
カーボンニュートラル社会において 注目される技術

(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. CCU、DACの役割と課題
4. デジタル技術の進展による低エネルギー需要社会の実現の可能性
5. 世界の脱炭素化に向けた長期展望
6. カーボンニュートラルに向けた日本の対策の方向性
7. 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)

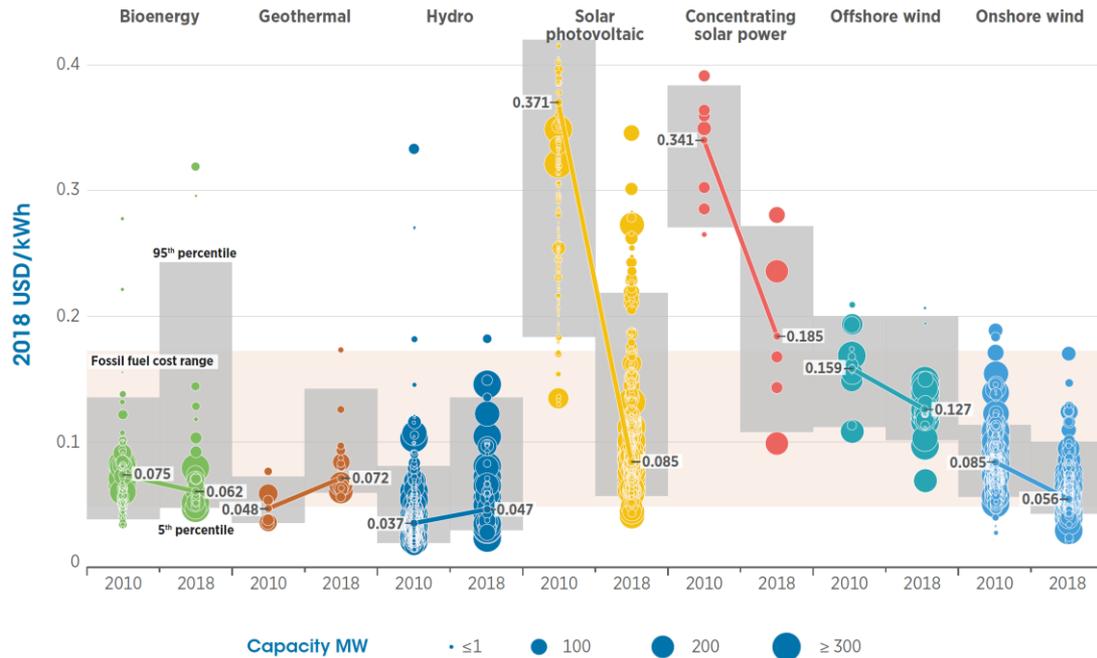
- ◆ 「[2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す](#)」と宣言

- ◆ 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

2. 再生可能エネルギー、蓄電池、 水素の役割と課題

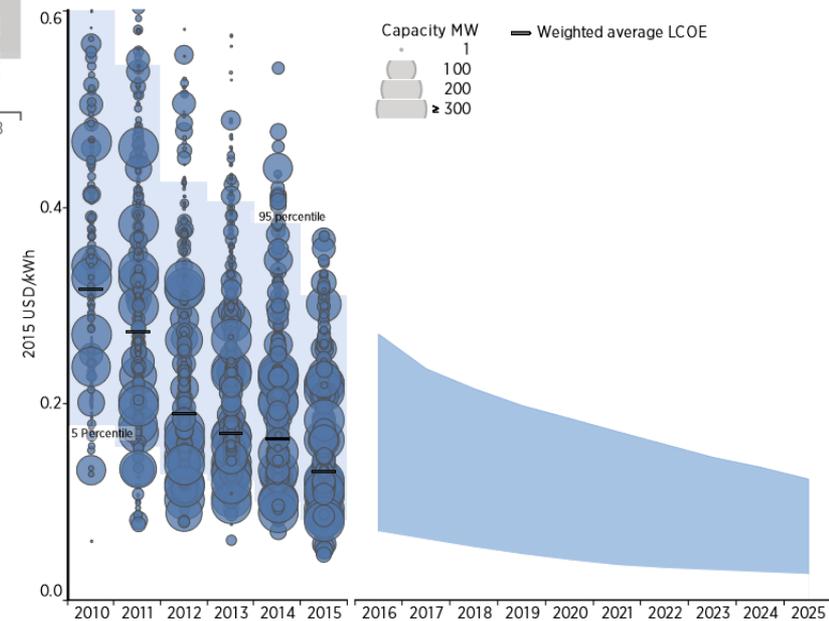


世界の再生可能エネルギーの動向



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</u> 億kWh	<u>6,000</u> 億kWh	<u>3,000</u> 億kWh	<u>11,000</u> 億kWh (1.1兆kWh)
変動再エネ 比率		<u>51%</u> (太陽光2% 風力49%)	<u>18%</u> (太陽光6% 風力12%)	<u>14%</u> (太陽光2% 風力12%)	<u>6%</u> (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)		<u>44%</u>	<u>10%</u>	<u>6%</u>	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)		<u>80%</u> (430万kW 輸出: 280万kW 輸入: 150万kW)	<u>40%</u> (1,600万kW 輸出: 1200万kW 輸入: 400万kW)	<u>35%</u> (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	<u>33%</u> (100億kWh)	<u>13%</u> (850億kWh)	<u>1%</u> (20億kWh)	輸出入 なし
	輸出	<u>33%</u> (100億kWh)	<u>13%</u> (850億kWh)	<u>1%</u> (20億kWh)	輸出入 なし
	輸入	<u>55%</u> (160億kWh)	<u>5%</u> (340億kWh)	<u>8%</u> (240億kWh)	輸出入 なし

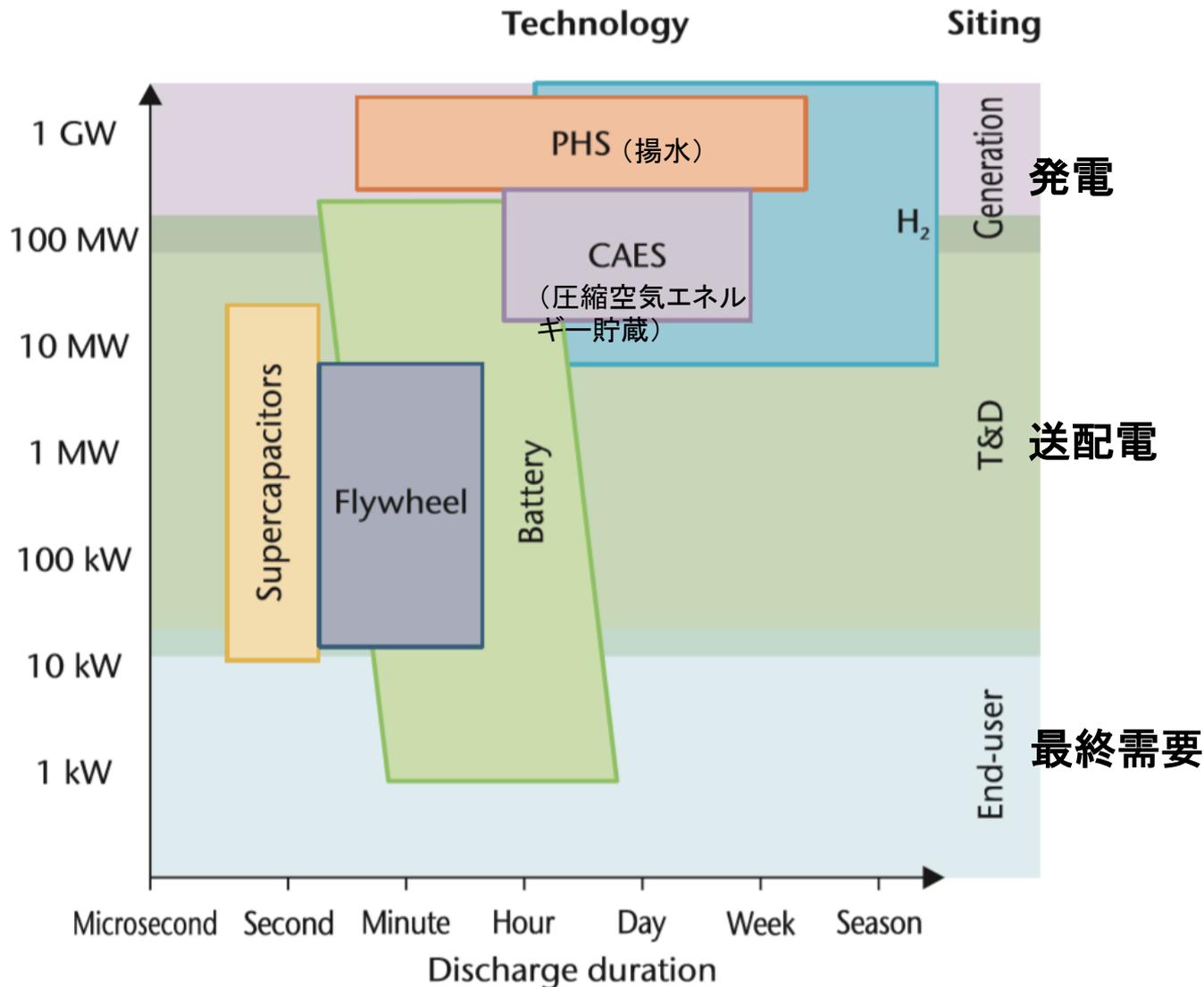
②再エネ比率拡大

①連系容量拡大

※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

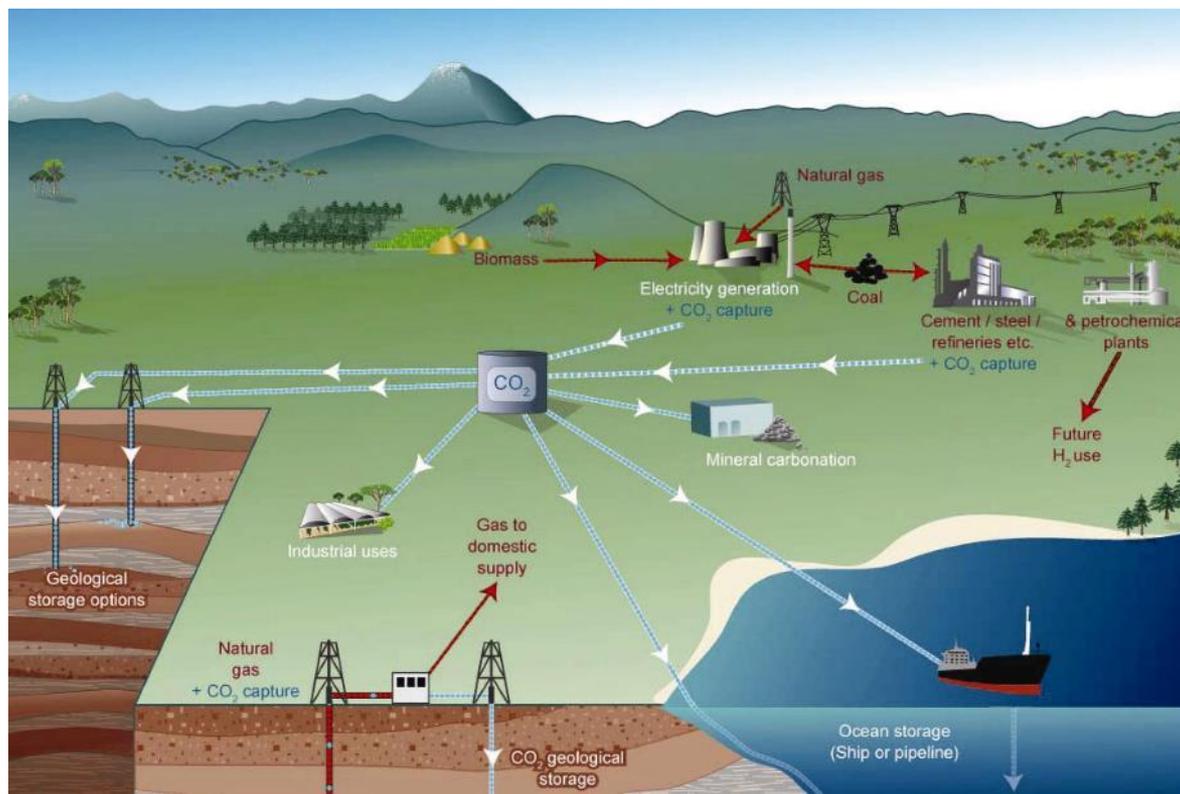


出典: IEA Technology Roadmap-Hydrogen and Fuel Cell, 2015

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。

3. CCU、DACの役割と課題

* CCU: 二酸化炭素回収・利用、DAC: 大気中CO₂回収



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。

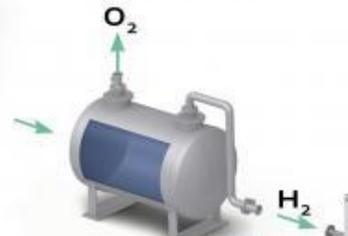
1. Renewable electricity

Renewable energy obtained from hydropower.



2. Electrolysis

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



Chemical synthesis

In the first step, hydrogen and CO₂ are converted to synthesis gas in the reverse water-gas shift reactor.

The Fischer-Tropsch reactor then uses this to build hydrocarbon chains.



CO₂

CO₂ from sustainable sources or from the air.



3. Conversion

A two-step process turns CO₂ and hydrogen into hydrocarbon chains.



Heat for use in residential areas or in industry.



Renewable waxes for cosmetics, foodstuffs and chemical industries



Infrastructure compatibility

e-diesel is compatible with existing infrastructure and engine technologies. It replaces fossil fuel.

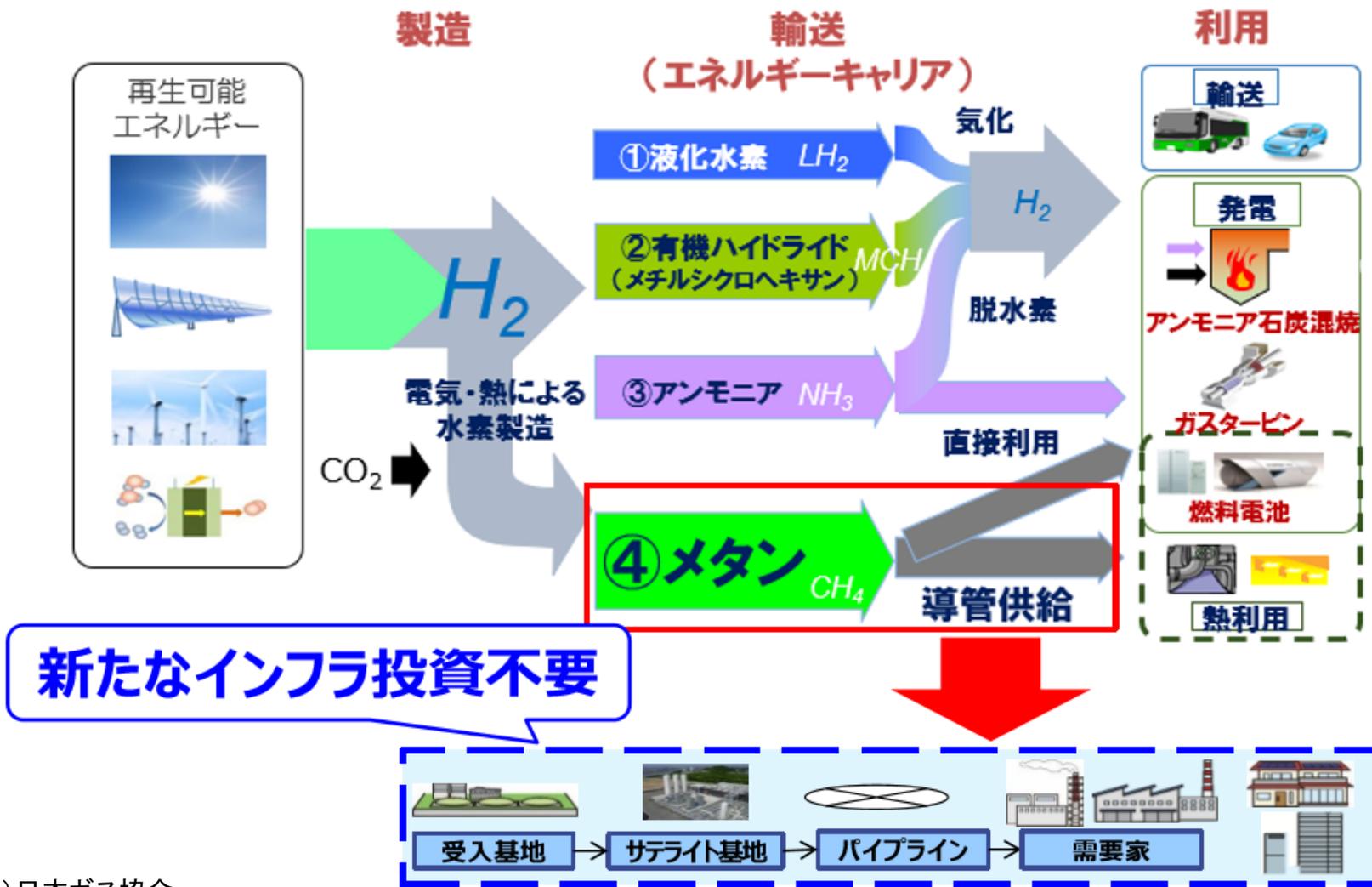
e-diesel



Almost CO₂-neutral e-diesel for mobility

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。



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。



Climeworks

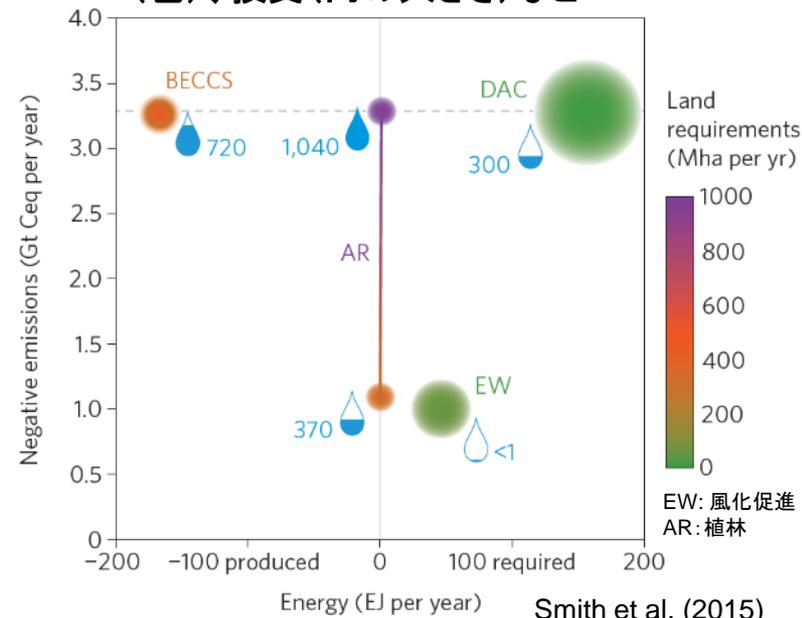
ICEFロードマップ2018 DACによる、DACのエネルギー消費量推計

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 (tCO ₂)		設備費 (Euro/(tCO ₂ /yr))
	電力 (kWh)	熱 (GJ)	
高温(電化)システム(HT DAC)	1535		815
低温システム(LT DAC)		6.3 (=1750 kWh)	730
	電力 (kWh)	250	

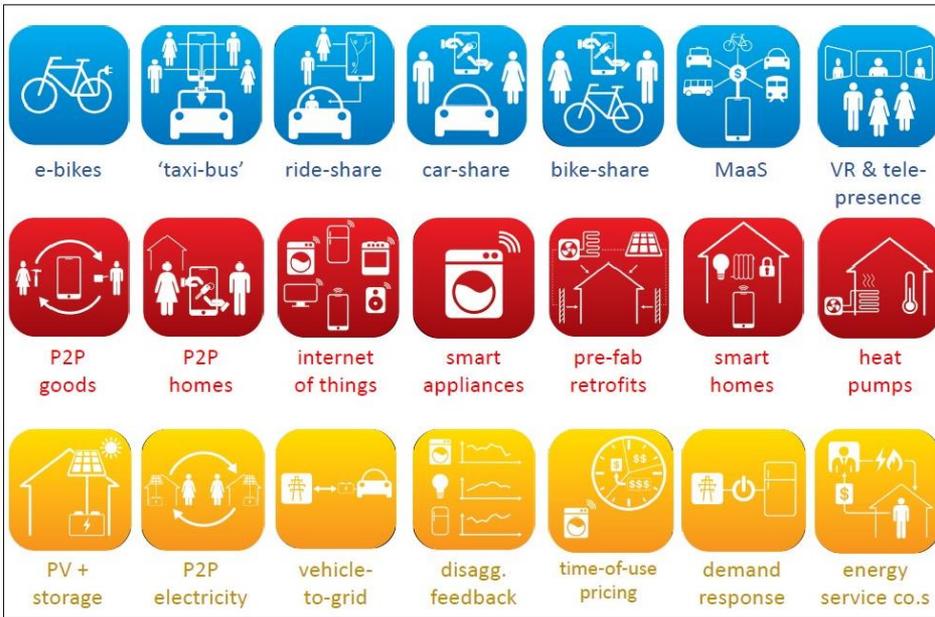
必要エネルギー(横軸)、土地面積(色)、投資(円の大きさ)など



4. デジタル技術の進展による低エネルギー需要社会の実現の可能性



エンドユース技術の破壊的イノベーション

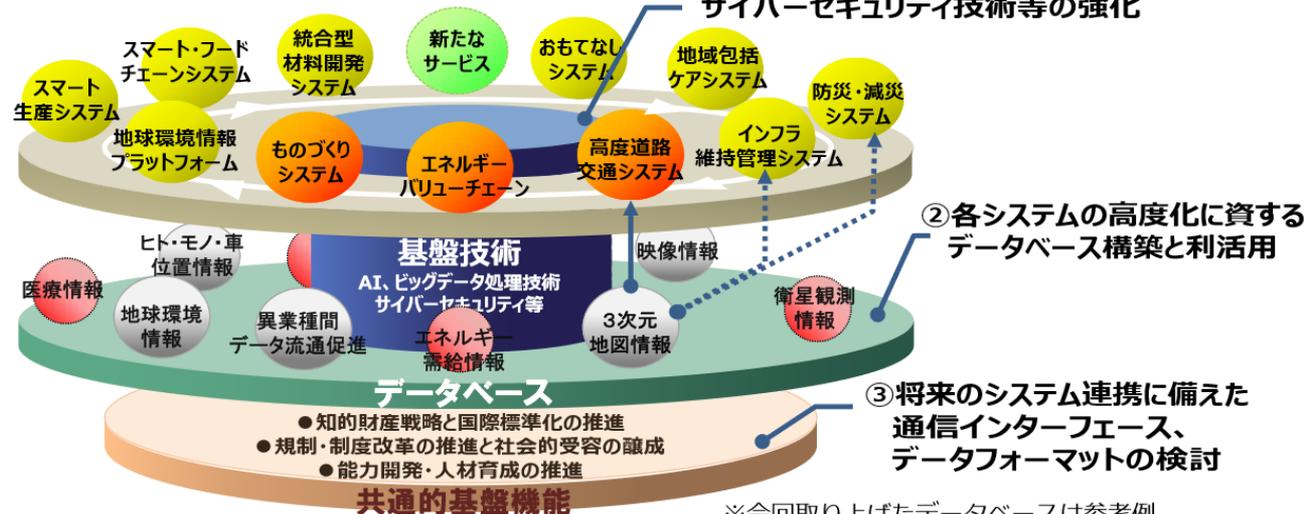


Source: C. Wilson (IIASA)

IoT, AI等の技術進展は、最終エネルギー需要側の社会イノベーションを誘発するポテンシャルあり

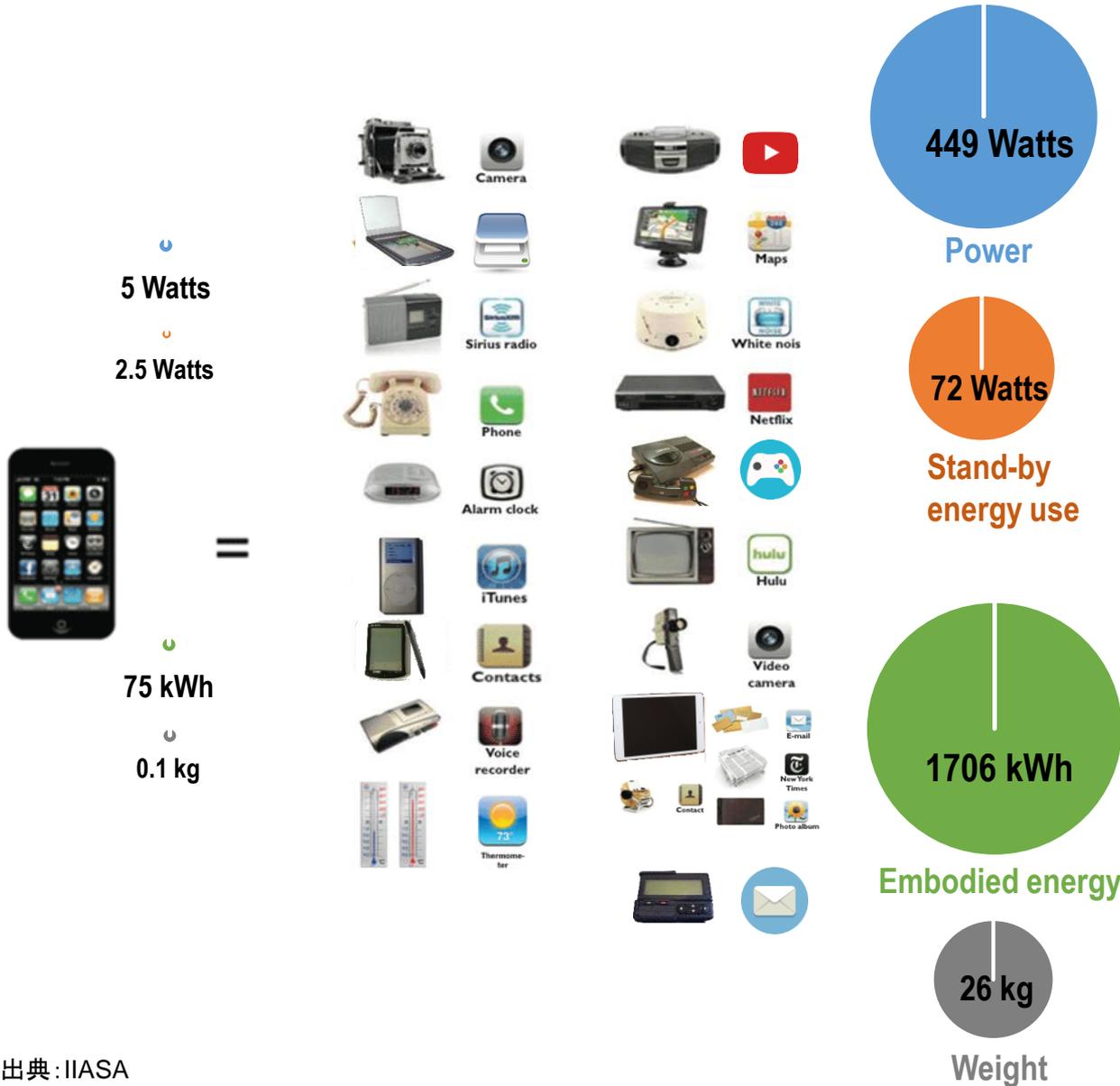
- 1) 独立した技術から、接続へ
- 2) 所有から、利用へ
- 3) シェアリングエコノミー、サーキュラーエコノミーの誘発

●「Society 5.0」プラットフォーム構築のイメージ



サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会

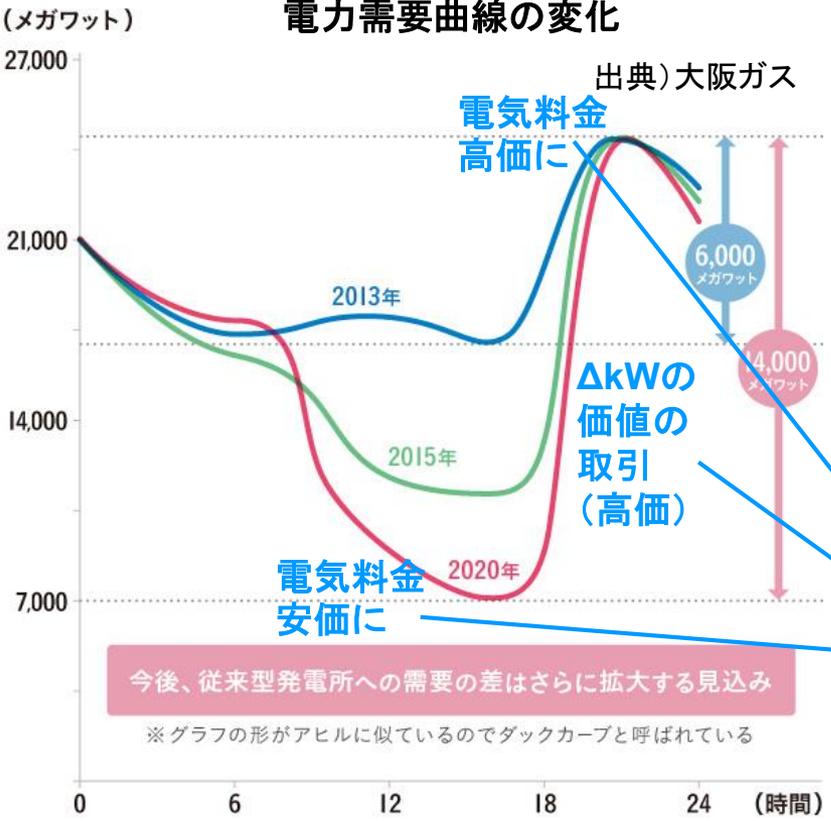
IT, AI等のデジタル技術による社会変化と 低エネルギー需要・低炭素排出社会の可能性



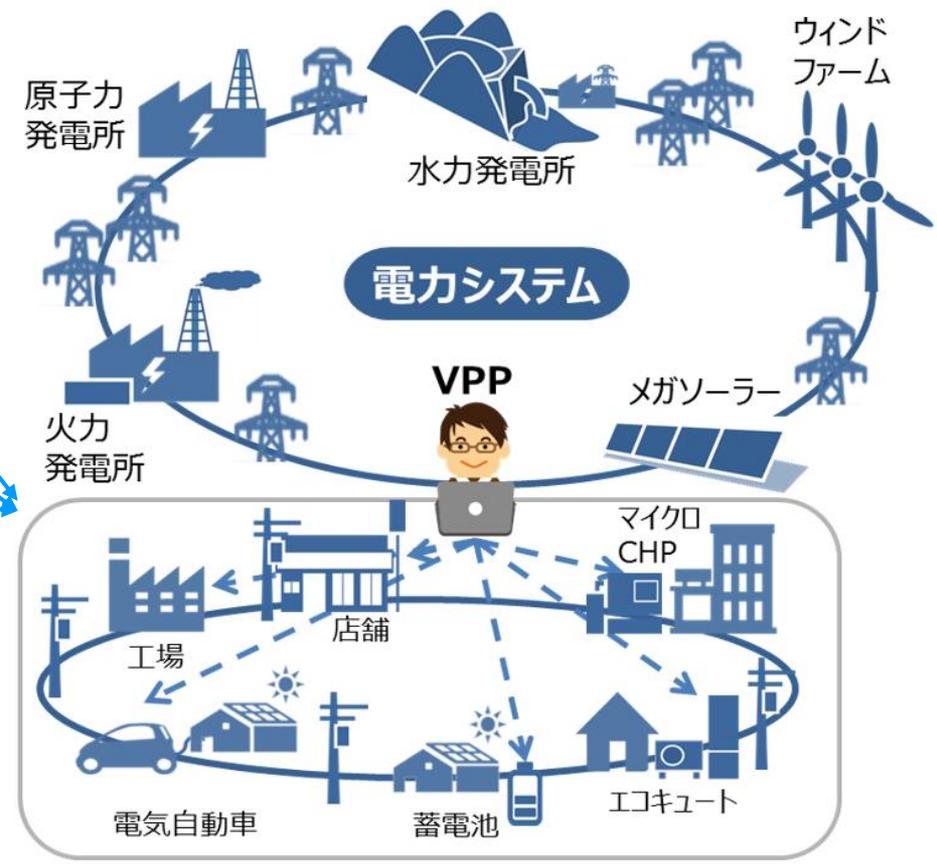
- 社会はエネルギー消費を目的にエネルギーを消費しているわけではない。製品・サービスが効用増をもたらすため、それに体化されたエネルギーを消費しているに過ぎない。
- 効用増をもたらす製品・サービスの展開は急速な場合が多く、それに付随したエネルギー・CO₂排出低減は急速になる可能性あり。

仮想発電所 (VPP)、ディマンドレスポンス (DR)

電力需要曲線の変化



太陽光発電の大量導入により電力系統の需要曲線が変化



出典) 経済産業省

デジタル技術を活用しながら、VPPやDRといった手法を用いて、電力需要を適切に制御することで、価値を創出

運輸部門: CASE



Connected; Service & Shared



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

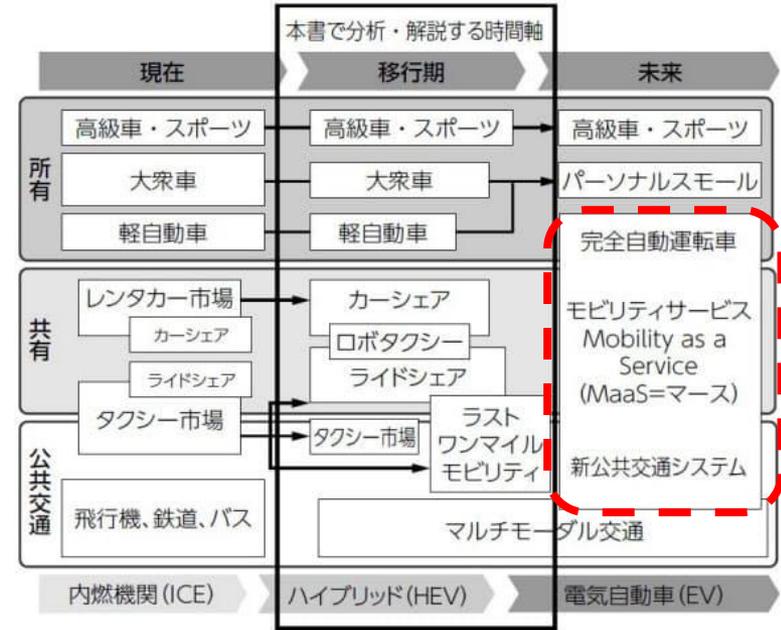
シェア化に伴い、車両台数低減が、素材生産量を低減し、また都市の形を変える可能性も



Airbus, Audi



出典) Jari Kauppila, ALPSシンポジウム(2019)



アパレル関連

- 服の50%は使われずに廃棄されているとも言われている。
- 若年層を中心とした嗜好の変化(スーツをあまり着なくなった等)、Eコマースの進展(百貨店以上になんでも手に入る。移動の不便を解消 等)
- AI、ICTを使った、必要なだけ生産できるような技術変化(需要を的確に把握可能に。大量生産で価格を下げる必要性の低下)
- 百貨店などでは、「見せる」ために多くのスペースを用意、そしてその建設に体化されるエネルギー、設備利用率が低いにも関わらず暖冷房、といったエネルギーの削減に。
- また、百貨店や大型ショッピングセンターが求められなくなると、そこへの移動のマイカーも求められなくなり、一層、シェアカーを促すようになり得る。



Eコマース
(中古品の売買(事実上のアパレル製品のシェア化)を含む)



**百貨店、大型
ショッピングセ
ンターの变化**



温暖化対策とはほぼ無関係の技術変化、社会変化。COVID-19で加速される可能性も。

食品関連

- 食料システムで排出されるGHGは30%前後（バウンダリーによっては更に大きい）とされる。一方、食品廃棄・ロスの世界全体では1/3にも上るとされる（ただし日本の食品廃棄・ロスは世界平均よりもずっと小さいとの評価有）。
- AI、ICTで食料需要をより正確に予測できるなどできれば、食品廃棄・ロスが減り、エネルギー消費・GHG排出の低減につながる可能性あり。
- プラスチック容器の低減、スーパーのスペース低減、冷蔵・冷凍エネルギー、輸送エネルギーの低減 などに波及し得る。



SDGsの同時達成にも大きな寄与となり得る。

5. 世界の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

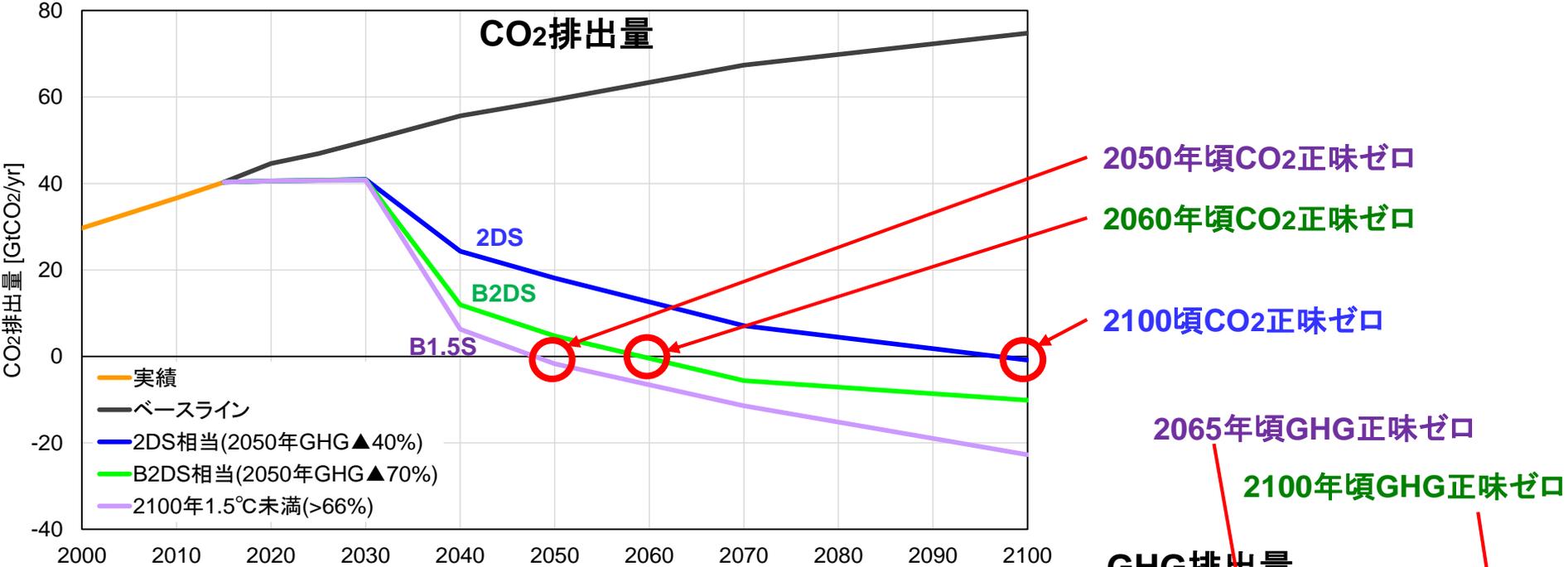
シナリオ名	世界排出シナリオ	【供給側】再エネコスト(太陽光発電コスト)	【需要側】シェアモビリティ進展(完全自動運転車実現)	【負排出技術】大気CO ₂ 直接回収技術(DAC)
REF_1	ベースライン (特段のCO ₂ 排出制約なし)	標準	想定せず	想定せず
2DS_1	2°C未満(>50%): IEA ETP2017の [2DS]相当	標準	想定せず	想定せず
2DS_2		低コスト(中東・北アフリカ中心に)	シェアモビリティ進展 (完全自動運転車実現)	
2DS_3				
B2DS_2	2°C未満(>66%): IEA ETP2017の [B2DS]相当	低コスト(中東・北アフリカ中心に)	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°C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

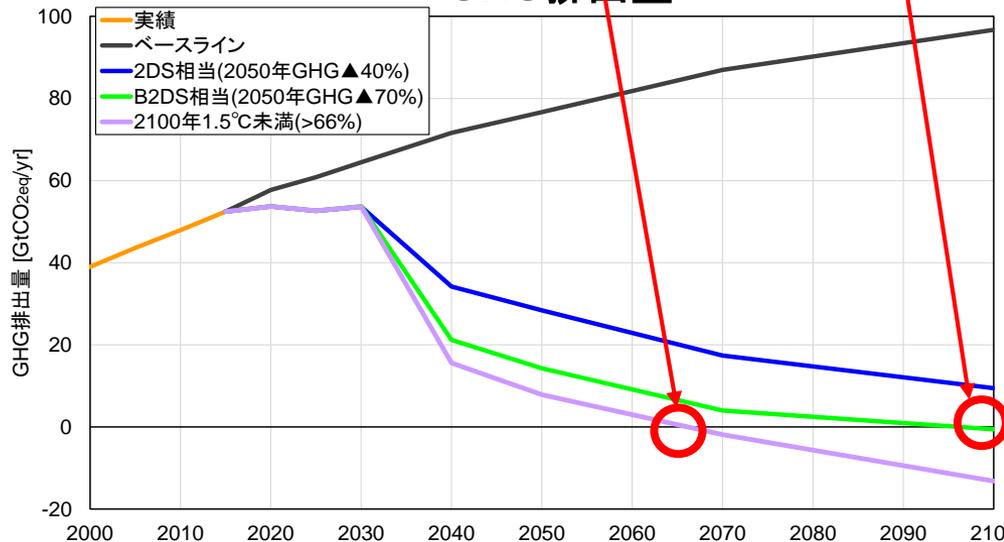
【社会経済シナリオ(SSPs: Shared Socioeconomic Pathways)】

■ **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

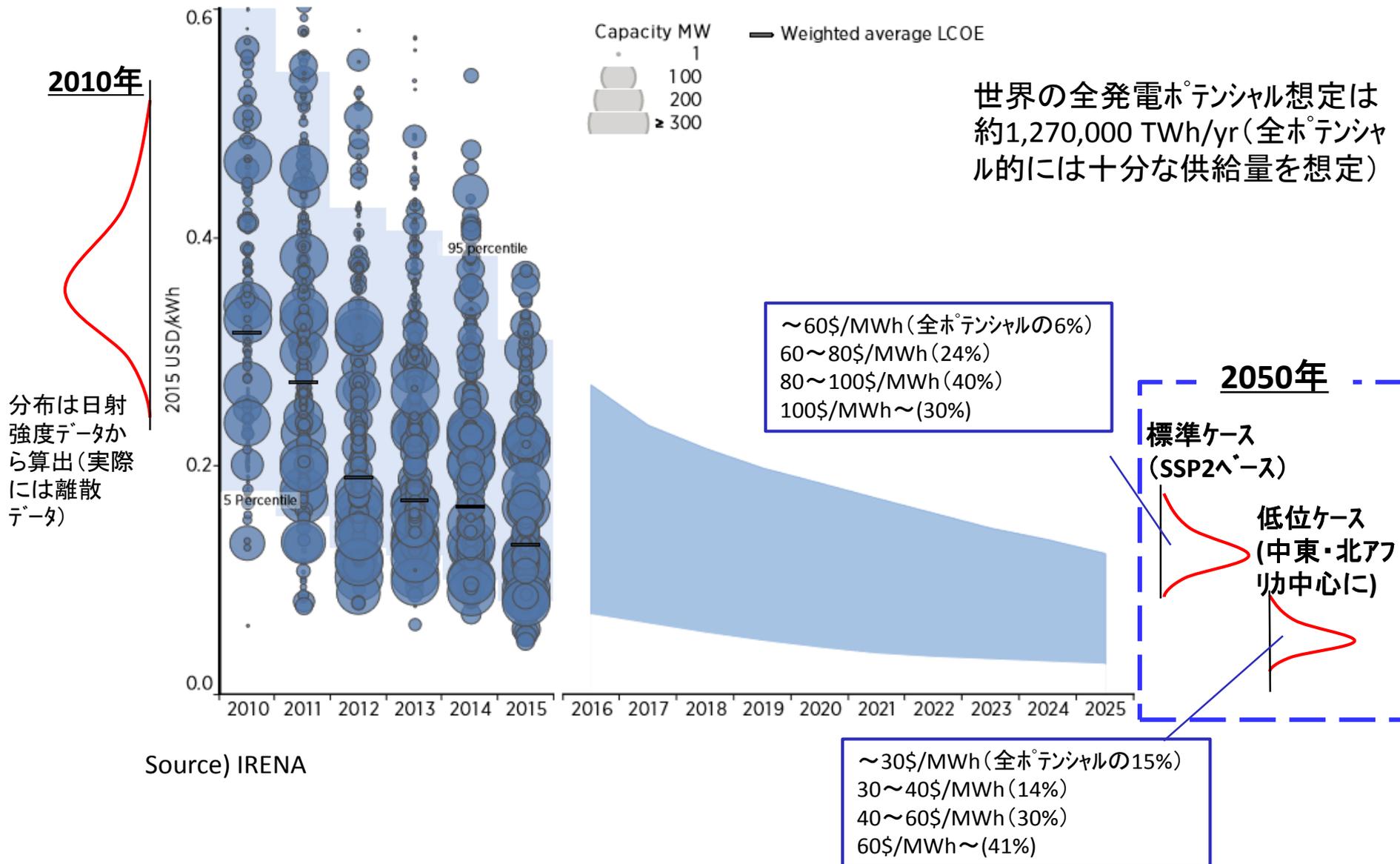


注) ベースライン排出量は前提とする想定シナリオではなく、モデル計算結果 (SSP2シナリオを表示)



※ 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

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

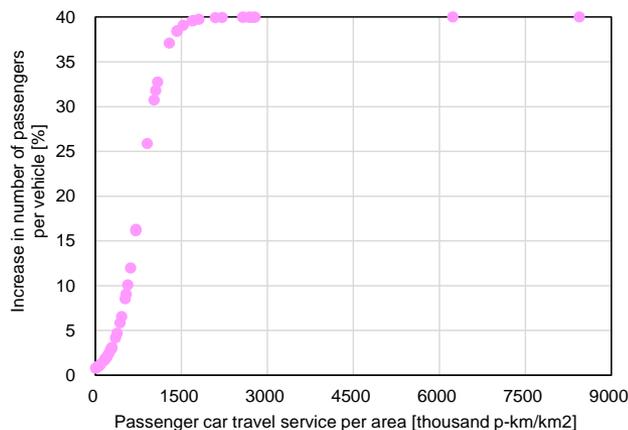


※ なお、DNE21+モデルでは、VREのシェアが増すに従い、系統安定化のための追加費用が別途必要と想定している。

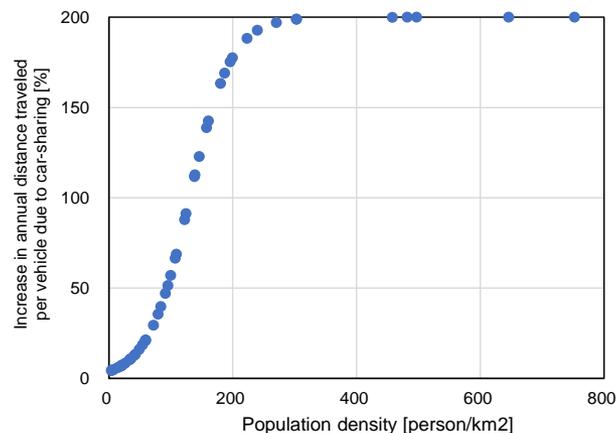
完全自動運転車と誘発されるシェアモビリティの想定

- ◆ **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

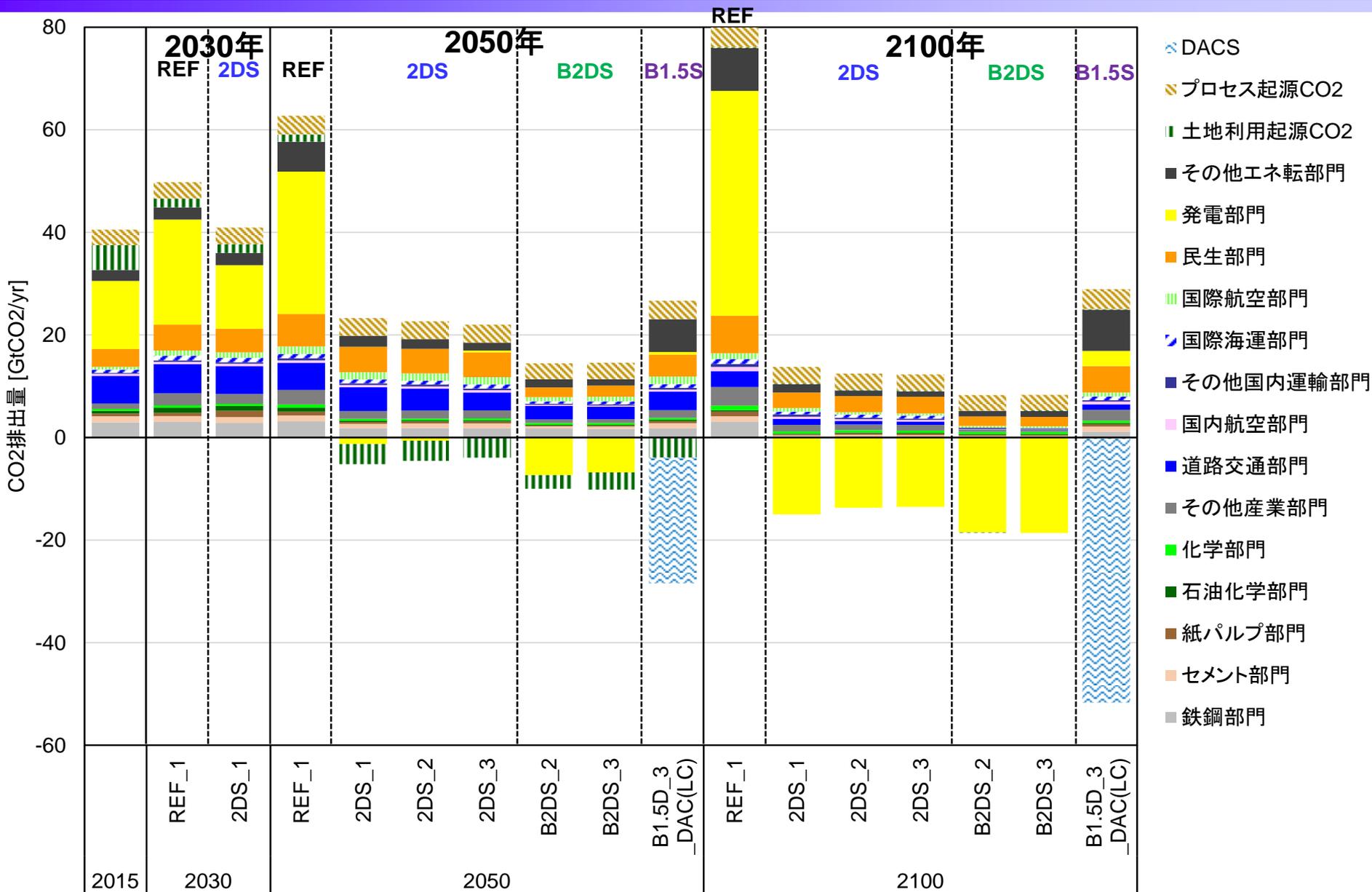
2050年の排出削減費用

	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

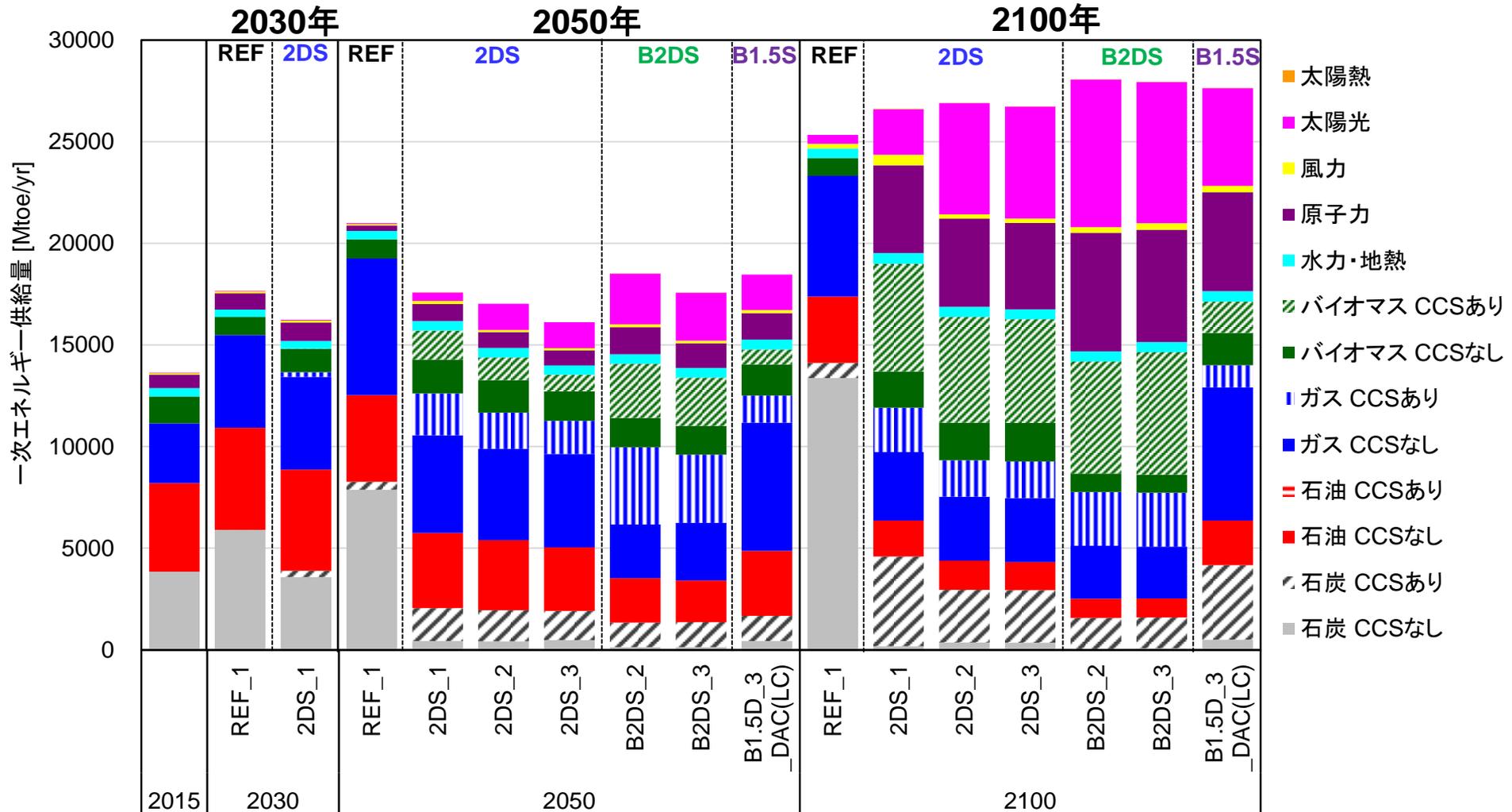
※ CO₂削減費用は、いずれもREF_1シナリオ比での記載。シェアモビリティ進展を想定したシナリオ3では、CO₂削減の限界削減費用は正に留まるものの、技術進展に伴って誘発されるシェアモビリティ進展による自動車台数の低減とそれによって誘発される素材生産低減に伴うコスト低下が、限界費用までの積分値である排出削減費用を上回る結果となっていることを示す。

- ✓ 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(シナリオ)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、DACCS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。

【参考】世界の部門別CO₂排出量

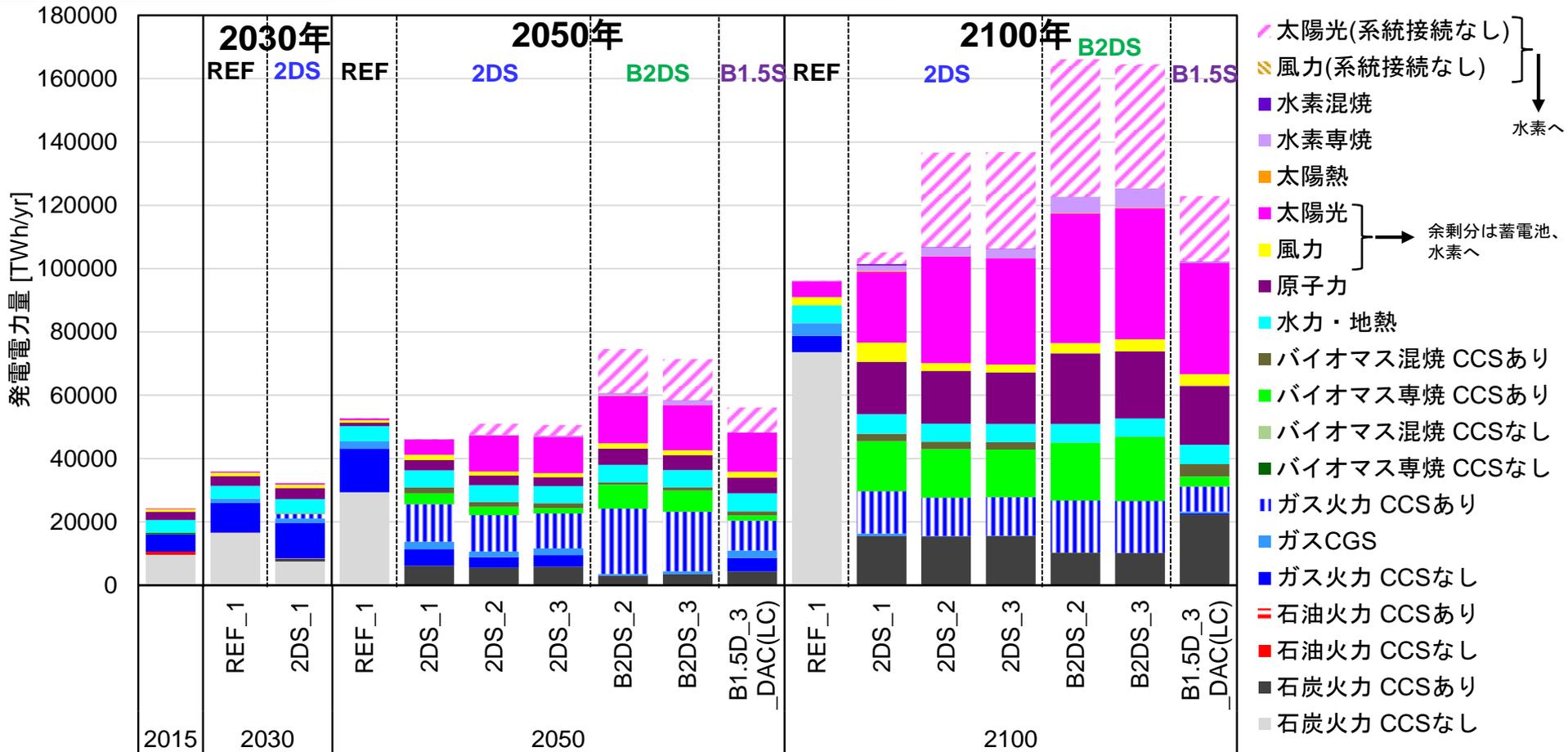


世界一次エネルギー生産量



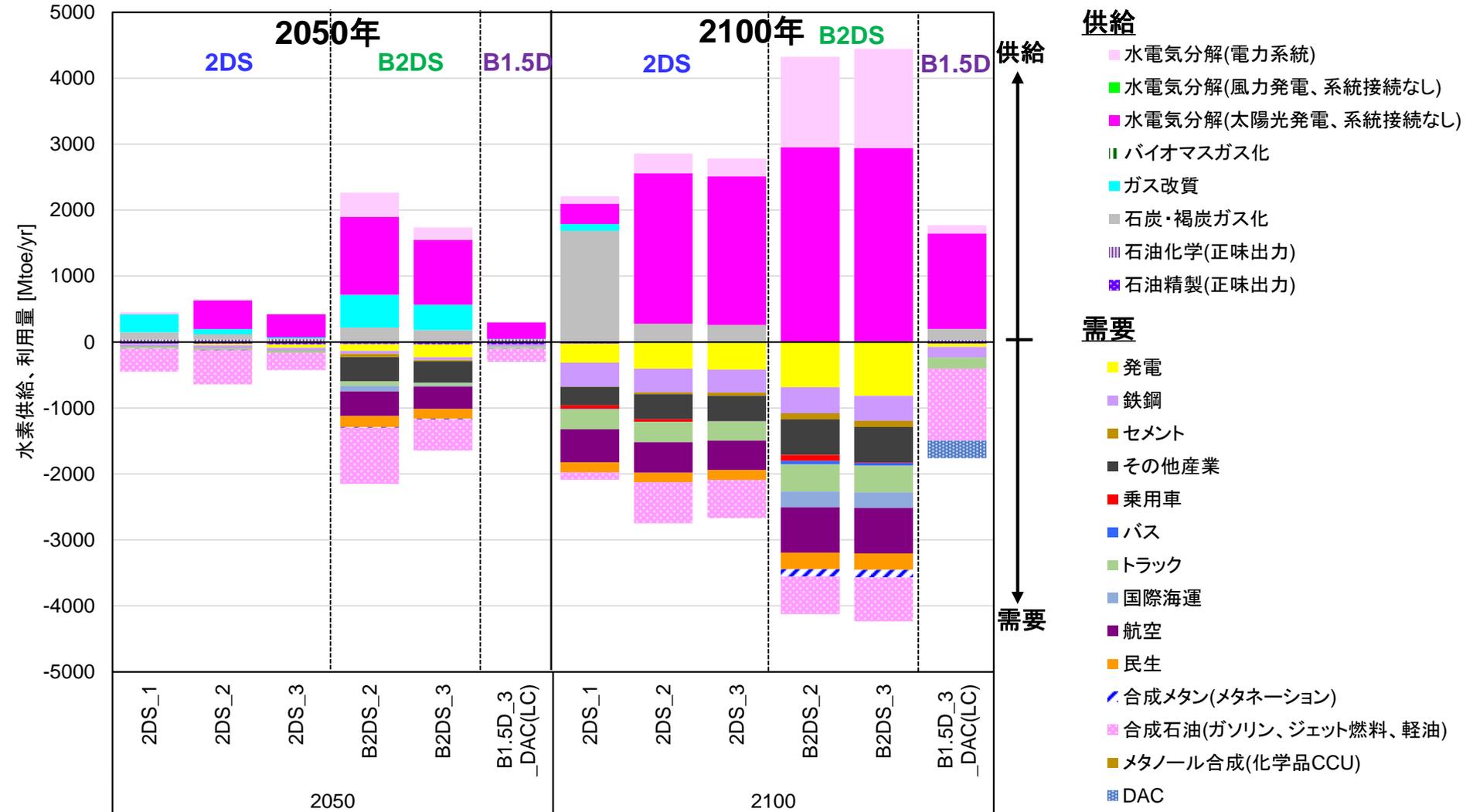
- ✓ 2°C、1.5°C目標のいずれのシナリオにおいても、2100年に向けて、再エネ、原子力、CCSの拡大が見られる。
- ✓ ただし、2100年においても、CCS無しの化石燃料利用は一定量残る(BECCSでキャンセルアウト)。
- ✓ DACを想定しなかった2°C目標下では、特に2100年では相当大きなBECCS利用が必要
- ✓ DACを想定した1.5°C目標では、BECCSの利用は大きく減少し、CCS無しの天然ガス利用もかなり残る。

世界発電電力量



- ✓ 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

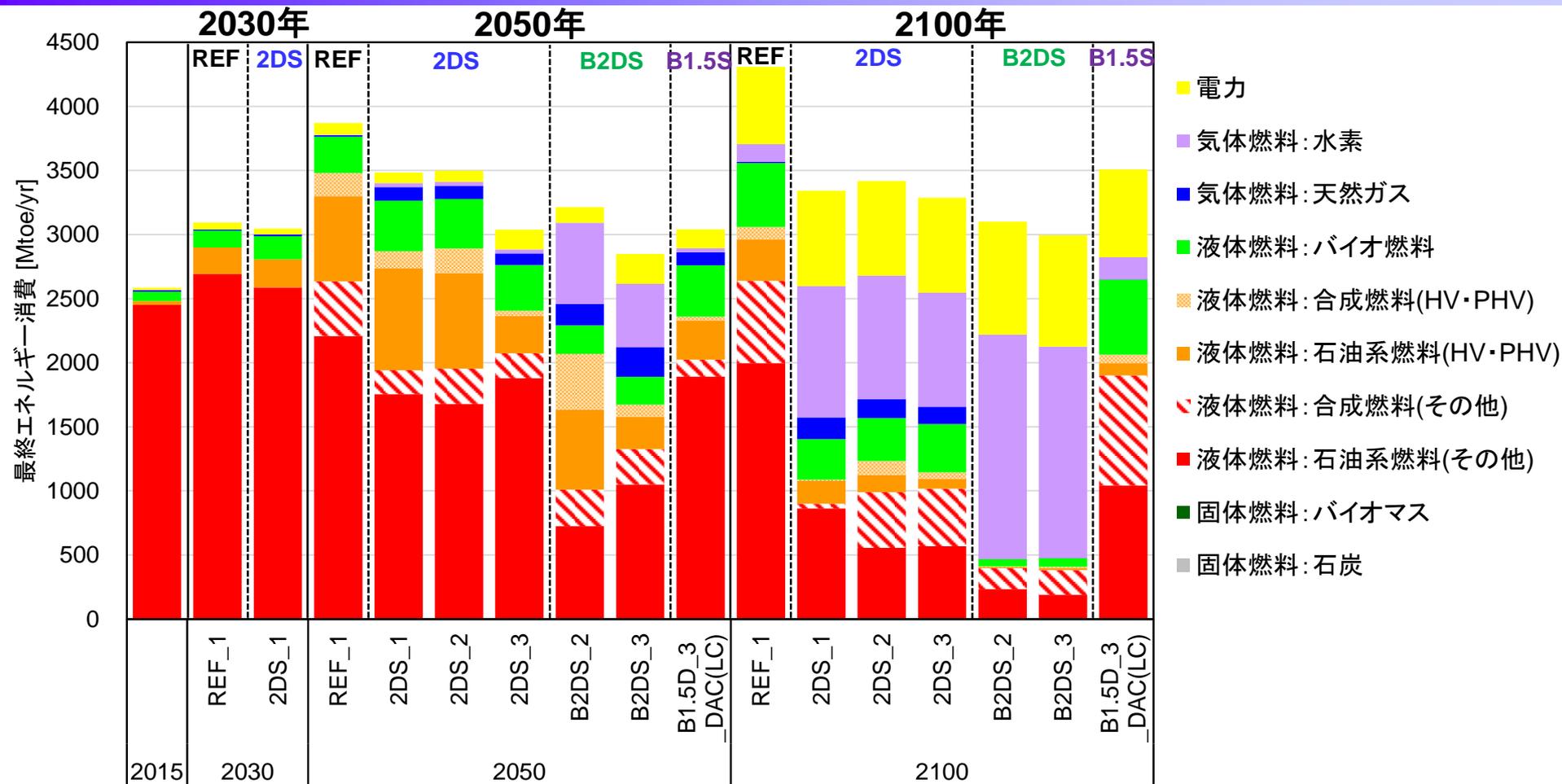
世界の水素需給バランス



✓ 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

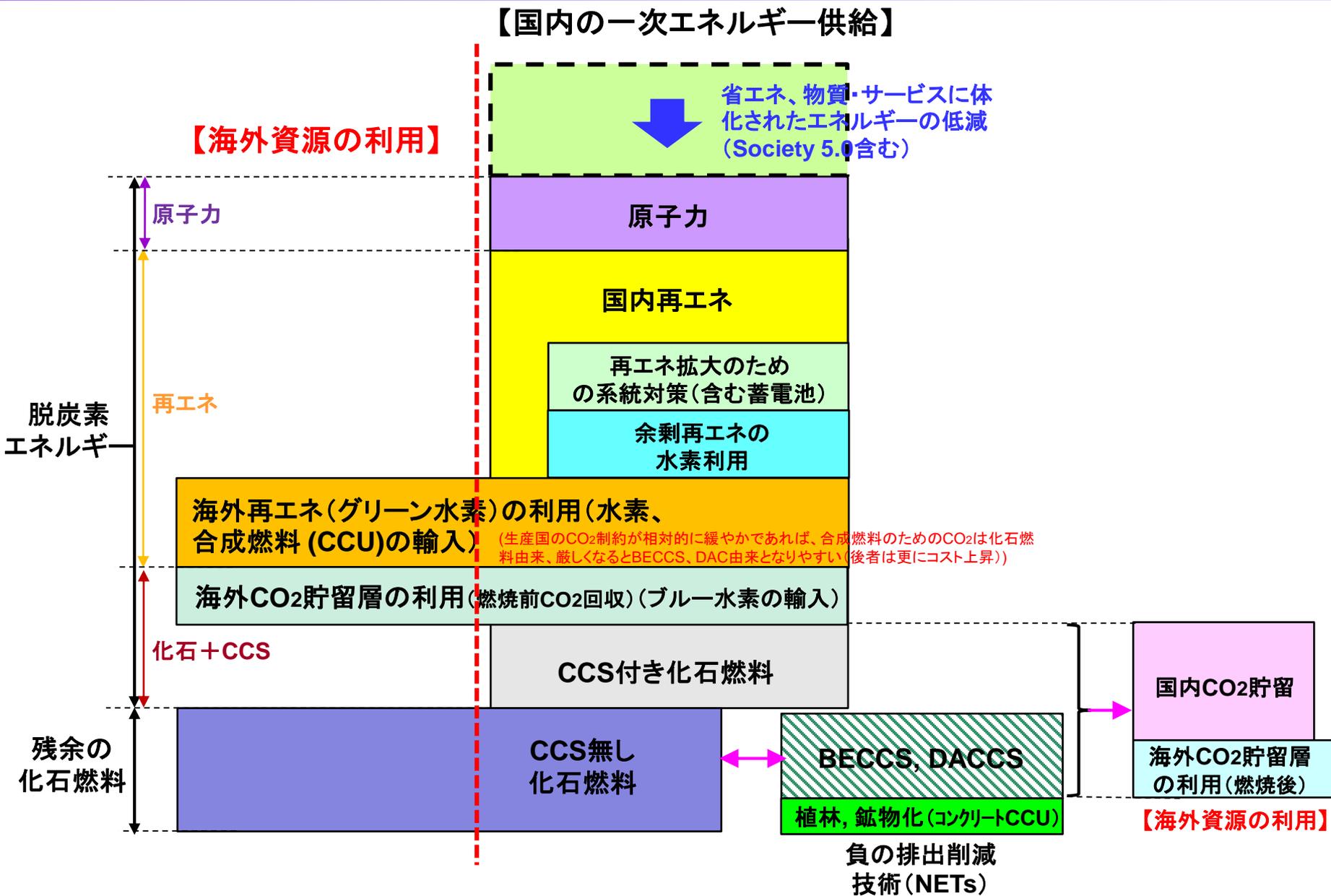


- ✓ 2°Cシナリオでは、EV、燃料電池自動車(FCV)、バイオ燃料の拡大が見られる。
- ✓ 特にB2DSの2050年以降は、FCTトラックを含め水素燃料の利用が拡大
- ✓ 2050年頃の一部ガス利用は国際海運での利用が主。2100年に向けては水素利用等に変遷。
- ✓ B2DSの2100年になるとバイオ燃料が減少。発電部門でのBECCS利用が費用対効果高いため
- ✓ 2050年頃を中心に合成燃料の利用も見られる。
- ✓ 2°Cや1.5°Cシナリオ(1.5°CはDAC有)であっても、2050年頃は、石油の利用も結構残る。

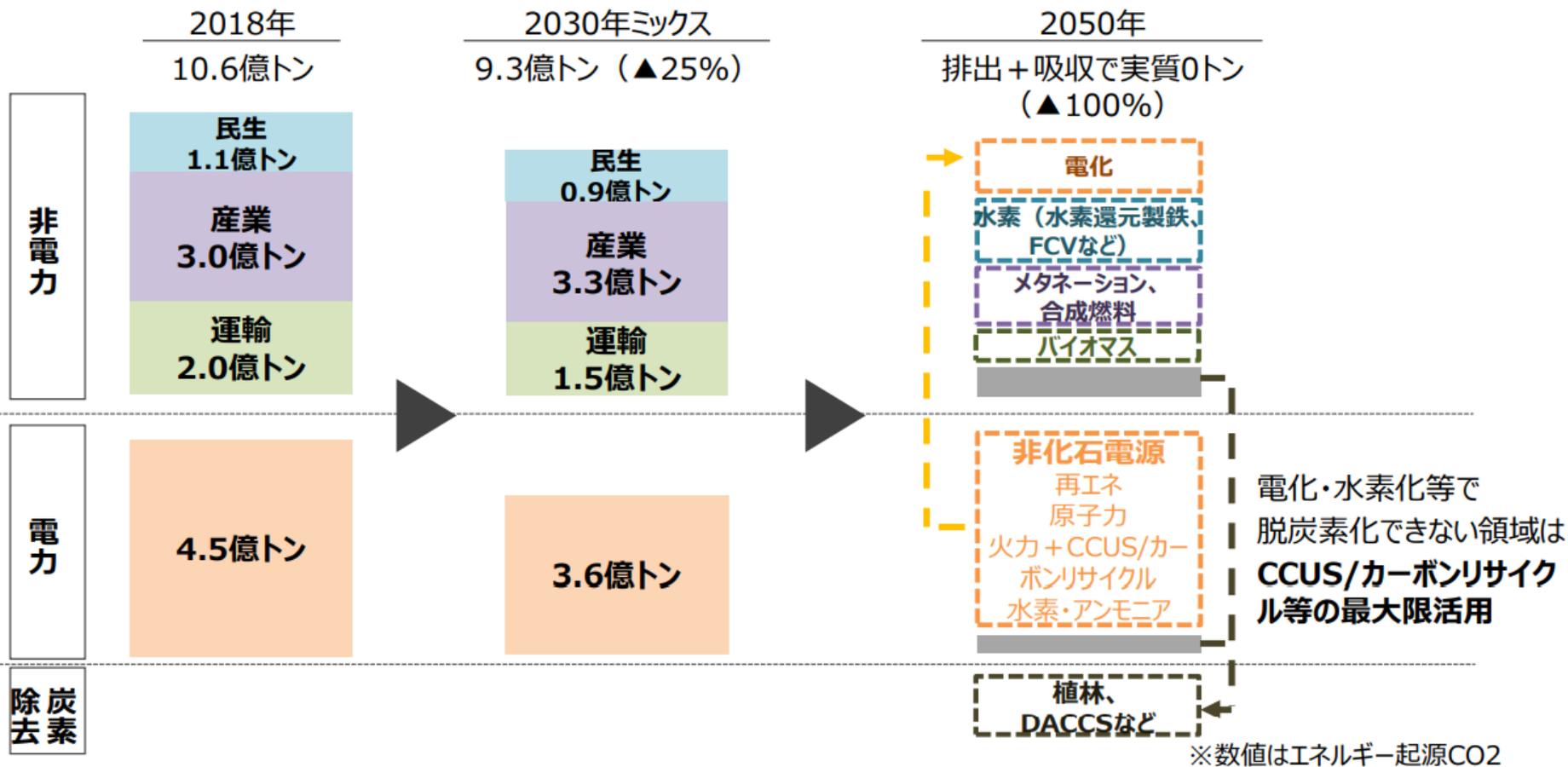
6. カーボンニュートラルに向けた 日本の対策の方向性



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)



カーボンニュートラルに向けた各部門の課題例(1/2)

		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	➢ 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	
		原子力	➢ 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	
		火力+CCUS/ カーボンリサイクル	➢ 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	
		水素発電	➢ 水素専焼火力の技術開発、水素インフラの整備が課題	水素価格 約13円/Nm3
		アンモニア発電	➢ 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	
産業部門	熱・燃料	電化	➢ 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	
		バイオマス活用 (主に紙・板紙業)	➢ 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	
		水素化 (メタネーション)	➢ 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 ➢ メタネーション設備の大型化のための技術開発が課題	水素価格 約40円/Nm3
	製造プロセス (鉄鋼・セメント・ コンクリート・ 化学品)	アンモニア化	➢ 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	
		鉄： 水素還元製鉄	➢ 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	水素価格 約8円/Nm3
		セメント・ コンクリート： CO2吸収型 コンクリート	➢ 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。 ➢ 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。	
	化学品： 人工光合成	➢ 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		

✓ 特に、非電力部門での対策は乗り越えるべきハードルは高いと考えられる。

出典)総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会, 2020

カーボンニュートラルに向けた各部門の課題例(2/2)

		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
民生部門	熱・燃料	電化	➢ 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	
		水素化	➢ 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	
		メタネーション	➢ メタネーション設備の大型化のための技術開発が課題	
運輸部門	燃料 (乗用車・トラック・バスなど)	EV	➢ 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	電力価格 約10~30円/kWh
		FCV	➢ 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	水素価格 約90円/Nm ³
		合成燃料 (e-fuel)	➢ 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	
	燃料 (船・航空機・鉄道)	バイオジェット燃料/ 合成燃料 (e-fuel)	➢ 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	
		水素化	➢ 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	
		燃料アンモニア	➢ 燃料アンモニア船の製造技術の確立	
炭素除去	DACCS、BECCS、植林	➢ DACCS : エネルギー消費量、コスト低減が課題 ➢ BECCS : バイオマスの量的制約の克服が課題 ※CCSの適地開発、コスト低減は双方共通の課題		

*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)

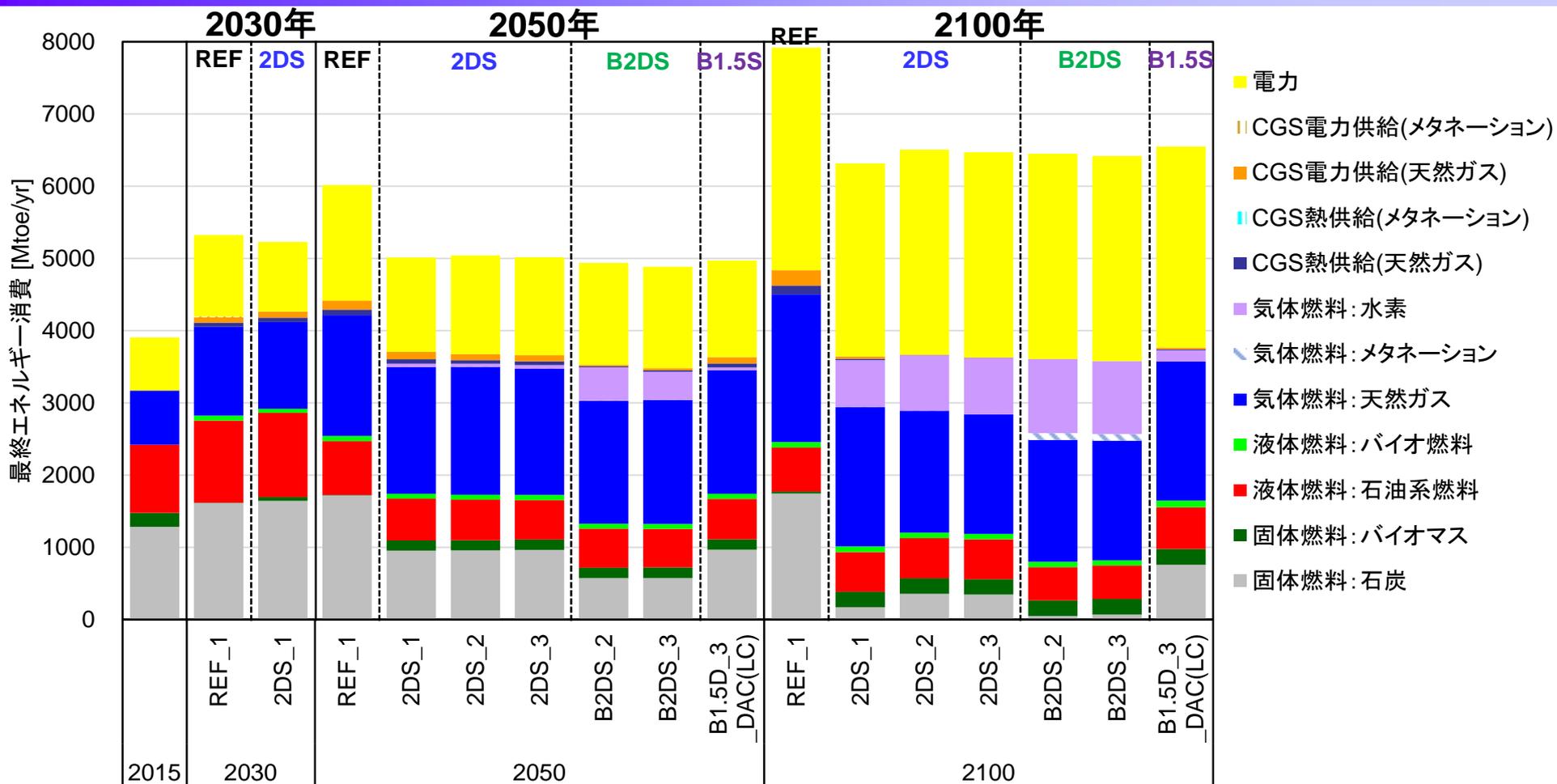
7. まとめ



- ◆ 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と言及。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。
- ◆ なお、CCUで、CCSを代替することは困難であり、CO₂貯留は重要（CCUの主な役割は再エネ由来のグリーン水素の利用拡大）。
- ◆ DACCSは、コストの不確実性は大きいものの、ネガティブ排出を実現できるため、ネットゼロエミッション目標下では重要な役割となる可能性有（ゲームチェンジャーになり得る）。
- ◆ ネットゼロエミッションにおいては、化石燃料は一部利用しながら、BECCS, DACCS等で排出をキャンセルアウトする方が、費用対効果が高い対策となる可能性が高い。このとき、ネットゼロ下でも、コジェネは経済性を有し、排出削減に貢献し得る。
- ◆ エネルギー供給サイドは無論のこと、デジタル技術等を利用したエネルギー需要サイドの技術イノベーションとそれに誘発されるシェアリングエコノミー等（CASE等）の社会イノベーションも極めて重要。
- ◆ 2050年正味ゼロ排出は、技術的には実現可能と見られるが、漸進的な技術進展を見込んでも相当高い排出削減費用が必要と見られる。温暖化対策技術の様々な要素技術（材料技術、生産技術、シミュレーション技術など）開発を含めて多くの課題が残っている。

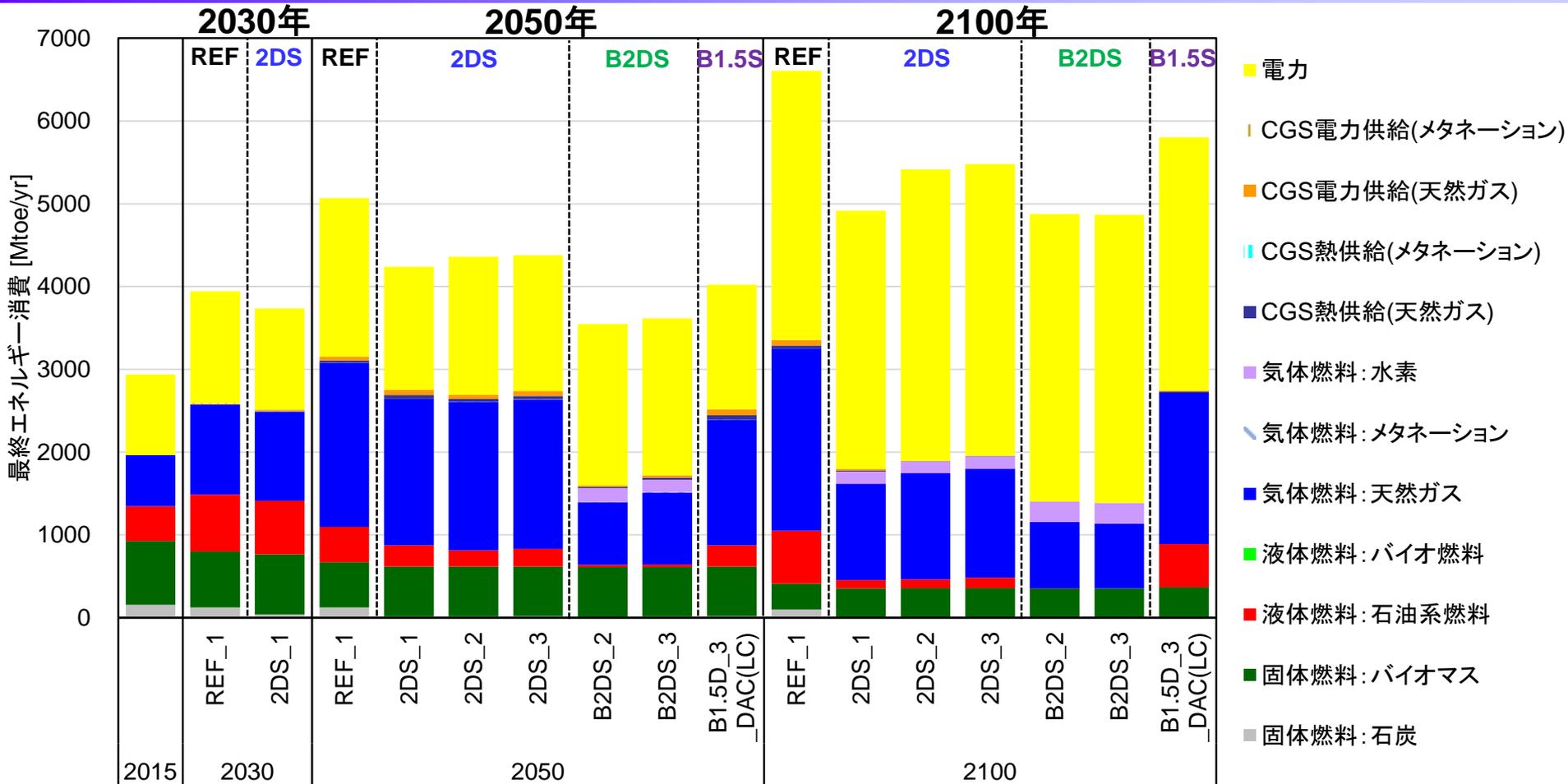
付録

世界の産業部門の最終エネルギー消費量



- ✓ 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



- ✓ 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。