

関西広域連合
関西圏水素サプライチェーン構想実現プラットフォーム会合
2021年2月9日

2050年カーボンニュートラルに向け 水素が果たすべき役割

(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 グループリーダー
秋元 圭吾



1. 脱炭素化に向けた動向と対策の概要
2. 再生可能エネルギー、蓄電池、水素の役割と課題
3. 合成燃料の役割
4. 脱炭素化に向けた長期展望
5. 海外のシナリオ推計例
6. まとめ

1. 脱炭素化に向けた動向と 対策の概要



【パリ協定】(2015年)

- ◆ 全球平均気温上昇を産業革命前に比べ2°C未満に十分に低く(“well below”)抑える。また1.5°Cに抑えるような努力を追求する。
- ◆ 今世紀後半には、温室効果ガスについて人為的起源排出とシンクによる吸収をバランスさせる。

【地球温暖化対策計画】(2016年): 現行エネルギー基本計画と整合的

- ◆ パリ協定を踏まえ、全ての主要国が参加する公平かつ実効性ある国際枠組みの下、主要排出国がその能力に応じた排出削減に取り組むよう国際社会を主導し、地球温暖化対策と経済成長を両立させながら、長期的目標として2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す。

【パリ協定に基づく長期戦略】(2019年6月)

- ◆ 最終到達点としての「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。

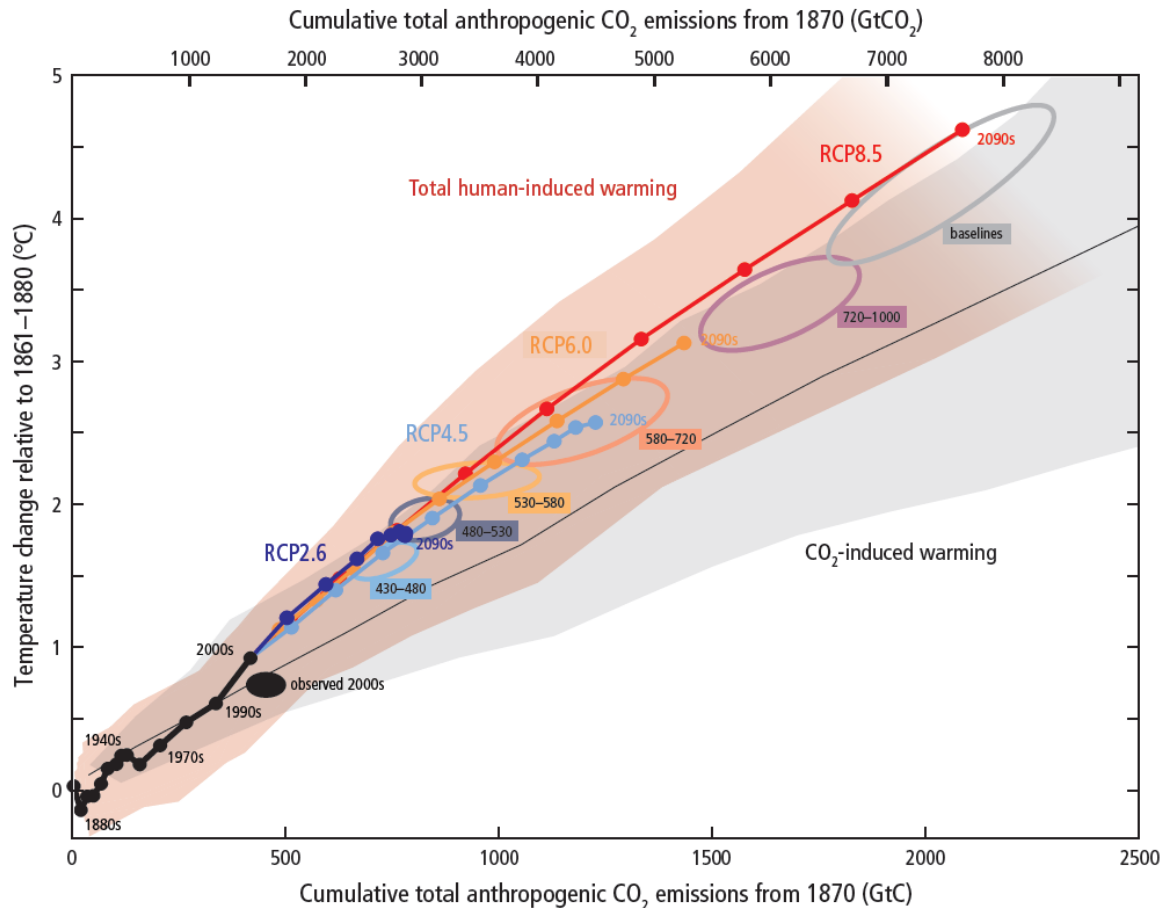
【国連気候行動サミット】(2019年9月)

- ◆ 66カ国・地域が2050年までに温室効果ガス排出量を実質ゼロにすると約束(ただし66カ国・地域の総排出量は、世界全体の排出量の13%程度(RITE推計))

【菅首相所信表明演説】(2020年10月)

- ◆ 「2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」と宣言

累積排出量と気温上昇の関係



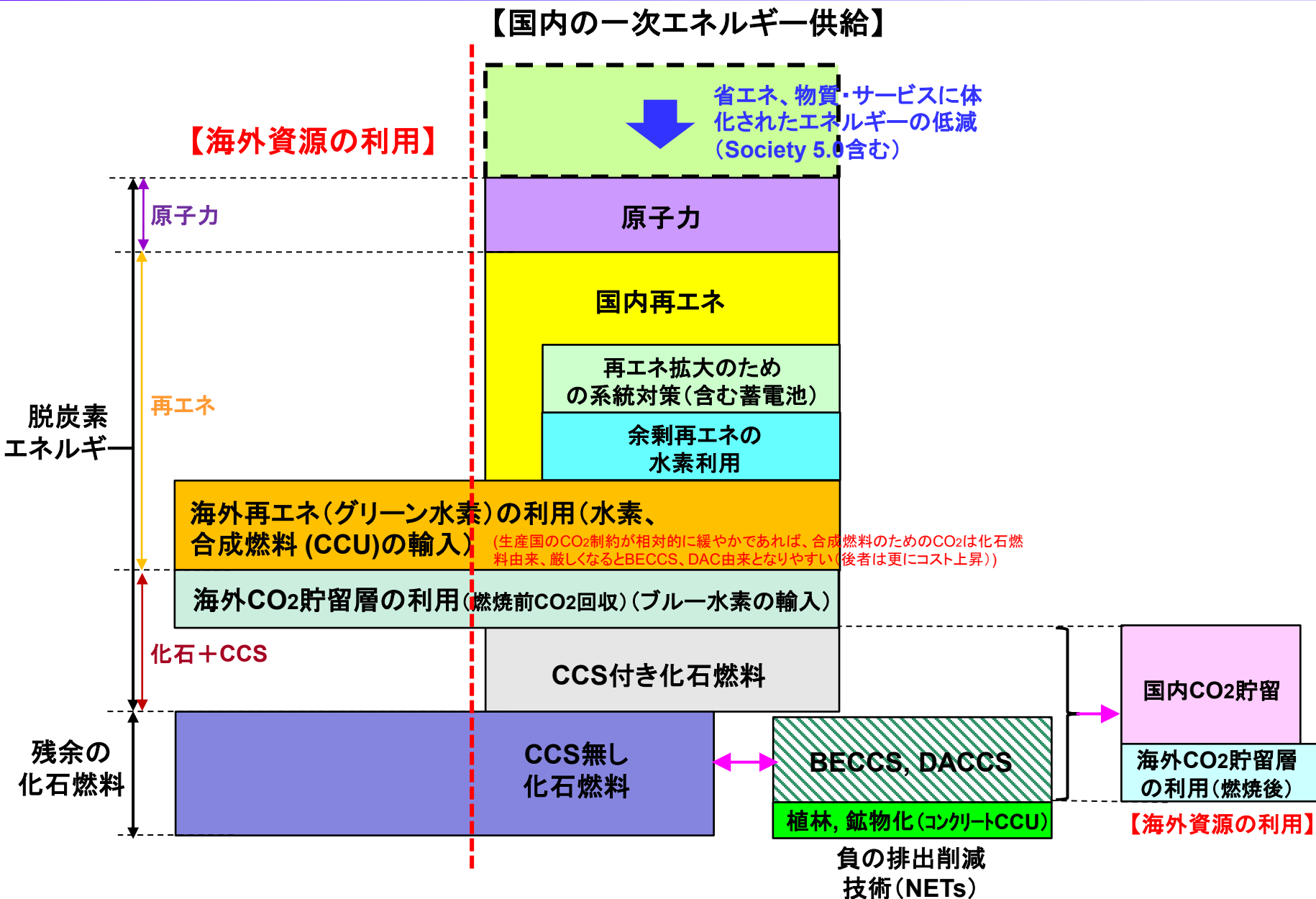
出典) IPCC AR5 統合報告書

【長期のビジョン】 累積排出量と気温上昇には線形に近い関係が見られる。CO₂排出に対する気温応答は減衰に非常に長い時間を要する。すなわち、いずれのレベルであろうとも、気温を安定化しようとするれば、いずれはCO₂の正味ゼロに近い排出が必要。長期的には正味でCO₂排出をゼロに近づけていくことは重要(時間スケールの問題は残る)

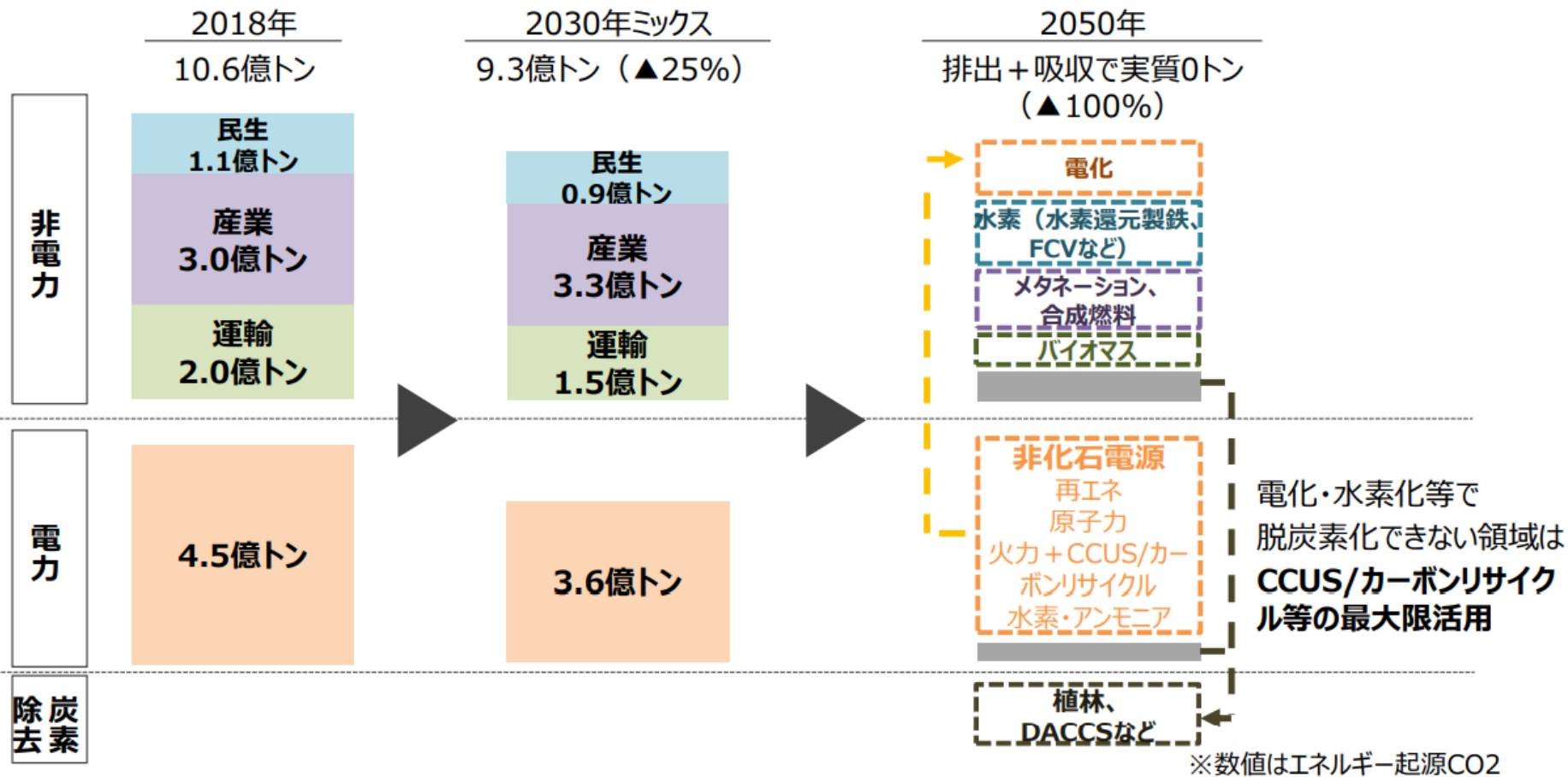
【現実におけるとるべき方策】 一方、気候感度には大きな不確実性あり。長期でCO₂正味ゼロ排出に近づけていく過程は大きな排出経路の幅が存在し得る。総合的なリスクマネジメントが重要

- ◆ 最終エネルギーは、原則、電気か、水素（＋バイオエネルギーおよび太陽熱等の直接熱利用）の利用とする必要あり。なお、水素も燃料電池で利用するケースは多く、この場合、最終的な利用形態は電気とも言える。
- ◆ ただし、CO₂フリー水素と回収CO₂による合成燃料（合成メタンや合成液体燃料）での利用（CCU）は可（水素の形を変えた利用形態の一つ。水素よりも貯蔵しやすく、都市ガスやガソリン等の既存の供給インフラや既存の機器を活用できる利点有）
- ◆ 電気、水素製造においては、脱炭素化が必要であり、一次エネルギーとしては、再生可能エネルギー、原子力、化石燃料＋CCSのみで構成が必要。
- ◆ なお、完全に炭化水素を使わないことは現実的ではないので、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）等の負の排出技術（NETs）活用はあり得る。
- ◆ 一方、NETsに過度に依存するシナリオは、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もある。よって、脱炭素社会実現のためには、デジタル化技術等を活用した、（経済自律的な）低エネルギー需要社会の実現も重要
- ◆ 脱炭素化に向けた移行過程も重要。気候変動影響被害、技術発展動向に伴う緩和費用を総合的に考え、実効ある低炭素化を進めることが必要

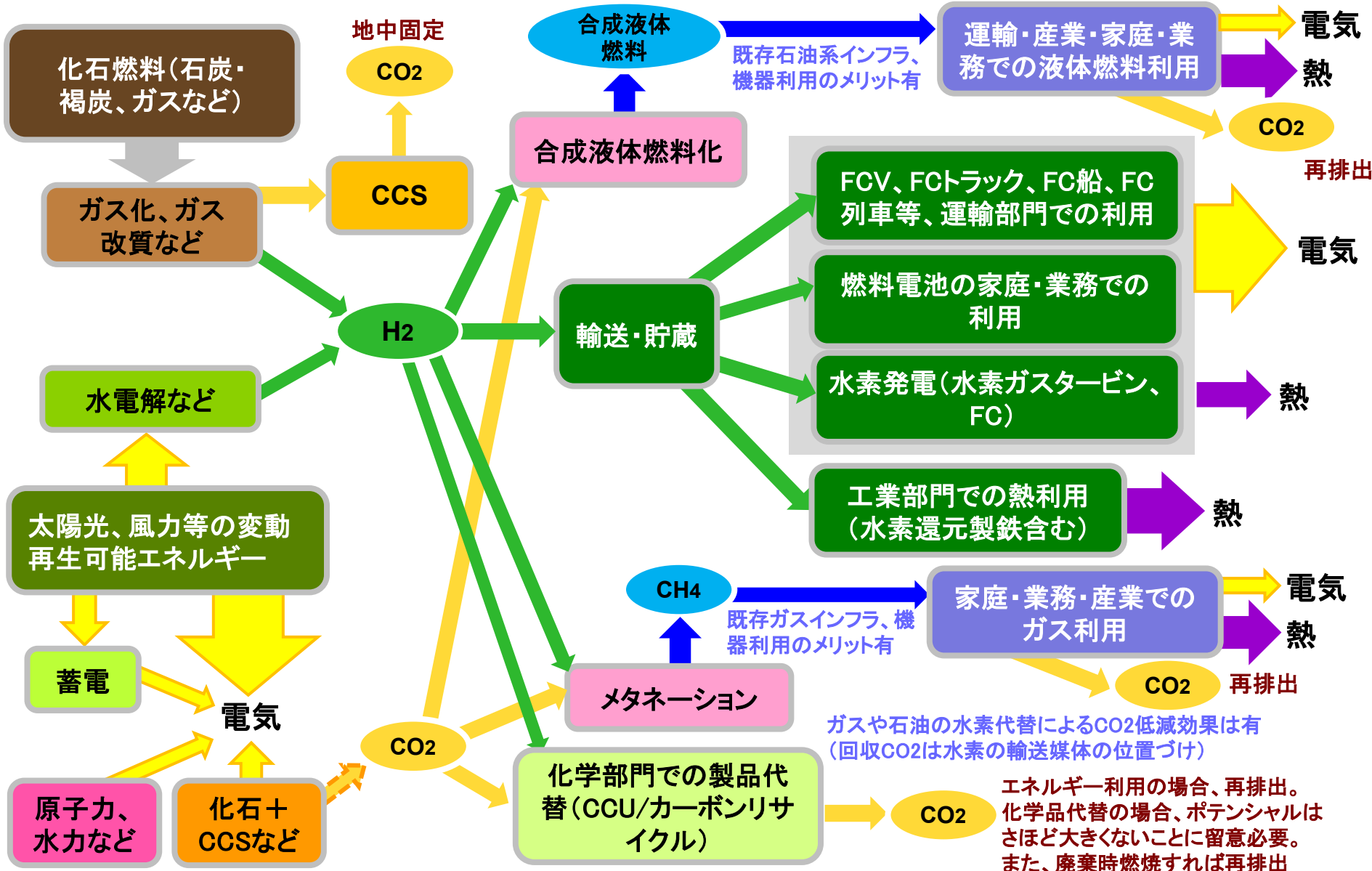
日本の正味ゼロ排出のイメージ (1/2)



日本の正味ゼロ排出のイメージ (2/2)



脱炭素化における電気、水素システム

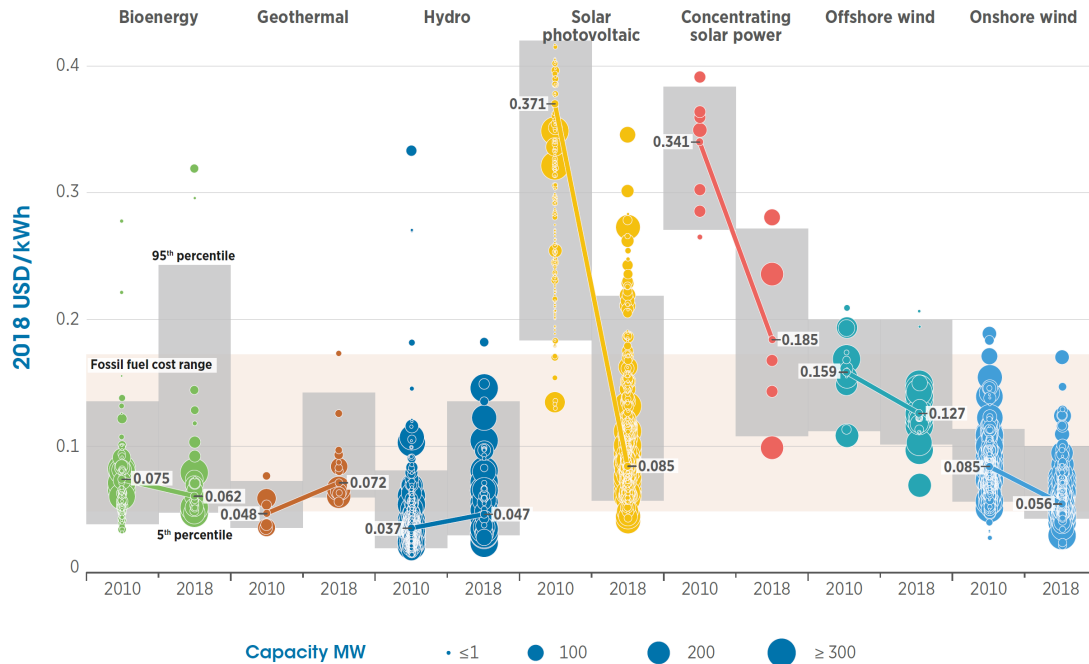


水素も最終利用段階では電気利用形態が多い。どのようなエネルギーキャリアを選択し、どの段階で炭素を抜いていくのが良いか？

2. 再生可能エネルギー、蓄電池、 水素の役割と課題

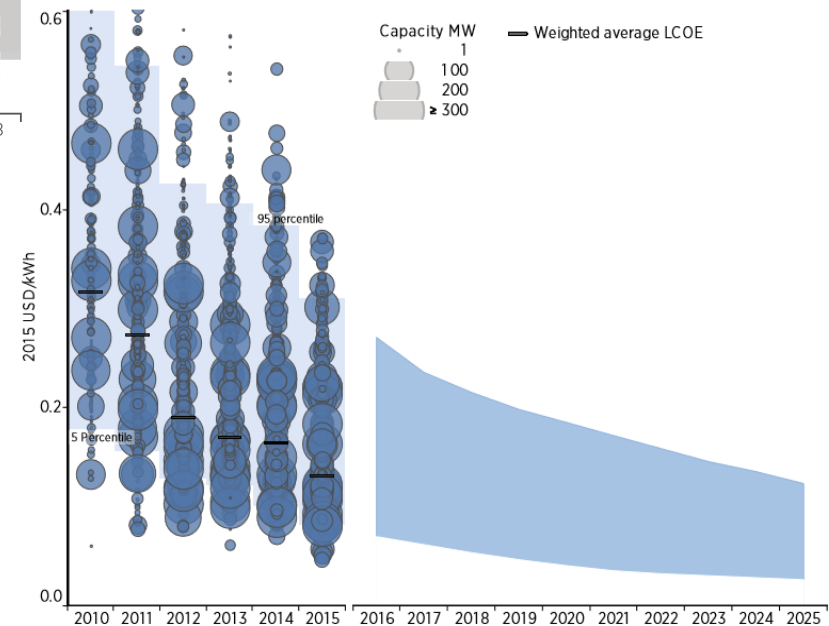


世界の再生可能エネルギーの動向



出典) IRENA

太陽光発電のコスト低減見通し



特に変動性再生可能エネルギー（太陽光、風力）のコスト低減は大きく進展してきている。
ただし、国によって大きなコストの差異が残っている（日本は高い）。

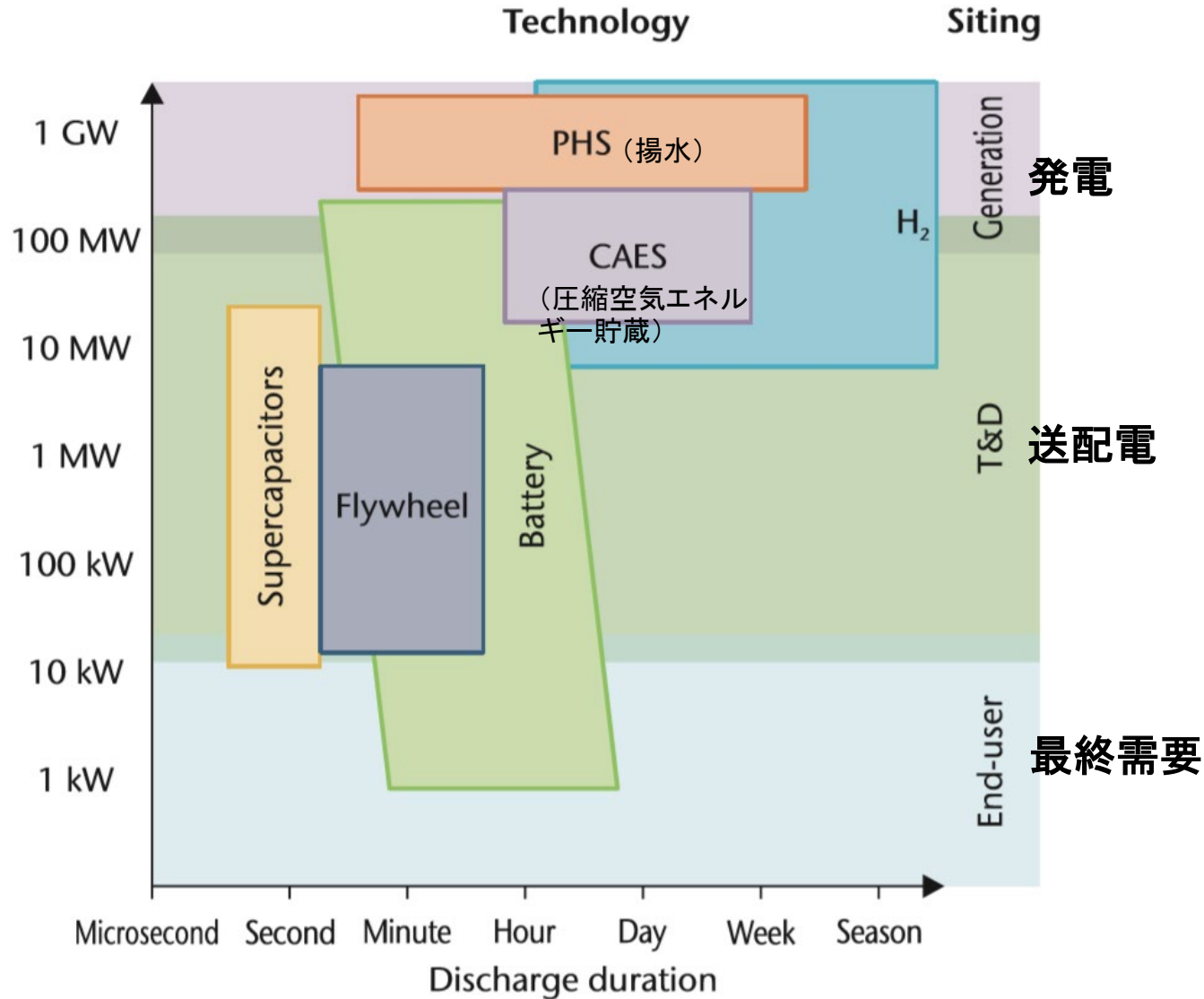
国際連系と再エネ比率

		デンマーク	ドイツ	英国	日本
需要規模 (年間発電量)		<u>300億kWh</u>	<u>6,000億kWh</u>	<u>3,000億kWh</u>	<u>11,000億kWh</u> (1.1兆kWh)
変動再エネ 比率		51% (太陽光2% 風力49%)	18% (太陽光6% 風力12%)	14% (太陽光2% 風力12%)	6% (太陽光5% 風力1%)
国際連系線 (設備容量に対する 連系線の容量)		44%	10%	6%	連系線 なし
【kW】 調整力の 国外依存 (再エネ比率が 高い日の輸出入)		80% (430万kW 輸出: 280万kW 輸入: 150万kW)	40% (1,600万kW 輸出: 1200万kW 輸入: 400万kW)	35% (850万kW 輸出: 320万kW 輸入: 530万kW)	輸出入 なし
電力輸出入	【kWh】 年間 輸出入	33% (100億kWh)	13% (850億kWh)	1% (20億kWh)	輸出入 なし
		55% (160億kWh)	5% (340億kWh)	8% (240億kWh)	

※Interconnection level

(出所) ENTSO-E “Transparency Platform”, “Statistical Factsheet”, 欧州委員会資料等より作成

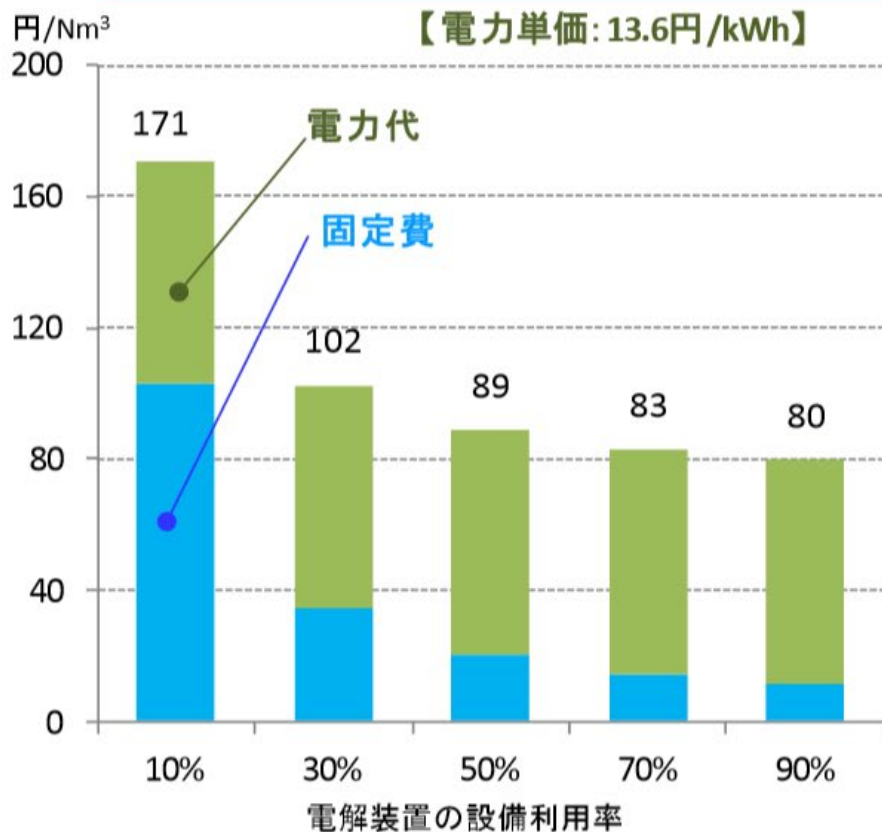
エネルギー貯蔵としての水素のカバー領域



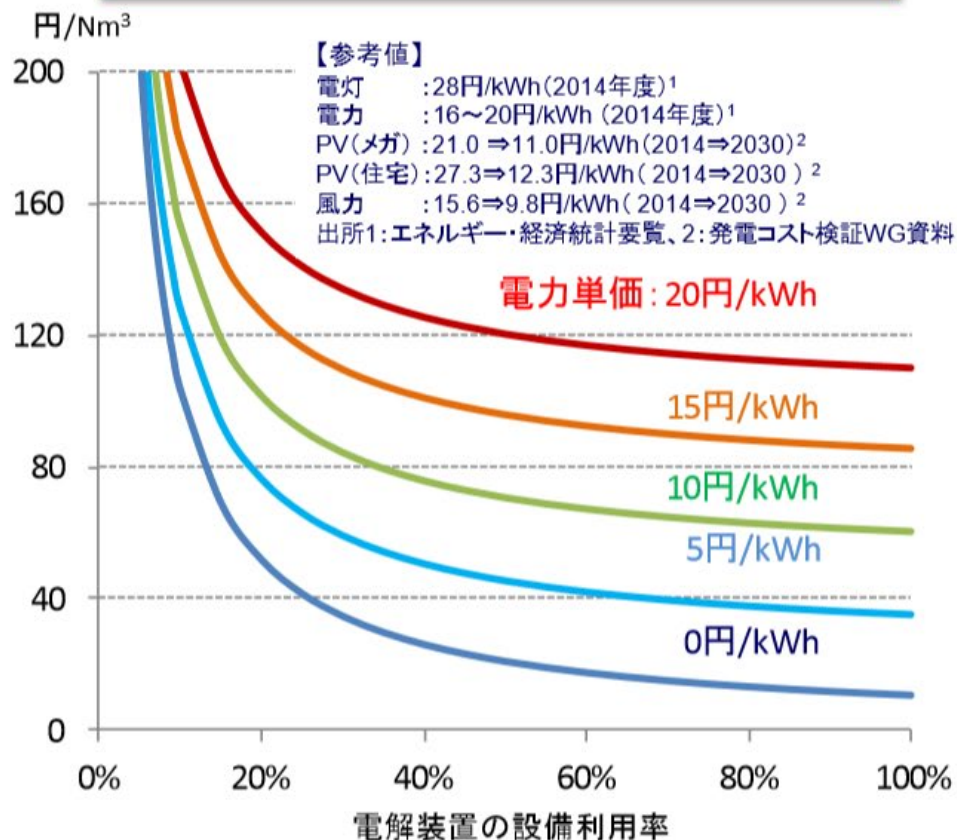
出典: IEA Technology Roadmap-Hydrogen and Fuel Cell, 2015

技術、エネルギー種によって、エネルギー貯蔵における得意領域は異なる。

電解設備利用率の感度



電力単価の感度



出典: 柴田善朗、水素・燃料電池戦略協議会 CO2フリー水素ワーキンググループ 提供資料、2016

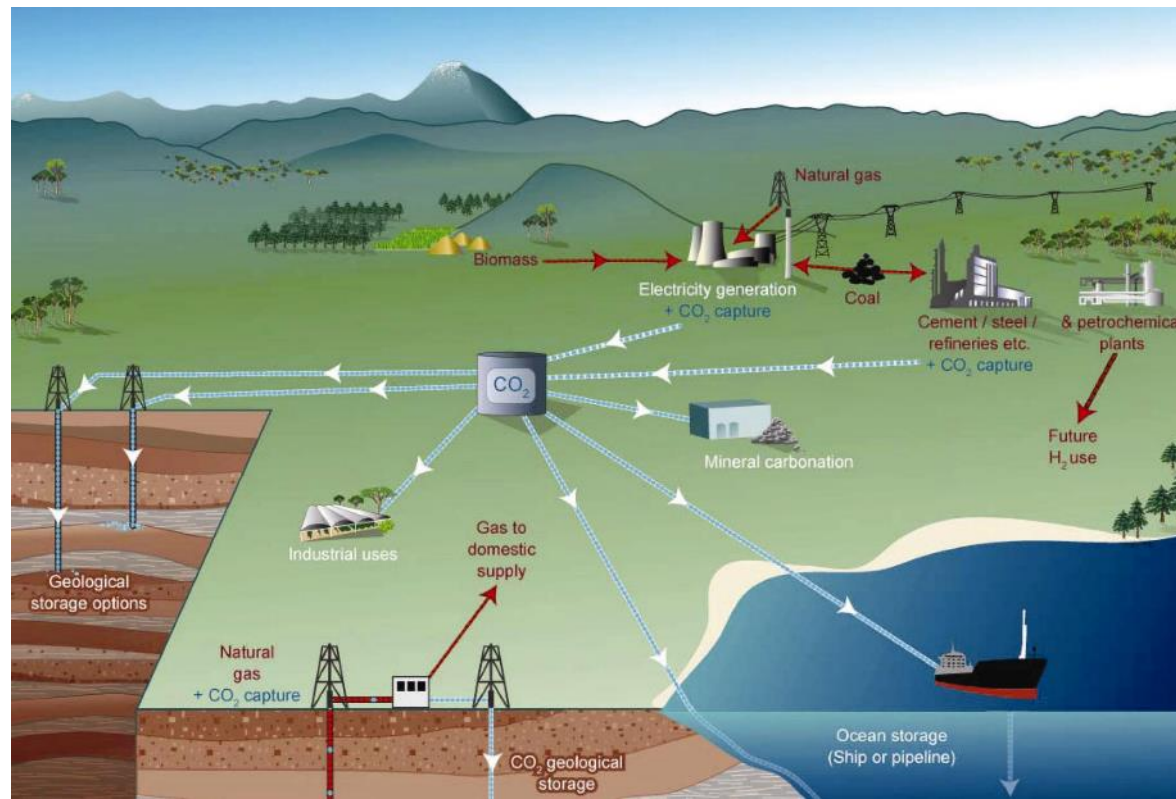
変動再エネの余剰電力を利用すれば、電力代は小さくなるが、その場合、水電解装置の設備利用率が低下するため、固定費分が大きくなってしまう。水電解設備の設備費低減は重要。

水素運搬方法の比較

- 最適な運搬方法は、運搬距離や量、用途等により左右されるが、主要な特性は以下のとおり。
- MCH・アンモニア・メタネーションはサプライチェーンの大部分で**既存インフラを活用できることが強み**であり、早期のサプライチェーン構築が見込めるが、**消費エネルギーは液化水素が潜在的には最も低くなる**見込みで、高純度化も容易。

	液化水素	有機ハイドライト (MCH)	アンモニア	メタネーション
体積(対常温 常圧水素)	約1/800	約1/500	約1/1300	約1/600
状態・毒性	液体(-253℃、常圧) 毒性無	液体(常温常圧) トルエンは毒性有	液体(-33℃、常圧等) 毒性、腐食性有	液体(-162℃、常圧) 毒性無
高純度化*	高純度化が容易 (追加設備不要)	高純度化には追加設備が必要		
特性変化時の 消費エネルギー (水素比率)	現在:25-35% 将来:18%	現在:35-40% 将来:25%	水素化:7-18% 脱水素:20%以下 ※将来はデータ無し	現在:-32% ※反応熱の有効利用で 引き下げ余地有
技術的成熟度	- 国際運搬用の、大規模液化機、運搬船等は要技術開発 - 液化水素ローリー等の国内運搬設備は現在も利用し成熟	- 水素化・脱水素プラントは今年度で実証完了 - 国内外運搬には既存インフラ利用可能	- 脱水素設備以外成熟 - 国内外の既存サプライチェーン利用可能	- 国内外で実証試験が実施 - 国内外の既存サプライチェーン利用可能

3. 合成燃料の役割



合成石油(エネルギー利用のCCU)

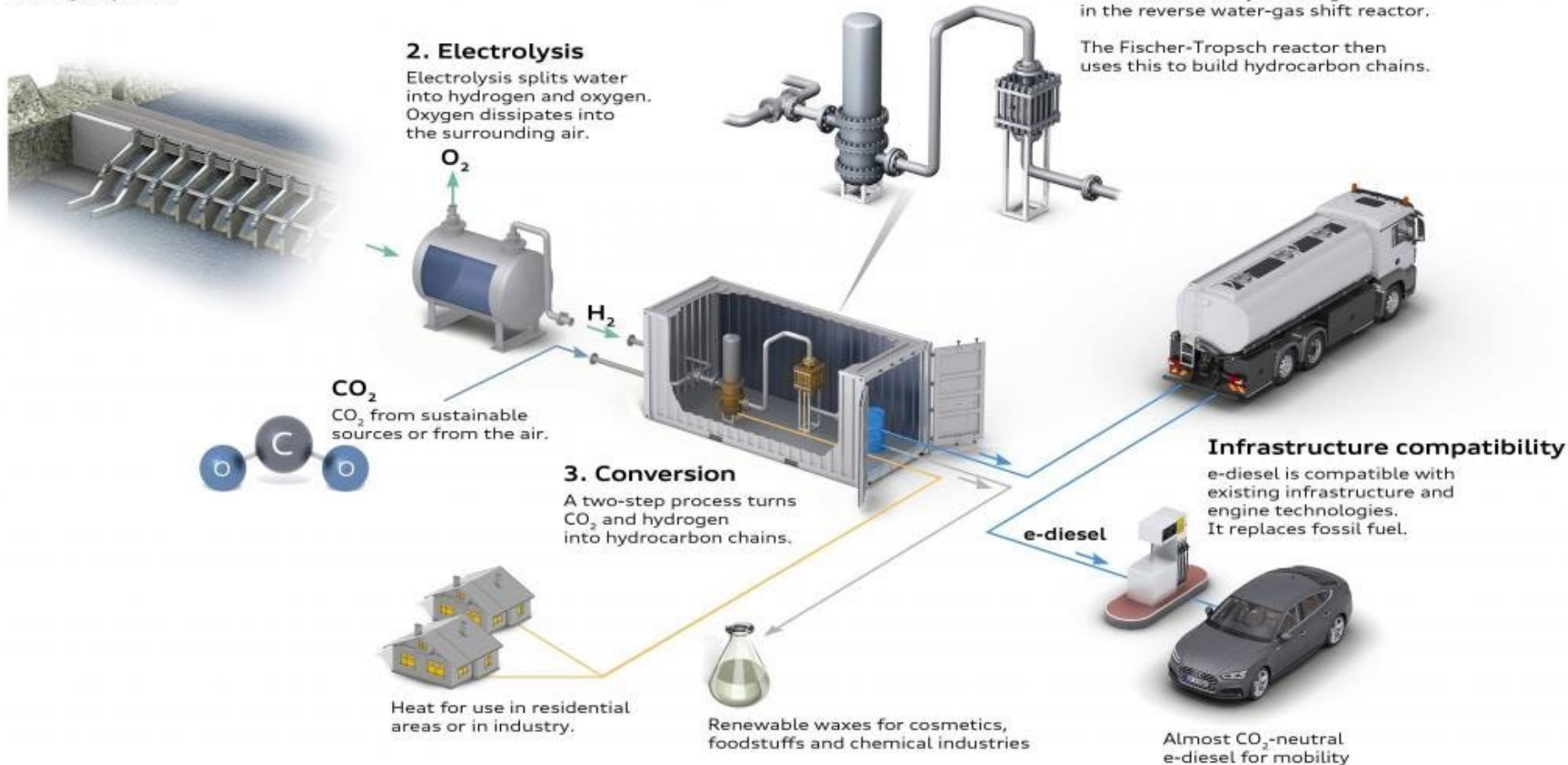
- ✓ 水素の更なる利便性向上のため、合成石油としての利用も検討されている(既存インフラ、機器が利用可能となる)。
- ✓ 合成に利用の回収CO₂は、化石燃料もしくはバイオマス燃焼排出、もしくはDACからのオプションあり。

1. Renewable electricity

Renewable energy obtained from hydropower.

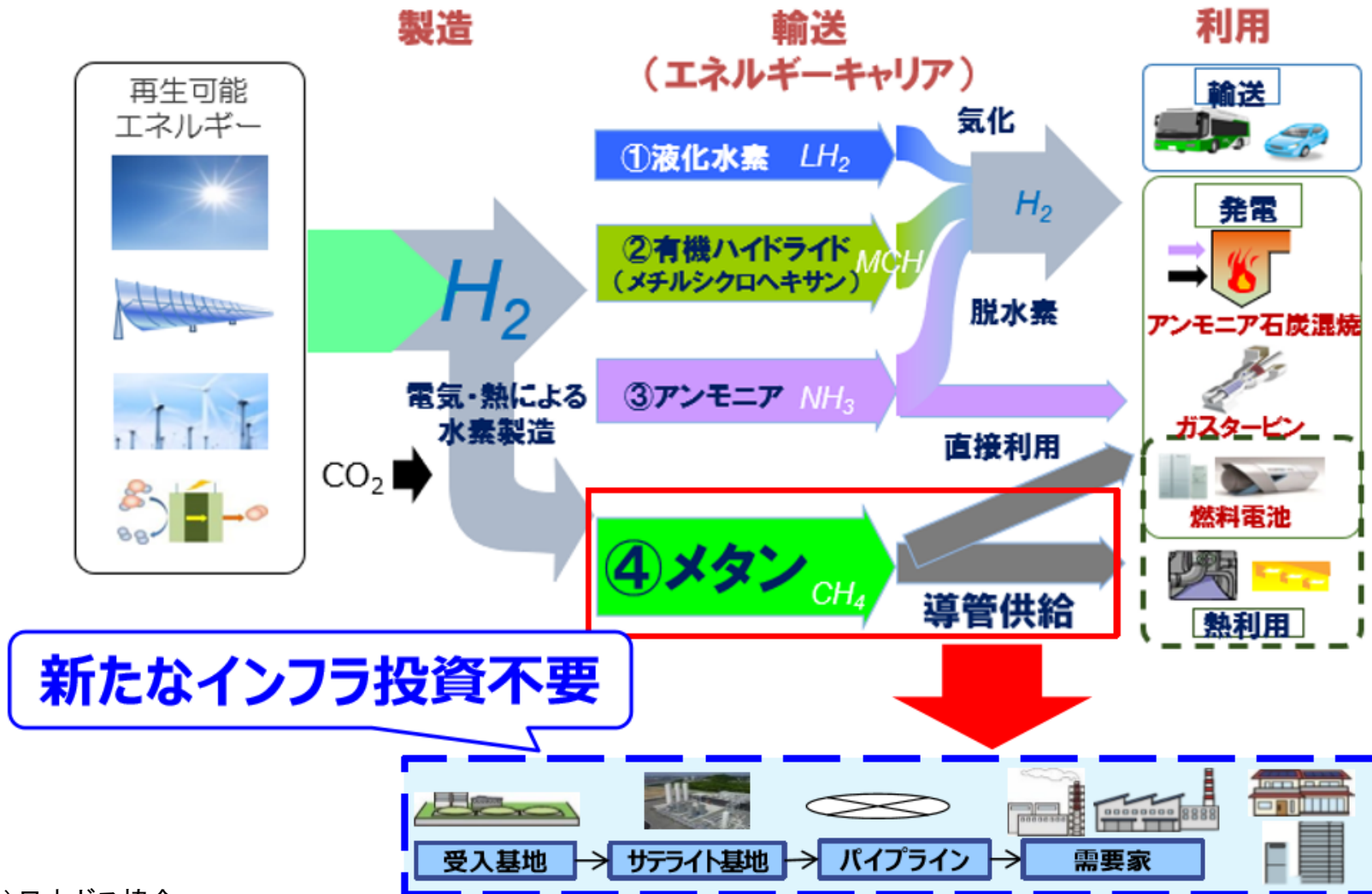
2. Electrolysis

Electrolysis splits water into hydrogen and oxygen. Oxygen dissipates into the surrounding air.



合成メタン(エネルギー利用のCCU)

- ✓ 水素の更なる利便性向上のため、合成メタンとしての利用も検討されている(既存インフラ、機器が利用可能となる)。
- ✓ 合成に利用の回収CO₂は、化石燃料もしくはバイオマス燃焼排出、もしくはDACからのオプションあり。



4. 脱炭素化に向けた長期展望

(世界エネルギーシステム・温暖化対策
評価モデルによる分析例)



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・CO₂削減技術のシステムの的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、CO₂(ただしCO₂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)、CO₂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CO₂ 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

モデル分析のシナリオ想定

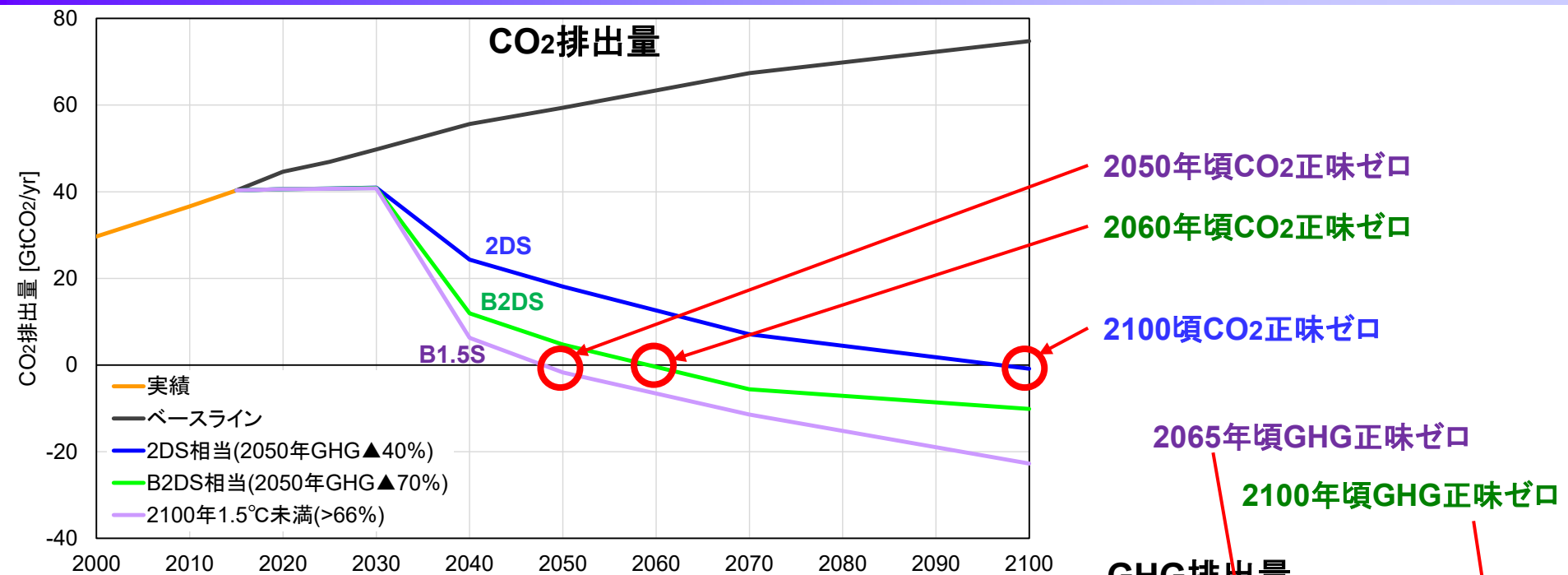
シナリオ名	世界排出シナリオ	【供給側】再エネコスト(太陽光発電コスト)	【需要側】シェアモビリティ進展(完全自動運転車実現)	【負排出技術】大気CO2直接回収技術(DAC)
REF_1	ベースライン (特段のCO2排出制約なし)	標準	想定せず	想定せず
2DS_1	2℃未満(>50%) : IEA ETP2017の [2DS]相当	標準	想定せず	想定せず
2DS_2		低コスト(中東・北アフリカ中心に)		
2DS_3			シェアモビリティ進展 (完全自動運転車実現)	
B2DS_2	2℃未満(>66%) : IEA ETP2017の [B2DS]相当	低コスト(中東・北アフリカ中心に)	想定せず	想定せず
B2DS_3			シェアモビリティ進展 (完全自動運転車実現)	
B1.5D_2	2100年1.5℃未満 (>66%) : 気温の オーバーシュート有	低コスト(中東・北アフリカ中心に)	想定せず	想定せず
B1.5D_3			シェアモビリティ進展 (完全自動運転車実現)	
B1.5D_3_DAC			DAC実現(低位コスト)	

注) いずれのシナリオも、世界の限界削減費用均等化(費用最小)を想定

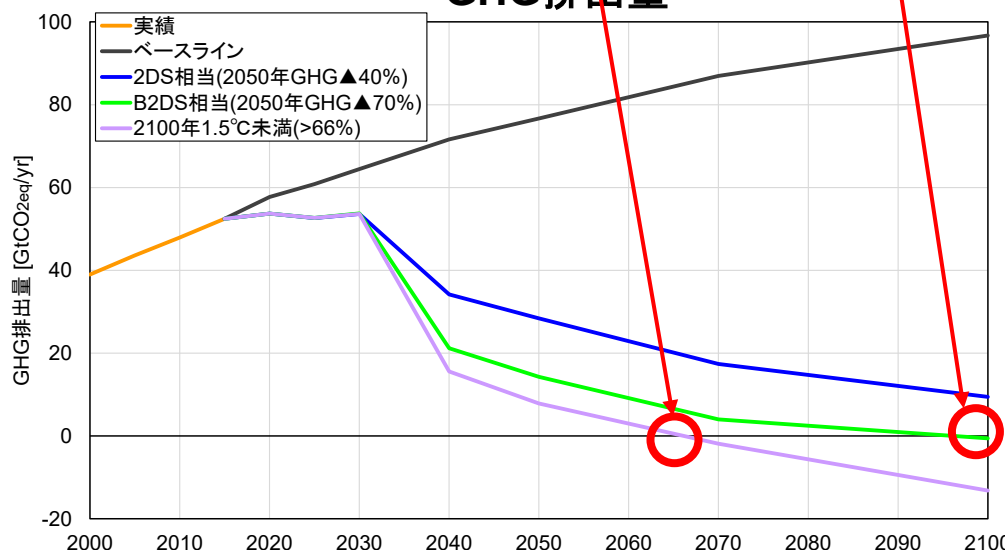
【社会経済シナリオ(SSPs: Shared Socioeconomic Pathways)】

■ **SSP2(中位シナリオ)ベース:** 世界人口 92億人 in 2050、世界GDP成長率 2.4%/yr(2000-50年)をベースに分析

ベースラインの世界排出量と想定した2°C、1.5°C排出シナリオ

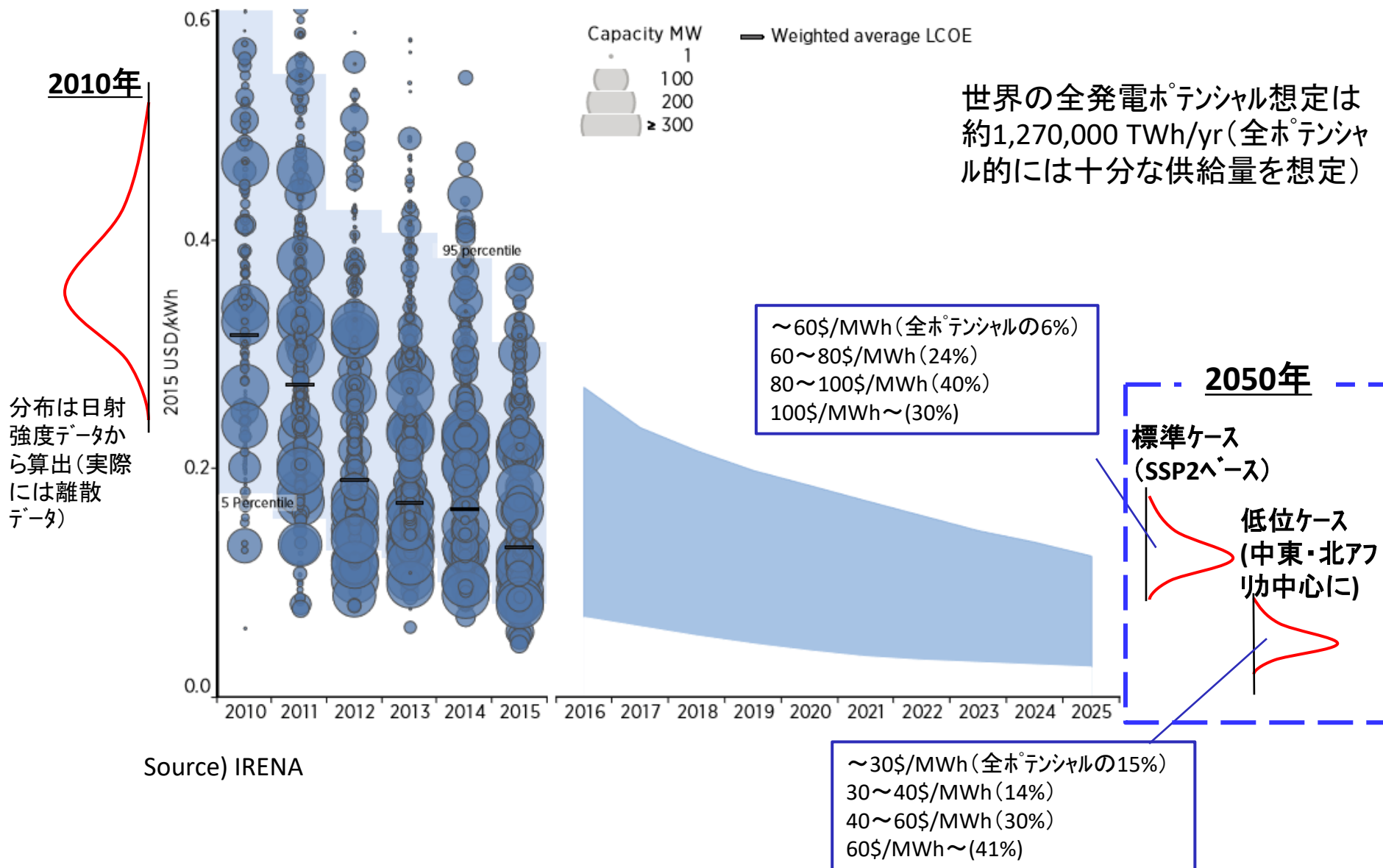


注) ベースライン排出量は前提とする想定シナリオではなく、モデル計算結果 (SSP2シナリオを表示)



※ 2DS、B2DS、B1.5Sシナリオについては、2030年までは各国NDCs相当の排出制約を想定

【参考】太陽光発電コストのケース想定イメージ： 標準ケースとコスト低位ケース

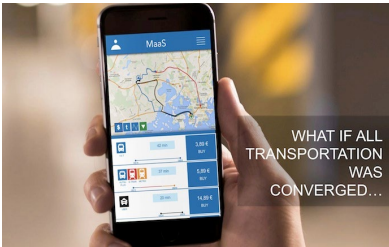


※ なお、DNE21+モデルでは、VREのシェアが増すに従い、系統安定化のための追加費用が別途必要と想定している。

【参考】運輸部門: CASE



Connected; Service & Shared



WHAT IF ALL
TRANSPORTATION
WAS
CONVERGED...



Autonomous; Electric



自家用車の稼働率は5%前後。
完全自動運転でシェアリングで
稼働率上昇の余地大

Autono-MaaS専用EV「e-Palette」

出所：ナカニシ自動車産業リサーチ

出典)トヨタ



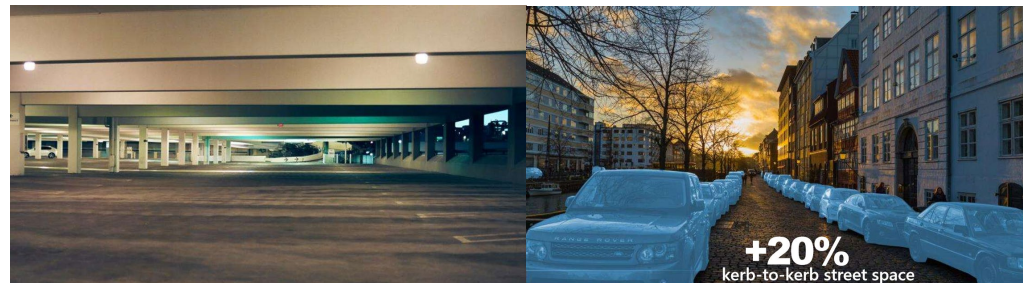
車の形が変わる

自動車と近距離航空の
融合の可能性も

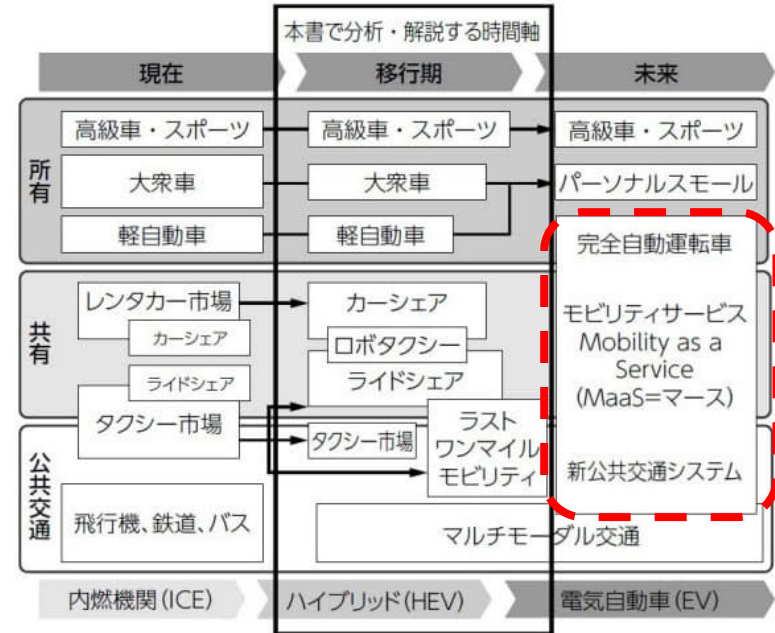


Airbus, Audi

シェア化に伴い、車両台数低減
が、素材生産量を低減し、また
都市の形を変える可能性も



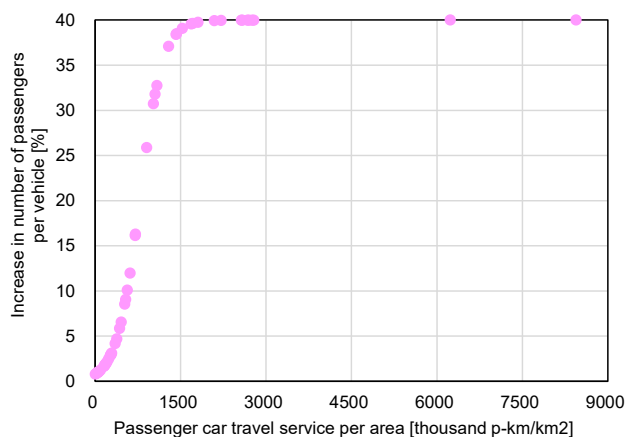
出典) Jari Kaupila, ALPSシンポジウム(2019)



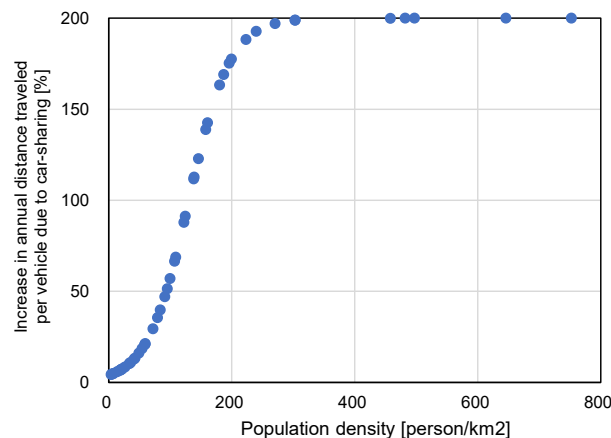
【参考】完全自動運転車と誘発されるシェアモビリティの想定

- ◆ 完全自動運転シェアカーは2030年以降利用可能と想定し、主要なパラメータはFulton他(2017)等を参考にしつつ、以下のように想定

完全自動運転車によるライドシェア誘発の想定



完全自動運転車によるカーシェア誘発の想定



	非完全自動運転車(自家用車)	完全自動運転車(シェアカー)
車両価格	別途、車両タイプにより、それぞれ車両価格を想定	2030: +10000\$ 2050: +5000\$ 2100: +2800\$ (非完全自動運転車比)
車の寿命	13-20 年	4-19 年
一台あたり平均乗車人数	2050: 1.1-1.5 人 2100: 1.1-1.3 人	2050: 1.17-2.06 人 2100: 1.11-1.89 人

- ◆ 運転に要する時間の機会費用、安全性に関する費用を想定
- ◆ カーシェア・ライドシェアリングによる乗用車台数減少の影響を考慮

乗用車台数の減少による①鉄鋼製品とプラスチック製品の減少、②立体駐車場スペースの低下に伴うコンクリートと鉄鋼製品の減少を考慮

【参考】大気CO2直接回収(DAC)技術

- DACは、大気中からCO2を回収する。400 ppm程度の濃度の低いCO2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。
- ただし、VREが余剰、安価となった場合などにおいて大きな役割も期待できるかもしれない。
- 一方、DACCS(貯留まで)をすれば、負排出となる。

ICEFロードマップ2018 DACによる、DACのエネルギー消費量推計

Company	Thermal energy/ tCO ₂ (GJ)	Power/ tCO ₂ (kWh)
Climeworks	9.0	450
Carbon Engineering	5.3	366
Global Thermostat	4.4	160
APS 2011 NaOH case	6.1	194

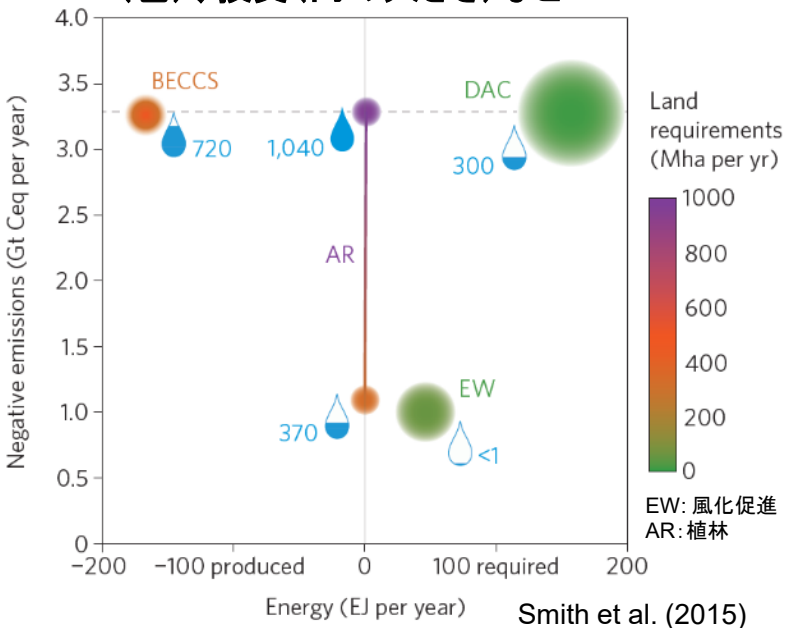
M. Fasihi et al., (2019)による2020年のDACのエネルギー消費量と設備費の推計

	エネルギー消費量 (/tCO2)		設備費 (Euro/(tCO2/yr))
高温(電化)システム(HT DAC)	電力 (kWh)	1535	815
	熱 (GJ)	6.3 (=1750 kWh)	
低温システム(LT DAC)	電力 (kWh)	250	730
	熱 (GJ)	6.3 (=1750 kWh)	



Climeworks

必要エネルギー(横軸)、土地面積(色)、投資(円の大きさ)など



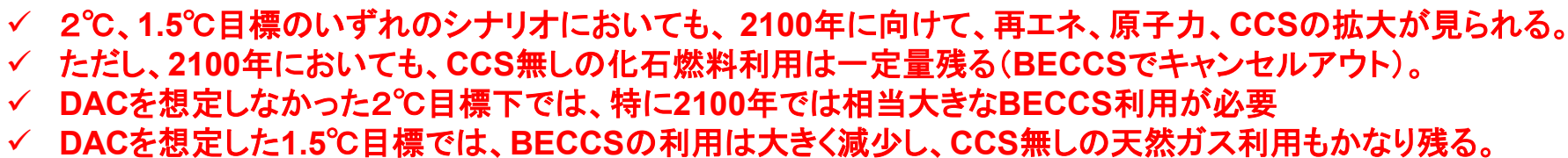
2050年の排出削減費用

	2°C、>50%			2°C、>66%		1.5°C in 2100 (OS)、>66%		
	2DS_1 (標準)	2DS_2 (PVコスト低)	2DS_3 (+カーシェア)	B2DS_2 (PVコスト低)	B2DS_3 (+カーシェア)	B1.5D_2 (PVコスト低)	B1.5S_3 (+カーシェア)	B1.5S_3_ DAC(LC)
CO ₂ 限界 削減費用 (\$/tCO ₂)	183	169	152	524	430	実行可能 解無し	実行可能 解無し	151
CO ₂ 削減 費用 (billion US\$/yr)	2097	1585	ネガティ ブ費用	5650	ネガティブ 費用	実行可能 解無し	実行可能 解無し	ネガティブ 費用

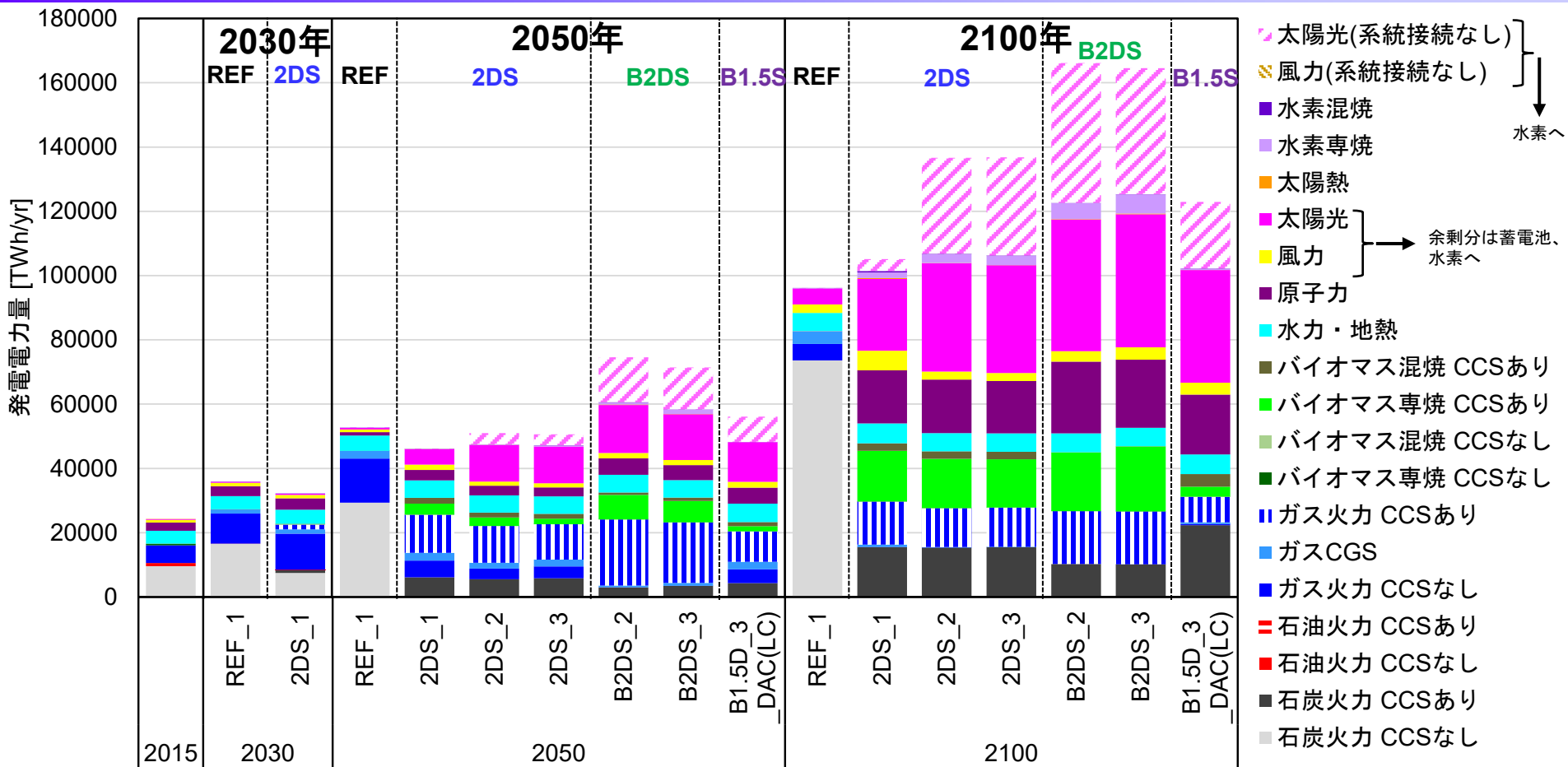
※ CO₂削減費用は、いずれもREF_1シナリオ比での記載。シェアモビリティ進展を想定したシナリオ3では、CO₂削減の限界削減費用は正に留まるものの、技術進展に伴って誘発されるシェアモビリティ進展による自動車台数の低減とそれによって誘発される素材生産低減に伴うコスト低下が、限界費用までの積分値である排出削減費用を上回る結果となっていることを示す。

- ✓ 2°C目標でも、>50%確率(2DS)か、>66%確率(B2DS)かで世界の削減費用に大きな差あり。
- ✓ 中東等を中心とした再エネコスト低位ケースの場合(ケース2、3)、世界の対策費用低減に大きな効果あり。
- ✓ シェアモビリティ実現ケース(ケース3)では、限界削減費用が大きく低下し、シェアモビリティ非実現ケース比では負の削減費用に(効用の大きな低下を伴わずに、自動車台数の低減により全体費用の低減が可能となるため)。
- ✓ 1.5°Cシナリオについては、標準的な技術想定(REF_1)の下では、実行可能解が得られなかった。DACを想定した場合に限って実行可能解有。このとき、DACSのコストによって限界削減費用の上限がかなりの程度決まる。

一次エネルギー供給量 [Mtoe/yr]

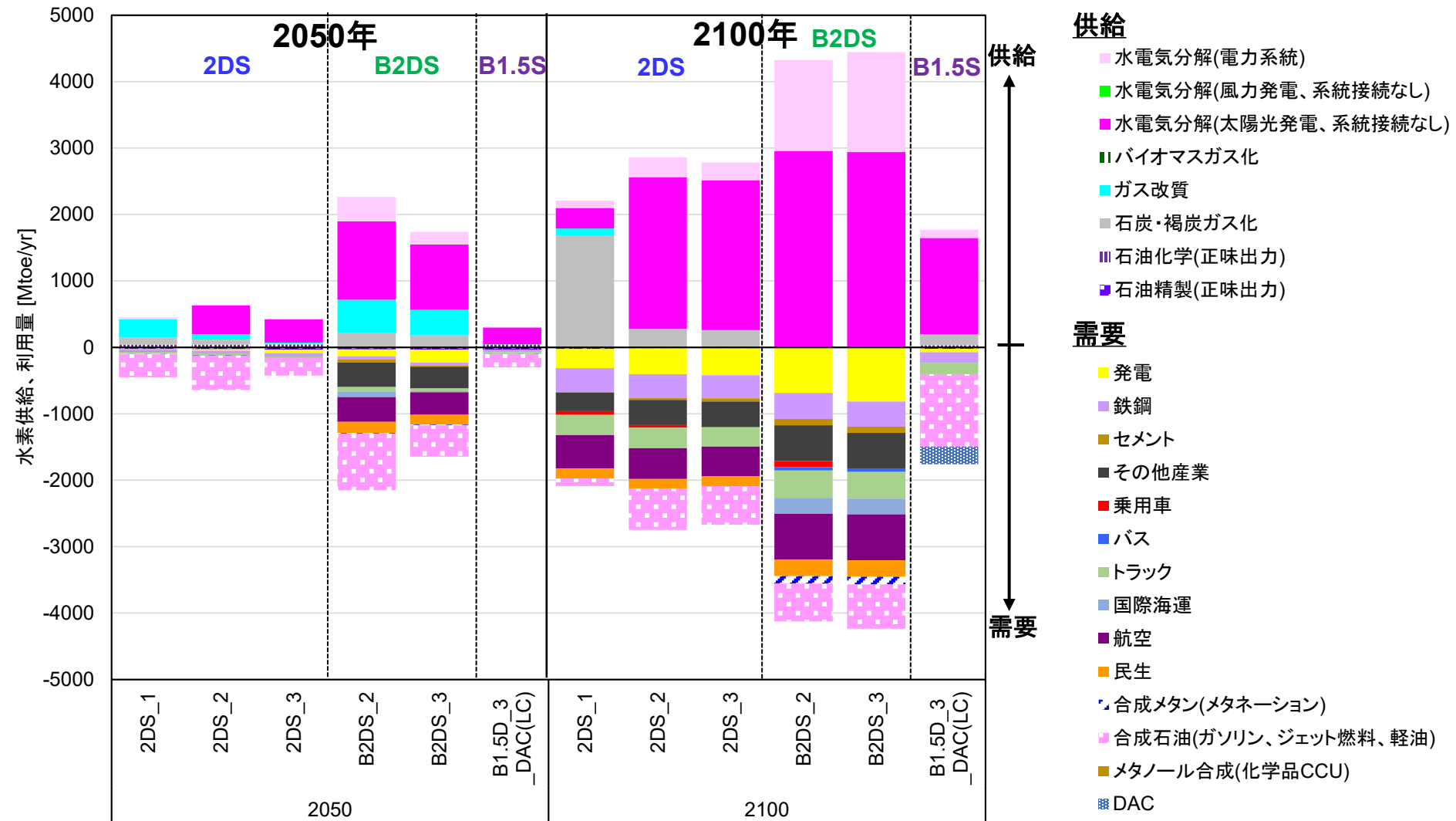


世界発電電力量(長期展望: ~2100年)



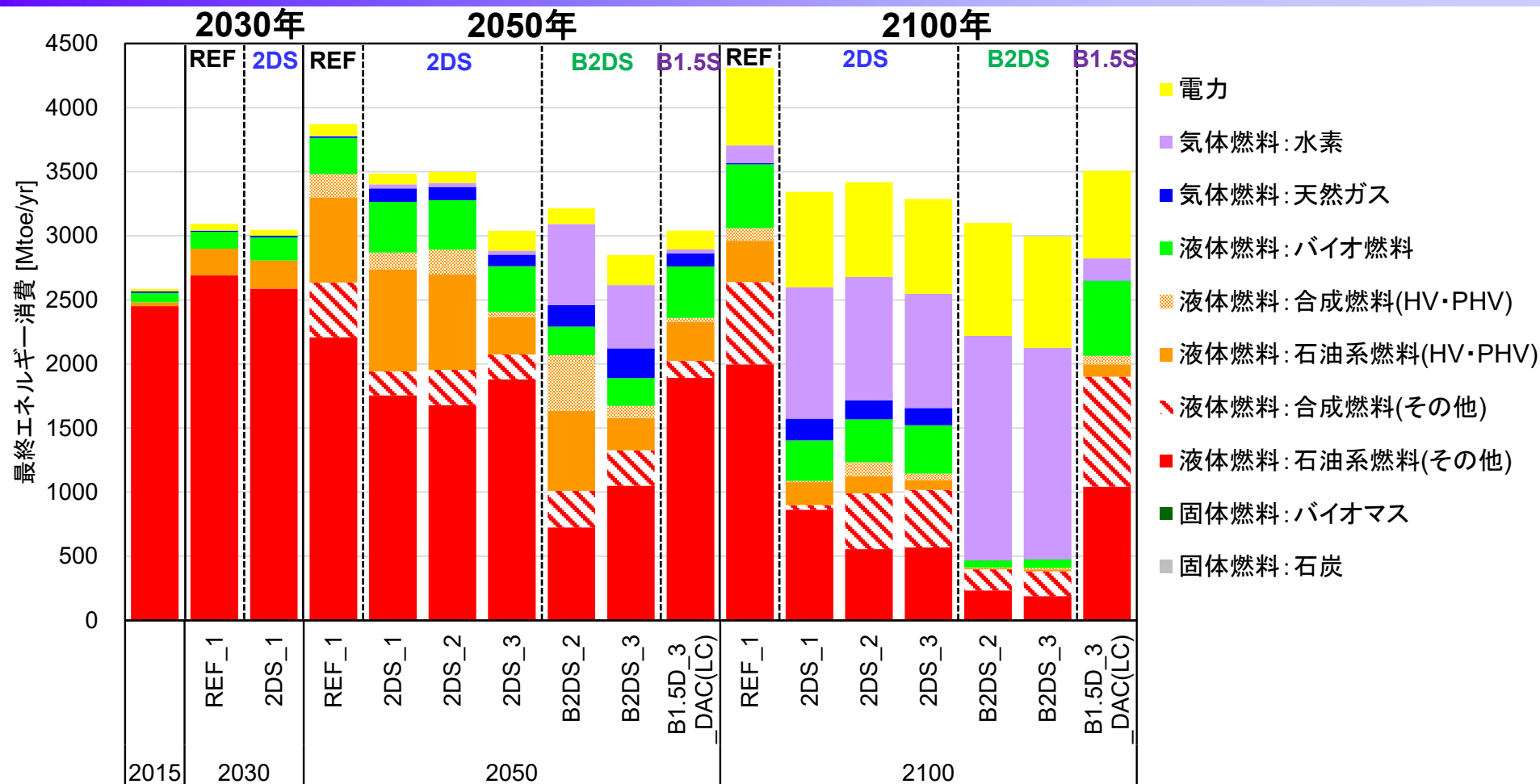
- ✓ 世界の発電電力量の伸びは大きい。
- ✓ 2°Cシナリオでは、2030年に向けてはガスの拡大、2050年以降は、再エネ、原子力の拡大、CCS利用が費用効率的に。2DSでは特に2050年に向けてコジェネの役割の重要性が増す。
- ✓ 2DSでは2100年頃、B2DSでは2060年頃のCO2排出ゼロに対応して、BECCSの利用の増大が見られる。
- ✓ シェアモビリティケースでは、特に2050年前後においてはBECCSの役割が低下
- ✓ 特にPVコスト低位シナリオでは、水素製造用も含め、2100年の太陽光発電のシェアは大きく増大
- ✓ B1.5Dでは、DACCSの利用により、BECCSの利用は減少。石炭CCSも増大傾向

世界の水素需給バランス(長期展望: ~2100年)



- ✓ 水素製造は、PVコストが標準ケースの場合(ケース1)は、石炭(褐炭含む)からのガス化+CCSが経済合理的な傾向。一方、PVコスト低位ケースの場合(ケース2、3)は、PV+水電解が経済合理的な傾向あり。
- ✓ 水素利用先は多様。合成石油、合成メタン(メタネーション)での利用も経済合理的に。

世界の運輸部門の最終エネルギー消費量(長期展望: ~2100年)

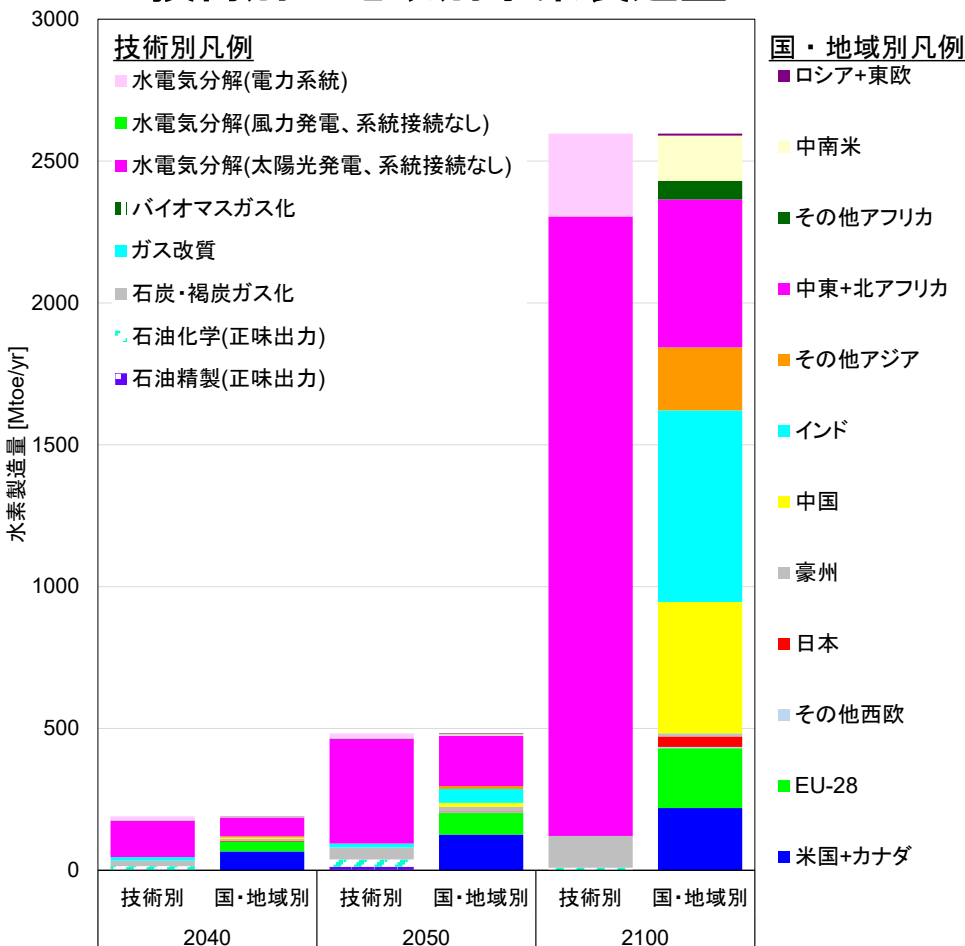


- ✓ 2°Cシナリオでは、EV、燃料電池自動車(FCV)、バイオ燃料の拡大が見られる。
- ✓ 特にB2DSの2050年以降は、FCTトラックを含め水素燃料の利用が拡大
- ✓ 2050年頃の一部ガス利用は国際海運での利用が主。2100年に向けては水素利用等に変遷。
- ✓ B2DSの2100年になるとバイオ燃料が減少。発電部門でのBECCS利用が費用対効果高いため
- ✓ 2050年頃を中心に合成燃料の利用も見られる。
- ✓ 2°Cや1.5°Cシナリオ(1.5°CはDAC有)であっても、2050年頃は、石油の利用も結構残る。

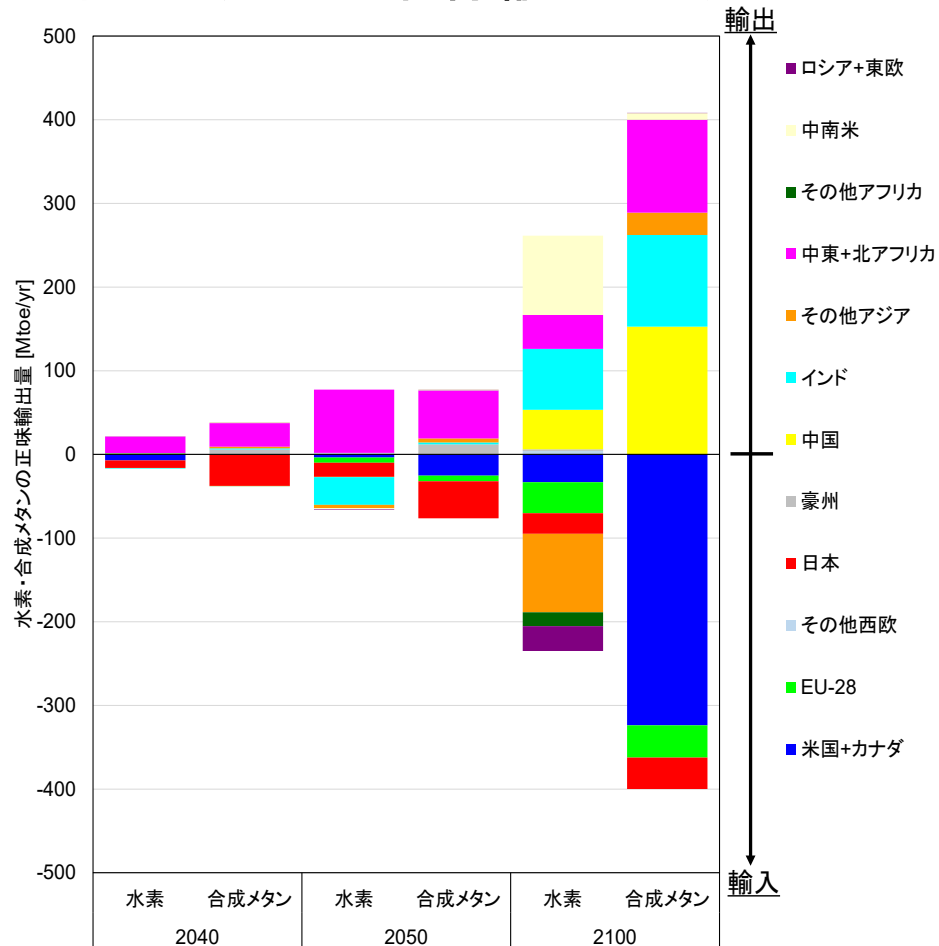
2DS+G7▲80%シナリオ：世界の技術別・地域別水素製造量

および水素・合成メタン国際輸出入バランス

技術別・地域別水素製造量



水素・合成メタン国際輸出入バランス



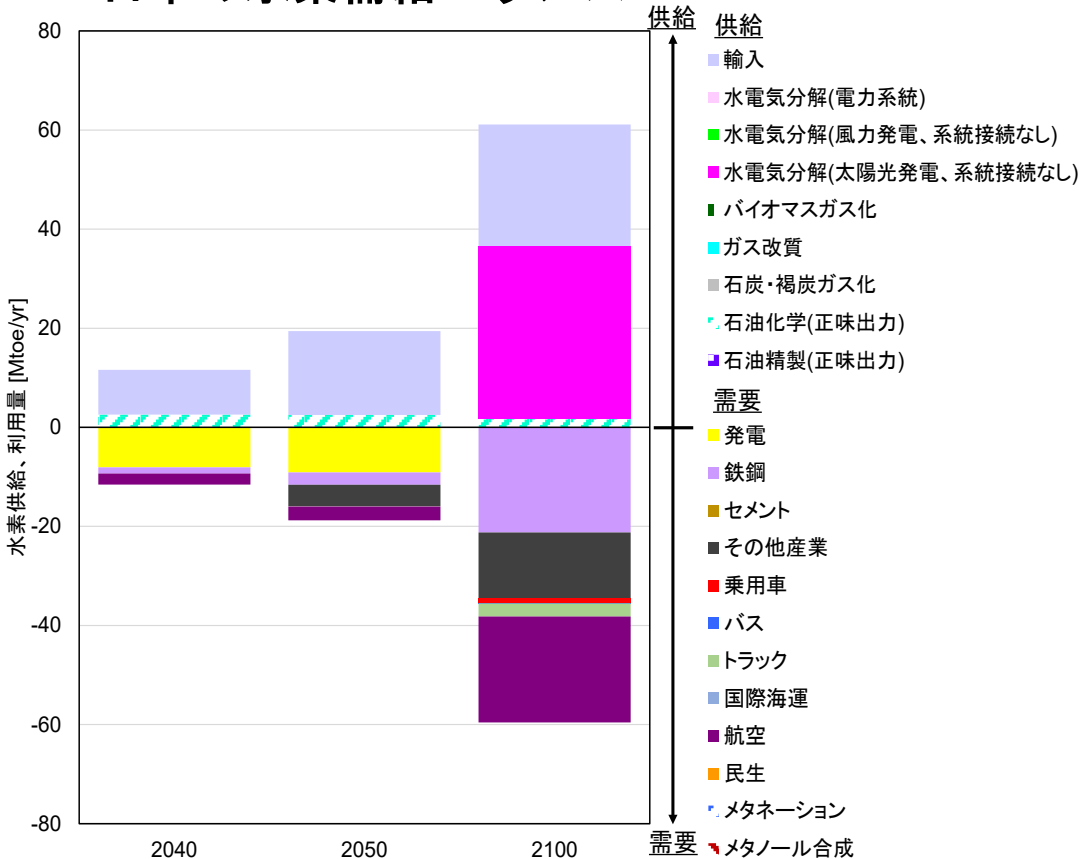
出典) 佐野他、エネルギー・資源学会論文誌、2021

注) 前頁までのモデル分析と比べ、合成液体燃料は考慮していないなどモデルの条件が異なることに注意

- ✓ 2050年において最も製造量が多いのは安価に太陽光発電が供給可能と想定した中東・北アフリカ。次いで米国・カナダ。
- ✓ 製造した水素の内、21%がメタネーションによって合成メタンに転換され、残りの79%が水素として直接利用される結果。
- ✓ 特に2050年頃までは、水素、合成メタンともに、世界における日本の輸入比率は大きい。

2DS+G7▲80%シナリオ：日本の水素・合成燃料 需給バランス

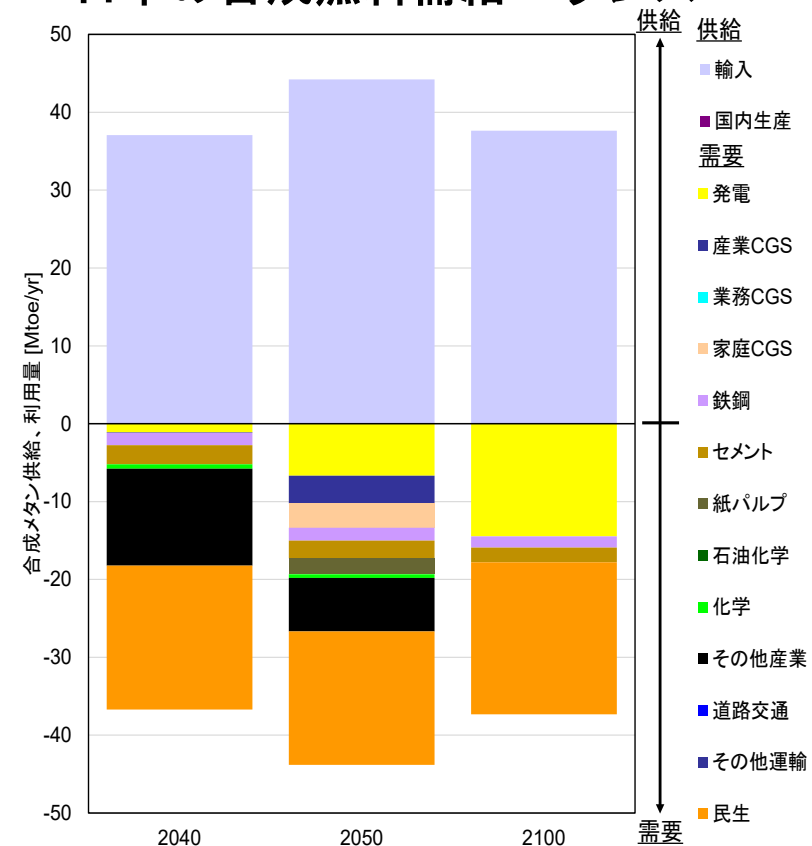
日本の水素需給バランス



出典) 佐野他、エネルギー・資源学会論文誌、2021

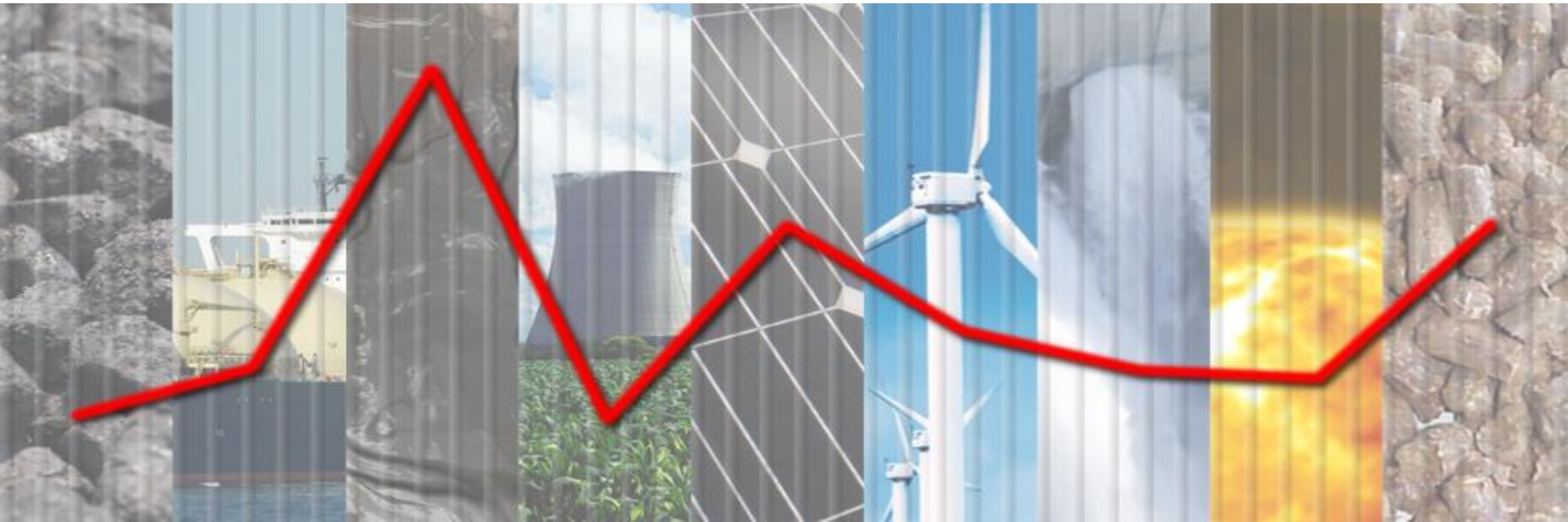
注) 前頁までのモデル分析と比べ、合成液体燃料は考慮していないなどモデルの条件が異なることに注意

日本の合成燃料需給バランス

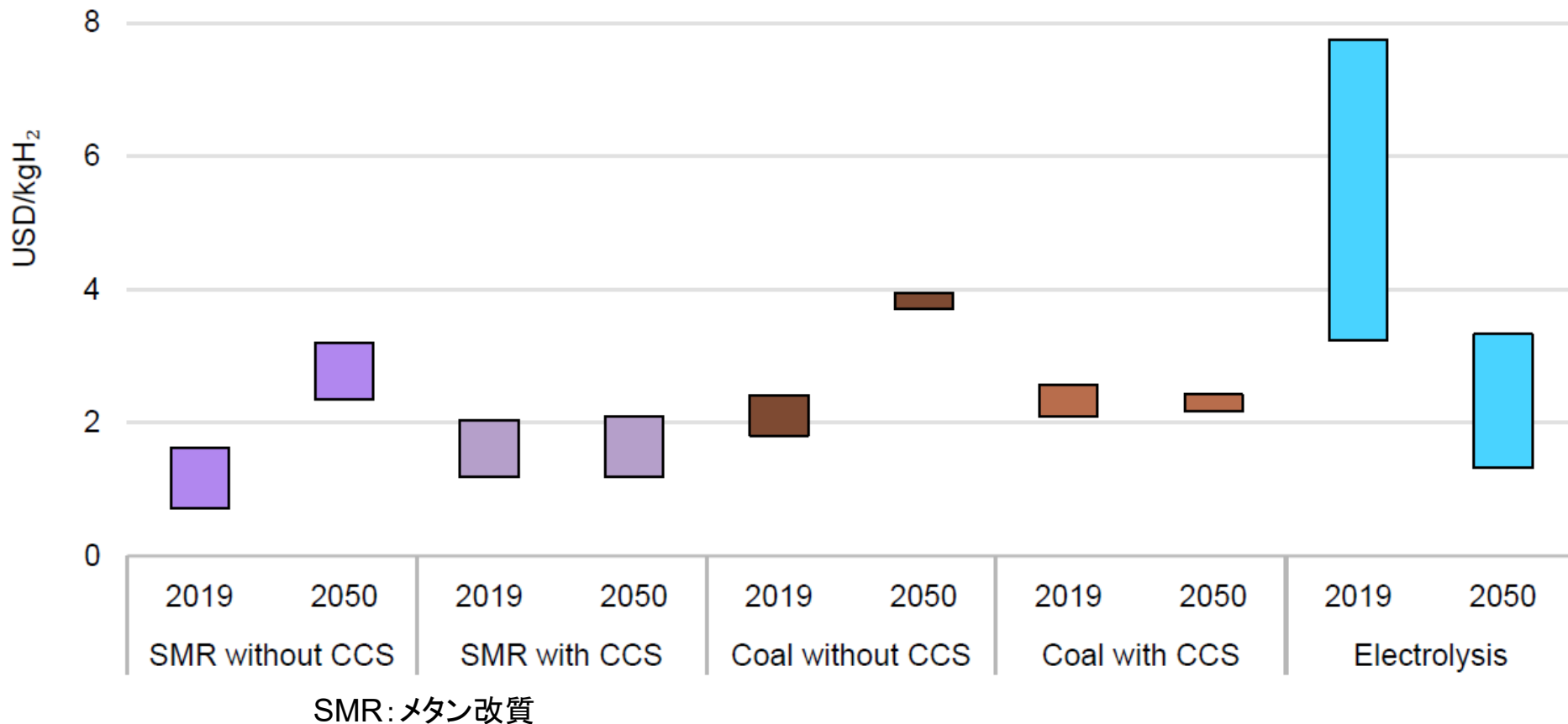


- ✓ 水素の用途は、発電および産業部門(鉄鋼部門の水素還元製鉄(2050年頃以降)とその他産業部門での熱利用)、運輸部門(航空とトラックおよび乗用車での利用)等が多い。
- ✓ 合成メタンについては日本での製造量はゼロであり、全量輸入によって供給。
- ✓ 合成メタン用途は、水素のディストリビューションコストが高く水素の利用がない民生部門の他、各種産業部門での利用や、産業部門と家庭部門のCGS、発電部門(大規模ガス火力発電所)と広い。

5. 海外のシナリオ推計例



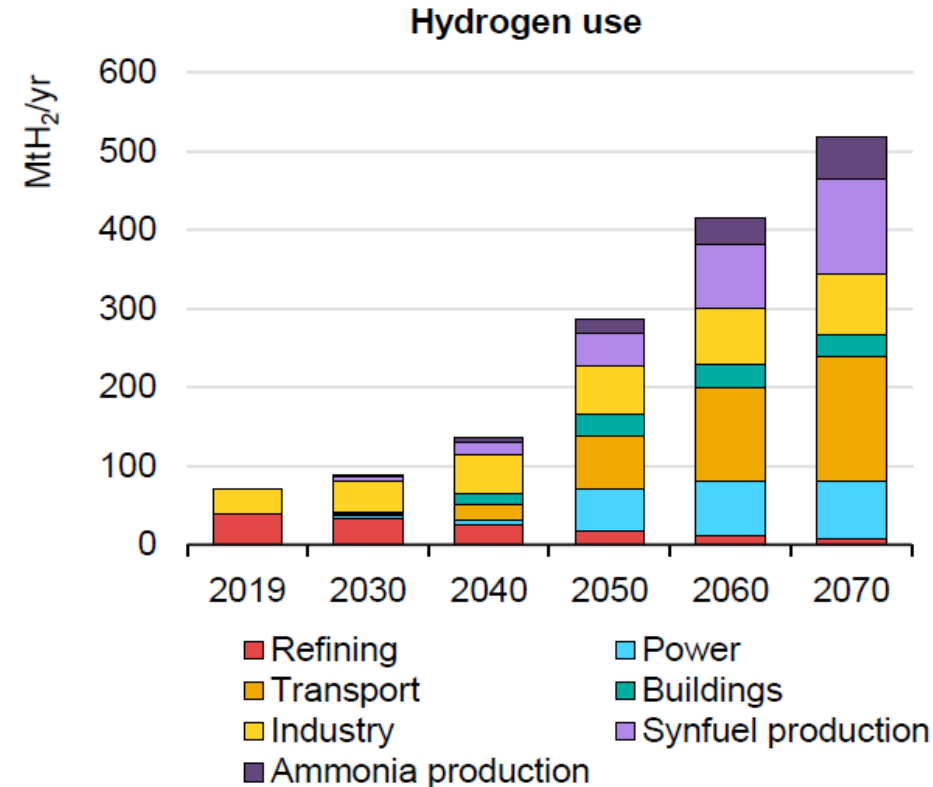
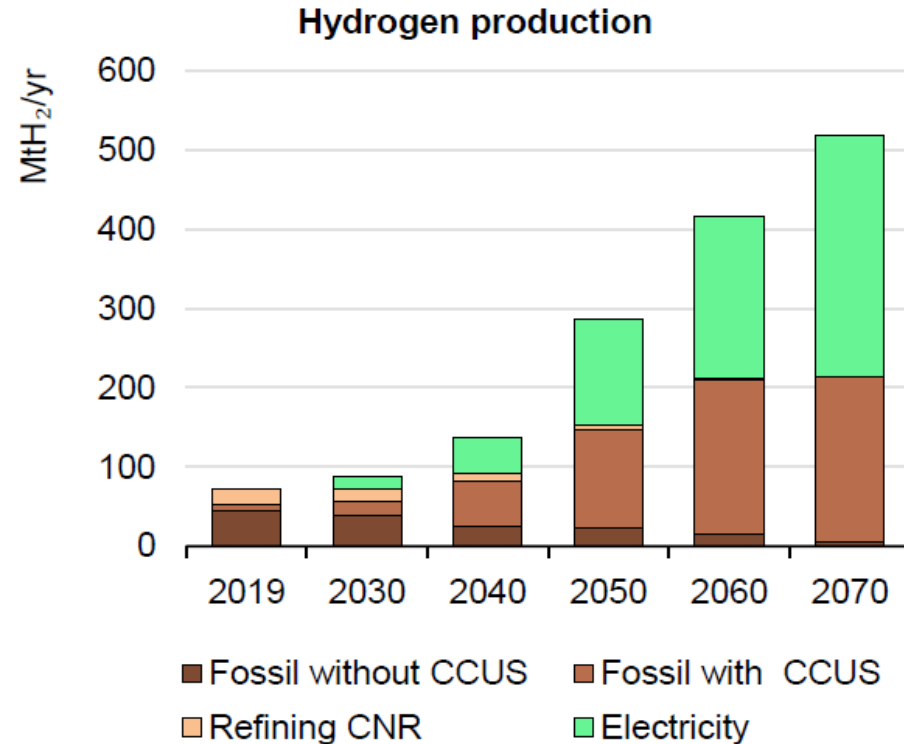
IEAによる世界の水素製造コストの見通し



出典) IEA ETP2020, 2020

- ✓ 現状では、化石燃料由来のブルー水素が安価。
- ✓ 将来的には再エネ由来のグリーン水素のコスト低減が期待できる。ただし、コストの幅は大きい。

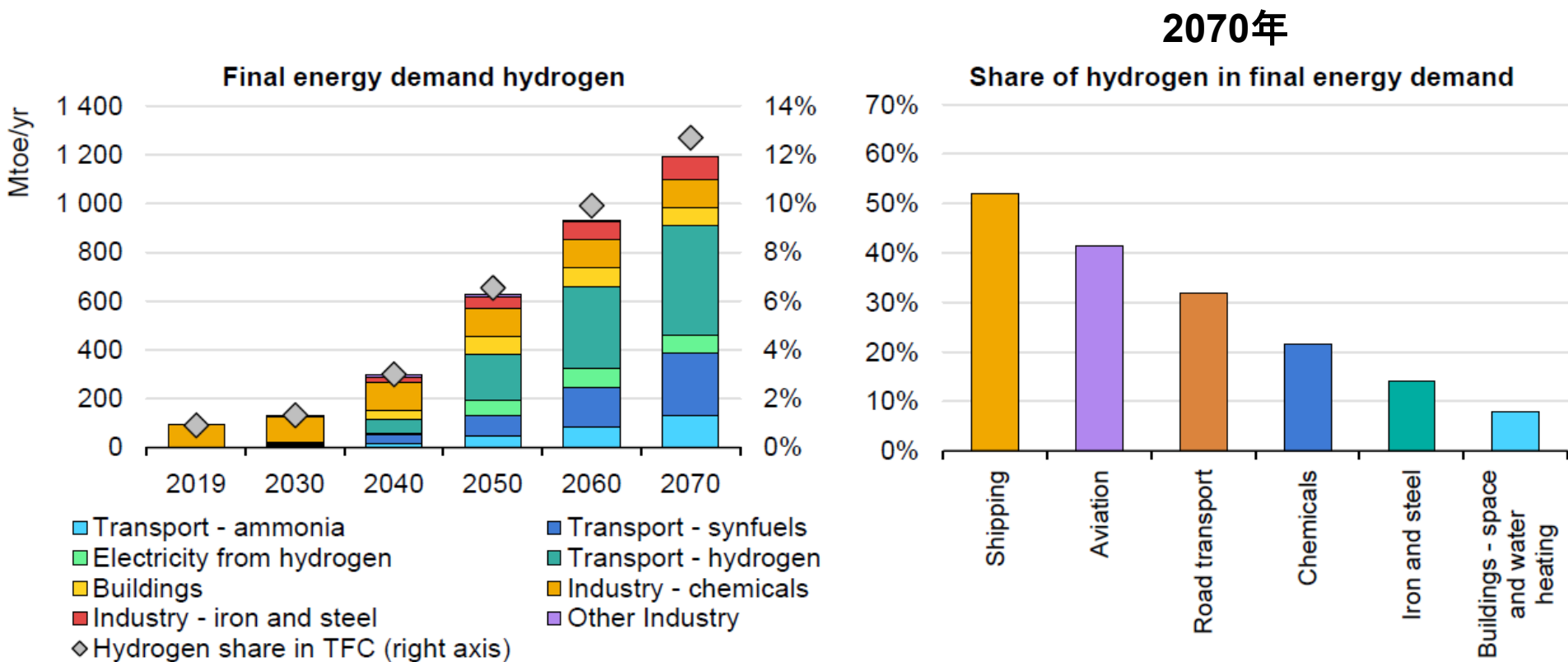
IEAによる世界の水素生産、利用の見通し



出典) IEA ETP2020, 2020

- ✓ IEAは、ブルー水素、グリーン水素ともに経済合理性を有すると推計している。
- ✓ 2040年頃までは、産業、精製プロセスでの水素利用を多く見込んでいる。2050年頃からは、発電、運輸、合成燃料等の利用拡大を見込んでいる。

IEAによる世界の最終エネルギーの水素需要



出典) IEA ETP2020, 2020

✓ 水素が占める比率的には、2070年では海運、航空部門で大きい。

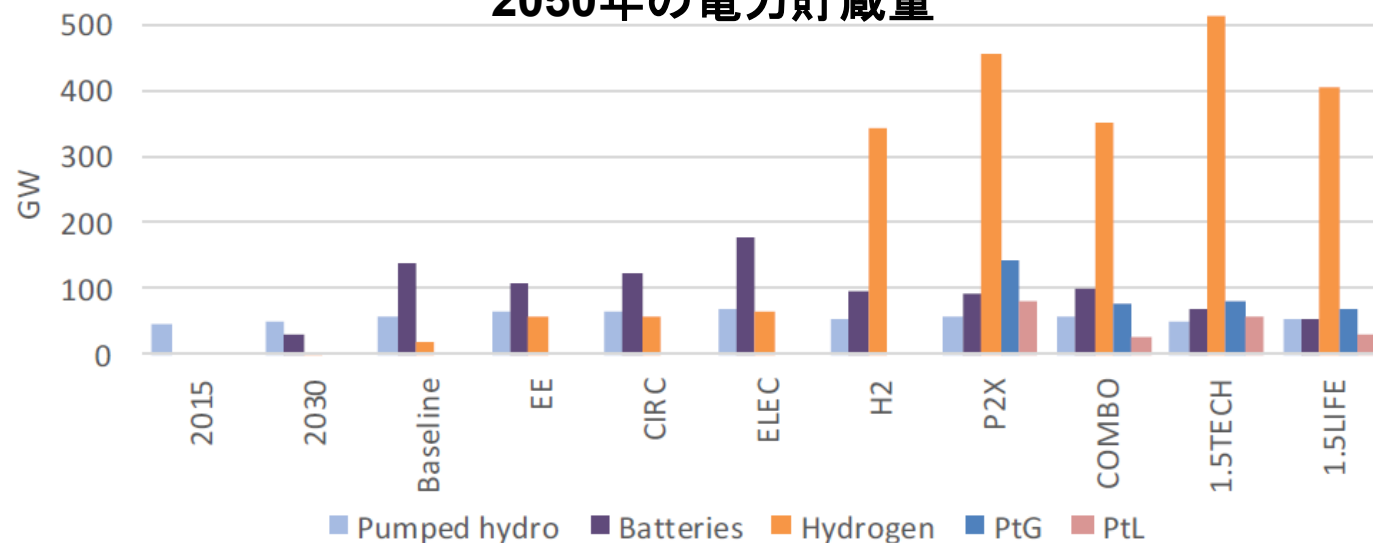
【参考】EUの長期戦略の想定シナリオ

長期戦略におけるオプション

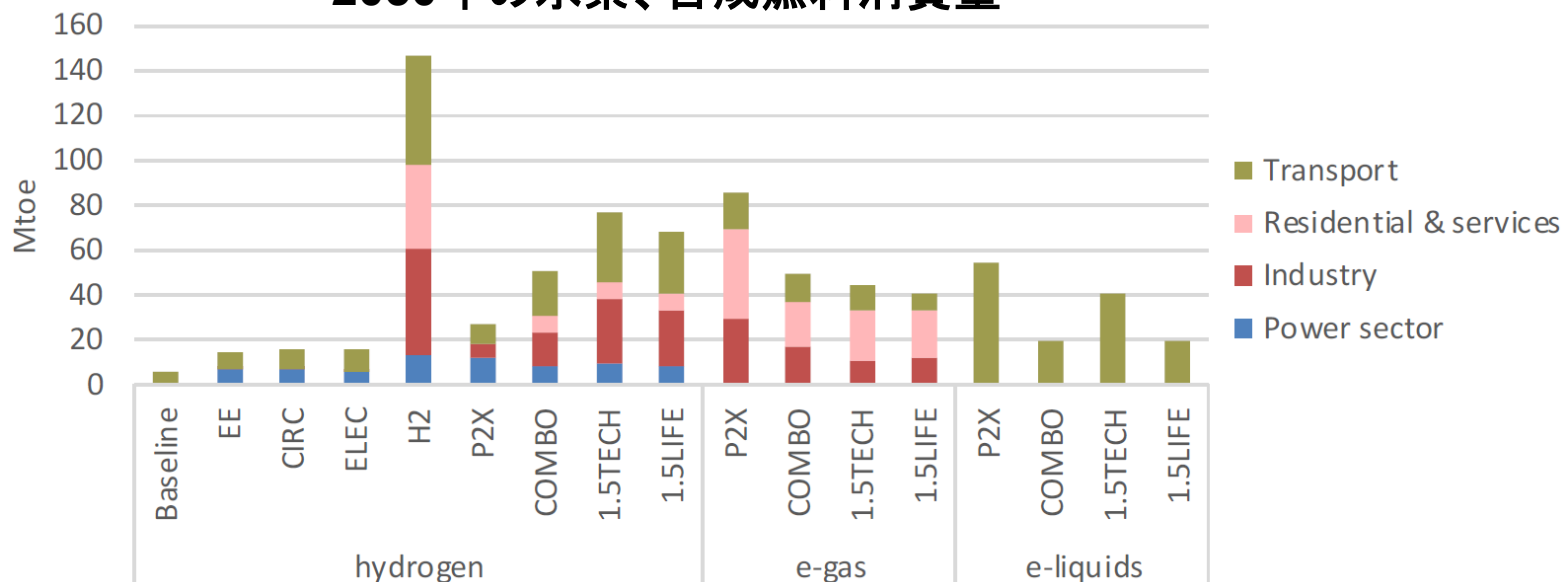
	電化 (ELEC)	水素 (H2)	Power-to-X (P2X)	省エネルギー (EE)	資源循環 (CIRC)	組み合わせ (COMBO)	1.5℃ 技術 (1.5TECH)	1.5℃ 行動変容 (1.5LIFE)
主要な要素	全てのセクターで電化を重点化	産業、輸送、建物での水素利用	産業、輸送、建物での合成燃料利用	全セクターでのエネルギー効率向上	資源、材料効率の向上	2℃シナリオから費用対効果の高い方法で組み合わせ	COMBOからBECCS, CCSの更なる利用	COMBOとCIRCからさらに行動変容
温室効果ガス2050年目標	-80%GHG（吸収源を除く） （“2℃を大きく下回る”野心）					-90%GHG（吸収源を含む）	-100%GHG（吸収源を含む） （“1.5℃”野心）	
主要仮説	・2030年以降の省エネの向上 ・持続可能、高度なバイオ燃料の展開 ・適度な資源循環対策 ・デジタル化					・インフラ配備のための市場調整 ・2℃シナリオ下ではBECCSは2050年以降のみに存在 ・低炭素技術について著しい learning by doing ・輸送システム効率の著しい改善		
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	高いリサイクル率、代替材料、循環対策	対象アプリケーションでの“2℃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 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
80%減 (2℃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℃シナリオ) BECCS/CCS、行動変容	

EUの電力貯蔵および水素・合成燃料消費量（2050年）

2050年の電力貯蔵量



2050年の水素、合成燃料消費量



6. まとめ

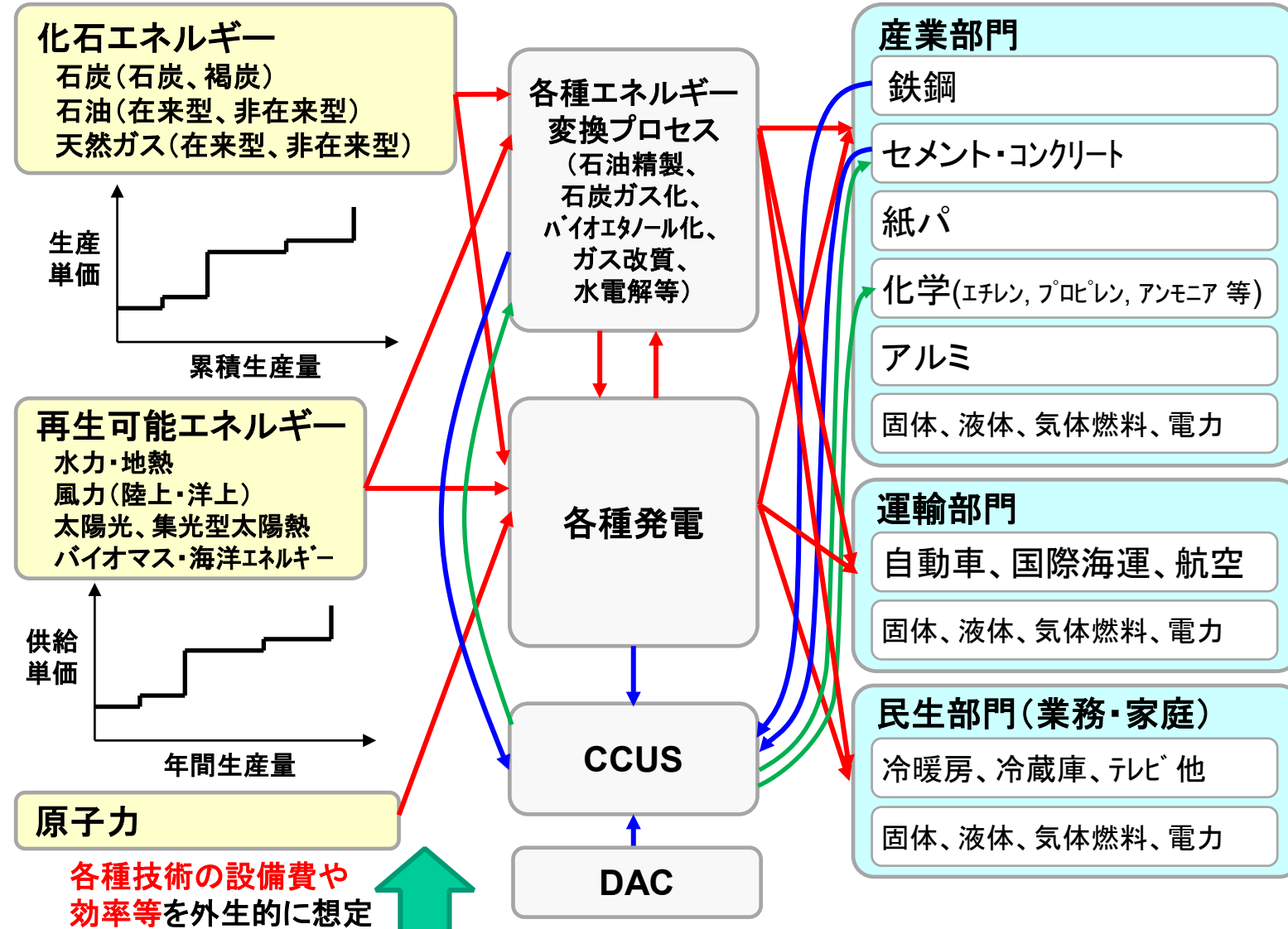


- ◆ パリ協定では、2°C目標、1.5°C目標や21世紀後半に実質ゼロ排出目標等に言及。また、早期のネットゼロエミッション実現への要請が強まっている。菅首相も2050年実質ゼロ宣言。
- ◆ 脱炭素化（ゼロ排出）のためには、原則的には、一次エネルギーは、再エネ、原子力、化石燃料＋CCSのみとすることが求められる。電力化率の向上と、低炭素、脱炭素電源化は、対策の重要な方向性
- ◆ 再エネの拡大が重要となる中、蓄電池、水素は重要なオプション。また、更に再エネの利用先を拡大するためにも、水素とCO₂からの合成燃料（CCU）も重要なオプションとなり得る。一方、いずれの技術も、コストの大幅な低減が不可欠。コストを見極めながら、適切な需要拡大を志向することは重要。
- ◆ 日本でのネットゼロエミッション実現においては、海外の再エネ、CO₂貯留リソースの活用は重要であり、そのために水素（合成燃料も含めて）の役割は大きいと考えられる。
- ◆ S+3Eの実現が大変重要。そして、多様なエネルギーの活用という点も重要。

付録

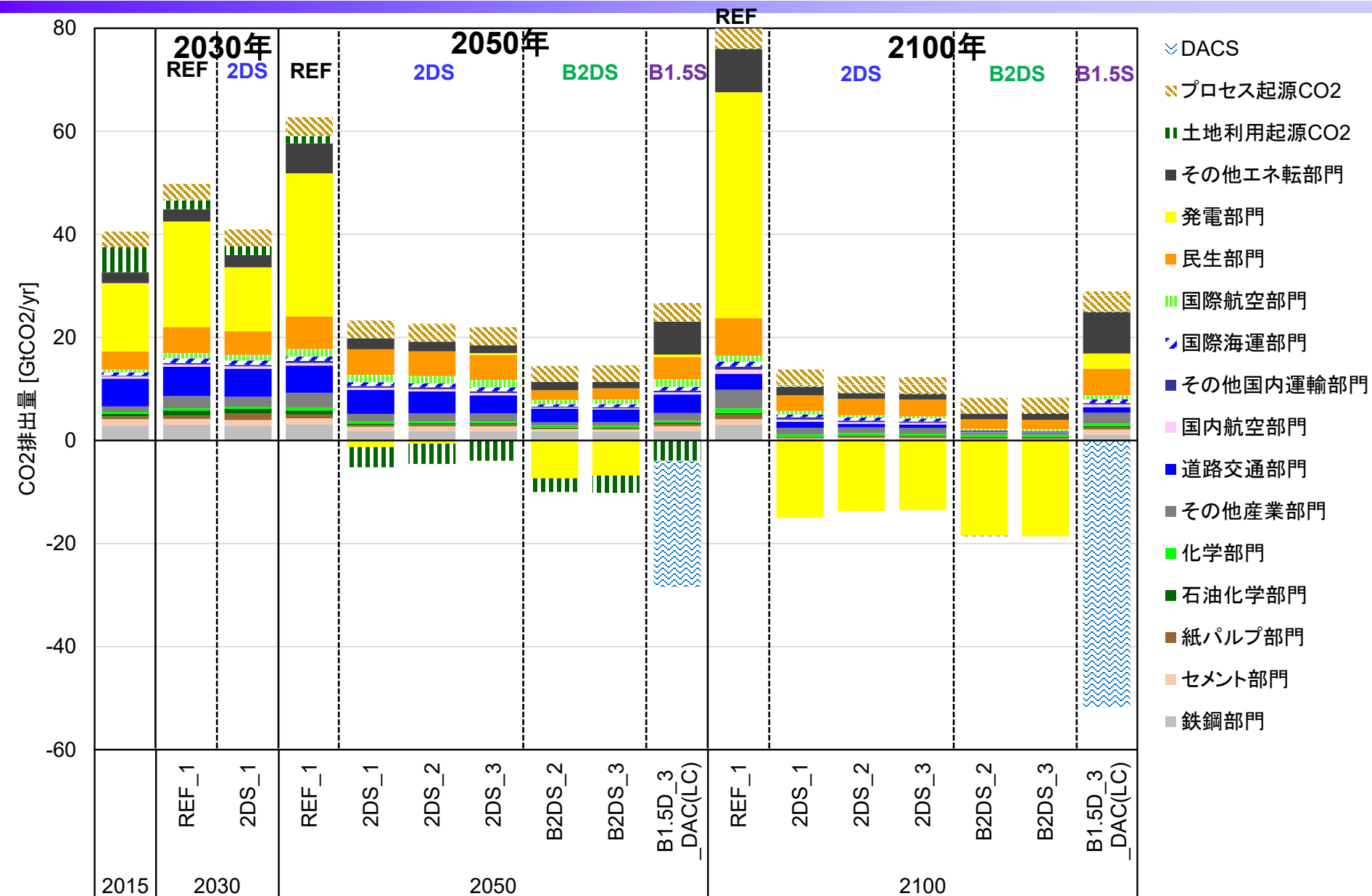
DNE21+のエネルギーフロー概略

温暖化対策を想定しないベースラインにおける化石燃料価格は外生的に想定し、生産単価や利権料等のその他価格要因を調整する。排出削減を想定したケースでは、それに伴う化石燃料利用量の変化に従って、モデルで内生的に価格が決定される。

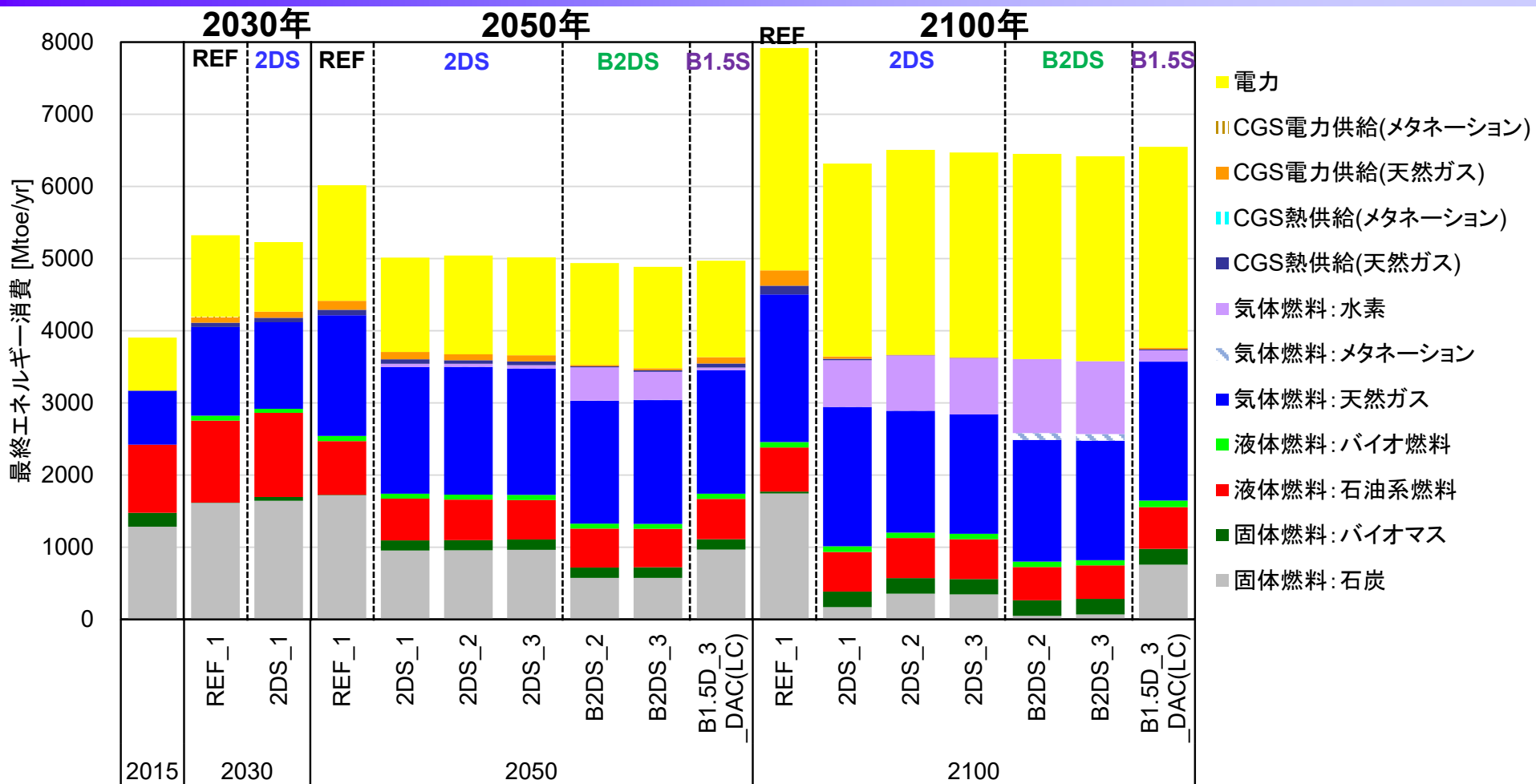


ボトムアップ的にモデル化している主要な部門については、**経済活動量やサービス需要**を外生的に想定してモデルに入力する(例:粗鋼やセメント生産量、乗用車の旅客サービス需要等)。

世界の部門別CO₂排出量(長期展望: ~2100年)

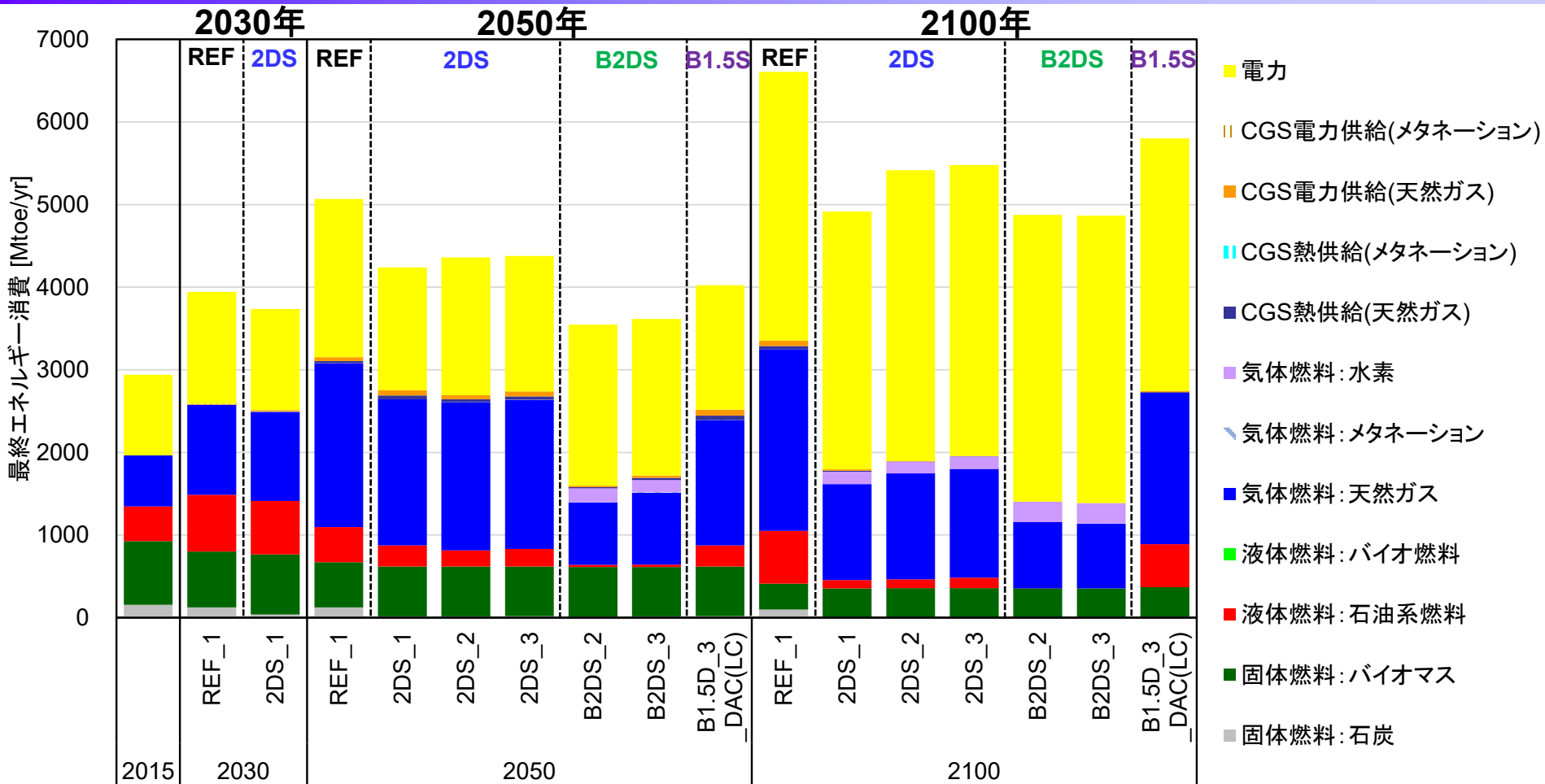


世界の産業部門の最終エネルギー消費量(長期展望: ~2100年)



- ✓ 2°C、1.5°Cシナリオでは、電力化率の向上が見られる。
- ✓ ガスについても、コジェネの拡大を含め、拡大が見られる。
- ✓ 2050年頃からは、B2DSを中心に、水素の利用も見られる。
- ✓ 1.5°Cシナリオでは、DACを想定している違いにより、B2DS(DAC無し)に比べ、水素の比率が低下する傾向

世界の民生部門の最終エネルギー消費量(長期展望: ~2100年)



- ✓ 2°C、1.5°Cシナリオでは、電化の促進が見られる。
- ✓ 2DSでは、コジェネの拡大を含め、ガスの拡大も見られる(特に2050年に向けて)。
- ✓ 2050年頃からは、B2DSを中心に、水素の利用も見られる。
- ✓ 2°Cシナリオでは、石油需要は低下。しかし、1.5°Cシナリオでは、DACの想定により、石油需要は相応に残り得る。