

近傍・フレネル領域を対象とした一様励振アレーによる任意開口分布の等価実現法

The Equivalent Realization Method of Arbitrary Aperture Distribution by Uniform Excitation Array
for Near-Field and Fresnel Region

○吉峯知明^{*1}, 長縄俊博^{*2}, 柴田国明^{*3}, 三枝健二^{*3}, 高野忠^{*3}

^{*}Tomoaki YOSHIMINE, Toshihiro NAGANAWA, Kuniaki SHIBATA, Kenji SAEGUSA and Tadashi TAKANO

Abstract: In the case of phased array, we usually used amplifiers with variable gain and attenuators to get the desirable radiation pattern. In this research, we propose a method to realize the same radiation patterns controlling the amplitude by means of keeping uniform amplitude and controlling the element spacing. We show the design method and its validity by analytical simulation.

1. まえがき

従来, アレーアンテナを用いて所望の放射パターンを得るために, 各素子の振幅レベルおよび位相を制御していた[1]. この場合, 給電回路の中で異なる増幅器や減衰器, 移相器が必要となる.

これに対して, 振幅レベルを一定とした場合でも, 振幅を制御し, 素子間隔を一定にした場合と同様の放射パターンを実現できる等価実現法なる間隔設計法を提案した[2]. 等価実現法の適用により, 遠方界における有効性が確認された.

本稿では, マイクロ波無線電力伝送への適用に向けて近傍およびフレネル領域での等価実現法の検討を行う. アレーファクタを用いた数値解析により, 間隔設計および振幅設計の放射パターンの比較を行い, 等価実現法の有効性を示す.

2. 素子間隔設計法

従来のアレーアンテナにおける振幅分布を図 1 に示す. 放射素子を間隔 d で配列し, 各素子の振幅 A_n は所望の開口分布に対応した位置の値となる. 本研究では開口分布を最端の素子におけるレベル (EL) によって決定するガウス分布とする.

上記の開口分布を, 一様励振素子を用いて開口分布が等価となるように間隔設計を行う. 図 2 に間隔制御設計についての概略図を示す. 所望の開口分布をサンプリング間隔 S にて区切り, 振幅レベルの高低に応じて, 素子間隔 d_n が疎密となるように決定する. すなわち, 図 1 における振幅 A_n とサンプリング間隔 S の比と図 2 における振幅レベル a_0 と間隔制御した素子間隔 d_n との比を等しくする.

以上より, 中心素子 $x'_0=0$ とすると, 各素子位置は以下の式となる.

$$x'_n = \sum_{k=1}^n \frac{S \times a_0}{A_k} \quad (1)$$

$$x'_{-n} = -x'_n \quad (2)$$

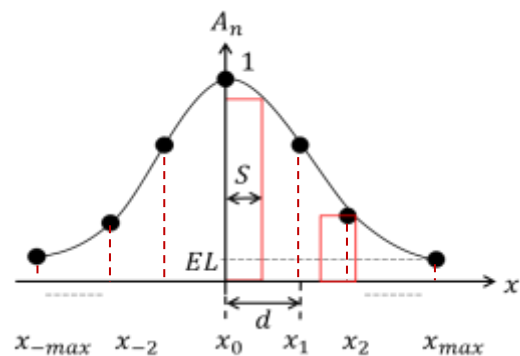


図 1 振幅制御における開口分布

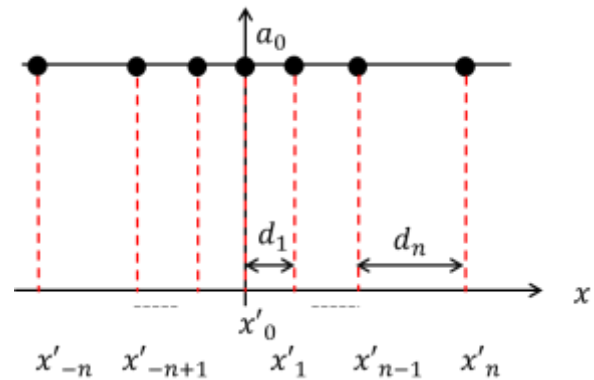


図 2 間隔制御における開口分布

3. ビーム集束法による位相設計

図 3 に解析モデルを示す. 放射素子を x 軸方向に配列し, 配列面から観測面までの距離 z_r における放射パターンを観測する.

近傍, フレネル領域内の遠方放射再現法として, ビーム集束法を用いる[3]. これは, 各素子から焦点までの位相を同相とすることにより, 送信アンテナの大きさに対して, 比較的近距離でも遠方放射パターンを得ることができる.

1: 日大理工・学部・電子 2: 日大理工・院 (前)・電子 3: 日大理工・教員・電子

焦点 F を (x_f, z_f) とし, 原点から送電アンテナ素子までの距離を r_n , 各素子から焦点 F に引いた直線を r_f とする. したがって, 点 F にて各素子からの放射が同相とするために必要な励振位相 Δ_n は次式となる.

$$\Delta_n = -k(|r_f| - |r_f - r_n|) \quad (3)$$

ただし, $k = 2\pi/\lambda$ は波数を表す.

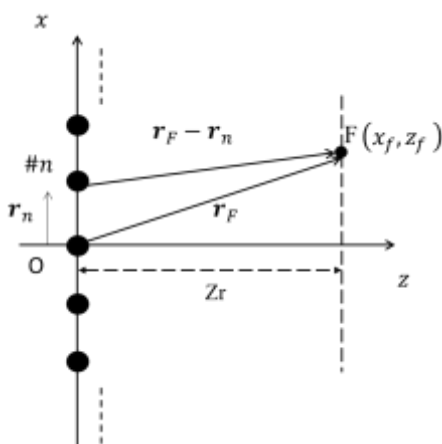


図3 ビーム集束法における位相設計

4. 解析結果

2, 3 章で設計したアレーアンテナをアレーファクタによって解析する. 対象とする開口分布は $EL = -10\text{dB}$ とし, $d = \lambda/2$ で 17 素子配列したアレーアンテナとする. このとき, 設計周波数は 2.45GHz である.

これまでに振幅制御時のアンテナ径を 8λ とした場合, $S = \lambda/4$ として設計すれば, 不要方向への放射を抑えられることが報告されている[2]. したがって, 本検討においても $S = \lambda/4$ とし, 間隔設計を行う. 式(1)を用いて所望の開口分布を再現する場合, アンテナ径が振幅制御時と比べて大きくなる場合がある. そのため, 従来の振幅設計と間隔設計時における開口径を等しくするために, 両端の素子を取り除きアンテナ径を調節する.

以上の条件より, 設計したアレーアンテナに対してアレーファクタに基づいた数値解析を行う.

アンテナ径を 8λ とし, $F(0, 3\lambda)$ とした場合の $z_f = 3\lambda$ における放射パターンを図4に示す. 縦軸は各放射パターンの最大値で正規化した相対レベルであり, 横軸は x 方向の観測距離を観測位置 z_r で正規化した値である. また, 放射パターンは $x/z_r = 0$ の軸上で線対称となるため, $x/z_r < 0$ の結果は割愛する.

間隔制御時と振幅制御時のメインビームがよい一致をしていることが分かる. サイドローブは広角になるごとに差が大きくなるが, 最大で 5dB 程度の差異で収まっている. これより $z_f = 3\lambda$ における, 等価実現は概ね有効であることがわかる.

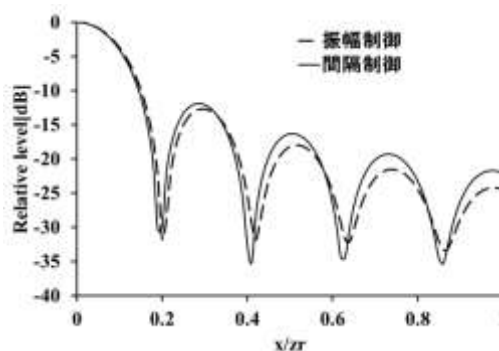


図4 放射パターン(アンテナ径 8λ , $z_r = 3\lambda$)

次に $z_f = z_r$ とし, 焦点位置 F を z 軸上で変化させた場合のメインビーム幅特性を図5に示す. ここで, メインビーム幅は, 各放射パターンのピーク値から -10dB 低下した幅とする. また, 近傍界とフレネル領域の境界は文献[1]を参考とし, $0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ とした.

フレネル領域内で間隔制御, 振幅制御のメインビーム幅の値が概ね一致している.

しかし, $z_f = 0.01 \sim 0.1\lambda$ の近傍界領域においては異なる特性である. これよりアンテナ径 8λ の場合, $z_f > 0.1\lambda$ において振幅制御した場合と同様のメインビーム幅が得られる.

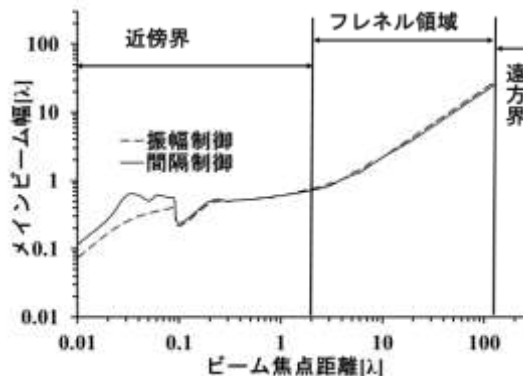


図5 メインビーム幅特性(アンテナ径 8λ)

5. まとめ

素子間隔設計による等価実現法の近傍界およびフレネル領域での検討を行った. その結果, フレネル領域内においては振幅制御と等価実現法がよい一致を示し, 互いに同等なメインビーム幅特性が得られた.

6. 参考文献

- [1] 電子情報通信学会 (編), アンテナ工学ハンドブック (第二版), オーム社, 2008
- [2] 長縄, 柴田, 三枝, 高野, 「無線電力伝送のための不等間隔アレーアンテナによる放射制限」, 宇宙太陽発電学会, Vol2, pp28-30, 2017
- [3] 宇野, 柴田, 三枝, 高野, 「ビーム集束法を用いた無線電力伝送」, 宇宙太陽発電学会, 第17回宇宙太陽発電システムシンポジウム, 2014