

アレーアンテナの利得計算法についての一考察

A Study on the Calculation Method of the Gain of Array Antenna

○白原将希¹, 宇野孝², 柴田国明³, 三枝健二³, 高野忠³,
Masaki Shirahara¹, Takashi Uno², Kuniaki Shibata³, Kenji Saegusa³, Tadashi Takano³

Abstract: The purpose of this study is to investigate the gain calculation method of an array antenna. In this paper, we investigate the gain of an array antenna which consists of 10 elements, and is excited in equal phase and equal amplitude.

1. まえがき

アレーアンテナの利得には、以下の 3 方法がある。

- (1) 各素子を独立として、全合成放射パターンを求め、全空間で積分して入力電力とし、等方性波源の電力密度を求め、当該方向の電力密度を除して求める方法[1].
- (2) 各素子への回路入力電力の和から等方性波源が放射する電力密度を求め、当該方向の電力密度を除して求める方法[2].
- (3) 各素子を独立として、そのアンテナ利得と素子数との積により求める方法[3].

このように、アレーアンテナの利得計算法は複数あり、それぞれを混同する場合がある。そのため、この 3 つの利得計算法について、関係を明らかにする必要がある。ここでは、10 素子のアレーアンテナを例とし、等振幅、等位相で励振した場合の比較検討を行う。

2. 検討アレーアンテナ

図 1 は、10 素子のアレーアンテナを示している。素子アンテナは、半波長ダイポールである。本検討では素子同士が独立とし、結合がない場合の計算法 (1), (3) と、結合を考慮する計算法 (2) を比較することになる。そのため、結合現象の影響を除くべく、結合現象の少ない E 面方向にアンテナを配列している。素子間隔 d_n は 1 波長で規格化し、 d_n を 0.5 ~ 2.0 まで変化させ検討を行う。

3. 利得計算法

- (1) 放射パターンによる利得

放射パターンを全空間で積分し、利得 D は次式より求まる。

$$D = 4\pi/\Omega_A \quad (1)$$

Ω_A は、アレーアンテナの放射パターンを全空間で積分した

$$\Omega_A = \iint |g_a(\theta, \varphi)|^2 |f(\theta)|^2 d\Omega \quad (2)$$

で与えられる。ただし、 $d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$ であり、 $g_a(\theta, \varphi)$ は素子アンテナのパターン、 $f(\theta)$ はアレーファクタである。素子アンテナは半波長ダイポールアンテナとし、図 1 のようにアンテナを配列すると $g_a(\theta, \varphi)$ 、 $f(\theta)$ は次式で与えられる。

$$g_a(\theta, \varphi) = \cos(\pi \cos\theta/2) / \sin\theta \quad (3)$$

$$f(\theta) = \sin(N\psi/2) / \sin(\psi/2) \quad (4)$$

ただし、 $\psi = kd \cos\theta$ であり k は波数で与えられる。

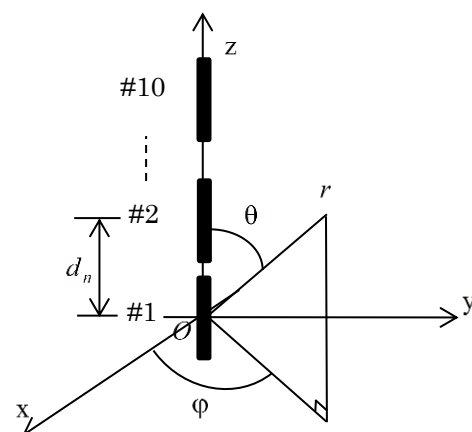


図 1 検討アレーアンテナの構成

式 (3), (4) を式 (1), (2) に代入し, 利得 D を求める. ここでは, 数値計算ソフト Mathematica を用いて計算を行う.

(2) 電力密度の比による利得

アンテナの入力電力を P_{in} とすると, 等方性波源が放射する電力密度 P_0 は

$$P_0 = P_{in} / 4\pi r^2 \quad (5)$$

で与えられる. アンテナへ電力 P_{in} を入力した場合の最大放射方向の電力密度 P_{max} と, この電力密度 P_0 との比により利得 G は次式により定義される.

$$G = P_{max} / P_0 \quad (6)$$

解析ではモーメント法を基とする電磁界シミュレータを用いて直接利得 G を求める.

(3) 素子アンテナの利得と素子数による利得

単一素子利得 G_{ele} と素子数 N の積で求まるため, 次式となる.

$$G_0 = G_{ele} \times N \quad (7)$$

半波長ダイポールアンテナの利得=1.64 と, 等振幅, 等位相で励振した 10 素子アレーアンテナを用いると, 次式を得る.

$$G_0 = 1.64 \times 10 = 16.4 \quad (8)$$

4. 素子間隔による利得の変化

数値計算, 解析結果を図 2 に示す. 放射パターンより定義した利得 D は, $d_n = 1.0$ 程度までは単調に増加するが, それ以上では変動しながらある値に収束している. これは, $d_n \leq 1.0$ では, 素子間隔を大きくするとビーム幅が狭くなり利得が増加するためである. $d_n \geq 1.0$ では, グレーティングローブが発生し, Ω_A が変化するため利得が変動するためと考えられる.

利得 G は, 放射パターンによる利得 D と同様の变化で, 利得は 1.5 程度低い結果となった. 入力電力 P_{in} を一定としたとき, アンテナから放射される電力密度の最大値は, 素子の結合によって変化する. 素子間隔を大きくすると結合が生じなくなり, 結合による利得の低下が無くなる. そのため, 利得 G は最大値から低下せず一定になると考えていたが, $d_n \geq 1.0$ では変動しながら収束するという結果が得られた. これは, $d_n \geq 1.0$ では結合が無くなっておらず, 残留しているために利得が変動したと考えられる.

利得 G_0 はアンテナの利得と素子数で決まるため, 素子間隔に関わらず一定となる. 利得 G は利得 G_0 に近い値に収束していくように見てとれる. 利得 D は利得 G と比べ, 1.5 程度高い値となる結果が得られた.

5. まとめ

アンテナの利得計算法について, 3 種類の比較検討を行った. 数値計算の結果, 放射パターンによる利得 D は素子間隔を変えることで変化する. 解析の結果, 電力密度の比による利得 G は, 素子間隔を変えると放射パターンによる利得より 1.5(0.3dB) 程度低い値で同様の变化をする. 素子間隔を大きくすれば, 利得は最大値から低下せず, 一定になると考えていたが, そうでない理由は素子の結合が残っているためだと考えられる. 素子アンテナの利得と素子数による利得 G_0 は一定値をとり, 素子間隔を 0.75λ とした時の放射パターンによる利得 D とほぼ同じ値となった.

6. 参考文献

- [1] Warren L. Stutzman, "Gary A. Thiele, Antenna theory and Design", pp.293-298, WILEY, 2012.
- [2] 長谷部 望, "電波工学 (改訂版)", pp.77-78, コロナ社, 2010.
- [3] 虫明康人, 安達三郎, "基礎電波工学", pp.113-115, 共立出版, 1975.

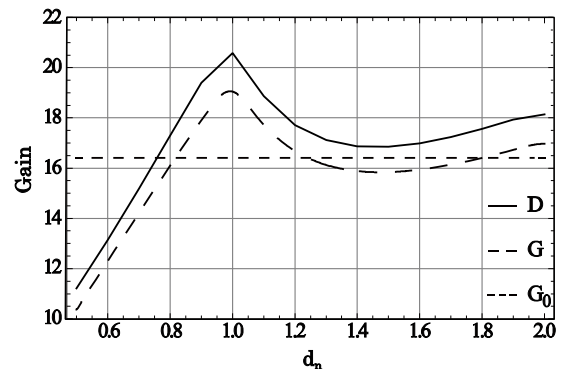


図 2 素子間隔による利得変化