

2024年9月11日

気候ネットワーク

エネ基連続ウェビナー第4回：電力部門における火力発電

# 火力発電の現状と課題

地球環境戦略研究機関（IGES）  
気候変動とエネルギー領域/ディレクター・上席研究員

田村堅太郎

# 本日のテーマ

1 発電部門の早期脱炭素化はなぜ必要なのか？

---

2 世界の発電部門の脱炭素化の動向は？

---

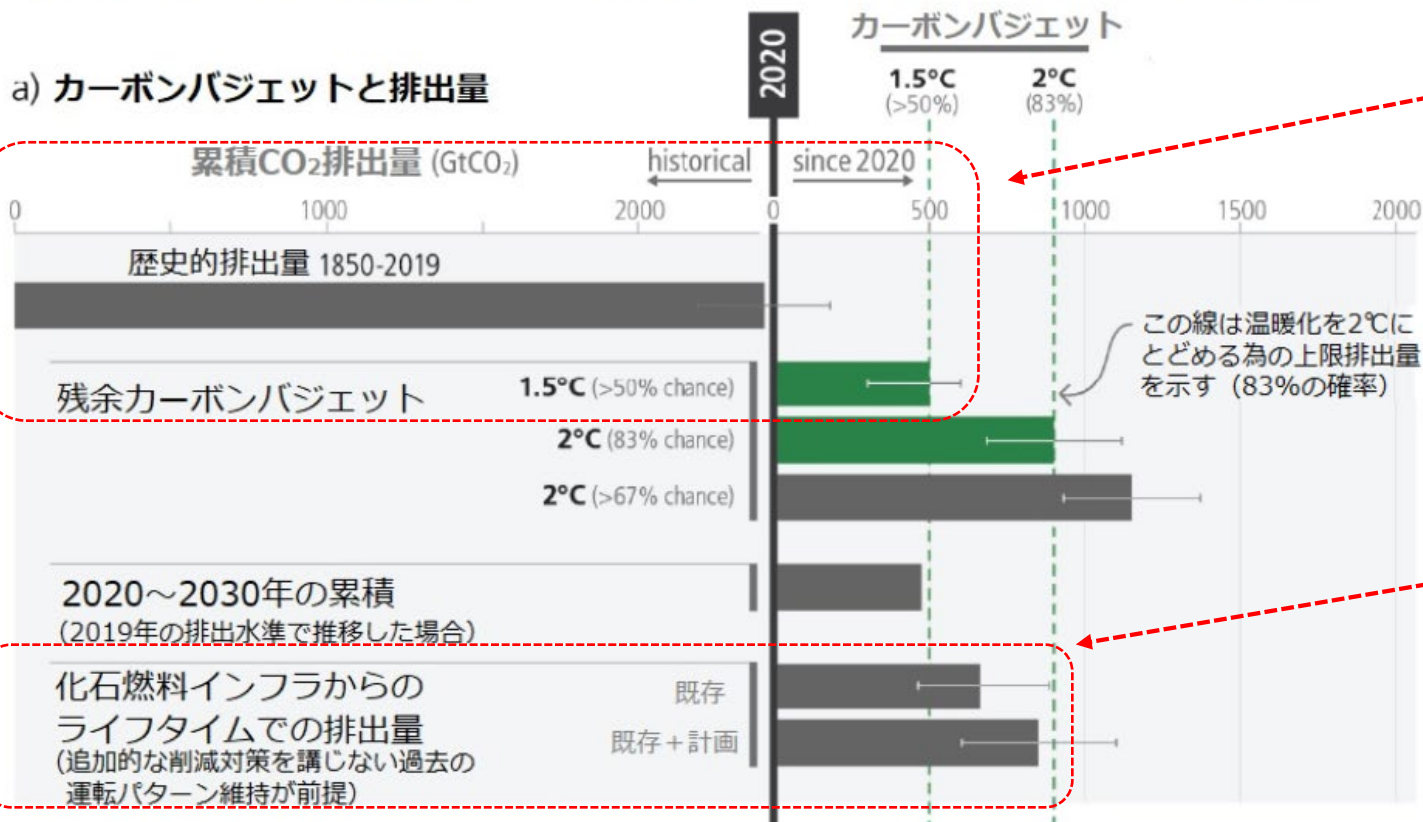
3 日本の政策動向と早期脱炭素化に向けて

---

# 温暖化レベルを1.5℃以内に抑えるためのカーボンバジェットの残りはわずかであり、既存の化石燃料インフラを使い続けることはできない

温暖化を1.5℃に抑えるための残余カーボンバジェットはすぐに底をつき、  
2℃のための残余カーボンバジェットもほとんど底をつく可能性がある。

残余カーボンバジェットは、追加的な削減対策が講じられない、  
既存および計画中の化石燃料インフラストラクチャーの利用からの排出と同等である。

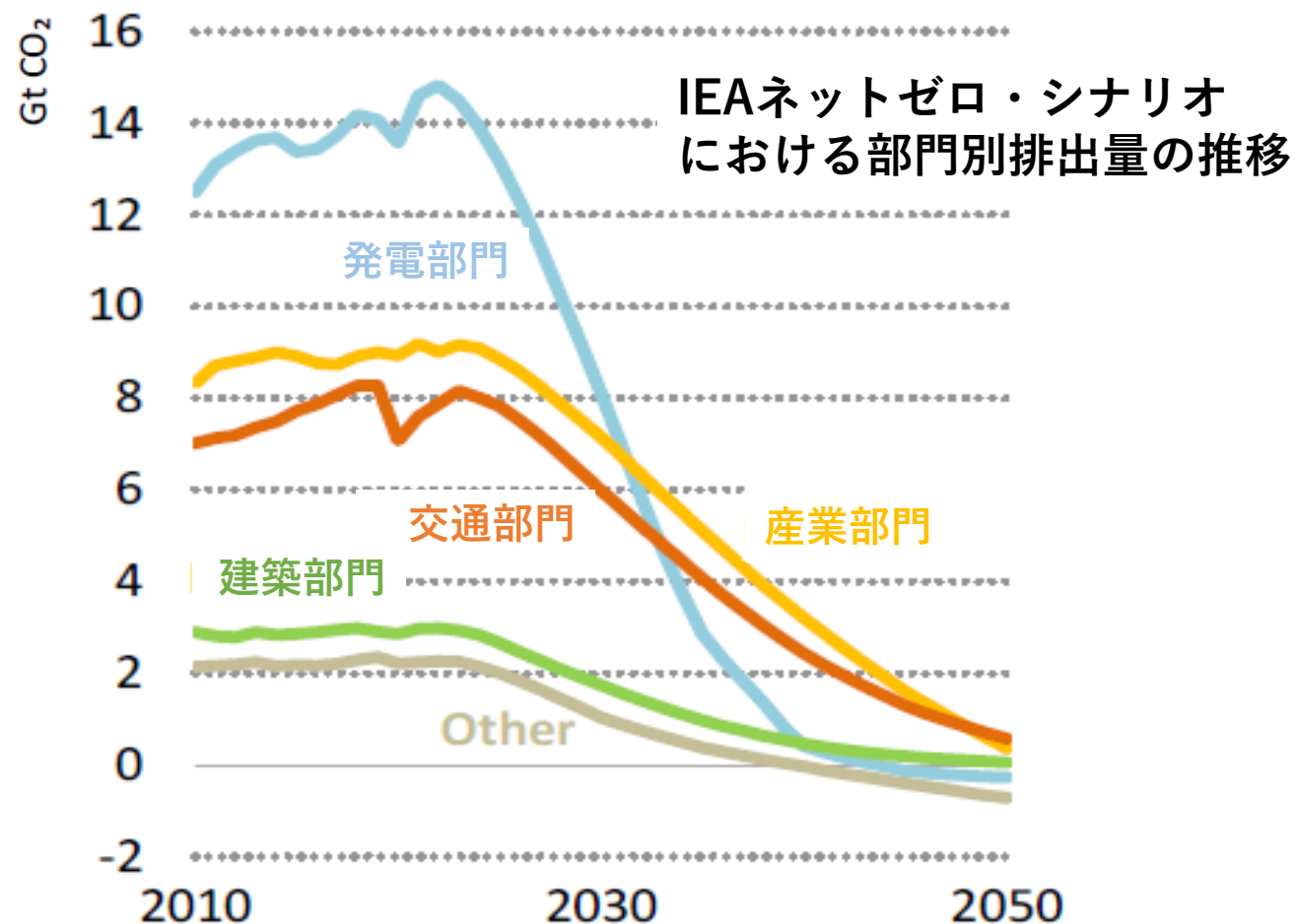


- 特定の温暖化レベルに抑えるために許容される累積CO<sub>2</sub>排出量をカーボンバジェット（炭素予算）と呼ぶ
- 工業化以降の温暖化レベルを、50%の確率で1.5℃以内に抑えるためのカーボンバジェットの約4/5を既に使い尽くしている

- 既存の化石燃料インフラからのライフタイムでのCO<sub>2</sub>排出量は1.5℃カーボンバジェットは超えてしまう

# 限られた時間、限られた許容排出量(カーボンバジェット)の中で、 発電部門の早期脱炭素化は合理的な戦略

社会全体の脱炭素化への  
スムーズな移行を可能に！



# なぜ、他部門に先駆けた電力部門の脱炭素化が重要なのか？

- 早期の大規模普及が可能な再生可能エネルギーという脱炭素化オプションが存在（次頁参照）
- 脱炭素化された電力は、電化による交通、家庭、産業部門での脱炭素化の前提条件
- 電化は需要現場で直接、化石燃料を燃焼させるよりも、エネルギーをより効率的に利用することにつながり、エネルギー需要の抑制・削減にも貢献
- 「排出削減が困難（＝電化が困難）な部門」での革新的技術普及までの「時間稼ぎ」



IEA（国際エネルギー機関）『2050ネットゼロ・ロードマップ』（2021）

「2030年までに1.5°C目標と統合的な排出経路に近づくためには、**電源の脱炭素化の促進が特に排出削減効果が大きく、単一での最重要な方法（the single most important way）**」

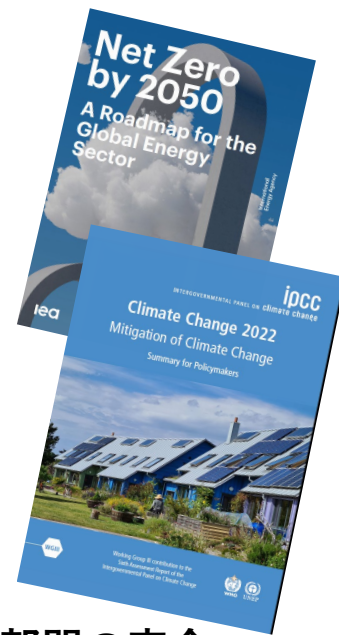
「**先進国は2035年まで、その他の国は2040年までに電力分野ネットゼロ**」

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）『第6次評価報告書 第三作業部会』（2022）

「**最もコスト効率よく脱炭素化するためには、電力部門からのCO2排出量を他のエネルギーセクターよりも先にネットゼロとする可能性が高い**」



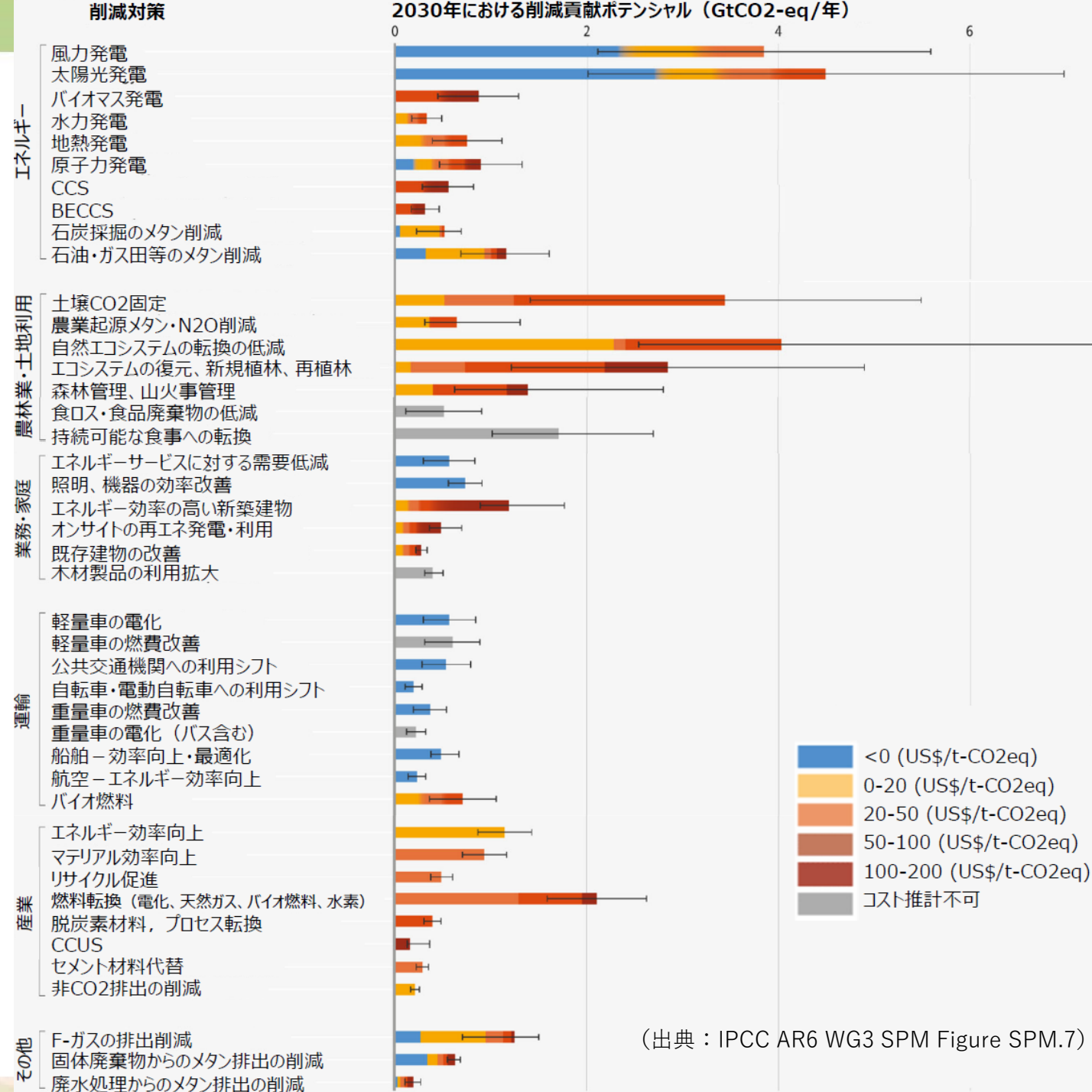
- G7首脳級会談声明文（2022年6月、ドイツ・エルマウ）  
G7全体として遅くとも2050年までにネットゼロを達成することにコミットしつつ、**2035年までに電力部門の完全（fully）又は大部分（predominantly）の脱炭素化の達成にコミット**
- G7首脳級会談声明文（2024年6月、イタリア・プーリア）  
**2030年代前半、もしくは各国のネット・ゼロの道筋に沿って、1.5°C目標と統合的なスケジュールで削減対策を講じていない既存の石炭発電を段階的に廃止**





- 100米ドル／t-CO<sub>2</sub>-eq以下のコストの排出削減オプションにより、2030年の世界GHG排出量は2019年比で少なくとも半減させることができる。（そのポテンシャルの半分以上は20米ドル／tCO<sub>2</sub>-eq未満のオプション）
- 20米ドル／tCO<sub>2</sub>-eq未満のコストで排出削減貢献の寄与が大きいものは：
  - ✓ 太陽光発電と風力発電
  - ✓ エネルギー効率改善
  - ✓ 自然生態系の転換の低減
  - ✓ メタン排出削減（石炭発掘、石油・ガス田、廃棄物）

（出典：IPCC AR6 WG3）

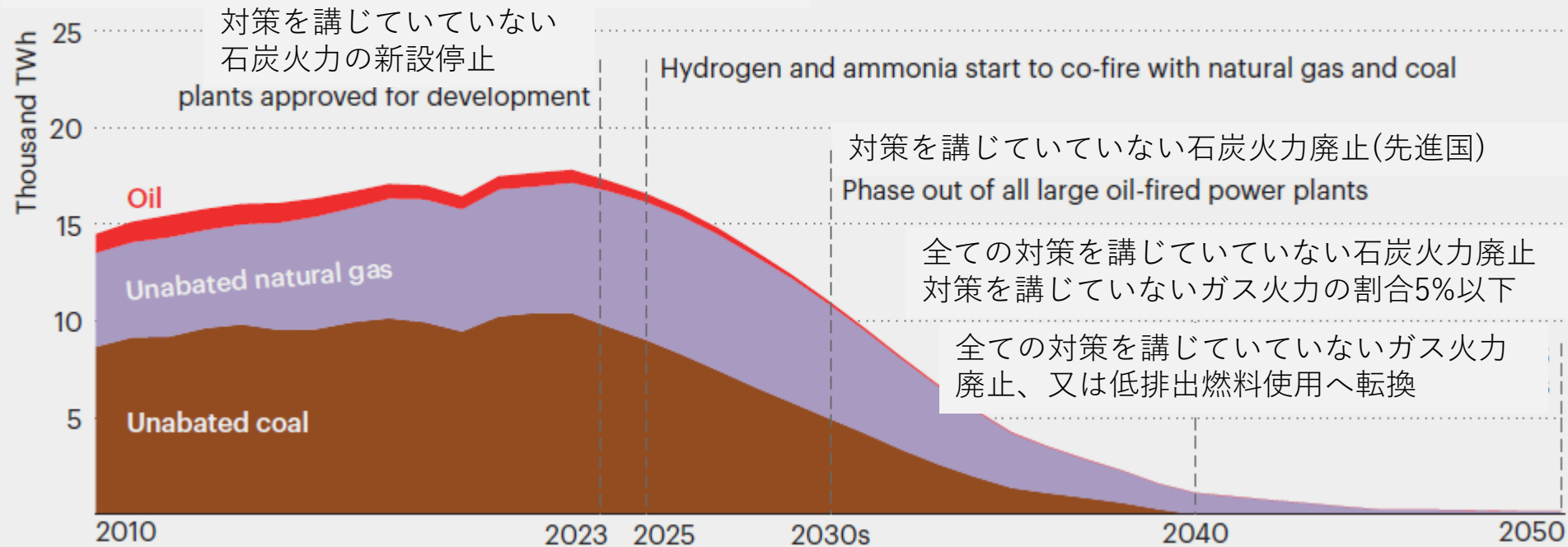


## IEA(国際エネルギー機関)の2050ネットゼロ・シナリオでは、

- 現時点で、対策を講じていない石炭火力の新設の停止
- 2040年までにすべての石炭火力の廃止(先進国は2035年頃)
- 2040年には、総発電電力量に占める対策を講じていないガス火力の割合は5%以下へ
- 対策を講じていないガス火力も2045年頃までにほぼ廃止

かつて「橋渡し技術」と呼ばれたガス火力も、石炭火力に続いて順次縮小し、廃止する必要

### 対策を講じていない火力からの発電電力量

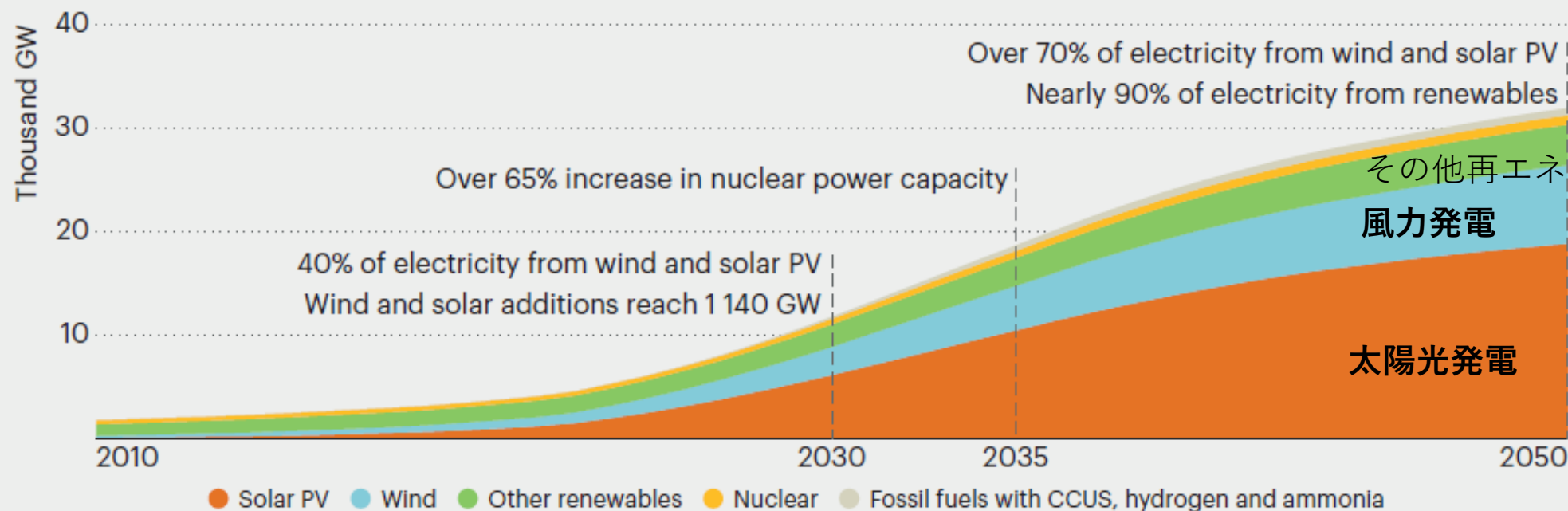


出典：IEA (2023)

IEA(国際エネルギー機関)の2050ネットゼロ・シナリオでは、

- 2050年までに世界の発電電力量の9割が再生可能エネルギー
- CCUS付き火力、水素/アンモニア火力の役割は限定的(2050年で、それぞれ1%、2%)

低排出発電の設備容量の推移（電源別）



CCUS、水素/  
アンモニア火力

原子力

その他再エネ

風力発電

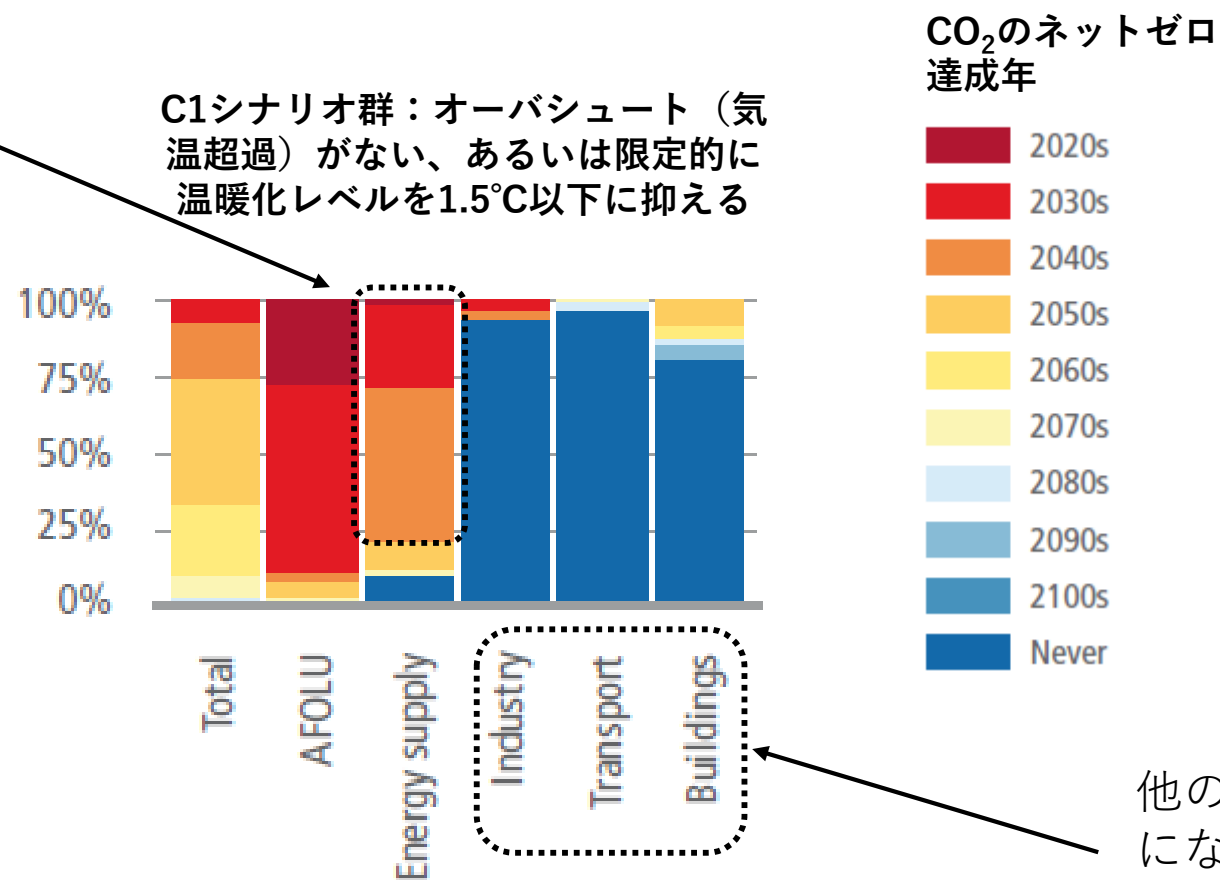
太陽光発電

出典：IEA (2023)



# IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の1.5°Cシナリオ群においても、その大半がエネルギー供給部門における2040年代以前のネットゼロ達成を想定

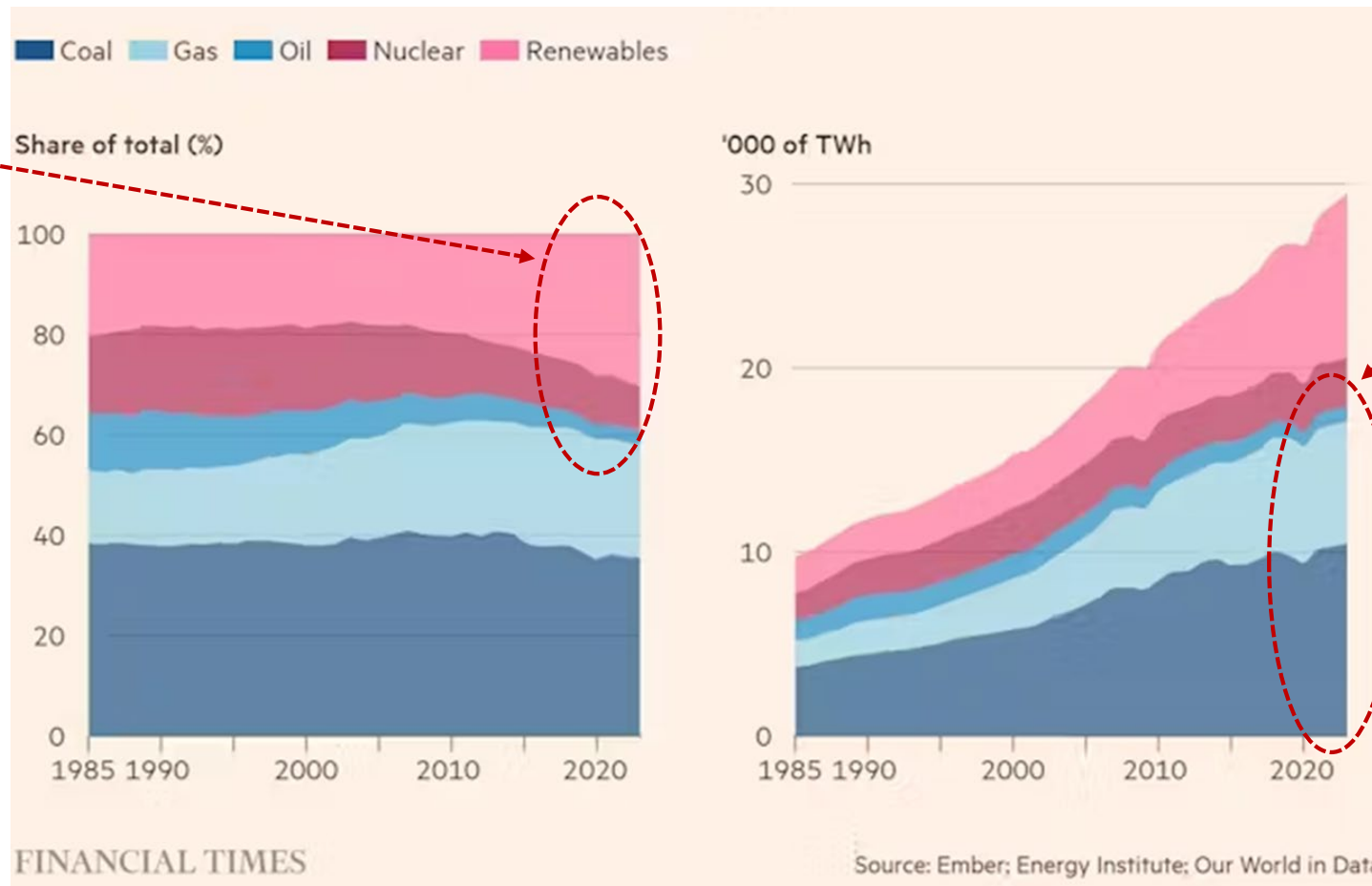
IPCCが評価した、オーバーシュート（気温超過）がない、あるいは限定的に、温暖化レベルを工業化前に比べ1.5°C以下に抑えるシナリオ群（C1）のうち75%以上が、エネルギー供給部門において2050年に先駆けてのネットゼロ達成を想定



# では、発電部門の脱炭素化は進んでいるか？

- 世界の発電電力全体に占める再エネの割合は増えているが、化石燃料由来の電力の増加傾向は続く

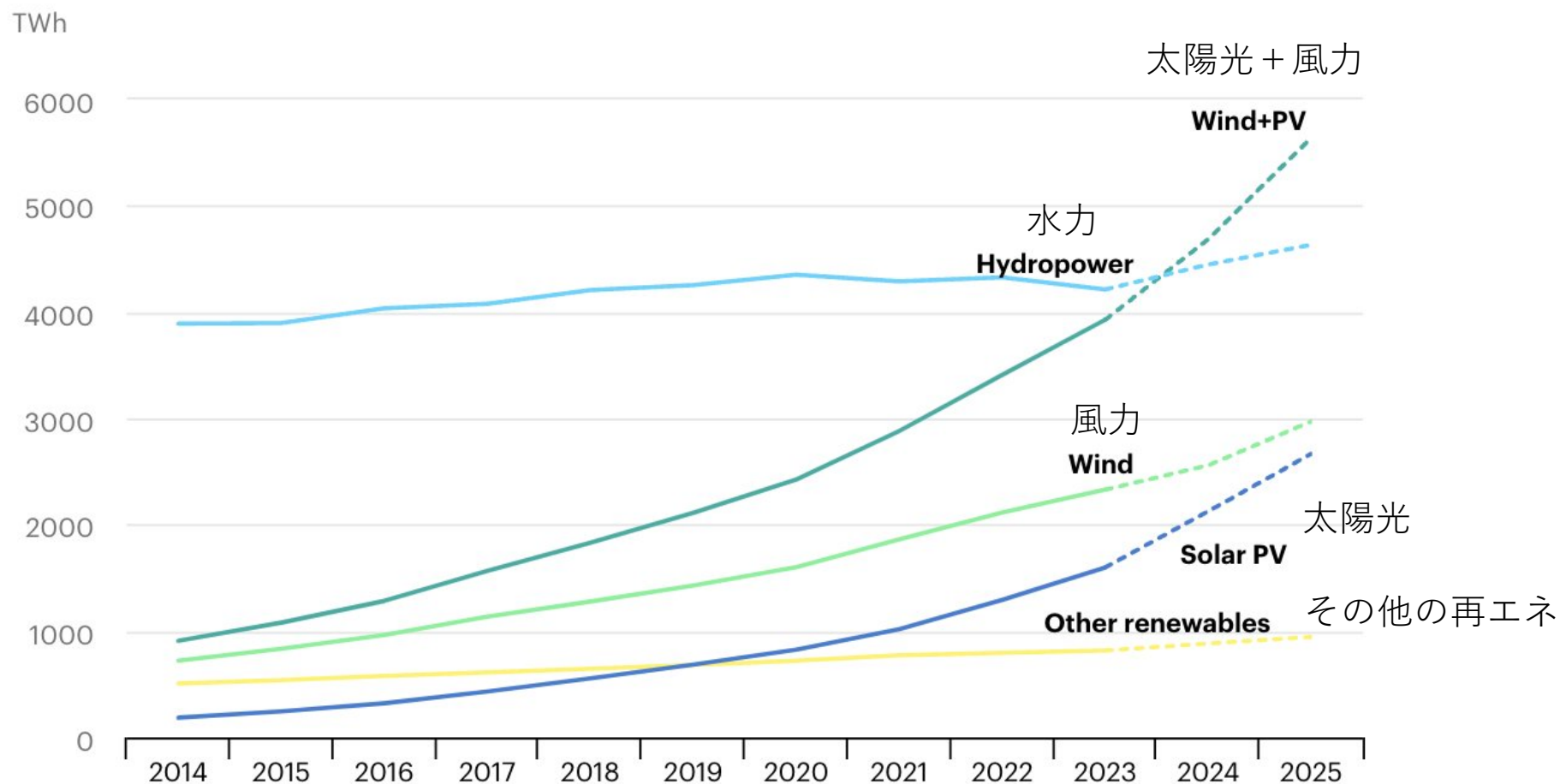
割合で見ると、原子力、水力が減少するものの、再エネの急拡大により、脱炭素電源の拡大傾向がみられる。



しかし、絶対量で見ると、石炭火力、ガス火力の増加傾向は続いている。発電部門からのCO<sub>2</sub>排出量も増加。

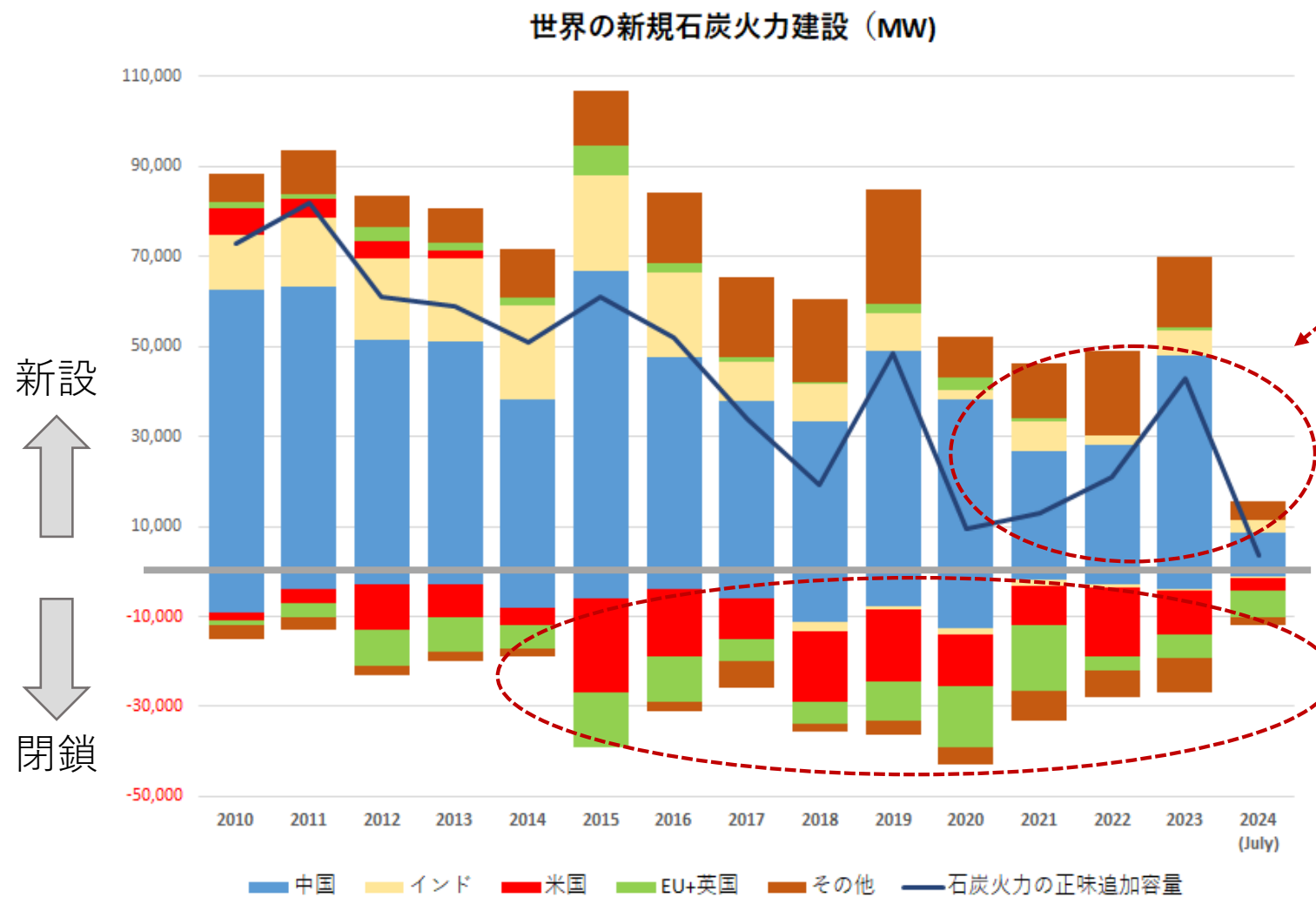
# 風力発電および太陽光発電が、再エネ急拡大をけん引

世界の再生可能エネルギーによる発電電力量の推移（電源別）



出典：IEA (2024)

# 中国の石炭火力新設が続く。ただし、2024年は規模縮小か？ 欧米においては閉鎖が進む。

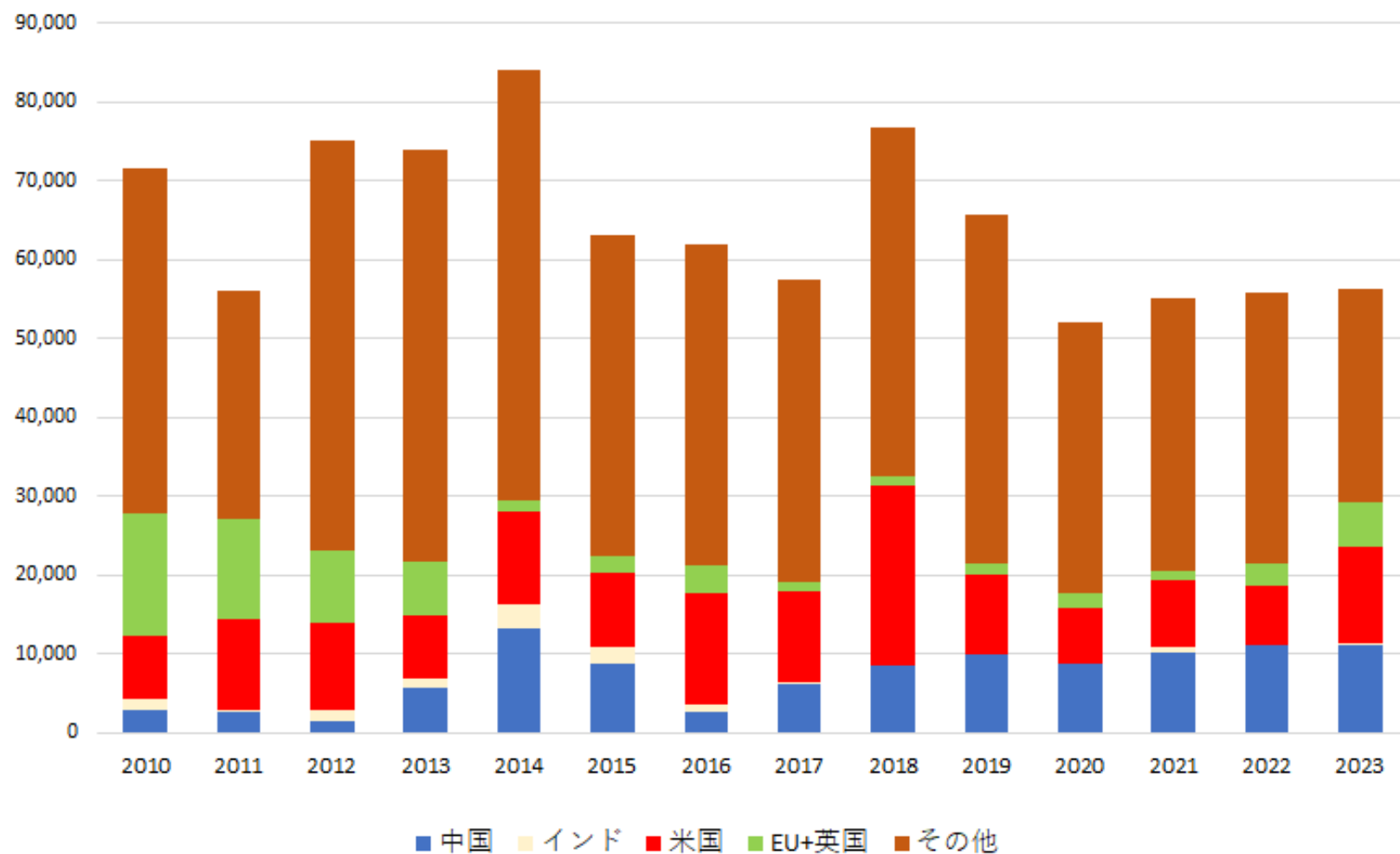


習近平主席の「厳しく規制する」との宣言（2021年）にも関わらず、新設が進む。2024年は規模縮小の兆し。（中国全体の排出量が2024年に頭打ちとなるか、否かについては議論が分かれる）

日本以外のG7加盟国は石炭火力の段階的廃止目標を掲げており、閉鎖が進む。G7以外でも、豪州、露、チリ等において閉鎖が進む。

# ガス火力についても減少傾向の兆しは？

世界の新規ガス・石油火力 (MW)



石炭火力と比べより多くの国々が新設を行っている。

欧州においてはウクライナ戦争以降、増加。ただし、独、英などでは水素等への転換義務づけ、方向付け。



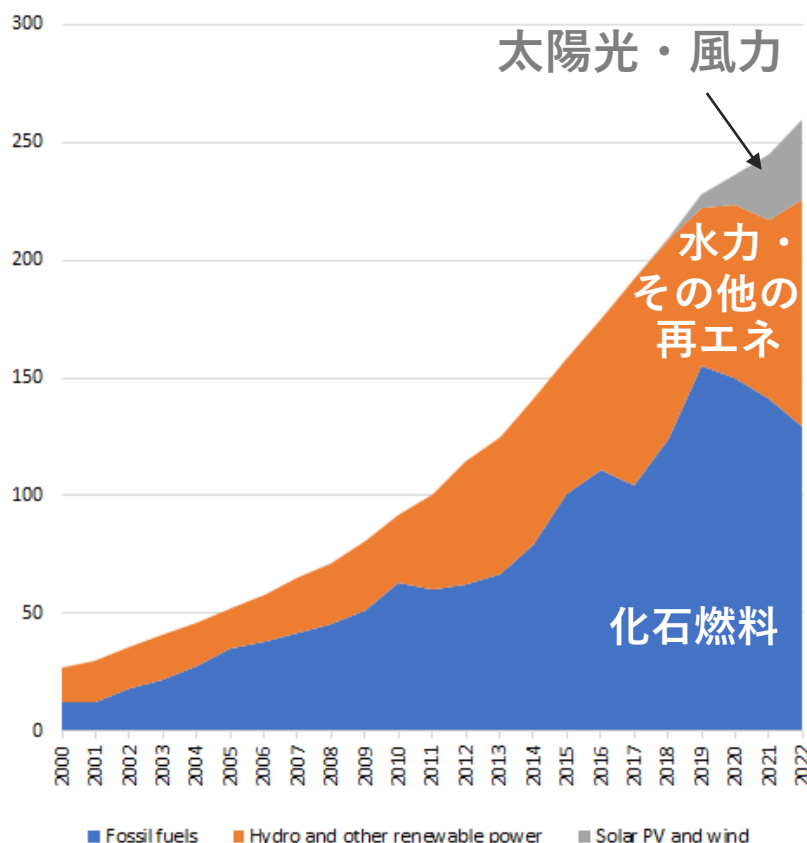
# アジアは火力を必要としているのか？

ベトナム：化石燃料（石炭火力）による発電量はピークを過ぎて減少に転じており、最近の電力需要の急増には再生可能エネルギーの増加によって対応している

インドネシア：化石燃料による発電はまだピークを迎えておらず、最近の電力需要の急増に対応するため、化石燃料と再生可能エネルギーによる発電を増加させている。再生可能エネルギーのうち太陽光、風力の割合は少ない。

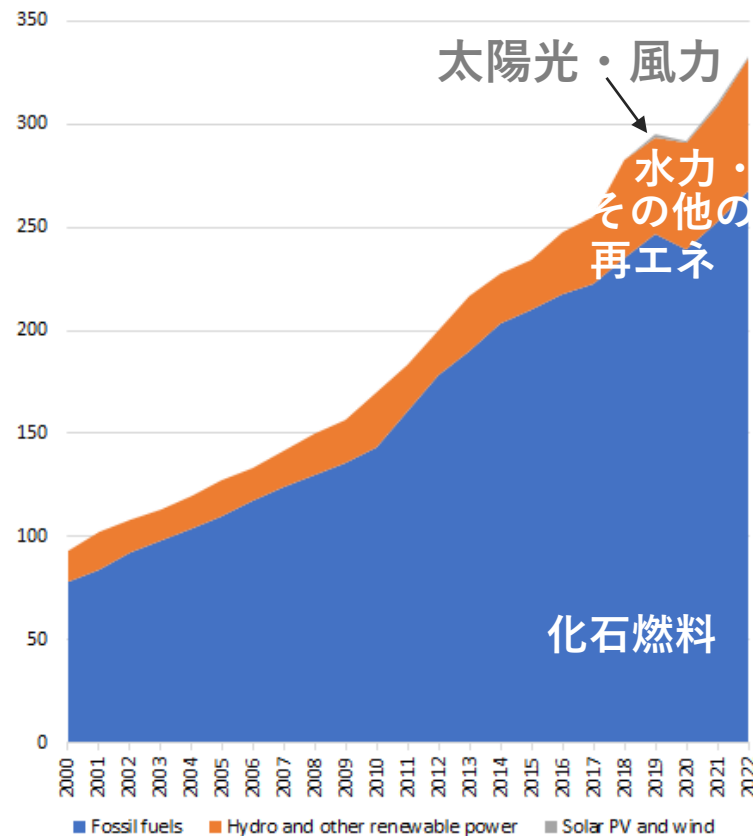
インド：化石燃料による発電はまだピークを迎えていないが、再生可能エネルギーによる発電は増加しており、新型コロナ禍後の発電量増加率の大きさは太陽光・風力、化石燃料、その他再エネの順である。

## 燃料別発電量の傾向(TWh)：ベトナム



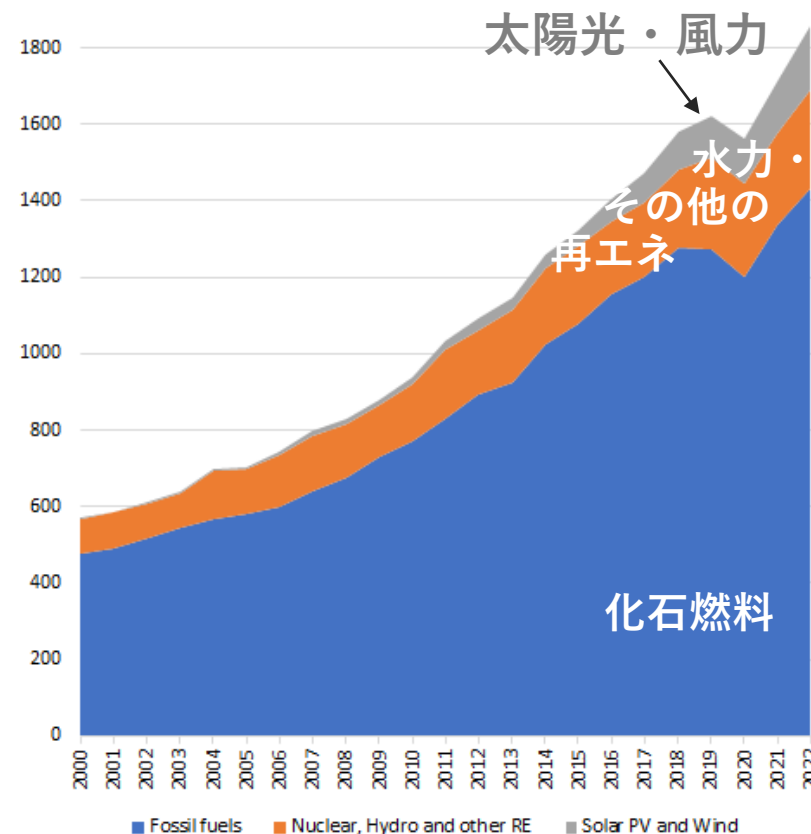
Source: Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023)

## 燃料別発電量の傾向(TWh)：インドネシア



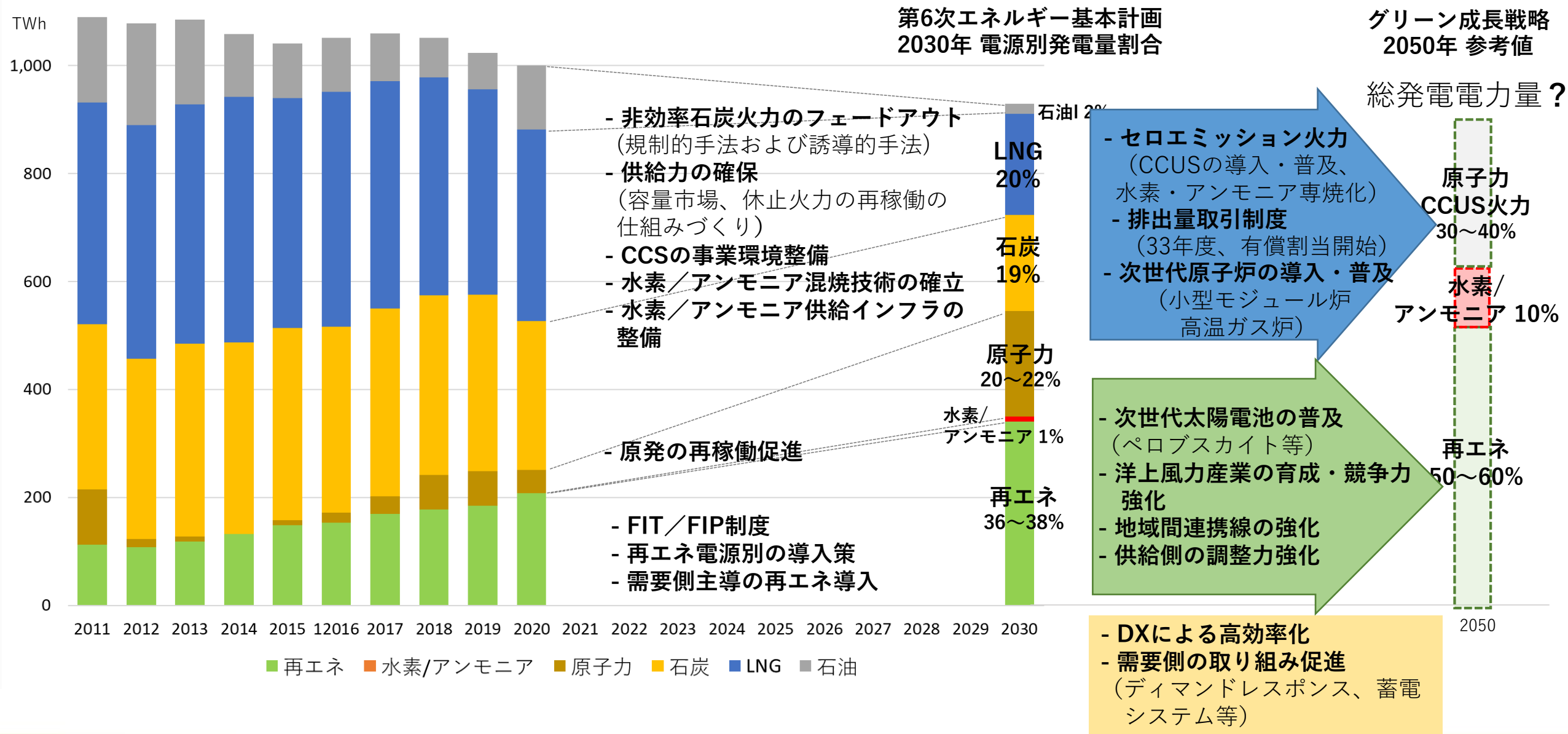
Source: Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023)

## 燃料別発電量の傾向(TWh)：インド



Source: Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023)

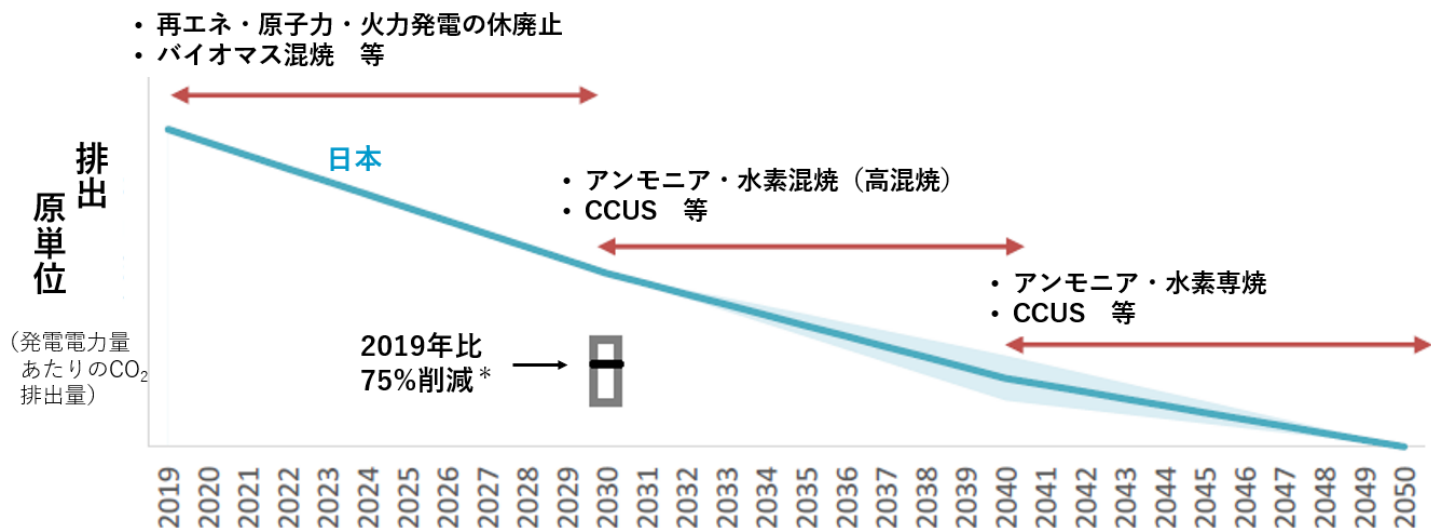
# 日本の電力部門の取り組み→1.5°C目標と整合？



# 電力部門の取り組みに、1.5°C排出シナリオとの整合は見いだせない

日本は、「2030年代前半、もしくは各国のネット・ゼロの道筋に沿って、1.5°C目標と整合的なスケジュールで削減対策を講じていない既存の石炭発電を段階的に廃止」（G7プーリア・サミット声明文）にコミットしているが、現状の取り組みでは1.5°C目標と整合的なスケジュールとは言い難い。

図1 「電力部門のトランジション・ロードマップ」が描く排出削減のイメージ（青線）と IPCC AR6で示された地球温暖化を1.5°Cに抑えるための電力部門の排出削減との比較



注：\* IPCC AR6で評価された、オーバーシュートしない、あるいは限られたオーバーシュートを伴って地球温暖化を1.5°Cに抑えるシナリオ群における2030年の世界全体での電力部門の排出係数削減の中央値。灰色の長方形の上端・下端は四分位範囲を示す（2019年比70%～85%削減）。

出所：資源エネルギー庁（2022）、IPCC（2022）

具体的な数字で比べてみると…

- 日本の電力トランジション・ロードマップにおける電力部門の排出原単位：  
0.47kg/kWh（2019年）→ 0.24kg/kWh（2030年）
- IPCC AR6の1.5°Cシナリオ群（C1）における世界全体での電力部門の排出原単位：  
0.52kg/kWh（2019年）→ 0.13kg/kWh（2030年）



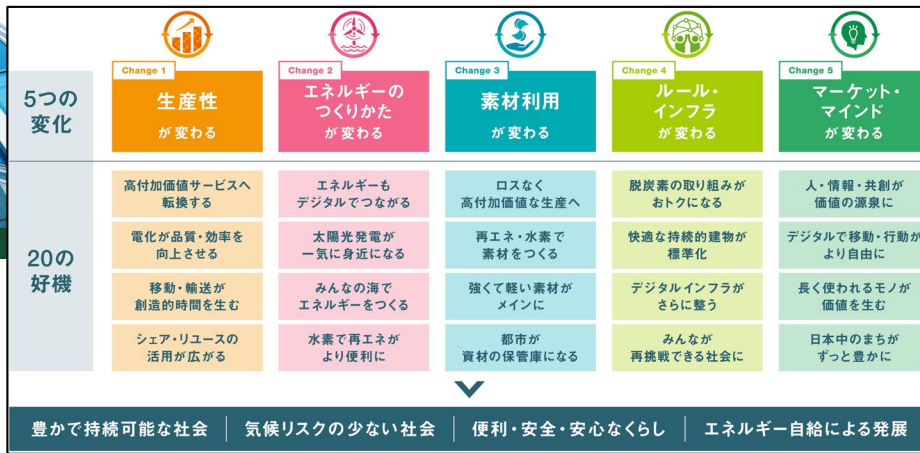
- IPCC AR6 1.5°Cシナリオとは乖離。
- IEAネットゼロ・シナリオ（先進国は2035年までに電力分野ネットゼロ）やSBTiのシナリオ（電力部門は2040年までにネットゼロ）との整合も見いだせない

# では、どうしたらよいか？： IGES 1.5°Cロードマップ

1.5°C目標を目指すなかで豊かで持続可能な社会を実現していける道筋はあり、そこでは**脱炭素は事業機会**であることを提示。



<https://1p5roadmap.iges.jp>



- 5つの変化と20の好機：1.5°Cへの道筋のどこに事業機会・好機があるかを提示
- 各企業の強みを発揮するため、**ルールメイキング**を促すことの重要性



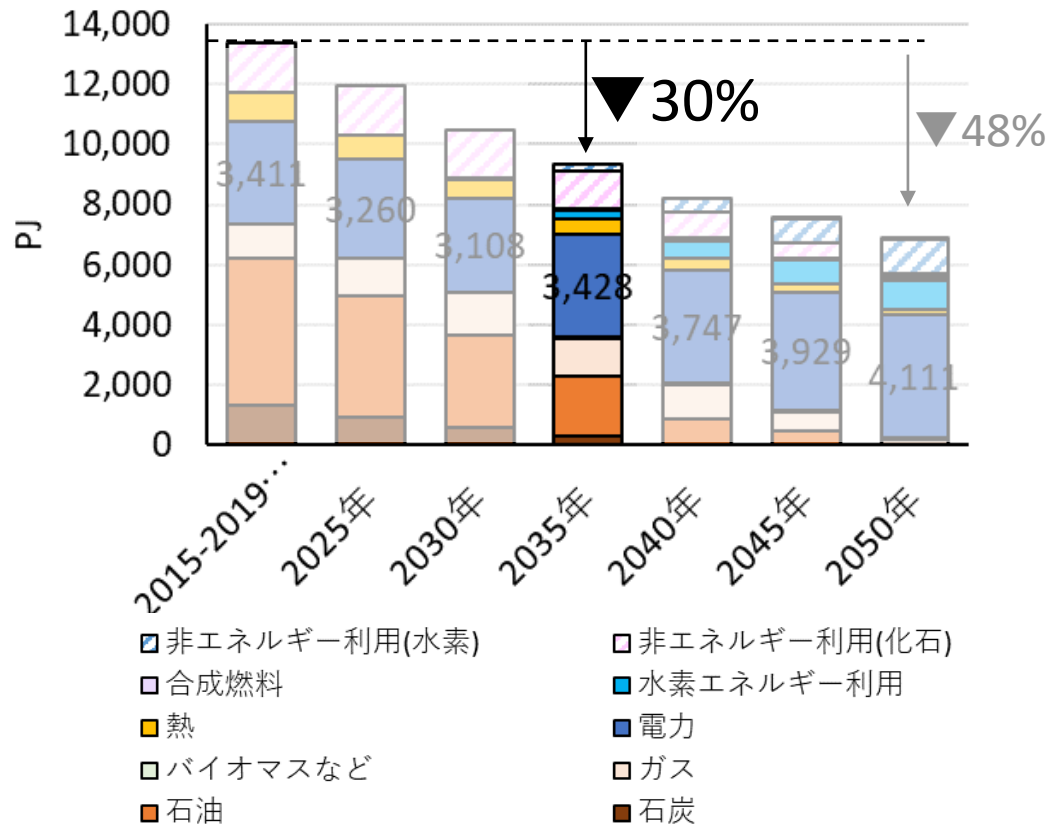
## 詳細なテクニカルレポート

- ✓ 日本が1.5°C目標に貢献する排出経路（2035年に13年比76%削減）
- ✓ 「より便利・安心な暮らし」や「企業活動の生産性・付加価値向上」を目指した脱炭素戦略
- ✓ 部門別のロードマップ（時系列のアクションプラン）を提示

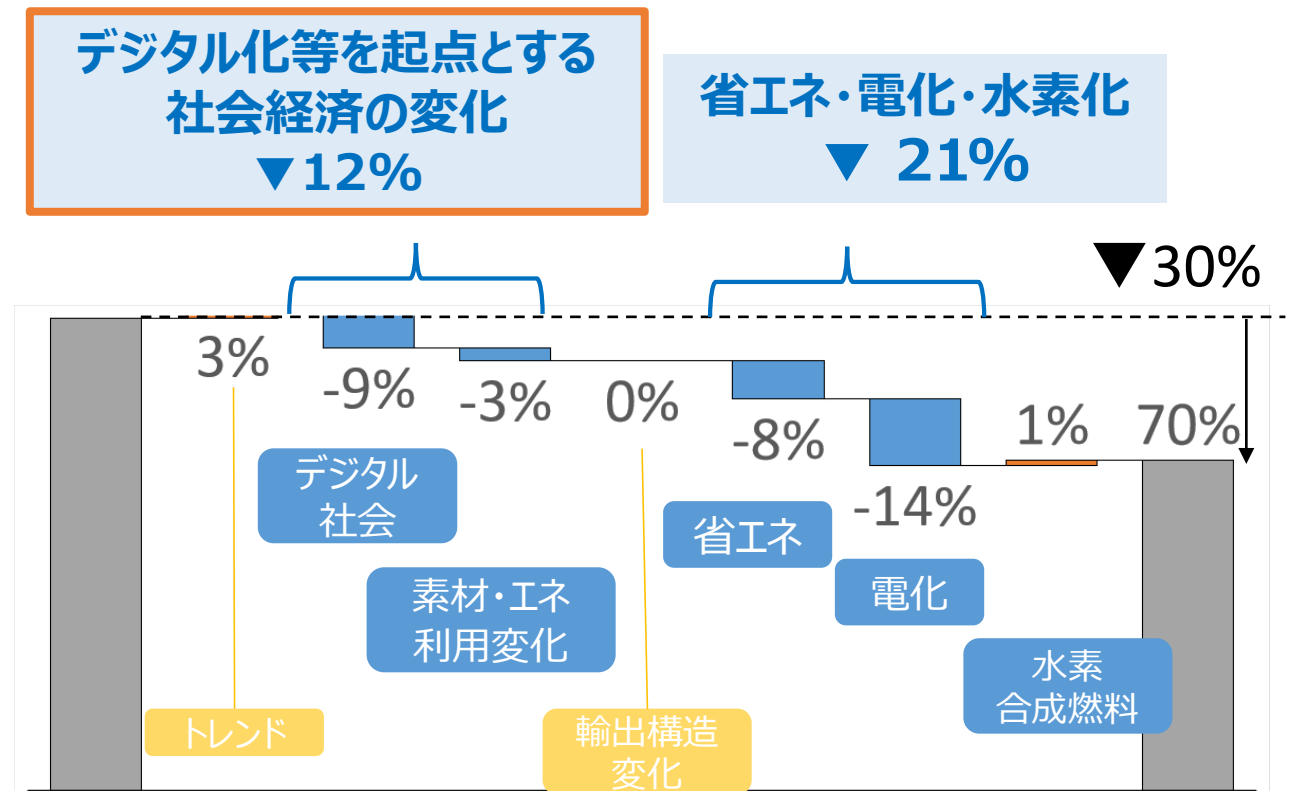
IGES 1.5°Cロードマップ：日本の排出削減目標の野心上げと豊かな社会を両立するためのアクションプラン

# 最終エネルギー消費量が基準年比30%減。 デジタル化、省エネ、電化が主要要素

## 最終エネルギー消費量の推移

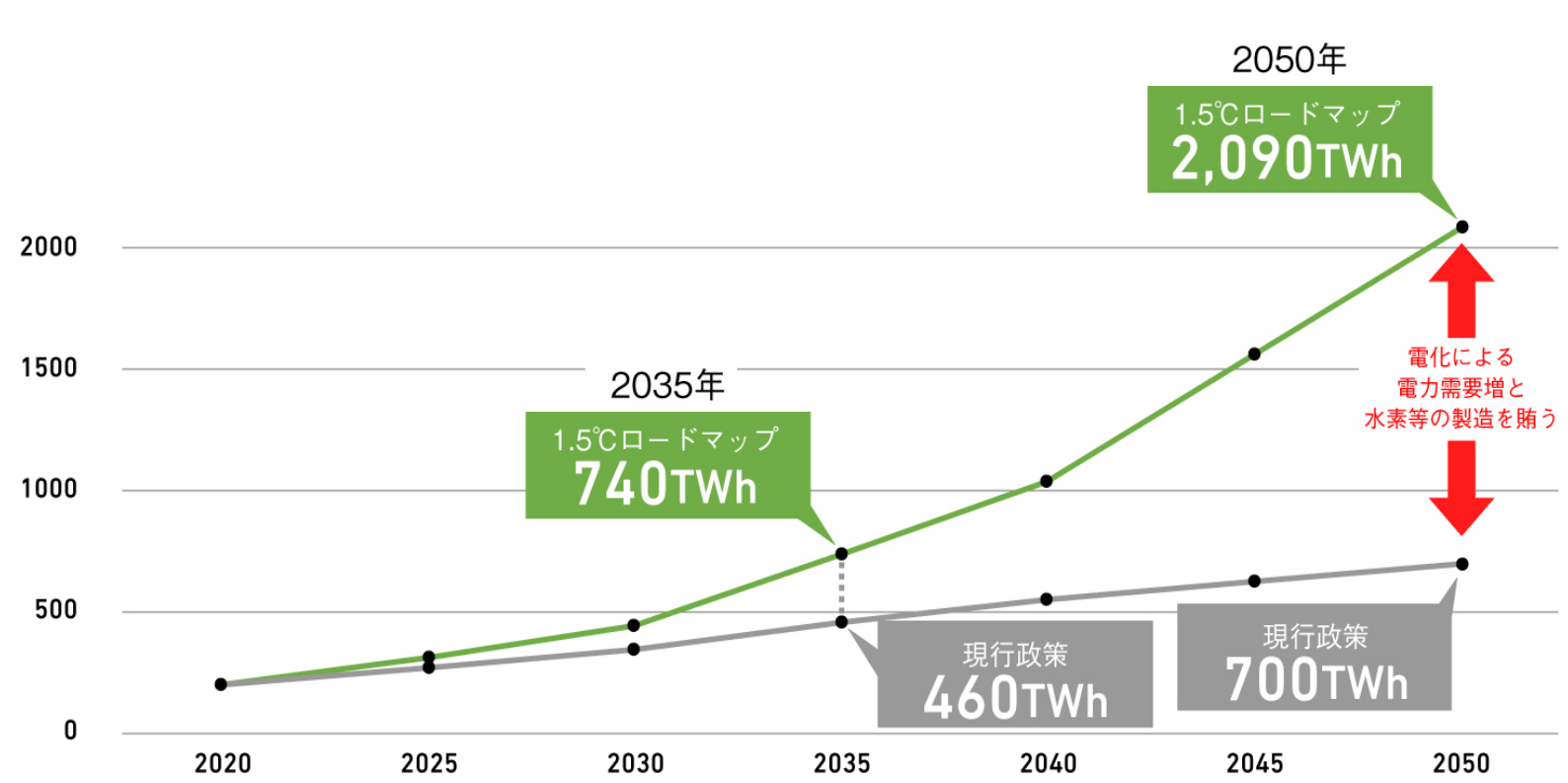


## 2035年の最終エネルギー消費量の減少要素





# 2035年までの石炭火力の段階的廃止と再エネの速やか・大幅な拡大により 電力部門の大部分の脱炭素化(脱炭素電源81%)は可能



〈再エネ電力量の変化〉  
(水素製造分を含む)

〈電源構成〉  
(再エネの水素製造分を除く)

| 電源                | 2035年 | 2050年 |
|-------------------|-------|-------|
| 脱炭素電源             | 81%   | 100%  |
| 再エネ※              | 61%   | 85%   |
| 太陽光<br>(系統電力供給分)  | 27%   | 47%   |
| 陸上風力              | 8%    | 8%    |
| 洋上風力<br>(系統電力供給分) | 15%   | 26%   |
| その他再エネ            | 12%   | 6%    |
| 原子力               | 15%   | 9%    |
| 水素                | 4%    | 6%    |
| ガス                | 19%   | 0%    |



## 再エネの早期かつ大規模な導入に向けて

再エネ導入量最大値は、各業界団体の公表資料を参照  
導入実現に向けては、カーボンプライシングに加え、系統運用ルール、各電源に対する政策支援強化を今から進めていく必要がある。（後述）

### 風力発電

|                      | 2020実績 | 2030 | 2035 | 2040 | 2050  | 参照                     |
|----------------------|--------|------|------|------|-------|------------------------|
| 陸上風力                 | 4GW    | 26GW | 31GW | 35GW | 40GW  | 風力発電協会ビジョン             |
| 洋上風力(領海内)            | 0GW    | 8GW  | 24GW | 45GW | 45GW  | 官民協議会ビジョン              |
| 浮体式洋上風力<br>(排他的経済水域) | 0GW    | 0GW  | 20GW | 90GW | 360GW | 海洋技術フォーラム提言<br>(意欲的目標) |

### 太陽光発電

|             | 2030  | 2035  | 2040  | 2050  | 参照                 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| 太陽光発電       | 150GW | 230GW | 270GW | 420GW | 太陽光発電協会（最大化ケース、DC） |
| 次世代型太陽光発電 ※ | 0 GW  | 15GW  | 80GW  | 140GW | IGES独自想定           |

※2035年以降段階的にシリコンとペロブスカイトを組み合わせたタンデム型が導入される（同じ面積で発電出力増）と想定

2050年の地熱発電は適地の制約、バイオマス発電は燃料調達の制約から、2030年のエネルギー需給見通し想定と同値。  
2050年の水力発電は、ダム運用の改善などで、発電電力量が2030年のエネルギー需給見通しより37%増。

# 電力系統シミュレーションの概要

## シミュレーションの特徴

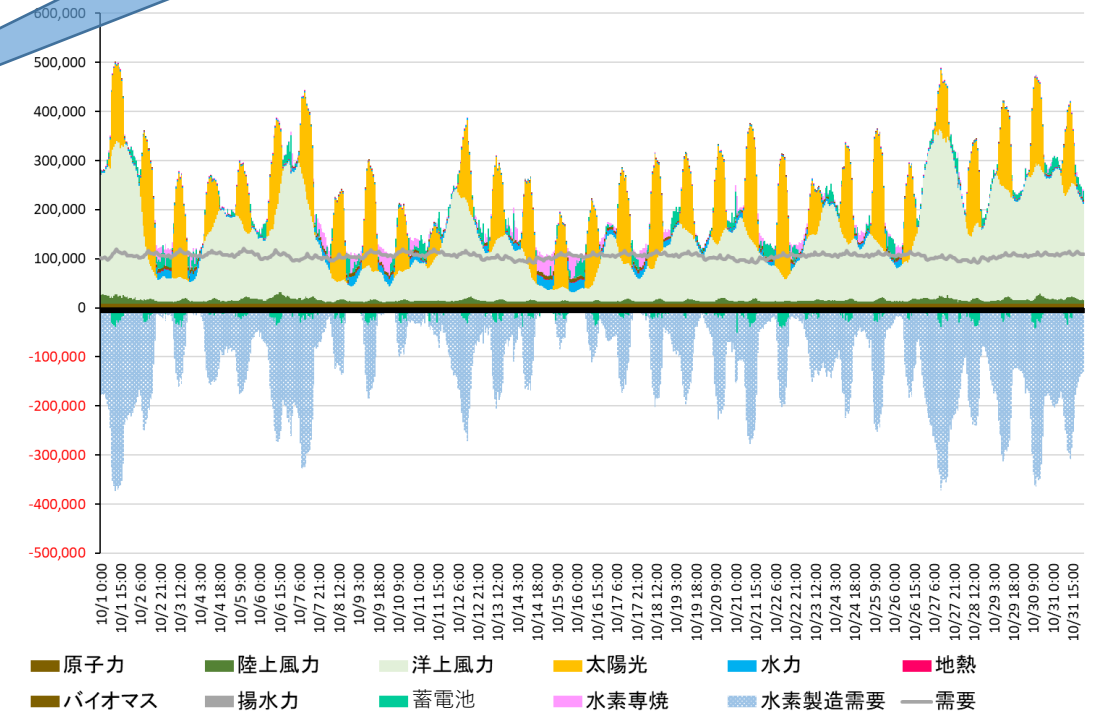
- 電力広域的運営推進機関(OCCTO)も利用するPROMODを用いて、450地点・1時間毎で電源の運用コスト最小化を達成する電力需給バランスを検証
- メルットオーダーの安価な再エネが優先的に電力を供給する系統運用ルールを想定している。

## 電力系統の柔軟性（調整力）に関する主な想定

- 再エネ余剰電力を用いて水素を製造
- シェアリングされないEV用の蓄電池の半分がV2G(EVの電力系統安定化)に利用
- 家庭用蓄電池、系統安定用蓄電池、揚水式水力発電の柔軟性も想定
- 既存のガス火力を改修した国内グリーン水素専焼火力は、電力の需給調整に部分的に利用

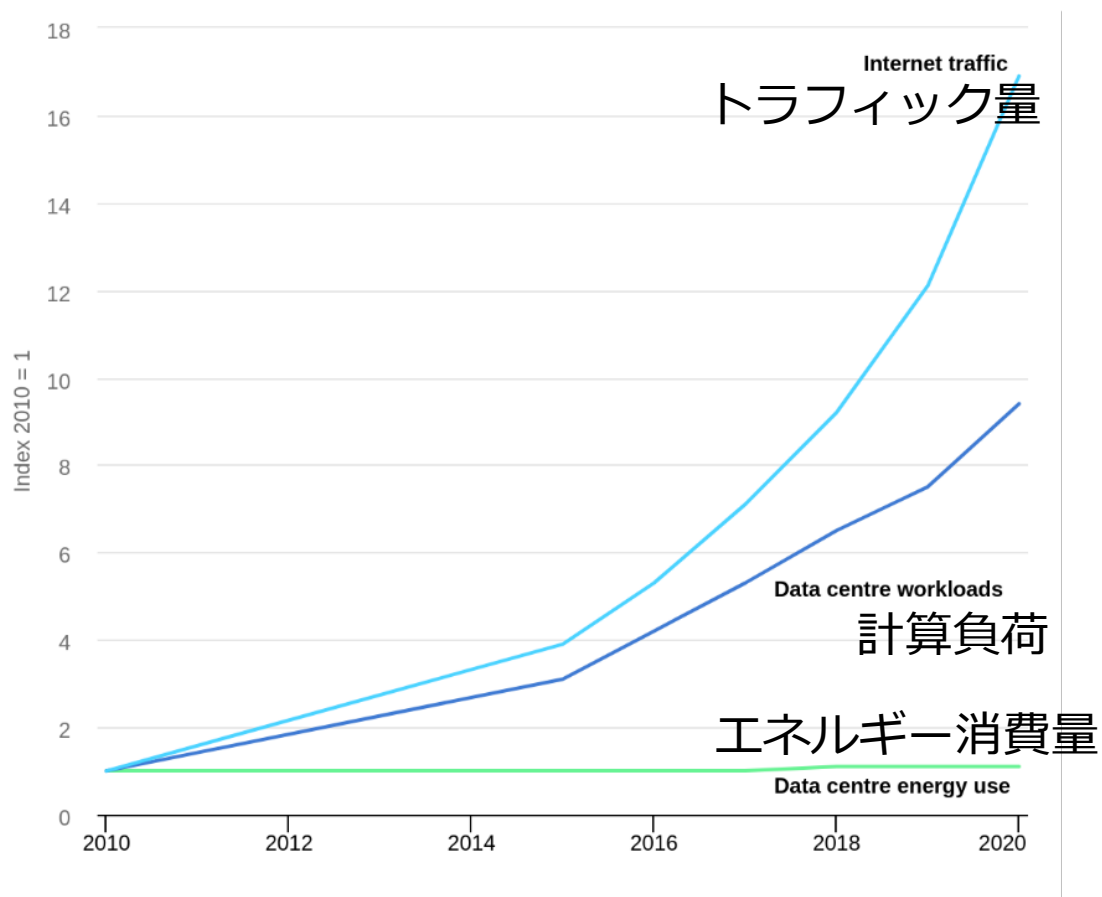
さまざまな手法を組み合わせることでコストを抑えつつ、柔軟性を提供

MWh/h 〈全国レベルでの1時間単位の電力需給状況（例）〉



# データセンターについては、省エネ技術の最大限導入や建設場所の政策誘導により長・中期的には対応可能

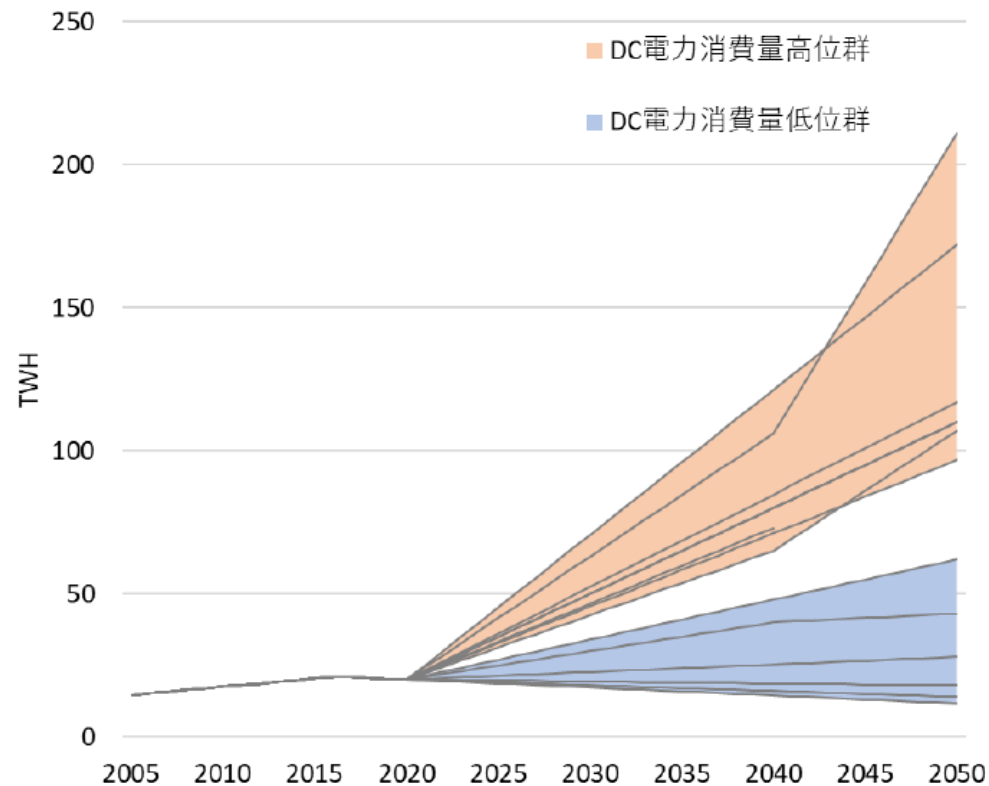
これまでは、トラフィック量や計算負荷が大幅に増加しても、性能向上や効率改善でエネルギー消費量の増加は抑制されてきた



世界全体のデータセンターの電力消費量のこれまでの推移

出典: [IEA](#)

- 大幅増加を推計しているのは、電力消費量とデータ処理量等との単純な相関関係に基づくもの。
- 技術革新により現状程度に収まる可能性も考慮しつつ、100TWh(最大200TWh)程度の増加想定が現実的か。
- その場合、1.5℃ロードマップ全体の結論には影響しない



日本国内のデータセンターの電力消費量に関わる推計値

出典: 栗山ほか(2024)「デジタル化の進展による電力消費量の変化と 1.5℃目標実現への示唆」IGESディスカッションペーパー

## 補論：データセンター（DC）の効率化に資する技術

以下の技術動向をみると、DCの電力消費量は大幅に増加しないことも想定しうる  
また、日本のデータセンターの半分は老朽化（築20年以上）。更新の際、最新技術・革新的技術を使うことで、電力消費量は大幅に抑えられる。

### 既存の最新技術

- **クラウド型のDC**は、従来のDCと比較して7～9割程度エネルギー効率が高い
- 計算に必要なエネルギーが少ない**ソフトウェアやアルゴリズム**が日々改善されてる（例：ディープ・ニューラル・ネットワークを応用したスパース・モデル、パラメータ数を節約した大規模言語モデル（LLM））

### 部分的に実用化されている革新的技術

- 人間の脳を模倣した超並列処理を行う**ニューロモーフィックデバイス**（by Intel）
- 計算量を激減しうる**1-bit LLM**（by Microsoft）
- **光トランジスタ**による情報処理（by NTTデータ）
- 複雑な組み合わせ問題を処理する**量子アニーリング**（by NECなど）

## 系統運用ルールと送電線増強に関するアクションプラン（一部抜粋）

| 2020-2030                                                                                                                                                                   | 2030-2040                                                                                                                                                                                                         | 2040-2050                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• 先着優先ルールから<b>実潮流ベース、市場主導型の送電線の運用管理に向けたルール導入整備</b>（前日市場、リアルタイム市場の整備含む）</li><li>• <b>下位系統・配電網を含めたコネクト&amp;マネージ</b>に向けたルールの整備</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• 電力広域融通を可能とする<b>地域間連系線の増強</b></li><li>• <b>エネルギーの地産地消を可能とする配電網管理</b></li><li>• <b>V2Gを含むアグリゲートビジネス</b>を可能とする系統管理</li><li>• 洋上風力発電のポテンシャルが高い地域でのアクセスポイント周辺の送電線の整備</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>グリーン水素製造装置</b>大規模導入</li></ul> |



# 太陽光発電に関するアクションプラン（一部抜粋）

| 2020-2030                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2030-2040                                                                                                                                                                                                                                                    | 2040-2050                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 屋上太陽光設置<b>実質義務化</b>（新築の6割）</li> <li>• 太陽光発電の<b>余剰電力を既存配電網を通じて近隣の建物に共有する制度整備</b></li> <li>• 中小企業や戸建て住宅に太陽光発電を設置するため<b>ファイナンス制度</b>の整備</li> <li>• 耕作放棄地活用のための<b>土地の権利関係の整理</b>、太陽光発電設備導入のための<b>ファイナンス制度</b>の整備、農業委員会を含む<b>地域全体での合意形成</b></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 屋上太陽光設置実質義務化（新築の7割-8割）</li> <li>• <b>ペロブスカイト／シリコン・タンデム型モジュールの本格的実装</b></li> <li>• リプレースされる太陽光発電の廃棄処理方法や制度の整備</li> <li>• <b>高度な発電予測技術を組み併せて、細かな柔軟性を持った太陽光発電の運用</b></li> <li>• グリッドフォーミング技術導入によるPV への柔軟性付与</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 屋上太陽光設置実質義務化（新築の8割）</li> </ul> |

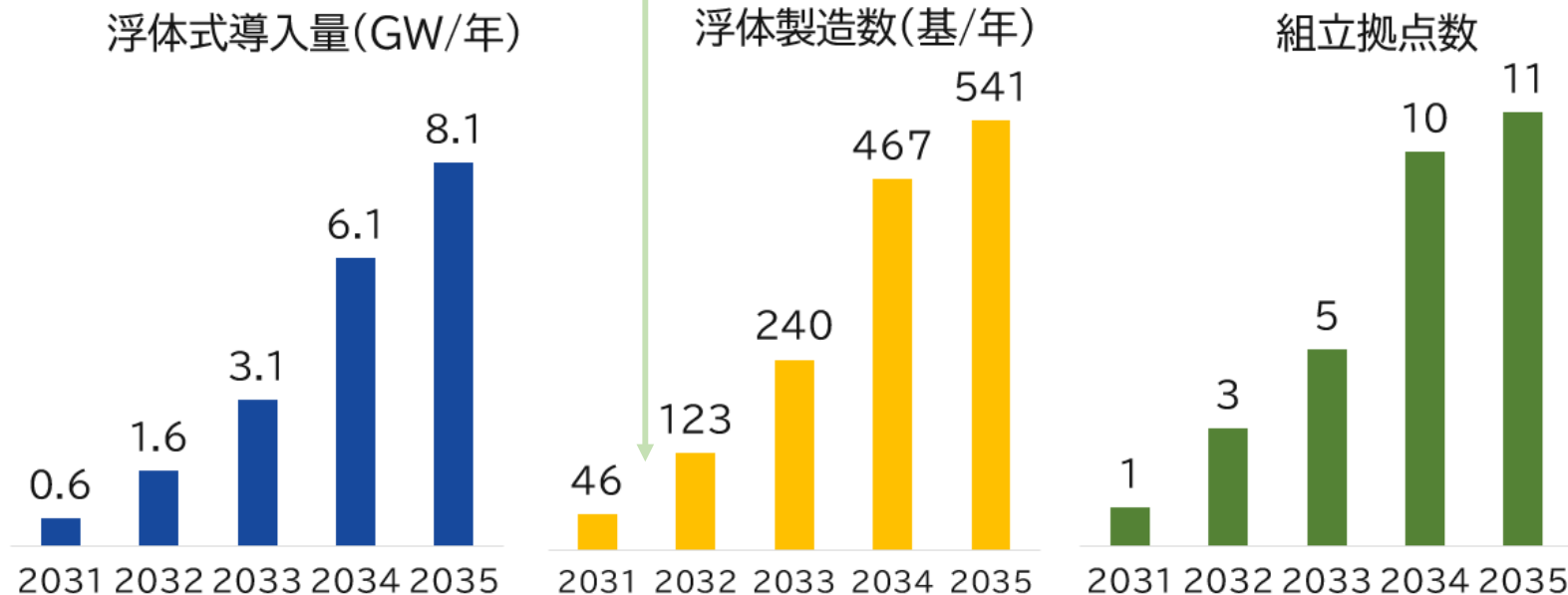
## 陸上風力・洋上風力に関するアクションプラン（一部抜粋）

| 2020-2030                                                                                                                                                                                                                               | 2030-2040                                                                                                                           | 2040-2050                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>野心的な導入目標</b>設定</li><li>• 将来の大量生産を見込んだ<b>製造拠点整備（港湾整備含む）</b>やサプライチェーンの構築</li><li>• 官民が連携して効率的に事業開発を進められる制度の構築</li><li>• <b>EEZ 利用に関わるルール</b>の整備</li><li>• 洋上風力発電の開発・建設に係る<b>人材育成</b></li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• EEZ 浮体式洋上風力発電の導入本格化するための事業環境整備</li><li>• <b>高度な発電予測技術を組み併せて、細かな柔軟性を持った風力発電の運用</b></li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• リプレイスやメンテナンスが円滑に行われるための技術や事業環境の整備</li></ul> |

# 浮体式洋上風力 2035年20GWに向けた国内サプライチェーン形成の規模感

- 産学官の専門家集団である海洋技術フォーラムは意欲的目標として、**2035年20GW（発電開始）**を提言。
- この意欲的目標は、「**日本が洋上風力でアジアや世界をリードするために必要な目標**」との位置付け。
- **国内サプライチェーン形成、特に基地港湾と浮体製造・組立拠点の速やかな拡大**がポイント。

住友商事ら、2030年  
までに年100基生産  
体制の構築へ  
(日本経済新聞  
2024/7/30)



米国・セーラム洋上風力ターミナル

- ・ 旧石炭・石油火力発電所の再開発
- ・ 2024年8月着工、2026年オープン予定

出典 <https://www.crowley.com/wind/salem>

出典: [海洋技術フォーラム提言 意欲的目標](#) をもとにIGES作成

# まとめ

1. 2050年ネットゼロを目指す上で、発電部門が他の部門に先駆けて脱炭素化することは合理的な戦略である。世界全体で見ると、太陽光発電・風力発電の普及が急拡大しているものの、火力発電の増加も続いており、発電部門の脱炭素化のペースは不十分である。
2. 日本は、G7首脳声明の中で、発電部門における2035年までの完全（fully）もしくは大部分（predominantly）な脱炭素化、そして、対策の講じていない石炭火力については、2035年まで、あるいは、1.5℃目標に整合したスケジュールでの石炭火力廃止を約束した。しかし、現時点の取り組みでは約束履行に不十分である。
3. 日本において、**2035年までの発電部門の大部分の脱炭素化(脱炭素電源81%)**、**削減対策を講じていない既存の石炭発電を段階的な廃止は、今からルールと行動を変えていくことで実現可能**

⇒ **IGES 1.5℃ロードマップは「道標」を提供**