



セレクト・シリーズ

[品番 000062]

実用に近い薄型で小型のワイヤレス電力給電の製品を工作できる実験キット

[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

取扱説明書

CQ出版社

[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・マニュアル

1. キットの概要

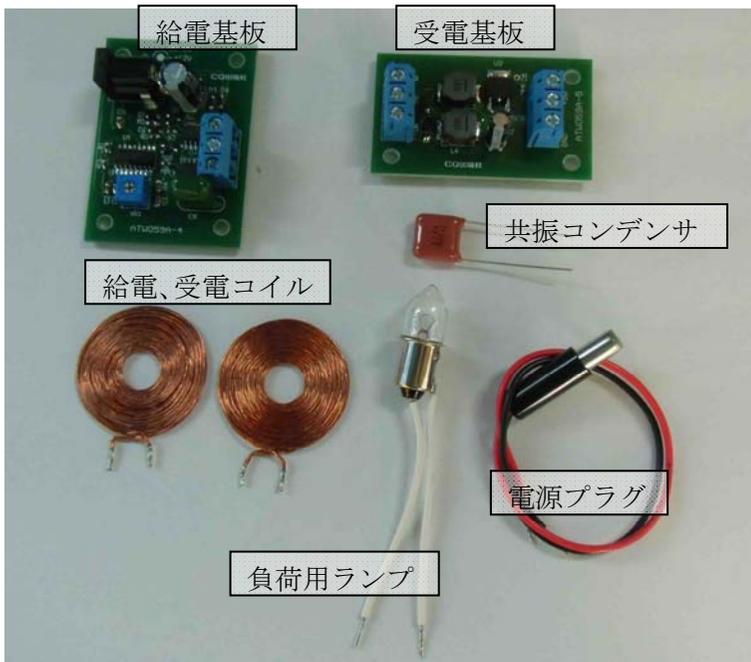
本キットのワイヤレス電力給電とは、配線を使わずに非接触にて約 5W の出力を負荷へ供給する電源システムの実験ユニットです。電動ハブラシやコードレス電話、最近ではスマートホンや携帯音楽プレイヤーなどへの応用が実用化され、利便性の高さで話題になっています。このキットでは、市販の薄型コイルを使用した電磁誘導方式と、それに受電コイルに、直列または、並列にコンデンサを接続し、共振させた場合の電磁誘導共振方式の伝送効率と伝送距離の変化等のワイヤレス給電の基礎技術を実験し学習することができます。

部品構成は薄型コイル、プリント基板部品は SMD 部品を採用していて、工夫により実用に近い薄型で小型のワイヤレス電力給電の製品を工作することが可能です。

● キットの梱包内容

最初に同梱されている部品を確認してください。

写真 1（下写真）を参照してください。



【同梱部品】

- 1) 給電（送信）と受電（受信）プリント基板：各 1 枚（電子回路部品は実装済み）
- 2) 給電，受電コイル：AKN3318（12.1 μ H）2 個・・・外付けの接続用コイル
- 3) 共振コンデンサ：630V 0.047 μ F 1 個・・・・・・・・・・・・・・・・外付けの共振実験用
- 4) 負荷用ランプ：7.2V 0.55A（リード付）1 個・・・・・・・・基板動作確認用の擬似負荷用
- 5) 電源プラグ：MP-121M（リード付）1 個・・・・・・・・プリント基板の電源供給用
- 6) マニュアル（本書）：1 部

● 用意するもの

本キットは，指定の DC12V 電源と負荷を接続することでそのまま動作させることができます．下記の機材と部品を用意していただくと，さらに詳しい動作振る舞いを学ぶことができます．

- 1) プラス・ドライバ（3M以下のもの） 1 個・・・・・・・・端子接続用
- 2) 電源（12V 0.6A 程度のアダプタまたは直流電源装置）・・・・・・・・キット動作用
- 3) ニッパ（電線等切断用，同等品でも良い） 1 個（注 1）
- 4) 配線用電線 適量（注 1）
- 5) スペーサ 1mm 数個（注 1）
- 6) 洗濯ばさみ：プラスチック製の物 2 個（注 1）
- 7) 測定器（テスタとオシロスコープ）各 1 台
- 8) 測定器（電圧計，電流計 入力，出力電圧，電流測定用）各 2 個（注 1，注 2）
- 9) 負荷装置（10～100 Ω 以上可変 10W 程度）1 台（注 1，注 2）

注 1：伝送効率とスペースの関係を測定する場合に必要です．

注 2：電源装置および負荷装置側で電圧，電流計があり測定可能な場合は不要です．

● 【注意事項】

本キットはワイヤレス電力給電システムを学習するための部品キットです．安全に使用するために下記の注意事項を組み立て前に必ずお読みください．

○注意事項

1) 扱いと使用場所

- ・ 基板に触れるときは，事前に他の金属などに触れるなどして体の静電気を逃がしてから使用してください．
- ・ 小さな子供やペットに触れることの無いよう注意してください．
- ・ 直射日光や，高温になる暖房器具付近や多湿の場所では使用しないでください．

2) 組み立て配線

- あらかじめ基板の搭載部品は、実装されていてハンダ付けの必要はありません。コイルの電線と負荷を端子ネジに締め付けることで配線が可能です。
- ニップ等で電線や部品などの切断の際は、破片が飛ぶこともあります。可能であれば安全めがねを使用してください。
- 配線はマニュアルに従い、コイルの端子ネジの接続や極性、および外部電源のACアダプタのプラグは正しく接続してください。

3) 使用するときには

- 電源を通电する前には、必ず配線が正しいかマニュアルにて確認してください。
- 基板は回路がむき出しのため、金属板の上に置き動作をさせないでください。必ず木の板や厚いクラフト紙のような絶縁性の良い板の上で行ってください。
- ACアダプタは、CQ出版社 ワイヤレス給電実験キット同梱のもの（推薦アダプタをなるべく使用してください）を使用するか12Vで0.7A程度で過電流保護が動作するものを採用してください。外部から直流電源などにより電源を供給する場合は、12Vの定電圧電源を使用し過電流設定を0.7Aに設定してください。キットを長時間使用しないときは、ACアダプタや外部からの電源は通电しない状態にしてください。
- 基板の裏側は挿入部品のカット部がシャープであり、触れる場合には注意してください。

4) 応用する場合の注意事項

- 本キットは精密電子機器であるため、電気知識の無い方は改造等を行わないでください。改造する場合は安全性、ラジオノイズや電子機器への電波障害などに十分注意して、自己責任の範囲で行ってください。
- 本キットは微弱な電波を発信しています。近くの電子機器の音声や映像にノイズを混入する場合は離して使用してください。
- 本キットは受電基板に、安定化された5Vを出力する端子があります。電源や充電回路など、さまざまな工夫をした回路を造って実験ができます。電流は最大0.5Aです。出力の負荷機器として、MPプレイヤー、携帯電話などを外部に接続して動作させる場合は動作、性能、破損の補償範囲ではありません。十分に電圧や充電電流などを確認して自己責任で使用してください。

2. コイルの概要

コイルの仕様を図 1 に示します。コイルは、WPC（ワイヤレス）機器用に設計されたコイルで、図 1 の仕様の範囲でカスタム設計されています。

今回の実験では、 $12.1 \mu\text{H}$ の AK3318（スミダ電機製）を伝送コイルとして使用します。

AK3318 は、リッツ線を使用し highQ 化されたコイルで高効率なワイヤレス給電が期待できます。詳細仕様は図 2 を参照して下さい。

● 図 1 コイルの仕様

<ワイヤレス給電コイル> *WPC 規格製品に適用

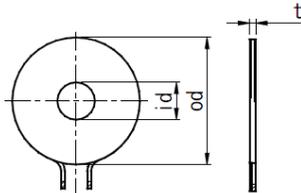
- ◆ **概要**
 - ・ 携帯機器用ワイヤレス給電コイル

- ◆ **特徴**
 - ・ 特殊 α 巻きにより薄型対応可。
 - ・ リッツ線使用により high Q 化。
 - ・ 磁性シートによるシールド構造対応可。

- ◆ **用途**
 - ・ WPC 機器用充電器。
 - ・ デジカメ、ゲーム機等のワイヤレス充電器。

- ◆ **外形寸法図 (mm)**

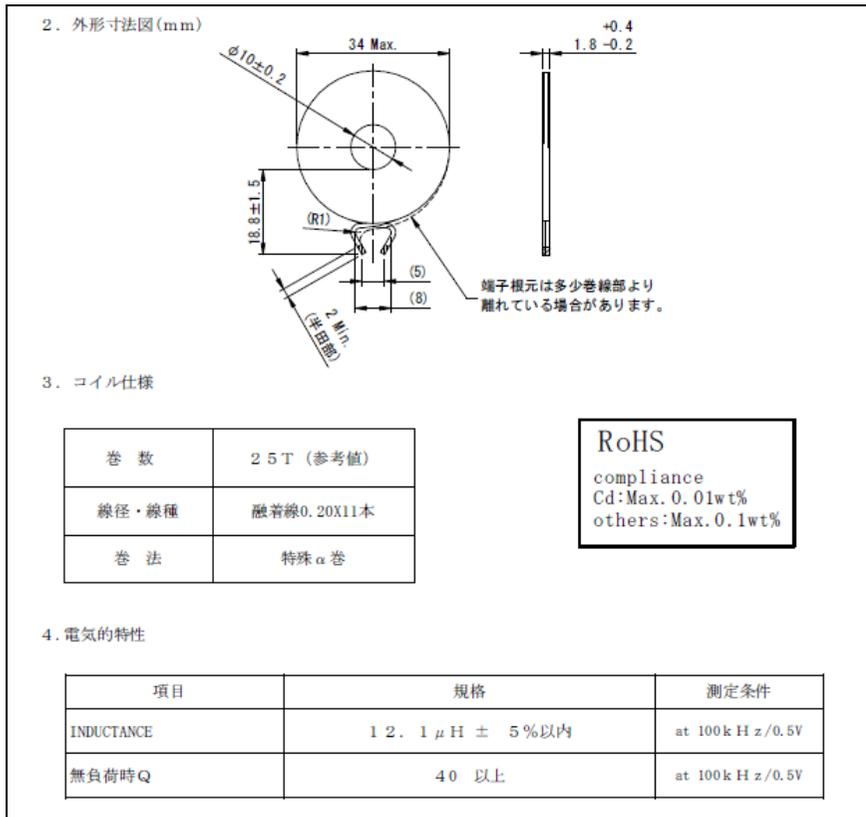




- ◆ **仕様**

Type Name 型名	od / 外径 (mm)	ld / 内径 (mm)	t / 厚さ (mm)	Inductance (μH)	Unloaded Q	Power / 電力 (w)
AKNxxxx	$\phi 10 \sim 100$	$\phi 5 \sim 50$	0.4~5	5~500	50~150	~10

図2 今回使用したコイルの仕様

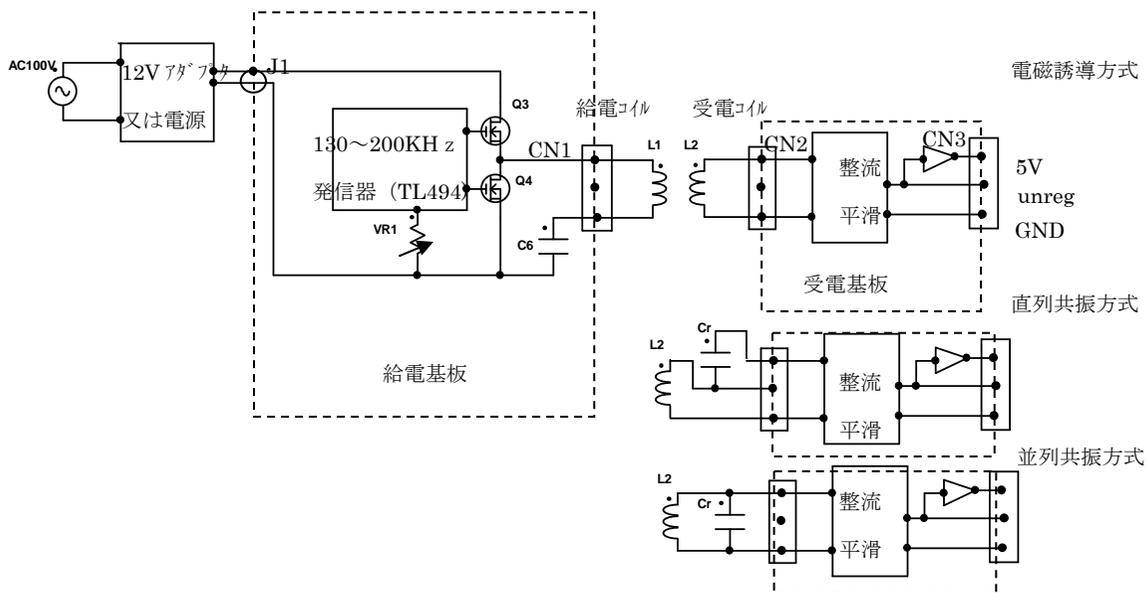


3. 回路の概要

実験回路の構成を図3に示します。パワー出力部はFET,Q3とQ4で構成したハーフブリッジ回路です。スイッチング電源用ICのTL494(U1)により130kHzから200kHzでドライブしON,OFFさせます。周波数は、給電基板内のVR1により可変が可能です。Q3とQ4の接続(中点)に発生する12Vの矩形波出力電圧を給電コイル,L1と共振コンデンサ,C6の直列回路に与えると給電コイルに高周波電流が流れ磁界が発生します。高周波電圧の周波数を、伝送コイルL1とコンデンサ,C6の共振周波数以上に設定し、FET,Q3とQ4のOFFからONの時間を少し空ける(Dead Time)方法でスイッチング損失を軽減させています。この方式をZVS動作(ゼロボルト・スイッチ)といいます。また、伝送コイルL1とL2のインピーダンスは、共振周波数で最低となり、共振周波数から離れると高くなります。したがって、コイルに流れる電流は共振周波数で最大となり、高くなるにしたがって減少します。(注意点・・・電圧も同様に変化し、共振周波数付近では、インピーダンスが非常に低くなり、FETが破壊しますので、最低周

波数を共振周波数より高く設定します。) 受電コイルの電圧も同様に变化するため、周波数を可変することにより、出力電圧を調整することが可能です。受電コイルに発生した電圧を整流回路で直流電圧にし、出力端子より出力します。この電圧は非安定な力ですが、3端子 RegIc (U2)により、5Vに安定化させた出力も得られます。UN REG 出力端子に 7.2V0.55A のランプを接続し、ランプの明るさにより出力されたことを確認します。受電コイルに図 3 に示すように、コンデンサを直列または並列に接続し、出力コイルを直列共振方式と並列共振方式の動作振る舞いの違いによる出力の変化も実験可能です。5V 出力は 3 端子 REG で安定化されていますので、USB ケーブルを使い携帯電話や小型端末機器などの充電や供給電源の実験に使用できます。(注意点・・・この場合の負荷として接続する機器の性能補償や、故障については自己責任の範囲で行ってください)

● 図 3 キットの薄型コイルを使用したワイヤレス電力給電のブロック図



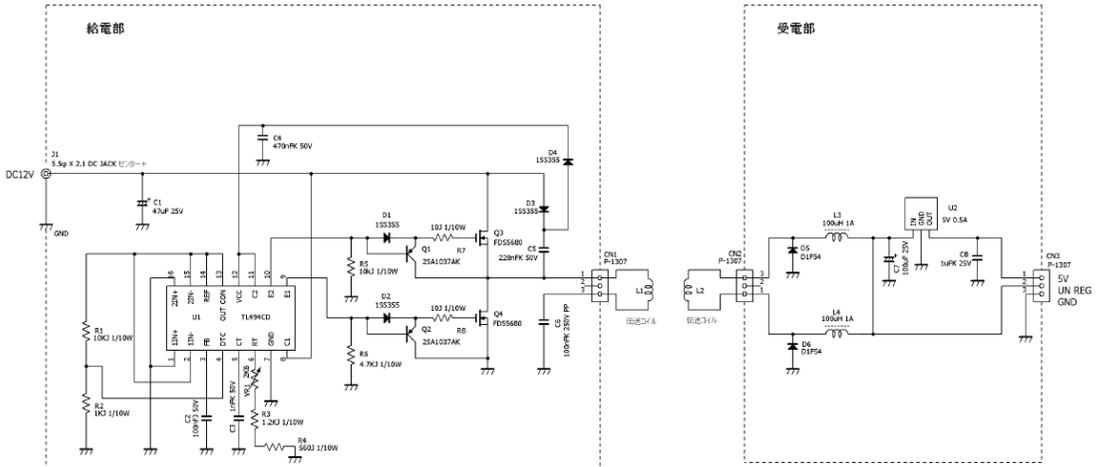
4. 電磁誘導方式の実験

始めに、ワイヤレス電力給電の基本方式である電磁誘導方式の実験を行います。使用する給電コイルと受電コイルのインダクタンスは、 $12.1 \mu\text{H}$ で、共振コンデンサは、 $0.1 \mu\text{F}$ のため共振周波数は約 145KHz となります。受電コイルを給電コイルに近づけると、相互インダクタンスによりインダクタンスが上昇し、共振周波数が下がるため、発振周波数を 130KHz から 200KHz まで可変できるように設計されています。

4.1 構成部品と動作

図 4 と表 1 に、試作したワイヤレス給電装置の総合回路図と部品表を示し、この部分の主要動作を説明します。

● 図 4 キットの薄型コイルを使用したワイヤレス電力給電の総合回路図



※改良のため部品定数は、変更となる場合があります。

4.1.1 給電基板

4.1.1.1 130KH z から 200KH z 信号の生成

二つの MOSFET (Q3 と Q4) で構成したハーフ・ブリッジ回路で、給電コイルに加える高周波出力を生成します。

Q3 と Q4 を交互に駆動する信号は、494 型スイッチング電源用 IC (今回は TL494 を使用) により生成します。TL494 の発振周波数は、CT 端子に接続されるコンデンサと RT 端子に接続される抵抗により決定されます。今回は、抵抗を可変抵抗にして、発振周波数を、260KHz から 400KHz となるようにしています。

4.1.1.2 デッドタイムの生成

TL494 の出力は、デューティ 50%の矩形波で、このまま Q3, Q4 を駆動すると同時に ON する期間が発生し短絡電流が流れます。このため、Q3, Q4 を駆動する信号には、両方の MOSFET を OFF 状態にさせる時間 (DeadTime) を設けます。TL494 では、DTC 端子の電圧により、DeadTime を調整ができます。(R1, R2 により調整)

4.1.1.3 MOSFET の駆動

ハイサイド側の FET, Q3 を ON とするためにはゲートの電圧を 12V より高くする必要があります。ここではブートストラップ回路を採用しています。この動作は、ローサイド側の Q4 が ON したとき、コンデンサ、C5 にダイオード、D3 を介して 12V が充電

されます。この電圧により FET, Q3 が ON し、電源電圧 12V とコンデンサ, C5 の電圧が加算されダイオード, D4 を介してコンデンサ, C4 に 24V の電圧を充電します。ここで加算された 12V より高い電圧により TL494 を動作させることができ、FET の Q3 のゲート電圧が高く確保されパワー出力部の FET の SW 動作をさせることができます。各 FET のゲート回路の PNP トランジスタ Q1, Q2 は、Q3, Q4 の OFF のゲート容量の放電し、SW 特性を早め、FET の電力損失を低減するための回路です。

4.1.1.4 給電コイル電圧の生成

FET からの出力電圧は、0V と 12V の矩形波信号ですが、給電コイルの電圧は、L1, C6 の共振動作により正弦波状となります。共振周波数で最大でそれより周波数を高くすると減少する特性になります。この電圧に比例した電圧が受電コイルに誘導されるため、周波数を変化させることにより出力電圧を調整することができます。

給電基板の可変抵抗 VR1 により周波数を調整できます。右に回すと周波数が高くなり、左に回すと低くなり、周波数範囲は 130KH z ~ 200KH z の可変ができます。

●表 1. キットの薄型コイルを使用したワイヤレス電力給電の部品表

NO.		規格
C	1	470uF 25V
C	2	100nFJ 50V
C	3	1nFK 50V
C	4	470nFK 50V
C	5	220nFK 50V
C	6	100nFK 250V
C	7	100uF 25V
C VR	8	1uFK 25V 2KB
CN	1	P-1307
CN	2	P-1307
CN	3	P-1307
D	1	1SS355
D	2	1SS355
D	3	1SS355
D	4	1SS355

D	5	D1FS4
D	6	D1FS4
J	1	5.5φ X 2.1 DC JACK
L	1	伝送コイル
L	2	伝送コイル
L	3	100uH 1A
L	4	100uH 1A
Q	1	2SA1037AK
Q	2	2SA1037AK
Q	3	FDS5680
Q	4	FDS5680
R	1	10KJ 1/10W
R	2	1KJ 1/10W
R	3	1.2KJ 1/10W
R	4	560J 1/10W
R	5	10kJ 1/10W
R	6	4.7KJ 1/10W
R	7	10J 1/10W
R	8	10J 1/10W
U	1	TL494CD
U	2	5V 0.5A

※部品は標準的なものを採用していますが、同等性能の部品に変更することがあります。

【キーポイント】

●共振周波数より高い周波数で動作させた場合、FET (Q3, Q4) は、ソフトスイッチング動作し、スイッチング損失を少なく発熱を小さくすることができます。共振周波数より低い周波数で動作させた場合はハードスイッチングとなり、スイッチング損失が増大し FET の温度が高くなり破損する場合があります。このため、周波数は共振周波数より高く設定してください。

●共振周波数付近では、給電コイルに流れる電流が大きくなるため、損失が増大し FET, コンデンサ, コイル等破損する場合があります。本キットでは、直流電源の過電流保護を 0.7A に設定し温度上昇を少なくさせることを推奨します。(指定の AC アダプタを採

用の場合は問題ありません。TW-1206 アイコー電子) 直流電源の電流が 0.7A 以下となるように周波数を可変抵抗にて設定してください。

●給電コイルと受電コイルを近づけた場合には、コイルのインダクタンスは変化します。電源を加える場合には、周波数を最大 (VR1 を右回しで最大に) に設定してください。

4.1.2 受電基板

給電コイルで発生した磁束を受電コイルで受けます。給電コイルで発生した磁束と受電コイルの受けた磁束の割合を結合係数 (K) といい、この係数が 1 に近いほど電力伝送の効率が高くなります。給電コイルと受電コイルのギャップが少なく、中心軸が合っているほど結合係数が高くなりますので効率よく電力を伝送することができます。

受電コイルで発生した電圧を整流平滑して、5~6V で 0.5A 程度の出力が得られます。

また、この電圧を 3 端子 REG により 5V に安定化した出力も供給しています。この安定化出力は最大 0.5A の電流が得られます。

4.1.2.1 整流回路

受電コイルに発生した電圧をダイオード D5, D6 で整流し、インダクタコイル L3, L4, , コンデンサ C7 で平滑して直流に変換しています。この回路は、倍電流整流回路と呼ばれ正弦波出力のプラス部分とマイナス部分を D5, L3 と D6, L4 の 2 つの半波整流回路で整流し、それぞれの出力を加えることによって、全波整流回路の電圧の 1/2 で、電流は 2 倍の出力を得ることができます。また、整流時に電流はダイオードを 1 つのみ通るため損失を低減できる回路方式です。(ブリッジ回路では、2 つのダイオードを通り損失が大きい)

5. 実験の準備

電磁誘導方式とは、一般のトランスの原理を応用したシンプルな動作のワイヤレス電力給電の基本方式です。給電基板の CN1 の 1 番端子と 3 番端子に給電コイルを接続し、入力コネクタ J1 に AC アダプタまたは、直流電源から電源プラグを接続します。写真 2-1, 2-2 を参照してください。AC アダプタは、推奨品または同等規格のもの、直流電源を使用する場合には、添付の電源プラグを使用し、赤+, 黒-に接続します。直流電源の電圧を 12V, 過電流設定を 0.7A に設定してください。受電基板の接続は、写真 3-1, 3-2 のように受電コイルとランプを接続してください。UN REG 端子は、整流出力が直接出力され、+5V 端子は、安定化された 5V を出力します。

5.1 電磁誘導方式の実験

給電基板のみを使用して、周波数とコイル電圧の関係を実験します。

コイルの両端にオシロスコープのプローブを接続します。

● 写真 2-1 給電基板のコイル接続方法

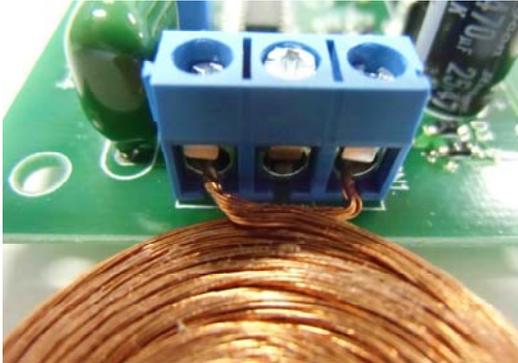


写真 2-2 給電基板の入力電源接続方法



写真 3-1 受電基板のコイル接続方法

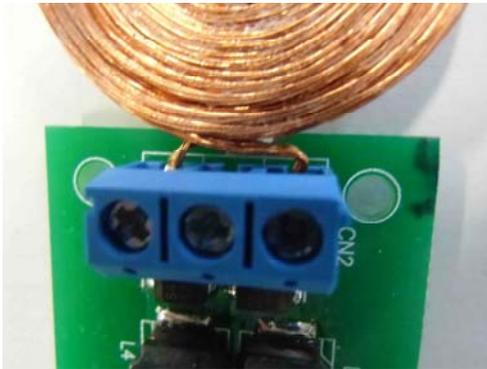
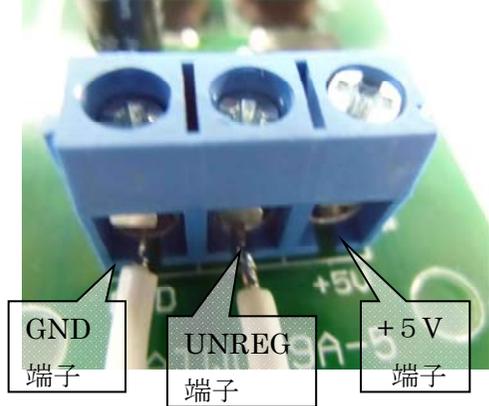


写真 3-2 受電基板の負荷接続方法



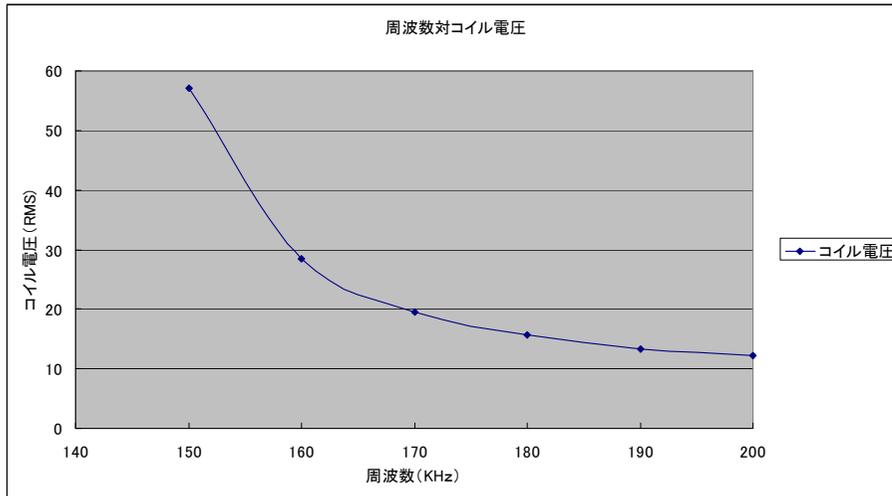
【キーポイント】

●コイルは、GND からフローテングされていますので、プローブの GND 端子をコイルに接続するときは入力電流の変化が少ない端子側に GND を接続してください。アダプタを使用する場合には、コンデンサ C6 側に GND を接続してください。

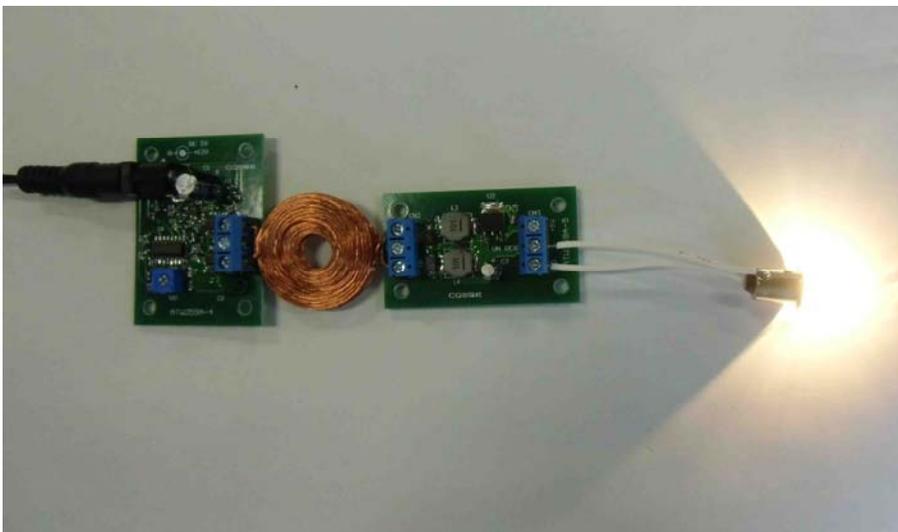
周波数を最大に（VR1 を右回しに回しきる。）設定し、入力端子に DC12V を供給します。周波数を低下させながら周波数とコイル電圧の関係を調べます。

実験結果の例を図 5 に示します。周波数を下げるとコイル電圧が上昇し、入力電流が上昇します。入力電流が 0.7A 以上にならないように注意してください。可変抵抗 VR1 を周波数が最大に設定し、給電基板のコイルと受電基板のコイルを重ねます。VR1 を調整しランプの明るさと周波数の関係を実験します。給電コイルと受電コイルを離しながら、周波数とランプの明るさの関係を実験して下さい。実験の様子は写真 4 を参照して下さい。このとき、入力電源の電流が 0.7A 以上にならないように注意して下さい。推奨アダプタを使用している場合には、0.7A を超えると 12V が低下するためランプが点滅を繰り返し破損保護の動作をします。

● 図5 周波数とコイル電圧の例



● 写真4 電磁誘導方式の実験

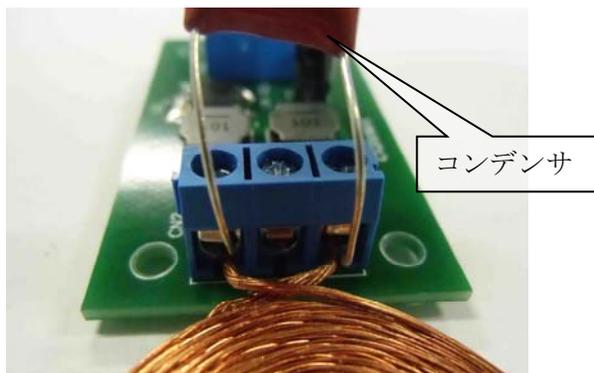
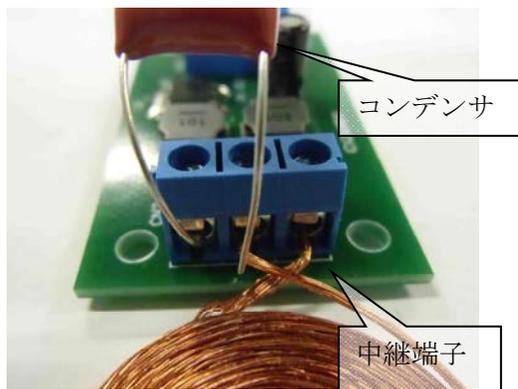


5.2 電磁誘導共振方式（受電コイルを共振させる）の実験

受電コイルに直列または並列にコンデンサを接続することにより、伝送特性を変化させることが確認できます。本キットでは、 $0.047\mu\text{F}$ のコンデンサが同梱されていますが、他の容量でも実験を行えます。このコンデンサを選定する場合には、許容リップル電流と耐圧に注意しポリプロピレンなどの高周波損失の少ないタイプを選定してください。写真5-1は、受電コイルにコンデンサを直列接続する場合の接続を示します。中継端子（3ピン端子の真ん中）を使用し、コイルとコンデンサを接続します。受電コイルと並

列にコンデンサを接続する場合には、写真 5-2 のように接続します。受電コイルにコンデンサを直列または、並列に接続し、5.1 電磁誘導方式と同様な実験を行い、直列と並列共振方式の伝送特性の違いを実験します。

●写真 5-1 受電コイルに直列にコンデンサを接続 写真 5-2 並列にコンデンサを接続

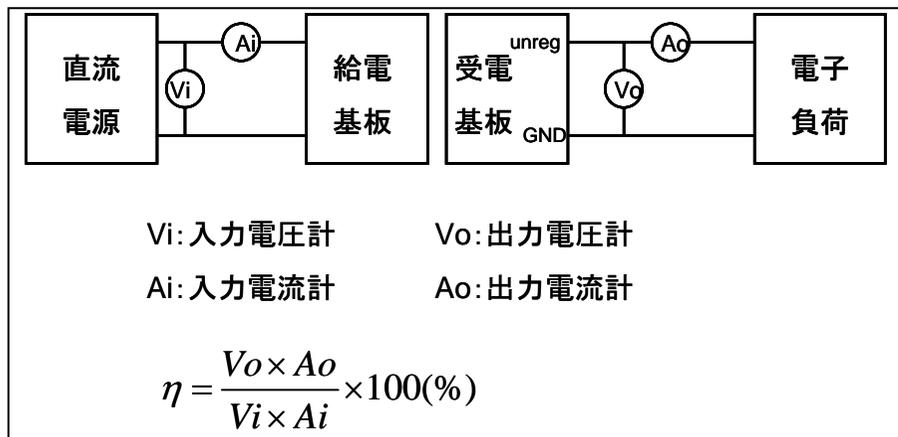


6. 伝送効率を測定する.

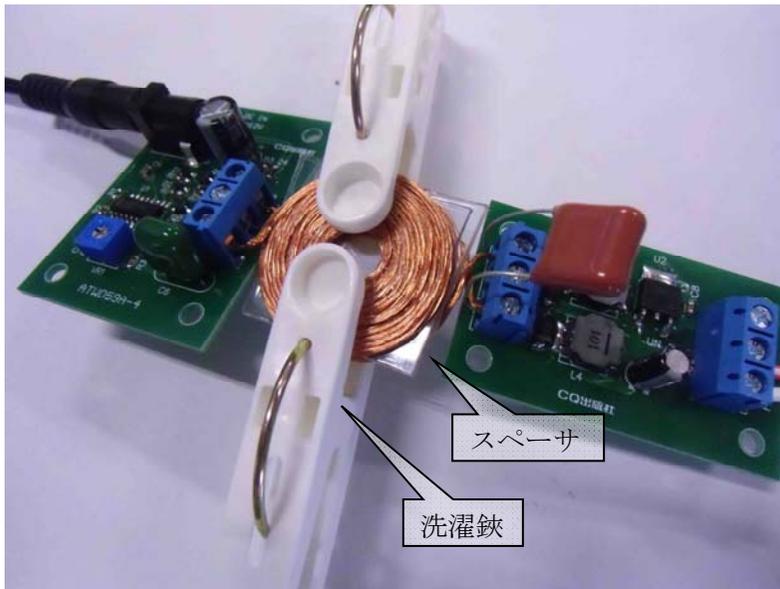
より正確に伝送特性を理解するための効率の測定回路を 図 6 に示します。図 6 の A_i , A_o , V_i , V_o として、デジタル表示式のパネルメータ付の直流電源，電子負荷などをを使用する場合は、別に電圧，電流計を回路に入れなくてもよいです。給電コイルと受電コイルの間隔を正確に維持するために、1mm程度のプラスチック等の板をコイル間に必要枚数挿入し、絶縁性を持つプラスチック製の洗濯鉢などで固定すると安定したスペースと距離の特性が得られます。写真 6 は固定した様子を示します。図 7, 図 8 は、電磁誘導方式でコイル間隔をゼロとした場合の出力電力と伝送効率の測定データです。

同様の方法で、コイル間隔を変えた場合、受電コイルに直列と並列にコンデンサを挿入し共振方式の伝送特性が電磁誘導方式より優れていることを体験して下さい。

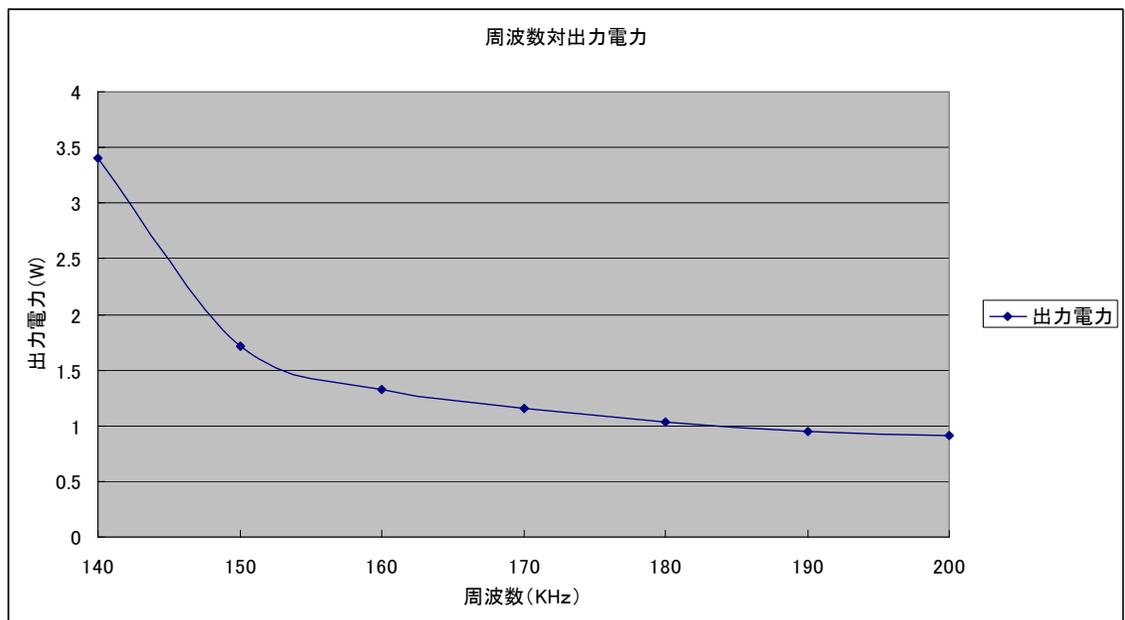
● 図 6 伝送効率を測定する方法



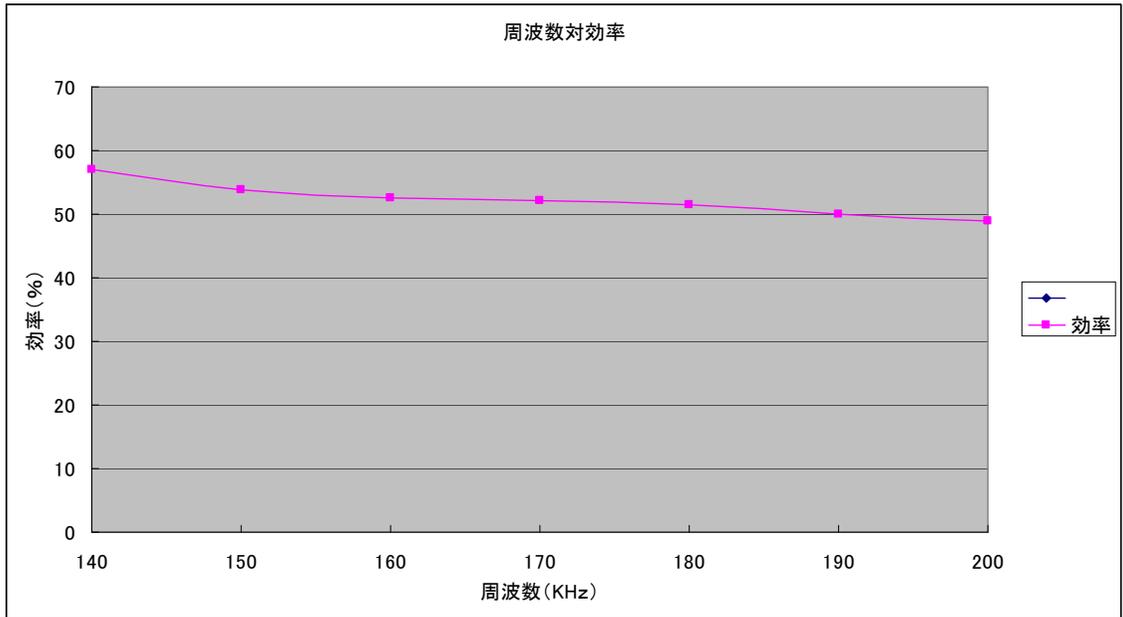
● 写真6 コイル間隔を安定に維持する方法



● 図7 電磁誘導方式の周波数対出力電力の例



● 図8 電磁誘導方式の周波数対伝送効率の例



【キーポイント】

● 給電コイルと受電コイルの間隔を変えると伝送特性が変化します。また、コイルの軸（中心）をずらした場合にも同様に変化します。

この変化を実験し電磁誘導方式のコイルの配置を習得してください。

● 受電コイルに直列または、並列にコンデンサを接続し、受電コイルのインピーダンスを変化させることにより共振方式の伝送特性を体験できます。

その場合の、コイル間隔、周波数等変化させそれぞれの特徴を習得してください。

● 受電コイルのコンデンサの容量を変更して実験することも可能です。

コンデンサを高周波で使用する場合には、コンデンサに流れる電流により発熱しコンデンサが破損することがあります。

コンデンサを選定する場合には、技術マニュアルを参照し選択してください。

本製品に関するお問合せ先

CQ 出版株式会社

エレクトロニクス・セミナ事務局

〒112-8619 東京都文京区千石 4-29-14

電話 03-5395-2125