

Sub-6 帯における二偏波基地局アレイアンテナの利得向上に関する検討

シュウ ジュンイ† ウー スーラオ† 陳 強†

† 東北大学大学院 工学研究科 通信工学専攻 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

E-mail: † {xu.junyi.p8, wu.sirao.s4, qiang.chen.a5}@dc.tohoku.ac.jp

あらまし Sub-6 通信システム用の基地局アンテナには、無指向性と高指向性の放射パターンが要求される。本論文では、5GHz 帯で動作する M 層 N 素子クロスダイポールアンテナ（内側が円筒導体、外側がレドーム）の解析について説明します。提案された構造の可用性を評価する。また、その結果を発表し、議論します。無指向性放射を確保するための真円度の制限のもと、垂直偏波で 12dBi、水平偏波で 11dBi の高い利得が観測された。

キーワード 高利得, 垂直偏波, 水平偏波, 無指向性, 基地局アンテナ, Sub-6 帯

Study on Gain Enhancement of Dual-Polarized Base Station Array Antenna in Sub-6 Band

Junyi Xu † Sirao Wu † and Qiang Chen †

† Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

6-6-05 Aramaki Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8579, Japan

E-mail: † {xu.junyi.p8, wu.sirao.s4, qiang.chen.a5}@dc.tohoku.ac.jp

Abstract Base station antennas for Sub-6 communication systems require omnidirectional and highly directional radiation patterns. This paper describes the analysis of M layer N elements cross dipole antenna working at 5 GHz with cylindrical conductor inside and radome outside. The availability of proposed structure is evaluated. Results will be presented and discussed. High gain around 12 dBi with vertical polarization and 11 dBi with horizontal polarization are observed under the limitation of roundness to ensure omnidirectional radiation.

Keywords High gain, Vertical polarized, Horizontal polarized, Omnidirectional, Base station antenna, Sub-6

1. まえがき

Sub-6 通信システム用の基地局アンテナは、無指向性と高指向性の放射パターンが要求されます。従来は、移動体通信システムを確保するために、グラウンドプレーンアンテナ、コリニアアレイアンテナ、マルチパネルアレイアンテナなどの基地局が考案されてきた [1,2]。また、アンテナの利得を大きくするために、ケーブル給電用の導体チューブを反射板として利用するケースもある。しかし、無指向性放射パターンを意味する真円度を満足するためには、多数のアンテナ素子が必要となる。

本論文では、Sub-6 帯用高利得無指向性基地局アンテナを提案します。すなわち、レドームをアンテナアレイの外側に用いることで、少ない素子数、小型化で利得を大きくし、真円度を満足させる。5 GHz で動作する。レドームを使用することで、無指向性の放射パターンをコンパクトな形状で実現することができます。レドーム無しのアンテナに比べ、平均利得は約 2dB 向上しています。また、多層構造のアレイを構成するこ

とにより、平均利得を増加させることができ、例えば、8 層の場合、垂直偏波で約 12 dBi、水平偏波で 11 dBi となります。

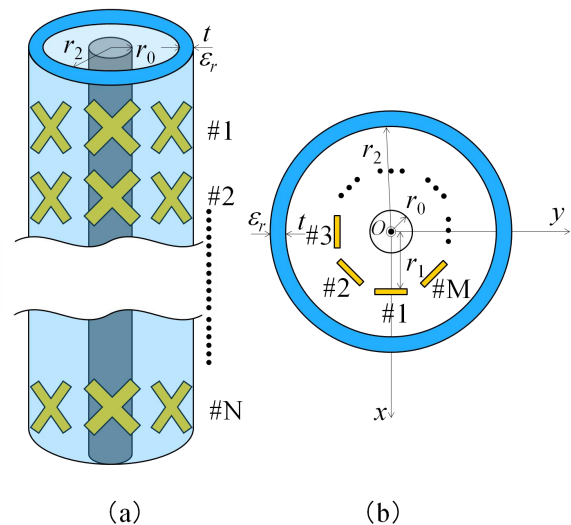


図 1 提案したアンテナ構造(a)斜視図 (b)上面図。

2. アンテナ設計

プリントアンテナ分野では、プリント回路アンテナの上部にスーパーステーションを配置し、コンパクトな方法でアンテナの利得を向上させることができる[3]。そこで、円筒形レドームを用いた Sub-6 帯用高利得無指向性基地局アンテナを設計している。

図 1 に提案する MxN 素子基地局アンテナの構造を示す[4]。導体円筒の半径は r_0 であり、主に真円度の要求を満足するように調整されている。また、レドーム円筒の半径は r_2 であり、厚さ t と誘電率 ϵ_r が設定されている。この研究では、レドームの材料として FR4 ($\epsilon_r=4.4$) が選ばれています。アンテナは全部で M 層あり、各層に N 個の素子が配置されています。全てのアンテナ素子は半径 r_1 の円周上に平均的に配置される。例えば、3x1 素子の場合、3 個の素子が 1 層に配置され、それぞれ 120° をカバーする。素子設計としては、2 つのダイポール間の給電位相を変えることで垂直・水平偏波を実現できるクロスダイポールを採用した。

3. 評価結果

プリントアンテナ分野では、プリント回路アンテナの上部にスーパーステーションを配置し、コンパクトな方法でアンテナの利得を向上させることができる[3]。そこで、円筒形レドームを用いた Sub-6 帯用高利得無指向性基地局アンテナを設計している。

導体円筒の半径は真円度要求のために調整する主要なパラメータである。そのため、他のパラメータは制御変数の観点から一定に設定されている。[3]と同様に、アンテナから導体円筒までの距離は 5 GHz で $\lambda_0/4=15$ mm 程度、導体円筒からレドーム内側面までの距離は 5 GHz で $\lambda_0/2=30$ mm 程度である。また、レドームの厚さ t は 5 GHz の場合、 $\lambda_g/4=7.5$ mm 程度となります。

真円度は、無指向性放射パターンが実現されているか否かを直接的に反映するパラメータです。通常、真円度は 3 dB 以下が好ましいとされています。また、通常定義される指向性利得は、無指向性アンテナの評価には適さないため、本研究では、平均利得を使用しています。平均指向性利得の定義は以下の通りである。

$$D_a = \frac{\sum_0^{2\pi} D(\phi)}{2\pi} \quad (1)$$

まず、レドームの効果を評価するために、1 層 4 素子でレドーム付きとレドーム無しのシミュレーションを行った。図 2 に、 $r_0=18$ mm、 $r_1=33$ mm、 $r_2=48$ mm の場合、レドーム有無の水平面(xoy)内の放射パターンを示します。レドーム無しの 4 素子 1 層アンテナでは、明らかに無指向性放射パターンが得られていない。こ

の場合、円形度は 11.08 dB となり、無指向性パターンの要求を満たすには全く不十分である。また、最大利得は 5.98 dBi ですが、平均指向性利得は 2.28 dBi に留まっています。次に、レドーム付 4 素子 1 層アンテナでは、最大利得は 5.73 dBi とレドーム無しとほぼ同じになります。しかし、この場合の真円度は 2.7 dB に留まっています。レドーム構造により、少ない素子とコンパクトな形状で無指向性パターンが実現されていると言えます。また、平均指向性利得はレドーム無しと比較して 2.61 dB 増加しています。レドームが平均利得を増加させる理由は、図 3 に示すレドーム有無の垂直面(xoz)での放射パターンにあります。レドーム付きアンテナのビーム幅は、レドーム無しと比較して明らかに狭くなっています。他の θ 方向に放射されるエネルギーは $\theta=90$ 度平面に集中する。

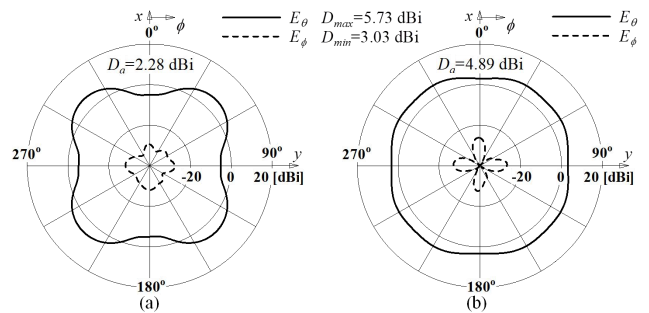


図 2 垂直偏波における指向性パターン(xoy 面) (a)レドームなし (b)レドームあり。

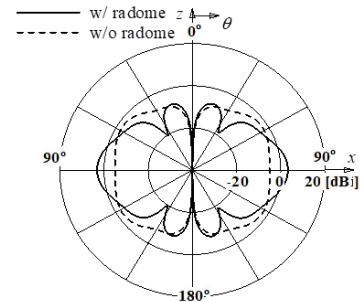


図 3 垂直偏波における指向性パターン(xoz 面)。

平均利得に及ぼす媒質の厚さの影響を図 4 に示す。平均利得は、媒質の電気的厚みが $\lambda_g/4$ の奇数倍程度するときのみ観測される。したがって、本設計では、媒質の厚さとして $\lambda_g/4$ を使用する。また、レドームの誘電率は、図 5 に示すように、真円度のある周波数帯域に影響を与える。FR4 と比較するために、比誘電率 10 の CS-3396 を使用しました。この媒体の厚さは、比誘電率の下で、 $\lambda_g/4$ に調整されています。比誘電率が高いと、誘電率の違いにより電気的厚みが急激に変化し、厚みが $\lambda_g/4$ から離れるため、明らかに真円度の帯域が

狭くなるのが分かります。

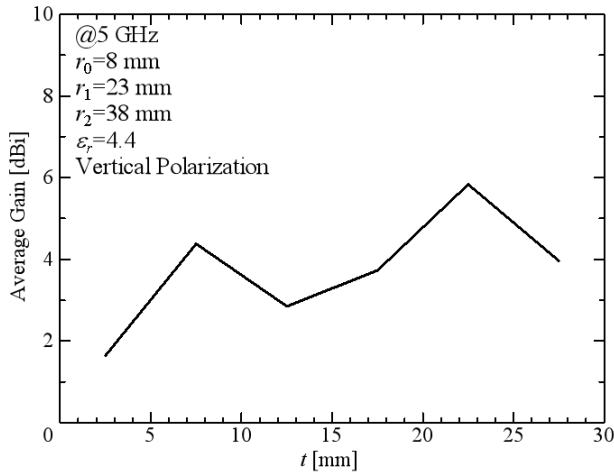


図 4 垂直偏波における媒質厚みが平均利得に対する影響。

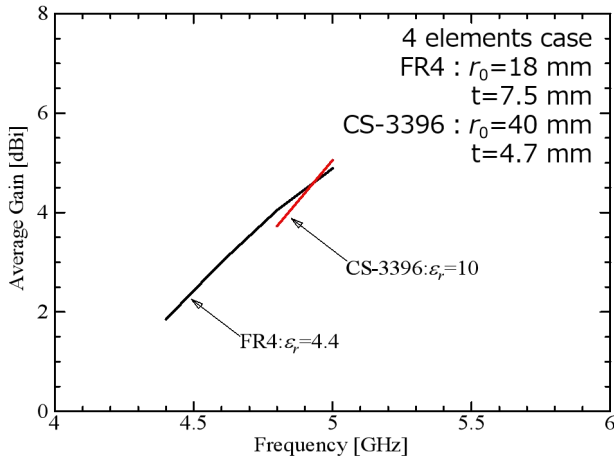


図 5 垂直偏波における媒質比誘電率が平均利得に対する影響。

さらに高利得を得るために、3×8 素子などの多層構造が利用されます。コピー＆ペーストのように単純に層を増やすと、アンテナが置かれた方向のみエネルギーが集中するため、真円度が悪化します。この問題に対処するため、奇数層を回転させてギャップをカバーする。放射パターンを図 6 と図 7 に示します。この場合、平均利得は 11.89 dBi に達し、丸みは 2 dB となります。また、垂直方向のビーム幅は 1 層の場合よりも明らかに狭くなっています。ブロードサイドアレイを実現するために、隣接するレイヤー間の距離を半波長としました。実際には、素子間隔を広げると、さらに高い利得が得られます。

全ての設計を垂直偏波で行い、給電位相を変えて水平偏波とした。放射パターンを図 8 に示す。垂直偏波での設計のため、水平偏波での真円度が 3 dB の制限を

満たさないことは明らかである。しかし、この問題は、高利得を得るために、多層構造とツイスト構造を利用しているので、容易に対処できる。水平偏波の場合、8 層構造で平均 11 dBi の利得が得られています。

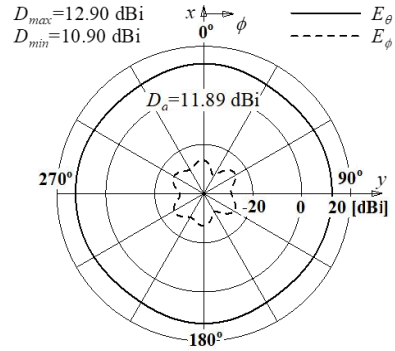


図 6 8 層構造の指向性パターン(xoy 面)。

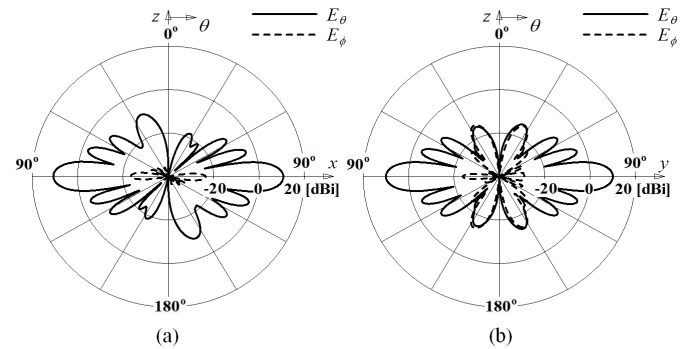


図 7 8 層構造の指向性パターン。(a)φ=0 度 (xoz). (b)φ=90 度 (yoz)

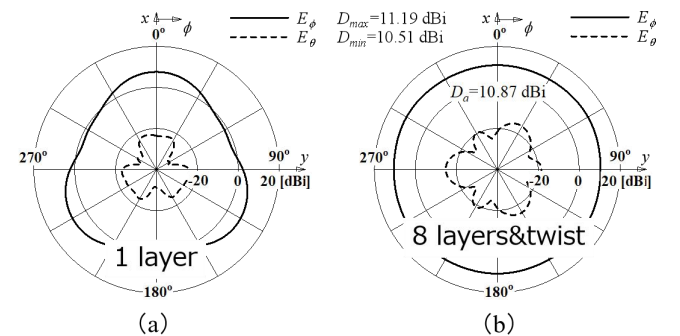


図 8 水平偏波指向性パターン。(a)1 層構造. (b)8 層回転構造

4. まとめ

Sub-6 帯用高利得無指向性基地局アンテナを提案した。すなわち、アンテナアレイの外側にレドームを使用し、少ない素子とコンパクトなサイズで利得を拡大し、真円度の要求を満足させた。5 GHz で動作した。レドームを使用することで、無指向性の放射パターンを実現し、コンパクトな形状を実現しました。レドーム

ム無しのアンテナに比べ、平均利得は約 2 dB 向上しました。また、多層構造のアレイを構成することで平均利得が向上し、例えば 8 層構造の場合、垂直偏波で約 12 dBi、水平偏波で約 11 dBi となりました。

謝辞

本研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究（02201）により得られたものです。

文 献

- [1] R. W. Masters, "The super turnstile antenna," Broadcast News, no. 42, January 1946.
- [2] Y. Mushiake, (Ed.) Antenna Engineering Handbook, The OHM-Sha, Ltd., October, 1980.
- [3] D. Jackson and N. Alexopoulos, "Gain enhancement methods for printed circuit antennas," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 33, no. 9, pp. 976-987, September 1985, doi: 10.1109/TAP.1985.1143709.
- [4] Qiang Chen, Junyi Xu, "A technology using the radome for the base station antenna to achieve high gain.", Japan Patent PCT/JP2022/012896, March 18, 2022