

# 携帯電話基地局用多周波共用広帯域テーパスロットアンテナの実験的検討

大坂 久登 1, 伊藤 和也 2, 陳 強 1,2 (1 東北大学工学部, 2 東北大学大学院工学研究科),  
井上 真豪 (日立国際八木ソリューションズ (株) 製品設計本部)

**概要:** 携帯電話基地局アンテナの設置スペースを削減するためには、多周波共用アンテナ技術が有効であり、これまで筆者らはテーパスロットアンテナ (Tapered Slot Antenna, TSA) を用いて 1.5 GHz, 2 GHz 及び 2.4GHz 帯を共用可能な基地局用アンテナを提案し、数値解析により設計を行ってきた。本報告では、提案するアンテナを試作してアンテナの特性を実験的に検討した結果を述べるとともに、製作方法について詳細に検討した結果を述べる。

**キーワード:** 基地局アンテナ, テーパスロットアンテナ, 多周波共用アンテナ。

## 1. まえがき

近年の移動通信では、高速化のための移動通信システムの開発が絶え間なく行われてきており、それに伴い移動通信サービスの多帯域化が進んでいる。一方で、市街地においては基地局アンテナの設置空間がひっ迫しており、設置するアンテナを小型化することが求められている。また、基地局は鉄塔上、ビルの屋上などの場所に建設されるため、景観や耐風圧荷重の観点でも基地局アンテナの小型化は重要である。

このような小型化の要求に応えるため、複数の周波数帯を 1 本のアンテナでカバーできる多周波共用アンテナを利用することが有効である。多周波共用アンテナの設計手法としては、所望の周波数帯の数に対応する多素子構造を用いる方法が一般的であり、これまで、0.9/1.5 GHz 帯用ダイポール素子と 2 GHz 帯用ダイポール素子のそれぞれに無給電素子を取り付けた 3 周波共用基地局アンテナ、1 本の放射素子の近傍に複数の無給電素子を配置した 3 周波共用基地局アンテナが提案されている [1]。しかしながら、これらの手法は周波数帯ごとにアンテナ素子あるいは無給電素子を用意し、多共振により多周波共用を実現する手法であるため、限られたアンテナの設置空間に各周波数帯で動作するアンテナ

を配置することになり、各周波数帯の素子間相互結合が大きくなる問題がある。更に、次世代移動通信システムの進展とともに、基地局アンテナにはさらに多くの周波数帯をカバーすることが求められるようになり、多素子構造を用いる手法では設計が困難になってくるものと考えられる。

これらの問題を解決する方法としては、基地局アンテナ素子として広帯域アンテナを使用し、アンテナ素子の広帯域性を利用して複数の周波数帯をカバーする方法が有効と考えられる。

そこで筆者らは、広帯域アンテナ素子のひとつであるテーパスロットアンテナ (Tapered Slot Antenna; TSA) に着目し、TSA を用いて 3 周波共用基地局アンテナ素子を実現することを目標として研究開発を進めてきた。TSA は薄型軽量、低コスト、量産が容易といった特徴を持つ広帯域アンテナとして知られており、多周波共用基地局アンテナ用素子として有望と考えられる。

これまでに TSA を用いて 1.5 GHz, 2 GHz 及び 2.4GHz 帯を共用可能な基地局用アンテナを提案し、数値解析により設計を行った [2]。アンテナは既存の携帯電話基地局で使用されている直径 200 mm の筒状レドーム構造の中に配置可能な寸法を有しており、アンテナは主に TSA と反射板で構成されている。所望のアンテナ特性として、1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯の 3 帯域においてアンテナのリターンロスが小さいこと、水平面内における放射パターン半値幅が  $50^\circ$  から  $70^\circ$  程度の値を有すること等が挙げられる。しかしながら、TSA のアンテナ平面は反射板の平面に対して垂直な構造を持っているため、垂直な平面導体間を電氣的に接続する必要がある等の課題があった。

本報告では、1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯において動作する 3 周波共用 TSA を試作してアンテナの特性を実験的に検討した結果を述べるとともに、製作方法について詳細に検討した結果を述べる。

## 2. TSA の構造

図1及び表1に、携帯電話基地局用 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯共用 TSA の構造及び構造パラメータを示す。アンテナは TSA の後方に反射板が配置された構造を持っている。既存の携帯電話基地局に内蔵するためには内径 200mm の円筒状レドームに収納する必要があるため、アンテナの設計はレドームのサイズ制限による制約を受ける。そこで、レドーム内の空間をできる限り有効に利用するため、TSA の形状をレドームに合わせて半径  $R_x, R_y$  の楕円形とした。TSA のテーパ部分は開口幅を  $W$  とし、テーパ部分の形状を指数関数形状としている。この指数関数の形状  $f(x)$  はテーパの始点座標  $(x_1, y_1)$ 、及び終点座標  $(x_2, y_2)$  を用いて次の式で表現される。

$$f(x) = c_1 \exp(R_z) + c_2 \quad (1)$$

ここで、

$$c_1 = \frac{y_2 - y_1}{e^{Rx_2} - e^{Rx_1}} \quad (2)$$

$$c_2 = \frac{y_2 e^{Rx_2} - y_1 e^{Rx_1}}{e^{Rx_2} - e^{Rx_1}} \quad (3)$$

である。 $R$  は開口比を表し、指数関数の急峻さを表すパラメータである。 $R$  が大きいほどテーパ部分は急峻なカーブを描く。

TSA の両端部には 2 対のスリットを設けており、これにより不要な方向への放射の低減、及び所望の半値幅および前後比を満足する等のビーム形状の設計が可能であることを既に報告している[3]。2 対のスリットの TSA 後端からの距離をそれぞれ

$x_{slit1}, x_{slit2}$  とし、スリットの深さを  $l_{slit1}, l_{slit2}$  とする。

給電部は厚さ  $t$ 、比誘電率  $\epsilon_r$  の誘電体基板であり、マイクロストリップ線路(Micro Strip Line; MSL)とスロット線路の電磁結合給電により TSA のスロットを励振する給電構造を持っている。給電部後方は幅  $w_s$ 、長さ  $l_s$  のスロット線路としており、スロットの終端は省スペース化のために反射板に直接短絡された構造を持っている。TSA 及び給電部の後方には、後方への放射を低減するために反射板が配置され、中央の主反射板および両側面の副反射板からなる構造としている。また、副反射板は 2 箇所折り曲げてレドームの形状に沿うように構成し、スペースの有効利用を図っている。主反射板の幅を  $w_{r1}$  とし、2 つの副反射板幅をそれぞれ  $w_{r2}$  及び  $w_{r3}$ 、2 つの副

反射板の開き角をそれぞれ  $\alpha_1$  及び  $\alpha_2$  とした。

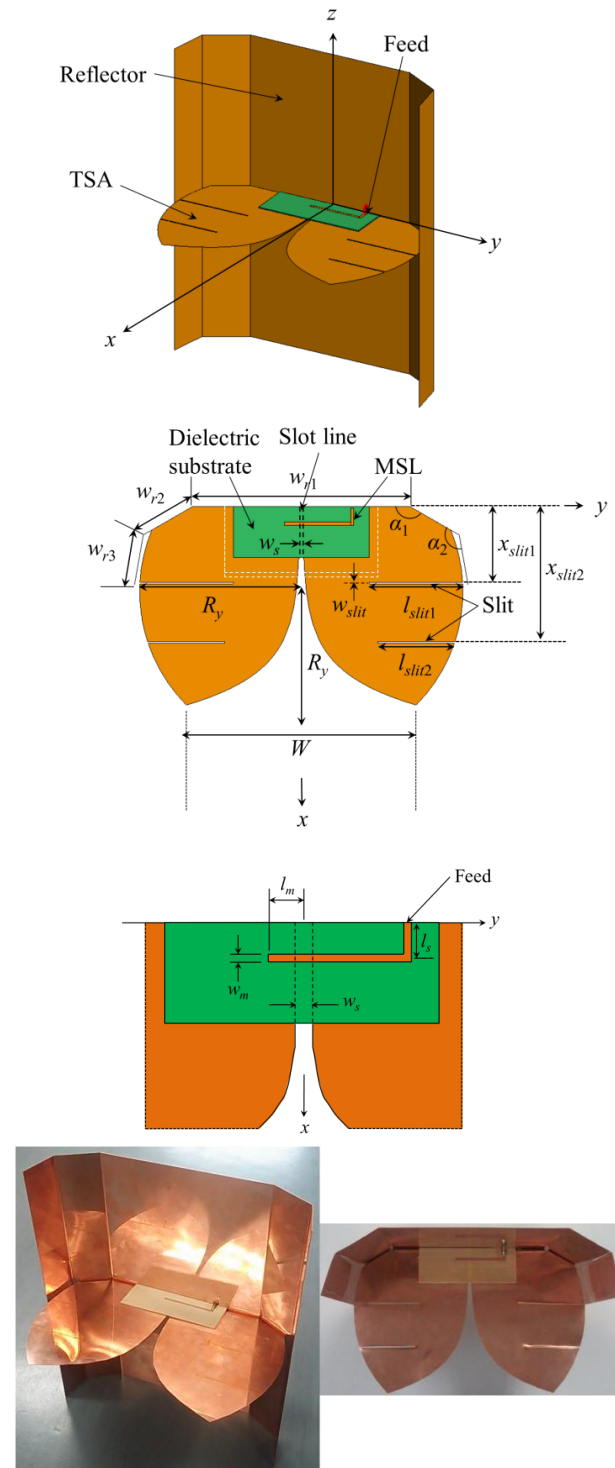


図 1: TSA の構造

表 1: TSA の構造パラメータ

$R_x$	95 mm	$\alpha_1$	150 deg.
$R_y$	85 mm	$\alpha_2$	130 deg.
$w_s$	0.6 mm	$w_{slit}$	1 mm
$W$	135 mm	$x_{slit 1}$	45 mm
$l_s$	10 mm	$x_{slit 2}$	80 mm
$w_{r1}$	128 mm	$l_{slit 1}$	55 mm
$w_{r2}$	33.3 mm	$l_{slit 2}$	45 mm
$w_{r3}$	30 mm	$w_m$	1.8 mm
$l_m$	10 mm	$t$	0.8mm
$\epsilon_r$	3.3		

数値シミュレーションには解析手法がモーメント法の電磁界解析ソフト FEKO (<https://www.feko.info/>) を用い、解析結果と測定結果を比較する。ここで、1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯共用 TSA の設計目標値を表 2 に示す。一般の基地局アンテナは 6 セクタ用であるため、水平面における半値幅の設計目標は 60° から 70° の範囲とする。また、前後比については、前方(0°)の放射と 180° ± 30° の範囲における最大放射との比として定義し、前後比の設計目標を 20dB 以上とする。TSA 素子は 1 素子で 1.5GHz, 2GHz, 2.4GHz 帯を共用するため、上記の目標値を 3 周波数帯すべてで同時に満たす必要がある。

表 2: アンテナ設計目標

Frequency Bands	1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz
Number of Sectors	6
Beamwidth	60-70 deg.
Front to Back Ratio	≥ 20dB

### 3. TSA と反射板の接続方法の検討

本構造は、TSA のアンテナ導体平面が反射板の平面に垂直に固定されている。しかしながら、実際には、TSA のアンテナ導体及び給電回路のグラウンド板を反射板に電氣的に接続することは容易ではない。最適な接続方法を検討するため、以下の 3 つのモデルについて検討した。それぞれのモデルを図 2、図 3、図 4 として示す。

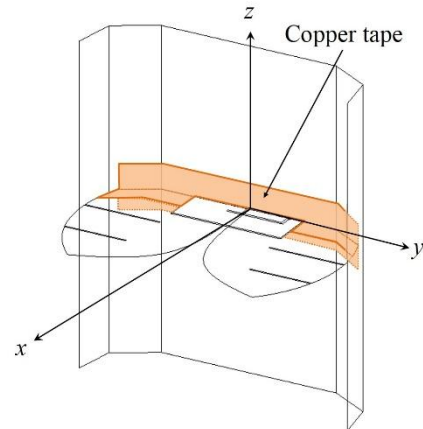


図 2: 銅テープ接続モデル

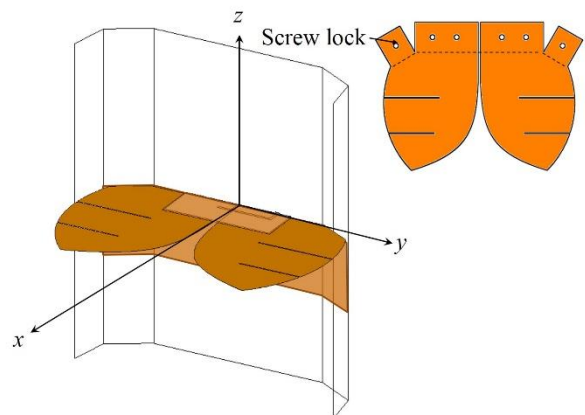


図 3: ネジ接続モデル

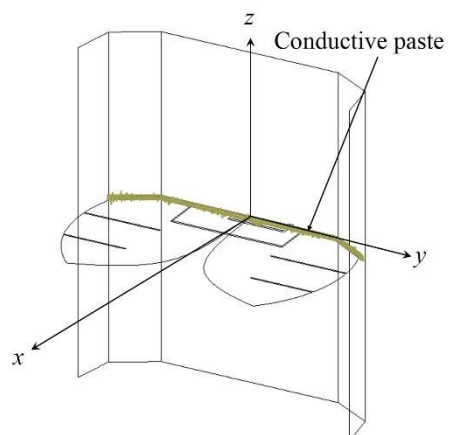


図 4: 導電性ペースト接続モデル

- 1) TSA のアンテナ導体と反射板を銅テープで接続したモデル (銅テープ接続モデル)
- 2) TSA のアンテナ導体に L 字形の接続面を設け、導体と反射板を絶縁体のネジで接続したモデル (ネジ接続モデル)
- 3) TSA のアンテナ導体と反射板を導電性のあるペーストで接続したモデル (導電性ペースト接続モデル)

それぞれのモデルの反射係数の測定結果を図 5 に示す。設計周波数である 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz の位置を破線で示している。測定結果より、銅テープ固定接続モデルは 2.4 GHz 帯においてのみ目標値である  $-10$  dB 以下の条件を満たしている。ネジ接続モデルはすべての周波数帯において目標値を満たしていない。一方、導電性ペースト接続モデルは 2 GHz 帯, 2.4 GHz 帯において目標値を満たしている。

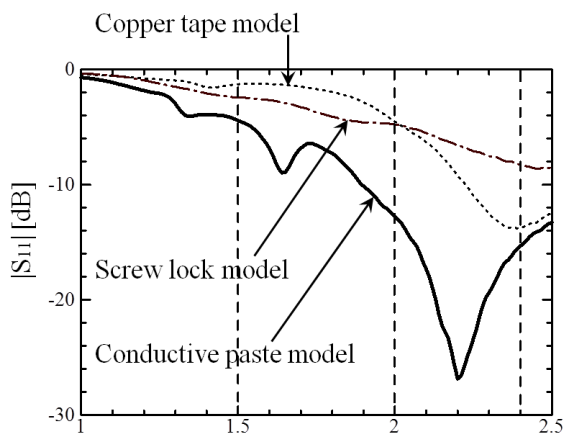


図 5: 各接続モデルの反射特性 (測定値)

次に、それぞれのモデルの 3 周波数帯における水平面指向性利得パターン (放射パターン) を、図 1 のモデルにおける数値シミュレーション結果と比較する。1.5/2/2.4 GHz における銅テープ接続モデル、ネジ接続モデル、導電性ペースト接続モデルの放射パターンをそれぞれ図 6, 図 7, 図 8 に、またそれぞれの半値幅および前後比についてまとめた結果を表 3 に示す。

銅テープ接続モデルの放射パターンにおいては、1.5 GHz 帯ではシミュレーション結果から大きなず

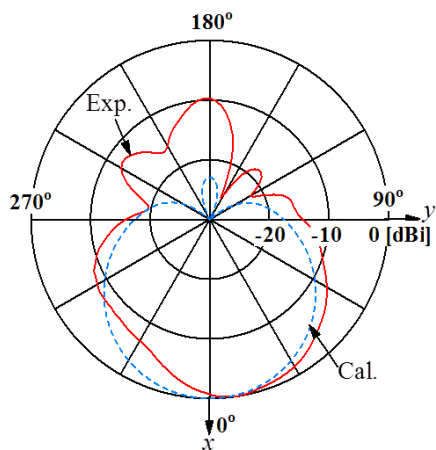
れが生じているものの、2 GHz 帯および 2.4 GHz 帯ではシミュレーション結果との違いはほぼ見られなかった。また、このときの半値幅はそれぞれの周波数帯において目標値とする範囲からの差が  $10^\circ$  以内に抑えられ、前後比は 2 GHz 帯および 2.4 GHz 帯においては目標値を満たしていることがわかる。

ネジ接続モデルの放射パターンにおいては、1.5 GHz 帯でシミュレーション結果から大きくずれ、2 GHz および 2.4 GHz 帯ではほぼ一致するという、銅テープ接続モデルに似た傾向を示した。また、半値幅は 2.4 GHz 帯で目標値を満たすが他の帯域では大きくずれが生じ、前後比は 2.4 GHz 帯においては目標値を大きく上回った。

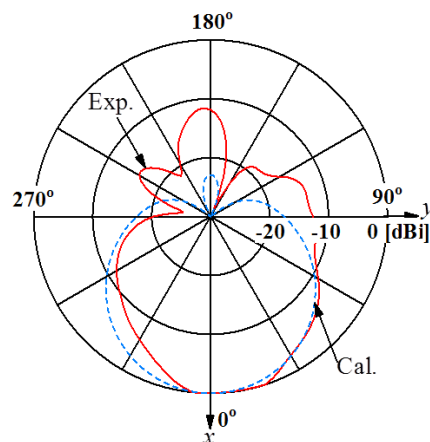
導電性ペースト接続モデルの放射パターンにおいては、1.5 GHz 帯で比較的后方への放射が抑えられ、最もシミュレーションに近い形状を示した。前後比も 1.5 GHz 帯において目標値こそ達成しないものの最も大きな値を示した。一方で、半値幅は 3 つの周波数帯全てにおいて目標値とする範囲より広がる結果となった。

以上の結果と実際に作製した経験を踏まえ、各モデルの特徴を以下に列挙する。

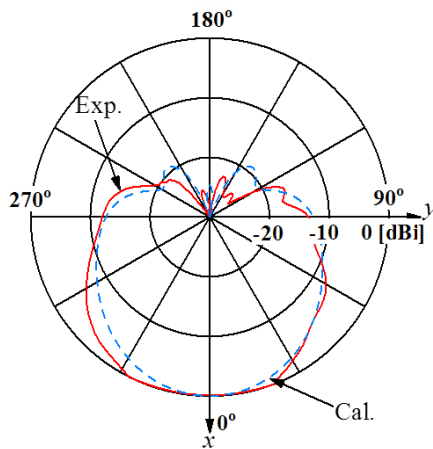
- 1) 銅テープ接続モデルは作製が容易であり、比較的低コストで量産可能であるが、テープによる固定では強度が不足し、実験では反射特性の再現性が損なわれるという課題があった。しかしながら、放射パターンは周波数によってはシミュレーション結果とほぼ一致し、半値幅および前後比も設計目標に比較的迫る値を示した。
- 2) ネジ接続モデルは強度があり反射特性の再現性が良く、量産が容易という利点があるが、今回は反射特性が大幅に劣化する結果となった。放射パターンは 3 モデルの中では最も好ましい形状を示したが、半値幅および前後比において課題を残した。
- 3) 導電性ペースト接続モデルは反射特性が比較的良好な値を示した。しかしながら、耐久性はネジによる固定に比べ劣っている。また、導電性ペースト自体が高コストであるため、実用性が低いという課題がある。更に、ペー



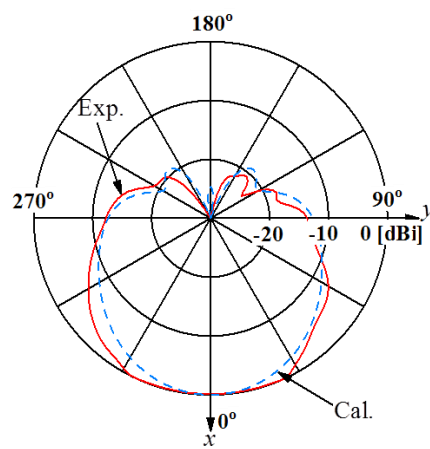
(a) 1.5 GHz



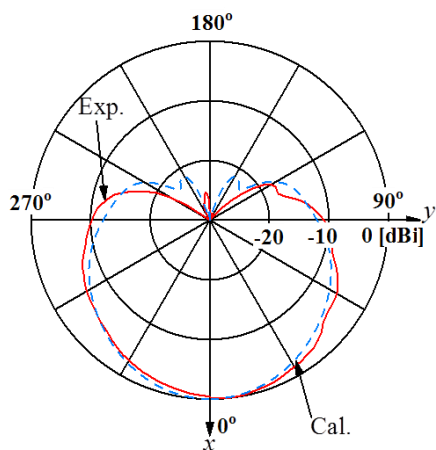
(a) 1.5 GHz



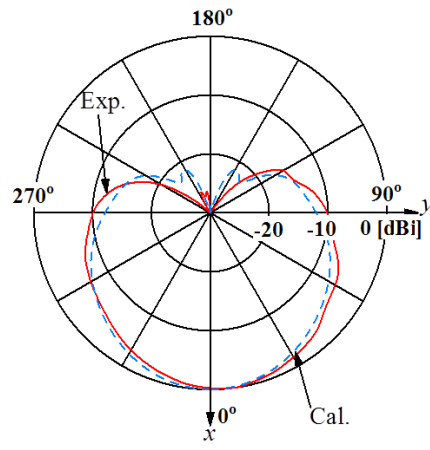
(b) 2 GHz



(b) 2 GHz



(c) 2.4 GHz



(c) 2.4 GHz

図 6: 銅テープ接続モデルにおける放射パターン

図 7: ネジ接続モデルにおける放射パターン

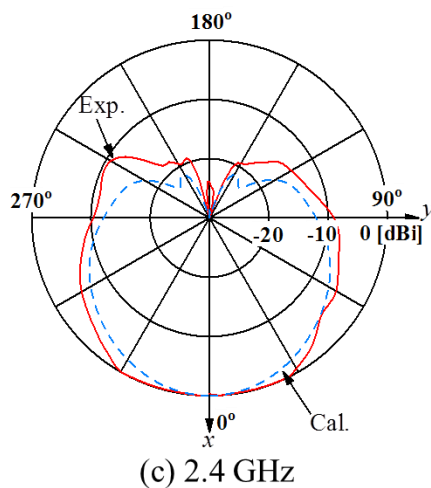
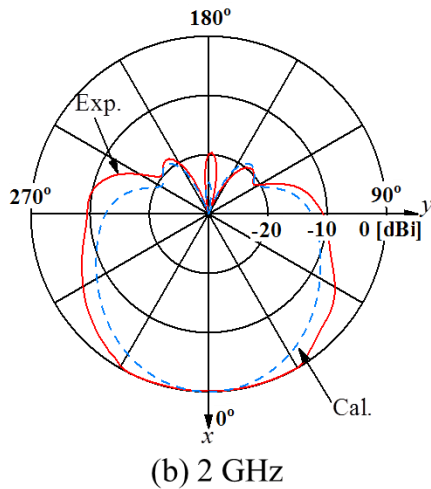
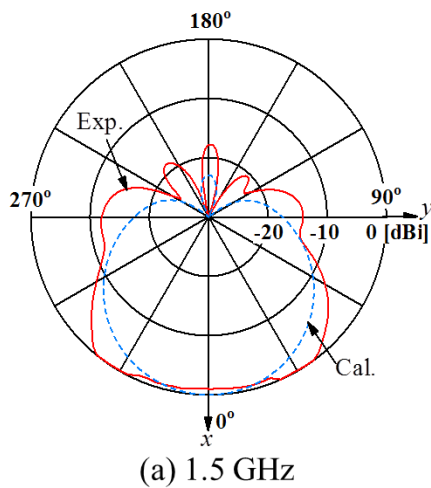


図 8: 導電性ペースト接続モデルにおける放射パターン

ストの均一な添付が難しいことから、放射パターンの割れや非対称性が生じていると考えられる。

表 3: 各モデルにおける半値幅および前後比

	周波数(GHz)	半値幅(度)	前後比
設計目標	1.5 / 2 / 2.4	60-70	$\geq 20$
銅テープ接続型	1.5	51	9.7
	2	78	20.7
	2.4	72	25.3
ネジ接続型	1.5	48	11.6
	2	81	19.3
	2.4	69	26.3
導電性ペースト接続型	1.5	90	17.8
	2	90	16.6
	2.4	84	18.8

### 5. むすび

1.5 GHz, 2 GHz 及び 2.4 GHz 帯を共用可能な携帯電話基地局用 TSA の実験的検討を行った。反射板と TSA の接続方法について 3 種類のモデルを試作して実験的に評価した結果、半値幅および前後比という点からは銅テープ接続モデルが、反射特性の再現性という点からは導電性ペースト接続モデルが有効であることが明らかとなった。今後は、各モデルのシミュレーションモデルの設計による解析的な評価や、更に効果的な接続法の確立、また接続面の導通による影響が小さくなるような新しい構造の検討も行っていきたい。

### 参考文献

- [1] 大嶺裕幸, 深沢徹, 宮下和仁, 茶谷嘉之, “複数の非励振素子で広帯域化を図った 3 周波数共用ダイポールアンテナ,” 信学技報, A・P2000-6, pp.37-42, Apr. 2000.
- [2] 伊藤和也, 陳強, 井上真豪, “携帯電話基地局用多周波共用アレーアンテナ素子の検討,” 伝送工学研究会, Dec.24, 2013.
- [3] K. Itoh, K. Konno, Q. Chen, and S. Inoue, "Design of directivity of tapered slot antenna for triple-band cellular base station," Proc. IEICE Int. Symp. Antennas. Propag., FR3B-05, pp. 569-570, Dec. 2014.