



## 将来の電力需給シナリオに関する技術検討 | 需要編

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、Lee Hyojae

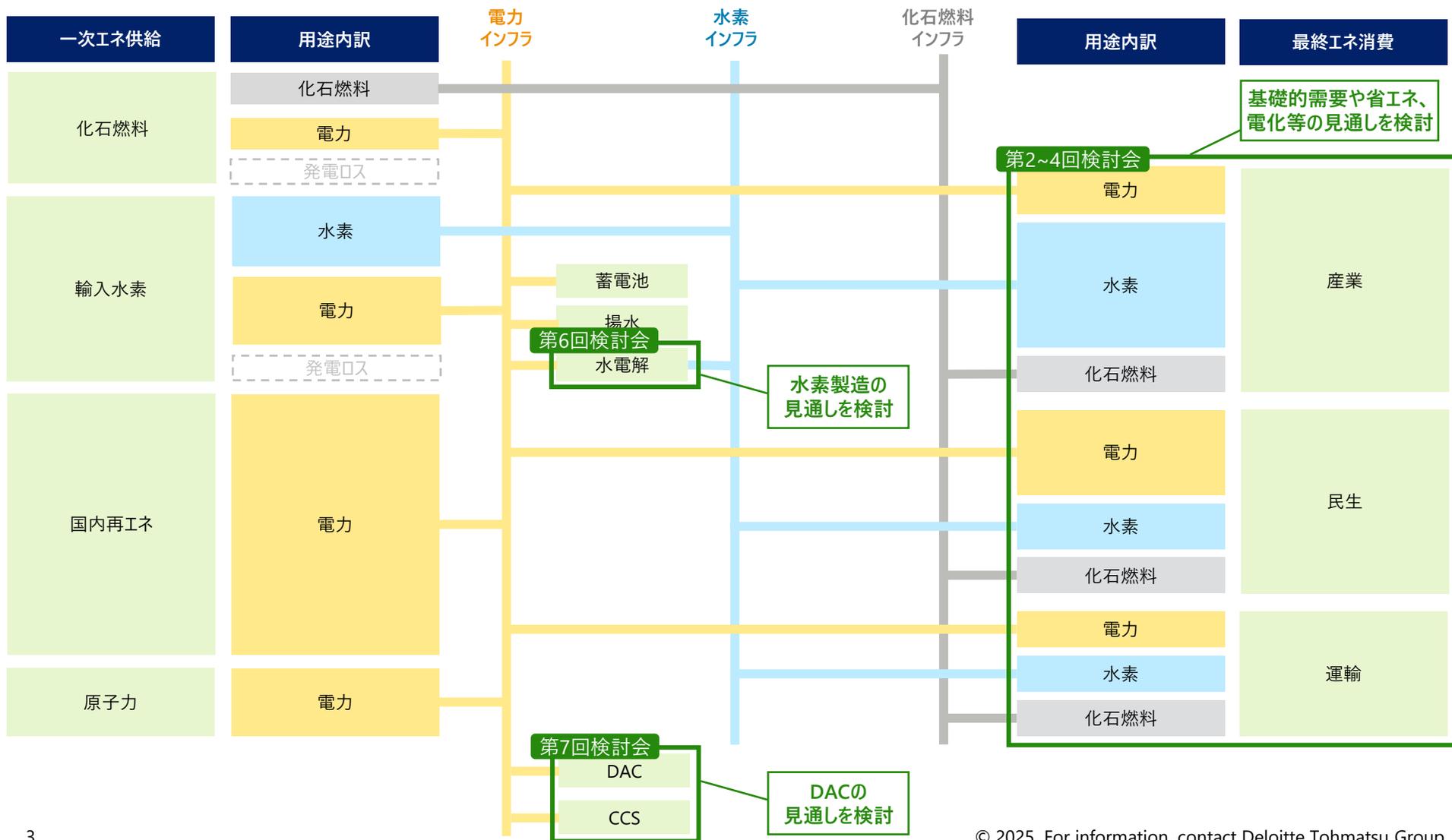
# 1 背景

1	背景
2	前提条件
3	試算結果
4	これまでの検討経緯

# 【検討背景】

## 2050年CNを前提として基礎的需要や省エネ、電化、新技術等の見通しを検討した

### これまでの検討の全体像

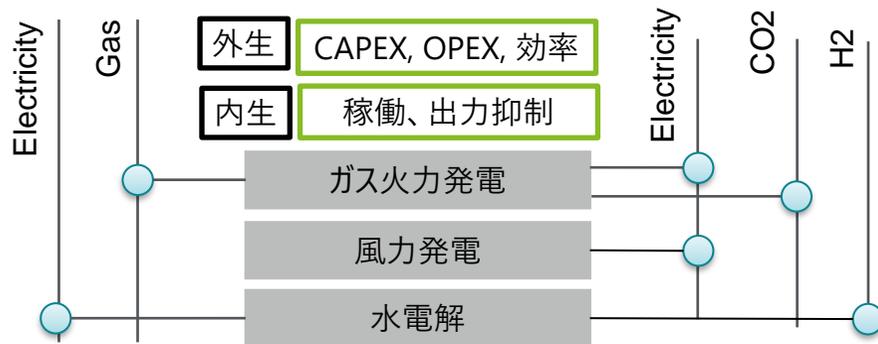


# 【モデル概要】

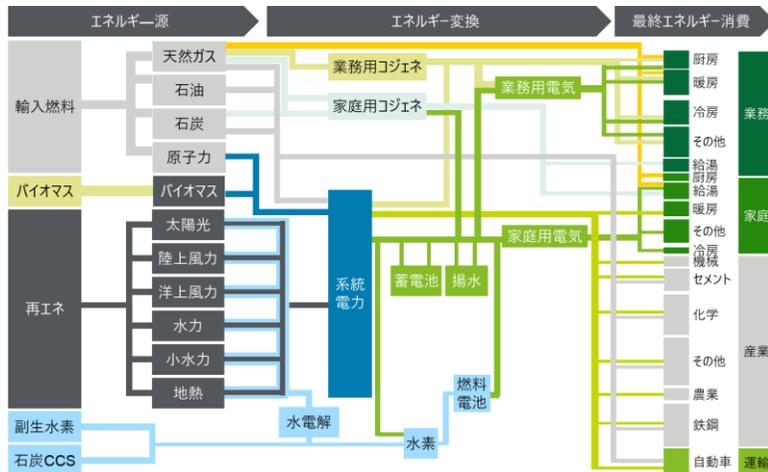
## 日本を高地域粒度で表現したモデルで将来のエネルギー需給の推計を行う

### モデル概要

技術とコモディティーの組み合わせ



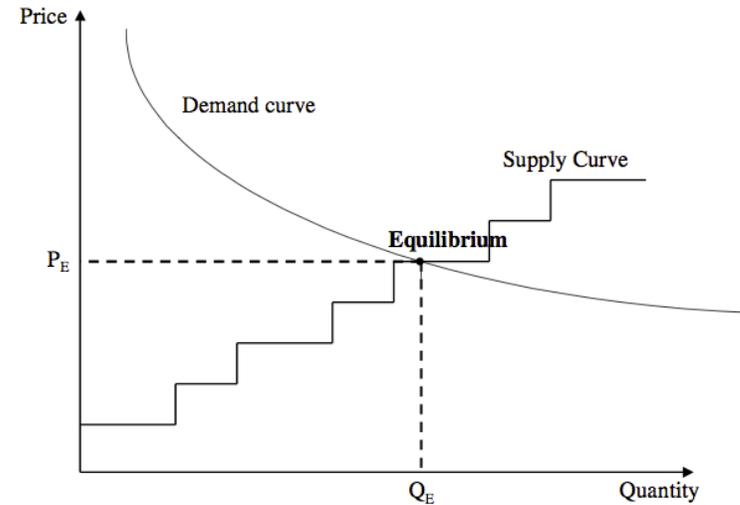
エネルギーを一つのシステムとして再現



シナリオを与え将来のエネルギーシステムを推計

- カーボンニュートラルが達成されるかどうか
- CCSがどの程度利用できるのか
- 再生可能エネルギーの価格はどこまで下がるのか

⋮



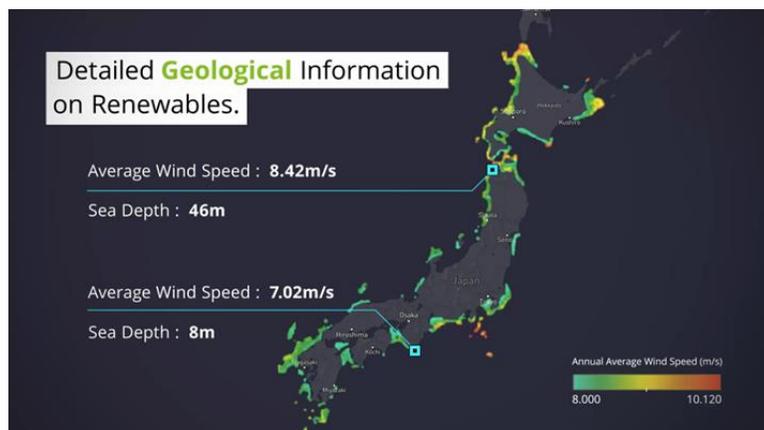
# 【モデル概要】

## 変電所単位での再エネポテンシャルに加え、多様な柔軟性メカニズムをモデルに反映した

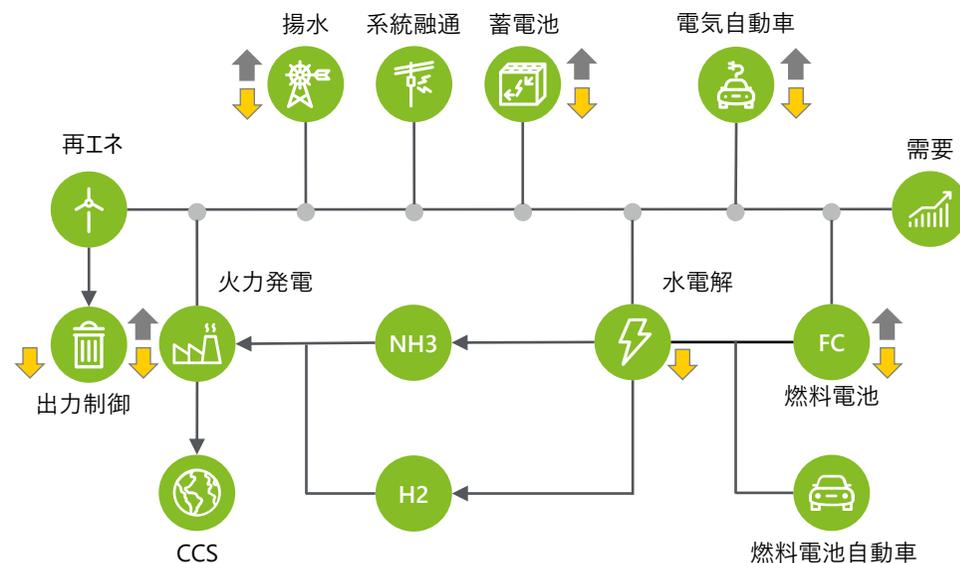
### モデル概要

GIS再エネポテンシャル情報の反映

例) 風速/水深の分布



柔軟性メカニズムの反映



↑ 発電 (上げ調整)  
↓ 充電 (下げ調整)

## 2 前提条件

1	背景
2	前提条件
3	試算結果
4	これまでの検討経緯

## 【前提条件 | シナリオの考え方】

# 2050年カーボンニュートラルを前提として将来のエネルギー需給を推計する

## 前提条件 | シナリオの考え方

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

- 原子力小ケース（再エネ大ケース）
  - CCS火力は活用されつつも原子力は現状維持となり、再エネが積極導入されるケース
- 原子力中ケース（再エネ中ケース）
  - CCS火力や原子力、再エネの導入量が小ケースと大ケースのおよそ中間値となるケース
- 原子力大ケース（再エネ小ケース）
  - CCS火力や原子力が積極的に活用され、再エネの導入はそれほど進まないケース

シナリオ名	シミュレーション条件				
	CO2削減目標*1 (2013年比)	CO2貯留量	原子力	水素*2	
				輸入水素	国内水素（水電解）
原子力小	2030年：46%削減 2050年：CN達成	2030年：0.13億トンを上限 2050年：1.80億トンを上限	2050年：13 GW	輸入量 上限なし  価格 2030年：約51円/Nm3 2050年：約37円/Nm3	価格 2030年以降：22.3万円/Nm3/h  効率（電力原単位） 2030年以降：4.3kWh/Nm3
原子力中			2050年：23 GW		
原子力大			2050年：37 GW		

\*1 CO2削減目標は鉄道や船舶、航空を除くエネルギー起源の排出源を対象

\*2 2050年断面において水素の港湾や国内輸送インフラは十分に整備されているとし、輸入した水素は内陸部の需要家に対しても比較的低コストで配送されると想定。

## 【前提条件 | 電源】

# CO2削減目標や再エネ情報、系統情報等を入力して将来のエネルギー需給を推計する

## 前提条件 | 電源

分類		前提条件	参照元
CO2	削減目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>2030年：46%削減（2013年比）</li> <li>2050年：カーボンニュートラル（森林吸収等によるCO2吸収を考慮）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境省「2021年度の温室効果ガス排出・吸収量について」</li> <li>環境省「地球温暖化対策計画」（2021年10月）</li> </ul>
	CCS貯留量	<ul style="list-style-type: none"> <li>2030年：0.13億トンを上限</li> <li>2050年：1.80億トンを上限</li> <li>回収および貯留を含めて約20000円/t-CO2の追加コストがかかると想定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>JOGMEC「先進的CCS事業の実施に係る調査」に選定した案件の概要（2023）</li> <li>経済産業省「CCS長期ロードマップ検討会 最終とりまとめ」</li> <li>RITE「CCSバリューチェーンコスト」</li> </ul>
再エネ導入可能量		<ul style="list-style-type: none"> <li>CO2削減目標に合わせてコスト最小化計算</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境省や経済産業省の日射量・風況データに基づく</li> </ul>
再エネコスト	住宅太陽光	<ul style="list-style-type: none"> <li>2030年以降：20.1～26.8万円/kW（発電コスト約9.8円/kWh）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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4月）</li> </ul>
	非住宅太陽光	<ul style="list-style-type: none"> <li>2030年以降：13.7～21.1万円/kW（発電コスト約7.3円/kWh）</li> </ul>	
	洋上風力	<ul style="list-style-type: none"> <li>2030年以降：40.2～59.4万円/kW（発電コスト約10.0円/kWh）</li> </ul>	
	陸上風力	<ul style="list-style-type: none"> <li>2030年以降：14.0～38.0万円/kW（発電コスト約5.2円/kWh）</li> </ul>	
火力+CCS		<ul style="list-style-type: none"> <li>現在稼働中（および計画済）のものは経年45年で廃止されると想定</li> <li>CCS石炭火力、CCSガス火力、アンモニア発電、水素発電の新設を考慮</li> </ul>	-

## 【前提条件 | 燃料、インフラ】

# CO2削減目標や再エネ情報、系統情報等を入力して将来のエネルギー需給を推計する

## 前提条件 | 燃料、インフラ

分類		前提条件	参照元
化石燃料	石炭	■ 2010~2019年の輸入価格の平均値：124 USD/tonne	■ 財務省「貿易統計」
	原油	■ 2010~2019年の輸入価格の平均値：80 USD/barrel	
	天然ガス	■ 2010~2019年の輸入価格の平均値：12 USD/Mbtu	
国内水素	アルカリ水電解	■ 2030年以降：初期費用22.3万円/Nm3/h、エネルギー消費量4.3kWh/Nm3	■ 経済産業省「水素基本戦略」 ■ 経済産業省「2050年CNに伴うグリーン成長戦略」
	PEM水電解	■ 2030年以降：初期費用29万円/Nm3/h、エネルギー消費量4.5kWh/Nm3	
輸入水素		■ 2030年：36 USD/GJ（約51円/Nm3-H2） ■ 2050年：26 USD/GJ（約37円/Nm3-H2）	■ IEA (2023) 「World Energy Outlook 2023」 ■ NEDO (2017) 「水素利用等船頭研究開発事業 エネルギーキャリアシステム調査・研究」
輸入アンモニア		■ 2030年：34 USD/GJ ■ 2050年：25 USD/GJ	
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 ■ 「広域連系系統のマスタープラン」の増強計画に準拠し、それ以上の系統拡充なしと想定	■ OCCTOデータベースおよび広域系統長期方針
	蓄電池	■ 2030年：約13.4万円/kW ■ 2040年：約11.2万円/kW ■ 2050年：約9.1万円/kW	■ NREL 「Annual Technology Baseline」
	電気自動車	■ スマートチャージングあり	—
	揚水発電	■ 各発電所が現状の設備利用率（約3%）以下で稼働すると想定	■ 経済産業省 資源エネルギー庁「電力調査統計」

## 【前提条件 | 基礎的需要】

# 基礎的需要の前提条件は以下の通り

## 前提条件 | 基礎的需要

需要種別		概要	算定方法
基礎的需要	家庭用	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 単位人口あたりkWh：2.00TWh/百万人（2019年度実績値）</li> <li>■ 人口：2040年113百万人、2050年105百万人（社人研出生中位・死亡中位）</li> </ul>	人口 × 単位人口あたりkWh
	業務用	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 業務床面積：2040年2155百万m<sup>2</sup>、2050年2279百万m<sup>2</sup> （2012~2019年の年平均変化率+0.56%/年が2050年まで継続すると想定）</li> <li>■ 単位業務床面積あたりkWh：0.17TWh/百万m<sup>2</sup>（2019年度実績値）</li> </ul>	業務床面積 × 単位業務床面積あたりkWh
	産業用（鉄鋼）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 粗鋼生産量：2040年89mt、2050年84mt （社会における鉄利用が飽和し、粗鋼生産量は減少すると想定）</li> <li>■ 粗鋼生産量あたりkWh：0.77TWh/mt（2019年度実績値）</li> </ul>	粗鋼生産量 × 単位粗鋼生産量あたりkWh
	産業用（化学）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ オレフィン生産量：2040年9.6mt、2050年8.0mt （国内の化学製品需要が減少し、原料となるオレフィン生産量も減少すると想定）</li> <li>■ 単位オレフィン生産量あたりkWh：2.5TWh/mt（2019年度実績値）</li> </ul>	オレフィン生産量 × 単位オレフィン生産量あたりkWh
	産業用（その他）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 鋳工業指数：2040年103、2050年104（2019年の鋳工業指数を100とする） （2012~2019年の年間平均変化率+0.14%/年が2050年まで継続すると想定）</li> <li>■ 単位鋳工業指数あたりkWh：3.4TWh/IIP（2019年度実績値）</li> </ul>	鋳工業指数 × 単位鋳工業指数あたりkWh
	運輸用（自動車）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 電気自動車の2019年度電力需要はほぼ0であり、基礎的需要としては計上せず （電気自動車による電力需要増分は電化分として計上）</li> </ul>	-
	運輸用（自動車以外）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 電車の2019年度電力需要17TWhを基礎的需要として計上</li> </ul>	-

## 【前提条件 | 省エネ、自家消費、電化】

# 省エネや自家消費、電化の前提条件は以下の通り

## 前提条件 | 省エネ、自家消費、電化

需要種別		概要	算定方法
追加的要素	省エネ（家庭）	■ 単位人口あたりエネルギー消費量： 1990~2019年の年間平均変化率-0.72%/年が2050年まで継続すると想定	-
	省エネ（業務）	■ 単位業務床面積あたりエネルギー消費量： 1990~2019年の年間平均変化率-0.69%/年が2050年まで継続すると想定	-
	省エネ（産業）	■ 単位鉱工業指数あたりエネルギー消費量： 1990~2019年の年間平均変化率-0.24%/年が2050年まで継続すると想定	-
	自家消費（民生）	■ 太陽光発電と燃料電池の自家消費を想定	自家消費量はコスト最小化のもと内生的に計算
	自家消費（産業）	■ 「自家発動向」を参照	-
	電化（民生）	■ 給湯や空調、調理における電化を想定 （給湯用および空調用ヒートポンプのCOPを3.0に設定）	電化による需要増分はコスト最小化のもと内生的に計算
	電化（産業）	■ 化石燃料ボイラの電化を想定 （産業用ヒートポンプのCOPを3.0に設定）	
	電化（運輸）	■ 電気自動車を想定	

## 【前提条件 | 産業構造変化、自家発動向】

# 産業構造変化や自家発動向の前提条件は以下の通り

## 前提条件 | 産業構造変化、自家発動向

需要種別		概要	算定方法
産業構造変化	データセンター	■ データセンターの増設によって消費電力が増加すると想定	-
	ネットワーク	■ 5G基地局の整備が進み、ネットワークの消費電力が増加すると想定	-
	半導体工場	■ 半導体産業の規模拡大によって消費電力が増加すると想定	-
	鉄鋼業	■ 鉄鋼業では粗鋼生産量は減少するものの、スクラップ鉄電炉や水素直接還元製鉄の導入が進み、消費電力が増加すると想定	-
	化学工業	■ 化学工業ではオレフィン生産規模は縮小するものの、メタノールからのオレフィン製造が進み、消費電力が増加すると想定	-
	自動車産業	■ 電気自動車製造が進み、自動車産業の消費電力が増加すると想定	-
	工業炉	■ 600-1000度の燃焼加熱の一部が電気加熱に転換し、消費電力が増加すると想定	-
自家発動向		■ セメントや製紙、繊維工業は自家発電設備は現状維持されるものの、鉄鋼や化学を除くその他産業はカーボンニュートラルに向けて化石燃料由来の自家発電設備が廃止され、全て系統電力に置き換わると想定	-

# 【前提条件 | データセンター】

## データセンターの消費電力は現状から2050年にかけて約96TWh増加すると想定した

### 前提条件 | データセンター

#### 概要

- JSTではサーバー、ストレージ、スイッチ、その他動力ごとに消費電力を推計し、データセンターの消費電力を推計
- 2018年には14TWh、2050年には12000TWh (“As-is”)、500TWh (“Modest”)、110TWh (“Optimistic”)
- 本検討では “Optimistic” のケースを採用し、データセンター消費電力は現状から約96TWh増加すると想定

#### データセンター消費電力の内訳

表 7 国内データセンター消費電力推定 (TWh)

		Japan								
		Year	2030			2050			2050	
		2018	As is	Modest	Optimistic	As is	Modest	Optimistic	As is	Optimistic
IP traffic		ZB	0.7	11	11	11	1,400	1,400	1,400	1,400
power consumptions of data centers		TWh	14	90	24	6	12,000	500	110	110
power consumptions of servers										
	basic task	TWh	6	30	13	3	3,500	229	39	39
	AI task	TWh	0.7	16	4	1	3,000	97	14	14
	total	TWh	7	46	17	5	6,500	330	50	50
CPUs										
	basic task	TWh	4	20	7	2	2,200	75	24	24
	AI task	TWh	0.5	12	3	1	2,300	37	8	8
	total	TWh	4	32	10	2	4,500	110	30	30
memories										
	basic task	TWh	1	7	4	1	890	116	9	9
	AI task	TWh	0.1	2	1	0	340	44	3	3
	total	TWh	1	9	4	2	1,200	160	12	12
power supply etc										
	basic task	TWh	1	3	2	1	410	38	7	7
	AI task	TWh	0.1	2	1	0	400	16	2	2
	total	TWh	1	5	3	1	810	54	9	9
power consumptions of storages		TWh	2	29	3	1	3,700	110	40	40
power consumptions of switches		TWh	0.1	1	1	0	70	9	1	1
power supply, cooling, etc		TWh	5	11	4	1	1,500	90	20	20
Assumed power consumption efficiency										
	CPU		1	1	0.5	0.1	1	0.13	0.05	0.05
	accelerators(GPU etc)		1	1	0.2	0.05	1	0.01	0.001	0.001
	memories		1	1	0.5	0.2	1	0.13	0.01	0.01
	storages		1	1	0.1	0.03	1	0.03	0.01	0.01
	switches		1	1	0.5	0.2	1	0.13	0.008	0.008

#### データセンター消費電力の推移

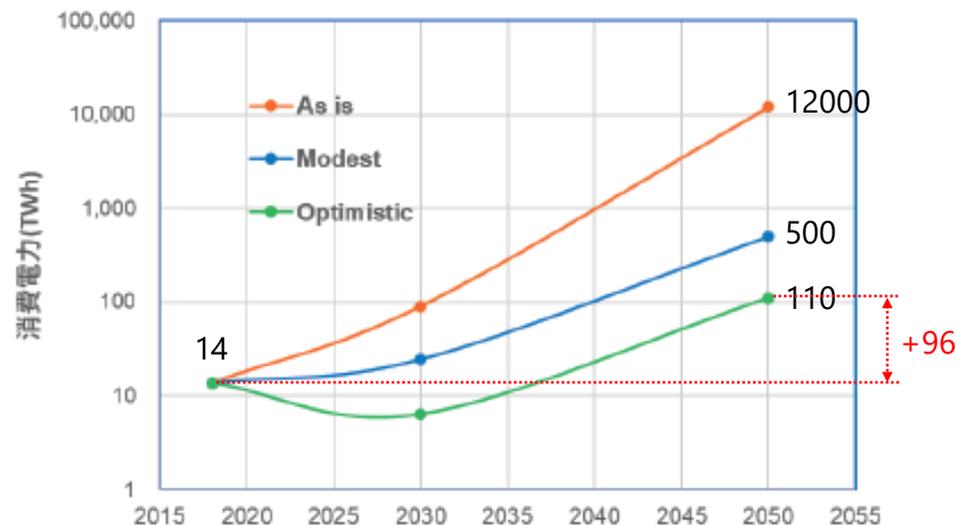


図 12 国内データセンター消費電力推定 (TWh)

# 【前提条件 | ネットワーク】

## 5G基地局の整備等が進み、

## ネットワークの消費電力は現状から2050年にかけて約13TWh増加すると想定した

### 前提条件 | ネットワーク

#### 概要

- 総務省では2030年に5G基地局を約60万局整備することを目標としている
- 本検討では3Gや4G等の基地局が2050年には撤退し、5G基地局のみとなることを想定し、現状から約13TWh増加すると想定

### 基地局数の見通し

### 消費電力の推計

**(2) ワイヤレス・IoTインフラ (5G等)**

**整備方針** 注：数値目標は4者重ね合わせにより達成する数値。

**第1フェーズ 基盤展開**

- ① 全ての居住地で4Gを利用可能な状態を実現  
(4Gエリア外人口 2021年度末0.6万人→2023年度末0人)
- ② ニーズのあるほぼ全てのエリアに、5G展開の基盤となる親局の全国展開を実現 (ニーズに即応が可能) (5G基盤展開率 2021年度末43.7%→2023年度末98%)
- ③ 5G人口カバー率  
【2023年度末】  
全国**95%** (2021年度末実績:93.2%)  
全市区町村に5G基地局を整備 (合計28万局)

**第2フェーズ 地方展開**

- ④ 道路カバー率 (高速道路・国道)  
※国民の利便性向上及び安全・安心の確保の観点から追加  
【2030年度末】 **99%** (2021年度末実績:95%程度)  
高速道路については**100%**

- 国内外におけるOpen RANの普及促進
- 自然災害や通信障害等の非常時における事業者間ローミングの実現
- ローカル5G等の地域のデジタル基盤の整備・活用の一体的推進

**具体的施策**

- ① 新たな5G周波数の割当て
- ② 制度整備 (5G中継局等)、支援措置 (補助金、税制)、Japan OTICの機能強化
- ③ インフラシェアリングの推進 (補助金要件優遇、基地局設置可能な施設のDB化)
- ④ 地域協議会の開催によるデジタル実装とインフラ整備のマッチングの推進
- ⑤ 早期の社会実装が期待される自動運転やドローンを活用したプロジェクトとの連動

項目	現状 (2019年)		2050年		単位
	3G・4G等	5G	3G・4G等	5G	
基地局数	107	2	0	60	万局
基地局あたり消費電力*1	0.9	3.8	-	3.8	kW/局
電力消費量*2 (基地局)	8.7	0.7	-	19.7	TWh
電力消費量*3 (その他)	1.9	0.2	-	4.4	TWh
合計	10.6	0.9	-	24.1	TWh

+12.6TWh

\*1 中国通信「広州市・深セン市 5G基地局消費エネルギーの実証実験データ」を参考に設定

\*2 稼働率100%として算出

\*3 JST (2024)「情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響 (Vol.5)」にて報告されている基地局 (アクセスネットワーク) とその他 (コア・メトロネットワーク) の比率を基に電力消費量を推計

## 【前提条件 | 半導体工場】

半導体産業の規模拡大によって、  
半導体工場の消費電力は現状から2050年にかけて約17TWh増加すると想定した

## 前提条件 | 半導体工場

### 概要

- 近年の半導体産業の拡大によってシリコンウエハの生産量は増加傾向にある
- 生産効率向上のため、特に長直径シリコンウエハの生産量が大きく増加している
- 本検討ではシリコンウエハの直径ごとに過去トレンドに基づき生産量を推計し、省エネによって電力原単位も減少することを踏まえ、半導体産業の消費電力は現状から約16.6TWh増加すると想定

項目	現状 (2019年)				2050年				単位	
	直径 125mm以下	直径 150mm	直径 200mm	直径 300mm以上	直径 125mm以下	直径 150mm	直径 200mm	直径 300mm以上		
シリコンウエハ 生産量*	298	961	2092	4200	0	904	4069	12306	万枚	
電力原単位**	0.0027				0.0021				TWh/万枚	
電力消費量	0.8	2.6	5.6	11.2	→	0	1.9	8.7	26.2	TWh

+16.6TWh

\* 経済産業省「生産動態統計年報」の2012~2018年のトレンドを基に各直径のシリコンウエハ生産量が2050年まで推移すると想定。ただし、直径125mm以下のシリコンウエハは縮小傾向にあり、2050年は生産されないと想定。

\*\* 2012~2018年のトレンド (-0.9%/年) で省エネが進み、足元の電力原単位が2050年まで減少すると想定。

## 【前提条件 | 鉄鋼業】

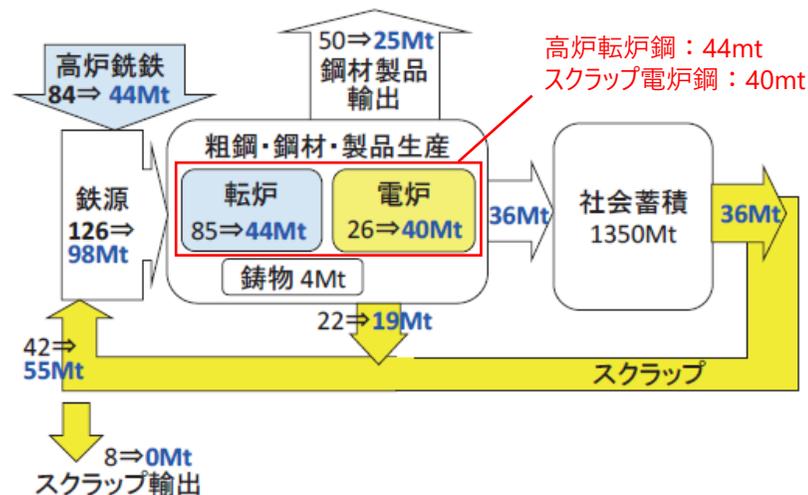
鉄鋼業では粗鋼生産量は減少するものの、スクラップ鉄電炉のほか水素直接還元製鉄の導入が進み、鉄鋼業の消費電力は現状から2050年にかけて約7TWh増加すると想定した

## 前提条件 | 鉄鋼業

### 概要

- JSTでは社会における鉄利用が飽和に達するとし、粗鋼生産量（高炉転炉鋼 + スクラップ電炉鋼）は約84mtになると想定
- 本検討では粗鋼生産規模は2019年から2050年にかけて縮小する（98mt → 84mt）と想定した
- 他方、2050年には電炉と水素直接還元製鉄の導入が進み、鉄鋼業の消費電力は現状から約7TWh増加すると想定

### 粗鋼生産量の見通し



- ・鉄の社会での年間新規利用量（流入量、36Mt）は2014年度数値と同じとした。
- ・社会蓄積からの回収量 36Mt は流入量と同じと仮定し、社会における鉄利用が飽和に達した状態とした。
- ・スクラップを輸出せず、国内で全て利用するとした。
- ・鋼材と鉄鋼利用製品の輸出量が半減するとした。

### 消費電力の推計

項目	現状（2019年）			2050年			単位
	高炉転炉	スクラップ電炉	水素直接還元製鉄	高炉転炉	スクラップ電炉	水素直接還元製鉄	
粗鋼生産量	75	23	0	0	40	44	mt
電力原単位*	1.6	2.1	-	-	2.1	2.5	PJ/mt
電力消費量	120	48	-	-	84	110	PJ

+26PJ (7.2TWh)

## 【前提条件 | 化学工業】

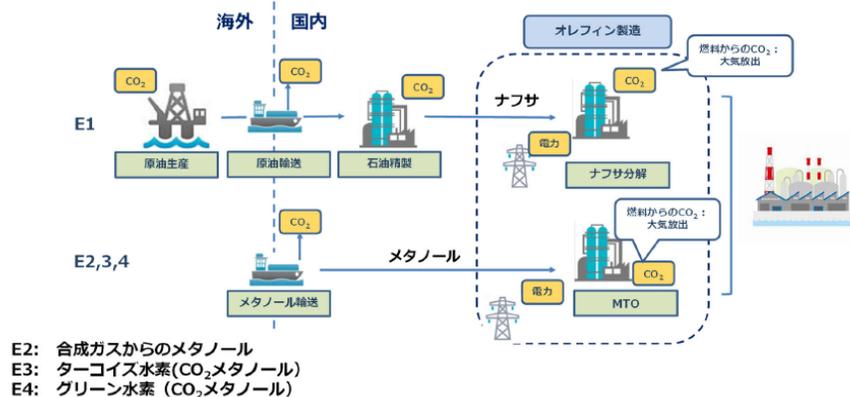
化学工業ではオレフィン生産規模は縮小するものの、メタノールからのオレフィン製造が進み、化学工業の消費電力は現状から2050年にかけて約0.6TWh増加すると想定した

## 前提条件 | 化学工業

### 概要

- 石油化学工業においてはグリーンメタノールを用いたオレフィン製造が今後進むと見込まれる
- 本検討ではオレフィン生産量が2019年から2050年にかけて縮小（-1.51%/年）すると想定
- 現状のナフサ分解によるオレフィン製造プロセスの一部が、グリーンメタノールからのオレフィン製造（Methanol to Olefin: MTO）に置き換わったときの消費電力の増加分を簡易的に推計し、現状から約0.6TWh増加すると想定

### グリーンメタノールを用いたオレフィン製造



### 消費電力の推計

項目	現状（2019年）		2050年		単位
	石油精製 + ナフサ分解	メタノール製造 + MTO	石油精製 + ナフサ分解	メタノール製造 + MTO	
オレフィン 生産量*	12.8	0	5.8	2.2	mt
電力原単位**	0.020	-	0.020	0.084	PJ-elec/PJ
電力消費量	12.6	-	5.7	9.1	PJ-elec

+2.2PJ (0.6TWh)

\* 経産省「新・素材産業ビジョン 中間整理」ではエチレン生産量が現状から400万トンまで減少すると見込まれており、オレフィン生産量も同等の減少率（-1.5%/年）で将来推移すると想定。また、グリーンイノベーション基金「CO2等を用いたプラスチック原料製造技術開発」におけるメタノールからの基礎化学品製造量の2050年想定値を参照し、MTOによるオレフィン生産量を2050年に220万トン/年と想定。

\*\* ナフサ分解: Tao Ren et al., *Energy*, 2006, 31, 425-451  
メタノール製造: Bruno Lacerda de Oliveria Campos et al., *Process*, 2022, 10, 1535  
MTO: Yih-Hang Chen et al., *Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2022, 130, 103893

# 【前提条件 | 自動車産業 (1/2)】

## 従来自動車と電気自動車を1台製造するために必要な消費電力をそれぞれ推計した

### 前提条件 | 自動車産業 (1/2)

#### 概要

- 米国調査研究では従来自動車と電気自動車を1台製造するために必要なエネルギーをそれぞれ約33400, 50700 MJ/台と試算
- 同調査研究では自動車製造における電力消費量はエネルギー消費量の約50%を占めるとも報告
- 以上から、本検討では従来自動車と電気自動車の製造時の電力消費量をそれぞれ約16700, 25400 MJ/台と想定

### 自動車製造時のエネルギー消費量

TABLE 8 E<sub>vm</sub> and C<sub>vm</sub> Results for a Series of Vehicles

Vehicle	ICV	ICV <sup>a</sup>	HEV <sup>a</sup>	PHEV-20 <sup>b</sup>	PHEV-40 <sup>b</sup>	EV <sup>b</sup>
Data source	USAMP	Argonne	Argonne	Argonne	Argonne	Argonne
% by wt. covered by model	92.8	95.2	95.2	93.4	92.2	89.3
% by wt. from advanced battery	0	0	0.6	2.3	4.18	6.6
Vehicle mass (kg)	1,532	1,578	1,683	1,746	1,959	2,104
E <sub>vm</sub> (MJ)						
From model	33,920	33,358	32,886	33,712	36,766	38,094
From advanced battery <sup>c</sup>	0	0	1,060	3,654	7,452	12,637
Total	33,920	33,358	33,946	37,366	44,218	50,731
C <sub>vm</sub> (kg)						
From model	2,011	1,969	1,949	1,995	2,165	2,244
From advanced battery	0	0	84	289	590	1,000
Total	2,011	1,969	2,033	2,284	2,755	3,244

<sup>a</sup> Vehicles from Burnham et al., 2006

<sup>b</sup> Based on Burnham et al., 2006 and simulations from Argonne's Powertrain System Analysis Toolkit

<sup>c</sup> Based on Rydh and Sanden, 2005

### 自動車製造時の電力消費量

TABLE 6 Purchased Fuel and Electricity Use and Energy and CO<sub>2</sub> Summaries for the VMA Stage for a Generic 1532-kg Vehicle

Resource	Coal (kg)	NG (m <sup>3</sup> )	Propane (L)	Gas Oil <sup>a</sup> (L)	Fuel Oil (L)	LPG (L)	Diesel (L)	Gasoline (L)	Process Oil (L)	Electricity (kWh)
Material transformation	43.0	209	0.302	0.005	1.83	0.129	0.094	1.536	1.908	763
Machining										85.1
Subtotal	43.0	209	0.302	0.005	1.83	0.129	0.094	1.536	1.908	848
Assembly plant operations										
Vehicle painting			66.3							134
HVAC & lighting										290
Heating			85.9							0
Material handling										60
Welding										80
Compressed air										120
Subtotal			152							684
Total purchased energy	43.0	361	0.302	0.005	1.83	0.129	0.094	1.536	1.908	1,532
Total in MJ	1,122	13,060	7	0	71	3	3	49	73	5,515
Purchased electricity										5,515 MJ
Purchased fuel										14,389 MJ
LCE electricity <sup>b</sup>										16,111 MJ
LCE fuels										15,577 MJ
Electricity CO <sub>2</sub>										1,188 kg
Purchased fuels										2,227 kg
CO <sub>2</sub>										2,227 kg

<sup>a</sup> Gas oil is distillate oil.

<sup>b</sup> Note that this energy value also includes contributions from nuclear and renewables, which are not explicitly listed in the table.

## 【前提条件 | 自動車産業 (2/2)】

### 電気自動車製造が進み、

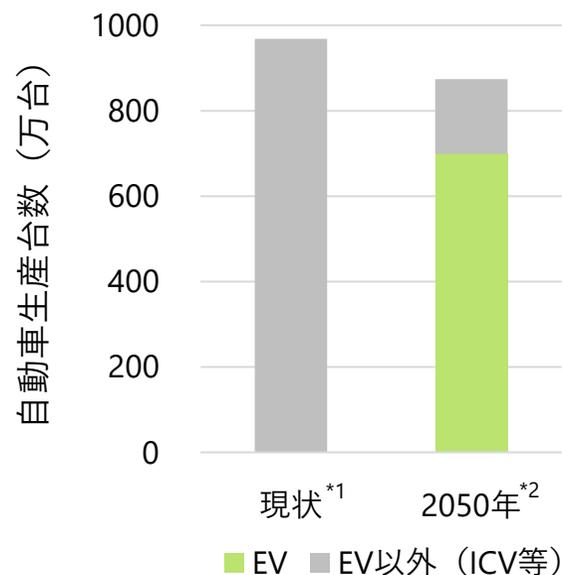
### 自動車産業の消費電力は現状から2050年にかけて約13TWh増加すると想定した

## 前提条件 | 自動車産業 (2/2)

#### 概要

- 本検討では国内における自動車生産台数が2019年から2050年にかけて縮小 (-0.33%/年) すると想定
- 本検討では、2050年の自動車生産台数のうち約8割を電気自動車が占めると仮定し、各自動車の製造時の電力消費原単位を用いて、現状から増加する消費電力 (約13TWh) を簡易的に推計

#### 国内における自動車生産台数の見通し



#### 消費電力の推計

項目	現状 (2019年)		2050年		単位
	EV	EV以外	EV	EV以外	
自動車生産台数	-	968	699	175	万台
電力原単位	25400	16700	25400	16700	MJ/台
電力消費量	-	162	177	29	PJ

+45PJ (12.5TWh)

\*1 JAMA HPより実績値を引用 ([https://www.jama.or.jp/statistics/facts/four\\_wheeled/index.html](https://www.jama.or.jp/statistics/facts/four_wheeled/index.html))

\*2 将来の自動車生産台数とその構成比は不明瞭であるため、以下を仮定した  
自動車生産台数：2012年~2019年の自動車生産台数の過去トレンド (-0.33%/年) に沿って減少すると想定  
構成比：生産台数のうち電気自動車は約8割を占めると想定

# 【前提条件 | 工業炉】

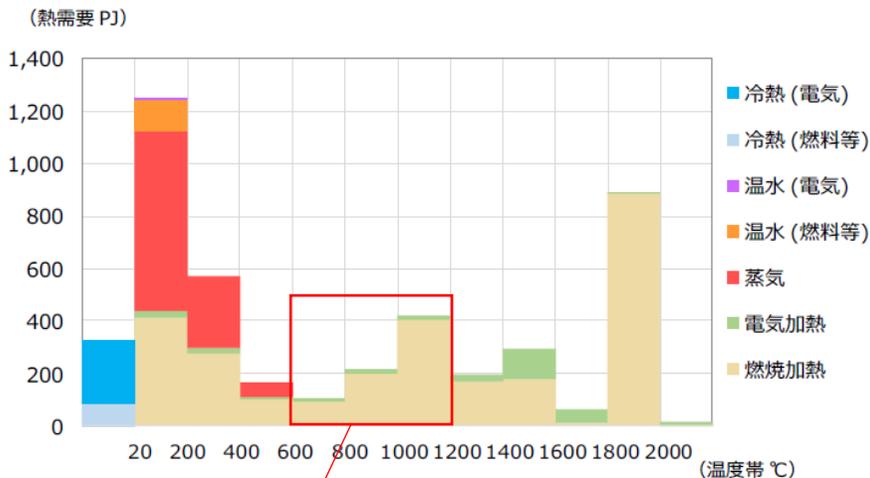
## 600-1000度の燃焼加熱分の一部が電気加熱に転換し、工業炉における消費電力は現状から2050年にかけて約16TWh増加すると想定した

### 前提条件 | 工業炉

#### 概要

- 三菱総合研究所では産業部門における熱需要を温度帯ごとに整理している
- 現状工業炉で燃焼加熱により満たされている600-1000度の熱需要の一部は電気加熱に置き換わる可能性がある
- 本検討では基礎的需要の変化や電化による効率向上を考慮し、現状から約15.9TWh増加すると想定

#### 温度帯ごとの熱需要



600~1000度の工業炉が一部電気炉に転換すると想定

#### 燃焼加熱の内訳

表 2-14 温度帯別・用途別の燃焼加熱需要 (PJ)

	分解・反応	精錬	溶解	圧延・鍛造	熱処理	焼結	焼成	乾燥	徐冷	熱媒油加熱	その他	合計
0~50℃	179	0	1	1	0	0	0	5	0	0	1	187
50~100℃	2	0	0	5	1	0	2	18	0	0	3	32
100~150℃	50	0	0	0	1	0	9	20	0	49	1	131
150~200℃	0	0	0	3	5	0	5	40	0	5	5	63
200~300℃	27	0	1	3	2	0	9	16	0	46	35	139
300~400℃	19	0	0	4	1	0	0	36	0	54	27	141
400~500℃	10	0	2	2	2	0	0	2	0	12	28	58
500~600℃	27	0	0	2	3	0	2	6	0	2	0	43
600~700℃	26	0	8	0	2	0	4	5	0	0	1	46
700~800℃	8	1	10	5	19	0	2	2	0	0	1	47
800~1000℃	58	0	3	17	40	1	27	2	0	17	37	202
1000~1200℃	259	1	8	34	9	0	25	1	0	1	68	407
1200~1400℃	22	5	10	67	8	0	47	14	0	0	0	173
1400~1600℃	25	1	35	0	0	1	112	0	5	0	0	180
1600~1800℃	0	0	12	0	0	0	1	0	0	0	0	13
1800~2000℃	887	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	887
2000℃以上	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	1,601	8	90	144	93	2	245	166	6	187	207	2,748

- 溶解炉や熱処理炉による燃焼加熱（82PJ）が電気炉に転換する可能性がある
- 基礎的需要の変化（+0.14%/年）と電気炉への転換による効率向上（1.5倍）を考慮し、現状から2050年にかけて約15.9TWh増加すると想定

## 【前提条件 | 自家発動向】

セメントや製紙、繊維工業等を除く各産業で自家用電力が系統電力に切り替わり、系統電力需要は現状から2050年にかけて約33TWh増加すると想定した

## 前提条件 | 自家発動向

項目	自家発電量 (TWh)			考え方	
	2019年	2019年 ※基礎的需要の変化 と省エネ化を考慮	2050年		
鉄鋼	15.1	12.1	0	2050年には電炉と水素還元製鉄が進み、これまで高炉で用いられていた自家発電設備は全て系統電力に置き換わると想定	
化学	石油化学工業	6.4	5.4	3.9	化学製品の製造において、2050年にはオレフィン生産量のうち約73%がナフサ由来となり、これまでナフサ分解炉で用いられていた自家発電設備も同じく73%残存すると想定
	アンモニア・ソーダ工業	12.7	12.3	12.3	アンモニア・ソーダ工業における自家発電設備は現状維持 (基礎的需要の変化と省エネによる自家発電量の変化は考慮)
セメント	5.1	4.9	4.9		
製紙	8.2	8.0	8.0	セメント業や製紙産業、繊維工業では製造プロセスと自家発電設備は密接にリンクしているため、将来にわたって維持されると想定 (基礎的需要の変化と省エネによる自家発電量の変化は考慮)	
繊維工業	2.8	2.7	2.7		
その他	19.7	18.3	0	その他産業では2050年カーボンニュートラルに向けて化石燃料由来の自家発電設備が廃止し、全て系統電力に置き換わると想定	
合計	70	64.5	31.8	-	

-32.7TWh (系統電力需要は+32.7TWh)

### 3 試算結果

1	背景
2	前提条件
3	試算結果
4	これまでの検討経緯

## 【試算結果まとめ】

# 電力需要は2040年に約1000TWh、2050年に約1100TWhの水準となった

## 各要素の需要見通し

変動要素		系統電力需要 (TWh)		想定方法等
		2040年	2050年	
基礎的需要	家庭	222	206	2019年度の人口あたりの電力需要に対して、人口の将来見通しを乗ずることで算出 ※人口の将来見通しは社人研の「出生中位・死亡中位」のケースを採用
	業務	336	355	2019年度の業務床面積あたりの電力需要に対して、業務床面積の将来見通しを乗ずることで算出 ※業務床面積は2012-2019年の年間平均変化率が2050年まで継続すると想定
	産業	261	255	2019年度の製品生産量（粗鋼生産量、オレフィン生産量）または鉱工業指数あたりの電力需要に対して、製品生産量または鉱工業指数の将来見通しを乗ずることで算出 ※粗鋼生産量やオレフィン生産量の将来見通しは各種文献を基に設定し、鉱工業指数は2012-2019年の年間平均変化率が2050年まで継続すると想定
	運輸	17	17	運輸部門では2019年度の電力需要17TWh（電車）を基礎的需要として計上
追加的要素	省エネ   民生	-76	-111	家庭部門では人口あたり、業務部門では業務床面積あたりのエネルギー消費量の1990-2019年の年間平均変化率が2050年まで継続すると想定
	省エネ   産業	-15	-22	単位鉱工業指数あたりエネルギー消費量の1990~2019年の年間平均変化率が2050年まで継続すると想定
	電化   民生	+71 - 72	+76 - 77	コスト最小化の条件のもと導入量を内生計算
	電化   産業	+22	+24	コスト最小化の条件のもと導入量を内生計算
	電化   運輸	+42 - 43	+57	コスト最小化の条件のもと導入量を内生計算
	産業構造変化	+98	+191	IT産業拡大（DC、ネットワーク、半導体）による消費電力の増加と、製造業（鉄鋼、化学、自動車、工業炉）における製造プロセスの変化による消費電力の増加を含む
	自家発動向 ※鉄鋼・化学を除く	+13	+20	セメントや製紙、繊維工業は自家発電設備は現状維持されるものの、鉄鋼や化学を除く其他産業はカーボンニュートラルに向けて化石燃料由来の自家発電設備が廃止し、全て系統電力に置き換わると想定
	新技術   水電解	+5 - 7	+4 - 10	コスト最小化の条件のもと導入量を内生計算
	新技術   DAC	0	+13	コスト最小化の条件のもと導入量を内生計算
合計	995 - 1000	1084 - 1093	-	

## 4 これまでの検討経緯

1	背景
2	前提条件
3	試算結果
4	これまでの検討経緯

## 【検討経緯 (1/2)】

# 2050年CNを前提として基礎的需要や省エネ、電化、新技術等の見通しを検討した

## 検討経緯

	第2回検討会 (R4/11/30)	第3回検討会 (R5/01/24)	第4回検討会 (R5/03/05)
目的	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 電力需要の変動幅と変動要因を特定</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ マクロ環境（人口等）の変化や省エネ、電化が電力需要に与える影響を特定</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ IT産業や製造業における産業構造変化が電力需要に与える影響を特定</li></ul>
分析サマリ	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 2050年カーボンニュートラル実現を前提に、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</li><li>■ 既存非電力需要の電化のほか、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</li><li>■ その他、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）やデータセンター、半導体工場による産業構造の変化、需要の価格弾力性といった変動要素については今後詳細検討する必要がある</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 2050年カーボンニュートラルを前提で、特に自家消費や電化が進む</li><li>■ このときの世界観としては<ul style="list-style-type: none"><li>➢ 戸建住宅の半数に太陽光や燃料電池が導入され、自家消費が進む</li><li>➢ 民生部門では厨房、給湯や暖房の機器の電化が進む</li><li>➢ 運輸部門では自動車保有台数の約7-8割が電気自動車となる</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ データセンターや基地局、半導体工場増設によって電力需要は約126TWh増加する可能性がある</li><li>■ 製造業では国内需要減少に伴い各製品の生産量も減少傾向にあるが、2050年カーボンニュートラルに向けて新規技術への転換が進み、約49TWhの電力需要増加が見込まれる</li><li>■ 以上の産業構造変化が主な要因となり、産業部門の系統電力需要は約192TWh増加すると見込まれる</li></ul>

## 【検討経緯（2/2）】

# 2050年CNを前提として原子力や再エネ、揚水、蓄電池の将来見通しを検討した

## 検討経緯

	第6回検討会 (R6/12/03)	第7回検討会 (R7/2/28)
目的	■ DACの見通しを検討	■ 水素製造の見通しを検討
分析サマリ	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 本検討では、2050年カーボンニュートラルを前提として、将来の原発の設備容量に応じた3つのシナリオを想定し、エネルギーモデルを用いて各シナリオにおけるDACの消費電力を推計した。</li><li>■ シミュレーションの結果、カーボンニュートラルに向けて原子力が現状維持となり、再エネの積極導入が必要となるシナリオにおいても国内におけるDACの導入量は限定的となった。</li><li>■ DACに要する消費電力は最大1.5TWh程度となり、CCSに要する消費電力に比べて低い水準となった。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 本検討では、2050年カーボンニュートラルを前提として、将来の原発の設備容量に応じた3つのシナリオを想定し、エネルギーモデルを用いて各シナリオにおける水素製造の消費電力を推計した。</li><li>■ 2040年から2050年にかけて、主に産業部門の需要を満たすため水素を海外から輸入し、国内水素製造は限定的となる。</li><li>■ 2040年から2050年で国内水素製造の電力需要は約4 – 10 TWhの水準となる。</li></ul>

# 第2回検討会 資料抜粋

## 【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） 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」 経済社会総合研究所「県民経済計算」 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

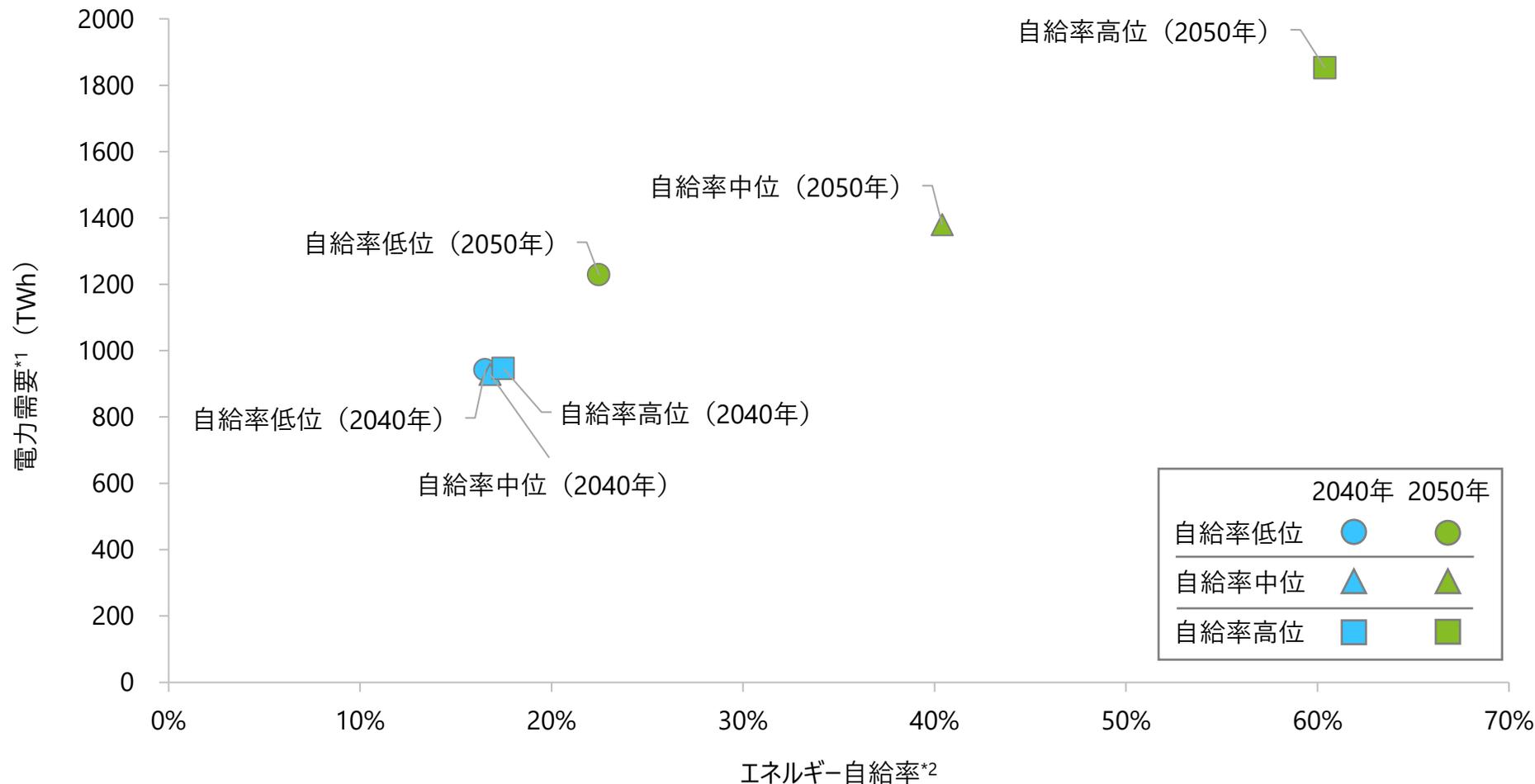
## 前提条件（燃料、インフラ）

種別		前提条件	参照元	
燃料	水素	輸入	■ 2030年：30円/Nm3 ■ 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 ■ 2040年：52.5\$/tonne	IEA「World Energy Outlook 2022」
		石油	■ 2025年：57\$/barrel ■ 2040年：29.5\$/barrel	
		天然ガス	■ 2025年：8.1\$/Mbtu ■ 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 ■ 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	

## 【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

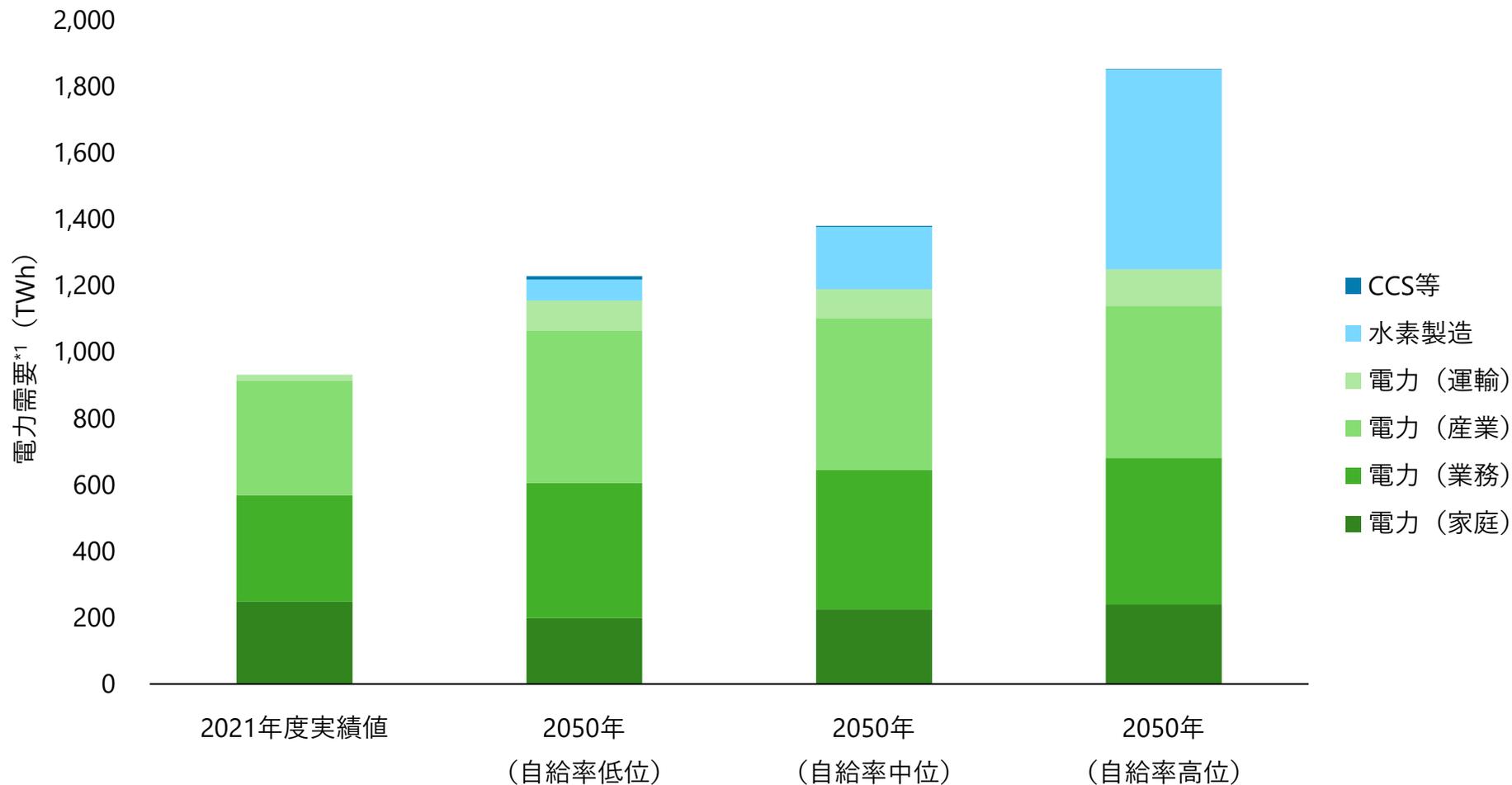
\*2 エネルギー自給率の算定にあたり、再エネ（バイオマスは除く）や原子力については効率

32 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

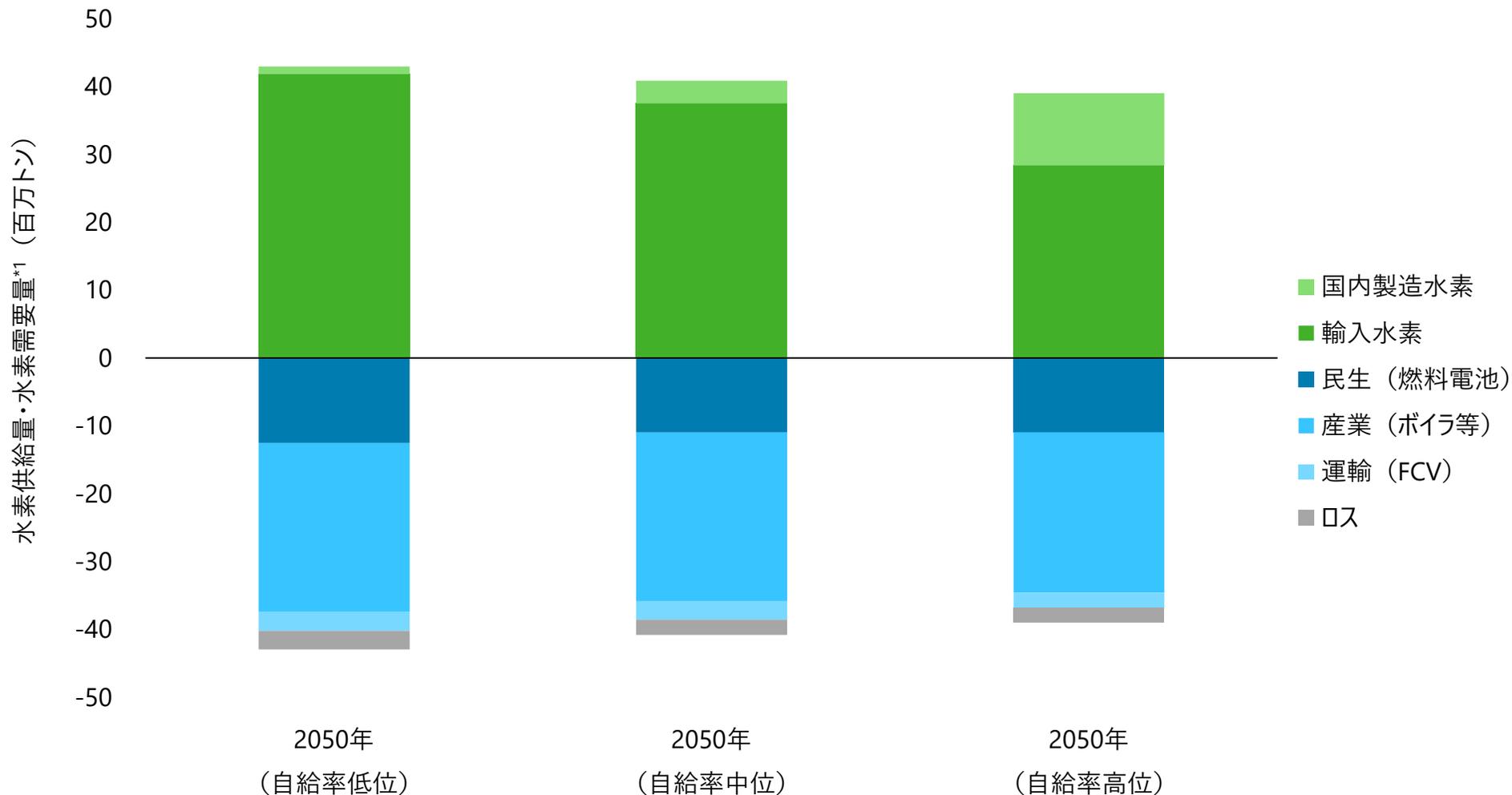
### 電力需要（2050年）



## 【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

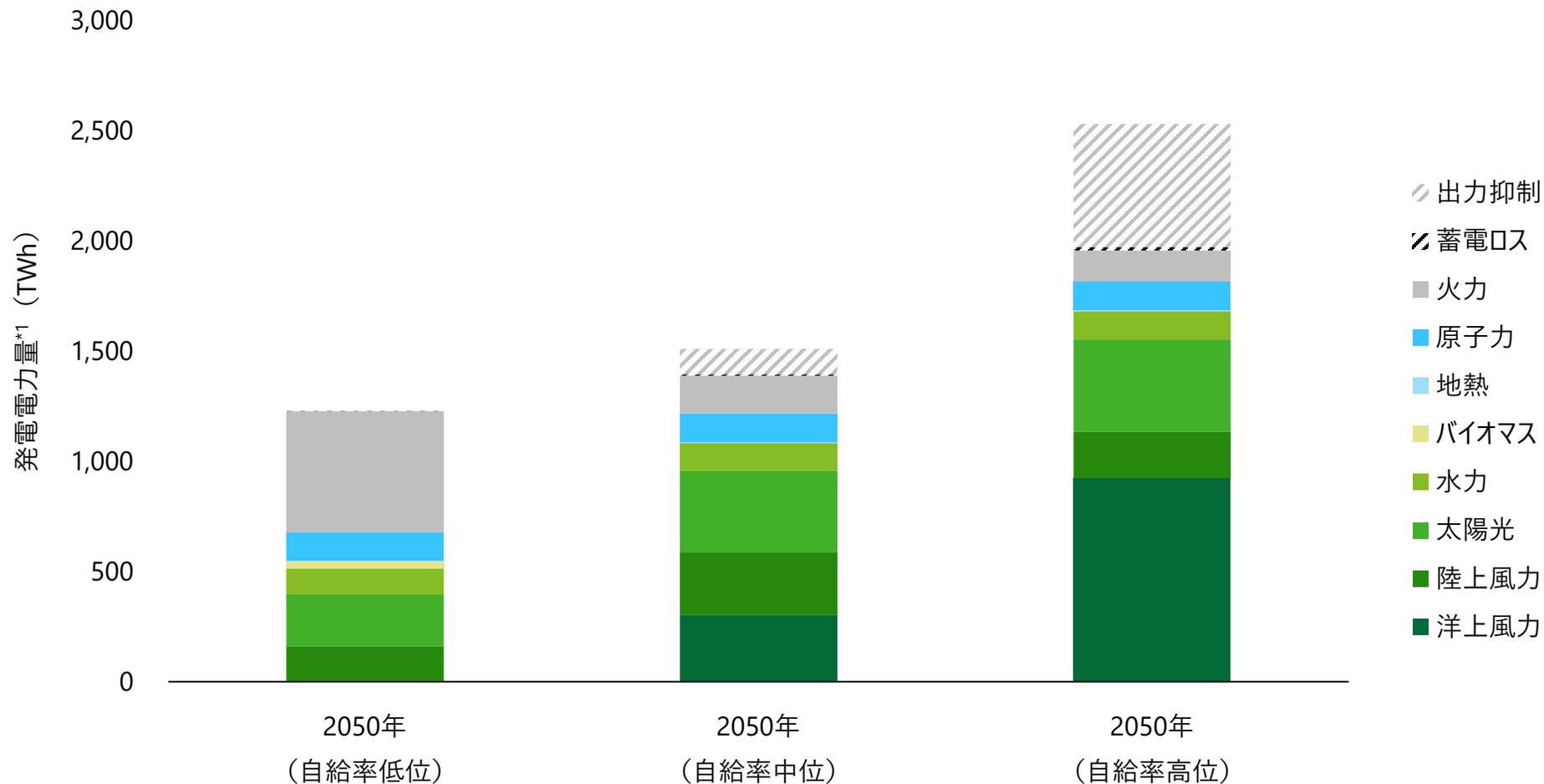
### 水素需給（2050年）



## 【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

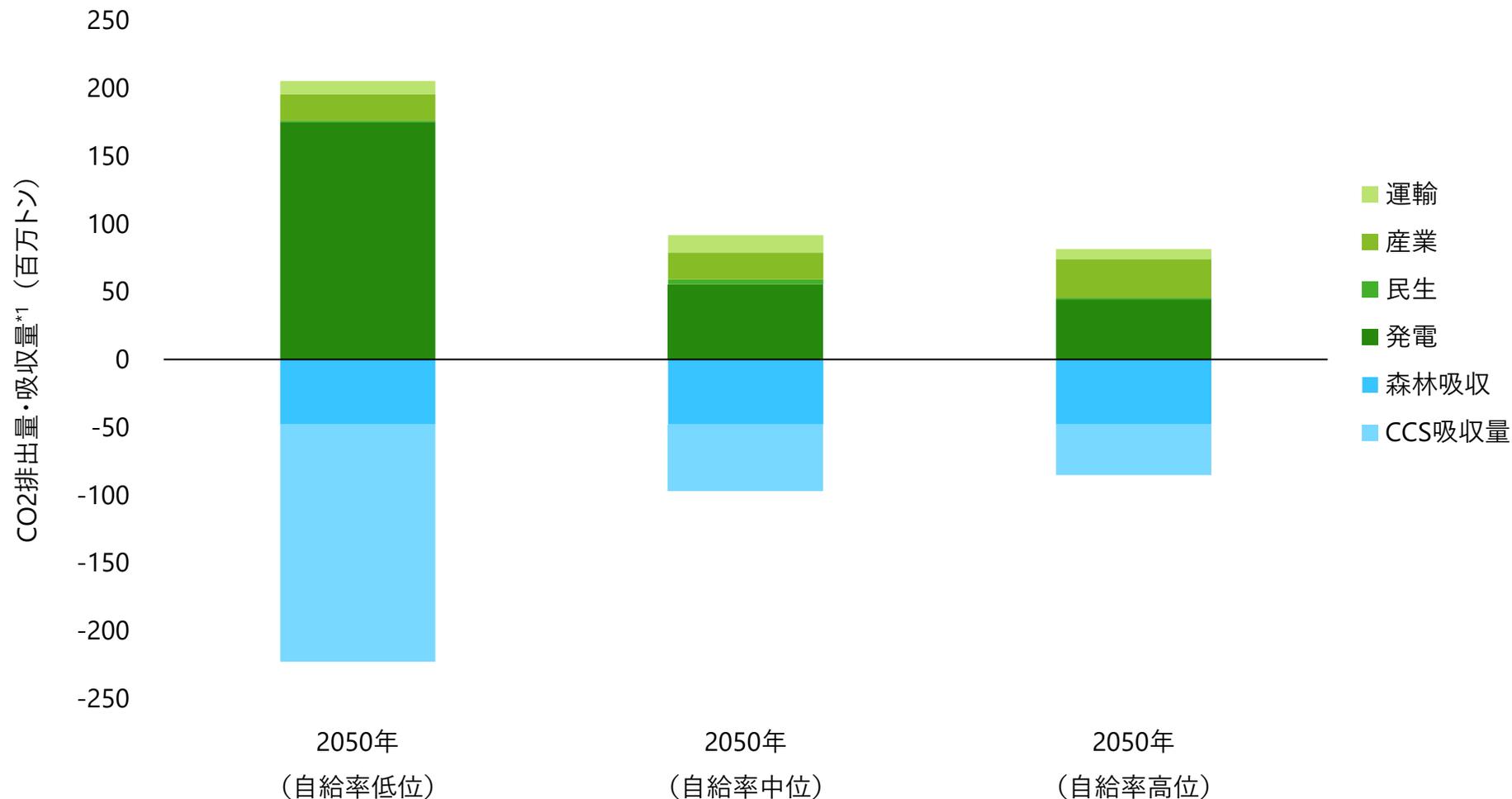
### 電源構成（2050年）



# 【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）

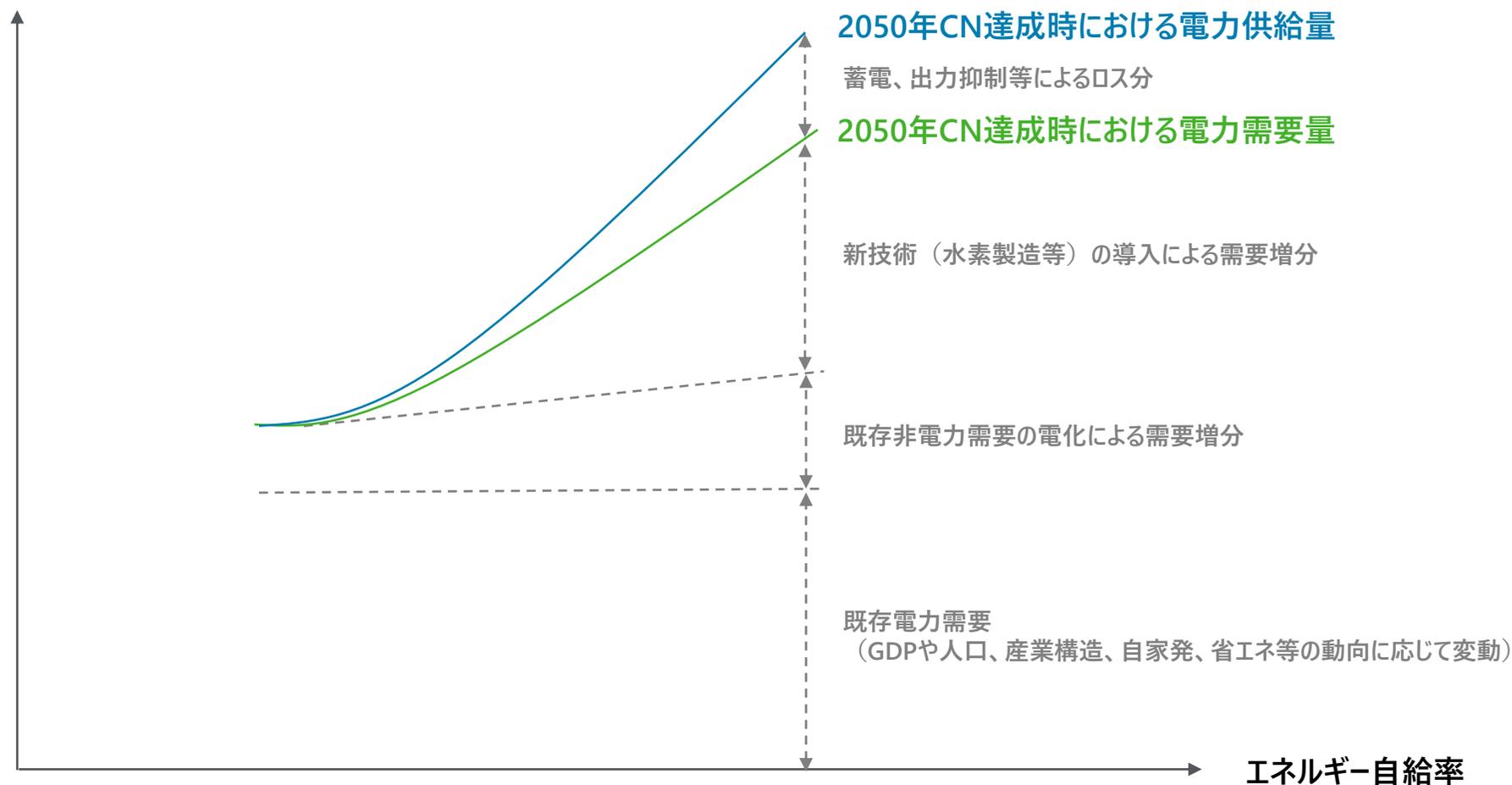


## 【電力需要の変動要因】

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)



# 第3回検討会 資料抜粋

## 【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
  - Low（自給率低位ケース）
    - ・ 経済効率性の観点から、エネルギーシステムの推計を行うケース
  - Middle（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
  - High（自給率高位ケース）
    - ・ 国内再エネなど国産エネルギー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
Low（自給率低位ケース）	2030年：46%削減（2013年比） 2050年：カーボンニュートラル	コスト最小化計算（制約なし）
Middle（自給率中位ケース）		2050年：自給率30%以上
High（自給率高位ケース）		2050年：自給率40%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は100%とし、発電電力量を一次エネルギー供給量に換算

## 【基礎的需要の考え方】

家庭部門は人口、業務部門は延床面積、産業部門は鉱工業生産指数の過去トレンドにしたがって基礎的需要が変化すると想定した

### 基礎的需要の考え方

需要種別		算定根拠	算定方法
基礎的需要	家庭用	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 単位人口あたりkWh：2.00TWh/百万人（2019年度実績値）</li> <li>■ 人口：2040年113百万人、2050年105百万人（社人研出生中位・死亡中位）</li> </ul>	単位人口あたりkWh × 人口
	業務用	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 単位業務床面積あたりkWh：0.17TWh/百万m<sup>2</sup>（2019年度実績値）</li> <li>■ 業務床面積：2040年2155百万m<sup>2</sup>、2050年2279百万m<sup>2</sup> （2012~2019年の年平均変化率+0.56%/年が2050年まで継続すると想定）</li> </ul>	単位業務床面積あたりkWh × 業務床面積
	産業用（鉄鋼）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 単位鉱工業指数あたりkWh：3.4TWh/IIP（2019年度実績値）</li> <li>■ 鉱工業指数：2040年103、2050年104 （2012~2019年の年間平均変化率+0.14%/年が2050年まで継続すると想定）</li> </ul> ※ 2019年の鉱工業指数を100とする	単位鉱工業指数あたりkWh × 鉱工業指数
	産業用（化学）		
	産業用（セメント）		
	産業用（その他）		
	運輸用（自動車）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 電気自動車の2019年度電力需要はほぼ0であり、基礎的需要としては計上せず（電気自動車による電力需要増分は電化分として計上）</li> </ul>	-
運輸用（自動車以外）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 電車の2019年度電力需要17TWhを基礎的需要として計上</li> </ul>	-	

## 【追加的要素の考え方】

各部門のエネルギー消費原単位の過去トレンドにしたがって省エネが進むと想定し、自家消費や電化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した

### 追加的要素の考え方

需要種別		算定根拠	算定方法
追加的要素	省エネ（家庭）	■ 単位人口あたりエネルギー消費量： 1990~2019年の年間平均変化率-0.72%/年が2050年まで継続すると想定	-
	省エネ（業務）	■ 単位業務床面積あたりエネルギー消費量： 1990~2019年の年間平均変化率-0.69%/年が2050年まで継続すると想定	-
	省エネ（産業）	■ 単位鉱工業指数あたりエネルギー消費量： 1990~2019年の年間平均変化率-0.24%/年が2050年まで継続すると想定	-
	自家消費（民生）	■ 太陽光発電と燃料電池の自家消費を想定	自家消費量はコスト最小化のもと内生的に計算
	自家消費（産業）	■ 自家消費量は現状から変化しないと想定	-
	電化（民生）	■ 給湯や空調、調理における電化を想定 （給湯用および空調用ヒートポンプのCOPを3.0に設定）	電化による需要増分はコスト最小化のもと内生的に計算
	電化（産業）	■ 化石燃料ボイラの電化を想定 （産業用ヒートポンプのCOPを3.0に設定）	
	電化（運輸）	■ 電気自動車を想定	
	産業構造変化	■ 2050年にデータセンターの電力需要が110TWh増加すると想定 （各都道府県の人口で按分し、電力需要を上乗せ）	-
	自家発電動向	■ 想定なし	-
	新技術（水電解）	■ 水電解に要する消費電力を考慮	新技術の消費電力はコスト最小化のもと内生的に計算
	新技術（CCS）	■ CCSに要する消費電力を考慮	

## 【各変動要素の考え方】

マクロ環境の変化や省エネによる系統電力需要の現状からの変化を推計し、  
自家消費や電化による変動分を上乗せすることで将来の系統電力需要を推計した

### 各変動要素の考え方

項目			需要の変動要因	今回の想定方法
エネルギー 需要	電力需要	系統電力	<b>基礎的需要</b> マクロ環境の変化	人口や業務床面積、鉱工業指数の 過去トレンドにしたがって推移すると想定
			<b>省エネ</b> 既存機器の効率改善等	エネルギー消費原単位の過去トレンド にしたがって機器効率が改善されると想定
		自家用電力	<b>自家消費</b> 自家発電機器の導入拡大	太陽光発電や燃料電池の導入量を コスト最小化のもと内生的に計算
	非電力需要	<b>電化</b> カーボンニュートラルに向けた 電力機器の導入拡大 (機器交換による効率改善の省エネ効果も含む)	電力機器の導入量を コスト最小化のもと内生的に計算	

## 【算定結果】

# 自家消費は民生部門で大きく進み、電化は民生部門と運輸部門で大きく進展する

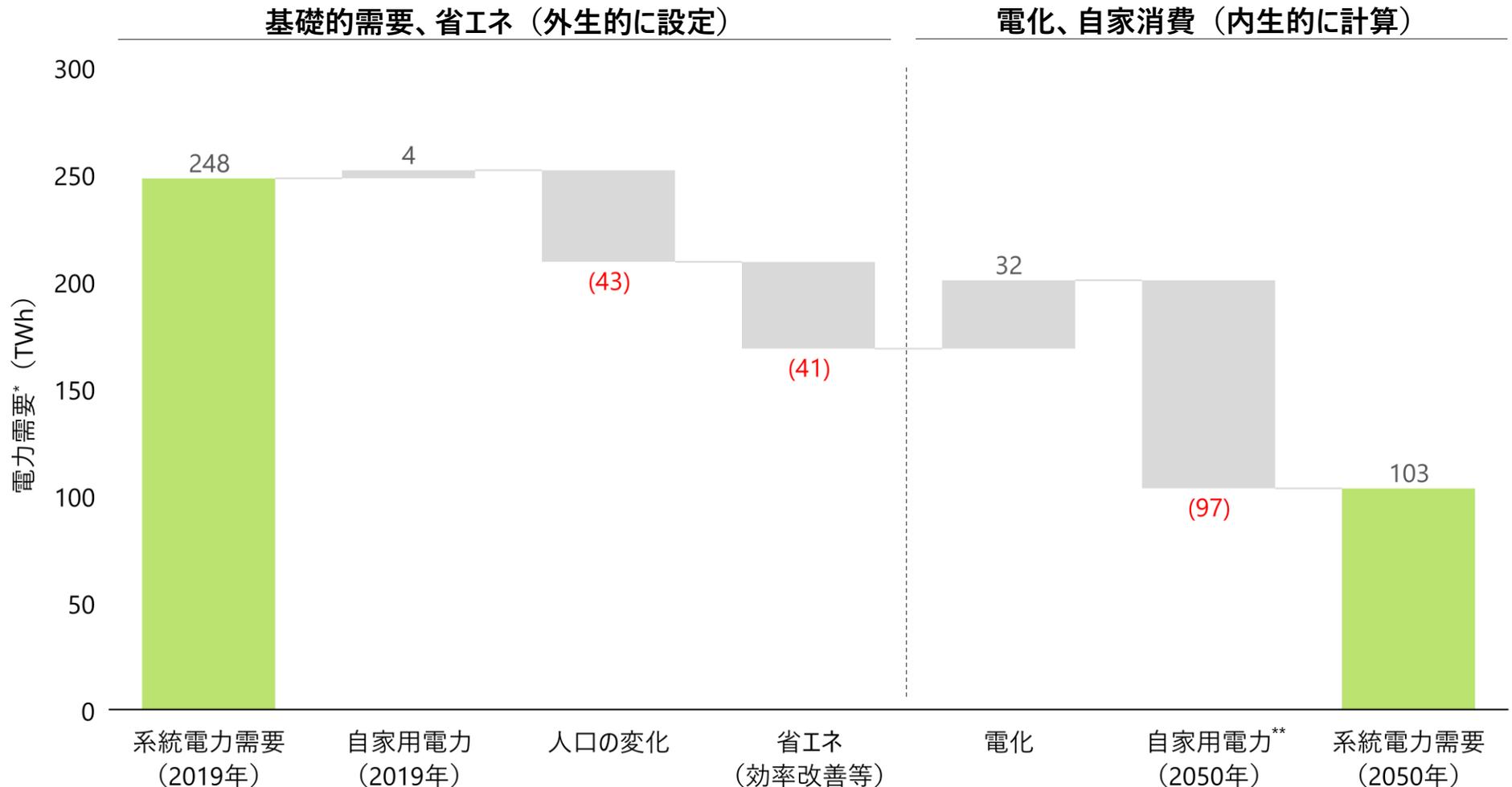
## 系統電力需要の算定結果

変動要素		系統電力需要*の変化量 (TWh)					
		2040年			2050年		
		Low	Middle	High	Low	Middle	High
基礎的需要	人口の変化 (家庭)	-26			-42		
	業務床面積の変化 (業務)	+38			+57		
	鉱工業指数の変化 (産業)	+8			+12		
追加的要素	省エネ (民生)	-76			-111		
	省エネ (産業)	-16			-24		
	自家消費 (民生)	-49	-50	-49	-141	-145	-133
	自家消費 (産業)	+0	+0	+0	+0	+0	+0
	電化 (民生)	+53	+52	+52	+119	+126	+134
	電化 (産業)	+15	+15	+15	+16	+16	+16
	電化 (運輸)	+45	+42	+45	+67	+66	+68
	産業構造変化	+44	+44	+44	+96	+96	+96
	自家発電向	+0	+0	+0	+0	+0	+0
	新技術 (水電解)	+9	+9	+9	+36	+62	+164
新技術 (CCS等)	+7	+7	+4	+8	+5	+2	
合計		+52	+46	48	92	+117	+238

## 【家庭部門】

# 家庭部門では自家消費が進み、現状と比べて系統電力需要は減少する

## 家庭部門における系統電力需要（2050年、Middle）



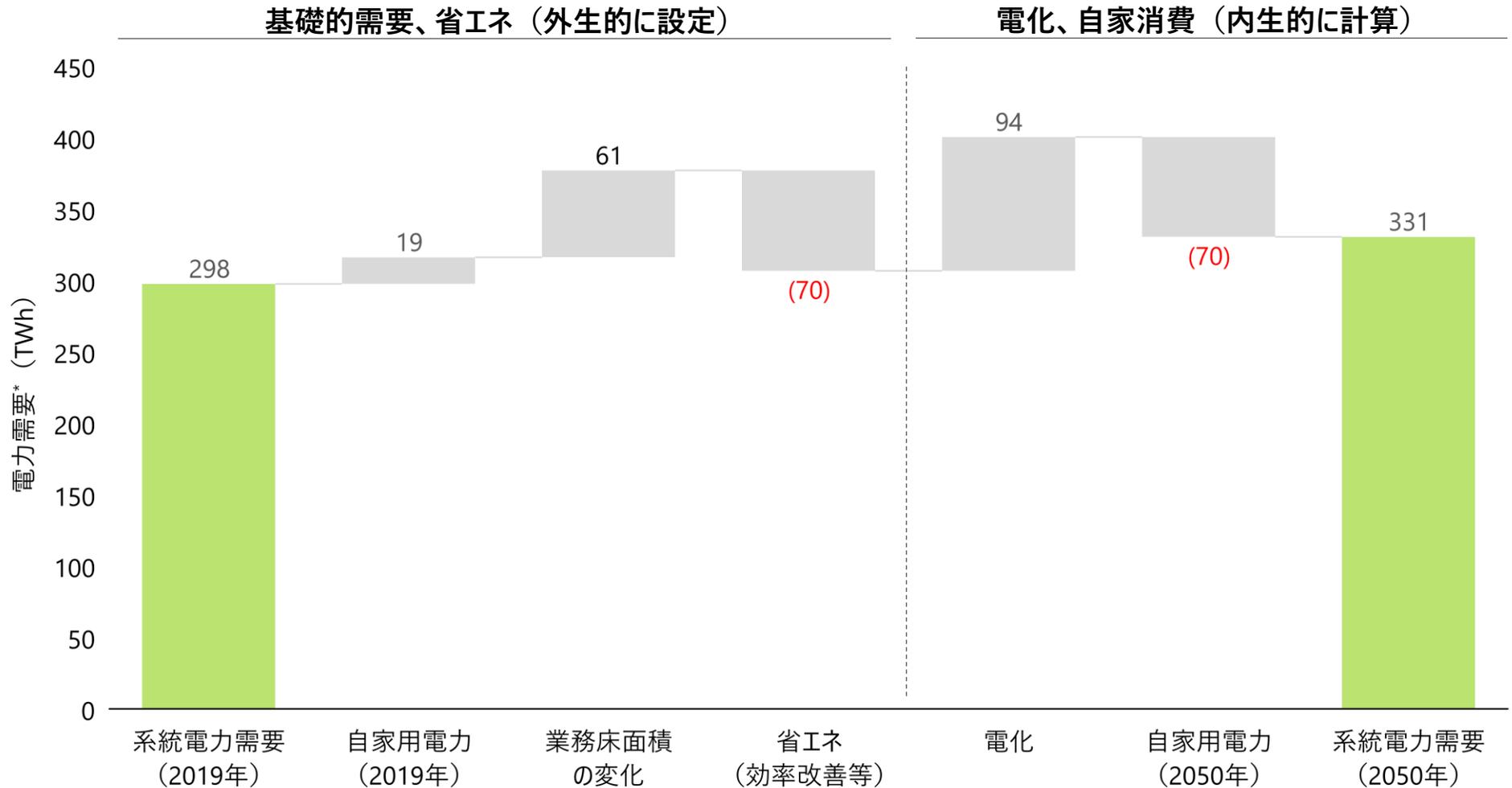
\* 電力需要は使用端の数値を記載

\*\* 戸建住宅の約5割に太陽光が設置。また水素インフラが十分整備され、戸建住宅の約4割に水素燃料電池が導入。安価な合成燃料が導入されれば、既存の機器やインフラが活用され、自家消費や電化の結果が変わりうる。

## 【業務部門】

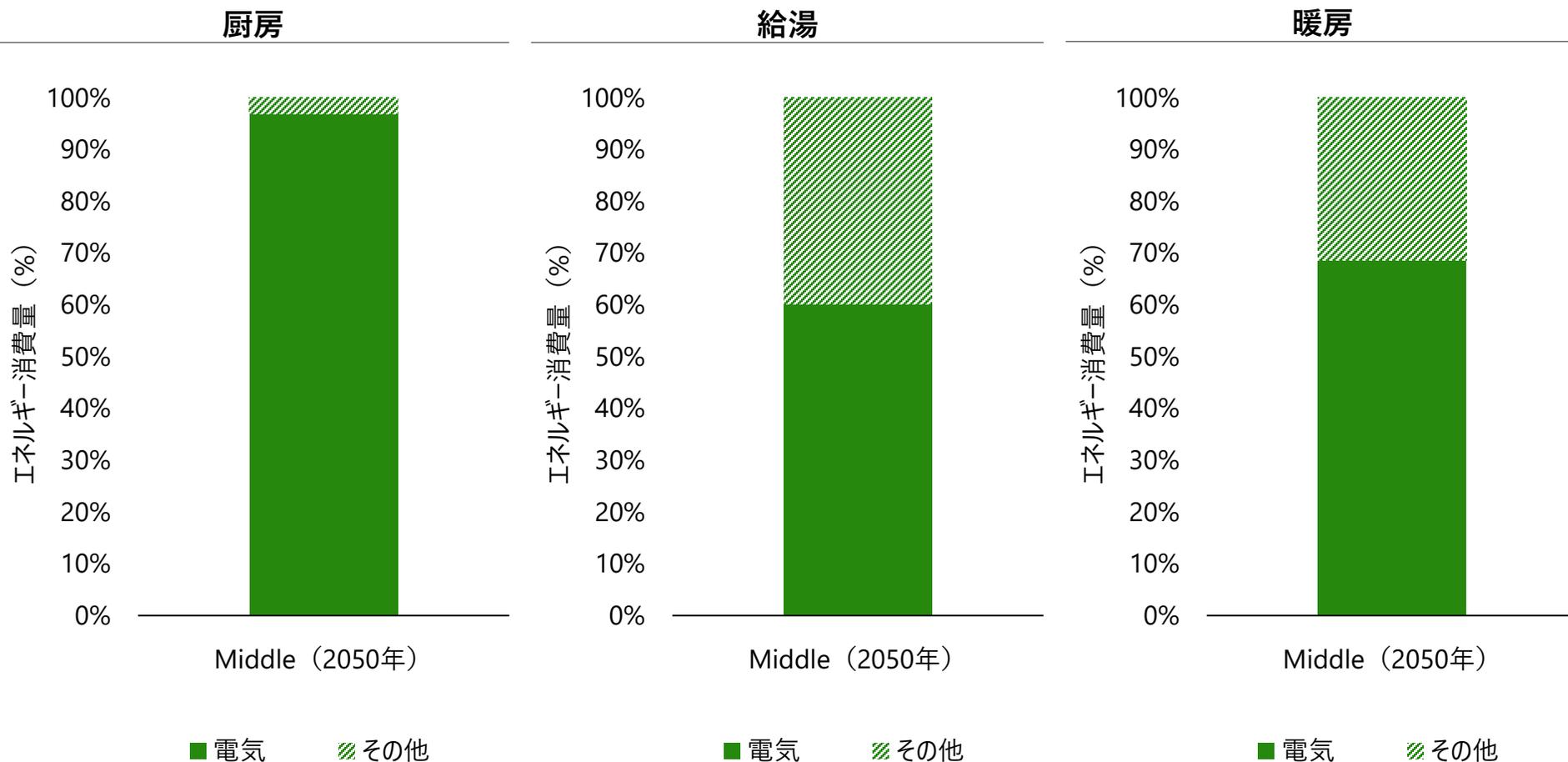
業務部門では自家消費に比べて電化が進み、現状と比べて系統電力需要は増加する

### 業務部門における系統電力需要（2050年、Middle）



# 厨房、給湯、暖房の機器の電化が進展する

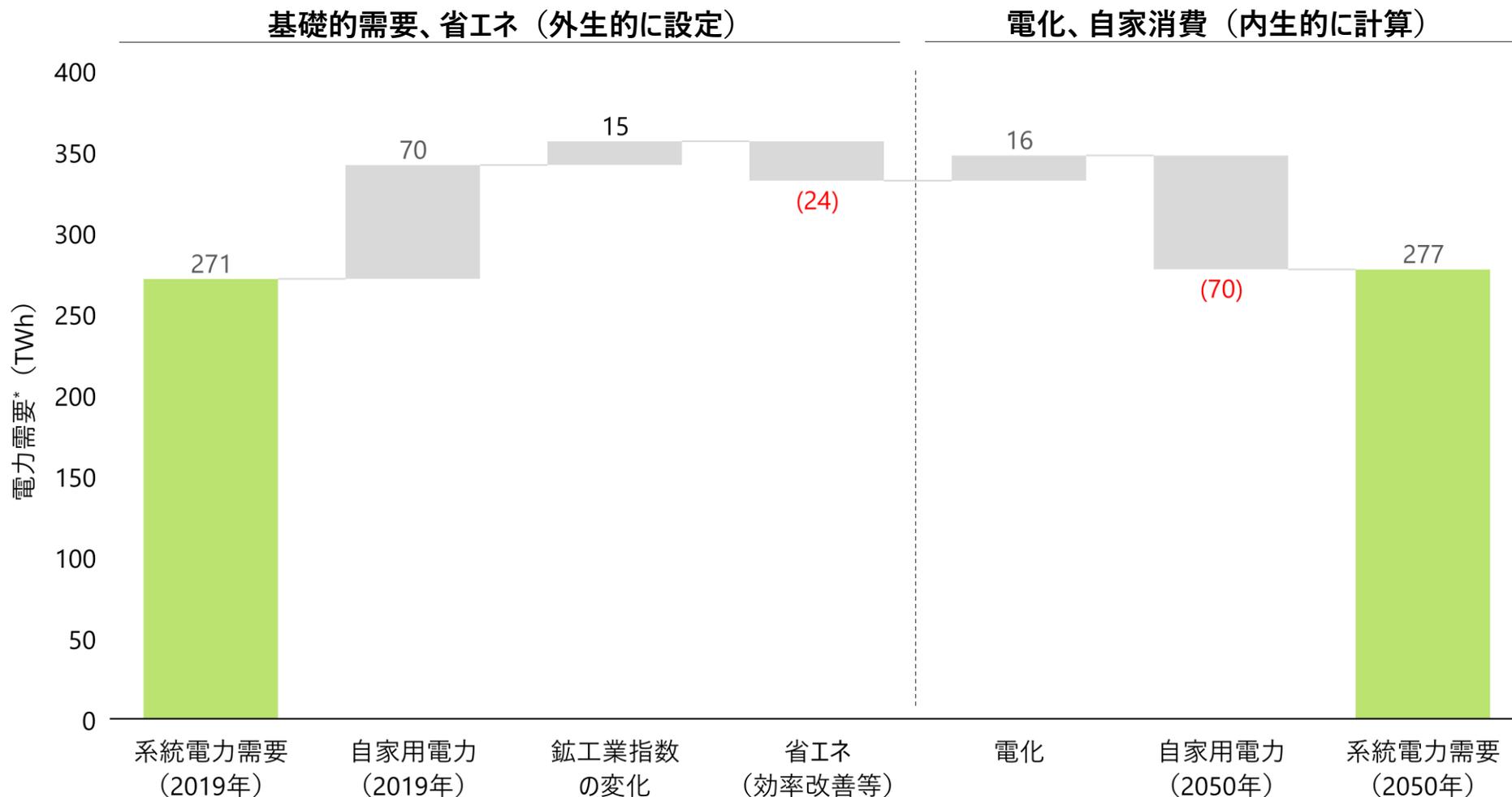
## 家庭部門における用途別のエネルギー消費量



## 【産業部門】

産業部門では現状化石燃料ボイラで賄われている熱需要が電化されると想定したものの、その電化分はそれほど大きくなく、系統電力需要は現状と同程度となる

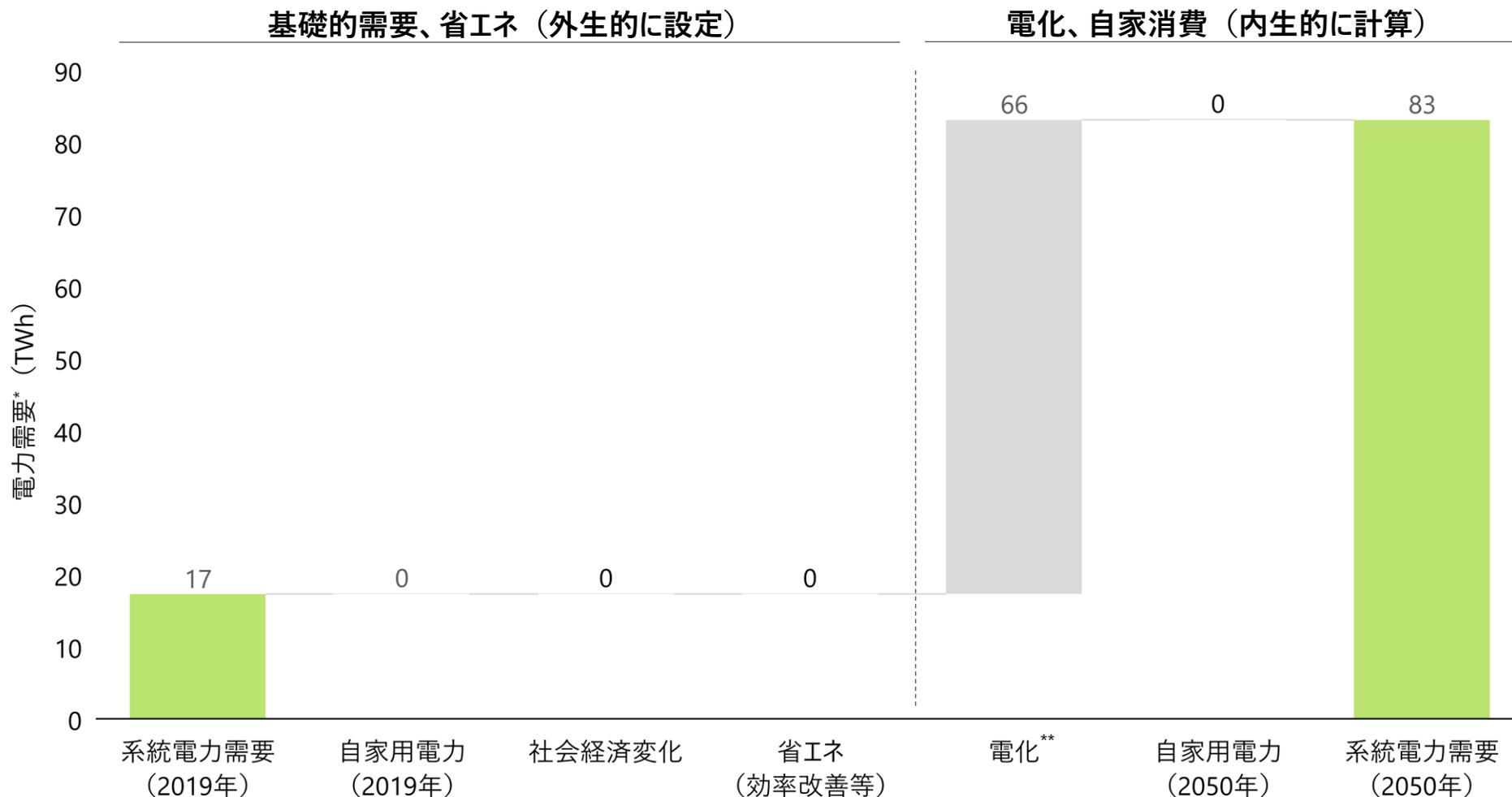
産業部門における系統電力需要（2050年、Middle）



## 【運輸部門】

# 運輸部門では電化が大きく進み、現状と比べて系統電力需要は増加する

## 運輸部門における系統電力需要（2050年、Middle）



\* 電力需要は使用端の数値を記載

\*\* 本シミュレーションでは自動車のみを対象としており、船舶や航空は考慮していない。その

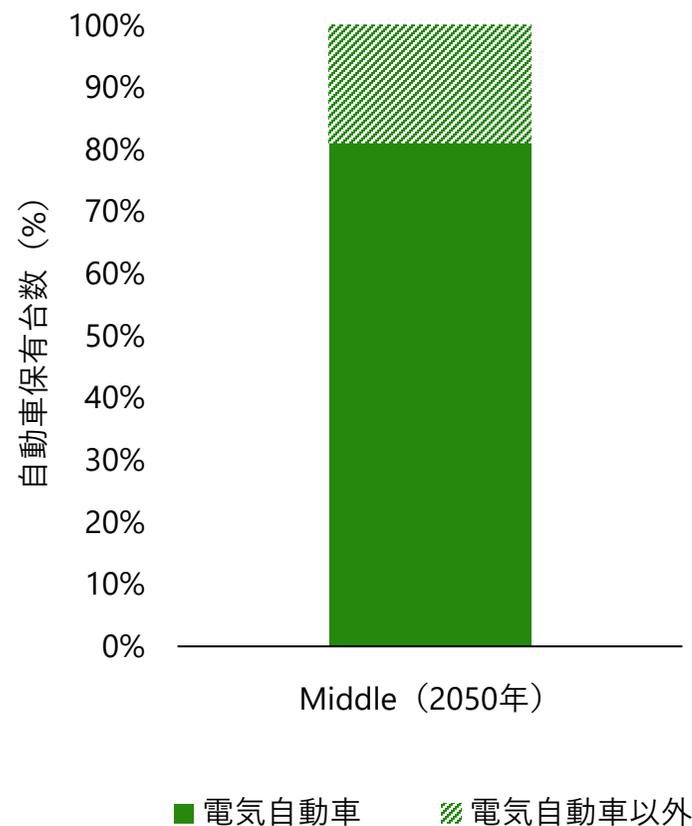
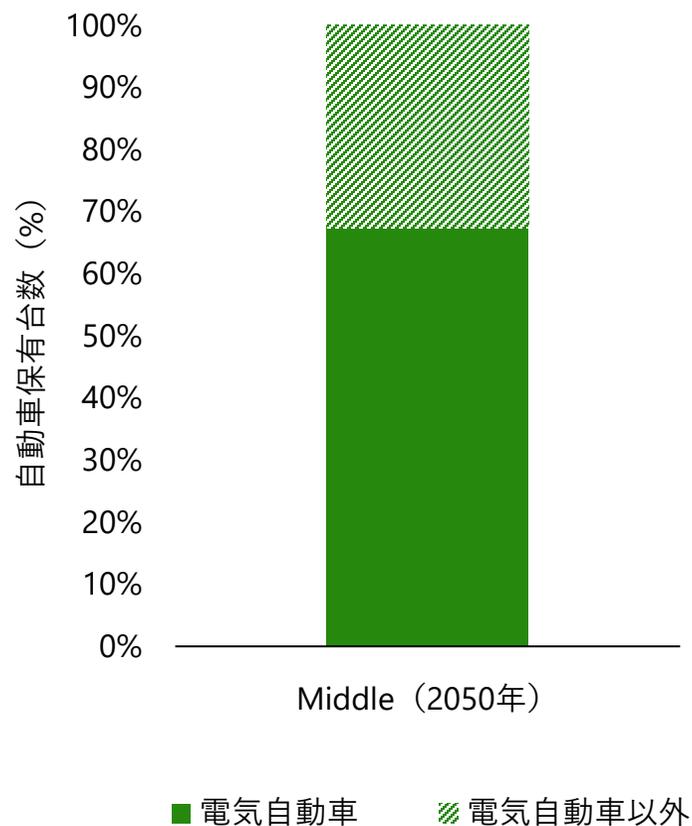
ため、モーダルシフトの影響も想定していない。

# カーボンニュートラル実現に向けて自動車保有台数の約7-8割が電気自動車となる

## 自動車保有台数の構成

旅客

貨物



# 第4回検討会 資料抜粋

## 【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

- Low（自給率低位ケース）
  - 経済効率性の観点から、エネルギーシステムの推計を行うケース
- Middle（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
- High（自給率高位ケース）
  - 国内再エネなど国産エネルギー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
Low（自給率低位ケース）	2030年：46%削減（2013年比） 2050年：カーボンニュートラル	コスト最小化計算（制約なし）
Middle（自給率中位ケース）		2050年：自給率30%以上
High（自給率高位ケース）		2050年：自給率40%以上

\*1 CO2削減目標は鉄道や船舶、航空を除くエネルギー起源の排出源を対象とし、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（1/3）】

# 鉄鋼業や化学工業においては2050年にかけて生産規模が縮小すると想定した

## 基礎的需要の考え方

需要種別		概要	算定方法
基礎的需要	家庭用	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 人口：2040年113百万人、2050年105百万人（社人研出生中位・死亡中位）</li> <li>■ 単位人口あたりkWh：2.00TWh/百万人（2019年度実績値）</li> </ul>	人口 × 単位人口あたりkWh
	業務用	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 業務床面積：2040年2155百万m<sup>2</sup>、2050年2279百万m<sup>2</sup> （2012~2019年の年平均変化率+0.56%/年が2050年まで継続すると想定）</li> <li>■ 単位業務床面積あたりkWh：0.17TWh/百万m<sup>2</sup>（2019年度実績値）</li> </ul>	業務床面積 × 単位業務床面積あたりkWh
	産業用（鉄鋼）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 粗鋼生産量：2040年89mt、2050年84mt （社会における鉄利用が飽和し、粗鋼生産量は減少すると想定）</li> <li>■ 粗鋼生産量あたりkWh：0.77TWh/mt（2019年度実績値）</li> </ul>	粗鋼生産量 × 単位粗鋼生産量あたりkWh
	産業用（化学）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ オレフィン生産量：2040年9.6mt、2050年8.0mt （国内の化学製品需要が減少し、原料となるオレフィン生産量も減少すると想定）</li> <li>■ 単位オレフィン生産量あたりkWh：2.5TWh/mt（2019年度実績値）</li> </ul>	オレフィン生産量 × 単位オレフィン生産量あたりkWh
	産業用（その他）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 鉱工業指数：2040年103、2050年104（2019年の鉱工業指数を100とする） （2012~2019年の年間平均変化率+0.14%/年が2050年まで継続すると想定）</li> <li>■ 単位鉱工業指数あたりkWh：3.4TWh/IIP（2019年度実績値）</li> </ul>	鉱工業指数 × 単位鉱工業指数あたりkWh
	運輸用（自動車）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 電気自動車の2019年度電力需要はほぼ0であり、基礎的需要としては計上せず （電気自動車による電力需要増分は電化分として計上）</li> </ul>	-
	運輸用（自動車以外）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 電車の2019年度電力需要17TWhを基礎的需要として計上</li> </ul>	-

## 【前提条件（2/3）】

# 産業部門では省エネのほか、化石燃料ボイラが一部ヒートポンプに転換すると想定した

## 追加的要素（省エネ、自家消費、電化）の考え方

需要種別		概要	算定方法
追加的要素	省エネ（家庭）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 単位人口あたりエネルギー消費量： 1990~2019年の年間平均変化率-0.72%/年が2050年まで継続すると想定</li> </ul>	-
	省エネ（業務）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 単位業務床面積あたりエネルギー消費量： 1990~2019年の年間平均変化率-0.69%/年が2050年まで継続すると想定</li> </ul>	-
	省エネ（産業）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 単位鉱工業指数あたりエネルギー消費量： 1990~2019年の年間平均変化率-0.24%/年が2050年まで継続すると想定</li> </ul>	-
	自家消費（民生）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 太陽光発電と燃料電池の自家消費を想定</li> </ul>	自家消費量はコスト最小化のもと内生的に計算
	自家消費（産業）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 「自家発動向」を参照</li> </ul>	-
	電化（民生）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 給湯や空調、調理における電化を想定 (給湯用および空調用ヒートポンプのCOPを3.0に設定)</li> </ul>	電化による需要増分はコスト最小化のもと内生的に計算
	電化（産業）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 化石燃料ボイラの電化を想定 (産業用ヒートポンプのCOPを3.0に設定)</li> </ul>	
	電化（運輸）	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 電気自動車を想定</li> </ul>	

## 【前提条件（3/3）】

# 産業構造変化によって各産業で消費電力が一定程度増加すると想定した

## 追加的要素（産業構造変化、自家発動向）の考え方

需要種別		概要	算定方法
産業構造変化	データセンター	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ データセンターの増設によって消費電力が増加すると想定</li> </ul>	P12参照
	ネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 5G基地局の整備が進み、ネットワークの消費電力が増加すると想定</li> </ul>	P13参照
	半導体工場	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 半導体産業の規模拡大によって消費電力が増加すると想定</li> </ul>	P14参照
	鉄鋼業	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 鉄鋼業では粗鋼生産量は減少するものの、スクラップ鉄電炉や水素直接還元製鉄の導入が進み、消費電力が増加すると想定</li> </ul>	P15参照
	化学工業	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 化学工業ではオレフィン生産規模は縮小するものの、メタノールからのオレフィン製造が進み、消費電力が増加すると想定</li> </ul>	P16参照
	自動車産業	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 電気自動車製造が進み、自動車産業の消費電力が増加すると想定</li> </ul>	P17, 18参照
	工業炉	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 600-1000度の燃焼加熱の一部が電気加熱に転換し、消費電力が増加すると想定</li> </ul>	P19参照
自家発動向	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ セメントや製紙、繊維工業は自家発電設備は現状維持されるものの、鉄鋼や化学を除くその他産業はカーボンニュートラルに向けて化石燃料由来の自家発電設備が廃止され、全て系統電力に置き換わると想定</li> </ul>	P20参照	

# 【データセンター】

## データセンターの消費電力は現状から2050年にかけて約96TWh増加すると想定した

### データセンター

#### 概要

- JSTではサーバー、ストレージ、スイッチ、その他動力ごとに消費電力を推計し、データセンターの消費電力を推計
- 2018年には14TWh、2050年には12000TWh (“As-is”)、500TWh (“Modest”)、110TWh (“Optimistic”)
- 本検討では “Optimistic” のケースを採用し、データセンター消費電力は現状から約96TWh増加すると想定

### データセンター消費電力の内訳

表 7 国内データセンター消費電力推定 (TWh)

		Japan								
		Year	2030			2050			2050	
		2018	As is	Modest	Optimistic	As is	Modest	Optimistic	As is	Optimistic
IP traffic		ZB	0.7	11	11	11	1,400	1,400	1,400	1,400
power consumptions of data centers		TWh	14	90	24	6	12,000	500	110	110
power consumptions of servers										
	basic task	TWh	6	30	13	3	3,500	229	39	39
	AI task	TWh	0.7	16	4	1	3,000	97	14	14
	total	TWh	7	46	17	5	6,500	330	50	50
CPUs										
	basic task	TWh	4	20	7	2	2,200	75	24	24
	AI task	TWh	0.5	12	3	1	2,300	37	8	8
	total	TWh	4	32	10	2	4,500	110	30	30
memories										
	basic task	TWh	1	7	4	1	890	116	9	9
	AI task	TWh	0.1	2	1	0	340	44	3	3
	total	TWh	1	9	4	2	1,200	160	12	12
power supply etc										
	basic task	TWh	1	3	2	1	410	38	7	7
	AI task	TWh	0.1	2	1	0	400	16	2	2
	total	TWh	1	5	3	1	810	54	9	9
power consumptions of storages		TWh	2	29	3	1	3,700	110	40	40
power consumptions of switches		TWh	0.1	1	1	0	70	9	1	1
power supply, cooling, etc		TWh	5	11	4	1	1,500	90	20	20
Assumed power consumption efficiency										
	CPU		1	1	0.5	0.1	1	0.13	0.05	0.05
	accelerators(GPU etc)		1	1	0.2	0.05	1	0.01	0.001	0.001
	memories		1	1	0.5	0.2	1	0.13	0.01	0.01
	storages		1	1	0.1	0.03	1	0.03	0.01	0.01
	switches		1	1	0.5	0.2	1	0.13	0.008	0.008

### データセンター消費電力の推移

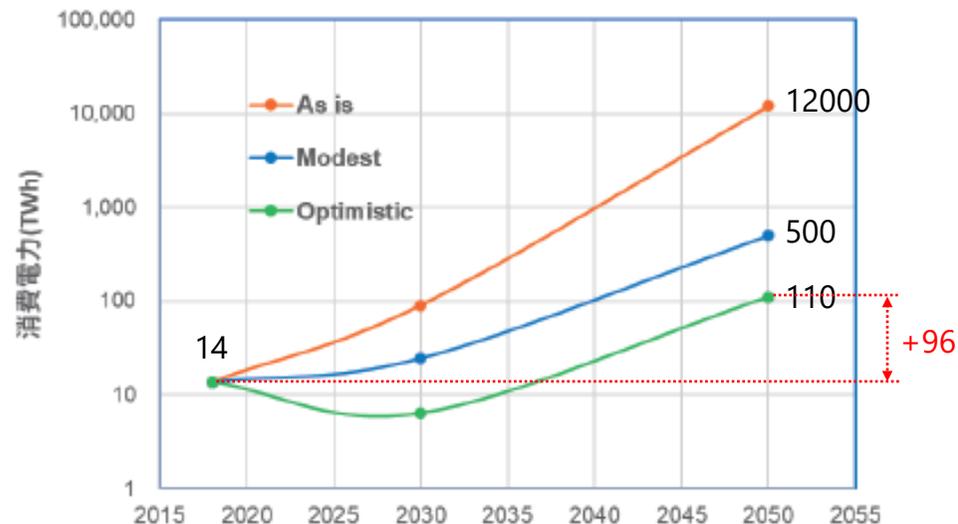


図 12 国内データセンター消費電力推定 (TWh)

# 【ネットワーク】 5G基地局の整備等が進み、 ネットワークの消費電力は現状から2050年にかけて約13TWh増加すると想定した

## ネットワーク

### 概要

- 総務省では2030年に5G基地局を約60万局整備することを目標としている
- 本検討では3Gや4G等の基地局が2050年には撤退し、5G基地局のみとなることを想定し、現状から約13TWh増加すると想定

### 基地局数の見通し

### 消費電力の推計

**(2) ワイヤレス・IoTインフラ（5G等）**

**整備方針** 注：数値目標は4者重ね合わせにより達成する数値。

**第1フェーズ 基盤展開**

- ① 全ての居住地で4Gを利用可能な状態を実現  
(4Gエリア外人口 2021年度末0.6万人→2023年度末0人)
- ② ニーズのあるほぼ全てのエリアに、5G展開の基盤となる親局の全国展開を実現（ニーズに即応が可能）（5G基盤展開率 2021年度末43.7%→2023年度末98%）
- ③ 5G人口カバー率  
【2023年度末】  
全国**95%**（2021年度末実績:93.2%）  
全市区町村に5G基地局を整備（合計28万局）

**第2フェーズ 地方展開**

- ④ 道路カバー率（高速道路・国道）  
※国民の利便性向上及び安全・安心の確保の観点から追加  
【2030年度末】**99%**（2021年度末実績:95%程度）  
**高速道路については100%**

- 国内外におけるOpen RANの普及促進
- 自然災害や通信障害等の非常時における事業者間ローミングの実現
- ローカル5G等の地域のデジタル基盤の整備・活用の一体的推進

**具体的施策**

- ① 新たな5G周波数の割当て
- ② 制度整備（5G中継局等）、支援措置（補助金、税制）、Japan OTICの機能強化
- ③ インフラシェアリングの推進（補助金要件優遇、基地局設置可能な施設のDB化）
- ④ 地域協議会の開催によるデジタル実装とインフラ整備のマッチングの推進
- ⑤ 早期の社会実装が期待される自動運転やドローンを活用したプロジェクトとの連動

項目	現状（2019年）		2050年		単位
	3G・4G等	5G	3G・4G等	5G	
基地局数	107	2	0	60	万局
基地局あたり消費電力*1	0.9	3.8	-	3.8	kW/局
電力消費量*2（基地局）	8.7	0.7	-	19.7	TWh
電力消費量*3（その他）	1.9	0.2	-	4.4	TWh
合計	10.6	0.9	-	24.1	TWh

+12.6TWh

\*1 中国通信「広州市・深セン市 5G基地局消費エネルギーの実証実験データ」を参考に設定

\*2 稼働率100%として算出

\*3 JST（2024）「情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響（Vol.5）」にて報告されている基地局（アクセスネットワーク）とその他（コア・メトロネットワーク）の比率を基に電力消費量を推計

## 【半導体工場】

# 半導体産業の規模拡大によって、 半導体工場の消費電力は現状から2050年にかけて約17TWh増加すると想定した

## 半導体工場

### 概要

- 近年の半導体産業の拡大によってシリコンウエハの生産量は増加傾向にある
- 生産効率向上のため、特に長直径シリコンウエハの生産量が大きく増加している
- 本検討ではシリコンウエハの直径ごとに過去トレンドに基づき生産量を推計し、省エネによって電力原単位も減少することを踏まえ、半導体産業の消費電力は現状から約16.6TWh増加すると想定

項目	現状（2019年）				2050年				単位	
	直径 125mm以下	直径 150mm	直径 200mm	直径 300mm以上	直径 125mm以下	直径 150mm	直径 200mm	直径 300mm以上		
シリコンウエハ 生産量*	298	961	2092	4200	0	904	4069	12306	万枚	
電力原単位**	0.0027				0.0021				TWh/万枚	
電力消費量	0.8	2.6	5.6	11.2	→	0	1.9	8.7	26.2	TWh

+16.6TWh

\* 経済産業省「生産動態統計年報」の2012~2018年のトレンドを基に各直径のシリコンウエハ生産量が2050年まで推移すると想定。ただし、直径125mm以下のシリコンウエハは縮小傾向にあり、2050年は生産されないと想定。

\*\* 2012~2018年のトレンド（-0.9%/年）で省エネが進み、足元の電力原単位が2050年まで減少すると想定。

# 【鉄鋼業】

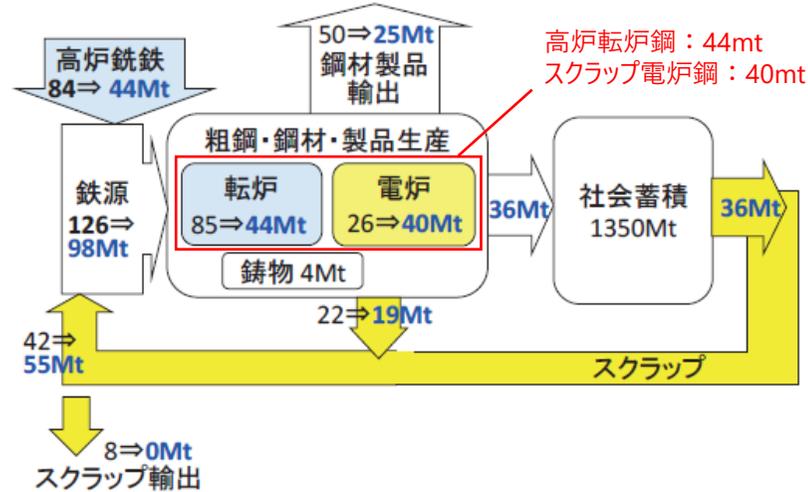
鉄鋼業では粗鋼生産量は減少するものの、スクラップ鉄電炉のほか水素直接還元製鉄の導入が進み、鉄鋼業の消費電力は現状から2050年にかけて約7TWh増加すると想定した

## 鉄鋼業

### 概要

- JSTでは社会における鉄利用が飽和に達するとし、粗鋼生産量（高炉転炉鋼 + スクラップ電炉鋼）は約84mtになると想定
- 本検討では粗鋼生産規模は2019年から2050年にかけて縮小する（98mt → 84mt）と想定した
- 他方、2050年には電炉と水素直接還元製鉄の導入が進み、鉄鋼業の消費電力は現状から約7TWh増加すると想定

### 粗鋼生産量の見通し



- ・鉄の社会での年間新規利用量（流入量、36Mt）は2014年度数値と同じとした。
- ・社会蓄積からの回収量 36Mt は流入量と同じと仮定し、社会における鉄利用が飽和に達した状態とした。
- ・スクラップを輸出せず、国内で全て利用するとした。
- ・鋼材と鉄鋼利用製品の輸出量が半減するとした。

### 消費電力の推計

項目	現状（2019年）			2050年			単位
	高炉転炉	スクラップ電炉	水素直接還元製鉄	高炉転炉	スクラップ電炉	水素直接還元製鉄	
粗鋼生産量	75	23	0	0	40	44	mt
電力原単位*	1.6	2.1	-	-	2.1	2.5	PJ/mt
電力消費量	120	48	-	-	84	110	PJ

+26PJ (7.2TWh)

# 【化学工業】

化学工業ではオレフィン生産規模は縮小するものの、メタノールからのオレフィン製造が進み、化学工業の消費電力は現状から2050年にかけて約0.6TWh増加すると想定した

## 化学工業

### 概要

- 石油化学工業においてはグリーンメタノールを用いたオレフィン製造が今後進むと見込まれる
- 本検討ではオレフィン生産量が2019年から2050年にかけて縮小（-1.51%/年）すると想定
- 現状のナフサ分解によるオレフィン製造プロセスの一部が、グリーンメタノールからのオレフィン製造（Methanol to Olefin: MTO）に置き換わったときの消費電力の増加分を簡易的に推計し、現状から約0.6TWh増加すると想定

### グリーンメタノールを用いたオレフィン製造

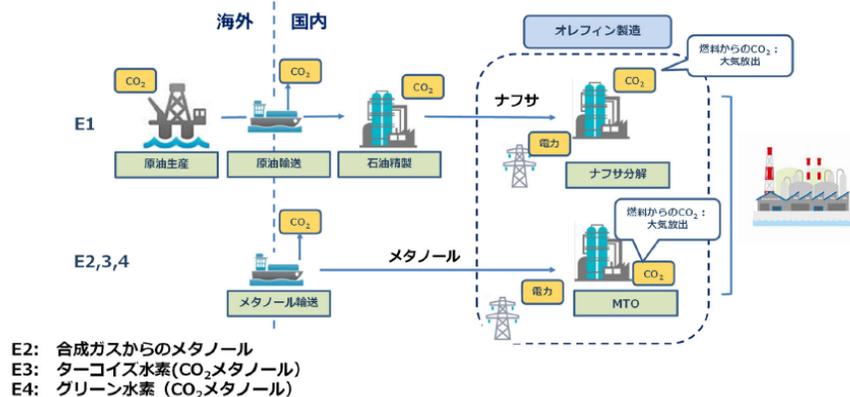


図 5.2-10 Plan E:

(日本でオレフィンを製造するシステム、メタノールは海外製造)

### 消費電力の推計

項目	現状（2019年）		2050年		単位
	石油精製 + ナフサ分解	メタノール製造 + MTO	石油精製 + ナフサ分解	メタノール製造 + MTO	
オレフィン 生産量*	12.8	0	5.8	2.2	mt
	634	0	286	109	PJ
電力原単位**	0.020	-	0.020	0.084	PJ-elec/PJ
電力消費量	12.6	-	5.7	9.1	PJ-elec

+2.2PJ (0.6TWh)

\* 経産省「新・素材産業ビジョン 中間整理」ではエチレン生産量が現状から400万トンまで減少すると見込まれており、オレフィン生産量も同等の減少率（-1.5%/年）で将来推移すると想定。また、グリーンイノベーション基金「CO<sub>2</sub>等を用いたプラスチック原料製造技術開発」におけるメタノールからの基礎化学品製造量の2050年想定値を参照し、MTOによるオレフィン生産量を2050年に220万トン/年と想定。

\*\* ナフサ分解: Tao Ren et al., *Energy*, 2006, 31, 425-451  
メタノール製造: Bruno Lacerda de Oliveria Campos et al., *Process*, 2022, 10, 1535  
MTO: Yih-Hang Chen et al., *Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2022, 130, 103893

# 【自動車産業 (1/2)】

## 従来自動車と電気自動車を1台製造するために必要な消費電力をそれぞれ推計した

### 自動車産業

#### 概要

- 米国調査研究では従来自動車と電気自動車を1台製造するために必要なエネルギーをそれぞれ約33400, 50700 MJ/台と試算
- 同調査研究では自動車製造における電力消費量はエネルギー消費量の約50%を占めるとも報告
- 以上から、本検討では従来自動車と電気自動車の製造時の電力消費量をそれぞれ約16700, 25400 MJ/台と想定

### 自動車製造時のエネルギー消費量

TABLE 8  $E_{vm}$  and  $C_{vm}$  Results for a Series of Vehicles

Vehicle	ICV	ICV <sup>a</sup>	HEV <sup>a</sup>	PHEV-20 <sup>b</sup>	PHEV-40 <sup>b</sup>	EV <sup>b</sup>
Data source	USAMP	Argonne	Argonne	Argonne	Argonne	Argonne
% by wt. covered by model	92.8	95.2	95.2	93.4	92.2	89.3
% by wt. from advanced battery	0	0	0.6	2.3	4.18	6.6
Vehicle mass (kg)	1,532	1,578	1,683	1,746	1,959	2,104
$E_{vm}$ (MJ)						
From model	33,920	33,358	32,886	33,712	36,766	38,094
From advanced battery <sup>c</sup>	0	0	1,060	3,654	7,452	12,637
Total	33,920	33,358	33,946	37,366	44,218	50,731
$C_{vm}$ (kg)						
From model	2,011	1,969	1,949	1,995	2,165	2,244
From advanced battery	0	0	84	289	590	1,000
Total	2,011	1,969	2,033	2,284	2,755	3,244

<sup>a</sup> Vehicles from Burnham et al., 2006

<sup>b</sup> Based on Burnham et al., 2006 and simulations from Argonne's Powertrain System Analysis Toolkit

<sup>c</sup> Based on Rydh and Sanden, 2005

### 自動車製造時の電力消費量

TABLE 6 Purchased Fuel and Electricity Use and Energy and CO<sub>2</sub> Summaries for the VMA Stage for a Generic 1532-kg Vehicle

Resource	Coal (kg)	NG (m <sup>3</sup> )	Propane (L)	Gas Oil <sup>a</sup> (L)	Fuel Oil (L)	LPG (L)	Diesel (L)	Gasoline (L)	Process Oil (L)	Electricity (kWh)
Material transformation	43.0	209	0.302	0.005	1.83	0.129	0.094	1.536	1.908	763
Machining										85.1
Subtotal	43.0	209	0.302	0.005	1.83	0.129	0.094	1.536	1.908	848
Assembly plant operations										
Vehicle painting			66.3							134
HVAC & lighting										290
Heating		85.9								0
Material handling										60
Welding										80
Compressed air										120
Subtotal		152								684
Total purchased energy	43.0	361	0.302	0.005	1.83	0.129	0.094	1.536	1.908	1,532
Total in MJ	1,122	13,060	7	0	71	3	3	49	73	5,515
Purchased electricity										5,515 MJ
Purchased fuel										14,389 MJ
LCE electricity <sup>b</sup>										16,111 MJ
LCE fuels										15,577 MJ
Electricity CO <sub>2</sub>										1,188 kg
Purchased fuels										2,227 kg
CO <sub>2</sub>										2,227 kg

<sup>a</sup> Gas oil is distillate oil.

<sup>b</sup> Note that this energy value also includes contributions from nuclear and renewables, which are not explicitly listed in the table.

## 【自動車産業（2/2）】

# 電気自動車製造が進み、

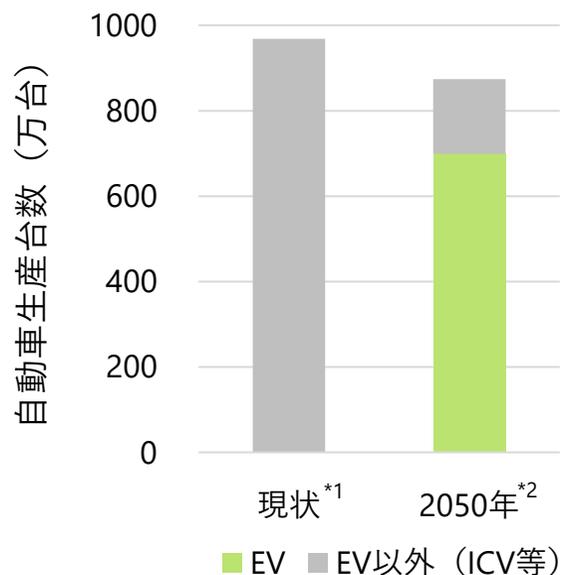
# 自動車産業の消費電力は現状から2050年にかけて約13TWh増加すると想定した

## 自動車産業

### 概要

- 本検討では国内における自動車生産台数が2019年から2050年にかけて縮小（-0.33%/年）すると想定
- 本検討では、2050年の自動車生産台数のうち約8割を電気自動車が占めると仮定し、各自動車の製造時の電力消費原単位を用いて、現状から増加する消費電力（約13TWh）を簡易的に推計

### 国内における自動車生産台数の見通し



### 消費電力の推計

項目	現状（2019年）		2050年		単位
	EV	EV以外	EV	EV以外	
自動車生産台数	-	968	699	175	万台
電力原単位	25400	16700	25400	16700	MJ/台
電力消費量	-	162	177	29	PJ

+45PJ (12.5TWh)

\*1 JAMA HPより実績値を引用 ([https://www.jama.or.jp/statistics/facts/four\\_wheeled/index.html](https://www.jama.or.jp/statistics/facts/four_wheeled/index.html))

\*2 将来の自動車生産台数とその構成比は不明瞭であるため、以下を仮定した

自動車生産台数：2012年~2019年の自動車生産台数の過去トレンド（-0.33%/年）に沿って減少すると想定

構成比：生産台数のうち電気自動車は約8割を占めると想定

# 【工業炉】

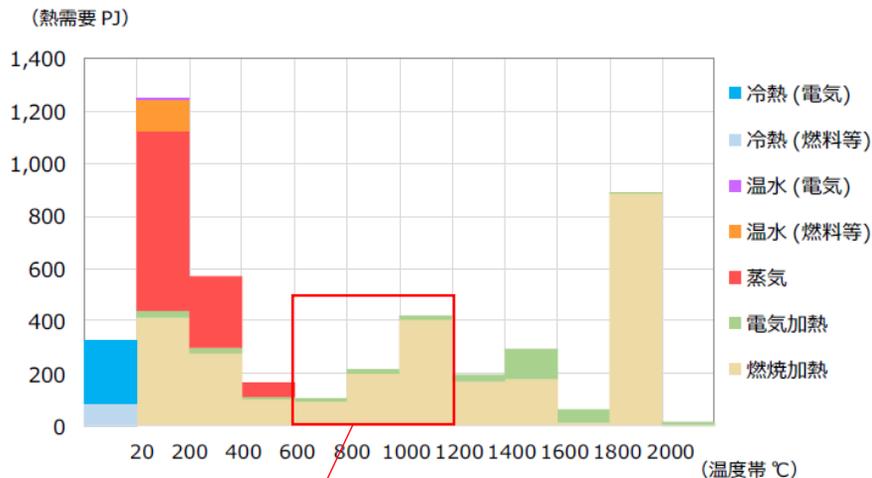
## 600-1000度の燃焼加熱分の一部が電気加熱に転換し、工業炉における消費電力は現状から2050年にかけて約16TWh増加すると想定した

### 工業炉

#### 概要

- 三菱総合研究所では産業部門における熱需要を温度帯ごとに整理している
- 現状工業炉で燃焼加熱により満たされている600-1000度の熱需要の一部は電気加熱に置き換わる可能性がある
- 本検討では基礎的需要の変化や電化による効率向上を考慮し、現状から約15.9TWh増加すると想定

#### 温度帯ごとの熱需要



600～1000度の工業炉が一部電気炉に転換すると想定

#### 燃焼加熱の内訳

表 2-14 温度帯別・用途別の燃焼加熱需要 (PJ)

	分解・反応	精錬	溶解	圧延・鍛造	熱処理	焼結	焼成	乾燥	徐冷	熱媒油加熱	その他	合計
0～50℃	179	0	1	1	0	0	0	5	0	0	1	187
50～100℃	2	0	0	5	1	0	2	18	0	0	3	32
100～150℃	50	0	0	0	1	0	9	20	0	49	1	131
150～200℃	0	0	0	3	5	0	5	40	0	5	5	63
200～300℃	27	0	1	3	2	0	9	16	0	46	35	139
300～400℃	19	0	0	4	1	0	0	36	0	54	27	141
400～500℃	10	0	2	2	2	0	0	2	0	12	28	58
500～600℃	27	0	0	2	3	0	2	6	0	2	0	43
600～700℃	26	0	8	0	2	0	4	5	0	0	1	46
700～800℃	8	1	10	5	19	0	2	2	0	0	1	47
800～1000℃	58	0	3	17	40	1	27	2	0	17	37	202
1000～1200℃	259	1	8	34	9	0	25	1	0	1	68	407
1200～1400℃	22	5	10	67	8	0	47	14	0	0	0	173
1400～1600℃	25	1	35	0	0	1	112	0	5	0	0	180
1600～1800℃	0	0	12	0	0	0	1	0	0	0	0	13
1800～2000℃	887	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	887
2000℃以上	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	1,601	8	90	144	93	2	245	166	6	187	207	2,748

- 溶解炉や熱処理炉による燃焼加熱（82PJ）が電気炉に転換する可能性がある
- 基礎的需要の変化（+0.14%/年）と電気炉への転換による効率向上（1.5倍）を考慮し、現状から2050年にかけて約15.9TWh増加すると想定

## 【自家発動向】

セメントや製紙、繊維工業等を除く各産業で自家用電力が系統電力に切り替わり、系統電力需要は現状から2050年にかけて約33TWh増加すると想定した

### 自家発動向

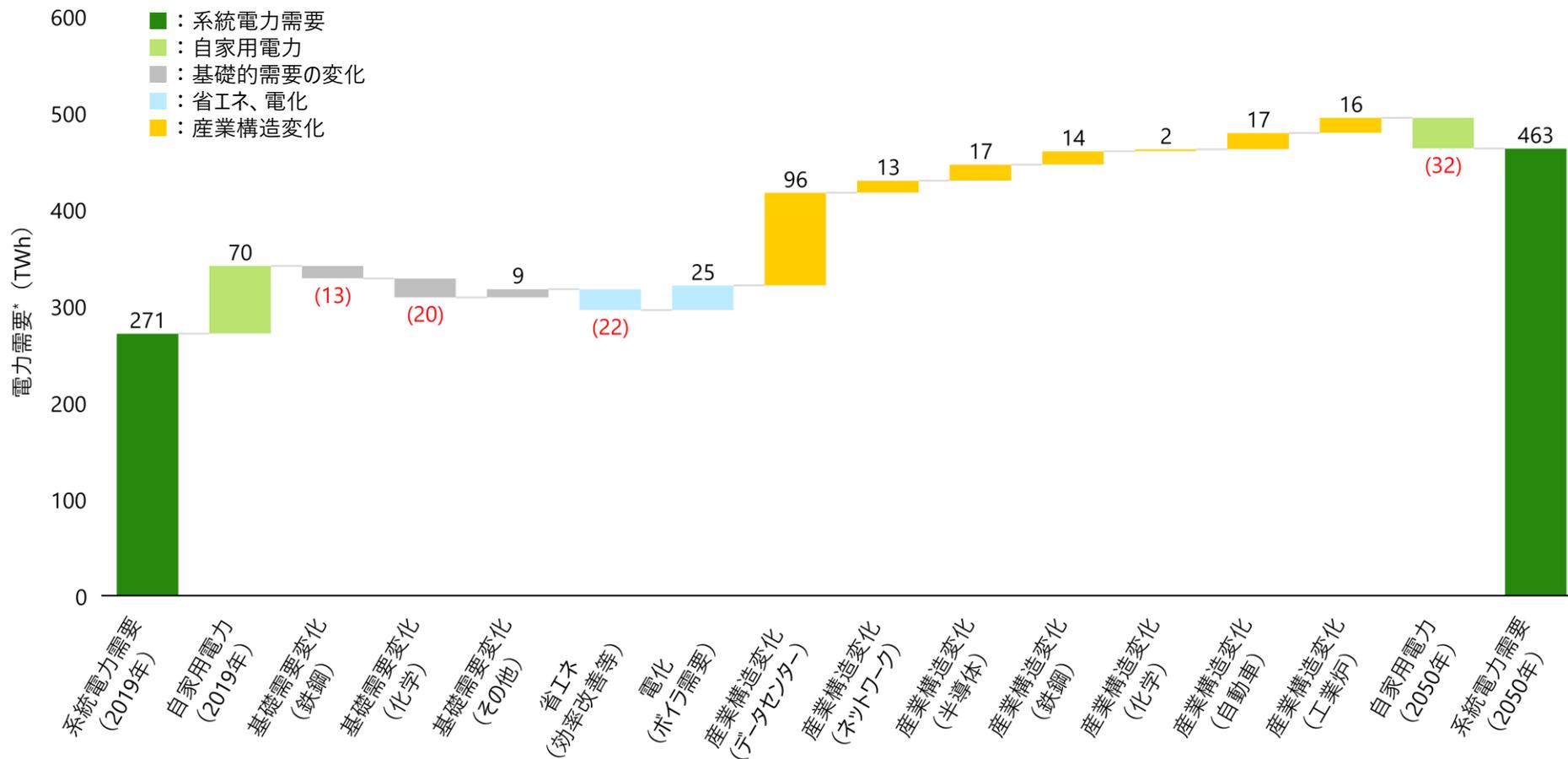
項目		自家発電量 (TWh)			考え方
		2019年	2019年 ※基礎的需要の変化 と省エネ化を考慮	2050年	
鉄鋼		15.1	12.1	0	2050年には電炉と水素還元製鉄が進み、これまで高炉で用いられていた自家発電設備は全て系統電力に置き換わると想定
化学	石油化学工業	6.4	5.4	3.9	化学製品の製造において、2050年にはオレフィン生産量のうち約73%がナフサ由来となり、これまでナフサ分解炉で用いられていた自家発電設備も同じく73%残存すると想定
	アンモニア・ソーダ工業	12.7	12.3	12.3	アンモニア・ソーダ工業における自家発電設備は現状維持 (基礎的需要の変化と省エネによる自家発電量の変化は考慮)
セメント		5.1	4.9	4.9	
製紙		8.2	8.0	8.0	セメント業や製紙産業、繊維工業では製造プロセスと自家発電設備は密接にリンクしているため、将来にわたって維持されると想定 (基礎的需要の変化と省エネによる自家発電量の変化は考慮)
繊維工業		2.8	2.7	2.7	
その他		19.7	18.3	0	その他産業では2050年カーボンニュートラルに向けて化石燃料由来の自家発電設備が廃止し、全て系統電力に置き換わると想定
合計		70	64.5	31.8	-

-32.7TWh (系統電力需要は+32.7TWh)

## 【産業部門】

# 産業構造変化が主要因となり、 産業部門の系統電力需要は現状から2050年にかけて約192TWh増加する

## 産業部門の系統電力需要（2050年、Middle）



# 第8回検討会 資料抜粋

## 【シナリオの考え方】

# 2050年カーボンニュートラルを前提として将来のエネルギー需給を推計する

## 想定したシナリオ

■ 2050年カーボンニュートラルを前提として以下のケースをシミュレーションし、DACの導入量を内生的に計算した

- 再エネ小ケース（原子力大ケース）
  - CCS火力や原子力が積極的に活用され、再エネの導入はそれほど進まないケース
- 再エネ中ケース（原子力中ケース）
  - CCS火力や原子力、再エネがバランスよく導入されるケース
- 再エネ大ケース（原子力小ケース）
  - CCS火力は活用されつつも原子力は現状維持となり、再エネが積極導入されるケース

シナリオ名	シミュレーション条件				
	CO2削減目標 <sup>*1</sup> (2013年比)	CCS貯留量	原発設備容量	水素輸入量	DAC <sup>*2</sup>
再エネ小 (原子力大)	2030年： 46%削減  2050年： カーボンニュートラル	2030年： 0.09億トンを上限  2050年： 1.80億トンを上限	2050年：37 GW	上限なし	CAPEX：1200 USD/tpa-CO <sub>2</sub> OPEX：67 USD/(tpa-CO <sub>2</sub> ・year) 電力原単位：820 kWh/t-CO <sub>2</sub> 熱原単位：1888 kWh/t-CO <sub>2</sub>
再エネ中 (原子力中)			2050年：23 GW		
再エネ大 (原子力小)			2050年：13 GW		

\*1 CO2削減目標は鉄道や船舶、航空を除くエネルギー起源の排出源を対象

\*2 IEA (2021) Global Assessment of Direct Air Capture CostsにおけるFOAKケース（導入初期段階）の液体吸収型のDACを想定

## 【前提条件】

# CO2削減目標や再エネ情報、系統情報等を入力して将来のエネルギー需給を推計する

## 前提条件（電源）

分類		前提条件	参照元
CO2	削減目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年：46%削減（2013年比）</li> <li>■ 2050年：カーボンニュートラル（森林吸収等によるCO2吸収を考慮）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 環境省「2021年度の温室効果ガス排出・吸収量について」</li> <li>■ 環境省「地球温暖化対策計画」（2021年10月）</li> </ul>
	CCS貯留量	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年：0.09億トンを上限</li> <li>■ 2050年：1.80億トンを上限</li> <li>■ 回収および貯留を含めて約20000円/t-CO2の追加コストがかかると想定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 経済産業省「CCS長期ロードマップ検討会 最終とりまとめ」</li> <li>■ RITE「CCSバリューチェーンコスト」</li> </ul>
再エネ導入可能量		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ CO2削減目標に合わせてコスト最小化計算</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 環境省や経済産業省の日射量・風況データに基づく</li> </ul>
再エネコスト	住宅太陽光	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年以降：20.1～26.8万円/kW（発電コスト約9.8円/kWh）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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4月）</li> </ul>
	非住宅太陽光	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年以降：13.7～21.1万円/kW（発電コスト約7.3円/kWh）</li> </ul>	
	洋上風力	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年以降：40.2～59.4万円/kW（発電コスト約10.0円/kWh）</li> </ul>	
	陸上風力	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年以降：14.0～38.0万円/kW（発電コスト約5.2円/kWh）</li> </ul>	
原子力		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 再エネ大（原子力小）：再稼働済の発電所のみが稼働し続けると想定</li> <li>■ 再エネ中（原子力中）：再稼働済に加え審査中や許可済の発電所が稼働</li> <li>■ 再エネ小（原子力大）：廃炉済以外のすべての発電所が稼働</li> </ul>	—
火力+CCS		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 現在稼働中（および計画済）のものは経年45年で廃止されると想定</li> <li>■ CCS石炭火力、CCSガス火力、アンモニア発電、水素発電の新設を考慮</li> </ul>	—

## 【前提条件】

# CO2削減目標や再エネ情報、系統情報等を入力して将来のエネルギー需給を推計する

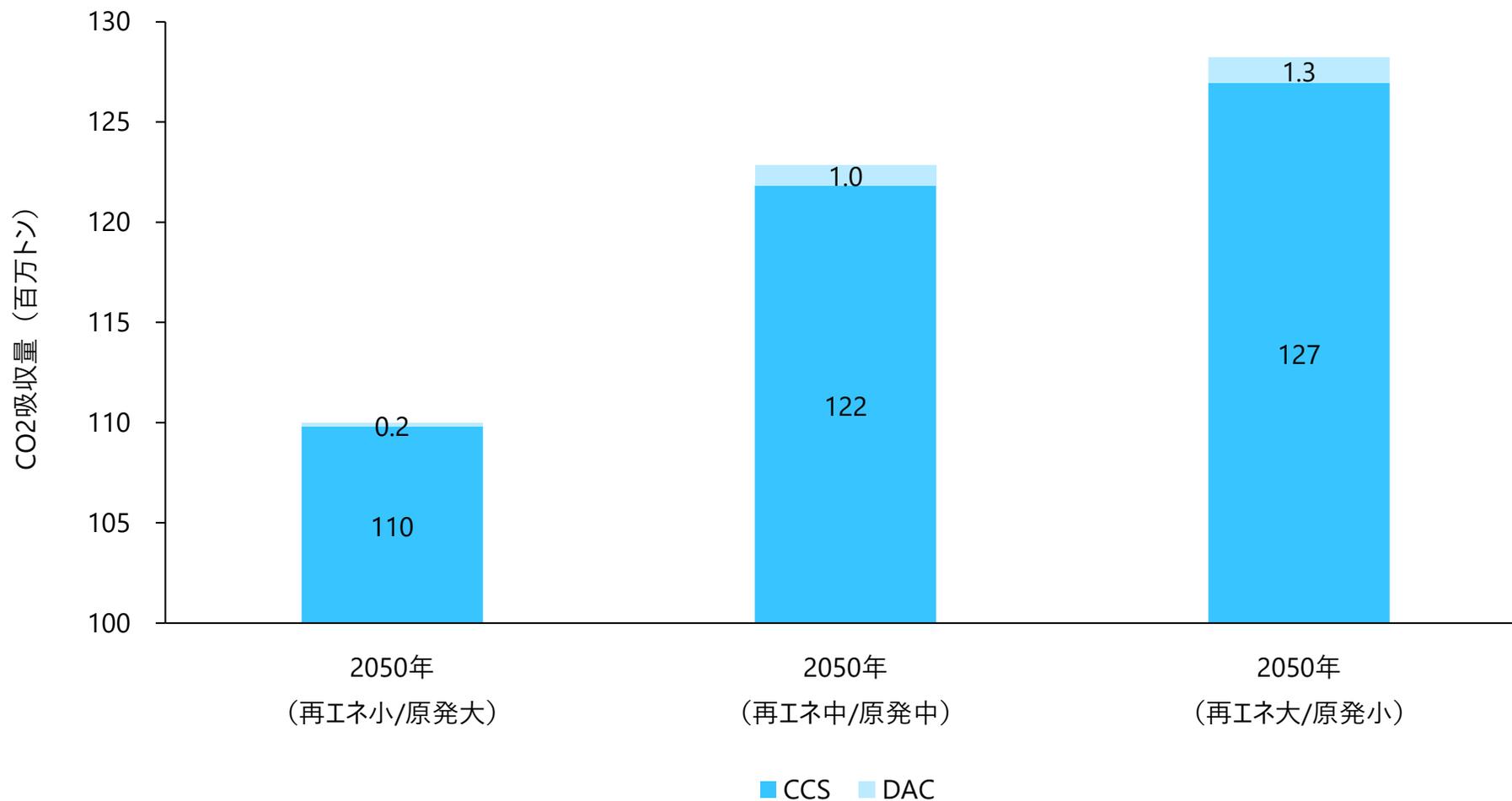
## 前提条件（燃料、インフラ）

分類		前提条件	参照元
化石燃料	石炭	■ 2010~2019年の輸入価格の平均値：124 USD/tonne	■ 財務省「貿易統計」
	原油	■ 2010~2019年の輸入価格の平均値：80 USD/barrel	
	天然ガス	■ 2010~2019年の輸入価格の平均値：12 USD/Mbtu	
水素	アルカリ水電解	■ 2030年以降：初期費用22.3万円/Nm3/h、エネルギー消費量4.3kWh/Nm3	■ 経済産業省「水素基本戦略」 ■ 経済産業省「2050年CNに伴うグリーン成長戦略」
	PEM水電解	■ 2030年以降：初期費用29万円/Nm3/h、エネルギー消費量4.5kWh/Nm3	
	輸入	■ 2030年：300万トンを上限、30円/Nm3-H2 ■ 2050年：上限なし、20円/Nm3-H2	
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 ■ 「広域連系系統のマスタープラン」の増強計画に加え、それ以上の系統拡充が可能と想定	■ OCCTOデータベースおよび広域系統長期方針
	蓄電池	■ 2030年：約8.5万円/kW ■ 2040年：約7.2万円/kW ■ 2050年：約5.9万円/kW	■ NREL「Annual Technology Baseline」
	電気自動車	■ スマートチャージングあり	—
	揚水発電	■ 各発電所が現状の設備利用率（約3%）以下で稼働すると想定	■ 経済産業省 資源エネルギー庁「電力調査統計」

## 【CO2排出量・吸収量】

いずれのシナリオにおいても国内のDACの導入量は限定的となる

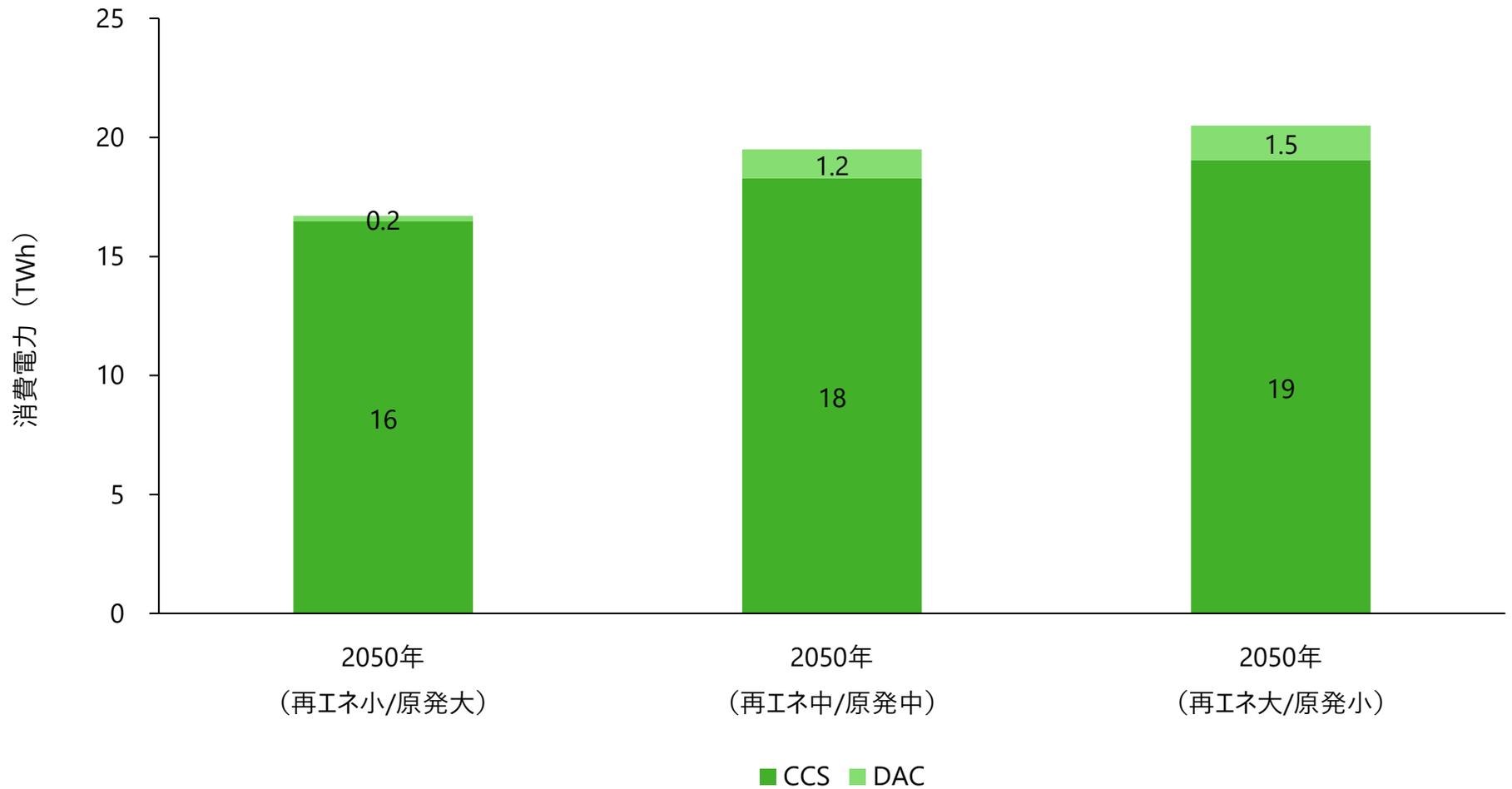
### CO2吸収量（2050年）



## 【消費電力】

CCSに比べてDACに要する消費電力は低い水準となる

### 消費電力（2050年）



# 第7回検討会 資料抜粋

## 【シナリオの考え方】

# 2050年カーボンニュートラルを前提として将来のエネルギー需給を推計する

## 想定したシナリオ

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

- 原子力小ケース（再エネ大ケース）
  - CCS火力は活用されつつも原子力は現状維持となり、再エネが積極導入されるケース
- 原子力中ケース（再エネ中ケース）
  - CCS火力や原子力、再エネの導入量が小ケースと大ケースのおよそ中間値となるケース
- 原子力大ケース（再エネ小ケース）
  - CCS火力や原子力が積極的に活用され、再エネの導入はそれほど進まないケース

シナリオ名	シミュレーション条件				
	CO2削減目標*1 (2013年比)	CO2貯留量	原発稼働数	水素*2	
				輸入水素	国内水素（水電解）
原子力小（再エネ大）	2030年：46%削減 2050年：CN達成	2030年：0.13億トンを上限 2050年：1.80億トンを上限	2050年：13 GW	輸入量 上限なし  価格 2030年：約51円/Nm3 2050年：約37円/Nm3	価格 2030年以降：22.3万円/Nm3/h  効率（電力原単位） 2030年以降：4.3kWh/Nm3
原子力中（再エネ中）			2050年：23 GW		
原子力大（再エネ小）			2050年：37 GW		

\*1 CO2削減目標は鉄道や船舶、航空を除くエネルギー起源の排出源を対象

\*2 2050年断面において水素の港湾や国内輸送インフラは十分に整備されているとし、輸入した水素は内陸部の需要家に対しても比較的低コストで配送されると想定。

## 【前提条件】

# CO2削減目標や再エネ情報、系統情報等を入力して将来のエネルギー需給を推計する

## 前提条件（電源）

分類		前提条件	参照元
CO2	削減目標	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年：46%削減（2013年比）</li> <li>■ 2050年：カーボンニュートラル（森林吸収等によるCO2吸収を考慮）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 環境省「2021年度の温室効果ガス排出・吸収量について」</li> <li>■ 環境省「地球温暖化対策計画」（2021年10月）</li> </ul>
	CCS貯留量	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ CCS貯留量小ケース：2030年以降、0.13億トンを上限</li> <li>■ CCS貯留量大ケース：2030年0.13億トン、2050年1.8億トンを上限</li> <li>■ 回収および貯留を含めて約20000円/t-CO2の追加コストがかかる想定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 経済産業省「CCS長期ロードマップ検討会 最終とりまとめ」</li> <li>■ RITE「CCSバリューチェーンコスト」</li> </ul>
再エネ導入可能量		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ CO2削減目標に合わせてコスト最小化計算</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 環境省や経済産業省の日射量・風況データに基づく</li> </ul>
再エネコスト	住宅太陽光	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年以降：20.1～26.8万円/kW（発電コスト約9.8円/kWh）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 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4月）</li> </ul>
	非住宅太陽光	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年以降：13.7～21.1万円/kW（発電コスト約7.3円/kWh）</li> </ul>	
	洋上風力	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年以降：40.2～59.4万円/kW（発電コスト約10.0円/kWh）</li> </ul>	
	陸上風力	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2030年以降：14.0～38.0万円/kW（発電コスト約5.2円/kWh）</li> </ul>	
原子力		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 原子力小（再エネ大）：再稼働済の発電所のみが稼働し続けると想定</li> <li>■ 原子力中（再エネ中）：再稼働済に加え審査中や許可済の発電所が稼働</li> <li>■ 原子力大（再エネ小）：廃炉済以外のすべての発電所が稼働</li> </ul>	—
火力+CCS		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 現在稼働中（および計画済）のものは経年45年で廃止されると想定</li> <li>■ CCS石炭火力、CCSガス火力、アンモニア発電、水素発電の新設を考慮</li> </ul>	—

## 【前提条件】

# CO2削減目標や再エネ情報、系統情報等を入力して将来のエネルギー需給を推計する

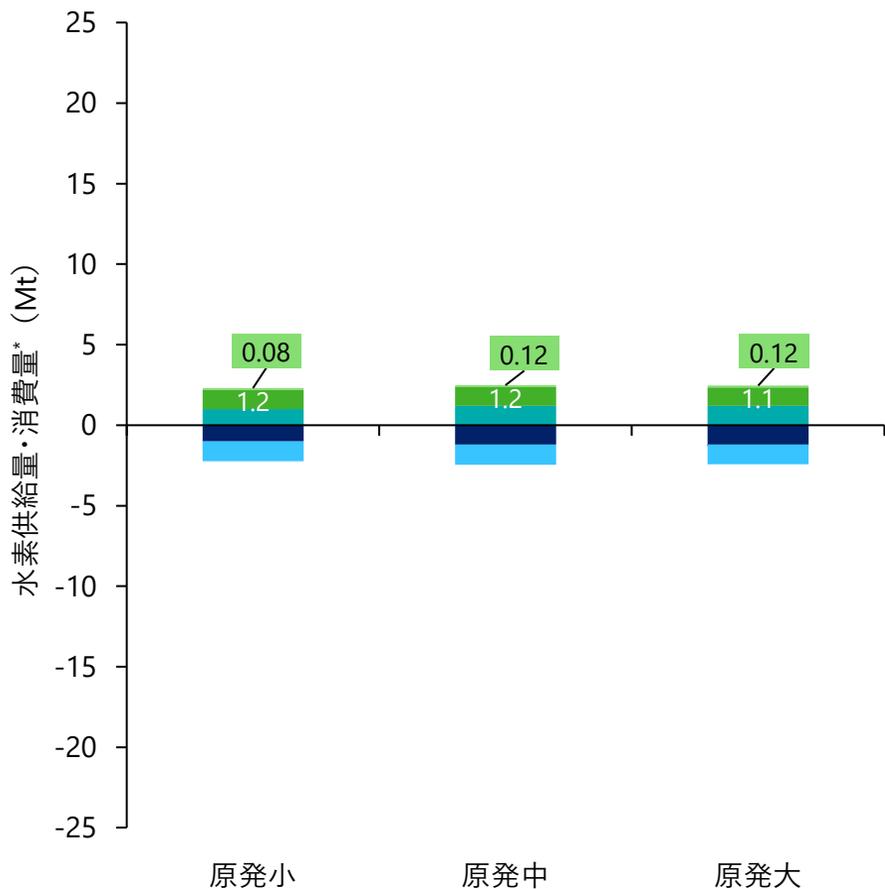
## 前提条件（燃料、インフラ）

分類		前提条件	参照元
化石燃料	石炭	■ 2010~2019年の輸入価格の平均値：124 USD/tonne	■ 財務省「貿易統計」
	原油	■ 2010~2019年の輸入価格の平均値：80 USD/barrel	
	天然ガス	■ 2010~2019年の輸入価格の平均値：12 USD/Mbtu	
国内水素	アルカリ水電解	■ 2030年以降：初期費用22.3万円/Nm3/h、エネルギー消費量4.3kWh/Nm3	■ 経済産業省「水素基本戦略」 ■ 経済産業省「2050年CNに伴うグリーン成長戦略」
	PEM水電解	■ 2030年以降：初期費用29万円/Nm3/h、エネルギー消費量4.5kWh/Nm3	
輸入水素		■ 2030年：36 USD/GJ（約51円/Nm3-H2） ■ 2050年：26 USD/GJ（約37円/Nm3-H2）	■ IEA (2023) 「World Energy Outlook 2023」 ■ NEDO (2017) 「水素利用等船頭研究開発事業 エネルギーキャリアシステム調査・研究」
輸入アンモニア		■ 2030年：34 USD/GJ ■ 2050年：25 USD/GJ	
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 ■ 「広域連系系統のマスタープラン」の増強計画に準拠し、それ以上の系統拡充なしと想定	■ OCCTOデータベースおよび広域系統長期方針
	蓄電池	■ 2030年：約8.5万円/kW ■ 2040年：約7.2万円/kW ■ 2050年：約5.9万円/kW	■ NREL「Annual Technology Baseline」
	電気自動車	■ スマートチャージングあり	—
	揚水発電	■ 各発電所が現状の設備利用率（約3%）以下で稼働すると想定	■ 経済産業省 資源エネルギー庁「電力調査統計」

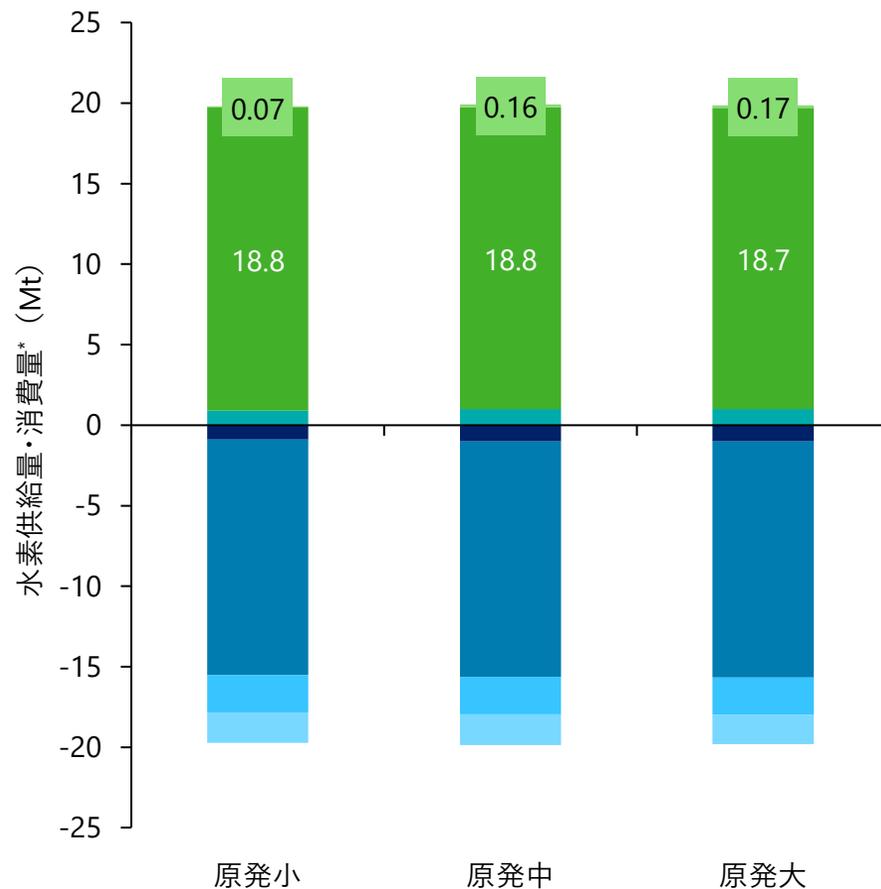
## 【水素需給】

2040年から2050年にかけて、主に産業部門の需要を満たすため水素を海外から輸入し、国内水素製造は限定的となる

### 水素・アンモニア需給（2040年）



### 水素・アンモニア需給（2050年）



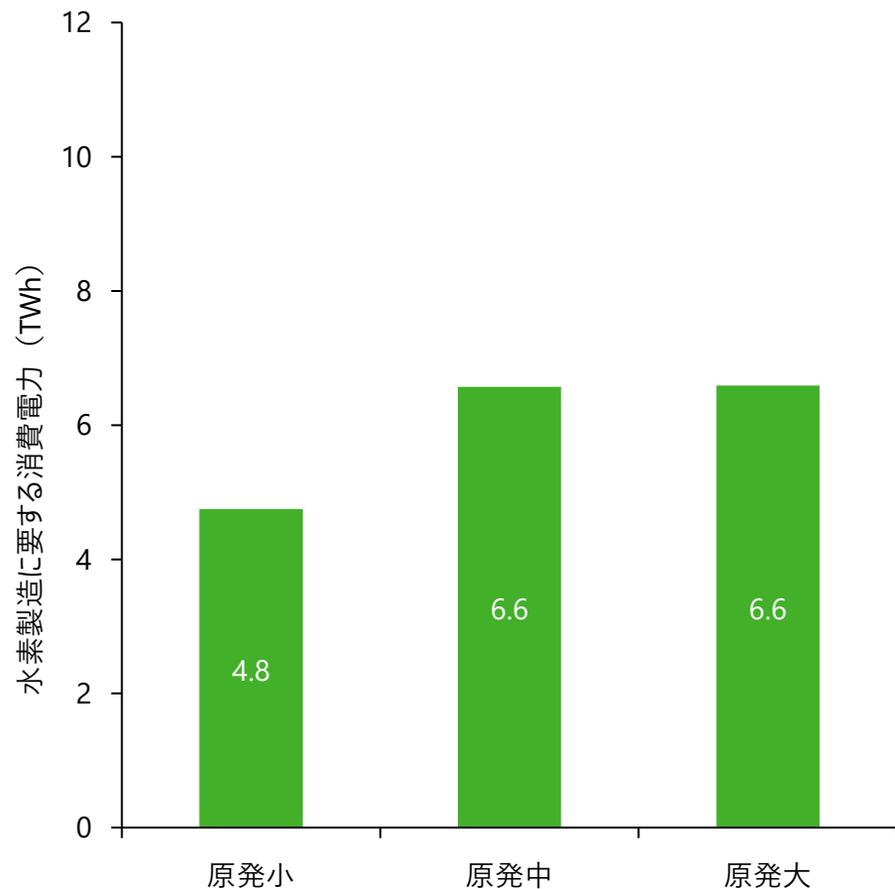
国内製造 輸入 アンモニア 発電 産業 運輸 民生

\* 水素供給量を正の値、水素消費量を負の値として表記

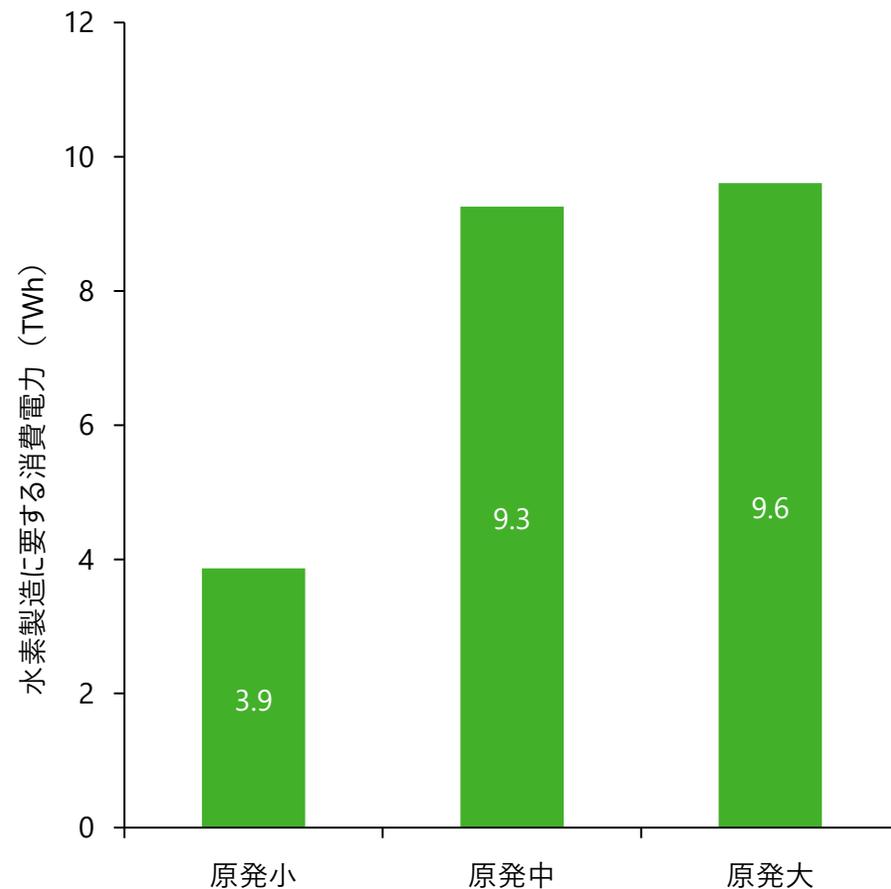
## 【消費電力】

2040年から2050年で国内水素製造の電力需要は約4 – 10 TWhの水準となる

### 水素製造に要する消費電力（2040年）



### 水素製造に要する消費電力（2050年）



\* 水素供給量を正の値、水素消費量を負の値として表記

# 【電力需要サマリ】

## 昨年度から一部前提条件を見直したものの、系統電力需要の水準に大きな差はない

### 電力需要サマリ（2050年）

凡例 **赤字**：昨年度から今年度にかけての主な違い  
 ※主な違いにおいて各ケース間の幅を( )に表示

項目		昨年度	今年度	昨年度から今年度にかけての主な更新点	
		Middleケース（自給率中位）	Middleケース（原発稼働数中位）		
前提条件	シナリオ	自給率分岐 (中位ケースで自給率約30%)	原発稼働数で分岐 (中位ケースで原発稼働数27基)	昨年度から今年度にかけて、自給率を左右する要素のうち、今後の原発稼働数をシナリオの分岐条件として採用。	
	需要側	コスト最小化の条件において内生計算	水素やDACの前提条件を更新	昨年度から今年度にかけて、特にDACの価格やエネルギー消費原単位等を更新。(その結果、昨年度よりもDACコストが減少)	
	供給側	コスト最小化の条件において内生計算	一部の再エネに対して、建設計画や陸上風力等、今後の導入が限定的となるものに制約を付与	-	
試算結果	変更要素	電化-家庭	36 (35~39)	18 (18~19)	昨年度よりDACコストが減少したことで、厨房等における化石燃料の利用が一部維持され、その結果、電力需要が減少。
		電化-業務	94 (88~94)	57 (57~59)	
		水電解	22 (14~63)	9 (4~10)	昨年度からDACコストが減少したことで、結果として、DACの導入が一部選択された。(水電解とDACによる電力消費の総量はほぼ変化なし)
		DAC	0	14 (13~15)	
	総需要	1147 (1131~1201)	1090 (1084~1093)	主に民生部門の電化の差異により、微減。	

# 参考資料

## 【CO2限界削減費用および限界発電費用】

各ケースにおけるCO2限界削減費用および限界発電費用は以下の通り

### 各ケースにおけるCO2限界削減費用および限界発電費用

	Lowケース（原発稼働数低位）		Middleケース（原発稼働数中位）		Highケース（原発稼働数高位）	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050
CO2限界削減費用 (円/t-CO2)	19,600	49,700	19,600	49,600	19,600	49,100
限界発電費用* (円/kWh)	16.1	15.8	15.7	15.8	15.4	15.7

\*現状値：8.7円/kWh