

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

Study on Impedance Change Suppression by Toroidal Meta-Surface in Magnetic Coupling Wireless Power Transfer System

難波 和[†]

藤森 和博[†]

Kazu Namba[†]

Kazuhiro Fujimori[†]

[†]岡山大学大学院 自然科学研究科

1 概要

近年、無線電力伝送技術に関心が集まっており、磁界結合方式は身の回りにある電気機器への幅広い適用が期待されているが、系からの漏洩電磁波や周囲環境への影響についてはあまり検討が進んでいない。一方、アンテナの利得向上やアンテナ間の相互結合の抑制を目的に、メタマテリアルによる磁気壁の適用に関する報告があり[1]、1次元や2次元で各軸方向に周期配列されたマッシュルーム構造が多くみられる。この技術を磁界結合方式無線電力伝送に適用することを考える。

この無線電力伝送方式では、ヘリカル形状やスパイラル形状の共振器が用いられ、伝送方向と直交する面内に電流が発生する。円形に流れるこの電流に対し、デカルト座標系に沿った周期配列による磁気壁は軸対称構造ではないため、親和性が良いとは言えず、周期構造の有限性の影響も無視できないと考えられる。そこで著者らは、単位構造を扇形とした円環配列メタ表面を提案し、その分散特性や磁気壁の小径化に有効なビア位置について報告しており、システムに適用可能な磁気壁を提案している[2][3]。

今回は、提案する円環配列メタ表面が給電系、あるいは受電系の入力インピーダンスの変化を効果的に抑制できることを実験的に検討したので報告する。

2 給電系／受電系が存在するときの分散特性の検討

これまで著者らが行った報告では、円環配列メタ表面のみの分散特性を電磁界解析によって論じていた。しかしながら、結合型無線電力伝送システムに適用する場合、給電系あるいは受電系がメタ表面近傍に配置されることから、固有値解析によって得られた分散特性を示さない可能性が指摘されていた。そこで、まず、メタ表面直上に給電系の励起用ループを配置した際の分散特性を解析し、提案する構造

が磁気壁としての動作の可能性について検討する。

メタ表面直上に配置する励起用ループは1巻き、構造に対して十分に波長が長いと仮定して多角形近似された導線でモデリングした。解析モデルとした単位構造を図1に示す。

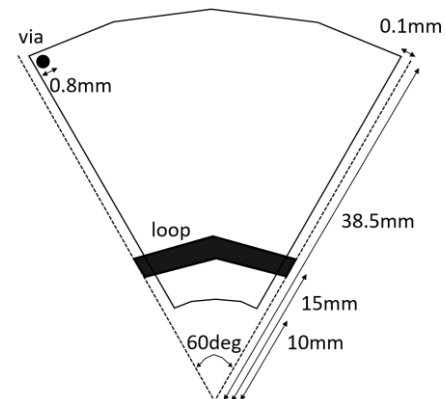


図1：解析モデル

解析モデルは、誘電体基板(Rogers RO4350B, 比誘電率 3.48, 厚さ 0.76mm)上にプリントし、励起用ループは導線を用いることを前提としている。解析にはANSYS社 HFSSを用い、固有値解析によって分散特性を求めた。図1に示した構造の励起用ループと円環配列メタ表面との距離を2mm および6.5mm としたときの分散特性の解析結果を図2に示す。ここで p_x は解析モデル両端の周期境界の位相差である。

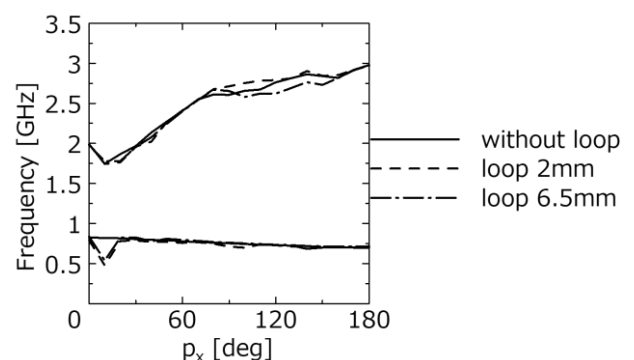


図2：分散特性

図2より、円環配列メタ表面の分散特性は近傍に配置された励起ループの有無、距離ではあまり変化せず、0.80~1.74GHzでバンドギャップが確認できる。このことから、提案する円環配列メタ表面を結合型無線電力伝送システムに適用した際にも所望の磁気壁として動作することが期待できることがわかった。

3 円環配列メタ表面によるインピーダンス変化の抑制効果

近接配置された給電系の入力インピーダンスの変化を抑制することがメタ表面を磁気壁として用いる理由である。そこで、提案する円環配列メタ表面を、励起用ループとヘリカル共振器を含めた給電系の近傍に配置し、共振周波数の入力インピーダンス変化について検討する。

励起用ループおよびヘリカル共振器の半径は15mmとし、1.0GHzで共振するよう4巻きのヘリカル共振器を試作した。また、励起用ループとヘリカル共振器間の距離は、1.0GHzで整合するよう調整している。測定にはベクトル・ネットワーク・アナライザ(Agilent 8722ES)を使用した。このときの測定系を図3に示す。

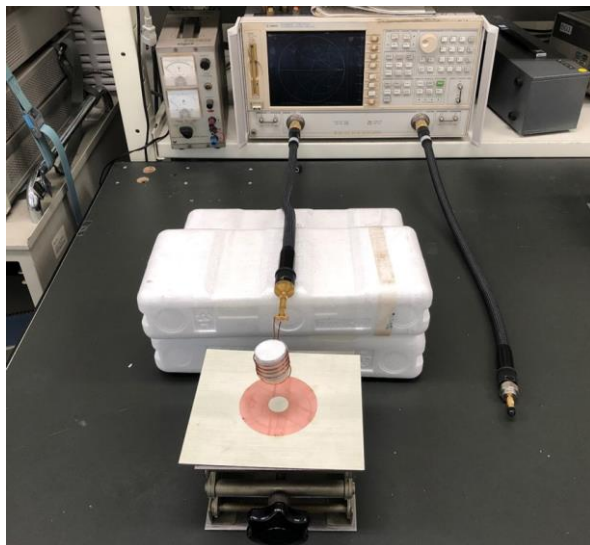


図3：測定系

測定は、給電系と円環配列メタ表面および比較対象であるアルミ板との距離をパラメータとし、75, 30, 20, 10, 7.5, 5, 3mmと変化させたときの共振周波数における入力インピーダンスの変化を測定している。このときの入力インピーダンスの変化を図4に示す。

図4より、スミスチャートの中心からの距離は入力インピーダンスの変化量を示しており、どちらの場合も、配置する距離によってインピーダンスが変化していることがわかる。アルミ板上に配置した場

合と比較すると、アルミ板を3mmまで近接させた場合の入力インピーダンスが $62.3 \angle -51.4^\circ \Omega$ であるのに対し、円環配列メタ表面の場合は $54.5 \angle -40.4^\circ \Omega$ であり、円環配列メタ表面を配置した場合の方が入力インピーダンスの変化は小さく、その効果を確認することができた。

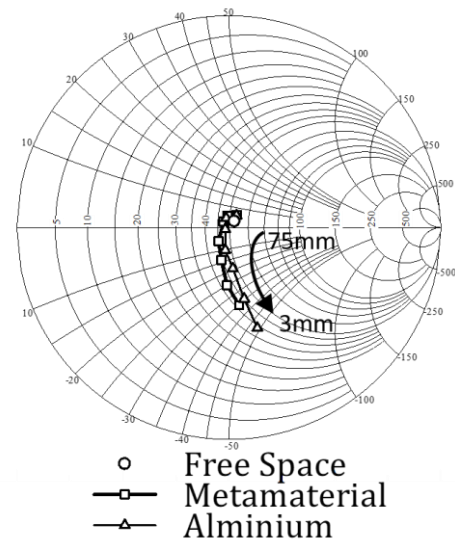


図4：入力インピーダンスの変化

4 まとめ

給電系を近傍に配置した際の分散特性、および磁気壁を給電系に適用した際の入力インピーダンスの変化について実験的に検討した。円環配列メタ表面の分散特性は、近傍の励起ループの存在の有無に依らず変わらないことが確認できた。また、円環配列メタ表面を給電系に近接させたとき、アルミ板に比べてインピーダンスの変化を抑制できることを確認した。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18K04144 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1]堀俊和, “メタ・サーフェスの設計技術とアンテナ・伝搬への応用”, 電子情報通信学会論文 B, Vol.J99-B, No.9, pp.646-654, 2016.
- [2]難波和, 藤森和博, “円環配列メタマテリアルに用いる等脚台形マッシュルーム構造の小型化を目的とした最適なビア位置の検討” 電気・情報関連学会中国支部連合大会, Oct.2017
- [3] 難波和, 藤森和博, “磁界結合型無線電力伝送システムの高効率化のための円環配列メタマテリアルの検討” IEEE AP-S Kansai Joint Chapter, Dec.2018