

戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）第2期

IoE 社会のエネルギーシステム

最終成果報告書

2023年3月27日

内閣府

科学技術・イノベーション推進事務局

目次

1	課題全体の概要と課題目標の達成度	1
	(1) 課題全体の概要・目標	1
	(2) 課題目標の達成度	9
2	各研究テーマの概要と課題目標の達成度	25
	(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	25
	1) 研究内容	25
	2) 技術的目標	27
	3) 課題目標の達成度	27
	(2) 研究テーマ(B)：IoE共通基盤技術	67
	1) 研究内容	67
	2) 技術的目標	68
	3) 課題目標の達成度	69
	(3) 研究テーマ(C)：IoE応用・実用化研究開発	130
	1) 研究内容	130
	2) 技術的目標	130
	3) 課題目標の達成度	131
3	課題マネジメント	167
4	今後の課題と展望	180
	(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	180
	(2) 研究テーマ(B)：IoE共通基盤技術	181
	(3) 研究テーマ(C)：IoE応用・実用化研究開発	182

1 課題全体の概要と課題目標の達成度

(1) 課題全体の概要・目標

1 課題全体の概要と課題目標の達成度

(1) 課題全体の概要・目標

「パリ協定」における 2℃目標あるいは 1.5℃努力目標を実現するためには、現状の削減努力の延長上だけでは間に合わず、これまでの削減技術とは非連続的な技術も含めて、世界全体での排出量の抜本的な削減を実現するイノベーションを創出することが不可欠であるとされている。

このような状況の中、2020年10月には、菅前総理の所信表明において、我が国は2050年までにカーボンニュートラルを目指すことが宣言された。また「革新的環境イノベーション戦略」（2020年1月策定）に掲げる技術の研究開発を加速するために、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が2020年12月に策定された。グリーン成長戦略を支えるのは、強靱なデジタルインフラであり、半導体・情報通信産業を成長分野として育成していく必要があるとした。さらには、2021年3月に策定された「科学技術・イノベーション基本計画」では、デジタル化の推進やカーボンニュートラル実現など循環経済への移行を目指すことが盛り込まれるなど、エネルギー・環境分野におけるイノベーションの創出への期待はますます高まりを見せている。また、2021年10月には、2050年カーボンニュートラル（2020年10月表明）、2030年度の46%削減、更に50%の高みを目指して挑戦を続ける新たな削減目標（2021年4月表明）の実現に向けて、5年ぶりに地球温暖化対策計画が改訂され、基盤的施策として地球温暖化対策技術開発と社会実装が取り上げられており、再生可能エネルギーの最大限の導入に向けた技術の加速度的普及や革新的イノベーションを強力に推進するとされている。

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、すなわち、Society 5.0の実現に向けて、エネルギーと情報が融合する社会のエネルギーシステムをデザインすることが求められる。

本課題では、Society 5.0のIoE社会の基盤技術システムをさらにシステム化することにより相乗効果を最大化することが極めて重要であると考えており、Society5.0時代のエネルギーシステムであるIoEを実現するために、再生可能エネルギーが主力電源となる社会のエネルギーシステムの設計について検討し、その実現に必要な共通基盤技術の開発、および顕在化している社会実装が必要な研究開発に取り組んだ。

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」において再生可能エネルギーの変動を制御して無駄なく利用できるエネルギーシステムを構築し、テーマ(B)「IoE基盤技術」、及びテーマ(C)「IoE応用・実用化研究開発」に

1 課題全体の概要と課題目標の達成度

(1) 課題全体の概要・目標

において、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に向けた研究開発を実施し、その社会実装を目指した。

課題の全体像について、図 1-1 及び図 1-2 に示す。

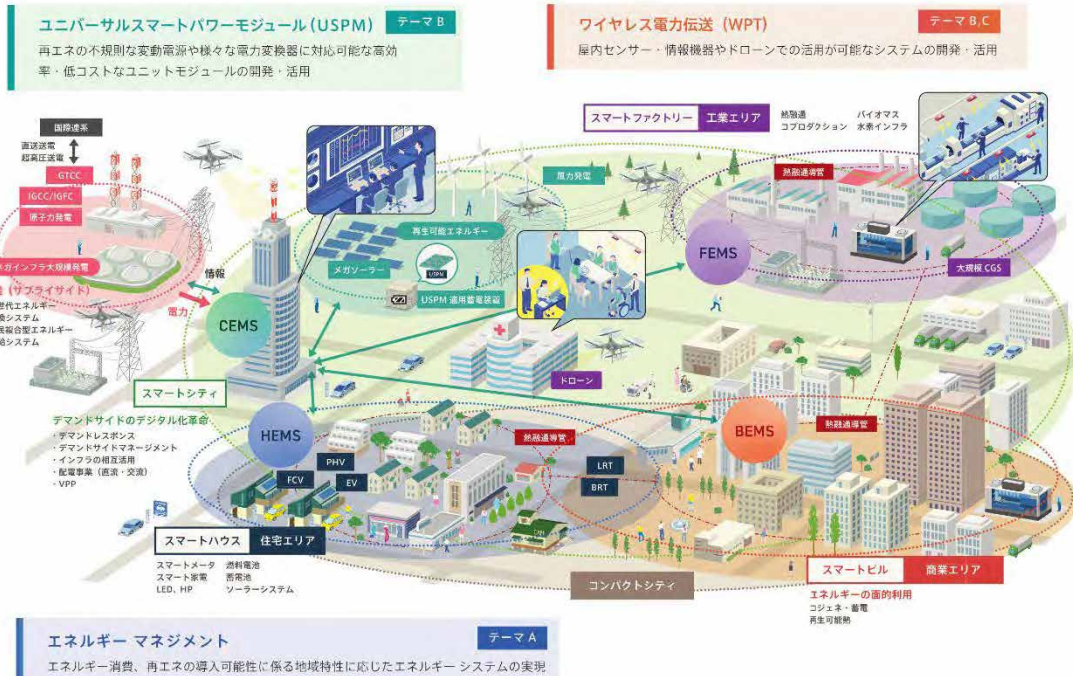


図 1-1 IoE 社会のイメージ

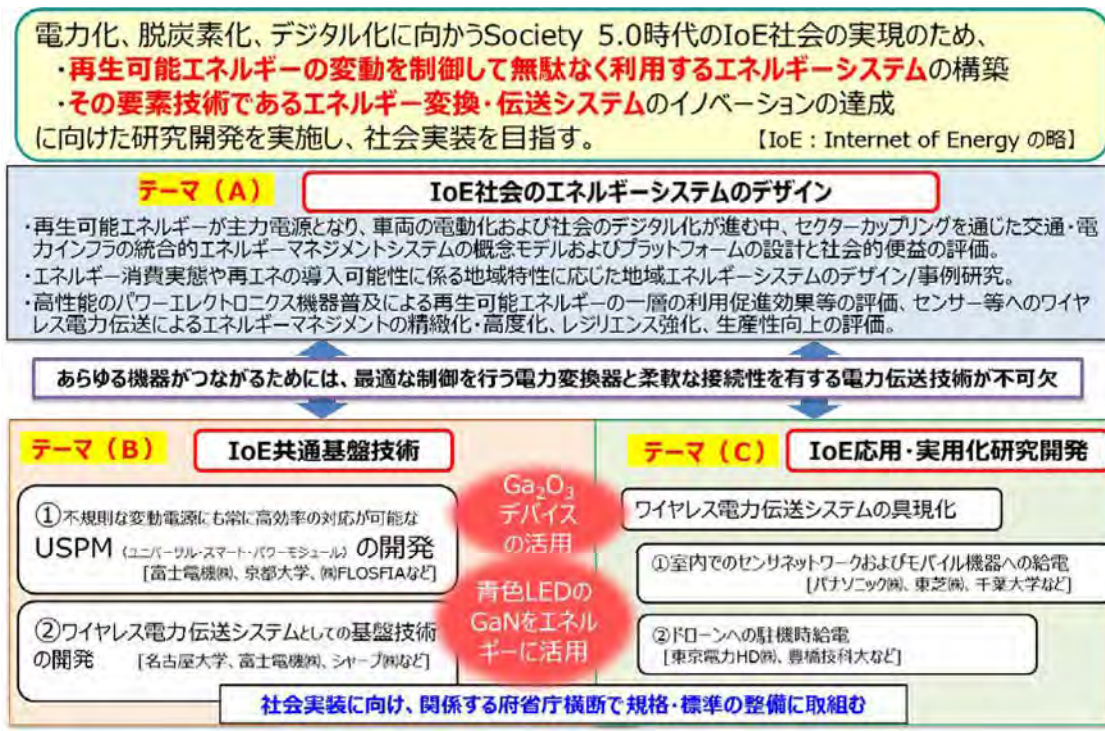


図 1-2 IoE 社会のエネルギーシステム課題全体像

1 課題全体の概要と課題目標の達成度
 (1) 課題全体の概要・目標

また本課題で開発した機器や技術が実装された後の社会像としては、図 1-3 に示す通り、再生可能エネルギーの主力電源化と大量導入、USPM を導入した電気機器の普及による省エネルギー化や太陽光発電などの変動電源の利用促進、電力供給の無線化による世の中のあらゆるものの設計・生産性の向上、さらにはエネルギーデータ連携基盤の構築による地域レジリエンスの向上等の達成を目指した。

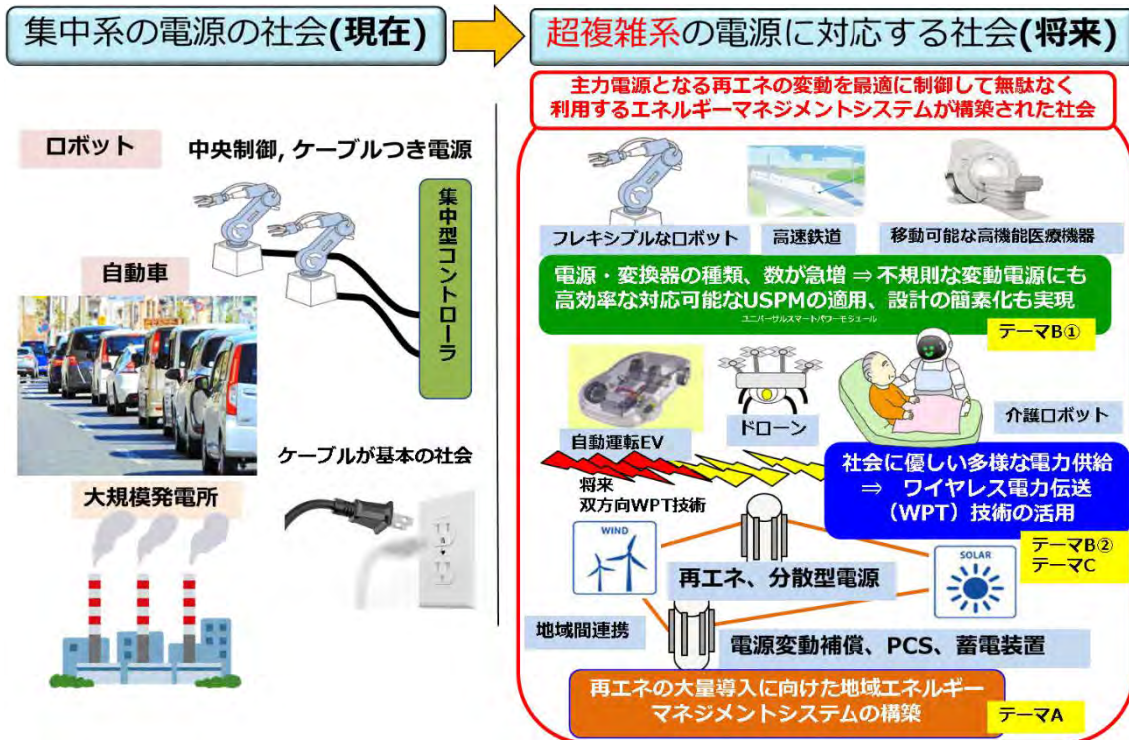


図 1-3 本 SIP 課題で実現する社会像

以下に、事業終了時点のアウトプット目標、及びアウトカム目標について記載する。

1 課題全体の概要と課題目標の達成度

(1) 課題全体の概要・目標

テーマA

【事業終了時点のアウトプット目標】

- ・ テーマ (B), (C) の新技術実装による脱炭素効果などの評価結果およびロードマップ
- ・ 地域エネルギー需給データベースおよびカーボンニュートラルのための地域間連携モデル
- ・ 交通部門とエネルギー部門のセクターカップリング実現のためのシステムアーキテクチャとデータ連携プラットフォーム



【アウトカム目標（短期）】

- ・ 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の明確化
 - ・ 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
 - ・ エネルギーネットワークと交通マネジメントが融合したエネルギーシステム設計手法およびガイドラインの提案
- により、IoE 社会のエネルギーシステムを具体的な構想として社会に示されている。



【アウトカム目標（中長期）】

「IoE 社会のエネルギーシステム」の構想が、エネルギーと非エネルギー間のデータプラットフォームとして活用されることで、産業界のエネルギーマネジメントに係る研究開発および社会実装の推進に貢献し、Society 5.0 におけるエネルギー（電力、熱、化学物質等）利用の最適化が加速され、最終的には、Society 5.0 が具現化された「スマート化」「デジタル化」「強靱化」に富んだ脱炭素型 IoE 社会のエネルギーシステムが国レベルのみならず、地域レベルで実現される。

1 課題全体の概要と課題目標の達成度
(1) 課題全体の概要・目標

テーマB

【事業終了時点のアウトプット目標】

- ・スイッチング周波数 2 MHz に対応する高速デジタルコントローラ
- ・従来比 150%以上のパワー密度かつ 200°Cで動作するコア・パワーモジュール
- ・SiC 並みに低損失で Si 程度の低コストな Ga_2O_3 パワー-MOSFET
- ・高周波、大容量化が可能な 600V WPT 用 GaN デバイス
- ・エネルギー変換ならびに伝送に革新をもたらすマイクロ波無線電力伝送受電素子開発
- ・既存素子では実現困難な 10W マイクロ波整流を可能とする GaN 系ダイオードの実証
- ・量産化を見据えたマイクロ波 GaN 系ダイオードプロセス・デバイス開発



【アウトカム目標（短期）】

再生可能エネルギーを含めた多様な入力電力の急峻な変動に瞬時に対応可能、かつ低損失で高速スイッチングが可能な、汎用性のある高機能パワーモジュール「ユニバーサルスマートパワーモジュール (USPM)」が実現される。

本課題で開発した WPT 用縦型 GaN パワーデバイスを用いたワイヤレス電力システムが実現されると共に、当該 GaN デバイスの他の高周波パワーエレクトロニクス応用への展開が進展する。また、本課題で蓄積された技術が、汎用の縦型 GaN パワーデバイスの製品化にも活用される。

これまで、受電素子性能の限界により実現不可能であった 10W 級マイクロ波無線電力伝送を可能にする基本素子を実現できる。これにより、センサ等小電力アプリケーションに限られていたマイクロ波無線電力伝送の応用先が、ドローンやロボット等の産業機器に加えて、法整備等が整った後には、スマホなど一般向けに展開が可能となる。



【アウトカム目標（中長期）】

参画企業などが中心となって、USPM のさらなる小型化、高効率化、低コスト化が促進されることにより、再生可能エネルギー、産業機械や EV、家電製品等の分野での USPM の実用化・普及拡大が加速され、最終的には、以下のような社会の状態が実現される。

- ・開発した USPM が量産され、世界市場を獲得している。
- ・使いやすさと高性能化、低コスト化がさらに進み、USPM の組み合わせによる適用範囲が拡大することにより、産業基盤の強化、カーボンニュートラルの

1 課題全体の概要と課題目標の達成度

(1) 課題全体の概要・目標

実現に貢献している。

参画企業などが中心になって、縦型 GaN パワーデバイスの低コスト化技術、量産化技術の開発が発展し、SiC パワーデバイス、GaN-on-Si 横型パワーデバイスに続く GaN-on-GaN 縦型パワーデバイスがパワーエレクトロニクスで市民権を得て、カーボンニュートラルの実現に貢献している。また、GaN ウェハから GaN-on-GaN パワーデバイス用半導体製造装置、デバイスメーカー、回路・システムメーカーのサプライチェーンが我が国を中心に構築され、我が国の産業に貢献する。

マイクロ波無線電力伝送を用いたアプリケーションの立ち上がりに対応して、参画企業によりタイムリーに、基幹半導体デバイスとなるダイオードが供給可能となる。これにより、半導体のみならずアプリケーション、及び、サービスレイヤーにおいて、国内産業（企業）が優位性を持ち、さらに、そのことにより、マイクロ波無線電力伝送の拡大を牽引する。本研究開発で実施した整流器においては先行者利益に加えて、高効率化、低コスト化により、優位性を堅持する。最終的には、以下のような社会の状態が実現される。

- ・開発したダイオードが量産され、世界市場を獲得している。
- ・先行者利益と技術的優位性、さらには、半導体からサービスまでの多様なサプライチェーンにより、マイクロ波無線電力伝送全般において、世界市場を席巻している。

1 課題全体の概要と課題目標の達成度

(1) 課題全体の概要・目標

テーマC

【事業終了時点のアウトプット目標】

- ・ 受電端末へ数 mW～数 W の受電、人体および他の無線システムとの共存する環境でも送電時間率 50%を実現する屋内給電 WPT システム
- ・ ドローン搭載受電部重量 1.4kg 以下、受電電力 750W 以上、電力伝送効率 80% 以上のドローン WPT システム



【アウトカム目標（短期）】

- ・ ケーブルレス・メンテナンスフリーで安心・安全な屋内センサネットワークシステムが実現される。
- ・ 長時間の連続飛行が可能となる WPT 搭載ドローンが実現される。



【アウトカム目標（中長期）】

- ・ 参画企業などが中心となって送電時間率向上、受電効率向上、送電距離伸長等の改良が図られることにより、開発したセンサネットワークシステムが省エネ化、省人化、生産性や品質向上などに貢献している。
- ・ 参画企業などが中心となって大電力化、高効率化、小型・軽量化、送電距離伸長等の改良が図られることにより、WPT 搭載ドローンを利用した電力・社会インフラなどの長時間連続点検、監視が可能になっている。

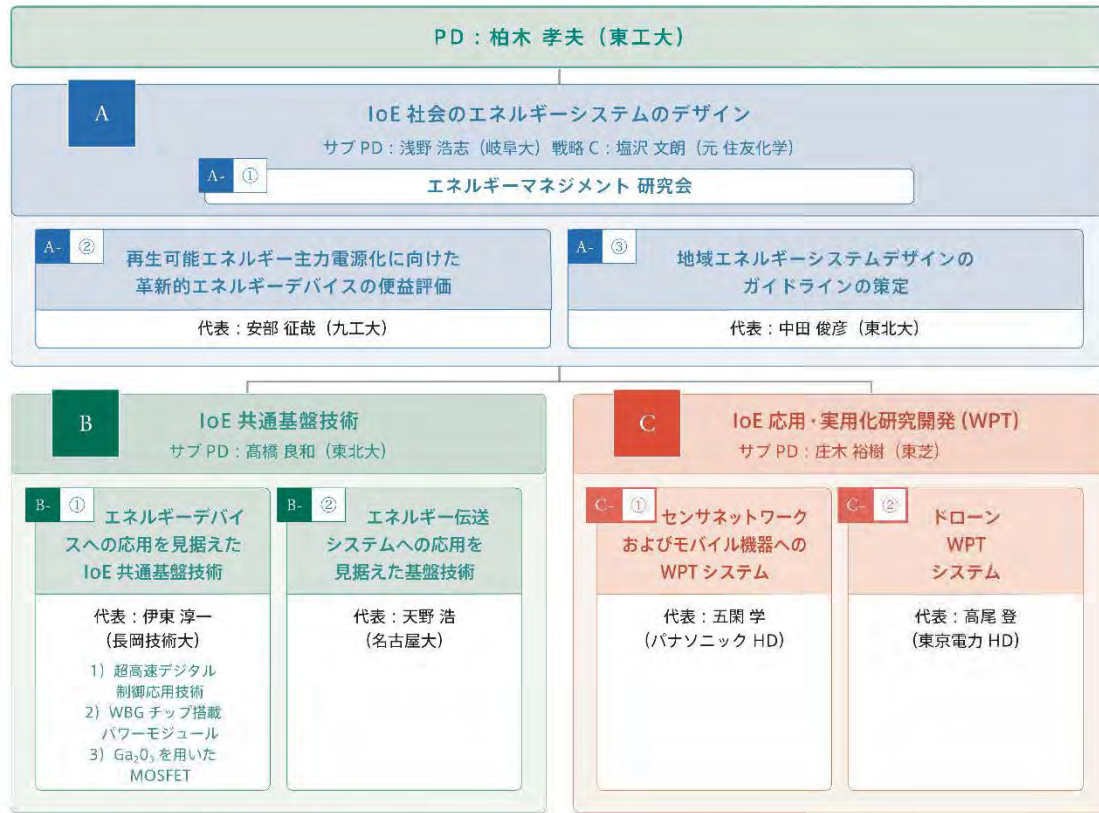
最終的には、以下のような社会の状態が実現される。

- ・ 遠距離・高効率・大電力で安全な WPT システム技術が普及し、制度化・標準化の主導により国際競争力も獲得できている。
- ・ WPT システムが無人化工場やインフラシステムのロボットやセンサ、ドローン等を実装され、建設、ものづくり、物流、点検・検査等の現場の生産性の抜本的向上や強靭化に貢献している。

1 課題全体の概要と課題目標の達成度

(1) 課題全体の概要・目標

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	五閑 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	

2023年3月現在

- 1 課題全体の概要と課題目標の達成度
 - (2) 課題目標の達成度

(2) 課題目標の達成度

①国際競争力

テーマ毎にグローバルベンチマーク調査を実施した結果、SIP 終了時点において、地域エネルギー需給データベースや USPM の各要素技術、WPT システムなどにおいて国内外の競合との比較に基づく優位性等が示された。以下に調査結果の例を記載する（詳細は「2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度」参照）。

テーマA

地域エネルギー需給データベース

再生可能エネルギーが主力電源となり、車両の電動化および社会のデジタル化が進む中、セクターカップリングを通じた交通・電力インフラの統合的エネルギーマネジメントシステム概念モデルおよびプラットフォームの設計を進める必要がある。しかし、地域エネルギーシステムを具体的に実現させるためのデータが存在していないため、本課題（テーマA-③）では地域エネルギー需給データベースを整備した。比較対象として、先行して市区町村レベルのエネルギー需給データベースの整備が進んでいる国の事例である①米：DOE Energy Analysis Data and Tools for State and Local Energy Planning（米国エネルギー省、United States Department of Energy）、②英：BEIS Statistics（英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省、Department for Business, Energy & Industrial Strategy）、③独：Regionalverband FrankfurtRheinMain, Municipal energy profiles（フランクフルトラインメイン地域協会のエネルギーデータベース）を取り上げた。地域エネルギー需給データベースは、地方公共団体のエネルギー計画策定に利用する目的で構築されており、地域単位での分析についてツールやユーザーインターフェース等に優位性がある。

表 1-1 地域エネルギー需給データベースのグローバルベンチマーク調査結果

評価軸	評価対象			
	地域エネルギー需給データベース (日本)	DOE (米)	BEIS (英)	Municipal energy profiles (独)
データベースの解像度	◎ (市区町村、全国)	◎ (自治体+詳細地図)	○ (基礎自治体)	○ (基礎自治体)
対象分野・項目数	○	○	△	◎
表現の多様性 (表、グラフ、地図)	◎	○	△	△
公開性 (情報アクセス)	◎	◎	△	○
市場性 (社会貢献度)	○	○	△	○
コスト	○	△	○	○

1 課題全体の概要と課題目標の達成度
 (2) 課題目標の達成度

テーマB

USPM

再生可能エネルギーを組み合わせたエネルギーシステムを構築する共通基盤技術として、エネルギー変換に不可欠なユニバーサルスマートパワーモジュール (USPM) の開発を進めた。USPM の類似技術として、パワーエレクトロニクスビルディングブロック (PEBB)、インテリジェントパワーモジュール (IPM) があるが、PEBB は主回路、IPM は半導体素子とゲートドライバ、PM は半導体素子をモジュール化しているが、USPM は主回路、ゲートドライバ、コントローラ、ノイズフィルタなど、電力変換器を構成する要素全てをモジュール化している点で優位性がある。また、アプリケーションや機種毎に応じた個別設計を不要とできるような汎用性・親和性に重点を置いた開発を行っている点も、欧米とは異なる。USPM の効率、パワー密度については、Si や SiC の物性値を凌ぐ α -Ga₂O₃ を使用したパワーデバイスを B-①(3) で開発しており、これの適用により大幅な向上が図れるため、より優位になり世界市場の獲得が期待できる。

表 1-2 USPM のグローバルベンチマーク調査結果

評価軸	研究開発			
	SIP-USPM	PEBB(パワーエレクトロニクスビルディングブロック)(欧州)	IPM(インテリジェントパワーモジュール)(日本, 米国, 欧州)	PM(パワーモジュール)(日本, 米国, 欧州)
電力変換効率	※1 ○→◎ (最適設計された回路よりは低効率)	○ (最適設計された回路よりは低効率)	◎ (最適設計可能)	◎ (最適設計可能)
パワー密度	※2 ○→◎ (最適設計された回路よりは大型化)	○ (回路分割により部品点数増加)	◎ (最適設計可能)	◎ (最適設計可能)
制御性能	◎ (超高速コントローラ内包)	○ (汎用マイコンを使用)	○ (汎用マイコンを使用)	○ (汎用マイコンを使用)
汎用性	◎ (あらゆる変換器に対応)	△ (用途指向型)	△ (用途指向型)	× (用途毎に専用設計が必要)
メンテナンス性	◎ (故障USPMのみ交換で対応可)	△ (主回路交換のみ容易)	× (機器ごと交換)	× (機器ごと交換)
コスト	◎ (構成要素全て量産対応可能)	○ (主回路のみ量産対応)	△ (パワーモジュールのみ量産対応)	× (設計コスト大)
市場性	◎ (部品のように扱い可)	△ (用途, 仕様ごとに専用設計)	△ (用途, 仕様ごとに専用設計)	△ (用途, 仕様ごとに専用設計)

※1 B-①(3)で開発中のGa₂O₃ GaNデバイスの適用によりUSPMの効率大幅向上

※2 B-①(3)で開発中のGa₂O₃ GaNデバイスの適用によりUSPMのパワー密度大幅向上

1 課題全体の概要と課題目標の達成度
(2) 課題目標の達成度

縦型 GaN

豊田合成は縦型 GaN パワーMOSFET の研究開発を行っており、学会発表、論文発表で世界トップのデータを報告している。EV の主機インバータ用の kHz スイッチングの汎用のパワーデバイスの開発を目指している。一部高速スイッチングの検討なども行ってはいるが、MHz 無線電力伝送向けの素子や、そのためのデバイス技術の開発は行っていない。

アメリカのベンチャーNexGen Power Systems が縦型 GaN JFET 構造のエンジニアリングサンプルを出荷している。縦型 GaN JFET は既存技術の組み合わせにより作製可能であり技術的なハードルは低いが、ゲートが pn 接合になっており、オン時には大きなゲート駆動電流が必要であり、大容量化については難しい点がある。NexGen Power Systems 社は専用のゲート駆動回路などを開発し、小電力の応用にフォーカスして、20W の LED 照明用電源、240W のパソコン用電源の開発を進めている。

横型 GaN HEMT については、GaNSystems、Infineon、Panasonic など複数のメーカーからデバイスが市販されている。横型構造に起因してゲート容量が非常に小さく、高周波動作に非常に適している一方で、横型素子のために高耐圧化が困難であり、また、大電流化も不得手である。また、ゲート駆動がショットキー接合になっており、上記 JFET と同様の問題がある。

縦型 SiC MOSFET については、Infineon、STMicroelectronics、三菱電機、ロームなど複数のメーカーからモータ駆動あるいは電源用のパワーデバイスとして多数の商品が販売されている。20~100kHz のスイッチング速度での使用を想定して開発されているため、MHz 駆動には不適である。また、MHz 駆動に特化した設計をする場合、SiC の低い MOS チャネル移動度がネックとなり、GaN が優位性を持つことになる。(チャネル移動度の高周波性能への影響についての定量的な検討は本課題でコンピュータシミュレーションを用いて実施し、優位性を確認している。)

1 課題全体の概要と課題目標の達成度
 (2) 課題目標の達成度

表 1-3 GaN デバイスのグローバルベンチマーク調査結果

評価軸	研究開発				
	SIP2 株式会社 (日本) 縦型GaN MOSFET	豊田合成 (日本) 縦型GaN MOSFET	NexGen (米国) 縦型GaN JFET	GaNSystems (米国) 横型GaN HEMT	Infineon (ドイツ) 縦型SiC MOSFET
スイッチング 性能指数	◎ (高移動度×最適 設計)	△ (開発対象外)	○ (JFET構造)	◎ (横型構造による メリット)	× (移動度制約)
特性オン抵抗	◎ (最適設計×移動 度向上)	○ (開発優先ター ゲット)	○ (開発優先ター ゲット)	△ (横型に起因する 制限)	○ (最適設計)
ゲート駆動	◎ (MOSゲート)	◎ (MOSゲート)	× (非絶縁ゲート)	× (非絶縁ゲート)	◎ (MOSゲート)
市場性 (必須)	◎ (大容量で好適)	× (高速動作不可)	○ (非絶縁ゲートな がら動作可能)	◎ (小容量で好適)	× (高速動作不可)
コスト (必須)	○ (基板口径拡大)	○ (基板口径拡大)	○ (基板口径拡大)	○ (エピコスト)	○ (基板大口徑化)






1 課題全体の概要と課題目標の達成度
 (2) 課題目標の達成度

テーマC

屋内給電 WPT システム

再生可能エネルギーを中心とするエネルギーシステムの電力ネットワークにおいて、多様な電源供給の要望に応え、かつ柔軟なエネルギーマネジメントの実現に寄与する電力伝送技術として、ワイヤレス電力伝送（WPT）システムの開発を進めた。既に米国連邦通信委員会（FCC）認可済みの米国2社（Energous社、Ossia社）と、昨今活発に活動しているFCC認可中の米国GuRu社のWPT製品を対象としてベンチマークを行った。従来のWPTシステムにおいては、人体または他通信を検知した場合、WPT送信を停波する必要があり、WPT送電時間効率（送電時間/稼働時間）が低下し、ユースケースも限られる。一方、本課題で開発するWPTシステムは、人および他無線システムの検出・回避とWPT受信機への電力供給を同時に実現する世界初のWPTシステムであり、優位性は高い。ユースケースが多いため市場規模も大きく市場性も高い。

表1-4 屋内給電 WPT システムのグローバルベンチマーク調査結果

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/ レトロレフレクティブ	 ???
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	△ 人体検出方式が人体防護手法として認められていない	○ 独自アルゴリズムにより、受信可能な端末のみ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	× 共用問題は使用者責任	△ 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	× 人体検出時の送信はできない	× 人体との共存ができない	○ 独自アルゴリズムにより、受信可能な端末のみ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）	○ 工場、インフラ、家など屋内空間（屋外含む目論む）	△ 家（屋内の送信機近傍のみ）	× 人がいない屋内空間でのみ送信可能	× 人がいない屋内空間でのみ送信可能（制度未整備）
送信対象	△ センサ類（数mW）	◎ センサ類（数mW）、モバイル機器（数W）	△ 小型デバイス（補聴器など）	◎ 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	○ FCC認可済市場投入済み	△ FCC認可済市場投入準備中	○ モトローラと提携し、しぼろは携帯に特化
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標中	○ 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標中	○ 独自チップにより低コスト化	△ 価格未定（システム構成としては高価と予想される）	○ 独自チップにより低コスト化しているが準ミリ波帯のため効果

1 課題全体の概要と課題目標の達成度

(2) 課題目標の達成度

②研究成果で期待される波及効果

IoE 社会のエネルギーシステムではエネルギーのOSまたはデータプラットフォームを通じて、エネルギー（電力、熱、化学物質等）利用を最適化できる。社会実装に向けて効率的なエネルギーシステムの姿を打ち出し、各産業の本分野に係る研究開発や社会実装の推進に貢献できる。

テーマAでは、電力・交通データ等のビッグデータ解析で新しい手法開発が期待され、科学技術の進展に寄与する。開発した「地域エネルギー需給データベース」を基に、市区町村などの地方公共団体がエネルギーの需給実態と地域特性をきめ細かく把握し、地域エネルギー戦略、温暖化防止計画、都市計画、交通計画、森林管理計画等を総合的に見直し、立案する際の基盤が形成される。

内閣府の推進するEBPM（エビデンス・ベースト・ポリシー・メイキング）による地方創生の取組みに寄与する。「気象情報」「携帯電話位置情報」「スマートメータ」などのデジタルデータを取り入れることによって、エネルギー供給ポテンシャル、サービス需要（移動需要）、エネルギー需要の空間・時間解像度を高めた地域内情報基盤を整備できる。より資源効率的なエネルギーインフラ設計や、地域発の多様なデータ駆動型イノベーションを促し、Society5.0の実現に資する。地域エネルギーマネジメントシステムのプラットフォームとしてデータ活用型マネジメント手法が国内外のスマートシティなどとして実装されていくと新市場開拓、住民の利便性向上、交通渋滞緩和による社会全体の生産性向上などが図られる。国内のみならず、とりわけ、エネルギー需要の伸びが著しく、公共交通インフラが未整備なアジアの諸地域で実装されていくことにより、新市場獲得、環境汚染物質排出削減、交通事故減少など多様な便益がグローバルに期待できる。

テーマBで開発した、高パワー密度、高温駆動可能なパワーモジュールと高速デジタル駆動制御技術及び低コストで高い性能のMOSFETを統合したUSPM（ユニバーサルスマートパワーモジュール）により、低コストで汎用性のあるパワーエレクトロニクス応用装置の創出が期待できる。USPMによるあらゆる電源の設計の単純化、少ないリソースでの省エネ機器の生産が可能となり、パワーエレクトロニクス機器の普及拡大、パワーエレクトロニクス装置の開発効率向上が期待できる。また、モジュール間特性のばらつき補償をリアルタイムでオートチューニング（自動制御）等による制御で解決することで、サービインフラ、産業機械、自動車等の電力効率と長期信頼性を更に高め、我が国産業基盤の強化に貢献する。縦型GaNデバイスは、他の半導体材料によるパワーデバイスに比べ高速のスイッチング動作が可能であり、この特性によりパワーエレクトロニクス回路の小型化を可能にする。また、GaNのウェハ製造技術、縦型GaNデバイスの製造技術において日本は技術優位性を有する。このことから本テーマで得られた成果は、GaNのウェハビジネス、GaNパワーデバイス、それらを基盤とする小型パワーエレクトロニクス回路・システムの産業

1 課題全体の概要と課題目標の達成度

(2) 課題目標の達成度

化等、その波及効果は多彩である。MHz 帯を用いた非放射型電力伝送システム (13.56MHz) は GaN の高速スイッチング性能を必要とする応用分野であり、その MHz 帯ワイヤレス電力伝送により利便性を高めることが期待される家電機器、電気自動車、産業用搬送機器等、多様な分野へ広がり得る技術である。特に脱炭素社会実現に向けた電力分野での再生可能エネルギーの導入において、電力供給安定化のための蓄電機能として電気自動車に搭載される蓄電池の活用が検討されており、これら電力部門と運輸部門のセクターカップリングによる「IoE 社会」を構築する一手段として MHz 帯電力伝送システムは有用となる。一方、横型 GaN 整流デバイスは、マイクロ波帯の整流素子として高効率性と高耐圧性による大電力化が期待できる。また、マイクロ波帯の電波は MHz 帯の電波に比べ直進性を高めることができ放射方向を制御することが可能なため、我が国の得意とする工作機械や産業機器など可動部や移動機器への電力供給の大電力化に寄与しうる。これら機器のケーブルをワイヤレス化することで、断線による不測の装置停止や配線設備の保守・点検などから解放される大きな効果が見込まれる。マイクロ波帯を用いた放射型電力伝送システム (5.8GHz) は、上記の整流素子の利点が活かした応用システムであり、災害時の可搬型電力供給装置はもとより、物流機器、ドローンの航続時間の飛躍的拡大などをもたらす、様々な社会的な効果を生み出すと思われる。

更に、テーマ C で開発した WPT システムを無人化工場のロボットやセンサ、ドローン等を実装することで、建設、ものづくり、物流等の現場の生産性の抜本的向上やドローン応用による検査分野でのプロセス革命など WPT によるイノベーションの創出が期待できる。特に、(A) とテーマ (C) の連携検討結果から、WPT 利用の IoT センサによるデータのエネマネシステム (EMS) への活用による省エネ・脱炭素効果が期待でき、WPT 充電によるドローンの活用による電力インフラの強靱性向上や経済効果も期待できる。

③達成度 (1) : SIP 第 2 期 5 年間の設定目標に対する達成度

各テーマにおいて、表 1-4~1-6 の各工程表のマイルストーンに従い、概ね計画通りに研究開発を推進し、2022 年度末までに最終目標を達成できる可能性は高い (2022 年 10 月時点見込み)。以下に各テーマの主要な成果例を紹介する (詳細は「2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度」参照)。

- 1 課題全体の概要と課題目標の達成度
- (2) 課題目標の達成度

テーマA

表 1-5 テーマ(A)の工程表

研究開発項目	2018年度計画	2019年度計画	2020年度計画	2021年度計画	2022年度計画
① エネルギーマネジメント研究会	IoE社会の展望 (運輸・自動車 関連含む)	IoE社会の展望 (運輸分野、産業分野 における重要業種、技 術分野の抽出、熱利用 の低炭素化の方策検討 等)			
		交通部門とエネルギー 部門のセクターカップ リング実現のためのシス テムアーキテクチャ構築 における課題整理	交通部門とエネルギー部門のセクターカップリング実現に向けて システムアーキテク チャの概念設計の検討 (データ連携を含む)	分業間データ連携を図る地域エネルギーマ ネジメントシステムプラットフォームの設計指 針の構築	
	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			テーマ(B)、(C)実現時のエネルギーシステムの便益評価 ・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 利用促進効果の分析	
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		交通部門とエネルギー部 門に関するデータ連携基 盤のユースケースの検討	・実証事業等のデータに基づくエネルギーシステムの事例研究 ・データプラットフォーム構築に向けた事例研究 ・地域のエネルギー需要、資源賦存状況に応じた地域分散型 エネルギーシステムのデザインのためのガイドラインの策定		

テーマA-②では、モデル計算によって、革新的エネルギーデバイス適用により太陽光発電（PV）導入量を大幅に拡大できること、またCO₂排出量を削減できることを定量的に明らかにした。例えば、PCS 効率 96%、過積載率 140%、Volt-Var 制御ありの場合、296GW の PV 導入が可能であることを示した。

テーマA-③では、SIPにおける地域エネルギー需給の分析に関する研究成果をもとに、地域エネルギー需給データベースを整備し、2022年3月にウェブサイトを開示した。データベースのウェブサイト画面を図1-4に示す。その後も改修を行い、全国1741市区町村別の部門別エネルギー消費の推計結果、エネルギーフロー図およびエネルギー消費特性分布、太陽光・風力などの再生可能エネルギーの時空間ポテンシャル推計結果、市区町村別のエネルギー需給マップを掲載するとともに、地域エネルギーシステムの計画ツールとして未来エネルギーシミュレーターを実装した。本データベースは、エネルギー量にもとづき多様な観点・データ形式から市区町村別のエネルギー需給量を可視化し、地域エネルギーシステムデザインに資するインタラクティブなツールを整備した他に類をみないものとして技術的価値があるといえる。

1 課題全体の概要と課題目標の達成度
 (2) 課題目標の達成度



図 1-4 地域エネルギー需給データベースのウェブサイト画面

テーマB

表 1-6 テーマ(B)の工程表

研究開発項目	2018年度計画	2019年度計画	2020年度計画	2021年度計画	2022年度計画
① エネルギー最適変換システムへの応用を見据えた基盤技術	USPM 全体設計 TRL3	高速デジタルコントローラの基本設計	制御機能の要素技術開発 TRL4	USPMの統合設計、試作、評価、実証	<ul style="list-style-type: none"> ・USPMを使用したPV用蓄電装置の評価・実証 ・世界に先駆けた酸化ガリウムデバイスの社会実装 ※カスタム設計PV用蓄電装置相当動作の確認
	パワーモジュール高パワー密度実装技術、高温動作対応技術の開発 TRL4		コア・パワーモジュール設計、開発、評価、実証		
	Ga ₂ O ₃ プレーナゲート技術開発	Ga ₂ O ₃ プレーナ1200VMOSFET開発、実証 TRL4		TRL5	
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	高速スイッチ用デバイスプロセス開発/試作 13.56MHz同期整流/ゲート駆動回路技術 TRL4		大電流スイッチ開発 大容量化技術開発		<ul style="list-style-type: none"> ・世界に先駆けた縦型GaNデバイスの社会実装 ・13.56MHz帯縦型GaN MOS及び5.8GHz帯GaN受電レクテナによるエネルギー伝送システム実証 ※7.7kW及び10W出力動作確認
	高周波素子開発/試作 受信アンテナ・回路/送電回路設計試作		大電流素子プロセス開発/試作 マイクロ波電力伝送システム機能検証 大電力受電/送電システム開発		

図 1-5 にテーマ B-①の研究成果例である USPM の蓄電装置による実験結果を示す。各レイヤで開発した要素技術をまとめ、USPM 試作機、およびマスターコントローラの設計、開発を行った。これらを統合した蓄電装置 (PCS) を開発し、実機実験によりその動作を確認できた (図 1-5)。

- 1 課題全体の概要と課題目標の達成度
 - (2) 課題目標の達成度

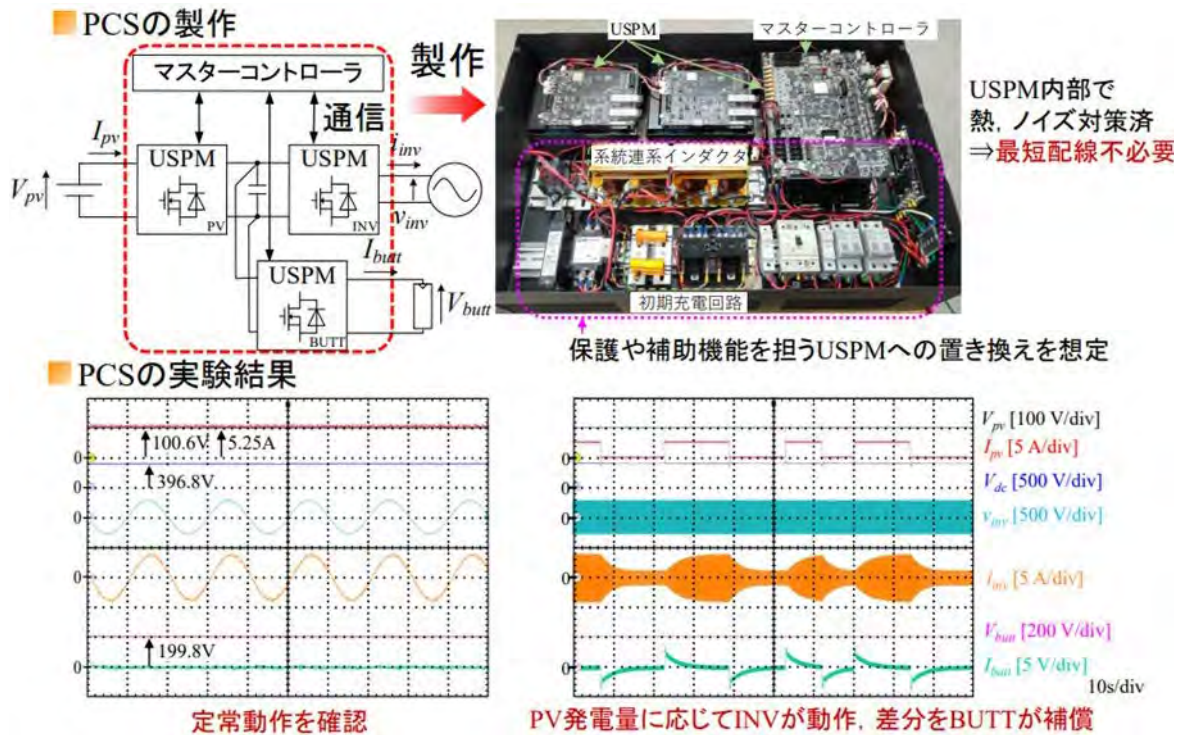


図 1-5 USPMS による蓄電装置システムの実験結果

テーマ B-②では、マクロ欠陥を低減する GaN エピタキシャル技術を背景に、縦型 GaN トレンチ MOSFET においてアンペア級素子の実現可能性（デバイス動作）を示した。またプレーナゲート型縦型 GaN MOSFET で 1 A 動作を達成するとともに、社会実装に必要なイオン注入プロセスと多層配線プロセスを開発した。さらにプレーナゲート型縦型 GaN のオンボード実装によるスイッチング動作検証を行い、各種要素プロセスのインテグレーションにおける課題抽出、対策確立により、この分野での日本の先進性をさらに一段高めた。また、マイクロ波帯電力伝送における大電力受電性能を可能にする整流素子として、横型 GaN デバイスによる 10W 級ゲーテッドアノードダイオード（GAD）を開発し、社会実装に向けて半導体製造ラインによる試作を行い、直流評価により 100V 耐圧を確認した。さらに GaN の 10W 級 GAD を用いたレクテナを設計するとともに、5.8GHz 帯受電レクテナによるエネルギー伝送システムとして GaAs による GAD を代用した 9 レクテナアレイを設計し、機能実証を行った。

1 課題全体の概要と課題目標の達成度
 (2) 課題目標の達成度

テーマC

表 1-7 テーマ(C)の工程表

研究開発項目	2018年度計画	2019年度計画	2020年度計画	2021年度計画	2022年度計画
制度整備・標準化WG	制度化・標準化に向けた調査、検討、提言検討		制度整備のシナリオ・枠組み構築	国内外制度整備（ドローン充電・給電、屋内給電）	
			標準化体制構築	国内外標準化活動（ITU-R、IEC、IEEEなど）	
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	(1) 協調ビーム制御および高度ビーム制御技術開発		・協調ビーム制御システム開発 ・高度ビーム制御システム開発	TRL5~6	人体等の干渉を模擬した想定ユースケースでの実証試験（数W~数十W） TRL6
	・通信と人体の検出と回避技術の開発 ・アンテナ配置と送電ビーム形成技術の開発 TRL5				
② ドローンWPTシステム	(2) 小型実装化技術開発		・受電部高効率化のための要素技術開発 ・小型実装化のための要素回路開発	高効率を可能にする受電部開発 TRL5	システム実装機能を搭載する受電部開発 TRL5
	(1) 駐機型WPT方式		・要求仕様の明確化 ・WPT送受電装置の施策と単体試験（360W） ・データ収集、評価 TRL4~5	・実証試験（360W）	・実証用ドローン（WPT搭載）および送電ポート開発 ・データ収集、評価・改良 ・実証試験（750W・受電部重量1.4kg、360W・受電部重量0.7kg） TRL6
	(2) 飛行型WPT方式		・ドローン搭載要求仕様明確化 ・送電ビーム制御技術開発と試作、システム設計 ・通信などへ干渉等回避技術の開発と試作 TRL4	WPTシステム最適化研究 TRL4	機器開発は中止

テーマ C-①では、ボックスキャッタ通信を利用したビームフォーミングマイクロ波給電技術と人体上電力密度検知・制御技術を構築し、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ボックスキャッタ利用高度ビームフォーミング方式を確立した。2022 年度では、最終実証試験に向けた実験試験局の免許取得と実験室内評価、実証実験システム開発と模擬組立ライン構築を実施し（図 1-6）、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完了した。

1 課題全体の概要と課題目標の達成度
 (2) 課題目標の達成度

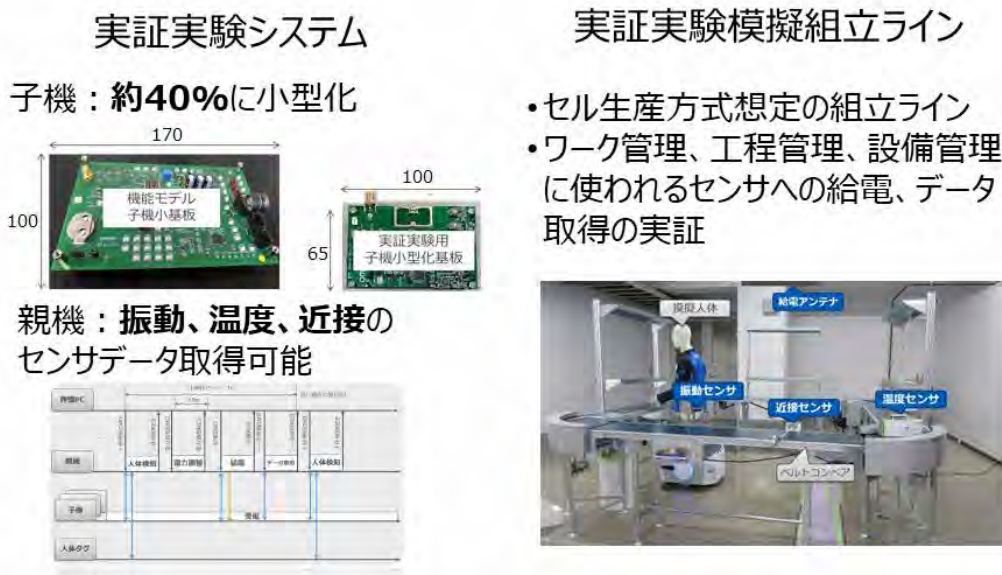


図 1-6 バックスキャッタ利用高度ビームフォーミング方式の実証実験システム

テーマ C-②では、小型ドローンに向け 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の軽量化にも成功している。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%を達成した。

④達成度 (2) : 社会実装の実現可能性

研究テーマごと全ての開発項目について、社会実装に向けた体制構築が順調に進んでおり、社会実装の実現可能性は十分高いと考えられる。

テーマ A については、宇都宮市をモデルケースの 1 つとして、域内再エネの有効活用に向けた計画作成のため、具体的な電力データ (PV、施設、スマートメータ統計データ)、バスの移動データを活用し、公共交通の EV 化による PV 余剰電力吸収効果の解析に着手している。宇都宮市とは SIP 事業に関する協定書を 2021 年 4 月 30 日に締結しており、市長・副市長が出席するスマートシティ推進団体、U スマート推進協議会などの場で取組を説明するなど、具体的な連携を進めている。

テーマ B では、2021 年度、B-①(3) の Ga₂O₃ を用いた MOSFET の開発と、B-②の縦型 GaN-MOSFET および横型 GaN ダイオードの開発について、それぞれ社会実装責任者を配置した (詳細は「3 課題マネジメント」参照)。SIP 終了後の社会実装に向けて、参画機関とエコシステムを維持した取組を継続的に推進し、終了後 5 年間程度を目途に製品化・事業化する体制が整っており、例えば、縦型 GaN の周辺技術開

1 課題全体の概要と課題目標の達成度

(2) 課題目標の達成度

発は富士電機(株)(コンソーシアム活動を活用)、WPT システムは古河電気工業(株)等を中心に推進することとしている。また、学術領域での基礎検討の継続が必要な技術については参画企業と参画している大学が連携し、検討終了後、企業への技術移転がスムーズ進められるようにしている。B-①については、社会実装に向けて本研究開発によって得られた USPM の要素技術、設計技術等はヘッドスプリング(株)、富士電機(株)で製品化に向けさらに開発を進める。そして各種規格に適合させ、蓄電装置や PCS に適用可能な USPM の製品化を検討する。またこうした社会実装への取り組みを継続しながら第 3 期 SIP での研究開発につなげていく予定である。

テーマ C では、2021 年度、C-①の屋内給電 WPT システムと C-②ドローン WPT システムについて、それぞれ社会実装責任者を配置した(詳細は「3 課題マネジメント」参照)。屋内給電 WPT システムについては、WPT 局の免許申請に必要な他の無線システムとの運用調整や WPT の普及促進を担う「WPT 運用調整協議会」(2022 年 1 月 20 日に設立)の立ち上げに際し、SIP 参画企業が主導的な立場で参加した。この枠組みを活用し、協調領域としての SIP 成果の普及促進、制度化活動を進める。また、ドローン WPT システムについては、ユーザからの早期実用化の期待が高まっており、2022 年度に東電 PG・GSW(グリッドスカイウェイ有限責任事業組合)等の使用環境を想定した WPT 側の PoC 実証を実施し、成果を公開することでユーザーメリットを広く普及していく。

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

WPT 関係の知財戦略、国際標準化戦略について、無線通信のレイヤ構造を WPT システムへ適用し、WPT 制御・マネジメントを実現する手段に着目した知財権獲得を目指しつつ、知財権を強みとして Bluetooth-SIG (BT-SIG) での国際標準化活動に注力する戦略である。

規制改革等の制度面については、テーマ C を中心とした「制度整備・標準化 WG」において、以下の取り組みを実施した。

- ・法規制に係る関係府省庁との協議、課題抽出を行った上で、制度整備のシナリオ・実施体制づくりを行った。
- ・標準化の場の明確化とその実施計画・体制づくりを行った。
- ・社会実装に係る関係団体・組織との協議、課題抽出を行った上で、社会実装の方法の検討などについて取り組みを実施した。

特に C-①屋内給電 WPT に係る制度化については、以下の図に示す通り、本 SIP 課題での研究開発や標準化と並行して議論を進め、順調に進捗している。

具体的には、電波法での制度化議論に参画しており、第 1 ステップ(既存技術で

1 課題全体の概要と課題目標の達成度
 (2) 課題目標の達成度

の実用化)として屋内で人のいない環境での利用に向けて、2020年度～2021年度に行われた3帯域(920MHz帯、2.4GHz帯、5.8GHz帯)でワイヤレス給電専用の電波を割り当てる省令改正の議論に関わり成果を上げており、2022年5月26日官報公示、省令が施行された。屋内で人のいない環境での利用のため限定的ではあるが、世界初の制度対応である。

また、2022年7月14日に総務省へステップ2(本SIPの成果技術による人や他の無線システムが存在する状況での利用)制度化の要望書を提出しており、SIP終了以降も引き続き、制度面の取組を継続していく予定である。

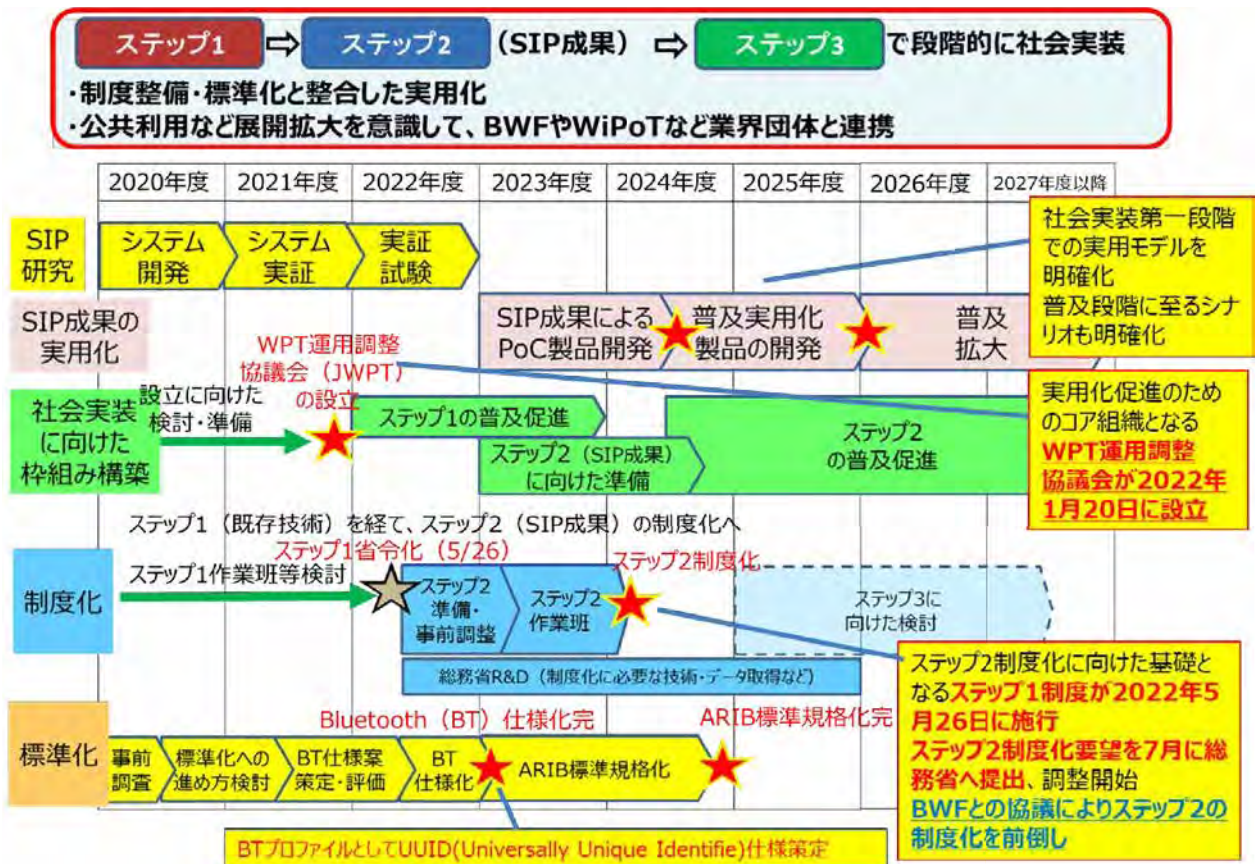


図 1-7 C-①屋内給電 WPT システムの社会実装シナリオ

国際標準化に関しては、総務省含めた関係者らと議論を深め、アジア・太平洋電気通信共同体(APT)無線グループ(AWG: APT Wireless Group)および国際電気通信連合(ITU)無線通信部門(ITU-R: ITU Radiocommunication Sector)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

1 課題全体の概要と課題目標の達成度

(2) 課題目標の達成度

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。

⑥成果の対外的発信／⑦国際的な取組・情報発信

表 1-8 に本 SIP 課題全体の国内外に対する成果発信の実績を示す。

表 1-8 課題全体の対外的発信実績

課題全体		2018 年度	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度 上期
特許出願 [件]	国内	0	32	15	27	12
	海外	0	4	10	8	21
原著論文 [報]	国内	0	5	15	10	2
	海外	1	22	28	26	13
学会等 口頭発表 [件]	国内	27	127	95	131	40
	海外	10	66	44	46	30

その他の主な取り組みは以下のとおりである。

- ・ 一般向けに広く本課題の取り組みや研究成果を PR するための紹介映像コンテンツを制作し、SIP シンポジウムでの PD による講演等を通じて世の中に発信した。

※研究推進法人 (JST) の YouTube Channel にて公開中

https://www.youtube.com/watch?v=LGEVMBi0SOA&list=PLwIAbCcz-l4tonbx5p_6v8_41r8ZywFED

テーマA

- ・ 電気学会全国大会 (2022 年 3 月 21 日～23 日開催) にて、テーマ A 合同でのシンポジウム講演「IoT 社会のエネルギーシステムのグランドデザイン-再エネ主力電源化に向けたパワーエレクトロニクス技術への期待-」を企画した。

1 課題全体の概要と課題目標の達成度
(2) 課題目標の達成度

テーマA

テーマB

- ・国際会議「The 2022 International Power Electronics Conference (IPEC-Himeji 2022 -ECCE Asia-)」において、2022年5月18日にテーマA・B合同 Organized Session “Renewable Energy Integration by Next-generation Power Electronics Technology”を開催し、成果を発信するとともに、海外研究者との意見交換を実施した。

テーマC

テーマB

- ・SIP課題として、SIP/WPT研究会計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（2022年10月時点予定））を主催し、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。
- ・アジア最大級の規模を誇るIT技術とエレクトロニクスの国際展示会「CEATEC」にてC-①のSIP取り組み概要、WPT実用化状況をWiPoTブースより出展した。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。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

1) 研究内容

エネルギーマネジメント技術に関しては、これまで国が先導し、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)、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、点から面までの各事業(実証事業が中心)が行われてきているところであり、運輸部門の電動化、自動運転が進み、脱炭素化と利便性向上に向けて交通部門とエネルギー部門のセクターカップリングが大きなテーマになりつつある。エネルギー効率化などエネルギー便益および非エネルギー便益(利便性・生産性・レジリエンス向上など)の評価を試みるとともに、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)の新技术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する。また、エネルギーシステムのサイバー層に注目し、エネルギー分野のデータ基盤を考慮した分野間データ連携を取り込むプラットフォーム向けシステムアーキテクチャ、エネルギーシステム設計手法を提案する。

また、IoE社会において、産業部門でエネルギー消費の大半を占める熱エネルギーの脱炭素化は、再生可能エネルギーが主力エネルギー源となる社会のエネルギーシステムの設計において重要な課題であるが、それらの分野においてもプロセス技術のゼロエミッション電源による電化や、他部門等とのセクターカップリング等を通じたエネルギーマネジメント技術の適用を図ることは極めて有効な方策である。このため、こういった視点に立ちつつ、産業部門、運輸部門、民生部門のエネルギー消費の地域特性、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デザインのためのガイドラインの策定を、デザインの実証を含め実施する。

本テーマは、下記図 2-1-1 に示す体制で推進した。また、サブテーマ A-②では『「革新的エネルギーデバイスの適用によるエネルギー供給コストの定量的評価」検討委員会』、サブテーマ A-③では「地域エネルギーシステムデザイン研究会」をそれぞれ設置・開催し、以下に示す外部有識者からの意見・議論を踏まえて研究開発を推進した。

■A-②「革新的エネルギーデバイスの適用によるエネルギー供給コストの定量的評価」検討委員会 有識者委員

加藤 丈佳 名古屋大学 未来材料・システム研究所 教授

木村 紀之 福井工業大学 工学部 教授

清水 敏久 東京都立大学 システムデザイン学部 特任教授・名誉教授

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

田岡 久雄 大和大学 理工学部 教授

■A-③地域エネルギーシステムデザイン研究会 有識者委員・オブザーバー

芦名 秀一 国立環境研究所 社会システム領域 主席研究員

井村 順一 東京工業大学 理事・副学長（教育担当）

黒沢 厚志 一般財団法人エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 研究理事・主席研究員

戸田 直樹 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

林 泰弘 早稲田大学 理工学術院 教授

福田 桂 株式会社三菱総合研究所 サステナビリティ本部

（オブザーバー）

石原 賢一 神奈川県川崎市 環境局 課長

栗原 久光 石油コンビナート高度統合運営技術研究組合 技術部長

黒田 俊也 住友化学株式会社 レスポンシブルケア部

塩沢 文朗 内閣府 SIP「IoE 社会のエネルギーシステム」
イノベーション戦略コーディネーター

高橋 政喜 岩手県 環境生活部 グリーン社会推進課長

高橋 一彰 横浜市 温暖化対策統括本部 企画調整部担当部長

三上 巧 岩手県宮古市 企画部 エネルギー推進課長

水口 能宏 日揮ホールディングス株式会社
執行役員・サステイナブル協創部長代行

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

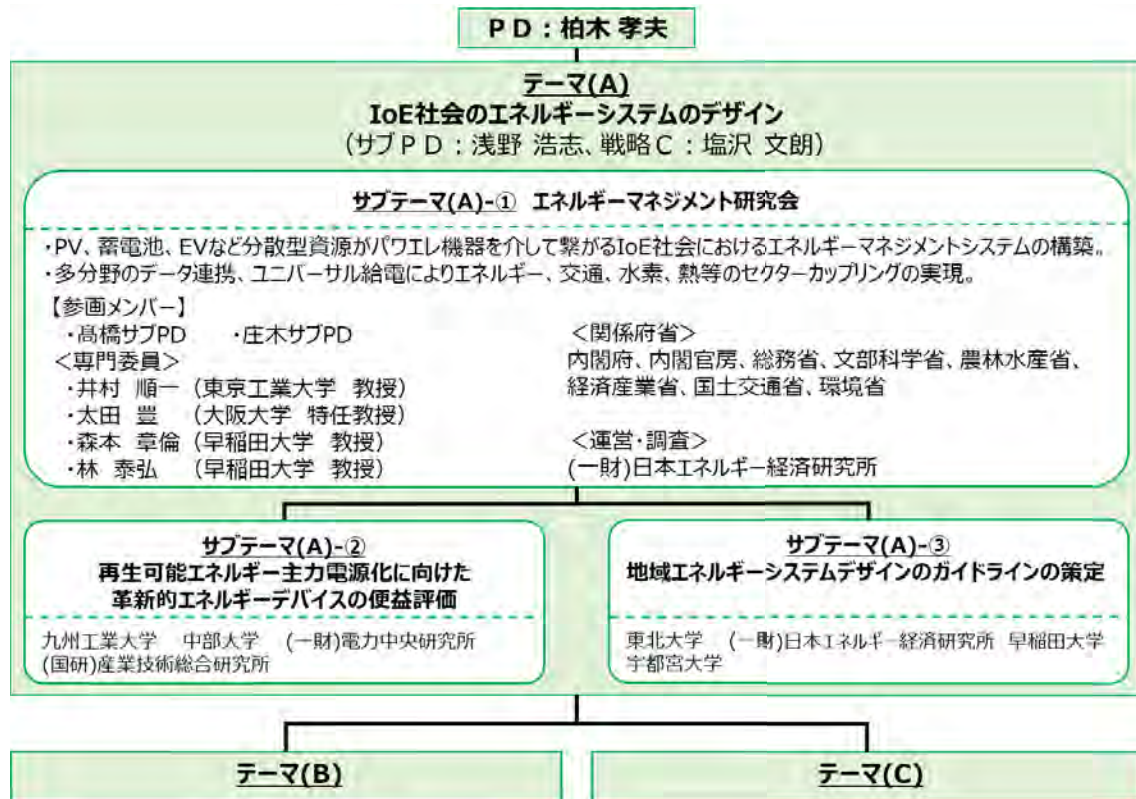


図 2-1-1 テーマ A 実施体制図

2) 技術的目標

- ・テーマ(B)のGa系パワー半導体技術実装による再生可能エネルギー利用促進効果などの定量的な予測評価を示すと同時に今後の技術開発ロードマップを示す。
- ・交通部門とエネルギー部門のセクターカップリング実現のためのプラットフォームのアーキテクチャを示す。
- ・地域エネルギーシステムデザインのガイドラインを策定する。

3) 課題目標の達成度

①国際競争力

欧州で交通部門とのセクターカップリングは志向されているが、その効果の把握や実用化に向けた取り組みは行われていない。一方、我が国では、これまで、電力を中心としたエネルギー管理システムの要素技術開発に取り組んできているものの、IoTを活用し、交通部門と連携したエネルギーシステムの構築に向けた取り組みはなされていない。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

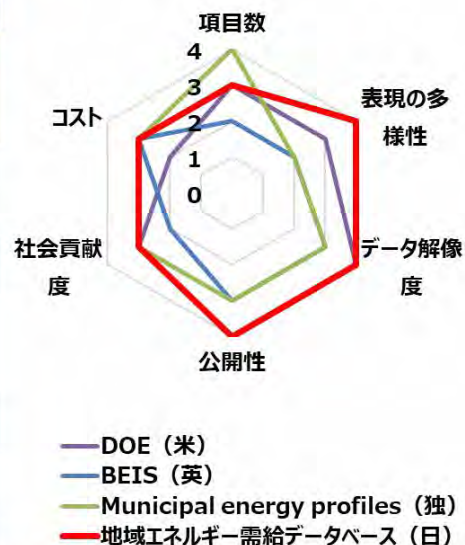
連邦制や歴史的に地域コミュニティを中心として発展してきた欧米の都市・集落の一部においては、地域の産業構造やエネルギー需給構造にマッチした地域エネルギーシステムの構築が図られているところがあり、それらの状況については研究の参考とすることを考えているが、IoT 技術を活用した地域エネルギーシステムの構築は、まだどの国においても試行段階であり、IoT 技術をフルに活用した日本の地域特性にマッチしたエネルギーマネジメントシステムの構築のための基盤を整備することは、日本として、また、日本と同様の環境にある国々にとって重要な試みである。

本項では、本テーマのアウトプットの 1 つである地域エネルギー需給データベースを対象に、グローバルベンチマーク調査を実施した。比較対象として、既に市区町村レベルのエネルギー需給データベースの整備が進んでいる国の事例である①米：DOE Energy Analysis Data and Tools for State and Local Energy Planning（米国エネルギー省、United States Department of Energy）、②英：BEIS Statistics（英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省、Department for Business, Energy & Industrial Strategy）、③独：Regionalverband FrankfurtRheinMain, Municipal energy profiles（フランクフルトラインメイン地域協会のエネルギーデータベース）を取り上げ、それぞれの国が整備した市町村のエネルギーデータに関するウェブサイト群の情報を元に比較を行った（図 2-1-2）。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

評価軸	評価対象			
	地域エネルギー需給データベース (日本)	DOE (米)	BEIS (英)	Municipal energy profiles (独)
データベースの解像度	◎ (市区町村、全国)	◎ (自治体+詳細地図)	○ (基礎自治体)	○ (基礎自治体)
対象分野・項目数	○	○	△	◎
表現の多様性 (表、グラフ、地図)	◎	○	△	△
公開性 (情報アクセス)	◎	◎	△	○
市場性 (社会貢献度)	○	○	△	○
コスト	○	△	○	○



米：DOE Energy Analysis Data and Tools for State and Local Energy Planning etc.
(米国エネルギー省、United States Department of Energy)
英：BEIS Statistics
(英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省、Department for Business、Energy & Industrial Strategy)
独：Municipal energy profiles
(フランクフルトラインメイン地域協会、Regionalverband FrankfurtRheinMainのエネルギーデータベース)

図 2-1-2 地域エネルギー需給データベースのグローバルベンチマーク調査結果

【優位性の比較・戦略】

- ・地域エネルギー需給データベースは、地方公共団体のエネルギー計画策定に利用する目的で構築されており、地域単位での分析についてツールやユーザーインターフェース等に優位性がある。
- ・一覧性のあるエネルギーフロー図、Excel 形式による数値データ、三角図による日本全体の中での位置づけ、地理情報など、多様な視点から分析結果をまとめている。
- ・未来エネルギーシミュレーターを搭載し、ウェブサイト上でインタラクティブな分析が可能である。

【劣っている点と挽回方法】

- ・電カスマートメータデータなどデータ入手コストが高い非公開データが多いため、地域エネルギーデザインに利用するエネルギーデータの解像度を高めることが難しい現状にある。独自に地域の実績データの取得範囲を拡張して、積上法分析によって解像度を高める必要がある。

【市場性 (社会貢献度)】

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

- ・情報発信力やデータベースの利便性、自治体との連携による実績、ガイドライン提供などのサポート体制の構築、公的統計との連携により地方公共団体の利用を促進し、社会貢献度を高める。

【コスト】

- ・データベースに関するコストは、利用するデータの価格に大きな影響を受ける。携帯位置情報を用いた V2G ポテンシャルなど、データベース更新対象を見直すことが考えられる。
- ・地域エネルギー需給データベースは、地方公共団体との連携により、よりニーズの高いものを追加、もしくは選択し更新することによって、費用対効果を高めることが重要。
- ・将来的に IoT 技術の普及によりデータ取得コストは削減に向かうと思われる。競合対象との間でデータベース構築コストに大きな差が生まれるとは考え難い。ただし、デジタルデータの公開制度によっては時空間解像度を高めるためのデータ入手費用が嵩むことにもなり得る。

②研究成果で期待される波及効果

電力・交通データ等のビッグデータ解析で新しい手法開発が期待され、科学技術の進展に寄与する。地域エネルギーマネジメントシステムのプラットフォームとしてデータ活用型マネジメント手法が国内外のスマートシティなどとして実装されていくと新市場開拓、住民の利便性向上、交通渋滞緩和による社会全体の生産性向上などが図られる。

開発した「地域エネルギー需給データベース」を基に、市区町村などの地方公共団体がエネルギーの需給実態と地域特性をきめ細かく把握し、地域エネルギー戦略、温暖化防止計画、都市計画、交通計画、森林管理計画等を総合的に見直し、立案する際の基盤が形成される。

内閣府の推進する EBPM（エビデンス・ベースト・ポリシー・メイキング、証拠に基づく政策立案）による地方創生の取組みに寄与する。「気象情報」「携帯電話位置情報」「スマートメータ」などのデジタルデータを取り入れることによって、エネルギー供給ポテンシャル、サービス需要（移動需要）、エネルギー需要の空間・時間解像度を高めた地域内情報基盤を整備できる。より資源効率的なエネルギーインフラ設計や、地域発の多様なデータ駆動型イノベーションを促し、Society5.0の実現に資する。また、国内のみならず、とりわけ、エネルギー需要の伸びが著しく、公共交通インフラが未整備なアジアの諸地域で実装されていくことにより、新市場獲得、環境汚染物質排出削減、交通事故減少など安全面での多

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

様な便益がグローバルに期待される。

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)本課題による技術進歩(テーマ(B),(C)の成果を含む)を踏まえた今後のエネルギーマネジメント技術進展によるエネルギー効率化効果の評価(A-①)

【達成目標】テーマ(B),(C)の新技術実装による貢献度の定量的な予測評価結果を取り纏める。

- ・エネルギーマネジメントの高度化によって多様な便益が期待される。便益の評価にあたっては、得られる便益を脱炭素・省エネ、ノンエネルギー、レジリエンスに大別した。特にエネルギーマネジメントに関する本テーマの便益についてはエネルギー単体の便益にとどまらず、エネルギーとの親和性が高い交通部門での連携を例に取ると多様な便益が期待される(表 2-1-1)。便益の評価は当該技術を導入したことによって、導入しないベースケースに対する各便益の改善度を評価基準として検討した。IoE 社会の実現に向けた検討を深めるためにはこれらを定量的に評価することで、研究開発、社会実装による影響を明らかにすることが求められる。

表 2-1-1 テーマ(A)に関する便益評価の例

カテゴリ	ユースケース	提供者 (対価を得る)	受益者 (対価を支払う)	便益	課題	解決策	データの 種類	データの 粒度	規模	
エネルギー	エネルギーの自動化	・ 双方取引 (P2P等) ・ 自家消費	・ EV (個人、法人) ・ アグリゲーター	・ 小売電気事業者 ・ EV所有者 ・ 電力需要家 ・ 蓄電池事業者	・ 市場の価格、価格安定化 ・ 蓄電池販売促進 ・ 自家消費推進	・ アグリゲーターの役割や責任の明確化 ・ 採算性	・ アグリゲーター市場構築 ・ 税、サービスコスト改善	・ SOC情報 ・ 決済情報	・ 秒 ・ 分 ・ 時間 ・ 複数建物	
	電力バランス	・ 慣性力 ・ 周波数制御	・ EV (個人、法人) ・ 充電設備提供者 ・ アグリゲーター	・ 系統利用者全体 ・ アンソラリー	・ 慣性力 ・ 周波数制御 ・ アンソラリー	・ 長時間の周波数調整 ・ 蓄電池の劣化 ・ 採算性 ・ EV事前認定基準 ・ 市場規模	・ 充放電制御の最適化 ・ 税、サービスコスト改善 ・ 入札仕様の見直し ・ アグリゲーター単位の資格認定	・ エネルギー消費量 ・ 調整力容量情報 ・ SOC情報 ・ 価格シグナル ・ 決済情報	・ 秒 ・ 分 ・ 時間 ・ 配電単位	
	エネルギーバランス	・ 卸電力 ・ 調整力 ・ CO2排出削減	・ EV (個人、法人) ・ 充電設備提供者 ・ アグリゲーター	・ 電力取引事業者 ・ 系統運営者 ・ 小売電気事業者	・ 市場価格安定化 ・ 調整力 ・ 発電投資削減 ・ 再エネ余剰活用	・ アンソラリー ・ 蓄電池の劣化 ・ 設備投資削減	・ 充放電時損失 ・ 蓄電池の劣化 ・ 決済メーター設置	・ 充放電制御の最適化 ・ 計量器規格要件の緩和 ・ SOCの把握 ・ 電池の最適組み合わせ ・ 制御技術	・ 容量情報 ・ SOC情報 ・ 決済情報	・ 秒 ・ 分 ・ 時間 ・ 配電単位
	系統対策	・ 需要調整 ・ 電圧制御 ・ 混雑緩和	・ EV (個人、法人) ・ 充電設備提供者 ・ アグリゲーター	・ 系統運営者 ・ 送電事業者 ・ 配電事業者	・ アンソラリー ・ 系統混雑緩和 ・ 設備投資削減	・ 充放電時損失 ・ 蓄電池の劣化 ・ 決済メーター設置	・ 充放電制御の最適化 ・ 計量器規格要件の緩和 ・ SOCの把握 ・ 電池の最適組み合わせ ・ 制御技術	・ 容量情報 ・ SOC情報 ・ 決済情報	・ 秒 ・ 分 ・ 時間 ・ 配電単位	
	蓄電池の二次利用	・ EV蓄電池を用いた定置用電池の構築	・ サープロバイダ	・ 系統運営者	・ 調整力等 ・ アンソラリー	・ 電池劣化 ・ リユースの質の確保	・ 充放電制御の最適化 ・ 電池の最適組み合わせ ・ 制御技術	・ SOC情報	・ 秒 ・ 分 ・ 配電単位	
	単独運転	・ バックアップ ・ オグッド	・ EV (個人、法人)	・ 電力需要家 ・ 蓄電池事業者	・ BCP対応 ・ 安定供給 ・ 蓄電池販売	・ アグリゲーターの役割や責任の明確化 ・ 採算性	・ アグリゲーター市場構築 ・ 税、サービスコスト改善	・ 容量情報 ・ SOC情報	・ 分 ・ 時間 ・ 配電単位 ・ 自治体	
	機器の充電	・ EV→機器 ・ EV→EV	・ EV (個人、法人) ・ 充電設備提供者 ・ アグリゲーター	・ 電力需要家 ・ EV利用者	・ 電気料金削減 ・ 充電方法の拡大	・ 蓄電池の劣化 ・ 採算性 ・ 利用者の理解	・ 充放電制御の最適化 ・ 税、サービスコスト改善	・ エネルギー消費量 ・ 決済情報	・ 分 ・ 時間 ・ 配電単位 ・ 自治体	
	充電器ビジネス	・ 充電情報管理 ・ 車両稼働管理 ・ 需要管理	・ 充電設備提供者 ・ 事業者	・ EV利用者 ・ 充電設備設置者	・ 充電の利便性 ・ 充電設備導入費用削減	・ 機器コスト ・ サービスコスト ・ 情報管理	・ コストダウン ・ セキュリティの確保	・ 契約ID管理 ・ RFIDの利用 ・ 充電規格対応 ・ SOC情報	・ 分 ・ 時間 ・ 日 ・ 自治体 ・ 広域圏 ・ 全国	
	モビリティサービス	・ 車両サービス ・ 運行管理充電所サイト ・ サービス情報連携(店舗誘導)	・ サープロバイダ	・ EV利用者 ・ EV所有者 ・ 小売事業者	・ モビリティサービス利便性 ・ 洗濯緩和 ・ 小売サービス活用	・ 事業者育成 ・ 車両データ取得 ・ APIの開発 ・ データ売買清算 ・ データセキュリティ ・ インセンティブ	・ 車両のID ・ 走行ログ ・ 走行ロケーション ・ 目的地 ・ 到着時間 ・ 利用スケジュール	・ データ蓄積 ・ セキュリティ手法開発 ・ 積算スキームの整備	・ 分 ・ 時間 ・ 日 ・ 月 ・ 自治体 ・ 広域圏 ・ 全国	
	物流の改善	・ 再配達削減 ・ 物流の最適化	・ 一般需要家 ・ 物流利用者	・ 配送事業者	・ 物流に伴うエネルギー減、コスト減 ・ 物流に必要なインフラ減	・ データ分析 ・ データ収集	・ データ蓄積 ・ セキュリティ手法開発 ・ 積算スキームの整備	・ 配送先エネルギー消費量 ・ プレートデータ	・ 時間 ・ 日 ・ 自治体 ・ 事業所	

脱炭素・省エネ ノンエネルギー レジリエンス テーマB (パワエレ) の貢献 テーマC (WPT、ドローン) の貢献

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

- ・本項目で扱うテーマ(A)とパワエレを主に扱うテーマ(B)、そしてWPTとドローンを扱うテーマ(C)のそれぞれについて、表2-1-2の通り、各テーマ単体での便益およびテーマ間で連携することによる多様な便益の項目出しと定量評価の検討を進めた。特に、テーマ(A)との連携による便益について定性的、定量的な検討の深掘りを進めた結果、テーマBおよびC-①の成果を活用すると、図2-1-3, 2-1-4のように追加的な省エネルギー効果・CO₂削減効果がある。
- ・なお、C-①の便益評価については、パナソニック事業所内でのEMSの事例による省CO₂効果を全国の民営事業所に拡大適用した場合と、業務・家庭部門に適用した場合の省CO₂効果を便益として試算した。これらの省CO₂効果を前提として、C-①ではWPTを活用する場合と活用しない場合それぞれのケースを試算して、その差分をWPTによる省CO₂効果としている。C-①の試算結果に基づき、CO₂排出係数を0.358kg-CO₂/kWhに変更し、試算した結果をA-①の便益のグラフに追加した。

表 2-1-2 テーマ(A)と他テーマとの連携による便益評価の例

テーマ	部門	便益の概要
A-①：EMSの高度利用	全体	エネルギーマネジメントの高度化に依る省エネ
A-②：革新的パワエレ	電力×民生・産業	① PV導入量拡大（配電系統） ② スマートインバータ導入量拡大（送配電系統） ③ CO ₂ 排出量削減、CO ₂ 削減コスト低下
【連携】A-②とB：USPMの便益評価	電力×民生・産業	① USPM導入によるコスト削減 ② USPM導入による、PV導入量拡大/スマートインバータ導入量拡大/CO ₂ 排出量削減/CO ₂ 削減コスト低下
A-③：宇都宮での事例研究	電力×運輸/交通	① 年間でのEVバス充電スケジュール最適化による余剰PV吸収率改善効果 ② 年間でのEVバス充電スケジュール最適化によるCO ₂ 排出削減効果 ③ 年間での余剰PV動的マネジメント制御実施によるCO ₂ 排出削減効果
C-①：WPTとセンサー	① 電力×民生・産業 ② 電力×民生・産業×運輸/交通	① WPTを用いた発電所、プラントの遠隔監視によるメンテナンス費用の削減 ② WPTによる物流の管理費用の削減
C-①：WPTとセンサー、xEMS	電力×民生・産業	WPTを用いた新たなEMS技術等によるエネルギー効率の向上
【連携】A-①とC-①：WPTを用いたエネマネの高度利用	電力×民生・産業	空調や照明へのWPTを活用したエネルギーマネジメントの高度化による省エネ
C-②：WPTとドローン	電力×運輸/交通	災害時のドローンによる送電インフラの巡視の効率化に依るレジリエンスの向上、作業の効率化

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

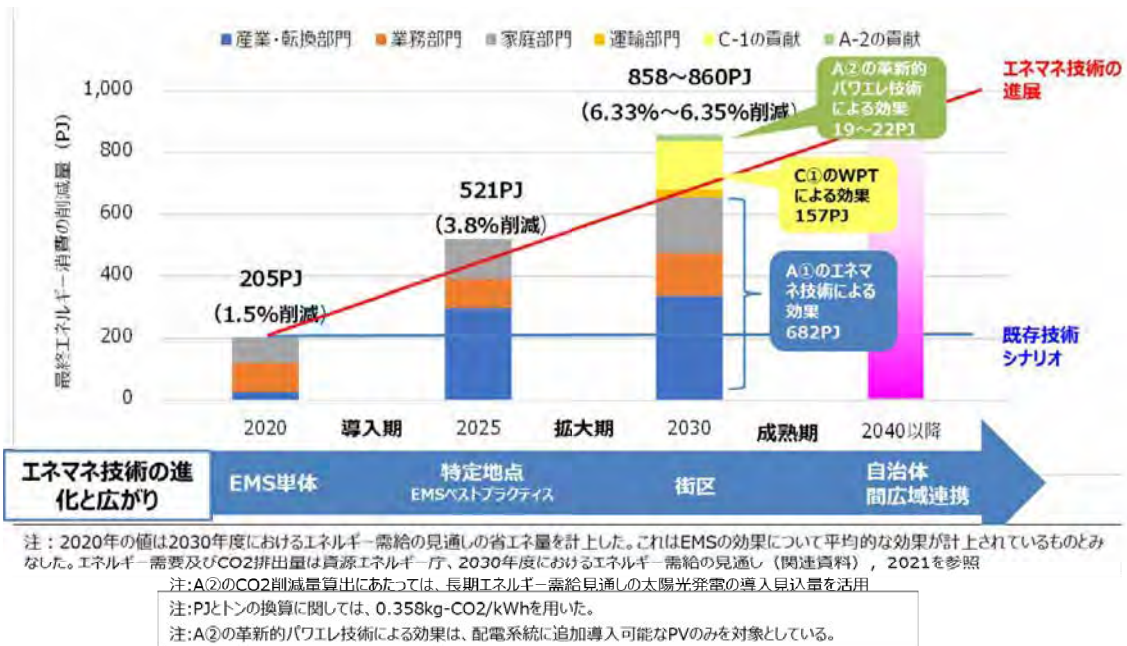


図 2-1-3 高度なエネルギーマネジメントによる追加的な省エネルギー効果

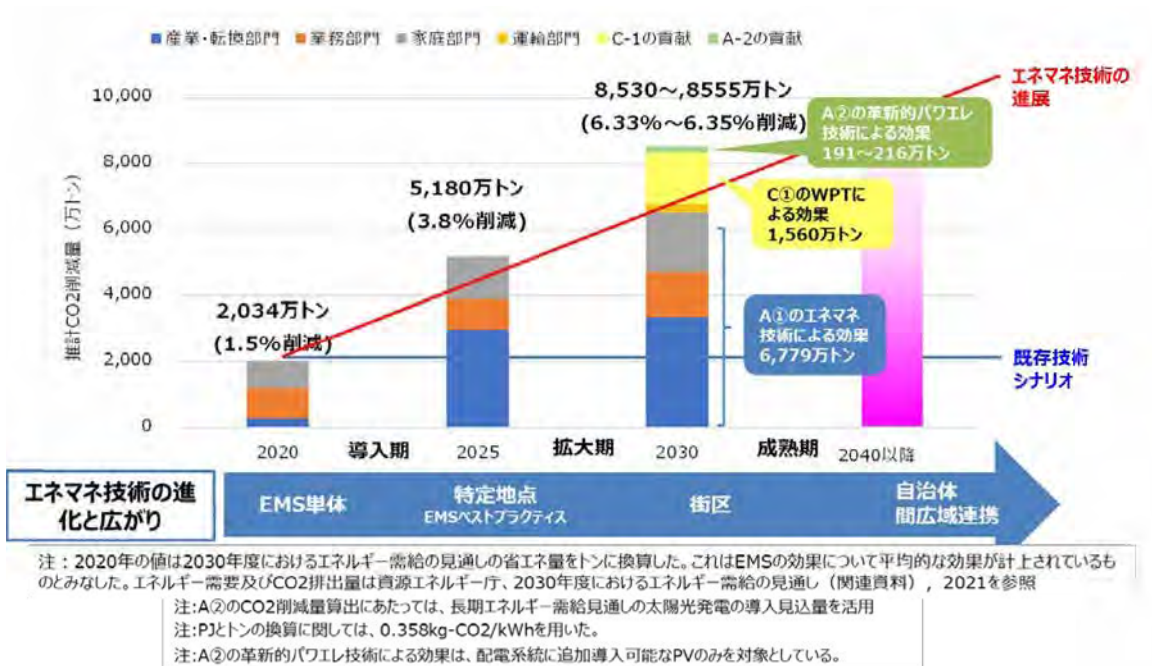


図 2-1-4 高度なエネルギーマネジメントによる追加的な CO₂削減効果

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

(2) 交通部門とエネルギー部門のセクターカップリングに向けた、プラットフォームの検討およびシステムアーキテクチャの概念設計 (A-①、A-③)

【実施項目 1】 システムアーキテクチャの概念設計

【達成目標】 交通部門とエネルギー部門のセクターカップリング実現のためのシステムアーキテクチャをデザインする。

- ・ IoE 社会では多様な情報を活用してエネルギーの需給管理を高度に実施することが期待される。この中でエネルギーマネジメントは、社会インフラのあらゆる場面での活用が検討される。エネルギーマネジメント、情報の活用のあり方としてはネットワークへの活用、社会インフラへの活用、サービスの向上に関する活用等、多様な切り口が考えられる。具体的なユースケースの実現のためには必要となる情報やサービスの円滑なやり取りが必要となる。内閣府 SIP 事業^{※1}では、特にスマートシティに関して参照すべきリファレンスアーキテクチャを整理している。ここでは Society5.0 の実現を目指す中で、スマートシティ構築のために必要なデータ、データ連携および、それらを支えるルールや組織についてどのような関係にあるかを整理している。
- ・ 本項目では内閣府の検討も踏まえて、特にエネルギーを軸としたこれらのやり取りを実現するためのアーキテクチャについて、エネルギーマネジメントによるユースケースとアーキテクチャの関係を中心に整理し、エネルギーマネジメントシステムに求められるアーキテクチャの概念モデルを提示した (図 2-1-5)。

^{※1} 内閣府、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第2期/ビッグデータ・AI を活用した サイバー空間基盤技術のアーキテクチャ構築ならびに実証研究事業、2020

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (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

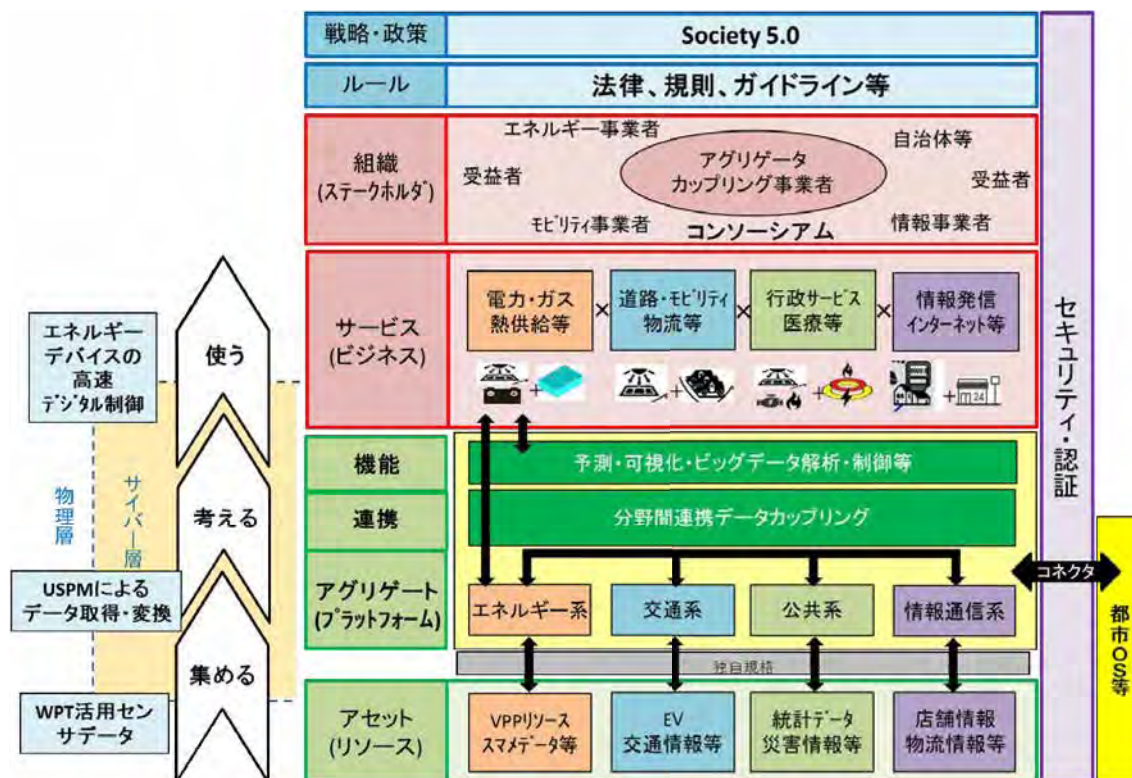


図 2-1-5 EMS システムアーキテクチャの概念モデル

【実施項目 2】電力・交通データ連携型地域エネルギーマネジメントプラットフォーム設計指針の構築

【達成目標】

- 電力・交通データ連携型エネルギーマネジメントシステムプラットフォームプロトタイプへ格納した地域交通データ、電力データの活用を通して、電力・交通データ連携型エネルギーマネジメントシステムプラットフォーム設計指針の構築を行う。
- 地域交通データ、地域電力データを活用したエネルギーマネジメントユースケースに基づき、セクターカップリングによる便益評価を通して、便益評価指針の構築を行う。

注) 本件検討に際し、スマートメータ統計データは東京電力パワーグリッド株式会社が実証を目的に提供するデータを活用した。

- ・宇都宮市と協調した、宇都宮市の実データに基づくエネルギーマネジメント手法開発と便益評価、プラットフォームのプロトタイプ実装による設計指針の構築を実施した。
- ・路線バス 164 台を EV 化した時の充電スケジュール制御による、バス営業

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

所・車庫近傍における余剰太陽光発電の有効利用率向上を目的とするエネルギーマネジメント手法の開発と効果試算を実施した。

- i. 年間での充電スケジュール最適化による余剰 PV 吸収率改善効果試算
スマートメータデータを活用しバス営業所・車庫近傍の PV 余剰電力を算出し、また、バスの運行データをもとに、バス充電スケジュール制御による便益試算を実施し、成行充電（バス帰着時充電）と、充電最適制御時の差をエネマネ効果として評価した。

⇒ 晴天代表日は PV 余剰吸収率 29.6%改善、年間評価にて 21.8%改善

EVバス164台(4営業所158系統※：宇都宮市全系統)

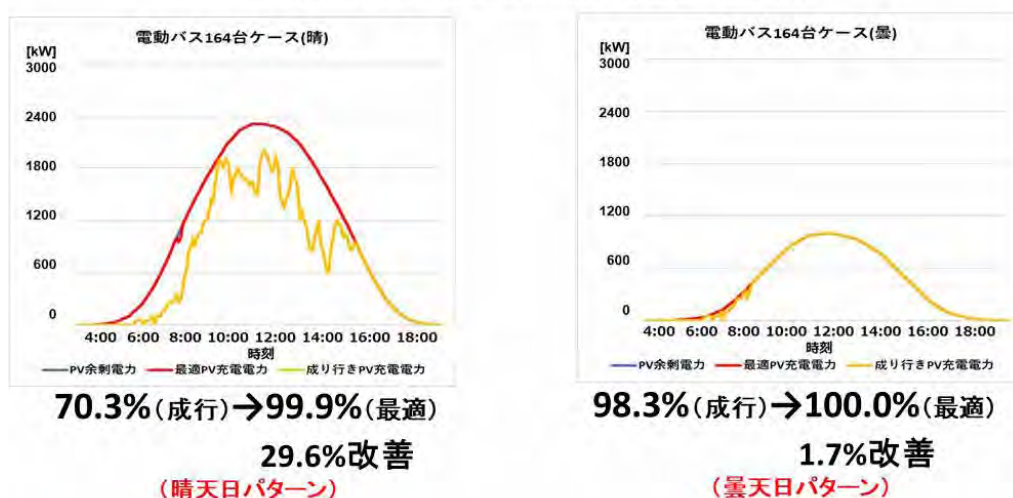


図 2-1-6 晴天・曇天代表日の PV 余剰電力に対する EV バスへの成り行き充電と最適充電の利用効率比較

- ii. 年間での充電スケジュール最適化による CO₂ 排出削減効果試算

東京電力エリアにおける時間帯別排出原単位を算出の上、夜間充電、成行充電、最適充電の各方式での CO₂ 排出量を試算し、平均排出量原単位使用時に対する時間帯別 CO₂ 排出係数+最適充電方式での CO₂ 排出量削減効果を確認した。

⇒ 代表日において 10.8%削減、年間評価にて 5.8% (283t-CO₂) 削減 (宇都宮市 温室効果ガス排出量 運輸部門 97.3 万 t-CO₂ @2019 年度)

- iii. 年間での動的マネジメント制御実施による CO₂ 排出削減効果試算

PV 余剰電力の前日予測に基づく最適充電計画を、当日のリアルタイムデータで補正する手法を開発し、その効果を試算した (成行充電に対する削減量で評価)。

⇒ CO₂ 排出量換算で、年間 3.0% (143t-CO₂) 削減

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

・宇都宮市でのエネルギーマネジメント：ユースケース想定と便益試算（ノンエネルギーベネフィット）

i. EV バスによる災害発生時の避難所への電力供給能力最大化試算

路線バス EV 化時、余剰太陽光を有効活用する最適充電スケジュールを適用した場合に、EV バス 164 台の SoC を推定し、災害発生時の避難所への電力供給能力（ポテンシャル）を試算した。最適制御（晴天代表日、曇天代表日）における電力供給能力として、発災時間別の蓄電残量の総量を推計した。宇都宮市の実際の避難所 12 箇所において、避難者 4500～5500 人（想定収容人数の 29～35%）に対して 72 時間の提供が可能と試算され、災害時活用の有効性が確認された。

ii. LRT 導入後の交通マルチモーダル（EV 増加）条件下での走行時間短縮便益試算

交通シミュレーションに基づくノンエネルギーベネフィット試算例として、LRT 導入後に EV 比率が増加場合の自動車旅行速度上昇による便益換算金額を試算した。想定例として、宇都宮市東側エリア（LRT 沿線エリア）の、東西 7km、南北 3km の範囲をシミュレーションモデルとして構築し、LRT 敷設路線と並行 2 路線の交通量変化を分析し、貨幣価値の試算を実施した。また、ガソリン車のみケースに加え、EV、小型 EV へのシフトを考慮したマルチモーダルシミュレーションを行い、EV 化による加速度変化、車両サイズコンパクト化などの影響も考慮した。その結果、LRT 導入による交通量減少と EV 比率向上により旅行速度が上昇し、当該区間における便益向上が確認された。

⇒ LRT による 1 車線削減、車両通行量 20%削減、EV 比率向上想定の場合にて、6.88 億円/年 向上

iii. LRT 導入時の公共交通利用、徒歩数増加による医療費低減効果試算

徒歩数と医療費抑制効果には相関があることから、LRT 導入時の医療費低減効果を試算した。なお、国土交通省の歩行量調査のガイドラインでは、0.065～0.072 円/歩/日の医療費抑制効果試算結果が記載されている。想定例として、宇都宮市での各種オープンデータ（人口統計情報、福祉関係情報、保健・健康・衛生関係情報）を活用することで沿線人口を算出した。さらに町丁目ごと細分化し、最寄り電停までの距離を算出し、歩数換算することで医療費削減効果を試算した。その結果、LRT 導入時、電停 1000m 以内の居住者が LRT を利用する場合、2 億 2238 万円/年の医療費削減効果を確認した。

・自治体と連携し、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プロトタイプの実験稼働を推進し、実証・実装へ向けた課題抽出とプラ

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

ットフォーム設計指針の構築を進めた。

i. 標準都市 OS を活用したプラットフォームプロトタイプ of 構築・利用に基づく設計指針の構築

地域エネルギーマネジメントプラットフォームの構築へ向け、自治体との連携を基に、都市 OS の国際標準である FIWARE 環境を利用したプラットフォームプロトタイプ of 構築と試験稼働を推進した。交通データ（リアルタイム・履歴）、電力データ（履歴）などの格納と活用を通し、電力・交通のデータモデルの立案を行うとともに、個のデータ／公のデータの区分と扱いについて自治体と議論を進めた。また、都市 OS は、最新情報と短期間履歴データの格納を主体とするが、エネルギーマネジメントには長期間履歴データの利用も必要となるため、長期履歴対応ストレージの併設が重要となる等、エネルギーマネジメントシステムとしての活用に対応したシステム構成を検討し、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設計指針を策定した。

ii. スマートシティ関係ドキュメントと連携した、プラットフォーム設計指針の構築

地域エネルギーマネジメントプラットフォームの構築が自治体のスマートシティへの取組と連携して進められることを想定し、プラットフォーム設計指針の構築においては、ステークホルダーを巻き込んだ進め方は内閣府「スマートシティガイドブック」を、取組全体のアーキテクチャや都市 OS の位置づけは内閣府「スマートシティリファレンスアーキテクチャ・ホワイトペーパー」を、各々ベースとし、宇都宮市におけるエネルギーマネジメント検討事例を中心とする形で取りまとめた。

- 2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (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

1. 概要
2. エネルギーマネジメントユースケース事例と便益試算例
 - ① エナジーベネフィットユースケース
 - 路線バスEV化時の充電スケジュール制御
 - 地域余剰PV電力利用率、CO2排出量削減効果の試算、動的マネジメントによるCO2排出量削減効果試算
 - ② ノンエナジーベネフィットユースケース
 - レジリエンス対応：路線バスEV化時、停電時の避難所への電力供給能力の評価
 - LRT導入時の交通マルチモーダル条件下での走行時間短縮便益の試算
 - LRT導入時の公共交通利用、徒歩数増加による医療費低減効果試算
3. ステークホルダー
 - ① 代表ユースケースにおけるステークホルダーの想定と整理
 (A-1課題で整理されたアーキテクチャに対応した宇都宮のケーススタディ)
 - ② スマートシティ推進団体 (Uスマート推進協議会) との協調
 参考：内閣府 スマートシティガイドブックでの記述
4. 利用データの種類・仕様
5. EMSプラットフォームのシステム概要：システム化の範囲と構成 (アーキテクチャ)
 - ① 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とスマートシティリファレンスアーキテクチャ
 - ② スマートシティ・都市OSとの連携・利用の検討 (都市OSの活用へ向けて)
6. 社会実装に向けた取り組み
 - ① 社会実証
 - ② 他都市展開、他交通手段展開へ向けた検討

図 2-1-7 地域データ連携型 EMS プラットフォーム設計指針・便益評価指針
目次案

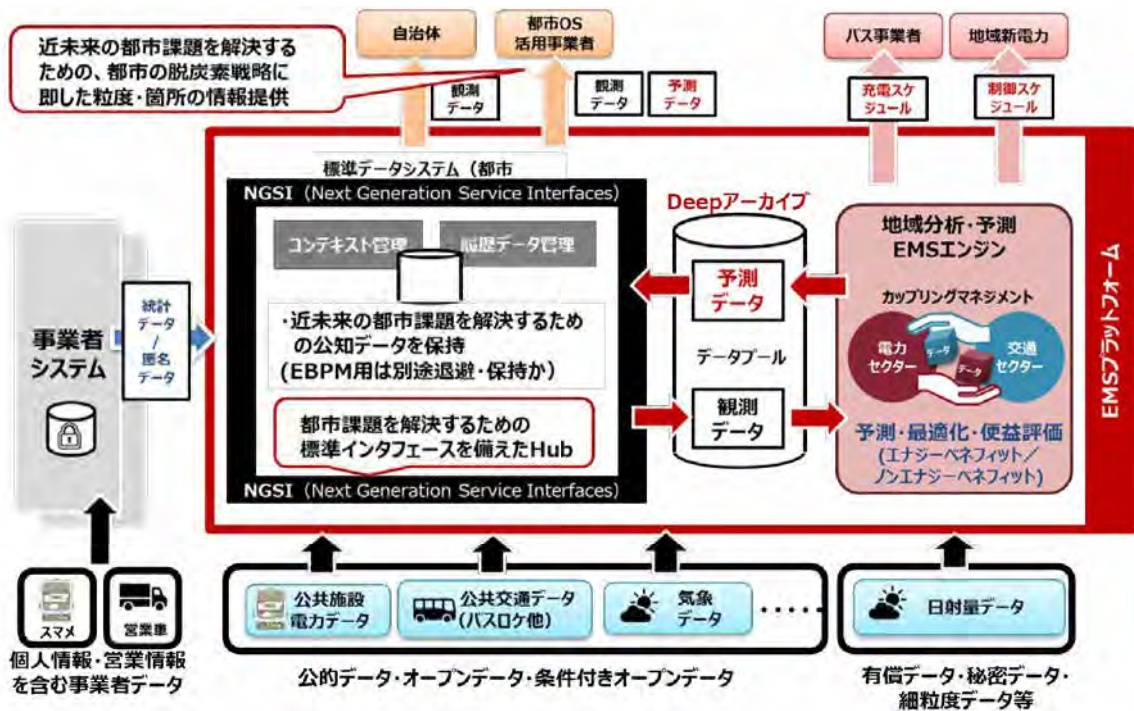


図 2-1-8 スマートシティ関係ドキュメントと連携した、プラットフォーム
設計指針イメージ図

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

(3) 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 (A-②)

パワーエレクトロニクス技術 (PE 技術) においては、近年、酸化ガリウム (Ga_2O_3) や縦型 GaN など革新的なパワーデバイスの開発が進んでおり、これらの適用により、パワーエレクトロニクス機器 (PE 機器) の小型化・高効率化など機器側の利点のみならず、電力損失の低減やエネルギーの利用効率向上など、エネルギー供給システム全体においても利点があり、PE 技術の普及を推進していく必要がある。

一方、PE 技術の普及を推進するには、普及の障壁となる技術的課題を整理して新たな技術が導入された場合の社会的な効果を予め定量的に示して、社会コスト低減効果を共有する必要がある。

本サブテーマでは、革新的パワーデバイスが適用された PE 機器 (革新的なエネルギーデバイス) が適用されたエネルギー供給システムの実現に向けて、その技術的な便益および経済的な便益を定量的に評価した。

【実施項目 1】革新的パワーデバイスを PE 機器へ適用するための技術的課題抽出

【達成目標】 Ga 系次世代パワーデバイスを使用した PE 機器 (系統連系インバータ・スマートインバータ・など) に求められる仕様及びそれらを達成するための技術課題を抽出する。

・次世代パワーデバイス (Ga_2O_3 、縦型 GaN) が適用された場合の課題などを整理することを目的とし、現在市場に流通パワーコンディショナーの技術動向の調査を行った。特に、小型・高効率化の面から調査を行い、現状で高密度に実装されているパワーコンディショナーの分析結果からさらなる小型・高効率化を達成するための技術課題を明らかにした。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

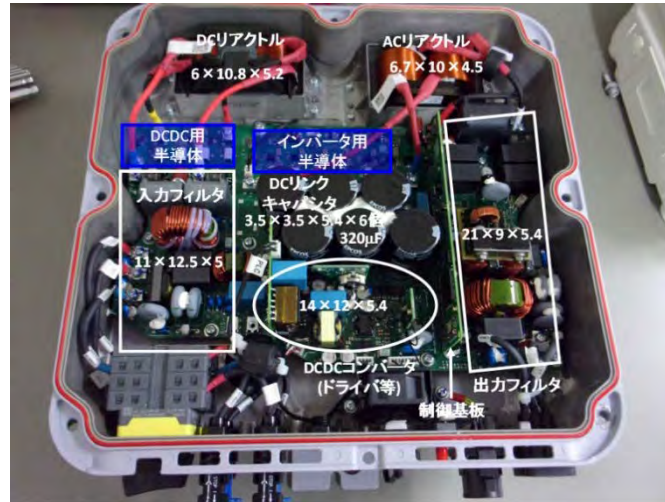


図 2-1-9 5kW 家庭用パワーコンディショナーの内部構成

【実施項目 2】革新的エネルギーデバイスを適用したエネルギー供給システムにおける技術的便益の定量的評価

【達成目標】革新的エネルギーデバイスの適用により国内の再エネ電源の接続可能容量や CO₂ 排出量に及ぼす効果を定量化し、未来社会のエネルギーシステム像を技術的および経済的な観点から提案し、課題を抽出する。

- ・革新的エネルギーデバイス適用により PV 導入量を大幅に拡大できると CO₂ 排出量を削減できることを定量的に明らかにした。

解析例)

PCS 効率 96%、過積載率 140%、Volt-Var ありの場合 296GW の導入が可能

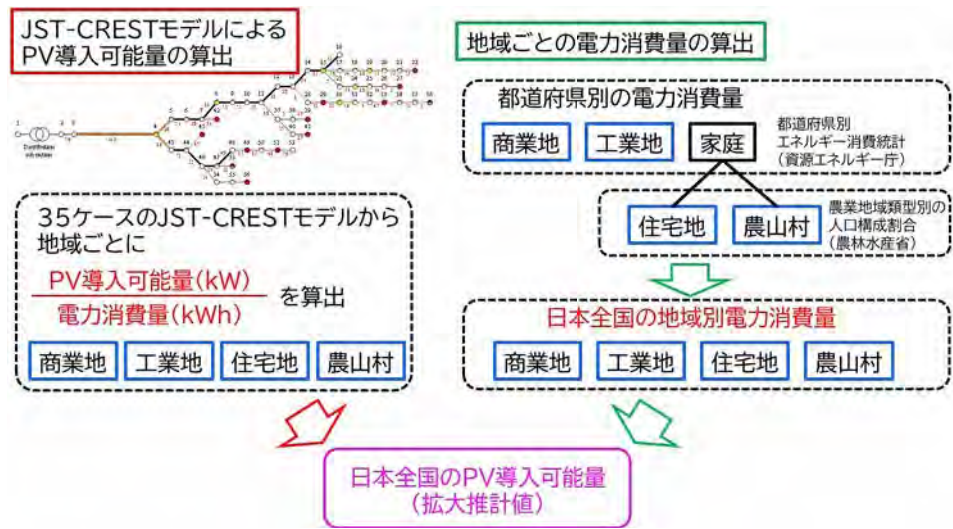


図 2-1-10 PV 導入可能量の拡大推計方法のフロー

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

- ・ 革新的エネルギーデバイスの適用および過積載率の影響を定量的に明らかにするために、以下の 4 ケースについて計算機シミュレーションを実施した。
 - (ケース 1) インバータ効率 96% (従来型を想定)、過積載率 140% (現状を想定)、Volt-Var 制御なし
 - (ケース 2) インバータ効率 96%、過積載率 140%、Volt-Var 制御あり
 - (ケース 3) インバータ効率 99% (Ga 系を想定)、過積載率 140%、Volt-Var 制御あり
 - (ケース 4) インバータ効率 99%、過積載率 180% (将来を想定)、Volt-Var 制御あり
- ・ 35 パターンの JST-CREST 配電線モデルを用いて、各ケースの 24 時間シミュレーションを実施し、PV 導入可能量を配電線モデルごとに算出した。配電線の地域特性を評価するために、商業地・工業地・住宅地・農山村モデルごとに算出した PV 導入可能量を整理した。実際に使われている配電線に基づいた計算モデルを用いて革新的エネルギーデバイス適用時の PV 導入可能量を定量化できた事例はこれまでになく、学術的にも技術的にも価値が高いと言える。
- ・ シミュレーション結果に基づいて全国規模の PV 導入可能量を推計した。算出精度を高めるための工夫として、都道府県別エネルギー消費統計から得られる都道府県別の電力消費量と配電線モデルの電力消費量の比から PV 導入可能量を拡大推計する方法を考案した。
- ・ ケース 1 を拡大推計した結果から、何も対策をしなければ、全国の配電系統に 76GW まで PV を導入可能であることを示した。また、ケース 2 から、Volt-Var 制御を適用すれば IEEJ シナリオを大きく上回る 296GW の PV を導入可能であることを明らかにした。ケース 3 とケース 4 の結果は二酸化炭素排出量の削減につながるものであることが明らかとなった。算出した PV 導入可能量を実現するための PCS 台数は約 1500 万台であり、市場にも大きな影響を及ぼす数値であることを示した。
- ・ 経済性および CO₂ 削減量評価のために、配電線の PV 導入量が最大である場合を対象に、配電線の受電電力量と逆潮流電力量を年間シミュレーションから算出した。Volt-Var 曲線を適用することで配電線の年間受電電力量は 29.9% 減少することを示した。また、インバータ効率と過積載率を向上させることで、さらに減少することを定量的に示した。これらの結果が得られることで、実施項目 4 により経済性と CO₂ 削減量を評価することが可能となった。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

【実施項目 3】革新的エネルギーデバイスを適用したエネルギー供給システムにおける安定性の定量的評価

【達成目標】テーマ A 全体で検討された 2050 年における電力需給シナリオおよび現状との内挿により作成された 2030 年、2040 年のシナリオに基づき、将来の各断面において電力品質適正化に必要なスマートインバータの導入量およびその活用方法を明らかにする。

- ・ 2030、2040、2050 年の電力需給シナリオに基づき、将来の東日本地域の電力システムモデルを構築した。ベースとした基幹系統のモデルに対して、高圧配電系統のモデルを追加し、配電系統の電圧を計算可能なモデルとした。また、需給状況に応じた電力系統の電圧と周波数を高速かつ高精度に計算する解析環境を構築した。
- ・ 構築した環境を用いた電力品質解析を実施した。スマートインバータを導入しない場合、2030 年では配電系統における電圧の適正範囲逸脱は生じないが、2040、2050 年では適正範囲逸脱が発生し、それぞれ年間 365 日のうち、32、182 日で逸脱が見られることを示した。
- ・ 電圧が適正範囲を逸脱する日のうち、周波数品質も低い日を過酷日として各年で選定し、スマートインバータの必要量の計算の対象日とした。
- ・ 送電系統連系のインバータ電源には周波数サポート、配電系統連系のインバータには電圧サポートを適用することとして、周波数と電圧の両方を適正範囲内に収めるために必要となるスマートインバータの導入量を計算した。2040 年では、送電系統では 100% (32.7GVA)、配電系統では 50% (18.6GVA) のインバータをスマートインバータとする必要があり、2050 年では、送電系統で 100% (45.4GVA)、配電系統で 75% (38.1GVA) のインバータをスマートインバータとする必要があることを明らかにした。

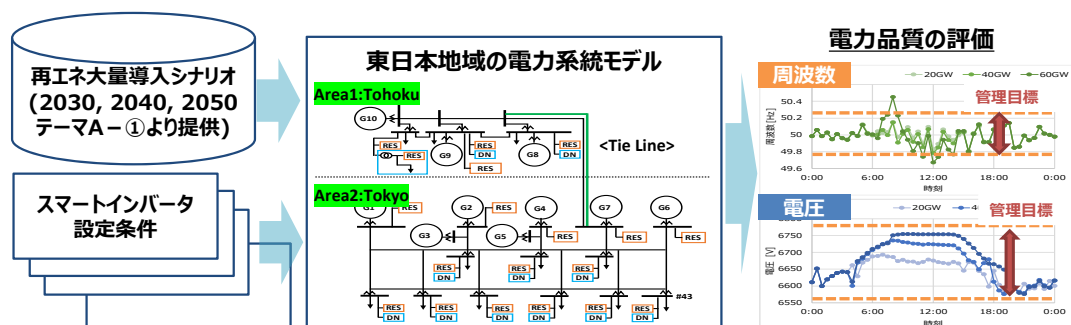


図 2-1-11 東日本地域の電力システムモデルを用いた再エネ導入による電圧・周波数品質評価のフロー

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

【実施項目 4】革新的エネルギーデバイスを適用したエネルギー供給システムにおける経済的便益の定量的評価

【達成目標】各年次で求められる再生可能エネルギーの導入量や電化率、および革新的エネルギーデバイスの費用をパラメータとして入力し、CO₂の限界削減費用および CO₂削減量などを算出する。全テーマの成果を取りまとめて、技術ロードマップおよび社会ニーズのロードマップを作成する。

- ・スマートインバータ適用による PV の導入可能量の試算結果をもとに、CO₂の限界削減費用を試算した。その結果、PV システム価格が下がると、Gaベースの PCS の変換効率向上や PCS のコスト低減が、CO₂の限界削減費用の減少に寄与することを定量的に明らかにした。
⇒将来の革新的エネルギーデバイスの適用により得られる経済的な便益を定量的に示した。

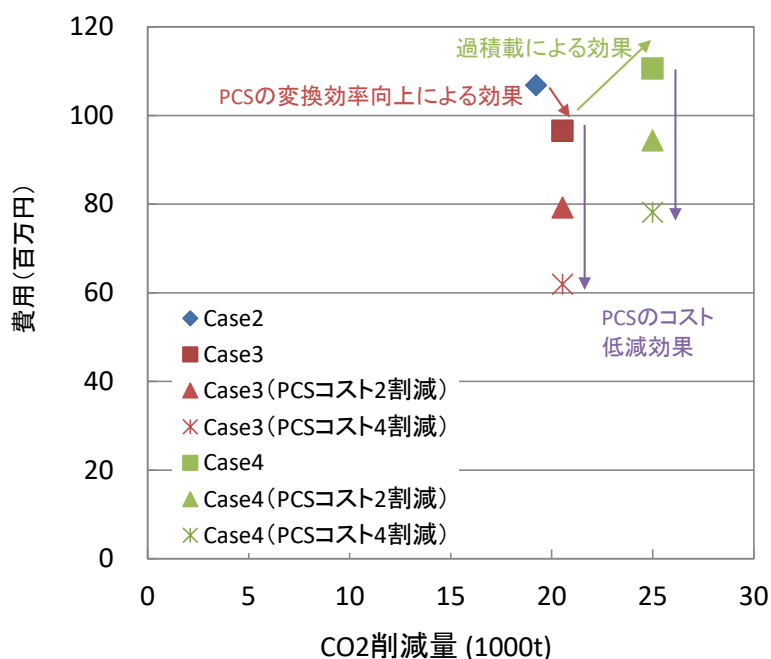


図 2-1-12 CO₂削減量に対する削減費用

(CO₂ 排出係数 : 0.54 kg-CO₂/kwh のケース)

- ・2021 年度の調査により 2050 年までの PV および風力発電の導入量を整理した。この導入量を用いて、再エネ (PV+風力) の PCS の効率向上による損失低減効果を試算した。その結果、再エネが最も多く導入される RE100 シナリオの 2050 年において、PCS の効率が 95%から 99%に向上すると、日本全体の損失が 30GW 削減されることを明らかにした。この削減は、必要

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

な PV のパネルや風車の容量の削減とも解釈される。また、この 30GW は、2021 年時点の日本の PV 導入量 (63GW) の約 50% に相当する。このことから、革新的エネルギーデバイスの適用による効率向上によって日本全体の損失低減に効果があることを定量的に示した。

- ・ 2021 年度までの調査により得られた、シナリオに基づいた 2050 年までの PV 導入量をもとに年間の CO₂ 削減量を算出した。
- ・ 実施項目 2 で得られた配電線の PV 導入量の結果および年間受電電力量をもとに、CO₂ の限界削減費用を試算した。試算では PV システムの基準価格 (PV パネルや PCS および設置工事を含んだ 1kW あたりの価格) を設定し、そこからパラメータの変更による CO₂ 削減費用への効果を求めることとした。
- ・ 試算の結果 (下表)、設定した PV システムの基準価格が低下すると PCS の変換効率向上や PCS のコスト低減による CO₂ 削減費用の低減効果が相対的に高くなる傾向がある一方で、過積載による CO₂ 削減費用の低減効果はそれよりも小さいことを明らかにした。PCS の変換効率向上や PCS のコスト低減は、革新的エネルギーデバイスの適用により期待される便益である。このことから、革新的エネルギーデバイスの適用により得られる経済的な便益を定量的に示した。

表 2-1-3 試算した CO₂ 限界削減費用 (円/t-CO₂)

(CO₂ 排出係数 : 0.358 kg-CO₂/kwh のケース)

PV システムの 基準価格 (円/kW)	Case 2 (PCS 効率: 96%)	Case 3 (PCS 効率: 99%)	Case 3 & PCS コスト 2 割減	Case 3 & PCS コスト 4 割減	Case 4 (過積載率: 180%)	Case 4 & PCS コスト 2 割減	Case 4 & PCS コスト 4 割減
250,000	62,851	59,631	56,451	53,271	58,585	56,137	53,689
175,000	35,616	33,362	31,136	28,910	32,629	30,916	29,202
100,000	8,381	7,093	5,821	4,549	6,674	5,695	4,716

- ・ これまでに得られたシナリオと CO₂ 削減費用などを組み合わせ、10 年ごとのマイルストーンとして PV システム・PCS 価格のロードマップとして整理した (図 2-1-13)。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (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

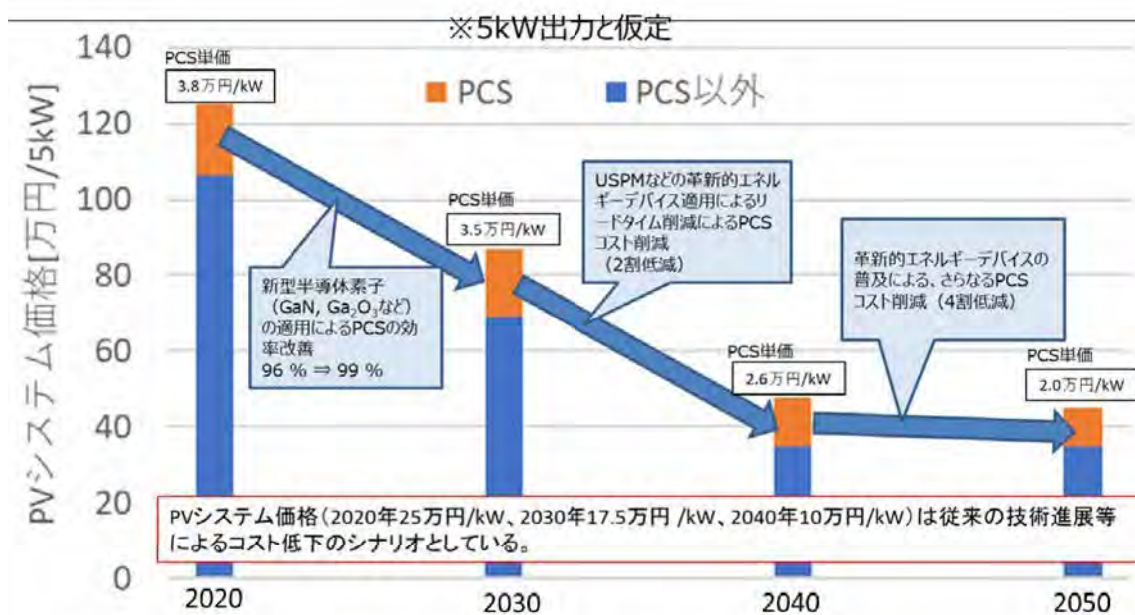


図 2-1-13 PCS・PV 価格のロードマップ

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

(4) 地域特性に応じたエネルギーシステムのデザイン (A-③)

本研究では、図 2-1-14 に示す通り、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、公開した。また、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する。これらセクターカップリングなどの考え方をふまえて、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イナブルシティやスマートシティの社会実装に貢献する。

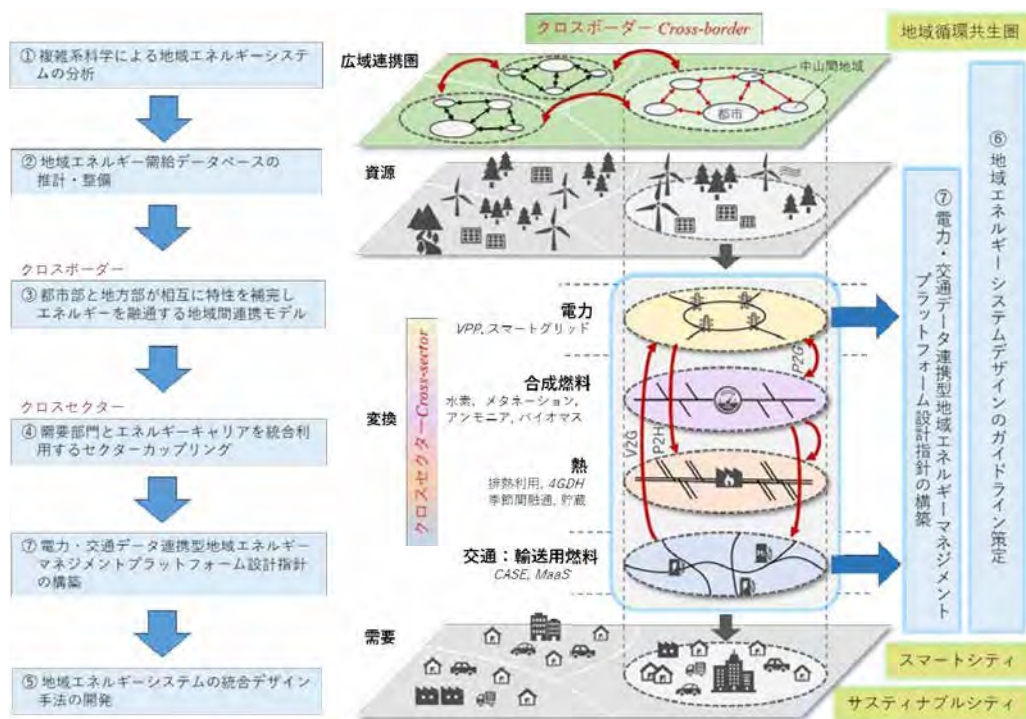


図 2-1-14 サブテーマ A-③の全体像

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

【実施項目 1】地域エネルギー需給データベースの推計・整備

【達成目標】全国 47 都道府県の市区町村を対象として産業、民生、家庭、輸送の各部門のエネルギー消費量を推計し、再生可能エネルギーの賦存量や社会的条件と合わせて地域社会の特性を分析し、市区町村のエネルギー消費量データベースを整備することを目標とする。データベースは、自治体でのエネルギー統合デザインなど他の 5 つの項目の進展を受けて適宜、内容の追加更新を継続して進める。

- ・SIP における地域エネルギー需給の分析に関する研究成果をもとに、地域エネルギー需給データベースを整備し、2022 年 3 月にウェブサイトを開発した。公開後もユーザから得られた反応を参考に、需給データやツールの拡充などウェブサイトの改修を実施している。データベースの概要を表 2-1-4 に、ウェブサイト画面を図 2-1-15 に示す。データベースに搭載するコンテンツとして、全国 1741 市区町村別の部門別エネルギー消費の推計結果（Excel 形式）、エネルギーフロー図およびエネルギー需要の地域特性（図 2-1-16）、太陽光・風力発電の変動性再生可能エネルギーについての市区町村の出力変動特性、市区町村別のエネルギー需給マップなどを掲載するとともに、地域エネルギーシステムの計画ツールとして市区町村別のエネルギーシミュレーターを実装した。

表 2-1-4 地域エネルギー需給データベースの概要

掲載URL	https://energy-sustainability.jp
コンテンツ	<ul style="list-style-type: none"> ・市区町村別エネルギー消費統計表（2013年度※1、2019年度） ・エネルギーフロー・シミュレーション機能（エネルギー消費量：2013年度、2019年度、再エネ導入量：2020年※2） ・市区町村別再生可能エネルギー発電特性（2019年度） ・エネルギー需給マップ（再エネ導入ポテンシャル、エネルギー需要、エネルギー自給率、再エネ移輸出ポテンシャル）
掲載地域	1,741市区町村（特別区を含む。政令指定都市は行政区ごとに区分しない。）
ライセンス	クリエイティブ・コモンズ 非営利 4.0 国際 ライセンス

※1 政府が決定する温室効果ガスの排出削減目標（NDC または「日本の約束草案」）の基準年に準拠することを目的として 2013 年度を採用、また直近のデータとして 2019 年度を掲載。

※2 再生可能エネルギー既設導入量は、近年の急拡大を鑑み、2020 年末時点の設備導入容量データを掲載。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

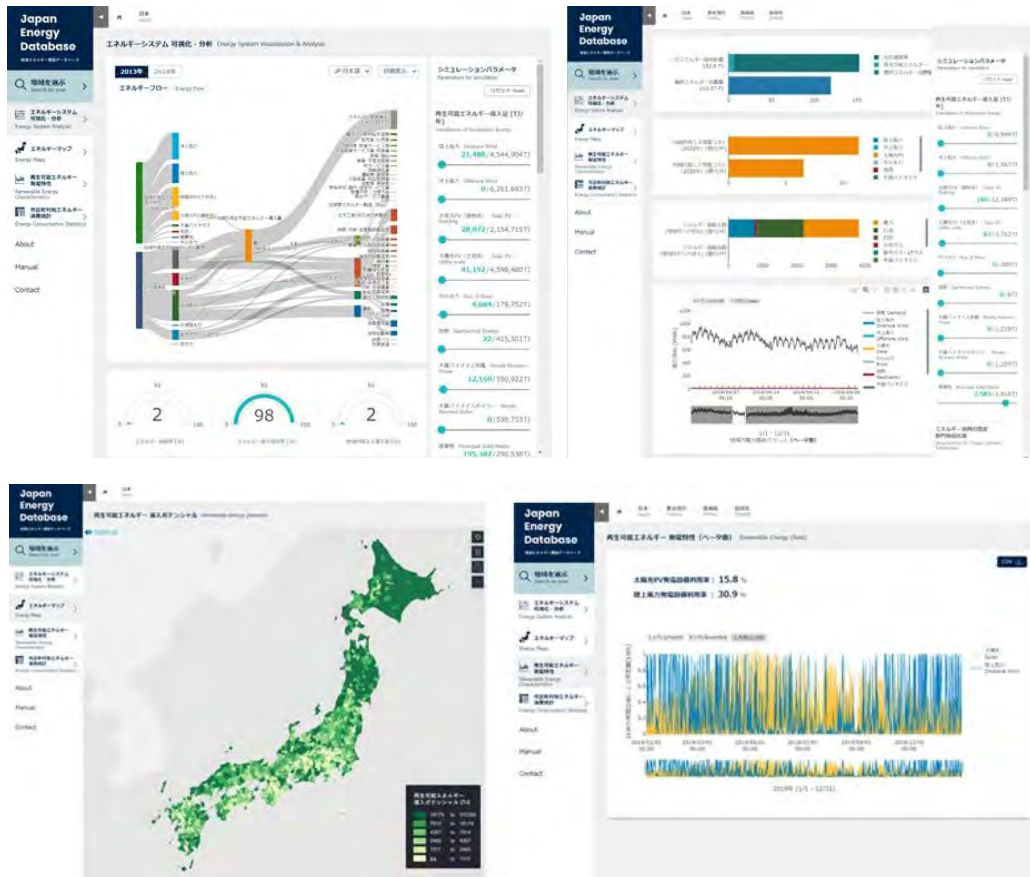


図 2-1-15 地域エネルギー需給データベースのウェブサイト画面



図 2-1-16 市区町村別エネルギー消費（左）と市区町村のエネルギー需要の特性分布（右）

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

- ・地域エネルギー需給データベースは、エネルギー量にもとづき多様な観点・データ形式から市区町村別のエネルギー需給量を可視化し、地域エネルギーシステムデザインに資するインタラクティブなツールを整備した他に類をみないものとして技術的価値があるといえる。
- ・ウェブサイト実装による成果として、地域エネルギー需給データベースの運用状況を表 2-1-5 に示す。ウェブサイトの平均表示回数は 100 回/日以上で、500 市区町村別を超える日本国内地域をはじめ、海外からも多数のアクセスを得ている。さらに、ウェブサイトを通じて、コンサルティング事業者・シンクタンク等からの問い合わせのほか、地方公共団体による脱炭素先行地域の計画立案などへの活用報告も得られた。メディア掲載の他、地方公共団体を対象とした地域エネルギー需給データベースの解説セミナーでは多数の参加が得られた。

※2022/3/31-2022/12/31 の実績

表 2-1-5 地域エネルギー需給データベースの公開・運用状況

アクセス状況 2022/03/31 - 2022/12/31	表示回数： 34,900 回 (平均127回/日) ユーザー数： 9,452 人 (日, 米, 中, 独, 英, 韓, 豪 他) ダウンロード数： 10,465 回 ※市区町村別エネルギー消費統計表 アクセス元地域数： 573 市区町村 ※アクセスした端末の推定所在地
活用事例	<ul style="list-style-type: none"> ・岩手県, 群馬県, 和歌山県, 山形県, 奈良県, 福岡県等の市区町村：脱炭素先行地域の計画に活用 ・福島県福島市：「福島市脱炭素社会実現実行計画」の改定に活用 ・神奈川県, 大分県の市区町村：地域エネルギー政策の立案に活用 ・新潟県糸魚川市：自治体新電力会社設立可能性調査に活用 ・神奈川県茅ヶ崎市：公式HPにて引用掲載 (https://www.city.chigasaki.kanagawa.jp/kankyo/1044637/1049572.html) ・シンクタンクD社, H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 — 計 13 件の活用事例を確認 (把握しているもののみ) ・シンクタンクB社：石油需要に関する調査に利用 ・大手メーカーT社：スマートシティ構築に向けた分析に利用
バージョン更新履歴	1.2.0 CO2排出量, 発電原価, 地域エネルギー-経済収支を実装 1.3.0 REPOS R3の再エネ導入ポテンシャルデータを反映 1.3.1 2019年度エネルギー消費統計表を掲載 2.0.0 時空間再エネデータの搭載, UI/UXの改良 (データベースとシミュレータを統合)
メディア掲載等	<ul style="list-style-type: none"> ・電気新聞 (2022/1/13, 1/19, 8/24 紙面掲載) ・JSTウェブサイトでのプレスリリース (2022年4月) ・国際環境経済研究所 (2022/05/24掲載, https://ieei.or.jp/2022/05/exp1220524/) ・地域エネルギーシステムセミナー (2022/11/1 東京開催)

- ・また、再生可能エネルギーポテンシャルや各部門のエネルギー需要に関して、下記に示す様な分析手法の開発を行った。

i. 太陽光発電・風力発電の時空間ポテンシャル推計

日本全国を対象とし、空間解像度が高く、かつ時間変動を考慮したポテンシャルデータを推計した。推計に用いたデータと条件を表 2-1-6 に示す。日射量および風速をもとに 1 km メッシュ別に 30 分間隔のポテンシャルを推計した。

太陽光発電については、日射や気温変化に伴うパネル温度の上昇に

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

伴う発電効率低下の影響、雲の拡散日射量、地面の反射日射量を考慮し、市区町村別時間別ポテンシャルと設備利用率を求めた（図 2-1-17）。風力発電についてもメッシュ別の時空間ポテンシャルおよび風力発電の設備利用率を推計するとともに、地域風速分布によるパワーカーブの選定や風力発電機設置基準を考慮した推計手法の精緻化を行った。

表 2-1-6 時空間ポテンシャル推計に用いたデータ

発電技術	時間解像度	空間解像度	基礎データ	技術想定等
太陽光PV	30分間隔	1kmメッシュの地域別平均	AMATERASS [®] 地上到達日射量 (太陽放射コンソーシアム)	モジュール効率：20% パネル傾斜角：30度
陸上風力	30分間隔	1kmメッシュの地域別平均	AMATERASS [®] データセット 風速 (太陽放射コンソーシアム)	・風力タービン出力：4 MW/km ² ・ストーム制御あり
洋上風力	30分間隔	1kmメッシュの地域別平均	AMATERASS [®] データセット 風速 (太陽放射コンソーシアム)	・風力タービン出力：10 MW/km ² ・ストーム制御あり

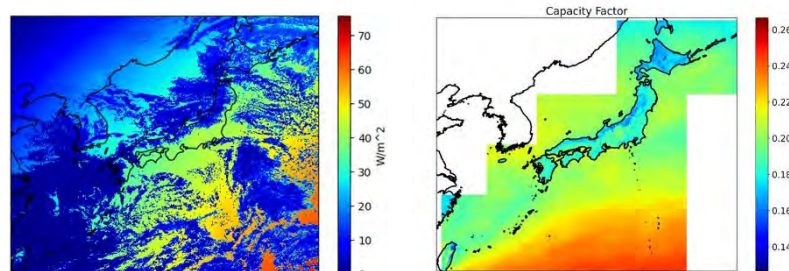


図 2-1-17 時空間太陽光発電ポテンシャル（左）と設備利用率（右）

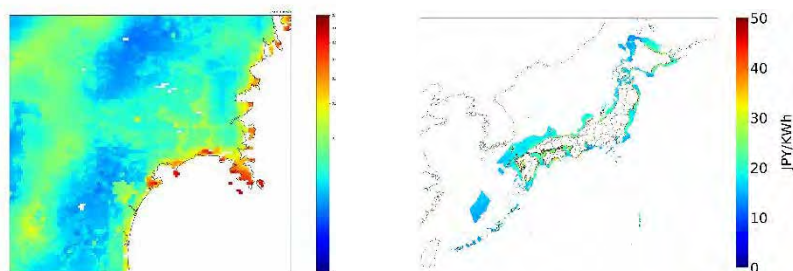


図 2-1-18 時空間風力発電ポテンシャル（左）と設備利用率（右）

ii. 木質バイオマスエネルギーポテンシャルの分析

都道府県別樹種別の森林資源情報を用いた年間蓄積増加量、年間伐採立木材積および素材生産量の統計量を用いて、持続可能性を考慮した市区町村別木質バイオマスポテンシャルを推計した。持続性として、伐採可能量のうち建築用材などマテリアルとの競合を除いたエネルギー利用可能割合や、森林蓄積量の維持などの条件を考慮して未利用資源量を推計した（図 2-1-19 左）。また、都道府県別の森林簿および森林

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

計画図を用いて、人工林かつ普通林を対象にメッシュ単位での事業性を考慮した利用可能量の推計手法を開発した。地形の傾斜度別に収穫システムを設定し、価格条件を変えて林業収支を分析した（図 2-1-19 右）。

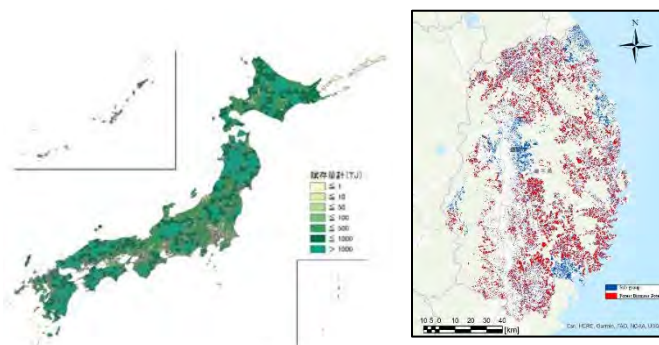


図 2-1-19 木質バイオマスポテンシャルの推計結果

iii. 地域別電力需要推計手法の開発

教師あり機械学習を用いて、地方（TSO）単位、都道府県単位、市町村単位の 3 段階で 1 時間毎の地域別電力需要を推計するモデルを開発した。学習データとして TSO 別の電力需要の変動を、モデルの入力データとして平日休日の判定、電力需要変動を考慮した数時間周期の周波数成分、地域別の気温変化、エネルギー消費量の需要部門構成データを用いた。目的関数を損失関数（出力と実際の値の比較関数）に正則化項を加えた値の最小化とし、平均絶対誤差 MAE を損失関数として使用して比較した。結果を図 2-1-20 に示す。下段の実際の需要変動と上段のモデルの変動を比べると、沖縄地域の推計精度が下がる傾向があるものの、年末年始や GW などの長期休暇時期も含めた年間を通じて再現性の高いモデルを開発した。

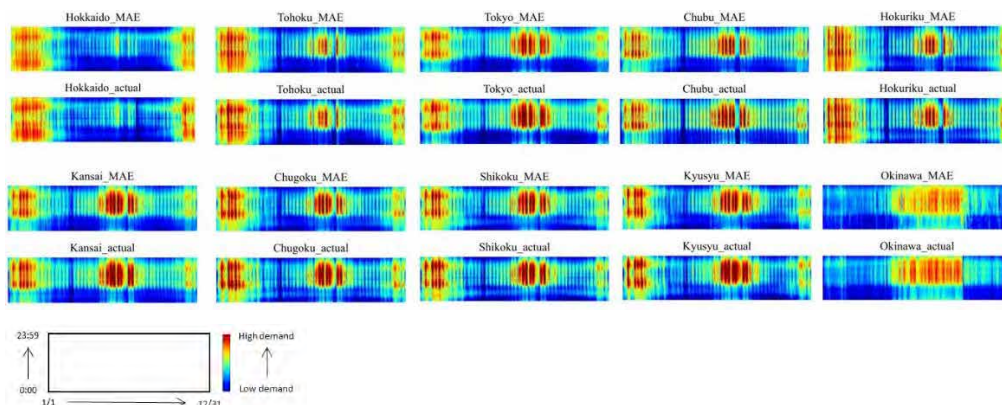


図 2-1-20 モデル出力と電力需要の比較

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

iv. V2G 導入に向けた移動需要の時空間分析

携帯位置情報を用いて、自動車の地点別時間別の移動需要および EV が導入された場合の V2G (vehicle to grid) 導入ポテンシャルの推計手法を開発した。データとして KDDI Location Data を用いて、125m メッシュ 15 分単位の自動車移動および停車動態を解析した(図 2-1-21)。地域における自動車移動データから EV 普及率および稼働率を想定し、Vehicle-to-Grid の導入ポテンシャルを推計した (図 2-1-22)。移動需要の地域比較では、自動車保有台数の影響の他、面積あたり道路延長等が走行距離に影響を与えていた。

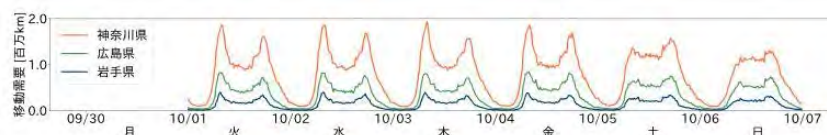


図 2-1-21 地域別自動車移動需要の時系列動態

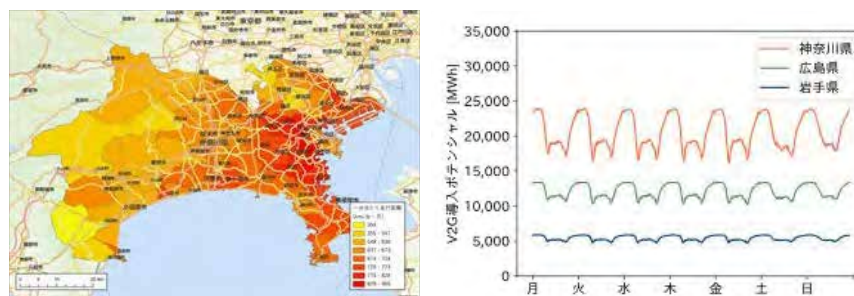


図 2-1-22 市区町村別の一台あたり走行距離 (左) と時間別 V2G 導入ポテンシャル (右)

・再エネ推計の精緻化の価値：

日本全国を対象とした時空間解像度の高い精緻な再生可能エネルギーポテンシャル分析は学術的価値がある。また推計した再生可能エネルギーポテンシャルを公開しデータへのアクセシビリティを高めることで、地域エネルギーシステムのセクターカップリング分析や、地方公共団体等が再エネ導入のフィージビリティ・スタディを実施する事前検討などの際に利用可能であり、技術的価値があると考えられる。

太陽光発電や陸上・洋上風力発電の地域別の時空間ポテンシャル推計結果は、環境省の再生可能エネルギー情報システム (REPOS) にも採用され、マップとして公開されている。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

・ エネルギー需要の時空間分析の学術・技術的価値：

地域解像度を高め日本全国を対象とした電力需要変動の分析や、携帯位置情報を用いた V2G 導入ポテンシャルの分析は前例がなく学術的な新規性が強い。また各々の推計結果はセクターカップリングモデルに適用可能で、V2G 分析に用いる自動車の移動・滞留の時空間分析は、EV 充電スタンドの設置計画への活用等も考えられる。

【実施項目 2】地域エネルギーシステムの統合デザイン手法の開発

【達成目標】

○全国の地方公共団体の再生可能エネルギーポテンシャルを考慮した地域連携のクロスボーダーモデルと、部門連携・エネルギーキャリア相互融通のクロスセクターモデル、電力・交通データ連携の考え方などを統合する地域エネルギーシステムデザインモデルの開発を進める。

○2～3地域以上を対象にサステナブルシティやスマートシティの社会実装を企図する地域・自治体との連携のもと、特徴ある地域分析を進め、地域間連携、セクターカップリング、電力交通連携の知見を集約し、統合デザイン手法のケーススタディを実施し、結果をガイドラインに反映する。

・地域エネルギー需給データベースや地域のエネルギー需給分析で整備したデータをもとに、セクターカップリングと地域間エネルギー融通による相乗的な需給調整メカニズムを内生化したエネルギーシステムモデルを開発した。電力・熱・燃料部門を考慮し、各種資源・技術の経済性および時空間特性に基づいて、その導入量と運用を最適化した（図 2-1-23）。
カーボンニュートラル社会構築のため 1) 地域間連携による需給調整 2) 再生可能エネルギーの最大限の導入 3) セクターカップリングによる需給調整 4) 合成燃料による燃料代替 5) エネルギー消費技術の電化と効率化 を考慮したモデルとなっており、日本全国を対象に地方公共団体レベルの空間解像度、電力・熱・合成燃料のエネルギーキャリアを考慮している点に特長がある。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

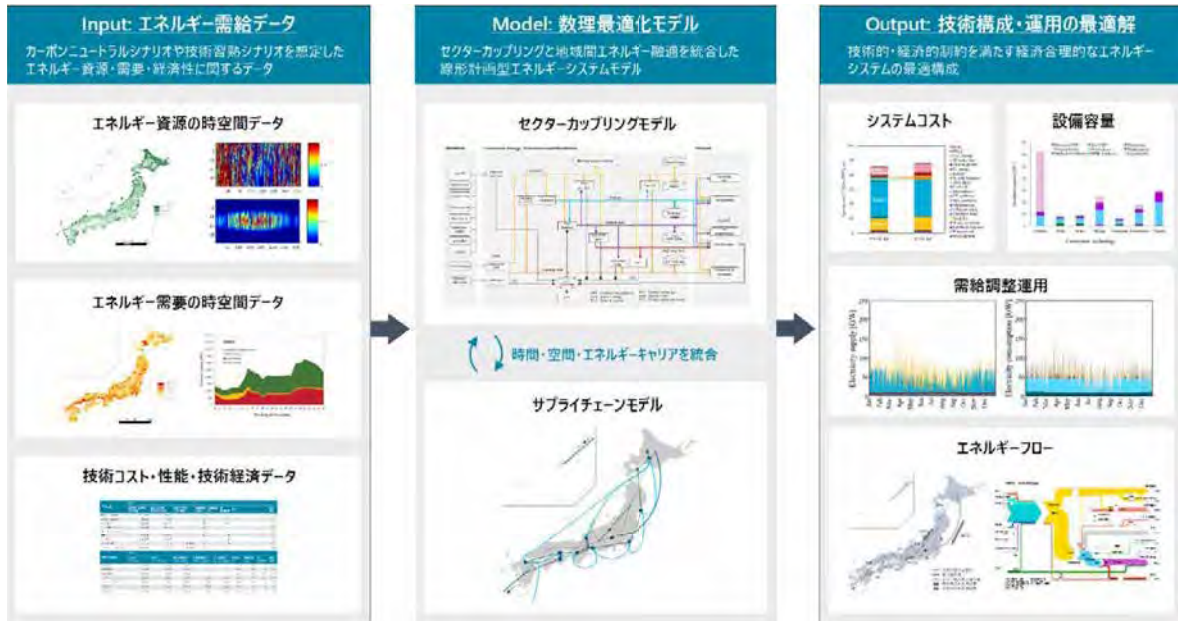


図 2-1-23 モデル分析の全体像

- ・エネルギーシステム構成図を図 2-1-24 に示す。システムコスト最小化を目的関数とし、各時間・各地域のエネルギー需給バランス等を制約とする線形計画モデルであり、時間解像度は 8,760 時間=1 年間、空間解像度は TS0 区分 10 地域（変動性再エネの供給可能量は 47 都道府県）である。需要シナリオとして、IEA NZE シナリオと国立環境研究所 AIM によるマクロフレームなどを参考にカーボンニュートラル化を想定した。

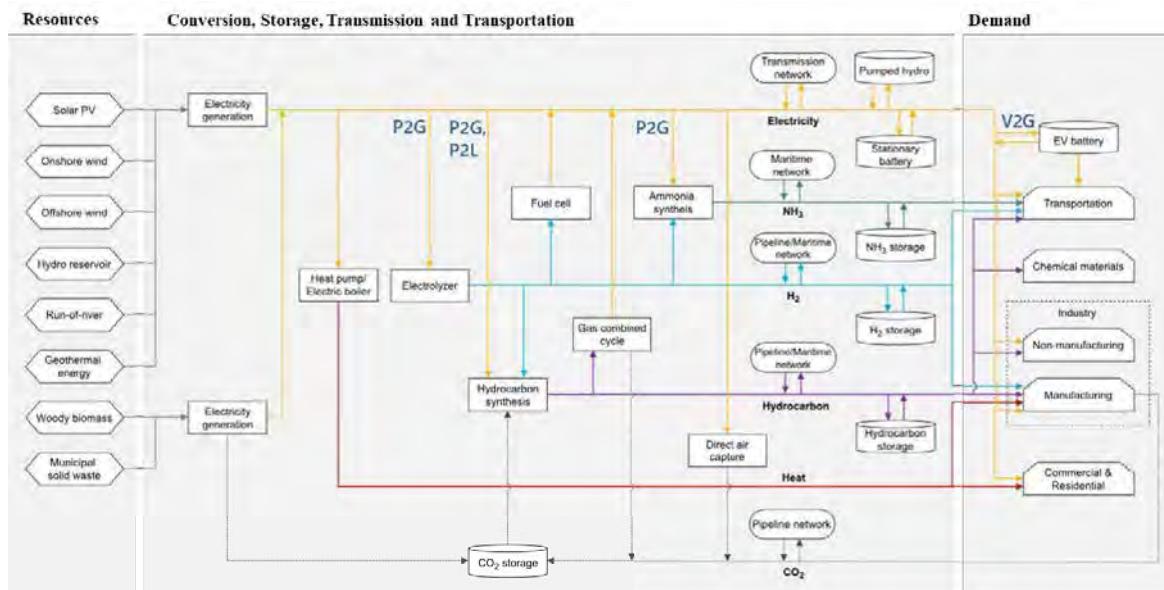


図 2-1-24 エネルギーシステムモデルの構成図

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

- ・対象とするエネルギーキャリアは、電力・熱・水素・メタン・FT 炭化水素（化学製品原料を含む）・アンモニアについて供給と転換、輸送、需要を網羅している。炭化水素製造の原料となる CO₂ は、発電部門、廃棄物部門、製造業および大気から回収する。
- ・設計結果を図 2-1-25 に示す。国内の再生可能エネルギー（環境省 REPOS の R3 ポテンシャルに準拠）の最大限利用を想定したケースでは、洋上風力と太陽光が支配的な資源となった。東北地方では洋上風力、関東・中部地方等では太陽光が大量導入された。蓄電池のほか、水素製造の稼働抑制や地域間エネルギー融通により需給が調整され、各時間で需給の一致が達成された。

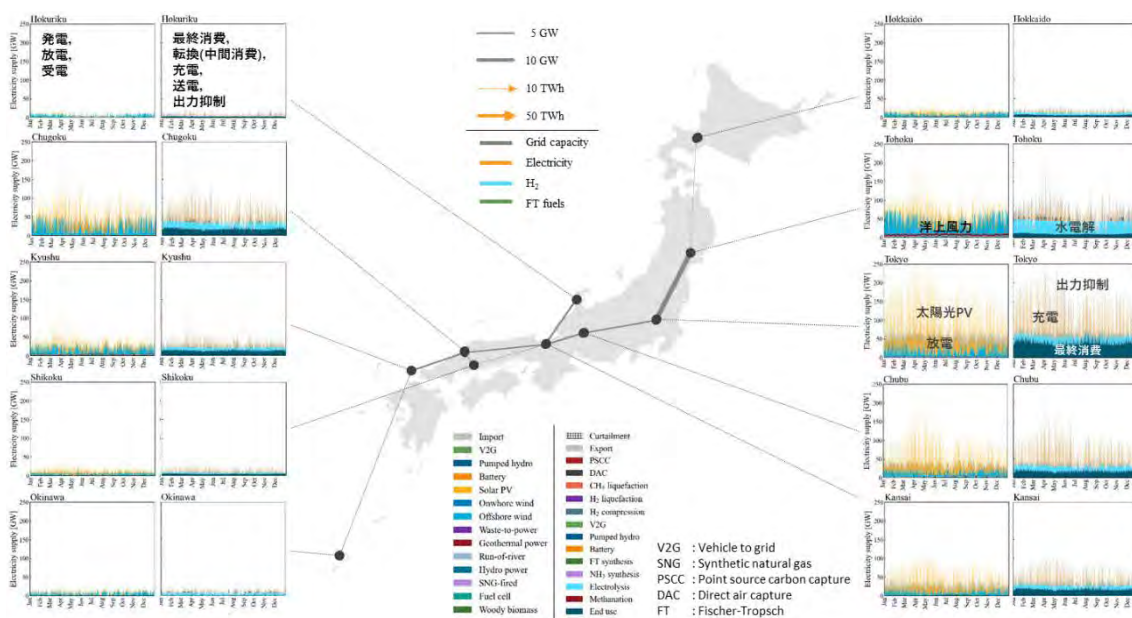


図 2-1-25 システム設計結果：電力需給・地域間融通

- ・図 2-1-26 に一次エネルギー総供給量とシステムコストを示す。国内再生可能エネルギーによる一次エネルギー総供給量は約 2.5PWh/年であり、これは環境省「わが国における再エネポテンシャル」（令和元年度調査、高位シナリオ）の総量(2.6PWh/年)に相当する。即ち、国内の再生可能エネルギー資源を最大限活用するケースであることに注意が必要である。
- ・また、電化によるエネルギー消費効率の向上によるエネルギー需要の大幅な削減が前提となる。本ケースでは需要部門全体の電化率は約 70%と試算された。国内の再生可能エネルギーによる脱炭素化は極めて挑戦的であるが、様々な課題の解決を前提として実現可能性が示唆された。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

- ・システムコストは P2X のデマンドレスポンスの感度解析事例である。システムコストの約 8 割は再エネ発電が占め、システムコストの構造は、需給調整力の柔軟性に依存して大きく変化する。P2X を最大限実施することで、電解装置・太陽光発電・蓄電池利用に影響し、全体で 7% のコスト変動が見られた。

→ 電力・燃料部門のセクターカップリングによるシステムコスト低減効果が確認された。

- ・今後は引き続き、地域エネルギーシステムの視点から、有益なインプリケーションを得られる複数の社会的条件シナリオを選定・開発する。

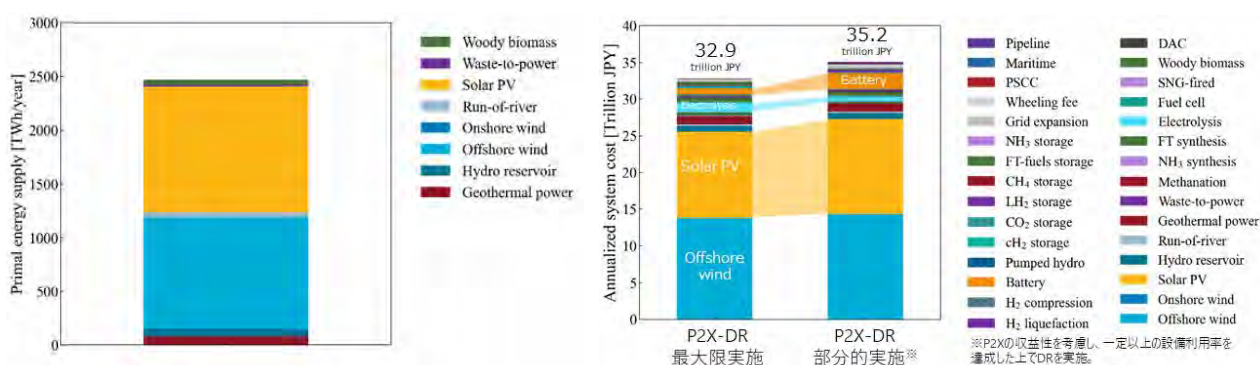


図 2-1-26 システム設計結果：一次エネルギー総供給量（左）とシステムコスト（右）

- ・全国 1741 市区町村のエネルギーフロー図を作成し、地域エネルギー需給データベースへ実装した。地方公共団体の作成例を図 2-1-27 および図 2-1-28 に示す。地域内エネルギー需給を可視化し、地域エネルギー計画や政策の検討に資する。

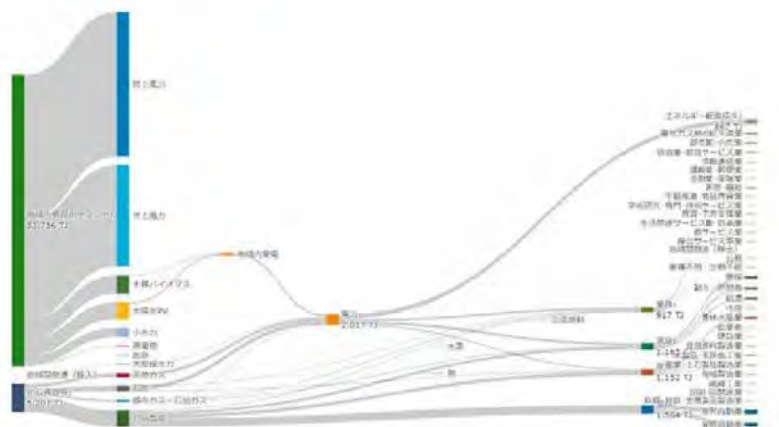


図 2-1-27 神奈川県横浜市のエネルギーフロー図

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

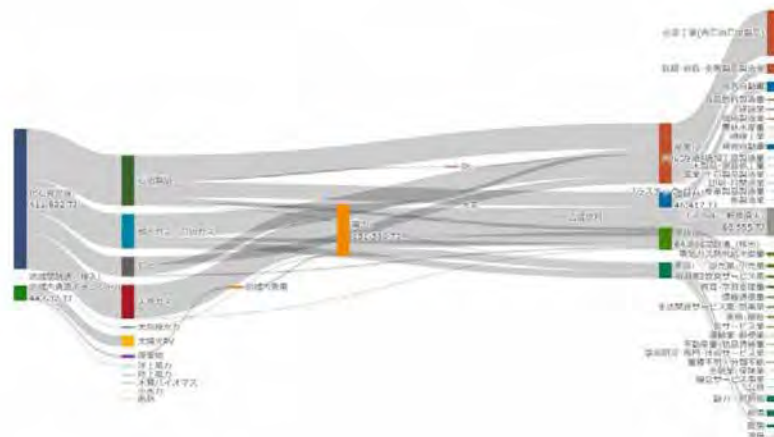


図 2-1-28 岩手県宮古市のエネルギーフロー図

・市町村別のエネルギー需給マップの実装：

1, 741 市区町村の再生可能エネルギーポテンシャル、エネルギー需要、再生可能エネルギー移輸出ポテンシャル、エネルギー自給率を地図上に可視化した。再生可能エネルギー移輸出ポテンシャルとは、再生可能エネルギーポテンシャルからエネルギー需要を差し引いた値であり、地域間連携の計画にあたって重要な指標であり、再生可能エネルギーポテンシャルマップとエネルギー需要マップを比較すると、エネルギー資源とエネルギー需要が地理的に対称的（資源は北日本や山間部、需要は太平洋ベルトや都市部）に偏在していることが確認できる。

・市区町村の地域エネルギーシステムを対象とした、地域エネルギーシステムシミュレーションモデルの開発と地域エネルギーシステムシミュレーターの実装：

対象地域を昨年度の 2、3 地域より一般化し、全国 1741 市区町村の個々の地域や 47 都道府県、地方単位などを対象に、地域エネルギー需給実態データに基づいて、将来の地域エネルギーシステムを分析可能なシミュレーターを開発した。ウェブサイトに実装した画面を図 2-1-29 に、地域エネルギーシミュレーションモデルの構成図を図 2-1-30 に示す。地域エネルギー需給データをもとに、再エネ導入量や電化率などのエネルギーに関するシナリオパラメーターを変化させることで、エネルギー需給全体のインタラクティブな変化を表現し、地域エネルギーシステムデザインの検討が可能である。他地域とのエネルギー融通や EV・合成燃料の導入といった技術代替・燃料代替を考慮している。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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



図 2-1-29 地域エネルギーシステムシミュレーターの操作画面

- ・エネルギー需給特性による市区町村の類型化：
階層型クラスター分析を用いて再生可能エネルギー資源の構成や需要規模による類型化を行った（図 2-1-31、表 2-1-7）。地域エネルギーシステムデザインは地域内の需要と資源の構成に基づいて実施されることから、その特性が類似する地域は執りうる施策も類似し、同じ類型の市町村に対しては、エネルギー施策の横展開を検討することが可能と考えられる。
- ・高空間解像度エネルギーシステムネットワークモデルの開発：
地域エネルギー需給データベースで整備したデータをもとに、地域間連携として隣接市区町村間での再エネ融通を分析可能なエネルギーシステム最適化モデルを開発した。電力の TS0 供給エリア別にネットワークを設計し、市町村別の 1 時間単位の電力需給バランスや再エネ導入量上限を考慮。目的関数をシステムコスト最小化とした。結果として、77%の市区町村で電力自給を達成し、都市圏の主要需要地を親として周辺地域が電力を供給する電力融通のツリー構造が形成された。また、Ward 法のクラスター分析により、融通元、融通先、中継地域などの地域類型が抽出された。中継地域が全体の 31%を占めることから電力の融通元・融通先地域の中継地域の役割や便益も考慮して融通範囲を拡張することで、よ

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度
 (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

り全体最適に近い地域間連携構造が構築されることが考えられる。

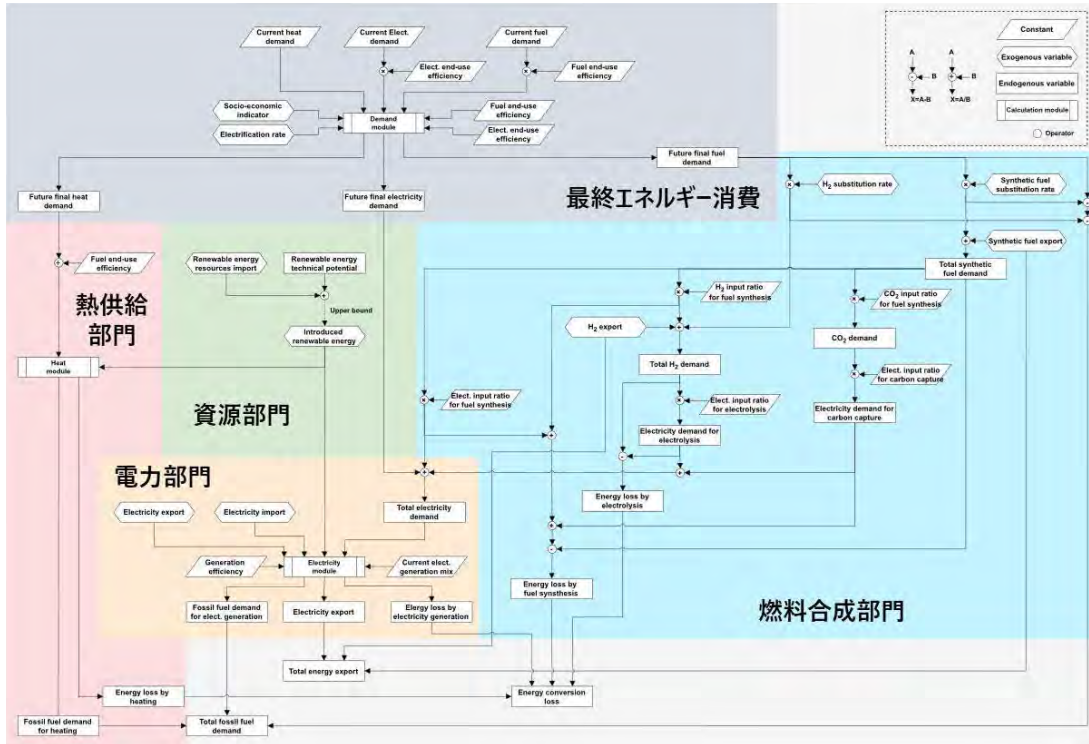


図 2-1-30 地域エネルギーシステムシミュレーションモデルの構成図

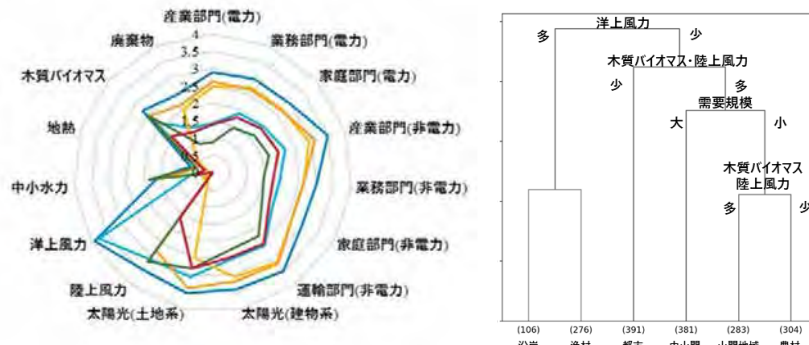


図 2-1-31 階層型クラスター分析によるの市町村の類型化結果

表 2-1-7 市区町村類型化による各クラスターの特徴

クラスター	資源に関する特徴	需要に関する特徴	地域例
● 沿岸都市クラスター	風力・太陽光・木質バイオマスポテンシャルが高い。	需要規模が大きい。	苫小牧, 市原市, 横浜市, 北九州市
● 漁村クラスター	洋上風力ポテンシャルが高い。	需要規模が小さい。	根室市, つがる市, 男鹿市, 五島市
● 都市クラスター	廃棄物・建物系太陽光ポテンシャルが高い。	需要規模が大きい。	宇都宮市, 東京23区, 名古屋市, 大阪市
● 中山間都市クラスター	陸上風力・木質バイオマスポテンシャルが高い。	需要規模が大きい。	札幌市, 盛岡市, 甲府市, 広島市
● 山間地域・離島クラスター	陸上風力・木質バイオマスポテンシャルが高い。	需要規模が小さい。	二セコ町, 軽井沢町, 青ヶ島村, 与那国町
● 農村クラスター	土地系太陽光・木質バイオマスポテンシャルが高い。	需要規模が小さい。	中富良野町, 標茶町, 嬌恋村

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

【実施項目 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

【達成目標】

○全国の 1741 市区町村の地域エネルギー需給データベースや、日々更新される気象情報・需要情報などの大規模デジタルデータを元に、地域エネルギーシステムの計画立案を支援できるようにガイドラインを策定する。多様な地域の社会的条件に合わせたものにするため、ケーススタディとしてモデル地域を取り上げる。国際互換性を視野に入れた発展的な取組への展開をめざす。

○地域エネルギーシステムデザイン研究会に参画する専門家や地方公共団体、関係各所との議論によるエネルギーデザイン手法の検証を通じて、地域エネルギーシステムデザインのガイドラインを策定する。

○地域エネルギーシステムをデザインする観点から、最終年度までにおいて明らかになった課題を整理する。

- ・研究会委員の有識者や地方公共団体、民間事業者を交えた地域エネルギーシステムデザイン研究会を開催し、議論した。大規模デジタルデータのエネルギー分野への活用やエネルギーシステムの社会実装に関して、関係省庁や民間事業者に講演いただき、意見交換を行った。
 - i. 電力データ活用について（資源エネルギー庁電力産業・市場室）
 - ii. エネルギー市場における気象サービスの取組み（株式会社ウェザーニューズ）
 - iii. 水素をベースとしたエネルギーシステムの最新展開（東京電力株式会社）
 - iv. 地域エネルギーシステムのデザインにおける問題点および解決に向けた方策（アークエルテクノロジー株式会社）
- ・地方公共団体からは、地域エネルギー計画を策定する上で、エネルギー需給の現状を把握するためのエネルギーフロー図、地域特性の把握の三角図、エネルギー需給を検討するための変動性再エネポテンシャルの時間変動データの有用性、ガイドラインを通じた地域エネルギー需給データベースの充実への要望などのフィードバックが得られた。
- ・地域エネルギーシステムのガイドラインの全体像を図 2-1-32 に示す。利用対象者として地方公共団体の担当者を想定し、地域エネルギーシステムデザインの概要に加えて、地域エネルギー需給データベースを解説した「データ編」、未来エネルギーシミュレーターを活用した「分析編」、さらに実践編として、プラットフォーム設計指針を統合して構成している。研究成果と社会実装を目指すことを意識して構成している。また、地域エ

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

エネルギー需給データベースの各ツールについては、ウェブサイト上で参照可能なマニュアルを整備している。

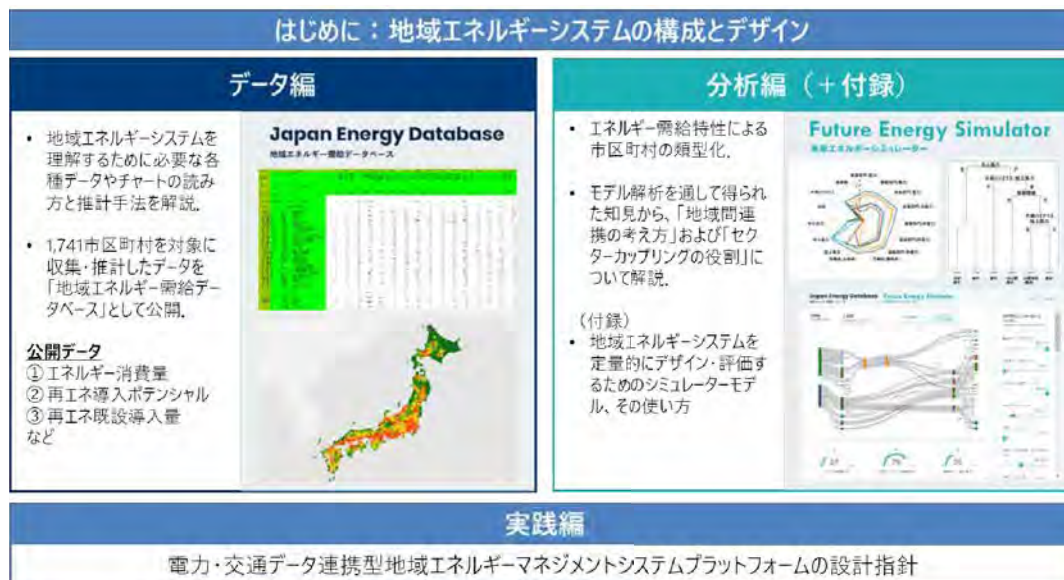


図 2-1-32 地域エネルギーシステムデザインのガイドライン構成

- ・岩手県宮古市と連携して地域エネルギー需給データやエネルギーフロー図などの研究開発知見を提供した。環境省の第2回脱炭素先行地域事業に宮古市と東北大学が共同提案し、採択を受けた。脱炭素計画や再生エネルギー導入計画の中期目標達成に向け、社会実装のための知見提供の連携を図る。
- ・岩手県宮古市、神奈川県茅ヶ崎市、福島県福島市などで再生可能エネルギービジョンや推進計画、脱炭素社会実現実行計画の策定に地域エネルギーシステムデザインの知見が活用されている。
- ・地域エネルギー需給データベースを2022年3月に公開し、マニュアルや地域エネルギーシステムデザインのツールを拡充した。民間事業者・大学・地方公共団体に利用方法などを解説するとともに、新聞（電気新聞）やインターネットメディア（国際環境研究所コラム）、講演・セミナーの場などを通じて発信した。
- ・地域エネルギーシステムデザインに関するセミナーを2022年11月に開催した。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など研究開発成果の活用について発信した。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

④達成度（2）：社会実装の実現可能性

<社会実装に向けた具体的な計画>

- ・全国の地方公共団体を対象とした「地域エネルギー需給データベース」「地域エネルギーシステムデザインのガイドライン」「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 (EMS) プラットフォームの設計指針」をもとに、地域におけるゼロカーボンビジョンの策定・脱炭素の先行的取組の実施など社会実装の事例数を着実に増やし、フィードバックを得ることで必要なデータの更新、ガイドライン改訂に取り組む。
- ・複数の市区町村との連携支援経験をもとに、地方公共団体の地域エネルギー計画立案を知見の面からサポートする体制の構築を検討する。
- ・電力・交通データ連携型地域 EMS プラットフォームの社会実装に向けた計画：
 - 1) 宇都宮市の公共交通事業者である関東自動車は、NEDO グリーンイノベーション基金を活用して路線バスの電動化を 2030 年度までに進める計画を発表している。当該事業者とは連携を進めており、本事業成果の社会実装へ向けて、EV バス、EV 充電器などの設備基盤は整備される予定である。
 - 2) 本事業においてシミュレーション技術は確立し、確認された成果の活用に向けては、実事業者・実設備・住民を巻き込んだ実証を通じた受容性確保へ向け、今後の継続的な対応が重要である。
 - 3) スマートメータデータ等に関しては公益目的でのデータ活用に向けた利用条件の緩和、公共交通データのオープンデータ化、更に都市 OS の運用主体・運用費用の分担などの整備による導入促進と API の標準化による公共データ活用時の制約低減、など、セクターカップリングによるエネルギーマネジメントシステムの普及拡大に資する、共通的な課題への対応が望まれる。

<計画進捗状況>

- ・「地域エネルギー需給データベース」を 2022 年 3 月に公開以降、複数の事業者・機関・地方公共団体から問い合わせを受け、地域エネルギーシステムデザインに資する知見の提供を継続的に実施している。
- ・環境省 REPOS（再生可能エネルギー再生可能エネルギー情報提供システム）へ、太陽光・風力・木質バイオマスの再エネポテンシャルの推計結果を提供し、WEB サイトで一部公開済みである。
- ・連携する地方公共団体に対して地域エネルギー需給データベース等からの知見を提供し、地方公共団体が環境省脱炭素先行地域事業に応募する際の再エネ導入ビジョンにも知見が反映されている。岩手県宮古市の事例では

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

東北大学が共同提案者として参画し、脱炭素先行地域として採択された。

<上記社会実装に向けた体制構築状況と見通し>

- ・地域エネルギー需給データベースの更新を行うべく、他の公的機関へのデータ等移管や法人立上げも含めた体制構築の検討や関係機関との調整を進めている。
- ・研究成果について研究会や対面協議の場を通して、関係省庁（内閣府、経済産業省、環境省）、地方公共団体（岩手県、宮古市、福島市、横浜市など）、民間事業者、研究機関等との連携・知見の共有を進めている。特に岩手県宮古市とは東北大学が脱炭素先行地域の共同提案者として、2030 年度計画目標の達成に向けた継続的な社会実装実施のための連携体制を構築している。

⑥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

<制度面の戦略>

- ・地域エネルギー需給データベースを整備することで、エネルギー分野の研究や社会実装を促す公開情報（統計）の拡充、精度向上に取り組む。国際発信も考慮したデータベースの構築に努める。環境省 REPOS を通じて再エネポテンシャルに関する知見を共有する。
- ・本研究全体を通じて得た知見から、地方公共団体・事業者利用に資する公開データベースの拡充や、発電電力量の電源構成・スマートメータデータ等の公開利用を促す提言案などをとりまとめる。

<戦略に基づく成果>

- ・地域エネルギー需給データベースおよび地域エネルギーシステムデザインのガイドラインの整備、WEB サイトを通じた発信による、各種エネルギーデータの地方公共団体のエネルギー計画への活用助言と反映（岩手県宮古市）。
- ・地域エネルギーシステムデザイン研究会等を通じて、地域エネルギーシステムデザイン手法に関する知見の共有、エネルギーデータ利用の制度面の課題について意見交換を実施した。
- ・環境省に対して、次世代の再生可能エネルギーデータベース（次世代 REPOS）に関する WG に参画し、データ整備に関する意見の提言を実施した。

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

⑥成果の対外的発信

学術ジャーナル、国際学会に加えて、関連業界雑誌にも投稿し、産業界にも広く「IoE 社会のエネルギーシステム」をアピールした。特に、電気学会全国大会（2022年3月開催）では、テーマA合同でのSIP企画のシンポジウム講演「IoE社会のエネルギーシステムのグランドデザイン-再エネ主力電源化に向けたパワーエレクトロニクス技術への期待-」を提案・実施した。

表 2-1-8 テーマ(A)の対外的発信実績

テーマ(A)		2020年度		2021年度		2022年度 上期	
		A-②	A-③	A-②	A-③	A-②	A-③
特許出願 [件]	国内	-	-	-	-	-	-
	海外	-	-	-	-	-	-
原著論文 [報]	国内	0	1	0	3	0	0
	海外	0	4	0	4	0	4
学会等 口頭発表 [件]	国内	0	9	9	34	0	11
	海外	0	0	0	5	4	5

⑦国際的な取組・情報発信

- 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については、IPEC2022 Himeji（2022年5月）にテーマ(B)と合同でオーガナイズドセッションを開催し、海外研究者と次の話題を中心に意見交換を行った。

○Ga系（特にGa₂O₃）はSiと同程度のコストで生産可能。導通損失は同一周波数で比較すると小さくなるため高効率化が期待できること。（認識の共有）

○欧米と比較し日本は配電の電圧階級が低いため、同一容量において電圧管理が厳しめである。スマートインバータなしの配電システムでは電圧管理・熱容量制約で再エネ接続可能量に制限があるが、スマートインバータ導入（Volt-Var制御）により再エネ導入量が著しく（4倍強）増大する。

- 地域特性に応じたエネルギーシステムのデザインについては、第4世代地域熱供給4DHフォーラムを通じた、デンマーク大使館および4DH Research Centre (EU)との連携をすすめている（4DHフォーラム国際オンラインセミナー）

2 各研究テーマの概要と課題目標の達成度

(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

一への参画)。また、米国ローレンス・リバモア国立研究所とのエネルギーシステム分析研究に関する連携を進めている。