

# 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

シュー ジュンイ<sup>†</sup> ウー スーラオ<sup>†</sup> 陳 強<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 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として、水平面内無指向性の高利得アンテナが要求される。本論文では、円筒導体の外側にダイポールアンテナを配列し、その外側に円筒のレドームを設けた 5GHz 帯 M 層 N 素子クロスダイポールアレイアンテナを提案し、その特性を解析した結果について述べ、水平面内の真円度に優れた垂直偏波で 12dBi、水平偏波で 11dBi の高利得が得られることを示している。

**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<sup>†</sup> Sirao Wu<sup>†</sup> and Qiang Chen<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 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** As base station antennas for Sub-6 communication systems, high gain antennas with omni-directionality in the horizontal plane are required. In this paper, a 5 GHz-band M-layer N-element crossed dipole array antenna with a cylindrical conductor and a cylindrical radome is proposed and its characteristics are analyzed. The results show that a high gain of 12 dBi for vertical polarization and 11 dBi for horizontal polarization with excellent circularity in the horizontal plane is obtained.

**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として水平面内無指向性の高利得アンテナを用いる方法が検討されている。これまで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アンテナが提案されてきた [1,2]。また、利得を向上させるために、ケーブル給電用の導体チューブを反射板として利用した例もある。しかしながら、水平面内放射パターンの真円度を満足させるためには、多数のアンテナ素子が必要となる。

本論文では、少ない素子数で利得と水平面内パターンの真円度に優れた Sub-6 帯用水平面内無指向性高利得基地局アンテナとして、円筒導体の外側にダイポールアンテナを配列し、その外側に円筒のレドームを設けた構造を提案する。また、平面内パターンの真円度並びに水平面内の平均利得に着目して数値計算を行い、提案アンテナの特性を明らかにする。

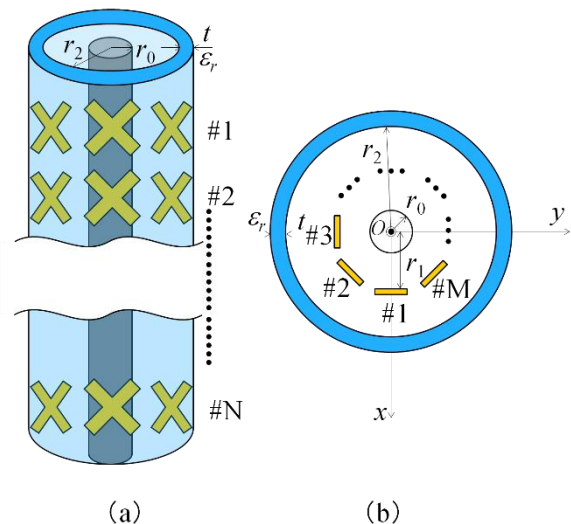


図 1 提案したアンテナ構造(a)斜視図 (b)上面図。

### 2. アンテナ設計

図 1 に提案する M×N 素子基地局アンテナの構造を示す [4]。円筒導体の外側にクロスダイポールアンテナを配列し、その外側に円筒のレドームを設け

られている。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る。また、レドーム円筒の内半径は  $r_2$  であり、厚さは  $t$ 、誘電率は  $\epsilon_r$  である。本論文では、レドームの材料として FR4 ( $\epsilon_r=4.4$ ) を用いている。アンテナは全部で  $M$  層あり、各層に  $N$  個のクロスダイポール素子が配置されている。全てのアンテナ素子は半径  $r_1$  の円周上に等間隔で配置されている。例えば、 $1 \times 3$  素子の場合、3 個の素子が 1 層に配置され、それぞれ  $120^\circ$  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により垂直・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

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。[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 程度としている。

真円度は水平面内の最大利得と最小利得の比で定義され、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ある。また、通常の指向性利得だけでは、無指向性アンテナの評価には適さないため、次式で定義される平均利得を使用する。

$$D_a = \frac{\int_0^{2\pi} D(\phi) d\phi}{2\pi} \quad (1)$$

まず、レドームの効果の評価するために、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 ( $xy$ ) 内の放射パターンを示す。レドーム無しの 1 層 4 素子アンテナでは、真円度は 11.08 dB となり、明らかに無指向性放射パターンが得られていない。また、最大利得は 5.98 dBi であるが、平均利得は 2.28 dBi に留まっている。次に、レドーム付 1 層 4 素子アンテナでは、最大利得は 5.73 dBi とレドーム無しとほぼ同じであるが、この場合の真円度は 2.7 dB に改善されている。レドームを設けることにより、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。また、平均指向性利得はレドーム無しと比較して 2.61 dB 向上している。図 3 にレドーム有無の場合の垂直面 ( $xz$ ) 放射パターンを示す。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おり、その結果、平均利得が向上していることが分かる。

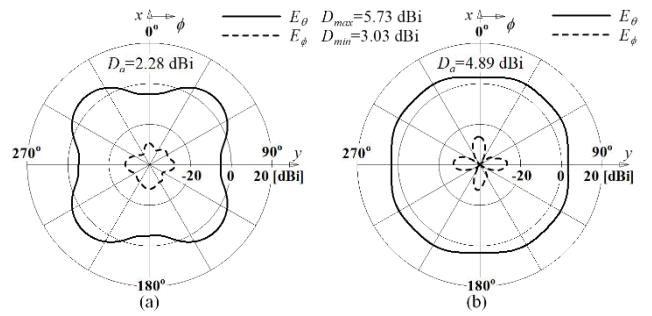


図 2 垂直偏波における水平面内パターン ( $xy$  面)  
(a)レドームなし (b)レドームあり。

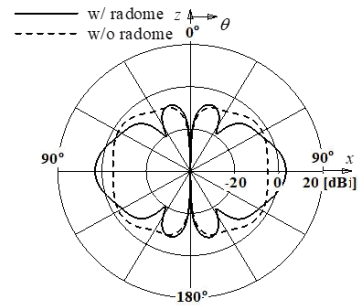


図 3 垂直偏波における垂直面内パターン ( $xz$  面)。

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  $t$  が  $\lambda_g/4$  の奇数倍程度のときに高くなっていることが分かる。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。

図 5 にはレドームの材料として、FR4 ( $\epsilon_r=4.4$ ) と比較するために CS-3396 ( $\epsilon_r=10$ ) を使用した場合の真円度の周波数特性を示す。この媒体の厚さ  $t$  は  $\lambda_g/4$  に調整されている。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、真円度の周波数特性が急峻になっていることが分かる。

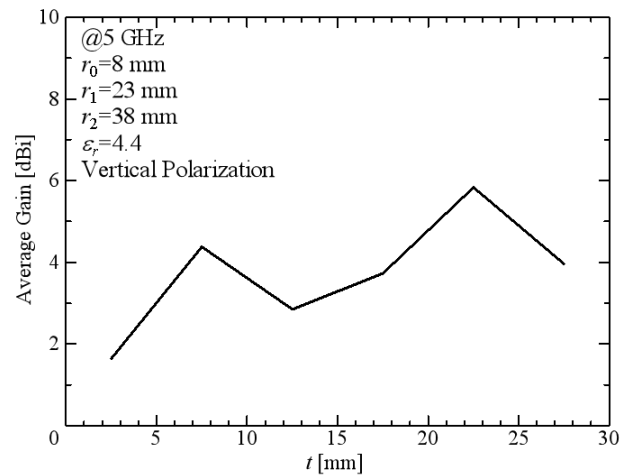


図 4 垂直偏波における媒質厚みが平均利得に及ぼす影響。

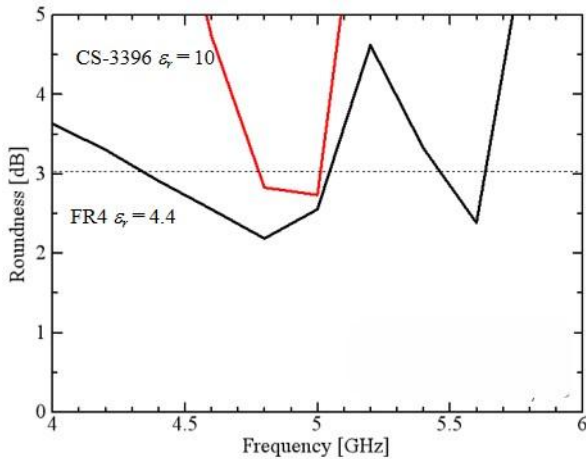


図5 垂直偏波における媒質比誘電率が真円度の帯域幅に及ぼす影響。

さらに高利得を得るために、3×8素子などの多層構造について検討を行ったところ、単純に層を増やすと、アンテナが置かれた方向にのみエネルギーが集中するため、真円度が悪化することが分かった。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埋める構造をカバーする構造を考えた。水平面内並びに垂直面内の放射パターンをそれぞれ図6と図7に示す。ただし、隣接するレイヤー間の距離を半波長とした。この場合、平均利得は11.89 dBiに達し、真円度は2 dBとなった。垂直面内のビーム幅は1層の場合よりも明らかに狭くなっている。隣接するレイヤー間の距離を広げると、さらに高い利得が得られることが予想される。

これまでの結果は全て垂直偏波であるが、給電位相を変えて水平偏波とした場合についても計算を行った。水平偏波の場合の放射パターンを図8に示す。垂直偏波での設計のため、1層構造水平偏波での真円度は3 dBを越えている。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。例えば水平偏波の場合、8層構造で平均11 dBiの利得が得られている。

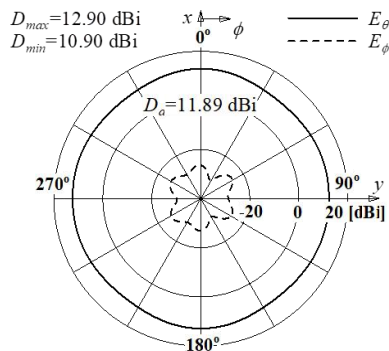


図6 8層構造の指向性パターン(xoy面)。

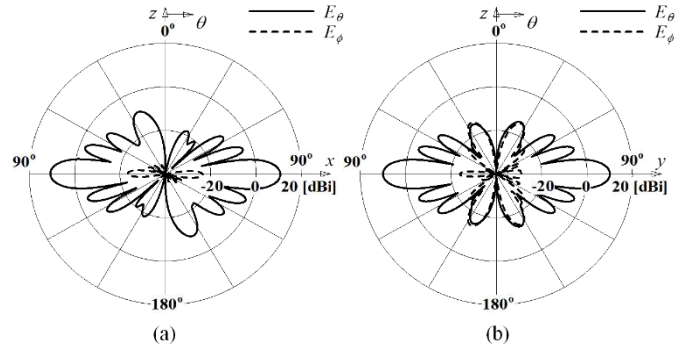


図7 8層構造の指向性パターン。(a)φ=0度(xoz). (b)φ=90度(yoz)

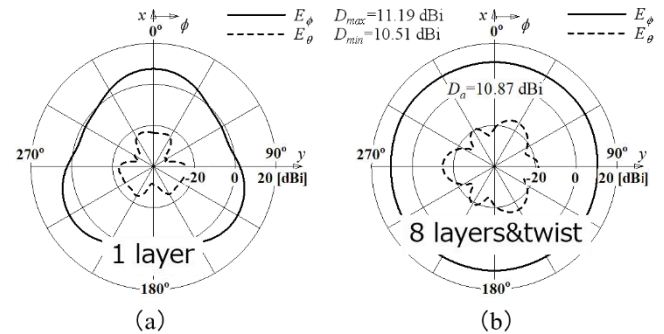


図8 水平偏波指向性パターン。(a)1層構造. (b)8層回転構造

#### 4. まとめ

Sub-6帯用高利得水平面内無指向性基地局アンテナとして、円筒導体の外側にダイポールアンテナを配列し、その外側に円筒のレドームを設けた構造を提案した。数値計算の結果、レドーム無しのアンテナに比べ、平均利得は約2 dB向上し、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、平均利得が垂直偏波で約12 dBi、水平偏波で約11 dBiとなることが分かった。これにより、少ない素子とコンパクトなサイズで利得が向上し、真円度に優れたアンテナが得られることが分かった。

#### 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。

#### 文献

- [1] R. W. Masters, "The super turnstile antenna," Broadcast News, no. 42, January 1946.
- [2] 電子通信学会編, アンテナ工学ハンドブック, オーム社, 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