

脱炭素社会の実現に向けて エネルギーの課題と今後の対応

2021年2月5日

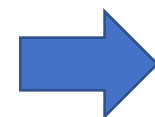
2020年度エネルギー講演会

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所
主任研究員 清水 透

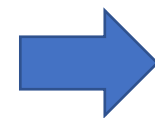
2050年にカーボンニュートラルに向けて

○ 2020年10月：菅総理「2050年にカーボンニュートラルを目指す」と宣言

- 12月4日：2兆円の技術開発基金の設立
- 12月10日：温暖化対策法改正・温暖化対策計画の見直し
- 12月10日：排出権取引導入を検討
- 12月21日：炭素税導入を検討
- 12月21日：2030年に電源構成に占める再エネの割合を50%
- 12月25日：グリーン成長戦略を発表 等



経産省・環境省で個別にカーボンプライシングを検討へ



報道によればエネルギー基本計画の見直し

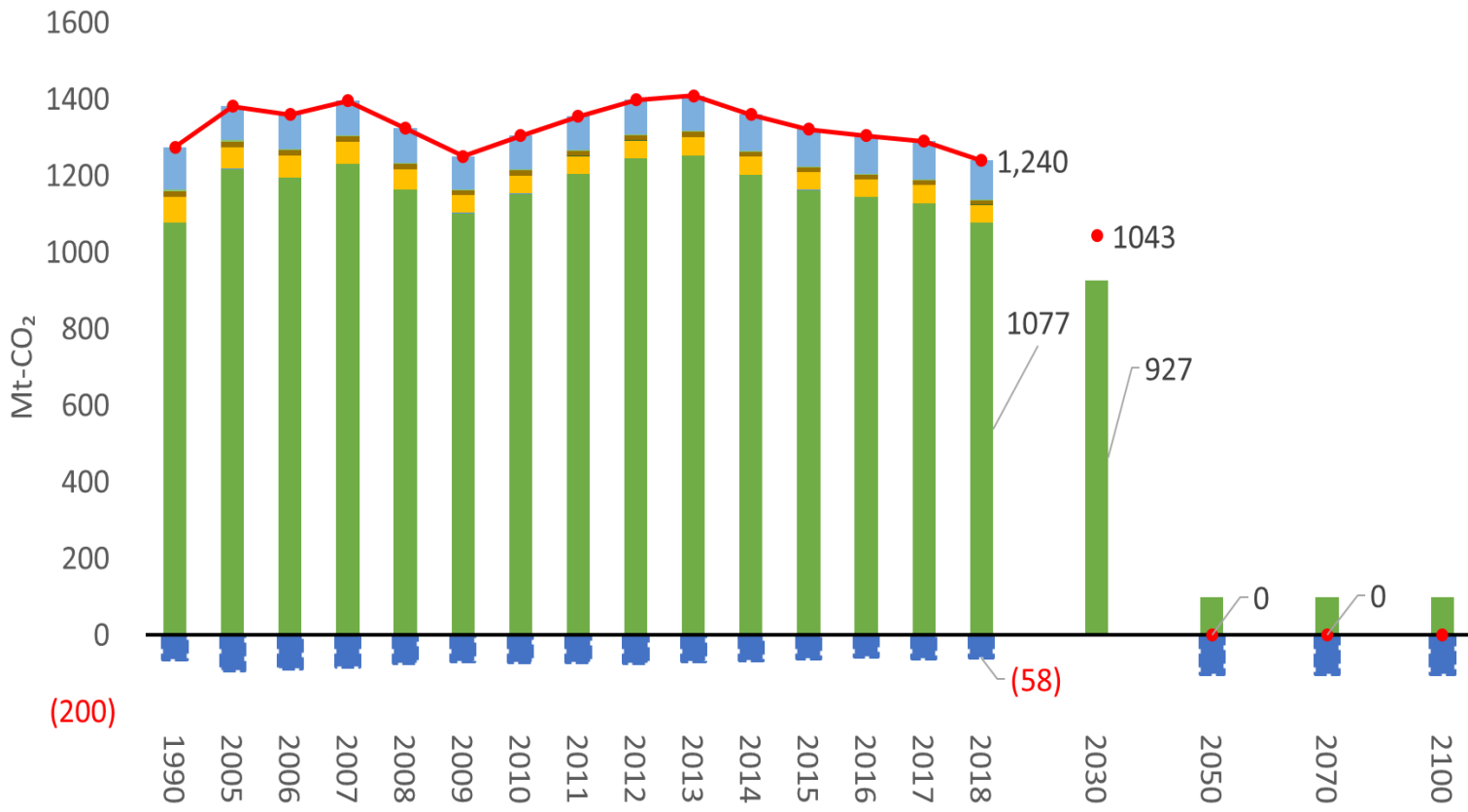
- 2030年目標の上積み
- 2050年に向けた経路

○ 2050年カーボンニュートラル

× 全ての化石燃料が使えない「脱化石燃料」

○ 2050年化石燃料を使うには、それにより排出されるCO₂と同量の森林吸収、炭素回収・貯留・利用、直接回収、オフセットカーボンクレジットを活用する実質ゼロ

日本のGHG排出量と将来の目標水準の考え方



■ CO₂ 1A. 燃料の燃焼 ■ CO₂ 1B. 燃料からの漏出 ■ CO₂ 2. 工業プロセス及び製品の使用
■ CO₂ 3. 農業 ■ CO₂ 4. LULUCF ■ CO₂ 5. 廃棄物
■ CO₂ 間接CO₂ ■ その他GHGs ● 目標水準

出所：日本国温室効果ガスインベントリ報告書
 注：2050年の排出量と吸収量はイメージであり、何らかのモデル分析結果をしめすものではない。

- 目標
 - 2030年：2013年比26%減（エネルギー起源CO₂排出量を21.9%減）
 - 2050年：カーボンニュートラル目標
 - ✓ エネルギーシステムの転換
 - ✓ 水素利用
 - ✓ ネガティブエミッション技術 (DACCS, BECCS, CCUS)の導入
 - ✓ カーボンリサイクルの確立
- 2050年という「点」ではなく、2050年以降も持続的にカーボンニュートラルを維持していく社会の実現
- エネルギーの安定供給、経済性も含めて、2050年以降にある程度の幅を持ってカーボンニュートラルを維持していくための制度設計

徹底した省エネと再エネ導入による対策の限界

省エネルギー対策

■各部門における省エネルギー対策の積み上げにより、5,030万KL程度の省エネルギーを計上。

<各部門における主な省エネ対策>

産業部門 <▲1,042万KL程度>

- ▶ 主要4業種(鉄鋼、化学、セメント、紙・パルプ)
 - ⇒ 低炭素社会実行計画の推進
- ▶ 工場のエネルギー・マネジメントの徹底
 - ⇒ 製造ラインの見える化を通じたエネルギー効率の改善
- ▶ 革新的技術の開発・導入
 - ⇒ 環境調和型製鉄プロセス(COURSE50)の導入
(鉄鉱石水素還元、高炉ガスCO2分離等により約30%のCO2を削減)
 - ⇒ 二酸化炭素原料化技術の導入等
(二酸化炭素と水を原料とし、太陽エネルギーを用いて基幹化学品を製造)
- ▶ 業種横断的に高効率設備を導入
 - ⇒ 低炭素工業炉、高性能ボイラ、コージェネレーション等

運輸部門 <▲1,607万KL程度>

- ▶ 次世代自動車の普及、燃費改善
 - ⇒ 2台に1台が次世代自動車に
 - ⇒ 燃料電池自動車:年間販売最大10万台以上
- ▶ 交通流対策

業務部門 <▲1,226万KL程度>

- ▶ 建築物の省エネ化
 - ⇒ 新築建築物に対する省エネ基準適合義務化
- ▶ LED照明・有機ELの導入
 - ⇒ LED等高効率照明の普及
- ▶ BEMSによる見える化・エネルギー・マネジメント
 - ⇒ 約半数の建築物に導入
- ▶ 国民運動の推進

家庭部門 <▲1,160万KL程度>

- ▶ 住宅の省エネ化
 - ⇒ 新築住宅に対する省エネ基準適合義務化
- ▶ LED照明・有機ELの導入
 - ⇒ LED等高効率照明の普及
- ▶ HEMSによる見える化・エネルギー・マネジメント
 - ⇒ 全世帯に導入
- ▶ 国民運動の推進

21

出所:長期エネルギー需給見通し

2030年度における再生可能エネルギーの導入見込量

■2030年度の再生可能エネルギーの導入量は、国民負担の抑制とのバランスを考慮し、FIT買取費用は、3.72兆円～4.04兆円の範囲において、全体で、2,366～2,515億kWhの導入が見込まれる。(原発を代替する地熱・水力・バイオマスの買取費用の合計は約1.0兆円～約1.3兆円、火力を代替する自然変動再エネの買取費用は約2.7兆円以下となる。)

	発電電力量	FIT買取費用(税抜)
地熱	102～113億kWh	0.17兆円～0.20兆円
水力	939～981億kWh	0.19兆円～0.29兆円
バイオマス	394～490億kWh	0.63兆円～0.83兆円
(小計)	1,435～1,584億kWh	1.00兆円～1.31兆円
風力	182億kWh	0.42兆円
太陽光	749億kWh	2.30兆円
(小計)	931億kWh	2.72兆円
(合計)	2,366～2,515億kWh	3.72兆円～4.04兆円

※水力には揚水(85億kWh)を含む。

※2030年度の各数値はいずれも概数。

(注)加えて系統安定化費用として、火力の発電効率悪化に伴う費用、火力の停止及び起動回数の増加に伴う費用が計0.13兆円。

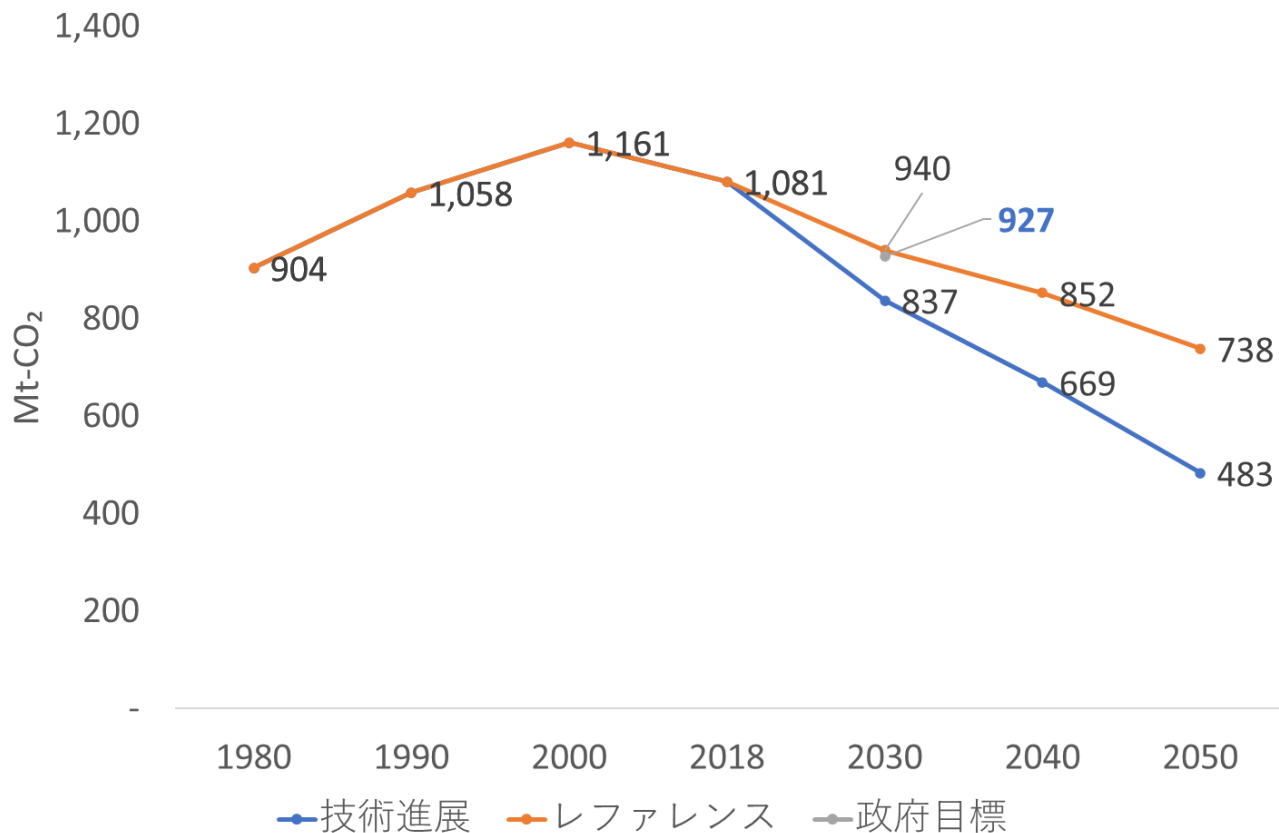
出所:長期エネルギー需給見通し

42

○2030年に2013年比26%減(1990年比18%減)に向けて徹底的な省エネ対策と再エネ導入を進めようとしている。

- 省エネ:最終エネルギー消費を5030万kl(石油換算)削減
- 再エネ:電源構成に占める割合を22%から24%(発電電力量2,366～2,515億kWh、FIT買取費用3.72兆円～4.04兆円)

2050年の見通し（IEEJアウトトラック2021）



前提条件

エネルギー・環境技術の前提

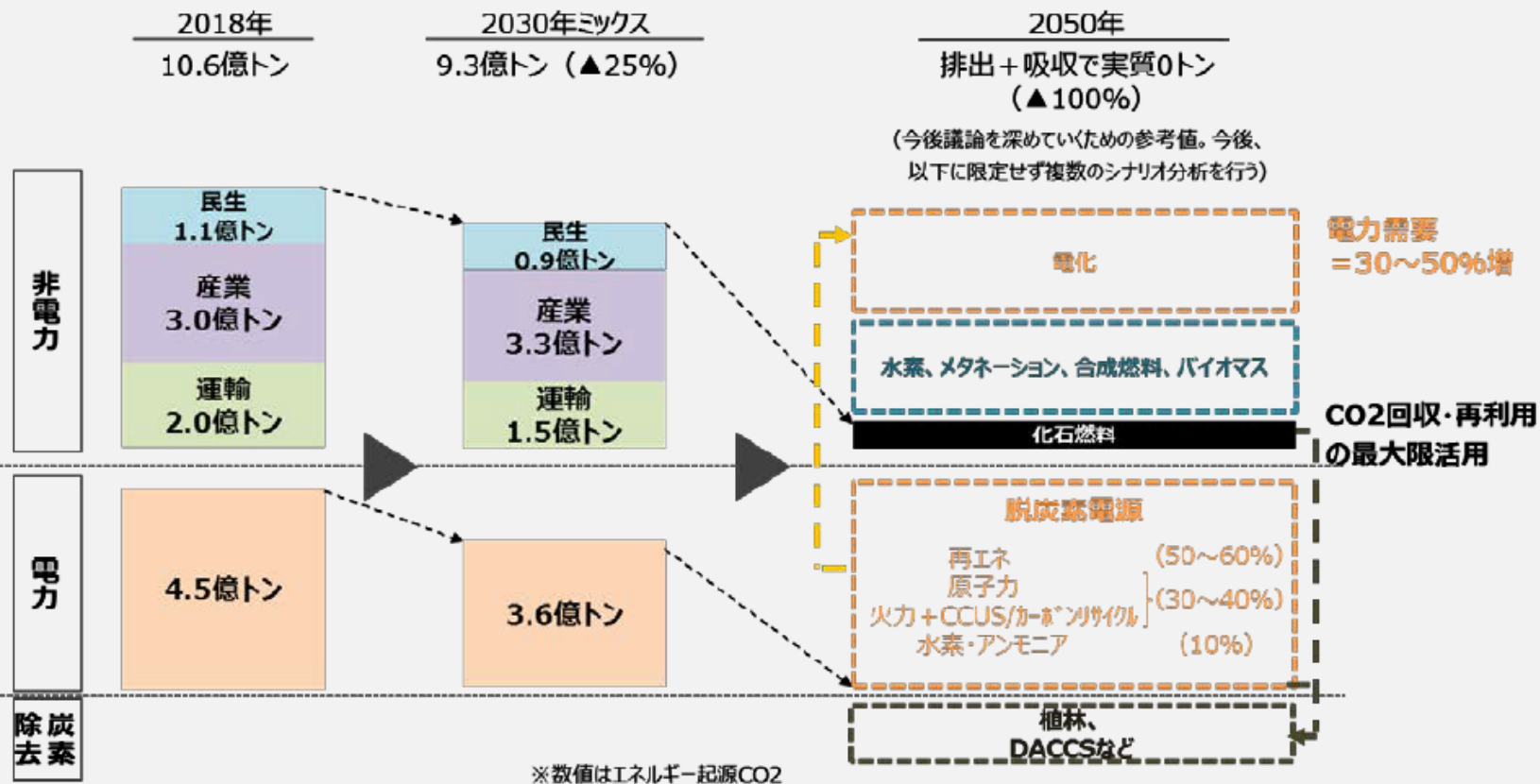


	2018	2050		技術進展シナリオにおける前提
		レファレンス	技術進展	
エネルギー効率の改善				
産業部門 鉄鋼業の原単位 (ktoe/kit)	0.274	0.245	0.217	2050年までにBest Available Technologyが100%普及
高業土石業の原単位	0.093	0.072	0.064	
運輸部門 電動乗用車販売比率	6%	55%	87%	電動自動車のコスト低下。燃料インフラを含む普及促進策の強化 ※電動自動車:ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車
乗用車新車燃費 (km/L)	14.4	23.7	34.0	
民生部門 家庭の総合効率 (Y2018=100)	100	150	181	新規、新設の家電・機器効率及び断熱効率の改善スピードが約2倍に 暖房・給湯・厨房用途における電化。クリーンクッキング化(途上国)
業務の総合効率	100	180	211	
発電部門 火力発電効率(発電端)	38%	45%	46%	高効率火力発電導入のための初期投資ファイナンススキーム整備
低炭素エネルギーの導入				
運輸用バイオ燃料消費量 (Mtoe)	90	134	254	次世代バイオ燃料の開発・コスト低下。農業政策としての位置づけ(途上国)
原子力発電設備容量 (GW)	416	480	725	適切な卸電力市場価格の維持。初期投資の融資枠組み整備(途上国)
風力発電設備容量 (GW)	564	1,850	3,625	発電コストのさらなる低下
太陽光発電設備容量 (GW)	480	2,909	4,737	系統安定化技術のコスト低減、系統システムの効率的運用
CCS付設火力発電設備容量 (GW)	0	0	1,023	2030年以降の新設火力はCCS付設(帯水層を除く貯留ポテンシャルがある国)
ゼロエミッション発電比率 (CCS含む)	36%	42%	77%	国際連系を含む系統システムの効率的運用

- 「技術進展シナリオ」では、社会での適用機会および受容性を踏まえた最大限の二酸化炭素(CO2)排出削減対策を見込む。
- 2050年に燃料電池自動車や水素発電も一部見込んでいるが、カーボンニュートラルを達成できる程度には普及しない
- 現在の取組を超える省エネや再エネ導入を推し進めても、排出削減には限界がある。

どのようにカーボンニュートラルを達成するのか

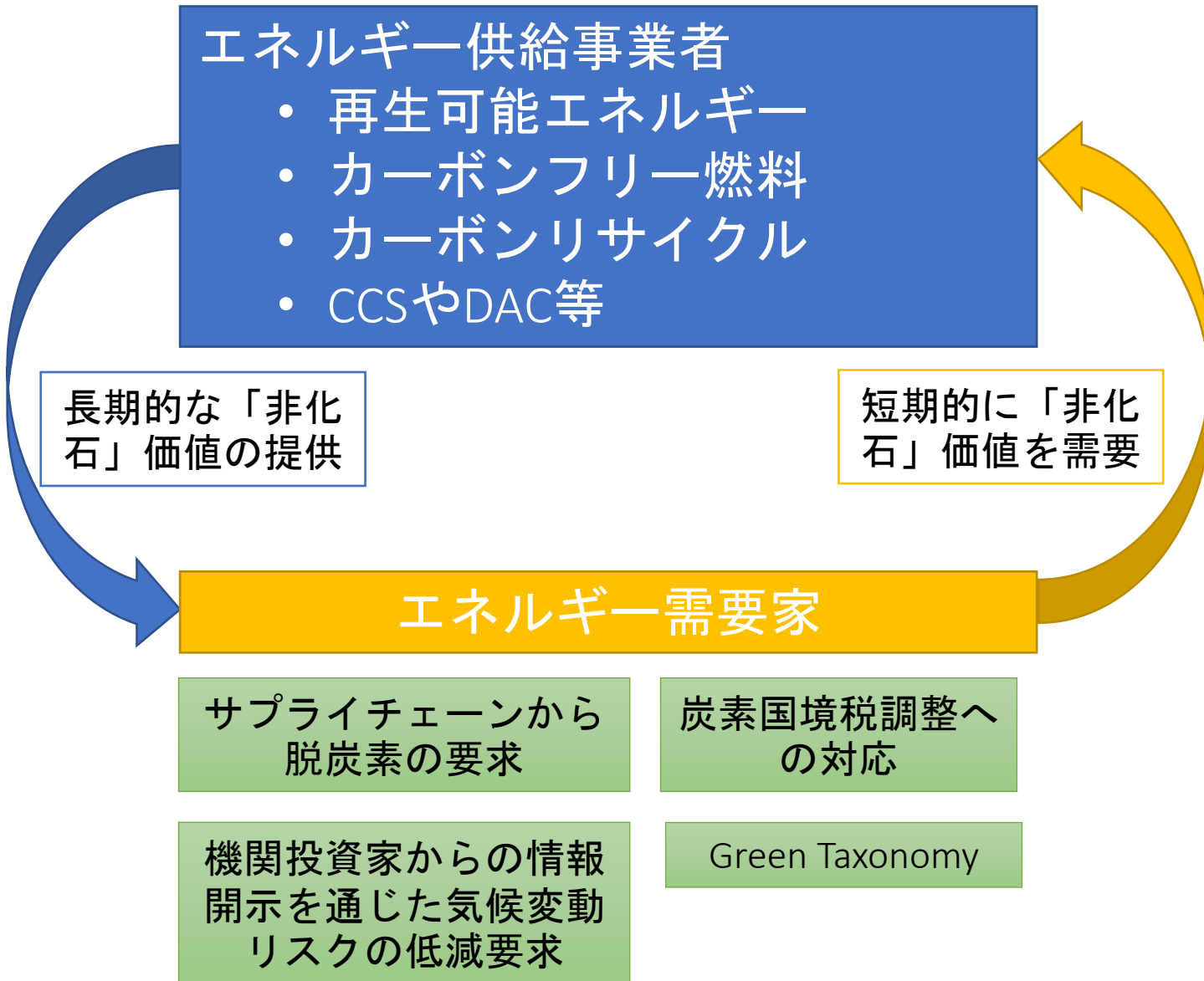
(参考) カーボンニュートラルへの転換イメージ



- 2050年に向けたエネルギーシステムの大転換
 - エネルギー需給
 - 需要側：化石燃料から電力へ
 - 供給側：脱炭素電源、カーボンフリー燃料
 - 炭素除去・吸収
 - CCUS、BECCS、DAC、ブルーカーボン、土壌等
 - オフセットクレジットの取得
- 大転換のための技術開発の加速
 - グリーンイノベーション基金
 - 投資・開発促進税制
 - 政府・民間資金の活用促進
 - 規制改革
 - カーボンプライシング

出所：2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

カーボンニュートラルに向けた問題意識

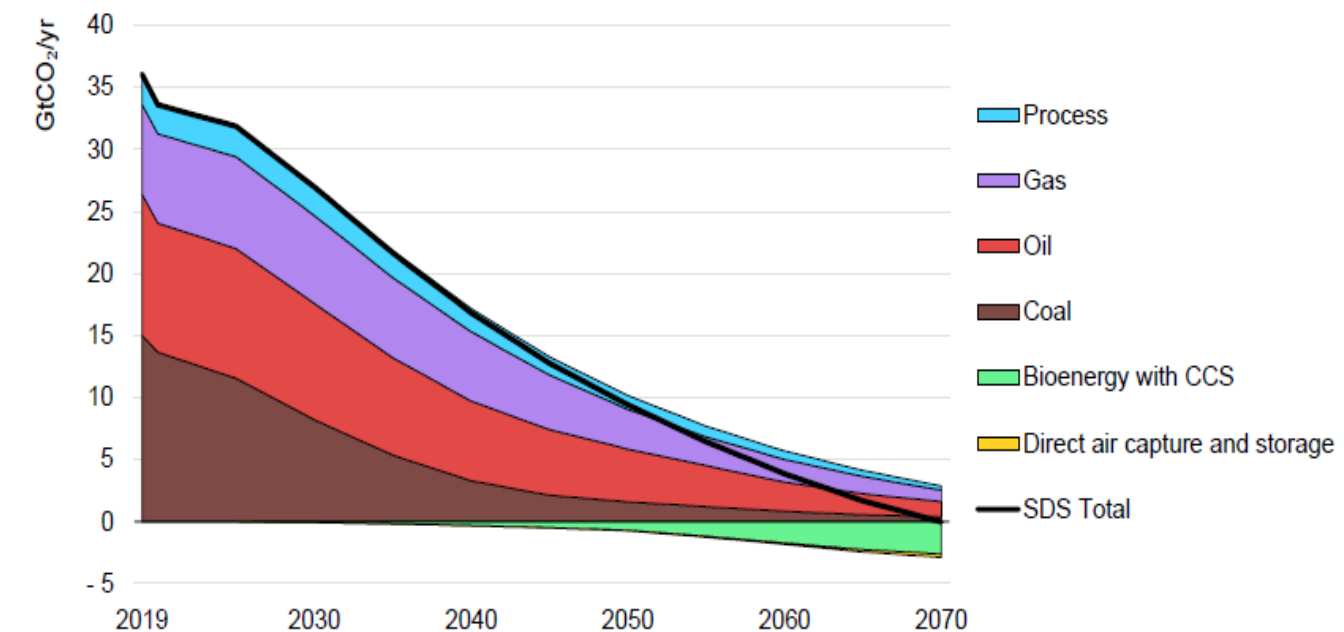


- エネルギー供給の長期的なカーボンニュートラルに向けた投資の検討
- 国際的な圧力に曝される産業部門
 - ・ サプライチェーンを通じた脱炭素化を目指す欧米企業
 - 将来的に脱炭素化が難しい日本での生産からの撤退
 - ・ TCFD等の情報開示を通じた気候変動リスク低減
 - サプライチェーンの気候変動影響回避
 - 温室効果ガスの排出を減らせないことによる座礁資産の回避
 - ・ 炭素国境税調整
 - EU
 - 米国
 - ・ Green Taxonomy
 - グリーンなエネルギー、産業の定義、分類

海外の動向

ネットゼロに向けた排出経路 (IEA ETP 2020)

Figure 2.1 Global energy sector CO₂ emissions by fuel and technology in the Sustainable Development Scenario, 2019-70



IEA 2020. All rights reserved.

Notes: CCS = carbon capture and storage. SDS= Sustainable Development Scenario.

出所 : IEA(2020) Energy Technology Perspective

持続可能な発展シナリオ (Sustainable Development Scenario, SDS) : 2070年にネットゼロを実現するために、将来の結果を定義し、技術の研究、開発、デモンストレーション、および普及を含み、政策の支援を通じてそれらを最小コストで達成する方法をモデル化。現在開発されている利用可能な最善の技術やコスト情報を元に、普及の速度や政策的支援によるネットゼロ排出への貢献を評価

IEA(2020) Energy Technology Perspective

- パリ協定の目標を達成するためには、クリーンエネルギーへの転換により、今後数十年間で温室効果ガスの排出量を急速に削減してネットゼロを目指す必要がある。
- 長期的には以下の技術が重要と指摘
 - 最終需要部門の電化 : 発電部門が完全な脱炭素化が前提。
 - CCUS : 削減が難しい部門からの排出量を相殺
 - 低炭素水素・合成燃料 : 運輸部門での化石燃料の置き換え
 - 持続可能なバイオエネルギー : 長期的な各部門での化石燃料の置き換え
- 仮に、2050年に全世界の排出量をネットゼロにする (Faster Innovation Case) には、現在研究室での研究が始まった初期段階のクリーンエネルギー技術が2050年までに広く普及する必要がある。

長期戦略にみる各国の脱炭素ビジョン

日本	<ul style="list-style-type: none">ビジョン達成に向けてビジネス主導による<u>非連続なイノベーションを通じた「環境と成長の好循環」を実現／世界全体での取組が不可欠</u> <u>迅速な取組、世界への貢献</u>
ドイツ	<ul style="list-style-type: none">目標達成に向けて、技術革新の余地を残しつつ、持続可能性に最大限の努力を払い、<u>各分野の転換経路を検証していく</u>。また、長期戦略の改定を通じて、2050年の目標達成に向けた<u>政策枠組みを維持</u>していく。
英国	<ul style="list-style-type: none"><u>費用効率性と便益最大化を指針</u>とし、グリーンファイナンスとイノベーションへの投資を通じて最大限の優位性を確保。<u>世界全体での排出削減への貢献と経済成長の両立</u>を目指す。
フランス	<ul style="list-style-type: none">部門別シナリオの策定を通して制約や利害関係を特定し、目標達成に向けた潜在的なルートを特定する。そして、<u>様々な手段を首尾一貫し、重複せず、短期と長期を調和させる</u>必要がある。
EU	<ul style="list-style-type: none">低炭素社会への移行が、社会的に公平であることに努め、大気汚染や生物多様性との相乗効果を提供しながら、<u>ヨーロッパの雇用と持続可能な成長を確保することで、世界市場における競争力を増進</u>すること。
米国	<ul style="list-style-type: none">低炭素への移行による経済便益を最大化、コストを最小化することを前提として、<u>成果を享受できるような市場ベースの政策を実施、迅速に行動、低炭素への移行に対して脆弱な国民を支援</u>、という原則を挙げている。
カナダ	<ul style="list-style-type: none">長期戦略は特定の政策について説明するものではなく、低炭素へ移行していく枠組みについて、2050年までに必要な取組と課題について割り出している。

出所：各国がUNFCCCに提出した長期戦略から作成

- パリ協定に基づき、各国は2050年に向けて長期低排出発展戦略をUNFCCCに提出(2020年末時点で28か国・地域)
- 先進国は脱炭素への取組を次の成長へのドライバーと認識、早期に技術開発や普及に取り組むことで長期的な競争力の維持・向上を目指している。

2050年に向けた長期的な排出削減目標

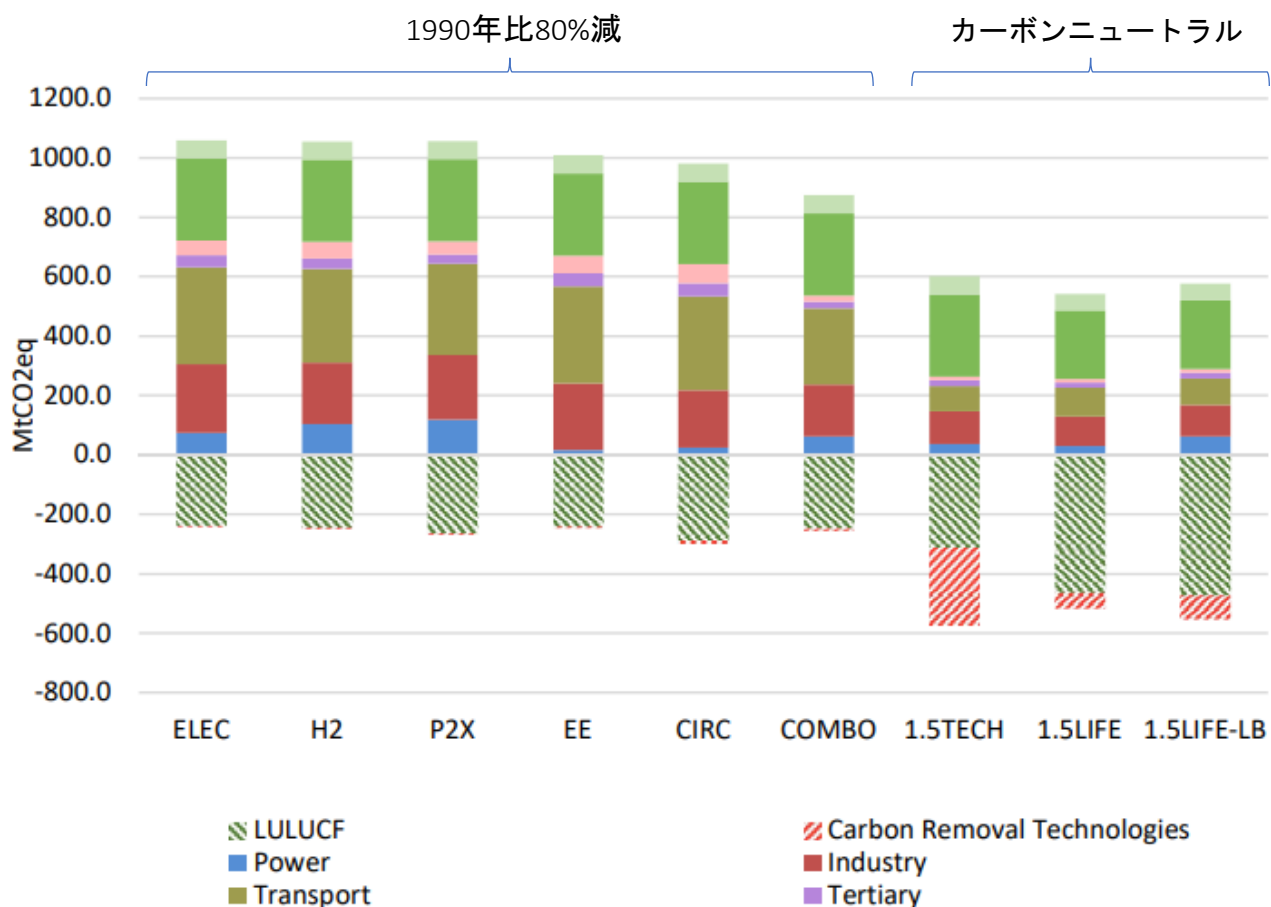
日本	▲80%	<u>最終到達点として「脱炭素社会」を掲げ、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現することを目指す</u> とともに、 <u>2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減の実現に向けて、大胆に施策に取り組む※積み上げでない将来の「あるべき姿」</u>	2020年10月菅総理「2050年にカーボンニュートラルを目指す」と宣言
ドイツ	▲80~95% (2005年比)	長期戦略を国民経済や企業の効率性と競争力を高めるための技術開示性を特徴とする「国民経済近代化戦略」とする。気候保護によって経済的効率性と競争力を獲得し、世界に国家の経済的・産業的成功に悪影響を与えないことを証明することで、他国が追従する。	カーボンニュートラルを目標に長期戦略の改定を検討中
英国	▲80%以上 (1990年比)	低炭素化へ投資することによる便益を最大化するための産業戦略を策定し、これによって <u>経済成長、雇用確保、生活の質の向上を目指す</u> 。	2019年6月に気候変動法を改正、2050年にカーボンニュートラルを目標とすることを法的に位置付け
フランス	▲75% (1990年比)	経済成長を維持し、炭素リーケージさせず、食糧安全保障を確保しながら目標に達するには、 <u>大規模投資と製造・消費パターンの徹底的な見直しを伴う大きな変革</u> である。	2019年12月にエネルギー気候変動法を改正、2050年にカーボンニュートラルを目標とすることを法的に位置付け
EU	実質ゼロ	<u>域内で2050年までにカーボンニュートラルへ移行する</u> とともに、世界の気温上昇を1.5℃までとする努力を推進していく。	2020年3月にUNFCCCにEUとしての長期戦略を提出、2050年にカーボンニュートラルを目指す 現在、2050年カーボンニュートラルを法的に位置付けるための気候法（Climate law）の審議が最終段階
米国	▲80%以上 (2005年比)	記載なし	2021年バイデン政権の誕生、2050年にカーボンニュートラルを目標に設定見込み
カナダ	▲80% (2005年比)	<u>長期的な観点からエネルギーシステムを低炭素経済へ移行するための道筋</u> をつけるための国家としての枠組みを形成する	2050年カーボンニュートラルを検討中

出所：各国がUNFCCCに提出した長期戦略から作成

- 2019年以降、各国はカーボンニュートラルを法的に位置付ける動きを加速
- バイデン政権の誕生によってほぼすべての先進国が2050年カーボンニュートラルを目標に設定
- 中国も2030年までに排出量をピークアウト、2060年にカーボンニュートラルを目指している。

EUの長期戦略①

シナリオ別2050年のCO₂排出量



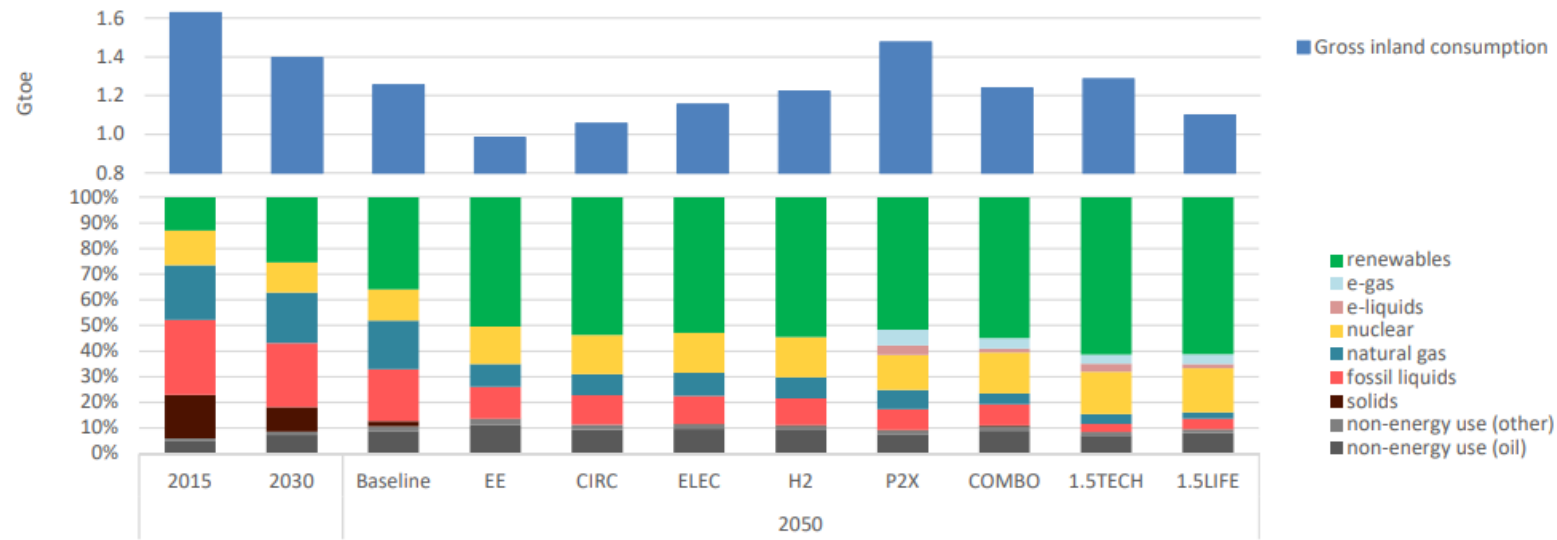
出所：SC(2018) In-Depth Analysis in Support of The Commission Communication COM(2018)

○ シナリオ分析

複数のモデルを組み合わせて2050年のCO₂排出量の絵姿を分析、主な技術分野ごとに特化したシナリオや組み合わせたシナリオ、カーボンニュートラルを達成するシナリオを提示。シナリオをするために、個別の技術動向に関する調査を実施。

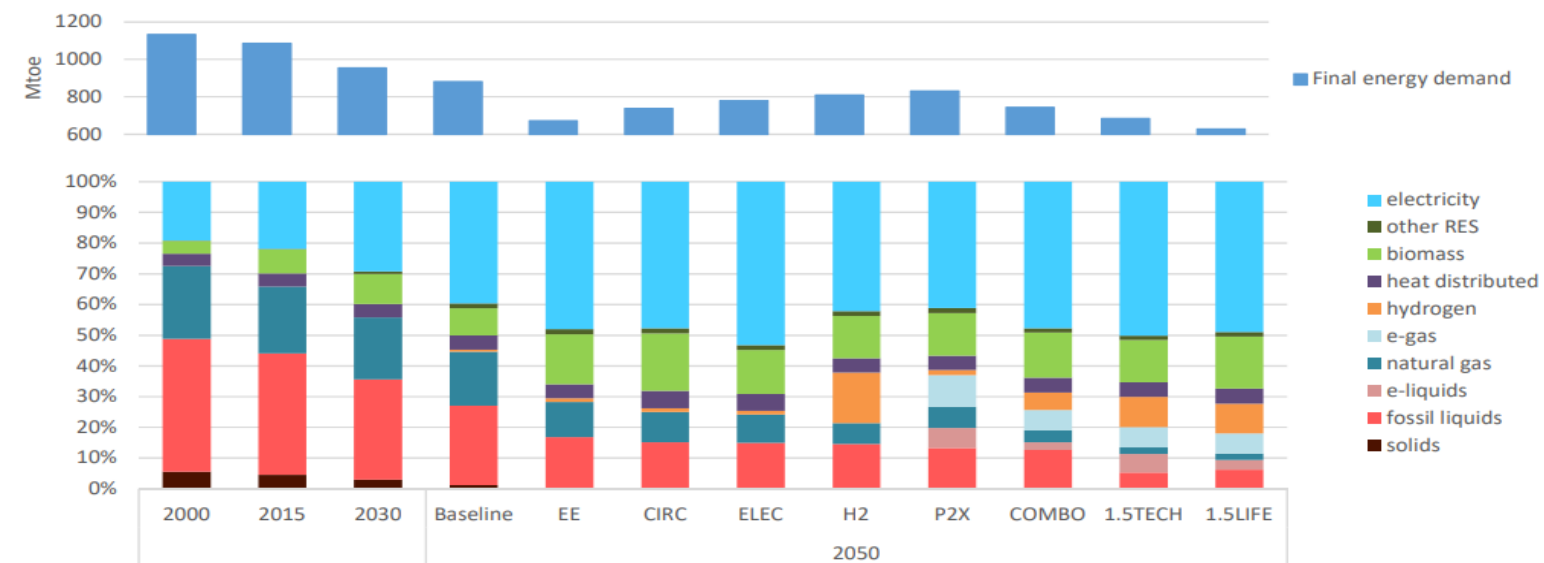
- 電化 (ELEC) : 全部門の電化
- 水素 (H₂) : 産業、輸送および建築物における水素
- Power-to-X (P2X) : 産業、輸送および建築物におけるe-fuel
- エネルギー効率 (EE) : 全部門における高いエネルギー効率を追求
- 循環経済 (CIRC) : 資源および原料効率の向上
- コンビネーション (COMBO) : 2°Cシナリオのオプションを組み合わせた費用効果の高いオプション
- 1.5°C技術 (1.5TECH) : COMBO を基にBECCSやCCSを追加
- 1.5°Cの持続可能なライフスタイル (1.5LIFE) : COMBO を基にCIRCやライフスタイルの変化を追加

EUの長期戦略②



○ 一次エネルギー供給

- 2050年において、エネルギー供給の大部分が再生可能エネルギーに転換すると想定
- P2Xシナリオは、電力をガス等にストレージするために、2030年からエネルギー供給が増えると想定
- 2050年でも化石燃料が一部残るが、カーボンニュートラルを達成する1.5Techと1.5Lifeシナリオでは5%以下に減少

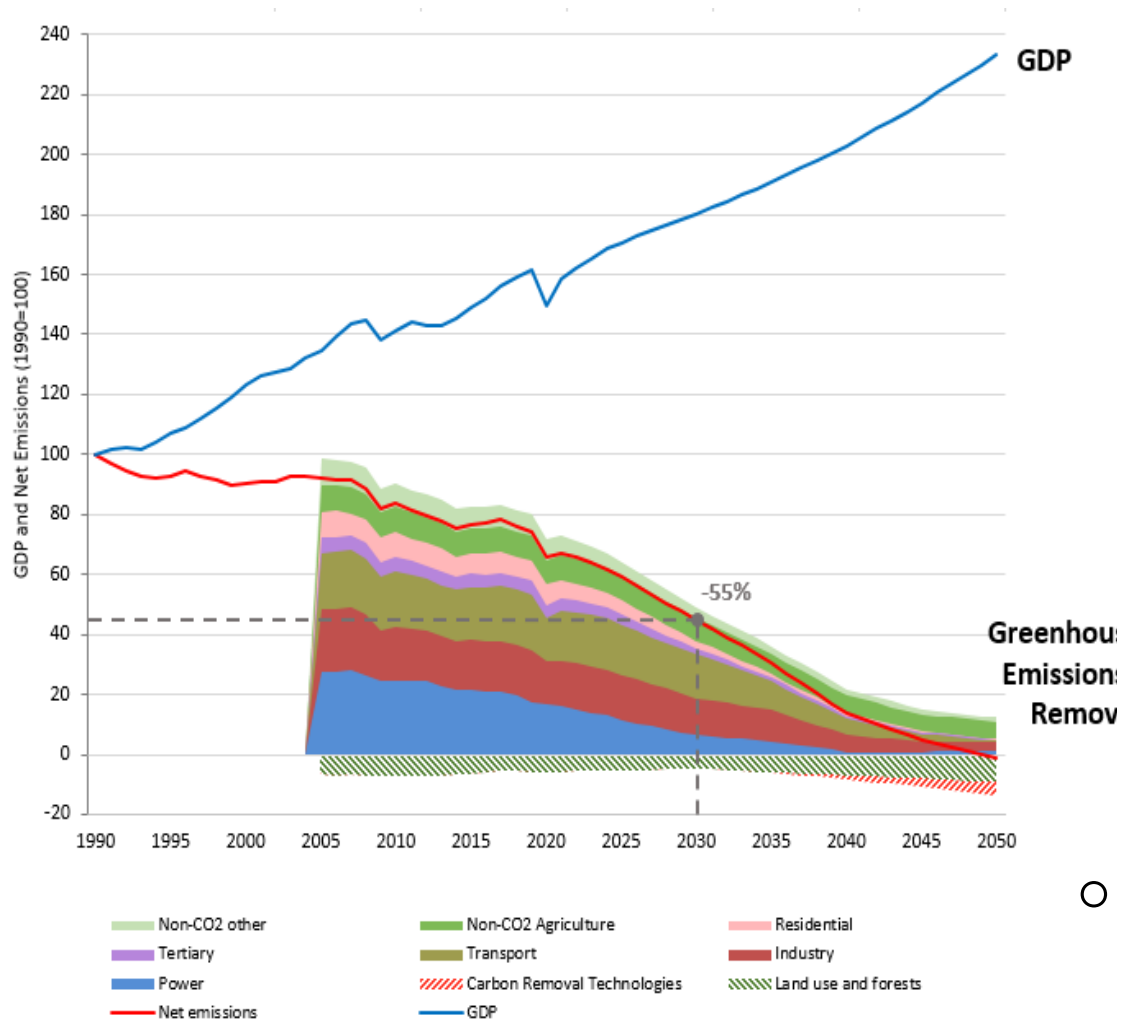


○ 最終エネルギー消費

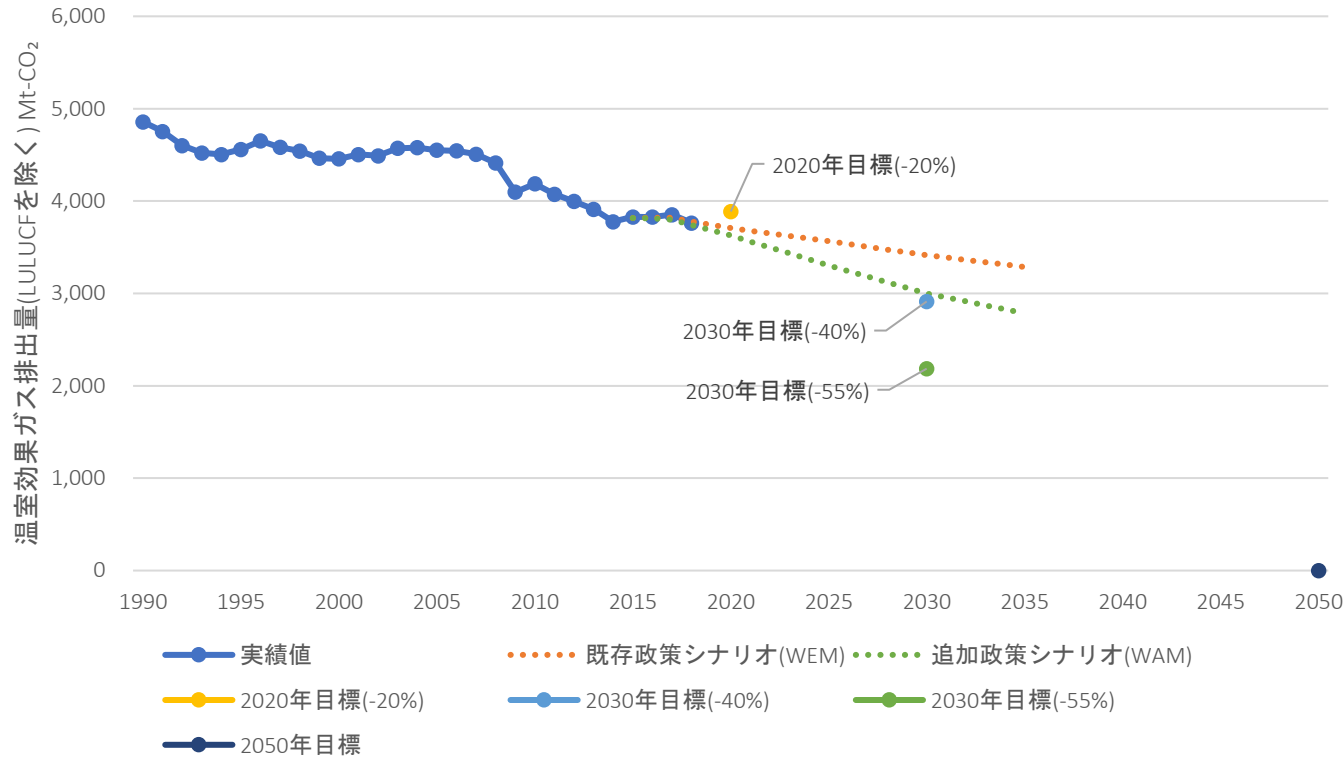
- 2050年にエネルギー消費の40%から50%が電化すると想定、化石燃料は水素や合成燃料によって置き換えられる
- 2050年に最終エネルギー消費は2030年比べて20%から40%減少
- 2050年にカーボンニュートラルを達成する場合、電源構成に占める再生可能エネルギーの割合が83%、原子力が13%、化石燃料が3%程度と試算、風力・太陽光が大量導入されると見込む

シナリオ別の一次エネルギー供給(上)と最終エネルギー消費 (下)

EUの2030年目標引き上げと実際



出所: EC (2020) "Stepping up Europe's 2030 climate ambition"

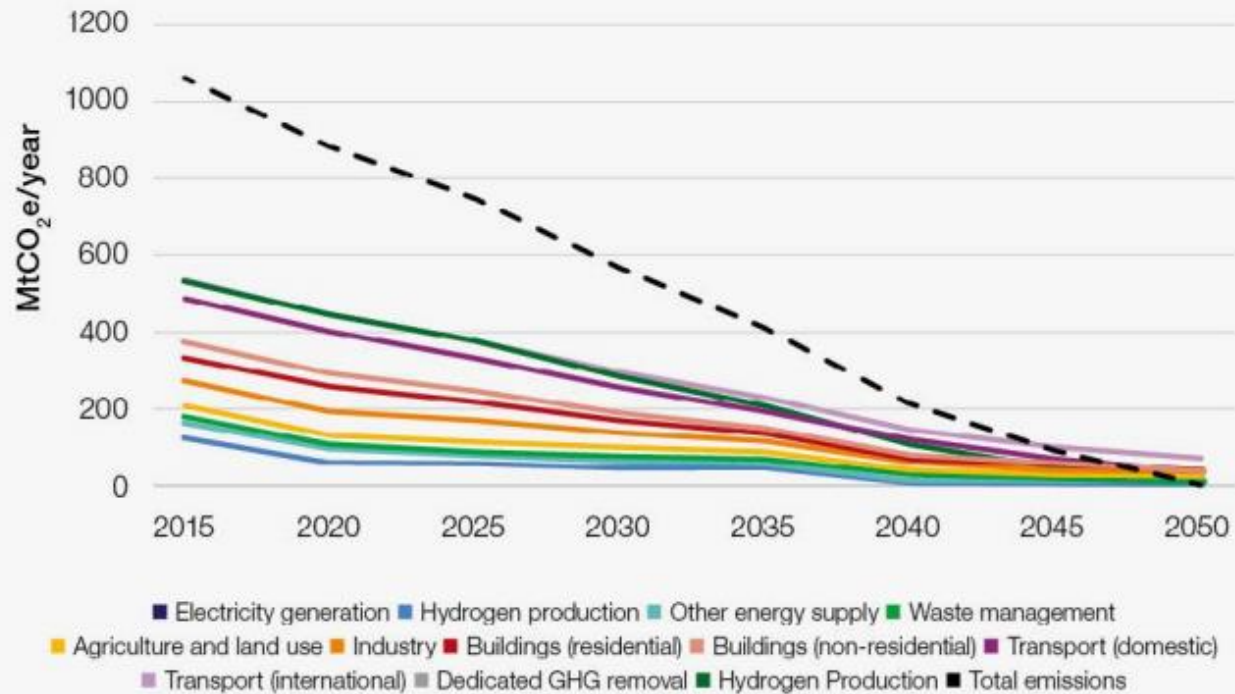


出所: EEA(2020) "Trends and projections in Europe 2020"

- 2020年12月の欧州理事会で2030年目標の引き上げを承認、加盟国と最終調整中
- 40%減目標の達成を政策的に担保するための指令改正が概ね完了していたが、2021年6月に再改正案が発表予定

英国のカーボンニュートラルに向けた道筋①

FIGURE 4.1 – ILLUSTRATIVE PATHWAY TO NET ZERO EMISSIONS



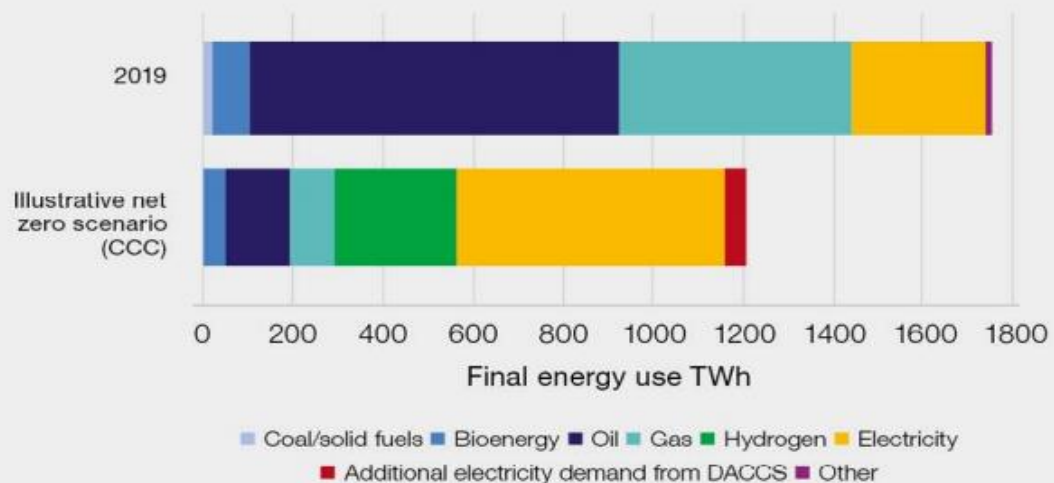
Source: Mackay Carbon Calculator

出所：BEIS (2020) Energy white paper: Powering our net zero future

- 2019年6月に2050年カーボンニュートラルを気候変動法で法的に位置付け
- 2020年12月に発表されたエネルギー白書では、カーボンニュートラルに向けた様々な政策を発表
 - Point 1 Advancing Offshore Wind (オフショア風力)
 - Point 2 Driving the Growth of Low Carbon Hydrogen (低炭素水素)
 - Point 3 Delivering New and Advanced Nuclear Power (原子力活用)
 - Point 4 Accelerating the Shift to Zero Emission Vehicles (ZEVへのシフト)
 - Point 5 Green Public Transport, Cycling and Walking (モビリティ改革)
 - Point 6 Jet Zero and Green Ships (航空・船舶燃料の転換)
 - Point 7 Greener Buildings (建物のグリーン化)
 - Point 8 Investing in Carbon Capture, Usage and Storage (CCUSへの投資)
 - Point 9 Protecting Our Natural Environment (自然保護)
 - Point 10 Green Finance and Innovation (グリーンファイナンスとイノベーション)

英国のカーボンニュートラルに向けた道筋②

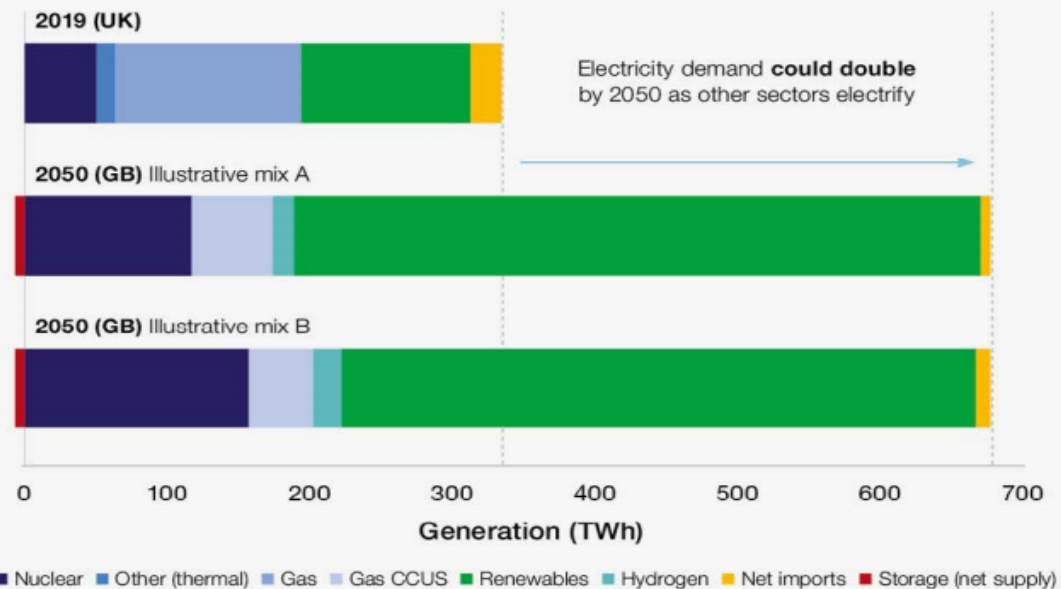
FIGURE 1.4 – ILLUSTRATIVE UK FINAL ENERGY USE IN 2050



Source: Energy Trends table 1.2; CCC Net Zero Report

出所：BEIS (2020) Energy white paper: Powering our net zero future

FIGURE 3.4 - ELECTRICITY MIX TODAY & ILLUSTRATIVE 2050 MIXES



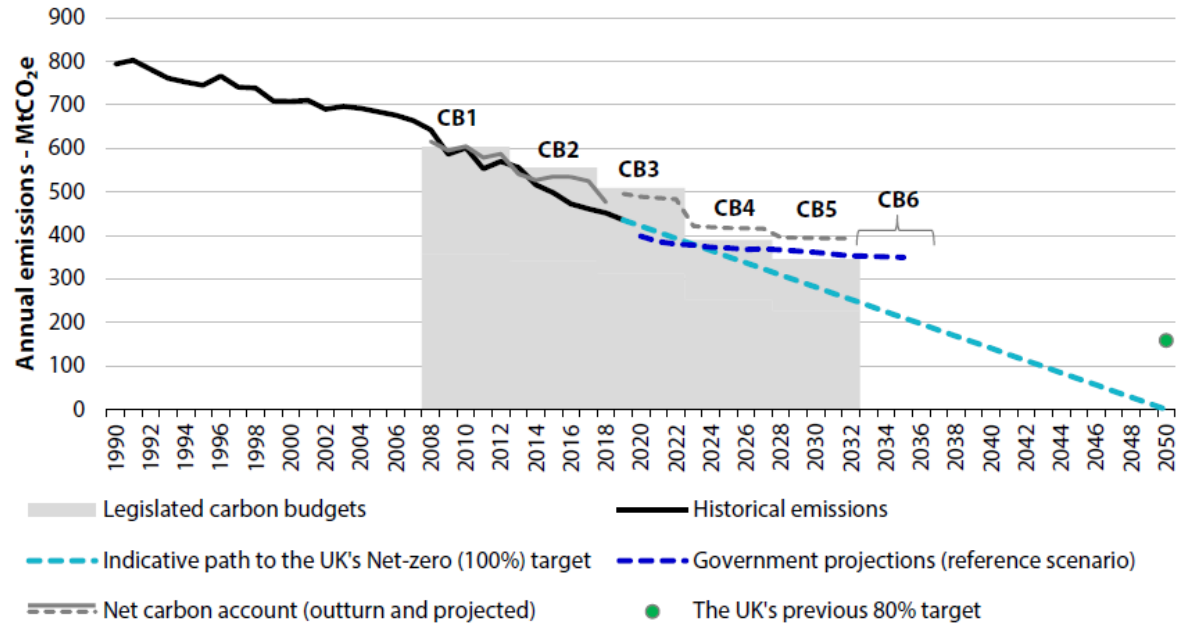
Source: Energy Trends, table 5.1 and 6.1; BEIS analysis.

出所：BEIS (2020) Energy white paper: Powering our net zero future

- 気候変動委員会(CCC)は2050年の最終エネルギー消費の大半が電化、水素の普及も見込む。また、DACによる大気からの直接回収のエネルギー消費量も想定している。
- BEISは、2050年の電力需要がエネルギー需要の電化、P2X、水電気分解装置の普及等によって2019年の2倍になると見込み、その大半は再生可能エネルギー(60%程度)によって供給されると試算

英国の排出量見通し

Figure 1.1. Emissions pathways to carbon budgets and the Net Zero target



Source: CCC analysis based on BEIS (2019) *Updated energy and emissions projections 2018*, and BEIS (2020) *Provisional UK greenhouse gas emissions national statistics 2019*.

Notes: 'CB' = Carbon Budget. The Sixth Carbon Budget period covers 2033-2037. Greenhouse gas (GHG) emissions are shown on a total ('actual') basis, while carbon budgets are assessed against the 'net carbon account' (Box 2.3). Emissions from International Aviation and Shipping (IAS) are not included in this figure, but would either also need to reach zero emissions by 2050 or will have to be fully offset by verifiable removals. Government projections are for total gross UK GHG emissions, not for the 'net carbon account', against which the first five carbon budgets are measured. Outturn GHG emissions are based on the latest BEIS publication and therefore do not account for forthcoming revisions to peatland emissions or global warming potentials.

- 気候変動委員会は年次報告において、気候変動法の目標である2050年目標の達成への道筋と現在の排出量見通しにギャップがあり、2021年に決定される第6次炭素予算の達成には一段の政策強化が必要と指摘

出所 : Climate Change Committee(2020) “Reducing UK emissions Progress Report to Parliament”

ドイツの長期的なエネルギー転換への取組

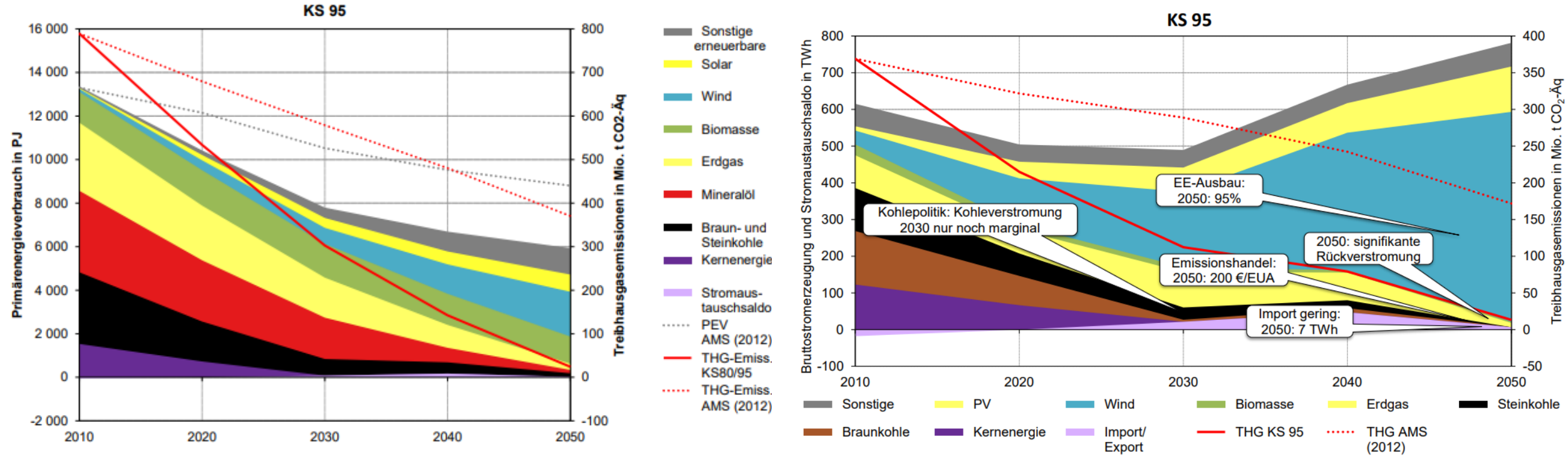
		2017	2020	2030	2040	2050
GHG排出量(1990年比)		-27.50%	-40%以上	-50%以上	-70%以上	大部分がカーボンニュートラル-80%から95%
再生可能エネルギー	最終エネルギー消費に占める割合	15.90%	18%	30%	45%	60%
	電力消費量に占める割合	36.00%	35%以上	50%以上	65%以上	80%以上
	熱消費量に占める割合	13.40%	14%			
エネルギー効率とエネルギー消費	一次エネルギー消費量(2008年比)	-5.50%	-20%			-50%
	最終エネルギー消費効率(2008-2050年)	1.0% per year (2008-2017)	2.1% per year (2008-2050)			
	総電力消費量(2008年比)	-3.30%	-10%			-25%
	建築物の一次エネルギー消費量(2008年比)	-18.80%				-80%
	建築物の熱消費量(2008年比)	-6.90%	-20%			
	運輸部門の最終エネルギー消費量(2005年比)	6.50%	-10%			-40%

- ドイツの気候変動政策は、エネルギー転換 (Energiewende) と呼ばれる化石燃料と原子力から再生可能エネルギーへの段階的な移行を目指す取組の一環として位置付けられる。
- このために、2010年に、長期的なエネルギー政策の方向性を示すエネルギーコンセプト (Energiekonzept) を発表、2050年に最も効率的で環境に配慮した経済の1つになることを目的とし、原子力発電からのフェーズアウト等を含むエネルギー転換を目指すための2020年から2050年に向けた数値目標が示された。
- 2016年に長期戦略を発表、長期的なカーボンニュートラルに向けて再生可能エネルギーの導入拡大を目指し、セクターカップリング(余剰再エネを熱・動力等として蓄える)の更なる進展、そられのための技術開発を進める方針を示した。
- EUの中で2050年のカーボンニュートラルを推進、2020年下半期のEU議長国として2030年目標の引上げを主導

出所：BMW (2019) Second Progress Report on the Energy Transition

ドイツの長期的な一次エネルギー供給の見通し

95%削減シナリオの一次エネルギー供給と発電量の見通し



Anmerkung: PEV = Primärenergieverbrauch
Quelle: Eigene Berechnungen

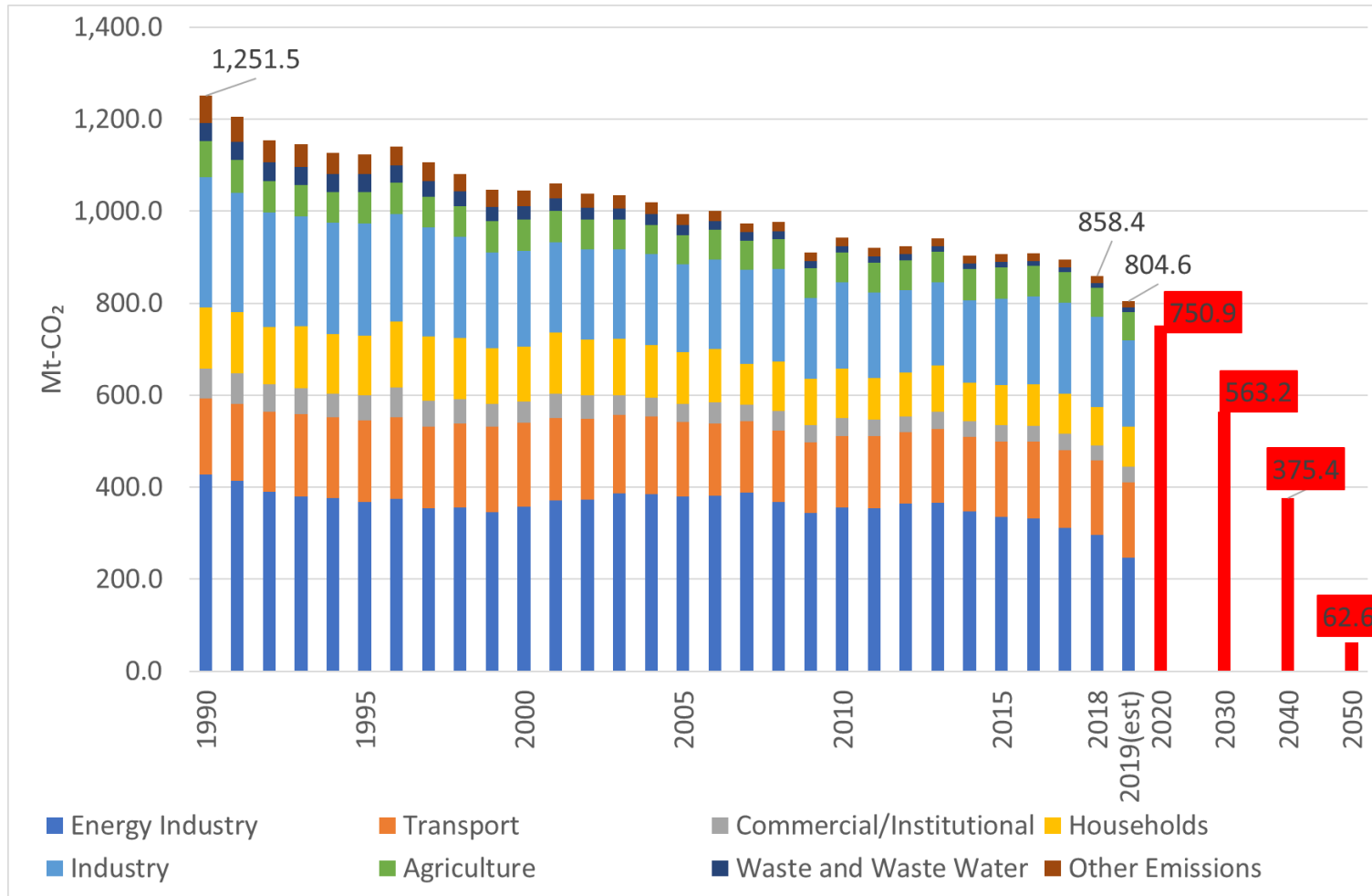
出所: Öko-Institut / Fraunhofer IS (2016) Klimaschutzscenario 2050

○ 2016年にBMUBがKlimaschutzscenario 2050(気候保護シナリオ2050)を公表

- 化石燃料は2050年ごろにはフェーズアウトまたはCCS付きを見込む
- 電源構成は、大半が風力を想定、P2Xによって電力消費量が増加することを見込んでいる。

○ 2017年にはBMWも同様の長期シナリオの分析結果を公表(Projekte „Langfrist- und Klimaszenarien“)

ドイツのエネルギー転換と今後の見込み



出所：BMU

- 2017年実績で2020年目標に対して10%以上の開きがあり、ドイツ政府は2018年に2020年目標の達成を断念。
- 2023年に達成できるように政策強化を打ち出した。(Klimaschutzprogramm 2030)
 - 2038年までに脱石炭火力発電フェーズアウト
 - 2021年から運輸・民生部門を対象とするETSの導入
 - 水素戦略等
- 2020年下半期のEU議長国として気候変動問題を優先的に議論、目標引き上げや関連政策の議論を主導
- Covid19の影響によってエネルギー需要が減少、2020年目標を達成の見込み。

海外動向の整理

○ 長期的なカーボンニュートラル目標の策定

- パリ協定の発効後、各国は2050年に向けた長期戦略を作成、1990年比80%減等の目標水準をビジョンとして打ち出した。
- 2019年頃から2050年カーボンニュートラルを目標として打ち出す先進国が表れ、英国やフランスは法的に目標を位置付けた。

○ 長期的なカーボンニュートラルに向けた取組

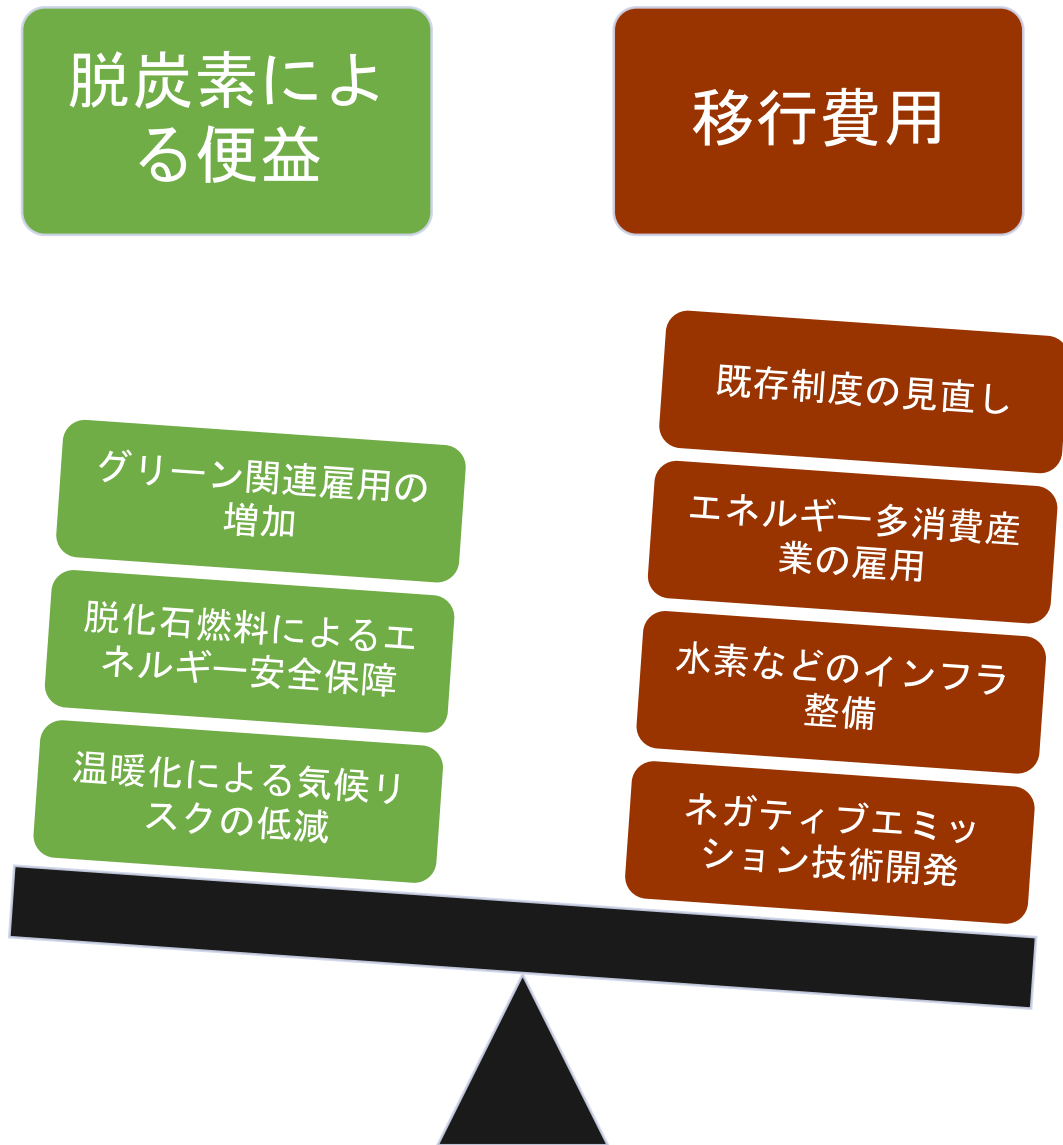
- これまでのような省エネや再生可能エネルギーの導入では脱炭素は達成できず、グリーン水素（再エネ由来の電力による水電気分解）、P2X等を組み合わせてエネルギーシステムの構造転換を模索
- 加えて、削減目標に土地利用や森林吸収等を考慮し、CCS、DAC、BECCS等によるネガティブエミッション技術の活用も視野に入れている。
- 2050年カーボンニュートラルの達成には、これまでの排出削減に投じた対策コストを上回るコストが必要であり、金融部門も含めた民間資金の活用促進のための政策を進めている。

○ 2030年に向けた目標の引上げと実態

- 次のマイルストーンである2030年目標は高い水準に設定されており、まずはこの目標に向けた政策強化の議論をしつつ、革新的技術への投資を拡大
- 一方で、対策の実態が伴っておらず、欧州諸国の2030年目標は非常に「野心的」な高い目標。

脱炭素への道筋と課題

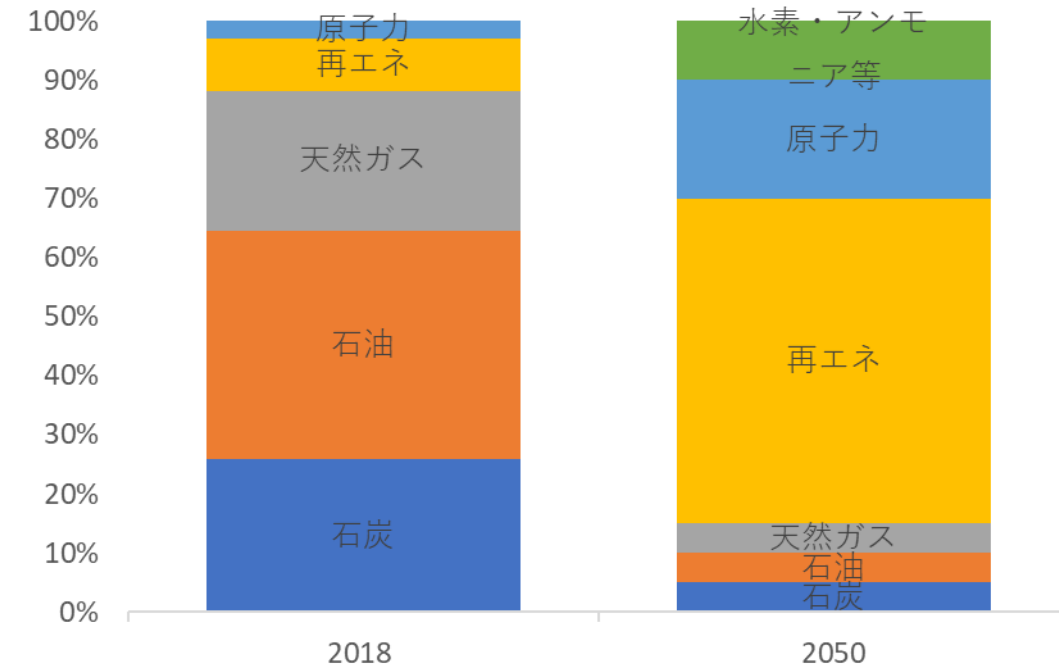
脱炭素への移行



- 脱炭素への移行していくことは大きなトレンド、特にエネルギー需要家からの要請
- 将来的に達成可能であるかではなく、その道筋においてどのようなリスクが隠れているのか、時間軸を示して議論していくことが重要
- 例えば、
 - 短期的：技術開発評価、既存政策枠組みの再検討
 - 中期的：エネルギー安定供給、移行費用の評価
 - 長期的：脱炭素社会の維持可能性

カーボンニュートラルな一次エネルギー国内供給の絵姿

一次エネルギー国内供給



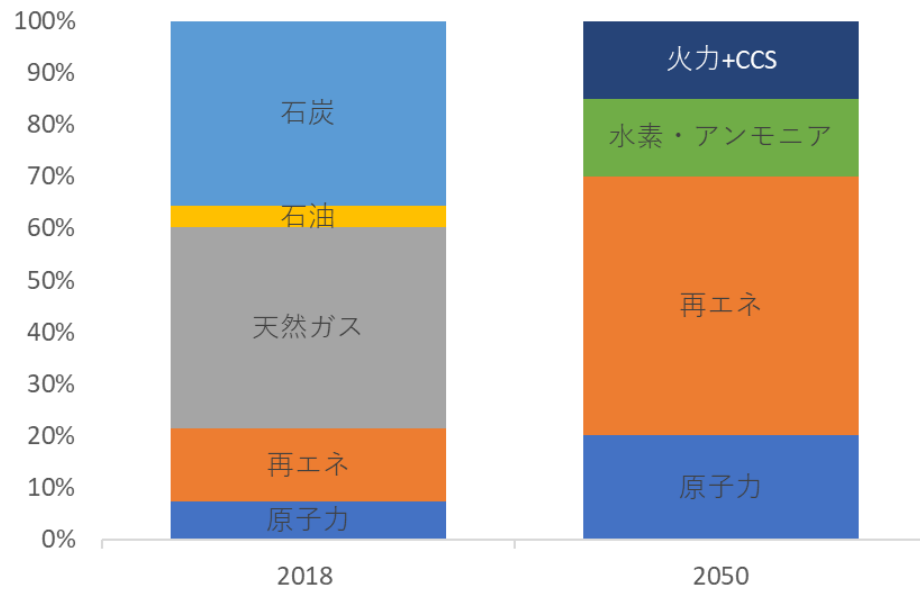
- 総量として、人口減少・省エネの進展でエネルギー供給は減少
- カーボンニュートラルを達成するには化石燃料を非化石エネルギーで代替
 - ・ 再エネ
 - ・ 水素・アンモニア（グリーン・ブルー、国内・輸入）
 - ・ バイオ燃料
- 国内のグリーン水素製造能力や合成燃料製造のために再エネ需要は増加
 - ・ 水電解装置
 - ・ 合成燃料製造
- カーボンニュートラルの達成には原子力の活用は不可欠
 - ・ 低炭素電源としての活用
 - ・ 高温ガス炉による水素製造
- カーボンオフセット済の化石燃料輸入、または、国内でのCCSによる貯留、DACによる大気からの直接回収、BECCSによる固定等
- 同時にエネルギーの安定供給・備蓄制度の検討。

出所：2018年実績は総合エネルギー統計、2050年は想定される絵姿の一つとして図示したものである。

カーボンニュートラルなエネルギー転換部門の絵姿

エネルギー転換

事業用発電



出所：2018年実績は総合エネルギー統計、2050年は想定される絵姿の一つとして図示したものである。

○ 事業用発電

- 100%脱炭素電源（再エネ・原子力・水素・アンモニア・火力+CCS）に移行
- 国内での水素製造、BEVの普及、電化の進展等により電力供給量は増加するため、設備容量の積み増しが必要

○ 自家発（鉄鋼・製紙・化学・セメント等）

- 化石燃料から脱炭素電源、またはCCS設置、CCUSによるカーボンリサイクル

○ 都市ガス製造

- 水素供給
- 合成ガス製造
- 水素と二酸化炭素を利用するメタネーション

○ 石油精製・石油化学（CCS導入は必須）

- 合成燃料製造
- CCU（メタネーション・ドライリフォーミング）
- 水素供給
- 廃プラリサイクル
- バイオ燃料製造

自家発電

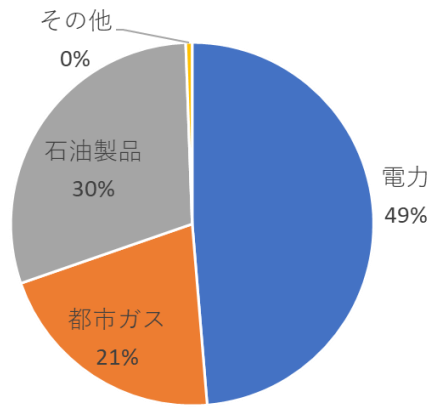
都市ガス製造

石油精製・石油化学

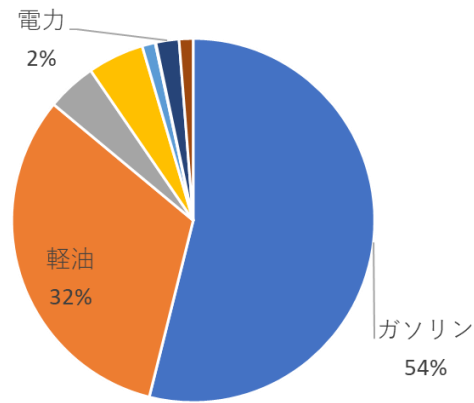
石炭製品製造

カーボンニュートラルな最終エネルギー消費の絵姿

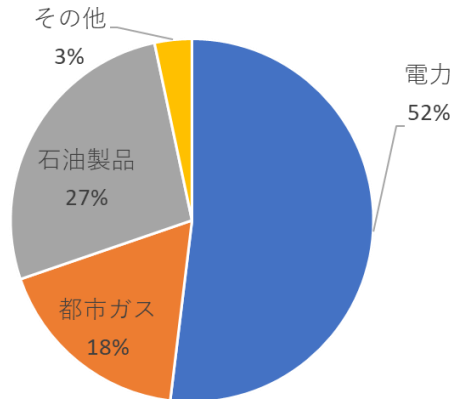
最終エネルギー消費(実績)



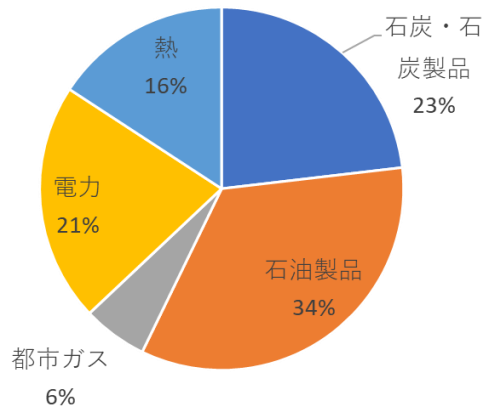
家庭部門



運輸部門



業務部門



産業部門

○ 家庭・業務部門

- 電化：高効率ヒートポンプ、蓄電池等
- 水素：家庭用燃料電池
- カーボンフリー合成燃料・ガス

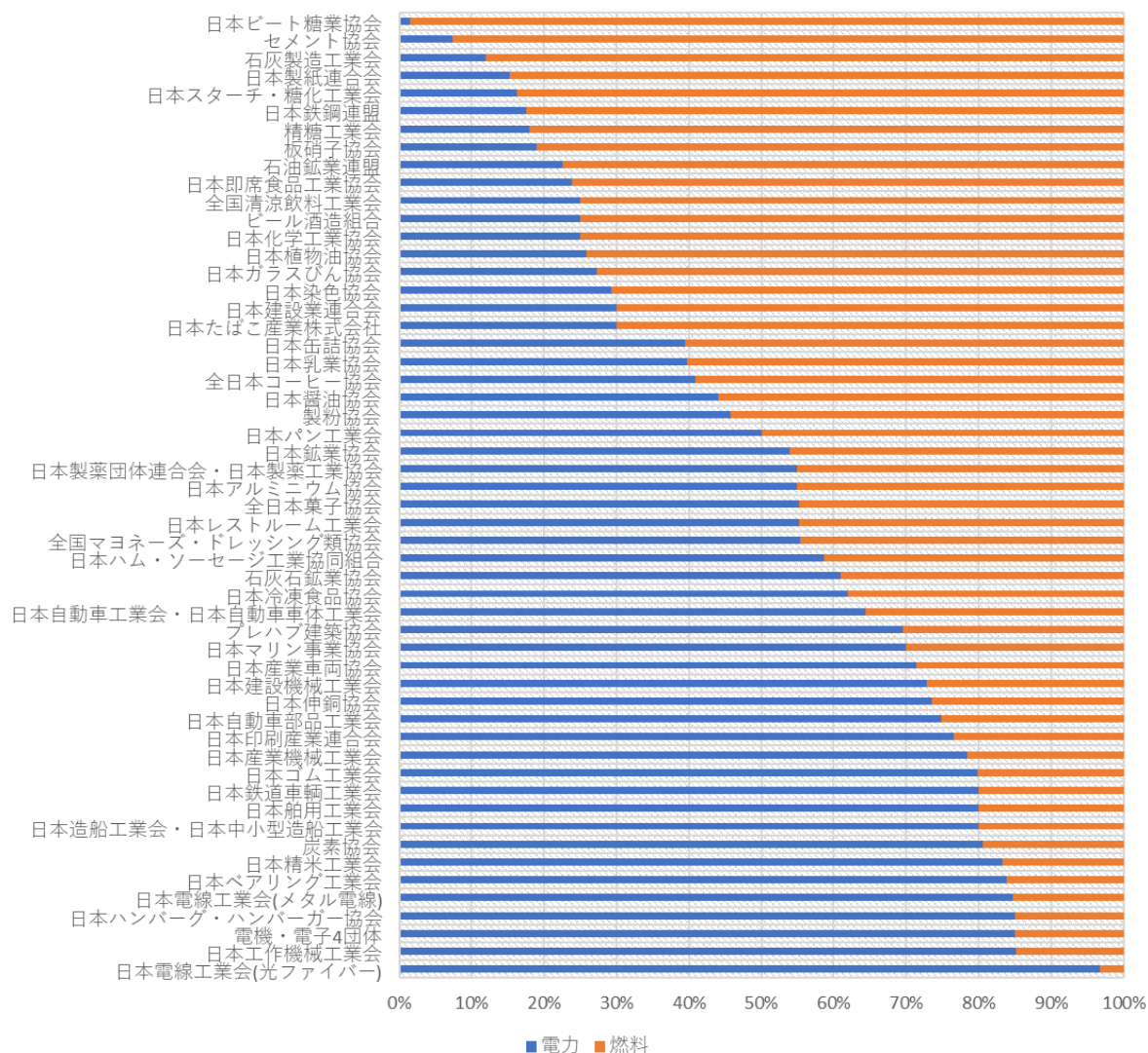
○ 運輸部門

- 電化：電気自動車
- 水素：燃料電池自動車
- カーボンフリー合成燃料・ガス：ハイブリッド自動車等

○ 産業部門（熱利用分野の脱炭素化）

- 鉄鋼：水素還元+CCUS
- 製紙・セメント：バイオマス+CCUS
- その他産業部門：熱需要のカーボンフリー合成燃料・ガス

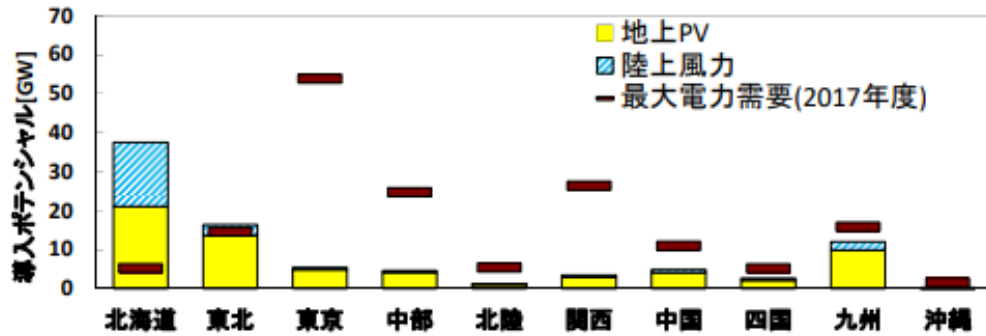
産業部門別の電力と燃料の比率



- 産業部門ごとに電力と燃料の比率が異なるため、カーボンニュートラルへの難易度にも大きな差がある。
 - 電力の比率が比較的高い部門：電化の促進＋カーボンニュートラル合成燃料
 - 燃料の比率が比較的高い部門：高温熱利用に関連した生産プロセスの見直し、電化の可能性の模索、海外移転、CCUS
- 中長期的に、産業部門の生産プロセスの見直しが必須（水素利用、カーボンフリー合成燃料、CCUS）
- 海外移転によるカーボンリーケージの抑制
- オフセットクレジットの提供

出所：低炭素社会実行計画フォローアップ調査票、及び各企業の環境報告書から推計

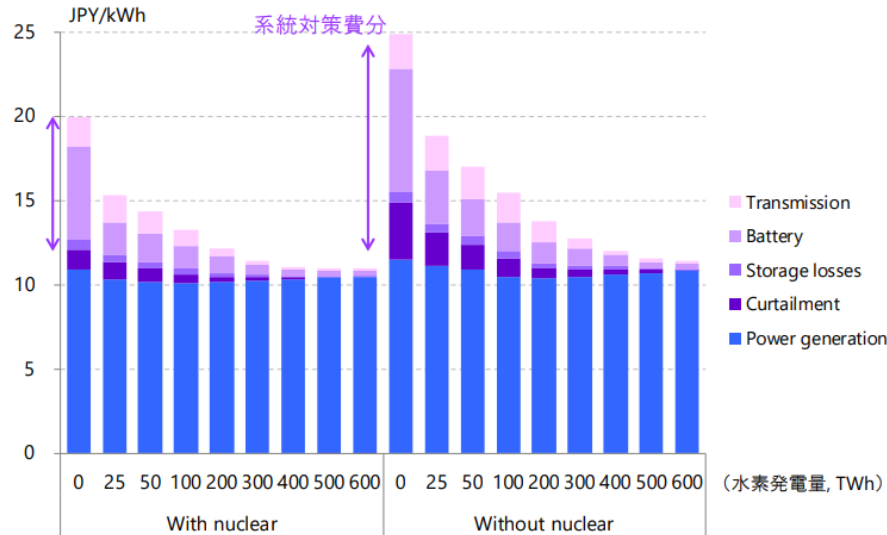
エネルギーシステムの転換（再生可能エネルギー）



(B) 競合地域に陸上風力を設置した場合

図 12 電力エリア別導入ポテンシャル

出所：尾羽他(2019)土地利用を考慮した太陽光発電および陸上風力の導入ポテンシャル評価



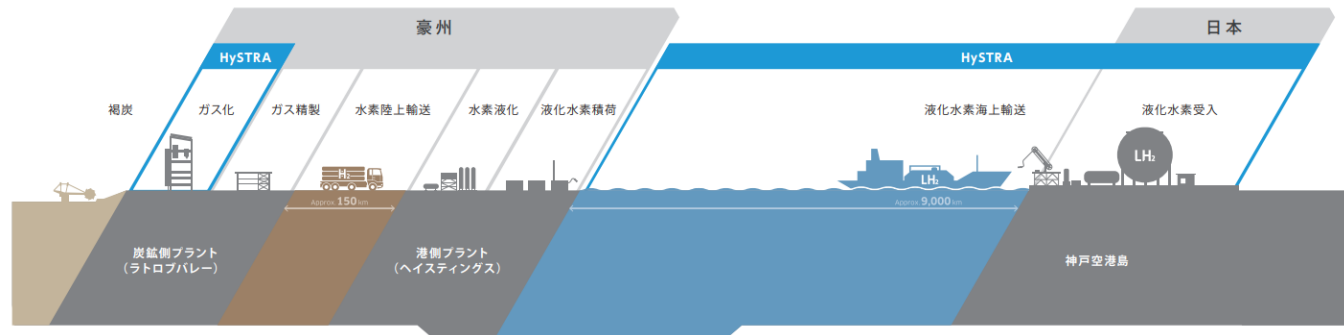
出所：松尾(2020) 変動性再生可能エネルギー大量導入時の電力部門の経済性評価 - モデル分析からのインプリケーション

○ カーボンニュートラルを達成するためには再生可能エネルギーへの転換と拡大が必要だが課題も多い

- FIT/FIPの国民負担（朝野(2020)の推計では2030年に4.5兆円）
- 導入ポテンシャルの地域的な偏在
- 蓄電池等による調整力の確保が必要だが、コストや蓄電池材料が課題
- 気象条件に依存するPV等の発電量
- 洋上風力の導入可能性
- 将来の国内でのグリーン水素製造、CCUSのための電源確保（電力需要増への対応）

○ 再生可能エネルギー（太陽光や風力）とカーボンフリー燃料（水素、アンモニア、CCS付火力）、原子力のミックスによる経済性と安定供給の確保

エネルギーシステムの転換（カーボンフリー燃料）



○ 水素・アンモニアなどのカーボンフリー燃料の導入と拡大、コスト低減（100円/Nm³ → 20円/Nm³）

- 製造能力

- ブルー：化石燃料とCCS貯留の確保
- グリーン：低廉な価格での再生可能エネルギーの能力確保

- 液化水素輸送

- 液化水素輸送船の建造・継続的な輸送力の確保

- 液化水素受入設備

- 既存パイプラインの水素対応（水素パイプラインの新設）

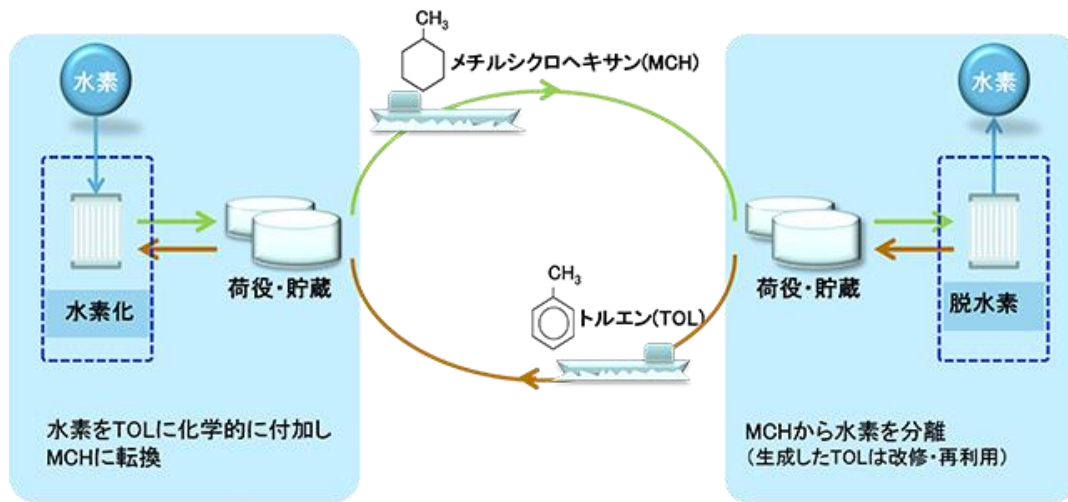
- 水素・アンモニア需要の確保（発電・燃料電池等）

- 水素輸出国との関係強化（エネルギー外交）

○ 原子力の利用

- 原子力発電による電力を利用した水電気分解
- 高温ガス炉による水素製造
- CCUSに活用する電力の確保

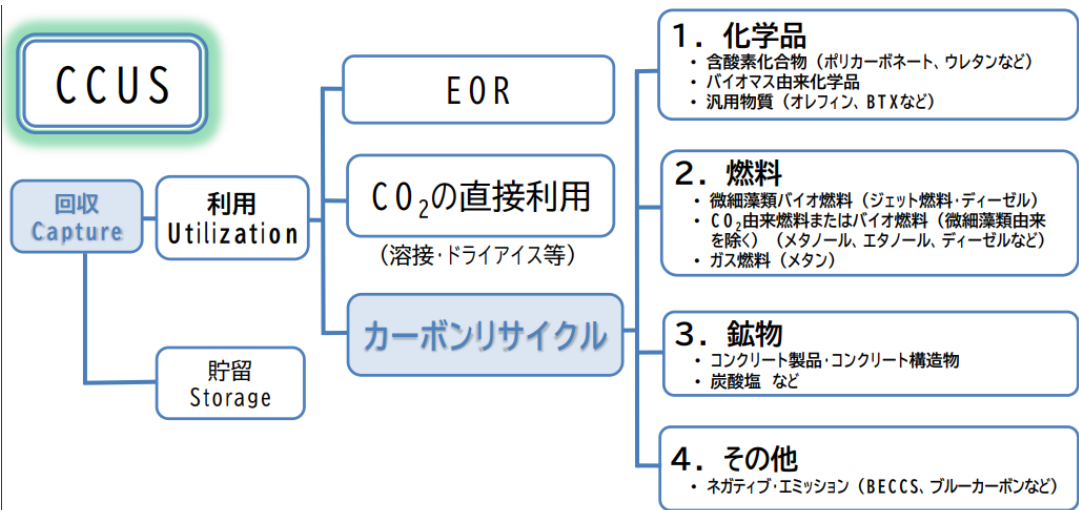
出所：技術研究組合 CO2フリー水素サプライチェーン推進機構（HySTRA）



→ :MCHの輸送フロー
→ :TOLの輸送フロー

出所：次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合（AHEAD）

カーボンリサイクルの確立



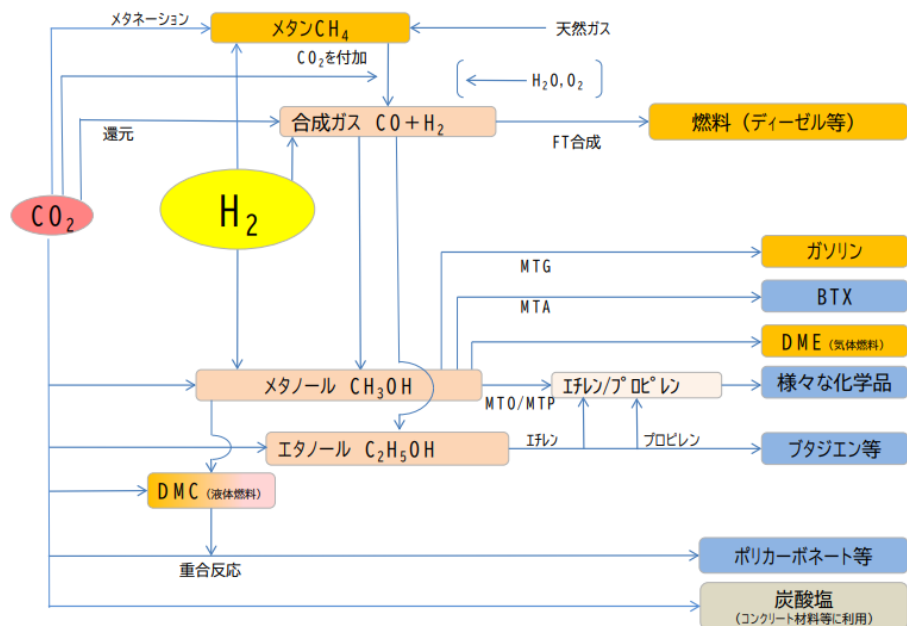
○ 国内からの排出量のうち、再生可能エネルギーや水素への転換が困難な産業部門等からの排出されるCO₂を回収し再利用

○ CCSの課題

- 国内でのCO₂貯留層の確保（累積排出）
- 貯留層の長期的なモニタリング、漏洩時の対応

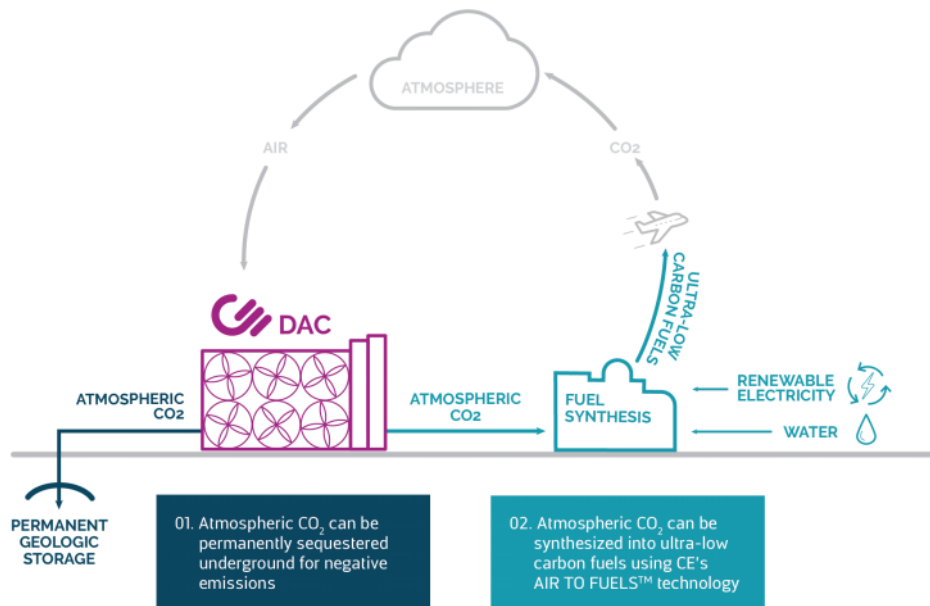
○ CCUの課題

- 国内排出量の残存量
 - 秋元・佐野(2020)の試算では約3億t-CO₂
 - 水素輸入、国内水素製造、産業部門等での水素利用の広がりによって残存量が変化
- 排ガスなどからのCO₂分離回収技術
- 化学品への効率的な転換技術とコスト削減
- カーボンリサイクルのための余剰エネルギーの確保

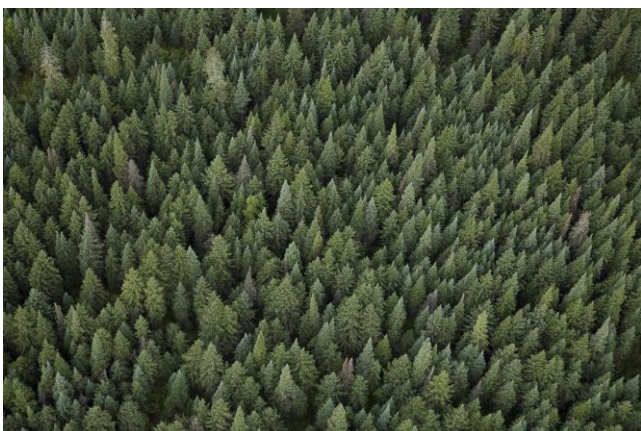


出所：カーボンリサイクル技術ロードマップ

ネガティブエミッション技術



出所 : Carbon Engineering



大気中のCO₂を吸収固定

○ CCUSの対象とすることが難しい民生部門や運輸部門等からの小規模排出源からの排出量をオフセットする

- BECCS(Bio-energy with Carbon Capture and Storage) : バイオマスを燃焼、排出されるCO₂を回収することでネガティブエミッションとする
- DACCS (Direct Air Carbon Capture and Storage) : 大気中から直接CO₂を回収、利用
- 森林吸収・ブルーカーボン（藻場等）・土壌等

○ カーボンニュートラルには、ネガティブエミッション技術が必要だが課題は多い

- BECCS : 持続可能な森林資源の確保
- DACCS : CO₂を回収・分離するための大量の再生可能エネルギーの確保、コスト
- 森林吸収等 : 持続的なモニタリング

オフセットクレジットの活用

- 海外で排出削減プロジェクトを実施し排出削減分をオフセットクレジットとして移転（Baseline and Credit）、あるいはDACCSやBECCSの回収・貯留量をクレジット化
- 燃料の消費に伴う排出をオフセット済みの燃料の輸入
 - ・ 東京ガス：カーボンフリー天然ガスの供給（シェルのインドネシア及びペルーでのプロジェクト実施による排出削減・吸収分によるオフセットクレジットを活用、第三者認証済みの自主的オフセットクレジット）
- オフセットクレジットの課題
 - ・ 京都議定書からパリ協定へ（パリ協定6条交渉の行方）
 - CDM/JIの停止
 - JCMによる国際移転
 - ・ 自主的オフセットクレジットの認証の課題（国境を超えた排出量の移転、二重使用）
 - Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Marketsで議論
 - ・ エコ植民地（先進国で化石燃料を使うために途上国で森林吸収源やBECCS用地等の確保）

カーボンプライシングの再検討

○炭素税

- 燃料転換の促進
- 税収の還流（水素関連、カーボンリサイクル等の技術開発の財源）

○排出権取引

- 環境価値市場（Jクレジット、JCM、非化石価値証書、グリーン電力・熱証書等）の統合
- 水素等の利用へのインセンティブ

○国内オフセットクレジット

- 吸収源整備、DAC、BECCSなどのネガティブエミッション技術の導入

○国境炭素調整メカニズム(BCA)

- 国際的な公平性（level playing field）の確保

カーボンプライシングの課題

○ 炭素税

- 税率の設定、減免税制度、軽減税率等の導入

○ 排出権取引

- 排出権の割当方法（特に無償割当の制度設計）
- 対象範囲の設定（電力、または、電力+産業部門）
- 価格乱高下対策（EU ETS 3ユーロから35ユーロの値幅）
- 乱立する制度の統合方法

○ 国内オフセットクレジット

- クレジット量の確保

○ 国境炭素調整メカニズム(BCA)

- WTOルールに沿った制度設計の検討
- 輸出品製造に係るの炭素含有量の計算方法の透明性、国際規格化
- 海外での制度導入時の対応

カーボンプライシングと既存政策との整合性

- 省エネ法：発電事業者へのベンチマーク、非効率石炭火力フェードアウトアウト、省エネ定期報告書
- 再生可能エネルギーの固定価格買取制度：FIT/FIPによる補助金の出口戦略の検討
- エネルギー供給高度化法：小売り事業者が非化石電源比率を44%
- 温対法：温室効果ガス排出量算定報告公表制度
- 石油石炭税等のエネルギー諸税

今後の対応と課題

2050年に向けた対応

○国内エネルギー需給バランスの絵姿

- カーボンフリー水素調達
- カーボンリサイクルの確立
- カーボンフリーエネルギーを支える発電容量の確保（原子力、再生可能エネルギー）

○エネルギー供給のカーボンフリー化と関連インフラ整備

- ガス供給網の水素対応
- 送電網の強化

○エネルギー需要家への非化石価値を提供するエネルギーサービス

- 水素需要の掘り起こし（発電、カーボンリサイクル等）
- カーボンフリー燃料需要（産業・運輸等）

○エネルギー転換を支えるための制度改正

- 水素利用・転換への支援、カーボンプライシング

○革新的技術の開発の継続（宇宙太陽光、核融合、人工光合成）

2050年のカーボンニュートラルに向けた課題

○ 山積する課題

- 政治的なアピール合戦を超えて現実的な議論が必要（なぜカーボンニュートラルか？なぜ2050年か？）
- 長期的な方向性と技術ギャップの解消（カーボンニュートラルに貢献できる技術の普及）
- 脱化石化できない生産プロセスを抱える産業部門への投資（雇用と日本としての競争力の確保）
- CCSやDACへの理解醸成（追加的な再生可能エネルギー源の確保）
- エネルギーの安定供給と国家備蓄（分散型発電、蓄電池、DR以外の固体・液体・ガス体燃料を確保するプランBとそのコスト負担）
- 防災、植生変化等の適応計画とのバランス

○ 重要なのは、カーボンニュートラルを維持できる社会への着実な移行、移行期間中・移行後のエネルギー安定供給の確保

○ カーボンニュートラルという理想論ではなく、そのためのコスト負担、社会構造の転換といった痛みへの理解

○ 2050年という点ではなく、2050年以降に向けた継続的な努力が必要

ご清聴ありがとうございました

日本エネルギー経済研究所
環境ユニット 気候変動グループ
主任研究員 清水 透

mail: tohru.shimizu@tky.ieej.or.jp