

# Wireless Power Transfer Using a Focused Beam\*

Takashi UNO, Kuniaki SHIBATA, Kenji SAEGUSA, Tadashi TAKANO (Nihon University)

## Abstract

When electric poles are broken in a disaster, we must tentatively recover the power transmission. But it may be difficult for people to move actually to the site is too difficult to do so. Also a station of renewable energy such as solar power on the earth, wind power, and geothermal power are away from the established network power. Then, WPT with microwave which we propose is effective in these situations..

In this paper, we investigate a small receiving antenna using a transmitting antenna of a phased array antenna. A microwave beam is focused by a phase distribution of the transmitting antenna, which is converted from uniform distribution to spherical distribution. The simulation results show that we can reduce the size of the receiving antenna.

# ビーム集光法を用いた無線電力伝送†

宇野 孝, 柴田国明, 三枝健二, 高野 忠 (日本大学)

## 1. まえがき

災害等により、送電柱が倒れたり、送電線が切れたり、地中に埋めてある送電ケーブルが破損した場合、臨時に送電線を敷設する必要がある。しかし、被災地には人が実際に近づくことが困難であるため、送電線の敷設が困難な場合がある。また、地上の太陽光発電や風力発電、地熱発電、いわゆる再生可能発電所は、既設電力網から離れている場合が多い。そこで、提案しているのがマイクロ波を利用した無線電力伝送である。

本論文では、送電アンテナにフェーズドアレーアンテナを用いて受電アンテナの小型化を検討する。送電アンテナであるフェーズドアレーアンテナの励振移相分布を、一様から球面状の分布に切り替えることにより、電波ビームを集光させる方法を提案する。

## 2. ビーム集光法とアンテナ設計

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。原点  $O$  から  $z_f$  に焦点  $F$  を定め、 $F$  から半径  $R$  の円を描いている。焦点  $F$  から各素子に直線を引き、その直線と  $x$  軸がなす角度を  $\Theta_n$  とする。また、 $\Theta_n$  が最小となる角度を  $\Theta_{min}$  とする。 $z_f = R \sin \Theta_{min}$ 、 $AF = z_f / \sin \Theta_n$  であるので、

$$AB = R - AF = R \left( 1 - \frac{\sin \Theta_{min}}{\sin \Theta_n} \right) \quad (1)$$

よって、ビームを焦点  $F$  に集光させるために、 $\#n$  素子に加える移相量は

$$\Delta_n = -kR \left( 1 - \frac{\sin \Theta_{min}}{\sin \Theta_n} \right) \quad (2)$$

となる。ただし、 $k$  は波数である。

## 3. シミュレーション結果

### 3.1 放射パターン

等方性波源を 51 素子、素子間隔  $d = \lambda/2$  で  $x$  軸上に配列する。ここでは簡単のため、アンテナの配列は 1 次元とする。したがって、アンテナの径は  $25\lambda$  に相当する。等振幅で励振し（放射電界が 1）、素子間の結合を無視する。

図 2 に、 $z_f = 50\lambda$  の場合の、距離  $x$  に対する電界強度分布を示す。距離  $x$  は波長  $\lambda$  で規格化している。パラメータを受電アンテナの位置  $z_r$  とし、黒線は  $z_r = 25\lambda$ 、赤線は  $z_r = 50\lambda$ 、青線は  $z_r = 100\lambda$  の各場合である。アンテナ径  $D_r$

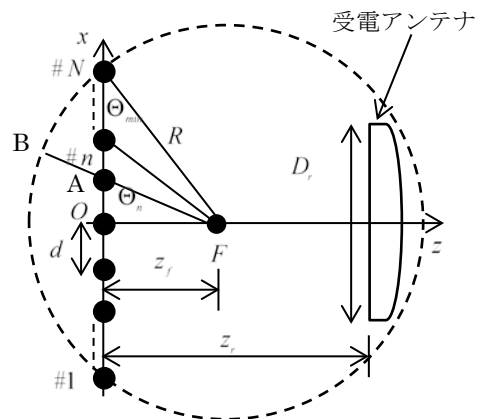


図 1 補正移相量の計算

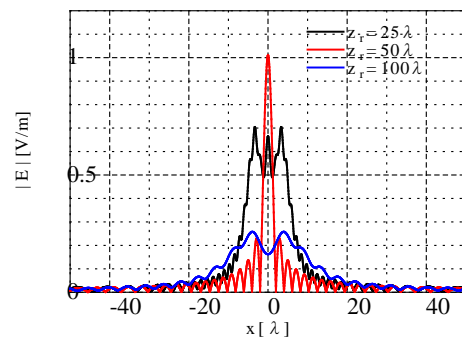


図 2 電界強度分布 ( $z_f = 50\lambda$ )

が  $25\lambda$  であるため、遠方界となる距離  $z_{NF} (= 2D_i^2/\lambda)$  は  $1250\lambda$  である。したがって、これらの電界強度分布は近傍界におけるものである。そのため、電界強度分布のパターンが距離に依存して変化している。しかし、 $z_r = z_f = 50\lambda$  となる場合、つまり受電アンテナを焦点に設置した場合における電界強度分布は、ビームが集光し、受電アンテナの小型化が可能である。

図 3 に、ビームを焦点に集光させるように位相を励振した場合（黒線）と、等位相で励振した場合（赤線）の距離  $x$  に対する電界強度分布を示す。(a) は  $z_r = 50\lambda$ 、(b) は  $z_r = 600\lambda$  の場合である。これより、どちらの場合もビームを集光させた方が、受電アンテナを小型にすることができる。しかし、焦点距離を大きくすると、等移相で励振した場合との差異があまり見られない。これは、回折といった波動光学的な現象により、集光法を用いてもビームが広がってしまうためである。

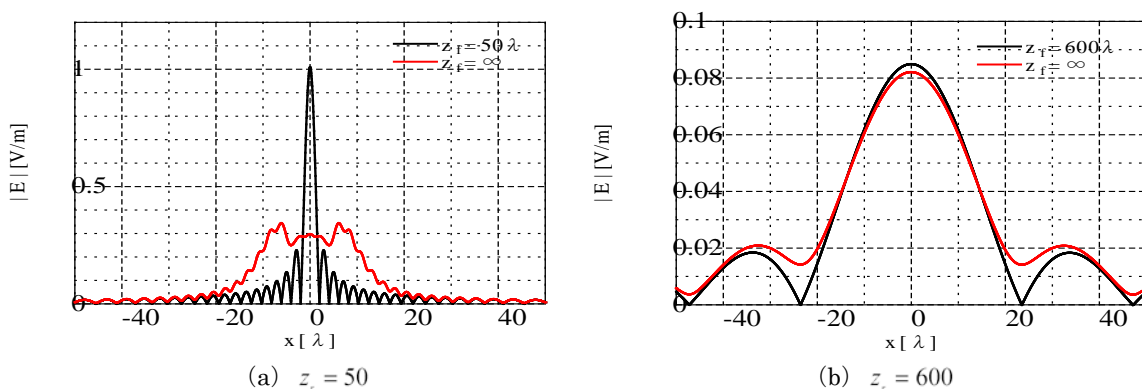


図 3 電界強度分布の比較

### 3.2 受電アンテナ径

まずは、本論文における受電アンテナ径を定義する。図 4 は、図 2 にも示したが、焦点距離  $z_r = 50\lambda$ 、受電アンテナを  $z_f = 25\lambda$  に配置した場合の電界強度分布である。受電アンテナ径として、最大電界強度の値が  $1/e$  になる距離  $x$  とする。図 4 では、最大電界強度は  $0.70$  [V/m] であり、その  $1/e$  になる点は  $0.26$  である。これより、アンテナ径  $D_r$  は  $D_r = 13\lambda$  である。

このように、焦点距離  $z_r$  を一定にして、受電アンテナを  $z$  軸方向に移動させ、その時の電界強度分布より受電アンテナ径を求める。図 5 に、受電アンテナの位置  $z_f$  に対する受電アンテナ径  $D_r$  を示す。どちらも波長  $\lambda$  で規格化している。黒線は、ビームを焦点に集光させるように移相を励振した場合、赤線は等移相で励振した場合である。(a) は  $z_r = 50\lambda$  の場合、それに対し、

(b) は  $z_r = 600\lambda$  の場合である。これより、焦点距離  $z_r = 50\lambda$  及び、 $z_r = 600\lambda$  の場合、受電アンテナを最小にできる受電アンテナの距離は  $z_f = 50\lambda$ 、 $z_f = 208\lambda$  であり、その径は  $D_r = 2.9\lambda$ 、 $D_r = 14.0\lambda$  である。これより、ビームを焦点に集光させたとしても、その焦点距離において受電アンテナを最小にできないことがいえる。これは、先も述べたが、回折等によりビームが広がったためである。

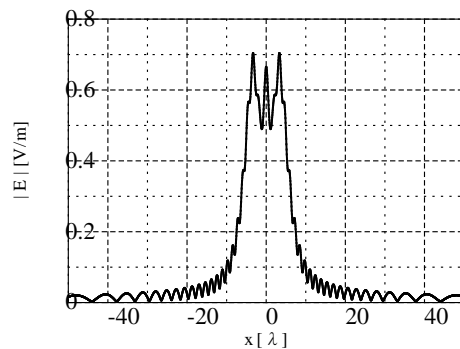


図 4 電界強度分布 ( $z_r = 50\lambda$ ,  $z_f = 25\lambda$ )

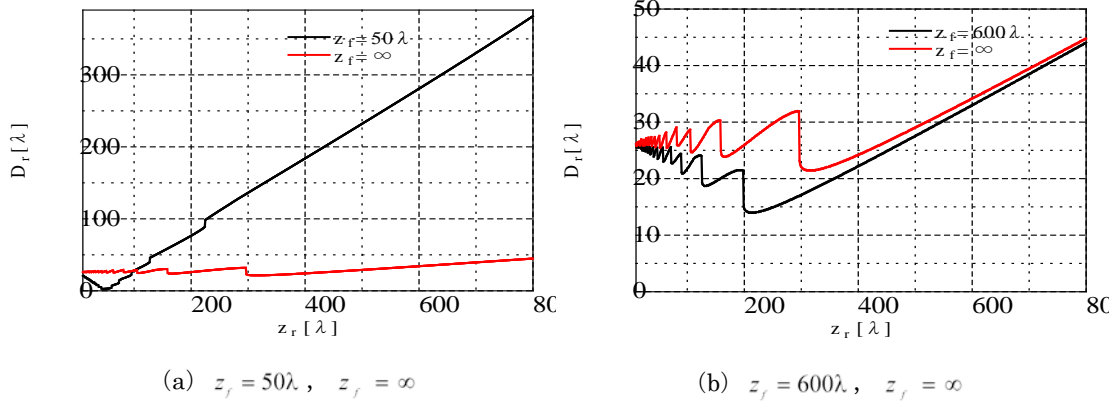


図5 アンテナ径の比較

#### 4. アンテナ設計の最適化

3.2では焦点距離 $z_f$ を定め、受電アンテナを $z$ 軸方向に移動させ、その時の電界強度分布より受電アンテナ径を決定した。その結果、焦点距離において受電アンテナを最も小型化できるとは限らないことが示された。そこで、ここでは見方を変え、受電アンテナの位置 $z_r$ を定め、その位置で受電アンテナの最小にできる焦点距離 $z_f$ を定める。つまり、受電アンテナ位置 $z_r$ に対し、受電アンテナ径 $D_r$ を最小にできる焦点距離 $z_f$ および、その場合の $D_r$ を求める。

結果を図6に示す。実線が受電アンテナを最小にできる焦点距離 $z_f$ 、破線が最小受電アンテナ径 $D_r$ である。これより、送電アンテナから焦点に集光するように放射された電磁波は、焦点距離よりも短い距離で集光している。また、 $z_r$ を大きくするにつれ、 $z_f$ が大きく振動している。

図7は、焦点距離を適切にした場合と、等位相で励振した場合の、 $z_r$ に対する受電アンテナ径を示す。これより、およそ $z_r = 300\lambda$ 程度までは、ビームを集光させることにより受電アンテナを半分以下の大きさにすることができる。しかし、受電位置がそれ以上になると等位相で励振した場合とあまり差が見られない、これより、ビーム集光法にはある程度の限界があり、その距離はおよそ $300\lambda$ である。

図8は、送電アンテナの素子数、すなわち送電アンテナ径を変化させた場合の最小受電アンテナ径を示している。これより、素子数を増やすほど受電アンテナを小型

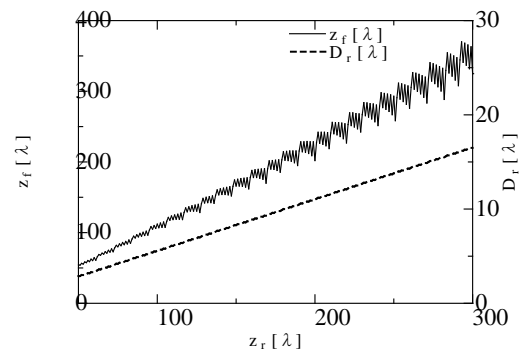


図6 最適な焦点距離

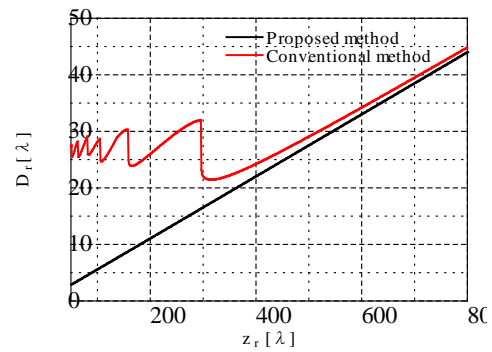


図7 最小受電アンテナ径の比較

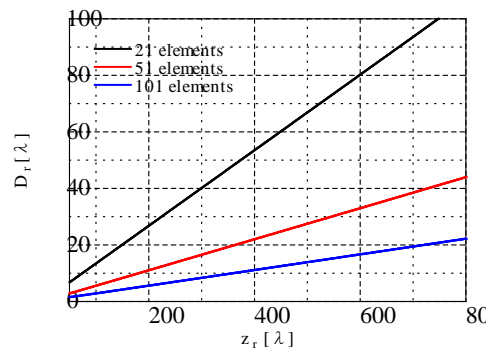


図8 最小受電アンテナ径の比較 (素子数変化)

化できることが分かる。

## 5. まとめ

受電アンテナを小型にするため、送電アンテナの位相分布を球面状にし、ビームが焦点に集光する無線電力伝送を提案した。その結果、等位相で励振した場合に比べて、受電アンテナを半分以下に小型化できることを示した。しかし、送電アンテナを 51 素子フェーズドアレイアンテナとした場合、ビームを集光できるのは、送電アンテナと受電アンテナの距離が  $300\lambda$  程度までである。

## 6. 参考文献

[1]高野 忠, 他, “SPS のシステム異常に対処する移相配列スペーステナのビーム拡散法”, 信学ソ大 (通信), BCS-1-23

[2]長谷部望, “電波工学”, コロナ社, 1996 年