

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.
17

特集

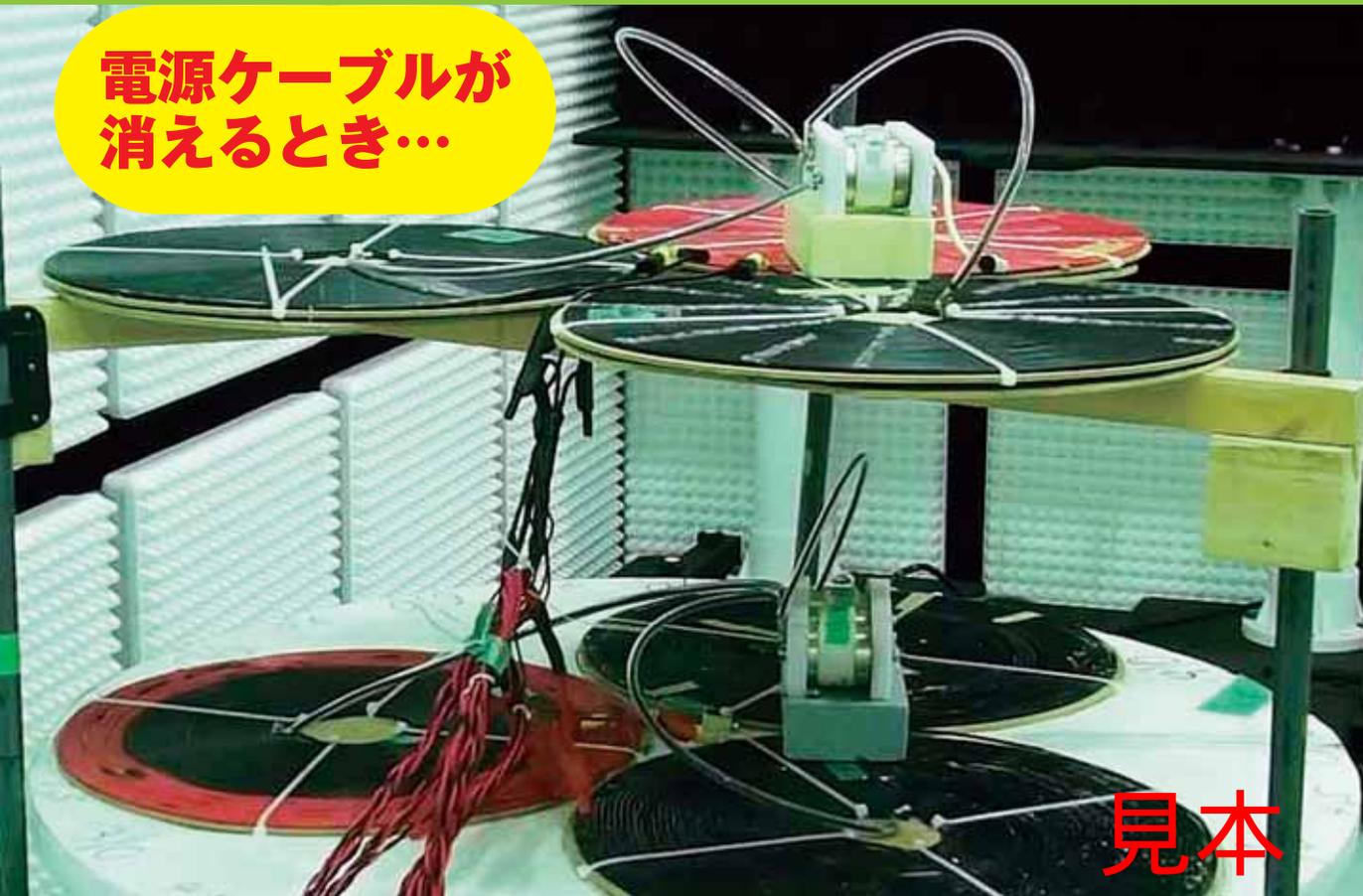
1m先を狙え!

安全! 確実! 高効率! 製品化の
ためのルール作りも着々と

共鳴式ワイヤレス電力伝送の実験

● ワイヤレス給電の標準化動向 ● ワイヤレス給電の一般的な構成と設計のポイント

電源ケーブルが
消えるとき...



見本



ワイヤレス給電の世界へようこそ...

磁界共鳴と電界共鳴の 等価回路による考察

居村 岳広

Imura Takehiro

ワイヤレス給電って何?...四つの方式

最近では有名になったワイヤレス給電技術。でも、「ワイヤレス給電って何?」とか、「言葉は聞いたことあるけど、詳細まではよくわからないなあ」という方もまだまだいらっしゃるでしょう。そこで、本特集では、一からワイヤレス給電の世界を紹介します。

細かく分けるといろいろ種類はあるのですが、主にワイヤレス電力伝送は下記の四つに分類できます*。

*:ただし、インターネットなどで検索するとき、磁界結合タイプ、電界結合タイプ、電磁波タイプ、レーザ・タイプと検索しても、なかなかうまくヒットしません。ではどうすればいいか? 詳細はコラムを参照ください。

- (1)磁界結合タイプ
- (2)電界結合タイプ
- (3)電磁波タイプ
- (4)レーザ(光)タイプ

(1)と(2)は結合タイプ(図1, 図2), (3)と(4)は放射タイプです(図3)。表1では、共振現象を踏まえて、さらに細かく六つに分けています。レーザ・タイプは太陽光発電と同じ原理であり、少し特殊なので本章では取り扱いません。本章では、(1)~(3)について説明していきます。

結合タイプ

まず、結合タイプの電力伝送に注目します。(1)と(2)に相当するところです。(1)の磁界結合タイプは、

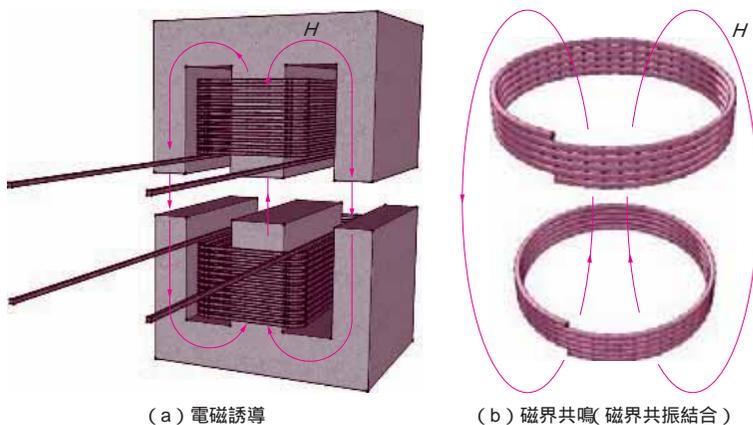


図1 電磁結合タイプ

(a) 電磁誘導

(b) 磁界共鳴(磁界共振結合)

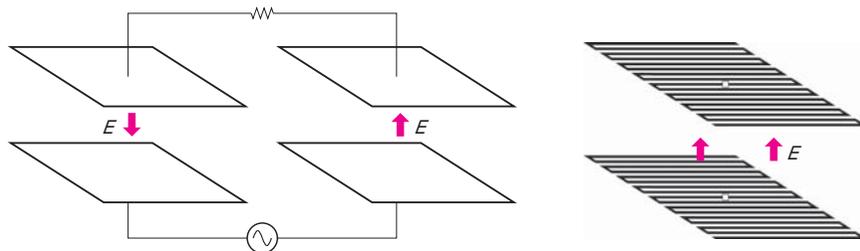


図2 電界結合タイプ

(a) 電界結合

(b) 電界共鳴(電界共振結合)

一般的には電磁誘導のことです。(2)はその電界型です。さらに、電磁誘導のなかでも送電側と受電側の共振周波数を同じにすることで高効率かつ大エア・ギャップを達成させたもの、つまり共振現象を上手に利用したものが磁界共鳴(磁界共振結合)と呼ばれています。同様に、電界結合タイプは一般的には電界結合のことですが、共振現象を上手に利用したものが電界共鳴(電界共振結合)と呼ばれています。しかしながら、ただ単に電磁誘導や電界結合と言ったときにおいても力率改善などで共振現象を利用していることも多く、その境界線は近年では曖昧になってきています。そこで、もう少し詳細な分類を後ほど述べます。

いずれにせよ、結合タイプは磁界(磁気)、もしくは電界(電気)で送電側と受電側が結合することで電力伝送することが可能です。一般的には、共振器(レゾネータ・カプラ)や一部でアンテナと呼ばれておりますが、磁界で結合するときは、コイルと言われることが多いです。

なぜ、これほど共振にこだわるのかといいますが、共振現象を上手に使うことにより、高効率だけでなく、大電力かつ大きなエア・ギャップが達成できることが2007年にMITから世界的に発表され、それもある現在のワイヤレス給電ブームに繋がっているからです⁽¹⁾⁻⁽³⁾。それが磁界共鳴です。

当初発表されたデータによると、半径30cmのコイ

ルでエア・ギャップ1mのときに効率約90%、2mのときに45~50%とされています。この効率はコイル間の効率であり、使用した周波数は約10MHzでした。このニュースは、ワイヤレス電力伝送の業界には衝撃的なニュースでした。というのは、従来の電磁誘導タイプにおいては、半径30cmのコイルを使ったとしても、電力伝送距離は直径の1/10くらいでしたので、6cm程度がいいところだったからです。

さらには、近年のモバイル機器の増加、電気自動車への適応など、社会的なニーズと時期的に一致したことも幸いして、とても注目される分野となりました。

それでは、なぜ共振現象をうまく利用した磁界共振結合(もしくは電界共振結合)が大きなエア・ギャップもしくは位置ずれが生じたときでも高効率かつ大電力を達成できるのでしょうか。それは、同じ固有振動数で共鳴を起こす音叉のように、送電側と受電側が共鳴を起こして電力を伝えることができるからです。

送電側のコイルとコンデンサが共振し、同じ共振周波数で受電側のコイルとコンデンサも共振をし、そして二つのコイル間を磁界で結合する。つまり、共振を起こして結合するので共鳴が生じます。これが磁界共振結合です。コイルとコンデンサがポンプのような役割をしています。

つまり、送電側の共振周波数と受電側の共振周波数が一致しないと、リズムが合わず、高効率かつ大電力

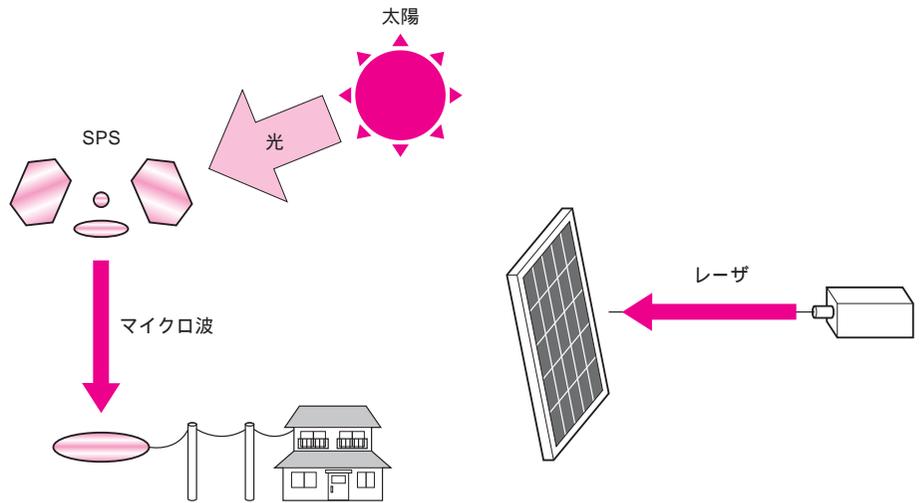


図3 放射タイプ

(a) マイクロ波方式

(b) レーザ方式

表1 ワイヤレス電力伝送の方式の分類

結合タイプ	放射タイプ
(1) 電磁結合タイプ (a) 電磁誘導(広義の磁界結合タイプ) (b) 磁界共鳴(共振を積極利用)	(3) 電磁波タイプ マイクロ波電力伝送
(2) 電界結合タイプ (a) 電界結合(広義の電界結合タイプ) (b) 電界共鳴(共振を積極利用)	(4) レーザ・タイプ レーザー電力伝送

第2章



数十センチの伝送距離で
高効率な電力伝送が可能

磁界共振結合による ワイヤレス給電の実験

加藤 昌樹
Kato Masaki

磁界共振結合によるワイヤレス給電は、数十センチの伝送距離で高効率な電力伝送が可能とされています。本稿では、実際に電源、送電器、受電器、整流器を製作し、ワイヤレス給電実験を行って、このことを確認します。

まず、磁界共振結合を用いたワイヤレス給電システムを図1に示します。高周波電源により交流電圧を生成し、送電器/受電器を通してワイヤレス給電を行い、整流器を介して負荷に電力を送ります。本章では、このうち高周波電源、送電器、整流器について製作を行います。その後、実際にワイヤレス給電を行い、伝送特性を測定します

送受電器の製作と入出力特性について

送電器/受電器の等価回路

磁界共振結合は、送電器で発生させた磁界を受電器

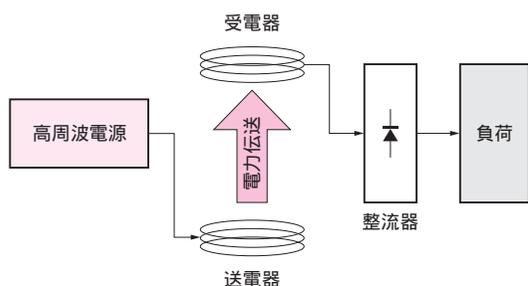


図1 磁界共振結合を用いたワイヤレス給電システムの構成

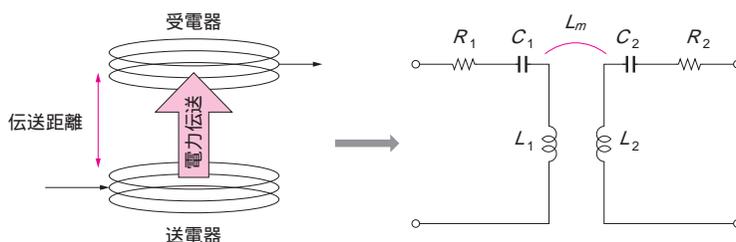


図2 磁界共振結合の等価回路

で受け取ることによって電力伝送を行います。送信アンテナ、受信アンテナと呼んでいる文献もありますが、電波による電力伝送ではないため無線用アンテナとの混同を避けるべく、ここでは送電器、受電器と呼ぶことにします。図2に磁界共振結合の構成と等価回路を示します。

送電器/受電器は、コイルとコンデンサによって直列共振回路を構成しています。 L_1, L_2 は送受電器それぞれのコイル部分のインダクタンス、 C_1, C_2 はそれぞれのコイルに直列に接続されているコンデンサのキャパシタンス、 R_1, R_2 はそれぞれの抵抗値であり、コイルとコンデンサ合計の損失を表します。 L_m は送受電器間の相互インダクタンスであり、伝送距離と深い関係がある値です。

送電側の共振周波数と受電側の共振周波数は一致させる必要があります。つまり式(1)を満たす必要があります。

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}} \dots \dots \dots (1)$$

コイルの製作

まず、送受電器のコイル部分の製作を行います。ワイヤレス給電の性能のほとんどはコイルの特性によって決まるため、高効率伝送のためにはコイルの損失は限りなく低くする必要がありますが、今回は簡易実験ということで容易に入手可能な低価格の材料を用いて製作します。

コイルの形状として、ソレノイド型と平面上に巻く

フラットスパイラル型がありますが(図3),今回は薄型で製作の容易さの点からフラット・スパイラル型のコイルを製作します。線材は入手が容易なビニル絶縁電線(KIV,断面積2mm²)で製作しました。

コイル製作の様子を写真1に示します。木板(MDF材,4mm厚)上に手持ちのガムテープの軸(直径約110mm)を巻き軸として巻いていきます。100円ショップで購入できるターン・テーブル上で作業を行うと容易です。巻いた後はホット・ボンドと束線バンドを使用して線材を固定しています。直径約45cmとなるように巻きました。

完成したコイルを写真2に示します。巻き数などの詳細を表1に示します。このコイルは送電器,受電器両方に使用するため2個製作する必要があります。

次に,製作したコイルについてLCRメータを使用してインダクタンス値と交流における抵抗値(交流抵抗)を測定します。製作した二つのコイルをそれぞれコイル1,コイル2として測定した結果を表2に示します。今回は直流抵抗についても測定しました。直流抵抗は0.39であるのに対し,交流抵抗は100kHzの測定で1.2~1.4付近と比較的大きな値になっていま



(a) ソレノイド・コイル (b) フラット・スパイラル・コイル

図3 コイル形状について



写真1 コイルを巻く様子

す。これは表皮効果や近接効果によるものです。

次に,伝送距離と相互インダクタンス L_m の関係を測定します。LCRメータを使用して相互インダクタンスを測定することもできます。測定の原理は「コラム1」のとおりです。測定の結果を表3に示します。表3では測定の結果から結合係数 k も求めています。これを見ると,結合係数 k は伝送距離20cmでも0.125という小さな値を示しています。

共振用コンデンサの選定

図1にあるように,磁界共振結合はコイルとコンデンサで構成されています。コイルの線間容量でLC直列共振を作り出すことも可能ですが,ここでは部品としてのコンデンサを用いることを考えます。

共振用コンデンサを選定するにあたり,コンデンサ

表1 コイル寸法の詳細

項目	値
外直径 [mm]	450
内直径 [mm]	115
巻き数 [turn]	50
巻き線ピッチ [mm]	3.4

表2 コイルの測定結果(単体)

	インダクタンス値 [μH]	直流抵抗 [Ω]	交流抵抗 [Ω] (100 kHz)	Q (100 kHz)
コイル1	650	0.39	1.35	302
コイル2	651	0.39	1.23	333

表3 相互インダクタンスと伝送距離の関係

伝送距離 [cm]	相互インダクタンス L_m [μH]	結合係数 k
20	81	0.125
30	39.8	0.061
40	21.5	0.033
50	12.5	0.019

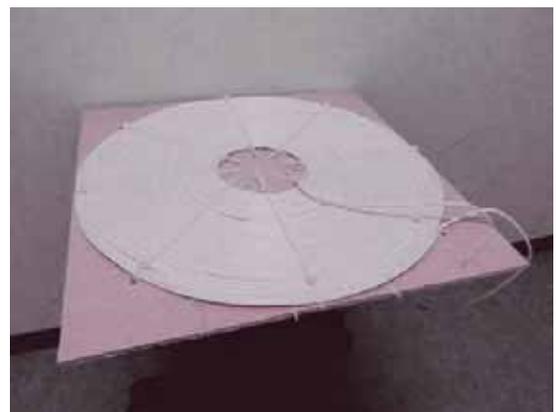


写真2 完成したコイル



軽量化が可能で発熱も少ない

電界結合による回転系/ スライド系への非接触電力供給

原川 健一
Kawahara Kennichi

最近、非接触電力供給技術の研究開発が盛んに行われていますが、磁界方式が主流であって、電界方式は傍流です。しかし、研究を進めてみると電界方式には優れた点が多くあり、捨て難いことがわかりました。

磁界方式は、磁場を作るためにコイルをしますが、高周波になるほど近接効果の影響でコイルが発熱してしまいます。これを避けるためリッツ線にしますが、展性、低抵抗性の点から銅に依存してしまうのが現状です。

これに対して、電界方式でも銅コイルをしますが、回路内部で用いるだけであって、その使用量は少ないのです。磁界方式のように、場を作るために大きなコイルを使うことはなく、電界方式ではアルミニウムなどの金属板を使うことで済みます。

銅線は、室内配線の電線として使用されているため、人口の多い国が豊かになって電化が進むと、大きく需要が伸びて価格に影響します。中国が経済発展したおかげで、銅価格が約2倍になりました。今後は、インドネシア、インド、アフリカ諸国が豊かになり、今まで電気を使用していなかった人々が電気を使用するようになると、さらに銅が不足して価格が上がる可能性があります。銅資源は地球上に多く存在しないのに、昔から当たり前で使用している資源であるとともに、他の金属では置き換えができない優れた特性をもっていることから、将来的に需給がタイトになると予想されており、将来に渡って利用可能な価格で安定供給されることに不安が残ります。磁界を用いた技術が成功して普及すること自体が、価格上昇の要因になる矛盾をもちます⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

ただし、CNT(Carbon NanoTube)銅という銅使用率の少なくても性能の良い導線の登場⁽⁴⁾、太平洋の熱水鉱床における銅採掘⁽⁵⁾という希望もあるため、このような問題は起きないかもしれません。需要の伸びに応じて供給が増やせれば問題はないのです。それでも、少しでも銅の価格が上がり始めると、先物取引の材料となって実需以上に市場価格が上がる市場メカニズムがあるので、油断はできません。

一方、技術体系の点からも磁界方式だけでなく、電

界方式も開発し、選択できるものにして補完的に活用できるようにするべきです。一般的に電界方式のほうが軽くでき、発熱箇所も少なくて済みます。

これらの理由により、電界方式の電力供給技術は、資源的なりスクを回避するため、技術的なアンバランスを解消するためにも開発を進めるべきと考えます。

電磁界放射に対する考えかたとして、極力電磁波を放射させない方式を推奨し、広く使用されることを目指すべきと考えます。非接触電力供給の魅力の一つが、隔離して電力を送電できることです。この点では、磁界方式の磁気共鳴方式は優れています。一方、電界方式でも隔離して電力伝送できることが実証されました。

しかし、隔離して電力伝送できるということは、空間に電磁波を放射しますから、人体への影響、他の機器との干渉が問題となります。本当に隔離して電力送電することに価値があるのか、よく考えて進めるべきです。次に述べる回転系や、スライド系への応用は、必ずしも隔離を必要としないようです。それよりも、耐食性、酸化膜対処、ケーブル捌きからの解放などの他の特性を得るために、非接触電力供給技術が価値をもつのであり、隔離性だけに捕らわれてはいけなないと考えます。隔離しなければ、電磁界放射の問題は対応できると思います。

電界結合非接触電力供給

回路方式

まず最初に、電界結合における回路方式について説明し、電源電圧がどの程度負荷に印加できるかという点について比較して説明したいと思います。

なお、電界結合における重要な回路方式として、アクティブ・キャパシタンス方式がありますが、説明が高度になり、私の力に余りますので、この技術は宇都宮大学の船渡教授の文献⁽⁶⁾を見てください。それ以外の電界結合方式として、コンデンサのみの場合、直列共振方式、並列共振方式と新たに加わったハイブリッド直列共振方式を取り上げて説明していきます。

コンデンサのみを用いた回路

図1に、コンデンサのみを用いた基本回路を示します。送電部にある電源と、受電部にある負荷の間を接合容量で結合しています。各接合容量は、対向する2枚の金属板で構成されており、送電側を送電電極、受電側を受電電極と呼ぶことにします。

このため、送電部は、電源と送電電極から構成され、受電部は、負荷と受電電極で構成されています。

送電部に対して、受電部が移動して接触しますので、接合容量は変化する値をもつと思ってください。近づければ、接合容量は大きくなり、離れたり電極がずれたりすると、接合容量は小さくなります。

$$i = 2 f C_C V_C \dots\dots\dots (1)$$

式(1)は、接合容量に印加される電圧が V_C 、接合容量が C_C 、電源の発振周波数が f のときに、接合容量に流れる電流を示しています。式からわかるように、電圧が高いほど、周波数が高いほど、接合容量が大きいほど流れる電流が大きくなります。負荷に出力される電力は、電源電圧 × 電流で決まります。

直列共振方式

図2に、直列共振を用いた電力伝送回路を示します。この回路は、図1の回路にインダクタンスを直列に挿入しただけの回路です。インダクタンスの位置は、送電部でも受電部でもどこにあってもよく、さらに分割して置いてかまいません。

$$f = \frac{1}{2 \sqrt{LC_C/2}} \dots\dots\dots (2)$$

この回路は、式(2)に示すように、 L と C_C と周波数 f で決まる共振周波数のときには、インダクタンス L に加わる電圧と接合容量に加わる電圧が逆方向で等しくなり、等価的に接合容量とインダクタンスが存在しないかのようにふるまいます。電源と負荷が直結されるのです。

ただし、その条件を外れると伝送効率は悪くなります。前にも述べたように、接合容量は変化する値ですので、接合容量が管理できているときには有効な回路ですが、そうでないときには使い難い回路です。

並列共振方式

図3に示すのが、並列共振回路です。この回路は、

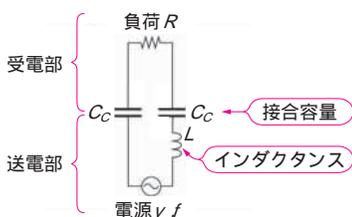


図2 直列共振電力伝送回路

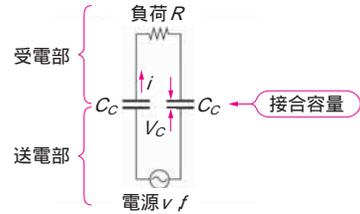


図1 電界結合の基本回路

図1や図2の回路に比べるとやや複雑です。電源、負荷、接合容量の位置は同じですが、それらの間にトランスが二つ使われていて、送電部ではトランスの2次側、受電部ではトランスの1次側にそれぞれ共振回路があります。さらに、トランスは、接合容量が接続されている側が n 倍の巻き数比になっています。

必ずしも送電側の共振回路は必要ではありませんが、後で述べるようにあると都合がよいことがあります。また、トランスを挟んで共振回路と反対側に副共振回路を入れることもあり、変形回路がいろいろとあります。

しかし、この並列共振回路はとても優れた回路です。本回路の利点を下記にまとめてみました。

- (1) 接合容量を介した電力伝送量を大きくするためには、式(1)に示したように、電極間電圧を高めることが良いわけです。電圧を高めるために、共振回路1と共振回路2に付属するトランスで、昇圧および降圧することができます。共振回路の動作電圧を高くすることは、電流が減りますので、共振回路での損失低減になり、伝送効率の向上にもつながります。
- (2) トランスを用いているため、送電電極および受電電極に電圧がかかっても、送電側および受電側の装置とは絶縁できるため、安全性を確保しやすい利点があります。
- (3) 受電側の共振回路はトランスの巻き数比 n と負荷抵抗 R によって、共振時には n^2R の負荷インピーダンスが得られて高くすることができるため、接合容量の

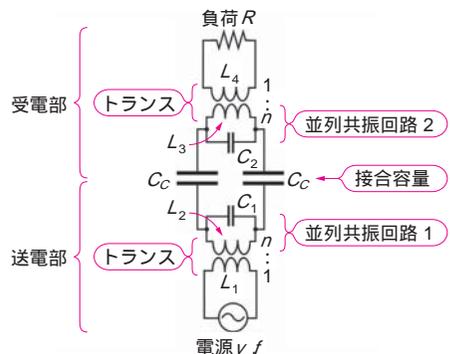


図3 並列共振電力伝送回路



同一電極で電源と信号の同時伝送を実現

電界結合方式ワイヤレス給電装置の製作

佐藤 孝彦
Sato Takahiko

電界結合方式ワイヤレス給電とは、送電用と受電用の電極を用い、容量結合により電力を送電する方法です。基本的な回路を図1に示します。送電用電極1と受電用電極2、および送電用電極3と受電用電極4をそれぞれ絶縁層を介して対面させ、所定の周波数で発振する交流電源 E を電極1と電極3に印加し、電極2と電極4から負荷 R に電源を供給します。

基本回路だけ見ると非常にシンプルですが、実用レベルの電力、少なくとも1W以上をワイヤレス給電するためには接合容量を大きくする、つまり電極面積を大きくする必要があります。装置の大型化につながります。

1W程度の電力を消費するものとなると、センサなどへの給電になりますが、一般的に使用されているセンサのサイズ、例えばFA用の近接センサなどを考えると、できるだけワイヤレス給電部分の小型化を考えなくてはなりません。

そこで、コイルを回路に追加してLC共振させることで、接合容量が小さくても回路のインピーダンスが小さくなり、装置としても小型になるという考えが一般的です。

また、同じワイヤレス給電の方式としては、磁界方式があります。こちらは、送電用と受電用のコイルを用い、電磁誘導により電力を送電する方法です。

ワイヤレス給電として広く実用化されているのは磁界方式になります。すでに、電気カミソリや電動歯ブラシ、携帯電話などの民生用途や、自動車生産ライン上で使われるセンサ類や工作機械内部の可動箇所への給電、AGVと呼ばれる無人搬送台車への充電などのFA用途で広く使用されています。

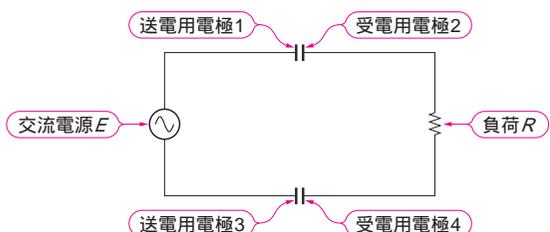


図1 電界結合方式ワイヤレス給電の基本回路

電界結合方式は村田製作所が実用化していますが、市場への浸透性としては磁界方式にその座を譲っており、今後の発展が期待される方式です。

電界結合方式の特長としては、伝送媒体である電極の設計において非常に自由度が高い点が挙げられます。

磁界方式の場合、伝送媒体としてのコイルと、そのインダクタンスを上げるためにフェライトなどの磁性体が必要になり、コイルに使用するリッツ線やフェライト・コアに関しては市場品のなかから選んで設計するか、該当するものがなければ新たなものを作る必要があります。比較的成本がかかります。

対して、電界結合方式に関しては、電極がアルミ板や鉄板で作れるうえ、必要な容量が満足できれば形状に関しても自由なため、比較的安価にさまざまな形状に対応したシステムが作れます。

今回の試作では、電界結合方式を用いた実用レベルのワイヤレス給電装置の製作を行いたいと思います。今回の試作にあたっては以下の3点を狙いとしました。

- (1) 電極間の距離が変化しても安定的に電力を供給できる
- (2) システムの小型化/軽量化がしやすい
- (3) 電源だけでなく信号通信もできる

これらを実現するにあたり、採用したのは新方式電界結合であるハイブリッド直列共振方式です。

新方式電界結合について

一般的な電界結合方式の回路方式としては、

- (1) 直列共振方式
 - (2) 並列共振方式
- があります。

従来の電界結合方式である直列共振回路および並列共振回路、そして今回試作するハイブリッド直列共振回路の等価回路を図2に示します。

等価回路としては、コイルが負荷と並行に接続された直列共振方式になります。ポイントは、容量性リアクタンスよりも誘導性リアクタンスが優位になるように、回路全体のインピーダンスを調整できるようにし

ている点です．この部分の詳細については後述の回路解説で述べたいと思います．

従来の方式とハイブリッド直列共振方式の特性比較
 図3に示しているのは，電極間距離によって電極間容量がどの程度変わるかを測定したグラフです．実際のワイヤレス給電製品として電界結合方式を使用する場合，電極がむき出しになっていることは現実的ではないと考えます．電極間にはケースの厚みぶんの樹脂や空間が存在するので，実際にはある程度のギャップが存在します．図3を見る限り，現実的に使えるような

電極間距離を考慮すると，電極間容量は10～100 pFと考えます．

図4は回路方式によって，電極間容量の変化に対する出力電圧の安定度がどのように変わるかについてのシミュレーション結果です．10～100 pF付近において，今回のハイブリッド直列共振方式が最も特性が良くなることがわかります．

- 以上より，この回路の特長は，
- (1) 電極間容量が小さい場合にも，比較的安定した電力供給ができる
 - (2) 電極間距離が変化しても，比較的安定した電力供給

誘導性リアクタンスが優位になるようにバリコンで容量を調整

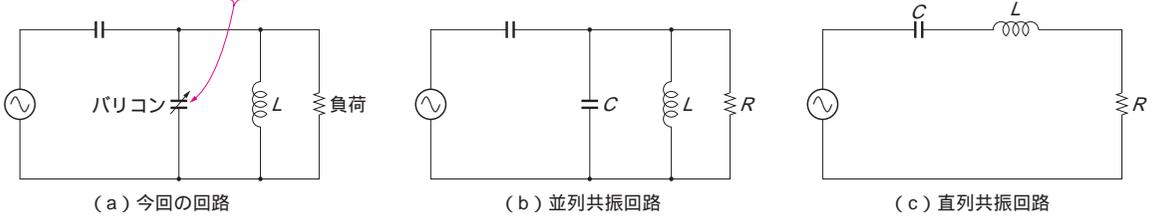


図2 各方式の等価回路

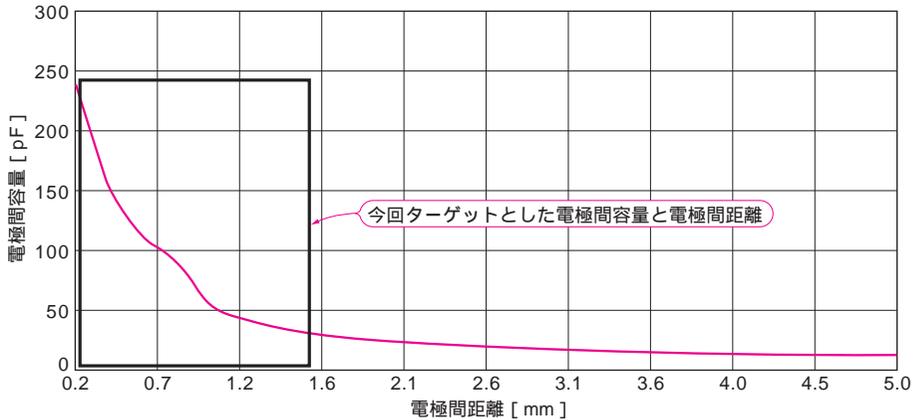


図3 電極間距離と容量の関係(測定周波数：2 MHz)

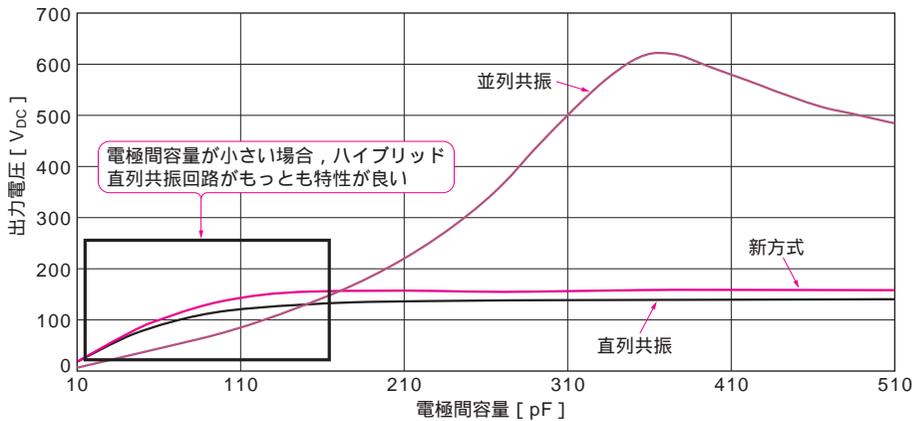


図4 電極間容量に対する出力電圧の変化(シミュレーション)



新型リピータ方式で遠くに低ロスで 送電できる非接触給電

結合共振器型ワイヤレス 給電方式の実際

栗井 郁雄

Ikuo Awai

非接触の電力伝送と一口にいっても、その実現方法はいくつか考えられます。

数十cm～数mの中距離給電には、共振器を使うタイプがよく知られています。MITが発表して有名になった共振器を使うタイプの場合、主に磁界を考えたタイプが多いのですが、発生させるのは電磁界なので、電界、あるいは電界と磁界の両方を使うタイプも考えられます。

ここでは、共振器を構成して、磁界、電界の双方に注意を払う電力伝送方式について解説します。

中距離や水中に向いているのは 「磁気共鳴」方式

中距離給電や水中への給電に向いているのは、なんとといっても「磁気共鳴」方式です。わざわざかっこを付けているのは、この名前が広く知られているにもかかわらず、実はまったく「名は体を表していない」からです。

この方式では、実際上磁気だけではなく電気も同じように重要な役割を果たすので、このように名付けてしまうと一方的すぎるのが一つ問題です。

また、共鳴という言葉は磁気とあわせて「磁気共鳴」とすると、まったく別の現象を表現する既存の学術用語となってしまう、学会ではルール違反になるという問題もあります。

そのため、本稿では「結合共振器」方式という名前を使いたいと思います。

この方式の基本構成は、図1のように二つの共振器を相対させて左側の共振器に高周波電流を流して共振

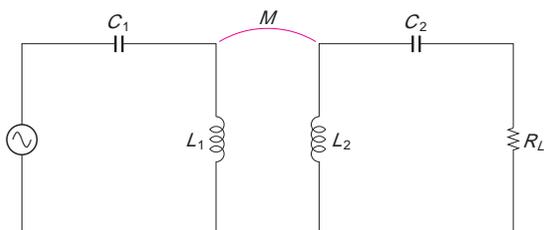


図1 結合共振器方式の基本構成

させ、右側の共振器がそれに共鳴して高周波振動が左から右へ移動することを利用して電力を送るものです。

共振器の仕組みについては後で詳しく説明しますが、二つの共振器が共鳴するときには結合係数(記号 k で表す)という量がエネルギー移動の速さを支配し、無負荷 Q (記号 Q_0 で表す)という量が各共振器に溜まるエネルギーの量を支配するので、それらが大きければ大きいほど伝送電力も効率も高くなります。

一方、高周波電源としては普通は高効率のD級、E級インバータが用いられます。これらは高速で動作可能なシリコン・トランジスタにスイッチの役割を与え、直流電流を切り換えることによって高周波電流を作ります。この電流を第1共振器に加えると上記のように共振して、電力を第2共振器に伝えます。

共振器の良さを表す無負荷 Q 値は、高い周波数で大きくなって回路損失が減少すること、電源回路に用いるFETは低周波のほうが損失が減少することは互いに矛盾するので、電源のスイッチング周波数は中を取って1MHz前後に選ばれることが多いようです。

しかし、最近シリコン・トランジスタよりさらに高周波で動作し大電力の扱えるSiCやGaNを用いたトランジスタが出現したために、システムは高周波化する傾向にあります。

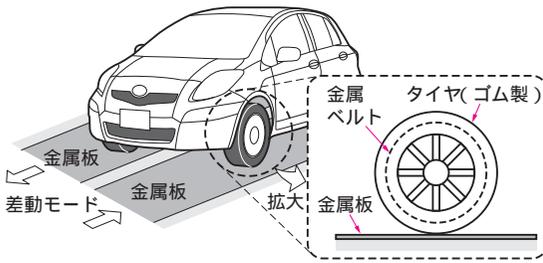
そのほかにどのような 給電方式があるか

上に説明したような電力伝送方式は、いわゆる非放射界を用いるものですが、それと対称的に放射界を用いる方式があります。両者をまとめて分類すると表1のようになります。各方式のイメージを図2に示します。この分類は世間一般に用いられているものとは少し異なりますが、電磁波回路を専門としている私にとっては、このほうがカテゴリにより系統的に整理されたものである、という自負があります。

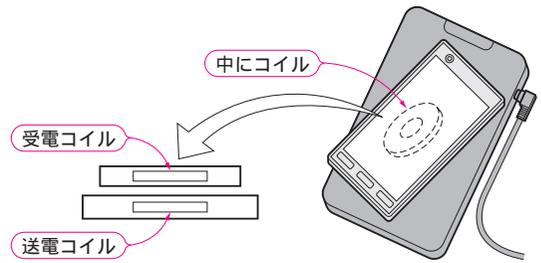
まず放射界とは、通常はアンテナや線路で伝送されることが多い電磁界を指し、電磁波とも呼ばれます。つまり、海の波や音波のように波動として各種媒質中を伝搬します(電磁波は媒質だけでなく真空中も伝搬

表1 いろいろな非接触給電方式

非放射界給電	電界 / 磁界結合	容量結合型, 静電誘導型	
		インダクタンス結合型, 電磁誘導型	
	定在波 / 進行波結合	結合共振器方式	電界結合型, 電界共鳴型 磁界結合型, 磁界共鳴型
		結合線路方式	電磁界結合型, 共鳴型 線路 / 線路結合型 線路 / 共振器結合型
放射界送電	マイクロ波, SSPS レーザ		



(a) 静電誘導型



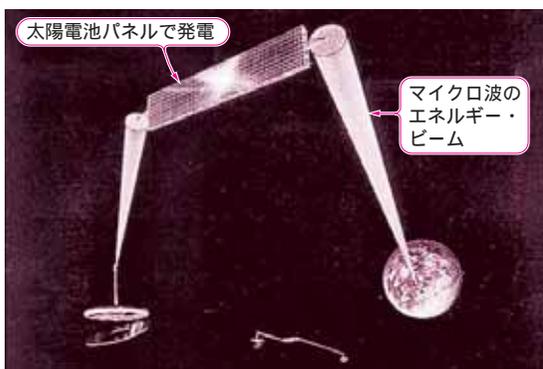
(b) 電磁誘導型



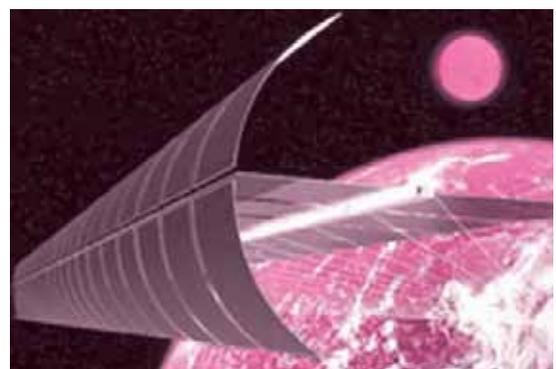
(c) 結合共振器方式



(d) 結合線路方式



(e) SSPS



(f) レーザ送電

図2 いろいろな非接触給電のイメージ

する)。ほかのあらゆる波動がエネルギーを運ぶのと同様に、電磁波も光と同じく真空中では光速で伝搬し、エネルギーを運びます。その性質を利用して無線給電

しようというわけです。

アンテナによって、電磁波を拡散しないように束ねて一方向に向けて効率の良い伝送を行えば、地球から

トランジスタ技術 SPECIAL

好評発売中

No.128

USB3.1, PCI Express, LVDS...10 Gbps 超までバッチリ受け渡し

Gビット時代の高速データ伝送技術

[シミュレーションCD付き]



B5判 144ページ CD-ROM枚付き 特別号定価：本体2,500円+税 JAN4910167111043

PCまわりで広く使われるUSBが最高5 Gbpsを超え、10 Gbpsの規格も出てきました。実際に銅線に沿って10 Gbpsという超高速信号が通っているわけです。一般の回路設計者もギガビット・クラスの回路を扱う場面も出てきています。そのために伝送回路(あるいは分布定数回路)さらにそれらがデジタルの差動線路になっている場合を取り扱える必要があります。本書ではギガビット回路の基本と応用さらに計測方法について説明しています。また付属CD-ROMにはLTspiceとLTspiceの活用回路を収録し、シミュレーションを通して伝送回路のふるまいが理解できるようにしました。またLC結合でない差動線路部品をその作成法とともに収録し、クロストークなどのシミュレーションもできるようになっています。マトリクス演算ソフトFreeMatと活用ソフトも収録しています。

※本書は、トランジスタ技術2008年1月号～2009年2月号に連載された、「デジタル信号の性質と高速伝送技術」全12回に基づき、大幅な加筆・修正を行い、再編集したものです。

Introduction カラーで見るギガビット伝送波形の評価技術

第1部 ギガビット伝送の基本をマスターしよう

- 第1章 電気信号は電子の流れでなく電磁波で伝わる
- 第2章 特性インピーダンスについて徹底的に理解しよう
- 第3章 デジタル伝送回路の反射とメカニズム
- 第4章 線路間の信号干渉・クロストークを理解しよう
- Appendix 1 高速信号を正しく観測するプロービング
- 第5章 ギガビット伝送では差動伝送が主流

第2部 ギガビット伝送を実現する様々な技術

- 第6章 安定したギガビット伝送を実現するシリアル差動伝送技術
- 第7章 ギガビットでも使われるシングルエンド伝送

第8章 ギガビット回路のパターン設計

第9章 ギガビット回路のパワー・インテグリティ

第3部 ギガビット伝送を計測・シミュレーションする

- 第10章 ギガビット信号波形を観測するにはテクニックがある
- 第11章 データ伝送のジッタ測定と対策
- 第12章 線路の特性インピーダンスと周波数特性を測定する
- 第13章 シミュレーションで高速デジタル回路を体験しよう
- Appendix 2 モード分解=結合線路の結合を分離し単線の計算に置き換える=
- Appendix 3 結合線路のキャパシタンス行列とインダクタンス行列の計算
- 第14章 ギガビット ADC 基板の実際を見てみよう

トランジスタ技術 SPECIAL バック・ナンバ

好評発売中

No.127 商品利用もできる無制限ツールでメーカー顔負けのモノ作りに挑戦
一人で始めるプリント基板作り[完全フリーKiCad付き]
B5判 248ページ CD-ROM付き 本体2,700円+税 JAN49101671110749

No.126 バッチリ動いて高性能! ちょうどいい部品と値の求め方がわかる
アナログ・センスによる電子回路チューニング術
B5判 144ページ 本体2,200円+税 JAN9784789849265

No.125 キロ・ワット超を制御する電力変換技術の実際
パワーエレクトロニクス技術教科書
B5判 160ページ 本体2,200円+税 JAN9784789849258

No.124 色判定から暗視/防犯まで デジタル処理自由自在
カメラ・モジュールの動かし方と応用製作
B5判 144ページ 本体2,200円+税 JAN9784789849241

No.123 パソコンで性能をチューンして試作で確かめる
実験&シミュレーション! 電子回路の作り方入門
B5判 144ページ CD-ROM付き 本体2,400円+税 JAN9784789849234

No.122 オームの法則からアンプ/フィルタの作り方まで
やりなおしのための実用アナログ回路設計
B5判 144ページ 本体2,200円+税 JAN9784789849227

No.121 ニッケル水素/リチウム・イオンから電気二重層キャパシタまで
充電用電池の基礎と電源回路設計
B5判 144ページ 本体2,200円+税 JAN9784789849210

No.120 手軽に始められる評価キットや無償開発ツールが続々と
はじめてのARM32ビット・マイコン
B5判 144ページ 本体2,200円+税 JAN4910167111029

No.119 モータ/LED/スピーカー...どんな負荷もソフトウェアで思いのままに
はじめてのデジタル・パワー制御
B5判 144ページ 本体2,200円+税 JAN9784789849197

No.118 システムの性能を最大限に引き出すアナログ技術の粋
高精度リニアICの活用法
B5判 144ページ 本体2,200円+税 JAN4910167110428

CQ出版社

<http://shop.cqpub.co.jp>

見本

雑誌 16712-12

© 2015.3.29



4910167121240

02400