

IoE 社会のエネルギーシステム

Energy systems of an Internet of Energy(IoE) society

Energy systems of
an Internet of
Energy(IoE) society



エネルギー高速変換・制御・ 伝送のシステムイノベーションを 目指す IoE (Internet of Energy) 社会のエネルギーシステム



PD(プログラムディレクター)

柏木 孝夫

東京工業大学 特命教授・名誉教授
先進エネルギーソリューション
研究センター長

研究開発テーマ

本課題は、Society 5.0 時代のエネルギーシステムである IoE (Internet of Energy) 社会の実現のため、再生可能エネルギーが主力電源となる社会の次世代エネルギー変換・マネジメントシステムの設計について検討し、エネルギー利用最適化に資するスマートシステムの構築と、その要素技術であるエネルギー高速変換・伝送システムのイノベーションの達成に向けた研究開発を実施し、社会実装を図っていきます。

具体的には、テーマ (A) 「IoE 社会のエネルギーシステムのデザイン」では、再生可能エネルギーを主力電源化する観点から、社会実装に向けて IoE 社会のエネルギーシステムのグランドデザインを示し、エネルギーデータ解析などの課題を対象とするデータ連携基盤の設計に取り組みます。

そのグランドデザインを実現するための共通基盤技術であるテーマ (B) 「IoE 共通基盤技術」では、ユニバーサル性とスマート性に富み急激な負荷変動や電圧変動に対する最適制御を可能とするユニバーサルスマートパワーモジュール (USPM) を開発し、さらに、ワイヤレス電力伝送 (WPT) システムへの応用を見据えた次世代電力伝送システムの開発を行います。

また、テーマ (C) 「IoE 応用・実用化研究開発」では、テーマ (B) で開発したデバイスの社会実装の実用例として、屋内センサーネットワークやモバイル機器への WPT システムの開発、多様な用途を見据えたドローンへの WPT システムを開発し、超スマートで強靱な IoE 社会の姿を提示します。

IoE 社会の エネルギーシステム のイメージ

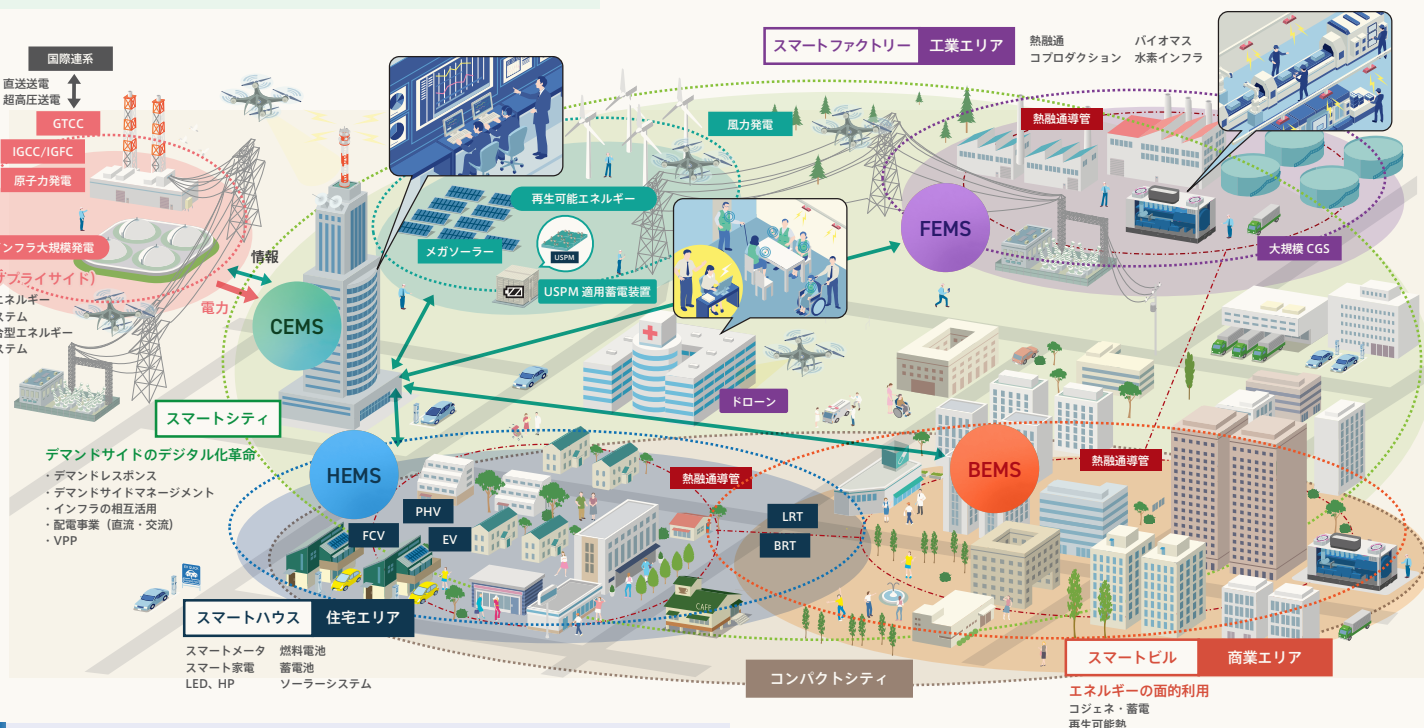
IoE (Internet of Energy) 社会とは、エネルギーの供給情報、消費情報がインターネットにより結合され、エネルギーの需要と供給の双方が管理される社会です。電気、熱、化学物質等を含めた様々なシステムの集合体であり、総合的なエネルギーマネジメントを実現するためのグランドデザインを策定し、スマートシティという形で具現化することを本課題で目指します。

ユニバーサルスマートパワーモジュール (USPM) テーマ B

再エネの不規則な変動電源や様々な電力変換器に対応可能な高効率・低コストなユニットモジュールの開発・活用

ワイヤレス電力伝送 (WPT) テーマ B,C

屋内センサー・情報機器やドローンでの活用が可能なシステムの開発・活用



エネルギー マネジメント

テーマ A

エネルギー消費、再エネの導入可能性に係る地域特性に応じたエネルギー システムの実現

IoE 社会のエネルギー システムのデザイン

再生可能エネルギーが主力エネルギー源となる IoE 社会では、IoT によりあらゆるエネルギー機器や電源の状態監視やリアルタイム制御が可能になるため、エネルギー関連の機器や設備をネットワーク化し、エネルギーシステムとして統括的に捉え、システム全体として最適化を図る取組が求められます。また、運輸部門の電動化、自動運転が進み、交通部門とエネルギー部門の部門統合（セクターカップリング）が大きなテーマになりつつあります。

テーマ (A) ではエネルギーマネジメント研究会を中心に、エネルギーマネジメントを効果的に行うためのボトルネック課題を特定し、テーマ (B)、(C) の新技術実装により高性能のパワーエレクトロニクス機器普及による再生可能エネルギーの一層の利用促進効果等を明らかにします。そして、各種エネルギー変換・貯蔵・輸送技術を含むエネルギーネットワークと交通マネジメントのセクターカップリングを含む IoE 社会のエネルギーシステムのデザインに取り組みます。

加えて、エネルギー消費、再エネの導入可能性に係る地域特性に応じた社会実装可能な地域エネルギーシステムのデザイン / 実証を行い、今後、地域のエネルギーシステム設計の担い手となる地方自治体、あるいは地域での新たなエネルギーシステムの構築に参加する民間事業者向けに、幾つかのモデル地域における設計例を含めた、地域エネルギーシステムをデザインするためのガイドラインを作成します。



担当サブPD 浅野 浩志

東海国立大学機構 岐阜大学
特任教授

(一財) 電力中央研究所
研究アドバイザー

東京工業大学 特任教授

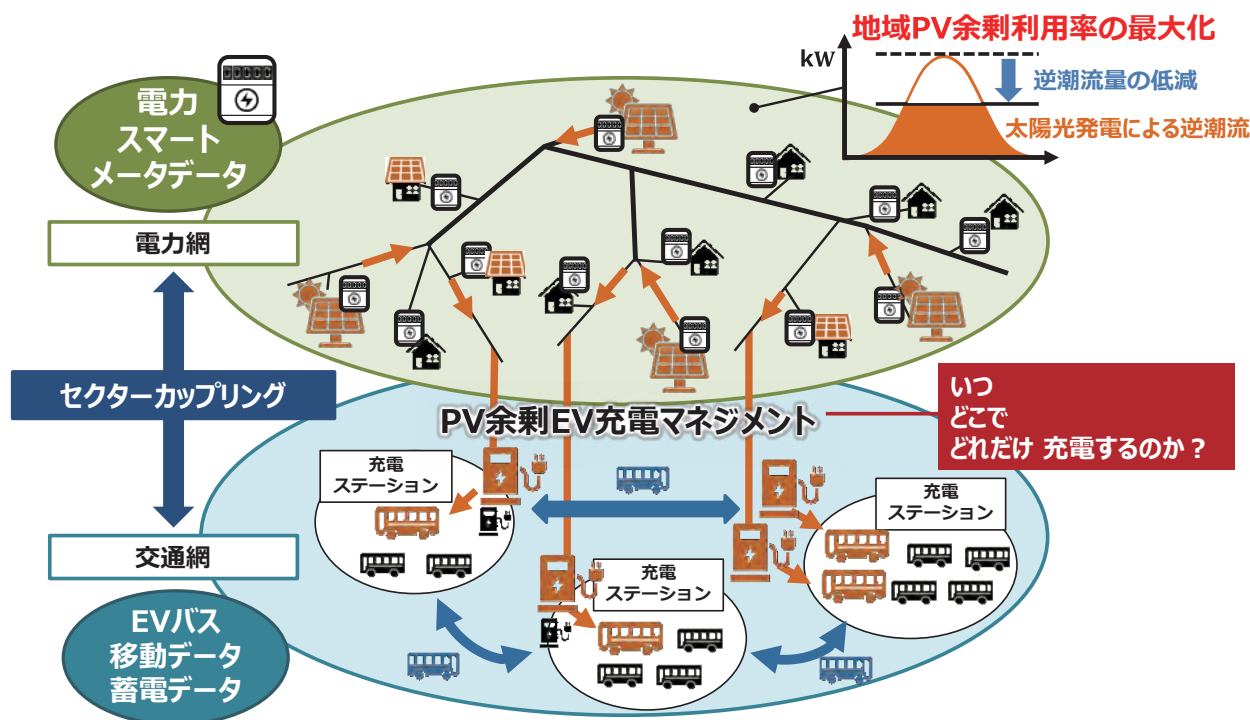


イノベーション戦略コーディネーター 塩沢 文朗

元 住友化学株式会社

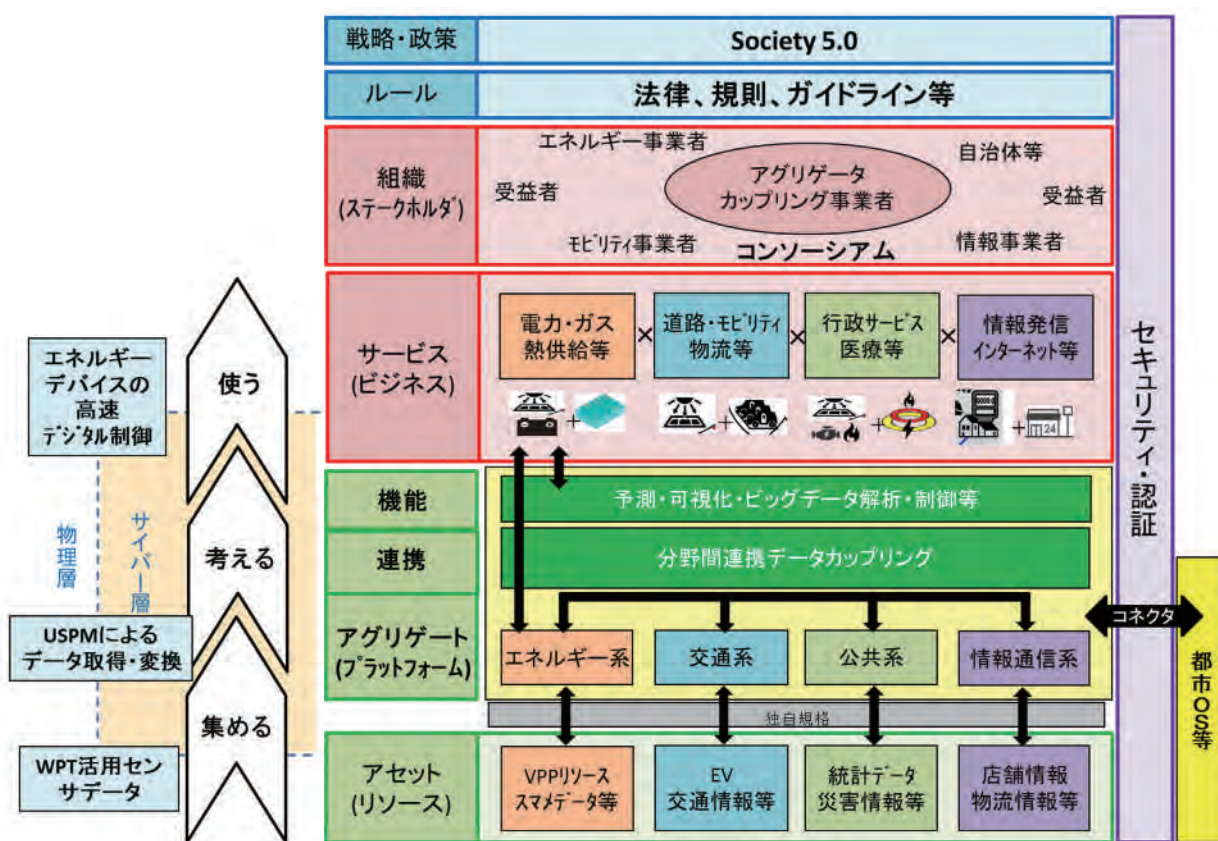
交通とエネルギー分野のセクターカップリングのイメージ

電力・交通データ連携により、地域の太陽光発電（PV）余剰をEVバス充電で最大限利用



エネルギーマネジメント研究会

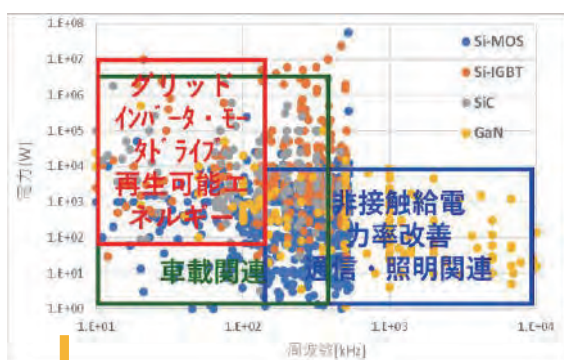
エネルギーマネジメント技術はホームエネルギー管理システム（HEMS）、ビルエネルギー管理システム（BEMS）等の個別事業所のエネルギーマネジメントから、スマートコミュニティ（環境配慮型都市）事業、仮想発電所（VPP）事業等のような点から面までのエネルギーマネジメントを実現する事業（実証事業が中心）が行われてきています。本研究会では、より高度なエネルギーマネジメントシステムによる脱炭素化効果やレジリエンス強化などの社会的便益を評価するとともにエネルギーマネジメントやセクターカップリングを効果的に行うためのアーキテクチャのあり方を検討します。



システムアーキテクチャの概念モデル

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

本研究では、エネルギーマネジメントシステムを構成するエネルギー供給システム全体に革新的なパワーエレクトロニクス（PE）技術を適用することで得られる技術的な便益（電力損失の削減、電力品質の向上など）や経済的な便益（社会コスト削減効果など）を定量的に明らかにします。これにより、社会実装に向けた指針が明確になり、さらなる技術進展の速度を向上させることに寄与します。



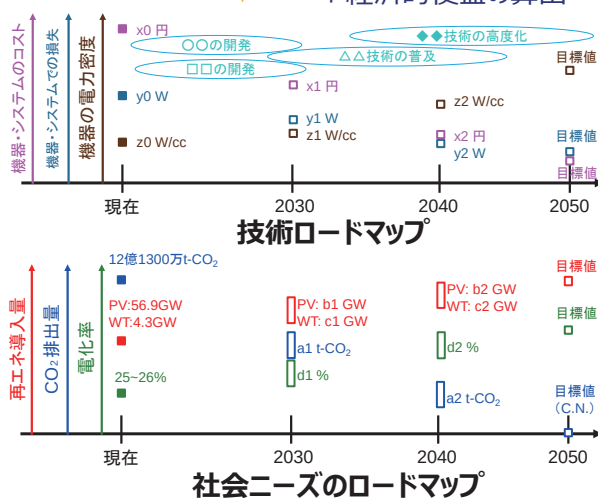
パワー半導体素子が取り扱う電力と周波数からみたパワーエレクトロニクス機器の分類

これらの機器に革新的PE技術を適用しエネルギー供給路を解析

技術課題の整理

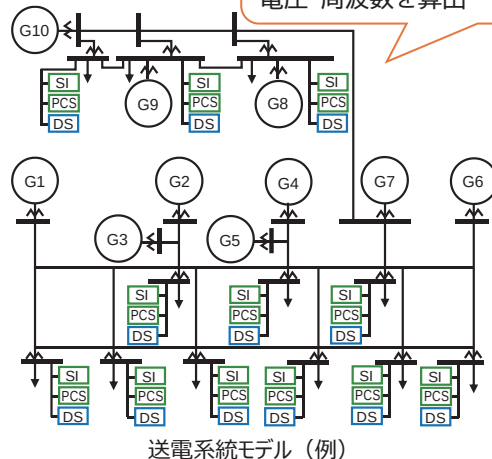
技術的便益の算出

+ 経済的便益の算出

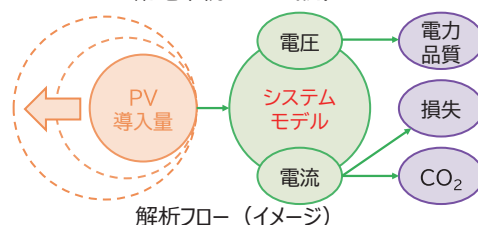


送電系統レベルの評価

- ・PV大量導入
- ・スマートインバータ活用
- ・電圧・周波数を算出



配電系統レベルの評価

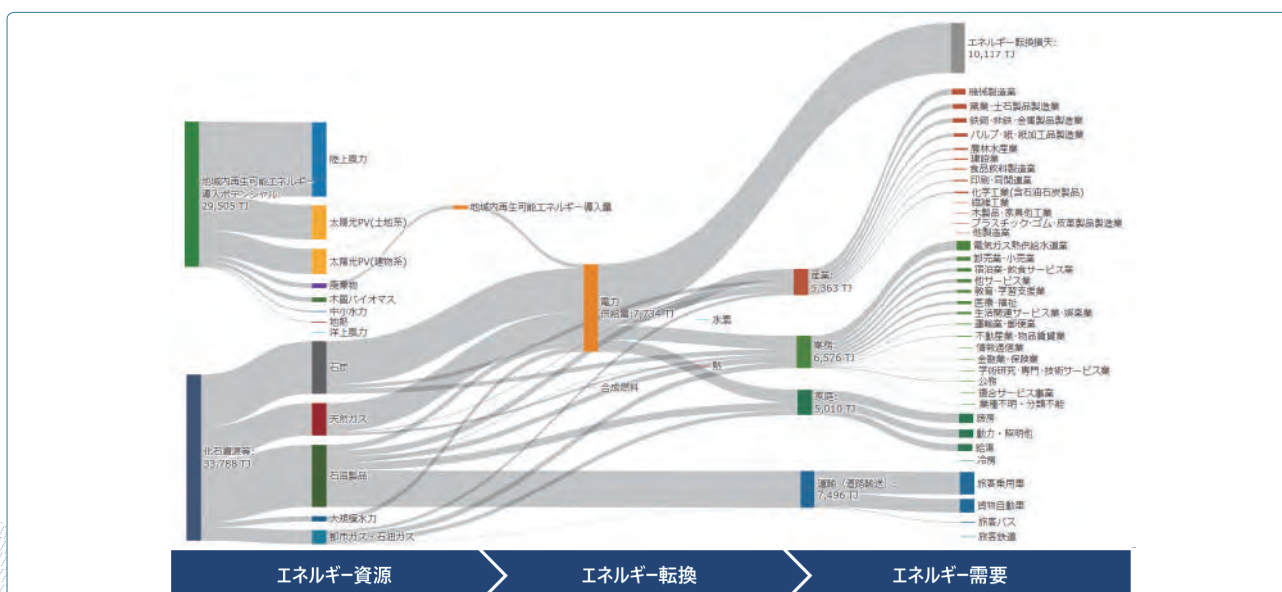
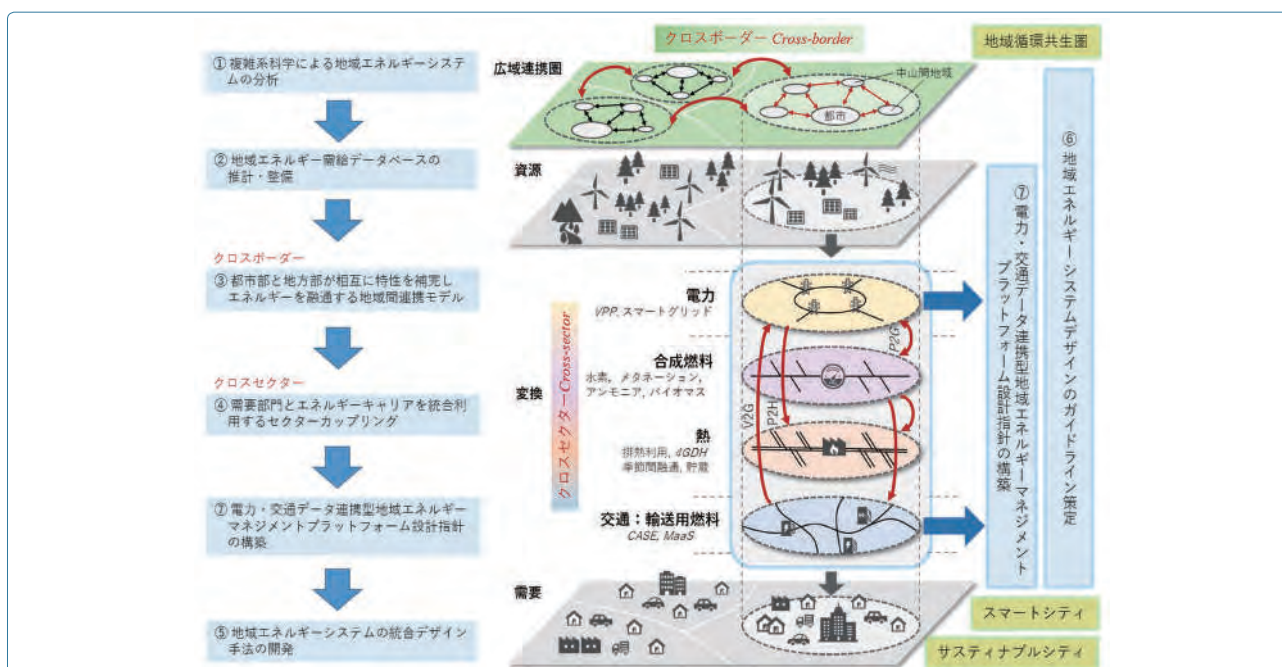


地域エネルギーシステムデザインの ガイドラインの策定

本研究では、地域のエネルギーシステムデザインの担い手となる地方公共団体向けに、地域のエネルギー需給の実態を反映するデータの推計方法を開発するとともに、全国の市区町村別の地域エネルギー需給データベースを作成し、公開します。

また、太陽光や風力等の再生可能エネルギーの特性である、時間の間欠性や空間の遍在性などの課題に対応するため、クロスセクター（電力・熱・燃料等のキャリア間融通や家庭・業務・産業・運輸等の部門間連携）、クロスボーダー（地域間の広域連携）の考え方を適用した地域エネルギーシステムモデルを開発します。

これらのセクターカップリング等の考え方をふまえて、モデル地域における地域エネルギーシステムの設計例を含めた、地域エネルギーシステムをデザインするためのガイドラインの作成や、電力・交通データ連携型のエネルギーマネジメントを行うためのプラットフォーム設計指針を構築し、地方公共団体によるサスティナブルシティやスマートシティの社会実装に貢献します。



地域エネルギー需給データベース: <https://energy-sustainability.jp>
エネルギーフロー図

IoE 共通基盤技術

担当サブPD **高橋 良和**

東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター 教授

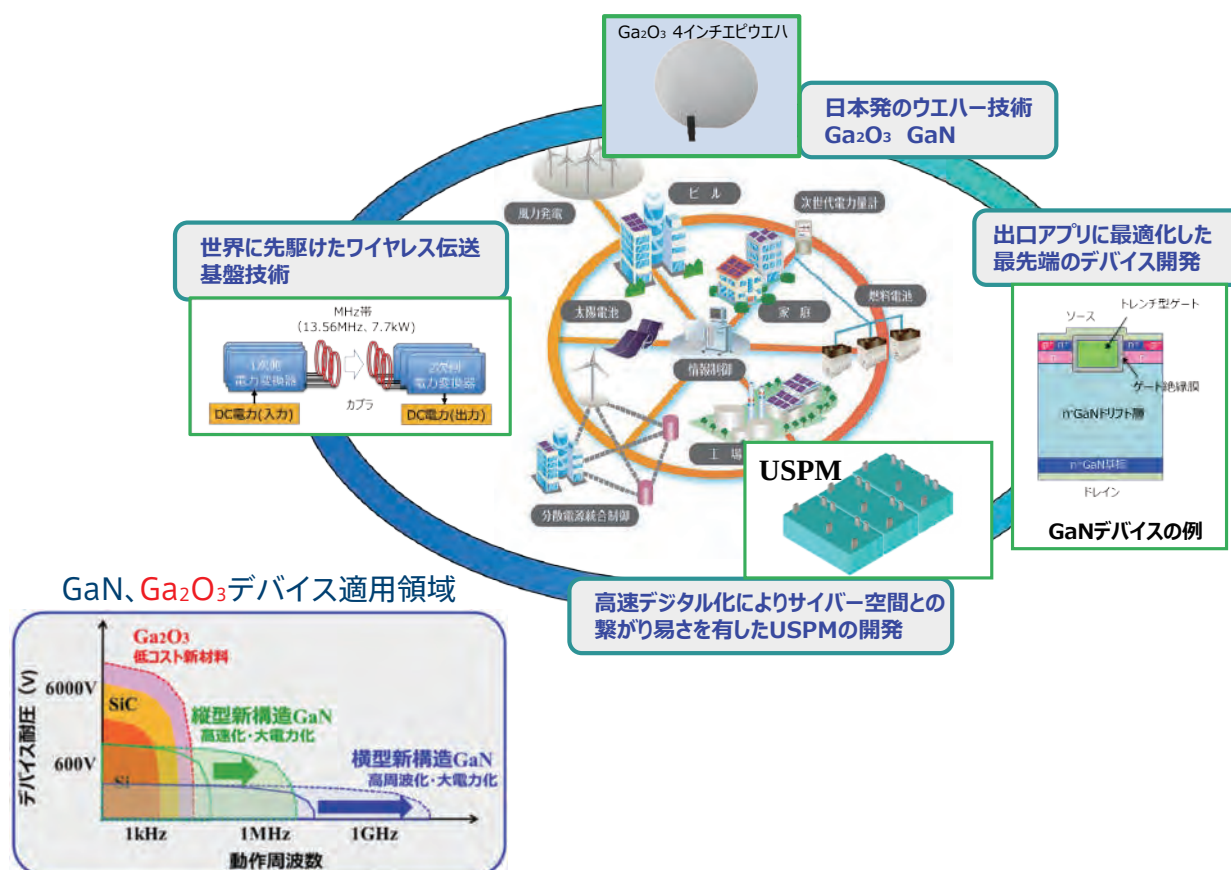


エネルギーと情報が融合する社会（IoE 社会）のエネルギーシステムにおいては、エネルギーを生み出す機能および蓄積する機能の他に、柔軟なエネルギーマネジメントを可能とするエネルギーの伝送技術と、さらにこれらをつなぐインターフェースとしてエネルギーの変換を担うパワーモジュールが必要となります。

現状のパワーモジュールは、アプリケーションごとのカスタム品が多く、今後予想される爆発的な増加に対して開発者不足・開発効率の悪化が予想されます。また、アナログ制御に対応しているため不規則な電源変動などに対応した瞬時フィードバック、予測、パワーエレクトロニクスネットワーク間での通信には不向きです。これらの欠点をブレークスルーするために、超高速デジタル制御とコアモジュールで安価が期待される WBG デバイスを自在に組み合わせることでユニバーサル性とスマート性を両立させ、IoE 社会でのエネルギー変換のイノベーションを創出し、当該パワーエレクトロニクス製品の開発効率の向上にも寄与するユニバーサルでスマートなパワーモジュールの開発が期待されています。

IoE 社会では、エネルギー需要の増加とその消費形態の多様化に対応しうる、柔軟な接続性と制御性を持つ電力伝送技術が必要となります。この要求に応える WPT 技術は、携帯機器への充電や停車中 EV への給電システムなど実用化されていますが一部となっています。WPT 技術の選択肢と適用分野を広げる意味で、また伝送能力の大容量化と機器の小型化を可能とする技術として、MHz 帯およびマイクロ波帯を用いる WPT 技術の開発が期待されています。

テーマ (B) では、①「エネルギー変換」と②「エネルギー伝送」のイノベーションに資する技術を遂行していきます。



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

再生可能エネルギーを含めた多様な入力電源に対応可能な、USPM（汎用性のある高機能パワーモジュール / Universal Smart Power Modules）の開発により、パワーシステムの総コスト低減を目指します。また、材料技術の進展を活用した高速でのスイッチングが可能となる USPM を開発します。

本研究では、3つの開発研究テーマに取り組みます。

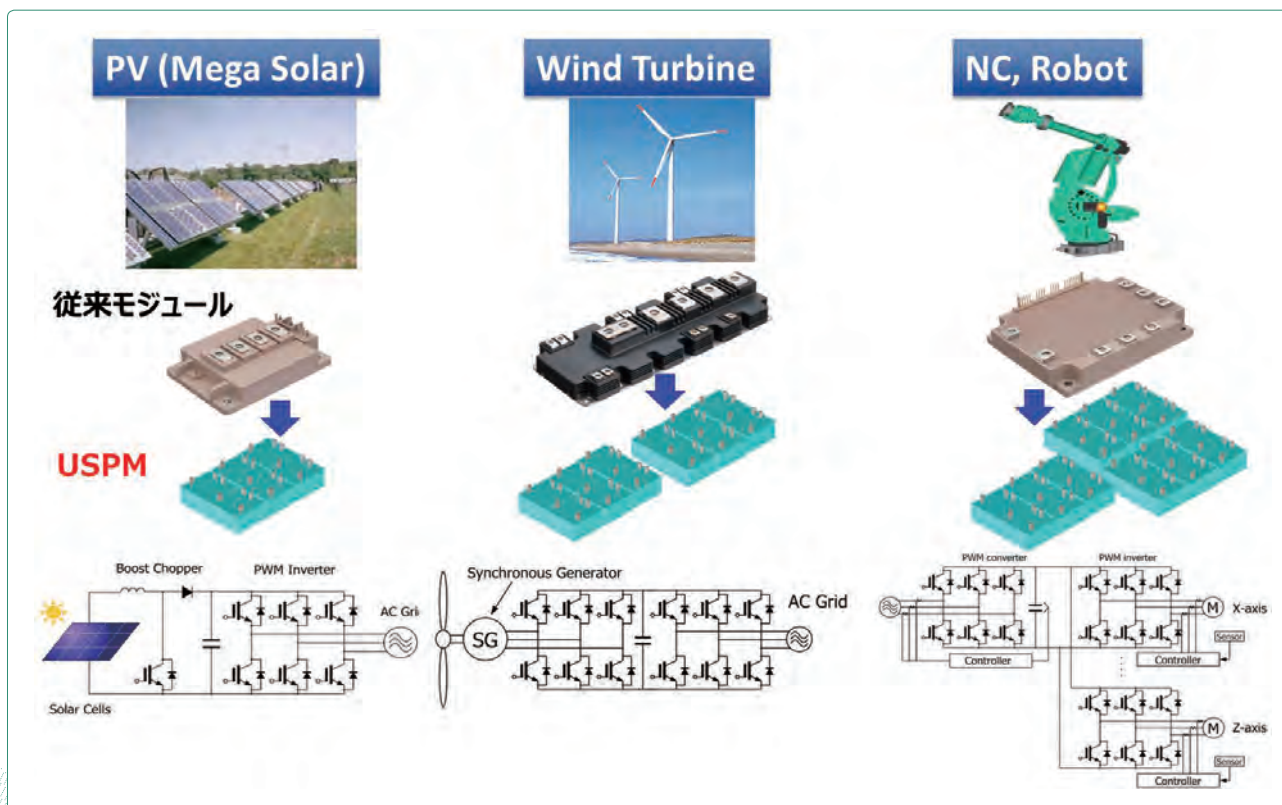
USPM の概要

USPM の具体的な機能

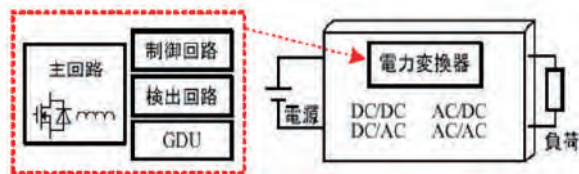
- ユニバーサル性： コアパワーモジュールと高速デジタル駆動制御を駆使し、**Wide Band Gap** (WBG) デバイスの優れた特性を極限まで活かし、数々の異なるパワーエレクトロニクスアプリケーション、機種に対応
- スマート性： デジタル制御により負荷状況やユニット間特性差に応じて最適に制御可能
- 低コスト： コアパワーモジュールを標準化し個別設計を最小限とする。

USPM における新 WBG+高速デジタル制御+ユニットモジュールの組合せで

IoE 用電力変換器に対応

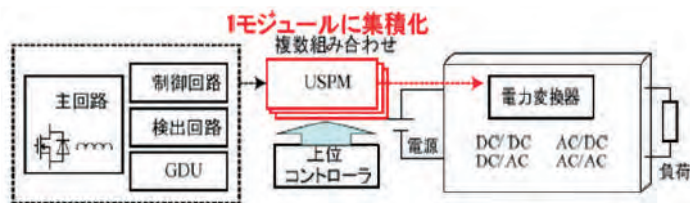


(1) 超高速デジタル制御を有するノイズフリー USPM とその応用技術の開発



★現在の電力変換回路の構成

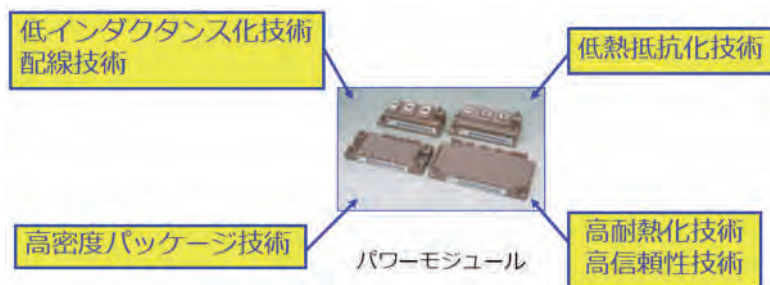
- 電力変換器のパワー密度：
構成部分の実装体積がボトルネック
- 変換器設計：複雑かつ多数のノウハウが存在
- 信頼性：個別部分によって大きくばらつき有



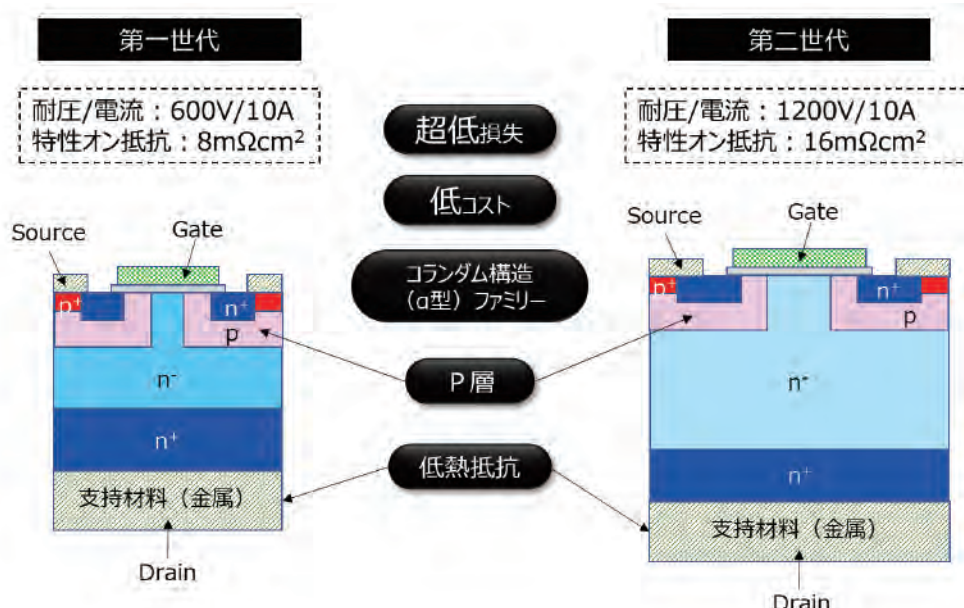
★提案する USPM を用いた電力変換器

- 電力変換器のパワー密度：
USPM の集積化により劇的に改善
- 変換器設計：
USPM の組み合わせのみで設計可能、簡易化
- 信頼性：USPM に依存

(2) 高パワー密度、高温動作可能な WBG チップ搭載パワーモジュール



(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



本研究では、持続可能スマート社会実現のためのワイヤレス電力伝送システムの基盤技術として、システムの小型化、高効率化、大電力化を実現する高品質窒化ガリウム（GaN）デバイスによる縦型及び横型のパワー半導体と、それらの GaN デバイスを用いた回路技術を開発します。さらに、これら要素技術により、MHz 帯を用いた非放射型電力伝送システム及びマイクロ波帯を用いた放射型電力伝送システムを開発し、その電力伝送システムとしての機能を実証します。この研究開発成果により、IoE 社会で多様化する電力消費要求に応えるとともに、社会全体のエネルギーマネジメント効率化、脱炭素化に寄与します。

MHz 帯を用いた非放射型電力伝送システム（13.56MHz）

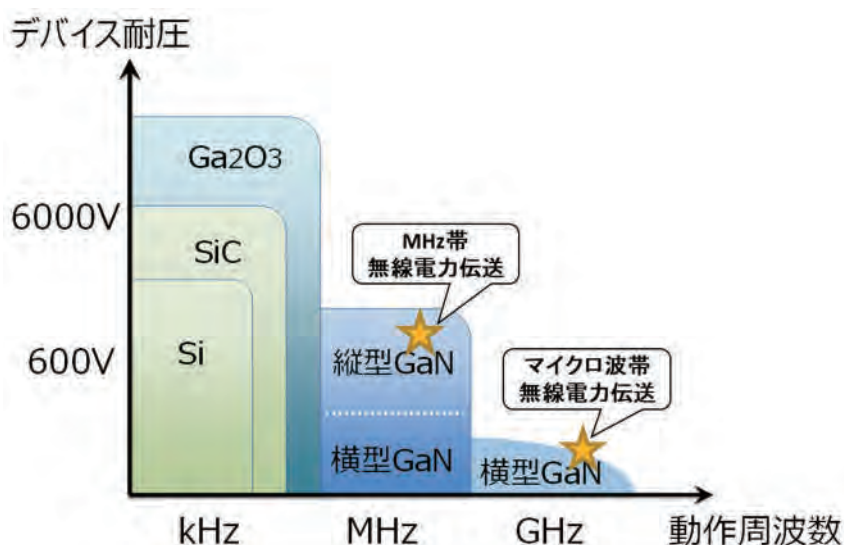
（縦型 GaN パワースイッチングデバイス適用）

- 特 徴 : 高周波化による WPT システム（コイル等）の小型軽量化、伝送距離向上
- 用 途 : 駐機ドローンへの急速充電、EV への給電
- 縦型 GaN パワースイッチングデバイスの特徴 : SiC や Ga_2O_3 では難しい高速スイッチングが可能。横型 GaN HEMT では対応できない高耐圧・大電流が求められる WPT 用デバイスとして期待。

マイクロ波帯を用いた放射型電力伝送システム（5.8GHz）

（横型 GaN マイクロ波デバイス適用）

- 特 徴 : マイクロ波の直進性を利用した長距離、ピンポイント給電
- 用 途 : オフィスや工場などでのピンポイント給電、将来的には長距離電力伝送
- 横型 GaN マイクロ波デバイスの特徴 : マイクロ波パワー領域では横型 GaN 高電子移動度トランジスタ（HEMT）が唯一のソリューション。GaN HEMT は既にレーダー（防衛、気象）、基地局（4G/LTE）の高出力増幅器に使用されており、WPT では大電力受電用デバイスとして期待。



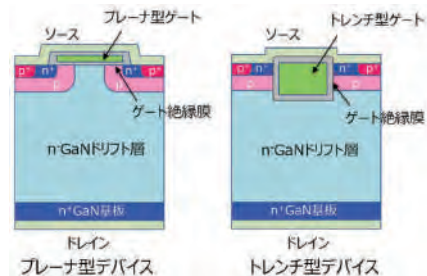
MHz 帯電力伝送システム研究開発のポイント

縦型 GaN デバイス

● MHz のスイッチングを実現する低損失パワーデバイス

縦型 GaN デバイス

- ・プレーナー型デバイス → 低製造コスト
- ・トレンチ型デバイス → 高性能化

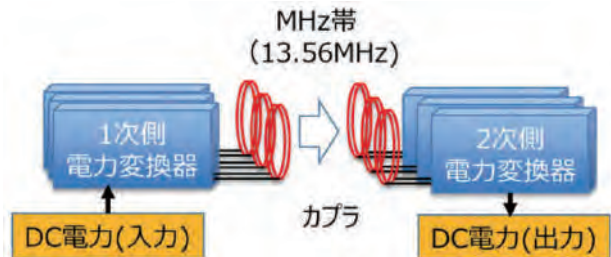


MHz 帯 WPT システム

● MHz 帯電力伝送を実現する高速スイッチング回路、高効率、大容量を実現するシステム技術

高速スイッチング回路技術

- ・多相化（並列化） → 大電力化
→ 高効率化
→ 放熱性
- ・同期整流回路技術 → 制御性



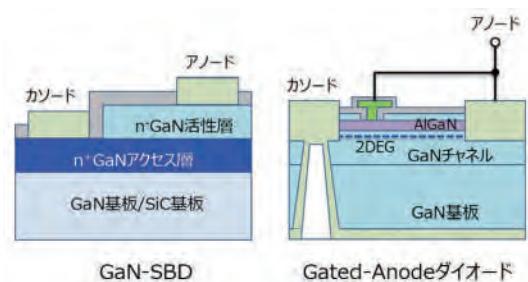
マイクロ波帯電力伝送システム研究開発のポイント

GaN 整流素子

● マイクロ波帯受電システム高効率化を実現する高周波デバイス

GaN ダイオード → 高耐圧整流要素

- ・GaN ショットキーバリアダイオード (SBD)
- ・Gated-Anode ダイオード



マイクロ波帯 WPT システム

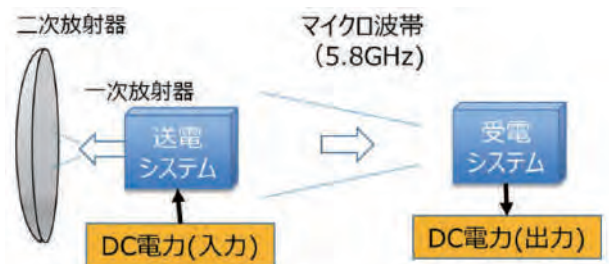
● 高耐圧デバイスの特性を活かした、低損失な送電 / 受電を実現する回路技術

インピーダンス設計最適化

→ 高インピーダンス設計による低損失化

アンテナ一体設計

→ 受動回路損失低減



IoE 応用・実用化研究開発



担当サブPD 庄木 裕樹

株式会社東芝 研究開発センター

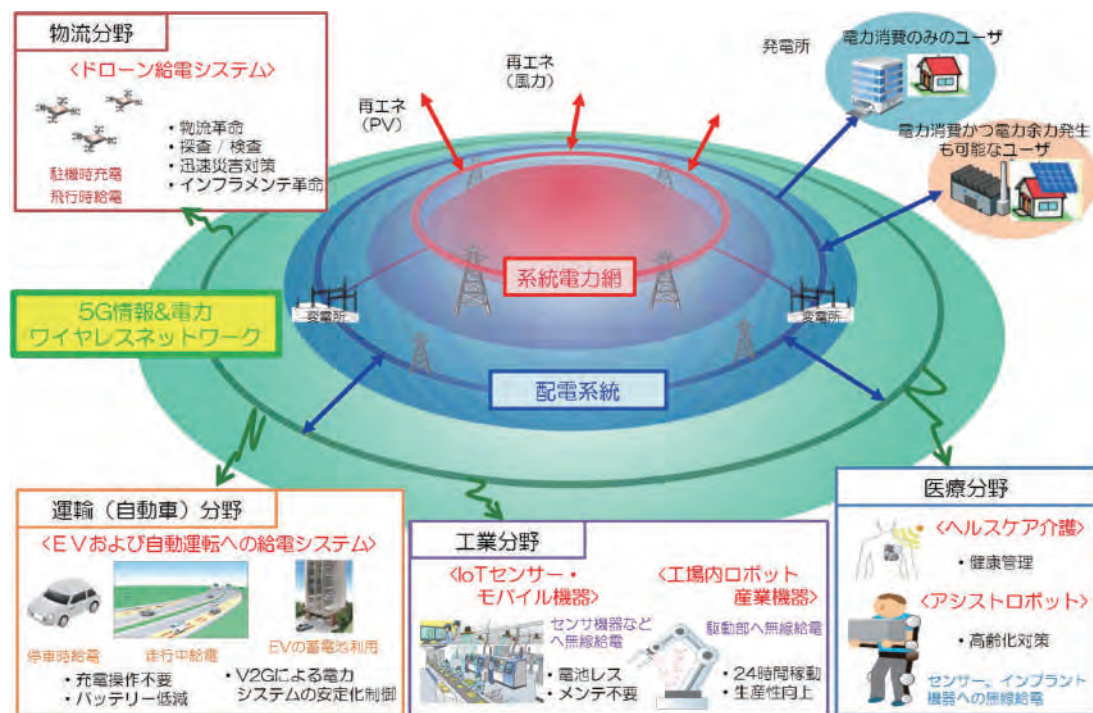
情報通信プラットフォーム研究所

ワイヤレスシステムラボラトリー 上席エキスパート

「Society5.0」（超スマート社会）での要求として、「世界一安全・安心で世界一健康な社会であること」、「あらゆるものに効率的・効果的に電力供給を行う E2E（Energy to Everything）が実現できること」、「二酸化炭素排出が削減できること」、「電力・社会インフラが強靱化、ライフラインが安定化できること」などがあげられます。

これらの要求に対して、ワイヤレス電力伝送（WPT）により解決されることが多くあります。例えば、Society5.0 社会に利用される EV、自動運転、ロボット、ドローン、IoT センサなど全てのモノ（Everything）へエネルギー供給を行うことにより、充電・給電を意識しない社会が実現でき、WPT によるイノベーションも創出できます。また、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を構築することにより、最先端の電力制御・安全利用のためのマネジメントシステムを実現できます。さらに、EV の普及および走行中給電 EV の実現により、電池容量削減による EV 軽量化でエネルギー負荷低減化の効果や EV 蓄電池活用による再エネ増加による系統電力安定化への活用などが期待できます。この他、ドローンへのワイヤレス給電の実現により、インフラの保全革新による社会コストの抑制が可能になり、災害時活用による迅速な対応と安心な社会の実現にも貢献します。以上のことから、WPT システムの社会実装に対する期待は大きくなっており、IoE 応用・実用化に向けて研究開発をしています。

Society 5.0 社会における IoE（Internet of Energy）システムでのワイヤレス電力伝送（WPT）の果たす役割



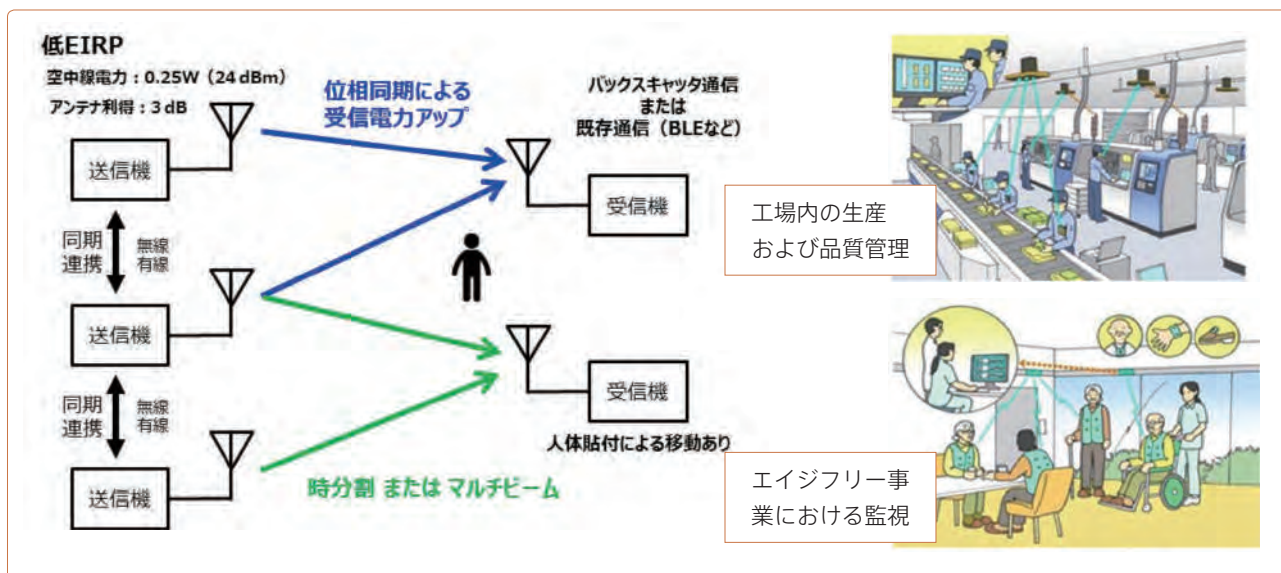
センサネットワークおよび モバイル機器への WPT システム

WPT システムとして、2つの給電方式と双方の方式に共通する課題の研究開発を進めます。時間・空間・周波数の3次元分割により、人体や他システムへの影響を低減する iTAF-WPT^(※) という新しい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ます。本研究では、以下の2つの開発テーマに取り組めます。

(※) iTAF-WPT (intelligent Time-Area-Frequency Control WPT) : 時間・空間・周波数を統合制御する技術。電波曝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。

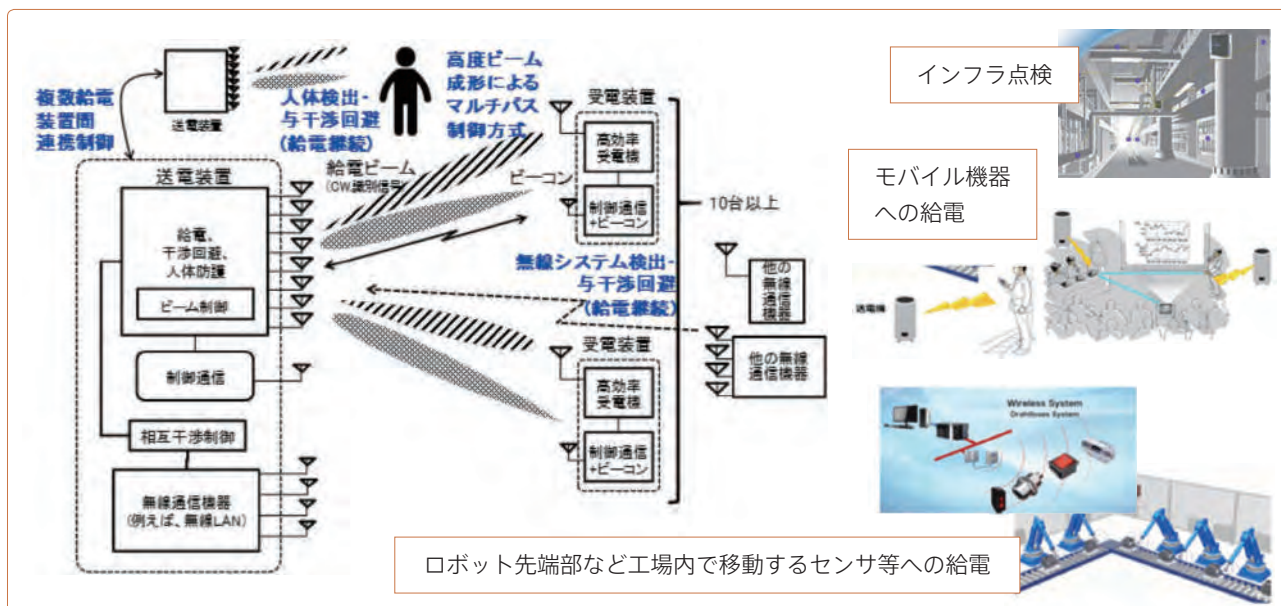
(1) 分散アンテナによる協調ビーム制御方式

本方式は家庭や工場および介護施設などの屋内空間に多数配置された環境センサーや物流センサーおよび生体センサーの電池レス、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ます。



(2) 高度ビームフォーミング方式

本方式において、モバイル機器、IoT センサー、情報端末への充電、工場などで移動するセンサーの給電を実現するために、数 mW 級から数 W 級の給電を目指します。



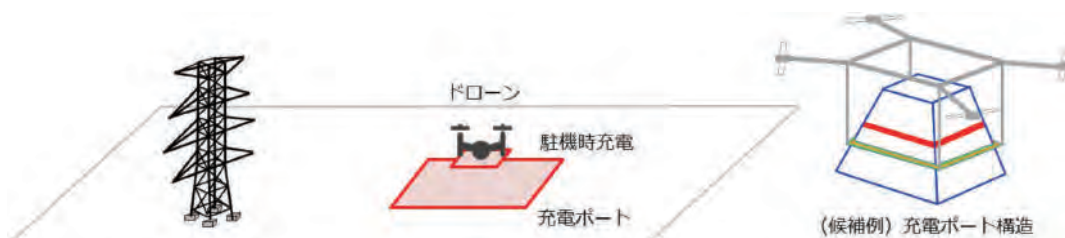
ドローン WPT システム

日本では人口減少が進む中、社会インフラ維持管理に従事する人員確保は困難となり、代替手段としてドローンやロボットなどへの期待が高まっています。ドローンなどを実適用するには、長時間安定して稼働することが必須であり、ワイヤレス電力伝送（WPT）システムはこれを支える重要な技術となります。

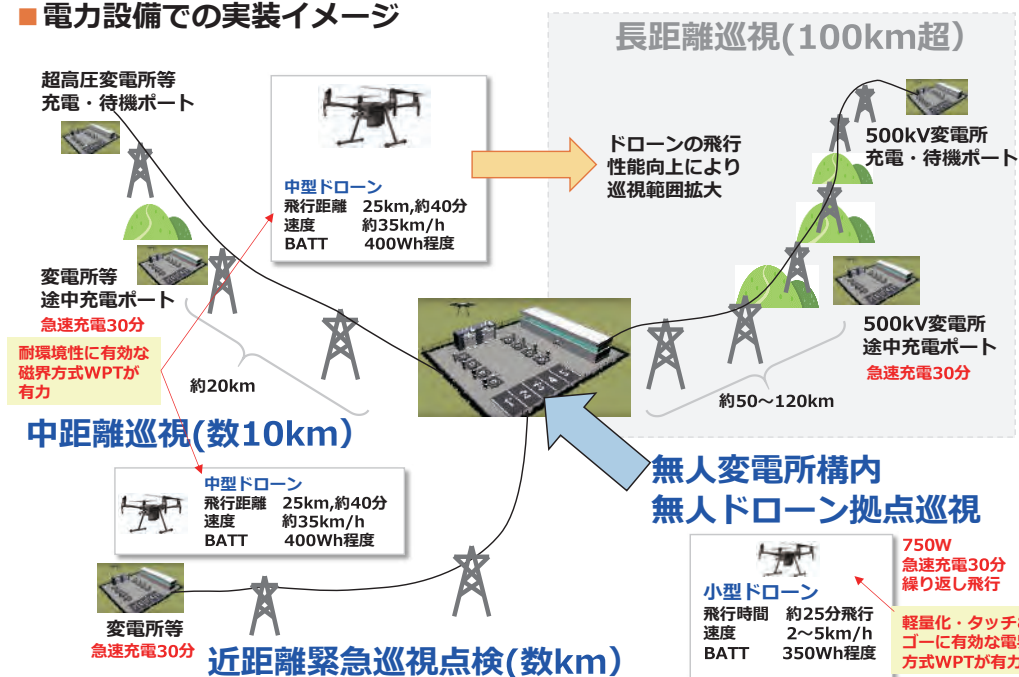
本研究は、ドローンを対象に、駐機時近距離での大電力 WPT システムの開発を目的とします。WPT システムの課題である送電側・受電側の高効率化、伝送技術の高度化や機器干渉回避技術などの開発とともに、ドローン搭載に不可欠な受電部の小型・軽量化および高耐電力化を図ります。

具体的には、地上等にドローンポートを設け、駐機時にドローンに搭載する電池を充電する近距離 WPT を利用したワイヤレス充電システムを開発します。①大容量・軽量化した送・受電部とこれらを組み合わせたシステム、②最適なドローンポート構造、③ドローン充電システムのエネルギーマネジメントシステムなどの開発に取り組みます。また、磁界結合 WPT 方式、電界結合 WPT 方式の検討を行い、最適な利用シーンを見極めます。

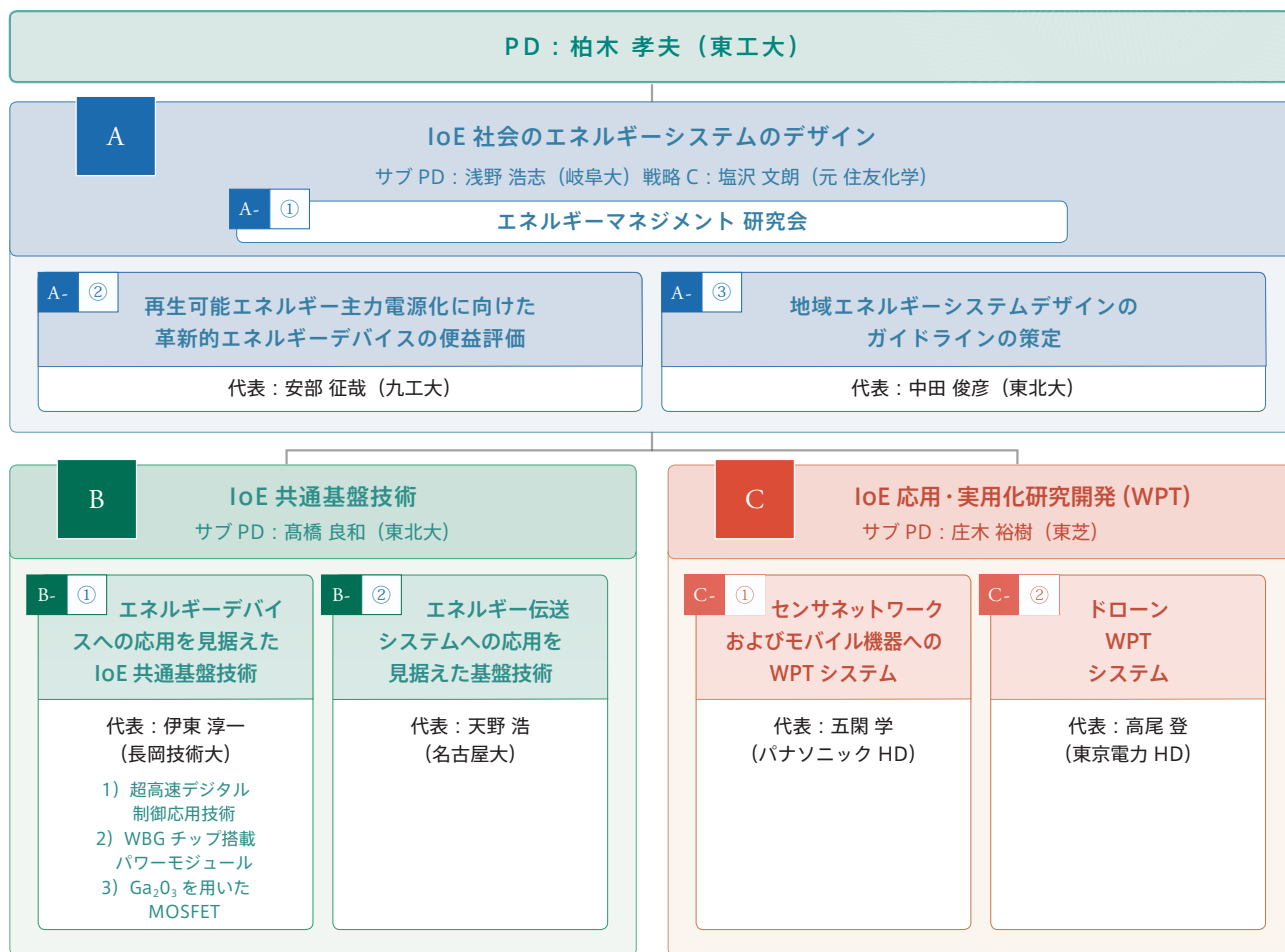
また、WPT 実証試験用の機体を開発し、開発目標に沿った実証試験を実施し、評価します。①充電方法・回路検討等により WPT システムに適した機体の設計・開発、②ドローン用 WPT システムのユースケースに応じた実証試験の検討・実施・評価などの課題に取り組みます。



■ 電力設備での実装イメージ



一 研究開発体制



一 研究開発参画機関一覧 (44 機関、産 :20、学 :23、官 (公的機関):1)

テーマ A IoE 社会のエネルギーシステムのデザイン

サブテーマ	研究代表者	参画機関
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	安部 征哉 (九州工業大学)	九州工業大学、中部大学、(一財)電力中央研究所、(国研)産業技術総合研究所
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	中田 俊彦 (東北大学)	東北大学、(一財)日本エネルギー経済研究所、早稲田大学、宇都宮大学

テーマ B IoE 共通基盤技術

サブテーマ	研究代表者	参画機関
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	(1) 超高速デジタル制御を有するノイズフリー-USPM とその応用技術の開発 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)	長岡技術科学大学、東京電機大学、京都大学、北海道大学、東京農工大学、ヘッドスプリング(株)、日立 Astemo(株)
	(2) 高パワー密度、高温動作可能な WBG チップ搭載パワーモジュール 池田 良成 (富士電機(株))	富士電機(株)、デンカ(株)、日本軽金属(株)、東北大学、早稲田大学、明星大学
	(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 四戸 孝 ((株) FLOSFIA)	(株) FLOSFIA、京都大学、熊本大学、(株)ミライズテクノロジーズ
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	天野 浩 (名古屋大学)	名古屋大学、富士電機(株)、シャープ(株)、(国研)産業技術総合研究所、古河電気工業(株)、長岡技術科学大学、芝浦工業大学、(株)ダイヘン、ポニー電機(株)、名古屋工業大学、三菱電機(株)、金沢工業大学

テーマ C IoE 応用・実用化研究開発

サブテーマ	研究代表者	参画機関
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	五関 学 (パナソニックホールディングス(株))	パナソニックHD(株)、(株)東芝、岩手大学、電気興業(株)、千葉大学、信州大学、オムロン(株)
C- ② ドローン WPT システム	高尾 登 (東京電力ホールディングス(株))	東京電力ホールディングス(株)、豊橋技術科学大学、(株)デンソー、(株)東芝、東芝エネルギーシステムズ(株)、京都大学、(株)プロドローン



Energy systems of
an Internet of
Energy (IoE) society



イノベーション拠点推進部 SIP グループ

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町
7, Gobancho, Chiyoda-ku, Tokyo 102-0076, JAPAN

<https://www.jst.go.jp/sip/p08/index.html>



SIP とは、内閣府主導の下、府省の枠や旧来の分野を超えた横断的な取組みであり、産官学連携により基礎研究から実用化・事業化まで見据えた一貫通貫で研究開発を推進しています。

Under the leadership of the Cabinet Office, the Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP) promotes interdisciplinary research and development covering from fundamental study to industrial application with industry-academia-government cooperation.

2022.11

