

福島工業高等専門学校 学生とシニアとの対話会

2024年1月11日

カーボンニュートラルとエネルギー安定供給について

西郷 正雄

日本原子力学会 シニアネットワーク連絡会

元原子力安全委員会技術参事

元原子力産業協会 元富士電機

西郷 正雄のプロフィール

- 1968年3月 大阪大学 基礎工学部 電気工学科卒
- 1968年4月 富士電機入社 以降 原子力に従事
- 1997年6月 原子力産業協会出向
- 2005年3月 富士電機定年退職 ⇒ 原子力産業協会 勤務
- 2009年3月 原子力産業協会退任 引き続き、
- 2009年4月 原子力安全委員会 技術参与 勤務
- 2011年3月 原子力安全委員会 技術参与 退任

日本原子力学会 SNW設立 (2005年) 後、会員として、学生との対話会などを通じて、エネルギー・原子力の理解活動に従事

学生時代の趣味 (スポーツ) バスケットボール (インターハイベスト16) (ゲーム) 麻雀
現役社会人時代の趣味 (スポーツ) テニス バスケットボール (ゲーム) コントラクトブリッジ

目次

はじめに (1/5) ~ (5/5) -----	4 ~ 8
人類とエネルギーのかかわり -----	5
化石燃料からのCO ₂ 排出量と大気中のCO ₂ 濃度の変化 -----	6
世界の平均気温偏差 -----	7
各国のCO ₂ 削減目標 -----	8
2050年カーボンニュートラルの実現に向けて (1/4) ~ (4/4) -----	9 ~ 12
第 6 次エネルギー基本計画 [2021年10月22日 閣議決定] -----	13
エネルギー源をバランスよく組み合わせる上での課題 (1/3) ~ (3/3) -----	14 ~ 16
カーボンニュートラルを目指す背景 -----	17
各エネルギー源の弱み (デメリット) --- 課題 -----	18
各エネルギー源の弱みへの対策 (1/2) ~ (2/2) -----	19 ~ 20
補足資料 -----	21 ~ 39
おわりに -----	40

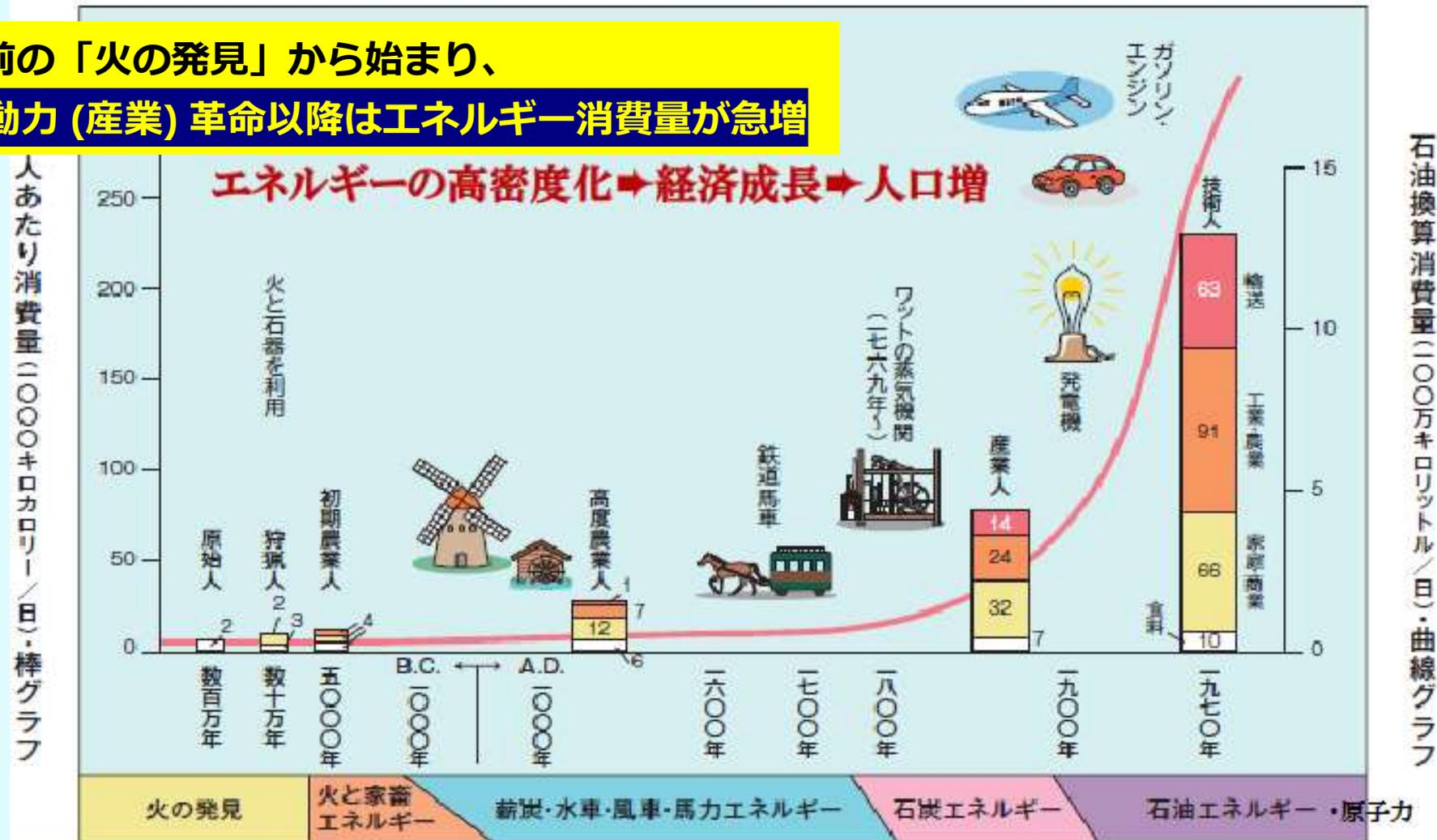
世界の気候は温暖化しており、その要因はいくつかありますが、その中で人類が大きく関わっているのは、**カーボン (CO₂) の大気への排出**であると考えられている。即ち、**エネルギー利用に化石燃料を燃やすことで発生する**と考えられる。

産業革命 (~1800年~) 以降、化石燃料のエネルギー利用が膨大に増え、大気にCO₂を極端に排出しました。その結果、地球の平均気温は、**この100年間 (1920年~2020年) で約0.74℃上昇**し、近年温暖化の傾向が加速しています。

そのために、**2015年12月**、フランスのパリで開催された**第21回国連気候変動枠組条約締約国会議 (COP21)**では、2020年以降の温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組み(**パリ協定**)が採択されました。

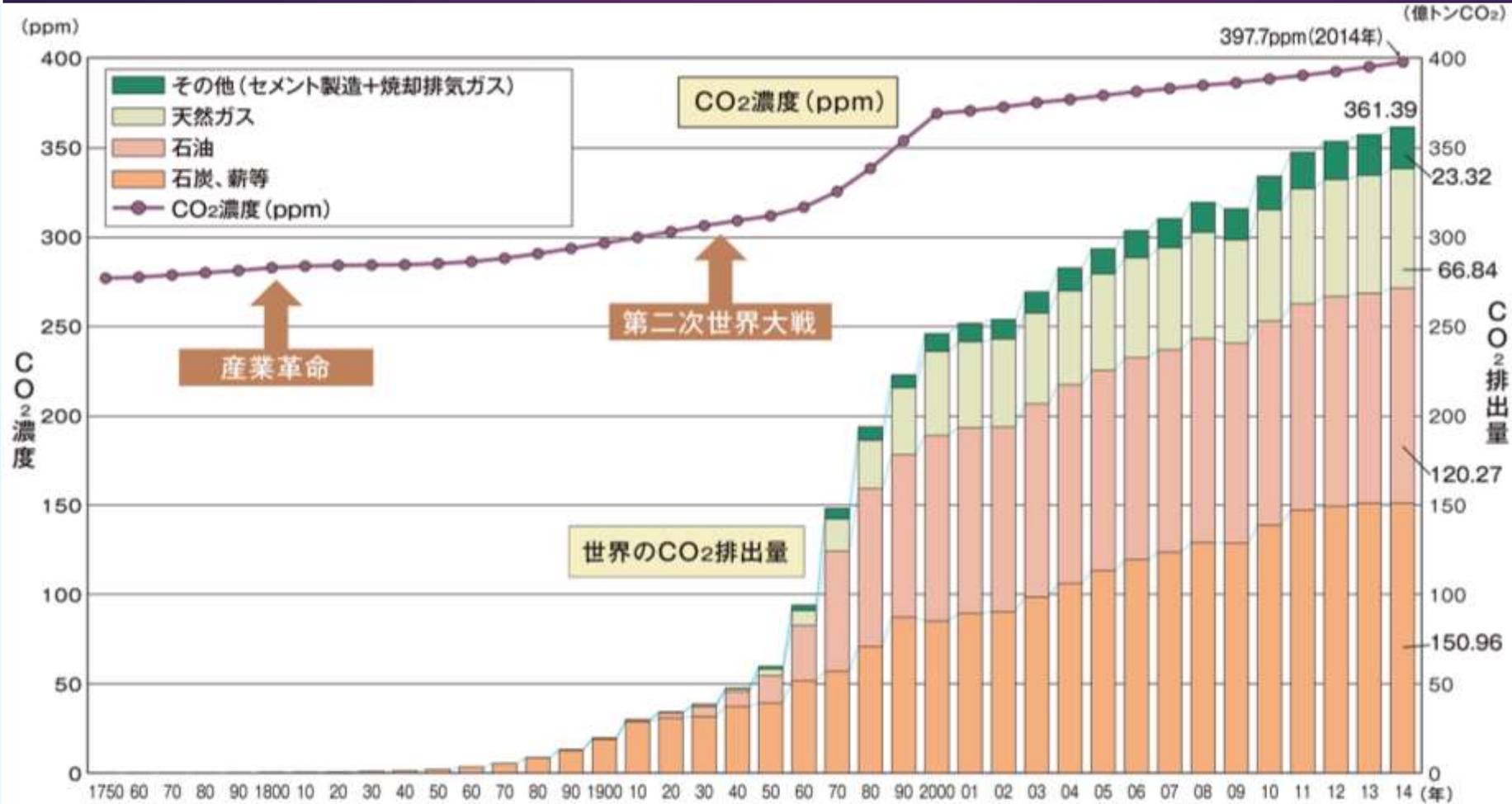
はじめに (2/5) 人類とエネルギーのかかわり

数百万年前の「火の発見」から始まり、
18世紀の動力(産業)革命以降はエネルギー消費量が急増



石油換算消費量(二〇〇万キロリットル/日)・曲線グラフ

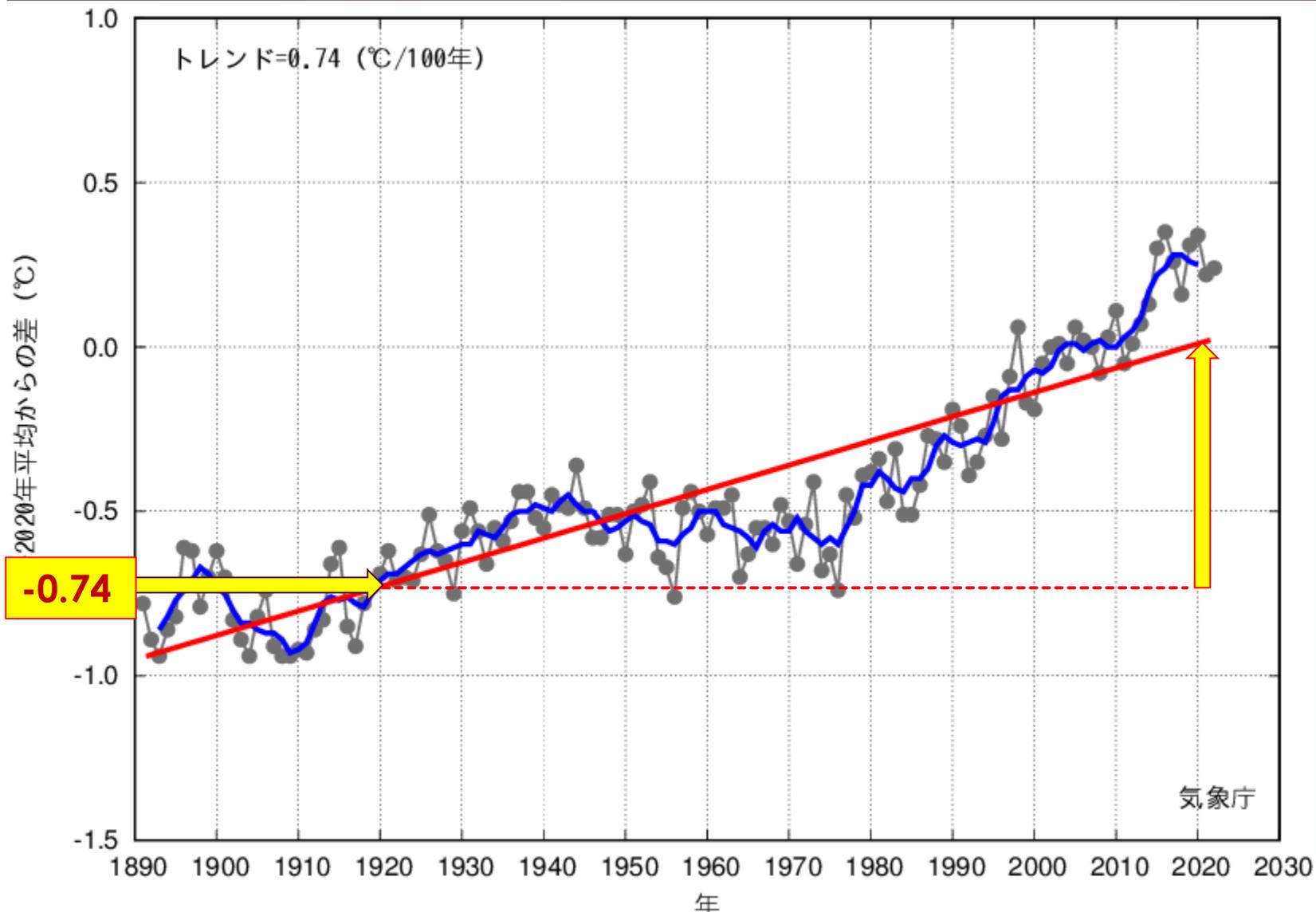
はじめに (3/5) 化石燃料からのCO₂排出量と大気中のCO₂濃度の変化



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

CO₂の排出は、産業革命の頃から始まり、第二次世界大戦以降急激に増加している。

大気中のCO₂濃度も同様なカーブをしている。



1920年～2020年の100年間に0.74°C上昇している。



各国の削減目標



国名	削減目標	今世紀中頃に向けた目標 ネットゼロ、実質ゼロなど
 中国	2030年までに GDP当たりのCO2排出を 65% 以上削減 (2005年比) <small>※CO2排出量のピークを 2030年より前にすることを旨とする</small>	2060年までに CO2排出を 実質ゼロにする
 EU	2030年までに 温室効果ガスの排出量を 55% 以上削減 (1990年比)	2050年までに 温室効果ガス排出を 実質ゼロにする
 インド	2030年までに GDP当たりのCO2排出を 45% 削減 (2005年比)	2070年までに 排出量を 実質ゼロにする
 日本	2030年度において 46% 削減 (2013年比) <small>※さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けていく</small>	2050年までに 温室効果ガス排出を 実質ゼロにする
 ロシア	2030年までに 30% 削減 (1990年比)	2060年までに 実質ゼロにする
 アメリカ	2030年までに 温室効果ガスの排出量を 50-52% 削減 (2005年比)	2050年までに 温室効果ガス排出を 実質ゼロにする

各国のNDC提出・表明等、表見のみを掲載しています。[2022年10月現在]

2022年10月更新

COP21(パリ協定)の後、
各国では次の通り、

CO2削減目標をたてています。
EU、米国、日本は、2050年までに
中国、ロシアは、2060年までに
インドは、2070年までに
カーボンニュートラルにする。

以下の資料は、「日本が2050年までに、
エネルギーの安定供給を確保しながら、
カーボンニュートラルにする」

という厳しい課題について、どうすれば
実現できるかを、皆さんと共に考えたく
題材を取り上げております。

2050年カーボンニュートラルの実現に向けて (1/4)

カーボンニュートラルとは

地球温暖化の主要要因である温暖化ガスのカーボン (CO₂やメタンガスなど) をニュートラル (**大気への排出量と吸収量の差を実質ゼロ**) にさせること

(1) カーボンの大気への排出量の削減には

- ① 我々がエネルギーを効率よく効果的に利用し、節約すること (**省エネ**)
- ② カーボン排出の最も多いのは、**化石燃料の利用** [発電、運輸、熱利用など] であるので、化石燃料の利用をできるだけ**削減し**、エネルギー源として、化石燃料以外の「**再生可能エネルギー**」、「**原子力**」を**活用**すること

(2) カーボンの吸収や大気中への排出抑制には

- ① 森林などの植物の光合成 (炭酸同化作用) がCO₂の変換に有効なので **植林の実施**により、**CO₂を森林などに吸収**すること
- ② **CO₂を大気中へ排出する前に分離・回収し、地中深くに閉じ込めて貯留** (**CCS**: Carbon dioxide Capture and Storage) すること
- ③ 人工光合成によるCO₂変換や化学品などに変換して**CO₂を有効利用** (**CCU**: Carbon dioxide Capture and Utilization) すること
[EOR (原油増進回収技術)、直接利用 (ドライアイスや溶接など)、
カーボンリサイクル (化学品、燃料、鉱物などの多様な炭素化合物
に変換して再利用)]

⇒ **植林、 CCUS (= CCS+CCU)**

エネルギー安定供給とは

エネルギーを**安定的に、必要な量を低廉な価格で確保**できるようにすること

2050年カーボンニュートラルの実現に向けて

各国において、化石燃料や自然エネルギーといった資源を持つ国や持たざる国があり、地勢的にその課題は異なる

わが国の実情 (島国、無資源国、山国など) に合わせた課題抽出が必要となる。

わが国ではエネルギー基本計画を策定しており、エネルギー利用として

「S + 3E」を掲げ、各エネルギー源をバランスよく組み合わせることを
謡っている

2050年 カーボンニュートラルの実現に向けて (4/4)

エネルギー源の利用として、「S + 3E」をバランスよく組み合わせること

**Energy Security** (自給率)

東日本大震災前(約20%)を更に上回る
30%程度を2030年度に見込む(2019年度12.1%)

Economic Efficiency (電力コスト)

2013年度の9.7兆円を下回る
2030年度8.6~8.8兆円を見込む

Environment (温室効果ガス排出量)

2050年カーボンニュートラルと統合的で野心的な削減
目標である2030年度に2013年度比▲46%*を見込む

*非エネルギー起源CO₂等を含む温室効果ガス全体での削減目標

エネルギー基本計画は、**エネルギー政策の基本的な方向性を示す**ためのもの
(2003年に第1次エネルギー基本計画が策定され、3,4年ごとに見直されている)

2021年10月22日 閣議決定された**第6次エネルギー基本計画**では

1. 2020年10月に表明された**「2050年カーボンニュートラル」**や2021年4月に表明された**「新たな温室効果ガス排出削減目標」**に対して、**実現に向けたエネルギー政策の道筋を示すこと**
2. 気候変動対策を進めながら、**日本のエネルギー需給構造が抱える課題の克服に向け、安全性の確保を大前提に安定供給の確保やエネルギーコストの低減に向けた取組を示すこと**

エネルギー源をバランスよく組み合わせる上での課題 (1/3)

エネルギー源としては、「化石燃料」、「再生可能エネルギー」、「原子力」があるが、それらは利用する上において、メリットとデメリットがある。

エネルギー源ごとの強みを最大限に発揮し、弱みを補完するべく多層的なエネルギー供給構造を実現することが不可欠

(1) 化石燃料の弱み (課題)

- ① 化石燃料 (石油、天然ガス) は、中東などの**政情の不安定国より輸入**しており、長期的な安全保障に不安 [輸入コストの暴騰など] がある。
- ② 気候、天候に左右されないため、発電出力は安定供給をできるが、**CO2が発生**する
- ③ カーボンニュートラルを目指すと、**CO2の排出抑制のために化石燃料の利用をできるだけ削減**する必要がある

[第28回国連気候変動枠組条約締約国会議 COP28 (2023年12月) での岸田首相の発言 : **対策のない石炭火力発電所の新規建設せず**]

(2) CO2を出さない再生可能エネルギーの弱み (課題)

- ① 「太陽光発電」や「風力発電」は、自然任せのために、気候、天候に左右され、発電出力が変動して不安定である。
- ② 「水力発電」は、比較的安定しているが、渇水時には不安定、また、増設するには、既に建設場所が飽和。上流のダムと浄水場の高低差などを利用した「小水力発電」が少し造れる程度である。
- ③ 「地熱発電」は、国立公園や温泉地付近に設置することになり、泉源の取り合いが発生、景観を損なう恐れ、更に、泉源開発には高コストの懸念がある。
- ④ 「バイオマス発電」は、発熱量が小さいこと、薄く広く顕在しており、収集や運搬コストが高つく。バイオエタノールなど輸入に頼っており、コスト高である。食料の供給や既存用途（例：化粧品原料や燃料など）と競合する可能性

エネルギー源をバランスよく組み合わせる上での課題 (3/3)

(3) CO2を出さない原子力の弱み (課題)

- ① 過酷事故が発生するとその地域より避難しなければならなくなり、水素爆発などが発生すると帰還するのにも時間がかかる。
- ② 放射性廃棄物が発生し、使用済み燃料の処理、廃炉が大変である。
- ③ テロの的になり易い
- ④ 新規の原子力発電実用化には、十数年の期間が必要

(4) 再生可能エネルギーの安定電源化に役立つバッテリーの弱み (課題)

- ① 大容量蓄電は、高コストである。
- ② レアメタルの輸入品が含まれており、長期安全保障、高コスト化への不安がぬぐえない。

カーボンニュートラルを目指す背景

地球規模の課題である気候変動問題を解決させること

それに向けて、2015年のCOP21でパリ協定が採択される

パリ協定では **世界共通の長期目標**として、

- 世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて **+2℃より十分低く保ち、+1.5℃に抑える努力をすること**
(2℃目標 --- この数値を超えると地球が壊滅的になると言われている)
- 今世紀後半に温室効果ガスの人為的な発生源による **排出量**と吸収源による **除去量**との間の **均衡を達成すること** 等が合意

この実現に向けて、世界が取組を進めており、**多くの国と地域が「2050年カーボンニュートラル」という目標を掲げる**ことになった。

各エネルギー源の弱み (デメリット) --- 課題

	弱み (デメリット) --- 課題
化石燃料 (石油、石炭、 天然ガス)	<ul style="list-style-type: none"> ▲ 政情の不安定国より輸入 ▲ CO₂が発生 ▲ CO₂排出抑制のため「化石燃料の利用削減」が世界の要求
再生可能エネルギー (太陽光、風力、水力、 地熱、バイオマス)	<ul style="list-style-type: none"> ▲ 気候・天候に左右され、発電出力が不安定 ▲ 安定電源に向けた総合コストでは、発電コストが割高 ▲ 景観を害する事例も発生
原子力	<ul style="list-style-type: none"> ▲ 水素爆発の可能性、過酷事故が発生すると避難の必要 ▲ 放射性廃棄物が発生 ▲ テロの的になり易い ▲ 新規の原発実用化には十数年の期間が必要

化石燃料

- CO₂の排出の大きい「石炭」をできるだけ削減し、「他のエネルギー源」天然ガス、水素・アンモニアなどに置き換える
- 発電設備の高効率化---超々臨界圧ボイラ（USC）、石炭ガス化複合発電（IGCC）
- 回収したCO₂のCCUS（Carbon Capture, Usage and Storage）
- 安定供給を図るために、政情不安国からの「石油、天然ガス」の輸入に対して輸入国の多様化、「他のエネルギー源」に置き換える

再生可能エネルギー

- 気候・天候に左右されないようにバックアップ電源と組み合わせる
瞬時に多量の電源を確保するためには、CO₂の排出はあるが応答の良い火力発電も利用
- コスト削減に向けての研究・開発を進める
例 フレキシブルソーラパネル [ペロブスカイト太陽電池] など

各エネルギー源の弱みへの対策 (2/2)

原子力

- 新規制基準による厳しい規制の遵守による安全性の担保

- 放射性廃棄物への対策

安全に処理・処分できる方法については検討済、地層処分場の科学的特性マップ完了

原子力発電所などで発生する低レベル放射性廃棄物の

ピット処分場は青森県六ヶ所村で操業中

同上トレンチ処分場、中深度処分場、および研究施設等廃棄物処分場は未整備

原子力発電環境整備機構 (NUMO) による

高レベル放射性廃棄物の最終処分場確保に向けた活動

- 廃炉に向けたロボット開発

- 新規制基準によるテロへの対策

- 新規制基準に合格した既設原子力発電所の再稼働

- 新規の原子力発電実用化へ、国からの支援による研究開発と広報

- 水素製造用高温ガス炉の実証炉開発

- CO₂の排出が多い熱利用へ原子力の適用の検討

補 足 資 料

① 各エネルギー源の強み -----	22
② 再生可能エネルギーの強みと弱み（課題） ----- 変動型 -----	23
③ 再生可能エネルギーの強みと弱み（課題） ----- 安定型 -----	24
④ 2030年の再生可能エネルギーの導入目標 -----	25
⑤ 原子力発電所の新規制基準 -----	26
⑥ 日本の2030年度のエネルギー供給と電源構成（2019年度との比較） -----	27
⑦ 2050年カーボンニュートラルへのイメージ -----	28
⑧ カーボンニュートラルを表明した国・地域（1/2）（2/2） -----	29
⑨ 主要国の一次エネルギー構成（2022年） -----	31
⑩ 主要国の一次エネルギー自給率比較（2020年） -----	32
⑪ 主要国のエネルギー輸入依存度（2020年） -----	33
⑫ 主要国と比較した日本が置かれている状況 -----	34
⑬ 2050年に向けたエネルギー技術まとめ -----	35
⑭ 2070年までの世界のCO2排出削減貢献量 -----	36
⑮ ウクライナ問題によるエネルギーの高騰（1/2）（2/2） -----	37
⑯ 地層処分場の科学的特性マップ -----	39

①

各エネルギー源の強み

	強み (メリット)
化石燃料 (石油、石炭、 天然ガス)	<ul style="list-style-type: none">・ 大量で安定的な電力供給ができる・ 需要に合わせて発電量を調整できる・ 需要地に近い場所での建設も可能
再生可能エネルギー (太陽光、風力、水力、 地熱、バイオマス)	<ul style="list-style-type: none">・ 資源は枯渇することなく、国内で確保できる・ CO2を排出しない・ 小規模の設置がしやすい
原子力	<ul style="list-style-type: none">・ 大量で安定的な電力供給ができる・ 燃料は準国産で安定確保でき、又、リサイクルも計画・ CO2を排出しない

② 再生可能エネルギーの強みと弱み (課題) ----- 変動型

強み

弱み --- 課題

太陽光発電

- ・ 燃料費がかからない
- ・ 相対的にメンテナンスが簡易
- ・ 小規模電源として使用可能
- ・ 非常用電源としても利用可能

- ▲ 天候により発電出力が左右される
- ▲ 一定地域に集中すると、送配電系統の電圧上昇につながり、対策に費用が必要 (出力制御対応機器の設置)

風力発電

- ・ 燃料費がかからない
- ・ 大規模に開発した場合、コストが火力、水力並みに抑えられる
- ・ 風さえあれば、昼夜を問わず発電できる

- ▲ 気候により発電出力が左右される
- ▲ 広い土地の確保が必要
- ▲ 偏った風況：風況の良い適地が北海道と東北などに集中しているため、広域での連携についても検討が必要

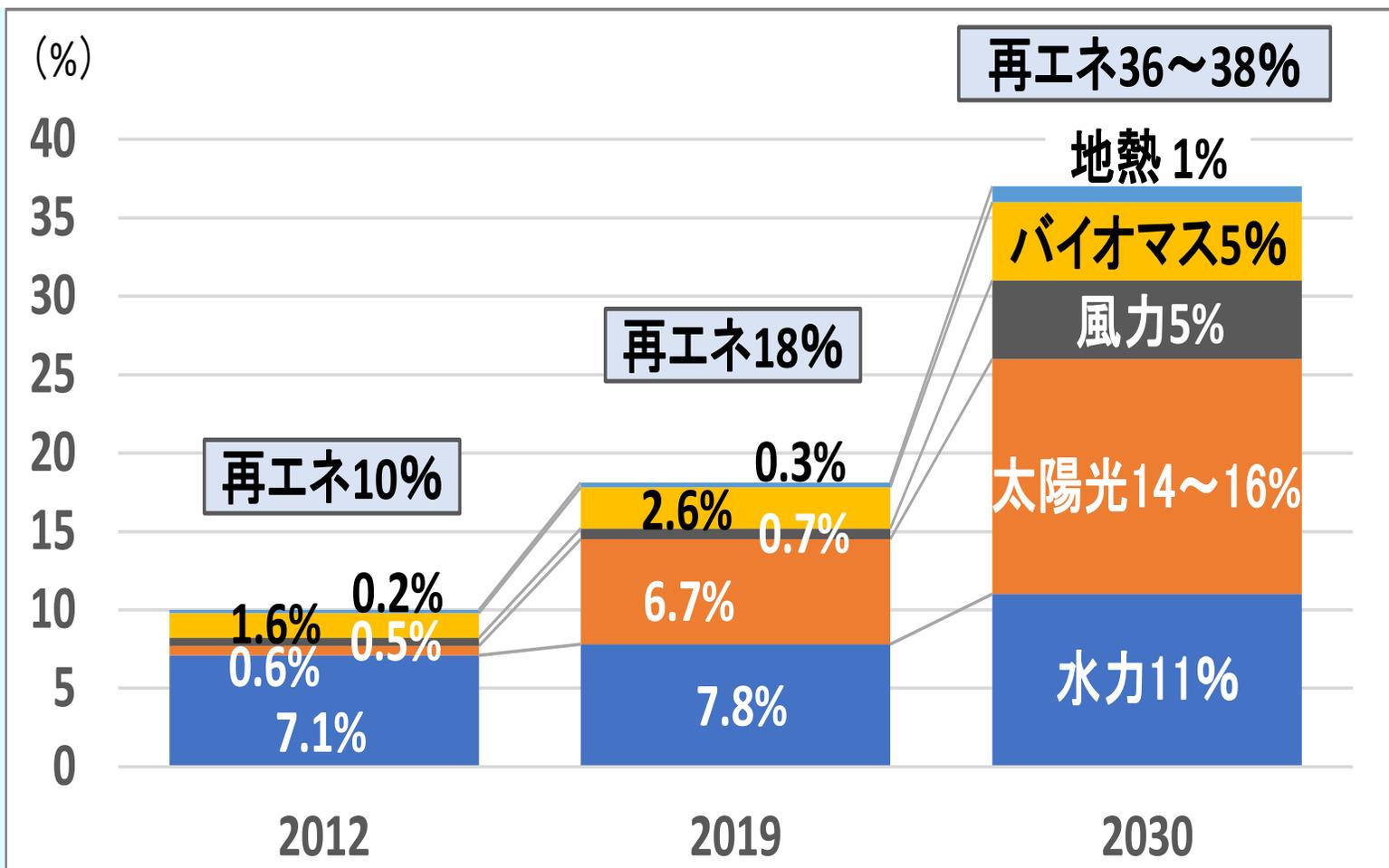
③ 再生可能エネルギーの強みと弱み (課題) ----- 安定型

	強み	弱み --- 課題
水力発電	<ul style="list-style-type: none"> 安定して長期間の運転が可能、信頼性が高い 中小規模タイプは分散型電源としてのポテンシャルが高く、小水力発電には未開発地点が残っている 	<ul style="list-style-type: none"> ▲中小規模タイプは相対的にコストが高い ▲事前の調査に時間を要し、水利権や関係者との調整も必要
地熱発電	<ul style="list-style-type: none"> 安定して長期間の運転が可能 (昼夜を問わず 24 時間稼働) 火山国であるので、候補地がある 	<ul style="list-style-type: none"> ▲開発期間が10年程度と長く、開発費用も高額 ▲温泉、公園施設など開発地域が重なるため地元との調整が必要
バイオマス発電	<ul style="list-style-type: none"> 資源の有効活用で廃棄物の削減に貢献 天候に左右されにくい 	<ul style="list-style-type: none"> ▲原料の安定供給の確保や、原料の収集運搬など管理にコストがかかる

④

2030年の再生可能エネルギーの導入目標

2030年に再生可能エネルギーの導入を36～38%へ



⑤

原子力発電所の新規制基準

福島事故相当
の地震、津波
などの自然現象
に対して、

十分に耐える
ことのできる
基準に改正さ
れた

〈従来の規制基準〉

シビアアクシデントを防止するための
基準（いわゆる設計基準）
（単一の機器の故障を想定しても
炉心損傷に至らないことを確認）

自然現象に対する考慮
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能
耐震・耐津波性能

〈新規制基準〉

意図的な航空機衝突への対応	新設 (テロ対策) (シビアアクシデント対策)
放射性物質の拡散抑制対策	
格納容器破損防止対策	
炉心損傷防止対策 (複数の機器の故障を想定)	
内部溢水に対する考慮(新設)	強化又は新設
自然現象に対する考慮 (火山・竜巻・森林火災を新設)	
火災に対する考慮 (難燃性ケーブルの使用等)	
電源の信頼性(独立の2回線確保等)	
その他の設備の性能 (通信設備の強化等)	強化
耐震・耐津波性能(防潮堤の設置等)	

設計基準の強化
外的事象に対する
考慮の拡大

⑥ 日本の2030年度のエネルギー供給と電源構成 (2019年度との比較)

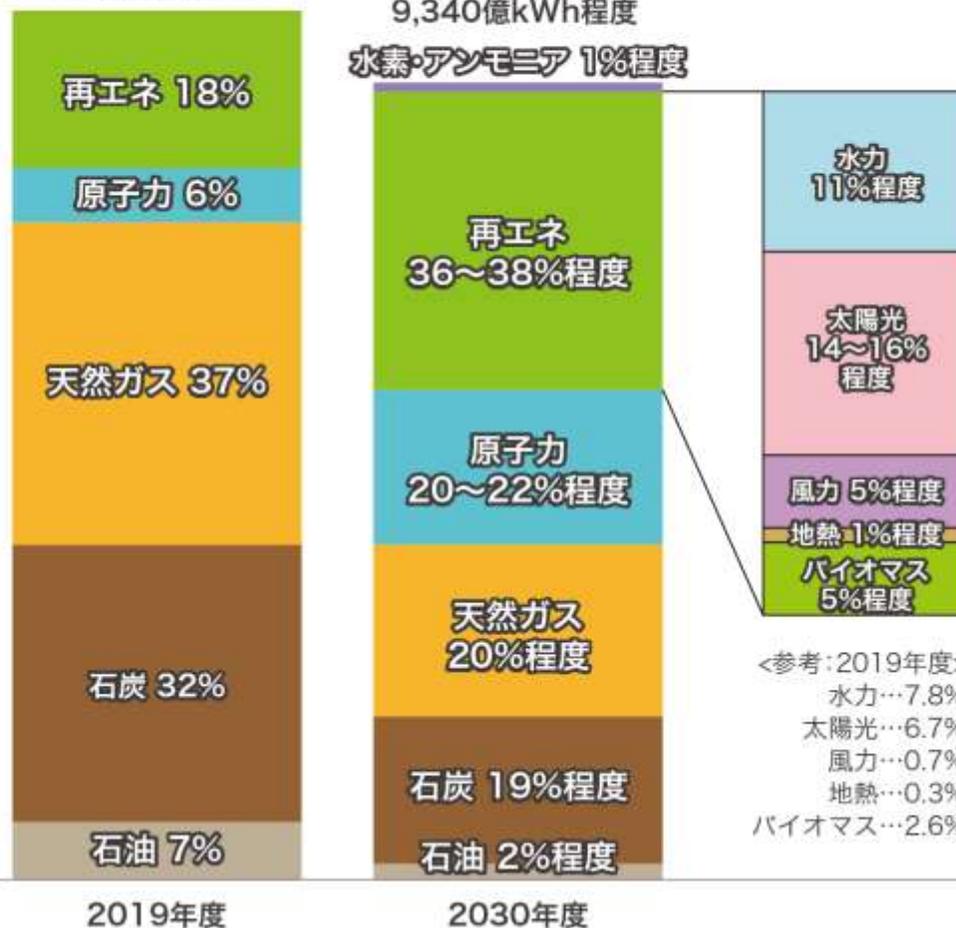
一次エネルギー供給



電源構成

(総発電電力量)
1兆240億kWh

(総発電電力量)
9,340億kWh程度
水素・アンモニア 1%程度

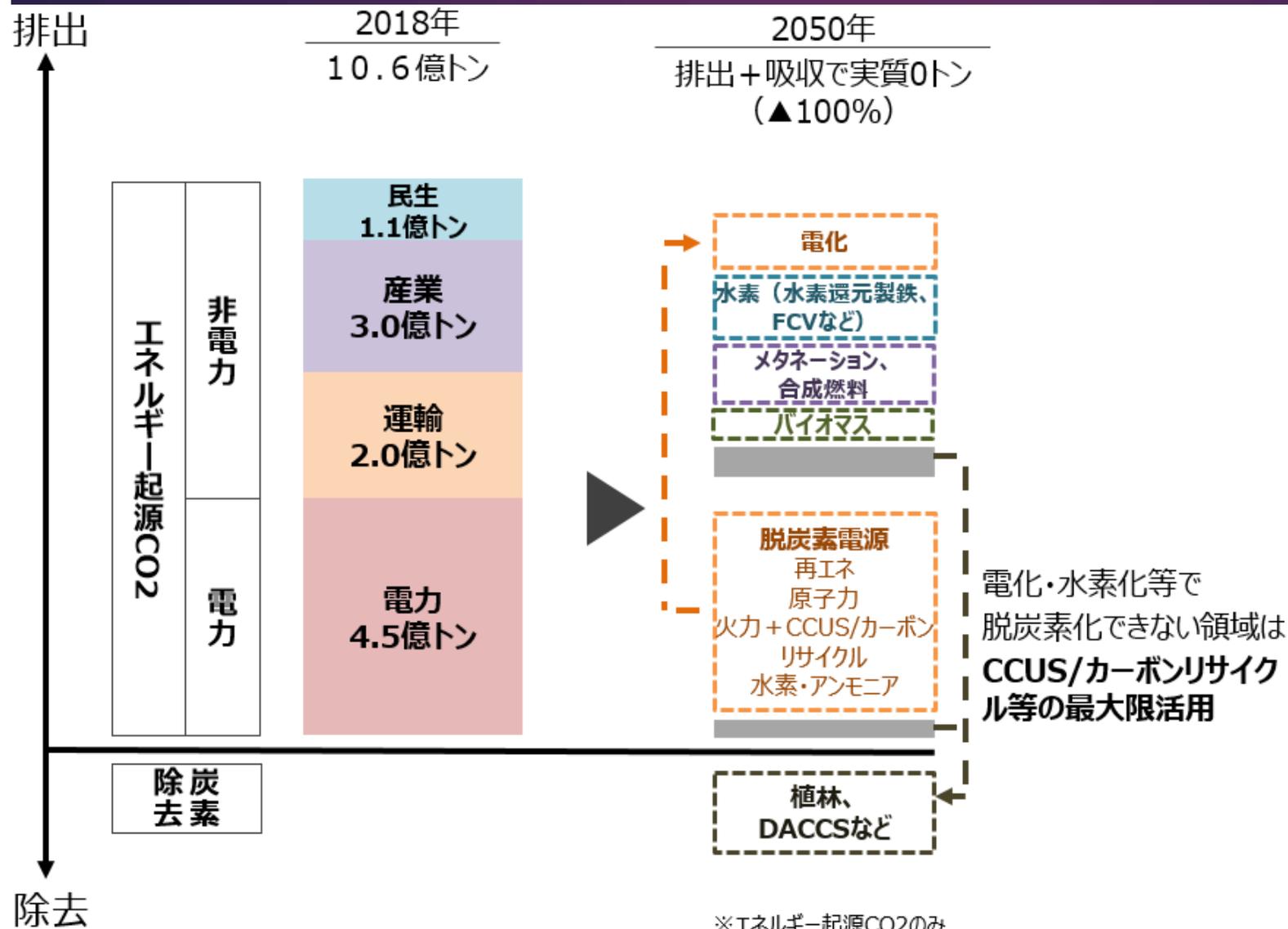


電源構成

- 再エネ 36~38%
- 原子力 20~22%
- 天然ガス 20%
- 石炭 19%
- 石油 2%

⑦

2050年カーボンニュートラルへのイメージ



脱炭素電源による電化により、CO₂の削減を行い、困難な領域については、カーボンの貯留やリサイクルなどの有効利用、即ちCCUSにより、CO₂を削減する

⑧-1 カーボンニュートラルを表明した国・地域 (1/2)

2019年に英国が初めて「2050年カーボンニュートラル」を法制化、その後フランス、ドイツが続き、翌年2020年には中国、EU全体、そして日本も「2050年カーボンニュートラル」を宣言した。さらに同様の目標を公約とするバイデン米大統領が2021年1月に誕生し、パリ協定に復帰した。

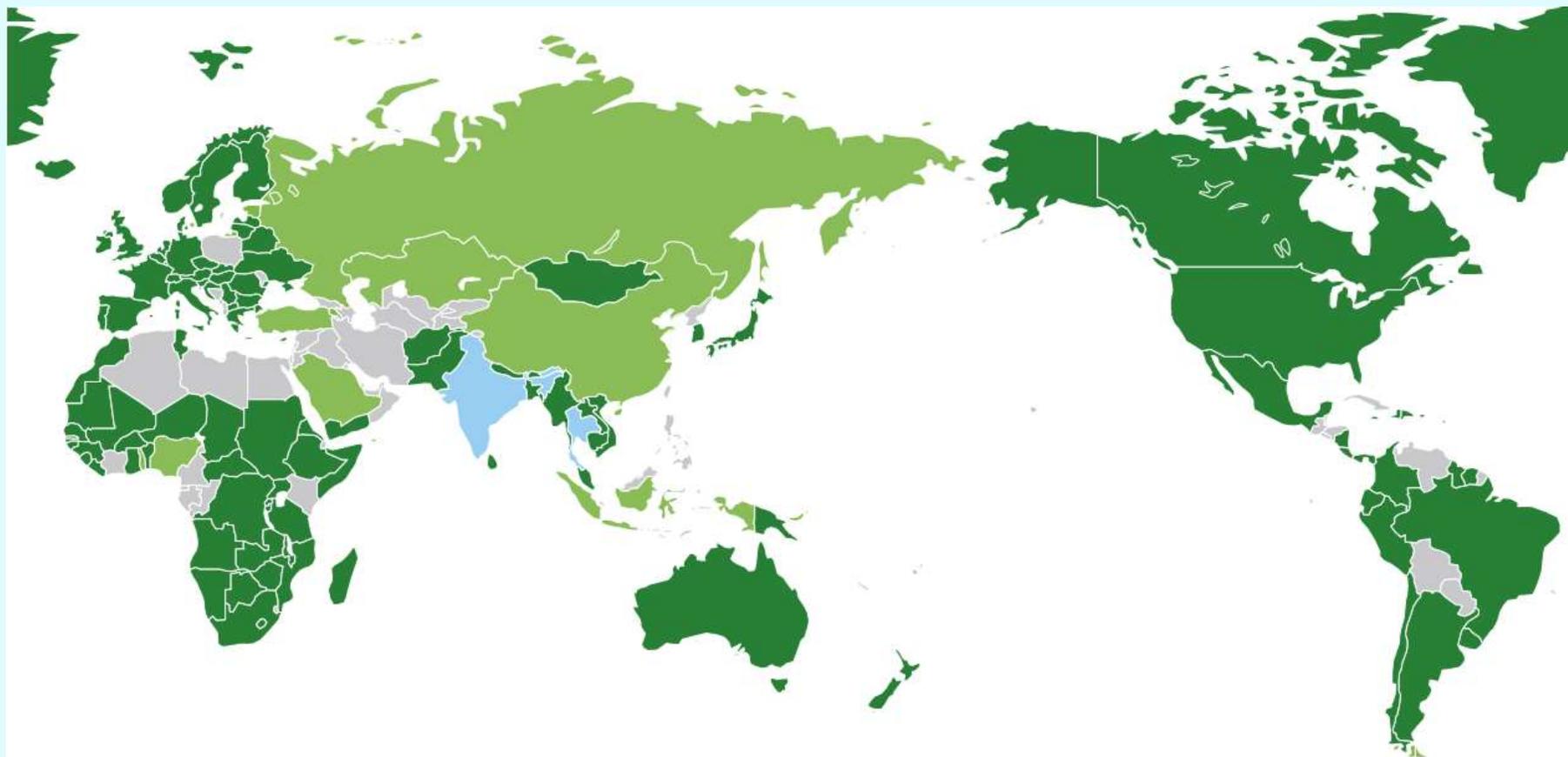
○ 2050年までのカーボンニュートラル (CN) に向けて取り組む国・地域 : 144

○ これらの国々 (EU、日本、米国) における世界全体のCO₂排出量に占める割合は42.2% (2018年実績)

加えて、中国 (28.4%)、ロシア (4.7%)、インドネシア (1.6%)、サウジアラビア (1.5%) 等は2060年まで、インド (6.9%) 等は2070年までのCNを表明するなど、カーボンニュートラル目標を設定する動きが拡大。(これらの国を合わせた世界全体のCO₂排出量に占める割合 : 88.2%)

⑧-2

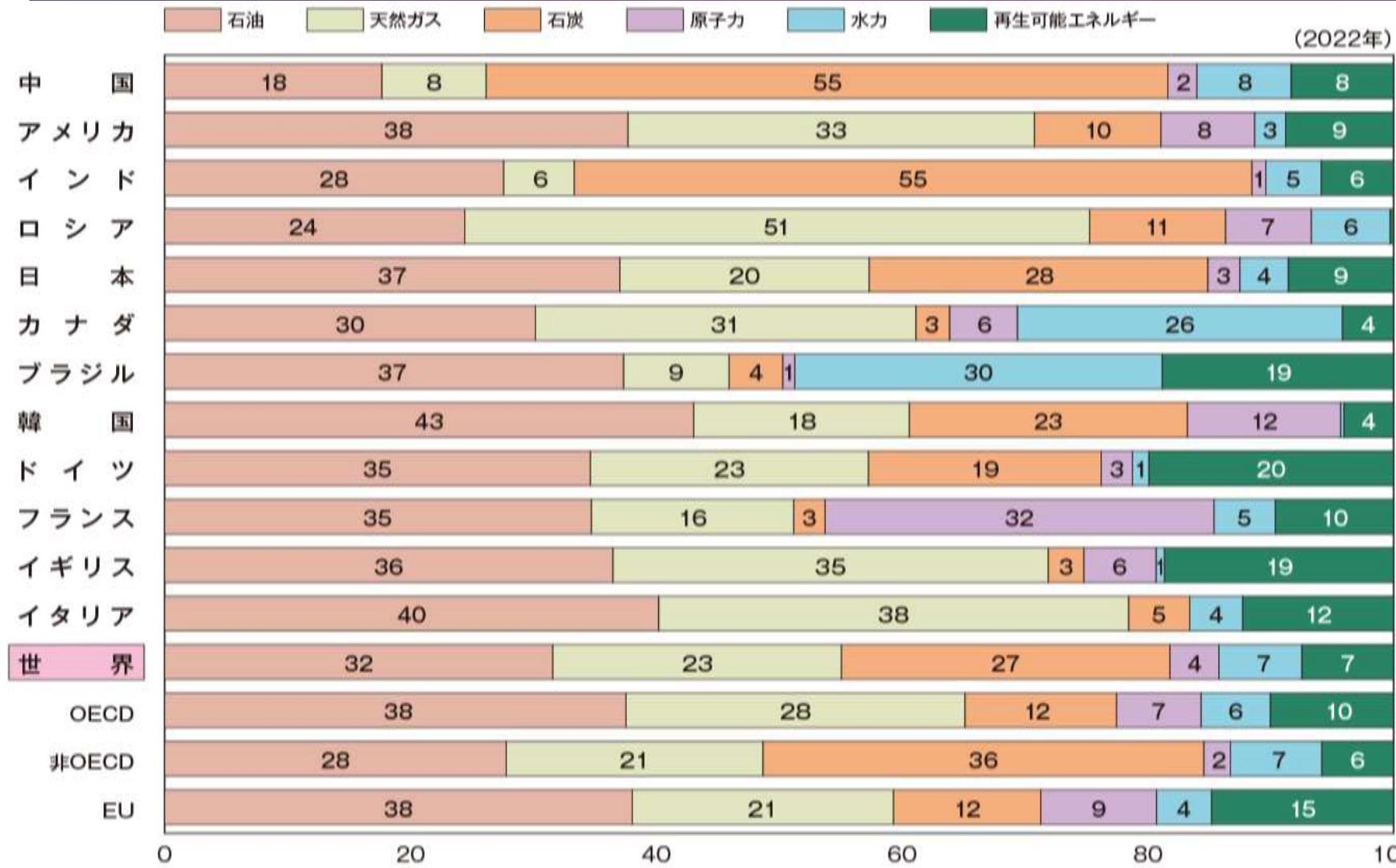
カーボンニュートラルを表明した国・地域 (2/2)



- 2050年までのカーボンニュートラル表明国 (日本を含め144か国)
- 2060年までのカーボンニュートラル表明国
- 2070年までのカーボンニュートラル表明国

⑨

主要国の一次エネルギー構成 (2022年)



一次エネルギー (EJ)

159.4
95.9
36.4
28.9
17.8
14.1
13.4
12.7
12.3
8.4
7.3
6.1
604.0
234.4
369.6
58.2

日本
化石燃料 **85%**

米国
化石燃料 **81%**

中国
化石燃料 **82%**

仏国
化石燃料 **54%**

独国
化石燃料 **77%**

世界
化石燃料 **82%**

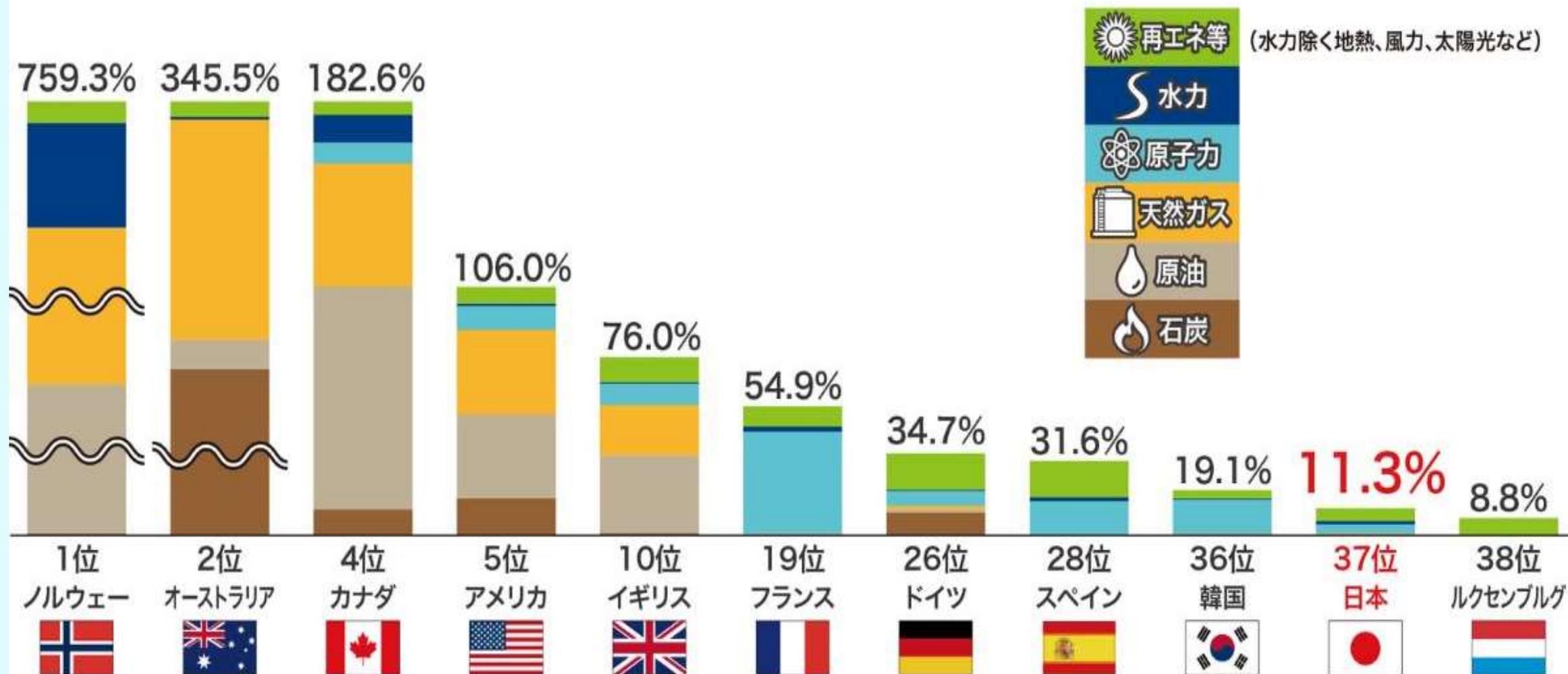
主要国でもフランス以外では、化石燃料への依存が大きい

その他の燃料
-----原子力、水力、再生エネ

(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
1EJ(=10¹⁸J)は原油約2,580万kℓの熱量に相当 (EJ:エクサジュール)

⑩

主要国の一次エネルギー自給率比較 (2020年)



⑪

主要国のエネルギー輸入依存度 (2020年)



(注) 下向きのグラフは輸出していることを表す

日本	89 %
韓国	81 %
イタリア	74 %
ドイツ	65 %
フランス	45 %
イギリス	24 %
インド	35 %
米国	- 6 %
中国	20 %
ブラジル	-12 %
カナダ	-83 %
ロシア	-89 %

⑫

主要国と比較した日本が置かれている状況

	日	仏	中	印	独	英	米
自給率(2015年) 【主な国産資源】	7% 〔無し〕	56% 〔原子力〕	84% 〔石炭〕	65% 〔石炭〕	39% 〔石炭〕	66% 〔石油 天然ガス〕	92% 〔天然ガス 石油・石炭〕
再生エ設備利用率 (太陽光)	15%	14%	16%	18%	11%	11%	19%
再生エ設備利用率 (風力)	25%	29%	25%	23%	30%	31%	37%
国際パイプライン	×	○	○	×	○	○	○
国際送電線	×	○	○	○	○	○	○

日本は
資源に乏しく、
国際的なエネルギー
連携も難しい

2018-04-13
出典
資源エネルギー庁

主要要素		低炭素を軸とした現状	脱炭素を軸とした将来
運輸 (2.1億トン)	車体・システム	内燃機関・手動運転 金属車体	電動化・自動運転 マルチマテリアル
	燃料	化石燃料	電気・水素 バイオ燃料
産業 (3.1億トン)	プロセス	スマート化の進展	CCUS・水素還元 更なるスマート化
	製品	化石エネルギー原料	非化石エネルギー原料
民生 (1.2億トン)	熱源	石油・ガス・電気	電気・水素等
	機器	高効率機器	機器のIoT化 M2M制御
電力 (5.1億トン)	火力	石油・石炭・天然ガス	CCUS・水素発電等
	原子力	第3世代+原子炉	次世代原子炉
	再エネ	導入制約 (導入コスト、調整電源コスト・系統等)	蓄電×系統革新

イノベーション

水素 (サプライチェーン・メタネーション)

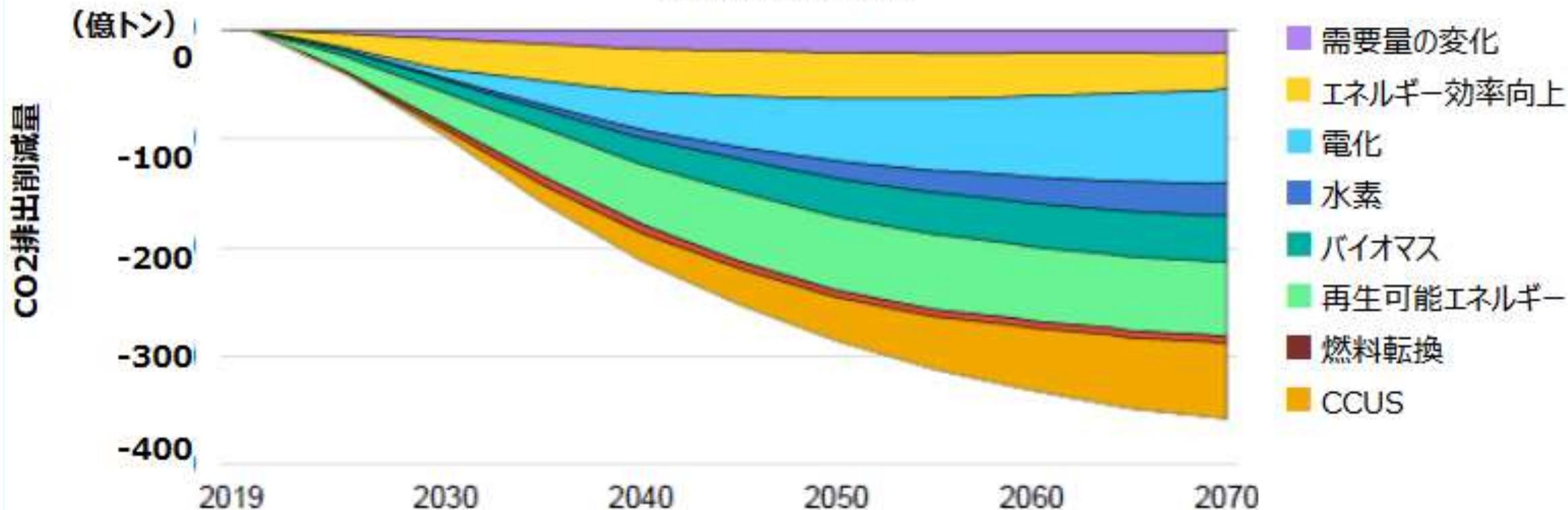
メタネーション:
水素とCO2から
都市ガス原料の
主成分であるメ
タンを合成する
こと

メタネーションと
※ () 内は2015年度の排出量

⑭

2070年までの世界のCO₂排出削減貢献量世界のエネルギー起源CO₂排出削減貢献量

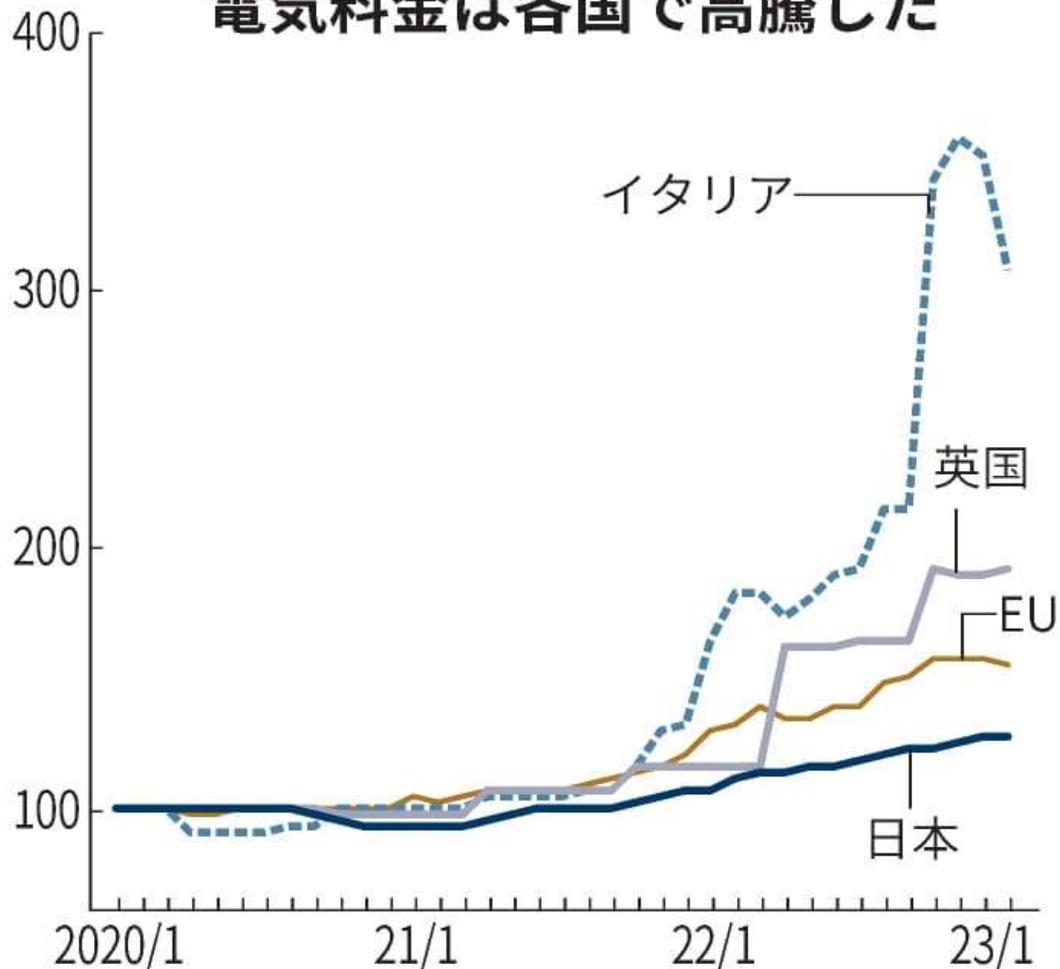
※パリ協定に基づいて各国が現在表明している削減目標に基づく排出量から、2100年までに世界の気温上昇を2度以内とする場合（2070年にカーボンニュートラル）に必要な追加の削減量



⑮-1

ウクライナ問題によるエネルギーの高騰 (1/2)

電気料金は各国で高騰した



(注) 2020年1月を100とした消費者物価指数

ロシアのウクライナ侵攻が世界の電気代高騰に拍車

ウクライナ危機を受けてエネルギーの需給が逼迫した。ロシアへの経済制裁で、欧州ではパイプラインを通じたロシア産の天然ガスの供給が細り、代替する他国の液化天然ガス（LNG）の価格が上昇した。

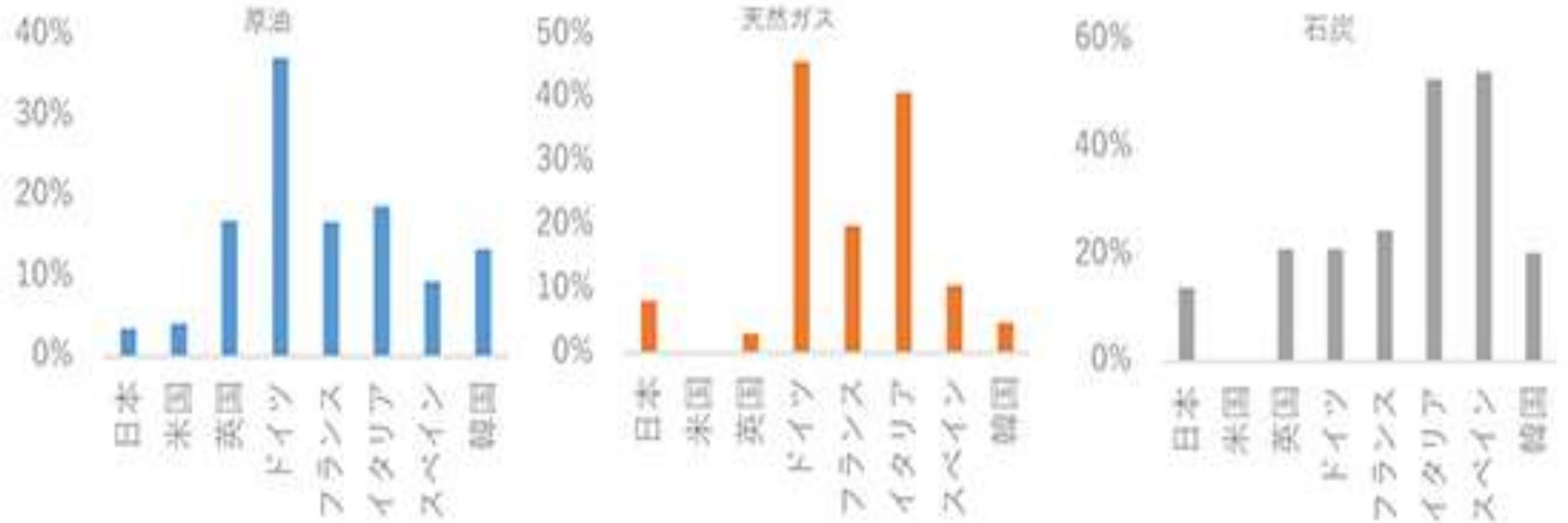
日本が欧州より低水準だった要因について、価格を維持しやすい長期契約を中心にLNGを調達していた。

	日独 家庭電気料金の比較		
	円/kWh		
	2021年	2022年	2023年
ドイツ	42	53	67
日本	28	34	35

(出典) 資源エネルギー庁

⑮-2

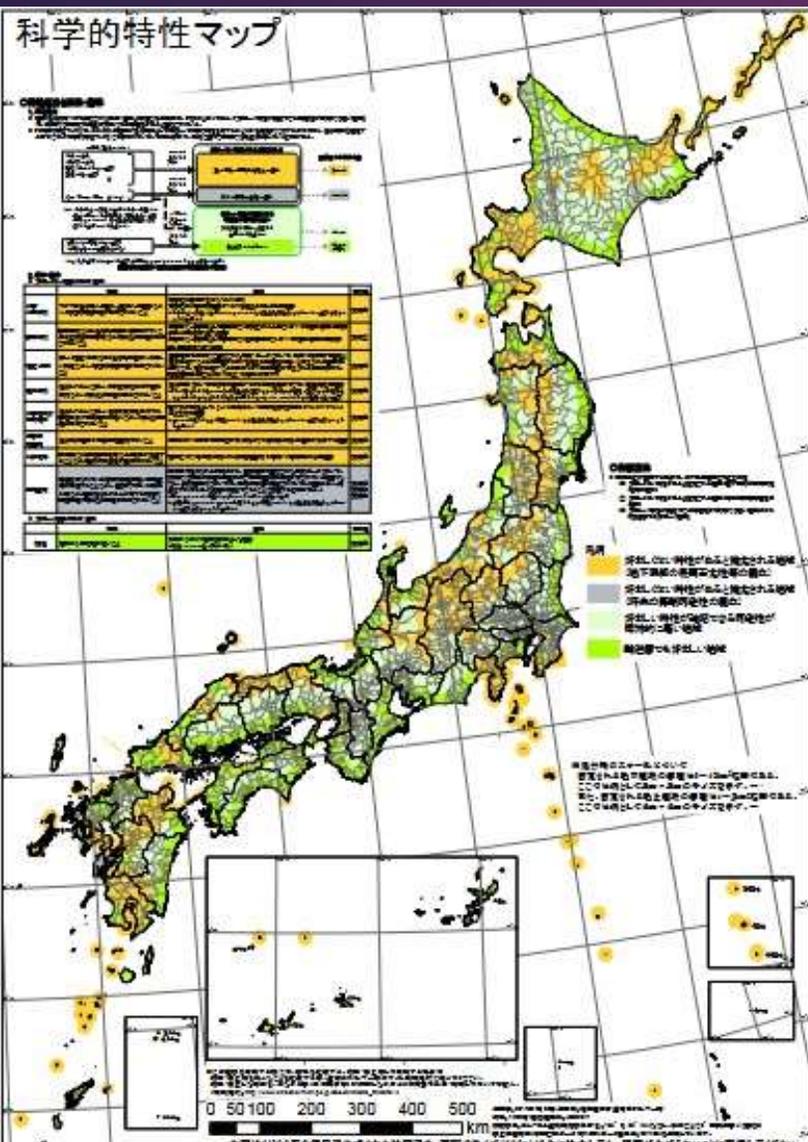
ウクライナ問題によるエネルギーの高騰 (2/2)



主要国におけるロシア産・原油・天然ガス・石炭の依存率 (2020年)

16

地層処分場の科学的特性マップ



好ましくない範囲の要件・基準

	要件	基準
火山・火成活動	火山の周囲 (マグマが処分場を貫くことを防止)	火山の中心から半径15km以内等
断層活動	活断層の影響が大きいところ (断層のずれによる処分場の破壊等を防止)	主な活断層 (断層長10km以上) の両側一定距離 (断層長×0.01) 以内
隆起・侵食	隆起と海面の低下により将来大きな侵食量が想定されるところ (処分場が地表に接近することを防止)	10万年間に300mを超える隆起の可能性のある、過去の隆起量が大きな沿岸部
地熱活動	地熱の大きいところ (人工バリアの機能低下を防止)	15°C/100mより大きな地温勾配
火山性熱水・深部流体	高い酸性の地下水等があるところ (人工バリアの機能低下を防止)	pH4.8未満等
軟弱な地盤	処分場の地層が軟弱なところ (建設・操業時の地下施設の崩落事故を防止)	約78万年前以降の地層が300m以深に分布
火砕流等の影響	火砕流などが及びうるところ (建設・操業時の地上施設の破壊を防止)	約1万年前以降の火砕流等が分布
鉱物資源	鉱物資源が分布するところ (資源の採掘に伴う人間侵入を防止)	石炭・石油・天然ガス・金属鉱物が賦存

好ましい範囲の要件・基準

	要件	基準
輸送	海岸からの陸上輸送が容易な場所	海岸からの距離が20km以内目安

おわりに

2050年

私たちシニアは、亡くなっておられません。

君たちやその子供たちの時代です。

そのころに君たちが温暖化を抑制し、

住みよい環境になっていることを願っています。

私たちの世代が、残したレガシーがもしもれませんが

よき環境づくりのために

今から、君たちも真剣に考えて頂ければと願っています。

ご清聴ありがとうございました

人工光合成 (1/2)

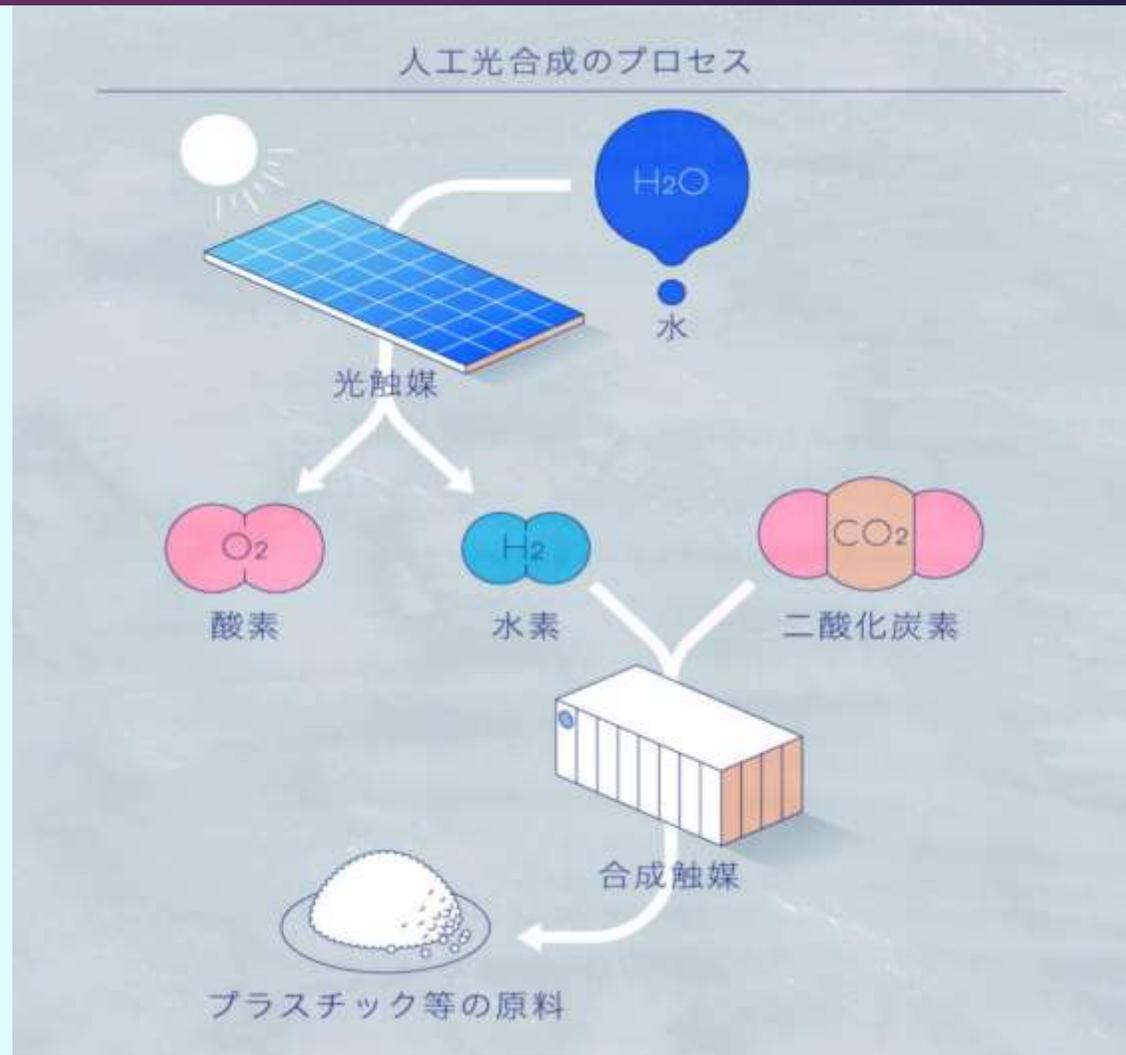
人工光合成の3つのプロセス

- (1) 太陽光と光触媒を使って、水を水素と酸素に分解
- (2) 分離膜を使って、発生した水素と酸素の混合気体から水素を分離
- (3) 触媒技術を使って、水素と二酸化炭素を反応させてオレフィンを製造

オレフィンとは、**エチレン・プロピレン・ブタジエン**などの高分子化合物を総称する「**不飽和炭化水素**」のことで、炭素と水素の化合物なので、熱却しても塩化水素ガスなどの有害なガスなどが発症しません。代表的なものはPP（ポリプロピレン）、PE（ポリエチレン）などです。

人工光合成 (2/2)

カーボンニュートラル実現に向け、
石油資源からの原料転換をはかり、
二酸化炭素を用いたプラスチック
製造技術開発を推進



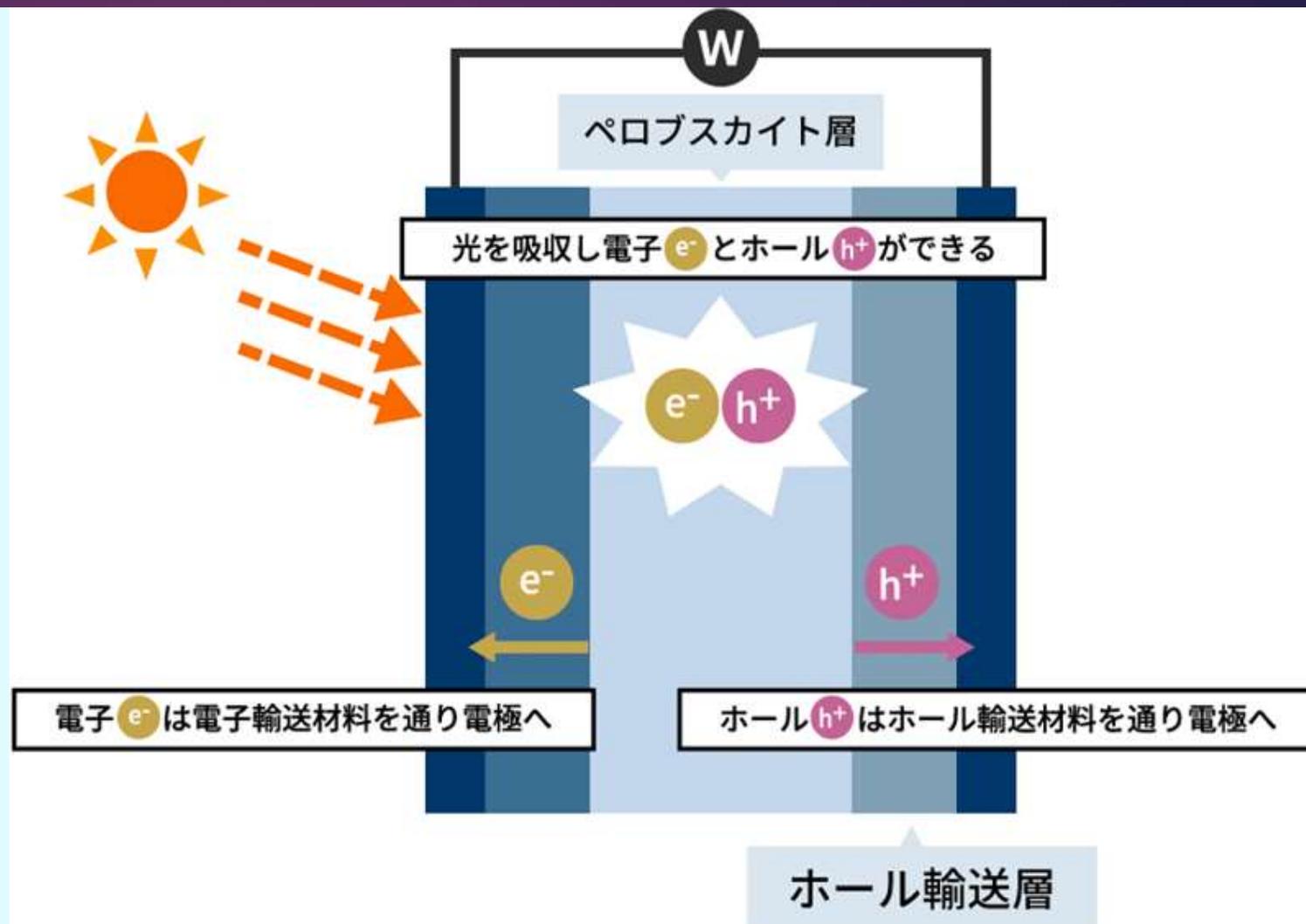
ペロブスカイト太陽電池

ペロブスカイトと呼ばれる
結晶構造を持つ化合物を用いる
「ペロブスカイト太陽電池」

光のエネルギーが当たると、
電子（ $-$ ）と正孔（ $+$ ）*1が
発生し、それらが移動すること
で電気を生み出す

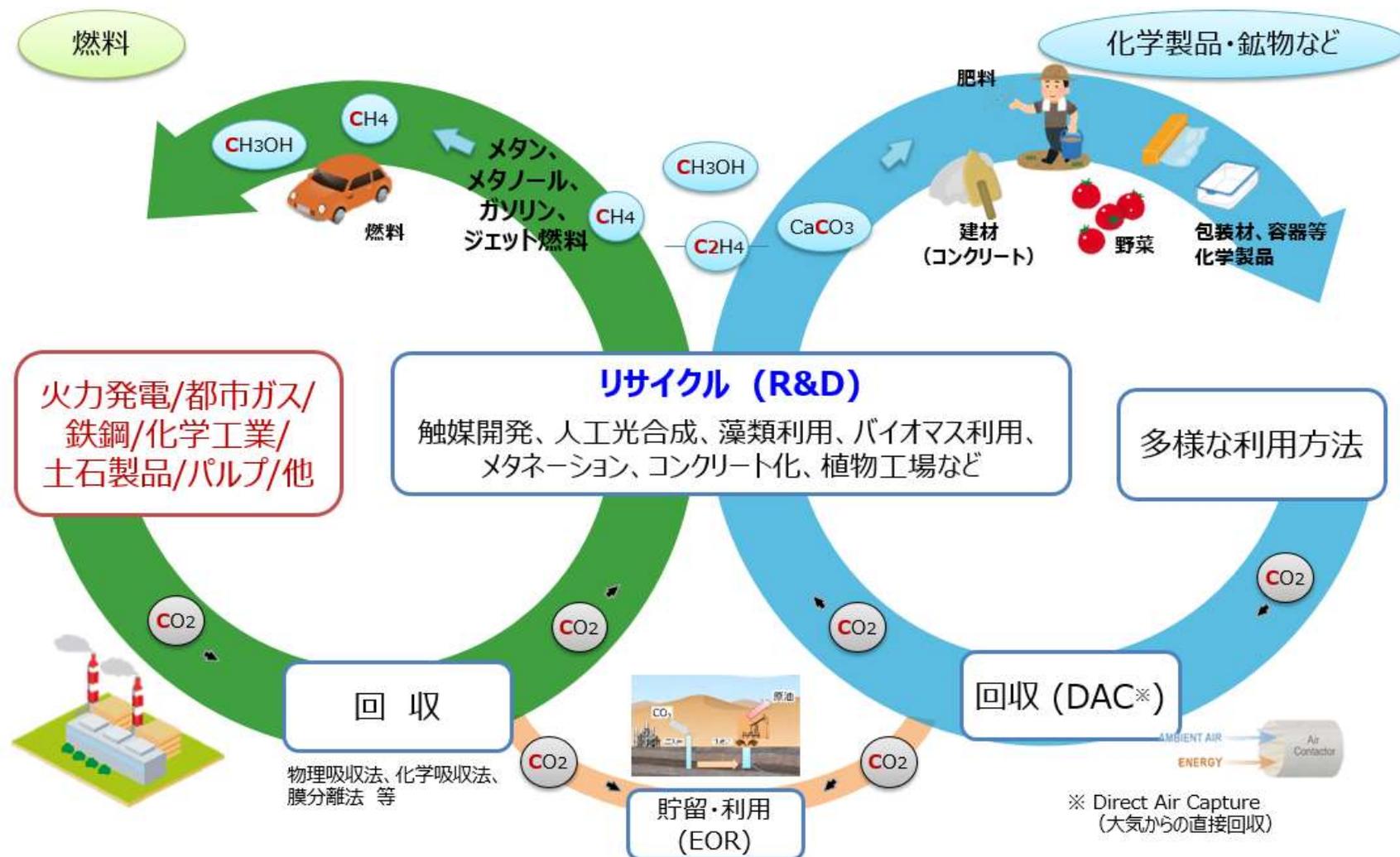
特徴：塗布や印刷技術で量産でき、
ゆがみに強く軽い

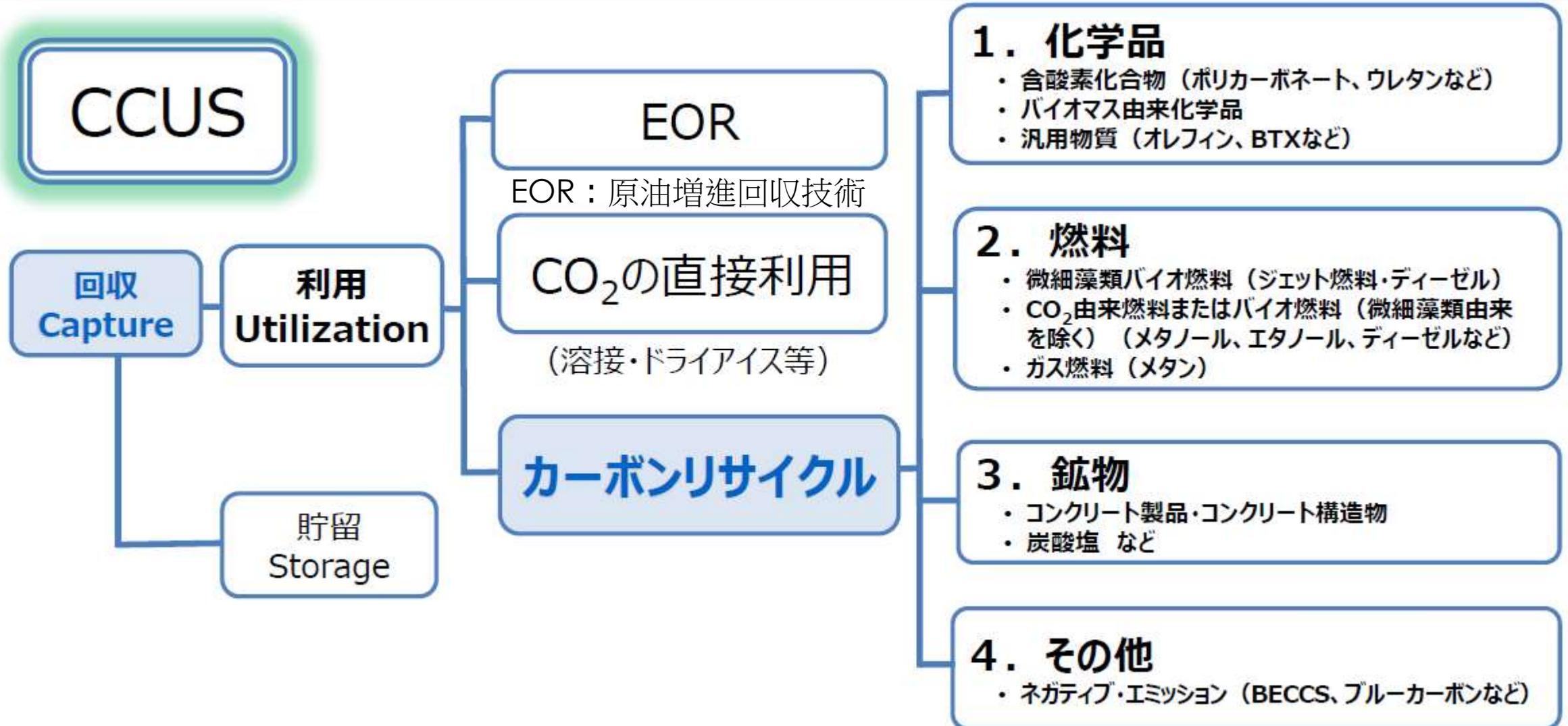
ペロブスカイトの結晶構造を作る化学物質
の組み合わせや構成比は数百種類におよぶ



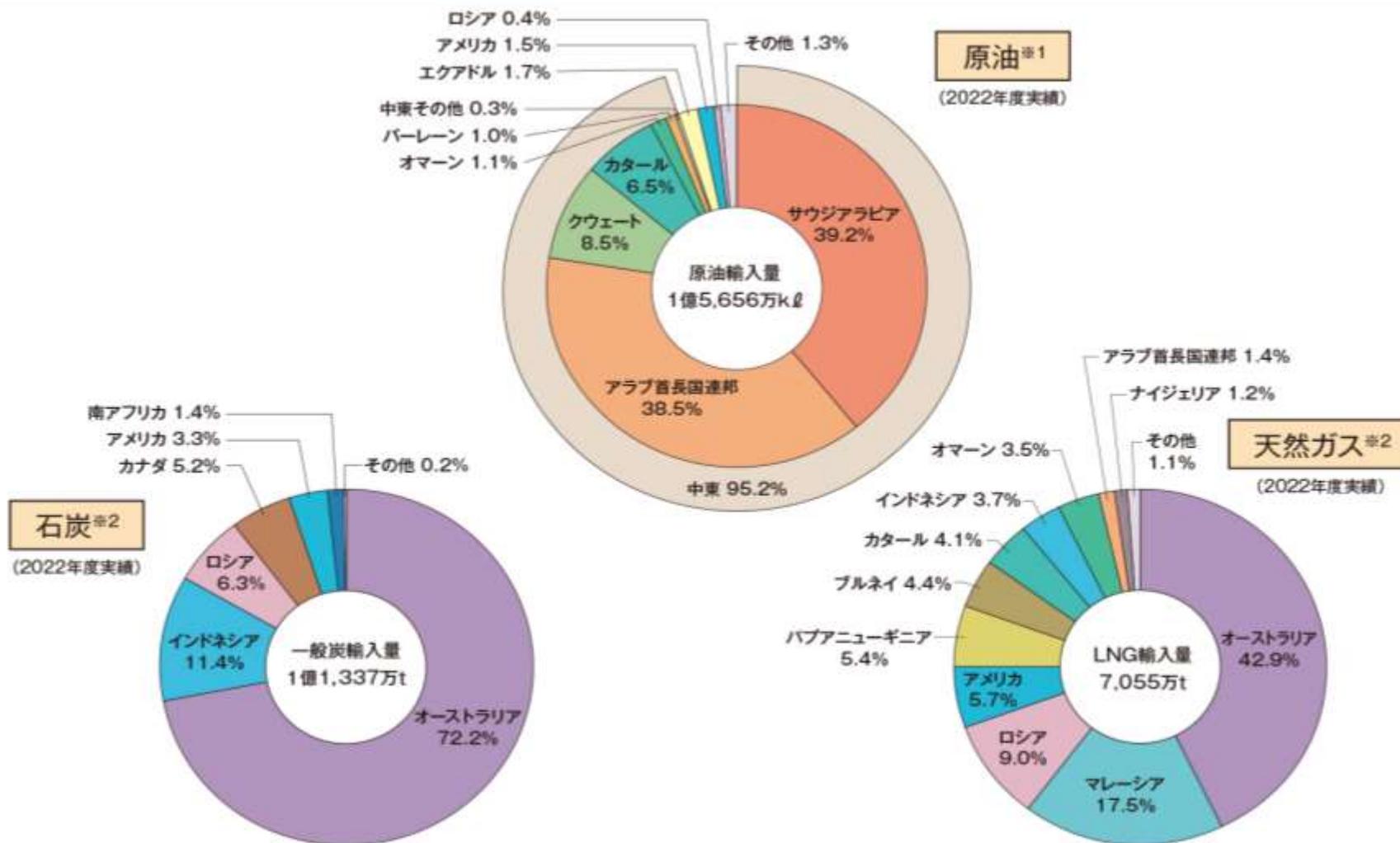
カーボンリサイクル

カーボンリサイクル:
**CO₂を資源として捉え、
 これを分離・回収し、
 鉱物化により
 コンクリート等、
 人工光合成等により
 化学品、
 メタネーション等により
 燃料へ再利用**





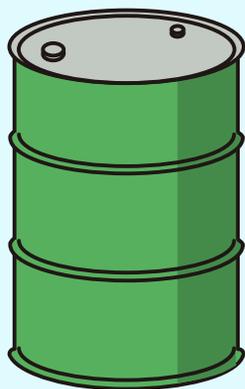
日本が輸入する化石燃料の相手国別比率



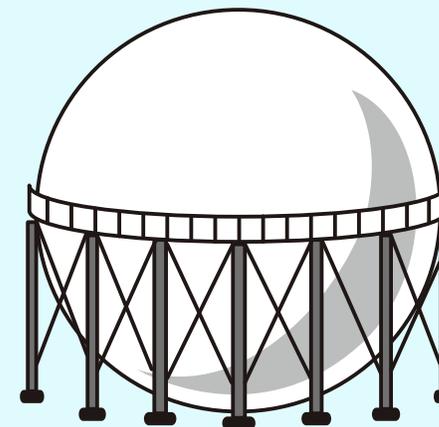
(注)四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある

エネルギー資源の確認可採埋蔵量

54年

1兆7,324億
バーレル石油 ※1
(2020年末)

49年

188兆m³天然ガス ※1
(2020年末)

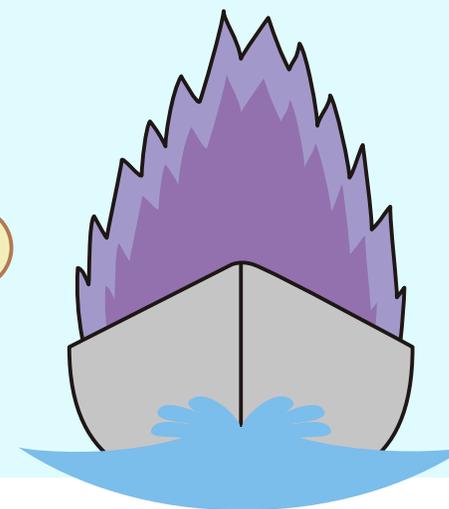
139年

1兆741億トン

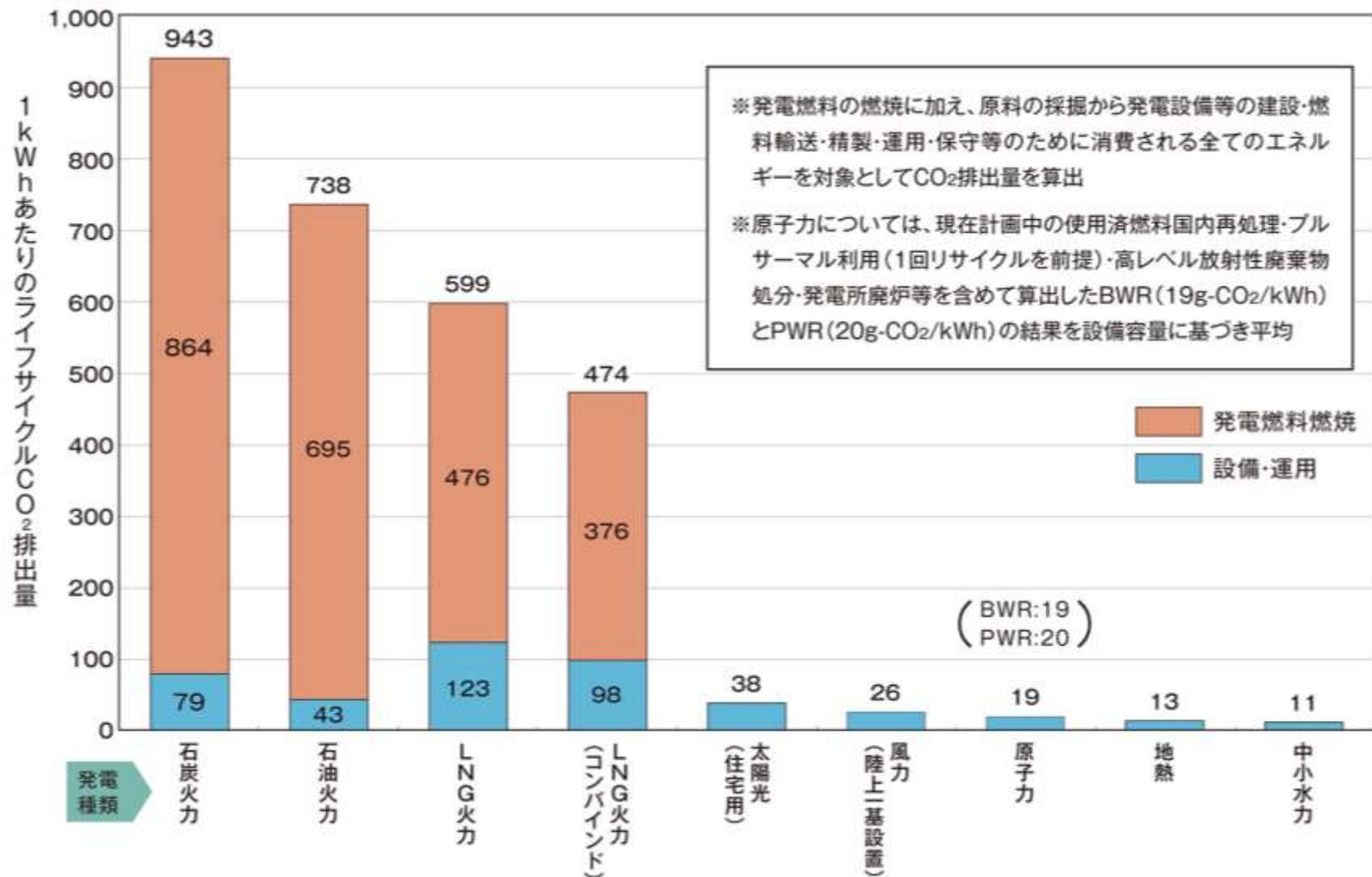
石炭 ※1
(2020年末)

115年

615万吨

ウラン ※2
(2019年1月)

各種電源別のライフサイクルCO₂排出量



原子力発電所一年間分と同じ発電量を得るために必要な面積

原子力発電所

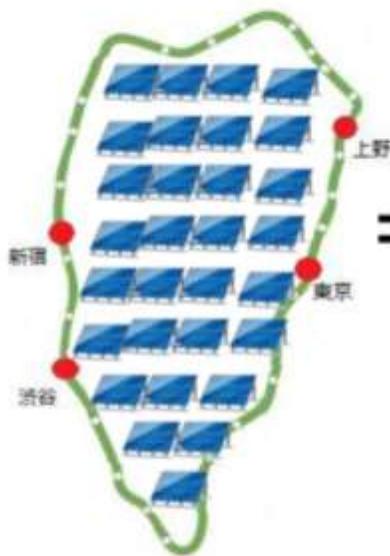
100万kW級
(約0.6km²)



=

太陽光発電

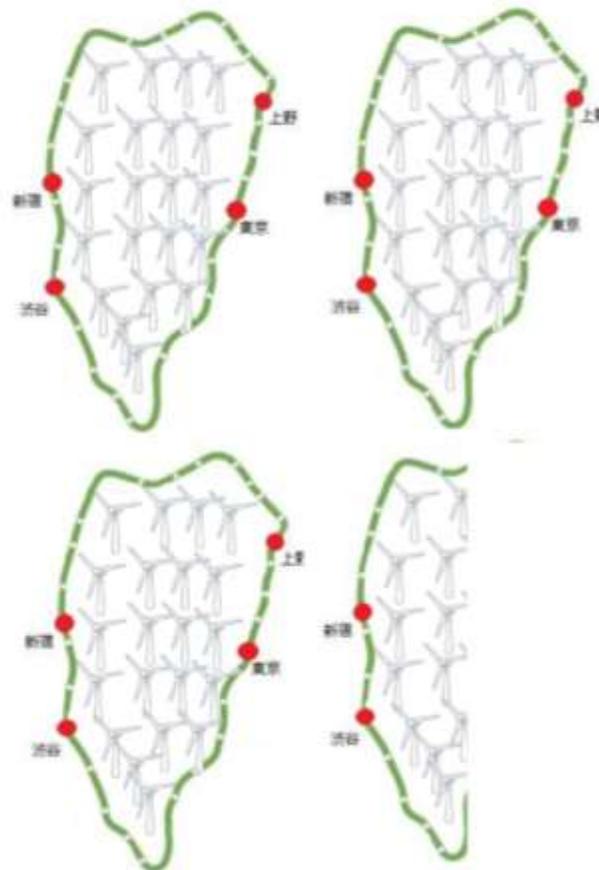
山手線一杯の面積
(約58km²)



=

風力発電

山手線の3.4倍の面積
(約214km²)



2030年の電源別発電コスト試算の結果概要

※数値は全て暫定値。

均等化発電原価(LCOE)は、標準的な発電所を立地条件等を考慮せずに新規に建設し所定期間運用した場合の「総発電コスト」の試算値。政策支援を前提に達成すべき性能や価格目標とも一致しない。

1. 各電源のコスト面での特徴を踏まえ、どの電源に政策の力点を置かかといった、**2030年に向けたエネルギー政策の議論の参考材料**とする。
2. **2030年に、新たな発電設備を更地に建設・運転した際のkWh当たりのコストを、一定の前提で機械的に試算。**
(既存の発電設備を運転するコストではない)。
3. 2030年のコストは、燃料費の見通し、設備の稼働年数・設備利用率、太陽光の導入量などの**試算の前提を変えれば、結果は変わる。**
4. 事業者が**現実に発電設備を建設**する際は、ここで示す**発電コストだけでなく、立地地点毎に異なる条件を勘案して総合的に判断**される。
5. **太陽光・風力(自然変動電源)の大量導入により、火力の効率低下や揚水の活用などに伴う費用が高まる**ため、これも考慮する必要がある。
この費用について、今回は、系統制約等を考慮しない機械的な試算(参考①)に加え、**系統制約等を考慮したモデルによる分析も実施し、参考として整理**(参考②)。

電源	石炭火力	LNG火力	原子力	石油火力	陸上風力	洋上風力	太陽光(事業用)	太陽光(住宅)	小水力	中水力	地熱	バイオマス(混焼、5%)	バイオマス(専焼)	ガスコジェネ	石油コジェネ
発電コスト(円/kWh) ※()は政策経費なしの値	13.6~22.4 (13.5~22.3)	10.7~14.3 (10.6~14.2)	11.7~ (10.2~)	24.9~27.5 (24.8~27.5)	9.9~17.2 (8.3~13.6)	26.1 (18.2)	8.2~11.8 (7.8~11.1)	8.7~14.9 (8.5~14.6)	25.3 (22.0)	10.9 (8.7)	17.4 (10.9)	14.1~22.6 (13.7~22.2)	29.8 (28.1)	9.5~10.8 (9.4~10.8)	21.5~25.6 (21.5~25.6)
設備利用率	70%	70%	70%	30%	25.4%	33.2%	17.2%	13.8%	60%	60%	83%	70%	87%	72.3%	36%
稼働年数	40年	40年	40年	40年	25年	25年	25年	25年	40年	40年	40年	40年	40年	30年	30年

(注1) 表の値は、今回検証で扱った種数の試算値のうち、上限と下限を表示。将来の燃料価格、CO2対策費、太陽光・風力の導入拡大に伴う機器価格低下などをどう見込むかにより、幅を持った試算としている。例えば、太陽光の場合「2030年に、太陽光パネルの世界の価格水準が著しく低下し、かつ、太陽光パネルの国内価格が世界水準に追いつくほど急激に低下するケース」や「太陽光パネルが劣化して発電量が下がるケース」といった野心的な前提を置いた試算値を含む。

(注2) グラフの値は、IEA「World Energy Outlook 2020」(WEO2020)の公表政策シナリオの値を表示。コジェネは、CIF価格で計算したコスト。



参考① 電源立地や系統制約を考慮しない機械的な試算 (2015年の手法を踏襲)

参考② 電源立地や系統制約を考慮した、モデルによる分析・試算 (委員による分析※2)

「系統が日本全国で大幅に増強され、日本全体で電力供給が同時に調整される」前提を置

20 18.9 18.5

2030年エネルギーシナリオが示す電力供給の状況から、さらに各電源を