

- 2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C) : IoE 応用・実用化研究開発

(3) 研究テーマ(C) : IoE 応用・実用化研究開発

1) 研究内容

遠距離・高効率・大電力で安全なワイヤレス電力伝送を用いたエネルギーマネジメントシステムの実現に向けて、WPT システムにおける電力伝送の高効率化および小型化・軽量化、受電電力最大化や人体回避などのための高度伝送制御技術の開発等を実施する。特に、①屋内での給電（センサや情報機器等）、②ドローンへの給電（インフラ維持・管理）で実証を行った。デバイスなど基盤要素技術の研究開発から WPT システム技術としての研究開発、安全性確保、標準化に向けた取組など実用化技術の研究開発から社会実装まで一貫した取組を実施した。特に、府省連携が必要な制度整備・標準化については、制度整備・標準化 WG においてテーマ間の横連携による取組を実施した。

なお、WPT システムの社会実装に向け、デバイスなど基盤要素技術の研究開発についてはテーマ(B)と連携した。また、テーマ(A)との連携により、IoE 社会におけるエネルギーマネジメントシステム(EMS)に対する WPT システムによる便益について、①強靱化、②利便性・経済性、③脱炭素・省エネの観点での評価・定量化を行い、EMS における WPT システムのポジションや有効性を明確化した。

2) 技術的目標

C-① 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

- ・人が居ても安全・安心に利用でき、他の無線システムと共存できる世界最初のセンサネットワークおよびモバイル機器向けの空間伝送方式 WPT システムを確立する。
- ・開発テーマ1「分散アンテナによる協調ビーム制御方式」では、工場内等に広く分散するアンテナから複数センサへ同時送電を行う利用シーンへの適用を目的として、人と共存する利用環境での共存を実現し、平均受電電力 1.0mW 以上を達成することが目標。
- ・開発テーマ2「高度ビームフォーミング方式」では、集中ビームによるカメラなど搭載の高機能センサへ送電を行う利用シーンへの適用を目的として、高機能センサへ mW~1W 級の給電、人および他無線機のある共存環境下で送電可能な時間率 50%を実現することが目標。

C-② ドローン WPT システム

- ・IoE 社会の電力インフラシステム強靱化に貢献する巡視・点検等に利用されるドローン向け WPT システムを開発する。
- ・耐環境性に優れ、中型ドローンへの適用が有効である磁界結合方式 WPT と、軽量化に優れ、タッチ&ゴーの利用形態に合致し、小型ドローンへの適用が有効である電界結合方式 WPT の開発を行う。送電線の長距離巡視、変電所の

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

遠隔巡視・点検、災害現場の早期状況把握などへの適用を目的として、世界最高水準の軽量化（受電部重量 1.4kg）と高効率化（電力伝送効率 80%以上）、最新の国際ベンチマークの約 2 倍となる 750W クラスの大電力伝送を実現することが目標。また、有カユーザヒアリングにおいて早期実装への期待が大きいことから、研究開発計画を当初のものより加速させ、最終年度には社会実装に近い条件の実証試験を追加・実施することとした。

テーマ(C)共通の技術的目標

- ・社会実装シナリオおよび実施体制を明確化する。
- ・WPT 技術の実用化のために必要な制度整備に取り組み、国際標準化を推進する。

3) 課題目標の達成度

①国際競争力

センサや情報機器用の屋内給電に関しては、米国などでデモレベルでの実証試験は行われており、一部実用化も進められているものの、諸外国のシステムは、人体や他の無線システムの存在する環境では限定的な利用しか行えず、十分な電力供給は行えていない。これに対して、本研究では、人体や他の無線システムの存在する環境において安全かつ安心して高い時間効率で利用できるシステムの実現に向けた研究開発を行った。このシステムの実現のために、時間・空間・周波数の各領域を統合し制御する独自のコンセプト iTAF-WPT (intelligent Time-Area-Frequency Control WPT) 技術を開発し、電波曝露に対する安全性確保と他無線システムとの共存を実現しつつ、最大効率での電力伝送を実現することを目指している。また、いまだに構築されていない、WPT システムとしての制度化についても取り組んだ。

ドローンへの給電に関しては、カナダなどで基礎的な実験が行われている程度である。本研究では、産業応用に必要な送電電力の形成、小型化・軽量化などの研究開発を進めた。更に、社会実装に不可欠な送受電マネジメントや電力及びビーム制御などのシステム開発についても世界に先駆けて取り組んだ。

以上のような状況であり、グローバルベンチマーク調査を行うことによって最新の状況を把握し、それを踏まえて、我が国の高い技術力を用いた新たなワイヤレス電力伝送製品の実用化を世界に先駆け実現し、国内市場のみならず世界市場の獲得を目指した。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

C-① 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 (SIP終了時点)

評価軸	SIP開発内容		競合対象		
	パナソニック	東芝・オムロン	Energous (米)	Ossia (米)	GuRu (米)
概要/方式	分散アンテナ協調制御	高度ビームフォーミング	Near/Middle Field	マルチパス/レトロレクティブ	???
強み					
人体防護	◎ 防護指針を越えない	◎ 人体検出と回避が可能	△	△ 人体検出後に停波	○ 独自アルゴリズムにより、受信可能な端末にのみBFだが詳細不明
他通信との共用	○ 受信機に近接しなければ問題ない	◎ 他通信の検出と回避が可能	×	△ Wi-Fi機器と同機能だが、隣Ch.は抑圧	△ 国内では、恐らく屋内限定、制度未整備だがStep2で整備?
回避と送信の同時実現	◎ 受信機に送信しながら人体・他通信と共存可能	◎ 受信機に送信しながら人体・他通信と共存可能	×	×	○ 独自アルゴリズムにより、受信可能な端末にのみBFだが詳細不明
利用シーン	◎ 工場、インフラ、家など屋内空間の多数(屋外も目論む)	○	△	×	×
送信対象	△ センサ類(数mW)	◎ センサ類(数mW)、モバイル機器(数W)	△	◎ センサ類(数mW)、モバイル機器(数W)	◎ センサ類(数mW)、モバイル機器(数W)
市場性	◎ 多くの利用シーンが大きな市場を生む	◎ 多くの利用シーンが大きな市場を生む	○	△	○
コスト	○ 施策)標準化によるユースケースと市場拡大により競合と同等のコストを目論み中	○ 施策)標準化によるユースケースと市場拡大により競合と同等のコストを目論み中	○	△	○

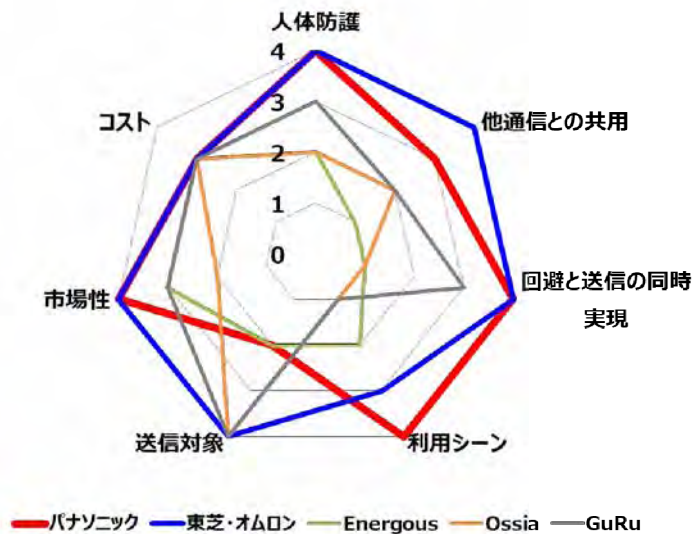


図 2-3-1 屋内給電 WPT のグローバルベンチマーク調査結果

既に FCC 認可済みの米国 2 社 (Energous 社、Ossia 社)、FCC 認可中の米国 GuRu 社の WPT 製品を対象として、各社 HP、FCC 文書、直接ヒアリングなどによりベンチマークを実施した。

【優位な点】

- ① 人体の検出と回避および無線システムの検出と回避すること
- ② ①に加え、回避と給電を同時に実現すること (世界初の技術)
- ③ ②により、適用できる利用シーンが多いこと

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

- ④ ③により、市場規模も大きく、市場性が高いこと
- ⑤ 空間伝送方式の WPT システムの制度化を世界最初に実現すること
(既存技術によるステップ1 制度化は 2022 年 5 月に省令化)

【劣っている点 → 今後の戦略】

コスト

システム開発の途中のため試算コストは変動的であるが、既に市場投入を行っている競合対象に対して導入初期のコストは高くなる可能性が高い。

→ コスト削減および小型化へ向け、WPT 共有技術としての高効率受電用回路技術の IC (集積) 化 (信州大)、送電アレイアンテナの小型化 (東芝・オムロン)、送電電力低減による小型化 (パナソニック) など、システムのコスト試算とともに低コスト化を推し進めていく。

加えて、早期制度化も推し進める。また、標準化活動として、WPT システム制御の一部を Bluetooth プロファイルに組み込むことにより、WPT システムの利便性を高め、アプリケーションおよびユースケースの拡大により、市場での WPT システム数を増やし、コストの低減を目論む。

- 2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

C-② ドローン WPT システム (SIP 終了時点)

表 2-3-1 ドローン WPT のグローバルベンチマーク調査結果
 近距離 WPT システム (電界結合方式) のベンチマーク表 (SIP 終了時)

評価軸	評価対象			
	SIP近距離WPT 電界結合方式	韓国科学技術院 (韓国)	パナソニック	古河電気
受電電力	360W及び750W	100W	1500W	4700W
受電部重量	<1.4kg	0.23kg	未公表	4.3kg(冷却ファン除く)
システム効率	80%	80%と推定 (DC-DC89%(公表値) ×AC-DC90%(推定))	70%と推定 (DC-DC80%(公表値) ×AC-DC90%(推定))	80%以上と推定 (送受電力プラ部94%(公表 値)×AC-DC90%(推定))
ドローン適用への製 品化レベル (飛行検証等)	社会実装に近い条件での 開発検証を完了	研究開発段階	AGV等向け 設置許可取得完 (販売済みか不明)	EV向け開発中 (2025年実用化予定)
市場性 (市場規模、社会貢 献度)	電力設備巡視点検 インフラ巡視点検	社会実装活動不明	AGV等向け制度化中	(制度化予定無し)
コスト (導入、運用)	磁界方式と同等を目指す	未定	不明	不明
備考	ドローン	ドローン	AGV等	EV

近距離 WPT システム (磁界結合方式) のベンチマーク表 (SIP 終了時)

評価軸	評価対象			
	SIP磁界結合方式 (日本)	WiBotic社 (米国) OC-262-WP+RC-100	ダイフク (日本)	ダイヘン (日本)
受電電力	787W	300W	900~1500W	360W
受電部重量	約1.1kg	0.7kg	約3~6.3kg	2.0kg
システム効率	80.1%	不明	80%程度と推定 (83~87%(公表値) ×AC-DC90%(推定))	不明
ドローン適用への製品化 レベル (飛行検証等)	社会実装に近い条件 での開発検証を完了	WPTコア部製品化	AGV向け	発表のみ
市場性 (市場規模、社会貢 献度)	電力設備巡視点検 インフラ巡視点検	制限が多く 適用市場限定 (位置スレ(<5cm)対策要、 ドローン最下部に 115mmφコイル取付要)	AGV向け	ドローン向け
コスト (導入時)	百万円程度	数千\$(詳細不明)	百万円~二百万円	不明
備考 (対象装置)	ドローン	ドローン	AGV向けを流用し PR用にドローンステー ションを試作例はあり	プレス発表のみ 但し、50W,145gの小 出力ユニットは商品化

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

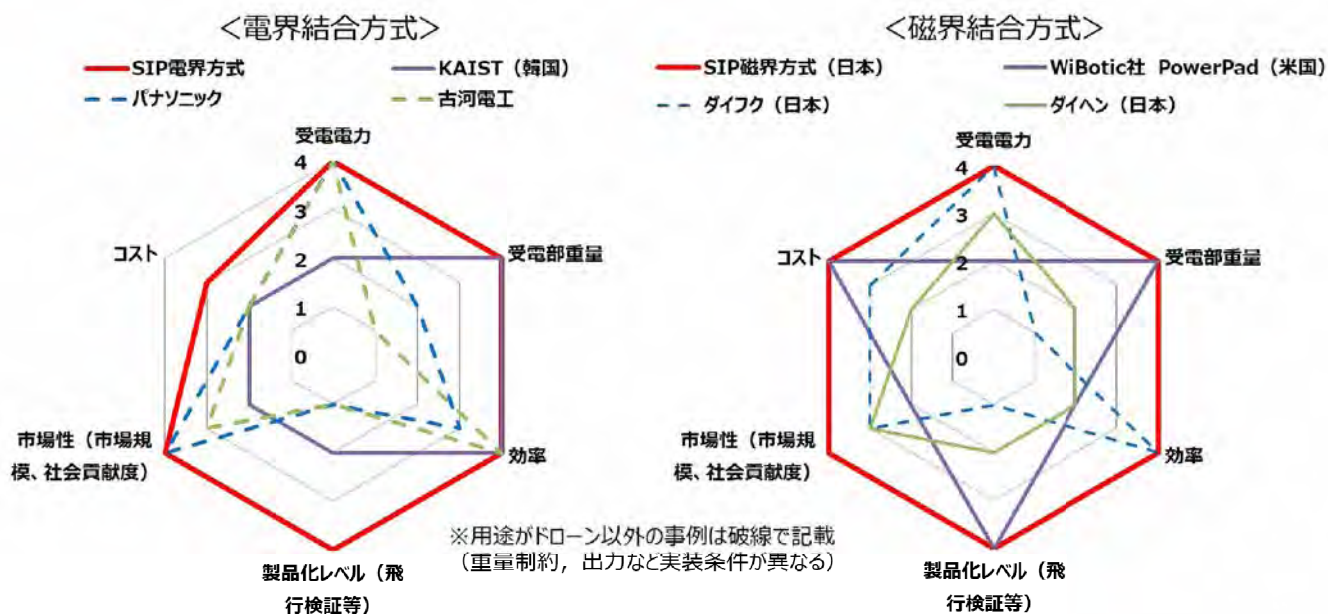


図 2-3-2 ドローン WPT システムのグローバルベンチマークに基づく
 レーダーチャート

【評価方法】

- ・国際ベンチマークとしてドローン WPT に関する報道内容やプレスリリース、学会発表文献を調査。ドローン WPT は先進的な取り組みであり競合対象が少ないことから、参考比較としてドローン以外の IoT 機器向け、AGV 等向けなどの用途についても掲載した。

※なお適用用途が異なる事例では、搭載可能重量が小さいドローンと異なって受電部重量の軽量化が求められないケースが含まれることに注意が必要

- ・評価軸のうち技術面の項目としては、SIP 数値目標に設定している受電部重量、受電電力、システム効率の3項目を評価した。
- ・評価の優劣は数値目標より定量的に評価を実施した。
 (◎：最終目標値、○：中間目標値、△：未達・未公表、×：数倍以上低い)。
- ・また評価軸のうち社会実装に関する項目としては、ドローン適用への製品化レベル、市場性(市場規模・社会貢献度)、コストを評価した。
- ・評価の優劣は以下の考え方で整理した。
 - 製品化レベル(◎：製品化・社会実装レベルにある、○：ドローン飛行実証中、△：ミニモデル実証、×：基板開発のみまたはドローン以外の用途)

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

- 市場性 (◎：メーカー・ユーザ間で実装構想が明確でインフラ用途など大規模な社会展開となっている、○：用途は明確であるが具体的なロードマップ化には至っていないか小規模用途である、△：装置サプライヤでの開発にとどまる、×：要素研究開発のみ)
- コスト (◎：1 百万円程度、○：1~2 百万円、△：金額未定・販売なし)

【電界結合方式】・【磁界結合方式】

＜強み＞

- ・日本では諸外国に先行して AGV や EV バス等の WPT システムに先進的に取り組んでおり優位性がある。
- ・小型ドローン等の実装に有効な電界結合方式は、日本が先行開発事例である。また電界結合・磁界結合方式ともドローンに搭載するうえで必須となる WPT 受電部の軽量化を大前提に、高出力化・高効率化を進めており、SIP で取り組む目標値は国際ベンチマークを見ても高く、十分に実用に供する水準である。
- ・駐機中のドローンへの WPT 充電では、諸外国の最新の報告でも受電電力 300W 程度までであり、本プロジェクトの最終目標：受電電力 750W 以上は、その 2 倍以上の高出力である（ドローン飛行時間以内の急速充電を実現できる高出力を目標値に設定しており、実用に供する水準）。
- ・電界結合方式は設計理論が体系化されていなかったが、本プロジェクトに参画する豊橋技術科学大学はその設計理論を確立している。

＜弱み→今後の戦略＞

- ・諸外国でも WPT システムの研究開発や製品化に向けた取組が加速しつつあり、我が国としても積極的に取組を進めなければ、諸外国に先を越されてしまう恐れがある。
- ・国内の制度整備（規制緩和含む）が開始されているが、諸外国に先を越されないようスピード感を持った取り組みが必要である。

②研究成果で期待される波及効果

Society 5.0 社会の要求として、①世界一安全・安心で世界一健康な社会の実験、②E2E (Energy to Every thing) の実現、③二酸化炭素排出量の削減、④電力・社会インフラの強靱化とライフラインの安定化があげられ、以下の観点で WPT 技術が貢献できる。

i) Society 5.0 社会に利用される EV、自動運転、ロボット、ドローン、IoT セ

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

- ンサなど全てのモノ (Everything) へエネルギー供給
- ii) 5G(第5世代移動通信システム)情報&電力を統合したワイヤレスネットワークによる効率的かつ安全利用のための電力制御・マネージメントシステムの実現
 - iii) ドローンへのワイヤレス給電の実現によるインフラの保全革新、災害時活用による迅速な対応と安心な社会の実現
 - iv) IoT センサへのワイヤレス給電による省エネ・脱炭素化の促進効果

また、テーマ(A)とテーマ(C)の連携検討により、WPTによるエネマネシステム(EMS)への便益を明確化した。この検討の目的は、IoE社会におけるエネルギーマネージメントシステム(EMS)におけるWPTシステムの位置づけを明確化することであり、①強靱化、②利便性・経済性、③脱炭素・省エネの3本柱での便益に焦点を絞り、その評価手法の開発と試算を行い、定量的効果を示した。その結果、以下のような便益効果が明確化された。

C-① 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

テーマA(エネルギーマネージメントシステム(EMS))との連携によってWPTシステムが寄与する便益(CO₂の削減効果：1560万t、発電所・プラントメンテナンス費用削減と、RFID検品無人化による物流管理費削減：年間550~600億円(2030年目論見))

- ・電池レス・ケーブルレス・コネクタレスのWPTの特徴を活かしたセンサは、これまで劣悪な環境のために設置できなかった場所のセンシングが実現できる。これにより、これまで検討した工場での品質監視およびエネルギー監視のセンサネットワーク、ヒートアイランド緩和や屋外休憩所などに有効なミスト噴霧の制御、LED照明の事細かな制御などへ適用が可能となる。また、家庭部門におけるWPTセンシング照明・空調、業務部門におけるタスクアンビエント空調への適用範囲を広げることで、WPTが貢献する脱炭素量は2030年に年間1560万t-CO₂であることを試算した。工場における品質監視と電力監視のセンサネットワークにおいては、品質を確保したまま稼働率を向上(生産性向上)と同時に、家庭部門、業務部門の消費エネルギー削減を実現する。
- ・また、発電所、プラントなどでの足場建設が必要な高所点検作業をWPTで駆動された監視カメラにより無人化することで、プラントメンテナンスの品質向上と作業員の安全に加え、2030年に年間500億円のコスト削減効果があることを試算した。また、RFIDへのWPT適用による検品無人化、準常時運用化により物流管理費として、2030年に年間50~100億円のコスト削減効果があることを試算した。これらにより、2030年には、年間で550~

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

600 億円のコスト削減効果が見込めることを試算した。

・ **電源を意識しない新しいネットワークの構築**

本取り組みは、Society5.0におけるIoT機器へのワイヤレス、電池レスの電源供給により、電源を意識しないIoTセンサネットワークおよびモバイル機器ネットワークの構築を目指す。数10cmから数mの距離をWPT化することにより、電源配線や電池交換が不要となり、電源を意識しないセンサネットワークおよびモバイルネットワークが実現できる。このようにiTAF技術によるマイクロ波WPTシステムは多様化する電力消費ニーズに対してイノベーションを起こすことができる。

・ **経済貢献予測**

研究内容を社会実装することで国内におけるIoTセンサシステム、介護・見守りシステム、モバイル端末などの市場へ投入する。2030年度に市場に投入されるこれらのシステムによる経済貢献は8,692億円と見込まれる。

さらに、2030年頃のグローバル市場展開を視野に入れると更に大きな経済貢献が見込まれる。

・ **新たな発想によるビジネスモデルと商品の創出**

当該技術が確立されれば、これまで電源配線およびコネクタや電池寿命が妨げとなり発想されなかった全く新しいアプリケーション・市場が創出される可能性が高く、将来的には本提案で想定する見込みを大きく超える社会的効果が期待できる。

また、WPT受信機は電池、ケーブル、コネクタなどを必要としない完全密閉構造を実現するため、モバイル機器などの小型電子機器をデザインから根本的に変化させる新たなパラダイムである。製品も斬新な構成となる。また、電池レス、ケーブルレス、コネクタレスのWPTセンサは、衛生的かつ常時観察が必要な医療の現場でも大いに活躍する。特にコロナ禍における医療従事者や介護施設における介護人の負担軽減、在宅勤務における健康管理への期待は大きい。

・ **少子高齢化に対する安心・安全社会の提供**

今後、少子高齢化が進む日本国内において、人手不足は明らかであり、この影響は介護業界で顕著に表れる。そこで、介護現場の人の動きの見える化に加え、生体含む各種情報のセンシングを電池レス・センサネットワークにより実現する事により、介護する側の負荷も軽減され、介護を受ける側およびそのご家族に安心安全を提供できる。加えて、人体センサによる生体情報の常時記録により、専門医の的確な遠隔診断なども可能となり、人生百年時代にも大きく貢献する。

・ **iTAF技術による電波の有効利用促進**

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

マイクロ波 WPT システムの開発の過程で研究開発された技術である時間・空間・周波数により統合制御された干渉抑制技術 (iTAF-WPT の開発コンセプト) は、アンテナの指向性制御により人体と他の通信システムを空間的に分離し、空間合成により効率化し、キャリアセンスにおける他の通信システムの検知により効率よく周波数分割し、デューティ比の改善により他の通信システムと時間的に分割する方式で、より多くの通信システムにおける電波の有効利用を促進する。

C-② ドローン WPT システム

- ・ WPT システムの軽量化・大電力化および高効率化技術は、ドローンのみならず EV や工場内無人搬送機 (AGV) 等にも広く応用できる。
- ・ ドローンの無人充電・自動充電が可能な WPT システムが実用化されると、遠隔地の各種社会インフラ等の巡視・点検に必要な人的資源やコストの飛躍的低減が可能になる。特に今後増大する高経年・老朽設備に対しては、無人運転ドローン等を活用し低コストで頻繁に巡視点検する事で、タイムリーに必要な補修や、更新判断を行う事ができる。
- ・ 大規模災害で電力供給が途絶えた地域や、連系線が脆弱な遠隔地において、現地で発電した再エネを電源としたドローンによる早期の状況把握 (巡視・点検等) やそれによる迅速な災害復旧、緊急物流網の立ち上げに貢献できる。
- ・ 便益についても、テーマ A と連携し、レジリエンスに着目したモデルケースを設定して、関係者とベネフィットの試算評価を実施した。

③達成度 (1) : SIP 第 2 期 5 年間の設定目標に対する達成度

(1) 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

WPT システムとして、2つの給電方式と共通する課題の研究開発に取り組んだ。

- i) 分散アンテナによる協調ビーム制御方式は、利用シーンとして工場、介護などの広く分散するアンテナから複数センサへの同時送電を想定しており、人と共存する利用環境で複数センサへ同時に給電し、平均受電電力 1.0mW 以上の達成と、人および他無線機との共存を実現することを目標とした。
- ii) 高度ビームフォーミング方式は、利用シーンとして工場、プラントなどのカメラや、高機能センサへの集中ビームによる送電を想定しており、高機能センサへ mW~1W 級の給電を行い、人および他無線機のある環境下で送電

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

可能な時間率 50%を実現することを目標とした。

iii) これら 2つの給電方式に共通する要素技術として、①複数の人体検出および人体回避、② 広帯域な高可搬性簡易人体模擬ファントム、③ 複数の他通信システム検出による与干渉の低減、④高ダイナミックレンジ入力高効率受電回路、⑤ 回避機能を評価可能な OTA 評価 (Over The Air 評価：電波暗室など閉空間内で実際に電波を放射して行う性能評価) 方法とシステム開発構築 などの研究開発に取り組んだ。

【実施項目 1】分散アンテナ協調ビーム制御方式の開発 (パナソニック)
【達成目標】 実証システムを開発して、人と共存する利用環境での WPT による平均受電電力 1.0mW 以上を達成する。

- ・本研究で開発する分散アンテナ協調ビーム制御方式 WPT システムの構成を図 2-3-3 に示す。このシステムの特徴として以下が挙げられる。
 - i) 複数の送電アンテナを協調させ、建設的干渉を発生させることにより電波干渉・人体暴露の低減と高効率給電の両立が可能である。
 - ii) 1台1台の送電電力が微弱であるため、回路規模が小さく放熱等の問題が軽微である。
 - iii) システムがスケラブルであり、受電デバイスや空間の広さに応じてフレキシブルな規模のシステムを構築可能である。
 - iv) 位相最適化にボックスキャッタを利用することにより周波数資源の有効利用が実現可能である。
 - v) 送電システムはコストを重視した回路構成となっており、半導体の使用数を削減可能である。
 - vi) 日本国内における分散協調型 WPT システムの初の実験試験局であり、

システム構成

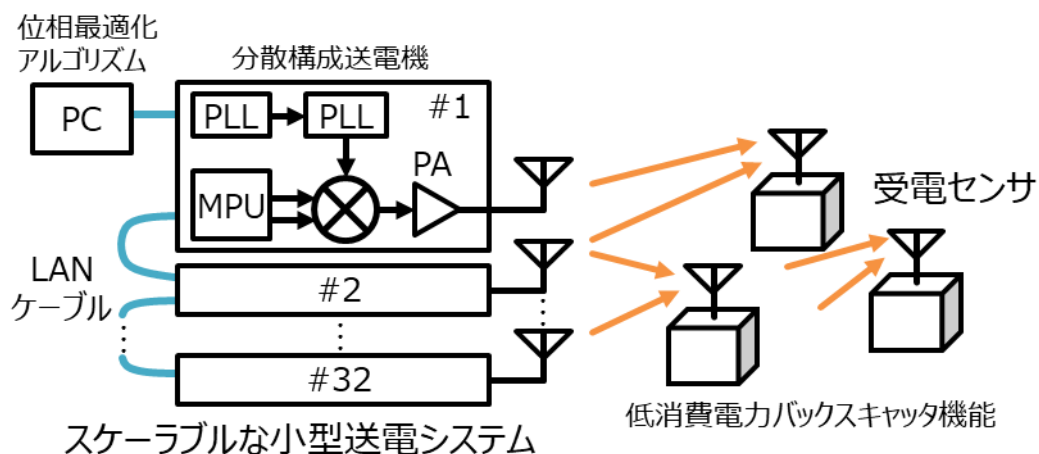


図 2-3-3 開発した WPT システムの構成模式図

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

周波数同期した複数局を用いた WPT システムのモデルケースとなる。

- ・ 成果目標を最終年度実証に向けた WPT システムの構築として、以下の3つの取組を行った。

i) 分散構成システムによる給電

昨年度試作システムを用いて、送電アンテナ毎に PLL が独立した構成による給電システムを構築した。実証の結果、シミュレーションと極めて良好に一致する結果を得た。また、8 台のアンテナから 100mW 送信時 1.5mW 以上の受電電力を得た。

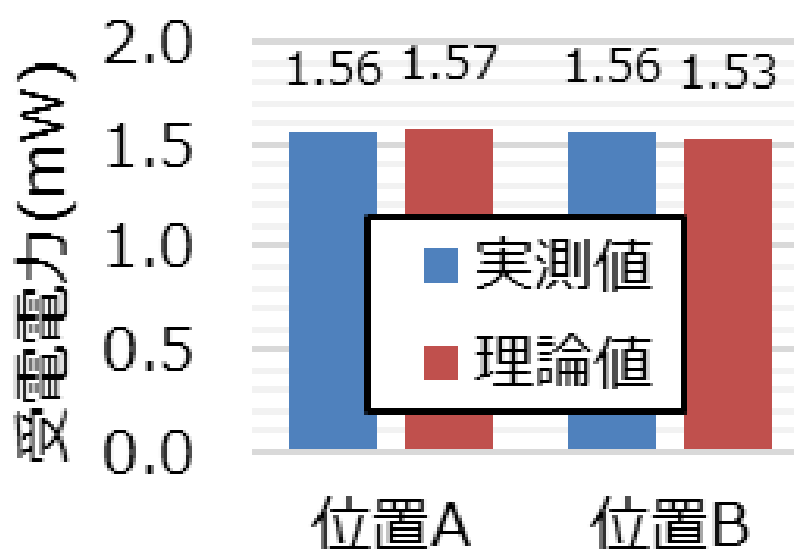


図 2-3-4 構築した分散構成システムにおける給電実証結果(実測値)とシミュレーション結果(理論値)の比較

ii) 小型送電装置の開発

新方式位相制御機能を用いた小型送電装置を開発した。部品点数を半減し低コスト化を図るとともにパワーアンプを内蔵し集積度を向上させた。また、天井に馴染むデザインの小型、広指向性の高効率円偏波アンテナを開発した。



図 2-3-5 一体型小型送電器

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

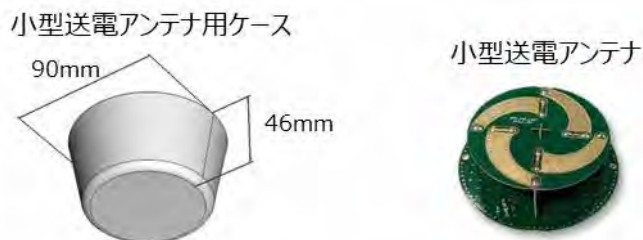


図 2-3-6 小型送電アンテナ

iii) 実証システムに向けた放射ノイズ・スプリアスの低減

送電基板の改修、PA 基板の再設計により、チャンネル近傍スプリアス (910MHz) を 15dB (-96.8%)、3 次高調波を 22.5dB (-99.4%)、それぞれ低減させ基準値を達成した。

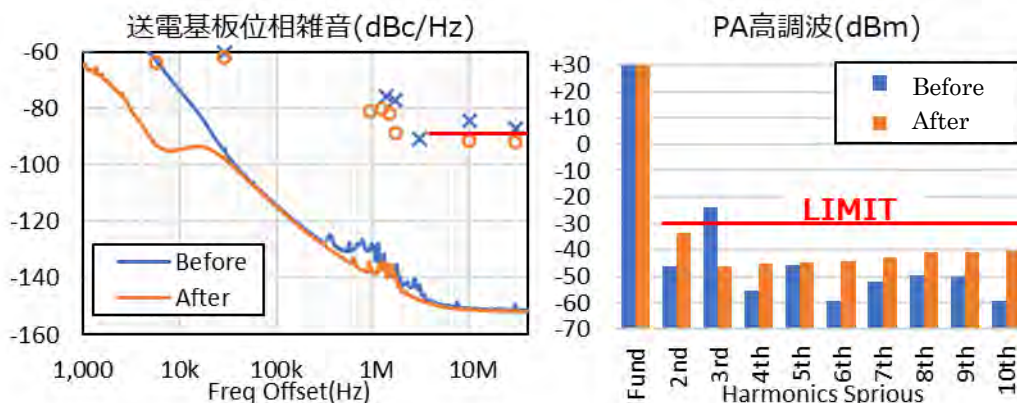


図 2-3-7 送電基板位相雑音と PA 高調波の測定結果

- ・【2022 年 10 月時点見込み】最終成果として人と共存する環境にて複数のセンサ端末に平均受電電力 1.0mW 以上を供給することを達成させるために、電波暗室内および一般環境においてシステム実証を実施する予定である。電波暗室（大阪事業所内）では、32 アンテナと分散型送電器にて合計 32W 送電し、モータ等大電力負荷への適用可能性を検証する。一般環境（横浜事業所内）では、32 アンテナと分散型送電器にて 合計 8W 送電（実験試験局）し、複数のセンサデバイスに対して給電実証し、目標平均受電電力 1mW を実証する。

- 2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)： IoE 応用・実用化研究開発

電波暗室（大阪事業所内）



一般環境（横浜事業所内）



図 2-3-8 実証場所の写真及びイメージ図

【実施項目 2】 高度ビームフォーミング方式の開発（東芝）

【達成目標】 実証システムを開発し、mW～1W 程度の給電、WPT 送電時間効率 50%を実現する。

- ・ 小型送電機/高効率受電機構成でのシステム性能評価：

小型送電器の設計・実装を完了した。アナログ部の低コスト化の要となる位相器を独自設計し、送電器コストを約 1/10 に削減した。また、アイソレーションを強化することにより発振対策を行い、動作安定性を向上させた。

- ・ BLE プロファイルベースのマイクロ波給電制御通信仕様の実装：

BLE ベースの給電制御通信仕様を策定した。給電側と受電側の間で交換する必要がある情報を整理し、制御信号・給電・ビーコン信号のシーケンスを決定した。

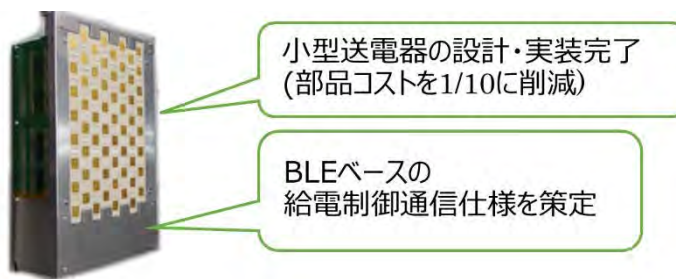


図 2-3-9 開発した送電装置

- ・ 無線システム検出処理・共存機能、人体検出技術も組み合わせた総合実証：

岩手大学の人体検出アルゴリズムを東芝開発の給電装置に実装し、実証実験によってその効果を確認した。5.7GHz 帯マイクロ波給電装置に人体検出・回避機能を実装して有効性を確認した成果は世界初である。

- 2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

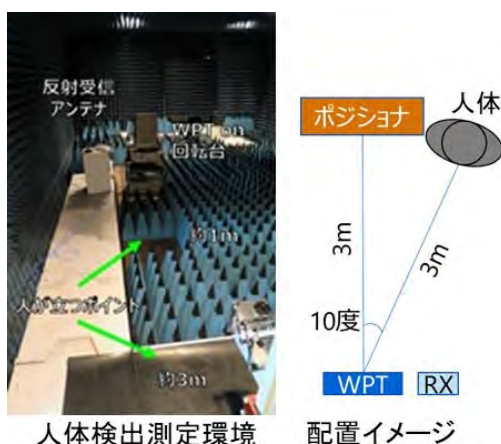
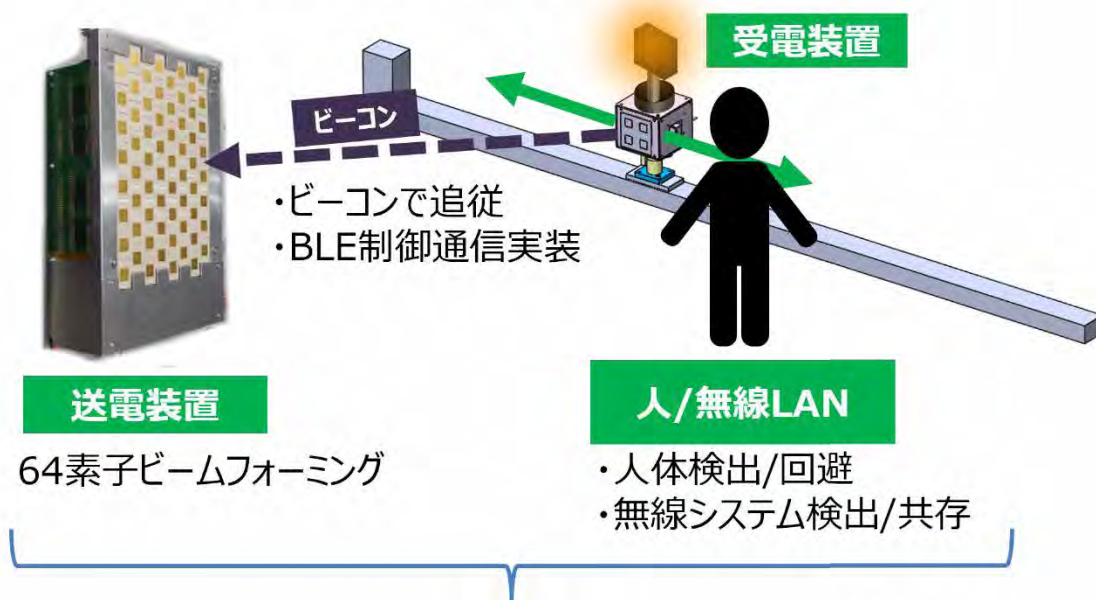


図 2-3-10 給電装置を用いた人体検出測定環境の写真と配置イメージ

- ・【2022年10月時点見込み】トータルシステムとしての小型送電機と高効率受電機を組み合わせ、無線システム検出機能と人体検出機能も含めた総合実証実験を行い、送電時間効率 50%以上を実証する予定である。
- 5.7GHz 帯マイクロ波給電装置による無線システム検出・人体回避機能の実証は世界初である。

トータルシステムとしての検証・実証



トータルシステムとして送電時間率50%以上達成

図 2-3-11 総合実証実験の概要イメージ図

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C): IoE 応用・実用化研究開発

【実施項目 3】 バックスキャッタ利用高度ビームフォーミング方式の開発
 (オムロン)
 【達成目標】 高機能センサへ mW 級の給電、人および他無線機のある環境下
 で送電可能な時間率 50%を実現。

- ・ バックスキャッタ利用高度ビームフォーミング方式の特徴として以下が挙げられる。
 - i) バックスキャッタ利用のため、ms オーダで給電に最適なアンテナ指向性を生成し、電波伝搬の変化に対してリアルタイムに追従可能である。
 - ii) バックスキャッタ利用のため、無線通信での消費電力が低く低減でき、給電された電力を効率的にセンサで利用できる。
 - iii) バックスキャッタ通信によって人体上電力密度を把握できるため、人体上電力密度を電波防護指針値以下に確実に保てる。
- ・ 実験試験局の免許取得と実験室内評価を実施した。それによって、実験試

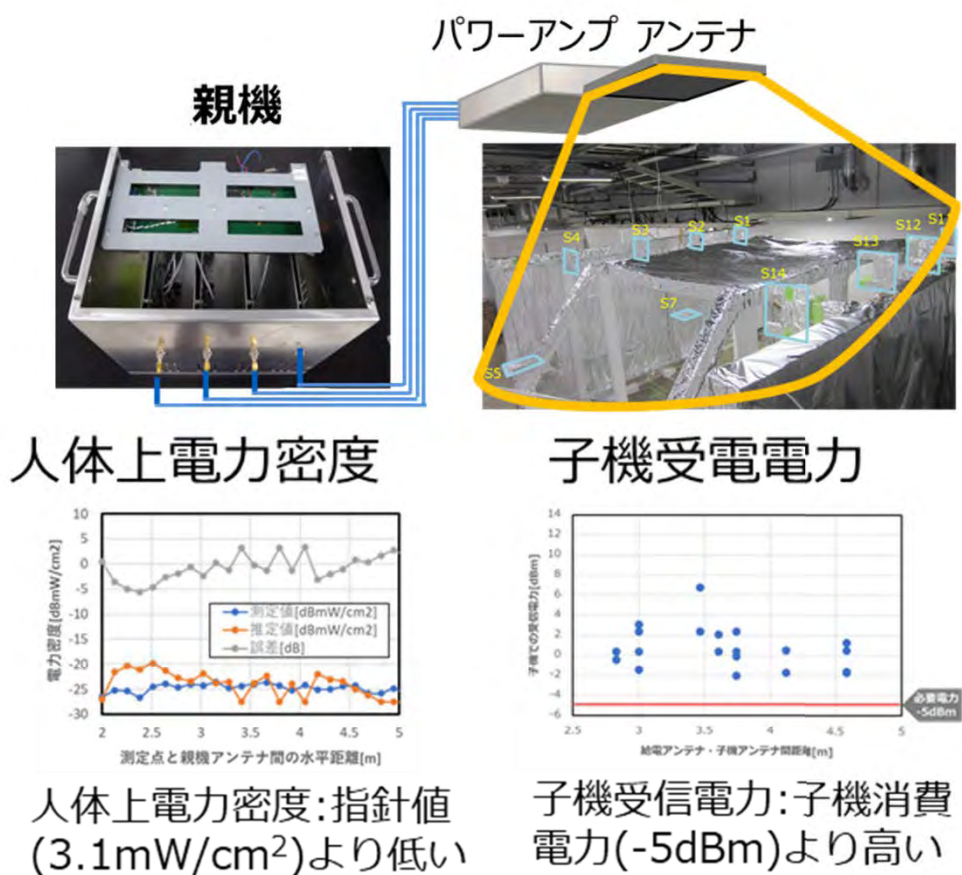


図 2-3-12 実験室内評価 (模擬自動車溶接工程) の評価システム (上図) と評価結果 (下図)

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)： IoE 応用・実用化研究開発

験局2局に対し免許(免許状番号：近実第4855と4856号)を取得した。実験室内評価においてはマイクロ波給電で得られた電力がセンサの消費電力より高く、人体上電力密度が電波防護指針値以下になったシステム評価結果が得られた。

- ・実証実験システム開発と模擬組立ライン構築を行った。実証実験システムの開発においては、実証実験システムの子機に振動、温度、近接センサのセンサインタフェースを実装し、子機全体のサイズを機能モデルの子機の40%までに小型化した。実証実験システムの親機には振動、温度、近接センサのセンサ取得のシーケンスを実装した。模擬組立ラインの構築においては、セル生産方式想定した組立ラインを構築完了し、ワーク管理、工程管理、設備管理に使われるセンサへの給電、データ取得の実証を実施できる状態になった。
- ・実験室内の評価フィールドにおける有効性の検証結果により、バックスキヤッタ通信を用いることによって人体上の電力密度を推定する手法は技術的に可能であるという技術価値が得られた。
- ・構築した模擬組立ラインにおいて受電電力、時間率、人体回避効果の評価を行った後、実証実験結果より社会実証に向けた課題抽出を実施した。実証実験では、mW級の受電電力と50%の送電可能な時間率を達成し、マイクロ波給電の電力でセンサを動かし、センサデータを取得できると共に、給電アンテナの近くにいる人の身体上の電力密度が電波防護指針値以下である結果が得られた。これによって、最終目標を達成し、マイクロ波給電で得られた電力でセンサネットワークが成立していることを検証できたという最終成果が得られた。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

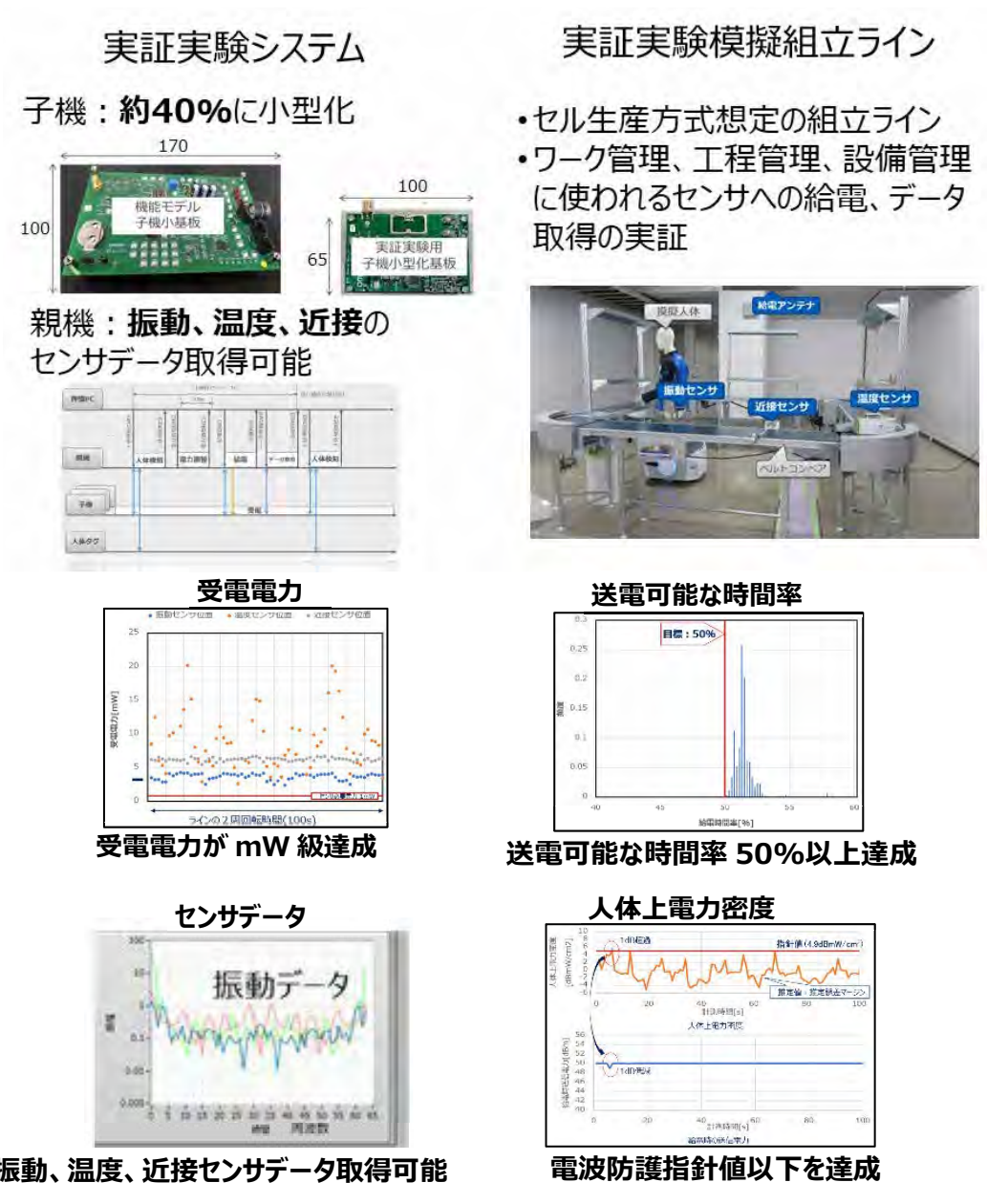


図 2-3-13 実証実験の概要

【実施項目 4】アレイアンテナにおける人体検出および高度ビーム形成技術（実施項目 2「高度ビームフォーミング方式の開発」）（岩手大学）
 【達成目標】実 WPT 装置へ実装する人体回避アルゴリズムの開発。

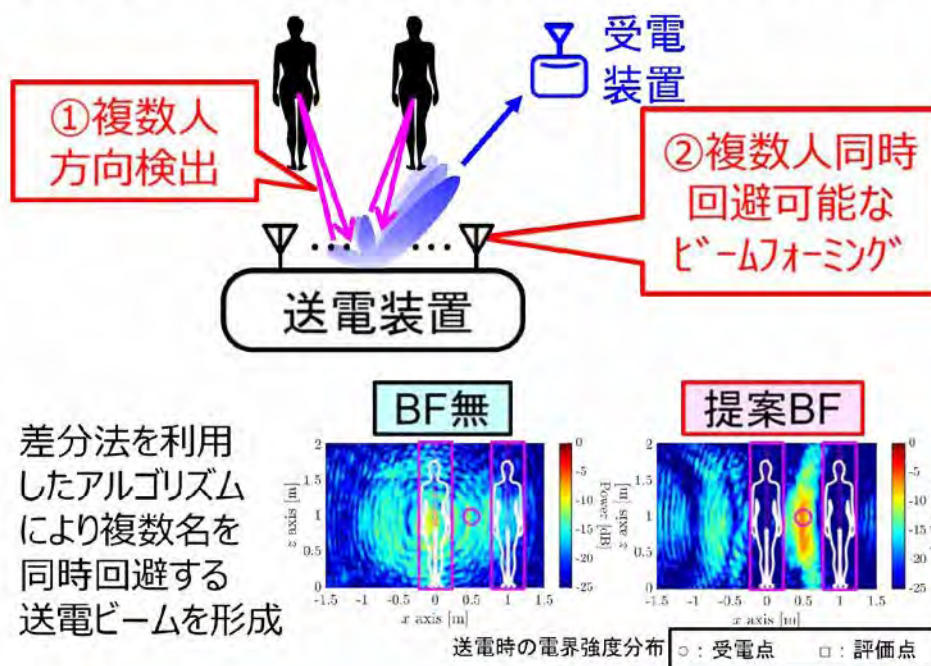
- ・本項目では、ヒト検出・曝露回避アルゴリズムを開発した。無線電力伝送環境内にヒトが 2 名存在する場合に、照射電力を半減以下とすることを目標として開発を進めた。本研究開発では、無対策と比べて 2 名時のヒト照射電力を 1/70 以下に抑圧することに成功し、期待以上の性能を確認した。これにより、世界初のデバイスフリー人体回避、高効率給電の両立

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

が可能である。

- ・WPT 装置への実装を目指し、ヒト検知（センシング）時間を 1/10 程度に短縮した差分法に基づくアルゴリズムを開発した。実験により、1/10 のセンシング時間であっても同等の感度が得られることを確認した。

世界初・最高性能のヒト回避ビームフォーミング方式の確立と評価



差分法を利用したアルゴリズムにより複数名を同時回避する送電ビームを形成

→WPTによる自動人体回避は世界初

図 2-3-14 ヒト回避ビームフォーミング方式の概要

- ・差分法を利用した開発アルゴリズムは、ヒト回避アルゴリズムの実用化には欠かせない高速化技術であり、このような高速性と高感度特性を両立した人体回避ビームフォーミングアルゴリズムは世界初の技術であり、学術的にも価値が高い。

【実施項目 5】OTA 測定評価およびシステム評価方式の開発（電気興業）
【達成目標】WPT システムの OTA 評価方法を確立し、実験・シミュレーションによってシステムの評価方法を構築する。

- ・本項目では、測定距離による実行偏差を明らかにし、小型簡易な暗室により、遠方界/近傍界測定法を周波数帯で切り替え、EIRP70dB を超える機器を最大 120dB のレンジで指向性を含めた OTA 評価可能とした。これにより、人体回避による指向性制御の結果評価もデータの組み合わせなどなく、一回の測定で評価を可能とした。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

・評価システムの開発：

i) 2.4GHz/5.7GHz 帯広い電力測定回路の試作完了

920MHz 帯を IF として出力する回路として、920MHz 帯電力測定回路と組み合わせることで、安定した保護と広いダイナミック+40dBm～-80dBm 入力範囲で可能とした。

ii) 920MHz 帯での OTA 評価

RF-ID 用の 2 種類のアンテナを使用し、測定アンテナ間距離を 600mm での検証を実施し、有線接続（空中線電力+アンテナ利得）と比較し、EIRP にて 1dB 偏差内の測定パラメータを選定・評価を実施した。遠方界測定法でも小型暗室で評価を可能とした。

表 2-3-2 EIRP 評価の測定結果

EIRP評価 ※総合EIRP：35.84dBm 【有線接続での空中線電力+アンテナ利得の値】

トレースモード	測定ステップ	データモード	EIRP (dBm)	差分(dB)	備考
MAX-HOLD	5°/50mm	マーカ値	35.67~35.86	-0.18~0.02	
	5°/50mm	OBW測定	35.37~36.02	-0.47~0.18	
	5°/100mm	マーカ値	36.11	0.27	
	10°/50mm	マーカ値	36.30	0.46	
	10°/100mm	マーカ値	36.09	0.25	
Ave100	5°/50mm	マーカ値	32.45	-3.40	
	5°/50mm	OBW測定	34.63	-1.21	

920MHz 帯では、1W 送信時に変調波を使用する。当初試作の RF 測定回路の場合に変調波検波による RF 回路切替では、インテグレーションや反射波によるインピーダンス不整合等の発生にて切替えが正常に検出されない場合がある事が判明した為、920MHz 帯 RF 測定回路に rms 検波回路に改造したものと測定ソフトウェアの改修により、変調波でも正常測定可能な回路にて評価可能とした。

iii) 5.7GHz 帯での OTA 評価

新潟大学（2018～2021 参画）の研究を引き継ぎ近傍界遠方界変換の指向性検証を実施した。目標とした-25dB 以上のヌル算出は可能とした。

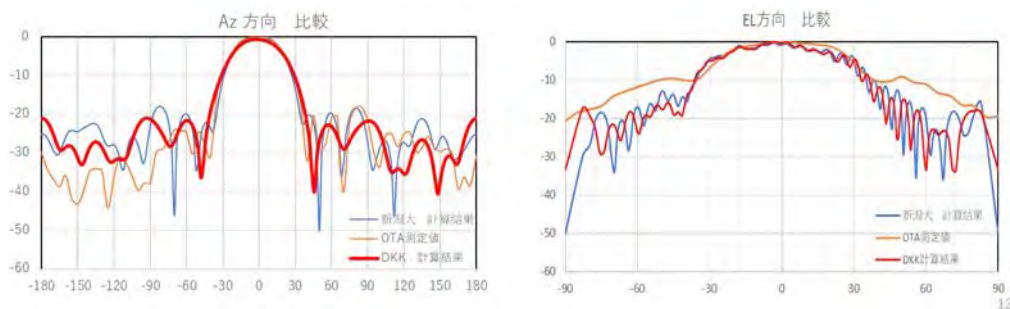


図 2-3-15 5.7GHz 帯での変換比較

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)： IoE 応用・実用化研究開発

iv) 5.7GHz 帯基準アンテナの試作評価を実施

位相基準を測定するための 5.7GHz 帯基準アンテナの試作評価を実施。低利得にて偏波偏差の少ない、小型アンテナとして、多層基板を使用した円偏波アンテナを開発し、評価を実施した。(※特許取得済み) 地板と放射素子間に立体回路をスルーホール給電により構築した。これにより地板と立体回路間で発生する不要輻射を正面に持つてくることで積極的に輻射特性に取り入れる事と背面が地板のみとなる事からターンテーブルなどの金属面を積極的に地板の一部へと利用する設計を採用することで小型な基準アンテナを開発した。

※【特許出願】特願 2022-075943

立体回路を有するパッチアンテナ 関野、佐々木、白澤、相崎

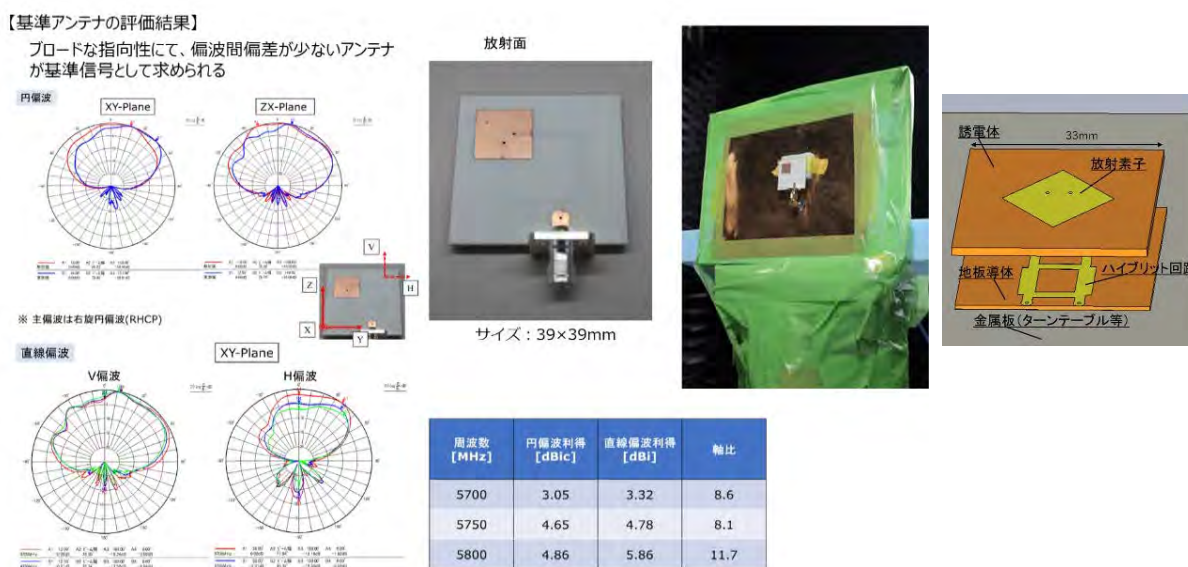


図 2-3-16 5.7GHz 帯基準アンテナ特性と構造

v) 5.7GHz 帯 OTA 評価用アンテナの試作

OTA の実機評価としては送信 EIRP70dBm を OTA 暗室内で送信し、評価する必要がある。しかし、まだ研究途中である事から OTA 評価目的に簡易的にアンプ回路、分配器および可変位相器により評価用ビームフォーミングアンテナを用意した。その際に $\lambda/2$ にアンテナ配置を必要としたことからアンプ回路の冷却が強制空冷 (5m/s) 方式でも約 100 cm³ のヒートシンクが必要との検討結果であったことから水冷方式にて、32 素子ビームフォーミングアンテナを EIRP70dBm として実現した。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

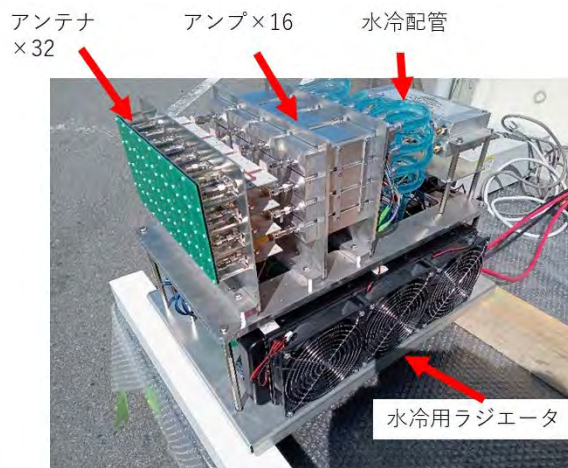


図 2-3-17 32 素子ビームフォーミングアンテナ

- ・ オフィスビル/一般家庭/介護現場の設置モデルにて、レイトレース法を使用して伝搬特性を解析し、屋内伝搬特性と屋外伝搬特性を解析し、LOS/NLOS に分けた解析を実施した。

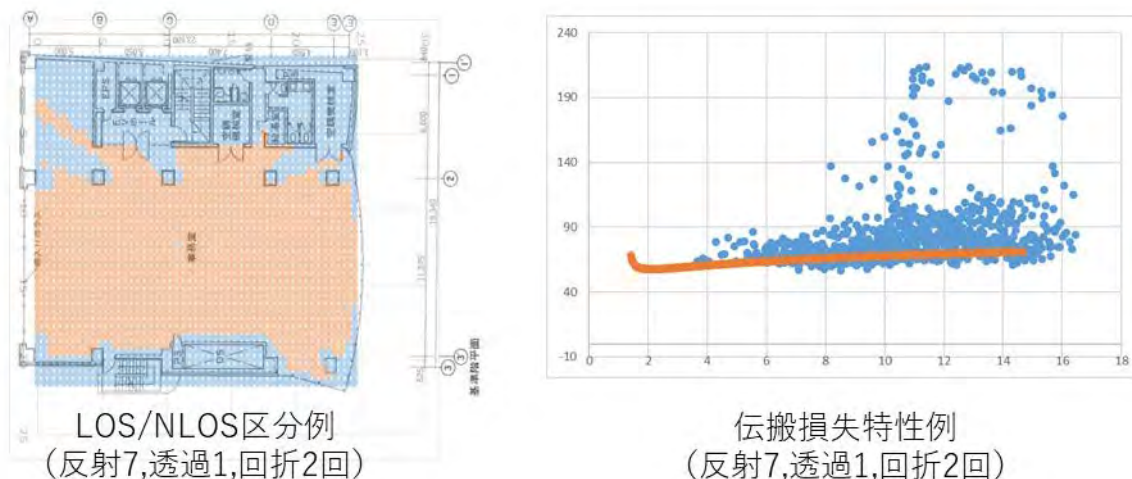


図 2-3-18 オフィスビルの伝搬解析結果例

- ・【2022 年 10 月時点見込み】小型暗室による OTA 測定により空間伝送型 WPT の機器評価を可能とする。これにより、商用化の開始された WPT 局の登録点検等の機器評価を簡易に実施可能として速やかな導入を可能とする。また、シミュレーションによってシステムの評価方法を構築することで、送電空間および、隣接する空間における送電電力の想定が可能となり、利用アプリケーションの選定や充電時間などの利用シーンにおける WPT の送電可能電力を明確となり利用シーンを広げる利用が可能となる。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)： IoE 応用・実用化研究開発

【実施項目 6】 人体簡易軽量ファントムの開発（千葉大学）

【達成目標】 開発した人体簡易軽量ファントムを他の研究機関での実測評価に用い、その有効性を検証する。

- ・本項目では、3つのユースケースを想定した、人体回避技術評価用簡易軽量ファントムを開発した。空間伝送型 WPT システムの人体回避技術評価を目的とした、世界初の人体ファントムであり、簡易形状かつ軽量素材の使用による利便性を確保した。
- ・岩手大学において、試作した簡易・軽量ファントムに若干の改造を施したファントムによる人体検出実験を行った。このファントムは、人体と等価な RCS（レーダ反射断面積）をもつファントムに、呼吸による胸部の動きを再現する機構を追加したものである。この実験の結果、開発したファントムで、人体検出が可能であることがわかった。
- ・これまでに開発したファントムに関する論文を執筆するにあたり、開発したファントムの RCS を実測した。この結果、事前に得られていた数値シミュレーション結果とよく一致する RCS 実測結果を得ることができた。
- ・人体と等価な RCS を再現するファントムを開発した。また、WPT の人体検出では、送信機から人体までの距離が十分に離れている（人体が遠方界に存在する）場合だけでなく、比較的近傍に位置するケースも考えられる。そこで、人体に電磁波が照射された際の人体近傍の電界の乱れを模擬するファントムも開発した。このファントムも簡易・軽量であるので、容易に扱うことができる。

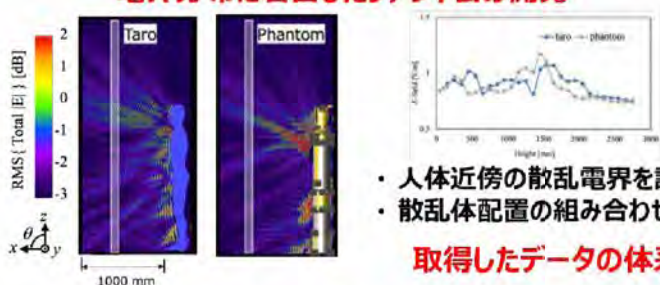
- 2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)： IoE 応用・実用化研究開発

実測結果に基づき、開発したファントムの特徴を体系的にまとめる
RCSに着目したファントムの試作 他機関での実測評価に使用



- ・ 他機関での実測実験に使用
- ・ 人体腹部の動きを再現したファントム
- ・ ファントムの有効性を確認

電界分布に着目したファントムの開発



- ・ 人体近傍の散乱電界を調査
- ・ 散乱体配置の組み合わせの検討

取得したデータの体系的まとめ

図 2-3-19 人体簡易計量ファントム開発の概要

【実施項目 7】 高効率受電用電源回路技術 (信州大学)
【達成目標】 最大受電効率 50%以上、全体システム組み込み。

- ・ 3 次試作した 12V 耐圧 DC-DC コンバータ単体にて最大 83%の効率を達成した。また、整流器開放端電圧 (24V) までの対応を可能にしつつ、高速 MPPT 追従を実証した。
- ・ 開発した高速 MPPT12V 入力昇降圧 DC-DC コンバータとテーマ B (金沢工業大学) 整流器との連携を通じ、5.7GHz 非接触給電で受電効率 50%を実証した。高速 MPPT がある 5.7GHz 非接触給電としては最高の受電効率である。
- ・ 【2022 年 10 月時点見込み】 全体 5.7GHz 高度ビームフォーミングシステムでの動作を実証する。また、複数モジュールからの電力取得の基礎実証を行う。加えて、さらなる高耐圧化 (12V から 24V 入力耐圧素子に変更し、整流器開放端電圧 48V まで対応) により受電効率 (現状 50%) のさらなる向上を図る。

- 2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

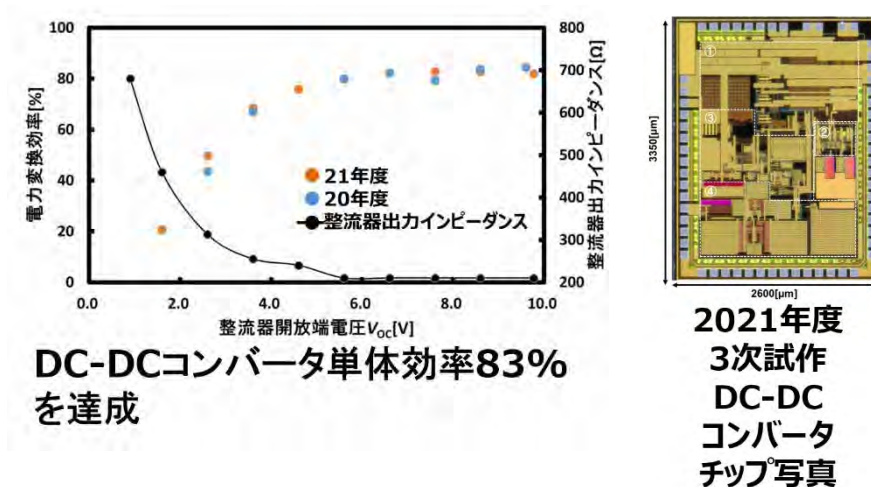


図 2-3-20 試作した DC-DC コンバータとその特性

(2) ドローン WPT システム

現状、WPT システムの要素技術については我が国の水準は世界最先端レベルであるが、諸外国でも WPT システムの研究開発や製品化に向けた取組が進められており、我が国としても取組を進めなければ、諸外国に先を越されてしまう恐れがある。特に、安全性確保など社会実装に必要な課題を早期に解決することにより世界市場的な視点での我が国の優位性を確保することが可能となる。本テーマでは、ドローンを対象とした WPT システムの基盤要素技術からシステム技術、実用化技術まで一貫した研究開発を実施した。

本研究により、ドローンによる電力設備や橋梁、プラント工場等の長時間連続の点検・監視が可能となり、社会インフラメンテナンス技術の革新、メンテナンスに係る労力の削減等にも貢献できる。WPT システムをドローン等を実装することで、建設やものづくり、物流等の現場の生産性の向上にも貢献する。更に、近年、自然災害が激甚化する中、地震・津波、大雨・洪水などの非常災害時における重要インフラ設備の送配電線緊急ドローン巡視点検など、エネルギーシステムのレジリエンス（強靱化）対応にも適用でき、地域社会での物流応用など高齢化社会を支える技術ともなり、誰もが安全・安心に暮らせる社会の実現に貢献できる。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

【実施項目 1】電界結合方式

【達成目標】

- ・要素技術試験：受電電力 750W 以上、受電部重量 1.4kg 以下、システム効率 80%以上を達成する。
- ・実証試験：WPT 搭載ドローンが実証用充電ポートに着陸して、受電電力 360W 以上にて充電後、正常に離陸して飛行できることを示し、受電部重量 0.7kg 以下をチャレンジ目標とする。

・要素技術（要素技術開発モデル）

小型ドローン向けに 6.78MHz 帯電界結合方式のドローン駐機時急速ワイヤレス充電装置を開発した。ドローン格納庫への搭載を模擬した構成を実現し、また、ドローンに搭載する受電回路を軽量化した。その結果、疑似結合器を用いた実験により、ドローンに搭載可能な構成で、バッテリー充電電力 778W の大電力、DC-DC 効率 84.2%、受電部重量 850g を達成した。ドローン搭載を志向した既存研究の WPT と比較し、大電力を達成した。



図 2-3-21 受電部を搭載したドローン



図 2-3-22 製作したドローン WPT システムの疑似結合器

・社会実装（社会実装モデル）

- i) 実証試験に必要な性能を有するドローンを選定し、2022 年 10 月までに開発した受電部を搭載して充電～離陸・飛行のデモを実施した。また当該システムにおいて、受電電力 360W 以上にて充電できることを確認した。
- ii) D 級・E 級整流回路の受電部にて、360W 充電での EMC 評価を実施し、

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

高周波利用設備設置許可の取得に必要な規制値を満たすことを確認した。また、EMC 性能に優れる E 級整流回路の受電部にて、D 級整流回路の受電部に先行して許可を取得見込みである（2022 年 10 月時点）。なお、各仕様の受電部重量は下表の通りである。

- iii) ドローン格納庫がない状態でも、今後見込まれる WPT における高周波利用設備設置許可の要件緩和後の規制値を満たすことを確認した。
- iv) 着位置ずれ検出機能を実装した。

表 2-3-3 開発した各受電部の仕様（2022 年 10 月時点）

	採用した整流回路	重量	開発状況・備考
要素技術開発モデル	D 級 6 倍電流	850 g	下記の社会実装モデルの放熱力を強化し、疑似結合実験段階
社会実装モデル	E 級 6 倍電流	810 g	高周波利用設備設置許可取得見込み、10 月の実証実験で使用予定
	D 級 6 倍電流	720 g	高周波利用設備設置許可の規制値を満たすことを確認、さらなる軽量化を検討

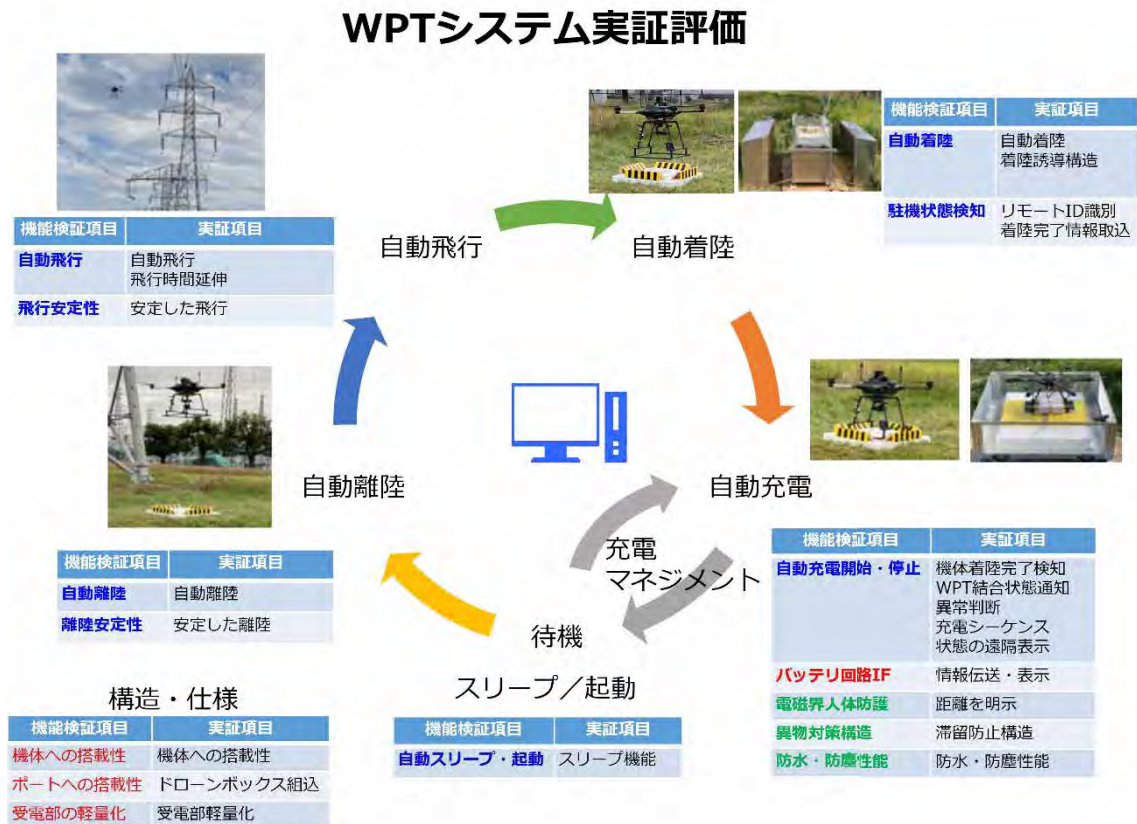


図 2-3-23 ドローン WPT システムの実証評価の概要

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

【実施項目 2】磁界結合方式

【達成目標】WPT システムを搭載したドローンが実証用充電ポートに着陸して、受電電力 750W 以上にて充電後、正常に離陸して飛行できることを示し、受電部重量 1.4kg 以下、システム効率 80%以上を達成する。

- ・産業用中・大型ドローンに向けた 85kHz 帯磁界結合方式のドローン駐機時急速ワイヤレス充電装置を開発した。また、独自構造の止まり木型充電ポートにより、充電位置ずれを解消し、ドローンに搭載する受電回路を軽量化した。その結果、WPT システムを搭載したドローンが実証用充電ポートに着陸して、受電電力 787W にて充電後、正常に離陸して飛行できることを示し、受電部重量約 1.1 kg、システム効率 80.1%を達成した。ドローン用電池を実際に充電したドローン向けワイヤレス充電用受電装置として、受電電力は世界最大である。さらに、受電部重量約 1.1kg は、ドローン用電池の受電出力 750W 以上のワイヤレス充電用受電部としては世界最軽量である。
- ・2021 年度の高さ約 270mmの止まり木型ポートでの送電コイルとフェライトブロックとの位置関係を継承しつつ、ドローン着陸面からの高さを従来の 3分の1以下の約 80mm とした低背型ポートを新たに製作した。カメラやジンバルを本体下部に搭載したドローンにも対応可能とした。



図 2-3-24 製作した受電部搭載ドローン及び止まり木型充電ポート
(左図)と低背型ポート(右図)

- ・上記低背型ポートに対応するため、脚部に受電コイルを内蔵し、本体下部に全天候型ジンバルとカメラを搭載するドローンを新たに製作した。カーボンコンポジットの軽量ボディと大型モータを採用し、ペイロード 7 kg で 30 分弱の飛行が可能となった。さらに、着陸精度向上に向けた電流変動に伴う電圧低下を低減するため、キャパシタを用いた電源部強化を

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C): IoE 応用・実用化研究開発

実施した。

- ・ポートからの距離 20cm の近傍磁界は、人体防護指針基準値を下回ることを確認した。
- ・新たにドローンに搭載したスマートバッテリーからの情報（電圧、電流、温度、SoC（電池残量）等）を UART と 920MHz 帯送受電間無線通信を経由し、送電側で表示・モニタが可能となった。

【実施項目 3】 WPT システム最適化

【達成目標】 非干渉条件を満たした時分割方式 WPT 及び空間距離減衰を利用したビーム WPT を組み合わせた新しいマイクロ波方式 WPT ドローンシステムの提案。

- ・ドローンへの WPT では限られた受電アンテナ面積しか利用できないため、ビーム効率を高効率化するだけの手法ではなく、電気-マイクロ波-電気の総合変換効率を向上させる新たなビーム形成手法が必要と考え、ビーム形成最適化シミュレーションを行い、実験により有効性を検証した。その結果、フラットトップビームにより約 80cm 距離で 7 分以上マイクロ波エネルギーのみでの飛行に成功した（ドローン消費電力 27W 程度）。また、本飛行実験に用いたフラットビームを用いて、空間距離減衰に注目した共存検討の電磁界シミュレーションを実施し、非干渉条件を明確化した。
- ・開発したドローン WPT システムの既存通信網への影響低減のために、時分割 WPT と最適ビーム形成及び電波吸収体の付加による不要放射の低減を組み合わせ、In-Band Wi-Fi や ETC との共存可能距離を近づけることに成功した。これにより、実用化に必要な共存条件を提示した。
- ・過去のドローン WPT (1960 年代 in USA と 2015 年 in Japan) はマイクロ波によるドローンの飛行に重点が置かれていた。しかし、本研究で開発した既存通信網との共存を図った無電源で飛行する WPT ドローンの開発は世界初であり、かつ WPT ドローンの実用化を一步進めるものである。

- 2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

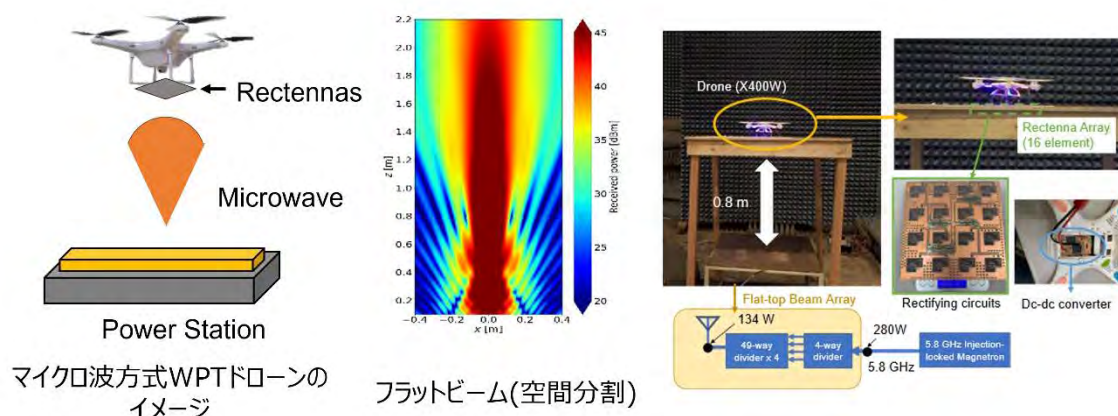


図 2-3-25 マイクロ波方式 WPT ドローンの飛行実験概要

④達成度（2）：社会実装の実現可能性

(1) 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

<社会実装に向けた具体的な計画>

A. 参画企業内の事業場にて PoC 実証（第一段階）から本格的な社会実装へ

- i) 社会実装の第一段階として、2024～2025 年度に、参画企業内の事業場もしくは客先施設を中心とした、工場、物流、インフラ施設などの利用環境において、WPT システムの PoC (Proof of Concept) 実証を行う。
- ii) 第一段階の社会実装活動の中から、参画企業を中心に、市場への適合アプリケーションを抽出し、海外事業場とも連携し、事業化を進める。
- iii) 第一段階の社会実装の結果を生かし、第二段階の社会実装として、2026 年度以降に国内外の産業界全体への普及促進を進める。

B. 制度化の推進

- i) 電波法における新規制度となることから、SIP 成果の制度の前段階となる第 1 ステップ制度化活動を BWF など業界団体と連携して推進し、2022 年度に制度化を完了する。
- ii) SIP 成果の制度化として第 2 ステップ制度化への取り組みも進め、2022 年度中に総務省への制度化要望の提案、2024 年度初めには第 2 ステップの制度化を完了する。
- iii) 上記 i)、ii) の制度化活動と並行して、世界初の人体と他無線システムの検出と回避および給電の同時実現機能の認証評価を実現するための認証方法の確立とシステムの開発、人体防護のための適合性評価・測定技術の確立なども進める。

C. 社会実装体制の構築

- i) 制度普及および社会実装促進の土台となるような、産業界が中心と

- 2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

なり官学とも連携した協議会組織を構築する。

D. 標準化の推進

- i) 前記Bの活動と並行して、WPT システムの利用周波数など国際法制度上の標準化活動を進める。
- ii) 更に、製品規格としての国際標準化活動も推進し、Bluetooth プロファイル化による WPT 制御のための仕様化を 2022 度中に完了し、国内標準規格としての ARIB (電波産業会) 標準規格化を 2024 年度までに完了する。

E. 小型・低コスト化の開発

- i) 国内だけで億単位が予想される WPT 受信端末 (センサなど) に共通する高効率受電回路を IC 化により小型化することで、低コスト化し、WPT システムの展開と発展を目論む。

以上のように、前述 A から E を一体で取り組み、初期 2024~25 年度の社会実装に加え、これ以降の WPT システムの発展を図っていく。2026 年以降は、BWF、WiPoT などの参画企業と連携し、共通インフラの構築、標準化を推進していく。

<計画進捗状況>

2024~25 年度の社会実装へ向け、順当に進捗しており、2022 年度 10 月段階での取り組み状況を示す。

・実証実験システムの開発

社会実装の第一段階となる PoC 実証に向けた 3 つの実証実験システム (分散アンテナ協調制御方式、5.7GHz 帯高度ビームフォーミング方式、ボックスキャッタ型高度ビームフォーミング方式) の開発を完了し、実証評価を進めている。これらの実証実験システムにより、世界初となる人と他無線システムの検出と回避および給電の同時実現が可能になる。加えて、これら世界初の認証を行うための評価手法および認証システムの開発完了し、評価を進めている。これらのシステムには、大学側で研究開発を進めてきた要素研究 (人体を検出方法、人体への電波曝露量低減と受信端末への給電を同時に実現するアルゴリズム、認証システムに必要な人体ファントム、高効率受電回路技術など) が組み込まれている。

・第 1 ステップ制度化の完了と第 2 ステップ制度化要望の総務省へのインプット

SIP 参画メンバーが中心となり、BWF など業界団体と連携し、第 1 ステップ制度化として構内無線局扱いとなる空間伝送型 WPT の省令が 2022 年 5 月 26 日に施行された。空間伝送型 WPT 専用の制度としては世界最初の

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

ものになり、制度整備上の画期的成果が得られた。

また、第2ステップ制度化への取り組みも進め、利用シーンやシステム仕様、想定市場規模、他システムとの共用化のための条件案などをまとめた制度化要望書を2022年7月に総務省へ提出し、第2ステップ制度化に向けた調整が開始された。2024年度初めには第2ステップの制度化を完了できれば、SIP成果による実用化が本格的に進むことになる。

・国際標準化の推進

総務省含めた関係者らと議論を深め、AWG および ITU-R の寄与文書を作成、提出し、SIP 成果の国際標準化の準備を進めてきた。その結果、2022年7月に開催された ITU-R SG1 会合において、空間伝送型 WPT の利用周波数の勧告が成立、他システムとの共用化検討のレポートが完成した。この勧告化、レポート化は、SIP 参画メンバーが中心となる日本代表団が主導してきたものである。空間伝送型 WPT が国際協調の場で明確に位置づけられたという意味で大きな成果があった。

また、WPT のアプリケーション拡大のため、WPT の制御方法について Bluetooth プロファイル化を目指し、その仕様案を策定した。更に、今後の国際標準規格の策定に向け、IEC TC 100/TA 15 (WPT システム製品規格)、IEC TC 106/WPT-WG (人体防護のための適合性評価方法・測定法) などでの標準化活動にも取り組んだ。

<上記社会実装に向けた体制構築状況と見通し>

2024~25年度の第一段階の社会実装へ向け参画企業内（パナソニック、オムロン、東芝）での取り組みとして議論を進めた。パナソニックは社内外事業所連携によるオフィスアプリケーションからの導入活動、オムロンは自社工場内 IoT アプリケーションでのユースケースを検討中、東芝は自社工場、物流およびインフラ事業でのユースケースを検討中であり、各々の企業の特徴に合わせた社会実装の体制を構築中である。

また、第1ステップの制度化と併せて、他システムとの運用調整および WPT システムの普及促進を担う組織としてワイヤレス電力伝送運用調整協議会 (JWPT) が2022年1月に設立した。JWPT 設立には SIP 参画メンバーが主導的に活動し、JWPT 組織の中にも主要メンバーとして参画している。2022年9月には第一号免許局 (第1ステップ) が開設され、JWPT 活動が順調に立ち上がった。今後の、SIP 成果による社会実装の普及促進を担う体制が確立された。

今後、2023年度からスタートするステップ2に向けた作業班議論の中で、人体にビームが当たっていないことを担保するための評価法・測定法についても確立していく。ここでの検討結果を元に、一般人に対しても人体回避

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

技術の確実性・安全性などをアピールできるようにするとともに、学会発表やプレス発表の場なども利用したアピールも行う予定である。

(2) ドローン WPT システム

＜社会実装に向けた具体的な計画＞

- ・第一段階：電力インフラ設備の巡視点検を対象に、国内開発動向を踏まえて 2023-24 年頃の国産主力機体・ポートシステムへの WPT 実装検討後、2025 年度以降のインフラ設備等での実用化を目指す。
- ・設備点検・監視・物流・防災減災等の用途へ、安全性や性能を向上して実用化を拡大する (2027-28 年)。
- ・その他、開発した個別要素技術(高効率インバータや整合・整流回路など)を AGV へ適用する。

※＜計画進捗状況＞については、非公開情報・機微情報を含むため、本報告書では記載していない。

＜上記社会実装に向けた体制構築状況と見通し＞

第一段階の想定ユーザと連携してフィールド実証し、WPT 充電システムの実用化と標準化を同時に推進する。具体的には、2022 年度の使用環境を想定した WPT 側の PoC 実証成果を公開し、ユーザーメリットを広く遡及する。国内開発動向を踏まえて 2023-24 年頃の国産主力機体・ポートシステムへの WPT 実装検討後、2025 年度以降の電力インフラ設備点検等での実用化を目指す。

⑤知財戦略、国際標準化戦略、規制改革等の制度面の出口戦略

(1) 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

＜制度面の戦略＞

- ・制度面での戦略
制度面での戦略については、上記④＜社会実装に向けた具体的な計画＞、＜計画進捗状況＞に記載した通りである。
- ・国際標準化戦略
国際標準化戦略については、上記④＜社会実装に向けた具体的な計画＞、＜計画進捗状況＞に記載した通りである。
- ・知財戦略
国際ベンチマーク結果に基づき、人体防護、他通信との共用、回避と送電の同時実現の優位性のある技術項目については、その優位性をより高めるための特許出願を行う。また、競争となるコスト、市場性、送電対象、

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

利用シーンについても他社に対して優位性が得られるよう特許出願活動を推進する。

<戦略に基づく成果>

制度面、国際標準化面での成果は上記④上記④<計画進捗状況>に記載した通りの大きな成果があった。知財戦略面では、SIP 期間内に 13 件の特許出願を行った（うち 1 件は特許成立済）。SIP 成果のアピールポイントになるヒトに対して世界一安全・安心な WPT システムに関わる人体防護や他システムとの共用化に対して特許出願が行えたこと、実用化時に必須となる低コスト化に向けた発明の特許出願が行えた。

(2) ドローン WPT システム

<制度面の戦略>

- ・知財戦略については、ドローン WPT の取り組みは国際的にも先行する中、要素技術・実証装置開発の検討結果をもとに早期に特許出願し、標準化推進と国際競争力確保へ向けて着実に推進し、2022 年度までに 19 件(2022 年 10 月時点)を出願実施した。
- ・標準化戦略のうち、電波法関連規則に準じた製品規格については、ARIB 標準規格化で対応する戦略とし、電界結合方式の工場用 WPT について WiPoT での実用化要望活動と BWF での標準化活動の体制構築を完了している。
またその他の IF 等の標準化については、充電ポートメーカ等へのヒアリングの結果、早期の標準化ニーズなしを確認済みである。将来の製品化・量産フェーズでは必要性が想定されることから、SIP 終了以降に市販機体への適用やポート汎用化等の観点で標準化ニーズ・時期を確認し、必要時は製品化・量産フェーズに対応した規格化活動・知財活動を実施する。
- ・国内法制面では、BWF などでの活動を開始しており、法制化に向けたマイルストーンを着実に達成していく。これにより、ユーザ自身が、個別に高周波利用設備の設置許可を取る必要がある現状に対して、型式指定を受けた充電機器の購入者は個別許可不要となり、社会実装の促進に寄与する。

<戦略に基づく成果>

- ・標準化
 - i) 電界結合方式の工場用 WPT
 - 電波法関連規則に準じた製品規格として、ARIB 標準規格化で対応する。
 - WiPoT での実用化要望活動と BWF での標準化活動の体制構築済み。
- 2018 年春：WiPoT・WG2 開始（全 60 機関。リーダー：デンソー、幹事：豊

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

橋技科大)

2019 年春：BWF・TG8 開始（全 30 機関。リーダー：デンソー、幹事：豊橋技科大）

2022 年 12 月：TG8 内で ARIB 標準規格案の策定検討開始

2023 年 10 月：ARIB 標準規格案を ARIB 規格会議に付議（総務省・省令改正公示が条件）

2023 年 10 月：ARIB 標準規格策定発行（従前の ARIB 標準規格への改定となる場合あり）

ii) ドローン向け WPT システム

EV 向け WPT システムの国際標準規格の調査結果も参考に、ドローン固有条件（ハードウェア構成、運行管理システムとの連系、段階的な運用展開等）を考慮したドローン WPT システム構成を検討し、将来の標準化に資する成果を得た。SIP 終了以降に市販機体への適用やポート汎用化等の観点で、製品化・量産フェーズに対応した標準化活動を推進する。

・ 制度整備

i) 電界結合方式：BWF・TG8 で活動中（工場用 WPT 等の各事業者と同調）

2020 年 11 月：BWF 参加による情報通信審議会 WPT 作業班での審議再開

2023 年 3 月：省令改正（見込み）

ii) 磁界結合方式：BWF・TG5 で活動中

SIP 研究期間：PoC 実証等の成果を公開可能な範囲で紹介（一部実施済）

SIP 研究以降：事業者連携後、型式指定制度等の整備を推進

⑥ 成果の対外的発信

SIP 課題として、SIP/WPT システム研究会を計 3 回（第 1 回：2019 年 3 月 27 日、第 2 回：2021 年 3 月 22 日（オンライン）、第 3 回：2023 年 3 月 22 日（オンライン併催））開催した。B-②、C-①、C-②の WPT 関連技術・システムの研究成果や取り組み内容をアピールした。

➤ CEATEC にて SIP 取り組み概要、WPT 実用化状況を WiPoT ブースより出展。反響は大きく、携帯キャリアとの機会を得、WPT 制度化に関する議論開始につながった。

➤ ワイヤレス電力伝送分野では世界最大の学会 IEEE Wireless Power Week に 4 年連続で採録された。2022 年度（2022 年 7 月）は、産業用中・大型ドローンに向けた 85kHz 帯磁界結合方式ドローン駐機時急速ワイヤレス充電装置として、大電流充電に対応する低損失回路と、着陸を容易にする乱流低減形状を有する止まり木型充電ポートを、新たに採用し、ドローン搭載

- 2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (3) 研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

二次電池に約 790kW/16A で急速充電できたことを発表した。

表 2-3-4 テーマ (C) の対外的発信実績

テーマ (C)		2018 年度		2019 年度		2020 年度		2021 年度		2022 年度 上期	
		C-①	C-②	C-①	C-②	C-①	C-②	C-①	C-②	C-①	C-②
特許出願 [件]	国内	0	0	5	10	2	1	1	2	2	1
	海外	0	0	0	3	1	2	2	0	1	0
原著論文 [報]	国内	0	0	2	0	2	6	2	1	0	1
	海外	0	0	0	2	1	7	2	2	0	3
学会等 口頭発表 [件]	国内	6	0	15	19	14	11	14	4	6	0
	海外	13	5	3	21	5	19	4	10	2	1

⑦国際的な取組・情報発信

グローバルな視点での成果アピール、実用化を意識した活動を推進した。主に以下の取組を実施した。

(1) 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

- ・ 国際学会 APMC2019 (IEEE)、SSDM2019 (IEEE)
ISAP2020 (電子情報通信学会、1月)
C-①チームを上げ、SIP 成果を口頭発表
WPTC2021 (IEEE)、A-SSCG2021 (IEEE)
WPW2022 (IEEE)、iWEM2022 (IEEE)
- ・ 国際協調 AWG・ITU-R (国際制度上の国際協調 (周波数など))
CJK-WPT-WG (日中韓の標準化・制度化へ向けた国際協調)
- ・ 国際制度・標準化
Bluetooth-SIG (プロファイル標準化)
WPT システムの展開を目論見、プロファイル仕様を提案予定
IEC TC100 (標準規格化を目論見参画)
IEC TC106 (電波曝露評価に関する標準化)

- 2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
(3) 研究テーマ(C)： IoE 応用・実用化研究開発

(2) ドローン WPT システム

- ・ URSM-JRSM 2022 にて、ドローン WPT システムの耐候性に関する研究成果を報告した。塩分を含む雨水等に結合器(送受電電極)が浸漬した場合でも、電力伝送効率が大きな影響を受けないことを報告した。

3 課題マネジメント

① Society5.0の実現を目指すもの

本課題は「いつでもどこでもどこにでもエネルギー供給を行える E2E (Energy to Everything)の実現」、「二酸化炭素排出量の削減」、「電力・社会インフラ強靱化、ライフラインの安定化」、「世界一安全・安心で世界一健康な社会」、といった Society 5.0 に求められる基盤技術の開発などをターゲットとしており、エネルギーと情報が融合する IoE 社会を最適にデザインし、それを実現するための要素技術の研究開発に取り組むものである。

脱炭素社会におけるエネルギーネットワークの構築に不可欠な再生可能エネルギー等の不規則な入力電力に対しても常に高効率に変換できる USPM (ユニバーサルスマートパワーモジュール) は、電力消費ニーズが多様化する Society 5.0 において重要な技術システムの確立を目指すものである。

また、WPT (ワイヤレス電力伝送) については、Society 5.0 社会に利用される IoT センサ、ロボット、ドローン、EV など全てのモノへのエネルギー供給を可能とするものであり、充電・給電を意識しない社会の実現 (例: 高齢者も楽に利用できる行動範囲が広がる、災害・非常時にも利用可能など)、WPT によるイノベーションの実現 (例: ドローン応用による物流革命、生産・検査分野でのプロセス革命、医療・ヘルスケア応用など) などへの貢献が期待される。

② 社会実装を実現するためのマネジメント体制が構築されていたか。

課題全体のマネジメントとしては、PD において研究開発の進捗状況や社会実装の見込みなどを十分に考慮した上で、年度毎の成果目標の達成状況についての精査を図ってきた。

さらに、産業動向や政策等に精通する戦略コーディネーターとして、SIP 第 1 期課題「エネルギーキャリア」サブ・プログラムディレクターを務め、経済産業省、日本規格協会にて国際標準化等に関する業務に携わった経験があり、政策面も含めた知見を有する塩沢文朗 (元 住友化学株式会社・主幹) を配置して実用化・事業化に向けての検討を進めた。

知財戦略については、各テーマ内には知財分科会を設置し、月に 1 回～四半期に 1 回開催することに加えて、知財委員会を研究推進法人 (JST) 内に設置し、四半期に 1 回開催しており、知的財産、国際標準化、データ保護、データ流通に関する考え方等の整理を図った。特に特許等については、研究機関からの通知・申請を通して、出願・登録・実施・移転等の各ステータスの管理・把握を徹底した。

また、本課題内のテーマ A においては、テーマ B で開発する高性能の次世代パワーエレクトロニクス機器や、テーマ C で社会実装するセンサ等へのワイヤレス電力伝送に関して、IoE 社会におけるエネルギーマネジメントシステム (EMS) に対す

3 課題マネジメント

る便益評価を行うなど、テーマ間での密な連携を図った。さらにはテーマCにおいては、テーマBにおけるデバイスなど基盤要素技術の研究開発についてのみならず、WPTシステムの社会実装に向けた規制対応等の制度面についてもテーマ間で連携するために、制度整備・標準化ワーキンググループを設置・開催した。

以下のテーマについては、2021年度から実装主体先の事業化担当である「社会実装責任者」を配置し、社会実装に向けた具体的な検討を進めた。

※社会実装責任者の役割については、以下の通り。

- ・具体的かつ実効的な戦略を描き、自ら実行する又は実行を指示する。
- ・詳細状況を把握し、SIP第2期期間中の課題評価およびSIP第2期終了後の追跡調査等において、社会実装に向けた取組状況について説明・報告する。

対象テーマ	社会実装責任者 ※2023年3月時点	事業概要
B-①(3): コランダム構造酸化ガリウムを用いたパワーMOSFETの開発	人羅 俊実 (株式会社 FLOSFIA)	α -Ga ₂ O ₃ 縦型パワーMOSFET (1200V/10A)の量産
B-②: エネルギー伝送システムへの応用を見据えた基盤技術(縦型 GaN)	江戸 雅晴 (富士電機株式会社 技術開発本部 先端技術研究所)	縦型 GaN デバイスを適用した産業用パワーデバイスの生産
B-②: エネルギー伝送システムへの応用を見据えた基盤技術(横型 GaN)	長永 隆志 (三菱電機株式会社 先端技術総合研究所)	マイクロ波受電整流器用 10W 級 GaN デバイスの生産
C-①: 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	庄木 裕樹 (株式会社東芝 研究開発センター 情報通信プラットフォーム研究所)	人が居ても安全・安心に利用でき、他の無線システムと共存できるセンサ等向けの屋内給電 WPT システムの提供
C-②: ドローン WPT システム	市川 裕士 (東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所 技術開発部)	長時間連続のインフラ監視・点検、災害時の早期状況把握などに有効なドローン WPT システムの提供

3 課題マネジメント

その他、各テーマで社会実装を実現するための体制の工夫は、以下のとおりである。

<テーマ A>

交通部門と連携した地域エネルギーシステムを設計・運用するには、地域のエネルギー事業者、交通事業者等と協力した体制づくりが肝要であるため、宇都宮市を対象とした事業化を検討していく計画であり、本計画を推進していくために、エネルギーマネジメント、配電システム分野の専門家であり、制度・標準化に詳しい林泰弘教授（早稲田大学）、都市計画分野の専門家である森本章倫教授（早稲田大学）をエネルギーマネジメント研究会メンバーに加え、2020年度にテーマ A-③の中で、プラットフォーム構築に向けて体制を整えた。宇都宮市とは、本事業推進に向けた協定書を締結済みであり、プラットフォームの活用、ユースケースの設定に関して、打合せを重ねている。宇都宮市のスマートシティ推進団体（Uスマート推進協議会）とも連携を進めており、具体的な協働枠組みの検討を進めている。

<テーマ B>

USPM:

開発した USPM を用いたシステムでは、複数個の USPM の接続のバリエーション（直列、並列、直並列）のみによって様々な電力変換部を容易に構築できることから、今後、加速的に増加する再生可能エネルギー分野における次世代電力変換装置として、テーマ A で進めているエネルギーマネジメントシステムにおける有効性、便益性をテーマ A-②チームと逐次議論しながら社会実装の早期実現に向け議論を重ねた。

USPM の基盤技術である、絶縁基板、冷却システムに関して日本を代表する企業が、コアモジュール部分に関してはパワーモジュール分野でのトップ企業が、それぞれ社会実装を実現するため、研究開発部門だけでなく社内の事業部、営業部を含めて参画する体制を構築した。また、USPM の心臓部である酸化ガリウムに関しては開発を担うベンチャー企業において社長（2021年度より社会実装責任者）、CSO（最高科学責任者）といった経営層が自ら参画する体制をとっており、社会実装のためのマネジメント体制を整え、議論を重ね早期の社会実装実現に向けた取り組みを加速させた。

ワイヤレス電力伝送:

MHz 帯ワイヤレス電力伝送については、テーマ A で進めているエネルギーマネジメントシステムの電力伝送分野でのキーテクノロジーとしての有効性、便益性をテーマ A-②チームと社会実装の早期実現に向け逐次議論を進めた。

また、縦型 GaN デバイス量産の鍵となるプロセス技術の開発に関し、参画企業で

あるパワーデバイス企業と名古屋大学が連携して学術領域での基礎検討を行う体制を築いており、社会実装に向けて、得られた成果の活用や民間への技術移転もスムーズに進められる体制を整えた。さらに 2021 年度からは、当該技術を社会実装する企業の 1 つである富士電機の部長が社会実装責任者として、社会実装に向けた取り組みを社内外と連携を取りながら精力的に進めている。WPT システムについても要素技術を開発している参画企業と名古屋大学との連携が確立されており、今後、大学間の連携、参画企業間の連携をさらに深めるように、体制を強化していく。

マイクロ波帯ワイヤレス電力伝送については、横型 GaN 整流素子の試作が名古屋大学から参画民間企業に移行しており、社会実装に向けた体制が整っている。さらに 2021 年度からは、当該技術を社会実装する企業の一つである三菱電機の部長が社会実装責任者として、社会実装に向けた取り組みを社内外と連携を取りながら精力的に進めている。開発した GaN 整流素子や受電回路技術について複数の企業との社会実装に向けた具体的な議論が着実に進んでおり、早期の社会実装が期待できる状況である。

<テーマ C>

テーマ C 全体として、社会実装の実現に向け、C-①、C-②と連携した活動を行った。具体的には、以下の取り組みによる検討を実施した。

- 社会実装に向けた活動体制として、C-①、C-②の各社会実装責任者の下に、特に参画企業組織における「社会実装担当者」を配置するとともに、各組織における社会実装実現に向けた活動における分担担当を明確に定義した。
- テーマ C 全体として連携して、①実用化・事業化、②制度整備、③標準化を社会実装実現のため 3 本柱として、取り組みを実施した。
- テーマ C における「制度整備・標準化 WG」において、社会実装に向けた取り組み、検討状況について報告・議論を行うとともに、テーマ間での情報共有、連携検討を行った。

上記の他に、テーマ B-②で開発を行っている GaN デバイスの WPT システムへの実用化に向けたと情報共有、意見交換を行い、WPT システムの将来的な社会実装シナリオに GaN デバイスを組み込むための検討を行った。

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：

実用化・事業化という観点では、社会実装の第一段階である PoC (Proof of Concept) を確実に実施するための計画を立てた。その第一段階の実用化としては、参画企業の関係する工場・生産現場・利用ユーザなどでの IoT センサ向けで実用化を行う。その実施形態や実用化モデルの仕様・機能等についても明確化した。更に、第二段階では、第一段階での効果検証やフィードバックを生かし、公共利用などへ

実用範囲を拡大する。並行して、本格実用化段階では、今後急速に利用拡大する IoT デバイス・センサへの応用が空間伝送型 WPT のターゲットとして位置づけ、オフィスや一般家庭、医療・ヘルスケア分野など一般環境への展開を目指す。また、そのために必要な協調体制による共通インフラを実現、標準化、制度対応などについて検討していくため、ブロードバンドワイヤレスフォーラム (BWF:海外企業も含め 61 社参加) やワイヤレス電力伝送実用化コンソーシアム (WiPoT:39 社参加) と密接に連携して進めている。特に、空間伝送型 WPT 制度化・実用化の枠組みとなる「WPT 運用調整協議会」の立ち上げにコアメンバーとして貢献した (2022 年 1 月設立)。更に、社会実装に向けて標準規格化を主導する体制を構築し、具体的な活動として Bluetooth-SIG へ提案する標準規格仕様を完成した。

「ドローン WPT システム」

実用化・事業化という観点では、社会実装の第一段階である PoC (Proof of Concept) を確実に実施するための計画を立てた。その第一段階の実用化としては、電力インフラ設備の巡視点検を対象に、2022 年度に東京電力パワーグリッド (PG)・グリッドスカイウェイ有限責任事業組合 (GSW) 等の使用環境を想定した WPT 側の PoC 実証を実施した。また、国内開発動向を踏まえて 2023-24 年頃の国産主力機体・ポートシステムへの WPT 実装検討後、2025 年度以降の東京電力 PG 等での実用化を目指す。更に、第二段階：設備点検・監視・物流・防災減災等の用途へ 2027-28 年頃の実用化拡大を目指す。ドローンメーカー (センシンロボティクス、ジャパン・インフラ・ウェイマークなど) への WPT ニーズのヒアリングや重要ユーザ (東電 PG、GSW の他、鉄道関係、ジャパン・インフラ・ウェイマーク、JXTG など) との定期的な意見交換を実施する体制を整えており、意見交換の結果、早期の社会実装に向け計画の前倒しを期待されている。この他に、駐機型ドローン WPT システムの実用化に向けて、充電ポートの有力調達先かつ標準化につながる航路プラットフォーム事業者およびユーザである電力会社と連携してインフラ設置・サービス提供・メンテナンスを含めた事業化への体制構築を検討している。制度化に関しては、G-①と同様に、ブロードバンドワイヤレスフォーラム (BWF:海外企業も含め 61 者参加) やワイヤレス電力伝送実用化コンソーシアム (WiPoT:39 社参加) と密接に連携した活動を進めており、一部システムは電波法省令化の議論が開始されている。

③ 研究テーマに対する評価、マネジメントが適切に実施されていたか。

PDのリーダーシップの下、内閣府ガバナリングボード（GB）及び課題評価ワーキンググループによる評価結果や予算面も考慮し、以下の通り、テーマの選択と集中を実施した。

<p>2018年度</p>	<p>2018年度の課題評価結果（2019年2月28日GB決定）における指摘事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ○テーマAを先行させてグランドデザインを策定した上で、S I Pとして実施すべきテーマを抽出するのが筋であり、現行のテーマB～Dについては、中止も含めて抜本的な見直しをすべきである。 ○「革新的炭素資源高度技術」については、本課題「脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム」の下で実施するのは大いに疑問であり、中止も含め抜本的に見直すべきである。 <p>などを踏まえ、検討・調整した結果、以下を実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大テーマの1つ「革新的炭素資源高度利用技術」の中止 ・課題名とテーマ名及び編成の見直し・変更
<p>2019年度</p>	<p>2019年度の臨時課題評価結果（2019年6月27日GB決定）における指摘事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ○走行中W P Tについては、経済性及び制度整備の観点から、成果の普及に懐疑的な指摘が根強くある。このため、研究開発と同時並行で、経済性評価（インフラ投資費用）及びリスク評価を精緻に行い、（中略）社会実装に向けた説得的な出口戦略を、実施主体、タスク及びスケジュール等を明確にして、策定すべきである。今後、S I Pで継続していくためには、この点を明確にすることなしには難しいことを十分留意すべきである。 <p>などを踏まえ、検討・調整した結果、旧テーマC-②「互換性・安全性を考慮した電気自動車への走行中ワイヤレス給電」を中止した。</p>
<p>2020年度</p>	<p>2019年度の課題評価結果（2020年2月27日GB決定）における指摘事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ○日本のエネルギー戦略（脱炭素・電化・再エネ・分散化）の検証に関わる、最も重要なテーマAの取組みを拡充し、テーマAの具体的なアウトプットとテーマB・Cとの関係を早急に明確にする必要がある。 <p>などを踏まえ、検討・調整した結果、追加公募により、テーマA-②「再生可能エネルギー主力電源化に向けた革新的エネルギーデ</p>

	<p>バイスの便益評価」及びテーマ A-③「地域エネルギーシステムデザインのガイドラインの策定」を発足した。</p> <p>また、中間評価（ステージゲート）として、研究テーマごとに、中間目標の達成見込みの状況や SIP 終了後の社会実装の実現性の観点で課題の再精査及び評価を実施した結果、以下を実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・テーマ A-③の加速化 ・テーマ C-②「ドローン WPT システム」のうち開発テーマ「飛行時遠距離・追尾送電制御 WPT システム」の機器開発中止
2021 年度	2020 年度の中間評価の結果等を踏まえ、下記のテーマについて計画見直し等を実施した。

テーマ A-②「再生可能エネルギー主力電源化に向けた革新的エネルギーデバイスの便益評価」では、開発したパワーデバイスを用いた電力変換器の適用効果評価に関して、配電レベルのエネルギーシステムの評価に加え、次世代スマートインバータ普及時の送電レベルの安定性についての解析等を追加実施するため、研究開発計画の拡充と研究実施体制の強化を行った。また、テーマ A-③「地域エネルギーシステムデザインのガイドラインの策定」では、宇都宮市などの実データを取得する等により、具体的なデータ活用事例を着実に積み上げ、電力・交通データ連携型地域エネルギーマネジメントシステムプラットフォームの設計指針の検討を加速した。

テーマ B-②個別テーマ 4「マイクロ波帯電力伝送システム基盤技術の開発」では、早期の課題抽出を行い、多段アンプを用いた送電 PIA 構成時における総合効率最大化手法を検討するため、パワーアンプの高効率多段化検討および設計・試作を追加する計画に見直した。

テーマ C-②「ドローン WPT システム」では、遠距離送電制御 WPT システムを搭載する実証機の機器開発を中止した一方で、駐機時の近距離大電力 WPT システムの開発については、ドローンに搭載する受電部性能の最終目標値の達成時期を早め、技術的課題をクリアするため、2022 年度に使用環境を想定した WPT 実証試験を実施・評価する計画に見直した。

④ 民間から適切な負担を求めているか。官民の役割分担が適切になされていたか。

我が国の産業創出のための共通技術の開発や標準化活動化など協調領域における研究開発については委託費を活用し、社会実装時に各社が事業化に直結する部分の研究開発費に関しては参画する民間企業から原則負担していただいた。

また、個々の企業の努力では実現が難しく、国が率先して産官学連携を進めるべ

3 課題マネジメント

きテーマに取り組んでいくため、例えば、以下のような工夫により進めた。

- ・USPMについては、コントローラ部分の設計を大学が担当し、民間企業は実装技術の開発を担当しており、役割分担が明確となっていた。
- ・GaN デバイスの開発は、名古屋大学を中心に関連企業がコンソーシアムを組んで参加した。
- ・屋内 WPT は、パナソニック、東芝、オムロン、電気興業が単独で開発出来ないシステムを分担し、成果を国際標準化するために連携して活動した。
- ・ドローン WPT は、東京電力の自社では解決できない公益性の高い研究開発課題を京都大学、豊橋技術科学大学等の大学や、東芝、デンソーなどの企業も参加した産学連携体制で取り組んだ。
- ・なお、企業（民間）への委託費と民間拠出額は以下のとおりである。

	2019 年度		2020 年度		2021 年度		2022 年度 ※2022年10月時点 見込	
	テーマB	テーマC	テーマB	テーマC	テーマB	テーマC	テーマB	テーマC
民間への委託費 [百万円]	531	251	391	269	324	204	302	186
民間拠出額 [百万円]	396	437	516	328	433	296	349	241

※2018年度のみ課題の実施体制（テーマ構成）が異なっているため記載していない。また、テーマAには企業が参画していないため記載していない。

⑤ マッチング額が十分に計上されていたか。

本課題のマッチングファンド方式の適用については、ガバニングボードでの決定により、2021年度からテーマC「IoT 応用・実用化研究開発」が適用対象となった。なお、マッチングファンド方式の適用対象外であるテーマBについても、参画企業には委託費と同額程度の民間資金の拠出をお願いしてきた（上記④の表参照）。

年度毎のマッチングファンド率は以下のとおりである。

	2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度 ※2022年10月 時点見込
テーマCのマッチング ファンド率[%]	※方式適用前	※方式適用前	※方式適用前	52.5	50.3
課題全体のマッチング ファンド率[%]	15.7	37.8	40.6	38.4	35.4

⑥ 府省連携が不可欠な分野横断的な取り組みとして実施されていたか。

エネルギー・環境分野でイノベーションを創出するためには、温室効果ガスの大きな排出削減に寄与する有望技術をその脱炭素化に及ぼす効果の大きさを把握しつつ強力に開発・導入していくことに加え、それら個別技術の確立・実用化と合わせて、個々の技術（機器・設備等）をネットワーク化し、エネルギーシステム全体として最適化を図ることが求められる。そこで本課題では、再生可能エネルギーの変動を制御して無駄なく利用するエネルギーシステムの構築（テーマ A）と、その要素技術であるエネルギー変換・伝送システムのイノベーションの達成（テーマ B・C）を目指して、一体的に研究開発を推進してきた。

具体的な取組例として、課題内のテーマ間連携をより深めるため、テーマ A 主導のテーマ B・C 主要メンバーも含めたワーキンググループを設置・開催し、共通シナリオ等を議論・共有することでテーマ間の連携強化を図った。テーマ A-②「再生可能エネルギー主力電源化に向けた革新的エネルギーデバイスの便益評価」では、テーマ B 関係者との合同作業会を開催し、Ga 系デバイスのパラメータ等について意見交換・共通化を図り、実態に即した便益評価を行った。また、テーマ A・C 関係者による会合を開催し、テーマ C のセンサ、ドローンへのワイヤレス電力伝送によるエネルギーマネジメントシステムの精緻化・高度化、レジリエンス強化、生産性向上の便益評価を行った。これらの取組を通して、テーマ B・C で開発した技術を活用することでどの程度カーボンニュートラルを達成可能か、あるいは前倒しできるのかの見通しを提示することが可能となる。

上述の通り、本課題は分野横断的であり、多くの府省の協力・支援・連携が不可欠であるため、SIP でなければ実施できなかった。また、各テーマの取組については、以下の通り、関係省庁の施策・支援等との連携を図った。

<テーマ A>

テーマ A では、A-③「地域エネルギーシステムデザインのガイドラインの策定」の成果の普及や活用について、関係省庁との連携を図った。

A-③の成果は、「地域エネルギーシステムデザインのガイドライン」としてまとめる予定であり、同ガイドラインは、以下の内容で構成される。

- (1) データ編：「地域エネルギー需給データベース」
 - ・全国 1,741 の自治体毎のエネルギー需給の状況、再エネ賦存状況等をデータベース化したもの。
- (2) 分析編：「地域エネルギーシステムデザインのガイドライン」
 - ・上記データを用いつつ、地域間（クロスボーダー）、エネルギーセクター間（ク

ロスセクター)の効果的な関係・統合の方策を検討、設計するために開発された「地域エネルギーシステム統合手法」の活用方法の解説を含む、地域エネルギーシステムをデザインする手法を解説したガイドライン(事例解説を含む)。

- ・さらに、クロスセクターの関係、統合エネルギーシステム設計の具体例として、宇都宮市と連携して構築した「電力・交通データ連携型地域エネルギーマネジメントシステムプラットフォームの設計指針(エネルギーマネジメントのユースケース、便益評価、アーキテクチャ等を含む)」を記載する。

このうち、「地域エネルギー需給データベース(DB)」は、2022年3月末からWEB上で先行公開(<https://energy-sustainability.jp>)した。このデータベースは、日本で初めて全国1,741の自治体毎のエネルギー種別、需要分野別のエネルギー需給の状況を掲載したDBであることから、以下の通り、関係省庁の取組(既存DB等)との連携や活用についてSIP終了以降を見据えた検討を進めている。また、多くの自治体の関心を集め、既に以下のような社会実装成果が生まれつつある。

(1) 関係省庁による活用

- ・2022年10月現在、経済産業省、環境省とDBの活用について協議中。
- ・経済産業省は、RESAS(地域経済分析システム)との統合を前向きに検討中。現在、両システム統合に向けての技術的課題のチェック等を行っているところ。
- ・環境省は、「脱炭素先行地域」施策における本DBの活用を模索中。
- ・環境省は、既に次世代の「再生可能エネルギー情報提供システム(REPOS)」で、本DBに収録した高時空間解像度の各地域の再エネポテンシャルデータ(気象庁データ)を採用した。

(2) 自治体における利用の拡大

- ・茅ヶ崎市は市のエネルギー需給状況を示す資料として、本DBのエネルギー需給フロー図を公式HPにて引用掲載。
- ・横浜市、群馬県、和歌山県、山形県、奈良県、福岡県、岩手県等の市区町村は、脱炭素先行地域の計画策定に本DBを活用。
- ・シンクタンクD社:北海道内の複数市区町村のエネルギー政策立案等に利用。
- ・以上に加え、セミナー等の開催により、DBの一層の広報・周知に努めているところ。2022年11月1日開催予定のセミナーには、約40の地方自治体、関係府省、民間シンクタンク等から計130名以上が参加し、地域エネルギー需給データベースの活用方法や活用事例を発信した。

また、「電力・交通データ連携型地域エネルギーマネジメントシステムプラットフォームの設計指針」に関しては、宇都宮市において2023年2月に設立された産学官による「うつのみやゼロカーボン推進協議会(座長:早稲田大学 林泰弘教授)」の場などにおいて、関係ステークホルダーによる本研究成果の活用へ向けた検討・

協議が進められる予定である。

<テーマ B>

テーマ B では、B-①「エネルギーデバイスへの応用を見据えた IoE 共通基盤技術」、B-②「エネルギー伝送システムへの応用を見据えた基盤技術」ともに、関係省庁の他の研究開発事業と相互補完的な役割を担うことで連携を図った。

テーマ B は IoE 社会のエネルギーシステム構築に対してパワーエレクトロニクス機器およびパワーエレクトロニクス機器の小型化・高機能化・高効率化に役立つパワーデバイスの研究開発を進めて来た。

具体的には、B-①では再生可能エネルギーの急峻な電源変動に対し蓄電池と組み合わせることにより安定化させることが可能で、拡大する再生可能エネルギー市場に対し、開発期間が短く、かつ、組み合わせによる様々な電源構成に対応可能なユニバーサルスマートパワーモジュール (USPM) および USPM を構成するコア・パワーモジュール、 Ga_2O_3 デバイスを開発した。関連する府省の取組として、パワーエレクトロニクスの先端的な基盤技術向上のための文部科学省「革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業」や、経済産業省の省エネエレクトロニクス製品の開発や製造基盤強化を目的とした「省エネエレクトロニクスの製造基盤強化に向けた技術開発事業」などがあり、これらの事業とは相互補完的な役割を持ちながら当該分野で世界をリードできるように研究開発を進めた。

また、B-②ではワイヤレス電力伝送技術の構築を目指し高周波駆動が可能な GaN デバイスおよび、その応用回路システムを開発した。これらの研究開発は、カーボンニュートラルを目指す今後のエネルギー社会における利便性の高い給電技術について社会実装における有効な応用分野を定め、そこで鍵となる MHz 帯およびマイクロ波帯のデバイス開発とワイヤレス伝送技術に関する基盤技術の開発を目指したものである。府省連携の観点では、内閣府 SIP 第 1 期「次世代パワーエレクトロニクス」および文部科学省「省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発」の GaN 基板結晶および電子デバイスに関する基礎物性解明の成果を活用しつつ、パワーエレクトロニクスの先端的な基盤技術向上のための文部科学省「革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業」、今までワイヤレス電力伝送に利用されていなかったミリ波帯での電力伝送技術確立を目指す総務省「空間伝送型ワイヤレス電力伝送の干渉抑制・高度化技術に関する研究開発」、さらに将来の産業・社会の基盤になると想定される次世代情報通信技術 (Beyond5G) の超高周波技術の開発を目指す情報通信研究機構 (NICT)「Beyond5G に資するワイドバンドギャップ半導体高出力デバイス技術/回路技術の研究開発」において、高周波デバイス技術およびパワー用回路技術を背景に相互補完的な役割を持ちながら、日本がエネルギーシステム分野および情報通信分野で世界をリードできるように研究開

発を進めた。

<テーマ C>

テーマ C では、C-①「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」、C-②「ドローン WPT システム」とともに、WPT システムに関わる制度整備・標準化において関係府省との連携により活動を進めてきた。具体的には、以下の府省連携の取り組みを実施した。

- (1) 制度化のための電波法省令改正：総務省での取り組みになるが、この制度化検討において経済産業省、国土交通省、文部科学省などが管轄する他の無線システムとの共用化が課題となる。そこで、関係省の各部門との連携による制度化議論を進め、特に、空間伝送型 WPT の第 1 ステップの省令化（2022 年 5 月 26 日施行）を達成した。今後も、SIP 成果である第 2 ステップの制度化活動（2024 年度初め省令化目標）においても、同様に、府省連携による取り組みを進める。
- (2) 人体防護ガイドラインに対する適合性：国内制度化や国際標準化（IEC TC106）の中での人体防護ガイドラインに対する適合性評価や測定法の検討において、総務省、厚生労働省と連携した取り組みを実施した。
- (3) 植込型医療機器に対する安全性検討：業界団体であるブロードバンドワイヤレスフォーラム（BWF）、日本不整脈デバイス工業会（JADIA）と連携し、植込型医療機器に対する影響測定、安全性評価を進めており、その結果は厚生労働省関係の医薬品医療機器総合機構（PDMA）、総務省へ報告・共有化している。WPT システムに関係する安全性に対する施策の検討を府省連携で行っている。
- (4) 国際標準化：IEC TC100 など国際製品規格化に関わる活動において、総務省や経済産業省および関係団体の電子情報技術産業協会（JEITA）などと連携した活動を進めている。

なお、電波法以外の法制度関係において、現段階ではまだ具体的な取り組みの必要性はないが、今後の実用化普及段階において、航空法（特にドローン関係）、電気設備技術基準関係法令、電気用品安全法、セキュリティ関係などにおいて、制度整備の取り組みが必用になる場合があると考えられる。必要なときに的確に対応できるよう、SIP 後も関係府省との連携体制を維持していく。

⑦ **SIP 第 2 期で実施する他の課題との連携が適切に図られていたか。**

テーマ A において統合型エネルギーマネジメントシステムのアーキテクチャの構成を検討するため、「IoT 社会に対応したサイバー・フィジカル・セキュリティ」と連携を図り、「ステークホルダリスト」「ビジネス関係」「データリソースマップ」

3 課題マネジメント

について整理し、ブロックチェーン等の技術活用を参照した。

また、テーマCでは、防災・減災分野でのWPTシステムの利用可能性・効果等について、「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」との意見交換を実施した。その中で、本課題の成果を直接的に生かせるもの、将来的なWPTシステムとしての利用効果があるもの等について議論・整理した。本課題の成果を生かせる可能性のある「ドローンから防災・減災用センサへのWPT給電」については、そのシステムイメージや実現に向けた課題と対策について検討し、社会実装のシナリオへ追加した。

4 今後の課題と展望

(1) 研究テーマ(A) : IoE 社会のエネルギーシステムのデザイン

エネルギーマネジメントシステムの社会実装に向けては、SIP 第3期「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」の中で、財源を確保し、適用対象・地域を拡張し、テーマを展開する予定である。

「地域エネルギー需給データベース」の SIP「IoE 社会のエネルギーシステム」終了後の発展的活用、維持・管理体制の構築を図るために関係省庁等と協議、調整を行った。

その結果、環境省において、同省の REPOS (再生可能エネルギー情報提供システム) における活用をにらんで、令和5年度の1年間をかけて「地域エネルギー需給データベース」に関するより具体的な地方自治体のニーズを把握したうえで、その改編や改良を含めた活用を図ることとなった。

「地域エネルギー需給データベース」は、我が国で初めて1,741の地方自治体毎のエネルギー需給の状況をデータベース化したものである。カーボンニュートラル目標の実現に向けて、各地方自治体が主体となって脱炭素型の地域分散エネルギーシステムの構築を進めていくためには、こうしたエネルギー需給の実態データに基づいた施策の検討が必須である。

また、変動の大きな再エネの性質を踏まえ、デマンドレスポンスといった新たなエネルギーマネジメント手法を的確に導入していくために、IoTの進展や普及による、きわめて時間粒度の細かいエネルギー需給データ(例えば、スマートメータ(電力、ガス需要量の把握)、スマートフォンの位置情報(人や車の移動量の精度高い計測)、気象衛星、アメダス等の気象観測データ(太陽光、風力量の計測))が利用可能となり、今後様々な業種・場面でのIoTデータの収集・活用が拡大されることが期待されている。

こうしたことから、今後の脱炭素型地域分散エネルギーシステムを構築していくためには、以下のような政策対応が必要となると考えられる：

- ① 地方自治体毎の各エネルギー需要部門別、エネルギー種別の需給実態の推計の確度を高めるために必要となる情報の収集(特に業務・家庭部門、運輸部門)
- ② (個人情報の保護に留意しつつ)スマートメータデータ、携帯電話位置情報データ、業務用車両位置情報データ(プローブデータ)の公的利用方法の確立。
- ③ 電力の供給電源構成比や、電圧帯別(特別高圧・高圧・低圧等)需要に関する地域別・時間帯別データ利用体制の確立、時空間解像度の向上。
- ④ 熱需要(空調需要・給湯需要)に関するスマートデータ収集体制の促進、産業部門の業種別エネルギー需要変動データの収集。
- ⑤ 既存の統計では把握の難しいエネルギー需給データ(EVの電力需要、再エネ自家消費、P2X・蓄電池などの電源調整力)への対応、およびこれらのデータ

を用いた統計調査体制の整備。

⑥ 国によるエネルギー・脱炭素分野に関するデータ提供体制の拡充。

また、電力・交通セクターカップリングによる地域エネルギーマネジメントシステムの社会実装へ向けては、以下のような取り組みが必要と考えられる。

- ① 本事業におけるシミュレーションを通して確認されたエネルギーマネジメント手法や便益については、社会実証を通じた技術内容や社会受容性の確認へ向けた、継続的な取り組みが重要である。
- ② 電力スマートメータのデータに関しては、2023 年度以降のデータ提供に向けて、一般送配電事業者におけるシステム整備が進み、認定協会との連携なども検討されている中、地域レベルでの公共・公益目的でのデータ活用における利用条件緩和などが期待される。
- ③ 自治体規模のデータ連携基盤・都市 OS については、その普及促進に合わせて、地域エネルギーマネジメントへの活用へ向けた共通的な仕様の検討が望まれる。

(2) 研究テーマ(B) : IoE 共通基盤技術

USPM については、高パワー密度化（小型化）およびエネルギーマネジメント視点からの USPM の最適化技術の開発が必要であり、今後 SIP 第 3 期「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」の中の 1 つのテーマとして実施する予定である。また、開発したコア・パワーモジュールの社会実装に向けて、富士電機株式会社等の参画企業において適用可能範囲の拡大を検討する。酸化ガリウムデバイスについては、株式会社 FLOSFIA を中心に、さらに特性改善をはかるためにトレンチゲート構造等の研究開発を実施する。加えて、知的財産網(出願件数 640 件以上、特許登録 230 件以上)により、新規参入を阻止していくビジネスモデルの構築を進める。

縦型 GaN スwitchングデバイスについては、業界の標準デバイスとして知財を確立する内容とエピタキシャル技術およびデバイスプロセスにおけるノウハウ的な技術を峻別し、前者について戦略的な知財化を推進する。また、MHz 帯を用いた非放射型 WPT システム向けのスイッチング回路技術や大容量化技術等の社会実装に対しては、標準化および制度化が必要であり、今後本課題に参画している機関および国内の標準化団体と連携し、それら標準化活動に寄与する。

横型 GaN 整流素子およびレクテナについては、特性再現性および信頼性の確認が必要である。この点について、三菱電機株式会社などの参画企業における整流素子製造ライン試作や、応用先企業とのレクテナ試作等を行う中で検討していく方針である。また、マイクロ波の空間放射に関する電波法の規制をクリアする必要があるため、国内の標準化団体と連携して制度化に向けた議論に寄与する。整流素子・レクテナの所要電

カゴとのラインナップ化など、社会実装加速に与える効果の議論をすすめ、規制クリア後の迅速な社会実装に備える。ただし、法制化の進展（屋外認許は 2025 年以降）を鑑みると、非放射型 WPT システム（チャンバーや建築物での伝送）に直近の需要があるため、機器メーカーや工事会社とのシステム検討を拡大し、社会実装の裾野を拡大する。

（3）研究テーマ(C)：IoE 応用・実用化研究開発

屋内給電 WPT システムについては、IoT センサ・デジタルデバイス以外のアプリケーションについての社会実装に向けた取り組みとして、60 社が参加している BWF の活動の中で検討し、社会実装や制度化に向けたシナリオを策定する。国内制度化における制度としての技術基準策定及び電波防護指針に対する適合性評価方法の策定に向けては、2023 年度開始の総務省空間伝送型 WPT 作業班に参加し、検討・提案を行い、明確化する。また、製品規格としての国際標準化に向けて、本格普及時期を視野に、BWF 連携で規格案を策定、IEC TC100 など標準化を目指す。

ドローン WPT システムについては、PoC 実証や第一段階実用化の内容を、物流系など他用途のユーザへの働きかけを行い、連携した検討体制を構築し、物流用途など適用範囲を広げた第二段階実用化に向けた社会実装体制およびシナリオ構築の検討を行う。また、上記の取り組みの中で標準規格化についても取り組み、第二段階の実用化を視野にしたドローン WPT システムとしての国内外の標準規格化を目指す。

SIP 課題「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」との連携議論において出てきた「ドローンから防災・減災用途センサへの無線給電」については、BWF と防災・減災関係者のチャンネルを構築し、検討を続ける。