特 集

『ワイヤレス電力伝送』の特集号にあたって

Special Issue on the Wireless Power Transfer

柴 建次^{*1}(正員)

Kenji SHIBA (Mem.)

ワイヤレス電力伝送 (wireless power transfer: WPT) は、電磁誘導に共振回路を組み合わせて、大きな電力を離れたところに伝送する技術であり、古くから知られている。例えば、体内に埋め込まれた人工心臓に体外からワイヤレスで電力を供給する装置は、1960 年代にはすでに開発され、慢性動物実験も行われており、1980 年代には約 80 %の電力伝送効率が得られている [1]。しかし、安全性の観点から未だ実用化されていない。そして、近年、共振方式や周波数領域、コイルの材質などに新たな工夫が施され、再び WPT に注目が集まってきた。

電磁誘導とその周辺回路

一つのコイル (送電用コイル) に電流を流すと、そのコイルから磁界が発生し、相互誘導作用によって、離れたところにあるもう一つのコイル (受電用コイル) にも電流が流れる。しかしながら、遠方まで磁界を発生させるためには、送電用コイルに大きな電圧をかけて、なるべく大きな電流を流す必要がある。そのため、一般的には送電用コイルの前段、つまりインバータ回路の後ろに、電圧増幅を行うための共振回路が挿入される。この共振回路により、送電用コイルの端子間電圧は、電源電圧の Q 倍に増幅され、大きな電流が送電用コイルに流れる。例えば、体内埋込型人工心臓用の WPT の場合は、送電用コイル間に 500 V 程度の高電圧を発生させている。

相互誘導を行うためには、相互インダクタンス M を大きくすることも重要である。 M は、

$$M = k\sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

で表される。ここで、 k は結合係数、 L_1 は送電用コ

イルの自己インダクタンス、 L_2 は受電用コイルの自己インダクタンスである。 M を大きくするには、各コイルの自己インダクタンスを大きくし、さらに k を大きくする必要がある。しかしながら、銅線を巻いただけでは、相当多く巻かないと高い相互インダクタンスが得られない。多く巻きすぎると、巻き線間の寄生容量が目立ってきてコイルが自己共振を起こしてしまうため、巻き数を少なくしたコイルに磁性体プレートなどを組み合わせることで、相互インダクタンスを大きくする場合も多い。

ワイヤレス電力伝送の産業応用

本特集号では、用途、伝送電力、伝送周波数が異なり、実際に産業界で利用されようとしている WPT の事例を集めている。もし、筆者が、1 から新しい WPT システムを作ろうとしたときに、次の 4 つは、重要な検討条件になると考えている。

(1) トランス部のサイズ、発熱、伝送効率

用途にもよるが発熱が制限値を越えると、使用が困難になる。例えば筆者が取り扱っている体内埋込人工心臓への WPT においては、皮膚の上に送電コイルを置き、皮膚の下に受電用コイルを埋め込むため、送電・受電コイルは発熱が小さい (2 °C 以下) ことが望ましい。また、送電用コイルから発生する磁界が大きすぎると、生体組織の皮膚や筋などに微小の渦電流が流れ、ジュール熱が発生してしまう。この発熱は金属に比べれば十分に小さいが、無視することはできない [2]。

(2) 出力電圧の安定性

出力電圧の安定化とは、Fig. 1 の負荷インピーダンス Z_L の値や、一方のコイルがずれて相互インダクタンスが増減したときに、出力電圧 V_2 がどれだけ安定しているかという意味である。一般的に多くのシステムが、バッテリーやコンセントから電力を取ると考えると、入力電圧 V_1 はある値に固定されているため、負荷の値

連絡先：柴 建次，〒125-8585 葛飾区新宿 6-3-1，東京理科大学基礎工学部電子応用工学科，
e-mail: shiba@te.noda.tus.ac.jp

^{*1} 東京理科大学

Fig. 1 Study points toward the development of wireless energy transmission system.

Z_L やコイル位置が変化すれば、出力電圧 V_2 が変動してしまい、負荷に一定の出力電圧 V_2 が供給できなくなる。

この安定性は、トランスの巻き数比や磁性体の有無によっても変わるが、共振回路に工夫を凝らすことや中継コイルを挿入することで安定化を図る場合もある。また、これを安定させるために、出力電圧 V_2 情報を入力電圧側にフィードバックする手法も考えられるが、通信が含まれるため、遅延がおこることや電波法の許可が必要になる場合があるなど問題がある。

(3) 放射磁界 (妨害波)

WPT は、磁界や電界を使って電力を伝えている。磁界を用いるタイプのものは、当然、放射磁界が大きくなるが、これが大きいと、周囲の正常な電気製品に誤動作を引き起こしてしまうため、国際規格で厳しい規制がかけられている。例えば筆者が研究する医療機器の場合は、伝送電力は 15 W 程度であるが、トランスから 3 m 離れた磁界を測定すると国際的な安全の規制値を 27 dB μ A/m 程度も超えてしまう[3]。kW クラスの電力を送る電気自動車への WPT においても、同じような問題が生じている。近年では、磁界の規制値自体を緩和することも検討され、電波法の一部が改正された[4]が、国際的には統一されていない。

(4) 伝送周波数

何 Hz の伝送周波数を選ぶかは、上記すべてに加えて、インバータ回路や整流回路の損失とも関係する。用途 (人体[2]、自動車、海中など) によって適正値が異なっている。周波数が高くなるにつれて、浮遊容量などの影響が大きくなるため、安定した共振を保つことが難しくなることがわかっている[5]。

上述した(1)~(4)をすべて適切に選択することは容易なことではないが、実用化のためには検討が必要な項目であると筆者は考えている。このためには、コイル材料や、磁気結合方式の仕組み自体も、最適なもの

に再検討する必要がある場合もある。そこで、今回特集号では、コイル線材の研究の紹介を信州大学の水野先生に、また、伝送周波数が一般的な WPT と大きく異なるものとして、海中の WPT の研究の紹介をパナソニックの榑場氏にお願いした。さらには、相互インダクタンスの安定化を図る研究の紹介として東京工業大学の土方先生にお願いした。最後に、産業界での実用化を考慮した製品開発例として、鉄道車両への WPT の紹介を鉄道総合研究所の浮田氏に、電気自動車・電動バス・ドローンへの WPT の紹介を東芝の尾林氏にお願いした。

現在、製品化している WPT は、伝送電力が小さいもので、かつ、伝送距離が短い (おおよそ mm 単位) のものに限定されている。しかしながら、高いインパクトがあるのは、

- ・伝送電力が大きい
(ノートパソコン程度は充電したい)
- ・伝送距離が長い
(m 単位)
- ・場所が限定されない (どこでも)

のものであろう。(1)~(4)を考慮しながら、これらを実現するためには、今までの技術だけでは難しい場合があると筆者は考えている。今後も WPT の研究活動が途絶えないよう、新しいアイデアの導入や新しい技術の開発が必要であろう。

参考文献

- [1] 電気学会電磁駆動型人工心臓システム調査専門委員会編、電磁駆動型人工心臓、pp. 102-117, コロナ社, 1994.
- [2] K. Shiba, N. E. B. Zulkifli, Y. Ishioka, Analysis of Specific Absorption Rate and Internal Electric Field in Human Biological Tissues Surrounding an Air-core Coil-type Transcutaneous Energy Transmission Transformer, *Journal of Artificial Organs*, Vol. 20, No. 2, pp. 103-109, 2017.
- [3] 公塚景, 柴建次, 2 組の空心偏平型経皮トランスを用いた補助人工心臓用経皮電力伝送一経皮トランス間距離変化時の放射性妨害波の測定一, 日本 AEM 学会誌, Vol. 28, No. 2, pp. 44-50, 2020.
- [4] 石井正明, 床木裕樹, 尾林秀一, ワイヤレス電力伝送の制度化・標準化の動向と取り組み, 東芝レビュー, Vol. 73, No. 1, pp. 35-38, 2018.
- [5] 柴建次, 加藤結大, 鈴木雄也, 名児耶薫, 補助人工心臓用ワイヤレス電力伝送トランスフォーマの試作-床埋め込み型送電コイルを用いた場合-, ライフサポート, Vol. 25, No. 3, pp. 90-100, 2013.