

アレーアンテナの素子間相関

Correlation of Array Elements

陳 強
Qiang Chen

今野 佳祐
Keisuke Komno

東北大学
Tohoku University

1 まえがき

アレーアンテナは、移動通信のMIMOアンテナや到来波方向探知用レーダーアンテナなどとして、広く用いられている。アレーアンテナの素子特性の相関は、通信容量や方向探知の精度に影響を与えるため、素子間相関はアレーアンテナの性能を左右するパラメータとして、重要視されている。本稿では、アレーアンテナの素子間の相関と素子間の電磁結合との関係に着目し、アレーアンテナの素子特性の相関を考慮したアレーアンテナの設計方法を検討する。

2 アレー素子の相関係数とアレー素子間電磁結合の数学表現

アレーアンテナの各素子の放射特性は、アレーエレメントパターンにより表現できる。2つのアレー素子特性の相関係数はアレーエレメントパターンにより以下の式で表される。

$$\rho = \frac{\langle \mathbf{D}_1, \mathbf{D}_2 \rangle}{|\mathbf{D}_1| |\mathbf{D}_2|} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{D}_1, \mathbf{D}_2$ は2つのアレー素子のアレーエレメントパターンである。一方、アンテナが無損失のとき、(1)式の相関係数は、アレー素子間の電磁結合を表すSパラメータにより表される [1]。

$$\rho = \frac{-S_{12}^* S_{11} - S_{22}^* S_{21}}{\sqrt{1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2} \sqrt{1 - |S_{22}|^2 - |S_{12}|^2}} \quad (2)$$

アレー素子の空間エレメントパターンを測定しなくても、アンテナの入力ポート間のSパラメータを測定すれば、アレーアンテナの素子間の相関係数が計算できるため、上式は実用上大変便利な式である。

3 アレーアンテナの相関と電磁結合の関係

本稿では、2素子線状ダイポールアレーアンテナをモデルとして、アレーアンテナの相関と電磁結合を定量的に求め、それらの関係を議論する。アレーアンテナの解析モデルを図1におよび図2に示す。図1は、アレーアンテナと50Ωの内部抵抗を持つ電圧源から構成されるモデルであり、図2はさらにアンテナと電圧源のインピーダンス整合回路を加えたものである。2ポートのインピーダンス整合回路は、アンテナの動作中心周波数において共役整合の考え方にに基づき設計される。

アレーアンテナの電磁界数値解析を行い、 2×2 の散乱行列(Sパラメータ)を求め、アンテナの素子間の相関係数を(2)式により計算する。また、インピーダンス

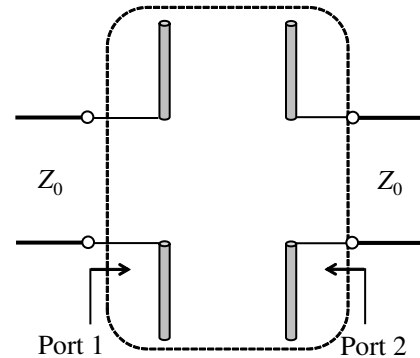


図1 2素子ダイポールアレーアンテナの解析モデル。

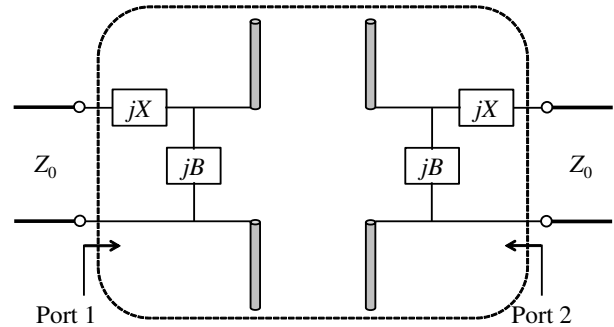


図2 インピーダンスの整合回路付き2素子ダイポールアレーアンテナの解析モデル。

整合回路の集中定数 B と X は、[2] と [3] に示される手法で決定される。数値シミュレーションでは、アンテナ長を $l = 0.1$ m、線状アンテナの半径を $a = 0.001$ m、素子間隔を d としており、アンテナの導体損失は無視する。

図3には素子間距離を変化させたときの2素子ダイポールアレーアンテナの相関係数の周波数特性を示す。素子間隔が大きくなると、素子の放射特性の相関係数が小さくなる傾向がみられるが、周波数によって相関係数が変化しており、アンテナの素子間距離と素子間の相関特性との関係を考察することが困難である。一方、図2の解析モデルにおいて、アレーアンテナを50Ωのインピーダンス整合状態にした場合、アレー素子の反射係数が S_{11} と等しくなる。動作周波数を1.5 GHzとしたときの S_{11} の周波数特性は図4に示されており、整合が取れていることが確認できる。そのときの素子間の相関係数は図5に示す。どの素子間隔でも、1.5 GHzにおいて相関係数がゼロとなっていることがわかる。素子間の相関係数はアレー素子間の電磁結合に依存するが、各アンテナ素子においてインピーダンス整合が取れた状態では、

表 1 アレーアンテナの相関係数 ρ の帯域幅と動作利得 .

Array Spacing d [m]	$ \rho < -20$ dB bandwidth B_ρ [%]	Actual gain @1.5 GHz G
0.04	6.5	1.58
0.05	8.6	1.85
0.06	11.2	2.14
0.07	14.7	2.47
0.08	18	2.87

相関係数が必ずゼロとなることが言える。また、アレーアンテナの動作利得と相関係数が -20 dB 以下の周波数帯域を表 1 に示す。素子間隔が小さくなると、動作周波数において相関係数がゼロになっても、その帯域幅が狭くなり、動作利得が小さくなっていることがわかる。

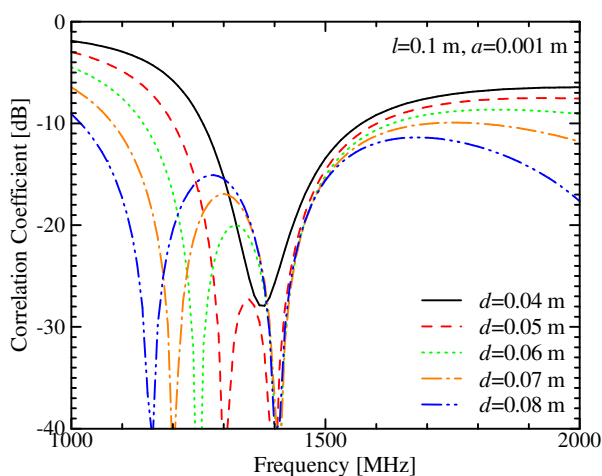
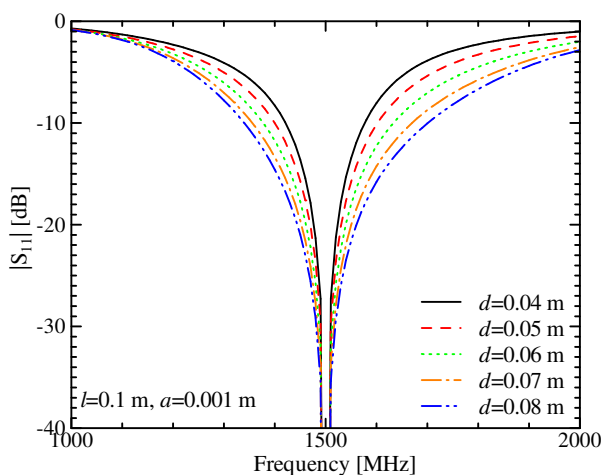


図 3 2 素子ダイポールアレーアンテナの相関係数 .

図 4 整合回路付き 2 素子ダイポールアレーアンテナの S_{11} (動作周波数 : 1.5 GHz) .

謝辞

本研究成果に関し、東北大学サイバーサイエンスセンターから研究に関するアドバイスを頂いた。ここに感謝する。また、本研究成果の一部は JSPS 科研費 18K13736 の助成を受けて得られた。

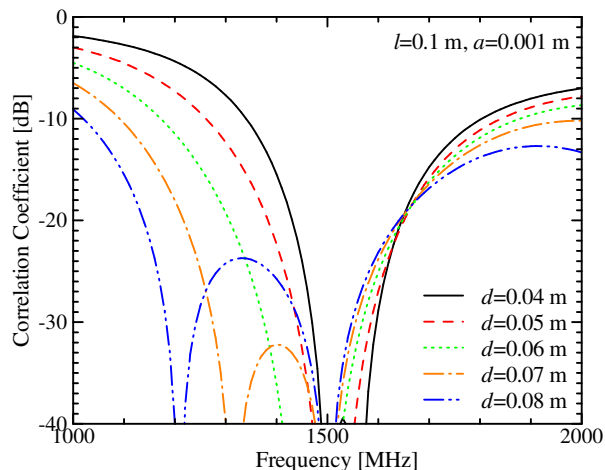


図 5 整合回路付き 2 素子ダイポールアレーアンテナの相関係数 (動作周波数 : 1.5 GHz) .

参考文献

- [1] S. Blanch, J. Romeu, and I. Corbella, "Exact representation of antenna system diversity performance from input parameter description," *Electron. Lett.*, vol. 39, no. 9, pp. 705–707, May 2003.
- [2] Q. Chen, K. Ozawa, Q. Yuan and K. Sawaya, "Antenna Characterization for Wireless Power-Transmission System Using Near-Field Coupling," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 54, no. 4, pp. 108-116, Aug. 2012.
- [3] 袁 巧微, "無線電力伝送システムにおける最適インピーダンスと最大効率," *信学技報*, vol. 115, no. 450, AP2015-198, pp. 43-46, 2016 年 2 月.