

平成 30 年 5 月 20 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06089

研究課題名(和文) AMC装荷アンテナチップの開発

研究課題名(英文) Development of an AMC inspired small antenna

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：IoT向けのアンテナには、小型かつ薄型に加えて、周囲の金属の有無に関わらずどこにでも設置できる必要がある。本研究では、AMC基板とダイポールアンテナを一体化した小型薄型モデル(MACKEY)を考案し、自由空間のみならず金属上においても性能を発揮することを確認した。試作した0.45波長×0.25波長×0.03波長の小型薄型アンテナにおいて、インピーダンス特性および放射特性が、自由空間と金属上でほとんど変化しないことを確認した。また、MACKEYをベースに、多周波数共用化、広帯域化、さらなる小型化について検討し、それぞれに要求を満足する構造を考案し、実証した。

研究成果の概要(英文)：In addition to being compact and thin, it is necessary for the antenna for IoT to be able to be installed anywhere regardless of the presence or absence of surrounding metal. An AMC inspired small antenna composed of a dipole antenna and a small AMC substrate with only two short grids, named MACKEY, is proposed. It was verified that MACKEY with 0.45 wavelength x 0.25 wavelength x 0.03 wavelength size works not only in free space but also on a metal plate from the view points of its impedance, VSWR, and radiation characteristics by simulations and measurements. Further, the wideband, multiband and smaller sized MACKEY were also investigated.

研究分野：アンテナ工学

キーワード：小型アンテナ IoT用アンテナ AMC メタマテリアル

1. 研究開始当初の背景

波長に比べて小さい金属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、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、特に、反射位相が 0 となる PMC 特性を有する基板（以下、AMC 基板）への適用を目指して、各方面で研究されている。

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 AMC 基板上に密接してアンテナを装荷する方法がある。

これを実現する方法として、L-C 共振器として動作する FSR を図 2 に示すようなキャパシタンスグリッド（以下、CG）に置き換えた反射板装荷 CG を新型 AMC 基板として考案（特許取得済み）、 100 分の 1 波長以下の超薄型 AMC 基板を実現できることを確認している。上記の CG を用いた AMC 基板の研究は挑戦的萌芽研究（H24～26 年度）に採択され、薄型化と広帯域化について検討した。

以上のように、これまでの研究においては、金属とアンテナとの間に配置する AMC 基板の薄型化、広帯域化に主眼が置かれていた。

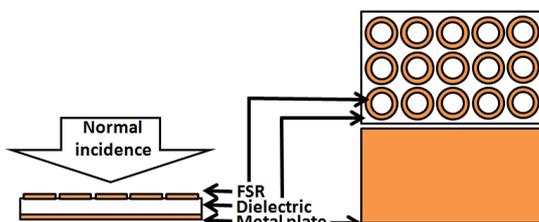


図 1 金属板装荷 FSR

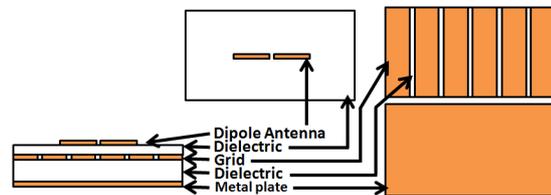


図 2 . 反射板装荷キャパシタンスグリッド

2. 研究の目的

本研究においては、挑戦的萌芽研究での研究成果をさらに発展させ、AMC 基板とダイポールアンテナとを一体化した構造を提案し、実用化に向けて研究していく。具体的には、図 3 に示すように、キャパシタンスグリッドを極力小型化したグリッド 2 枚の構成とし、ダイポールアンテナと一体化した AMC 装荷アンテナチップを研究対象とする。その上で、自由空間に配置した場合のみならず、金属板の上に配置した場合においてもインピーダンス整合が取れるための条件を明らかにする。公表はしていないが、この時点では 0.33 波長 $\times 0.24$ 波長 $\times 0.032$ 波長程度の大きさで、周囲の金属の有無に関わらず「どこにでも配置できるアンテナチップ」が実現できることを解析、実験により実証しており、さらなる小型化、広帯域化、多周波数化の条件を明確にする。

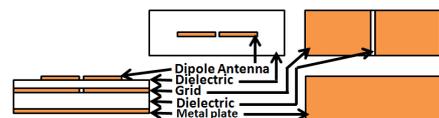


図 3 . AMC 装荷アンテナチップ

3. 研究の方法

(1) 自由空間 / 金属上で動作する条件の検討

上記 0.33 波長 $\times 0.24$ 波長 $\times 0.032$ 波長程度の大きさの AMC 装荷アンテナチップにより、無線 LAN で使用される 2.4GHz 帯の設計例がある。これをベースにパラメトリックスタディを実施し、設計パラメータを変化したときのインピーダンス特性解析により、周

囲の金属の有無に関わらず動作するために条件を検討する。

(2) 設計理論の確立

研究対象である AMC 装荷アンテナチップはそもそも、AMC 基板とダイポールアンテナとを一体化するという発想で考案したものである。当面は、このアンテナの設計、解析は電磁界シミュレータを用いて実施するが、極めて設計の効率や見通しが悪く、また、設計法としての汎用性がない。そこで、アンテナ各部に流れる電流分布を慎重に分析して適切なモデル化により等価回路モデル構築を行い、アンテナの動作原理を定性的に把握すると共に、汎用性のある設計理論を確立する。

(3) 小型化、広帯域化の検討

アンテナに対しては、常に、小型化、広帯域化が要求される。図3の形状のアンテナに対しては、(1)のパラメトリックスタディにおいて検討を実施するが、さらなる小型化、広帯域化に対しては、新たなアイデアが必要であると考えている。(2)で得られた動作原理を基に、新しい形式を考案する。

(4) アンテナシステムへの適用

今後、様々な家電品に多様な通信機能が付与されていくことを想定し、実際の家電品の筐体上に配置可能な大きさで、実際の通信システムに用いられる周波数帯域で動作する AMC 装荷アンテナチップを設計する。具体的には、パソコンやデジタルカメラに内蔵する無線 LAN 用アンテナや LTE 用アンテナ、テレビに内蔵する地デジ用アンテナ、金属上に張り付け可能な RF-ID タグなどを想定している。主にシミュレーションによって実施するが、最終的には、試作・実験により検証する。

4. 研究成果

(1) 自由空間/金属上で動作する条件の検討

パラメトリックスタディにより、AMC 装荷アンテナチップ(以下、MACKEY と呼ぶ)の幅を大きくすることにより、金属上に配置した時の周波数シフトを小さくできると共に、周波数帯域を広くできることを、解析および実験により明らかにした。

(2) 設計理論の確立

MACKEY の電流分布より、動作原理を明らかにした。その結果、MACKEY は AMC 基板とダイポールアンテナとの組み合わせから着想したものであるが、これを小型化して得られた MACKEY においては、ダイポールアンテナは放射素子としてではなくグリッド板に電流を流すための給電回路、また、インピーダンスを調整するための整合回路として動作し、グリッド板上に流れる電流によって電磁波を放射することが明らかになった。

また、MACKEY の設計法について検討し、グリッド板の幅とダイポールの長さとを調整することにより、任意の周波数において整合をとることが可能であることを明らかにした。

(3) 多周波数共用化/広帯域化の検討

多周波数共用化の検討を行い、放射に寄与するグリッド板の形状を方形から E 型にした MACKEY-E 型と、給電素子であるダイポールの位置を基板中央からオフセットした MACKEY-O 型を考案した。

MACKEY-E 型では、約 2 倍程度の周波数比が実現できることを明らかにした。ただし、高い方の周波数帯が狭帯域となる。

MACKEY-O 型では、約 1.5 倍程度の周波数比が実現できることを明らかにした。また、誘電体基板を厚くすることによってふたつの周波数帯を一体化した広帯域特性を実

現できることを明らかにした。

(4) アンテナシステムへの適用

無線 LAN に用いられる 2GHz 帯, 5GHz 帯のアンテナについて検討した。5GHz 帯の帯域が広いために共用化が困難であることがわかったため, 個別のアンテナでの実現性について検討した。

2GHz 帯については, 周波数帯域が比較的狭いため, 通常の MACKEY で実現できることを, 解析および試作により確認した。周波数帯域の広い 5GHz 帯については, MACKEY-O 型で実現できることを, 解析および試作により確認した。また, これら 2 つのアンテナを並列配置する構成について検討し, 3mm 程度の隙間を設けることにより, 相互結合による性能劣化を低減できることを明らかにした。なお, この場合においても, アンテナが自由空間のみならず金属上においても動作するという MACKEY の特徴を有することを確認した。

上記の並行配置では, 2GHz 帯, 5GHz 帯それぞれで 2 枚のグリッド板を必要とするためにサイズが大きくなる。これを改善するため, 1 枚のグリッド板を 2GHz 帯, 5GHz 帯で共通で使用するにより計 3 枚のグリッド板で同等の性能を実現する MACKEY-T 型を考案した。その結果, 2GHz 帯 MACKEY と同じサイズで 2 つの周波数帯をカバーできることを確認した。

(5) さらなる小型化の検討

MACKEY は原理的には半波長の長さで共振するため, 誘電体の誘電率を高くすることによって小型化はできるが, 限度がある。そこで, MACKEY をベースとしてさらなる小型化を図った新型 MACKEY を考案した。

新型 MACKEY は, マイクロストリップアンテナに対するショートパッチと同様, 左右対称構造である MACKEY の対称面に短絡板

を設けることにより, MACKEY のサイズを約半分にしたものである。新型 MACKEY には, 短絡板の配置を変えた 3 種類があるが, シミュレーションにより, 40~60% のサイズで実現できることを確認している。ただし, 周波数帯域は狭くなり, その広帯域化が課題である。

なお, 新型 MACKEY は特許出願済みである。

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 2 件)

(1) 諸谷徹郎, 林秀幸, 牧野滋, 野口啓介, 廣田哲夫, 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,’ 信学論 (B), vol. J98-B, no. 9, pp. 939-947, Sep. 2015.

(2) 諸谷徹郎, 小鷹枉樹, 牧野滋, 野口啓介, 廣田哲夫, 伊東健治, ‘AMC 技術を用いた小型アンテナ MACKEY,’ 信学論 (B), vol. J99-B, no. 9, pp. 786-794, Sep. 2016.

[学会発表](計 2 4 件)

(1) T. Moroya, M. Kotaka, S. Makino, K. Noguchi, T. Hirota, K. Itoh, ‘AMC substrate inspired small antenna MACKEY,’ ISAP 2015, Tasmania (Australia), pp. 718-721, Nov. 2015.

(2) S. Makino, T. Moroya, M. Kotaka, K. Itoh, K. Noguchi, and T. Hirota, ‘A proposal of AMC inspired small antenna MACKEY,’ IEEE APWC’15, Torino (Italy), pp. 219-222, Sep. 2015.

(3) T. Moroya, M. Kotaka, S. Makino, H. Hayashi, K. Noguchi, T. Hirota and K. Itoh, ‘Proposal of a dipole antenna unified with an AMC substrate,’ IEEE APS 2015, Vancouver

(Canada), pp1408-1409, July 2015.

(4) 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, ‘AMC 基板一体化ダイポールアンテナの検討,’ 信学技報, no.AP2015-6, pp.25-30, Apr. 2015.

(5) 小鷹柁樹, 牧野滋, 野口啓介, 廣田哲夫, 伊東健治, 諸谷徹郎, ‘AMC 基板一体化ダイポールアンテナの設計法,’ 2015 信学ソ大, B-1-101, Sep. 2015.

(6) 諸谷徹郎, 小鷹柁樹, 牧野滋, 野口啓介, 廣田哲夫, 伊東健治, ‘二周波共用 MACKEY に関する基礎検討,’ 2015 信学ソ大, B-1-102, Sep. 2015.

(7) 大坪靖治, 小鷹柁樹, 牧野滋, 廣田哲夫, 野口啓介, 伊東健治, 諸谷徹郎, ‘オフセット給電により 2 周波共用化した MACKEY O 型の検討,’ 2016 信学総大, B-1-101, Mar. 2016.

(8) 諸谷徹郎, 牧野滋, 大坪靖治, 野口啓介, 廣田哲夫, 伊東健治, ‘小形アンテナ MACKEY の広帯域化に関する一検討,’ 2016 信学総大, B-1-103, Mar. 2016.

(9) S. Makino, ‘An AMC inspired small antenna MACKEY and its wideband / multiband design,’ 2017 IEEE iWAT, Athens (Greece), March 2017.

(10) T. Moroya, S. Makino, Y. Ohtsubo, K. Noguchi, T. Hirota and K. Itoh, ‘Feasibility Study of Wide-band MACKEY,’ ISAP 2016, Okinawa (Japan), pp. 340-341, Nov. 2016.

(11) S. Makino, T. Moroya, M. Kotaka, K. Itoh, K. Noguchi and T. Hirota, ‘Dual Band MACKEY-E Shaped Radiator,’ IEEE APWC'16, Cairns(Australia), pp.63-65, Sep. 2016.

(12) T. Moroya, M. Kotaka, S. Makino, K. Noguchi, T. Hirota and K. Itoh, ‘A Study on a Dual Band Antenna MACKEY,’ IEEE APS 2016, Fajardo (Puerto Rico), pp.1755-1756, Jun. 2016.

(13) 諸谷徹郎, 牧野滋, 大坪靖治, 野口啓介, 廣田哲夫, 伊東健治, ‘小形アンテナ MACKEY の広帯域化に関する一検討,’ 信学技

報, no. AP2016-52, pp. 87-90, July 2016.

(14) 大坪靖治, 小鷹柁樹, 牧野滋, 野口啓介, 廣田哲夫, 伊東健治, 諸谷徹郎, ‘オフセット給電により 2 周波共用化した MACKEY O 型の検討,’ 信学技報, no. AP2016-21, pp. 27-32, May 2016.

(15) 平野賢, 大坪靖治, 牧野滋, 廣田哲夫, 野口啓介, 伊東健治, 諸谷徹郎, ‘金属上に配置した MSA と MACKEY の VSWR 特性の比較,’ 2017 信学総大, B-1-96, Mar. 2017.

(16) 須永誼, 大坪靖治, 牧野滋, 廣田哲夫, 野口啓介, 伊東健治, 諸谷徹郎, ‘MACKEY O 型の広帯域化モデルの検討,’ 2016 信学ソ大, B-1-62, Sep. 2016.

(17) 平野賢, 大坪靖治, 牧野滋, 廣田哲夫, 野口啓介, 伊東健治, 諸谷徹郎, ‘第 3 共振周波数を利用した MACKEY O 型,’ 2016 信学ソ大, B-1-61, Sep. 2016.

(18) S. Makino, K. Hirano, Y. Ohtsubo, K. Itoh, K. Noguchi and T. Hirota, ‘Dual-band/Wideband MACKEY Type O Using Offset Feed Technique,’ IEEE APWC'17, Verona (Italy), Sep. 2017.

(19) K. Hirano, S. Makino, K. Noguchi, T. Hirota and K. Itoh, ‘MACKEY type O with dual-band characteristics when changing position of a dipole antenna,’ ISAP 2017, Phuket (Thailand), Nov. 2017.

(20) 平野賢, 牧野滋, 野口啓介, 伊東健治, 廣田哲夫, ‘2 周波共用アンテナ MACKEY E 型に関する検討,’ 信学技報, AP2017-74, pp.35-39, Aug. 2017.

(21) 平野賢, 牧野滋, 野口啓介, 伊東健治, 廣田哲夫, ‘MACKEY A 型に関する検討,’ 信学技報, AP2017-110, pp.15-20, Nov. 2017.

(22) 平野賢, 牧野滋, 伊東健治, ‘MACKEY の高インピーダンス化に関する検討,’ 2017 信学ソ大, B-1-103, Sep. 2017.

(23) 牧野滋, ‘メタマテリアル技術を用いた小型薄型アンテナ’ 応用物理学会応用電

子物性分科会研究例会，Jan. 2018.

(24) 平野賢，牧野滋，伊東健治，‘10[k] の高インピーダンスアンテナ MACKEY H type の検討，’信学総大，Mar. 2018 .

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称：アンテナ及び通信装置

発明者：牧野 滋

権利者：金沢工業大学

種類：特許

番号：特願 2018-76866

出願年月日：平成 30 年 4 月 1 2 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：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

(1) 研究室HP

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

(2) 大学内HP

<http://kitnet.jp/laboratories/lab0057/index.html>

(3) facebook

<https://www.facebook.com/%E9%87%91%E6%B2%A2%E5%B7%A5%E6%A5%AD%E5%A4%A7%E5%AD%A>

[6-%E7%89%A7%E9%87%8E%E7%A0%94%E7%A9%B6%E5%AE%A4-494198104114780/?ref=aymt_home_page_panel](https://www.kanazawa-it.ac.jp/kyouka/kyouka.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

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()