



戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期 IoE社会のエネルギーシステム

テーマA-③ 「地域エネルギーシステムデザインの ガイドラインの策定」

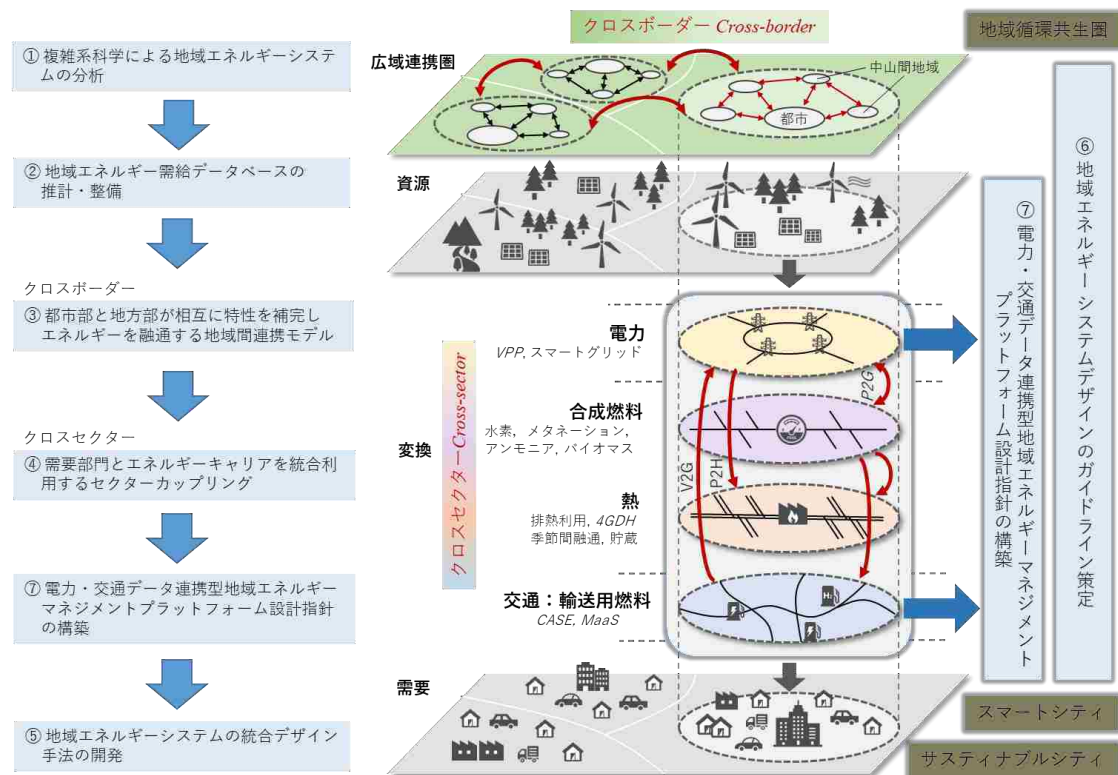
東北大学大学院 工学研究科
中田 俊彦

背景・目的

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

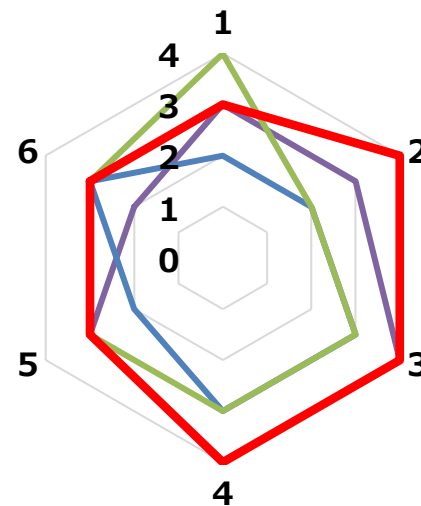
また、再生可能エネルギーの特性である時間の間欠性や空間の遍在性などの課題に対応するため、クロスセクター（電力・熱・燃料等のキャリア間融通や家庭・業務・産業・運輸等の部門間連携）、クロスボーダー（地域間の広域連携）の考え方を適用した地域エネルギーシステムモデルを開発する。

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



① SIP第2期 終了時

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



— 系列1 — 系列2 — 系列3 — 系列4

米 : DOE Energy Analysis Data and Tools for State and Local Energy Planning etc.
(米国エネルギー省、United States Department of Energy)

英 : BEIS Statistics

(英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省、Department for Business、Energy & Industrial Strategy)

独 : Municipal energy profiles

(フランクフルトラインメイン地域協会、Regionalverband FrankfurtRheinMainのエネルギーデータベース)

国際競争力

【優位性の比較・戦略】

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

【劣っている点と挽回方法】

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

【市場性（社会貢献度）】

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

【コスト】

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

研究成果で期待される波及効果

① 持続可能な地域社会の計画立案への貢献

全国一貫した考え方で推計された「地域エネルギー需給データベース」によって、地方公共団体が一定程度以上の信頼を有するエビデンスを基に現状と地域特性を把握し、地域エネルギー戦略、地球温暖化防止計画、都市計画、交通計画等を統合的に立案する際の基盤が形成される。

② 自治体行政、地域社会への貢献

本研究のエネルギー地域間連携を通して、資源豊富でありながら財政指数の低い多くの地方公共団体が、財政力が豊かながら地域エネルギー自給率の低い自治体と地域連携し、再生可能エネルギーを推進することによって、(1)化石燃料の消費支出抑制、(2)域外へのエネルギー供給による域際収支改善、(3)固定資産税収入、等の自治体財政の改善と地方経済の貢献を期待できる。

③ 脱炭素社会への貢献

地域間連携（広域圏分析）や部門間連携（セクターカップリング）を統合した地域エネルギーシステムデザイン手法の実装で、再エネの一層の導入を促して、カーボンニュートラルを達成する分散型エネルギー社会の効果的な形成が可能となる。

④ 地域社会システムに関連するイノベーションの促進

本研究のエネルギー統合デザインモデル開発の知見によって、セクターカップリングやカーボンリサイクルなどの新たなエネルギー転換技術、エネルギー需給のセンシング技術、システム制御技術などの社会実装の機会を加速化し、それによって、社会的イノベーションの創出が期待できる。

⑤ Society 5.0 の実現

「気象情報」、「携帯電話位置情報」、「スマートメーター」などの広範なデジタルデータを取り入れて、再生可能エネルギー供給ポテンシャル、サービス需要（移動需要）、エネルギー需要の空間・時間解像度を高めた地域内情報基盤を整備する。これにより、資源効率的な社会システム設計や、地域発の多様なデータ駆動型イノベーションを促し、Society 5.0 の実現に資する。

⑥ 自治体支援のコンテンツ提供

地方公共団体におけるゼロカーボンシティ宣言や脱炭素先行地域などの取組みが進むなかで、地域全体のカーボンニュートラル実現へ向け、家庭・業務・産業・運輸部門のエネルギー需給量に基づく実行力ある情報コンテンツを提供できる。

SIPで得られた主要な成果

SIPで得られた主要な成果

- ① 地域エネルギー需給データベース
 - ② 地域間連携とセクターカップリングを考慮したエネルギーシステムモデルと分析
 - ③ 電力・交通データ連携型地域エネルギーマネジメントプラットフォーム設計指針の構築
- 地域エネルギーシステムデザインのガイドラインの策定

主要な成果①

① 複雑系科学による地域エネルギーシステムの分析

② 地域エネルギー需給データベースの推計・整備

主要な成果②

クロスボーダー

③ 都市部と地方部が相互に特性を補完しエネルギーを融通する地域間連携モデル

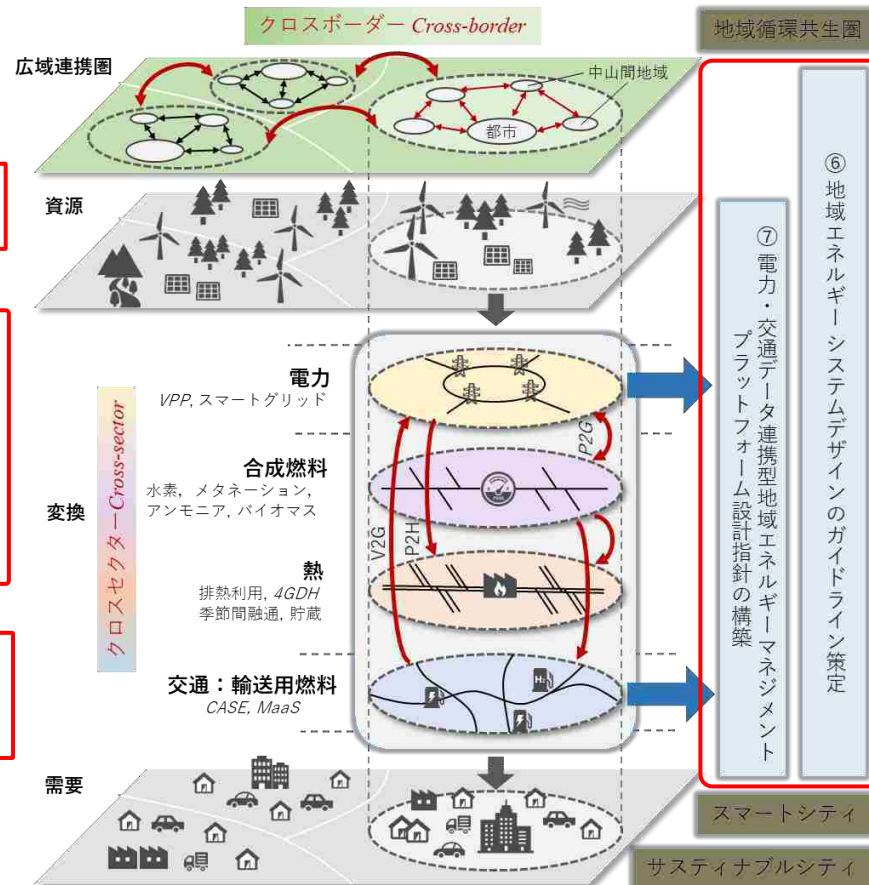
クロスセクター

④ 需要部門とエネルギーキャリアを統合利用するセクターカップリング

主要な成果③

⑦ 電力・交通データ連携型地域エネルギーマネジメントプラットフォーム設計指針の構築

⑤ 地域エネルギーシステムの統合デザイン手法の開発



地域エネルギー
システムデザインの
ガイドライン
1:データ編
2:分析編
3:実践編

SIPで得られた主要な成果①

地域エネルギー需給データベース

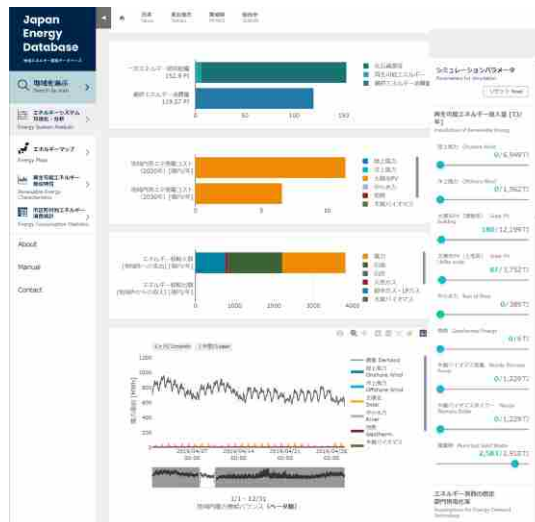
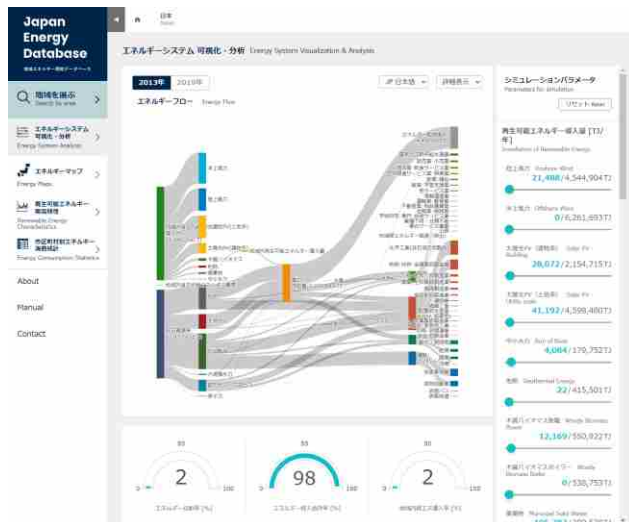
地域エネルギー需給データベースの概要

- ・1,741市区町村(日本のすべての地方公共団体)を対象に、エネルギー消費量と再生可能エネルギー資源量のデータを整備・公開。
- ・エネルギー需給データをエネルギーフロー(資源から転換・消費までのエネルギーの流量)やエネルギーマップとして可視化。

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



※1 政府が決定する温室効果ガスの排出削減目標 (NDC および「日本の約束草案」) の基準年に準拠することを目的として2013年度を掲載、また直近のデータとして2019年度を掲載。
※2 再生可能エネルギー既設導入量は、近年の急拡大を鑑み、2020年末時点の設備導入容量データを掲載。



地域エネルギー需給データベースの公開・運用

- ・ 平均表示回数は100回/日以上。1 万件を超える市区町村別エネルギー消費統計表のダウンロード数。
- ・ 500市区町村を超える国内地域からのアクセスをはじめ、海外からもアクセス多数。
- ・ 地方自治体による脱炭素先行地域の計画、地域エネルギー政策の立案などへの活用事例を確認。

アクセス状況 2022/03/31 – 2022/12/31	<p>表示回数： 34,900 回（平均127回/日）</p> <p>ユーザー数： 9,452 人（日, 米, 中, 独, 英, 韓, 豪 他）</p> <p>ダウンロード数： 10,465 回 ※市区町村別エネルギー消費統計表</p> <p>アクセス元地域数： 573 市区町村 ※アクセスした端末の推定所在地</p>
活用事例	<ul style="list-style-type: none">・ 岩手県, 群馬県, 和歌山県, 山形県, 奈良県, 福岡県等の市区町村：脱炭素先行地域の計画に活用・ 福島県福島市：「福島市脱炭素社会実現実行計画」の改定に活用・ 神奈川県, 大分県の市区町村：地域エネルギー政策の立案に活用・ 新潟県糸魚川市：自治体新電力会社設立可能性調査に活用・ 神奈川県茅ヶ崎市：公式HPにて引用掲載 (https://www.city.chigasaki.kanagawa.jp/kankyo/1044637/1049572.html)・ シンクタンクD社, H社：北海道内の複数市区町村のエネルギー政策立案等に利用 → 計 1 3 件の活用事例を確認（把握しているもののみ）・ シンクタンクB社：石油需要に関する調査に利用・ 大手メーカーT社：スマートシティ構築に向けた分析に利用
バージョン更新履歴	<p>1.2.0 CO2排出量, 発電原価, 地域エネルギー経済収支を実装</p> <p>1.3.0 REPOS R3の再エネ導入ポテンシャルデータを反映</p> <p>1.3.1 2019年度エネルギー消費統計表を掲載</p> <p>2.0.0 時空間再エネデータの搭載, UI/UXの改良（データベースとシミュレーターを統合）</p>
メディア掲載等	<ul style="list-style-type: none">・ 電気新聞（2022/1/13, 1/19, 8/24 紙面掲載）・ JSTウェブサイトでのプレスリリース（2022年4月）・ 国際環境経済研究所（2022/05/24掲載, https://ieei.or.jp/2022/05/exp1220524/）・ 地域エネルギーシステムセミナー（2022/11/1 東京開催）

1,741市区町村別のエネルギー消費統計表

- ## エネルギー資源・キャリアの内訳

2013FY 推計値	Code		100	150	200	250	250A	250B	400	450	500	550	600	700	800	900		
北海道 札幌市	<エネルギー消費統計表 / エネルギー単位表> Unit: [TJ]		石炭 Coal	石炭製品 Coal Prod.Oil	原油 Oil	石油製品 Oil Product	軽油製品 Light Oil	重油製品 Heavy Oil	天然ガス Natural Gas	都市ガス・再生可能エネルギー City Gas, New & Renewable	工業用水 Industrial Water	原子力発電 Nuclear Power	電力 Electricity	熱 Heat		合計 Total		
Code	Final Energy Consum		最終エネルギー消費 [TJ]															
500000			8,114.5	707.3	1.5	75,046.3	68,539.5	6,506.8	1,818.5	15,372.5	1,226.4	0.0	0.0	37,285.4	897.8	140,470.2		
A-E	Industry	産業（業務部門を除く）	4,942.4	671.0	1.5	4,925.7	1,928.3	2,997.4	179.8	1,361.4	665.6	0.0	0.0	2,133.5	157.1	15,038.0		
610000	ABCD	Agricultur	0.1	0.2	0.0	2,815.1	1,161.2	1,653.9	245.5	55.4	0.1	0.0	0.0	413.1	0.0	3,308.5		
611000	AB	Agricultur	0.0	0.0	0.0	820.5	326.4	494.1	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	40.9	0.0	861.8		
612000	C	Mining, G	0.1	0.2	0.0	20.2	16.1	4.1	245.0	0.4	0.0	0.0	0.0	10.6	0.0	56.0		
615000	D	Construct	0.0	0.0	0.0	1,974.4	818.7	1,155.7	0.0	54.7	0.0	0.0	0.0	361.6	0.0	2,390.7		
620000	E	Manufact	4,942.3	670.8	1.5	2,110.6	767.1	1,343.5	155.3	1,306.0	665.5	0.0	0.0	1,720.4	157.1	11,729.5		
E09-10	Manufac	食品飲料製造業	11.8	1.1	0.0	736.2	73.5	66.8	6.9	450.5	14.5	0.0	0.0	61.4	0.0	1,889.2		
622000	E11	Manufac	0.1	0.0	0.0	9.0	4.2	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	0.0	45.8		
623000	E12-13	Manufac	0.0	0.0	0.0	16.2	11.9	4.3	0.1	1.3	14.8	0.0	0.0	37.5	0.0	69.9		
624000	E14	Manufac	5,272.3	31.0	0.0	71.5	0.8	70.8	1.1	6.4	394.4	0.0	0.0	29.3	0.1	1,033.2		
625000	E15	Printing	0.0	0.0	0.0	29.7	8.7	21.0	14.8	121.1	0.0	0.0	0.0	244.0	0.0	409.6		
626000	E16-17	Manufac	0.2	0.2	1.5	763.3	619.4	143.8	3.9	582.0	0.6	0.0	0.0	23.6	6.7	1,361.9		
627000	E18-20	Manufac	0.0	0.0	0.0	18.9	1.8	17.1	0.4	10.2	0.0	0.0	0.0	46.6	2.4	79.1		
628000	E21	Manufac	862.1	2.4	0.0	93.8	17.1	76.7	0.1	5.0	86.1	0.0	0.0	64.1	0.3	1,113.9		
629000	E22-E24	Manufac	3,538.9	662.8	0.0	340.3	21.5	318.8	43.9	79.3	154.9	0.0	0.0	123.5	100.2	5,359.3		
630000	E25-E31	Manufac	0.0	0.0	0.0	25.3	6.1	19.2	84.1	44.4	0.2	0.0	0.0	170.8	1.6	327.0		
641000	E32	Miscellai	0.0	0.0	0.0	6.4	4.1	2.3	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.9		
650000	F-S	Commerci	3,172.1	36.3	0.0	6,430.8	2,921.4	3,509.4	1,638.7	7,656.2	422.0	0.0	0.0	18,477.5	520.7	38,254.3		
651000	F	Electricit	3,055.2	0.0	0.0	188.5	13.9	174.6	1,635.1	668.1	77.3	0.0	0.0	766.1	0.8	8,380.9		
652000	G	Informati	0.0	0.0	0.0	16.2	9.1	7.1	0.0	208.3	0.0	0.0	0.0	55.2	0.6	777.3		
653000	H	Transport	0.0	0.0	0.0	235.7	177.1	58.2	0.0	54.3	0.1	0.0	0.0	58.2	1.4	829.3		
654000	I	Wholesale	0.0	0.1	0.0	490.0	398.3	71.7	0.2	482.1	0.2	0.						

最終エネルギー消費量

家庭部門の 年間石油消費量

産業部門・機械製造業の
年間電力消費量

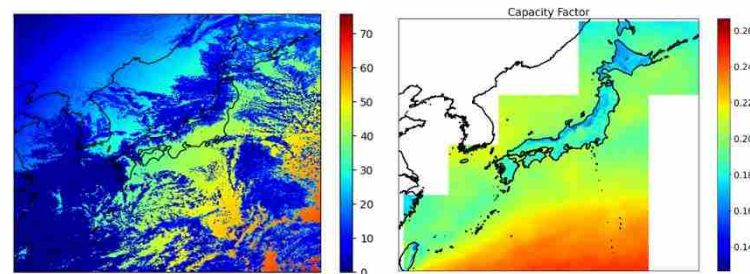
SIPで得られた主要な成果①

再エネポテンシャルの解析

①太陽光発電ポテンシャルの時空間分析

日本全国を対象とし、下記を考慮した時空間ポテンシャルを分析した。

- ・日射や気温変化に伴うパネル温度の上昇に伴う発電効率低下の影響。
- ・雲の拡散日射量、地面の反射日射量。
- ・市区町村別時間別ポテンシャルと設備利用率

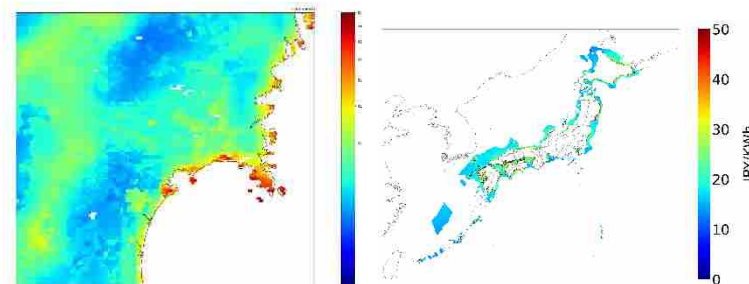


時空間太陽光発電ポテンシャル（左）と設備利用率（右）

②風力発電ポテンシャルの時空間分析

日本全国を対象とし、空間解像度が高く、かつ時間変動を考慮したポテンシャルデータを推計した。

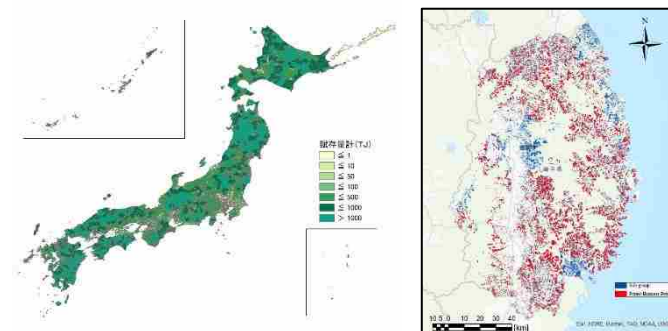
- ・1kmメッシュ単位でのポテンシャル推定
- ・地域風速分布によるパワーカーブの選定
- ・風力発電機設置基準の考慮



時空間風力発電ポテンシャル（左）と設備利用率（右）

③木質バイオマスエネルギーポテンシャル分析

森林の持続性を考慮した、市区町村別木質バイオマスポテンシャルを推計。森林簿、森林計画図を用いて500mメッシュ単位の、事業性を考慮した利用可能量を推定。



市区町村別ポテンシャル（左）と利用可能量（右）

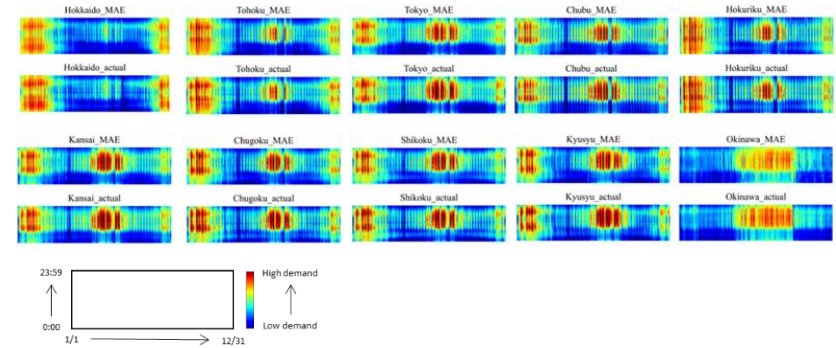
環境省REPOS（再生可能エネルギー情報提供システム）に①、②の時空間分析結果を実装

エネルギー需要の解析

④地域別電力需要推計手法の開発

教師あり機械学習を用いて、地方（TSO）単位、都道府県単位、市町村単位の3段階でモデルを開発。

- 需要部門構成データ、平日祝日の別、時間変動周期、気温変動周期など入力データを変更しモデルの推定精度を改良。

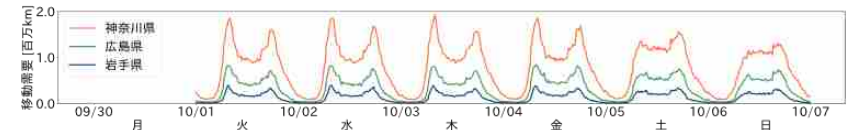


地域別のモデル出力と電力需要変動

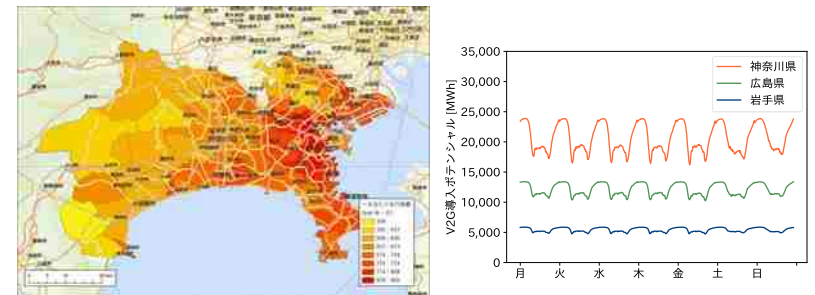
⑤V2G導入に向けた移動需要の時空間分析

携帯位置情報を用いた自動車の移動需要およびV2G導入ポテンシャルの推計。

- KDDI Location Dataを用いて、125mメッシュ15分単位の自動車移動および停車動態を解析。
- 地域におけるEV普及率および稼働率を想定し、Vehicle-to-Gridの導入ポテンシャルを推計。
- 移動需要の地域比較では、自動車保有台数の影響の他、面積あたり道路延長等が走行距離に影響。



地域別自動車移動需要の時系列動態



市区町村別の一台あたり走行距離(左)と時間別V2G導入ポテンシャル(右)

SIPで得られた主要な成果②

**地域間連携とセクターカップリングを考慮した
エネルギーシステムモデルと分析**

カーボンニュートラル社会を想定したエネルギーシステムのコンセプト

① 地域間連携による需給調整

資源供給地域とエネルギー需要地域が有機的に連携し、資源と需要の偏在および需給の変動を相互に緩和する。

② 再生可能エネルギーの最大限導入

地域資源である再生可能エネルギーを活用し、エネルギーシステムの脱炭素化と持続可能な地域の発展を両立させる。

③ セクターカップリングによる需給調整

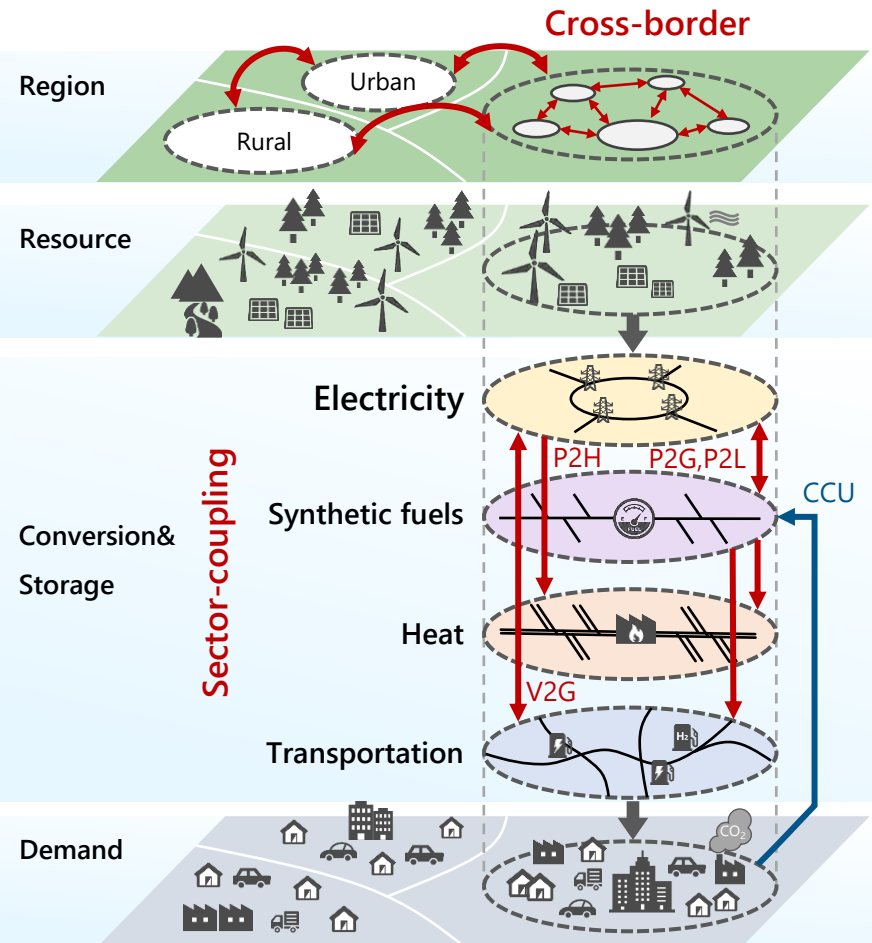
エネルギーキャリア（電力、熱、合成燃料、輸送用燃料）の変換と貯蔵に加え、エネルギー変換部門と需要部門の協調により需給バランスを調整する。

④ 合成燃料による燃料代替

再生可能エネルギー由来の合成燃料サプライチェーンを構築し、電化による技術代替が困難（hard-to-abate）なセクターの脱炭素化を達成する。

⑤ エネルギー消費技術の電化と効率化

燃料・技術代替によって、社会変容と再生可能エネルギーの大量導入に適応したエネルギー需要構造へ転換する。



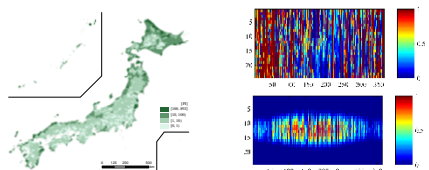
数理最適化モデルを用いたエネルギーシステムの統合設計

- ・ セクターカップリングと地域間エネルギー融通による相乗的な需給調整メカニズムを内生化したエネルギーシステムモデルを開発。
- ・ 電力・熱・燃料部門を考慮し、各種資源・技術の経済性および時空間特性に基づいて、その導入量と運用を最適化。

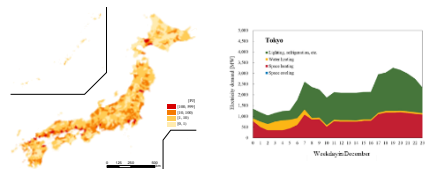
Input: エネルギー需給データ

カーボンニュートラルシナリオや技術習熟シナリオを想定したエネルギー資源・需要・経済性に関するデータ

エネルギー資源の時空間データ



エネルギー需要の時空間データ



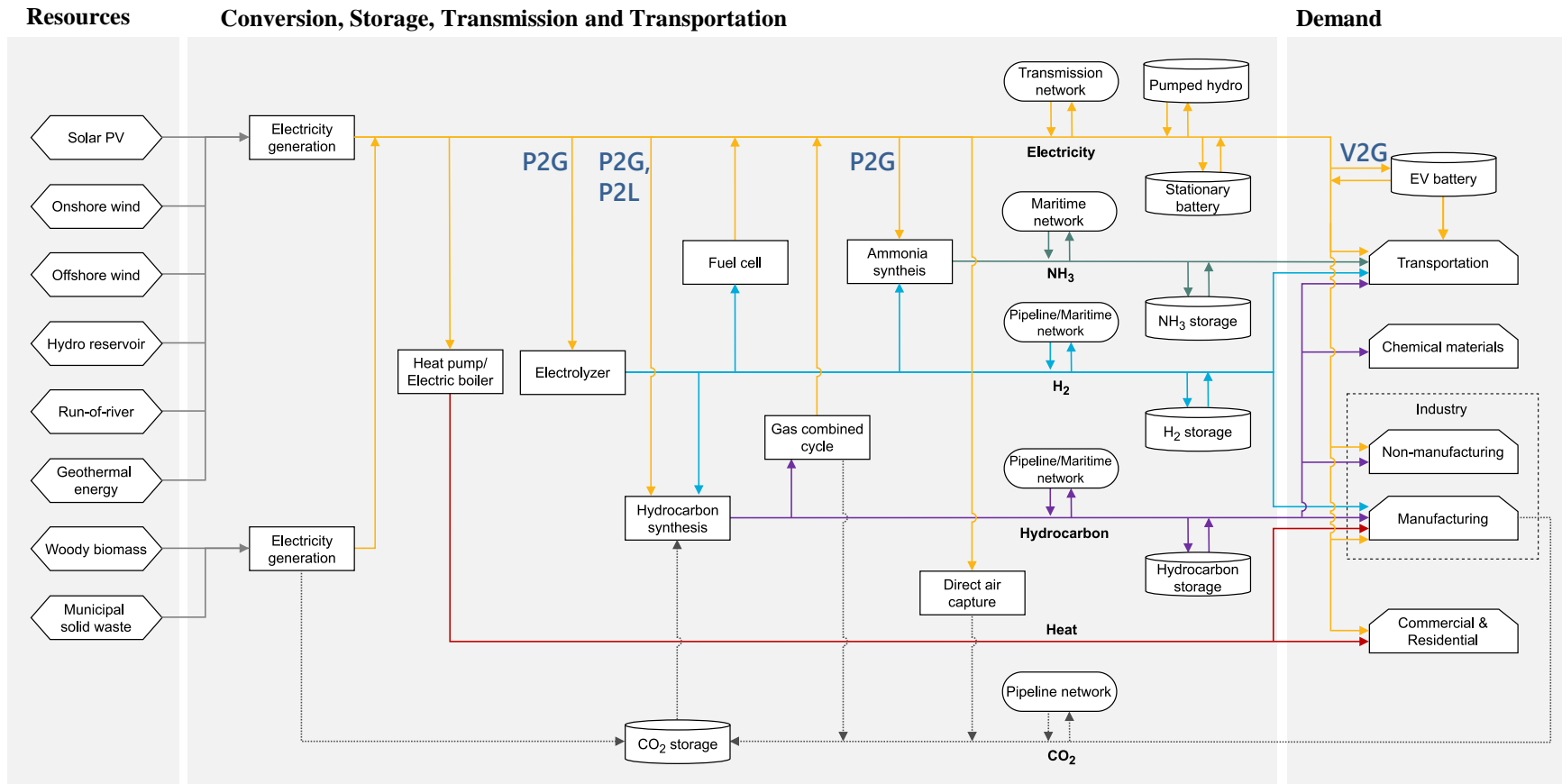
技術コスト・性能・技術経済データ

技術	発電容量 (MW)	発電コスト (円/kWh)		発電効率 (%)	発電寿命 (年)	発電CO2排出量 (kg/kWh)	発電CO2削減率 (%)
		燃料費	設備費				
火力発電 (LNG)	1,000	10.0	5.0	55.0	30	400	0.0
火力発電 (石炭)	1,000	8.0	4.0	45.0	30	800	0.0
火力発電 (LPG)	1,000	15.0	6.0	50.0	20	500	0.0
火力発電 (重油)	1,000	20.0	8.0	40.0	10	600	0.0
火力発電 (天然ガス)	1,000	12.0	7.0	58.0	25	350	0.0
火力発電 (バイオマス)	1,000	18.0	9.0	35.0	15	100	0.0
火力発電 (太陽光)	1,000	25.0	10.0	20.0	10	0	100.0
火力発電 (風力)	1,000	30.0	12.0	15.0	10	0	100.0
火力発電 (水力)	1,000	10.0	15.0	70.0	30	0	100.0
火力発電 (地熱)	1,000	15.0	18.0	25.0	10	0	100.0
火力発電 (地中熱)	1,000	20.0	22.0	10.0	10	0	100.0
火力発電 (地中水)	1,000	25.0	28.0	5.0	10	0	100.0
火力発電 (地中岩)	1,000	30.0	35.0	2.0	10	0	100.0
火力発電 (地中土)	1,000	35.0	40.0	1.0	10	0	100.0
火力発電 (地中砂)	1,000	40.0	45.0	0.5	10	0	100.0
火力発電 (地中石)	1,000	45.0	50.0	0.2	10	0	100.0
火力発電 (地中木)	1,000	50.0	55.0	0.1	10	0	100.0
火力発電 (地中草)	1,000	55.0	60.0	0.05	10	0	100.0
火力発電 (地中葉)	1,000	60.0	65.0	0.02	10	0	100.0
火力発電 (地中果)	1,000	65.0	70.0	0.01	10	0	100.0
火力発電 (地中根)	1,000	70.0	75.0	0.005	10	0	100.0
火力発電 (地中茎)	1,000	75.0	80.0	0.002	10	0	100.0
火力発電 (地中花)	1,000	80.0	85.0	0.001	10	0	100.0
火力発電 (地中果実)	1,000	85.0	90.0	0.0005	10	0	100.0
火力発電 (地中種子)	1,000	90.0	95.0	0.0002	10	0	100.0
火力発電 (地中胚乳)	1,000	95.0	100.0	0.0001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	100.0	105.0	0.00005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	105.0	110.0	0.00002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	110.0	115.0	0.00001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	115.0	120.0	0.000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	120.0	125.0	0.000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	125.0	130.0	0.000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	130.0	135.0	0.0000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	135.0	140.0	0.0000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	140.0	145.0	0.0000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	145.0	150.0	0.00000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	150.0	155.0	0.00000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	155.0	160.0	0.00000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	160.0	165.0	0.000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	165.0	170.0	0.000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	170.0	175.0	0.000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	175.0	180.0	0.0000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	180.0	185.0	0.0000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	185.0	190.0	0.0000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	190.0	195.0	0.00000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	195.0	200.0	0.00000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	200.0	205.0	0.00000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	205.0	210.0	0.000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	210.0	215.0	0.000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	215.0	220.0	0.000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	220.0	225.0	0.0000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	225.0	230.0	0.0000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	230.0	235.0	0.0000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	235.0	240.0	0.00000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	240.0	245.0	0.00000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	245.0	250.0	0.00000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	250.0	255.0	0.000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	255.0	260.0	0.000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	260.0	265.0	0.000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	265.0	270.0	0.0000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	270.0	275.0	0.0000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	275.0	280.0	0.0000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	280.0	285.0	0.00000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	285.0	290.0	0.00000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	290.0	295.0	0.00000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	295.0	300.0	0.000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	300.0	305.0	0.000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	305.0	310.0	0.000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	310.0	315.0	0.0000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	315.0	320.0	0.0000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	320.0	325.0	0.0000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	325.0	330.0	0.00000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	330.0	335.0	0.00000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	335.0	340.0	0.00000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	340.0	345.0	0.000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	345.0	350.0	0.000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	350.0	355.0	0.000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	355.0	360.0	0.0000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	360.0	365.0	0.0000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	365.0	370.0	0.0000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	370.0	375.0	0.00000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	375.0	380.0	0.00000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	380.0	385.0	0.00000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	385.0	390.0	0.000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	390.0	395.0	0.000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	395.0	400.0	0.000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	400.0	405.0	0.0000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	405.0	410.0	0.0000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	410.0	415.0	0.0000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	415.0	420.0	0.00000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	420.0	425.0	0.00000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	425.0	430.0	0.00000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	430.0	435.0	0.000000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	435.0	440.0	0.000000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	440.0	445.0	0.000000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	445.0	450.0	0.0000000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	450.0	455.0	0.0000000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	455.0	460.0	0.0000000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	460.0	465.0	0.00000000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	465.0	470.0	0.00000000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	470.0	475.0	0.00000000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	475.0	480.0	0.000000000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	480.0	485.0	0.000000000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	485.0	490.0	0.000000000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	490.0	495.0	0.0000000000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	495.0	500.0	0.0000000000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	500.0	505.0	0.0000000000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	505.0	510.0	0.00000000000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	510.0	515.0	0.00000000000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	515.0	520.0	0.00000000000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	520.0	525.0	0.000000000000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	525.0	530.0	0.000000000000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	530.0	535.0	0.000000000000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	535.0	540.0	0.0000000000000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	540.0	545.0	0.0000000000000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	545.0	550.0	0.0000000000000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	550.0	555.0	0.00000000000000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	555.0	560.0	0.00000000000000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	560.0	565.0	0.00000000000000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	565.0	570.0	0.000000000000000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	570.0	575.0	0.000000000000000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	575.0	580.0	0.000000000000000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	580.0	585.0	0.0000000000000000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	585.0	590.0	0.0000000000000000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	590.0	595.0	0.0000000000000000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	595.0	600.0	0.00000000000000000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果汁)	1,000	600.0	605.0	0.00000000000000000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	605.0	610.0	0.00000000000000000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果皮)	1,000	610.0	615.0	0.000000000000000000000000000000000000005	10	0	100.0
火力発電 (地中果核)	1,000	615.0	620.0	0.000000000000000000000000000000000000002	10	0	100.0
火力発電 (地中果壳)	1,000	620.0	625.0	0.000000000000000000000000000000000000001	10	0	100.0
火力発電 (地中果肉)	1,000	625.0	630.0	0.0000000000000000000000000000000000000005	10	0	100.0

カーボンニュートラルエネルギーシステム最適化モデル

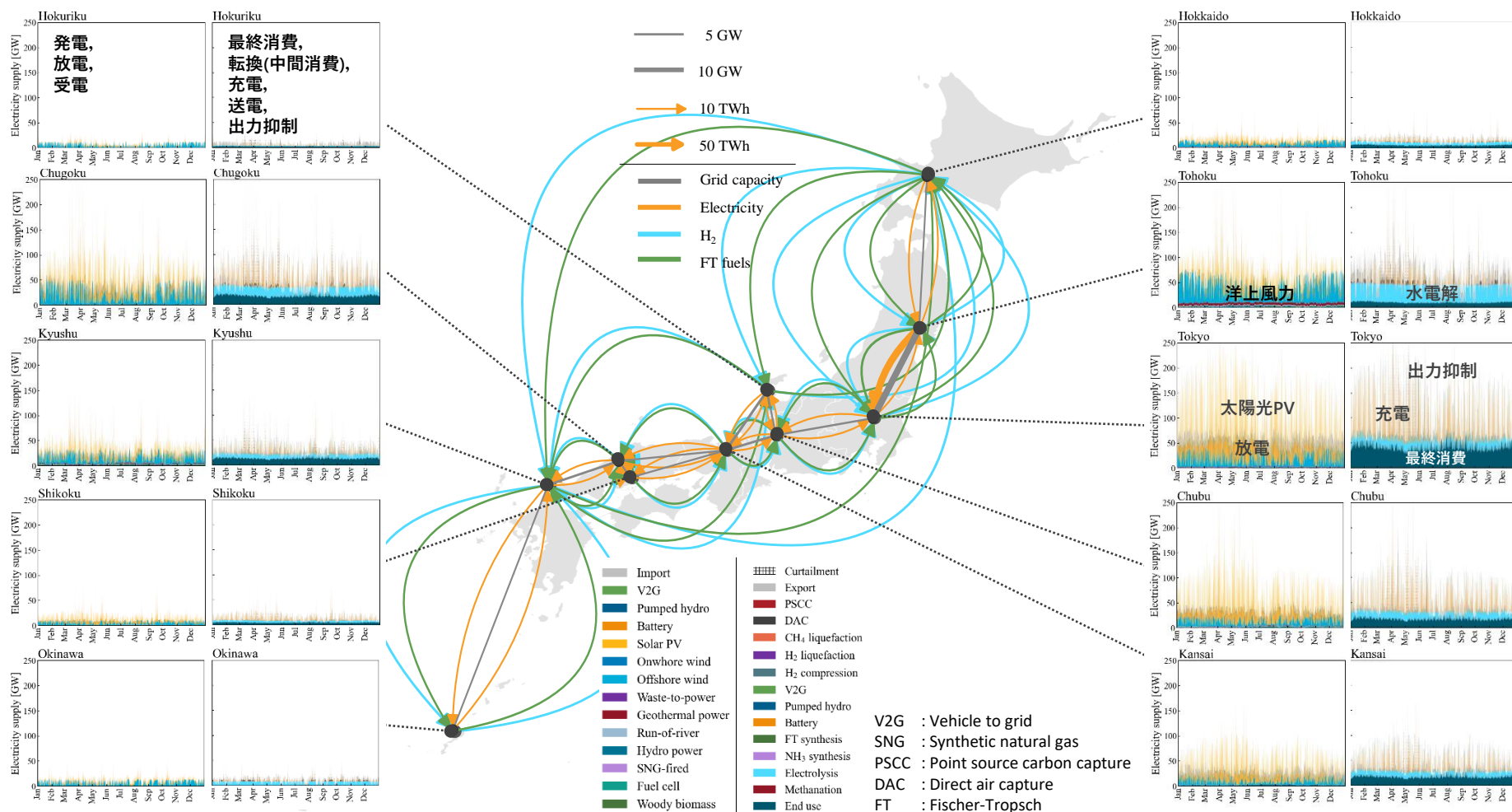
■モデルの設定条件

- ・ システムコスト最小化を目的関数、各時間・各地域のエネルギー需給バランス等を制約とする線形計画モデル。
- ・ 電力・熱・水素・メタン・FT炭化水素（化学製品原料を含む）・アンモニアの供給と転換、輸送、需要を網羅。
- ・ 炭化水素製造の原料となるCO₂は、発電部門、廃棄物部門、製造業および大気から回収する。
- ・ 需要シナリオ：IEA NZEシナリオと国立環境研究所AIMによるマクロフレームなどを参考にカーボンニュートラル化を想定。
- ・ 時間解像度：8,760時間=1年間、空間解像度：TSO区分10地域（変動性再エネは47都道府県）



カーボンニュートラルエネルギーシステム的设计結果例① 電力需給・地域間融通

- 国内の再生可能エネルギー(環境省REPOSのR3ポテンシャルに準拠)の最大限利用を想定したケースでは、洋上風力と太陽光が支配的な資源となった。東北地方では洋上風力、関東・中部地方等では太陽光が大量導入された。
- 蓄電池のほか、水素製造の稼働抑制や地域間エネルギー融通により需給が調整され、各時間で需給の一致が達成された。

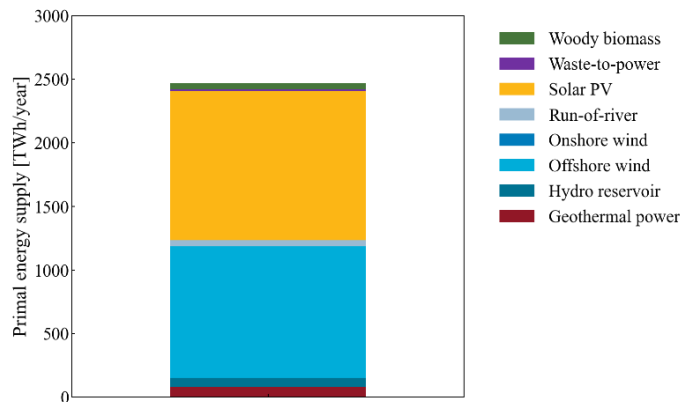


SIPで得られた主要な成果②

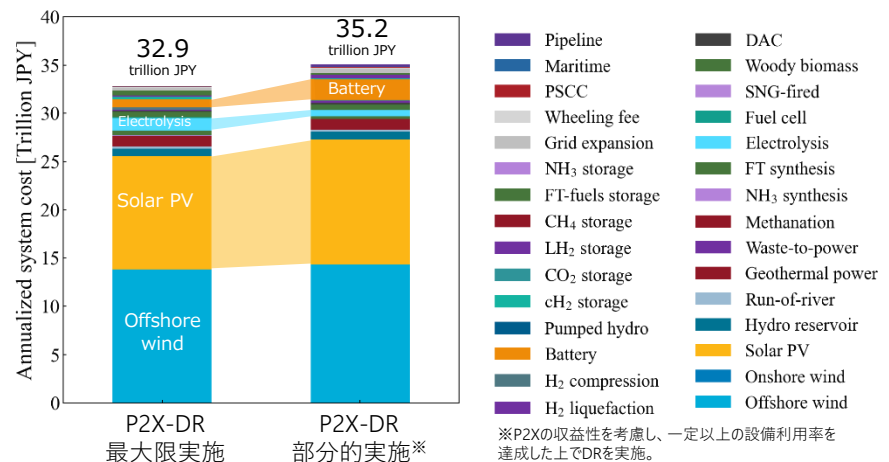
カーボンニュートラルエネルギーシステムの設計結果例② 供給構造・コスト構造

- 国内再生可能エネルギーによる一次エネルギー総供給量は約2.5PWh/年であり、これは環境省「わが国における再エネポテンシャル」（令和元年度調査，高位シナリオ）の総量(2.6PWh/年)に相当する。※即ち、国内の再生可能エネルギー資源を最大限活用するケースであることに注意が必要。
- 電化によるエネルギー消費効率の向上によるエネルギー需要の大幅な削減が前提となる。本ケースでは需要部門全体の電化率は約70%と試算された。
→国内の再生可能エネルギーによる脱炭素化は極めて挑戦的であるが、様々な課題の解決を前提として実現可能性が示唆された。
- システムコストの約 8 割は再エネ発電が占める。
- システムコストの構造は、需給調整力の柔軟性に依存して大きく変化する。
(下図はP2Xのデマンドレスポンスの柔軟性による感度解析事例。P2Xを最大限実施することで、電解装置・太陽光発電・蓄電池利用に影響し、全体で7%のコスト変動が見られた。)
- 電力・燃料部門のセクターカップリングによるシステムコスト低減効果が確認された。

一次エネルギー総供給量



システムコスト



SIPで得られた主要な成果③

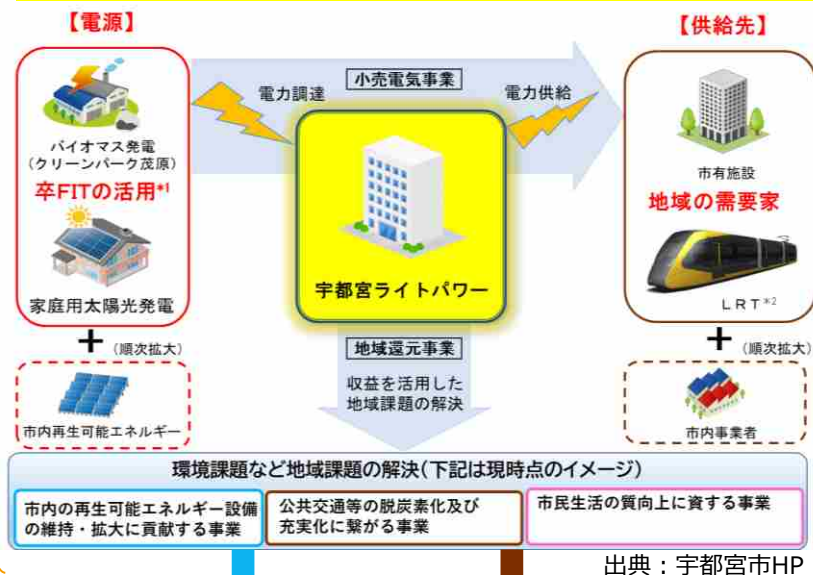
電力・交通データ連携型地域エネルギーマネジメント プラットフォーム設計指針の構築

個別テーマ⑦成果報告

SIPで得られた主要な成果③

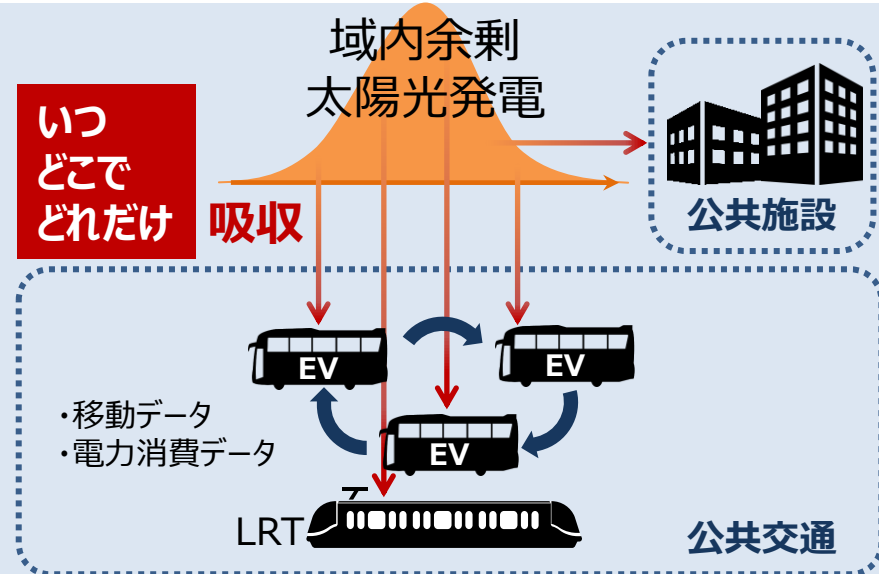
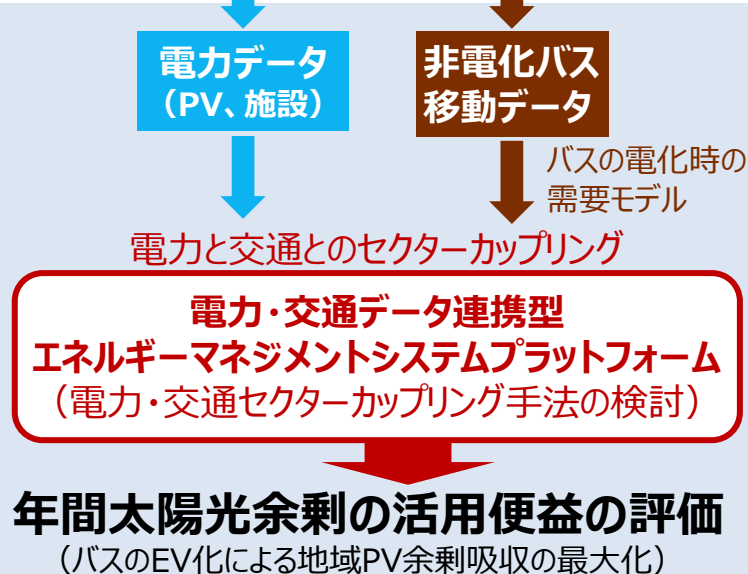
- 宇都宮市と協調した、宇都宮市の実データに基づくエネルギーマネジメント手法開発と便益評価、プラットフォームのプロトタイプ実装による設計指針の構築を実施

宇都宮市事業



- ① 宇都宮市でのSIP事業に関する連携体制構築と推進状況
 - ・SIP事業に関する協定書の締結 (宇都宮市・早大・宇都宮大、R3年4月30日、R4年も継続)
 - ・スマートシティ推進団体 (Uスマート推進協議会) との連携 協議会総会でのプレゼンテーション、発表 (市長、副市長出席、会長：森本教授 (早大))
- ② 宇都宮市地域のデータ取得・活用：(2019年度分を中心に) 地域PV余剰電力データ、市公共施設の電力需要データ、バスロケーションデータ、**スマートメータ統計データ**、等 (スマートメータ統計データは東京電力パワーグリッド株式会社が実証を目的に提供するデータを活用した)
- ③ バス電化とデータ連携による域内余剰太陽光発電の有効活用の便益評価
- ④ 地域エネルギーマネジメントプラットフォームの設計指針構築

本SIP事業



SIPで得られた主要な成果③

① 宇都宮市でのエネルギーマネジメント：ユースケース想定と便益試算（エナジーベネフィット）

【概要】 路線バス164台をEV化した時の充電スケジュール制御による、バス営業所・車庫近傍における余剰太陽光発電の有効利用率向上を目的とする**エネルギーマネジメント手法の開発と効果試算**を実施。

【成果①】 年間での充電スケジュール最適化による余剰PV吸収率改善効果試算

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

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

【成果②】 年間での充電スケジュール最適化によるCO2排出削減効果試算

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

⇒ **代表日において 10.8%削減、年間評価にて5.8%（283t-CO2）削減**

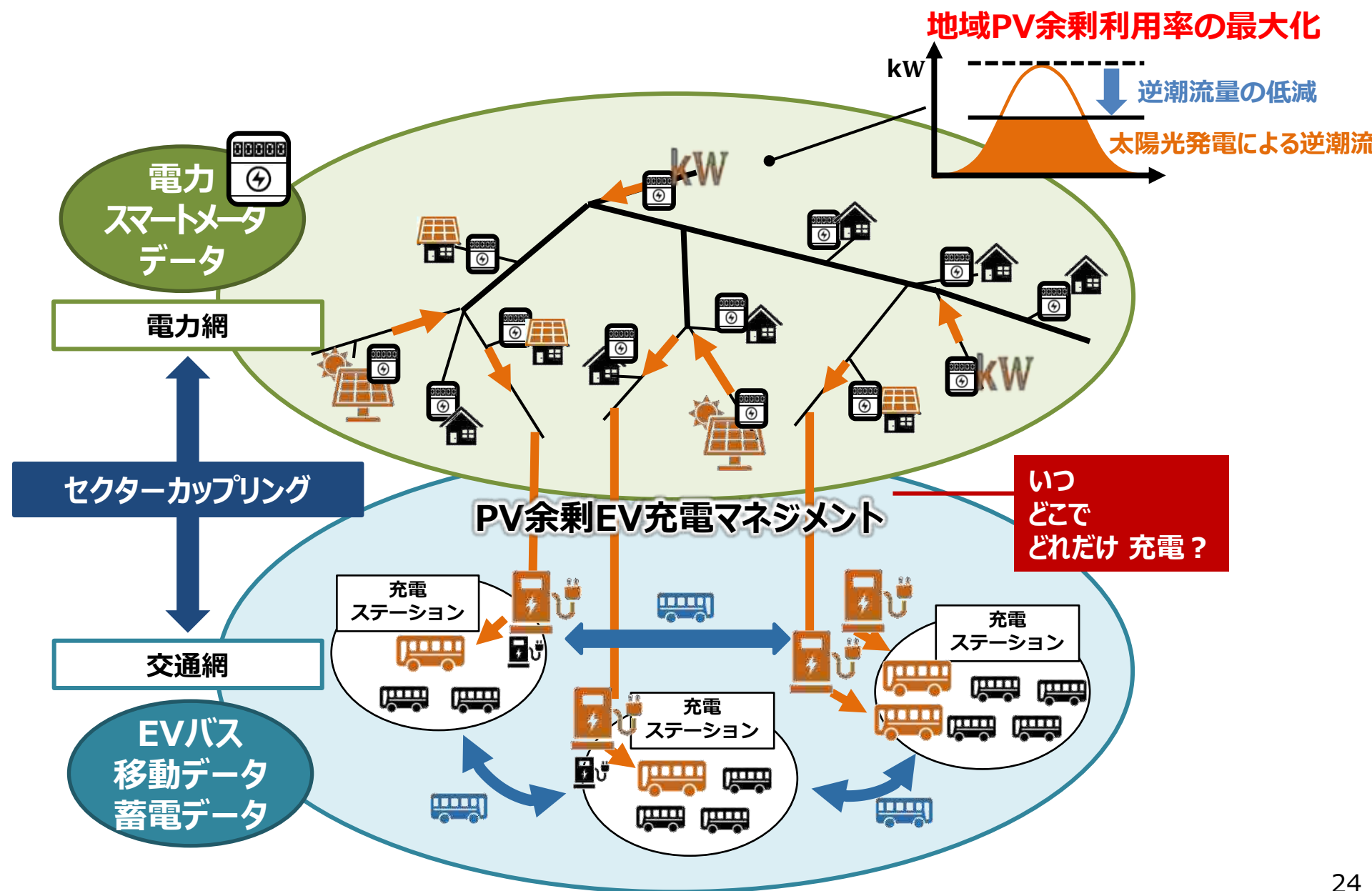
（宇都宮市 温室効果ガス排出量 運輸部門 97.3万t-CO2 @2019年度）

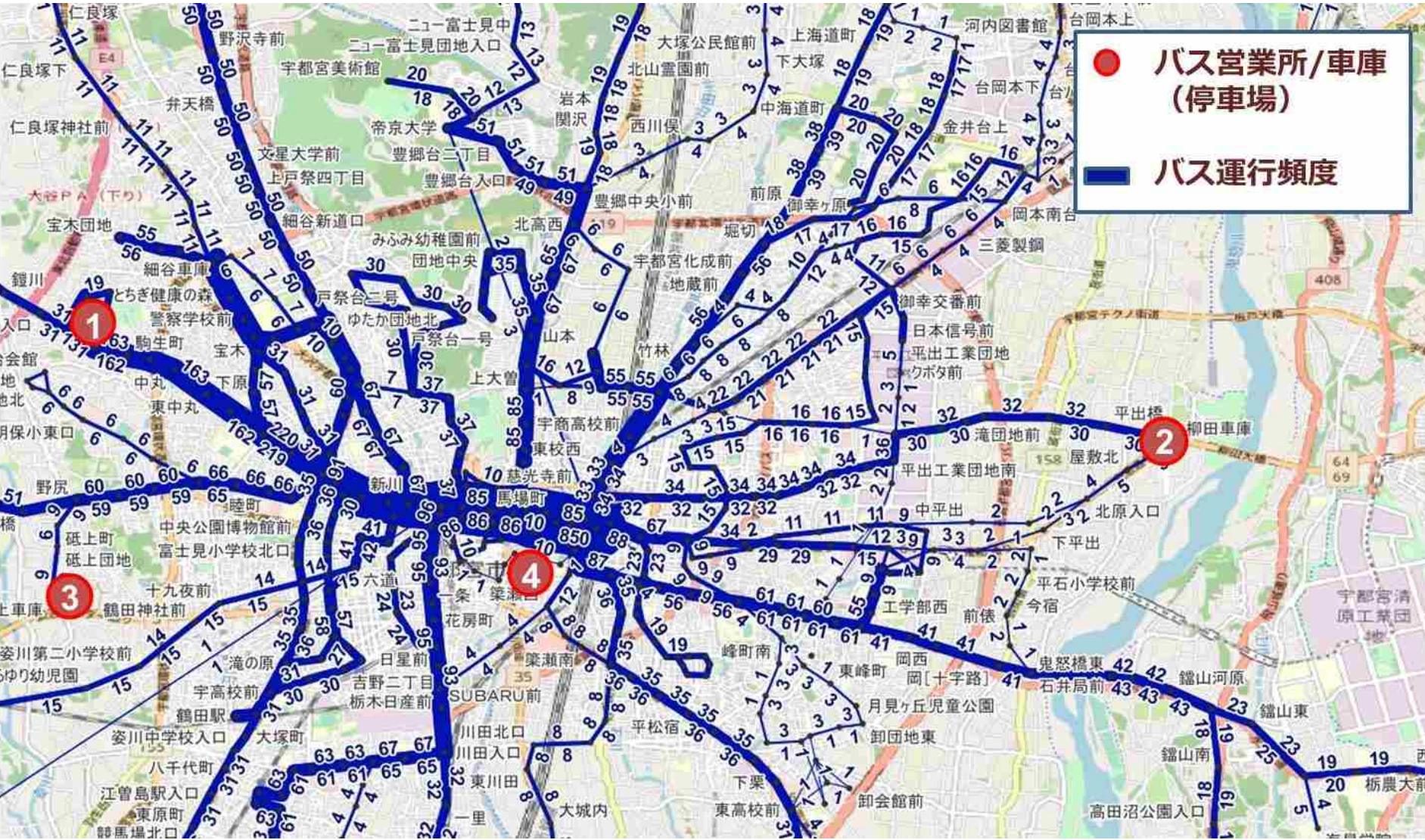
【成果③】 年間での動的マネジメント制御実施によるCO2排出削減効果試算

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

⇒ **CO2排出量換算で、年間3.0%（143t-CO2）削減**

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



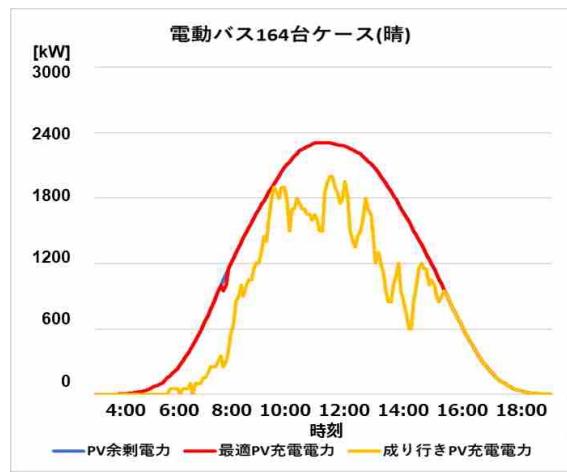


市バス路線と充電場所：運行情報取得可能な全てのバス（164台）の路線・運行頻度と充電場所

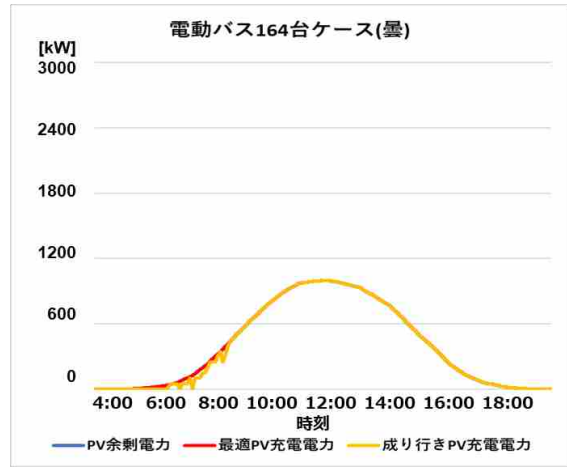
充電スケジュール最適化による余剰PV吸収率改善効果試算（代表日・年間）【成果①】

- EVバス 164台、4営業所・車庫を中心とする地域のPV余剰電力利用率にて評価
- 成行充電（バス帰着時充電）と、最適充電（充電スケジュール最適制御時）を比較し、制御効果の試算を実施
- 晴天代表日・曇天代表日での試算 **（晴天代表日にて29.6%改善）**

EVバス164台(4営業所158系統※：宇都宮市全系統)



70.3%(成行)→99.9%(最適)
29.6%改善
(晴天日パターン)



98.3%(成行)→100.0%(最適)
1.7%改善
(曇天日パターン)

- 年間便益評価
2018/11～2019/10の1年間のデータを使用した**年間評価にて21.8%改善**

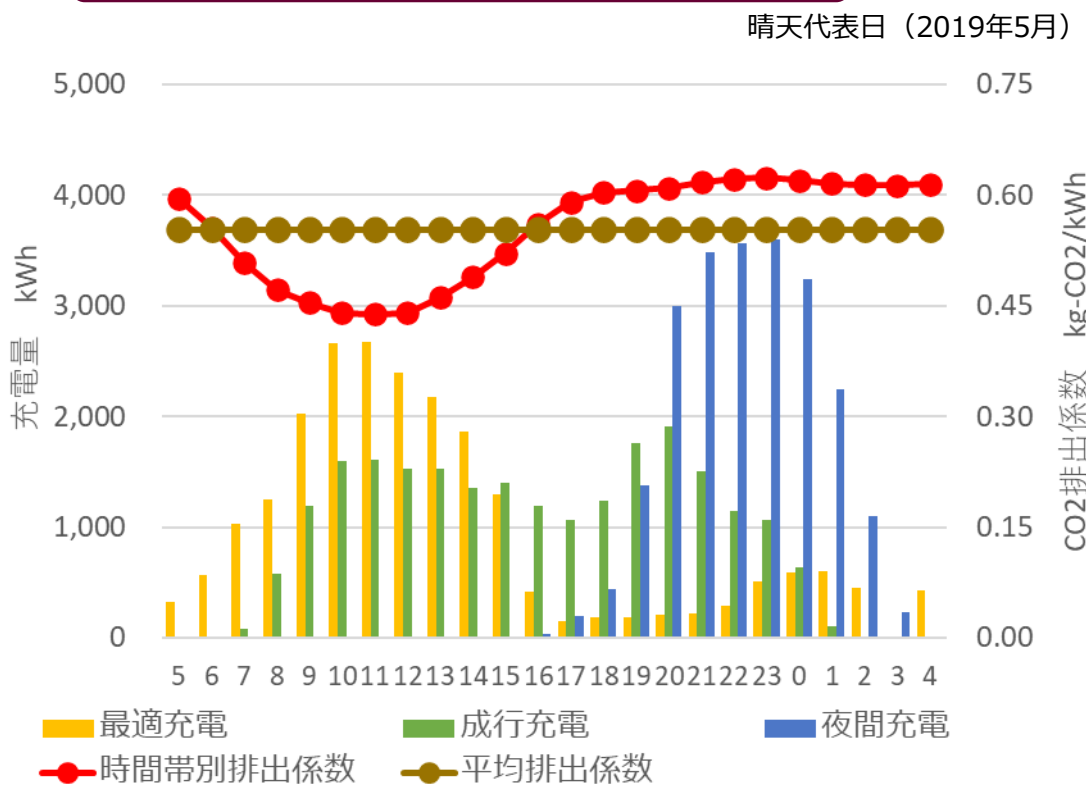
電動バス台数	市全路線（164台）
年間PV余剰利用率	成行充電 → 最適充電 75.5% → 97.3% (21.8 %改善)

充電スケジュール最適化によるCO2排出削減効果試算（代表日） 【成果②】

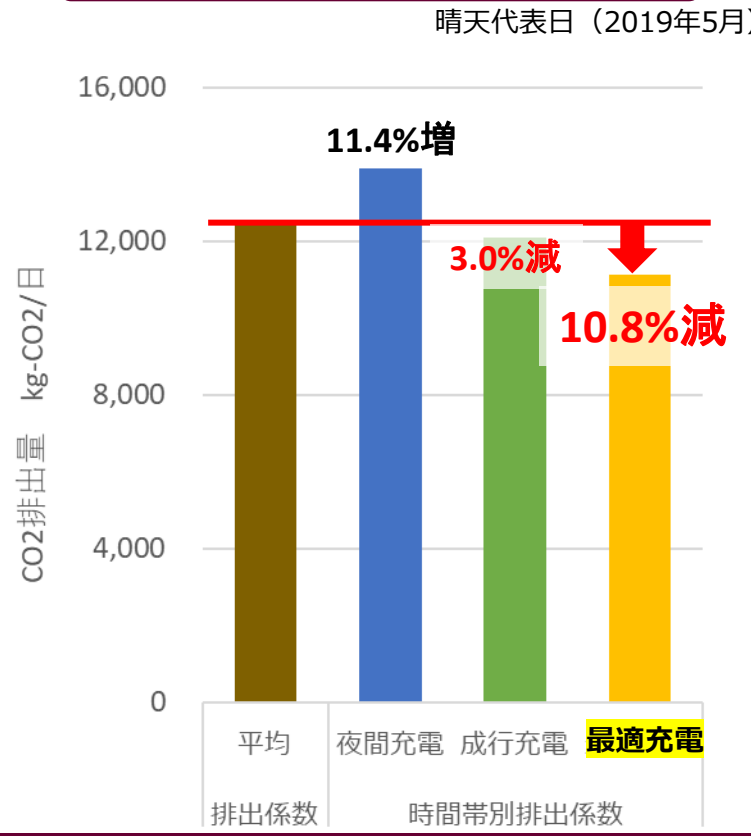
■ 発電構成を加味した時間帯別CO2排出係数を適用し、充電パターン毎のCO2排出量を比較

- 夜間充電：1日の営業終了後に充電
- 成行充電：営業所に帰庫ごと充電（充電のための待機時間なし）
- **最適充電（新規開発）**：余剰太陽光発電が多い時間帯に充電（充電のための待機時間あり）

時間帯別充電量と排出係数

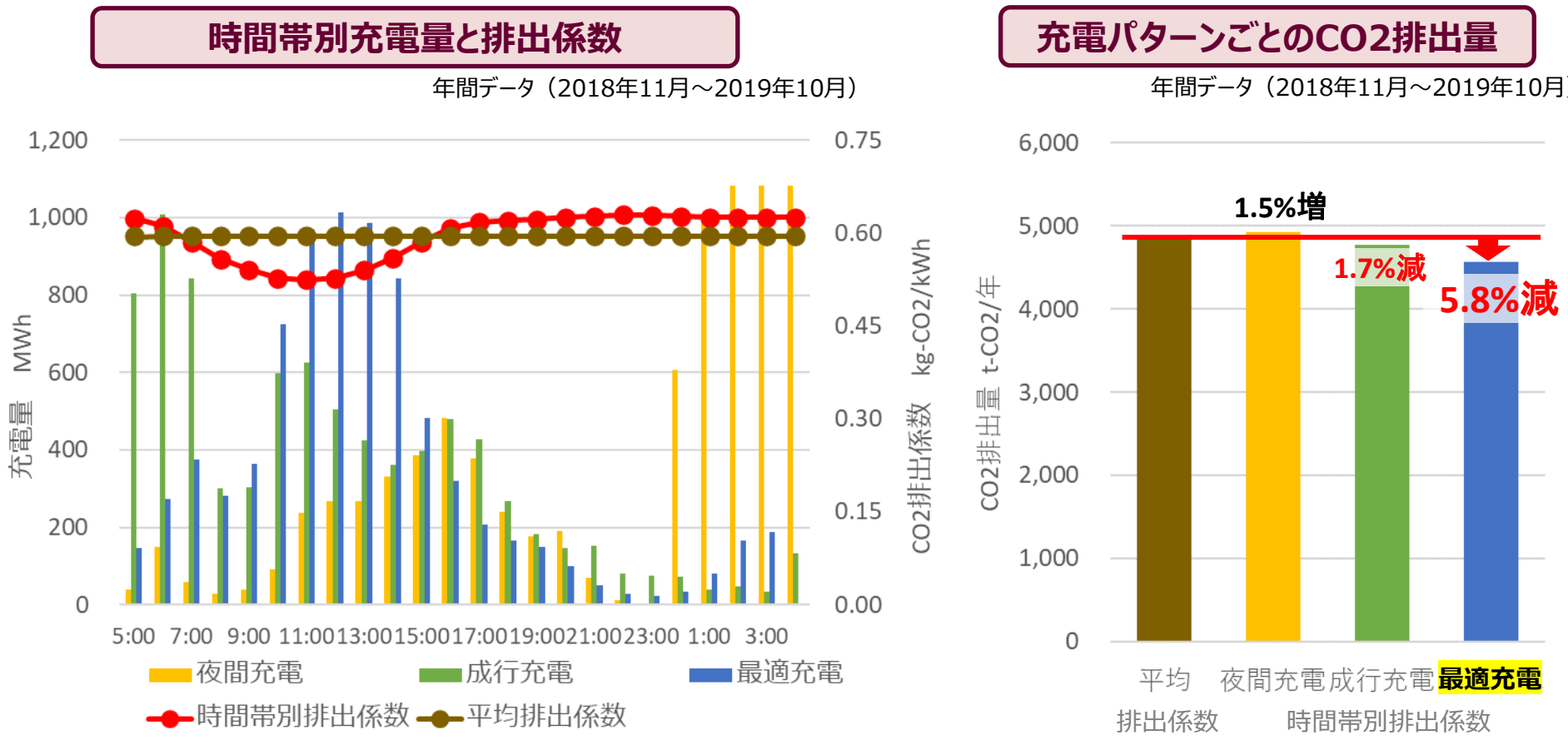


充電パターンごとのCO2排出量



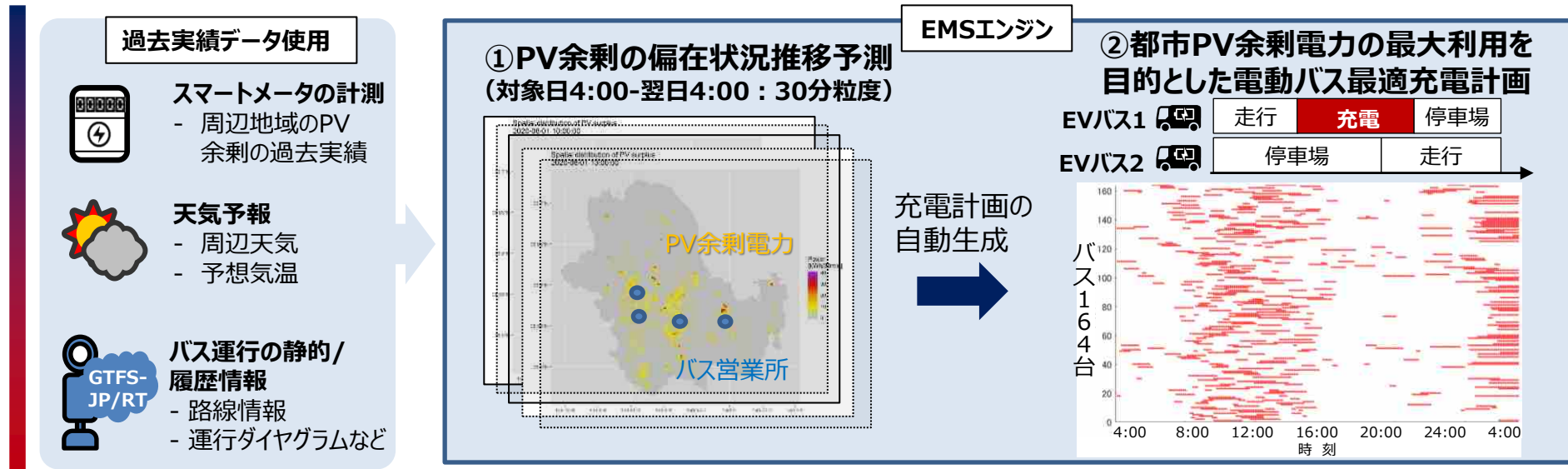
時間帯別の排出係数を考慮すると、夜間充電ではCO2排出量が11.4%増加するが、PV余剰量が多い時間帯に最適充電することで、**代表日において10.8%削減可能**

- 発電構成を加味した時間帯別CO2排出係数を適用し、充電パターン毎のCO2排出量を比較
- 夜間充電：1日の営業終了後に充電
 - 成行充電：営業所に帰庫ごと充電（充電のための待機時間なし）
 - 最適充電（新規開発）：余剰太陽光発電が多い時間帯に充電（充電のための待機時間あり）

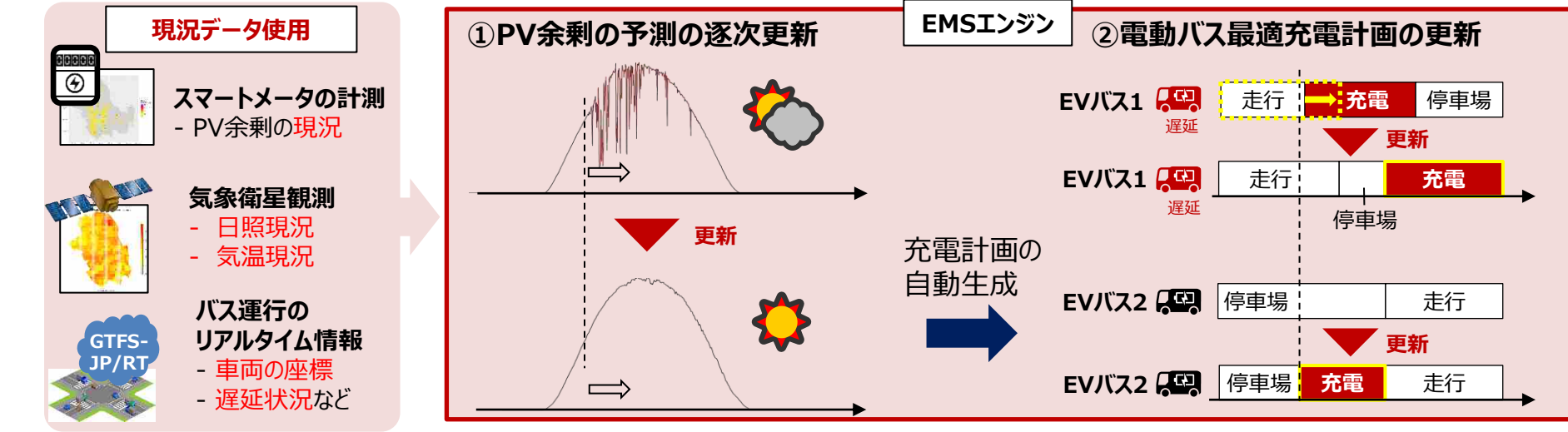


年間の便益試算では、従来の夜間充電ではCO2排出量が1.5%増加するが、充電時間を最適化の効果により、年間評価にて5.8%（283 t-CO2/年）削減可能

【前日】充電計画：PV余剰の前日予測と運行ダイヤに基づく事前計画

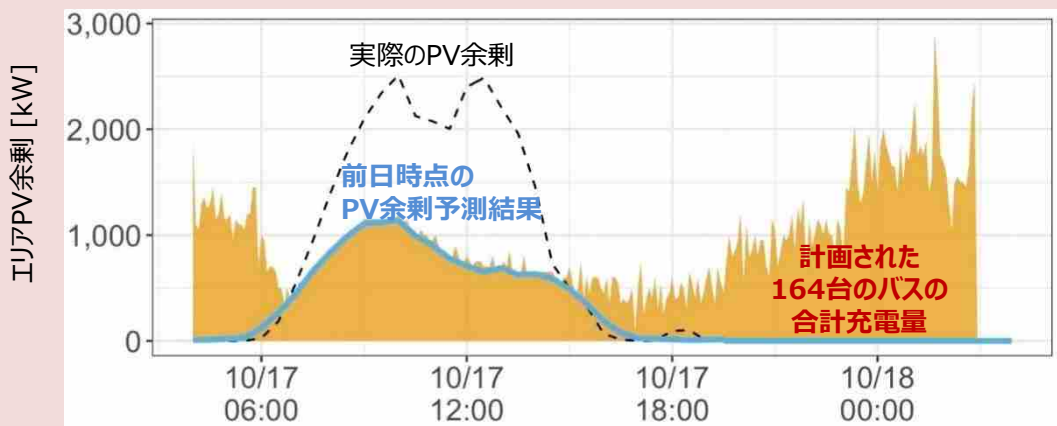


【当日】充電の動的マネジメント：直近PV余剰予測とバスの遅延情報に基づく逐次計画修正と運用



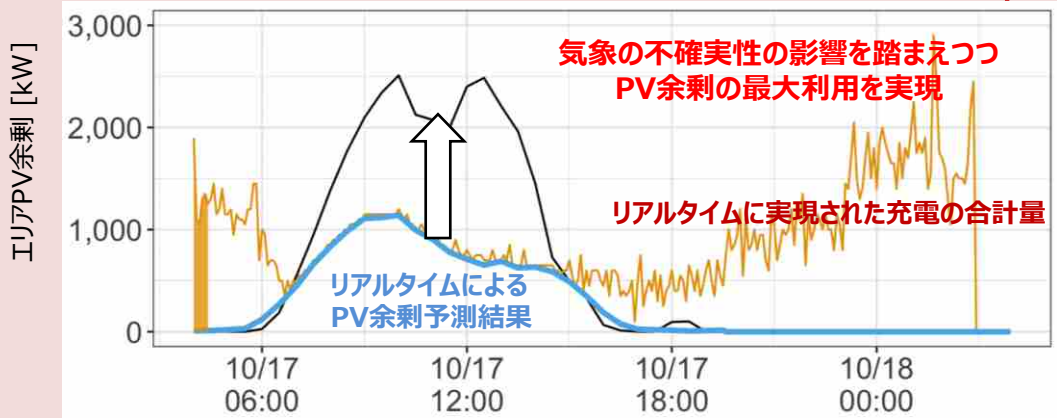
動的マネジメント制御実施によるCO2排出削減効果試算（代表日）【成果③】

前日）充電計画・・【予報：曇（昼前まで時々晴れ）】



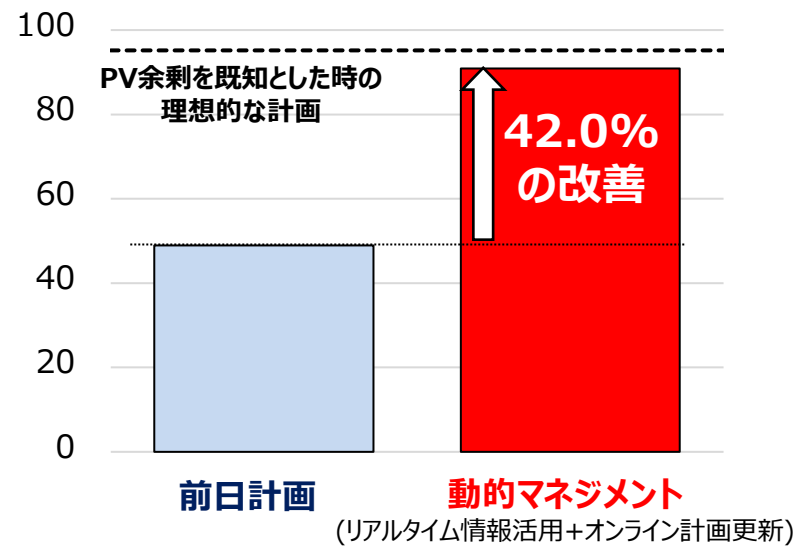
当日）動的充電マネジメントの実施結果・・【実際：晴れ（後時々曇）】

→ 対象地域周辺の気象衛星観測情報を入力

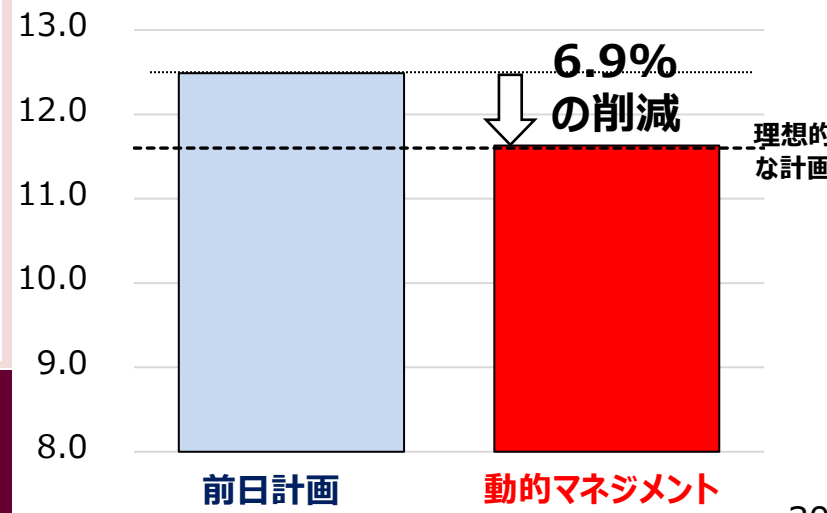


実世界で想定される不確実性に対してリアルタイムで取得可能なデータを活用した動的なエネルギーマネジメントの効果を確認
⇒ 様々な状況における効果の汎用性を引き続き検証

PV余剰利用率[%]

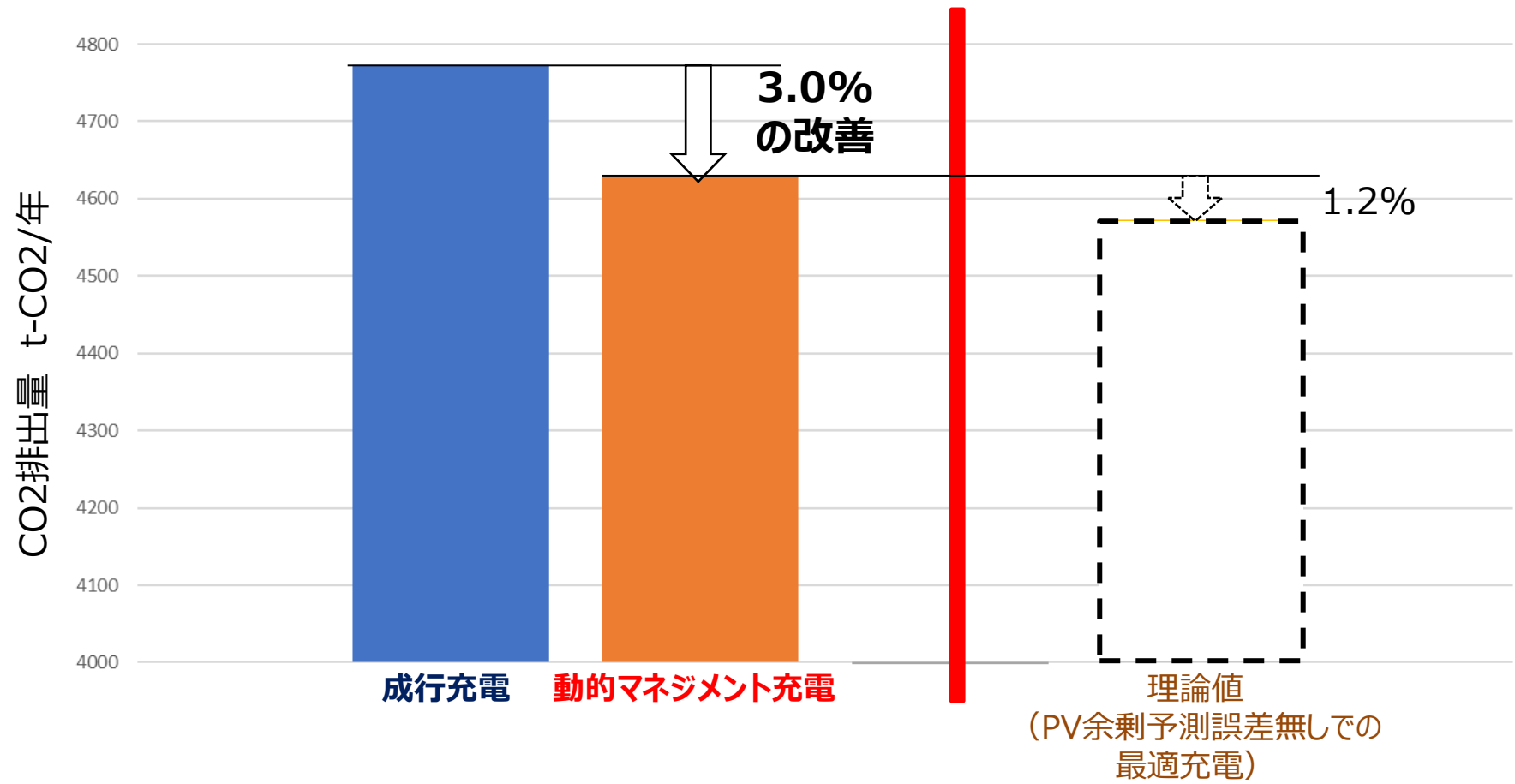


CO2排出量[t-CO2]



実都市におけるPV余剰の予測可能性を踏まえた
動的マネジメント制御効果の年間評価を実施

年間データ（2018年11月～2019年10月）



リアルタイムデータを活用した動的マネジメントの効果として、
成行充電に対して、CO2排出量換算で、年間3.0%（143t-CO2）削減

SIPで得られた主要な成果③

② 宇都宮市でのエネルギーマネジメント：ユースケース想定と便益試算（ノンエナジーベネフィット）

1) EVバスによる災害発生時の避難所への電力供給能力試算

【概 要】路線バスEV化時、余剰太陽光を有効活用する最適充電スケジュールを適用した場合に、EVバス164台のSoCを推定し、災害発生時の避難所への電力供給能力（ポテンシャル）を試算

【成 果】最適制御（晴天代表日、曇天代表日）における電力供給能力として、発災時間別の蓄電残量の総量を推計。
宇都宮市の実際の避難所12箇所において、避難者4500～5500人（想定収容人数の29～35%）に対して72時間の提供が可能と試算され、災害時活用の有効性が確認された。

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

【概 要】交通シミュレーションに基づくノンエナジーベネフィット試算例として、LRT導入後にEV比率が増加場合の自動車旅行速度上昇による便益換算金額を試算

【想定例】宇都宮市東側エリア（LRT沿線エリア）の、東西7km、南北3kmの範囲をシミュレーションモデルとして構築し、LRT敷設路線と並行2路線の交通量変化を分析、貨幣価値の試算を実施した。
また、ガソリン車のみのケースに加え、EV、小型EVへのシフトを考慮したマルチモーダルシミュレーションを行い、EV化による加速度変化、車両サイズコンパクト化などの影響も考慮した

【成 果】LRT導入による交通量減少とEV比率向上により旅行速度が上昇し、当該区間における便益向上が確認された。
⇒ **LRTによる1車線削減、車両通行量20%削減、EV比率向上想定の場合にて、6.88億円/年 向上**

3) LRT導入時の公共交通利用、徒歩数増加による医療費低減効果試算

【概 要】徒歩数と医療費抑制効果には相関があることから、LRT導入時の医療費低減効果を試算

【デ ータ】国土交通省の歩行量調査のガイドラインでは、**0.065～0.072円/歩/日の医療費抑制効果**試算結果を記載


【想定例】宇都宮市での各種オープンデータ（人口統計情報、福祉関係情報、保健・健康・衛生関係情報）を活用することで沿線人口を算出。さらに町丁目ごと細分化し、最寄り電停までの距離を算出し、歩数換算することで医療費削減効果を試算

【成 果】LRT導入時、電停1000m以内の居住者がLRTを利用する場合
⇒ **2億2238万円/年の医療費削減効果**を確認

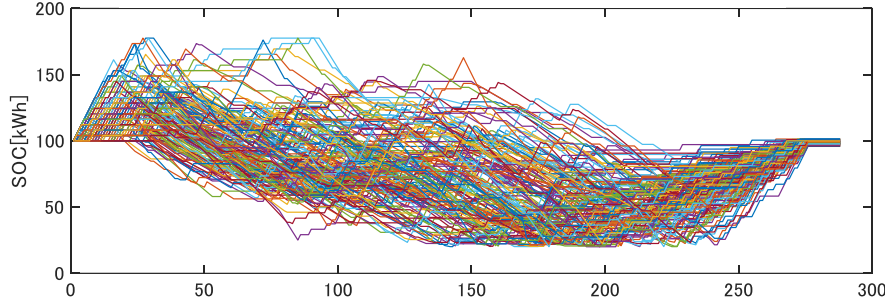
- 電力データ、交通データを活用した災害マネジメントへの貢献事例を下記に列挙
- 本事業では「EVバスを活用した災害時の避難所などへの電力供給」を中心に検討



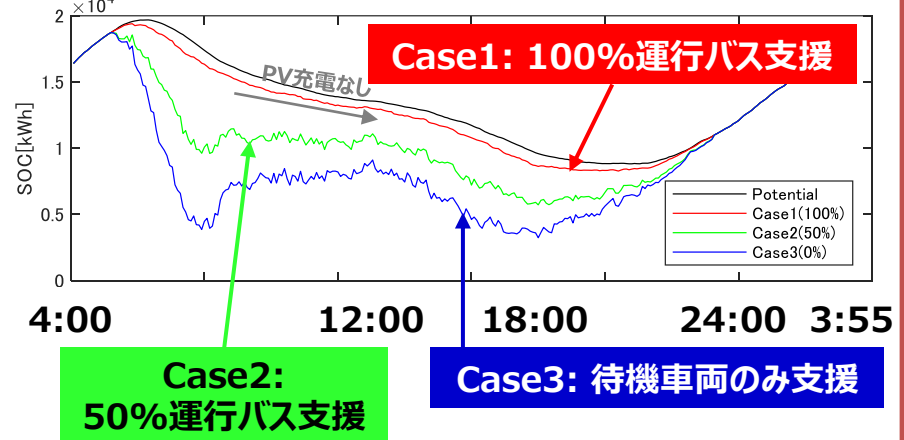
最適充電スケジュールでのシナリオ別
非常用電源容量（雨天代表日の例）

雨天日(2019年5月21日)

164台EVバスの蓄電残量(個別)



164台EVバス合計蓄電残量



Case2:
50%運行バス支援

Case3: 待機車両のみ支援

* 運行バス支援：乗客を降ろしてから避難所へ移動して電力供給

宇都宮市バス営業所・車庫
（＝充電ステーション）

近傍の避難所**12**か所を選定

想定収容人数**15,460**人



■ 想定使用電力量

大規模避難所（2600㎡）の電力消費
（スフィア基準3.5㎡/人で750人相当）

種別	電力消費量
照明	386.4kWh
通信	9.6kWh
付帯設備	55.2kWh
動力	252kWh
合計（日）	703.2kWh

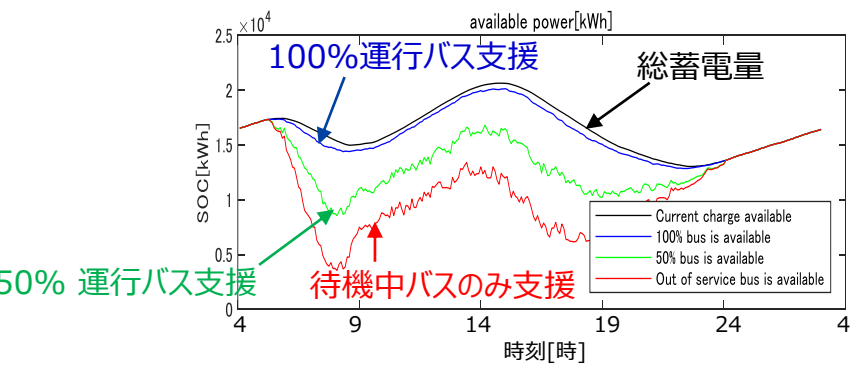
※四国経済産業局：地域防災拠点施設への分散型電源普及に向けた調査より推計

避難所での想定使用電力量に基づき、72時間支援可能な収容人数を天候別に試算

- 最適充電方式(晴天日、雨天日)それぞれの、各災害発生時刻別供給可能電力量をグラフ化
- 上段：発災時の総蓄電量、最寄りの充電ステーションまで移動した後、レジリエンス活用を稼働中バス100%、50%、待機中バスのみとした場合の利用可能電力
- 下段：全バス車両活用時の各営業所別利用可能電力

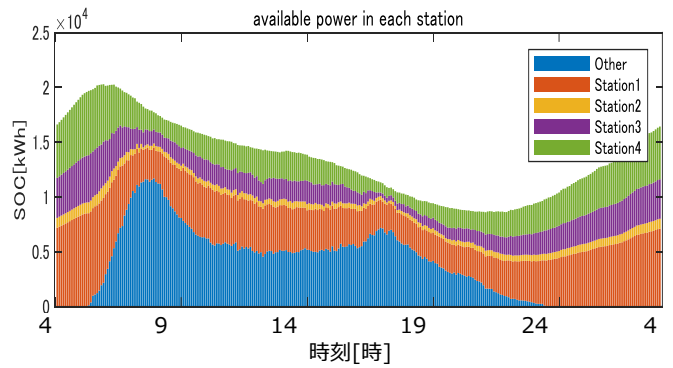
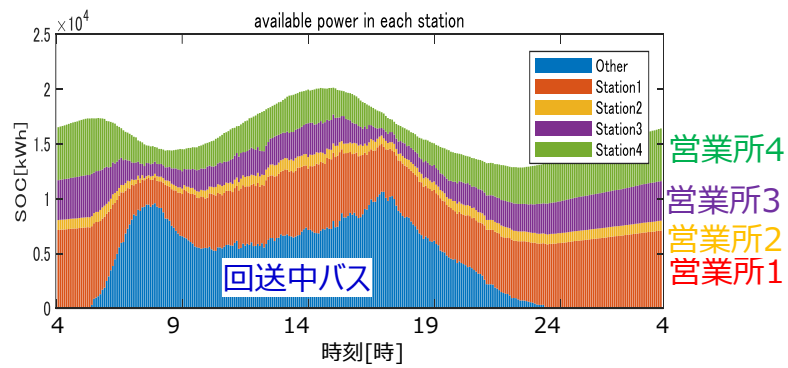
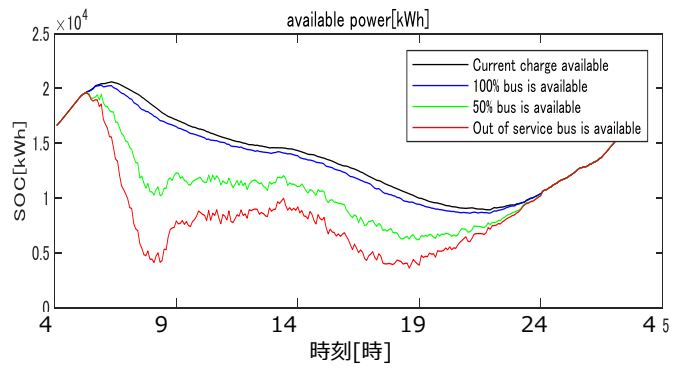
最適充電方式(晴天日)

Fine day case(2019/10/02)



最適充電方式(雨天日)

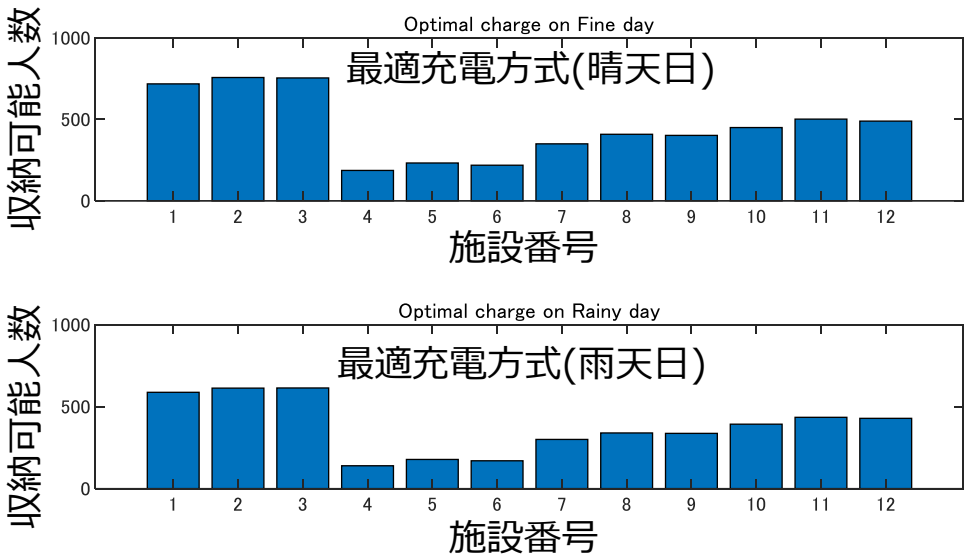
Rainy day case(2019/10/12)



※下段グラフは稼働中バス100%活用ケースの場合

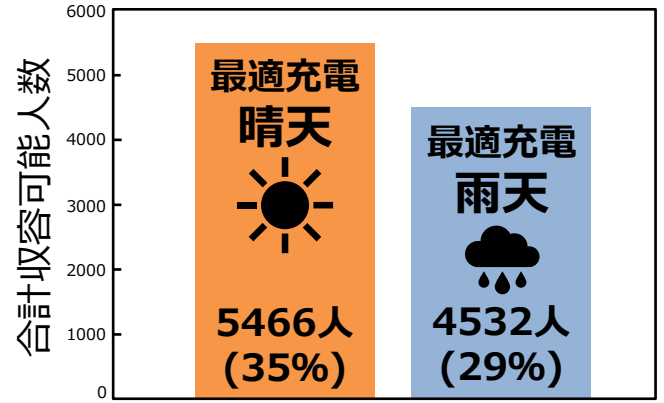


避難所毎の日平均収容人数（72時間供給）



※各営業所到着のバス台数に偏りがあるため、
最寄り施設の収容可能人数にもばらつきが生じる

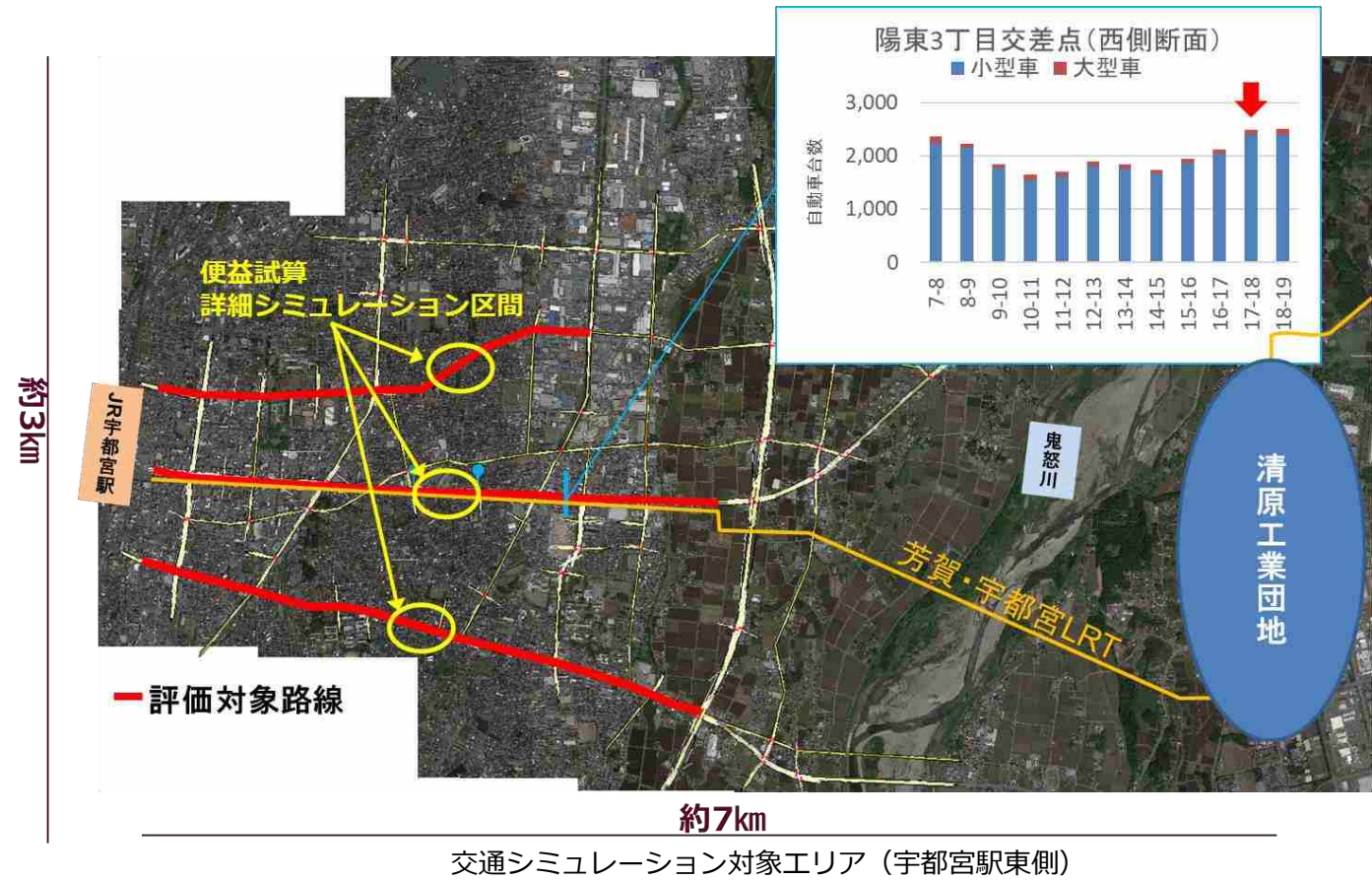
合計収容人数（72時間供給）



※各ケースは稼働中バス100%活用ケースの場合

大規模収容人数避難所である小中学校12校（収容人数計15,460人）へ164台のバスを配車
宇都宮市の実際の避難所12箇所において、
避難者4500～5500人（想定収容人数の29～35%）に対して72時間の提供が可能

- 宇都宮市駅東エリア（LRT沿線エリア）の東西7km、南北3kmの範囲をシミュレーションモデルとして構築し、交通量変化による貨幣価値の試算を実施
 - LRT敷設後の公共交通へのシフトによる交通量削減を考慮
 - ガソリン車のみのケースに加え、EV、小型EVへのシフトを考慮したマルチモーダルシミュレーションを実施
 - ・ EV車：加速度増加により、交通量増加に寄与
 - ・ 小型EV：車両サイズコンパクト化による交通量増加に寄与
 - 17時台の1時間、3路線での分析をもとに、年間便益を試算



交通シミュレーション対象エリア（宇都宮駅東側）

● 便益試算の結果、LRT導入、マルチモーダル化による便益の増加を確認

	車種 1 種（ガソリン乗用車）		車種3種（ガソリン車：30% EV車：28% 小型EV車：42%）	
	交通量 （台/17時台）	年間便益換算額 （百万円/年）	交通量 （台/17時台）	年間便益換算額 （百万円/年）
LRT無し	12,621	基準	－	－
With LRT：1車線削減 車両通行量 10%減 想定	13,068	+ 151	13,113	+426
With LRT：1車線削減 車両通行量 20%減 想定	12,726	+ 44	13,478	+ 688
With LRT：1車線削減 車両通行量 30%減 想定	12,557	+ 28	12,967	+455

- LRT導入による総交通量が減少を想定
- マルチモーダル化（EV化）によりネットワーク内交通量増加（加速度増加による交通流円滑化、車両サイズのコンパクト化による車両数増加）を確認
- **LRTによる1車線削減、車両通行量20%削減、EV比率向上想定の場合にて、6.88億円/年向上**

令和2年度換算値	
車種（j）	時間価値原単位（円/分・台）
乗用車	41.02
バス	386.16
乗用車類	46.54
小型貨物車	52.94
普通貨物車	76.94

LRT導入時の公共交通利用、徒歩数増加による医療費低減効果試算【項目3】

徒歩可能人口の推計

- 宇都宮市オープンデータカタログ（人口統計情報、福祉関係情報、保健・健康・衛生関係情報）より、導入されるLRTの電停への徒歩可能人口を推計

表 LRT電停ごとの周辺人口（単位：人）

電停	300m以内	500m以内	1000m以内
JR宇都宮駅東口	969	1,945	12,468
宿郷町	1,519	2,464	4,649
東宿郷	1,247	3,471	15,483
今泉町	1,648	2,805	9,076
陽東	2,023	5,042	9,300
ベルモール前	2,689	2,689	3,882
平出町	4,068	4,068	4,784
下平出	1,311	1,311	1,311
下竹下	0	0	2,415
作新学院北	0	0	0
清原管理センター前	0	0	0
清原工業団地北	0	0	684
テクノポリス西	0	2,157	2,219
テクノポリス中央	1,137	1,303	7,091
テクノポリス東	1,192	2,529	2,803
	17,803	29,784	76,165

参考：宇都宮市オープンデータカタログ

歩数換算による医療費の低減

- 徒歩可能人口を町丁目ごとに細分化し、それぞれの徒歩距離（歩数換算0.7m/歩）を推計
- LRT導入時の分担率の予測（沿線人口に対して6.6%）を適用して医療費の低減効果を推計

表 LRT導入時の医療費低減効果

	歩数/年	医療費低減効果/年
300m以内	312,503,842歩	2062万円
500m以内	634,628,196歩	4188万円
1000m以内	3,369,509,062歩	2億2238万円



2億2238万円/年の医療費削減効果

現状は**LRT導入による効果**（電停までの徒歩の往復）だけだが、今後は**再編されるバス路線の効果**や公共交通があることによる**外出促進での効果**（行った先での徒歩）を含め検討も可能。

SIPで得られた主要な成果③

③ 宇都宮市でのエネルギーマネジメント：プラットフォームプロトタイプ構築と設計指針の構築

【概 要】自治体と連携し、地域エネルギーマネジメントシステムプラットフォームのプロトタイプの試験稼働を推進し、実証・実装へ向けた課題抽出とプラットフォーム設計指針の構築を進めた。

【成果①】標準都市OSを活用したプラットフォームプロトタイプの構築・利用に基づく設計指針の構築
地域エネルギーマネジメントプラットフォームの構築へ向け、自治体との連携を基に、都市OSの国際標準であるFIWARE環境を利用したプラットフォームプロトタイプの構築と試験稼働を推進。交通データ（リアルタイム・履歴）、電力データ（履歴）などの格納と活用を通し、電力・交通のデータモデルの立案を行うとともに、個のデータ／公のデータの区分と扱いについて自治体と議論を進めた。また、都市OSは、最新情報と短期間履歴データの格納を主体とするが、エネルギーマネジメントには長期間履歴データの利用も必要となるため、長期履歴対応ストレージの併設が重要となる等、エネルギーマネジメントシステムとしての活用に対応したシステム構成を検討、地域エネルギーマネジメントシステムプラットフォーム設計指針を策定した。

【成果②】スマートシティ関係ドキュメントと連携した、プラットフォーム設計指針の構築
地域エネルギーマネジメントプラットフォームの構築が自治体のスマートシティへの取組と連携して進められることを想定し、プラットフォーム設計指針の構築においては、ステークホルダーを巻き込んだ進め方は内閣府「スマートシティガイドブック」を、取組全体のアーキテクチャや都市OSの位置づけは内閣府「スマートシティリファレンスアーキテクチャ・ホワイトペーパー」を、各々ベースとし、宇都宮市におけるエネルギーマネジメント検討事例を中心とする形で取りまとめた。

1. 概要

2. エネルギーマネジメントユースケース事例と便益試算例

① エナジーベネフィットユースケース

- 路線バスEV化時の充電スケジュール制御

地域余剰PV電力利用率、CO2排出量削減効果の試算、動的マネジメントによるCO2排出量削減効果試算

② ノンエナジーベネフィットユースケース

- レジリエンス対応：路線バスEV化時、停電時の避難所への電力供給能力の評価
- LRT導入時の交通マルチモーダル条件下での走行時間短縮便益の試算
- LRT導入時の公共交通利用、徒歩数増加による医療費低減効果試算

3. ステークホルダー

① 代表ユースケースにおけるステークホルダーの想定と整理

（A-1課題で整理されたアーキテクチャに対応した宇都宮のケーススタディ）

② スマートシティ推進団体（Uスマート推進協議会）との協調

参考：内閣府 スマートシティガイドブックでの記述

4. 利用データの種類・仕様

5. EMSプラットフォームのシステム概要：システム化の範囲と構成（アーキテクチャ）

- ① 地域エネルギーマネジメントシステムプラットフォームとスマートシティリファレンスアーキテクチャ
- ② スマートシティ・都市OSとの連携・利用の検討（都市OSの活用へ向けて）

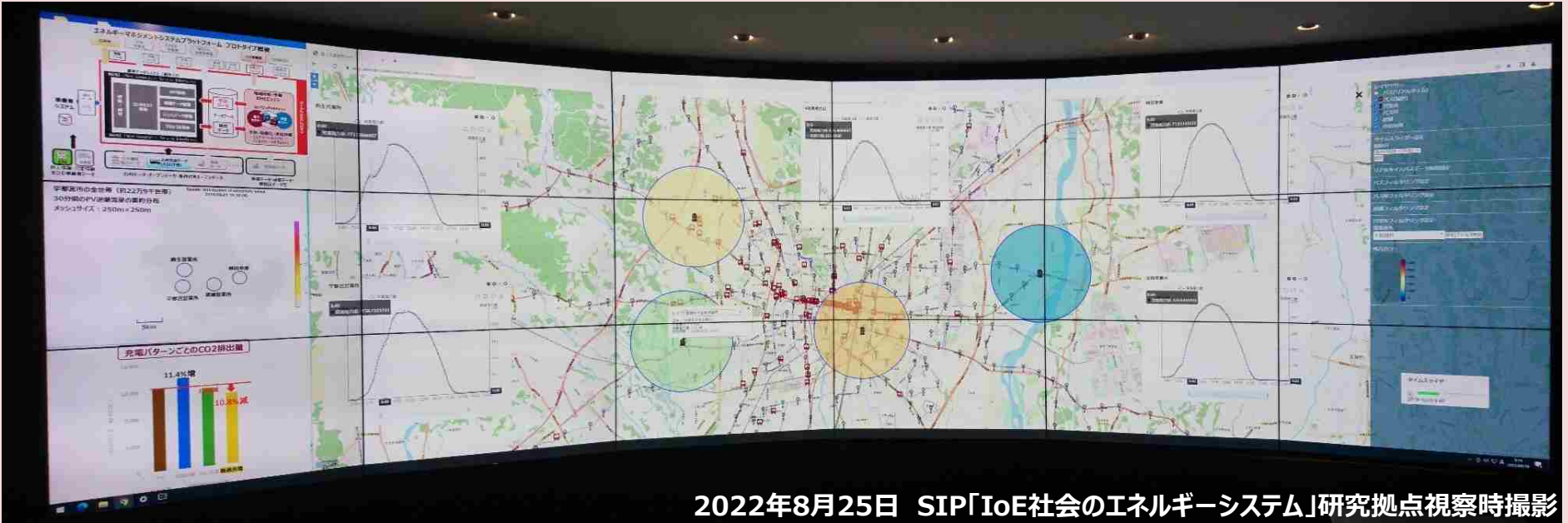
6. 社会実装に向けた取り組み

- ① 社会実証
- ② 他都市展開、他交通手段展開へ向けた検討

都市OSの国際標準であるFIWARE環境を利用した
プラットフォームプロトタイプ of 構築と試験稼働

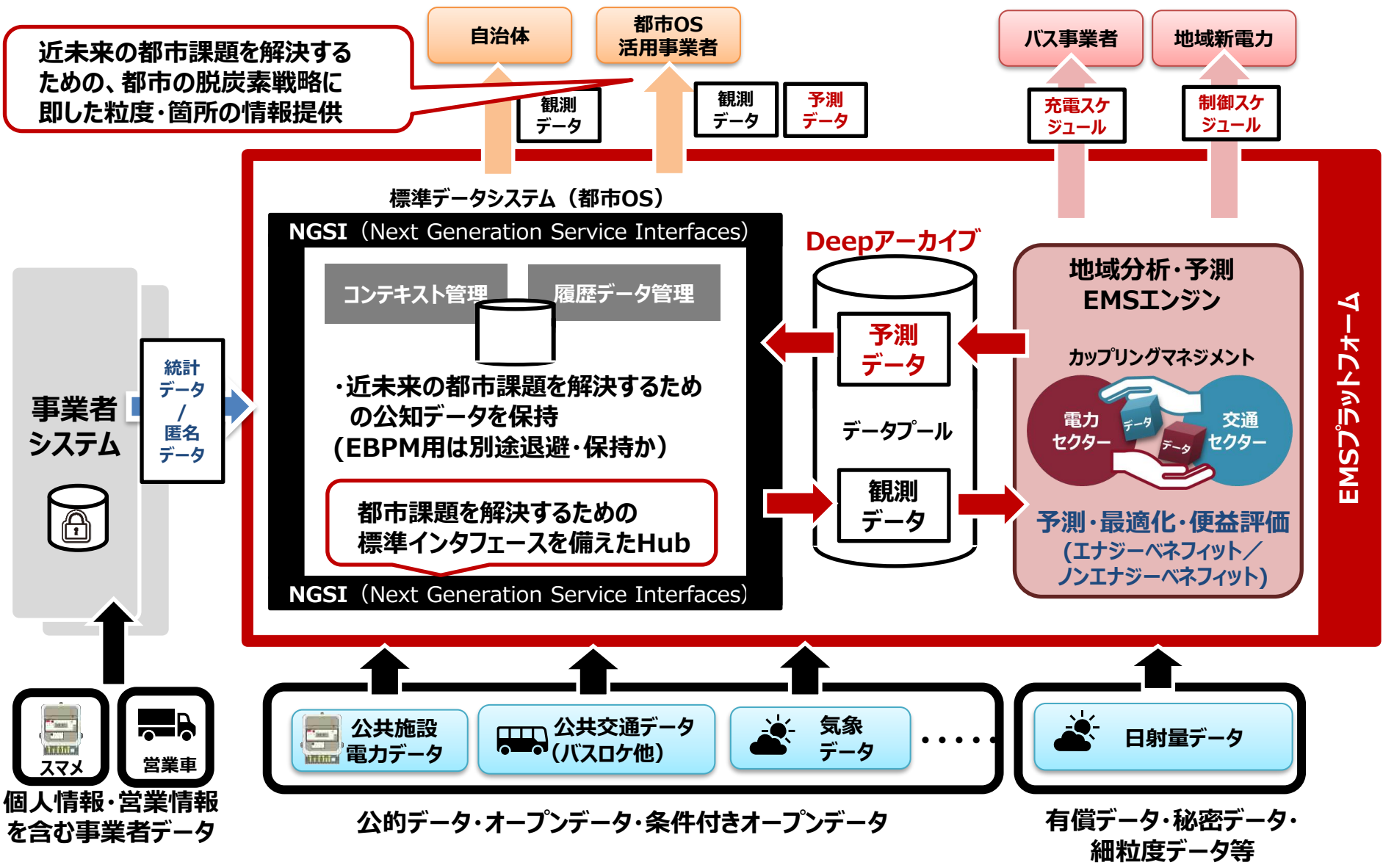
交通データ（リアルタイム・履歴）、電力データ（履歴）などの格納

宇都宮市での実データを連携した都市OS基盤に、自治体関係者の意見を反映した
ユーザーインターフェース画面を備えたプラットフォームプロトタイプを開発し、
早稲田大学 EMS新宿実証センターにて実証実施



2022年8月25日 SIP「IoE社会のエネルギーシステム」研究拠点視察時撮影

都市OSの特徴を把握した上で、エネルギーマネジメントシステムとしての活用に対応したシステム構成を検討、
地域エネルギーマネジメントシステムプラットフォーム設計指針を策定した



都市OSの位置づけは内閣府「スマートシティリファレンスアーキテクチャ・ホワイトペーパー」をベースに検討、記述

最終目標

	達成目標（数値目標があれば記載）
①	「複雑系科学に基づく地域エネルギーシステムの分析」 デマンドサイドでは各需要家のデマンドデータ、サプライサイドでは多様な再生可能エネルギーのポテンシャル分布など地域のエネルギー需給特性を分析する。広域での需給平滑化の可能性を検討する。
②	「地域エネルギー需給データベースの推計・整備」 全国1741の市区町村を対象として産業、民生、家庭、輸送の各部門のエネルギー消費量を推計し、再生可能エネルギーの賦存量や社会的条件と合わせて地域社会の特性を分析し、市区町村のエネルギー消費量データベースを整備する。
③	「都市部と地方部が相互に特性を補完しエネルギーを融通する地域間連携モデルの開発」 全国の市区町村に対して、エネルギー需要や再生可能エネルギーポテンシャル、地理的、社会的条件などを考慮し、複数のシナリオによるエネルギー地域間連携についてシミュレーションを行うモデルを開発する。
④	「需要部門とエネルギーキャリアを統合利用するセクターカップリング」 産業・業務・家庭・運輸部門別の需給バランスや時間変動を考慮して、電力・熱・合成燃料等のエネルギーキャリアを融通し最適なシステム構成を求める設計ツールを開発する。
⑤	「地域エネルギーシステムの統合デザイン手法の開発」 2～3地域を対象に自治体との連携のもと、特徴ある地域分析を進め、地域間連携、セクターカップリング、電力交通連携など各テーマの知見を集約し、デザイン手法を開発する。全国展開を見据えて地域の類型化を図る。
⑥	「地域エネルギーシステムデザインのガイドラインの策定」 全国の市区町村を対象に、地方公共団体による地域エネルギーシステムの計画立案を支援できるよう、ガイドラインを策定する。
⑦	○電力・交通データ連携型エネルギーマネジメントシステムプラットフォームプロトタイプへ格納した地域交通データ、電力データの活用を通して、電力・交通データ連携型エネルギーマネジメントシステムプラットフォーム設計指針の構築を行う。 ○地域交通データ、地域電力データを活用したエネルギーマネジメントユースケースに基づき、セクターカップリングによる便益評価を通して、便益評価指針の構築を行う。

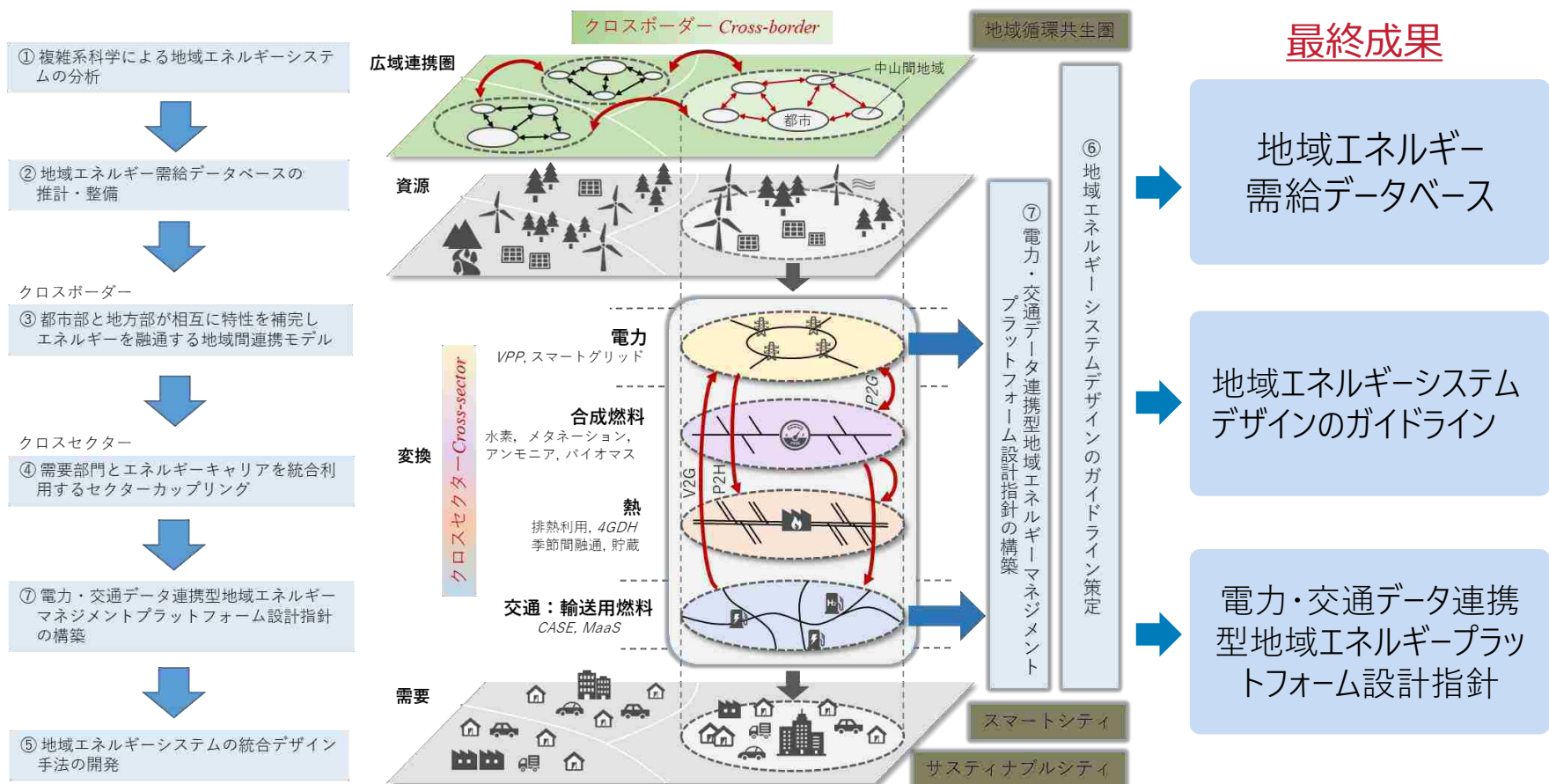
最終目標に対して得られた成果①

【今年度実施内容】

個別テーマ⑤地域エネルギーシステムの統合デザイン手法の開発

個別テーマ⑥地域エネルギーシステムデザインのガイドラインの策定

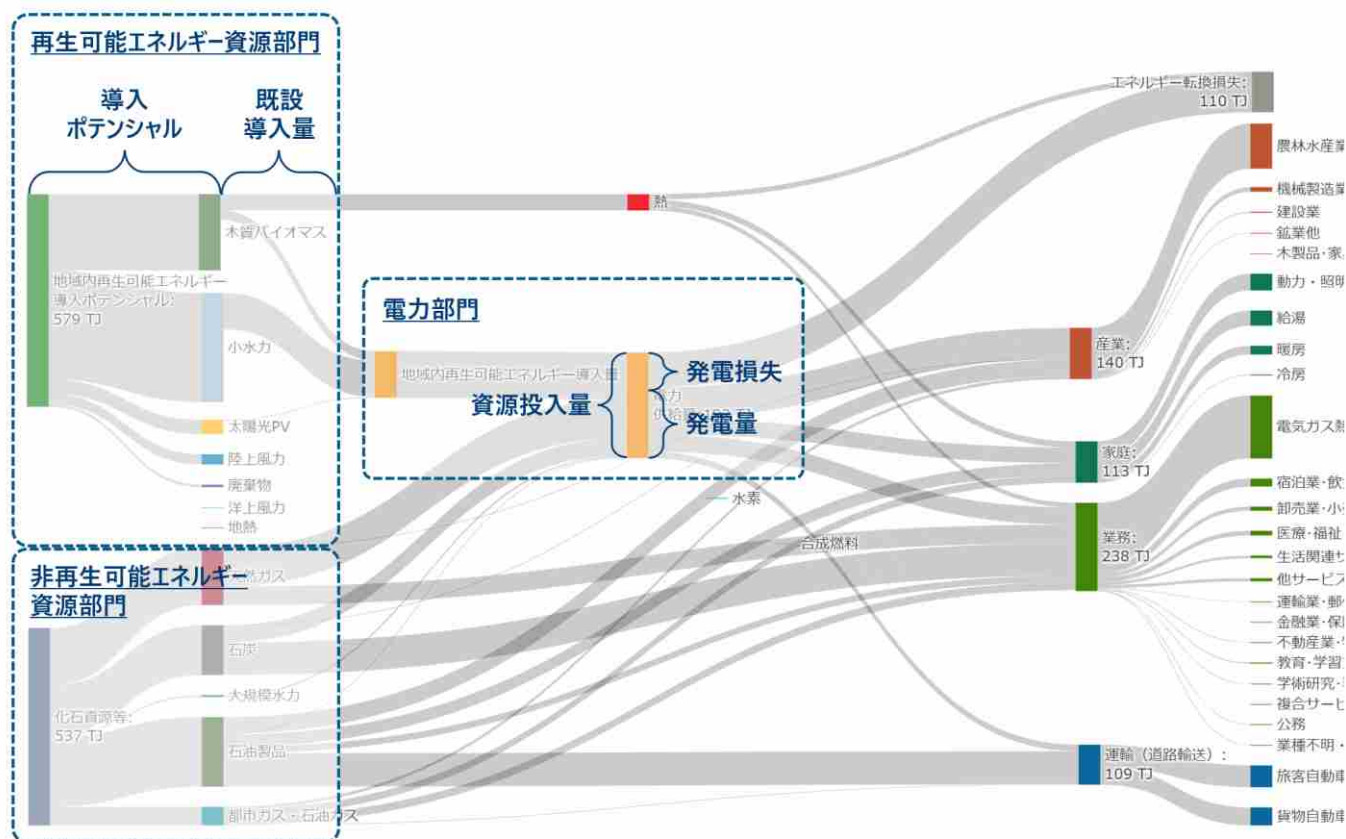
個別テーマ⑦「電力・交通データ連携型地域エネルギー管理システムプラットフォームの設計指針の構築」



地域エネルギーシステムの統合デザイン手法の開発

① 全国1741市町村のエネルギーフロー図

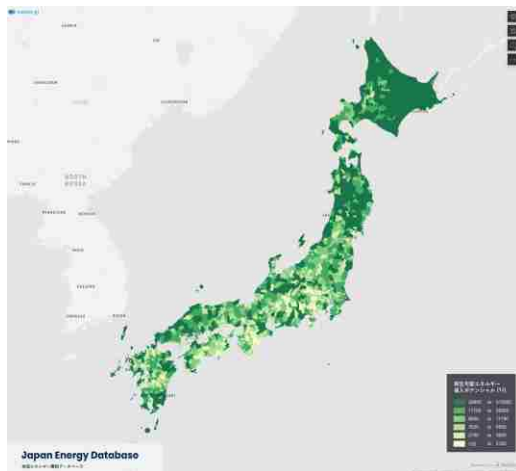
- ・ 地域内のエネルギー需給構造（エネルギーシステム）の全体像を可視化した図。
- ・ 部門間のエネルギーの流量および各部門のエネルギーの収支の相対関係を表現。
- ・ エネルギーシステムは、大きく分けてエネルギー資源(図左側)、エネルギー転換（図中央部）、エネルギー需要(図右側)の3部門によって構成される。



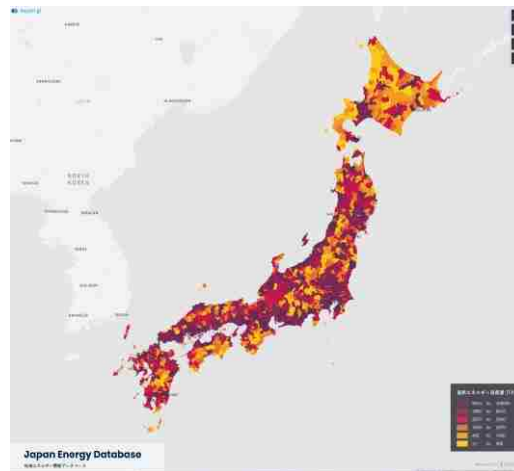
地域エネルギーシステムの統合デザイン手法の開発

② 市区町村解像度のエネルギー需給マップ

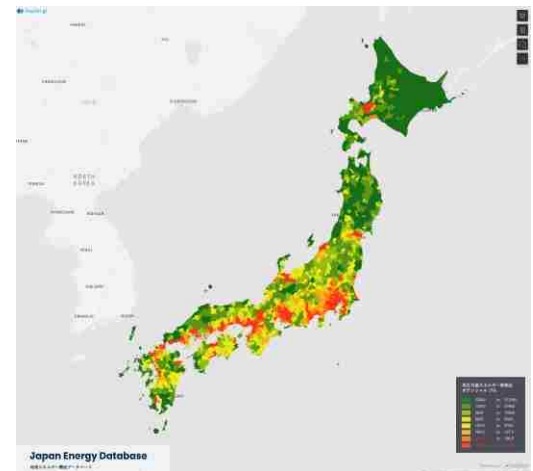
- 1,741市区町村の再生可能エネルギーポテンシャル、エネルギー需要、再生可能エネルギー移輸出ポテンシャル、エネルギー自給率を地図上に可視化。
- 再生可能エネルギー移輸出ポテンシャルとは、再生可能エネルギーポテンシャルからエネルギー需要を差し引いた値であり、地域間連携の計画にあたって重要な指標である。
- 再生可能エネルギーポテンシャルマップとエネルギー需要マップを比較すると、エネルギー資源とエネルギー需要が地理的に対称的（資源は北日本や山間部、需要は太平洋ベルトや都市部）に偏在していることが確認できる。
- 再生可能エネルギー移輸出ポテンシャルは、エネルギー資源とエネルギー需要の対称的分布により顕著な偏在が見られる。
→ 農漁村・中山間地域等では需要を上回る資源があり、首都圏・地方都市や太平洋ベルト周辺地域では、資源量に対して需要過多である。



再生可能エネルギーポテンシャル



エネルギー需要

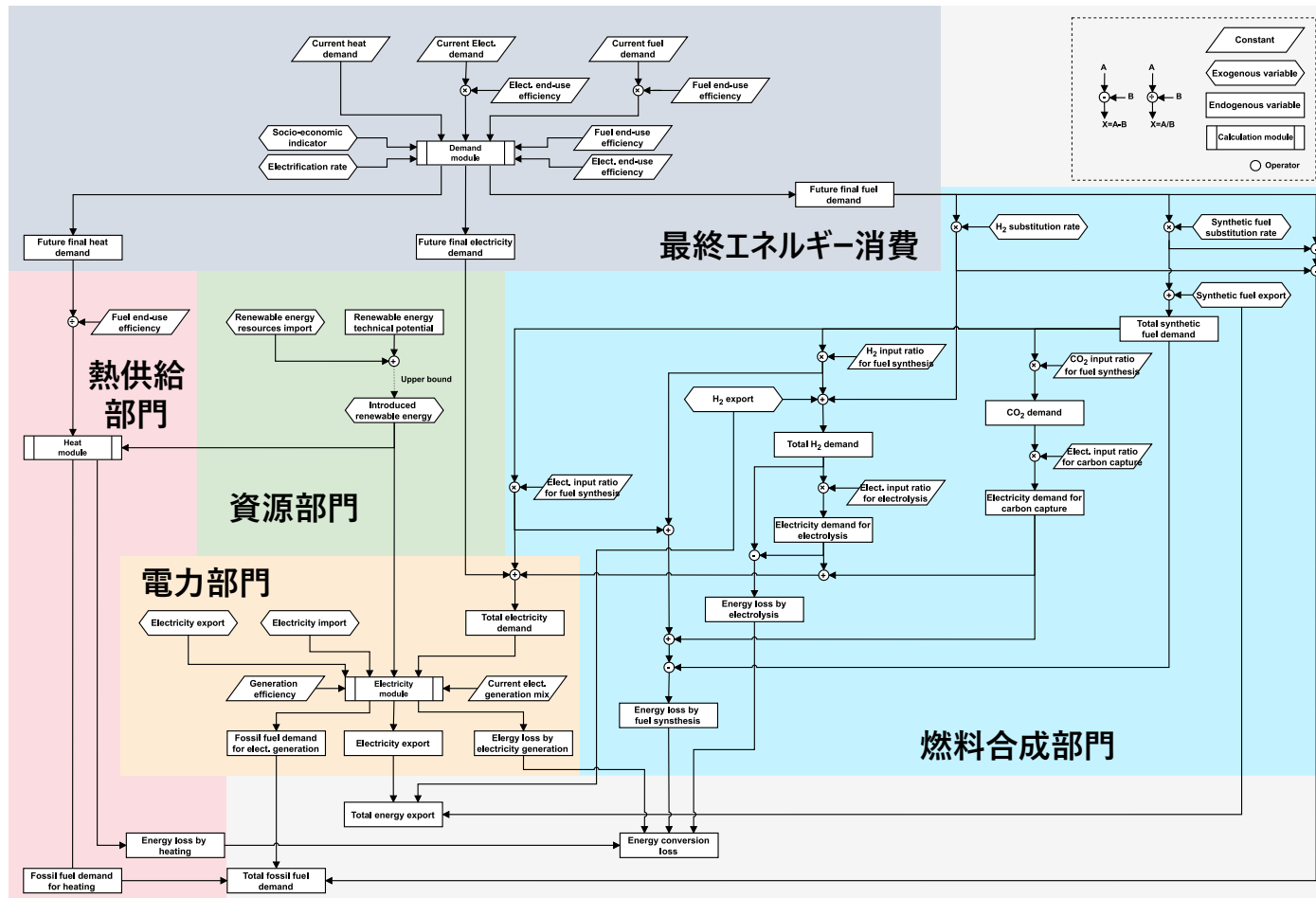


再生エネ移輸出ポテンシャル

地域エネルギーシステムの統合デザイン手法の開発

③ 地域エネルギーシステムシミュレーションモデル

- エネルギーシステムを構成する様々な変数間の依存関係を定義し、ある変数の増減による他変数への影響を連鎖的に計算する。
- 再エネの導入量や需要部門の電化率、地域間連携によるエネルギーの移出入量などを操作変数とし、CO₂排出量やエネルギーコスト、エネルギー経済収支などの指標を用いて地域エネルギーシステムを定量評価する。



最終目標に対して得られた成果①

地域エネルギーシステムの統合デザイン手法の開発

④ 1,741市区町村に対応したエネルギーシミュレーター

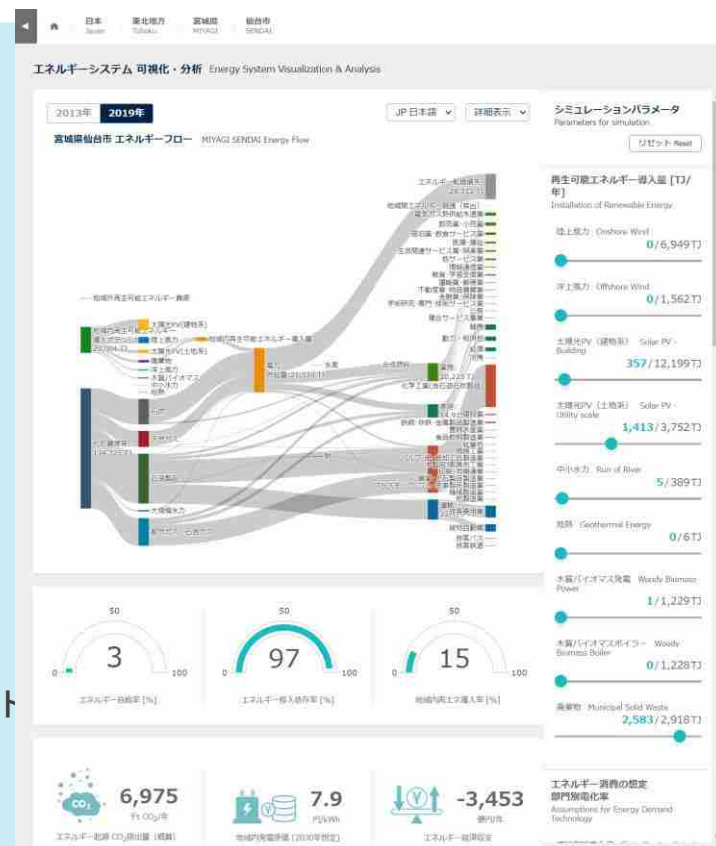
- 「地域エネルギーシステムシミュレーションモデル」(前述)を搭載。
- 1,741市区町村別のエネルギー需給実態の現状（2013、2019年度）をもとに、地域の社会経済状況やエネルギー導入計画などの各種パラメータを変化させ、将来の地域エネルギーシステムをシミュレート可能。
- 再エネ導入量や電化などによるエネルギー需給全体の変化をエネルギーフロー図を用いてインタラクティブに可視化。
- 他地域とのエネルギー融通やEV・合成燃料の導入といった技術代替・燃料代替を考慮。

操作可能なパラメータ

- 再生可能エネルギー導入量
陸上風力、洋上風力、太陽光PV、
中小水力、木質バイオマス、
廃棄物を考慮
- 部門別電化率
産業部門、業務部門、家庭部門、
運輸部門の電化率をそれぞれ考慮。
- 燃料代替率（水素・合成燃料の想定）
Hard-to-abateセクターの脱炭素化に
向けた水素や合成燃料の製造を考慮
- 社会経済指標増減率（マクロフレーム）
産業部門、業務部門、家庭部門、運輸
(道路輸送)部門それぞれに対応した
社会経済指標を考慮。
- 地域間エネルギー融通量
連携した他地域からの電力融通量を想定。

多面的評価指標

- A) エネルギーフロー図
- B) エネルギー自給率
- C) 地域外エネルギー依存率
- D) 地域内再エネ導入量（率）
- E) 一次エネルギー総供給量
- F) 最終エネルギー消費量
- G) エネルギー起源CO₂排出量
- H) 地域内再生可能エネルギー発電コスト
- I) 地域エネルギー経済収支

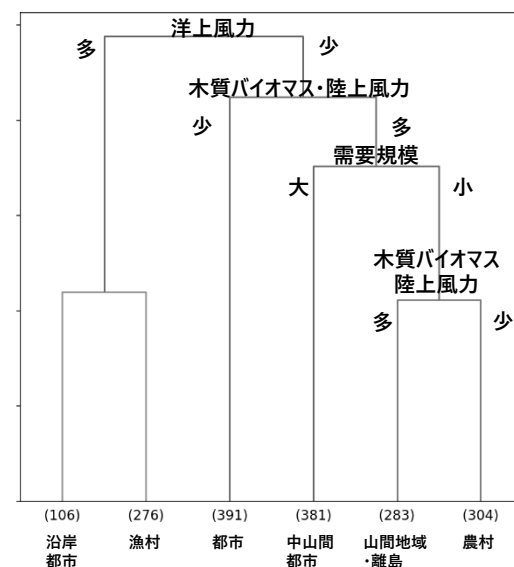
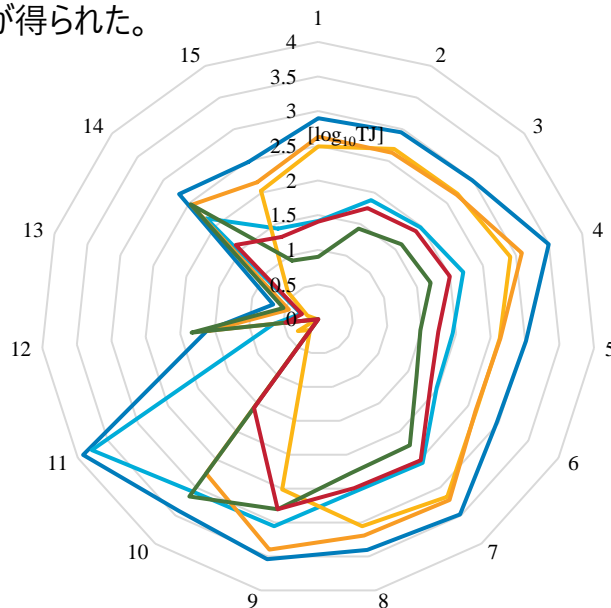


最終目標に対して得られた成果①

地域エネルギーシステムの統合デザイン手法の開発

⑤ エネルギー需給特性による市区町村の類型化

- 地域エネルギーシステムデザインは、地域内の需要と資源の構成に基づいて実施されることから、その特性が類似する地域は執りうる施策も類似する（横展開できる）と考えられる。
- 階層型クラスター分析により類型化した結果、再生可能エネルギー資源の構成や需要規模による分類により、説明性の高い類型が得られた。

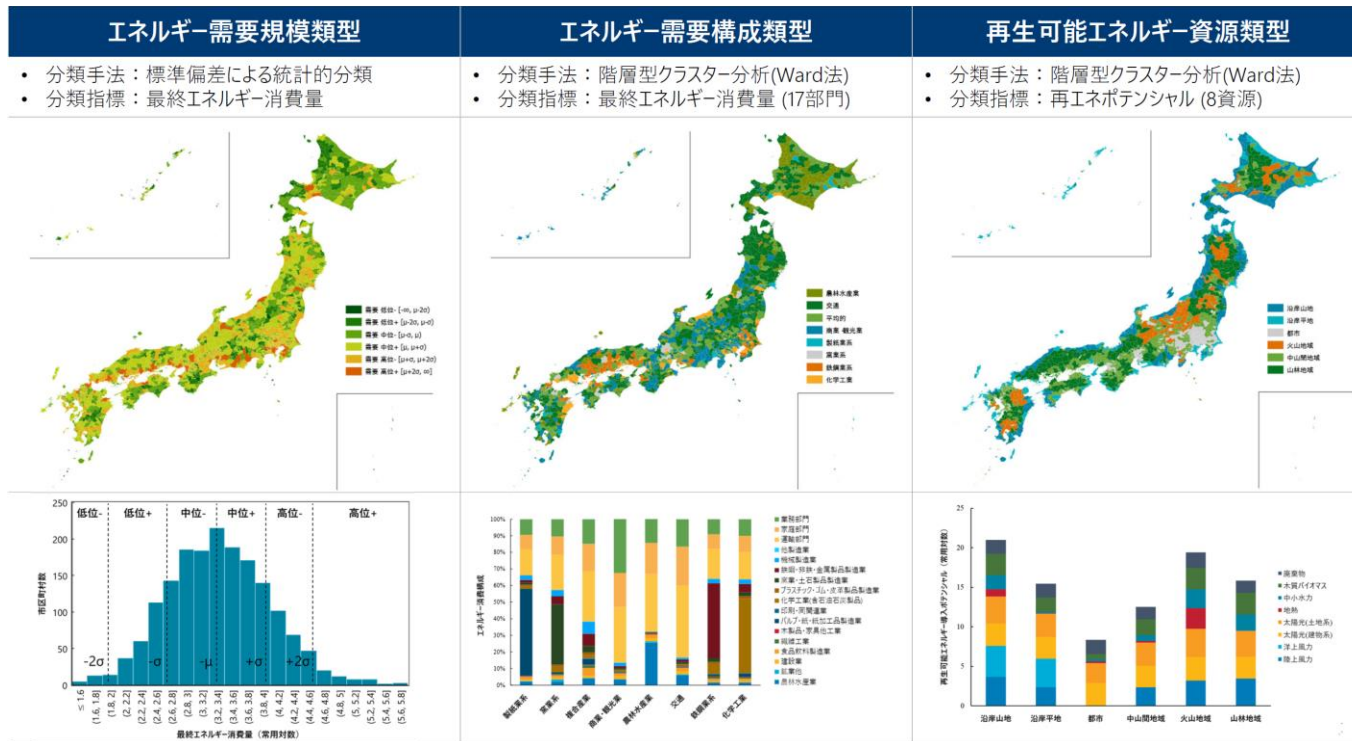


クラスター	資源に関する特徴	需要に関する特徴	地域例
● 沿岸都市クラスター	風力・太陽光・木質バイオマスポテンシャルが高い。	需要規模が大きい。	苫小牧，市原市，横浜市，北九州市
● 漁村クラスター	洋上風力ポテンシャルが高い。	需要規模が小さい。	根室市，つがる市，男鹿市，五島市
● 都市クラスター	廃棄物・建物系太陽光ポテンシャルが高い。	需要規模が大きい。	宇都宮市，東京23区，名古屋市，大阪市
● 中山間都市クラスター	陸上風力・木質バイオマスポテンシャルが高い。	需要規模が大きい。	札幌市，盛岡市，甲府市，広島市
● 山間地域・離島クラスター	陸上風力・木質バイオマスポテンシャル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

地域エネルギーシステムの統合デザイン手法の開発

⑤ エネルギー需給特性による市区町村の類型化

- 詳細な特徴把握のため需要規模などの類型を加えて、市区町村を需要規模6階級、需要構成8クラスター、再エネ資源6クラスターに分類することで、地域規模や産業構造、地理的特性などを反映した計288クラスターが得られた。
- 各類型では需要中位-階級、運輸部門需要の多い交通クラスター、中山間地域クラスターに最も多くの市区町村が分布しており、これらの地域でモデル事例を作ることによって、多くの地域への横展開が期待できる。一方で、需要中位-階級の総需要は全体の約5%であり、横展開がなされた場合でも日本全体のエネルギー需給の影響は限定的。
- 需要高位の地域で日本のエネルギー需要の約76%を占める。ただし需要構成や再エネ資源の類型はまばらであり、各地域が独自のエネルギー需給政策を考える必要があると思われる。都市×商業・観光業クラスターのように部分的に小さなクラスターを形成しており、一部では施策の横展開が可能。



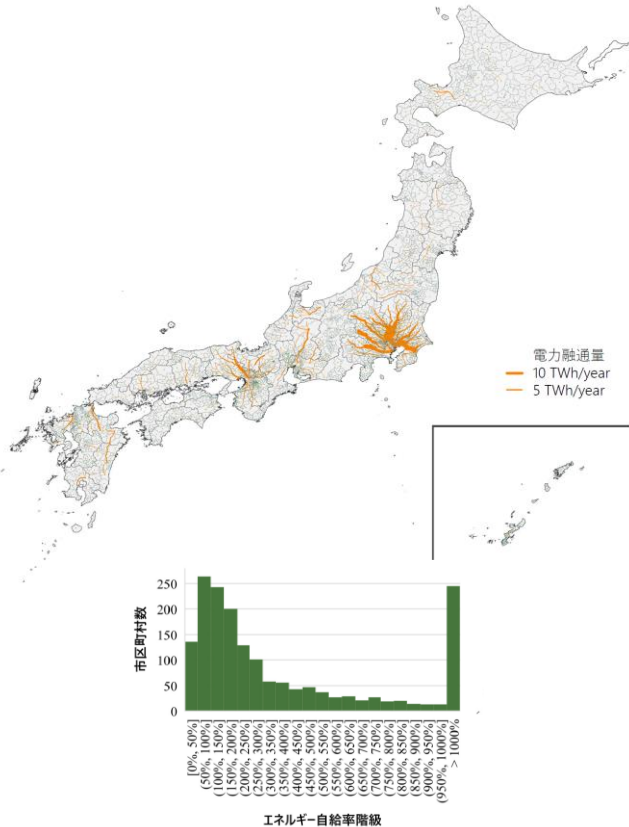
地域エネルギーシステムの統合デザイン手法の開発

⑥ 高空間解像度エネルギーシステムネットワークモデル

- 地域間連携として、隣接市区町村間での再エネ電力融通を分析可能なモデルを開発。TSO供給エリアごとに、各市区町村の再エネ資源によって現状の電力需要を満たす再エネ融通ネットワークを設計。
- 結果、77%の市区町村でエネルギー自給率が100%を上回り、域内における再エネ資源の融通が電力システムの自立性向上に有効であることが示された。各TSO区域で、都市部需要を最終供給先として分岐するツリー型の需給構造が形成された。ツリー構造にはレジリエンスの観点で脆弱性があり、供給地域どうしの横の連携によりレジリエンス向上が期待される。
- また、水力・地熱発電所が立地する地域と大都市をつなぐ中長距離送電が散見されることから、地域間連携の全体最適化において、周辺地域だけでなく、より広範な地域連携の視点が必要であることが示唆される。

モデルの設定条件

目的関数	<p>システムコスト最小化</p> <p>システムコスト=資本費+固定O&M費+燃料費</p> <p>※発電設備、蓄電設備、地域間送電線の費用を考慮。</p>
制約条件	<ul style="list-style-type: none">• 電力需給バランス（同時同量、出力抑制を考慮）• 再エネ導入量上限（導入ポテンシャル）• 送受電バランス（送電損失による減衰を考慮）• 充放電バランス（充放電損失による減衰を考慮）• 設備利用率下限（木質バイオマスと廃棄物に適用）
時空間解像度	<ul style="list-style-type: none">• 1時間刻み／季節別代表時間4週間• 市区町村単位／各TSO供給エリア内(または全国)
再エネ資源	陸上風力、太陽光PV建物、太陽光PV土地系、地熱、中小水力、木質バイオマス、廃棄物、大規模水力。 太陽光・風力の再エネ発電出力変動を考慮。
計算条件	<ul style="list-style-type: none">• コスト想定：2030年• 送電容量上限：9.872 GW (Cf.中部電力三岐幹線)• 送電損失：0.5%/100km• 充放電損失：85%（ラウンドトリップ）• 自己放電率：0.003%/h（2%/月）• 隣接する市区町村間で電力を融通• 木質バイオマス発電と廃棄物発電の設備利用率は80%以上• 市区町村間の距離は面積重心間の直線距離• 除外事項<ul style="list-style-type: none">将来の電力需要(EV充電負荷など)既設送電線、配電網増強、電気工学的制約（電圧則など）、電力以外のエネルギーキャリアの需給(熱・水素など) <p>→洋上風力発電、揚水発電、V2G、P2Gの導入による拡張を図る</p>

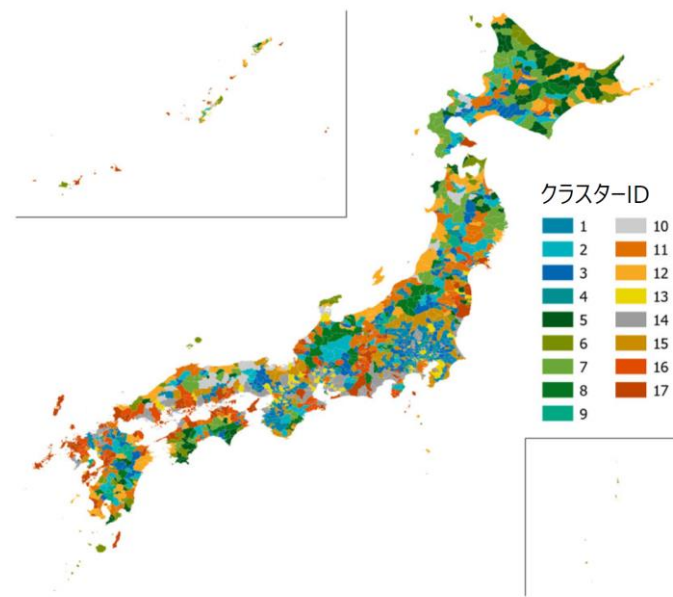
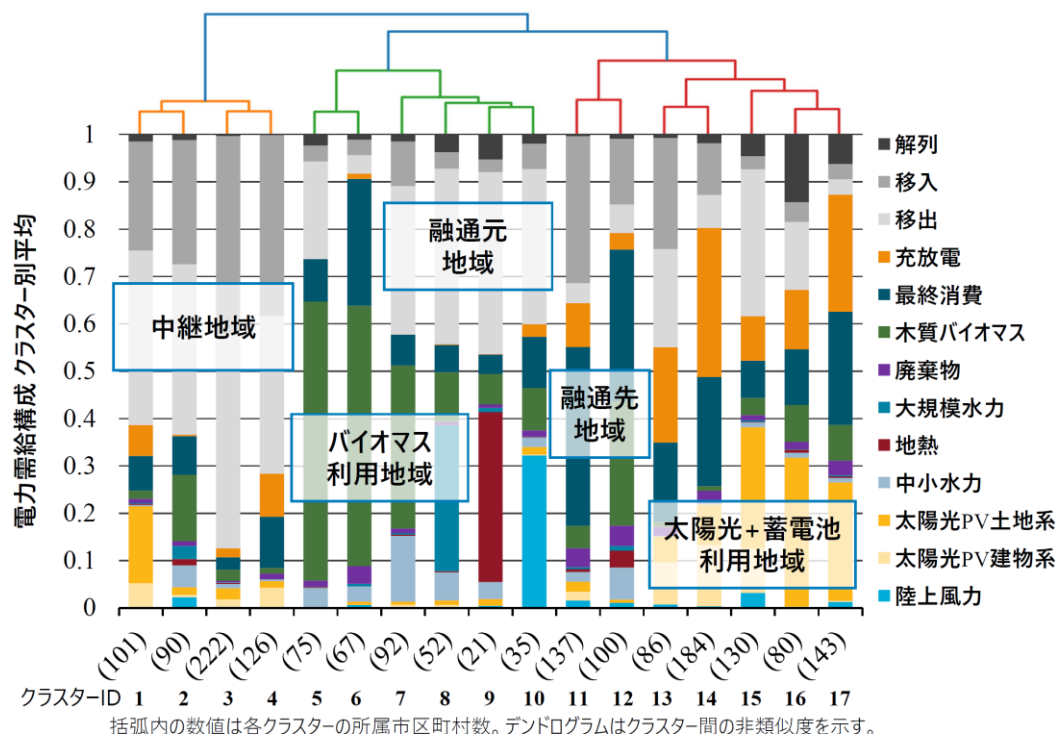


TSO別のネットワーク融通試設計結果とエネルギー自給市町村数

地域エネルギーシステムの統合デザイン手法の開発

⑥ 高空間解像度エネルギーシステムネットワークモデル

- エネルギーシステムネットワークモデルを用いて設計した全市区町村の電力需給構造をクラスター分析により類型化し、**地域内再エネ利用と地域間連携のパターンを抽出**。類型化アルゴリズムにはWard法(階層型クラスター分析)を採用。
- 再エネ融通の融通元地域・融通先地域・中継地域の3パターンと資源構成によって特徴づけられた17クラスターを抽出した**。
- 中継地域が全体の31%を占めることから、地域間連携において中継地域を巻き込むことの重要性が示唆される**。
→電力需給の融通元・融通先地域の単純な需給バランスだけでなく、中継地域の役割や便益も考慮して融通範囲を拡張することで、より全体最適に近い地域間連携構造が構築されることが考えられる。



再エネ利用・地域間融通クラスターマップ

最終目標に対して得られた成果①

地域エネルギーシステムの統合デザイン手法の開発

⑦ 地域エネルギーシステムデザインのフレームワーク

- 地域エネルギーシステムデザイン手法をフレームワークとして整理。
→ 地域エネルギー需給データベースと地域エネルギーシステムデザインのガイドラインによって実施を支援するツールを構築。

地域エネルギーシステムデザインのフレームワーク

- A) 地域エネルギーシステムの現状把握 → 地域エネルギー需給データベースを提供
- B) 地域エネルギーシステムの目標設定 → 地域エネルギーシステムデザインのガイドラインにて解説
- C) 設定した数値目標の検証・評価 → 未来エネルギーシミュレーターによって補助・支援



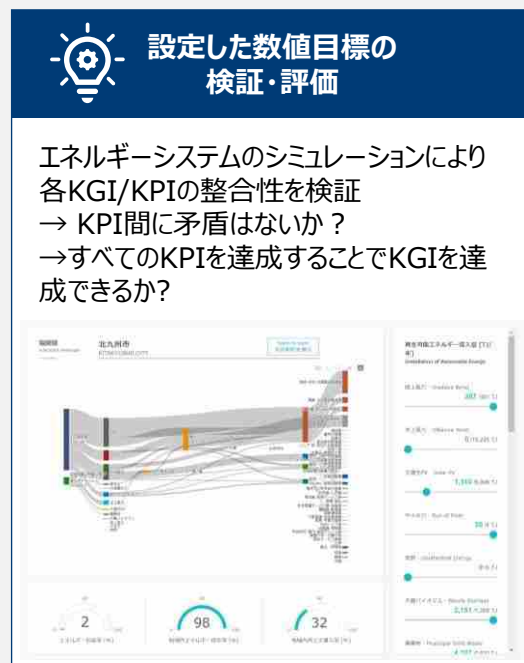
エビデンス



可視化,
検証,
評価



フィード
バック



地域エネルギーシステムデザインのガイドラインの策定

- 地域エネルギーシステムをデザインするための基礎的知識を整理。
- データに基づく地域エネルギーシステムデザインを実施するためのエネルギー需給データの見方や推計手法を解説。
- 地域のエネルギー需給特性をもとにした市区町村の類型や、地域間連携の考え方を解説。
- 脱炭素技術および需給調整力としてのセクターカップリングの役割、および代表的技術を紹介。
- 地域エネルギー需給データベースの各ツールの利用方法について、ウェブサイト上で参照可能なマニュアルを整備。

地域エネルギーシステムデザインのガイドライン

地域エネルギーシステム	<ul style="list-style-type: none">• 地域エネルギーシステムデザインとは• エネルギー資源（再生可能エネルギー資源ごとの特徴など）• エネルギー転換（発電、熱供給、熱電併給、燃料合成など）• エネルギー需要（需要4部門ごとの構造や地域性など）• 地域エネルギーシステムの評価指標（エネルギー自給率やCO₂排出量の考え方や計算方法など）• 地域エネルギーシステムシステムデザインのためのKPIツリー
地域エネルギー需給データ	<ul style="list-style-type: none">• エネルギーフロー図 & 地域エネルギーシステムシミュレーターの紹介• 再生可能エネルギー資源データ<ul style="list-style-type: none">• 再生可能エネルギーポテンシャルの考え方• 資源別ポテンシャル推計手法• 時空間再生可能エネルギーポテンシャル• エネルギー需要データ<ul style="list-style-type: none">• エネルギー消費統計表の読み方• 市区町村別エネルギー消費量の推計手法（推計手法の比較など）
地域間連携	<ul style="list-style-type: none">• 地域間連携の考え方（地域特性の相互補完の考え方や評価指標など）• エネルギー需給特性による市区町村の分類• 地域間再エネ融通ネットワークの試設計
セクターカップリング	<ul style="list-style-type: none">• セクターカップリングとは（代表的なセクターカップリング技術）• エネルギーシステムにおけるセクターカップリングの役割（脱炭素技術としての役割と需給調整力としての役割）• エネルギーシステムにおける需給調整• 地域エネルギーシステムにおけるセクターカップリングの課題と展望

地域エネルギーシステムデザインのガイドラインの策定

- 地域エネルギーシステムとそのデザインの概要に加えて、地域エネルギー需給データベースを解説した「**データ編**」、市区町村の需給特性の類型化およびデザイン手法・シミュレーターモデルを解説する「**分析編**」、宇都宮市の事例分析を通じた電力・交通データ連携プラットフォーム設計指針からなる「**実践編**」の構成。

はじめに：地域エネルギーシステムの構成とデザイン

データ編

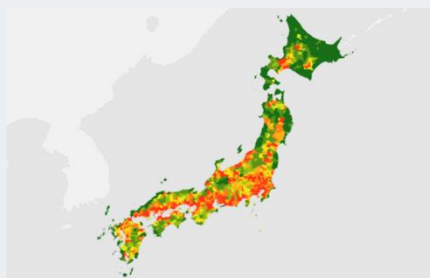
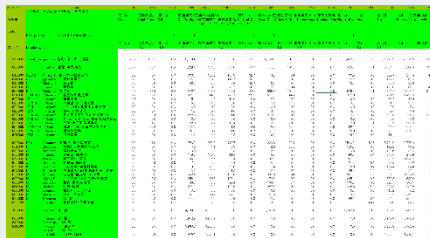
- 地域エネルギーシステムを理解するために必要な各種データやチャートの読み方と推計手法を解説。
- 1,741市区町村を対象に収集・推計したデータを「地域エネルギー需給データベース」として公開。

公開データ

- ① エネルギー消費量
 - ② 再エネ導入ポテンシャル
 - ③ 再エネ既設導入量
- など

Japan Energy Database

地域エネルギー需給データベース

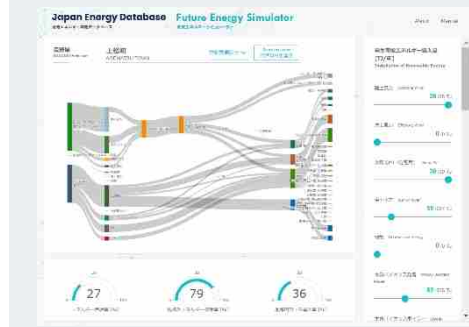
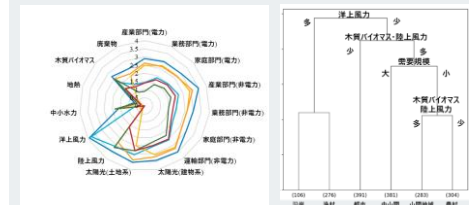


分析編

- エネルギー需給特性による市区町村の類型化。
- モデル解析を通して得られた知見から、「地域間連携の考え方」および「セクターカップリングの役割」について解説。
- 地域エネルギーシステムを定量的にデザイン・評価するためのシミュレーターモデル、その使い方

Future Energy Simulator

未来エネルギーシミュレーター



実践編

個別テーマ⑦電力・交通データ連携型地域エネルギーマネジメントシステムプラットフォームの設計指針

社会実装への戦略：地方公共団体における研究成果の活用

研究成果の地域エネルギー計画への反映事例

(例) 脱炭素先行地域・環境基本計画・再生可能エネルギー推進計画などに10件以上の自治体が活用。
地方公共団体や、その立案を支援する事業者などからデータベースへの期待が高い。

(岩手県宮古市, 2022年11月)
国の脱炭素先行地域 提案書への
知見の活用および選定



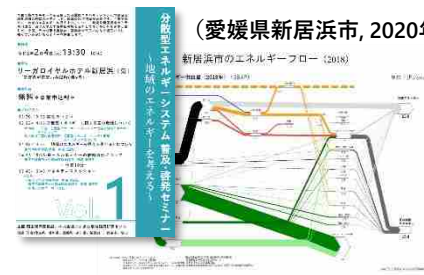
https://www.city.miyako.iwate.jp/energy/r4miyakoshi_renewableenergy_promotionplan.html

(神奈川県茅ヶ崎市, 2022年)



<https://www.city.chigasaki.kanagawa.jp/kankyo/1044637/1049572.html>

(愛媛県新居浜市, 2020年)



https://www.shikoku.meti.go.jp/01_releases/2020/02/20200220a/20200220a.html

- 地方公共団体の脱炭素先行地域に関する計画提案への活用
- 環境省REPOSへの研究成果の搭載（再生可能エネルギーポテンシャル情報）
- エネルギー需給データ整備促進に関する政策提言

最終目標に対して得られた成果③

宇都宮市でのエネルギーマネジメント：プラットフォームプロトタイプ構築とアーキテクチャ検討

【概 要】自治体と連携し、地域エネルギーマネジメントシステムプラットフォームのプロトタイプの試験稼働を推進し、実証・実装へ向けた課題抽出とプラットフォーム設計指針の構築を進めた。

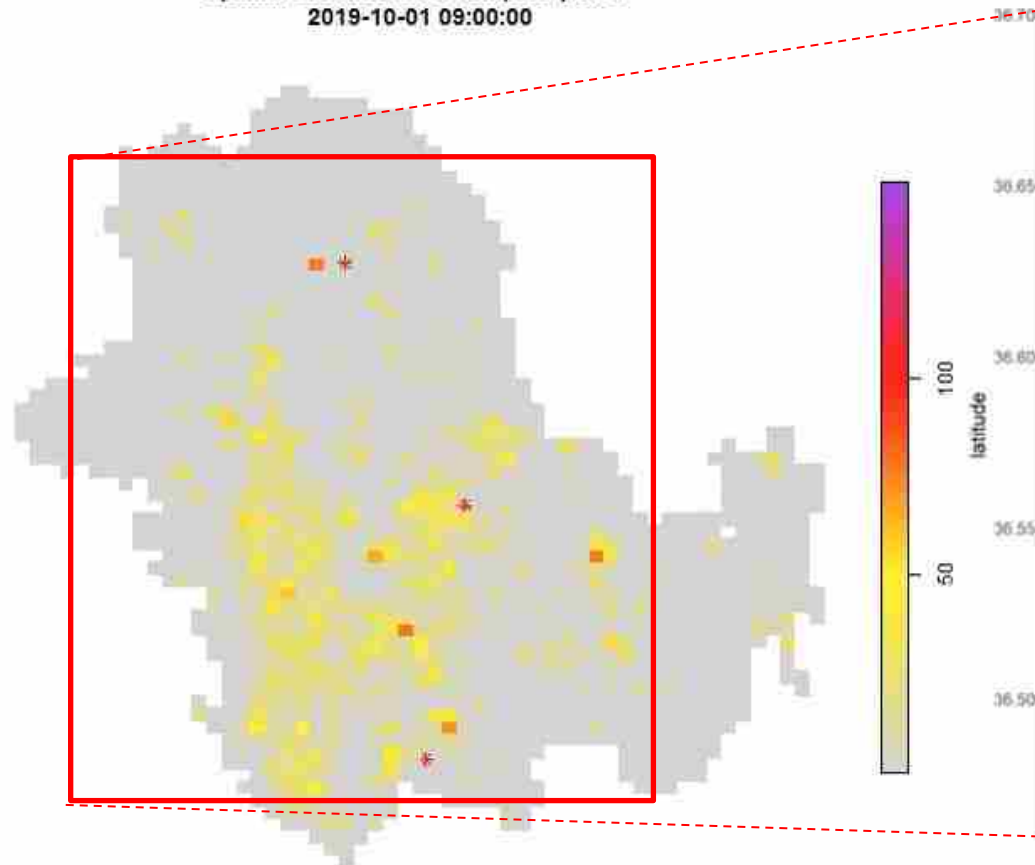
【成 果】他交通手段への展開へ向けた商用車データ分析

宇都宮市・EVバスでの検討内容について、他都市・他交通手段への展開可能性を検討するため、商用車（トラック）のプローブデータ（点列データ）を入手、分析した。点列データから確認された日中の立ち寄り先（デポ）とスマートメータデータ分析によるPV余剰地点に近接する事例も確認され、**デポでの急速充電が地域PVの活用に寄与する可能性が確認された。**
（商用車の個車点列データはKDDI株式会社が提供する矢崎商用車プローブデータを活用した）

他交通手段への展開へ向けた商用車データ分析

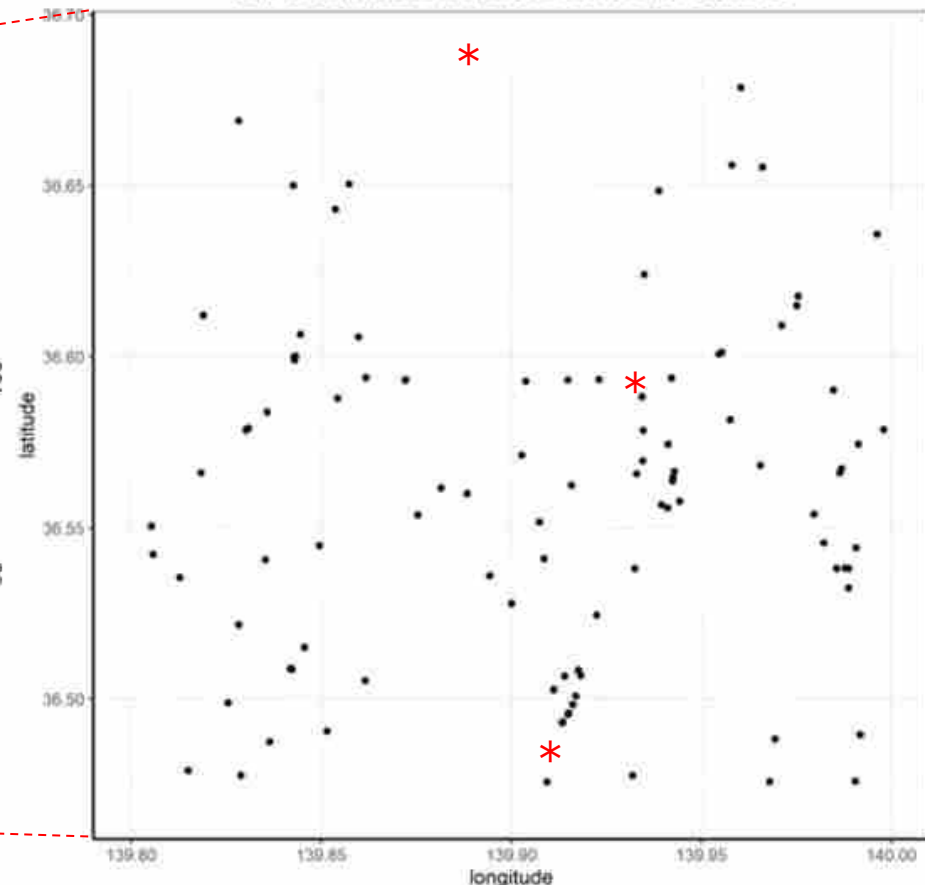
■ 商用EVのエネルギー利用可能性検討に向けたデータ収集

Spatial distribution of surplus power
2019-10-01 09:00:00



スマートメータデータ計測によるPV余剰分布

flow of commercial vehicles at 2019/10/01 09:00:00



個車点列データ*による商用車両座標の推移

*商用車プローブ情報から得られるデータ：
事業用トラックに搭載されているデジタルタコグラフとドライブレコーダーから収集（0.5秒毎の車両の走行座標・速度等）

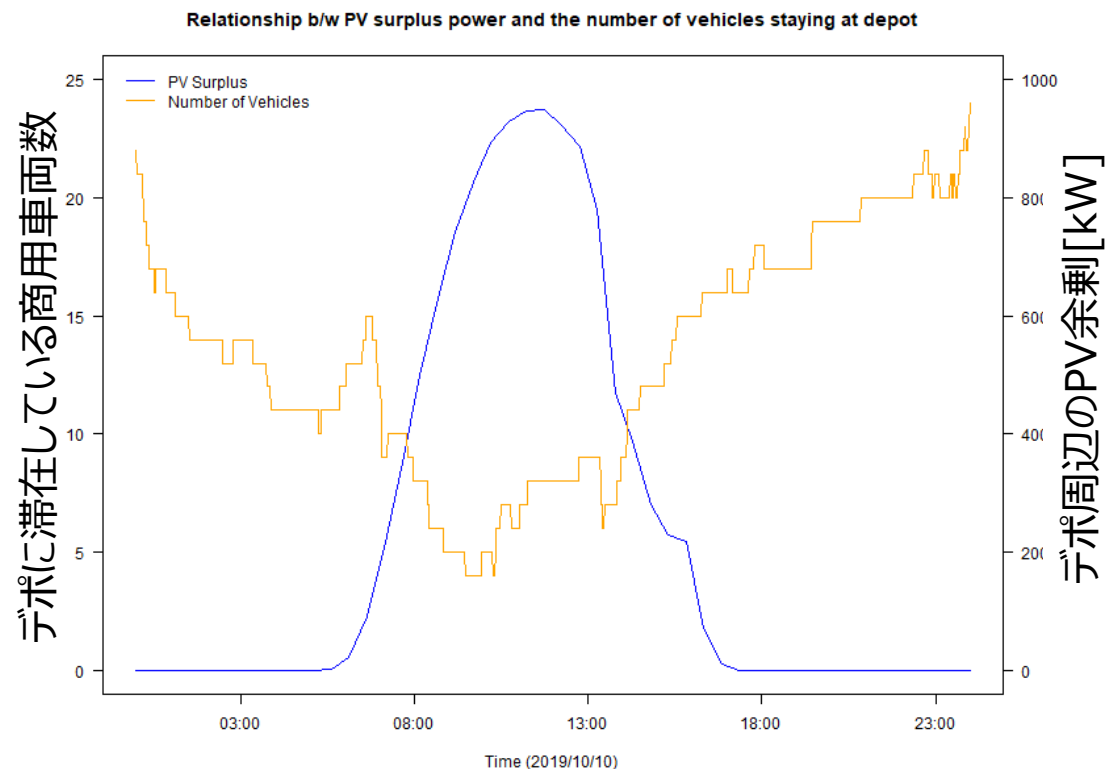
2019年10月に宇都宮市内を走行した2,992台の商用車両のデータから
車両群の密集度などに基づき集配の起点となっている主要なデポ位置を同定

他交通手段への展開へ向けた商用車データ分析

■ デポ周辺のPV余剰の変遷と滞在車両数の関係

■ 同定されたデポ箇所に滞在する商用車両数とその周辺のPV余剰の関係

- ✓ PV余剰発生時にデポに滞在している典型的な車両数は4-10台程度
- ✓ 急速充電器(出力50kW)で充電することを考えると、単位時間あたり200-500kWの地域再エネ余剰を地産するポテンシャルを持つことを確認
- ✓ 電動バスよりもデポ箇所に日中滞在している台数規模は少ない傾向があるが、配送経路における充電可能性などを含めると余剰の地産地消に対する貢献が期待される



代表的なデポ周辺で発生しているPV余剰の時間的推移とデポに滞在している車両数の関係の一例

商用車両による配送の実行可能性を担保した地域PV余剰の地産地消を目的とした商用車両の配送・充電計画という観点からのエネマネの可能性を確認
⇒デポでの急速充電が地域PVの活用に参加する可能性が確認された

社会実装の実現可能性①

(1) 社会実装に向けた計画（事業終了後 5 年以内）

- 全国の地方公共団体を対象とした「地域エネルギー需給データベース」「地域エネルギーシステムデザインのガイドライン」「電力・交通データ連携型地域エネルギーマネジメントシステム（EMS）プラットフォームの設計指針」をもとに、地域におけるゼロカーボンビジョンの策定・脱炭素の先行的取組の実施など社会実装の事例数を着実に増やし、フィードバックを得ることで必要なデータの更新、ガイドライン改訂に取り組む。
- 複数の市区町村との連携支援経験をもとに、地方公共団体の地域エネルギー計画立案を技術的知見の面からサポートする体制の構築を検討する。

社会実装の実現可能性②

(2) 計画進捗状況

- 地域エネルギー需給データベースを2022年3月に公開以降、複数の事業者・機関・地方公共団体から問い合わせを受け、地域エネルギーシステムデザインに資する知見提供を継続的に実施。
- 環境省REPOS（再生可能エネルギー再生可能エネルギー情報提供システム）へ、太陽光・風力・木質バイオマスの再エネポテンシャルの推計結果を提供し、ウェブサイトで一部公開済み。
- 連携する地方公共団体に対して地域エネルギー需給データベース等からの知見を提供し、環境省脱炭素先行地域事業に応募、岩手県宮古市が第2期脱炭素先行地域に選定される。

(3) 上記社会実装に向けた体制構築状況と見通し

- 地域エネルギー需給データベースの更新を行うべく、他の公的機関へのデータ等移管など体制構築について準備中。
- 研究成果について研究会や対面協議の場を通して、関係省庁（内閣府、経産省、環境省）、地方公共団体（岩手県、宮古市、横浜市など）、民間事業者、研究機関等と連携し、知見の共有を進めている。岩手県宮古市とは東北大学が脱炭素先行地域の共同提案者として、2030年度計画目標の達成に向けた継続的な社会実装実施のための連携体制を構築。

社会実装の実現可能性③

個別テーマ⑦：電力・交通データ連携型地域エネルギーマネジメントプラットフォーム設計指針の構築

- ① 宇都宮市の公共交通事業者である関東自動車は、NEDO グリーンイノベーション基金を活用して路線バスの電動化を2030年度までに進める計画を発表している。当該事業者とは連携を進めており、本事業成果の社会実装へ向けて、EVバス、EV充電器などの設備基盤は整備される予定である。
- ② 本事業においてシミュレーション技術は確立し、確認された成果の活用に向けては、実事業者・実設備・住民を巻き込んだ実証を通じた受容性確保へ向け、今後の継続的な対応が重要である。
- ③ スマートメータデータ等に関しては公益目的でのデータ活用に向けた利用条件の緩和、公共交通データのオープンデータ化、更に都市OSの運用主体・運用費用の分担などの整備による導入促進とAPIの標準化による公共データ活用時の制約低減、など、セクターカップリングによるエネルギーマネジメントシステムの普及拡大に資する、共通的な課題への対応が望まれる。

交通施策 (Maas)

電力施策 (EaaS)

公共交通分担率向上

再エネ率向上

データサイエンスに裏付けられた政策立案による未来都市の実現

公共交通
マネジメント



公共電力
マネジメント



【SIP】 電力・交通データ連携型地域EMSプラットフォームの設計指針の構築

リアル都市データ

データの壁

【構築】 都市データ・プラットフォーム (標準での収集・格納)

都市挙動データ

【SIP】 電力・交通データ連携型地域EMSプラットフォームによる便益計算手法の構築

ツールの壁

【開発】 都市挙動の時空間分析・マネジメント手法 (利用方法)

分析・予測結果

検証の壁

【実証】 実フィールドでの試験的実証 (新技術、住民の受容性)

実証結果

自治体

知財戦略、国際標準化戦略、規制改革等の制度面の出口戦略

（１）制度面の戦略

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

（２）戦略に基づく成果

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

■ 主要な投稿論文

- 市区町村のエネルギー需給特性を考慮した広域圏エネルギーシステムの設計, [エネルギー・資源 42(5) 337-350, 2021], 小野寺弘晃, 根本和宜, 中田俊彦.
- Optimal Design and Analysis of Sector-Coupled Energy System in Northeast Japan, [Energies 14(10) 2823-2848, 2021], Naoya Nagano, Rémi Delage, Toshihiko Nakata.
- Spatial-Temporal Estimation and Analysis of Japan Onshore and Offshore Wind Energy Potential, [Energies 14(8) 2168-2179, 2021], Rémi Delage, Taichi Matsuoka, Toshihiko Nakata.
- Analysis of woody biomass utilization for heat, electricity, and CHP in a regional city of Japan, [Journal of Cleaner Production 290 (125665) 1-12, 2021], Takaaki Furubayashi, Toshihiko Nakata
- 再生可能エネルギーを利用した被災地の取り組み事例 – 宮古市スマートコミュニティ, [太陽エネルギー, 48(1) 58-63 2022年], 中田俊彦.
- 地域の脱炭素化に向けたエネルギー需給構造の定量分析 – 岩手県宮古市及び宮古スマートコミュニティのケーススタディー, [地域学研究 50(2) 227-241, 2020], 長野尚也, 古林敬顕, 中田俊彦.
- Regional Spatial Analysis of the Offshore Wind Potential in Japan, [Energies 13(23) 6303-6320, 2020], Yannek Bardenhagen, Toshihiko Nakata.
- Multivariate Empirical Mode Decomposition and Recurrence Quantification for the Multiscale, Spatiotemporal Analysis of Electricity Demand - A Case Study of Japan, [Energies 15(17) 6292-6292 2022], Rémi Delage, Toshihiko Nakata.
- A Variable Threshold for Recurrence Based on Local Attractor Density, [Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science], Rémi Delage, Toshihiko Nakata, accepted for publication.

■ 主要な投稿論文

- 官民連携に着目したスマートシティの持続可能な運営体制に関する研究, [都市計画論文集, 56(3) 635-640, 2021]、津田采音, 川合智也, 森本章倫
- Combination Effects of Next-Generation Transportation and Carbon Taxes on Future Environmental Burden for Aiming to Zero Emission, [Urban and Regional Planning Review, Vol.9 80-99, 2022], Ryotaro Mise, Naohiro Kitano, Akinori Morimoto
- Spatial Demand Forecasting Based on Smart Meter Data for Improving Local Energy Self-Sufficiency in Smart Cities , [IET Smart Cities, Vol. 3, No. 2, pp.107-120, 2021], Ayumu Miyasawa, Shogo Akira, Yu Fujimoto, Yasuhiro Hayashi
- Multipurpose Charging Schedule Optimization Method for Electric Buses Evaluation Using Real City Data, [IEEE Access, Vol.10, pp.56067-56080, 2022], Yuki Tomizawa, Yuto Ihara, Yasuhiro Kodama, Yutaka Iino, Yasuhiro Hayashi, Ohsei Ikeda, Jun Yoshinaga
- 将来の交通環境の変化が交通環境負荷に与える影響に関する研究, [土木学会論文集D3（土木計画学）, Vol.77, No.5（土木計画学研究・論文集 第39巻） I_711-I_719, 2022], 三瀬遼太郎・井原雄人・森本章倫
- Forecast of Area-Scale Behaviours of Behind the Meter Solar Power and Load for Improving Local Energy Self-Sufficiency Based on Smart-Metering Net Demand Data, [IET Smart Cities(submitted)], Ayumu Miyasawa, Shogo Akira, Yu Fujimoto, Yasuhiro Hayashi
- デジタルツインシティ構築に向けた個人情報の可視化に関する研究, [土木学会論文集D3（土木計画学）, Vol.78, No.5（土木計画学研究・論文集 第40巻）, 2022 (submitted)] , 川合智也, 萩原隼士, 森本章倫

成果の対外的発信

■ 主要な学会発表

- 第40回エネルギー・資源学会研究発表会 企画セッション 地域エネルギーシステムのデザイン（口頭発表 6 件）2021.8
- 携帯電話位置情報を用いるV2G導入ポテンシャルの推計, [第40回エネルギー・資源学会研究発表会, エネルギー・資源学会, 2021.8], 天野 哲, 中田俊彦.
- Spatiotemporal wind energy potential estimation and analysis in Japan, [EGU General Assembly 2021, 2021.4] Taichi Matsuoka, Tetsushi Amano, Remi Delage, Toshihiko Nakata.
- Estimation of Forest Biomass Potential by Municipalities in Japan, [EUBCE 2022, 2022.5], Kazuyoshi Nemoto, Toshihiko Nakata.
- The Role of Subsidies for Carbon-Neutral Energy Systems with Sector Coupling - A Case Study of Japan [43rd IAEE International Conference, International Association for Energy Economics, 2022.8], Hiroaki Onodera, Rémi Delage, Kazuyoshi Nemoto, Toshihiko Nakata
- A Toy Model for Decentralized Energy Systems Evolution, [43rd IAEE International Conference, International Association for Energy Economics, 2022.8], Rémi Delage, Toshihiko Nakata.
- 森林簿を用いた市区町村別木質バイオマスポテンシャル推計手法の開発[第31回日本エネルギー学会大会, 2022.8], 鈴木琢允, 根本和宜, 中田俊彦.
- Cluster analysis of Japanese households based on energy consumption mix [8th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART ENERGY SYSTEMS, 2022.9], Rémi Delage, Toshihiko Nakata.
- Renewable Energy Systems Considering Profitability of PtG and PtL - a Case Study of Japan, [8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART ENERGY SYSTEMS, Denmark 2022.9], Hiroaki Onodera, Rémi Delage, Toshihiko Nakata.
- Analysis of local energy supply and demand for woody biomass in Japanese municipalities, [69th Annual North American Meetings of the Regional Science Association International 2022.11], Kazuyoshi Nemoto, Toshihiko Nakata.
- 機械学習による市町村別電力需要推計手法の開発, [第39回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2023.1], 楠本祥喜, Remi Delage, 中田俊彦.
- 全国の風速分布を考慮した陸上・洋上風力発電機種のパワーカーブの選定, [第39回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2023.1], 松岡太一, Rémi Delage, 中田俊彦.
- Nonlinear optimization of combined heat and power systems in district heating networks in northern Japan,, [第39回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2023.1], Delubac Régis, 中田俊彦.

成果の対外的発信

■ 主要な学会発表

- Combination Effects of Next-Generation Transportation and Carbon Taxes on Future Environmental Burden for Aiming to Zero Emission, [2021 International Conference Asia-Pacific Planning Societies, 2021.8], Ryotaro Mise
- 可制御電源が地域新電力モデルにもたらす電力地産地消効果の検討, [電気学会, 令和3年 電力・エネルギー部門大会, 2021.8], 宮澤歩夢, 飯野穰, 藤本悠, 林泰弘
- 電力地産地消の実現に向けたスマートメータデータに基づく都市のネット需要の空間分布予測, [電気学会, 令和3年 電力・エネルギー部門大会, 2021.8], 明祥吾, 宮澤歩夢, 藤本悠, 林泰弘
- 都市解析に資する都市OSの試験的な構築とその運用に関する一考察, [日本都市計画学会 都市計画報告会, 2021.11], 萩原隼士
- 世帯・住宅ストック構成を考慮した地域単位住宅エネルギー需要推計と精度評価, [エネルギー・資源学会, 第38回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2022.1], 今井達也, 山口容平, 藤本悠, 下田吉之, 内田英明, 林泰弘
- Evaluation Method of Spatio-Temporal Flexibility as Renewable Energy Absorption Potential of a Group of Electric Buses Using Bus Operation Data, [IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) North America 2022, 2022.4], Yuki Tomizawa, Yuto Ihara, Yasuhiro Kodama, Yutaka Iino, Yasuhiro Hayashi, Ohsei Ikeda, Jun Yoshinaga
- 官民連携に着目したスマートシティの持続可能な運営体制に関する研究, [日本都市計画学会 論文発表会, 2021.11], 津田采音
- 都市OSを前提とした都市解析システムの構築とその運用に関する考察, [土木学会・第64回土木計画学研究発表会・秋大会, 2021.12], 萩原隼士
- Optimization Method of Electric Bus Charging Schedule According to Variation of Renewable Energy Power Output, [電気学会 タイ合同シンポジウム研究会, 2022.3], Natsumi Kato, Yutaka Iino, Yasuhiro Kodama, Yasuhiro Hayashi
- 電動バス充電計画最適化問題における環境価値と系統親和性を考慮した目的関数の一般化, [電気学会 電力・エネルギー部門大会, 2022.9], 加藤夏乃, 飯野穰, 児玉安広, 井原雄人, 林泰弘
- デジタルツインシティ構築に向けた個人情報の可視化に関する研究, [土木学会 第65回土木計画学研究発表会・春大会, 2022.6], 川合智也
- AIカメラを用いた道路空間における通行量の常時観測に関する基礎的研究, [第66回土木計画学研究発表会・秋大会, 2022.11], 味戸正徳・日下田伸・長田哲平・野原魁人・大森宣暁・森田哲夫
- A Low-Carbon Operational Plan for Commercial Electric Vehicles Utilizing Local PV Surplus Power Generation in Charging, [33rd Photovoltaic Science and Engineering Conference, 2022.11], Ryoji Miyabe, Yu Fujimoto, Yasuhiro Hayashi
- Study on Spatio-Temporal Urban Energy Balance for Improving Local Self-Sufficiency: Prediction of Spatial Distributions of Net-/Pure-Demand and PV Generation Utilizing Smart Metering Data, [33rd Photovoltaic Science and Engineering Conference, 2022.11], Shogo Akira, Ayumu Miyasawa, Yu Fujimoto, Yasuhiro Hayashi
- Practical Charging Schedule of Electrified Buses for Using Local Photovoltaic Surplus Power: Effective Utilization of Real-Time Information on Surrounding Weather and Traffic Delays, [33rd Photovoltaic Science and Engineering Conference, 2022.11], Fumiaki Osaki, Yu Fujimoto, Yutaka Iino, Yuto Ihara, Yasuhiro Hayashi

成果の対外的発信

■講演・セミナー

- ゼロカーボン時代の地域エネルギーシステムデザインのガイドライン, [エネルギー人材高度化セミナー 2021.2, 四国経済産業局], 中田俊彦.
- 脱炭素社会に向けた地域エネルギーシステムのデザイン, [福島市 新環境基本計画・脱炭素社会実現実行計画キックオフイベント, 2021.6], 中田俊彦.
- カーボンニュートラル社会のつくりかた, [CEATEC 2021, 2021.10 ECHONET基調講演], 中田俊彦.
- 地域エネルギーシステムデザイン, [福島イノベーション・コースト構想シンポジウム基調講演 2021.12, 福島イノベーション・コースト構想推進機構], 中田俊彦.
- 地域エネルギーシステムデザインのガイドライン, [電気学会全国大会 2022.3.21], 中田俊彦.
- SIP地域エネルギーシステムデザイン研究とデータベース開発, [日本建築学会 SBE研究小委員会 2022.6.15].
- SIP地域エネルギーシステムデザイン研究と地域エネルギー需給データベースの開発, [日本エネルギー学会100周年記念講演会, 2022.9], 中田俊彦.
- 全国1,741の自治体毎の「地域エネルギー需給データベース」の利活用, [法人向けセミナー, 東京, 2022.11.1], 塩沢文朗, 中田俊彦, 小野寺弘晃.
- 地域エネルギー需給データベースに基づくカーボンニュートラル戦略, [東北大学エネルギーシンポジウム, 仙台, 2022.12.5], 中田俊彦.
- 2050年カーボンゼロに向けたバイオマス産業用熱利用の課題と今後の方向性を探る, [バイオマス産業用熱国際シンポジウム, 東京, 2023.1.13], 中田俊彦.
- 地域エネルギー需給データベースを用いたゼロカーボン設計, [日本オペレーションズ・リサーチ学会 エネルギー研究部会 第11回研究会, Online, 2023.1.20], 中田俊彦.
- 地域エネルギー需給データベースに基づく脱炭素戦略の計画づくり, [第1回佐久広域連合環境部会 ゼロカーボン勉強会, 佐久市, 2023.2.16], 中田俊彦.
- 次世代交通とまちづくり, [公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団, 2021.10], 森本章倫
- A Conceptual Framework for Road Traffic Safety, [第7回IATSS国際フォーラム, 2021.11], 森本章倫
- ポストコロナとこれからの都市計画, [日本救急医学会総会・学術集会, 2021.11], 森本章倫
- ポストコロナにおける都市と交通のあり方, [公衆衛生学会・計画行政学会シンポジウム, 2021.12], 森本章倫
- ポストコロナのまちづくり, [日本先進矯正歯科学会, 2022.1], 森本章倫
- ポストコロナの都市と交通, [地下空間研究会合同講演会, 2022.3], 森本章倫
- Smart Sharing City for sustainable society: The strategies for integrating compact and smart city, [IEEE UV2022, 2022.10], Akinori MORIMOTO

成果の対外的発信

■ 総説

- 持続可能な地域エネルギーシステムの統合デザインと分析を進めるために, [えねるみくす 100(3) 254-262, 2021.5, 日本エネルギー学会], 中田俊彦.
- グリーン電力を主体とする地域エネルギーシステムのデザイン, [日本機械学会誌, 126(1251), 30-32, 2023.1], 中田俊彦.
- LRTと電気自動車が連携した次世代交通システムの環境改善効果, [自動車技術 Vol.75 No.2, pp.73-79, 2021], 森本章倫, 三瀬遼太郎
- 電力と交通のセクターカップリングによる地域エネルギーマネジメント -宇都宮市での取組を中心に-, [エネルギー・資源, Vol.43, No.2, pp.44-48, 2022], 石井英雄・藤本悠・光岡正隆・林泰弘

■ 書籍

- Sustainable Energy Systems: Efficiency and Optimization, [MDPI, 2022], Alan Brent, Toshihiko Nakata.
- City and Transportation Planning: An Integrated Approach, [Routledge, 2021], Akinori Morimoto
- 図説わかる都市計画, [学芸出版社, 2021], 森田哲夫, 森本章倫, 明石達生, 浅野聡, 伊勢昇, 佐藤徹治, 塚田伸也, 轟直希, 柳沢吉保, 米田誠司

■ 報道発表

- 東北の資源活用探る, [河北新報 2022/9/6].
- 独自の脱炭素分析ツール公開, [電気新聞 2022/8/24].
- カーボンニュートラルと新たなライフスタイル, [くらしのニュース福島 2022/5/26].
- 脱炭素の実像 第3部 まち×エネルギー 6, [電気新聞 2022/1/13].
- 脱炭素の実像 第3部 まち×エネルギー 9, [電気新聞 2022/1/19].
- 脱炭素社会考える、福島市が周知イベント 基調講演やパネル討論, [福島民友 2021/6/30] (福島県大熊町ゼロ・カーボンビジョン策定有識者会議 委員長).
- CO₂排出 40年にゼロへ 大熊町「ゼロカーボンビジョン」策定, [河北新報 2021/2/22].

成果の対外的発信

- 定期開催している個別テーマ6「地域エネルギーシステムデザイン研究会」を通して、①関係省庁（内閣府、経産省、環境省）、②地方公共団体（岩手県、宮古市、横浜市）、③民間事業者、④研究機関等と情報共有、意見交換を実施。
- 「地域エネルギー需給データベース」および「地域エネルギーシステムデザインのガイドライン」はインターネットで一般公開すると共に、連携する地方公共団体における脱炭素先行地域などの計画策定・実施の取り組みを通じて成果を発信。

＜関係省庁・自治体との連携状況（研究代表者役職）＞

- 資源エネルギー庁 総合エネルギー統計検討会
- 復興庁 復興推進委員会 (-2021.3)
- 青森県 エネルギー産業振興戦略推進会議
- 岩手県 環境審議会大気部会
- 福島県環境創造センター（環境創造部門長）
- 岩手県宮古市 スマートコミュニティ推進協議会（会長）
- 福島県福島市 環境審議会（会長）
- 福島県大熊町 ゼロカーボンビジョン策定有識者会議（委員長）
- 仙台市 環境監査委員会（委員長）
- 岩手県宮古市 脱炭素地域づくり準備会議（座長）

国際的な取組・情報発信

- 地域エネルギー需給データベースのウェブサイトでの英語情報発信、データ提供
- 国際学会誌での研究成果発表
 - Energies, (2020, 2021, 2022).
 - Urban and Regional Planning Review (2021)
 - IET Smart Cities(2021, 2022)
 - IEEE Access(2022)
- 国際会議での研究成果の発表
 - EGU General Assembly, (2021).
 - European Biomass Conference & Exhibition, (2022).
 - IAEE International Conference, Tokyo, (2022).
 - NARSC, Canada,(2022).
 - International Conference on Smart Energy Systems, Denmark(2022).
 - 2021 International Conference Asia-Pacific Planning Societies(2021)
 - IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies(ISGT) North America(2022)
 - 33rd Photovoltaic Science and Engineering Conference(2022)
- 第4世代地域熱供給 4 DHフォーラムを通じた、デンマーク大使館および4DH Research Centre (EU) との連携
 - 4DHフォーラム国際オンラインセミナーへの参画
- 米国ローレンス・リバモア国立研究所とのエネルギーシステム分析研究に関する連携