

パワーエレクトロニクスにおける ワイヤレス電力伝送技術

ワイヤレス電力伝送システムにおける
パワーエレクトロニクス技術調査専門委員会編

目 次

1. はじめに		5. 保護機能	39
1.1 調査専門委員会について	03	5.1 異物・生体検知	39
1.2 調査報告の背景	03	5.2 位置検出	47
1.3 国内外の調査・報告動向	03	5.3 異物発熱	50
1.4 調査の範囲	04	5.4 まとめ	51
1.5 用語の整理	04	6. 規格・法規・電磁両立性	53
1.6 本技術報告書の概要	04	6.1 規制と標準化動向	53
2. ワイヤレス電力伝送の原理とシステムの概要	06	6.2 漏えい電磁界低減の試み	56
2.1 伝送電力と利用周波数と用途	06	6.3 まとめ	59
2.2 ワイヤレス電力伝送の原理概要	06	7. 電界結合型ワイヤレス電力伝送システム	61
2.3 ワイヤレス電力伝送システムの概要	07	7.1 電界結合型ワイヤレス電力伝送の研究史	61
2.4 まとめ	08	7.2 磁界結合と電界結合の比較	61
3. 電力変換回路	09	7.3 電界結合型ワイヤレス電力伝送の調査概要	62
3.1 ワイヤレス電力伝送向け電力変換回路	09	7.4 電界結合技術の研究開発事例	62
3.2 送電側変換回路のトポロジー	13	7.5 まとめ	66
3.3 受電側変換回路のトポロジー	17	8. アプリケーション調査	68
3.4 電力変換回路の制御技術	18	8.1 調査結果	68
3.5 最新動向	21	8.2 アプリケーション事例	70
3.6 まとめ	22	8.3 まとめ	78
4. 共振回路とワイヤレス電力伝送コイル	24	9. あとがき	80
4.1 共振回路	24		
4.2 コンデンサ・磁性材料・線材	26		
4.3 電力伝送コイルと結合	33		
4.4 まとめ	37		

ワイヤレス電力伝送システムにおける パワーエレクトロニクス技術調査専門委員会委員

委員長 居村 岳 広(東京理科大学)
幹事 伊東 淳 一(長岡技術科学大学)
岩谷 一 生(TDKラムダ)
幹事補佐 日下 佳 祐(長岡技術科学大学)
委員 近藤 圭 一(早稲田大学)
坂 田 勉(パナソニック)
関屋 大 雄(千葉大学)
鶴田 義 範(ダイヘン)
名雪 琢 弥(電力中央研究所)
中山 旭(TDK)

委員 堀内 雅 城(長野日本無線)
船渡 寛 人(宇都宮大学)
星野 哲 馬(ポニー電機)
細谷 達 也(村田製作所)
増 田 満(古河電気工業)
渡 辺 敦(昭和飛行機工業)
保田 富 夫(ワイティー)
坂下 友 一(三菱電機)
途中退任 佐 藤 基(東洋電機製造)

1. はじめに

1.1 調査専門委員会について

本技術報告書「パワーエレクトロニクスにおけるワイヤレス電力伝送技術」は、2017年2月に発足し2019年1月で解散した「ワイヤレス電力伝送システムにおけるパワーエレクトロニクス技術調査専門委員会」(委員長:東京理科大学 居村 岳広)の調査活動結果をまとめたものである。

本委員会の前身として、2014年2月~2016年1月の期間に「ワイヤレス電力伝送システムにおける電力変換技術協同研究委員会」が設置され、その調査結果が2016年の電気学会全国大会シンポジウムにて報告されている。その流れを引継ぎ、主に海外動向の調査を拡充し、電気学会初のワイヤレス電力伝送に関する技術調査報告書をまとめるため本委員会は発足した。

1.2 調査報告の背景

磁界結合型のワイヤレス電力伝送(WPT: Wireless Power Transfer)技術は古くはオークランド大学が2000年以前から研究を行っており、数mm~数cm程度のエアギャップである近接領域における電磁誘導方式は、搬送機や電動歯ブラシなど一部実用化されていた。そんな中、2007年にマサチューセッツ工科大学(MIT)が磁界共鳴(磁界共振・磁界共振結合)方式により2mのエアギャップを介した電力伝送を発表して以来、WPT技術は世界的な注目を浴びている。この技術は大きな可能性を秘めているため、IEEEでは「世界を変える7つの技術」にも選ばれている⁽¹⁾。

磁界共振結合は発表当初は現象すらもわからない状況であったが、近年では電磁誘導と磁界共振結合の相違についてもまとめられ、統一的に解釈できることがわかりつつあり、大枠としての磁界結合(電磁誘導)、そして、共振条件を非常に上手く使った磁界共振結合という流れになっている。そのため、磁界共振結合から始まった研究の流れと電磁誘導から始まった研究の流れは1つにまとまりつつある。

このWPT技術は家電製品や電気自動車への幅広い適用が検討され、一部は商品化されている。家電製品では、家庭内の電気ケーブルの配線を削減することや家電製品配置のフレキシビリティの増加など、様々な応用が期待されており、電気自動車では、普通充電、急速充電の他、走行中充電に関する検討がなされている。

実用としては、従来型の電磁誘導の流れをもつ近接領域でのWPTであるQi規格は早くに規格化され2010年から始まった。2017年にはiPhone®にも採用されるなど、広く普及しはじめている。国内でも、2011年にブロードバンドワイヤレスフォーラムからWPT向けのガイドラインが公表されている。

一方、大きなエアギャップを必要とする停車中の電気自動車への充電は従来型の電磁誘導の流れと磁界共振結合の流れの両方が関わる形になっており、規格化・標準化の議

論がSAE(Society of Automotive Engineers)、ISO(International Organization for Standardization)、IEC(International Electrotechnical Commission)で行われている。特にSAEでの標準化が先行しており、2017年11月にはRP(Recommend Practice)、2019年4月にはRP2が発行されている。最終的な標準化は2020年頃に完成目標とされている。

一方、MITは磁界結合型だけでなく電界結合型の電界共鳴(電界共振・電界共振結合)のワイヤレス電力伝送も同じく発表をしている。しかしながら、多くの研究は磁界結合型に集中し、磁界結合ほどの盛り上がりは見せていなかった。一方、近年では、電界結合の利点も再認識され、多くの機関で研究開発が活発に行われ始めている。日本では電界結合の製品化は2011年という早い時期に行なわれている。

このように、結合型の電力伝送方式には、磁界結合方式、電界結合方式があるが、要求仕様により伝送電力、伝送距離、動作周波数が異なり、高効率化、小型化などの観点から、用途に応じた使い分けが検討されている。カプラ部分(結合部、コイル、アンテナ)の小型化、軽量化の観点からは、伝送周波数は高い方が望ましい。しかし、電力変換器の電力効率により伝送周波数が制限されており、電力変換器の電力効率が1つのボトルネックとなっている。

はじめは現象論から始まったワイヤレス電力伝送技術であるが、理論化などの話が落ち着いた後は、実際にシステムとして動かすフェーズに入っており、パワーエレクトロニクスが主役となっている。一方で、WPT技術はパワーエレクトロニクスだけでは成立しないので、幅広い分野との相互協力が必要であり多くの分野の技術者が関わっている。学術的には電磁気学、電気回路、無線工学、パワーエレクトロニクス、制御工学などが必要であり、学術融合の見本のような分野である。

1.3 国内外の調査・報告動向

これまで国内では、自動車技術会においてワイヤレス給電システム技術部門委員会が設置され、自動車の充電システムとして、社会インフラ、規格など多方面から検討されている。一方、電子情報通信学会では無線電力伝送研究会(WPT研)が設置されており、アンテナ、無線技術を中心に議論されている。また海外では、2011年からIEEE Microwave Theory and Techniques Society主催でWPT技術を総合的に取り扱う国際会議が開催された他、Applied Power Electronics Conference(APEC)やEnergy Conversion Congress & Exposition(ECCE)などのメジャーなパワーエレクトロニクスの国際会議やEVの国際会議であるInternational Electric Vehicle Symposium & Exhibition(EVS)、そして、ワイヤレス電力伝送を専門とする学会としてIEEE Power Electronics Society Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power(WoW)やWireless Power Transfer Conference(WPTC)などにて、WPTに関するスペシャルセッションやオーガナイズドセッションなどが開かれている。このよう