

コンフォーマルアレーの散乱/放射特性設計法の一検討

高橋 洸輔[†] 今野 佳祐[†] 陳 強[†] 上坂 昂司^{††} 渡辺 光^{††}

高橋 徹^{††}

[†] 東北大学大学院 工学研究科 通信工学専攻 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

^{††} 三菱電機株式会社 〒247-8501 鎌倉市大船 5-1-1

E-mail: takahashi.kosuke.q3@dc.tohoku.ac.jp

あらまし 電磁波の指向性を制御するためのデバイスとして、フェーズドアレーアンテナやリフレクタレーなどが利用されている。これらの形状は平面型であることが多いものの、デバイスを設置する位置によってはコンフォーマルな形状となる場合がある。コンフォーマルアレーでは、素子の形状や向きが素子位置によって異なることがあるので、素子間相互結合を踏まえた放射特性及び散乱特性の設計が困難である。そこで本報告では、素子間相互結合を踏まえたコンフォーマルアレーの散乱/放射特性の設計法を提案する。提案法は、リフレクタレー設計技術とMIMO-WPT (Multi-Input Multi-Output-Wireless Power Transfer) 技術からなるハイブリッド法であり、素子間相互結合を考慮してコンフォーマルアレーを設計することができる。モーメント法による数値シミュレーションを行い、コンフォーマルアレーの曲率が放射、散乱特性に及ぼす影響を明らかにする。

キーワード リフレクタレー, コンフォーマルアレー

A Study of Design Method for Radiation / Scattering Performance of Conformal Array

Kosuke TAKAHASHI[†], Keisuke KONNO[†], Qiang CHEN[†], Takashi UESAKA^{††}, Hikaru WATANABE^{††}, and Toru TAKAHASHI^{††}

[†] Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University
6-6-05 Aramaki Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8579, Japan

^{††} Mitsubishi Electric Corporation

Ofuna 5-1-1, Kamakura, Kanagawa, 247-8501 Japan

E-mail: takahashi.kosuke.q3@dc.tohoku.ac.jp

Abstract Phased array antennas and reflectarrays have been used as devices for controlling directivity of electromagnetic waves. These devices are usually planar ones but could be conformal ones unless these devices are installed to planar structures. Design of radiation/scattering performance of conformal arrays under effect of mutual coupling is not easy because array elements could be non-identical and oriented to different directions. In this report, a design method of scattering/radiation performance of conformal arrays under effect of mutual coupling is proposed. The proposed method is a hybrid method, i.e. combination of a reflectarray design method and MIMO-WPT technology, and conformal arrays can be designed under effect of mutual coupling. Numerical simulation is performed by method of moments (MoM) and effect of curvature of the conformal arrays on their radiation/scattering performance is clarified.

Key words Conformal Array, Reflect Array

1. ま え が き

現在、電波を所望方向へ向けるためのデバイスとして、フェーズドアレーやリフレクタレーなどが利用されている。これら

の多くは平面上に設置されており、研究についても平面構造を考えていることが多い[1][2][3]。その一方で、ビルや乗り物の躯体など様々な曲面状に合わせて設置されるコンフォーマルアレーアンテナが注目を集めている。このようなコンフォー

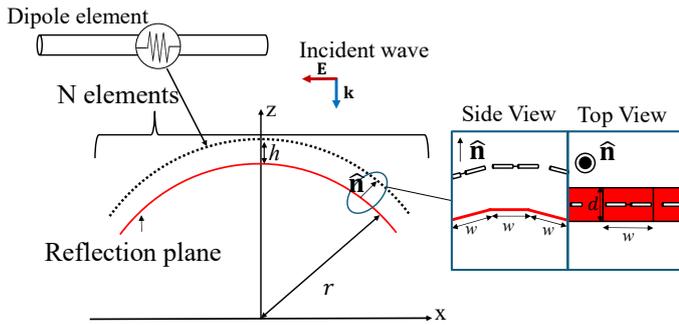


図1 設計したコンフォーマルアレーの一例

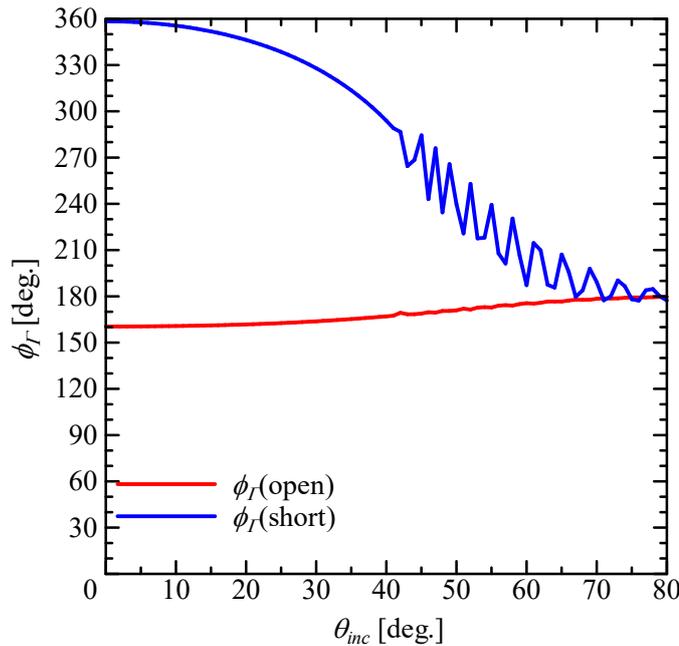


図2 反射板付きダイポールの反射係数位相特性

マルアレーアンテナは、素子の形状や向きが素子位置によって異なることがあるので、素子間相互結合を踏まえた放射特性及び散乱特性の設計が困難であるという問題がある。そこで本研究では、コンフォーマルフェーズドアレーの散乱、放射特性の制御法を提案し、その有効性を明らかにする。提案法は、リフレクタレー設計技術 [1]-[3] と MIMO-WPT(Multi-Input Multi-Output-Wireless Power Transfer) 技術 [4]-[10] からなるハイブリッド法であり、素子間相互結合を考慮してコンフォーマルアレーを設計することができる。本報告では、モーメント法による数値シミュレーションを行い、コンフォーマルアレーの曲率が散乱特性におよぼす影響を明らかにする。放射特性の設計に関する議論は口頭発表に譲る。

2. 提案法の概要と素子の数値解析

図1に設計した円筒型コンフォーマルアレーの一例を示す。反射板付きダイポールアンテナを素子として用いており、中央に装荷した負荷を開放と短絡の1bit制御することで、散乱波の位相を変え、アレーの指向性を制御する。

素子の反射係数位相特性の数値解析結果を図2に示す。素子

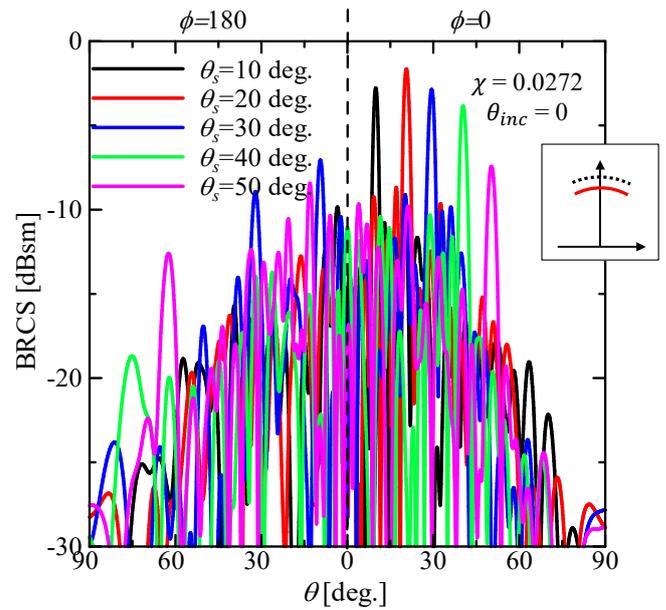


図3 $\chi = 0.0272$ における散乱特性

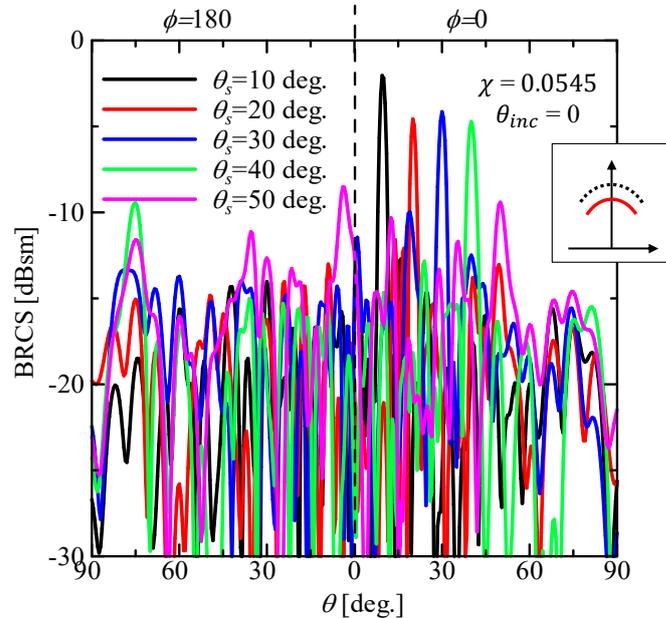


図4 $\chi = 0.0545$ における散乱特性

への入射角 θ_{inc} が小さいとき、開放と短絡で約 180° の位相差があり、1bit素子として動作する一方で、入射角が大きくなると開放と短絡の位相差が小さくなる点が問題である。

3. 提案法による数値計算例

図3, 4に、 $f = 10\text{GHz}$ で設計した円筒型コンフォーマルアレーの散乱特性を示す。それぞれのコンフォーマルアレーは異なる曲率 χ を有するが、 z 軸正の方向から見た開口面積は同じになるようにしてある。

所望方向にビームを形成できていることおよび、曲率が大きいアレーでは主ビーム方向へのBRCSが下がっていることがわかる。図2に示す通り、入射角度の大きい位置にある素子の反射係数位相は短絡と開放の状態を変えても変化が小さい。した

がって、曲率の大きなアレーでは入射角度の大きな位置にある素子の散乱電界の位相制御が難しいことになる。曲率の大きなアレーで主ビーム方向の BRCS が相対的に小さいのは、このことが原因と考えられる。

4. 結 言

本報告では、コンフォーマルアレーの散乱特性の制御を目的として、リフレクタアレーの原理を応用した新たな制御手法を提案した。ダイポールを用いた 1bit リフレクタアレー素子を用いて、異なる曲率を持つコンフォーマルアレーを設計し、数値シミュレーションを実施した。その結果、所望の方向にビームを形成できることが確認され、提案手法の有効性が示された。一方で、使用した素子の反射係数位相特性が入射角に対して劣化しており、曲率の大きなアレーでは主ビーム方向の BRCS が下がることを明らかにした。

謝 辞

本研究成果の一部は JSPS 科研費 22K04061 の助成を受けて得られた。また、東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会では本研究に関する有益な議論を行ったので、関係各位に謝意を表す。

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, "Analysis of a microstrip reflectarray antenna for microspacecraft applications," *TDA Progress Report 42-120*, Feb. 1995, pp. 153-173.
- [3] J. Huang and J. A. Encinar, *Reflectarray Antennas*, John Wiley and Sons, 2008.
- [4] K. Wiedmann and T. Weber, "Optimizing the Wireless power Transfer over MIMO Channels," *Advances in Radio Science*, vol.15, pp.181-187, Sept. 2017.
- [5] F. Xie, G. -M. Yang and W. Geyi, "Optimal Design of an Antenna Array for Energy Harvesting," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 12, pp. 155-158, 2013.
- [6] X. Cai and W. Geyi, "An Optimization Method for the Synthesis of Flat-Top Radiation Patterns in the Near- and FarField Regions," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.67, no.2, pp.980-987, Feb. 2019.
- [7] X. Cai, X. Gu and W. Geyi, "Optimal Design of Antenna Arrays Focused on Multiple Targets," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.68, no.6, pp.4593-4603, June 2020.
- [8] W. Geyi, "The Method of Maximum Power Transmission Efficiency for the Design of Antenna Arrays," *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, vol.2, pp.412-430, March 2021.
- [9] Q. Yuan and T. Aoki, "Practical Applications of Universal Approach for Calculating Maximum Transfer Efficiency of MIMO-WPT System," *Wireless Power Transfer*, Cambridge Core, vol.7, pp.86-94, March 2020.
- [10] T. Aoki, H. Satake, Q. Yuan, K. Konno and Q. Chen, "Boundary between Near-Field Region and Far-Field Region Obtained from Power Transfer Efficiency of Antenna," *IEICE Transactions on Communications*, vol. J103-B, no. 11, pp. 551-558, Nov. 2020 (In Japanese).