

レトロディレクティブ用多層デュアルバンドアンテナの開発† Dual-band Antenna on Multi-layer substrate for Retrodirective

長谷川直輝^{*1‡}・篠原真毅^{*1}・川崎繁男^{*2}
Naoki HASEGAWA^{*1}, Naoki SHINOHARA^{*1}, Shigeo KAWASAKI^{*2}

本研究ではレトロディレクティブ用小型軽量のアンテナシステムのために、多層基板の上にデュアルバンドアンテナを試作した。試作した2x2アンテナのゲイン測定の結果、8.49 dBi (@ 7.11 GHz) 及び9.61 dBi (@ 8.29 GHz) のアンテナ利得を確認した。また、アンテナの各ポート後段にバンドパスフィルタを導入することで、-49.5 dB (@ 7.11 GHz) 及び-52.8 dB (@ 8.29 GHz) のアイソレーション特性を確認した。ミキサと試作した1x2アンテナを用いたビーム方向制御試験では、アンテナ間位相差から導出される放射角の理論値と測定値を比較した。

In this work, the dual-band antenna on a multi-layer substrate for retrodirective is fabricated. The gain of 8.49 dBi at 7.11 GHz and 9.61 dBi at 8.29 GHz is observed in the measurement of the fabricated 2x2 antenna. The isolation characteristic of the antenna is improved to -49.5 dB at 7.11 GHz and -52.8 dB at 8.29 GHz by BPFs, respectively. Finally the radiation beam angle calculated from phase difference between antenna elements and measurement results are compared for evaluating of beam control accuracy. In this examination, the 1x2 antenna with mixers is used.

Keywords : Retrodirective, Dual-band Antenna, Multi-layer.

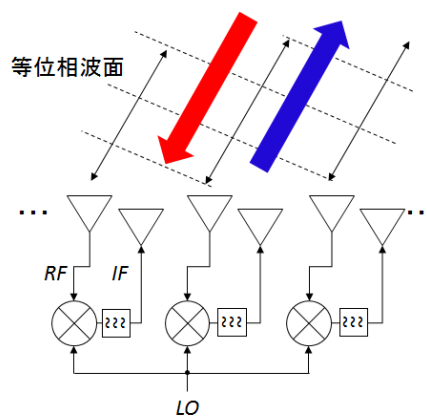
1. 研究背景・目的

超長距離通信やマイクロ波無線電力伝送のために、効率よく対象方向に電波を送信・送電する必要性が高まりつつある。そのため、レトロディレクティブに代表されるビーム方向制御技術は必須の技術である。

近年、高効率なビーム方向制御のためのレトロディレクティブに関する研究が多くなされている^{1,2)}。しかし、従来のシステムではアンテナの周波数帯域の問題により、到来波と放射波の周波数が離れている場合、周波数ごとにアンテナを用意する必要があった。本研究では多層基板を用いたデュアルバンドアンテナを設計し、7.1 GHz/8.4 GHzの離れた周波数帯で使用可能な小型軽量のアンテナシステムを目指す。

2. レトロディレクティブシステム概要

第1図にH/Wレトロディレクティブシステムの概要を示す。本システムは送受信アンテナ、BPF (Band Pass Filter),



第1図 H/Wレトロディレクティブシステムの概要

ミキサから構成される。各アンテナエレメントで受信したRF信号はミキサによりLO信号とミキシングされた後、フィルタによりIF信号として差周波成分のみが取り出される。IF信号はRF信号に対して位相共役関係となるため、到来するパイロット信号と同方向に折り返してビームを再放射する。

3. デュアルバンドアンテナ

3.1 多層基板を用いたアンテナ設計 多層基板は2種の誘電体基板 Duroid 5880 ($H=127 \mu\text{m}$) 及び GenClad 280 ($H=84 \mu\text{m}$) を貼り合わせて3レイヤを構成した。第2図にアンテナ概要と断面図を示す。また、第3図(a)に試作した2x2アンテナを示す。

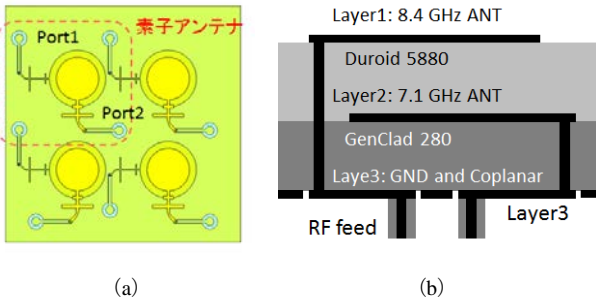
一般に、H/Wレトロディレクティブシステムでは到来波

† 第1回宇宙太陽発電シンポジウム, 2015年12月15-16日, 東京にて発表

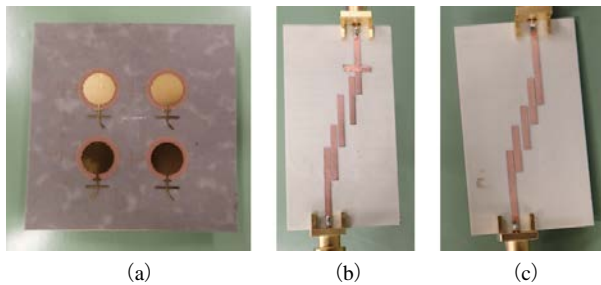
‡ Corresponding author: Naoki HASEGAWA. E-mail: naoki_hasegawa@rishi.kyoto-u.ac.jp

*1 京都大学生存圏研究所 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄, Kyoto Univ., Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011, Japan

*2 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台3-1-1, JAXA/ISAS, Yuinodai, Chuoh, Sagamihara, Kanagawa 252-5210, Japan



第 2 図 (a) 多層基板を用いたデュアルバンドアンテナ (b) アンテナ断面



第 3 図 (a) 2×2 アンテナの試作 (b) 7GHz BPF (c) 8GHz BPF

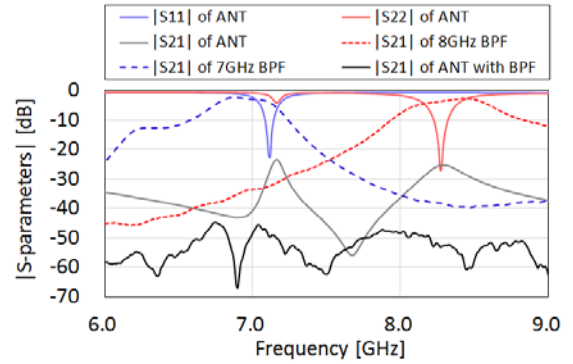
と放射波の電力差が大きく各ポート間のアイソレーション特性を強化する必要がある。そこで、アンテナ後段に第 3 図 (b), (c) に示す BPF を挿入した。第 4 図に素子アンテナ, BPF, 及び BPF 実装時のアンテナ S パラメータを示す。第 4 図より、素子アンテナの反射率は 7.11 GHz 及び 8.4 GHz において -20 dB 以下となることを確認した。また、BPF の阻止帯域における減衰量は 7.11 GHz 及び 8.4 GHz において -30 dB 以下であった。素子アンテナ後段に BPF を実装した場合、各ポート間のアイソレーション特性は 7.11 GHz 及び 8.4 GHz において -49.5 dB 及び -52.8 dB に改善された。

3.2 アンテナゲインの測定 2 アンテナ法を用いたシングルアンテナ及び 2×2 アンテナの絶対利得測定結果を第 5 図に示す。7.11 GHz 及び 8.29 GHz での正面方向ゲイン測定結果は、シングルアンテナにおいて 3.91 dBi 及び 3.57 dBi, 2×2 アンテナにおいては 8.49 dBi 及び 9.61 dBi であった。これらの値は、FEM シミュレータ (CST, MW Studio) による電磁界解析結果を概ね再現するものであった。

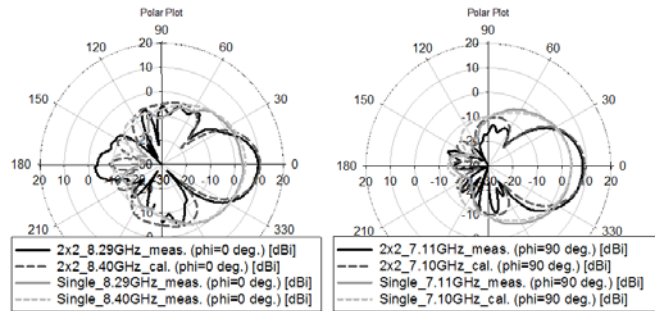
4. ビーム方向制御試験

4.1 放射角の導出 アンテナ正面方向を 0 deg. とし、パイロット信号の入射角 θ_{in} を変化させたとき、RF 信号と IF 信号のアンテナ間位相差 $\Delta\varphi_{in}$ と $\Delta\varphi_{out}$ は共役関係であるため式 (1) を得る。ただし、 d はアンテナ間距離、 λ_{in} 及び λ_{out} は到来波及び放射波の自由空間波長である。式 (1) を放射角 θ_{out} についてまとめると式 (2) となる。

$$\Delta\varphi_{in} = -\Delta\varphi_{out} = \frac{2\pi d \sin\theta_{in}}{\lambda_{in}} = -\frac{2\pi d \sin\theta_{out}}{\lambda_{out}} \quad (1)$$



第 4 図 試作物の S パラメータ測定結果



第 5 図 アンテナ絶対利得測定結果 (a) 8.29 GHz, phi=0 deg. (b) 7.11 GHz, phi=90 deg.

$$\sin\theta_{out} = -\frac{\lambda_{out}}{\lambda_{in}} \sin\theta_{in} \quad (2)$$

4.2 測定値との比較 1×2 アンテナの後段にミキサを挿入したレトロディレクティブシステムに対してビーム方向制御試験を行った。入射波と放射波の周波数はそれぞれ 7.11 GHz と 8.29 GHz である。入射角を 0 deg. から 30 deg. まで変化させたとき、式 (2) より導出される放射角の理論値と測定値を第 1 表に示す。ただし、測定値はビーム半値幅の中心を放射角とした。

第 1 表より入射角に対して放射角は理論値・実測値ともに差が大きい結果となった。式 (2) より、入射角と放射角の原因は到来波と放射波間の自由空間波長の差によるものと考えられる。一方、放射角の理論値と測定値を比較すると概ね近い値となった。

第 1 表 ビーム方向制御試験結果

入射角	0 deg.	15 deg.	30 deg.
放射角(Ideal)	0 deg.	12.6 deg.	25.0 deg.
放射角(Meas.)	0 deg.	12.5 deg.	21.5 deg.

5. まとめ

レトロディレクティブ用の多層基板を用いたデュアルバンドアンテナを試作し、7.11 GHz および 8.29 GHz で絶対利得を測定した。また、送受信間の電力差に対応するために BPF を用いてアンテナの高アイソレーション化を行っ

た．最後にミキサと組み合わせたビーム方向制御試験を行い放射角の理論値と測定値の比較を行った．

- 1) Pon, C. Y.: Retrodirective Array Using the Heterodyne Technique, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **AP-12** (1964), pp.176-180.
- 2) 篠原真毅, 國見真志, 三浦健史, 松本紘, 藤原暉雄: 目標自動追尾式マイクロ波送電器のデモンストレーション公開実験, *信学論B*, **J81-B-2** (1998), pp. 657-661.

参 考 文 献

(2015.12.25 受付)