

新たな構造を用いて薄型化した MACKEY II の研究

宮下 圭介^{††} 田村 俊樹[†] 牧野 滋^{†‡} 伊東 健治[†]

[†] 金沢工業大学 〒921-8812 石川県野々市市扇が丘 7-1

E-mail : [†] b1613494@planet.kanazawa-it.ac.jp, [‡] makino@neptune.kanazawa-it.ac.jp

あらまし 機能的な小型アンテナである MACKEY 基本型 (Wi-Fi 2.4GHz 帯) は、自由空間だけでなく金属上でも動作することを示した。しかし、基本型のモデル厚は 4mm もあるため、製品に搭載するアンテナとしては厚い。そこで、アンテナ基板を AMC 基板内に設置することによって薄型化かつ広帯域化を実現した MACKEY II (Wi-Fi 2.4GHz 帯) を提案する。本検討では、提案した MACKEY II の基礎的な検討を行い、MACKEY II が自由空間だけでなく金属上でも動作することを示す。

キーワード MACKEY, Wi-Fi, AMC 基板

Research on a MACKEY II with reduced thickness by using a new structure

Keisuke Miyashita^{††} Toshiki Tamura^{††} Shigeru Makino^{†‡} and Kenji Itoh[†]

[†] Kanazawa Institute of Technology 7-1 Ohgigaoka, Nonoichi, Ishikawa, Japan

E-mail : [†] b1613494@planet.kanazawa-it.ac.jp, [‡] makino@neptune.kanazawa-it.ac.jp

Abstract: A functional small antenna "MACKEY" basic type (Wi-Fi 2.4GHz band) operates not only in free space but also on metal. However, the basic type has a thickness of 4mm and it is very thick as an antenna mounted on the product. Therefore, a new model "MACKEY II" (Wi-Fi 2.4GHz band) with thin and broadband characteristics is proposed. As a way to create thinner than the basic model, the new structure is used that antenna plate places inside the AMC substrate. It is possible to reduce the thickness of the antenna substrate, compared to the basic type. In this paper, examines some features of MACKEY II. Subsequently, it is checked whether it operates not only in free space but also on metal, and compare the performance difference with the basic type.

1. まえがき

近年スマートフォンやタブレットに代表される通信技術の普及が急速に進んでおり、それに伴い IoT(Internet of Things)のさらなる発展が期待されている。これらの通信機器はインターネット回線を通じてどこでも簡単に構築された無線ネットワークに接続が可能である。そのためウェアラブルデバイス、テレビやエアコンといった家電製品が無線化になり、通信機器と自由に接続できることが求められる。家電製品の無線化に伴いこれらの製品に搭載されるアンテナには、小型・薄型であることに加え、周囲の金属の有無に関わらず設置できる柔軟性が求められている。

周囲の金属の影響を受けない機能的な小型アンテナとして MACKEY(Meta-surface inspired Antenna Chip developed by KIT EOE Laboratory, 以下:基本型)が考案されている[1]。測定した基本型は、自由空間だけでなく金属上でもインピーダンス特性および放射特性の劣化が少ないことが報告された[2]。基本型は Wi-Fi 2.4 GHz 帯(2.40 から 2.50GHz, 比帯域幅(VSWR3 以下):

4.08%)に適用できるように設計されている。しかし、従来検討してきた基本型は厚さが 4mm あり製品に搭載する小型アンテナとしては厚みがあることがわかる。

本報告では、基本型の薄型化を目的とし、アンテナ基板を AMC 基板内部に設置して給電を行うことによって、アンテナ基板の厚さ分薄型化した MACKEY II を提案する。また、モデルの上面または背面で給電できるようにした MACKEY II 背面給電型と上面給電型を作成し検討を行った。

2. MACKEY 基本型

図 1 に基本型のモデル図、表 1 に基本型の設計パラメータを示す。図 1 より、基本型は上から順にアンテナ板、グリッド板、金属板の 3 層構造となっており、それぞれの間を誘電体が満たしている。基本型の整合はグリッド幅 g とアンテナ長 l で行う。整合を行った結果、厚さ 4mm, 縦幅 30mm, 横幅 54.9mm のモデルサイズとなった。図 2 に基本型における自由空間と金属上の VSWR 特性の解析結果を示す。図 2 より、自由

空間と金属上での解析結果のずれが小さいため 基本型は自由空間だけでなく金属上でも動作していることがわかる. また, 比帯域幅は自由空間では 7.32%, 金属上では 5.60%となっており, Wi-Fi 2.4GHz 帯の使用帯域を満たしていることがわかる. しかし, 基本型のモデル厚さは 4mm であり, 製品に搭載するアンテナとしては厚みがある. そこで, 基本型の薄型を目的として新モデルの検討を行った.

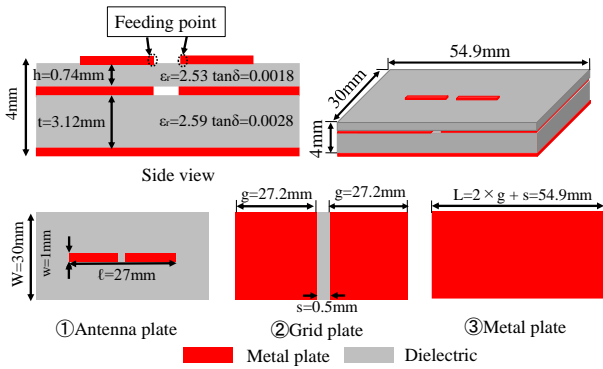


図1 基本型モデル図

表1 基本型の設計パラメータ

設計パラメータ	[mm]
アンテナ長: l	27
グリッド幅: g	27.2
基板横幅: L	54.9
基板縦幅: W	30.0
アンテナの縦幅: w	1.0
スリット幅: s	0.5
アンテナ基板厚: h	0.74
AMC 基板厚: t	3.12

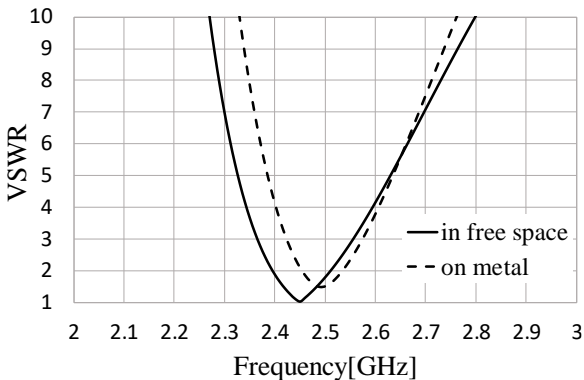


図2 基本型の自由空間と金属上の VSWR 特性

3. MACKEY の薄型化を目的とした新モデル MACKEY II の提案

基本型は, AMC 基板の上にアンテナ基板が設置されている構造を取り, 2層目のグリッド板から電波が放射

され, 1層目のアンテナ板は給電素子として動作している. そこで, 薄型化のアイデアとしてアンテナ基板を AMC 基板の上に設置するのではなく, AMC 基板内に入れることによってアンテナ基板厚分薄型化できると考えた. この構造を利用して設計した MACKEY を以降 MACKEY II として検討していく.

図3に MACKEY II のモデル図を示す. MACKEY II は上から順にグリッド板, アンテナ板, 金属板の3層構造となっており, 1層目のグリッド板から電波を放射し, 2層目のアンテナ板で給電を行う. 整合は基本型と同様に, グリッド幅 g とアンテナ長 l で行う. 整合を行った結果, 厚さ 3.12mm, 縦幅 30mm, 横幅 60.5mm のモデルサイズとなった. 基本型と比較して, 基板横幅は少し増加したが, アンテナ基板厚 h 分がなくなり AMC 基板厚 t 分だけが残るため薄型化することができた. 図4に自由空間と金属上での基本型と MACKEY II における VSWR の解析結果, 図5に放射パターンの解析結果の比較を示す. 図4より, MACKEY II も自由空間と金属上の両方で動作していることがわかる. また, MACKEY II の比帯域幅は自由空間で 8.52%, 金属上では 6.01%となり基本型よりも広帯域であることがわかる. また, 図5より基本型と MACKEY II の放射パターンはほとんど一致していることもわかる. これらの結果より, MACKEY II は基本型と比較しても, 性能が劣化することなく, 薄型化かつ広帯域化を実現したモデルであることがわかる.

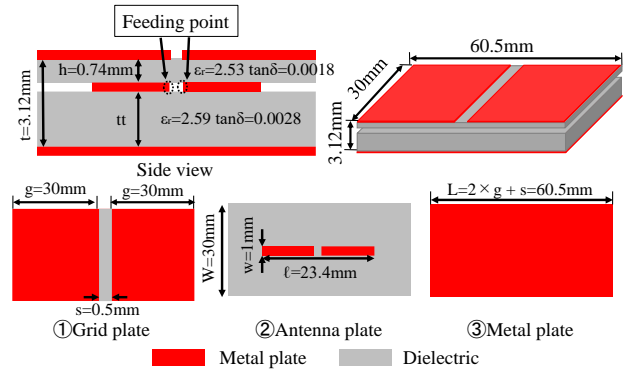


図3 MACKEY II モデル図

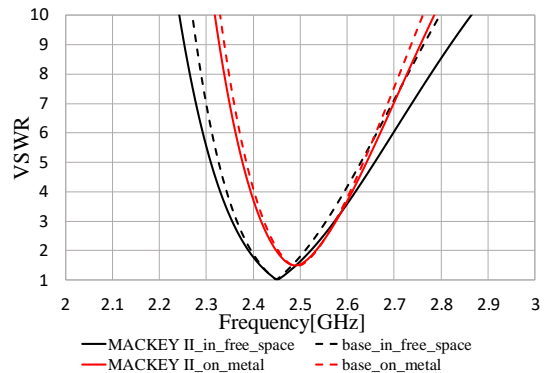


図4 MACKEY II と基本型の VSWR 比較

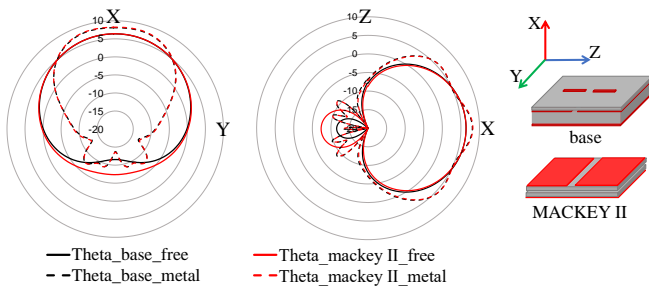


図 5 MACKEY II と基本型の放射パターン比較

4. MACKEY II の給電位置検討

本章では、MACKEY II の給電位置を変化させたときに解析結果がどのように推移するか確認する。図 6 のように MACKEY II の AMC 基板厚 t を 3.2mm で固定し、給電位置を変化させるために、グリッド板とアンテナ板の距離 h を 0.4mm から 1.6mm まで 0.4mm 刻みで整合を行った。その時の各 h におけるインピーダンス特性と VSWR 特性の変化を確認する。図 7 に各 h におけるインピーダンス特性、図 8 に VSWR 特性の解析結果を示す。図 7 より、アンテナ板の位置をグリッド板から離していくとレジスタンスとリアクタンスの傾きが徐々に緩やかになっていることがわかる。また、図 8 よりインピーダンス特性の変化に伴い VSWR の帯域幅も変化しており、 h の値が大きくなるほど徐々に広帯域になることがわかる。今回の検討では、給電位置がモデルの中心位置である $h=1.6\text{mm}$ の時に最も広帯域であることがわかる。基本型では給電位置 h を変化させても性能にはほとんど影響しないため、設計パラメータとして機能しなかったが、MACKEY II においては、図 7 と図 8 からわかるように給電位置 h が新たな設計パラメータとして機能していることがわかる。

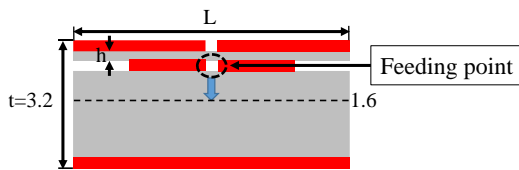


図 6 MACKEY II アンテナ位置変更モデル図

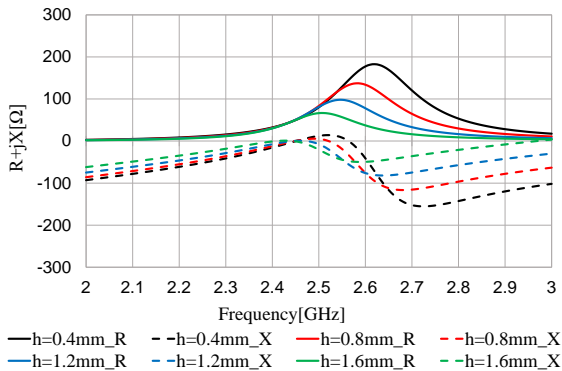


図 7 各 h におけるインピーダンス特性

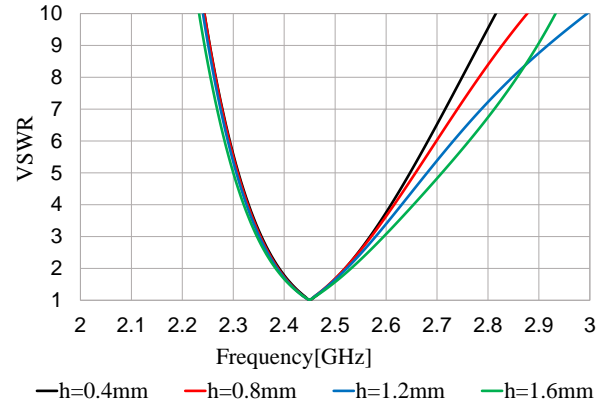


図 8 各 h における VSWR 特性

5. MACKEY II の AMC 基板厚検討

3 章と 4 章の検討では、MACKEY II の AMC 基板厚 t を基本型に合わせて検討を行っていたが、さらなる薄型化を図るために、MACKEY II の AMC 基板厚を変化させた時の特性の推移を確認する。 t を 1.6mm から 3.2mm まで 0.4mm 刻みで設定し、アンテナ位置を 4 章で示したように、最も広帯域となるモデルの中心位置に設置して解析を行った。

図 9 と図 10 に各 t における自由空間と金属上での VSWR 特性を、表 2 に自由空間と金属上における比帯域幅を示す。図 9 および図 10 より、 t が薄くなるほど自由空間と金属上の両方において狭帯域となることがわかる。また、図 11 より、 $t=2.0\text{mm}$ から 3.2mm までは自由空間と金属上で Wi-Fi 2.4GHz 帯の比帯域幅 4.08% を概ね満たしている。そのため、次章以降では、比帯域幅を満たす中で最も薄型となる $t=2\text{mm}$ で検討を行う。

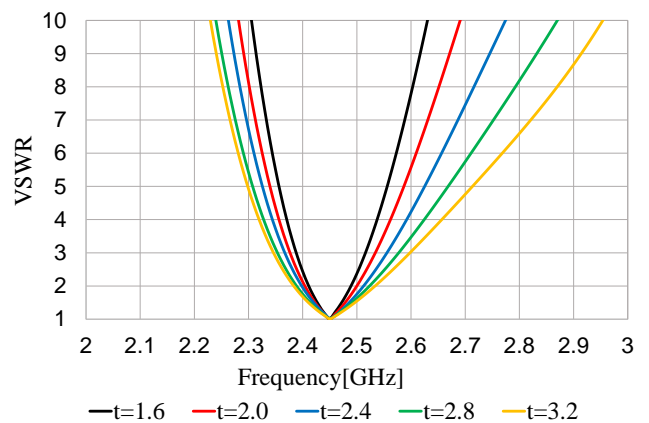


図 9 各 t における VSWR 特性 (自由空間)

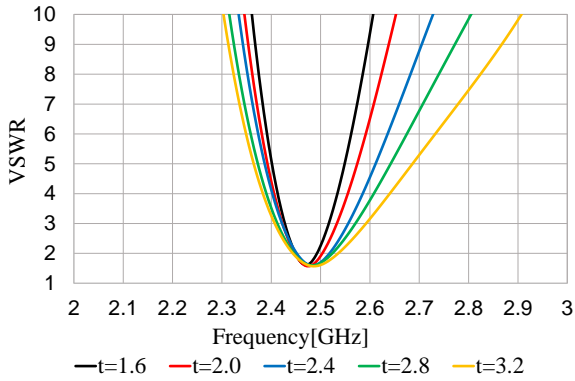


図 10 各 t における VSWR 特性 (金属上)

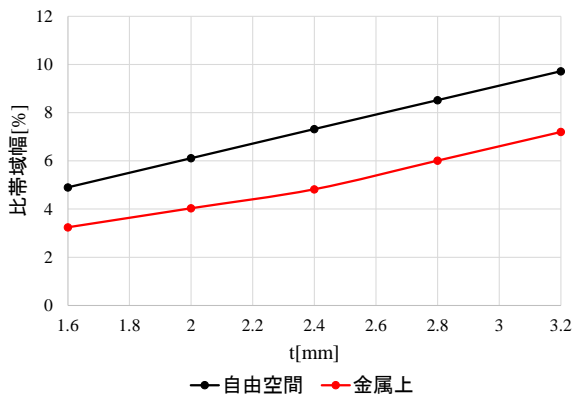


図 11 各 t における比帯域幅

6. MACKEY II の給電方法検討

基本型は給電素子であるアンテナ板が、AMC 基板の上に設置されているため、アンテナ板に直接給電を行うことが可能である。しかし、MACKEY II では、アンテナ板がモデルの中に設置されているため、直接給電を行うことができない。

そこで、MACKEY II でもアンテナ板を給電素子として動作させるために、スルーホールを用いた給電を可能とした上面給電型と背面給電型の二つのモデルを提案する。

6.1. 上面給電型の測定結果

図 12 に上面給電型のモデル図を示す。上面給電型は、1 層目のグリッド板から 2 層目のアンテナ板まで穴を開けてスルーホールを実装したモデルである。この構造によって、従来通りモデルの上面から給電を行うことでアンテナ板を給電素子として動作させることを可能にしている。4 章と 5 章の結果をもとに、モデルの AMC 基板厚は $t=2.0\text{mm}$ 、アンテナ位置はモデルの中心位置である $h=1.0\text{mm}$ として設計を行った。その結果モデルの薄型化は実現したが、基板横幅 L は 68.9mm となり基本型よりも増加した。図 13 に上面給電型の VSWR 特性、図 14 に放射パターンの解析値と

測定値を示す。また、表 3 に解析値と測定値の比帯域幅と正面方向での利得の比較を示す。

図 13 および表 3 より、測定値において自由空間と金属上で Wi-Fi 2.4GHz 帯の使用帯域を満たしており、解析値と比較しても概ね一致していることがわかる。また図 14 と表 3 より放射パターンと利得においても測定値と解析値は概ね一致しており、十分に放射していることがわかる。

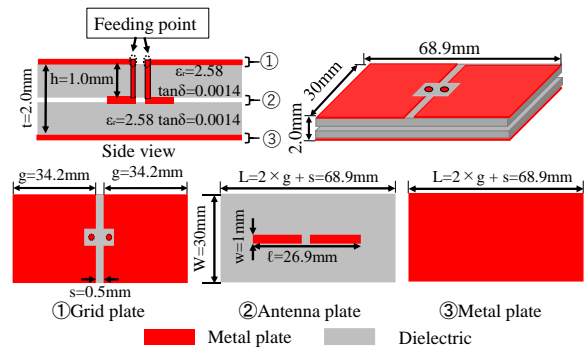


図 12 上面給電型モデル図

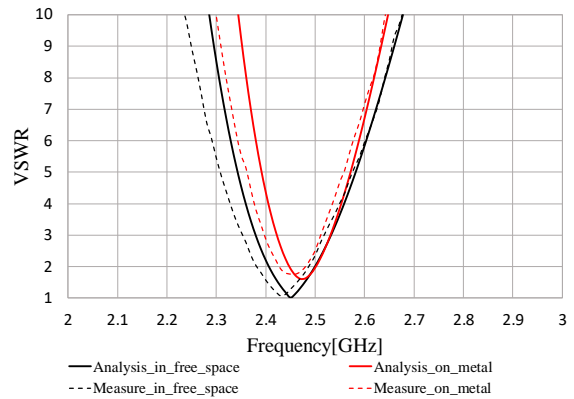


図 13 上面給電型の VSWR 特性比較

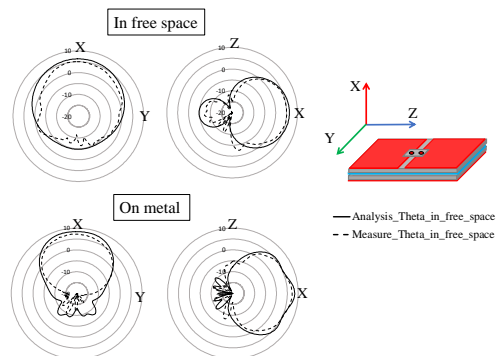


図 14 上面給電型放射パターン比較

表 3 上面給電型の比帯域幅と正面方向利得

	自由空間 (解析)	自由空間 (測定)	金属上 (解析)	金属上 (測定)
比帯域幅[%]	6.11	6.16	4.03	4.48
利得[dBi]	6.32	5.02	8.39	7.20

6.2.背面給電型の測定結果

図 15 に背面給電型のモデル図を示す。背面給電型は、3層目の金属地板から2層目のアンテナ板まで穴を空けてスルーホールを実装したモデルである。この構造によって、モデルの背面から給電を行うことでアンテナ板を給電素子として動作させることを可能にしている。上面給電型と同様に、モデルの AMC 基板厚は $t=2.0\text{mm}$ 、アンテナ位置は $h=1.0\text{mm}$ として設計を行った。その結果、こちらも薄型化は実現したが基板横幅 L は 68mm となり基本型より増加した。図 16 に背面給電型における VSWR 特性、図 17 に放射パターンの解析値と測定値を示す。また、表 4 に解析値と測定値の比帯域幅と正面方向の利得の比較を示す。

図 16 および表 4 より、測定値において自由空間と金属上で Wi-Fi 2.4GHz 帯の使用帯域を満たしており、解析値と比較しても概ね一致していることがわかる。また図 17 と表 4 より放射パターンと利得においても測定値と解析値は概ね一致しており、十分に放射していることがわかる。

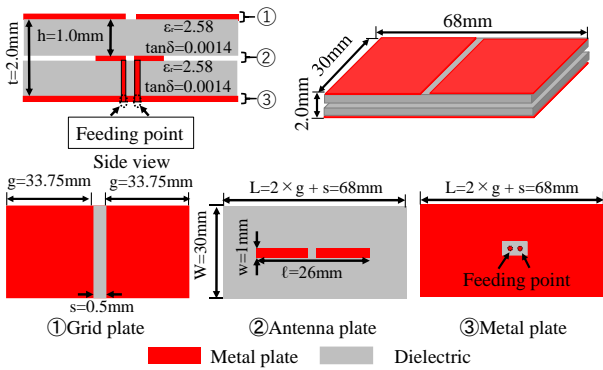


図 15 背面給電型モデル図

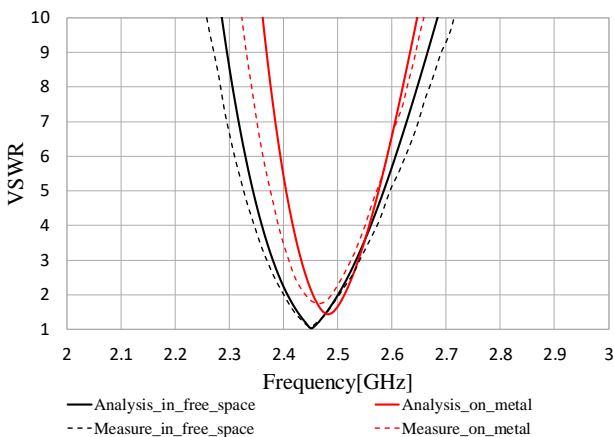


図 16 背面給電型の VSWR 特性比較

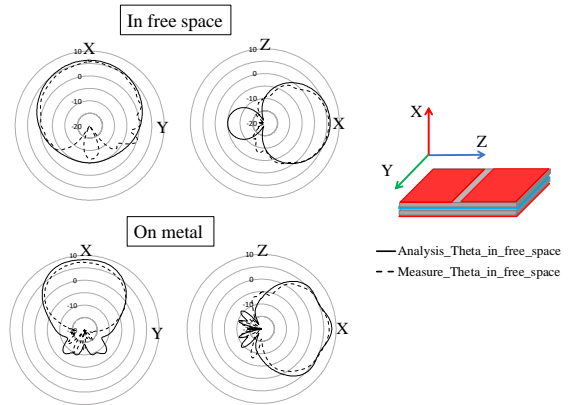


図 17 背面給電型放射パターン比較

表 4 背面給電型の比帯域幅と正面方向利得

	自由空間 (解析)	自由空間 (測定)	金属上 (解析)	金属上 (測定)
比帯域幅[%]	6.11	6.92	3.62	4.46
利得[dBi]	6.30	5.75	8.26	7.20

7.まとめ

MACKEY 基本型を薄型化するために、アンテナ基板を AMC 基板内部に設置した MACKEY II を提案した。提案した MACKEY II は基本型と比較して、性能を落とすことなく、薄型化かつ広帯域化を実現した。MACKEY II は給電位置を変化させることによって、インピーダンスを制御することができ広帯域化を図れることを示した。また、MACKEY II の AMC 基板厚 t を 2mm まで薄型化しても Wi-Fi 2.4GHz 帯の帯域幅を満たしていることを示した。MACKEY II の給電方法の検討としてスルーホールを用いることによってアンテナ板を給電素子として動作させることを可能にした。

これらの検討をもとに上面給電型と背面給電型の二つのモデルを設計した。設計した両モデルは基本型の半分の厚さになり薄型化を実現した。また、測定した上面給電型と背面給電型は、Wi-Fi 2.4GHz 帯の使用帯域を満たし、自由空間と金属上においても動作することを示した。

本研究は、JST CREST(JPMJCR16Q)の助成を受けたものである。

文 献

- [1] 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”, 信学技報, AP2014-211, pp.1-5, 2014.
- [2] 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, AP2015-6, pp.25-30, 2015.