

2023年12月4日

# カーボンニュートラル実現に向けた 需給両面での対策とそのシナリオ分析

(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

(東京工業大学科学技術創成研究院 特任教授)

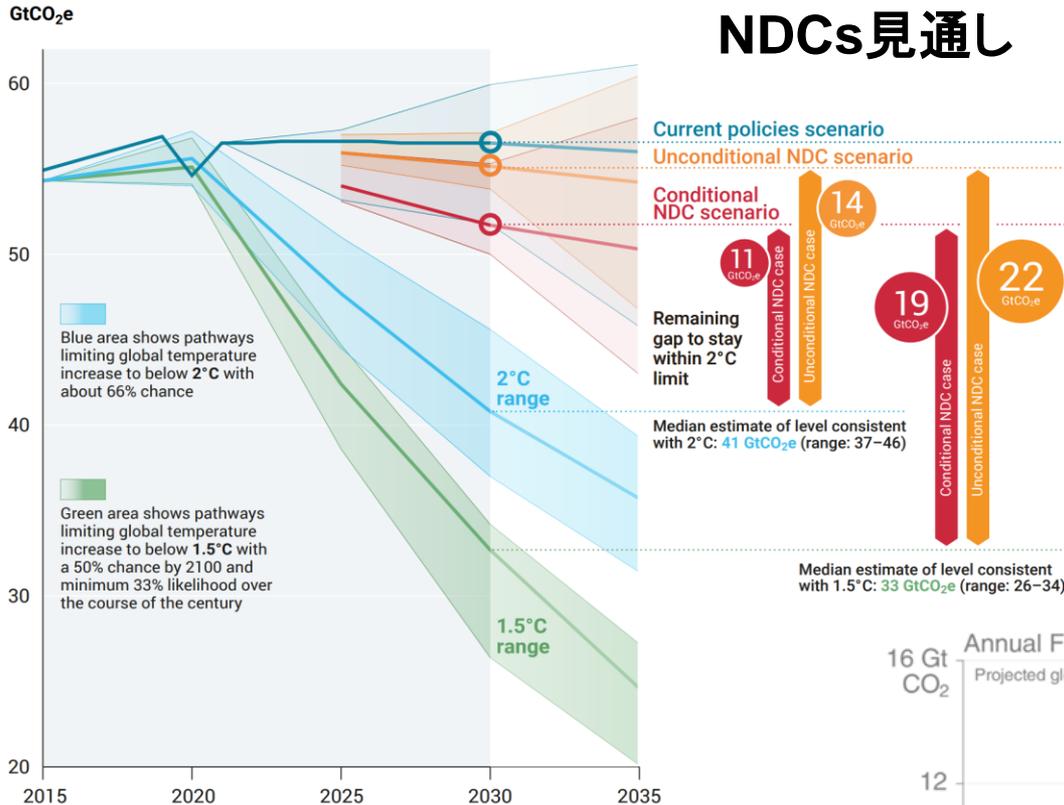


1. 世界の排出動向・見通し
2. カーボンニュートラルに向けた各種対策技術の役割
3. 日本の2050年カーボンニュートラルに向けたシナリオ分析からのエネルギー需給展望
4. DXによる需要側対策の効果
5. まとめ

# 1. 世界の排出動向・見通し

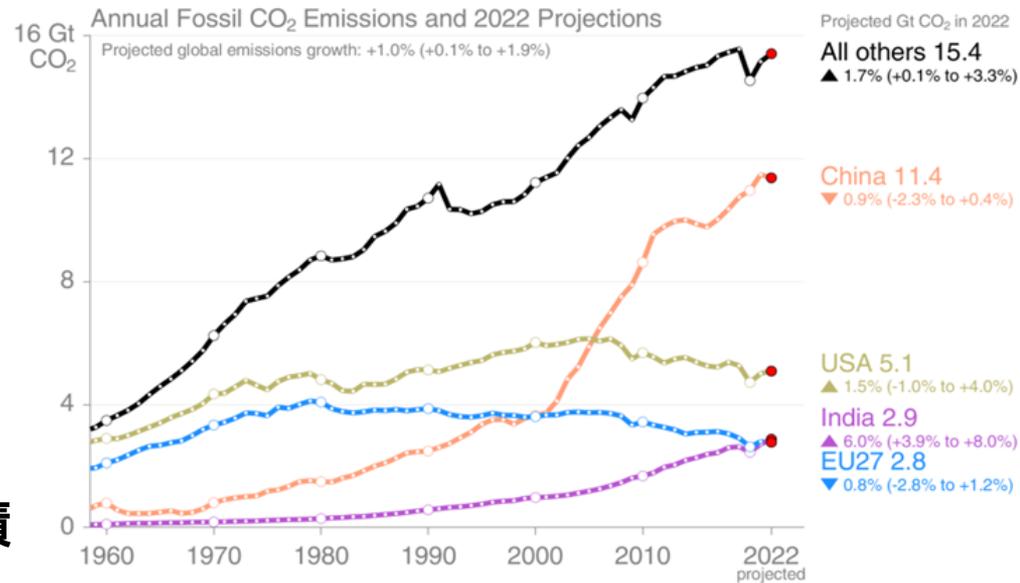


# 世界のCO<sub>2</sub>排出量の推移



- 経済とCO<sub>2</sub>排出量のカップリングは続いている。CO<sub>2</sub>排出も大きく減少したときは、経済(GDP、所得)も悪化している状態。世界の排出量を簡単に減らせる状況にはない。
- 先進国から途上国への産業のリーケージ、炭素のリーケージが見られる。
- NDCsが達成された場合でも、2°Cシナリオであっても大きなギャップ有。そもそも、NDCs未達になる国も多数出てくると想定される。

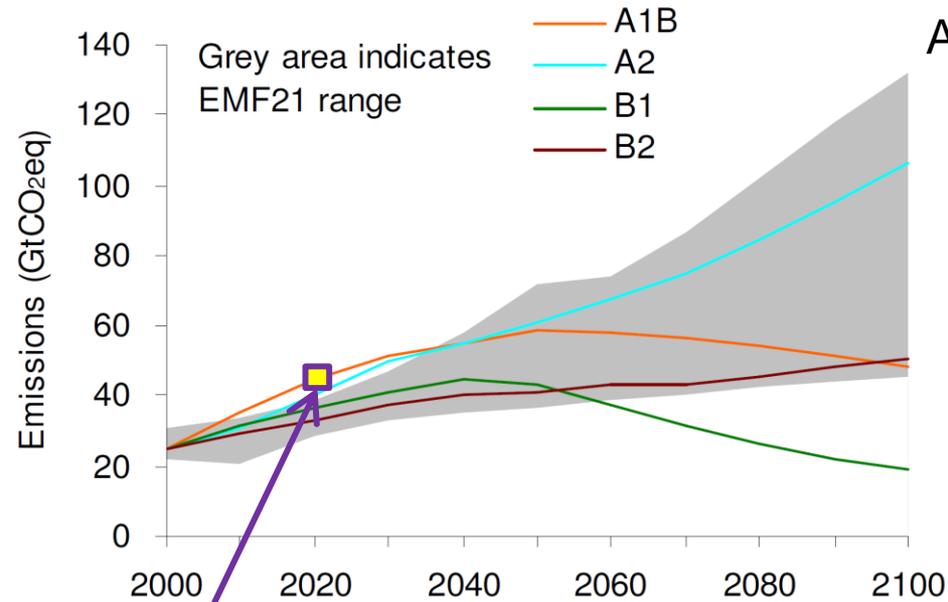
出典) UNEP, Emissions Gap Report 2023



## 世界排出量実績

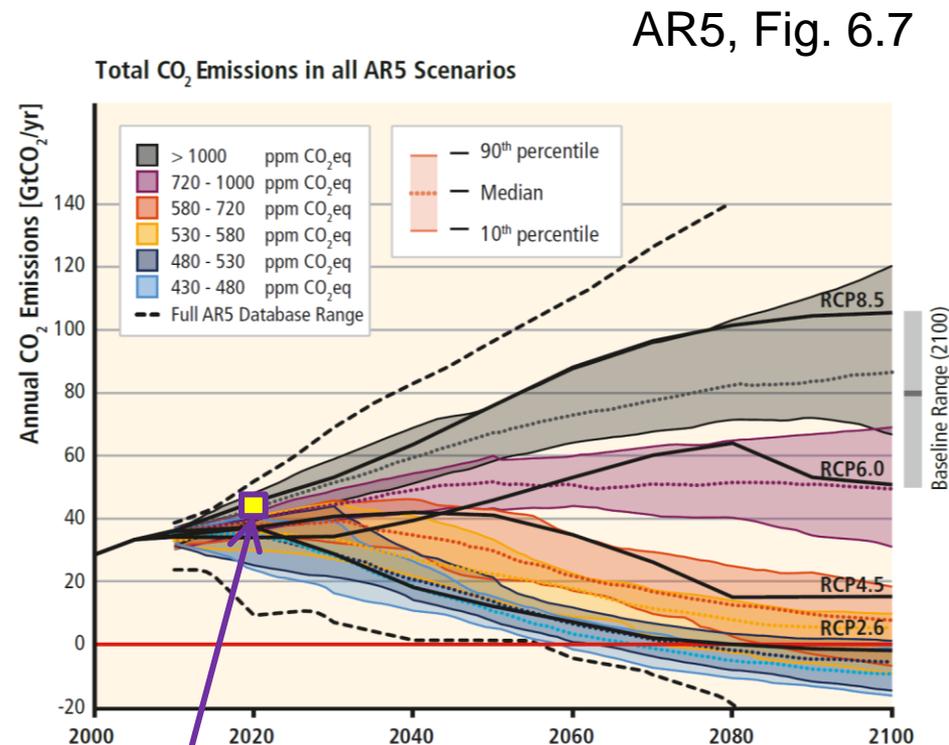
出典) Global Carbon Project, 2022

# 世界の2030年のCO<sub>2</sub>削減費用とポテンシャル推計： IPCC第4次（2007年）、第5次（2014年）評価報告書



2019年CO<sub>2</sub>排出量: 45 GtCO<sub>2</sub>/yr

実際の排出は、過去のベースライン排出量の上限程度を推移。意欲的な目標と、実績との間のギャップが広がっている。

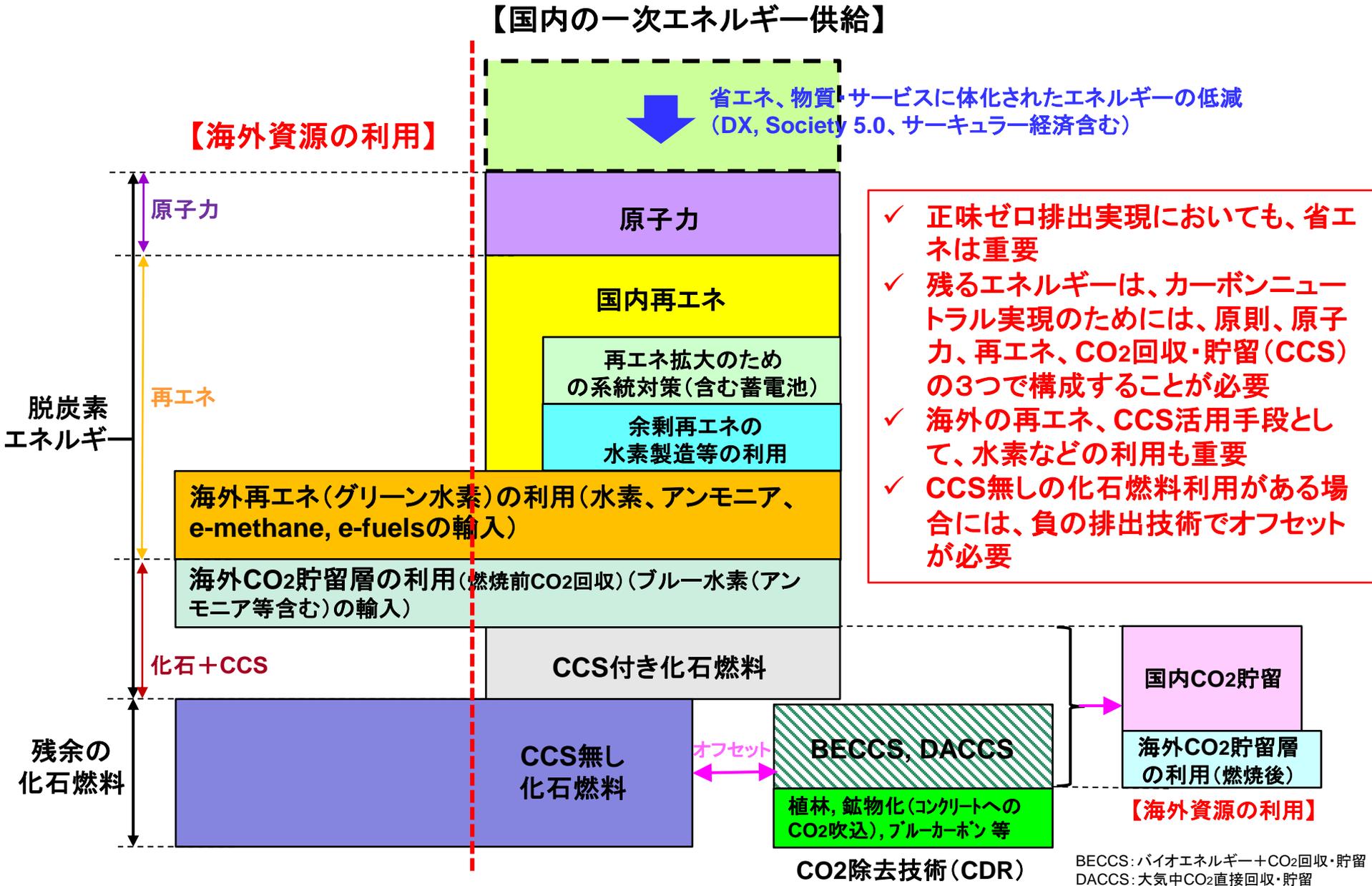


2019年CO<sub>2</sub>排出量: 45 GtCO<sub>2</sub>/yr

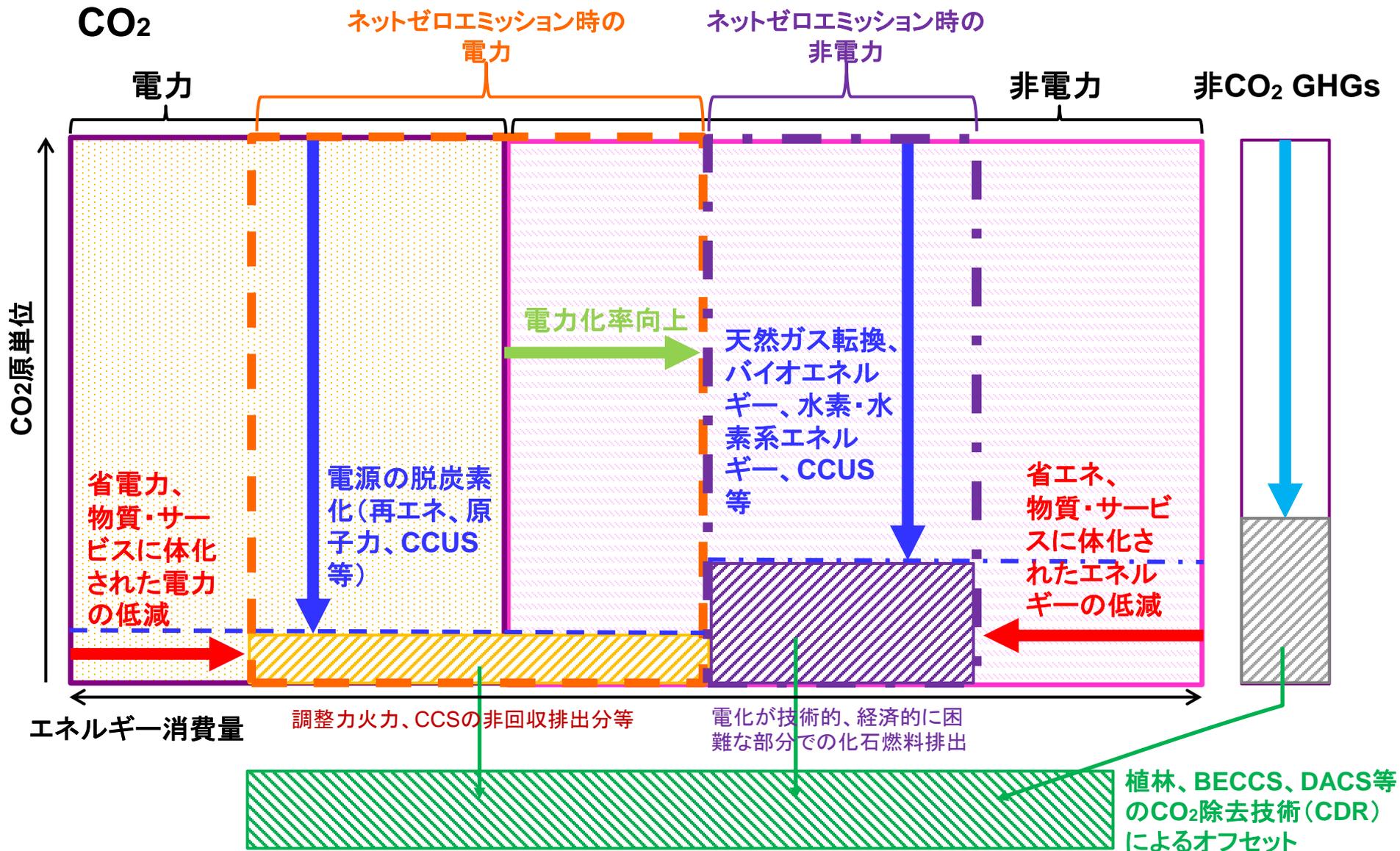
## 2. カーボンニュートラルに向けた 各種対策技術の役割



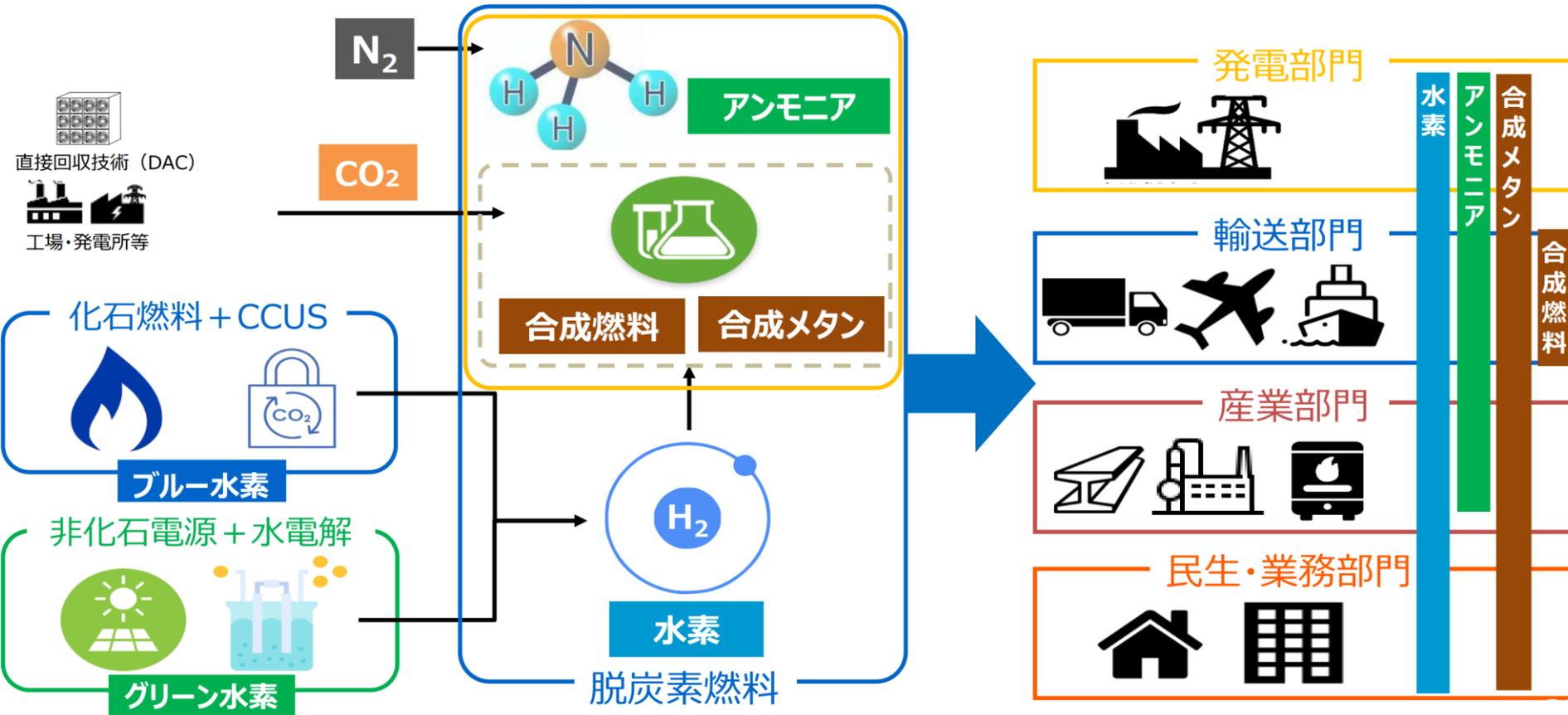
# カーボンニュートラル（正味ゼロ排出）のイメージ（1/2）



# カーボンニュートラル（正味ゼロ排出）のイメージ（2/2）



# 水素系エネルギーの利活用

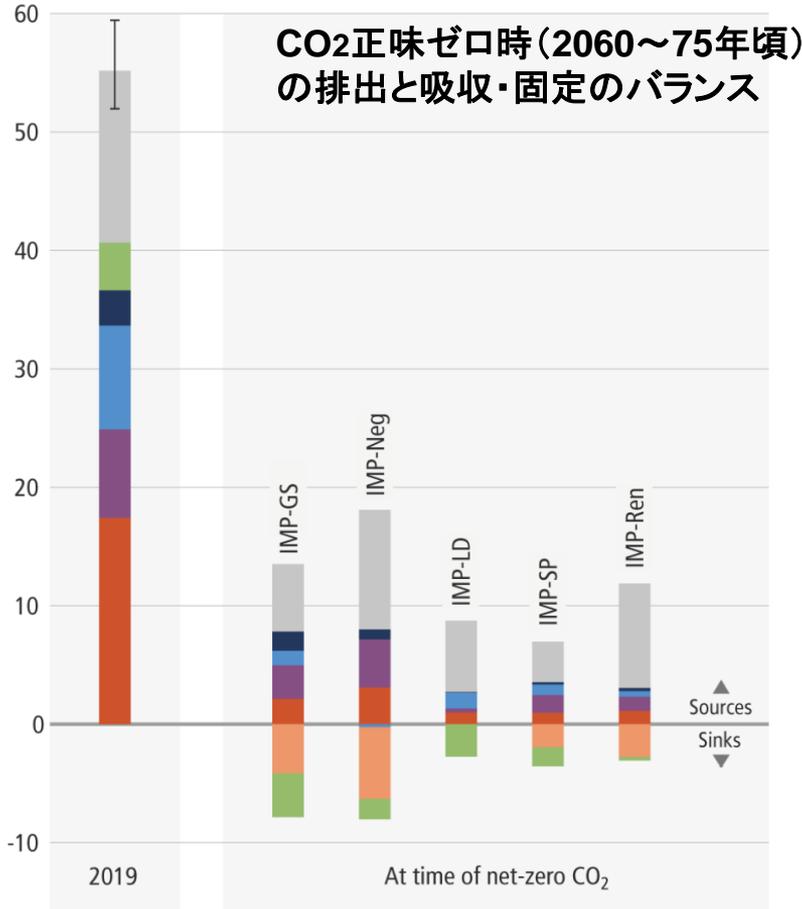


出典)GX実現に向けた専門家ワーキンググループ資料(2023)

水素系エネルギーも、製造方法、利用方法ともに複数の可能性がある。技術を特定し過ぎず、幅広い選択肢を有して、市場競争を促すことが必要

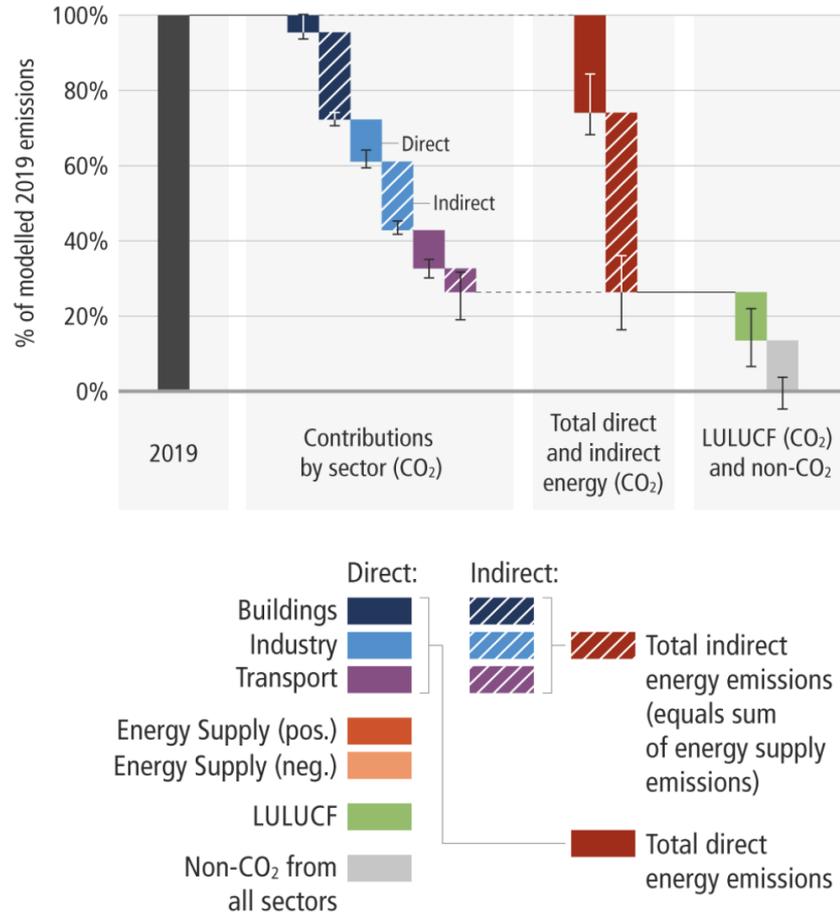
# IPCC報告書：シナリオで異なるCNの達成手段

e. Sectoral GHG emissions at the time of net-zero CO<sub>2</sub> emissions (compared to modelled 2019 emissions)



f. Contributions to reaching net zero GHG emissions (for all scenarios reaching net-zero GHGs)

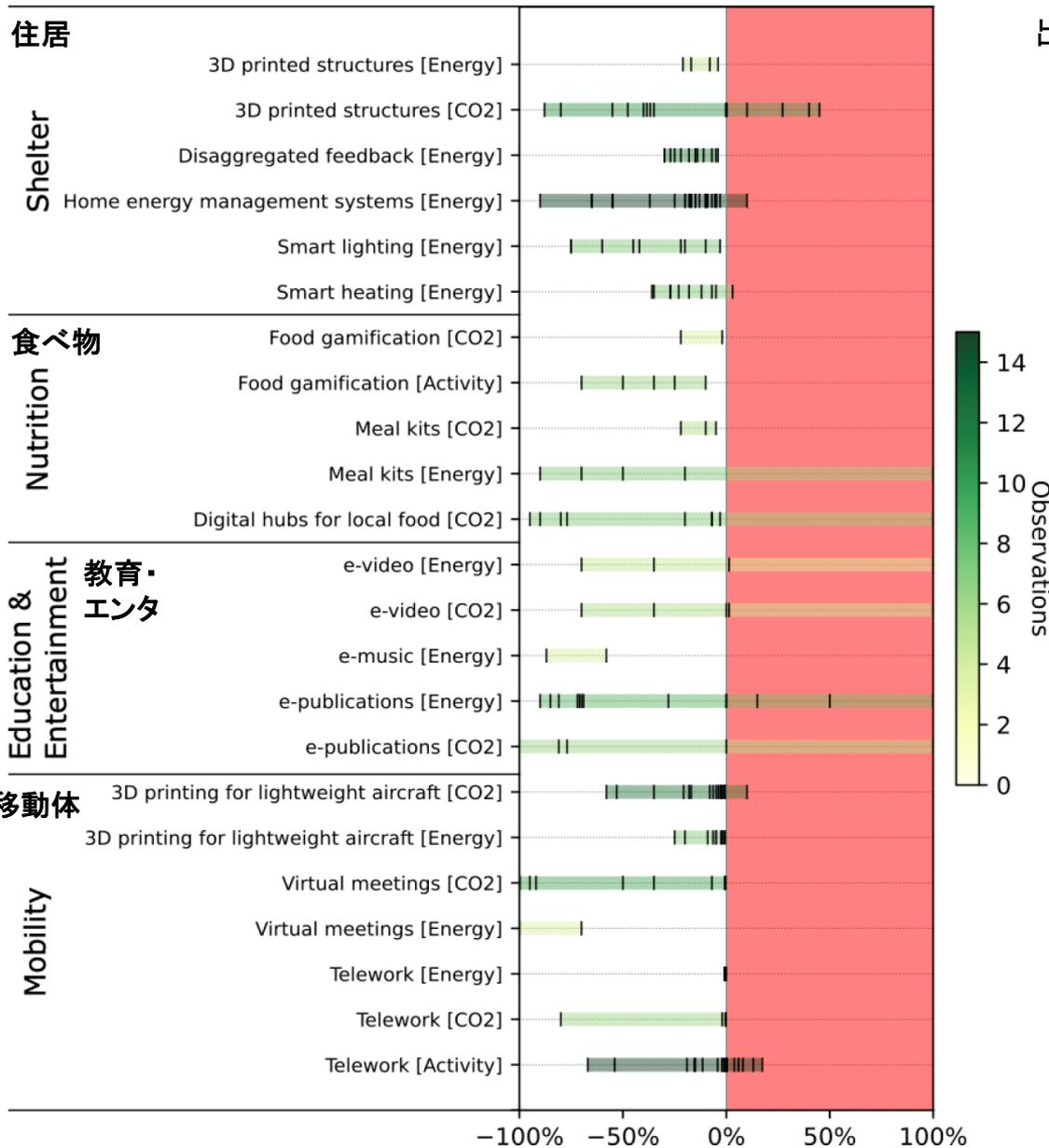
Fig. SPM.5



「CO<sub>2</sub>又はGHGの正味ゼロを達成しようとするならば、削減が困難な残余排出量を相殺するCDRの導入は避けられない。」(SPM C.11)

- ✓ LD(低需要)を除くいずれのシナリオにおいても、正味CO<sub>2</sub>ゼロ時に、大規模植林以外のCDRも活用
- ✓ 更に温室効果ガスでの正味ゼロにおいては、CDRが不可欠

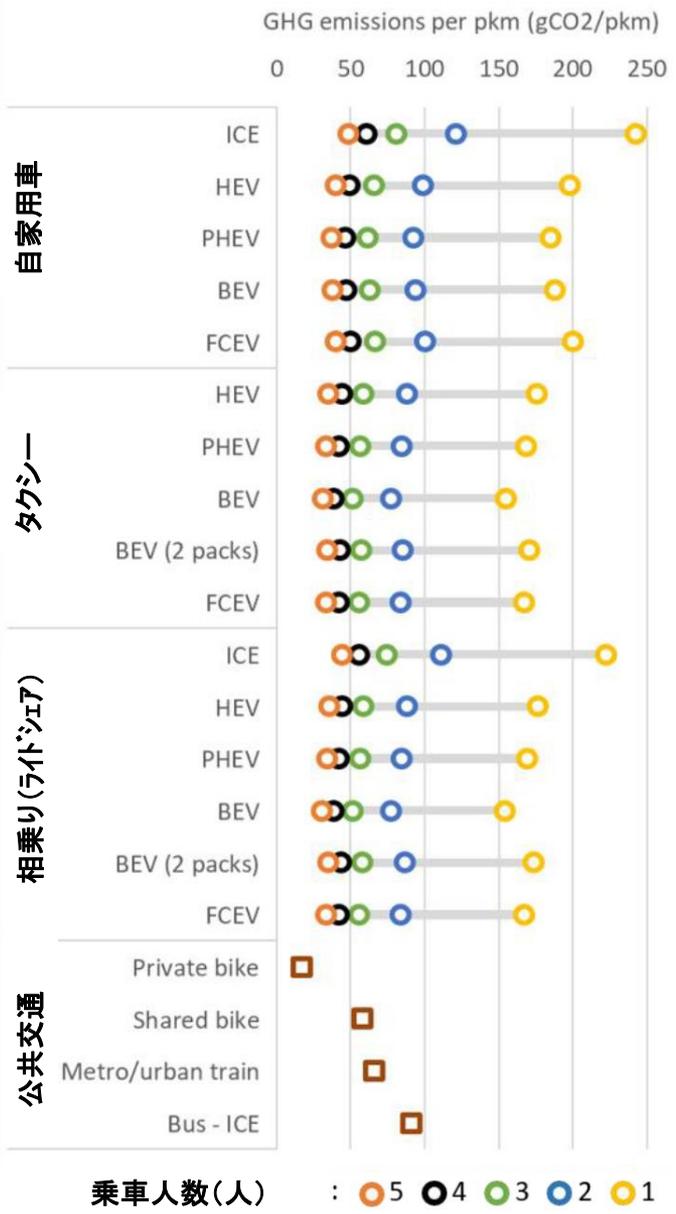
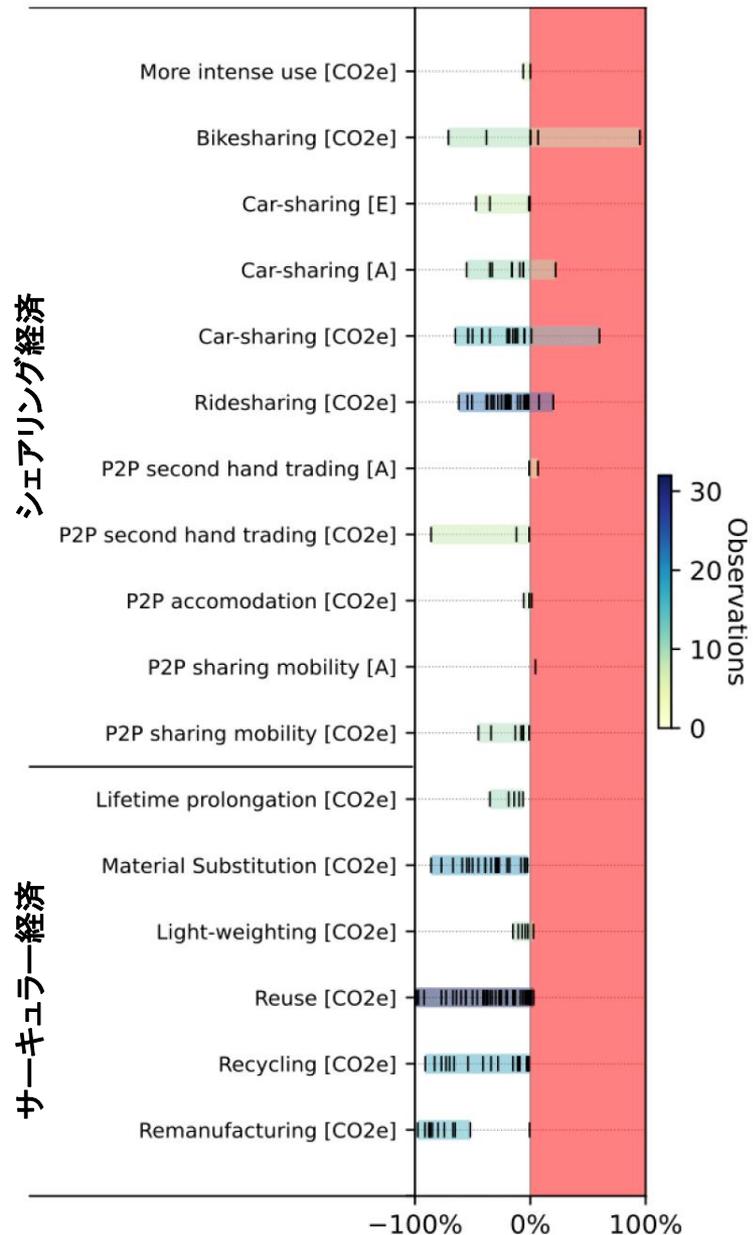
# デジタル化によるエネルギー消費・CO2排出への影響



出典) IPCC第6次評価報告書 (2022), Fig. 5.12

- ✓ 各種デジタル化によって、大きなエネルギー消費低減やCO2排出量の低減が推計される。
- ✓ 一方、推計の不確実性は極めて大きい。大きなリバウンド効果もあり得る。

# シェアリング・サーキュラーエコノミーによる エネルギー消費・CO2排出への影響



出典) IPCC第6次評価報告書 (2022), Fig. 5.13

✓ カーシェアリング、ライドシェアリング等による排出削減余地は大きい。

✓ 一方、推計の不確実性は極めて大きい。利便性向上によって、大きなリバウンド効果もあり得る。

# 3. 日本の2050年カーボンニュートラルに向けたシナリオ分析からのエネルギー需給展望

(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)

注)2021年5月13日の総合資源エネルギー調査会基本政策分科会に提示のシナリオに一部シナリオを追加したもの



# 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、設備寿命も考慮
- ◆ 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

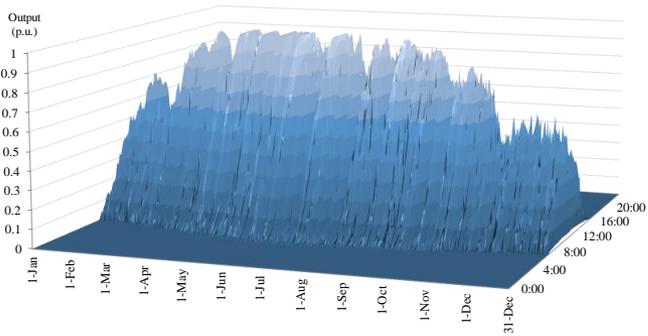
# 統合費用の想定：東大-IEEJ電源構成モデルの分析結果を活用

- ◆ DNE21+モデルは世界モデルであるため、国内の電力系統や再エネの国内での地域偏在性を考慮した分析は難しい。そこで系統対策費用については、別途、東京大学藤井・小宮山研究室および日本エネルギー経済研究所による最適電源構成モデルによる、変動性再生可能エネルギーが大量に導入された場合の電力システム費用の上昇分(統合費用)を推計結果を活用
- ◆ 全国のAMeDASデータ等をもとに変動性再生可能エネルギーの出力の時間変動をモデル化し、線形計画法によって電力部門の最適な設備構成(発電設備及び蓄電システム)及び年間の運用を推計
- ◆ 今回は日本全体を5地域(北海道、東北、東京、九州、その他)に区分し、1時間刻みのモデル化により計算を実施。発電コストや資源制約などの前提条件はDNE21+の想定に合わせて設定

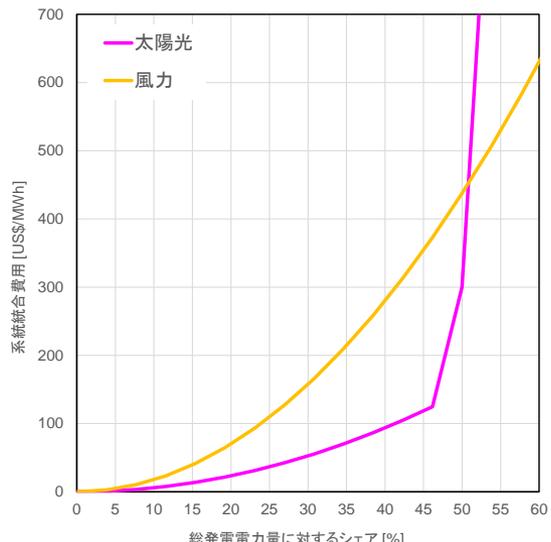
モデル計算で考慮されているもの・・・出力抑制、電力貯蔵システム(揚水発電、リチウムイオン電池、水素貯蔵)、発電設備の利用率低下、地域間連系線、貯蔵や送電に伴う電力ロス

モデル計算で考慮されていないもの・・・地内送電線、配電網、回転慣性の低下の影響、EVによる系統電力貯蔵、再生可能エネルギー出力の予測誤差、曇天・無風の稀頻度リスクなど

東大-IEEJ電源構成モデルの分析結果から近似した系統統合費用  
 =DNE21+で想定した系統統合費用の想定(各導入シェア実現時の**限界費用**)



太陽光発電の出力例



- VRE比率が高まると、**限界統合費用は比較的急速に上昇傾向有**。これは、既にVREが大量に導入されている状況で更に導入を進める場合、曇天・無風状態が数日以上継続するリスクに対応するため、利用頻度の低い蓄電システムや送電線を保持することが必要となることによる。
- 例えば、再エネ比率50%程度(太陽光約400TWh、風力約100TWh)のケースにおいては、蓄電池導入量は最適化計算の結果、**870GWh**、再エネ100%程度(VRE56%)のケースでは**3980GWh**程度となる。(足下導入量約10GWh程度)

# シナリオ想定（概略）

		2050年GHG排出削減	各種技術の想定(コスト・性能)
海外クレジット活用ケース (世界費用最小化＝世界限界削減費用均等)		世界全体でCN、 国内削減率はモデルで <b>内生的に決定</b>	モデルの標準想定  (注:ただし、再エネ比率が高いシナリオでは、 疑似慣性力が実現し、普及していることが暗黙 の前提となる)
参考値のケース		▲100%	
参考値のケースのモデル想 定下で再エネ比率が変化し た場合のコスト等を推計	① 再エネ100%	(日本以外については、欧米は それぞれ▲100%、それ以外は、 CO <sub>2</sub> について全体で▲100%を 想定(GHGは2065年頃 ▲100%):1.5°Cシナリオ)	再エネのコスト低減加速
エネルギー供給技術のそれ ぞれの技術課題が克服され、 より利用が拡大すると想定し たシナリオ	② 再エネイノベ		原子力の導入拡大
	③ 原子力活用		水素のコスト低減加速
	④ 水素イノベ		CO <sub>2</sub> 貯留可能量拡大
	⑤ CCUS活用		再エネのコスト低減加速 ＋水素・合成メタンのコスト低減加速 ＋CO <sub>2</sub> 海外輸送無
	⑥ 合成燃料活用		カー・ライドシェア拡大
	⑦ 需要変容		データセンターエネルギー需要増＋ 民生部門の電化促進
エネルギー需要側の技術展 望の不確実性	⑧データセンター 需要増		

# 技術シナリオ想定 (2050年)

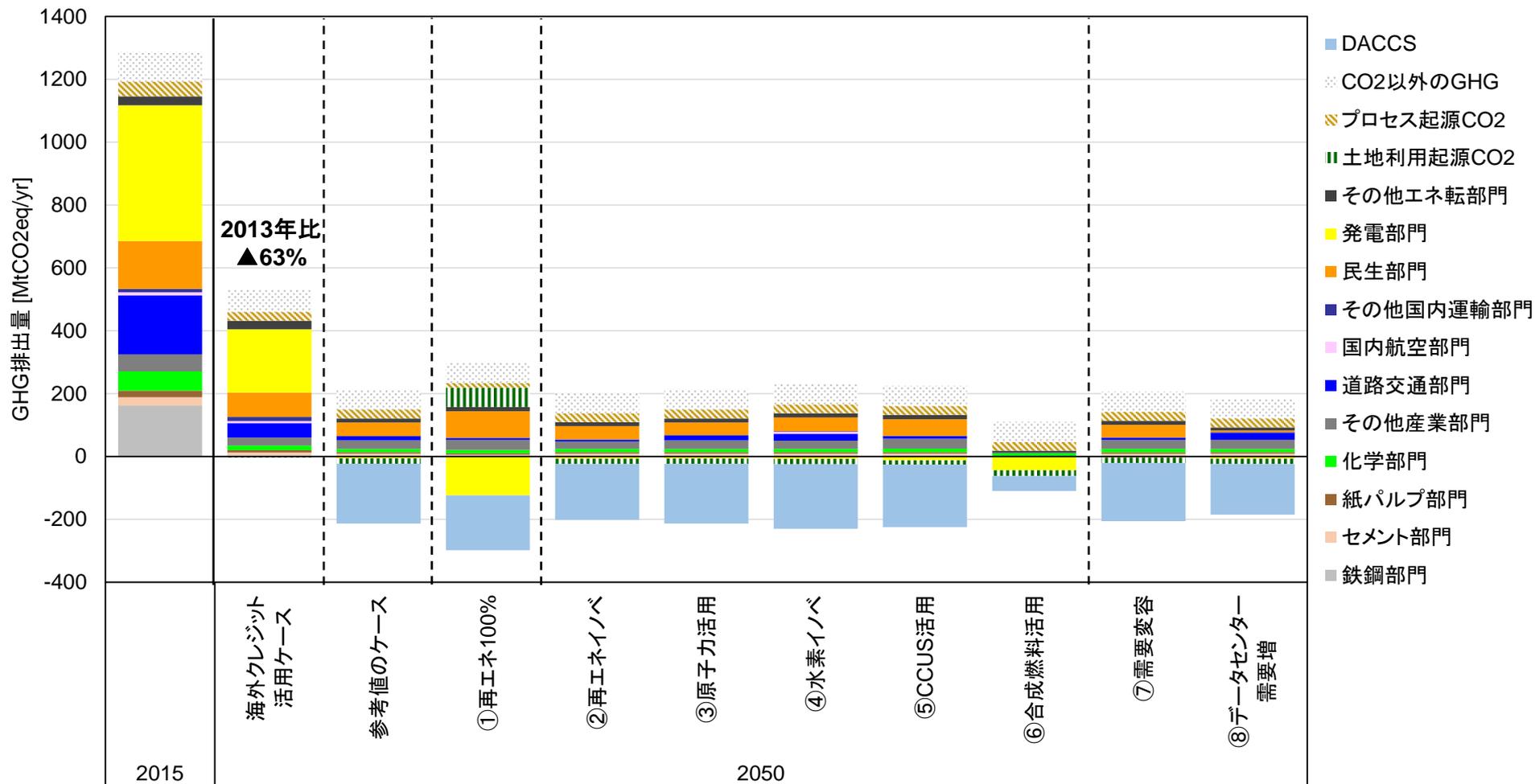
シナリオ名	再エネコスト	原子力比率 (上限値)	水素コスト等	CCUS (貯留ポテンシャル、上限値)	完全自動運転 (カー・ライドシェア)	データセンター需要	民生電化
参考値のケース*1	標準コスト	10%	標準コスト	国内貯留: 91MtCO <sub>2</sub> /yr、 海外への輸送: 235MtCO <sub>2</sub> /yr	標準想定 (完全自動運転車 実現・普及想定 せず)	標準展望	標準 (モデルで 内生的に 決定)
①再エネ100%		0%					
②再エネイノベ	低位コスト	10%					
③原子力活用*2	標準コスト	20%	水電解等の水素製造、 液化設備費: 半減	国内貯留: 91MtCO <sub>2</sub> /yr、 海外への輸送: 235MtCO <sub>2</sub> /yr			
④水素イノベ		標準コスト	国内貯留: 273MtCO <sub>2</sub> /yr、 海外への輸送: 282MtCO <sub>2</sub> /yr				
⑤CCUS活用		低位コスト*3	水電解等の水素製造: 半減、革新的メタネーション技術: 効率向上+設備費低減	国内貯留: 91MtCO <sub>2</sub> /yr、 海外への輸送: 0MtCO <sub>2</sub> /yr			
⑥合成燃料活用	標準コスト	10%	標準コスト	国内貯留: 91Mt、 海外への輸送: 235Mt	2030年以降完全自動運転実現・普及し、カー・ライドシェア拡大、自動車台数低減により素材生産量低下		
⑦需要変容	標準コスト				標準想定	データセンターエネルギー需要大幅増	民生部門の電化促進
⑧データセンター需要増							

\*1: DAC無しでは実行可能解が無く、全てのシナリオでDACが利用可能と想定。

\*2: 原子力活用シナリオは別途、比率50%まで分析を実施。

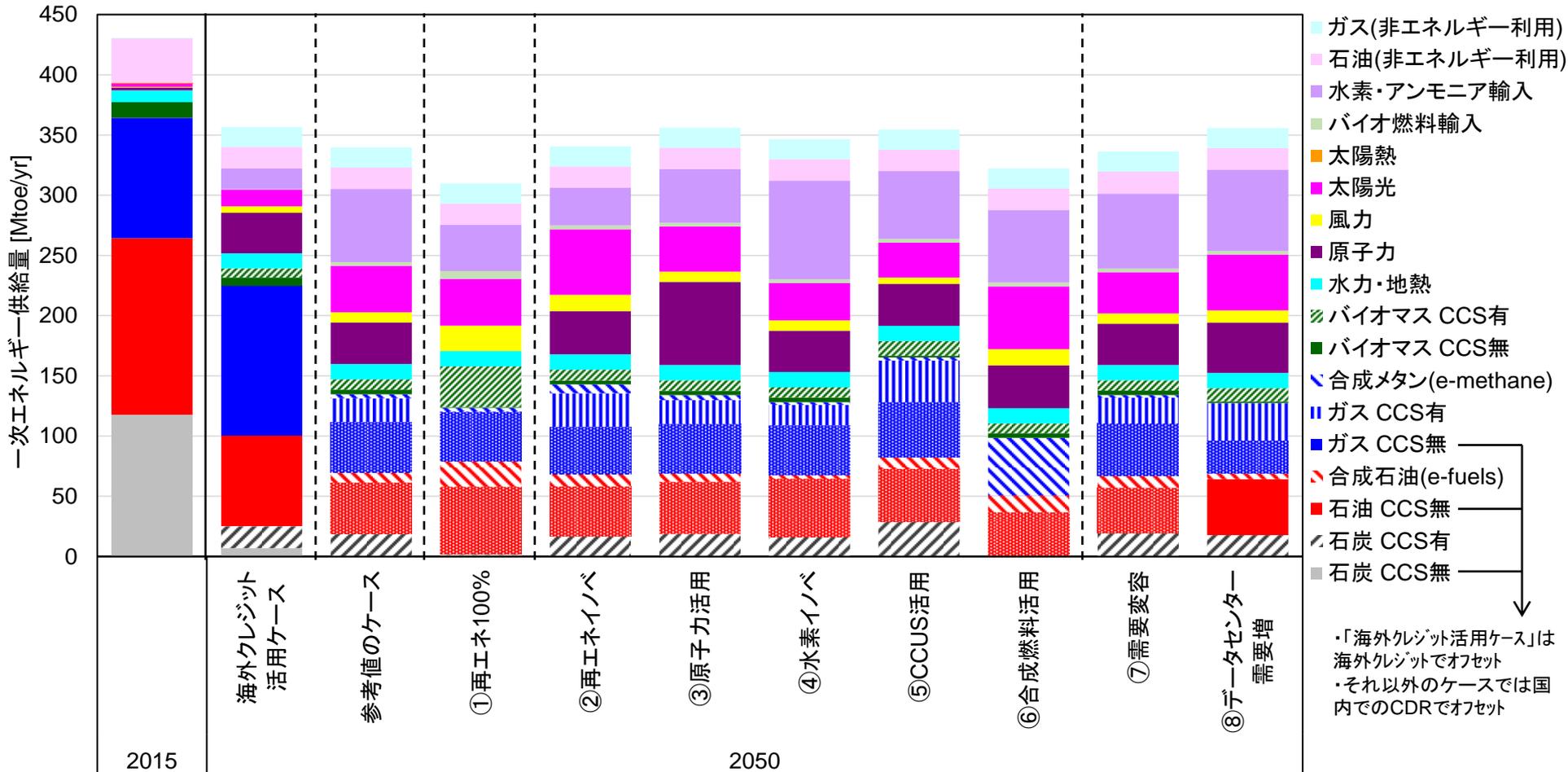
\*3: 国内は②再エネイノベと同じコスト・ポテンシャル想定。海外は更に安価な再エネコスト・ポテンシャルを想定。

# 日本の部門別GHG排出量（2050年）



- ✓ 世界の限界削減費用均等化の「海外クレジット活用ケース」では、日本の2050年の正味GHG排出量は2013年比▲63%に留まる（海外に、国内▲63%を超える排出削減に対応する排出削減費用以下の、植林、BECCS、DACCS等のオプションが十分存在すると推計されるため）。
- ✓ その他のケースでは、いずれもDACCSの活用が見られる。（CO<sub>2</sub>以外のGHG、プロセス起源CO<sub>2</sub>排出量のオフセットも必要）

# 日本の一次エネルギー供給量（2050年）

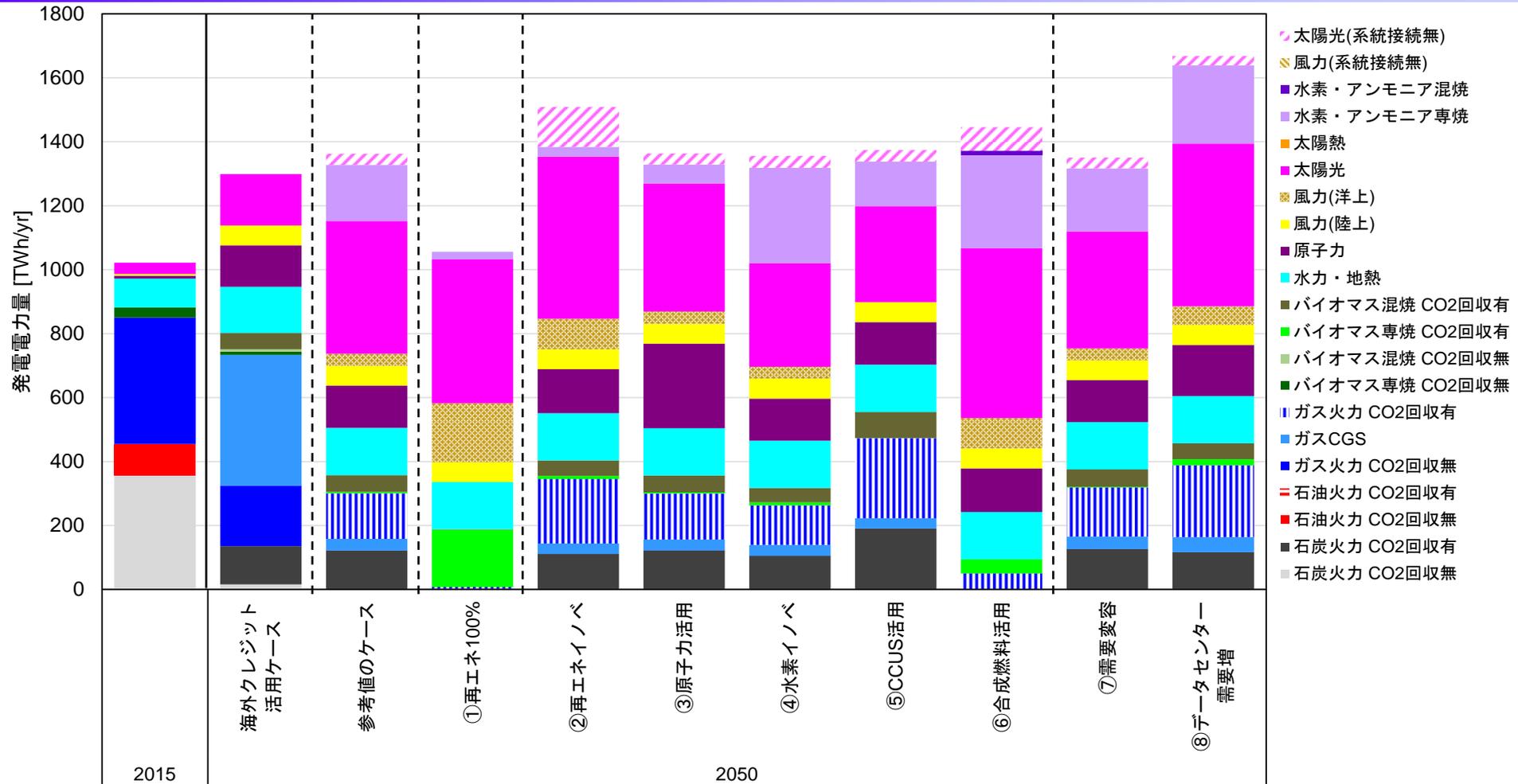


注1) 一次エネルギー換算はIEA統計に準じている。バイオマス以外の再エネ: 1 TWh=0.086 Mtoe、原子力: 1TWh=0.086÷0.33 Mtoe

注2) CCSなしの化石燃料は、負排出技術でオフセットされており、カーボンニュートラル化石燃料となっている。

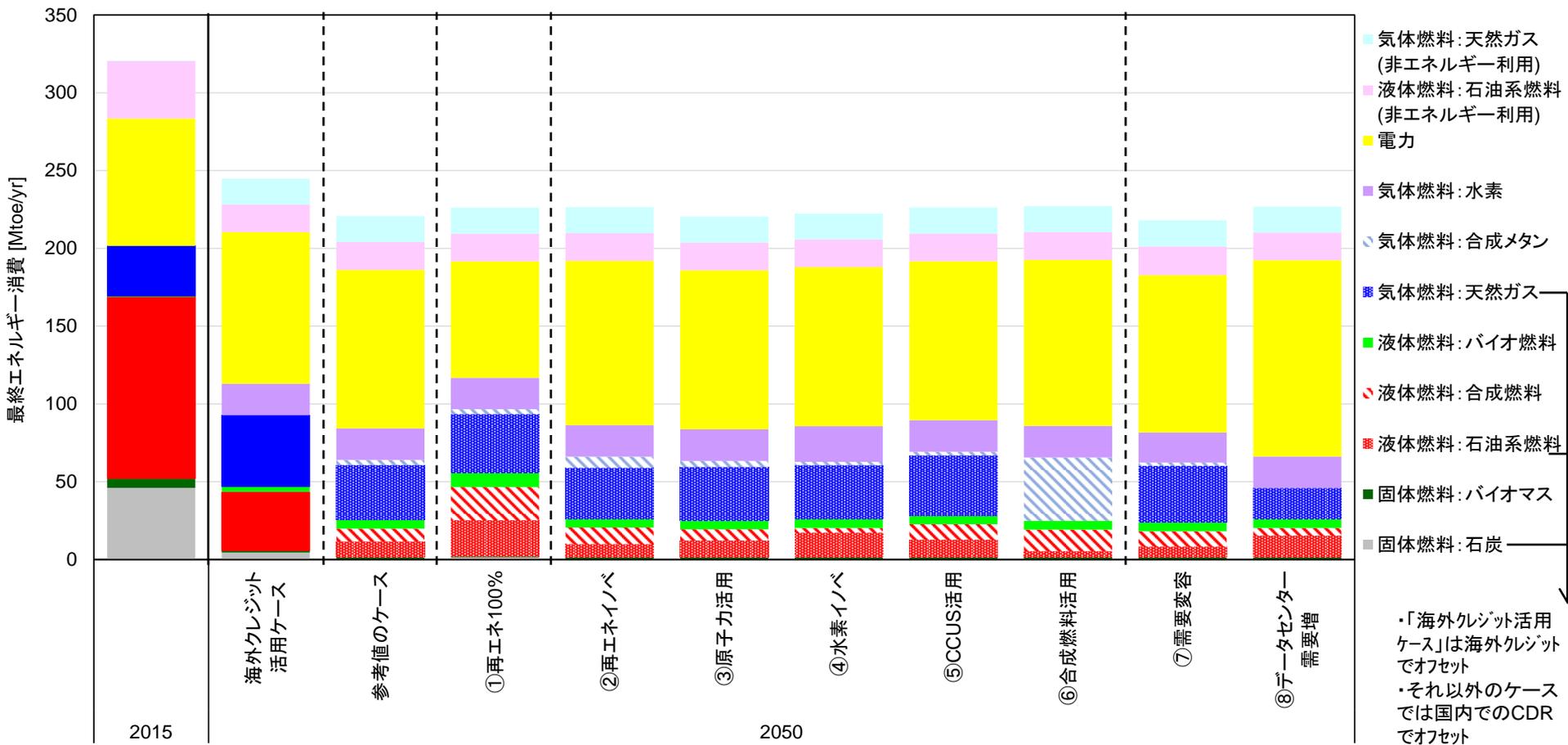
- ✓ 一次エネルギーで正味25%程度の低下が予想される(蓄電池、CCUS、DACCS等での増エネ分も含む)。
- ✓ ▲100%のいずれのシナリオにおいても、相当量の水素・アンモニア・合成燃料の輸入・利用が見られる。
- ✓ CO<sub>2</sub>の海外輸送を想定しない⑥合成燃料活用ケースでは、DACCSのオフセットが小さくなるため、ガス供給の大部分は合成メタンに。

# 日本の発電電力量（2050年）



- ✓ 再エネ100%ケースのBECCSを含め、いずれもCCSは経済合理的なオプション
- ✓ 世界全体でCNを費用最小で実現するケース(海外クレジット活用ケース)ではCCS無のガス比率が高い。
- ✓ 再エネ比率が参考値のケースから上昇すると、統合費用が上昇。「①再エネ100%」では統合費用の急上昇により電力限界費用が相当上昇するため、電力需要が大きく低減。需給調整等のためBECCSが増大。
- ✓ データセンター需要増加ケース(民生の電化促進想定を含む)では、2050年に1670 TWh/yr程度の発電電力量が予想される。

# 最終エネルギー消費量 (2050年)



注) CCSなしの化石燃料は、負排出技術でオフセットされており、カーボンニュートラル化石燃料となっている。産業部門などでは石炭からガスへの転換が見られるが、電化が難しい部門もあり、ガスが残りやすい。

- ✓ 2050年▲100%ではいずれのシナリオでも相当大的な省エネルギーが見られる。
- ✓ 再エネ比率が参考値のケースから上昇すると、統合費用が上昇。特に「①再エネ100%」では電力供給の限界費用が相当上昇するため、電力需要を大きく低減させる結果に。民生部門などで、電化が進みにくく、参考値のケース比で石油需要が上昇。

# CO2限界削減費用、エネルギーシステム総コスト、 電力限界費用：日本

	2050年のCO2限界 削減費用 [US\$/tCO2]	2050年の エネルギーシステムコスト [billion US\$/yr]*1		2050年の電力 限界費用 [US\$/MWh]*2
ベースライン	—	986	—	121 (13円/kWh)
海外クレジット活用	168 (18,000円/tCO2)	1044	[+58] (6.4兆円/年)	184 (20円/kWh)
参考値のケース	525 (58,000円/tCO2)	1179	[+193] (21兆円/年)	221 (24円/kWh)
①再エネ100%	545	1284	[+299] (33兆円/年)	485 (53円/kWh)
②再エネイノベ	469	1142	(-37)	198
③原子力活用*3	523~503	1166~1133	(-13~-45)	215~177
④水素イノベ	466	1160	(-19)	213
⑤CCUS活用	405	1150	(-29)	207
⑥合成燃料活用	507	1175	(-4)	190
⑦需要変容	509	909	(-270)	221
⑧データセンター需要増	510	1197	(+17)	221

円換算値はモデル前提条件策定時の為替レート(1US\$=110円)を利用

\*1 [](青字)はベースラインからのコスト増分。()赤字は「参考値のケース」からのコスト変化。エネルギーシステムコスト総額にはエネルギー利用機器のコストも含まれるので注意されたい。

\*2 発電端での限界費用。ただし、系統統合費用は含む。2020年のモデル推計の電力限界費用は123 US\$/MWh

\*3 原子力活用シナリオは、原子力比率20%~50%の下での結果

## 4. DXによる需要側対策の効果



# サーキュラー・シェアリング経済シナリオの想定(1/2)

DXによるCE誘発等	エネルギー消費への直接的な影響	エネルギー消費への間接的な影響	DNE21+モデル分析における想定(暫定試算)
1) 完全自動運転車実現により誘発されるライドシェア、カーシェアリング(2030年時点までは想定せず)	- ライドシェアによる乗用車用エネルギー消費量の低減	- カーシェアリングに伴う乗用車台数の低下に伴う、鉄鋼、プラスチック、ゴム、ガラス、コンクリート等の低減 - 製品、素材の国際貨物輸送の低減⇒項目8)	- 鉄鋼製品生産量:▲4%(車両+立体駐車場。道路建設含まず) - プラスチック製品:▲1% - タイヤ製品:▲28%(乗用車向け比)(エネルギー消費量低減換算値をモデルで想定) - ガラス製品:▲28%(乗用車向け比)(エネルギー消費量低減換算値をモデルで想定) - セメント製品:▲1%(立体駐車場のみ。道路建設含まず)
2) バーチャルミーティング、テレワーク	- 移動の低減に伴う運輸部門のエネルギー消費量の低減	- 長期的に建築物の稼働率上昇、必要な空間面積の低減により、鉄鋼、コンクリート等の低減の可能性有【今回のモデル分析では未考慮】	- 旅客需要:▲10%
3) E-publication等による紙の代替	- 紙の生産のためのエネルギー消費量の低減	- 紙媒体の配送等の貨物需要低減の可能性有【今回のモデル分析では未考慮】	- 紙パ生産量:▲20%
4) E-コマースや他のDXによるアパレルのリサイクル・シェア化の促進	- アパレル製造のエネルギー消費の低減	- ショッピングセンター等、小売店舗の低減と、それに伴うエネルギー消費、また建築物建設の低減により、鉄鋼、コンクリート等の低減の可能性有【今回のモデル分析では未考慮】	- アパレル生産量:▲20%(エネルギー消費量低減換算値をモデルで想定)

赤字: 家庭部門関連、緑字: 業務部門関連、青字: 輸送部門関連、紫字: 産業部門関連、茶字: 非CO2 GHG等

# サーキュラー・シェアリング経済シナリオの想定(2/2)

DXによるCE誘発等	エネルギー消費への直接的な影響	エネルギー消費への間接的な影響	DNE21+モデル分析における想定(暫定試算)
5) 都市開発、設計等の進展による建築物の高寿命化	- 建築物の高寿命化による、セメント、鉄鋼製品の低減に伴うエネルギー消費量の低減		- 建築物の高寿命化: +40%、それに伴うセメント: ▲3%、鉄鋼製品需要の低減: ▲3%
6) 需要予測の向上等による食品廃棄の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 必要食品生産量の低減等に伴う、窒素肥料、プラスチック製品等の生産に伴うエネルギー消費量の低減</li> <li>- 小売店舗棟のエネルギー消費量の低減</li> <li>- 必要食品生産量の低減等に伴う、メタン、一酸化窒素排出量の低減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 農畜産物、食品等の低減に伴う国際貨物輸送の低減 ⇒ 項目8)</li> <li>- 食品販売量の低減に伴う、小売店舗の低減に伴う鉄鋼、コンクリート製品等の低減の可能性【今回のモデル分析では未考慮】</li> <li>- 他用途への利用可能な土地面積の増大に伴う植林等によるCO2固定可能性【今回のモデル分析では未考慮】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 石油化学製品(窒素肥料含む)の低減: ▲1%</li> <li>- プラスチック製品: ▲1%</li> <li>- 紙パ製品: ▲0.5%</li> <li>- 輸送サービス需要: ▲1%</li> <li>他 (以上、産業連関表より算定)</li> <li>- メタン、一酸化窒素排出低減: ▲493 MtCO<sub>2</sub>eq/yr in 2050</li> </ul>
7) 3Dプリンティングの適用による素材の低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>- アルミニウム、鉄鋼製品等の低減</li> <li>- 製造段階による電力消費量の低減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 航空機の軽量化に伴う運航時のエネルギー消費量の低減</li> <li>- 自動車等の軽量化に伴うエネルギー消費量の低減【今回のモデル分析では未考慮】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- アルミニウム製品: ▲1%</li> <li>- 鉄鋼製品: ▲0.02%</li> <li>- 直接的電力消費量: ▲1%</li> <li>- 航空機の運航時のエネルギー消費量: ▲10%</li> </ul>
8) 基礎素材やその他製品需要の低減に伴う国際海運需要の低減	- 国際海運需要の低減によるエネルギー消費量の低減		- 国際海運需要: ▲1%

赤字: 家庭部門関連、緑字: 業務部門関連、青字: 輸送部門関連、紫字: 産業部門関連、茶字: 非CO<sub>2</sub> GHG等

# モデル分析のためのシナリオ想定

	排出削減経路	主にデジタル化によるエネルギー需要低減						電力需要の フレキシビリティ(EV, HP, CGS)	小規模技術(PV, 風力、EV等)の より急速なコスト 低減
		運輸 1)	家庭 2, 3, 4)	建築物 5)	農業・ 食品 6)	産業 7)	派生 効果 8)		
BL-Std	Baseline (特段の気 候変動緩和 政策を想定 せず。炭素 価格0)	—	—	—	—	—	—	—	—
BL-Mobil		○							
BL-Resid			○						
BL-Build				○					
BL-Food					○				
BL-Ind						○			
BL-All_CE			○	○	○	○	○	○	
BL-All_CE+FL			○	○	○	○	○	○	○
BL-All_CE+FL+GR			○	○	○	○	○	○	○
B2DS-Std	B2DS 2°Cを十分 に下回る排 出に抑制 (かつ2030 年の各国 NDCsを想 定、主要先 進国:2050 年GHGでの CN)	—	—	—	—	—	—	—	—
B2DS-Mobil		○							
B2DS-Resid			○						
B2DS-Build				○					
B2DS-Food					○				
B2DS-Ind						○			
B2DS-All_CE			○	○	○	○	○	○	
B2DS-All_CE+FL			○	○	○	○	○	○	○
B2DS-All_CE+FL+GR			○	○	○	○	○	○	○

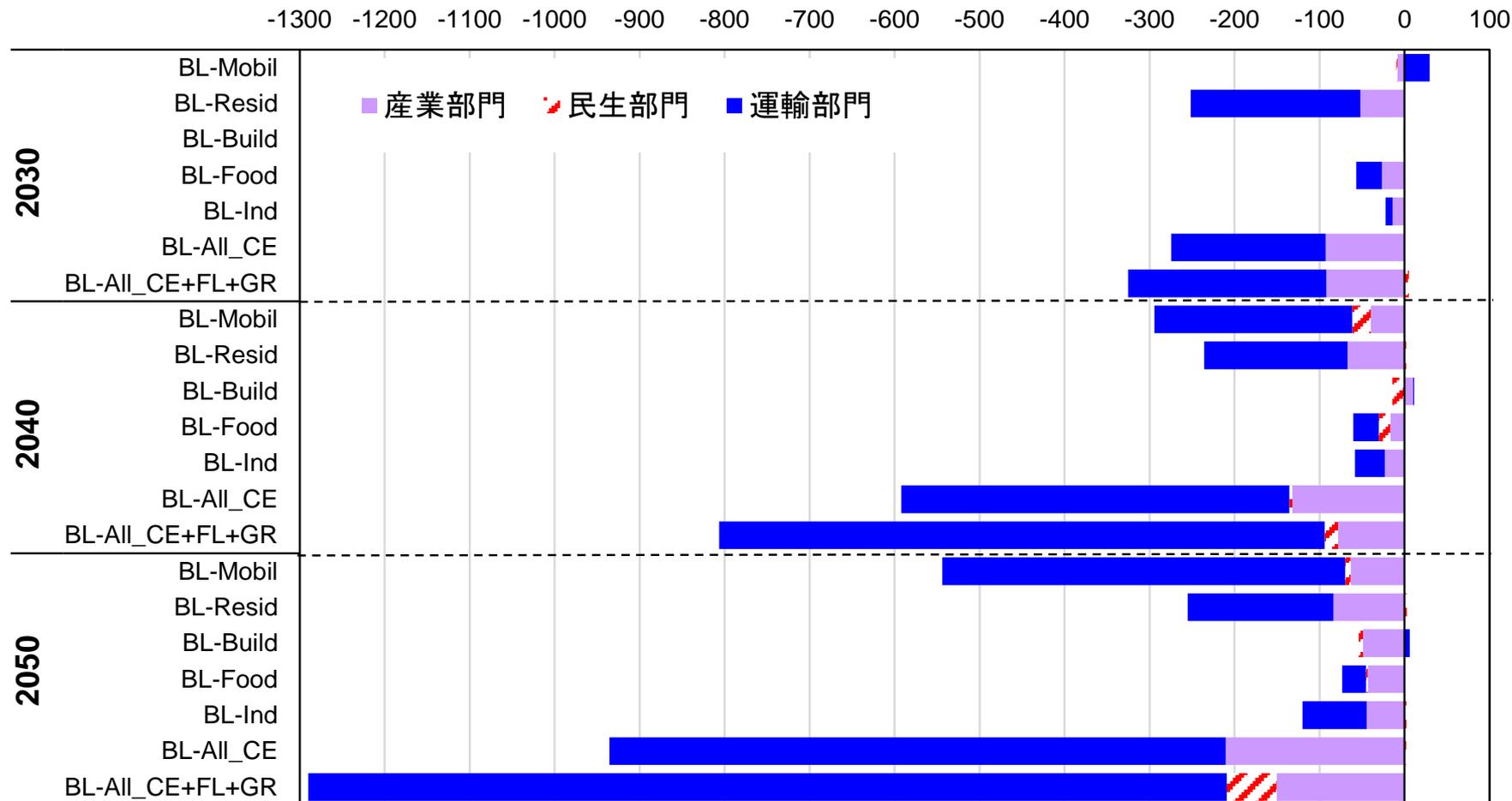
注1) 今回の分析では、IPCC等で用いられている共有社会経済パス(SSP)は、中位的なSSP2ベースで分析

注2) 本来、DXによる電力消費量の増大等のリバウンド効果も考えられるが、CO2限界削減費用低下に伴うリバウンド効果以外のリバウンド効果は今回考慮していない

# 世界エネルギー消費量(CE想定時)

## ベースライン

最終エネルギー消費量 [Mtoe/yr]

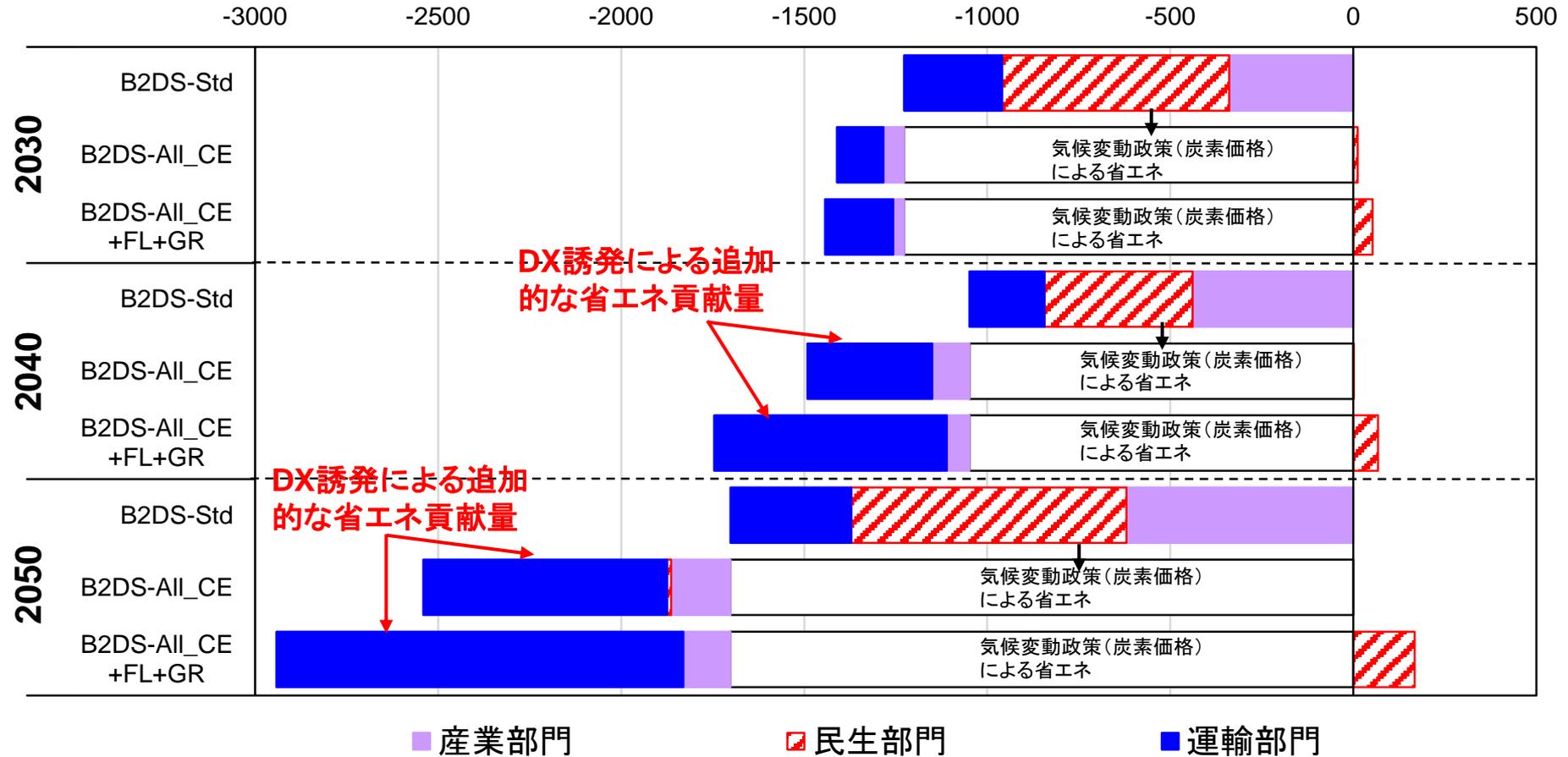


✓ かなり限定された波及効果のみを考慮した分析段階ではあるものの、想定したサーキュラーエコノミー・シェアリングエコノミー実現によって部門横断的に大きな省エネ効果が期待できる。

# 世界エネルギー消費量(CE想定時)

**B2DS(2°C制約シナリオ)** 炭素価格:2040年 68~310 USD/tCO<sub>2</sub>、2050年 146~739 USD/tCO<sub>2</sub> (幅は国による差異)

最終エネルギー消費量 [Mtoe/yr]



参考)2019年の世界の最終エネルギー消費量実績値:10 Gtoe/yr、2050年のベースラインの最終エネルギー消費量推計値:14 Gtoe/yr

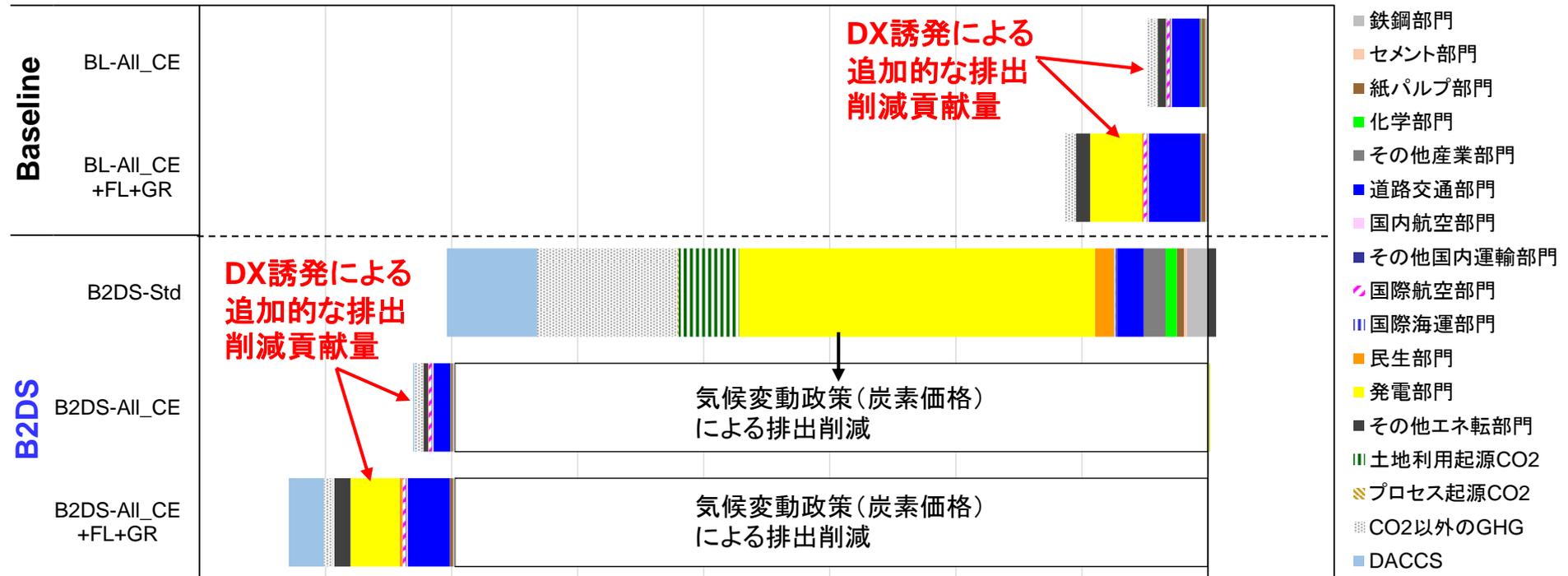
✓ かなり限定されたCEの事例および波及効果のみを考慮しただけでも、2050年には、現在の世界の最終エネルギー消費量全体の6%程度、また、2°C目標の炭素価格下で経済合理的と推計される省エネ量に近い水準の省エネが、サーキュラーエコノミー・シェアリングエコノミーによって更に追加できる可能性が示唆される。

# 世界のGHG削減効果(CE想定時)

## 2040年時点

GHG排出量 [GtCO<sub>2</sub>eq/yr] (ベースライン(BL-Std)排出量からの変化)

-40      -35      -30      -25      -20      -15      -10      -5      0      5



注) B2DSの炭素価格: 2040年 68~310 USD/tCO<sub>2</sub> (幅は国による差異)

参考) 2019年の世界のGHG排出量実績値: 59 GtCO<sub>2</sub>eq./yr、2040年のベースラインの排出量推計値: 69 GtCO<sub>2</sub>eq/yr

- ✓ 例えば、2040年時点での、DXによって誘発させ得るCE(一部のみ考慮)による排出削減効果(貢献量)は、ベースラインのBL-AII\_CEケースで年間24億トン程度、PV等の分散系エネルギー技術の更なるコスト低減を想定した、BL-ALL\_CE+FL+GRケースで年間57億トン程度が推計される。
- ✓ 2°C目標(B2DSの炭素価格水準)下でも、同様の水準の追加的な排出削減量が期待できる。

# 5. まとめ



- ◆ 世界は意欲的な1.5°C目標や2050年CNを志向してきているが、足下の世界排出量は増大が続いている。先進国から途上国への産業、CO<sub>2</sub>のリーケージが続いている。現実的に着実に世界の排出削減に資する対応が必要
- ◆ 脱炭素化のためには、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、VPP等、需要側での調整力提供の重要性も増す。また、蓄電池、水素系エネルギーは重要なオプション。更に再エネの利用先を拡大するためにも、水素に加え、アンモニアやe-methane、e-fuelsも重要なオプションとなり得る。
- ◆ CN実現には、DACCS等の負排出を実現するCO<sub>2</sub>除去技術も必須と見られる。
- ◆ 将来的には費用対効果を見極め技術を絞り込んでいくことも必要だが、現時点では、万能な技術はなく、「あらゆる選択肢を追求」することが必要
- ◆ 「経済と環境の好循環」はナローパス。DX活用によるサーキュラーエコノミー、シェアリングエコノミー誘発を含む、需要側対策の強化は重要。DXによって比較的低コストで、大きな排出削減効果が期待できる。
- ◆ シナリオ分析は、定量的かつ整合性のあるシステムを提示し、代替オプション間のPros/Consの議論に資することが重要。
- ◆ モデル分析・シナリオ分析は、現実世界を単純化しており、現実での実効ある排出削減は、より難解でもあり、シナリオで単純化されている部分の理解も重要

# 付 録

# 社会経済シナリオの想定(概略)

IPCCの招請を受けて、共有社会経済経路(SSPs: Shared Socioeconomic Pathways)を策定中(SSP1~5の5種類のシナリオ)。RITEでもSSPsのストーリーラインに沿った定量的なシナリオを策定している。本分析では、その内、中位的なSSP2の社会経済シナリオを想定し分析。

## 【世界】

	2030年	2050年	2100年
人口(億人)	83.6 (81.4-85.9)	92.1 (86.1-100.5)	93.1 (70.0-127.3)
GDP(%/年)	2.7 (2.4-3.1) [2010年~]	2.2 (1.3-2.8) [2030年~]	1.4 (0.6-2.2) [2050年~]
粗鋼生産量(億トン)	19.6 (18.8-20.0)	21.3 (19.3-22.7)	22.9 (14.7-26.5)
セメント生産量(億トン)	41.6 (39.0-43.0)	44.0 (38.5-46.6)	44.7 (29.4-59.1)
道路部門の旅客輸送需要(兆p-km)	30.2 (31.2-37.3)	60.0 (56.8-74.2)	83.3 (66.8-88.8)

## 【日本】

	2030年	2050年	2100年
人口(億人)	1.18 (1.16-1.26)	1.02 (0.96-1.22)	0.84 (0.47-1.05)
GDP(%/年)	1.6 (1.3-1.9) [2010年~]	0.4 (-0.1-1.2) [2030年~]	0.4 (-0.9-1.5) [2050年~]
粗鋼生産量(億トン)	0.90 (0.81-0.97)	0.95 (0.73-1.11)	0.85 (0.45-0.90)
セメント生産量(億トン)	0.54 (0.50-0.68)	0.44 (0.31-0.75)	0.40 (0.23-0.65)
道路部門の旅客輸送需要(兆p-km)	0.77 (0.69-0.85)	0.64 (0.61-0.82)	0.61 (0.51-0.70)

注)括弧内は、SSP1~5までのシナリオの幅。なお、エネルギー需要や発電電力量はモデルで内生的に計算される。

# データセンター需要増シナリオのモデル想定と論拠

Masanet et al., や Koot et al.,  
Base scenario的シナリオ

Koot et al., Combined scenario  
(median)的シナリオ

	通常シナリオ		データセンター電力消費量加速化ケース	
	世界	日本	世界	日本
<b>2016年</b>	<b>286 TWh/yr</b>	<b>21 TWh/yr</b>	<b>286 TWh/yr</b>	<b>21 TWh/yr</b>
(全電力消費量) データセンター分	(25,000 TWh/yr) 1.15%	(1,050 TWh/yr) 2%(想定)		2%(想定)
<b>2030年</b>	(+0.8 %/yr)		(+4.9 %/yr)	
	<b>321 TWh/yr</b>	<b>24 TWh/yr</b>	<b>566 TWh/yr</b>	<b>42 TWh/yr</b>
<b>2050年</b>	年上昇率一定 (+0.8 %/yr)		年上昇率一定 (+4.9 %/yr)	
	<b>377 TWh/yr</b>	<b>28 TWh/yr</b>	<b>1497 TWh/yr</b>	<b>110 TWh/yr</b>

データセンター電力消費量加速ケースでの追加電力需要: **+83 TWh/yr**

【参考】JST (2022) LCS-FY2021-PP-01 における推計

	Optimisticケース		Modestケース	
	世界	日本	世界	日本
<b>2030年</b>	190 TWh/yr	6 TWh/yr	670 TWh/yr	24 TWh/yr
<b>2050年</b>	3000 TWh/yr	110 TWh/yr	16000 TWh/yr	500 TWh/yr