

# 金属上での動作を改善した MACKEY の検討

田村 俊樹<sup>††</sup> 牧野 滋<sup>†‡</sup> 伊東 健治<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 金沢工業大学 〒921-8812 石川県野々市市扇が丘 7-1

E-mail : <sup>†</sup> 6900809@planet.kanazawa-it.ac.jp, <sup>‡</sup> makino@neptune.kanazawa-it.ac.jp

あらまし MACKEY 基本型は、Wi-Fi 2 GHz 帯で使用することを目的として、自由空間だけでなく金属上でも動作することを目的として検討を行った。基本型は基板縦幅を 30mm とすることで金属上での影響を小さくすることに成功したが、自由空間と金属上を比較すると約 50MHz の周波数シフトが生じていた。本検討ではグリッド縦幅を固定して基板縦幅を変更することで、自由空間で整合した際の金属上での影響を調べる。自由空間に対する金属上での周波数シフトが最も小さく、なおかつ比帯域幅が一番広い基板縦幅とグリッド縦幅の組み合わせを見つけることで、MACKEY の金属上での動作の改善を行う。

キーワード MACKEY, Wi-Fi

## Feasibility Study of MACKEY with improved operation on metal

Toshiki Tamura<sup>††</sup> Shigeru Makino<sup>†‡</sup> and Kenji Itoh<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Kanazawa Institute of Technology 7-1 Ohgigaoka, Nonoichi, Ishikawa, Japan

E-mail : <sup>†</sup> b6900809@planet.kanazawa-it.ac.jp, <sup>‡</sup> makino@neptune.kanazawa-it.ac.jp

**Abstract** MACKEY basic type was studied for the purpose of using it in the Wi-Fi 2 GHz band and to operate not only in free space but also on metal. The basic model succeeded in reducing the effect on metal by making the substrate vertical width 30 mm. However, when comparing free space and on metal, a frequency shift of about 50 MHz occurred. In this study, the effect on the metal when matching in free space is investigated by changing the substrate vertical width while fixing the grid vertical width. We will improve the operation of MACKEY on metal by finding the combination of substrate height and grid height with the smallest frequency shift on free space and the widest fractional bandwidth on metal.

### 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。これらの端末はインターネット回線を通じてどこでも簡単に家庭内などで構築された無線ネットワークに接続が可能であることから、テレビやエアコンといった家電製品などの無線化が求められる。無線化に伴い搭載されるアンテナに求められる条件は、小型・薄型化に加え、周囲の金属の影響を受けず設置することが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において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 GHz 帯(2.40 から 2.50GHz, 比帯域幅：4.08%)に適用するために設計されている。

本報告では、グリッド縦幅を 30 に固定して  $W$  を変化させて自由空間で整合を行い、その後金属上での特性と比較を行う。自由空間で整合した際の金属上での周波数シフトを確認する。周波数シフトが最も小さく、比帯域幅が最も広くなる基板縦幅とグリッド縦幅の検討を行う。

### 2. 従来の MACKEY

#### 2.1. MACKEY 基本型

図 1 に基本型のモデル図を示す。上部から順に①アンテナ基板、②グリッド基板、③金属板となっており、それぞれの間を誘電体が満たしている。

基本型は、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。アンテナ長さ  $l$  で虚部を、グリッド幅  $g$  で共振周波数を制御することで整合を行う。図 2 に基本型の自由空間と金属上の VSWR 特性を示す。図 2 より、自由空間だけでなく金属上において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 7.31%，金属上では 5.21%となっており，Wi-Fi 2 GHz 帯の使用帯域を満たしていることがわかる．

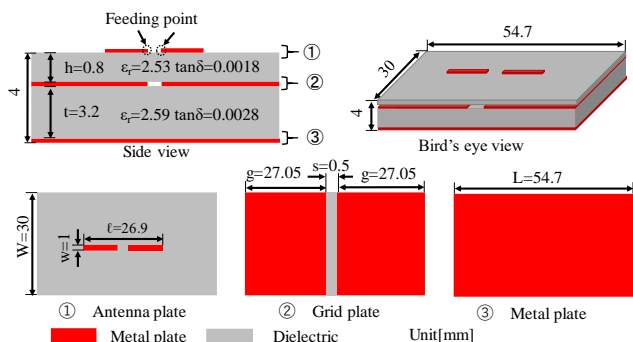


図1 基本型のモデル図

表1 設計パラメータ

設計パラメータ	[mm]
アンテナ長: $\ell$	26.9
グリッド幅: $g$	27.05
基板横幅: $L$	54.7
基板縦幅: $W$	30.0
アンテナの縦幅: $ww$	1.0
スリット幅: $s$	0.5
アンテナ基板の誘電体厚: $h$	0.8
グリッド基板の誘電体厚: $t$	3.2

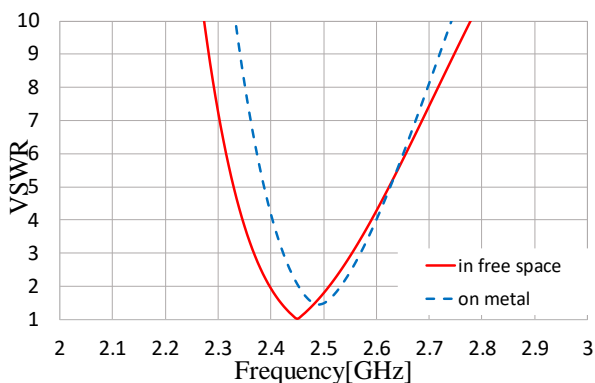


図2 基本型の VSWR 特性(自由空間と金属上)

## 2.2. 基板縦幅 $W$ の金属上での影響

基板縦幅  $W$  を変更して自由空間で整合を行った際の，自由空間と金属上での VSWR 特性を図3と図4に示す．図3より，自由空間では  $W$  が小さいほど広帯域となっている．しかし図4より，金属上では  $W$  が小さいほど共振周波数が高周波側にシフトしていることから，金属の影響を強く受けていることがわかる．以上の特性から基本型の  $W$  は，自由空間でなるべく広い帯域を確保しつつ，金属上での影響が少ない  $W=30\text{mm}$  と固定して検討を行ってきた．

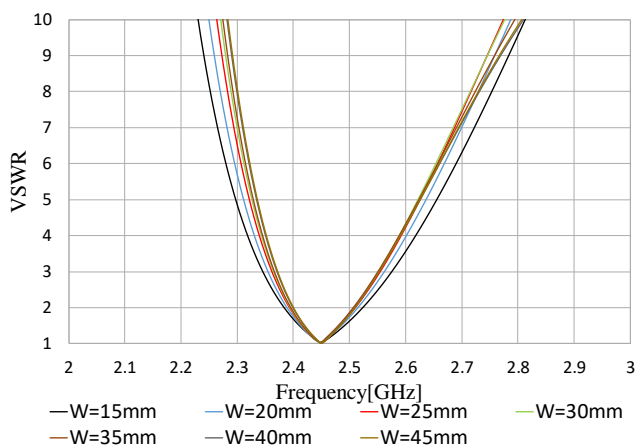


図3 基板縦幅  $W$  を変更した場合の VSWR 特性(自由空間)

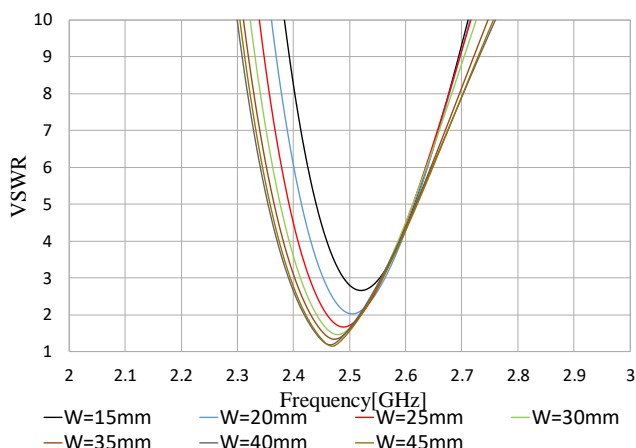


図4 基板縦幅  $W$  を変更した場合の VSWR 特性(金属上)

## 3. 金属上での動作の改善

### 3.1. 基板縦幅 $W$ とグリッド縦幅 $gw$ の変更

従来の基本型では，自由空間と金属上での VSWR 特性は約 50MHz の周波数シフトが生じていた．また 2 章 2 節より，基板縦幅  $W$  が金属上での VSWR 特性に影響を与えていることがわかる．以上のことから，基本型の金属上での動作を改善するために②Grid plate の縦幅を固定して基板縦幅  $W$  を変更することで，自由空間と金属上での特性を比較する．

図5に基板縦幅  $W$  とグリッド縦幅  $gw$  を変更したモデル図を示す．②Grid plate の縦幅をグリッド縦幅  $gw$  とする．本検討では， $gw$  を 30mm に固定して  $W$  を変化させて自由空間で整合を行い．その後金属上での特性と比較を行う．VSWR の中心周波数が，自由空間と金属上でどの程度シフトしたかを比較する．また VSWR=3 以下の比帯域幅の変化の比較も行う．中心周波数のシフトと比帯域幅の変化を比べて，金属上にお

ける周波数シフトが最も小さくなおかつ比帯域幅が一番広い W の検討を行う。

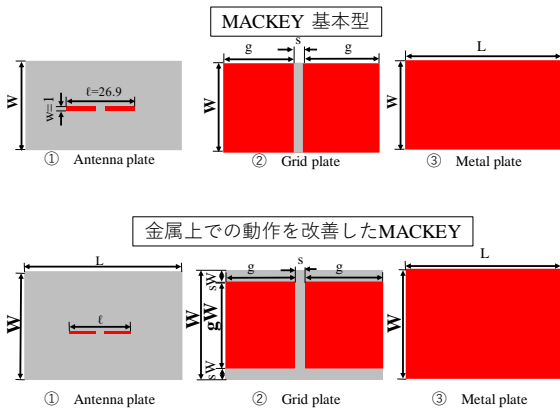


図 5 基本型と検討モデルのモデル図

### 3.2. 検討方法

解析には有限要素法による電磁界シミュレーター (ANSYS 社, HFSS) を用いる。2GHz から 3GHz まで 5MHz 刻みで解析を行い、自由空間で 2.45GHz における VSWR の値が 1.05 以下になるように整合を行う。その際最も VSWR の値が小さい点と、その両隣±5MHz の 2 点の合計 3 点を使用して二次関数の近似曲線を計算する。その近似曲線の極小値 (VSWR の値が一番小さい点) の周波数を中心周波数とする。自由空間と金属上の中心周波数から周波数シフトを計算して、そのシフトした値が自由空間の中心周波数で規格化して比較を行う。

VSWR=3 以下の比帯域幅は、中心周波数の場合と同様に 3 点を抽出して二次関数の近似曲線を計算する。3 点は VSWR の値が最も 3 に近い点と、その両隣±5MHz の 2 点を使用する。この近似曲線から VSWR=3 の 2 点を計算して、その周波数を用いて比帯域幅を計算する。

自由空間に対する金属上での周波数シフトが最も小さく、比帯域幅が最も広がる W をを見つけるために動作帯域の比較を行う。金属上の比帯域幅[%]から周波数シフト[%]を減算した値を動作帯域[%]と定義して比較を行う。動作帯域の値が最も大きい W が、金属上での周波数シフトが小さく、比帯域幅が広い W の寸法となる。上記の W の値を求めて MACKEY の作成を行い解析値と測定値の比較を行う。

## 4. 検討モデルの解析

### 4.1. gW20 の場合に W を変更

図 6 に gW=30mm と固定して、W を 30mm から 40mm まで変更して自由空間で整合を行った際の VSWR 特性を示す。また図 7 に金属上での VSWR 特性を示す。図 8 に自由空間と金属上における、VSWR=3 以下の比帯域幅の変化のグラフを示す。

図 8 より、自由空間と金属上共に W=30mm の場合において帯域が最も広く、W が大きくなるにつれて狭帯域となっている。上記の特性は 2 章 2 節より、基本型の W と gW を同時に変更した場合と同様の変化をしている。

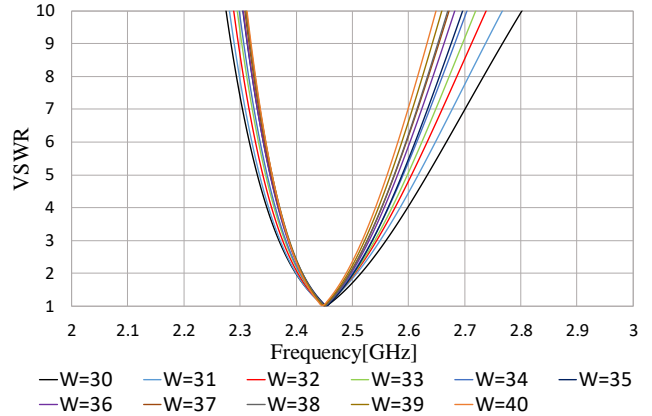


図 6 基板縦幅 W を変更した場合の VSWR 特性(自由空間)

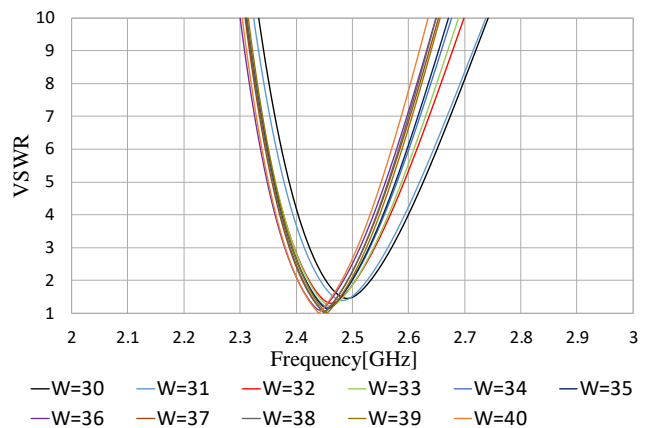


図 7 基板縦幅 W を変更した場合の VSWR 特性(金属上)

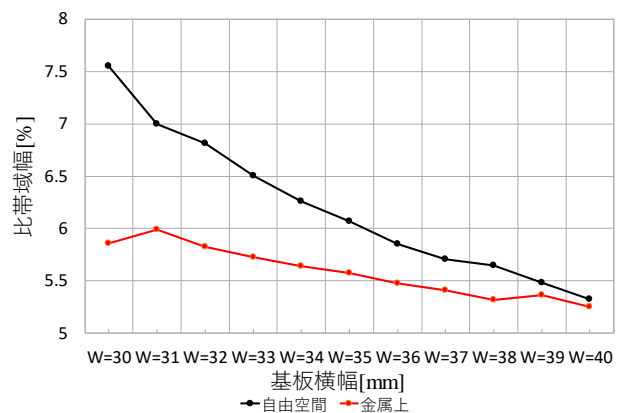


図 8 基板縦幅 W を変更した場合の比帯域幅

## 4.2. 金属上での周波数シフト

図 9 に自由空間に対する金属上での中心周波数のシフトをまとめたグラフを示す。W が 35mm~38mm において、周波数シフトが 0.1%以下になっていることから金属上での影響が最も小さくなることがわかる。W が 30mm~34mm の間で変化すると周波数シフトが小さくなっていき、35mm~38mm で最も小さくなり、それ以降はまた周波数シフトが大きくなっている。以上のことから、グリッド縦幅  $gW$  に対して金属上での影響が最も少なくなる一定の基板縦幅  $W$  が存在することがわかる。

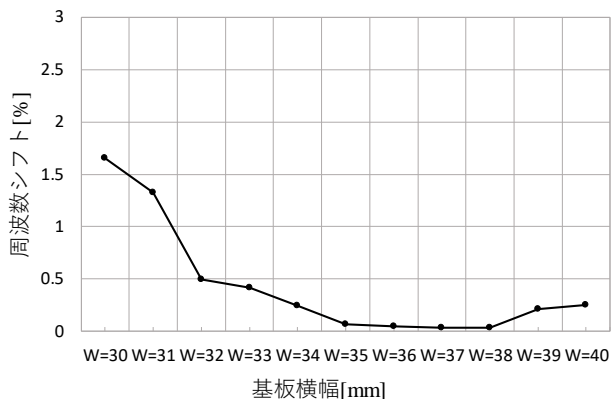


図 9 自由空間と金属上における周波数シフト

## 4.3. 動作帯域の比較

図 10 に動作帯域のグラフを示す。図 10 より W が 32mm 以上の場合は動作帯域が 5%以上となることから、周波数シフトが小さく、比帯域幅が広がっていることがわかる。その中で W=35mm の場合において、動作帯域が最も大きくなっていることから、金属上における周波数シフトが最も小さく、なおかつ比帯域幅が一番広い基板縦幅  $W$  の値ということがわかる。

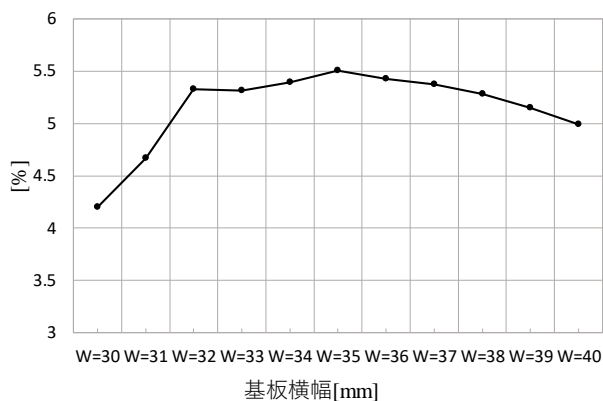


図 10 基板縦幅  $W$  を変更した場合の動作帯域

## 5. 測定結果との比較

図 11 に基板縦幅  $W=35\text{mm}$  のモデル図を示す。図 12 に  $W=35\text{mm}$  の自由空間と金属上における VSWR 特性の解析結果と測定結果の比較を示す。図 12 より、解析

結果と測定結果共に、自由空間と金属上において周波数シフトが極めて小さいことから金属上での動作を改善したモデルだということがわかる。

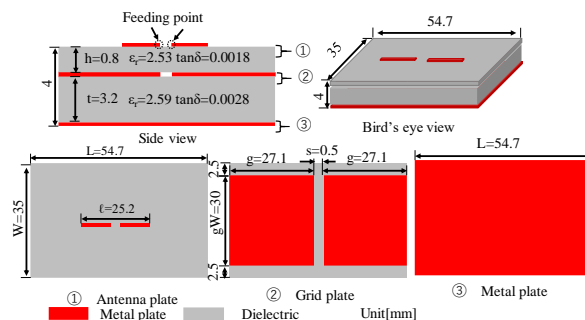


図 11  $W=35$  のモデル図

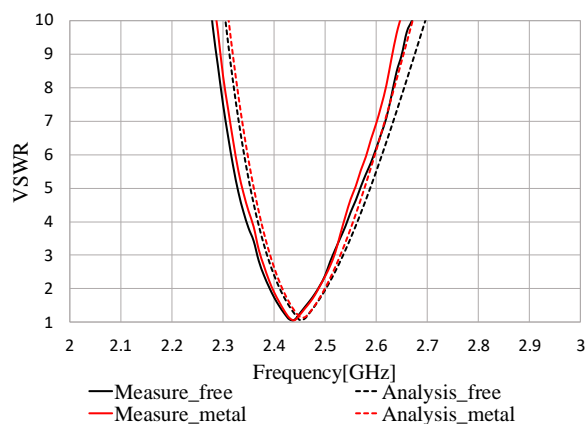


図 12  $W=35$  モデルの測定値と解析値の比較

## 6. まとめ

本検討では、自由空間と金属上において中心周波数のシフトと比帯域幅の変化の比較を行い、周波数シフトが最も小さく、なおかつ比帯域幅が一番広い  $W$  の検討を行った。グリッド縦幅  $gW=30\text{mm}$  の場合、基板縦幅  $W=35\text{mm}$  の時に金属上での影響が小さく、なおかつ比帯域幅が一番広くなることを示した。

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.