

小形アンテナを用いた電磁界共振結合による ワイヤレス電力伝送技術の実用的研究

-電界結合による2つの独立な空間伝送路を用いた場合-

A Practical Study of Wireless Power Transmission using Small Antenna Mutual Coupling Technique

-The case of using Two Independent Space-coupled Electric Field

常川 光一

Koichi TSUNEKAWA

あらまし ワイヤレス電力伝送の実現可能性を探るため、コンデンサを挿入した平衡二線伝送路により空間で電力を伝送する方法を提案する。これは独立した2つの伝送路（線路）で空間の局所的な2点に電位差を発生させるものである。回路的検討により比較的高い伝送効率が得られることがわかったが、空間伝送シミュレーションでは十分な結果は得られなかった。これは独立な2経路の具体化法が適切でないこと及び放射電界が発生することによる損失が課題であることがわかった。

1. まえがき

家庭やオフィスの電化製品などの電源コードを無くすワイヤレス電源供給の研究開発が2015年の実用化を目指して進められている⁽¹⁾。特に電磁界共鳴技術による実装置が発表⁽²⁾されて以来、高い関心を集めて活発な研究が進められている⁽³⁾⁽⁴⁾。しかし本方式において高い効率でかつ伝送距離を伸ばすには、共振器であるアンテナ（コイル）の導電率を上げ、非常に高いQを実現する必要がある⁽⁵⁾。実アンテナでこの高いQ値の実現は大変難しく、現状では実装置での伝送距離はアンテナの大きさ程度に限定されてしまう⁽⁶⁾。そこで本報告では、従来の電磁界による電力の伝送には限界があると考え、金属板同士の静電結合（コンデンサ）を用いて電力を伝送するワイヤレス伝送方式を提案する。本方式は独立な2つの経路を用いて電位差（ポテンシャル）を伝送する必要がある。

2. 伝送線路に電界結合を導入した電力伝送

電磁界共鳴技術では、結合形共振器として表される回路を、実アンテナで実現しようとするに無理がある。アンテナではその電気長以上離れた2点の空間電位差（スカラーポテンシャル）を給電点に発生させることは出来ないが、回路では2本の線路間にどんな高い電位差も発生させられる。アンテナで給電点に高い電位差を発生させるには、遠方界でのアンテナアレイ化技術しかない。一方、送信アンテナから受信アンテナに直接電位差を伝送できれば伝送回路と同じ現象を実現できるはずである。これは遠方界では不可能であるが、金属板同士の電界結合を用いれば近傍界で可能である。つまりアンテナをコンデンサと考えて静電界（アンテナに垂直な電界）を用いるものである。

3. ダイポールによる放射方向電界の検討

極座標の原点にあるZ軸方向の微小ダイポールアンテナIIの全放射電界成分は以下である。

$$\begin{aligned} E_r(r) &= j \frac{120\pi I}{\lambda} e^{-jkr} \left\{ \frac{1}{jkr^2} + \frac{1}{(jk)^2 r^3} \right\} \cos\theta \\ E_\theta(r) &= j \frac{60\pi I}{\lambda} e^{-jkr} \left\{ \frac{1}{r} + \frac{1}{jkr^2} + \frac{1}{(jk)^2 r^3} \right\} \sin\theta \quad \dots(1) \\ E_\phi(r) &= 0 \end{aligned}$$

ここで、 $k=2\pi/\lambda$ 、 λ ：波長、 j ：虚数単位である。(1)式で静電界は r^3 に比例する項であるが、本来クーロンの法則に従う電界であり、 E_r 成分のみで r^2 に比例するはずである。しかしダイポールであるため、常に正負の電荷が近傍にあることから E_θ 成分が発生し、 r^3 に比例することになる。ただし、一方の極近傍であれば単独の電荷と同じ特性が現れるはずである。そこで平板金属で電極を形成し、その中央を導線で結んで給電をしたダイポールアンテナの近傍電界をシミュレーションにより調べた。

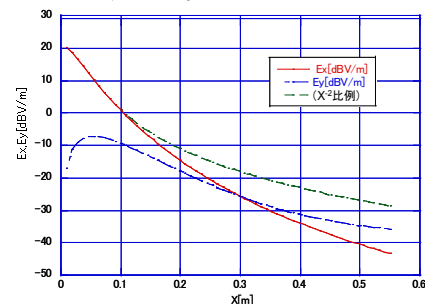


図1 近傍電界(Ex,Ey)の強度

ダイポール軸に直交する方向の電界 E_x （式(1) E_r ）、 E_y （式(1) E_θ ）成分の距離特性を図1に示した。本図からは約0.3mを境に $E_y(E_\theta)$ 成分が $E_x(E_r)$ 成分を上回り、遠方において支配的になっていくことがわかる。 E_x 成分の0.1m点を基準に $1/x^2$ （ x ：距離）に比例する線を記入すると、実際の E_x の値より高く推移する。これはダイポール形式であるために、ある程度の距離以降では正負極の E_x 成分が相殺して強度が低下するからである。

そこで、図2に示すように途中にコンデンサを入れた伝送線を考える。これで高周波では電力の伝送が可能である。そこでこのコンデンサの片方2枚の電極をダイポールアンテナとし、アンテナから伝送方向の電界 E_x (式(1)Er) 成分により互いに結合をさせれば、給電側の高い電界を受信側の負荷に伝送できると考えられる。

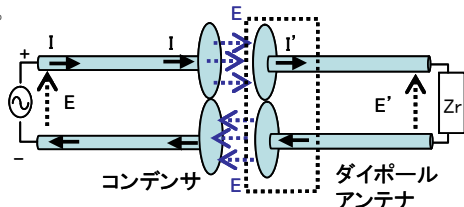


図2 静電界を用いたワイヤレス電力伝送

4.独立な空間伝送路の構築方法

図2の回路を広い空間で実現する場合の問題は2つのコンデンサを独立に動作させることである。回路の上では各コンデンサを一つの素子として考えているが、空間では互いの電極が1m以上離れるので互いの2枚電極同士が相互に結合してしまう。これでは空間で独立な2つの伝送路が確保できなくなり、本回路が実現できない。そこで空間の伝送位相を利用して相互結合を相殺することを考える。この回路を図3に示す。

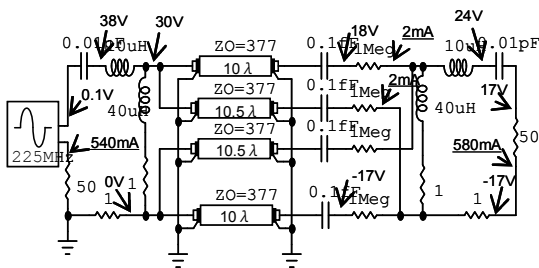


図3 コンデンサ間の相互結合を相殺する伝送回路

図3では、コンデンサ電極(アンテナ素子)を結合させないため、電極同士を半波長伝送路をずらすことで相殺し独立な伝送路を実現している。このシミュレーションでは33% (17/51W) の伝送効率を得られた

5.アンテナ構成と伝送効率の検討

これらの検討を基に簡単なアンテナを設計しシミュレーションを行った。アンテナ構成を図4に示す。

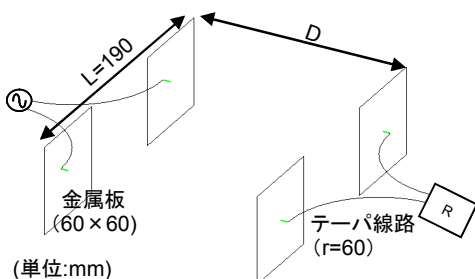


図4 アンテナ構成と電力伝送状況

アンテナは素子(電極)間を出来る限り離す必要がる

ので、高インピーダンスと 50Ω 給電系との整合をとるためにテーパ線路を用いた。アンテナ素子は遠方界の放射を抑えるために方形金属の中央に給電線を接続し、素子上の電流が相殺するようにした。一方、コンデンサとしての結合を強くするため対向する平板金属でアンテナ素子(電極)を構成した。シミュレーションは電極同士を対向させて S12 を計算した。伝送効率の距離特性を図5に示す。

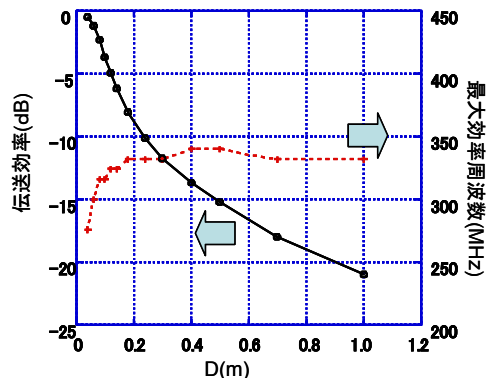


図5 効率の距離特性とその周波数

まだ従来の共鳴形に比べて高い効率を得ることは出来ていない。また回路シミュレーションで得られた効率も実現できない。これは前説で検討したような電極間の結合が相殺出来ていないこと、及び電極を離すことで、どうしても放射界が発生して損失になることが本結果となった要因と考えられる。

6.まとめ

電磁場共鳴技術による電力の伝送では、高いQのアンテナ実現が難しく限界があるため、電界結合により空間の局所的な2点に電位差を発生させる電力伝送方法を提案した。回路的検討により、伝送位相差を利用して独立な2つの経路を実現すれば33%程度の伝送効率を得られることがわかった。しかし空間伝送シミュレーションでは10%以下と低かった。今後は独立な2経路の具体化法と放射電界の抑圧が課題である。

・文献

- [1] 電波新産業創出戦略資料など、総務省、2009
http://www.soumu.go.jp/main_content/000030537.pdf
http://www.soumu.go.jp/main_content/000036263.pdf
- [2] A.Kurs,A.Karalis,R.Moffatt,J.D.Joannopoulos,P.Fisher,M.Soljacic, "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonance", Scienc Express,Vol.317,No.5834,pp.83-86,2007
- [3] 居村岳広, 堀洋一“電磁界共振結合による伝送技術,” 電気学会誌, 129 卷 7 号, pp.414-417, 2009
- [4] 栗井郁雄”共鳴型ワイヤレス電力伝送の新しい理論“電気学会論文誌 C, Vol. 130 (2010), No. 6 pp.966-971, 2010
- [5] 奥山佑樹、平山裕、菊間信良、榊原久二男“磁界共鳴型無線電力伝送の導電率を考慮した等価回路“信学技報, WPT2010-09, pp. 9-14, 2010
- [6] “磁界共鳴型を使った高効率な「ワイヤレス給電システム」を開発“2009年10月02ソニー報道資料,2009