空間伝送型WPT（屋内、IoTセンサ向け）

オムロン株式会社　技術・知財本部 研究開発センタ マスタースペシャリスト
ブロードバンドワイヤレスフォーラム / ワイヤレス電力伝送 WG TG6 リーダ
藤本（ふじもと）　卓也（たくや）

1. はじめに

ワイヤレス電力伝送（Wireless Power Transfer/Transmission：以下、名称以外ではWPT）のうち、電磁誘導型、磁界共鳴型、電界結合型など近接型WPTについては、既に実用化段階となっており、モバイル機器・EV（電気自動車）等への充電で利用されつつある。

一方、サブGHz以上の電波を使用して電力を伝送する空間伝送型WPTは伝送距離が長く、IoT（Internet of Things）社会を支える次世代のインフラ技術としての期待も高い。特に近年では、工場内等で利用するセンサ機器への給電用途等での実用化を目指し、国内外で開発が進められているが、国際電波法（RR：Radio Regulation）及び国内の電波法においてもカテゴリーが明確化されていない。

本稿では空間伝送型WPTの制度化に向けた国内外の最新動向を紹介するとともに、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）での「センサネットワーク及びモバイル機器へのWPTシステム」の取組み状況についても簡単に紹介する。

2. 国内制度化議論の状況

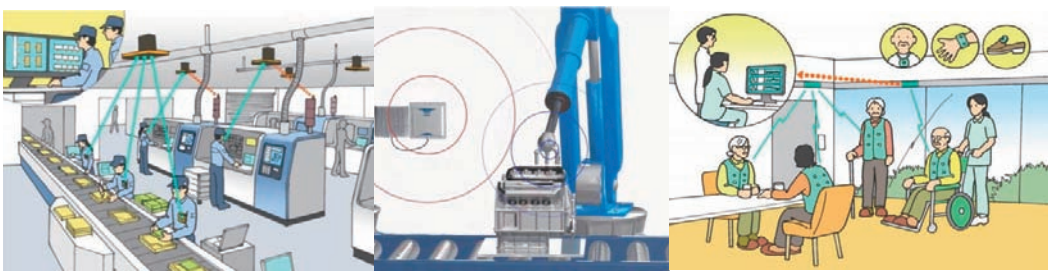
我が国では、長距離の電力伝送を行う空間伝送型WPTの研究が世界に先駆けて行われてきたが[1]、電波法上でのカテゴリーがなく、実験局として扱われてきた。しかしながら、工場内等で利用するセンサ機器等への給電用途で世界に先駆けて商用化をする環境を構築するとともに、我が国の強い競争力を獲得するために制度整備化が重要であることを、業界代表としてBWF（ブロードバンドワイヤレスフォーラム）より電波有効利用成長戦略懇談会に要望を出すなどの活動を進めてきたこともあり[2]、2018年8月に取りまとめられた同懇談会の報告書にて、2030年代に実現すべき7つの次世代のワイヤレスシステムの1つとしてWPTがあげられた[3]。

本提言を受け、同年12月12日に情報通信審議会情報通信技術分科会にて諮問第2043号「空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件」の諮問が行われ、翌2019年1月の情報通信技術分科会陸上無線通信委員会にて空間伝送型ワイヤレス電力伝送システム作業班が設置される運びとなり、2月より同作業班での調査が開始された[4]。

同作業班では空間伝送型WPTの導入にあたって既存の無線システムとの共用に必要な技術的条件、人体への安全性等の検討を行っており、そのための具体的検討として、低コストの無線機実現、国際標準化の観点も踏まえ、3つの周波数帯に検討対象を絞り込み、議論を行っている。当初は屋外での利用や一般人が利用するユースケースも考えたが、様々な課題解決に時間を要することから、第1ステップとしては屋内での利用に限定している。各周波数帯の特徴と利用方法は表1のとおり。

■表1. 利用希望周波数における特徴と利用方法

周波数	特徴（同一条件時）				利用方法
	送信距離	送受回路	アンテナ大きさ	伝搬特性	
920MHz帯	長距離化	低コスト化	大型化		無指向性アンテナ又はワイドビームにより物陰などの見通し外を含めた広範囲、複数同時に送電を充電を行う
2.4GHz帯					Wi-Fi機器を利用したビーコン信号等により既存システムと連携し廉価な受電装置により電力の1対1送電を行う
5.7GHz帯		高コスト化	小型化	直進性	専用受電装置により細かい制御による受電装置との連携制御を行い、長い時間の受電と高電力の1対1送電を行う



（a）製品や動線管理（工場品質）　（b）ロボットの可動部センサ（工場品質）　（c）健康管理・見守り（介護現場）

■図1. 920MHz帯での利用シーン

（1）920MHz帯

920MHz帯での利用シーンを**図1**に、主な共用パラメータを**表2**に示す。920MHz帯は伝搬損失が小さく、構造物の影などへも比較的回り込んで伝搬することから、広範囲のセンサへの1対Nの多数同時給電が期待でき、工場や介護現場のセンサネットワークの電源に適している。

また、RFIDと同等の電気仕様とすることで、既に市場にあるRFIDシステムとの連携・応用が可能となり、人体により遮蔽されやすいバイタルセンサ、位置センサ及びロボット等の可動により一定方向に空中線を向けることが難しい機器に使用するセンサへの給電利用が想定される。

■表2．920MHz帯 共用パラメータ（＊現在議論中）

項目	パラメータ
送信出力	1W（30dBm）
周波数	918.0MHz/919.2MHz
等価等方輻射電力	36dBm
占有周波数帯幅	200kHz
空中線利得（送信）	6.0dBi
利用場所	屋内(WPT一般環境)
変調方式	N0N、G1Dなど

（2）2.4GHz帯

2.4GHz帯での利用シーンを**図2**に、主な共用パラメータを**表3**に示す。2.4GHz帯は無線LANシステム等の信号を利用した位置推定と受電制御が可能であり、既設無線システムにWPTの受電部を組み込むことでワイヤレスによる機器利用が可能となる。また、送信装置も2.4GHz帯を使用している無線LAN、構内無線局、特定小電力無線及びISM機器に連携・追加する利用形態が想定され、広範囲な市場形成と世界市場への展開が見込める。

■表3．2.4GHz帯 主な共用パラメータ（＊現在議論中）

項目	パラメータ
送信出力	15W（41.8dBm）
周波数	2410MHz～2486MHz
等価等方輻射電力	最大65.8dBm
空中線利得（送信）	24.0dBi
利用場所	屋内(WPT管理環境)
変調方式	N0N

■図2．2.4GHz帯での利用シーン

（3）5.7GHz帯

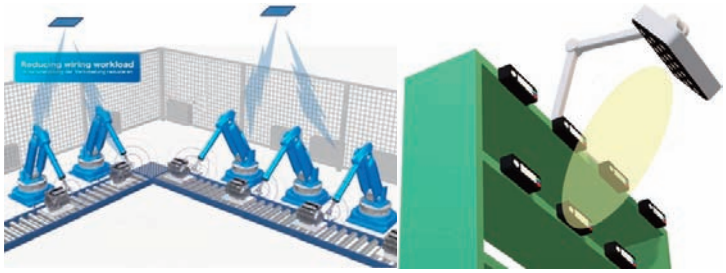
5.7GHz帯での利用シーンを**図3**に、主な共用パラメータを**表4**に示す。5.7GHz帯は周波数が高いためアンテナの小型化が可能であることから、小型・軽量な専用受電装置の開発が可能であり、送信装置においても、ビームを絞った狭ビームにより給電対象を絞り切替えながらの継続給電が可能となる。そのため、工場の無人ラインに使用するロボット等への組込みセンサへの給電、倉庫などの専用表示器、無人化が進む設備における大規模なセンサ群への利用が想定される。

■表4．5.7GHz帯 主な共用パラメータ（＊現在議論中）

項目	パラメータ
送信出力	32W（45.0dBm）
周波数	5738MHz～5766MHz
等価等方輻射電力	最大70.0dBm
空中線利得（送信）	25.0dBi
利用場所	屋内(WPT管理環境)
変調方式	N0N

（4）その他環境条件等

空間伝送型WPTは、同一空間内に他の無線システムと共存して設置・使用され、干渉による他の無線システムへの影響が想定されることから屋内の管理環境を定義している。以下に定義する利用環境を「WPT管理環境」、それ以外を「WPT一般環境」として区分し、本システムも含めた無線システムによる使用環境を整備することで電波を有効利用した環境として使用する。



（a）工場内のセンサ給電　　（b）倉庫などのピッキング表示器

■図3．5.7GHz帯での利用シーン例

・屋内、閉空間であること
・電波防護指針における指針値を超える範囲が上記、屋内、閉空間に含まれること
・屋内の管理環境に設置される空間伝送型WPTの運用が、他の無線・システム等に与える影響を回避・軽減するため、本システムの設置者、運用者、免許人等が、一元的に他の無線システムの利用、端末設置状況を管理できること
・屋内の管理環境に隣接する空間（隣接室内、上下階等）においても他の無線システムとの共用条件を満たすか、屋内の管理環境と同一の管理者により一元的に管理できること等。

また、周波数の有効利用を図るために官民が連携して、既存の無線システムや空間伝送型WPT相互間の運用調整のための仕組み作りが行われることが望ましく、この仕組みによって空間伝送型WPTの使用周波数、使用場所等の情報を管理・公開し、既存無線システムとの共存を可能とする環境を図るものとする。また、この仕組みにより空間伝送型WPTが既存無線局の運用に著しく、かつ、継続的に干渉を与える場合には、必要に応じて運用者へ対策を講じるための措置等を指示することで、電波の利用環境の維持に努めるよう議論されている。

3. ITU-Rでの国際制度化議論の状況

WPTシステムに関する国際協調議論は、古くは1978年の第14回CCIR総会で承認されたQuestion 20/2が元となり議論され、その後2013年6月のITU-R SG1会合においてNON-BEAM WPT（磁界結合方式、電界結合方式等の近傍界領域におけるWPT）とBEAM WPT（電波を意図的に放射させる空間伝送型WPT）に分けて議論を行うことになった。

その後、BEAM WPTについてはアプリケーションに特化した報告が2016年6月にReport ITU-R SM. 2392-0として発行され[5]、現在、他の無線システムとの共用のための検討について、WD（Working Document）新レポート［WPT.BEAM.IMPACTS］として議論が行われている。2019年5～6月のSG1会合（WP1A会合を含む）ではこれに加え、先のReport ITU-R SM. 2392-0の改定と、Beam WPTに使用する周波数に関する勧告案［WPT.BEAM.FRQ］について2021年の完成を目標に議論が行われている。BEAM WPTに対する国際協調議論の状況を**表5**に示す。**写真**は、2019年5～6月のWP1A、1B、1C Joint meetingの様子である。

表5. BEAM WPTに対する国際協調議論の状況[6]

1978年 第14回CCIR総会	・BEAM WPTの研究の元になったQuestion 20/2が承認
1997年 ITU-R会合	・現在のWPTの元となるQuestion 210-3/1の元のQuestion 210/1が承認
2013年6月 ITU-R SG1会合（WP1A会合含む）	・WD（Working Document）をNON-BEAM WPTとBEAM WPTに分割して議論を開始
2016年6月 ITU-R SG1会合（WP1A会合含む）	・BEAM WPTについてはアプリケーションに特化した新レポートが承認→Report ITU-R SM. 2392-0の発行 他の無線システムとの共用検討等についての新レポートITU-R SM.［WPT. BEAM. IMPACTS］の作業を開始
2016年11月 ITU-R WP1A会合	・共用検討を含めたBEAM WPT方式のレポート作成のためのワークプランを改訂
2017年6月 ITU-R SG1会合（WP1A会合含む）	・BEAM WPTの中で広角ビーム、マルチビームによるセンサネットワーク、モバイル機器応用に特化したWIDE BEAM方式の共用検討結果を含めた新レポートITU-R SM.［WPT. WIDE-BEAM. IMPACTS］のその骨子について提案し、作業を開始
2017年11月 ITU-R WP1A会合	・WIDE BEAM WPTの共用検討の前提条件となるユースケースについて提案
2018年6月 ITU-R SG1会合（WP1A会合含む）	・WIDE BEAM WPT共用検討の仕様について提案
2019年5・6月 ITU-R SG1会合（WP1A会合含む）	・新レポート［WPT. WIDE-BEAM. IMPACTS］について議論、日本からは国内での制度化に向けた進捗を報告。今後は［WPT. BEAM. IMPACTS］として議論を継続する ・Report ITU-R SM. 2392-0の改定についての議論 ・Beam WPTに使用する周波数に関する勧告案［WPT. BEAM. FRQ］について議論
今後の目標	・新レポートITU-R SM.［WPT. BEAM. IMPACTS］の承認 ・Report ITU-R SM. 2392-1（改訂版）の承認 ・新Recommendation ITU-R SM.［WPT.BEAM.FRQ］の承認 （2021年目標） →新レポートITU-R SM.［WPT. NARRAW-BEAM. IMPACTS］の作成へ

■写真．2019年5～6月のWP1A、1B、1C Joint meetingの様子

4．戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）での取組み状況

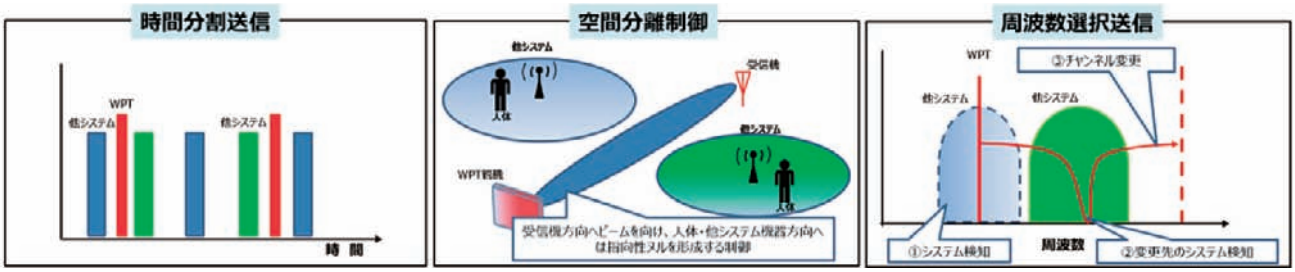
国内での空間伝送型WPTの制度化については、まずは第1ステップとして屋内に限定として検討しているが、今後継続的に発展・進化していくためには、使用条件等の緩和に向けてさらなる技術革新が必須である。

このことから、科学技術イノベーション実現のための国家プロジェクトである戦略的イノベーション創造プログラム（SIP：Strategic Innovation Promotion Program）第2期の課題名「IoE社会のエネルギーシステム」の中の1つの研究開発テーマとして「センサネットワークおよびモバイル機器へのWPTシステム」にて高い給電効率を実現するため人体や他システムへの影響を時間・空間・周波数によって低減するiTAF-WPT*というコンセプトを提案し、この実現により高い給電効率を目指している[7]。

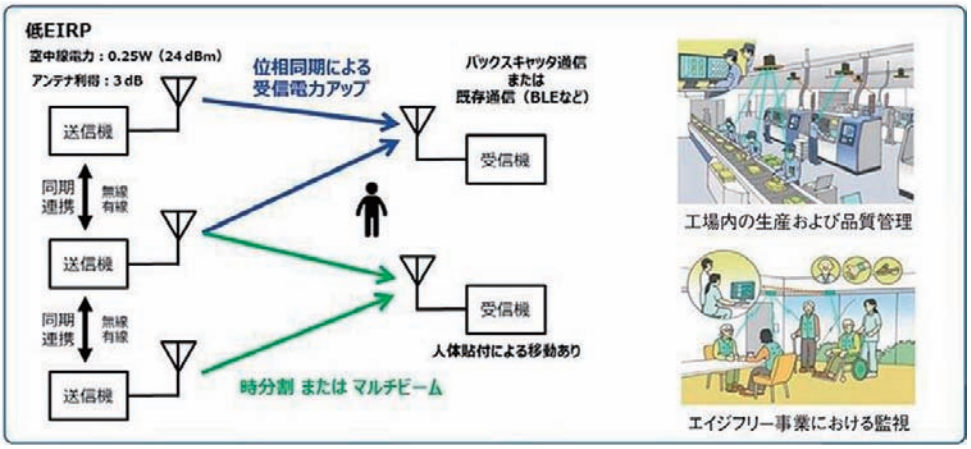
本研究テーマでは、分散アンテナによる協調ビーム制御方式と高度ビームフォーミング方式の2つの給電方式と、両給電方式に関わるOTA（On The Air）測定評価等について取り組んでおり、ここではこの2つの給電方式についての取組みについて簡単に紹介する。

（1）分散アンテナによる協調ビーム制御方式

本方式では図5で示すように分散された複数の給電アンテナを協調してビームを制御し、家庭・工場・介護施設等

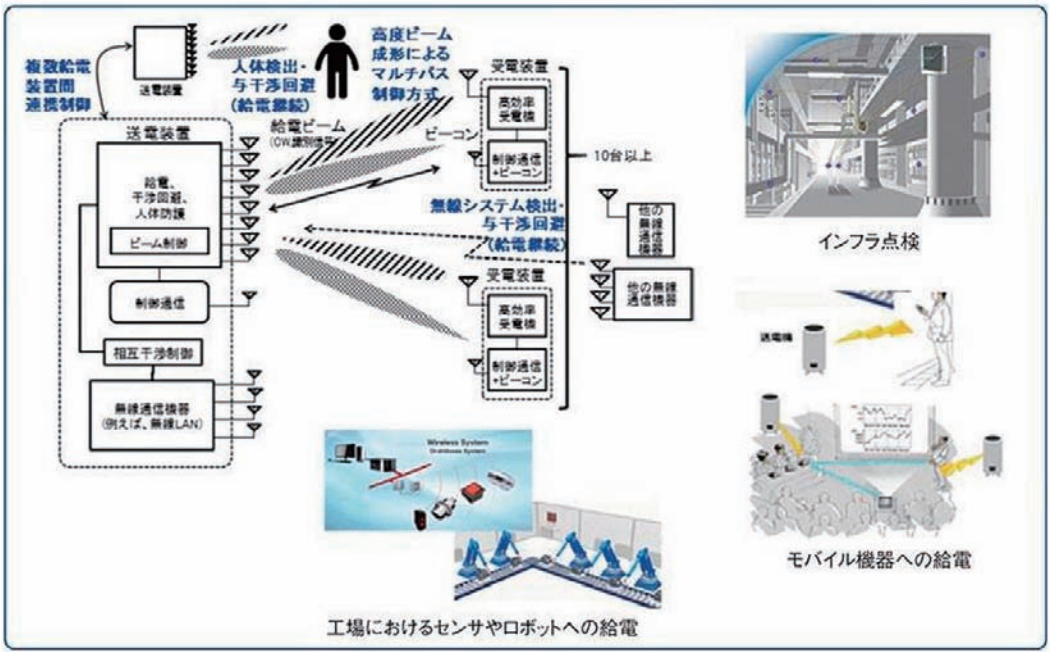


■図4．iTAF-WPT技術の概要



■図5．分散アンテナによる協調ビーム制御方式

＊　iTAF-WPT（intelligent Time-Area-Frequency Control WPT）：時間・空間・周波数を統合制御する技術。電波ばく露に対する安全性確保、他無線システムとの共存、最大効率での電力伝送を実現する。



■図6. 高度ビームフォーミング方式

の屋内空間に配置された環境センサ・生体センサ等の電池レス、配線レスを実現するためにμW～mW級の広域な給電を目指している。

(2) 高度ビームフォーミング方式

一方、高度ビームフォーミング方式はモバイル機器、IoTセンサ、情報端末への充電、工場等で移動するセンサの給電を実現するために、数mW級から数W級の給電を目指している。

これらの革新的技術が実用化されれば、空間伝送型WPTの屋外利用などユースケースの拡大や送信電力増加の可能性も期待できる。このことから本研究で得られた成果は順次、総務省の作業班での議論・検討、ITU-Rへの寄書に結びつけるとともに、これと平行して社会実装に必要なビジネスモデルの検討も進めていく。

5. おわりに

以上のように空間伝送型WPTは国内外での制度化議論が進められ、SIPにおいてもさらなるイノベーションに向け取り組んでいる。我が国が世界をリードして研究開発を進める技術を国際制度化や標準化に結び付け実用化することで、電線や電池の心配をすることなく、あらゆるところにワイヤレスでエネルギーを送れ、利便性だけでなくIoT技術と組み合わせて脱炭素にもつながり、新しい未来につながる。そのためには空間伝送型WPT関係者のさらなる努力が必要であり、その貢献に大いに期待したい。

参考文献

[1] 例えばH. Matsumoto, “Research on solar power station and microwave power transmission in Japan：Review and perspectives,” IEEE Microw. Mag., vol.3, no.4, pp.36-45, 2002.

[2] 電波有効利用成長戦略懇談会 第6回資料6-6、Feb. 2018. https://www.soumu.go.jp/main_content/000536747.pdf

[3] 電波有効利用成長戦略懇談会 報告書、Aug. 2019. https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000273.html

[4] 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会空間伝送型ワイヤレス電力伝送システム作業班、2019. https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/idou/b_wpt_wg.html

[5] ITU-R：Report ITU-R SM.2392-0, “Applications of wireless power transmission via radio frequency beam”, 2016 http://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2392

[6] 篠原真毅、庄木裕樹「ワイヤレス電力伝送の技術、制度化、標準化最新動向」電子情報通信学会誌 Vol.101 No.1 pp.79-84 Jan. 2018

[7] 総合科学技術・イノベーション会議、SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「IoE社会のエネルギーシステム」、2019. https://www.jst.go.jp/sip/p08/team-c.html