

## アレーアンテナの相互結合と送受信時の校正行列について

On mutual coupling of array antenna and its calibration matrix in transmitting and receiving operations

山田寛喜<sup>1</sup>                      小川恭孝<sup>2</sup>                      山口芳雄<sup>1</sup>  
 Hiroyoshi Yamada              Yasutaka Ogawa              Yoshio Yamaguchi

新潟大学 工学部<sup>1</sup>  
 Faculty of Engineering, Niigata University  
 北海道大学 大学院情報科学研究科<sup>2</sup>  
 Graduate School of Information Science & Technology, Hokkaido University

**まえがき** 到来方向 (DOA) 推定や DBF における指向性合成において、アレー校正は不可欠である。誤差要因の一つが素子間相互結合である。その校正パラメータの推定法に関しては、多くの報告があるが、単純な半波長ダイポールアレーにおいても、受信アレー単体での正確な校正は不可能とされていた [1]。筆者等は、相互インピーダンスの定義を修整することにより、シングルモード素子からなるアレーの場合、アレー単体で素子間相互結合の校正が可能となることを示し、その校正行列の導出法を報告した [2]。ここでは、その定義を用い、送信アレーにおける結合とインピーダンスの関係を考察する。

**アレー素子間の相互インピーダンス** 簡単のため、ここでは2素子のアレーの等価回路を用いる。多くの文献では  $Z_{12} = Z_{21}$  が成立するものとしているが、 $Z_{11}, Z_{22}$  を既知として、一方の素子を給電し  $Z_{ij}$  を計算すると異なる値となる。これより再放射、伝送に関わる相互インピーダンスは、異なると考えるのが妥当といえる。同種の報告は文献 [3] にも見られる。再放射および伝送に関わるインピーダンスをそれぞれ  $Z_{ij}^s, Z_{ij}$  と表すと、#1 を  $V_g$  で給電した場合 ( $Z_L$  は負荷インピーダンス),

$$\begin{bmatrix} V_g - Z_L i_1 \\ -Z_L i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12}^s \\ Z_{12} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

となる。このアレーを受信に用いるとその校正行列は、

$$\mathbf{Z}_{\text{rec}} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Z_{11}}{Z_L} & \frac{Z_{12}^s}{Z_L} \\ \frac{Z_{12}}{Z_L} & 1 + \frac{Z_{22}}{Z_L} \end{bmatrix} \quad (2)$$

となる。受信アレーの場合には再放射相互インピーダンスが結合の校正パラメータとなる (詳細は文献 [2] 参照)。

**送信時の校正行列** 式 (1) は、給電電圧と素子上の電流の関係を表している。#1, #2 素子の給電電圧を  $V_{g1}, V_{g2}$ , # $j$  素子給電時の # $i$  の素子電流を  $i_{ij}$  とし、得られる2つの式より次式が得られる (ただし  $i_j = \sum_k i_{jk}$ )。

$$[V_{g1}, V_{g2}]^T = \begin{bmatrix} Z_L + Z_{11} & \frac{Z_{12} i_{22} + Z_{12}^s i_{21}}{i_{22} + i_{21}} \\ \frac{Z_{12} i_{11} + Z_{12}^s i_{12}}{i_{11} + i_{12}} & Z_L + Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

受信時には  $Z_{ij}^s$  のみが結合に関与していたが、この定義を用いると送信時には  $Z_{ij}$  も関係し、厳密には受信時とは異なる校正行列となること分る。

**数値計算結果** ここでは4素子等間隔リニアアレー (素子:半波長ダイポール, 素子間隔:0.5 $\lambda$ ) をモデルとしたモーメント法による数値解析結果 (雑音無し) を示す。図1が3波 ( $\theta = 20^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ ) 到来時の MUSIC スペクトル (受信アレー校正問題) である。“Raw-data”, “Conventional-cal.”, “Proposed-cal.” はそれぞれ、校正無し, 従来法 (従来の相互インピーダンス推定値利用), 提案法 (式 (2) に基づく行列) による推定波形である。提案法により DOA 推定のバイアスが大幅に軽減されていることが分る。図2は  $\theta = 20^\circ, 60^\circ$  にヌルを形成するようパタン形成した結果である。ここでは、式 (3) に基づき単に  $Z_{ij}$  あるいは  $Z_{ij}^s$  を用いて校正行列を形成した結果を示している。この例では  $Z_{ij}^s$  を用いたものが良好なヌルを形成している。

**まとめ** 本稿では、アレーアンテナの校正行列に関して提案するインピーダンスの定義を用い、送受信時の校正行列と相互インピーダンスとの関係に関して考察した。

**参考文献** [1] R. S. Adve and T. K. Sarkar, *IEEE Trans. AP*, vol.48, no.1, pp.86-94, Jan.2000. [2] 山田ほか, “受信アレーアンテナの相互インピーダンスとその校正行列について”, 信学技報, vol.AP2004, 2005年3月. [3] R. E. Collin, *IEEE AP Magazine*, vol.45, no.2, pp.119-124, Apr.2002.

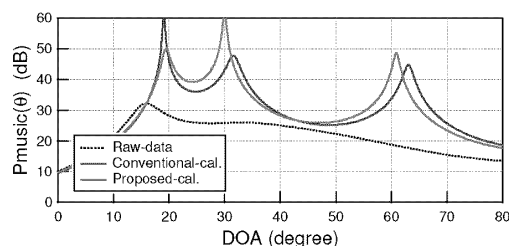


図1 MUSIC法による到来方向推定結果 (数値計算)

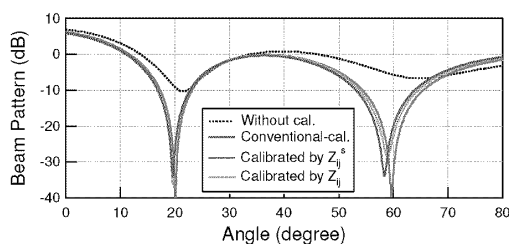


図2 指向性パターン形成結果 (数値計算)