

# 帯域通過レドームを装荷したリフレクトアレーの設計

細村 祥平<sup>†</sup> 今野 佳祐<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 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

E-mail: <sup>†</sup> shohei.hosomura.t7@dc.tohoku.ac.jp, keisuke.konno.b5@tohoku.ac.jp, qiang.chen.a5@tohoku.ac.jp

**あらまし** 本研究では,動作帯域内では所望の方向に主ビームが向き,動作帯域外では鏡面反射方向に主ビームが向くような,帯域通過レドーム付きのリフレクトアレーを提案する. 提案リフレクトアレーは,帯域通過 FSS と誘電体スラブの 2 層から成るレドームを有する. レドームは,動作帯域内では広角方向からの入射波を透過する一方で,動作帯域外では広角方向からの入射波を鏡面方向に反射する. レドームおよびレドームを装荷したリフレクトアレーの特性を数値的に明らかにする.

**キーワード** リフレクトアレー,周波数選択板,ミリ波,5G

## Design of Reflectarrays Covered by Band Pass Radome

Shohei HOSOMURA<sup>†</sup> Keisuke KONNO<sup>†</sup> Qiang CHEN<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Department of Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

6-6-05, Aramaki Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8579 Japan

E-mail: <sup>†</sup> shohei.hosomura.t7@dc.tohoku.ac.jp, keisuke.konno.b5@tohoku.ac.jp, qiang.chen.a5@tohoku.ac.jp

**Abstract** In this study, reflectarrays covered by a band pass radome is proposed. The proposed reflectarrays focus their mainbeam to a specific direction at their operating frequency band whereas their main beam focus on specular direction outside their operating frequency. The proposed reflectarray is covered by a band pass radome composed of a band-pass FSS and a dielectric slab. The band pass radome is transparent for incident wave arriving from wide angle of incidence at its operating frequency whereas it is opaque outside the operating frequency. Numerical simulation is performed and performance of the band pass radome and reflectarray are demonstrated.

**Keywords** Reflectarray, Frequency Selective Surfaces, millimeter wave, 5G

### 1. まえがき

ミリ波帯のような高周波帯を用いた無線通信システムでは,従来のマイクロ波帯を用いた無線通信システムとは異なり,電波の回り込みが起きづらいという問題点がある. したがって,ミリ波帯のような高周波帯を用いた無線通信システムにおいて,遮蔽物の背面にあるアンテナと通信をするためには,何らかの方法でアンテナに直接ビームを向ける必要がある.

このような技術の 1 つとして,リフレクトアレーが知られている[1]-[4]. リフレクトアレーは無数の散乱体からなる構造で,散乱体の大きさ等を変えることで,所望の方向にビームを形成することができる. これまで,リフレクトアレーは衛星通信[5]-[7]やイメージング[8]などに応用されてきており,無線通信の分野では,電波の届かないエリアを解消する目的で応用されてきている[9],[10]. このようなリフレクトアレーは,動作帯域内で所望の方向に主ビームを向けるように設計され

るが,動作帯域外での指向性はあまり省みられなかった. 動作帯域外でのリフレクトアレーの指向性制御は,他の無線サービスへの干渉を減らす目的で非常に重要な課題である.

そこで筆者らのグループは,これまで帯域通過レドームを装荷したリフレクトアレーの設計を行ってきた[11],[12]. 帯域通過レドームは,薄い誘電体で覆われた FSS と,厚みのある誘電体スラブの 2 層構造である. このような帯域通過レドームをリフレクトアレーに装荷することで,動作帯域内では所望の方向に,動作帯域外では鏡面反射方向に主ビームを向けるリフレクトアレーを実現できることを明らかにした.

本研究では,帯域通過レドームの構造を簡素化するために,誘電体スラブの上面に直接金属 FSS を装荷した構造を提案し,その有効性を明らかにする.

## 2. 帯域通過レドームの設計と特性評価

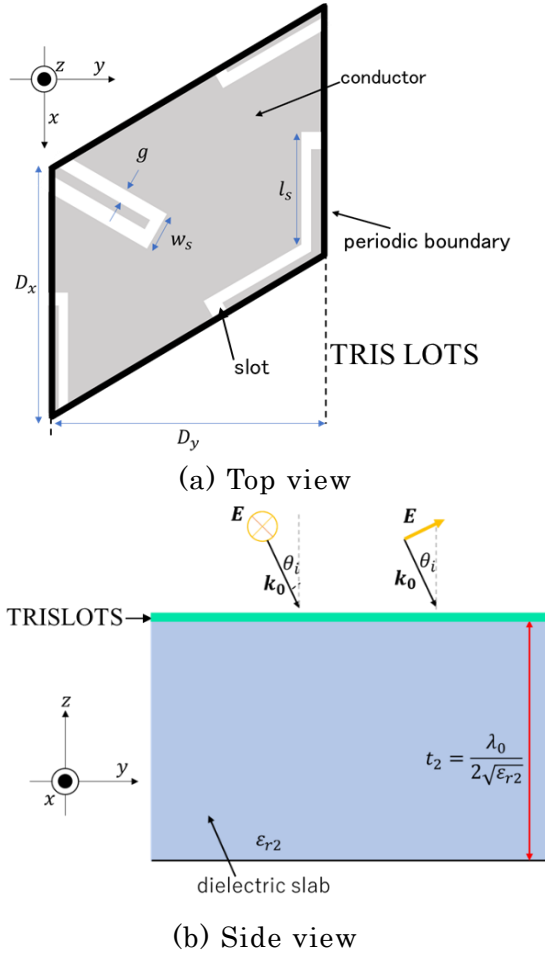


図 1: 帯域通過レドームの構造

表 1: 帯域通過レドームの寸法

Parameters			
$f_0$	10 GHz	$g$	$0.01\lambda_0$
$\epsilon_r$	3.0	$D_x$	$0.20\lambda_0$
$w_s$	$0.04\lambda_0$	$D_y$	$0.16\lambda_0$
$t$	$\lambda_0/2\sqrt{\epsilon_r}$	$l_s$	$0.119\lambda_0$

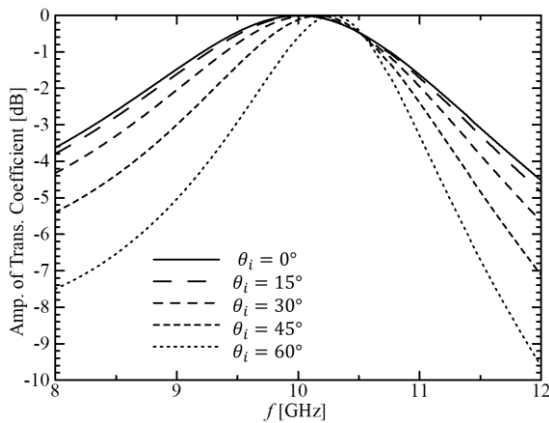
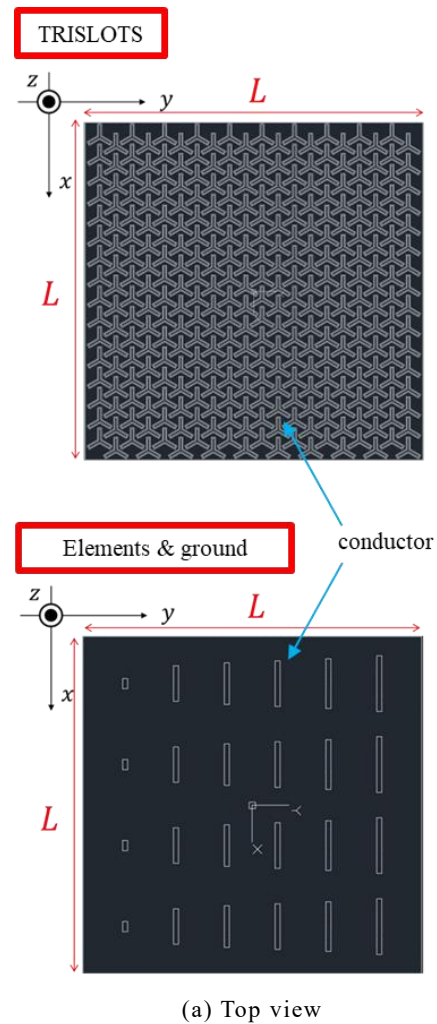


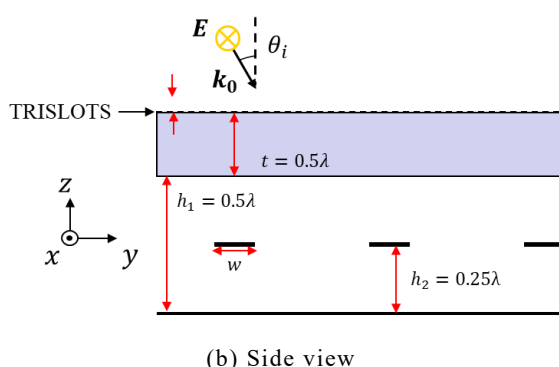
図 2: 帯域通過レドームの透過特性

リフレクタレーに装荷する帯域通過レドームは、広角の方向から到来する入射波に対して、動作帯域内では透明、動作帯域外では不透明になることが望ましい。このような特性を有する帯域通過レドームとして、本研究では、図 1 のようなレドームを提案する。図 1 のレドームは Munk らが提案したレドームを修正したものである [13]。Munk らの提案したレドームは、薄い誘電体内にある FSS がスラブと重なっているのに対し、我々の提案するレドームは、FSS が誘電体スラブの表面にあり、試作が容易である。誘電体スラブの厚みは誘電体内部の波長で 1/2 波長に設定した。動作周波数  $f_0$  において設計した帯域通過レドームの寸法は表 1 に示した。また、 $\lambda_0$  は  $f_0$  に対応する波長である。

$f = f_0$  で動作するように設計した帯域通過レドームの透過係数振幅の周波数特性を数値解析で求めた。その結果を図 2 に示す。また、数値解析には電磁界シミュレーション FEKO を使用し、モーメント法で解析した。

## 3. 帯域通過レドームを装荷したリフレクタレーの特性評価





(b) Side view

図 3: 帯域通過レドームとリフレクタレーの構造

表 2: 帯域通過レドームとリフレクタレーの寸法

Parameters		$w$	$0.05\lambda_0$
$m$ (x方向素子数)	4	$L$	$3.33\lambda_0$
$n$ (y方向素子数)	6	$h_1$	$0.50\lambda_0$
$dx$ (x方向素子数)	$0.8\lambda_0$	$h_2$	$0.25\lambda_0$
$dy$ (y方向素子数)	$0.5\lambda_0$	$t$	$0.5\lambda_0$

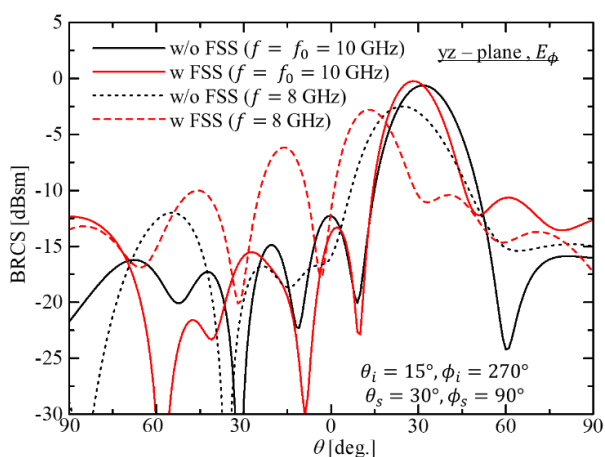


図 4: リフレクタレーの散乱特性

帯域通過レドームを装荷したリフレクタレーを設計し、その構造を図 3 に示した。設計した帯域通過レドーム及びリフレクタレーの寸法は表 1, 表 2 に示した通りである。本リフレクタレーは動作周波数では主ビーム方向が設計方向に向き、動作周波数以外の周波数では主ビーム方向が鏡面反射方向となることが予想される。リフレクタレーは図 4 に記載した  $(\theta, \phi) = (\theta_i, \phi_i)$  の方向から入射される平面波によって励振され、 $(\theta, \phi) = (\theta_s, \phi_s)$  の方向へ主ビームを向けるように設計した。また、リフレクタレーの各エレメントの長さは、無限周期構造を仮定した際の、ダイポール素子の反射係数位相を利用して求めた。

$f = f_0$  で動作するよう設計した帯域通過レドーム及びリフレクタレーに、平面波 (TE 波) を入射したときのバイスタティック散乱断面積 (Bistatic Radar Cross

Section, BRCS) を数値解析で求めた結果を図 4 に示した。動作周波数 ( $f = f_0$ ) の場合、帯域通過レドームが透過し、主ビーム方向の BRCS が帯域通過レドームの有無に依存することなく、同等の値になっている。一方で、動作周波数外 ( $f = 8 \text{ GHz}$ ) の場合、帯域通過レドームを装荷したとき、主ビーム方向が鏡面反射方向に向いている。誘電体スラブの上面に直接金属 FSS を装荷した、簡素化された帯域通過レドームを利用しても、レドームの有無による主ビーム方向の BRCS の変化量はこれまでの結果と同程度であった。 [12]

#### 4. まとめ

本研究では、帯域通過レドームを装荷したリフレクタレーを提案し、その散乱特性を数値的に明らかにした。提案するリフレクタレーは、動作帯域内では所望の方向に、動作帯域外では鏡面反射方向にビームを向けることができる。今後はリフレクタレーの試作および測定を行う。

#### 謝 辞

本研究開発は総務省の電波資源拡大のための研究開発 (JPJ000254) によって実施した結果を含む。

#### 文 献

- [1] D. G. Berry, R. G. Malech, and W. A. Kennedy, "The reflectarray antenna," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 11, no. 6, pp. 645-651, Nov. 1963.
- [2] D. M. Pozar and T. A. Metzler, "Analysis of a reflectarray antenna using microstrip patches of variable size," Electron. Lett., vol. 29, no. 8, pp. 657-658, April 1993.
- [3] J. Huang, "Analysis of a microstrip reflectarray antenna for micro spacecraft applications," NASA, Jet Propulsion Laboratory, TDA Progress Report 42-120, Feb. 1995, pp. 153-173.
- [4] J. Huang and J. A. Encinar, Reflectarray Antennas, John Wiley and Sons, 2008.
- [5] J. A. Encinar, and J. A. Zornoza, "Three-layer printed reflectarrays for contoured beam space applications," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 52, no. 5, pp. 1138- 1148, May 2004.
- [6] J. A. Encinar, M. Arrebola, L. F. de la Fuente, and G. Toso, "A transmit-receive reflectarray antenna for direct broadcast satellite applications," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 59, no. 9, pp. 3255-3264, Sept. 2011.
- [7] M. Zhou, S. B. Sørensen, O. S. Kim, E. Jørgensen, P. Meincke, and O. Breinbjerg, "Direct optimization of printed reflectarrays for contoured beam satellite antenna applications," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 61, no. 4,

pp. 1995-2004, April 2013.

- [8] H. Kamoda, T. Iwasaki, J. Tsumochi, T. Kuki, and O. Hashimoto, "60-GHz electronically reconfigurable large reflectarray using single-bit phase shifters," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 59, no. 7, pp. 2524-2531, July 2011.
- [9] L. Li, Q. Chen, Q. Yuan, K. Sawaya, T. Maruyama, T. Furuno, and S. Uebayashi, "Novel broadband planar reflectarray with parasitic dipoles for wireless communication applications," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 8, pp. 881-885, 2009.
- [10] L. Li, Q. Chen, Q. Yuan, K. Sawaya, T. Maruyama, T. Furuno, and S. Uebayashi, "Frequency Selective Reflectarray Using Crossed-Dipole Elements With Square Loops for Wireless Communication Applications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 59, no. 1, pp. 89-99, Jan. 2011.
- [11] N. Chiku, K. Konno, and Q. Chen, "Scattering Performance of Reflectarrays Covered by Band-Pass Frequency Selective Surfaces," *Proc. AWPT2022*, pp. 1-4, Dec. 2022.
- [12] 知久 望海, 今野 佳祐, 陳 強, "動作帯域外で鏡面反射の角度にフォーカスしたリフレクトアレー," *信学技報*, vol. 122, no. 378, AP2022-211, pp. 79-82, 2023 年 2 月.
- [13] B. A. Munk, *Frequency Selective Surfaces: Theory and Design*, New York, NY, USA: Wiley, 2000.