

誘電体共振器を用いたワイヤレス電力伝送装置の電界強度

藤山 義祥

宇部興産株式会社 機能品開発センター 〒755-8633 山口県宇部市大字小串 1978-5
E-mail: 26009u@ube-ind.co.jp

あらまし 2.4GHz 帯の誘電体共振器を用いたワイヤレス電力伝送装置が開発されている[1]。この装置は一方を短絡させた円筒導波管内に誘電体共振器を入れ、二つの共振器を対向させて配置されており、二つの共振器が電界結合により、電力が伝送される構造となっている。二つの共振器は 180mm 離れているので電磁波の漏れは、円筒導波管の開端面から発生しているの、円筒導波管の軸に対して水平偏波であることがわかった。また、入力 340W 以下では、防護指針を満たすことがわかった。

キーワード ワイヤレス電力伝送, 誘電体共振器, 防護指針, ホーンアンテナ

Field intensity measurement of the wireless electric power transmission equipment using a dielectric resonator

Yoshiaki FUJIYAMA

Specialty Products Development Center Ube Industries, LTD. 1978-5, Kogushi, Ube, Yamaguchi, Japan

E-mail: †26009u@ube-ind.co.jp

Abstract The wireless power transmission equipment using the dielectric resonator of the 2.4GHz band is developed [1]. This equipment puts in a dielectric resonator in the cylindrical waveguide which short-circuited one side, and two resonators face each other, and electric power is transmitted by electric field coupling of two resonators. Since two resonators were separated 180 mm and the leak of electromagnetic waves had occurred from the open field of a cylindrical waveguide, it became clear that polarization is horizontal polarization to the axis of a cylindrical waveguide. Moreover, when it was below the input electric power 340W, it became clear to meet Safety standards.

Keyword Wireless power transmission, Dielectric resonator, Safety standards, Horn antenna

1. まえがき

誘電体共振器を用いたワイヤレス電力伝送装置は、最大 1.6 波長の距離で伝送効率 80%以上を確保されており、近傍界の波長 $\lambda/2\pi$ (0.16λ)を大きく超えて二つの共振器が結合して電力が伝送されている。したがって、電磁界の漏洩が大きい可能性があり、どの方向にどのような強度の電磁界が放射されているのか実測しておく必要があるの、京都大学生存圏研究所の協力の下に測定を進めた。

2. ワイヤレス電力伝送装置の構造と特性

図 1 に作製した装置の構造および寸法図と、その写真・電送距離 180mm のときの磁界の分布の様子を示す。誘電体共振器は比誘電率 10、Q 値 14,000、直径 172mm、内径 25mm、長さ 43.2mm であり、円筒導波管の直径は 310mm である。誘電体共振器は円筒導波管の中心に

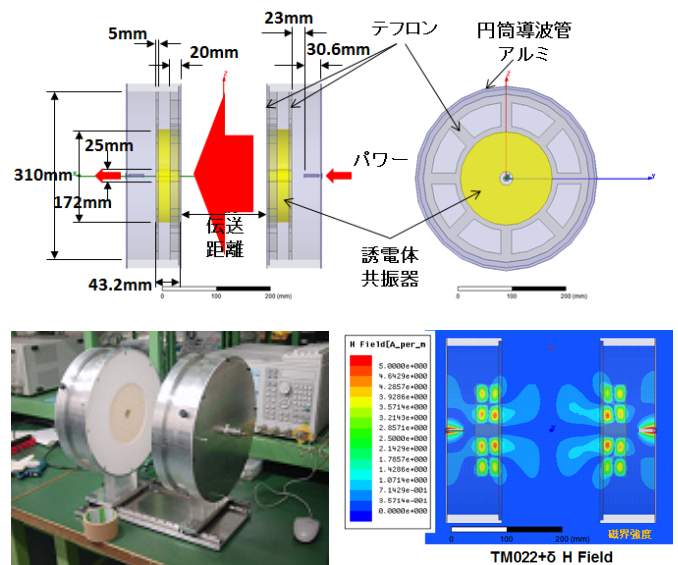


図 1 構成図・写真および磁界強度分布

なるように、比誘電率が小さく、誘電損失の小さいテフロンで支え、円筒導波管の開放面とほぼ同一になる様に配置されている。共振器の励振方法は円筒導波管の短絡面の中心から、約 $\lambda/4$ のモノポールアンテナを配置し、共振器から約23mm離す。この励振方法ではTMモードで共振し、磁界が共振器の内部の周方向に集中する。誘電体共振器内の波長は約39mmなので、集中した磁界は周方向に2周、長さ方向に2段できるのでTM₀₂₂+ δ モードとなる[2]。TMモードの誘電体共振器は電界で結合している。

図2には伝送距離180mmのときのSパラメータと、伝送距離100mm~230mmの効率特性と周波数特性を示す。2.4GHz付近のS₂₁およびS₁₁/S₂₂を観察すると、共振ピークが2つ観察され、二つの共振器が結合していることが窺える。伝送距離に対する効率特性は、100mm以下は効率70%以下であり、120mm~200mm(1.6波長)付近までは80%以上の伝送効率となっている。周波数は伝送距離が大きくなるに従い共振器同士の結合が弱くなるので、周波数も低下している。これらの特性はシミュレーション結果とよく一致している。

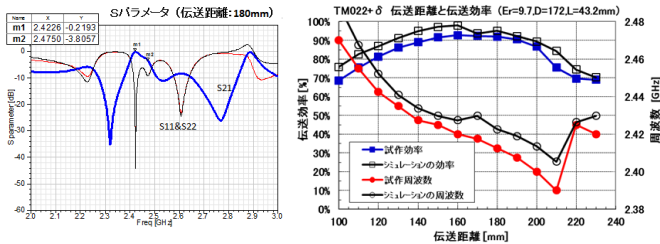


図2 Sパラメータと伝送効率・周波数特性

3. 電磁界の漏洩特性の測定

誘電体共振器を用いたワイヤレス電力伝送装置は2.4GHz帯であり、伝送距離は100mm~230mmに渡っており、一般に近傍界は波長 $\lambda/(2\pi)$ [19.9mm]であるのでこの伝送距離は遠方界にて動作していることになる。従って電磁界が電波となって装置周辺に漏洩すると考えられるので、電磁界強度を評価する必要がある。

京都大学マイクロ波エネルギー伝送実験設備を使用して、0.1m~5mの距離において漏洩する電波の強さを測定した様子を写真1に示す。また、測定系統図

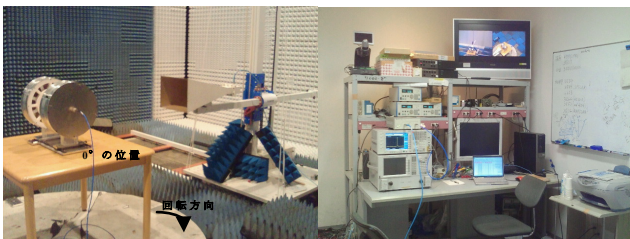


写真1 漏洩電波の測定の様子

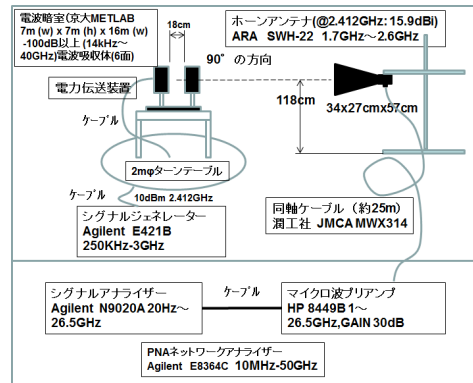


図3 測定系統図

を図3に示す。

電波暗室内に設置されたシグナルジェネレーターの周波数を伝送距離180mmでの最大伝送効率である約2.412GHz合わせ、10dBmの出力をターンテーブルに接続し、さらにターンテーブルから電力伝送装置の一方に接続し、もう一方はターミネーションを接続する。漏洩電磁界は34cmx27cmのホーンアンテナ(Gain:15.95dBi)を用いて受信する。ケーブルにて電波暗室外に引き出し、プリアンプにて約30dB増幅し、シグナルアナライザーにて電力を測定する。測定は装置から5m、3m、2m、1.5m、1m、0.5m、0.1mの距離を離し、ターンテーブルを10°きざみで回転させながら360°まで測定した。

4. 入力電力による電界強度の評価

測定した電力のデータを図4に示す。5mの距離では水平偏波と垂直偏波の差はあまりないが、3m以下では水平偏波と垂直偏波の測定値は0度付近または180度付近では10~20dBの差があるので、円筒導波管の半径方向に放射される電波が強いことがわかる。水平偏波は円筒導波管の開口部の半径方向が強く、90度と270の軸方向は弱いことがわかる。

測定した電力からホーンアンテナの位置の電界強度を求めるには、ホーンアンテナへ接続されているケーブルから、シグナルアナライザーに接続されているケーブルまでの利得(または損失)を考慮してホーンアンテナが受信した電力 P_r を求める。ホーンアンテナの有効開口面積 A_r はアンテナゲインを G 、波長を λ とすると、 $A_r = \lambda^2 / (4\pi) G$ である。ホーンアンテナの開口部の電力密度 P' は、 $P' = P_r / A_r$ である。このときの電界強度 E は、空間インピーダンスを Z_o' とすると、 $E = \sqrt{P' Z_o'}$ 、 $E = \sqrt{P' \cdot 120\pi}$ で求めることができる。また、このときの電力伝送装置への入力された電力を S_r とすると、入力電力 S_r' のときの電界強度 E' は、 $E' = \sqrt{S_r' / S_r} E$ となる。図5に200Wのときの電界強度のチャ

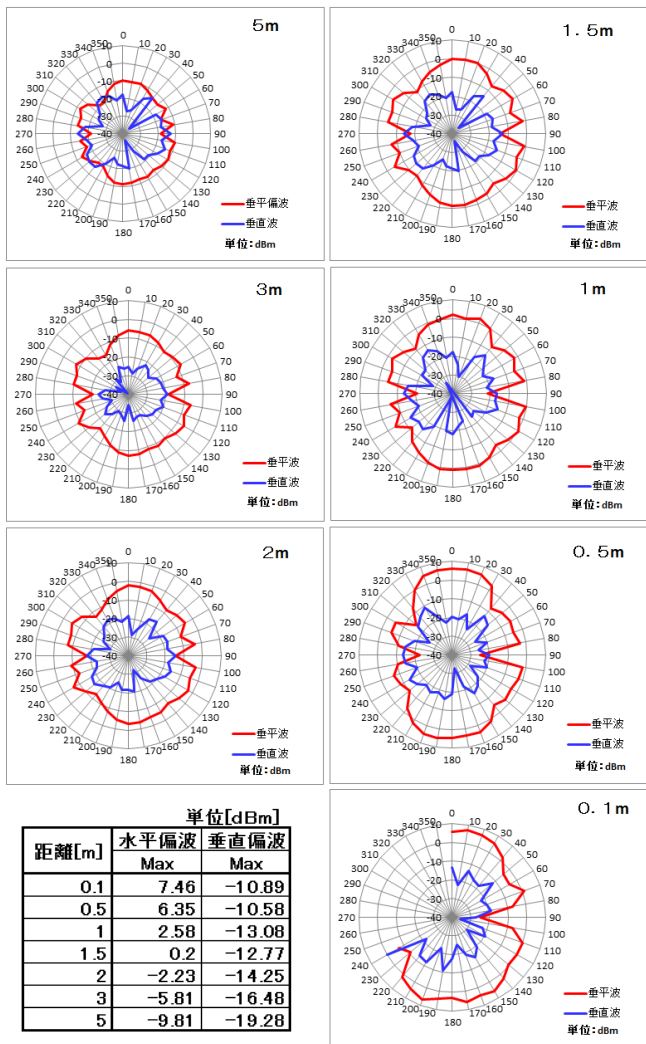


図4 測定データ

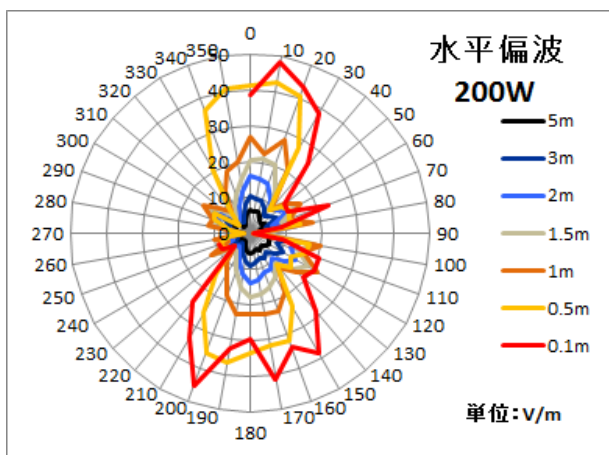


図5 200Wのときの電界強度

ートを示す。人体防護指針条件P(職業人)では、10cmにおいて電界強度61.4V/m以下であるので、0.1mにおいて48.3V/mと計算されるから条件を満たしていると言えることがわかる。しかし長時間にわたる暴露は避

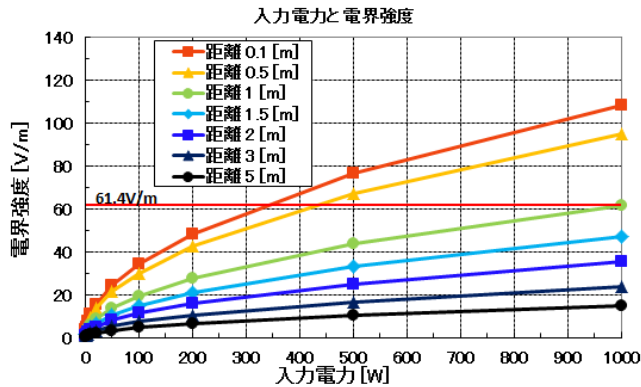


図6 各距離における入力電力と電界強度の関係

けるべきレベルと思われる、地面や床からの反射を考慮する必要があると考えられる。また、磁界強度Hは、 $H = \sqrt{P/Z_0}$ であるから0.130A/mと計算される。このときの電力密度は0.631mW/cm²である。

図6には各距離における入力電力と電界強度の関係を示す。防護指針の10cmにおいて電界強度61.4V/m以下の入力電力は340Wであることがわかる。また、1m離れることにより、1KW程度まで防護指針を満たすことがわかる。

5. シミュレーション結果比較

HFSSv15を用いてシミュレーションと、実測値を比較した。まず、ホーンアンテナの特性を図7に示す。用いたWR-340の周波数範囲において、リターンロス20dB近く取れていることがわかる。次に、二つのホーンアンテナを1m離れたときのSパラメータを図8に示す。約5dBの損失になっており、アンテナのゲインを16dBiとすると、1mの距離の損失は35dBとなる。実測値は、シグナルアナライザの入力が最大で+2.58dB、ケーブル+プリアンプ間が+29dB、ホーンアンテナゲイン+16dBi、電力伝送装置への入力が6.95dBm、従って1mの距離の損失は、2.58-29-16-6.3=48.72dBである。図9には装置に入力200W、距離1mのときの実測値から換算した結果と、シミュレーション結果を示す。実測値の最大値は25.6V/mシミュレーション値は25.9V/mと大変近い値

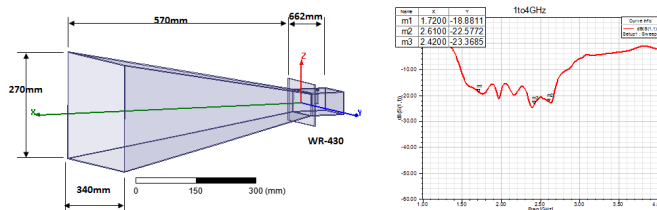


図7 ホーンアンテナ

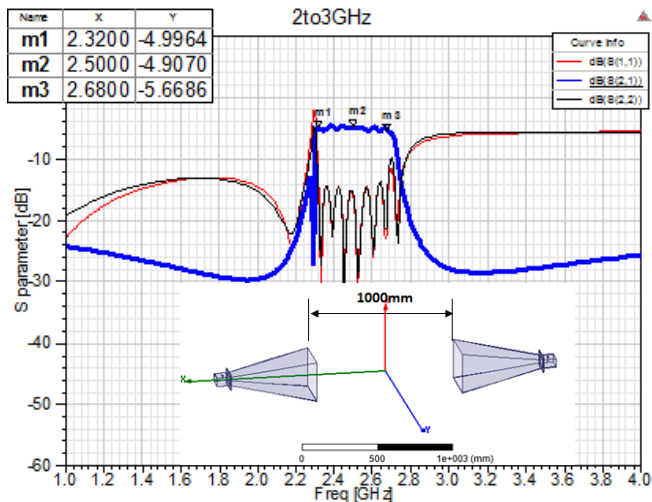


図 8 距離 1m の伝送特性

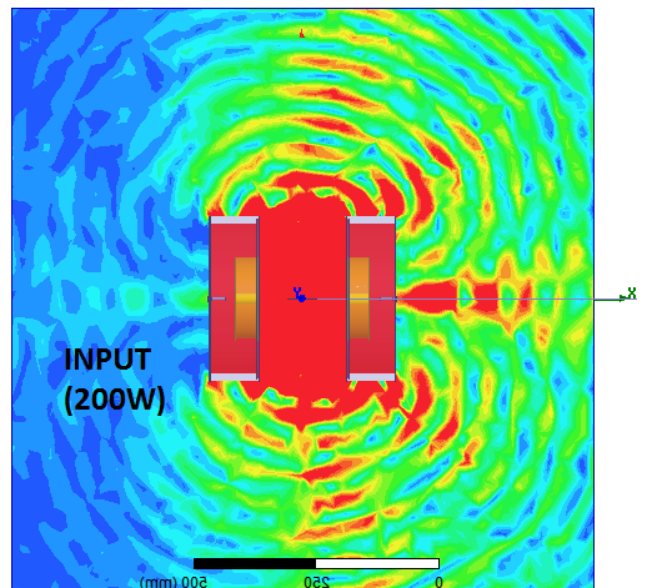
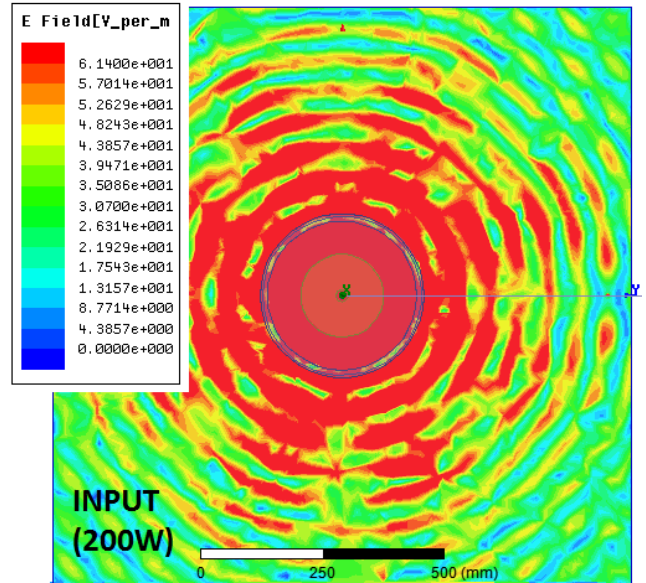


図 10 シミュレーションにおける電界強度分布

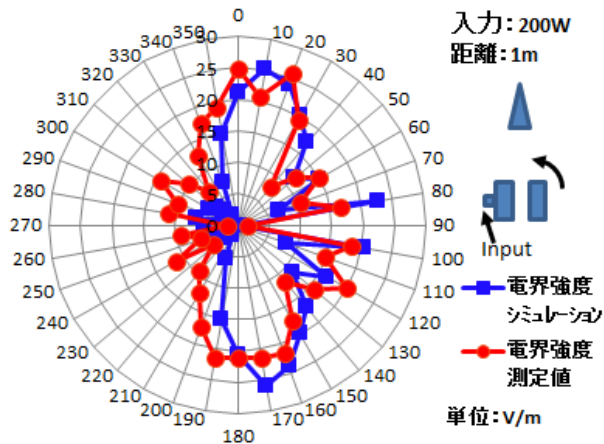


図 9 入力 200W・距離 1m のときの電界強度 (実測とシミュレーション値の比較)

となった。どちらも 90° 方向にやや電界が強い方向になっており、これは 90° 方向では入力側の円筒導波管とホーンアンテナが対向する方向であるためと考えられる。 90° と 270° の円筒導波管の軸方向では電界は著しく小さな値となる。

6. シミュレーションにおける電界強度分布

図 10 に入力 200W における、シミュレーションによる電界強度の分布の様子を示す。防護指針である 61.4V/m 以上が赤色になるよう設定してある。円筒導波管の周方向は均一分布になっており、半径方向に広がっている。この分布をみると 0.1m での電界強度は 61.4V/m を超えている部分があることがわかる。これはホーンアンテナが $340 \times 270\text{mm}$ の大きさで、円筒導波管が $\phi 330\text{mm}$ 、長さ 100mm 、さらに二つの導波管の距離が 180mm であるので、 0.1m の距離では電界が均一ではないため、完全に評価ができていないと考える。(図 11 参照)

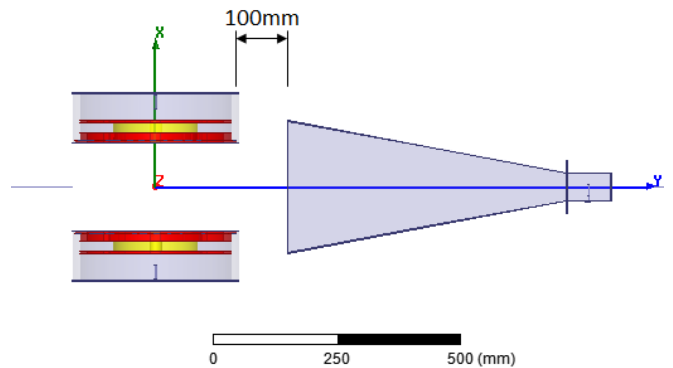


図 11 距離 100mm の測定時の様子

7. まとめ

開発した誘電体共振器を用いたワイヤレス電力伝送装置の電界強度の測定を、京都大学生存圏研究所の高度電波暗室 METLAB 設備を用いて実施した。本測定により、防護指針である $61.4\text{V/m}(10\text{cm})$ 以下の範囲で入力できる電力は、 340W 以下であることがわかった。また、 1m 離れれば、 1KW 程度の電力を入力できることがわかった。電磁波の漏れは、円筒導波管の開放面から発生しているので、円筒導波管の軸に対して水平偏波であることがわかった。

謝辞

本測定にあたり、京都大学生存圏研究所の高度電波暗室 METLAB 設備や機材を利用させていただいた、篠原先生、三谷先生を初め関係各位に感謝する。

文 献

- [1] 藤山義祥, “マイクロ波誘電体共振器を用いた共鳴送電”, MWE 2013 Microwave Workshop Digest, pp.13-16, 2013.
- [2] 小林禧夫, 古神義則, “誘電体円柱共振器のモード命名法に関する検討”, 信学技報, MW89-64, pp.25-32, 1989.