空間伝送型WPTの研究開発と実用化の現状

京都大学　生存圏研究所 教授　篠原（しのはら）　真毅（なおき）

1. はじめに

空間伝送型ワイヤレス給電（Wireless Power Transfer：WPT）とは、非結合型WPTとも呼ばれ、送電アンテナから放射された電波（マイクロ波やUHF波、ミリ波、THz波等）を用いて無線電力伝送を行うものである[1][2]。レーザー光を用いた無線電力伝送（レーザー送電）も空間伝送型WPTである。放送や通信用の電波を電力として利用する電波ハーベスティング（環境発電とも呼ばれる）[3]も空間伝送型WPTの一種である。空間伝送型WPTは電磁誘導等の結合型WPTとは異なり、送受電間に電磁界的な結合がないため、受電位置の変化や受電回路の電気パラメータ（共振周波数や回路インピーダンス）の変化によって送電側の電気パラメータが関連して変化しない。そのため、非結合型WPTとも呼ばれる。空間伝送型WPTは送受電間の電磁界的な結合が不要なために、高効率で無線電力伝送が可能な距離は結合型WPTよりも格段に長く、実用上は10m前後から、理論上は数万kmまでも無線電力伝送することができる。また電磁界的結合がないため、送受電システムの設計を個別に行うことができる利点もあるが、反面、受電位置の変化を送電側で感知できないため、高効率で無線電力伝送を行うためには受電位置推定の技術が必要となる。マイクロ波（やUHF、ミリ波等）を用いた空間伝送型WPTは総じてマイクロ波送電とも呼ばれ1960年代より研究開発が行われ[4]、我が国でも1980年代以降研究開発が盛んに行われてきた[5]。しかし、これまで空間伝送型WPTは将来の実現を目指す宇宙太陽発電[6]以外の商用キラーコンテンツがあまりなく、実用化の機運が固まり法制化の議論が始まったのは2010年代後半のことである。

2. 日本の空間伝送型WPTの研究開発の現状

2010年代後半になり空間伝送型WPTの実用化に向けた研究開発や法制化の議論が始まったのは、①2010年代前半より始まった結合型WPTの実用化と標準化、法制化によるWPT自体への関心の高まり、②携帯電話や電気自動車、ドローン等の2次電池ユーザーの急速な拡大と電池持続時間への不安の拡大、③IoT（Internet Of Things）用センサー、IC等新しいIT技術への期待と、その低消費電力デバイスの電源問題解決への期待、④5Gやbeyond 5Gという無線通信の将来規格がIoTや自動運転等新しい無線技術を取り込んだ発展を目指し始めたこと、等の理由によると思われる。

空間伝送型WPTは大別して複数のユーザーへ広く無線電力伝送を行うユビキタス型と、単一ユーザーに電波をビーム状にして集中して高効率に無線電力伝送を行うビーム型がある。1960年代は前述の②のようなモバイルデバイスや、③のような低消費電力デバイスやIoTのような技術がなかったために、宇宙太陽発電のようなビーム型の研究開発が主流であったが、電波の基礎方程式によるアンテナ小型化の限界のため、商用化には至らなかった。高効率で電波エネルギーを受電側に送るためには「思ったよりも大きな」アンテナが必要となるのである。ユビキタス型は送受電効率という意味で非常に悪いが、ユーザーが必要とする電力を長距離で複数ユーザーに送る利便性があり、IoTからの期待と相まって近年研究開発が盛んになっているのである。

我が国では空間伝送型WPTに関し、2019年現在大きな研究プロジェクトとして、

・JST Center Of Innovation（COI）「活力ある生涯のためのLast 5X イノベーション」（2013−）［京大他］[7]
・内閣府（JST*1、NEDO*2等）戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「IoE（Internet of Energy）社会のエネルギーシステム」（2018−）［名古屋大、東大、京大他］[8]

が実施されている。他にもエネルギーハーベスティングに関するJST CREST/さきがけプロジェクト[9]やA-STEPプロジェクト[10]、宇宙太陽発電所のためのマイクロ波送電研究開発プロジェクト[11]等も行われている。京大COIでは国家戦略特区を利用して、2017年度から室内でのUHF帯（927MHz、5W以下）のユビキタス型WPTを利用したバイタルセンサーの実証実験を京都府相楽郡精華町の町役場

*1　JST：国立研究開発法人科学技術振興機構
*2　NEDO：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

内で実施しており、2019年度より同町の特別養護老人ホームにてさらに実証実験を行う。

SIPではユビキタス型として「センサネットワーク及びモバイル機器へのWPTシステム（代表：パナソニック梶原正一氏）」、ビーム型として「ドローンWPTシステム（代表：東京電力HD濱田浩氏）」、それらを支える基礎技術開発として「GaN半導体開発（代表：名古屋大天野浩教授）」をそれぞれ行っている。「センサネットワーク及びモバイル機器へのWPTシステム」研究では、主にUHF（920MHz帯）を用いて室内でのユビキタス型WPTのさらなる高効率化のために、分散アンテナによる協調ビーム制御方式と高度ビームフォーミング方式の研究を行っている。「ドローンWPTシステム」では、電磁誘導型、電界共鳴型と5.8GHzマイクロ波を用いた空間伝送型WPTを並行して研究開発を行っており、マイクロ波送電によるドローンWPTシステムは三菱電機と京都大学が担当となり研究開発を行っている。ビーム方向を制御できる高効率フェーズドアレーアンテナの開発や高効率小型受電整流アンテナ（レクテナ）の開発、新しいビームフォーミング手法の開発を行いつつ、実用化のための既存システムとの共存検討評価も行う予定である。

我が国においては屋内利用の空間伝送型WPTに関し、2020年春以降の法制化を目指して現在総務省陸上無線通信委員会/WPT作業班での活発な議論が行われている。国内議論はITU-R（国際電気通信連合 無線通信部門）での議論にもフィードバックされ、我が国はITU-Rでの議論もリードしており、空間伝送型WPTの実用化も世界をリードすべく今後一層の努力が期待される。我が国で空間伝送型WPTの実用化を目指し、筆者が2013年にワイヤレス給電実用化コンソーシムWiPoTを組織し、2019年現在企業会員36社、学識会員57名で様々な活動を行っている[12]。さらに、筆者が技術顧問となり、2019年5月には日本初の空間伝送型WPT技術を生業とするベンチャー会社「スペースパワーテクノロジー社」を設立した[13]。今後は我が国発の空間伝送型WPTの商品化が始まっていくと期待している。

3. 世界の空間伝送型WPTの研究開発の現状

我が国の1980年代以降の空間伝送型WPTの研究の隆盛に対し、米国では1980年代以降は空間伝送型WPTの研究開発ではあまり目立った動きはなく、UHF帯RF-IDの実用化を目指した活動程度であった。しかし、2000年代に入り、空間伝送型WPTの商用化を目指したベンチャー企業が米国で何社か立ち上がり、これらは2010年代後半になってFCC（Federal Communications Commission：連邦通信委員会）に直接に働きかけ、商品の認可を得るようになってきた。

その1社であるEnergous社は、半導体チップセット、ソフトウェア、ハードウェア設計とアンテナを含み、電子装置向けの空間伝送型WPTであるWattUp技術の開発に従事するNASDAQ上場会社で、2017年12月に世界初となる空間伝送型WPTの900MHz帯でのFCC Part 18の認可を得ている。Energous社は、結合型WPTの世界標準規格を目指すAirFuel Allianceにも参加しており、AirFuel規格の一部に空間伝送型WPTを「AirFuel RF」として設定し、世界での普及を目指している。2019年12月にはFCC認可のWattUp技術を用いたSmart Glasses Developer Kitのリリースも始めている。iPhone8がリリースされる前の一時期、「次期iPhoneには空間伝送型WPTが搭載されるかもしれない」という噂がネットに流れたことがあったが、この噂の元はEnergous社との関係であったようで、最終的にApple社はAirFuelに対抗するWireless Power Consortiumの結合型WPT規格QiをiPhone8以降に採用したため、噂は噂で終わったが、Apple社がEnergous社と関係していることは事実のようである。

米国では、空間伝送型WPTを開発するベンチャー企業であるOssia社も、2019年6月及び10月の2度にわたり、2.45GHzで動作するCotaと名付けられたシステムのFCC Part 15とPart18の認可を得ている。Cotaシステムは、室内でのマルチパス環境下で用いられるシステムで、ユーザーから放射するビーコン波を利用して高効率にマイクロ波ビームを形成する技術であり、人体（及び障害物）を避けるようにビーム形成し、安全かつ高効率にマイクロ波送電することを売りにしている。Cotaは携帯電話のマイクロ波送電も米国CES展示会等では既にデモを行っており、10m程度の距離で携帯電話に無線充電を行うことができる。Cotaは一種のフェーズドアレーアンテナシステムであるが、マルチパスビーコン波を利用して高速かつ安価なシステムであることが特徴となっている。彼らはCota技術をベースに、現在Walmart社と組み、電池レスコードレスで動作する集中管理型の商品タグの開発を行っている。また、世界最大の電子レンジメーカーである中国Galanz社とIT家電の開発でも合意している。さらに、Ossia社は2020年度には5.8GHzのCotaシステムを開発し、FCC認可を取ることを目標として研究開発を行っている。2019年10月にシアトルで行われたOssia Image 2019 Workshopでは、2019年10月にFCC

認可を受けた「Forever Tracker」のデモ機や、開発中の5.8GHz Cotaシステムのデモ機が展示されていた。Ossia社は日本のKDDI社とも2015年1月に資本提携を行っており、日本での商品展開も目指している。

これらはユビキタス型もしくはそれに近い空間伝送型WPTであるが、ビーム型WPTの商品化を目指した米国ベンチャー企業も存在する。Escape Dynamics社は、92.3GHz、100kW程度のミリ波を用いてビーム型のマイクロ波送電を行い、マイクロ波で駆動する飛行機の実現を目指していたが、2016年で残念ながら会社をたたんでしまった。レーザー光を用いたビーム型WPTを開発する企業は2019年現在も活発に活動している。2012年に設立されたイスラエルのWi-Charge社は、集束赤外線ビームを用い、移動する物体へビームを追従させながら数m程度でレーザー送電を行う商品を販売している。電波と違いレーザー光は電波法の管轄外であり、彼らはアイセーフ等の安全基準を順守することのみで商品化を行っている。

中国では空間伝送型WPTを推進する目立った企業はないが、マイクロ波を用いたビーム型WPTが盛んに研究されており、西安、重慶、武漢、成都、上海等に複数の大学や研究機関があり、重点的にマイクロ波送電の研究開発を行っている。またエネルギーハーベスティングではあるが、携帯基地局からの電波をハーベストしてドローンに無線充電するシステムをファーウェイ社が計画中であると、2017年の展示会MWCで発表され、その後の研究開発が期待されている。中国では屋外で複数の空間伝送型WPTのデモや実証実験が行われており、法制化の仕組みも他国とは異なるであろうことから、今後最注目の国であることは間違いない。

4. おわりに

結合型WPTの法制化の議論が固まりつつあり、商品化も進んできて、WPTが身近に感じられるようになり、次は空間伝送型WPTであるという期待感が世界中で高まっている。空間伝送型WPTを実用化するためには、既存電波応用との共存を図り、電波の安全性を担保しなければ先に進めない。我が国は技術も、法制化の議論も世界に先行していたが、近年の米中のスピードに負けてしまいそうな危惧がある。今後議論と研究開発を加速し、空間伝送型WPTの実用化で世界に先駆けることを切に期待している。

参考文献

[1] Shinohara, N., “Wireless Power Transfer via Radiowaves (Wave Series)”, ISTE Ltd. and John Wiley & Sons, Inc., 2014.1

[2] Shinohara, N. (ed.), “Recent Wireless Power Transfer Technologies Via Radio Waves”, River Publishers, 2018.5

[3] 堀越智、竹内敬治, 篠原真毅 (監著)、エネルギーハーベスティング 身の周りの微小エネルギーから電気を創る“環境発電”、日刊工業新聞社、2014.10

[4] Brown, W. C., “The History of Power Transmission by Radio Waves”, IEEE Trans. MTT, Vol. 32, No. 9, pp.1230-1242, 1984

[5] Matsumoto, H., “Research on Solar Power Station and Microwave Power Transmission in Japan : Review and Perspectives”, IEEE Microwave Magazine, pp.36-45, Dec. 2002

[6] 篠原真毅 (監著)、“宇宙太陽発電 (知識の森シリーズ)”、オーム社、2012.7

[7] 京都大学COI「活力ある生涯のためのLast 5X イノベーション」
http://www.coi.kyoto-u.ac.jp/

[8] SIP「IoE (Internet of Energy) 社会のエネルギーシステム」
https://www.jst.go.jp/sip/p08/index.html

[9] JST CREST/さきがけ「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出」
https://www.jst.go.jp/kisoken/presto/research_area/ongoing/bunyah27-2.html

[10] JST A-STEP「IoT、ウェアラブル・デバイスのための環境発電の実現化技術の創成」
https://www.jst.go.jp/a-step/kadai/h27-2s1/h27_senryaku01.html

[11] 経済産業省「宇宙太陽光発電における無線送受電技術高効率化等研究開発事業」(J-Spacesystems受託)
https://ssl.jspacesystems.or.jp/project_ssps/?doing_wp_cron=1576982199.0885429382324218750000

[12] ワイヤレス電力伝送実用化コンソーシアムWiPoT
http://www.wipot.jp/.

[13] 篠原真毅、古川実、“京都大学発マイクロ波送電技術ベンチャー「スペースパワーテクノロジー社」”、電気評論、pp.46-49, 2019.11