

2020年11月11日

# 脱炭素社会に向けた対策の考え方

(公財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)

システム研究グループ

秋元 圭吾、佐野 史典



- カーボンニュートラル社会における最終エネルギーは、原則、電気か水素（+バイオエネルギー及び太陽熱等の直接熱利用）の利用とする必要あり。
- このため、カーボンニュートラル社会においては、電力需要は増加する見込み（EU、イギリスにおいても同様）。
- 電気、水素製造プロセスでは、脱炭素化が必要。一次エネルギーとしては、原則、①再エネ、②原子力、③化石燃料+CCSのみで構成する必要。
- なお、完全に化石燃料を使わないことは現実的ではなく、正味ゼロ排出においても、ある程度の排出は許容し、植林、バイオエネルギーCCS（BECCS）、DACCS（直接大気回収・貯留）等のネガティブエミッション技術（NETs）の活用はあり得る。

※グロスでのゼロ排出が難しい中、DACは、コストの不確実性が大きいものの、ネガティブエミッションを実現できるため、重要な技術となる可能性あり。欧州は、植林によるCO<sub>2</sub>固定を大きく見込んでいるが、日本では同規模の実現は困難と考えられる。

※ただし、DACを活用するためには、CO<sub>2</sub>貯留先が必要となり、国内CO<sub>2</sub>貯留を拡大するか、CO<sub>2</sub>を海外輸送し、国外でCO<sub>2</sub>貯留を想定する必要。

- NETsへの過度の依存は、実現可能性が低くなる可能性や生物多様性への悪影響の可能性あり。このため、カーボンニュートラル社会を実現するためには、（経済自律的な）低エネルギー需要社会の実現も重要。
- また、カーボンニュートラル社会に向けた移行過程（トランジション）も重要。技術発展の動向も踏まえ、既存設備を最大限活用する、実効性のある脱炭素化を進めることが必要。
- 今後、2050年カーボンニュートラルを実現するためには、必要な技術を特定し、その実装により、どのような経済社会になるか、そこから課題を認識し、取組を進めることが必要。
  - ① 必要な技術・対策の特定
    - カーボンニュートラル社会の実現に向けて必要な技術は何か。特に、脱炭素化が難しい産業部門等における脱炭素化に向けて必要な技術・対策は何か。（非電力部門の大幅な電化等）
  - ② エネルギー経済社会の姿
    - 脱炭素を実現したシナリオにおいて、エネルギー利用の状況やコスト負担等がどのようなものになるか。その結果を踏まえ、新たな手段、技術、コスト目標を設定する等により、経済と環境の好循環を実現する手段を継続的に探求・フォローする必要。
- 温暖化対策評価モデルDNE21+を用いて、温室効果ガスの排出削減の程度、活用しうる手段の内容等について一定の前提を置いて、2050年に▲80%となるシナリオ、2050年▲100%シナリオについて、その際のエネルギー経済社会の姿はどのようなものか試算を実施。

# 温暖化対策評価モデルDNE21+の概要

## (Dynamic New Earth 21+)

- ◆ 各種エネルギー・CO<sub>2</sub>削減技術のシステムのなコスト評価が可能なモデル
- ◆ 線形計画モデル(エネルギーシステム総コスト最小化。決定変数:約1千万個、制約条件:約1千万本)
- ◆ モデル評価対象期間: 2000~2100年(代表時点:2005, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 70, 2100年)
- ◆ 世界地域分割: 54 地域分割(米国、中国等は1国内を更に分割。計77地域分割)
- ◆ 地域間輸送: 石炭、原油・各種石油製品、天然ガス・合成メタン、電力、エタノール、水素、CO<sub>2</sub>(ただしCO<sub>2</sub>は国外への移動は不可を標準ケースとしている)
- ◆ エネルギー供給(発電部門等)、CO<sub>2</sub>回収・利用・貯留技術(CCUS)を、ボトムアップ的に(個別技術を積み上げて)モデル化
- ◆ エネルギー需要部門のうち、鉄鋼、セメント、紙パ、化学、アルミ、運輸、民生の一部について、ボトムアップ的にモデル化。その他産業や民生においてCGSの明示的考慮
- ◆ 国際海運、国際航空についても、ボトムアップ的にモデル化
- ◆ 500程度の技術を具体的にモデル化
- ◆ それ以外はトップダウン的モデル化(長期価格弾性値を用いて省エネ効果を推定)

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

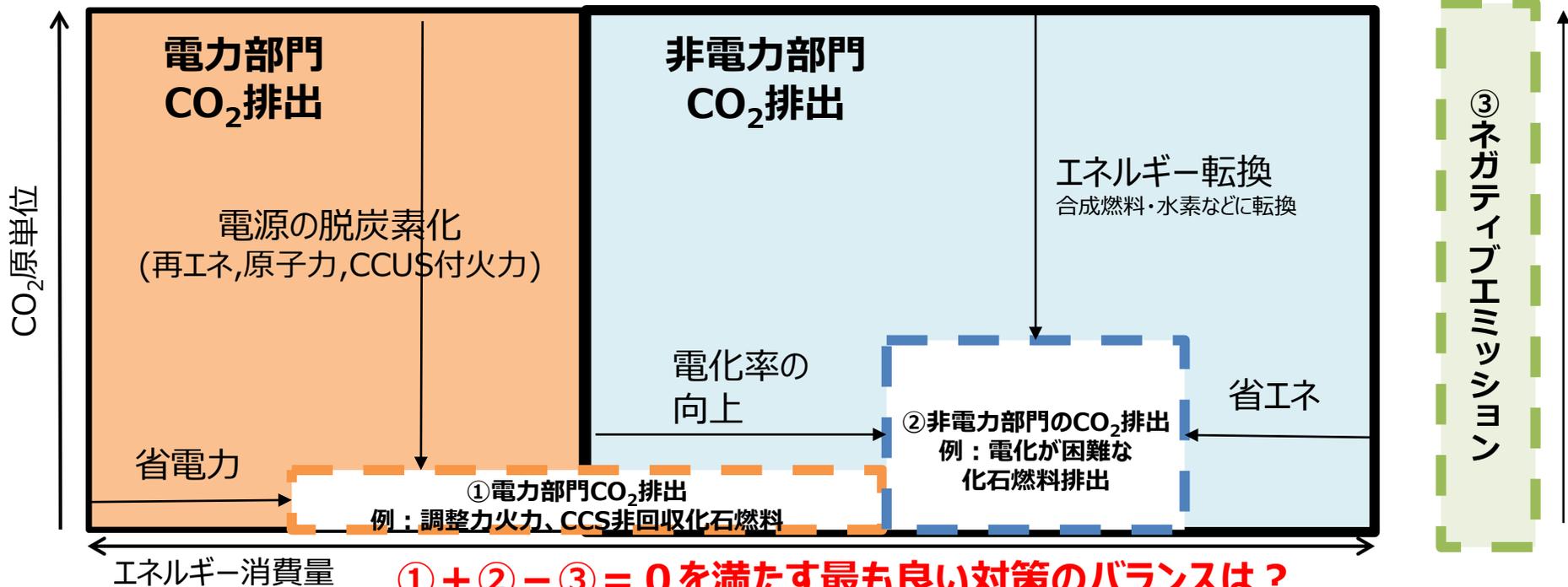
- ・中期目標検討委員会およびタスクフォースにおける分析・評価
- ・国内排出量取引制度の検討における分析・評価
- ・環境エネルギー技術革新計画における分析・評価

はじめ、気候変動政策の主要な政府検討において活用されてきた。またIPCCシナリオ分析にも貢献

# 正味ゼロ排出のイメージ①

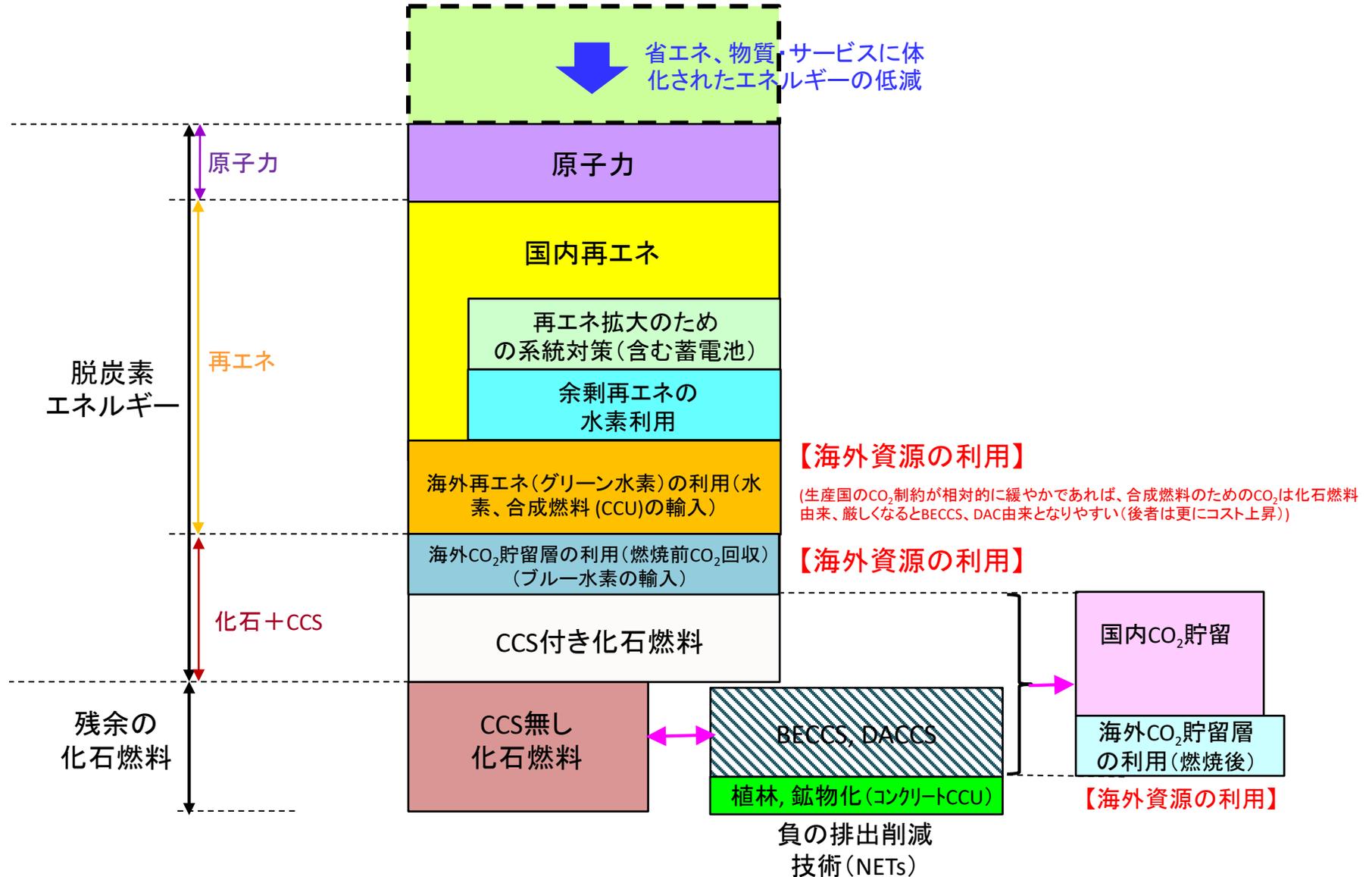
- エネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量 = CO<sub>2</sub>原単位 × エネルギー消費量。つまり面積がCO<sub>2</sub>排出量。脱炭素の方策は、
  - ・ 電力部門: 電源の脱炭素化(再エネ、原子力、化石燃料+CCUS)と省電力  
※ただし、非電力分野の電化率向上により、電力消費量は増加。
  - ・ 非電力部門: 電化・省エネによって、エネルギー消費量は減少、低炭素エネルギーへの転換によって、CO<sub>2</sub>原単位も減少。水素を活用しガス需要をメタネーション、燃料を合成燃料、製鉄の水素還元製鉄等のエネルギー転換に取り組む。
- また、排出ゼロを目指す代替手段として、植林やBECCS、DACCS等のネガティブエミッションも必要。
- 各選択肢をトータルで見て、コスト最小な選択をすることが重要。

CO<sub>2</sub>排出量 = 面積 (CO<sub>2</sub>原単位 × エネルギー消費量) ※色付き四角は現在のCO<sub>2</sub>排出。点線四角はゼロエミッション時のCO<sub>2</sub>排出



# 正味ゼロ排出のイメージ②

## 【国内の一次エネルギー供給】



# 脱炭素社会に必要な技術① (CCUS)

	貯留ポテンシャル (GtCO <sub>2</sub> )		【参考値】IPCC SRCCS (2005) (GtCO <sub>2</sub> )	貯留費用 (\$/tCO <sub>2</sub> )* <sup>1</sup>
	日本	世界		
廃油田 (石油増進回収)	0.0	112.4	675–900	57 – 69* <sup>2</sup>
廃ガス田	0.0	147.3 – 241.5		9 – 59
深部帯水層	11.3	3140.1	10 <sup>3</sup> –10 <sup>4</sup>	5 – 38
炭層 (メタン増進回収)	0.0	148.2	3–200	27 – 122* <sup>2</sup>

注1) 廃ガス田の貯留ポテンシャルの幅は、将来のガス探掘量が増加するに従って、表中の上限値までポテンシャルが増大し得ると想定している。

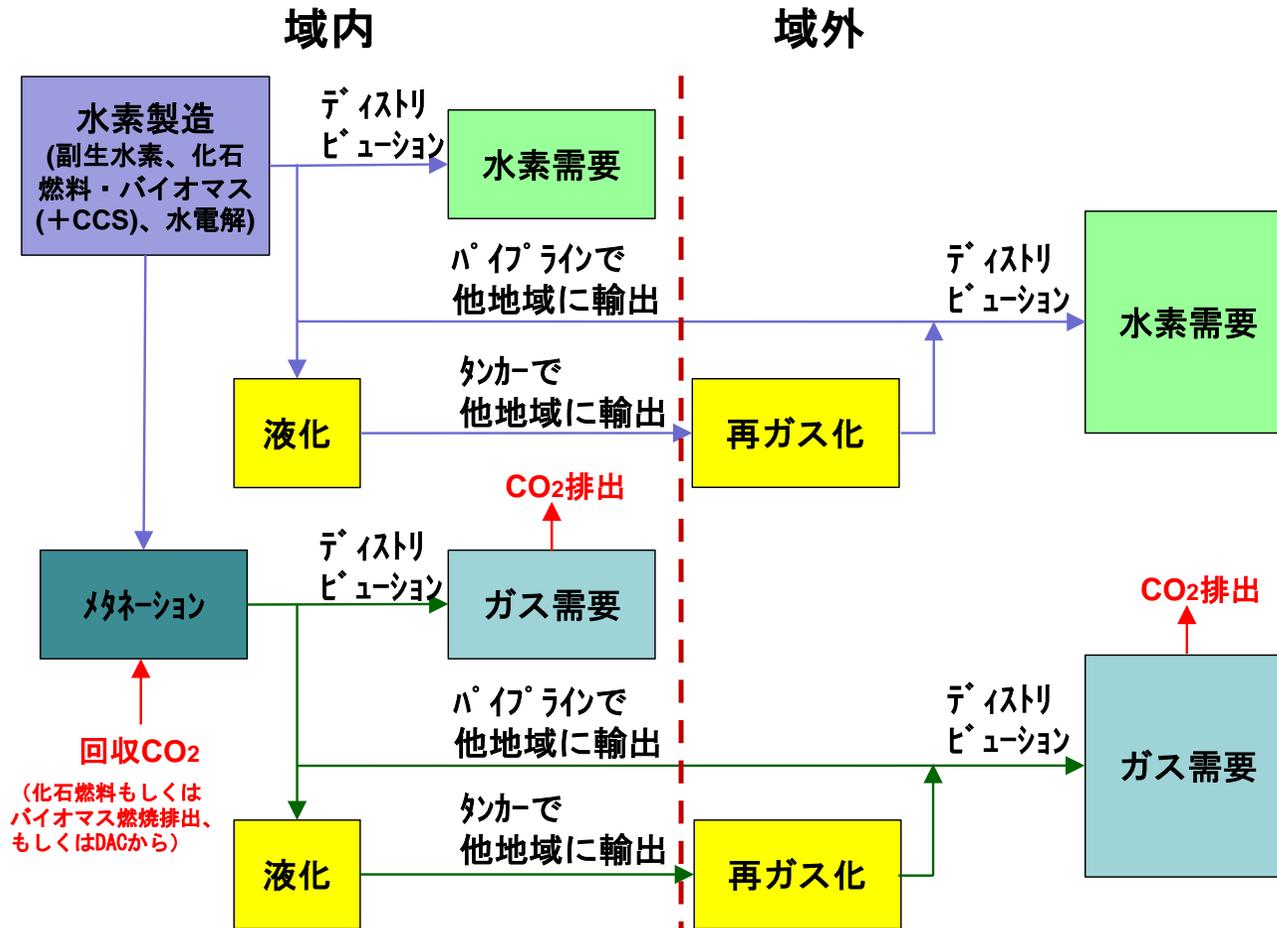
注2) 貯留費用の幅は、表中に示す範囲において累積貯留量の増大と共に上昇するように想定している。

\*1 本数値にはCO<sub>2</sub>回収費用は含まれていない。別途想定している。

\*2 石油増進回収、メタン増進回収における石油やガスの利益は本数値に含めていないが、別途考慮している。

- 掘削リグの台数に制約がある等、その急拡大には困難が伴うことを鑑み、CO<sub>2</sub>貯留の拡大率に制約があると考えられる。
- 国内／地域の総貯留ポテンシャルに対し、2030年までは年間0.02%、それ以降は年間0.04%ずつ貯留量を拡大可能と想定（日本の場合、2030年以降CCSを利用可能とすると、2050年の最大貯留可能量は91MtCO<sub>2</sub>/yrと試算される）。

# 脱炭素社会に必要な技術②（合成メタン（メタネーション））

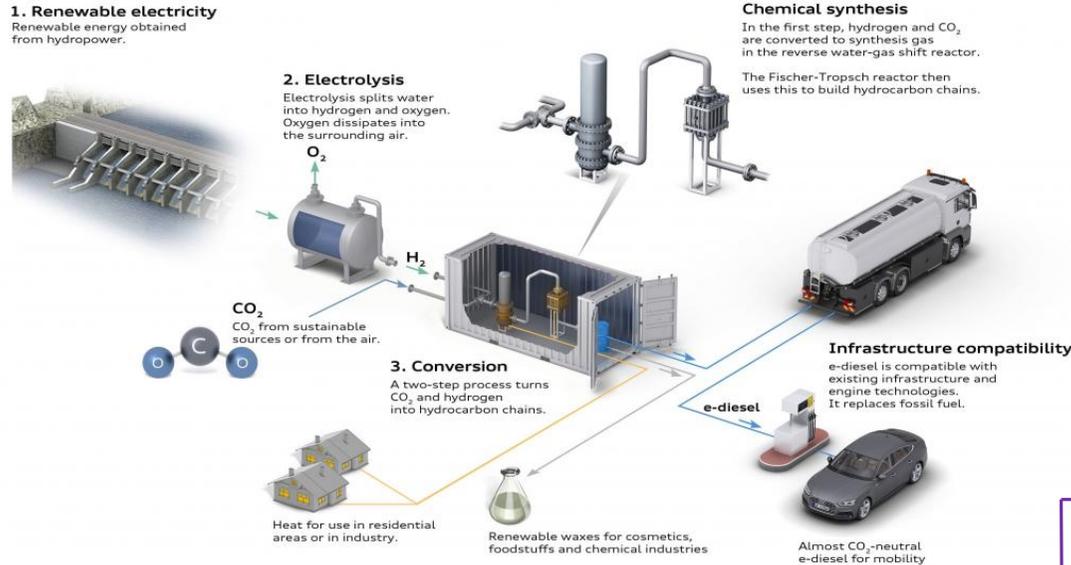


メタネーションにおけるバランス

水素	1.22 toe	⇒	メタン	1 toe
CO <sub>2</sub>	2.33 tCO <sub>2</sub>			

# 脱炭素社会に必要な技術③（合成石油）

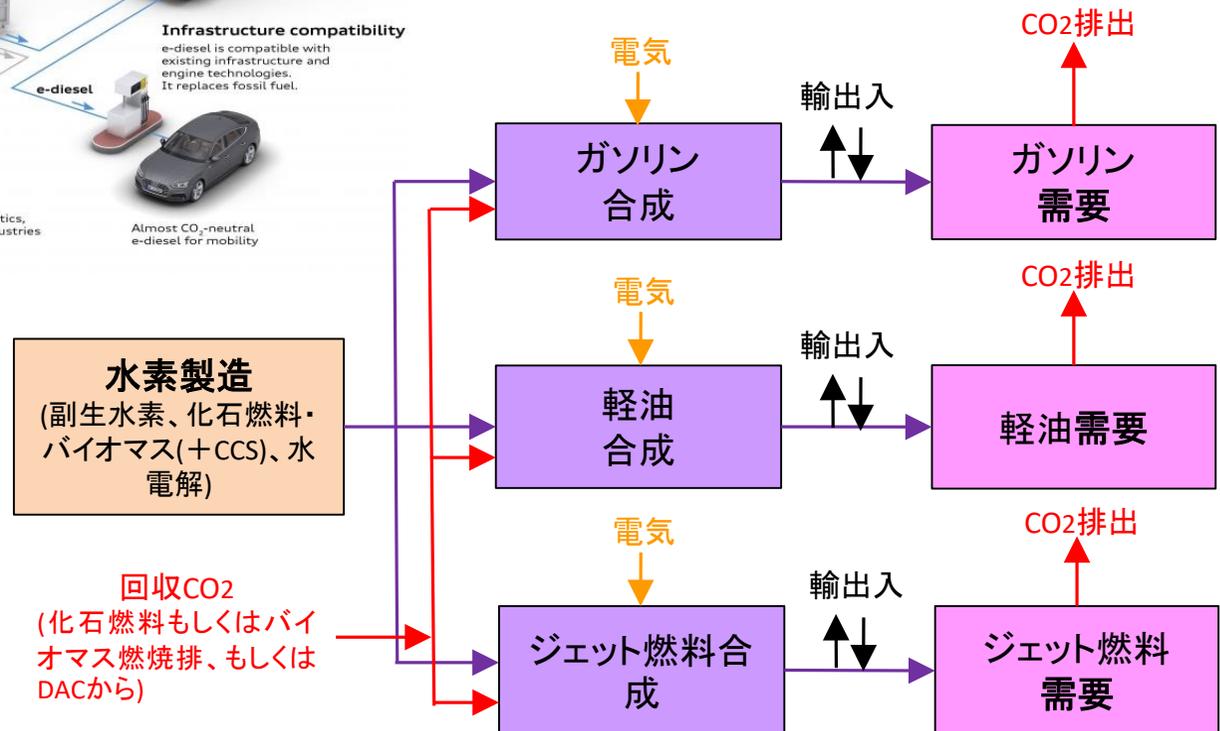
- ✓ 水素は、再エネ水素（e-liquid）に限定していない。
- ✓ 回収CO<sub>2</sub>は、化石燃料もしくはバイオマス燃焼排出、もしくはDACからのオプションも考えられる。



Audi e-diesel

## 合成石油生成におけるバランス

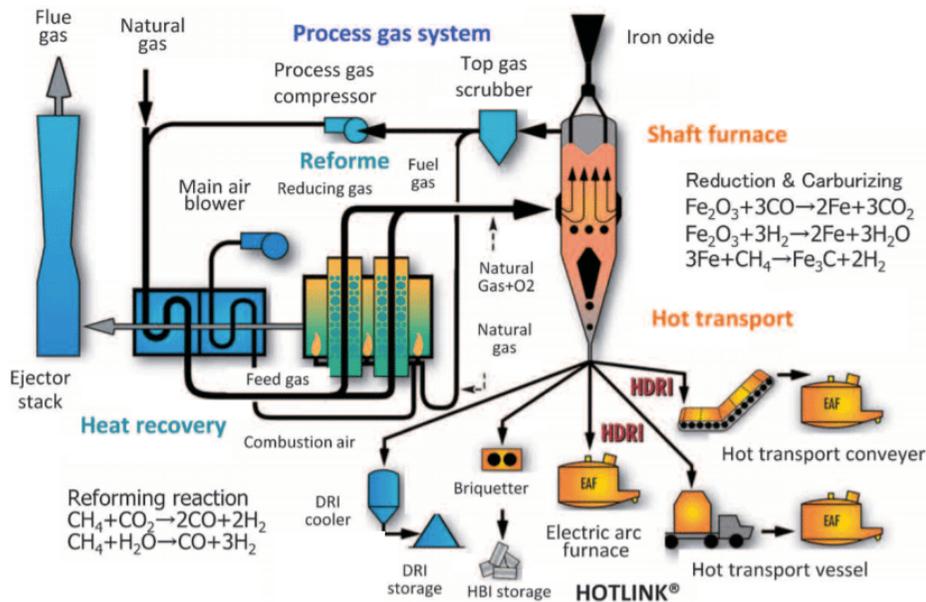
水素	1.19 toe	⇒	合成 石油	1 toe
CO <sub>2</sub>	2.89 tCO <sub>2</sub>			
電気	0.14 toe			



# 脱炭素社会に必要な技術④（産業部門の水素利用）

- ✓ 直接還元鉄の製造において、現状では天然ガス（左図を参照）等を利用
- ✓ 水素直接還元製鉄は燃料を水素に代替したプロセスである（右図を参照）

天然ガスを利用した直接還元鉄の製鉄プロセスの例



J. Kopfle et al. Millenium Steel 2007, p.19

水素を利用した直接還元鉄の実証プラントの例



<https://www.midrex.com/>

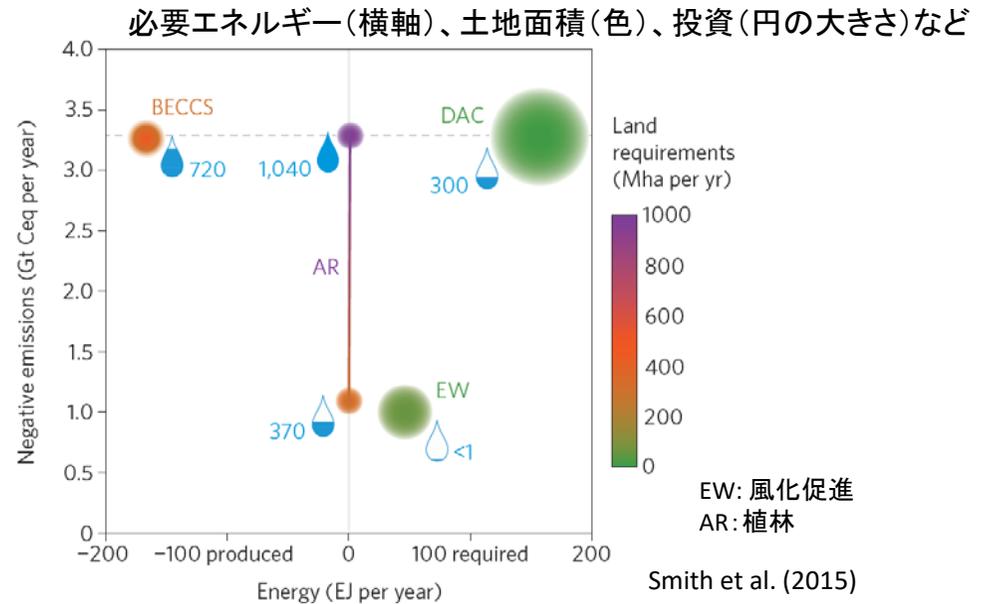
[https://www.kobelco.co.jp/releases/1201993\\_15541.html](https://www.kobelco.co.jp/releases/1201993_15541.html)

# 脱炭素社会に必要な技術⑤（大気CO<sub>2</sub>直接回収（DAC）技術）

- DACは、大気中からCO<sub>2</sub>を回収する。400 ppm程度の濃度の低いCO<sub>2</sub>を回収するため、化石燃料燃焼時排ガス等からの回収と比べ、より大きなエネルギーが必要。
- 一方、DACCS(貯留まで)をすれば、負排出となる。
- CO<sub>2</sub>貯留層に近く、エネルギーが安価に入手できる地域(安価なPV供給が可能な地域など)での実施が経済的



Climeworks

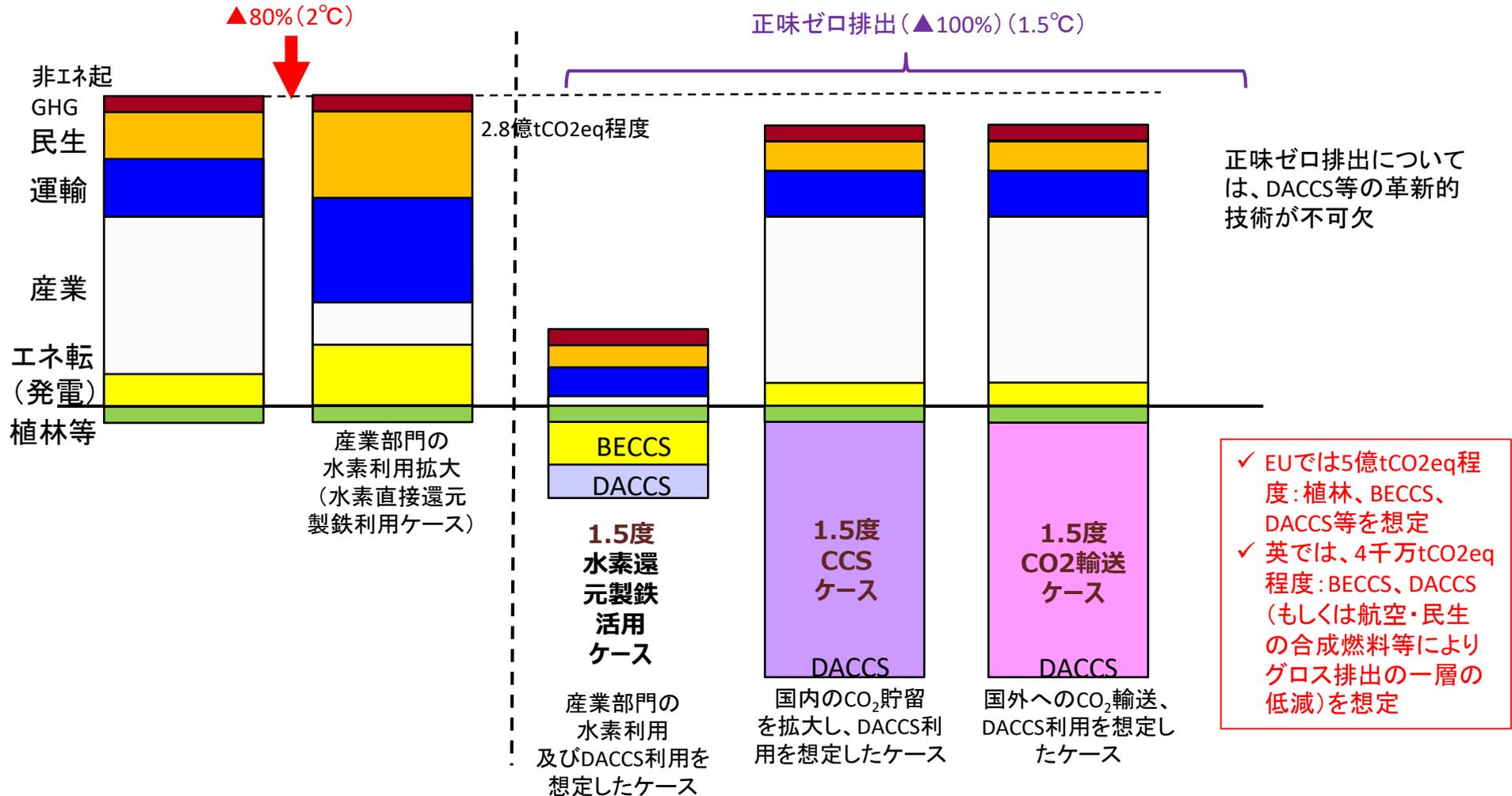


M. Fasihi et al., (2019)における2020年時点のDACのエネルギー消費量と設備費の推計:

	エネルギー消費量 (tCO <sub>2</sub> )		設備費 (Euro/(tCO <sub>2</sub> /yr))		
		2020年	2050年	2020年	2050年
高温(電化), 水溶液システム(HT DAC)	電力 (kWh)	1535	1316	815	222
低温, 固体吸着材システム(LT DAC)	熱 (GJ)	6.3 (=1750 kWh)	4.0	730	199
	電力 (kWh)	250	182		

- ▲80%や▲100%といった大幅な排出削減にあたっては、再エネの大幅な拡大が必須であり、同時にその利用拡大を促す技術として、蓄電池、水素、合成燃料(水素と回収CO<sub>2</sub>によるCCU)が極めて重要となる他、化石燃料+CCSも必要となる結果。なお、水素、合成燃料は海外の再エネ、CCS資源の活用の役割も大きい。グローバル資源の活用に資する対策技術は重要。
- シェアリング経済誘発を含めた各種省エネルギーや、水素、合成燃料等を含めた燃料代替を想定した技術シナリオの下で、▲80%は実行可能解が存在したが、▲100%については、これら技術オプションを想定しても実行解は得られなかった。
- グロスでのゼロ排出が難しい中で、ネガティブ排出を実現できるDACは、コストの不確実性は大きいものの、重要な役割となる可能性有。ただし、DACを活用するためには、国内CO<sub>2</sub>貯留を拡大するか、CO<sub>2</sub>を海外移送し国外でCO<sub>2</sub>貯留するか)が必要。もしくは、鉄鋼部門における高炉・転炉法に伴うCO<sub>2</sub>排出が大きいため、これを水素直接還元製鉄でほぼゼロとした場合には、DACと組み合わせることで脱炭素社会の構築の可能性が描かれた。
- 今後、研究開発・イノベーションが進捗することにより、導入できる技術、経済への影響が変化していくことが想定され、そうした変化を柔軟に取り入れ、課題と経済社会の姿を見直しながら対策を進めて行くことが必要。

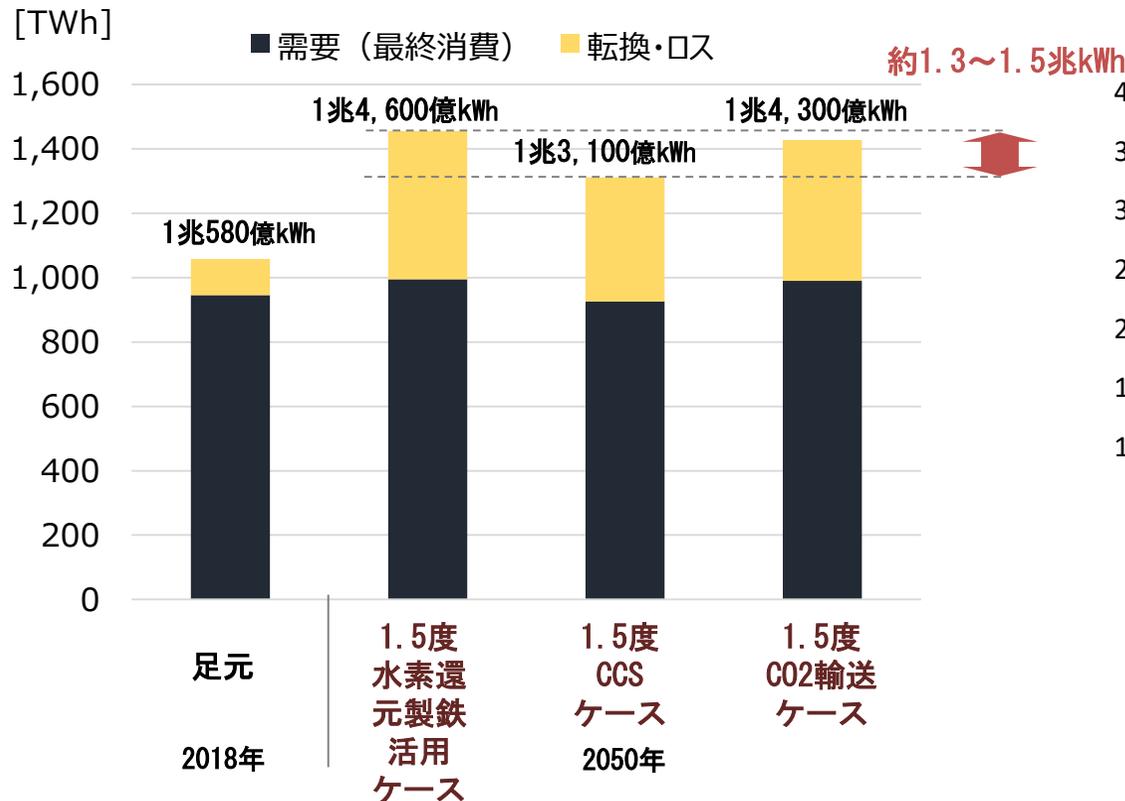
# 正味ゼロ排出に向けた対策のイメージ②



# 発電電力量の試算結果

- 2050年カーボンニュートラルにおける電力需要を分析。
- 省エネや人口減少等の需要下げ要因に対して、最終消費における電化率の向上、転換部門の需要創出（水素製造、CCUS利用等）の上げ要因がより強く作用した結果、発電電力量は約1.3~1.5兆kWhとなり、足下実績より増大。

## 発電電力量の試算



※ 転換は水素製造やCCUSにおける電力消費などを示す

## 電化率（最終消費全体）の試算

