

携帯基地局用多周波共用対せき形テーパースロットアンテナ

工藤 俊紀, 佐藤 弘康, 陳 強 (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, 多周波共用アンテナ技術が有効である. 本報告では, 900 MHz, 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz を使用周波数とする基地局アンテナを対せき形テーパースロットアンテナ (Antipodal Tapered Slot Antenna; ATSA) 及び八木・宇田アンテナを用いて実現することを目指し, その中で 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz の 3 周波を共有する ATSA の設計を行った結果について報告する. ATSA の給電構造の改良による反射特性の広帯域化や素子両端にスリットを装荷することによる指向性調整を行うことにより, 所望の特性 (反射係数や指向性) を実現可能なことを示す.

キーワード: 携帯基地局アンテナ, 多周波共用アンテナ, 対せき形, テーパースロットアンテナ

1. まえがき

近年の移動通信において, 通信速度の高速化やトラフィックの増加に対応するため, 新たな移動通信システムの開発などが行われている. それに伴い移動通信サービスの多帯域化が進んでおり, 今後もさらに増加していくことが予想される. 現在, 基地局アンテナの内部は先述の要因により素子数の増加が進んでおり, 内部の空間がひっ迫している. また, 市街地においては基地局アンテナの設置場所がひっ迫しつつあり, 設置するアンテナの小型化が求められている. さらに, 基地局アンテナは鉄塔上やビルの屋上等に設置されるため, 景観や耐風圧荷重の観点においても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することのできる多周波共用アンテナを使用することが有効である. 多周波共用アンテナとしては各周波数に対応した素子を用いたアンテナ [1], 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 [2] などが提案されている. しかしながら, この手法は周波数ごとにアンテナ素子または無給電素子を設置し, 多共振を用いた多周波共用を実現しているため, 周波数の増加につれて基地局アンテナ内部の空間がひっ迫してしまう. また, 素子数が増えることにより, 各素子間の距離が短くなってしまったため素子間相互結合が大きくなる問題が発生する. このように周波数に応じた素子を用いる手法は, 次世代移動通信技術が進展するとともに設計が困難になってくると考えられる.

これらの問題の解決法として, 広帯域なアンテナを利用し, 複数の周波数帯で同じアンテナを共用する手法がある. これにより, 必要となるアンテナの素子数を抑えることができ, 素子間相互結合によるアンテナ性能の劣化も抑えられる. これまで, 広帯域特性に加えて, 薄型軽量, 低コスト, 量産性に優れたテーパースロットアンテナ (Tapered Slot Antenna; TSA) ・八木宇田アンテナを用い

て, 0.9 GHz, 1.5 GHz, 2GHz 及び 2.4 GHz 帯の 4 周波共用基地局アンテナ素子を提案し, 数値シミュレーションによりその特性を明らかにした [3]. 提案アンテナは, 既存の携帯電話基地局で使用される直径 200 mm の筒状のレドーム構造内に配置可能な寸法を有しており, 主に反射板と TSA 素子で構成される. しかしながら, TSA アンテナ素子とは反射板との接続面が広いこと, 試作時のアンテナ素子と反射板の接続手法によってそのインピーダンス特性が大きく劣化するという問題があった [4].

一方で, [5] では対せき形構造を有する対せき形テーパースロットアンテナ (Antipodal Tapered Slot Antenna; ATSA) が提案されている. この対せき形構造は TSA 素子の特徴に加え, 給電方法に広帯域なマイクロストリップスロット変換を用いている特徴がある. また, 反射板とアンテナ素子との接続面を狭くすることが可能なため, 先述した TSA の問題が克服できると期待される.

本報告では, 実現を目指す基地局アンテナ素子のうち, 1.5 GHz, 2GHz 及び 2.4 GHz 帯の 3 周波共用 ATSA の指向性設計について述べる. ATSA の後方に反射板を設置した構造を提案し, アンテナ素子にスリットを装荷することにより指向性設計を行った結果を報告する.

2. 反射板付き ATSA の構造

表 1 に, 本研究で目標とする多周波共用基地局アンテナに要求される性能を示す. 使用周波数は 1.5/2/2.4 GHz 帯を使用し, 反射係数はこの帯域に亘って -10 dB 以下とする. セクタ数は 6 を想定し, 3dB ビーム幅の設計目標は水平面において 60 – 70° の範囲とする. また, 前後比においては, 前方 (0°) の放射と 180° ± 30° の範囲での最大放射の比として定義し, 目標値を 20 dB 以上とする. ATSA 素子は 1 素子で 3 周波を共有するため, 上記の目標値を同時に満たす必要がある. また, 基地局アンテナの小型化, 耐風圧荷重の観点からレドームの内径は 200 mm とする. これによりアンテナの大きさが制限され, 直径 200mm の円筒内に収まるような設計が必要となる.

表 1: 基地局アンテナの要求性能

Frequency Bands	1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz
Number of Sectors	6
Half-Power Beamwidth	60 – 70 deg. (Horizontal Plane)
Front to Back Ratio	≥ 20 dB
$ S_{11} $	≤ -10 dB
Size of Radome	φ 200 mm × 2500 mm

図 1 に提案する 3 周波共用 ATSA の構造を示す. ATSA

には後方への不要な放射を抑えるとともに、前方への放射を強めるために反射板が設置されている。レドーム直径の制約から、ATSA の外側の形状をレドームに合わせて半径 R_x, R_y 、中心点 (x_R, y_R) の楕円形とした。ATSA のテーパ部は開口幅を W とし、テーパの開始座標 (x_1, y_1) 、終了座標 (x_2, y_2) および開口比 β によって決定される指数関数形状とした。ATSA は対せき形構造を有するため Bottom Layer と Top Layer では 1 mm の間隙を設けている。

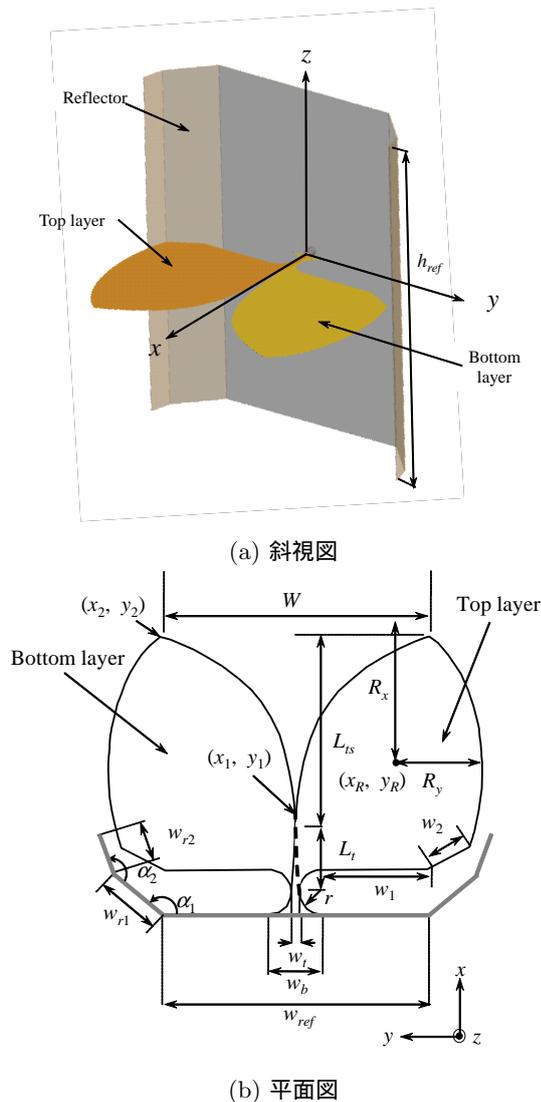


図 1: ATSA の構造

図 2 に対せき形構造の模式図を示す。給電部となる D 点は Micro Strip Line (MSL) 構造のため同軸線路から直接給電することが可能である。また、給電部 D から平行二線部 C、TSA の開始部となる点 B にかけてバランとして働き、図 2 のような構造にすることにより、広帯域な平衡-不平衡変換やインピーダンス整合が可能となる。

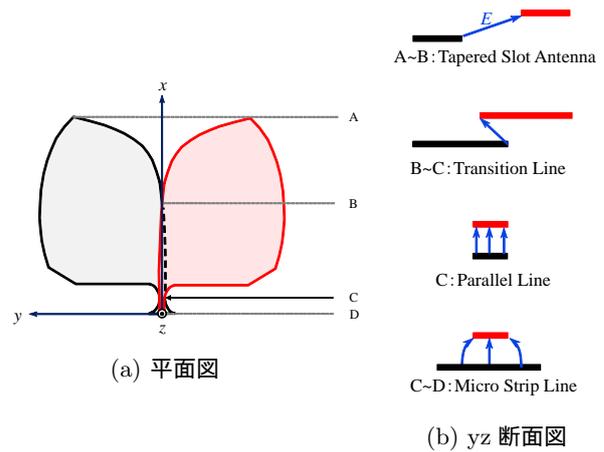


図 2: ATSA の構造

3. 3 周波共用 ATSA の設計

3.1 スリット装荷による指向性の設計

3.1.1 スリットの無い ATSA の指向性

図 1 に示した素子構造における各周波数の指向性パターンと指向性パラメータのシミュレーション結果をそれぞれ図 3 及び表 2 に示す。なお、シミュレーションには解析手法が FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法の電磁界解析ソフト SEMCAD-X を用いた。表 2 より、ビーム幅においては、1.5 GHz では目標値よりも広く、2/2.4 GHz では目標値よりも狭いことがわかる。また、前後比においては、2 GHz のみ目標値を上回っているが、他周波では目標値を下回っている。このことから、使用周波数におけるビーム幅及び前後比を調整できるような構造の追加が必要であると考えられる。この問題は次節に素子端にスリットを装荷することにより改善を図る。

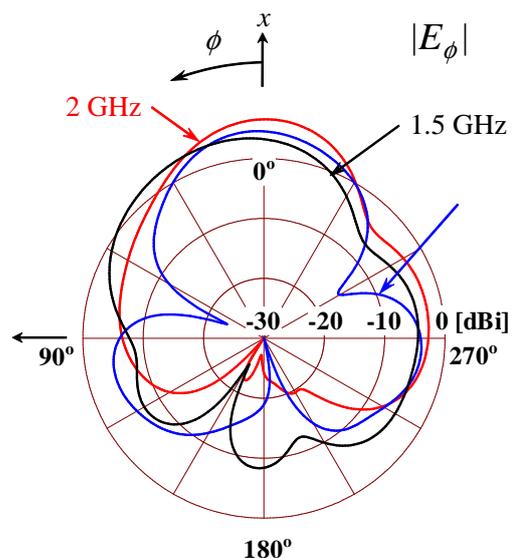


図 3: 動作利得パターン (スリットなし)

表 2: 指向性パラメータ (スリットなし)

Frequency [GHz]	BeamWidth [deg.]	F/B [dB]
Target	60 – 70	≥ 20
1.5 GHz	72.9	10.3
2 GHz	42.5	26.1
2.4 GHz	47.9	16.7

3.1.2 スリット装荷による指向性の改善

本節では、図 4 に示すように ATSA の両端にスリットを切った構造を検討し、前節で達成できていなかった指向性の各目標値を満足させることを目指す。今回使用している ATSA において電流の多くは素子の端部を流れており、これらの電流が放射に大きく寄与している。スリットを素子端部から装荷すると、端部にショートスタブを装荷すること等価になる。ショートスタブは波長に対して 4 分の 1 となる長さにおいて入力インピーダンスが無限大となることから、スリットの切込みの深さを調節することにより端部に流れる電流を遮ることが可能となる。この特性を利用し、素子端部に流れる電流を調整することにより指向性の設計を行う。

はじめに、スリット A のみを装荷した場合について検討する。図 4 にみられるように、ATSA 素子と反射板には間隙があるため、この部分から不要な放射が発生していると考えられる。このことから、スリット A を中心周波数である 2GHz の 4 分の 1 となる切込みの深さ ($l_A = 35\text{mm} \approx \lambda_{2\text{GHz}}/4$) で装荷することにより不要な放射の削減を図る。計算結果を図 5 及び表 3 に示す。図 5 より 2 GHz において 90° 及び 270° 方向への放射が低減され、結果としてビーム幅が広がっている。また、表 3 より 1.5/2 GHz のビーム幅は目標値に達しているものの、2.4GHz においてはより広げる必要がある。さらに、前後比においてはすべての周波数において目標値に達していないことがわかる。このことから、さらにスリット B を装荷することにより残りの調整を試みる。

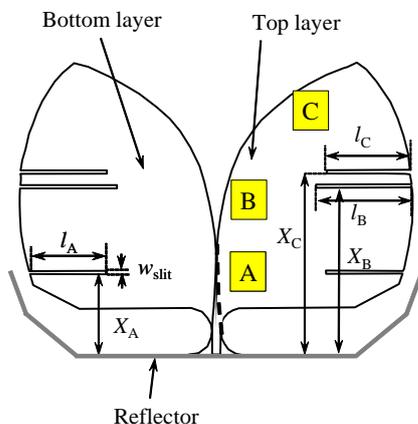


図 4: スリットの構造

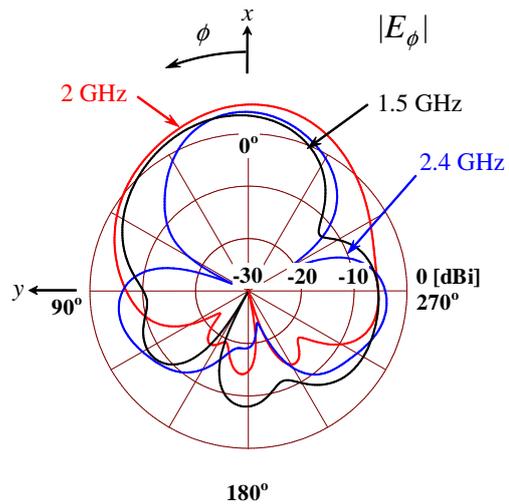


図 5: 動作利得パターン (スリット A 装荷)

表 3: 指向性パラメータ (スリット A 装荷)

Frequency [GHz]	BeamWidth [deg.]	F/B [dB]
Target	60 – 70	≥ 20
1.5 GHz	62.0	11.4
2 GHz	62.2	19.6
2.4 GHz	44.8	16.2

次に、スリット A に加えてスリット B を装荷し、スリット B の切込みの深さ l_B を変化させた際に指向性パラメータにどのような影響があるかを調べる。図 6 及び 7 に、スリット B の切込みの深さ l_B を変化させた際の各周波数におけるビーム幅及び前後比の変化をそれぞれ示す。図 6 より、スリットの切込みの深さ l_B が各周波数の 4 分の 1 となる切込みの深さで半値幅が広がることがわかる。また、図 7 より、特に 1.5 GHz において波長の 4 分の 1 付近となる l_B で前後比が大きく改善していることがわかる。しかしながら、2 対目のスリットを装荷してもすべての目標値を達成する構造は得られなかった。これよりスリット B の切込みの深さ l_B を 1.5 GHz の前後比を大きく改善する 45 mm とし、3 対目のスリット C を装荷することにより残りの調整を試みる。

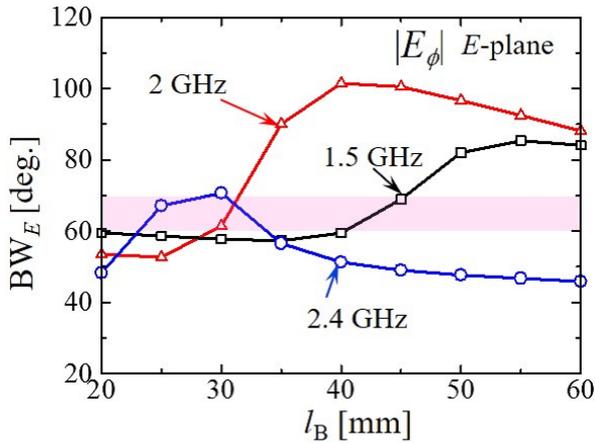


図 6: スリット B によるビーム幅の変化

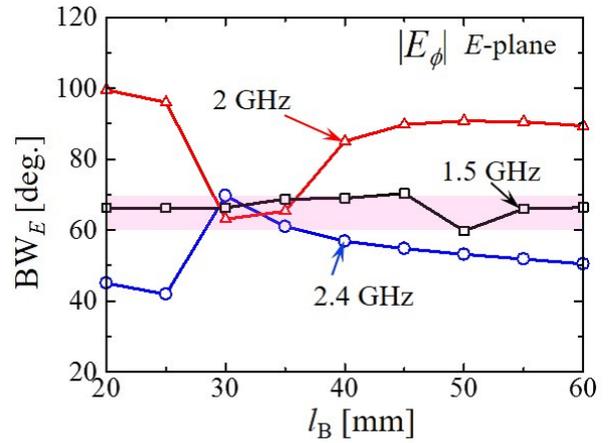


図 8: スリット C によるビーム幅の変化

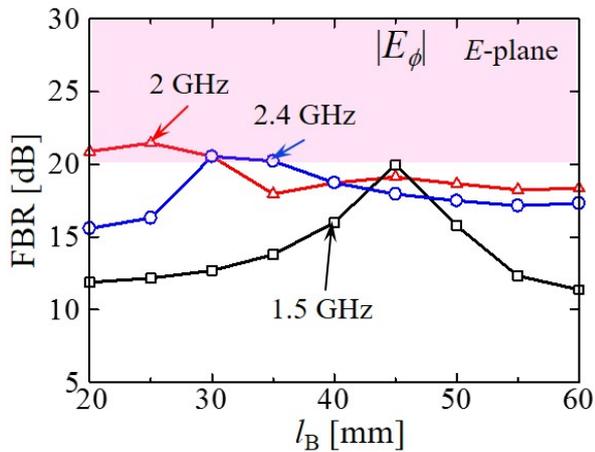


図 7: スリット B による前後比の変化

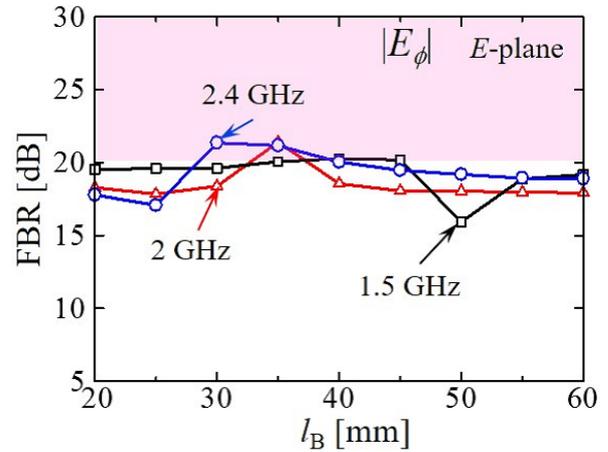


図 9: スリット C による前後比の変化

最後に 3 周波すべてで指向性に関する目標値を達成すべく、最適なスリット C の位置 $X_C = 85$ と切込みの深さ l_C を調査した。図 8 及び 9 は位置を $X_C = 85$ mm とし、その切込みの深さ l_C を変化させたときのビーム幅及び前後比の変化をそれぞれ示している。図 8 及び図 9 より、 $l_C = 35$ mm となる深さにおいて指向性に関するすべての目標値を達成していることがわかる。さらに、各周波数における指向性パラメータの値を表 4 に示している。

図 10 は 3 対のスリットを装荷した際の各周波数における動作利得パターンを示している。スリットを装荷していない図 3 と比較してどの周波数においても高い前後比を確保し、ビーム幅は設計目標を達成している。これらより反射板付 ATSA に 3 対のスリットを装荷する構造により、1.5/2/2.4 GHz の 3 周波に亘って、基地局アンテナに要求される指向性を実現できることが示された。

表 4: 指向性パラメータ (スリット A,B,C 装荷)

Frequency [GHz]	BeamWidth [deg.]	F/B [dB]
Target	60 – 70	≥ 20
1.5 GHz	68.8	20.0
2 GHz	65.3	21.4
2.4 GHz	61.0	21.2

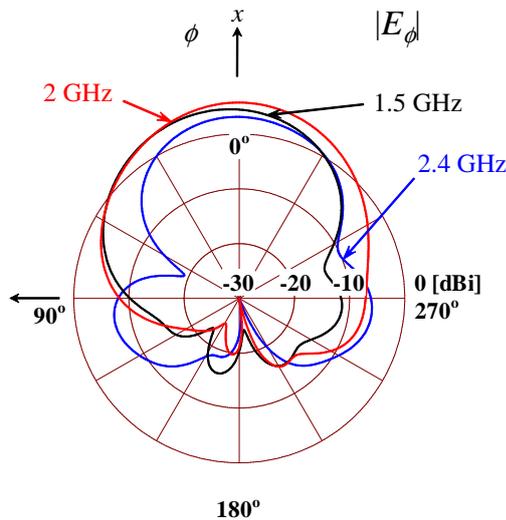


図 10: 動作利得パターン (スリット A,B,C 装荷)

3.2 反射係数の周波数特性

図 1 に示した素子構造における反射係数の周波数特性を数値シミュレーションした結果を図 11 に示す。図 11 を見ると、約 1.3 GHz 以上となる周波数において -10 dB 以下を達成しており、今回の使用周波数である 1.5/2/2.4 GHz における反射係数の目標値を満足していることがわかる。

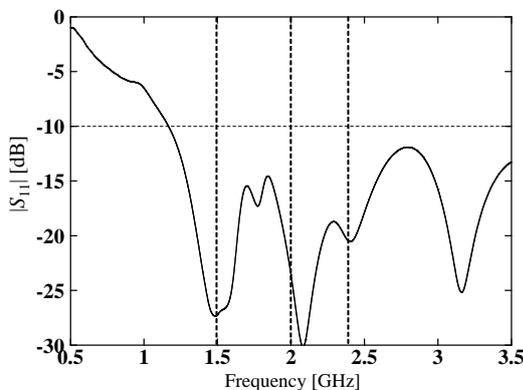


図 11: 反射係数の周波数特性

4. むすび

1.5/2/2.4 GHz の 3 周波共用基地局アンテナ素子进行設計することを目指し、反射板付 ATSA を提案して設計を行った。提案したアンテナ構造は、ATSA アンテナ素子の両端にスリットを装荷し、各パラメータを最適化することにより、反射係数及び指向性の設計目標を満たすことを示した。

参考文献

- [1] 長敬三, 山口良, 蔣惠玲, “次世代移動通信システム実現に向けた基地局・端末アンテナ技術,” 信学論

(B), Vol. J91-B, No. 9, pp. 886 - 900, Sep. 2008.

- [2] 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,” 電子情報通信学会技術研究報告, A・P2000-6, pp. 37 - 42, 2000 年 4 月.
- [3] K. Itoh, K. Konno, Q. Chen, S. Inoue, “Design of Compact Multiband Antenna for Triple-Band Cellular Base Stations,” Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, no.99, Sep. 2014.
- [4] 大阪久登, 伊藤和也, 陳強, 井上真豪, “携帯電話基地局用広帯域テーパスロットアンテナの実験的検討”, 伝送工学研究会, 2015 年 2 月.
- [5] 工藤俊紀, 佐藤弘康, 陳強, 井上真豪, “小型対せき形テーパスロットアンテナの改良給電構造,” 2016 年電子情報通信学会総合大会, 2016 年 3 月.