

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 9 月 24 日現在

機関番号：33302

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656246

研究課題名(和文) 金属板装荷キャパシタンスグリッドのPMC特性に関する研究

研究課題名(英文) Study on the PMC characteristics of the metallic board loadings capacitance grid

研究代表者

牧野 滋 (Makino, Shigeru)

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：40393524

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：アンテナは一般には金属上に配置することができない。この問題を解決する方法として、アンテナと金属との間にメタマテリアル技術のひとつであるPMC特性を有する極薄型の基板を挿入する方法がある。本研究においては、これを実現する基板として金属板装荷キャパシタンスグリッドを考案、等価回路より導出した簡易な式により基板厚さや周波数帯域の理論限界を明確にするとともに、試作モデルの実験によりその有効性を検証した。この技術により、金属の有無に関わらずどこにでもアンテナを配置することができるため、様々な機器に通信機能を内蔵できるようになると期待される。

研究成果の概要(英文)：In general, the antenna cannot be arranged on the metal. One of the method to solve this problem is to insert the ultra thin substrate that has the PMC characteristic between the antenna and the metal. In this project, the metallic board loadings capacitance grid was invented as a substrate that achieved this, the theory limit of the substrate thickness and the bandwidth was clarified by the simple expression derived from the equivalent circuit, and the effectiveness was verified by the experimental model.

By this technology, it is expected that it comes to be able to build the telecommunication facility into various equipment because the antenna can be arranged anywhere regardless of the presence of the metal.

研究分野：アンテナ工学

キーワード：アンテナ 通信 メタマテリアル モーメント法

1. 研究開始当初の背景

波長に比べて小さい金属素子(共振素子)を誘電体基板上に二次元的に周期配列したFSRは、入射した電磁波を周波数によって反射したり透過したりできる空間フィルターとして用いられている。また、FSRに誘電体よりなるスペーサーを介して金属板を装荷した金属板装荷FSRは、その設計パラメータを適切に選ぶことにより、入射した電磁波の反射位相を制御できることが知られており、各方面で研究されている。従来の研究においては、設計パラメータと反射位相との関係は有限要素法やFDTD法を用いた市販のシミュレータによる解析によって求められているため、動作原理を定性的に理解することは困難であり、効率のよい設計には適していなかった。

これに対し我々は、図1に示すような構造の金属板装荷FSRを図2に示すような等価回路に置き換えることにより、FSRの性質を表わす正規化サセプタンス B 、スペーサーとして用いる誘電体の比誘電率 ϵ_r および厚さ t を用いて、反射位相 Φ を表わす簡易な式を導出した[1]。

$$\Phi = 2\varphi - \pi, \quad \varphi = \tan^{-1} \frac{1}{B - \sqrt{\epsilon_r} \cot \beta t} \quad (1)$$

これを用いることにより、金属板装荷FSRの設計パラメータと反射位相との関係を定性的に把握することができると共に、PMC特性を有する基板設計において、FSRと誘電体とを独立に設計できるため、見通しの良い設計が可能になる。

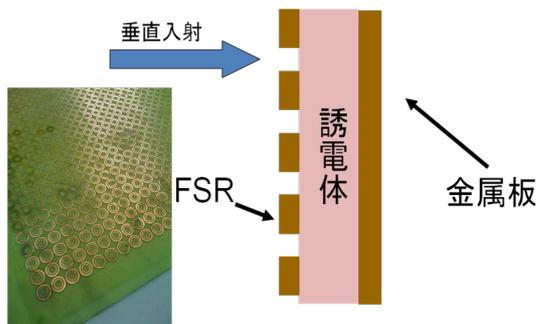


図1 金属板装荷 FSR

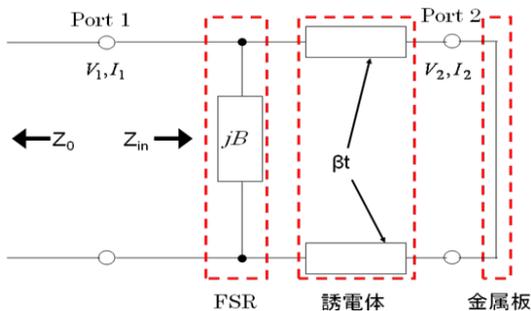


図2 金属板装荷 FSR の等価回路

2. 研究の目的

完全電気壁(反射位相 180°)である金属の上にアンテナを装荷するためには、両者を $1/4$ 波長程度離す必要があり、薄型化が困難であった。この問題を解決するには、反射位相を 0 にできるPMC特性を有する基板上に密接してアンテナを装荷する方法がある。この場合にはPMC基板そのものの薄型化(少なくとも $1/4$ 波長以下)が必須となるが、実用化された例はない。

これに対し、我々が導出した式(1)を用いると、PMC特性、すなわち、反射位相 Φ が 0 となる条件は、

$$B = \sqrt{\epsilon_r} \cot \beta t \quad (2)$$

となり、スペーサーの厚さ t を小さくするためには、FSRの正規化サセプタンス B を大きくすればよい、すなわち、等価的にキャパシタンスとして動作するFSRを用いればよいことがわかる。これを実現する方法として、通常は並列L-C共振器として動作するFSRを、図3に示すようなキャパシタンスグリッド[2]に置き換えた反射板装荷CG(特許申請中[3])を考案、理論的には 100 分の 1 波長以下の超薄型PMC基板を実現できることを確認している[4]。

本研究においては、パラメトリックスタディによりPMC特性を有する反射板装荷CGの薄型化と帯域幅の限界を把握すると共に、試作モデルによるその妥当性の検証、アンテナとの組み合わせによる有効性の検証を実施する。また、式(2)において βt が小さい場合には、

$$\frac{t}{\lambda} \approx \frac{1}{2\pi B} \quad (3)$$

と近似でき、スペーサーの厚さ t がその比誘電率 ϵ_r に依存しないという重要な結果が得られるが、式(1)の適用範囲を含め、その妥当性についても検討する。

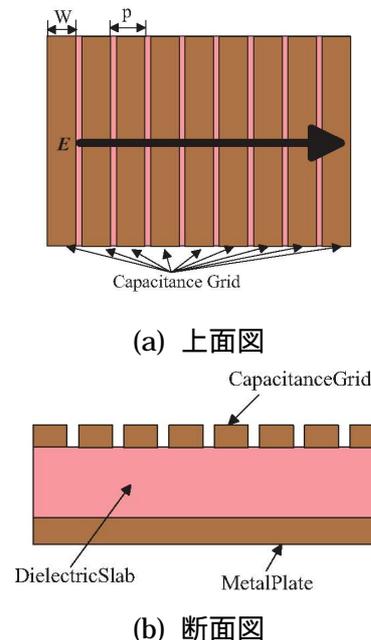


図3. 反射板装荷キャパシタンスグリッド

3. 研究の方法

(1) 式(1)の適用範囲と妥当性検証

スペーサーがある程度の厚さを有する場合については、実験およびシミュレーションにより式(1)の妥当性を検証済みであるが、スペーサーが薄い場合や比誘電率が大きい場合については市販のシミュレータの動作が不安定になるとともに計算時間が増大し、検証ができていない。シミュレーション条件を最適化し、式(1)の適用範囲を検証する。

(2) PMC 基板の薄型化と帯域幅の限界に関する検討

シミュレータを利用し、グリッドの周期およびグリッド間の隙間の大きさ、スペーサーの厚さ t と比誘電率の大きさ ϵ_r を変えてパラメトリックスタディを実施し、PMC 基板の薄型化と帯域幅の限界を把握することにより、100分の1波長以下のPMC基板を実現する。

(3) PMC 基板とアンテナとを組み合わせた場合の検討

計算モデルの構築法について検討する。特に、PMC 基板とアンテナとをどこまで接近して配置できるか、および、その場合に実現できる帯域幅について検討する。

(4) モーメント法を用いた解析のための定式化と専用解析シミュレータの開発

研究代表者は約20年前、モーメント法を用いてFSRに類似した構造の平面型円偏波発生器を解析した経験がある。この経験をベースに、金属板装荷CG解析のための定式化を行う。また、定式化した結果をベースにして、プログラム開発(言語はMATLABを予定)を実施する。専用シミュレータであるため、共振素子の形状に合わせて定式化とプログラム化が必要であり、解析精度/計算速度向上のための改修と合わせて、継続的に実施していく。

(5) モデル実験による検証

パラメトリックスタディの結果に基づき、PMC 基板のいくつかを製作、その反射位相の周波数特性を測定して解析結果と比較することにより、簡易式(1)の適用範囲を明確にする。

(6) アンテナシステムへの適用

金属への貼り付け可能なRF-IDタグおよび、自動車の屋根へ直接取り付け可能な地上波デジタル受信アンテナへの適用を例にして、有効性を検証する。

4. 研究成果

(1) 式(1)の適用範囲と妥当性検証

パラメトリックスタディにより、式(1)の適用範囲を検証し、誘電体の厚さが1/20波長以上のある程度厚い場合に有効であることを明確にした。

(2) PMC 基板の薄型化と帯域幅の限界に関する検討

PMC 基板の薄型化と帯域幅の限界を式(1)より導出し、比帯域幅は波長で規格化した誘電体厚さに比例し、その比例定数はキャパシタンスグリッドの設計パラメータや誘電体の比誘電率には依存しない、すなわち、比帯域幅は誘電体厚さのみで決定されるという極めて重要な結果を得た。また、パラメトリックスタディにより、導出した式が、誘電体厚さが与えられた場合の比帯域幅最大値であることを検証した。パラメトリックスタディにおいては、(4)で開発したモーメント法による解析シミュレータを用いた。

(3) PMC 基板とアンテナとを組み合わせた場合の検討

市販シミュレータを用いた場合の計算モデルの構築法について検討した。実測値との比較により、計算モデルが妥当であることを検証した。

(4) モーメント法を用いた解析のための定式化と専用解析シミュレータの開発

モーメント法を用いた解析のための定式化、および、専用解析シミュレータの開発を完了した。市販シミュレータとの比較の結果、同等の解析を100分の1以下の計算時間で実行できることを検証した。

(5) モデル実験による検証

パラメトリックスタディの結果に基づき、約100分の1波長の厚さのPMC基板を製作、ダイポールアンテナを近接して配置した場合のアンテナ特性(インピーダンス特性、VSWR特性、放射特性)を評価、PMC特性を実現していることを確認した。また、測定結果が市販シミュレータによる解析結果と一致することを確認した。

(6) アンテナシステムへの適用

テレビやタブレット端末への無線LANの適用を例にして検討した。この過程で、PMC基板が2つの周波数帯域においてPMC特性を有することを式(1)を用いて理論的に明らかにし、モーメント法を用いた解析によりその妥当性を示した。これをもとに、2.5GHz / 5.2GHz帯を共用する無線LANアンテナシステムを実現できる目途を得た。

<引用文献>

[1] 牧野他, '金属板装荷FSRの反射位相特性', 信学技報 AP2008-204, 2009.

[2] N. Marcuvitz, 'Waveguide Handbook', Boston Technical Publishers, pp. 280-289, 1950.

[3] 牧野他, '磁気壁基板および磁気壁基板を用いたアンテナシステム', 特願 2009-199528, 2009.

[4] 牧野他, '反射板装荷キャパシタンスグ

リッドによる PMC 基板の薄型化', 信学技報 AP2009-97, 2009.

[5] 牧野他, '3層メアンダーライン円偏波発生器の設計', 信学論(B), Vol. J71-B, No. 1, pp.1358-1364, 1988.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

(1) 諸谷徹郎, 林秀幸, 牧野滋, 廣田哲夫, 野口啓介, 伊東健治, '金属板装荷キャパシタンスグリッドを用いたAMC基板上に配置したダイポールアンテナの特性', 電子情報通信学会論文誌, 査読有, J67-B, 9, 2015【掲載確定】.

〔学会発表〕(計9件)

(1) S. Makino, H. Hayashi, T. Moroya, K. Itoh, K. Noguchi, T. Hirota, 'Dual band characteristics of a linear antenna over a capacitance grid type AMC substrate', 2014 IEEE APWC, Palm Beach, 6th Aug., 2014, Palm Beach (Aruba).

(2) S. Iwakata, H. Hayashi, M. Kotaka, S. Makino, T. Moroya, K. Noguchi, T. Hirota, and K. Itoh, 'Dual Band Characteristics of a Linear Antenna over a Capacitance Grid Type AMC Substrate', 2014 International Symposium on Antennas and Propagation, 4th Dec., 2014, Kaohsiung (Taiwan).

(3) T. Moroya, S. Makino, T. Hirota, K. Noguchi, K. Itoh, K. Ikarashi, 'Polarization Conversion Reflector Using a Metal-Plate-Loaded Meander Line', 2014 International Symposium on Antennas and Propagation, 3rd Dec., 2014, Kaohsiung (Taiwan).

(4) 岩片周平, 牧野滋, 野口啓介, 廣田哲夫, 伊東健治, 小鷹柁樹, 諸谷徹郎, '金属板装荷キャパシタンスグリッドを用いたAMC基板の2周波共用の検討', 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会, AP2014-37, pp. 95-98, 2014年5月30日, 沖縄産業支援センタ(沖縄県那覇市).

(5) 諸谷徹郎, 小鷹柁樹, 牧野滋, 林秀幸, 野口啓介, 廣田哲夫, 伊東健治, 'AMC基板一体化ダイポールアンテナの提案', 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会, AP2014-211, pp.1-5, 2015年3月19日, 福井大学(福井県福井市).

(6) 諸谷徹郎, 牧野滋, 廣田哲夫, 野口啓介, 伊東健治, 五十嵐勝俊, '金属板装荷メアンダーラインを用いた偏波変換反射板', 2014電子情報通信学会ソサイエティ大会(通信), B-1-63, 2014年9月24日, 徳島大学(徳島県徳島市).

(7) 諸谷徹郎, 小鷹柁樹, 牧野滋, 林秀幸, 野口啓介, 廣田哲夫, 伊東健治, 'AMC基板一体化ダイポールアンテナの提案', 2015電子情報通信学会総合大会, B-1-106, 2015年3月13日, 立命館大学(滋賀県大津市).

(8) 小鷹柁樹, 諸谷徹郎, 牧野滋, 林秀幸, 野口啓介, 廣田哲夫, 伊東健治, 濱邊太一, 'AMC基板一体化ダイポールアンテナの検討', 2015電子情報通信学会総合大会, B-1-107, 2015年3月13日, 立命館大学(滋賀県大津市).

(9) 岩片周平, 大坪靖治, 牧野滋, 野口啓介, 廣田哲夫, 伊東健治, 諸谷徹郎, '金属板装荷FSRを用いたAMC基板の過渡現象', 2015電子情報通信学会総合大会, B-1-115, 2015年3月13日, 立命館大学(滋賀県大津市).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: アンテナおよびそれを用いた通信装置

発明者: 牧野滋, 他1名

権利者: 金沢工業大学

種類: 特許

番号: 特願 2015-022551

出願年月日: 平成27年2月6日

国内外の別: 国内

取得状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://www2.kanazawa-it.ac.jp/makino/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

牧野 滋 (Shigeru Makino) 金沢工業大学・工学部

教授

研究者番号: 40393524

(2) 研究分担者

野口 啓介 (Keisuke Noguchi) 金沢工業大学・工学部

教授

研究者番号: 10278103

(3) 連携研究者

()

研究者番号: