

マイクロ波電力伝送の標準化に関する 取り組み

関野 昇*

Standardization of Radio Frequency Beam Wireless Power Transmission

Noboru Sekino

本稿では、マイクロ波を使用したワイヤレス電力伝送の国内法制化及び国際標準化の動向と取り組みについて報告する。また、当社が参画している戦略的イノベーション創造プログラムの取り組みについても併せて報告する。

In this paper, the trends and activities on domestic legislation and international standardization of wireless power transmission using microwaves is reported. In addition, a report on activities of participating “Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program” is provided.

1. はじめに

マイクロ波電力伝送とは、電氣的接触なしに他の場所に電力を送るワイヤレス電力伝送（以下、WPT^{*1}）のうち、Beam-WPTとして分類される、マイクロ波などの電波を輻射し、空間を送る長距離伝送に有利な電力伝送方式である。一方、NON-Beam WPTとして、車へ充電するEV^{*2}やQi^{*3}（チー）などの置くだけ充電に用いられる磁界結合又は電界結合方式の電力伝送方式があり、高周波利用設備として制度化されている。

マイクロ波帯を使用したWPT（以下、マイクロ波WPT）では、電波を利用することで伝送距離が長くなる反面、空間損失により受電可能な電力は低くなる。しかし、近年のIoT^{*4}社会を支えるセンサ機器への給電として、配線の問題解決や電池が不要となるなど、各種センサの利用増加が想定されるIoT社会の発展にとっては非常に有効であり、実用化が望まれている給電方式となっている。

しかし、マイクロ波WPTとしては、無線通信に関する国際的規則である無線通信規則（RR^{*5}）及び国内の電波法の区分は明確ではない状況があった。

本稿では、マイクロ波WPTの国内法制化へ向けた取り組みとして、総務省 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の技術的条件」のうち「構内における空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件」の報告書⁽¹⁾に関する標準化動向と次世代技術として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（以下、SIP^{*6}）の取り組みについて紹介する。

2. 国内制度化について

マイクロ波WPTは、電波法上の区分が規定されておらず、実験局による試験などは行われてきたが、無線設備としては規律されてこなかった。しかし、IoT技術の進展によりセンサによるデータ取得・蓄積が増加し、それらのデータを利用するセンサネットワークを活用したシステムの普及・拡大が進んでいるなか、これらセンサへ給電し、利用することで配線レスによる設置自由度の向上、電池交換不要となることで24時間稼働と省力化が可能となる利点から、導入を希望する声が高まっていった。

これらを踏まえ、2018年8月に取りまとめられた

*1 WPT：Wireless Power Transmission

*2 EV：Electric Vehicle

*3 Qi：「電磁誘導方式」と「磁界共鳴方式」を組み合わせたワイヤレス給電技術の標準規格

*4 IoT：Internet of Things

*5 RR：Radio Regulation

*6 SIP：Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

* ワイヤレス研究所

「電波有効利用成長戦略懇談会」の報告書⁽²⁾において、2030年代に実現すべき7つの次世代ワイヤレスシステムの1つとしてマイクロ波 WPT の実用化が挙げられた。また、報告書の提言では、周波数の割当て、無線従事者の配置、受信設備への規律等が必要との考えから、無線設備として規律していくことが適当との考え方が示された。

この提言を受け、2018年12月12日に総務省情報通信審議会情報技術分科会に諮問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」の諮問がなされ、2019年1月16日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(以下、作業班)の開始が承認され、作業班での調査検討が開始された。

作業班での検討に当たり、導入を希望するシステムの条件(送受信距離、利用周波数、空中線電力等)について募集が行われ、この提案を更に具体的に検

討した結果、低コストでの無線設備の実現、国際標準化の観点も踏まえ、マイクロ波 WPT へ活用可能な3つの周波数について、特徴と用途を表1として整理した。また、図1の様なアプリケーションを対象としたマイクロ波 WPT システムの制度化について、既存無線設備との共用可能な技術的条件、人体の安全性等の検討を実施した。

(1) 920MHz 帯

920MHz 帯の電波は伝搬損失が小さく、構造物の影等へも比較的回り込んで伝搬することから、低電力ながら広範囲に設置されたセンサへの電力伝送が期待でき、図2に示す工場や介護現場のセンサネットワークへの電源として1対Nの同時給電に適していると考えられた。

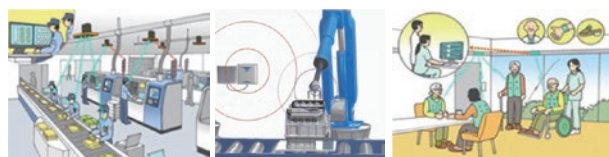
なお、システムパラメータとしては、表2に示す特性とし、RFID システムと同等な特性規定であることから、RFID システムへの応用が期待され、装着者の移動により遮蔽されやすいバイタルセンサ、位置センサ及びセンサのアンテナを一定方向に向けることが難しいロボット可動アーム等の装置への弱い電力での「ながら充電」用途も想定され、検討を実施した。

(2) 2.4GHz 帯

2.4GHz 帯では、無線 LAN、構内無線局、特定小電力無線及び ISM 機器等と同じ周波数帯であり、これ

表1 利用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	空中線大きさ	伝搬特性	
920MHz帯	↑ 長距離化	↑ 低コスト化	↑ 大型化		無指向性空中線又はワイドビームにより物陰等の見通し外を含めた広範囲、複数同時に送信を行う 無線LAN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送信を行う 専用受電装置により細かい制御による装置連携制御を行い、等価的に長時間の送信と高電力の1対1送信を行う
2.4GHz帯					
5.7GHz帯		↓ 高コスト化	↓ 小型化	↓ 直進性	



(a) 製品や動線管理 (b) ロボットの可動部 (c) 健康管理・見守りセンサ

図2 920MHz 帯での利用シーン

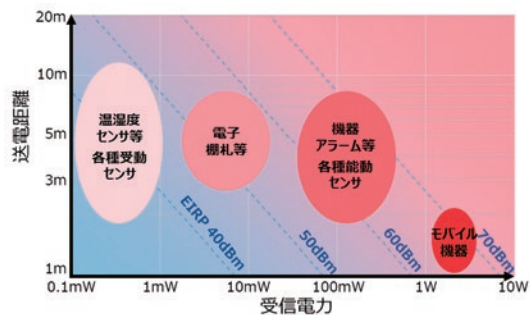


図1 アプリケーション電力と送信距離の例

表2 920MHz 帯での主なシステムパラメータ

項目	パラメータ
空中線電力	1W (30dBm)
周波数	918.0MHz/919.2MHz
占有周波数帯幅	200kHz
壁損失	10.0dB
利用場所	屋内 (WPT 管理環境又は WPT 一般環境)
変調方式	NON, G1D 等

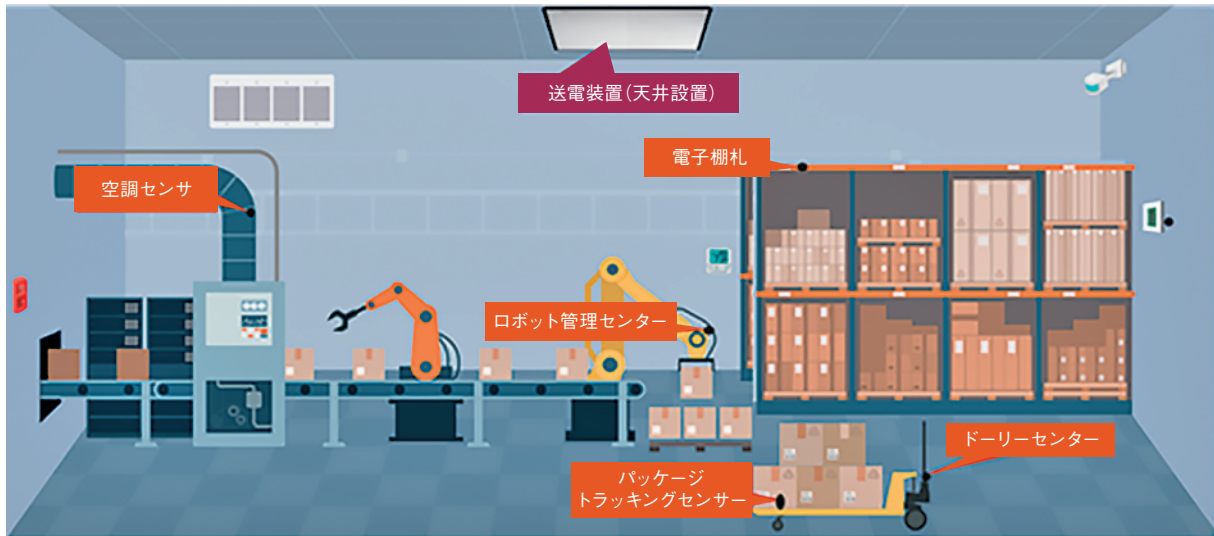


図3 2.4GHz 帯での利用シーン

らの無線システムを利用した位置推定や制御通信が可能であることから、これらの機器に組み込み、連携した利用が想定され、広範囲な市場形成と世界市場への展開が見込まれる。

利用シーンとしては、図3に示す無人倉庫、無人の工場及び人がいる工場等での休止中や夜間の無人時に使用することを想定している。また、ビームフォーミングアンテナによる制御にて高い電力の供給が可能であり、装置設計では汎用部品が安価かつ容易に調達可能であることから、新規メーカの参入が可能な環境が整っており、低コスト化と早い展開による市場規模の拡大が見込まれる。

しかし、高い等価等方輻射電力となることから、電波防護指針による管理環境による使用を前提とし、電波防護指針値を超える範囲に人が立ち入った場合及びキャリアセンスにより無線LANシステム等の他無線設備への干渉が想定される場合は、送信を行わないシステムとし、表3に示すパラメータにて検討を実施した。

表3 2.4GHz 帯での主なシステムパラメータ

項目	パラメータ
空中線電力	15W (41.8dBm)
周波数	2,410MHz~2,486MHz (4ch)
等価等方輻射電力	65.8dBm
占有周波数帯幅	規定しない
空中線利得(送信)	24.0dBi
壁損失	14.0dB
利用場所	屋内(WPT管理環境)
変調方式	NON

(3) 5.7GHz 帯

5.7GHz帯は、周波数が高く、波長が短いため、2.4GHz帯より空中線の小型化が容易であり、センサなどに組み込まれた小型・軽量の専用受電装置の開発が見込まれる。

受電装置からは専用ビーコンを使用するので、高精度な位置推定とビームフォーミングアンテナによる鋭いビームにより、ビームを切り替えながらの高い電力給電が可能となる。そのため、利用シーンとしては、図4に示す工場ラインに使用するロボットの組み込みセンサ、物流倉庫等で進む自動化設備における大規模なセンサ群等へ利用されることが想定される。

また、世界的にも広く使用されている周波数帯であることから、汎用部品を調達でき、海外地域での製品化も容易であり、本技術の展開により世界市場への発展が見込まれる。

しかし、高い等価等方輻射電力であることから電波防護指針による管理環境による使用を前提として、電波防護指針値を超える範囲に人が立ち入った場合

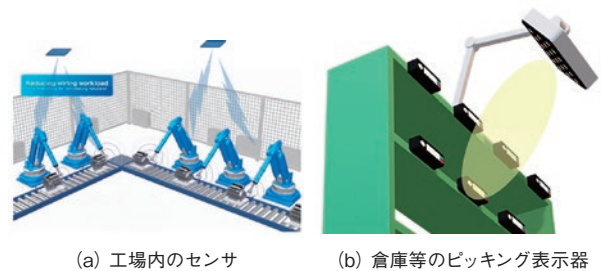


図4 5.7GHz 帯での利用シーン

表4 5.7GHz 帯での主なシステムパラメータ

項目	パラメータ
空中線電力	32W (45.0dBm)
周波数	5738MHz~5766MHz (9ch)
等価等方輻射電力	70.0dBm
占有周波数帯幅	規定しない
空中線利得(送信)	25.0dBi
壁損失	16.0dB
利用場所	屋内(WPT管理環境)
変調方式	NON

及びキャリアセンスにより無線LANシステム等の他無線システムへの干渉が想定される場合は送信を行わないシステムとし、表4に示すシステムパラメータとして検討を実施した。

(4) 国内での検討経緯等

マイクロ波 WPT の技術的条件の取りまとめでは、作業班の開始から報告書の取りまとめまで、約1年にわたる調査検討が行われ、主に既存の無線設備との共用を可能とするための条件検討に多くを費やした。

そのため、当初の提案に対して

- ・屋内での限定利用
- ・920MHz帯ではパッシブRFIDと同じ送信電力
- ・使用環境は「WPT管理環境」(920MHzでは一部「WPT一般環境」が可能)
- ・2.4GHz帯は地上階又は地下階のみでの使用
- ・2.4GHz/5.7GHzの送信装置は、原則として天井設置としてビーム指向方向を制限
- ・設置や周波数の有効利用を図るために運用調整の仕組みの構築

などの見直しが行われたことにより、当初2025年に5,520億円の市場規模を予想していたが、第一ステップと位置づけた報告書では、2025年で700億円の市場規模へと修正された。

また、無線通信で用いられる回線品質を算出する回線設計では、受電するセンサ等が必要とする電力量からの設計となるため、「送信DUT損失」「アプリDUT利得」といった概念を用いる事で、従来と同等な回線設計を可能としている。

3. 設置環境等の留意事項

報告書では、設置環境、運用等のいくつかの事項について配慮が求められている。

(1) 設置環境

マイクロ波 WPT を使用する屋内環境を「WPT 屋内設置環境」として、管理を要する「WPT 管理環境」とそれ以外の「WPT 一般環境」との使用区分が規定された。「WPT 管理環境」とは、

- ・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。
- ・屋内の管理環境に設置される空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの運用が、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。【2.4GHz帯、5.7GHz帯のみ】
- ・2.4GHz帯においては、屋内の1階(地上階)又は地下階とし、周囲への他の無線局等への与える影響を回避・軽減するものとする。

とされ、この定義に基づく管理を必要としない使用環境を「WPT 一般環境」と区分された。

(2) 運用調整

設置環境に配慮した設置や周波数の有効利用を図るために、既存の無線システムやマイクロ波 WPT 相互の運用調整を行うための機構を設け、使用周波数、使用場所等の情報を一元的に管理・公開し、使用チャンネルの調整等、共用可能とする環境を図るものを整備する必要があるとされた。また、この仕組みによりマイクロ波 WPT が他の無線局に干渉を与える様な場合には、対策の指示や協議等ができるものとされている。

(3) 無線局の移設

マイクロ波 WPT では、工場、倉庫及び介護現場での利用を想定し、利便性から移設の際に変更申請等が必要のない構内無線局とすることが適当とされている。しかし、構内無線局は設置構内での移設を自由に可能としているが、マイクロ波 WPT では「WPT 屋内設置環境」外への漏洩電力が著しく変わる環境への移設には検討が必要とされている。

(4) 920MHz 帯の負担軽減策

920MHz 帯については、空中線電力 1W 以下での利用では、他の無線システムへの影響は RFID と同等以下であり、機器操作に関しても簡易であることから、早い普及と利用者負担の軽減に向け、無線設備の電気通信機器基準認定制度による「特定無線設備」への対応、無線従事者の配置を不要とすることが記載された。

(5) 壁損失

屋内閉空間であることを明確にするため、屋内から屋外への壁損失について干渉に使用する損失値として表 5 に示す壁損失値が示されている。これは ITU-R *7 RR P.2109-0 のモデル値を基準とした損失値であり、これを満たしている事をメーカーによる評価データ又は実際の測定結果にて示した上で、他の無線設備との干渉検討に使用するとされている。また、窓ガラスには、Low-E ガラスの使用又はシールドフィルム等の壁損失と同等又はそれ以上の損失を確保できるような対策も求められている。

表 5 干渉検討に使用する壁損失

	920MHz 帯	2.4GHz 帯	5.7GHz 帯
干渉検討に使用する損失値	10.0dB	14.0dB	16.0dB

4. 国際制度化について

表 6 に ITU-R におけるマイクロ波 WPT に関する国際制度化・標準化動向を示す。国際議論は、1978 年の CCIR *8 (国際無線通信諮問委員会) 総会における課題提示とレポート策定が発端になっている。また、2013 年の ITU-R SG1 会合において、WPT を NON-BEAM WPT (磁界結合型、電界結合型等近傍界領域における WPT) と BEAM WPT (電磁波放射による電波を意図的に放射させるマイクロ波による WPT) に分けて議論を行うことになった。

BEAM WPT に関しては、2016 年 6 月にアプリケーションに特化させた Report ITU-R SM.2392⁽³⁾ として発行された。2020 年 2 月時点では、センサやモバイル機器への応用に特化した共用化検討を新レポート ITU-R SM.[WPT.BEAM.IMPACT] として策定中であり、日本が主導するセンサネットワーク (工場でのセンサへの給電、車両内センサへの給電、介護ホーム内等での管理用センサへの給電等)、モバイルデバイス及びウェアラブルデバイスへの給電をユースケースとして検討が行われている。

*7 ITU-R: International Telecommunication Union Radio-communication Sector

*8 CCIR:Comite Consultatif Internationale des Radiocommunications

表 6 国際的なマイクロ波 WPT に関する動向

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 ・ Report 679 "Characteristics and effects of radio techniques for the transmission of energy from space" が承認され、発行(1982 年と 1986 年に改訂版を発行)
1997 年 ITU-R 会合	・ 現在の WPT 研究の元になっている Question 210-3/1 の元になった Question 210/1 が承認
2013 年 6 月 ITU-R SG1 会合 (WP1A/WP1B 会合含む)	・ Working Document を NON-BEAM 方式と BEAM 方式に分割し、NON-BEAM の議論開始
2015 年 6 月 ITU-R SG1 会合 (WP1A/WP1B 会合含む)	・ BEAM.WPT 方式の新レポートの WD レベルの改訂
2016 年 6 月 ITU-R SG1 会合 (WP1A/WP1B 会合含む)	・ BEAM.WPT のアプリケーションに特化した新 Report が承認⇒ Report ITU-R SM.2392 の発行 ・ 他システムとの共用検討に着目した新 Report ITU-R SM.[WPT.BEAM.IMPACT] の作業開始
2016 年 11 月 ITU-R WP1A/WP1B 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改訂
2017 年 6 月 ITU-R SG1 会合 (WP1A/WP1B 会合含む)	・ WIDE-BEAM 方式 (広角ビーム、マルチビームによるセンサーネットワーク、モバイル機器応用) に関する共用検討結果を含めた新 Report ITU-R SM.[WPT.WIDE-BEAM.IMPACT] の作業開始
2017 年 11 月 ITU-R WP1A/WP1B 会合	・ WIDE-BEAM 方式に関する新 Report ITU-R SM.[WPT.WIDE-BEAM.IMPACT] の作成作業継続
2018 年 6 月 ITU-R WP1A/WP1B 会合	・ WIDE-BEAM 方式に関する新 Report ITU-R SM.[WPT.WIDE-BEAM.IMPACT] の作業文書を更新。
2019 年 5 月～6 月 ITU-R WP1A/WP1B 会合	・ 新 Report ITU-R SM.[WPT.WIDE-BEAM.IMPACT] が新 Report ITU-R SM.[WPT.BEAM.IMPACT] に変更され、作業文書を更新 ・ Report ITU-R SM.2392-0 の改訂について議論 ・ BEAM WPT の利用周波数に関する新勧告 ITU-R SM.[WPT.BEAM.FRQ] の作業開始
今後の目標	・ 新 Report ITU-R SM.[WPT.BEAM.IMPACT] は 2021 年完成が目標 ・ Report ITU-R SM.2392-1 の改訂は 2021 年完成が目標 ・ 新勧告 ITU-R SM.[WPT.BEAM.FRQ] は 2021 年成立が目標

また、並行して、レポート ITU-R SM.2392 の改訂作業及び米国提案の新勧告 ITU-R SM.[WPT.BEAM.FRQ] による利用周波数の ITU-R 勧告化に向けた議論も開始されており、ITU-R SM.[WPT.BEAM.IMPACT] の完成、レポート ITU-R SM.2392 の改訂完了、新勧告 ITU-R SM.[WPT.BEAM.FRQ] の成立はすべて 2021 年が目標となっている。

無線通信に関する国際的規則である無線通信規則に WPT システムを新たなカテゴリに盛り込むべきという議論については、今後の ITU-R での検討推移を見て、WRC での RR 改訂の議題提案を行うかの議論が行われると予想され、WRC-23 又は WRC-27 で議題提案される可能性がある。

5. SIP での取り組み

マイクロ波 WPT での次ステップとして、屋外の利用や大電力化を提言されている。この実現にあたっては、技術的条件では今後の状況等を踏まえた検討とされ、人体への曝露に対する安全性の確保、他の無線システムとの共用等が必須とされている。

これらの技術課題へ向けた開発として、科学技術イノベーションを実現・創設する SIP 第 2 期の課題「IoE^{*9} 社会のエネルギーシステム」の研究開発テーマである「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、図 5 に示される時間・空間・周波数を統合的に制御することで、最大効率で

の電力伝送、電源変換効率の向上、人体への安全性を確保及び他の無線システムとの共用を実現するために iTAF-WPT 技術^{*10} を利用したマイクロ波 WPT の研究開発が進められている⁽⁴⁾。

本項では、SIP にて研究されている 2 つの給電方式と当社が取り組んでいる「OTA 測定評価およびシステム評価方式の開発」の概要について紹介する。

(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 6 に示す様に屋内に配置されたセンサへ給電するために、送信機を多数配置し、協調連携させることで、多くの電力が給電できる制御を行い、 $\mu\text{W} \sim \text{mW}$ の広域な給電を目指したものである。

(2) 高度ビームフォーミング方式

本方式は、モバイル機器、IoT センサ、情報端末及び工場内など移動するセンサへの給電を行うために、マイクロ波ビームを絞り、給電対象へ高密度な送電を行うとともに、人体や他の無線システムへは、送信ビームを抑制した図 7 に示すビームフォーミングアンテナによる給電により、数 $\text{mW} \sim$ 数 W の給電を目指すものである。

*9 IoE : Internet of Energy

*10 iTAF-WPT : intelligent Time-Area-Frequency Control WPT

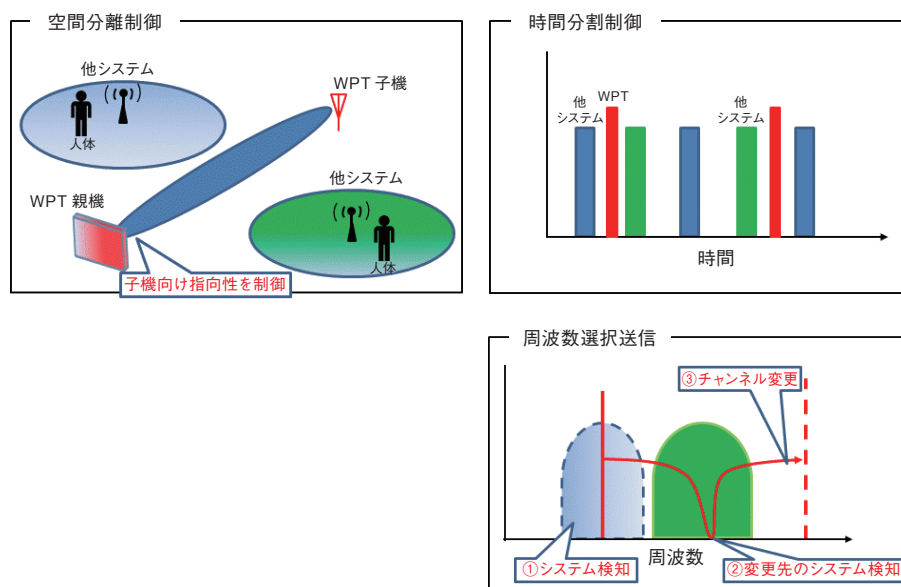


図 5 iTAF-WPT 技術の概要

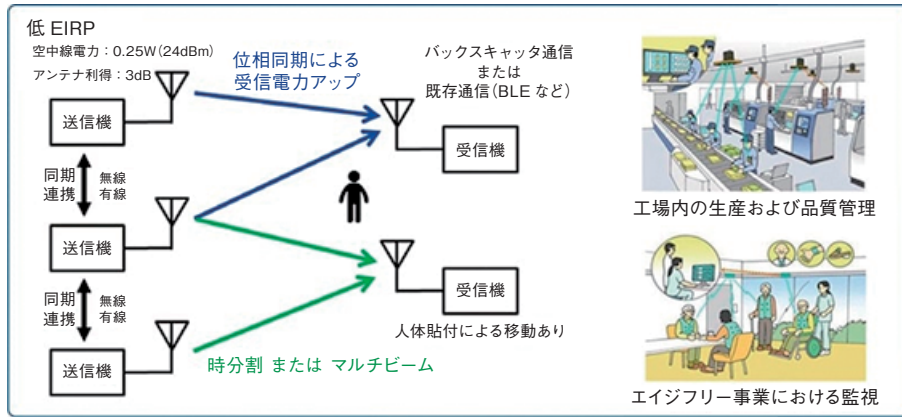


図6 分散アンテナによる協調ビーム制御方式

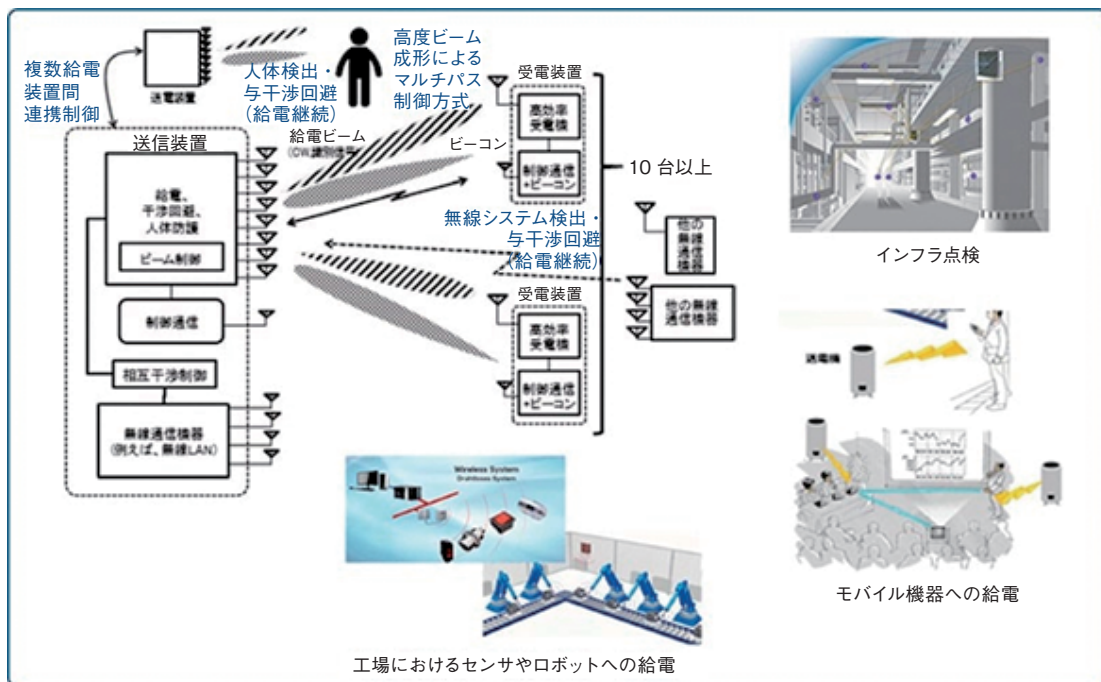


図7 高度ビームフォーミング方式

(3) OTA 測定評価およびシステム評価方式の開発

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両方式にわたる評価方法の研究として、OTA による測定評価法の開発と実空間にて構築した際の定量的なシステム評価方法の確立を目指して研究を行っているものである。

6. む す び

マイクロ波 WPT に関して国内での法制化、国際的な標準化について進められている。また、次世代のマイクロ波 WPT 技術として SIP における要素技

術の研究開発を実施し、社会実装を目指している。

これらの取り組みを日本発の技術として世界をリードした標準化、実用化を進め、電源を気にすることなく繋がる事が可能な IoE 社会への実現のためには、関係各機関との協力体制や産官学による研究努力が必要であり、当社としてもこれらに貢献した開発・実用化を進めていきたいと考えている。

参考文献

- (1) 総務省 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

システムの技術的条件」のうち「構内における空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの技術的条件」
2020年2月22日

- (2) 総務省電波有効利用成長戦略懇談会 報告書 平成30年8月31日
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000273.html
- (3) ITU-R : Report ITU-R SM.2392-0, “Applications of wireless power transmission via radio frequency beam”, 2016
- (4) 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>

- (5) 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
- (6) 藤本卓也「空間伝送型 WPT (屋内, IoT センサ向け)」ITU ジャーナル vol.50 No.2 Feb 2020

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆



関野 昇
昭和62年入社
ワイヤレス研究所
マイクロ波帯アンテナおよび周辺装置の研究・開発に従事
電子情報通信学会会員