

固定無線装置用22GHz帯平面アンテナの開発

Development of 22GHz Band Planar Antenna for Wireless Access Equipment

吉田 吾朗 Goro Yoshida	渋谷 裕三 Yuzo Shibuya	三浦 庸平 Yohei Miura	後藤 尚久 Naohisa Goto
竹内 俊二 Shunji Takeuchi	井上 敏之 Toshiyuki Inoue	安達 慶治 Keiji Adachi	檜森 貞実 Sadami Himori

要 旨

近年、固定無線装置用のアンテナとして平面形状のアンテナが採用される事例が多く見られる。これは全ての回路をアンテナの背面と一体化し、装置を小型化するためである。当社は22GHz帯固定無線装置用アンテナとして、耐風速90m/sを実現した1024素子高効率パッチアレーを開発した。放射損失を抑圧するためにトリプレート線路を採用し、高効率特性を得た。さらに、半波長板レドームの材料にFRPを採用し、また形状を工夫することによりレドームが耐風速90m/s以上の特性を有することをシミュレーションで確認した。これにより強風地域に対応した、無線機と一体化が可能な平面アンテナを実現した。

Abstract

Recently, planar antennas such as a slotted waveguide array or a patch array have been used in Wireless Access Equipment since all circuits are easily integrated on the back of the antenna. The Wireless Access Equipment that adopts a planar antenna can be easily installed at the base station and it is also has good aesthetics. However, for patch arrays with over 1000 elements, the dielectric material has huge loss due to the long transmission line. Furthermore, a wind resistance over 90m/s is required for the half wavelength radome. JRC has developed a 22 GHz band planar antenna for Wireless Access Equipment. It consists of 1024 patch elements and has high efficiency due to the use of striplines. In addition, we have selected fiber reinforced plastic for the half wavelength radome, and it has been confirmed by simulation that the radome possesses a wind resistance greater than 90m/s.

1. まえがき

従来、固定無線装置に用いるアンテナはカセグレン等の反射鏡アンテナが一般的であったが、近年では無線機の小型化が進み、アンテナと一体化するため導波管スロットアレーアンテナやパッチアレーアンテナ等の平面アンテナを採用する事例が多く見られる⁽¹⁾。平面アンテナを採用した無線装置は施工性に優れ、また装置が小型で目立ちにくいことため美観を配慮した設置が可能となる。しかしマイクロ波帯において1000素子以上の高利得アンテナが低価格で望まれる場合、導波管スロットアレーアンテナはその大きさから製造が困難であり、またパッチアレーアンテナは長い伝送線路による損失が無視できないため、実用化のためにはコストを意識した構造での低損失化実現が課題となる。

一方、固定無線装置に要求される耐風速性能は従来60m/sが主流であったが、近年では90m/sを超える性能が要求されるようになってきた。マイクロ波帯のアンテナに装荷するレドームにおいては平面形状の単層誘電体板であり且つその厚みが実効半波長である半波長板レドームを使用するのが一般的である⁽²⁾。大口径の平面アンテナにこのレドーム

を装荷した場合、材料の物性値によっては風速90m/sで大きく変形し、アンテナ特性を劣化させる恐れがある。

今回開発した22GHz帯の平面アンテナは約1000素子のパッチアレーアンテナであるが、給電線路にトリプレート線路を採用することにより高効率特性を実現した。また半波長板レドームの材料にFRPを採用し、形状を工夫することにより耐風速90m/sを満足することをシミュレーション検討で確認し、さらにはレドームの反射特性の広帯域化を実現したので以下に紹介する。

2. アンテナの構造

開発したアンテナは、22GHz帯のトリプレート給電型1024素子パッチアレーである。本アンテナの分解図を図1に示す。上から無給電素子基板、スロット板(地導体)、誘電体板、アンテナ素子基板、誘電体板、地導体の順に積層し、上下の地導体をネジで連結する。無給電素子は各アンテナ素子と同一軸上にあり、広帯域特性を得るために設けた。スロット板にはアンテナ素子と無給電素子を結合させるためのスロット開口が設けられている。アンテナ素子基板にはア

アンテナ素子と、各素子に給電する線路を同一面上に設けてあるが、給電線路はスロット板のスロットとスロットの間に配置してあるためトリプレート線路として機能し、放射損が抑圧されるため高効率特性が実現可能となる。

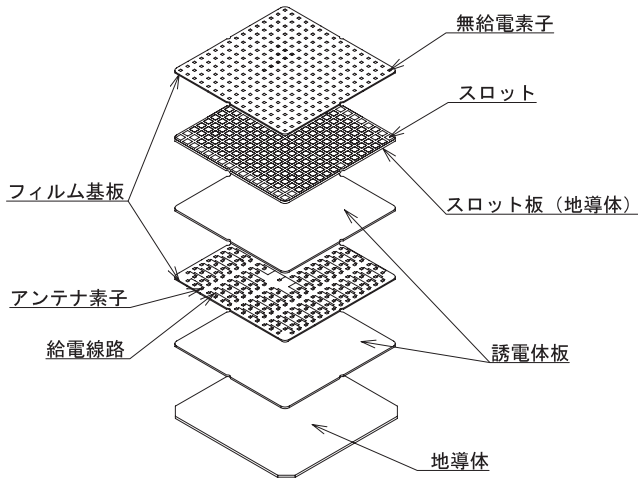


図1 アンテナ分解図
Fig.1 Exploded view of antenna

3. 半波長板レドームの耐風速強度解析

アンテナを屋外設置、特に強風地域や高所に設置する場合、レドームには風圧に十分耐える強度が必要である。特に今回は耐風速90m/sを満足するために、下記2点についてシミュレーションで検討した。

- (1) レドームの形状
- (2) レドームの材料

平面アンテナに装荷するレドームとしては平面形状が好ましいが、今回の様に大口径であり且つ単層誘電体板レドームの場合、中央部の強度が不足する。そこで図2に示す様なピラミッド型とすることにより耐風速性能の向上を図った。また材料についてはマイクロ波帯で広く使用されているAES樹脂と、厚み誤差が大きいが強度のあるFRPと比較検討した。レドームの正面に90m/s相等の荷重を加えた際に生ずるレドームの最大変位量の検討結果を図3に示す。横軸は図2に示すレドームピーク高さ d を表し、縦軸はレドームの最大変位量を表す。

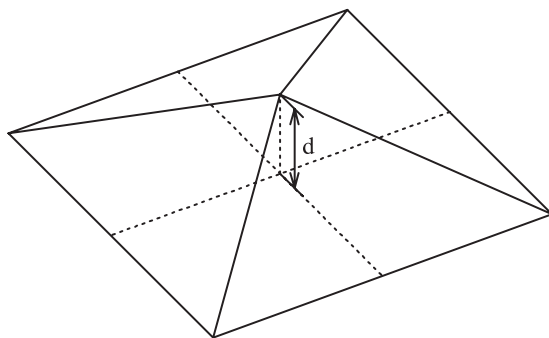


図2 レドームの形状
Fig.2 Configuration of the radome

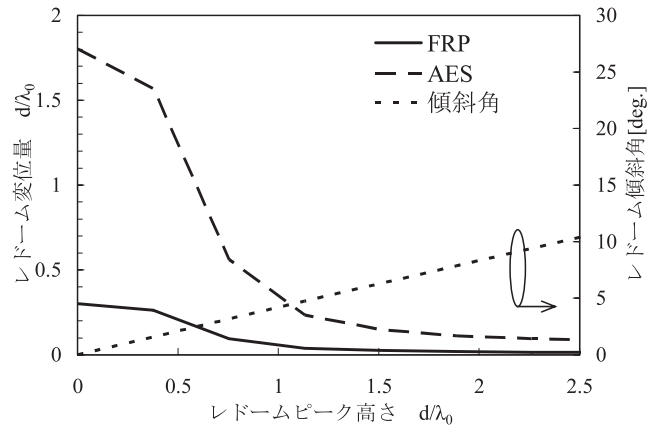


図3 風速90m/sにおけるレドームの変位量
Fig.3 Displacement magnitude of radome in 90m/s wind

$d=0$ の平面形状ではFRPとAESの変位量の差は明らかであり、FRPでも約 $0.3\lambda_0$ の変位が見られる。 d を大きくすればFRP, AES共に変位量が減少するが、 d を大きくしすぎると平面アンテナの特徴が失われるため、FRPであれば $d=\lambda_0\sim 1.5\lambda_0$ とするのが最適といえる。

また $d=0, 0.8\lambda_0, 2.3\lambda_0$ としたときのレドーム変位分布を図4に示す。ピラミッド型にすることにより変位箇所が分散されていく様子がわかる。

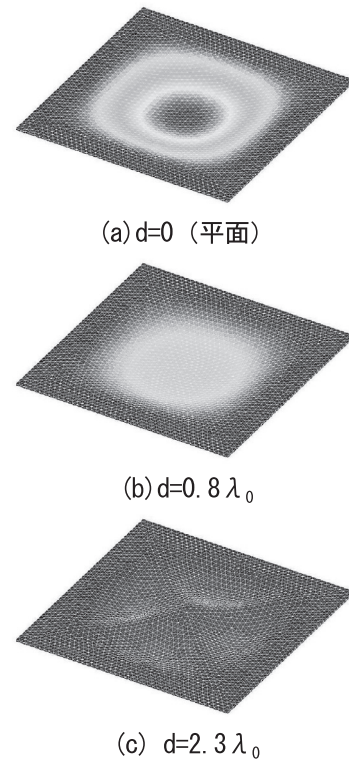


図4 レドーム変位分布
Fig.4 Distribution of radome deflection

4. ピラミッド型レドームによる反射抑圧量の検討

ハンドレイアップ成型法により製造されたFRPレドームは、強度はあるが厚みが設計値に対して大きくばらつくため、通常マイクロ波帯以上の平面アンテナには適さない。しかし、レドーム形状をピラミッド型にすることにより、耐風速性能向上だけでなく反射係数が広帯域となるため、厚みが設計値に対して誤差を含んでも反射係数への影響は小さくなる。ここでは、レドームピーク高さ d による反射の変化について検討した結果を示す。

図5に示す正方配列した素子にピラミッド型のレドームを装荷したモデルを考えた場合、レドームの傾斜によりレドームからの反射位相が素子毎に異なり、入力ポートからみたレドームの反射係数が平面時に比べて低減される。平面レドームの反射係数とピラミッド型レドームの反射係数の比を反射抑圧量と定義し、レドームピーク高さ d を変数として計算した結果を図6に示す。横軸は図2の d を表し、縦軸は反射抑圧量を表す。

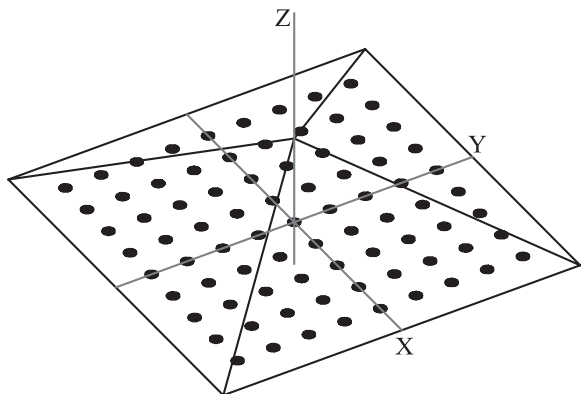


図5 計算モデル例
Fig.5 Calculation model

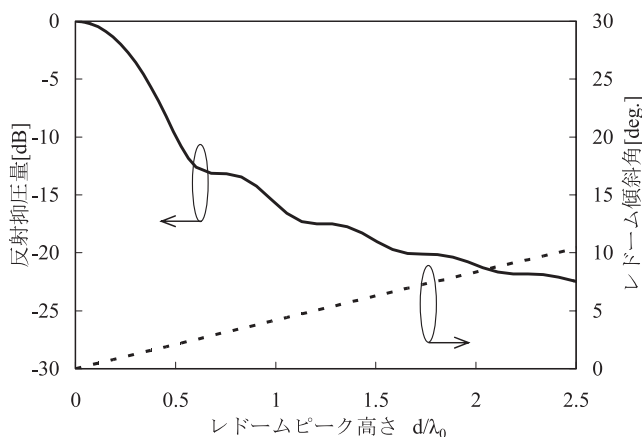


図6 レドームの傾斜と反射の関係
Fig.6 Relationship between radome angle and reflected amplitude

結果、 d の増加に伴い反射抑圧量が改善するという傾向を得た。先に述べた d の最適範囲 $d = \lambda_0 \sim 1.5 \lambda_0$ では $-15\text{dB} \sim -20\text{dB}$ 程度の反射抑圧量が得られる。また、 $d=0$ (平面) と、 $d=1.4 \lambda_0$ としたレドームの VSWR 周波数特性を図7で比較した。結果、 d の増加に伴いレドームの反射係数が広帯域となることを確認した。

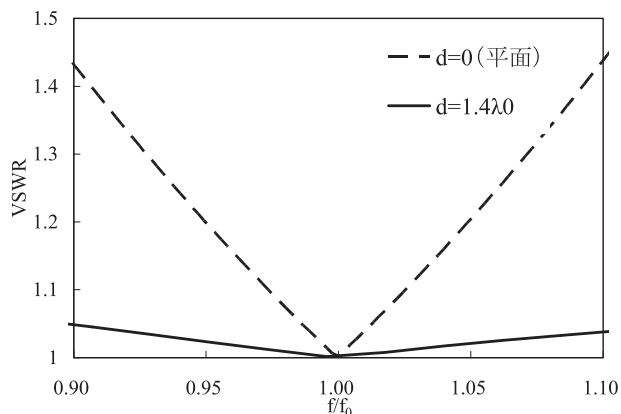


図7 レドームのVSWR特性
Fig.7 VSWR of the radome

5. アンテナの電気特性

試作したアンテナの電気特性を評価した。評価項目は、VSWRの周波数特性、利得の周波数特性、指向性特性の3項目である。表1に本アンテナ (FRPレドーム装荷時) の主要特性を示す。また試作アンテナの外観写真を図8に示す。次ページにはそれぞれの評価結果を示す。

表1 アンテナの主要特性 (FRPレドーム装荷時)
Table1 Main characteristics of antenna (with radome)

周波数帯	22GHz帯
VSWR1.5以下の比帯域	約11%
動作利得	36dBi以上
開口効率	46%以上
交差偏波識別度	25dB以上



図8 試作アンテナ
Fig.8 Fabricated antenna

5.1 VSWRの周波数特性

図9にVSWRの周波数特性の測定値を示す。VSWR1.5以下の比帯域が約11%と、広帯域な特性が得られた。

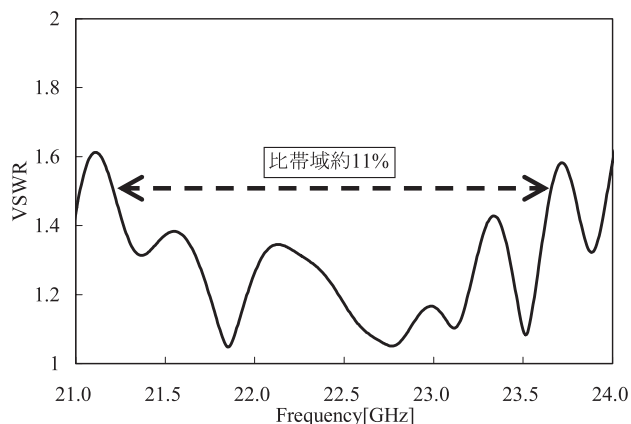


図9 VSWRの周波数特性

Fig. 9 Frequency characteristics of VSWR

5.2 利得の周波数特性

図10にアンテナ利得の周波数特性の測定値を示す。22GHz帯で36dBi以上の利得が得られている。また損失の大きいFRPレドーム装荷時にて開口効率46%以上を実現した。

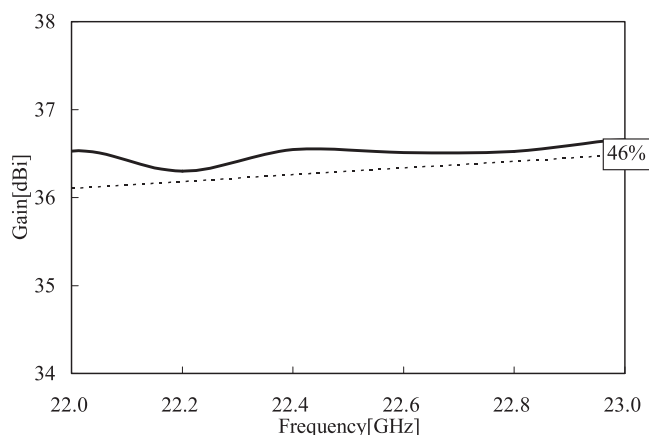


図10 利得の周波数特性

Fig.10 Frequency characteristics of gain

5.3 指向性特性

図11に垂直偏波水平面内指向性を、図12に水平偏波水平面内指向性を示す。図中には主偏波と交差偏波を表示しており、交差偏波識別度は25dB以上得られている。ビーム幅は約2度となっている。なお、レドームによる指向性の劣化はほとんど見られなかった。

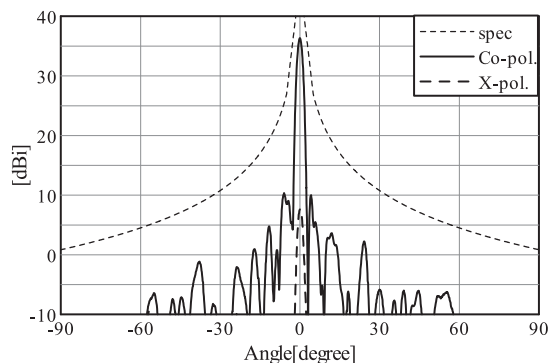


図11 垂直偏波 水平面内指向性

Fig. 11 Radiation pattern (H-plane)

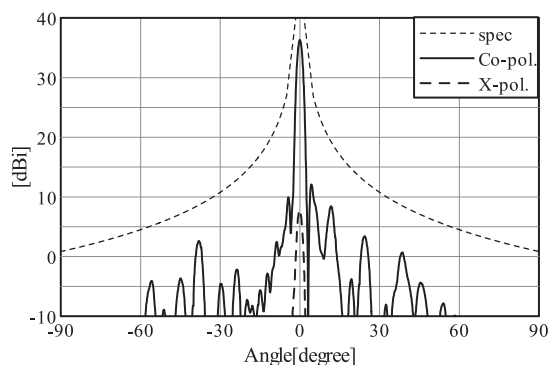


図12 水平偏波 水平面内指向性

Fig. 12 Radiation pattern (E-plane)

6. あとがき

本稿では、給電線路にトリプレート線路を採用して高効率特性を実現した22GHz帯の1024素子パッチアレーアンテナを紹介した。また半波長板レドームの材料にFRPを採用し、形状をピラミッド型にすることにより耐風速90m/sを満足し且つレドームの反射係数が広帯域となることを示した。

参考文献

- (1) Y.Kimura, Y.Miura, T.Shirosaki, T.Taniguchi, Y.Kazama, J.Hirokawa, M.Ando, T.Shirouzu, IEEE Trans. AP., vol.53, no.8, pp.2456-2463, August 2005.
- (2) M.I.T Radiation Laboratory Series 26, 1948

用語一覧

FRP : Fiber Reinforced Plastic (繊維強化プラスチック)
 AES : Acrylonitrile Ethylene Styrene (アクリロニトリルエチレンスチレン)
 VSWR : Voltage Standing Wave Ratio (電圧定在波比)
 Co-pol. : Co-Polarization (主偏波)
 X-pol. : Cross-Polarization (交差偏波)