

ワイヤレス給電システムを利用した電気化学分析技術



高橋 史樹

1 はじめに

「ワイヤレス給電 (wireless power transfer, WPT)」技術が近年注目されている。WPT は駆動部分と受電部分 (各種デバイス) がリード線などの電気的な接続を必要とせずに給電できる特長を有する技術である。我が国においても総務省が発表した 2030 年代を視野に入れたワイヤレス分野の技術ロードマップにおける重要な施策として WPT が上位に位置付けられており¹⁾、近年では走行中の自動車にワイヤレスで充電するシステムが研究・開発されるなど社会的に大きな興味を持たれている²⁾。

WPT 技術による給電システムは、数十 kHz から数十 MHz の高周波の磁界または電界を介して電力伝送を行う結合型 WPT と、数百 MHz から数百 GHz の電磁波を介する空間伝送型給電に大別されることが多い。それぞれ電磁界または電磁波を介してワイヤレスで電力供給するものであり²⁾、どちらの給電方法にも電力供給効率や伝送距離の面などで特長がある。目的とする応用分野に適した方式が選択されているが、送受電間の伝送効率、システム設計および法令上の取り扱いの関係から結合型 WPT システムが日常生活で触れる機会が多い傾向がある。代表的な結合型 WPT システムとして高周波磁界を用いた電磁誘導型が知られており、その構成の略図を図 1 に示した。電磁誘導による WPT システムはパワー・エレクトロニクスにおけるトランスの原理に対応しており、ファラデーの法則に基づいている。駆動コイルである一次コイルに交流を通電したときに発生する磁界が、受電側である二次コイルを貫く際に発生した起電力を利用するものである。この一次コイルと二次コイルの間には空間的な隔たり (エアギャップ) があるため、リード線などのコネクタを用いたときのような電気的な接続を必要とせずに二次コイル側の回路に「非接触で給電」で

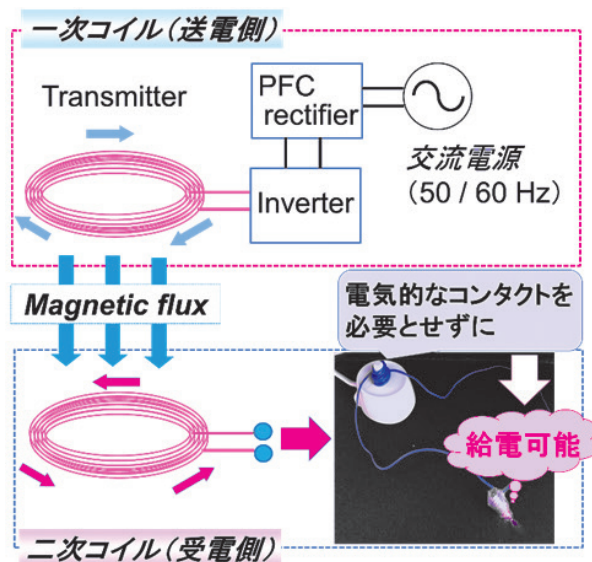


図 1 電磁誘導方式による WPT の概念図

きる。ただし、二次コイル側で生じる起電力はコイルに導かれた磁束密度の時間変化分に対応しており、その電流信号は比較的複雑となるため、分析化学デバイスとしての適用例は限定的であった。特に電極に印加される電位と、対応する電流を観測する電気分析化学の分野では、WPT システムをそのまま適用することは基本的に困難であった。

2 WPT を利用した電気化学分析

WPT 技術を電気化学分析に適用するため、得られた誘導電流をポテンシostatの駆動用電源として用いたシステムが報告された³⁾⁴⁾。代表的な電気化学分析法であるクロノアンペロメトリーの測定では、市販のポテンシostatとほぼ同等の結果が得られた。設計されたポテンシostatは WPT によって非接触で給電されているため、電源ソケットなどへの接続や駆動用のバッテリーの搭載は必ずしも必要とせず、小型化が可能なポータブル分析システムとして現場分析への展開が期待された。

また WPT によって受電側で生じた誘導電流を任意の波形に整流・制御した電気化学分析法も設計されている。受電コイルの両端で生じた交流をプリント基板上の集積回路によって三角波などに整流し、直接電極に印加させることでボルタンメトリーを実行し、ビタミン類の分析やイムノセンサーなどに応用された⁵⁾。受電コイルとともにプリントされた電極を組み込んだ基板は、WPT 技術を利用した電気化学分析法の簡便性が改善されており、密閉されたボトル内の溶液に対する電解合成反応に応用されるなどの試みが行われている⁶⁾。

3 WPT を利用した電気化学発光分析

WPT によって得られる二次コイル側の誘導電流を直接電気化学測定システムに適用すると、駆動コイルであ

An Electrochemical Analytical Approach Coupled with Wireless Power Transfer Technique.

る一次コイルの周波数に対応した交流の誘導電流が電極に印加される。その電気化学測定の応答はファラデー電流成分や充電電流成分による寄与に加えて、高周波の印加に対応した電解生成物の再酸化または還元が組み合わされた非常に複雑なものとなる。そのため、WPT技術を用いた電気化学測定では、上述した給電としての利用、電極に印加される電位の制御としての利用のいずれの場合においても、受電コイル側の回路には比較的複雑な機構を組み込む必要があった。その結果、測定システムが煩雑化するため、簡便な分析方法として展開するには課題が残っていた。

そこで測定システムの簡略化を目的として、電気化学発光 (electrochemiluminescence, ECL) 原理と WPT 技術と組み合わせた分析法が提案された⁷⁾。近年、WPT によって生じた二次コイル側の起電力 (誘導電流) を直接、電極に接続し、ECL 測定を行った実験が行われた。図 2 に WPT 技術と組み合わせた ECL 測定用の分析デバイスの概念図を示した。受電側で生じた誘導起電力をそのままプリント電極へ印加させたところ、僅かな強度ではあるがルミノール / 過酸化水素系の ECL が観測された。このシステムに安価な整流用のダイオードのみを組み込むことで、ECL 強度が 10000 倍以上増強した結果が得られており、溶液中の過酸化水素を定量的に分析できることが報告された^{7)~9)}。

WPT によって生じる受電コイル側の起電力は、駆動コイル側の印加波形条件に強く影響される。ルミノール系の ECL 反応は比較的低い電位で反応を引き起こすことが出来る一方で、薬効成分として医薬品などに含まれるアミン類やビタミン類を高感度に検出できるルテニウム錯体などを ECL エミッターとして用いるためには、より高い電位を電極に印加する必要があった。誘導起電力を増強させるため、より高い周波数帯である 13.56 MHz の近距離無線通信 (near field communication, NFC) 技術を利用した WPT-ECL デバイスが設計され、代表的な ECL 反応の共反応物であるトリプロピルアミ

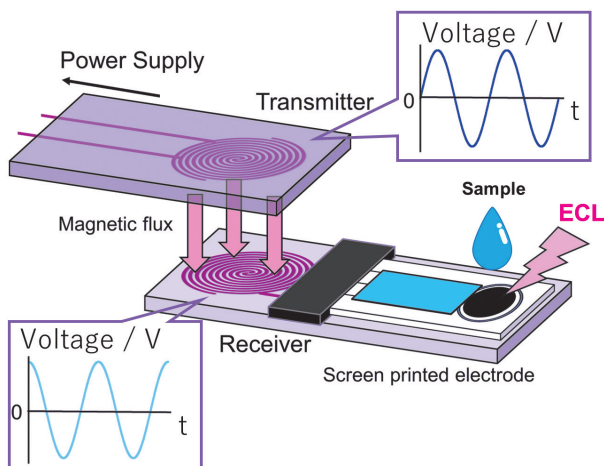


図 2 WPT を利用した電気化学発光分析デバイスの概念図

ンの検出に応用されるなど、種々の分析対象物への適用の可能性が示された¹⁰⁾。

4 おわりに

これまで報告されている分析システムで用いられている結合型のワイヤレス給電では供給できる電力伝送の空間的距離は比較的短い (約数 cm) 上、受電コイルの位置も起電力に影響するため²⁾、分析の再現性や操作の容易性には課題が残されている。2007 年に Massachusetts Institute of Technology の Marin Soljačić 氏らの研究グループが約 2 m 離れた位置に設置した 60 W の電球を点灯させた実験¹¹⁾を皮切りに、空間的な制御が可能な WPT 技術が急速に発展している。このような WPT 技術と組み合わせたユーザーフレンドリーな電気化学分析デバイスが「非接触で給電・分析」できる簡便なシステムとして幅広い分析化学分野への展開に繋がると考えられる。

文 献

- 1) 総務省：“ワイヤレス分野の技術ロードマップ (令和 2 年 1 月)”, (https://www.soumu.go.jp/main_content/000669891.pdf/), (accessed 2023. 10. 12).
- 2) 田野倉保雄編：“ワイヤレス給電のすべて 電気自動車/スマートフォンの非接触充電, エネルギー・ハーベスティング, 宇宙太陽光発電まで”, (2011), (日経エレクトロニクス).
- 3) P. Teengam, W. Siangproh, S. Tontisirin, A. Jirasereeamornkun, N. Chuaypen, P. Tangkijvanich, C. S. Henry, N. Ngamrojanavanich, O. Chailapakul : *Sens. Actuators B Chem.*, **326**, 128825 (2021).
- 4) K. Krorakai, S. Klangphukhiew, S. Kulchat, R. Patramanon : *App. Sci.*, **11**, 392 (2021).
- 5) Y. Jung, S. Shrestha, N. Lim, H. Park, N. Lim, J. Sun, J. Park, S. Parajuli, K. Shrestha, S. Kim, G. Cho : *Adv. Eng. Mater.*, **24**, 2100896 (2022).
- 6) J. Chen, Y. Mo : *ACS Cent. Sci.*, **9**, 1820 (2023).
- 7) W. Qi, J. Lai, W. Gao, S. Li, S. Hanif, G. Xu : *Anal. Chem.*, **86**, 8927 (2014).
- 8) L. Qi, Y. Xia, W. Qi, W. Gao, F. Wu, G. Xu : *Anal. Chem.*, **88**, 1123 (2016).
- 9) X. Ma, L. Qi, W. Gao, F. Yuan, Y. Xia, B. Lou, G. Xu : *Electrochim. Acta*, **308**, 20 (2019).
- 10) J. Toticaguena-Gorriño, M. Dei, A. F. Alba, N. Peřinka, L. R. Rubio, J. L. Vilas-Vilela, F. J. Campo : *ACS Sens.*, **7**, 1544 (2022).
- 11) A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, M. Soljačić : *Science*, **317**, 83 (2007).



高橋 史樹 (TAKAHASHI Fumiki)

信州大学理学部理学科化学コース (〒390-8621 長野県松本市旭 3-1-1)。信州大学大学院総合工学系研究科物質創成科学専攻。博士 (理学), 甲種危険物取扱者, 中学校・高等学校教諭専修免許状 (理科), 車両系建設機械運転技能者 (整地等, 解体)。《現在の研究テーマ》電気化学および電気化学発光法を利用した分析デバイス開発に関する研究。《趣味》錦鯉鑑賞, ドライブ, スキーおよびスノーボード。

E-mail : takahashi@shinshu-u.ac.jp