

横浜国立大学／本藤プロジェクト
地域特性を活かし価値を創造する再エネ基盤社会への道筋

地域・時間解像度が高いエネルギーシステムモデルの開発

大槻貴司
横浜国立大学 大学院工学研究院 / 先端科学高等研究院
2025年2月6日（木）

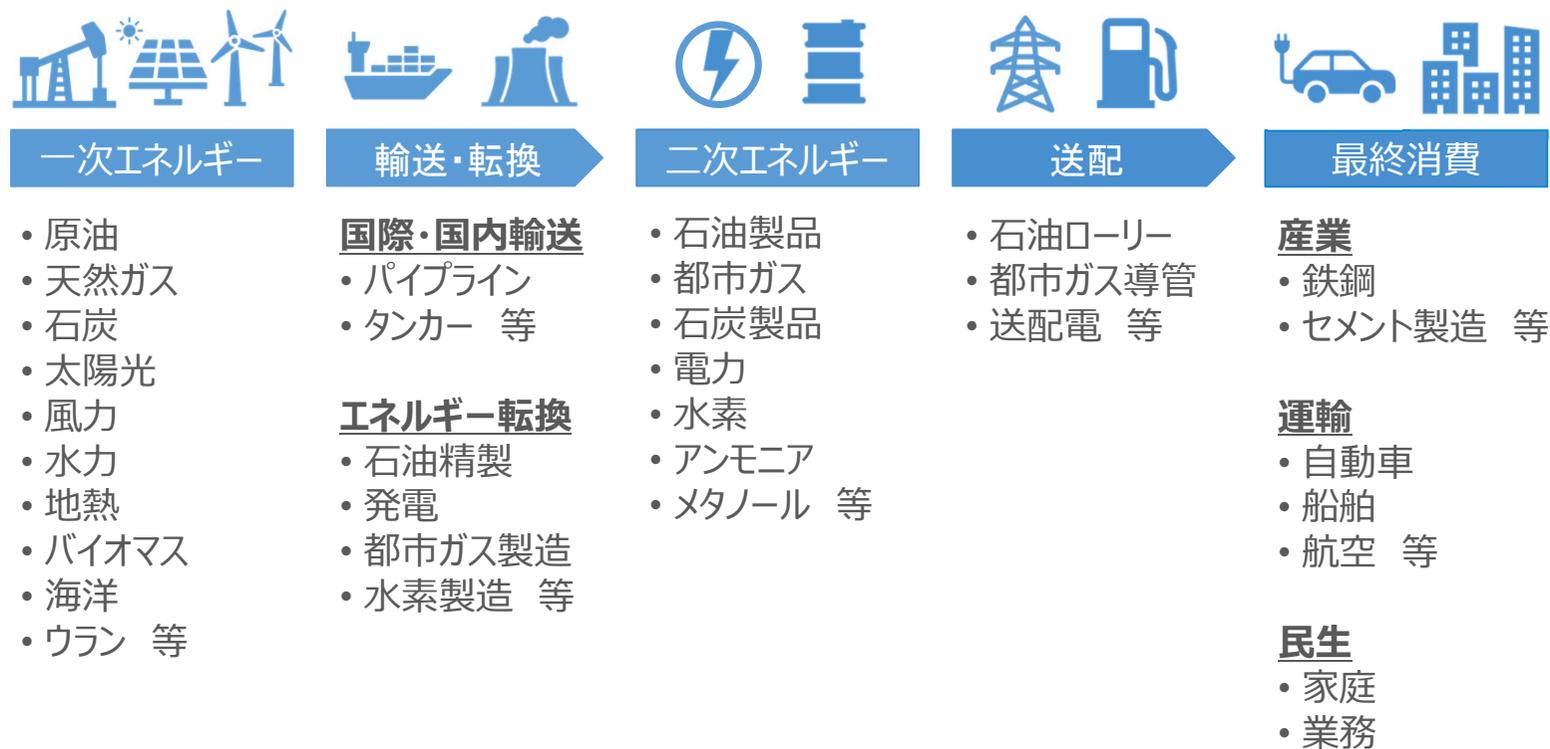
謝辞 本資料には（一財）日本エネルギー経済研究所の尾羽秀晃氏、森本壮一氏、柴田善朗氏との共同研究成果を含みます。なお、本講演の内容は大槻個人の見解です

目次

1. エネルギーシステムモデルとは
2. 地域・時間解像度が高いエネルギーシステムモデルの紹介

本資料における「エネルギーシステム」のバウンダリ

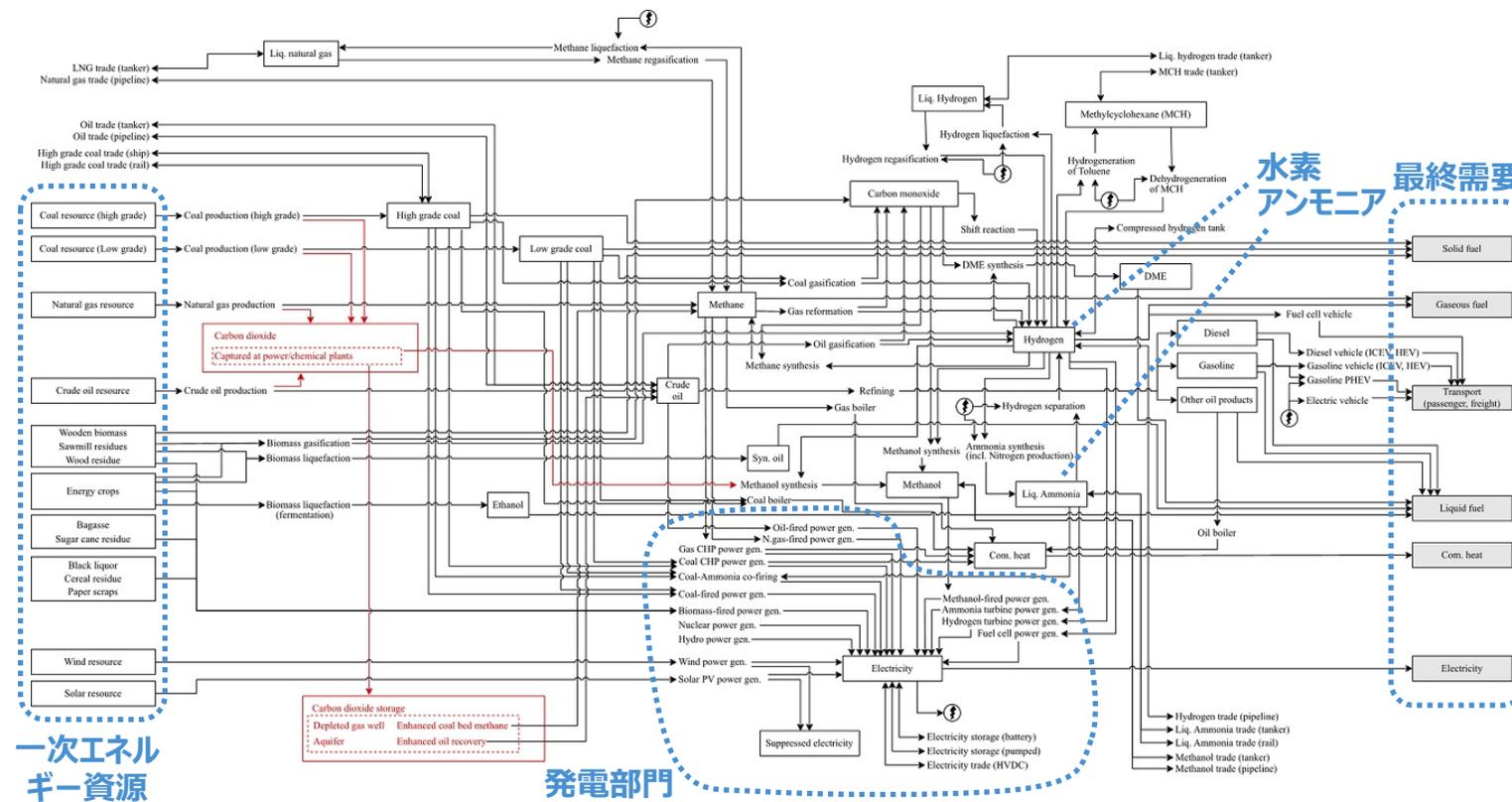
一次エネルギーの生産・輸入から輸送、転換、消費にわたる物流全体を指す



エネルギーシステムモデルとは？

- ・ エネルギーシステムの構成要素の連関を数式で表現したコンピュータプログラムのこと
- ・ 入力条件（最終需要や資源量、エネルギー輸入価格などの想定）に応じた将来のエネルギー構成や技術選択を計算できる

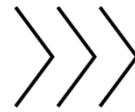
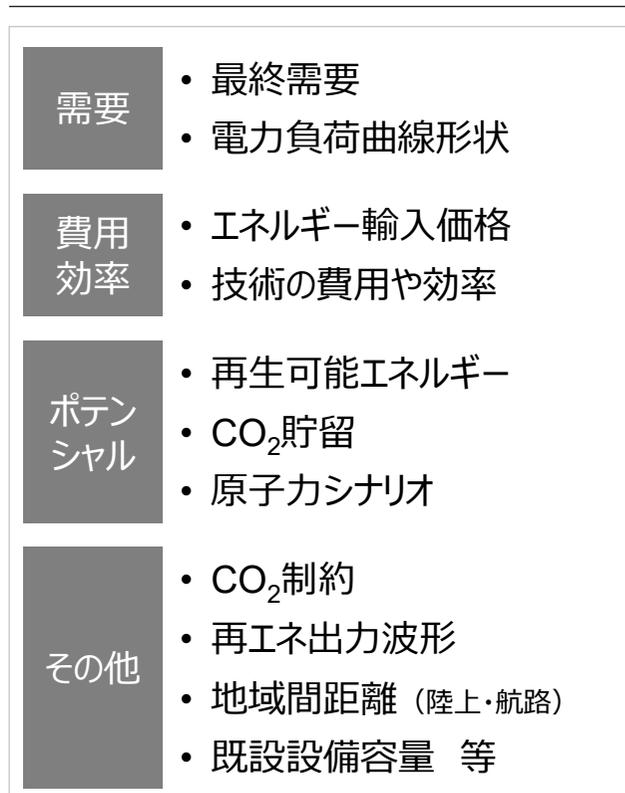
エネルギーシステムモデルの構成要素の一例



エネルギーシステムモデルの入出力データ例

- ・ 入力データは2050年までの需要や技術費用・効率、資源量など
- ・ 分析結果として、エネルギー・技術の最適な組合せや経済性の情報が得られる

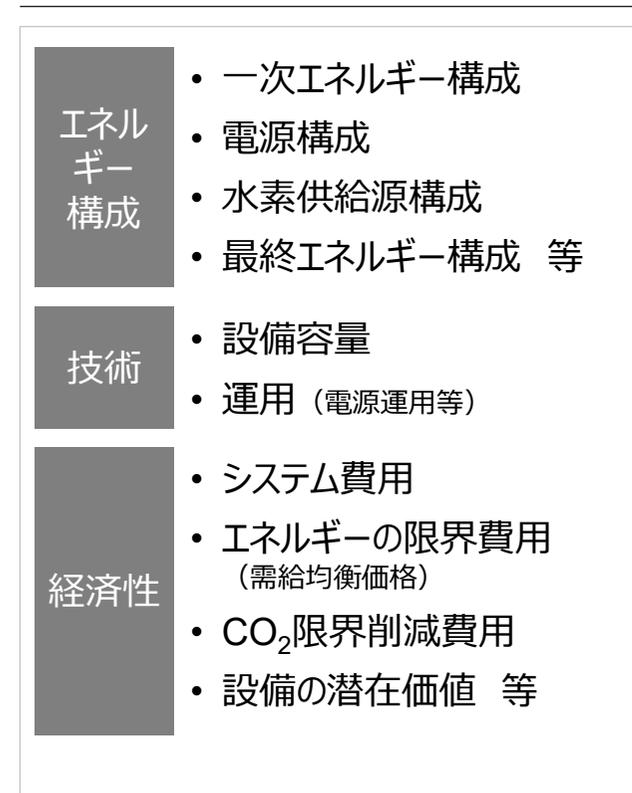
入力



CO₂制約等の下で
2050年までの
累積システム費用
最小化

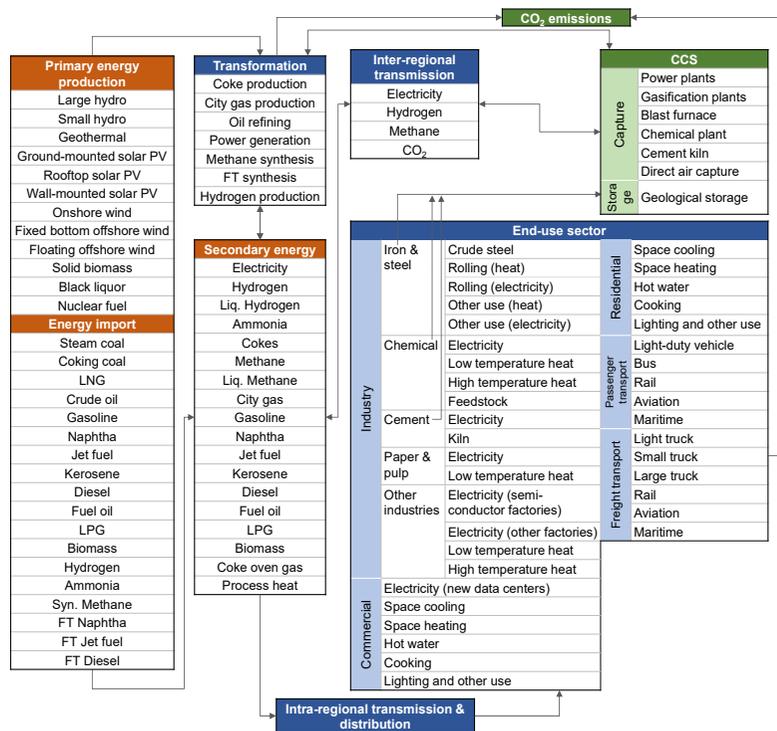
※システム費用には
輸入燃料費と設備費、運
転維持費が含まれる

出力

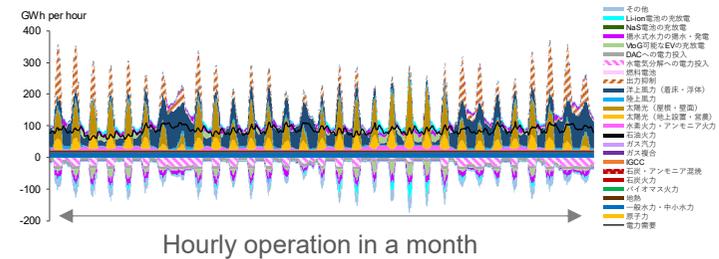


- ・ 2050年までの経済合理的なエネルギー需給を計算する線形計画モデル（目的関数はエネルギーシステム総費用） [1][2][3]
- ・ エネルギーシステム全体を分析対象として、電力や水素の需給は1時間刻み（24時間365日）の粒度で計算

分析対象はエネルギーシステム全体

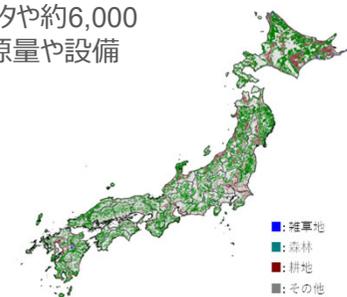


電力需給は1時間レベルで分析可能



地理情報システムを基に推計した再エネ資源量

メッシュ化した土地・海域利用データや約6,000万棟の建物情報を基に再エネ資源量や設備利用率・資本費を考慮



[1] 大槻ら、電学論B、142(7)、pp.334-346; [2] Otsuki et al., IJGCC, 132, 104065; [3] METI,総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会（第44回会合）（2021）

本モデルでは500を超える技術オプションが考慮されている

分析対象の低炭素化技術（抜粋）

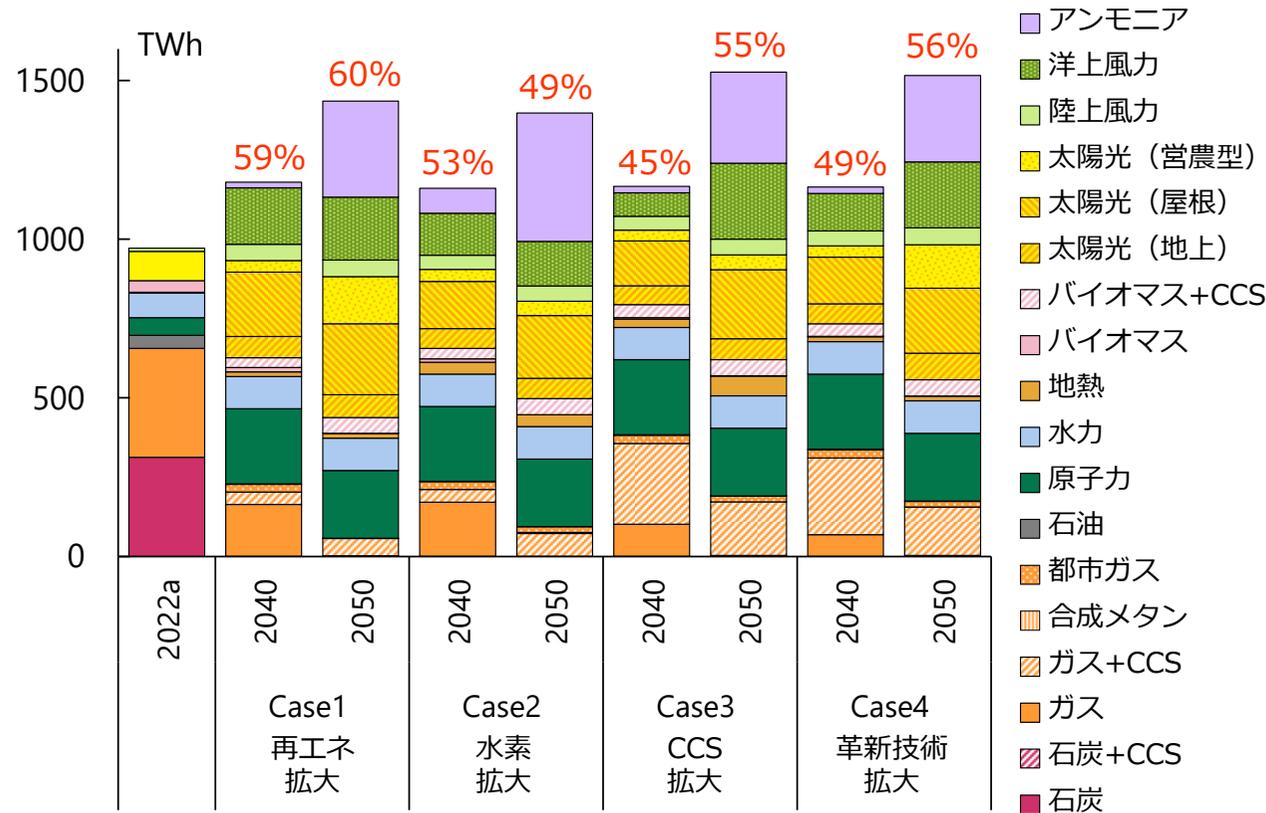
高効率技術		エネルギー供給側および需要側で高効率設備を考慮
原子力		軽水炉
再生可能エネルギー	太陽光	地上設置型、屋根設置型（屋根方角別に考慮）、営農型
	風力	陸上風力、着床式洋上風力、浮体式洋上風力
	水力・地熱など	大型水力、中小水力、地熱、木質バイオマス
CCUS	回収	発電、水素製造、高炉、化学工業、直接空気回収
	利用・貯留	メタン合成、液体燃料合成、国内地層貯留、海外地層貯留
水素キャリア	輸入	液化水素、メチルシクロヘキサン、アンモニア、合成メタン、FT合成燃料
	水素利用	専焼発電、水素直接還元製鉄、化学工業用ボイラー・工業炉、自動車、船舶、燃料合成
	アンモニア利用	専焼発電、石炭・アンモニア混焼発電、船舶、化学工業用ボイラー・工業炉
エネルギー貯蔵		揚水式水力、Li-ion電池（電力系統側、需要側）、NaS電池、レドックスフロー電池、水素貯蔵
デマンドレスポンス		電気自動車の充電、乗用電気自動車のVtoG、ヒートポンプ給湯機による電力需要シフト
負の排出技術		直接空気回収 + CO ₂ 貯留、バイオマス火力発電 + CO ₂ 回収貯留

- ・ 学術面に加えて、政策面での貢献も視野に、研究および成果発信に取り組んでいる
- ・ 第7次エネルギー基本計画の策定プロセスでは、2024年12月3日開催の基本政策分科会（第66回会合）にて、日本エネルギー経済研究所・立命館アジア太平洋大学と共同で研究成果を報告した

出典：遠藤聖也, 大槻貴司, 尾羽秀晃, 松尾雄司, 森本壮一, 柳澤明：“2040年・2050年のエネルギーミックスに関するモデル試算”, 総合資源エネルギー調査会 第66回基本政策分科会 資料7 (2024年12月3日)

日本の発電電力量

赤字は再生可能エネルギー（再エネ）比率。ケース概要は本ページ右側参照



- 各ケースの概要
 - 再エネ拡大：再エネポテンシャルの拡大
 - 水素拡大：輸入水素の費用低減
 - CCS拡大：貯留可能量の上限拡大
 - 革新技术拡大：上記の想定全てを考慮
- 2040年のコスト最適な再エネ比率は49-59%、2050年の比率は45-60%と評価された。前提条件によって電源構成の絵姿や再エネ比率は大きく変わりうる。
- 2040年から50年にかけて電力消費が増加し、水素・アンモニア等のコストも低減すると仮定しているため、再エネ比率は常に上昇していくとは限らない。

出典：遠藤聖也, 大槻貴司, 尾羽秀晃, 松尾雄司, 森本壮一, 柳澤明：“2040年・2050年のエネルギーミックスに関するモデル試算”, 総合資源エネルギー調査会 第66回基本政策分科会 資料7 (2024年12月3日)

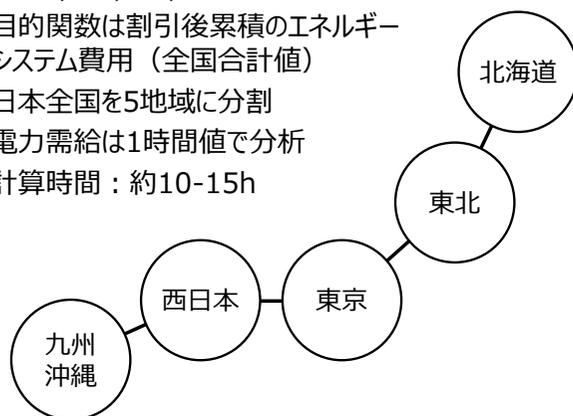
目次

1. エネルギーシステムのモデルとは
2. 地域・時間解像度が高いエネルギーシステムモデルの開発
 - ① モデル概要
 - ② 市区町村レベルの再エネポテンシャル推計
 - ③ モデル分析結果のイメージ

再エネの地域偏在性や時間変動性、およびエネルギー輸送インフラの制約を陽に考慮するため、全国129地域分割・年間1~3時間刻みのエネルギーシステムモデルを構築した

既往モデル

- 2020, 30, 40, 50年の通時最適化
- 目的関数は割引後累積のエネルギーシステム費用（全国合計値）
- 日本全国を5地域に分割
- 電力需給は1時間値で分析
- 計算時間：約10-15h



地域分割における考え方

- **地域と市区町村（約1700）の対応関係**：電力系統図を基に設定。
- **エネルギーサービス需要（計39区分）**：市区町村レベルの人口や世帯数、自動車保有台数、工業付加価値額などを基に全国値を按分。
- **再エネ導入上限量**：地理情報データによる推計やREPOSを参照。

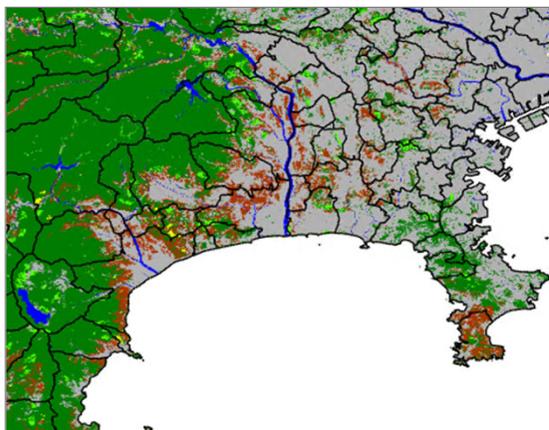
全国詳細化版

- 2020, 30, 40, 50年の逐次最適化。
- 目的関数は単年のエネルギーシステム費用（全国合計値）
- 日本全国を**129地域**に分割したことにより、各地の再エネ導入や送電線・パイプライン増強を分析可能
- 電力需給は**1~3時間値刻み**で分析可能
- 計算時間：約40h（3時間刻み）～約8日（1時間刻み）



- ・ NE_Japan-Regionの入力データとして再エネポテンシャルが必要
- ・ 地理情報データを基に、太陽光発電（地上・屋根）や陸上・洋上風力発電、木質バイオマスのポテンシャルを推計
- ・ 本推計の特徴として、地上設置型太陽光と陸上風力には、近年の再エネ立地規制に係る地域条例を考慮した。屋根設置型太陽光には、地域毎の屋根形状や方位を考慮した。木質バイオマスは供給曲線の推計に取り組んでいる

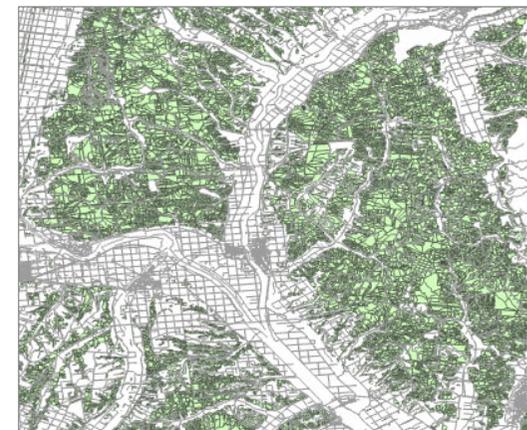
100mメッシュの土地利用データ



6019万件の建物データ



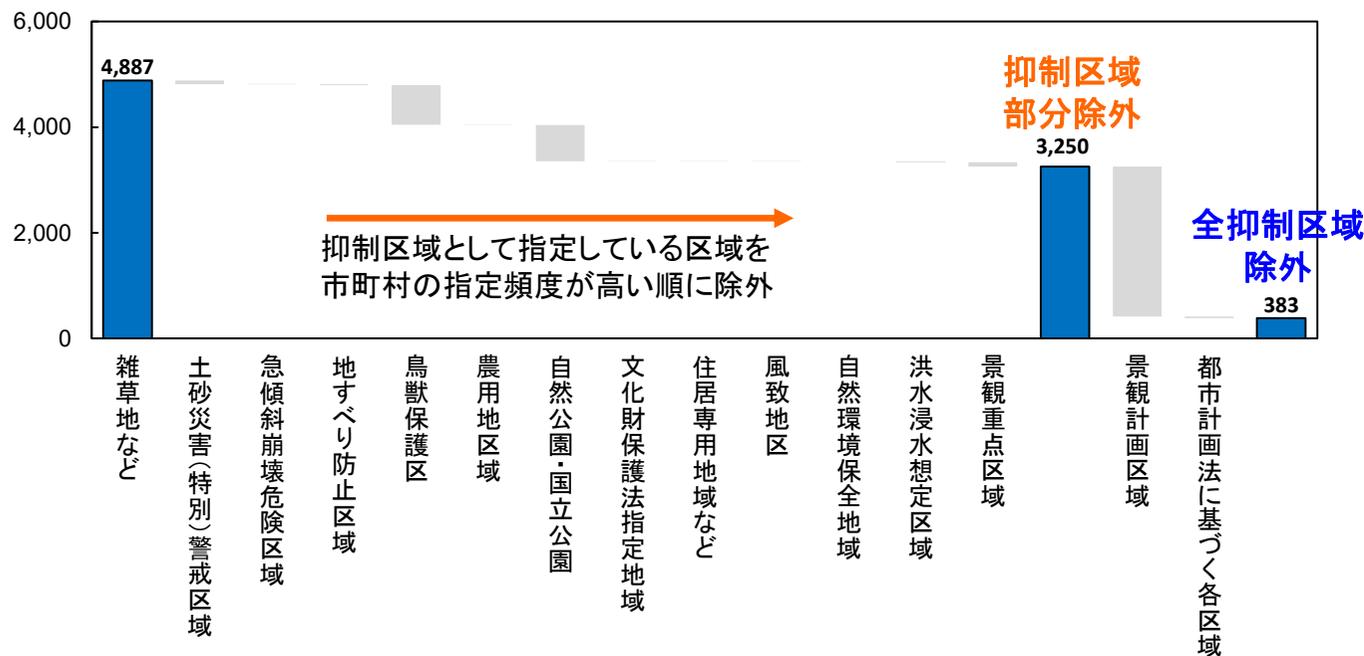
森林 小班データ



出典：尾羽秀晃，森本壮一，柴田善朗，大槻貴司：“地域条例・建物特性を考慮した太陽光発電の導入ポテンシャル評価”，総合エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会／電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会（第67回）資料3（2024）；森本壮一，尾羽秀晃，柴田善朗，大槻貴司，北海道を対象とした木質バイオマスエネルギー供給曲線の推計，第43回エネルギー・資源学会研究発表会，2-1，(2024)

- ・ 2024年3月時点で、全国263の市区町村にて太陽光発電の規制に関わる条例を制定していることが確認
- ・ 災害防止や自然環境・景観保護のための区域を中心に太陽光発電設置が規制されている
- ・ これらの「抑制区域」を全国に反映した場合、風力発電との非競合場所における導入上限は20-107GWと推計された

抑制区域を除外した地上設置型太陽光発電の設置可能面積
km², 全国合計値



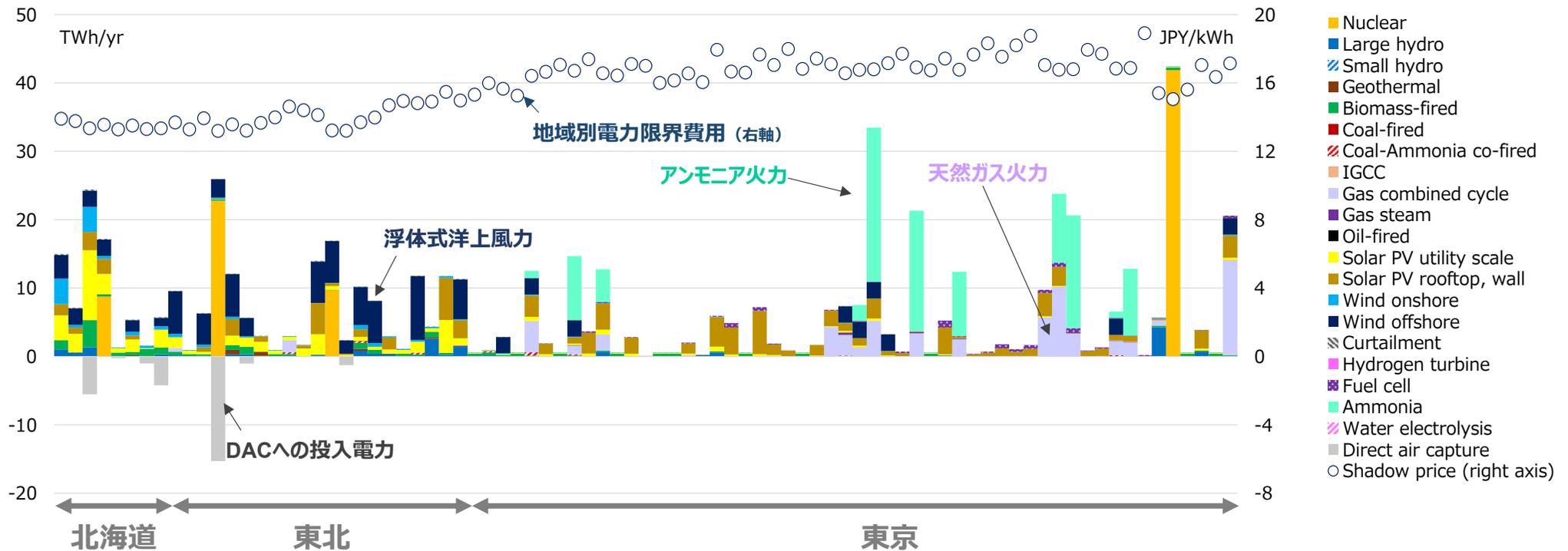
導入上限量の推計結果
全国合計

抑制区域除外無し	542GW
抑制区域部分除外 うち風力非競合場所	361GW 107GW
全抑制区域除外 うち風力非競合場所	43GW 20GW

出典：尾羽秀晃，森本壮一，柴田善朗，大槻貴司：“地域条例・建物特性を考慮した太陽光発電の導入ポテンシャル評価”，総合エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会／電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会（第67回）資料3（2024）

2050年の発電電力量の試算イメージ

電力50Hz地域のみ抜粋。予備的検討結果であることから、横軸の具体的な地域名は伏せている。今後結果は大きく変わりうる点に注意

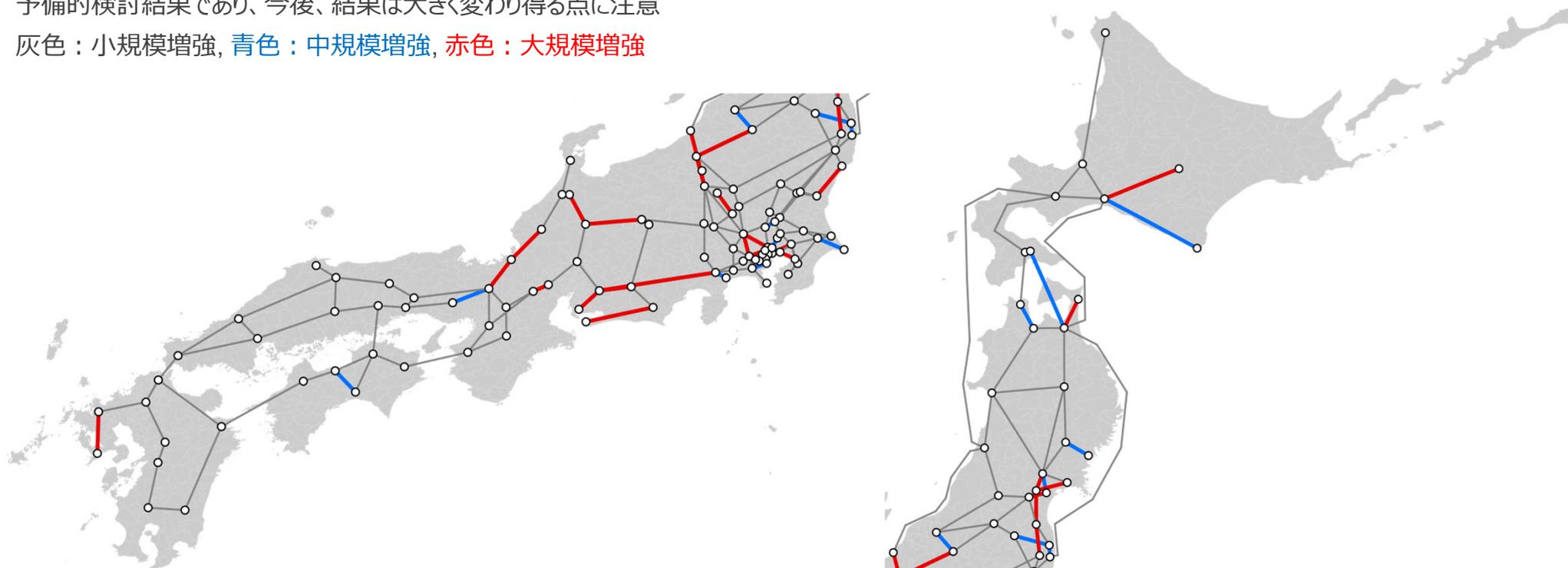


基幹送電網やパイプライン網など、電力・非電力のエネルギー広域輸送の制約や最適増強量を評価できる

2050年までの送電容量増強に関する試算結果イメージ

予備的検討結果であり、今後、結果は大きく変わり得る点に注意

灰色：小規模増強, 青色：中規模増強, 赤色：大規模増強



注 沖縄ノードは地域間連系線を想定していないため、この図では含んでいない

- ・ エネルギーシステムモデルとは、将来のエネルギー需給を分析するためのコンピュータプログラム。入力条件に応じたエネルギー構成や技術選択を、エネルギーシステムの内部整合性（需給バランスや資源量制約など）を保ちつつ検討できる
- ・ 本プロジェクトは、独自のエネルギーシステムモデル NE_Japan による分析、および地理情報システムによる再エネポテンシャル評価を組合わせて、学術的・政策的に貢献すべく取り組んでいる。第7次エネルギー基本計画の策定プロセスにおいては、資源エネルギー庁の審議会・委員会等にて研究成果を2回報告した
- ・ 地域特性を活かした再エネ基盤社会の可能性を検討するため、地域・時間解像度を飛躍的に高めた日本エネルギーシステムモデル NE_Japan-Region を新たに開発した。全国129地域・年間1~3時間刻みでの動作確認を完了した
- ・ 今後は、開発モデルを用いて、将来シナリオを検討する。カーボンニュートラルに向けた再エネ電源立地やエネルギー輸送インフラのあり方、産業立地がエネルギーシステムに及ぼす影響など、分析の切り口の整理と検討を行う計画である。更に、本モデルと産業連関モデル REFIO-Region をソフトリンクし、エネルギーシステムと地域経済の観点から、将来シナリオを検討する

ご清聴ありがとうございました

大槻貴司
横浜国立大学

本講演資料の一部はJST低炭素社会実現のための社会シナリオ研究事業JPMJCN2302を受けて実施されました。