

# IEEJ-NE\_Japanモデルの概要と特徴

---

2021年10月8日

第17回 IEEJエネルギーウェビナー「2050年ネットゼロ排出に向けたシナリオ分析」

大槻 貴司

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所

電力・新エネルギーユニット 新エネルギーグループ

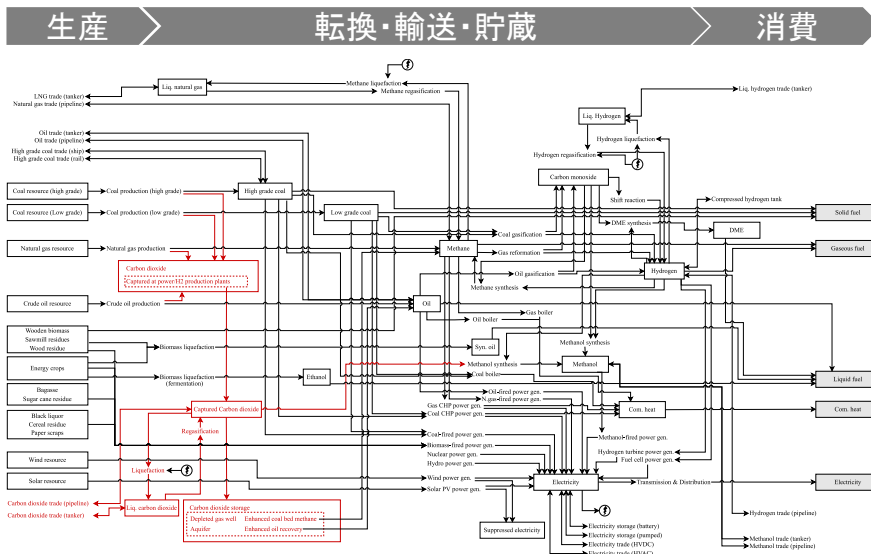
兼 計量分析ユニット エネルギー・経済分析グループ 主任研究員 / 博士(工学)

# エネルギーシステムモデルとは

- エネルギー供給から需要までのプロセスを数式で表現したもの。脱炭素化の文脈では、GHG削減を効率的に進めるためのエネルギーミックスや技術導入、コストの評価に用いられることが多い
- 近年は太陽光・風力発電やシステム統合技術（蓄電池や出力制御、Power-to-Gas等）の評価のため、多くのモデルで時間・地域解像度<sup>[1]</sup>の精緻化が見られる

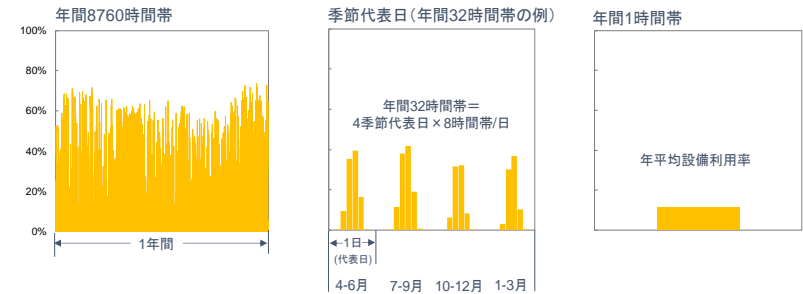
## エネルギーシステム

エネルギーの生産・転換・輸送・貯蔵・消費から構成



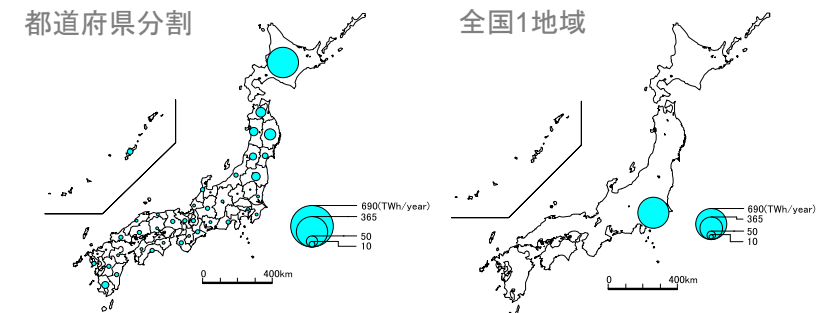
## 時間解像度

モデルの時間刻み（下図は太陽光出力の例）



## 地域解像度

モデルの地域刻み（下図は陸上風力資源分布の例）



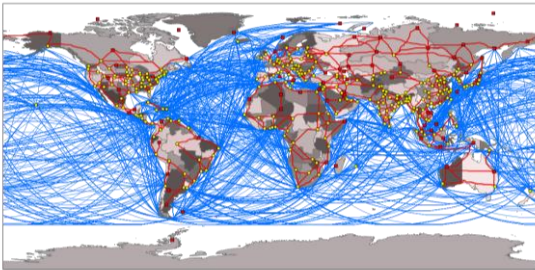
# 弊所はIEEJ-NEモデルを保有 (IEEJ: 弊所の英語略称、NE: New Earth)

東京大学藤井・小宮山研究室と弊所により開発\*

IEEJ-NEモデルは長期のエネルギー・技術構成を推計する線形計画モデル。システム全体の費用最小化を通して、ネットゼロ排出に向けたエネルギーのあり方をバックキャスト的に推計できる

## 世界版やASEAN版、日本版が存在

### Global



- 詳細な地域解像度で世界のエネルギー需給（エネルギー・CO<sub>2</sub>輸送含む）を分析可能
- 分析期間: 2015~70年
- 地域解像度: 14~363地域分割
- 時間解像度: 64時間帯/年(4季節×2天候代表日/季節×8時間帯/代表日)
- 需要解像度: 電力需要・その他燃料需要・自動車旅客・自動車貨物

### ASEAN



- 詳細な時間解像度で域内10か国のエネルギー需給（域内の国際輸送含む）を分析可能
- 分析期間: 2017~70年
- 地域解像度: ASEANを10地域分割
- 時間解像度: 最大8760時間帯/年(365日×24時間)
- 需要解像度: 産業・運輸・民生等を32区分のサービス需要で表現

### Japan



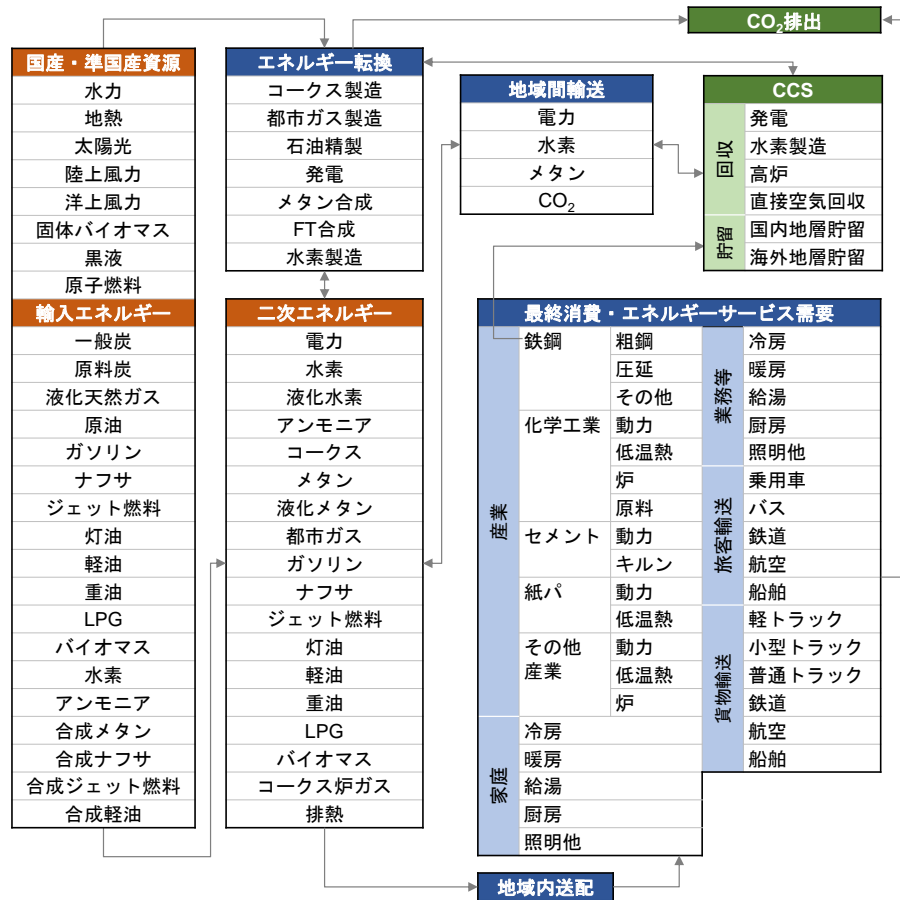
- 詳細な時間解像度で日本のエネルギー需給を分析可能
- 分析期間: 2015~50年
- 地域解像度: 日本を5地域分割
- 時間解像度: 8760時間帯/年(365日×24時間)
- 需要解像度: 産業・運輸・民生等を37区分のサービス需要で表現

\* 藤井・小宮山研のNEモデルを基に、弊所の 大槻貴司 主任研究員・川上恭章 主任研究員が中心となって開発。論文発表や学会表彰多数[2]~[5]。

# IEEJ-NE\_Japanモデルの概要

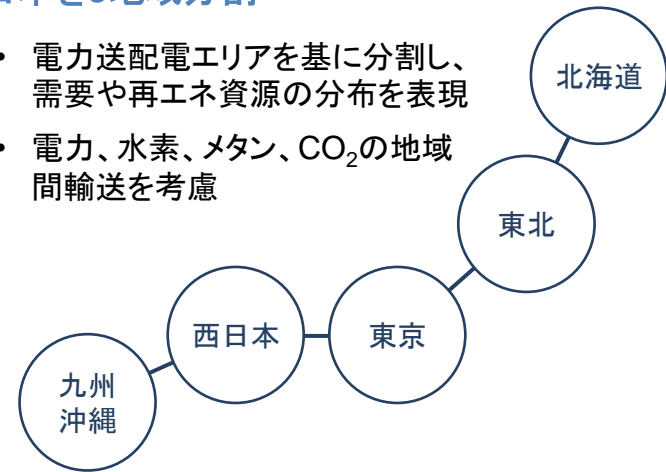
- 2050年までの日本のエネルギーシステムとエネルギー起源CO<sub>2</sub>が分析対象。累積費用を最小化
- 日本を5地域分割し、需要や再エネ資源の地域性を反映。電力需給は1時間値で計算(後述)

## 分析対象はエネルギーシステム全体

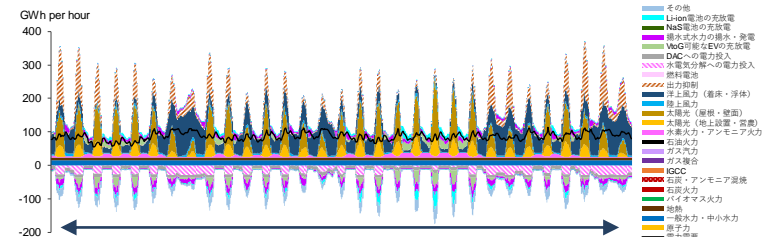


## 日本を5地域分割

- 電力送配電エリアを基に分割し、需要や再エネ資源の分布を表現
- 電力、水素、メタン、CO<sub>2</sub>の地域間輸送を考慮



## 電力需給は1時間値で計算



ある1か月間の運用 (1時間間隔)

# 様々な低炭素化技術の貢献度を分析可能

高効率技術や再生可能エネルギー、原子力、CCUS、水素・アンモニア、エネルギー貯蔵、ダイヤモンドレスポンス(DR)、ネガティブエミッション技術等、300超の技術がモデル化されている。

## モデル内の低炭素化技術（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   |
| 再生可能エネルギー   | 地上設置太陽光、屋根設置太陽光、壁面設置太陽光、陸上風力、着床式洋上風力、浮体式洋上風力、大型水力、中小水力、地熱、バイオマス   |
| 原子力         | 軽水炉   |
| CCUS        | <p><b>CO<sub>2</sub>回収</b>：発電での回収(石炭火力やガス火力、バイオマス火力)、水素製造での回収(石炭ガス化炉やガス改質装置)、直接空気回収(DAC)</p> <p><b>CO<sub>2</sub>利用・貯留</b>：メタン合成、液体燃料合成、国内地層貯留、海外地層貯留</p> |
| 水素・アンモニア    | <p><b>水素利用</b>：水素専焼発電、水素直接還元製鉄、燃料電池車、燃料電池船、燃料合成(メタン合成、FT合成、アンモニア合成)</p> <p><b>アンモニア直接利用</b>：アンモニア専焼発電、石炭・アンモニア混焼発電、アンモニア船</p>                             |
| エネルギー貯蔵     | 揚水式水力、Li-ion電池、NaS電池、圧縮水素貯蔵   |
| ダイヤモンドレスポンス | 電気自動車のflexible charging、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の時間シフト   |
| ネガティブエミッション | DACCS、BECCS   |

# モデルの入出力

- 入力データは2050年までの需要や技術費用・効率、国内資源量など
- 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などの情報が得られる

## 入力

### 需要

- エネルギーサービス需要
- 基準電力負荷曲線形状

### 費用 効率

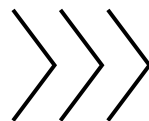
- エネルギー輸入価格
- 技術の費用や効率

### ポテン シャル

- 再生可能エネルギー
- CO<sub>2</sub>貯留
- 原子力シナリオ

### その他

- CO<sub>2</sub>制約
- 再エネ出力波形
- 地域間距離(陸上・航路)
- 既設設備容量 等



CO<sub>2</sub>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

### エネル ギー 構成

- 一次エネルギー構成
- 電源構成
- 水素供給源構成
- 最終エネルギー構成 等

### 技術

- 設備容量
- 運用(電源運用等)

### 経済性

- システム費用
- エネルギーの限界費用  
(需給均衡価格)
- CO<sub>2</sub>限界削減費用
- 設備の潜在価値 等

1

**将来の電力化の度合いや熱の脱炭素化策を検討可能**

産業、運輸、民生等のエネルギーサービス需要(37区分)をモデル化。需要側のエネルギー消費機器や電力・非電力需要も最適化対象

2

**再エネ大量導入の可能性を検討可能**

電力需給は1時間間隔の精緻な時間解像度を採用。蓄電池や出力制御、デマンドレスポンス等の変動性再生可能エネルギーの統合技術を考慮した分析が可能

3

**再エネの自然環境影響や社会的制約を考慮**

地上設置型太陽光や陸上・洋上風力発電については100m~500mメッシュの地理情報システム(GIS)データを用いて、立地条件などを考慮しつつ導入量を推計。

# 将来の電力化の度合いや熱の脱炭素化策を検討可能

- エネルギーサービス需要(37区分)を満たすための需要側・供給側技術が最適化により決定
- エネルギー需要量(電力需要や非電力需要)は変数であり、需要側技術選択に応じて変動する

## エネルギーサービス需要区分

| 部門       |       | エネルギーサービス需要         |
|----------|-------|---------------------|
| 産業       | 鉄鋼    | 粗鋼 (Mt-crude steel) |
|          |       | 圧延動力 (Mtoe)         |
|          |       | 圧延熱 (Mtoe)          |
|          |       | その他動力 (Mtoe)        |
|          |       | その他熱 (Mtoe)         |
|          | 化学    | 動力 (Mtoe)           |
|          |       | 低温熱 (Mtoe)          |
|          |       | 炉 (Mtoe)            |
|          |       | 原料 (Mtoe)           |
|          | セメント  | キルン (Mtoe)          |
|          |       | 動力 (Mtoe)           |
|          | 紙パ    | 動力 (Mtoe)           |
|          |       | 低温熱(Mtoe)           |
|          | その他産業 | 動力 (Mtoe)           |
|          |       | 低温熱 (Mtoe)          |
| 炉 (Mtoe) |       |                     |

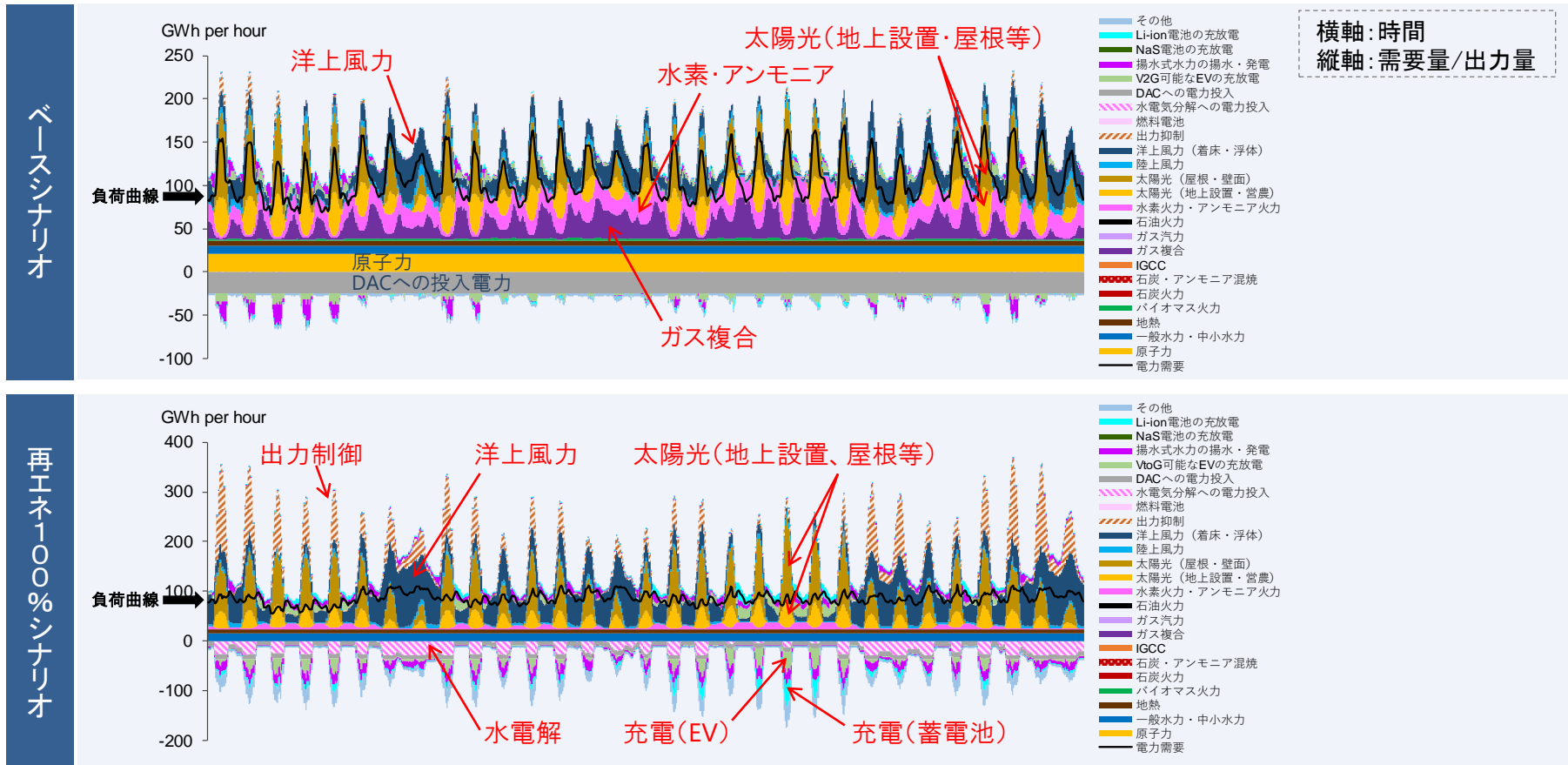
| 部門                  |              | エネルギーサービス需要                |
|---------------------|--------------|----------------------------|
| 運輸                  | 道路           | 乗用車 (billion passenger-km) |
|                     |              | バス (billion passenger-km)  |
|                     |              | 軽トラック (billion ton-km)     |
|                     |              | 小型トラック (billion ton-km)    |
|                     |              | 普通トラック (billion ton-km)    |
|                     | 鉄道           | 旅客 (billion passenger-km)  |
|                     |              | 貨物 (billion ton-km)        |
|                     | 航空           | 旅客 (billion passenger-km)  |
|                     |              | 貨物 (billion ton-km)        |
|                     | 海運           | 旅客 (billion passenger-km)  |
| 貨物 (billion ton-km) |              |                            |
| 家庭                  | 暖房 (Mtoe)    |                            |
|                     | 冷房 (Mtoe)    |                            |
|                     | 給湯 (Mtoe)    |                            |
|                     | 厨房 (Mtoe)    |                            |
|                     | 照明その他 (Mtoe) |                            |
| 業務等                 | 暖房 (Mtoe)    |                            |
|                     | 冷房 (Mtoe)    |                            |
|                     | 給湯 (Mtoe)    |                            |
|                     | 厨房 (Mtoe)    |                            |
|                     | 照明その他 (Mtoe) |                            |



# 再エネ大量導入の可能性を検討可能

電力需給は365日を1時間刻みで表現。再エネの変動性や、システム統合技術(蓄電池や出力制御、水電気分解、電気自動車・ヒートポンプ給湯機を活用したDR等)が考慮されている

## シナリオ別の電力需給(5月)



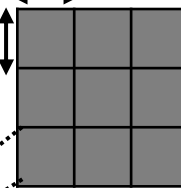
# 再エネの自然環境影響や社会的制約を考慮

- 文献<sup>[6]~[9]</sup>を基に整備した100-500mメッシュの土地・海域利用のGISデータによって、立地制約（森林設置等）に応じた太陽光（地上設置）・風力発電（陸上・洋上）の導入量上限をモデルに反映
- 各メッシュにおける風速や日射量から風力発電・太陽光発電の資源グレード分けを実施。

## GISデータのイメージ

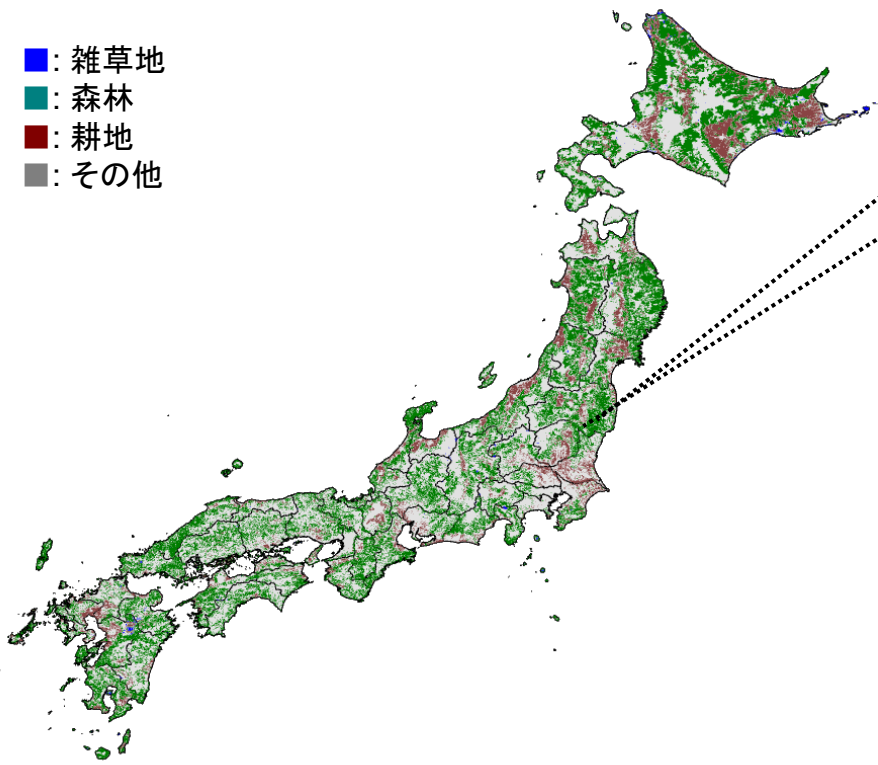
- : 雑草地
- : 森林
- : 耕地
- : その他

メッシュ



各メッシュに土地/海域利用や  
自然条件（風速・日射量）のデータを整備

| データ     | 内容            |
|---------|---------------|
| 土地・海域利用 | 森林・河川・雑草地など   |
| 自然条件    | 風速・日射量など      |
| 人口      | メッシュ内人口       |
| 法区域     | 自然公園・漁業権の有無など |
| 地形条件    | 傾斜角・水深・離岸距離など |
| 自然条件    | 風速・日射量など      |



# 他機関のモデルとの比較

各モデルに特徴がある。弊所は1つのモデル枠組みの中でサービス需要や電力時間解像度を詳細に取扱っており、電力化や再エネ大量導入、部門横断的対策等を統合的に分析できる

## 第43回および第44回基本政策分科会に試算を提供した団体<sup>[10]</sup>

|                | 弊所   | 地球環境産業<br>技術研究機構           | 国立環境<br>研究所  | 自然エネルギー<br>財団                     | デロイトトーマツ<br>コンサルティング                                |
|----------------|--|----------------------------|--|-----------------------------------|---|
| モデル            | 日本モデル  | 世界モデルに<br>日本電源構成モデル<br>を接合 | 日本の技術積上げ<br>モデルと電源モデル<br>の組合せ                          | 日本モデル                             | 日本モデル   |
| ロジック           | 費用最適化  | 費用最適化                      | 費用最適化  | 費用最適化                             | 費用最適化   |
| 日本の<br>地域解像度   | 5地域  | 世界モデル:1<br>電源構成モデル:10      | 電源モデル:10   | 9                                 | 351   |
| 技術数            | 300超   | 500                        | 600  | 150                               | N/A   |
| 需要             | サービス需要<br>(37区分)                                     | サービス需要と<br>燃料需要の組合せ        | サービス需要   | サービス需要<br>(11区分) <sup>[11]</sup>  | サービス需要  |
| 電力の<br>時間解像度   | 1時間値<br>(8760時間帯)                                    | 電源構成モデルは<br>1時間値           | 電源モデルは<br>1時間値   | 1時間値                              | 4季節×<br>4時間帯/季節<br>(16時間帯)                          |
| 太陽光・風力<br>導入上限 | 100-500mメッシュ<br>のGISデータ(日本)<br>から推計。立地制<br>約・自然環境を考慮 | 世界規模のGIS<br>データを基に<br>推計   | 環境省 <sup>[12]</sup><br>(100mメッシュの<br>GISデータ等を基に<br>推計) | 資源総合システム<br>社や環境省の推計<br>値を基に設定・検証 | 500m-1kmメッシュ<br>のGISデータ(日本)<br>から推計 <sup>[13]</sup> |

# 本モデルには限界や課題もある

- 本モデルの結果を解釈する際には次のような点に注意が必要である
- 本モデルに限らず、前提条件や分析結果には高い不確実性がある点にも留意が必要である

|                        |  |
|------------------------|--|
| 予測とは異なる                | 「将来はこうなる」という予測 (forecast) ではなく、「将来はこうすべき」という規範的 (backcast的) な特性を持つモデルである   |
| エネルギー安全保障は考慮されない       | CO <sub>2</sub> 制約およびシステム費用最小化に基づく計算であり、エネルギー安全保障 (燃料分散化やシーレーンリスクなど) は考慮されていない   |
| 完全予見に基づく               | 将来のエネルギーサービス需要やエネルギー価格、太陽光・風力発電の1時間値出力パターン、技術費用・効率等は与条件として最適化計算を行っている。これらの不確実性 (例えば、太陽光・風力出力の予測誤差、将来の気象状況変化) は考慮されていない |
| 簡易的な地域解像度              | 本モデルは日本全体を5地域分割で模擬している。再エネ資源や電力系統設備の位置情報、系統混雑、系統接続制約は十分に考慮されていない   |
| 電力系統の回転慣性は未考慮          | 非同期型電源のシェアが増加することによる慣性の低下が懸念されるが、本モデルではこれを明示的に考慮されていない   |
| 詳細な政策目標・制度的措置等は反映していない | 2050年エネルギー起源CO <sub>2</sub> ネットゼロに向けたあり方を費用最適化の観点から示すものであり、分野別の詳細政策は詳細には反映していない  |

# まとめ

IEEJ-NE\_JAPANは日本を対象とした動学的な最適化型モデルである。  
2050年ネットゼロ化に向けて、効率的なエネルギーシステム像を分析できる

本モデルの主な特徴として、次の点が挙げられる

- ① 産業・民生・運輸のエネルギーサービス需要(37区分)の考慮により、  
将来の電力化や熱の脱炭素化策を検討可能
- ② 発電部門を詳細な時間解像度(1時間値)で表現することにより、  
再エネの出力変動性やシステム統合費用を考慮
- ③ 精緻なGISデータ(100~500mメッシュ)を基に再エネ導入上限を推計。  
再エネの自然環境影響や社会的制約等をモデルに反映

他方、モデルには様々な限界もある。前提条件やモデル構造によって分析結果は変わるが、前提条件には高い確実性がある。また、モデル構造は開発者の判断に依る部分も大きい。

- ・ 将来の技術進展、社会経済構造等に応じてモデルを更新していく必要がある点には注意

前提条件やモデルの限界を踏まえて結果を解釈することが重要と思われる

- [1] 大槻貴司: “地理的・時間的解像度を詳細化した世界エネルギーシステムモデルによる低炭素化技術の導入可能性に関する研究”, 東京大学博士論文 (2019)
- [2] 大槻貴司, 小宮山涼一, 藤井康正: “発電・自動車用燃料としての水素の導入可能性: 地域細分化型世界エネルギーシステムモデルを用いた分析”, 日本エネルギー学会誌, 98巻 4号 pp.62-72, (2019) 【日本エネルギー学会 2020年度論文賞受賞】  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jie/98/4/98\\_62/article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jie/98/4/98_62/article/-char/ja/)
- [3] 大槻貴司, 小宮山涼一, 藤井康正: “詳細地域分割に基づく世界エネルギーシステムモデルの開発と低炭素システムにおけるエネルギー・CO2輸送の分析”, エネルギー・資源学会論文誌, 40巻, 5号, pp.180-195, (2019) 【エネルギー・資源学会 第16回論文賞受賞】  
[https://eneken.ieej.or.jp/about/staff/2010/otsuki\\_takashi.html](https://eneken.ieej.or.jp/about/staff/2010/otsuki_takashi.html)
- [4] 川上恭章, 松尾雄司, エネルギーシステム技術選択モデルによる GHG80%削減分析: 気象条件が技術選択や GHG 削減費用に与える影響, エネルギー・資源学会論文誌, 41巻, 3号, pp.68-76 (2020) 【エネルギー・資源学会 第17回論文賞受賞】  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjser/41/3/41\\_68/article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjser/41/3/41_68/article/-char/ja/)
- [5] 川上恭章, “低炭素エネルギーシステムにおけるエネルギー貯蔵の役割: 非同期電源比率を考慮したエネルギーシステム最適化モデルによる検討”, 電気学会論文誌B(電力・エネルギー部門誌), Vol.141, No.5, pp.326-335 (2021).  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejpes/141/5/141\\_326/article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejpes/141/5/141_326/article/-char/ja/)
- [6] H.Obane, Y.Nagai, K.Asano, Assessing land use and potential conflict in solar and onshore wind energy in Japan, Renewable Energy, Vol160, pp842-851, 2020  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148120309125>
- [7] 尾羽秀晃, 永井雄宇, 朝野賢司, 「土地利用を考慮した太陽光発電および陸上風力の導入ポテンシャル評価」, 電力中央研究所報告, Y18003, 2019  
<https://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y18003.html>
- [8] H.Obane, Y.Nagai, K.Asano, Assessing the potential areas for developing offshore wind energy in Japanese territorial waters considering national zoning and possible social conflicts, Marine Policy, Vol 129, 2021  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308597X21001251>
- [9] 尾羽秀晃, 永井雄宇, 豊永晋輔, 朝野賢司, 「再エネ海域利用法を考慮した洋上風力発電の利用対象海域に関する考察」, 社会経済研究所研究資料 Y19502, 2019  
<https://criepi.denken.or.jp/jp/serc/source/Y19502.html>
- [10] 資源エネルギー庁: “2050年シナリオ分析の結果比較”, 第45回基本政策分科会資料1, 2021
- [11] 自然エネルギー財団: “Renewable Pathways: 脱炭素の日本への自然エネルギー100%戦略”, 2021
- [12] 環境省: “再生可能エネルギー情報提供システム”, <http://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/> (2021年9月30日アクセス)
- [13] デロイトトーマツ コンサルティング: “エネルギーシミュレーションモデルのご紹介”, 2020



## IEEJ-NE\_Japanモデルのまとめ

|                |  |
|----------------|--|
| 地域・時間解像度       | 日本を5地域分割(北海道、東北、関東、西日本、九州・沖縄)。 <b>発電は1時間需給を考慮</b>  |
| 分析期間           | 2015～2050年   |
| 目的関数           | 日本全体の割引後の累積のエネルギーシステム費用  |
| 温室効果ガス         | エネルギー起源CO <sub>2</sub>   |
| 国内輸送品目         | 電力、水素、メタン、CO <sub>2</sub>  |
| 最終消費部門         | 産業(鉄鋼、セメント、化学、紙パ、その他産業)、運輸(乗用車、バス、トラック、鉄道、航空、海運)、家庭、業務。家庭と業務は用途別需要(給湯、厨房、冷房、暖房、照明その他)を考慮   |
| 技術数            | <b>300+のエネルギー供給側および需要側技術</b> をボトムアップ的にモデル化   |
| モデル化した低炭素化技術の例 | <p><b>省エネルギー</b>: エネルギー供給側および需要側で高効率設備を考慮</p> <p><b>再生可能エネルギー</b>: 地上設置太陽光、屋根設置太陽光、壁面設置太陽光、陸上風力、着床式洋上風力、浮体式洋上風力、一般水力、中小水力、地熱、バイオマス</p> <p><b>エネルギー貯蔵・ダイヤモンドレスポンス</b>: 揚水式水力、Li-ion電池、NaS電池、圧縮水素貯蔵、電気自動車の充電およびVtoG、ヒートポンプ給湯機によるダイヤモンドレスポンス</p> <p><b>原子力</b>: 軽水炉</p> <p><b>CO<sub>2</sub>回収</b>: 発電での回収、水素製造での回収、直接空気回収(DAC: 電力利用を想定)</p> <p><b>CO<sub>2</sub>利用・貯留</b>: メタン合成、液体燃料合成、国内地層貯留、海外貯留</p> <p><b>水素利用</b>: 水素専焼発電、水素直接還元製鉄、燃料電池車、燃料電池船、燃料合成(メタン等)</p> <p><b>アンモニア直接利用</b>: アンモニア専焼発電、石炭・アンモニア混焼発電、アンモニア船</p> <p><b>ネガティブエミッション</b>: DACCS、BECCS</p> |

ご清聴ありがとうございました

大槻貴司  
電力・新エネルギーユニット  
兼 計量分析ユニット 主任研究員  
takashi.otsuki@tky.ieej.or.jp