

ワイヤレス給電用コイルの特性を測定した事例

林 達郎^{*1)}

Measurement of Characteristics of Coil for Magnetic Field Resonant Power Supply.

HAYASHI Tatsuro^{*1)}

共振結合によるワイヤレス給電は、近接だけでなく離れた地点への給電が可能であることから、従来からの電磁誘導とは異なる新たな用途展開が期待できる。また近年、伝送効率に関する設計理論の研究が進められており、なかでも kQ 積は給電システムの開発に欠かせないツールとなっている。

本資料では、磁界を主とする共振結合の給電システムを設計する際に、電力効率を高めるコイルやキャパシタ選定の参考となるよう、同一形状、又は形状が異なるコイル間で距離や巻き数が増減したときの kQ 積を S パラメータ測定値から求めて比較検討した事例を紹介する。

1. 緒言

「いつでもどこでも使える機能性」が電子機器に求められる時代となり、スマート社会の実現に向けてワイヤレス給電の実用化が欠かせない。

ワイヤレス給電においては、近接給電向けの電磁誘導方式や、遠隔給電に有利なマイクロ波方式など各種の技術が研究されており、各々の特徴を生かした用途への利用が進められている。また近年、電界や磁界の共振結合を利用して、近接だけでなく離れた地点への給電を行う技術が提案され、新たな用途の展開が期待できる。

kQ 積¹⁾²⁾は様々な方式の電力伝送系において成り立つ理論として知られているが、共振結合によるワイヤレス給電の電力効率の計算にも欠かせないツールとなっている。

そこで本資料では、磁界を主とする共振結合の給電モデルを設計する際に、電力効率を高めるコイルやキャパシタ選定の参考となるよう、同一形状、または形状が異なるコイルのコイル間距離や巻き数が増減したときの kQ 積を S パラメータ測定値から求めて比較検討した事例を紹介する。

2. 実験方法

2.1 給電の伝送効率

ワイヤレス給電の伝送効率 η は給電コイルから受電コイルに到達する電力で示され、kQ の法則により次式で示される。

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \leq \frac{\rho - 1}{\rho + 1}$$

ここで η の上限値は、底辺が kQ 積で、高さが 1 の直角三角形の斜辺 ρ で決まるので、 η を求める手順としてまず kQ 積を求める。

2.2 S パラメータから kQ 積の算出

ワイヤレス給電の給電コイルと受電コイルのセットを 2 ポート系と捉えたとき、伝達特性は S パラメータで記される。測定、またはシミュレーションで S パラメータが得られれば、インピーダンス行列である Z パラメータに変換を行う。

$$\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{bmatrix} + j \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} \\ X_{21} & X_{22} \end{bmatrix}$$

さらに、次式より kQ 積を求める。

$$kQ = \frac{|Z_{21}|}{\sqrt{R_{11}R_{22} - R_{12}R_{21}}}$$

本資料では、測定によって得たコイル組合せの S パラメータから kQ 積を求める計算を、図 1 に示す表計算ソフト上に実装して処理した。

図 1 S パラメータから kQ 積の算出

^{*1)} I o T 推進グループ

2.3 測定に用いたコイルと測定手順

事例として測定に用いたコイルは表1ならびに図2に示す4種類で、扁平な円盤状のコイルはリッツ線による小型の市販品を、また棒状のコイルは木材の周囲にエナメル線を巻き付けたコイルを作製して使用した。

表 1 コイルの仕様

コイル形状	インダクタンス (μH)at200kHz	寸法(mm)
円盤状	10.5	外径32
棒状(3巻)	5.4	30x450x15
棒状(4巻)	10.6	
棒状(5巻)	14.4	



図 2 コイルの外観(左:円盤状 右:棒状)

Sパラメータの測定はベクトルネットワークアナライザ(株式会社アドバンテスト製 R3767CG)を使用し、対象周波数を300(kHz)~6(MHz)とした。

コイルの組合せは表2に示す4通りで、各組合せにおいてコイル間距離が10, 20, 30(mm)のときのSパラメータS11, S21, S12, S22を測定し、計算に用いた。

測定風景を図3に示す。

表 2 コイルの組合せ

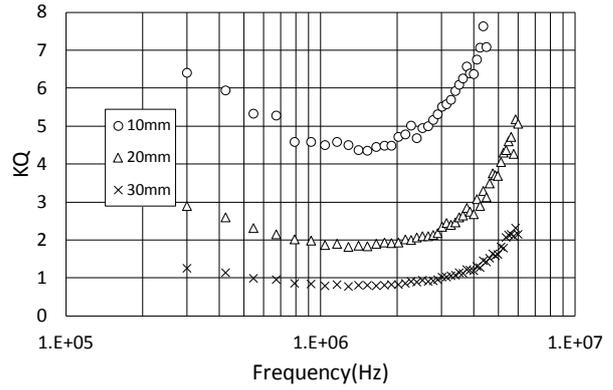
組合せ(給電側→受電側)	コイル間距離
(a) 円盤状→円盤状	いずれも 10,20,30(mm) の場合に測定
(b) 棒状(3巻)→円盤状	
(c) 棒状(4巻)→円盤状	
(d) 棒状(5巻)→円盤状	



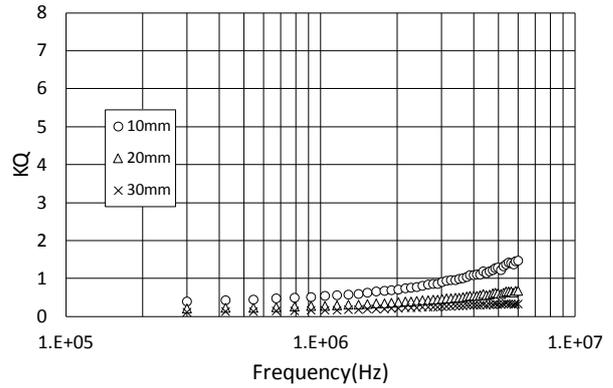
図 3 Sパラメータの測定

3. 結果および考察

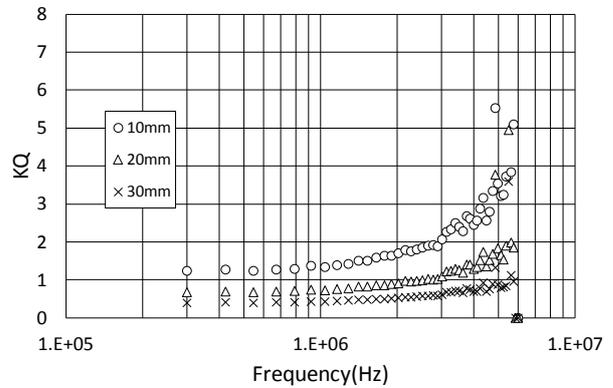
表2に示すコイルの組合せにおいて測定したSパラメータからkQ積を求めた結果を図4に示す。



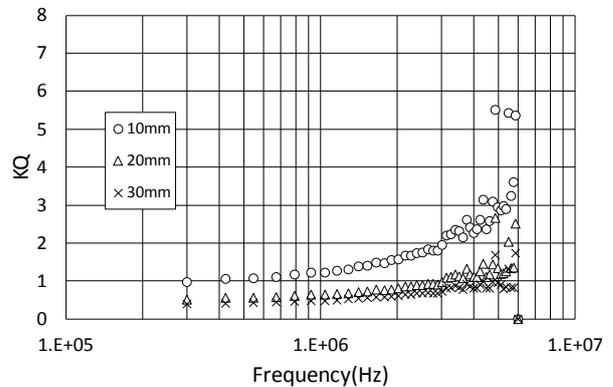
(a) 円盤状→円盤状



(b) 棒状(3巻)→円盤状



(c) 棒状(4巻)→円盤状



(d) 棒状(5巻)→円盤状

図 4 各組合せのときのkQ積

各組合せのうち(a)円盤状→円盤状については、 kQ 積の値が他の組合せと比較して高い値を示しており、給電側コイルから発生する磁界（磁束）が効率的に受電側コイルを鎖交していることがうかがえる。この組合せの場合、例としてコイル間距離が 10(mm)のとき 3(MHz)における kQ 積を 5.5 とすれば、伝送効率、2.1 の式より、最大で約 70% まで得られる可能性がある。

一方、他の組合せの場合、給電側のコイルと比較して受電側のコイルが小さいため、給電側コイルから発生する磁界（磁束）の一部しか受電側コイルを鎖交せず、 kQ 積の値が低い値となっていると推察される。例として(c)棒状(4巻)→円盤状において、コイル間距離が 10(mm)のとき 3(MHz)における kQ 積を 2 としたとき、伝送効率は最大で約 38% までしか得られない。この組合せでは給電範囲が広く得られる反面、伝送効率の最大値は減少することがわかる。

4. 結言

本資料では、磁界を主とする共振結合の給電システムを設計する際に、電力効率を高めるコイルやキャパシタ選定の参考となるよう、4 種類のコイルを用いて S パラメータを測定した結果から kQ 積を求め、グラフ化を行った事例を紹介した。

共振結合の給電システムの設計には、さらに共振用のリアクタの挿入や負荷抵抗の調整などの技術が必要となるが、今後もワイヤレス給電システムの設計に向けて、要素技術の向上に努めたい。

なお、本資料で使用したベクトルネットワークアナライザは、公益財団法人 JKA の「機械工業振興補助事業」により導入、設置した。

参考文献

- 1) 大平孝：ワイヤレス電力伝送の 10 年，RF ワールド，No.40，CQ 出版，42-53，2017
- 2) 大平孝：ワイヤレス電力伝送の kQ 積理論入門，電子情報通信学会誌，98(10)，885-887，2015

