

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（案）

令和5年1月26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.....	3
II. 社会実装に向けた戦略.....	3
1. ミッション.....	3
2. 現状と問題点.....	4
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.....	5
(1) 5つの視点での取組.....	5
① 技術開発.....	5
② 事業.....	6
③ 制度.....	6
④ 社会的受容性.....	6
⑤ 人材.....	6
(2) ミッション到達に向けたシナリオ.....	6
4. SIPでの取組(サブ課題).....	8
(1) 背景(グローバルベンチマーク等).....	10
(2) 社会実装に向けたSIP期間中の達成目標.....	16
(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.....	17
(4) SIP後の事業戦略(エグジット戦略).....	17
5. 5つの視点でのロードマップと成熟度レベル.....	18
(1) ロードマップ.....	18
(2) 本課題における成熟度レベルの整理.....	27
6. 対外的発信・国際的発信と連携.....	30
III. 研究開発計画.....	30
1. 研究開発に係る全体構成.....	30
2. 研究開発に係る実施方針.....	31
(1) 基本方針.....	31
(2) 知財戦略.....	32
(3) データ戦略.....	32
(4) 国際標準戦略.....	32
(5) ルール形成.....	32
(6) 知財戦略等に係る実施体制.....	33
3. 個別の研究開発テーマ.....	36
(1) A1 エネルギーとモビリティのセクターカップリング.....	36
① 研究開発目標.....	37
② 実施内容.....	40
(2) A2 RE100を実現する農村型VPPの開発.....	43

①	研究開発目標	43
②	実施内容.....	46
(3)	B1 アンモニア・水素利用分散型エネルギーシステム.....	47
①	研究開発目標	49
②	実施内容.....	51
(4)	B2 カーボンニュートラルモビリティシステム.....	54
①	研究開発目標	57
②	実施内容.....	59
(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システムの開 発	63
①	研究開発目標	64
②	実施内容.....	65
(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	67
①	研究開発目標	67
②	実施内容.....	69
(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.....	72
①	研究開発目標	74
②	実施内容.....	75
(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.....	77
①	研究開発目標	78
②	実施内容.....	79

I. Society5.0 における将来像

「パリ協定」で我が国が宣言した中・長期目標「2030年代にCO₂排出を大幅削減」「2050年までにエネルギー起源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間に合わず、これまでの削減技術とは非連続的な技術も含めて、世界全体での排出量の抜本的な削減を実現するイノベーションを創出することが不可欠である。カーボンニュートラルの文脈でのSociety5.0には、GX（グリーン・トランスフォーメーション）およびDX（デジタルトランスフォーメーション）により利便性が高く魅力的なサービスが実装された「カーボンニュートラルなエネルギー消費社会」が将来像として定義される。

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とすることが必要となる。

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）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、DER（分散型エネルギーリソース）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、再エネを最大限活用し、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・制度・社会的受容性・人材に対応するXRL3～7）を推進する（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）。

- ▶ サイバー×フィジカルによりエネルギーバリューチェーン全体で再生可能エネルギーを中心としたゼロエミエネルギーを使いこなす統合的なスマートEMSを構築
- ▶ セクター横断・クロスボーダーでのエネルギー全体最適を実現し、脱炭素化とあらゆる消費セクターでのエネルギー利用の利便性・効率向上に貢献

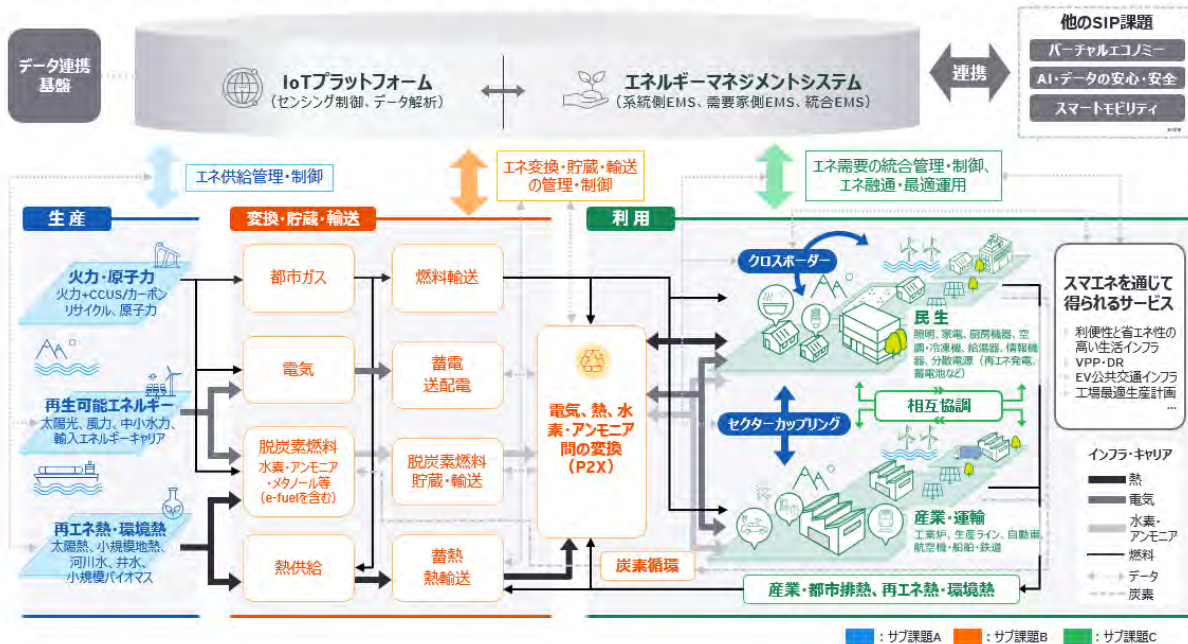


図 II-1 コンセプトイメージ

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」を達成するためには、再生エネポテンシャルとDER（分散型エネルギーリソース）/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。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およ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生エネ導入・活用と協調制御が不可欠
- ▶ 再生エネの最大限活用には、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ては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、再生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エネ構築・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）。



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、スマエネ構築・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・制度・社会的受容性・人材の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）。図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、効果的・効率的な技術開発のため、テーマ間役割分担を明確化。
 - ・ 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を構築。
- ▶ GI基金での取組：従来エネマネ技術の開発

- ・ グリーン成長戦略のうち特に重要な技術（従来エネマネ含む）の開発と活用。

② 事業

- ▶ SIP 内での取組：市場形成に向けた取組
 - ・ ルールの整備と連携した、スマエネビジネスの市場形成に向けた収益性の検討。
 - ・ 要素技術を生活の利便性向上に活かすためのビジネスモデルの検討。
 - ・ 派生する社会サービスのビジネスモデル検討。
- ▶ 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
 - ・ スマエネ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の課題整理、及び、実施に向けた関係府省との調整。
 - ・ 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エネ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 社会的受容性

- ▶ 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のための普及計画検討・策定。
 - ・ エネマネ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

- ▶ 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
 - ・ スマエネシステム構築・運用を担う分野横断型の専門性（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など）を有した人材の育成・確保方針の策定（博士人材育成・輩出、スタートアップとの連携含む）。
- ▶ 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（CN）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。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、将来像実現までに必要なプロセスを、全体的に可視化している（図 II-3 ロジックツリー）。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

- ▶ 課題全体（派生する事業含む）を解決するビジネスモデル・事業化計画

③ 制度

- ▶ スマエネの社会インフラ化を実現するうえで必要なルール

④ 社会的受容性

- ▶ スマエネ製品・サービスの社会実装の意義（実証済み）

⑤ 人材

- ▶ スマエネシステム構築・運用を担う分野横断型の専門性を有した人材の確保

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エネのインフラ化」、及び、「官民連携によるスマエネ市場基盤の創出」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、特に太陽光や風力など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、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などを活用し、セクターカップリングなど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、スマートグリッド（ヒートポンプ、電気自動車（EV）、分散型蓄電池などの柔軟性リソース：分散型エネルギーリソース（DER））、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（水素、アンモニア、e-fuel、電力・熱・運輸部門のセクターカップリング）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 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。

スマート・エネルギー・マネジメント・システムの定義

- 目的と定義：再生可能エネルギー、特に変動電源（太陽光＋風力）を供給力の主力とするため、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(Integration)し、需給調整に必要な柔軟性(Flexibility)を確保する。
- エネルギーインフラとして、スマートグリッド（ヒートポンプ、EVなどの柔軟性ソース）、スマート熱グリッド（地域熱供給のイメージ）、スマートガスグリッド（水素、アンモニア、電力・熱・運輸部門のセクターカップリング）を含む
- 要件：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
- SIPで規制改革などの面で、府省連携の取組みを必要とする

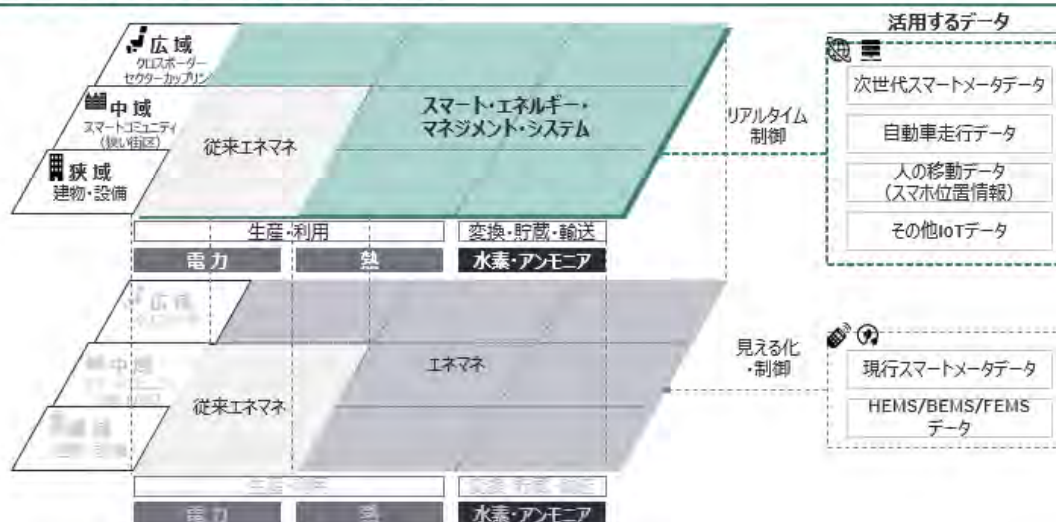


図 II-4 スマートエネルギーマネジメントシステムの定義

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管理を行う技術およ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 など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、集中型/分散型利用等に係る管理技術を開発・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、運輸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。スマート熱グリッドの実現を目指す

サブ課題 A で開発するエネルギー需給管理プラットフォームは、本課題のミッションであるエネルギー社会インフラの基盤である。サブ課題 C は同インフラでのエネルギーの最適利用を実現する技術開発をするもの、サブ課題 B は同インフラを支える要素技術を開発するものであり、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。

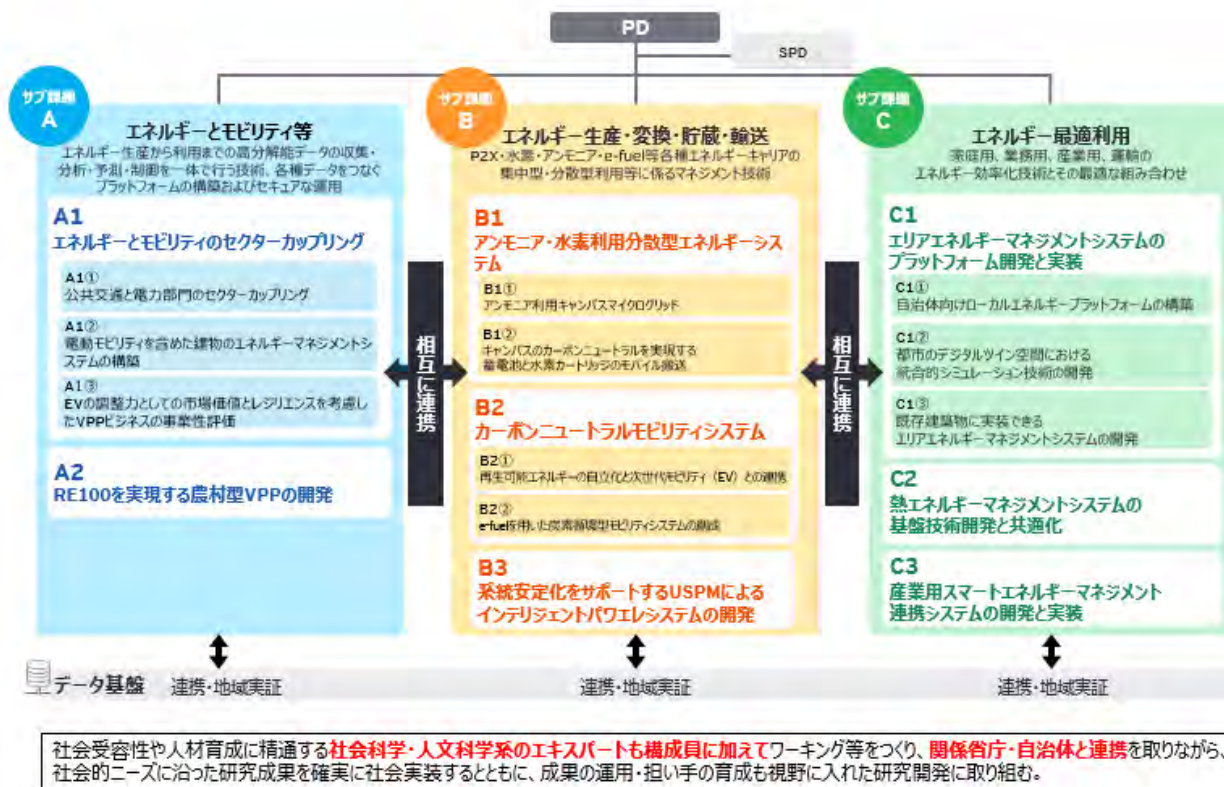


図 II-5 サブ課題の構成

(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、国際的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）。将来社会を見据えた新たな技術領域としての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など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、技術の社会実装に当たっては、技術・事業・制度・社会・人材の5つの視点それぞれのボトルネックが特定されている。技術開発とともに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。


国/地域	主な主幹省庁	エネマネ分野における施策の実施状況 ¹ (2022年現在)	エネマネ分野への投資の伸び ²
 日本	 経済産業省	GI基金 1件 経産省 12件 環境省 3件 <small>運輸システムの最適化や系統制御実証など「従来エネマネ」を対象としたプロジェクト 「スマエネ」に着眼した取組は未だ無い</small>	
 米国	 DOE (エネルギー省)	DOE/ARPA-E 7件 DOE/EERE 2件 <small>系統制御管理やパワーデバイス等の技術開発 水素利用ネットワーク形成やエネルギー-地産地消に係る施策</small>	
 欧州	 欧州委員会	Horizon Europe 34件 Innovation Fund 10件 <small>クラスター5「気候、エネルギー、モビリティ」下の複数領域（「エネ供給」、「エネ利用」、「交通部門」等）でエネマネプロジェクトが進行</small>	
 中国	 国家発展改革委員会 国家能源局	第14次5か年企画 不明 国家重点研究開発計画 不明 <small>重点プロジェクトに「蓄電・スマートグリッド技術」を位置づけ（「水素」、「新エネ自動車」も含まれるが、インフラ開発が中心）</small>	(データなし)

図 II-6 主要国政府のエネルギー管理分野への支援状況

▶ 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“エネルギー管理”など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、国内外の既存施策での実施内容との比較から、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、従来のエネルギー管理を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管理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

米国政府および欧州委員会では、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規模である。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など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 など、一部の個別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、熱や燃料など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

システムへの統合技術が現時点で確立されておらず、また、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など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 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。さらに、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管理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	エネルギー管理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	産業のエネルギー管理に不可欠な、熱や燃料など電力以外のエネルギー資源のデジタル化・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（個別テーマ））。（ただし、現時点での市場規模推計は、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。

また、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エネ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を留意願いたい。

■ : > = 1兆円 ■ : 1兆 > 市場規模 > = 1,000億円 ■ : < 1,000億円

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	
			想定利用者	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合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(個別テーマ)

▶ 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、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などが挙げられる。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、現時点では空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの利用は屋内に限定されており、本課題のサブ課題C「エネルギー最適利用」の研究開発技術の社会実装のためには、屋外使用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。

▶ 社会的受容性

本課題における社会的受容性とは、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など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など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・実現や、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醸成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（東京工業大学「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人材育成プログラム」）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

サブ課題ごとの実施期間中の主な達成目標は以下の通り。

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 システム(農村型 VPP) 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にて、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%) 排出削減することを目標とし、セクターカップリングによるスマート EMS プラットフォームを開発する。
 - ✓ CO2 排出削減を実現する EV バスのリアルタイム充放電制御システムおよび BEMS(Building Energy Management System) を開発する。
 - ✓ V2X に係る事業性・費用便益性評価ツールを開発する。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》
アンモニア、水素、e-fuel を活用したカーボンニュートラル分散型エネルギーシステム(生産・変換・貯蔵・輸送・利用を含む) を社会実装可能にする
- ▶ 《達成目標 b-2》
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
 - ✓ モビリティ分野のカーボンニュートラル化へのトランジションに関するロードマップを

定量的に示す。運輸部門における CO2 排出量の約 10% (1850 万トン) 削減を目標とし、当開発技術による CO2 排出削減ポテンシャルと技術ロードマップを定量的に示す。

- ✓ 再生可能エネルギーのエネルギー貯蔵技術として当開発技術のポテンシャルを示す。
- ✓ 当開発技術の達成のための制度面・社会的受容性に対する課題を明らかにする。

サブ課題 C :

- ▶ 《達成目標 c-1》
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ローカルエネルギープラットフォームを構築し、公的 EMS を社会実装可能にする。
- ▶ 《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する。
- ▶ KPI
 - ✓ 2025 年度までにサブ課題 C で主に対象とする、我が国の民生・産業分野におけるエネルギー起源 CO2 排出量の開発技術による削減ポテンシャル (最低 10%) を定量的に示す。
 - ✓ 2025 年度までに同分野(一部 EV 充電を含む)における電力需給の調整力を定量的に示し、VPP としての能力を明らかにする。
 - ✓ 2027 年度までに上記削減ポテンシャルと調整力を高い精度で再評価するとともに、社会実装を通じてこれらの達成に至るロードマップ、そのために必要な制度面・社会的受容性に対する課題を明らかにする。

(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などを十分に考慮した上で、年度毎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。具体的には、実用化に向けて、事業化の担い手となる企業との連携や、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、国際会議での情報発信や研究交流を実施する。社会実装に向けて、法制度面でボトルネックとなる事項を解消するための関係省庁との連携などの取組を戦略に位置づける。さらに国際標準化へと展開する。

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、個別テーマにおいては、異なる進捗を示すものもある。（図 II-10、図 II-12、図 II-14）

▶ 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（2022年度末）で、TRL2（仮説）、BRL2（仮説）、GRL1（基礎検討）、SRL3（検証）、HRL1（基礎検討）を達成している。各XRLの詳細は以下のとおり。

- TRL・・・SIP第2期において、代表都市の事例として検討、設定済みであり、現時点で仮説（TRL2）達成済み。ステージゲート（2025年度末予定）では、研究室レベルでの初期テストの実施中の状況（TRL4）である。2027年度末には、想定使用環境でのテスト（TRL5）を完了するとともに、代表都市におけるエネマネシステムの事業化主体が明確になり、実証（システム）（TRL6）、生産計画（TRL7）が部分的達成される状況を見通している。
- BRL・・・社会的価値および経済的価値は、本課題に先立ち実施した基礎的調査およびFS調査より、現時点で仮説（BRL2）達成済み。ステージゲート（2025年度末予定）では、代表都市におけるユーザーである公共交通事業者と意見交換を繰り返し、検証（BRL3）を進め、初期テスト（BRL4）の実施を目指す。2027年度末には、これまで検証してきた事業モデルの妥当性が実証（BRL6）された状態を見通している。なお、サブ課題 A における主要テーマ「公共交通と電力部門のセクターカップリング」では、想定されるバリューチェーンを図 II-11 バリューチェーン（テーマ A1①「公共交通と電力部門のセクターカップリング」）のとおり検討している。このテーマでは、図 II-9 に示したように、路線バスの運行会社、貨物事業者、タクシー事業者に対して、「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」を提供する計画であり、その市場規模見通しを2030年に約524億円、2040年に956億円と見込んでいる。ただし、この数値については、前提としている初期費用、年間サービス費用、及び、普及率等の設定について、更なる精緻化を行う予定である。
- GRL・・・現時点では、対象技術から生み出す製品・サービスの公共性の有無が検討され、それによって、対象技術が社会に影響を及ぼし得る範囲が特定されている状況（GRL1）。また、制度面の課題は整理されているが、文書化（GRL2）はされていない状況と評価している。ステージゲート（2025年度末予定）には、評価（GRL3）実施中の状況を目指す。2027年度末

には、改変後の制度の有効性が特定および実証（GRL5）がされ、部分的に導入計画（GRL6）が進んでいる状況を見込んでおり、省庁への導入計画の提案実施を目指す。

- ・ **SRL**・・・SIP 第2期で基礎検討（SRL1）、仮説（SRL2）を実施済みであり、代表都市における公共交通事業者に繰り返しプレゼン・インタビューが実施され、有効性が確認されている状況であることから、検証（SRL3）を達成済み。ステージゲート（2025年度末予定）では、初期検討（SRL4）実施中の状況を目指す。2027年度末には、実証（SRL5）を完了させ、部分的に普及計画（SRL6）を策定している状況を見通している。
- ・ **HRL**・・・現時点で、電力システム分野、交通システム分野のデータ分析・最適化計算、システム構築技術として検討されており、基礎検討（HRL1）達成済み。ステージゲート（2025年度末予定）では、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・育成計画の仮説の検証（HRL3）実施中の状況を目指す。2027年度末には、検証（HRL4）が完了し、実際に必要な人材が手配・チーム形成・育成のテストがなされ、育成計画（HRL5）に着手した状況を見通している。

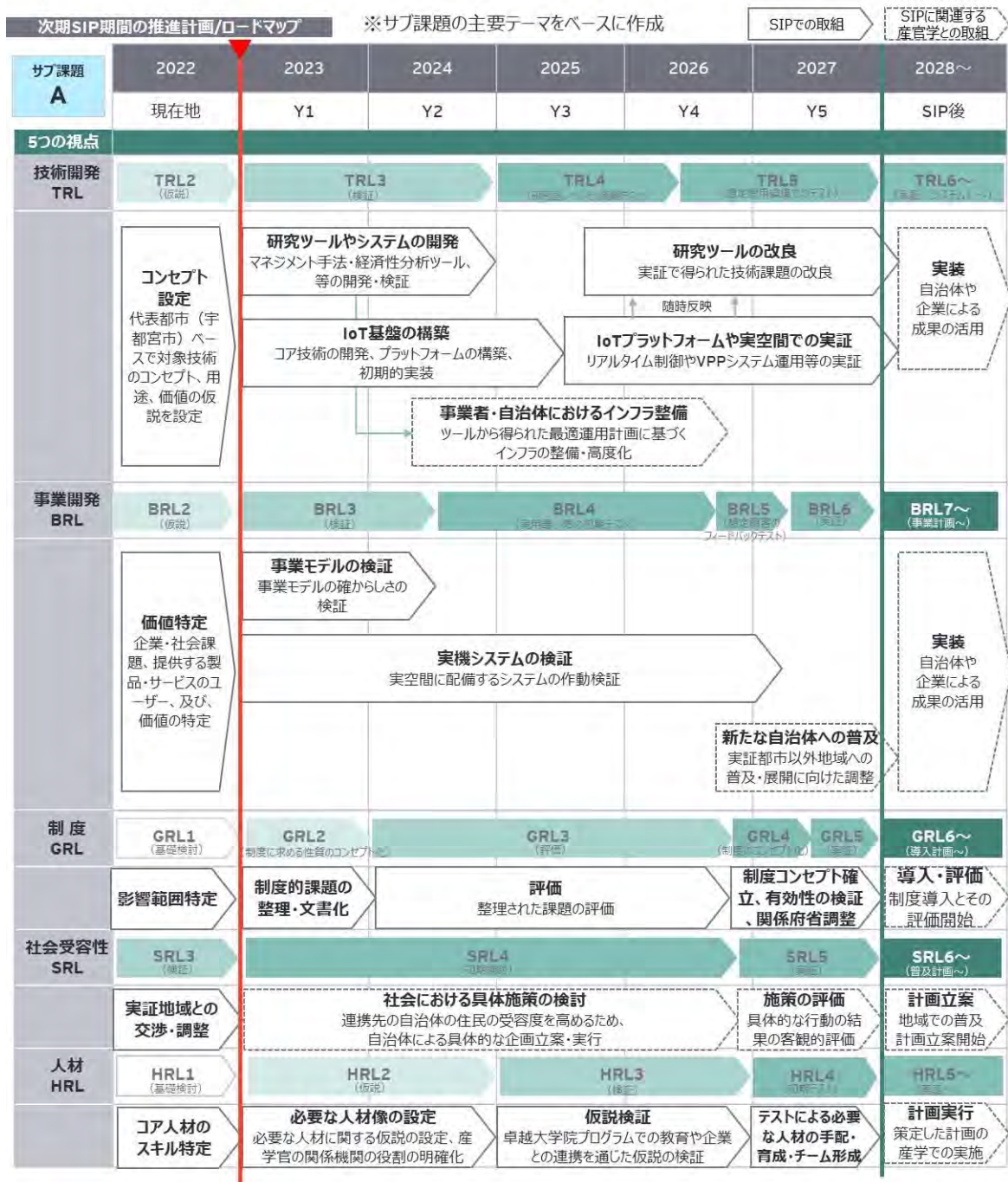


図 II-10 ロードマップ(サブ課題 A)

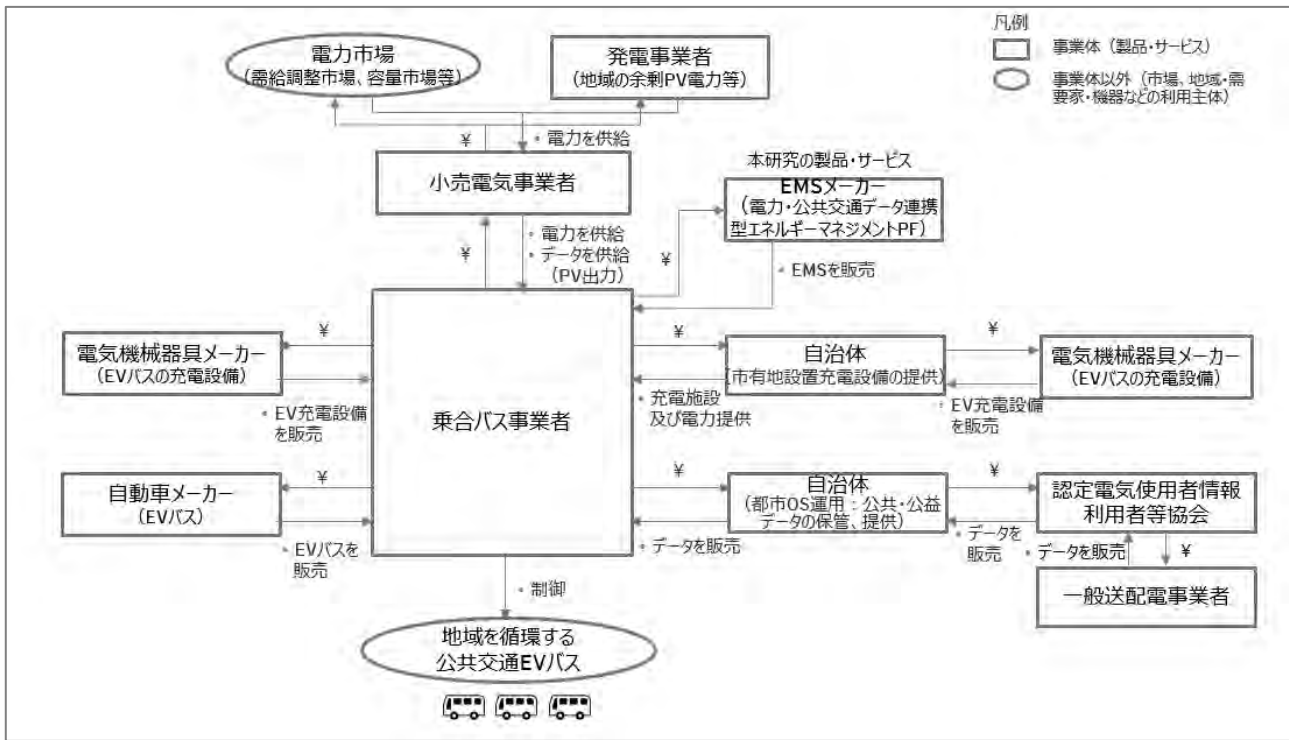


図 II-11 バリューチェーン(テーマ A1①「公共交通と電力部門のセクターカップリング」)

▶ 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（2022年度末）で、TRL2（仮説）、BRL3（検証）、GRL1（基礎検討）、SRL1（基礎検討）、HRL1（基礎検討）を達成している。各 XRL の詳細は以下のとおり。

- TRL・・・現時点で基礎研究（TRL1）、仮説（TRL2）達成済み。ステージゲート（2025年度末予定）では、全ての発電システムのラボスケール動作検証を完了し、かつ、EMS はシミュレーションレベルの動作検証完了、かつ、研究室レベルでの初期テスト達成済み（TRL4）で、想定使用環境でのテスト（TRL5）に入ったところとなる見込み。2027年度末には、初期需要の整理と生産方法の机上検討がなされ、実生産を開始できる段階にある状況、つまり、スケール（パイロットライン）（TRL8）が達成される状況を見通している。
- BRL・・・基礎調査および FS で実施した、複数の企業へのインタビューを通し、事業モデルを確認しており、基礎研究、仮説、検証（BRL1～3）は達成済み。ステージゲート（2025年度末予定）では試作品を導入するキロワット発電レベルの初期ユーザーから FB を取得し、反映し、正しい動作のテストが完了する見通しで、想定顧客のフィードバックテスト（BRL5）を達成した状況を目指す。2027年度末には、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、学官との連携構想が明確になっている状態、かつ、大学発ベンチャー起業の検討を完了している状態、つまり、事業計画（BRL7）が達成された状

況を見通している。なお、サブ課題 B における主要テーマ「アンモニア利用キャンパスマイクログリッド」では、想定されるバリューチェーンを図 II-13 バリューチェーン (テーマ B1 ①「アンモニア利用キャンパスマイクログリッド」) のとおり検討している。

- ・ **GRL**・・・現時点で、国レベルで公共性有り判断され、発電分野・船舶分野では実用性評価が開始されている。産業・民生・運輸分野では、国レベルで公共性有り判断されているものの、社会に影響を及ぼし得る範囲の特定は十分ではない状況で、継続して、基礎検討 (GRL1) を実施中の状況。第 6 次エネルギー基本計画、2050 年カーボンニュートラルへの成長戦略に基づき、本技術が社会に影響を及ぼし得る範囲が特定できている状況を目指すとともに、制度に求める性質のコンセプト化 (GRL2) を進め、ステージゲート (2025 年度末予定) では、制度に求める性質のコンセプトに対する評価 (GRL3) が完了し、制度のコンセプト化 (GRL4) 実施中の状況を目指す。2027 年度末には、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状況 (GRL6) で、かつ、その展開と評価 (GRL7) としてキロワットレベルでの数値評価が進んだ状況を見通している。2028 年度以降、実際の評価を開始予定。
- ・ **SRL**・・・現時点は、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中の状況、つまり、基礎検討 (SRL1) 実施中の状況である。ステージゲート (2025 年度末予定) では、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の有効性が確認された状態 (SRL3) を目指す。2027 年度末には、一般的なコミュニティへの普及計画が策定・文書化され、普及計画 (SRL6) も完了した状況を見通している。
- ・ **HRL**・・・これまでの研究実績から、コア人材のスキル要素は十分検討されてきており、現時点で、基礎検討 (HRL1) 達成済み。ステージゲート (2025 年度末予定) では、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・育成計画の仮説の検証 (HRL3) 及び、人材の手配・育成・チーム形成が初期テストにて確認できた状態 (HRL4) を目指す。2027 年度末には、実証 (HRL5)、人材確保・育成計画 (HRL6) を達成した状況を見通している。

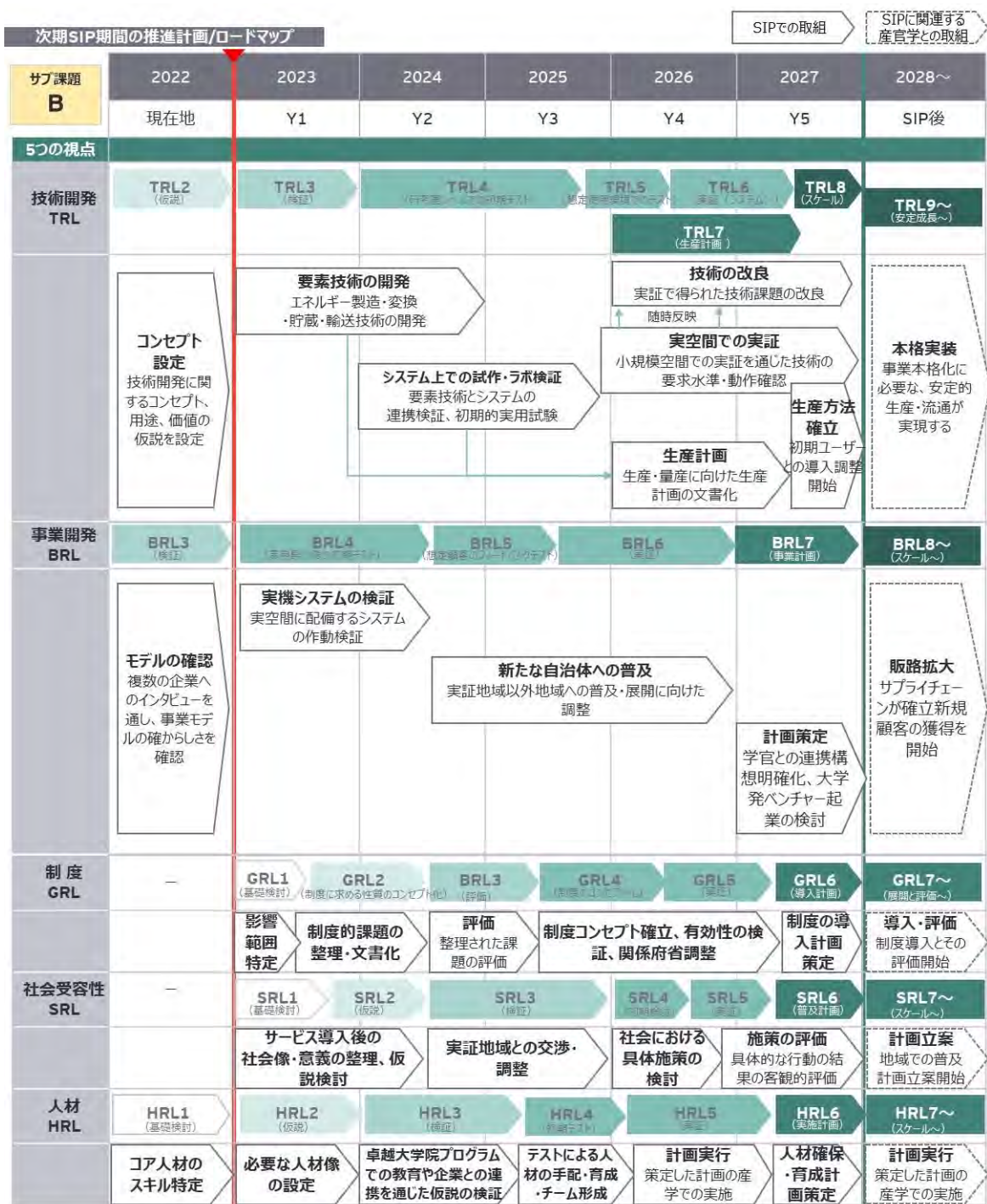


図 II-12 ロードマップ(サブ課題 B)

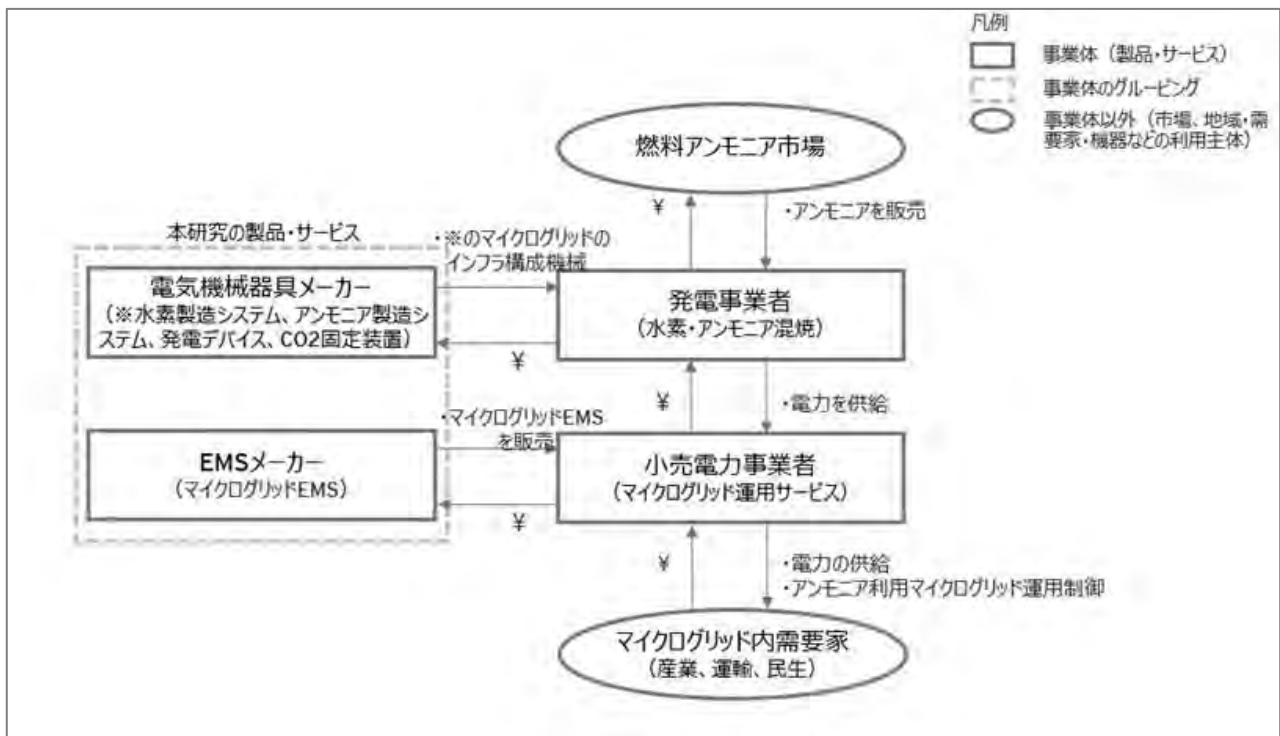


図 II-13 バリューチェーン(テーマ B1①「アンモニア利用キャンパスマイクログリッド」)

▶ 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（2022年度末）で、TRL2（仮説）、BRL2（仮説）、GRL1（基礎検討）、SRL・（対応無し）、HRL1（基礎検討）を達成している。各 XRL の詳細は以下のとおり。

- TRL・・・ローカルエネルギーPF、公共建物エネマネ共に検討済みで、現時点で基礎研究（TRL1）、仮説（TRL2）を達成済み。ステージゲート（2025年度末予定）では、公共建物エネマネの動作確認を含めた全ての技術の動作確認が完了し、研究室レベルでの初期テスト（TRL4）についても完了見込みである。2027年度末には、想定使用環境でのテスト（TRL5）を完了する見込み。
- BRL・・・基礎研究、社会的価値は、FS 及び基礎的調査によって明確化済みで、現時点で仮説（BRL2）達成済み。ステージゲート（2025年度末予定）では、外部事業者の動向にも留意し、継続的にヒアリングを実施し、事業モデルの確からしさの確認が完了した状況（BRL3）を目指す。2027年度末には、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た状態、つまり、実用最小限の初期テスト（BRL4）が完了した状況を見通している。なお、サブ課題 C における主要テーマ「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」では、想定されるバリューチェーンを図 II-15 バリューチェーン(テーマ C1①「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」)のとおり検討してい

る。このテーマでは、図 II-9 に示したように、自治体に対して、サービスとして「ローカルエネルギープラットフォーム」を提供する計画であり、その市場規模見通しを 2030 年に約 244 億円、2040 年に 446 億円と見込んでいる。ただし、この数値については、前提としている初期費用、年間サービス費用、及び、普及率等の設定について、更なる精緻化を行う予定である。

- ・ **GRL**・・・ローカルエネルギーPF、公共建物エネマネ共に公共性のあるサービスであり、ターゲットは明確。つまり、現時点で、対象技術から生み出す製品・サービスの公共性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が特定されている状況（GRL1）。ステージゲート（2025 年度末予定）では、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（GRL3）状況を目指す。2027 年度末には、改変後の制度の有効性が特定され実証（GRL5）が達成されている状況を見込んでいる。
- ・ **SRL**・・・ローカルエネルギーPF、公共建物エネマネ共に、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・コストは一部整理されているが、文書化はされていない状況で、継続的に基礎検討（SRL1）を実施中。ステージゲート（2025 年度末予定）では、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、実装において想定されるボトルネックの特定とボトルネックへの対応策の仮説検討が完了している状況（SRL2）を目指す。2027 年度末には、仮説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状況を見通している。ここで、検証は複数回繰り返され、有効性が確認できている状況（SRL3）を目指す。
- ・ **HRL**・・・ローカルエネルギーPF、公共建物エネマネ共に FS 段階でコア人材の役割、スキルについて検討済みで、現時点で、基礎検討（HRL1）達成済み。ステージゲート（2025 年度末予定）では、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・育成計画の仮説の検証（HRL3）実施中の状況を目指す。2027 年度末には、検証（HRL3）が完了し、初期テスト（HRL4）や実証（HRL5）に部分的に進んでいる状況を見通している。

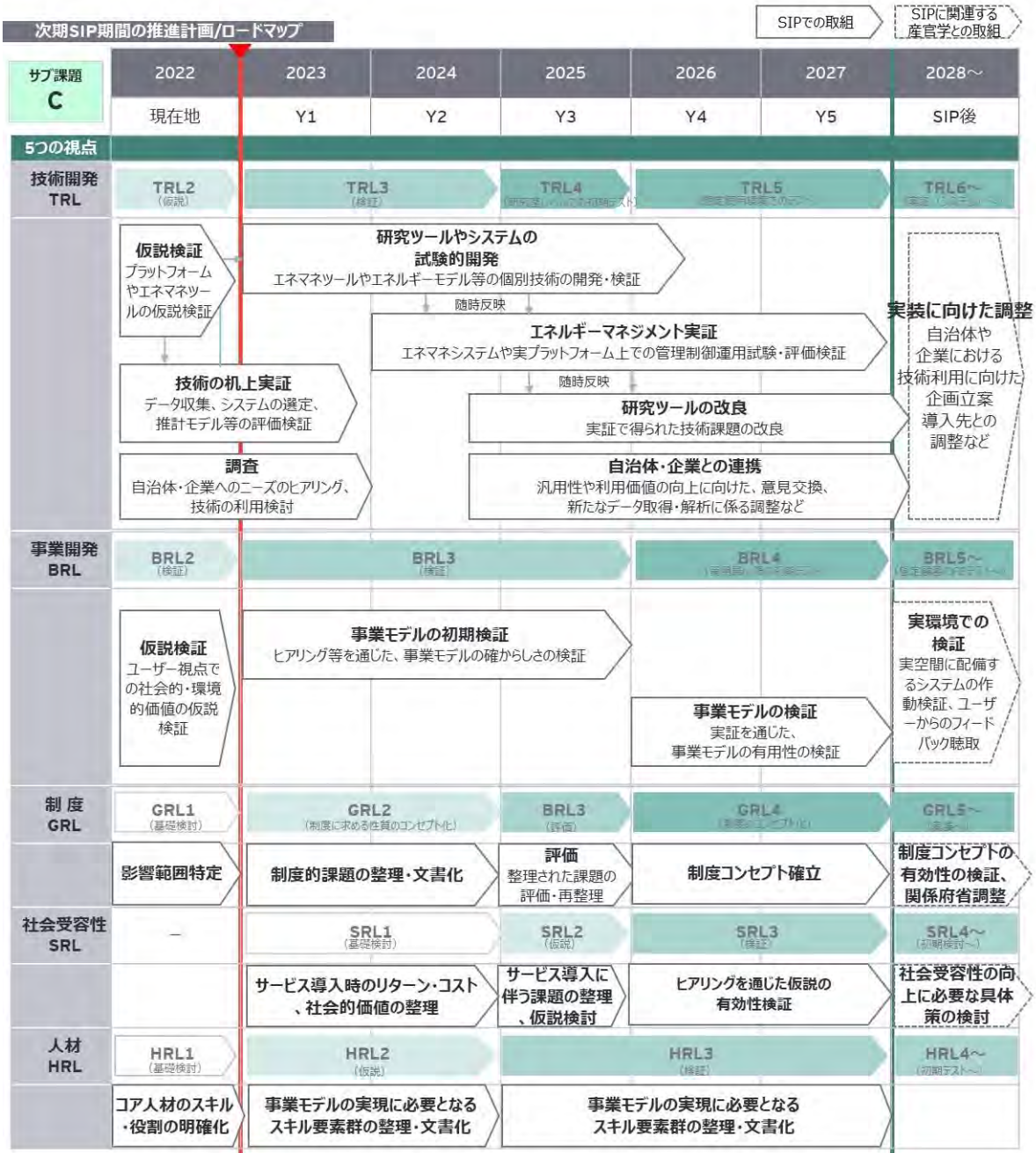


図 II-14 ロードマップ(サブ課題 C)

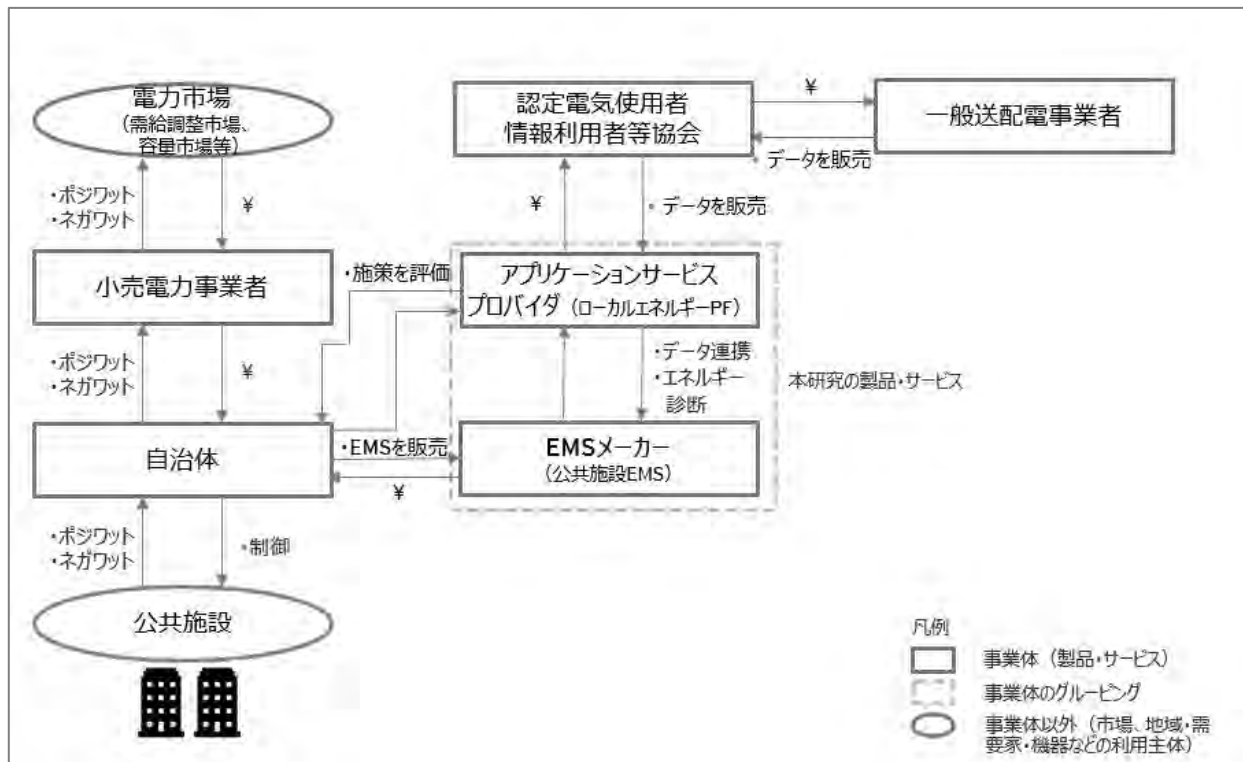


図 II-15 バリューチェーン(テーマ C1①「自治体向けローカルエネルギープラットフォームの構築」)

(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行っ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、導入可能量、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 、所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

電気学会などの国内学会発表や IEEE や CIGRE、ACEEE、ECEE など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、海外機関と研究交流を実施期間の中で進める。また、LBNL など海外機関と研究交流を実施期間の中で進める。

研究開発の発展や国際標準化を見据え、これらの取組を通じた本課題の成果の国内外への浸透を図る。

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到達に向けて、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、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 III-1 研究開発等の全

体像)。

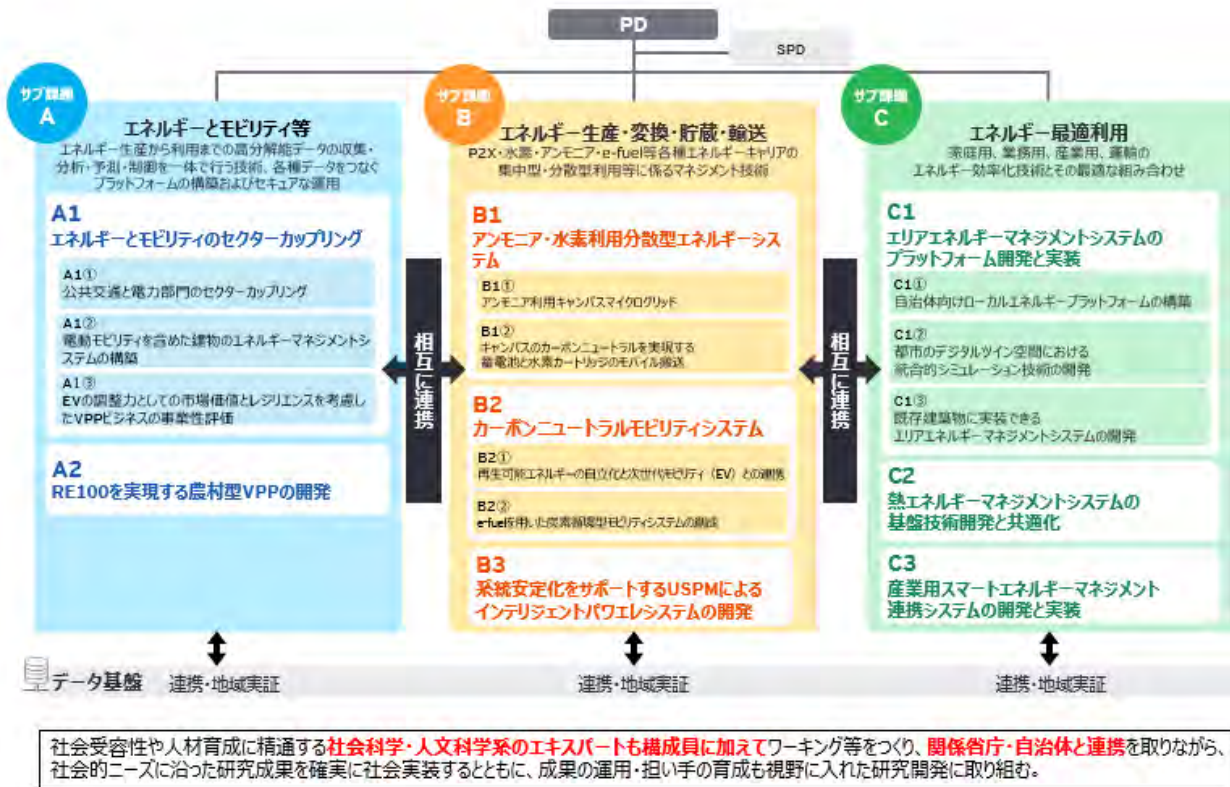


図 III-1 研究開発等の全体像

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・セクター横断での、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。

本研究で開発するシステムや技術については効率的な運用を行うことを前提とし、個別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。

(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、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など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。

(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）を組織する等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。

(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、必要なルール毎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。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、「電波法」において、現時点では空間伝送型ワイヤレス電力伝送システムの利用は屋内に限定されており、屋外使用の規制緩和を促す必要がある。また、「認定電気使用者情報利用者等協会（認定協会）制度」については、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

① 知財委員会

- ▶ 課題または課題を構成する研究項目ごとに、知財委員会を研究推進法人等または選定した研究責任者の所属機関（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行う。
- ▶ 知財委員会は、原則としてPD またはPD の代理人、主要な関係者、専門家等から構成する。
- ▶ 知財委員会の詳細な運営方法等は、知財委員会を設置する機関において定める。

② 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。

③ 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。
- ▶ 当該条件など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。

④ 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。

⑤ 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。

⑥ 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。

⑦ 終了時の知財権取扱いについて

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。

⑧ 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、ディーゼル車から電動車両（EV）への転換が急務となっており、バスなど公共交通や配送トラックにおいてもEV化が進みつつある。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・事業性の確保など多くの技術課題、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。社会全体のエネルギーにまつわる諸問題を総合的に解決するためには、電力インフラや交通、その他産業などの異なる部門（セクター）を統合し、エネルギーの相互やり取り等を行うことで相補的に全体最適を満たすことを可能とするセクターカップリングに取り組む必要がある。

こうした状況認識に基づき、SIP第2期では、電力部門×交通部門のセクターカップリング研究の初期段階として、宇都宮市において、電力および交通データの連携による地域エネルギーマネジメントプラットフォーム設計に必要なコア技術（地域PV予測と公共バスのロケーションに基づくEVバス充電スケジュールの最適化シミュレーションや、プラットフォームのプロトタイプ部分の構築と機能検証）の開発が進められてきた。この研究成果を基盤とし、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組を推進する。

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、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大規模実証、ワイヤレス給電対応EVと建物の協調EMSの実証、フィールド実証のデータ分析に基づき社会科学の知見を踏まえた事業性評価や社会価値の検証を実施する。更に、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。

なお、開発は以下の個別テーマを有機的に繋げながら進める。

(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」をテーマに設定し、中核規模の実都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。

(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

都市部の需要側である「建物」に焦点を当て、都市部に多数存在するモビリティの電動化を基に、これらを蓄電池として活用した、建物需要と協調する建物・EV 一体型エネルギーマネジメントシステムの研究開発を行う。また、電動モビリティの普及率向上へ向けて、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。

(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家による知見を融合し、技術面、経済面、地域社会との共創、ユーザー価値、レジリエンス強化とビジネス化の視点から、既存の電力システムと連携し整合性が担保される形での分散型リソースを活用した日本ならではの 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、フィールド実証から得られる実データを収集・蓄積・整理し、データドリブンな事業経営シミュレーション分析、電力入札シミュレーション分析、費用便益分析の総合的事業性評価ツールを構築する。また、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)

【各項目における i, ii, …は、実施内容における番号に準ずる】

- (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
- iii. 推定・予測された EV バスの SoC と充電可能タイミング、および、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
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
- iv. 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
研究内容 i ~ iii の成果に基づき、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。
 - ▶ 中核規模の都市において、公共交通運行データ、スマートメータ統計データなど、公共性が高く面的に広がるリアルタイムデータを、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。
 - ▶ 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。

(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

現在普及している気象条件や建物運用などから最適制御を行う BEMS(Building Energy Management System)に新たに EVバスの運行条件なども加味し、建物・建物群における CO2削減効果を最大化することが可能な BEMSの開発を目標とする。

iv. ワイヤレス給電機能を有する V2X 設備および車載ワイヤレス給電装置の開発

建物周辺の駐車場等において、シームレスな充電を実現する EVバスのワイヤレス充放電機能をもつ装置を開発することを目標とする。

(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

ii. 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

- ▶ 我が国の電力システム、電力市場に適した DER によるローカルフレキシビリティへの貢献機会の類型化・定量化、DER の利活用を前提とした需給最適化、経済的価値と社会的価値の再定義と評価、費用便益分析、そのためのシミュレーションモデルを含む一連の分析手法とモデルの開発および運用。EV (EVバス、EVマイクロバス、EVタクシー、EV自家用車) など DER の利用実態を反映した電力市場および新市場調整力への入札機会の解析と入札シミュレーション分析、そのためのツールの作成
- ▶ 地域の省エネルギー、CO2 排出量削減、エネルギーレジリエンス向上の見える化とそのためツールの作成、電力と交通のセクターカップリングを推進する社会インフラの再構築のために必要な概念・技術・制度・評価ツールの構築

iii. V2X フィールド実証の構築と実施、実データの収集・蓄積、効果検証

- ▶ i と ii で得られた知見と分析ツールを適用し、V2X フィールド実証を構築し実施する。それにより実データの収集・蓄積と効果検証
- ▶ 分析結果の蓄積と総合的検証を通じて、V2X 事業普及・促進のための新たな制度や政策への含意を探る。

(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】

(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

iii. 推定・予測された EVバスの SoC と充電可能タイミング、および、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電力予測エ

エンジンのプラットフォーム実装 (TRL5) 《達成目標 a-1》

iv. 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》

vi. 事業化対応

2027年度までに代表都市での想定ユーザーからのFB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) 《達成目標 a-1》

(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

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》

iv. ワイヤレス給電機能を有するV2X設備および車載ワイヤレス給電装置の開発

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年度までに高出力停車中ワイヤレス充放電技術の実証実験の実施(充電100kW、放電10kW) (TRL5) 《達成目標 a-1》

(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

ii. 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

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およ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・動作確認済みの事業性評価モデルの本格版をフィールド実証に向けて展開し、社会的費用便益評価を机上実施して検証する。また、評価ツールをWeb上で一般公開し、スタートアップ企業をはじめとする利用希望者に実際に使ってもらうことで社会実装に向けたフィードバックを得る。(TRL3) 《達成目標 a-1》

iii. V2Xフィールド実証の構築と実施、実データの収集・蓄積、効果検証

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、提案する制度や仕組みに基づき DER の多様な活用策の実証と効果検証を含めたすべての技術の実仕様環境下での動作検証を実施。ii の本格版評価ツールにフィードバックして改良を進める。(TRL6) 《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的受容性確保、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。

- (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
- (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
- (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、下記の通りとする。

- (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 A1①-1、図 A1①-2)

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など、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、急速充電器などを設置し、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的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および予測された地域 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

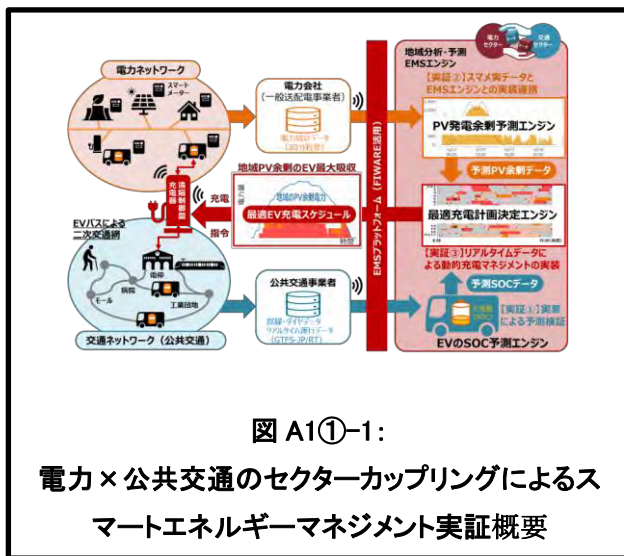


図 A1①-1:

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管理実証概要

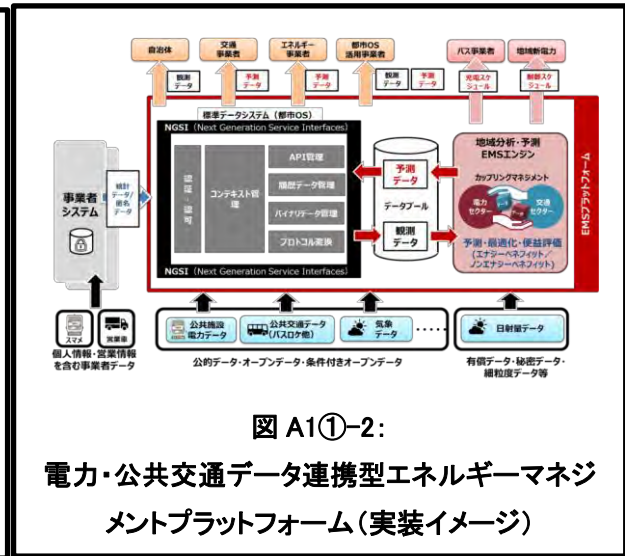


図 A1①-2:

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(実装イメージ)

(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管理システムの構築

建物側のエネルギー管理システム (BEMS) に EV およ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、単体および複数建物とし、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などについて、実証を中心として進める。

上記構想の概念を図 A1②-1 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・二酸化炭素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 設備およ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

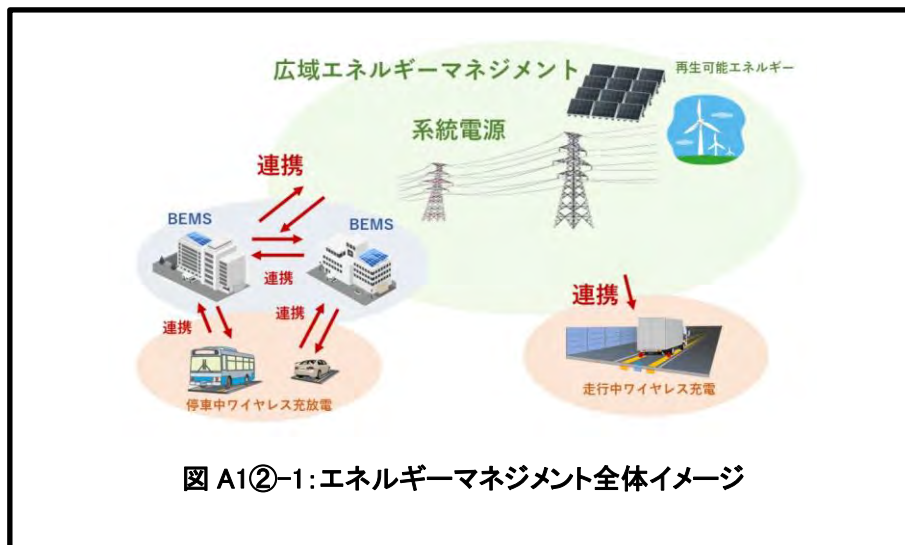


図 A1②-1:エネルギーマネジメント全体イメージ

(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

種々の分散型エネルギー資源 (DER) と関連技術を組み合わせて最適化することで、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などを可能にする、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な手法を適用する。大学などの研究機関、電力会社、メーカー、エネルギー関連スタートアップ企業、自治体などとの連携により、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 マイクロバスなどを使った地域の交通弱者対策などにつながる制度・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 技術実証およ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) など 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、交通弱者対策など社会課題の解決による社会福祉的価値など、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。

(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。

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、FIP 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。このシステムを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、および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、および余剰電力の蓄熱・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/流通情報を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つい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ーの基本技術を開発し、想定する農業経営体等の電力およ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動的な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、および余剰電力の蓄熱・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、およ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/流通情報を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実証（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
- 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（SRL5）《達成目標 a-2》
- viii. 人材確保・育成
- 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、農地および農業用水路、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ーを開発し、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などの園芸用施設、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低コストな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、季節など）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る、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。

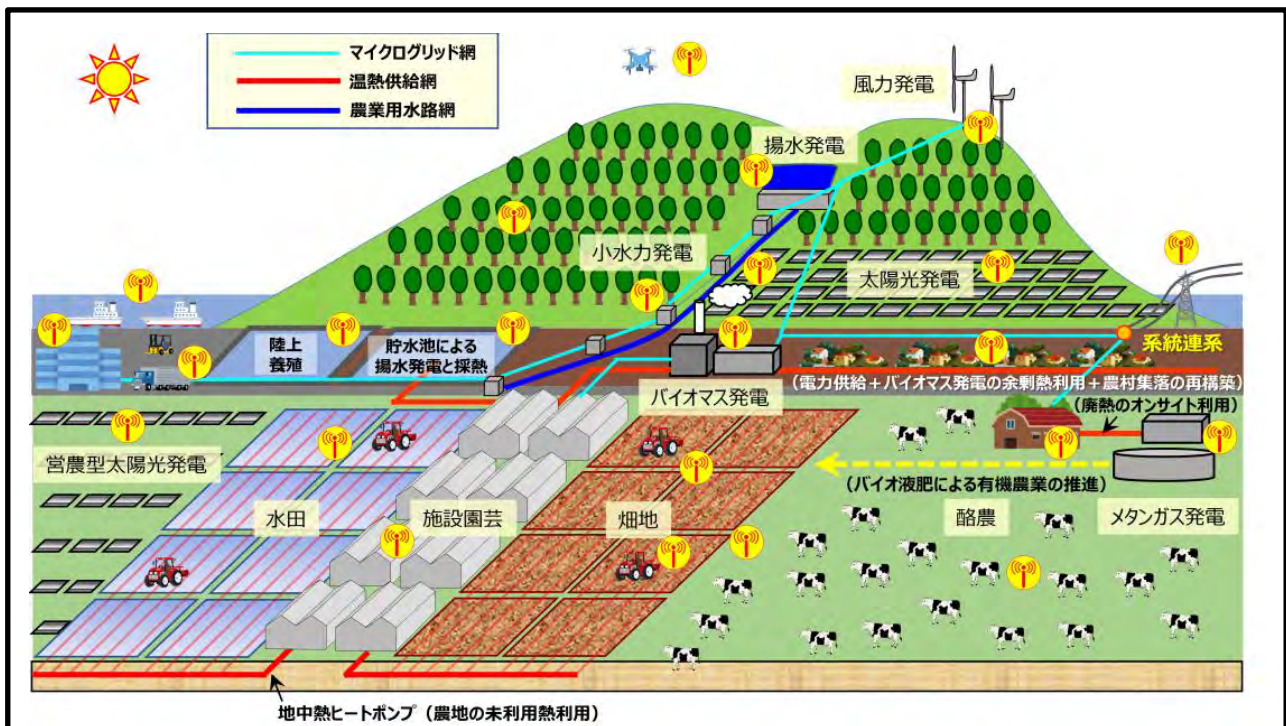


図 A2-1: VVPP が農山漁村地域に社会実装されたときのシステムイメージ図

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) 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および実証研究を行う。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、アンモニアおよ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、水素供給システムなどでの複合化により、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。

アンモニア利用キャンパス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、モビリティ搬送およ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。

(1) アンモニア利用キャンパスマイクログリッド

脱炭素燃料およ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、脱炭素燃料およ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およ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 B1①-1 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、エネルギー効率および NO_x/N₂O 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 B1①-1 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まれている。

(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 CO₂ 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

(1) アンモニア利用キャンパスマイクログリッド

(事業期間の5年間で達成する研究開発目標)

キャンパス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およ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もつ。

(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年度までに自立型改質器の実証試験の実施 (TRL6, 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年度までに水素製造用改質器の実証試験の実施 (TRL7, 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年度までに改質器付き工業炉の実証試験の実施（TRL6, 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年度までに改質器付きボイラの実証試験の実施（TRL6, 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年度までに改質器付きガスエンジン運転法の実証試験の実施（TRL6, 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年度までに最適脱硝装置の実証試験の実施（TRL6, 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 EMS の実証試験の実施（TRL6, BRL7, GRL7, HRL6） 《達成目標 b-1》
- viii. 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》
- ix. 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》

(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などがあるが、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、中心市街地の移動など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 40 リットル（232mm φ×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、高圧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、FRP を含む複合材料の開発など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 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ボンベ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

（1）アンモニア利用キャンパスマイクログリッド

アンモニアは着火しにくく、メタンなど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 NH₃の排出が懸念される。これらは、図 B1①-1 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、安定燃焼など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）の要素研究および実証研究を行う。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および実証研究を行う。

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およ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および脱硝装置設計に取り組む。

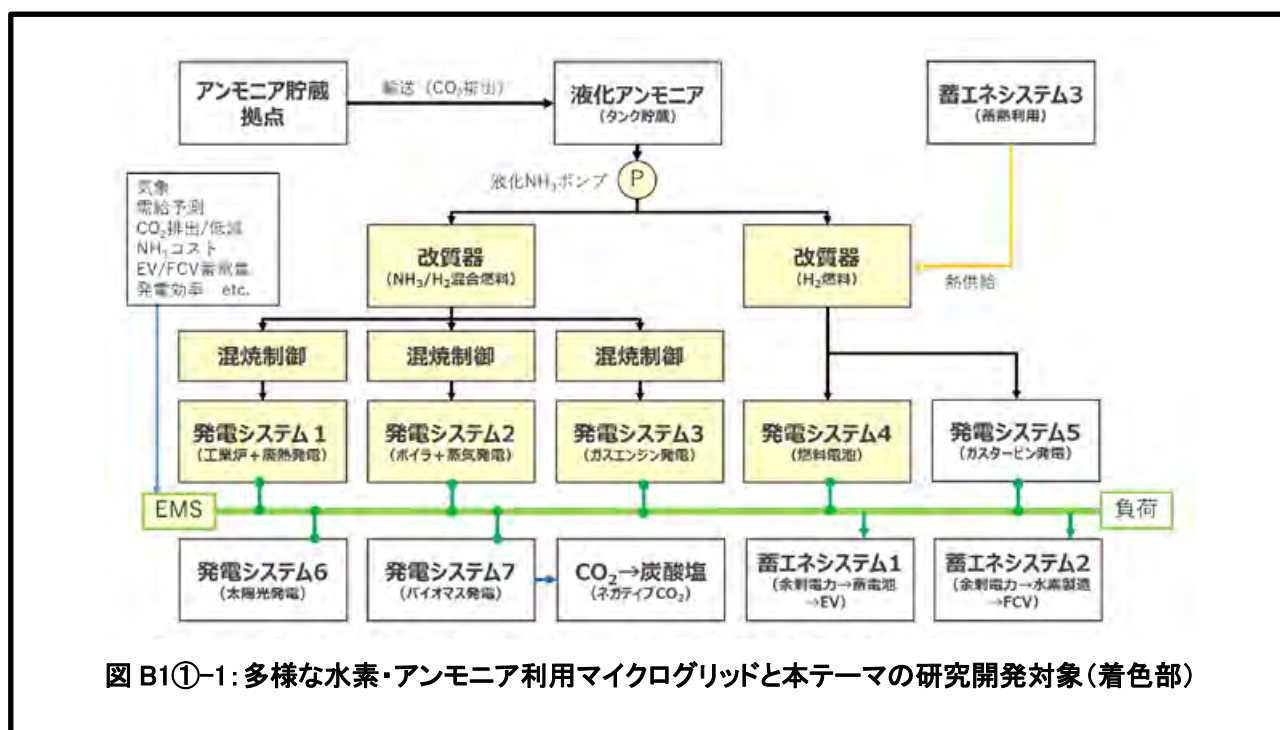


図 B1①-1: 多様な水素・アンモニア利用マイクログリッドと本テーマの研究開発対象(着色部)

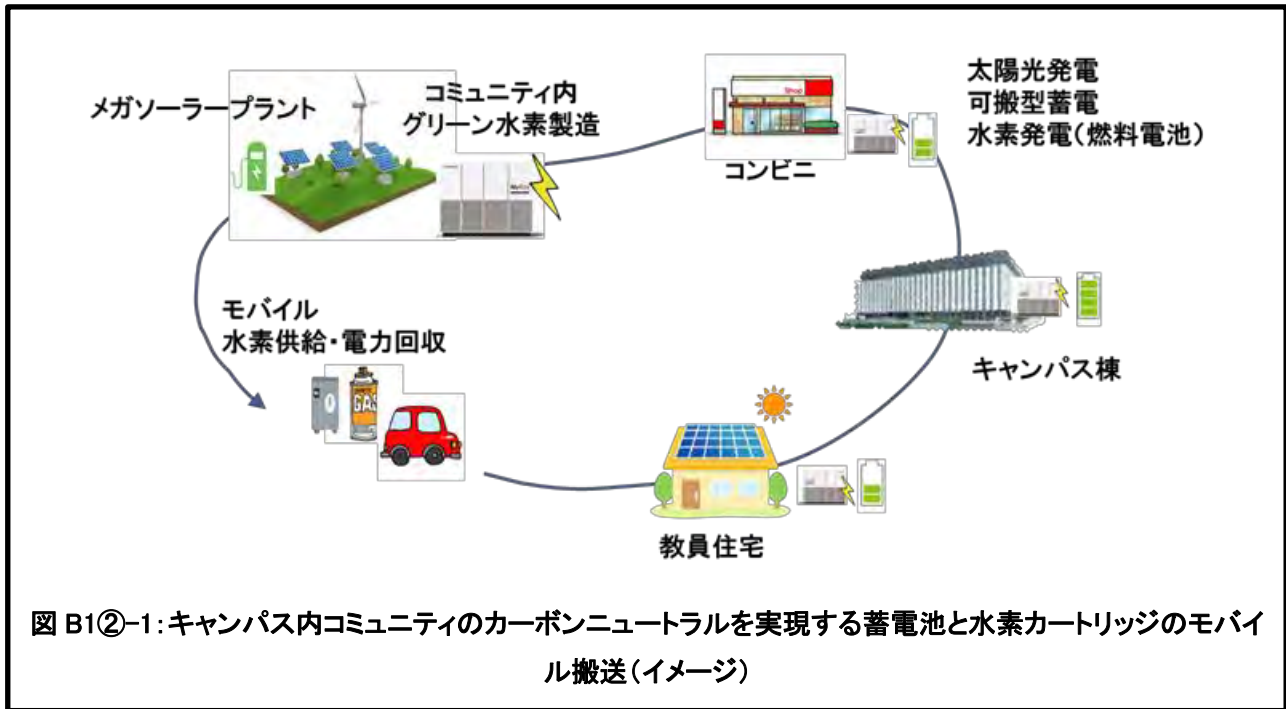
(2) キャンパスのカーボンニュートラルを実現する蓄電池と水素カートリッジのモバイル搬送

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立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）に対しては既存のポンペ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。



(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 CO₂ 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。

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、路線バスなど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・電動化など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 CO₂ フリー車両などモビリティ

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など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 など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。長距離移動などには、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 CO₂ 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 CO₂ 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二酸化炭素やバイオガス中の二酸化炭素を原料として合成・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。

●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。

● 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°C 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°C 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°C 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 CN 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 CN 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、重量当たりで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、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、資源化などの CN 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など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シナプスのモデル形成など、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、最適化および将来予測する。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。

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。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トランジション、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 (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年度までに電力および移動の需要予測システム構築 (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-1》

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、アンモニアなど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

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 (TRL6) 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 FB 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およ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、教育など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により、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二酸化炭素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などの需要が高いため、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、水素やアンモニアなど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など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。たとえば、生活用水など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。

また、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。

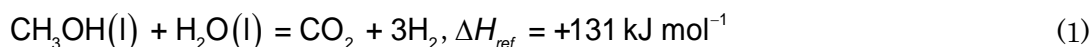
(1) e-fuel 液体燃料を用いた運搬可能な炭素循環システムの構築

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 B2②-1(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 B2②-1(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での開発項目から除外する。

(2) 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 B2②-2 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い水素を製造し、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

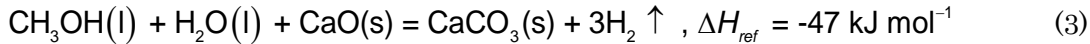


2) CO₂ 吸収材には候補があるが、ここでは一例として酸化カルシウム (CaO) 炭酸化反応による CO₂

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を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 B2②-1(b)に示す通り、炭酸カルシウムを仮焼し CO₂ を回収する。CO₂ は Fisher-Tropsh、Savatier 法などの在来法を用いて 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、および再生 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 CN 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、ジメチルエーテルなど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) などがある。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・特徴は以下の通りである。

- A) 再生可能エネルギーに基ずく 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、船舶) など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、この開発が本研究の実際の検討課題である。

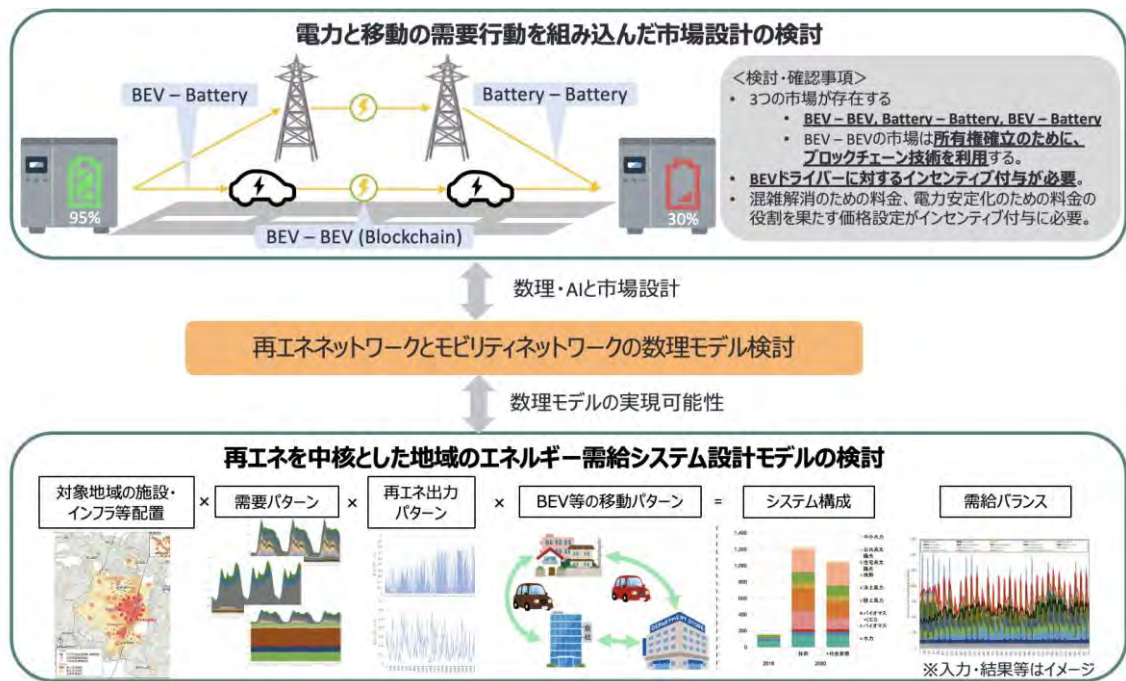


図 B2①. 数理モデルと市場設計、システム設計の関係図

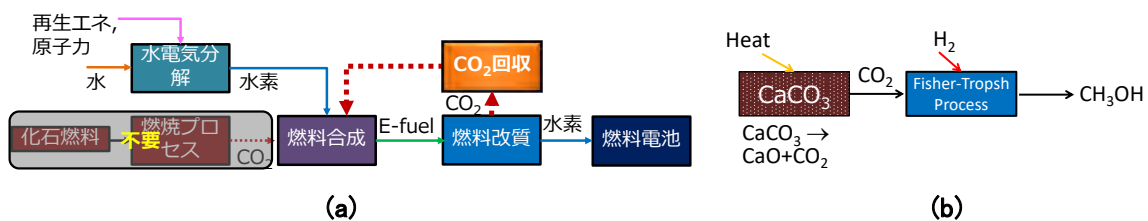


図 B2②-1. e-fuel 炭素循環モビリティシステム基本構成
(a)炭素循環水素製造プロセス、(b)CaO 及び e-fuel 再生プロセス

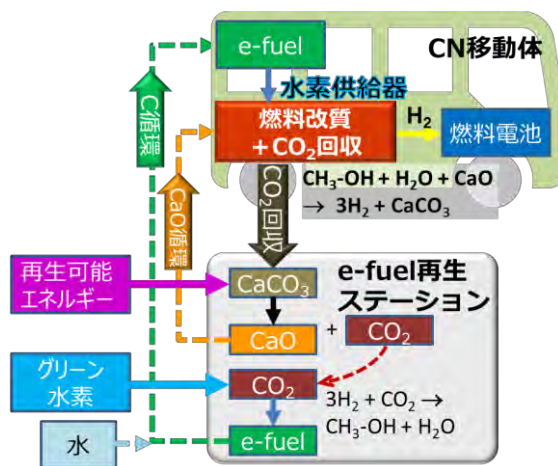


図 B2②-2. 炭素循環システムを備えたカーボンニュートラルモビリティシステムの構成

(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 や風力発電など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・微小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。

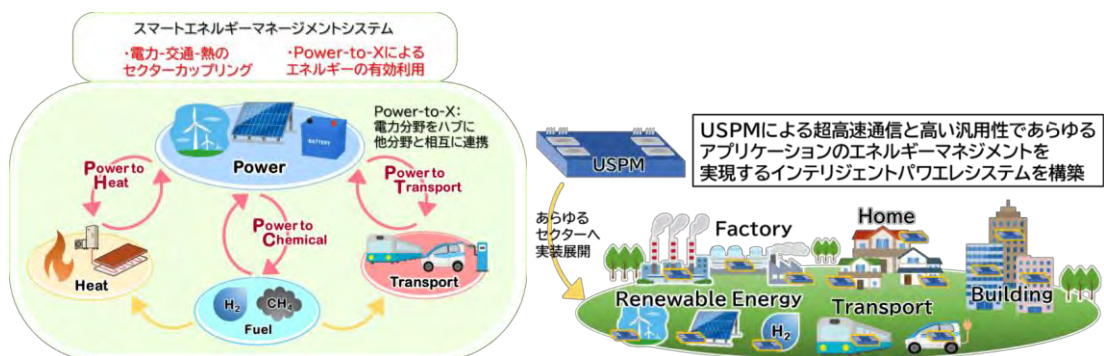


図 B3-1: 電力分野をハブとした電力-交通-熱のセクターカップリング

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)
 - ・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、および実証
 - ・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、および、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
 - ・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および実証

(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およ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検討(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(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 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礎技術の開発					
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. エネルギーマネー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 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、稼働時間向上など 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

第 3 期 SIP 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ーエレクトロニクス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）。

（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、化学など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など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。

（2）EMS 視点からの USPM 最適化技術の開発

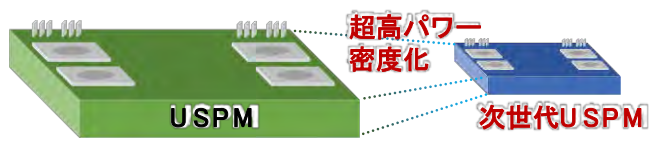
1) エネルギーマネージメントに必要な USPM のライブラリを開発し、再生可能エネルギー用途、系統安定化用途のみならず、水素やメタンなどの用途に適合した仕様を持つ USPM の開発を行う、2) USPM を用いたシステムの設計支援ツールを開発し、容易なシステム設計を実現する、3) USPM を用いたスマートインバータへの応用技術開発、4) 電力系統の情報を USPM システムにフィードバックする最上位スマートコントローラの開発を行う。

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およ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、多くのパワーエレクトロニクス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およびハードウェアの開発を行う。

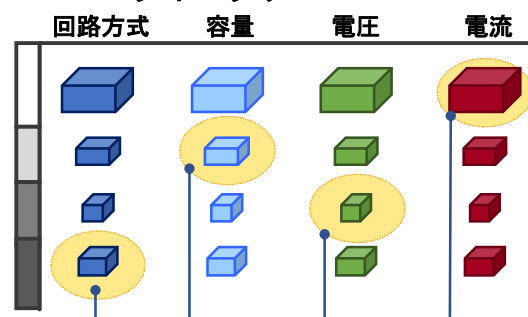
以上の (1)、(2) の開発成果を社会実装することを目標に開発を進める。

□ 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

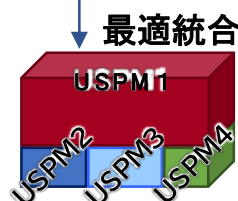


USPMライブラリ



□ 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: 第3期 SIP での研究開発内容

(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

- (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。

(2) 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など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り組むことで、カーボンニュートラルでウェルビー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とする研究を実施する。

(3) 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ージメントシステムの開発および事業化を目指す研究を実施する。

(KPI/マイルストーン)

(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PF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》

(2) 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》

(3) 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 の実証試験および 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 および 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》

② 実施内容

(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。

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

- ・エネルギー×都市データを基盤として、各種ツール活用を可能とする自治体温暖化対策サポートのためのプラットフォームの構築
- ・最終需要家を巻き込み、地域における持続可能な温暖化対策促進へ貢献

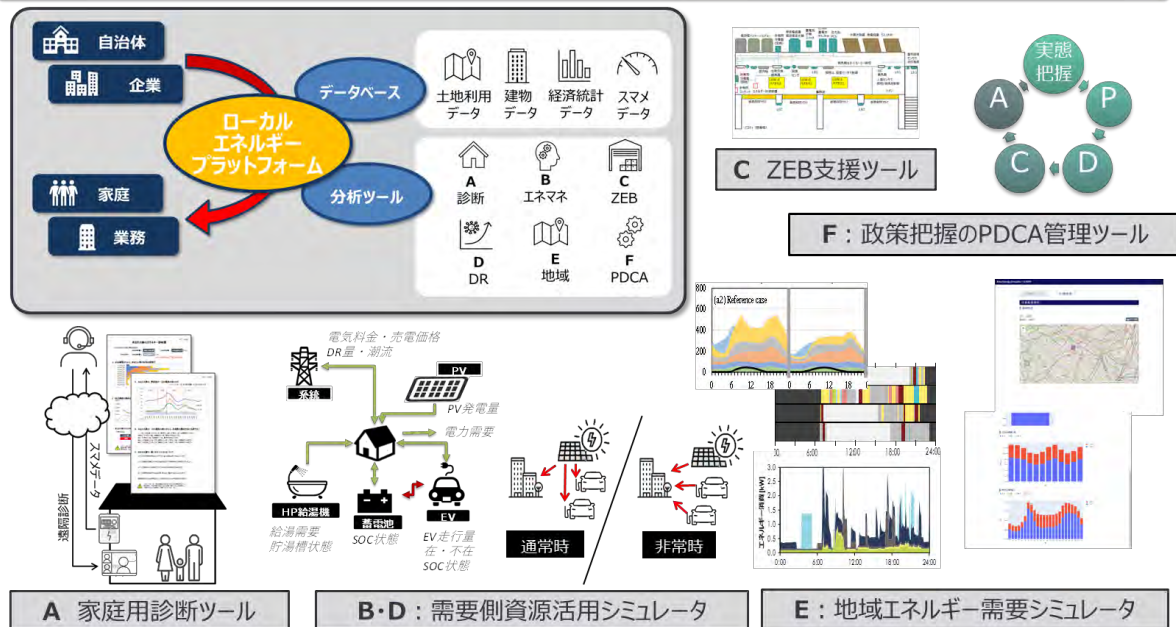


図 C1-1 自治体向けエネルギープラットフォームの概要

(2) 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、携帯端末位置情報や環境IoTセンサなどのビッグデータ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 C1-2)。AI手法を活用して交通・建築関係のビッグ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。

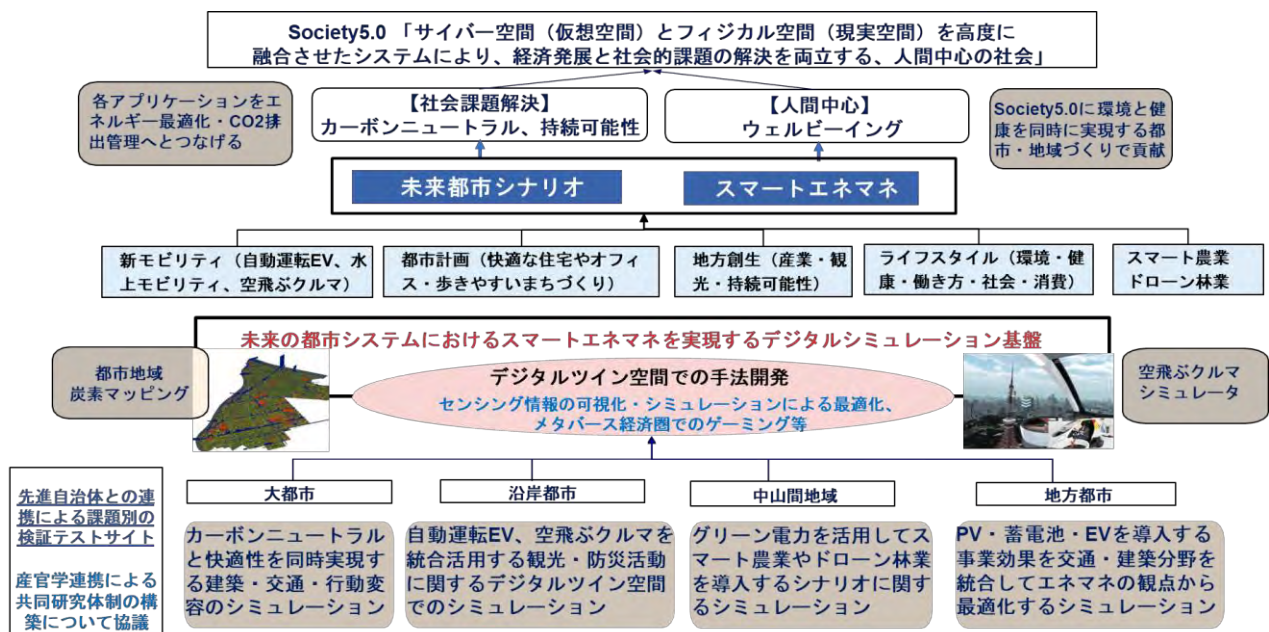


図 C1-2 都市のデジタルツイン空間における統合的シミュレーション技術の開発

(3) 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- 3)。

【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および需給調整 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 など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およ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およびエネルギー消費データを管理し、健康性・知的生産性およ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 および 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、グリッドデータが活用できることを前提に、街区単位で 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。

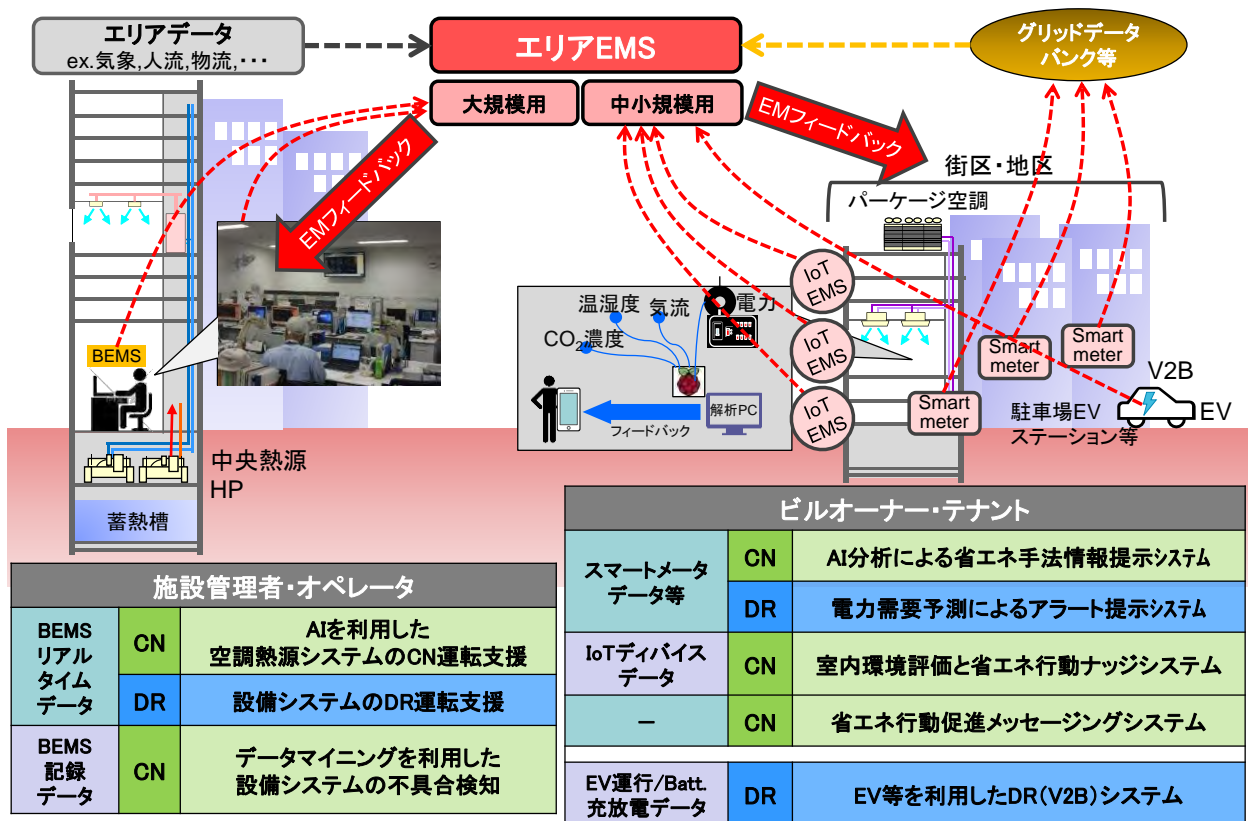


図 C1-3 開発 EMS の実装とエリアエネルギーマネジメントシステムの地域展開イメージ

(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のは間違いないが、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）、運輸など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、熱力学的に性能限界を迎えつつあるため、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、廃棄物など間接的に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 (TRL5) 《達成目標 c-2》

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》

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 (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、廃棄物などの環境因子による 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などに対しては、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。

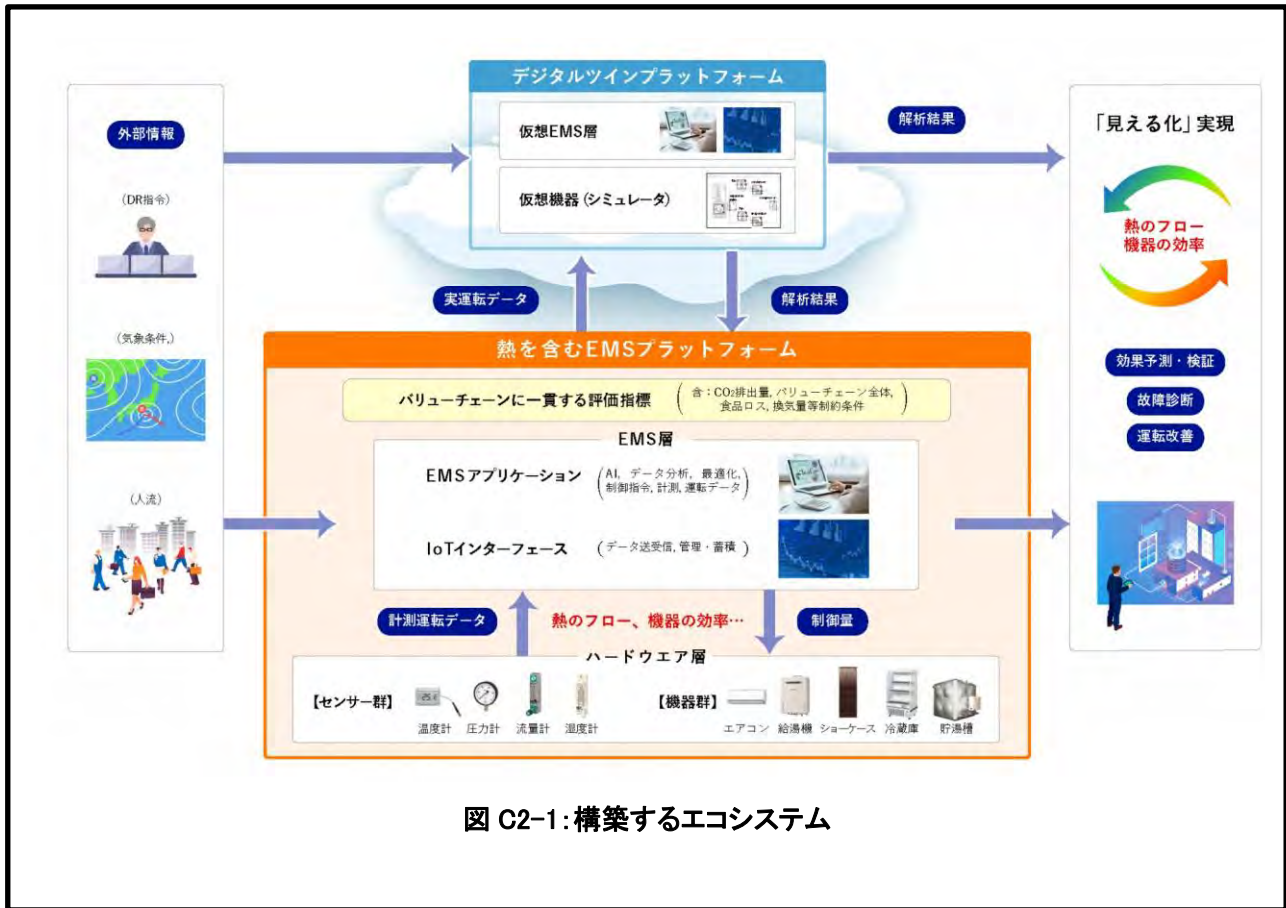


図 C2-1: 構築するエコシステム

(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などにも、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、貯蔵および利用設備を協調させ、地域の再生可能エネルギー

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など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などの取組を推進する。さらに、日本発で連携システム 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 (Industrial Facility Energy Management System (FEMS) - Functions and Information Flows) は国際規格原案 (CDV) 完了レベルであり、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 IEC/TS 62872-1:2019 (Industrial-process measurement, control and automation - Part 1: System interface between industrial facilities and the smart grid) などで、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。

本研究では TRL 技術成熟度レベル 5 相当 (産業用スマエネ連携システム実装先工場 (ユーザ) を想定した PoC 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、などの一部の技術に関しては TRL4 相当実証 (研究室初期テスト、PoC) 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、など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 PoC 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、貯蔵およ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、事業性および社会的受容性を評価する。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および需要・供給の予測
- ii 気象データなど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

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

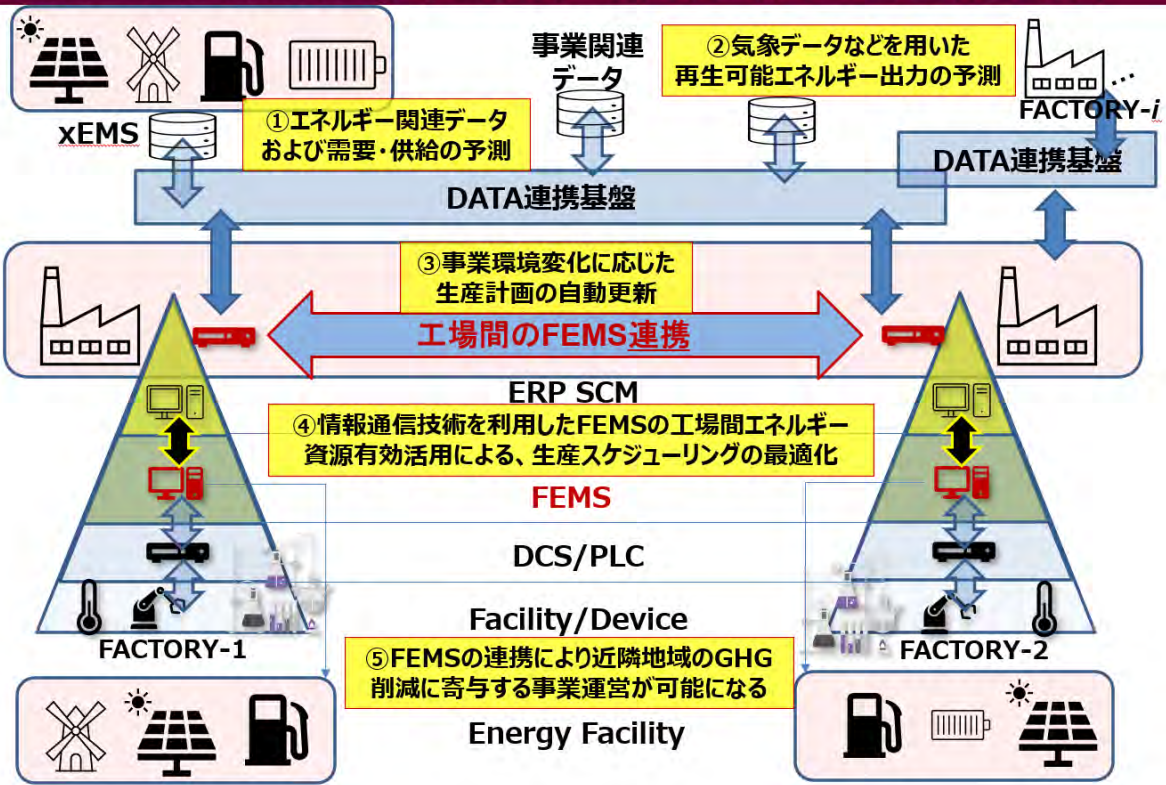


図 C3-1: 本テーマの研究開発項目