

# 無料版でやってみるワイヤレス給電の基礎

有限会社ソネット技研  
www.SonnetSoftware.co.jp tovy@SonnetSoftware.co.jp

石飛徳昌

2015年2月5日

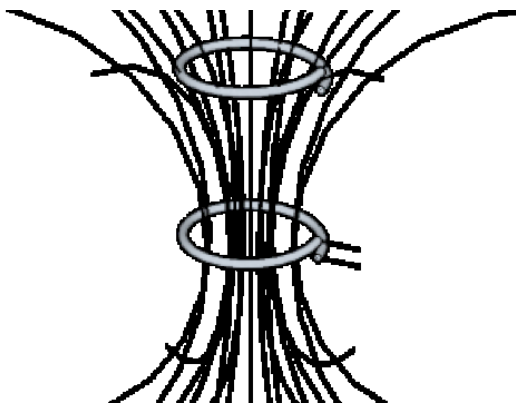


図1 インダクタンスと結合係数の傾向は磁力線を想定すれば理解できる

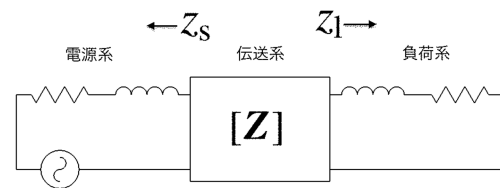


図2 全体の効率の特定には6つの複素数を扱わねばならない

## 1 インダクタンスと結合係数の見積もり

インダクタの形状や相互の位置関係から図1のように磁力線を想定すればインダクタンスと結合係数の傾向を定性的に予測できる。さらに無料の電磁界シミュレータ SonnetLite を使って十分な精度で解析することができる。

■**形状とインダクタンス** 円、正方形、正六角形など形状が異なっても面積が同じならインダクタンスもほぼ同じ

■**周波数とインダクタンス** 磁性体を使っていないインダクタのインダクタンスはほとんど周波数依存性を持たない。但し高い周波数では浮遊容量  $C$  により  $\text{Im}(Z(\omega)) \neq \omega L$  となる。また測定器やシミュレータの適用範囲外で誤差が増大することがある。

■**周囲の大きな金属とインダクタンス** インダクタの周囲の大きな金属物は

- 直径と同程度離せばほとんど影響ない。

- 直径の半分以上離れておれば対処できる。
- 直径の半分以下に接近させてはならない。

■**基板とインダクタンス** 基板表面に構成したインダクタのインダクタンスは、基板の比誘電率に依存しない。しかし基板の透磁率には依存する。

■**巻き数とインダクタンス** 一回巻きあたりのインダクタンスが  $L_1$  ならば、 $N$  回巻きのインダクタンスは  $L = N^2 L_1$  となる。ただし巻線間の結合係数  $k$  が1未満であれば、 $L \leq N^2 L_1$  となる。

■**面積と結合係数** 第一のインダクタの面積を  $A_1$ 、第二のインダクタの面積を  $A_2$  とすると結合係数  $k$  は概ね  $A_1/A_2$  程度になる。

■**距離と結合係数** 共鳴型ワイヤレス給電で想定される範囲では結合係数  $k$  は0.1より小さい場合が多い。

## 2 最大効率 $\eta_{\max}$

共鳴型ワイヤレス給電の全体のパフォーマンスは、単独の測定器や単独のシミュレータが想定しているパラメータでは評価できず、図2のように伝送系のインピーダンスマトリクス  $[Z]$  伝送系から電源系を見た複素インピーダンス  $z_s$ 、伝送系から負荷系

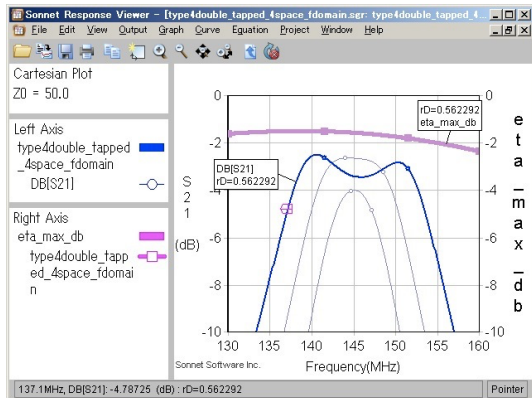


図3 最大効率  $\eta_{\max}$  のプロットの一例.

を見た複素インピーダンス  $z_1$  の6つの複素数から判断しなければならない。

文献 [1] [2] で提案された方法では測定やシミュレーションの結果として伝送系のインピーダンスマトリクス  $[Z]$  が得られれば、その系で実現可能な最大効率  $\eta_{\max}$  と、それを実現する  $z_s, z_1$  を次式の方法で一義的に算出することができる。

$$\eta_{\max} = 1 + \frac{2}{\tan^2(2\theta)}(1 - \sqrt{1 + \tan^2(2\theta)}) \quad (1)$$

$$\tan(2\theta) = \frac{|z_{21}|}{\sqrt{|R|}} \quad (2)$$

$$|z_{21}| = \sqrt{r_{21}^2 + x_{21}^2} \quad (3)$$

$$|R| = r_{11}r_{22} - r_{21}^2 \quad (4)$$

$$z_s = \frac{\sqrt{D}}{r_{22}} + j\left(\frac{r_{21}x_{21}}{r_{22}} - x_{11}\right) \quad (5)$$

$$D = (r_{11}r_{22} + x_{21}^2)(r_{11}r_{22} - r_{21}^2) \quad (6)$$

対称システムでは  $z_s = z_1$  である

最大効率  $\eta_{\max}$  は、これまでワイヤレス電力伝送システム的设计指標とされてきた  $k \cdot Q$  積に比べて測定器やシミュレータとの親和性がよく扱いやすい ([3]). \*1

$[Z]$  に限らず電磁界解析や測定によって  $[Y] [S]$

\*1 従来は  $kQ$  積が伝送系の本質的なパフォーマンスの指標として用いられてきたが、それに必要な  $k$  や  $Q$  の算出に不便があった。また測定器やシミュレータが出力する  $|S_{21}|$  を全体のパフォーマンスと解釈することも多かったが、それによる誤解も多かった。正しく設計された系では最大効率  $\eta_{\max}$  は  $|S_{21}|$  と一致するが、そうでない場合  $\eta_{\max} > |S_{21}|$  となる。

が得られれば無料の電磁界シミュレータ SonnetLite を使って、 $\eta_{\max}, z_s, z_1$  をプロットすることができる。図3は無料の電磁界シミュレータ SonnetLite による最大効率  $\eta_{\max}$  のプロットの一例である ([4])。

### 3 設計プロセスとツール

■電源系と負荷系 電源系や負荷系の回路構造から  $z_s$  や  $z_1$  を求めるには無料の回路シミュレータ LT-SPICE を使えば良い。

■インダクタンス 平面構造でなく、線材を巻いた構造の場合は電磁界解析よりも測定が現実的である。特にリッツ線の効果は電磁界解析から算出することは非常に難しい。

■伝送系 伝送系のインピーダンスマトリクス  $[Z]$  を求めるには、測定か、機械的な構造や材料定数から電磁界解析すればよい。但し、損失を含んだ解析は有料の電磁界シミュレータ SonnetProfessional が必要である。\*2

### 参考文献

- [1] 大平 孝, “高周波電力伝送系における最大効率の統一理論,” 信学技報 WPT2014-5, vol.114, no.9, pp.23–25, 2014-04-17.
- [2] T. Ohira, “Maximum available efficiency formulation based on a black-box model of linear two-port power transfer systems,” Electronics Express, vol.11, no.13, pp.1–6, 2014. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/elex/11/13/11\\_11.20140448/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/elex/11/13/11_11.20140448/_pdf)
- [3] 石飛徳昌, 和田光司, “共鳴型ワイヤレス給電システムの最大効率の電磁界解析による検討,” 超高速高周波エレクトロニクス実装研究会研究會論文集, vol.14, no.2, pp.15–16, 2014-08-01.
- [4] 石飛徳昌, “ワイヤレス給電システムの最大効率  $\eta_{\max}$  のプロット,” CEATEC2014 出展社セミナー ES10,NW13,4J, Oct. 2014. <http://www.sonnetsoftware.co.jp/product/seminar/ceatec2014/>

\*2  $[Z]$  の損失成分は最大効率  $\eta_{\max}$  に強く影響する。