

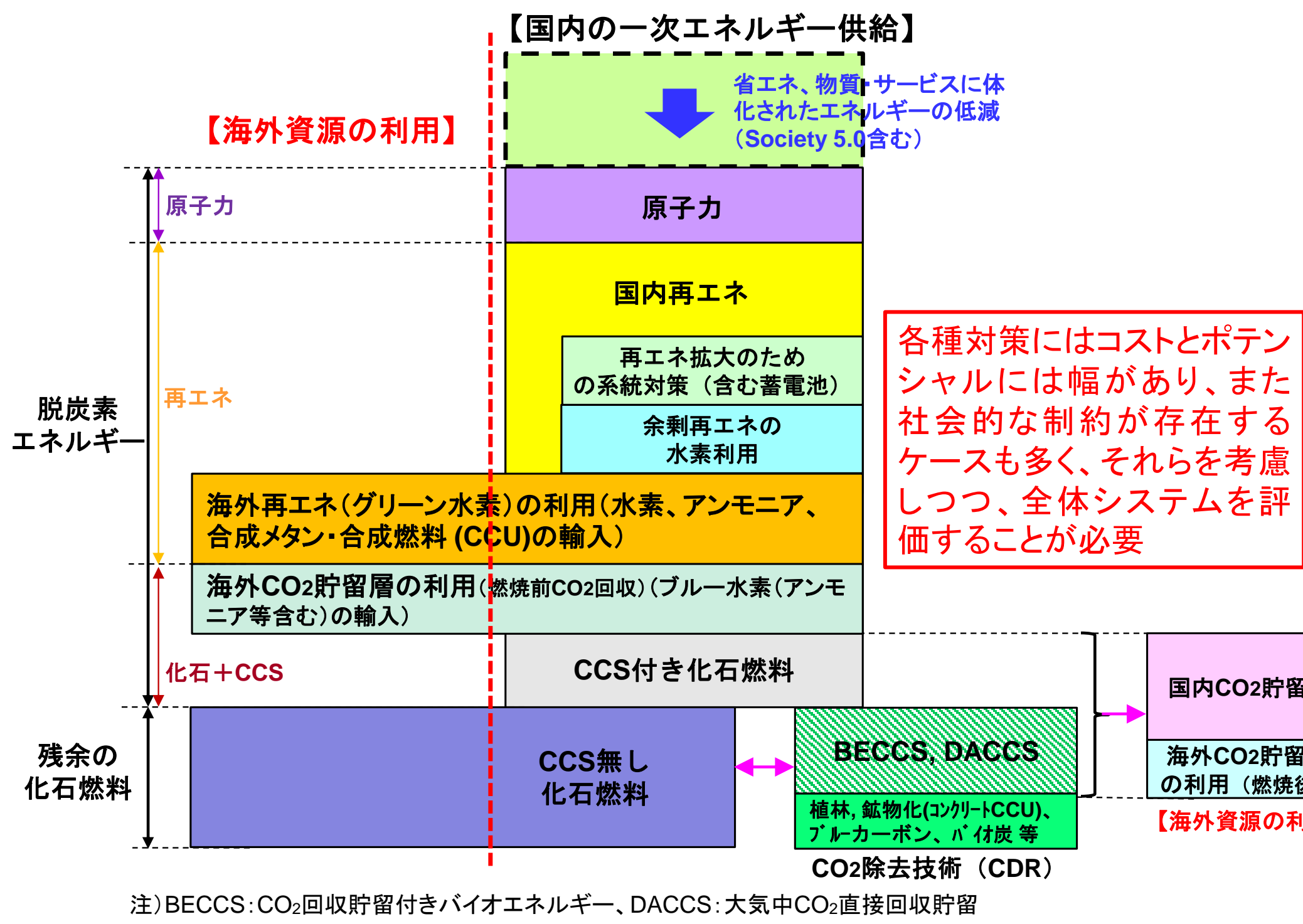
2050年カーボンニュートラル達成に向けた 対策とコストの評価

背景・目的

パリ協定では、長期目標として、産業革命以前比で2°Cを十分下回る目標を掲げ、また1.5°C以内に抑制することを追求するとしている。また、日本を含む主要国は、1.5°C以内に抑制することを目指して、2050年までのカーボンニュートラル実現を目標として掲げた。カーボンニュートラル実現を費用効率的に実現することが重要であるが、そのためには様々な技術を組み合わせることが重要と考えられる。一方、カーボンニュートラル実現に資する各技術の見直しには大きな不確実性が伴っている。エネルギーシステムのトランスフォーメーションが求められる中、不確実性を踏まえ、複数のシナリオを作成し、各シナリオ下において、費用効率的なカーボンニュートラル実現の対策を分析・評価した。

カーボンニュートラル対策の概要、分析のモデルとシナリオ

カーボンニュートラル対策の概要



2050年カーボンニュートラル対策の分析モデルとシナリオ想定

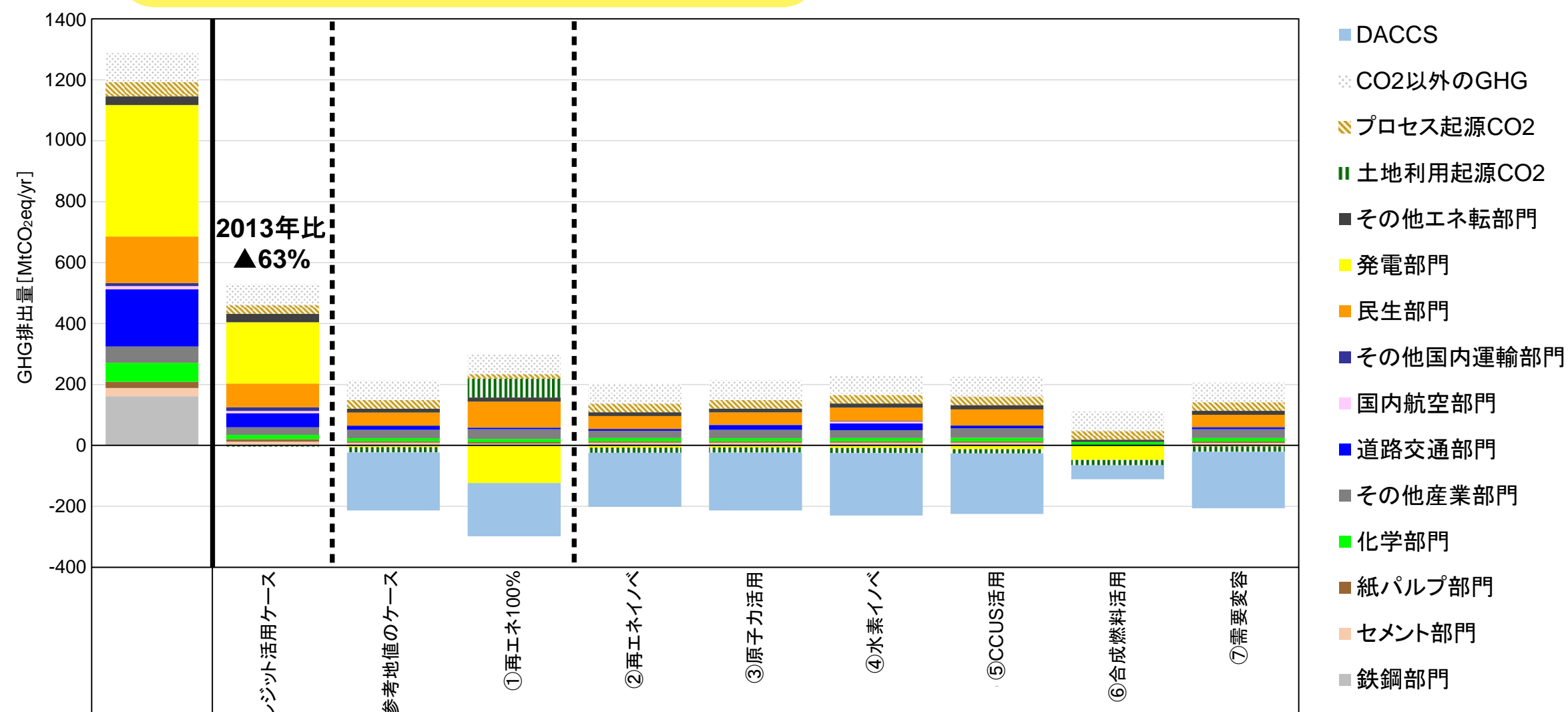
- 世界を54地域に分割し、500程度の技術を明示的に想定し、2100年までの期間のエネルギーシステム総コストを最小化する対策を導出するDNE21+モデルで分析
- 将来の技術の不確実性も考慮し、以下のような複数のシナリオについて分析

シナリオ名	2050年GHG排出削減	再エネコスト	原子力比率(上限値)	水素コスト等	CCUS(貯留率・トンネル、上限値)	完全自動運転(カーライフシェア)
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化)	世界全体でCO2▲100%、 国内削減率はモデルで 内生的に決定	標準コスト	10%	標準コスト	国内貯留: 91MtCO ₂ /yr、 海外への輸送: 235MtCO ₂ /yr	標準想定 (完全自動運転車 実現・普及想定せず)
参考値のケース ¹						
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%	国内対策のみで ▲100%	低コスト	0%			
②再エネイノベ		標準コスト	10%	水電解等の水素製造、 水素液化設備費: 半減		
③原子力活用 ²		低コスト ³	20%			
④水素イノベ	(日本以外については、欧米 はそれぞれ▲100%、それ以外 は、CO ₂ について全体で ▲100%を想定(GHGは 2065年頃▲100%)・1.5°Cシ ナリオ)	標準コスト	10%	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: 273MtCO ₂ /yr、 海外への輸送: 282MtCO ₂ /yr	
⑤CCUS活用		標準コスト			国内貯留: 91MtCO ₂ /yr、 海外への輸送: 0MtCO ₂ /yr	
⑥合成燃料 活用		標準コスト			国内貯留: 91MtCO ₂ /yr、 海外への輸送: 235MtCO ₂ /yr	2030年以降完全自動運転実現・ 普及し、カーライフシェア拡大、自動車 台数低減により素材生産量低下
⑦需要変容						

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。

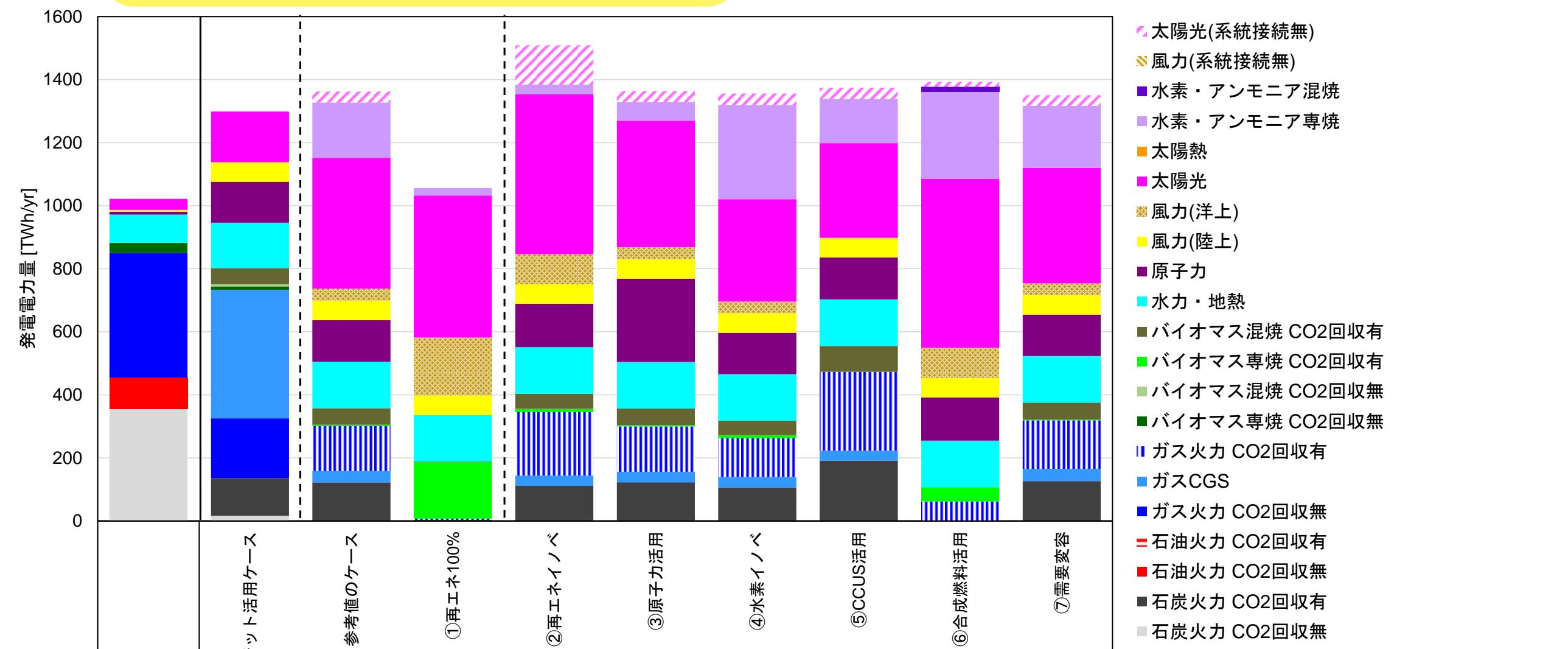
分析結果 - 日本の2050年カーボンニュートラル

日本の部門別排出量



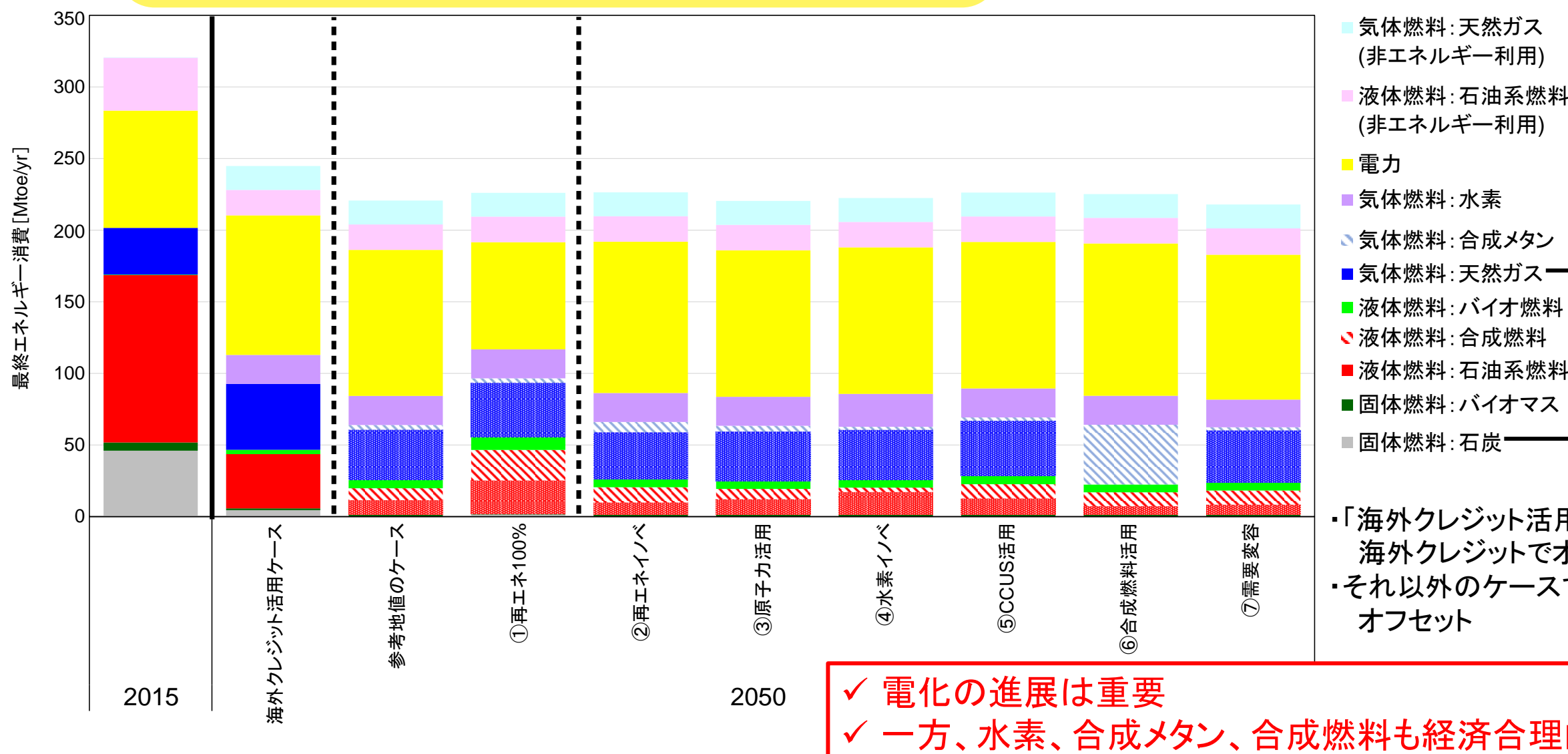
✓世界の対策費用最小化の「海外クレジット活用ケース」では、日本の2050年の正味排出量は▲63%に留まる(海外に安価な対策が多く存在するため)。
✓その他のケースでは、いずれもDACCSの活用が見られる。

日本の発電電力量



✓カーボンニュートラル下では原則、発電電力量は増大し、脱炭素化(再エネ、原子力、CCS)を進める。
✓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。「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、電力需要を大きく抑制

日本の最終エネルギー消費量



日本の対策コスト

	2050年のCO2限界 削減費用 [US\$/tCO ₂]	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	—
海外クレジット活用	168	1044	[+58]
参考値のケース	525	1179	[+193]
①再エネ100%	545	1284	[+299]
②再エネイノベ	469	1142	(-37)
③原子力活用 ³	523~503	1166~1133	(-13~-45)
④水素イノベ	466	1160	(-19)
⑤CCUS活用	405	1150	(-29)
⑥合成燃料活用	507	1175	(-4)
⑦需要変容	509	909	(-270)

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
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

✓「海外クレジット活用」ケースでは対策費用を大きく抑制可能。世界全体での効率良い排出削減を目指すことは重要
✓「再エネ100%」ケースでは、コストは大きく上昇。特に電気の限界費用は再エネの系統統合費用の上昇に伴って、大きく上昇
✓様々な技術の進展に伴ってコスト抑制の機会が存在

分析のまとめと政策的な示唆

- 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+CO₂回収貯留(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。いずれにしてもこれら脱炭素の各種技術のミックスが重要
- 再エネの拡大が重要となる中、蓄電池、水素(アンモニア含む)は重要なオプション。更に、非電力部門で、再エネ、CCSを間接的に利用するためにも、水素とCO₂からの合成メタンや合成燃料も重要なオプション。特に日本の場合、再エネ、CCSともに、海外と比較してコスト高と見られるため、海外再エネ、海外CCS活用手段として、水素等はとりわけ重要性が高い。
- 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等のCDR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し、活用は不可避と見られる(IPCC第6次評価報告書でもCDRは不可避としている)。
- カーボンニュートラル達成のためには、システムとしての対応の重要性が増す。

デジタル化による需要側対策による 排出削減貢献の評価(1/2)

背景・目的

これまでの研究では、2°Cや1.5°C目標実現においては、大きな排出削減費用が見込まれ、その達成は容易ではないと見られている。一方、2018年に公表されたIPCC 1.5°C特別報告書では、Low Energy Demand (LED)シナリオが提示され注目された。また2022年に公表されたIPCC第6次評価報告書では、初めて需要側対策の章が独立して設けられるなど、需要側対策の注目度が増している。デジタル化の進展により、シェアリング経済・サーキュラー経済の誘発がしやすくなってきており、また、変動性再生可能エネルギーに対する需要側の対応の重要性も増している中、デジタルの活用による対応の余地も生まれてきている。一方、需要側対策は、世界で多様であり、包括的な分析はほとんどなされてこなかった。RITEでは需要側対策に焦点を当てた国際連携の事業EDITS (Energy demand changes Induced by Technology and Social innovations)を実施してきている。

需要側対策の既往の分析例

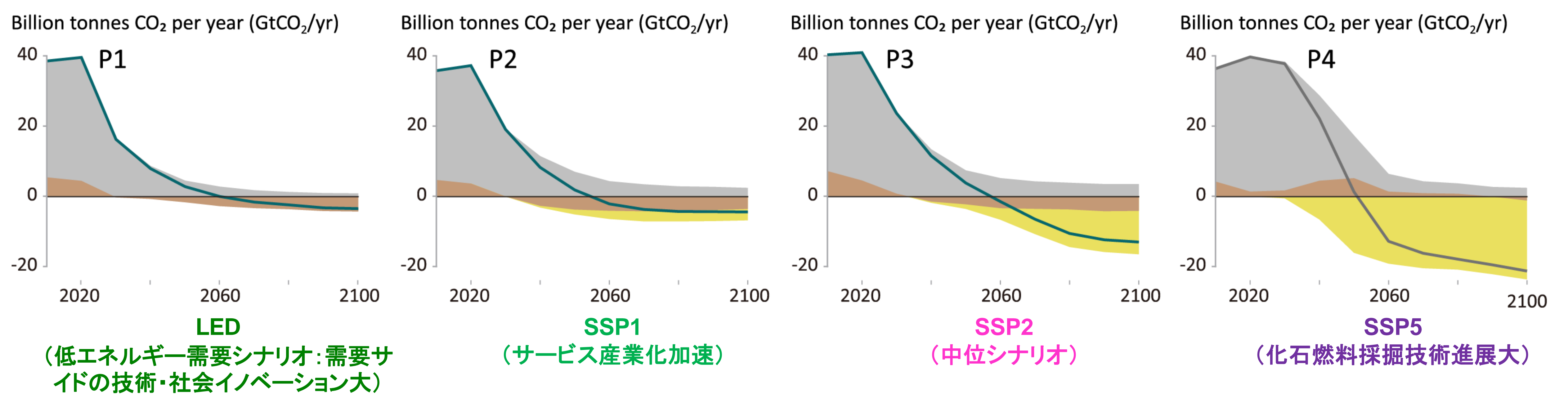
需要側対策

- 従来の需要側対策は、個別機器の省エネルギーが主。途上国では引き続き、省エネ機器の幅広い普及は重要
- 他方、個別機器の省エネルギーは限界がある。デジタル化の進展によって、デジタルを活用した、シェアリング経済、サーキュラー経済の誘発の可能性が高まっており、社会構造の変化を伴う、低エネルギー需要社会の実現を目指すことの重要性が増している。
- また、太陽光や風力発電のような変動性再生可能エネルギーの増大が不可避であり、電力需要の柔軟な対応の重要性も増している。ここでもデジタルは主要な役割となる。

Low Energy Demand (LED) シナリオ

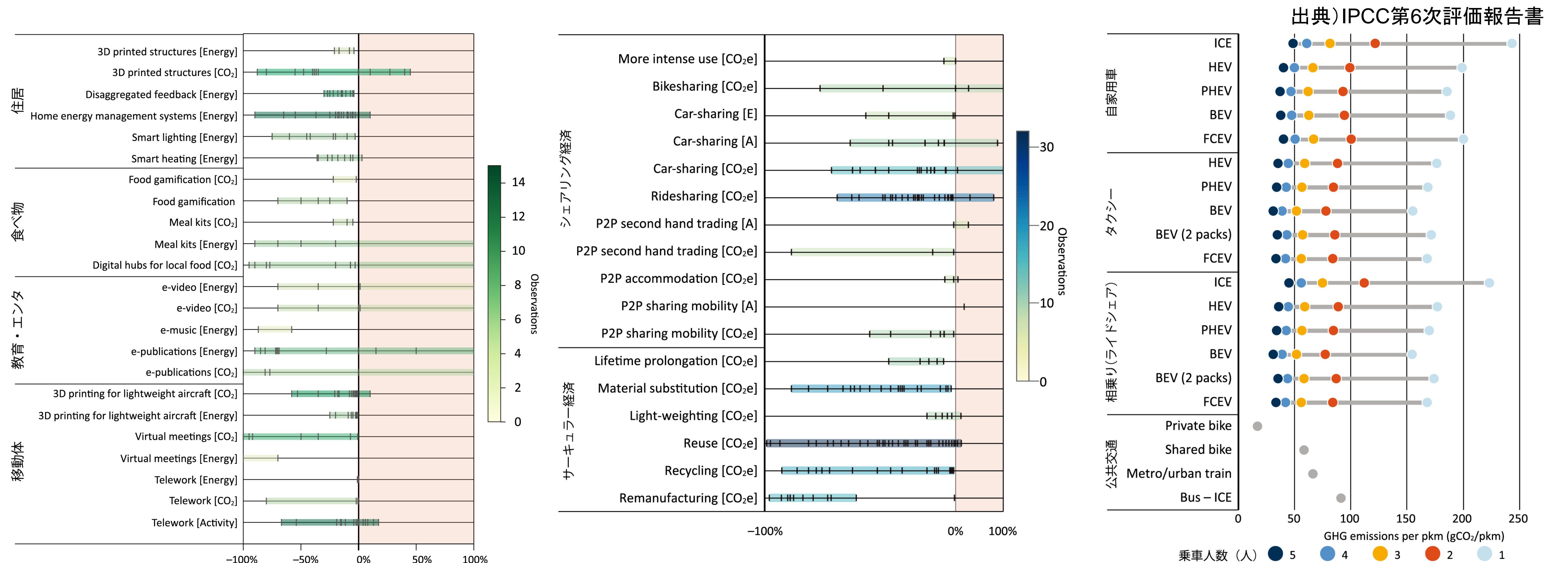
● Fossil fuel and industry ● AFOLU ● BECCS

出典) IPCC 1.5°C特別報告書



- ✓LEDシナリオは需要の大幅な低減により、負排出技術への依拠が小さい。
- ✓ただ、IPCCで提示されたシナリオは1つのみで、検証を進める必要性あり

デジタル化によって誘発される様々な対策の評価例



- ✓IPCC第6次評価報告書では、デジタルを活用した、低エネルギー、低排出の分析・評価を整理
- ✓一方、不確実性が大きいとともに、技術毎の削減率の評価に留まっており、世界全体の温室効果ガス排出全体への貢献の評価は十分ではない。

デジタル化による需要側対策による排出削減貢献の評価(2/2)

試算結果: デジタル化によるエネルギー消費・温室効果ガス排出の低下

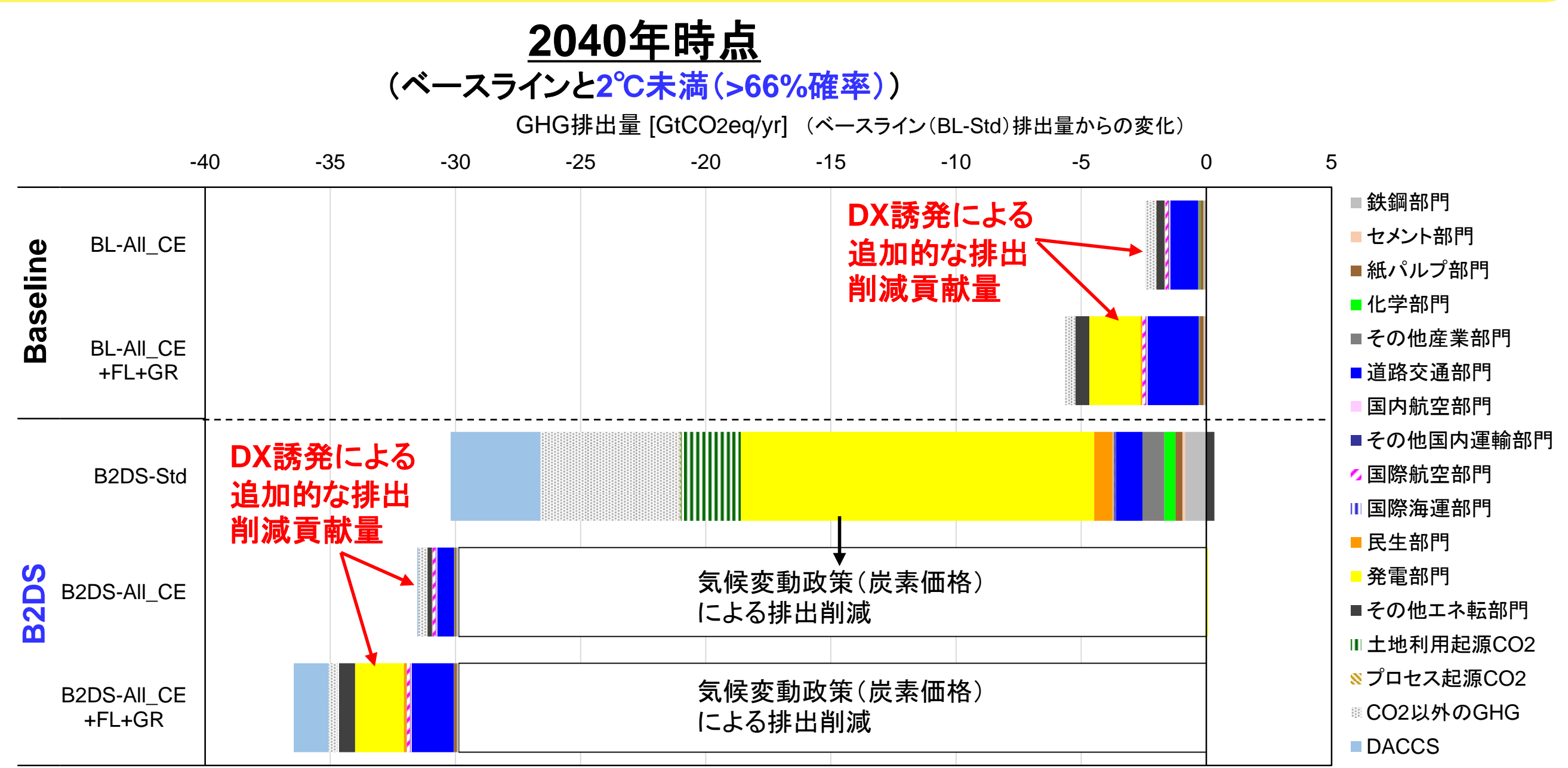
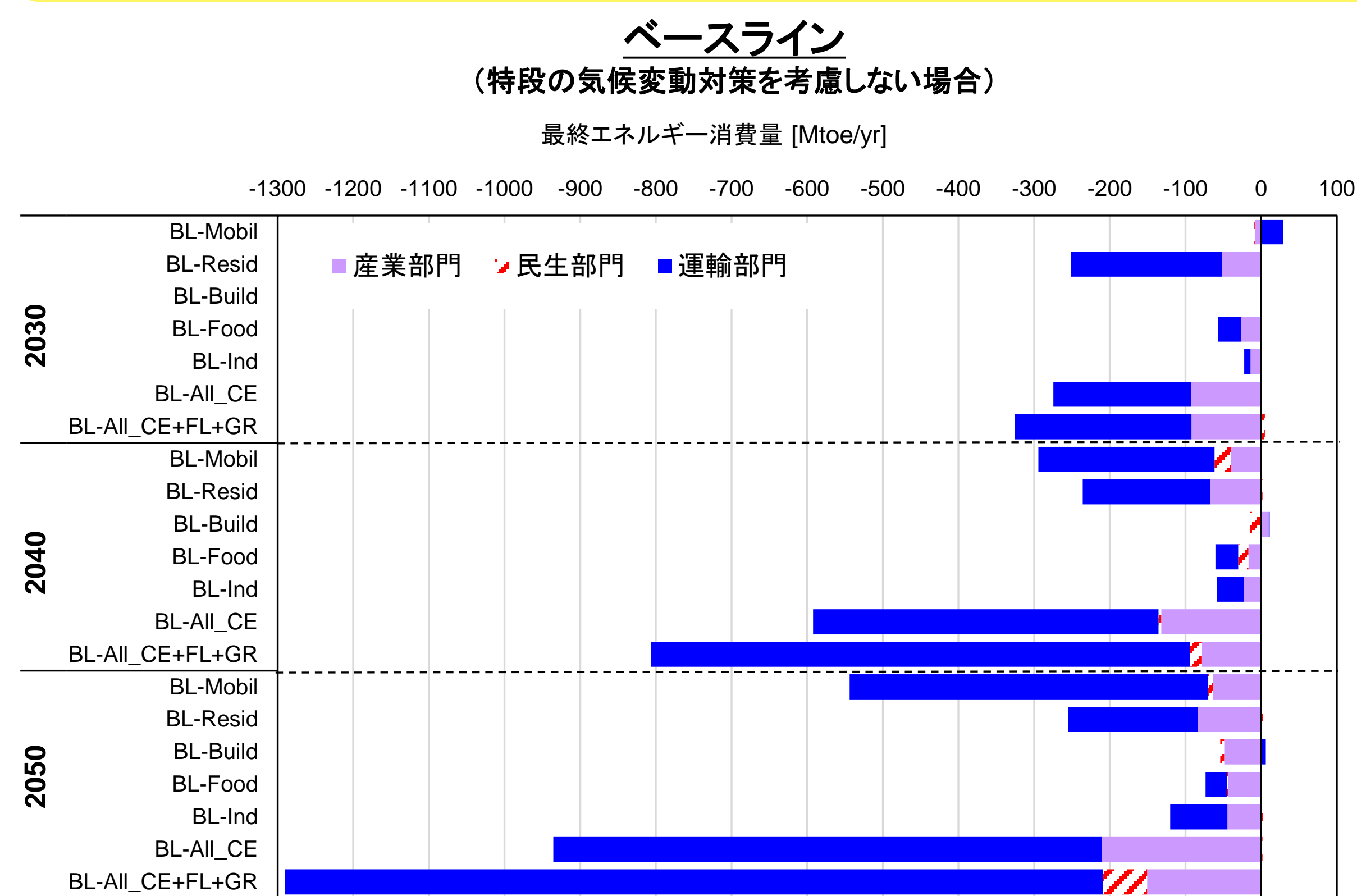
モデルの前提条件とシナリオ

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
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)
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】
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】
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】
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	
6) 需要予測の向上等による食品廃棄の低減	- 必要食品生産量の低減に伴う、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 - 小売店舗のエネルギー消費量の低減 - 必要食品生産量の低減に伴う、メタン、一酸化窒素排出量の低減	- 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) - 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】 - 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】
7) 3Dプリンティングの適用による素材の低減	- アルミニウム、鉄鋼製品等の低減 - 製造段階による電力消費量の低減	- 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 - 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】
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	

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

	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			○	○	○	○	○	○	○	

世界全体の試算結果



注) B2DSの炭素価格: 2040年 68~310 USD/tCO₂ (幅は国による差異)
 参考) 2019年の世界のGHG排出量実績値: 59 GtCO₂eq./yr, 2040年のベースラインの排出量推計値: 69 GtCO₂eq/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-All_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。

まとめ

- 2°Cや1.5°Cを「経済と環境の好循環」で実現するのはナローパス。デジタルトランスフォーメーションDXによるシェアリング・サーキュラー経済の誘発を含む、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。
- DXにより誘発される、低コストでの低エネルギー需要社会は、SDGsの同時達成にも大きく貢献し得る。
- EDITS事業では、世界の主要な20程度の研究機関・大学と協力しつつ、また100程度の研究者が参画して、世界の多様な需要サイドの対策について、地域的な差異を考慮しつつ、分析の視点の多様性を有して、2020年から事業を開始している。定性的なシナリオと定量的かつ包括的なシナリオ分析を提示することで、需要側対策の進展に貢献していく。