

# 2050年カーボンニュートラルの実現に向けた検討

令和3年5月13日  
資源エネルギー庁

# シナリオ分析について

# シナリオ分析の目的

- **2050年カーボンニュートラルへの道筋**は、電力、産業、民生、運輸などの各部門で、**技術、コスト、自然・社会制約、量などの様々な面で課題・制約を乗り越えることが必要**だが、技術革新、社会実装などの進展には**不確実性が存在し、具体的に見通すことが難しい**。このため、様々なシナリオを想定した上で、**目指すべき方向性、ビジョンとして捉え、現時点で想定し得る道筋とし、今後の技術の進展などに応じて柔軟に見直していくべき**とされた。
  - ▶ 日本より先にカーボンニュートラルを宣言したEUや英国においても、2050年に向けては複数のシナリオを設定し、それぞれのシナリオに基づき将来の一次エネルギー供給構造や電源構成などの違いを比較しており、蓋然性のある予測やあるべき将来像として示したシナリオでなく、特定の電源構成などを政府の目標として定めていない。(次ページ以降参考参照)
  - ▶ 日本の2050年カーボンニュートラルに向けても、こうした諸外国の事例を踏まえつつ、2050年に向けては技術面やコスト面、自然制約や社会制約などの不確定要素が大きいことを考慮し、特定の電源構成などを目標として定めず、将来にわたって政策の選択肢に幅を持たせることが重要。
- **複数シナリオ分析では、2050年カーボンニュートラル実現に向けた様々な課題、制約を明らかにし、そうした課題・制約を将来的に仮に乗り越える場合を想定し、これを前提条件として、どのようなエネルギー需給構造になるかを分析し、それぞれ比較することを通じて、政策課題、対応の方向性の検討**を行い、**目指すべき方向性を明らかにする**。
- モデルを用いたシナリオ分析は、技術、コスト面等の課題・制約をどう乗り越えたかという**想定、前提条件次第で、分析結果の絵姿は変わる**。実現可能性がほとんど見通せない、前提条件をおいても絵姿は示せる。また、社会・自然制約のように定量化することが難しいものもある。
- **分析結果は定量的に示される**が、極めて困難な課題・制約を乗り越えることを前提にしているもの、可能性の高いもの、定量化困難なものをどう扱っているかなど、**想定、前提条件がどのような性質のものかを明確化することが重要**。**分析結果の数字だけでなく、数字には表れない想定、前提条件と合わせて評価・検討することが必要**。

## **【参考】EU・英国の事例について**

**(1) EU**

(2) 英国

- 2018年11月、欧州委員会は、2050年のカーボンニュートラル経済の実現を目指す「A clean planet for all」という「**ビジョン**」を公表。

※本ビジョンより新しい政策を打ち出すことを決定するものではなく、EUの気候・エネルギー政策の**方向性 (direction of travel)** を示すことが明記されている。

- 2020年3月に国連に提出したパリ協定長期戦略では、このビジョンに基づく議論の結果として2050年「気候中立」合意に至ったとの説明。

- なお、ビジョンでは、**具体的なエネルギーミックスの目標を決定している訳ではなく、削減の道筋には様々なオプションが考えられる**ことから、

- **技術の成功に関する長期の不確実性が大きい。**

- ベースラインや脱炭素化シナリオは、単にシナリオでしかない。

- **技術の進展、消費者の選択、規制により異なった結果をもたらす。**

- モデルの結果は、注意を持って解釈せねばならず、現実の近似したものとして形式化されたものであることを認識しなくてはならない。

といった認識の下、**どのような対策を実施するか複数の前提を置き、80%（5つ）、90%（1つ）、100%削減（2つ）となる8シナリオ**を分析。

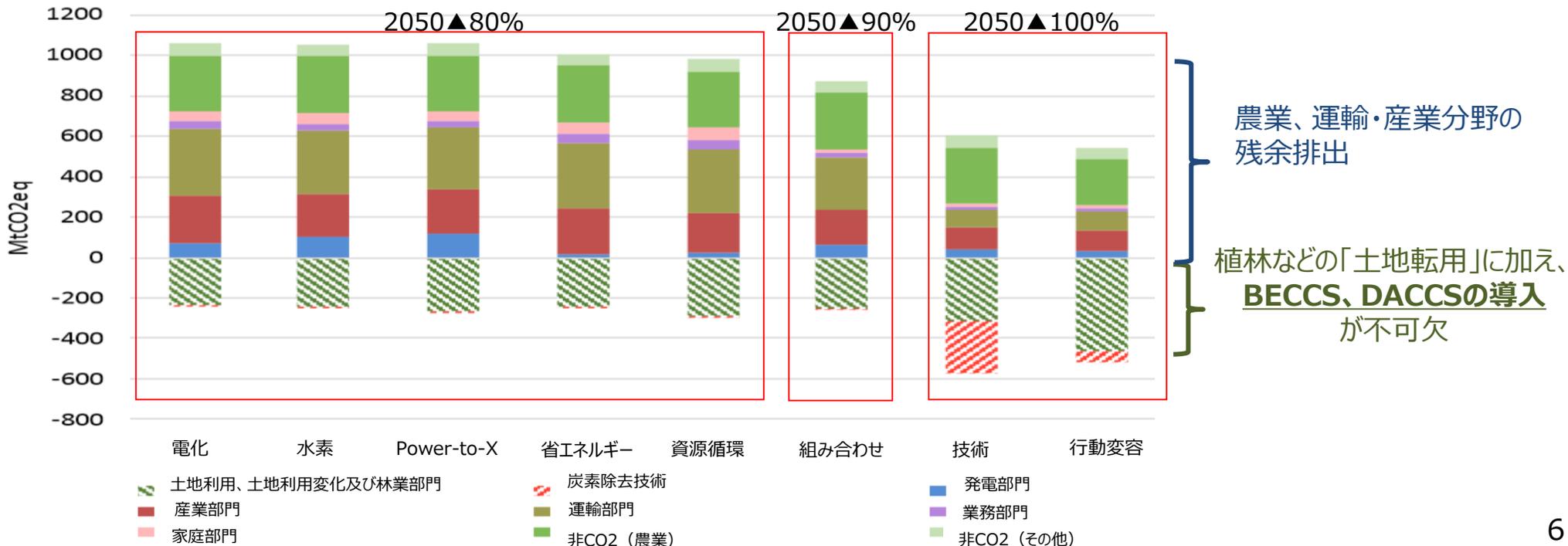
(出典)IN-DEPTH ANALYSIS IN SUPPORT OF THE COMMISSION COMMUNICATION COM(2018)773 P.53

# EUの8つのシナリオ概要

令和2年11月17日基本政策分科会資料から抜粋・加工

- 「電化」、「水素」、「合成燃料」、「省エネ」、「資源循環」の各シナリオでは▲80%になるように分析。「組み合わせ」はこれらを費用対効果の高い方法で▲90%になるようにしたものの。
- **農業や運輸、産業などの部門では、現在の技術では排出ゼロを実現できず、カーボンニュートラルの実現には、植林などの「土地利用に加え」、BECCS（バイオマス発電+CCS）、DACCS（大気からのCO2回収+CCS）などの炭素除去（ネガティブエミッション）技術の活用が不可欠**とされている。
- 各シナリオで**電化率、電力需要、電力消費が増加、電力消費者価格の上昇**を想定。
- 現在EUETS価格（EU排出量取引制度の炭素排出枠価格）は約50EUR/t-CO2を記録、2050年に▲80%シナリオで250EUR/t-CO2、▲100%シナリオで350EUR/t-CO2と**大幅な上昇を想定**。エネルギー総コストも2040年に大幅に上昇し、その後減少することを想定。**今後、研究開発が進展することにより、こうしたコストが低減していくことについても言及**。

## EUの8つの脱炭素化シナリオ



# EUの想定8シナリオ

令和2年11月17日基本政策分科会資料から抜粋・加工

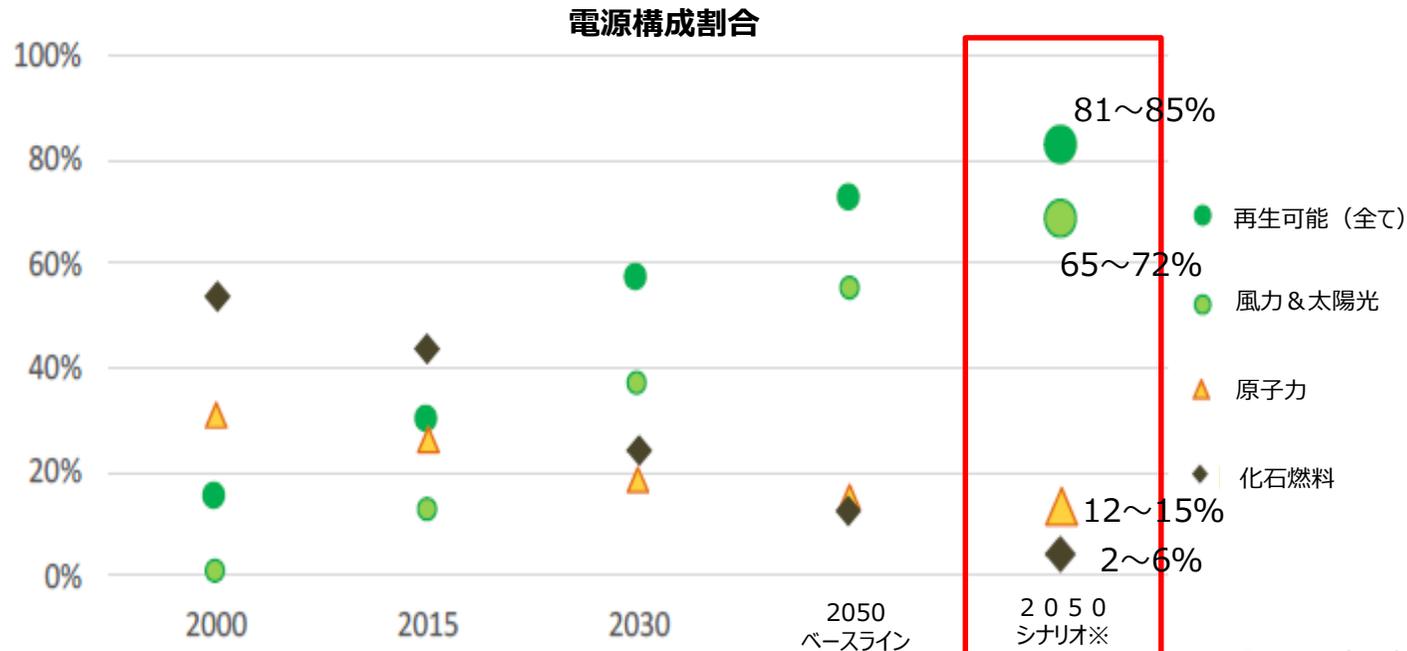
## 長期戦略におけるオプション

|                           | 電化 (ELEC)  | 水素 (H2)           | Power-to-X (P2X)   | 省エネルギー (EE)      | 資源循環 (CIRC)  | 組み合わせ (COMBO)                                    | 1.5°C 技術 (1.5TECH)               | 1.5°C 行動変容 (1.5LIFE)   |
|---------------------------|--|-------------------|--------------------|------------------|--|--|----------------------------------|--|
| 主要な要素                     | 全てのセクターで電化を重点化   | 産業、輸送、建物での水素利用    | 産業、輸送、建物での合成燃料利用   | 全セクターでのエネルギー効率向上 | 資源、材料効率の工場   | 2°Cシナリオから費用対効果の高い方法で組み合わせ                        | COMBOからBECCS, CCSの更なる利用          | COMBOとCIRCからさらに行動変容  |
| 温室効果ガス2050年目標             | -80%GHG (吸収源を除く) (“2°Cを大きく下回る”野心)  |                   |                    |                  |  | -90%GHG (吸収源を含む)                                 | -100%GHG (吸収源を含む) (“1.5°C”野心)    |  |
| 主要仮説                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>2030年以降の省エネの向上</li> <li>持続可能、高度なバイオ燃料の展開</li> <li>適度な資源循環対策</li> <li>デジタル化</li> </ul> |                   |                    |                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>インフラ設備のための市場調整</li> <li>2°Cシナリオ下ではBECCSは2050年以降のみに存在</li> <li>低炭素技術について著しい learning by doing</li> <li>輸送システム効率の著しい改善</li> </ul> |  |                                  |  |
| 電力部門                      | 2050年までに電力はほぼ脱炭素化。システム最適化による再エネシステム施設の強力な浸透力 (デマンドサイドレスポンス、貯蔵、相互接続、プロシューマーの役割)。原子力は依然として電力部門で役割を果たし、CCS配備は限界に直面。             |                   |                    |                  |  |  |                                  |  |
| 産業                        | プロセスの電化  | 対象アプリケーションでの水素利用  | 対象アプリケーションでの合成ガス利用 | 省エネによるエネルギー需要の減少 | 高いサイクル率、代替材料、循環対策  | 対象アプリケーションでの“2°Cを大きく下回る”シナリオから費用効果のあるオプションの組み合わせ | COMBOの強化                         | CIRC + COMBOの強化  |
| 建物                        | ヒートポンプの配備増加  | 暖房用水素の配備          | 暖房用合成ガスの配備         | リノベーション率の向上      | 持続可能な建物  |  |                                  | CIRC + COMBOの強化  |
| 輸送部門                      | 全輸送方法用の電化の迅速化  | HDVs (LDVs) 用水素配備 | 全ての方法のための再生燃料配備    | モーダルシフトの増加       | サービスとしての可動性  |  |                                  | CIRC + COMBOの強化<br>航空旅行の代替   |
| 他の要素                      |  | 配ガス網における水素        | 配ガス網における合成ガス       |                  |  |  | 自然吸収源の限定的向上                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>食生活の変化</li> <li>自然吸収源の向上</li> </ul> |
| 80%減 (2°Cシナリオ) 異なる技術オプション |  |                   |                    |                  |  | 90%減 組合せ   | ネットゼロ (1.5°Cシナリオ) BECCS/CCS、行動変容 |  |

# EUシナリオにおける電源構成

令和2年11月17日基本政策分科会資料から抜粋・加工

- 各シナリオ毎に異なると考えられるが、2050年の8つのシナリオにおける電源構成は以下を想定。
  - 再エネは、揚水、定置・EV車載電池、（間接的に）水素（電力貯蔵(chemical storage) としての役割を期待）、e-fuel、デマンドレスポンスによる電力貯蔵の可能性によって導入が促進されることを想定しているが、モデルでは、土地制約、社会受容性、域外からの電力・水素・合成燃料の輸入との競合など、あらゆる可能性のある事象をとらえて示したものではないとしている。
- 再生可能エネルギー全体：81～85%（うち太陽光＋風力：65～72%）
  - 原子力：12～15%
  - 化石燃料：2～6%



出典) A Clean Planet for all IN-DEPTH ANALYSIS IN SUPPORT OF THE COMMISSION COMMUNICATION COM (2018), Fig. 23 ※8つのシナリオの平均値

## **【参考】EU・英国の事例について**

(1) EU

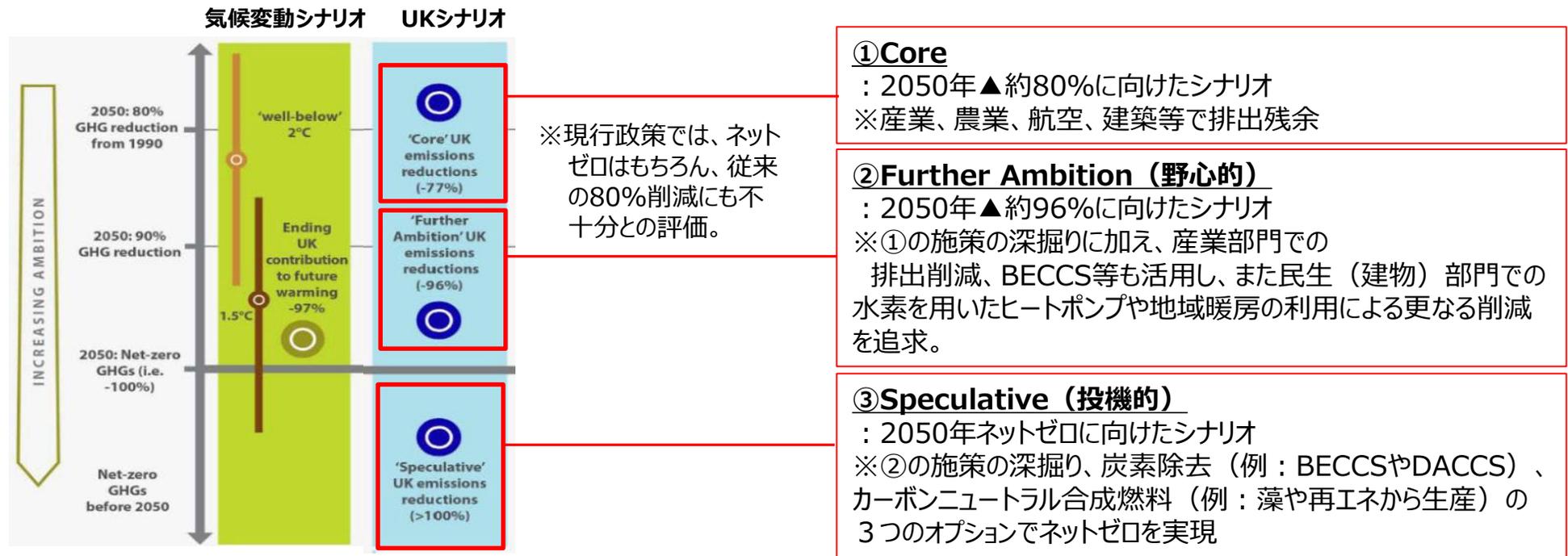
(2) 英国

# 英国におけるカーボンニュートラルの表明の経緯とシナリオの位置づけ

- 2019年5月、**気候変動委員会**※は「Net Zero – The UK’s contribution to stopping global warming」という報告書で2050年ネットゼロを追求すべきと勧告。2019年6月に2050年ゼロ目標を法制化。
  - ※英国気候変動法に基づく独立機関で気候変動緩和・適応について英国政府に対し専門的な助言を行うなど法的義務を負う。具体的には温室効果ガスの排出削減や気候変動の影響への備えや適応に関する進捗状況を議会に報告し、英国政府は回答する義務を負う。
- 本報告書の主な結論は、2050年までにネットゼロを目指すことは、
  1. 英国のパリ協定へのコミットメントを実現するために必要、
  2. 地球温暖化対策への英国の貢献から見て公正な目標、
  3. 適切に設計された政策に裏打ちされていれば達成可能、である。
- その中では、
  - **ネットゼロ排出に向けた正確な技術や行動を予測することは不可能**であり、将来の技術ミックスを予測したり規定したりするものではない
  - ミックスがどのようなものか理解し、**可能性のある課題やコストをアセスする**ためのものと説明した上で、**将来のエネルギーミックスを規定するものではなく、一定の前提をおいたシナリオとして、3シナリオ（▲約80%、▲約96%、▲100%）**を提示。
- 2020年12月、**気候変動委員会**は、「**第6次炭素予算**」の提言を行い、上記の「野心的な削減シナリオ（Further Ambition Scenario）」をアップデートする形で、100%削減の「バランスの取れたネットゼロシナリオ（Balanced Net Zero Pathway）」等を発表。上記を受け、英国政府は2035年までに温室効果ガスを1990年比78%削減すると今年4月に発表。また、本年中に**2050年ネットゼロの長期低排出発展戦略を国連に提出すべく作業を進めている状況**。
- 2020年12月、**英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS）**が公表した報告書（**Energy White Paper**）では、ネットゼロ（100%削減）を達成する上での電力分野の戦略的な位置づけを示しつつ、2050年の電力分野の将来像を例示。付属文書「2050年モデル」（Modeling 2050）では、ネットゼロと統合的な電力分野がどのようになり得るかを示し、低排出で低コストのシステムの特徴を提示。

⇒これらのシナリオは**蓋然性のある予測**や**あるべき将来像**として示したシナリオではなく、**英国の政策目標や政策ではないという位置付け**。

- 2018年10月、IPCC1.5度報告書の提出を受け、英国政府から気候変動委員会（英国気候変動法に基づく独立機関）に諮問。
- 2019年5月、気候変動委員会は「Net Zero – The UK’s contribution to stopping global warming」という報告書の中で、一定の前提をおいたシナリオとして、3シナリオ（▲約80%、▲約96%、▲100%）を提示。
- 2021年に2050年ネットゼロの長期低排出発展戦略を国連に提出すべく作業を進めている。



※複数の道筋（シナリオ）で達成する絵姿としているため、部門別の排出量キャップも設定していない。

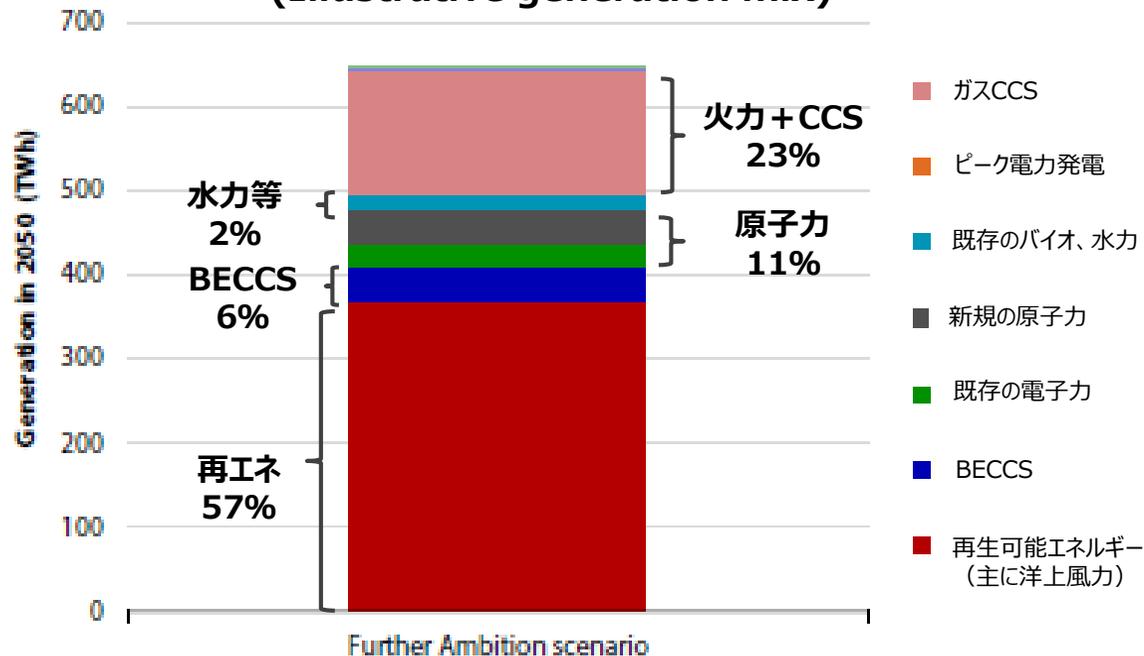
# 英国シナリオにおける電源構成イメージ（2019年5月）

令和2年11月17日基本政策分科会資料から抜粋・加工

- 安定供給を維持しながら、最小コストで電力需要増加を達成するための電源構成を正確に出すことは不可能であるため、イメージとして、再エネ（水力含む）は59%（50%まではグリッド制御等により可能、50%以上についてはシステムの柔軟性の改善により可能）、BECCSは6%、原子力は11%、残りの23%がCCS付きガス火力発電という電源構成（indicative/illustrative generation mix）を示している。

※水素発電は再エネ発電が少なく需要が大きいとき、さらに、蓄電がその差を埋められないときのバックアップ電源として想定されている。

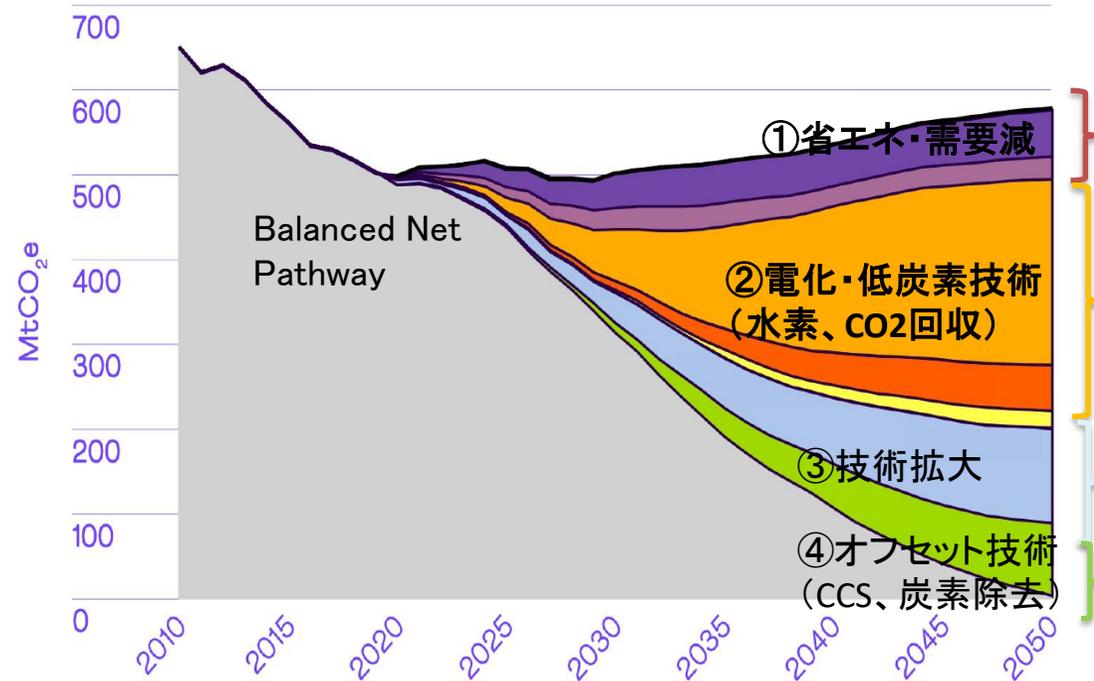
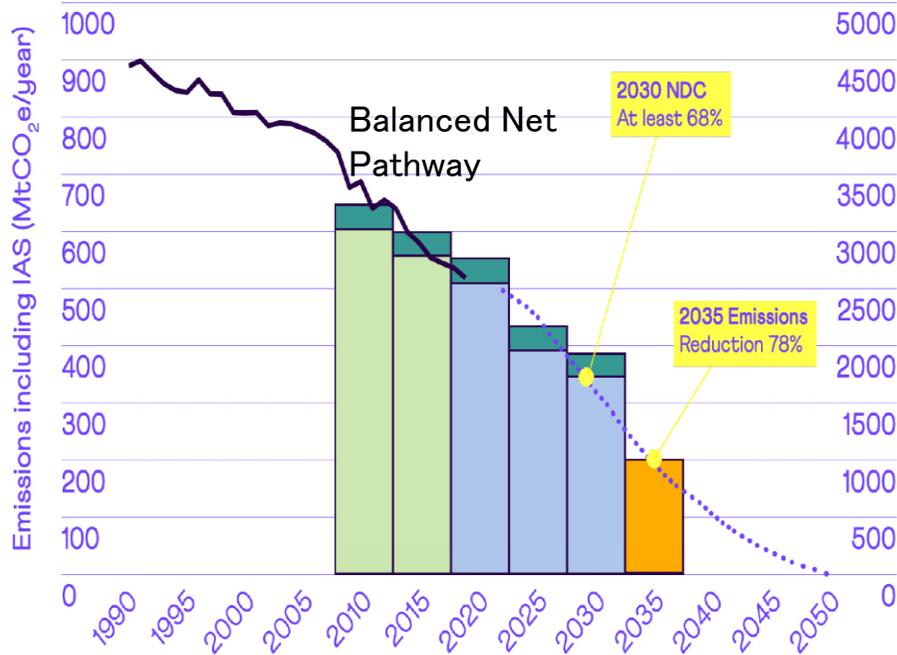
2050年Further Ambitionシナリオにおける電源構成  
(Illustrative generation mix)



# 気候変動委員会（第6次カーボンバジェット提言）（2020年12月）

- 英国気候変動委員会は2020年12月に第6次カーボンバジェット（2033～2037年排出量）の提言にあたり、2050年ネットゼロに向けたシナリオ「Balanced Net Zero Pathway」を提示。
- 英国政府は気候変動委員会の提言を考慮し第6次カーボンバジェットを決定するために独自に内部分析を行い、気候変動委員会の提言したカーボンバジェットを受け入れるか否かを決定する。それを踏まえ、**英国政府も2035年78%削減**を2021年4月に表明。

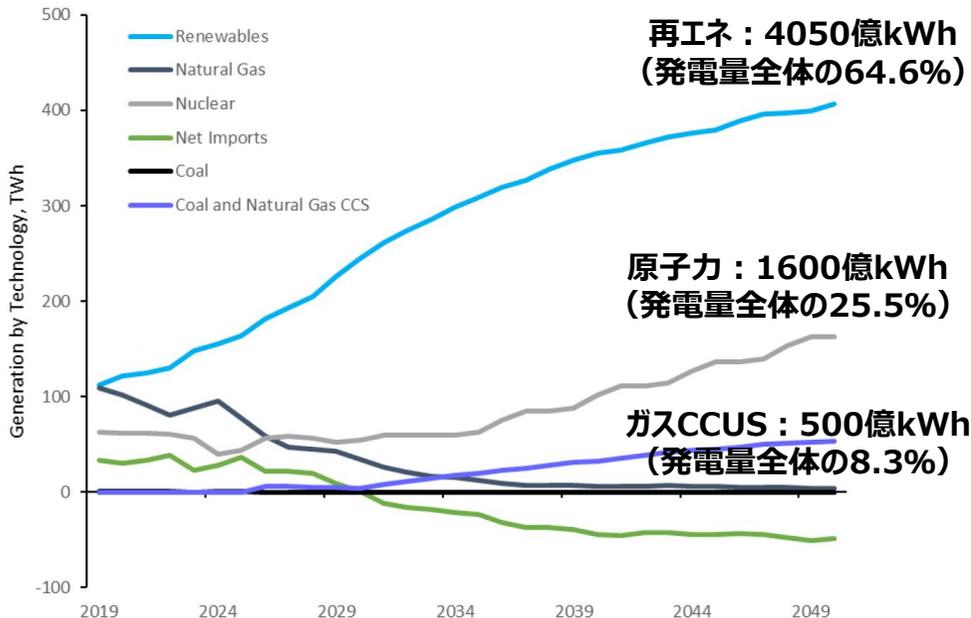
## 気候変動委員会が示すネットゼロパス



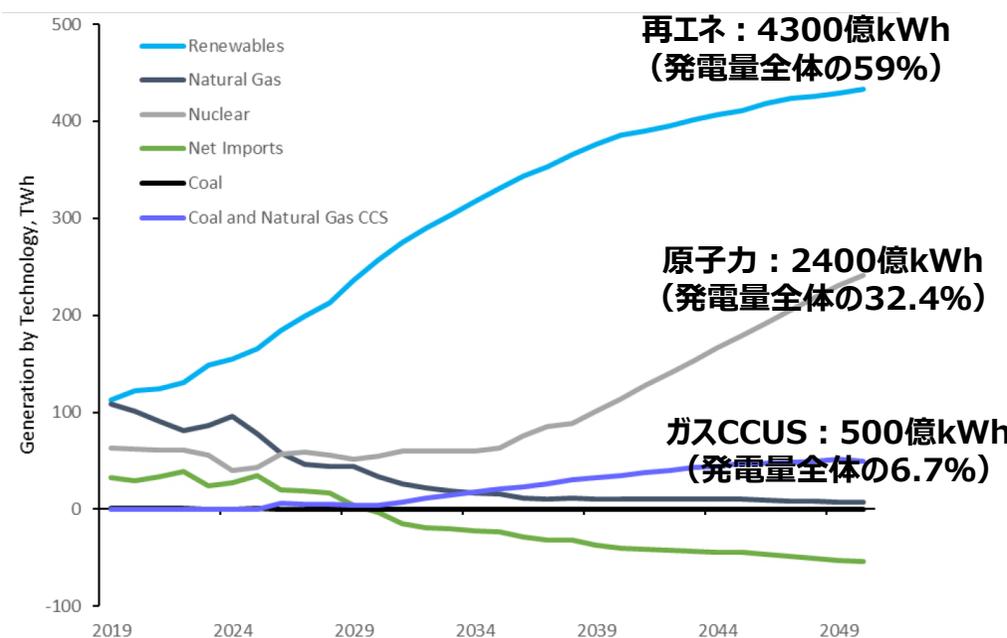
# BEIS (Net Zero and the power sector scenarios) (2020年12月)

- BEIS “Updated energy and emissions projections: 2019”の付属文書 (Net Zero and the power sector scenarios) では、ネットゼロと統合的な電力システムの構成比について、数千に及ぶ電源構成のシナリオ分析を実施した上で、2つの参照的なシナリオを提示。
- ネットゼロを実現する上で、電力需要は現在の3,000億kWhから2050年には5,700億 (低需要シナリオ) ～ 6,700億kWh (高需要シナリオ) に増加すると予測。
- 増加した電力需要に対応するため、**脱炭素電源での発電量を増やす必要がある**としている。
- なお、これらの代表例は、**英国政府としての見通しではなく、政策目標を表したものである**。

## 電力低需要シナリオにおける発電割合



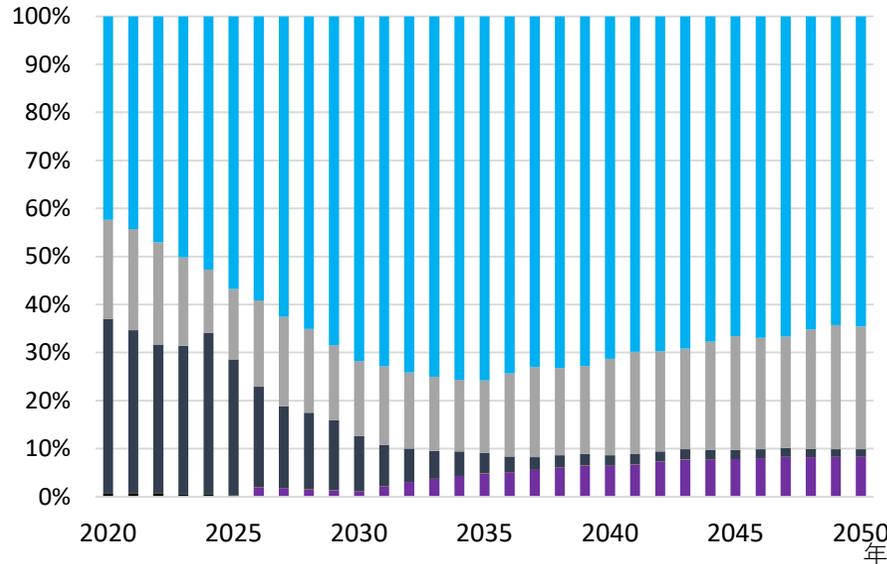
## 電力高需要シナリオにおける発電割合



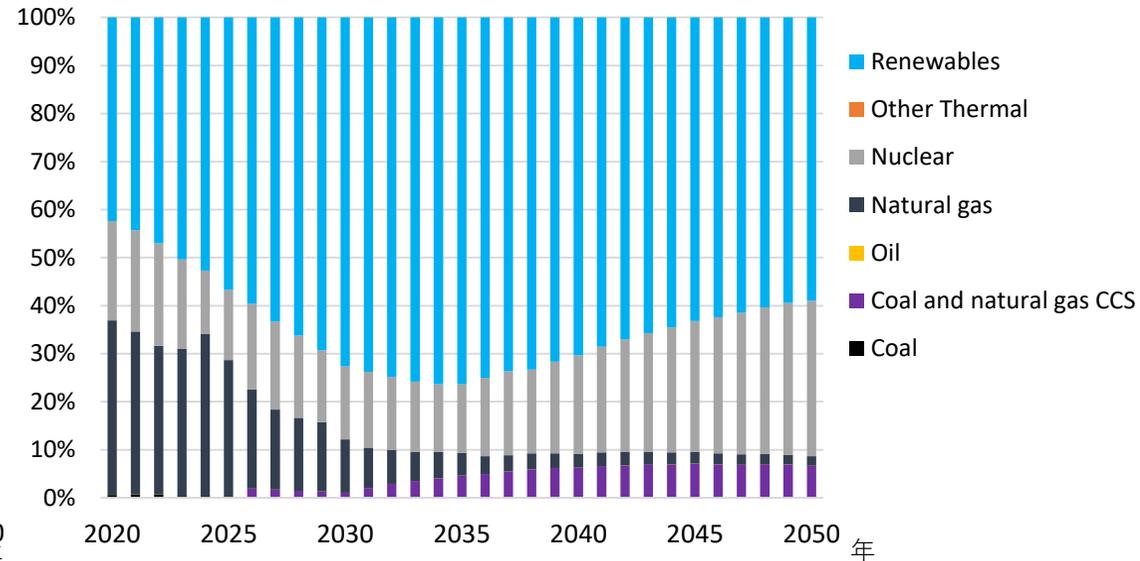
# BEIS (Net Zero and the power sector scenarios) (2020年12月)

- 電力需要が低需要シナリオでは、再エネの発電量は4050億kWh（**発電量の約65%**に相当）、高需要シナリオでは、再エネの発電量は4300億kWh（**発電量の約60%**に相当）。また、CCS等対策無しの化石燃料（unabated fossil fuel）は2050年までにはほぼ完全にフェーズアウトされる。
- これら2つの参照シナリオによると、**2035年頃まで再エネ比率は増加**する。その後、**再エネ比率は減少**するが、**発電電力量の絶対量は増加し続ける**。また、**石炭・ガス+CCUS**は2025年頃から、**原子力**は2035年頃から、**発電量・構成比が増加**する。

## 電力低需要シナリオにおける発電割合



## 電力高需要シナリオにおける発電割合



総発電電力量：2992億kWh(2020年)→4140億kWh(2035年)  
 →**6378億kWh(2050年)**  
 再エネ：42.3%(2020年)→**75.8%**(2035年)→64.6%(2050年)  
 原子力：20.7%(2020年)→15.1%(2035年)→**25.5%**(2050年)  
 石炭・ガス+CCUS：1.1% (2030年) →**8.3%** (2050年)

総発電電力量：2990億kWh(2020年)→4390億kWh(2035年)  
 →**7433億kWh(2050年)**  
 再エネ：42.4%(2020年)→**76.3%**(2035年)→59.0%(2050年)  
 原子力：20.7%(2020年)→14.3%(2035年)→**32.4%**(2050年)  
 石炭・ガス+CCUS：1.0%(2030年)→**6.7%**(2050年)

※“Renewables”には、一部再生可能でない廃棄物が含まれていることに留意。※総発電電力量に輸出入、揚水発電、蓄電池は除く。

出典：BEIS (Updated energy and emissions projections: 2019 AnnexO: Net Zero and the power sector scenarios)  
 を基に資源エネルギー庁作成

# シナリオ分析の進め方

- 出発点として示した参考値（17ページ参照）は、関係団体からのヒアリングやこれまでの政府方針などを総合的に踏まえて設定したもの。この参考値の水準の導入に向けても、乗り越えるべき様々な課題・制約（社会的制約、コスト面での制約、更には技術的制約）があり、それぞれの現状、参考値を実現するための課題・取組を再確認する。
- RITEによる今回のシナリオ分析では、これまで基本政策分科会で議論した、電源の参考値、再エネ導入拡大に伴い発生する電力システムの統合費用、炭素除去技術などのイノベーション、需要側における水素還元製鉄などのイノベーションなどを折り込み、参考値のケースを設定した。
- その上で、シナリオ分析（案）（18ページ参照）を踏まえ、再確認した参考値を実現するために乗り越える必要がある課題、制約を更に乗り越え、例えば再エネの導入量が拡大するケース、原子力が利用が拡大するケース、水素やCCUS/カーボンリサイクルの利用が拡大するケースなどのシナリオを想定した複数シナリオ分析を行い、それらが実現した場合のシナリオ間の電源構成やコストの違いを明らかにした。
  - モデル分析は、モデルの特徴や設定する技術ごとの諸元に応じて結果が変わるため、複数の前提で計算した結果を比較することが重要
  - また、前提を変化させて結果を比較する場合、結果の違いが何に起因するかを明確化することが望ましく、基本的には複数のパラメータを変更することは不適切
- 今回のRITEの分析も、想定・前提条件を変えれば更に異なる結果が示されるもの。2050年に向けては、技術革新、社会実装などの面で不確実性が存在するため、絵姿の結果そのものに意味があるというよりは、絵姿を描く過程で課題、制約を認識し、それを乗り越える方向性、具体策を明らかにし、その実現状況を定期的にフォローアップし、シナリオも練り直していくことが重要。様々な機関がそうした取組を行っていくことを期待したい。

# (参考) 2050年における各電源の整理

- 2050年カーボンニュートラルを目指す上で、脱炭素化された電力による安定的な電力供給は必要不可欠。3E+Sの観点も踏まえ、今後、以下に限定せず複数のシナリオ分析を行う。議論を深めて行くに当たり、それぞれの電源の位置づけをまずは以下のように整理してはどうか。

## 確立した脱炭素の電源

### 再エネ

- 2050年における主力電源として、引き続き最大限の導入を目指す。
- 最大限導入を進めるため、調整力、送電容量、慣性力の確保、自然条件や社会制約への対応、コストを最大限抑制する一方、コスト増への社会的受容性を高めるといった課題に今から取り組む。
- こうした課題への対応を進め、2050年には発電電力量(※1)の約5～6割を再エネで賄うことを今後議論を深めて行くにあたっての参考値(※2)としてはどうか。

### 原子力

- 確立した脱炭素電源として、安全性を大前提に一定規模の活用を目指す。
- 国民の信頼を回復するためにも、安全性向上への取組み、立地地域の理解と協力を得ること、バックエンド問題の解決に向けた取組み、事業性の確保、人材・技術力の維持といった課題に今から取り組んでいく。2050年には、再エネ、水素・アンモニア以外のカーボンフリー電源として、化石+CCUS/カーボンリサイクルと併せて約3～4割を賄うことを今後議論を深めて行くにあたっての参考値(※2)としてはどうか。

## イノベーションが必要な電源

### 火力

#### 化石+CCUS

- 供給力、調整力、慣性力の利点を持つ一方で、化石火力の脱炭素化が課題。
- CCUS/カーボンリサイクルの実装に向け、技術や適地の開発、用途拡大、コスト低減などに今から取組み、一定規模の活用を目指す。2050年には、再エネ、水素・アンモニア以外のカーボンフリー電源として、原子力と併せて約3～4割を賄うことを今後議論を深めて行くにあたっての参考値(※2)としてはどうか。

#### 水素・アンモニア

- 燃焼時に炭素を出さず、調整力、慣性力の利点を持つ一方で、大規模発電に向けた技術確立、コスト低減、供給量の確保が課題。今からガス火力、石炭火力への混焼を進め、需要・供給量を高め安定したサプライチェーンを構築にも取り組む。
- 産業・運輸需要との競合も踏まえつつ、カーボンフリー電源として一定規模の活用を目指す。水素基本戦略で将来の発電向けに必要な調達量が500～1000万トンとされていることを踏まえ、水素・アンモニアで2050年の発電電力量の約1割前後を賄うことを今後議論を深めて行くにあたっての参考値(※2)としてはどうか。

※1：2050年の発電電力量は、第33回基本政策分科会で示したRITEによる発電電力推計を踏まえ、約1.3～1.5兆kWhを参考値(※2)とする。

※2：政府目標として定めたものではなく、今後議論を深めて行くための一つの目安・選択肢。今後、複数のシナリオを検討していく上で、まず検討を加えることになるもの。

- ◆ 参考値（再エネ約5～6割、水素・アンモニア約1割、CCUS+化石火力と原子力で約3～4割）の水準を2050年に達成するためには、これまでに示したような課題の克服が必要。
- ◆ こうした前提に立った上で、これまでの分科会における議論を踏まえ、例えば、以下のようなシナリオを含め、どのようなシナリオが考えられるか御意見をいただきたい。
- ◆ 各シナリオについて、公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）において分析を進めてもらい、その結果を、分析の前提や諸元とともに示してもらおうこととしてはどうか。

## 【これまでの御意見】

- ◎ 100%も可能だという提案もあったわけなので、それに従った数値も検討して欲しい。  
→例 再エネ100%、水素・アンモニア0%、CCUS+化石火力0%、原子力0%
- ◎ 再エネがより大きい比率、再エネが少ない比率のものもお願いしたい。  
→例 再エネ70%、水素・アンモニア10%、CCUS+化石火力10%、原子力10%  
再エネ40%、水素・アンモニア20%、CCUS+化石火力20%、原子力20%
- ◎ 原子力は最低、今のエネルギーミックスの20～22%を維持すべきではないか。  
→例 再エネ60%、水素・アンモニア10%、CCUS+化石火力10%、原子力20%
- ◎ 水素やCCUS付火力の選択肢も幅広く考えるべき。  
→例 再エネ60%、水素・アンモニア20%、CCUS+化石火力10%、原子力10%  
再エネ60%、水素・アンモニア10%、CCUS+化石火力20%、原子力10%
- ◎ 産業側のデジタル化や社会変容といった需要側のシナリオを複数設けるべきではないか。  
→例 デジタル化による電力需要増・省エネ進展、社会変容による省エネ進展など

# RITEモデルについて

- 世界全体を分析対象に、CO2排出制約のもとでエネルギー需給構造について、コスト最適化計算が可能。
  - 世界モデル：世界54地域が対象。日本以外からのエネルギー輸出入などを考慮できる。
  - 最適化計算：機器・燃料の価格が対象であり、安い技術から選択される。
- RITEのモデル分析では、一定の想定・前提条件のもとで、エネルギー供給サイド（一次、二次エネルギー）及び需要サイド（鉄鋼、化学、民生、運輸など）について個別技術の積み上げによる分析を行い、その際、世界の地域間のエネルギー輸入・輸出における整合性も担保し、コスト最適化による分析を行うことで、カーボンニュートラル社会のエネルギー需給構造を矛盾なく描き、評価することが可能。
- モデル分析においては、世界全体の整合性を重視し、前提条件の想定を行っている。例えば、太陽光発電やCO2貯留ポテンシャル推計は、世界全体の地理情報システムのデータをベースに、各国共通の推計ロジックにより、世界各国のポテンシャルを推計している。このため日本固有の地理的条件などを詳細に表現するには限界があることに留意が必要。

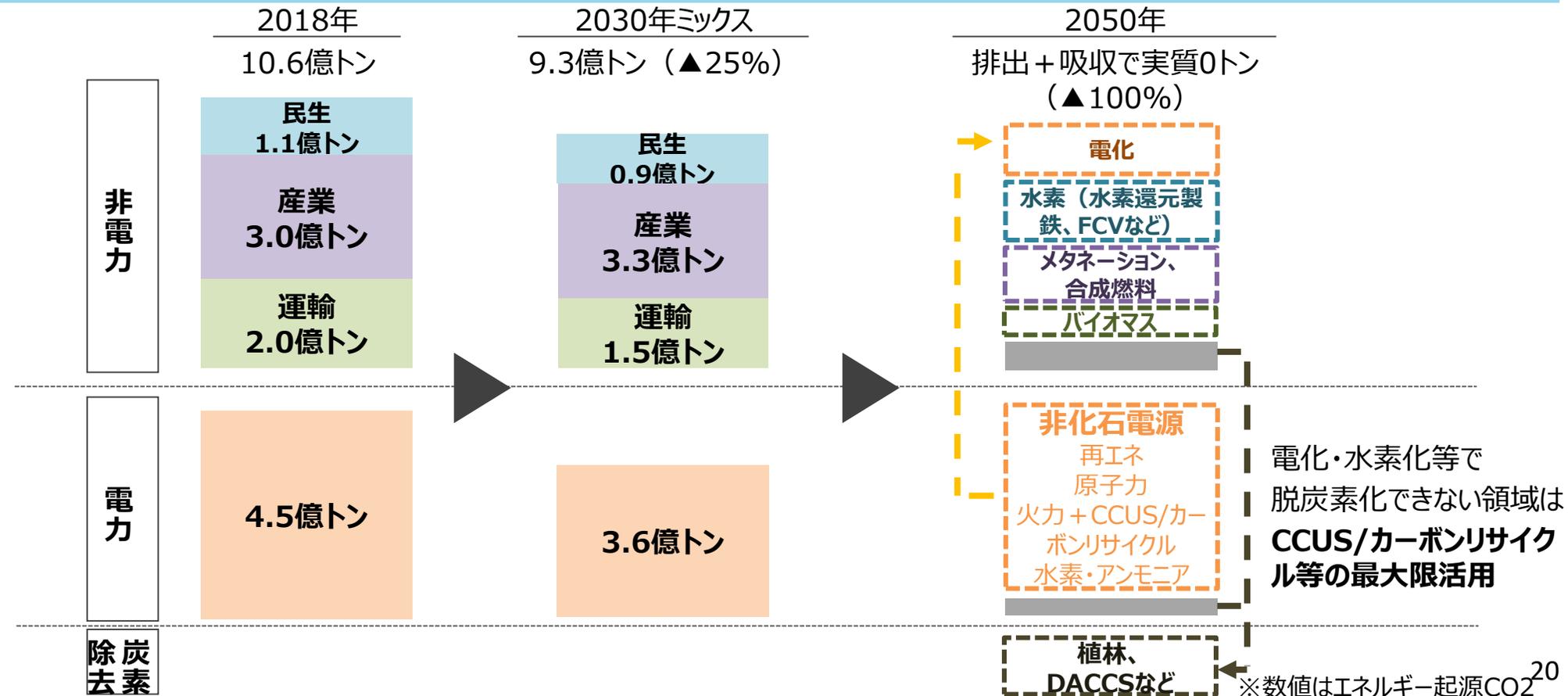
## （参考）＜RITEモデルの実績＞

- RITEモデルはこれまで様々な分析・評価の場にて活用されてきた。
  - COP25 official side eventにおいて発表（UNFCCC、2019年）
  - IPCCシンポジウムにおいて発表（IPCC、2019年）
  - 2013年以降の対策・施策に関する検討小委員会（環境省の分析モデルとして採用、2012年）

# カーボンニュートラルへの転換イメージ

2020年11月17日総合資源エネルギー調査会基本政策分科会資料から抜粋・加工

- 複数シナリオは電源構成中心に分析を行うが、社会全体としてカーボンニュートラルを実現するには、**電力部門の脱炭素化は大前提で、産業・民生・運輸（非電力）部門（燃料利用・熱利用）においては、脱炭素化された電力による電化、水素化、メタネーション、合成燃料等を通じた脱炭素化を進めることが必要。**なお、水素・アンモニア、CCUSなどの**脱炭素技術**は、**脱炭素化への選択肢が限られる産業・民生・運輸部門で優先的に活用**されることとなる。
- こうした取組を進める上では、国民負担を抑制するため**既存設備を最大限活用**するとともに、需要サイドにおける**エネルギー転換への受容性を高める**など、段階的な取組が必要。



# (参考) カーボンニュートラルに向けた主要分野における取組①

2020年11月17日総合資源エネルギー調査会基本政策分科会資料から抜粋・加工

|      |  | 脱炭素技術  | 克服すべき主な課題 (※薄赤色のエリアは技術的なイノベーションが必要なもの)   | コストパリティ          |                  |
|------|--|--|--|------------------|------------------|
| 電力部門 | 発電                                     | 再エネ  | <ul style="list-style-type: none"> <li>導入拡大に向け、系統制約の克服、コスト低減、周辺環境との調和が課題</li> </ul> <small>*グリーン成長戦略[実行計画]①洋上風力産業②住宅・建築物産業/次世代太陽光産業</small>  |                  |                  |
|      |  | 原子力  | <ul style="list-style-type: none"> <li>安全最優先の再稼働、安全性等に優れた炉の追求、継続した信頼回復が課題</li> </ul> <small>*グリーン成長戦略[実行計画]④原子力産業</small>  |                  |                  |
|      |  | 火力+CCUS/<br>カーボンリサイクル  | <ul style="list-style-type: none"> <li>CO2回収技術の確立、回収CO2の用途拡大、CCSの適地開発、コスト低減が課題</li> </ul> <small>*グリーン成長戦略[実行計画]⑥カーボンリサイクル産業</small>   |                  |                  |
|      |  | 水素発電   | <ul style="list-style-type: none"> <li>水素専焼火力の技術開発、水素インフラの整備が課題</li> </ul> <small>*グリーン成長戦略[実行計画]③水素産業</small>   |                  | 水素価格<br>約13円/Nm3 |
|      |  | アンモニア発電  | <ul style="list-style-type: none"> <li>アンモニア混焼率の向上、アンモニア専焼火力の技術開発が課題</li> </ul> <small>*グリーン成長戦略[実行計画]②燃料アンモニア産業</small>   |                  |                  |
| 産業部門 | 熱・燃料                                   | 電化   | <ul style="list-style-type: none"> <li>産業用ヒートポンプ等電化設備のコスト低減、技術者の確保、より広い温度帯への対応が課題</li> </ul>   | 水素価格<br>約40円/Nm3 |                  |
|      |  | バイオマス活用<br>(主に紙・板紙業)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>黒液(パルプ製造工程で発生する廃液)、廃材のボイラ燃料利用の普及拡大に向け、燃料コストの低減が課題</li> </ul>  |                  |                  |
|      |  | 水素化<br>(メタネーション)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>水素のボイラ燃料利用、水素バーナー技術の普及拡大に向け、設備のコスト低減、技術者の確保、水素インフラの整備が課題</li> </ul> <small>*グリーン成長戦略[実行計画]③水素産業</small>   |                  |                  |
|      | 製造プロセス<br>(鉄鋼・セメント・<br>コンクリート・<br>化学品) | アンモニア化   | <ul style="list-style-type: none"> <li>火炎温度の高温化のためのアンモニアバーナー等の技術開発が課題</li> </ul> <small>*グリーン成長戦略[実行計画]②燃料アンモニア産業</small>  | 水素価格<br>約8円/Nm3  |                  |
|      |  | 鉄：<br>水素還元製鉄   | <ul style="list-style-type: none"> <li>水素による還元を実現するために、水素による吸熱反応の克服、安価・大量の水素供給が課題</li> </ul> <small>*グリーン成長戦略[実行計画]③水素産業</small>   |                  |                  |
|      |  | セメント・<br>コンクリート：<br>CO2吸収型<br>コンクリート   | <ul style="list-style-type: none"> <li>製造工程で生じるCO2のセメント原料活用(石灰石代替)の要素技術開発が課題。</li> <li>防錆性能を持つCO2吸収型コンクリート(骨材としてCO2を利用)の開発・用途拡大、スケールアップによるコスト低減。</li> </ul> <small>*グリーン成長戦略[実行計画]⑥カーボンリサイクル産業</small> |                  |                  |
|      | 化学品：<br>人工光合成                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>変換効率を高める光触媒等の研究開発、大規模化によるコスト低減が課題</li> </ul> <small>*グリーン成長戦略[実行計画]⑥カーボンリサイクル産業</small> |  |                  |                  |

※ 主なエネルギー起源CO2を対象に整理、製造業における工業プロセスのCO2排出も対象  
コストパリティは既存の主要技術を対象に燃料費のパリティ水準を算出

\*水素発電のパリティはLNG価格が10MMBtuの場合、水素還元製鉄は第11回CO2フリー水素WGの資料  
より抜粋(100kW級の純水素FCで系統電力+ボイラーを置換)

# (参考) カーボンニュートラルに向けた主要分野における取組②

2020年11月17日総合資源エネルギー調査会基本政策分科会資料から抜粋・加工

|      |                       | 脱炭素技術   | 克服すべき主な課題<br>※薄赤色のエリアは技術的なイノベーションが必要なもの   | コストパリティ             |
|------|-----------------------|---|---|---------------------|
| 民生部門 | 熱・燃料                  | 電化  | <ul style="list-style-type: none"> <li>エコキュート、IHコンロやオール電化住宅、ZEH、ZEB等を更に普及させるため、設備コスト低減が課題<br/><small>* グリーン成長戦略「実行計画」②住宅・建築物/次世代型太陽光産業</small></li> </ul> |                     |
|      |                       | 水素化   | <ul style="list-style-type: none"> <li>水素燃料電池の導入拡大に向けて、設備コスト低減、水素インフラの整備が課題<br/><small>* グリーン成長戦略「実行計画」③水素産業</small></li> </ul>                           |                     |
|      |                       | メタネーション   | <ul style="list-style-type: none"> <li>メタネーション設備の大型化のための技術開発が課題</li> </ul>  |                     |
| 運輸部門 | 燃料<br>(乗用車・トラック・バスなど) | EV  | <ul style="list-style-type: none"> <li>導入拡大に向け、車種の拡充、設備コストの低減、充電インフラの整備、充電時間の削減、次世代蓄電池の技術確立が課題<br/><small>* グリーン成長戦略「実行計画」⑤自動車・蓄電池産業</small></li> </ul>   | 電力価格<br>約10~30円/kWh |
|      |                       | FCV   | <ul style="list-style-type: none"> <li>導入拡大に向け、車種の拡充、設備コストの低減、水素インフラの整備が課題<br/><small>* グリーン成長戦略「実行計画」⑤自動車・蓄電池産業</small></li> </ul>                       |                     |
|      |                       | 合成燃料<br>(e-fuel)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>大量生産、コスト削減を実現する燃料製造方法等の技術開発が課題<br/><small>* グリーン成長戦略「実行計画」⑤自動車・蓄電池産業</small></li> </ul>                            |                     |
|      | 燃料<br>(船・航空機・鉄道)      | バイオジェット燃料/<br>合成燃料 (e-fuel)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>大量生産、コスト削減を実現する燃料製造方法等の技術開発が課題<br/><small>* グリーン成長戦略「実行計画」⑩航空機産業</small></li> </ul>                                |                     |
|      |                       | 水素化   | <ul style="list-style-type: none"> <li>燃料電池船、燃料電池電車の製造技術の確立、インフラ整備が課題<br/><small>* グリーン成長戦略「実行計画」③水素産業⑦船舶産業⑩航空機産業</small></li> </ul>                      |                     |
|      |                       | 燃料アンモニア   | <ul style="list-style-type: none"> <li>燃料アンモニア船の製造技術の確立<br/><small>* グリーン成長戦略「実行計画」②燃料アンモニア産業</small></li> </ul>  |                     |
| 炭素除去 | DACCS、BECCS、植林        | <ul style="list-style-type: none"> <li>DACCS : エネルギー消費量、コスト低減が課題</li> <li>BECCS : バイオマスの量的制約の克服が課題</li> <li>※CCSの適地開発、コスト低減は双方共通の課題<br/><small>* グリーン成長戦略「実行計画」⑩カーボンサイクル産業</small></li> </ul> |   |                     |

\*DACCS : Direct Air Carbon Capture and Storage、 BECCS : Bio-energy with Carbon Capture and Storage

\*\*ガソリン自動車との比較。ガソリン価格が142.8円/Lの時を想定 (詳細は第11回CO2フリー水素WGの資料を参照)

## 再生可能エネルギー

### 【①調整力の確保】

- 現時点では、水力・地熱などは開発余地が限られるため、2050年においても太陽光、風力の変動再エネが主力電源となる見込み。他方で、変動再エネは、自然条件によって出力が変動するため、**需要と供給を一致させる「調整力」を確保することが課題。**

(例えば、九州において、現在の契約申込量が全て導入された場合、新たに接続した事業者は3割程度の出力制御を受ける。系統制約を解消したと大胆に仮定しても、全国で**変動再エネ46%**の時に**主力制御率は32%**となるという試算もある。)

- 電力部門全体を脱炭素化していくためには、**調整力の脱炭素化を図ることが課題。**

⇒ 再エネ5～6割の水準（約7～8千億kWh）を実現するためには、それに対応できるだけの調整力として**脱炭素化された火力発電や、水素・蓄電池などの電力貯蔵技術の導入を進めることが必要。**

### 【②送電容量の確保】

- 洋上風力のポテンシャルの約8割が北海道、東北、九州に集中しているように、**再エネにはエリアの偏在性があるため、導入ポテンシャルのある地域と需要地をつなぐ送電容量の増強に向け、大規模な設備投資と工事のための地元調整を進めることが課題。**

⇒ 再エネ5～6割の水準（約7～8千億kWh）を実現するためには、これに見合った量の**送電設備と関連施設が必要**。送電網の整備には一定の時間を要するため、**マスタープランに沿った増強に足下から取り組む必要**。

## 再生可能エネルギー

### 【③システムの安定性（慣性力など）の確保】

- 電源脱落等の事故によるブラックアウトを防ぐには、**系統全体で「慣性力（タービンが回転し続ける力）」等を確保することが課題。**

（例えば、東北、東京エリアにおける分析によれば、慣性力の課題を克服できなければ**非同期電源（太陽光や風力など）が約3～4割（瞬間的に70%）を越えると**、大規模発電所が緊急停止した場合に、広範囲に停電が生じるといった**安定供給への影響が拡大**する見込み。現在、技術的な課題をクリアするべく研究開発などが進められている。

⇒ 再エネ5～6割の水準（約7～8千億kWh）を実現するためには、非同期電源の割合が70%を超える時間帯に対応するため、変動再エネに設置されているPCSに擬似的な慣性力を提供するシステムを具備する「**疑似慣性力機能付きPCS**」の研究開発を進め実用化を進めるとともに、**系統への同期調相機の設置や、非同期電源に疑似慣性力付きPCS（電力変換装置）の設置等の対策を要件化するなどの対策に取り組むことが必要。**

## 再生可能エネルギー

### 【④ 自然条件や社会制約への対応】

- 森林を除く平地面積がドイツの半分、遠浅の海の面積はイギリスの1/8であり、日射量や風況で必ずしも恵まれていない自然環境にある我が国は、再エネの拡大に向けては、景観・環境・生態系・航路への影響配慮を含め**地域との共生や利害関係者との調整**が課題。

(例えば、太陽光に関しては、日本は主要国の中で最大の導入量(国土面積当たりの太陽光の発電量はドイツの126kWh/km<sup>2</sup>に対して、日本は147kWh/km<sup>2</sup>、平地面積当たりではドイツの184kWh/km<sup>2</sup>に対して、日本は426kWh/km<sup>2</sup>)となっている。)

- 限られた自然環境で、太陽光の導入を進めるためには、自然条件や社会制約への対応が課題となるため、**温対法に基づく地域と共生した形での適地の確保などの対応**や、導入拡大が見込まれる洋上風力の拡大に向けても、**再エネ海域利用法に基づき、地域と共生したかたちでの促進区域の指定を進める**ことが課題。
- また、限られた自然環境を最大限活かすため、発電効率の高いタンDEM型や壁面も活用し得るペロブスカイト型など**革新的な太陽光発電の開発、次世代の浮体式洋上風力の開発などのイノベーションにも取り組む**ことも課題。

⇒ 再エネ5～6割の水準(7～8千億kWh)を実現するには、**自然条件や社会制約を乗り越え地域と共生しながら相当量の発電設備を導入**する必要。(導入量の規模感イメージは次ページ以降。)

## 再生可能エネルギー

### <自然条件・社会制約を克服した上での再エネ導入量の規模感>

□ 参考値としての、再エネ 5～6割の水準（約7,000～8,000億kWh）は、ドイツの発電電力量（約6,400億kWh）を上回り、イギリスの発電電力量（約3,300億kWh）の2倍以上の水準。また、既に国土面積当たりの太陽光の発電電力量は、主要国の中で最大である中、約7,000～8,000億kWhの水準を実現するためには、

例えば、

- 1) 太陽光 約260GW（約3,000億kWh）
- 2) 風力 約 90GW（約1,900億kWh）
- 3) 水力・バイオマス・地熱 約60GW（約1,600億kWh）
- 4) 1)～3)に加え、約500～1,500億kWh程度の追加導入が必要。

※ 出力制御は織り込んでいない水準であり、実際には約7,000～8,000億kWhを発電するには、更に導入量が必要となる可能性。

# 参考値を実現しようとした際に直面する課題・取組

## 再生可能エネルギー

<<太陽光約260GW導入のイメージ（例）（電中研の分析に基づくもの）>>

|    |     | 導入量イメージ | 具体的な導入の難しさイメージ   |
|----|-----|---------|--|
| 屋根 | 住宅  | 62GW    | 既存住宅への導入が進みつつ、 <b>2031年以降は新築戸建住宅・新築集合住宅への導入が飛躍的に進み、2040年以降は100%に導入</b><br>(現状、新築注文戸建住宅のZEH化率は大手ハウスメーカー47.9%、中小工務店8.5%、新築建売戸建住宅1.3%。) |
|    | 建築物 | 45GW    | 工場・物流施設・商業施設等の <b>大型施設の全ての追加設備費等のかからない屋根等へ導入</b><br>(既存の建物では、耐荷重が小さく設置困難なケースあり)  |
| 地上 | 農地等 | 42GW    | <b>全ての農業経営体による100kWの営農型太陽光発電等での導入</b>  |
|    |     | 110GW   | <b>農地転用されるものを除く荒廃農地等への導入</b><br>(一定規模以上の開発に届出等を求める条例制定の動きあり)   |

※2030年までの太陽光の導入見込み量を踏まえた260GW導入のイメージ

- ✓ 例えば、屋根置き太陽光であれば、**2019年度までの導入量は約15GW（足元では約1GW/年）**であり、2030年までに約24GW導入見込み。**2050年約107GW**の導入には、その後の**20年間でこの導入量の約4倍（年間約4GW。足元のペースの約4倍）**のペースで導入を加速する必要。

## 再生可能エネルギー

<< **風力約90GW**導入のイメージ（例）（電中研分析と「洋上風力産業ビジョン」に基づくもの） >>

|    | 導入量イメージ | 具体的な導入の難しさイメージ   |
|----|---------|--|
| 陸上 | 41GW    | <b>風速5m/s以上の雑草地・再生困難な荒廃農地などに加えて、特に風力発電に適している山林（風速7.5m/s以上で傾斜角10度未満、保安林除く）を開発して導入</b><br><small>（山林は所有者不明の可能性のある土地が約3割を占め、用地取得が難しい）</small> |
| 洋上 | 45GW    | <b>官民リソースを総動員して推進する「洋上風力産業ビジョン」で、2040年の案件形成高位目標として45GWを設定</b><br><small>（洋上風力は、案件形成から実際に導入されるには7～8年程度必要）</small>                           |

※上記のイメージを実現するには、**風力では直近3年間の平均FIT認定量（1.3GW）の約2倍の認定を30年継続し、全て導入**することで実現可能な水準。

# 参考値を実現しようとした際に直面する課題・取組

## 再生可能エネルギー

<<約7,000~8,000億kWhには、上記の太陽光約260GW、風力約90GWに加えて、**更に約500~1,500億kWh**程度が必要であり、その導入量のイメージは例えば以下のとおり>>

|                     | 追加的な<br>導入量イメージ | 具体的な導入の難しさイメージ   |
|---------------------|-----------------|--|
| 洋上                  | 45GW            | 洋上風力産業ビジョンで示した <b>2040年の案件形成高位目標の45GWと同量</b> の洋上風力を <b>追加的に上乗せして導入</b><br>(洋上風力は、案件形成から実際に導入されるには7~8年程度必要)   |
| または、<br>太陽光<br>(メガ) | 110GW           | 仮に、1MWのメガソーラー（一般的な25m×10mのプール40個分：1ha）で賄う場合には、 <b>追加で110,000カ所</b> が必要。<br>260GWに向けて適地を確保することに加えて、例えば、 <b>追加的に全国約1,700の市町村の全てが、平均して65カ所の用地を確保</b> するイメージ |

※再エネを2050年の**参考値の水準から10%程度（1,000億kWh超）上積みする毎**に、上記の**洋上風力又は太陽光の導入量を更に追加的に導入**する必要がある。

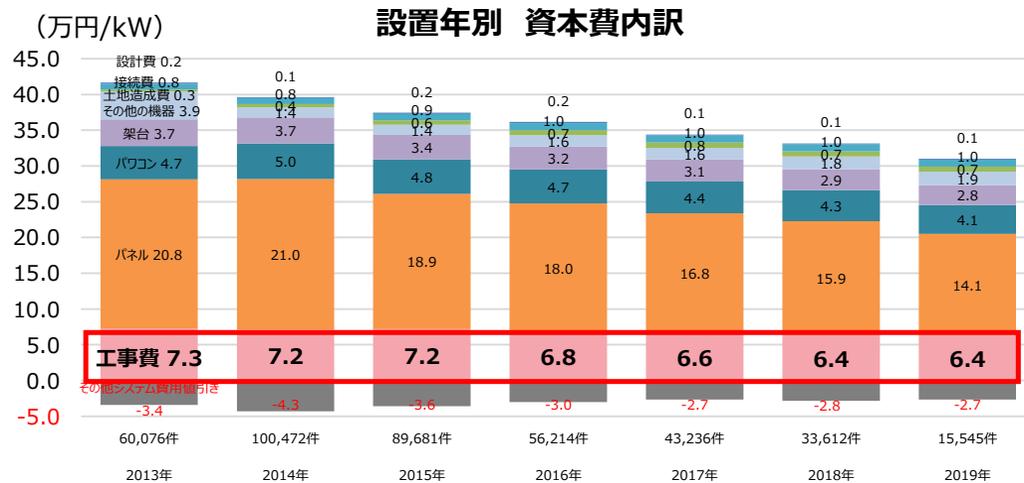
## 再生可能エネルギー

### 【⑤コスト】

- 上記のような諸課題を克服し、再エネを最大限導入拡大するためには、**コスト低減と大規模な投資を確保していくことが課題。**
- **平地や遠浅の海が少ない日本の地理的条件を踏まえると、再エネは導入量が増加すれば、土地造成費や接続費などが追加的に発生する傾向**が見られるが、設置しやすい適地の確保や発電効率の高い機器の開発などにより、**再エネ全体の導入コストを低減していくことが課題。**

(例えば、太陽光発電では、パネル費用は低減しているものの、工事費部分(資本費全体の2割)は下げ止まるなど、低減スピードは鈍化傾向。特に、平地面積がドイツなどと比べ少ない日本では、今後、太陽光の大量導入を進めた場合、土地造成費や接続費が上昇する可能性。太陽光の導入量が多い九州を中心に、域内の導入量の増加に合わせ、現在でもこうした傾向あり。

また、風力発電では、コストは低減しているものの、依然として世界より高く、陸上について足下では微増。陸上では、適地が減少し、地権者との調整を要するケースや工事費が増加することで、資本費が上昇する可能性。洋上(着床式)では、欧州で落札額が10円/kWhを切る事例もでてきているが、日本では、欧州におけるサプライチェーン構築状況等の違いを加味し、初回公募での供給価格上限額は29円/kWhとしており、更なるコスト低減が必要。)



## 再生可能エネルギー

- **変動再エネの導入割合が高くなり、火力・原子力の割合が低くなれば、再エネの統合費用**（系統増強コスト、予測誤差等によって生じる運用コスト、蓄電等の電力貯蔵コスト、出力制御コスト等）**が高まり、総費用は大きくなる**ため、効率的な系統増強などによりコスト低減を図ることが課題。

（系統の大規模な増強には、多大な工事費に加え、利害関係者との複雑な調整のコストが生じる。）

（日本エネルギー経済研究所の分析では、変動再エネの発電単価低下を考慮しても、火力発電の比率が一定程度下回ると発電部門全体の費用が急激に増加するとしている。）

- ⇒ カーボンニュートラルの実現に向け再エネの最大限導入を進めるためには、**世界水準の機器費等への低減、我が国の地理的条件により発生する土地造成費や接続費等、系統増強等に要する統合費用などのコスト面の課題を克服し、再エネ全体のコストを低減**していくことが必要。

## 水素・アンモニア発電

### 【①供給サイドの対応（製造、輸送、供給コスト）】

- 産業・民生・運輸部門の電化が難しい分野では、**水素・アンモニアを使う以外の選択肢が限られ**（合成燃料などの一部例外あり）、水素・アンモニアの供給に当たっては、まず**それらの部門に対する供給が優先**される可能性が高く、発電用にも利用するためには、日本全体で**2,000万t規模の水素等の供給を確保**することが課題。

（例えば、2050年には、水素還元製鉄だけで年間約700万トンを利用する見込みであり、他の産業・民生・運輸部門での活用が拡大すれば、更に必要供給量は増加する可能性。その上で、**500～1,000万tの水素・アンモニアを発電用に確保できれば**、2050年の**発電電力量の約1割をようやく賄うことができる**。（化石由来の水素等については、脱炭素化のため、製造過程でCCUSと組み合わせる必要。）

<調達量の規模感のイメージ>

- 2030年の水素・アンモニアの発電向けの供給量は現行水素基本戦略等に基づき、**約80万t（水素約30万t、アンモニア約50万t）**を想定しており、その後の**20年間で約6～12倍**に供給量を増加させる必要。これは石油危機後の1980年代から2010年代にかけて、**30年間でLNGの供給量を4倍程度に拡大させたペースを大幅に上回るペース**で拡大させるイメージ（LNGは1980年代の2,000万t規模から2010年代の8,000万t規模に30年間で4倍程度に供給量を拡大）。
- 現在、世界最大級10MWの水電解装置を備える「**福島水素エネルギー研究フィールド**」（FH2R）の**水素製造能力は、併設する太陽光発電（出力：2万kW）のみで水素製造した場合、年間約200t**。仮に、500～1,000万tの供給量の1割を国内で供給するためには、FH2Rと同規模のプラントを**約2500～5000箇所程度**必要。国内での余剰再エネを活用し、水素による蓄電能力を拡大するためには、装置コストの低減に加えて、水電解の高効率化などのイノベーションが必要。

### （製造）

- **低コストで高効率な水電解装置の開発、設備の大型化**などにより製造コストを低減していくことや、化石原料由来水素における製造拠点における**CO2対策（CCS等）のコストを低減**していくことが課題。

## 水素・アンモニア発電

### (海外からの輸送)

- 安価・大量のグリーン水素・アンモニアを国内で調達できない場合、**海外から安価・大量に輸入する必要**があり、そのための**輸送技術の開発**や**港湾施設等での設備整備**が課題。

<輸送船の規模感のイメージ>

- 海外から液化水素を500～1,000万t輸入すると想定すれば、技術革新と大規模投資を進め、運搬船の水素積載量（現状約75t/隻）を100倍以上（約1万t/隻）に拡大した船を**約50-100隻確保（現状はゼロ）**する必要※。さらに、貯蔵にも投資や技術開発が必要。 ※日本と豪州の間を年間11回航行した場合

### (供給コスト)

- 水素のサプライチェーンが確立されておらず、現状では水素製造や液化等に要するコストに加えて、**積荷基地や液化水素運搬船のコスト低減**が課題。

<コスト低減のイメージ>

- 現状の技術ベースで**約170円/Nm<sup>3</sup>の水素の製造・輸送コスト**を、既存の LNG 火力と同等のコスト競争力を持つ**約20円/Nm<sup>3</sup>以下**の水準に引き下げる必要。そのため、低コストで高効率な水電解装置の開発や輸送コストの低い輸送船の開発などのイノベーションに取り組むことが必要。アンモニアは、輸送・貯蔵が容易だが、水素を原料とするため製造コストが高くなるため、更なるコスト低減が求められる。

### 【②需要サイドの対応（発電等）】

- 水素専焼時に、逆火を防ぎつつ、ガス火力と同程度の発電効率を達成するため、**安定的な燃焼性を確保するための燃焼器の開発**が課題。また、アンモニア発電においても、**NOxの発生抑制や安定的な燃焼性を確保するための技術開発**が課題。
- カーボンフリー電源として水素・アンモニアを**評価し、活用するインセンティブが得られる仕組み**を整備することが課題。
- 水素全体の需給を拡大し、発電に利用できる供給量を確保するためにも、FCトラックや水素船などの新たな**運輸部門や、産業部門での利用拡大などにより発電以外でも需要先を拡大**することが課題。

⇒ 2050年において発電電力量の1割程度を実現するためには、水電解装置、水素運搬船を含む製造・輸送設備の大型化等によるコスト低減、海外水素権益の獲得、国際的なサプライチェーンの構築を進める必要。

## CCUS/カーボンリサイクル+化石火力

### 【①技術・コスト面】

- ▶ 化石火力から排出されるCO<sub>2</sub>に見合ったCCUS/カーボンリサイクルを確保するためには、**効率的な分離回収技術の開発や低コストなCO<sub>2</sub>輸送技術の確立、貯留コストの低減**などが課題。また、カーボンリサイクルの実用化に向けても、コストの低減や用途の拡大などが課題。

#### <コスト低減のイメージ>

- **CCS+化石火力のコストを、例えば、2019年の太陽光発電（約13～16円/kWh台）以下の水準にするには、CCSのコストを現状（約8,400～11,000円/tCO<sub>2</sub>）の半分以下に低減する必要**。特に、コストの多くを占めるCO<sub>2</sub>の分離回収は、新技術の開発を通じ、1/4程度（1500～2000円/tCO<sub>2</sub>）にまでコストを低減する必要。
  - **カーボンリサイクルを実用化していくためには、例えば、CO<sub>2</sub>を吸収するコンクリートであれば、既存の同等製品以下の水準にするには、現状（約100～150円/kg）の1/3～1/5以下に低減する必要**。（パラキシレンなどの化学品では、1/100以下のコスト低減が必要。）
- ▶ 低コストかつ効率的なCCSの社会実装のためには、CO<sub>2</sub>輸送の柔軟性確保や、国内長距離の輸送のみならず、国内だけではCO<sub>2</sub>を貯留できない場合の海外への輸送に向けて、**CO<sub>2</sub>の船舶輸送技術の確立**など、更なる技術的課題の克服や積出港などのインフラ整備が課題。

## CCUS/カーボンリサイクル+化石火力

### 【②適地の確保や用途拡大への対応】

- 産業・民生・運輸部門においては、**電化や水素・アンモニアの活用が難しい分野が存在し**、これらの分野におけるカーボンニュートラルを実現するためには、**排出が避けられないCO2やネガティブ排出となるCO2（DACやバイオマス発電）をCCUS/カーボンリサイクルで回収・利用・貯留することが優先され**、発電用でCCUSを活用するためには、相当量の適地の確保や用途開発が課題。

(例えば、電化が困難な産業部門、非エネルギー起源の温室効果ガス(廃棄物処分場からのCO2や農業部門からのメタンなど)など、脱炭素化が困難な部門の太宗はCCSを活用せざるを得ない。さらに、こうした排出源から直接のCCSが困難な場合は、CO2排出を国全体でキャンセルアウトするために直接空気回収設備やバイオマス発電からのCCS(DACCS・BECCS)を優先せざるをえない。仮に、**2050年の発電電力量の約1割に相当する量をCCUS+化石火力発電で対応しようとする**と、こうした**脱炭素化が困難な部門に加えて、毎年1億t程度のCCUSを化石火力発電のために確保することが必要**。(※ 2019年度実績として、7800億kWhの火力発電で4.4億tのCO2を排出。仮に、2050年の発電電力量の約1割相当分の火力発電由来のCO2を回収しようすると、約1億tの回収が必要となる計算。)

#### <CCS適地確保の規模感のイメージ>

- CCSで年間1億t埋めるためには、**2050年までに200本（1本当たりの圧入レート50万t/y）の掘削井が必要**。現在の油井・ガス井の本数は**日本全体で200本**であり、2030年からの**20年間でこれと同等の200本**の掘削井を実現し、2050年には、**単年で、苫小牧実証事業の累計圧入量（約3年で30万t）の300倍以上の規模のCCSを実現する必要**。このため、早期に適地候補の選定を進め、分離回収・輸送・圧入設備等の社会インフラ整備が必要。(2020年度までの貯留適地調査事業における3D探査解析結果では、国内総計約90億tの貯留可能量が示されている。)
- 社会実装に向け、**CO2排出源と再利用・貯留の集積とのネットワーク最適化（ハブ&クラスター）**が課題。
- CCSを実施する際の**関係法令の整備**や**官民の役割分担**や**コスト分担**を含めた**事業環境整備**が課題。

⇒ 2050年において、発電量の一定程度をCCUS付き火力で対応するには、早期にCCSの適地候補の選定を進め、分離回収・輸送（海外輸送の場合には、積出港などを含む）・圧入設備等の社会インフラ整備を進めるとともに、カーボンリサイクルにおいては、原料となる水素調達の確保と製品用途拡大に取り組むことが必要。

## 原子力

- 原子力政策については国民からの信頼回復に努めていくことが必要
- こうした中で、まずは2030年エネルギーミックスの実現に向け、**安全最優先での再稼働を推進**
- さらに、2050年カーボンニュートラルも踏まえ、原子力の持続的な利用システムの構築に向け、**諸課題の克服**に取り組む

### 【①安全最優先での再稼働推進に向けた一層の取組強化（2030年エネルギーミックスの実現）】

- **新規制基準対応の強化**：審査・検査・再稼働準備の各フェーズで、産業界大での人材・知見を集約して対応する、新たな連携体制を構築
- **防災体制の拡充**：関係者が一体となって避難計画を策定し、訓練等を通じ、継続的な改善を実施。災害時の事業者による協力体制を拡充
- **地域に寄り添った地元理解の取組**：国・事業者が、地域に寄り添い、きめ細かい丁寧な説明を尽くし、地元からの信頼獲得を目指す

### 【②原子力の持続的な利用システムの構築に向けた取組（2050年カーボンニュートラルも踏まえた取組）】

- **安全性向上の不断の追求**：事業者・産業界全体での安全追求の体制強化、新たな安全性向上技術の開発と実装
- **立地地域との共生**：避難計画の策定支援・継続的な改善、地域の実情に応じた支援・将来像の検討
- **持続的なバックエンドシステムの確立**：核燃料サイクルの確立に向けた取組の加速、最終処分の実現や廃炉に向けた着実な取組
- **ポテンシャルの最大限の発揮と安全性の追求**：設備利用率の更なる向上の実現、安全性を確保した上での長期運転の追求
- **人材・技術産業基盤の維持・強化**：安全性等をも高める原子力イノベーションの推進、原子力サプライチェーンの競争力強化
- **国際協力の積極的推進**：途上国含む世界全体での脱炭素化への貢献、研究開発や廃炉等における国際協力

### 【③国民理解の醸成】

- 全国各地での説明会、双方向での政策対話を進め、ファクトに基づく丁寧な情報発信を粘り強く継続・強化

# 参考値を実現しようとした際に直面する課題・取組

## 原子力

- 廃炉が決定されたものを除き、36基の原子力発電所（建設中を含む）が全て60年運転すると仮定した場合、2040年以降、原子力の発電設備容量は大幅に減少し、**2050年時点では、2,374万kW（1,663億kWh）（発電割合の10%程度）**となり、更に、**2060年時点では956万kW（670億kWh）**に減少する見込み。
- 仮に全てが40年運転となる場合には、**2050年時点では、414万kW（290億kWh）（発電割合の2%程度）**となる見込み。

⇒ こうした状況を踏まえても、**国民の信頼回復を着実に進め、カーボンニュートラルに向けて原子力を活用するための環境を整える**ことが必要。

