

副アレーに分割した三角配列アレーアンテナの放射特性

Radiation Characteristics of a Large-scaled Phased Array Antenna Divided with Sub-arrays

宇野 孝¹, 高野 忠², 三枝健二²

Takashi UNO¹, Tadashi TAKANO², Kenji SAEGUSA²

Abstract: A large-scaled phased array antenna needs a phase shifter for each element. In order to reduce the number of the phase shifters, we propose a method of dividing a large-scaled array antenna into sub-arrays. In this paper, we investigate the radiation characteristics of the proposed array antenna consisted of 10⁶ elements.

1. まえがき

本研究の目的は、フェーズドアレーアンテナにおける移相器の削減である。移相器を削減する方法として、アレーを副アレー（以下、SA）に分割し、SAを構成する素子アンテナを同相とする方法を提案されている[1]。本論文では、10⁶素子の三角配列をしたアレーアンテナについて、ビーム走査時の主ビームのレベル変動の観点などから移相器削減の検討を行い、さらに四角配列[2]と比較する。

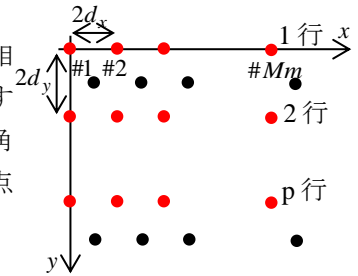


図1 三角配列

2. 放射パターンの定式化

2.1 三角配列の合成放射電界

図1に三角配列したアレーアンテナを示す。このアレーは、赤色で示した放射素子で構成されたアレーと、黒色で示した放射素子で構成されたアレーの組み合わせと考えられる。それぞれのアレーは同じく、x軸方向にMm素子、y軸方向にp行で成るアレーとすると、三角配列の合成放射電界は式(1)で表される。ただし、素子放射は等方性とする。

$$f_a = 2e^{j\{(Mm-1)(\psi_x + \Delta_x) + (p-1)(\psi_y + \Delta_y)\}} e^{j\frac{1}{2}(\psi_x + \Delta_x + \psi_y + \Delta_y)} \frac{\sin\{(\psi_x + \Delta_x)Mm\}}{\sin(\psi_x + \Delta_x)} \frac{\sin\{(\psi_y + \Delta_y)p\}}{\sin(\psi_y + \Delta_y)} \cos\frac{1}{2}(\psi_x + \Delta_x + \psi_y + \Delta_y) \quad (1)$$

ここで、 ψ_x と ψ_y は $\psi_x = kd_x \sin \theta \cos \varphi$, $\psi_y = kd_y \sin \theta \sin \varphi$ で与えられ、 k は波数 $2\pi/\lambda$ を表す。また、 Δ_x と Δ_y はそれぞれ、 $\Delta_x = -kd_x \sin \theta_m \cos \varphi_m$, $\Delta_y = -kd_y \sin \theta_m \sin \varphi_m$ で与えられ、ビームを θ_m , φ_m 方向に振るため、各素子に与える位相量である。

2.2 SAで分割した場合の合成放射電界

図2のように、三角配列したアレーを四角のSAで分割した場合の合成電界を示す。SAは、先述のように2つのアレーの組み合わせと考えることができる。それぞれのアレーは、x軸方向にM素子、y軸方向にp'行とする。この合成放射電界は式(2)で表される。ただし、SA上の素子アンテナは、左上の素子（図2の赤色で表した素子アンテナ）と同相にする。

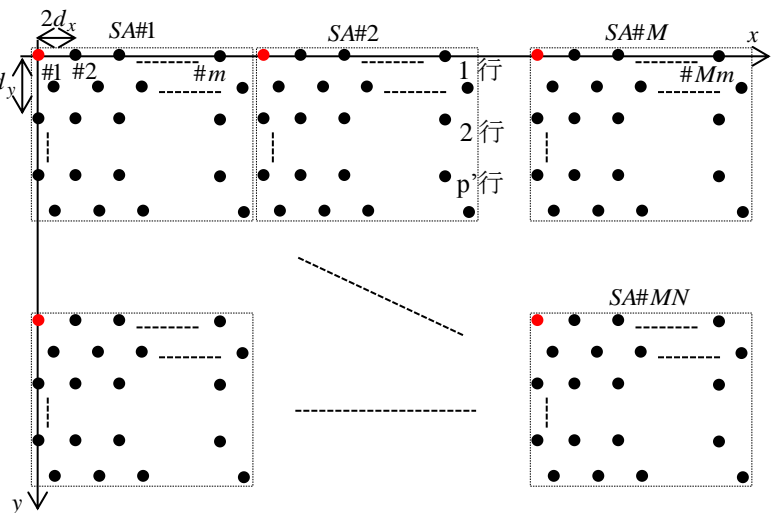


図2 SAで分割した三角配列のアレー

$$f_a = \left\{ 2e^{j\frac{1}{2}(\psi_x + \psi_y)} \cos\frac{1}{2}(\psi_x + \psi_y) \right\} \left\{ e^{j(m-1)\psi_x} \frac{\sin m\psi_x}{\sin\psi_x} \right\} \left\{ e^{j(p'\psi_y)} \frac{\sin(p'\psi_y)}{\sin\psi_y} \right\} \times \left\{ e^{jm(M-1)(\psi_x + \Delta_x)} \frac{\sin\{Mm(\psi_x + \Delta_x)\}}{\sin\{m(\psi_x + \Delta_x)\}} \right\} \left\{ e^{jp'(N-1)(\psi_y + \Delta_y)} \frac{\sin\{p'N(\psi_y + \Delta_y)\}}{\sin\{p'(\psi_y + \Delta_y)\}} \right\} \quad (2)$$

1: 日大理工・学部・電子 2: 日大理工・教員・電子

3. ビーム走査時の放射パターン

式(1), (2)を用いて放射パターンの数値計算を行った. 図 3 に, 縦横にそれぞれ 1000 素子を三角配列したアレー (Mm=1000 素子, $p=500$ 行) の各素子に移相器を接続した場合, および縦横にそれぞれ 100 素子配置した SA ($m=100, p=50$) で 10^2 個に分割したアレーの放射パターンを示す. 図 3 (a) は主ビームを $\theta_m = -0.6^\circ, \varphi_m = 0^\circ$ に向け, $\varphi = 0^\circ$ で固定した場合, (b) は主ビームを $\theta_m = -0.6^\circ, \varphi_m = 45^\circ$ に向け, $\varphi = 45^\circ$ で固定した場合, (c) は主ビームを $\theta_m = -0.6^\circ, \varphi_m = 90^\circ$ に向け, $\varphi = 90^\circ$ で固定した場合の放射パターンである. 図 3 より, 移相器を削減しビームを振ると主ビームが低下し, 格子ローブが発生していることがわかる.

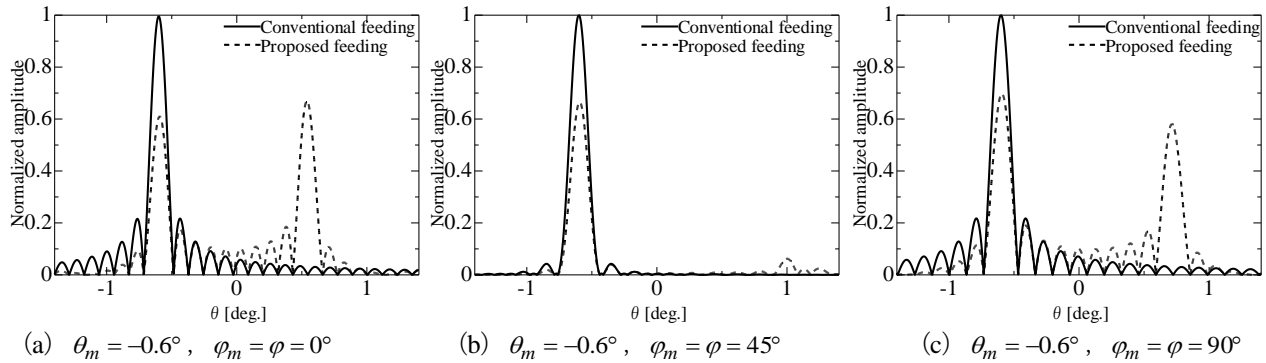


図 3 放射パターン

図 4 は SA の数を変化させた場合の主ビームのレベル変動を示している. ただし, $\varphi_m = 0^\circ, \varphi = 0^\circ$ の場合である. これより, 移相器を削減するほど主ビームのレベルは低下するが, 3dB まで低下するのを許容すれば, 移相器の数を 1000^2 個から 25^2 個まで削減できる.

4. 四角配列との比較

四角配列と三角配列の放射パターンを比較する. 四角配列とは素子アンテナを四角上に配列したアレーアンテナである. 図 5 に 100^2 素子の SA で 10^2 個に分割した四角配列と三角配列の放射パターンを示す. ただし, 主ビームを $\theta_m = -0.6^\circ, \varphi_m = 45^\circ$ に向け, $\varphi = 45^\circ$ で固定した場合である. これより, 三角配列では四角配列よりも格子ローブの発生が抑えられていることがわかる.

次に, 四角配列と三角配列の SA の数に対する主ビームレベルの変動を比較する. 図 6 は $\varphi_m = \varphi = 45^\circ$ で固定した時の主ビームのレベルを表している. ただし, 実線は三角配列, 破線は四角配列を表す. これより, 三角配列は移相器を削減しても主ビームのレベルがやや高いことがわかる.

5. まとめ

SA を用いて移相器を削減する場合, 格子ローブが発生せず, 主ビームのレベルが 3dB まで低下するのを許容すれば, 移相器の数を 1000^2 個から 25^2 個まで削減できる. また, 四角配列と比較すると, 移相器を削減しても, 格子ローブの発生が抑えられ, また主ビームのレベルが高いことがわかった.

6. 参考文献

- [1]高野 忠, 他, 2013, 信学総大, B-1-134
- [2]宇野 孝, 他, 2013, 信学総大, B-1-97

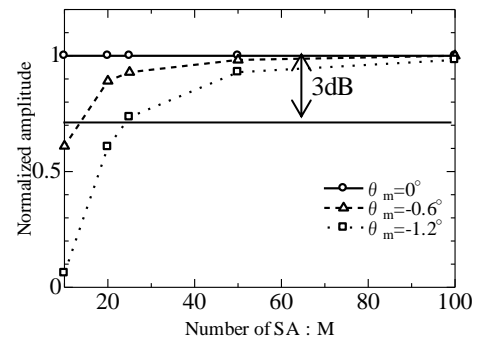


図 4 SA 数の変化による主ビームレベル変動 ($\varphi_m = \varphi = 0^\circ$)

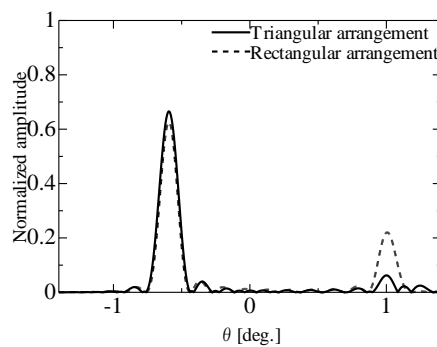


図 5 放射パターン

($\theta_m = -0.6^\circ, \varphi_m = \varphi = 45^\circ$)

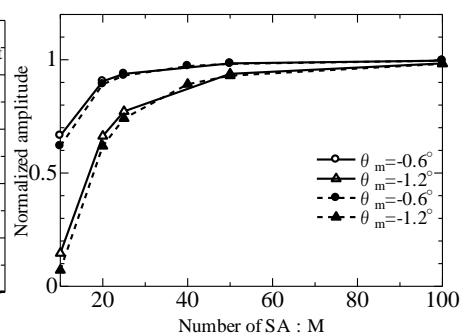


図 6 主ビームレベルの変動

($\varphi_m = \varphi = 45^\circ$)