

ビーム集束法を用いた無線電力伝送に関する実験的検討

An Experimental Study on Wireless Power Transmission Using a Beam Concentration Method

○長縄俊博¹, 宇野孝², 柴田国明³, 三枝健二³, 高野忠³*Toshihiro Naganawa¹, Takashi Uno², Kuniaki Shibata³, Kenji Saegusa³, Tadashi Takano³

Abstract: In recent years, wireless power transmission with a radio wave has been studying. The receiving antenna is large because a radio wave spreads as it is propagating. The purpose of this study is to concentrate the electromagnetic beam using the phased array antenna. In this paper, the measurement results are compared with the calculated results when the focal point is changed.

1. まえがき

比較的近距离で無線電力伝送を行う試みがなされている[1]. この場合, 放射電力の 90%以上を受電アンテナに収める必要がある[2]. そのためにビーム状の電磁波を発生させ, 伝搬させなければならない. そこで提案しているのが球面波によるビーム集束法を用いた無線電力伝送である.

先の研究では, 各素子を等方性波源とし, 解析的検討を行った[3]. 本稿では, 7 素子フェーズドアレーアンテナを用いて, 球面波によるビーム集束法を実験的に検討した結果について報告する.

2. ビーム集束法

本提案アンテナの設計法を図 1 に示す. 各素子は, 等方性波源とし, x 軸上に素子間隔 d で配列している. また, z_r は送電アンテナから観測面までの距離とする. 焦点 F を (x_{f0}, z_{f0}) と定め, 各素子から焦点 F に引いた直線を r_n とする. ビームを焦点 F に集束させるためには, 距離 $r_n - r_0$ に相当する位相を各素子に与えれば良いと考えられる. よって, 各素子に加える位相量 Δ_n は次式となる.

$$\Delta_n = -k(|r_0| - |r_n|) \quad (1)$$

ただし, $k = 2\pi/\lambda$ は波数を表す.

3. 実測結果と解析結果の比較

ここでは, 等方性波源を 1 次元, $\lambda/2$ 間隔で配列した 7 素子フェーズドアレーアンテナを対象として, 図 1 の $x-z$ 面について 2 次元的に検討を行うこととする.

(i) 実測

2 次元の検討を考慮し, 図 2 に示す実測モデルを製作した. $1\text{m} \times 1\text{m}$ の金属板上に長さ $\lambda/4$ のモノポールアンテナを 7 素子, 素子間隔 $d = \lambda/2$ で金属板端部から 0.3m 離して配列する. また, 各素子に減衰器, 増幅器, 移相器を接続し, 振幅がすべて同一になるように, また, 位相を第 2 章で述べた値となるように制御する. 金属板の測定位置に穴を開け, 下からプローブを挿入することにより測定を行った. なお, 発信器は 8 分配器を通して各素子に接続し, 受信機はスペクトラムアナライザを用いた. 使用周波数は 2.45GHz とする(以下の解析においても, 同じ周波数を用いる).

(ii) FDTD 法による解析

FDTD 法では, $x=1\text{m}$, $y=1\text{m}$, $z=1\text{m}$ の解析空間をつくり, 図 2 と同様なモデルをつくり, 解析を行った. ただし, 図 2 のそれぞれの素子の太さは無視する.

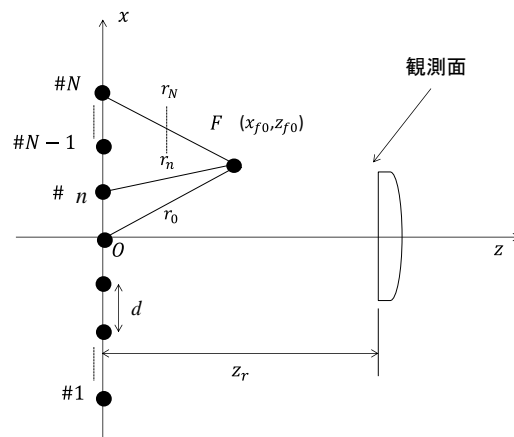


図 1 ビーム集束法

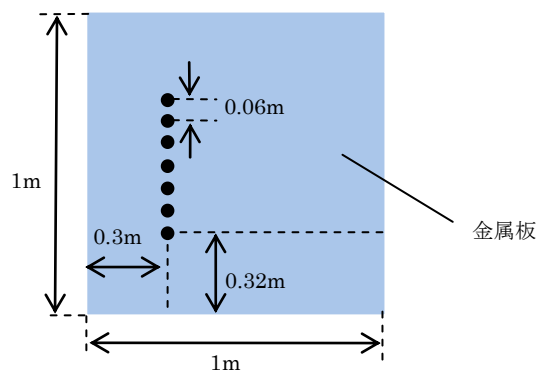


図 2 実測モデル(上から見た図)

(iii)合成電界法による解析

合成電界法は各素子を等方性波源とし、それらが放射している球面波を重ね合わせることで、電界分布の計算を行う手法である[4]。球面波を重ね合わせる手法であることから、計算時間が短く、メモリーを多く必要としないため、多素子での解析を行うことができる。しかし、結合現象や近傍界の影響を考慮できないという欠点がある。今回、各素子の振幅は1として、第2章の方法で述べた位相を与えて計算を行った。

(iv)比較結果

焦点距離を $z_{f0} = 0.3 \text{ m}$ としたときの各解析と実測の電界強度分布を比較する。その結果を図3に示す。ただし、(a)は $z_r = 0.1 \text{ m}$, (b)は $z_r = 0.3 \text{ m}$ とする。

図3(a)より、合成電界法とFDTD法で差異が生じているが、原因として、FDTD法では、近傍界の影響を考慮しているからだと考えられる。よって、近傍付近では、FDTD法の解析を用いることが好ましいことが分かる。図3(b)では、FDTD法と合成電界法での差異は少ないので、焦点位置では、合成電界法の解析を用いることができると言える。また、(a)と(b)のビーム幅を比較すると(b)のほうが狭いので、指定した焦点にビームが集束していると言える。

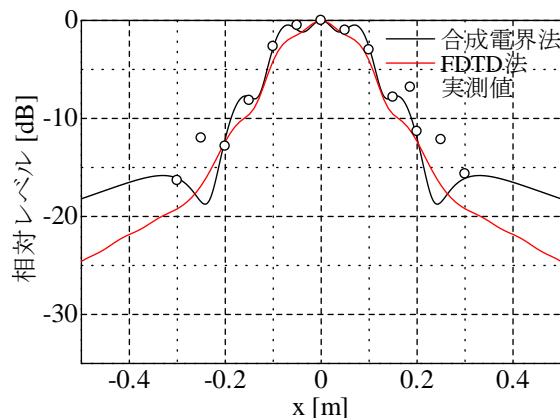
焦点座標を $z_{f0} = 0.3 \text{ m}$, $x_{f0} = 0.1 \text{ m}$ としたときの各解析結果と実測値を比較した。その結果を図4に示す。ただし、 $z_r = 0.3 \text{ m}$ とする。図4より、メインビームが実測結果とFDTD法、合成電界法による解析結果と重なっていることがわかる。また、これらの結果より、ビームを偏位させても集束することができると言える。

4. まとめ

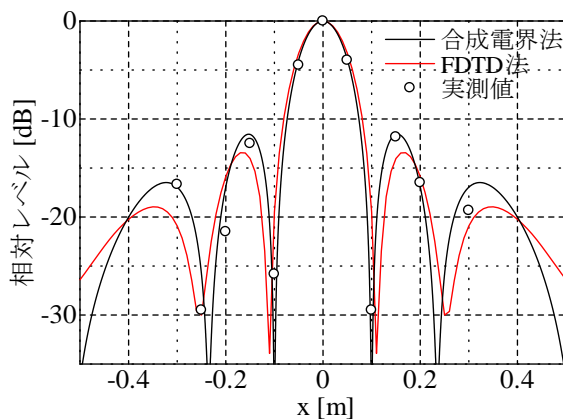
今回の結果から、焦点より近い観測面ではFDTD法を、焦点位置においては合成電界法を用いるのが好ましいとわかった。また、実測を行い焦点の座標を変えてもビームを収束できることが確認できた。

参考文献

[1]高野忠他, 比較的短距離のための無線ビーム電力システム, 電子情報通信学会技術研究報告, WPT2014-85, pp.43-47
 [2]村尾洋二他, 無線電力伝送における開口面アレー型送電アンテナとレクテナの設計に関する一検討, 電子情報通信学会論文誌, vol.J81-B-II, No.1, pp.46-53, 1998
 [3]宇野孝他, 無線電力伝送のための電磁波ビームの解析, 電子情報通信学会技術研究報告, WPT2015-35, pp.82-83



(a) $z_{f0} = 0.3 \text{ m}$, $z_r = 0.1 \text{ m}$



(b) $z_{f0} = 0.3 \text{ m}$, $z_r = 0.3 \text{ m}$

図3 電界強度分布

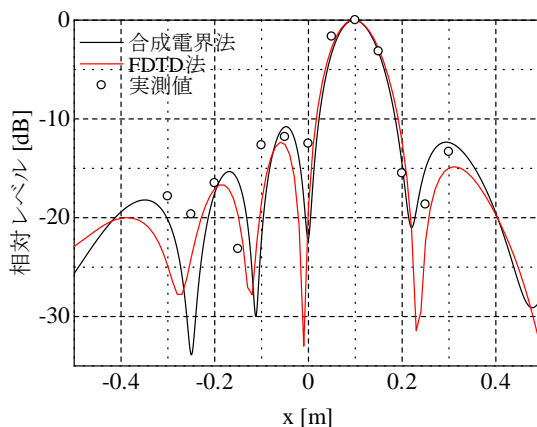


図4 電界強度分布

($z_{f0} = 0.3 \text{ m}$, $x_{f0} = 0.1 \text{ m}$, $z_r = 0.3 \text{ m}$)

[4]石川峻樹他, マイクロ波電力伝送用フェーズドアレーアンテナシステムを用いたビーム方向制御に関する研究, 電子情報通信学会技術研究報告, WPT2012-40, pp.3