

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御† Radiation Control Using a Non-Uniform Array Antenna for WPT

長 縄 俊 博*¹・柴 田 国 明*¹・三 枝 健 二*¹・高 野 忠*¹
Toshihiro NAGANAWA, Kuniaki SHIBATA, Kenji SAEGUSA and Tadashi TAKANO

SSPS や電気自動車への給電に用いられる無線電力伝送方式として、マイクロ波方式が提案されている。従来所望の放射パターンを得るためにアンテナ素子の励振分布を制御していた。そのため、利得の異なる増幅器や減衰器を用いていた。それに対し、本研究では励振レベルを一定にしつつ、素子間隔を制御することにより振幅を制御した場合と同様な放射パターンを実現する。シミュレーションにより設計法および有効性を示す。

Microwave method is proposed as the WPT's system used in SSPS and power transfer to an EV. Formerly, we used amplifiers with variable gain and attenuator 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 validity by simulation.

Key words : 不等間隔アレーアンテナ, 素子間隔制御

1. まえがき

アレーアンテナを用いたマイクロ波方式の無線電力伝送が提案されている。この方式は SPSS だけでなく、移動体への無線充電などに用いることができるため現在注目されている^{1),2)}。ここで、受電レクテナへの高い収集率や外部へのマイクロ波の影響を考慮した電磁波ビームの形成を必要とする^{3),4)}。

従来のアレーアンテナでは、各アンテナ素子への励振振幅を制御することにより、所望のビームパターンを得ていた⁵⁾。この場合、利得の異なる増幅器や減衰器が必要となる。そのため、回路が煩雑になりエネルギー効率が低下する問題がある。

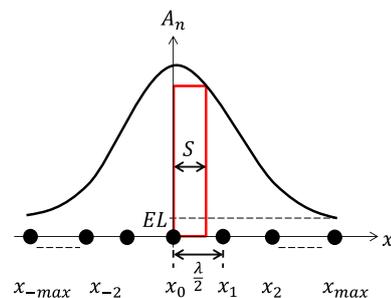
そこで本研究では、振幅レベルを素子間隔に置き換えることにより、振幅レベルを一定とできるアンテナの実現を目指す。振幅を制御した場合と等価であることを示す。

すなわち、端切りガウス分布を所望振幅分布として、素子間隔の設計法を示す。また、設計の有効性を数値シミュレーションにより示す。

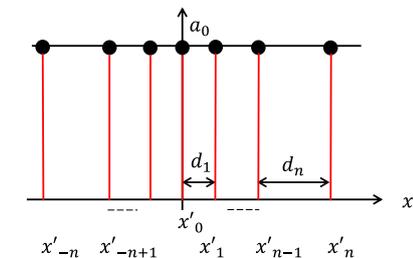
2. 励振分布及び不等間隔の設計法

第1図(a)のように半波長間隔で配列され、ガウス分布

を用いた振幅分布の設計を考える。ガウス分布は任意の分散 σ を与えることで、その形状が決定される。中央から最も離れた素子 x_{max} における励振レベルを EL (Edge Level)として与え分散 σ を決定する。ガウス分布の表現式から、アレーアンテナの各素子位置 x_n における振幅 A_n および分散 σ は以下の式で表される。



(a) 振幅制御



(b) 間隔制御

第1図 任意振幅分布の等価表現

† 第2回宇宙太陽発電シンポジウム, 2016年12月19-20日, 東京にて発表

‡ Corresponding author: Toshihiro Naganawa.

E-mail: cstsl6009@g.nihon-u.ac.jp

*¹ 日本大学理工学部

〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1,

Nihon University, College of Science and Technology, 7-24-1

Narashino-dai, Funabashi, 274-8501 Japan

©SSPSS

$$A_n = \exp\left(-\frac{x_n^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{\pm x_{max}}{\sqrt{\log 10^{-\frac{-(EL)}{10}}}} \quad (2)$$

$$x_n = nS \quad (3)$$

第1図(b)のように、各素子の振幅を一定とした素子間隔の設計を考える。第1図(a)に示す所望の振幅分布を任意のサンプリング間隔 S で区切り、 n 番目の振幅 A_n と S の比を求める。次に第1図(b)に示す一様振幅レベル a_0 と間隔制御した n 番目の素子間隔 d_n との比を等しくする。すなわち、各素子間隔は以下の式で求めることができる。

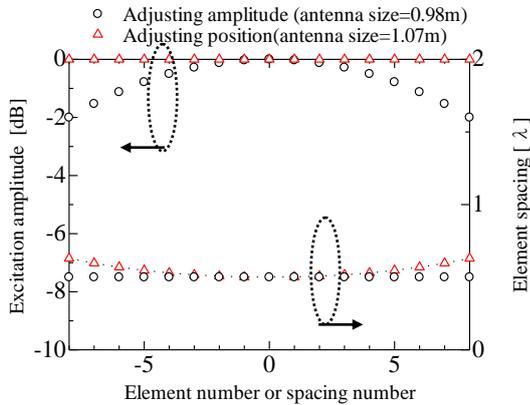
$$d_n = \frac{S \times a_0}{A_n} \quad (4)$$

従って、各素子の位置は中心素子の位置を0とすると、以下の式で求められる。

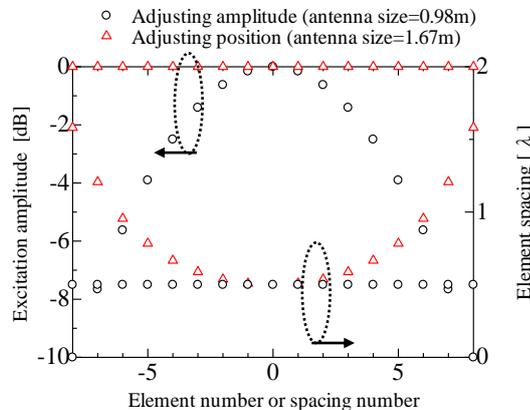
$$x'_n = \sum_{k=1}^n \frac{S \times a_0}{A_k} \quad (5)$$

$$x'_{-n} = -x'_n \quad (6)$$

$S = \lambda/2$ で、素子数17の場合の振幅及び素子間隔分布を第2図に示す。使用周波数は2.45 GHzである。端部レ



(a) $EL = -2\text{dB}$



(b) $EL = -10\text{dB}$

第2図 振幅および素子間隔分布

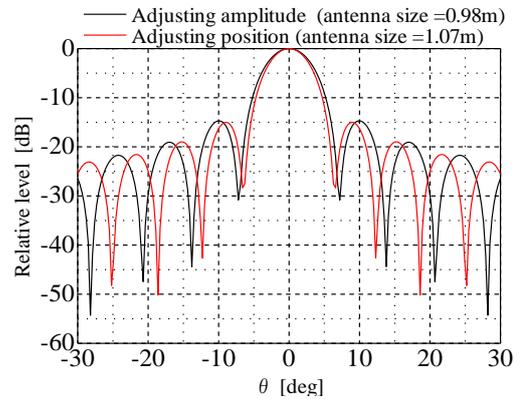
ベルについては、(a)は $EL = -2\text{dB}$ 、(b)は $EL = -10\text{dB}$ である。

$EL = -2\text{dB}$ とした場合、開口径は約1.07mとなる。素子間隔は中心で 0.5λ と最も密になり、中心から離れるほど疎になり末端において 0.62λ となる。一方 $EL = -10\text{dB}$ とした場合、アンテナ径は1.67mとなり、間隔は中心で約 0.5λ 、末端で 1.6λ となった。このことから、振幅分布を間隔で置き換える場合、アンテナ径が大きくなり、各素子間隔が広くなるのが分かる。特に、 EL が低い場合、顕著である。

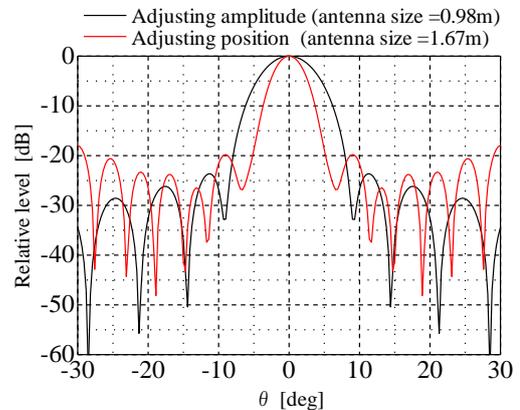
3. 合成電界法を用いたパターン解析

素子振幅を単純に間隔へ変換した場合を、合成電界法を用いて検討する。合成電界法は各素子からの放射を観測位置で合成し、界分布を得る手法である。相互結合の影響は考慮しない。等価実現の有用性を確認するため、開口分布を等間隔で振幅制御した場合と一様振幅で間隔制御した場合を比較する。解析モデルは第2図(a)、(b)の振幅および間隔を用いた各素子を等方性波源としたアレーアンテナとする。

第3図に間隔制御、振幅制御した放射界の比較結果を示す。ただし、(a)は $EL = -2\text{dB}$ 、(b)は $EL = -10\text{dB}$ である。(a)より、間隔制御をした場合のメインビーム幅及びサイドローブレベルが振幅制御した場合と同程度でおさまっていることがわかる。しかし(b)で振幅制御した場合



(a) $EL = -2\text{dB}$



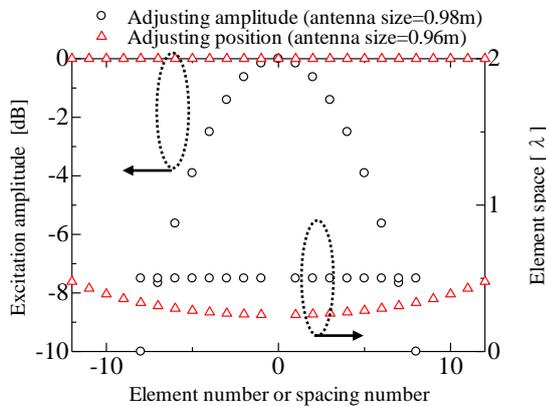
(b) $EL = -10\text{dB}$

第3図 電界強度分布

と比べて、メインビーム幅が細くなり、不要方向への放射が大きくなった。原因として、(b)で配列した場合が等間隔で配列した場合と比べてアンテナ径が顕著に異なり、素子間隔の広がり端付近で大きくなったためだと考えられる。

4. 素子間隔とアンテナ開口の補正

第4図に第2図(b)を補正した素子間隔分布を示す。第2図(b)で素子間隔が端部で 1.5λ と大きくなるので、不要方向への放射を抑えるために、式(4)の $S = \lambda/4$ とする。振幅分布を $S = \lambda/2$ とした場合より狭い間隔で置き換えたため、素子数は33素子と増加した。また、アンテナ径が振幅制御した場合の約 $0.98m$ と等しくなるように、不等間隔配列されたアレーアンテナの外側の素子を取り除くことで調節する。そのため、左右それぞれ4素子ずつ取り除き、開口径約 $0.96m$ の25素子とした。



第4図 振幅および素子間隔分布($EL = -10dB$, 補正後)

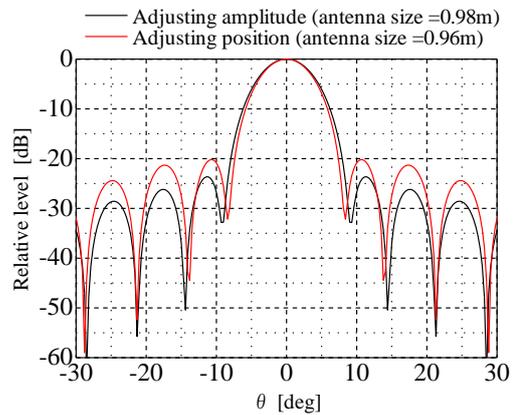
第5図に補正した間隔制御および振幅制御の比較結果を示す。図より、メインビーム幅がほぼ一致し、グレーティングローブが発生せず、 $5dB$ 程度のサイドローブレベルの差異で収まっていることがわかる。提案した補正法によりアンテナ径を等間隔配列した場合と同程度にし、素子間隔を $0.25\sim 0.48\lambda$ と狭くしたためだと考えられる。

5. まとめ

振幅を制御した場合と等価な一様励振素子による放射パターン実現法について検討した。振幅レベルに応じて

素子間隔の設計をし、放射パターンを計算した。その結果、エッジレベルが高い分布で振幅のみを制御した場合とほぼ同様な特性が得られた。

低エッジレベルの場合、グレーティングローブやメインビーム幅の差異が生じた。そのため補正方法を提案し、振幅制御したアレーアンテナと同様の遠方放射パターンを実現できることを確認した。



第5図 電界強度分布($EL = -10dB$, 補正後)

参考文献

- 1) Hanley, G. M.: Satellite power systems (SPS) concept definition study I-Executive summary, NASA, CR- 3317 (1980).
- 2) Takano, T., Miyazaki, Y., Saegusa, K., Uno, T., Fujino, Y., Maki, K., Furukawa, M. and Shinohara, N.: Design of Beamed Power Transfer Systems for Feeding Electrical Vehicles, Conferece on Energy Transfer for Electric vehicles, Nuremberg, September 2015.
- 3) 山口聡, 高橋徹, 本間幸洋, 佐々木拓郎, 小西善彦: 高いRF-DC 変換効率を実現するレクテナアレーの不等間隔配置法, 信学技報.A・P, **113** (3), (2013), pp. 43-47.
- 4) 松室堯之, 石川容平, 篠原真毅: 低漏洩ビームの形成に適した多重円形配列アレーアンテナの研究, 信学総大, B-21-25 (2016).
- 5) 宇野孝, 柴田国明, 三枝健二, 高野忠: 無線電力伝送のための電磁波ビームの解析, 信学技報, **115** (82) (2015), pp. 81-85.

(2017. 2. 3 受付)