

革新的環境技術シンポジウム2022

2022年12月7日

---

# デジタル化進展による低エネルギー需要 社会の定量的シナリオ構築

---

(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



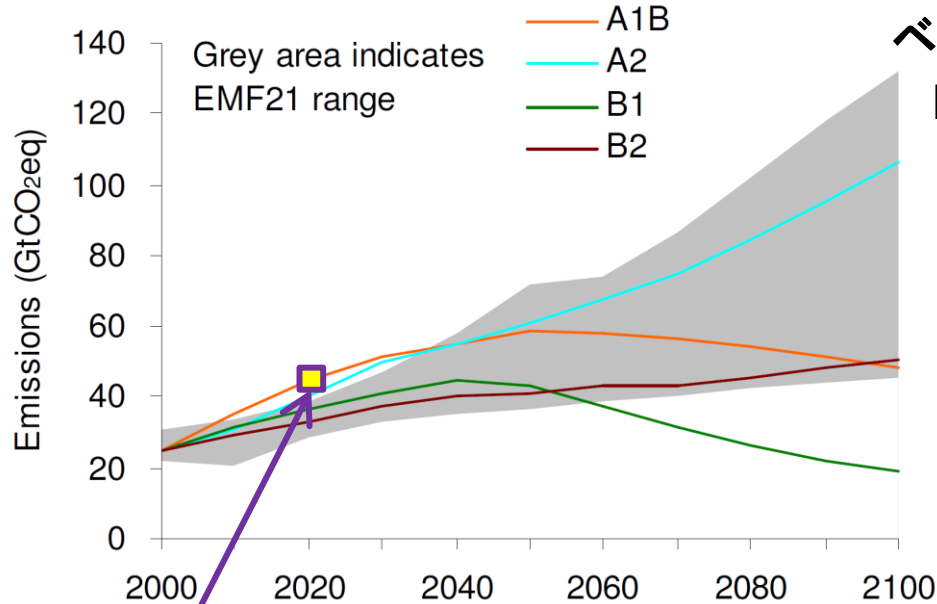
1. はじめに
2. DXによる低エネルギー需要社会実現の可能性
3. 2050年カーボンニュートラルに向けたシナリオ分析
4. まとめ

# 1. はじめに

# はじめに

- ◆ デジタルトランスフォーメーション（DX）およびその他のイノベーションによって、暗黙的なコストを低減し、比較的安価なコストによって、サーキュラー・シェアリングエコノミーを誘発できる余地が生まれてきている。
- ◆ サーキュラー・シェアリングエコノミーによって、低エネルギー需要、低CO2排出社会の実現が期待され、世界でも定量的なシナリオ作成が進行中
- ◆ なお、マテリアルリサイクルやケミカルリサイクルによって、一次生産が減少し、エネルギー消費量が低減するが、一方で、リサイクルにもエネルギー投入が必要であり、コストを含め、全体統合的に分析を行うことが重要
- ◆ 複雑なシステムを包括的かつ定量的に分析し、その有用性と課題を明確にしていくことが、サーキュラー・シェアリングエコノミーを社会全体として推進していく上での強力な推進力となると考えられる。
- ◆ 本報告では、デジタル技術の活用によるサーキュラー・シェアリングエコノミーの誘発等、需要側対策が、グリーントランスフォーメーション（GX）にどのようなインパクトをもたらし得るのかの暫定的な分析結果を紹介する。

# 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次評価報告書（2007年）



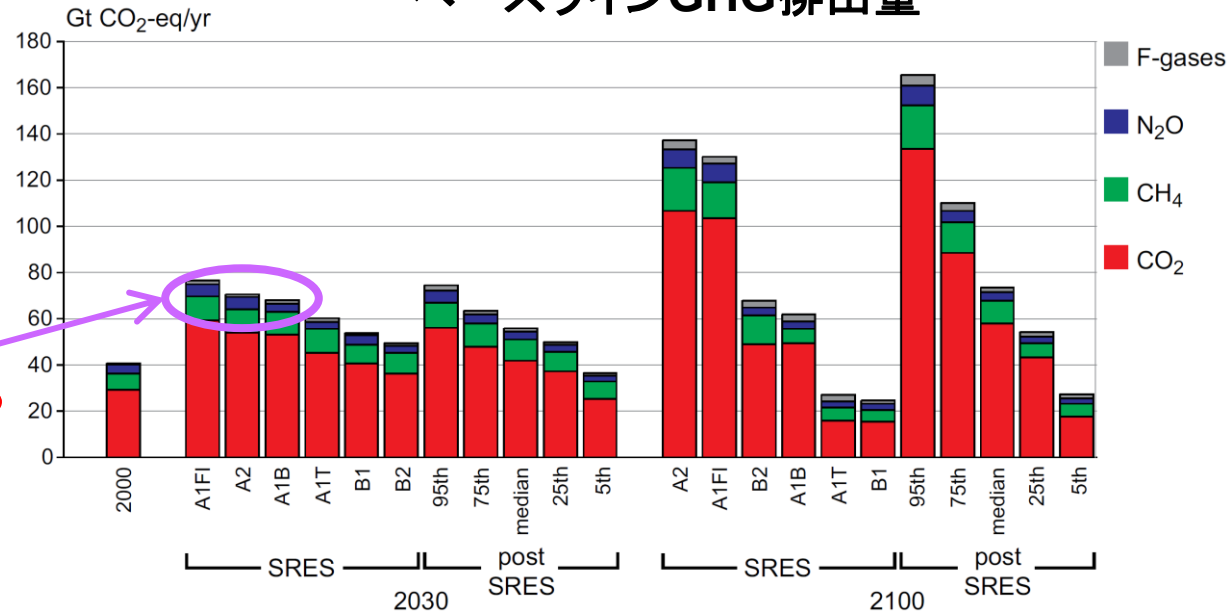
ベースラインCO<sub>2</sub>排出量  
Fig. 3.11

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

2007年時のベースライン  
CO<sub>2</sub>排出量推計のほぼ上限

Fig. SPM.4

ベースラインGHG排出量

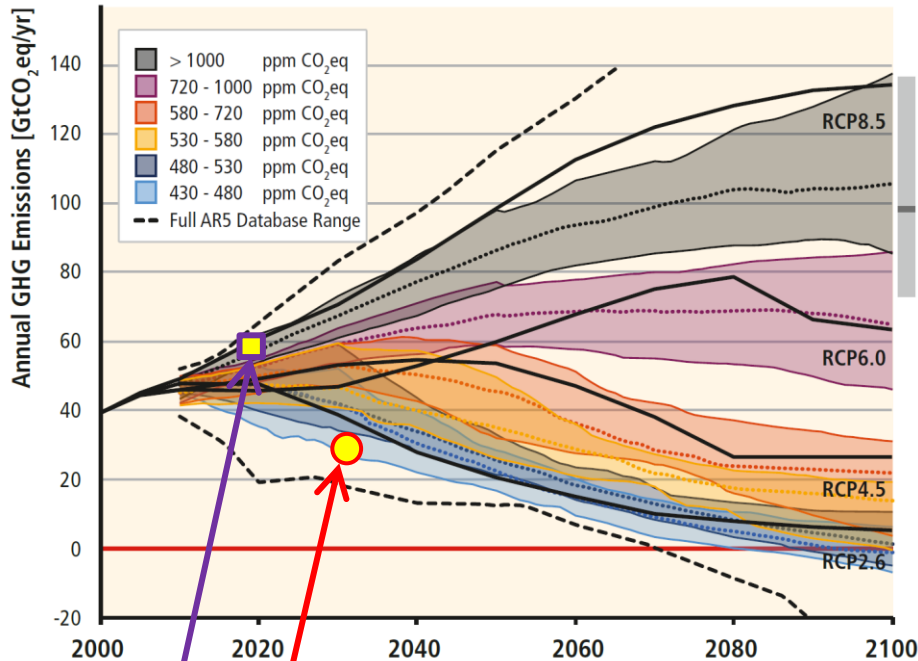


実績と近いベースライン推計から  
すると、2030年のベースライン  
GHG排出量は 70 GtCO<sub>2</sub>eq/yr  
程度の方が整合的

# 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5次評価報告書（2014年）

## GHG排出量

Total GHG Emissions in all AR5 Scenarios

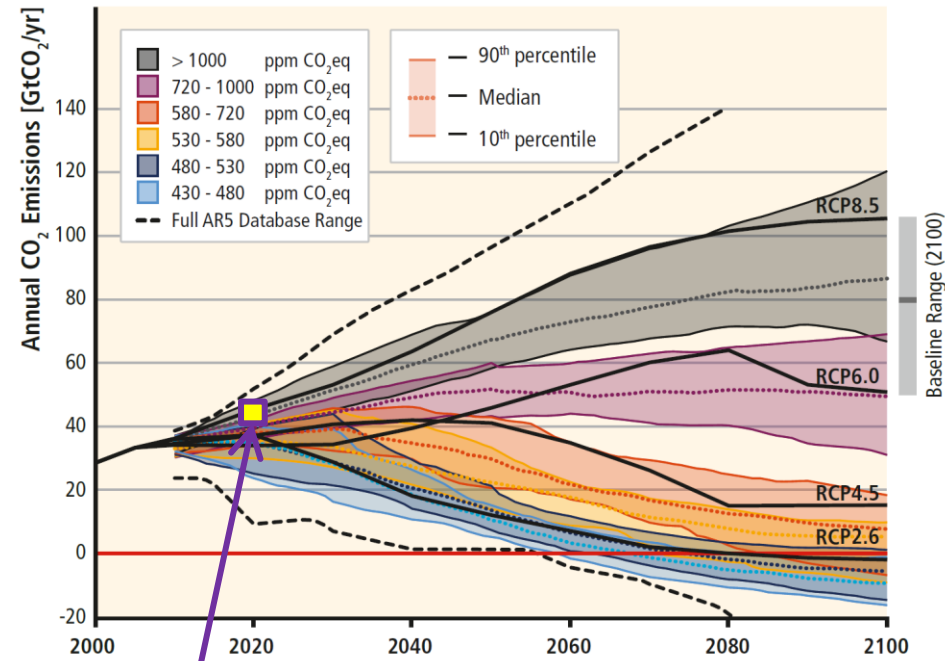


2019年GHG排出量: 59 GtCO<sub>2</sub>eq/yr

AR6の積み上げ評価: 100 \$/tCO<sub>2</sub>eq時、29.5 GtCO<sub>2</sub>eq/yr

## CO<sub>2</sub>排出量

Total CO<sub>2</sub> Emissions in all AR5 Scenarios



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

Fig. 6.7

- ✓ 2019年実績排出量は、2014年時の排出量推計のほぼ上限近辺
- ✓ AR6の技術積み上げ評価では、100\$/tCO<sub>2</sub>で2030年29.5 GtCO<sub>2</sub>eq/yrを実現できる排出削減ポテンシャルがあるとしているが、AR5のシナリオ評価では全シナリオのほぼ下限(450-480 ppmCO<sub>2</sub>eqのレンジの下限)

# 国際連携事業EDITS

Energy Demand changes Induced by Technological Social innovations



「我々は、将来のエネルギー需給のより良い理解に関する定量分析の重要性、並びに、デジタル化、人工知能(AI)、インターネットオブシングス(IoT)及びシェアリングエコノミーによって牽引される需給両面のイノベーションの役割を認識する。我々は、世界の科学コミュニティ及び国際機関・枠組によってなされる、エネルギー・気候モデルのための経済全般にわたる全範囲シナリオのさらなる洗練及び開発のための努力を支持する」

経済産業省委託 技術革新によるエネルギー需要変化に関するモデル比較国際連携事業(2020年度～)



EDITS ロゴマーク(下段は、左から産業、建築、運輸、データ、定性的シナリオの作業部会)

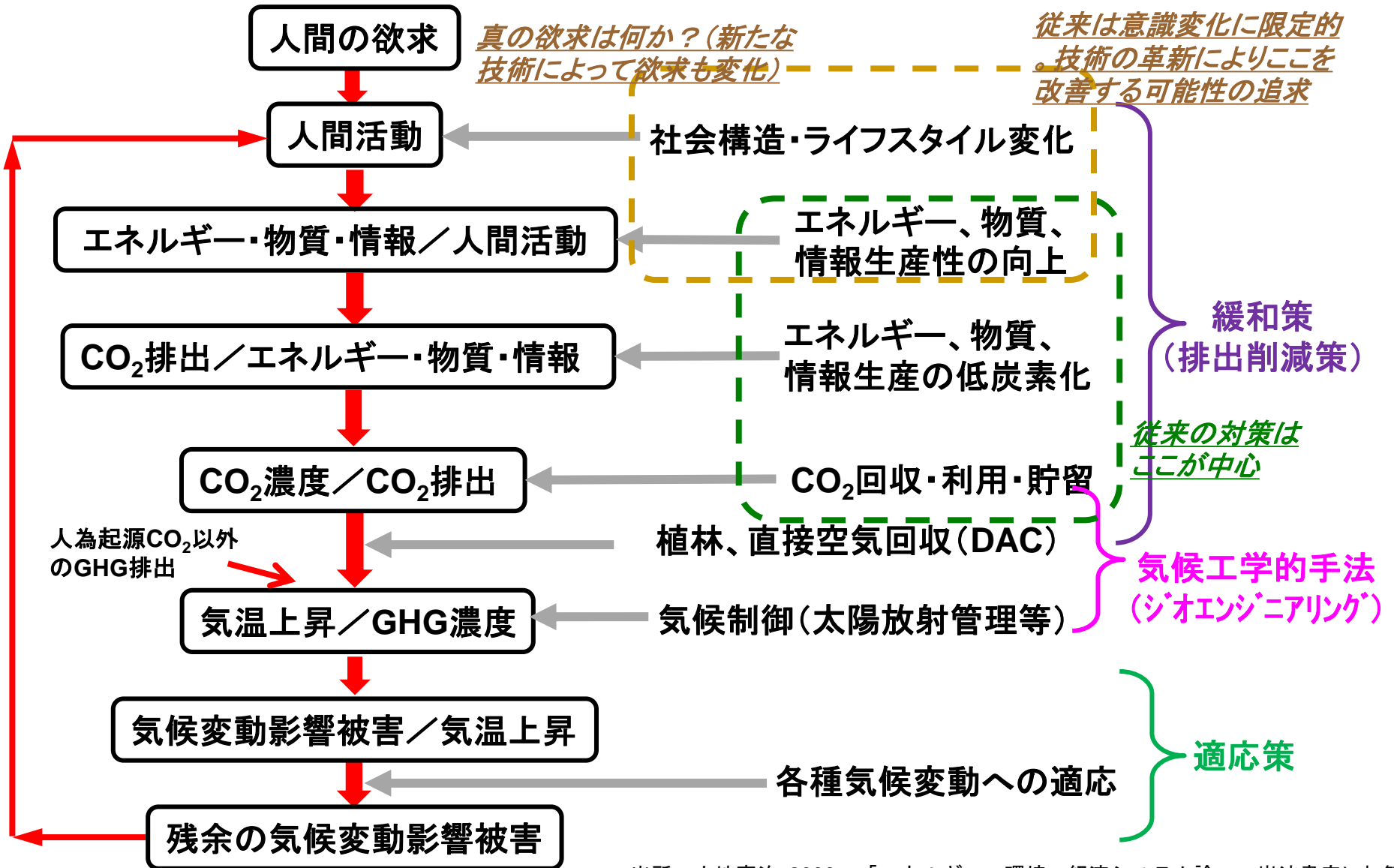
RITEが経産省委託の受託元となり、RITEの他、国際応用システム分析研究所(IIASA)、米ローレンス・バークレー国立研究所(LBNL)、OECD国際交通フォーラム(ITF)、タイAIT、東京大学、大阪大学、イタリアCMCC 他、世界の20程度の研究機関・大学が参画して研究推進中

(主要な目的)

- ◆ エネルギー需要サイドに焦点を置いた、国際的な研究コミュニティの構築を行う。エネルギー需要サイドに関する、最新のデータやコンセプト、方法論、政策分析の共有を行う。それらを通して研究と政策分析の議論を深め、相互充実化を促進する。
- ◆ 方法論やモデルの国際比較を通して、環境や気候政策分析に関する最先端の需要モデルを進展させる。また、学問分野横断的、エネルギー分野横断的、環境の領域横断的に、コンセプトと方法論を進展させ、また、それを広く国際的に展開する。
- ◆ 構造化されたモデル実験とシミュレーションを通して、より良い政策提言を行う。特にデジタル化、シェアリングエコノミー、SDGs と気候目標との統合に相乗効果を有する政策立案のような、新しい分野やサービス供給を扱うモデルを構築、活用し、需要サイドの政策の潜在的インパクトや障壁、そして他 SDGs 目標とのシナジーおよびトレードオフを含めた評価を行う。

# 地球温暖化対策の基本構造

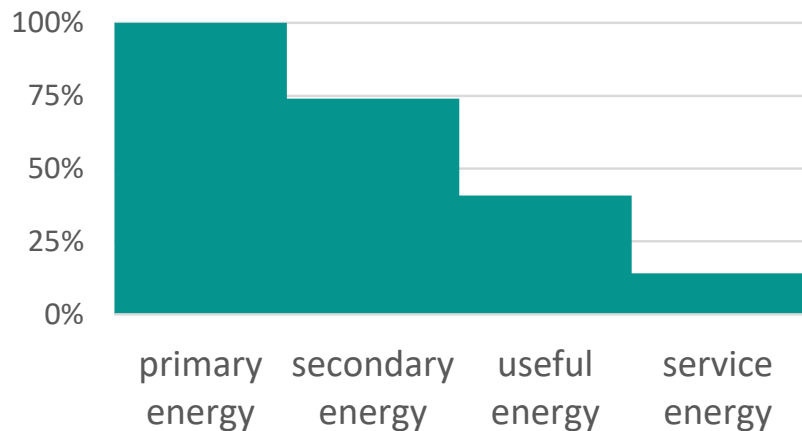
様々な段階での不確実性や各種対策の特徴を踏まえながら、総合的なリスクマネジメントが重要



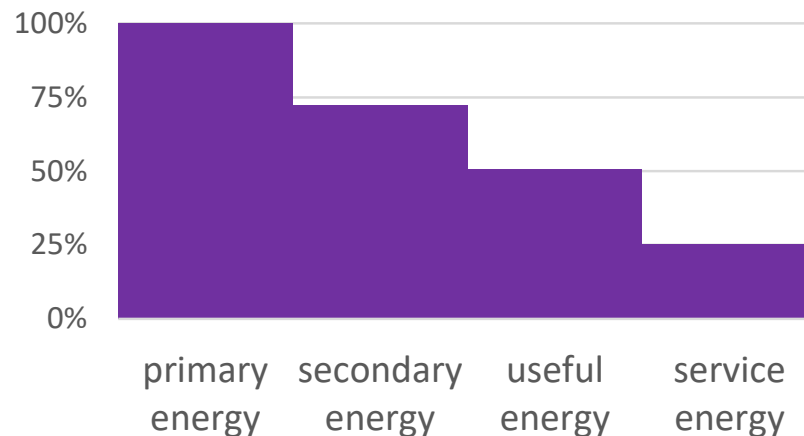


# 利用段階別の世界のエネルギー利用量

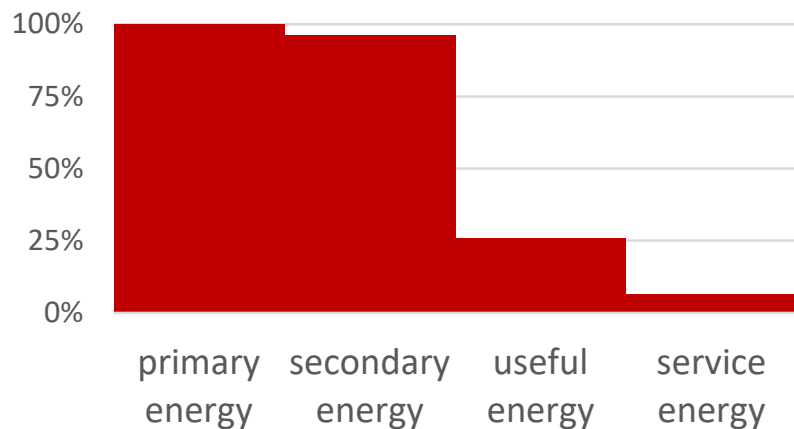
## Total Energy



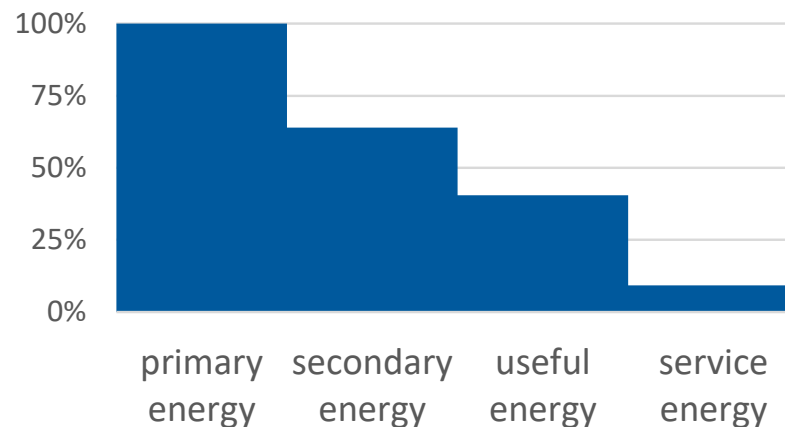
## Industry Energy



## Transport Energy



## Building Energy

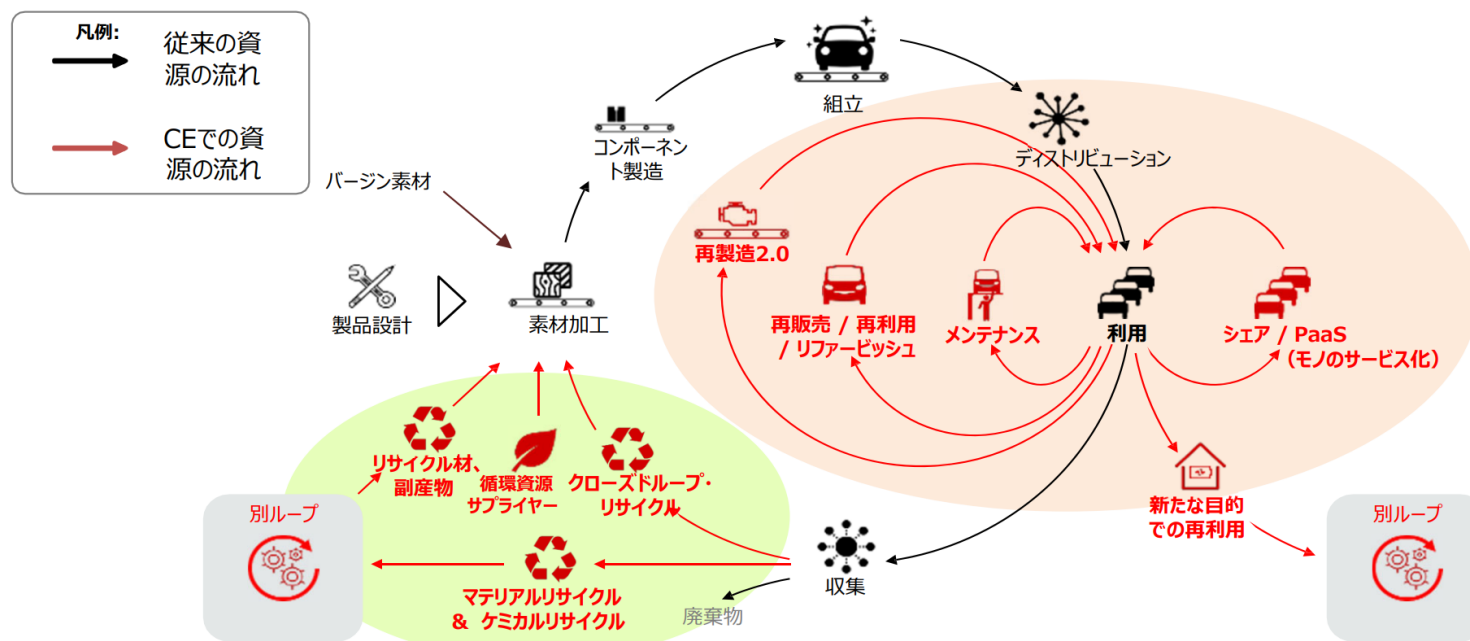


Source: Riahi (2022). Wilson, Grubler, and Zimm (2022). Energy-Services Led Transformation. In: *Routledge Handbook of Energy Transitions* (Ed: Araujo).  
Data from: Grubler et al. (2018), De Stercke (2014), Nakicenovic et al. (1993), Nakicenovic (1990).

- ✓ サービスエネルギー部分での低減は、一次エネルギー低減にレバレッジが大きく働く。
- ✓ 一方、需要側は普及障壁(隠れた費用)が大きい。DXにより、隠れた費用を低減し、低エネルギー需要の実現へ

# 循環経済(サーキュラーエコノミー)への転換

- **線形経済**：大量生産・大量消費・大量廃棄の一方通行※の経済  
※調達、生産、消費、廃棄といった流れが一方向の経済システム 'take-make-consume-throw away' pattern
- **循環経済**：あらゆる段階で資源の効率的・循環的な利用を図りつつ、ストックを有効活用しながら、サービス化等を通じ、付加価値の最大化を図る経済
- **成長志向型の資源自律経済**：資源循環経済政策の再構築等により、汎用的な工業用品や消費財も射程に含め、国際的な供給途絶リスクを可能な限りコントロールし、国内の資源循環システムの自律化・強靱化を図るとともに、国際競争力の獲得を通じて持続的かつ着実な成長を実現する経済。



## ✓ 資源の再利用・再資源化

設計段階からリユース・リサイクルを前提としたエコデザイン製品の普及や、回収・選別・リサイクル技術の高度化等

モジュール式で部品交換可能、再生材使用、紛争鉱物の使用回避

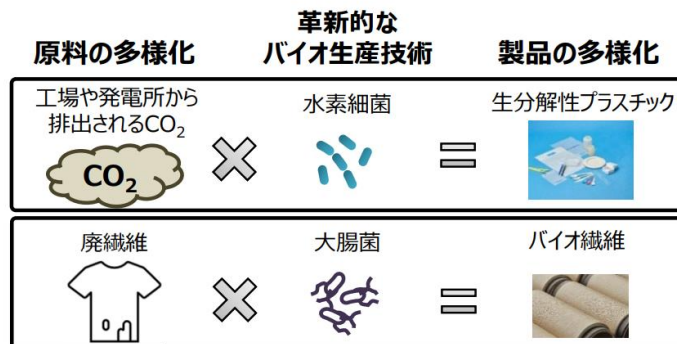


複層フィルム包材のマテリアルリサイクル



## ✓ 資源の生成

バイオものづくり技術の活用による、輸入資源の国内代替



## ✓ 資源の共有

シェアリングエコノミーなどを通じた付加価値最大化

モノの所有からモノや移動などのシェアへ



## ✓ 資源の長期利用

レストア・リメイク・リノベーションビジネスやセカンダリー市場の発展

古民家から完全非接触の宿泊施設にリノベーション



在庫・廃棄衣服の「黒染め」によるリメイク

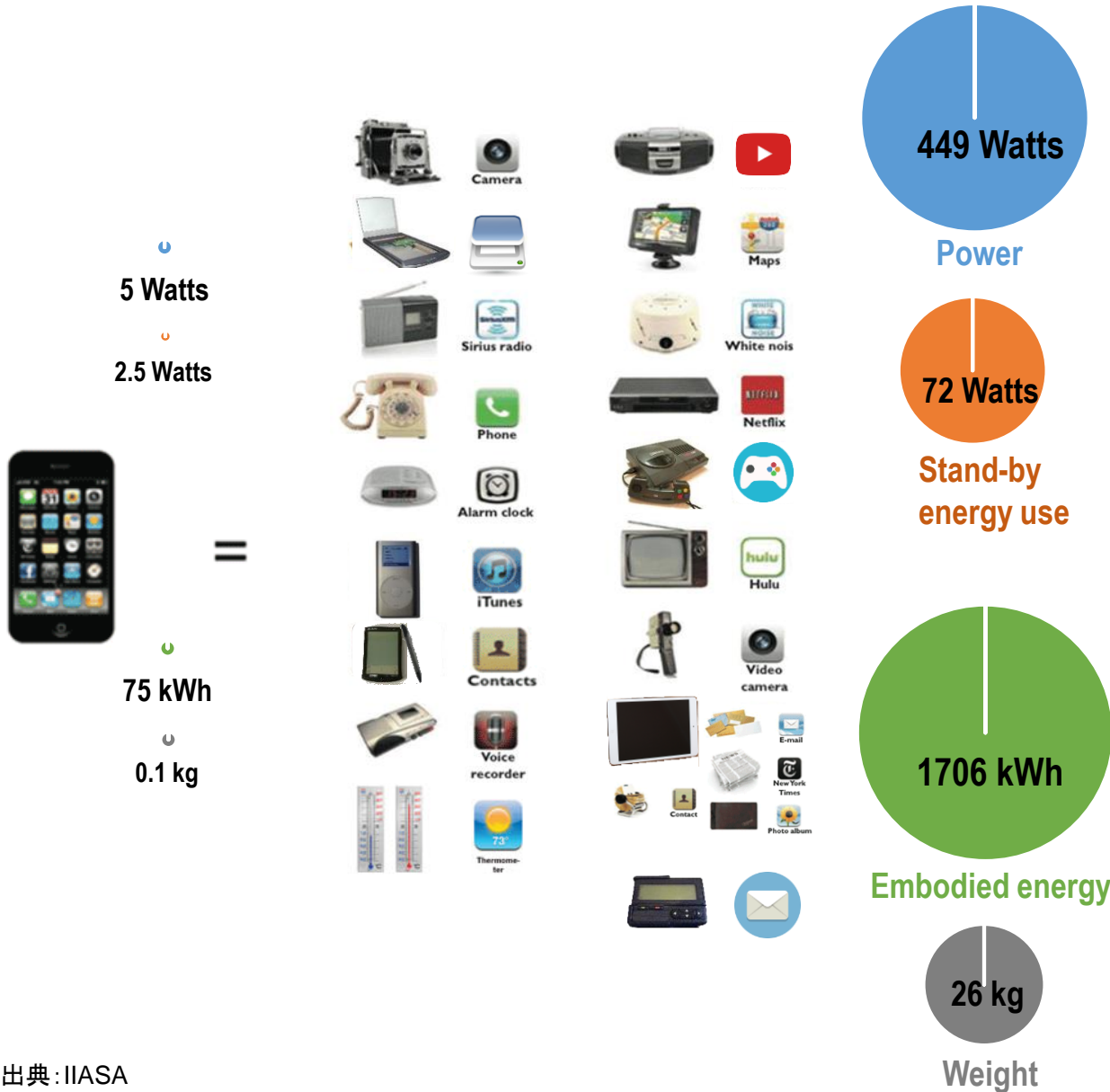


【出典】（資源の再利用・再資源化）Fairphone社、東洋インキSCホールディングス株式会社  
（資源の共有）株式会社Luup、株式会社エアークローゼット、Loop Japan合同会社  
（資源の長期利用）paak design 株式会社、株式会社アダストリア

## **2. DXによる低エネルギー需要 社会実現の可能性**

**DX: デジタルトランスフォーメーション**

# 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

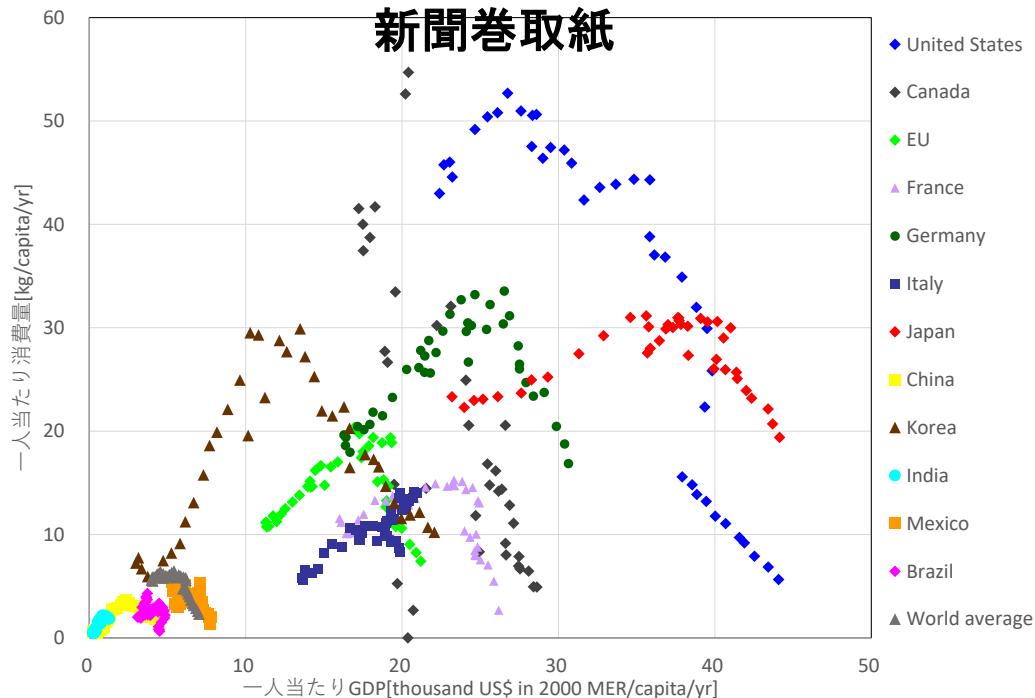


- 社会はエネルギー消費を目的にエネルギーを消費しているわけではない。製品・サービスが効用増をもたらすため、それに体化されたエネルギーを消費しているに過ぎない。
- 効用増をもたらす製品・サービスの展開は急速な場合が多く、それに付随したエネルギー・CO<sub>2</sub>排出低減は急速になる可能性あり。

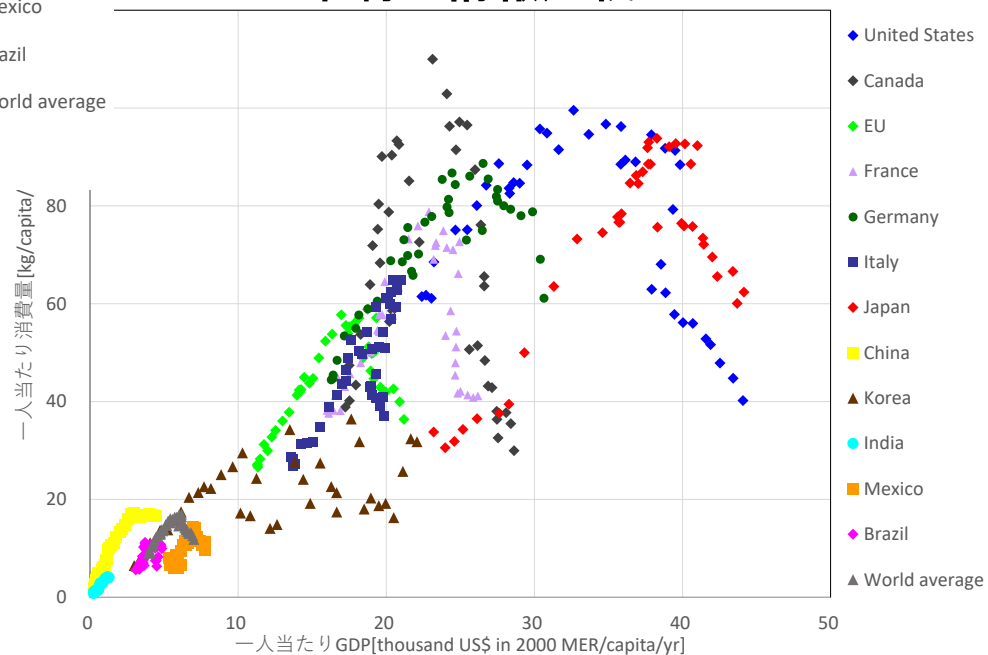
# e-publication: 紙の消費量の変化

## 新聞巻取紙

出典) FAO, FAOSTAT database (2021)



## 印刷・情報用紙



電子化当初は、紙の消費量は減らなかったが、ここにきて大きな低下が見られる。

# 運輸部門: CASE



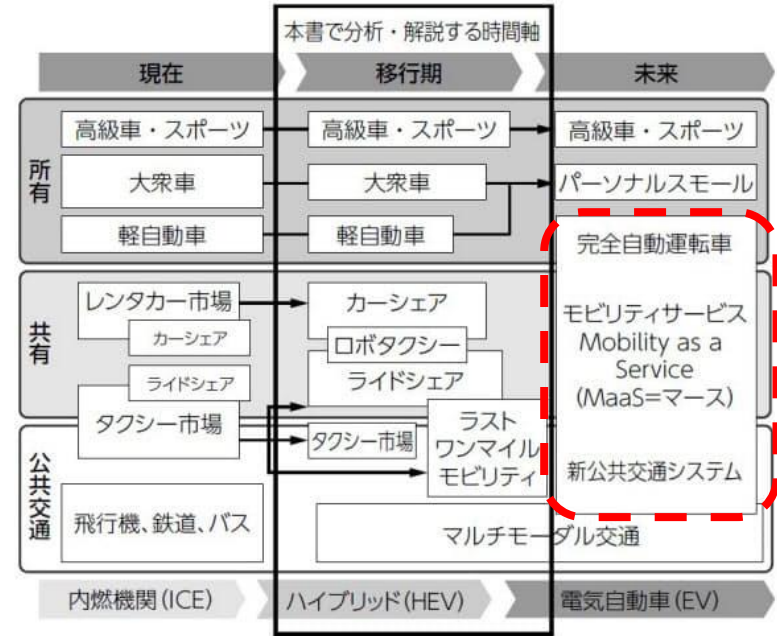
## Connected; Service & Shared



## 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

多く人は車の保有ではなく、移動が目的

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

V2G



Airbus, Audi

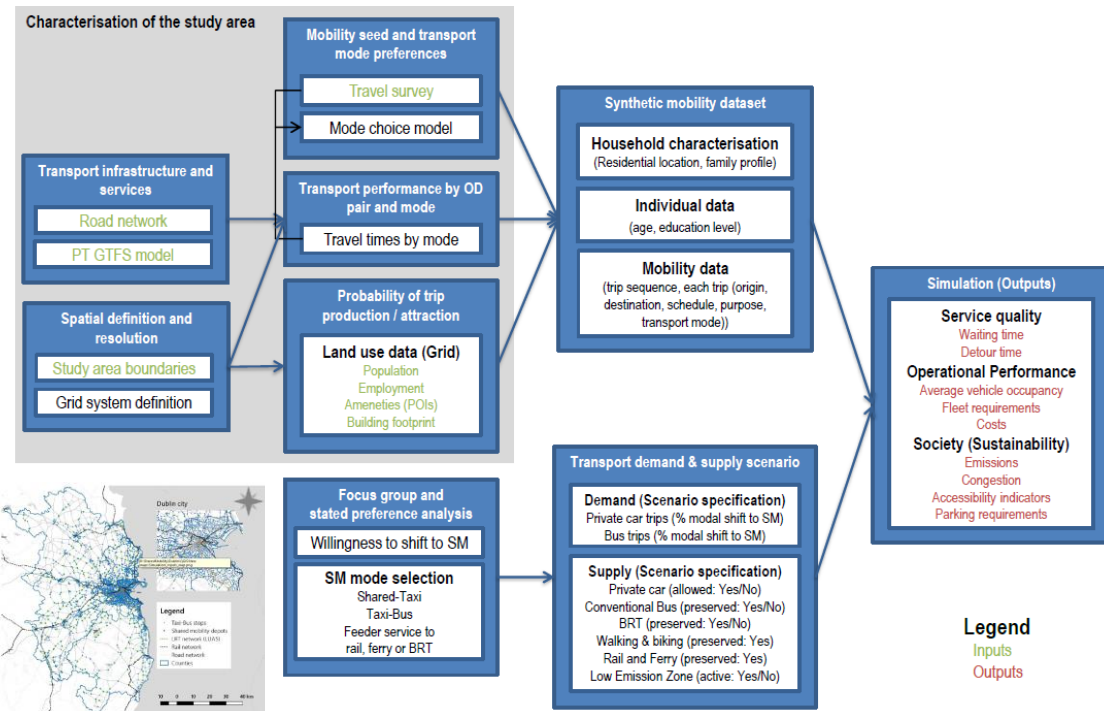


日産



出典) Jari Kauppila, ALPSシンポジウム(2019)

# シェアカーによる必要車両台数等の推計例：ダブリンの例



- 実際のデータ(人口分布、道路・公共交通ネットワーク、平日のトリップ需要(時間帯、OD)、トリップ選好等)に基づいてモデルを構築
- アイルランド ダブリンの場合、全ての自家用車をシェアカーに置き換えた場合はその2%弱の車両台数で現在のモビリティを供給できる。
- 自家用車の20%を置換した場合は(EV無しでも)CO<sub>2</sub>排出量が▲22%に。

[出典] OECD/ITF, Shared Mobility Simulations for Dublin (2018)

シナリオ設定			シミュレーション結果：Baseline比の変化率 [%]					
#	バス	乗用車	Passenger-km	Vehicle-km	CO <sub>2</sub> 排出量	渋滞	移動時間	マイカーの低減率
1	100% Replacement	100% of trips replaced	+51	▲38	▲31	▲37	+72	▲98
2	Keep		+32	▲42	▲31	▲43	+134	▲99
4	100% Replacement	20% of trips replaced	+16	▲23	▲22	▲7	+6	▲18
6	Keep trips where Bus with headway < 5min		+13	▲25	▲23	▲9	+6	▲18

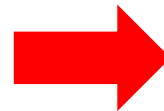


# アパレル関連

- 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  
ンターの変化**



**温暖化対策とはほぼ無関係の技術変化、社会変化**

# 食品関連

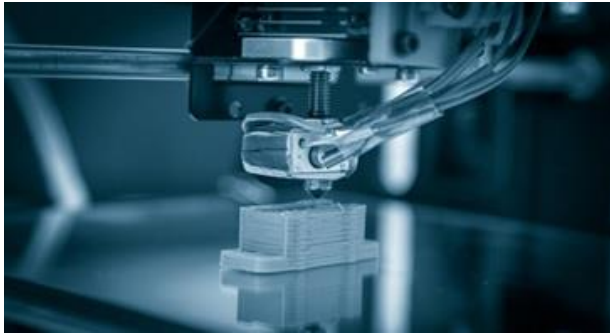
- 食料システムで排出されるGHGは30%前後(バウンダリーによっては更に大きい)とされる。一方、食品廃棄・ロスの世界全体では1/3にも上るとされる(ただし日本の食品廃棄・ロスは世界平均よりもずっと小さいとの評価有)。
- AI、ICTで食料需要をより正確に予測できるなどできれば、食品廃棄・ロスが減り、エネルギー消費・GHG排出の低減につながる可能性あり。
- プラスチック容器の低減、スーパーのスペース低減、冷蔵・冷凍エネルギー、輸送エネルギーの低減 などに波及し得る。



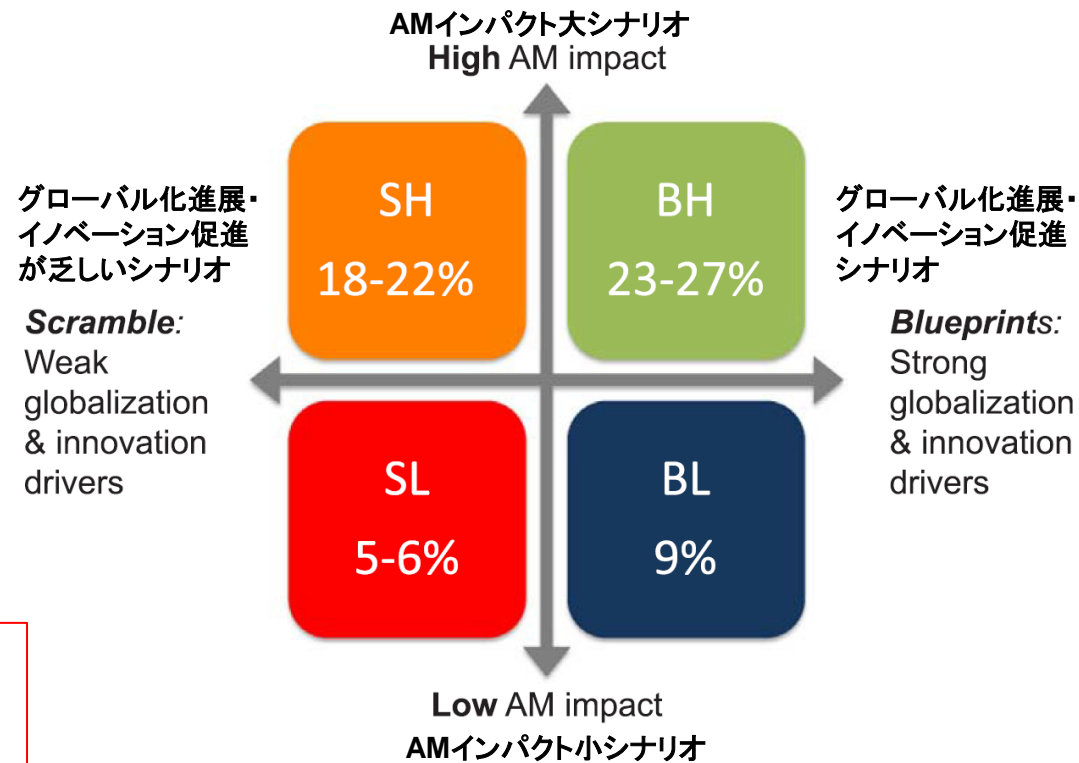
**SDGsの同時達成にも大きな寄与となり得る。**

# 3Dプリンティング (AM)

- 3Dプリンター(アディティブ・マニュファクチャリング:AM)が進展してきている。
- 金型を作ったの成形や切削による造形などに比べ、複雑な形状を作成でき、同じ強度でも軽い製品を作成できる場合が多くある。
- また、大量生産ではなく、それぞれのニーズに合わせた製品製造が可能で、大量生産、大量廃棄を避けることができる可能性有。

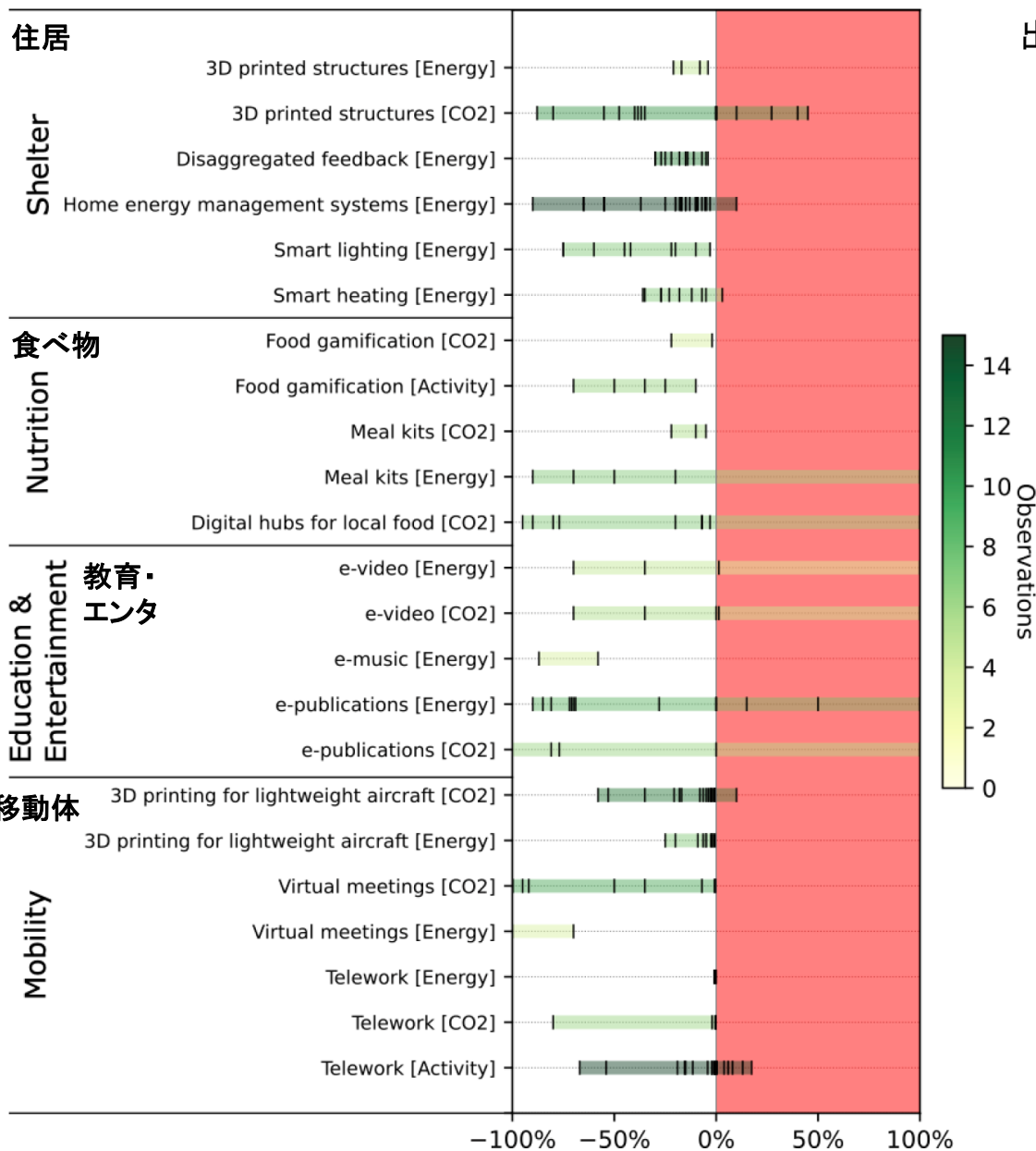


## AMによる世界のエネルギー需要削減ポテンシャル



ライフサイクルでのエネルギー消費量低減、CO2排出削減に大きな効果を有する可能性有

# デジタル化によるエネルギー消費・CO2排出への影響



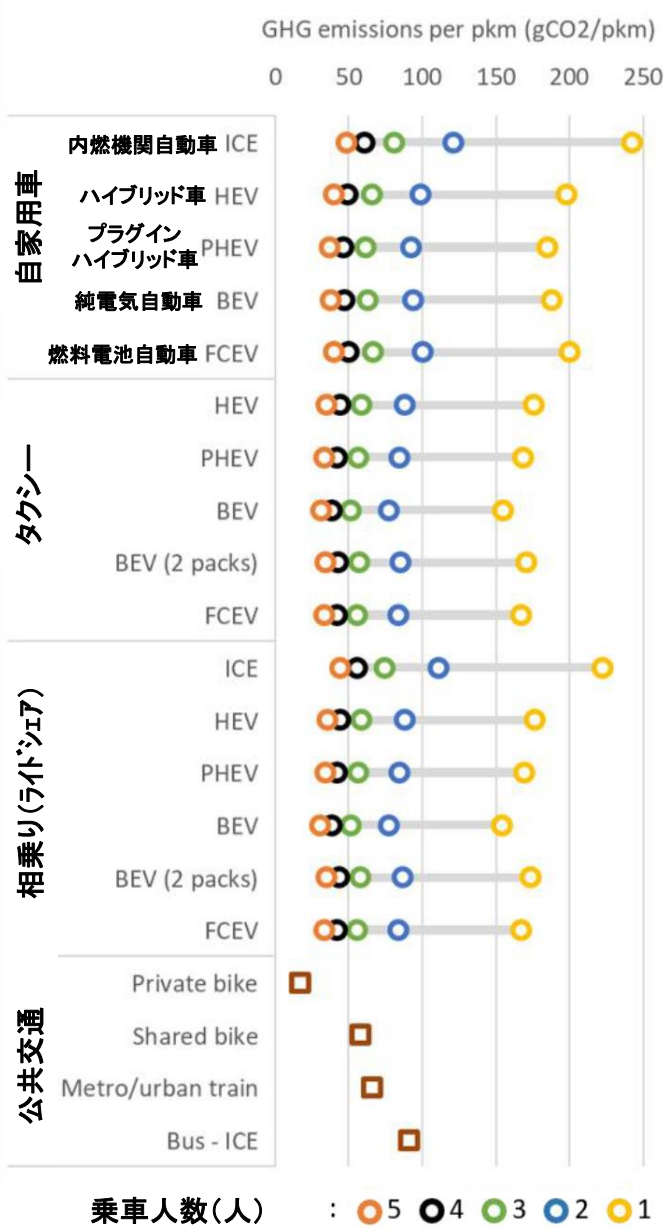
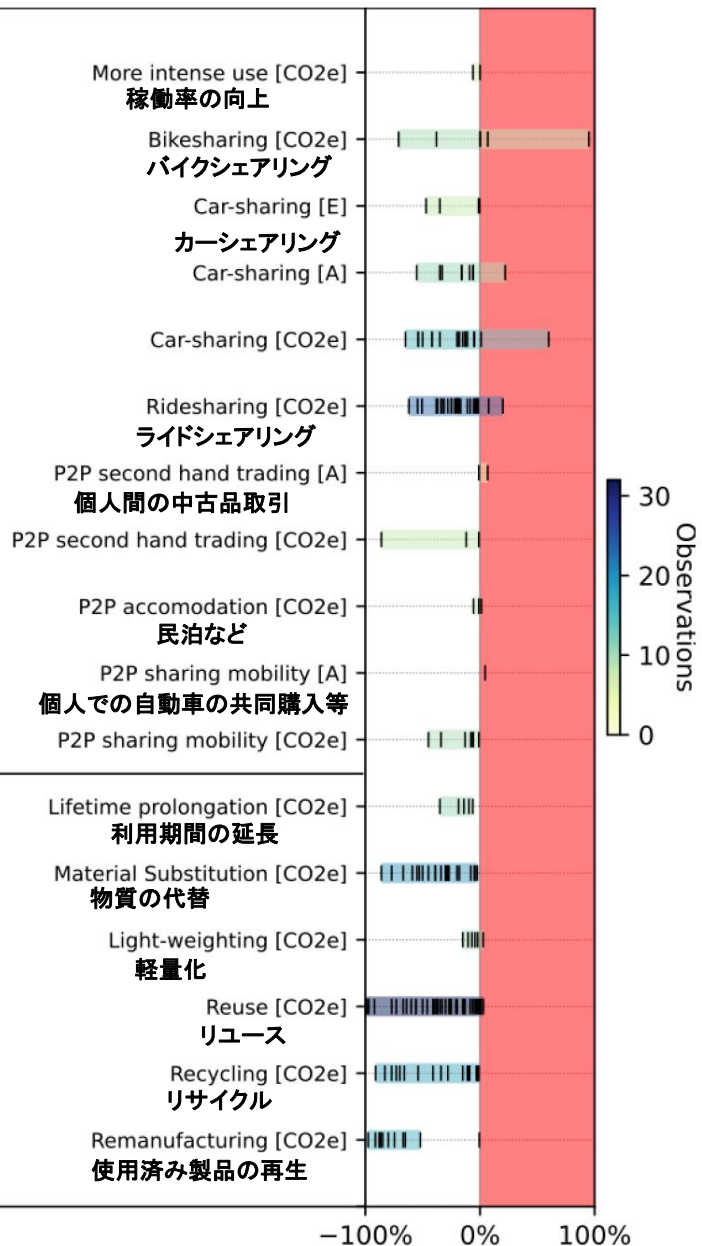
出典) IPCC第6次評価報告書 (2022), Fig. 5.12

- ✓ 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

シェアリング経済

サーキュラー経済



GHG emissions per pkm (gCO2/pkm) 出典) IPCC第6次評価報告書 (2022), Fig. 5.13

✓ シェアリングエコノミー・サーキュラーエコノミーによる排出削減余地は大きい。  
✓ 一方、推計の不確か性は極めて大きい。

乗車人数(人) : 5 4 3 2 1

# 部門別の需要対策の効果 (IPCC第6次評価報告書)

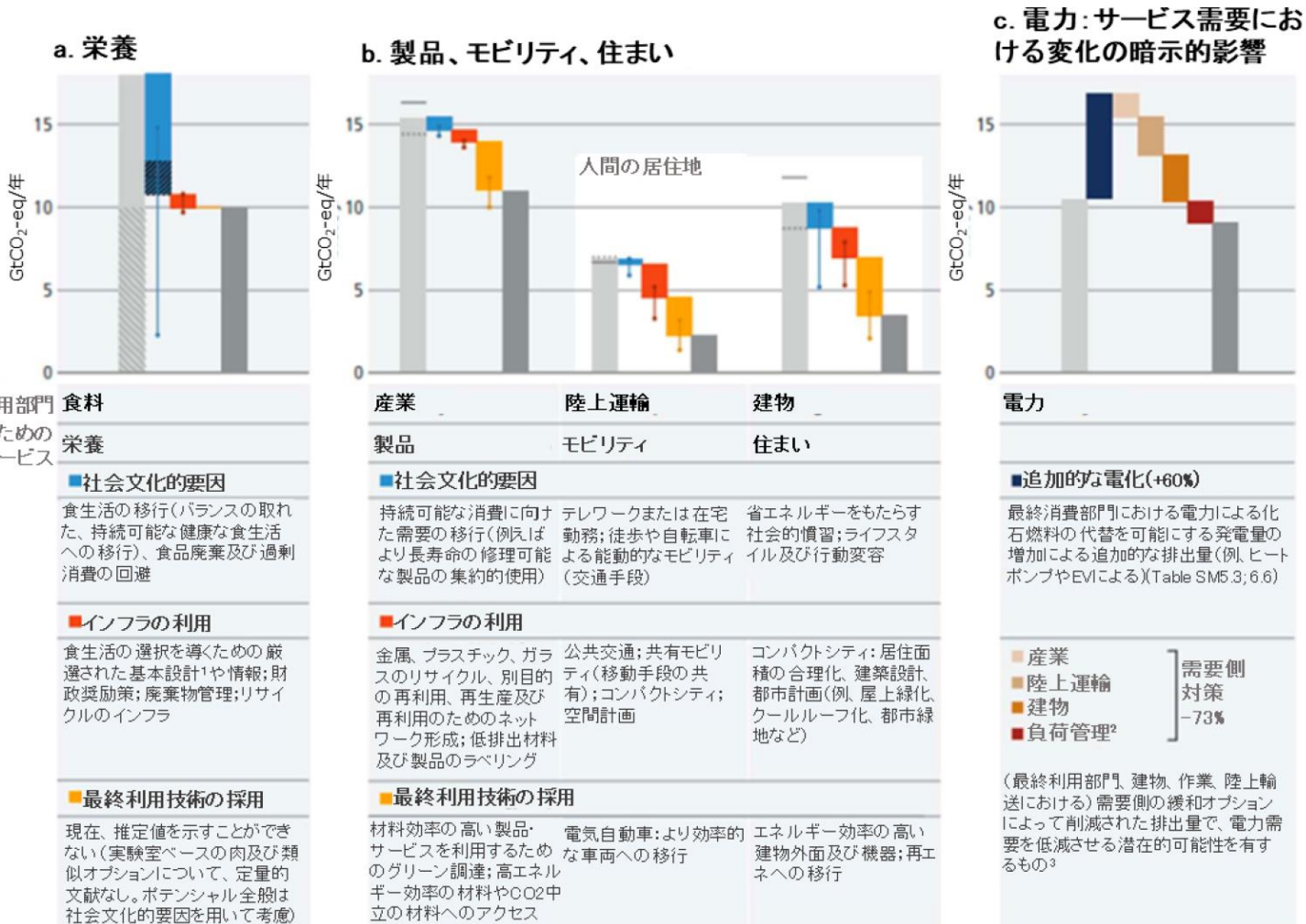


Fig. SPM6  
(日本語仮訳)

(SPM C.10)

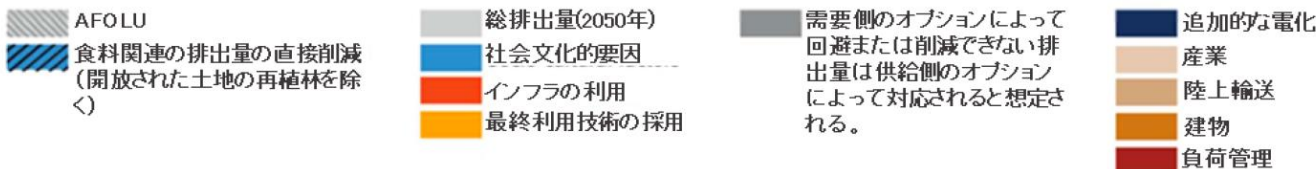
- ✓ 「需要側の対策とエンドユースサービスの新しい提供方法によって、エンドユース部門における世界全体のGHG 排出量をベースラインシナリオに比べて2050年までに40-70%削減しうる。」
- ✓ 「需要側の緩和対応策は、全ての人々の基本的幸福の向上と統合的である。」

最終利用部門  
幸福のための  
サービス

<b>社会文化的要因</b>
食生活の移行(バランスの取れた、持続可能な健康な食生活への移行)、食品廃棄及び過剰消費の回避
<b>インフラの利用</b>
食生活の選択を導くための厳選された基本設計 <sup>1</sup> や情報; 財政奨励策; 廃棄物管理; リサイクルのインフラ
<b>最終利用技術の採用</b>
現在、推定値を示すことができない(実験室ベースの肉及び類似オプションについて、定量的文献なし。ポテンシャル全脚は社会文化的要因を用いて考慮)

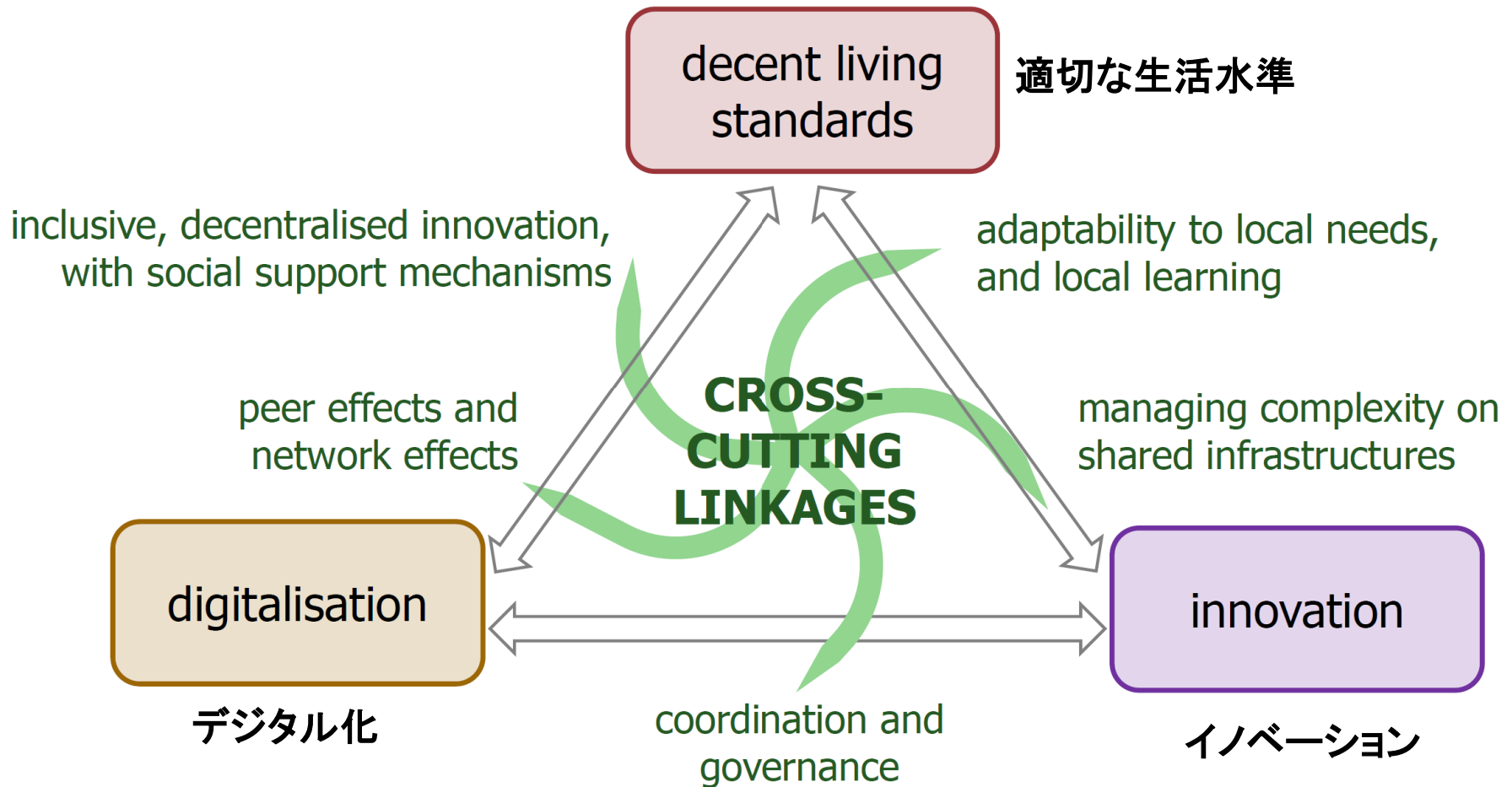
<b>社会文化的要因</b>	持続可能な消費に向けた需要の移行(例えば、テレワークまたは在宅勤務; 徒歩や自転車による能動的なモビリティ(交通手段))	省エネルギーをもたらす社会的慣習; ライフスタイル及び行動変容
<b>インフラの利用</b>	公共交通; 共有モビリティ(移動手段の共有); コンパクトシティ; 空間計画	コンパクトシティ; 居住面積の合理化、建築設計、都市計画(例、屋上緑化、クールルーフ化、都市緑地など)
<b>最終利用技術の採用</b>	材料効率の高い製品・サービスを利用するためのグリーン調達; 高エネルギー効率の材料やCO2中立の材料へのアクセス	電気自動車: より効率的な車両への移行
		エネルギー効率の高い建物外面及び機器; 再エネへの移行

総排出量(2050年): ■ 中央値 --- IEA-STEPS — IP\_ModAct



### **3. 世界エネルギー・温暖化対策評価 モデルによる試算例**

high wellbeing with low resource use





# 温暖化対策評価モデルDNE21+の概要

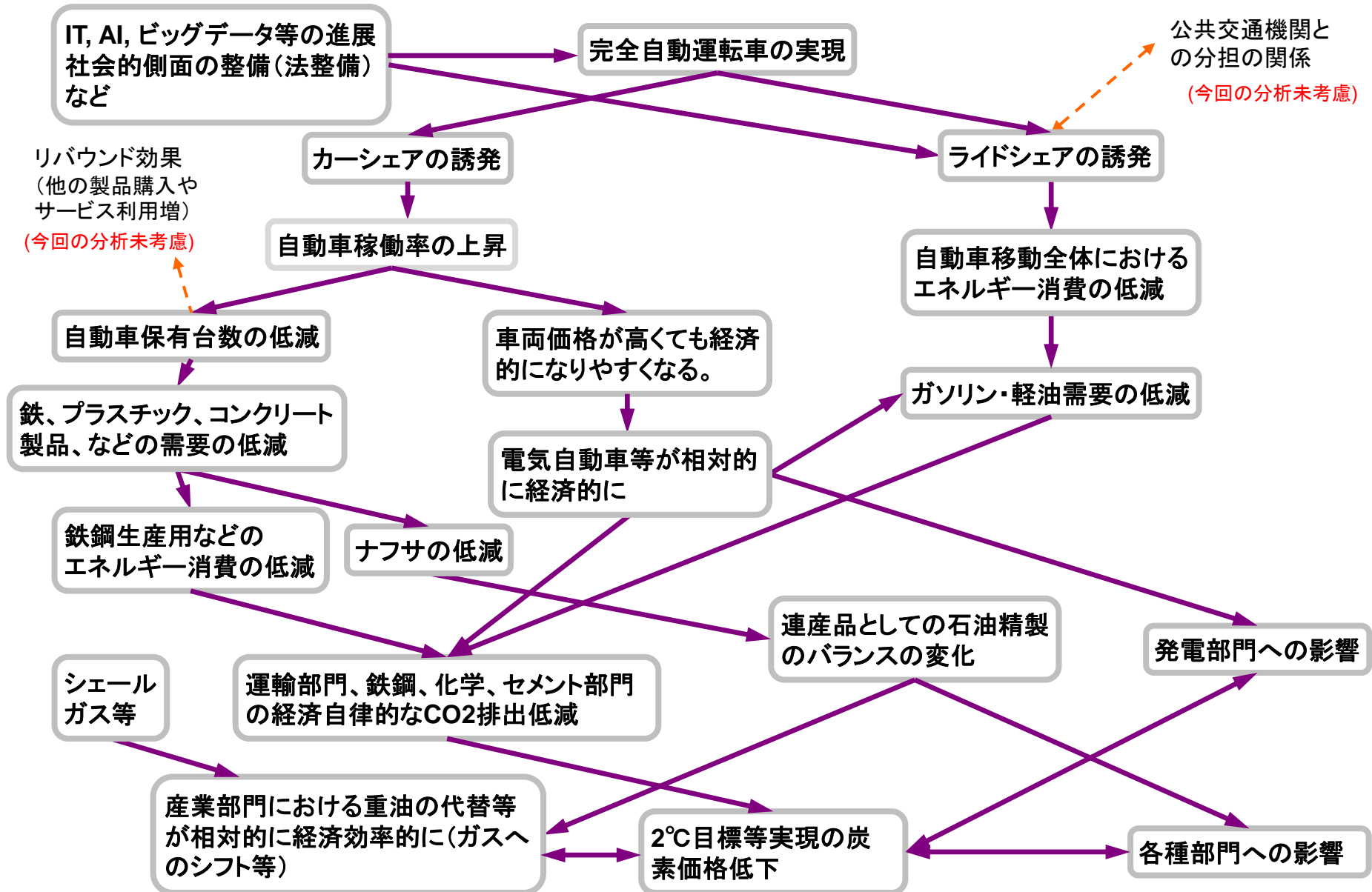
## (Dynamic New Earth 21+)

- ◆ 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、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
  - グリーンイノベーション戦略推進会議、総合資源エネルギー調査会基本政策分科会に分析結果を提示
- 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

# 完全自動運転車に伴うカーシェア、ライドシェアの誘発に関するシナリオ分析とその波及に関する分析のイメージ



# 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℃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			○	○	○	○	○	○	○

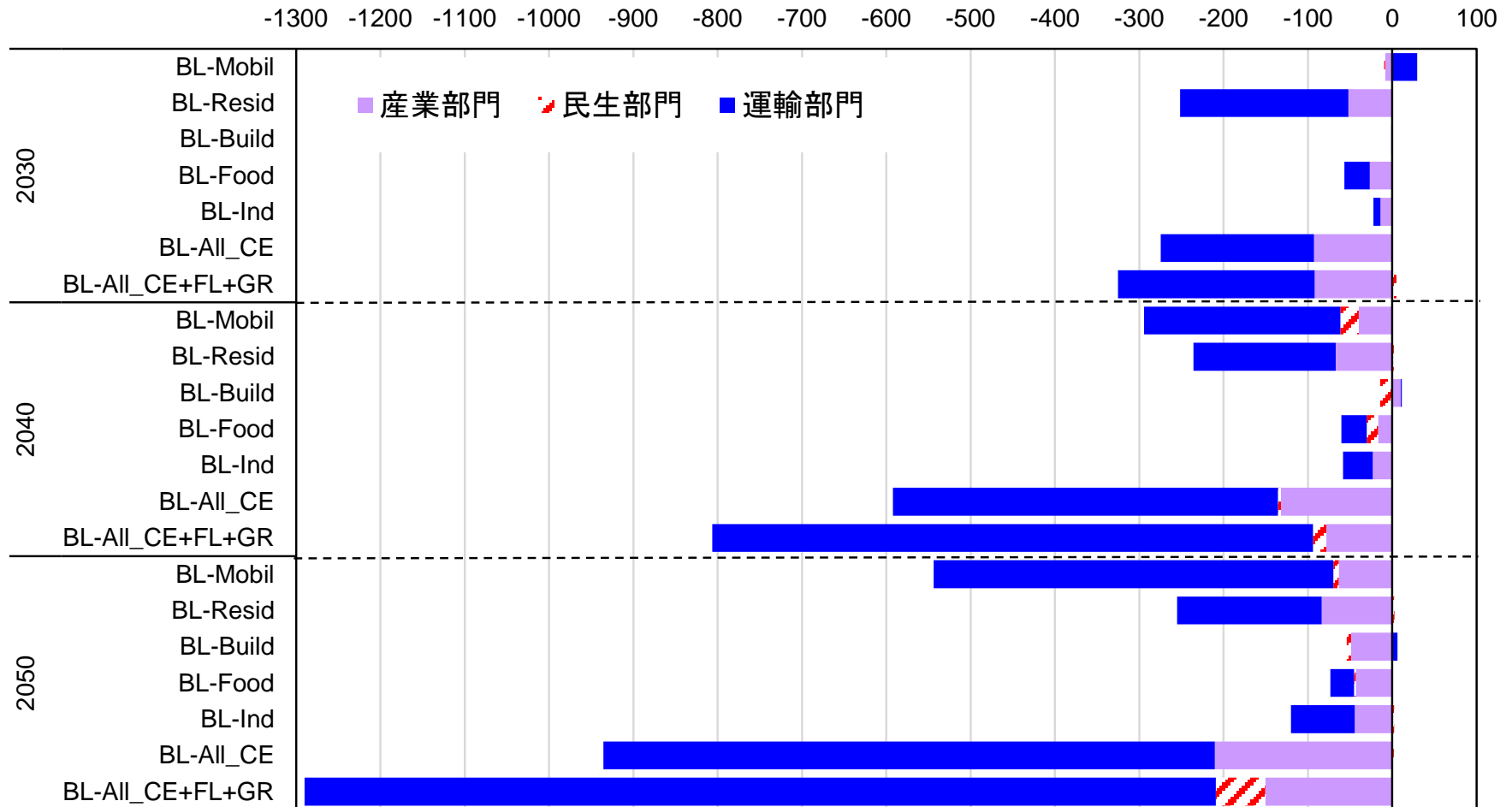
注1) 今回の分析では、IPCC等で用いられている共有社会経済パス(SSP)は、中位的なSSP2ベースで分析

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]



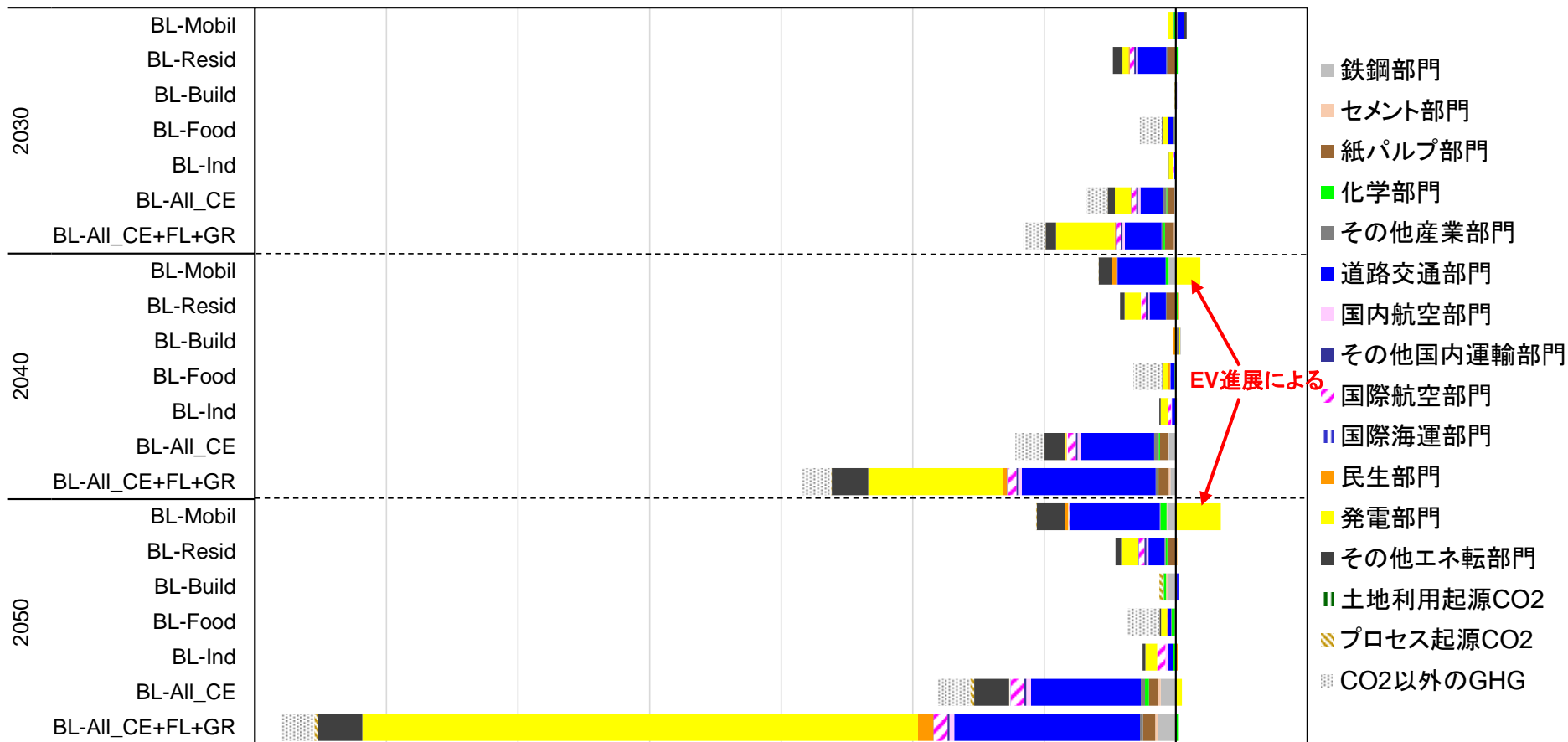
✓ かなり限定された波及効果のみを考慮した分析段階ではあるものの、想定したサーキュラーエコノミー・シェアリングエコノミー実現によって部門横断的に大きな省エネ効果が期待できる。

# 世界のGHG削減効果 (CE想定時)

## ベースライン

GHG emissions [MtCO<sub>2</sub>eq/yr]

-14000    -12000    -10000    -8000    -6000    -4000    -2000    0    2000

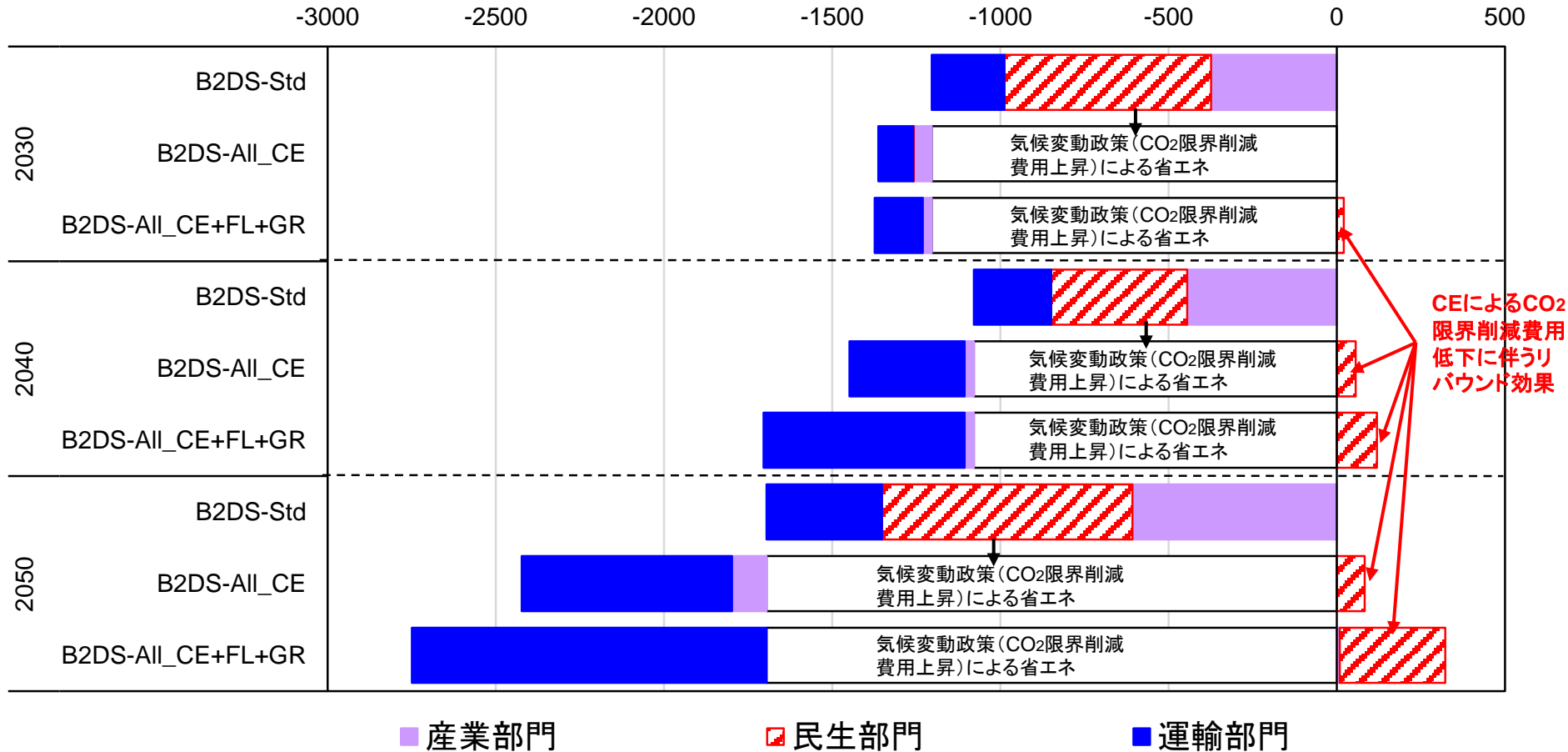


✓ かなり限定された波及効果のみを考慮した分析段階ではあるものの、想定したサーキュラーエコノミー・シェアリングエコノミー実現によって部門横断的に大きなGHG排出削減効果をもたらし得る。

# 世界エネルギー消費量(CE想定時)

## B2DS(2°C制約シナリオ)

最終エネルギー消費量 [Mtoe/yr]



CEによるCO2  
限界削減費用  
低下に伴う  
バウンド効果

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

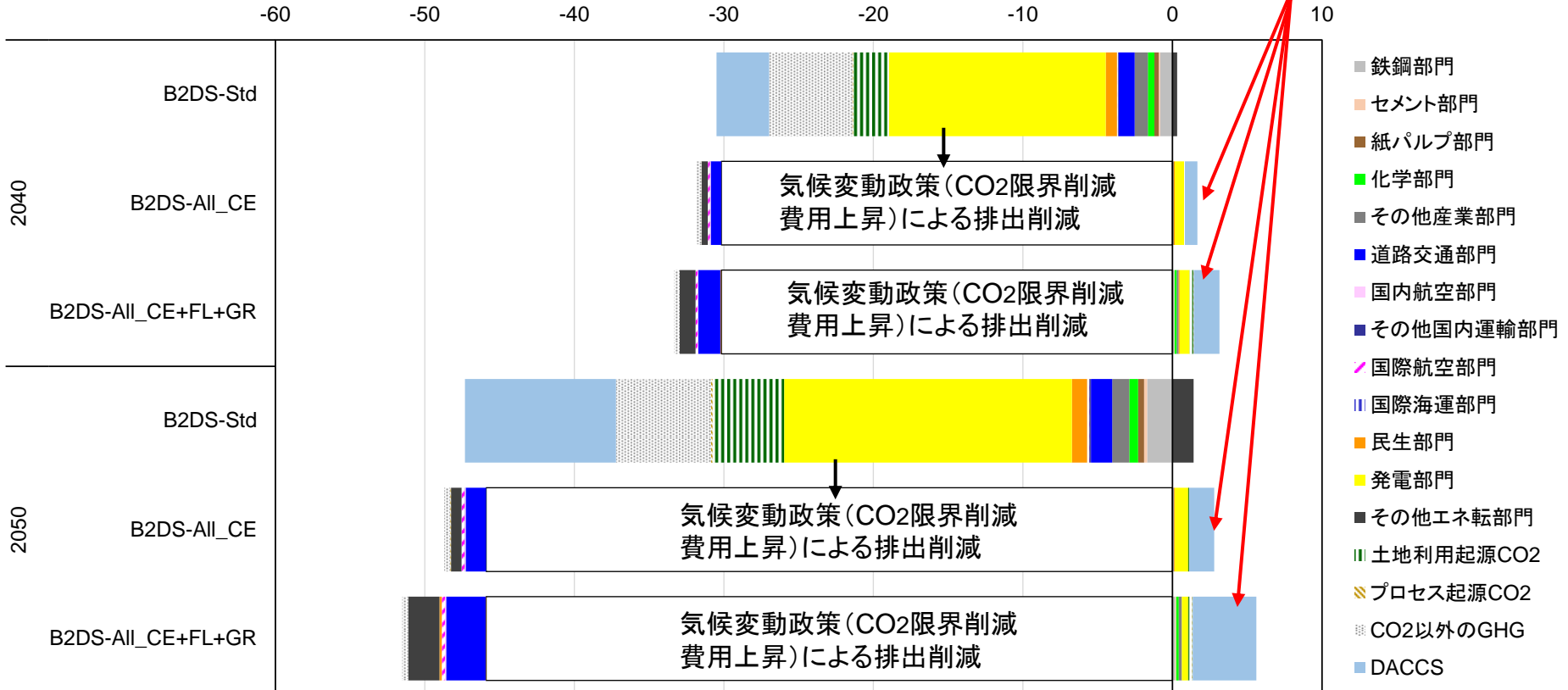
✓ かなり限定されたCEの事例および波及効果のみを考慮しただけでも、2050年には、現在の世界の最終エネルギー消費量全体の6%程度、また、2°C目標下で経済合理的と推計される省エネ量の半分程度もの省エネが、サーキュラーエコノミー・シェアリングエコノミーによって更に追加できる可能性が示唆される。



# 世界のGHG削減効果 (CE想定時)

## B2DS (2°C制約シナリオ)

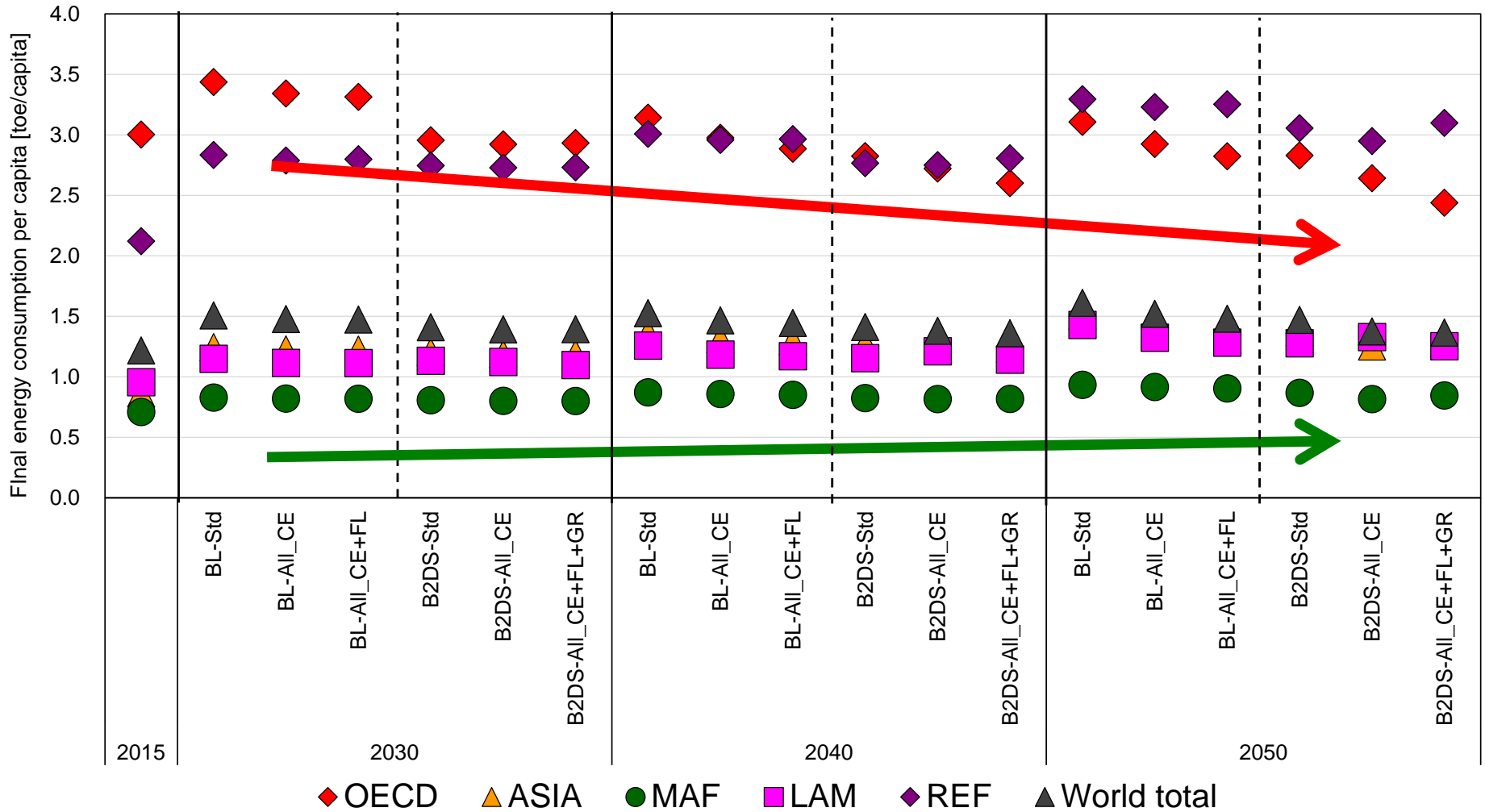
CEの活用により、限界費用の高いBECCS, DACCSといったCDR技術の一部利用を低減



参考) 2019年の世界のGHG排出量実績値: 59 GtCO<sub>2</sub>eq./yr、2050年のベースラインの排出量推計値: 73 GtCO<sub>2</sub>eq/yr

- ✓ 排出削減目標が決まっている条件では、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対策は相対的に費用が安価なため、限界的な費用の対策と評価される、CCS付きバイオエネルギー (BECCS) や大気中CO<sub>2</sub>直接回収貯留 (DACCS) といった二酸化炭素除去 (CDR) 技術への寄与を低減し得る。
- ✓ なお、最終エネルギー消費量の低減効果は大きいですが、CO<sub>2</sub>削減効果は、エネルギー供給側のCO<sub>2</sub>原単位低減も伴っているため、エネルギー消費量ほど、大きくは算定されない。ただし、費用低減効果がある (後述スライド)。

# 世界地域別の一人当たり最終エネルギー消費量



✓ 先進国では、特に需要側で必要以上に多くのエネルギーが消費されており、'High-with-Low'シナリオは、主に先進国の低エネルギー需要の実現を誘発し、エネルギー消費の国際的な格差を縮小させる。

# 世界の排出削減費用の低減

## エネルギーシステム総コストの低減：CE想定時（単位：Billion USD/yr）

	Scenarios	Mobil	Resid	Build	Food	Ind	All_CE	All_CE +FL	All_CE +FL+GR
2030-2040年の間の年平均値	Baseline	▲547	▲339	▲1	▲57	▲4	▲894	▲894	▲963
	B2DS	▲556	▲352	▲0	▲64	▲5	▲926	▲928	▲1038
2040-2050年の間の年平均値	Baseline	▲1601	▲459	▲1	▲74	▲7	▲1971	▲1971	▲2085
	B2DS	▲1635	▲477	▲6	▲90	▲14	▲2037	▲2038	▲2266

## B2DS時のCO2限界削減費用（単位：USD/tCO2eq）

	B2DS-Std	B2DS_All-CE	B2DS_All-CE+FL	B2DS_All-CE+FL+GR
2040年	68-310	57-238	57-240	50-195
2050年	146-739	123-524	122-522	60-364

注)費用の幅は国による差異  
(主要先進国に別途2050年CN  
制約を想定していることによる)

- ✓ DXに誘因されたCEの推進により、エネルギーシステムコストの大きな低下が推計される。
- ✓ 2°C目標等の長期目標の実現において、CO2限界削減費用の低下(2~3割程度)が期待できる。

## 4. まとめ

- ◆ サークュラーエコノミー・シェアリングエコノミーは、DXにより、隠れた費用を含めた費用を従来よりも大きく低下させつつ、様々な部門で社会実装できる可能性が高まってきている。
- ◆ そして、資源利用量の低減に留まらず、製品・サービスに体化されたエネルギーの低減機会ともなり、低エネルギー需要社会、そして、グリーントランスフォーメーションGX実現の重要なドライバーとなることが期待される。また、SDGsの同時達成に寄与し得る。
- ◆ IPCCの最新の報告書(2022年4月公表)でも、従来の報告書とは異なり、大きく取り上げられた。
- ◆ 一方、分野横断的であることからその効果の定量化は容易ではなく、世界全体、部門横断的なシナリオ分析は、世界で取り組みが始まった段階
  
- ◆ RITEでは、世界エネルギー・温暖化対策評価モデルDNE21+を用いて、とりわけDXがドライバーとなって誘発され得る、サーキュラー・シェアリングエコノミーが、世界のエネルギー消費量の低減、ひいては、温室効果ガス排出削減にどのような効果をもたらし得るかを、全体の対策費用を含めて、定量的に分析している。また、世界の研究機関と協力しながら、包括的かつ定量的な分析作業を続けている。
- ◆ 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年では、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目標下で経済合理的と推計される省エネ量の半分程度もの省エネが、CEによって更に追加できる可能性が示唆される。また2°C目標達成時に要するCO<sub>2</sub>限界削減費用(炭素価格)を、CE推進によって2~3割程度低減できる可能性も示唆される。
- ◆ 直接的なCO<sub>2</sub>排出削減ではなく、波及的な影響となるため(DX⇒CE⇒GX)、GXにおいてもその重要性の認識がされにくいのが、政府、企業等が、定量的なシナリオ分析結果を通してその重要性を認識し、一体的に、強力に推進することを期待したい。

# 付 録

# サーキュラー・シェアリング経済シナリオの想定論拠(1/2)

DXによるCE誘発等	DNE21+モデル分析における想定(暫定試算)	参考文献および備考
<p>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)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 鉄鋼製品生産量: ▲4%(車両+立体駐車場。道路建設含まず)</li> <li>- プラスティック製品: ▲1%</li> <li>- 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)</li> <li>- 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)</li> <li>- セメント製品: ▲1%(立体駐車場のみ。道路建設含まず)</li> </ul>	<p>ライドシェア、カーシェアリングについて、一台当たり乗車人数、一台当たり走行距離等を想定し、乗用車生産台数、保有台数の低減をDNE21+モデルで評価(Akimoto et al. (2022) Technol. Forecast. Soc. Change を拡張評価)。 台数低減に伴う各種製品の低減は、鉄鋼新聞(2016)、Chester et al.(2010)、石油化学教会(2018)、国立環境研究所(2003)、日本自動車タイヤ協会(2022)、機械システム振興協会(2007)に基づき評価。</p>
<p>2) バーチャルミーティング、テレワーク</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 旅客需要: ▲10%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tao et al. (2021) Nature Communications</li> </ul>
<p>3) E-publication 等による紙の代替</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 紙パ生産量: ▲20%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IPCC WG3 AR6 (2022) Fig. 5.12の推計幅を参考にしつつ想定</li> </ul>
<p>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</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 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)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 木谷佳楠 他(2022)エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス</li> </ul>

# サーキュラー・シェアリング経済シナリオの想定論拠(2/2)

DXによるCE誘発等	DNE21+モデル分析における想定(暫定試算)	参考文献および備考
5) 都市開発、設計等の進展による建築物の高寿命化	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 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%</li> </ul>	<p>Pauliuk et al.(2021)の住宅用セメント、鉄鋼製品のフローおよびストックのデータに基づき、2100年までのシナリオを作成し、建築物の寿命を+40%とした場合の効果を算定。</p>
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>- 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</li> <li>(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>	<p>需要予測等、情報技術の導入費用を考慮の上、食品廃棄低減による関連部門への波及効果をGTAP10のI-Oに基づき算定(林礼美他(2022)エネルギーシステム・経済・環境コンファレンスを拡張評価)。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 小売・卸・食品加工: POSシステムを用いた需要予測により食品廃棄率低減すると想定。</li> <li>- 家庭: 食品ロスダイアリーアプリの使用により食品廃棄が低減。例: 導入強化により、成り行きケース比約50%減。</li> <li>- ReFED(2021) Explore solutions to food waste</li> <li>- 京都経済短期大学他(2020) 食品ロス削減による経済便益に関する調査・分析</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>	<p>Verhoef et al.(2018)に基づく。2050年にAMによる生産比率が100%となり下記等の効果が見込める。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- メタル原料が90%削減</li> <li>- 加工での電力消費量が35%削減</li> <li>- 機体軽量化により燃料重量が16.7%削減</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	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 国際海運需要: ▲1%</li> </ul>	<p>1)、6)、7)で見込まれた製品需要の低減に伴う国際海運需要の低減を想定。</p>



# 世界一次エネルギー供給量

