を用いた無線送電実験

図 2 メタ表面の試作と無線送電実験の様子

この時の測定結果を次の図に示す。メタ表面の適用の効果を示すため、周囲に何も配置しない自由空間における測定結果と、メタ表面の代わりにアルミ板を置いた場合の測定結果を併せて示す。この時のパラメータは、メタ表面・アルミ板と送電ループコイルとの距離としている。

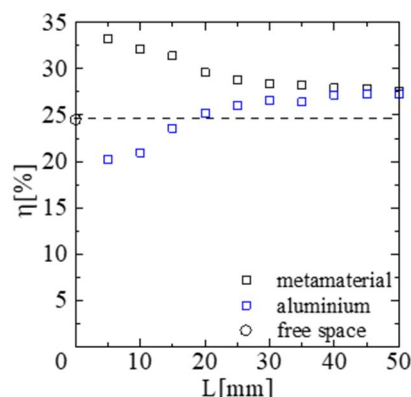


図 3 メタ表面・アルミ板と送電ループコイル間距離による伝送効率の比較

自由空間における測定結果に対し、何かしらの電磁界制御を行った場合の方が伝送効率が向上していることがわかる。また、アルミ板をループコイルに近付けると、著しく効率が低下してしまうことがわかり、これは無線送電システムの周囲の空間を十分に設ける必要があることを示唆している。一方、メタ表面を近づけた場合には、アルミ板とは逆に効率が大きく向上していることが確認される。これはメタ表面によって、送電したい方向への電磁界が強まり、伝送効率が向上していることを意味していて、メタ表面、ループコイル間の距離が小さければ小さいほど効率が向上することになる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Liwei Jia, Kazuhiro Fujimori	4. 巻 vol. x10-B, no.9
2. 論文標題 Improvement of Transmission Efficiency by using Annular Array Metamaterial for Magnetic Coupling Wireless Power Transmission System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communication Express	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 難波和，藤森和博
2. 発表標題 円環配列メタ表面による磁界結合型無線電力伝送システムのインピーダンスの変化抑制に関する検討
3. 学会等名 21st IEEE Hiroshima Section Student Symposium
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤田拓磨，藤森和博
2. 発表標題 マイクロ波回路の自動設計におけるCNNによる解探索効率の向上
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山裕介，新井宏之，田中稔泰，藤森和博
2. 発表標題 5Gアンテナシステムを評価するためのタイムドメイン近傍界測定システムの提案
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 難波和, 藤森和博
2. 発表標題 磁界結合型無線電力伝送システムの効率化のための円環配列メタマテリアルの検討
3. 学会等名 IEEE AP-S Kansai Joint Chapter and IEEE MTT-S Kansai Chapter 合同若手技術交流会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Liwei Jia, Kazuhiro Fujimori
2. 発表標題 Improvement of Transmission Efficiency by using Annular Array Metamaterial for Magnetic Coupling Wireless Power Transmission System
3. 学会等名 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusuke Maruyama, Kazuhiro Fujimori, Hiroyuki Arai, Toshiyasu Tanaka
2. 発表標題 Proposal of time domain near-field measurement system for 5G antenna system
3. 学会等名 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川淵優太, 藤森和博
2. 発表標題 時間領域における28GHz帯ホーンアンテナの近傍電磁界測定
3. 学会等名 IEEE AP-S Kansai Joint Chapter & IEEE MTT-S Kansai Chapter 合同若手技術交流会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 丸山裕介, 藤森和博
2. 発表標題 時間領域近傍界計測システムを用いた 28GHz 帯アンテナシステムの指向性測定
3. 学会等名 2020年度 (第71回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 賈立唯, 藤森和博
2. 発表標題 磁界結合型無線送電システムへの円環配列メタマテリアルの適用
3. 学会等名 2020年度 (第71回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関