

複数のスリットを設けた構造により小型化した MACKEY M 型の研究

袴田 幸汰^{††} 宮下 圭介[†] 横江慧人[†] 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 : [†] b1745887@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。この研究の目的は、RFID タグのアンテナをカードサイズにまで小型化することである。しかし、従来の MACKEY には、設計周波数において MACKEY の幅 L を $\lambda/2$ にする必要があるという問題があった。そこで、920MHz 帯の MACKEYII をカードサイズに小型化する方法を提案する。それが、狭い範囲で電気の通り道を確保できる「MACKEY M タイプ」である。M タイプは、格子板の長辺に沿ってスリットを入れることで、電気の通り道を蛇行させて伸ばすことができる。物理的に幅 L を小さくしても、電気的には $\lambda/2$ 以上の経路を確保することができる。パラメトリックスタディを行い、目標を実現した。

キーワード MACKEY, RFID-920MHz, AMC 基板

Research on a MACKEY type M miniaturized by multiple slits

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

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

E-mail : [†] b1745887@planet.kanazawa-it.ac.jp, [‡] makino@neptune.kanazawa-it.ac.jp

Abstract: A functional small antenna “MACKEY” basic type operates not only in free space but also on metal. The goal of this research is to develop the RFID tags antenna downsized to card size. However, the conventional MACKEY has a problem that width “L” of MACKEY needs to be $\lambda/2$ at the design frequency. The RFID tags antenna is used 920MHz band, and MACKEYII’s “L” of 920 MHz band is 190mm. We propose a way to reduce the size of MACKEYII of 920 MHz band into card size. That is “MACKEY type M” that can secure the path of electricity in a small area. Type M can be extended the path of electricity in a meandered manner, by cutting slits along the long side of the grid plate. The path of electricity will ensure $\lambda/2$ or more electrically even if width “L” is reduced physically. We did a parametric study and realized our goals.

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)が考案されている[1]。従来の検討では Wi-Fi の 2GHz 帯に着目していたが、

無線化に伴い、一般に用いられている RFID の 920MHz 帯(910-930MHz, 比帯域幅: 0.86%) の使用帯域を満たすことが必要だと考えた。しかし 920MHz で使用する場合、周波数が低いため波長が伸びることでアンテナのサイズは大きくなってしまふ。そこで、この MACKEY の小型化、薄型化が研究目的となる。

本報告では、920MHz 帯 MACKEY II[2]の小型化(80[mm]×50[mm]のカードサイズ)を目的とする。スリットを増やすことでさらなる小型化を目的とした MACKEY M 型(Multiple slits type)について検討する。

2. 従来の MACKEY II

図 1 に MACKEY II のモデル図、表 1 に MACKEY II の設計パラメータを示す。図 1 より MACKEY II は上から順に①グリッド板、②アンテナ板、③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. MACKEY II ではアンテナ板を AMC 基板内に入れて薄型化したモデル[2]であるため, はアンテナ板で直接給電を行うことができない. そのため, スルーホールによって金属裏面から背面給電を可能としている. MACKEY II 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 2mm, 縦幅 50mm, 横幅 196.2mm 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 の解析結果より, MACKEY II は VSWR が 3 未満において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, 比帯域幅は自由空間では 2.50%, 金属上では 1.13% となっており, RFID の使用帯域を満たしていることがわかる. しかし, MACKEY II のモデル横幅は 196.2mm であり, 基板が大きくなるのが問題点である. そこで, 920MHz 帯 MACKEY II の小型化を目的として新モデルの検討を行った.

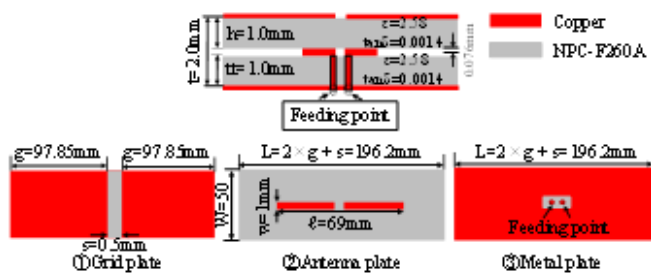


図1 MACKEY II モデル図

表 1 MACKEY II の設計パラメータ

アンテナ長: l	69
グリッド幅: g	97.85
基板横幅: L	196.2
基板縦幅: W	50.0
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	1.0
AMC 基板厚: t	2.0

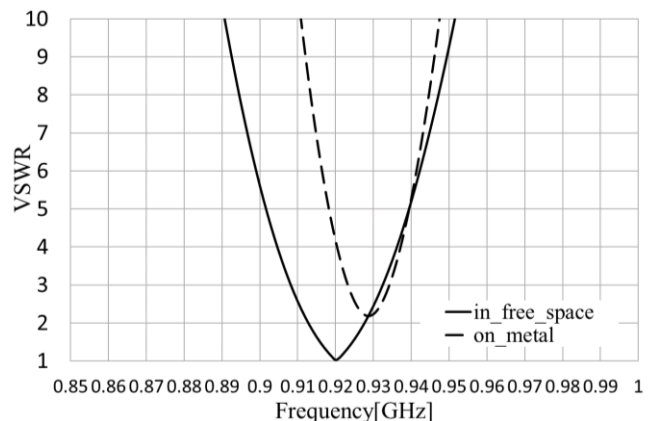


図2 MACKEY II の VSWR 特性

3. MACKEY II を小型化した M 型の検討

3.1. 小型化のアイデア

従来の MACKEY II では, 設計周波数によって横幅 "L" の長さが $\lambda/2$ 必要となる. そのため 920 MHz 帯 MACKEY II では, 2 章で述べたように基板横幅 L が 196.2mm となり, サイズが大きくなる問題点がある. そこで, MACKEY II の①グリッド板にスリットを入れることで, L を短くしても $\lambda/2$ 以上の電流経路が確保でき, MACKEY II を小型化できると考えた. 図 2 に示すように, ①グリッド板の長辺に沿ってスリットを入れることで, 青線で示した電流経路がメアンダ状に延長される. これにより物理的に横幅 L を縮小しても, 電氣的に $\lambda/2$ 以上の電流経路を確保することができる. この構造を利用して設計した MACKEY II を MACKEY II M 型 (Multiple-slits type) とする.

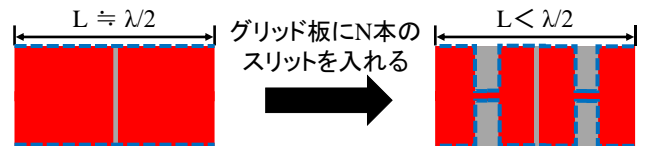


図3 小型化のアイデア

3.2. M 型の構造

本章では, 3.1 節で提案したグリッド板の構造をもとに, マルチスリット構造の検討を行う. 図 4 に MACKEY II M 型(以下, M 型) のモデル図を示す. 積層構造は MACKEY II と同様である. M 型が MACKEY II と異なる点は真ん中のスリットに加え, 多数のスリットを入れた構造となっている. 解析上ではアンテナ間に直接給電を行っている. AMC 基板厚 t は 2.0mm でありアンテナ基板厚 h は 1mm である. また, 本報告では, カードサイズを目的としているため, 基板横幅 $L=80\text{mm}$, 縦幅 $W=50\text{mm}$ で固定している. スリット本数を N としたとき, 基板横幅 L と各設計パラメータを関係式で表したものを式(1)に示す.

$$L = \frac{N}{2} \times tg + \left(\frac{N}{2} + 2\right) \times gm + s \quad (1)$$

(1)式から, 基板横幅 L とスリット本数 N を特定の値に固定したときに①グリッド板における赤色の幅で示した金属幅 gm を決めることで灰色の幅で示した誘電体幅 tg を求めることができる.

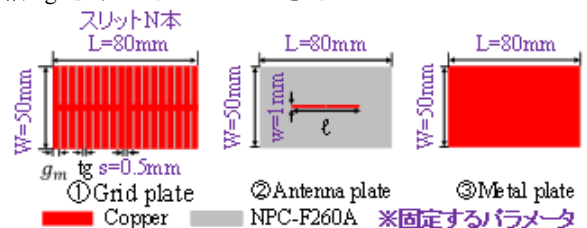


図4 MACKEY II M 型モデル図

3.3. M 型のスリット本数 N と金属幅 g_m の関係

M 型のスリット本数を 24 本から 72 本まで 8 本刻みで増やし、それぞれ金属幅 g_m を変化させて解析を行う。この際、スリット間隔幅 hg は 4mm、アンテナ長 l は 40mm で統一する。例として図 5 にスリット 24 本のモデルでのグリッド板の変化を示す。金属幅 g_m が増加することにより誘電体幅 tg が狭くなっていることがわかる。この際、基板横幅 L が 80mm で固定されているため、金属幅 g_m の値には上限がある。そのため、スリット本数別に横軸 g_m の変化量が異なる。インピーダンス特性の実部が 50Ω となる周波数の結果をプロットしたものを図 6 に示す。図 6 より、スリット本数が 24 本、32 本、40 本のモデルにおいて金属幅 g_m の変化によって共振周波数の値は U の字型に変化した。また、他のモデルでも金属幅 g_m をきわめて細くした場合同じ傾向が現れると考えられる。これより、金属幅 g_m の値によって設計周波数に対して整合を取ることができるモデルのパターンが二通りあることが分かる。また、図中黒丸で示したようにスリット本数の多いモデルほど共振周波数の最低値が低くなっている。同じモデルサイズでも低い周波数で動作することから、共振周波数の最も低い部分を設計周波数として設計パラメータを調整すれば、更なる小型化への可能性があると考えられる。4 章では、図中赤丸で示したインピーダンス実部が 50Ω に近いスリット 32 本とスリット 48 本のモデルについて整合を行い解析結果を MACKEY II と比較する。

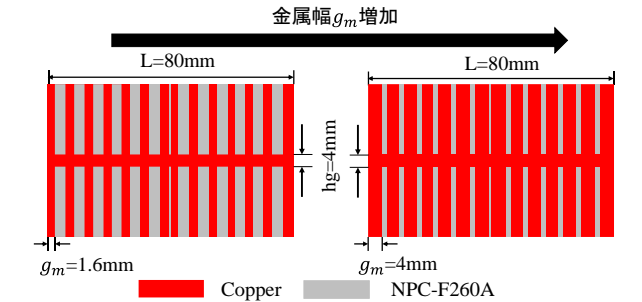


図5 スリット 24 本モデルにおける金属幅 g_m の変化

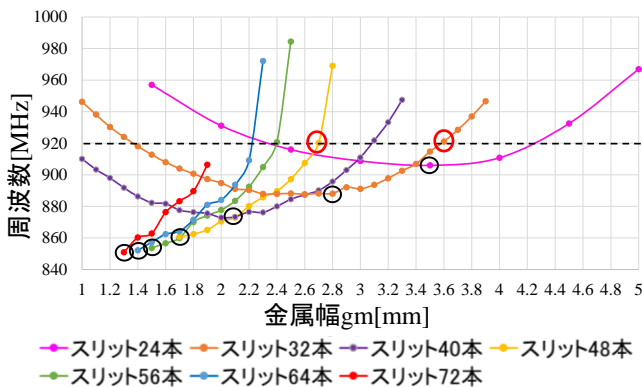


図6 各モデルの金属幅 g_m と共振周波数の関係

4. M 型の解析結果

4 章では 3 章の図 6 中の赤丸で示したスリット 32 本 ($g_m=3.58\text{mm}$) とスリット 48 本 ($g_m=2.70$) のモデルにおける金属幅 g_m で解析を行った。

図 7 に M 型スリット 32 本の解析モデル図を示し、図 8 に M 型スリット 48 本の解析モデル図を示す。M 型の 2 つのモデルについて、積層構造は MACKEY II と同じく全厚 $t=2.0\text{mm}$ 、アンテナ位置 $h=1.0\text{mm}$ とした。また、金属幅 g_m とアンテナ長 l を変化させて整合を行った。解析を行う際アンテナ間に直接給電を行っている。モデルサイズを比較すると、MACKEY II より基板横幅 L は 196.2mm から 116.2mm 短縮した 80mm となり、約 40% に小型化している。図 9 に自由空間の VSWR 特性、図 10 に金属上の VSWR 特性、表 2 に自由空間と金属上での比帯域幅の比較を示す。図 11 に自由空間と金属上の放射パターンを示し、放射パターンをみた VSWR が最も低くなる周波数を表 3 に示す。また、表 4 に正面方向の利得の比較を示す。

図 9、図 10 および表 2 より MACKEY II と比較して M 型は狭帯域となった。また、図 10 より、金属上において MACKEY II は高周波側にシフトしたのに対して M 型は低周波側にシフトした。M 型のみで比較をすると、自由空間と金属上において M 型スリット 48 本のモデルが 32 本のモデルよりも僅かに比帯域幅が広がったが、自由空間と金属上においてスリット本数が変わっても帯域幅に大きな変化は見られなかった。図 11 および表 4 より M 型は MACKEY II よりも正面方向の利得が低くなり、スリット本数が多いほど低利得になった。

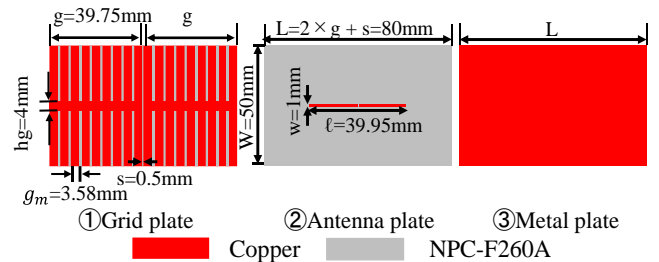


図7 M 型スリット 32 本解析モデル図

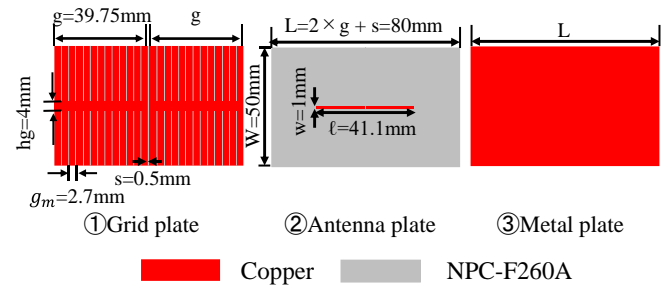
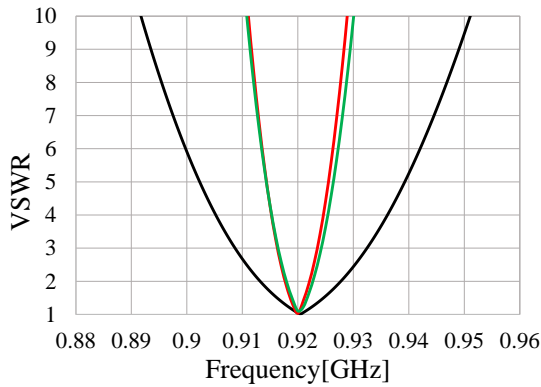
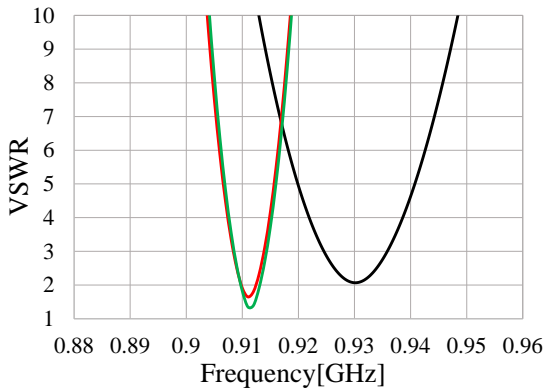


図8 M 型スリット 48 本解析モデル図



—MACKEY II —M型_32本 —M型_48本
図9 VSWR 特性解析値(自由空間)



—MACKEY II —M型_32本 —M型_48本
図10 VSWR 特性解析値(金属上)

表2 各モデルの比帯域幅(解析値)

比帯域幅	M型 32本	M型 48本	MACKEY II
自由空間[%]	0.65	0.76	2.50
金属上[%]	0.44	0.55	1.13

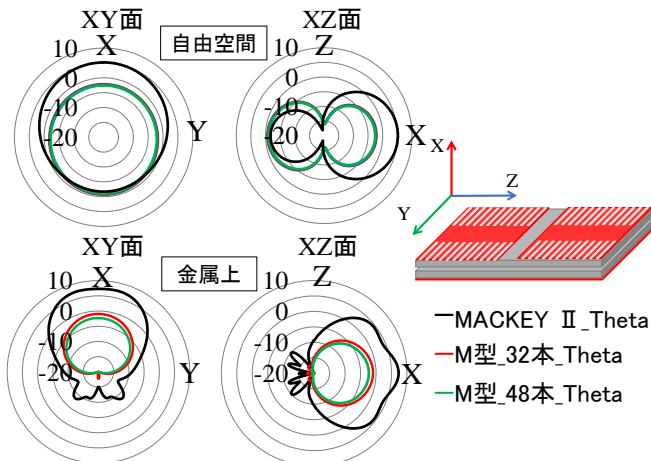


図11 放射パターン解析値

表3 放射パターンをみた周波数 [GHz]

	自由空間	金属上
M型32本	0.92	0.91
M型48本	0.92	0.91
MACKEY II	0.92	0.93

表4 各モデルの利得比較(解析値)

正面方向の利得	M型 32本	M型 48本	MACKEY II
自由空間[dBi]	-2.15	-2.56	5.18
金属上[dBi]	-0.97	-2.32	7.29

5. M型の測定結果

5章では、試作したM型スリット32本とスリット48本について検討する。図12にM型スリット32本の試作モデルを示し、図13にM型スリット48本の試作モデル図を示す。解析モデルとの相違点は2点あり、1点目は、解析では、②アンテナ板で直接給電を行ったが、試作モデルでは、スルーホールを用いて背面給電したこと、2点目は、②アンテナ板の上部に prepreg で接着したこと、である。その他は解析モデルと同様である。モデルサイズを比較すると、MACKEY IIより基板横幅Lは196.2mmから116.2mm短縮した80mmとなり、約40%に小型化している。測定結果は5.1節で測定結果と解析結果の比較、5.2節でMACKEY IIとM型の測定結果の比較、の2節に分けて報告する。

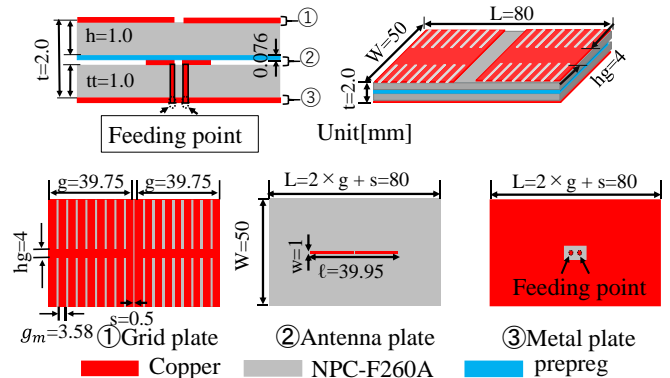


図12 M型スリット32本試作モデル図

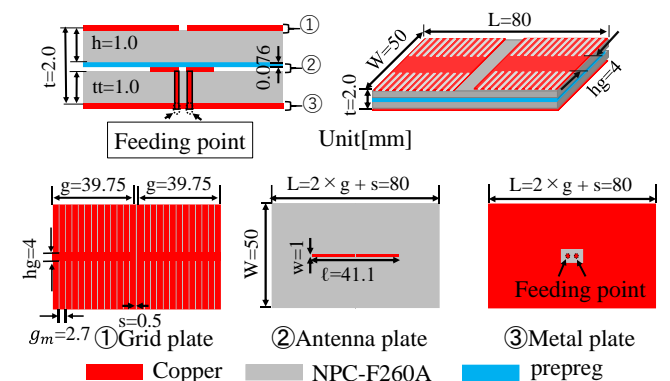


図13 M型スリット48本試作モデル図

5.1. 測定結果と解析結果の比較

まず、M型スリット32本の測定結果と解析結果の比較する。図14にVSWR特性、図15に放射パターン、表5に比帯域幅比較と正面方向の利得の比較を示す。図14および表5より、自由空間と金属上ともに測

定結果は解析結果に対して低周波側にシフトし、比帯域幅は若干広くなった。測定結果と解析結果が一致しなかったのは、解析では **prepreg** を考慮しなかったことや給電にスルーホールを用いて給電をせず図 12 の②アンテナ板で直接給電したことが原因として考えられる。また、図 15 および表 5 より測定結果と解析結果の放射パターンは概ね一致した。しかし、測定結果の正面方向の利得は、解析結果よりも低くなった。

次に、M 型スリット 48 本の測定結果と解析結果の比較する。図 16 に VSWR 特性、図 17 に放射パターン、表 6 に比帯域幅比較と正面方向の利得の比較を示す。図 16 および表 6 より、自由空間と金属上ともに測定結果は解析結果に対して低周波側にシフトし、比帯域幅は若干広くなった。測定結果と解析結果が一致しなかったのは、スリット 32 本と同様に解析では **prepreg** やスルーホールを考慮しなかったことが原因として考えられる。また、図 17 および表 6 より測定結果と解析結果の放射パターンは概ね一致した。しかし、測定結果の正面方向の利得は、解析結果よりも低くなった。

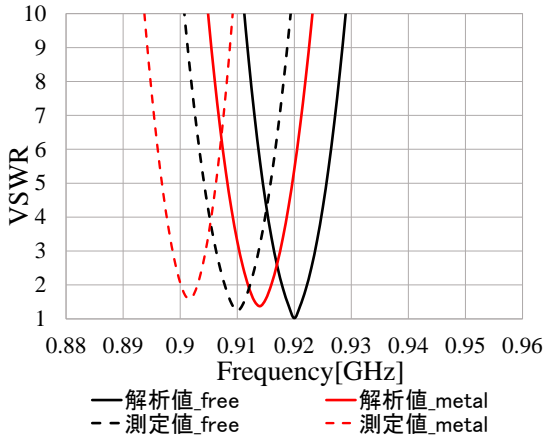


図 14 M 型スリット 32 本 VSWR 特性比較

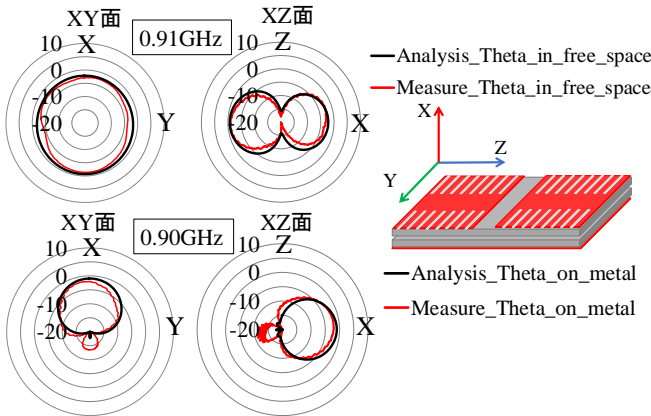


図 15 M 型スリット 32 本放射パターン特性比較

表 5 M 型スリット 32 本比帯域幅と正面方向利得

	自由空間 (解析値)	自由空間 (測定値)	金属上 (解析値)	金属上 (測定値)
比帯域幅[%]	0.65	0.66	0.55	0.56
正面方向の利得[dBi]	-2.15	-2.99	-0.97	-2.04

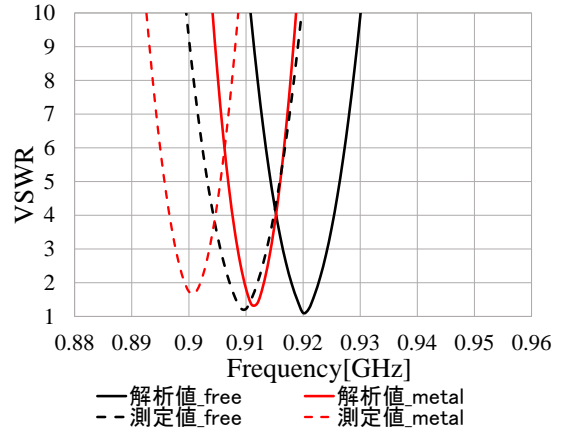


図 16 M 型スリット 48 本 VSWR 特性比較

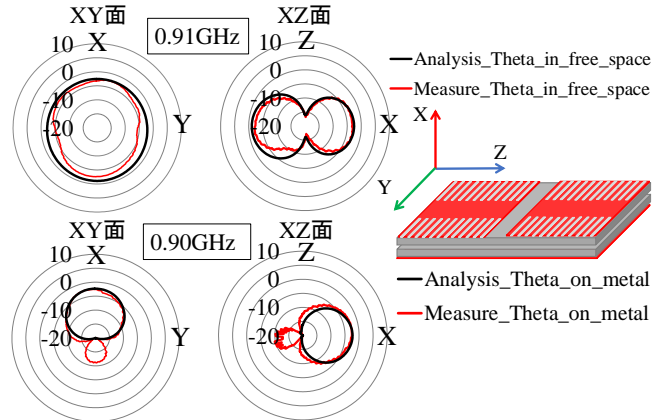


図 17 M 型スリット 48 本放射パターン特性比較

表 6 M 型スリット 48 本比帯域幅と正面方向利得

	自由空間 (解析値)	自由空間 (測定値)	金属上 (解析値)	金属上 (測定値)
比帯域幅[%]	0.76	0.77	0.55	0.56
正面方向の利得[dBi]	-2.56	-3.25	-2.32	-2.57

5.2. MACKEY II と M 型の測定結果比較

図 18 に自由空間の VSWR 特性、図 19 に金属上の VSWR 特性、表 7 に自由空間と金属上での比帯域幅の比較を示す。図 20 に自由空間と金属上の放射パターンを示し、放射パターンをみた VSWR が最も低くなる周波数を表 8 に示す。また、表 9 に正面方向の利得の比較を示す。図 18、図 19 および表 7 より MACKEY II と比較して M 型は狭帯域となった。また、図 10 より、金属上において MACKEY II は高周波側にシフトしたのに対して M 型は低周波側にシフトした。M 型のみで比較をすると、自由空間と金属上において M 型スリット 48 本のモデルが 32 本のモデルよりも僅かに比帯域幅が広がったが、自由空間と金属上においてスリット本数が変わっても帯域幅に大きな変化は見られなかった。図 20 および表 9 より M 型は MACKEY II よりも正面方向の利得が低くなり、スリット本数が多いほど低利得になった。これらの結果は解析結果と同様の傾向であった。

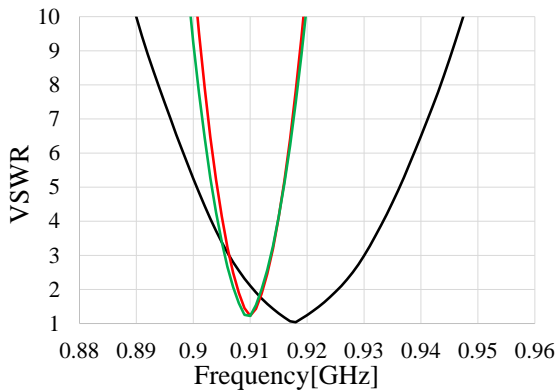


図18 VSWR 特性測定値(自由空間)

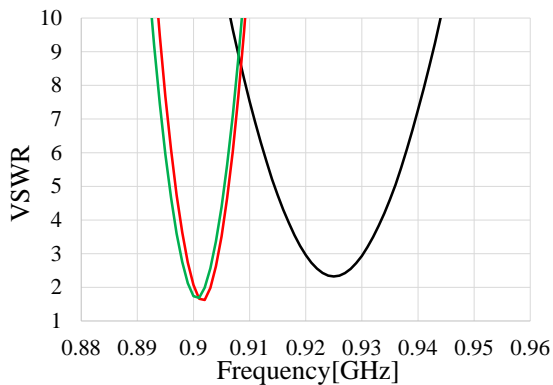


図19 VSWR 特性測定値(金属上)

表7 各モデルの比帯域幅(測定値)

比帯域幅	M型 32本	M型 48本	MACKEY II
自由空間[%]	0.66	0.77	2.50
金属上[%]	0.56	0.56	0.77

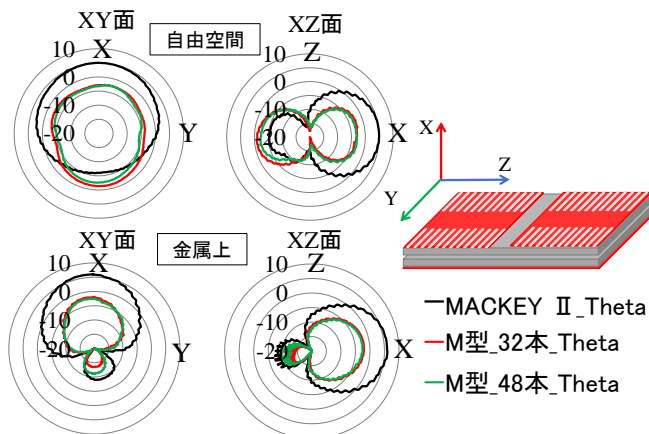


図1 放射パターン測定値

表8 放射パターンをみた周波数[GHz]

	自由空間	金属上
M型32本	0.91	0.90
M型48本	0.91	0.90
MACKEY II	0.92	0.91

表9 各モデルの利得比較(測定値)

正面方向の利得	M型 32本	M型 48本	MACKEY II
自由空間[dBi]	-2.99	-3.25	4.99
金属上[dBi]	-2.04	-2.57	5.96

6. まとめ

920MHz帯 MACKEY の小型化を目的として、グリッド板にスリットを入れることで、電流経路を長くし小型化した MACKEY M 型を提案した。提案した M 型は MACKEY II と比較すると 80mm×50mm のカードサイズに小型化を実現した。基板横幅 L の値を固定したうえで、グリッド板のスリット構造についてパラメトリックスタディを行うことにより、更なるアンテナの小型化が可能であることを示した。また、パラメトリックスタディより抜き出した M 型スリット 32 本と 48 本のモデルと MACKEY II の解析値を比較することで測定モデル検討を行った、二つのモデルサイズは MACKEY II の約 40% となり、MACKEY II よりも小型化できたが狭帯域かつ低利得であった。また、M 型スリット 32 本のほうが 48 本と比べて高利得になった。よって、スリット本数が少ないモデルの方が高利得になることを示した。測定結果では試作したモデルの測定値はいずれのモデルも解析値に対して低周波側にシフトした。また、解析結果と同様に M 型は MACKEY II よりも正面方向の利得が低くなり、スリット本数が多いほど低利得になった。

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] 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.