

ロバスト性を高めた MACKEY II の研究

宮下 圭介^{††} 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(Meta-surface inspired Antenna Chip developed by KIT EOE Laborator)は、自由空間だけでなく金属上でも動作し、金属筐体に対するロバスト性を持つことを示した。また、基本型の薄型化を目的とし、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 も提案されている。本検討では、MACKEY II において従来提案されている平衡系の 2 つのモデルに加えて、給電素子に逆 L 型アンテナを用いた不平衡系の MACKEY II を提案する。また、MACKEY II の給電方法を変化させた 3 種類のモデルにおいて、モデル縦幅の最適化を行い、金属筐体に対するロバスト性の更なる向上を図った MACKEY II R 型を提案する。

キーワード MACKEY, Wi-Fi, AMC 基板, ロバスト, 平衡給電, 不平衡給電

Research on MACKEY II with Enhanced Robustness

Keisuke Miyashita^{††} 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: The Meta-surface inspired Antenna Chip developed by KIT EOE Laboratory (MACKEY, Wi-Fi 2.4GHz band) is an electrically small antenna that is sufficiently robust to metal objects. In addition, a new model "MACKEY II" (Wi-Fi 2.4GHz band) with thin and broadband characteristics is proposed. In this study, MACKEY II unbalanced type that can be easily connected to an unbalanced system using an inverted L-shaped antenna as a feed element is proposed. Additionally, in order to further improve the robustness against metal object, the model width is optimized for three types of MACKEY II with different feeding methods, including unbalanced MACKEY.

1. まえがき

2021年現在の通信市場として 5G や 802.11ax(Wi-Fi6) のサービス開始により、IoT デバイスが急速に普及している。また、新型コロナウイルス感染症(COVID-19) の流行に伴い、テレワークやオンライン授業など、生活の中でも IT 化が急速に発達してきている。このような状況下で活躍する製品の一例として、コネクテッドカーやタブレット、ドローンなどが挙げられる。これらの製品には、従来、ダイポールアンテナやモノポールアンテナ、板状逆 F 型アンテナなどの小型アンテナが用いられてきた。しかし、これらのアンテナは小型・薄型化は可能であるが、金属の有無によって性能が変化するため、設置場所が制限される。そのため、金属の有無に関わらず設置できるアンテナが求められる。

そこで、周囲の金属の影響を受けにくく、金属筐体に対してロバスト性を持つアンテナとして、Meta-surface inspired Antenna Chip developed by KIT EOE Laboratory(MACKEY)基本型(以下:基本型)が考案

されている [1]。また、この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い、アンテナ基板の厚さを薄型化した MACKEY II も考案されている [2]。測定した MACKEY II 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。また、MACKEY II は Wi-Fi 2 GHz 帯(2.40 から 2.50 GHz)に適用できるように設計されている。

本報告では、給電素子に逆 L 型アンテナを用いた不平衡系の MACKEY II を設計し、不平衡系の線路やチップへの接続を容易にした MACKEY II 不平衡型(以下、不平衡型)の提案を行う。また、MACKEY II において金属上でのロバスト性を更に高めるために、MACKEY II 上面給電型(以下、上面給電型)、MACKEY II 背面給電型(以下、背面給電型)、不平衡型の 3 つの給電方法において、グリッド縦幅を固定した状態で、モデル縦幅の最適化を行う MACKEY R 型のアイデアを活用し、自由空間と金属上での周波数シフトを減ら

して、金属管体におけるロバスト性を高めた MACKEY II R 型を提案する。

2. MACKEY II

図 1 に背面給電型のモデル図を示す。背面給電型は上から順にグリッド板、アンテナ板、金属板の 3 層構造を取り、それぞれの間を誘電体が満たしている。AMC 基板厚： t を 2 mm，給電位置： h を 1 mm で固定し、グリッド幅： g とアンテナ長： l を変化させてインピーダンス整合を行った結果、モデル横幅： L は 68 mm となった。図 2 に背面給電型の自由空間と金属上の VSWR の測定結果を示す。図 2 より、VSWR の周波数シフトが少ないことから MACKEY II が自由空間と金属上の両方で動作し、金属管体に対してロバスト性を持つことがわかる。

しかし、背面給電型は給電素子にダイポールアンテナを用いた平衡系のアンテナであるため、不平衡系の線路やチップとの接続が複雑になる。また、設計した背面給電型は自由空間と金属上での周波数シフトが存在するため、金属上においては VSWR 3 以下において使用帯域を完全に満たすことはできない。そこで、本論文では不平衡系の MACKEY II の提案と、MACKEY II の更なるロバスト性を高めるための検討を行う。

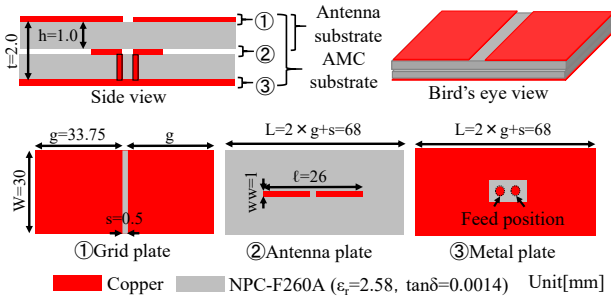


図 1 背面給電型モデル図

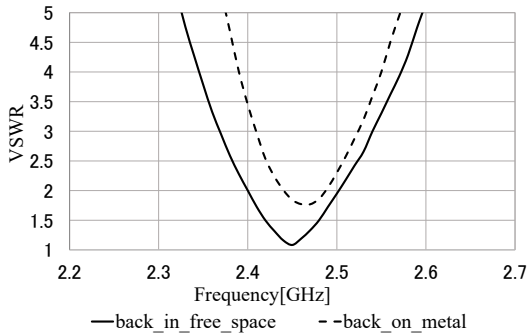


図 2 背面給電型の VSWR 測定結果

3. 給電素子に逆 L 型アンテナを用いた MACKEY II 不平衡型の提案

従来の MACKEY は給電素子にダイポールアンテナを用いた平衡系のアンテナであるため、不平衡系の線路やチップと接続することが難しい。また、平衡系の

MACKEY は、S パラメータ法[3]を用いて測定を行うため、2port それぞれで測定を行う必要があり、測定に要する時間が長くなる。そこで、解決策として給電素子に逆 L 型アンテナを用いた不平衡型を設計することによって、不平衡系の線路やチップとの接続を容易にする。

図 3 に不平衡型のモデル図を示す。不平衡型は背面給電型と同様の構造を取り、上から順にグリッド板、アンテナ板、金属板の 3 層構造を取る。また、アンテナ板から金属板までスルーホールを設けることによって、給電素子となる逆 L 型アンテナを実現している。これによって、不平衡型では測定を行う際に、S パラメータ法ではなく一般的な測定を行うことが可能となり、測定に要する時間を短縮することができる。また、背面給電型と同様に、AMC 基板厚： t を 2 mm，給電位置： h を 1 mm に固定し、グリッド幅： g とアンテナ長： l を変化させて整合を行った結果、モデル横幅： L が 69.3 mm となり、背面給電型のモデルサイズと概ね一致していることがわかる。

表 1 に不平衡型と背面給電型の VSWR 3 以下における比帯域幅と[%]と正面方向の利得[dBi]を示す。また、図 4 に不平衡型と背面給電型の VSWR の測定結果比較、図 5 に放射パターンの測定結果比較を示す。表 1 と図 4 より、不平衡型は、背面給電型と比較すると少し狭帯域ではあるが、自由空間と金属上での特性のずれが小さく自由空間と金属上の両方で動作することがわかる。また、表 1 と図 5 より、2 モデルの放射パターンと利得は概ね一致しており、不平衡型のように給電方法を変化させても性能は劣化しないことがわかる。しかし、図 4 からわかるように、不平衡型においても背面給電型と同様に自由空間と金属上では特性のずれが存在することがわかる。

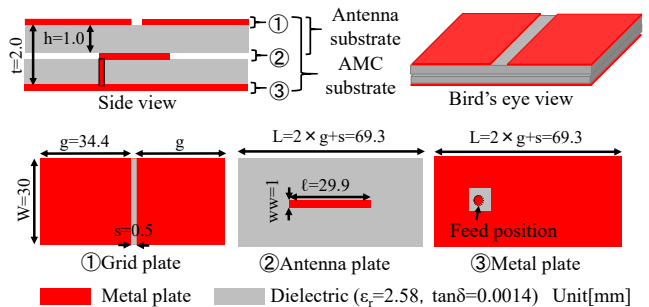


図 3 不平衡型のモデル図

表 1 不平衡型と背面給電型の比帯域幅と利得

	不平衡型		背面給電型	
	自由空間	金属上	自由空間	金属上
比帯域幅[%]	6.11	3.65	6.92	4.46
利得[dBi]	4.95	6.64	5.75	7.38

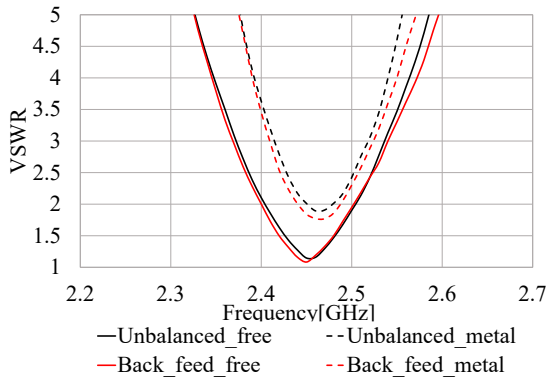


図4 VSWR測定結果比較

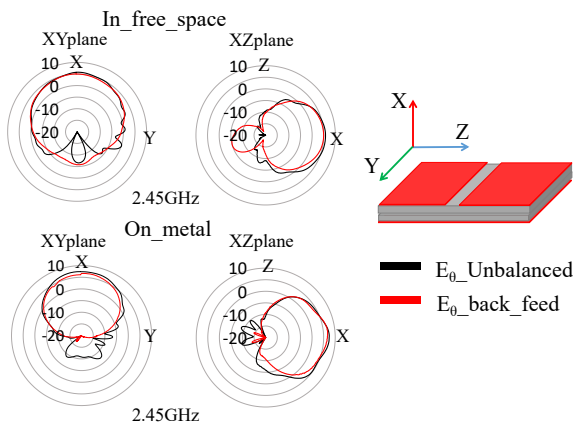


図5 放射パターン測定結果比較

4. MACKEY II R 型

4.1 MACKEY II R 型の提案

2章, 3章で示したように, 背面給電型や不平衡型は金属に対するロバスト性を持つが, 周波数シフトは存在する. そこで, 本章では, このMACKEY IIにおいて金属上でのロバスト性を更に高めるための検討を行う. 具体的なアイデアとして, グリッド縦幅を固定した状態でモデル縦幅を大きくし, 最適なモデル縦幅で設計を行うMACKEY R型(以下, R型)のアイデアを参考に[4]. このR型の構造をMACKEY IIにも応用することによって, MACKEY IIのロバスト性を高めたMACKEY II R型を提案する.

4.2 MACKEY II R型の動作帯域幅検討

MACKEY II R型において最適なモデル縦幅: W を見つけるために, 各 W における動作帯域の検討を行う. 図6に, 動作帯域の検討を行うMACKEY IIの給電方法を変化させた上面給電型, 背面給電型, 不平衡型の3モデルの側面図を示す. 今回はこの3モデルにおいて動作帯域の検討を行う. ここでいう動作帯域とは, 自由空間と金属上の両方でVSWR 3以下を満たす帯域のことを表し, この動作帯域が広いほど, 帯域幅を確保しながら自由空間と金属上での周波数シフトが小さいこ

とを表している. 本検討ではグリッド縦幅: g_w を30mmに固定した状態でモデル縦幅: W を30mmから40mmまで1mm間隔で変更した際の動作帯域の検討を行う. また, 本検討では金属上で整合を取り, その後自由空間で解析を行っている. 図7に3モデルにおいて各 W におけるVSWR 3以下の比帯域幅を, 図8に周波数シフト, 図9に動作帯域を示している. 図7より3モデル全てにおいて, W を大きくしていくほど, 金属上においてはほとんど変化しないが自由空間において狭帯域になっていくことがわかる. しかし, 図8より周波数シフトにおいては多少の誤差こそあるが, W を大きくしていくほど周波数シフトが小さくなっていくことがわかる. そのため, 周波数シフトが小さくなったことが要因となり, 図9のように動作帯域も徐々に広がっていくことがわかる. 図9より, 今回検討した3モデルにおいては, $W=37$ mmの時に動作帯域が広くなり, それ以降は概ね収束していく. これは $W=37$ mmの時に周波数シフトが限りなく0に近づいていることが影響している.

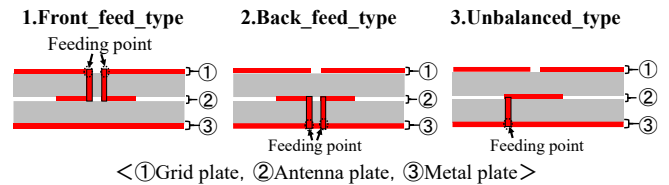


図6 MACKEY II 3モデルの側面図

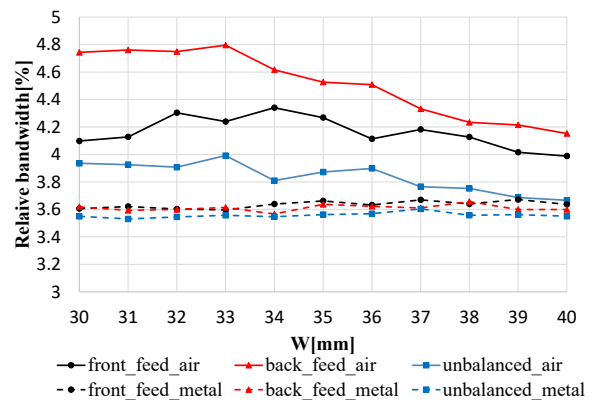


図7 各 W における比帯域幅

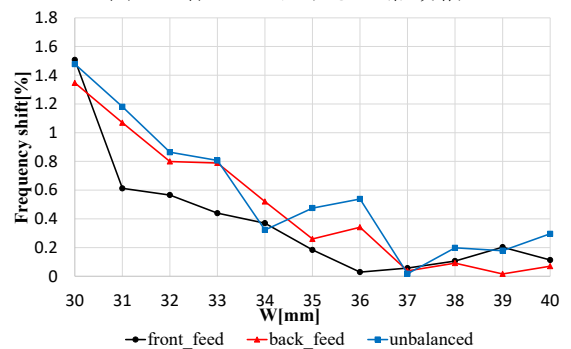


図8 各 W における周波数シフト

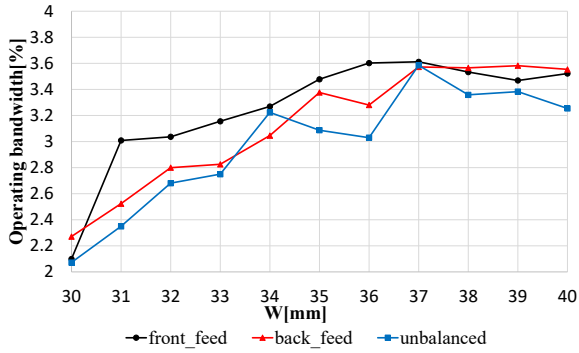


図 9 各 W における動作帯域

4.3 MACKEY II R 型の測定結果

4.2 節での検討を基に設計した MACKEY II R 型のモデル図を図 10 に示す. 設計したモデルは先ほど検討を行った, 上面給電型, 背面給電型, 不平衡型の 3 モデルであり, 3 モデルとも AMC 基板厚: $t=2.0$ mm, アンテナ位置: $h=1.0$ mm, モデル縦幅: $W=37$ mm で設計を行った. 整合を行った結果, 3 モデルのモデル横幅: L は, 上面給電型が 70 mm, 背面給電型が 68.4 mm 不平衡型が 67.8 mm となり 3 モデルとも概ね一致した. 図 11 に設計した MACKEY II R 型の VSWR の測定結果, 表 2 に MACKEY II と MACKEY II R 型の測定値における比帯域幅と周波数シフトの比較を示す. 図 11 より 3 モデルの VSWR 測定結果は金属上において自由空間よりも少し低周波側にシフトしているが, 2 章や 3 章で示した背面給電型や不平衡型と比較すると金属上のずれは小さくなっている. しかし, 表 2 より, MACKEY II R 型は MACKEY II よりも狭帯域になっていることに加え, 動作帯域もほとんど改善されていない. これは, MACKEY II における測定値の帯域幅が解析値よりも広がったことと, 自由空間と金属上の周波数のずれが解析値よりも小さかったことが影響し, MACKEY II の動作帯域の測定値が解析値の動作帯域よりもかなり大きくなったことが原因である. したがって, MACKEY II R 型のロバスト性が向上していないというわけではなく, 図 11 の結果からもわかるように, ロバスト性は向上していることがわかる.

また, 図 12 に 3 モデルの放射パターン, 表 3 に MACKEY II と MACKEY II R 型の測定値における正面方向の利得の比較を示す. 図 12 と表 3 より, 3 モデルの放射パターンと利得は概ね一致しており, MACKEY II と比較しても概ね利得は一致していることから十分に放射していることがわかる. これらの結果より, MACKEY II と R 型の構造を組み合わせた MACKEY II R 型は, MACKEY II と比較すると, 帯域幅こそ狭くなるが, 放射特性の劣化がなく, ロバスト性の向上を実現していることがわかる.

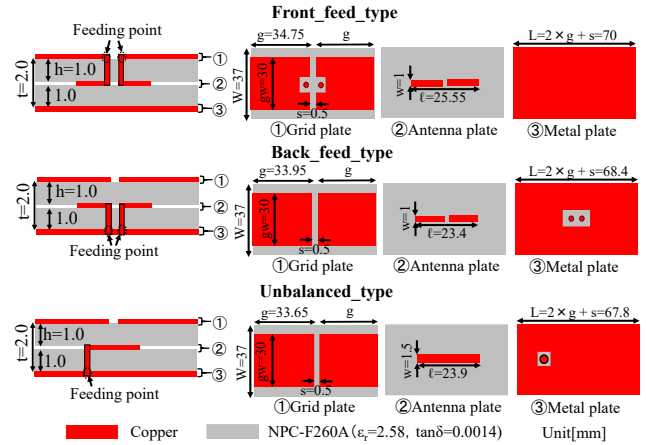


図 10 MACKEY II R 型の設計モデル

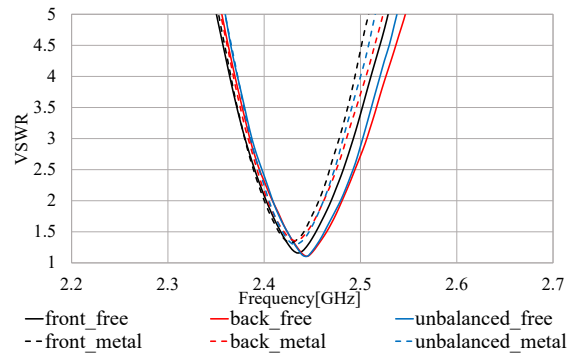


図 11 MACKEY II R 型の VSWR 測定結果

表 2 MACKEY II と MACKEY II R 型の比帯域幅と周波数シフト比較

		比帯域幅[%]		動作帯域 [%]
		自由空間	金属上	
MACKEY II	上面	6.16	4.48	3.70
	背面	6.92	4.46	3.98
	不平衡	6.11	3.65	3.81
MACKEY II R型	上面	4.31	3.91	3.74
	背面	4.70	4.11	3.73
	不平衡	4.50	3.70	3.49

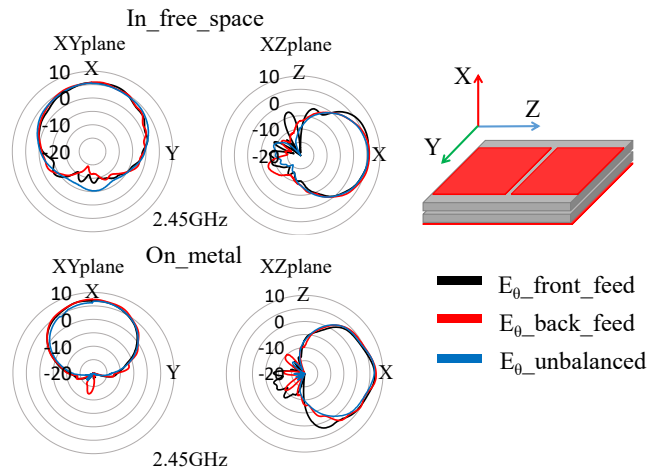


図 12 MACKEY II R 型の放射パターン測定結果

表 3 MACKEY II R 型の正面利得

		利得[dBi]	
		自由空間	金属上
MACKEY II	上面	5.02	7.20
	背面	5.75	7.38
	不平衡	4.95	6.64
MACKEY II R型	上面	5.63	6.85
	背面	5.90	7.37
	不平衡	5.44	6.75

5. まとめ

本論文では、基本型の薄型化を図った MACKEY II において、不平衡系の線路やチップへの接続を容易にし、測定時間の短縮を図った不平衡型を提案した。また、給電方法を変化させた MACKEY II の 3 モデルにおいて、更なるロバスト性を高めるために、グリッド縦幅を固定した状態でモデル縦幅を大きくした MACKEY II R 型を提案した。

3 章で提案した不平衡型は、給電素子に逆 L 型アンテナを用いることによって、従来のダイポールアンテナを用いたモデルとは異なる給電方法を実現した。測定した不平衡型において背面給電型と比較しても帯域幅や放射パターンは概ね一致しており、給電方法を変化させても性能の劣化には繋がらないことを示した。

4 章で提案した、MACKEY II R 型において、グリッド縦幅：gw を 30 mm に固定した状態でモデル縦幅：W の最適化を行った結果、MACKEY II では W=37 mm の時に動作帯域が広がることを示した。W=37 mm で設計し、測定を行った MACKEY II R 型は、W=30 mm のモデルよりも狭帯域にはなったものの、自由空間と金属上での特性のずれは小さくなった。また、放射パターンと利得は概ね一致していることから、MACKEY II R 型は性能の劣化がほとんどなくロバスト性を高めることを実現した。

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] 宮下圭介, 田村俊樹, 牧野滋, 伊東健治, “新たな構造を用いて薄型化した MACKEY II の研究”, 信学技報, AP2020-12, pp.15-19, 2020.
- [3] 深沢徹, 宮下裕章, 小西善彦, “S パラメータ法を用いた小型アンテナの放射パターン測定法”, 信学技報, AP2010-50, 2010.
- [4] 田村俊樹, 牧野滋, 伊東健治, “金属上での動作を改善した MACKEY の検討”, 信学技報, AP2019-164, pp.77-80, 2019.