

## 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

伊藤 和也, 陳 強 (東北大学大学院工学研究科),  
田中 健 (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 の 4 周波共用基地局アンテナを, テーパーロットアンテナ (Tapered Slot Antenna; TSA) 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. 八木・宇田アンテナの後方に反射板を配置した構造を提案し, 導波器および反射板のパラメータを適切に設定することで 900 MHz 帯における所望の特性 (反射係数および指向性) を満足することが可能なことを示す.

キーワード: 基地局アンテナ, 多周波共用, 八木・宇田アンテナ

### 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が次々と開発されており, 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逼迫しており, 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, 周波数帯の数に対応する多素子構造を用いるものがこれまでに提案されてきた [1]. 0.9/1.5 GHz 帯用ダイポール素子と 2GHz 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 [2] や, 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 [3] が提案されている. 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, 各周波数帯の素子間の相互結合が問題となる. 次世代移動通信システムの開始により, 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, 多素子構造による手法では設計が困難となると考えられる. そこで, 基地局アンテナ素子として広帯域アンテナを用い, 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ことが有効であると考えている.

本研究では, 広帯域アンテナ素子としてテーパロットアンテナ (Tapered Slot Antenna; TSA) [4][5] を用い, TSA と八木・宇田アンテナの組み合わせにより 900 MHz, 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯の 4 周波共用基地局アンテナを提案し, その設計を行う. TSA は広帯域特性のほか, 薄型軽量, 低コスト, 量産が容易といった特徴を持っており, 多周波共用基地局アンテナ素子として有望であ

る [6]. 提案する基地局アンテナは, 八木・宇田アンテナが 900 MHz 帯で動作し, TSA が 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz 帯の 3 周波数帯で動作する.

本報告では, 実現を目指す基地局アンテナ素子のうち, 900 MHz 帯用八木・宇田アンテナ素子の設計について述べる. 八木・宇田アンテナの後方に反射板を配置した構造を提案し, 所望の反射係数および指向性を満たすべく設計を行った結果を報告する.

### 2. 反射板付八木・宇田アンテナ素子の構造

図 1 に, 900 MHz 帯用反射板付八木・宇田アンテナ素子の構造を示す. アンテナ素子は, 長さ  $l_d$  の放射器 (ダイポールアンテナ), 長さ  $l_p$  の導波器, および反射板で構成されている. 指向性を調整するため, ダイポールの前方  $d$  離れた位置に導波器を設置している. ダイポールおよび導波器の構造は, 幅  $w$  の板状としている. 板状とした理由は, 板状ダイポールは線状ダイポールに比べ広帯域であることが知られているためである. なお,  $w$  の値は 15 mm ( $0.045\lambda_{900}$ ) に固定した. ここで,  $\lambda_{900}$  は 900 MHz のときの波長である. また, アンテナ後方  $d_r$  離れた位置には平面型の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および両側面の副反射板からなる構造とした. 主反射板幅を  $w_{r1}$ , 副反射板幅を  $w_{r2}$ , 副反射板の開き角を  $\alpha$  とした.

以上の構造について, 各種パラメータに対する反射係数および指向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の組み合わせの検討を行った. 数値シミュレーションは電磁界解析ソフト (FEKO) を用い, モーメント法により行った.

本研究で設計する 900 MHz 帯用アンテナ素子の設計目標を表 1 に示す. 900 MHz 帯の周波数帯域は 900 MHz - 960 MHz であり, 反射係数はこの帯域に亘って  $-10$  dB 以下とする. 提案する基地局アンテナは 6 セクタ用のアンテナであるため, ビーム幅の設計目標は  $60 - 70^\circ$  の範囲とする. また, 前後比については,  $180^\circ \pm 30^\circ$  の範囲で最も悪い値として定義し, その設計目標は 20 dB 以上とする. また, 基地局アンテナを覆う円筒レドームの直径は 200 mm であるため, アンテナ素子を設計する際はアンテナ素子全体が直径 200 mm の円筒内に収まるよう設計する必要がある.

### 3. 反射板付八木・宇田アンテナ素子の設計

#### 3.1 導波器構造の検討

本節では, 図 1 の構造から反射板を取り除き, ダイポールと導波器のみとしたモデルを解析する. 導波器の寸法,

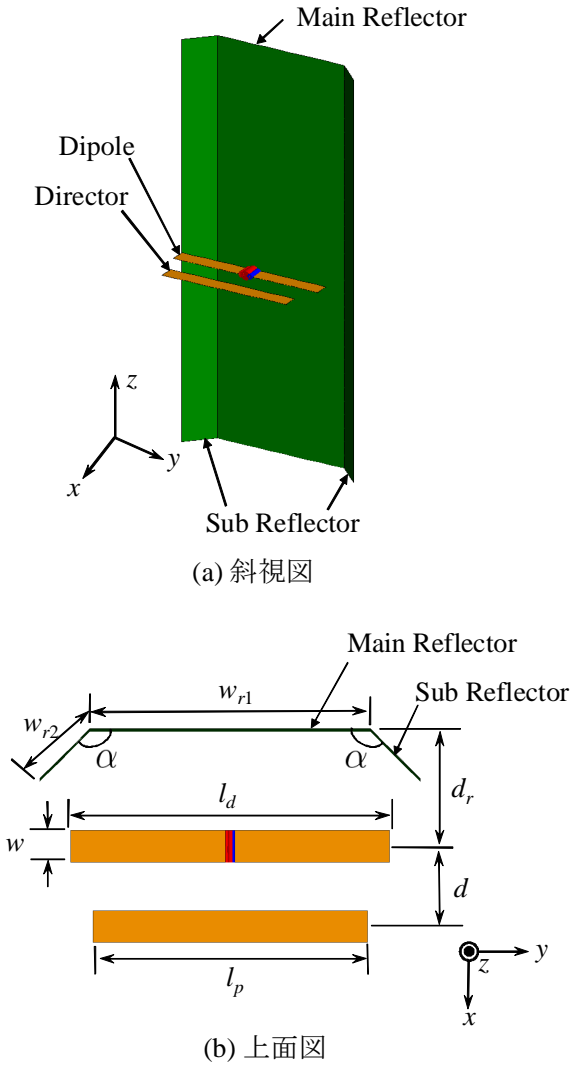


図 1: 900 MHz 帯用八木宇田アンテナ素子の構造

Frequency Range	900 - 960 MHz
$ S_{11} $	$\leq -10$ dB
Number of Sectors	6
Beamwidth	60 - 70°
Front to Back Ratio	$\geq 20$ dB

およびダイポールと導波器の位置関係による特性の変化を調べる。

最初にダイポール長  $l_d = 0.5\lambda_{900}$  に固定し、導波器長  $l_p$  およびダイポール-導波器間距離  $d$  を変化させて  $xy$  面の指向性を計算した。半値幅の計算結果を図 2 に、前後比の計算結果を図 3 に示す。図 2 より、導波器長  $l_p$  が長いほど、またダイポール-導波器間距離  $d$  が広いほど半値幅は狭くなるのがわかる。設計目標を満足するためには、 $l_p$  および  $d$  はある程度大きい値であることが望ましいことがわかる。また図 3 より、前後比を最大にする  $l_p$

の値が存在し、 $l_p$  がそれより大きくなると前後比は急激に減少することがわかる。これは、八木・宇田アンテナの無給電素子は長さが半波長程度以上になると反射器として働くためであり、図 3 で前後比が減少している領域では反射器としての作用が徐々に大きくなっているものと考えられる。また、 $d$  の値が小さいほど前後比が高くなる傾向がみられる。

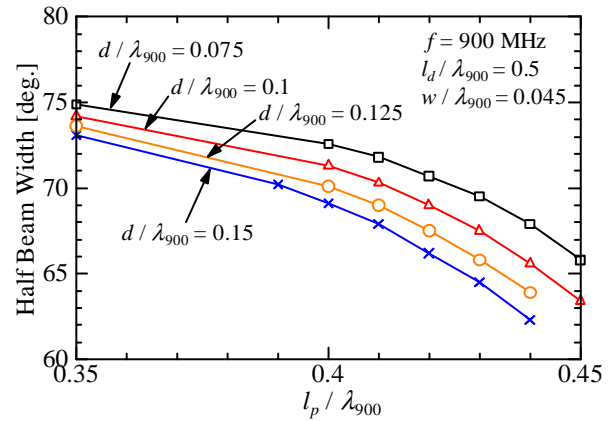


図 2: 導波器長  $l_p$  およびダイポール-導波器間距離  $d$  に対する半値幅の変化

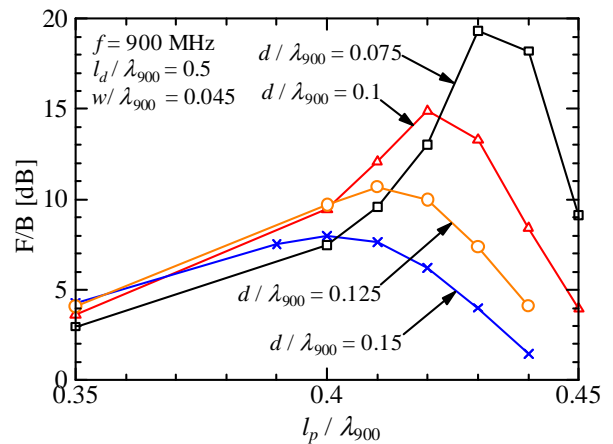


図 3: 導波器長  $l_p$  およびダイポール-導波器間距離  $d$  に対する前後比の変化

つぎに、ダイポール-導波器間距離  $d = 0.1\lambda_{900}$  に固定し、導波器長  $l_p$  に対する反射係数の周波数特性を計算した結果を図 4 に示す。図 4 には導波器が無い場合の結果も併せて示している。導波器が無い場合と  $l_p = 0.35\lambda_{900}$  の結果を比較すると、導波器の設置により帯域幅が改善されていることがわかる。しかし、 $l_p$  を大きくしていくと帯域幅は狭まってゆくことがわかる。

図 2~図 4 より、反射係数の観点では  $l_p$  は小さいほうが好ましい一方で、指向性の観点では  $l_p$  の値はある程度以上大きいことが必要であることがわかる。指向性と反射係数両方の観点から最適な  $l_p$  の値を検討することが必

要である。

また、図4では、反射係数が落ち込む周波数が900 MHz帯の使用周波数に合わせられていない。これは、始めにアンテナの短縮を考慮せず、 $l_d = 0.5\lambda_{900}$ に固定して設計を行ったためである。したがって、アンテナの短縮を行い、反射係数が落ち込む周波数を900 MHz帯の使用周波数に合わせる必要がある。

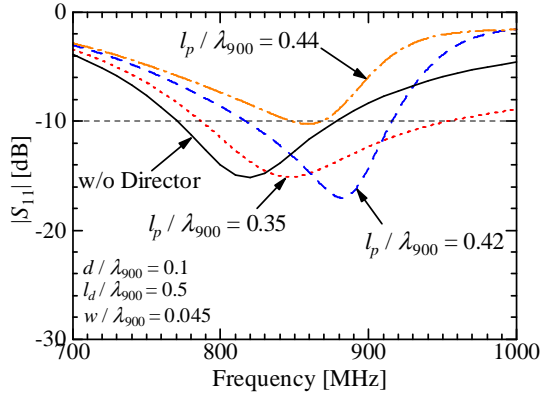


図4: 導波器長  $l_p$  に対する反射係数の周波数特性

実際にアンテナの短縮を行い、動作帯域を900 MHz帯に合わせ、指向性についても最適な特性が得られるよう各パラメータを調整した。その結果、表2に示すパラメータが得られた。このときの反射係数の周波数特性を図5に示す。動作周波数が900 MHz帯の使用周波数に合わせられていることが確認できる。また、表2の構造のとき、半値幅は900 MHzにおいて72.5°、960 MHzにおいて68.3°であり、前後比は900 MHzにおいて8.15 dB、960 MHzにおいて10.5 dBであった。半値幅、指向性ともに設計目標を満足することはできていないが、これは次節で示すように反射板の設置により改善する。

表2: 放射器および導波器の最適パラメータ

$l_d$	$0.454\lambda_{900}$
$l_p$	$0.391\lambda_{900}$
$d$	$0.114\lambda_{900}$

### 3.2 反射板構造の検討

図1のように、八木・宇田アンテナの後方に反射板を配置したモデルについて、反射板の各パラメータに対する特性の変化を調べる。ダイポールおよび導波器の寸法は、表2に示す最適値とする。

はじめに、ダイポール-主反射板間距離  $d_r$  について検討する。反射板付ダイポールアンテナでは、ダイポールと反射板の間隔が約  $0.25\lambda$  のとき良好な特性が得られることが知られているが、基地局アンテナはレドーム内に収納する必要があり、 $d_r = 0.25\lambda_{900}$  ではレドーム内にアン

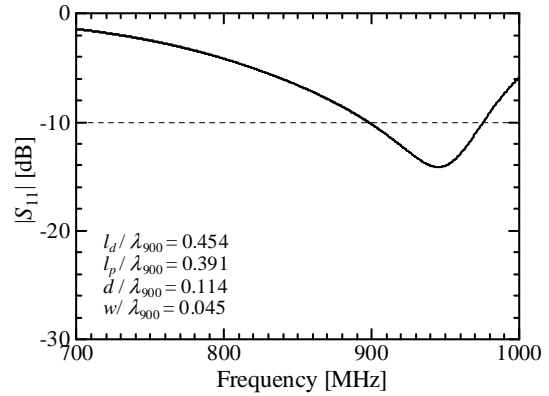


図5: 最適化された八木・宇田アンテナ素子の反射係数の周波数特性

テナを収めることができない。そこで、 $d_r$  を  $0.05\lambda_{900} \sim 0.25\lambda_{900}$  の範囲で変化させたときの指向性の変化を調べ、設計目標を満たしながら  $d_r$  を狭くすることが可能かどうかを調べた。 $d_r$  に対する半値幅および前後比の変化を計算した結果を図6に示す。なお、ここでは反射板を主反射板のみからなる構造とし、主反射板幅  $w_{r1} = 0.54\lambda_{900}$  とした。まず、前節で得られた結果と図6を比較すると、半値幅の値は低く、前後比の値は高くなっており、反射板の設置により指向性が大きく改善されていることが確認できる。また、半値幅は  $d_r$  の値に関わらず設計目標を満足している一方で、前後比は  $d_r = 0.1\lambda_{900}$  以下において設計目標を下回っている。 $d_r$  が高いほど前後比も高くなるため、 $d_r$  はアンテナがレドームに収まる範囲でなるべく高い値を選ぶことが望ましいといえる。提案アンテナの構造では、レドーム内にアンテナを収納するために概ね  $d_r \leq 0.17\lambda$  であることが必要であるため、 $d_r$  の値は  $0.165\lambda_{900}$  に決定した。

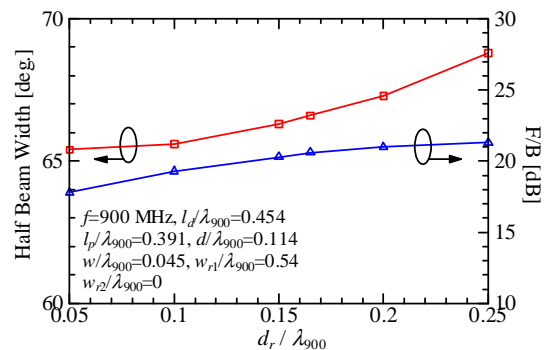


図6:  $d_r$  に対する半値幅および前後比の変化

つぎに、副反射板幅  $w_{r2}$  および副反射板開き角  $\alpha$  について検討する。ここでは、主反射板幅  $w_{r1} = 0.4\lambda_{900}$  に固定する。副反射板幅  $w_{r2}$  に対する半値幅および前後比の変化を計算した結果を図7に示す。ここで、 $w_{r2}$  の値は、アンテナがレドーム内に収まる範囲で変化させた。図7

では、副反射板開き角  $\alpha = 120^\circ, 150^\circ$  の2通りについて計算している．前後比を最大にするような  $w_{r2}$  の値が存在し、 $\alpha = 120^\circ, 150^\circ$  のいずれにおいても  $w_{r2} = 0.1\lambda_{900}$  において前後比が最大となっている．また、 $w_{r2}$  の値が大きくなると半値幅の値も高くなるが、 $\alpha = 120^\circ$  では  $w_{r2} > 0.8\lambda_{900}$  程度で設計目標の上限を超えているのに対し、 $\alpha = 150^\circ$  ではいずれの  $w_{r2}$  においても設計目標を満たしている．さらに、前後比は  $\alpha = 150^\circ$  のときが  $\alpha = 120^\circ$  のときより高くなっているため、半値幅、前後比の両面から  $\alpha = 150^\circ$  がより好ましいといえる．つぎに  $w_{r2} = 0.1\lambda_{900}$  に固定し、副反射板開き角  $\alpha$  に対する半値幅および前後比の変化を計算した結果を図8に示す．なお  $\alpha$  の値はアンテナがレドーム内に収まる範囲で変化させている． $\alpha$  が大きいほど半値幅は狭く、前後比は高くなっており、図中で  $\alpha = 150^\circ$  が最も好ましい値であることがわかった．

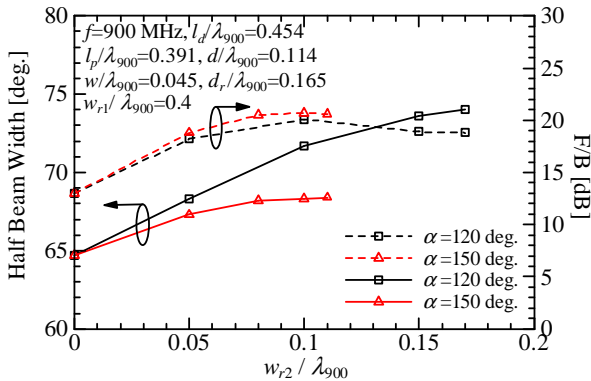


図 7:  $w_{r2}$  に対する半値幅および前後比の変化

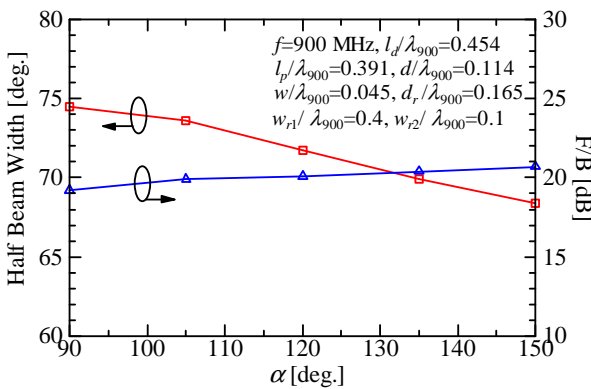


図 8:  $w_{r2}$  に対する半値幅および前後比の変化

以上の検討から、反射板の最適パラメータは表3に示す組み合わせであるという結論が得られた．このときの反射係数の周波数特性を図9に、放射パターンを図10に示す．図9より、設計した反射板付八木・宇田アンテナは900 MHz帯の使用周波数帯域に亘って反射係数の設計目標を満足していることが確認できる．指向性については、半値幅が900 MHzにおいて  $68.4^\circ$ 、960 MHzにおい

て  $65.9^\circ$ 、前後比が900 MHzにおいて20.7 dB、960 MHzにおいて22.2 dBであり、半値幅、前後比の両方について900 MHz帯の使用周波数帯域に亘り設計目標を満足することが出来た．

表 3: 反射板の最適パラメータ

$w_{r1}$	$0.4\lambda_{900}$
$w_{r2}$	$0.1\lambda_{900}$
$\alpha$	$150^\circ$

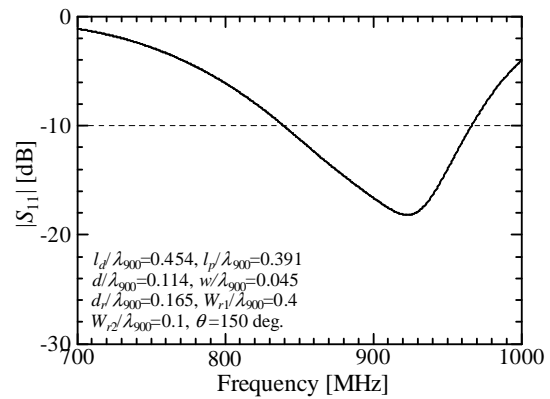


図 9: 最適化された反射板付八木・宇田アンテナの反射係数の周波数特性

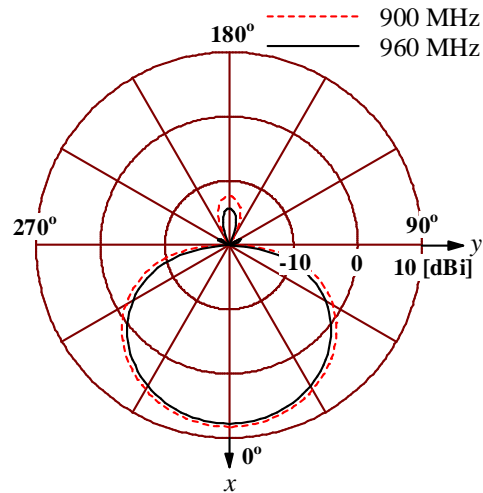


図 10: 最適化された反射板付八木・宇田アンテナの動作利得パターン

#### 4. むすび

900 MHz, 1.5 GHz, 2 GHz, 2.4 GHz の4周波共用基地局アンテナを設計することを目指して、900 MHz帯用反射板付八木・宇田アンテナを提案し、その設計を行った．

提案したアンテナ構造は，導波器および反射板の各構造パラメータを適切に設定することで，反射係数および指向性の設計目標を満たすことを示した．今後は 1.5 GHz，2 GHz，2.4 GHz 帯共用 TSA の設計を行う予定である．

#### 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] 杉本 由紀, 恵比根 佳雄, “移動通信における 60 ° と 120 ° ビーム幅を有する 3 周波共用基地局アンテナ,” 信学技報, A・P99-47, pp. 35 - 42, 1999 年 7 月 .
- [3] 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 .
- [4] P.J. Gibson, “The Vivaldi Aerial,” Proc. 9th Eur. Microwave Conf., Brighton, U.K., pp.101-105, June 1979.
- [5] D.H.Schaubert, E.L.Kollberg, T.L.Korzeniowski, T.Thungren, J.F.Johansson, and K.S.Yngvesson, “Endfire tapered slot antennas on dielectric substrates,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.33, pp. 1392 - 1400, Dec. 1985.
- [6] 陳 強, 清野 慎介, 澤谷 邦男, 田中 健, “移動通信基地局用多周波共用アレーアンテナ素子の検討,” 信学技報, A・P2012-44, pp. 81 - 84, 2012 年 7 月 .