

# EBG 共振器アンテナを用いた近傍界無線電力伝送の効率改善

中道 大輔, 佐藤 弘康, 陳 強 (東北大学大学院工学研究科)

**概要:** 近傍界における EBG 共振器アンテナの開口面の電界分布を明らかにし, それを用いた無線電力伝送システムの特性的数値解析結果について述べている. EBG 共振器アンテナを近傍界で用いた場合, 伝送効率の低下が生じる. 本報告では, 素子数を変化させず伝送効率を改善した結果を述べる.

**キーワード:** 無線電力伝送, EBG 共振器アンテナ

$$\Gamma_{out} = \frac{b_2}{a_2} = \frac{z_{out} - z_0}{z_{out} + z_0}$$

$$= S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_s}{1 - S_{11}\Gamma_s} \quad (4)$$

## 1. まえがき

近年, 無線電力伝送技術は, 電気機器などの電気製品に対する給電技術として期待されている. 無線電力伝送技術は, 遠方界放射を利用するもの[1]-[2]と近傍電磁界を利用するもの[3]-[4]に大別することが可能である. また, 後者は前者に比べて, 極めて高効率な電力伝送が可能であるため, 研究が盛んに行われている.

近傍界無線電力伝送技術の応用として電気自動車への車体充電がある. しかし, 車体充電は駐車位置が位置ずれすることで, 伝送効率が低下してしまう. そのため, 位置ずれに対して強い無線電力伝送システムが求められている.

また, EBG(Electromagnetic Band Gap)共振器アンテナは前面に設置した誘電体板や周期アレー板を利用して容易に高利得が得られるアンテナであり無線電力伝送への利用が期待できる. しかし, 低姿勢, 低コストの1層板で面積を増加した場合は開口効率が低下する[5]-[7].

本報告では, この EBG 共振器アンテナを用いた近傍界無線電力伝送を提案する. 従来の研究のように多層化による高効率化ではなく, 低姿勢の1層板のみでの高効率な伝送を可能にした. モーメント法による数値解析にて評価を行った.

## 2. 電力伝送効率の定義

今回用いる界無線電力システムを二端子回路網として図1に示す. 図1で用いる各反射係数  $\Gamma_s$ ,  $\Gamma_l$ ,  $\Gamma_{in}$ ,  $\Gamma_{out}$  は以下の式で定義される.

$$\Gamma_s = \frac{a_1}{b_1} = \frac{z_s - z_0}{z_s + z_0}$$

(1)

$$\Gamma_l = \frac{a_2}{b_2} = \frac{z_l - z_0}{z_l + z_0}$$

(2)

$$\Gamma_{in} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{z_{in} - z_0}{z_{in} + z_0}$$

$$= S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_l}{1 - S_{22}\Gamma_l} \quad (3)$$

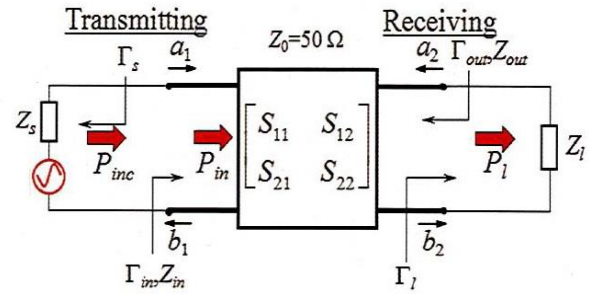


図1. 無線電力伝送システム等価回路

ここで,  $Z_0$  は特性インピーダンス,  $Z_{in}$  は入力インピーダンス,  $Z_{out}$  は出力インピーダンスを示している. 本報告で用いた電力伝送効率  $\eta$  は入射電力で基準化した

$$\eta = \frac{P_l}{P_{inc}} \quad (5)$$

と表すことができる. ここで,  $P_{inc}$  は入射電力,  $P_l$  は受信電力を示している.  $S$  パラメータの関係式は

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (6)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (7)$$

と表すことができるため, 入射電力基準の電力伝送効率の算出式は,

$$\eta = \frac{P_l}{P_{inc}} = \frac{-a_2^*a_2 + b_2^*b_2}{a_1^*a_1}$$

$$= \frac{|S_{21}|(1 - \Gamma_s^2)(1 - \Gamma_l^2)}{|1 - \Gamma_s\Gamma_{in}|^2|1 - \Gamma_l S_{22}|^2} \quad (8)$$

と表現することができる.

## 3. EBG 共振器アンテナの構造

設計周波数を 2.45 GHz ( $\lambda_0=40$  mm)とする. 従来研究で用いた PDA(Print Dipole Array)EBG 共振器アンテナの構造を図2に示す[8]. 一辺が  $L=475$  mm ( $3.9\lambda_0$ )の正方形グラウンド板から高さ  $d=129$ mm( $\lambda_0$ )の位置に素子長  $l=67$  mm ( $0.5\lambda_0$ ) のダイポールを間隔  $s_x=1$  9mm,  $s_y=10$ mm で敷き詰め, 175 個 ( $x$  方向に 7,  $y$  方向に 25) の PDA 板とした. その際の指向性利得と開口効率の解析結果を図3に示す. 開口効率と指向性利得の増加を確認できた. このアンテナを送受アンテナ  $T_x$ ,  $R_x$  として  $S_{21}$  の周波数特性を数値解析した. 解析結果を図4に示す. 近傍界ではパッチアンテナのみで電力伝送した場合と比較して EBG による伝送効率の向上は確

認できなかった。

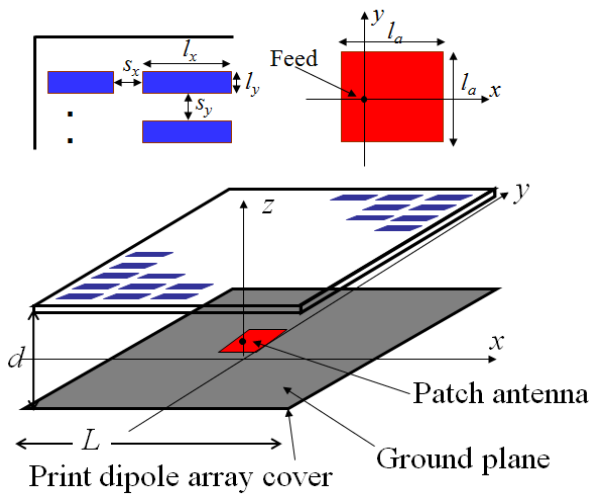


図2. PDAEBG共振器アンテナの構造

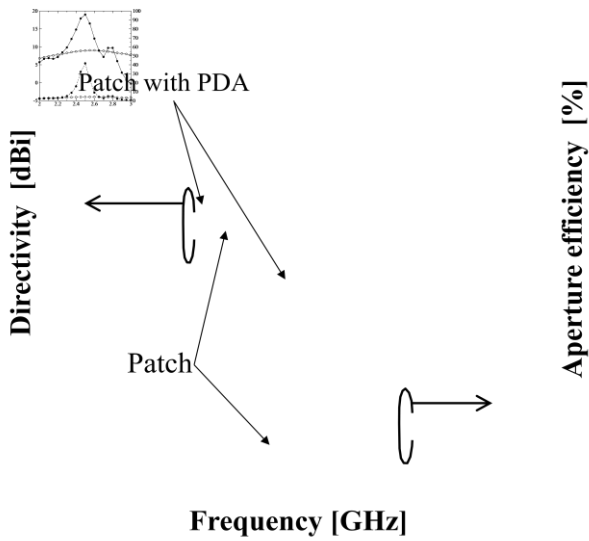


図3. 指向性利得と開口効率の周波数特性

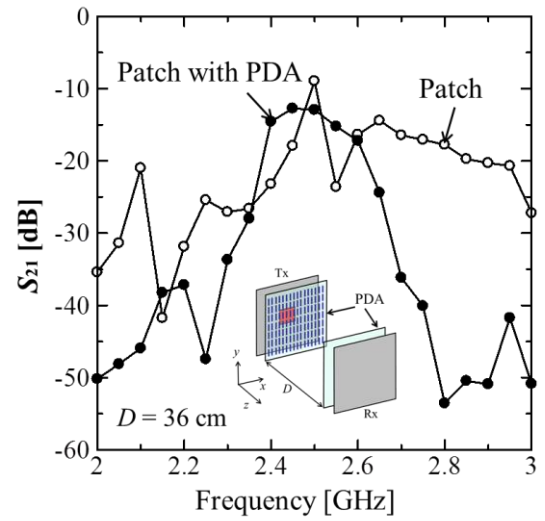


図4.  $|S_{21}|$ の周波数特性

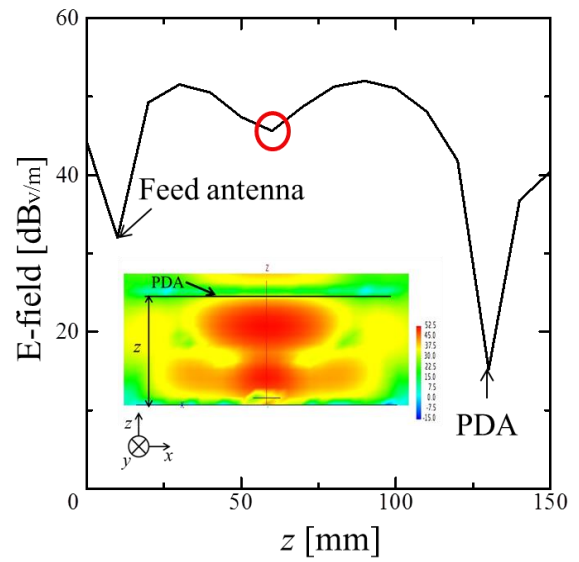


図5. EBG共振器アンテナの電界分布と電界強度

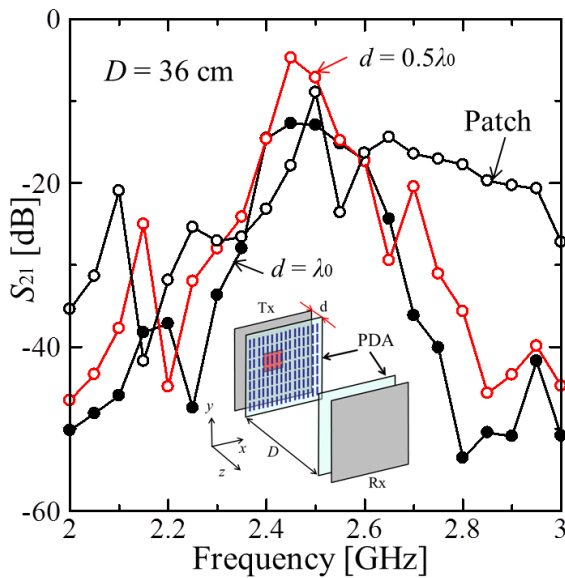


図 6. PDA 高さによる $|S_{21}|$ の周波数特性

次に、送受に EBG 共振器アンテナを用いて近傍界無線電力伝送をした際の電界分布と電界強度の解析結果を図 5 に示す。電界強度が低下している位置はパッチアンテナと PDA 板、および約  $0.5\lambda_0$  の距離であった。

そこで、PDA 板を  $d=65\text{mm}(0.5\lambda_0)$  にし、設計を行った。設計したアンテナを送受アンテナに用いた場合の  $S_{21}$  の周波数特性の解析結果を図 6 に示す。先ほどの EBG 共振器アンテナと比較して、 $S_{21}$  が約 8dB ほど増加し、近傍界無線電力伝送では PDA 板の高さ  $d$  は  $0.5\lambda_0$  で設計した場合に高効率な電力伝送が可能であることが確認できた。

### 3. 提案システム

提案する無線電力伝送システムを図7, 図8にそれぞれ示す。提案システムは送受信アンテナに EBG 共振器アンテナを用い、PDA の H 面方向の間隔を機械制御により可変可能であると仮定した構造である。アレー間隔  $\Delta s$  は 1mm 毎(10mm から 30mm まで)に調整でき、送受信アンテナの位置ずれ時に電界分布を変化させることができる。本報告では、位置ずれに対して図7, 図8に示す赤枠部分のみを可変させ、電界分布の変化を確認した。

### 4. 数値解析結果

以上の提案システムの数値解析を行った。モーメント法(Method of Moments: MoM)によるシステムの解析から S パラメータを計算し、S パラメータから電力伝送効率  $\eta$  の算出を行っていた。提案システムは次の 2 の異なる条件によって評価する。

#### i) w/ Changing

$\Delta x$  に対して送受信アンテナには常に固定負荷  $Z_s^*$ ,  $Z_l^*$  が装荷されている。 $Z_s^*$ ,  $Z_l^*$  とは  $\Delta x = 0$  であるときの最適負荷である。に対して、アレー間隔の変化は常に最適である。

#### ii) w/o Changing

送受信アンテナには常に固定負荷  $Z_s^*$ ,  $Z_l^*$  が装荷されている。また、アレー間隔は  $\Delta x = 19\text{mm}$  で固定されている。

図9に数値解析条件を示す。図9は受信アンテナが  $x$  方向に位置ずれした時の無線電力伝送効率を示している。が増加するにつれて、電力伝送効率  $i)$  は  $= 100\text{mm}$  の点で一度増加するが減少していくことが確認できた。一方で、電力伝送効率  $ii)$  は  $0\text{mm}$  から  $60\text{mm}$  までは電力伝送効率  $i)$  を上回っており、最大で 12% の改善効果が確認できた。しかし、 $= 80\text{mm}$  以上では可変していない状態と同様の効率であった。

電力伝送効率の改善効果が見られなかった原因として、アレー間隔の機械制御をアレーの片側のみで行ったことが挙げられる。位置ずれが大きくなるにつれ、片側のアレー間隔の変化だけでは電界分布が位置ずれ方向に変化しきれなかったと推測される。今後は、アレー構造全体のアレー間隔を制御し、より大きな位置ずれに対応できる EBG 無線電力伝送システムの検討を行っていく。

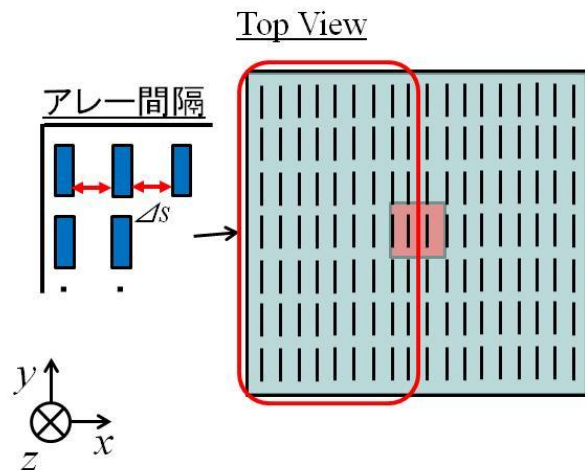


図 7. 提案システムに用いるアンテナ

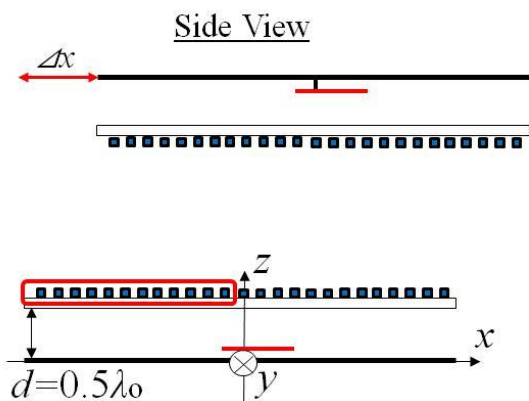


図8. 提案システム

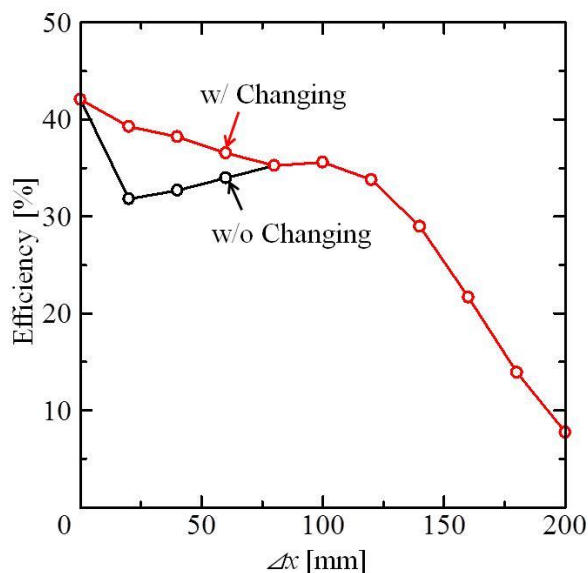


図9. 受信アンテナがx方向に位置ずれした時の無線電力伝送効率

## 5. むすび

本報告では、近傍界で使用可能なEBG共振器アンテナならびにそれを用いた新しい無線電力伝送システムを提案した。機械制御によってアレー間隔を制御し、電界分布を変化させ、送受信アンテナの位置ずれによる電力伝送効率の低下を抑制した。数値解析によって評価し、電力伝送効率の改善効果を明らかにした。今後は、より大きな位置ずれに対応できるようにアレー全体の間隔の制御を行っていく。

## 参考文献

[1] Christopher R. Valenta, Gregory D. Durgin, "Harvesting Wireless Power: Survey of Energy-Harvester Conversion Efficiency in Far-Field, Wireless Power Transfer Systems," IEEE Microwave Magazine, vol.15, no.4,

pp. 108-120, 2014.

[2] Y. Suh, and K. Chang, "A high-efficiency dual-frequency rectenna for 2.45- and 5.8-GHz wireless power transmission," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol.50, no.7, Jul.2002.

[3] K. Hatanaka, F. Sato, H. Matsuki, S. Kikuchi, J. Murakami, M. Kawase, and T. Satoh, "Power transmission of a desk with a cord-free power supply," IEEE Trans. Magn., vol. 38, no. 5, pp. 3329-3331, Sep. 2002.

[4] Andre Kurs, Aristeidis Karalis, Robert Moffatt, John Joannopoulos, Peter Fisher, Marin Soljacic, "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances," Science Magazine, Vol.317, No.5834, pp.83-86, 2007.

[5] 青木 亮併, 佐藤 弘康, 澤谷 邦男, "高利得 EBG 共振器アンテナの基礎検討," アンテナ伝搬研究会, AP-48, 2004.

[6] 村上 仁康, 佐藤 弘康, 澤谷 邦男, "高利得 EBG共振器アンテナの開口幅に対する検討," 電子情報通信学会総合大会講演論文

[7] Bo-Hee Choi, Jeong-Hae Lee, "Near-field Beamforming Planar Loop Array for Misaligned Wireless Power Transfer," 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation, pp. 1-2, 2016.

[8] 中道 大輔, 佐藤 弘康, 陳 強, "励振分布設計による1層EBG共振器アンテナの利得改善," 電子情報通信学会総合大会講演論文集, B-21-8, 2016