

線状モノポール素子を用いた エンドファイアリフレクトアレーの散乱特性

青木 稜吾[†] 今野 佳祐[†] 陳 強[†]

チャカロタイ ジェドヴィスノブ^{††} 藤井 勝巳^{††} 村上 靖宜^{†††}

[†] 東北大学大学院工学研究科 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

^{††} 国立研究開発法人情報通信研究機構

^{†††} 電気通信大学情報理工学研究科

E-mail: [†] ryogo.aoki.s3@dc.tohoku.ac.jp, {keisuke.konno.b5 ,qiang.chen.a5}@tohoku.ac.jp

あらまし 平面型リフレクトアレーは、ある平面上に配置された多数の素子からなるアレーである。各素子は入射波の位相を回転させ、所望方向で散乱波が同相になるように設計される。このような平面型リフレクトアレーでは、ブロードサイド方向からビームが離れるにしたがって利得が減少することがよく知られており、アレー水平方向、すなわちエンドファイア方向へのビーム走査は困難であった。本研究では、線状ダイポール素子を用い、アレー水平方向のビーム走査を可能としたエンドファイアリフレクトアレーを提案し、その散乱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, エンドファイア方向, ダイポール

Scattering Performance of Endfire Reflectarray With Linear Monopole Elements

Ryogo AOKI[†] Keisuke KONNO[†] and Qiang CHEN[†]

Jerdvisanop CHAKAROTHAI^{††} Katsumi FUJII^{††} Yasutaka MURAKAMI^{†††}

[†] Graduate School of Engineering, Tohoku University

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

^{††} National Institute of Information and Communications Technology

^{†††} Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

E-mail: [†] ryogo.aoki.s3@dc.tohoku.ac.jp, {keisuke.konno.b5 ,qiang.chen.a5}@tohoku.ac.jp

Abstract A planar reflectarray is an array composed of a lot of elements arranged in a specific plane. Each element is designed to rotate the phase of the incident wave and their scattered waves are in-phase in the desired direction. It is well-known that gain of the planar reflectarray decreases as the beam is scanned away from its broadside direction and beam scanning toward its horizontal direction (i.e. endfire direction) is difficult. In this study, we propose an endfire reflectarray using a linear dipole element that enables to scan its beam toward the horizontal direction, and its scattering performance is demonstrated numerically.

Keywords Reflectarray, Endfire, dipole

1. まえがき

第5世代移動通信システム(5G)では、既存の第4世代通信(4G)よりも高周波数である sub6 帯(3.6GHz~)およびミリ波帯の電波(24GHz~)が使用されている。ミリ波帯では伝搬情報容量が大きい反面、電波の直進性が高く、伝搬損失が大きく回折が生じにくい。そのた

め、建築物等による遮蔽によって電波が急速に減衰してしまい、通信品質を確保できないエリアが発生してしまう問題点がある。基地局や中継器を増設することでこの問題は解決するが、それにはコストや設置する場所の確保などの様々なハードルが存在している。

このような電波が届かないエリアでの無線通信を

可能にする技術として、低コストで容易に設置可能であるリフレクタレーが注目されている。リフレクタレーは一次放射器と複数の反射素子で構成され、各反射素子の各寸法を変化させることで、散乱波の位相を所望の方向で同相にする。その結果、入射波を所望の方向に散乱させることができる[1][2]。このようなリフレクタレーは、無線通信が困難なエリアの電波環境の改善に応用することができる[3][4]。

これまでは平面型リフレクタレーの研究が盛んに行われていた[5][6]。このような平面型リフレクタレーでは、そのブロードサイド方向からビーム方向が離れるにしたがって利得が減少することが知られており、アレー水平方向のビーム走査は困難であった[7]。

そこで本研究では、線状ダイポール素子を用い、アレー水平方向、すなわちエンドファイア方向へのビーム走査を可能としたエンドファイアリフレクタレーを提案する。エンドファイアリフレクタレーは水平方向に実効開口が向いているため、従来の平面型リフレクタレーでは走査が困難な水平方向へのビーム走査が可能である。ビーム走査方向は素子間隔によって制御できる。数値シミュレーションを行い、設計したエンドファイアリフレクタレーの散乱特性を数値的に明らかにする。

2. エンドファイアリフレクタレーの原理

一般的なリフレクタレーは、各素子の散乱電界が特定方向で同相になるように設計されるが、従来の平面型リフレクタレーと提案するリフレクタレーでは、その設計法が異なる。従来の平面型リフレクタレーは、反射素子の大きさを変えることで散乱波の位相が所望のビーム方向で同相になるように設計される。その結果、従来の平面型リフレクタレーは非同素子のアレーとして設計される。その一方で、提案するエンドファイアリフレクタレーでは、全ての反射素子が同一の大きさである。各素子の散乱波の位相および主ビーム方向は、漏れ波アンテナのように素子間隔を変えることで制御する。

地板上にモノポール素子を間隔 d_x で配列したエンドファイアリフレクタレーを図1に示す。 $\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ$ の方向から原点に向けてz偏波の平面波を入射した場合、第 n 素子と第 $n+1$ 素子の散乱波の位相差 $\Delta\theta$ は次のように表される。

$$\Delta\theta = k_0 d_x + k_0 d_x \sin \theta \quad (1)$$

(1)式中の k_0 は自由空間波数である。(1)式の $\Delta\theta$ が 2π の整数倍になるような方向を θ_s とすると、 θ_s の方向ではすべての素子の散乱波が同相となり、主ビームが形成される。したがって、所望方向 θ_s で散乱波が同相になるような素子間隔 d_x は以下の式を満たせばよい。

$$d_x = \frac{2\pi \cdot m}{k_0(1 + \sin \theta_s)} = \frac{m\lambda}{1 + \sin \theta_s} \quad (m = 1, 2, 3 \dots) \quad (2)$$

特に隣接素子の散乱波の位相差が丁度 2π になる場合の素子間隔 d_x の値と、そのときの主ビーム方向 θ_s は以下のように表される。

$$d_x = \frac{2\pi}{k_0(1 + \sin \theta_s)} = \frac{\lambda}{1 + \sin \theta_s} \quad (3)$$

$$\theta_s = \sin^{-1} \left(\frac{\lambda}{d_x} - 1 \right) \quad (4)$$

(4)式より、素子間隔を変更すれば散乱波を所望方向に制御することが可能であることが示唆される。

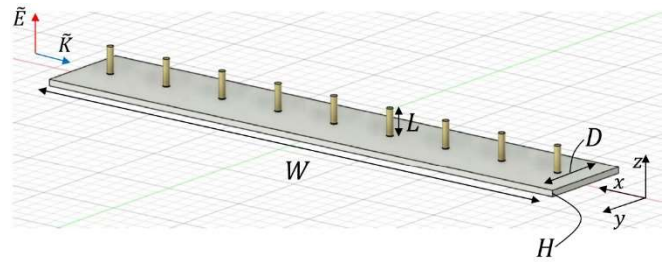


図1 線状モノポール素子を用いたエンドファイアリフレクタレー

3. 1次元エンドファイアリフレクタレーの数値解析

ビーム走査方向と素子間隔 d_x の間に(4)式で示す関係が成り立つことを明らかにするため、完全導体の無限地板上にモノポール素子を等間隔に10個並べた1次元エンドファイアリフレクタレーの数値解析を行った。数値解析には商用電磁界シミュレータFEKOを用い、モーメント法で解析を行った。入射波は $\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ$ から入射する平面波とし、主ビーム方向が 15° から 90° まで 15° 刻みで変化するように、(3)式を用い素子間隔を決定した。(Bistatic radar cross section, BRCS)の数値解析結果を図2に示す。

図2から、 $\theta_s = 75^\circ$ を除くいずれのリフレクタレーも主ビームが θ_s 方向に向いていることがわかり、エンドファイアリフレクタレーによるビーム走査が実現できていることがわかる。 $\theta_s = 75^\circ$ としたときに、所望方向に明確なビームが見られず $\theta = 90^\circ$ の時とBRCSの値がほぼ同等になっている理由は、素子数が10素子と少なく、ビーム幅が広いためである。そのため、素子数を増やせば $\theta_s = 75^\circ$ 方向にも主ビームを向けることができる。

この結果から、素子間隔を変えることで $\theta = 15 \sim 90^\circ$ の範囲ではビーム走査が可能であることが判明した。

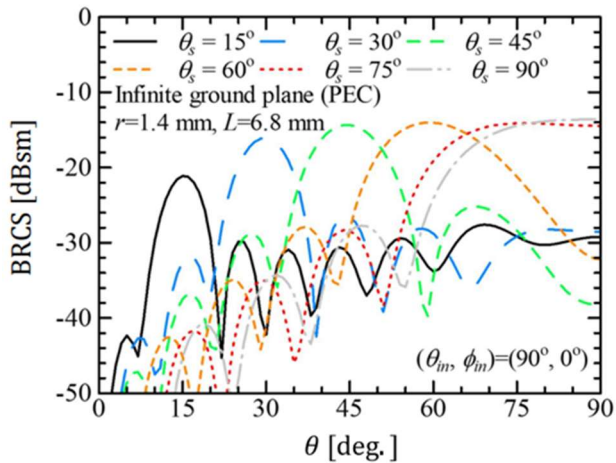


図2 BRCSの解析結果

4. まとめ

本報告では、アレー水平方向にビーム走査可能なエンドファイア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。

5. 謝辞

本研究の一部はJSPS 科研費 22K04061 の助成を受けたものである。本研究の一部は、東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究により実施されたものである。

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] J. Huang and J.A. Encinar, Reflectarray Antennas, John Wiley and Sons, 2008.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Q. Chen, "Experimental study of improving wireless propagation channel by using reflectarray," Proceedings of iWEM2014, Sapporo, Japan
- [6] D.M.Pozar and T.A.Metzler "Analysis of a Reflectarray Antenna Using Microstrip Patches of Variable Size," Electronics Lett.vol.29, no.8, Apr, 1993
- [7] G.B Wu, S. Qu, and S. Yang "Wide-Angle Beam-Scanning Reflectarray With Mechanical Steering" Reflectarray Antennas, IEEE Trans. Antennas Propag., Vol.66, no.1, pp.172-181, Jan, 2018.