

## リフレクトアレーを用いた衛星搭載アンテナ

小幡 亮太<sup>†</sup> 須永 諠<sup>†</sup> 牧野 滋<sup>†</sup> 瀧川 道生<sup>††</sup> 中嶋 宏昌<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 金沢工業大学 〒 921-8501 石川県野々市市扇が丘 7-1

<sup>††</sup> 三菱電機株式会社

E-mail: <sup>†</sup>b1415210@planet.kanazawa-it.ac.jp

あらまし 複数のビームで所望のサービスエリアをカバーする衛星搭載用マルチスポットビームアンテナにおいて従来の構成では4枚の反射鏡を必要とした。本文では、リフレクトアレーの2つの特性、周波数によってビーム方向を変える特性、偏波によってビーム方向を変える特性を活かし、2枚の反射鏡で従来のマルチスポットビームアンテナと同等の性能を実現する方式を提案する（マルチスキャンニングビーム）。

キーワード リフレクトアレー, マルチスポットビーム, マルチスキャンニングビーム

## Satellite mounted antennas using reflect arrays

Ryota OBATA<sup>†</sup>, Yoshimi SUNAGA<sup>†</sup>, Shigeru MAKINO<sup>†</sup>, Michio TAKIKAWA<sup>††</sup>, and Hiromasa NAKAJIMA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Kanazawa Institute of Technology Ohgigaoka 7-1, Nonoichi, Ishikawa, 921-8601 Japan

<sup>††</sup> Mitsubishi Electric Corporation

E-mail: <sup>†</sup>b1415210@planet.kanazawa-it.ac.jp

**Abstract** In the conventional multi spot beam antenna for satellite mounting which covers a desired service area with a plurality of beams, four reflecting mirrors are required. In this paper, we propose a method to realize performance equivalent to that of a conventional multi spot beam antenna with two reflectors by taking advantage of two characteristics of the reflectarray, a characteristic of changing the beam direction depending on the frequency, and a characteristic of changing the beam direction by polarization (Multi-scanning beam).

**Key words** Reflect array, Multi spot beam, Multi-scanning beam

### 1. はじめに

近年の衛星通信では、所望のサービスエリアをカバーするマルチスポットアンテナの構成が主流となっている。2つの周波数帯域  $f_1, f_2$  と直交偏波の偏波 V, H を組み合わせた4つのビーム A, B, C, D で実現することができる。また、送信周波数帯域 (Tx) と受信周波数帯域 (Rx) が異なるため、サービスエリアをカバーするには、合計8種類のビームが必要である。1種類のビームをパラボラアンテナと複数のホーンとで構成するものとすれば、合計8式のアンテナが必要となる。しかし、一般には、1つのアンテナは Tx と Rx で共用可能であるため、合計4式のアンテナで構成される。

アンテナ数を減らすことを目的としてリフレクトアレー [1]~[3] を用いた様々な方式が報告されている。パラボラ型のリフレクトアレーアンテナは Tx の A のビーム, Rx の A のビームに加えて, Tx の C のビームを1枚のアンテナで共用する。

つまり、1枚のアンテナで3種類のビームの役割を果たす。そのため、各々のアンテナが共用できるビームは3+3+2種類のビームで分けられ、合計3式のアンテナで構成することができる [4]。の例としては、2つの周波数と2つの偏波をもつ素子構造があるリフレクトアレーを用いたマルチスポットアンテナが挙げられる。このアンテナは Tx の A のビームと C のビーム, Rx の A のビームと C のビームを1枚のアンテナで共用する。つまり、1枚のアンテナで4種類のビームの役割を果たす。8種類のビームのうち1枚のアンテナで4種類のビームの役割を果たすため、合計2式のアンテナで構成することができる [5]。しかし、このアンテナは多層構造のため、製作が難しい。

また、上記の従来の方式は、1つのアンテナで Tx の周波数と Rx の周波数を共用するものである。Ka 帯のように Tx の周波数と Rx の周波数が大きく離れている場合には、それぞれのビーム幅が異なるために、ビーム配列において問題が生じる。周波数の低い Tx では同じ周波数と偏波を用いるビーム間

で、アイソレーションが劣化することが問題となる。周波数が高い Rx ではクロスオーバーレベルが低下し、サービスエリア内の利得低下が懸念される。さらに、Tx/Rx 共用一次放射器、Tx/Rx ダイプレクサ、Tx 用 OMT、Rx 用 OMT が必要となり、構造がとても複雑になり、コストも上がるという問題点がある。

この論文ではこれらの問題点を解決した新しいマルチスキャンニングビームアンテナを提案する [6]。Tx のアンテナと Rx のアンテナを分離した 2 式のリフレクトアレーアンテナ構成を示す。利得低下 3dB を許すとすれば、ユーザーの何処の位置でも全帯域の半分の帯域で通信することができ、従来のアンテナ構成と変わらない。各アンテナは複数のホーンで構成され、また平面の単層構造となる。従来のアンテナと比べると、低コスト、低損失、低交差偏波となる。

## 2. 従来のパラボラアンテナを用いた衛星搭載アンテナ

### 2.1 パラボラアンテナのマルチスポットビームアンテナの構成

従来のマルチスポットビームアンテナは複数の反射鏡が必要であった。従来例を順を追って説明する。図 1 にビームレイアウトを示す。ビームレイアウトの  $F_1, F_2$  は周波数を示し、 $P_1, P_2$  は偏波を示す。

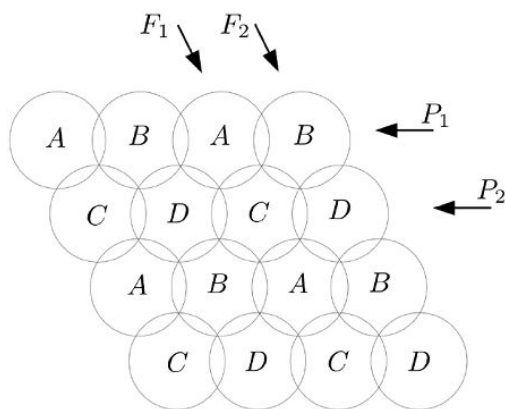


図 1 ビームレイアウト

マルチスポットビームアンテナには図 1 に示すビームレイアウトが送信用と受信用で 2 つ必要となる。送信用が Tx (20GHz) で受信用が Rx (30GHz) で分けられている。よって、A, B, C, D の 4 つのビームが Tx と Rx の 2 種類必要となるため、計 8 枚のアンテナが必要となる。

パラボラアンテナを用いたマルチスポットビームアンテナを説明する。ホーンから 2 種類の周波数 Tx と Rx を放射することで計 4 枚の反射鏡でサービスエリアをカバーすることが可能となる。一次放射器は 1 アンテナ分で三角配列で配列する。図 2 にパラボラアンテナを用いたマルチスポットビームアンテナのビーム配列を示す。黄緑の丸がひとアンテナ分のビーム配列となっており、図 1 のビームレイアウトで言う A のビームが放射されていることを示す。表 1 に 4 枚のアンテナ ( $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ ) が

どの役割の周波数、偏波を持っているのかを示す。  $f_1$  は  $f_L$  から  $f_0$  の、  $f_2$  は  $f_0$  から  $f_H$  の周波数帯域を表している。A のビームが  $\alpha$  のアンテナに対応している、B のビームが  $\beta$  のアンテナ、C のビームが  $\gamma$  のアンテナ、D のビームが  $\delta$  に対応している。それぞれのアンテナから対応しているビームが放射される。

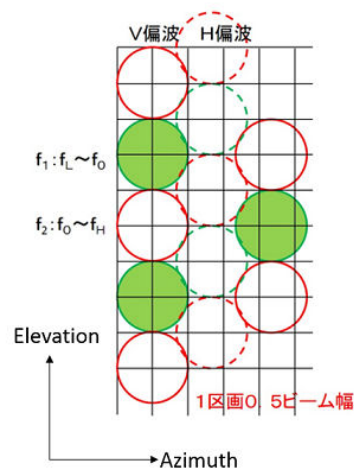


図 2 パラボラアンテナのビーム配列

このマルチスポットビームアンテナの問題点は 2 つある。1 つ目は 4 枚のアンテナを使わなければならない点である。4 枚のアンテナを使うことで、制作にコストと時間がかかる。2 つ目は 20GHz, 30GHz とでビーム幅がずれて誤差が出てしまう点である。そのため、サービスエリアを隙間なくカバーすることが難しいと考えられる。

表 1 従来例 1 のアンテナ配置

	Tx		Rx	
	$f_1$	$f_2$	$f_1$	$f_2$
V 偏波	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
H 偏波	$\gamma$	$\delta$	$\gamma$	$\delta$

### 2.2 従来のリフレクトアレー衛星搭載アンテナの構成

次にリフレクトアレーを用いた衛星搭載アンテナ、従来例 1 を説明する。従来例 1 ではパラボラ形状のリフレクトアレーを用いたマルチスポットビームアンテナを説明する。表 2 に示すように、このアンテナは 3 枚のアンテナ ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) で構成されている。

表 2 従来例 2 のアンテナ配置

	Tx		Rx	
	$f_1$	$f_2$	$f_1$	$f_2$
V 偏波	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$
H 偏波	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\beta$

図 1 のビームレイアウトと比べながら見てみると、Tx の A と C のビーム、Rx の A のビームが  $\alpha$  のアンテナから放射されている。これはリフレクトアレーの共振素子によってビーム方

向を変えることで1つのアンテナで3つの役割が働くことで可能にしている。βのアンテナからはαのアンテナと同じようにTxのDのビームとRxのB,Dのビームを放射している。残りのγのアンテナからはTxのBとRxのCのビームを放射している。

このマルチスポットビームアンテナの利点は3枚のアンテナで所望のサービスエリアをカバーすることができる。しかし、問題点が3つある。1つ目はパラボラアンテナの構造であるため、交差偏波が高くなるのが問題点として挙げられる。2つ目は曲面構造のリフレクタレーのため、共振素子を局面に製造するのが難しい点が挙げられる。3つ目は従来例1と同じ理由で、ビーム幅が20GHzと30GHzで異なることで誤差が生じることが挙げられる。

最後にリフレクタレーを用いた衛星搭載アンテナ、従来例2について説明する。2周波数、2偏波リフレクタレーを用いたマルチスポットビームアンテナである。このアンテナの構造を図3に示す。また、このアンテナは表3に示すように2枚(α,β)のアンテナで構成されている。

図1のビームレイアウトと比べながら考える。TxのAとCのビームRxのAとCのビームはαのアンテナから放射される。TxのBとDのビーム、RxのBとDのビームはβのアンテナから放射される。

このアンテナの利点は2枚のアンテナで所望のサービスエリアをカバーすることができる点である。従来例2のアンテナのビーム配置を図4に示す。左からTx, Rxのアンテナ1のビーム配置、その次の図からTx, Rxのアンテナ2のビーム配置を示している。このアンテナの問題点は2つある。1つ目は多層構造のため製造するのが難しく、損失も大きくなることが予想される。2つ目は従来例1と2と同じく20GHz, 30GHzでビーム幅が異なるのでサービスエリアを隙間なくカバーすることができないと考えられる。

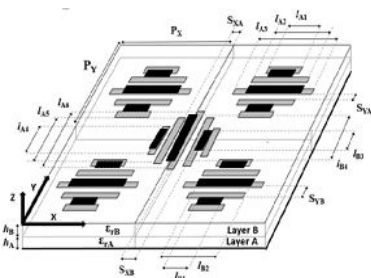


図3 従来例2のアンテナ構造

表3 従来例2のアンテナ配置

	Tx		Rx	
	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>
V 偏波	α	β	α	β
H 偏波	α	β	α	β

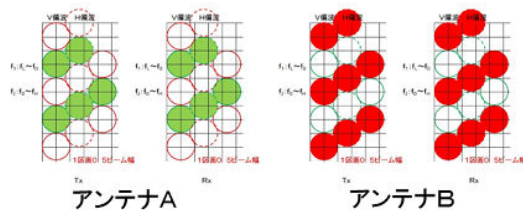


図4 従来例2のビーム配置

### 3. マルチスキャンングビームアンテナの提案

#### 3.1 目的

今回提案するマルチスキャンングビームアンテナは2枚の反射鏡で所望のサービスエリアをカバーすることができる。ビーム幅の誤差を無くすため、20GHzと30GHzを分けることにする。表4に新型衛星搭載アンテナのアンテナ配置を示す。f<sub>1</sub>+f<sub>2</sub>の全周波数帯域を用いたマルチスキャンングビームを用いるためTxのアンテナとRxのアンテナそれぞれ一式で設計できる。

表4 新型衛星搭載アンテナのアンテナ配置

	Tx		Rx	
	f <sub>1</sub> +f <sub>2</sub>	f <sub>1</sub> +f <sub>2</sub>	f <sub>1</sub> +f <sub>2</sub>	f <sub>1</sub> +f <sub>2</sub>
V 偏波	α	α	β	β
H 偏波	α	α	β	β

この20GHzと30GHzを分ける提案は給電回路の制作にもメリットがある。20GHzと30GHzを同時に放射する給電回路は制作が難しいのに対して、今回の提案はV偏波とH偏波を分けるだけで済むので安易に給電回路を制作することができる。リフレクタレーアンテナの構造が簡単になることもメリットである。アンテナの構造は一層となり、コスト削減にもなるので従来アンテナよりも性能が良いことが分かる。

#### 3.2 新型衛星搭載アンテナの構成

今回提案した新型衛星搭載アンテナは、下記2つの特性を利用する。

- 鏡面構成により周波数を変えビーム方向を変える性質
- 素子の形状により偏波を変えビーム方向を変える性質

周波数によってビーム方向を変える性質でカット面のElevation方向に、偏波によってビーム方向を変える性質でカット面のAzimuth方向に領域をカバーする。リフレクタレーアンテナではビームシフトが欠点として現れていたが、今回提案したリフレクタレーアンテナではビームシフトを積極的に利用する構造となっている。また、偏波によってビーム方向の異なる素子を利用して、Azimuth方向にビームがずれる構成となっている。ビームの形状はスポットビームではなく、帯状のビームでサービスエリアをカバーする。複数のホーンを利用することによって所望のサービスエリアのカバーを実現する。図5に衛星搭載アンテナのイメージ図を示す。

#### 3.3 周波数によりビーム方向を変える性質

一次放射器はそれぞれ2ビーム幅離れるように三角配列で設

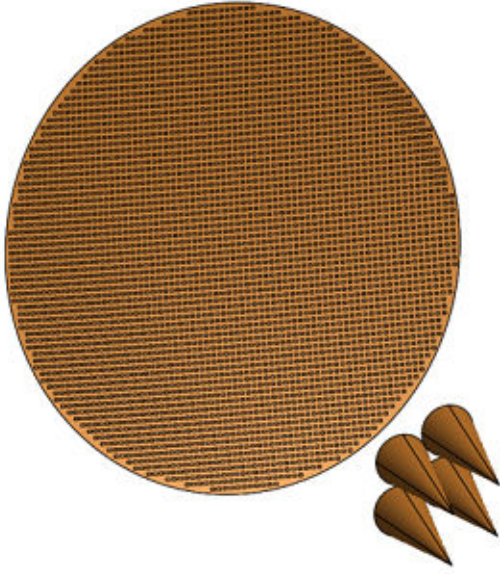


図5 衛星搭載アンテナのイメージ

計する。中心周波数  $f_0$  のビームに対し、周波数  $f_L, f_H$  のビーム方向は1ビーム幅離れるようにリフレクタレーの鏡面構成を設計する。図6に理想的な3本の一次放射器からの放射パターン周波数特性を示す。図6のビーム1、ビーム2及びビーム3はそれぞれのホーンのカバレッジエリアを示している。破線がホーン1の放射パターン、実線がホーン2の放射パターン、一点鎖線がホーン3の放射パターンを示す。それぞれのビームのカバレッジエリアが連続となっているため、3dBの利得低下を許すとすると Elevation のどの位置においても  $(f_H - f_L)/2$  の帯域幅で通信できる。ユーザーの位置によって最適な周波数のビームを選択することが可能である。

周波数帯域  $f_L$  から  $f_H$  のビーム走査の設計を行う。中心周波数  $f_0$  のビーム方向から1ビーム幅離れた位置に、 $f_L, f_H$  のビーム方向が来るように鏡面構成を決定する。以下に設計手順を示す。

リフレクタレーの設計手順を図9に示す。 $D$  が開口径、 $c$  がクリアランス、 $R$  がホーンと反射鏡との距離、 $\theta$  はイメージホーンの傾きを示す。ビーム走査角  $\theta_S$  は次式で表される。

$$\tan \theta_S = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0} \tan \theta \quad (1)$$

$\theta$  は中止周波数  $f_0$  のビーム方向と周波数  $f_L, f_H$  のビーム方向の差が1ビーム幅離れるように設計する。

$$\theta_S = \alpha \frac{\lambda_0}{D} \quad (2)$$

$\alpha$  は概ね 70[deg] の定数である。結果的に以下の公式によって  $\theta$  の値が決まる。

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\lambda_0}{\lambda_0 - \lambda} \tan \left( \alpha \frac{\lambda_0}{D} \right) \right) \quad (3)$$

### 3.4 偏波によりビーム方向を変える性質

図3に示すような素子開発をすることによって偏波によるビーム方向を変えるアンテナが設計される。

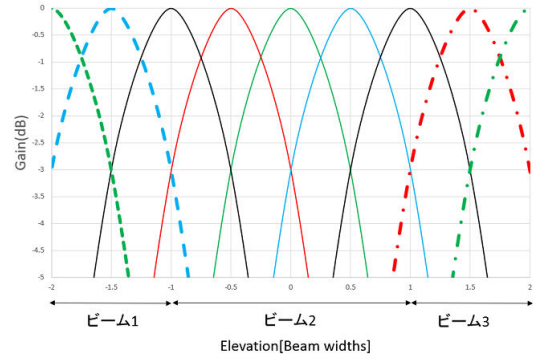


図6 放射パターン周波数特性

ここで図7に衛星搭載アンテナのビーム配列を示す。図7に示すV偏波はV領域をカバーして、H偏波はH領域をカバーする。偏波によってビーム方向が  $\sqrt{3}/2$  ビーム幅異なるように設計することにより、1枚のアンテナで、サービスエリアを隙間なく覆うことができる。このビーム配置を示した図を図8に示す。

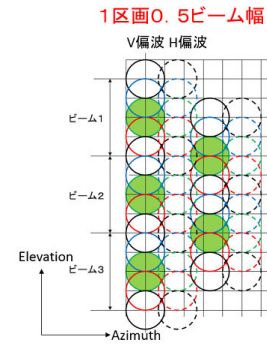


図7 ビーム配列

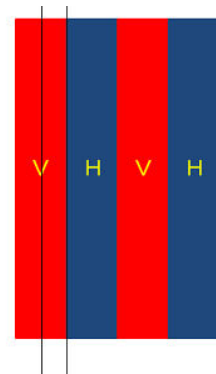


図8 ビーム配置

## 4. リフレクタレーの計算結果

### 4.1 計算結果

$f_L$  を 19[GHz],  $f_H$  を 20[GHz] として開口径  $D$  を 1600[mm] として設計を行う。式(1),(2)より  $\theta$  を求めると 24.6[deg] の計算結果が得られる。また、 $R=2880$ [mm],  $c=1280$ [mm] とする。このときの設計例を図10に示す。

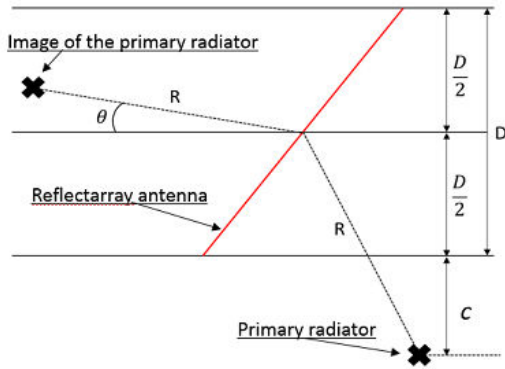


図 9 設計パラメータ

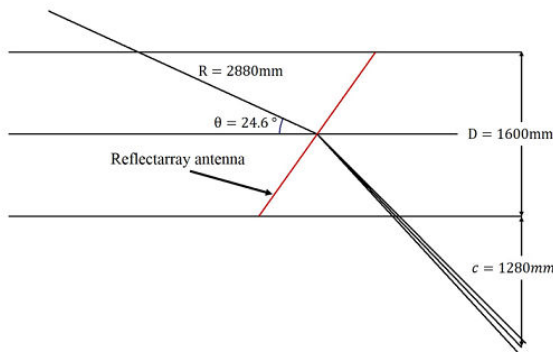


図 10 設計例

図 10 に示したように 3 本のホーンを利用した放射パターンの周波数特性を図 11 に示す. 3 本のホーンはそれぞれ 2 ビーム幅離れるように置き, それぞれのホーンから放射される放射パターンの周波数特性を計算した. その結果, 一つのホーンから放射されるビーム 1 の周波数  $f_H$  のビーム方向と, 隣のホーンから放射されるビーム 2 の周波数  $f_L$  のビーム方向が中心周波数のビームから  $\pm 1$  ビーム幅離れて放射されることによって重なっていることが確認できる.

表 5 各ビームの利得値

	19.0GHz	19.5GHz	20.0GHz
ビーム 1	46.99dB	47.65dB	47.43dB
ビーム 2	46.80dB	47.61dB	47.56dB
ビーム 3	47.05dB	47.57dB	47.21dB

表 5 に各ビームの利得値を示すと以上のようなになる. ビーム 1 の 19.5GHz の 47.65dB が最大の利得で, ビーム 2 の 19.0GHz の 46.80dB が最低の利得である. この範囲内の誤差で利得が設けることができる.

## 5. むすび

この論文では新しい衛星搭載アンテナのコンセプトが提案された. このリフレクトアレーアンテナはリフレクトアレーの鏡面構成を変え周波数を変える特性と素子の形状を変え偏波を変える特性を利用した幾何学的構成によってビーム方向を変えることができる. Tx と Rx を独立させることによって, アンテナ

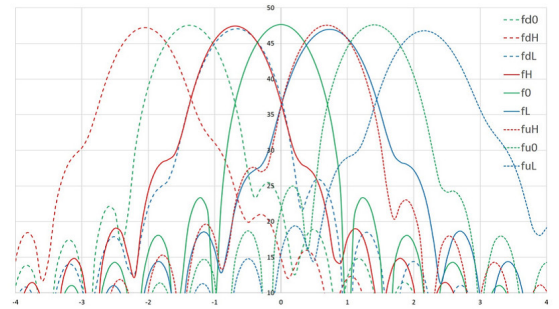


図 11 放射パターン計算値

の大きさを変えることでビーム幅の自由度が大幅に上がり, 所望のサービスエリアを隙間なくカバーすることが可能となる.

## 文 献

- [1] 吉田幸弘 他, "衛星放送受信用リフレクトアレーアンテナ"
- [2] K.Takeshima, et al. "High Efficiency and Broadband Design of Reflectarray and Measured Results"
- [3] Y.Sunaga, et al. "Multi-beam Design Method for Reflectarray Antenna using Aberration Theory"
- [4] M.Zhou, Sting B.Sorensen, et al, " Multiple Spot Beam Reflectarrays for High Throughput Satellite Applications "
- [5] E.Marinex-de-Rioja, Jose A.Encinar, et al, " Reflect array in K and Ka Bands with Independent Beams in Each Polarization "
- [6] 牧野滋 他, " リフレクトアレーを用いた衛星搭載アンテナ "