

令和8年電気学会全国大会  
電子情報通信学会との共催シンポジウム  
2026年3月14日

# 世界および日本におけるカーボン ニュートラルに向けた取り組みの動向

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)

システム研究グループ グループリーダー

秋元 圭吾

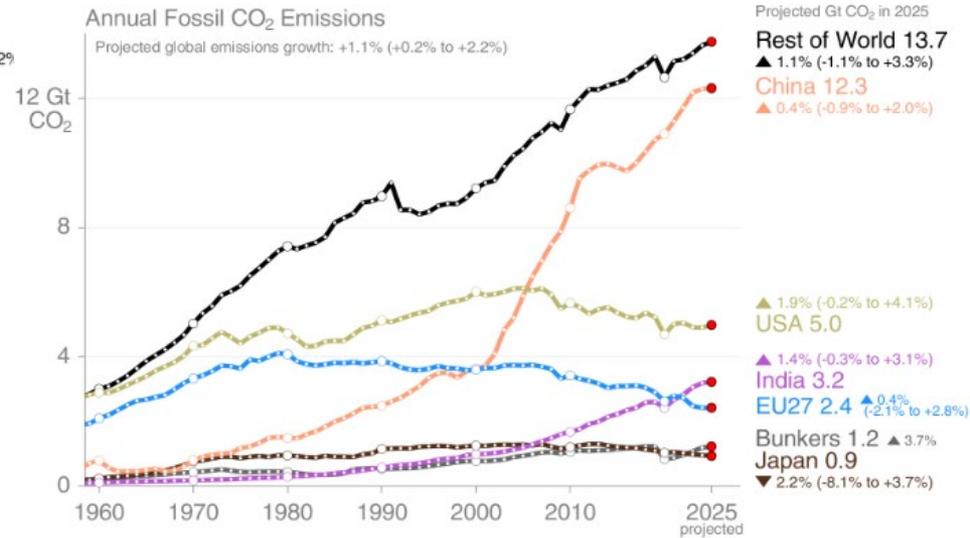
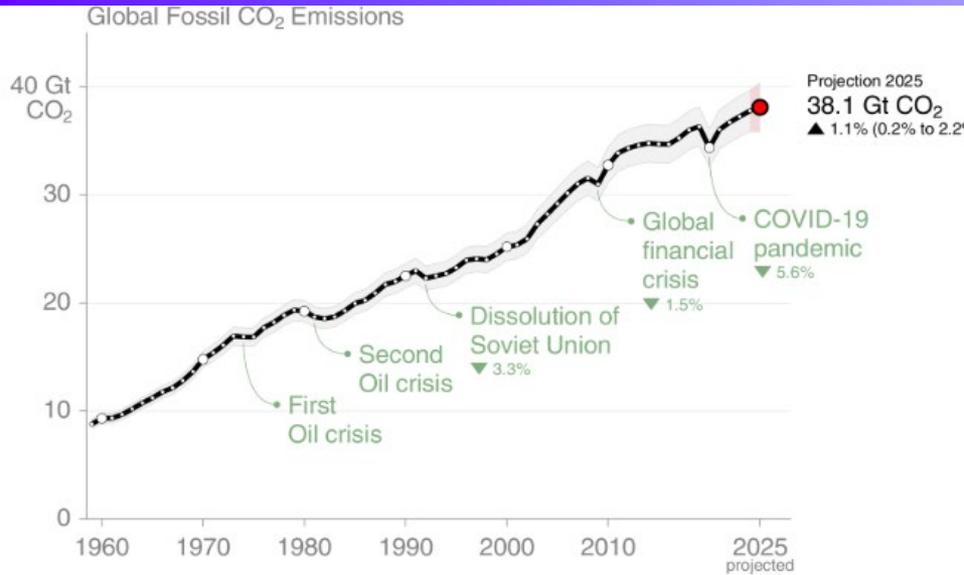
(東京科学大学 総合研究院 特任教授)



# 1. エネルギーと気候変動の現状



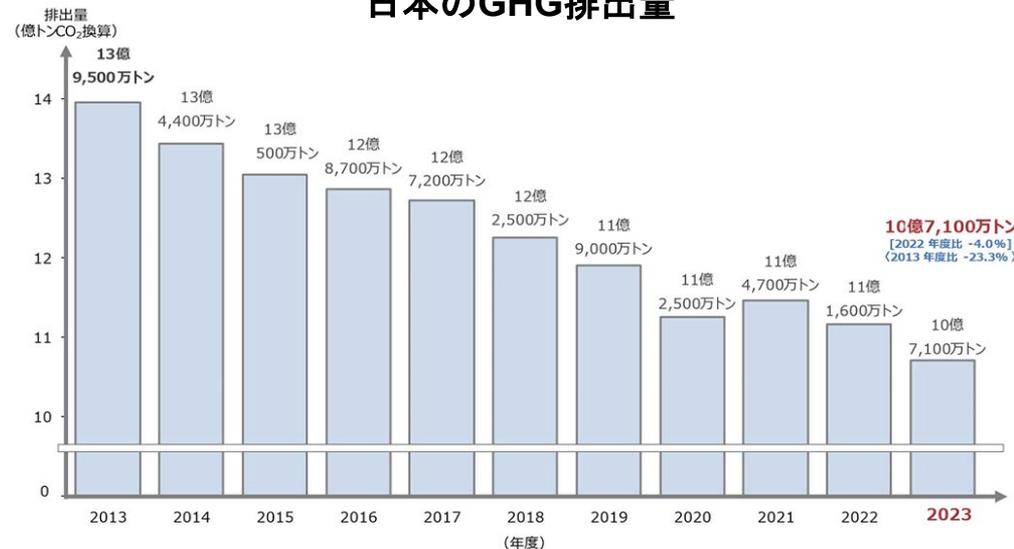
# 世界・主要国のCO2排出量の推移



出典) Global Carbon Project, 2025

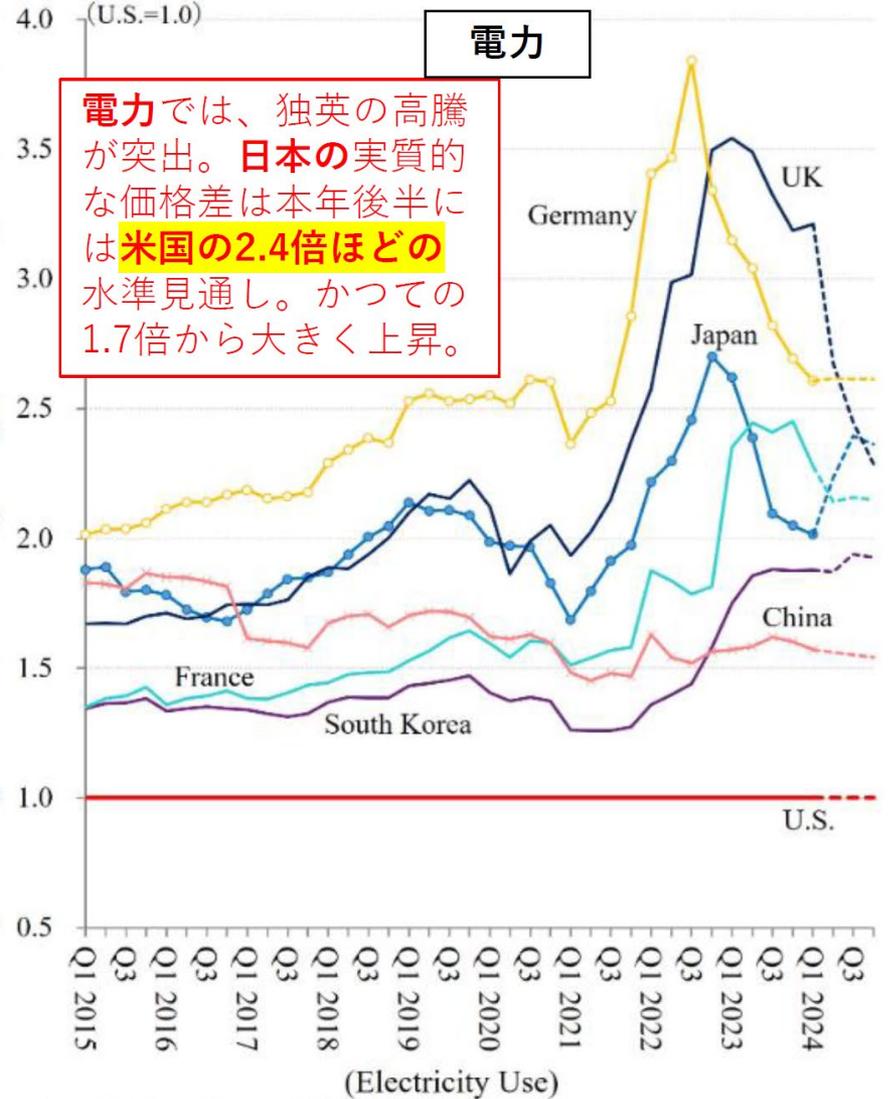
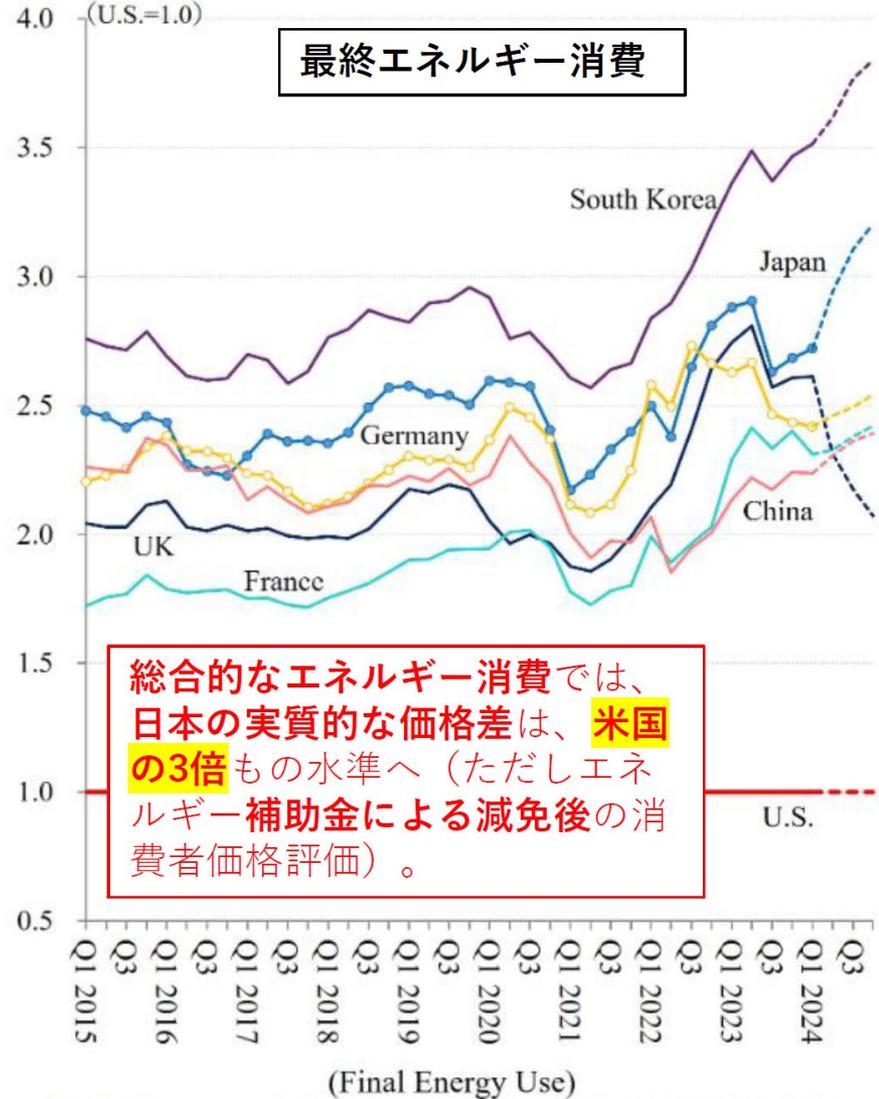
- 世界全体では、経済とCO2排出量のカップリングは続いている。世界の排出量を簡単に減らせる状況にはない。
- 先進国から、途上国へ、とりわけCO2原単位の高い製造業の移転が起こっている。
- 瞬間的とは言え、2024年の世界平均気温は1.5°C上昇を超えた。
- COP28決定文書ーグローバル・ストックテイクでは「最新のNDCsが完全に実施された場合には2.1~2.8°Cの範囲の上昇」

## 日本のGHG排出量



# 実質的なエネルギーの価格の国際格差 (Real PLI)

## ※ Real Price Level Index



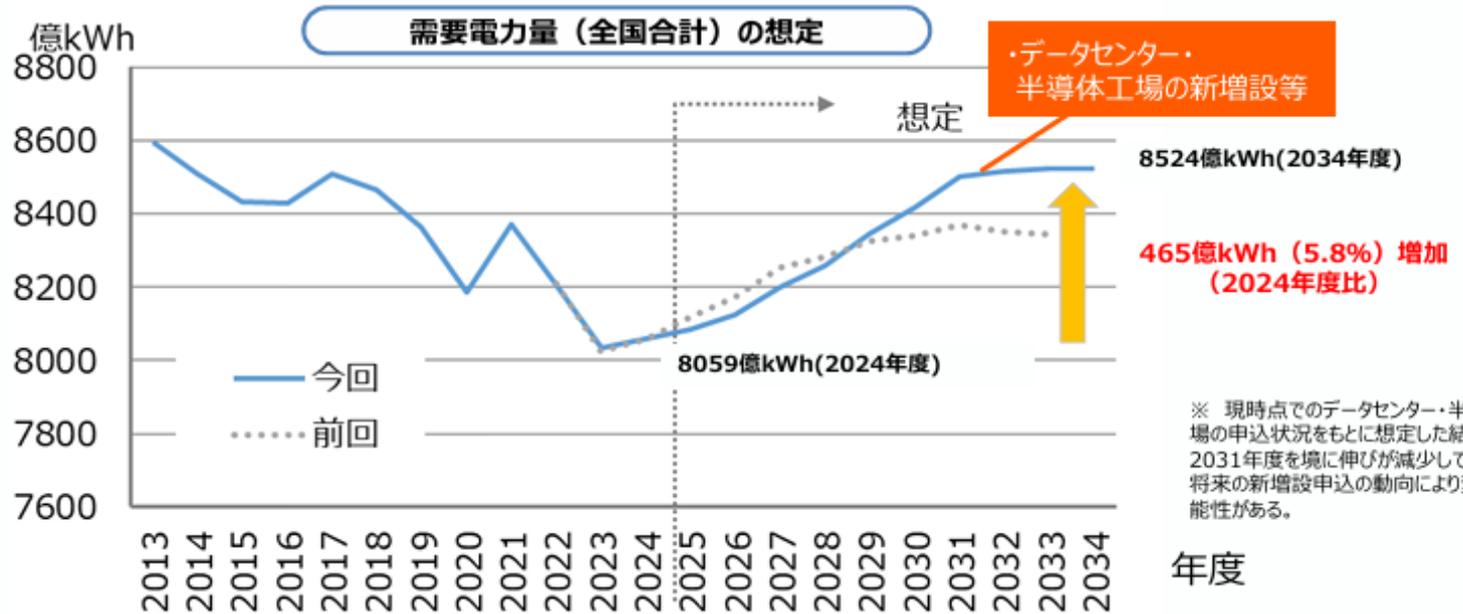
単位：米国水準 = 1.0。出典：ECM\_202407（慶大産研野村研究室, 2024年8月3日公表）。測定の詳細はNomura and Inaba (2024) "Post-Pandemic Surges of Real Unit Energy Costs in Eight Industrialized Countries," RCGW Discussion Paper, Research Center on Global Warming, Development Bank of Japan.  
出典)野村浩二, GX専門家WG資料(2024)

# 電力需要実績と将来展望

## 前回（2024年度）想定より上振れの見通し

- 毎年、電力広域的運営推進機関は、一般送配電事業者から提出された電力需要の想定を取りまとめ公表。
- 本年1月22日に公表された想定では、人口減少や節電等の影響はあるものの、データセンターや半導体工場の新增設等による電力需要の増加によって、全体の電力需要も増加傾向となっている。
- 具体的には、データセンターや半導体工場の新增設を見込むエリアの拡大等に伴い、今回の取りまとめの最終年度（2034年度）における全国の需要電力量は8524億kWhとなり、2024年度比で約6%の増加となった。

※電力広域的運営推進機関が業務規程第22条の規定に基づき、2025年度供給計画における需要想定の前提となる人口、国内総生産（GDP）、鉱工業生産指数（IIP）その他の経済指標について、当年度を含む11年後までの各年度分の見通しを策定。



※ 現時点でのデータセンター・半導体工場の申込状況をもとに想定した結果、2031年度を境に伸びが減少しているが、将来の新增設申込の動向により変わる可能性がある。

出典) 政府資料(2025)

- ✓ データセンター、半導体工場需要により、電力需要は上昇に転じつつある。
- ✓ しかし、実際の需要の増大は、電力供給が安定的に低廉な価格でできるかに依存

# エネルギー安定供給・安全保障への配慮

## 【LNGの価格推移】

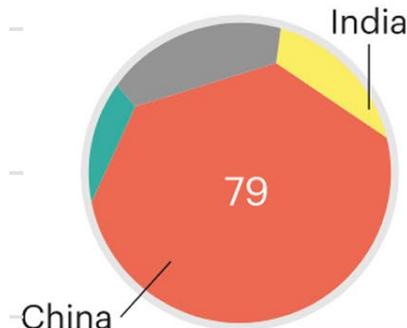


化石燃料の価格変動は大きくなっている。

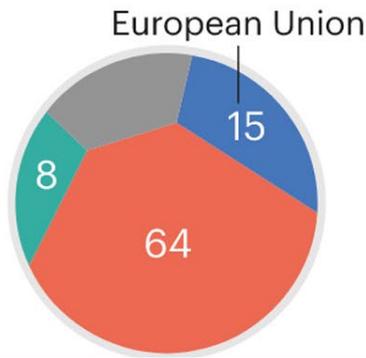
出典) GX実行会議資料(2024)より

## 【各種技術の世界シェア】

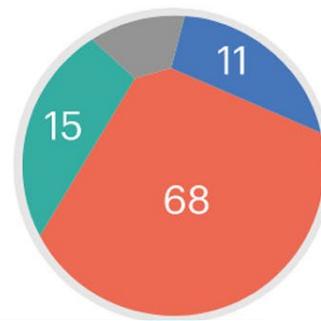
### 太陽光



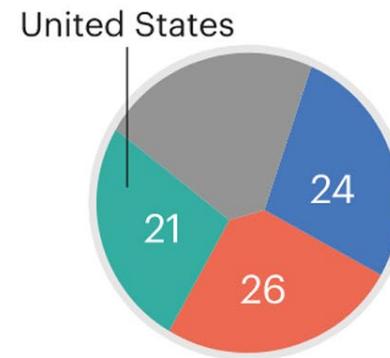
### 風力



### 蓄電池



### 電解装置



太陽光、風力、蓄電池等は、中国に市場は支配されている。

出典) GX実行会議資料(2024)より

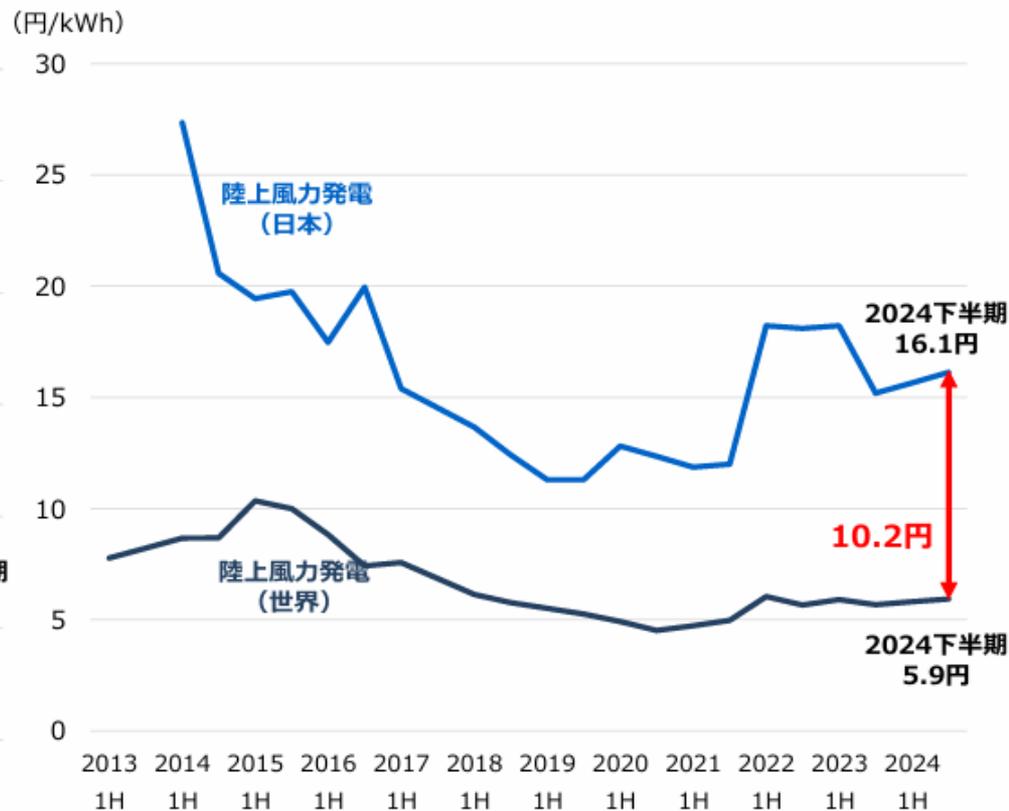
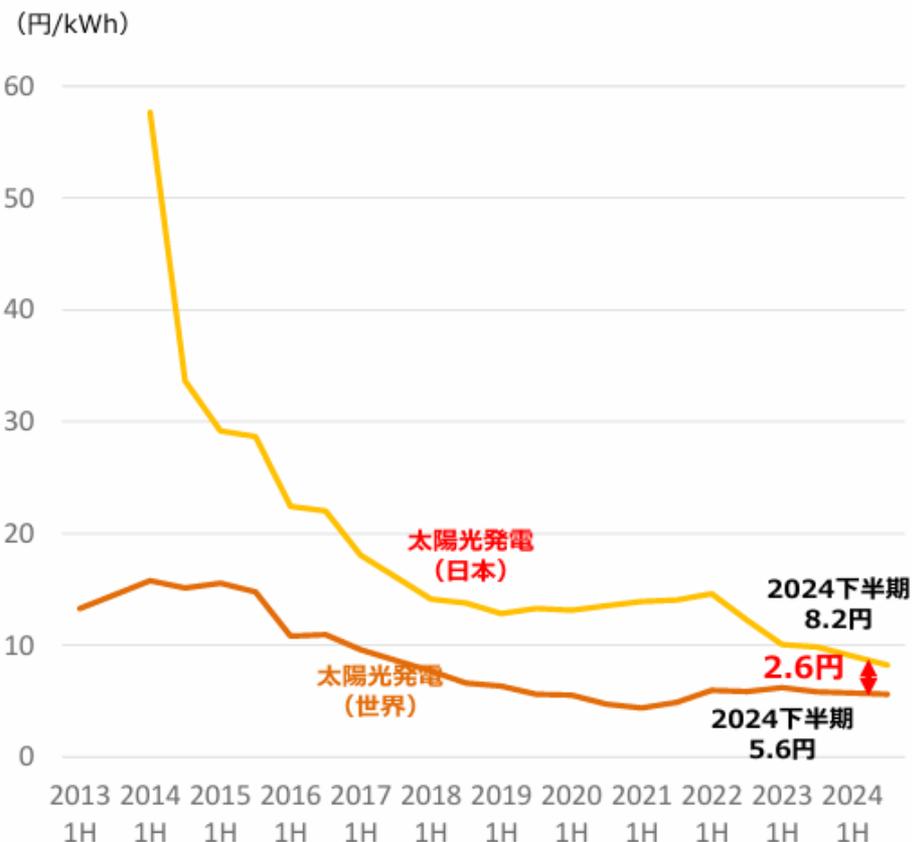
## 2. カーボンニュートラルに向けた 各種対策技術の役割と課題



# 太陽光・風力発電コスト実績：世界と日本

<世界と日本の太陽光発電のコスト推移 (円/kWh) >

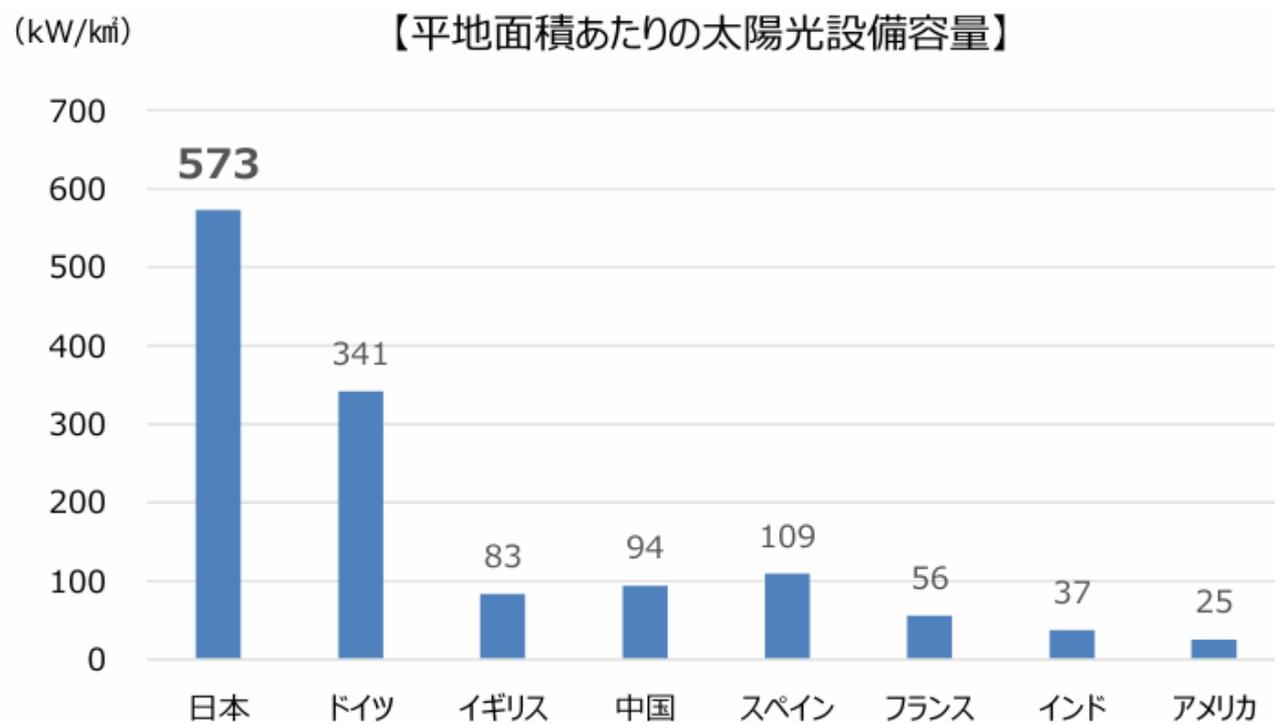
<世界と日本の陸上風力発電のコスト推移 (円/kWh) >



出典) 調達価格等算定委員会資料(2025)

- ✓ 再エネのコストは単体では低廉になってきた。カーボンニュートラルの実現に向けて再エネの拡大は重要
- ✓ しかしながら・・・

# 再生可能エネルギー導入拡大に伴う課題



- ✓ 国土面積、とりわけ平地面積が小さい日本では、再エネ拡大は容易ではない。
- ✓ 地域共生の課題に直面してきている。

**火力・原子力発電所(100万kW)と同量の発電量を得るための面積**

原子力	約0.6km <sup>2</sup>
火力	約0.5km <sup>2</sup>
太陽光	約58km <sup>2</sup> ※山手線の内側の面積が約63km <sup>2</sup>
風力	約214km <sup>2</sup>

土砂崩れで生じた崩落



柵の設置されない設備



不十分な管理で放置されたパネル



景観を乱すパネルの設置



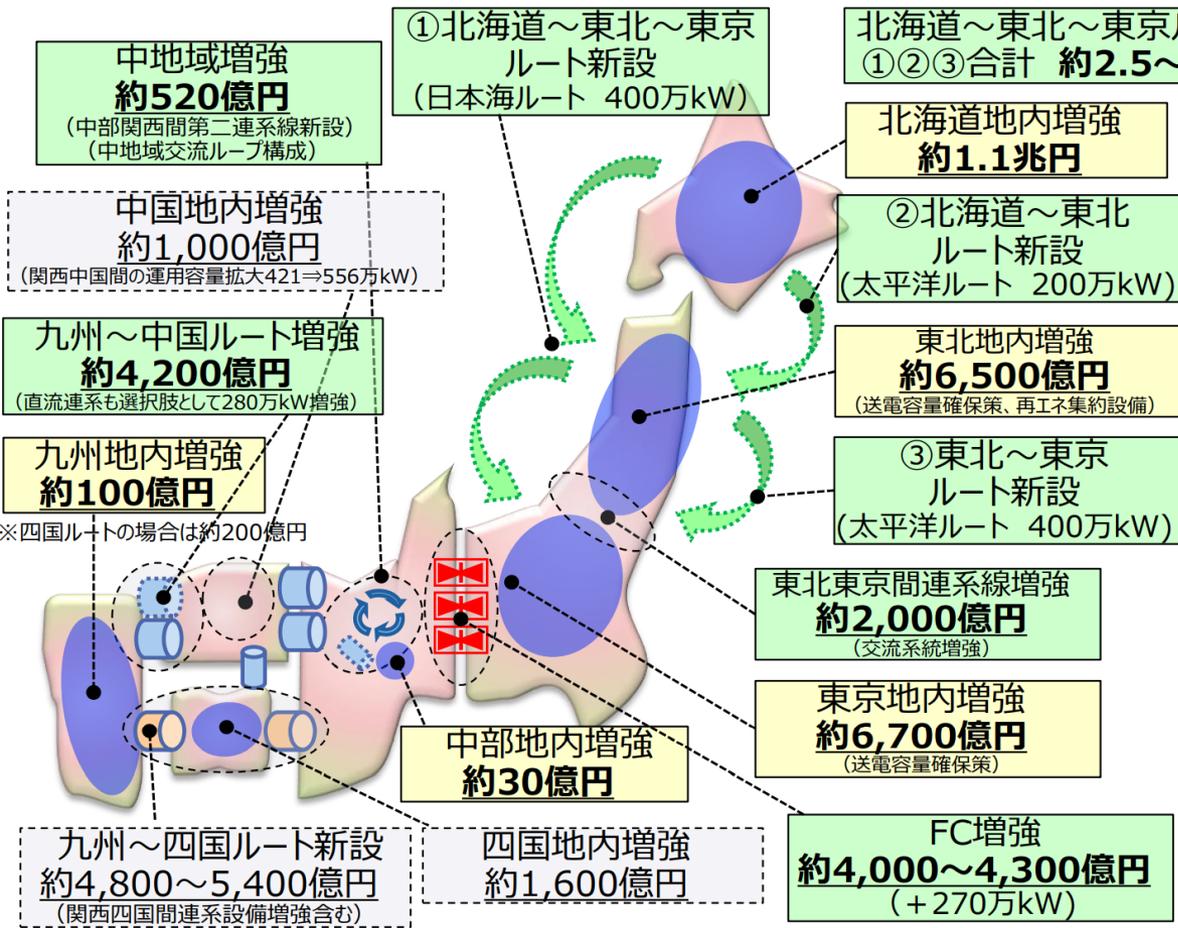
出典) 政府資料 (2024)

出典) 政府資料 (2020)

# 再エネの拡大に向けて:プッシュ型の電力系統形成

## 再エネ50%程度の導入時

## ベースシナリオ



【凡例】  
 連系線増強  
 地内増強  
 将来の選択肢

必要投資額 <sup>※1</sup>	約6.0 ~ 7.0兆円
費用便益比(B/C) <sup>※1</sup>	0.7 ~ 1.5
年間コスト <sup>※1, ※2</sup>	約5,500 ~ 6,400億円/年
年間便益(純便益)	約4,200 ~ 7,300億円/年 (約▲2,200~1,800億円/年)
削減された燃料費	約3,300~6,700億円/年
削減されたCO2対策コスト	約780億円/年
削減されたCO2排出量	約2,430万 t /年
アデカシー便益	約310億円/年
送電ロス	約▲430~▲250億円/年

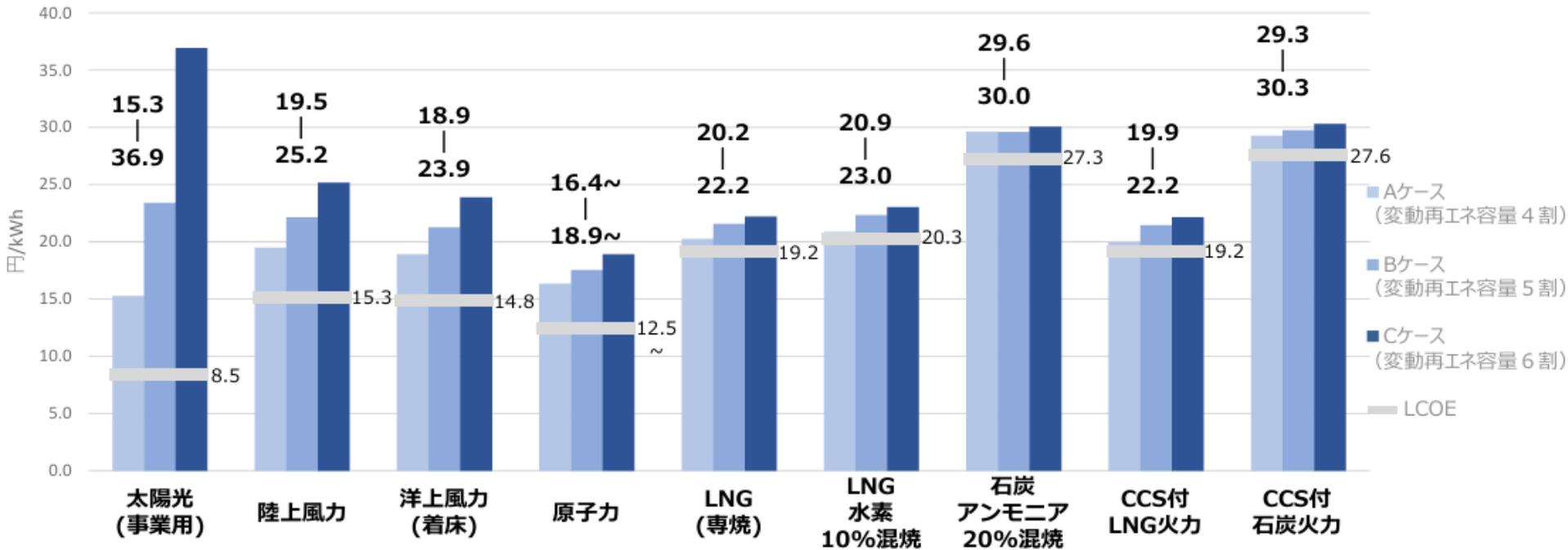
系統の安定性	地域間連系の複線化による周波数安定性の向上、 災害時等のバックアップ機能の強化	
再エネ比率	増強後47% (50%)	増強前43%
出力制御率	増強後12% (7%)	増強前22%

( ) は系統増強以外の施策として、電源側の立地の最適化等を行った場合の参考値  
 ※1 HVDCコスト幅等を考慮して試算  
 ※2 費用をもとに以下の年経費率にて算出  
 架空送電 (7.9%)、地中送電 (9.0%)、変電 (10.7%)

出典) 電力広域的運営推進機関 (2022)

- ✓ **プッシュ型での系統形成を行う方針(費用便益分析を実施)。偏在する再エネの大量導入によって、系統増強への大きな投資が必要。ただし、設備利用率が低くなり託送料金が増大し過ぎないように、適切な投資が必要**
- ✓ **莫大な金額の投資が必要。洋上風力などの建設、稼働と、系統拡張のタイミングを合わせることも重要**

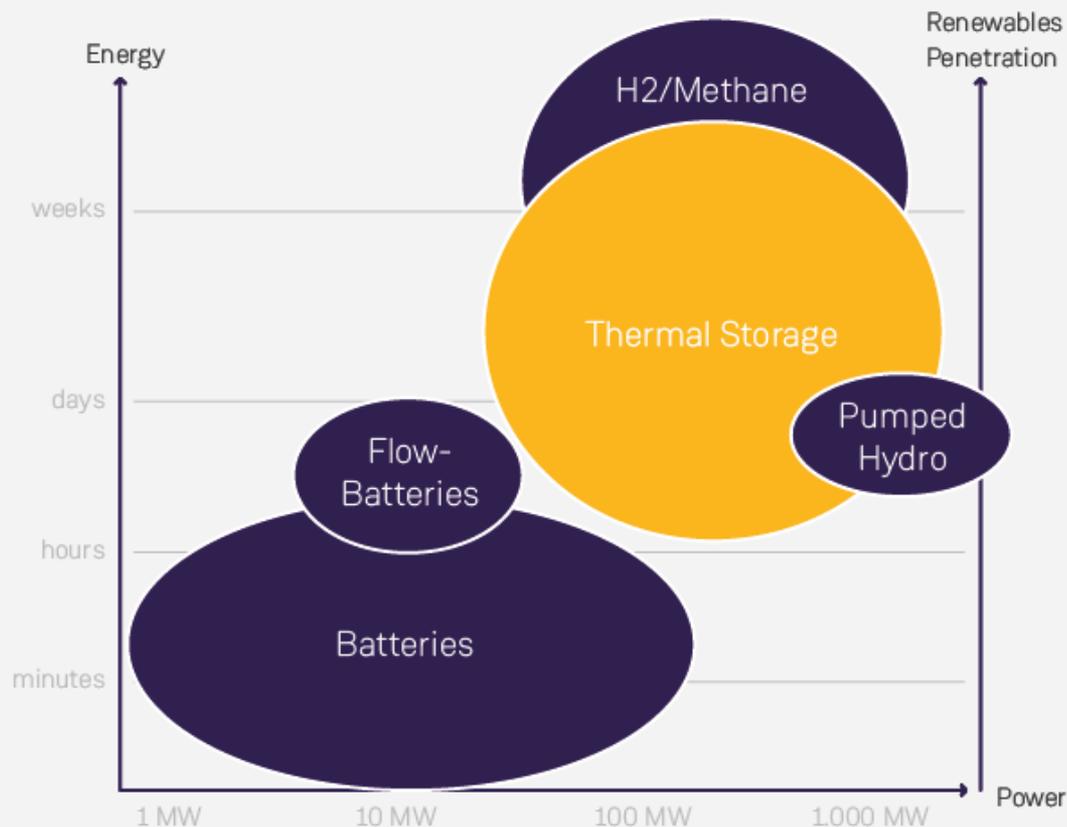
# 2024年発電コスト検証：2040年の発電コスト (統合コストの一部を考慮した発電コスト)



- LCOEでは、事業用太陽光は安価と推計されるが、系統統合コストを含むコスト評価では、変動性再エネ設備容量が5割くらいを超えると他電源のコストと同程度、もしくは、より高いと評価
- 様々な電源の適切なバランスは重要
- 需要側の対策により、系統統合費用の低減を図ることは大変重要

Only utility-scale storage solutions can solve challenges for power plant owners

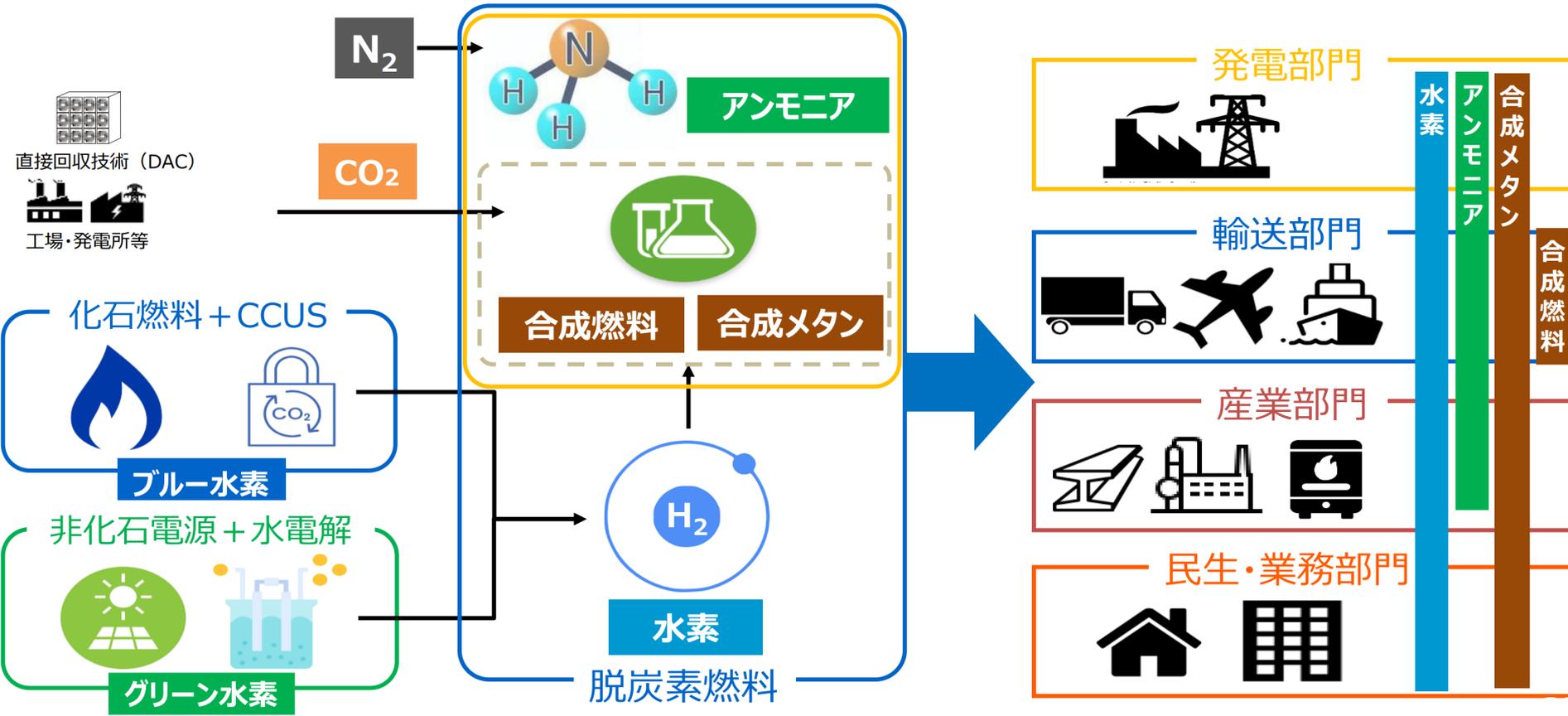
- Batteries for small- and mid-scale storage due to high capacity costs
- Pump-hydro is geographically limited
- H2/Methane restricted to 35% full cycle efficiency
- Longevity of batteries up to 10 years, thermal storage up to 30 years
- Costs of batteries significantly higher compared to thermal storage



出典) Siemens-Gamesa

- ✓ VRE拡大のため、蓄電池のみならず、蓄熱、水素系燃料の活用も重要
- ✓ VREの設備利用率が小さいため、蓄熱、水素製造技術等も設備費が安価なことが重要

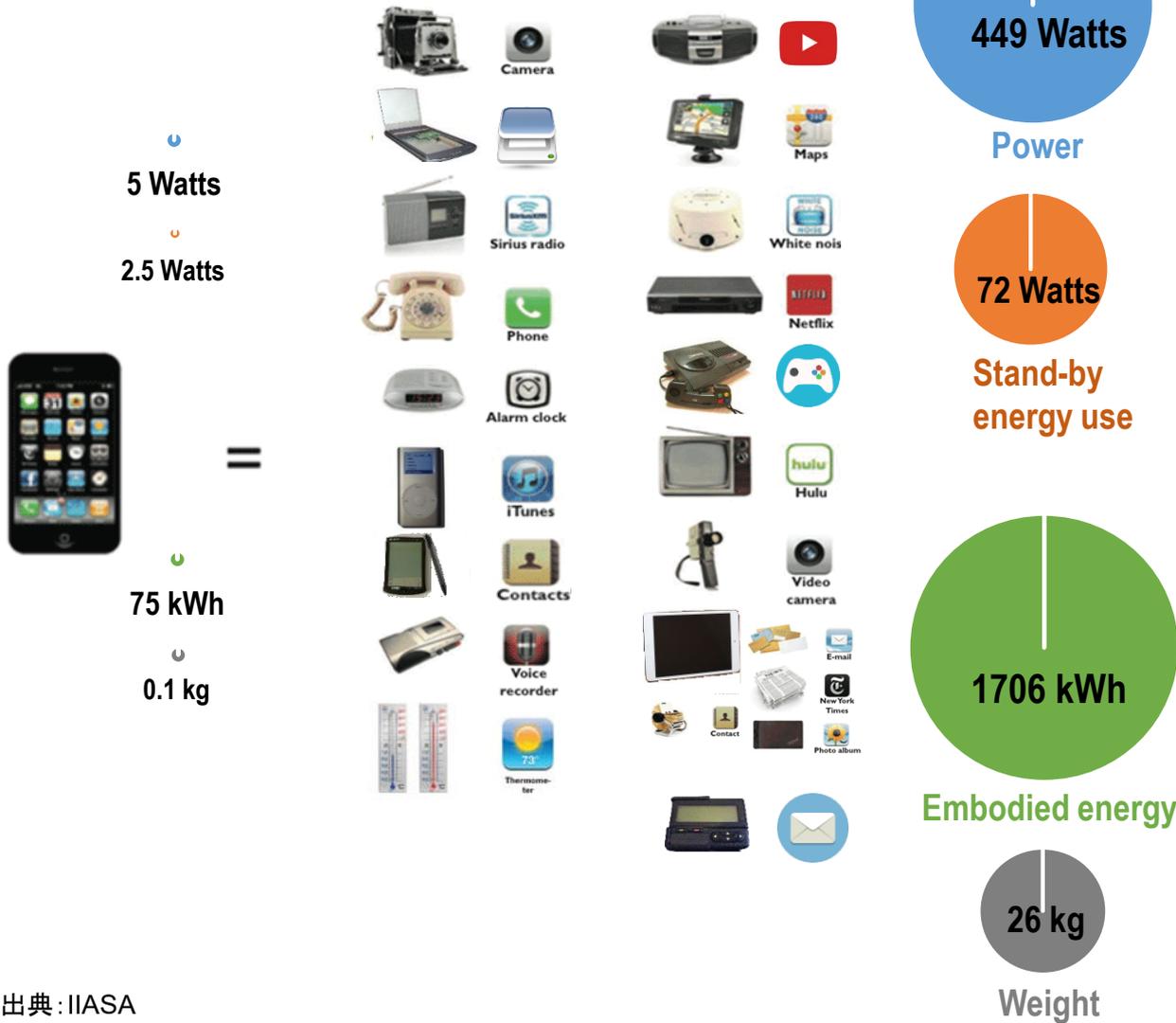
# 水素系エネルギーの利活用



出典) 日本政府、GX実現に向けた専門家ワーキンググループ資料(2023)

- ✓ 水素系エネルギーも、製造方法、利用方法ともに複数の可能性がある。技術を特定し過ぎず、幅広い選択肢を有して、市場競争を促すことが必要
- ✓ 他方、水素は新規インフラが必要な一方、合成燃料(e-fuels)や合成メタン(e-methane)は既存インフラの大部分は利用可能で、かつ混合率も調整しやすく、柔軟性を有する。

# IT, AI等のデジタル技術による社会変化と 低エネルギー需要・低炭素排出社会の可能性



- 社会はエネルギー消費を目的にエネルギーを消費しているわけではない。製品・サービスが効用増をもたらすため、それに体化されたエネルギーを消費しているに過ぎない。
- 効用増をもたらす製品・サービスの展開は急速な場合が多く、それに付随したエネルギー・CO2排出低減は急速になる可能性あり。

# 3. 第7次エネルギー基本計画 エネルギーミックス分析



# 温暖化対策評価モデルDNE21+の概要

## (Dynamic New Earth 21+)

- ◆ 各種エネルギー・CO<sub>2</sub>削減技術のシステムの的なコスト評価が可能なモデル
- ◆ 線形計画モデル(エネルギーシステム総コスト最小化。決定変数:約1千万個、制約条件:約1千万本)
- ◆ モデル評価対象期間: 2000~2100年(代表時点:2005, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 70, 2100年)
- ◆ 世界地域分割: 54 地域分割(米国、中国等は1国内を更に分割。計77地域分割)
- ◆ 地域間輸送: 石炭、原油・各種石油製品(e-fuels含む)、天然ガス・合成メタン、電力、エタノール、水素、アンモニア、CO<sub>2</sub>
- ◆ エネルギー供給(発電部門等)、CO<sub>2</sub>回収・利用・貯留技術(CCUS)を、ボトムアップ的に(個別技術を積み上げて)モデル化
- ◆ エネルギー需要部門のうち、鉄鋼、セメント、紙パ、化学、アルミ、運輸、民生の一部について、ボトムアップ的にモデル化。その他産業や民生においてCGSの明示的考慮
- ◆ 国際海運、国際航空についても、ボトムアップ的にモデル化
- ◆ 500程度の技術を具体的にモデル化、設備寿命も考慮
- ◆ それ以外はトップダウン的モデル化(長期価格弾性値を用いて省エネ効果を推定)
- ◆ モデル内でのコストは、実質価格で想定しており、1 USD=110円(2000-10年の平均値)を採用

- 地域別、部門別に技術の詳細な評価が可能。また、それらが整合的に評価可能
- 非CO<sub>2</sub> GHGについては、別途、米EPAの技術・コストポテンシャル推計を基にしてRITEで開発したモデルを利用

- 中期目標検討委員会およびタスクフォースにおける分析・評価
- 国内排出量取引制度の検討における分析・評価、環境エネルギー技術革新計画における分析・評価
- 第6次エネルギー基本計画策定時において基本政策分科会への2050年CN分析の提示はじめ、気候変動政策の主要な政府検討において活用されてきた。またIPCCシナリオ分析にも貢献。関連の査読論文多数

# RITE分析のシナリオの想定と政府の需給見通し

技術進展が想定ほど進まなかった場合でも、3Eの達成に資する情報を提供すべく、以下の複数シナリオを分析

排出削減シナリオ	RITEシナリオ名	政府シナリオ名	シナリオ概要
2040年▲73%+2050年CN (世界1.5°C未満)	成長実現シナリオ	革新技術拡大	排出削減対策が広範に順調に技術進展する。国際的な排出削減協調も順調で、日本の国際的な相対的エネルギー価格差が適度に収まる。日本の温暖化対策技術が海外にも広く普及。経済と環境の好循環を実現し得る。
	再エネシナリオ	再エネ拡大	再エネの社会共生制約小・コスト低減加速
	水素系燃料シナリオ	水素・新燃料活用	合成メタン(e-methane)・合成燃料(e-fuels)・アンモニアを含め、水素系エネルギーのコスト低減加速
	CCSシナリオ	CCS活用	CO2貯留の社会障壁小。経済合理的な範囲で広範に普及
炭素価格シナリオ (技術進展等の不確実性下でのリスク対応シナリオ: 政策目標としては、2040年▲73%+2050年CNだが、政策変数としては排出削減費用をターゲットとし、技術・社会情勢の不確実性に対応)	排出上振れリスクシナリオ	技術進展	技術進展は「成長実現シナリオ」相当が実現できず、再エネ、CCS・CDR、水素系エネルギー、原子力等の技術進展・普及が抑制的。そのため、海外との相対的なエネルギー価格差が広がることから、経済と環境の好循環維持のため、炭素価格政策水準も抑制的となる社会像

## 【極端リスクシナリオ】

別途、データセンター需要等の感度解析も実施

排出削減シナリオ	シナリオ名	シナリオ概要
2040年▲73%+2050年CN (世界1.5°C未満)	原子力ゼロシナリオ	2040年までに原子力ゼロ
	低成長シナリオ	技術進展が漸進的。CN対策のため、他国との日本の国際的な相対的エネルギー価格差が拡大。産業の海外移転進展し、経済の大幅な停滞リスク発現

# RITE分析シナリオのそれぞれの位置づけ

良 ← 環境 (GHG排出量) → 悪

良

経済

悪

成長実現シナリオ

一部の技術進展が停滞、  
一部普及制約が強

再エネシナリオ

水素系燃料シナリオ

CCSシナリオ

原子力制約強

原子力ゼロシナリオ

技術進展がなりゆきの、  
技術普及制約強

低成長シナリオ

エネルギー需給  
見通しシナリオ

シナリオ想定外  
の技術進展など

排出上振れリスク  
シナリオ

エネルギー安全保障・  
安定供給、経済性(相対  
的なエネルギー価格)に  
配慮したリスク対応

相対的なエネルギー  
価格を踏まえた更なる  
リスク対応も重要

日本2040年▲73%、2050年CN

世界1.5°C未満

世界の気候変動緩和への取り組み破綻

更に大きなリスクも

# RITE分析シナリオの想定

シナリオ	潜在的 経済成長	GHG排出 削減制約	原子力	再エネ		CCS/CDR	水素・アン モニア	合成燃 料	データセン ター等 IT 需要	自動車	鉄鋼	鉄鋼・化学・ 自動車等の 生産量の展 望：炭素価 格による生 産量低下	
	所得効 果、人 口・なり ゆき産 業構造 変化等	GHG排出 削減によ って誘発さ れる炭素価 格	【上限 (2050年)】 低位：現状 60年運転 延長炉 中位：10% (2040年 20%程度) 高位：20%	【ポテンシャル】 低位：太陽光(上 限：現状比2倍)、 陸上風力制約強 (上限：3倍) 高位：太陽光、陸 上風力制約弱(上 限：現状比4倍)	【コスト】 中位/ コスト低減 加速	【年間貯留ポテ ンシャル(2050 年)上限】 低位：1.2億トン 高位：2.4億トン	【コスト】 中位/ コスト低減 加速	【コスト】 中位/ コスト低減 加速	将来シ ナリオ (外生)	【EV】 中位/ コスト低減 加速	水素 DRI 普及 速度		
成長実 現シナ リオ	GDP高 位 (内閣府 「成長実 現ケー ス」)	世界全体 で1.5°C目 標、日本 2030年 ▲46%+ 2040年 ▲73%+ 2050年CN	高位	高位 (最適化計算結果とし て中位)	コスト低減 加速・洋 上収斂	高位	コスト低減 加速	コスト低減 加速	高位	コスト低 減 加速	高位	小 (中弾性 (DEARS)): 成長実現シ ナリオの結果をすべて に適用	
再エネ シナ リオ			中位	高位 (最適化計算結果とし て高位)	コスト低減 加速・洋 上収斂	低位	中位	中位	高位	コスト低 減 加速	高位		
水素系 燃料シ ナリオ			中位	高位	中位	低位	コスト低減 加速	コスト低減 加速	高位	中位	高位		
CCSシ ナリオ			中位	高位	中位	高位	中位	中位	高位	中位	高位		
低成長 シナ リオ (参考)			低位	低位	中位	低位	中位	中位	中位	中位	中位		中位
排出上 振れリ スクシ ナリオ			炭素価格： NGFS NZ2050 相当	中位	高位	中位	低位	中位	中位	高位	中位	中位	小

# 発電電力量

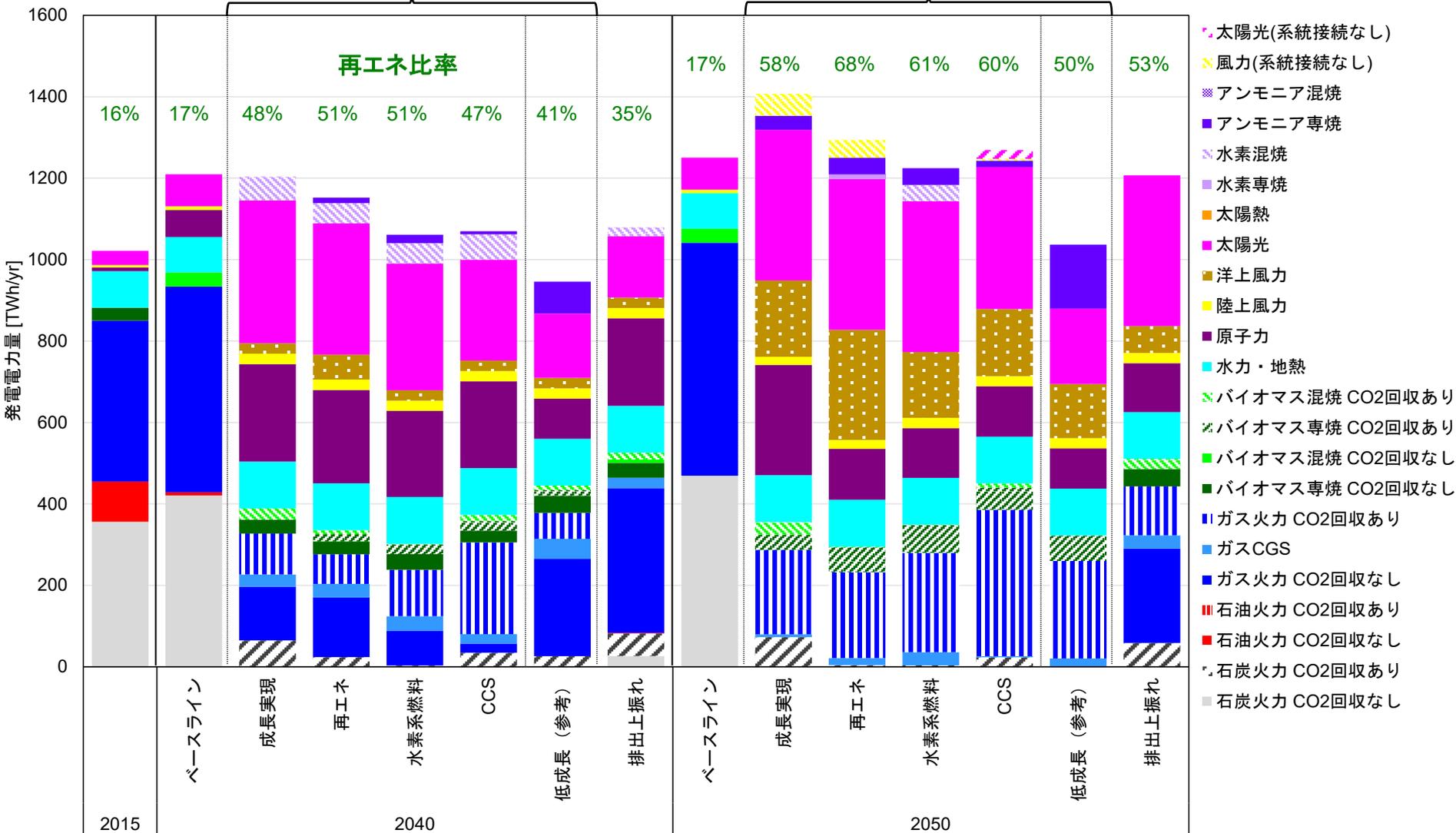
日本全体のGHG排出量(2013年比) ▲73%

▲61%

▲100% (CN)

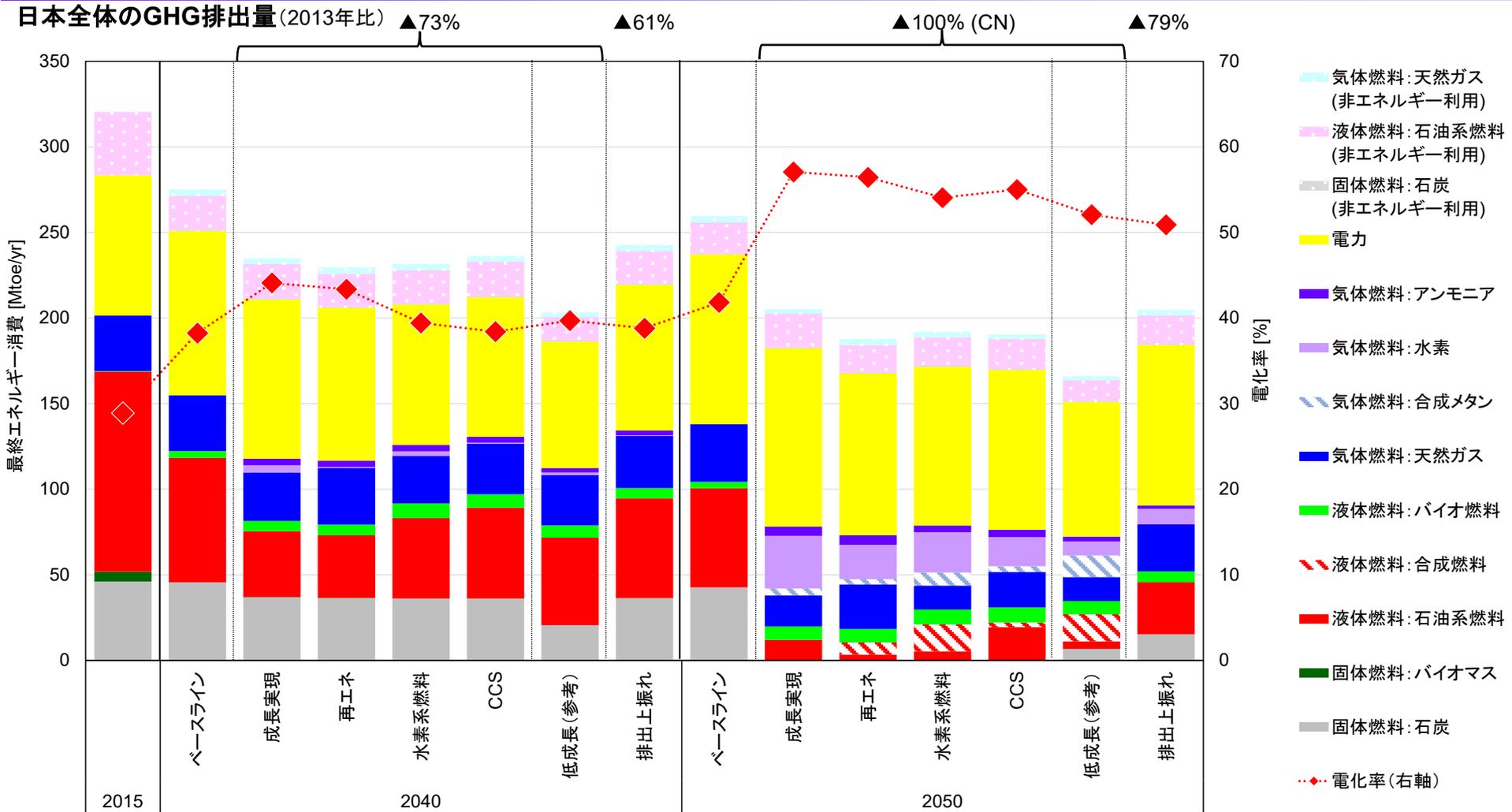
▲79%

再エネ比率



✓ 電力需要量は増大するが、「低成長」では微減から横ばいに。各種電源の組み合わせが重要

# 最終エネルギー消費量



- ✓ 2040年の電化率は、▲73%シナリオでは、38～44%。2050年CN時では54～57%
- ✓ 2040年の最終エネルギー消費量合計は、▲73%シナリオでは、2015年比▲26～▲28%。2050年CN時では▲36～▲41%
- ✓ 2040年では、石油の低減の一部を電力とアンモニアで代替傾向にあり。2050年では、それに加え、石炭の多くを水素+電力に代替傾向有

# 生産量・GDPの低下：成長実現・低成長・排出上振れシナリオ

ベースラインからの 低減率	成長実現シナリオ (DEARS)		低成長シナリオ (価格弾性: ▲1.0、所得 弾性: 1.0 + RAS法)		排出上振れシナリオ (DEARS)	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050
鉄鋼	-3.9%	-11.0%	-41%	-46%	-3.6%	-11.0%
(生産量 [億トン/年])	(0.86)	(0.80)	(0.53)	(0.49)	(0.86)	(0.80)
化学	-3.7%	-11.2%	-35%	-40%	-3.3%	-10.7%
窯業土石(セメント含)	-2.1%	-2.7%	-30%	-34%	-1.7%	-3.8%
非鉄金属	-1.4%	-2.7%	-35%	-39%	-1.2%	-5.0%
紙パ	-3.5%	-6.3%	-33%	-37%	-3.1%	-7.2%
輸送機械	-4.1%	-6.9%	-42%	-47%	-4.7%	-8.2%
GDP (CO2削減技術の海外市場獲得効果含まず)	-4.1%	-5.6%	-13%	-14%	-3.6%	-5.9%
GDP, GNI (海外市場獲得効果含む)	内閣府「成長実現ケース」の一人当たりGDP成長率を若干上回る水準 (海外市場獲得効果: +4%~+5%程度)		上記とほぼ同様 (海外市場獲得効果は期待できず)		内閣府「成長実現ケース」の一人当たりGDP成長率とほぼ同等の水準 (海外市場獲得効果: +3~4%程度)	
経済成長率: 2023年 からの年成長率 ※ 人口低減見通しが含まれる	+1.5%/年	+1.2%/年	+0.6%/年	+0.7%/年	+1.4%/年	+1.2%/年

日本の相対的なエネルギー価格が高くなる「低成長シナリオ」では、経済成長率は低位。相対的なエネルギー価格差が小さい「成長実現シナリオ」では、排出削減対策の影響は相対的に小さく、CO2削減対策技術の国際的な優位性が加わることで、CNを実現しつつ内閣府の成長実現ケースの経済成長率(2040年まで1.4%/年)を若干上回る成長を達成

An aerial photograph of a cityscape. In the foreground, there is a large green golf course with several trees and a winding road. To the right, there are several multi-story residential buildings, some with swimming pools on their roofs. The background shows a dense urban area with many skyscrapers under a clear blue sky. The text '4. まとめ' is overlaid in the center of the image.

## 4. まとめ

- ◆ 気候変動影響は深刻化。カーボンニュートラル実現のためには、原則的には、一次エネルギーは、再エネ、原子力、化石燃料+CCSのみとすることが求められる。
- ◆ 他方、1.5°Cのような意欲的な目標とは裏腹に、世界排出量の増大基調は続いている。製造業の先進国から途上国への移転が続いている。
- ◆ 気候変動対策により、エネルギーコスト増は避けられないが、国際間での相対的なエネルギー価格への配慮は重要(エネルギー選択において海外との相対的な優位性の考慮が必要)。米国トランプ政権におけるパリ協定からの離脱など、斑模様化する世界では、より一層、気候変動対策、政策は難しさを増す。
- ◆ 2025年2月に閣議決定された第7次エネルギー基本計画は、意欲的な目標を降ろさないまま、他方で国際情勢を踏まえ製造業の競争力確保のため、リスクヘッジ戦略ともなった。
- ◆ 太陽光、風力発電のコスト低減は進んできている。再エネの引き続きの拡大は必須であるが、とりわけ日本では設置できる土地の制約が厳しくなっている。また、太陽光、風力の導入量が増えると、系統安定化の費用は増大
- ◆ 系統安定化費用の低減は重要。BEVのV2G、ヒートポンプ機器等のDR活用などは重要。いずれにしても、VREの設備利用率は低いことから、多用途の活用や蓄熱関係の対策など、設備費が安価な対策を考えることが重要
- ◆ CNのためには、水素系エネルギーも重要。既存インフラ活用可能で、混合率を調整可能な合成メタン(e-methane)や合成燃料(e-fuels)のカーボンリサイクル燃料(再エネの転換利用)の重要性も増大。ただし、コストの課題は残っている。
- ◆ デジタルを活用しての省エネルギー社会実現には大きな可能性が残っている。
- ◆ 残念ながら万能な解決策はない。セクターカップリングを含め、複合的な対策が必須

# 付録 参考資料

# CO<sub>2</sub>限界削減費用

	成長実現シナリオ		再エネシナリオ		水素系燃料シナリオ		CCSシナリオ		低成長シナリオ		排出上振れシナリオ	
	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050
日本	301	578	369	716	467	742	396	892	538	951	257	500
米国	294	262	350	348	409	454	362	350	410	467	257	500
英国	294	317	350	387	419	558	369	452	428	579	257	500
EU	298	413	350	516	409	648	362	541	410	664	257	500
その他	294	262	350	348	409	454	362	350	410	467	257	500

単位: USD/tCO<sub>2</sub> (2000年価格)

注)一部の国抜粋表示

- ✓ 「成長実現シナリオ」では、技術開発・普及が進展すると想定。2050年CNに向けて、相応のCO<sub>2</sub>限界削減費用が推計される。他方、技術開発・普及の一部が滞ると想定した各種技術シナリオでは、限界削減費用は増大
- ✓ 排出上振れシナリオでは、1.5°C目標相当の国際的な分析の中位値的な炭素価格を想定
- ✓ なお、CO<sub>2</sub>限界削減費用は、理論的な炭素価格であるが、CO<sub>2</sub>排出削減技術への補助金との組み合わせがなされるため、炭素価格政策において排出削減達成に直接的に必要な炭素価格というわけではない。

# 電力限界費用(各国間比較)

	2020	ベースライン		成長実現シナリオ		低成長シナリオ		排出上振れシナリオ	
		2040	2050	2040	2050	2040	2050	2040	2050
日本	166	127	105	212	197	311	318	213	244
米国	40	38	53	98	102	126	139	127	127
英国	114	135	119	180	160	222	217	201	218
ドイツ	114	119	108	175	155	204	216	194	207
フランス	114	133	116	171	144	173	184	174	159
韓国	103	103	99	174	142	194	173	184	177
中国	61	66	81	143	110	213	171	173	171
インド	105	121	134	187	167	237	224	223	207

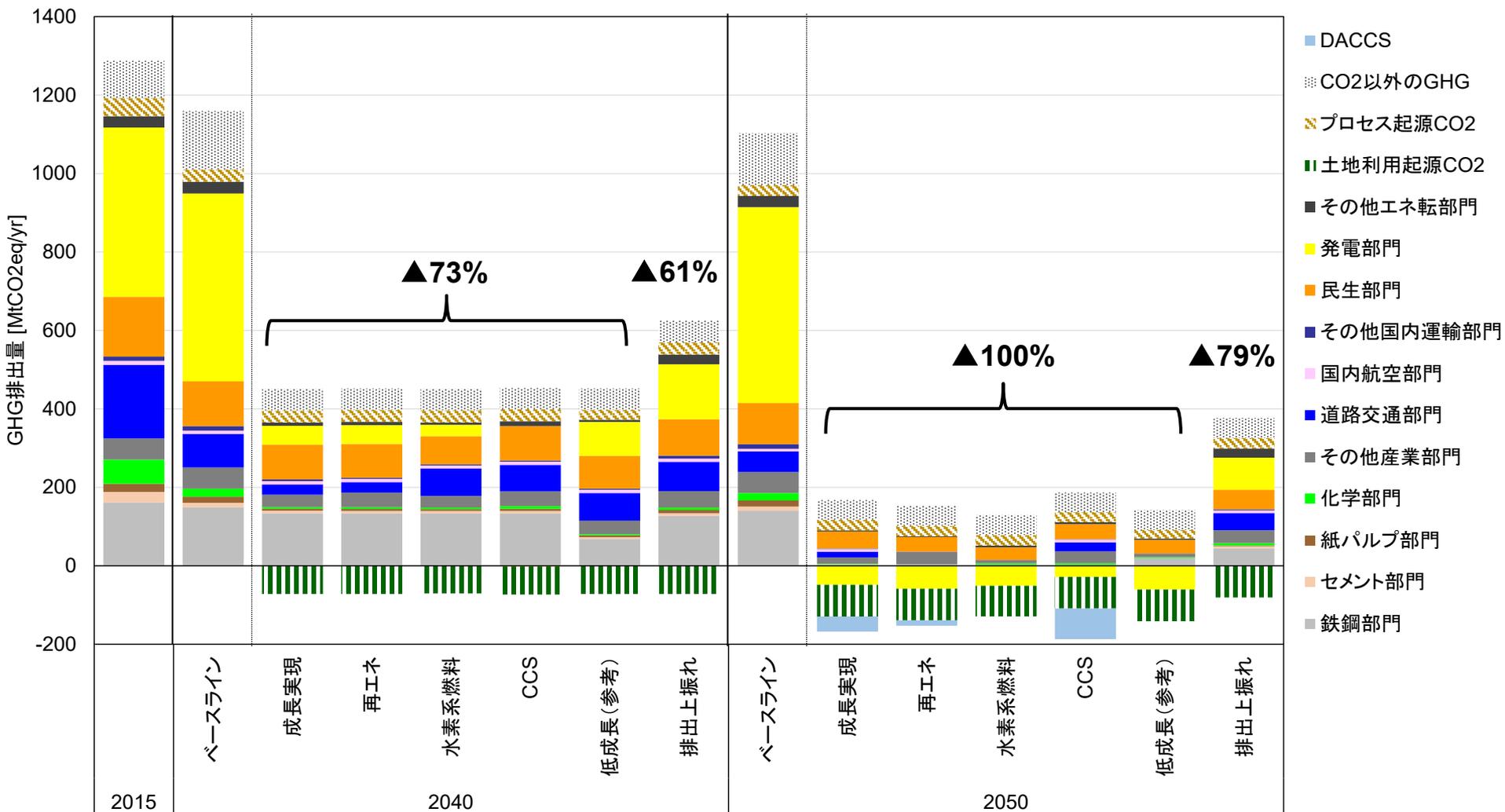
単位:USD/MWh (2000年価格)

注)一部の国抜粋表示。発電端での限界費用。ただし、系統統合費用は含む。2020年値はすべてモデルでの推計値

※本分析では、世界各国の原子力を含め個別電源の政策は考慮していないことに留意されたい。

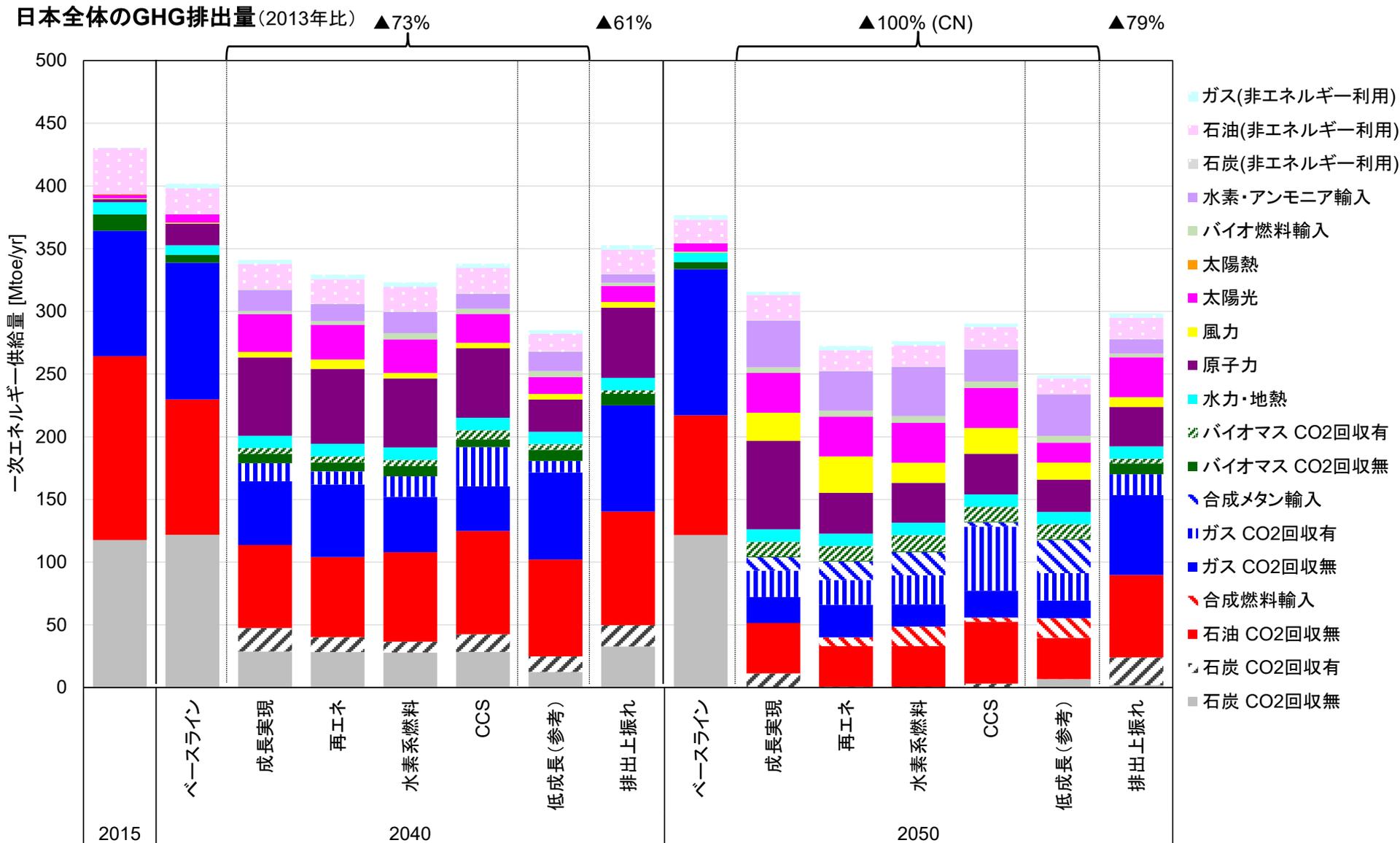
✓ **CNIに向けた対策のため、現状水準よりは電力コストの上昇は避けられない。ただし、「成長実現シナリオ」、「排出上振れシナリオ」では、海外との相対価格が高まるわけではない。**

# GHG排出量（経済フィードバック計算後）



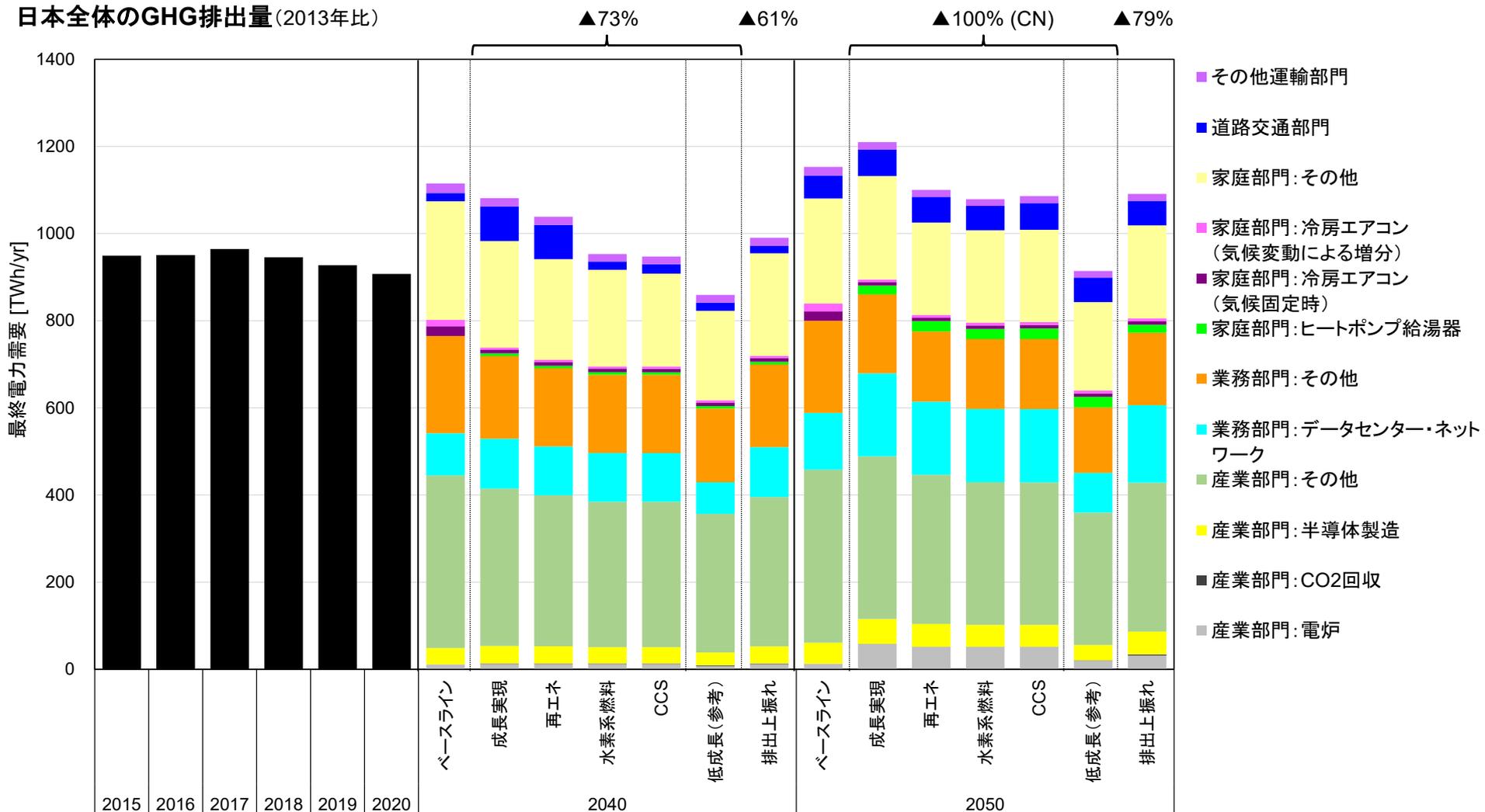
✓ 「排出上振れシナリオ」を除いて、2040年には発電部門からのCO<sub>2</sub>排出量はほぼゼロに。2050年にはBECCS、e-methane+CCSで、負排出に。

# 一次エネルギー供給量



✓ 「低成長」では、省エネというよりは、生産活動量の低下によって排出削減を実現

# 最終エネルギー消費量推計：部門別電力需要



✓ いずれのシナリオも2040年に向けて電力需要は増大。2050年に向けては、IT需要、電化需要の一層の高まりにより、さらに増大。「成長実現シナリオ」では、2040年1081、2050年1210 TWh/年

✓ 電力需要の増大に対応して、安定的で、低廉なコストの電力供給を実現していく必要有