

# Deloitte.

デロイト トーマツ



## 将来の電力需給シナリオに関する技術検討

デロイト トーマツ コンサルティング 合同会社

濱崎博、大屋昌士、大久保辰哉

2023年11月30日

# 1 背景と目的

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1 | 背景と目的               |
| 2 | エネルギーシミュレーションツールの概要 |
| 3 | 前提条件                |
| 4 | シミュレーション結果          |

## 【背景・目的】

# 2050年カーボンニュートラルにおける電力需要の変動幅及び変動要因を特定する

## 背景

- 2050年カーボンニュートラルの実現に向けては、安定供給を確保しつつ、計画的に電源の脱炭素化を進める必要がある
- 他方、カーボンニュートラルに向けた電化の進展や機器効率の改善、産業構造の変化、国内水素の製造等、電力需要の上昇/低下する不確実性の高い要因が多数存在する。
- これらの電力需要の上昇/低下に係る因子がどの程度の影響を及ぼすのか明らかとなっていないため、どの程度の幅になるのか、どの要素がインパクトが大きいのか検討する必要がある。

## 目的

- 本資料では、弊社が保有するエネルギーシミュレーションツールを活用し、2040,2050年における将来の電力需給量の予測をする。
- また、分析にあたっては、現状の電力需要の変化のみならず、エネルギー全体での需給構造の変化も視野に入れた分析を行う。
- 本検討では、特に2050年カーボンニュートラル達成を目指したときの電力需要の変動に着目し、その変動要因を特定することを目的とする。

## 【検討前提】

# エネルギー自給率での感度分析を本検討では実施

## 電力需要推計に係るキーファクター

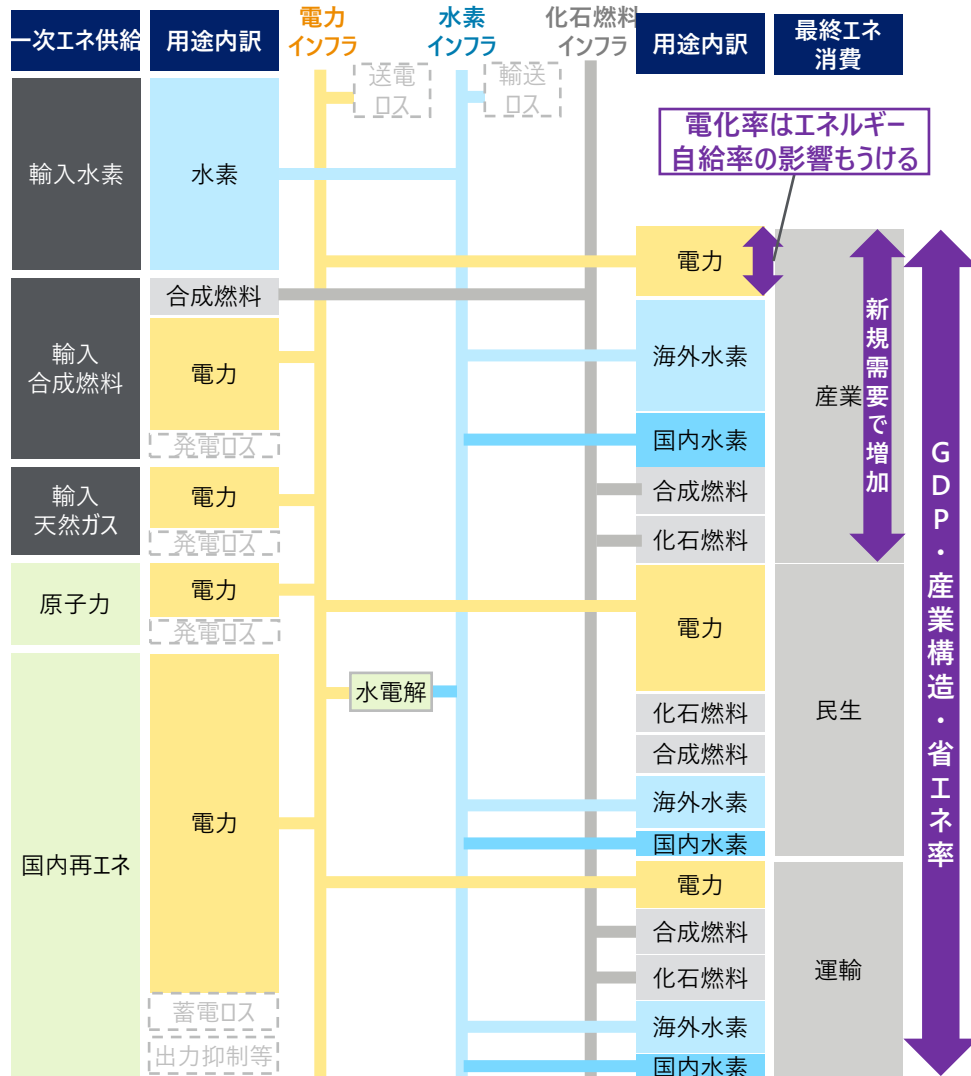
|                   |                   |   |  |
|-------------------|-------------------|---|--|
| 既存<br>エネルギー<br>需要 | 既存<br>電力需要<br>の変化 | 機器効率<br>等   | ■ 省エネ（効率改善）・行動変容等によるエネルギー需要の減少、カーブ変化                                     |
|                   |                   | マクロ環境   | ■ GDPの変化<br>➢ 産業部門：部門別生産量（産業構造）の変化<br>➢ 運輸部門：車保有台数（人口）<br>➢ 民生部門：人口（世帯数） |
|                   | 既存<br>非電力需要       | 電化  | ■ 製造プロセス等の変化に伴う電化  |
| 新規<br>エネルギー<br>需要 | 産業創出              | ■ 新規需要の創出<br>➢ 産業部門：新規需要の創出（新規産業：データセンタ、半導体工場等）<br>➢ 運輸部門：新規需要の創出（ラストワンマイルのためのドローンやグリッド等） |  |
|                   | インフラ              | ■ セクターカップリング：熱の脱炭素化及びタイムスライス毎の需給一致に向けた水素製造のための電力需要<br>■ 電力システムの増強：需給調整のための水素製造量に影響        |  |

各ファクターへの影響が大きいインフラ部分を検討することが肝要  
水素製造のための電力需要は一次エネルギー供給構造（エネルギー自給率）に大きく影響

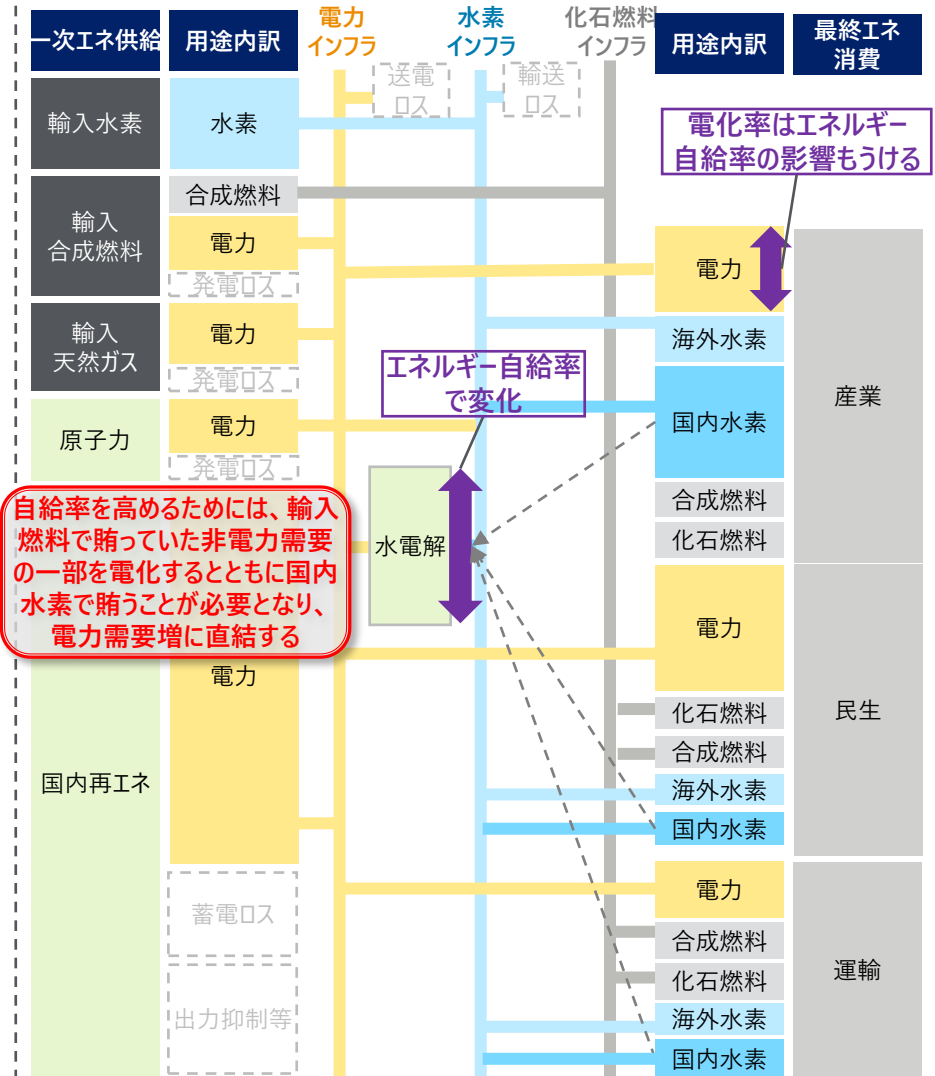
# 【検討前提】

国内エネルギー自給率により水素需要が大きく異なるため、  
まずはエネルギー自給率を感度分析し、ベースとなるシナリオを検討する

## エネルギー自給率が低い場合



## エネルギー自給率が高い場合



## 2 エネルギーシミュレーションツールの概要

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1 | 背景と目的               |
| 2 | エネルギーシミュレーションツールの概要 |
| 3 | 前提条件                |
| 4 | シミュレーション結果          |

# 【エネルギーシミュレーションツールの概要】

## IEAのETSAPで開発が進む、「TIMES」を用いた将来のエネルギー分析を行う

### エネルギーシミュレーションツールの概要

TIMES\*1  
とは

- IEA\*2のETSAP\*3で開発が進められている長期のエネルギーの在り方を分析するプログラム
- IEAや各国政府の長期エネルギーシナリオの分析において活用されている
- 将来のエネルギー需要やエネルギー供給・輸送設備の技術データ等をインプットすることにより 最も経済合理性のある技術の組み合わせ（電源構成等）を解として出力

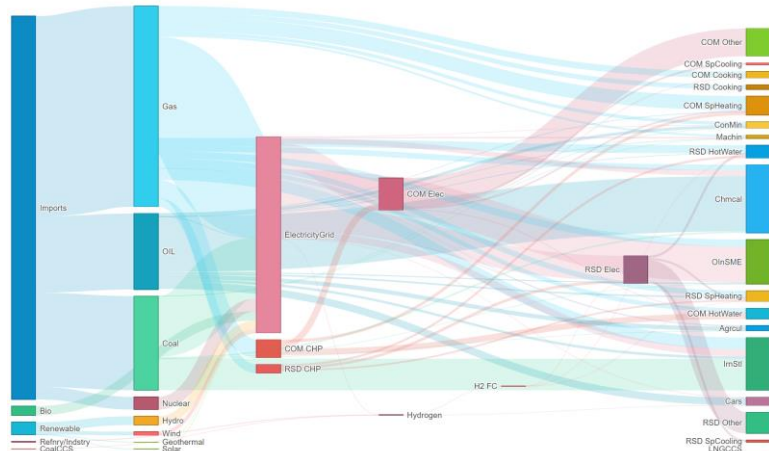
何を分析できるのか

Illustrative

- 複雑化する将来のエネルギー需給構造をコスト最小化等を目的関数にして計算することができる

【分析結果例】

一次エネルギーの供給、転換、セクターへの供給の最適解



何をインプットするのか

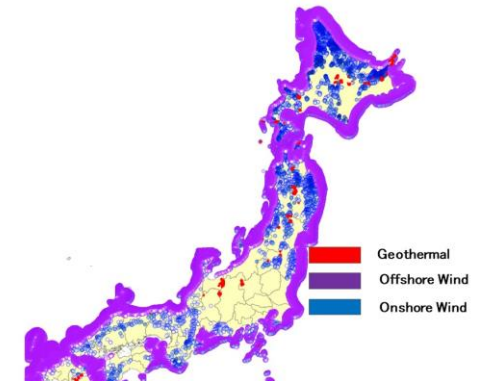
Illustrative

- エネルギーに係る様々な情報をインプット

【系統情報】



【再エネの導入可能量】



⇒その他、人口動態、発電所情報（能力、位置）等をInput

\*1 : The Integrated MARKAL EFOM System

\*2 : 国際エネルギー機関 (International Energy Agency)

\*3 : エネルギー技術システム解析プログラム (Energy Technology Systems Analysis Programme)

## 3 前提条件

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1 | 背景と目的               |
| 2 | エネルギーシミュレーションツールの概要 |
| 3 | 前提条件                |
| 4 | シミュレーション結果          |



## 【シナリオの考え方】

# 2050年カーボンニュートラルの実現を前提として、 エネルギー自給率を分岐要素としたシナリオを想定し、将来の電力需要を推計する

## 想定したシナリオ

### ■ 2050年カーボンニュートラルの実現を前提として以下の3ケースをシミュレーション

- 自給率低位ケース
  - 経済効率性の観点から、比較的安価な海外燃料を積極的に輸入するケース
- 自給率中位ケース
  - 海外燃料を輸入しつつも、自給率向上のために国内再エネを一定程度導入するケース
- 自給率高位ケース
  - エネルギー安全保障の観点から、国内再エネを積極的に導入するケース

| シナリオ名    | シミュレーション条件                              |                |
|----------|---|----------------|
|          | CO2削減目標*1                               | エネルギー自給率*2     |
| 自給率低位ケース | 2030年：46%削減（2013年比）<br>2050年：カーボンニュートラル | コスト最小化計算（制約なし） |
| 自給率中位ケース |   | 2050年：自給率40%以上 |
| 自給率高位ケース |   | 2050年：自給率60%以上 |

\*1 CO2削減目標は2030年から2050年にかけて線形的に設定（2040年では2013年比で73%削減）

\*2 エネルギー自給率の算定にあたり、再エネ（バイオマスは除く）や原子力については効率率は100%とし、発電電力量を一次エネルギー供給量に換算

## 【前提条件】

基礎的需要に対して人口やGRPの将来推移を反映するとともに、  
電化や新技術導入による電力需要の変動分はコスト最小化のもと内生的に計算

### 前提条件（電力需要）

| 種別    |        | 前提条件  | 参照元   |
|-------|--------|---|---|
| 基礎的需要 | 家庭用    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 都道府県ごとの人口推移から将来世帯数を推計</li> <li>■ 世帯数から冷暖房、給湯、厨房、動力等のエネルギー消費量を計上</li> </ul>         | 国土交通省「1kmメッシュ別将来推計人口」<br>経済社会総合研究所「県民経済計算」<br>経済産業省 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」                                     |
|       | 業務用    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 都道府県ごとのGRP推移から将来延床面積を推計</li> <li>■ 延床面積から冷暖房、給湯、厨房、動力等のエネルギー消費量を計上</li> </ul>      |   |
|       | 産業用    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 都道府県ごとのGRP推移から各サービスの将来生産量を推計</li> <li>■ 生産量から鉄鋼や化学、セメント、紙パ等のエネルギー消費量を計上</li> </ul> |   |
|       | 運輸用    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 都道府県ごとの人口推移から貨物や旅客の将来輸送量を推計</li> <li>■ 輸送量から各車両のエネルギー消費量を計上</li> </ul>             |   |
| 追加的要素 | 省エネ効率  |   | —   |
|       | 電化進展度  |   | —   |
|       | 産業構造変化 |   | —   |
|       | 自家発電動向 |   | —   |
|       | 新技術    | 水素  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 水電解装置の効率は4.3 kWh/Nm<sup>3</sup>とし、水素製造量はコスト最小化のもと内生的に計算</li> </ul> |
| CCS   |        | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 火力発電由来のCO<sub>2</sub>を貯留すると想定</li> </ul>   |   |

## 【前提条件】

# 既存発電所の情報を反映しつつ、 新設発電所の導入量はコスト最小化のもと内生的に計算

## 前提条件（電源）

| 種別   |       | 前提条件  | 参照元   |                                 |
|------|-------|---|---|---------------------------------|
| 電源   | 風力    | 陸上  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年以降：14.0~38.0万円/kW</li> <li>■ 導入量はコスト最小化の条件において内生的に計算</li> </ul>                   | 経済産業省 資源エネルギー庁「発電コスト検証WG（令和3年）」 |
|      |       | 洋上  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年以降：40.2~59.4万円/kW</li> <li>■ 導入量はコスト最小化の条件において内生的に計算</li> </ul>                   |                                 |
|      | 太陽光   | 家庭用   | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年以降：20.1~26.8万円/kW</li> <li>■ 導入量はコスト最小化の条件において内生的に計算</li> </ul>                   |                                 |
|      |       | 事業用   | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年以降：13.7~21.1万円/kW</li> <li>■ 導入量はコスト最小化の条件において内生的に計算</li> </ul>                   |                                 |
|      | バイオマス |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年以降：40万円/kW</li> <li>■ 導入量はコスト最小化の条件において内生的に計算</li> </ul>                          |                                 |
|      | 地熱    |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 現状設備より変化なし</li> </ul>  | -                               |
|      | 原子力   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 現状稼働中の12基に加えて設置変更許可済や申請中も含めた計27基が再稼働すると想定（新設なし）</li> <li>■ 寿命は60年に停止期間分を上乗せ</li> </ul> | 経済産業省 資源エネルギー庁「原子力発電所の現状」       |
|      | 揚水    |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 現状設備より変化なし</li> </ul>  | 経済産業省 資源エネルギー庁「電力調査統計」          |
|      | 火力    | 既設石炭  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 既存発電所情報（設備容量、寿命、効率等）を反映</li> </ul>   | -                               |
|      |       | 既設LNG   |   |                                 |
| 既設石油 |       |   |   |                                 |
| 新設火力 |       | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 水素火力や石炭火力、LNG火力は新設ありと想定</li> </ul> | -   |                                 |

## 【前提条件】

# 輸入燃料として化石燃料のほかにグリーン水素を想定

## 前提条件（燃料、インフラ）

| 種別 |      | 前提条件 | 参照元  |                                |
|----|------|------|--|--------------------------------|
| 燃料 | 水素   | 輸入   | ■ 2030年：30円/Nm3<br>■ 2050年：20円/Nm3           | 経済産業省「水素基本戦略」                  |
|    |      | 国内製造 | ■ 2030年以降：5.2万円/kW（アルカリ型）、6.5万円/kW（PEM型）     |                                |
|    | 化石燃料 | 石炭   | ■ 2025年：106\$/tonne<br>■ 2040年：52.5\$/tonne  | IEA「World Energy Outlook 2022」 |
|    |      | 石油   | ■ 2025年：57\$/barrel<br>■ 2040年：29.5\$/barrel |                                |
|    |      | 天然ガス | ■ 2025年：8.1\$/Mbtu<br>■ 2040年：5.5\$/Mbtu     |                                |
|    | インフラ | 系統   | ■ 一次変電所（上位から2つ目）までの変電所の系統容量を考慮<br>■ 系統拡張はなし  | OCCTO データベースおよび広域系統長期方針        |

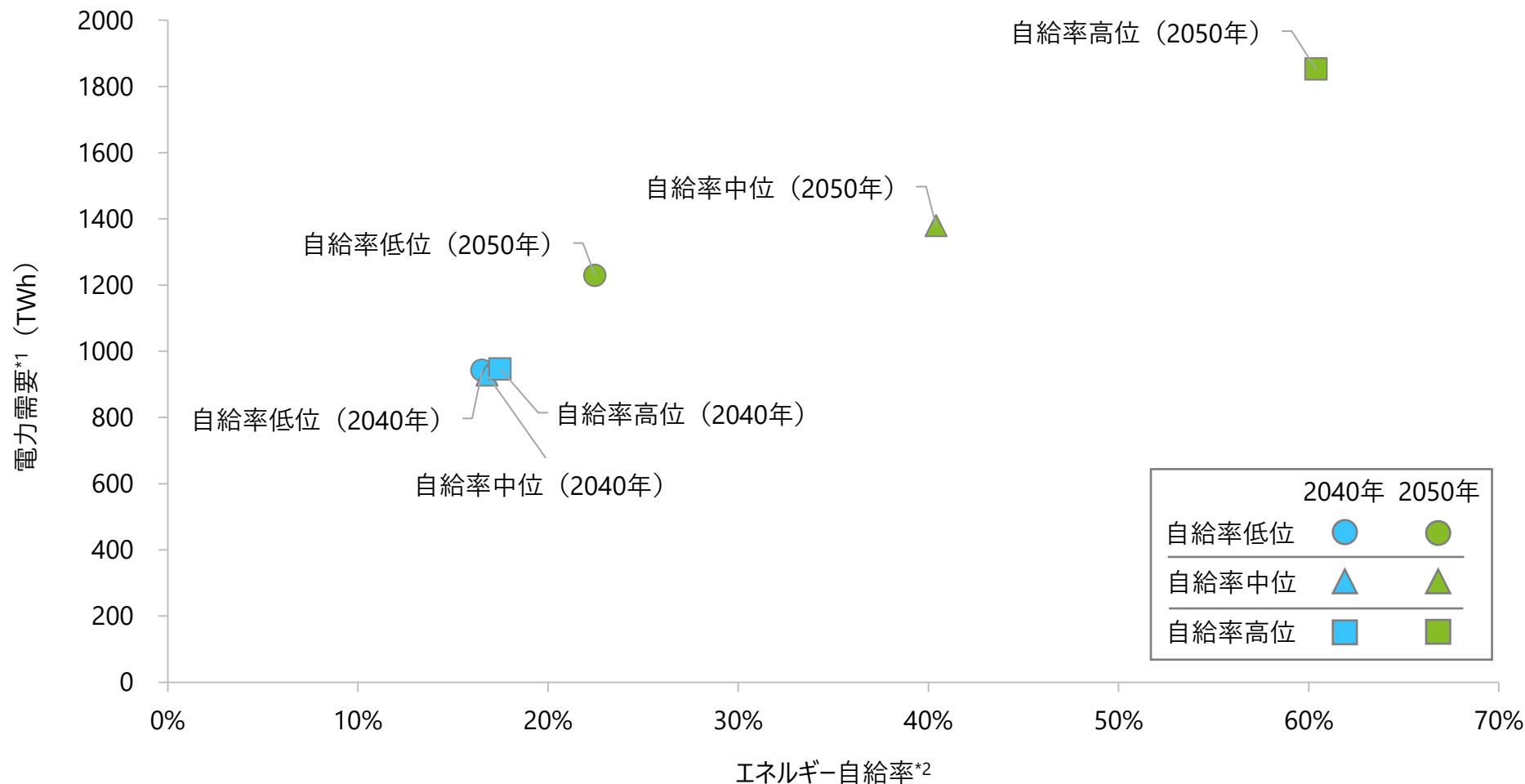
## 4 シミュレーション結果

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1 | 背景と目的               |
| 2 | エネルギーシミュレーションツールの概要 |
| 3 | 前提条件                |
| 4 | シミュレーション結果          |

## 【電力需要】

2040年の電力需要は各ケースで大きな差はないものの、  
2050年には自給率が増加するにつれて電力需要が大きく増加する

### 自給率に対する電力需要の変化



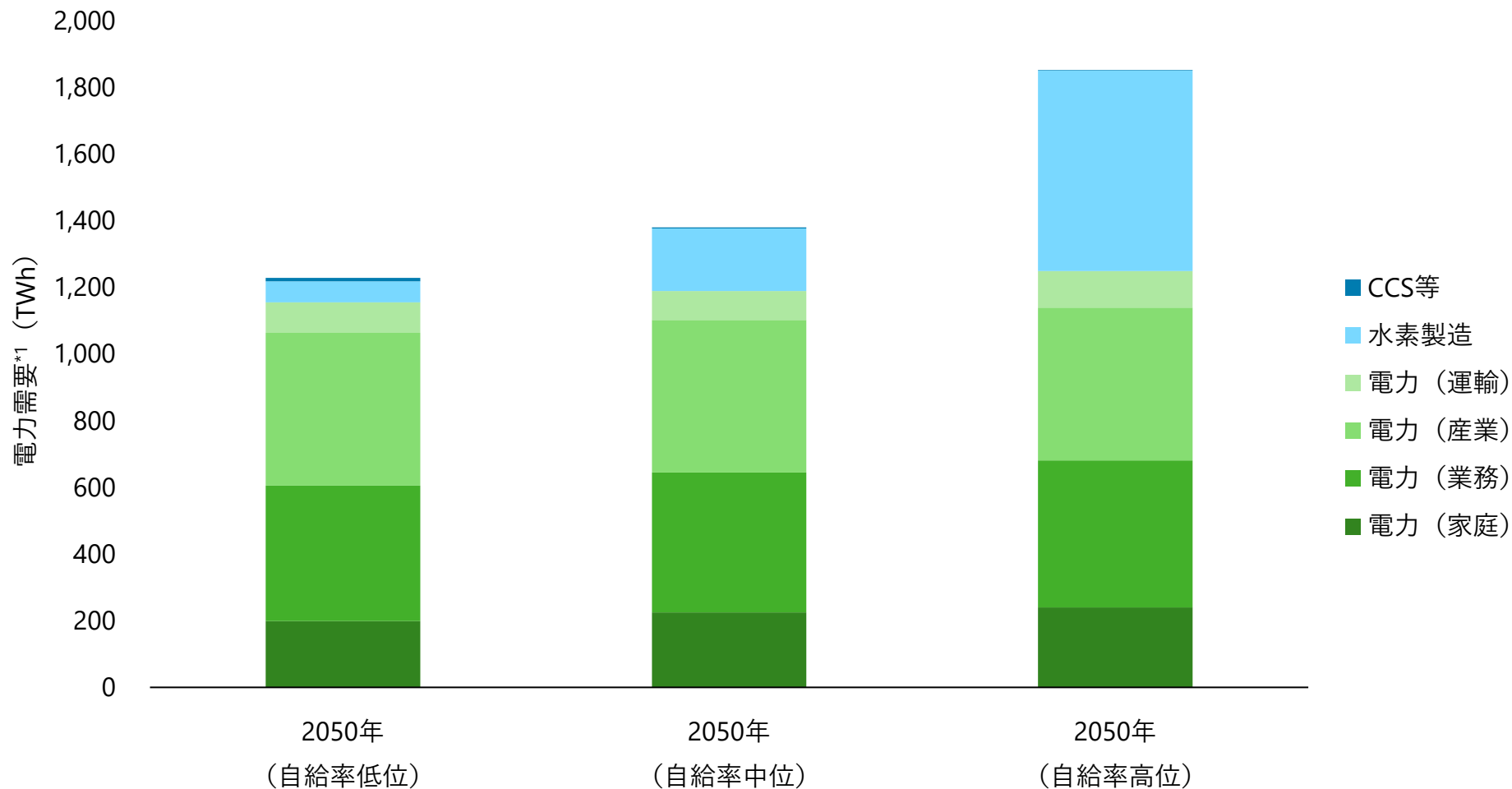
\*1 電力需要は送電端の数値を記載

\*2 エネルギー自給率の算定にあたり、再エネ（バイオマスは除く）や原子力については効率は100%とし、発電電力量を一次エネルギー供給量に換算

## 【電力需要】

自給率が高くなるにつれて各部門の電化が進むほか、水素製造による消費電力が増加

### 電力需要（2050年）

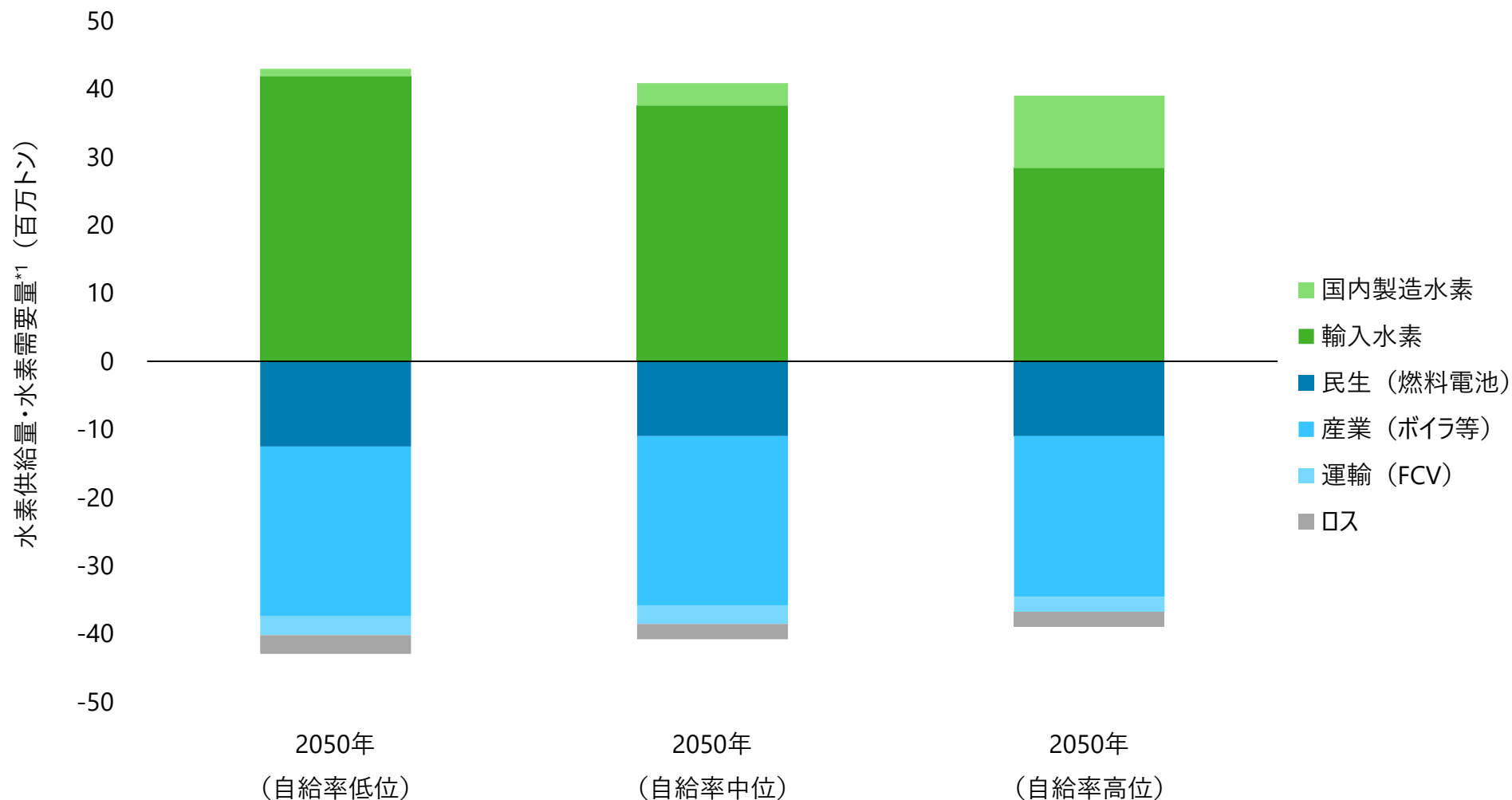


\*1 電力需要は送電端の数値を記載

## 【水素需給】

各シナリオで水素需要量に大きな差はないものの、  
自給率が高くなると海外水素の輸入を減らしつつ国内水素を導入することが必要となる

### 水素需給（2050年）



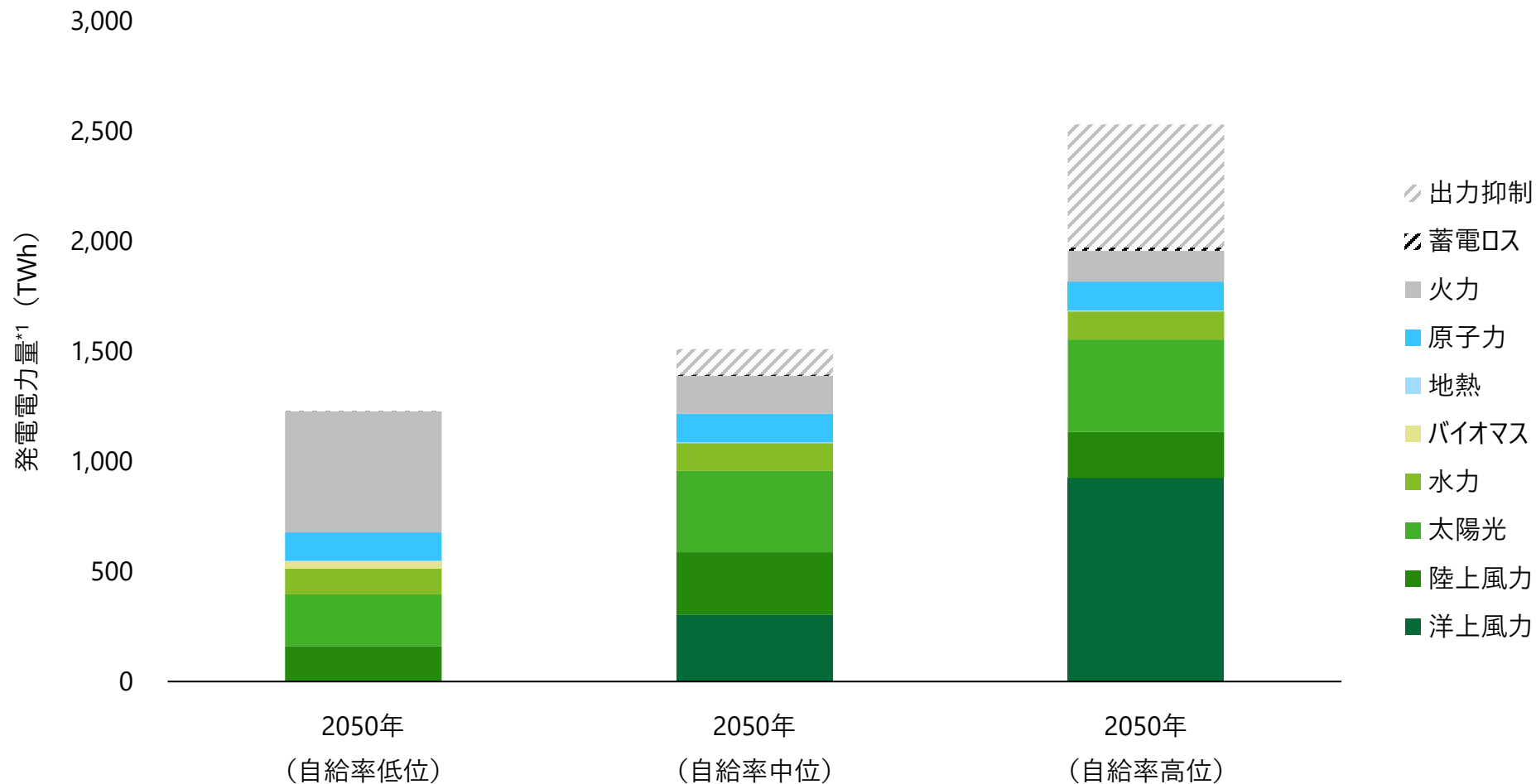
\*1 水素供給量を正の値、水素需要量を負の値として表記



## 【電源構成】

自給率が高くなると火力発電を減らしつつ再エネ導入量を増加させることが必要となる

### 電源構成（2050年）

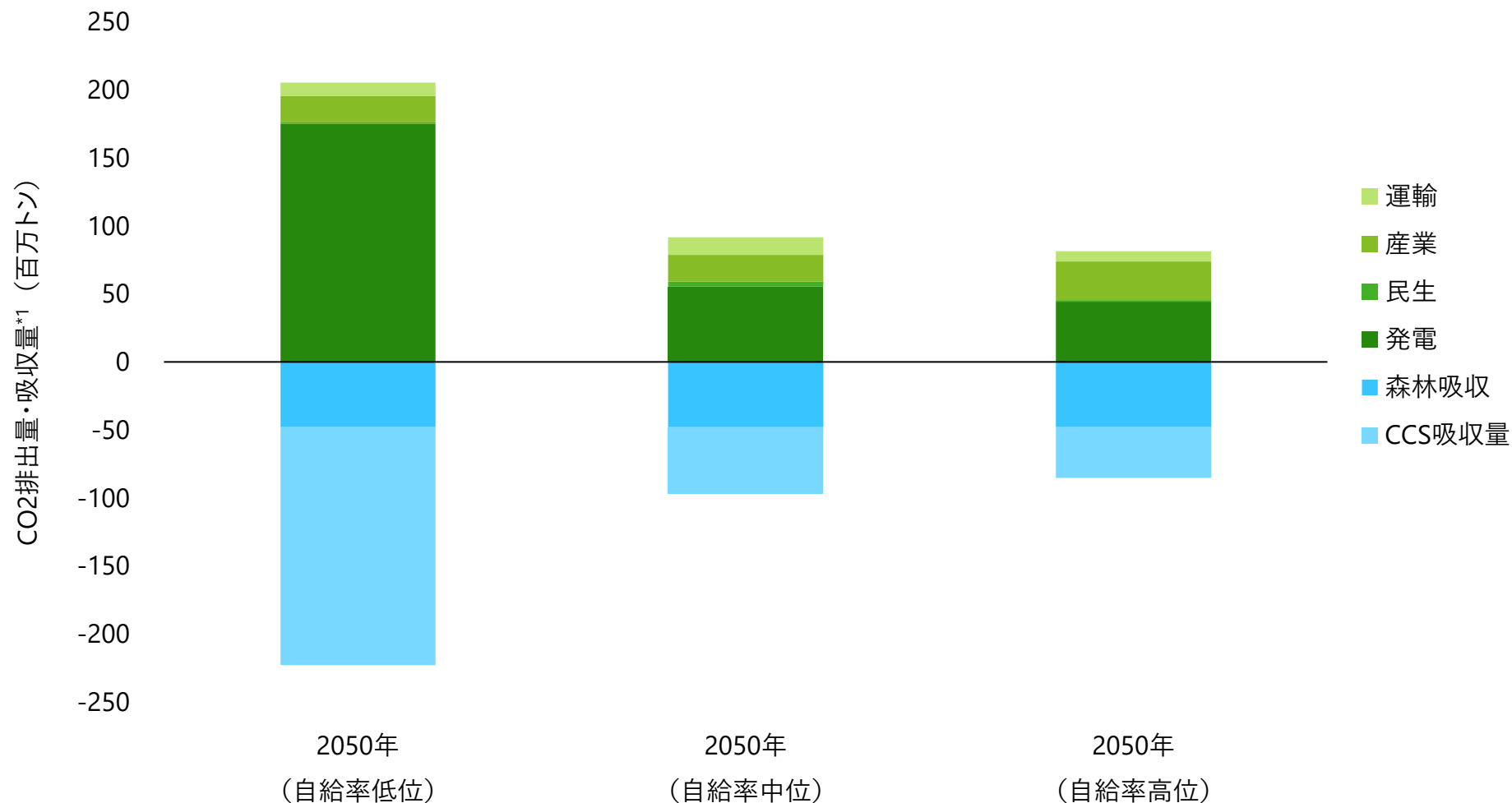


\*1 発電電力量は発電端の値を記載

## 【CO2排出量・吸収量】

自給率が高くなると化石燃料依存度が減り、CCSによるCO2貯留量が減少する

### CO2排出量・吸収量（2050年）



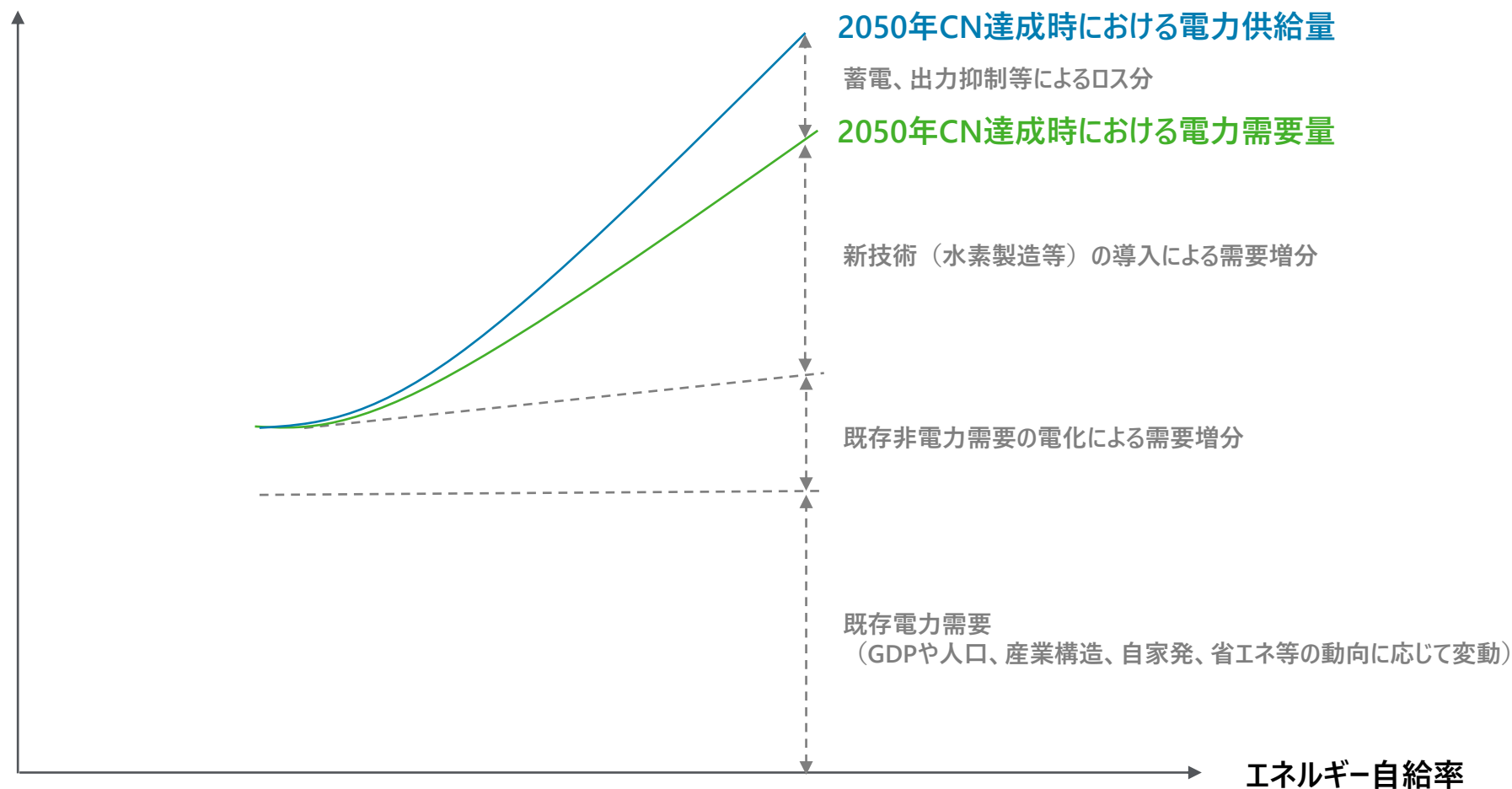
\*1 CO2排出量を正の値、CO2吸収量を負の値として表記

## 【電力需要の変動要因】

2050年カーボンニュートラル達成には既存非電力需要の電化だけでなく国内水素製造が新たに必要となり、これらが電力需要の大きな変動要因となりうる

### 電力需要の変動要因（イメージ）

電力需要量  
(電力供給量)



## まとめ

- 2050年カーボンニュートラルの実現を前提として、エネルギー自給率に対する電力需要の変動幅および変動要因を分析した
- エネルギー安全保障の観点からエネルギー自給率をどこまで高めるべきかについては電力需要や供給力も含め議論の余地があり、不確実性が存在するが、少なくとも2050年カーボンニュートラル達成には既存非電力需要の電化だけでなく国内における水素製造が新たに必要となり、これらが電力需要の大きな変動要因となりうる
- 本試算では水素製造による電力需要増加が主な要因となり、2050年電力需要は約1200 – 1800 TWhの範囲で変動した
- 他方、今回の分析では対象外としたが、既存電力需要に対する変動要素（GDPや人口、産業構造、自家発、省エネ等）が電力需要に与える影響についても今後検討することが重要となる
- 特に、データセンターや半導体工場による産業構造変化や需要の価格弾力性といった変動要素は電力需要に大きく影響すると考えられ、今後の見通しを詳細検討する必要がある