

[記念講演] 無線電力伝送におけるアンテナと電波伝搬の考え方

－ WPT 研設立 10 周年にあたって －

陳 強[†]

[†] 東北大学大学院工学研究科 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

E-mail: †qiang.chen.a5@tohoku.ac.jp

あらまし 無線電力伝送研究専門委員会は 2014 年 5 月に電子情報通信学会通信ソサイエティの常設研究専門委員会として設立され、今年で設立 10 周年を迎えることになった。筆者は 2016 年 5 月からと 2018 年 5 月の間に専門委員長を務めており、研究会の運営に携わった。本講演では、研究会設立当時の学会活動を振り返ると共に、当研究室で行われてきた無線電力伝送におけるアンテナ・伝搬に関する研究を紹介する。

キーワード 無線電力伝送、アンテナ、伝搬、電力伝送効率

[Memorial Lecture] View of Antennas and Propagation in Wireless Power Transfer

- Celebrating 10 Years Anniversary of the WPT -

Qiang CHEN[†]

[†] School of Engineering, Tohoku University, Aoba-ku, Sendai 980-8579 Japan

E-mail: †qiang.chen.a5@tohoku.ac.jp

Abstract Technical Committee on Wireless Power Transfer was established in May 2014 under the Communications Society of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE), and this year marks its 10th anniversary. The author served as the chairperson from May 2016 to May 2018, contributing to the committee's operations in its early stages. In this report, at first I will review the activities of the technical committee during that period, and then introduce some researches on the antennas and propagation in the field of wireless power transfer conducted in our laboratory.

Key words Wireless power transfer, antennas, propagation, power transfer efficiency

1. WPT 研の設立

2000 年ごろから、特に MIT グループの研究論文 [1] が発表されてから、携帯型電気機器や電子デバイス、電気自動車などへの無線給電の要望が高まり、無線電力伝送の研究開発が盛んに行われるようになった。特に磁気共鳴や電界結合といったキーワードを含む近傍界による無線電力伝送に関する研究発表も大幅に増え、学会活動も活発になった。2014 年 5 月に当時の無線電力伝送特別研究専門委員会（時限研究会）のもとで、電子情報通信学会通信ソサイエティの常設研究専門委員会として「無線電力伝送研究専門委員会」（WPT 研）が発足された。篠原真毅氏（京大）が初代専門委員長を務め、袁巧微（仙台高専）と西川健二郎（鹿児島大）の 2 氏が幹事を務めた。当時は、遠方界伝送、近傍界結合、磁界結合、電界結合、共振、共鳴などの無線伝送方式に関する研究や、アンテナ、コイル、プローブ、マグ

ネトロン、整流回路、レクテナなどの様々な無線伝送デバイスに関する研究、人体への影響、無線通信への影響、社会実装など、幅広い研究が行われ、システムの「伝送と変換の高効率化」が目指されていた。また、企業や大学から多くの研究者が関連の研究に従事し、研究会も毎回盛り上がっていた。

研究会活動の多様化が WPT 研の 1 つの特色であった。研究会の発足当時から多彩なコンテストが定期的に開催された。大学と高専などの研究機関だけではなく、ベンチャー企業、大手企業の技術者たちも真剣勝負し、コンテストを楽しんでいた。「ミニ四駆ワイヤレス給電走行レース」や「プラ電車ワイヤレス給電走行コンテスト」、「高周波整流コンテスト」など、コンテストの内容が多彩であった。2016 年ソサイエティ大会開催期間中に開催された「ワイヤレス結合器コンテスト」では、周波数、アンテナの容積とアンテナ間の距離が一定とされるなか、最も高い電力伝送効率が得られる送受信アンテナの競争が行わ

れた(図1と図2)。アンテナ専門の筆者にとっては、非常に興味深く、もっとも印象に残ったコンテストであった。コンテストに参加した当研究室の学生が、コンパクトで利得の高いアンテナを巧みに設計し、最終的に参加作品をベースにした論文を発表した[2]。WPT コンテストは若手研究者や学生たちに無線技術に対する興味を呼び起こし、将来の無線電力電送技術を支える人材の育成に大きな役割を果たしたと思う。

また、無線電力伝送分野におけるアジア諸国との交流を深め、若手と学生に気軽に国際発表できる環境を提供することを目的として、研究会発足後の2年目から Asian Wireless Power Transfer Workshop (AWPT) を毎年1回のペースでアジア各国を回って開催してきた。現地の大学キャンパスを会場として利用することにより、ワークショップの登録費を極力安く抑え、学生の参加をやすくした。また、電子情報通信学会の第2種研究会として AWPT を開催することにより、投稿論文の著作権を学会に譲渡せず、論文発表のハードルを低くした。AWPT の開催趣旨を現地の主催者に理解していただくことが容易なことではなく、毎回の開催でも、企画から閉会まで WPT 研の執行部と AWPT の担当者らが大変苦労していた。初回の AWPT は、2015 年 12 月に淡江大学(台湾新北市)で開催され、特別講演を含む 31 件の講演が集まり、よいスタートを切ることができた(図3)。



図3 2015 年 12 月に淡江大学で開催される第 1 回目の Asian Wireless Power Transfer Workshop (AWPT2015)。

筆者は 2016 年 5 月から 2018 年 5 月までに 2 代目の専門委員長を仰せつかった。任期中、田村昌也氏(豊橋技科大)、関智弘氏(日大)、平山裕氏(名工大)、日景隆氏(北大)の幹事たちをはじめ、多くの有志者からサポートをいただいくなかで、2 年間の WPT 研運営に携わった。当時は学会活動はとても活発だったが、今後も安定した学会活動を継続でき、学会の活性化を維持するために、もっと多くの有志者が WPT 研に集まり、さらに、これらの有志者を有効に組織するためのルール作りが欠かせないと考えていた。そこで、若手育成のためのコンテストを運営する「コンテスト委員会」、財務の安定化を図るチュートリアル講演会を企画する「ワークショップ委員会」、及び国際化を推進する AWPT の運営組織となる「国際委員会」を立ち上げた。また、2016 年 7 月にこれらの委員会活動に関する「無線電力伝送研究専門委員会各種委員会、執行委員会規程」を策定した。これらの委員会はいまでも WPT 研究会の活動運営に重要な役割を果たし、研究会の活性化に大きく貢献していると思う。

2. WPT と AP

学問的には、無線電力伝送(WPT)とアンテナ・伝搬(AP)とは密接な関係がある。アンテナは WPT システムの重要なデバイスであり、電波伝搬は WPT のシステム設計の重要ファクターである。無線通信、放送、レーダーなどの分野では、特定の周波数において、アンテナの利得、帯域幅、サイドローレベルなどが求められるが、受信 SNR が十分であればこれらのシステムが機能する。一方、無線電力伝送では、極めて高い電力伝送効率が技術の必須要件とされる。長距離伝送と高伝送効率伝送は互いに相反するが、これらの技術要件を達成するために、アンテナと伝搬の最適化設計が WPT 研究における重要な研究テーマである。筆者は文献[3]-[5]で WPT におけるアンテナ伝搬の基本的な考え方をまとめた記事を掲載した。これらの文献の主旨は以下にまとめられる。詳細はこれらの文献を参照されたい。

- 遠方界方式の無線電力伝送では、球面波伝搬となるため、伝搬損失が大きく、電力伝送効率が極めて低い。アンテナの高利得化が電力伝送効率を向上するための有効な手段である。
- 近傍界方式では、電波の伝搬損失が小さく、遠方界方式より高い伝送効率を得られるが、アンテナの放射損失、アンテナとインピーダンス整合回路のオーム損失が伝送効率の低下の要因となっている。電気的小形なアンテナを用いることにより、放射損失を減らすことができるが、アンテナとインピーダンス整合回路のオーム損失が逆に増えてくるため、送受信間の距離

ワイヤレス結合器コンテスト (概要)

主催 無線電力伝送研究専門委員会 WPT 協賛 アンテナ伝播研究専門委員会 A・P 時期 平成28年秋ソサイエティ大会期間中 場所 北海道大学 対象者 学生または若手技術者、複数メンバによるチームも可 対象品 自設計かつ自作のワイヤレス結合器	 このスライドは暫定版です 正式ルール等は別途告知します
--	--

E結合

H結合

アンテナ結合

測定項目 小信号2ポートSパラメータ
計測器 ベクトルネットワークアナライザ
評価項目 S21dB、最大効率 (kQ積)
部門 kHz、MHz、GHz
表彰 S21賞、最大効率賞

図1 2016 年 9 月に北海道大学で開催される「ワイヤレス結合器コンテスト」の参加募集ポスター。

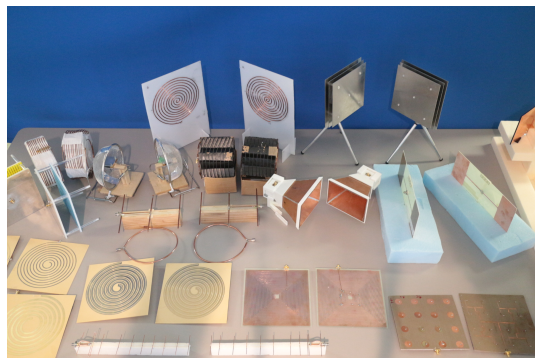


図2 2016 年 9 月に北海道大学で開催される「ワイヤレス結合器コンテスト」に参加する競技者たちの作品。

に対して、最適なアンテナ電気長が存在する。

- 近傍界方式では、小形ループアンテナが小形ダイポールアンテナよりオーム損失が大きい、整合回路のオーム損失を考慮すると、ループアンテナを用いたほうが、システム全体の伝送効率が高く出ることになる。

- 送受信アンテナ間距離の増加により、近傍界方式から遠方界方式に徐々に変わっていくなか、最大伝送効率がシームレスに減少する。

文 献

- [1] André Kurs, Aristeidis Karalis, Robert Moffatt, J.D. Joannopoulos, Peter Fisher, and Marin Soljacic, "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances," *Science*, Vol. 317, pp. 83-86, July 2007. 10.1126/science.1143254.
- [2] Shimpei Nagae, Satoshi Suzuki, Keisuke Konno, Hiroyasu Sato, Qiang Chen, "Compact design of two-elements cubic Yagi-Uda array antenna with high gain," *IEICE Communications Express*, Vol. 8, Issue 12, pp. 652-656, 2019.
- [3] Qiang Chen, Kazuhiro Ozawa, Qiaowei Yuan, and Kunio Sawaya, "Antenna Characterization for Wireless Power-Transmission System Using Near-Field Coupling," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 54, no. 4, pp. 108-116, Aug. 2012.
- [4] Qiaowei Yuan, Qiang Chen, Long Li and Kunio Sawaya, "Numerical Analysis on Transmission Efficiency of Evanescent Resonant Coupling Wireless Power Transfer System," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 58, no. 5, pp. 1751-1758, May 2010.
- [5] 陳強、袁巧微、"共振器を用いたワイヤレス給電技術—アンテナの視点より—"、ワイヤレス給電技術の最前線、篠原真毅監修、シーエムシー出版、2021 年 5 月。