

# スキャンングスポットビームリフレクトアレーアンテナの研究

皆森 勇甫<sup>†</sup> 牧野 滋<sup>†</sup> 瀧能 翔太<sup>†</sup> 重光 賛志郎<sup>†</sup>

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

E-mail: <sup>†</sup>b1714005@planet.kanazawa-it.ac.jp

**あらまし** リフレクトアレーアンテナの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合わせることで、1枚の反射鏡を用いた従来のマルチスポットビームとマルチスキャンングビームの提案がされてきた。本論文では、Elevation 方向は周波数で、Azimuth 方向は偏波でビーム方向を変化させるスキャンングスポットビームについて検討を行い、その結果を示す。

**キーワード** リフレクトアレーアンテナ、スキャンングスポットビーム、周波数、偏波

## A study of a reflectarray antenna a scanning spot beam

Yusuke KAIMORI<sup>†</sup>, Shigeru MAKINO<sup>†</sup>, Shota TAKINO<sup>†</sup>, Sanshiro SHIGEMITSU<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Kanazawa Institute of Technology Ohgigaoka 7-1, Nonoichi, Ishikawa, 920-8501 Japan

E-mail: <sup>†</sup>b1714005@planet.kanazawa-it.ac.jp

**Abstract** By combining the characteristics of a reflectarray antenna to change the beam direction according to the frequency and the polarization, the conventional multi-spot beam and multi-scanning beam using a single reflector have been proposed. In this paper, a scanning spot beam, in which the beam direction is varied by frequency in the Elevation direction and by polarization in the Azimuth direction, is studied and the results are presented.

**Keywords** Reflectarray antenna, Scanning spot beam, Frequency, Polarization

### 1. はじめに

リフレクトアレーアンテナ（以下、リフレクトアレー）[1]は金属板装荷 FSR(Frequency Selective Reflector: 周波数選択鏡)が有する反射位相制御機能を反射鏡に適用したものである。その反射素子の形状や寸法を適切に選ぶことにより、一次放射器から放射された球面波の反射位相を制御して平面波を形成することができる。最近では成形ビームの他、複数のビームによってサービスエリアをカバーするマルチビームへの適用も検討されている。

特にマルチビームは、周波数によるビームシフト特性を用いてサービスエリアの Elevation 方向をスキャンするようにカバーし、さらに偏波によって Azimuth 方向にビーム方向を変化させることで従来と同等のサービスエリアのカバーを実現するマルチスキャンングビーム方式が提案されている。この方式は、上記のリフレクトアレー特有の2つの性質を適応することで、2枚の反射鏡でのサービスエリアのカバーを実現する。マルチスキャンングビーム方式以外にも V と H 偏波を1枚の反射鏡で制御することでより少ない鏡面の鏡面構成が検討されている[2]。

また、3本の線素子を用いることで360度の反射位相領域をカバーするとともに、偏波によって独立した位相制御を実現し、偏波によって異なる方向にビームを放射することが可能であることを検討されている[3]。

本報告では、Ka帯を用いて Elevation 方向を周波数によって、Azimuth 方向を偏波によってビーム方向を変えるスキャンングスポットビームの検討を行う。1枚の反射鏡で従来のマルチビームアンテナと同等の性能を実現するために、鏡面構成及び共振素子について検討を行った。

### 2. 鏡面設計

周波数によってビーム方向を変化させることを実現するためには、鏡面設計を行う必要がある。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。

リフレクトアレーの鏡面構成を図1に、設計パラメータを表1に示す。

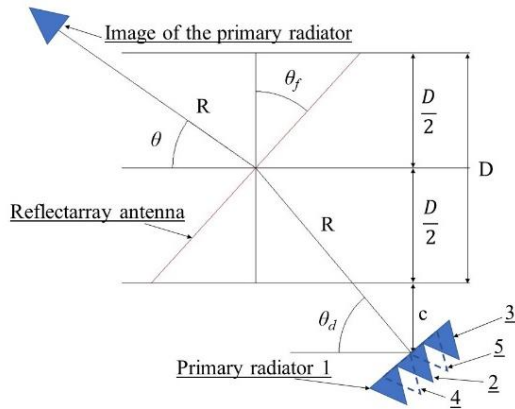


図1 鏡面構成

表1 設計パラメータ

鏡面の傾き $\theta_f$ [deg]	42.14
一次放射器の角度 $\theta_d$ [deg]	50.00
イメージホーン角 $\theta$ [deg]	34.28
V, H偏波のビーム偏向角度 [deg]	$\pm 0.65$
開口径 $D$	$41.21\lambda_0$
一次放射器から開口中心までの距離 $R$	$43.13\lambda_0$
クリアランス $c$	$12.43\lambda_0$
周波数 $f_L$ [GHz]	$0.96f_0$
周波数 $f_H$ [GHz]	$1.04f_0$

本報告では Ka 帯のリフレクトアレーについて検討を行った。  $D$  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。

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

よって、表 1 より開口径  $D$  と周波数  $f_L$ ,  $f_H$  が決定するとイメージホーン角  $\theta$  を求めることができ、34.28[deg]となる。

また、5 か所にホーンを設置することで、所望のエリアをカバーできているか確認を行う。ホーンの位置を図 2 に示す。隣り合うホーンはそれぞれ 2 ビーム幅離れるように配置する。

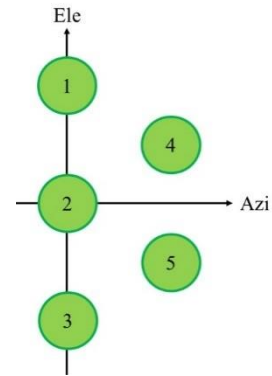


図2 ホーンの位置

### 3. 素子設計

#### 3.1 設計モデル

図 3 に素子モデルを示す。偏波によってビーム方向を変化させることを実現するためには、素子設計を行う必要がある。素子の要求条件として、

- (1) 各偏波 360 度の反射位相領域をカバーする。
- (2) 両偏波が互いの反射位相に影響しないような、独立した位相制御を持つ。

これらの 2 点を満たすものについて検討を行った。

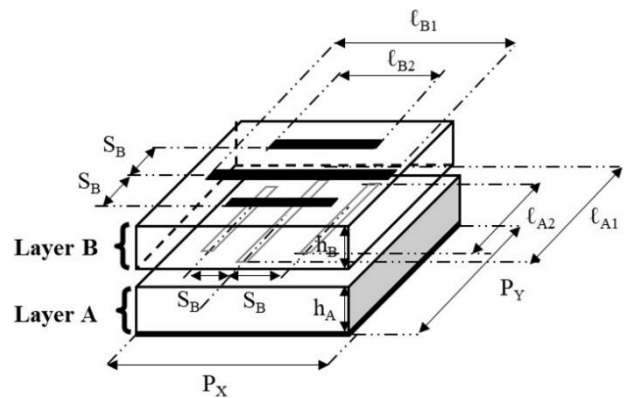


図3 素子モデル

素子の設計パラメータを表 2 に示す。地板の上に誘電体 A 層と B 層を配置し、各偏波に対応する共振素子を B 層の両面に印刷することで、偏波ごとに独立した位相制御を実現する。

表2 素子の設計パラメータ

誘電体基板厚 $h_A, h_B$	$0.15\lambda_0, 0.02\lambda_0$
誘電体の比誘電率 $\epsilon_r$	2.56, 2.59
正接損失 $\tan \delta$	0.0015, 0.0017
素子の線幅 $w$	$0.02\lambda_0$
素子長 $l_A, l_B$	$0.01 \sim 0.87\lambda_0, 0.01 \sim 1.01\lambda_0$
共振素子間隔 $d$	$0.38\lambda_0$

素子に関して、3本の線素子を用いる。また、3本の線素子は中央の線とその両側の線を独立させることで両偏波において360度の反射位相領域のカバーを実現し、位相の変化量を緩やかにすることを実現した[3]。中央の線の長さ  $l_{A1}$ 、 $l_{B1}$  を  $0.36\lambda_0$  まで伸ばしたのち、それぞれ  $l_{A2}=0.25\lambda_0$ 、 $l_{B2}=0.32\lambda_0$  まで変化させる。

また、誘電体 B 層の上面に H 偏波、下面に V 偏波の位相を制御する素子を配置している。

### 3.2 設計結果

H 偏波の素子長を  $l_B=1.01\lambda_0$  に固定し、V 偏波の素子長  $l_A$  を  $0.01\sim 0.87\lambda_0$  変化させたときの解析結果を図 4 に、V 偏波の素子の総素子長  $l_A$  を  $0.87\lambda_0$  にし、H 偏波の総素子長  $l_B$  を  $0.01\sim 1.01\lambda_0$  変化させたときの解析結果を図 5 に示す。

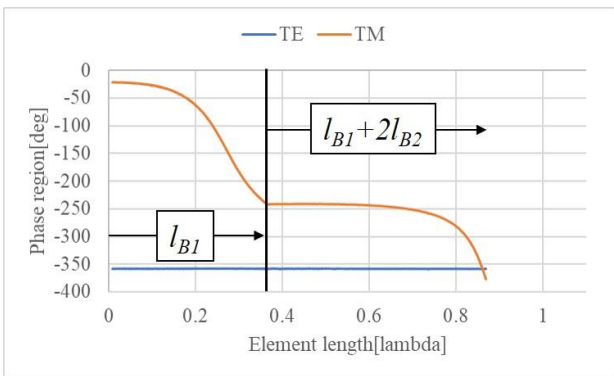


図 4 V 偏波の反射位相特性

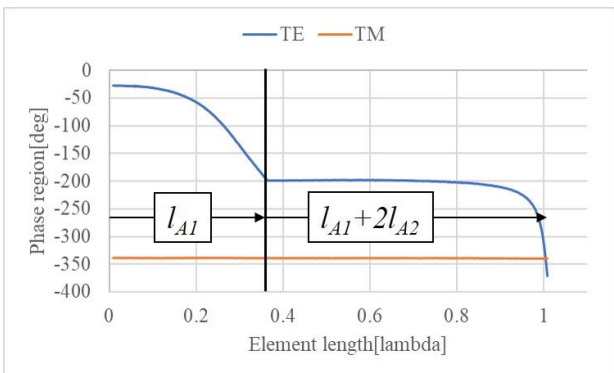


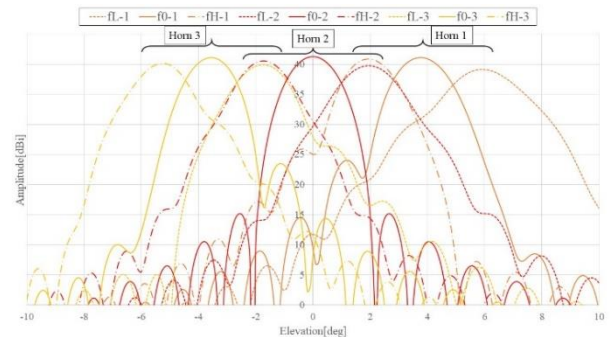
図 5 H 偏波の反射位相特性

両偏波ともに360度以上の位相領域をカバーしていることが確認できる。また、V 偏波は H 偏波の素子長を変化させると約 1.19 度の位相変化、H 偏波は V 偏波の素子長を変化させると約 0.75 度の位相変化が見られた。この結果から、素子間での干渉は小さく、偏波ごとに独立した位相制御が可能であることが判明した。

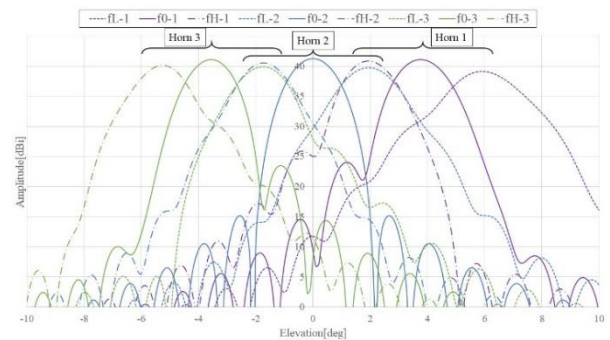
### 4. 解析結果

設計パラメータをもとに開口分布法で解析を行った。なお、設計に使用している共振素子は、周波数特性を持たない理想的な素子を仮定している。Elevation 面における放射特性を図 6 に、Azimuth 面における放射特性 ( $f_0$ ) を図 7 に示す。結果、Elevation 面で見ると、周波数  $f_H$  のビーム方向と、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が確認できる。また、Azimuth 面で見ると、V 偏波は  $-0.65$  度方向、H 偏波は  $+0.65$  度方向にビームを放射したことが確認できる。

35dBi における contour-map を図 8 に示す。これより、1 枚のリフレクターで所望の範囲を効率的にカバーすることができると思われる。



(a) V 偏波



(b) H 偏波

図 6 Elevation 面における放射特性

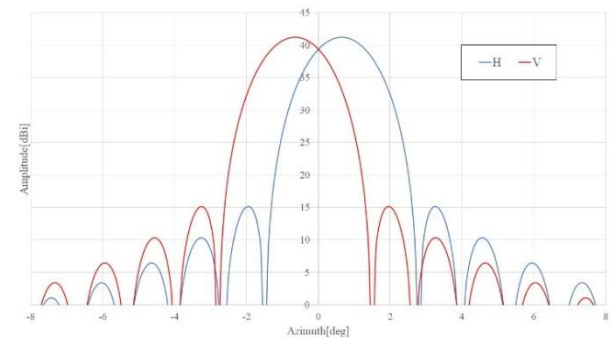


図 7 Azimuth 面における放射特性 ( $f_0$ )

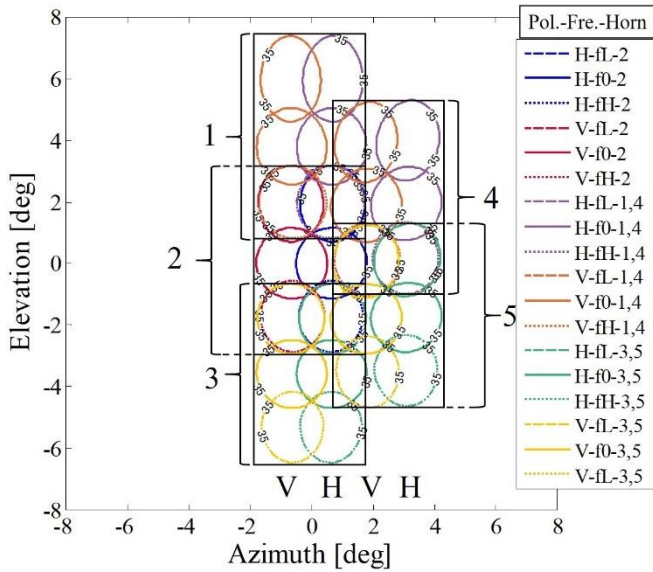
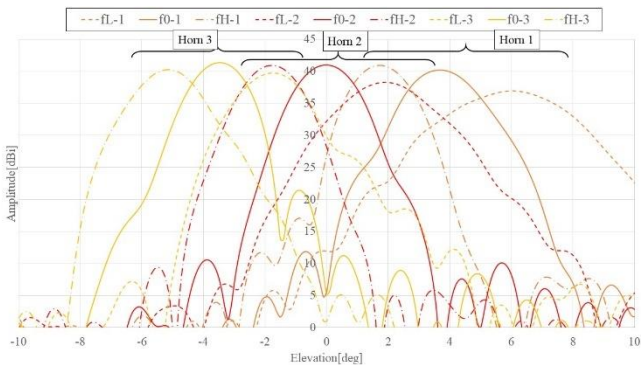


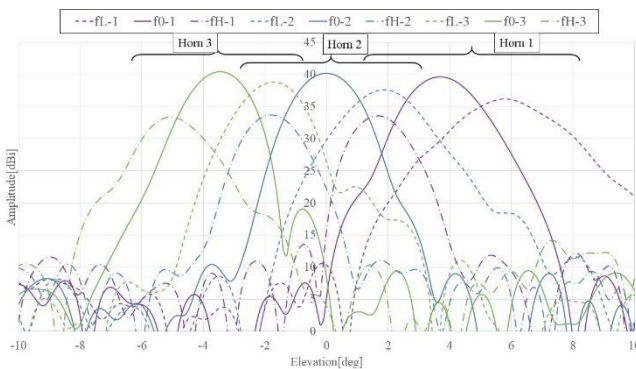
図 8 35dBiにおける contour-map

## 5. 測定結果

Elevation 面における放射特性を図 9 に、Azimuth 面における放射特性 ( $f_0$ ) を図 10 に示す。



(a) V 偏波



(b) H 偏波

図 9 Elevation 面における放射特性

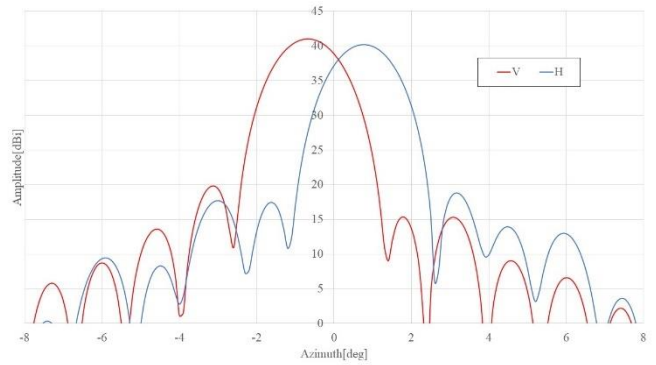


図 10 Azimuth 面における放射特性 ( $f_0$ )

測定結果は指向性利得で示す。結果、Elevation 面で見ると、周波数  $f_H$  のビーム方向と、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が確認できる。しかし、H 偏波の高周波 ( $f_H$ ) における指向性利得が低い結果となった。これは素子設計に問題があると考えられる。Azimuth 面で見ると、V 偏波は  $-0.67$  度方向、H 偏波は  $+0.76$  度方向にビームを放射したことが確認できる。V 偏波は解析結果とおおむね一致したが、H 偏波は解析結果に比べ、 $+0.11$  度変化した。

35dBi における contour-map を図 11 に示す。これより、解析結果のように 1 枚のリフレクターで所望の範囲を効率的にカバーすることができるとわかる。しかし、5 つのホーン全てにおいて、H 偏波の高周波側 ( $f_H$ ) における指向性利得が低い結果となった。

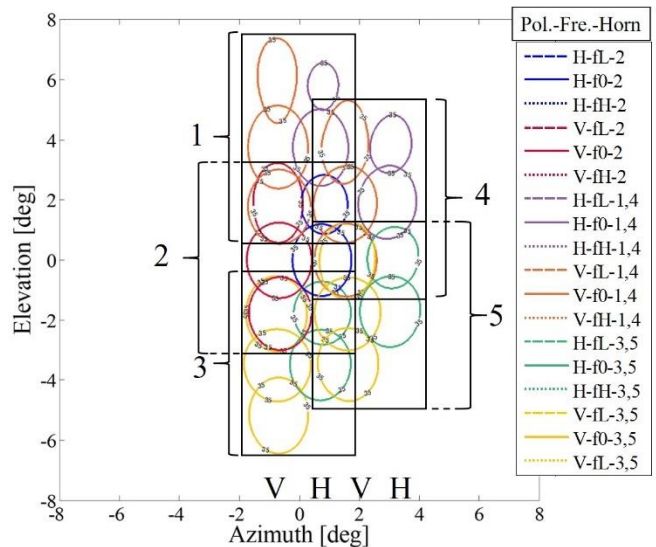


図 11 35dBi における contour-map

## 6. むすび

偏波と周波数によってビーム方向の異なるリフレクターの検討結果を示した。解析結果より、偏波

と周波数によって異なる方向にビームを変化させることができた。また、測定結果より、1枚のリフレクトアレーで所望の範囲を効率的にカバーすることが実現可能であることを示した。

今後は、H 偏波における利得低下が発生しない素子の設計を行っていく。

本研究は、科研費 JSPS (20K04491) の助成を受けたものである。

## 文 献

- [1] J.Huang, J.A.Encinar, “Reectarray antennas”, Wiley, New Jersey, 2007.
- [2] 牧野滋, 小幡亮太, 竹島健飛, 須永誼, 瀧川道夫, 中嶋宏昌 “リフレクトアレーを用いた衛星搭載アンテナ”, 信学総体, B-1-51, 2018.
- [3] 深谷芽衣, 小幡亮太, 牧野滋, 瀧川道夫, 中嶋宏昌 “偏波によって異なる方向にビームを放射するリフレクトアレーアンテナの検討”, 信学技報, AP2019-163, 2020.