

片側短絡構造により小型化した MACKEY O 型の検討

横江 慧人^{††} 宮下 圭介[†] 袴田 幸汰[†] 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 : [†] b1995149@planet.kanazawa-it.ac.jp, [‡] makino@neptune.kanazawa-it.ac.jp

あらまし 周囲の金属における影響を受けない小型アンテナとして MACKEY について考案し、自由空間および金属上でも動作可能なことを示した。また、これを元にオフセット給電を用いて二周波共用を実現できるモデル、MACKEY O 型が検討された。本研究の目的は、MACKEY O 型の更なる小型化である。そこで、MACKEY の片側に短絡板を設けることでモデルサイズの小型化が可能である MACKEY S1 型の構造を MACKEY O 型に用いることで、性能を維持したままモデルサイズの大幅な小型化を実現した。

キーワード MACKEY, AMC 基板

Consideration of Miniaturized MACKEY O Type with Side-Short Structure

Keito Yokoe^{††} Keisuke Miyashita^{††} Kota Hakamata^{††} Shigeru Makino^{†‡} and Kenji Itoh[†]

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

E-mail : [†] b1995149@planet.kanazawa-it.ac.jp, [‡] makino@neptune.kanazawa-it.ac.jp

Abstract: The MACKEY antenna is designed as a compact antenna that is not affected by the surrounding metal, and it is shown that it can operate in free space and on metal. It was shown that the antenna can be operated in free space and on metal. Based on this, a dual-frequency shared antenna model, MACKEY O type, was investigated using offset feeding. The purpose of this study is to further miniaturize the MACKEY O model. Therefore, the structure of MACKEY S1, which can be reduced in size by installing a short-circuit version on one side of the MACKEY, is used for MACKEY O. This enables a significant reduction in the model size while maintaining the performance.

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。例としてスマートウォッチなどのウェアラブルデバイス、インターネットに接続できる家電製品などが挙げられる。様々な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といった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)が考案されている[1]。また、これを元にオフセット給電を用いて二周波共用を実現できるモデル(以下:O 型)が検討された。本研究では、小型化を目的として短絡板を片側側面に設けた片側短絡型(以下:S1 型)[2]に O 型を適用することによ

り、従来の O 型よりも小型化した新たなモデルを検討する。

2. 従来の MACKEY O 型

図 1 に従来の O 型のモデル図、表 1 に設計パラメータを示す。「O」はオフセットの略で、アンテナの位置を基板の中心位置からずらしていることを指している。O 型では、基板横幅方向 L に加えて縦幅方向 W にも高周波電流が流れるため二周波を共用できる。[3]

図に示すモデルは Wi-Fi5GHz 帯での使用を想定して設計したもので、モデルサイズは基板横幅 L=23.3mm、基板縦幅 W=14.1mm で、全体の厚さは 4mm である。図 1 より O 型は金属と誘電体の積層構造で構成されている。上から順に①アンテナ板、②グリッド板、③金属板の 3 層構造となっており、①と②の間に 0.8mm、②と③の間には 3.2mm の誘電体を挟んでいる。②Grid plate の端部に電流が流れることでアンテナとして動作している。

図 2 に O 型の VSWR 特性を示す。自由空間、金属上どちらも図中青色で示した Wi-Fi5GHz 帯での二つの使

用帯域，① 5.15GHz～5.25GHz および② 5.475GHz～5.73GHz を VSWR=3 以下で満たしている。これより，金属上でも正常に動作していることが分かる。また，二か所で VSWR 値の最小値が存在することから，二周波共用であることが分かる。低周波側から，第一周波目はアンテナ長 l とグリッド幅 g の組み合わせで制御し，第二周波目は基板縦幅 W とアンテナのオフセット量 l_0 の組み合わせで制御することができる。2 つの共振周波数を近づけ広帯域化にすることにより，Wi-Fi 5GHz 帯の使用帯域基を満たすことができる。

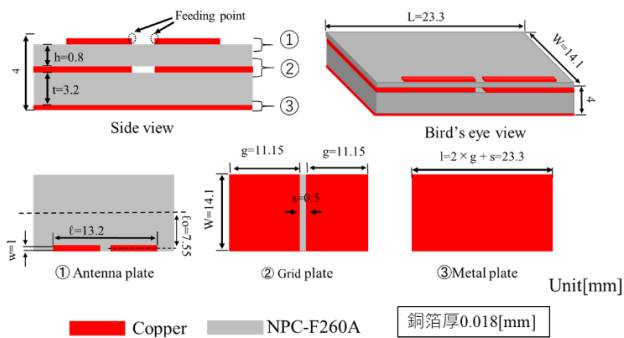


図1 従来の MACKEY O 型モデル図

表1 MACKEY O 型の設計パラメータ

設計パラメータ	[mm]
アンテナ長: l	13.2
オフセット量: l_0	7.55
グリッド幅: g	11.15
基板横幅: L	23.3
基板縦幅: W	14.1
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	0.8
AMC 基板厚: t	3.2

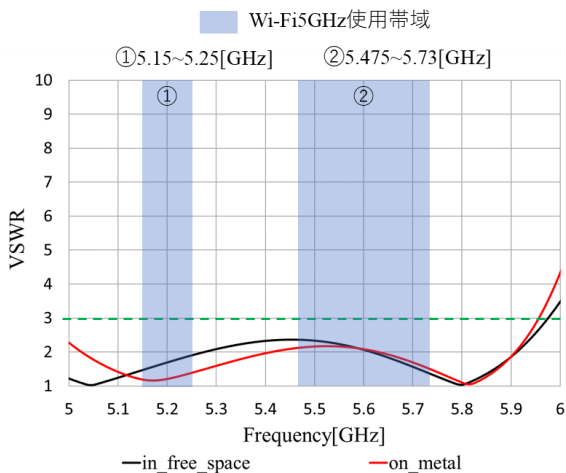


図2 MACKEY O 型の VSWR 特性

3. 小型化の方法

先行研究である MACKEY S1 型の構造を利用する。S1 型は図3に示すように MACKEY の基盤中心部に短絡板を設けることで，鏡像の原理により写し鏡のように短絡板を挟んで反対側にモデルの鏡像を作り出すことができる。[2]これにより疑似的に本来のモデルと等価のモデルサイズとなり，基板の大きさを約半分にする事ができる。今回の検討では，オフセット給電を用いた MACKEY O 型の中心部に短絡板を設置する。

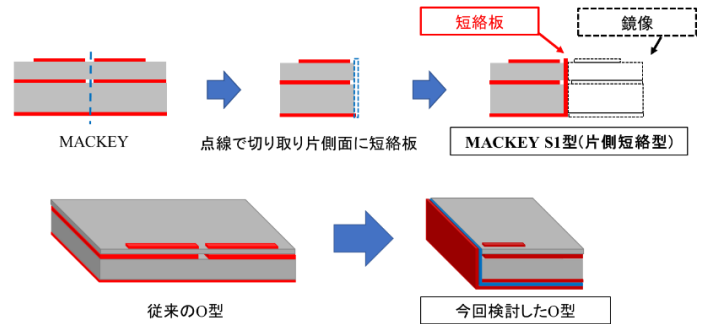


図3 小型化の方法

4. 片側短絡した O 型の構造

3 章で解説した構造をもとに設計した片側短絡した O 型のモデル図を図4に示す。設計パラメータの調整によりインピーダンス整合を行った結果，整合のとれた設計パラメータを表2に示す。基板横幅 $L=10.643\text{mm}$ ，基板縦幅 $W=15.3\text{mm}$ となり，従来の O 型と比較すると基板横幅 L は約 54% 短くなり，基板縦幅 W は約 8% 長くなった。アンテナ全体の面積を比較すると，約 51% 小型化している。S1 型の理論通り，従来の約半分のモデルサイズとなった。短絡板は側面に接着剤として $30\mu\text{m}$ TPU(熱可塑性ポリウレタン:TPU)系ホットメルトボンドフィルムを転写した $18\mu\text{m}$ 電界銅箔を張り付けることで作成している。積層構造は従来の O 型と同じであり，給電は①Antenna plate の給電素子と短絡板より行う。短絡板は最下部の③Metal plate と結合している。

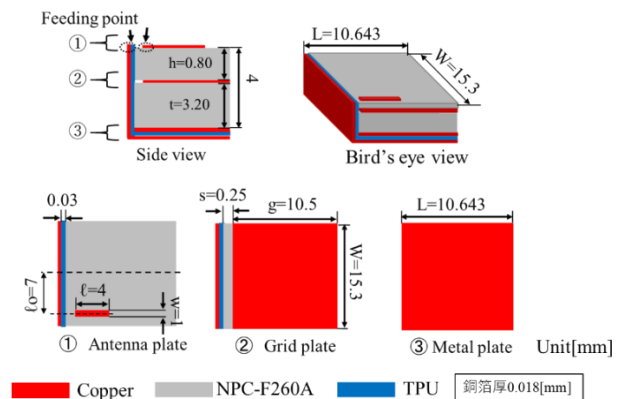


図4 片側短絡した MACKEY O 型モデル図

表 2 片側短絡した O 型の設計パラメータ

設計パラメータ	[mm]
アンテナ長: l	4.0
オフセット量: l_0	7.0
グリッド幅: g	10.05
基板横幅: L	10.643
基板縦幅: W	15.3
アンテナの縦幅: w	1.0
スリット幅: s	0.25
アンテナ基板厚: h	0.8
AMC 基板厚: t	3.2
TPU 厚	0.03

実測モデルでは、図 5 に示すように同軸ケーブルの先に接続した同軸コネクタの内部導体を給電素子に、外部導体を短絡板にはんだ付けして給電を行う。

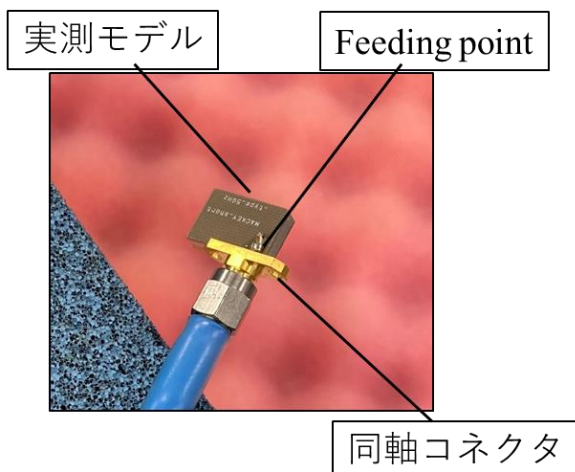


図 5 実測モデル図

5. 解析結果

5 章では、設計したモデルの金属上での解析条件と、従来のモデルと片側短絡した O 型の VSWR 値の解析結果の比較、放射パターンの結果の比較を三節に分けて解説する。

5.1. 金属上での解析条件

図 6 に金属上での解析に用いた条件を示す。 $3\lambda \times 3\lambda$ 、厚さ 10mm の銅のプレートの中心に MACKEY を密着させて解析を行った。

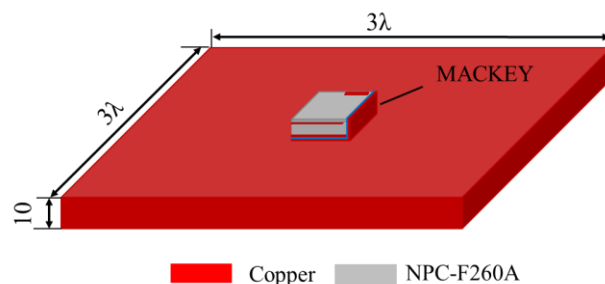


図 6 金属上での解析モデル

5.2. VSWR 値の解析結果比較

VSWR 値の解析結果について、片側短絡した O 型を新モデルとして従来の O 型と比較する。図 7 に自由空間での解析値、表 3 に自由空間での帯域幅と比帯域幅の比較を示す。図 7 中黒線が新モデル、赤線が従来の O 型の解析結果である。Wi-Fi5GHz の使用帯域を青色で示す。二つのモデルを比較すると、新モデルの帯域幅は従来の O 型よりも狭帯域となったが、Wi-Fi5GHz の使用帯域を VSWR=3 以下で満たしている。

図 8 に金属上での VSWR 値の解析結果比較、表 4 に金属上での帯域幅と比帯域幅の比較を示す。新モデルの VSWR 値は共振周波数が低周波数側へシフトした影響で Wi-Fi5GHz の使用帯域を僅かに満たしていないが、概ね金属上においても問題なく動作していると言える。また、自由空間、金属上共に共振周波数が二か所で見られることから、O 型の特徴である二周波共用ができていると考えられる。

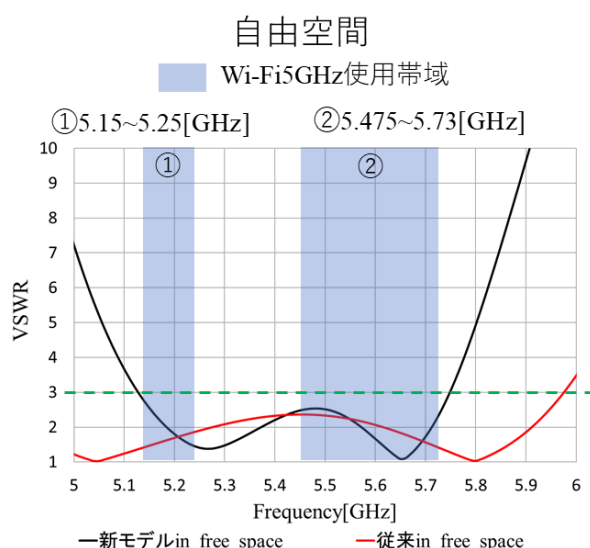


図 7 自由空間 VSWR 解析値比較

表3 自由空間での帯域幅・比帯域幅比較

自由空間	新モデル	従来モデル
帯域幅[GHz] (VSWR=3以下)	5.13~5.75	5.00~5.98
比帯域幅[%]	11.22	21.11

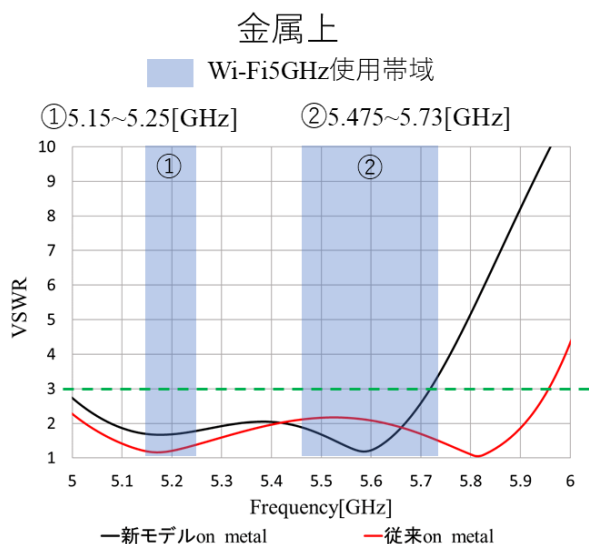


図8 金属上 VSWR 解析値比較

表4 金属上での帯域幅・比帯域幅比較

金属上	新モデル	従来モデル
帯域幅[GHz] (VSWR=3以下)	5.00~5.72	5.00~5.97
比帯域幅[%]	13.36	18.35

5.3.放射パターンの解析結果比較

放射パターンの解析値について比較する。今回検討したO型は二周波共用アンテナであるため、放射パターンを5.25GHzと5.6GHzの二か所の周波数で解析している。図9に5.25GHzの放射パターン比較、表4に正面方向の利得比較を示し、図10に5.6GHzでの放射パターン比較、表5に正面方向の利得を示す。

図9より、黒線で示した新モデルと赤線で示した従来モデルの結果を比較すると、放射パターンの形状は大きく異なり、新モデルの自由空間XZ面を観ると全方向に放射しており、無指向性のダイポールアンテナに近い形状となっている。

図10より、5.6GHzでの放射パターンにおいても放射パターンの形状は従来モデルのものと大きく異なり、自由空間でのXZ面は無指向に近い放射となった。また、黒色の破線で示した金属上でのPhi成分が強く、Theta成分の利得がphi成分よりも低い結果となった。

表4,表5より、利得は従来モデルよりも低いが、放射する方向が広がったことが一つの原因だと考えられる。以上の結果から片側短絡したO型を製作し測定を行う。

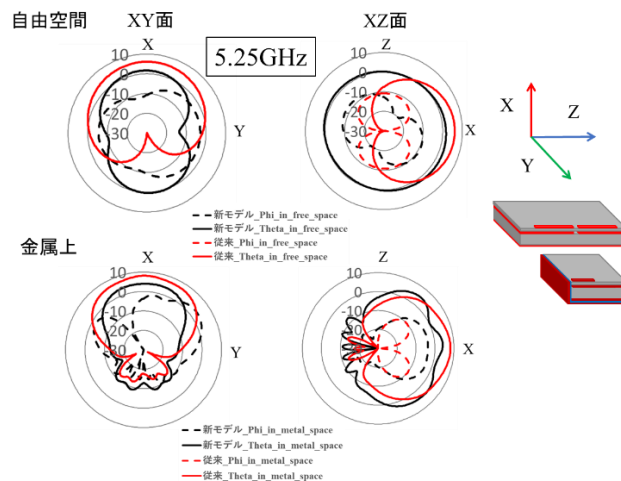


図9 放射パターン解析値比較 5.25GHz

表4 正面方向の利得 5.25GHz

5.25GHz 正面方向の利得[dBi]	新モデル	従来モデル
自由空間	1.54	6.13
金属上	3.95	4.05

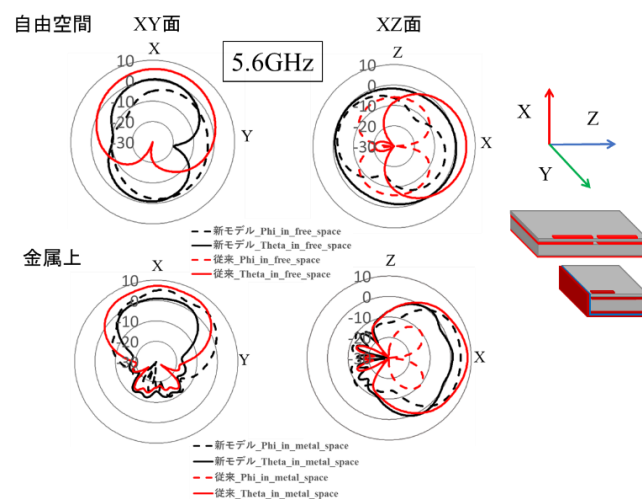


図10 放射パターン解析値比較 5.6GHz

表5 正面方向の利得 5.6GHz

5.6GHz 正面方向の利得[dBi]	新モデル	従来モデル
自由空間	0.62	5.65
金属上	0.94	7.27

6. 測定結果と解析結果の比較

本章では、実際に片側短絡した O 型を製作し、S パラメータ法で測定した結果を解析結果と比較する。VSWR 値と放射パターンについて二節に分けて報告する。

6.1.VSWR 値の測定結果比較

VSWR 値の測定値について解析値と比較する。図 11 に自由空間での測定値比較、図 12 に金属上での測定値比較、表 6 にそれぞれの帯域幅を示す。図 11 より、黒線で示した自由空間での測定値は赤線で示した解析値に比べて VSWR 値は高くなったが、解析値で満たしていた帯域は満たした。図 12 より金属上においても VSWR 値は高くなったが、Wi-Fi5GHz の使用帯域を VSWR=3 以下で満たしている。また、自由空間、金属上共に第二共振である 5.6GHz の共振周波数は高周波側へシフトした。表 6 より、測定値では解析での帯域幅を満たすことができた。

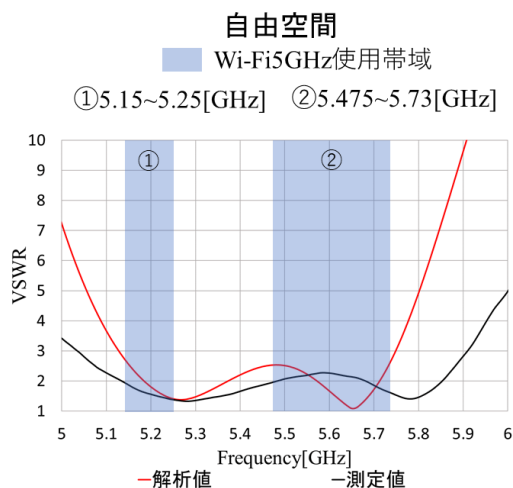


図 11 自由空間 VSWR 測定値比較

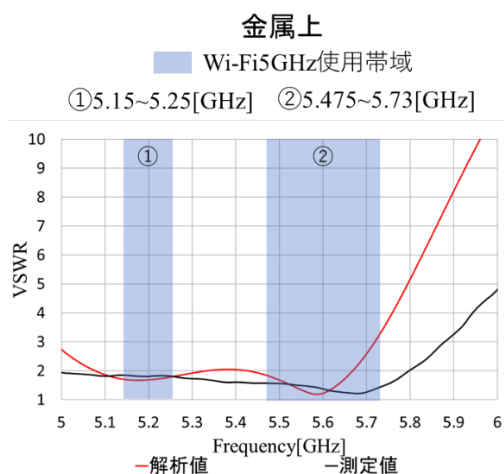


図 12 金属上 VSWR 測定値比較

表 6 帯域幅測定値比較

帯域幅[GHz] (VSWR=3 以下)	測定値	解析値
自由空間	5.03~5.95	5.13~5.75
金属上	5.0~5.88	5.0~5.72

6.2.放射パターンの測定結果比較

放射パターンの測定結果を解析値と比較する。図 13 に 5.25GHz の放射パターンの比較、表 7 にその正面方向の利得を示す。また、図 14 に 5.6GHz の放射パターンの比較、表 8 にその正面方向の利得を示す。

放射パターンの比較について、赤線で解析値、黒線で測定値を示す。図 13 より、5.25GHz での放射パターンについて図中黒色の実線で示した Theta 成分についてはパターンの形状が解析値と概ね一致していると言える。測定結果にノイズが見られるが、これは測定モデルが非常に小さいことや環境による影響だと考えられる。また、図 14 より、phi 成分の測定値が解析値よりも低い値となった。測定値のノイズについては 5.6GHz においても同様の傾向であると言える。

表 7、表 8 より、測定値の利得は解析値よりも低い値となったが、5.25GHz での利得の方が 5.6GHz での利得よりも高いという傾向は解析値と一致している。

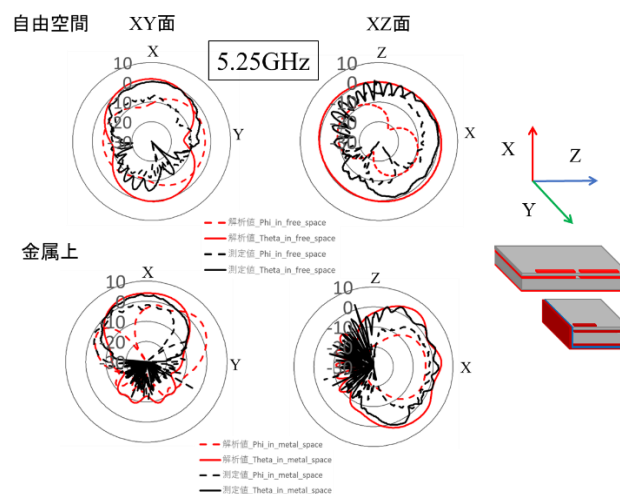


図 13 放射パターン測定値比較 5.25GHz

表 7 正面方向の利得測定値比較 5.25GHz

5.25GHz 正面方向の利得[dBi]	測定値	解析値
自由空間	0.37	1.54
金属上	1.60	3.95

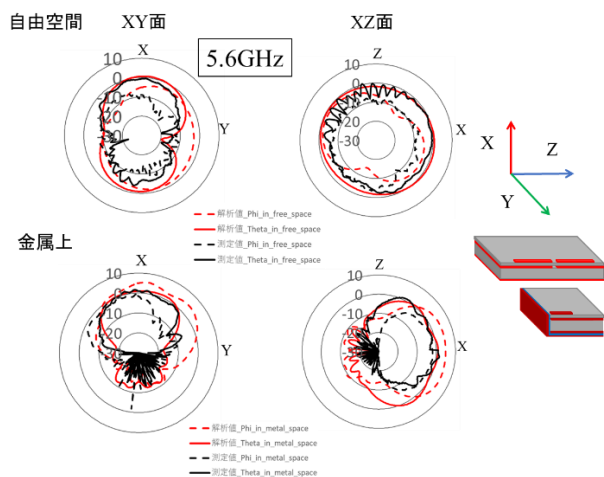


図 14 放射パターン測定値比較 5.6GHz

表 8 正面方向の利得測定値比較 5.6GHz

5.6GHz 正面方向の利得[dBi]	測定値	解析値
自由空間	-0.46	0.37
金属上	0.89	1.60

7. まとめ

片側短絡を行うことで小型化を行った MACKEY O 型の検討を示した。MACKEY S1 型の片側短絡構造を用いることで設計したモデルの面積は、従来の O 型と比較して約 51% 小型化することができた。従来のモデルと比較して低利得となったが、従来の O 型の特徴である二周波共用アンテナとして動作し、Wi-Fi5GHz の使用帯域を自由空間、金属上共に満たした。

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

文 献

- [1] 諸谷他, 信学論(B), vol. J99-B, no. 9, pp. 786-794. 2016.
- [2] 田村他, 信学技報, AP2019-59, pp. 65-68, 2019.
- [3] 大坪他, 信学技報, AP2016-21, pp. 27-32, 2016.