

風力発電を活用したエネルギー 地産地消の計画・評価

国立研究開発法人国立環境研究所
社会システム領域 システムイノベーション研究室
主幹研究員 平野 勇二郎

2023年7月13日

背景

- 世界的に脱炭素化を目指す方向にある。
→ 再生可能エネルギー導入拡大が重要
- 日本でも2050年に二酸化炭素排出ゼロを表明している地方自治体が増加傾向にある。
- 自治体によって、地域特性、地域課題、再生エネルギー賦存量、エネルギー需要特性などが異なり、ゼロカーボン達成に向けて地域条件に応じた対策が必要である。
- 不安定電源導入の際にエネルギー・ベストミックスが重要である。
→ 日本はこれまでに太陽光発電の導入が多く、
今後は風力発電の導入促進が必要

現状における問題点と解決策の方針

地域条件における対策を検討する際の問題点：

自治体によっては、ゼロカーボン達成に向けた取り組みを行うにあたり、専門のスタッフの不足や知見や経験に乏しいのが現状である。（マンパワー不足や人事異動による人材育成の難しさなど）



主に地方自治体等を対象として、脱炭素化に向けた具体的なプロジェクトの立案において、コンサルティングを行う。

→ 評価ツール「地域エネルギー計画・評価システム」を開発中

現状における問題点と解決策の方針

風力発電の導入を検討する際の問題点：

少なくとも1年間のタワー観測と遠隔観測（ドップラーライダ／ドップラーソーダ）が必要であるため、**慎重な事前評価が必要**である。

計測を行った年の偶発的な風速の変化を含むため、代表性があるとは限らないので、**一般化した条件での比較手法が必要**である。



「地域エネルギー計画・評価システム」に風力発電の評価手法を組み込み、風力発電の利活用ポテンシャルを事前評価する。

新地町における地域連携の経緯

2011年12月～ 環境未来都市 新地町「スマートハイブリッドタウン構想」

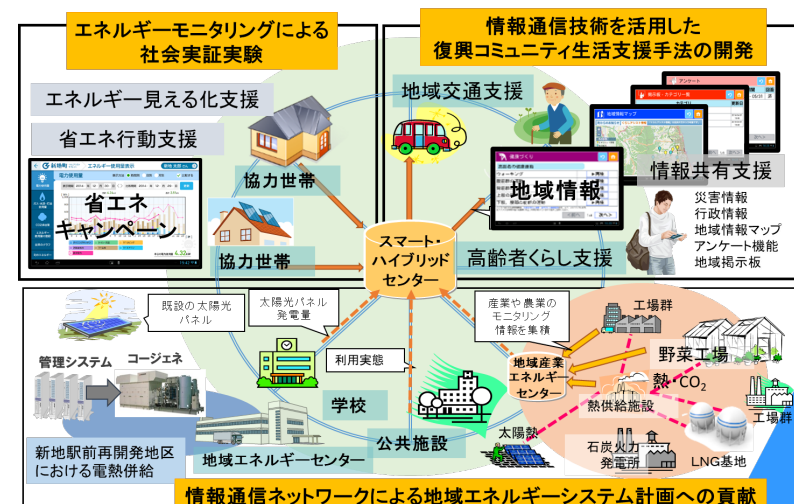
◆ 国立環境研究所において地域ICTシステム「新地くらしアシストシステム」を開発、約100世帯で社会実証実験

2016～2018年度 スマートコミュニティ導入促進事業「地産地消型エネルギー利用を核とした復興まちづくり事業」

- ・ 「新地スマートエナジー株式会社」設立
- ・ 新地エネルギーセンターの施工完了（2018年11月）
- ・ 2019年3月から駅周辺地域への電力・熱供給を開始

2018～2020年度：地域復興実用化開発等促進事業「汎用型地域エネルギーマネジメントシステムの設計と復興・まちづくり計画・評価システムの開発」

新地町の地域エネルギー事業をエネルギーマネジメントを高度化し、他地域へ展開する「地域エネルギー計画・評価システム」を開発



地域エネルギー計画・評価システムの開発

地域エネルギー事業を中核とする新たな復興・まちづくりを実現するための汎用型の計画・評価システムを開発・実証

→他の自治体へ展開するプロセスモデルの開発・実用化を目標とする

①需要の変更・拡大



例：観光農園の進出 例：農業施設の変更 例：浄化センターへ拡大

②再エネ・蓄電池、トリジェネ等の導入



例：太陽光発電、風力発電、蓄電池 例：トリジェネCO2回収

③モビリティ・EVの導入・DR化



例：庁用車EV 例：地域交通/福祉車両EV、ITモビリティ管理

④エネセン省エネ化、運用見直し、



例：エネセン省エネ改修 例：CGS運転制御 例：最適運転計画

地域エネルギー計画・評価システム

エネルギー需要モデル

将来需要予測モデル

再エネ発電量

蓄電池容量設定

モビリティEV運用

DR運用モデル

エネルギーセンター
運用モデル

ケースシナリオ
(現状・将来)

建設費データ

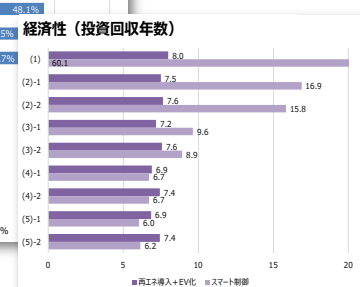
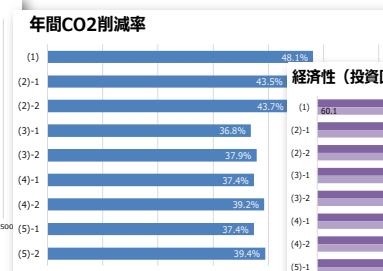
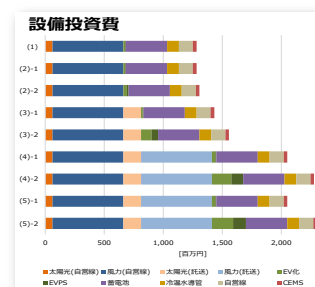
設備建設費

燃料データ

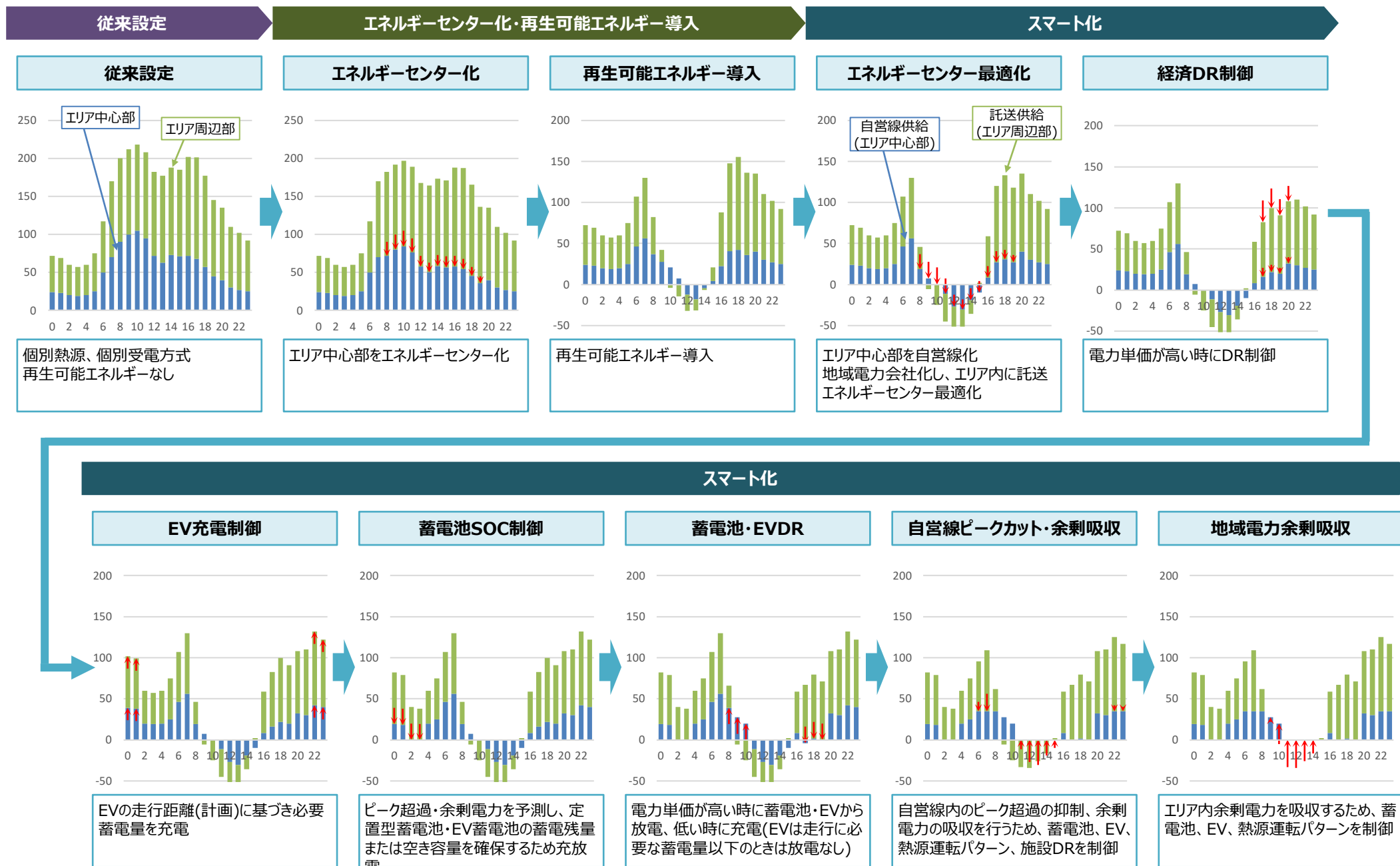
シミュレーション

環境性評価
事業性評価

将来のまちづくりを評価し、最適化に貢献



計算フローのイメージ



計算シートによる出力結果の例(暫定)

ドロップダウンリストから検討ケースを選択。

各ケースの設備投資額を表示。

設備投資単価を入力。

表形式で結果を表示。

グラフで結果を表示。

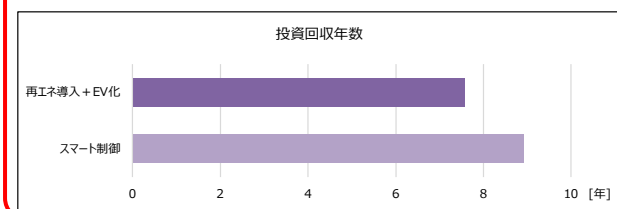
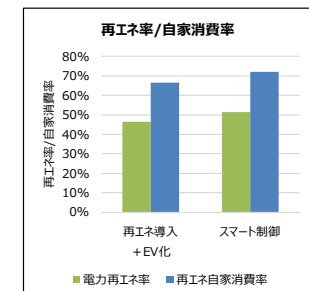
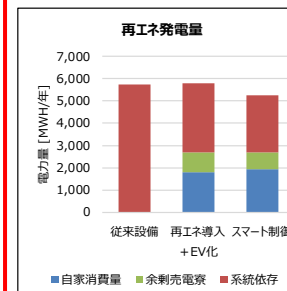
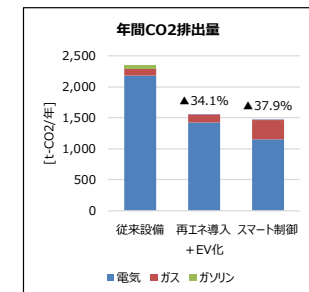
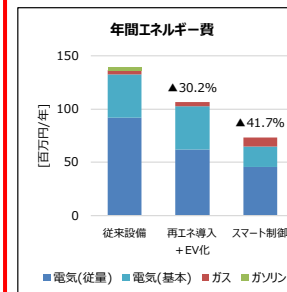
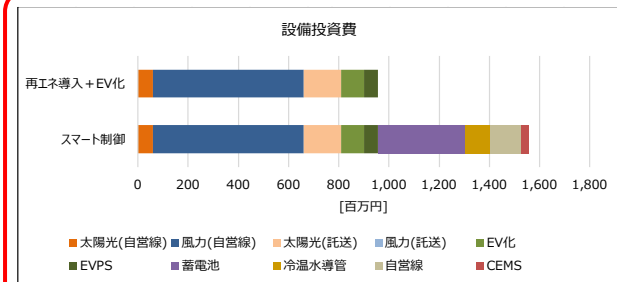
検討ケース	(3)-2	新地駅～役場周辺地域(自営線)+イノベ1:新地地区	(託送)
設備投資費			
太陽光発電(自営線)	300 千円/kW	200 kW	60 百万円
風力発電(自営線)	300 千円/kW	2,000 kW	600 百万円
太陽光発電(託送)	300 千円/kW	500 kW	150 百万円
風力発電(託送)	300 千円/kW	0 kW	0 百万円
EV化	1,500 千円/台	60 台	90 百万円
EVPS	1,000 千円/台	55 台	55 百万円
蓄電池	350 千円/kWh		1,000 kWh
冷温水導管	50,000 千円/km		2 km
自営線	30,000 千円/km		4 km
CEMS	30,000 千円/式		1 式
計			955 百万円
補助金導入後	2/3 (補助率)		318 百万円

※エネルギーセンターの熱源導入費は、個別に熱源を設置した場合と相殺する。仮定する。

年間エネルギー費	従来設備	再エネ導入+EV化	スマート制御
エネルギー	エネルギー	エネルギー	エネルギー
年間費	年間費	年間費	年間費
【新地駅～役場周辺地域】※自営線			
施設電力負荷	4,122 MWH/年	4,122 MWH/年	4,113 MWH/年
熱源電力量	84 MWH/年	84 MWH/年	-450 MWH/年
電気自動車充電	9 MWH/年	9 MWH/年	9 MWH/年
再エネ発電量		-2,175 MWH/年	-2,175 MWH/年
系統受電電力量	4,207 MWH/年	2,750 MWH/年	2,230 MWH/年
余剰売電電力量		-803 MWH/年	-732 MWH/年
最大電力(契約電力)	1,426 kW	1,426 kW	934 kW
ガス消費量	54 千Nm3/年	54 千Nm3/年	133 千Nm3/年
【イノベ1～3地区】※託送			
施設・住宅電力負荷	1,529 MWH/年	1,529 MWH/年	1,525 MWH/年
電気自動車充電	47 MWH/年	47 MWH/年	45 MWH/年
再エネ発電量		-521 MWH/年	-521 MWH/年
系統受電電力量	1,529 MWH/年	1,106 MWH/年	1,570 MWH/年
余剰売電電力量		-97 MWH/年	-754 MWH/年
最大電力(契約電力)	629 kW	629 kW	589 kW
【地域全体】			
系統受電電力量	5,736 MWH/年	3,856 MWH/年	3,201 MWH/年
余剰売電電力量		-900 MWH/年	-754 MWH/年
【自動車】			
シェア・自家用車	20.7 kL-ガソリン	3,099 千円/年	
計		139,452 千円/年	81,345 千円/年

年間CO2排出量	従来設備	再エネ導入+EV化	スマート制御
CO2排出量	CO2排出量	CO2排出量	CO2排出量
※原単位	※原単位	※原単位	※原単位
系統受電電力量	2,179 t-CO2/年	1,424 t-CO2/年	1,155 t-CO2/年
ガス	124 t-CO2/年	124 t-CO2/年	305 t-CO2/年
ガソリン	48 t-CO2/年	2.32 kg-CO2/L	2.29 kg-CO2/L
計	2,351 t-CO2/年	1,549 t-CO2/年	1,460 t-CO2/年

導入効果	再エネ導入+EV化	スマート制御
CO2削減率	802 t-CO2/年 (削減率) 34.1%	891 t-CO2/年 (削減率) 37.9%
年間エネルギー費削減	42,050 千円/年 (削減率) 30.2%	58,107 千円/年 (削減率) 41.7%
電力再エネ率	46.5%	51.4%
電力再エネ自家消費率	66.6%	72.0%
単純投資回収年数	7.6 年	8.9 年



『従来設備』の条件に対して、
『再エネ導入+EV化』『スマート制御』の効果を比較。

評価事例：供給エリア設定

JR新地駅周辺においてエネルギー供給エリア拡大を想定



計算対象エリア

<地域エネルギー供給事業エリア>

- ・ 駅前再開発、新たなまちづくり推進地域、公共施設が集約する地域 等
⇒ 地域のエネルギーセンター等から電力および熱（冷暖房・給湯）を集中供給（電力は発電電力および系統・調達電力を組み合わせで供給）

<託送による地域新電力事業エリア>

- ・ 地域に点在する小中学校、公共施設、民間建物、住宅 等
⇒ 自己電源・系統・調達電力を託送や小売電力として供給

評価事例：ケース設定と計算結果

検討ケース設定

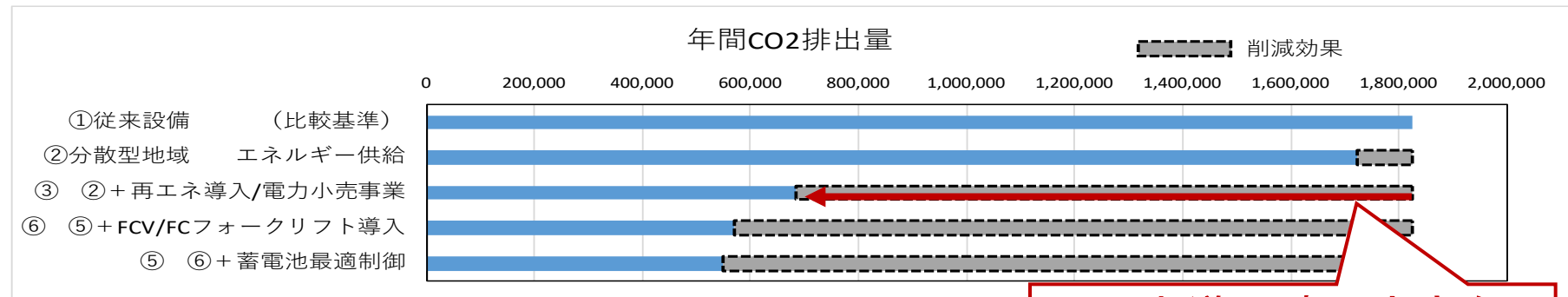
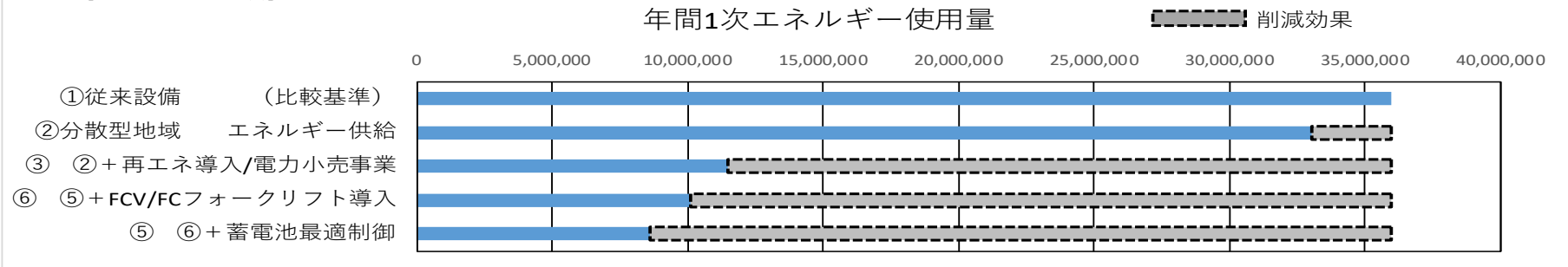
	①従来設備 (比較基準)	②分散型地域エ ネルギー供給	③ ②+再エネ導 入/電力小売事 業	④ ③+EV等モ ビリティ導入	⑤ ④+蓄電池 最適制御
電力供給	一般電気小売	自営線 地域新電力	⇒	⇒	⇒
空調方式 (中核エリア)	個別・電気/ガス	エネセン・分散型エ ネルギー供給	⇒	⇒	⇒
空調方式 (周辺/住宅)	個別・電気/ガス	⇒	⇒	⇒	⇒
再エネ導入	なし	なし	あり	⇒	⇒
公用車・シェアカー・ 地域バス	ガソリン/ ディーゼル車	ガソリン/ ディーゼル車	ガソリン/ ディーゼル車	EV/FCV	⇒
地域分散電力 (再エネ等)の地 域利用制御	なし	あり コージェネ・熱利用 最適制御	あり ⇒	あり ⇒ +EV充放電・FCV 水素制御	あり ⇒ +蓄電池制御

各ケースの設定内容の概要

- ①**従来設備(比較基準)**: 従来通りの設備構成およびエネルギー利用形態
- ②**分散型地域エネルギー供給**: 対象エリア中心に地域エネルギー供給拠点としてエネルギーセンターを設置。エネルギーセンターはコージェネレーションシステムを利用し、供給エリア内を熱導管・自営線でネットワーク化し、冷暖房・給湯の冷温熱ならびに電力を供給。
- ③ **②+再エネ導入+電力小売事業(地域新電力)**: ②に加え、太陽光発電・風力発電などの再生可能エネルギーを導入。地域新電力会社を設立し、卸取引市場で調達した電力および地域内の再生可能エネルギーで発電した電力を、自営線による供給エリアの範囲外にも託送により供給。
- ④ **③+EV等モビリティ導入**: ③に加え、地域の公用車にEVを導入するほか、シェアEVやEVバスを導入。
- ⑤ **④+蓄電池最適制御**: ④に加え、太陽光発電・風力発電などの再生可能エネルギーの余剰電力を定置型蓄電池に蓄電し、地域内電力が不足する際に放電する制御

評価事例：ケース設定と計算結果

省エネ・CO2削減効果算出例



再エネ導入時に大きな削減ポテンシャル

算定方法の概要

省エネルギー量 = 従来年間一次エネルギー消費量 - 検討ケース年間一次エネルギー消費量
 省エネルギー率 = 省エネルギー量 ÷ 従来年間一次エネルギー消費量
 一次エネルギー消費量 = 各ケースの電力・燃料年間消費量 × 電力・燃料の一次エネルギー換算値

CO2削減量 = 従来年間CO2排出量 - 検討ケース年間CO2排出量
 CO2削減率 = CO2削減量 ÷ 従来年間CO2
 CO2排出量 = 電力・燃料年間消費量 × 電力・燃料のCO2排出原単位

- ・従来設備と比較した各ケースの省エネルギー性、CO2削減効果を算定
- ・各ケースは、従来から分散型電源、再エネ導入、モビリティ制御、蓄電池制御を導入した効果について検証が可能

※1各燃料の一次エネルギー換算値

電力	9.76[MJ/kWh]
都市ガス	45.0[MJ/Nm ³]
ガソリン	34.6[MJ/L]
軽油	37.7[MJ/L]
水素	141.8[MJ/kg]

各燃料のCO2排出原単位

電力	0.470 [kg-CO2/kWh]
都市ガス	0.059 [kg-CO2/Nm ³]
ガソリン	0.0671 [kg-CO2/MJ]
軽油	0.0686 [kg-CO2/MJ]
水素	0 [kg-CO2/kg]

風力発電ポテンシャル評価の組み込み

上空風速

ドップラーソーダによる新地町
(下水処理場) 風況観測



2019.12~2020.2

通年の上空風速を予測

$$U/U_1 = (Z/Z_1)^{1/n}$$

粗度パラメータ取得

地上（屋上）定点観測

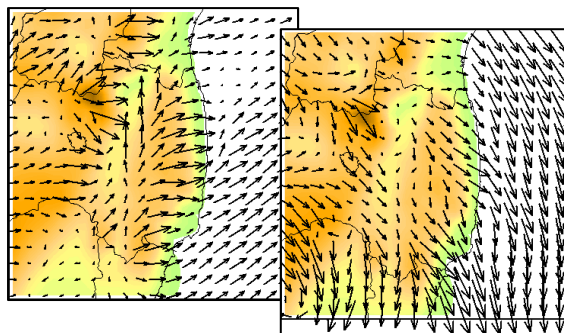


気象測器設置
消防防災センター、浄化セ
ンター、尚英中学校

4次元風況データベース

客観解析データ

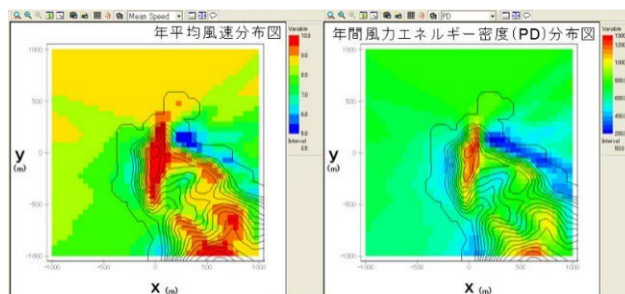
領域気象モデルWRF



初期条件・境界条件

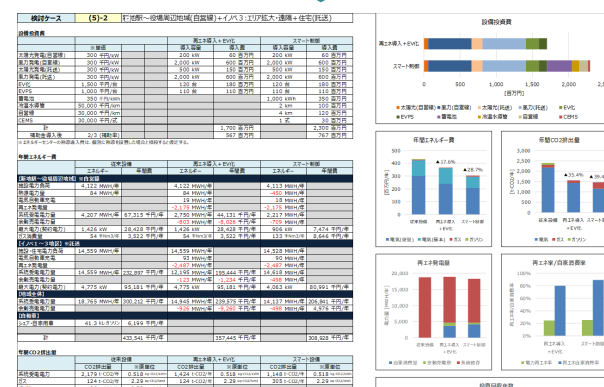
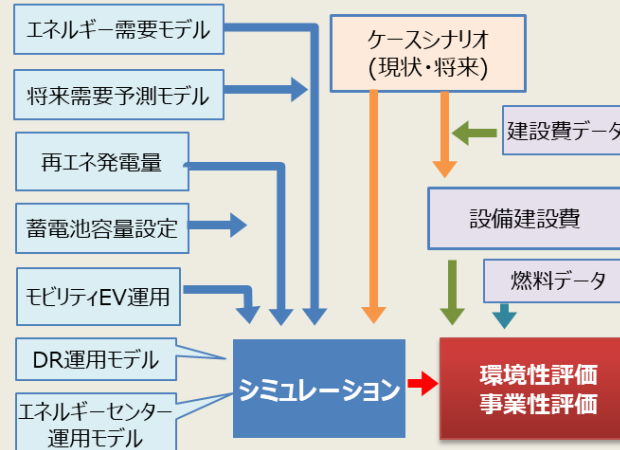
詳細モデルによる風力発電
予測シミュレーション

風況予測ソフトウェア



風況評価・発電量試算

地域エネルギー計画・評価 システム



風力発電を組み込んだ
エネルギーマネジメントシ
ミュレーション

4次元風況データベース

代表的な1年間の詳細な数値シミュレーションと上空・地上の観測データを駆使して1年分の4次元の(空間×時間)な風向・風速のデータベースを作成



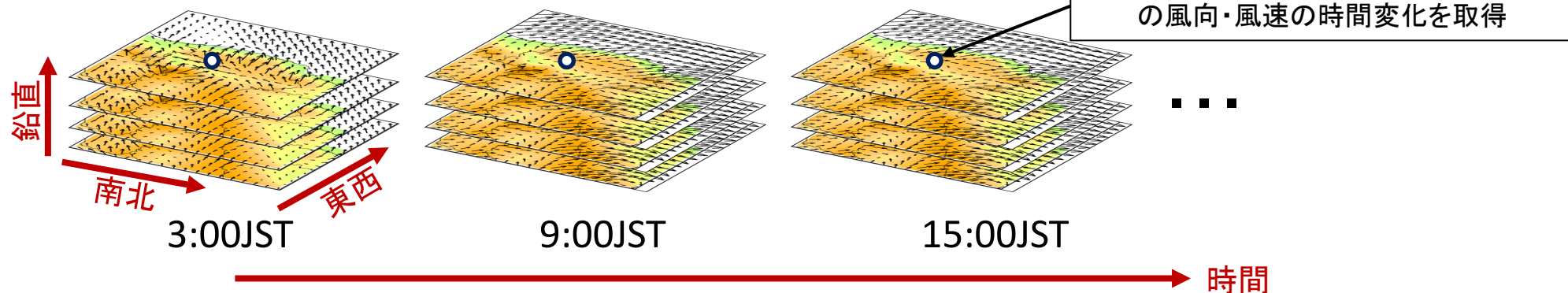
風況調査の事前コンサルティングや適地選定に貢献

代表年を標準年とする(例えば、拡張アメダス気象データの標準年に合わせて設定するなど)

- 代表性のある年を選択することにより、発電量の過大評価、過小評価を回避
- 多地点を対等に比較・評価することが可能となる
- 新電力事業者が需要家側の変動パターンと結び付けたエネルギーマネジメントを踏まえて風力発電の利活用ポテンシャル調査が可能となる

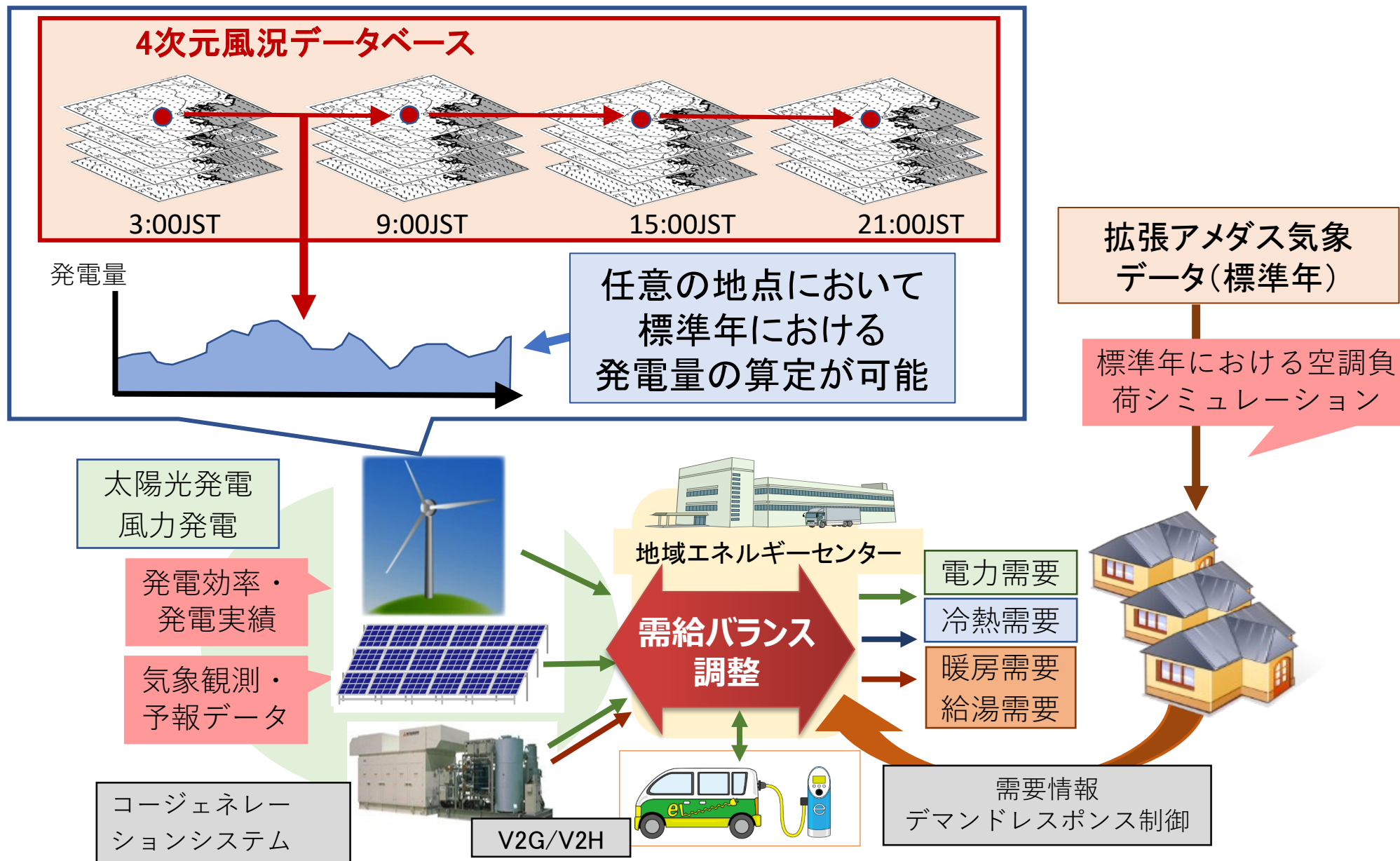
拡張アメダス気象データ:
気象庁のアメダス観測値に空調負荷計算の推計値により補完した気象データ。建築の設備設計等で用いられる。地点ごとに標準年が設定されている。

4次元データベースのイメージ



4次元風況データベース利用イメージ

地域エネルギー事業導入のための計画・評価システムに組み込み、地域エネルギーの利活用ポテンシャルを評価



メソスケール気象モデル(WRF)による 計算結果の検証

2019～2020年度：風況の実測及びシミュレーションを行うための開発評価システムとして、ドップラーソーダーを活用した実測・評価を行い、その手法について開発。WRFによる再現性を検証。

新地町(下水処理場) 設置状況

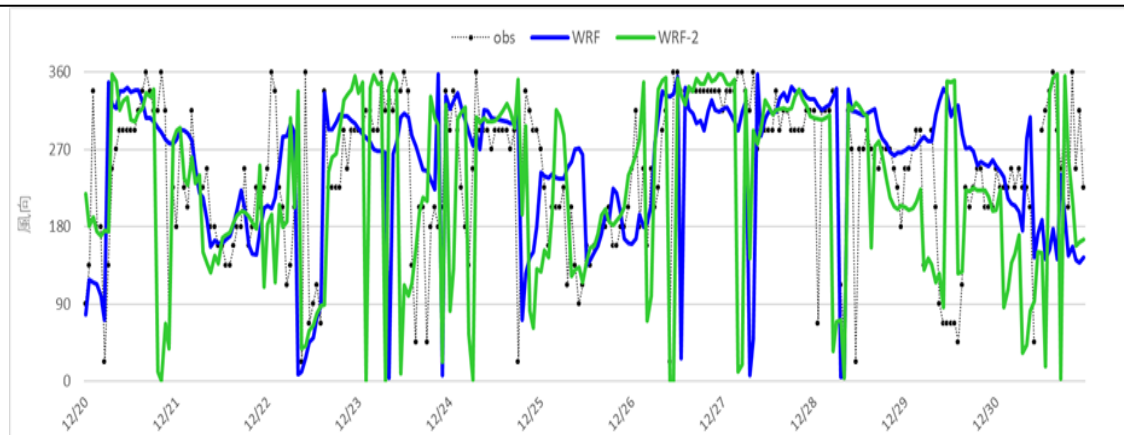


VAISALA社製 Triton Wind Profiler

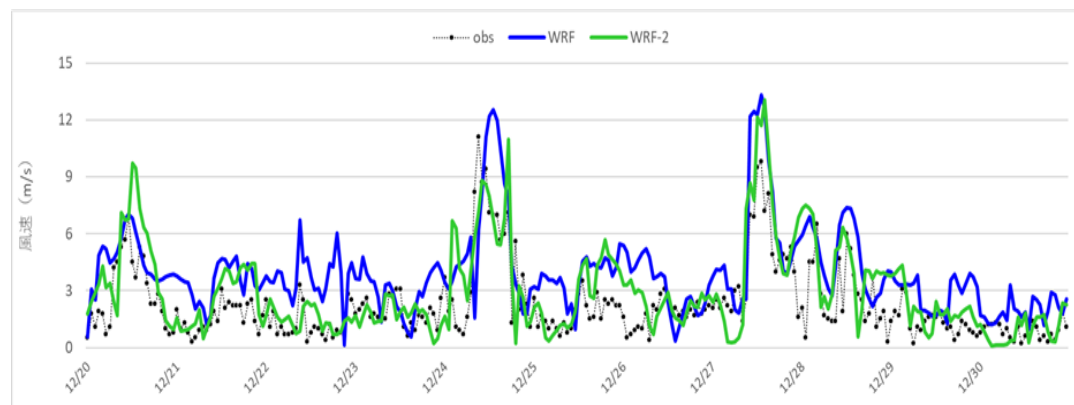
ドップラーソーダー：大気に向けて音波を発信し、反射波を受信、処理して上空の大気の状態を遠隔探査する装置。風力発電の風況精査や各高度での風向・風速を計測。

観測地点

新地浄化センター敷地内
(福島県相馬郡新地町)



新地町における風向の時間変化



新地町における風速の時間変化

新地町における上空の実測データと比較し、十分な再現性を確認。

風況評価ソフトウェア(MASCOT) による発電量予測(応用例)

計算結果をデータベース化



【予測評価のフロー】

風力発電設置時の年間発電量予測を実施

①WRFを用い、ドップラーソーダーや地上実測データを取り込んだ気象シミュレーションデータを作成

②上記①の結果をMASCOTに入力、得られた気流予測結果とウインドプロファイラ等の観測結果との比較・検証

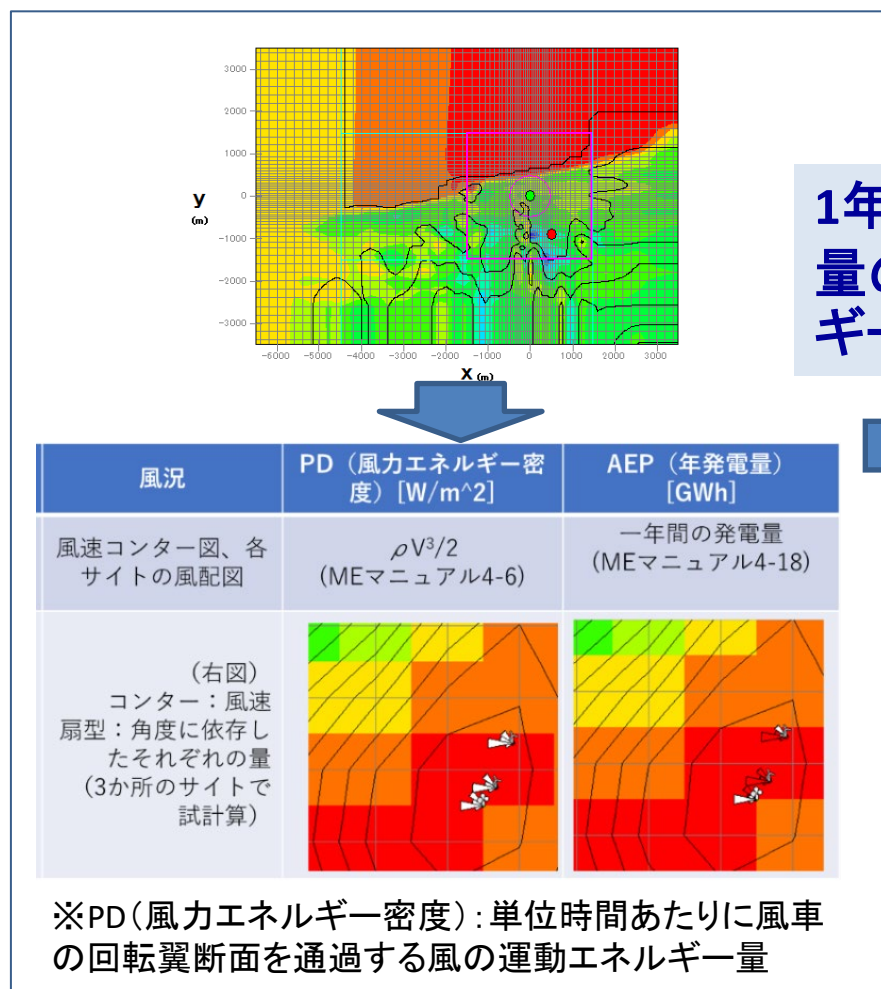
③代表地点（浜通り地域）における年間（8760時間）の発電量予測

MASCOTによる連成計算(応用例)

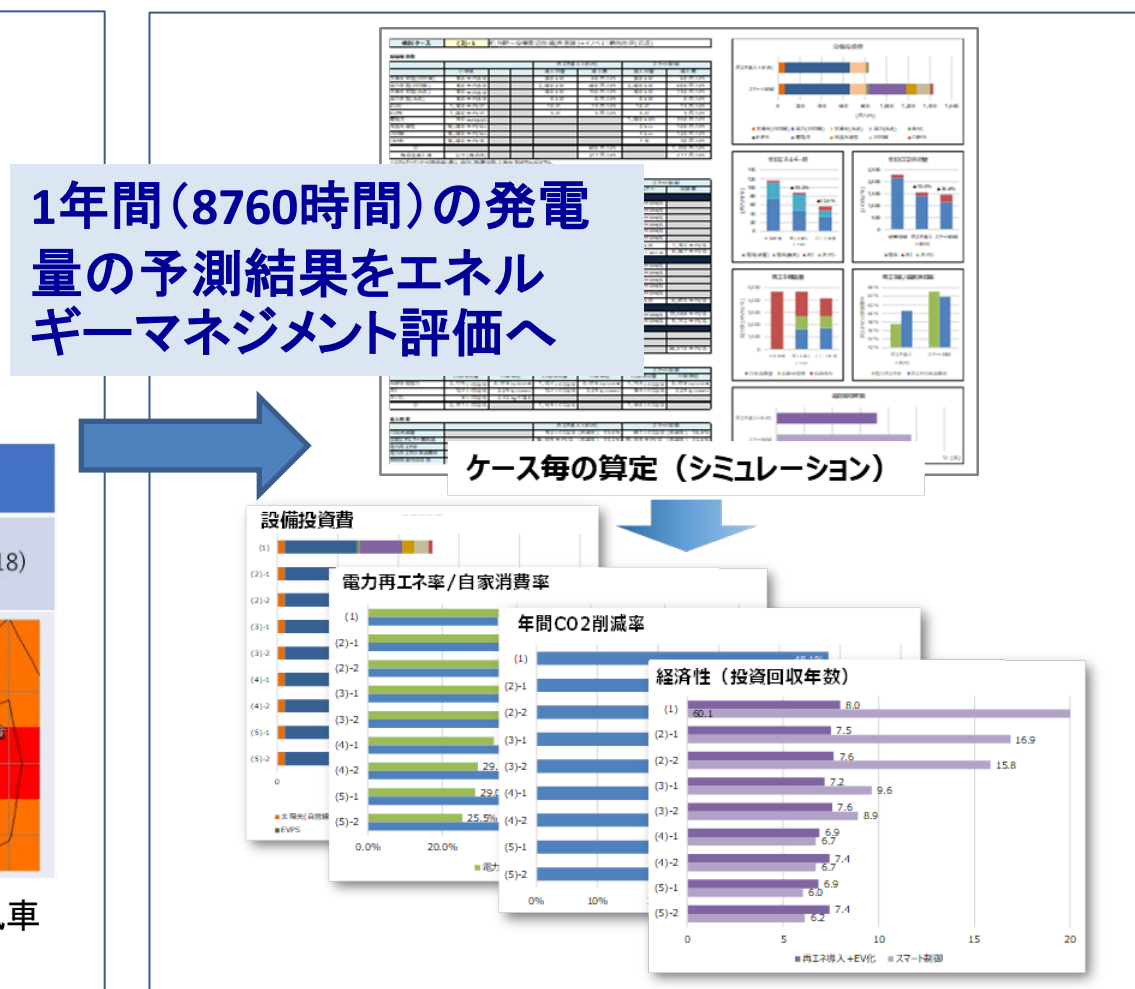
詳細な地物の影響を考慮して詳細な風況評価を行うため風況評価ソフトウェア「MASCOT」を活用

→ 4次元風況データベースの風向・風速を用いて、事前コンサルティングに活用
(通常はタワー観測・ドップラー観測の値を利用)

MASCOT :
三次元非線形気流解析により複雑な風況の解析・予測、ウィンドファームの発電量予測が可能なソフトウェア
風況観測データを基に任意地点での風況を詳細に予測することができる



MASCOTによる計算結果の例



地域エネルギー計画・評価システム

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来はREPOSやNEDO風況マップによる年間発電量予測を用いて適地選定が行われてきたが、本技術では総量だけでなく詳細な時間分解能で発電量予測が可能である。
- タワー観測や遠隔観測では計測を行った年の偶発的な風速の変化を含むため代表性があるとは限らないが、本技術では一般化した条件での比較が可能である。

想定される用途

- 地域エネルギー計画・評価システムに風力発電ポテンシャル評価手法を組み込むことにより、需給バランスを踏まえたエネルギー地産地消のポテンシャル評価が可能である。
- 詳細な風況調査を行う際の事前コンサルティングとして、事業の実施可能性や適地選定に活用する。
- FIP制度における発電事業の事前評価にも利用化可能である。

実用化に向けた課題

- 自治体等の担当者が本システムで評価することは難しいため、コンサルティングの体制づくりが今後の課題である。
- タワー観測および遠隔観測を行う際の事前コンサルティングとして利用可能であるが、タワー観測および遠隔観測を代替しうる精度は得られていないため、今後さらなる精度向上を目指す。

企業への期待

- 脱炭素地域づくりのコンサルティングを進める際に事業主体としての参画
- 地方自治体等と連携し、脱炭素先行地域やSDGs未来都市等の応募や資金獲得
- その他、様々な機会において地域エネルギー計画・評価システムの社会実証・実装

脱炭素地域づくりコンサルティング体制(案)

国立環境研の役割

- ・シミュレーションツールの開発
→コンサルティングベンチャーに提供
- ・環境エネルギー/まちづくり政策情報
- ・ツールの改善、カスタマイズ

国立環境
研究所

ツールの提供

シミュレーション
ツール

- ・研究成果の社会実装
- ・研究成果発表に向けた
データ収集

コンサルティング会社の役割

- コンサルティングビジネスの実施
- エネルギー技術情報の更新
- シミュレーションツールの実用改善
- エネルギー事業マネジメント情報提供
- 事業ガバナンス、ファイナンス情報提供
- 関係主体協議機会の提供

新規コンサルティングベンチャー

出資
協働

既存コン
サル会社

ベンチャー事業
の運営主体

既存コン
サル会社

既存コン
サル会社

地域エネルギー
コンサルティング
ベンチャー

- ・地域エネルギー診断
- ・将来エネルギー需要推計
- ・エネルギーシステム計画支援
- ・まちづくりによる波及効果分析

クライアント

自治体

自治体

エネルギー
事業者

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 風況予測システム及び風況予測方法
- 特許番号 : 特許第7240767号
- 出願人 : 国立研究開発法人国立環境研究所
- 発明者 : 平野勇二郎

お問い合わせ先

国立研究開発法人国立環境研究所
連携推進部 研究連携・支援室

T E L 0 2 9 – 8 5 0 – 2 9 5 6
e-mail kikaku-ip@nies.go.jp