

大容量非接触給電装置の開発

Development of Highpower non-Contact Powersupply

片平 洋一※
Yoichi Katahira
駒田 圭成※
Yoshinari Komada
里 成典※
Shigenori Sato

1. はじめに

非接触給電装置は、空気ギャップあるいは絶縁体による間隙を介して電力を送る装置である。移動機器や回転体への給電、密閉された空間に設置された機器への給電等に利用される。

当社は1998年より非接触給電装置の研究開発に取り組んできた。当社が当初開発したのは、数十Wクラスの小容量品であり、家庭用イルミネーションランプ電飾等への給電用として製品化し販売した。

今回、使用用途を産業機器用にも拡大するために、100W～300W品の大容量型の製品の開発を行った。

本稿では、まず当社がこれまで開発してきた非接触給電装置の基本構成について述べる。その後、小容量品と大容量品のそれぞれの特長をまとめるとともに、開発した大容量品の製品仕様の詳細について述べる。

2. 非接触給電装置の基本構成

非接触給電装置は、電磁誘導作用により給電側のコイルから受電側のコイルに電力を伝達する。電力の伝達原理は変圧器と同じであるが、1次側と2次側のコイル、鉄心はともに分離され、空間の磁束変化により電力の送受が行われる。

非接触給電装置では、電力の送受をカプラと呼ばれる電力結合器で行っている。給電側にはカプラに電力を送るための給電回路があり、受電側にはカプラから電力を受け、負荷に供給するための受電回路がある。非接触給電装置の基本構成を図1に示す。

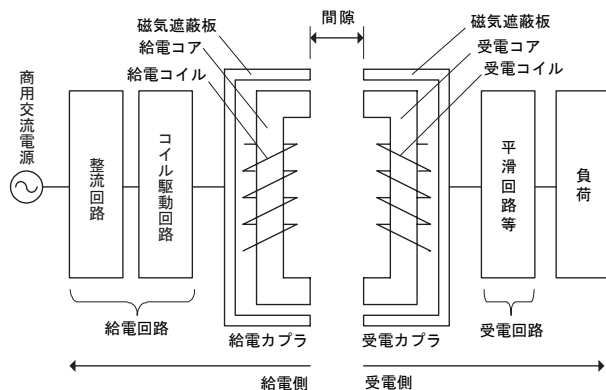


図1 基本構成

※ 機器事業部 設計1G

(1) カプラ

カプラはコの字型の鉄心に銅線を巻いて作られたコイルと磁気遮蔽板から構成されており、給電側と受電側で対になっている。給電コイルに電圧を印加すると、給電コイルで発生した磁束が、間隙を介して受電コイルに鎖交し、受電コイルに電圧が発生する。つまり給電カプラと受電カプラは、1次側と2次側が間隙によって分離された変圧器を形成している。鉄心に間隙があるため、カプラの自己インダクタンスは小さくなり、商用周波数では励磁電流が大きくなってしまふ。このためカプラの駆動電圧には数十kHzの高周波が用いられる。また間隙があるため、給電コイルで発生した磁束のいくらかは漏れ磁束となり、ノイズや効率低下の原因となる。磁気遮蔽板はこの漏れ磁束を低減するために設けられている。漏れ磁束が磁気遮蔽板に入ると渦電流が生じる。渦電流は入った磁束と反対方向の磁束を発生して、磁束が漏れ出すのを防ぐ。

(2) 給電回路

給電回路は整流回路、コイル駆動回路等から構成される。入力された交流電圧を整流回路で直流に変換し、コイル駆動回路から、給電コイルに高周波の方形波電圧を加える。

(3) 受電回路

受電回路は、平滑回路等から構成され、受電コイルで発生した高周波電圧を直流に変換して負荷に供給する。

3. 小容量品

小容量品について、回路構成とその特長を述べる。この機種については給電にLC共振という方式を採用している。

3.1 回路構成

小容量品は数10Wクラスの電力給電を行うため、性能よりも価格が優先される。このため回路構成がシンプルで安価なLC共振方式を採用している。

LC共振方式は、カプラ間の結合インピーダンスを共振により低減させ、給電側と受電側の結合を良くして、より多くの電力を伝達させるものである。受電回路には、受電コイルと並列に共振用コンデンサを接続している。共振用コンデンサに加わる電圧は交流であるため、後段には整流

ダイオードと平滑コンデンサを設けている。小容量品の回路構成と等価回路を図2に示す。

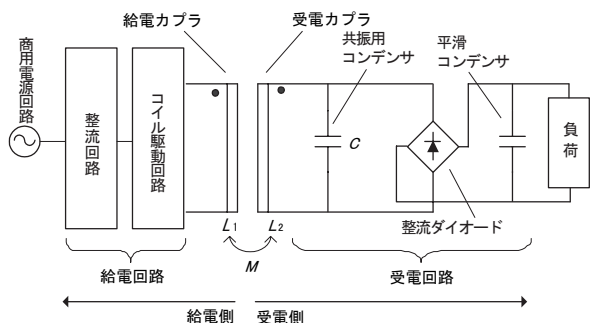
3.2 給電原理

給電側のカプラと受電側のカプラは1次側と2次側が間隙によって分離された変圧器と見なせるので、図2(b)のように変圧器の等価回路に置き直すことができる。変圧器の1次側には、デューティ50%の高周波電圧を印加する。この回路は、変圧器の2次側から見たインダクタンスと共振コンデンサとで共振する。よって給電カプラを共振周波数で駆動するか、駆動周波数にあわせて共振コンデンサの値を決定することによって最大の給電電力が得られる。

3.3 小容量品の特長

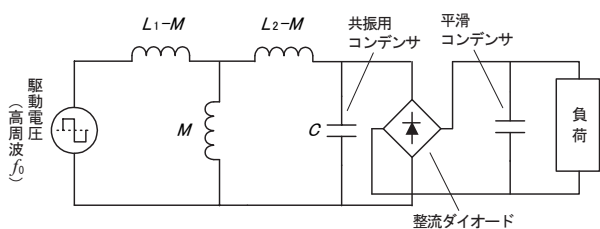
小容量品の特長は、回路構成がシンプルであるため信頼性が高く、製品を小型化でき、安価であるということである。価格を優先させるため間隙変動や負荷変動に対しての給電電力の制御機能はない。そのかわり、間隙距離の変動については、共振コンデンサの値を変えられるスイッチを設けることで数種類の間隙距離に対応している。

また電飾用途向けの製品では、LEDの輝度を一定に保つための簡単な定電流回路を後段に付加して負荷への電力を調整している。この電飾用として製品化された小容量品の仕様を表1に、その外観を図3に示す。



- L_1 : 給電カプラの自己インダクタンス
- L_2 : 受電カプラの自己インダクタンス
- M : カプラ間の相互インダクタンス

(a) 回路構成



(b) 等価回路

図2 小容量品の回路構成と等価回路

表1 小容量品の仕様

項目	仕様	
定格入力	AC100V	
定格出力	DC30V 0.4A	
間隙距離	5mmまたは10mm (スイッチにより切換)	
寸法	幅	100mm
	奥行き	65mm
	高さ	37mm
重量 (1次/2次)	0.36kg/0.28kg	



図3 小容量品の外観 (電飾用途)

4. 大容量品

今回開発した大容量品について、回路構成と給電、制御原理を述べる。大容量品の開発にあたり、同期スイッチング方式を技術開発した。

4.1 回路構成

大容量品は給電と制御に同期スイッチング方式を採用している。これは受電回路のスイッチングにより受電コイルに給電コイルと同じ周波数の方形波電圧を位相をずらして加える方式である。これによりコイルに流す電流を増加させ、より多くの電力を伝達している。またこの位相差を制御することで給電電力を制御し、出力電圧の安定化を行っている。

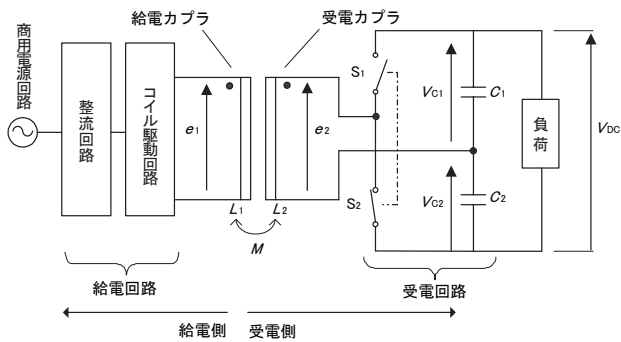
受電回路には受電コイルに方形波を加えるために、MOSFETによるスイッチと平滑コンデンサをハーフブリッジ構成で接続している。平滑コンデンサには直流電圧しか加わらないようにスイッチングを行うため、整流ダイオード等の整流回路は不要である。大容量品の回路構成および等価回路を図4に示す。

4.2 制御原理

給電電力の制御は、給電コイルに加わる方形波電圧を基準にして、受電コイルに加わる方形波電圧の位相差を $0^\circ \sim 90^\circ$ の範囲で制御することによって行われる。

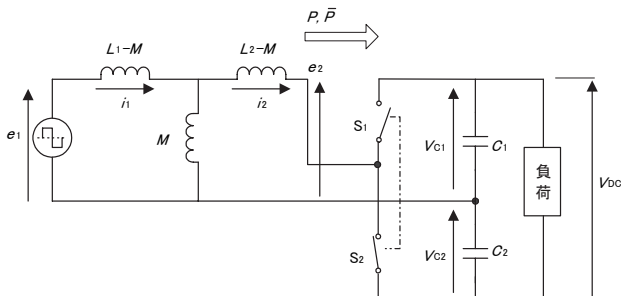
位相差の制御は、受電側で給電コイルの電圧位相を検出し、それを基準として受電回路のスイッチングタイミングを変えることにより行っている。位相差の指令は受電回路の出力電圧をフィードバックすることで決定される。これによって間隙距離の変動、入力変動および負荷変動に対して出力が安定化され、給電電力が制御される。

位相差を $0^\circ \sim 90^\circ$ の範囲で制御した時の電圧波形、電流波形および電力波形の例を図5に示す。



- S1, S2 : 同期スイッチ (MOSFET)
(S1:ONでS2:OFF, S1:OFFでS2:ON)
- C1, C2 : 平滑コンデンサ
- L1/L2 : 給電/受電コイルの自己インダクタンス
- M : 給電, 受電コイル間の相互インダクタンス

(a) 回路構成



- e_1 : 給電コイル印加電圧 (方形波)
- e_2 : 受電コイル印加電圧 (方形波)
(S1:ONで V_{C1} が、S2:ONで $-V_{C2}$ が印加される)
- i_1 : 給電コイル入力電流
- i_2 : 受電コイル出力電流
- V_{C1}, V_{C2} : 平滑コンデンサ電圧 (直流で、値はともに $1/2 V_{bc}$)
- V_{bc} : 負荷電圧 (直流)
- P : 瞬時出力電力 ($P = e_2 \cdot i_2$)
- \bar{P} : 平均出力電力 ($\bar{P} = \frac{1}{T} \int P dt$)

(b) 等価回路

図4 同期スイッチング方式の回路構成

4.3 大容量品の仕様

大容量品には100W品および300W品のシリーズをそろえた。100W品、300W品の出力はともにDC320Vであるが、使用用途により出力電圧の要求仕様は異なる。そのため、後段には電力変換回路を設け、これを非接触給電装置本体と同じ筐体に入れることによって、それぞれのユーザーからの要求仕様に対応している。

(1) AC100V出力 100Wタイプ

非接触給電装置の後段にインバータ回路を付加し、AC出力とした製品である。この製品の特長は出力をAC100Vとしたため汎用性が高いということである。

使用用途としては、防塵室や無菌室に設置された機器への壁やガラス越しの給電が考えられる。また産業用ばかりでなく、家庭用としても防犯、屋外ライトなどに適用できる。

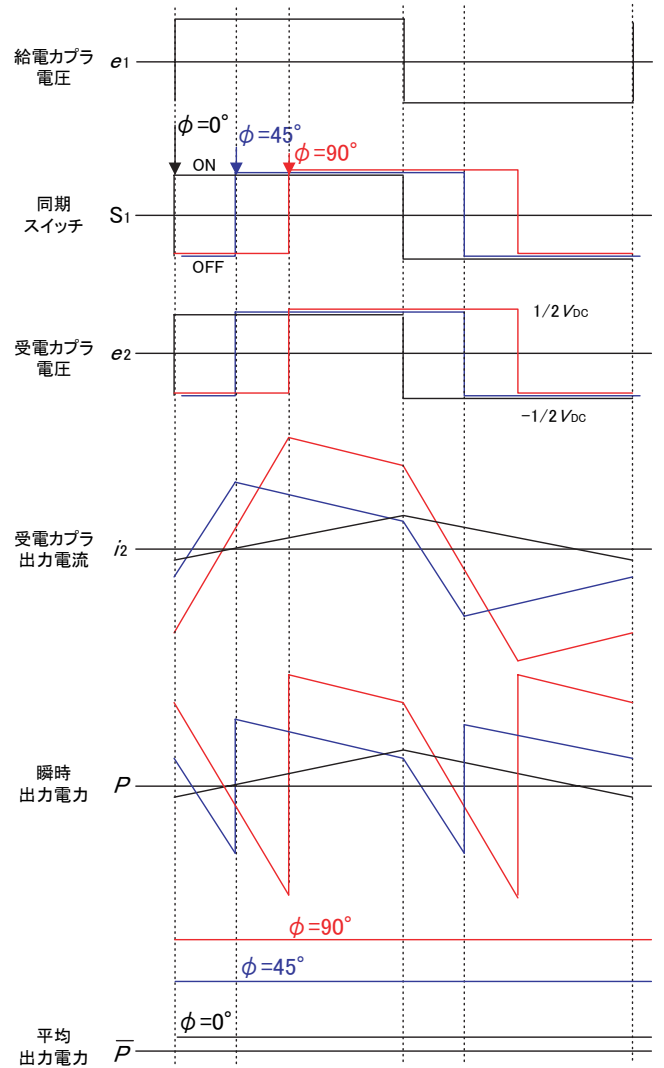


図5 電圧、電流、電力波形

(2) DC12V出力 100Wタイプ

このタイプの使用用途は、フォークリフトや自動搬送台車 (AGV) のバッテリー充電である。非接触給電装置の出力は直流であるが、出力電圧を下げると給電電力が落ちるだけでなく、コイルに流れる電流が増加し効率の低下を招く。そこで、効率よく低電圧出力を得るために、後段にDC-DCコンバータを設けている。バッテリー充電に必要な定電圧、定電流特性もこのコンバータによって実現している。100Wタイプの仕様を表2に、その外観を図6に示す。

(3) 出力 300Wタイプ

100Wタイプのカプラを改良し、給電電力を300Wに向上させた機種である。給電電力を大きくするためには、コイルや駆動回路の見直しだけでなく、給電カプラと受電カプラの結合を良くし、漏れ磁束を低減することが必要である。そのためコアの断面積は、給電時に対面する部分の面積を広くとり、間隙部分での漏れ磁束低減を行った。磁気遮蔽板についても、渦電流による損失を抑えるために、断面積を増加させた。300Wタイプの間隙距離をパラメータとした出力電力特性を図7に示す。

非接触給電装置本体の後段にDC-DCコンバータを設けた機種の仕様を表3に示す。

表2 100Wタイプ仕様

項目	仕様	
定格入力	AC100V	
定格出力	AC100V 1A または DC12V 8A	
間隙距離	10mm	
寸法	幅	160mm
	奥行き	65mm
	高さ	230mm
重量 (1次/2次)	1.3kg/1.3kg	



図6 100Wタイプの外観

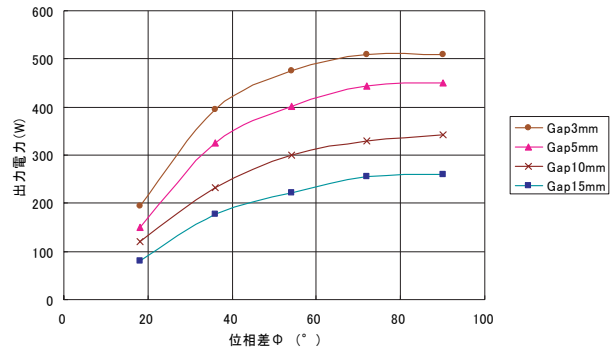


図7 300W品の出力電力特性 (間隙距離3~15mm)

表3 300Wタイプ仕様

項目	仕様	
定格入力	AC100V	
定格出力	DC75V 4A~DC15V 20A (300W)	
間隙距離	5mm	
寸法	幅	300mm
	奥行き	80mm
	高さ	200mm
重量 (1次/2次)	2.0kg/2.0kg	

5. あとがき

今回、同期スイッチング方式を使った100W~300Wの大容量品を開発し、これまでの小容量品に加えて当社の非接触給電装置の拡充を図った。給電電力の大容量化は、フォークリフトや自動搬送台車の充電用途において、消費電力の大きな車を動かすために必要なだけでなく、充電時間の短縮化、給電ポイントの省略化、間隙距離が広くとれるなどの利点を生み出す。当社としてもさらなる大容量化に向けて技術開発を行うつもりである。

大容量化で問題となるのは効率とノイズであるが、現在も有限要素法を用いた磁場解析を行ってカプラコアの形状の最適化を図る取り組みを行っており、今後の開発にも生かしていく考えである。

今後、非接触給電装置のさらなる大容量化、高効率化を目指すと同時に、市場にとって魅力的な製品開発を行っていききたい。

参考文献

- (1) 土本、近藤、大隈：「非接触電源装置」愛知電機技報 No.28 (2007)
- (2) 細江、近藤：「エリア形非接触給電装置の電磁解析」愛知電機技報 No.24 (2001)