

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）
スマートエネルギーマネジメントシステムの構築
社会実装に向けた戦略及び研究開発計画

令和 7 年 4 月 24 日

内閣府

科学技術・イノベーション推進事務局

目次

I. Society5.0における将来像.....	5
II. 社会実装に向けた戦略.....	6
1. ミッション.....	6
2. 現状と問題点.....	8
3. ミッション到達に向けた5つの視点での取組とシナリオ.....	10
(1) 5つの視点での取組.....	10
① 技術開発.....	10
② 事業開発.....	10
③ 制度.....	10
④ 社会受容性.....	11
⑤ 人材育成.....	11
(2) ミッション到達に向けたシナリオ.....	12
4. SIPでの取組（サブ課題）.....	14
(1) 背景（グローバルベンチマーク等）.....	17
(2) 社会実装に向けたSIP期間中の達成目標.....	22
(3) ステージゲート等による機動的・総合的な見直しの方針.....	24
(4) SIP後の事業戦略（エグジット戦略）.....	24
5. 5つの視点でのロードマップと成熟度レベル.....	26
(1) ロードマップ.....	26
(2) 本課題における成熟度レベルの整理.....	30
6. 対外的発信・国際的発信と連携.....	33
III. 研究開発計画.....	34
1. 研究開発に係る全体構成.....	34
2. 研究開発に係る実施方針.....	35
(1) 基本方針.....	35
(2) 知財戦略.....	35
(3) データ戦略.....	35
(4) 国際標準戦略.....	36
(5) ルール形成.....	36
(6) 知財戦略等に係る実施体制.....	37
3. 個別の研究開発テーマ.....	40
(1) A1 エネルギーとモビリティのセクターカップリング.....	40
① 研究開発目標.....	41
② 実施内容.....	45

③	実施体制.....	48
④	研究開発に係る工程表	49
⑤	予算配分額	50
⑥	過年度までの進捗状況	50
(2)	A2 RE100 を実現する農村型 VPP の開発	54
①	研究開発目標.....	54
②	実施内容.....	57
③	実施体制.....	58
④	研究開発に係る工程表	59
⑤	予算配分額	60
⑥	過年度までの進捗状況	60
(3)	B1 アンモニア・水素利用分散型エネルギーシステム	63
①	研究開発目標.....	64
②	実施内容.....	67
③	実施体制.....	70
④	研究開発に係る工程表	71
⑤	予算配分額	72
⑥	過年度までの進捗状況	72
(4)	B2 カーボンニュートラルモビリティシステム	75
①	研究開発目標.....	77
②	実施内容.....	80
③	実施体制.....	85
④	研究開発に係る工程表	86
⑤	予算配分額	87
⑥	過年度までの進捗状況	87
(5)	B3 系統安定化をサポートする USPM によるインテリジェントパワーエレクトロニクスシステムの開発	91
①	研究開発目標.....	92
②	実施内容.....	94
③	実施体制.....	95
④	研究開発に係る工程表	96
⑤	予算配分額	97
⑥	過年度までの進捗状況	97
(6)	C1 エリアエネルギーマネジメントシステムのプラットフォーム開発と実装	100
①	研究開発目標.....	100
②	実施内容.....	101
③	実施体制.....	106

④	研究開発に係る工程表	106
⑤	予算配分額	109
⑥	過年度までの進捗状況	109
(7)	C2 熱エネルギーマネジメントシステムの基盤技術開発と共通化	128
①	研究開発目標	129
②	実施内容	130
③	実施体制	132
④	研究開発に係る工程表	133
⑤	予算配分額	134
⑥	過年度までの進捗状況	134
(8)	C3 産業用スマートエネルギーマネジメント連携システムの開発と実装	137
①	研究開発目標	137
②	実施内容	138
③	実施体制	140
④	研究開発に係る工程表	140
⑤	予算配分額	140
⑥	過年度までの進捗状況	140
IV.	課題マネジメント・協力連携体制	143
1.	実施体制と役割分担	144
(1)	内閣府	144
①	PD	144
②	サブ PD (担当・履歴を含む)	144
③	サブ PD (担当・履歴を含む)	144
④	サブ PD (担当・履歴を含む)	144
⑤	サブ PD (担当・履歴を含む)	145
⑥	PD 補佐(履歴を含む)	145
⑦	課題担当(履歴を含む)	145
(2)	研究推進法人・PM (担当・履歴を含む)	146
①	研究推進法人の名称	146
②	PM (担当・履歴を含む)	146
2.	府省連携	148
3.	産学官連携、スタートアップ	149
(1)	マッチングファンドに係る方針と内容	150
4.	研究開発テーマ間連携	151
5.	SIP 課題間連携	153
6.	データ連携	154

7. 業務の効率的な運用	154
V. 評価に係る事項.....	155
1. 評価の実施方針	155
(1) 評価主体.....	155
(2) 実施時期.....	155
(3) 評価項目・評価基準	155
(4) 評価結果の反映方法	158
(5) 結果の公開	159
(6) 課題評価に向けた自己点検及びピアレビュー.....	159
(7) 自己点検・ピアレビュー及び評価の効率化	159
2. 実施体制	160
(1) 構成員（担当・履歴を含む）	160
VI. その他の重要事項.....	162
1. 根拠法令等.....	162
別添 1 SIP の要件と対応関係.....	163
別添 2 XRL/KPI の検討状況	164
別添 3 用語一覧.....	164

I. Society5.0 における将来像

パリ協定の中・長期目標や、2050 年までのエネルギー起源 CO₂ 正味ゼロ（ネットゼロ、気温上昇 1.5℃ シナリオ）を実現するには、現状の削減努力の延長上だけでは不十分であり、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。カーボンニュートラルに到達する Society5.0 時代の将来像は、GX 及び DX により利便性が高く魅力的なサービスや社会インフラが実装された「カーボンニュートラルなエネルギー消費社会」と定義できる。

こうした将来社会とカーボンニュートラルが共に実現した社会の基盤となるのが、次世代エネルギーインフラとしての「スマートエネルギーマネジメントシステム」（スマート EMS）である。電力需給ひっ迫や燃料価格の高騰も踏まえ、エネルギー安全保障を確保する効率的かつ強靱な地域分散型のエネルギーインフラの実現が必要となる。

II. 社会実装に向けた戦略

1. ミッション

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の第3期課題「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」（以下、「本課題」という）では、2050年カーボンニュートラル、エネルギー安全保障の確保、ならびに Society5.0 の実現に向けて、従来の一建物や一地域における電力マネジメントの枠を超え、クロスボーダー・セクター横断での、主に再生可能エネルギーを起源とする電気・熱・水素・合成燃料を含めた様々なエネルギーを包含する「スマートエネルギーマネジメントシステム」を構築し、次世代の社会インフラを確立する（図 II-1 コンセプトイメージ）。より具体的には、多様な再生可能エネルギー由来の電気や水素、熱を効率的に活用する。エネルギーの需給バランスを調整して、需要地に供給する。需要地では、電気、熱、水素、ほかの燃料に相互に変換して、民生・産業・運輸をセクターカップリングして、相互に、エネルギーを協調して、効率的に利用する。地域を超えたクロスボーダーで、分散型エネルギーリソース（DER）を統合して、最大限のエネルギー高効率化を目指す。従来のスマートグリッドから発展させ、グリーン水素や変換した燃料、さらに、熱を活用するマネジメントシステムを構築する。統合したエネルギーシステムを運用しながら、データ収集を行い、エネルギーマネジメントシステム（EMS）を構築する。また、統合した EMS の運用に必要なとなる法制度の制約について検討するとともに、企業・業種間連携についても推進する。

新たな社会のインフラとサービスを生み出すためには、組織ごとの単独の取組だけでは不十分であり、内閣府の司令塔機能のもと府省連携・官民連携を主導することのできる SIP として本課題に取り組むことで、次世代社会のインフラ・サービスを市場基盤とともに確立するとともに、国際社会を先導することを目指す。

本課題では、再生可能エネルギー（以下、「再エネ」という）を最大限活用し、エネルギーバリューチェーン全体で統合制御・最適運用を行うスマート EMS の早期構築により、カーボンニュートラルとエネルギー利用の利便性・効率向上を実現する。これに向けて、5つの視点での取組（技術開発・事業開発・制度・社会受容性・人材育成に対応する XRL3～7）を推進する（詳細は II.2 現状と問題点を参照）。

SIP スマートエネルギーマネジメントシステムの構築

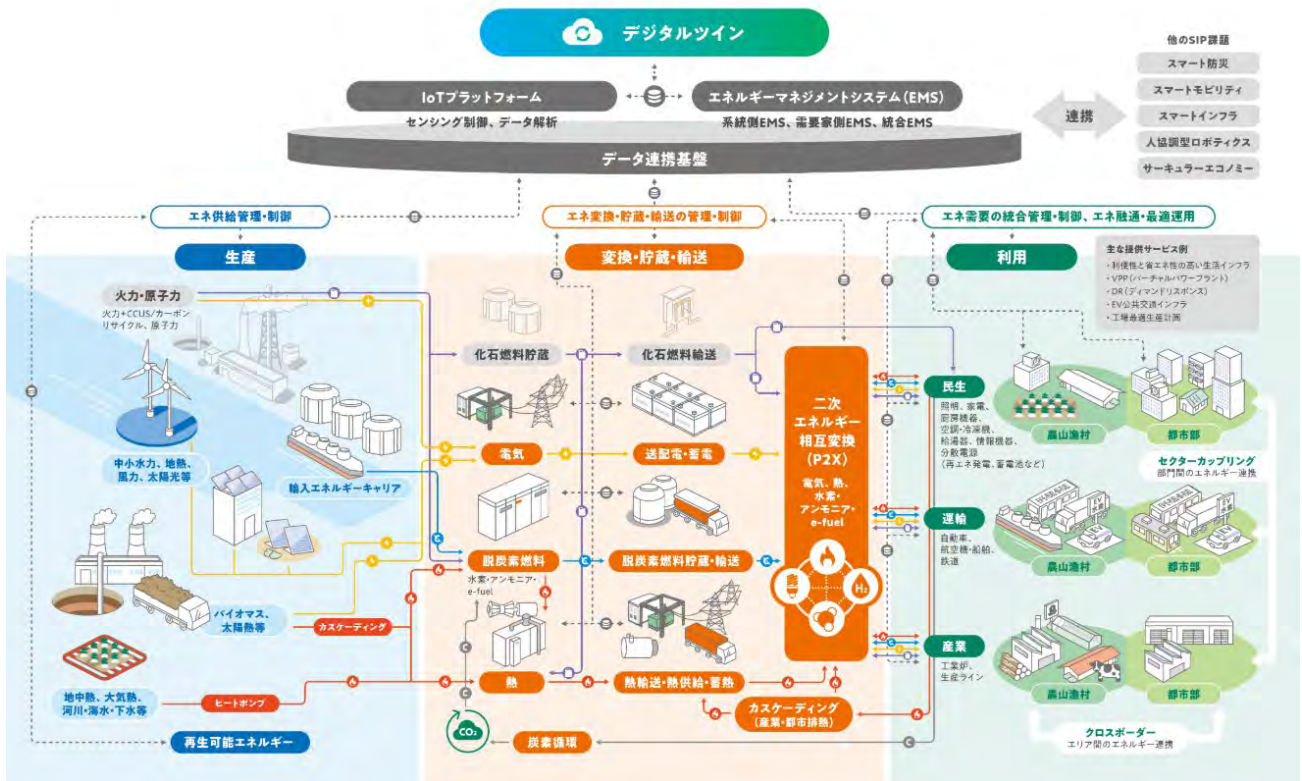


図 II-1 コンセプトイメージ

2. 現状と問題点

日本がパリ協定の中期目標として掲げた「2030 年代に CO₂ 排出を大幅削減」を達成するため、さらに昨今のエネルギー安定供給課題に対応するためには、エネルギートランジションの一環として再エネポテンシャルと DER/IoT システムを活用したスマート EMS への移行を目指す必要がある。国の政策においても大きな省エネ効果が期待できる“部門や地域を超えた電気や熱等のエネルギーマネジメント”はカーボンニュートラル実現に向けたイノベーションの一つに位置付けられている¹。一方で、その達成に向けて、以下の現状・問題点を認識している。

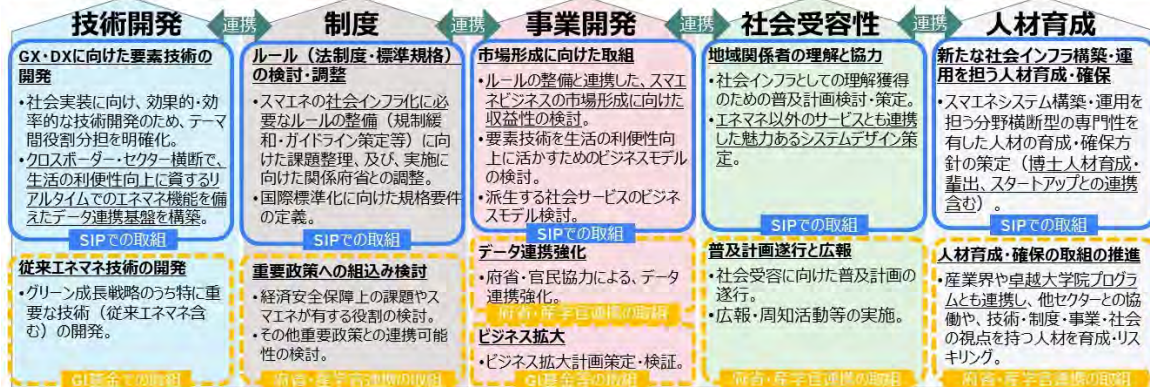
- ▶ カーボンニュートラル及びエネルギーの安定供給、さらには多様な消費セクターの利便性向上のためには更なる再エネ導入・活用と協調制御が不可欠
- ▶ 再エネを最大限活用するには、地域やセクターの枠を超えたエネルギーマネジメントの高度化が求められるとともに、必要な基盤技術の実装に向けた既存の社会システムの改革が不可欠
- ▶ カーボンニュートラルの実現のためには、再エネの導入拡大を進めつつ、経済安全保障上のリスクマネジメントの観点から、熱・水素・合成燃料を含めたスマート EMS の社会インフラ化は必須である。しかし、市場形成に向けた仕掛け・仕組みづくりの検討が不十分
- ▶ スマート EMS の社会インフラ化に向けては、クロスボーダー・セクター横断のデータ連携基盤の構築が不可欠である。しかし、「機能重複・不足の解消方法」や「各種システム間の連携方法」について、府省・官民連携を推し進めるための実行可能な計画が不十分

そこで、カーボンニュートラルの実現に向けたスマート EMS 構築・社会インフラ整備に向けて、「市場形成や国際標準化のための仕掛け・仕組みづくり」と「データ連携基盤構築のための府省・官民連携の取組強化」を 5 つの視点で推進する（図 II-2 現状・問題点とミッション達成に向けた 5 つの取組）。

¹ “カーボンニュートラルにむけたイノベーション”や“重要技術”（「省エネルギー・非化石エネルギー転換技術戦略 2024」、資源エネルギー庁・NEDO、令和 6 年 5 月、<https://www.meti.go.jp/press/2024/05/20240514004/20240514004-3r.pdf>、「第 7 次エネルギー基本計画（令和 7 年 2 月 18 日閣議決定）」、<https://www.meti.go.jp/press/2024/02/20250218001/20250218001-1.pdf>）、「温暖化対策の基盤施策」（「地球温暖化対策計画（令和 7 年 2 月 18 日閣議決定）」、<https://www.env.go.jp/content/000291669.pdf>）。

ミッション

- 2050年カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の確保、さらにはSociety5.0（GX・DXにより利便性が高く魅力的なサービスが実装された社会）の実現に向けて、従来の一建物や一地域における電力マネジメントの枠を超え、クロスボーダー・セクター横断での、熱・水素・合成燃料を含めた様々なエネルギー利用を包含する「スマートエネルギーマネジメントシステム」を構築し、次世代の社会インフラを確立する。
- 府省・官民連携にて、最適な機能分担・システム間連携を実装したスマートエネルギーマネジメントシステムを通じて、新たな市場基盤を創出し、国際的に展開する。
- 上記の実現に向けて、5つの視点での取組（技術開発・制度・事業開発・社会受容性・人材育成）に対応するXRL3～7）を推進する。



社会実装に関わる現状・問題点

- カーボンニュートラルの実現、及び、経済安全保障上のリスクマネジメントの観点で、熱・水素・合成燃料を含めた再エネの導入拡大のための観点でスマエネの社会インフラ化は必須であるにも関わらず、市場形成や国際標準化に向けた仕掛け・仕組みづくりの検討が不十分。
- スマエネの社会インフラ化に向けては、クロスボーダー・セクター横断のデータ連携基盤の構築が不可欠だが、「機能重複・不足の解消方法」や「各種システム間の連携方法」について、府省・官民連携を推し進めるための実行可能な計画が不十分。

図 II-2 現状・問題点とミッション達成に向けた5つの取組

3. ミッション到達に向けた5つの視点での取組とシナリオ

(1) 5つの視点での取組

先述のミッション、現状・問題点を認識したうえで、SIPでは、スマートEMS構築・社会インフラ化に向けて、「市場形成や国際標準化のための仕掛け・仕組みづくり」と「データ連携基盤構築のための府省・官民連携の取組強化」を、技術開発・事業開発・制度・社会受容性・人材育成の5つの視点で推進する。図II-2 現状・問題点とミッション達成に向けた5つの取組の内容を以下に解説する。

① 技術開発

- ▶ SIP内での取組：GX・DXに向けた要素技術の開発
 - ・ 社会実装に向けた効果的・効率的な技術開発のため、テーマ間役割分担の明確化
 - ・ 熱・水素・合成燃料を含めた様々なエネルギーを活用したエネルギーマネジメント技術の開発
 - ・ クロスボーダー・セクター横断で、生活の利便性向上に資するリアルタイムでのエネマネ機能を備えたデータ連携基盤の構築
- ▶ 経済産業省・グリーンイノベーション（GI）基金事業での取組：従来EMS技術の開発
 - ・ グリーン成長戦略のうち特に重要な技術（従来EMS含む）の開発と活用

② 事業開発

- ▶ SIP内での取組：市場形成に向けた取組
 - ・ スマートEMSの社会インフラ化・市場形成に向けた、民間からの投資を呼び込める条件や方法（収益性評価等）、ビジネスモデルの検討
 - ・ 事業実施期間内に民間等からの投資（マッチングファンド）を呼び込むための条件や促進策の検討
 - ・ 市場形成の実現に必要なルール・制度の形成・提言
 - ・ スマートEMSの社会インフラとしての理解の獲得・事業化におけるボトルネックと解決策の分析・検討
- ▶ 府省・産学官連携の取組：データ連携強化
 - ・ 府省・官民協力による、データ連携強化
- ▶ GI基金等の取組：ビジネス拡大
 - ・ ビジネス拡大計画策定・検証

③ 制度

- ▶ SIP内での取組：ルール（法制度・標準規格）の検討・調整
 - ・ スマートEMSの社会インフラ化に必要なルールの整備（規制緩和・ガイドライン

策定等) に向けた現行ルール of 課題整理

- ・ 市場形成の実現に向けて必要となるルール・制度の形成・提言、関係府省との調整
- ・ 国際標準化に向けた規格要件の定義
- ▶ 府省・産学官連携の取組：重要政策への組込み検討
 - ・ 経済安全保障上の課題やスマート EMS が有する役割の検討
 - ・ その他重要政策との連携可能性の検討

④ 社会受容性

- ▶ SIP 内での取組：地域関係者の理解と協力
 - ・ 社会インフラとしての理解獲得におけるボトルネックと解決策の分析・検討
 - ・ 社会インフラとしての理解獲得のための普及計画検討・策定
 - ・ EMS 以外のサービスとも連携した魅力あるシステムデザイン策定
- ▶ 府省・産学官連携の取組：普及計画遂行と広報
 - ・ 社会受容に向けた普及計画の遂行
 - ・ 広報・周知活動等の実施

⑤ 人材育成

- ▶ SIP 内での取組：新たな社会インフラ構築・運用を担う人材育成・確保
 - ・ スマート EMS 構築・運用を担う多様な専門性（エネルギー分野の専門領域に加え、制御技術やデジタル技術等）を有し、分野横断的なシナリオ・戦略を描ける人材の育成（企業との連携による、卓越大学院プログラム等の大学院教育への実務を習得するカリキュラムの導入・編成等）
 - ・ 上記に加え、国際的な事業展開を戦略的に実践できる人材の輩出
- ▶ 府省・産学官連携の取組：人材育成・確保の取組の推進
 - ・ 産業界や卓越大学院プログラムとも連携し、他セクターとの協働や、技術・制度・事業・社会の視点を持つ人材を育成・リスクリング

(2) ミッション到達に向けたシナリオ

「エネルギーインフラによる Society5.0 の実現」と「早期のカーボンニュートラル達成」を将来像としたうえで、ミッション到達に向け、その実現に不可欠となる Activity を 5 つの視点で整理している（図 II-3 ロジックツリー）。ここでは、SIP 内の活動に加え、SIP 外・後の活動（主に、関連省庁・民間企業との連携によるもの）を含めて記載することで、最終的なミッション到達、及び、将来像の実現までに必要なプロセスを全体的に可視化している。同図中の重要な要素を解説する。

左端の Activity（誰が何をするか、どのような取組が必要か）の「SIP 内の活動」及び「SIP 外・後の活動」については、先述の「(1) 5 つの視点での取組」に記載のとおりである。

中央の Output（取組から直接的に得られる成果）は、Activity と同じく、5 つの視点で、以下のとおり整理している。

Output（取組から直接的に得られる成果）

① 技術開発

- ▶ 生活の利便性を向上に資するリアルタイムでのエネマネ機能を備えたデータ連携基盤技術に係る知的財産

② 事業開発

- ▶ 課題全体（派生する事業含む）を解決するビジネスモデル・社会実装計画

③ 制度

- ▶ スマート EMS の社会インフラ化を実現するうえで必要なルール・制度

④ 社会受容性

- ▶ スマート EMS 関連の製品・サービスの社会受容性向上策

⑤ 人材育成

- ▶ スマート EMS 構築・運用を担う分野横断型の専門性を有した人材育成プログラム

また、Output が得られたことによって変わる状態を Outcome として整理しており、ミッションである「クロスボーダー・セクター横断での分散型スマート EMS のインフラ化」、及び、「官民連携によるスマート EMS 市場基盤の創出」の状態を経たうえで、最終的な将来像を「エネルギーインフラにより Society5.0 を実現」と「早期のカーボンニュートラル達成」として見据え、その実現をロジカルに、プロセスに沿って達成することを目指す。

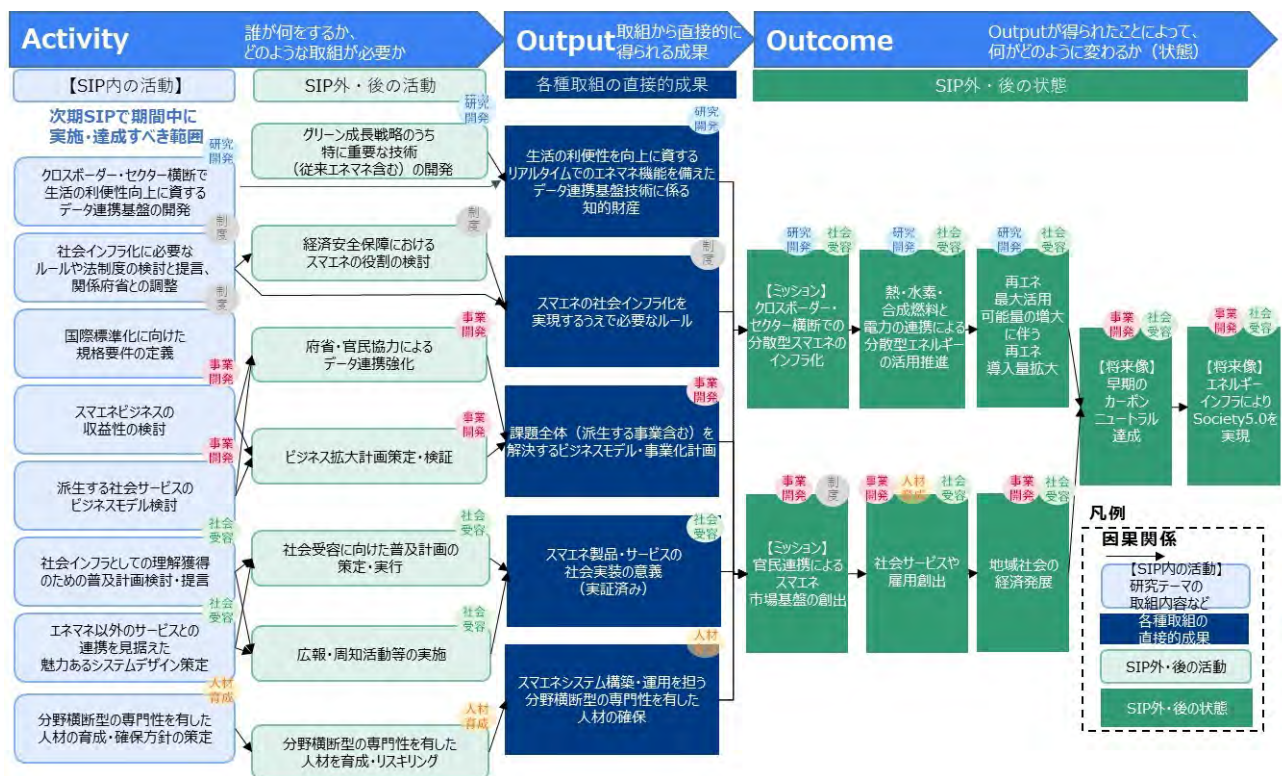


図 II-3 ロジックツリー

4. SIP での取組(サブ課題)

図 II-4 にスマート EMS の定義を示す。本課題「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」で取り扱うスマートエネルギーマネジメントは、再生可能エネルギー、特に太陽光や風力等の不安定なエネルギーを供給力の主力とする。そのためには、各種エネルギー変換・貯蔵・輸送技術を通じてエネルギーの需給両面を情報によって統合し、エネルギー利用を最適化しエネルギー需要を削減するとともに、需給調整に必要な柔軟性を確保することが重要である。この目的を達成するには、従来のエネルギーマネジメントとは異なる AI やリアルタイムデータ等を活用し、セクターカップリング等の広域のエネマネを行う。また、エネルギー需給協調として、DER を含むスマートグリッド、スマート熱グリッド（地域熱供給の拡張イメージ）さらにスマートクロスグリッドを調整対象としている。併せてセクターカップリングによるスマートエネルギー社会を実現するために、Power-to-X に向けて様々なアプリケーションに柔軟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）を用いたインテリジェントパワエレシステムを開発する。これらの実現により個別のエネルギー供給以上のシナジー効果（安定供給、エネルギー損失軽減、排出削減、コスト削減）を生むことが要件となる。

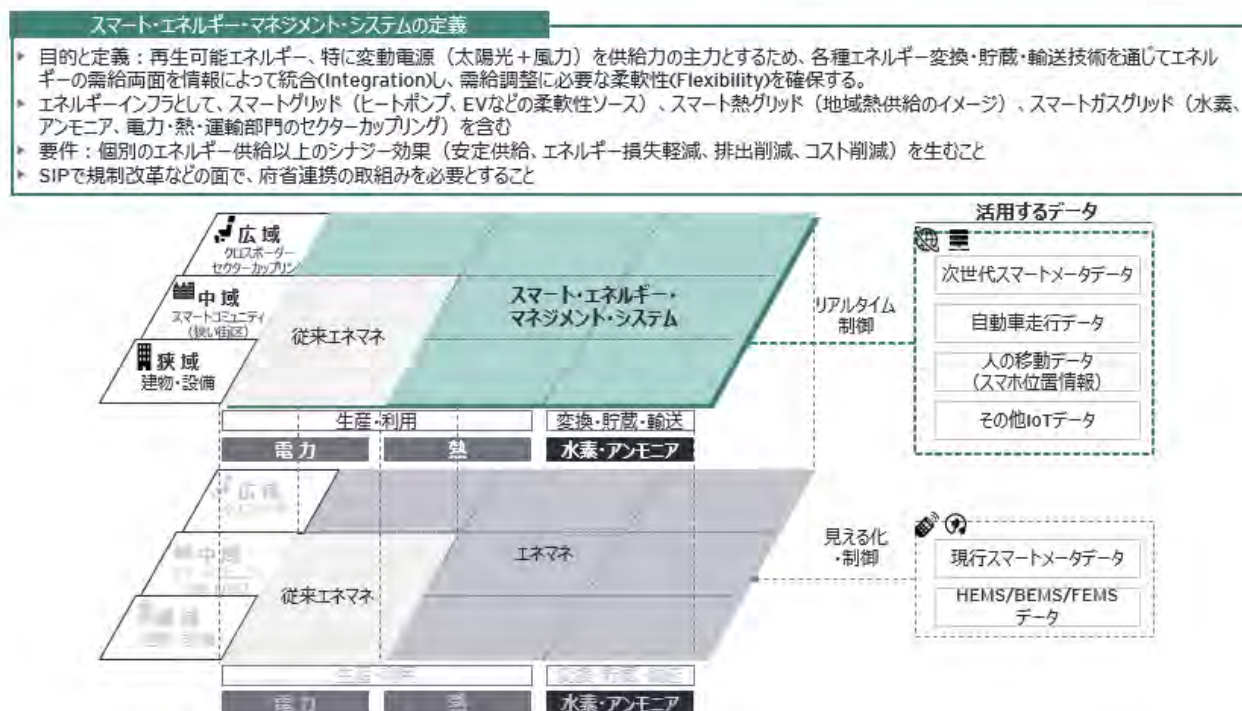


図 II-4 スマートエネルギーマネジメントシステムの定義

上述の定義を踏まえ、本課題では、取り扱う研究対象の関連の強さからエネルギーバリューチェーンごとに区分けしたサブ課題 A～C を設定する（図 II-5 サブ課題の構成）。

- ▶ サブ課題 A：電力セクターと交通・運輸セクターのカップリングや農村の再エネポテンシャルを活用する VPP システムの開発により、エネルギー生産から（民生・産業・運輸部門での）統合利用までの最適運用マネジメントを行う技術及びプラットフォームを開発・実証する。セクターカップリング型スマートグリッドの実現を目指す。
- ▶ サブ課題 B：水素・アンモニア・e-fuel 等の各種エネルギーキャリアの相互変換や、運輸部門等モビリティ分野のカーボンニュートラル化、あらゆるアプリケーションの EMS を実現するインテリジェントパワエレシステムを開発・実証する。スマートクロスグリッドの実現を目指す。
- ▶ サブ課題 C：家庭用、業務用、産業用のエネルギー効率化技術の開発とその最適な組み合わせによる運用の実証を行う。地域のエネルギーマネジメントを支える各種プラットフォームや、熱のデジタル化や熱の EMS 開発を通じた熱利用の高性能化、分散した産業設備と地域の再生可能エネルギーの最適運用を実現する。

サブ課題 A では運輸部門と農業部門を、サブ課題 C では家庭や第 3 次産業を含む民生部門と工場等の製造業を取り上げており、個別の研究開発テーマの取組とテーマ間連携を進めながらエネルギーバリューチェーン全体の確立・社会実装を一体的に進めることができる。また、サブ課題 B では、サブ課題 A・C の EMS 開発に必要となる変換・貯蓄・輸送技術を開発・実装するテーマを取り上げ、GX を支える基盤となる。

このため、サブ課題ごとに技術開発を進めた上で最終的には統合して社会に実装されるよう取り組む必要がある。まずはサブ課題内での情報交換や相互連携を進めつつ、サブ課題で分担しながらも実施期間中に、相互の技術を活用して共同実証を実施するなど、サブ課題間の連携も図りながら一体的に取り組んでいく。

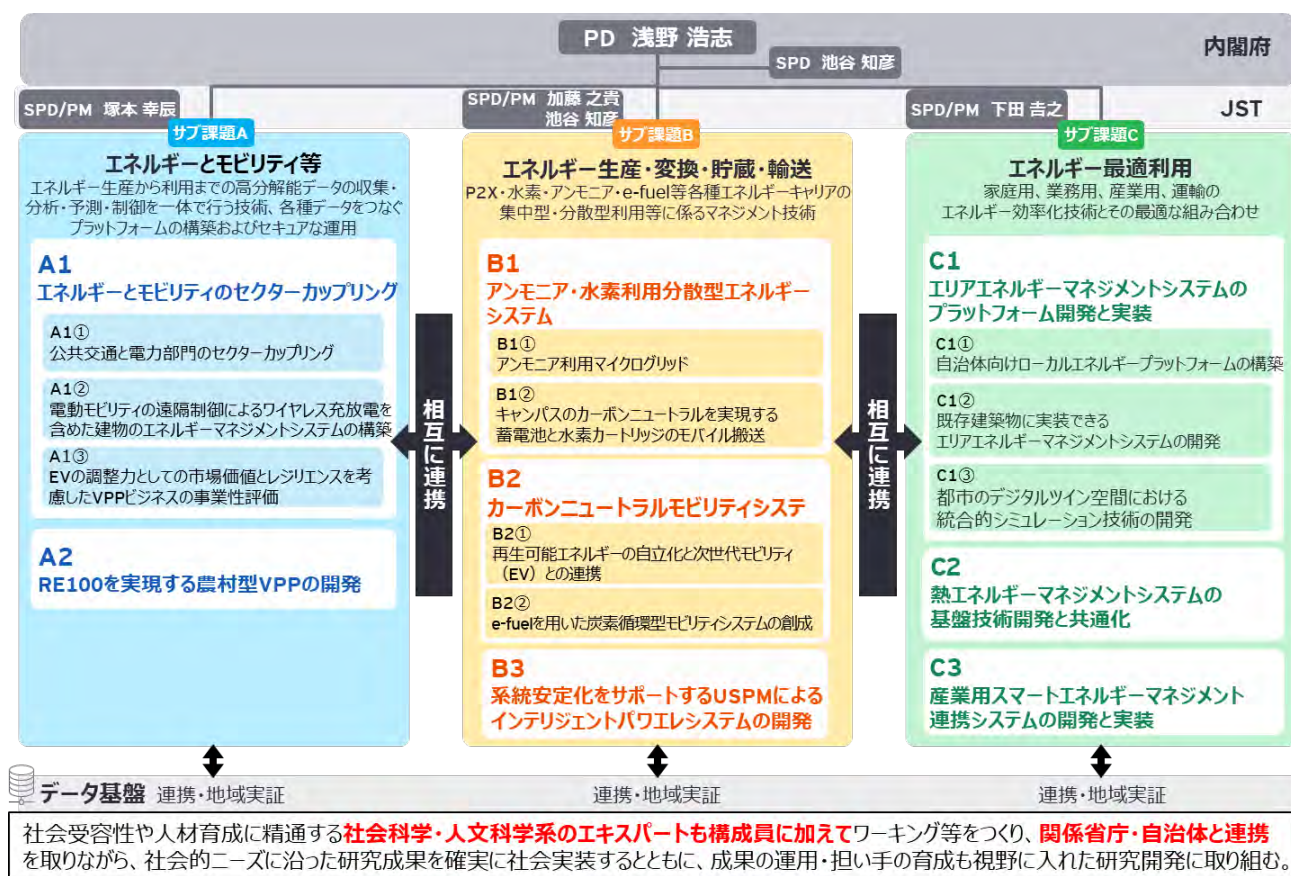


図 II-5 サブ課題の構成(研究推進体制)

(1) 背景(グローバルベンチマーク等)

エネルギーマネジメントは、技術開発動向や各国の研究開発支援動向から、国際的に重要度の高い研究領域であるとともに、高い研究開発力を誇る我が国が技術面で優位に立つことのできる領域である（後述）。一方で、欧米の政府投資額が年々拡大する中、我が国の投資状況の伸びはさほど広がりを見せておらず、技術面・事業面で主要国が競争力を増している（図 II-6 主要国政府のエネルギーマネジメント分野への支援状況）。将来の社会を見据えた新たな技術領域としてスマートエネルギーマネジメントへの投資・技術開発に早期に着手し、我が国の本分野における技術的優位性を活用することができれば、カーボンニュートラルという難易度の高い目標や、エネルギー資源の枯渇等の社会課題解決に向けて世界をリードすることが可能となる。他方、技術の社会実装にあたっては、技術開発・事業開発・制度・社会受容性・人材育成の5つの視点それぞれのボトルネックが特定されている。これらの解消に取り組むためには、5つの視点の取組を一体的に推進することのできるSIPの仕組みが不可欠である。

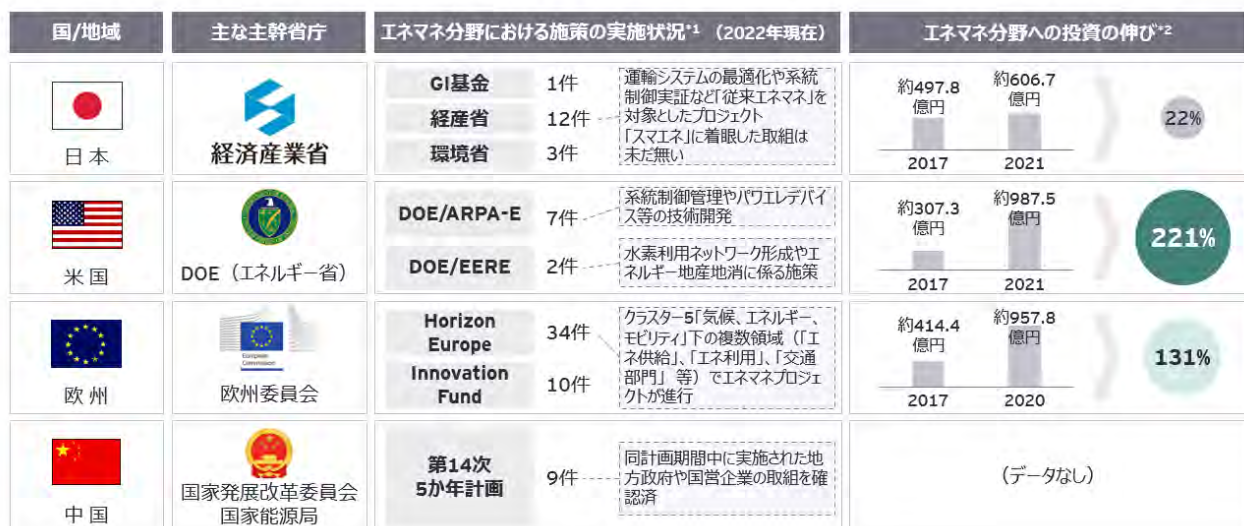


図 II-6 主要国政府のエネルギーマネジメント分野への支援状況

▶ 技術開発動向

本課題で取り扱う予定の技術開発内容は、論文・特許動向から国際的に注目されている研究領域であることが確認されている。“セクターカップリング”や“エネルギーマネジメント”等、研究領域のキーワードをとり、論文数・特許数を検索すると、特に海外論文数において大幅な増加傾向がみられ、国際的な重要度の高さが伺える。

加えて、3つのサブ課題のいずれにおいても新規性・独自性ある技術を扱う予定であることが確認されている。具体的には、論文・特許において類似する技術を調査し、3つのサブ課題いずれにおいても、取り扱う技術の既存研究との違い・新規性を検証している（図 II-7 国内外の論文・特許動向）。

また、既存施策における実施内容の国内外比較から、制御対象エリア・エネルギーキャリア・制御手法

との違いを確認した。とりわけ、国内の既存施策については、従来のエネルギーマネジメントに取り組むにとどまり、将来社会に必要となるスマートエネルギーマネジメントの実現を目指した取組はなされていない。



図 II-7 国内外の論文・特許動向

▶ 国内外政策動向

米国政府、及び、欧州委員会では、エネルギー分野の研究開発を取り扱う国家プログラムにおいてエネルギーマネジメント領域への投資を増やしている一方、日本政府の投資額の伸びは小さい。前述のとおり国際的に重要視されている研究領域に各国が投資することは必然であることや、本課題における技術が国際的に新規性を有することを踏まえると、日本政府として本領域へ投資を行い、独自の技術を世界に先駆けて実用化することは国際競争性の観点から有効である。また、エネルギーマネジメント技術そのものに加え、エネルギーマネジメントの対象となるエネルギー消費設備・機器の開発やこれらの技術を支えるパワエレ等の要素技術は我が国が他国に対して技術的優位性を示しており、これらの機器を最適制御するスマート EMS の開発はこれらの技術の優位性を維持するためにも重要である。

▶ 技術実現性

電動モビリティの蓄電技術の利用や VPP システム、限られた区域における EMS 等、一部の個別技術は要素技術として既存のシステム上で確立されているが、要素技術を統合して、セクターカップリング

やネットワークのプラットフォーム化を実装可能なトータルシステムとして機能させるまでに至っていない。また、分散型エネルギーシステムでの水素・アンモニア利用技術、熱や燃料等、電力以外のエネルギー資源を活用するにあたり、エネルギー資源の変換・貯蔵・輸送・再変換技術の要素技術開発とそのシステムへの統合技術が現時点で確立されていない。他セクターとの協調技術を含めたエネルギーの生産から利用までを最適化するスマート EMS の構築に必要なデジタル化や管理制御技術等の技術も今後開発が必要な要素である。このように、現時点で確立できておらず、今後開発が必要な技術を図 II-8 抽出された技術的ボトルネックのように特定している。

これらの技術的ボトルネックを解消し技術実現性を獲得するための研究開発テーマ（個別研究開発テーマ）を各サブ課題において設定し、SIP における開発実証を通じて、各分野での提案技術の機能を検証し、トータルマネジメントシステムの技術実現性・社会実装可能性を立証していく。また、技術開発の初期段階から着手が必要なボトルネックについては、SIP の機能を活用して関係機関との連携により技術開発を加速し、社会実装を目指すとともに、実施期間後の国際標準化を展開する。

テーマ	技術的なボトルネック（現時点で確立できておらず、今後開発が必要な技術）
A1①	公共交通・電力のセクターカップリングに必要な要素技術をシステムに統合する機能
A1②	電動モビリティの蓄電池としての大量導入・大規模活用にあたり必要な充放電等制御技術
A1③	スマートエネルギーマネジメントシステムの社会実装に必要な、事業性や組織ガバナンスを検証する機能
A2	既存のVPPシステムでの、農村の地中熱など未利用熱の利用技術（燃料の非化石化技術）
B1①	分散型エネルギーシステムでのアンモニア利用に必要な、各セクターへのアンモニアエネルギー導入に必要な技術
B1②	分散型エネルギーシステムでの水素利用に必要な、余剰電力を水素に変換・貯蔵・輸送・再変換する技術
B2①	電力・モビリティの複合ネットワークプラットフォーム化に必要な要素技術をネットワークに統合する機能
B2②	輸送分野のカーボンニュートラル実現に不可欠なカーボンニュートラルなe-fuelの製造技術
B3	Power-to-Xの実現に求められる、全エネルギー機器（パワエレシステム）を統合制御できる電力変換技術
C1①	自治体のエネルギー需給の現状分析・施策検討・評価に必要なデータやツール
C1②	エネルギーマネジメントの脱炭素ポテンシャルをわかりやすく可視化したり、最先端技術の導入シナリオを評価する手段
C1③	既存建築でBEMSデータを統合し、地域でのエリアマネジメントをおこなう手法
C2	熱の有効利用に必要な熱利用技術のデジタル化およびEMSによる熱の利用管理技術
C3	産業のエネルギーマネジメントに不可欠な、熱や燃料など電力以外のエネルギー資源を含むデジタル化・管理制御技術

図 II-8 抽出された技術的ボトルネック

▶ 事業実現性

事業実現性については、本課題の開始前に、得られる成果のビジネスとしてのバリューチェーンを確認しながら市場規模の推計を行っている。推計の結果、スマート EMS が社会インフラとして確立されることを前提とした場合、2040 年における市場規模（推定）は概ね数百億円から数千億円となり、市場が形成されれば価値あるビジネスとなることがわかっている（図 II-9 推定市場規模（個別研究開発テーマ

ごと) 参照)。ただし、本市場規模推計は、普及率等を一定の仮定の下で算出した結果であり、今後、さらなる精査が必要である。加えて、得られたシステムは CO₂ 排出量を既存のシステムより低減させることが可能となり、地域・社会におけるカーボンニュートラル実現に大きく貢献するという点でも事業価値がある。

本課題の提案の要件として、産業界や自治体との連携で技術開発から事業開発まで取り組むこととしており、事業実現までの道筋を確保している。例えば、サブ課題 A では宇都宮市と地域公共交通事業者との連携により事業を進め、事業終了後には自治体や事業者による成果の活用が計画されている。また、V2X/VPP ビジネスのユースケースについては実施期間内で事業性・費用便益を検証していく。

一方、現時点では、市場形成にあたっての仕掛けづくりや仕組みの検討には至っておらず、これが事業開発面でのボトルネックとなっている。SIP におけるボトルネックの解決に向けた方策の検討や関係府省等との調整を通じ、本システムの実現に向けて必要なルール（法制度等）が整備されることで、事業者にとっての経済的便益が創出され、事業面で評価される社会インフラとなる。

なお、以下の市場規模は、社会実装に向けた課題が適切に解消した状態を仮定したうえでの試算値である。具体的には、図 II-2 現状・問題点とミッション達成に向けた 5 つの取組の「社会実装に関わる現状・問題点」に記載している「市場形成や国際標準化に向けた仕掛け・仕組みづくり」が進捗し、社会インフラとしてのスマート EMS 構築に不可欠な府省・官民連携が適切に機能することを前提としている。については、後述する各個別研究開発テーマの KPI における数値（普及率等）とは、整合しない部分があることに留意が必要である。

テーマ	2030における市場規模	2040における市場規模	推定における主な前提条件	
			想定利用ユーザー	将来的に販売する主な商品・サービス
A1①	524億円	956億円	路線バスの運行会社、 貨物事業者、タクシー事業者	電力・公共交通データ連携型エネルギー管理プラットフォーム
A1②	774億円	1,538億円	不動産会社、不動産管理会社	電動モビリティを蓄電池として積極活用する エネルギー管理システム
A1③	43億円	79億円	アグリゲーションコーディネーター	系統電力と相互補完的な地域の自立分散型エネルギーシステム
A2	1,074億円	1,961億円	リソースアグリゲーター会社	農山漁村エネルギー管理システム
B1①	4,326億円	7,899億円	マイクログリッド事業者	マイクログリッドエネルギー管理システム、 マイクログリッドのインフラ構成機械
B1②	3,746億円	1.2兆円	燃料電池の需要家	小型・可搬型の水素カードリッジ、 コミュニティにおけるエネルギー需給最適化システム
B2①	362億円	661億円	アグリゲーションコーディネーター	再生エネ100%による地域MaaS
B2②	1,899億円	3,418億円	バス、トラック、重機の所有者	e-fuel、e-fuel供給器
B3	1,255億円	3,459億円	PV、蓄電池の 電気機械器具メーカー	USPM半導体が格納されたパワーコンディショナー
C1①	244億円	446億円	自治体	自治体向けローカルエネルギープラットフォーム
C1②	1,946億円	3,554億円	不動産会社、自治体	再生可能エネルギー供給ポテンシャルの定量評価システム、 デジタルツインを活用する都市設計システム
C1③	266億円	485億円	不動産会社、地方自治体、 町会・自治会	地域内の多数のビルを統括的にマネジメントする エリアエネルギー管理システム
C2	5,029億円	9,182億円	住宅メーカー、 電気機械器具メーカー	ソフトウェア、ハードウェア（機器、センサ） を含めた熱のエネルギー管理エコシステム
C3	51億円	77億円	工場	産業用スマートエネルギー管理連携システム

※：本推計は、限定的な条件に基づいて推定した結果であり、本個別テーマの社会的意義・価値を表現した値ではないことに注意が必要

図 II-9 推定市場規模(個別研究開発テーマごと)

▶ ルール（法制度・標準規格）

上述のとおり、カーボンニュートラル社会の実現に向けた技術の普及・社会インフラ化のためには、技術開発と並行し、社会的意義・価値が適切に評価されるルールの整備が必要である。法制度面で取り組むべき事項としては、スマート EMS の社会インフラ化にあたり必要な制度設計（法制度の改正等）、技術の普及のボトルネックとなる規制の緩和、インフラを支える事業者の参入を促す仕組みの整備（補助金等のインセンティブの確保やカーボンプライシング等の誘導策）、得られた技術の国際標準化等が挙げられる。また、特に考慮すべき現行のルール・法律に関する課題は、「認定電気使用者情報利用者等協会（認定協会）制度」、「農林漁業の健全な発展と調和のとれた再生可能エネルギー電気の発電の促進に関する法律（農山漁村再生可能エネルギー法）」、「エネルギーの使用の合理化等に関する法律（省エネ法）」、「ガス事業法」、「高圧ガス保安法」、「電気事業法」、「半導体集積回路の回路配置に関する法律」、「電波法」である。中でも、「電波法」について、電気自動車用非接触電力伝送システムの高周波出力に制限が多く、本課題のサブ課題 A の研究開発技術の社会実装のためには、高周波出力の規制緩和を強く促す必要がある。

必要なルール整備・制度設計の実現に向けて、政策等の提言を打ち出すことにより産学官のステークホルダーへの働きかけを行うほか、関係省庁と協議しながら制度的ボトルネックの解消に向け必要な仕組みを構想する。SIP としてこうした取組を進め、社会実装における制度的ボトルネックの解消に加え、事業者にとっての経済価値として転換され、事業性として評価されることを目指す。

▶ 社会受容性

本課題における社会受容性とは、スマート EMS の社会インフラとしての実装・普及にあたり、製品・サービスが導入先のコミュニティ（地域住民や産学官の関係者）からの理解・協力を獲得できるかどうかの尺度を指す。地域や自治体でのスマート EMS の実装においては、関係する市民や行政等の主体を巻き込んだ合意形成が必要になるため、高度な可視化技術、地域それぞれの特徴を反映した効果の定量的評価手法等、ステークホルダーの理解を得られるような技術開発が必要である。

例えば、研究開発成果の社会実装へ向け市民等への理解を促すことや自治体におけるデータ連携基盤の普及が求められるため、導入技術によるカーボンニュートラル性の達成効果の周知、スマートメータ統計データ等の公共性・公益性の高いデータの個人情報排除された形での公開方法の在り方の検討・実現、住民を巻き込んだワークショップや節電ポテンシャルの見える化等の取組を通じ、コミュニティの理解獲得を図ることが重要である。

▶ 人材

人材面では、次世代の社会インフラであるスマート EMS の構築・運用を担う人材が必要である。分野横断型の専門性を有した人材の育成・確保のため、卓越大学院プログラム（東京科学大学「エネルギー・情報卓越大学院」や早稲田大学「パワー・エネルギー・プロフェッショナル育成プログラム」）との連携等による学生の育成や技術者のリスクリングを包含した人材育成・確保方針を策定し、必要な人材を確保する。

(2) 社会実装に向けた SIP 期間中の達成目標

サブ課題ごとの主な達成目標、及び、KPI（研究終了時）は以下のとおり。

サブ課題 A：

- ▶ 《達成目標 a-1》
交通セクターと電力セクターのカップリングによるリアルタイムエネルギーマネジメント技術や電動モビリティの蓄電池としての利用技術を確立したスマート EMS プラットフォームを社会実装可能にする。
- ▶ 《達成目標 a-2》
再エネを積極的に活用した農山漁村地域の特性に合わせた固有の VPP（農村型 VPP）システム設計を実現する。
- ▶ 《達成目標 a-3》
V2X/VPP 等スマートエネルギーマネジメントに係るビジネスの事業性・費用便益性の分析を通じて、同ビジネスの確立・普及・促進に必要な政策提言を行う。
- ▶ KPI
 - ✓ 路線バス 160 台程度の規模の都市で、全てのバスが電動化する前提で、当該地域の一般送配電事業者供給エリア全体での時間帯別 CO₂ 排出量をベースに計算した場合、全車両を夜間充電する場合の CO₂ 排出量に対して、最適充電を行ったケースで、年間約 300t・CO₂（約 6%）排出削減する。
 - ✓ 農業経営体等の生産場面における電力/熱需要を最適制御するシミュレーションを実証し、GHG 排出量の 16%削減を達成する。
 - ✓ V2X に係る事業性・費用便益性評価ツールを開発し、実環境下での実証を経たユースケースを 1 件創出する。V2X の実装によって、再エネ出力制御量の抑制による再エネ発電量比率の向上を目指すとともに、それによる対象エリアの CO₂ 排出量削減への効果を明らかにする。

サブ課題 B：

- ▶ 《達成目標 b-1》
産業・運輸・民生分野において、適用分野や適用地域を考慮した最適な工業炉、ボイラ、ゼロカーボンマイクログリッドとエネルギーマネジメントシステムの社会実装を可能とする。
- ▶ 《達成目標 b-2》
再生可能エネルギーと複数のエネルギーキャリアへの変換と次世代モビリティとの安定的な連携を数理・AI 技術により実現し、排出 CO₂ の回収によるカーボンニュートラルモビリティシステムを目指す。ゼロカーボンエネルギーを一次エネルギー源とした電力、e-fuel を活用した運輸部門等モビリティ分野でのカーボンニュートラルシステムの構築を目指す。
- ▶ 《達成目標 b-3》
各分野での活用を目指して、全パワエレシステムの協調制御を実現した Power-to-X 向けインテリジェントパワエレシステムを構築する。

▶ KPI

- ✓ アンモニア改質器ユニットについて、燃焼器用燃料製造ではアンモニア分解率 99%以上・改質ガス発生量 300 m³/h 以上を、燃料電池用水素製造では水素純度 99.999%以上・純水素ガス発生量 10 m³/h 以上を達成し、社会実装可能とする。産業・運輸・民生分野に広く応用展開することを想定したアンモニア・水素利用マイクログリッドについては EMS を組込んだ 2MW 発電システムの設計・実証を完了する。
- ✓ 電力と移動の需要予測システムを構築し、e-fuel 合成機能も包含したシステムの有効性評価と自動走行電気自動車（EV）の実証を通じて、二酸化炭素の分離・回収にかかるエネルギーの 25%削減を達成する。e-fuel の移動体利用を前提とした CO₂回収器及び CO₂回収型水素製造器を実証し、e-fuel を用いた運搬可能な炭素循環システムの社会実装に必要な仕様を提案する。
- ✓ 高集積・高パワー密度・高信頼パッケージ技術の実証を完了し、従来比 1/2 の体積の次世代 USPM を目指す。次世代 USPM を応用した EV 向け普通充電器、急速充電器への適用方法について検討する。また、次世代 USPM による充電器の分散ネットワーク化で信頼性・利便性の高いシステム化を図る。

サブ課題 C：

▶ 《達成目標 c-1》

自治体向けローカルエネルギープラットフォームの構築により、自治体によるエネルギー需給の現状分析や施策検討を支援する。既存建築物に実装できるエリア EMS を構築し、既存資源を活用したエリア EMS を実現する。デジタルツイン技術を活用したシミュレーション基盤の開発により、未来都市のカーボンニュートラル等を見据えた各種スマート技術の導入シナリオを構築する。

▶ 《達成目標 c-2》

熱に関する個別要素技術のデジタル化と統合により、熱利用・貯蔵、ハイブリッド利用技術をより積極的に活用した EMS を具現化し、その運用の最適化を通じて CO₂ 排出量の大幅な削減に貢献する。規格化を見据えてデジタルツインや熱の EMS プラットフォームのルール作りを完了する。

▶ 《達成目標 c-3》

電気・熱・燃料等の資源を含めた産業用エネルギー設備の運用に関わる情報モデルを確立し、産業用スマートエネルギーマネジメント連携システムを新規国際標準として提案する。

▶ KPI

- ✓ 自治体や既存建物・街区におけるエリア EMS の開発、実装により、当該領域の CO₂ 排出量 10%削減を目標とする。民生部門における CO₂削減シナリオを実現する。
- ✓ 熱利用技術が重要となるキャンパス、コールドチェーン、産業用プロセス等に熱の EMS やデジタルツイン技術を実装するとともに、運用効果を「見える化」し、熱の EMS やデジタルツイン技術による CO₂削減やユーザーの意識や行動変容の可能性を明らかにする。

従来システムと比較して 20%～30%以上の削減を確認する。

- ✓ 産業用スマート EMS 連携システムについて、熱利用システムも含め、ユーザーとなる工場での実証を完了し、システムの最適設計と運用の最適化を検証する。工場の受給エネルギーの予測精度を最適化（97%以上）する。

(3) ステージゲート等による機動的・総合的な見直しの方針

研究開発の進捗状況や社会実装の見込み等を十分に考慮した上で、年度ごとの成果目標の妥当性について精査し、中間時点（2025 年度末予定）でのステージゲートを念頭に置いた課題マネジメントを徹底する。また、評価期間に関わらず、研究の進捗に伴いサブ課題を超えた技術連携が必要となるなどの場合にサブ課題構成の変更を行うなど、機動的な研究体制整備を図る。

(4) SIP 後の事業戦略(エグジット戦略)

スマート EMS の社会実装に向けた出口戦略を設定する。社会実装を目指す上で、本課題としては、「スマート EMS の社会インフラ化に向けて、民間投資を呼び込む市場形成」、及び、「市場を受け入れる地域・コミュニティからの理解獲得」を重要な視点（社会実装に向けて検討が不可欠である一方で、現時点での取り組みが不十分である活動）と位置付けた。事業終了後の事業化を実現するために必要となるステップを設定し、事業期間中に必要な施策を検討・推進する（図 II-10 社会実装に向けた取組：市場形成、図 II-11 社会実装に向けた取組：理解獲得）。

具体施策としては、例えば、実用化に向けて、事業化の担い手となる企業との連携、担い手を創出するためのコンソーシアム等の座組の組成や国際会議での情報発信や研究交流を実施するほか、社会実装に向けて、法制度面のボトルネックを解消するための関係省庁との連携等の取組を想定する。さらに得られた成果の普及展開を確実なものとするため、国際標準化へと展開する。



図 II-10 社会実装に向けた取組：市場形成



図 II-11 社会実装に向けた取組：理解獲得

5. 5つの視点でのロードマップと成熟度レベル

(1) ロードマップ

本課題の社会実装に向けた成熟度は、成熟度レベル（XRL）を計測量とし、全関係者での活用を推進する。そのうえで、5つの視点別に社会実装に向けたロードマップを作成し、各XRLにおける現在地及びSIPの実施期間5年間での推進目標（事業終了後（2027年度末）にTRL6（実証）、BRL4~6（初期テスト～実証）、GRL4~5（制度のコンセプト化～実証）、SRL4~5（初期検討～実証）、HRL4（初期テスト）を達成）を設定している。

ただし、ロードマップは、各サブ課題の主要技術テーマの進捗をベースに作成しているため、個別研究開発テーマにおいては、異なる進捗を示すものもある。（図 II-12 ロードマップ（サブ課題A）、図 II-13 ロードマップ（サブ課題B）、図 II-14 ロードマップ（サブ課題C））

▶ サブ課題 A「エネルギーとモビリティ等」

主要技術テーマにおいて、現時点（2024 年度末）で、TRL3~4（仮説検証~初期テスト）、BRL4（初期テスト）、GRL3（仮説検証）、SRL2（仮説設定）、HRL2（仮説検証）に取り組んでいる。各 XRL の詳細は別添 2 XRL/XPI の検討状況のとおり。

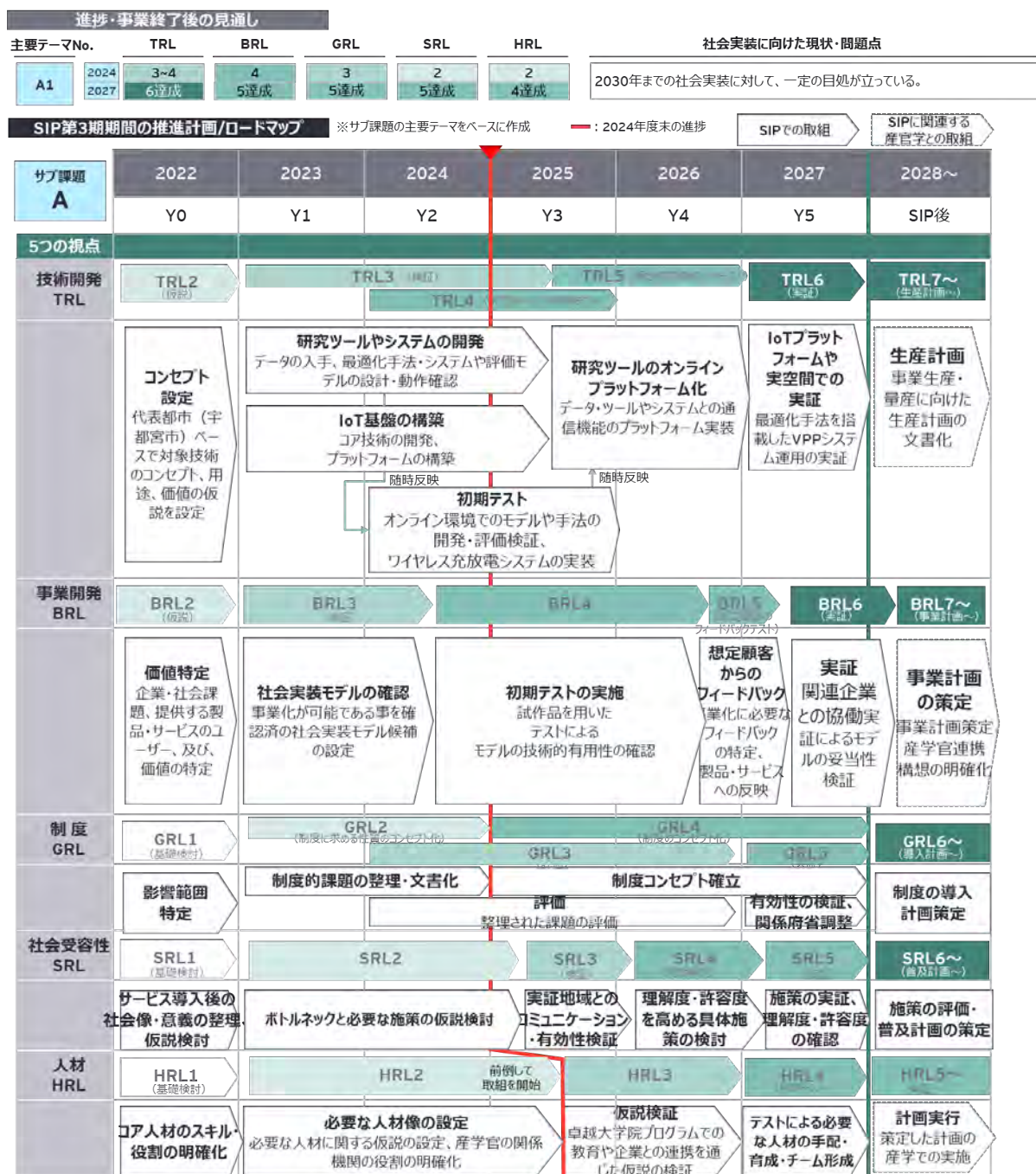


図 II-12 ロードマップ(サブ課題 A)

▶ サブ課題 B「エネルギー生産・変換・貯蔵・輸送」

主要技術テーマにおいて、現時点（2024 年度末）で、TRL3~4（仮説検証～初期テスト）、BRL3（仮説検証）、GRL3（コンセプト化）、SRL4（初期テスト）、HRL4（初期テスト）に取り組んでいる。各 XRL の詳細は、別添 2 XRL/XPI の検討状況のとおり。

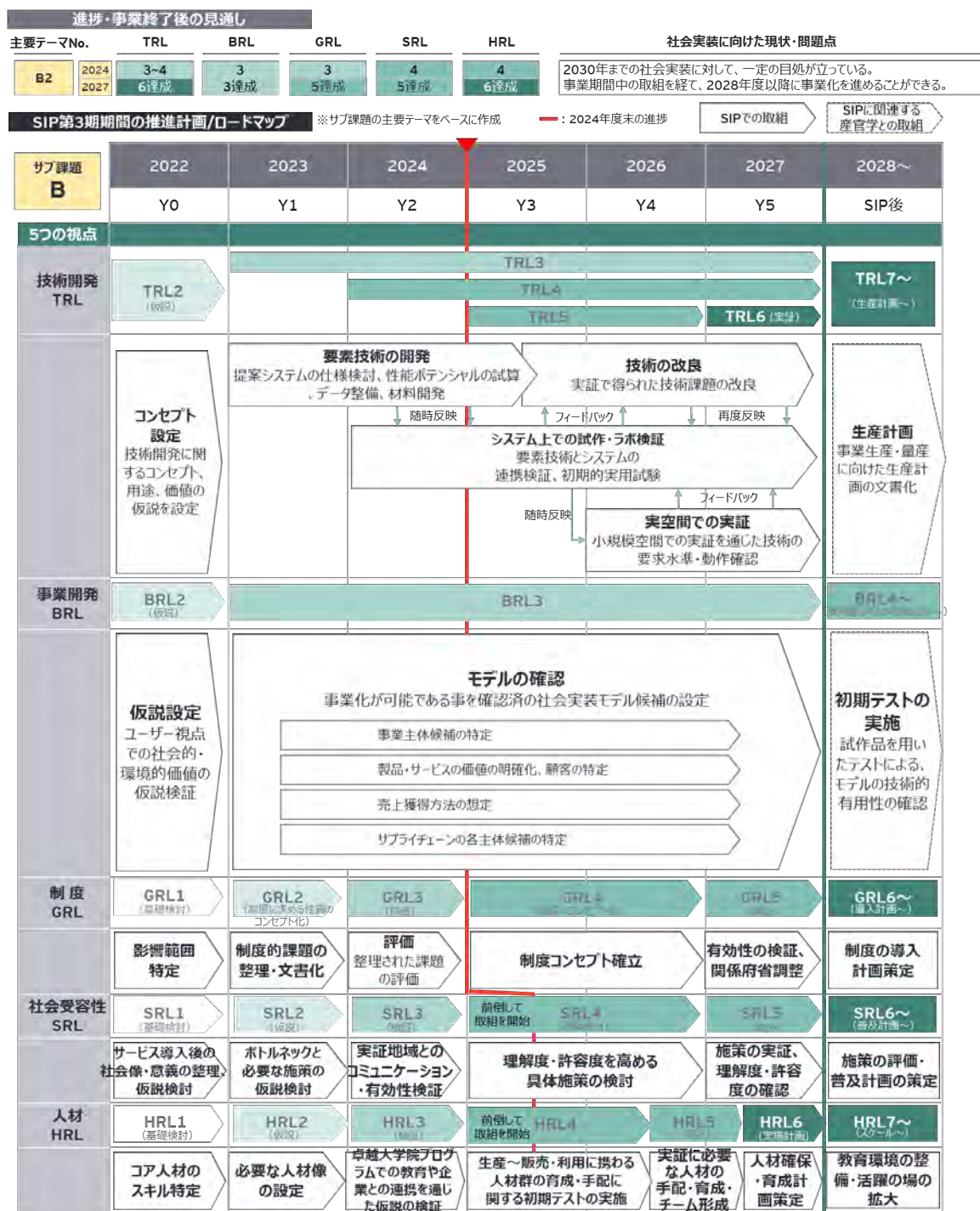


図 II-13 ロードマップ(サブ課題 B)

▶ サブ課題 C「エネルギー最適利用」

主要技術テーマにおいて、現時点（2024 年度末）で、TRL4（初期テスト）、BRL4（初期テスト）、GRL3（コンセプト評価）、SRL3～4（仮説検証～初期テスト）、HRL3（仮説検証）に取り組んでいる。各 XRL の詳細は別添 2 XRL/XPI の検討状況のとおり。

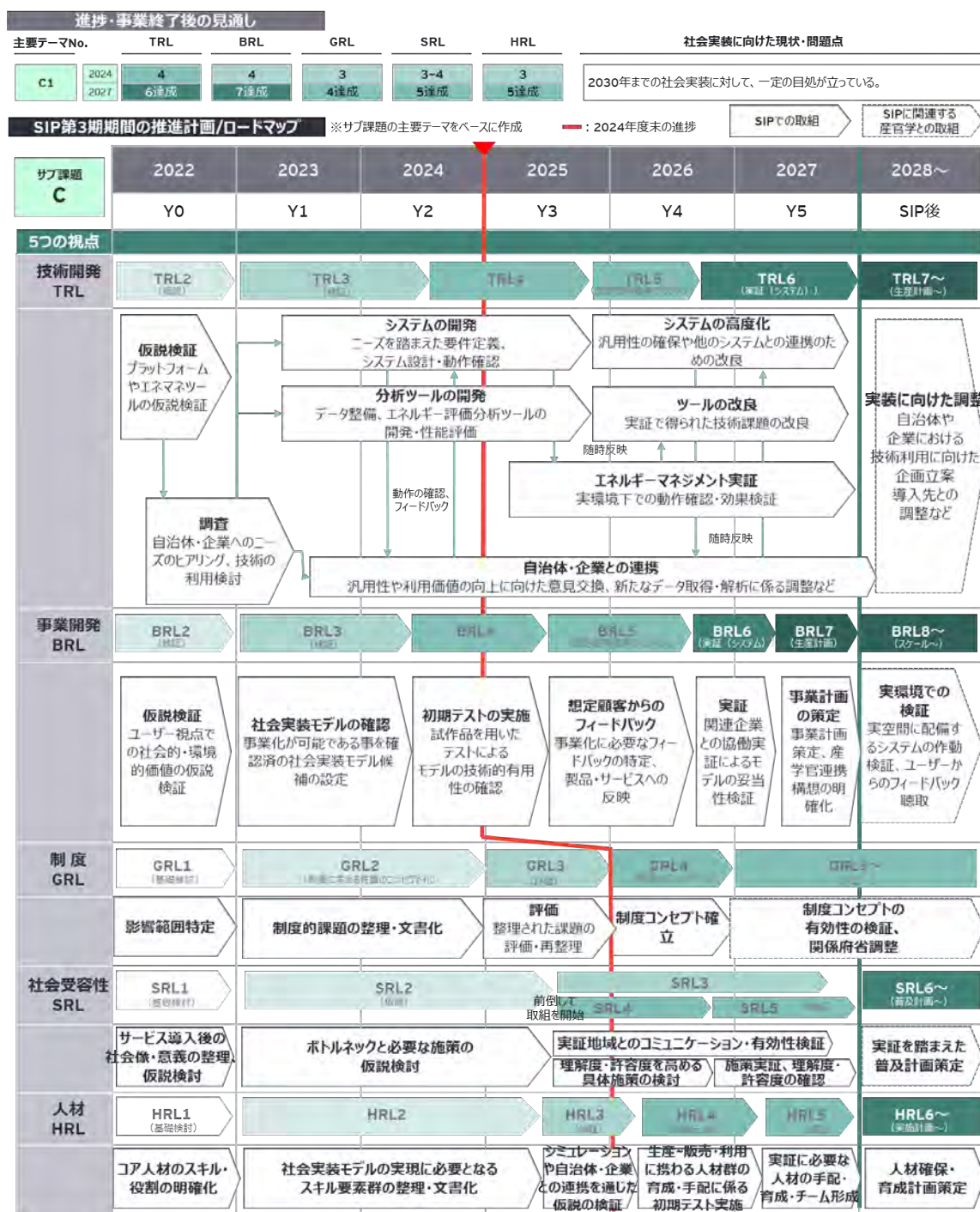


図 II-14 ロードマップ(サブ課題 C)

(2) 本課題における成熟度レベルの整理

本課題では、内閣府より提示された「指標モデル」をベースに改訂したものを利用している。ここで言う改訂とは、課題「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」の社会実装性を測定するうえで、関係者間でより明確に意思疎通・合意形成を図る目的で構築した指標モデルを指す（表 II-1 TRL の概要～表 II-5 HRL の概要）。

表 II-1 TRL の概要

TRL		
1	基礎研究	▶ 対象技術について、科学的な基本原理・現象・知識が特定できている。
2	仮説	▶ 対象技術のコンセプト、用途、ユーザーにとっての価値が仮説として設定できている。
3	検証	▶ 対象技術の実用性について、机上での検証（実験、分析、シミュレーション等）が完了している。
4	研究室レベルでの初期テスト	▶ 対象技術が一定の条件下（研究室等）において、机上での検証通りの機能・性能で動作することが確認できている。
5	想定使用環境でのテスト	▶ 対象技術が実際に利用される最もよくある環境/条件が定義されており、その環境/条件下のテストで、検証通りの機能・性能で動作することが確認できている。
6	実証（システム）	▶ 対象技術が実際に利用され得るあらゆる環境/条件と、実運用に耐える要求水準（非機能・機能要件）が整理・定義されている。また、それらを満たした動作が確認できている。
7	生産計画	▶ 対象技術を用いた製品・サービスを生産・供給するうえで必要な技術が揃い、生産計画（材料・部品調達～製造～出荷までの日程、種類、数量、仕様）が明確に文書化されている。
8	スケール（パイロットライン）	▶ 対象技術を用いた製品・サービスについて、初期の需要（機能、導入可能性、利便性（導入容易性、保守性）、性能、コスト、導入インセンティブ（補助金等））を整理し、それらを満たす生産方法が確立され、実現できる。
9	安定供給	▶ 対象技術を用いた製品・サービスについて、需要の変化に対応する体制・設備・サプライチェーンが確保され、安定的な生産・流通が可能である。

表 II-2 BRL の概要

BRL		
1	基礎研究	対象技術で解決可能と想定される 企業・社会課題の存在が認められている 。また、発見された課題の 解決方法（製品・サービス）と、そのユーザーの存在が発見 されている。
2	仮説	対象技術で解決可能な 企業・社会課題と提供する製品・サービスのユーザーが具体的に特定 されている。また、ユーザーにもたらす 社会的価値(優位性)・経済的価値（利益）の仮説がたてられている 。
3	検証	事業化に伴う価値（優位性・リターン・コスト=事業モデル）の仮説について、有識者・ユーザーへの プレゼン、インタビュー等が繰り返し実施され、事業モデルの確からしさが確認 できている。
4	実用最小限の初期テスト	対象技術を製品・サービスの一部に含めた 試作品が完成 している。また、 試作品を用いて繰り返しテストが実施され、（検証済みの）事業モデルの有用性が確認 できている。
5	想定顧客のフィードバックテスト	試作品で検証した事業モデルについて、 想定するユーザーからの機能・性能に関するFBを取得 している。FBを製品・サービスに反映したうえで、 正しく動作することのテストが終了 している。
6	実証	初期ユーザーに、製品・サービスの提供が開始 されている。その結果、 高い顧客満足度を得られ、これまで検証してきた事業モデルの妥当性が実証 できている。
7	事業計画	初期ユーザーで実証できた事業モデルについて、 短期～中期（～3年）の事業ロードマップ、投資計画、収益予測を含む事業計画が策定 されている。その中で、 産業連携（スタートアップの活用含む）のみならず、学官との連携構想が明確 になっている。
8	スケール	体制やサプライチェーンの整備により、新規顧客獲得・対応が可能 である。また、定期的にユーザーからFBを受け、それらを 製品・サービスに反映させるPDCAサイクルが機能 している。
9	安定成長	製品・サービスが 市場で認知 され、 継続的に導入数増、売上増・収益増がみられる 。

表 II-3 GRL の概要

GRL		
1	基礎検討	対象技術から生み出す製品・サービスの 公共性（「利用者が全国民、あるいは、広範囲である」、「誰に対しても開かれている」）の有無が検討 されて、それによって、 対象技術が社会に影響を及ぼし得る範囲（業界、ユーザー層、地域等）が特定 できている。
2	制度に求める性質のコンセプト化	対象技術から生み出す製品・サービスにまつわる 制度・規制を検討するチームが形成 されている。 各種制約（安全性、国際基準、法規、社会・業界通念等）を踏まえて、制度に求める性質（効率性、公平性、インセンティブ条件、デメリット）が整理・文書化 されている。
3	評価	制度に求める性質について、 現制度が満たしているかの評価が完了 し、その結果が、 整理・文書化 されている。
4	制度のコンセプト化	現制度に不足がある、又は、 将来的（2030年）に不足やボトルネックが想定 される場合、 求める制度の改正・新設（解釈変更、規制改革、規格化・標準化、ガイドライン等）案が整理・文書化 されている。
5	実証	整理・文書化された制度の改正・新設（解釈変更、規制改革、規格化・標準化、ガイドライン等）案について、フィールドでの被験者を巻き込んだ実証・シミュレーションを通して、改変後の制度の有効性が特定 されている。
6	導入計画	改正・新設された制度の実証結果を踏まえ、その影響を受けるステークホルダー（関係省庁・自治体・民間企業等）各々が、改正・新設された制度の導入計画を策定 できている。
7	展開と評価	改正・新設された制度が実際に導入され、その効果が、数値データ（製品・サービスの売上や収益、ユーザー数等）に基づいて評価 され、 適宜、改善・再改変されるプロセスが回り始め ている。
8	安定運用	改正・新設された制度自体、及び、その導入効果が、社会全体に周知・認識 され、 制度に対するPDCAプロセスが適切に機能 している。

表 II-4 SRL の概要

SRL		
1	基礎検討	対象技術から生み出される製品・サービスによって実現される社会像や、その意義、及び、人々への直接的なリターン・コストが金銭・非金銭の両面から検討され、整理・文書化されている。
2	仮説	対象技術から生み出される製品・サービスが与えるリターンへの理解度、コストへの許容度、実装の実現可能性を高めるために、想定されるボトルネックと、施策の仮説が検討され、整理・文書化されている。
3	検証	リターンへの理解度、コストへの許容度、実装の実現可能性を高めるための施策の仮説が、初期実装対象のコミュニティにて、その有効性がプレゼンテーション、インタビュー等で検証されている。検証は複数回繰り返され、有効性が確認できている。
4	初期検討	初期実装対象のコミュニティにおいて、リターンへの理解度、コストへの許容度を高める具体的な施策（消費体験、消費疑似体験、説明会等）が検討されて、整理・文書化されている。
5	実証	初期実装コミュニティにおいて、リターンへの理解度、コストへの許容度を高める具体的な施策が実証されている。また、その結果、当該コミュニティがリターン・コストを含めて製品・サービスの受け入れを許容したことが、アンケート・インタビュー等で客観的に確認できている。
6	普及計画	初期実装コミュニティにおける実証でのフィードバック（アンケート・インタビュー等）やデータ（製品・サービスの販売実績・収益・カスタマーサービス情報等）を検証し、施策を改善している。また、その結果、一般的なコミュニティへの普及計画が策定され、文書化されている。
7	スケール	製品・サービスの普及計画が実行され、コミュニティに合わせて、修正・再発明されながら、継続的に普及が拡大している。
8	市場への浸透	製品・サービスの普及計画が実行され、コミュニティに合わせて、修正・再発明されながら、継続的に普及が拡大している。

表 II-5 HRL の概要

HRL		
1	基礎検討	対象技術から製品・サービスを生み出す際に必要となるコア人材（コア技術に関する専門家や、深い知見を持つ人材）のスキル要素が検討されている。
2	仮説	コア人材のスキル要素に加え、事業モデルの実施に必要なスキル要素群の仮説が立てられ、整理・文書化されている。また、スキル要素群や事業領域に精通した人材によるチーム形成/育成計画の仮説が立てられ、整理・文書化されている。この中で、産/官/学連携の構想（スタートアップの活用含む）や、求められる国の取り組み等、関係者の役割が明確になっている。
3	検証	シミュレーションやOJTを通して、コアスキル要素、事業化スキル要素群、チーム形成・育成計画の仮説が検証されている。仮説の有効性が確認できるまで、仮説・検証（シミュレーションやOJT）が繰り返されている。
4	初期テスト	初期テスト（必要最小限の製品・サービス、施策にて、最も理想的な環境下での検証）を通じ、コアスキル要素、事業化スキル要素群、チーム形成・育成計画について、初期的なテストを通して、実際に必要な人材が手配・チーム形成・育成されている。
5	実証	実証（実際の製品・サービス、施策が現実社会において「求められる要件」を満たせることの実環境下での検証）を通じ、コアスキル要素、事業化スキル要素群、チーム形成・育成計画について、初期的なテストを通して、実際に必要な人材が手配・チーム形成・育成されている。
6	実施計画	対象技術の社会実装（製品・サービスの創出、及び、事業化後の運用）に必要な人材の「スキル要素群」と「必要量」、「教育方針」と「手段」、「マッチング方法」が整理され、人材確保・育成計画がまとめられている。
7	スケール	対象技術の社会実装（製品・サービスの創出、及び、事業化後の運用）に必要な人材の教育環境の整備が計画通りに進んでいる。また、育成された人材が社会の需要と最適にマッチングされ、活躍の場が拡大している。
8	安定的な人材輩出	対象技術の社会実装（製品・サービスの創出、及び、事業化後の運用）に必要な人材の輩出が社会全体で行われ、収益拡大、新たなビジネスモデル検討、及び、スキル要素群の高度化に貢献している。

6. 対外的発信・国際的発信と連携

研究開発の発展や国際標準化に向けて、本課題の成果の国内外への発信を戦略的に進めるとともに、成果の実装を見据えて関係する自治体や企業との連携構築を進める。

電気学会等の国内学会発表や IEEE や CIGRE、ACEEE、ecee 等の国際シンポジウムでの情報発信の機会を捉え、同シンポジウムで SIP・本課題の成果を積極的に発表する。加えて、関連業界雑誌へ投稿するなど、企業や自治体に向けて情報発信に積極的に取り組む。また、LBNL 等、海外機関と研究交流を実施期間の中で進める。これらの機会等を捉えて各成果に関連する産学のネットワーク形成を強化する。

III. 研究開発計画

1. 研究開発に係る全体構成

本課題のミッション達成に向けて、エネルギーバリューチェーン全体で再エネを中心としたゼロエミッションエネルギーを使いこなす統合的なスマート EMS を早期に構築し、2050 年カーボンニュートラルに道筋をつけるとともに、あらゆる消費セクターでのエネルギー利用の利便性・効率向上を図る。本課題では、国内外の関連プロジェクトの成果を踏まえ、スマート EMS に関わる多様なステークホルダーの関与を得て、社会実装を強く意識した計画を策定するため、3 つのサブ課題構成とする（図 II-5 サブ課題の構成（研究推進体制））。

2. 研究開発に係る実施方針

(1) 基本方針

本課題では、2050年カーボンニュートラル、エネルギー安全保障の確保、ならびに Society5.0 の実現に向けて、従来の一建物や一地域における電力マネジメントの枠を超え、クロスボーダー・セクター横断で、主に再生可能エネルギーを起源とする熱・水素・合成燃料を含めた様々なエネルギーを包含する「スマートエネルギーマネジメントシステム」を構築し、次世代の社会インフラを確立することを目的としている。したがって、本課題における地域・自治体での実証結果を他地域・自治体に展開していくために必要な手法・データは、オープンとすることを基本とする。一方、参画民間企業等による製品・サービスの形で他地域に展開可能なツールやデバイス等のコアとなる技術についてはクローズとする。なお、オープンとすることを基本とした情報についても、各テーマにおいてエネルギー安全保障、個人情報保護の観点からオープンとすることの可否を慎重に検討する。

本研究開発で開発するシステムや技術は効率的な運用を行うことを前提とし、個別研究開発テーマ間で共通利用が可能なシステムやインターフェース等として開発することを検討する。特に、運用時における維持・管理等のコストの低減が考慮されるものとする。

なお、本課題では、研究開発内容の社会実装を促進するために、個別研究開発テーマごとに取り組むべき事項を整理しており（別添2 XRL/XPI の検討状況）、XRL の段階ごとに定量的目標を設定した上で定期的な進捗管理・見直しを実施する。XRL を活用した進捗管理を行う。必要に応じて体制変更や目標設定を見直すなどアジャイルな課題運営を推進し、最終的な目標の達成を目指す。

(2) 知財戦略

本課題で得られた研究開発成果に関する論文発表及び特許等（以下、「知財権」という）の取り扱いについて、個別研究開発テーマに応じて必要な戦略を策定し、出願・維持等の方針検討や、必要に応じ知財権の実施許諾に関する調整等を行う。また、知的財産、国際標準化、データ保護、データ流通に関する各テーマの考え方を整理し、専門家からの助言を得るなどによって戦略の検討・深化を図る。

(3) データ戦略

本課題で使用するデータや得られた研究開発成果、スマート EMS の基盤として開発を進める予定のデータ連携基盤で共有するデータ等の取り扱いについて、企画会議（PD/SPD/内閣府課題担当/研究推進法人/データ連携を中心的に担うテーマの研究責任者からなる定例会議）の方針も踏まえ、データ戦略を定めることとする。なお、データ連携は本課題内でのテーマ連携に加え、SIP 課題間でのデータ連携を推進する。

(4) 国際標準戦略

スマート EMS の技術要素の国際標準化に向けて、必要テーマにおいて研究開発と並行して関係府省や関係国際会議に働きかけ、外部有識者を含めたワーキンググループ（WG）を組織するなどにより、国際標準化に向けた仕掛けづくりや仕組みづくりを開始する。具体的には、個別研究開発テーマの進捗状況に応じて必要な取組を検討・推進していく。

(5) ルール形成

社会インフラ化に必要なルールの検討と研究開発とを併せて進めるとともに、必要なルールごとに関連テーマで連携して関係府省との調整を進める。

具体的には、課題の社会実装に向けてルール・法制度の不在がボトルネックになるものについて、必要な各種制約（安全性、国際基準、法規、社会・業界通念等）内容を踏まえて、制度に求める性質（効率性、公平性、インセンティブ条件、デメリット）を整理・文書化していく。併せて、既存のルール・法制度が社会実装のボトルネックになるケースについて、その解消に向け、ルール・法制度の改正に向けた取組を進める。

例えば、サブ課題 A「エネルギーとモビリティ等」では、社会実装に向けてボトルネックとなりうるルール・法制度として、「認定電気使用者情報利用者等協会（認定協会）制度」を認識しており、認定協会の電力データ提供開始時期が後ろ倒しになると、研究計画に影響を与える可能性がある。さらに、「電波法」による規制を緩和しなければ、電気自動車用非接触電力伝送システムの利用に必要な高周波出力を活用できず、社会実装の障壁となる。また、「農林漁業の健全な発展と調和のとれた再生可能エネルギー電気の発電の促進に関する法律（農山漁村再生可能エネルギー法）」については、本法律を適用させることで、農地における再エネ発電の設置拡大が可能だが、設置拡大を慎重に判断する制度やプロセスが必要である。

サブ課題 B「エネルギー生産・変換・貯蔵・輸送」では、社会実装に向けてボトルネックとなりうるルール・法制度として、「エネルギーの使用の合理化等に関する法律（省エネ法）」、「高圧ガス保安法」等を認識しており、2023 年より非化石エネルギーである水素が対象に含まれるなど、取り巻く環境が大幅に変わるため、常に改正案を確認する必要がある。また、「電気事業法」、「半導体集積回路の回路配置に関する法律」については、事業用電気工作物が適合しなければならない技術基準に則った開発を行う必要があるとともに、半導体集積回路は知的財産として権利登録可能であるため、類似配置がないか確認しておく必要がある。

サブ課題 C「エネルギー最適利用」では、「認定電気使用者情報利用者等協会（認定協会）制度」において、認定協会の電力データ提供開始時期が後ろ倒しになると、研究計画に影響を与える可能性があるとともに、デジタルツイン技術開発に関するガイドラインがまとまっていないため、個人情報保護に関するガイドライン等を幅広く確認する必要がある。

(6) 知財戦略等に係る実施体制

⑥ 知財委員会

- ▶ 知財委員会を研究推進法人に、知財分科会を選定した研究開発責任者の所属機関（委託先）に置く。
- ▶ 知財委員会は、研究開発成果に関する論文発表及び知財権の権利化・秘匿化・公表等の方針決定等のほか、必要に応じ知財権の実施許諾に関する調整等を、知財分科会は、成果の知財権取得、外部公表、その他事項に関して参画機関間の調整や支援を行う。
- ▶ 知財委員会は、PD または PD の代理人、SPD、専門家等から構成し、知財分科会は、研究開発責任者、共同研究参画機関の代表者及び発明に関わる研究者等から構成する。
- ▶ 知財委員会または知財分科会の詳細な運営方法等は、それぞれ知財委員会または知財分科会を設置する機関において定める。

⑦ 知財及び知財権に関する取り決め

- ▶ 研究推進法人等は、秘密保持、バックグラウンド知財権（研究開発責任者やその所属機関等が、プログラム参加前から保有していた知財権及びプログラム参加後に SIP の事業費によらず取得した知財権）、フォアグラウンド知財権（プログラムの中で SIP の事業費により発生した知財権）の扱い等について、予め委託先との契約等により定めておく。

⑧ バックグラウンド知財権の実施許諾

- ▶ 他のプログラム参加者へのバックグラウンド知財権の実施許諾は、知財の権利者が定める条件に従い（（注）あるいは「プログラム参加者間の合意に従い」）、知財の権利者が許諾可能とする。
- ▶ 当該条件等の知財の権利者の対応が、SIP の推進（研究開発のみならず、成果の実用化・事業化を含む）に支障を及ぼすおそれがある場合、知財委員会において調整し、合理的な解決策を得る。

⑨ フォアグラウンド知財権の取扱い

- ▶ フォアグラウンド知財権は、原則として産業技術力強化法第 17 条第 1 項を適用し、発明者である研究責任者の所属機関（委託先）に帰属させる。
- ▶ 再委託先等が発明し、再委託先等に知財権を帰属させる時は、知財委員会による承諾を必要とする。その際、知財委員会は条件を付することができる。
- ▶ 知財の権利者に事業化の意志が乏しい場合、知財委員会は、積極的に事業化を目指す者による知財権の保有、積極的に事業化を目指す者への実施権の設定を推奨する。
- ▶ 参加期間中に脱退する者に対しては、当該参加期間中に SIP の事業費により得た成果（複数年度参加の場合は、参加当初からのすべての成果）の全部または一部に関して、脱退時に研究推進法人

等が無償譲渡させること及び実施権を設定できることとする。

- ▶ 知財の出願・維持等にかかる費用は、原則として知財の権利者による負担とする。共同出願の場合は、持ち分比率及び費用負担は、共同出願者による協議によって定める。

⑩ フォアグラウンド知財権の実施許諾

- ▶ 他のプログラム参加者へのフォアグラウンド知財権の実施許諾は、知財の権利者が定める条件に従い（（注）あるいは、「プログラム参加者間の合意に従い」、知財の権利者が許諾可能とする。
- ▶ 第三者へのフォアグラウンド知財権の実施許諾は、プログラム参加者よりも有利な条件にはしない範囲で知財の権利者が定める条件に従い、知財の権利者が許諾可能とする。
- ▶ 当該条件等の知財の権利者の対応が、SIP の推進（研究開発のみならず、成果の実用化・事業化を含む）に支障を及ぼすおそれがある場合、知財委員会において調整し、合理的な解決策を得る。

⑪ フォアグラウンド知財権の移転、専用実施権の設定・移転の承諾

- ▶ 産業技術力強化法第 17 条第 1 項第 4 号に基づき、フォアグラウンド知財権の移転、専用実施権の設定・移転には、合併・分割による移転の場合や子会社・親会社への知財権の移転、専用実施権の設定・移転の場合等（以下、「合併等に伴う知財権の移転等の場合等」という。）を除き、研究推進法人等の承認を必要とする。
- ▶ 合併等に伴う知財権の移転等の場合等には、知財の権利者は研究推進法人等との契約に基づき、研究推進法人等の承認を必要とする。
- ▶ 合併等に伴う知財権の移転等の後であっても研究推進法人は当該知財権にかかる再実施権付実施権を保有可能とする。当該条件を受け入れられない場合、移転を認めない。

⑫ 終了時の知財権取扱い

- ▶ 研究開発終了時に、保有希望者がいない知財権等については、知財委員会において対応（放棄、又は、研究推進法人等による承継）を協議する。

⑬ 国外機関等（外国籍の企業、大学、研究者等）の参加

- ▶ 当該国外機関等の参加が課題推進上必要な場合、参加を可能とする。
- ▶ 適切な執行管理の観点から、研究開発の受託等にかかる事務処理が可能な窓口又は代理人が国内に存在することを原則とする。
- ▶ 国外機関等については、知財権は研究推進法人等と国外機関等の共有とする。

3. 個別の研究開発テーマ

(1) A1 エネルギーとモビリティのセクターカップリング

2050 年カーボンニュートラルの実現には、太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーの貢献最大化、その導入に不可欠な蓄電池を含むエネルギーネットワーク及びエネルギーマネジメントシステム（EMS）の構築といったエネルギーイノベーションが必要である。一方、日本における運輸部門の CO2 排出量比率は全体の 18%程度と大きく、ガソリン車、ディーゼル車等の内燃機関自動車から電気自動車（EV）への転換が急務となっており、バス、タクシーといった公共交通、トラック等の商用車においても EV 化が進みつつある。また、日本政府は「2035 年までに乗用車新車販売で電動車 100%」という目標を掲げている。こうした EV 化の進展に伴い、再エネ由来の充電電力確保、電力ネットワークや充電インフラの整備、経済性・事業性の確保等多くの技術課題、社会課題が顕在化しつつある中、現在までに実施されている研究事業や実証事業は個別課題への対応が中心であり、エネルギーとモビリティという異なるセクターにおける個別のベネフィット、部分最適の追求にとどまっている事例が多い。

こうした状況認識に基づき、本研究開発テーマでは EV 化が進展した社会において、「エネルギーとモビリティのセクターカップリング」によるセクター間の相補的な全体最適を進めることで社会的ベネフィットの最大化を実現する手法の開発と社会実装へ向けた取り組みを推進する。

具体的には、エネルギーとモビリティのセクターカップリングによるスマート EMS の社会実装を目的に、「都市視点」でのアプローチとして、実都市でのスマートメータデータや公共交通運行データ等の大規模面的データを格納するデータ基盤を構築・活用し、自治体や事業者と連携して実施する EMS の社会実証、「建物視点」でのアプローチとして、ワイヤレス給電対応 EV と建物の協調 EMS の技術実証、更に「社会経済視点」から、フィールド実証のデータ分析に基づく社会科学の知見を踏まえた事業性検証を実施する。加えて、実証、検証成果に基づき、カーボンニュートラルを実現する社会インフラ再構築へ向けての制度・政策の提言等を行う。

これらの研究を並列に進めるため、以下の 3 つの個別テーマを設定し、各テーマを有機的に連携しながら研究を推進する。

（個別テーマ 1）公共交通と電力部門のセクターカップリングの総合技術検証

ネットゼロを地域レベルで達成する基盤技術として「公共交通と電力部門のセクターカップリング」を設定し、中核市である宇都宮市におけるスマートメータデータ、自動車走行データ等の収集・蓄積・分析に加え、リアルタイム制御までをスコープとする、地域エネルギーマネジメントプラットフォームの構築を行い、その社会実証を行う。本実証を通して、各技術要素の連携、事業者や自治体を含むステークホルダー間の連携を進め、地域全体のエネルギーマネジメントシステムの社会実装に繋げる。また、本取組により、全国の各都市で共通的に利用可能なデータの連携、自治体・事業者・アカデミアの連携に基づく公共交通と電力のセクターカップリング手法を確立し、地域レベルでのカーボンニュートラルへの取組推進に寄与する。

（個別テーマ2）電動モビリティの遠隔制御によるワイヤレス充放電を含めた建物のエネルギーマネジメントシステムの構築

エネルギー消費密度の高い都市部を中心に ZEB(net Zero Energy Building)の推進・普及が進んでいるが、より一層の省エネルギー、創エネルギーの導入を推進するには余剰電力の抑制が不可欠となっている。そこで、急速な普及が進むことが予想される電動モビリティを建物の蓄電池として利用する協調型 BEMS を開発し、技術実証を行う。電動モビリティを蓄電池として積極的に利用することで、EV の再エネ利用の促進だけでなく、建物のピークカット・シフトにも利用し、再エネ利用の最大化によりカーボンニュートラルの実現へ貢献する。

また、電動モビリティの普及率向上へ向けて、利便性向上および遠隔制御のためワイヤレス給電機能を有する充放電インフラの開発も実施する。

（個別テーマ3）EV の調整力としての市場価値とレジリエンスを考慮した VPP ビジネスの事業性評価

工学と社会科学の専門的知見を融合し、技術、経済、環境、レジリエンスとビジネスの視点から、既存の電力システムと連携しつつ分散型リソースを最大限に活用する、日本の将来の事業環境や制度を見据えた V2X ビジネスモデルの構築と総合的事業性評価の課題に取り組む。そのために、V2X 事例データベースの構築、フィールド実証データを用いたデータドリブンな事業性評価シミュレーション、費用便益分析、総合的事業性評価ツールを開発する。

研究成果を踏まえ、持続可能な V2X ビジネスの社会実装に向けた課題を明らかにするとともに、その解決策となるビジネスモデル、制度・政策の提言に結びつける

① 研究開発目標

（事業期間の 5 年間で達成する研究開発目標）

- ▶ 交通セクターと電力セクターのカップリングによるリアルタイムエネルギーマネジメント技術や、電動モビリティの蓄電池としての利用技術を確立したスマート EMS プラットフォームを社会実装可能とする
- ▶ V2X/VPP 等スマートエネルギーマネジメントに係るビジネスの事業性・費用便益性の分析を通じて、同ビジネスの確立・普及・促進に必要な政策提言を行う。

【各項目における i、ii、…は、個別テーマの実施内容における番号に準ずる】

（個別テーマ1）公共交通と電力部門のセクターカップリングの総合技術検証

- i. 推定・予測された EV バスの充電率（SoC : State of Charge）と充電可能タイミング、及び、予測された地域 PV 余剰電力に基づく、動的充電マネジメント手法の開発
 - ▶ 充電スケジュール最適化アルゴリズムの改善と充電スケジュールの動的マネジメント手法の開発により、様々な気象条件、運行条件の下においても、交通事業者が仕業を維持した上で、地域における CO2 削減効果を最大化することが可能なマネジメント手法の開発

- ii. 動的充電マネジメントを実現するエネルギーマネジメントプラットフォームの構築と社会実証
 - ▶ プラットフォーム上での都市 OS 部、電費予測手法、太陽光発電予測手法、充電スケジュール最適化部の連携動作の実現
 - ▶ 複数個所の実証用遠隔制御対応急速充電器の制御の実現
 - ▶ エネルギーマネジメントプラットフォームの構築と社会実証により、下記を実現する。
 - ▶ 宇都宮市において、公共交通運行データ、スマートメータ統計データ等、公共性が高く面的に広がるデータを、標準インタフェースを介してプラットフォームに収集・格納する。リアルタイム連携可能なデータについては、リアルタイムでの連携も行う。
 - ▶ 様々なステークホルダーが、プラットフォーム上に格納されたデータを利活用することで、多様な EMS の構築を可能とする。

(個別テーマ 2) 電動モビリティの遠隔制御によるワイヤレス充放電を含めた建物のエネルギーマネジメントシステムの構築

- i. EV 対応協調型 BEMS (Building Energy Management System) の開発
 - ▶ 宇都宮市での技術実証により、動的 CO2 排出係数による制御やパブリック EMS(個別テーマ 1)との連携方法を提案する
- ii. ワイヤレス充放電システムの開発
 - ▶ 停車中ワイヤレス充放電技術の実証実験の実施による技術的安全性の確認および法制度改定・規制緩和に向けた協議と必要な技術的根拠・データを整備 (TRL5)

(個別テーマ 3) EV の調整力としての市場価値とレジリエンスを考慮した VPP ビジネスの事業性評価

- i. V2X ユースケースに関する事業性評価および社会的費用便益評価、評価ツールの開発と実装
 - ▶ 開発・動作確認済みの V2X 事業性評価モデルシミュレータの本格版を完成し、社会実装に向けて準備する。宇都宮市フィールド実証に向けて展開し、社会的費用便益評価データを机上実施する。用いたシミュレータの検証を行いながら、評価ツールをスタートアップ自治体や自治体に関与する企業をはじめとする関係者等に実際に使ってもらうことで、社会実装に向けた改良のためのフィードバックを得る
- ii. V2X フィールド実証データの適用
 - ▶ 2025 年度までに決定した実証サイト 1 件において、具体的な V2X ユースケースを選定し、実データと事業性評価ツールを用いて、自治体や自治体に関与する企業等とともに、事業性評価を行う

(KPI/マイルストーン)

【各項目における i、ii、…は、実施内容における番号に準ずる】

(個別テーマ 1) 公共交通と電力部門のセクターカップリングの総合技術検証

- i. 推定・予測された EV バスの SoC と充電可能タイミング、及び、予測された地域 PV 余剰電力に基

づく、動的充電マネジメント手法の開発

2025 年度までに動的充電マネジメントプラットフォームコアへの予測プロトタイプ実装と EV バス電力供給貢献能力推計への展開利用 (TRL3) 《達成目標 a-1》

2027 年度までにリアルタイムエネルギーマネジメント実証での利活用に向けた余剰発電力予測エンジンのプラットフォーム実装 (TRL5) 《達成目標 a-1》

ii. 動的充電マネジメントを実現するエネルギーマネジメントプラットフォームの構築と社会実証

2025 年度までにプラットフォームコアの開発と初期稼働 (TRL3) 《達成目標 a-1》

2027 年度までにリアルタイムエネルギーマネジメントの実証 (TRL5) 《達成目標 a-1》

iii. 事業化対応

2025 年度までに事業化が可能である事を確認済の社会実装モデル候補の数：1 つ以上 (BRL3) 《達成目標 a-1》

2027 年度までに代表都市での想定ユーザーからのフィードバックを反映したシステム改良 (BRL5) を経て、想定ユーザーによるサービス試使用による事業モデルの妥当性検証を実施 (BRL6)、合わせて、技術的な実現可能性を確認済の社会実装モデルの数：1 つ以上 (BRL4)・代表都市での想定ユーザーからのフィードバックを反映したシステム改良 (BRL5) を経て、想定ユーザーによるサービス試使用による事業モデルの妥当性検証を実施 (BRL6)、想定顧客からのフィードバックを反映した製品・サービスの数：1 つ以上 (BRL5) 《達成目標 a-1》

iv. 実証地域での CO₂ 排出削減効果：6%

2025 年度までに、従来手法（夜間のみ充電）との比較、路線バス充電電力における CO₂ 排出削減効果、2023 年度のバス路線再編等を反映したデータによる代表的な条件下でのシミュレーションによる計算値、フィールド実証で得られた課題・知見の一部を方式、アルゴリズム等に反映 (TRL4) 《達成目標 a-1》

v. 1 システムあたりの CO₂ 排出削減効果：6%

2027 年度までに、（従来手法（夜間のみ充電）との比較、路線バス充電電力における CO₂ 排出削減効果、開発技術を実証地域以外のデータ入手可能な都市 10 地域程度に展開した想定、代表的な条件下でのシミュレーションによる計算結果の平均） (TRL6) 《達成目標 a-1》

（個別テーマ 2）電動モビリティの遠隔制御によるワイヤレス充放電を含めた建物のエネルギーマネジメントシステムの構築

i. EV 対応協調型 BEMS (Building Energy Management System)の開発

2025 年度までに建物のエネルギーマネジメントに EV を組み込んだエネルギーシミュレーション技術を開発し、建物のエネルギーマネジメントに EV（1 台）を組み込んだ実証実験を行う。(TRL4) 《達成目標 a-1》

2027 年度までに複数建物におけるエネルギーマネジメントと EV（複数台）を合わせた実証実験の実施 (TRL5) 《達成目標 a-1》

ii. ワイヤレス充放電システムの開発

2025 年度までに停車中ワイヤレス充放電技術を開発（充電 10kW、放電 10kW）（TRL3）《達成目標 a-1》

2027 年度までに、停車中ワイヤレス充放電技術の実証実験の実施による技術的安全性の確認及び法制度改定・規制緩和に向けた協議と必要な技術的根拠・データを整備（TRL5）《達成目標 a-1》

（個別テーマ 3）EV の調整力としての市場価値とレジリエンスを考慮した VPP ビジネスの事業性評価

i. V2X ユースケースに関する事業性評価および社会的費用便益評価、評価ツールの開発と実装

2025 年度までに、事前調査で可視化したユースケースのうち特に有望な 3 ケースを選定し事業性評価モデルのプロトタイプを開発、動作確認を完了し、社会的費用便益評価を机上実施する。3 ケースすべての事業性及び費用便益評価額の初期結果の導出と比較分析を行う。（TRL3）《達成目標 a-1》

2027 年度までに、開発・動作確認済みの V2X 事業性評価モデルシミュレータの本格版を完成し、社会実装に向けて準備する。宇都宮市フィールド実証に向けて展開し、社会的費用便益評価データを机上実施する。用いたシミュレータの検証を行いながら、評価ツールをスタートアップ自治体や自治体が関与する企業をはじめとする関係者等に実際に使ってもらうことで、社会実装に向けた改良のためのフィードバックを得る。（TRL3）《達成目標 a-1》

2027 年度までに、提案する将来の事業環境や制度や仕組みに基づきを見据えた DER の多様な活用策の効果検証を含めた含め、実仕様環境下での動作確認を実施。本格版評価ツールにフィードバックしての改良を進める継続的に行う。（TRL6）《達成目標 a-1》

ii. V2X フィールド実証データの適用

2025 年度までに実証サイトを 1 件決定、構築した事業性評価モデルと社会的費用便益評価モデルを実環境で試行適用する。（TRL4）《達成目標 a-1》

2027 年度までに、実証サイト 1 件において、具体的な V2X ユースケースを選定し、実データと事業性評価ツールを用いて、自治体や自治体が関与する企業等とともに、事業性評価を行う。（TRL6）《達成目標 a-1》

▶ 関連する制度・ルールについて

2025 年度までに、関連する制度・ルールについて求められる条件を定義できている。定義した求められる条件の数：1 件以上を達成する。（規制緩和、インセンティブ制度の新設/改正）（GRL2）《達成目標 a-1》

2027 年度までに、制度・ルールの変更案の数：1 案以上を達成する。（GRL4）《達成目標 a-1》

▶ 社会受容性について

2025 年度までに、製品の社会受容を阻む懸念またはボトルネック（技術・製品の社会影響に対する理解、購買による便益）を特定、解消する施策の仮説が検討できている。製品・サービスの社会影響に対する理解、購買による便益の各々に関する懸念/ボトルネックを解消する施策仮説の

数：1 件以上を達成する。(SRL2)《達成目標 a-1》

2027 年度までに、仮説として設定した施策案について、プレゼンテーション、インタビュー等を通じて、仮説と検証が複数回繰り返され、有効性が確認できている。有効性を検証した施策案の数：1 件以上を達成する。(SRL4)《達成目標 a-1》

▶ 人材育成について

2025 年度までに、産/官/学連携の構想（スタートアップの活用を含む）や、求められる国の取り組み等、所関係者の役割が明確になっている。(HRL2)《達成目標 a-1》

2027 年度までに、初期テスト（必要最小限の製品・サービス/施策の最も理想的な環境下での検証）を実施するうえで、実際に必要な人材が手配・チーム形成・育成されている。初期テスト段階で育成しているチーム数：1 チームを達成する。(HRL4)《達成目標 a-1》

② 実施内容

エネルギーとモビリティのセクターカップリングの実現には、①総合技術検証による自治体の社会受容性確保、②未確立の先進技術開発、③事業性や社会価値の評価、の三つの視点が重要であると捉え、三つの研究テーマを用意し、相互を有機的に繋げながら研究開発を進める。

（個別テーマ 1）公共交通と電力部門のセクターカップリングの総合技術検証

（個別テーマ 2）電動モビリティの遠隔制御によるワイヤレス充放電を含めた建物のエネルギーマネジメントシステムの構築

（個別テーマ 3）EV の調整力としての市場価値とレジリエンスを考慮した VPP ビジネスの事業性評価

各個別研究テーマの具体的な内容は、下記のとおりとする。

（個別テーマ 1）公共交通と電力部門のセクターカップリングの総合技術検証（図 A1-1、図 A1-2）

中核都市レベルにおいて、スマートメータデータ、公共交通運行データ等、公共性の高いデータをプラットフォーム上で連携、また、実証用に複数の EV、急速充電器等を設置し、遠隔制御による動的充電マネジメントの総合技術検証を行うとともに、ステークホルダーとの連携に基づく社会受容性確保へ向けた研究開発を行う。

- i. EV バス実証走行による EV バス SoC・電費推定・予測手法の開発
- ii. スマートメータ統計データを利用した地域 PV 余剰電力の予測手法の開発
- iii. 推定・予測された EV バスの SoC と充電可能タイミング及び予測された地域 PV 余剰電力に基づく動的充電マネジメント手法の開発
- iv. 開発手法を基盤とした動的充電マネジメントを実現するエネルギーマネジメントプラットフォームの構築と社会実証
- v. 路線バス EV 化による便益向上・レジリエンス高度化手法の開発

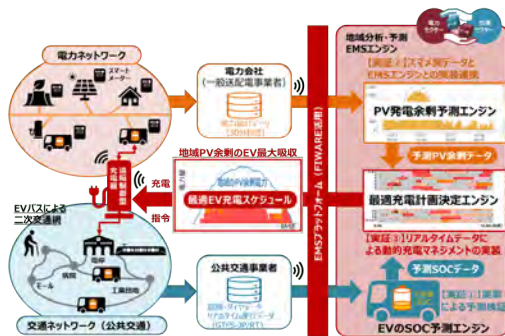


図 A1-1

電力×公共交通のセクターカップリングによるスマートエネルギーマネジメント実証概要

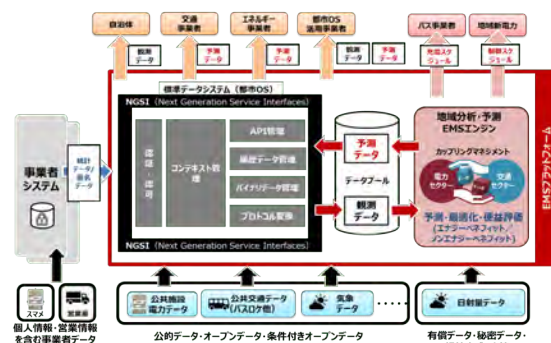


図 A1-2

電力・公共交通データ連携型エネルギーマネジメントプラットフォーム（実装イメージ）

（個別テーマ2）電動モビリティの遠隔制御によるワイヤレス充放電を含めた建物のエネルギーマネジメントシステムの構築

建物側のエネルギーマネジメントシステム（BEMS）にEV及び蓄電池の充放電管理機能を加え、実証による機能検証を行う。実フィールドにてBEMSから電動モビリティを蓄電池として充放電管理を行う。研究対象とする電動モビリティは、送迎バス等施設側で運行管理可能なものとし、実使用下での検証を基本とする。また、将来的な普及を目指し、高出力の充放電やワイヤレス充放電設備を有するものとする。建物側は、単体及び複数建物とし、ZEB（net Zero Energy Building）等を含めた再生可能エネルギーの余剰がある程度発生する環境下での実証を行う。

電動モビリティが実運用下において、どの程度、施設の蓄電池として、再エネの蓄電や建物のピークカット・シフトに活用できるのか、またその最適化の手法検討等について、実証を中心として進める。

上記構想の概念を図A1-1に示す。

- i. EVバスのリアルタイムな充放電制御を実現するBEMS（Building Energy Management System）の開発
- ii. 電動モビリティを含めた蓄エネによるエネルギー利用最適化・CO₂排出量削減のシミュレーション手法の開発
- iii. 高出力の充放電機能を有するV2X設備（有線）の実証
- iv. ワイヤレス給電機能を有するV2X設備及び車載ワイヤレス給電装置の開発
- v. 走行中ワイヤレス給電技術についての技術検討

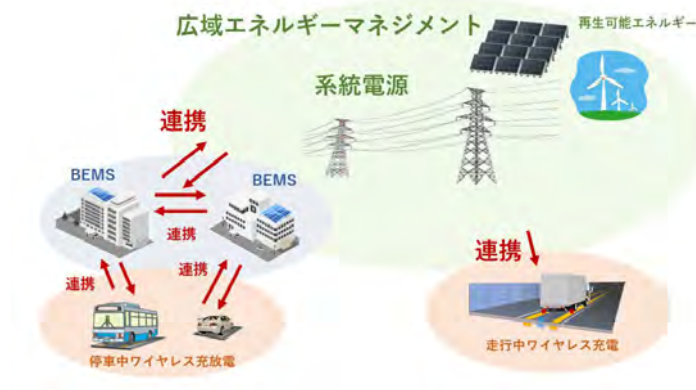


図 A1-3 エネルギーマネジメント全体イメージ

(個別テーマ3) EVの調整力としての市場価値とレジリエンスを考慮したVPPビジネスの事業性評価

種々のDERと関連技術を組み合わせることで、効率的なエネルギーネットワークとスマートEMSを構築・運用し、DERによって地域の需給バランスや周波数調整等を可能にする、我が国の電力システム、電力市場に適した事業性あるV2Xビジネスモデルを開発する。そのために、V2X事業の経営シミュレーションモデルを独自に開発し、実データを用いたデータドリブンな手法を適用する。大学等の研究機関、電力会社、メーカー、エネルギー関連スタートアップ企業、自治体等との連携により、シミュレーション分析と地域実証試験を行う。

特に、EVや蓄電池の調整力としての市場価値や経済性の検証に着目するとともに、地域の自律的かつレジリエントな電力需給の実現と、省エネルギー、カーボンニュートラルへの貢献、需要家の行動変容の促進、EVバスやEVタクシー、EVマイクロバス等を使った地域の交通弱者対策等につながる制度・政策について、それを可能にする技術的基盤を踏まえつつ、経済的価値に加え社会的価値最大化の視点からも検証し提言していくことを目標とする。

具体的には、以下を実施する。

- i. 国内外のV2X技術実証及びビジネス化事例について、ビジネスモデルの類型化を行う。
- ii. V2X事業のビジネスモデルの検証ならびに日本の電力市場に適した総合的事業性評価（経済的価値、社会的価値、社会的インパクト）を行うための分析手法を、実データを用いたシミュレーションモデルを核として開発する。それにより、2050年カーボンニュートラル実現に向けた地域の再エネ、蓄電池、EV（EVバス、EVマイクロバス、EVタクシー、EV自家用車）等DERの大量導入を前提としたV2Xビジネスモデルを提案する。また、価値創出のさらに大きな枠組みとして、経済的価値に縛られることなく、DERを前提とした地域エネルギー資源インフラの再構築がもたらす社会的価値、レジリエンス強化の価値、交通弱者対策等社会課題の解決による社会福祉的価値等、これまでの計測では必ずしも定量的に捉えられてこなかった、社会における新たな価値の再定義とその定量化を行うことで本事業の社会的なインパクトを示す。
- iii. 上記ii.と並行して地域エネルギーシステムにおける実証フィールドの構築を進める。地方中核都

市でのフィールド実証に参画するなど、地域実証を通じて、技術的課題の検証、実データの収集・蓄積・分析、エビデンスに基づく制度的示唆からデータドリブンな政策提言に結びつけ、事業モデルの社会実装を目指す。

③ 実施体制

研究開発責任者：

林泰弘（早稲田大学 理工学術院 教授）

参画機関：

宇都宮大学、大成建設株式会社、東京科学大学、一般財団法人電力中央研究所

④ 研究開発に係る工程表

個別テーマ	初年度 (2023. 7~ 2024. 3)	2年度 (2024. 4~ 2025. 3)	3年度 (2025. 4~ 2026. 3)	4年度 (2026. 4~ 2027. 3)	終年度 (2027. 4~ 2028. 3)
1. 電力×交通セクターカップリング実証					
1-1. EV 電費予測手法開発			EV バス実走/シミュレータ初期稼働	シミュレータ改良・実証	
1-2. PV 余剰電力予測手法の開発			スマメ分析環境構築・エンジン開発	予測手法の改良・実証	
1-3. 動的充電マネジメント手法開発			アルゴリズム開発・PF への実装	総合制御手法の改良・実証	
1-4. PF 構築と社会実証		PF 構築・データ格納・連携、 及び充電器制御連携の技術開発		実証・機能拡充・評価	
2. EV×BEMS の研究開発					
2-1. BEMS の開発		シミュレーション、EMS 機能開発		シミュレーション、 EMS 機能改良	
2-2. ワイヤレス充電設備の開発		ワイヤレス充電設備の開発		ワイヤレス充電設備の高出力化	
2-3. フィールド実証		1 台×1 棟による実証		n 台×n 棟による実証 (宇都宮地区への展開)	
3. EV の調整力としての市場価値とレジリエンス を考慮した V2X ビジネスの事業性評価					
3-1. V2X ユースケース、ビジネスモデル調査		V2X ユースケース調査		ビジネスモデル調査・検証	
3-2. 費用便益分析、需給シミュレーション		V2X 国内外動向をふまえた費用便益分析、 および、需給シミュレーション			
3-3. 電力取引市場調査、電力取引・収益性シミュレーション		市場調査、電力取引・入札シミュレーションモデルの開発		収益性シミュレーションモデルの開発	
3-4. 実証フィールドとの連携による分析モデルの実装		フィールド実証準備、情報収集、 データ蓄積と解析		フィールド実証・実装	

図 A1-4 工程表

⑤ 予算配分額

2023 年度：360 百万円

2024 年度：360 百万円

2025 年度：360 百万円

⑥ 過年度までの進捗状況

本研究開発テーマにおいては、EV 化が十分に進んだ地域を想定し、電力（エネルギー）と EV（モビリティ）とを相補的に組み合わせてエネルギー利用を全体最適化し、社会的便益を最大化させることを目指している（図 A1-5）。具体的には、以下の 3 つの視点からの実証研究を協調しつつ実施し、さらに得られた成果からカーボンニュートラルを実現する社会インフラ再構築へ向けての制度・政策の提言等を行うことを目的としている。

1. <都市視点>宇都宮市におけるスマートメータデータや公共交通運行データ等の大規模面的データを格納するデータ基盤を構築・活用し、自治体や事業者と連携して実施するエネルギーマネジメントシステム（EMS）の社会実証
2. <建物視点>ワイヤレス給電対応 EV と建物間の協調 EMS の技術実証
3. <社会経済視点>フィールド実証のデータ分析に基づく社会科学の知見を踏まえた事業性検証

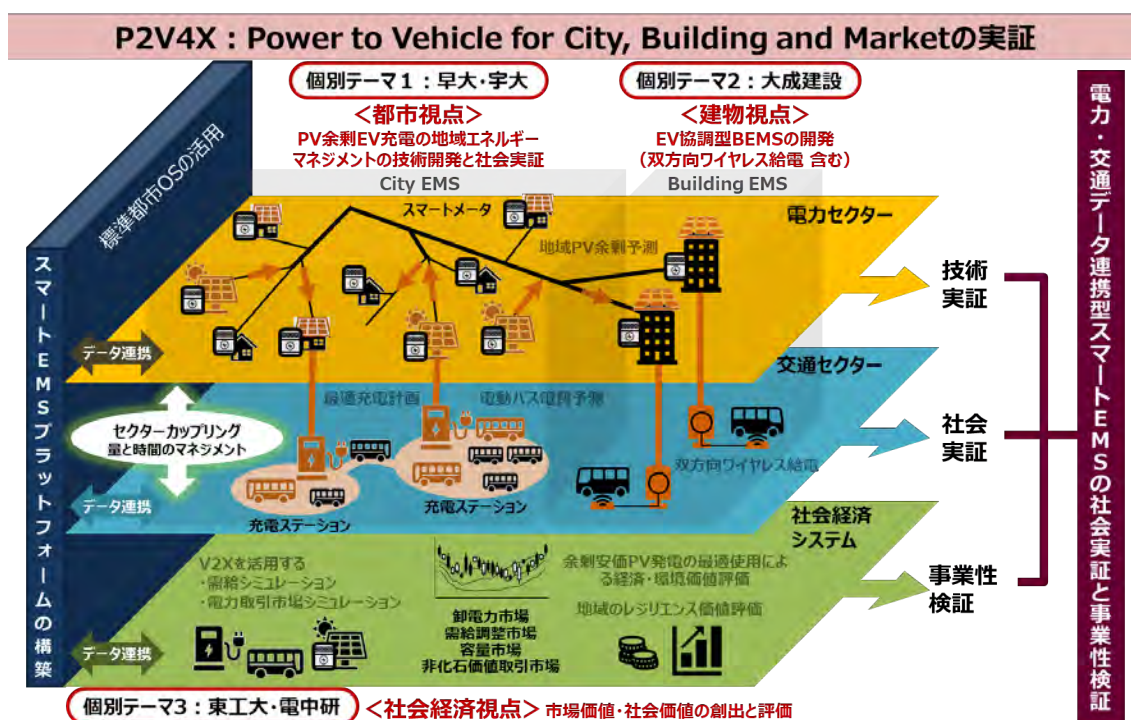


図 A1-5 研究全体構想図

各個別テーマの研究成果概要は以下の通りである。

(1) 個別テーマ1「公共交通と電力部門のセクターカップリングの総合技術検証」

公共交通と電力部門のセクターカップリングの総合技術検証の実現へ向け、公共交通と電力の面的データを入手、分析を進め、実フィールドにおける地域別・時間帯別 CO2 排出係数の可視化、また、パブリック EV である路線バスの充電スケジュール最適化による CO2 排出量削減効果について、代表日・代表箇所における試算を実施した。

また、実フィールドである宇都宮市において、自治体、パブリック EV 運営者との連携や議論を深め、産官学が連携する協議会からの発信などに加え、フィールドへの実証実験設備の設置、および実証実験を部分的に開始した。

スマート EMS プラットフォームについては、主に実フィールドへ設置する充電設備との通信機能の構築を中心に構築を進めた。

➡電力と公共交通のデジタルツイン型エネマネ実装

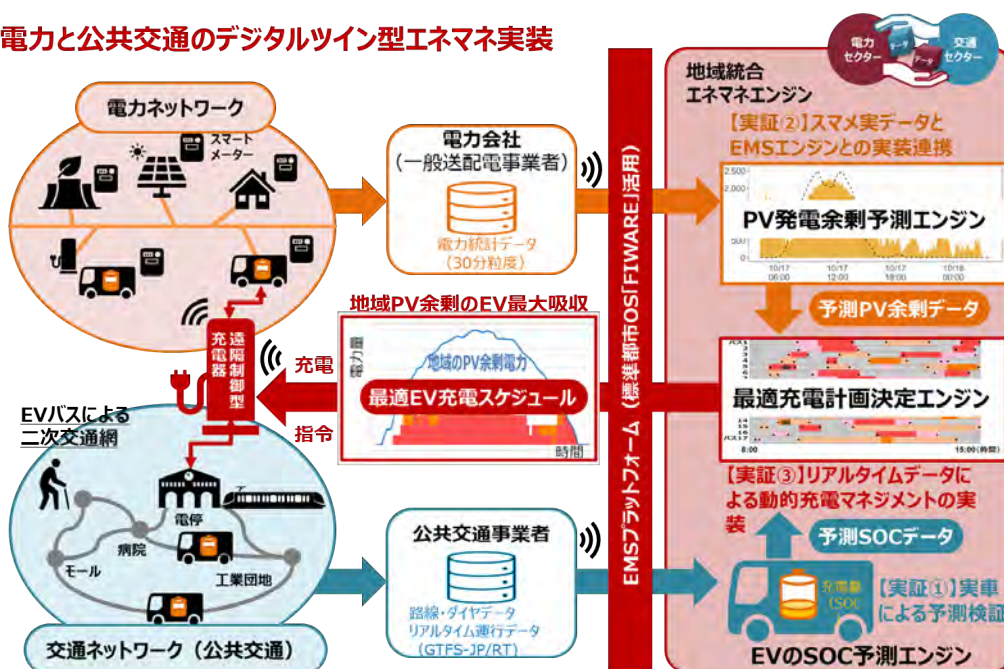


図 A1-5 個別テーマ1「公共交通と電力部門のセクターカップリングの総合技術検証」

研究概要

具体的には、以下内容を実施した。

- ・宇都宮市・芳賀町を対象としたスマートメータ統計データ、日射データ等の分析に基づく電力純需要と太陽光発電電力の分離技術の開発、更に、同技術を活用した市全域における 1km メッシュ別・時間帯別の CO2 排出係数の導出と評価
- ・実験用 EV バスの完成と試験走行の開始
- ・プラットフォームから外部充電器制御実施部分への開発着手
- ・宇都宮大学陽東キャンパスほか、実フィールドへの EV 急速充電器・EV 充放電器の設置

・産官学連携による「うつのみやゼロカーボン推進協議会」での議論と、将来のエネルギーマネジメントシステムの連携に関する自治体からの資料公表

(2) 個別テーマ2「電動モビリティの遠隔制御によるワイヤレス充放電を含めた建物のエネルギーマネジメントシステムの構築」

EV を建物の蓄電池として最適制御する BEMS と充放電システムの開発を目的として要素技術の開発とフィールド実証環境の整備を完了した。要素技術の選定と全体システムの設計を行った。

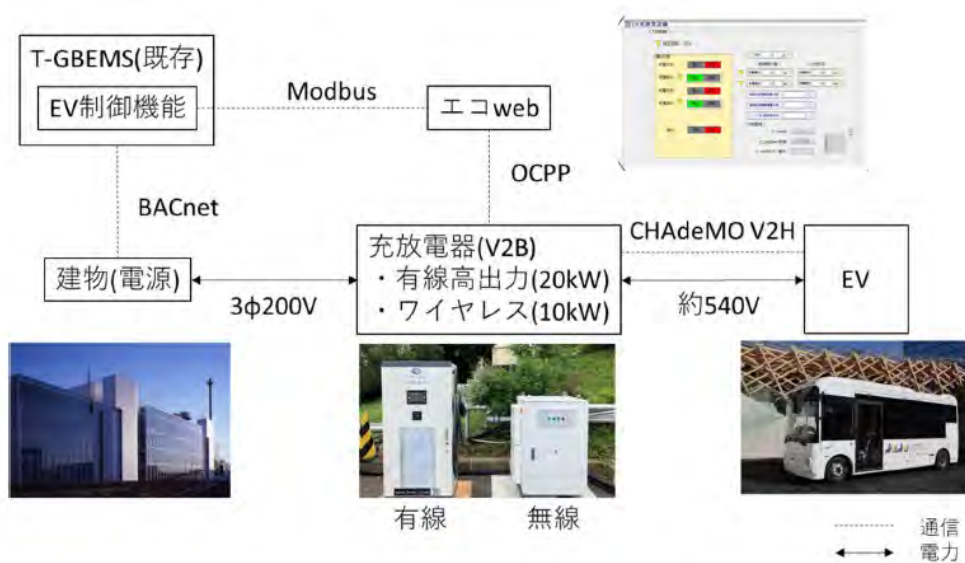


図 A1-6 個別テーマ2「電動モビリティの遠隔制御によるワイヤレス充放電を含めた建物のエネルギーマネジメントシステムの構築」研究概要

具体的には以下の内容を実施した。

- ・EV を蓄電池としてモデル化可能なエネルギーシミュレーションツールによる各種運用シナリオの効果試算・比較評価
- ・BEMS から EV の充放電を制御する機能の実装完了
- ・有線高出力充放電システムの実装完了
- ・ワイヤレス充放電システムの実装完了
- ・上記各設備を連携した全体システムの実証、データ取得の開始

(3) 個別テーマ3「EV の調整力としての市場価値とレジリエンスを考慮した VPP ビジネスの事業性評価」

既存の電力システムと連携しつつ分散型エネルギー資源を最大限に活用する、日本ならではの VPP/V2X ビジネスモデルの構築に向けた総合的事業性評価ツールの開発に取り組む。国内外の VPP/V2X 実証事業や社会実装事例の調査と類型化、宇都宮市スマートメータデータや電力取引市場データなど実

データに基づく VPP/V2X 事業性評価シミュレータの開発、消費者アンケート調査と費用便益分析、電力需給シミュレーションモデルのプロトタイピングを実施した。

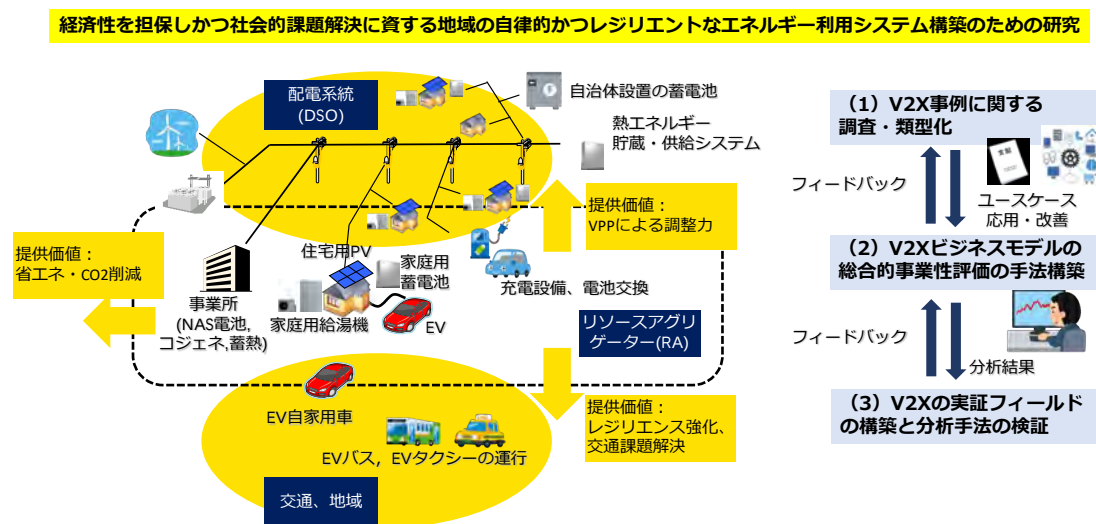


図 A1-7 個別テーマ3「EVの調整力としての市場価値とレジリエンスを考慮したVPPビジネスの事業性評価」研究概要

具体的には以下の内容を実施した。

- ・国内外の VPP/V2X に関する実証事業と社会実装事例の情報整理
- ・EV 充放電と電力取引を組み合わせる VPP/V2X 事業性評価シミュレータの開発と動作確認
- ・EV/PHEV の V2X 利用に関する消費者アンケート調査の実施
- ・改良リカレントニューラルネットワーク手法を用いた再生可能エネルギー発電量予測ツールの開発
- ・エージェントベースモデリングを用いた日本の地域別 EV 充放電ポテンシャル推計ツールの開発
- ・V2X/VPP に関する消費者調査（アンケート）
- ・地域性を考慮した経済的価値と社会的価値の評価方法の概念整理
- ・総合的事業性評価ツール、需給シミュレーションツールのプロトタイピング

(2) A2 RE100 を実現する農村型 VPP の開発

日本のエネルギー施策では、2030 年に電力供給における再生可能エネルギーの導入割合を 36～38% まで増やすことを目標としているが、この目標を達成するには、再生可能エネルギーが豊富に賦存する農山漁村地域から周辺の都市地域に安定的に電力を供給する等の仕組みが必要である。

固定価格買取制度 (FIT 制度) 導入後、農山漁村地域にも太陽光発電を中心に多くの発電事業が立地したが、太陽光発電事業が先行したことにより、農山漁村地域が有する再エネ発電ポテンシャルを十分に活用できていないという課題がある。また、農山漁村地域にとっては、①発電事業への取組が無秩序な土地利用を引き起こしている、②外部資本による事業の利益が地元地域に還元されない等の課題が顕在化している。そのため、農林水産業の健全な発展を前提とし、地域経済社会の活性化に寄与しうるエネルギー事業への取組と、FIT 制度や移行後の FIP 制度 (フィードインプレミアム制度) 後も安定して事業展開できるような再生可能エネルギーに関するビジネスモデルが必要となっている。

農山漁村地域には、太陽光、風力、小水力、バイオマス等に加え、地中熱や農業用水の流水熱等の未利用熱が賦存している。そこで、農山漁村地域に広く賦存するこれらの再生可能エネルギーを活用した低コストかつ効率的なエネルギーマネジメント技術を開発し、同地域で消費される化石燃料由来のエネルギーの削減と、地域経済が持続的に潤う地産地消型エネルギーシステムを構築することで課題解決を図る。このシステムの中心となる技術として、季節や時間帯によって変動する電力需要や再エネ発電の供給量に応じ、余剰電力や廃熱を熱エネルギーとして貯留、あるいは積極的に利用することにより出力変動をより少なくする「農村型バーチャルパワープラント (VVPP)」の構築を行う。蓄熱等積極的な熱の利用技術、エネルギー需給の解析、LCA 等を踏まえた最適化技術等 VVPP にかかわる基礎技術開発を通じ、通期の安定的再エネ供給システムの構築を目指す。

これにより、農山漁村地域が有する再エネポテンシャルの活用による地域経済社会の発展と、カーボンニュートラル社会の実現に寄与する。

① 研究開発目標

(事業期間の 5 年間で達成する研究開発目標)

i. 農村型 VPP (VVPP) のシミュレーション技術の開発・検証

農山漁村地域の再生可能エネルギーの発電/廃熱量と、蓄熱可能量、農林漁業等の生産活動に伴う電気・熱エネルギー需要の予測に基づき、エネルギー需給を最適制御する農村型 VPP (VVPP) シミュレーション技術を開発する。

農業経営体等の生産場面において、経営利潤を最大化しようとしたり、GHG 排出を削減しようとしたり、いくつかの目的に応じた最適エネルギー利用が選択できるようなエネルギー供給を実現するシミュレーション技術の開発を目標とする。

ii. 発電量の制御、及び余剰電力の蓄熱・熱利用技術の開発・検証

VVPP シミュレーションの一部をなす再生可能エネルギー発電量予測モデルを確立するとともに、発電量を制御する/余剰電力を蓄熱して利用する等の技術を開発する。小水力発電や、メタン発酵

施設における発電の場面で実際の制御に利用できる精度を目標とする。

iii. 農林水産業に関わるエネルギー消費と生産/加工/流通情報が見える化するための情報通信プラットフォーム技術の開発・検証

農山漁村地域にある電力、ガス、熱等を共通の単位で置き換え、VVPP や EMS に関わる全ての機器や設備のデータを一元的に収集・管理・運用を可能とする技術を開発する。また、VVPP や EMS からの機器や設備のデマンドレスポンス (DR) 要求等にも対応可能なようにし、GHG 排出削減とともに経済性に関してもマネジメントできる技術とする。さらに、開発する技術の普及を担保する持続的インセンティブを付与するために、農林水産業に関わる生産、エネルギー消費、流通、小売りまでを一気通貫する情報通信プラットフォームとして構築する。

農山漁村にある再エネに関する様々な情報を一元的に収集、管理、運用し、かつ農業経営体等の再エネ利用が証拠づけられる精度の技術開発を目標とする。

iv. VVPP の実証

VVPP に関わる事業については、技術開発の状況を踏まえつつ、2028 年以降はカーボンニュートラルに対応する VVPP の実証事業を国内で 2 地域以上、2030 年までに 5 箇所以上で展開し、2050 年までに農山漁村地域においてカーボンニュートラル社会を実現するための制度や基盤を構築する。

(KPI/マイルストーン)

i. 農村型 VPP のシミュレーション技術の開発・検証

対象エリアにおける GHG 排出量の 16%削減を目標として、農村型 VPP (VVPP) を開発する。

2025 年までにシミュレータの基本技術を開発し、想定する農業経営体等の電力及び熱需要を模擬したテストを実施し、GHG 排出削減目標の 60%を達成する (TRL5) 《達成目標 a-2》

2027 年度までに、農業経営体等の生産場面における電力/熱需要を最適制御する 30 分単位のシミュレーションを実証し、GHG 排出削減目標の 100%を達成する (TRL6) 《達成目標 a-2》

ii. 発電量の制御、及び余剰電力の蓄熱・熱利用技術の開発・検証

発電量を制御、余剰電力を蓄熱・利用する技術の開発により、GHG 排出削減目標の 25%を達成する。

2025 年までに、複数種類の再エネ発電プラントを対象に、再エネ発電量を正確に予測する技術と、予測に基づき発電量を制御する技術、余剰電力を蓄熱・利用する基本技術の開発を行い、想定される使用環境でのテストを実施し、GHG 排出削減目標の 60%を達成する (TRL5) 《達成目標 a-2》

2027 年度までに、複数種類の再エネ発電プラントを対象に、発電量の予測と制御、及び余剰電力の利用について実証し、GHG 排出削減目標の 100%を達成する (TRL6) 《達成目標 a-2》

iii. 農林水産業に関わるエネルギー消費と生産/加工/流通情報が見える化するための情報通信プラットフォーム技術の開発・検証

2025 年までに、VVPP や EMS に関わる全ての機器や設備のデータを一元的に収集・管理・運用を可能とする技術のプロトタイプを完成しテストを完了する (TRL5) 《達成目標 a-2》

2027 年度までに、VVPP を介した再エネ利用が根拠づけられる技術を実証する (TRL6) 《達成目標 a-2》

iv. VVPP の実証

2025 年度までに i ~ iii に関する基本技術を完成させ、地域内のエネルギー供給/需要量の予測に伴い、発電制御/蓄熱/熱利用に移行し、地域の中で最適なエネルギー需給調整が図られるなどの一連の動作テストを終了する (TRL5) 《達成目標 a-2》

2027 年までに、i ~ iii を統合して、初期導入コミュニティを対象とし、実際に利用され得るあらゆる環境/条件と、実運用に耐えうる要求水準 (非機能・機能要件) を整理・定義し、実証試験を行う (TRL6) 《達成目標 a-2》

v. 事業化対応

VVPP に参加する需要家の省エネによるエネルギー消費削減率または再エネによるエネルギー代替率 5%~10% を達成することにより事業性を担保することを目標とし、2025 年までに同目標を 60% 達成、2027 年までに 100% 達成する。2025 年度までに、農山漁村地域に VVPP を導入する場合の事業の範囲、アグリゲーターをいくつか想定し、それぞれの事業モデルの確からしさを確認 (BRL3) するとともに、プロトタイプとなるソフトウェア/ハードウェアの完成と初期テストを完了 (BRL4) 《達成目標 a-2》

2027 年度までに事業モデルの妥当性検証 (BRL6) 《達成目標 a-2》

vi. 制度化対応

2025 年度までに、開発する技術の普及を担保する持続的インセンティブを付与するために、再エネ供給/利用に関する制度の改正・新設案の整理・文書化 (GRL4) 《達成目標 a-2》

2027 年度までに新制度の有効性を特定 (GRL5) し、少なくとも農水省において、導入計画を策定 (GRL6) 《達成目標 a-2》

vii. 社会受容醸成

2025 年度までに既存 VPP のアグリゲーターや地域新電力等を対象とした調査を通じて、政策提言のたたき台 (SRL3) を作成する (HRL3) 《達成目標 a-2》

2027 年度までにリターンへの理解度、コストへの許容度を高める具体的な施策を、アンケート・インタビュー等で客観的に確認し、事業化や制度化に向けた政策提言を提出する (SRL5) 《達成目標 a-2》

viii. 人材確保・育成

2025 年度までに既存 VPP のアグリゲーターや地域新電力等を対象とした調査を通じて、人材育成指針のたたき台を作成する (HRL3) 《達成目標 a-2》

2027 年度までに初期実装対象のコミュニティにおける経験をもとに、アグリゲーターを担う人材確保・育成に関する課題を整理し、人材育成プランを提案する (HRL6) 《達成目標 a-2》

② 実施内容

農村型バーチャルパワープラント（VVPP）は、バイオマス/バイオガス発電施設からの廃熱、農地及び農業用水路、パイプライン、多目的貯水池等の農業水利施設からの採熱/蓄熱を、温室・畜舎・加工/流通/貯蔵施設等の農業施設と組み合わせ、熱エネルギーの利用を含めたエネルギー利用の最適化/最大化を図る技術開発を目指す。

VVPP を制御するために、気象予測とエネルギー需給に関する実測データを融合したモデル解析をベースとするシミュレータを開発し、導き出される最適化シナリオに基づく制御を実施するためのソフトウェア/ハードウェアの開発と実証を行う。実測データとして、農山漁村地域の再生可能エネルギー（太陽光発電、小水力、バイオマス/ガス発電等）発電/廃熱量、農業等の生産活動（温室、畜舎、食品加工場、農業水利施設等）に伴う電気・熱エネルギーの需要を、リアルタイムで把握するシステムを構築する。システムを稼働させるアプリケーションには、農業経営等の利潤を最大化する経営モデル評価や LCA による GHG 排出削減評価を実施し、再生可能エネルギーの最適な活用（電気と熱の即時利用、ヒートポンプを介した熱の貯留、貯留熱の利用、売電）を促す意思決定ができるような機構を設ける。

VVPP を支える技術として、農山漁村地域内で多くのエネルギーを消費する温室やパイプハウス等の園芸用施設、畜舎、食品加工、冷蔵・冷蔵庫等へ高効率的に再エネ電力や再エネ熱を供給/蓄熱する新たなシステムの開発と実証を行う。農山漁村地域にある施設を活用する①低コストの蓄熱システムの開発、②余剰電力、未利用熱、廃熱、余剰熱を、ヒートポンプを介して冷熱または温熱として活用する技術、③熱損失を抑制する高性能な保温/断熱技術の開発等を進める。

事業の前半（2023～2025 年度）で VVPP システムの基本技術の開発と、VVPP のシミュレーション技術の開発を構築する。後半（2026～2027 年度）は国内で 2 地域以上の実証事業を進めながら課題を抽出し、解決に向けた技術開発を継続する。本事業は 2027 年度に終了するが、2030 年度までに国内で 5 地域以上の実証事業を継続し、VVPP を全国で展開した場合に必要な事業費を試算し、他の事業や脱炭素に関わるインセンティブを活用しながら、民間企業の主導により、2050 年度までに VVPP を社会実装する。

VVPP は都市部で構築、運用されている VPP とは異なるシステム技術が求められる。VVPP におけるエネルギーの供給側の特徴として、再エネに大きく依存するため安定・不安定の電源（あるいは熱源）が多種多様に混在していること、発電設備・熱源設備が広範囲に分散していること、1 箇所あたりの出力は小さいこと等があげられる。一方、需要側の特徴としては、営農の形態や規模により時間的スケール（1 日のうちの時間、月、季節等）で需要量の変動が大きいこと、温度や湿度、気象や農業経営事情に左右されるなど需要見込みが立ちにくいこと、農家住宅や農業加工施設が需要先になる場合は安定した電力量・熱量の確保が必須となること等があげられる。すなわち VVPP は導入する農山漁村地域ごとにシステムやアプリケーションを組み上げるオーダーメイド型の VPP を構築する必要があり、既存の VPP をそのまま適用することはできない。図 A2-1 に、VVPP が社会実装したときのシステムイメージ図を示す。

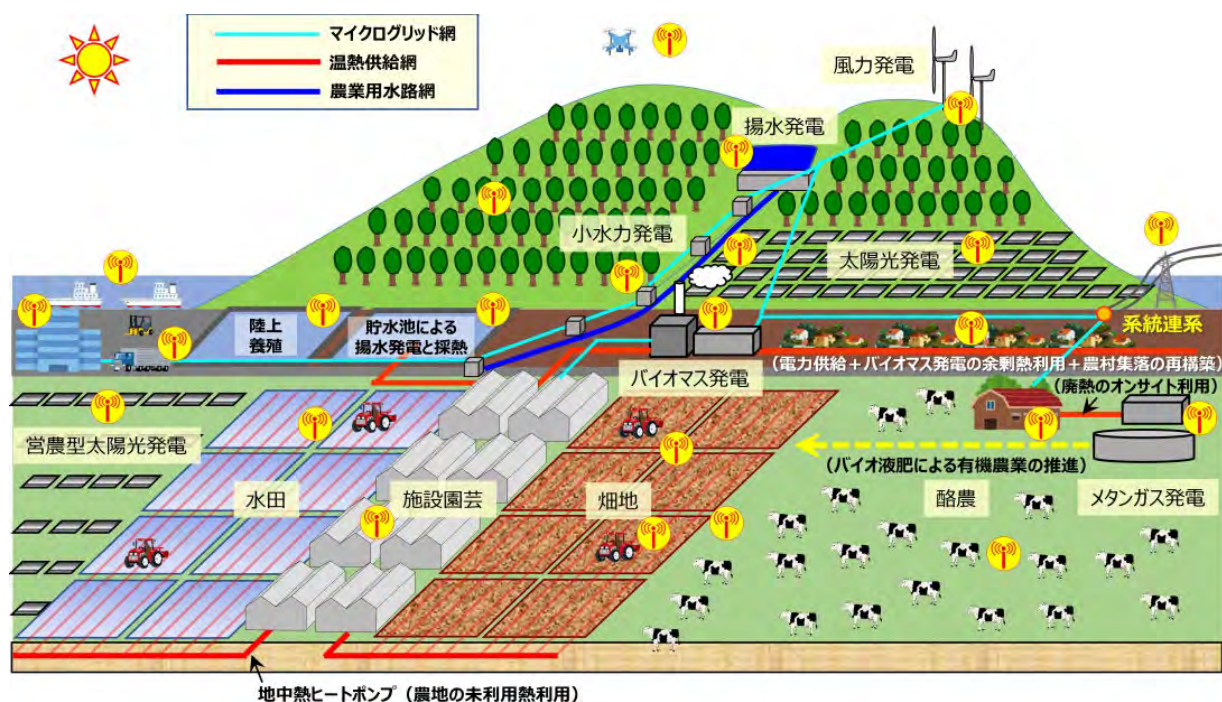


図 A2-1 VVPP が農山漁村地域に社会実装されたときのシステムイメージ図

出典：日本における脱炭素社会に向けた農山漁村エネルギーマネジメントシステム（VEMS）の現状と技術的展開（農研機構、2022）、第 12 回エネルギー・環境フォーラム（主催：NEDO、ドイツ連邦経済・気候保護省（BMWK）/環境・自然保護・原子力安全・消費者保護省（BMUV））

③ 実施体制

研究開発責任者：

遠藤和子（農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 研究領域長）

参画機関：

国立研究開発法人産業技術総合研究所、三菱電機株式会社、京都大学、千葉エコ・エネルギー株式会社、ジオシステム株式会社、九州大学、慶應義塾大学、ホルトプラン合同会社

④ 研究開発に係る工程表

個別テーマ	初年度 (2023. 7～ 2024. 3)	2年度 (2024. 4～ 2025. 3)	3年度 (2025. 4～ 2026. 3)	4年度 (2026. 4～ 2027. 3)	最終年度 (2027. 4～ 2028. 3)
個別テーマ1 「農山漁村地 域内の再生可 能エネルギー の需給を最適 制御するVVPP のシミュレー ション技術の 開発・検証」	〈1〉 VVPPのシミュレーション技術の開発 VVPPシミュ レーター仕様 決定、熱・電 気供給データ 収集、需要 データ収集			サブモデルの 精度向上、30 分間隔の予測 へ予測精度向 上	初期導入コミュ ニティを模擬し た地区でのVVPP 実証
	〈2〉 VVPPの事業展開の検証 地域新電力等 の情報収集、 VVPPアグリ ゲーター要件、 ユーザー像の 検討			社会受容醸成 のためのワー クショップ実 施、人材育成 プラン素案作 成	事業モデル妥 当性検証、人 材育成プラン 提案
	〈3〉 VVPPの実証 模擬実証フィ ールド選定、シ ナリオ決定、デ ータ準備			最適化、事業規 模の検証、GHG 排出削減10%を 目標	初期導入コミュ ニティを模擬し た地区でのVVPP 実証、GHG排出 削減16%を目標
個別テーマ2 「農業生産基 盤施設を活用 した新たな再 生可能エネル ギー生産整備 技術の開発」	〈1〉 蓄熱・蓄電装置とヒートポンプを組み合わせた園芸生産システムの開発				
	ヒートポンプ を蓄熱装置と し使い可搬定 置型蓄電装置 と組み合わせ た園芸生産シ ステム設計	開発するシス テムのテスト サイト構築と計 測、蓄熱・蓄電 の機構をモデ ル化、現地実 証準備	基本技術の開 発完了、現地 実証開始、モ デルをシミュ レーションに 導入し動作確 認する。	蓄熱・蓄電の 効率化を図る 改良、コスト の検証	作物生産の制 御に利用できる 精度としての 動作検証
個別テーマ3 「農村型VPPに おける情報通 信プラットフォーム およびインフラ の構築」	〈2〉 農地への蓄熱・採熱技術の開発による農村の消費電力の平準化手法の開発				
	高速かつ安定 して土壌中に 熱交換器を埋 設する機械の 試作と地中熱 ヒートポンプ の試験開始	同技術を用い て、冬季夜間 の蓄熱による 電力の調整能 力の推定、モ デル化	基本技術の開 発完了、現地 実証開始、モ デルをシミュ レーションに 導入し動作確 認する。	平準化の効率 化を図る改良 、施工費、コ ストの検証	作物生産の制 御に利用できる 精度としての 動作検証
個別テーマ3 「農村型VPPに おける情報通 信プラットフォーム およびインフラ の構築」	〈3〉 インフラの構築と運用の検証				
	温度分布情報 から空間温度 分布を推定す る仕組みを圃 場に構築、ス マ農 IEEE策 定への取組み	推定モデル高 度化、低価格 な手法として 確立、VVPPシ ミュレーター との情報共有 方法、Edge環 境構築、サー バ設計	模擬フィール ドを対象に、 VVPP情報通 信プラットフォーム 構築、一連 の動作確認、	インフラとし ての頑健性、 運用の柔軟性 の向上に資す る改良、検証	作物生産の制 御に利用できる 精度としての 動作検証

図 A2-2 工程表

⑤ 予算配分額

2023 年度：90 百万円

2024 年度：90 百万円

2025 年度：90 百万円

⑥ 過年度までの進捗状況

（個別テーマ 1）農山漁村地域内の再生可能エネルギーの需給を最適制御する VVPP のシミュレーション技術の開発・検証

発電設備、発熱設備、蓄電設備、蓄熱設備に加え、電力・熱需要を有するエリアを対象に VVPP の概念を適用し、設定した目的関数に基づく適正制御（または最適化制御）を実施した際の制御効果を算出し、各設備の運用計画を立案する機能の検討を進めた。また、既存の地域新電力が直面する課題や業務・サービスフローを整理し、設立時の事業性評価レポート等を参考に、農業経営を考慮したエネルギー管理のサービスモデルを検討した。本モデルでは、農家、地域エネルギー供給者、自治体等が連携し、自立可能なサービスモデルの成立可否を評価するための基本コンセプトを設定し、他の実施事業者と連携した初期的な検証を完了した。

個別テーマ 2 で実証を進めている地中熱ヒートポンプを VVPP シミュレータに加える改良を行った。その結果、地中への蓄熱による地域のエネルギーマネジメントの効果を定量的に評価することが可能となった（図 A2-3）。地中への蓄熱では、地中温度を大きく変化させずに地域の余剰電力を吸収できることを示し、例えばネガティブプライスが発生する電力市場の環境においては効果的な活用が見込めることを評価した。

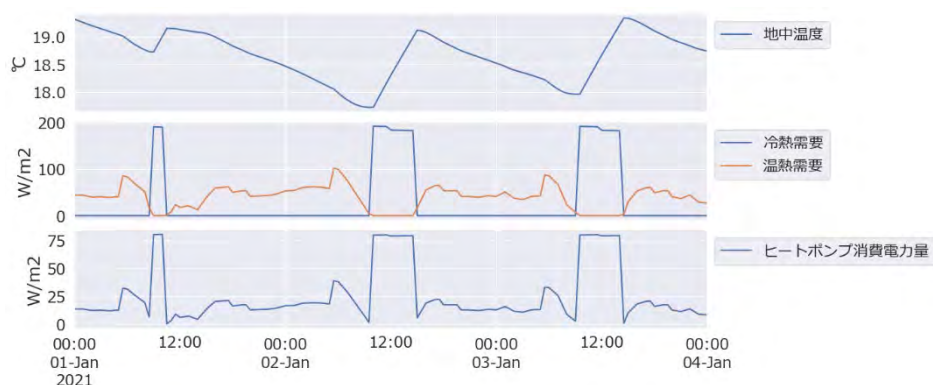


図 A2-3 地中温度と昼間の余剰電力の吸収

（個別テーマ 2）農業生産基盤施設を活用した新たな再生可能エネルギー生産整備技術の開発

水平型地中熱ヒートポンプの熱交換器を埋設した際の地中との熱交換プロセスを再現する数値シミュレーションモデルを開発した（図 A2-4）。開発したプログラムを使って過去に取得したデータを用いて解析したところ、地中熱ヒートポンプによる土壌との熱交換の傾向をうまく再現できていることが確認さ

れた。

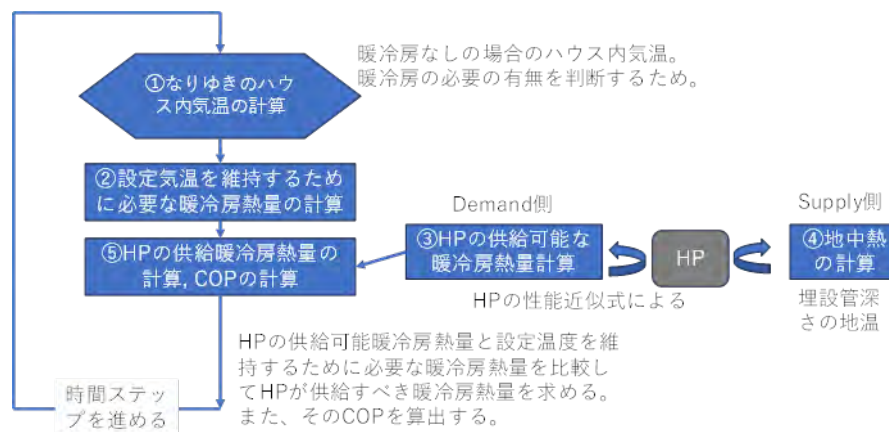


図 A2-4 地中熱ヒートポンプの熱交換効率を評価する数値シミュレーションのアルゴリズム

（個別テーマ3）農村型 VPP における情報通信プラットフォームおよびインフラの構築

温室内の環境分布の変動を推定する手法を提案し、実装、評価した。現在時刻から 1 時間後の気温、相対湿度、土壌温度、土壌の堆積含水率の 4 項目を推定した。

さらに、これら温室内の環境や外部気泡の変化に影響を受けるエネルギー負荷を予測する方法として、Receptance Weighted Key Value (RWKV) を応用し、園芸施設における多変量時系列予測を実現する手法を提案・利用した（図 A2-5）。

提案手法の時系列用 RWKV と同様に逐次予測が可能な LSTM、GRU との比較評価を行ったところ、推論性能の評価では、モデルの隠れ層次元数や入力シーケンス長に依らず、同一モデル規模では、時系列用 RWKV のみが大域的な変動に加えて短期的な変動に対する表現能力を獲得できた。ベースモデルによる同一区間を対象とした評価において、時系列用 RWKV は LSTM に対して MAE では約 18%劣るものの、推論区間全体にわたる短期的な変動への推論性能を評価するために各時間ステップ間の絶対変化率から算出した指標においては、LSTM に対して約 85 %優れた結果を示し、最良モデルであることが確認された。

図 A2-5 多変量時系列予測用 RWKV による温室内の気温、消費電力、消費ガス量の推定結果

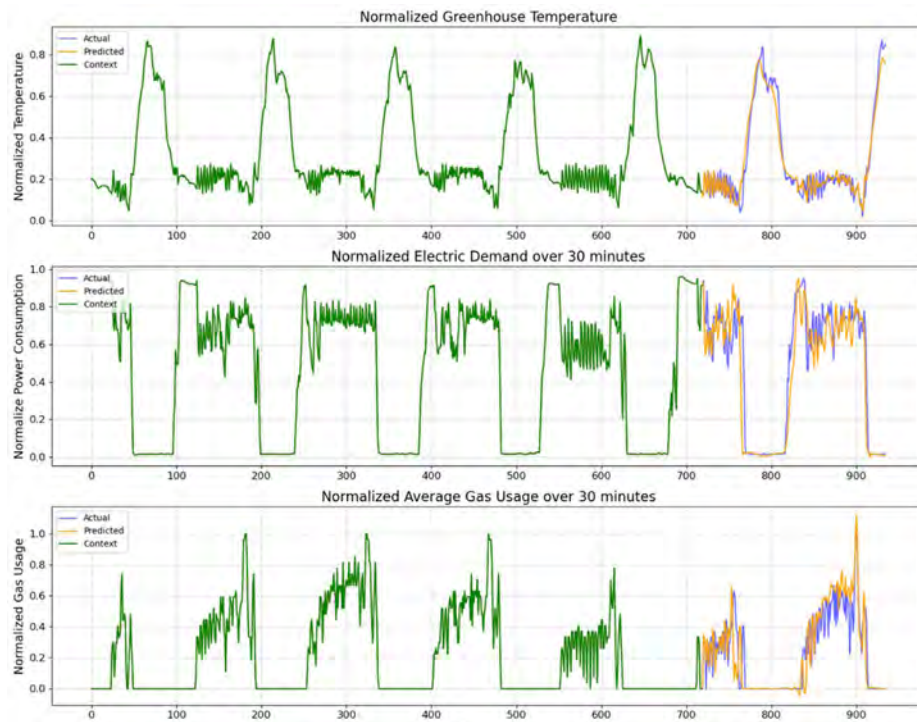


図 A2-5 多変量時系列予測用 RWKV による温室内の気温、消費電力、消費ガス量の推定結果

(3) B1 アンモニア・水素利用分散型エネルギーシステム

産業・運輸・民生部門の CO₂ 大幅減を目的に、2030 年社会実装をめざして、アンモニア・水素利用分散型エネルギーシステムの要素研究及び実証研究を行う。アンモニア改質ガスを燃料とする工業炉・ボイラ・ガスエンジンによる発電を基盤として、アンモニア及び再エネ利用の純水素製造による燃料電池発電、蓄熱、蓄電、蓄水素、水素供給システム等での複合化により、導入する地域・分野に適した CO₂ フリーエネルギーシステムを設計する。

アンモニア利用マイクログリッドの研究開発においては、工業炉・ボイラ・ガスエンジン・燃料電池それぞれに適するアンモニア改質装置の研究開発を主として、既存燃焼器を用いた水素・アンモニア混合ガスの最適比率に関する探索研究を行い、エネルギー効率や NO_x/N₂O 排出量等の観点で各デバイスまたは複合デバイスを最適制御するスマートエネルギーマネジメントシステムを構築する。

キャンパスのカーボンニュートラルを実現する蓄電池と水素カートリッジのモバイル搬送における研究開発においては、再生可能エネルギーを主とする蓄電、水素製造、貯蔵、モビリティ搬送、及び、電力変換システムについて実証研究を行う。

最終的には、以上 2 つの研究成果を統合して工場やキャンパス等での実証研究を行い、産業・運輸・民生部門でのアンモニア・水素利用分散型エネルギーシステムの社会導入を計画する。

(個別テーマ 1) アンモニア利用マイクログリッド

脱炭素燃料及び水素キャリアとしてアンモニアを利用する研究開発は、2014～2018 年度に実施された内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP 第 1 期)「エネルギーキャリア」が先導的である。「The Future of Hydrogen」(IEA, 2019) において、わが国においては、CO₂ フリーアンモニア (ブルーアンモニアまたはグリーンアンモニア) を輸入し、脱炭素燃料及び水素キャリアとして利用すべきとの提言がなされ、その後、燃料アンモニア導入に向けた政策が進展している。アンモニアは、製造時に排出される CO₂ の回収率を 90%以上とする技術が確立していること (ブルーアンモニアという)、プロパンガスと同様に容易に液化でき、輸送・貯蔵・取扱法が確立していることから、早期に社会実装可能な脱炭素エネルギー及び水素キャリアとして期待される。

「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(経済産業省、2021) においては、水素・燃料アンモニア産業は成長が期待される 14 分野の 1 つとして位置づけられ、水素・燃料アンモニアは脱炭素エネルギーとして、電力事業分野のみならず産業・運輸・民生分野においても導入されるべきと明記された。しかしながら、現在のところ、産業・運輸・民生分野への燃料アンモニア導入のためのアプリケーションは実在せず、社会実装へのロードマップはない。そのような状況下で、特に産業界では 2030 年 CO₂ 大幅削減 (2013 年比 46%減) に向けた具体的なアクションが求められるようになり、アンモニア・水素利用のエネルギーシステムの実証・実装研究に大きな関心と期待が寄せられている。このような社会背景から、産業・運輸・民生分野における脱炭素へのソリューションを得ることは喫緊の課題であり、その社会実装に向けた研究開発に早期に着手する必要がある。

図 B1-1 に種々のアンモニア・水素利用デバイスから成るマイクログリッドと本テーマの研究開発対象

(着色部)を示す。工業炉・ボイラ・ガスエンジン・燃料電池それぞれに適するアンモニア改質装置の研究開発を主として、各々の燃焼器に対してアンモニア・水素混合ガスの最適比率に関する探索研究を行い、エネルギー効率及び $\text{NO}_x/\text{N}_2\text{O}$ 排出量の観点で各デバイスまたは複合デバイスを最適制御するスマートエネルギーマネジメントシステムを構築する。本研究開発によって、適用分野や適用地域を考慮した、最適な脱炭素エネルギーシステムの社会実装が可能となる。本研究開発は、2028年以降の社会実装と普及を目標としており、研究開発の緊急性は高い。なお、図B1-1には、キャンパスのカーボンニュートラルを実現する蓄電池と水素カートリッジのモバイル搬送における研究開発の開発要素も含んでいる。

(個別テーマ2) キャンパスのカーボンニュートラルを実現する蓄電池と水素カートリッジのモバイル搬送

2050年までにエネルギー起源 CO_2 正味ゼロ(ネットゼロ、気温上昇 1.5°C シナリオ)を実現するためには、風力やPV等の変動性の高い再生可能エネルギーを最大限に活用する必要があり、その変動を吸収し安定した電源とするための蓄放電を可能にするエネルギーネットワーク及びEMSの構築といったエネルギーイノベーションが求められる。特に再生可能エネルギーの日変動を吸収する蓄電池に加え、季節間変動を吸収する蓄エネ設備及びマネジメントシステムの開発は再生可能エネルギー導入量が増すにつれ重要度が高まることは明らかであり、季節的余剰電力を水素に変換して貯蔵し、必要な時期に電力(あるいは燃料)として利用することが考えられるが、社会実装するうえで解決すべき課題は多い。

本研究開発テーマにおいては、ローカルに得られる再生可能エネルギーの域内消費を可能な限り高める手段として、コミュニティ単位でのPV/風力発電・蓄電・水素変換・貯蔵・搬送・電力再変換を効率よく実現する技術手法の確立を目指す。その際に用いる水素貯蔵・搬送には重厚なインフラを前提としない小型モビリティ(将来的には自動搬送とする)を活用すると共に、一般市民が平易に且つ安全に水素をハンドリングする仕組みや技術が不可欠となる。

コミュニティレベルのインフラや建築物あるいは住宅は建築後長期間に渡って使用され、建設時の仕様や性能がそのまま維持されることが多い。2030年に温暖化ガス排出を現状の50%減あるいは2050年に実質100%減を目指すのであれば、今日時点で建設する施設やインフラが2030年や2050年の目標達成に与える影響は大きいのである。従って、長期使用を前提としたコミュニティレベルのインフラや建築物におけるエネルギーシステムは可及的速やかに2050年の目標値を見据えた仕様・性能を満たすことが不可欠となる。

① 研究開発目標

(個別テーマ1) アンモニア利用マイクログリッド

(事業期間の5年間で達成する研究開発目標)

工場でのマイクログリッド実証を念頭におきつつ、産業・運輸・民生分野に広く応用展開することを想定したアンモニア・水素利用マイクログリッドを実証し、適用分野や適用地域を考慮したゼロカーボン

エネルギーシステムの設計及び社会実装を実現可能なレベルとすることを目標とする。

SIP 第 1 期「エネルギーキャリア」では、アンモニアエネルギーの実用化に関する課題が明示されており、それらの課題解決を行う本研究開発は、実現可能性の高い取組と考える。具体的には、次の i ～ vii の研究開発項目について、2023～2025 年度の 3 年間で要素研究を行い、2026～2027 年度の 2 年間で実証研究を行う。本研究開発は国内・国際的に先導的な取組であり、アンモニア・水素利用マイクログリッドの社会実装について国際競争力を持つ。

(KPI/マイルストーン)

i. 燃焼器用改質器ユニット

2025 年度までに自立型改質器の開発 (TRL4、BRL5、GRL3、HRL3) 《達成目標 b-1》

2027 年度までに生産計画の見通しを文書化し、初期の需要整理のうえ生産方法を確立 (TRL8、BRL7、GRL7、HRL6) 《達成目標 b-1》

ii. 燃料電池用改質器ユニット

2025 年度までに純水素製造システムの開発 (TRL6、BRL5、GRL3、HRL3) 《達成目標 b-1》

2027 年度までに生産計画の見通しを文書化し、初期需要整理のうえ生産方法を確立 (TRL8、BRL7、GRL7、HRL6) 《達成目標 b-1》

iii. 工業炉 (廃熱発電システムを想定)

2025 年度までに最適燃焼法の開発 (TRL5、BRL5、GRL3、HRL3) 《達成目標 b-1》

2027 年度までに生産計画の見通しを文書化し、初期需要整理のうえ生産方法を確立 (TRL8、BRL7、GRL7、HRL6) 《達成目標 b-1》

iv. ボイラ (スチームタービン発電システムを想定)

2025 年度までに最適燃焼法の開発 (TRL5、BRL5、GRL3、HRL3) 《達成目標 b-1》

2027 年度までに生産計画の見通しを文書化し、初期需要整理のうえ生産方法を確立 (TRL8、BRL7、GRL7、HRL6) 《達成目標 b-1》

v. ガスエンジン発電

2025 年度までに最適運転法の開発 (TRL5、BRL5、GRL3、HRL3) 《達成目標 b-1》

2027 年度までに生産計画の見通しを文書化し、初期需要整理のうえ生産方法を確立 (TRL8、BRL7、GRL7、HRL6) 《達成目標 b-1》

vi. 脱硝装置

2025 年度までに各装置に最適な脱硝装置の開発 (TRL5、BRL5、GRL3、HRL3) 《達成目標 b-1》

2027 年度までに生産計画の見通しを文書化し、初期需要整理のうえ生産方法を確立 (TRL8、BRL7、GRL7、HRL6) 《達成目標 b-1》

vii. エネルギーマネジメントシステム(EMS)

2025 年度までに EMS の検討 (TRL5、BRL5、GRL3、HRL3) 《達成目標 b-1》

2027 年度までに生産計画の見通しを文書化し、初期需要整理のうえ生産方法を確立（TRL8、BRL7、GRL7、HRL6）《達成目標 b-1》

viii. 水素カードリッジ等デバイス・搬送システムの開発

2025 年度までに第 1 期テストベッドの実証試験を実施する。（TRL5、BRL5、GRL3、HRL3）《達成目標 b-1》

2027 年度までに沖縄科学技術大学院大学での実証レベルに達し、キャンパス内での水素利用を確立できる見通し。（TRL6、BRL7、GRL7、HRL6）《達成目標 b-1》

ix. 事業化対応

2027 年度までにキロワット発電レベルの初期ユーザーでの事業モデルについて、事業計画が策定され、学官との連携構想を明確化。大学発ベンチャー起業の検討を完了（BRL7、BRL7、GRL7、HRL6）《達成目標 b-1》

x. 人材確保・育成

2027 年度までに人材確保・育成計画を文書化（SRL6、BRL7、GRL7、HRL6）《達成目標 b-1》

（個別テーマ 2）キャンパスのカーボンニュートラルを実現する蓄電池と水素カートリッジのモバイル搬送

（事業期間の 5 年間で達成する研究開発目標）

事業期間内にモデルとなるコミュニティで、想定するスマート EMS（コミュニティのエネルギー自給を踏まえた水素製造・蓄電・水素変換・貯蔵・モビリティ搬送・電力変換システム）をエリア限定で実装し、その有益性を実証する。

蓄電池や水素を媒体としたエネルギー実証は複数の自治体で進められている。既存のガスパイプラインを活用した水素搬送や、技術的に安定している水素貯蔵合金を使った搬送等があるが、ガスパイプラインを新たに敷設することは多くの自治体で現実的ではなく、また水素貯蔵合金は重量の問題で搬送に課題がある。国内で 1,700 以上ある自治体は押し並べて人口減、統廃合、中心市街地の移動等多くの課題を抱えている。このような自治体に対して、汎用性が高く、社会の変化に柔軟に対応できる再生可能エネルギー導入方法を提案することが求められる。

また、再生可能エネルギーを自治体内で広範囲にデリバリー（あるいは回収）するためには、可搬性と安全性に優れた蓄電・水素貯蔵デバイスが必須であり、本研究開発テーマにおいて解決すべき技術課題である。現状一般的に使われているのはガスボンベ（シリンダー）だが、14.7MPa で 46.7 リットル（232mmφ（肉厚 6 mm）×1365mm）を充填するものの場合、空重量で 52 kg、ガス重量として 1 kg 程度であり、日々取り回しをするには困難である。水素吸蔵合金は大気圧程度の低圧で水素を吸蔵・放出可能であることから、高压ガス保安法に抵触しないという利点はあるものの、吸蔵量は合金重量比で 1 重量%程度であることから、可搬型の水素貯蔵方式としては不向きである。また、有機ハイドライドを使った水素輸送は実績があるものの、水素を取り出す際に水素発熱量の 28%に相当する熱を加える必要があ

り、非効率である。

水素ガスを高圧にして充填する容器は、繊維強化プラスチック（FRP）を含む複合材料の開発等により従来よりもさらに高圧充填が可能になっており、容器の小型化と軽量化を期待できる。このことから、専任の作業者に限らず、一般にも安心して取り扱い容易な容器（例えばカートリッジ）を開発し、複数の容器を一定頻度で搬送することで汎用性と輸送効率の最適解を見出すことが狙いとなる。なお、小型高圧カートリッジのみであらゆる用途や需要量に対応することは経済合理性に反する可能性があり、比較的消費量の小さい住宅や小規模店舗向けに小型高圧カートリッジを小型 EV や無人地上車両（UGV）で搬送する方式を実現しつつ、大規模建築物や施設向けには大型ポンペを束ねたカードルや大型水素吸蔵合金をトラックで搬送する方式を組み合わせ、コミュニティ全体として合理性の高いエネルギーシステムとして確立することが狙いとなる。

（KPI/マイルストーン）

i. 個別要素技術開発

2025 年度までに要素機器（小型カートリッジ、ディスペンサー、小型カートリッジ対応燃料電池）を試作し第 1 期テストベッドでの試運用を元にした改良を実施（TRL5）《達成目標 b-1》

2025 年度までに小型カートリッジを各需要ポイントに運ぶための UGV 仕様を確立し、第 1 期テストベッドでの資運用を基にした改良を実施（TRL5）《達成目標 b-1》

ii. 実証試験

2025 年度までに第 1 期テストベッドの設計・施工・試運転（TRL5）《達成目標 b-1》

2027 年度までに第 2 期テストベッドの設計・施工・試運転（TRL6）《達成目標 b-1》

iii. 事業化対応

2027 年度までにサービスとなる企業連合に加え、大学（学府）、自治体（行政）との連携を図り、事業計画が地域の発展に繋がる。（BRL7、HRL5、GRL7）《達成目標 b-1》

iv. 制度化対応

2027 年度までにサービスとなる企業連合に加え、大学（学府）、自治体（行政）との連携を図り、事業計画が地域の発展に繋がる。（BRL7、HRL5、GRL7）《達成目標 b-1》

② 実施内容

（個別テーマ 1）アンモニア利用マイクログリッド

アンモニアは着火しにくく、メタン等の炭化水素燃料と比較して燃焼速度が非常に遅いうえ、体積あたりの発熱量が低いという本質的な課題がある。さらに、アンモニア燃焼においては、窒素酸化物（NO_x/N₂O）の発生や未燃アンモニアの排出が懸念される。これらは、図 B1-1 に発電システム 1～3 として示した工業炉、ボイラ、ガスエンジン共通の課題である。これらの課題解決のため、本研究開発では、燃焼器用改質器ユニットと各種燃焼器から成るゼロカーボン発電システムについての要素研究と実証試験を行う。すなわち、アンモニア直接燃焼ではなく、アンモニア改質ガス（NH₃/H₂/N₂）を工業炉、ボイラ、ガスエ

エンジンの燃料とし、エネルギー効率、負荷追従性、排ガス環境特性、安定燃焼等の観点で各々の燃焼器に最適な混合ガス比率を探索し、実用条件を確立する。また、各種燃焼器の排ガス組成をもとに最適な排ガス脱硝装置を開発する。

一方、発電システム1～3と発電システム4（燃料電池）との複合発電により総合的な発電効率を向上させることを目的に、燃料電池用改質器ユニットと純水素型燃料電池から成るゼロカーボン発電システムの要素研究と実証試験を行う。

燃焼器用改質器ユニットは、自立型触媒反応器（ATR）の要素研究及び実証研究を行う。燃料電池用改質器ユニットの開発においては、アンモニアから純水素を効率的に製造できる水素分離装置の要素研究及び実証研究を行う。

これらの研究開発は相互に関連することから、改質器に関する装置設計及び触媒改良を優先的に進めつつ、工業炉・ボイラ・ガスエンジンでの混合燃料燃焼特性及び脱硝装置設計に取り組む。

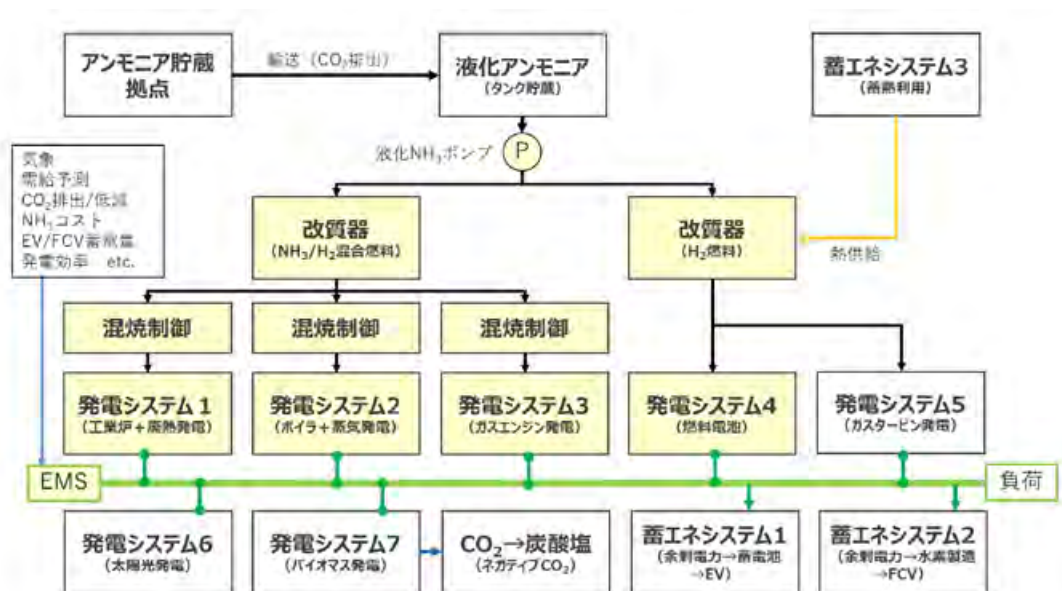


図 B1-1 多様な水素・アンモニア利用マイクログリッドと本テーマの研究開発対象(着色部)

（個別テーマ2）キャンパスのカーボンニュートラルを実現する蓄電池と水素カートリッジのモバイル搬送

コミュニティ単位での水素製造と利用を実現するため、コミュニティのエネルギー需給を踏まえた水素製造・蓄電・水素変換・貯蔵・搬送・電力変換システムの設計がまず求められるが、住民や経済圏の移動によって過大なインフラがコミュニティの負担とならないよう、当該コミュニティの規模が中長期的に拡大（縮小）することに柔軟に対応できるシステムとすることが重要なポイントとなる。そのため、電力及び水素の搬送には送電線やパイプラインといった重厚なインフラを前提とせず、可搬型バッテリー

や小型水素カートリッジをモビリティで搬送する身軽な仕組みを想定する。使用するバッテリーや水素カートリッジは経験と知識を持った専門技術者に限らず一般の市民も安心して取り扱うことができるような平易な構造や重量とすることが望ましい。

小規模な可搬バッテリーや水素カートリッジを前提とすれば、必然的に搬送本数と搬送頻度は増えることになるが、複数の可搬バッテリーや水素カートリッジを連結可能なレギュレーターと組み合わせ、数日に1回程度、空となった可搬バッテリーと水素カートリッジを満充電されたバッテリーや満充填されたカートリッジと交換することで、エネルギーの安定供給を可能にする。各施設や建築物に設置されたPV電力は自家消費される一方で、発電過多の場合にはバッテリーに充電し、短期の不足に対応可能とする。バッテリーは可搬型とし、当面の自家消費予測量に比べてPV発電余剰電力が多くなる場合には可搬バッテリーをモビリティで回収し、コミュニティ内エネルギープラントで水素変換する。PV発電量に対して消費過多になる時期には、水素カートリッジを各施設や建築物に再搬送して燃料電池のエネルギー源として利用する。

本研究開発は、小型・可搬型水素カートリッジの試作及びその搬送システム設計から着手する。どのような頻度で可搬バッテリーや水素カートリッジを搬送するか（回収するか）はコミュニティのエネルギーマネジメントを管轄するシステムが担うため、次ステップとしてその開発を行う。

本研究開発テーマでは特に水素を小型・可搬型のカートリッジに充填して搬送し、多種多様な用途に適用できる技術を確認することが重要なポイントとなるが、最終の実装にあたっては規模の大きい用途（大規模複合施設等）に対しては既存のボンベやカードルのほうが適当との判断になることが予想される。つまり、適材適所の可搬デバイスの組み合わせを見出すことも重要な開発内容となる。

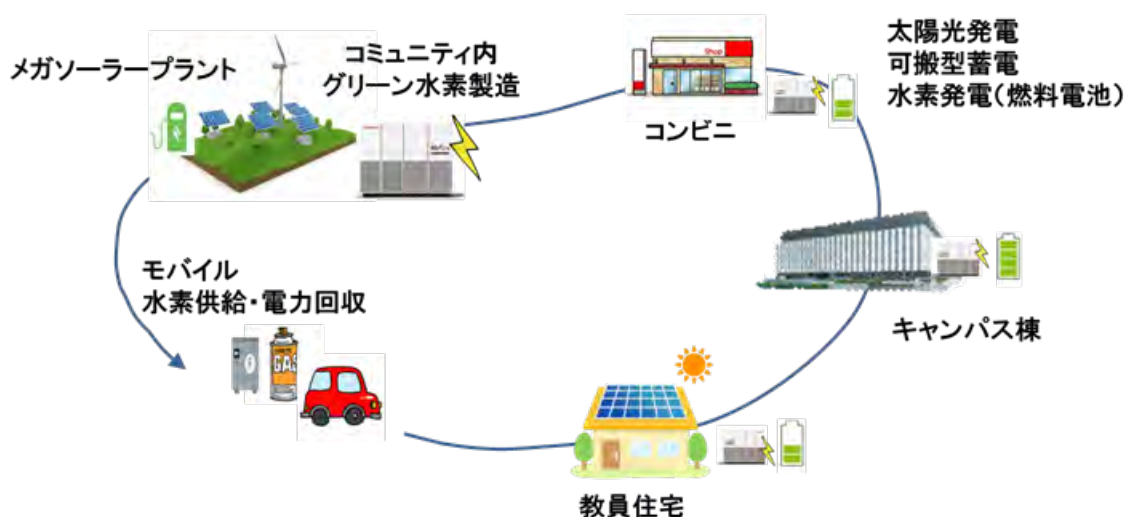


図 B1-2 キャンパス内コミュニティのカーボンニュートラルを実現する蓄電池と水素カートリッジのモバイル搬送(イメージ)

③ 実施体制

研究開発責任者：

神原信志（岐阜大学 大学院工学研究科 教授）

参画機関：

株式会社レゾナック、三菱化工機株式会社、東京瓦斯株式会社、三浦工業株式会社、群馬大学、香川
大学、株式会社ミサワホーム総合研究所、沖縄科学技術大学院大学

④ 研究開発に係る工程表

個別テーマ	研究題目	初年度	2年度	3年度	4年度	終年度
		(2023.7 ～ 2024.3)	(2024.4～ 2025.3)	(2025.4～ 2026.3)	(2026.4～ 2027.3)	(2027.4～ 2028.3)
1. アンモニア改質器ユニットの開発	1) アンモニア分解触媒の開発および触媒寿命評価	評価装置準備	NH3分解率≧99%触媒開発	NH3分解率≧99%触媒完成	触媒寿命評価	触媒寿命評価
	2) アンモニア分解触媒の量産化検討		10gスケール量産化	100gスケール量産化	1kg以上スケール量産化	1kgスケール量産
	1) アンモニア分解触媒の負荷・温度応答性評価	数値計算	反応速度測定			
	2) アンモニア供給設備の設置・実証試験		NH3供給設備設計・設置	NH3供給設備調整		
	3) 触媒反応器の設計・製作・運転制御		改質器設計			
	1) 改質器ユニット実用機の設計・製作・実証試験		改質器製作・設置	運転研究（工業炉）	運転研究（ボイラ）	運転研究（純水素製造）
	2) 自己加熱型触媒反応器の開発	触媒構成	触媒担体探索	担体決定 実装準備	実装研究	
個別テーマ 2.3 のアンモニア・水素利用システムの開発	3) 水素分離およびアンモニア除外装置の検討	触媒燃焼	NH3除去法の決定	水素分離ユニット設計・製作	NH3除去ユニット設計・製作	
	1) 工業炉の設計・製作	設計	製作・設置			
	2) 工業炉用バーナの設計・製作	設計		改良		
	3) 燃焼器用改質ユニットとの接続運転および運転制御法の開発			接続運転研究	運転研究（最適化）	運転研究（脱硝最適化）
	1) ボイラの設計・製作	設計	製作・設置			
	2) 燃焼器用改質ユニットとの接続運転および運転制御法の開発			接続運転研究		運転研究（脱硝最適化）
	1) アンモニア・水素混合ガスの最適比率探索			最適比率	最適比率	
	2) 低NO _x /N ₂ O燃焼法および脱硝装置の検討	数値計算	数値計算	二段燃焼・炉内脱硝	炉内脱硝 脱硝法決定	
	1) ボイラでの高効率熱交換法の検討	数値計算	数値計算	数値計算		
	2) 小型ガスエンジンアンモニア・水素混合ガスの最適比率探索	ベース実験	混合比率	最適化		
3. アンモニア利用マイクログリッド用エネルギーマネジメントシステムの開発	1) アンモニア・水素混合ガスの最適比率探索	ベース実験	混合比率	混合比率	最適化	
	2) 低NO _x /N ₂ O燃焼法の検討		空気比			
	3) 燃焼器用改質ユニットとの接続運転および運転制御法の開発			接続運転研究	1 kW実装機運転研究	3-7 kW実装機運転研究
4. 水素カートリッジ等デバイス・搬送システムの開発	1) 基本方針の策定とケーススタディ	設計	ケーススタディ			
	2) 最適エネルギーマネジメントを実現するメカニズムの開発			実運用ケーススタディ	実運用ケーススタディ	実運用設計
	1) 個別要素技術開発	設計準備	現地調査・試作			
	2) カーボンニュートラル実現性評価		シミュレーション			
	1) テストベッド設計（第1期）			現地調査・試作		
	2) テストベッド実証（第2期）				現地調査・試作	現地調査・試作

図 B1-3 工程表

⑤ 予算配分額

2023 年度：160 百万円

2024 年度：160 百万円

2025 年度：160 百万円

⑥ 過年度までの進捗状況

（個別テーマ 1－1）アンモニア改質器ユニットの開発

アンモニア分解触媒の開発、燃焼器用アンモニア改質ユニットの製作および自己加熱型触媒反応器（ATR）の設計について検討した。アンモニア分解触媒については、分解速度と選択性の観点から、アルミナ担持ルテニウム系を基本にアルカリ成分を追加担持した触媒系で進めた。担体表面の修飾と活性成分の担持方法を工夫して分解活性を向上させた。燃焼器用アンモニア改質ユニットは、水素発生量 300 m³/h で装置の製作を進めている。酸化触媒層（Oxi）と分解触媒層（Ru）で構成した ATR については、図 1 に示す 3 種の構成で比較実験をした。しかし、最も良いケース（Oxi-Ru-Oxi）でもアンモニア分解率 86.1%、水素転換率 33.4%に留まり、課題が明らかになった。

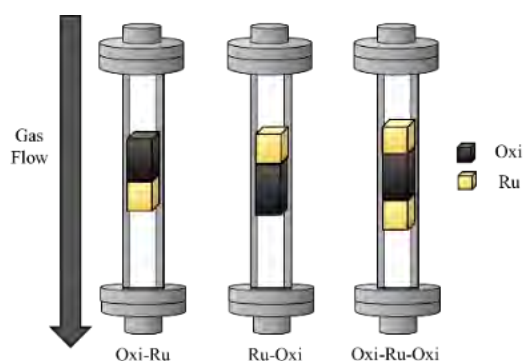


図 B1-4 自己加熱型触媒反応器(ATR)の触媒構成の違いによるアンモニア改質試験

（個別テーマ 1－2）工業炉・ボイラ・ガスエンジンでのアンモニア・水素利用システムの開発

入熱量 200 kW の燃焼試験炉（工業炉）を岐阜大学に設置した（図 B1-5）。あわせて、バーナへ送る燃料、空気圧力、流量を調整するバルブスタンドと制御盤を製作し、岐阜大学に設置した。試験炉については、炉内燃焼データの取得や火炎を観察・測定できるよう、軸方向に 17 点の測定用ソケットを設けた。また、バーナ部近傍、炉体側面、炉体背面に観察窓を備えている。本試験で使用する 13A ガス、NH₃ ガス、及び NH₃ 改質ガスの 3 種の燃料系統と燃料ガスパージ用 N₂ ガス、合計 4 系統の配管と流量制御器をバルブスタンドに設けた。各ガス系統は遮断弁、圧力スイッチ等のインターロックを備えた。また、燃焼実験に先駆けて、熱流体反応シミュレーションを実施し、炉内温度分布や NO_x 生成濃度を予測できるように準備を進めた（図 B1-6）。

ボイラについては、蒸発量 2ton/h ボイラの詳細設計および開発済みの水素専焼ボイラをベースにした改修を実施し、岐阜大学での燃焼試験に必要となる給水関連付帯機器および蒸気サイレンサの選定、取得を完了した。また、伝熱管まわりの伝熱特性についてシミュレーションを行った。アンモニア・水

素燃焼での水分が多い排ガス中でのエコノマイザの高効率化を検討するものである。境界層内の局所熱流束と液膜厚さの分布を示した解析事例は初めてである。

ガスエンジンについては、行程容積 212 cm^3 の汎用空冷単気筒 4 ストローク頭上弁式火花点火ガス機関発電システムを用いて、アンモニア改質ガス成分割合が火花点火機関の排気特性に及ぼす影響を調べた。NO 濃度は、アンモニア当量比が増大するにつれてわずかに減少した。未燃アンモニアによる NO 還元の可能性はある。未燃アンモニア濃度の実測値は、消炎距離から推算した未燃アンモニア濃度を大幅に下回った。これも未燃アンモニアによる NO 還元の可能性が考えられる。



図 B1-5 入熱量 200 kW の燃焼試験炉(岐阜大学に設置)

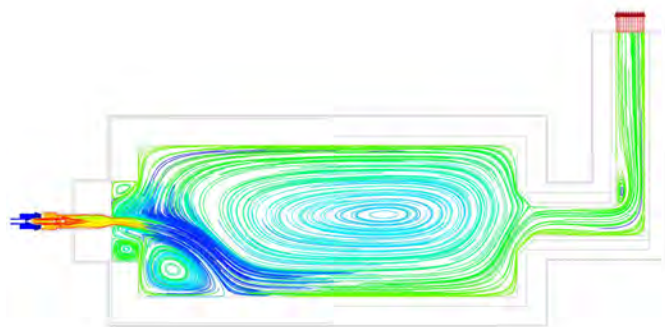


図 B1-6 燃焼試験炉の熱流体反応シミュレーションの準備

(個別テーマ 1 - 3) アンモニア利用マイクログリッド用エネルギーマネジメントシステムの開発
昨年度設計したエネルギーマネジメントの枠組み(最適化問題)を拡張した。拡張した問題では、構成要素の容量を個別に設定できるという水素蓄電システムの特長を反映し、マイクログリッドにおける設備設計の自由度の向上を図った。解法については、バイナリ粒子群最適化(BPSO)と二次計画法(QP)を組み合わせた手法を、数値最適化ソルバーの一つである Gurobi Optimizer に置き換え、より長期間のケーススタディを視野に入れた技術へと改良した。表 1 はシミュレーションから獲得した設備容量であり、図 B1-7 は最適な設備運用計画の例である(※ 対象期間を 1 週間として設定した結果)。

表 B1-1 最適な設備容量

太陽光発電システム（指定）	蓄電池システム	水電解装置	水素タンク	燃料電池	総費用
1,928 kW	631 kWh	476 kW	11,467 kWh	13 kW	1,327,412 JPY/week

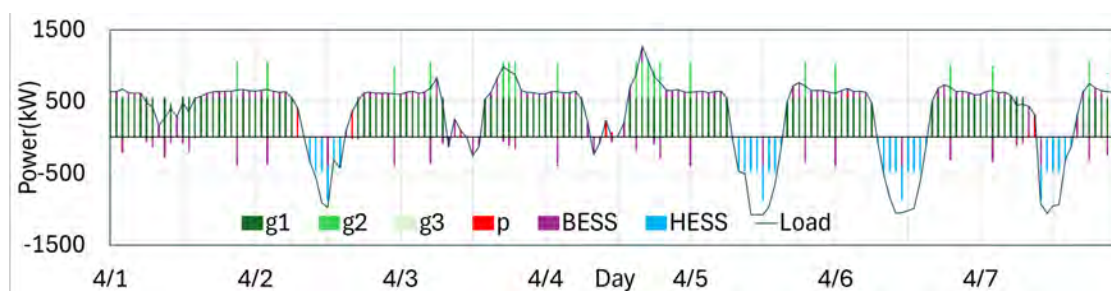


図 B1-7 最適な設備運用計画

（個別テーマ2）水素カートリッジ等デバイス・搬送システムの開発

本研究テーマの方法論にて特許申請中である。太陽光発電/蓄電池と純水素燃料電池のエネルギー連携をするための仕様設計を完了し、試作品を製作中である。また、一般の人でも運用できるような水素容器運搬手法を検討し、現行法規制の範囲内で容器仕様、運搬仕様の詳細仕様を設計中である。本テーマで試作した「水素カートリッジ」（カバー付き）を図 B1-8 に示す。



容器種：アルミCFRP複合容器
 内圧：29.4MPaまたは14.7MPa
 重量：4.4kg（付属品含む）
 水素量：154g
 減圧：減圧機能付本弁（ワンタッチカプラ）

図 B1-8 水素カートリッジの外観

(4) B2 カーボンニュートラルモビリティシステム

電力、気体・液体燃料等のエネルギーポートフォリオを最適化して再エネによるオフグリッド形成のためのシステムと市場の設計を行い、大学キャンパスで、大学施設、下水処理、自動運転グリーンスローモビリティを導入して、メガソーラー等再エネを核に、水電解水素と大気中 CO_2 によるメタン、アンモニア、e-fuel を合成する技術も組み合わせたシステムで実証を行う。実証では、カーボンニュートラル移行期に重要な液体燃料による内燃機関の利用維持の検証も行う。さらに、e-fuel 液体燃料を用いた運搬可能な炭素循環システムの創出を行い水素の輸送、貯蔵コストを省き、かつ、燃料電池自動車 (FCV) さらに在来エンジン自動車 (ICEV) に適用できる新たなカーボンニュートラルモビリティシステムの可能性を検討する。また、本研究開発では、他課題の IoT プラットフォームやデータ連携により、エネルギー・モビリティ間多重ネットワークモデルを構築・制度化し、カーボンニュートラルと交通安全の両立を図る。

以上の背景として、地域コミュニティ特に大学キャンパスを支える基盤として、電力、ガス、上下水道等のインフラとともに、モビリティが挙げられる。なかでも、電力とモビリティはカーボンニュートラル実現に向けても取組が必要とされている。電力については、資源エネルギー庁を中心に再生可能エネルギーの拡大に向けた電力ネットワークの次世代化への取組が進んでいる。また、路線バス等地域における重要な移動手段である公共交通ネットワークが消失する一方で、電動型の次世代モビリティの導入に向けた取組が始まっている。エネルギーと移動という本来は異なる目的である多重のネットワーク形成が並行して進展する状況が現実味を帯びてきている。

一方、つながる・自動走行・シェアリング・電動化等の機能を有するモビリティの次世代化も進展している。なかでも、カーボンニュートラルへの取組としては、電動化や CO_2 フリー車両等モビリティの次世代化に関心が寄せられており、新たな地域交通ネットワークの形成が検討されている。中山間地域の公共交通空白問題に対しては、国土交通省のリードの下、電動化低速自動車を活用した交通ネットワークの次世代化が始まっている。地域の電力ネットワークと交通ネットワークというクロスセクターは、個別の目的達成のために「再生可能エネルギーの利活用」という目標の一致を見ている。これらを大学キャンパス等の特定地区へ展開することで検証効果の高い実証が可能である。

さらにエネルギーの活用という観点から、再生可能エネルギーを電力だけでなく水電解による水素や大気中の炭素を活用したメタネーション（メタンさらにはメタノール）や e-fuel 等の液体燃料といったエネルギーのポートフォリオを考え、次世代モビリティやその他の負荷の用途に応じて最適化することが求められる。長距離移動等には、バッテリーEV だけでは不十分であり、内燃機関での活用も可能な液体燃料とのバランスが重要である。トランジション期においては既存技術の活用が必須である。このほかバイオ燃料として家畜の糞尿からメタンを直接生成して発電するエコシステムも現存しており、エネルギーキャリアに合わせた再生可能エネルギーの切替が有効である。

欧州石油環境保全連盟 (Concawe) では e-fuel を「水の電気分解によって生成されたグリーン水素と高濃度の CO_2 源（工業地帯からの燃焼排出ガス）または空気（直接空気捕獲）のいずれかから回収された CO_2 とから合成して得られる合成燃料」と定義されている。日本機械学会では e-fuel は「余剰電力により製造した水素や、その水素と濃縮回収した CO_2 やバイオガス中の CO_2 を原料として合成・製造したカーボンニュートラルな燃料」と定義されている。一例としてメタノールであれば密度比が石油の 4 割

程度に低密度であるが、高圧または液体水素の各 3 倍あり、かつ常温・常圧での輸送ができ、既存の給油インフラ設備をある程度活用ができる。このため、水素に比べ輸送コストが大幅に削減できると期待できる。

本研究開発テーマは輸送分野のカーボンニュートラルを大目標に、燃料として利用が容易な e-fuel を対象とし、e-fuel 向けのモビリティシステムを構築することである。e-fuel は燃料利用すると CO₂ の二次発生が伴い、カーボンニュートラルにはならない。そこで CO₂ の回収循環利用が必要である。そこで本研究開発では e-fuel 液体燃料を用いた運搬可能な炭素循環システムの開発・実証を行う。これにより、e-fuel のカーボンニュートラルが実現し、水素貯蔵、輸送の負担を伴わない、新たな水素システムが成立する。特にこのシステムは既存のガソリンステーションが活用でき、普及に時間を要している水素ステーションを代替でき、水素のモビリティ分野での利用を加速するとともに、FCV の普及に寄与する。

（１）基本概念の成立性

水素はカーボンニュートラルに貢献するため、我が国としても拡大利用は不可欠であり、よってこれに必要な技術開発が必要である。水素は経済産業省の試算で、海外水素の水素製造 10 円/Nm³ に対し、国内では液化、輸送で 100 円以上/Nm³ と高コストである。モビリティ利用としても水素の圧縮、液化、保存、配送に安全リスク、エネルギー多消費、高コストがあることに課題がある。他方、メタノールには毒性があるが、ガソリンと同レベルの法規制で対処できると見込まれる。そこで、本研究開発では水素と CO₂ を合成したメタノールの液体燃料をエネルギーキャリアとすることを想定する。

e-fuel 液体燃料を用いた運搬可能な炭素循環システムの実現には CO₂ を回収し水素を発生させる技術の実証が鍵となるが、すでに原理的な研究実証は行われている。e-fuel 炭素循環システムの反応器設計の最適化が進むと、残りのプロセスは既存の技術やインフラを活用することで対応できる。さらに、メタノールがエネルギーキャリアになると水素の圧縮、液化工程、またその容器、ひいては水素ステーションが不要になり、ガソリンステーションとそのサプライチェーンを生かすことができる。メタノールは FCV のみならず ICEV でも利用できる。

なお、合成メタノールの e-fuel 化は諸外国でも産業界が本格的に取り組んでおり、我が国においても国産できることが望まれる。SIP において専門分野を有する研究機関や産業界、関係府省との連携に向けた検討を進め、e-fuel 液体燃料を用いた運搬可能な炭素循環システムの実現に速やかに取り組む。

（２）e-fuel の開発に関する新規性について

本課題では e-fuel メタノールを選択し、炭素循環を行うことに新規性がある。e-fuel メタノールは移動体用の最適なエネルギーキャリアといえる。

水素は水素の圧縮、液化工程に多大なエネルギーを要する。液化水素は沸点が-253℃と低く長期貯蔵、輸送、分配に課題がある、かつエネルギー体積密度が石油系の 1/5 と小さく大容量、また断熱層を伴う大きな燃料容器が必要である。700 気圧の高圧水素は貯蔵タンクが特殊でかつエネルギー密度が石油系の 1/8 である。水素燃料は特にトラック、バス、大型重機に適用が困難である。アンモニアもエネルギーキャリアとして価値があるが、沸点が-33℃と沸点が低く漏えい、またその毒性リスクが高く、また、エネ

ルギー貯蔵密度が石油系の 1/3 であり、燃焼ガスの脱硝も引き続き必要であり、やはり移動体利用には課題が多い。これに対しメタノールは沸点が 66℃と常温で液体であり、エネルギー密度は石油系の 4 割程度である。高压容器、水素ステーションのような新設インフラは不要であり、ガソリンステーションとそのサプライチェーンを生かすことができる。また、メタノールは FCV のみならず ICEV でも利用できる。特に水素が利用しにくい、トラック、バス、大型重機に適用でき、この分野のカーボンニュートラル化に貢献できる。

e-fuel 炭素循環の概念は新しく、本プログラムで先駆的な取り組みを行えると日本、世界のカーボンニュートラルに貢献できると期待できる。

運搬可能な炭素循環システムで目指す移動体用の水素発生器、CO₂回収器の条件は以下である。

1. 常温で起動・CO₂回収作動
2. CO₂が単位体積、重量あたり、高密度で吸収できる
3. 安全、安価
4. 大量生産が容易
5. 国産材料、技術が活用できる。

これらの実現には CO₂回収材料の開発、反応器の開発、パッケージ化を行い、移動体エンジン、燃料電池動力部との連携実証が必要である。このような装置開発事例は見当たらず新規性があると考えられる。

材料としては高密度吸収、繰り返し耐久性、高反応性、高熱伝導性が必要であり、一化学材料では困難で材料の化学的な高性能化、また、例えば高熱伝導材料との複合化が必要である。申請者は伝熱性の高い触媒担体製造技術、酸化カルシウム (CaO) の反応耐久性向上のための表面修飾技術、また充填層向けの高反応性化のための複合技術を有している。さらにこれらの技術を融合した CaO 回収型水素生成器パッケージの開発は新規性が高い。

以上の開発事項に新規性があり、得られた成果は他の CO₂回収、資源化等のカーボンニュートラル技術にも応用展開が期待できる。

① 研究開発目標

(事業期間の 5 年間で達成する研究開発目標)

i. 数理・AI

大学キャンパスや自治体等のモデル地域におけるモビリティを介した電力とモビリティネットワークの接続による需要に応じた再生可能エネルギーの自立化とその成立要件を理論的に導出する。そのためにエネルギーポートフォリオの予測アルゴリズムやエネルギーと移動の需要の同時解析法を開発する。また、電力ネットワークの制御理論やエネルギーの情報伝達モデル形成等、数理の理論的アプローチによる最適化手法を開発する。

ii. システム設計

再エネを動力とする次世代モビリティがモデル地域の社会サービスを向上させる過程をシミュレーションし、最適化及び将来予測を実施する。再エネデータについては電力会社の協力のもと広域

の“静脈データ”を収集する。

iii. 市場設計

数理的検討を社会実装するための制度設計とその理論的知見をモデル地域で実証する。

iv. 実証インフラ敷設

再生可能エネルギーの地産地消のための水素、アンモニア、メタネーション、液体燃料を活用したエネルギーポートフォリオの最適化を理論と実践で行うとともに、再エネ由来の液体燃料による用途に応じた内燃機関の運用ネットワークシステムを社会実装する。さらに、酪農業によるメタン利活用や寒冷地におけるエネルギーポートフォリオを踏まえた循環実験も行う。加えて、エネルギーポートフォリオにおけるアンモニア利活用の最適化にもフォーカスする。

地域のエネルギーシステム設計モデルを確立し、国内外の大学・研究機関等が利用可能なマニュアルとして整備し、多様な地域での適用を試行する。特に、実証対象地域における分析については、複数シナリオの分析により、カーボンニュートラルに資するエネルギー・モビリティに関する対策・技術を導入した場合の将来像やエネルギー消費量・CO₂ 排出量等への効果を定量的に示し、電力等のエネルギーネットワークと交通ネットワークの多重化による効果をエネルギーシステムの観点から定量性も含めて提示する。

v. e-fuel 液体燃料を用いた運搬可能な炭素循環システムの開発

同システムが成立するための要点となる水素製造技術（水素製造器）の開発を熱・物質設計をもとに行う。研究開始時に炭素循環システムの基本概念の成立性、実装の実現可能性を評価する。水素製造装置を開発し、関連する既存技術を集約することにより、e-fuel 液体燃料を用いた運搬可能な炭素循環システムが構築される。さらに、同システムの評価・実証を目指し、社会実装に取り組む。SIP 終了後は、同システムの社会実装フィールドテストに進む。

vi. レジリエンス（安定供給）

電気と水素・e-fuel の融合により、自動車の充電（充填）に係る時間を（電気だけの利用 0.5～8 時間と比較して）ガソリン燃料と同じ 3 分程度（1/10 以下に）短縮する。また、常温液体 e-fuel の導入で在来ガソリンステーションのインフラの転用を行い、燃料供給インフラの無理の無いランジション、安定供給を実現する。

（KPI/マイルストーン）

i. 数理・AI

2025 年度までにエネルギーポートフォリオの数理モデル構築、地域のエネルギーシステム設計モデルのプロトタイプ及びそれを用いたシミュレーションまでの手法の確立、モビリティを含むエネルギーシステムの将来シナリオの提示・CO₂ 排出量等効果の定量評価（3 シナリオを構築）（TRL3） 《達成目標 b-2》

2025 年度までにキャンパス内の長期需要予測（TRL4） 《達成目標 b-2》

2027 年度までに電力及び移動の需要予測システム構築、二酸化炭素の分離・回収にかかるエネルギーの 25%削減達成（TRL6） 《達成目標 b-2》

ii. システム設計

2025 年度までにセクターカップリングを考慮したシステム分析モデルの開発 (TRL3) 《達成目標 b-2》

2027 年度までに対象地域でのシミュレーションの実施 (TRL6) 《達成目標 b-2》

iii. 市場設計

2025 年度までに公共交通とエネルギーミックスを組み込んだ理論モデルの構築 (TRL3) 《達成目標 b-2》

2027 年度までに地域の最適なエネルギーミックスを達成するための市場デザイン (TRL6) 《達成目標 b-2》

iv. 実証インフラ敷設

2025 年度までに再エネのメタネーション実験 (TRL3) 《達成目標 b-2》

2025 年度までに軌道上の自動走行テスト実験 (TRL3) 《達成目標 b-2》

2027 年度までにメタン、アンモニア等の最適エネルギーポートフォリオの実証 (TRL6) 《達成目標 b-2》

2027 年度までに e-fuel 合成機能も包含しシステムの有効性評価と自動走行 EV の実証 (TRL6) 《達成目標 b-2》

v. 高伝熱性触媒の開発

2025 年度までにラボレベルでの改質反応の実証 (TRL4) 《達成目標 b-2》

2027 年度までに水素製造器への対応 (TRL4) 《達成目標 b-2》

vi. 繰り返し高耐久 CO₂ 吸収材量の開発

2025 年度までにラボレベルでの耐久性実証 (TRL4) 《達成目標 b-2》

2027 年度までに水素製造器への導入 (TRL4) 《達成目標 b-2》

vii. 水素製造器の開発

2025 年度までに水素製造器の基礎設計 (TRL3) 《達成目標 b-2》

2027 年度までに水素製造器の作動実証 (TRL4) 《達成目標 b-2》

viii. e-fuel 液体燃料を用いた運搬可能な炭素循環システムの設計

2024 年度までに炭素循環システムの基本概念の成立性、実装の実現可能性を評価する (TRL3) 《達成目標 b-2》

2025 年度までに実証システム基礎設計 (TRL3) 《達成目標 b-2》

2027 年度までにシステム実用性原理実証 (TRL4) 《達成目標 b-2》

ix. 事業化対応

2027 年度までにフィールド実験実施中にフィードバックを得て、事業モデルの改良の上で、事業モデルの妥当性検証実施 (BRL6) かつ、フィールド実験結果を基にして、事業モデルの事業計画策定 (BRL7) 《達成目標 b-2》

2027 年度までに事業モデルの確からしさの原理的な確認が完了 (BRL3) 《達成目標 b-2》

x. 制度化対応

2027 年度までに実証地域にてフィールド実験を実施して、新設・改良制度の有効性を確認 (GRL5) し、制度の導入計画を策定 (GRL6) 《達成目標 b-2》

2027 年度までに対象技術が社会に影響を及ぼし得る範囲 (業界、ユーザー層、地域等) が特定 (GRL1) 《達成目標 b-2》

xi. 社会受容醸成

2027 年度までに実証実験を元に、実験参加者からのフィードバックや結果を踏まえながら、実証に向けたボトルネックを洗い出し、普及計画を検討 (SRL6) 《達成目標 b-2》

2027 年度までに対象技術から生み出される製品・サービスが与えるリターンへの理解度、コストへの許容度を検討 (SRL2) 《達成目標 b-2》

xii. 人材確保・育成

2027 年度までに大学、自動車会社、行政の連携を強め、人材の育成計画をまとめる (HRL6) 《達成目標 b-2》

2027 年度までに事業モデルの実施に必要なスキル要素群の仮説を立案。産/官/学連携の構想を立案。 (HRL2) 《達成目標 b-2》

② 実施内容

地域における電力事業及び交通事業に対して、バッテリーEVのようなモビリティを介して電力とモビリティのネットワークを接続することにより、ムダとムリのない再生可能エネルギーの消費拡大をもたらし、電力ネットワークのオフグリッド化を達成する。また、モビリティネットワークによる地域の医療、介護、保育、教育等の社会サービスの向上を同時に成立させる。この電力・モビリティ多重ネットワークの成立条件を理論的に導くことが、社会実装においても有効な指針を提案することにつながる。理論検討は、数理モデルのシミュレーションにとどまらず、住民のニーズを把握した市場を設計することも視野に入れる。例えば、ある地区の電力容量がその地区の電気料金を決定し、同時に異なる電力容量をもつ地区の電気料金とその供給力を補填するような制度設計が考えられる。加えて、複数の EV からなるネットワークを成立させるための条件として、EV 事業者や電力事業者に EV 導入支援をする制度設計を提案する。

電力とモビリティのネットワークを重ね合わせることで、エネルギー供給のロバスト性を向上させる。その過程において、再生可能エネルギーを貯蔵するエネルギーポートフォリオの最適化を検討する。例えば、PV の余剰電力を電力として蓄電池に充電することに加えて、エネルギー源としての再利用の目的にあわせたエネルギーの変換を行う。水電解による水素、さらにはアンモニアや空気中の CO₂ を活用したメタンやメタノールへの変換である。また液体燃料としての e-fuel への変換もモビリティにおける内燃機関の活用として、既存技術の活用というトランジションの観点からも重要である。加えて熱エネルギーとしての利用も検討する。このようなエネルギーポートフォリオのマネジメント技術は、企業等によって自治体のための実証研究が行われている。さらに、このエネルギーポートフォリオは地域のニーズによっても形態が変わることが考えられる。例えば、大学キャンパスのように小さい領域での

多くのマイクロな移動を要する地域では自動走行によるグリーンスローモビリティとしての小型 EV 等の需要が高いため、電力や EV が重要である。一方で、生成したエネルギーを運搬する際には、水素やアンモニア等に変換して運搬することが重要であり、かつその運搬を担うモビリティも長距離移動というヘビーデューティを考えると液体燃料による内燃機関活用が必須である。水素やアンモニアの燃焼によるエンジン等への適用も有効である。

余剰電力をさまざまなエネルギーポートフォリオへ変換することに加えて、変動する再生可能エネルギーを有効活用するためには、その安定的かつ柔軟に変更可能なベースロードを考えることも重要である。例えば、生活用水等の下水処理のために再エネやその熱を利用することは、時間スケールも柔軟なベースロードとなりうる。このベースロードにより、大学キャンパスでの再生可能エネルギーが構成する電力ネットワークをオフグリッドとして活用することも視野に入る。さらに系統からの電力ネットワークと二重化することで、ロバスト性の向上が期待できる。

さらに、リアルタイムの移動需要を過不足なく充足するモビリティのマネジメントに必要な公共交通手段の連携先抽出と、システム基本計画を作成することで、エネルギーとモビリティの連携の確立に向けた、人の移動需要の事前把握と行動変容を促すシステムを構築する。これにより、AI オンデマンド交通をはじめ、EV バスや自動運転車両の社会実装を目指す。

また、本研究開発ではカーボンニュートラルを見据え、e-fuel 液体燃料を用いた運搬可能な炭素循環システムを構築・検証する。

▶ e-fuel 液体燃料を用いた運搬可能な炭素循環システムの構築

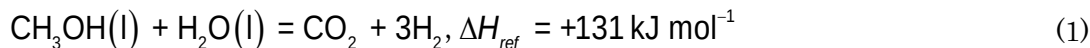
CCU として e-fuel を利用すると CO₂ 二次排出を伴い、カーボンニュートラルになりえないため、CO₂ 回収機能を備えた e-fuel システムの提案、実証を進める。図 B2-2(a)に基本構成図を示す。e-fuel の燃料改質水素製造反応で副生する CO₂ を回収し燃料合成に循環利用する。結果的に水素の圧縮、輸送作業を省いた水素システムになるため、水素の貯蔵、輸送負荷を大幅に削減し、水素利用の普及に貢献できると期待できる。図 B2-2(b) に CO₂ 吸収材の一候補である CaO の再生と e-fuel 再生プロセスを行う。このプロセスは在来技術で成立するので本研究開発での開発項目から除外する。2024 年度までに基本概念の成立性、実装の実現可能性を評価し、評価を基に要素技術の実証開発を進める。2025 年度までに繰り返し高耐久 CO₂ 吸収材料を開発し水素製造器の基礎設計を行う。並行して e-fuel 液体燃料を用いた運搬可能な炭素循環システムの実証システム基礎設計を行う。2027 年度までに水素製造器の作動実証を行い、システム実用性原理実証を行う。

▶ CO₂ 回収形燃料改質

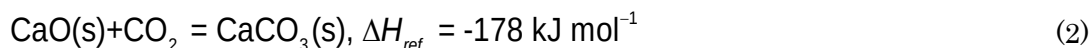
実際に想定される e-fuel 液体燃料を用いた運搬可能な炭素循環システムを図 B2-3 に示す。モビリティ部分と、e-fuel 再生ステーションからなる。同システムは e-fuel としてたとえばメタノールを燃料に搭載し、車上で燃料改質を行って水素を製造し、燃料電池は製造水素を燃料として電力を発生し、移モビリティ部分が駆動する。燃料改質は CO₂ を発生し、このままではカーボンニュートラルにならない。また

吸熱反応で熱供給が必要である。本研究開発テーマの特徴は CO₂ 回収形燃料改質反応を行うための水素供給器を開発である。メタノールを事例とした反応構成を以下に示す。

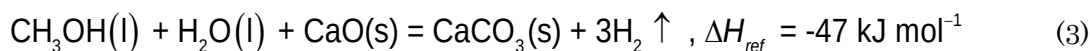
1) メタノール燃料改質反応：水素製造



2) CO₂ 吸収材には候補があるが、ここでは一例として CaO 炭酸化反応による CO₂ 回収を想定する：CO₂ 回収



3) CO₂ 回収形燃料改質反応



1) メタノール燃料改質反応は吸熱反応である。発生した CO₂ を 2) 酸化カルシウム炭酸化反応で炭酸カルシウム (CaCO₃) として回収する。この際に炭酸化反応熱が発生する。この発熱を式(1)に利用する。式(1、2)を連携して行う CO₂ 回収形燃料改質反応が式(3)である。式(3)は発熱反応なので、式(1、2)は自己発熱的に進行する。改質反応と炭酸化反応を同時に行うことで、カーボンニュートラルの状態で高純度の水素を取り出すことが可能である。製造された水素で燃料電池が駆動する。式(3)を実現するためには水素供給器が重要であり、この開発が本研究開発テーマの主課題である。

モビリティシステムの駆動後に水素供給器を e-fuel 再生ステーションに返還する。図 B2-2(b)に示しており、炭酸カルシウムを仮焼し CO₂ を回収する。CO₂ は Fisher-Tropsh、Savatier 法等の在来法を用いて e-fuel に再生する。これらのプロセス駆動には再生可能エネルギー、グリーン水素を用いる。再生された e-fuel と新規の水、及び、再生 CaO をモビリティシステムで循環利用することで炭素循環によるカーボンニュートラルモビリティシステムが構築できる。

なお、e-fuel 燃料候補にはエタノール、ジメチルエーテル等があり燃料改質反応による水素製造は可能である。また CO₂ 吸収材料としても CaO の他に酸化マグネシウム (MgO) 等がある。これらの比較検討も今後必要である。

このシステムの利点・特徴は以下のとおりである。

- A) 再生可能エネルギーに基づく e-fuel を用いたカーボンニュートラルモビリティシステムが構築できる。
- B) 超高压、超低温液体プロセスを省いた水素供給ができる。メタノールを水素キャリアとして用いることで常圧、常温でコンパクトに水素を輸送できる。
- C) 既存のガソリンステーションが転用でき、水素ステーションの新設が不要となる。水素のモビリティ分野での利用を加速できる。モビリティ分野のカーボンニュートラルへのトランジションを無理なく進めることができる。
- D) さらに既存のエンジン自動車むけの e-fuel 炭素循環システムが成立し、移動体のカーボンニュー

トラルへのトランジションをユーザーの大きな負荷が無く実現できる。

E) 使用材料が国産または汎用物質で賄うことができ、市場拡大が容易。

F) 特に大型モビリティ（バス、重機、農機、船舶）等のカーボンニュートラルに貢献できる。

e-fuel 再生ステーションで必要となる技術は在来技術の活用で対応が可能である。能動的炭素循環システムを備えたカーボンニュートラルなモビリティシステムで最も重要な技術課題は、式(3)を実現する水素供給パッケージであり、この開発が本研究開発の実際の検討課題である。

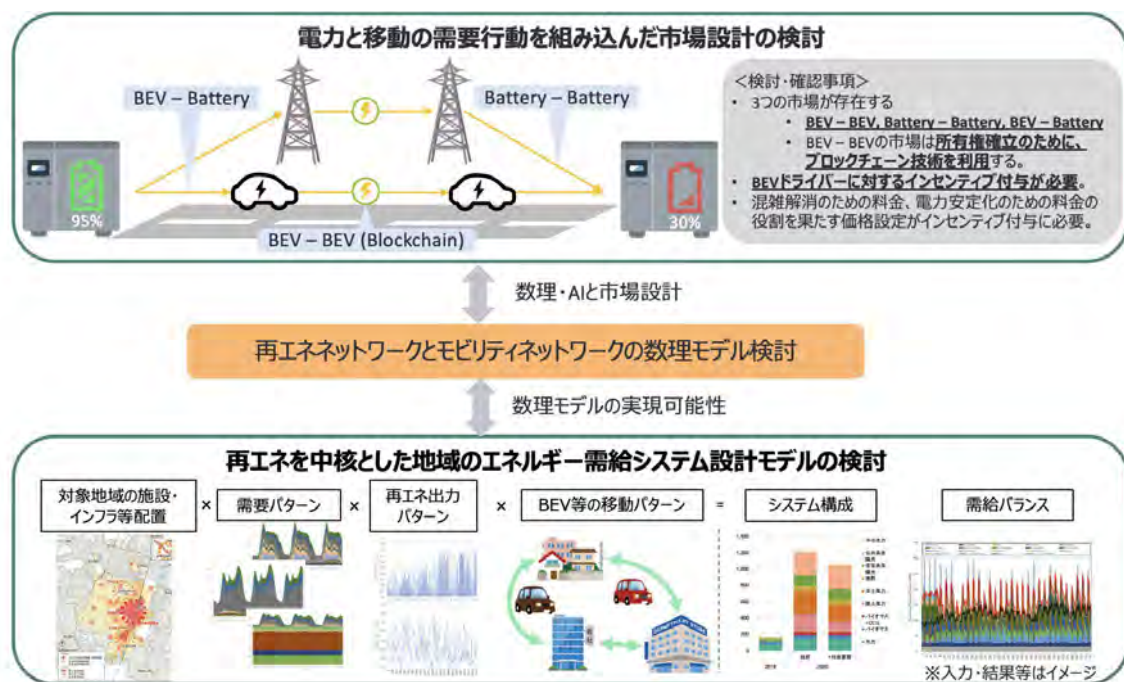


図 B2-1 数値モデルと市場設計、システム設計の関係図

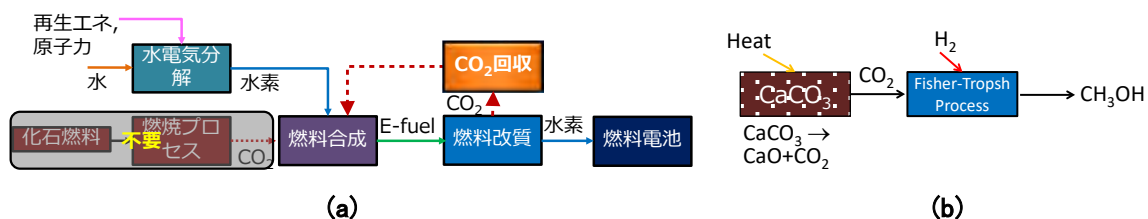


図 B2-2. e-fuel 炭素循環モビリティシステム基本構成

(a)炭素循環水素製造プロセス、(b)CaO 及び e-fuel 再生プロセス

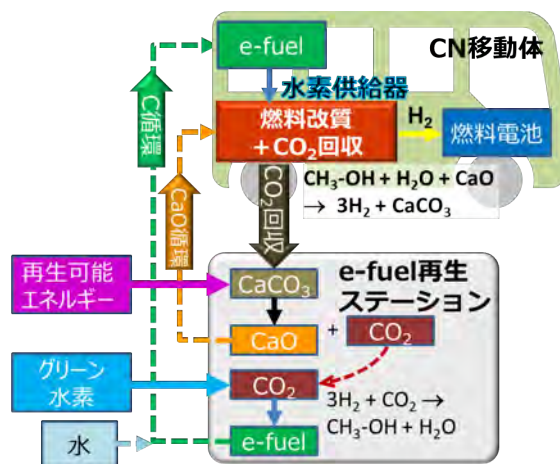


図 B2-3 炭素循環システムを備えたカーボンニュートラル(CN)モビリティシステムの構成

③ 実施体制

研究開発責任者：

安東弘泰（東北大学 材料科学高等研究所 教授）

参画機関：

国立研究開発法人国立環境研究所、慶應義塾大学、株式会社 IHI、東京大学、麗澤大学、東北電力株式会社、WILLER 株式会社、ダイキン工業株式会社、東急建設株式会社、東京科学大学、株式会社クボタ

④ 研究開発に係る工程表



図 B2-4 工程表

⑤ 予算配分額

2023 年度：300.5 百万円（当初 250 百万円、追加 50.5 百万円）

2024 年度：340.5 百万円

2025 年度：340 百万円

⑥ 過年度までの進捗状況

（個別テーマ 1）再生可能エネルギーの自立化と次世代モビリティ（EV 等）との連携

東北大学キャンパスにおいて、屋上太陽光および EV 公用車の仮想連携設備の計画および設備整備の準備、星陵キャンパス片平キャンパス間でのオンデマンドバス実証運行の実施、青葉山新キャンパスにおける学内バスの利用状況の実態調査を行なった。実証データの基礎分析を進めた。さらに学内バイオマス資源の調査および、小規模バイオマスプラントの選定と設置場所の検討を行なった。さらに、大規模地震災害時における東北大学の必要電力量を求めるために、大学内での帰宅困難者用の避難所運営に必要な電力量を求めた。この他、空調の再エネ調整力としてのポテンシャルの試算を開始し、片平キャンパスから具体的な計算を行なった。

大学キャンパスと連携して、太陽光発電により作られた水素と、大学施設（ボイラ等）の排ガスから分離・回収した二酸化炭素からモビリティの燃料となるメタンを合成するカーボンサイクルシステムを構築するため、現地調査およびデータ収集、分析した。

理論チームからは、対象地域におけるインフラやエネルギー消費量等の情報を整備するとともに、地域のエネルギーシステム設計モデルのプロトタイプ開発を進め、対象地域等の電力需要及びエネルギー供給データをもとに、複数の CO2 削減目標に対応した試算を行い、開発した手法の有効性検証を進めた。太陽光発電を余剰なく活用するため、ベース需要となる東北大学青葉山キャンパス内建物の電力需要予測モデルを作成した。また、太陽光発電予測モデルについて、冬期における当日の降雪と積雪予報を考慮した予測手法の精度評価を行った。

さらに、エネルギーとモビリティのセクターカップリングの経済学モデルとして、乗客、電気自動車、充放電設備の 3 つの経済主体からなるマッチング問題を対象としたモデルを提案した。シミュレーションの結果から、図 B2-5 において充放電設備の保有する電力総量が少ない場合（青線（2000）のとき）、全電気自動車のバッテリー残量の総量が増えたと取引される電力量が上昇していくことがわかった。これは、モデルにおいて V2H が有効であることを示している。

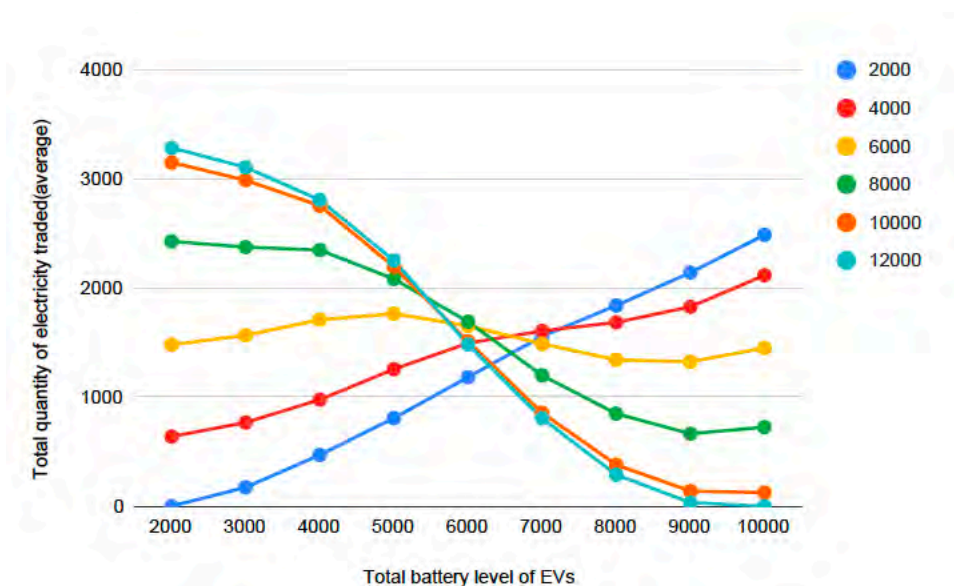


図 B2-5: 電気自動車のバッテリー総容量と取引量(IEEE 会議論文より抜粋)

広域連携の検討においては、全国平均送電距離に関する最適化問題における経済性効果検証としてシャドウプライスによる評価を実施した。さらに、太陽光発電の導入効果の検証を送電線の平均距離を評価指標として検証した。図 B2-6 では、横軸に太陽光の追加電力を示しており、追加電力が多くなる一部の県（静岡、埼玉等）では、最適解が変化し、太陽光導入により平均送電網長が短くなることが示唆された。一方、物理的に離れている北海道では追加太陽光の電力が増加しても平均送電距離に影響を与えないこともわかる。

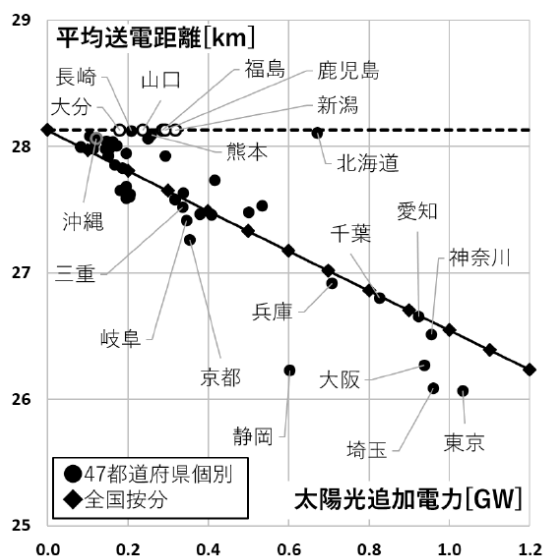


図 B2-6: 追加電力と平均送電距離(日本 OR 学会アブストラクトより抜粋)

(個別テーマ2) e-fuel 向け炭素循環モビリティシステムの創成

CO₂ 吸収向け CaO 吸収材料の最適化検討を進めた。100 サイクルの脱炭酸・炭酸化反応試験において、高い反応率を維持できる CaO 材料を開発した。また SEM 及び EDS 分析による表面解析及び炭酸化反応の反応速度モデルを検討した(図 B2-7)。酸化カルシウム及び多孔性担体を用いた CO₂ 吸収ブロックの 30 サイクル実験を行い、高い繰り返し反応性を確認した。メタノール改質反応器を新たに製作した。加えて、CO₂ 吸収ブロック充填層反応器の数値計算モデルの作成を進めた。

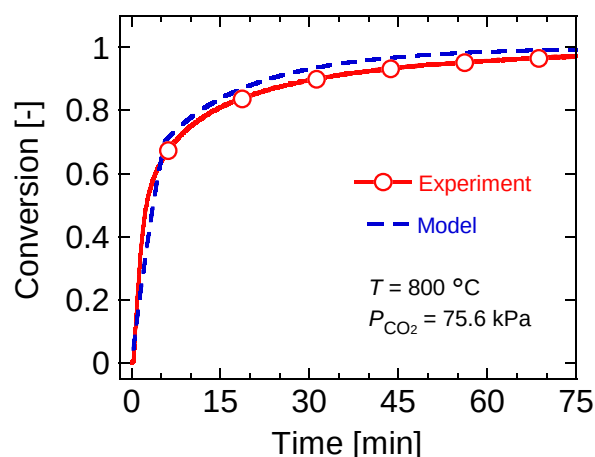


図 B2-7 炭酸化反応の反応速度モデルの検討例

新規材料については、前年度にスクリーニングを実施し候補として絞った MgO に対して添加材を使用することで 55%の反応転化率を実現する事が出来た。CO₂ 回収器の開発については、CO₂ 回収ブロックの圧損測定環境を整えて試作品の圧損を評価した。圧損の実測値より、更なる高空隙率の回収ブロックが必要であることが判明したため、吸収材の新たな担持方法(浸漬法)を開発した(図 B2-8 及び図 B2-9)。CO₂ 回収ブロックの CO₂ 回収性能を評価する模擬排ガス試験装置の導入が完了し、試験を実施中である(25 年 2 月現在)。本装置は、25 年度に実施予定の実排ガス試験にも流用することで、社会実装に向けてさらに活用していく予定である。

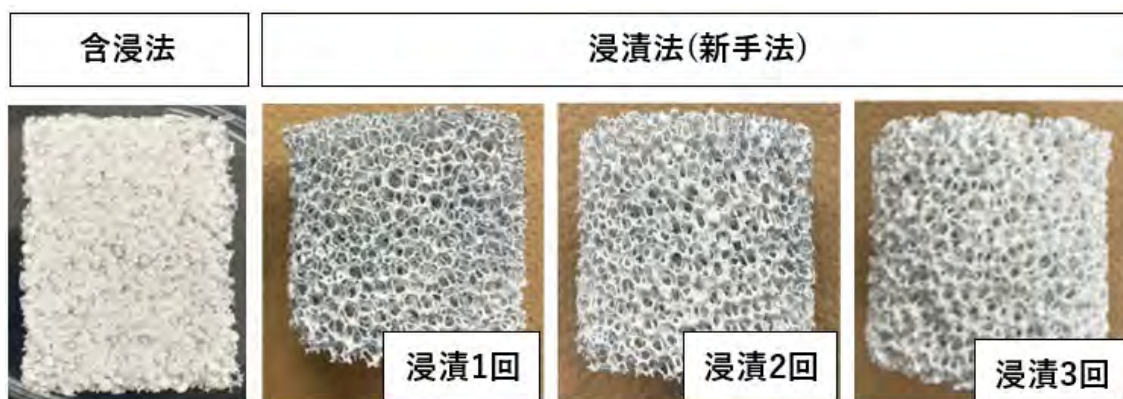


図 B2-8 CO₂ 回収ブロックの外観

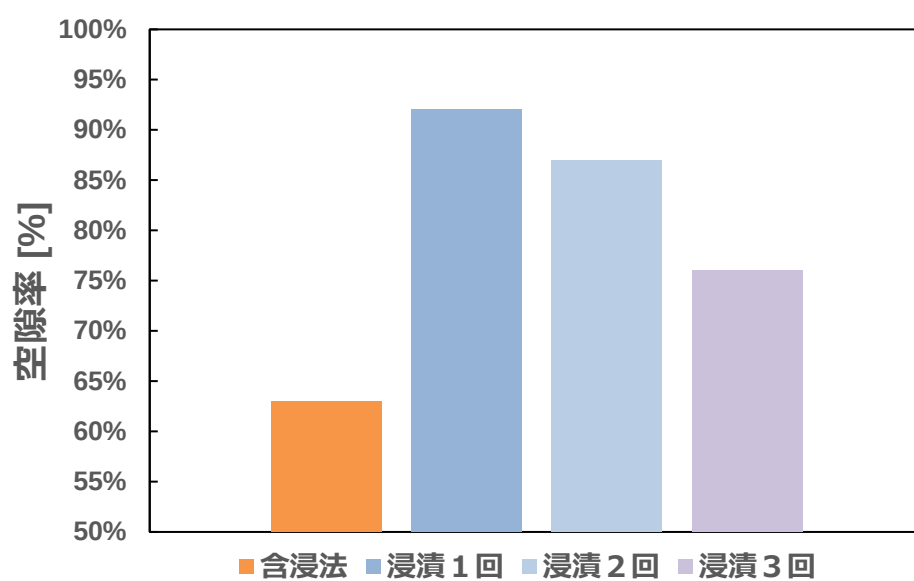


図 B2-9 CO2 吸収材料の担持方法変更による空隙率コントロール例

(5) B3 系統安定化をサポートする USPM によるインテリジェントパワエレスシステムの開発

我が国では現状、殆どのエネルギー源を海外からの輸入に頼っており、エネルギー消費の抑制のみではエネルギーの安定的なマネジメントは実現できない。持続可能なエネルギー利用とカーボンニュートラル社会を実現するためには、自給可能な資源（再生可能エネルギー等）を様々な分野（交通、熱、電力）に安定供給し、かつ資源の利用率を最適化して社会を構築するスマート EMS の構築が求められている。エネルギーの有効利用の観点から、様々なスケールでのエネルギーマネジメント技術の導入が進んでいる。また PV や風力発電等の変動性再生可能エネルギーに加え、不安定な再生可能エネルギーの発電電力を平準化する蓄電システムが積極的な導入が進んでいる。エネルギーマネジメントのスマート化には電力、熱、化学、交通間のセクターカップリング（図 B3-1）が必要になるが、特に最も効率よく、利便性が良い電力エネルギーとのカップリングの最適化が重要となる。

上記のセクターカップリングの中で電力分野をハブとしたとき、他分野と相互に連携する Power-to-X には、電力の形態を使いやすく高効率に変換するパワーエレクトロニクス（パワエレ）技術が必要不可欠である。しかしながら、これまでのパワエレ機器は高周波・低周波、大電力・微少電力回路が混在する電氣的仕様に加え、熱設計、電磁ノイズといった極めて複合的な観点から設計、試作を行わなければならない、開発納期の長期化や設計コスト増加を招いている。

これらの課題に対応するため、SIP 第 2 期ではパワエレスシステム構築を劇的に簡単化する USPM（ユニバーサル・スマート・パワー・モジュール）の開発が行われた。USPM は既存の電力変換器の構築から脱却し、USPM を電力変換器構築の 1 つの新しい素子として定義することで多様な電力変換器の構築を可能にする革新的技術である。SIP 第 2 期では蓄電池を用いて再生可能エネルギーの出力変動を平準化する USPM システムを構築し、その実証試験までに行い有用性が示された。上述したセクターカップリングによるスマートエネルギー社会を実現するためには、Power-to-X に向けて様々なアプリケーションに柔軟に対応可能な USPM を用いたインテリジェントパワエレスシステムの開発（図 B3-2）が急務である。

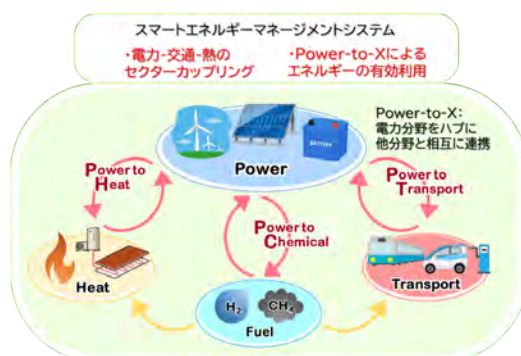


図 B3-1 電力分野をハブとした
電力・交通・熱のセクターカップリング



図 B3-2 USPM による
インテリジェントパワエレスシステム

① 研究開発目標

(事業期間の 5 年間で達成する研究開発目標)

SIP で達成する想定目標は以下である。

- i. USPM の高パワー密度化に向けた基盤技術の開発
 - ・シンプルな機能を持つスマートインバータ向け USPM の高パワー密度化 (従来比 2 倍以上を達成、要求仕様に応じた USPM ライブラリ 4 種類以上の開発完了)
 - ・高パワー密度化・開発期間短縮による低コスト化と高信頼 USPM によるパワエレシステムの長寿命化
- ii. EMS 視点からの USPM 最適化技術の開発
 - ・多数台 USPM を統括制御する最上位スマートコントローラの開発、及び、実証の完了 (従来比体積 1/2 の達成)
 - ・USPM を用いたインテリジェントパワエレシステムの設計ツールの開発
 - ・様々な用途 (水素、太陽光、蓄電) に対応した USPM モジュールの開発、及び、開発モジュールを用いた Power-to-X 向けインテリジェントパワエレシステムの実証 (次世代 USPM を用いた蓄電機能付き PCS の試作・実証完了)
 - ・大規模なインテリジェントパワエレシステムの実現に向けた多数台 USPM を統括制御する最上位スマートコントローラの開発、及び、実証

(KPI/マイルストーン)

- i. USPM の高パワー密度化に向けた基盤技術の開発
 - 2025 年度までに USPM のスイッチング周波数の最適化、及び、高パワー密度化設計法(パワー密度従来比 2 倍以上を達成)の開発 (TRL6) 《達成目標 b-3》
 - 2027 年度までに USPM の高信頼化を実現する USPM のパッケージング技術の開発 (高電流を供給可能なパワーモジュール技術 (次世代 USPM に搭載) およびゲート駆動技術での施策完了・従来比電流密度 2 倍を達成、ワイヤーボンディングレス化および接合技術の高度化によるパワーモジュールの故障率 1/10 以下を達成) (TRL8) 《達成目標 b-3》
- ii. EMS 視点からの USPM 最適化技術の開発
 - 2025 年度までに USPM ライブラリの体系化(4 種類以上の開発を完了) (TRL6) 《達成目標 b-3》
 - 2027 年度までに USPM を用いたシステムの設計支援ツールの開発 (TRL8) 《達成目標 b-3》
 - 2027 年度までに USPM を用いたスマートインバータの応用技術開発 (TRL6) 《達成目標 b-3》
 - 2027 年度までに最上位スマートコントローラの開発 (TRL8) 《達成目標 b-3》

表 B3-1 マイルストーン

系統安定化をサポートする USPMによるインテリジェント パワエレシステムの開発	初年度	2年度	3年度	4年度	最終年度
1. USPMの高パワー密度化に向けた基盤技術の開発					
1.1.受動部品を含めたUSPMの スイッチング周波数の最適化お よび高パワー密度化設計法の 開発	仕様検討 回路試作	動作検証・評価		ブラッシュアップ	
1.2.USPMの高信頼化を実現す るUSPMのパッケージング技術 の検討	仕様決定	パッケージング検討、 試作および評価		ブラッシュアップ	
2.エネルギーマネジメントシス テム視点からのUSPM最適化技 術の開発					
2.1.あらゆる用途に対応する USPMライブラリの体系化	ライブラリ 仕様検討	動作検証・評価	ブラッシュアップ		
2.2.USPMを用いたシステムの設 計支援ツールの開発	仕様検討	動作検証・評価	ブラッシュアップ		
2.3.USPMのを用いたスマートイ ンバータの応用技術開発	主回路、制御 検討	動作検証・評価	ブラッシュアップ		
2.4.最上位スマートコントローラ の開発	通信仕様検討	動作検証・評価	ブラッシュアップ		

iii. 事業化対応

2027 年度までにスマートエネマネで想定されている一部のユーザーに対して USPM を使ったエネマネシステムを展開し、事業モデルの妥当性を得る（BRL6）《達成目標 b-3》

iv. 制度化対応

2027 年度までに USPM によるインテリジェントパワエレシステムを普及させるにあたり、求める制度の改正・新設（解釈変更、規制改革、規格化・標準化、ガイドライン等）案が整理・文書化（GRL4）《達成目標 b-3》

v. 社会受容醸成

2027 年度までに大量生産によるコスト低下、高速デジタル制御による省電力化・安定化、稼働時間向上等 USPM によるインテリジェントパワエレシステムの便益をまとめ、コストへの許容度を高める（SRL4）《達成目標 b-3》

vi. 人材確保・育成

2027 年度までに参画機関を中心として検討行い、初期テストを通して、実際に必要な人材を手配・チーム形成・育成（HRL4）《達成目標 b-3》

② 実施内容

SIP 第 3 期で取り組むべき研究開発テーマでは、SIP 第 2 期の USPM の成果をインテリジェントパワエレシステムの基幹技術としてさらに発展させ、世界をリードする EMS を実現することを目的に、どこでも（多様なアプリケーション）・だれでも（多様な設計者）・簡単に（所望の機能を実現）インテリジェントパワエレシステムを構築できることを目指す。そのための開発として下記の 2 つの技術開発を行う（図 B3-3）。

（個別テーマ 1）USPM の高パワー密度化に向けた基盤技術の開発

1) 受動部品を含めたスイッチング周波数の最適化や最適統合設計を行い、SIP 第 2 期で開発された USPM の 2 倍以上のパワー密度と高信頼化を目指す。まずはスマートインバータに向け USPM を中心に開発するが、最終的には、交通、熱、化学等への相互のセクターカップリングに向けた USPM についても高パワー密度化がはかれる基盤技術を開発する。2) パッケージング技術では冷却、低インダクタンス化、小型化だけではなく、モジュール交換や周辺回路の熱耐性と塩害対策等のメンテナンス性向上技術を開発する。なお、ここでは、数年での社会実装を目指して将来低コストになると見込まれる SiC デバイスを主眼とした最適化を行い、高パワー密度化と高信頼化を目指す。

（個別テーマ 2）EMS 視点からの USPM 最適化技術の開発

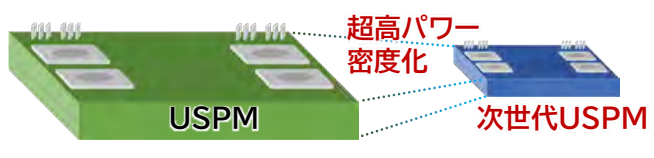
エネルギーマネジメントに必要な USPM のライブラリを開発し、再生可能エネルギー用途、系統安定化用途のみならず、水素やメタン等の用途に適合した仕様を持つ USPM の開発を行う、2) USPM を用いたシステムの設計支援ツールを開発し、容易なシステム設計を実現する、3) USPM を用いたスマートインバータへの応用技術開発、4) 電力系統の情報を USPM システムにフィードバックする最上位スマートコントローラの開発を行う。

USPM 全体の統括制御は各 USPM の上位に接続されるマスターコントローラによって行われる。さらにシステム周辺の情報を監視し、システム全体の制御を行うスマートコントローラが最上位に接続される。開発項目 3) では、複数台 USPM によるスマートインバータの最適構成及びマスターコントローラ・USPM 間の制御手法を開発する。開発項目 4) では、多くのパワエレシステムの負荷変動や系統異常といった情報を大量に取得した際に、フィードバック制御を実現するソフトウェア及びハードウェアの開発を行う。

以上の個別テーマ 1、2 の開発成果を社会実装することを目標に開発を進める。

□ 開発項目(1) 高パワー密度化に向けた基盤技術開発

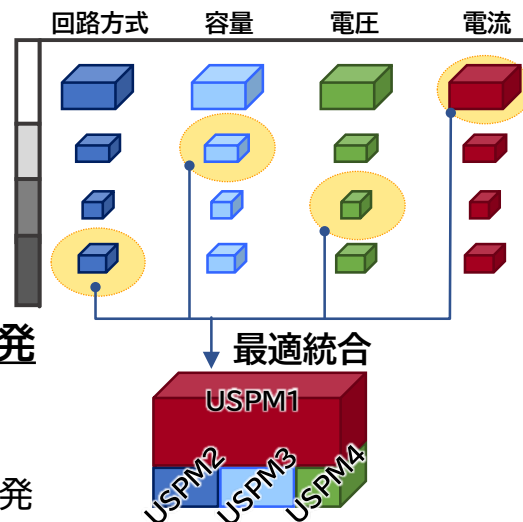
- 1) 主回路の最適化技術開発
- 2) 最適パッケージング技術開発



□ 開発項目(2) EMS視点からのUSPM最適化技術の開発

- 1) 様々な用途に対応したUSPMの開発
- 2) USPM設計支援ツールの開発
- 3) スマートインバーターへの応用技術開発
- 4) 最上位スマートコントローラーの開発

USPMライブラリ



USPMによる
パワエレ機器

どこでも × だれでも × 簡単に パワエレ機器を設計、製作
多様なアプリ 多様な設計者 所望の機能実現

→スマートエネルギー社会の拡大に貢献

図 B3-3 SIP 第3期での研究開発内容

③ 実施体制

研究開発責任者：

伊東淳一（長岡技術科学大学 工学研究科 教授）

参画機関：

東北大学、株式会社タムラ製作所、ポニー電機株式会社、東京電機大学、ヘッドスプリング株式会社、富士電機株式会社、株式会社ピューズ

④ 研究開発に係る工程表

	初年度 (2023.7 ～ 2024.3)	2年度 (2024.4 ～ 2025.3)	3年度 (2025.4 ～ 2026.3)	4年度 (2026.4 ～ 2027.3)	終年度 (2027.4 ～ 2028.3)
1. スマートEMSに向けた次世代USPMの電力変換システムの要素技術開発 (長岡技術科学大学)					
1.1 受動部品の最適化検討	仕様検討・試作	実験・評価		ブラッシュアップ	
1.2 ソフトスイッチング適用および高周波化	理論検討・試作	実験・評価		ブラッシュアップ	
1.3 ノイズフィルタ小型化		理論検討・試作	実験・検証	ブラッシュアップ	
1.4 USPMライブラリ開発	仕様検討	ライブラリ検討	試作・検証	ブラッシュアップ	
2. 最適パッケージング技術による次世代USPMの信頼性向上技術開発 (東北大学、(株)タムラ製作所)					
2.1 高信頼性・高パワー密度パッケージ技術開発	高信頼性・高パワー密度構造概念設計	各部品の要素技術検討	基礎検証	高信頼高パワー密度パッケージ評価	ブラッシュアップ
2.2 高過電流耐量パッケージ技術開発	高過電流耐量概念設計	要素試験、課題抽出	基礎検証	高過電流耐量パッケージ評価	ブラッシュアップ
2.3 ゲート駆動回路のDESAT機能高精度化開発	概念設計	要素技術開発	基礎検証	DESAT機能試作	ブラッシュアップ
2.4 ゲートドライバによる状態関し通信機能開発	概念設計	要素技術開発	基礎検証	通信開発	ブラッシュアップ
2.5 絶縁型USPMに最適な高周波トランス開発	設計検討	要素技術開発	基礎検証	高周波要素試作・評価	ブラッシュアップ
3. 次世代USPMとしての統合化とそれを用いたパワエレシステムの開発 (ポニー電機(株))					
3.1 次世代USPMパワーセル開発	仕様設計	仕様設計 7kVA USPM 試作 (1モジュール)	試験、評価		
3.2 次世代USPMパワーシステム開発	仕様設計		量産設計	製造 試験 評価	実証試験
4. 次世代USPMに向けた制御システムの開発 (東京電機大学、ヘッドスプリング(株))					
4.1 USPM汎用スレーブコントローラ開発	仕様検討・詳細設計	HW開発・動作検証	ブラッシュアップ		
4.2 GHzADC搭載高機能スレーブコントローラ開発	仕様検討	基本設計・詳細設計	HW開発・動作検証	ブラッシュアップ	
4.3 上位ネットワーク対応マスターコントローラ開発	仕様検討		詳細設計	HW開発・動作検証	ブラッシュアップ
4.4 USPM用ネットワークシステム開発	仕様検討		基本設計	詳細設計・SW開発	機能検証
4.5 USPM用ユーザIF・ソフトウェアツール開発	仕様検討	基本設計	詳細設計・SW開発	機能検証	ブラッシュアップ
5. 次世代USPMを用いたスマートインバータの応用技術開発 (富士電機(株))					
5.1 EMS向け次世代USPMの要求仕様検討	仕様検討				
5.2 スマートインバータ効果検証				効果検証	
6. 次世代USPMを用いたスマート電源の応用技術開発 (株)ビューズ)					
6.1 次世代USPMを適用するスマート電源のアプリケーション検討					
6.2 車載充電器および定置用急速充電器への適用検討					
6.3 次世代USPMを搭載した車載充電器設計					
6.4 次世代USPMを搭載した車載充電器試作・評価					
6.5 スマート電源適用のため次世代USPMインターフェース設計					

図 B3-4 工程表

⑤ 予算配分額

2023 年度：120 百万円

2024 年度：120 百万円

2025 年度：120 百万円

⑥ 過年度までの進捗状況

(個別テーマ 1—1) スマート EMS に向けた次世代 USPM の電力変換システムの要素技術開発

2024 年度は USPM の高パワー密度化を実現するための低ノイズ、低スイッチング損失化技術の開発に取り組んだ。主回路における受動部品(インダクタ、コンデンサ)、冷却体、ノイズフィルタは体積の大きな割合を占めやすい。2024 年度は冷却体、ノイズフィルタの小型化を目指し、USPM の制御法の開発に取り組んだ。具体的には電流三角波モード駆動による USPM 制御を提案した。実験によりスイッチング周波数 100kHz 程度での基礎検証を完了した。

USPM ライブラリの一つである絶縁型 USPM の並列運転制御技術の開発に取り組んだ。特にマスターコントローラや他の USPM との通信を必要としない制御同期法について検討し、並列運転時の課題の一つである循環電流の抑制を目指した。実験結果により提案法の有効性を確認できた。

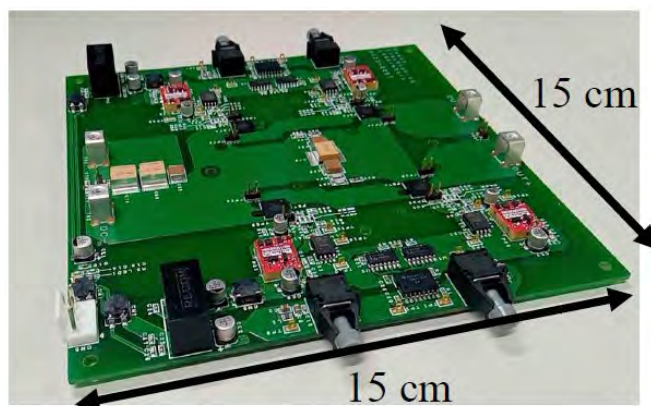
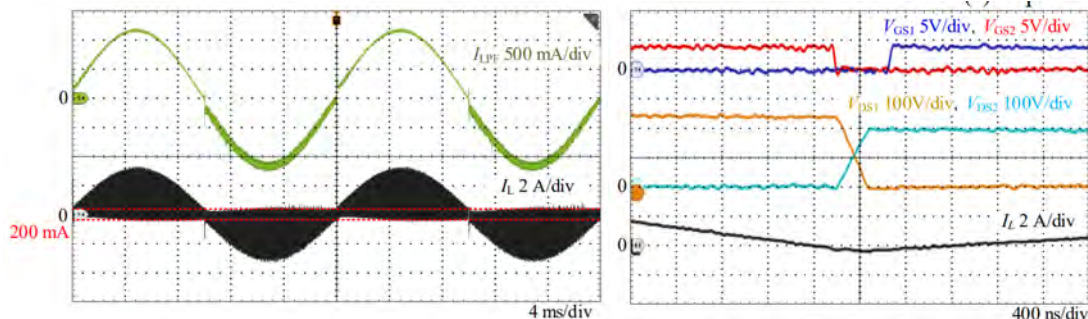


図 B3-5 MHz インバータ主回路(USPM 主回路に相当)



(a) USPM 出力電流波形

(b) スイッチング波形

図 B3-6 電流三角波モードの実験結果

(個別テーマ1ー2) 最適パッケージング技術による次世代 USPM の信頼性向上技術開発

2024 年度は高信頼性でかつ高パワー密度のパッケージ構造に基づく各部品の要素技術検討を完了した。また高過電流耐量化を実現するためのパッケージ構造とゲート駆動技術の要素試験からの課題抽出、対策案の作成を完了した。

DESAT 機能を有するゲートドライバの評価回路の作成を完了した。

(個別テーマ2ー1) 次世代 USPM としての統合化とそれを用いたパワエレシステムの開発

2024 年度は次世代 USPM のパワエレシステムの設計検討及び構造の高パワー密度設計を行い、電力容量 7kVA の USPM を試作した。DCDC 部を高周波のインターリブ構成にし、インダクタを小型化し、インダクタには多層の銅箔線構造を用いることで 25mm 以下の低背型のリアクトルを実現した。パワーモジュール部の電力密度は 10kW/L を達成した。

USPM ユニットの複数個の並列動作に対応するため、冷却部も含め 50mm 以下の低背構造とし、スタック構造を取れる形状とした。スタック構造に適したサブラックも設計し、並列、大電力化への前準備を行った。

(個別テーマ2ー2) 次世代 USPM に向けた制御システムの開発

2024 年度は次世代 USPM 用制御システムの検討を行い、必要となる第 2 世代 USPM 用コントローラ（上位ネットワーク対応マスターコントローラ、USPM 普及用汎用スレーブコントローラ、GHzAD 搭載高機能スレーブコントローラ、および通信方式）の仕様検討を行い、汎用スレーブコントローラの設計と製造、および基本機能試験を完了させた。第 2 世代の USPM コントローラは、機能の絞り込みを行っており、コストバランスの取れた、大量生産が可能、かつ高性能を維持する設計として、最終年度のシステムにスレーブコントローラとして組み込む準備が完了した。また上位ネットワーク機能に関しては、要求されるシステム性能自体が未定義であるため、SIP プロジェクトのエネマネグループ（東北大）との情報交換を通じて、基本仕様を検討し、上位ネットワークに対応したコントロールシステムの基本設計を検討した。

GHz AD 搭載スレーブコントローラに関しては、高周波回路の技術難易度が高いため、既存販売製品での性能検証を進め、それに合わせて、システム設計をヘッドスプリングと協調して進めた。また、USPM の類似技術として Imperix のプログラマブルインバータを導入し、パワエレプラットフォームとしての機能解析を実施した。

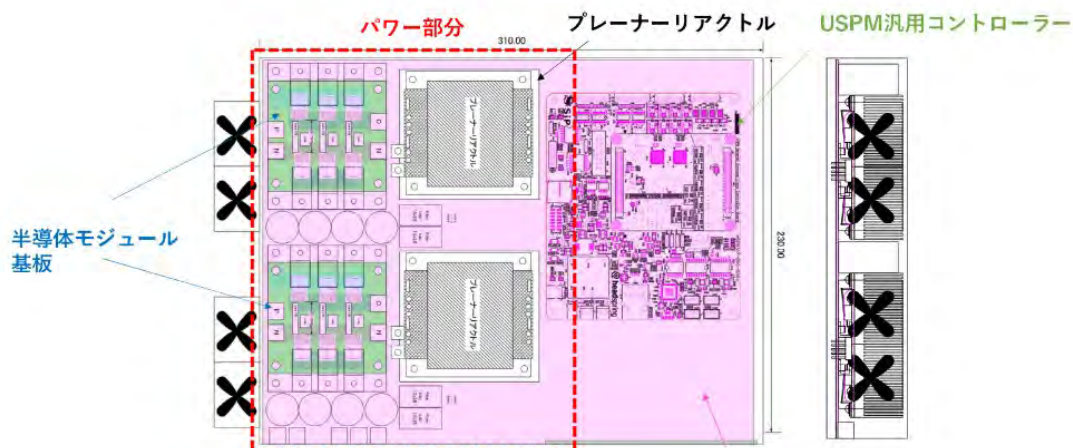


図 B3-6 次世代 USPM の設計外観図

(個別テーマ2－3) 次世代 USPM を用いたスマートインバータの応用技術開発

USPM をスマートインバータに適用するための機能要求の整理を完了した。またスマートインバータの各機能の定量的仕様のまとめを完了した。

(個別テーマ2－4) 次世代 USPM を用いたスマート電源の応用技術開発

2024 年度は USPM を主たる構成部品とした車載充電器の回路レベルでのシステムブロック図の作成を完了した。また USPM と充電コントローラ間のインターフェースの明確化を完了した。

USPM のベンチマークである Vicor の電源モジュールの評価環境整備を完了した。



図 B3-7 USPM 汎用コントローラ外観図

(6) C1 エリアエネルギーマネジメントシステムのプラットフォーム開発と実装

街区、自治体、都市等の様々なスケールのエリアにおける EMS 実現に貢献するシステム・技術を開発する。2050 年のカーボンニュートラルの実現に向けて、各エリアの建物、交通等の将来シナリオを構築し、EMS を社会実装するためのデータ収集分析・シミュレーションプラットフォームの開発を行う。また、地域的な課題解決を目指し、需要家やアグリゲーター等の各種プレーヤーにおける EMS の多様な付加価値を最大限顕在化させる実証を行う。

① 研究開発目標

(個別テーマ 1) 自治体向けローカルエネルギープラットフォームの構築

自治体の現状把握、将来検討を支援するエネルギー需要データや分析ツールからなるローカルエネルギープラットフォーム (PF) を開発し、地方自治体と最終消費者のラストワンマイルをつなぎ、最終消費者の行動やニーズを踏まえた、継続性・実効性のある温暖化対策を実現することに貢献する。

また、公共施設における再エネ蓄エネ設備を有効に活用するために、EMS の実証実験を行う。自治体向けローカルエネルギープラットフォームの分析ツールにおける評価結果に基づき、そのロジックを実装し、常時/非常時の運用の効果を検証する。

(個別テーマ 2) 既存建築物に実装できるエリアエネルギーマネジメントシステムの開発

自治体、都市等のカーボンニュートラルを実現するためには新築のみならず既存建築物における低炭素化や電力需給調整等の取組に対する研究開発の必要性や緊急性は非常に大きい。新築建築物は建設時にカーボンニュートラル技術を取り込めるが、既存建築物では竣工後の躯体や設備等の大規模改修工事への投資は難しい。そのような状況に対し、現在十分に活用されていない既存建築物のオペレーショナルデータ (エネルギーデータ、運用実績データ等) を活用した大規模ビル向け EMS、中小規模ビル向け EMS、それらを実装するためのエリアマネジメントシステムの開発及び事業化を目指す研究を実施する。

(個別テーマ 3) 都市のデジタルツイン空間における統合的シミュレーション技術の開発

未来都市におけるカーボンニュートラルや居住快適性等の持続可能性を実現するため、建築・交通・人間活動にかかわる各種スマート技術の導入シナリオ (2030 年、2050 年を想定) を構築し、最先端のデジタルツイン技術を活用して、スマートエネマネのための新たなシミュレーション基盤を開発する。特に、多様な地域課題に対応するためのテストサイトを全国に設定し、エアモビリティ等が展開する未来の都市システムにおけるグリーン電力の需要と供給を最適化するための統合的モデリング手法の開発に取り組む。今後の急速な発展が予想される建築・交通関連のスマート技術 (ネットポジティブ建築、自動運転 EV、ドローン、空飛ぶクルマ等) と経済活動のデジタル化が大規模に導入される未来都市のシナリオを想定して、2050 年カーボンニュートラルに向けたスマートエネマネの統合シミュレーション手法を開発する。得られる研究知見を総合化して社会実装への応用を検討するため、全国に展開するテストサイト

において多様なステークホルダーとの共創で未来社会の可能なシナリオを構築・評価する手法の開発にそれぞれ取組むことで、カーボンニュートラルでウェルビーイングな未来社会の実現に資する統合的シミュレーション基盤の開発を目的する研究を実施する。

(KPI/マイルストーン)

(個別テーマ1) 自治体向けローカルエネルギープラットフォームの構築

- 2025年度までにデータベースの作成・運用試験の開始 (TRL4) 《達成目標 c-1》
- 2027年度までにプラットフォーム活用実証を実施 (TRL5) 《達成目標 c-1》
- 2025年度までに公共施設実証システムの構築 (TRL5) 《達成目標 c-1》
- 2027年度までに運用試験を行い経済性・事業性評価を実施 (TRL6) 《達成目標 c-1》

(個別テーマ2) 既存建築物に実装できるエリアエネルギーマネジメントシステムの開発

- 2025年度までに大規模モデルビルにおけるAI活用中央熱源運転支援システムの実証試験完了 (TRL5～6) 《達成目標 c-1》
- 2027年度までにAI活用中央熱源運転支援システムのモデルビルへの実装と他ビルへの実装準備完了 (TRL6～8) 《達成目標 c-1》
- 2025年度までに複数の中小規模モデルビルにおいて開発簡易EMSの実証試験及びDR対応のEV充電ステーションの接続・制御実証試験開始 (TRL5) 《達成目標 c-1》
- 2027年度までに中小規模モデルビルに簡易EMS及びDR対応のEV充電ステーションを実装 (TRL7～8) 《達成目標 c-1》
- 2027年度までに既築モデルビルにおける実証・検証結果を踏まえ、エリアエネルギーマネジメントサービスの事業化スキームを構築 (TRL6～7) 《達成目標 c-1》

(個別テーマ3) 都市のデジタルツイン空間における統合的シミュレーション技術の開発

- 2025年度までに未来都市シナリオの土地利用・交通モデル開発 (TRL5) 《達成目標 c-1》
- 2025年度までに都市街区エネルギー需給シミュレーション手法開発 (TRL4) 《達成目標 c-1》
- 2025年度までにエネマネ導入シナリオの時空間可視化システム構築 (TRL5) 《達成目標 c-1》
- 2027年度までに都市街区エネルギー需給最適化技術開発 (TRL5) 《達成目標 c-1》
- 2027年度までに3自治体で脱炭素化シミュレータ構築・VR体験・評価 (TRL6) 《達成目標 c-1》
- 2027年度までにデジタルツイン空間のシミュレーション基盤構築 (TRL6) 《達成目標 c-1》

② 実施内容

(個別テーマ1) 自治体向けローカルエネルギープラットフォームの構築

スマートメータ等の供給側のデータ、空間的・時間的解像度の高いシミュレーション等による将来予測データ、基礎自治体が有する都市計画等の関連データを融合させ、自治体のレベルのカーボンニュート

ラル政策を検討するためのデータ整備を行い、その活用可能性について自治体と協力して検討する(図C1-1)。

次に、得られたデータをもとに自治体の各種施策を評価するため、エネルギー診断、ZEB 設計支援ツール、EMS の運用効果検証するツールを構築し、自治体の実装し、その効果を検証する。

さらに、公共建物、PV、公共用自動車の運用を管理するシステムを構築し実証試験を実施する。常時は、建物の需要や電気自動車の需要を予測しておき、経済性優先モードで運用する。非常時には、災害の種類、規模の予測に応じた、避難・防災施設への EV の最適配置も含めたレジリエンス優先モードに切り替え、被災者のための電源活用が最大限有効にできるようにする。

本研究開発では、研究開発テーマ間、SIP 課題間の連携を促進するため、1) エネルギー需要・アクティビティ関連データの提供、2) データ・分析ツールの共有・相互利用の促進、3) クロスボーダー・セクターカップリングの基盤構築への貢献に取り組む。

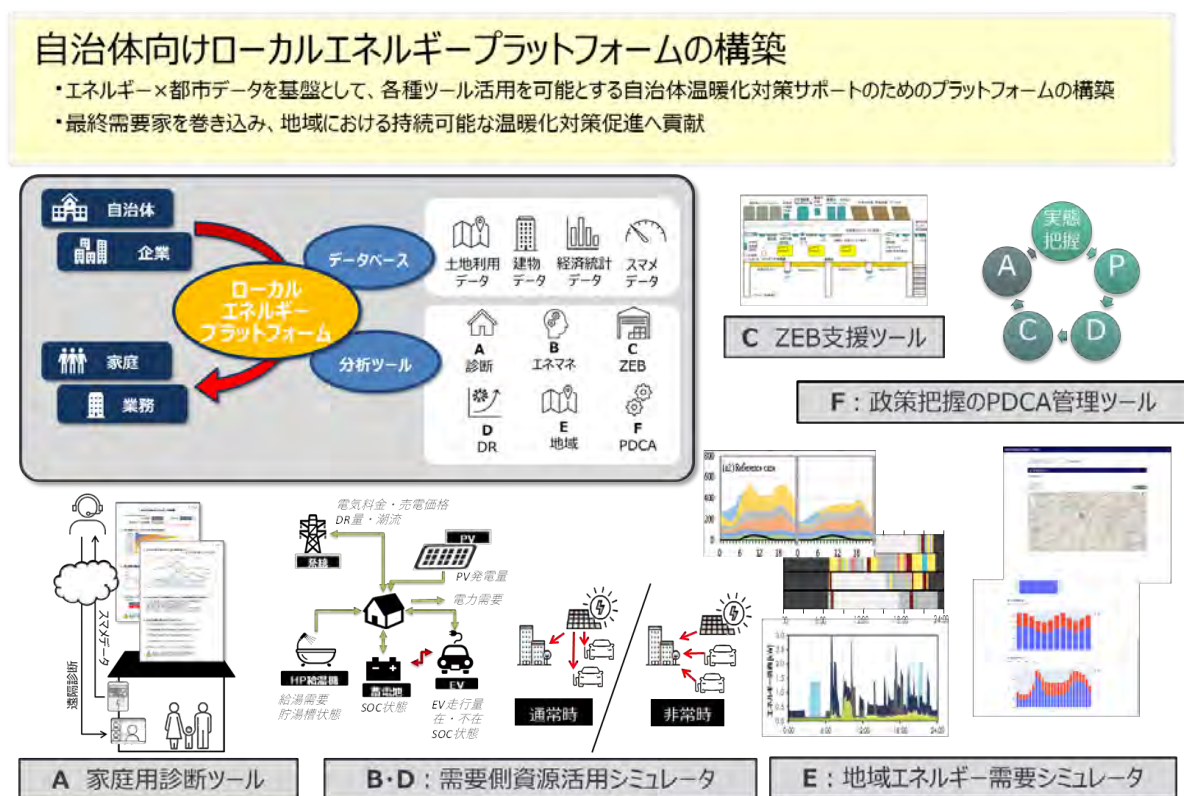


図 C1-1 自治体向けエネルギープラットフォームの概要

(個別テーマ2) 既存建築物に実装できるエリアエネルギーマネジメントシステムの開発

既存建築物のエネルギーデータの粒度はビルの規模やエリアによって異なる。そこで以下エネルギーデータ粒度に適応したエリアエネルギーマネジメントシステムを開発する(図 C1- 2)。

【大規模ビル EMS 開発 : BEMS による細かいデータの取得が可能な建築物】

ビルに設置されている BEMS から中央空調熱源システムに関するオペレーショナルデータを取り出し収集、分析できるシステムを構築する。そして、そのデータから AI を利用して冷暖房負荷を予測し、その予測負荷に適応する省エネ最適化及び需給調整 DR 等の運転パターンを計画する方法を構築する。さらに、データサイエンスや AI 等の分析手法を用いたデータマイニングにより、既設 BEMS から取り出し収集した空調システムに関するオペレーショナルデータから建物側の情報を最小限に抑えながら不具合や設定不良を検知するアルゴリズムを構築する。

【中小規模ビル EMS 開発 : BEMS の導入や細かいデータの取得が困難な建築物】

ビルの電力需要データをリアルタイムで外付け EMS に収集し、そのデータから翌日及び当日の電力需要を予測する仕組みを構築するとともに、電力需要予測をビルの省エネに繋げるシステムを開発する。また、エリア内における各建物のスマートメータや簡易に設置可能な IoT デバイスから得られる室内環境データ及びエネルギー消費データを管理し、健康性・知的生産性及びエネルギー消費性能の観点による分析・評価を提供するネットワークシステムを構築する。さらに他建物の分析・評価結果も組み合わせたフィードバックをスマートフォンアプリ等により提供することで、対象ビルにおける執務者の省エネ・室内環境意識の向上や適切な省エネ・室内環境改善行動の実施を促すナッジ機能を組み込む。また、社用 EV 及び EV ステーションを活用し、再生可能エネルギー等の不安定さや夏期冬期の電力不足に対応できる DR システムを構築する。

【エリアエネルギーマネジメントシステムの開発】

都市における実際のビルにおいて開発システムの実証実験を行い、それらの実装を目指すとともに、エネルギーマネジメントの事業化スキームについても検討する。また、電力データ管理協会等から得られる電力データを活用する街区や地区単位で EMS を導入するエネルギーマネジメントサービスを構築する。さらに、電力データの分析により、災害時(停電時)に各地区に必要な電力需要を推計し、スマート防災で活用できるデータの提供を目指す。

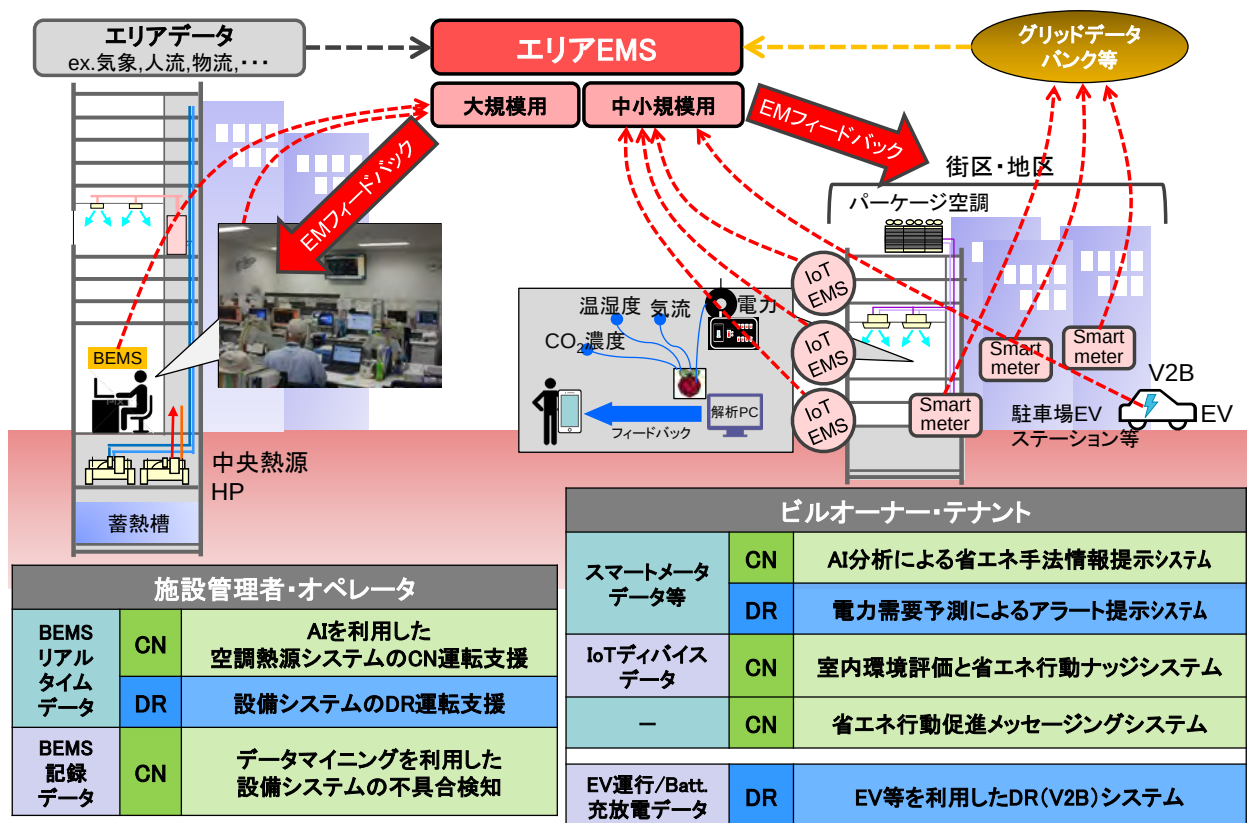


図 C1-2 開発 EMS の実装とエリアエネルギーマネジメントシステムの地域展開イメージ

CN ; カーボンニュートラル、DR : デマンドレスポンス

HP : ヒートポンプ、V2B : Vehicle to Building

（個別テーマ3）都市のデジタルツイン空間における統合的シミュレーション技術の開発

高精度な都市炭素マッピング手法の開発に関しては、スマートメータの観測情報、並びに都市活動に関するビックデータ（人流等）と地理情報システムを活用し、時間粒度が1時間、空間解像度が個別道路・建物単位の時空間詳細なCO₂排出の可視化ツールの作成に取り組む（図C1-3）。AI手法を活用して交通・建築関係のビックデータを解析することで、建築や交通におけるエネルギー利用から炭素排出量を推定する炭素マッピング手法を作成し、将来のスマート技術導入を構想する各種シナリオについての炭素削減効果を評価する研究に応用する。特に、その分析・評価の際に利用する建築や交通に関する3Dモデルは、デジタルツイン空間での未来都市の統合シミュレーション手法を開発する際の基盤情報として活用し、それに対応するメタバースで未来都市を体験する新たな都市デザイン手法に関する研究を行う。

このデジタルツインを活用する統合シミュレーション手法研究に際してのいくつかの実証サイトにおいて、1）カーボンニュートラルと快適性を同時実現する建築・交通・行動変容のシミュレーションを実施し、2）自動運転EV、空飛ぶクルマを統合活用する観光・防災活動に関するデジタルツイン空間でのシミュレーションを実施し、3）グリーン電力を活用してスマート農業やドローン林業を導入するシナリオに関するシミュレーションを実施し、4）PV・蓄電池・EVを導入する事業効果を交通・建築分野を統合してエネマネの観点から最適化するシミュレーションを実施する。

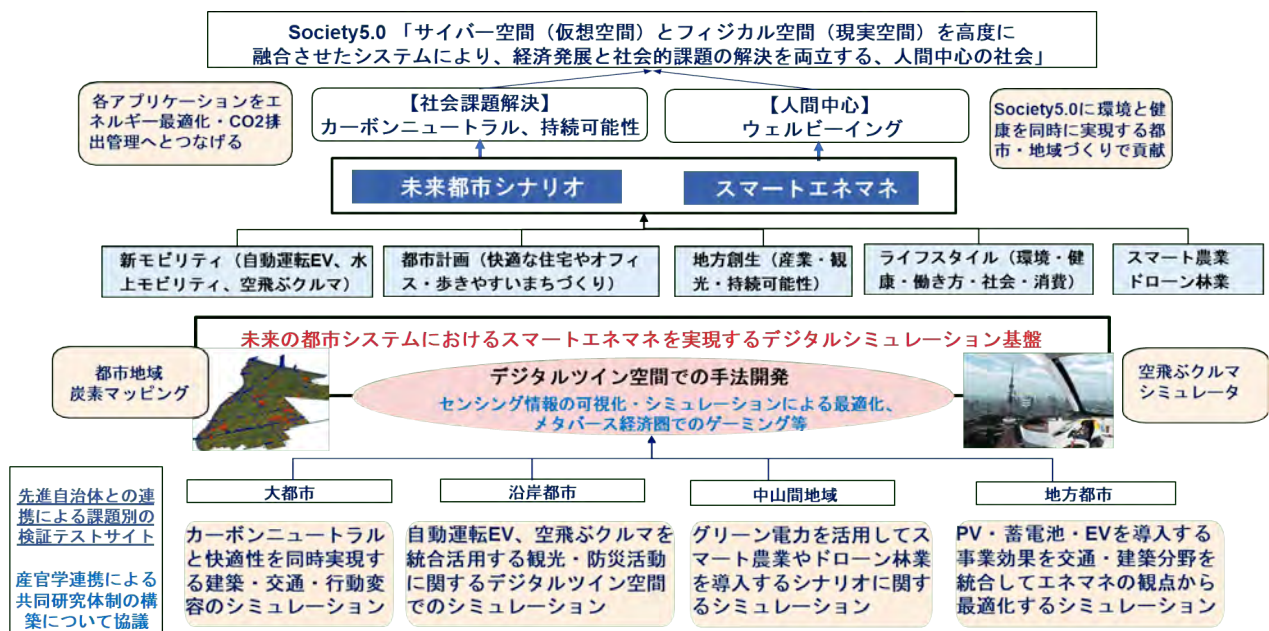


図 C1-3 都市のデジタルツイン空間における統合的シミュレーション技術の開発

③ 実施体制

研究開発責任者：

岩船由美子（東京大学 生産技術研究所 教授）

参画機関：

大阪大学、一般財団法人電力中央研究所、芝浦工業大学、早稲田大学、慶應義塾大学、統計数理研究所、神戸大学、国立研究開発法人国立環境研究所、株式会社池田理化

④ 研究開発に係る工程表

	初年度 (2023.7～ 2024.3)	2年度 (2024.4～ 2025.3)	3年度 (2025.4～ 2026.3)	4年度 (2026.4～ 2027.3)	終年度 (2027.4～ 2028.3)
1.自治体向けローカルエネルギーPFの構築 (東京大学、大阪大学、電力中央研究所)					
PFスキームとエネマネシステム構築（東京大学）	スマートメータデータの入手・データベースの作成・維持管理				
自治体におけるデータ整備・ツール活用（東京大学）	データ整備・ツール作成			データツール運用・改善	
エネマネ実証（東京大学）	実証エリアの確保・環境整備			エネマネシステムの実装	
エリア向けモデル開発（東京大学、大阪大学、電力中央研究所）	モデル開発			モデル運用・改良	

図 C1-4 (a) 工程表(個別テーマ1)

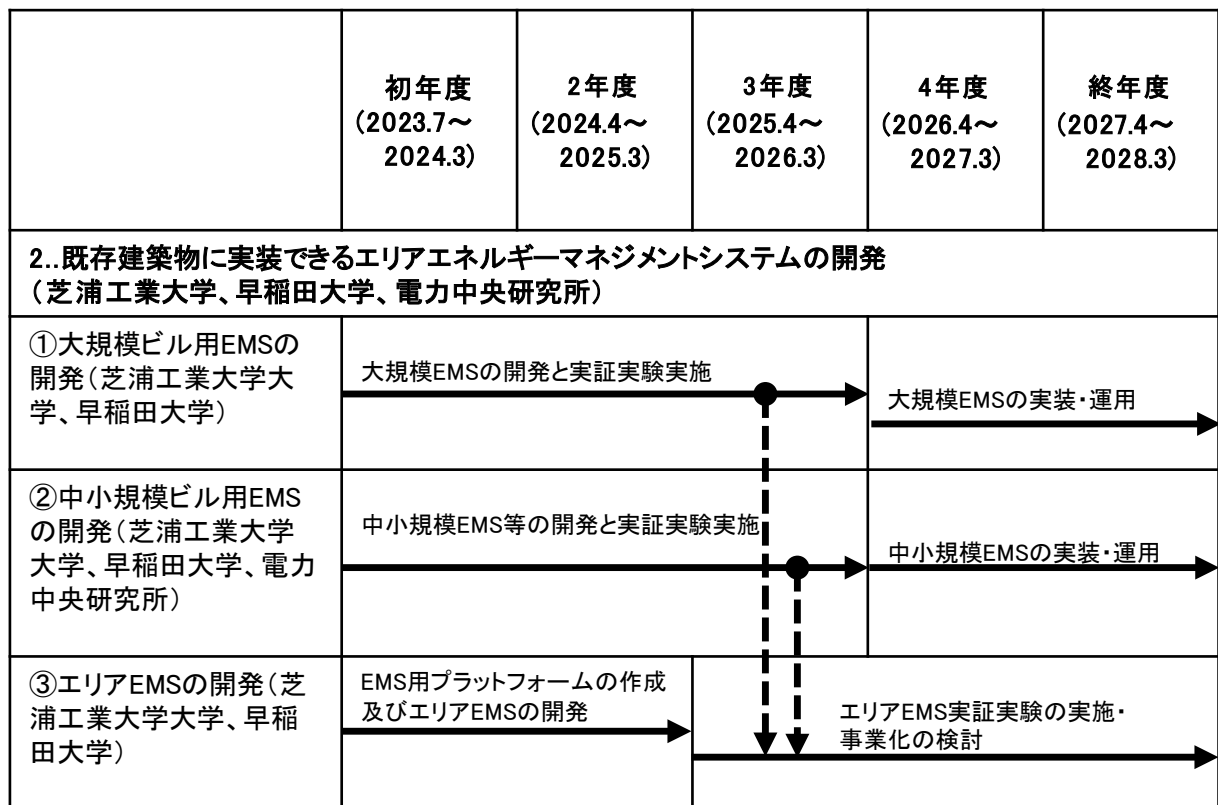


図 C1-4 (b) 工程表(個別テーマ 2)

	初年度 (2023.7～ 2024.3)	2年度 (2024.4～ 2025.3)	3年度 (2025.4～ 2026.3)	4年度 (2026.4～ 2027.3)	終年度 (2027.4～ 2028.3)
3.都市のデジタルツイン空間における統合的シミュレーション技術の開発 (慶應大学SDM、慶應大学KGRI、統計数理研究所、神戸大学、東大・CSIS、東大・新領域、東大・都市工、国立環境研究所、池田理化)					
エネマネモデル開発 および発展的応用 ユースケース研究と 未来都市シミュレー タ(慶應SDM)	統合的評価シミュレーション手法の開発			テストサイトにおける実証・実装	
環境改善・行動変容 の促進とカーボン ニュートラル・ウェル ビーイング評価(慶 應 KGRI)	環境・健康行動変容に関する調査および実証 実験			環境・健康行動変容マネジメント の実証・実装	
交通・建築物のエネ ルギー需給マネジメ ント手法の開発(統 計数理研究所)	エネマネの最適化手法の検討・開発			将来シナリオ下で最適なエネ マネ設計の評価	
未来都市シミュレー タの開発(神戸大学)	未来都市シミュレータの検討・開発			未来都市シミュレータを用い たシナリオ構築	
建築物のエネルギー 需給マネジメントとス martエネマネ支援 システムの開発(東 京大学CSIS)	エネルギー需要マネジメントの評価・可視化手 法の検討・開発			エネマネKPIの評価と都市計 画支援システムの構築	
都市内の電気自動 車(EV)の充電による エネルギー需給シ ミュレーターの構築 (東大・新領域)	既存技術を用いたEV電力需要シミュレータの 構築			都市の発展シナリオ策定と新 技術導入を考慮したEV電力 需要シミュレータの構築	
プラットフォームの都 市計画・エリマネへ の展開(東大・都市 工)	ステークホルダー等整理/社会実装体制・プロ セス検討			地域戦略・計画の策定	
地域エネルギーマネ ジメントの計画を支 援する統合シミュ レーションモデルの 開発(国立環境研究 所)	地域エネルギーマネジメントのデータ解析とモ デル化			テストサイトにおける実証・実 装	
オフィス街区の脱炭 素化に向けた地域エ ネマネのシミュレー ション(池田理化)	地域エネマ ネ対策メ ニューの設 定及びソフト 開発	地域エネマ ネと快適性 のパラメー ター開発及 び測定	ビルオー ナー向け エネ マネ対 策メニュー の高度化	地域エネマネの多面的な機能 向上と社会実装への応用	

図 C1-4 (c) 工程表(個別テーマ 3)

⑤ 予算配分額

2023 年度：282 百万円（当初 250 百万円、追加 32 百万円）

2024 年度：283 百万円

2025 年度：283 百万円

⑥ 過年度までの進捗状況

（個別テーマ 1）自治体向けローカルエネルギープラットフォームの構築

個別テーマ 1「自治体向けローカルエネルギープラットフォームの構築」として、主に以下を行った。

【プラットフォームスキームとエネマネシステム構築】

ローカルエネルギープラットフォームを構築する最初の対象となる自治体を青森県七戸町と定め、自治体とディスカッションを重ね、連携体制を構築した。対象自治体においては、スマメデータと気象データから、地域の PV 導入率、エコキュート導入率、昼間在宅率の関係性を分析するとともに、OD 調査などの統計データから、走行距離当たりの燃料消費量や休平日割合などを推計した。

東京都江戸川区、東京都多摩市、千葉県匝瑳市、のスマートメータデータを用いて、家庭用の建て方別電力消費量の推計方法を検討した。具体的には、目的変数を時間別の低圧電力消費量、町丁目単位の総電力消費量、説明変数を 戸建契約口数、集合契約口数、低圧 PV 契約口数（10～15 時のみ）とした、家庭用の電力消費量原単位を町丁目単位で推計するために回帰分析を実施した。

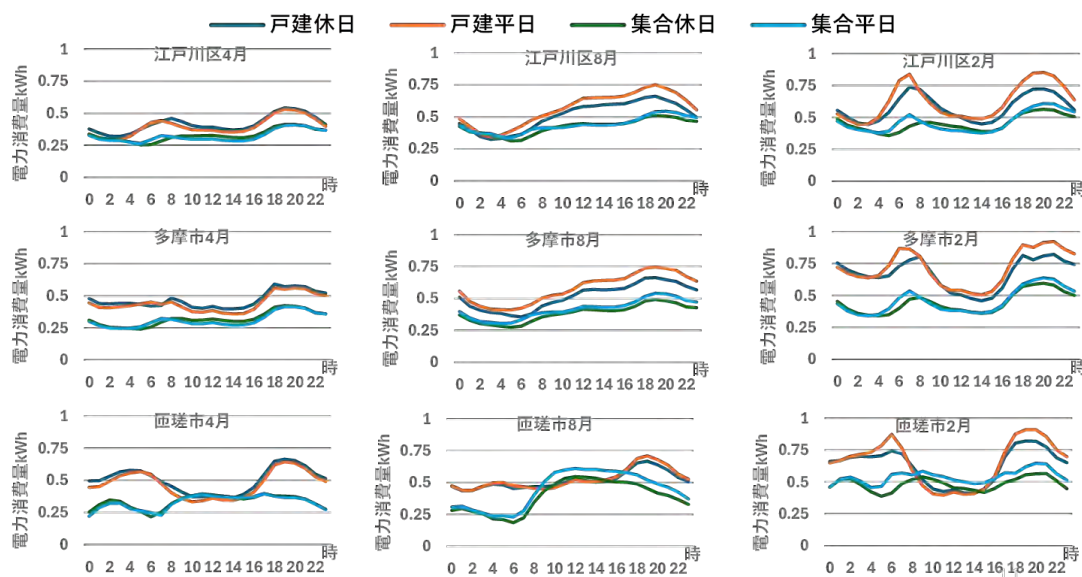


図 C1-4 東京都江戸川区、東京都多摩市、千葉県匝瑳市の平日休日別・建て方別電力消費量推計結果

家庭用エネルギー診断のためのフィールドを 2 か所確保し、1 か所では実施完了し事後データを収集の上、効果検証を行った。もう 1 か所では簡易診断が終了し、詳細診断希望者を募集中である。

ZEB 化改修情報を収集分析し、ZEB 推進のための支援ソフトウェアの無料公開を 2025 年 3 月に開始する。無料で一般公開することにより、全国の建物所有者や管理者に利用を促し、入力されたデータを既存建築物の ZEB 化における経済性評価手法の更なる精度向上のために収集予定である。

北海道斜里町、富山県黒部市、福岡県久留米市の各庁舎に V2B を設置した。今後は、EV バッテリーの充放電制御等、常時・非常時の公共施設の運用について検討予定である。

揚水発電所や蓄電池等の貯蔵原資を考慮したエリア別時刻別電力 CO2 排出原単位の推計を行った

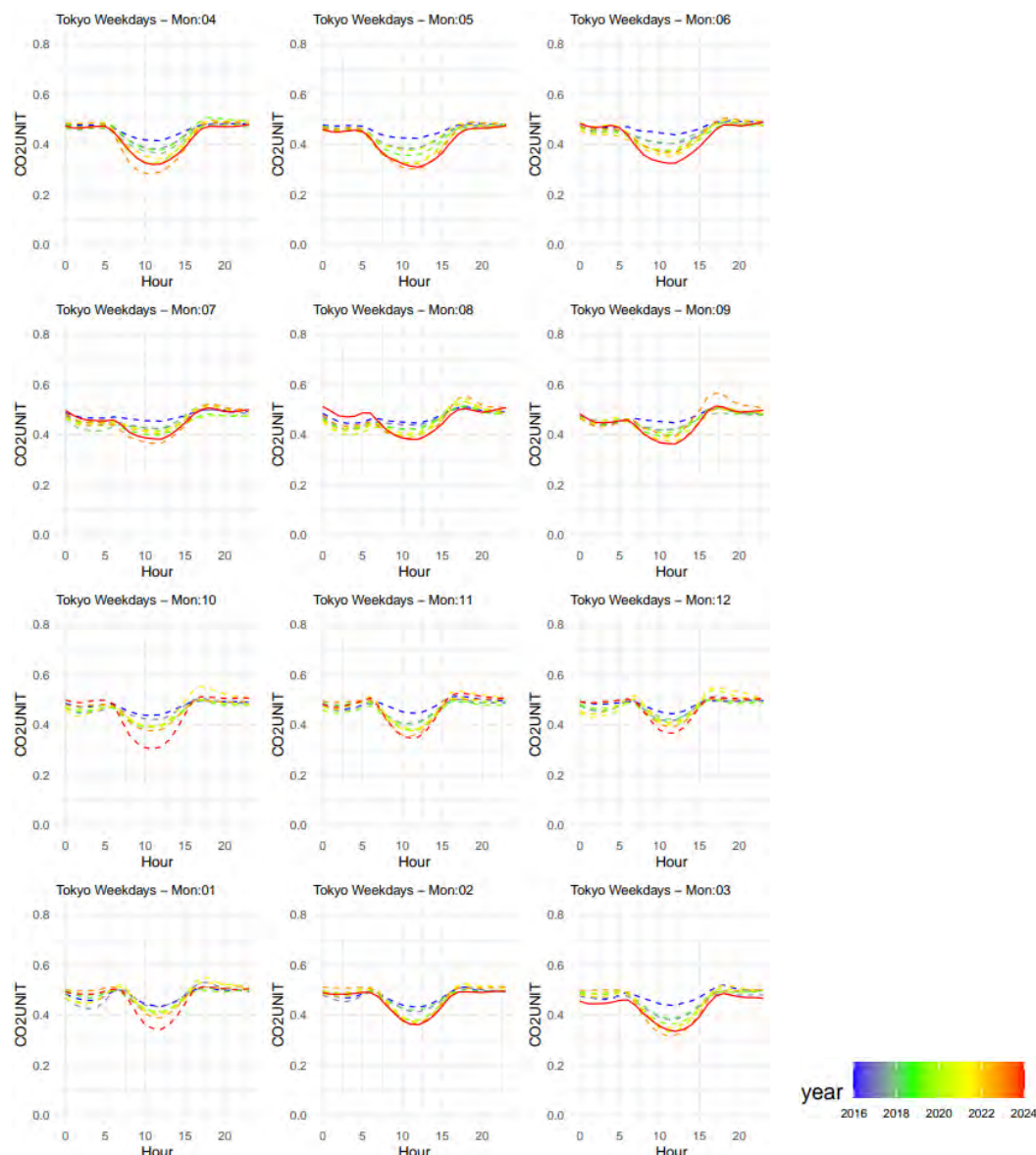


図 C1-5 月別時刻別平均 CO2 排出原単位（東京電力管内、平日、単位：kg/kWh）

（凡例の色は対象年を、Mon は対象月を表す。一般送配電事業者の電力需給実績データに基づいた。

破線は旧データフォーマット、実線は新データフォーマットのデータを参照した。）

【エリア向けエネルギー需要モデルの開発】

大阪大学は自治体単位で民生家庭部門・業務部門の二酸化炭素排出量を推計するためのエネルギー需要モデルを開発した。開発モデルは一つ一つの世帯・業務施設を計算単位として詳細なエネルギー需要推計を行い、その結果の積算値から対象部門の二酸化炭素排出量を定量化するボトムアップモデルであり、図 C1-6 に示す 4 つのプロセスで構築される。①データベース構築過程では、国勢調査やゼンリン社建物ポイントデータ、Google Maps Places API などの利用可能なデータソースに基づいて対象自治体の住宅・建築物に関するデータベースを構築する。②合成人口・建築物ストックモデル構築過程では、収集データの組み合わせにより個々の世帯・施設を個人・施設の単位で模擬した合成データモデルを構築する。ここでは世帯・業務施設のエネルギー需要に大きな影響をもたらす設備や人の行動に関する特徴について条件設定するほか、将来の時間断面において技術等の変化を考慮する機能を持たせている。③需要シミュレーション過程では、気象データに基づいて 1 年間のエネルギー需要シミュレーションを行い、個々の合成世帯・建築物のエネルギー需要、二酸化炭素排出量を推計する。④シナリオ分析過程では、自治体内での変化を想定したシナリオの下で推計されたエネルギー需要、二酸化炭素排出量を集計し、無対策ケースの二酸化炭素排出量ベースラインを推計するほか、自治体の努力による削減効果を定量化する。

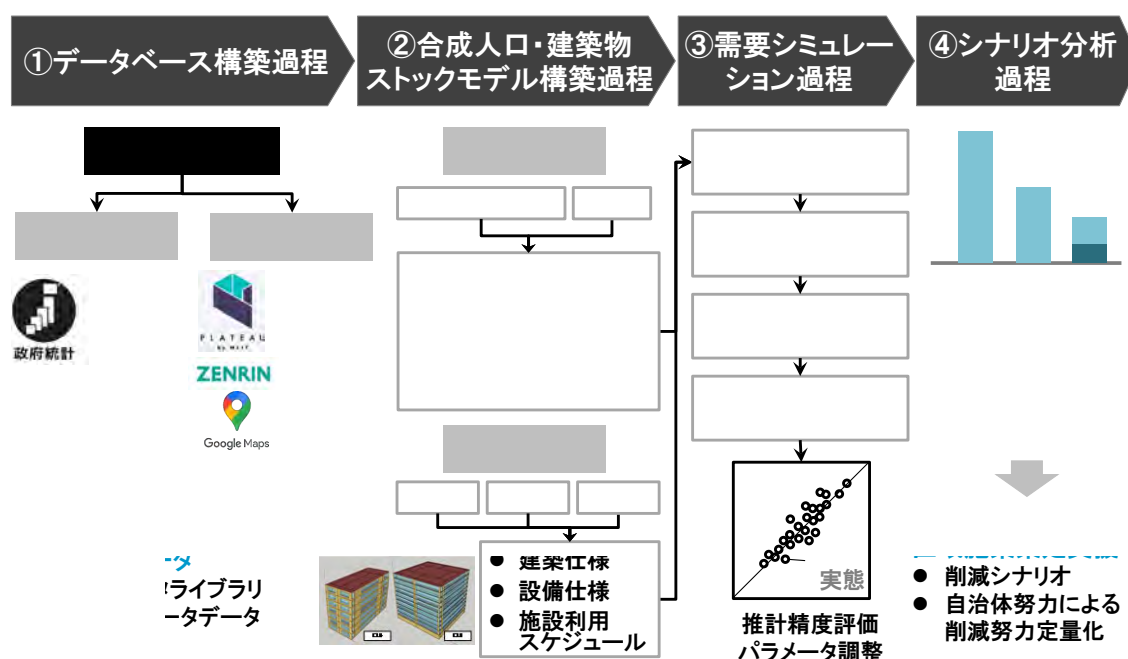


図 C1-6 開発モデルの概要

2024 年度は開発モデルのプロトタイプを確立し、東京都江戸川区、中央区、多摩市、千葉県匝瑳市、長崎県長崎市へ適用し、スマートメータとの比較により推計精度を確認した。図 C1-7 に住宅面積が比較的高い小地域を対象として精度検証を行った結果を示す。左図は 1 年間の積算値であり、推計誤差は 10% 程度であった。右図は一時間単位の推計値と実測値を用いて RMSE を算出し、実測値の平均値で除した

CVRMSE[%]を示す。アメリカ暖房冷凍空調学会（ASHRAE）は技術導入による削減量評価のためのベースライン推定の精度について、1 時間間隔の年間データより算出する CVRMSE が 30%以内となることを許容範囲として定めているが、住宅が大部分を占める小地域ではおおむねこの許容範囲をクリアすることを確認した。業務施設が中心である東京都中央区に対して同様の検討を行った結果を図 C1-8 上に示す。年間での誤差は約 10%推計値が過大となったが、CVRMSE は 21 %となり、モデルの精度は上記 ASHRAE 基準を満たす。東京都多摩市でも同様の結果となった。一方で、モデルによる推計値は電力需要の気温感応性を過大に推計する傾向があることを確認しており、2025 年度、この点について改良を行う予定である。図 C1-8 下は中央区の 2030 年、2050 年のエネルギー需要推計を行った結果を示す。このように自治体単位で将来の技術変化を考慮した二酸化炭素排出量推計が可能となり、自治体が地方公共団体実行計画の区域施策編を策定する際に活用可能な知見を提供することが可能となった。

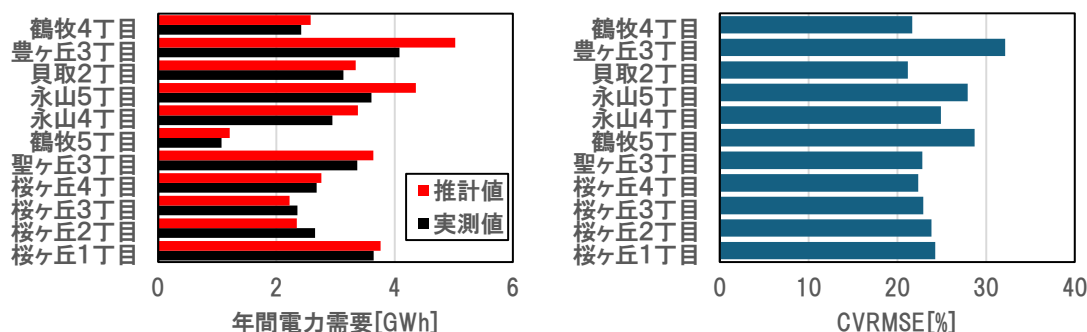


図 C1-7 住宅地における推計結果（左：年間電力需要、右：CVRMSE）

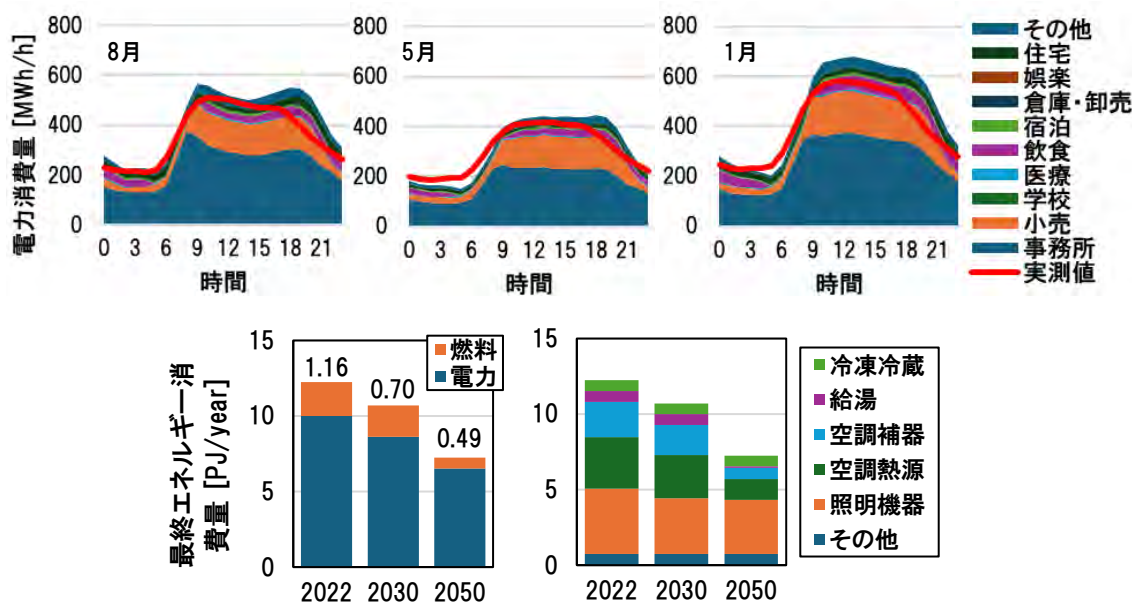


図 C1-8 東京都中央区の推計結果（上：面グラフで表す推計値と赤線のスマートメータデータとの比較、左から1月、5月、8月の平日月別時刻別平均値、下：3つの時間断面での推計結果、左：燃料種別、右：用途別、左図上の数字はCO₂排出量[MtCO₂/年]）

【プラットフォームデータベースと需要モデル構築及びデータ制約下での情報提示システムの開発】

自治体の脱炭素化計画策定の支援を行うための自治体意思決定支援管理ツールパッケージの概念設計を行い、試作として、青森県七戸町・東京都多摩市・千葉県匝瑳市を対象に電力利用実態の把握・推定を実施した。図 C1-9 は、公開統計である電力調査統計(自治体別・月別の消費電力量)および国勢調査(自治体別の人口・面積)の結果を用いて、青森県内の市町村別消費電力量を地図上に可視化した結果である。自治体の消費電力量や一人当たりの消費電力量、面積あたりの消費電力量を近隣の自治体と比較することで、対象自治体の消費電力量を把握することができる。また図 C1-10 は青森県七戸町の住宅部門を対象に、2050 年における CO₂ 排出量の変化量の計算結果を示したものである。PV 導入量や機器効率・断熱性能が実績と同程度の「なりゆき」で進むと想定した場合と、政府等の目標に基づいて加速して「積極」的に進むと想定した場合について想定を行っており、積極ケースの場合、PV 導入・電化・断熱強化・機器効率向上・ライフスタイルの変容によって、2020 年断面と比較して 3,800[t-CO₂/年]程度の CO₂ 排出量の削減がされるという結果が得られた。

上記を用いた脱炭素化計画策定支援(長期シナリオ検討)に関して、青森県庁および七戸町役場と意見交換を実施した。スマートメータデータと電力調査統計の比較や将来の脱炭素シナリオ検討結果を示した。スマートメータデータは秘匿による欠損が免れないことから、将来だけではなく現状においてもシミュレーションの利用が有効であることが示唆された。また県・市区町村としてできることは普及啓発、あるいは補助金であり、いずれも最終的な意思決定者は住民需要家となることから、住民に意思決定してもらうためには金額を含めた提案資料が重要であり、住民が個別最適(コスト、快適性)で自然に選択した結

果が、CN に繋がる解であることが望ましいことが意見として提示された。

需要シミュレータの推定精度の向上を目指した検討として、東京都多摩市、江戸川区、千葉県匝瑳市について、需要シミュレータの推定値とスマメータの統計値ならびにエネ庁の電力調査統計の3者を比較し、顕著な差がないことを確認した。また低圧需要家を対象とした町丁字レベルでの推定精度の検証のため、需要家数・需要家ごとの消費電力量の両面から分析を行った。

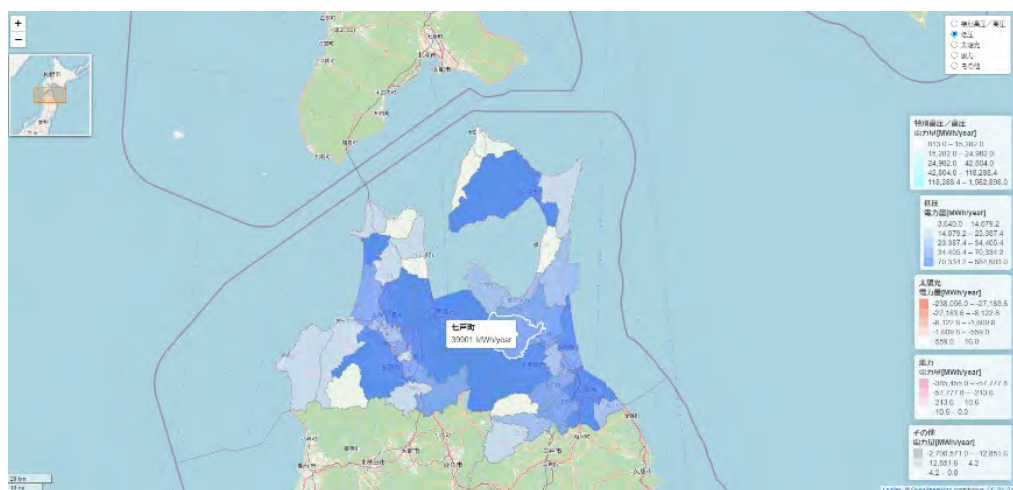


図 C1-9 電力調査統計による青森県内の市町村別電力需要把握・可視化結果

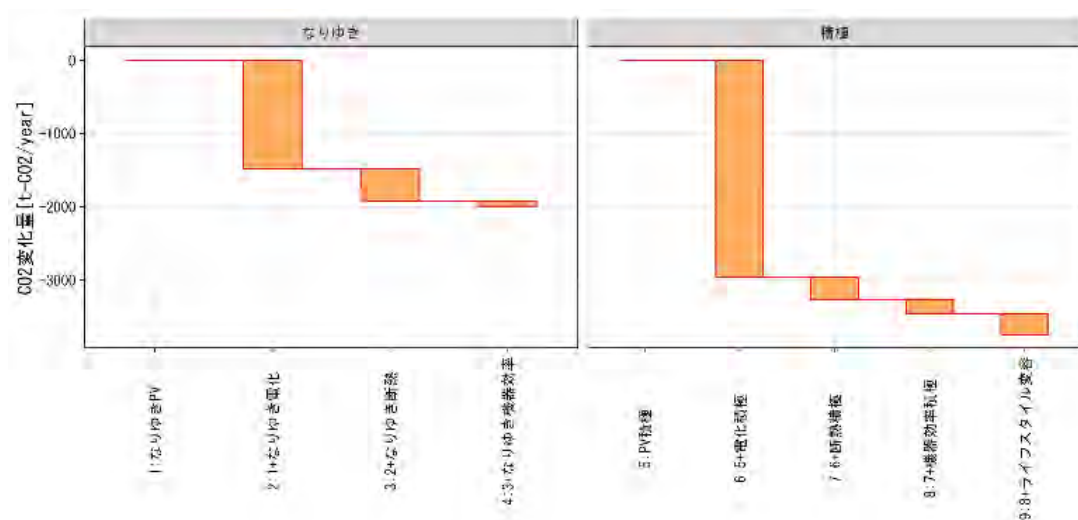


図 C1-10 青森県七戸町での将来シナリオ別の CO2 変化量の試算結果

(個別テーマ2) 既存建築物に実装できるエリアエネルギーマネジメントシステムの開発
個別テーマ2として、3機関で下記の各項目をそれぞれ実施した。

【既存建築物のオペレーショナルデータを活用した省エネ化等支援システムの開発と実装】: 芝浦工業大学

(1) エリア EMS の研究開発

「エリア EMS の開発」では、電力データ管理協会から購入した東京都中央区の町丁目単位の電力データや、町丁目単位の電力データを街区単位に配分した街区単位の電力データを用いて分析を行った。そして、年間電力消費密度や空調用電力消費気温感応度等の観点から町丁目レベルあるいは街区レベルの省エネ化支援有効地区を抽出した。そして、その分析結果を中央区に紹介し、エリアエネルギーマネジメントの仕組みについて意見交換を行った。

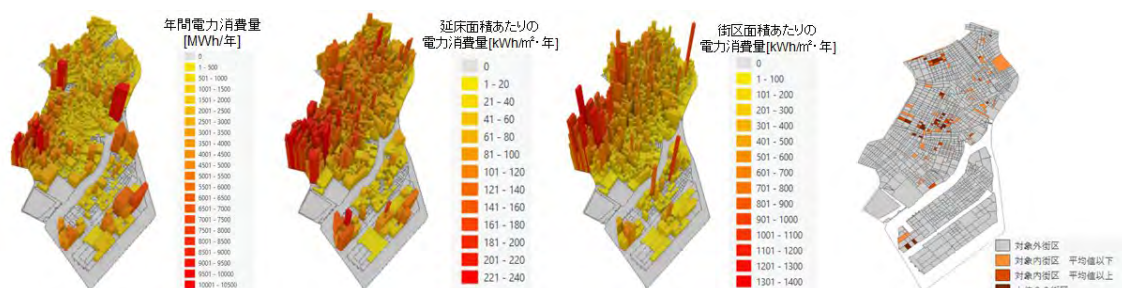


図 C1-11 街区単位の電力データ推計結果及び街区レベルの省エネ化支援有効エリアの抽出結果

(2) 大規模ビル用 EMS の研究開発

「大規模ビル用 EMS」では、2023 年度に製作した熱源システムの最適運転計画ソフトを用いて、実証ビルにおいてオペレータに運転計画スケジュールを提示する実証実験を夏期・中間期・冬期に実施した。その有効性として、5～10%程度の省エネ効果を確認した。実証実験を通して実証実験ビル用最適運転ソフトのチューニングを行い、実証実験ビル用ソフトを完成させた。また、新たな実証実験サイトとの調整を終えた。

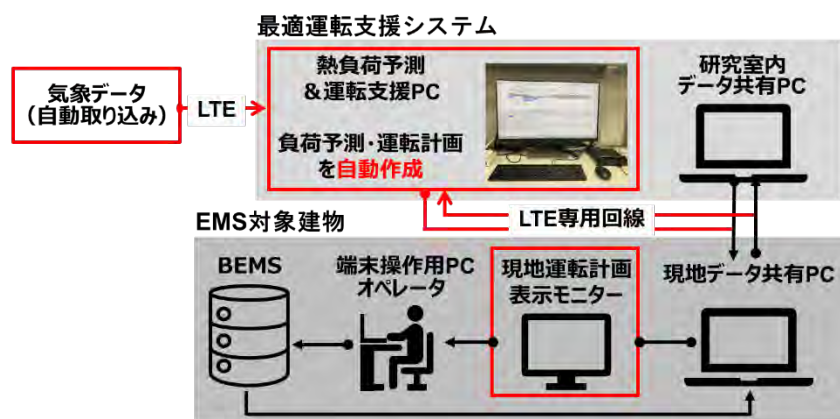


図 C1-12 製作最適運転計画ソフトを用いた運転支援システムの実証実験フロー

(3) 中小規模ビル用 EMS の研究開発

「中小規模ビル用 EMS」では、実証実験ビルに対して、建物電力データとテナント電力データ、室内環境データ、室外環境データを収集する外付け型 EMS 内のデータ収集装置を夏期から秋期にかけて段階的に設置し、夏期からデータを分析するとともに、計測されているテナント室内の二酸化炭素濃度に基づき、換気量を制御することで外気負荷を削減し、全熱交換器とビルマルチパッケージ空調機の省エネルギー制御の可能性を検討した。

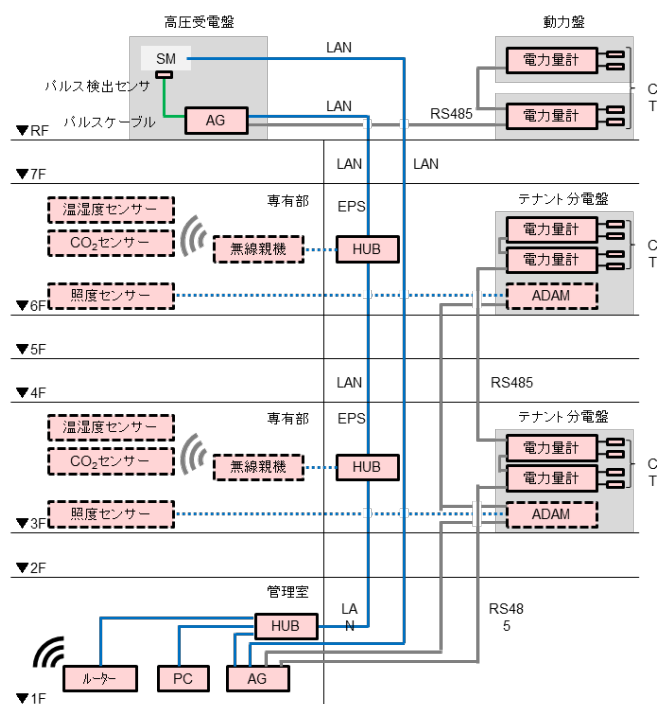


図 C1-13 外付け型 EMS 内のデータ収集装置の系統図

【既存資源を活用した EMS の開発と実装】：早稲田大学

「データマイニングを利用した不具合検知システムの開発」において、複数の統計・AI・機械学習アルゴリズムを活用し、実ビルBEMSデータの熱源系統の不具合検知システムの開発を行った。分析結果より不具合の可能性のある箇所が複数検知された。次年度に実ビルでの確認を予定している。

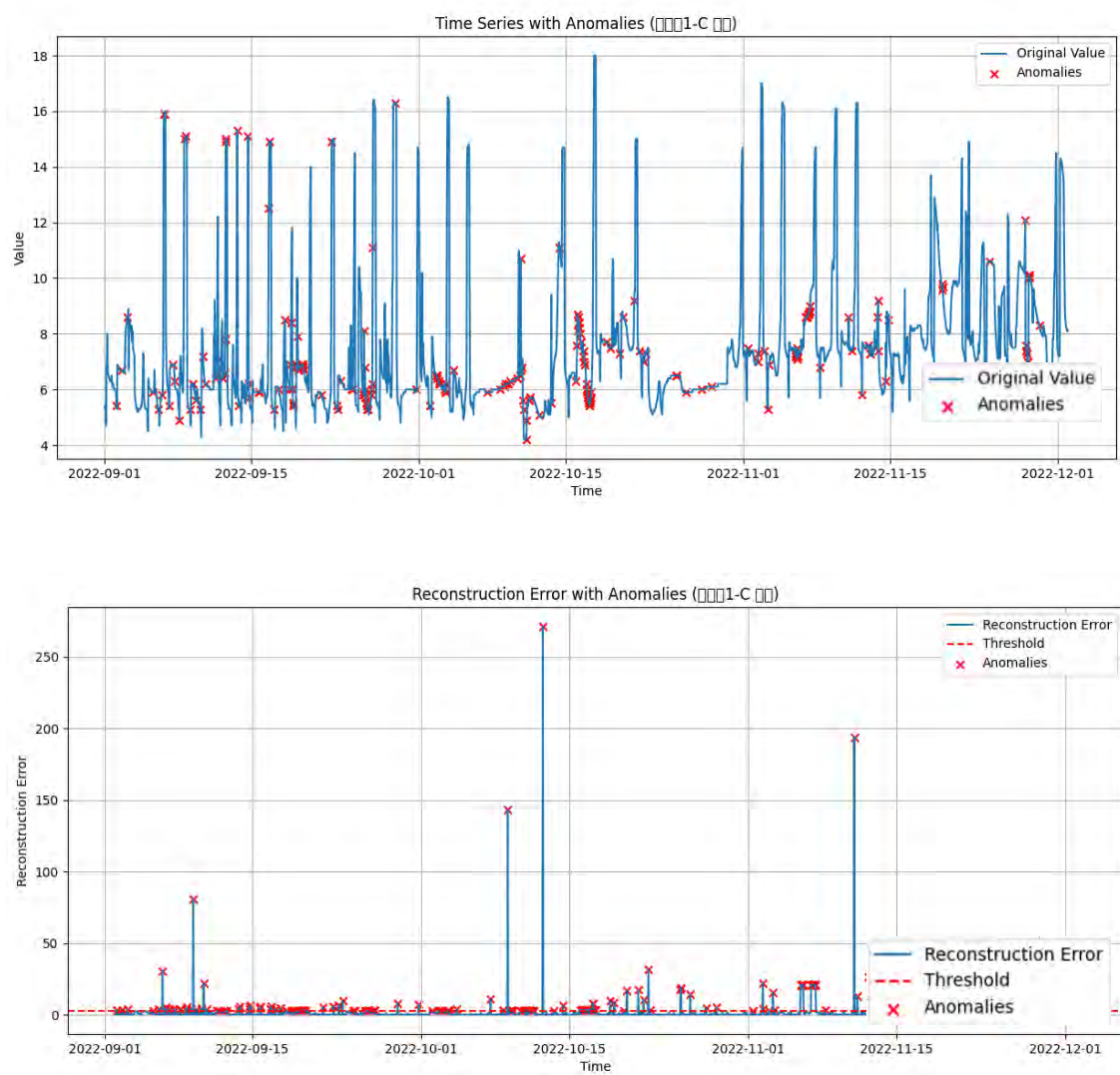


図 C1-14 LSTM モデルを利用した不具合検知（左：冷水槽温度 右：再構成誤差）

EV-DER盤



図7 EV-DER盤のシステム詳細図

システム構成図



図4 システム構成図

EV

表2 EVの仕様

モデル型式	日産リーフ
BT容量	40kWh
一充電 走行距離	322km (WLTCモード)

図5 EV

V2X

表3 V2Xの仕様

モデル型式	株式会社インテックモビル eLINK TP510-A (B03)
外形寸法	W400 × H1500 × D300 mm
定格電力	5kW (交流機)
ChAdemo2 V2H protocol	DC Ver. 2.1
通信方式	ETHERNET 100BASE-TX

図6 V2X

システム構成図



図4 システム構成図

「ナッジ機能を組み込んだ情報提供ネットワークシステムの構築」では、2023 年度に開発・設置した IoT デバイスから取得したデータを、Web アプリおよび LINE の通知機能を通じて執務者にフィードバックするシステムの開発を行った。このシステムの構築により、執務者に対して省エネ行動を促すナッジを活用したメッセージを配信することが可能となった。



118

事業所向けピークデマンドアラートを、モデルビルのエネルギー消費量に関する実績値データに対して適用評価を実施した。公開データを用いて適用評価した既往分析例では、ピークデマンドの発生頻度が多い事業所ほど精度が高いアラートができる傾向が見られたが、本モデルビルでの評価結果も同様の結果となった。

データを用いずに省エネを促進する情報提供設計について、一般世帯での介入を実施した際に、自身の職場など、自宅以外の事業所における省エネ意欲が有意に向上することを、インターネットアンケート調査によって確認した。

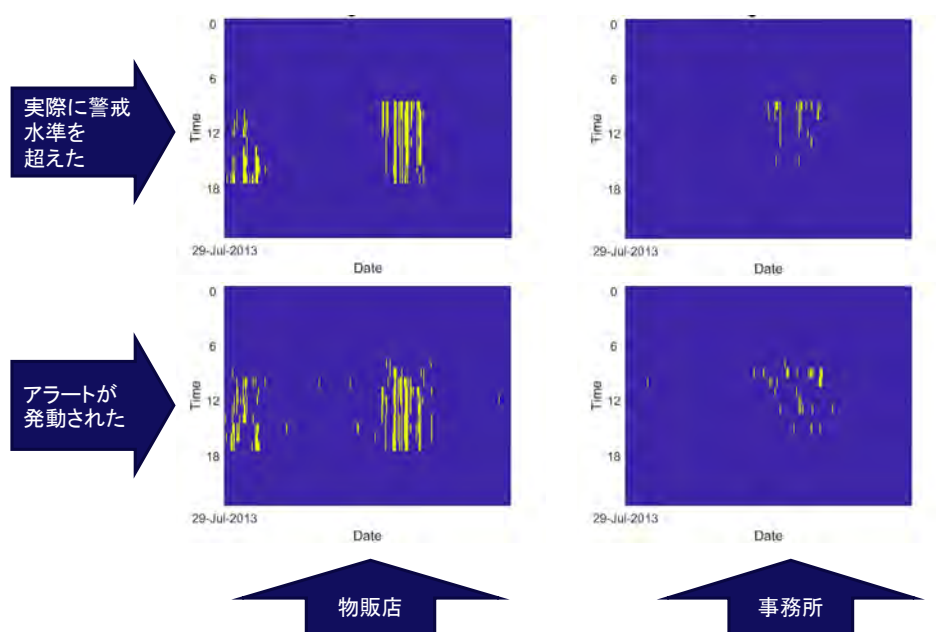


図 C1-16 モデルビルにおけるピークデマンドアラートの適用評価事例

(上段：実際にピークデマンドが生じた時期、下段：ピークデマンドアラートが発報された時期、
左：物販店における事例、右：事務所における事例)

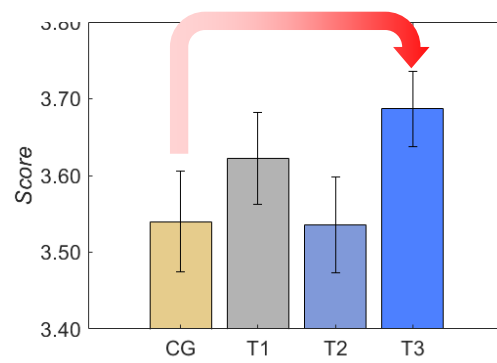
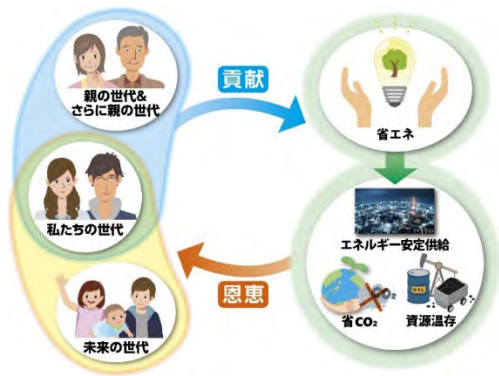


図 C1-17 提供したメッセージの例（左）と、「職場など自宅以外の場所でも省エネに貢献したいと思った」に対する回答

（右、CG:コントロール群, T1:経済的インセンティブを強調した群, T2:社会規範を強調した群, T3:ターゲット群）

（個別テーマ3）都市のデジタルツイン空間における統合的シミュレーション技術の開発

【未来都市シミュレータの開発と都市計画・エリマネへの展開】

未来都市のビジョンを総合的に検討することができるシミュレーション・プラットフォームを自治体の都市計画や開発事業者を含む多様な主体によるエリマネジメントに社会実装するために、日本橋地区及び豊洲地区において、ステークホルダーと連携して次の検討を行った。日本橋地区では、一般社団法人カーボンニュートラル・ウェルビーイング・ラボにおける議論と中小企業・建物所有者へのインタビュー調査に基づき、カーボンニュートラルに向けた「自助・共助・公助」の枠組みを提示した。豊洲地区では、東京大学及びジョージア工科大学の都市デザイン演習として、炭素マッピングや人流のデータを利用した地域戦略・計画を策定し、その内容について主要ステークホルダーと意見交換を行った。

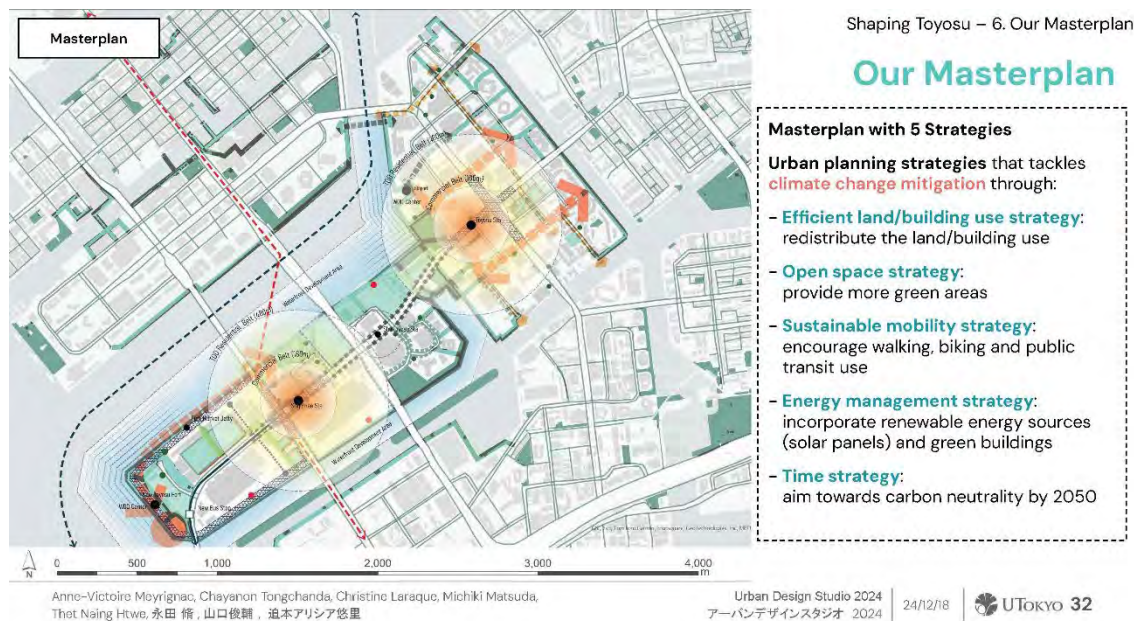


図 C1-18 豊洲地区の地域戦略・計画

【未来都市シミュレータの開発】

未来都市シミュレータの要素のモジュールとして、土地利用・住宅モデルを開発した。このモデルは、コーホート要因法に基づくモデルであるが、純移動率の推計に機械学習を取り入れ、予測正確度の改善を試みている点に特長がある。また、メッシュレベルの築年数データを活用して住宅についてもコーホート法を適用し、住宅ストックの増減と人口の増減が地価を介して時間遅れで相互作用する形の準動学型の人口推計モデルとなっている。これにより、将来の人口と住宅の空間分布に関するシナリオを3次元メッシュで推計可能となった。

モデルの予測正確度の検証のために、東京都市圏で過去の性・年齢階層別人口と各種説明変数を用いて本モデルをキャリブレートし、最新時点の人口を予測した。そして、予測結果を国土交通省による推計結果（国土数値情報）と比較した。分析の結果、特に移動の多い若年層（20代）や高齢層で顕著な改善が

見られた。

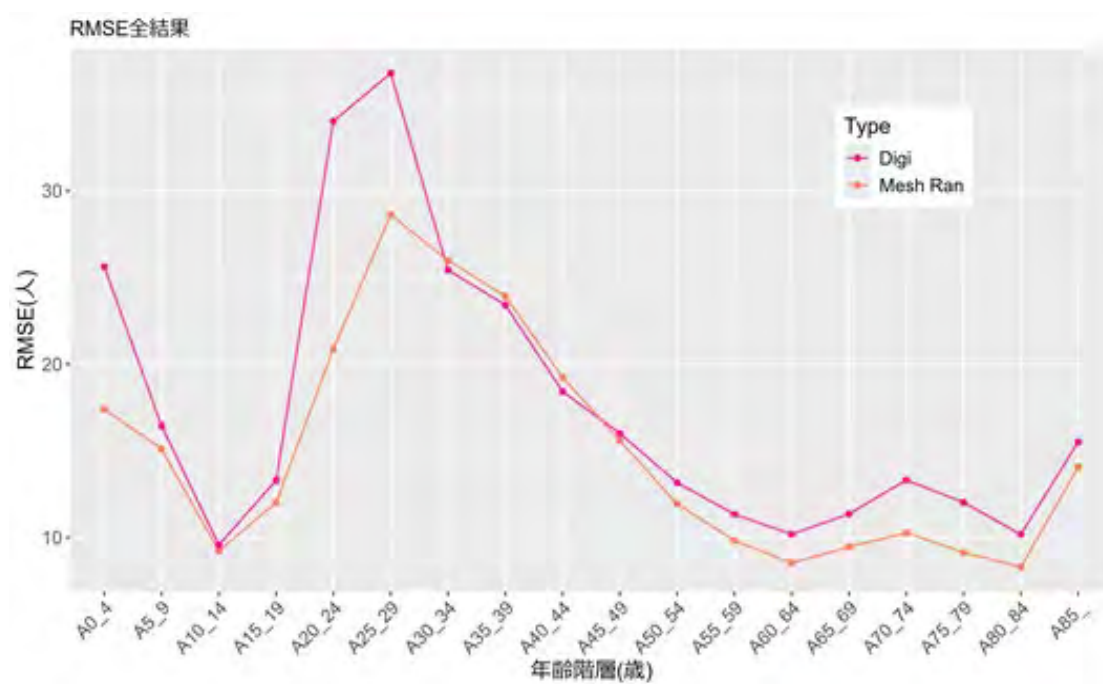


図 C1-19 人口推計における誤差評価結果（Digi：国土数値情報、Mesh Ran：本モデル）

【交通・建築物のエネルギー需給マネジメント手法の開発】

未来都市シミュレータの出力結果を空間詳細化してエネルギーの需給を推計するための手法を交通と建築物の両方について開発した。

交通に関しては、方向を考慮した状態空間モデルをベースとして、観測交通量と交通シミュレーション結果を突合して歩行者数や自動車数を空間詳細なメッシュ毎に推計する手法を開発した。疑似的な交通シミュレーション結果を用いてではあるが、開発手法を用いることで妥当な交通量の推計結果が得られることを確認している（下図参照）。

また、建築物に関しては、未来都市シミュレータに基づくマクロな将来推計結果が与えられた下で、個別建物毎の活動量を将来推計する手法を開発した。同手法は都市集積モデルを応用することで生産活動の空間的な集中・分散を表現するものであり、地域区分等の政策の影響が考慮できる手法となっている。

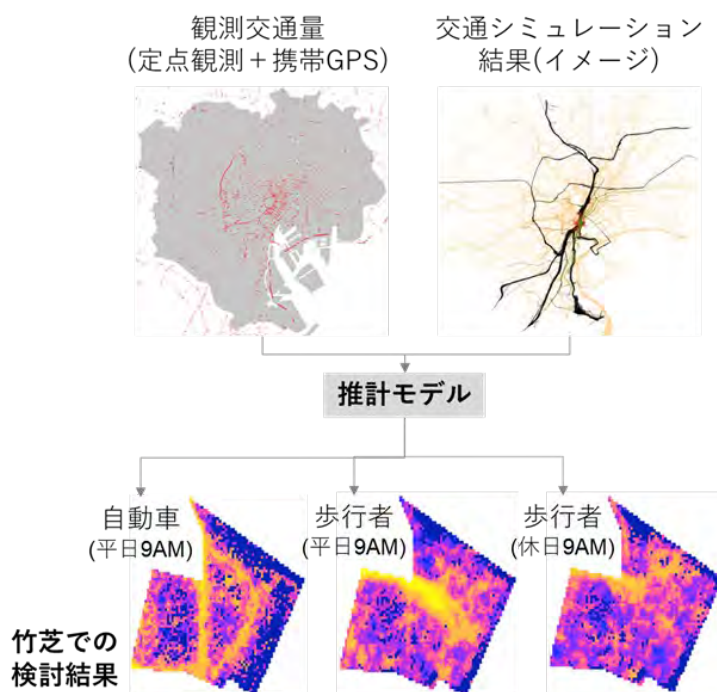


図 C1-20 観測交通量と交通シミュレーション結果の突合と、竹芝での出力結果

自動車密度は曜日にかかわらず主要道路沿いが多いと推定された一方で、歩行者密度は平日と休日で大きく傾向が異なると推定された。

【建築物のエネルギー需給マネジメントとスマートエネマネ支援システムの開発】

未来都市シミュレータ及び交通・建築物のエネルギー需給マネジメント手法による出力結果をデジタルツイン空間上に可視化する評価モデル及び時空間可視化システムのプロトタイプを構築した。

大規模時空間データの解析が可能なプラットフォームのプロトタイプとして、エネルギー需要の時空

間マッピングを行ったほか、昨年度に構築していた建物更新シミュレーションの結果と土地利用・建物特性との比較分析を行った（下図参照）。

また、スマメデータの再整備（1年分の低圧・高圧・特別高圧の30分単位、1kmメッシュデータ）を行い、柔軟に時系列・空間相関を表現可能な時空間統計モデルの検討を他サブテーマと行った。データ同化・時空間ダウンスケーリングを活用したインプット情報の調整、また、作成するエネルギー需要の時空間マップのアウトプットの工夫と活用について他サブテーマと調整するための準備を行った。

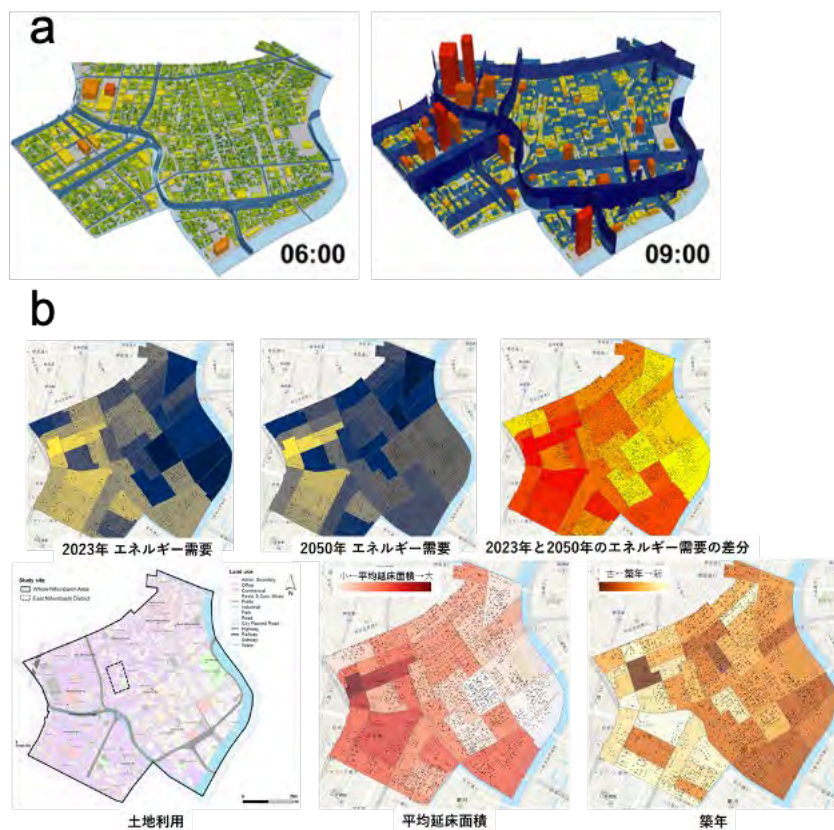


図 C1-21 東京都中央区日本橋地区を対象とした時空間可視化システムと評価モデルの例：

(a) 個別建物・道路のエネルギー需要の時空間マッピング

(b) 2023年と2050年のエネルギー需要変化と土地利用・建物特性との比較

【都市内の電気自動車(EV)の充電によるエネルギー需給シミュレーターの構築】

先進技術として選定した電気自動車への走行中給電のエネルギー需要検討のために車両の受電機会の検証を行った。車両の位置情報を活用する場合、計算時間が膨大になるため、車両の動作状況からの推定可能性について検証を行った。誤差はあるものの正規分布状となっていることから今後は誤差要因を明らかにすることで車両の動作状況からの推定精度向上をすることにより、高速計算可能なシミュレータの構築を目指す。

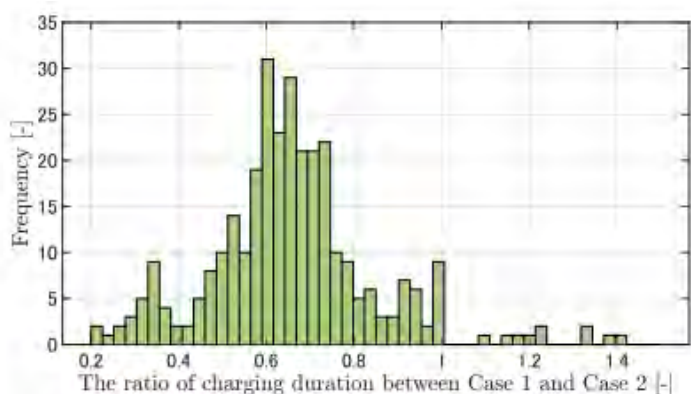


図 C1-22 分析方法による受電機会の違い(Case1 車両動作状況から推定、Case2 車両位置情報活用)

【地域エネルギーマネジメントの計画を支援する統合シミュレーションモデルの開発】

エリアエネルギーマネジメントのプロトタイプを構築し、テストサイトにおいて地域エネルギー供給事業導入の効果を算定した。この計算では、従来通りの各建物に分散した設備のシナリオと、再生可能エネルギーおよび電気自動車を導入し CO2 排出を削減するシナリオ、さらにエネルギーセンターを設置しデマンドレスポンスなどを含めたスマート制御のシナリオを想定し、再生可能エネルギー発電量や CO2 排出量などを比較した。この結果、例えば再生可能エネルギーと電気自動車の導入により年間 CO2 排出量は約 34%削減、スマート制御により年間 CO2 排出量は約 38%削減されることなどの結果を得た。これらの削減量の計算結果は設定シナリオに依存するため一般性のある知見とは言えないが、定量評価する手法を構築したことに大きな意義がある。

【環境改善・行動変容の促進とカーボンニュートラル・ウェルビーイング評価】

既存住宅におけるスマートエネルギーマネジメントを進めるため、住宅ストックの更新が問題となっている典型的な中山間地域の高知県梛原町で IoT 機器を導入したエネルギーマネジメントの試験的導入を試みた。横浜みなとみらい地区では、モビリティ移動/歩行移動のデータ解析を進めた。また、広場での人の位置情報に基づき、ポテンシャル場を用いた広場の人滞在モデルの作成を試みた。モデルの精度が悪かったため、考慮すべき要因を再度洗い出し、来年度は精度向上に努める。今後、これらの環境変容・行動変容の実験・分析をとおして、カーボンニュートラルとウェルビーイングの両立に重要な評価観点を抽出する。

【オフィス街区の脱炭素化に向けた地域エネマネのシミュレーション】

各種環境センサーを用いてビル環境因子のデータ取得を行い、ビル環境の快適性のパラメータ（因子の組合せ、数値の高低など）を検証した。

建物エネルギーモデリング（BEM）によるリビングラボのシミュレーションモデルの構築及び削減シナリオのテストを行った。

パッケージエアコンの運用改善により最大 10%の電力削減のポテンシャルを確認した。

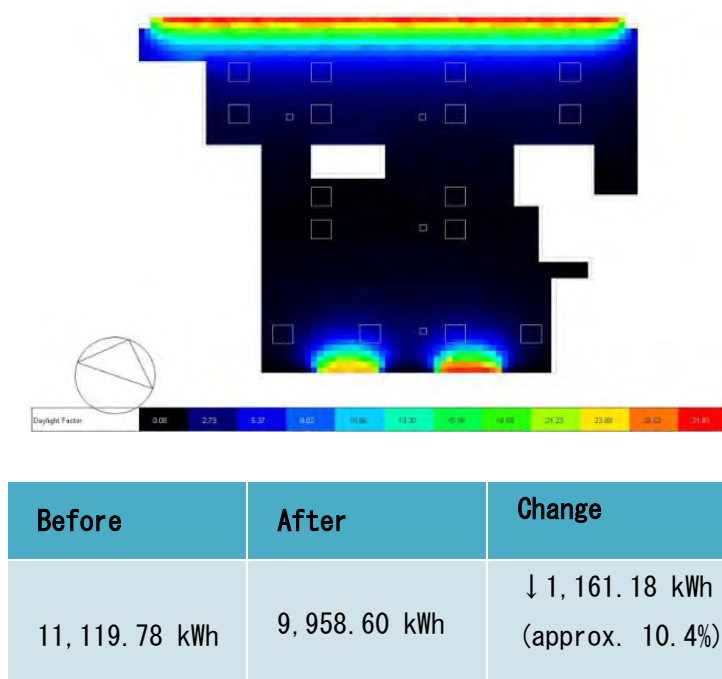


図 C1-22 建物エネルギーモデリング（BEM）DesignBuilder

各種環境センサーの設置

本社／リビングラボにデータロガー（温度、湿度）、エネゲージ（電流測定機）を設置し、エネルギー効率と快適な職場環境を両立するための最適な空調設定を見つける実験を行った。

アンケート調査の実施

上記、収集データ等を踏まえて、日本橋神田エリアに拠点を持つ企業への「省エネと働きやすい職場環境に関するアンケート」を実施。エリア内企業（20 社）の建物のデータとエネルギーマネジメントの現状の取組みや意識を調査により確認した。

カーボンニュートラルチャットボットの開発及び実験

LMX 理論に基づいた脱炭素化行動変容チャットボットを用いた実験を実施し、データ収集を行った。N 数を増やすなど検討余地はあるが、本研究で開発した脱炭素活動を促すプログラムは、脱炭素活動の導入を検討する中小企業へ行動変容を促し、従業員 **Well-being** を向上する方法の一つとして指針となることが分かった。

(7) C2 熱エネルギーマネジメントシステムの基盤技術開発と共通化

我が国においては、2030年代には、「IoTによりサイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を連携し、すべての物や情報、人を一つにつなぐとともに、AI等の活用により量と質の全体最適をはかる社会」としてのSociety5.0の早期実現が目指される。また、2030年までには「貧困に終止符を打ち、地球を保護し、すべての人が平和と豊かさを享受できる社会」を構築するのに必要な持続的開発目標としてのSDGsの実現が求められている。併せて、2050年にはカーボンニュートラルの実現が図られる必要がある。

カーボンニュートラルを実現するためには、分散再エネ電源や水素利用技術の大量導入が計画されている。これにより、供給側では、大幅なCO₂排出量削減が可能なことは間違いないが、電力供給体系が不安定化するのには必至である。一方で、需要側では、エネルギー消費の50%が熱であることを考えれば、電力と熱が混在する中で熱電のバランスを考えた脱炭素化が必須である。さらに、再エネ電源の自家消費、電力逼迫時や再エネ過剰時のDRによる供給側からの強制的指令等への柔軟な対応も求められる。

以上のような社会を実現していく中では、従来のような部分的な運用だけではなく、全体最適化を可能とする効果的なエネルギーマネジメントの導入を進めなければならない。このため、2020年12月発表のグリーン成長戦略では、EMSの確立が位置付けられている。このグリーン成長戦略のロードマップに記載された2026年から「EMSの自立商用フェーズとしての制度見直し」に入るためには、それまでに基盤技術を確立する必要がある、すでに待ったなしの状況にある。

EMSにおいて、電力系技術に対しては、デジタル化技術と親和性も高いため、EMSやそれと連携した新たなエネルギー需給体系化が産業、民生（業務、住宅）、運輸等の多様な分野で確実に進展し、社会実装の事例も増えてきている。

熱利用技術に関しては、例えば、熱利用技術の中核となるヒートポンプ関連技術の導入が進むと、2030年度には年約4千万トン、2050年度までには年約1億3千万トンもの大幅なCO₂排出量削減効果が試算されており、熱の有効利用がカーボンニュートラル社会実現のキーとなっている。また、ヒートポンプ技術が適用されている空調技術だけでも世界の市場規模は20兆円程度であり、2030年までには、30兆円程度まで増加する試算もあるほどの成長市場であり、我が国の一企業が世界一の売上を誇る分野でもある。

一方で、熱利用機器単体としては、熱力学的に性能の維持・向上における困難さを増してきており、DXを活用してシステム連携や統合を実現し、再生可能エネルギーや未利用エネルギーをトータルしてシステムとして上手に活用していくことが必須である。しかし、熱利用技術では、ハードウェア側が極めてアナログ的であるため、技術の進展も遅く、デジタル化技術の適用も容易ではないことにより、ソフトウェア技術とハードウェア技術の進展がミスマッチをおこし、EMS等を活用した熱利用技術全体としての、効率的活用や全体最適化が進みにくい。

そこで、本研究開発テーマでは、熱も含めたEMSの実用化に向けての課題を整理し、ソフトウェアとしてのEMSだけではなく、ハードウェアとしての機器やセンサも含めて異業種、異システムが連携可能な熱も含めたEMSプラットフォームを構築する。このプラットフォームを活用して今後大幅に利用が増大する再生可能エネルギーの導入も踏まえたうえで、熱も含めたエネルギーの有効利用を実現する。こ

れに加えて、コロナ感染症拡大防止や異常気象対策、食品ロス低減、冷媒漏洩対策等の急変する社会的要請にも応えうる総合的技術として社会実証まで進める。同時に、これまで不明瞭であった EMS 導入効果の「見える化」を促進する予測・検証体制まで含めたエコシステムを構築し、柔軟で強靱なエネルギー需給体系を実現した未来社会像の早期実現に貢献する。

① 研究開発目標

(事業期間の 5 年間で達成する研究開発目標)

社会実証試験を通じて上記エコシステムが効果的に機能することを確認するとともに、このエコシステムを活用した具体的な熱の EMS の効果を実証することが最終的な目標となる。このために、エコシステム内の構成要素についても次のような水準まで到達することを目標とする。

i. 熱の EMS プラットフォーム

- ▶ EMS 層 (【EMS アプリケーション】、【IoT インターフェース】)
センサや機器の運転情報から、評価指標に基づいて機器運用をマネジメントする EMS アプリケーションを具体化し、モデル実験や社会実装を通じてその効果を実証する。
- ▶ ハードウェア層 (【機器群】、【センサ群】)
エアコン、冷凍機、給湯機をはじめとした熱源機器や貯湯槽といった機器から構成される。EMS 上位層が要求する制御信号を提供する機器側のメリットを明確化することによって、必要なデータを分類し、機器側が出力すべきパラメータを特定し、一般化する。効果的な EMS が実現できる制御信号の範囲や、熱量等の出力信号を明確化し、機器に具体的に搭載可能とする。
- ▶ 評価指標
アプリケーション層を運用する際の評価指標は、CO₂ 排出量の評価が主となるが、快適性や食品ロス、廃棄物等間接的に CO₂ 排出削減に影響が与えられる因子を含めて効果的となる指標を構築する。

ii. デジタルツインプラットフォーム

▶ 仮想 EMS

仮想 EMS は基本的には、現実の EMS と同様となる。逆に同様とすることによって、はじめて社会実装された現実の EMS 導入効果の「見える化」、予測・検証が可能となる。具体的には、下記、シミュレータと接続し、デジタルツインとしての構成が可能となることを確認する。

▶ シミュレータ

機器やセンサの駆動を疑似的に模擬できるためのシミュレータを開発する。シミュレータについては全くの新規開発ではなく、例えば大学等で構築してきた産業用ヒートポンプ統合シミュレータも含めて、既存のシミュレータをベースとしてデジタルツインへの適用を可能とする技術要素の開発を進める。オープン化されたインターフェースとの接続方法を一般化し、多様なシミュレータが参画できるようにもする。

▶ 機器性能検証技術

そこで、高精度に運転データを取得するとともに、機器側から EMS 側に提供可能な熱量等の情報を明確化し、その精度等を明らかにしていく。また、シミュレータの妥当性を検証可能な方法論を構築し、多様なシミュレータが活用可能な形とする。

iii. 実証

以上のようにエコシステムのそれぞれの構成要素を構築するとともに、プラットフォームのルールに基づいてハードウェア層と EMS 層を具体的に連結し、社会実装の中でその運用を実証する。また、デジタルツインによって、EMS の効果を予測するとともに、見える化し、EMS の効果を検証する。これによって、構築するエコシステムの有効性を実証する。

(KPI/マイルストーン)

i. 熱の EMS プラットフォーム

2025 年度までに連成制御システムを開発し、機器の外部制御動作を確認 (TRL5) 《達成目標 c-2》

2027 年度までに EMS と機器との連成運転を確認 (TRL6) 《達成目標 c-2》

ii. デジタルツインプラットフォーム

2025 年度までにデジタルツインを構成可能なシミュレータを開発し、実証システムの代表的な運転条件における CO₂ 排出量を評価し、従来システムと比較して 20%~30% 減の達成可能性を確認 (TRL5) 《達成目標 c-2》

2025 年度までにまた、デジタルツインプラットフォームの事業化可能性の確認 (BRL2)、既存制度のボトルネックの特定 (GRL3)、社会受容性を高める制度の提案 (SRL4)、人材育成計画の妥当性確認 (HRL4) を、各々 1 件以上行う。

2027 年度までに EMS とシミュレータによるデジタルツインの動作を確認 (TRL6) 《達成目標 c-2》

2027 年度までに社会実装の妥当性の確認 (BRL3)、新たな制度・ルールの提案 (GRL5)、初期コミュニティに製品・サービスの受け入れ確認 (SRL5)、人材育成の実施 (HRL6) を、各々 1 件以上行う。

iii. 実証

2025 年度までにラボ内での機器の外部制御動作やシミュレータの動作を確認 (TRL6) 《達成目標 c-2》

2027 年度までにフィールドでの EMS 連成運転、デジタルツインの動作を確認。実運用における CO₂ 排出量を評価し、従来システムと比較して 20%~30% 以上の削減を確認 (TRL6) 《達成目標 c-2》

② 実施内容

熱のデジタル化を促進し、デジタル化を可能とするハードウェアとしての機器やセンサを開発するとともに、異業種、異メーカーシステムの連携促進を可能とする EMS としてのソフトウェアまで含めた熱の EMS プラットフォームを構築する。このプラットフォームに対して、デジタルツインプラットフォームを活用した EMS 導入効果の「見える化」や効果の予測・検証体制まで含めたエコシステム(図 C2-1)を構築する。

そして、再生可能エネルギーの大量導入時の対応や、急変する社会的要請にも柔軟に対応可能な強靱なエコシステムとして具現化する。また、具体的事例に対してこのエコシステムを活用した熱の EMS を導入するとともに、社会実証実験まで行い、エコシステムの有効性と具体的な熱の EMS の効果を実証する。

なお、本個別テーマでは、熱を含めた EMS の開発を加速するために、熱利用を主な対象としているが、将来的には、熱、電気、水素等のエネルギー需給全体の最適化に向けても展開可能な基盤技術化を念頭に入れた研究開発を目指していることを付記しておく。

構築するエコシステムは、図 C2-1 に示すように具体的にエネルギーマネジメントを行う「熱を含めた EMS プラットフォーム」とエネルギーマネジメントの効果を予測・検証する「デジタルツインプラットフォーム」を主として構成される。具体的には、「熱を含めた EMS プラットフォーム」は、下記を構成要素とする。

EMS 層（「EMS アプリケーション」、「IoT インターフェース」）

機器の運転をつかさどるソフトウェア層である。具体的にセンサや機器の運転情報から、評価指標に基づいて機器をリアルタイムに最適に運用したり、機器の運転状況を「見える化」したりする「EMS アプリケーション」、通信プロトコルによってデータの送受信を行い、データの管理や必要に応じて蓄積等を行う「IoT インターフェース」から主として構成される。なお、今後、電力供給サイドからの DR 等の要求にも対応可能としておく。

ハードウェア層（【機器群】、【センサ群】）

エアコン、冷凍機、給湯機をはじめとした熱源機器や貯湯槽といった機器群と、温度、流量、湿度、圧力、CO₂濃度等のセンサ群から構成される。

評価指標

EMS が機器を運用する際の指標となりうるものであり、当然 CO₂排出量が主たる評価対象となる。ここでは、CO₂排出量の削減ばかりに力が注がれ、おろそかにされがちな換気や快適性、食品ロス、廃棄物等の環境因子による EMS 運用への制約条件の設定も行うこととなる。これらを加味してトータルで各社会領域に対して効果的な評価指標を設定する。

「デジタルツインプラットフォーム」については、仮想 EMS とシミュレータ、さらには、機器性能検証技術から構成される。

仮想 EMS

基本的には、熱の EMS プラットフォームにおける EMS 層と同様となる。同様とすることによって、機器やセンサの仮想運用を可能とするシミュレータと接続することによって、EMS によるエネルギーマネジメントの効果の前もった予測や、運用データとの比較による EMS 運用の効果を「見える化」することが可能となる。

シミュレータ

機器群やセンサを群の挙動を疑似的に模擬することを可能としたソフトウェアである。これらを仮想 EMS との接続することにより、疑似的に EMS の動作を予測・検証することが可能となる。

機器性能検証技術

熱利用機器については、シミュレータの開発が容易ではない。とりわけ、空気を熱輸送媒体とするエアコン等に対しては、機器の時々刻々変化する動的な交換熱量や効率を評価する手立てすら構築されていない。そこで、機器の動的運用データの取得やシミュレータの妥当性を評価・検証する方法を構築する。

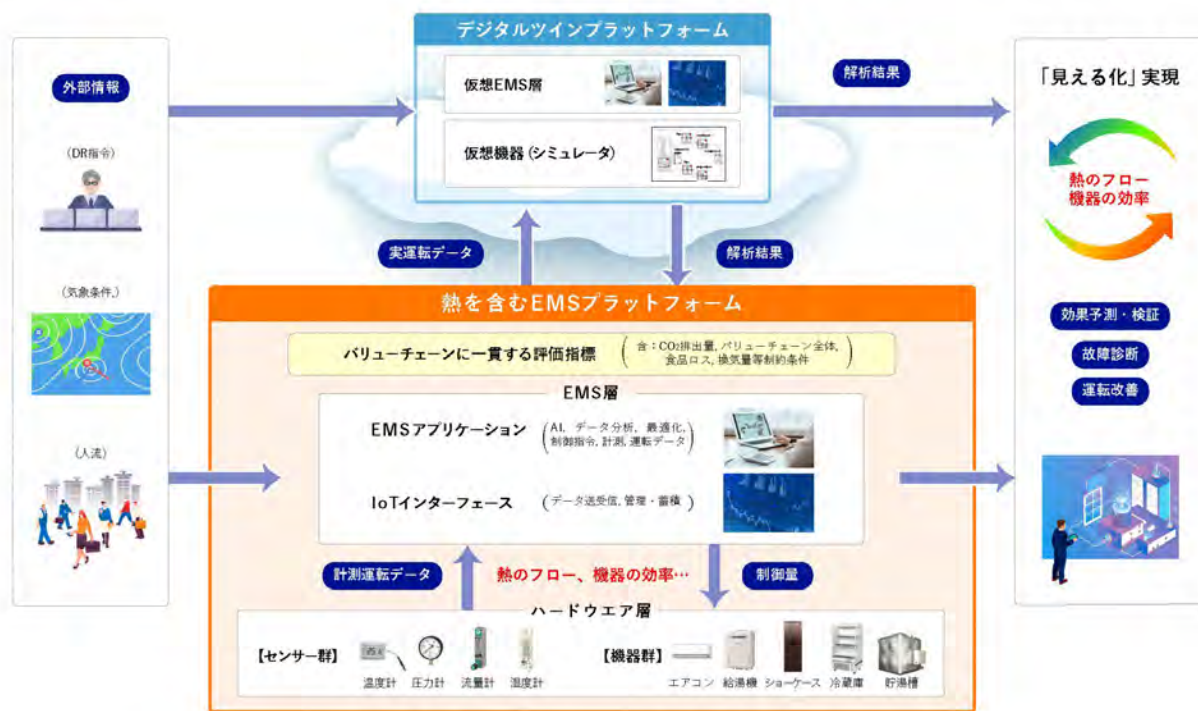


図 C2-1 構築するエコシステム

③ 実施体制

研究開発責任者：

齋藤 潔（早稲田大学 理工学術院 教授）

参画機関：

株式会社 NTT ファシリティーズ、ダイキン工業株式会社、三菱重工サーマルシステムズ株式会社、三菱電機株式会社、ダイナエア株式会社、富士電機株式会社、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構、株式会社前川製作所、東京電力エナジーパートナー株式会社

④ 研究開発に係る工程表

個別テーマ	初年度 (2023.7～ 2024.3)	2年度 (2024.4～ 2025.3)	3年度 (2025.4～ 2026.3)	4年度 (2026.4～ 2027.3)	最終年度 (2027.4～ 2028.3)
個別テーマ1 「カーボンニュートラルキャンパス」 ・カーボンニュートラルキャンパスの統合EMS	情報収集方法検討	評価分析システム構築・評価分析実施		社会実装・改良・効果検証	
・潜熱熱分離空調方式のEMS	機器設置・動作確認	機器モデル検証・EMS構築と評価		社会実装・改良・効果検証	
・セントラル空調システムのEMS	データ授受方法・システム運用方法検討	機器・EMS動作確認		社会実装・改良・効果検証	
・ウェルネス配慮型省エネ空調換気のEMS	機器設置・動作確認	最適システムの検討		社会実装・改良・効果検証	
・外調機連成調湿空調方式のEMS	機器・EMS開発	EMS・デジタルツイン動作確認		社会実装・改良・効果検証	
個別テーマ2 「持続的脱炭素農業・コールドチェーン」 ・小売店舗のEMS	機器設置・動作確認	システム化検討		社会実装・改良・効果検証	
・サプライチェーンに一貫する総合評価手法	機器設置・動作確認	EMS・デジタルツイン開発と動作確認		社会実装・改良・効果検証	
個別テーマ3 「多角的活用ヒートポンプ」 ・産業用ヒートポンプのEMS	最適制御検討・需給調整検討・エネルギー使用量調査・蓄熱システム検討			社会実装・改良・効果検証	
・集合住宅用ヒートポンプのEMS	運用シミュレーション	運用システム構成の検討・定義		社会実装・改良・効果検証	
個別テーマ4 「共通化技術」 ・EMSの総合評価	機器設置・動作確認・デジタルツイン設計とソフト開発	動作確認・分析評価		社会実装・改良・効果検証	
・EMS導入効果分析	分析手法調査	モデル実験との連携	社会実装にむけた分析手法開発		社会実装における効果分析

図 C2-2 工程表

⑤ 予算配分額

2023 年度：200 百万円

2024 年度：200 百万円

2025 年度：200 百万円

⑥ 過年度までの進捗状況

(個別テーマ 1) カーボンニュートラルキャンパス

早稲田大学西早稲田キャンパスにおける 4 種類の空調機器・設備の実証試験に向けて、前年度に引き続き実証設備の設置を進めるとともに、機器・設備の性能計測内容、蓄熱槽を含めた熱源システムの運用方法等について検討を行い、設置が完了した機器については、運転試験を開始した。また、実証システムの総合的な計測・監視・制御を行う統合 EMS (図 C2-3) を設計し、その構築を進めた。さらに、新規導入システムと従来システムとの比較により、年間の CO₂ 排出削減効果を試算した。

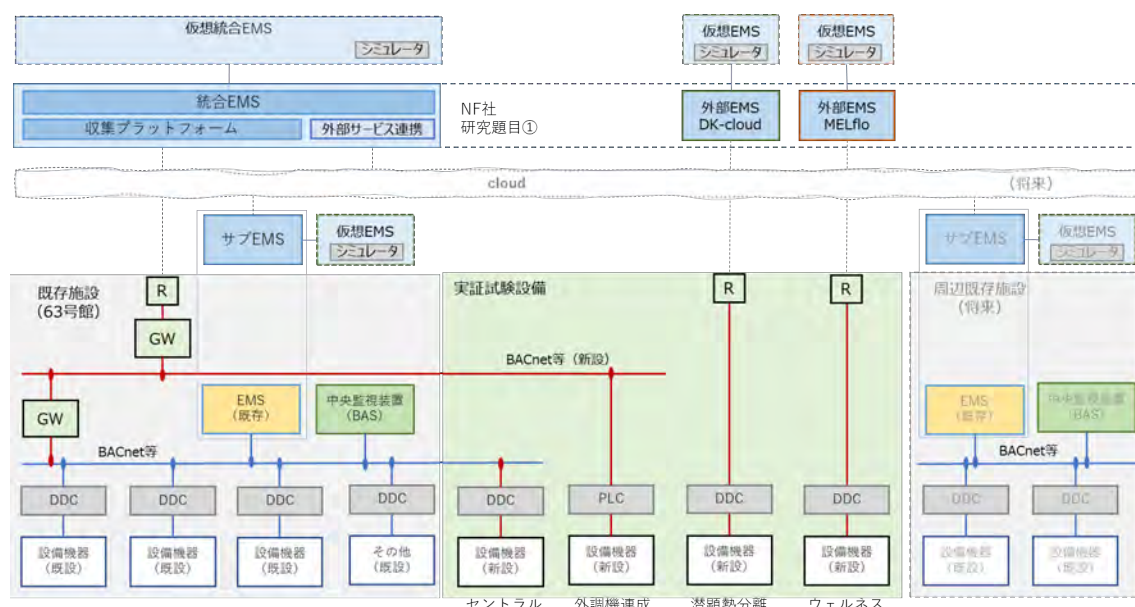


図 C2-3 統合 EMS の全体像と実証試験設備

(個別テーマ 2) 持続的脱炭素農業・コールドチェーン

コールドチェーンの構成要素のうち最も下流に位置する小売店舗における EMS の実証研究を行うため、早稲田大学の建物内に模擬小売店舗 (図 C2-4) を建設し、模擬店舗内の機器の制御と消費電力モニタリングするための監視制御システムと、店舗環境の快適性指標を計測するシステムを構築した。エネルギー消費評価のベースとなる模擬店舗全体の熱収支を評価するとともに、CFD 解析により模擬店舗内の気流と温度分布を分析し、エネルギー消費を削減する方策を検討した。

グリーン・バリューチェーンプラットフォームの構築に向けては、冷凍・冷蔵ショーケースと太陽光発電・蓄電池システムを組み合わせることで再エネ電力の地産地消率を高めると共に、農水産物の高品質化やフ

ードロス削減につなげるためのシステムを設計した。また、活動記録管理（Work Chain Management）システムと LCA データベースとを組み合わせ、食品のカーボンフットプリントを算出する方法論を検討した。



図 C2-4 模擬小売店舗

（個別テーマ3）多角的活用ヒートポンプ

産業用ヒートポンプに関して、熱の EMS を構築するのに欠かせない 100°C 以上の高温蓄熱システムの開発を進めた。市販の 120°C 蒸気発生ヒートポンプと $120^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ で使用可能な潜熱蓄熱材（新規開発）とを組み合わせたモデル試験装置の構築に向け、蓄熱システムの設計と製作を行い、高温蓄熱システム試験装置を完成させた。

住宅用ヒートポンプに関して、ヒートポンプ給湯機の沸き上げ時刻を、夜間から昼間にシフトさせた場合の熱エネルギーロスの削減効果と、複数住宅の沸き上げ集中により発生するピーク電力の低減効果を計算するシミュレーションソフトウェアを開発した。このソフトウェアを用いて、ピーク電力の低減効果と、昼間の太陽光発電電力の利用による CO_2 排出削減効果を確認した。また、2025 年度からの実証設備構築に向け、遠隔からヒートポンプ給湯機のわき上げを制御するためのシステム構成の検討を行った。

（個別テーマ4）共通化技術

個別テーマ1のための実証試験機器・設備の仕様を検討し、統合 EMS、潜熱熱分離空調、セントラル空調、外調機連成調湿空調の設置を行った（一部、2025 年度に工事完了）。また、デジタルツインの構築に向けて、実証機器の構成を検討して、それに適合するようシミュレーションモデルを開発した。外部有識者からなる委員会を運営し、熱を含む EMS プラットフォームの構築に向けた検討を行うと共に、共同研究開発機関メンバーによる各種会議を開催し事業全体を統括した。さらに、本研究開発テーマに対する XRL の5つの視点による事業評価、ピアレビューへの対応、マッチングファンドによる事業展開の検討、

テーマ間連携の活動を実施した。

(8) C3 産業用スマートエネルギーマネジメント連携システムの開発と実装

日本の国策としての 2050 年におけるカーボンニュートラル実現のためには、化石燃料に依存するエネルギーミックスを、段階的に、かつ、速やかに再生可能エネルギーを中核としたシステムへと移行させる必要がある。これはすなわち、長期にわたる連続的な投資計画問題である。ターゲットとする 2050 年の理想的なエネルギーミックスへの変遷を合理的に最適計画問題として定義し、対応する必要がある。これに対して、エネルギーミックスの構成要素の技術的な進展や、地政学的な影響による突発的なエネルギー価格の高騰等にも、柔軟に対応した投資計画の持続的修正を含むスキームを設定する必要がある。

産業界においても、生産物におけるプロダクト工場内に、積極的なエネルギー生産・消費・貯蔵設備への個別の投資が図られると期待されるが、地域の特性に応じた合理的な投資を促すためにも、その地域が目指すべきエネルギーミックスのグランドデザインを共有し、地域のエネルギーミックス構築に貢献することが期待される。同時にサプライチェーンを含めてのカーボンニュートラル実現に必要な仕組みづくりが急務である。ウクライナ問題や円安の進展により、エネルギー価格高騰が企業経営上、死活的な課題となっている。

複数事業社の所有する産業用エネルギー生産、貯蔵及び利用設備を協調させ、地域の再生可能エネルギーを利活用する最適運用を実現するしくみを作る。具体的には、産業界の要求事項を満足する共通モデルを構築し、共通モデルを実現する研究テストベッドを大学に構築する。産業界の立場としては、カーボンニュートラル実現環境等、新たな仕組みづくりを試行する環境を工場内に喫緊に構築するのは、事業遂行の観点から困難を伴っているため、当該課題では公的な大学という場に、企業が共通に活用可能なテストベッドを構築することを目的とする。このテストベッドを産業界に広く開放し、産業用 EMS の連携に関わる必要要件を明確にする。これにより、産業界での DX を推進する人材育成の場としての機能を提供する事が期待される。一方で基盤的な研究開発項目として、大規模な数理最適化問題を高速に解くため、デジタルアニーリング等の組み合わせ最適化問題専用のハードウェア開発の成果を反映させることで新しいモデリング手法の構築等の取組を推進する。さらに、日本発で連携システムインターフェース (I/F) の国際標準規格概要を作成することで、日本の産業界の国際競争力を強化する。

① 研究開発目標

(事業期間の 5 年間で達成する研究開発目標)

産業用のエネルギーマネジメントの標準化においては、現状の日本から提案した IEC63376:2023 のとおり、事業所内部での基本機能は整理されているが、電力以外のエネルギー流通にかかわる情報モデルは確立されていない。燃料・熱・電力のうち、電力はスマートグリッドに関わる技術仕様書・IEC/TS 62872-1:2019 等で、いくつか提案され、現在も改定作業が進められているが、燃料・熱といったエネルギー資源の流通に関しては、まだ検討レベルであり、TRL 技術成熟度レベル 2 相当 (技術要素の適用・応用範囲の明確化) の段階である。

本研究開発では TRL 技術成熟度レベル 5 相当 (産業用スマート EMS 連携システム実装先工場 (ユーザ) を想定した概念実証を完了し、実装先工場での実証開始) を最終年度で達成することを目指す。GHG

削減に寄与するような具体的なアプリケーションを設定して、大学に構築したテストベッドとの通信を、実プラント間で実施する。これにより設定した目標の達成度を評価する。なお、本研究開発の達成目標の評価指標は、産業用セクターにおける GHG 排出量の基準年に対する削減率とする。

(KPI/マイルストーン)

- ▶ 2025 年度までにシステムの整合性評価の目的で活用するための、共通モデルを実現する研究テストベッドを大学に構築し、DATA 連携基盤に接続する、等の一部の技術に関しては TRL4 相当実証（研究室初期テスト、概念実証）を完了する。(TRL4) 《達成目標 c-3》
- ▶ 2025 年度までに大規模数理計画問題を実時間で解を得るための具体的なアルゴリズムの実行可能性を評価する。(TRL3) 《達成目標 c-3》
- ▶ 2025 年度までにテストベッド構築を通し、「産業用スマートエネルギーマネジメント連携システム」の I/F の国際標準規格概要に必要な要素を検討し、概要作成が完了する（標準モデルの構築、FEMS を接続するための標準モデル間の I/F）。(GRL4) 《達成目標 c-3》
- ▶ 2025 年度までに、DATA 連携基盤に接続する、等の実用最小限の初期テストにより、産業用スマートエネルギーマネジメント連携システムの事業モデルの有用性の確認作業を完了する。(BRL4) 《達成目標 c-3》
- ▶ 2027 年度までにラボ内のテストベッドによる実証・評価を完了する（ラボに設置したテストベッドと、実装先工場を想定した情報モデルとの間でラボ内のテストベッドと通信し、想定するいくつかの概念実証で評価した結果を評価する）。(TRL5) 《達成目標 c-3》
- ▶ 2027 年度までに I/F の国際標準規格について、ラボに設置したテストベッドと、実装先工場を想定した情報モデルとの間での実証・シミュレーションを通してその有効性特定を完了する。(GRL5) 《達成目標 c-3》
- ▶ 2027 年度までに想定顧客のフィードバックテストを完了する。初期ユーザーに、製品・サービスの提供による事業モデルの妥当性実証を開始。(BRL5) 《達成目標 c-3》

② 実施内容

2050 年におけるカーボンニュートラルを実現するため、複数事業社の所有する産業用エネルギー生産、貯蔵及び利用設備を協調させ、地域の再生可能エネルギーを利活用する最適運用を実現するために必要な技術の実現性、事業性及び社会受容性を評価する。これにより、産業用スマートエネルギーマネジメント連携システムの技術開発における課題の成立性を検証する。

具体的には、「工場間のデータ連携を標準化することで、産業セクターの保有するエネルギー資源を全体最適化する」為に、以下要求に対応する技術開発を実施する（図 C3-1）。

- i エネルギー関連データ及び需要・供給の予測
- ii 気象データ等を用いた再生可能エネルギー出力の予測
- iii 事業環境変化に応じた生産計画の自動更新

- iv 情報通信技術を利用した FEMS の工場間エネルギー資源有効活用による、生産スケジューリングの最適化
- v FEMS の連携により近隣地域の GHG 削減に寄与する事業運営が可能になる

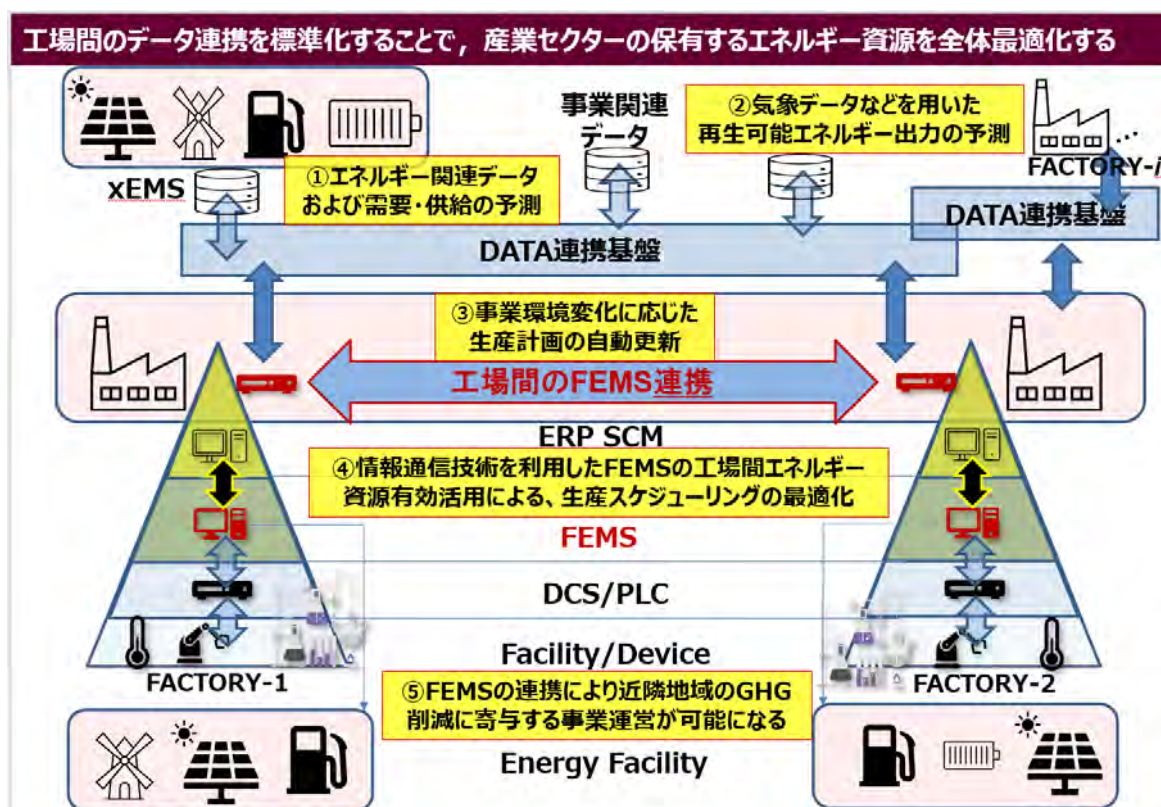


図 C3-1 本テーマの研究開発項目

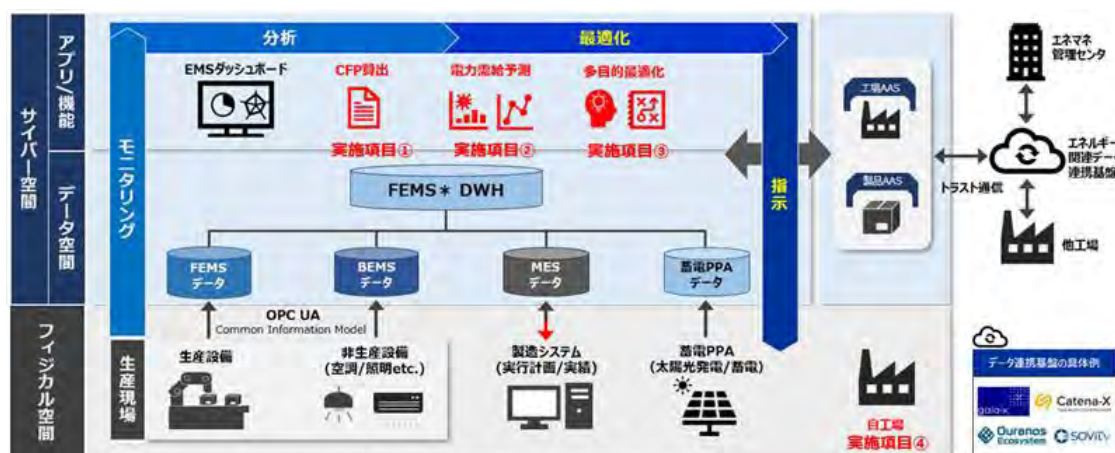


図 C3-2 本テーマの研究開発イメージ

③ 実施体制

研究開発責任者：

天野嘉春（早稲田大学 理工学術院 教授）

参画機関：

オムロン株式会社

④ 研究開発に係る工程表

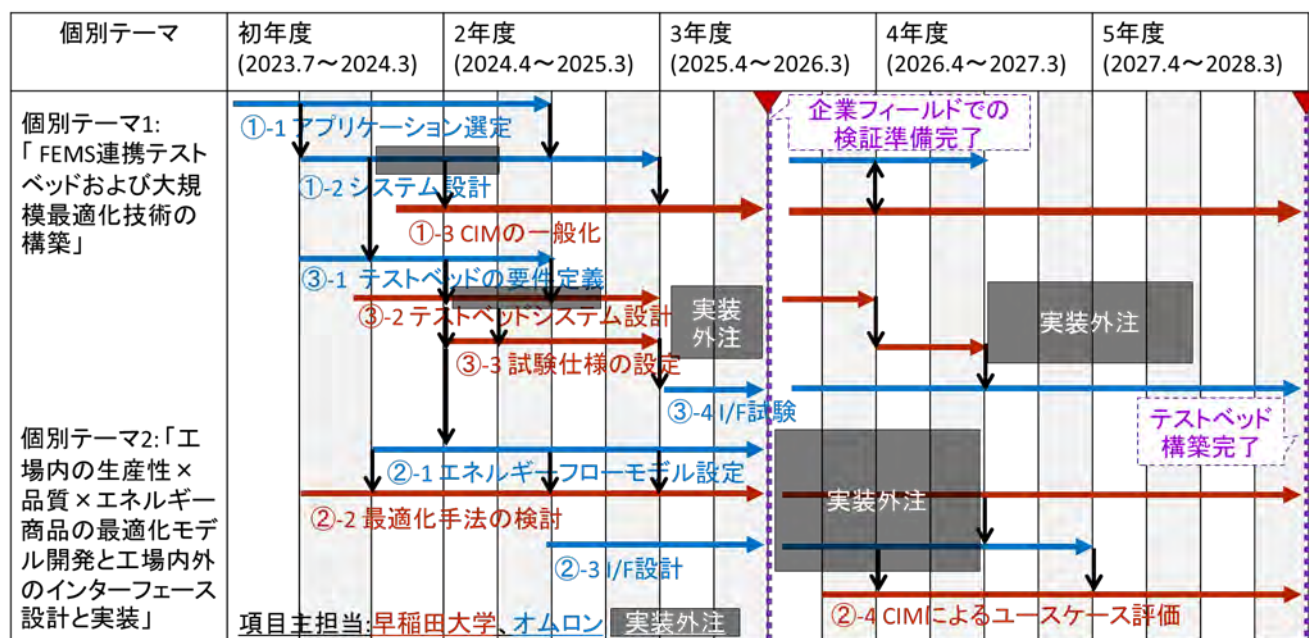


図 C3-3 工程表

⑤ 予算配分額

2023 年度：60 百万円

2024 年度：60 百万円

2025 年度：60 百万円

⑥ 過年度までの進捗状況

（個別テーマ1）「FEMS 連携テストベッドおよび大規模最適化技術の構築」

（1-1）「FEMS 連携テストベッドの構築」

産業用 EMS (Energy Management System) デモンストレーション用アプリケーションの共通情報モデル一般化の検討を継続し、テストベッドの機能要素とその構成を決定した。テストベッドに組み込む機能として、ある生産設備を持つ工場に必要なエネルギーの需要と外部へ供給可能な余剰エネルギーを計算可能な情報モデルを開発した。なお、データ連携基盤に関しては、政府で Ouranos ecosystem 等の取り組みも進められていることから、研究会にて検討した。エネルギーマネジメントと GHG (温室効果ガス) 排出量管理を自動化するための仕組みについて以下の項目を実施した。工場用 AAS (Asset Administration Shell) に関する、Scope 1, 2 値の一般的な記録形式を検討したテストベッドに Scope 1, 2 値の算出ロジックを組み込んだトラストなデータ連携基盤に関して、連携する複数工場の Scope 1, 2 値を活用するため、テストベッド間のトラストな通信コネクタによる基礎実験を実施し、通信要件を整理した国際標準化活動団体 (一般社団法人 電子情報技術産業協会 WG1: 連携制御内 FEMS 標準化 TF、および IEC TC65 国内委員会) で標準化すべき内容の検討を継続実施し、関連企業の協調領域を確認し、日本提案の次期策定方針を明確にする作業を実施した。

(1-2) 大規模最適化技術の構築

熱システムのシステム適用先については具体的な評価シナリオを検討し、FEMS (工場設備用 EMS)・BEMS (ビル用 EMS)・xEMS (再生可能エネルギー用 EMS) 連携の効果を例示した。単一セグメントだけをマネジメント対象とする単純な FEMS の機能に加え、複数セグメントを統合する機能の重要性を例示した。この成果は国際会議 (Inoue, K., et. al., SICE FES 2024, Okayama, Japan) にて発表した。

最適化問題を高速に解けることが知られている量子インスパイアード技術を利用した運用最適化問題の適用例として、熱供給システムを取り上げた。通常、熱エネルギーは、流量と温度 (あるいは比エンタルピー) との積、すなわち双線形項として表現され、これを最適化問題中で分解することはできない。このためエネルギー流としてひとつの変数としたまま定式化し最適化するが、制御設定値として重要な温度と流量の組み合わせを決定する手法を提示した。(井上他、第 41 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2025/1/29) ここで提示した最適化問題の分解手法については、次年度以降、研究を発展させることとした。

(個別テーマ 2) 「工場内の生産性×品質×エネルギー商品の最適化モデル開発と工場内外のインターフェース設計と実装」

2023 年度の成果を用い、モジュール化された装置、生産ライン、工場などの消費エネルギーと自社で創出した再生可能エネルギー量と外部から調達したエネルギー量などから必要なエネルギーの需要と外部へ供給可能な余剰エネルギーを計算可能なモデルとして開発した。また、工場内視点から、工場内⇄工場外に必要なインターフェースを定義した。加えて、OPC UA-ECM などエネルギー源からの情報を吸い上げるために必要となる AAS (Asset Administration Shell) 接続の標準化に必要な要件の整合を進め、上記工場における余剰エネルギーの情報を工場 AAS の中に定義した。

2024 年度 PD 裁量追加経費を活用して以下を実施した。

工場で生産される製品のカーボンフットプリントを定量化し可視化するシステムを構築した。工場の

FEMS 構築に取り組む中で対象工場の特定製品において経済産業省推奨の積上げ方式による Scope 2 の算出ルールを確立し、算出した CFP 値を製品に記録するためのルールを確立するとともに、その製品のカーボンフットプリント(CFP: Carbon Footprint of Products)値を製品 AAS として記録するためのシステムを構築した。

KPI である「事業化が可能である事を確認済の社会実装モデル候補の数：1 つ以上」に対して、自社実証工場外の数社のヒアリングを実施した。中でも 2 社から新 EMS サービス提供への有償化を実現し更なる改善の前向きなフィードバックを得た。その中の 1 社において、産業用スマートエネルギーマネジメント連携システム (FEMS) の商品価値を検証すべくフィールド調査を実施した。

その評価では、工場の脱炭素化に関わるエネルギー調達コストを原資としたレベニューシェアで試算した結果、20 年間のエネルギー調達コストに対して本サービス(太陽光発電+蓄電池 PPA サービス+FEMS システム導入)を実装する事で、サービスに必要な費用を差し引いても当該工場の 17%のエネルギーコストを抑制し、CO2 排出量を 23%低減する余地があることを確認した。

上記個別テーマ 2 に関する機能を実装した統合 FEMS を構築した (図 C3-4)。



図 C3-4 構築した統合 FEMS の可視化画面

IV. 課題マネジメント・協力連携体制

本課題の実施体制を図 IV-1 実施体制に、研究推進体制を図 II-5 サブ課題の構成（研究推進体制）に示す。

- ガバニングボードは、制度設計、課題・プログラムディレクター（PD）の選定、課題ごとの予算配分、課題全体としての評価を行う。
- PD は、社会実装に向けた戦略・研究開発計画の作成、研究開発テーマの目標設定・予算配分、関係 P J への提案、関係省庁の施策・産業界の取組との連携を実施する。
- 研究推進法人は、研究開発テーマのマネジメントとして、公募・契約、予算管理に限らない事業支援、ピアレビューを実施する。
- PD・内閣府と研究推進法人との円滑な連携や研究推進法人の体制整備のため、研究推進法人にプロジェクトマネジャー（PM）を置くとともに、サブ PD との併任を可能とする。

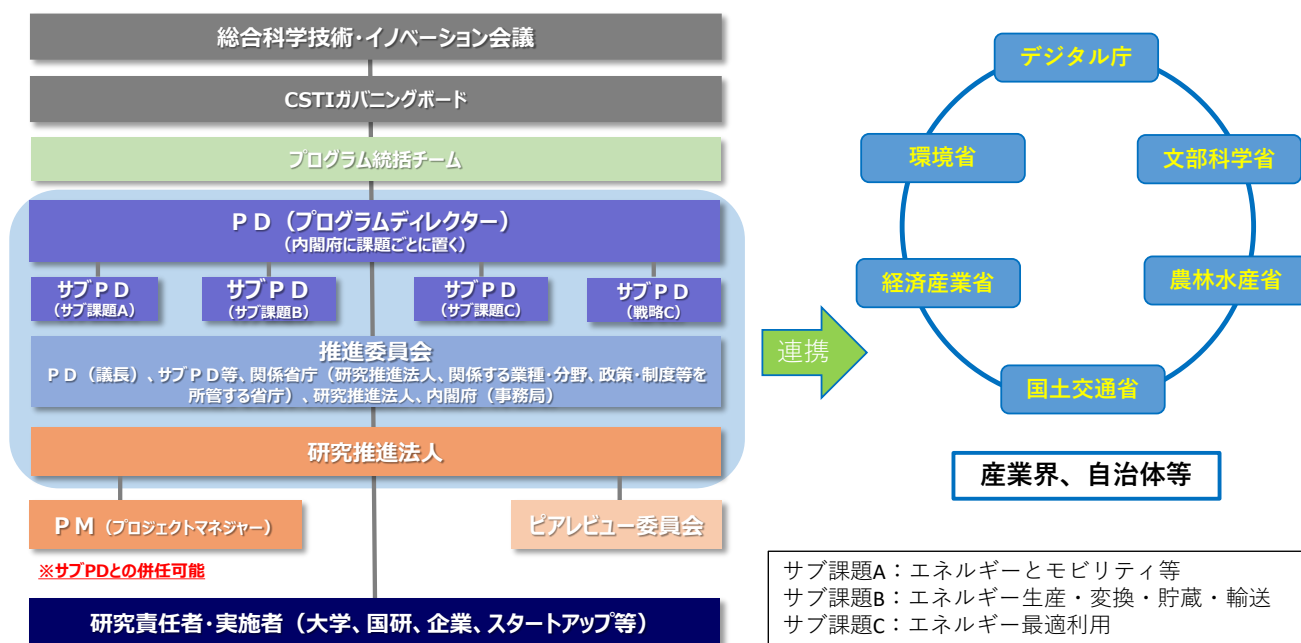


図 IV-1 実施体制

1. 実施体制と役割分担

(1) 内閣府

① PD



氏名：浅野浩志

所属：岐阜大学 高等研究院

地方創生エネルギーシステム研究センター 特任教授

東京科学大学 総合研究院

ゼロカーボンエネルギー研究所 特任教授

一般財団法人電力中央研究所 名誉シニアアドバイザー

期間：2023 年 4 月～

② サブ PD （担当・履歴を含む）



氏名：塚本幸辰

所属：Mitsubishi Electric Power Products Inc.

Digital Energy Center for Excellent

Senior Executive

三菱電機株式会社

Digital Energy 事業統括センター準備室 室長

期間：2023 年 4 月～

担当：サブ課題 A 及びデータ連携 WG 担当。PM（サブ課題 A）を兼務

③ サブ PD （担当・履歴を含む）



氏名：加藤之貴

所属：東京科学大学 総合研究院

ゼロカーボンエネルギー研究所 所長／教授

期間：2023 年 4 月～

担当：サブ課題 B 担当。PM（サブ課題 B）を兼務

④ サブ PD （担当・履歴を含む）



氏名：下田吉之

所属：大阪大学 大学院工学研究科 教授

期間：2023 年 4 月～

担当：サブ課題 C 担当。PM（サブ課題 C）を兼務

⑤ サブ PD （担当・履歴を含む）



氏名：池谷知彦

所属：一般財団法人電力中央研究所 特任役員

期間：2023 年 4 月～

担当：戦略 C 担当。PM（サブ課題 B）を兼務

⑥ PD 補佐（履歴を含む）

氏名	所属・職位	期間
高橋 雅仁	一般財団法人電力中央研究所 グリッドイノベーション研究本部 ENIC 研究部門 (兼) 社会経済研究所 副研究参事	2023 年 6 月～

⑦ 課題担当（履歴を含む）

氏名	所属・職位	期間
辻原 浩	科学技術・イノベーション推進事務局統合戦略（エネルギー・環境）担当 参事官	2023 年 4 月～2023 年 9 月
熊谷 和哉	科学技術・イノベーション推進事務局統合戦略（エネルギー・環境）担当 参事官	2023 年 10 月～2024 年 6 月
松田 和久	科学技術・イノベーション推進事務局統合戦略（エネルギー・環境）担当 参事官	2024 年 7 月～

(2) 研究推進法人・PM（担当・履歴を含む）

① 研究推進法人の名称

国立研究開発法人科学技術振興機構

② PM（担当・履歴を含む）

研究推進法人のマネジメント業務の実施にあたって、PD その他の関係者との円滑な連携、研究推進法人内での体制整備のため、研究推進法人に置き、研究開発責任者に対し、研究開発テーマの実施について監督・指導するとともに、研究推進法人が有する機能を生かし必要な助言・支援を行う。

当課題においてはサブ PD が PM を兼務する。

表 IV-1 研究開発テーマ及び研究開発責任者

研究開発テーマ	研究開発責任者
サブ課題A（エネルギーとモビリティ等）	
A 1 エネルギーとモビリティのセクターカップリング	林 泰弘 (早稲田大学 理工学術院 教授)
A 2 RE100を実現する農村型 VPP の開発	遠藤 和子 (農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 研究領域長)
サブ課題B（エネルギー生産・変換・貯蔵・輸送）	
B 1 アンモニア・水素利用分散型エネルギーシステム	神原 信志 (岐阜大学 大学院工学研究科 教授)
B 2 カーボンニュートラルモビリティシステム	安東 弘泰 (東北大学 材料科学高等研究所 教授)
B 3 系統安定化をサポートするUSPMによるインテリジェントパワエレスシステムの開発	伊東 淳一 (長岡技術科学大学 大学院工学研究科 教授)
サブ課題C（エネルギー最適利用）	
C 1 エリアエネルギーマネジメントシステムのプラットフォーム開発と実装	岩船 由美子 (東京大学 生産技術研究所 教授)
C 2 熱エネルギーマネジメントシステムの基盤技術開発と共通化	齋藤 潔 (早稲田大学 理工学術院 教授)
C 3 産業用スマートエネルギーマネジメント連携システムの開発と実装	天野 嘉春 (早稲田大学 理工学術院 教授)

なお、課題マネジメントにあたり、企画会議、運営委員会を開催する。必要に応じて、全ての研究開発テーマの研究開発責任者及び関係府省が参加する課題ワークショップを開催する。

表 IV-2 研究開発テーマ及び研究開発責任者 企画会議及び運営委員会

会議名称	概要
企画会議	課題全体の推進に当たり、PD が実行指示を行う。なお、必要に応じて知財委員会を併設する。PD、SPD（PM 兼務）、PD 補佐、内閣府課題担当、調査分析機関、JST にて構成する。
運営委員会	研究開発テーマの具体的な進捗確認、実行調整を行う。SPD（PM 兼務）、研究開発責任者にて構成し、PD、内閣府課題担当、調査分析機関、JST は適宜オブザーバー参加する。

2. 府省連携

対象となる技術の基礎研究から社会実装までを府省連携により一気通貫で推進することは、SIP の特徴の一つだが、特に、SIP 第 3 期では、社会実装への道筋を明確に示したうえでの取組が求められており、中でも、制度整備・標準化について、制度整備・標準化 WG 等を組成し、テーマ間・課題感の横連携による取組を実施することが必要と認識する。

本課題のミッション達成に向けた現状・問題点として、スマートエネルギーシステムのインフラ化に向けた市場形成や国際標準化に資する仕掛け・仕組みづくりの検討が不十分であること、また、クロスボーダー・セクター横断のデータ連携基盤の構築に向けた「機能重複・不足の解消方法」や「各種システム間の連携方法」についても、府省・官民連携を推し進めるための実行可能な計画が不十分であることを認識している。これらの解決に向けて、府省・官民連携を一層強化し、既存システムや他課題・テーマ間での最適な機能分担・システム間連携を実現する（図 IV-1 実施体制）。

3. 産学官連携、スタートアップ

社会実装に重きを置く SIP では、研究開発の主体者が生み出す成果を、社会実装の担い手である事業体が、当該事業体の事業領域や企業ビジョン等に照らし合わせて、事業スケール（スモールスタートや事業拡大）を判断した上で、その成果を引き継ぐという一連のプロセス（バトンゾーン）が特に重要であると認識する。

本課題では、社会インフラとしてのデータ連携基盤の構築と社会実装のために、産学官連携で 5 つの視点での取組（技術開発・事業・制度・社会受容性・人材）を一体的に推進する。

具体的には、技術開発では、GX・DX に向けた要素技術の開発を行うが、ここで効率的な開発を実現するために、各要素技術に優位性を持つ研究機関・企業間の連携を図る。

また、制度設計では、本課題の研究主体が想定し得るルール・法制度整備に加え、関係業界の民間企業（スタートアップを含む）から、社会実装に向けたルール・法制度に対する課題認識を収集することで、社会実装に向けて必要なルールや法制度をより実効性のある形で整理する。

さらに、事業開発では、市場形成に向けた取組として、研究主体が検討した収益性や派生する社会インフラビジネスのビジネスモデルについて、SIP 後のビジネス拡大計画策定・検証を GI 基金等の取組に引き継ぐとともに、データ連携基盤の事業化に向けて府省・官民協力によるデータ連携を強化する。

社会受容性では、SIP 内で検討・策定する社会インフラとしての理解獲得のための普及計画に沿って、府省・産学官連携で普及計画の遂行と広報活動に取り組む。

さらに、人材育成においては、スマート EMS 構築を担う人材の育成・確保のために、産業界や卓越大学院プログラムとも連携し、他セクターとの協働や、技術・制度・事業・社会の視点を持つ人材を育成・リスクリングしていく。

(1) マッチングファンドに係る方針と内容

本 SIP において、民間企業におけるマッチングファンドは、ミッションの達成に向けた産業界と協調・連携する体制を構築する仕組みであり、また、社会実装に向けた戦略として、技術のみならず、事業、制度、社会受容性、人材の視点から必要な支出と捉え、内閣府が示す制度の考え方にに基づき推進する。

マッチングファンドの獲得促進に向けて、図 IV-2 マッチングファンドの獲得促進策の検討ステップ (Step 0-0～0-3) で施策検討・実現に取り組む。



図 IV-2 マッチングファンドの獲得促進策の検討ステップ (Step 0-0～0-3)

事業 3 年目となる 2025 年度に整備する社会実装計画の策定方針は以下のとおりである。

まず、製品・サービスとして市場に実装する成果については、市場ニーズや収益性を重視しつつ、規制緩和や標準化・補助金を活用し、PoC から拡大する段階的アプローチで製品・サービスの構想を確立していく。また、SIP 事業期間中より競合他社との協力や投資ファンドとの連携を通じて資金源や人材を確保し、国内外の市場に展開していく戦略を整備する。

自治体や公共機関が主導し公共財として社会実装していく必要のある成果については、市民・事業者・大学など多様な主体との協働で制度設計・ガイドライン整備・コンソーシアム運営を進めることで、社会的便益を最大化することを社会実装モデルとし、導入・普及に向けて必要な政策提言を検討・協議しながら、実装準備に取り組む。

4. 研究開発テーマ間連携

サブ課題を、(サブ課題 A) エネルギーとモビリティ等、(サブ課題 B) エネルギー生産・変換・貯蔵・輸送、(サブ課題 C) エネルギー最適利用、と設定し、かつ各サブ課題を担当する SPD を配置することにより、各サブ課題内でシナジー効果が期待できるテーマ間連携を促進する。また、サブ課題間においても前述の企画会議等を通じて PD を中心に各 SPD が適切に連携することで、課題全体の中でも特にテーマ間連携が必要とされる部分を整理し、それらの連携を推進する。

なお、サブ課題 A、B、C は、データ基盤による連携のみならず、サブ課題間及びサブ課題内のテーマ(サブテーマ) 同士の有機的な連携が可能となるよう、研究開発過程における情報共有・連携に努める。

2023 年 11 月時点で検討・実施しているテーマ間連携は、表 IV-3 研究開発テーマ間連携のとおりである。

表 IV-3 研究開発テーマ間連携

スマエネ課題内連携

NO.	テーマ間連携	連携内容	連携状況 (2024年度末現在)
1	A1 × B2	▶ 両チームが使用するエネルギーや交通に関するデータを共有・相互補完する ▶ A1の市町村モデルとB2のキャンパスモデルとの間でスケラビリティ検証を実施する	連携協議開始済み、 継続的に情報交換予定
2	A1① × C2	▶ A1の実証フィールド（宇都宮）にヒートポンプが導入されれば、C2の熱EMSの方法論を広域で推計する目的で、同フィールドを活用できる ▶ C2の熱EMSデジタルツインを経由し熱関連情報をA1に提供し、A1において熱EMSを考慮したVPP効果を検証することを検討できる	連携開始済み（HPのCO2 排出削減効果の定量化）
3	A1① × C3	▶ C3の工場内エネルギー利用データを用いて、A1の実証フィールド（宇都宮市）の隣接工場を含めたエネルギーマネジメントシステムの効果検証・熱エネルギーの動作解析を実施できる ▶ 2025年度にデータを提供できるように準備中	連携開始済み（FEMS導 入によるCO2排出削減効 果の定量化）
4	A1① × A2	▶ A1①のスマメータ収集技術を、A2の農山漁村エリアのスマメータを用いた需要予測に取り込む	未協議、 農村のスマメータの特性を 踏まえ、今後、連携可能性 を検討予定
5	A1② × C1①、 C1②	▶ ZEB支援ツール・ビル需要の視点について、ビルのエネルギーマネジメント技術の開発データ・ノウハウの共有する ▶ 市街地のEV充放電の制御方法やロジックの組み方のノウハウ共有する ▶ A1②のEV対応協調型BEMSとC1②のAEMSの連携により、技術を相互補完する	未協議、 A1②での結果がまとまり次 第、C1①、②に報告共有 予定
6	A2 × B2	▶ A2農山漁村の再エネ利活用技術・バイオマス技術について、B2のキャンパスモビリティシステム（農学部含む）と情報連携する	未協議、 今後連携開始予定
7	A2 × C2	▶ ヒートポンプ・ショークースを検証サイトに持ち寄り、再エネ電力蓄電によるオンサイトEMSとEV車の活用を検証する	連携開始済み
8	B1 × B2	▶ B1②で開発する水素カートリッジ技術をB2のモビリティシステムに活用する	連携協議開始済み
9	B3 × A1、A2 B1、B2 C2、C3	▶ B3のUSPMをA1、B2・3、C2・3の実証で活用し、USPMの利用効果を検証する	B2との間で連携協議を開 始済み その他のテーマとは、今後連 携に向けて議論予定
10	C1② × C2	▶ C1②のエリアEMSプラットフォームとC2の熱EMSプラットフォームの間でデータ連携や統合的なEMS効果を検証する	連携協議開始済み、 今年度中に連携開始予定
11	C2 × C3	▶ C2のヒートポンプ関連データを活用し、C3の工場内空調システムを実証・評価する/C2のヒートポンプ設備がC3産業用オープンネットワークへの接続にかかるボトルネック検証を実施する	連携協議開始済み
12	課題全体	▶ 需要家技術のCO2削減の考え方を整理するよう、関係省庁（環境省、内閣府）へ要請する必要がある ▶ DRによりCO2削減効果を明確に示すために、時間別のCO2排出原単位を課題全体のEMSで統合的に管理できることを示し、政策提言すべき	各研究成果の進捗を踏まえ、 今後連携して対応予定

5. SIP 課題間連携

本課題で構築する IoT 共通基盤および課題間のデータ連携基盤を介して、他の SIP 課題の成果と相互に接続されることにより、成果の汎用性・付加価値の向上、より迅速な社会実装の実現につながる。そのため、当該課題関係者と積極的な情報共有・データ共有を図り、課題間連携を推進する。

【連携先の SIP 課題の例】

- ▶ スマートモビリティプラットフォームの構築
- ▶ スマート防災ネットワークの構築
- ▶ スマートインフラマネジメントシステムの構築
- ▶ 先進的量子技術基盤の社会課題への応用促進
- ▶ バーチャルエコノミー拡大に向けた基盤技術・ルールの整備
- ▶ 人協調型ロボティクスの拡大に向けた基盤技術・ルールの整備

2023 年 11 月時点で検討・実施しているテーマ間連携は、下表 IV-4 課題間データ連携のとおりである。

表 IV-4 課題間データ連携

SIP課題間連携			
NO.	テーマ間連携	連携内容	連携状況 (2024年度末現在)
1	B2 × 10 スマートモビリティ	▶ モビリティのデータとB2のエネルギーデータを活用した解析を通じた、カーボンニュートラルと交通安全の同時最適化	連携協議開始。継続的に情報交換予定 (まずはスマエネ内で必要なデータを収集中。今後、連携ユースケースを具体化しながらスマートモビリティ課題と連携協議を進める予定)
2	B2 × 11 人協調型ロボティクス	▶ キャンパス内のモビリティにおける安全性確保に向けた、人と車両の移動データ管理の活用	未協議、スマートモビリティと人協調型ロボティクスの連携進捗も踏まえ、今後打診・協議予定
3	A1 × 06 スマート防災	▶ 防災DXの取組におけるEVバスデータの活用： 災害時のEVバスの電源活用に向けて、「発災直前のEVバスの蓄電残量（推計データ）」をDATA-EXを通じて防災DXに提供する	連携協議を経て、左記連携に合意済み
4	C1 × 06 スマート防災	▶ 家電通電情報（スマート防災課題）を活用したエネルギー需要推計精度向上	連携協議を経てテーマを設定・スマート防災課題よりデータの出所提供を受けることに合意 同データを活用して需要推計向上の可能性を検討中
5	C1 × 10 スマートモビリティ	▶ EV車両の走行情報や充放電に関するデータを活用した連携（仮）	連携協議の結果、双方にとって有益なユースケースの創出が見込めなかった
6	C1 × 08 スマートインフラ	▶ データや実証サイトの共有等の連携（仮）	連携協議の結果、双方にとって有益なユースケースの創出が見込めなかった
7	C2 × 07 サーキュラーエコノミー	▶ CO2排出削減だけではなく、資源循環の観点（ヒートポンプの冷媒や機器の回収状況等）でのデータ連携・プラットフォーム共通化（仮）	未協議、今後打診予定

6. データ連携

サブ課題を、(サブ課題 A) エネルギーとモビリティ等、(サブ課題 B) エネルギー生産・変換・貯蔵・輸送、(サブ課題 C) エネルギー統合と最適利用、と設定し、かつ各サブ課題を担当する SPD を配置することにより、各サブ課題内で有効なデータ連携について整理し連携を促進する。また、サブ課題間においても前述の企画会議等を通じて PD を中心に各 SPD が連携することで、有効なデータ連携について整理し推進するとともに他の SIP 課題間での有効なデータ連携について検討する。加えて、他課題とのデータ連携についても表 IV-4 課題間データ連携のように推進する。

なお、研究開発テーマ間連携及び SIP 課題間連携を容易するために、統一されたデータフォーマット等を検討する。また、データの機密性、完全性、可用性に配慮してセキュアな管理を図る。

7. 業務の効率的な運用

本 SIP 課題の実施にあたり、オンラインツールの活用や課題関係者間でベストプラクティスを共有・活用を図るなど、業務の効率的な運用に努める。

V. 評価に係る事項

1. 評価の実施方針

(1) 評価主体

- ▶ ガバニングボードが、評価委員会を設置し、PD 及び研究推進法人等による自己点検や研究推進法人等が実施する専門的観点からの技術・事業評価（以下「ピアレビュー」という。）、ユーザー視点からの社会実装計画の妥当性（予見性）評価（以下「ユーザーレビュー」という。）及びピアレビューとユーザーレビューの結果を踏まえた、各テーマの令和 8 年度以降の継続妥当性評価（以下「ステージゲート」という。）の結果（事前評価及び追跡評価の場合にはそれらに準ずる情報。）の結果（事前評価及び追跡評価の場合にはそれらに準ずる情報。）に基づき、評価を行う。
- ▶ 研究推進法人はピアレビュー、ユーザーレビュー及びステージゲート（以下「ピアレビュー等」という。）の実施の前にピアレビューを実施する外部有識者の選定についてガバニングボードの承認を得るものとする。
- ▶ プログラム統括チームはピアレビュー等に参加し、専門的観点からの意見を踏まえ、制度的・課題横断的観点からの評価意見をまとめるものとする。
- ▶ プログラム統括チームは評価委員会に対して、ピアレビュー等の結果を報告するとともに、制度的・課題横断的観点からの評価意見を提出するものとする。
- ▶ 評価委員会は、プログラム統括チームからの報告等を踏まえ、評価を行い、評価案をとりまとめ、ガバニングボードに報告するものとする。
- ▶

(2) 実施時期

- ▶ 課題評価の実施時期の区分は、事前評価、毎年度末の評価（ただし、課題開始後 3 年目の年度末までに行う評価は「中間評価」。）及び最終評価とする。
- ▶ 終了後、必要に応じて追跡評価を行う。
- ▶ 上記のほか、必要に応じて年度途中等に評価を行うことも可能とする。

(3) 評価項目・評価基準

- ▶ 「国の研究開発評価に関する大綱的指針（平成 28 年 12 月 21 日、内閣総理大臣決定）」を踏まえ、必要性、効率性、有効性等を評価する観点から、以下の評価項目・評価基準とする。達成・未達の判定のみに終わらず、その原因・要因等の分析や改善方策の提案等も行う。

A) 課題目標の達成度と社会実装

- ▶ 課題目標の達成と社会実装に係る評価項目・評価基準は表 V-1 評価項目・評価基準（課題目標の達成と社会実装に係る項目）のとおりとする。
- ▶ ミッションの明確化から個別の研究開発テーマの設定に至る計画・テーマ設定に係る評価（A-2 か

ら A-4 まで）と、個別の研究開発テーマの達成度から研究成果の社会実装に至る進捗状況等に係る評価（A-5 から A-7 まで）を一体的に実施することで、PDCA サイクルを回し、各段階での進捗状況等を踏まえ、継続的、迅速、かつ機動的（アジャイル）に計画・テーマ設定の見直しを行う。

表 V-1 評価項目・評価基準（課題目標の達成と社会実装に係る項目）

A-1	意義の重要性、SIP制度との整合性	・課題全体を俯瞰的にとらえ、Society5.0の実現に向けて将来像を描いているか。 ・技術開発のみならずルール整備やシステム構築などに必要な戦略が検討され、SIP制度との整合性が図られているか。 ・SIP第3期課題として必要な「要件」(SIP運用指針別紙)を満たしているか。
A-2	ミッションの明確化	・将来像の実現に向けたミッションが明確となっているか。 ・関係省庁を巻き込んだ協力体制の下に、課題の解決方法が特定され、ミッション遂行が実現可能なものであるか。
A-3	目標設定・全体ロードマップ、その他の社会実装に向けた	・ミッションを達成するために、現状と課題を調査し、ロジックツリー等を活用し、社会実装に向けて、技術だけでなく、事業、制度、社会的受容性、人材を含む5つの視点で、必要な取組を抽出されているか。 ・抽出した取組について、既存の産学官での取組を把握した上で、SIPの要件及び本評価基準を踏まえ、SIPの研究開発テーマを特定しているか。 ・SIP終了時の達成目標が設定されており、実現可能なものであるか（なお、SIP期間中において目標は常に見直し、アジャイルな修正も可とする。） ・SIPの研究開発テーマを含む必要な取組について、社会実装に向けたロードマップを作成し、技術だけでなく、事業、制度、社会的受容性、人材を含む5つの視点で、戦略的かつ明確になっているか。また、これら5つの視点の成熟度レベルを活用しながら、指標が計測量として用いられ、進捗度が可視化されているか。 ・データプラットフォームの標準化戦略を見据え、全体のデータアーキテクチャーを見据えたデータ戦略は設定されているか。 ・スタートアップに関する戦略は設定されているか。
A-4	個別の研究開発テーマの設定及びその目標と裏付けの明確さ	・RFIの内容を吟味し、個別の研究開発テーマの設定が決め打ちではなく、社会課題を基に一定の範囲から絞り込まれているか。 ・個別の研究開発テーマの設定は国際競争力調査や、市場・ニーズ調査、有識者や関係者へのヒアリングなど、エビデンスベースでの理由で裏打ちされているか。 ・個別の研究開発テーマの目標及び工程表は明確であり、実現可能なものであるか。 ・個別の研究開発テーマの目標は課題全体の目標(A-3)を満足しているか。
A-5	研究開発テーマの設定目標に対する達成度	・個別の研究開発テーマについて、当該年度の設定目標に対する達成度（進捗状況）は計画通りか。（計画変更となった場合、当該進捗状況に至る理由を含む。） ・得られた成果の新規の学術的・技術的価値は何か。 ・得られた成果は課題全体の目標に対してどの程度貢献しているか。
A-6	社会実装に向けた取組状況	・知財戦略や国際標準戦略などを含む事業戦略、規制改革等の制度面の戦略、社会的受容性の向上や人材の戦略は設定され、その取組状況は計画通りか。（計画変更となった場合、当該進捗状況に至る理由を含む。） ・データ戦略の取組状況は計画通りか。（計画変更となった場合、当該進捗状況に至る理由を含む。） ・スタートアップに関する戦略の取組状況は計画通りか。（計画変更となった場合、当該進捗状況に至る理由を含む。）
A-7	研究成果の社会実装及び波及効果の見込み	・研究成果によって見込まれる効果あるいは波及効果が明確であるか。（科学技術の進展、新製品・新サービス等への展開、市場への浸透や社会的受容性への影響、政策への貢献、人材育成への貢献など。定量的表現が望ましい。） ・(A-5)(A-6)を踏まえて、技術、事業、制度、社会的受容性、人材の5つの視点からロジックツリー等を用いて研究成果の社会実装への道筋が明確に示されているか。 ・開発する技術の優劣に関する国際比較、当該技術の強み・弱み分析、国際技術動向の中での位置づけなど、グローバルベンチマークの結果が示されているか。
A-8	対外的発信・国際的発信と連携	・課題の意義や成果に関して効果的な対外的発信の計画が検討され、実施されているか。 ・国際的な情報発信や連携の取組の進捗はあるか。
A-9	その他	・課題の特性や状況に応じ、上記の(A-1)～(A-8)以外に、課題目標の達成度と社会実装の観点から評価すべきこと（プラス評価になること）があれば追加可。

B)課題マネジメント・協力連携体制

- ▶ 課題マネジメント・協力連携体制表 V-2 評価項目・評価基準のとおりとする。
- ▶ 社会実装に向けて、課題目標を達成するための実施体制はもちろん、府省連携、産学官連携、テーマ間・課題間の連携、データ連携についても評価を行う。

表 V-2 評価項目・評価基準（課題マネジメント・協力連携体制に係る項目）

B-1	課題目標を達成するための実施体制	・PD、SPD、研究推進法人の役割分担と、それに見合う配置が図られているか。 ・メンバーの配置や役割分担について明確に構造化が図られているか。知財・国際標準・規制改革に関する専門家や、社会実装に関する業務の担当者等が配置されているか。 ・研究開発テーマ設定時の前提条件の変更や研究成果の達成状況に応じて、研究開発テーマの方向性の再検討やアジャイルな修正が生じた際に、関係者間で合意形成を図る流れが明確になっているか。 ・消費者視点での社会的受容性の観点や多様な観点から運営を推進するため、SPDや研究開発テーマ責任者等に若手や女性などダイバーシティを考慮したチーム構成計画としているか。
B-2	府省連携	・関係府省の担当者を巻き込み、各府省の協力・分担が明確な体制になっているか。 ・各府省等で実施している関連性の高い研究開発プロジェクトとの連携が図られているか。 ・関係省庁の事業との関係性をマッピングするなどの整理がなされ、重複が無いようSIP以外の事業との区分けは出来ているか。
B-3	産学官連携、スタートアップ	・社会実装に向けた産業界の意欲・貢献を促すべく、産学官連携が機能する体制が構築されているか。研究成果の利用者は明確となっているか。 ・マッチングファンド方式の適用に向けた検討がされているか。 ・本来、民間企業で行うべきものに国費を投じていないか。 ・マネジメント体制の中にスタートアップ関係者が配置されているか。
B-4	課題内テーマ間連携	・研究開発テーマ間での連携やシナジー効果について検討され、実施されているか。マネジメント体制の中に研究開発テーマ間の連携に必要な担当者が配置されているか。
B-5	SIP課題間連携	・他のSIP課題間での連携やシナジー効果について検討され、実施されているか。マネジメント体制の中に他のSIP課題間の連携を担当する者が配置されているか。
B-6	データ連携	・研究開発テーマ間や、他のSIP課題間でのデータ連携が検討・実施されているか。 ・既存のデータプラットフォームとの連携の可能性は検討されているか。
B-7	業務の効率的な運用	・オンラインツールの活用など業務の効率的な運用が実施されているか。 ・ベストプラクティスの共有、活用などが実施されているか。
B-8	その他	・課題の特性や状況に応じ、上記の(B-1)～(B-7)以外に、マネジメントの観点から評価すべきこと(プラス評価になること)があれば追加可。

C)社会実装の蓋然性

- ▶ 課題マネジメント・協力連携体制表 V-3 評価項目・評価基準のとおりとする。
- ▶ 社会実装に向けて、課題目標を達成するための実施体制はもちろん、府省連携、産学官連携、テーマ間・課題間の連携、データ連携についても評価を行う。

表 V-3 評価項目・評価基準(社会実装の蓋然性に係る項目)

<SIP 終了時の社会実装計画>

C-①	社会実装する者	・SIP終了後の想定する社会像、普及等を踏まえ、想定する社会実装する者、提供財、想定するユーザーは、適正であるか。 ・社会実装が可能な者であるか。
C-②	提供財	
C-③	想定ユーザー	
C-④	ユーザーに提供する利便性・価値	
C-⑤	実施体制	・SIP終了時点で、全体として社会実装が可能な体制が検討され、連携等が取れているか。 ・計画は適切であるか。
C-⑥	実施計画	
C-⑦	SIP終了時の社会実装(普及等)までに必要な要素	SIP以外の取組が意識され、進捗状況等の把握がされ、連携等が取れているか。

<SIP 終了以降、上市、普及等のための戦略、戦術>

C-⑧1	実施事業者	・ SIP終了後の想定する社会像、普及等を踏まえ、C-①. 社会実装者からSIP終了以降の上市等の展開が仮説として検討されているか。 ・ 想定する社会実装する者、提供財、想定するユーザー・セグメント、提供財の利便性・価値等が適正であるか。 ・ 社会実装が可能な者であるか。
C-⑧2	事業者間の連携	
C-⑨	提供財	
C-⑩	想定ユーザーセグメント・市場	
C-⑪	ユーザーセグメント/市場に提供する利便性・価値	
C-⑫1	ビジネスプラン・事業継続のモチベーション	・ 具体性をもって検討がされているか。 ・ 無理のない構想となっているか。
C-⑫2	事業体制	
C-⑫3	事業計画(リターンとコスト、経営費用)	※ C-⑫からC-⑯までは、BRIDGE等の制度を活用して加速的な実施等を目指す場合には、必須で記載のこと。仮説・計画段階のもので可能。
C-⑬	Open/Close戦略	
C-⑭	事業拡大戦略	
C-⑮	差異化ポイント	
C-⑯	実施計画	

(補足) C-⑧1～C-⑯の評価項目名は、社会実装(出口)の形として民間が関与するものを想定したものとなっている。純粋な公共関与となる社会実装の形の場合は、適宜読み替えて計画を作成すること。

(4) 評価結果の反映方法

- ▶ 事前評価は、社会実装に向けた戦略及び研究開発計画(以下、「戦略及び計画」という)の作成、研究開発テーマの設定に関して実施し、評価結果を戦略及び計画等に反映する。
- ▶ 各年度の年度末評価は、前年度の進捗状況等や当該年度での事業計画に関して行い、次年度以降の戦略及び計画等に反映させる。必要に応じ、研究開発テーマの絞込みや追加について意見を述べる。
- ▶ 中間評価においてステージゲートを実施し、各課題における個々の研究開発テーマに対する、令和8年度以降の継続妥当性の評価を行う。具体的には、①ユーザーを特定されず、マッチングファンド方式の適用や関係省庁における政策的な貢献など社会実装の体制構築が見込めないものについては、原則として継続を認めない、②目標を大幅に上回る成果が得られ、ユーザーからの期待が大きく、社会実装を加速すべきものについては、予算の重点配分を求める、など専門的観点並びにユーザー視点からの評価を行うこととする。
- ▶ 最終評価は、最終年度までの実績に関して行い、終了後のフォローアップ等に反映させる。
- ▶ 追跡評価は、各課題の成果の社会実装の進捗に関して行い、改善方策の提案等を行う。

(5) 結果の公開

- ▶ 評価結果は原則として公開する。
- ▶ 評価委員会及びガバニングボードは、非公開の研究開発情報等も扱うため、非公開とする。

(6) 課題評価に向けた自己点検及びピアレビュー等

- ▶ 課題評価の前に、PD、研究推進法人等及び各研究開発責任者による自己点検並びに研究推進法人等によるピアレビュー（令和7年度はピアレビュー等。以下同じ。）を実施し、その結果をガバニングボードに報告するものとする。
- ▶ 研究開発責任者による自己点検は、研究開発テーマの目標に基づき、研究開発や実用化・事業化の進捗状況について行う。令和7年度は進捗状況の点検に加えて、S I P終了時に想定される提供財や実施体制、終了後のビジネスプランや事業計画等の社会実装計画を作成する。
- ▶ 研究推進法人等による自己点検は、予算の管理、研究開発テーマの進捗管理、研究開発テーマの実施支援等研究推進法人等のマネジメント業務について行う。
- ▶ PDによる自己点検は、(3) 評価項目・評価基準を準用し、研究開発責任者及び研究推進法人等による自己点検の結果や、関係省庁や産業界における社会実装に向けた取組状況を踏まえ、実施する。令和7年度は、研究開発テーマに関する自己点検に加えて、社会実装計画を踏まえ、PDがS I P終了時にイメージするビジョンに変更が生じないかについて点検する。
- ▶ 研究推進法人等によるピアレビュー等では、エビデンス及びグローバルな視点に基づき、それぞれの評価を研究推進法人等に設けられた外部有識者が行う。ピアレビューでは、各研究開発テーマの実施内容及び実施体制等が S I P として実施することに適したものになっているか、研究開発テーマの目標に基づき研究開発や実用化・事業化に向けた取組が適切に進められているどうか等を評価する。ユーザーレビューでは、S I P終了後の想定する社会像、普及等を踏まえ、社会実装が可能な内容（社会実装者、想定ユーザ、実施計画等）が検討されているか、社会実装者からS I P終了以降の上市等の展開が仮説として検討されているか等を評価する。ステージゲートでは、ピアレビュー及びユーザーレビュー評価結果を基に、社会実装の単位ごとに研究開発テーマのS I Pでの継続実施可否について評価する。

(7) 自己点検・ピアレビュー及び評価の効率化

- ▶ 課題の自己点検・ピアレビュー及び評価は毎年度実施することを考慮して、重複した作業を避けて可能な限り既存の資料を活用するなど効率的に行うものとする。

2. 実施体制

(1) 構成員（担当・履歴を含む）

2025 年度ピアレビュー評価構成員は次に示すとおりである。

表 V-4 ピアレビュー評価 構成員一覧

氏 名	所属・役職	役 割
横山 明彦	東京大学 名誉教授	委員長
太田 豊	株式会社 eVooster 代表取締役	副委員長
岡本 浩	東京電力パワーグリッド株式会社 取締役副社長	副委員長
磐田 朋子	芝浦工業大学システム理工学部環境システム学科 教授／副学長	委員（サブ課題 A, B, C 担当）
造賀 芳文	広島大学大学院先進理工系科学研究科 教授	委員（サブ課題 A, B, C 担当）
河辺 賢一	東京科学大学工学院電気電子系 准教授	委員（サブ課題 A 担当）
矢加部 久孝	東京ガス株式会社 GX カンパニー エグゼクティブ フェロー	委員（サブ課題 B 担当）
平瀬 祐子	関西学院大学工学部電気電子応用工学課程 教授	委員（サブ課題 B 担当）
細野 恭生	千代田化工建設株式会社 フロンティアビジネス本 部 テクニカルアドバイザー	委員（サブ課題 B 担当）
鹿園 直毅	東京大学生産技術研究所 教授	委員（サブ課題 C 担当）
藤田 壮	東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 教授	委員（サブ課題 C 担当）

2025 年度ユーザーレビュー評価構成員候補は次に示すとおりである。

表 V-5 ユーザーレビュー評価 構成員候補一覧

氏 名	所属・役職	役 割
岡本 浩	東京電力パワーグリッド株式会社 取締役副社長	委員長
矢加部 久孝	東京ガス株式会社 GX カンパニー エグゼクティブ フェロー	副委員長
磐田 朋子	芝浦工業大学システム理工学部環境システム学科 教授／副学長	委員
信時 正人	神戸大学学術研究推進機構 SDGs 推進室客員教授、ヨ コハマ SDGs デザインセンター長、(株)エックス都市 研究所理事	委員

細野 恭生	千代田化工建設株式会社 フロンティアビジネス本部 テクニカルアドバイザー	委員
四ツ柳 尚子	東京電力ホールディングス株式会社 執行役員福島復興本社ふくしま流通促進室長	委員

2025 年度ステージゲート評価構成員候補は次に示すとおりである。

表 V-6 ステージゲート評価 構成員候補一覧

氏 名	所属・役職	役 割
横山 明彦	東京大学 名誉教授	委員長
太田 豊	株式会社 eVooster 代表取締役	委員
岡本 浩	東京電力パワーグリッド株式会社 取締役副社長	委員
磐田 朋子	芝浦工業大学システム理工学部環境システム学科教授／副学長	委員
矢加部 久孝	東京ガス株式会社 GX カンパニー エグゼクティブフェロー	委員

VI. その他の重要事項

1. 根拠法令等

本件は、内閣府設置法（平成 11 年法律第 89 号、令和 4 年法律第 43 号による改正）第 4 条第 3 項第 7 号の 3、科学技術イノベーション創造推進費に関する基本方針（令和 4 年 12 月 23 日、総合科学技術・イノベーション会議）、戦略的イノベーション創造プログラム運用指針（令和 4 年 12 月 23 日、総合科学技術・イノベーション会議ガバニングボード）に基づき実施する。

別添 1 SIP の要件と対応関係

Society5.0 の実現を目指すもの	I . Society5.0 における将来像 II.1 ミッション
社会的課題の解決や日本経済・産業競争力にとって重要な分野	II.4. (1) 背景（グローバルベンチマーク等）
基礎研究から社会実装までを見据えた一気通貫の研究開発の推進（産学官の共創的イノベーション・エコシステムを目指すもの）	II.4. (2) 社会実装に向けた SIP 期間中の達成目標 II.5. 5つの視点でのロードマップと成熟度レベル 図 II-12 ロードマップ（サブ課題 A） 図 II-13 ロードマップ（サブ課題 B） 図 II-14 ロードマップ（サブ課題 C）
府省連携が不可欠な分野横断的な取組であること（関係府省の既存事業との重複がないこと）	II.4. (1) 背景（グローバルベンチマーク等） 事業実現性 ルール II.4. (4) SIP 後の事業戦略（エグジット戦略） IV.2 府省連携
技術開発だけでなく、事業化、制度改革、社会受容性、人材育成に必要な視点から社会実装に向けた戦略を有していること	II.2 現状と問題点 図 II-2 現状・問題点とミッション達成に向けた 5つの取組 II.4. (1) 背景（グローバルベンチマーク等） 事業実現性 ルール 社会受容性 人材 II.5. (1) ロードマップ II.5. (2) 本課題における成熟度レベルの整理
オープン・クローズ戦略を踏まえて知財戦略、国際標準戦略、データ戦略、規制改革等の手段が明確になっていること	III.2 研究開発に係る実施方針 (1) 知財戦略 (2) データ戦略 (3) 国際標準戦略 (4) ルール形成 (5) 知財戦略等に係る実施体制

産学官連携体制の構築、研究開発の成果を参加企業が実用化・事業化につなげる仕組みやマッチングファンドの要素をビルトイン	IV.3 産学官連携、スタートアップ IV.3. (1) マッチングファンドに係る方針と内容
スタートアップの参画	IV.3 産学官連携、スタートアップ

別添2 XRL/XPI の検討状況

(別紙を参照)

別添3 用語一覧

用語	解説
GX	グリーン・トランスフォーメーション。
DX	デジタル・トランスフォーメーション。
クロスボーダー・セクター横断	地域や、エネルギー需要・供給部門（産業部門、エネルギー転換部門、民生部門等）の枠を越えたやり取り。
セクターカップリング	電力部門と他部門（交通、他産業等）でのエネルギー利用を連携させ、両部門のエネルギー利用最適化を図る技術。
DER	Distributed Energy Resources。ヒートポンプ、電気自動車（EV）、蓄電池等の分散型のエネルギーリソース。小規模発電所とみなしEMSの制御対象となる。
スマートクロスグリッド	水素、アンモニア、e-fuel、電力・熱等様々なエネルギー種を制御対象とし、エネルギー部門を越えて運輸部門までも含めて運用最適化（セクターカップリング）を目指したスマートグリッド。
Power-to-X（P2X）	電力から他のエネルギー等へ変換すること 温水や製氷等の熱に変換する P2H（Power to Heat）や、電力を水の電気分解（水電解）に利用して水素やメタン等の気体燃料に変換する P2G（Power to Gas）等
ユニバーサルスマートパワーモジュール（USPM）	SIP で開発する、新しい概念に基づく電力変換モジュール。電力変換システム（PCS）の通信制御機能を担う。
VPP、VVPP	Virtual Power Plant。域内に分散するエネルギーリソース（発電・蓄電設備やエネルギー消費機器等）を IoT で一括管理・制御し、仮想的に発電所のように動かして電気の需給調整に活用する仕組み。これにより、電力の需要と供給のバランスを最適化する。

	VVPP (Village Virtual Power Plant) は農村型の VPP を指す。
V2X	Vehicle to X. EV 等が持つ蓄電機能を活用し、あらゆるものとの間で電気をやり取りする取組、通信・連携技術の総称。 V2H (Vehicle to Home) 、V2B (Vehicle to Building) などがある。
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (米国電気電子学会) 。
CIGRE	International Council on Large Electric Systems (国際電力システム会議) 。
ACEEE	American Council for an Energy-Efficient Economy (米国エネルギー効率経済協議会) 。
eceee	the European Council for an Energy Efficient Economy (欧州エネルギー効率経済委員会) 。
LBNL	Laurence Berkeley National Laboratory (米国ローレンス・バークレー国立研究所) 。
BEMS	Building Energy Management System。 建物側のエネルギーマネジメントシステム。
FEMS	Factory Energy Management System 工場側のエネルギーマネジメントシステム。
ZEB	net Zero Energy Building。 快適な室内環境を実現しながら、消費エネルギーをゼロにすることを目指した建物。住宅を対象にしたものを ZEH (net Zero Energy House) と呼称される。
RE100	加盟企業が自らの事業の使用電力を 100%再エネで賄うことを目指す国際的なイニシアティブ。
デマンドレスポンス (DR)	需要家側エネルギーリソースの保有者もしくは第三者が、電力系統やエネルギーサービス提供事業者 (リソースアグリゲーター) の指示・自動制御を受けて、そのエネルギーリソースの電力需要パターンを変化させること。
IEEE P2992	スマート農業分野でのデータ活用に係る国際標準規格。
LiDAR	レーザー光によるリアルタイム・リモートセンシング技術。
CCU	Carbon dioxide Capture Utilization (二酸化炭素回収有効利用) 。 CO ₂ を分離・回収し、他の製品製造に利用する技術。
e-fuel 炭素循環システム (vACRES)	SIP で開発する、液体燃料である e-fuel を基本とした移動体向けカーボンニュートラルシステム。
DESAT 機能	信頼性の高い長期的な動作を実現するための検出、故障報告、保護

	が可能な機能。
SiC-MOSFET	炭化ケイ素（SiC）を素材とした金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ、半導体素子である電界効果トランジスタの一種。
IEC63376:2023	Industrial facility energy management system (FEMS) - Functions and information flows。 「産業施設エネルギー管理システム（FEMS）－機能と情報の流れ」の国際標準規格。
IEC/TS 62872-1:2019	Industrial-process measurement、 control and automation - Part 1: System interface between industrial facilities and the smart grid。 「工場とスマートグリッドのインターフェース」の技術仕様書。
CIM	Construction Information Modeling / Management。建設分野の 3 次元モデル。