ワイヤレス充電（ワイヤレス給電）のしくみ

名古屋工業大学 平山 裕
Hiroshi Hirayama

1. まえがき

「夢の技術」と言われた「ワイヤレス給電」技術も、スマートフォンにワイヤレス充電機能が搭載されるようになり、身近になってきました。本稿では、スマートフォンに搭載されている「Qi」のしくみについて概観します。

一方、コネクタを差さずに充電できる利便性はあっても、充電パッドに載せなければ充電できないことを不便に思っている読者も多いことでしょう。そこで、現状の方式の限界について説明した後、その限界を打開する技術についても説明します。

2. 電磁誘導

ワイヤレス給電はこれまでも電動歯ブラシやコードレスフォンので広く実用化されています。これらの機器で空間を超えて電力を伝送する基本的な原理は、電磁誘導（図1）です。送電側コイルに電流が流れると、アンペールの法則により、磁界（磁束）が発生します。この磁束の一部（実線矢印）が受電側コイルを貫き、かつそ

れが時間変動すると、受電側コイルに誘導電圧が発生します。この電圧により負荷抵抗（給電対象）に電流が流れ、電力が供給されます。

3. Qi 規格

Qi 規格も、電力伝送のしくみは電磁誘導です。従来の機器は、送電側と受電側を特定の組合せで使用することを前提としています。これに対し Qi 規格は充電器と被充電デバイスの組合せを気にせずに使えるようにしたものです。Qi は「チー」と発音し、中国語の「気」が語源です。当初の Qi 規格では 100 kHz から 200 kHz 程度の周波数を用い、5 mm の距離で 5 W の電力伝送をサポートしています。現在では 15 W のものも規格化され市販されています。

4. 電磁誘導の限界

送電側と受電側の距離（伝送距離）が離れていくと、送電側のコイルが作る磁束のうちで受電側を貫く磁束が減り、受電側を貫かない磁束（「漏れ磁束」と呼ぶ）が

図1 電磁誘導の原理

図2 ワイヤレス給電の回路ブロックとその機能

増加します。これは、「結合係数」の低下とも説明できます。この結果、受電電圧が減少し、受電電力・伝送効率も低下します。

皆さんは、「送電側の出す電磁波のうち、受電側が受け取る電磁波が少なくなるから伝送効率が低下する」と考えるかもしれません。しかし、電磁誘導方式においては、それは次の二つの理由により正確ではありません。

第1に、コイルの導体抵抗を無視するならば、伝送距離が大きくなり受電電力が減っても、伝送効率は理論的には常に100%です。なぜなら、負荷での受電電力は減るものの、電源から供給される有効電力も減っているため、その比率としての伝送効率は100%のままです。実際にはコイルの導体抵抗が無視できませんので、伝送距離が離れていくとコイルで熱になる電力の割合が増加し、伝送効率が低下します。

第2に、コイルの大きさが波長に対して極めて小さいため、電磁波として放射される電力はほとんどありません。電磁波として放射する「遠方界」を使用するのではなく、電磁界として存在する「近傍界」を使用しているのが電磁誘導方式なのです。

伝送距離の増大による伝送効率の低下は、以下のようにも説明できます。伝送距離が増大すると、漏れ磁束が増え、無効電力が増えます。無効電力は送電側コイルの周囲に磁気エネルギーとして蓄積される電力に対応します。無効電力であっても電流を流す必要があるため、コイルの導体抵抗によって熱損失が発生します。これを抑制するためにキャパシタによる力率補償を行っているのですが、それでも伝送距離の増加や、特に横方向の位置ずれに対しては著しく伝送効率が低下します。

5. ワイヤレス給電のシステム

コイルやアンテナ（「結合器」）はもちろんワイヤレス

図3 スwitchングにより直流を交流に変換するしくみ

給電システムの重要なデバイスですが、これだけではワイヤレス給電は実現できません。電磁誘導方式でも、次節に述べるほかの方式でも、電磁結合機能のほかに周波数変換・インピーダンス変換の機能が必要です（図2）。

【周波数変換】電力が空間を伝わるためには時間変化する電界・磁界が必要です。そのため、送電側では直流等の電源から交流を発生させるインバータや電力増幅器、受電側では交流を直流に戻す整流器が必要です。

インバータで直流を交流に変換する原理を図3に示します。この例では4つのスイッチを使ってコイルに流れる電流の向きを切替えています。1秒間当りにスイッチを切り換える回数が、そのまま交流の周波数となります。

ここで主役となる部品は、スイッチとして使われるトランジスタやFETなどの半導体です。青色LEDに使われる窒化ガリウム（GaN）が、ワイヤレス給電の効率を高めるデバイスとして期待されています。

【インピーダンス変換】電力を効率良く伝送するには「インピーダンス変換」が必要となります。使用する

周波数（基本波）において、伝送効率が高くなるように回路間や機器を整合させ電圧と電流の比率を変換します。無効電力の低減のための力率補償もインピーダンス虚部の変換といえます。

周波数変換の際には、基本波の整数倍の周波数の電圧・電流が発生します。これを「高調波」と呼びます。スイッチングデバイスでの電力損失を抑制するためには、高調波のインピーダンス制御が必要になります。不要放射の低減のためにも高調波インピーダンス制御が必要です。

6. ワイヤレス給電の方式

電磁誘導方式の限界を打ち破るために、様々な方式が検討されています。大別すると、電界や磁界を用いる近傍界方式と、空間放射する電磁波を用いる遠方界方式があります。前者は伝送効率が高いものの伝送距離が短く、後者はその逆という特徴があるため、用途に応じて使い分けていく必要があります。利用シーンからは、走行中の車両に給電する方法、水中で電力伝送を行う方法などが研究されています⁽¹⁾。

また、電子情報通信学会では、ワイヤレス給電によって走行する「ミニ四駆」の速さを競うなど、統一されたルールの下で様々な技術を競うコンテストを開催し、研究開発の活性化を図る取組みも行われています⁽²⁾。

7. むすび

ワイヤレス給電は、強い期待を集めながらも、まだ発展の途上にあります。実用化のためには、電気回路学・

電磁気学・電磁波工学・環境電磁工学・パワーエレクトロニクス・マイクロ波技術・半導体技術など、複数の学問・技術領域にまたがる知見を集結する必要があります。更に、安心して使用するためには人体への安全性、ほかの電波利用システムへの干渉、ほかの電子システムへの誤動作の問題を解決する必要があります。その上、電波を扱うシステムであるため、各国の法律や規制に適合する必要があります。ビジネスとして展開するためには標準化も重要です。

このような課題を乗り越え、将来的には、「今ある給電ケーブルを無線化する」のではなく、「ワイヤレス給電を前提とした」アプリケーションが世の中を変えていくものと期待されます。

参考文献

- (1) RFワールド No.43, CQ出版社, 東京, Aug. 2018.
- (2) 松室克之, 成末義哲, 石野祥太郎, 田中勇氣, “無線電力伝送コンテストへの招待——ジュニア会員の挑戦求む!——,” 信学誌, vol.103 no.8 pp.849-855, Aug. 2020.

平山 裕 (正員)

2003 電通大学院電気通信学研究科博士後期課程了。同年名工大・工・電気情報・助手。2007 同大学・工・電気電子・助教, 2013 准教授, 現在に至る。