M-16

# 無線電力伝送のためのガウスビームを用いた電磁波ビームの制御

# Control of an electromagnetic beam using a Gaussian beam theory for a wireless power transmission

○正田友之<sup>1</sup>,長縄俊博<sup>2</sup>,柴田国明<sup>3</sup>,三枝健二<sup>3</sup>,高野忠<sup>3</sup>
 \*Tomoyuki Shoda<sup>1</sup>, Toshihiro Naganawa<sup>2</sup>, Kuniaki Shibata<sup>3</sup>, Kenji Saegusa<sup>3</sup>, Tadashi Takano<sup>3</sup>

Abstract: In recent years, wireless power transmission with a microwave has been studying. For miniature of the receiving antenna and restraint of the leaking wave, electromagnetic beam is necessary. In this paper the result of consideration about a focused electromagnetic beam using a Gaussian beam theory is shown.

### 1. まえがき

マイクロ波帯の電磁波を用いて比較的近距離で電力 伝送を行う試みがある[1]. この場合,効率や周囲への 影響を低減するため放射電力の 90%以上を受電アンテ ナに収める必要がある[2]. そのため,集束性の高いビ ーム状の電磁波を発生させ,伝搬させなければならな い.そこで我々はフェーズドアレーアンテナを用いた ビーム集束法を提案し[3],これまでに位相制御のみで ビームを集束する方法について検討した[4].

本研究では、位相制御に加えて振幅制御することで、 ガウスビームを発生させることを検討する.マイクロ 波送電のビーム形状にガウスビームを適用した際の電 界分布および電力集束率について述べる.

#### 2. ガウスビームの設計

図1に<sup>2</sup>軸方向に伝搬するガウスビームの様子を示 す.ガウスビームとは、伝搬軸近傍をビーム状に伝搬 する電磁波であり、最小スポット位置<sub>20w</sub>と最小スポッ トサイズwo1を設定することにより、ビーム状の界分布 が求まる.アレーアンテナでガウスビームを再現する ためには、設計したビーム状の電磁界分布の断面にお ける界分布をアレーアンテナの励振分布とすればよい.

z軸近傍を伝搬する電磁波ビームの解を, x-z面で 変数分離し表現したものを式(1)に示す.式(1)より各素 子に与える振幅 $A_n$ 及び位相量 $\Delta_n$ を求めそれらを式(2), (3)に示す.

$$\varphi(x,z) = \sqrt{\frac{w_{01}}{w_1}} \exp\left[-j\left\{k\left(z-z_{0w}\right) - \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{2(z-z_{0w})}{kw_{01}^2}\right)\right\} - x^2\left(\frac{1}{w_1^2} + j\frac{k}{2R_1}\right)\right]$$
(1)

$$A_n = \sqrt{\frac{w_{01}}{w_{1(0)}}} \exp\left(\frac{-x_n^2}{w^2(0)}\right)$$
(2)

$$\Delta_n = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( -\frac{z_{0w}}{k w_{01}^2} \right) - \frac{k}{2R(0)} x_n^2$$
(3)

ここでkは波数とし、
$$w_1^2(z) = w_{01}^2 \{1 + ((z - z_{0w})/z_{01})\},\ z_{01} = k w_{01}^2/2, R_1(z) = (z - z_{0w}) \{1 + (z_{01}/(z - z_{0w}))^2\}$$
である。



# 図1ガウスビームの伝搬

#### 3. 解析結果

2 章で設計したアンテナの特性をシミュレーション により求める.アレーアンテナの各素子を等方性波源 とし,波源からの放射を重ね合わせることで,電界分 布を求める.解析モデルは図1に基づき17素子をx軸 上に半波長間隔で配列した構成である.設計周波数は 2.45GHzである.

最小スポット位置および最小スポットサイズを  $z_{0w} = 0.5 \text{ m}, w_{01} = 0.1 \text{ m}$ とした場合の電界強度分布を 図 2 に示す.このとき,観測位置  $z_r$ を 0.1, 0.5, 1.0 m とし,縦軸は各  $z_r$ の電界強度の最大値で正規化してい る.電界強度の集束性を各観測位置で比較すると,  $z_r = 0.5 \text{ m}$ において集束性のよいビームを発生するこ とができた.しかし,約 20 log(1/e) dB  $\cong$  -8.6 dB 低下し

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

たビーム幅は0.28m となり,設定した最小スポットサ イズ0.1m(直径は0.2m)と異なる値となった.原因とし て,回折等の影響のため,実際に発生した最小スポッ ト位置がずれていると考えられる.



図 2 電界強度分布(z<sub>0w</sub> = 0.5m, w<sub>01</sub> = 0.1m)

### 4. 電力集束率の検討

電力集束率を,図2の電界強度分布から得られる総 電力と任意の受電アンテナ幅で得られる電力の比と定 義する.

4.1 各観測位置での電力集束率

受電アンテナ幅を変化させたときの電力集束率を計 算し、各観測位置で比較した結果を図3に示す. 観測 位置  $z_r = 0.5m$ において高い電力集束率を得られること がわかった.また、観測位置  $z_r = 0.5m$ 、受電アンテナ 幅 0.2mにおいて約87%の電力集束率を確認すること ができた.なお、観測位置  $z_r = 0.5m$ において放射電力 の90%以上を収めるには、受電アンテナ幅が0.22m必 要である.



図3 各観測位置での電力集束率

4.2 最小スポット位置のずれの検討

図2から最小スポット位置に誤差があると考え,最 も集束する観測位置を電力集束率によって検討した. 最小スポット位置付近における観測位置の電力集束率 を計算し,その結果を図4示す.最小スポット位置0.5m より後方の0.58mで最も高い電力集束率となった.こ れにより設計した最小スポット位置と異なる観測位置 で最も集束していることがわかった.



図4 最小スポット位置のずれの検討 (z<sub>0w</sub>=0.5m,受電アンテナ幅 0.2m)

# 5. まとめ

1次元配列されたアレーアンテナを用いてガウスビ ームによるビーム集束法について検討した.その結果, 最小スポット位置付近で集束性の高い電磁波ビームを 得られた.しかし,実際に設定した最小スポット位置 と異なる観測位置で最も集束している結果となった.

今後の課題として,設計した最小スポット位置と異 なった位置で集束している原因の特定と,最小スポッ ト位置の誤差が少なくなる周波数や素子数について検 討する.

#### 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 カシステム",電子情報通信学会技術研究報告, WPT2014-85, pp43-47.
- [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",電子情報工学通信学会論文誌,vol. J81-B-II, No. 1, pp46-53, 1998.
- [3] 宇野孝,柴田国明,三枝健二,高野忠,"ビーム集 光法を用いた無線電力伝送",宇宙太陽発電学会, 大 17 回宇宙太陽発電システム(SPS)シンポジウム, 2014.
- [4] 長縄俊博,他,"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",平成27年度日本大学理工学部学術講演会,M-21.