

携帯基地局用多周波共用セクタアンテナ素子の検討

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 (株) 日立国際八木ソリューションズ 製品設計本部

概要: 本報告では, 900MHz, 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz の4周波共用基地局アンテナを, 対せき形テーパスロットアンテナ (Antipodal Tapered Slot Antenna; ATSA) および八木・宇田アンテナを用いて実現することを目指し, 900 MHz 帯をカバーする垂直偏波・水平偏波それぞれの八木宇田アンテナの設計を行った結果について報告する. 900 MHz 用垂直偏波用八木・宇田アンテナ素子の小型化を図るためにアンテナの先端を折り曲げるとともに, 半値幅を狭くするために2素子アレーとする構造を提案している. また, 各パラメータを適切に設計することで900 MHz 帯における所望の反射特性や指向性のビーム幅, 前後比が得られることを数値シミュレーションで明らかにしている.

キーワード: 携帯基地局アンテナ, 八木宇田アンテナ

1. まえがき

近年の移動通信における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が行われている. 相乗的に移動通信サービスの多帯域化も進んでおり, 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前述の要因により素子数の増加が進んでおり, 内部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もひっ迫しつつあり, 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から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ができる多周波共用アンテナが望まれる. 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複数用いたアンテナ [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, これら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, 素子間相互結合が大きくなる問題が生じやすい. 以上のような周波数に応じた素子を用意する手法は, 次世代移動通信技術の進展とともに設計が困難になってくるものと考えられる. この問題のアプローチとして, 複数の周波数帯を一つの広帯域アンテナでカバーする手法が考えられる. 広帯域アンテナを用いて基地局用アンテナにおける所望の特性を得ることができれば, 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の性能の劣化も抑えられる.

これまで, 広帯域特性に加え薄型, 軽量, 低コスト, 量産性に優れている対せき形テーパスロットアンテナ (Antipodal Tapered Slot Antenna; ATSA) を利用して, 1.5

GHz, 2GHz 及び 2.4 GHz 帯の水平偏波3周波共用基地局アンテナ素子設計し, 数値シミュレーションによりアンテナ特性を明らかにした [3]. 本報告では, 偏波ダイバーティの機能を持たせた 0.9/1.5/2/2.4 GHz 帯4周波共用基地局アンテナを提案するとともに, アンテナ素子のうち900 MHz 帯用垂直・水平偏波それぞれの八木・宇田アンテナ素子の設計結果について述べる. また, 各アンテナ素子の後方に反射板を配置して適切に設計することにより, レドームサイズの制約の下で所望の反射特性とい放射特性が得られることを示す.

2. 携帯基地局用900 MHz 帯八木・宇田アンテナの設計

本研究で目標とする基地局用900 MHz 帯アンテナに要求される性能を表1に示す. アンテナの反射係数が-10 dB以下となるようにアンテナを設計する. セクタ数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. 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を200 mmとしてすべてのアンテナを設計する.

表1: 基地局アンテナの要求性能.

Frequency Bands	0.9 GHz, 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz
Number of Sectors	6
Half-Power BeamWidth (HPBW)	60 - 70 deg.
Front to Back Ratio (F/B)	≥ 20 dB
$ S_{11} $	≤ -10 dB
Size of Radome	φ 200 mm × 2400 mm

2.1 900 MHz 帯用水平偏波八木・宇田アンテナの構造

900 MHz 帯用反射板付八木・宇田アンテナの構造を図1に示す. アンテナ素子は, 長さ l の放射器(ダイポールアンテナ), 長さ l_d の導波器, および反射板で構成されている. ダイポールのみでは指向性の調整が困難であるため, ダイポールの前方距離 d に導波器を設置している. ダイポール及び導波器は広帯域な反射特性を得るために幅 w の板状とし, 幅 w は15 mmとした. また, アンテナ後方に距離 d_r 離れた位置に反射板を配置しており, 後方への放射を抑圧している. 反射板は中央の主反射板及び側面の副反射板を用いた構造とした. 主反射板幅を w_{r1} , 副反射板幅をそれぞれ w_{r2} , w_{r3} , 副反射板の開き角をそ

それぞれ α_1 α_2 とした。

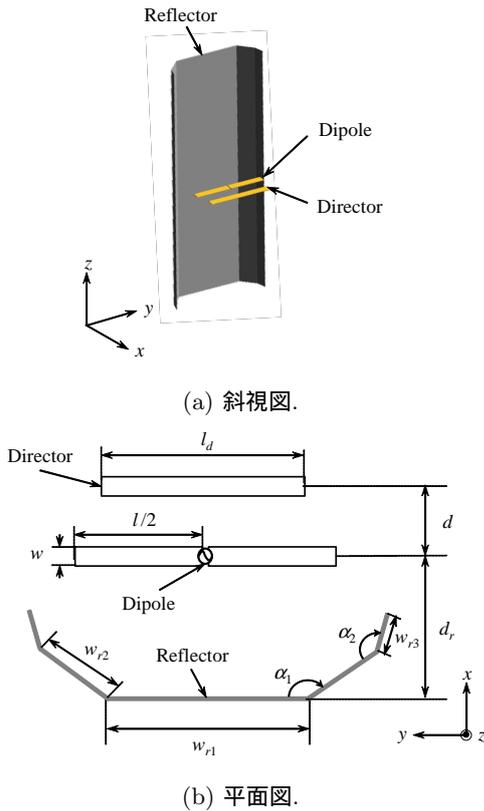


図 1: 900MHz 帯用水平偏波八木・宇田アンテナの構造。

以上の構造において、各種パラメータに対する反射係数及び放射特性の変化を数値シミュレーションにより調べ、所望の特性を満たすパラメータを検討した。なお、数値シミュレーションは電磁界解析ソフト (SEMCAD-X, FDTD 法) を使用した。

本節では、ダイポールの前方に設置する導波器の構造を検討する。初めに、ダイポール長 $l = 140 \text{ mm} (= 0.88\lambda_{900})$ に、ダイポール-導波器間距離 $d = 40 \text{ mm}$ 及びダイポール-反射板間距離 $d_r = 80 \text{ mm} (= 0.5\lambda_{900})$ に固定し、導波器長 l_d を変化させて xy 平面における半値幅及び前後比を計算した。ここで、 λ_{900} は 900 MHz での波長である。半値幅及び前後比の計算結果を図 2 に、反射係数の計算結果を図 3 に示す。図 2 より、導波器長 l_d が長くなるにつれて半値幅が狭くなり、前後比が悪化していることがわかる。また、図 3 より導波器長 l_d を長くするにつれて反射係数の帯域幅が狭くなっていることがわかる。以上のことから、所望特性を達成するためには半値幅を狭くするためには導波器長は長くする必要があるが、前後比及び反射係数の帯域幅は悪化するため、適切な値を選ぶ必要がある。

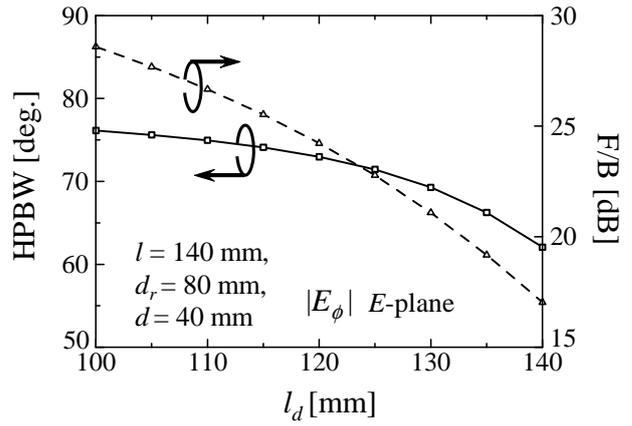


図 2: 導波器長 l_d に対する半値幅及び前後比の変化。

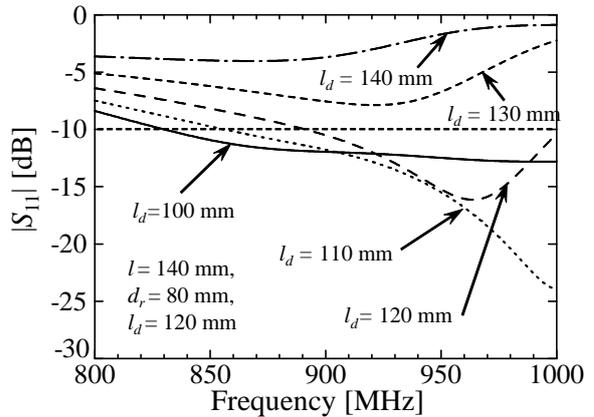


図 3: 導波器長 l_d に対する半値幅及び前後比の変化。

次にダイポール長 $l = 140 \text{ mm}$ に導波器長 $l_d = 120 \text{ mm}$ に、ダイポール-反射板間隔 $d_r = 80 \text{ mm}$ にそれぞれ固定し、ダイポール-導波器間隔 d を変化させた際の xy 平面における半値幅、前後比及び反射係数を計算した。半値幅及び前後比の計算結果を図 4 に、反射係数の計算結果を図 5 に示す。図 4 より間隔 d を長くすると半値幅は狭くなる一方で、前後比に関しては悪化していくことがわかる。また、図 5 より、間隔 d を広げていくことで反射係数の帯域幅が広がっていくことがわかる。

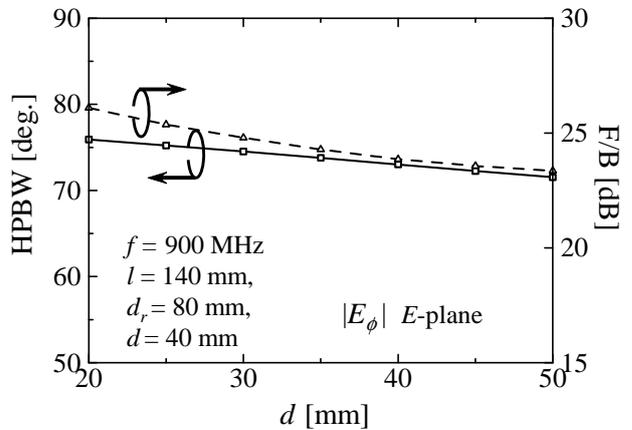


図 4: 間隔 d に対する半値幅及び前後比の変化。

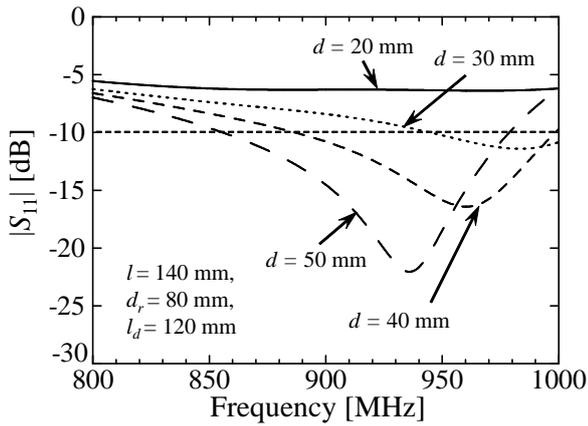


図 5: 間隔 d に対する反射係数の周波数特性.

所望の特性が得られるように各パラメータを調整した結果, 表 2 に示すパラメータが得られた. この時の反射係数の周波数特性を図 7 に示す. 動作周波数が所望の 900 MHz 帯に合わせられていることがわかる. また, 半値幅は 900 MHz において 70.0 deg. であった. また, 前後比は 900 MHz において 21.5 dB であり設計目標を達成していることがわかる.

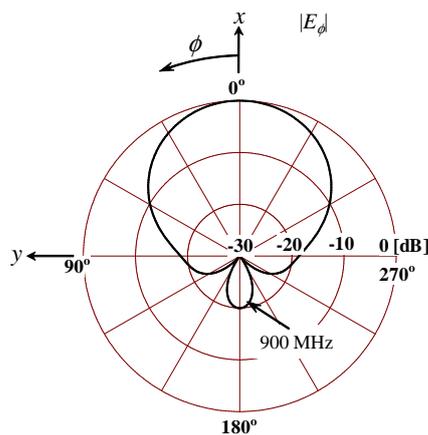


図 6: 最適化された八木・宇田アンテナの放射パターン.

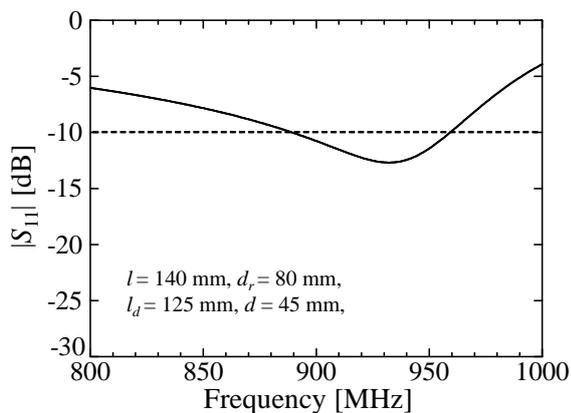
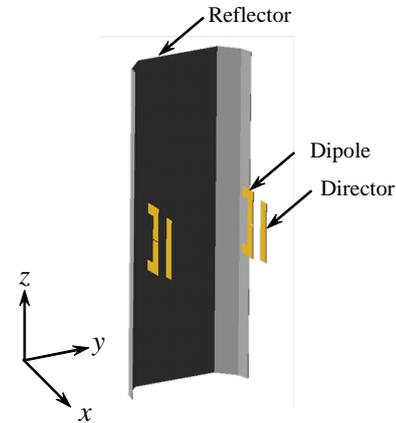


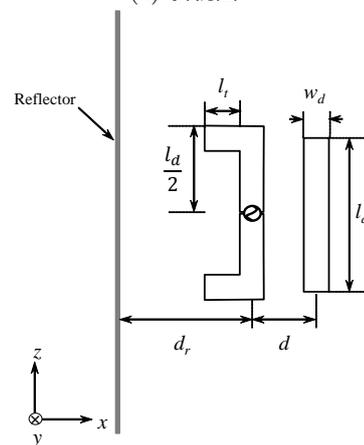
図 7: 最適化された八木・宇田アンテナの反射係数の周波数特性.

表 2: 放射器及び導波器の最適パラメータ.

ダイポール長 l	140 mm
導波器長 l_d	125 mm
ダイポール-導波器間隔 d	45 mm
ダイポール-反射板間隔 d_r	80 mm



(a) 斜視図.



(b) 平面図.

図 8: 900MHz 帯用水平偏波八木・宇田アンテナの構造.

2.2 900 MHz 帯用垂直偏波八木・宇田アンテナの構造

900 MHz 帯用反射板付八木・宇田アンテナの構造を図 8 に示す. 垂直偏波八木・宇田アンテナ素子の多くは水平偏波の場合と共通であり, これらを変化させた場合の特性の変化は水平偏波設計の場合と同様の傾向を持っている. このため, 水平偏波時と共通するパラメータに関しては同様の手順で設計を行った.

アンテナ素子は, 長さ l_d の導波器, 反射板および放射器となるダイポールで構成されており, 半値幅を狭くするために 2 素子アレー化している. また, 垂直偏波素子においては, アレー化する際の関係上ダイポール素子長 d は 100 mm 以内に収める必要がある. ダイポールアンテナは半波長で用いることが一般的であるが, その小型化に関しては多くの手法が存在している. 今回は素子の先端を折り曲げるトップロード構造を用いた折り曲げ長 l_t を変化させた際の反射係数を計算した結果を図 9 に示す

とともに、折り曲げ長を固定しアレー間隔 d_e を変化させた際の半値幅及び前後比を計算した結果を図 10 に示す。図 10 より、アレー間隔が広がるほど半値幅が狭くなっていることがわかる。一方前後比については、アレー間隔によらず 20 dB 以上の高い値が得られていることがわかる。

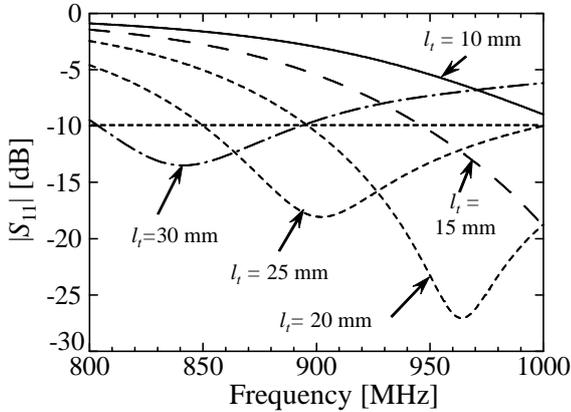


図 9: 折り曲げ長 l_t に対する反射係数の周波数特性.

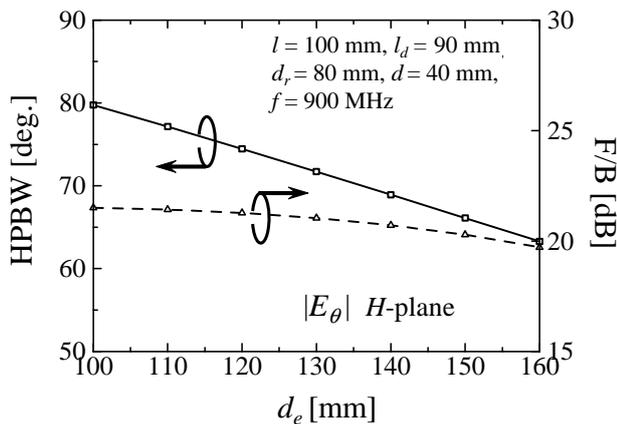


図 10: アレー間隔 d_e に対する半値幅及び前後比の変化.

以上の特性を踏まえ、所望の特性が得られるように各パラメータを調整した結果、表 3 に示す組み合わせが得られた。この時の反射係数の周波数特性を図 11 に、放射パターンを図 12 に示す。図 11 より、設計した垂直偏波用八木・宇田アンテナは 900 MHz 帯の使用周波数帯に亘って設計目標を満足していることがわかる。また、指向性においては、半値幅が 900MHz において 64.4 deg.、前後比が 20.0 dB であり、いずれのパラメータも設計目標を満足することができた。

3. むすび

900 MHz, 1.5GHz, 2GHz, 2.4 GHz の 4 周波共用基地局アンテナ素子を設計することを目指し、反射板付八木・宇田アンテナを提案し、放射器や導波器、アレー間隔などの各パラメータを最適化することにより、セクタアンテナに要求される所望の反射係数および放射特性が得られることを示した。

表 3: 放射器及び導波器の最適パラメータ.

ダイポール長 l	100 mm
導波器長 l_d	90 mm
ダイポール-導波器間隔 d	40 mm
ダイポール-反射板間隔 d_r	78 mm
アレー間隔 d_e	156 mm

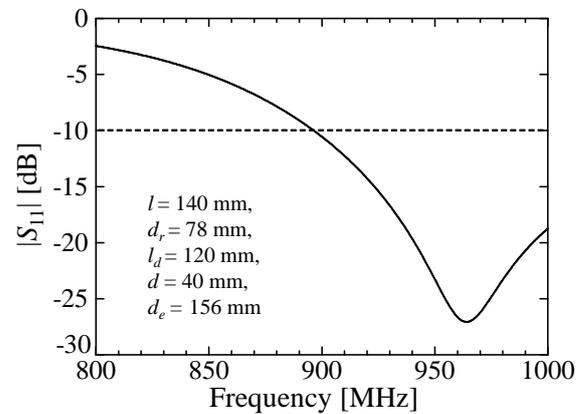


図 11: 最適化された反射板付八木・宇田アンテナの反射係数の周波数特性.

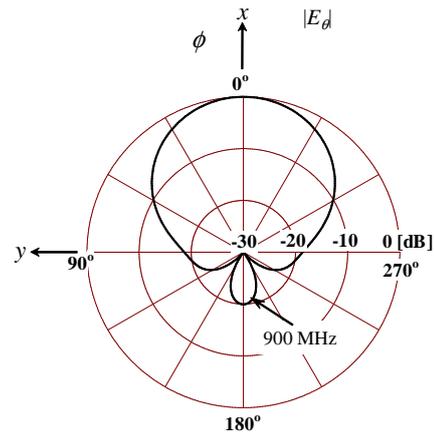


図 12: 最適化された反射板付八木・宇田アンテナの放射パターン.

参考文献

- [1] 長敬三, 山口良, 蔣恵玲, “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,” 信学技報, A・P2000-6, pp. 37 - 42, 2000 年 4 月.
- [3] 工藤俊紀, 佐藤弘康, 陳強, 井上真豪, “基地局用多周波共用対せき形テーパスロットアンテナ,” 信学ソ体, 2016 年 9 月.