

省エネルギーのための電子技術専門誌

グリーン・ Green Electronics エレクトロニクス

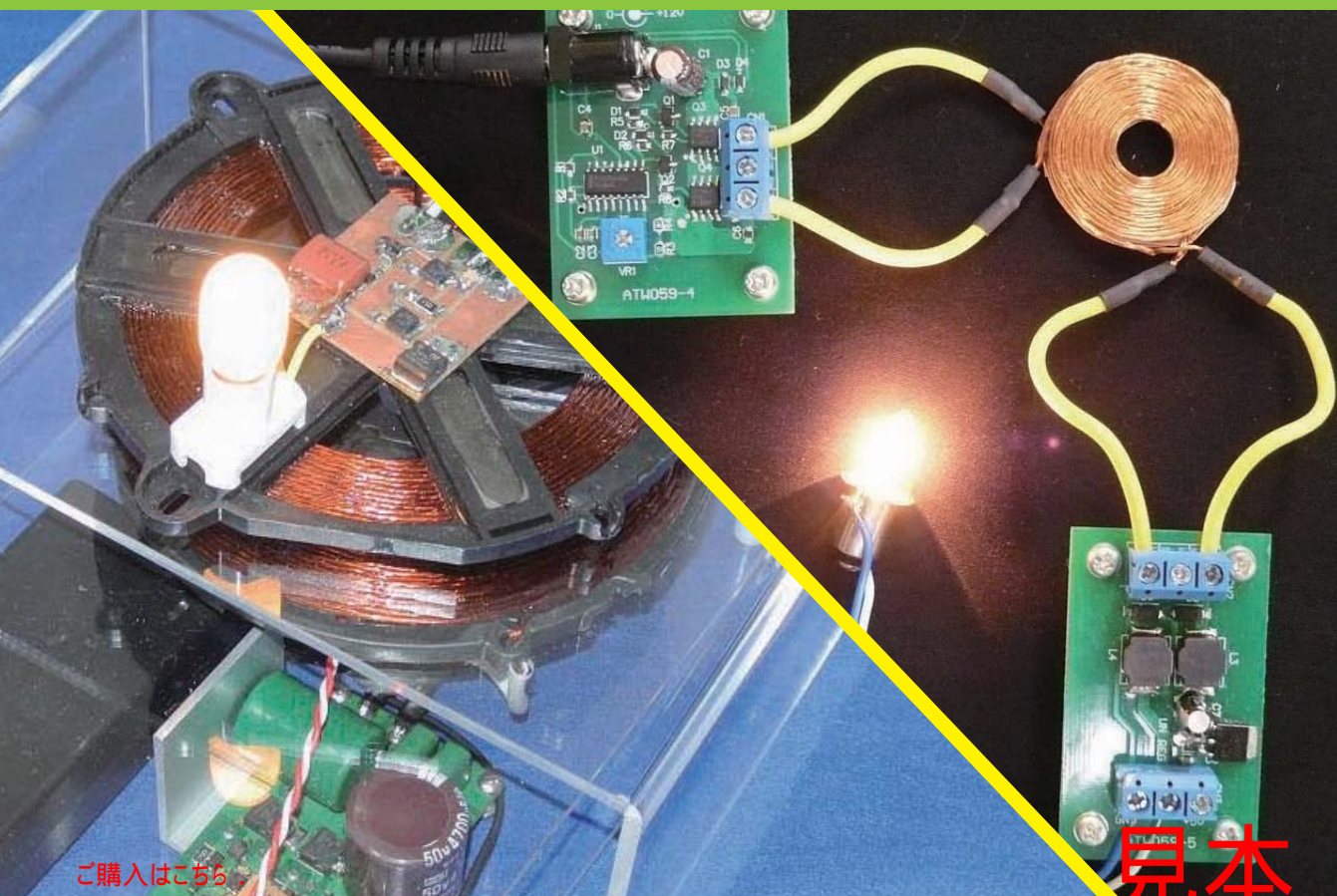
No.
19

水にも埃にも強い手ぶらコードレス電源の作り方

キットで体験! 時代はIoT! 最後のケーブルをなくせ
CとLと非接触パワー伝送の実験

特集

- 第1部 製作と実験…実験キットで学ぶワイヤレス給電の基礎, ほか
- 第2部 理論と解析…電界結合による非接触電力供給の技術, ほか

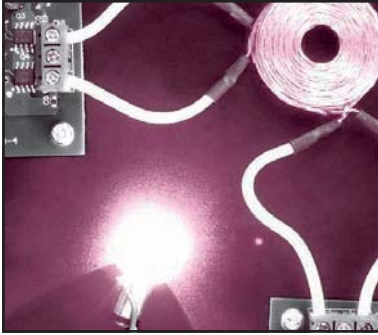


ご購入はこちら
<http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/MSP/MSP201704.htm>

CQ出版社

見本

第1章



コイルとコンデンサの ふるまいから理解する 実験キットで学ぶ ワイヤレス給電の基礎

梅前 尚
Hisashi Umezaki

回路接続をすることなく電力を伝達するワイヤレス給電(非接触給電)が、すっかりおなじみになってきました。早くから実用化されている電動歯ブラシやコードレスフォン(写真1)、近年ではスマートフォンの充電にワイヤレス給電の技術が採用されるなど、すでに日々の生活空間のなかにいくつもの商品が取り入れられています。

これらは取り扱う電力が比較的小容量のものが中心ですが、産業界ではコンベアなどの工場設備への応用や電動バスの実証実験が始まっており、数百Wから数kWクラスの大電力にもワイヤレス給電技術が広がっています。

ワイヤレス給電は言葉のとおり、配線(ワイヤ)がつかない(レス)状態で電力を伝達するシステムのことで、現在実用化されているものの多くは数mmから数cmと近距離の電力伝送に限られています。

電力供給をワイヤレスで実現できるメリットは、次のようなものが挙げられます。

- (1) 電源ケーブルを取り付ける手間がかからない
- (2) 電源と装置が離れていても電力を送ることができる
- (3) 窓ガラスなどの障害物を通り抜けて電力を供給することができる
- (4) 電源の接続接点がないので、埃の多い場所でも電



写真1 ワイヤレス給電を採用したコードレスフォンの例

極が汚れて接触不良になる心配がない

- (5) 電極が露出しないので防水加工が簡単で水回りにも使いやすい

すでに実用化されている商品や実証実験が進められている設備は、ワイヤレス給電がもつこれらの特長をうまく活かしています。

ワイヤレス給電を体験してみよう

ワイヤレス給電という言葉やイメージは理解していても、やはり自分で実験してみて動作させたほうがより理解が深まります。とはいえ、市販されている商品を分解するのはためらわれますし、自作するにも回路の設計や部品定数の決定、そしてキー・パーツであるコイルの設計/試作といくつものハードルがあって、手軽に実験してみたいと思ってもなかなか実行できないという方もおられるのではないのでしょうか。

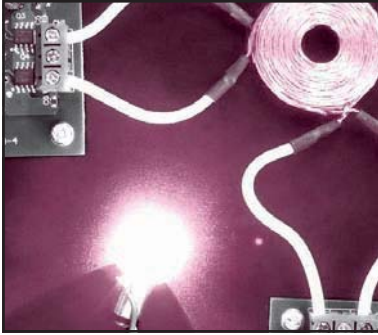
● 実験キット

そんな読者の方にうってつけの「ワイヤレス電力給電実験キット オプション扁平コイル・セット」がCQ出版社より販売されています。写真2が実験キットの内容物で、部品実装済みの基板に電力伝送用の扁平コイルと負荷に使用するランプがセットになっていて、給電側基板を駆動する12VのACアダプタを準備するだけでワイヤレス給電をすぐに試すことができます。さっそくこの実験キットを使って、ワイヤレス給電を体験してみることになります。

図1は、この実験キットの回路ブロック図です(回路の詳細は稿末の図33を参照)。電力を供給する側の給電基板には高周波発振回路が内蔵されており、ここに給電用の扁平コイルと電源用の12VのACアダプタを接続します。ACアダプタには回路保護のため、0.7A出力のものを使用します。もちろん、これより定格電流の大きなACアダプタでも動作させることはできますが、実験中に大きな電流が流れて回路を構成する部品を破壊する恐れがあるため、入力電流を0.7Aで制限する保護回路を設けるか直流安定化電源を使うよう

見本

第2章



電磁気学のおさらいから始める

プリント基板コイルを使ったワイヤレス給電

高橋 俊輔
Shunsuke Takahashi

近年、電動車両やモバイル機器に搭載されるバッテリーへの充電方式として、接続コードや接続端子などを必要としないワイヤレス給電(非接触給電)が注目を集めています。ワイヤレス給電はAC電源をAC電源のまま繋ぐコンセントではなく、AC電源をDC電源として出力するので一種の充電器と考えられます。

私の勤務する大学では、電動バスを充電する30 kWといった大型のEV用ワイヤレス給電システムと、携帯電話やタブレットなどのモバイル機器を充電するための50 W以下の小型ワイヤレス給電システムを研究しています(写真1)。

EV用ワイヤレス給電システムは細い絶縁線を多数



(a) 電動バス



(b) モバイル機器

写真1 電動バスとモバイル機器へのワイヤレス給電
バス用の30 kW以上の大型とモバイル機器用の50 W以下の小型が研究対象



(a) 車外での接触式充電の操作

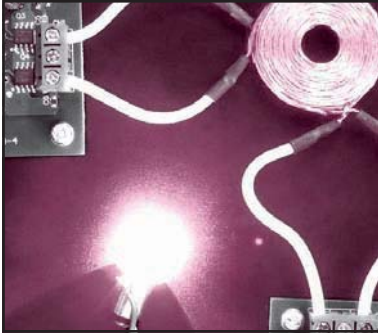


(b) 車内でのワイヤレス充電の操作

写真2 電動バスでの充電操作
接触式は運転手が外に出て操作が必要、非接触式は車内で操作

見本

第3章



ついに突破口が見つかった ワイヤレス給電の新方式 磁界共振理論の問題を微修正して 効率とロバスト性を改善

牛嶋 昌和 / 湯浅 肇 / 荻野 剛
Masakazu Ushijima / Hajime Yuasa / Go Ogino

磁界共振方式の理論式には問題があり、それを修正してみた結果、抜群のロバスト性の改善と効率の改善が得られました。今まで、なぜこの解決法が見つからなかったのかの疑問に答えます。

ワイヤレス給電の課題

ワイヤレス給電の最大の課題は、送電コイルと受電コイルとの距離や位置関係が変化した場合にも、高い効率で送受電できるようにすることです。

位置の自由度のことをロバスト性といい、位置の自由度が高いことをロバスト性が高いといいます。

一般にワイヤレス給電では効率を良くすればロバス

ト性が低くなり、ロバスト性を高くしようとすれば効率が悪くなり、必ずどちらかが犠牲になります。効率を常に高く保ちながらロバスト性を高く確保することは、容易なことではないとされてきました。

本回路では、2次側の共振コンデンサから拾った共振電流位相を1次側に帰還することによって、この問題を解決しました。

共振周波数の変化を自動追跡することによって、ロバスト性の高さと高効率(高力率)とを兼ね備えたワイヤレス給電システムができあがります。このような方式を電流共振回路といいます。以下、順を追って説明していきましょう。

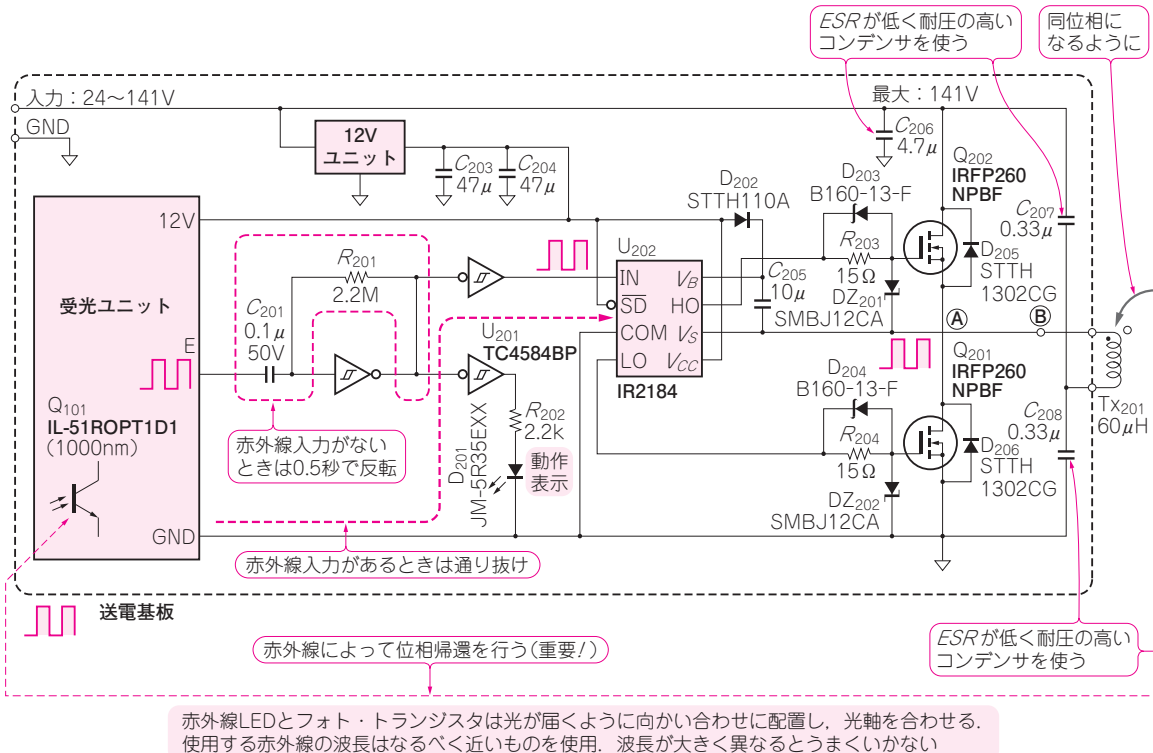


図1 電流共振方式を使ったワイヤレス給電システムの回路

見本

第1章



ロバスト性の高いシステム構築が可能な並列共振方式

電界結合による非接触電力供給の技術

原川 健一
Kenichi Harakawa

現代社会が成立するためには、電気エネルギーは最も基本的な要件です。この電気エネルギーを伝達する方法として、金属同士を接触させる方法(プラグ、コンセント)が最も身近に用いられています。

磁界を用いた電力送電方法としては、電圧変換機能を備えたトランスや、電動歯磨器を充電する非接触給電が身近に使用されています。エネルギー伝送という点では、IH(Induction Heating)調理器も磁界を用いた例です。

一方、電磁波(マイクロ波)も電子レンジとして、食物の加熱用に用いられています。将来は、SPS(Solar Power Satellite)で宇宙空間の静止軌道上の太陽電池のエネルギーを地球に送るために用いられようとしています。

電界結合とは

電気的方法で、もう一つの方法があります。これは、電界を用いる方法です。電界的方法は、メンブレン・スイッチや液晶ディスプレイなどの低消費電力分野では多く使用されていますが、エネルギー伝送分野にはほとんど使用されていません。最近、ノート・パッド用充電器に使用され始めていますが、普及する段階には至っていません。それでは、電界結合方式は使いものにならない技術なのでしょうか。

私たちが検討した範囲では、そのようなことはなく、極めて可能性に富んだ方法とされます。以下、電界結合方式およびその可能性について述べていきたいと

思います。

図1に電界結合の基本回路を示します。電源と負荷の間に金属平板を対向させた接合容量(コンデンサ)が入っていて、このコンデンサを介して負荷に電力を送るものです。電界結合の面白い点は、2枚の金属板を対向させた構造ですので、相互に動かすことができることです。金属板表面に酸化膜などがあっても電力を送ることができるため、接触式とは異なる用途展開ができます。ただし、直流は送電できず、高周波電流の送電のみ可能となります。

金属板間には接合容量があり、この値が大きいほど送電効率が増すため、次の対策のいくつかを取らなければなりません。

- (1) 金属板間を近づけること(距離を離す用途には使えない)
- (2) オーバーラップする面積を増やすこと
- (3) 周波数を高くすること
- (4) 接合容量に加わる電圧を高くすること
- (5) 金属板間に挟まれる誘電体の誘電率を高くすること

これらをすべて満足する必要はありませんが、用途に応じて(1)~(5)の依存割合を変えていく必要があります。

さらに、電力伝送する回路方式として、直列共振方式、並列共振方式があり、効率的な電力伝送を可能にしています。本稿では、LTspice Ver.4.20hを用いて計算した結果を示しています。各計算結果にはパラメータ値も記しているため、読者による再計算も可能に

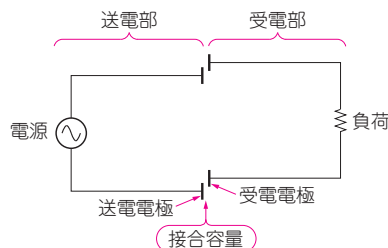


図1 電界結合の基本回路

見本

第2章



独創的で高効率なワイヤレス給電 システムの開拓に向けて

ワイヤレス結合の最新常識 「 kQ 積」をマスタしよう

大平 孝
Takashi Ohira

ワイヤレス電力伝送システムは一般に、図1に示す三つの機能ブロックで構成されます。

- ① 直流電力を高周波に変換
- ② 空間的に結合
- ③ 高周波を直流電力に再変換

このしくみは、同じように空間を利用する放送システムや通信システムと似ています。しかし、各ブロックに要求される電気性能が放送や通信とは大きく異なります。放送や通信は情報を伝えるので所要の周波数帯域幅を確保することが必須技術目標ですが、電力伝送では情報ではなくエネルギーを伝えることが役割です。したがって、帯域幅よりもエネルギー効率が重視されます。

上記の三つの機能ブロックのうち、ワイヤレス結合が本記事の主役です。ワイヤレス結合の本質は空間を介して隔たれた二つの導体デバイス(電極やコイル)の間の電磁的相互作用です。トランジスタに h_{FE} 、OPアンプに GB 積、アンテナに GT 比があるように、送受電器間の作用にもなんらかの「普遍的」な性能指数があるはず(図2)。ワイヤレス結合の性能指数とは、いったい何でしょうか。

少なくとも20世紀の人々は、送受電器間の結合係数(一般に“ k ”という記号で表記する)が、ワイヤレス伝送の性能を支配する指標であると考えていました。結合係数 k とは、送電器がもっている電気力線や磁力線の総数のうち何パーセントが受電器に届いているかの割合です。送受電器の形状をどんなに工夫しても k の値が1を超えることはありません。

k を高くするには送受電器間の距離を近づければよいことが直感的にわかります。つまり、距離を長くす

ると k がどんどんゼロに近づいて、しまいにはエネルギーが届かなくなってしまうだろうと普通に考えられていました。ワイヤレス電力伝送が卓上電子機器の充電など、極近距離系だけで実用化されていた理由がここにあります。

そんななか、2007年に米国マサチューセッツ工科大学が行ったワイヤレス電力伝送実験が世界中に反響を呼び起こしました⁽¹⁾。

写真1を見ると、右端にある60 Wの白熱電球が明るく輝いています。白熱電球は本来50 Hz/60 Hzの商用周波数帯で使うことを前提としていますが、高周波パワー投入状態での大振幅インピーダンスをリアルタイムで計測し、これを給電系に共役整合させればHF帯でも点灯します⁽⁵⁾。

問題は電球ではありません。送受電コイル間が離れていることです。同写真から見て、送受電間の距離は2 mほどもあるので、結合係数 k がかなり低いはずですが、なぜこんなことができるのでしょうか。実験成功の秘訣は、実験に用いたコイルの「 Q ファクタ」でした。 k が低い場合でも Q ファクタを高くすれば、電力伝送が可能であるということを彼らは白熱電球の点灯で実証したのです。

2010年代になり、電界結合⁽⁴⁾や磁界結合⁽³⁾を用いるワイヤレス電力伝送の研究が活発化しました。高効率な伝送系を設計するには、送受電器の構造や結合距離などの物理パラメータが、どのように伝送性能に影響するかを定量的に把握することが重要なポイントです。

インピーダンス、 Q ファクタ、結合係数 k 、負荷反射係数、伝送効率などの相互関係を理論的に調べてい

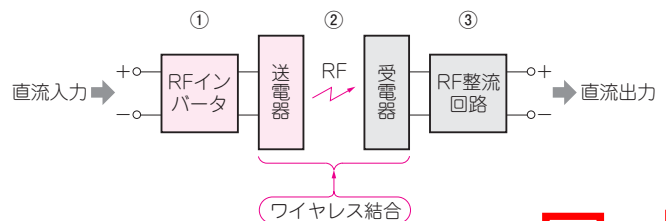


図1 ワイヤレス電力伝送システムの基本的しくみ

第3章



電気と磁気を統合した回路モデルで 電力伝送特性を理論的につかむ！ 回路方程式と伝達関数で理解する ワイヤレス給電

大羽 規夫
Norio Ooba

近年、ワイヤレス給電や非接触充電などと呼ばれる機器の研究開発が盛んになるとともに、その原理や回路特性について、さまざまな解説がなされるようになってきました。しかし、電気系と磁気系を一体として、その原理や現象を説明している資料は多くないようです。

そこで本章では、まず電気系と磁気系を統合した回路モデルとその回路方程式を示し、多くのワイヤレス給電の解説に用いられるT型等価回路が、どのような電磁気系の回路モデルと等価であるかを回路方程式に基づいて示すことで、電気系と磁気系を一体の系として理解する考えかたを明確にします。

また、数式を用いたワイヤレス給電の一般的な解説は、自己インダクタンス L のインピーダンスが $j\omega L$ と表されるような複素インピーダンスを使った回路方程式に基づいてなされる場合が多いですが、この複素インピーダンスで表現された回路方程式や合成インピーダンスは、電圧や電流が $\sin(\omega t)$ 、または $e^{j\omega t}$ のような正弦波かつ定常状態という条件で成立します。

これに対して、本章で解説する回路方程式は、定常状態だけでなく過渡現象(過渡応答)も扱うことができるように、電圧・電流・磁束・起磁力を任意の時間関数(t 領域関数)としています。そして、この t 領域での回路方程式をラプラス変換し、 s 領域における回路方程式の解である伝達関数に基づいて、ワイヤレス給電の特性を示していきます。

このような回路方程式を s 領域の伝達関数として解く解析アプローチと、回路特性を $j\omega$ で表される複素インピーダンスで把握する場合との比較を表1に示し

ておきます。

なお、ボード線図やベクトル図は、伝達関数の s を $j\omega$ に置き換えることで算出される定常状態の特性であり、最初から $j\omega$ で表現された方程式を解いても同じ結果となります。したがって、解析したい回路特性が定常状態の周波数特性であれば、 $j\omega$ を使った複素インピーダンスと交流理論でも解析できますが、ここでは、さまざまな解析に応用できる伝達関数に基づいてワイヤレス給電の原理や設計に必要な理論を解説していきます。

伝達関数のおさらい

これから伝達関数を使ってワイヤレス給電の解説をしていきますが、そのまえにまず伝達関数のおさらいをしておきましょう。

伝達関数と聞くと制御理論の難解な話だと思う人もいますが、ここで扱う伝達関数は回路方程式の解という位置づけです。簡単な例として図1のようなRC直列回路から1次遅れ系の伝達関数を導出してみ

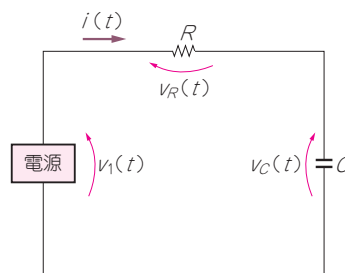


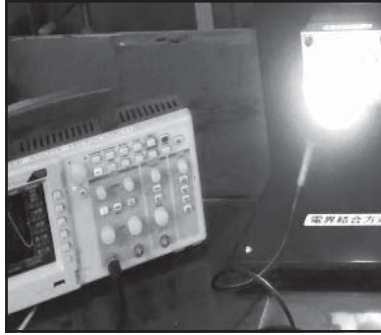
図1 RC直列回路

表1 解析アプローチの比較

解析アプローチ	回路方程式を s 領域の伝達関数として解く	回路特性を $j\omega$ で表される複素インピーダンスで把握
電圧・電流 磁束・起磁力	任意の時間波形として扱う (t 領域または s 領域の任意関数)	角周波数が ω の正弦波として扱う
特性解析範囲	過渡応答(過渡現象)から定常状態まで解析可能	定常状態における周波数特性のみ解析可能
難易度	伝達関数や s 領域の扱いに慣れている人が少ないため難解なイメージがあるが、慣れると簡単	基礎的な電気工学と交流理論で理解でき、わかりやすい

見本

第4章



汎用オシロスコープで自己/ 相互インダクタンス、伝送効率を測定 インダクタンス測定と ワイヤレス給電の評価方法

宮崎 強
Tsuyoshi Miyazaki

特集 キットで体験！CとLと非接触パワー伝送の実験

ここでは、電磁誘導型あるいは磁気共鳴型ワイヤレス給電やスイッチング電源で使用されるコイルの自己インダクタンス、相互インダクタンスの測定、およびワイヤレス給電の伝送効率の測定について以下の順で紹介します。

- (1) 12.1 μH のコイルの自己インダクタンス
- (2) 磁気飽和を含む動作時の自己インダクタンス
- (3) アクリル板を挟んで12.1 μH のコイル2個を対向させたときの相互インダクタンス
- (4) ワイヤレス給電の皮相電力、実効電力(有効電力)、伝送効率

自己インダクタンスの測定

● 使用する測定器

写真1は、信号発生器 AFG3000(テクトロニクス)の正弦波出力をコイルに入力したときの測定風景です。接続を図1に示します。過電流を防止するため、直列に51 Ω の抵抗を接続しています。コイルの両端の電圧を THDP0200型差動プローブ(同)でプロービングし、コイルに流れる電流を TCP0030A型電流プローブ(同)でプロービングしています。オシロスコープは MDO4104C型(同)を使用しています。

信号発生器からの信号は連続です。ノイズを低減するために、オシロスコープの波形取り込みモードをア

ベレージに設定しています。

■ 正弦波を入力したときの値

● 電圧の区間積分値を求める

写真1では、Ch1に高電圧差動プローブ、Ch2に電流プローブを接続しています。オシロスコープの拡張演算(Math)で電圧波形の積分を指定し、カーソルで挟んだ領域の区間積分の値をカーソルの値から得ることができます。

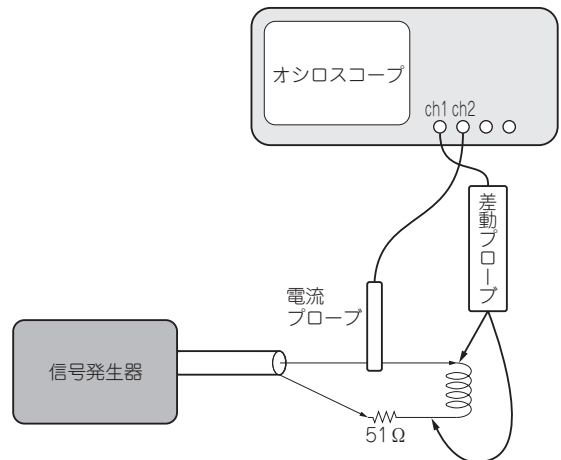


図1 自己インダクタンス測定の接続

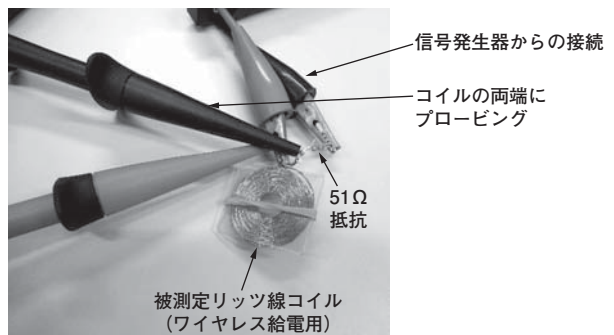
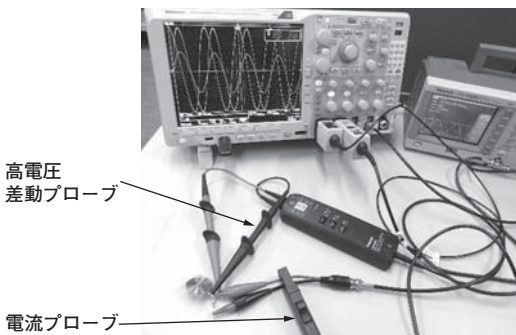


写真1 ワイヤレス給電用のリッツ線で作成されたコイルの測定

見本

第5章



ワイヤレス給電の用途拡大！ 工場から農業まで… 多種多様なフィールドで活用される ワイヤレス給電

高橋 直希
Naoki Takahashi

近年、急速に広がるワイヤレス給電市場。さまざまなワイヤレス給電の技術研究が進み、技術的ポイントが紹介される機会が増えてきており、市場の成長性としても、ここ数年で数倍の規模に急速に広がる技術として話題を集めています。

技術的側面としては、多くの電力を送るためのアプローチや、磁気共鳴などの技術をベースとした長距離電力伝送を行うための技術的議論が進められています。現在ではまだ利用例の少ない電磁波用途なので、普及にあたっては電波法などの使用周波数の策定や、ノイズに関する法的議論が必要なので、官民を交えて盛んに行われています。

一方、マーケットに関しては、新聞やニュース、展示会などで多くの技術PRや夢のような世界の広がりがイメージされ、個人の携帯電話/スマートフォンの充電用途から、空港やカフェで自由に充電ができるシステムなど、より身近な世界へ広がってきており、さらなるワイヤレス給電の市場活性化を後押ししています。

なぜ、ワイヤレス給電が 求められるのか？

これらの技術的側面およびマーケット・アプローチの根本である「なぜ、ワイヤレス給電なのか？」という視点を、30年以上もワイヤレス給電に関する製品を市場に展開している当社の視点、見解を交えながら説明するとともに、携帯電話や電気自動車などよく耳にする用途以外で広がりを見せるワイヤレス給電の事例について紹介していきます。

● ワイヤレス給電の三つのメリット

ワイヤレス給電とは「非接触(ワイヤレス)で電気を送ること」です。従来のコンセントやコネクタのような金属接点を用いて接続をしなくても、電力を送ることができる技術です。

金属接点を用いずに電気が送れることの利点は何でしょうか。

ワイヤレス給電でよく言われるメリットは大きく三

つあります。

- (1) 劣化・破損しない
- (2) 安全
- (3) 自由

以下に、少し詳しく説明します。

▶劣化しない、破損しない

接点が存在するという事は、摩擦や破損が発生するという事です。

身近な例では、携帯電話のコネクタを何度も抜き差ししてケーブルの断線が起こったり、接触不良で修理やケーブル交換をしたことはありませんか。これらは、コネクタ部分の劣化や故障により起きています。ワイヤレス給電というのは直接の接点がないので、断線や故障などが起きえません。

▶安全

金属接点がないということは、感電やショートの実験性がないということです。

しっかりと保護されたワイヤレス給電製品であれば、水がかかる環境でも問題なく空間を伝わり電気を送ることができます。これによって、従来なら感電の危険性が高かった水場や屋外でも気にせず電気的な接続が可能となります。水に強いという利点が、安全というメリットでワイヤレス給電の普及を大きく支えています。

▶自由

最後のメリットは、自由です。

ワイヤレス給電技術にはさまざまな方法があり、至近距離から長距離まで電気を送ることが可能なため、今までのようにコンセントの近くであることや、配線の引き回し、電池の交換などの手間などから解放され、より自由に電気を使える環境を実現します。

* * *

これらの「劣化しない」、「安全」、「自由」であることがベースとなって、幅広いマーケットでの需要につながっているのです。

● ワイヤレス給電の適用範囲

ワイヤレス給電のメリットは先に挙げたように複数

第6章



ケーブルの要らない新しい世界に向けて…

ワイヤレス給電を始めるまえに 押さえておきたい10の基本

横井 行雄
Yukio Yokoi

基本1 ワイヤレス給電と 無線通信の違い

● ワイヤレス給電はエネルギーを相手に送ることが基本

ワイヤレスという言葉は無線を意味しています。無線というと無線通信とか、アマチュア無線とかをすぐに思い浮かべると思います。携帯電話でも、そしてラ

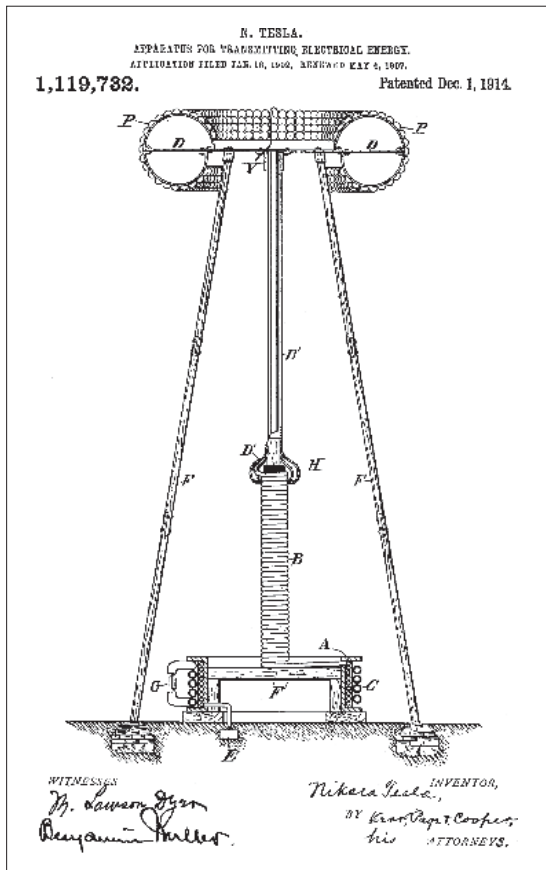


図1(11) テスラの特許 (Apparatus for Transmitting Electrical Energy, アメリカ合衆国特許第1,119,732号, 1914年12月1日)

ジオ放送やテレビ放送でも、何らかの情報を相手に送っています。そこでは、送信側ではいかに正確に情報を伝えられるか、受信側ではいかに的確に送られた情報を復調し、周囲の雑音に埋もれたなかから目的の情報を拾い出すかということに技術の開発が行われてきています。

情報の量と質を高めるために、各種のデジタル方式が実用化され、誤り訂正技術が発達してきています。通信では、モールス通信の時代を除いて、利用する周波数には帯域という概念である幅が必要です。とりわけ周波数拡散技術の登場で、広い帯域を利用して、極めて小さい電力で多くの情報を送る技術が主流になってきています。

一方、ワイヤレス給電では、情報のやりとりが目的ではありません。電力エネルギーを送り、それを受け取るだけです。もちろん、必要なときにだけ電力を送るなど、給電の制御のための最低限の情報のやりとりはありますが、それは電力を送る目的のためのものです。そのために利用する周波数は、基本的にはCW(連続波)です。方式によっては送受電の効率を高めるために、利用周波数ある程度変化させる場合もありますが、エネルギー伝送のための変調は行いません。

このような無線でエネルギー伝送を行う使いかたは、すでに20世紀の初めから考えられていて、電気自動車の発明とか送電線を使った電力の送電、マルコニーの無線通信実験と同じころに、アメリカでテスラ(Nikola Tesla, 1856~1943)が無線送電の実験を行っていて、特許(図1)も取っています。

● 宇宙太陽光発電(SPS)もワイヤレス電力伝送が必要
オイルショックのころから盛んに研究され、最近も話題になっているマイクロ波を使った電力伝送は究極の太陽光利用の発電です。宇宙空間に巨大なソーラーパネルを展開して太陽光を使った発電所を建設し、そこで得た電力を地球上に送る手段としてマイクロ波を利用する方式が始まりです。

これは、1968年にアメリカで提唱され、日本でもJAXA(宇宙研究開発機構)が精力的に研究を進めてい

見本