

# カーボンニュートラルに向けた トランジションロードマップ(1/2)

## 背景・目的

- パリ協定長期目標の2°Cや1.5°C目標や21世紀後半早期のカーボンニュートラル実現に向けて各部門の対策を強化していく必要あり。
- 一方、そこに至るトランジションの排出削減経路は、国、部門毎は差異がある。2023年のCOP28のグローバルストックテイクでも、「パリ協定の内容を踏まえ、各国それぞれ異なる国情、経路、アプローチを考慮し、各国ごとに自ら決定した方法で、世界的努力への貢献を要請する」とされたところ。
- しかし、国、部門毎の排出削減経路や必要な対策技術が十分理解されているわけではなく、投資の適切性に関して判断できる定量的な材料が必要。そのため、NGFSなどでも、定量的な分析が可能な統合評価モデルを用いた排出削減シナリオの策定が行われているが、部門毎の排出削減経路に対しては十分な情報を与えていない。
- そのような中、日本政府は、トランジション・ファイナンスでの活用も念頭に、CN実現に向けた具体的な移行の方向性を示すため、2021～2022年度にトランジションロードマップを策定した。これは有用な情報を提供するものであるが、部門毎に策定されたものであり、全体としての2°C、1.5°C排出削減経路との整合性において、説明性を向上させる必要性がある。
- そこで、部門別の積み上げ評価をしており、また、世界各国・地域、部門間で整合性ある分析が可能な世界エネルギー・温暖化対策評価モデルDNE21+によって、部門別のトランジションロードマップを策定した。

略語)NGFS: Network for Greening the Financial System; IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change, IEA: International Energy Agency

## ロードマップ策定のためのモデルとシナリオ想定

### ロードマップ策定に用いたモデル:DNE21+

- 各種エネルギー・CO2削減技術の体系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
- 地域間輸送:石炭、原油・各種石油製品・e-fuels、天然ガス・e-メタン、電力、エタノール、水素、アンモニア、CO2
- 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
- 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)

### シナリオの想定

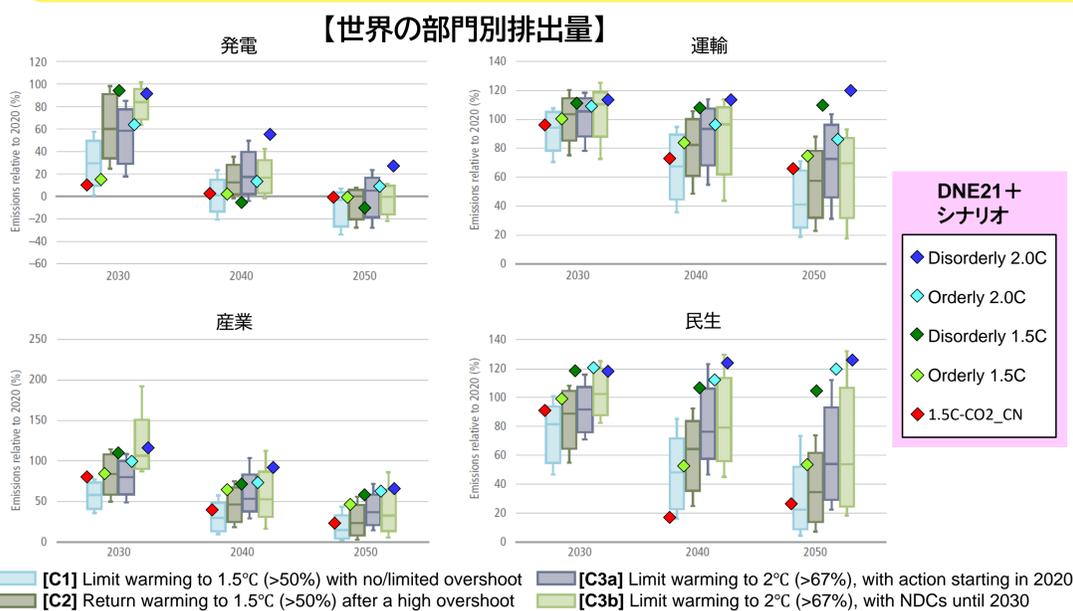
シナリオ名	気温上昇	政策のスピード#	CDR	再E, EV	政策の地域差	他シナリオとの類似性		
						IPCC AR6(*1)	NGFS(2022)	IEA
Disorderly Below 2°C	1.7～1.8°C (ヒート:1.8°C、2100年1.7°C)	遅 (2030年NDC)	中	中位 進展	大(主要先進国2050年CN)	Likely below 2 C, NDC [C3b]	Disorderly: Delayed Transition	APS (WEO2 022)
Orderly Below 2°C	1.7°C程度	早(2030年NDC:全世界MAC均等化)	小	高位 進展	小(MAC均等化)	Likely below 2 C with immediate action [C3a]	Orderly: Below 2C	SDS (WEO2 021)
Disorderly 1.5°C	1.4°C (ヒート:1.7°C、2100年1.4°C)	遅 (2030年NDC)	大	中位 進展	大(主要先進国2050年CN)	1.5 C with high overshoot (IMP-Neg) [C2]	(Disorderly: Divergent Net Zero)*	
Orderly 1.5°C	1.4°C (ヒート:1.6°C、2100年1.4°C)	早(2030年NDC:全世界MAC均等化)	中	高位 進展	中(主要先進国2050年CN)	1.5 C with no or limited overshoot [C1]	Orderly: Net Zero2050	
1.5C-CO2_CN	1.5°C程度 (CO2パスからの概略値)	早(2030年NDC:全世界MAC均等化)	小 (部門別 Near-zero of CO2)	高位 進展	中(主要先進国2050年CN)	1.5 C with no or limited overshoot [C1]		NZE (*2)

# 2021年12月末までに提出されたNDCの2030年排出削減目標を反映 \* 排出経路についてはOrderly 1.5°Cと近い

- ✓ パリ協定2°Cおよび1.5°Cを満たし、既存の国際機関等の排出パスと比較可能なシナリオを想定
- ✓ その中で、将来の技術進展の幅についてもある程度カバーし得るシナリオを想定

## DNE21+シナリオ分析・ロードマップ策定

### 世界全体の結果(部門別排出量・CO2限界削減費用)およびIPCC・IEAシナリオ分析との比較



### 【CO2限界削減費用(炭素価格) 2050年】

	DNE21+シナリオ	IPCC AR6 (2022) Fig. 3.32 (*1)	IEA WEO2022 NZEシナリオ (*2)
Disorderly 2.0C	118～500	[C3]カテゴリー: 150～350 程度	—
Orderly 2.0C	158		—
Disorderly 1.5C	269～686	[C2]カテゴリー: 200～350 程度	—
Orderly 1.5C	267～466	[C1]カテゴリー: 450～1000 程度	—
1.5C-CO2_CN	293～345		180～250

単位: USD/tCO2eq.

出典)IPCC AR6 (2022)をベースにDNE21+シナリオをプロット  
注)IPCCシナリオの棒の幅は25～75%タイル、ひげの幅は5～95%タイル

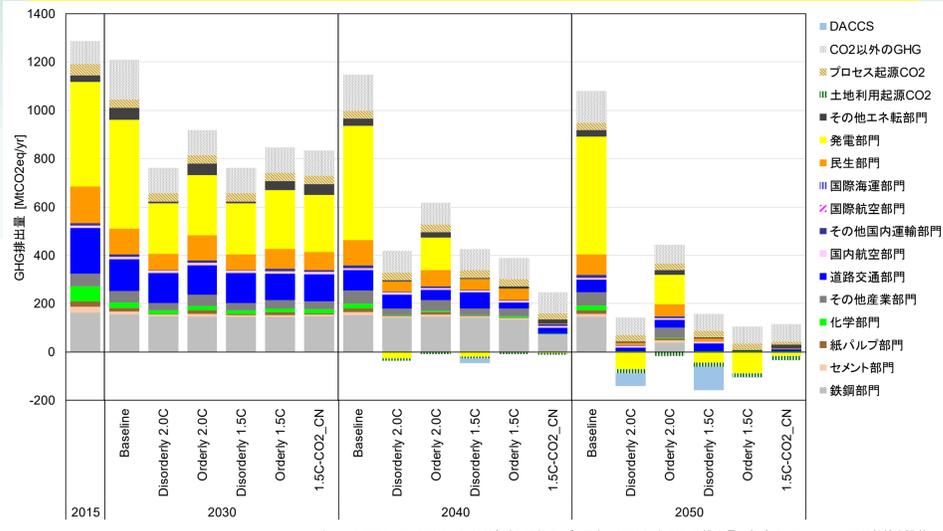
RITE分析の5シナリオは、IPCC報告の上下限を概ねカバーしている。運輸、民生では、IPCCシナリオのレンジを若干超える部分もあるが、IPCCシナリオの多くはDACCS未考慮であり、DACCSを明示的に考慮しているか否かによるところが大きいと考えられる。

IPCC報告の多くのモデルでは、限界削減費用の均等化の条件下で計算。DNE21+シナリオは、IPCC報告値と整合的な水準。なお、IPCCシナリオでは、DACCSの想定がほとんどなされていないが、DNE21+分析ではDACCSを想定している。そのため、2050年の費用は、IPCC報告のC1と比較すると若干安価な推計

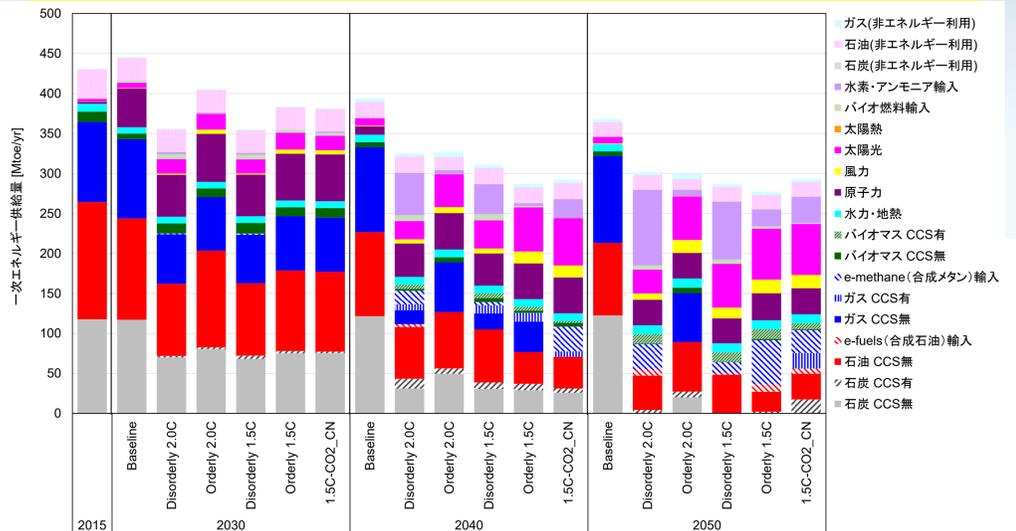
# カーボンニュートラルに向けた トランジションロードマップ(2/2)

## シナリオ分析・ロードマップ策定:日本

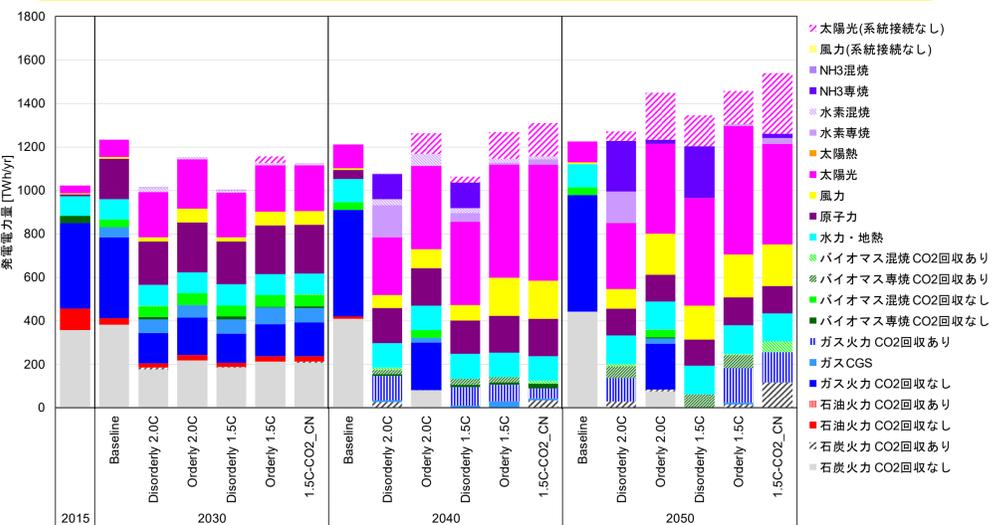
### 部門別GHG排出量



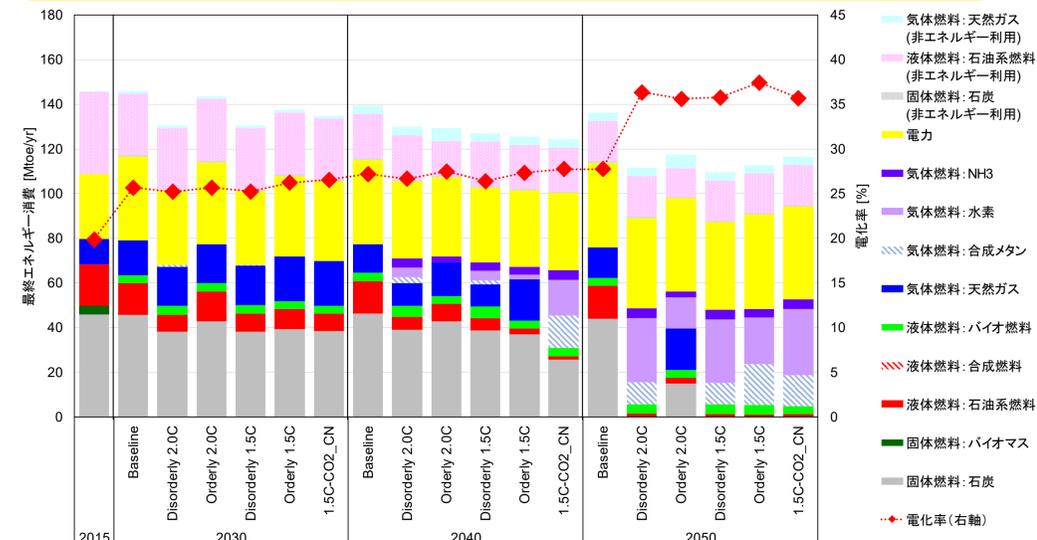
### 一次エネルギー供給量



### 発電電力量

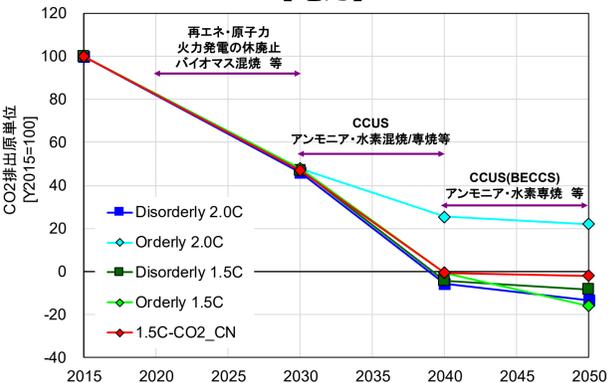


### 最終エネルギー消費量(産業部門)

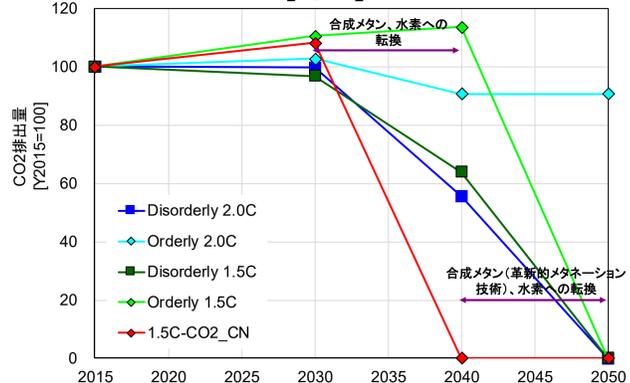


### CO2排出量・原単位推移:部門別ロードマップ

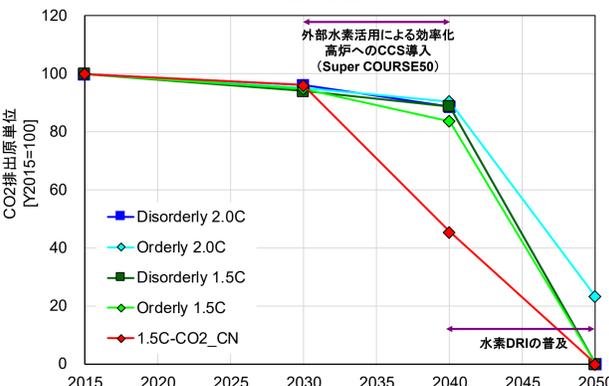
#### 【電力】



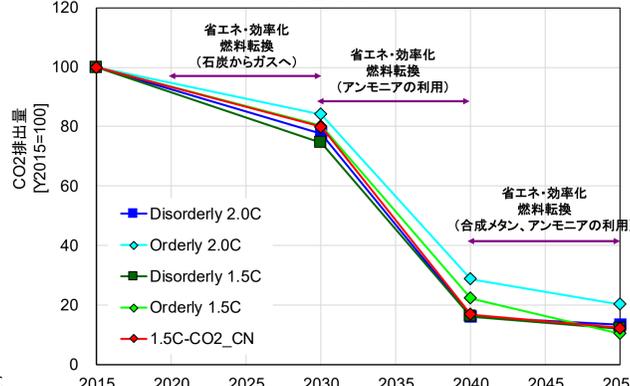
#### 【ガス】



#### 【鉄鋼】



#### 【化学】



✓ GHGでCNとする2050年においては、DACCSや土地利用起源CO<sub>2</sub>(植林によるCO<sub>2</sub>固定)の活用他、発電部門からのCO<sub>2</sub>排出を正味負とする(BECCSやe-メタン+CCSといった)対策がみられる。  
 ✓ 2050年にGHGでCNを想定していないOrderly 2.0Cにおいては、全体で2013年比▲69%程度。発電部門や鉄鋼部門からのCO<sub>2</sub>排出も正である。  
 ✓ 2050年にGHG排出をゼロとするDisorderly 1.5C/2.0C、Orderly 1.5Cでは電源構成は異なるものの、CO<sub>2</sub>排出係数の推移に大きな差異はなく、2040年頃にはCNとすることが全体として費用効率的  
 ✓ いずれのシナリオも2030年以降高炉へのCCS導入および外部水素利用を進め、更に2040年以降は水素DRIへと転換することで2050年にほぼゼロエミッションとしている。ただし、Orderly 2.0Cでは2050年で一部排出が残る。

### まとめと課題

#### 【まとめ】

- 2°C、1.5°C目標に整合的で、NGFSやIEAシナリオと比較可能な5種類のシナリオを想定し、定量的かつ整合的な分析が可能なDNE21+モデルを活用して、CNへのトランジションを含めた部門別対策を導出
- 排出経路は、部門によって差異が大きい。また、想定シナリオによっても幅が大きい。特に二酸化炭素除去(CDR)の見通しによって大きな差異が生じ得る。
- その中でも、相対的には、発電部門のCO<sub>2</sub>原単位低減は比較的早期の低減が求められる(IPCCやIEAシナリオ等とも整合的)。
- 日本の部門別ロードマップについては、シナリオによって差異はあるものの、2021~22年に日本政府において作成された部門別ロードマップとも概ね整合的であり、逆に言えば、政府ロードマップは2°Cのみならず1.5°Cとも概ね整合的な水準
- できる限り、幅広い対策オプションの中から、費用効率的な対策を採っていくことが、より早期のCN実現の近道となると考えられ、本シナリオ分析、ロードマップはその戦略に有用と考えられる。

#### 【今後の課題】

- 引き続き、技術動向等を注視し、適宜更新作業を実施
- 日本以外の個別国・地域のロードマップについても作成し、幅広い国での利用の促進に資する。

# 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

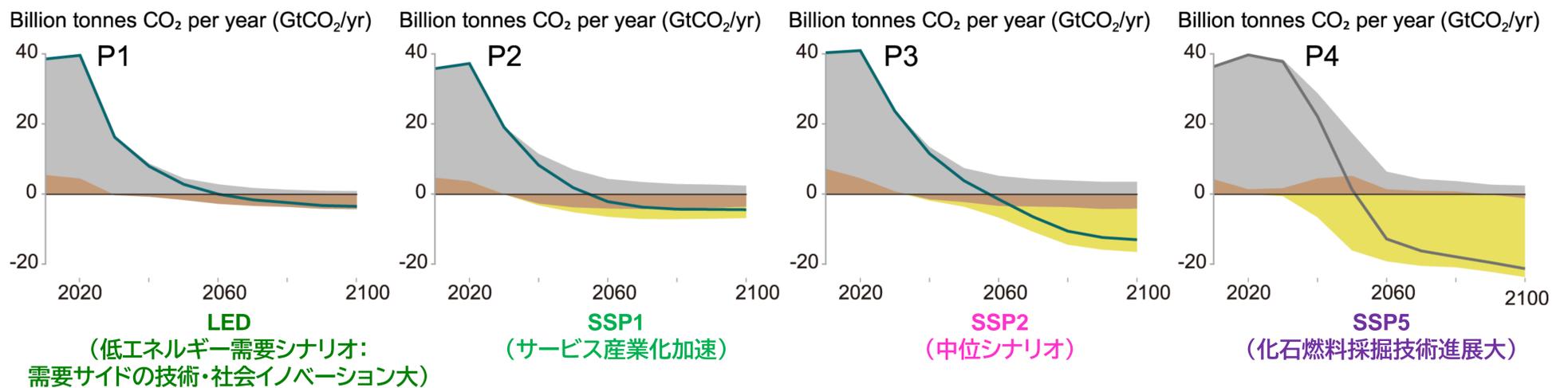
### 需要側対策

- 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

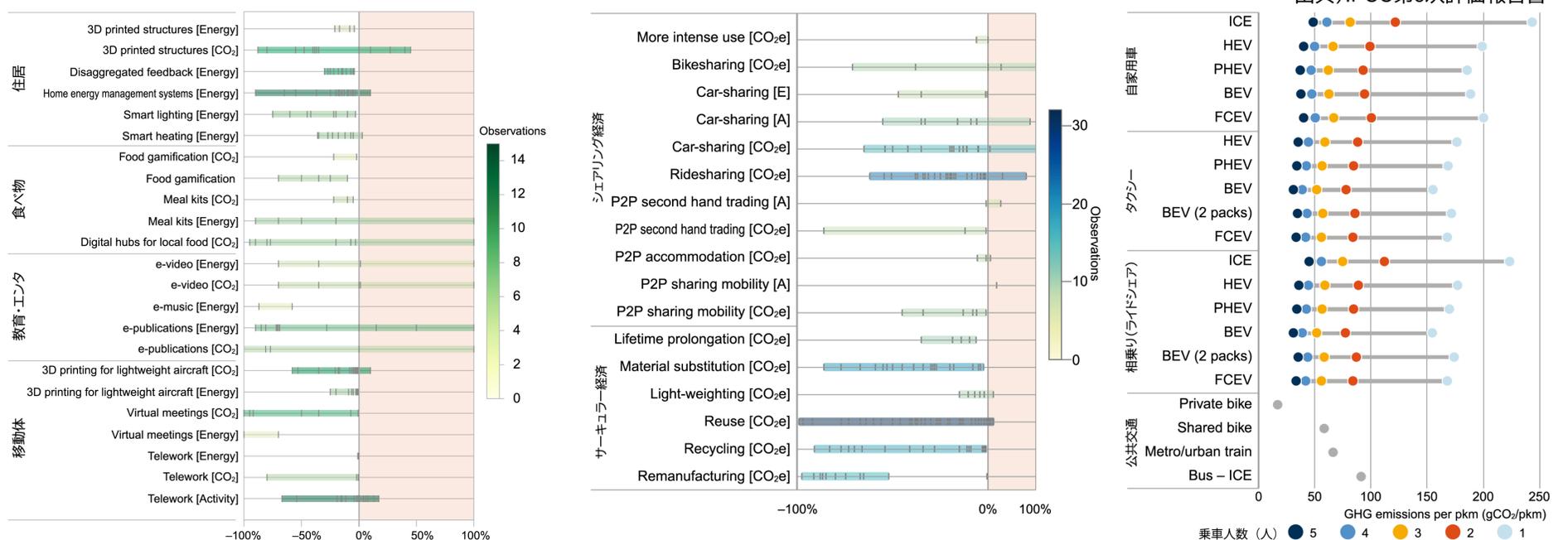
● Fossil fuel and industry ● AFOLU ● BECCS

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

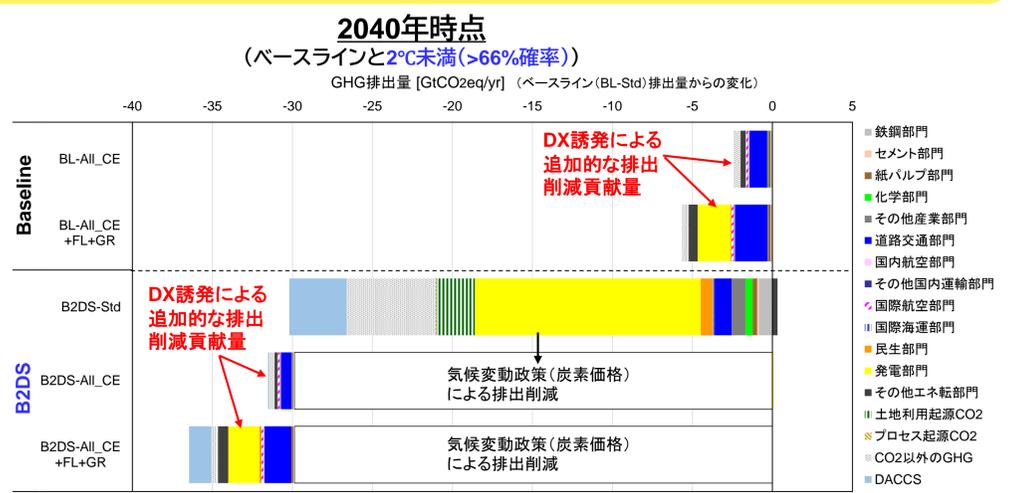
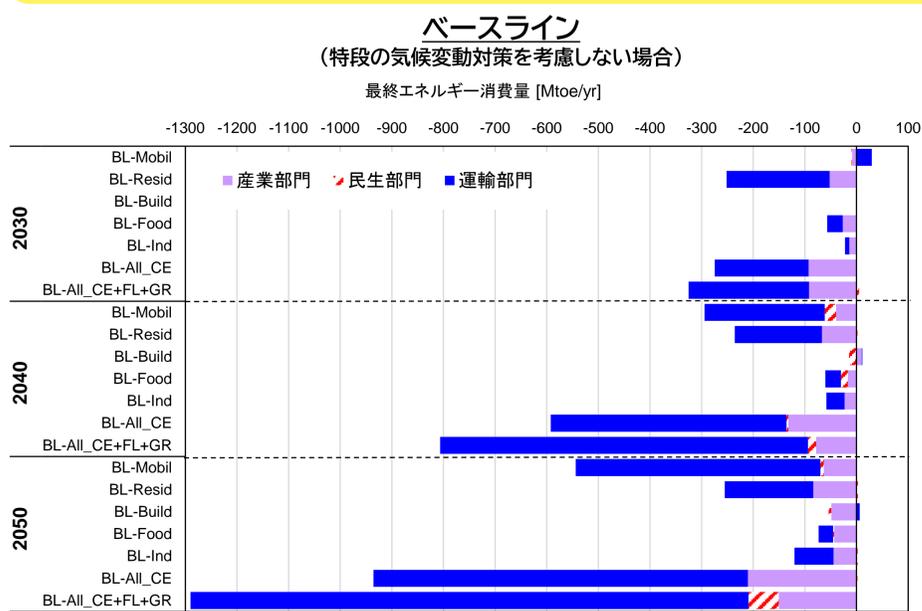
### モデルの前提条件とシナリオ

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 - 小売店舗棟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

シナリオ	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)	派生效果 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



✓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。

✓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。