

ALPS国際シンポジウム

2019年2月19日

製品、サービス、社会システムの イノベーションと温暖化対策への影響

(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



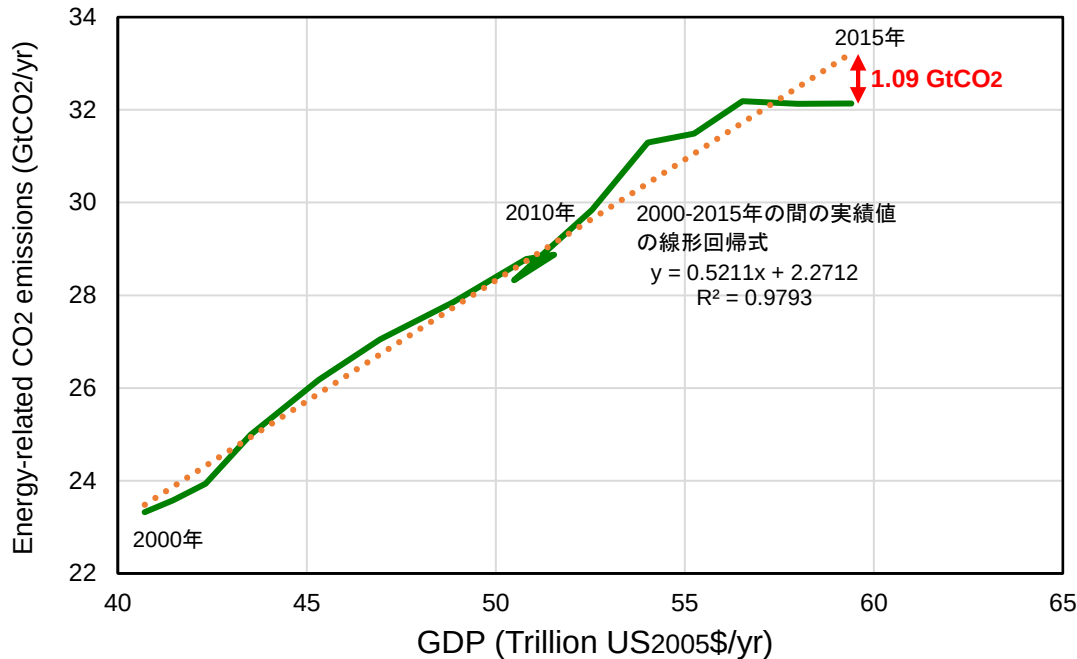
1. 経済と環境のデカップリングに関する現状分析
2. グリーン成長に向けて
3. AI, IoT等が誘発するエネルギー需要の大きな変化の可能性
4. パリ協定長期目標のシナリオ分析
5. まとめと課題



1. 経済と環境のデカップリング に関する現状分析



世界の経済成長とCO₂排出量の関係



出典) IEA統計より

注) GDPは実質、為替換算の2005年価格表示

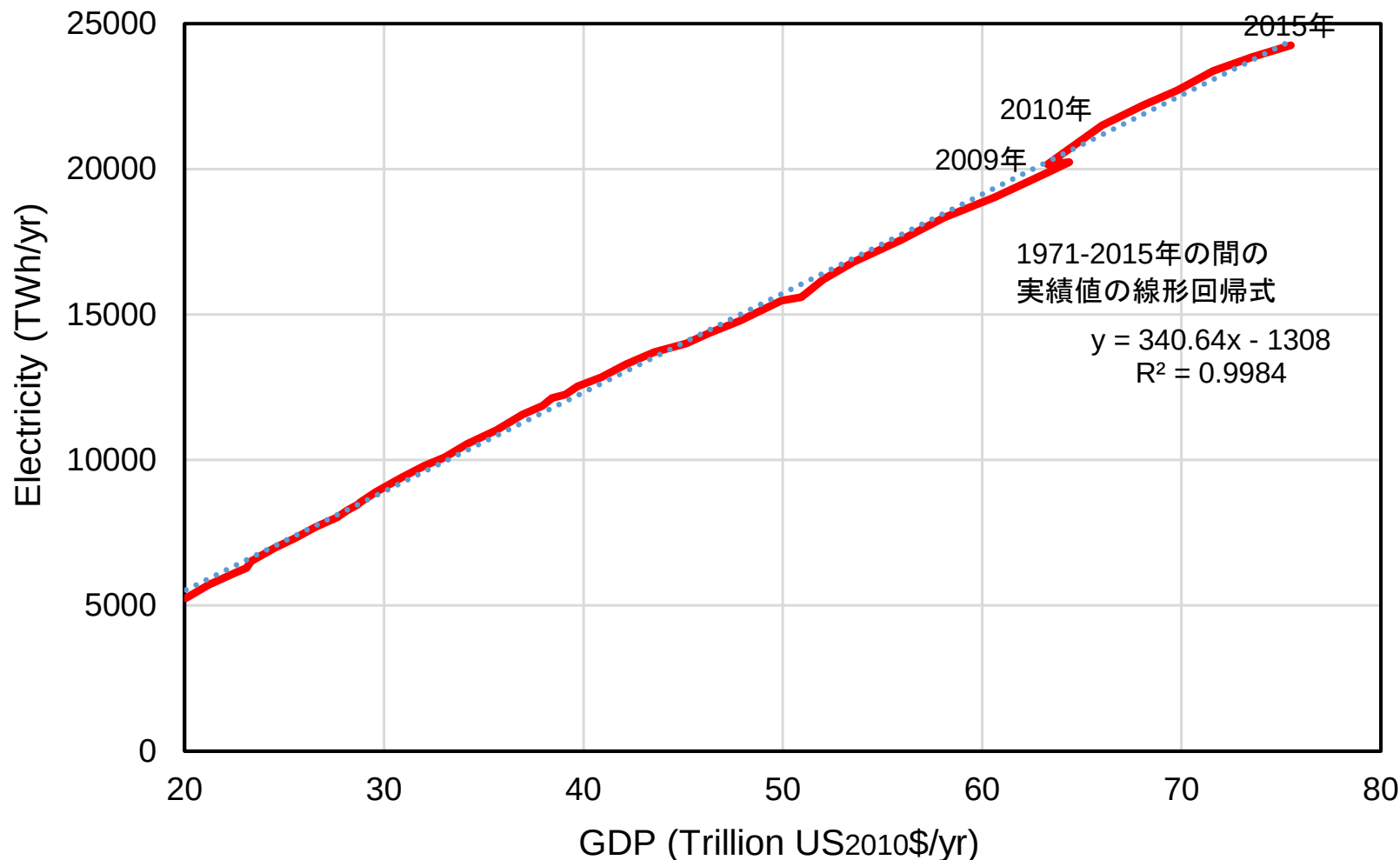
長期トレンドからの2015年の排出低減の要因分解

要因	2015年排出削減効果	内容
世界の鉄鉄生産量の減少	約▲2.5億トン	鉄鉄約1.0億トン減少 (主に中国の生産調整)
世界のセメント生産量の減少	約▲0.5億トン	セメント約1.7億トン減少 (主に中国の生産調整)
米国のシェールガス利用拡大による減少	約▲2.2億トン	米国における石炭火力からガス発電への転換の促進による
再エネ(太陽光・風力など)拡大による減少	約▲1.6億トン	再エネ発電比率の2000-15年の平均的な拡大に対し、2015年は1.2%ポイント分大きい
日本のCO ₂ 排出量低下	約▲0.4億トン	原子力稼働率の低下などで2013年にかけて約1.1億トン引き上げていたが、低効率火力の停止等による効果

出典) 秋元、http://www.rite.or.jp/system/events/akimoto_ALPSII_2017.pdf より

- 世界GDPとCO₂排出量の関係は基本的に強い正の相関が見られる。2013-16年の間、世界排出量はほぼ横ばいだが、長期の傾向で見ると、むしろ2009-13年の間の排出の伸びが大きかったものが調整されてきているに過ぎないと見ることもできる。
- 排出抑制の主要な要因は、中国を中心に鉄鋼、セメント等の生産調整、および、米国シェールガスシフトの影響が大きい。再エネの増大の影響は相対的に寄与度は小さいと見られる。
- 2017、18年と再び世界CO₂排出量は上昇基調に。
- 引き続き、世界のCO₂排出量はそう簡単に減少させられるような楽観的な状況にはない。

世界の経済成長と電力消費量の関係



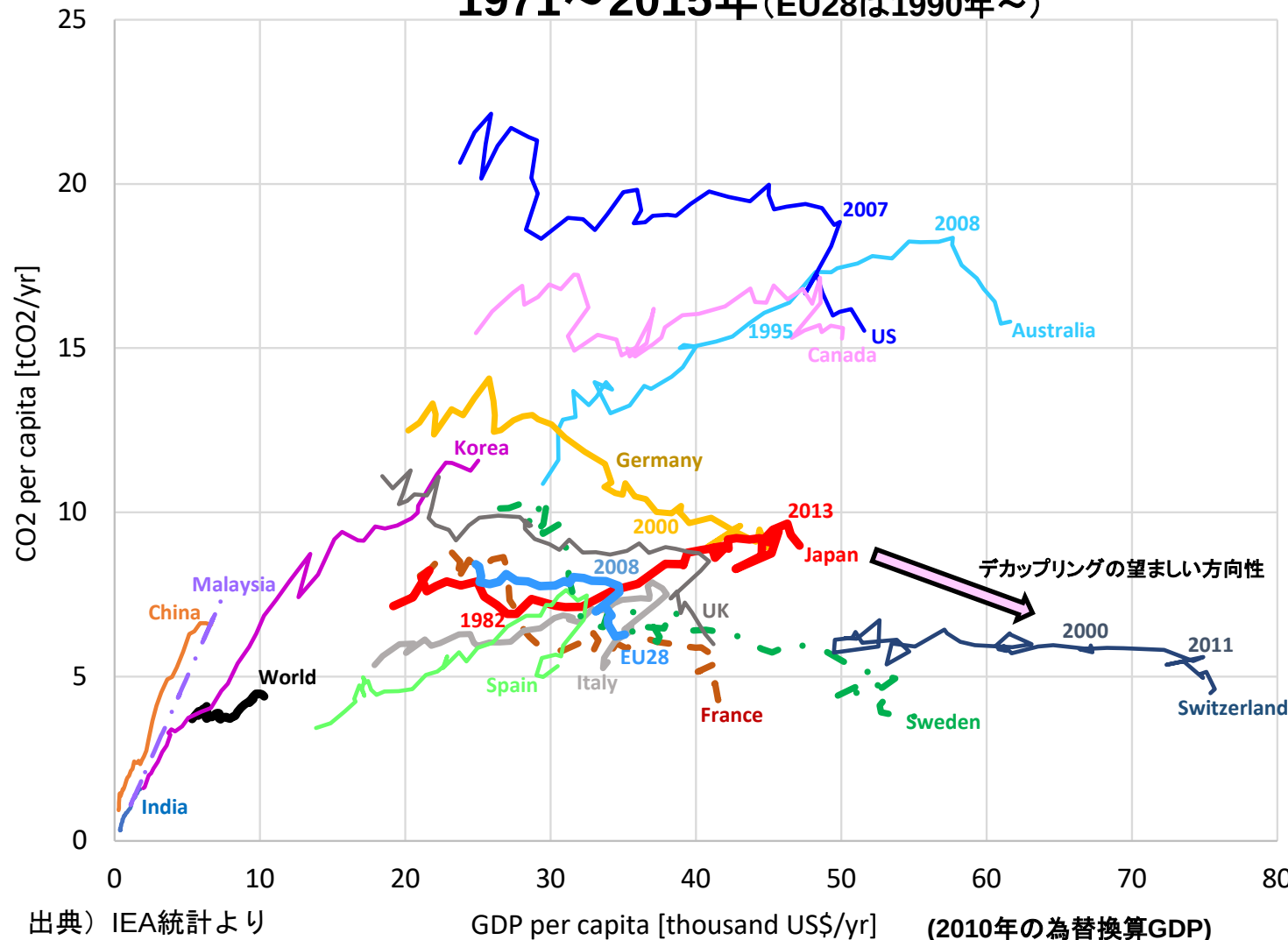
出典) IEA統計、2017

注) GDPは実質、為替換算の2010年価格表示

特に、世界全体のGDPと電力消費量の関係は、強い正の相関関係が続いている。近代の経済活動のためには何らかのエネルギーは付随的に使われ、経済成長のためには、特に電力は重要な役割を担っている。

主要国の経済成長とCO2排出量の関係：全体動向

1971～2015年 (EU28は1990年～)

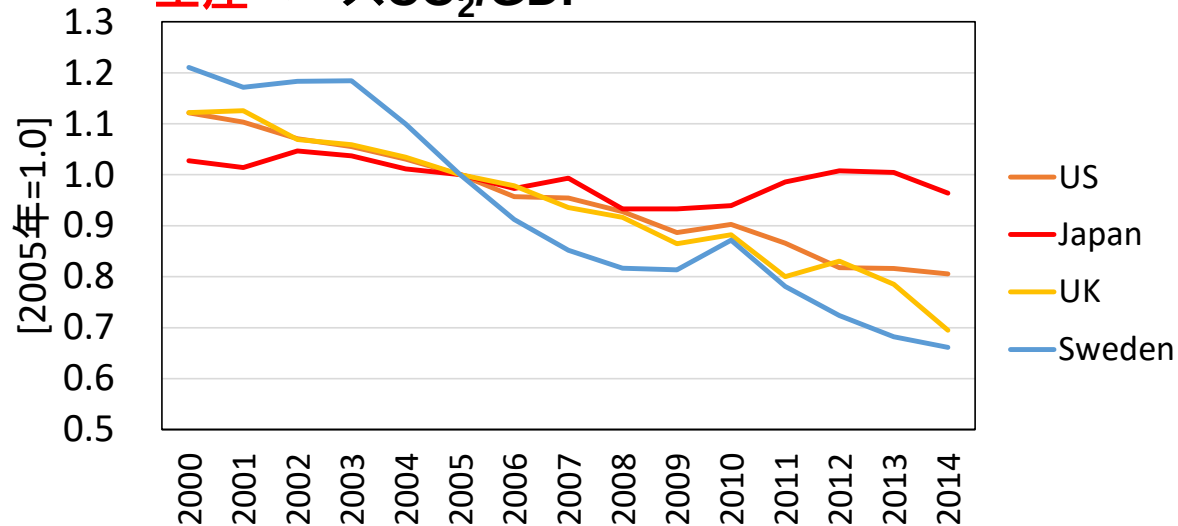


- 一部の先進国では一見デカップリング(GDPは増大するがCO2は減少する)傾向にあるようにも見える。
- 一方、国土、産業構造などは各国で様々であるため、同じような一人当たりGDP水準でも一人当たり排出量には大きな幅がある。
- スイス、スウェーデン、フランスは、比較的GDPが高い一方、CO2排出量は小さく、デカップリングの最先端とも言えるが、これらの国は以前から、水力、原子力比率が高く、CO2排出水準は低い。
- 過去、中国のCO2の上昇は、先行してきた国と比較しても急激
- 産業の国際分業も踏まえた中で真にグローバルなデカップリングに資する動向が見られるのかを精査する必要あり

全体としては、主要国別に見ると、一部の先進国では一見デカップリング傾向にあるようにも見えるものの、要因が複雑に混在していると考えられ、明確に言うことが難しい。

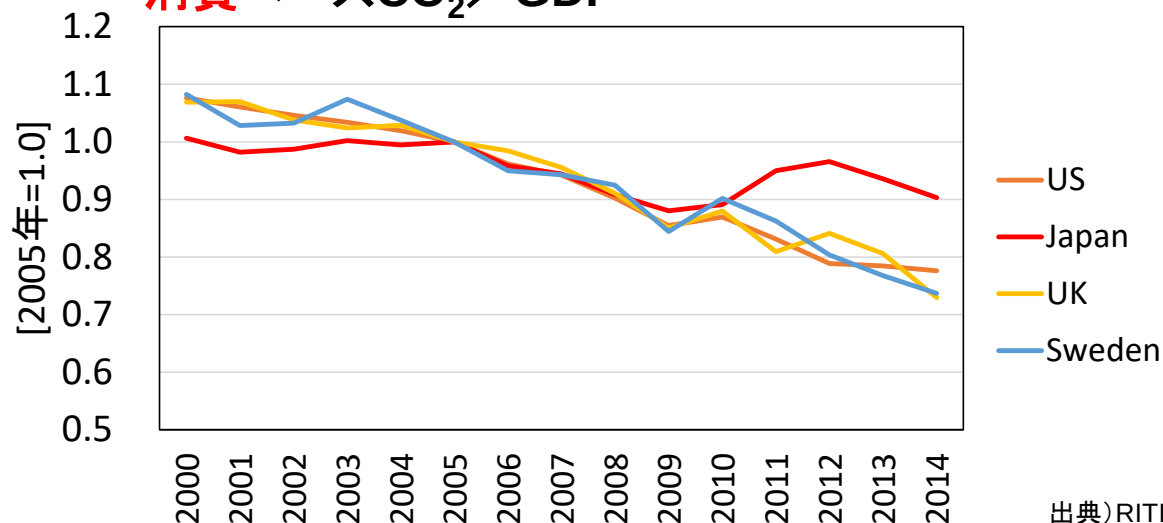
日、米、英、スウェーデンの GDP当たりCO₂排出量(原単位)の比較:

生産ベースCO₂/GDP



- 生産ベースで見ると、日本の推移は、他地域よりも原単位の改善が低位の傾向がみられる。

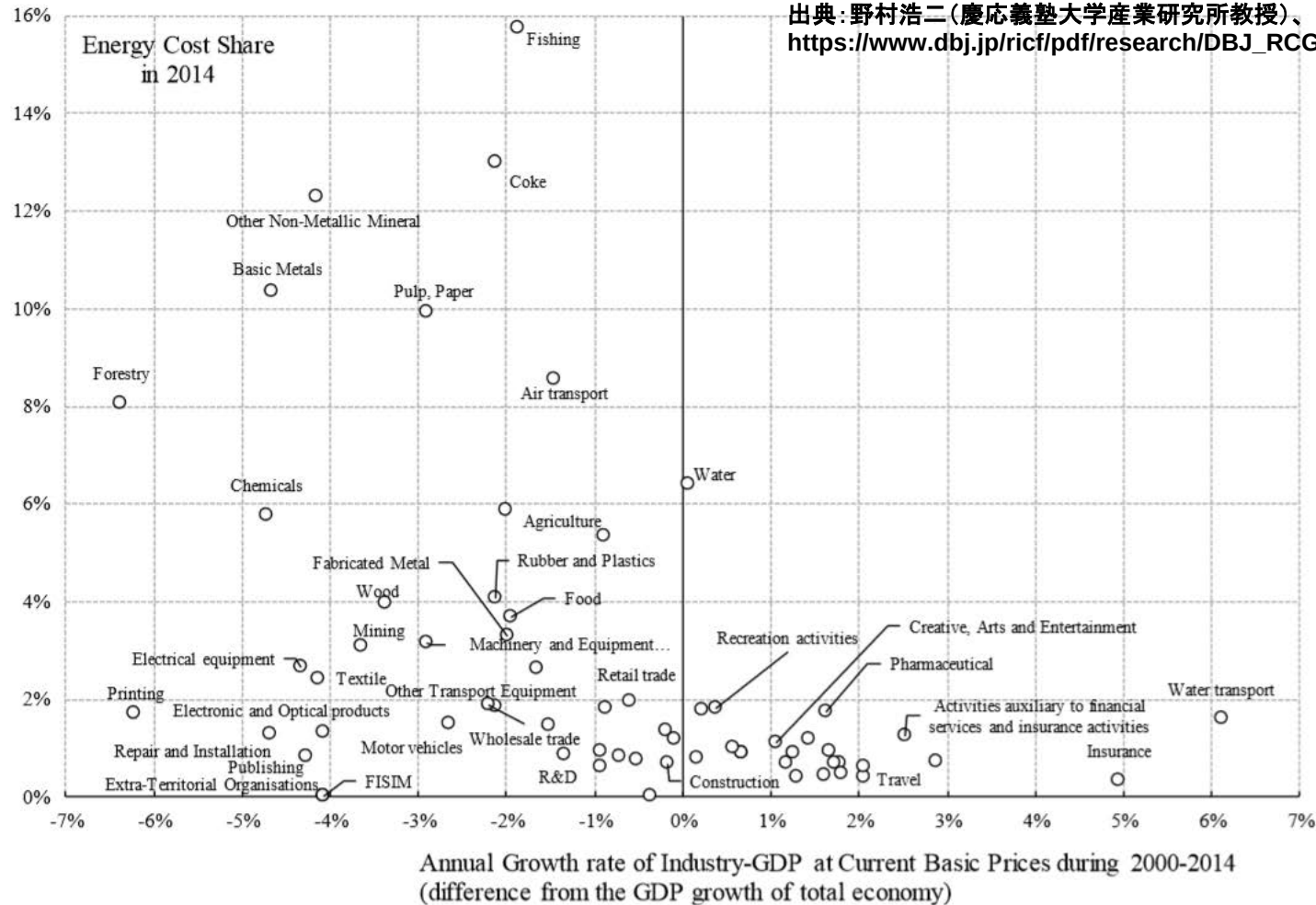
消費ベースCO₂/GDP



- 一方、消費ベースCO₂原単位で見ると、震災後の原発停止に伴うCO₂排出量の増大を除けば、日本の推移は他地域と差異はほとんどない。

主要国の経済成長とCO2排出量の関係： 英国の産業部門別のエネルギーコスト負担と経済成長率の関係

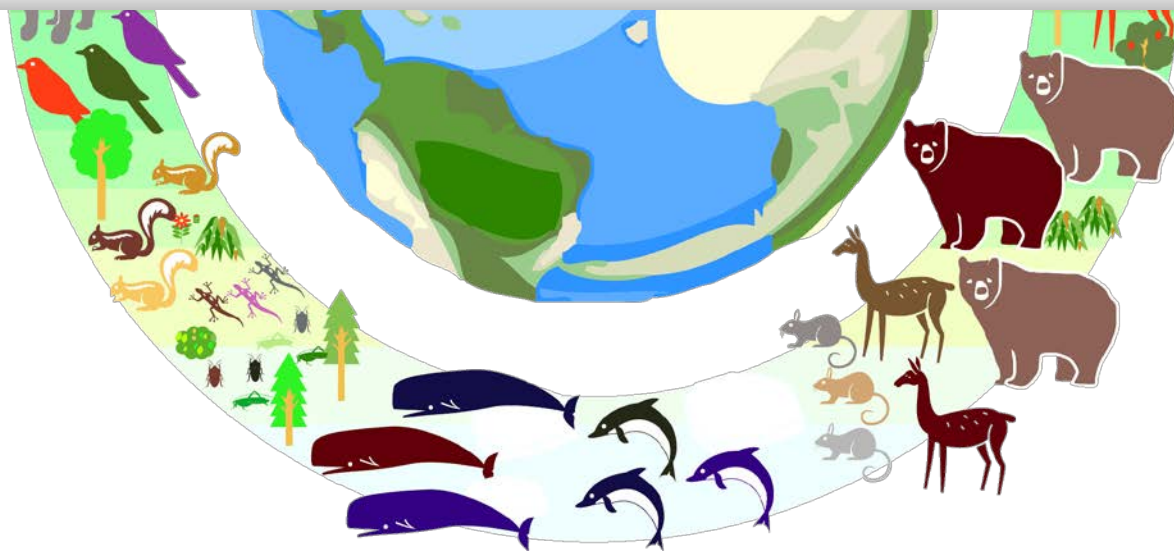
各産業のエネルギーコストシェア(2014年)と成長率(2000-2014年)



保険・金融サービス業などで高い成長率を実現した一方、エネルギー多消費産業を中心とした製造業関連を中心にマイナス成長。失われた製造業での製品供給が、他国に移転し、結果、グローバルではCO2排出削減につながっていないのではないかと懸念が生じる。⇒消費ベースCO2排出量の分析が重要



2. グリーン成長に向けて



共有社会経済パス（SSPs）の概要

化石燃料価格: 低;
化石燃料資源量: 大;
GDP: かなり高い

技術進展: 低;
人口: 低;
GDP: 低

Socio-economic
challenges for mitigation

★ **SSP 5:**
(Mit. Challenges Dominate)
Fossil-fueled
Development
Taking the Highway

★ **SSP 3:**
(High Challenges)
Regional Rivalry
A Rocky Road

★ **SSP 2:**
(Intermediate Challenges)
Middle of the Road

★ **SSP 1:**
(Low Challenges)
Sustainability
Taking the Green Road

★ **SSP 4:**
(Adapt. Challenges Dominate)
Inequality
A Road Divided

中位

Socio-economic challenges
for adaptation

技術進展: 大;
大規模技術の社会的
受容性: 低;
人口: 低; GDP: 高

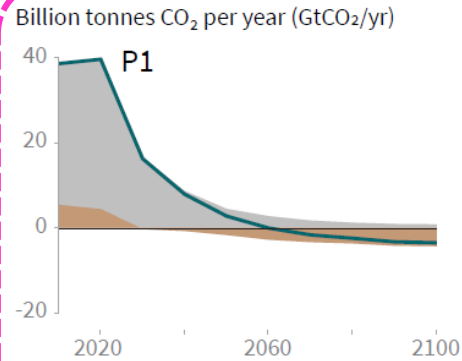
ガバナンス: 低;
化石燃料価格の地域間
格差: 大

SSPs: Shared Socioeconomic Pathways

大幅排出削減(1.5°Cシナリオ)の排出削減シナリオの類型化

● Fossil fuel and industry ● AFOLU ● BECCS

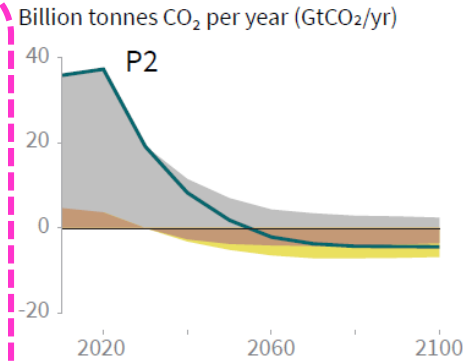
出典) IPCC 1.5°C特別報告書



P1: A scenario in which social, business, and technological innovations result in lower energy demand up to 2050 while living standards rise, especially in the global South. A down-sized energy system enables rapid decarbonisation of energy supply. Afforestation is the only CDR option considered; neither fossil fuels with CCS nor BECCS are used.

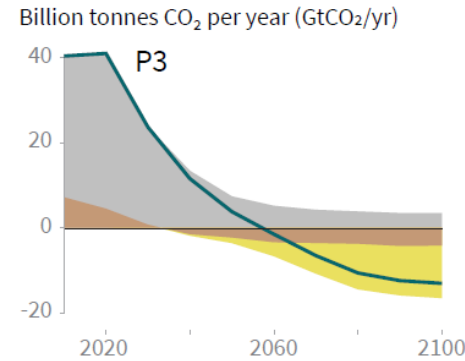
**SSP1よりも更に小さい
エネルギー需要シナリオ**

炭素価格小(排出削減の国際協調が緩やかでも民間主導で対策が進展)
エンドユースの技術革新により経済自律的にエネルギー需要が大きく低下



P2: A scenario with a broad focus on sustainability including energy intensity, human development, economic convergence and international cooperation, as well as shifts towards sustainable and healthy consumption patterns, low-carbon technology innovation, and well-managed land systems with limited societal acceptability for BECCS.

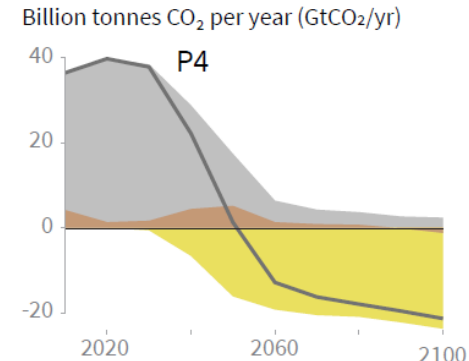
SSP1



P3: A middle-of-the-road scenario in which societal as well as technological development follows historical patterns. Emissions reductions are mainly achieved by changing the way in which energy and products are produced, and to a lesser degree by reductions in demand.

SSP2

(中位シナリオ)



P4: A resource and energy-intensive scenario in which economic growth and globalization lead to widespread adoption of greenhouse-gas intensive lifestyles, including high demand for transportation fuels and livestock products. Emissions reductions are mainly achieved through technological means, making strong use of CDR through the deployment of BECCS.

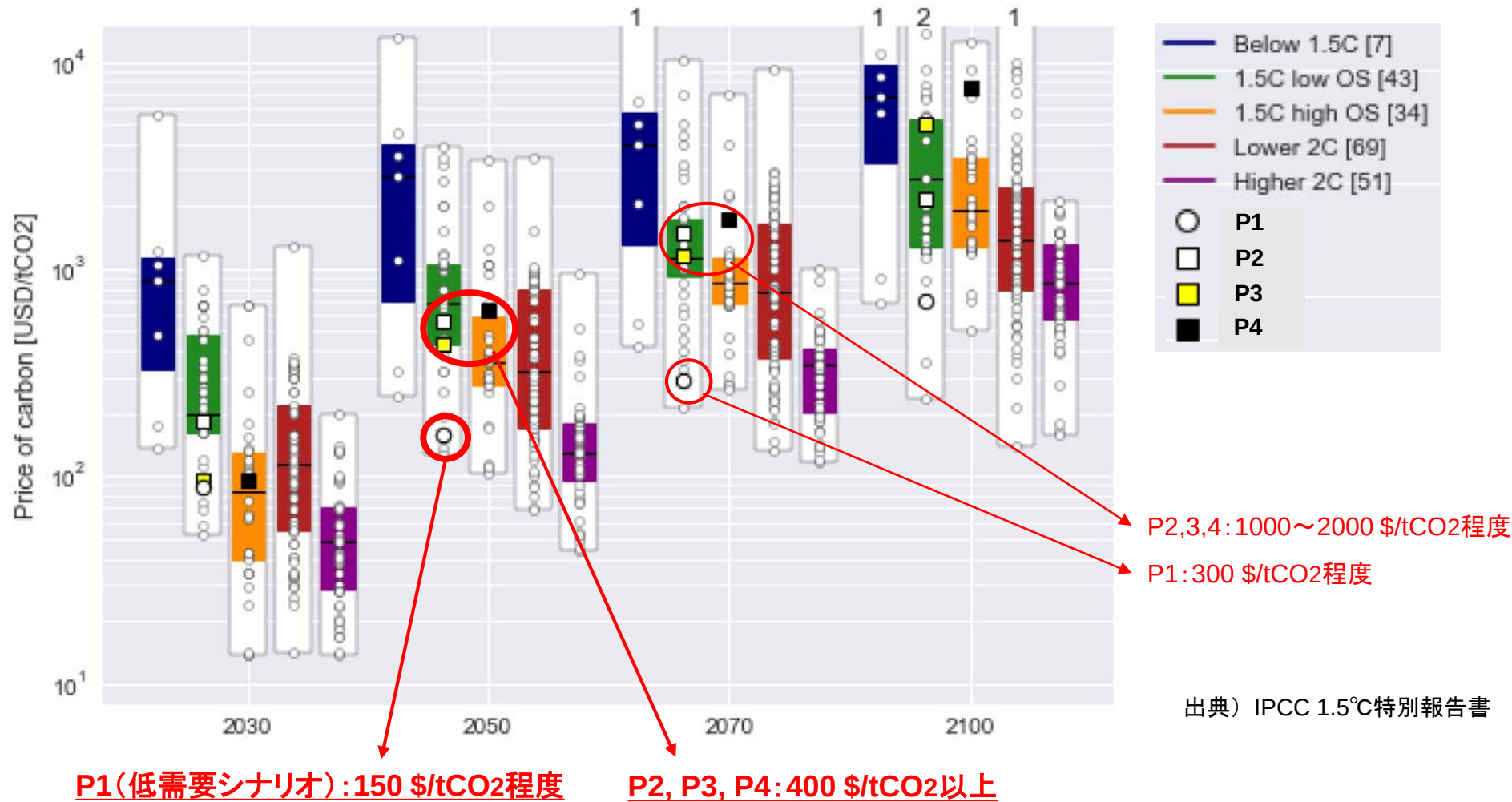
SSP5

小 ← 最終エネルギー需要 → 大

- ✓ 全体のリスクマネジメントが重要であり、各技術に役割有。
- ✓ 一方、エンドユースの技術革新とそれによるエネルギー需要低下の可能性とその気候変動対策全体への効果について注目すべき(P1)

炭素価格大(炭素リーケージを防ぐためにも排出削減の強力な国際協調が不可欠)
気候リスク対応のためCDR(CCS, BECCS, DACS等)技術も大規模に利用

1.5°C、2°CシナリオのCO₂限界削減費用(炭素価格)



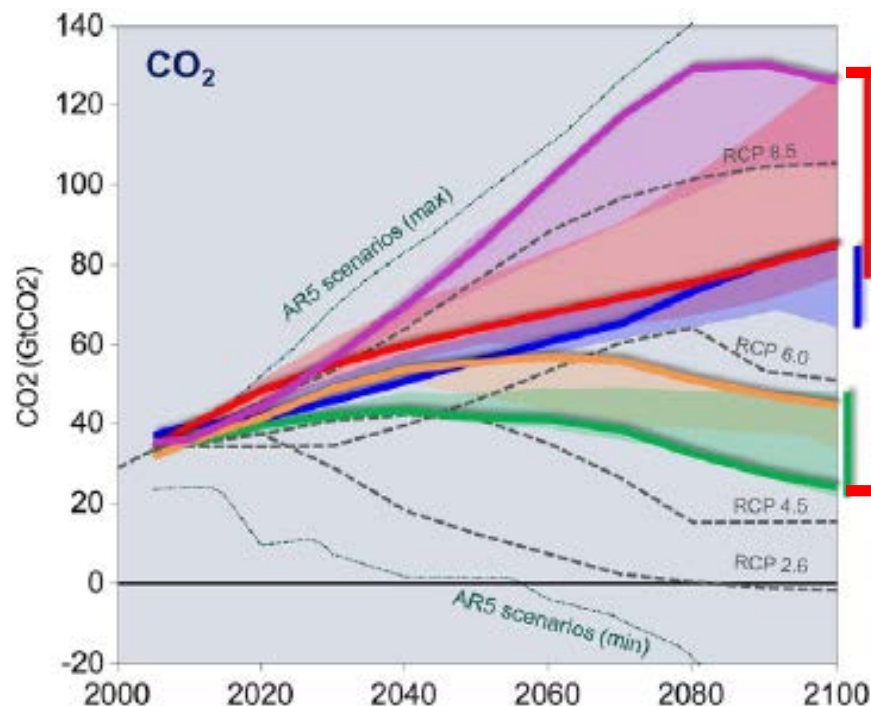
出典) IPCC 1.5°C特別報告書

✓ P1(低需要シナリオ)ではかなり限界削減費用(炭素価格)が低く実現できる可能性は示されている。

注) IPCC SR1.5では、1.5°C目標の炭素価格は、2°C目標の炭素価格の3~4倍程度と評価されている。
(ただし、解が得られたモデルでの比較であり、1.5°C目標では解が得られなかったシナリオ分析も多いことに留意が必要)

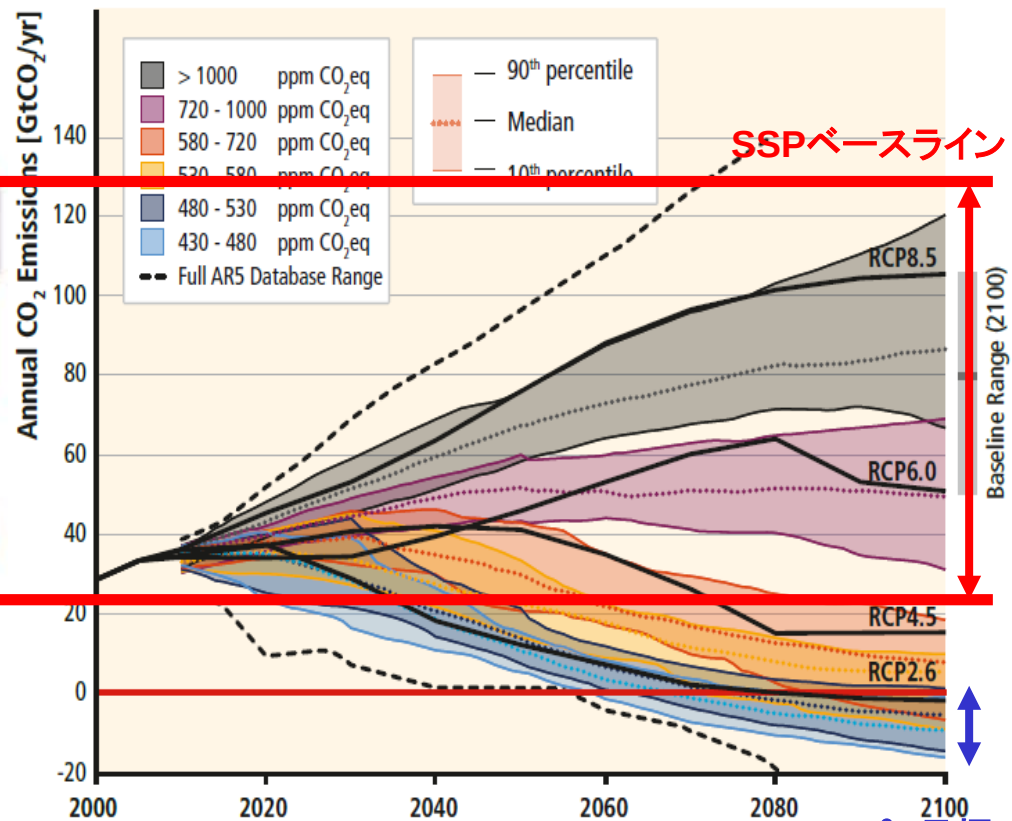
社会経済シナリオの違いによるベースライン排出量と2℃目標の関係性

SSP: 共有社会経済パス
(IPCC等で利用予定)



出典) K. Riahi et al., Global Environmental Change, 2017

Total CO₂ Emissions in all AR5 Scenarios

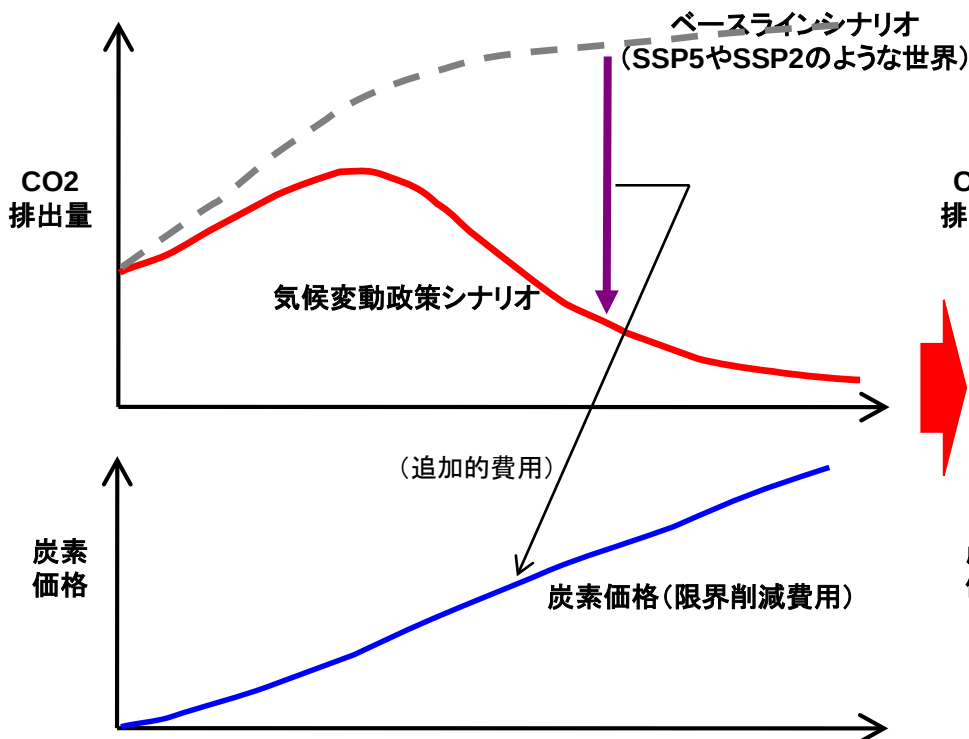


出典) IPCC WG3 第5次評価報告書、2014

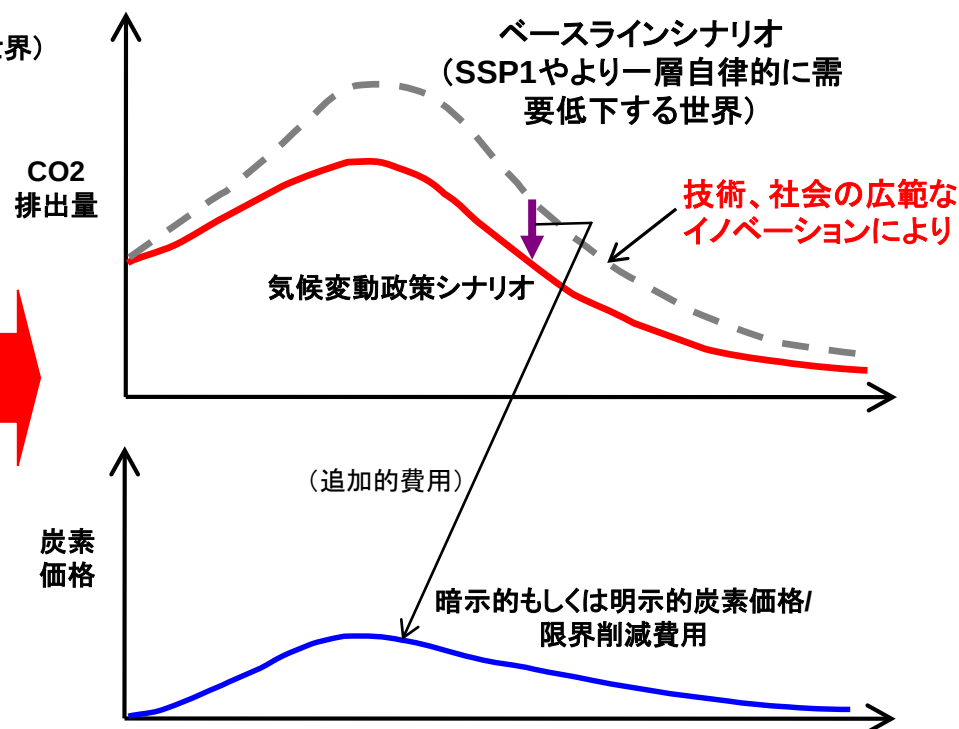
- ベースライン(社会経済の動向)の方が0.5℃前後(例えば1.5～2.5℃程度)の気温目標の差異よりも、ずっと大きな不確実性あり
- ベースライン(炭素価格ゼロ以下)をいかに低い排出量に導けるか(それに寄与する技術)は大変重要。

モデル分析によってIPCC等で通常示される大幅排出削減シナリオと現実社会でよりあり得る大幅排出削減シナリオ

モデル分析による典型的シナリオ： 通常の技術進展の想定



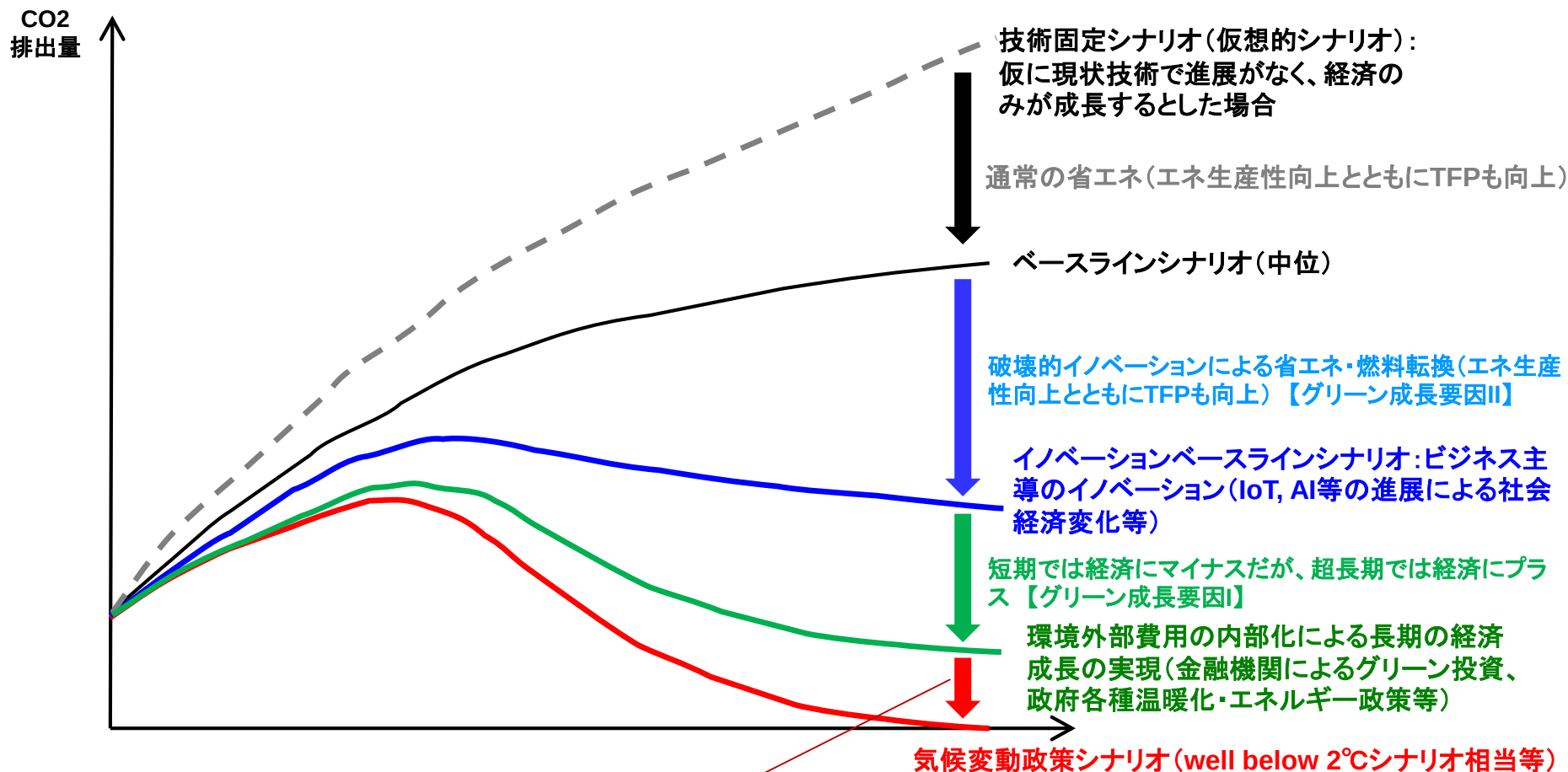
現実社会で要求される世界： 技術革新がより大きく誘発、実現される必要あり



- 現実世界においては、高い明示的な炭素価格をつけるようなことは非現実的(世界で高い炭素価格で協調することは不可能であり、一方、国際協調無しに高い炭素価格付けを行えば、製造業は産業移転を起こし、炭素排出は他国にリーケージを起こし、温暖化抑制効果は期待できない)。
- 高くない(暗示的もしくは明示的な)炭素価格であっても(2次エネルギー価格の世界的な協調を含め)結果として、排出が大幅に減るように誘発するような技術、社会の大幅なイノベーションが起こらなければ、現実世界では大幅な排出削減は不可能と考えられる。

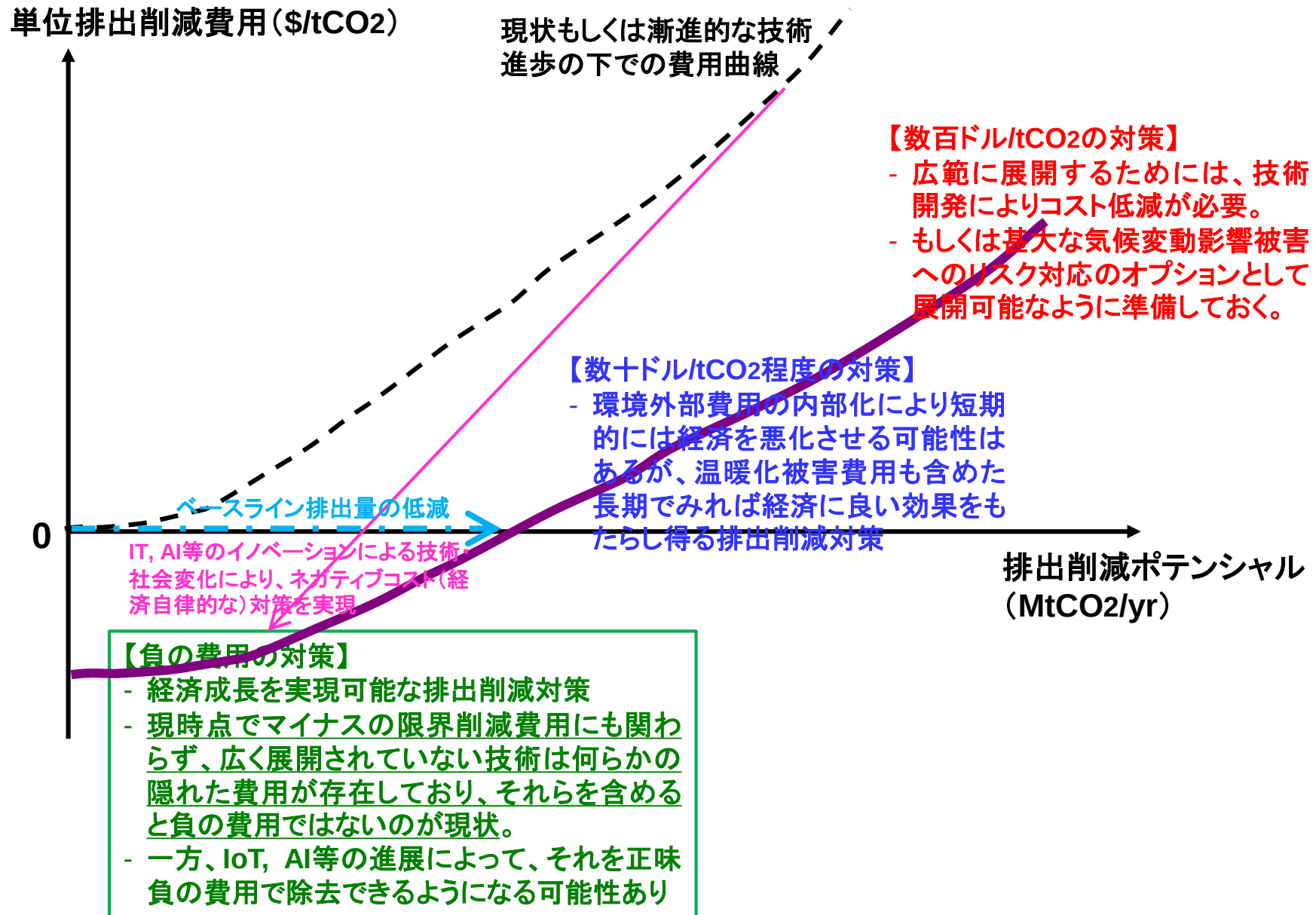
	グリーン成長の機会	内容
[I] 長期、世界全体でのグリーン成長の実現	温室効果ガス排出による外部費用となっている気候変動影響被害の内部化	具体的な施策としては、政府による規制、基準、ラベリング、明示的カーボンプライシング政策等、企業による自主的取り組み、インターナルカーボンプライス、金融機関によるESG投資等。長期で見たときには環境外部費用を内部化しないよりも成長につながるが、短期的には経済成長を鈍化させる方向となる。 【世界全体での排出削減が前提】
[II] 中長期、世界全体でのグリーン成長の実現	温室効果ガス低減につながるイノベーションの実現	経済自律的な排出削減が進展するようなイノベーションの実現（IT, AIによるシェアリングエコノミーの進展など）、それを後押しする施策（法人税の減税など民間投資の促進政策、良い経済環境の実現、必要性の乏しい規制の撤廃等）。 【世界全体での排出削減への取り組みがなくても、イノベーションの実現による効果は世界に広がる可能性大】
[III] 中長期での対象国のグリーン成長の実現	優れた温暖化対策技術・製品の海外市場展開による輸出額の増大に伴う対象国の所得の上昇	【世界全体での排出削減が前提。環境調和型技術開発能力が高い国でのグリーン成長機会】
	CO2排出削減への取り組みに伴う化石燃料価格低下を通じた輸入額の減少に伴う対象国の所得上昇	【世界全体での排出削減が前提。化石燃料輸入依存度が高い国でのグリーン成長機会】
	化石燃料資源輸入から資本集約的技術への代替による経済成長の機会	資本生産性、エネルギー生産性が低下するかもしれないが、資源生産性を高めることで、全要素生産性の向上となる機会 【化石燃料輸入依存度が高く、環境調和型技術開発能力が高い国でのグリーン成長機会】

グリーン成長シナリオのCO₂排出量のイメージ

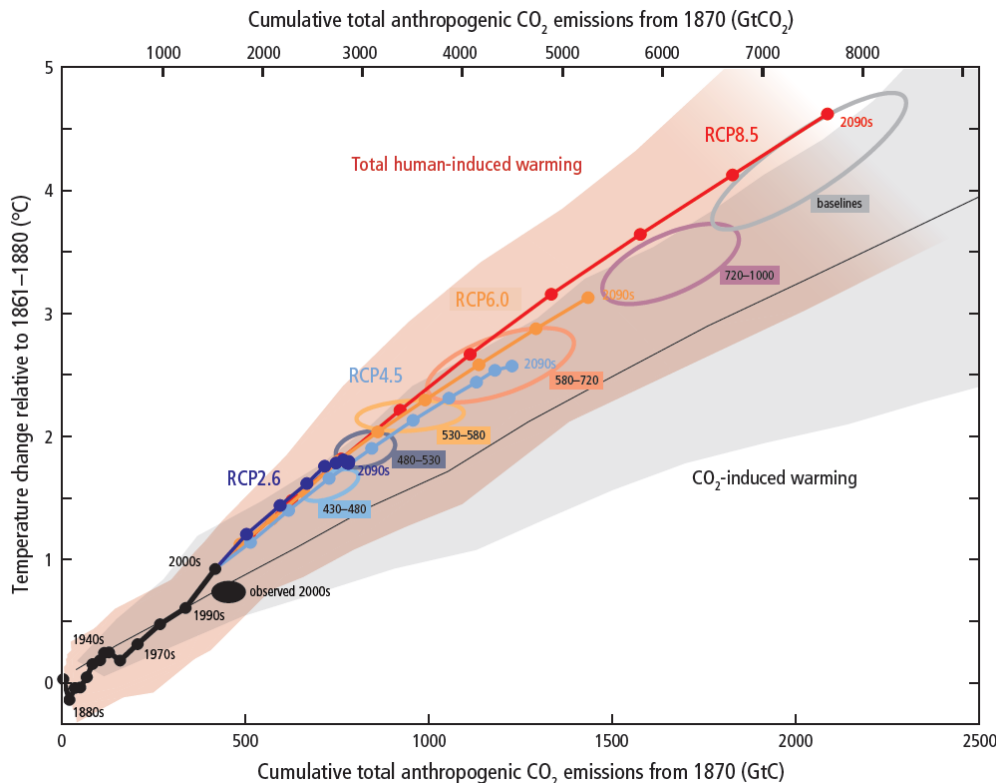


温暖化のリスクの大きさ次第では更に削減。ただし、国によっては、温暖化適応での投資、環境調和型技術の輸出増、化石燃料価格低下に伴う輸入国の輸入額の減少等による、経済成長の期待も可能。
【グリーン成長要因III】

排出削減費用別の排出削減ポテンシャル曲線

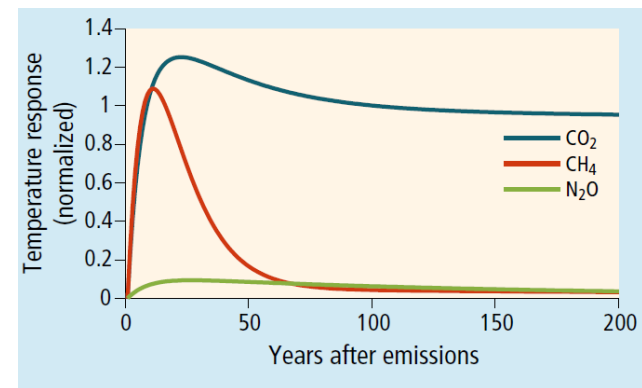


累積排出量と気温上昇の関係および排出に対する気温応答



出典) IPCC AR5 統合報告書

GHG排出の気温上昇へのインパクト



2010年排出に対する気温上昇応答。CO2排出の100年後の寄与を1として規格化

気候感度(濃度倍増時の気温上昇)推計の変遷(IPCC)

	平衡気候感度 (likely(>66%)レンジ) (括弧は最良推計値もしくはmedian等)
IPCC WG1 第4次(AR4) 以前	1.5~4.5°C (2.5°C)
IPCC WG1 第4次(AR4) (2007)	2.0~4.5°C (3.0°C)
IPCC WG1 第5次(AR5) (2013)	1.5~4.5°C (合意できず)
IPCC WG3 第5次(AR5) シナリオ 気温推計(MAGICCモデル) (2014)	2.0~4.5°C (3.0°C)

便宜上、第4次の評価をそのまま利用

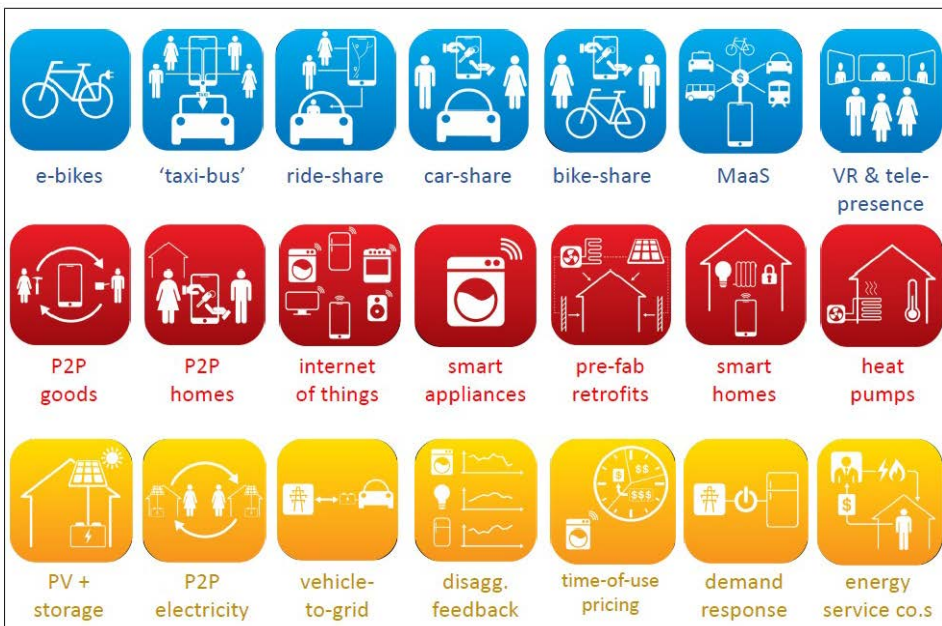
【長期のビジョン】 累積排出量と気温上昇には線形に近い関係が見られる。CO2排出に対する気温応答は減衰に非常に長い時間を要する。すなわち、いずれのレベルであろうとも、**気温を安定化しようとすれば、いずれはCO2の正味ゼロに近い排出が必要**。長期的には正味でCO2排出をゼロに近づけていくことは重要(時間スケールの問題は残る)

【現実におけるとるべき方策】 一方、気候感度には大きな不確実性あり。長期でCO2正味ゼロ排出に近づけていく**過程は大きな排出経路の幅が存在し得る。総合的なリスクマネジメントが重要**

- ◆ パリ協定は、産業革命以前比で2°Cを十分下回るとする目標、1.5°Cも追求、21世紀後半に正味ゼロGHG排出といった長期目標が規定
- ◆ 5年ごとのグローバルストックテイク（自動的に基本的に同じ方式が続いていく形）
- ◆ 2018年12月のCOP24ではパリ協定詳細ルールブックが合意。先進国と途上国のレビューにおける差異化はなされなかったものの、一方で、国別貢献NDCsの深堀を強く要請できるような枠組みでもない。
- ◆ 長期目標と実際の排出のギャップを政策的に埋めていく手段は乏しい。また、国際協調のない1国や少数国での強力な排出抑制策は、産業移転、炭素リーケージの点から効果がなく、政策手段として機能しがたい。
- ◆ このような状況で、トータルリスクを管理しながら、パリ協定長期目標に近づけていくには、グリーン成長が必須であり（それはSDGsともシナジー効果が多い）、そのためには、IT, AI等のイノベーションによるエネルギー需要サイドの大きな技術、社会変化が極めて重要な機会となると考えられる。

3. AI, IoT等が誘発するエネルギー 需要の大きな変化の可能性





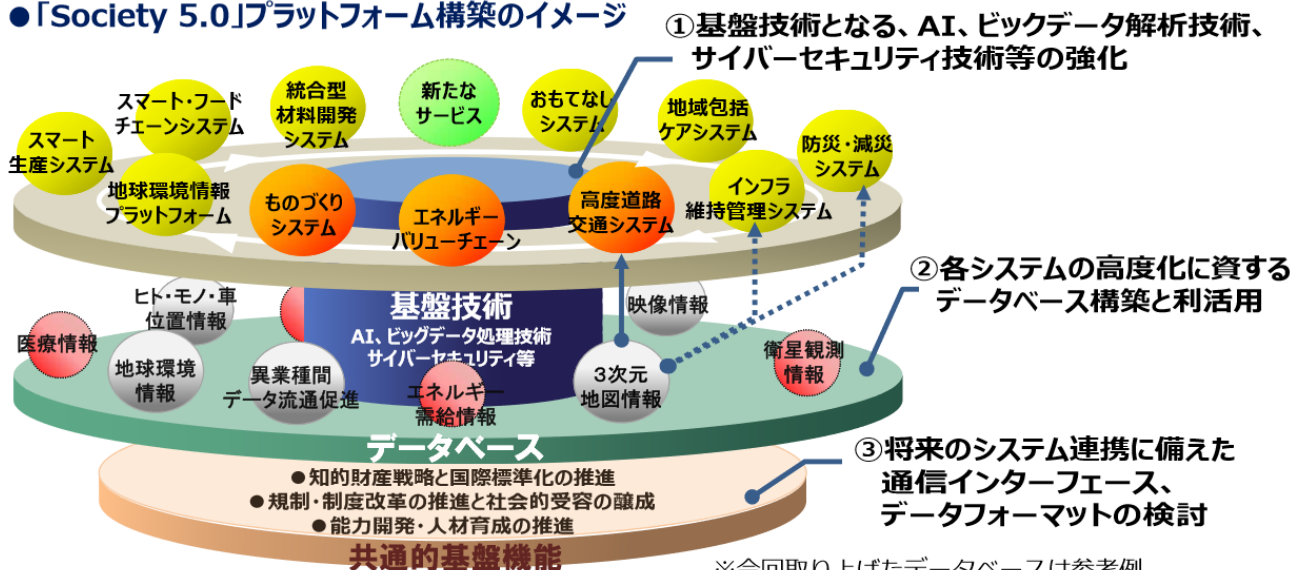
Source: C. Wilson (IIASA)

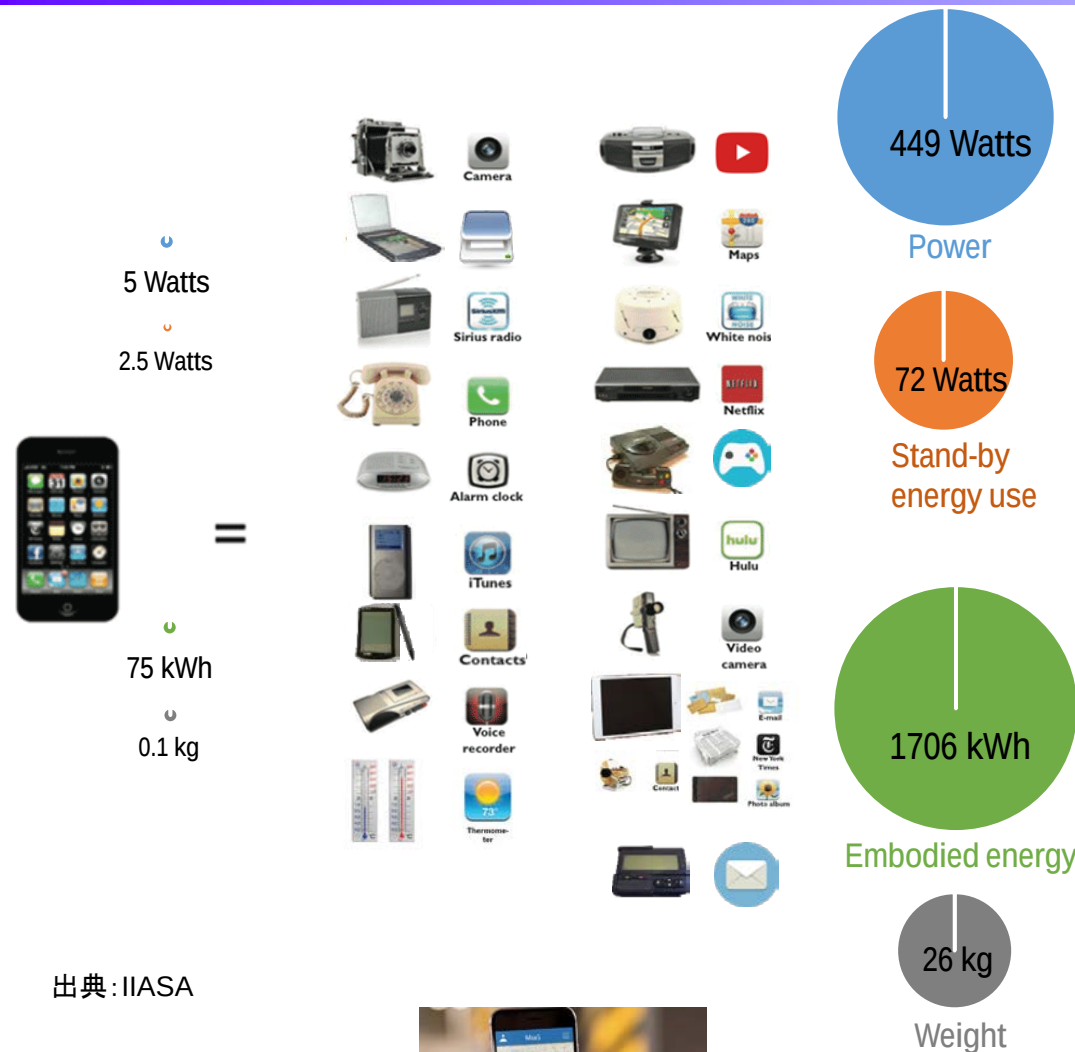
Disruptive innovations of end-use technologies such as IoT, AI, will be able to induce:

- 1) From Atomized to connected
- 2) From ownership to user-ship
- 3) Sharing economy & circular economy

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

●「Society 5.0」プラットフォーム構築のイメージ





出典: IIASA

例えば自家用車の稼働率は5%前後であり、完全自動運転でシェアリングとなれば大きな変化がもたらされ得る。

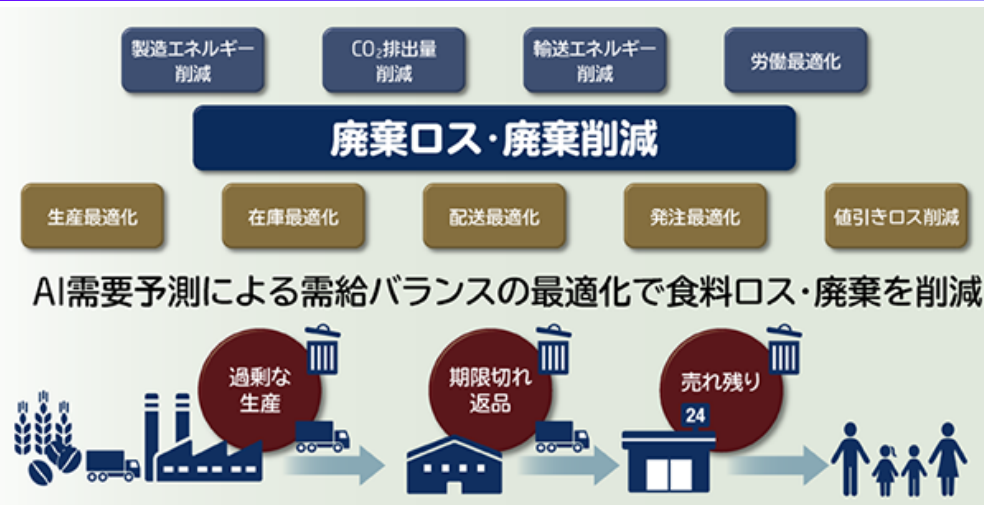


(出典) <http://gendai.ismedia.jp/articles/-/50859>

- 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。

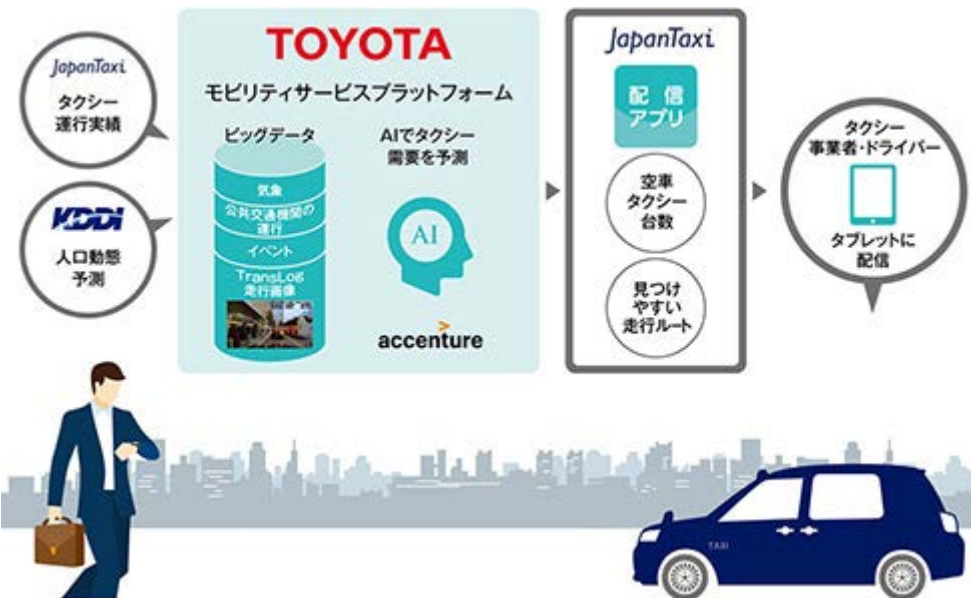
完全自動運転等で、AI, IoTの革新が社会変化を誘発し、エネルギー効率向上をもたらす機会は多く存在

AI、ビッグデータを活用した需給予測



(出典) 日本気象協会 <https://www.jwa.or.jp/news/2018/02/post-000984.html>

- 食料品
 - タクシー配車
 - アパレル
 - 書籍
 - オフィス、会議室のシェア化
- 等々、効率向上の機会は多く存在



- ✓ 重要な点は、CO₂排出削減のために消費者の効用を下げて実現をするのではなく、AI等の技術進展によって効率化を図り、経済自律的に達成できる可能性を有しているという点である。
 - ✓ 直接的な省エネルギー・CO₂削減対策ではないが、LCA的に付随して消費されているエネルギーそしてCO₂排出を大きく低減し得る。
- ⇒ グリーン成長の大きな機会

(出典) <http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/1803/12/news043.html>

4. パリ協定長期目標のシナリオ分析： カーシェア・ライドシェアの効果

注) モデル分析結果は、前提条件に大きく依存し、ここで示す分析結果はあくまで暫定結果であると共に、様々な不確実性の下で、選択される技術等は大きく異なり得る。トータルリスクマネジメントの中で、各種技術は評価されるべきである。

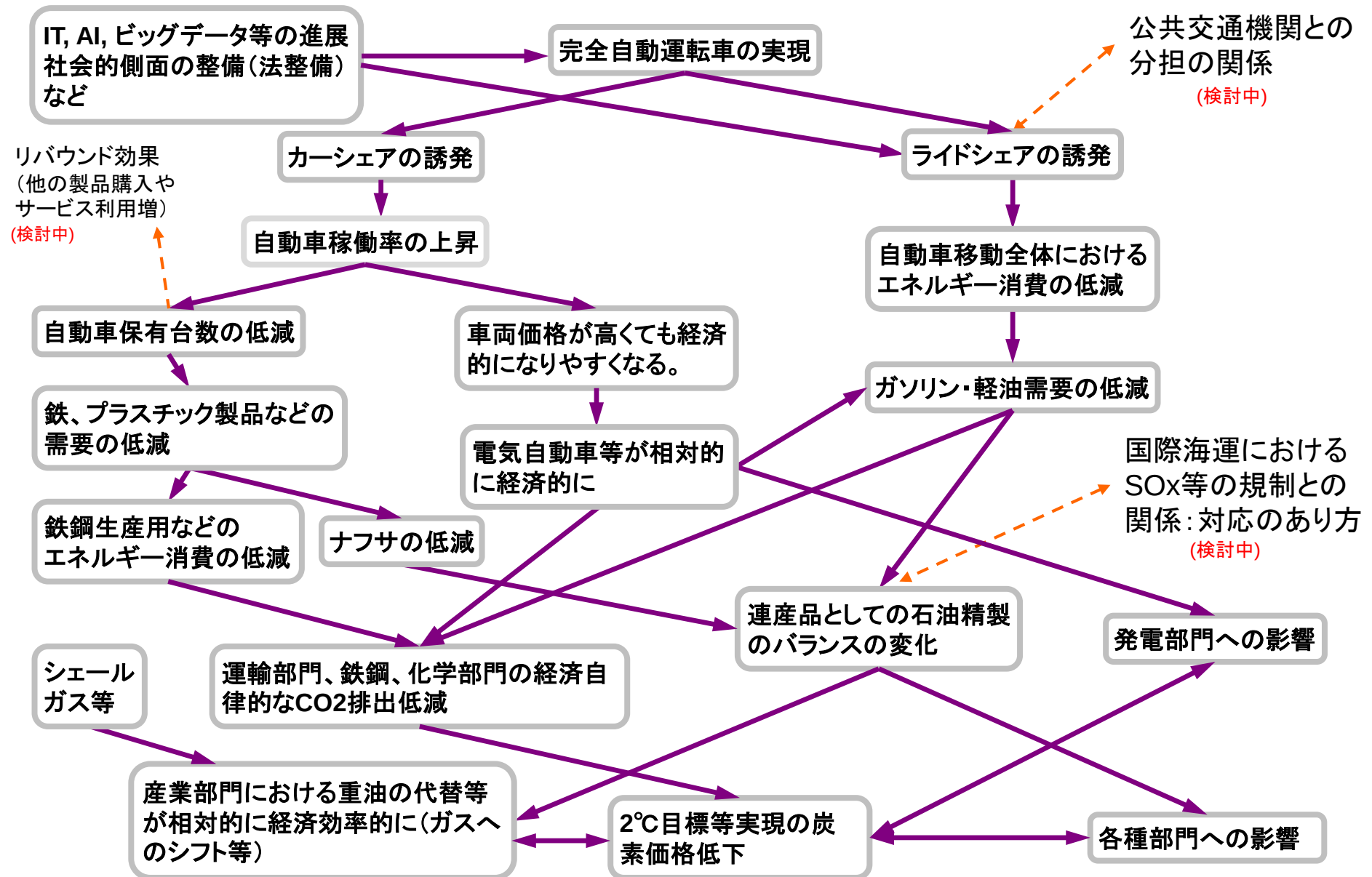


分析に用いたモデル：温暖化対策評価モデル DNE21+の概要 (Dynamic New Earth 21+)

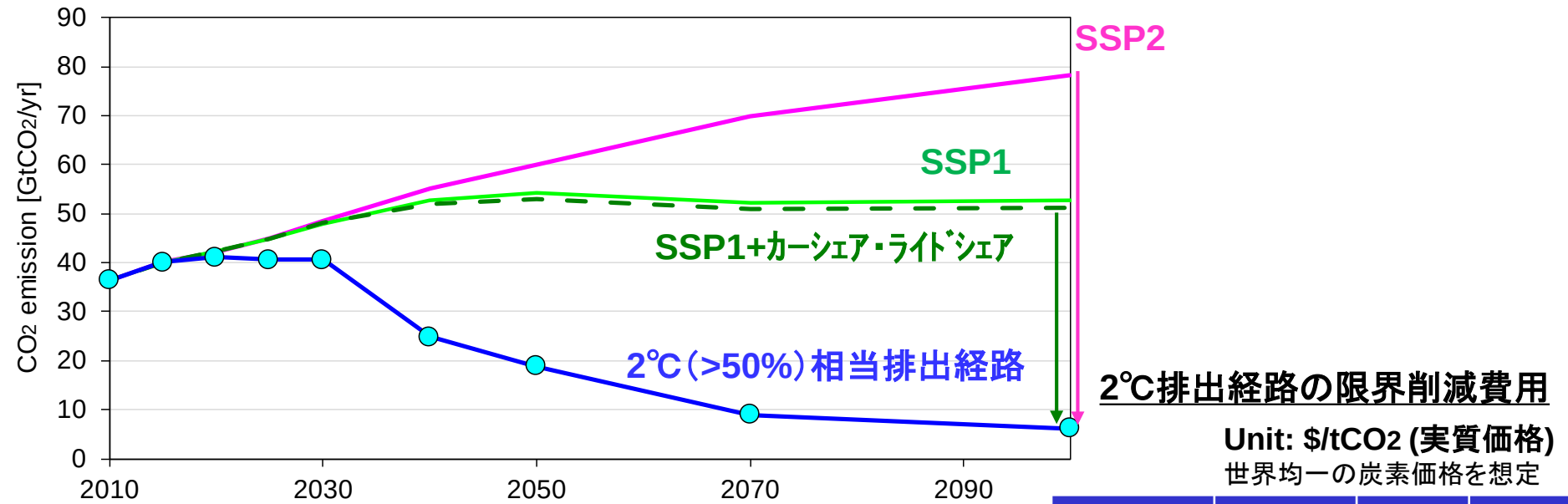
- ◆ 各種エネルギー・CO₂削減技術のシステムの的なコスト評価が可能なモデル
- ◆ 線形計画モデル(エネルギーシステム総コスト最小化)
- ◆ モデル評価対象期間：2000～2100年(代表時点：2005, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 70, 2100年)
- ◆ 世界地域分割：54 地域分割(米国、中国等は1国内を更に分割。計77地域分割)
- ◆ 地域間輸送：石炭、石油、天然ガス、電力、エタノール、水素、CO₂(ただしCO₂は国外への移動は不可を標準ケースとしている)、CO₂クレジット
- ◆ エネルギー供給(発電部門等)、CO₂回収貯留技術を、ボトムアップ的に(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
- ◆ 300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

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



世界排出経路と2°C目標のCO₂限界削減費用



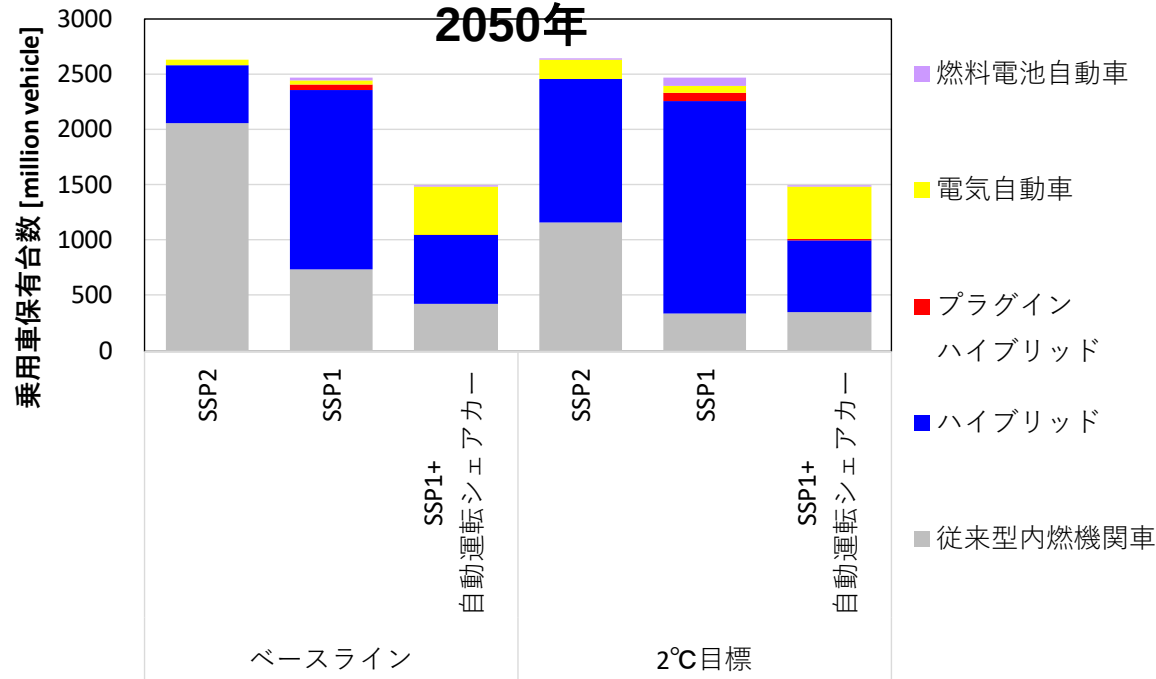
- ベースライン: SSP2
- ベースライン: SSP1
- ベースライン: SSP1+カーシェア・ライドシェア
- 2°C (>50%確率) 排出経路: 2050年40%削減(2010年比)

出典) RITE DNE21+モデルによる推計
佐野他、エネルギーシステム・経済・環境
コンファレンス、2019

SSP2に比べ、SSP1+カーシェア・ライドシェアシナリオでは、限界削減費用は低下

	IPCC SR1.5分 類との関 係性	2050 年	2100 年
SSP2(中 位シナリオ)	P3	154	269
SSP1	P2	165	187
SSP1+ カーシェア・ラ イドシェア	P1	126	185

世界の乗用車見通し

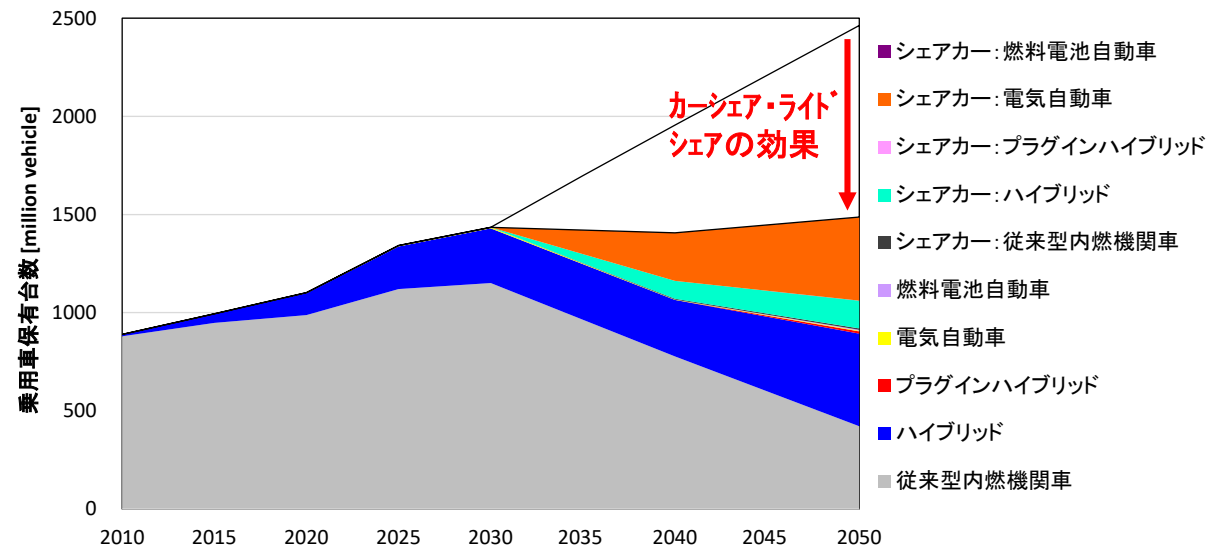


SSP2 ⇒ SSP1

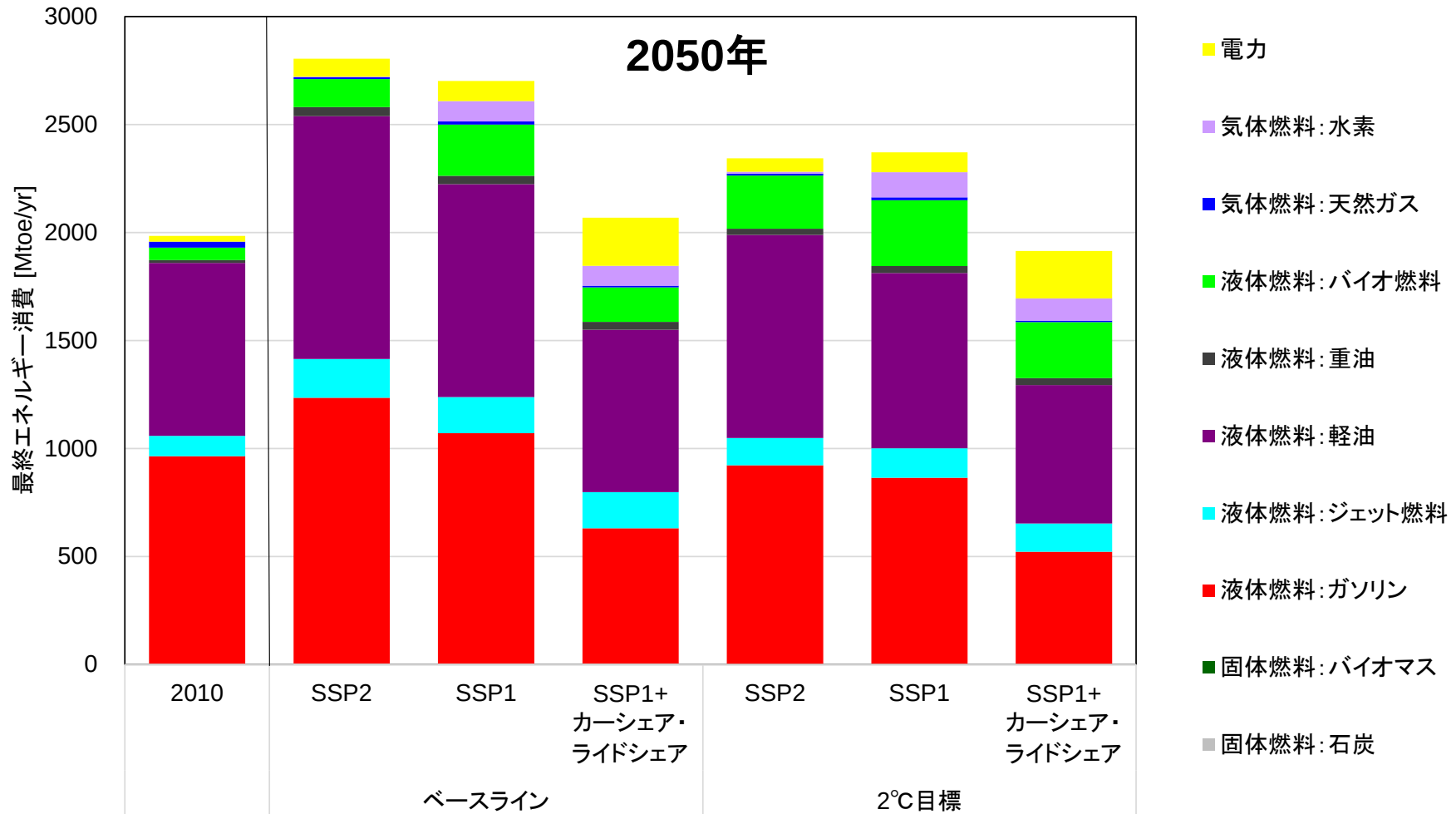
車両本体の進展により、ハイブリッド車の普及が拡大。

SSP1 ⇒ SSP1+カーシェア・ライドシェア

シェア化による稼働率の上昇により、車両本体価格が高くてエネルギーコストが回収できるようになるため、ハイブリッド車よりも電気自動車の普及がベースラインでも進む。

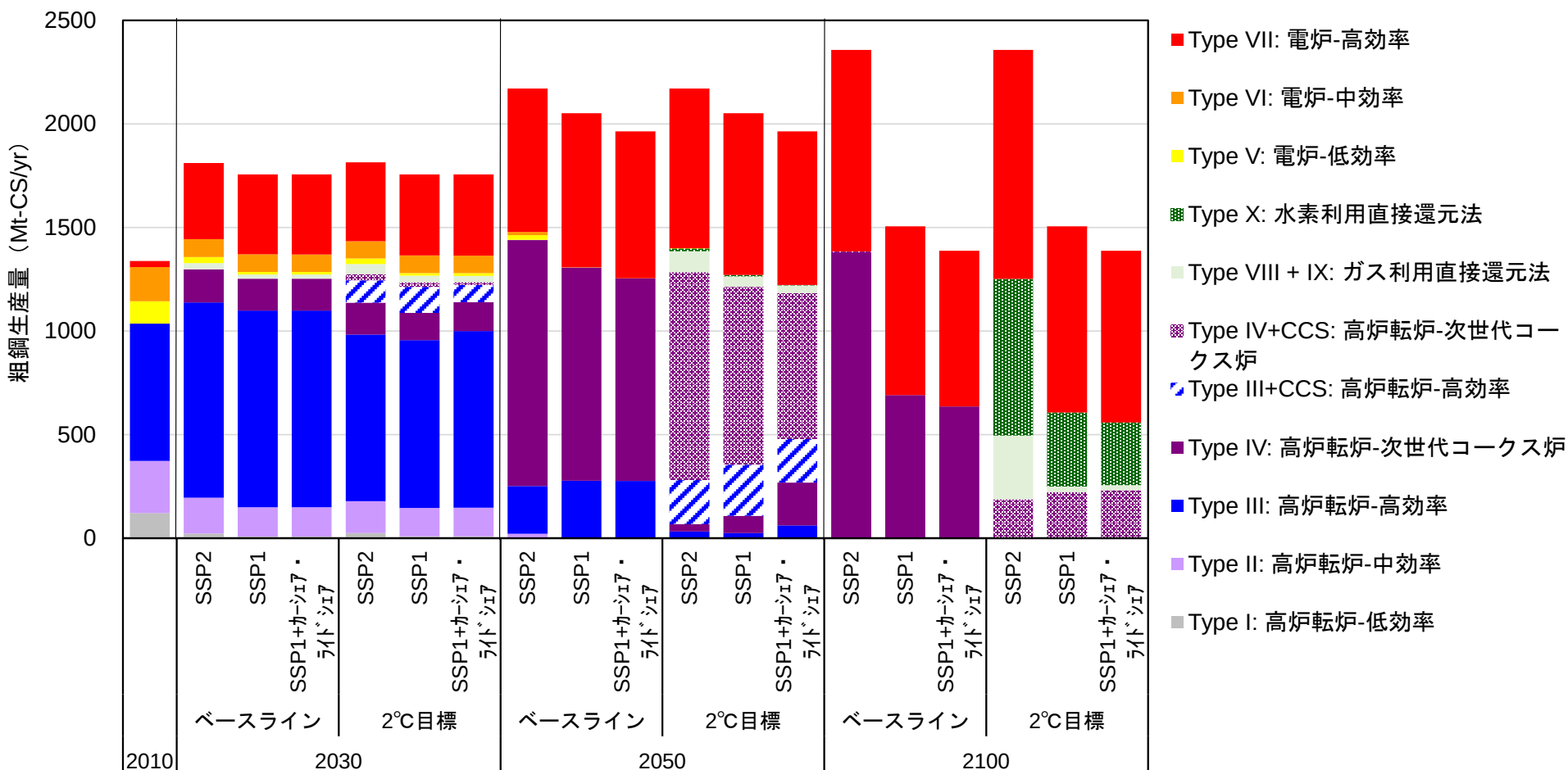


世界における運輸部門のエネルギー消費



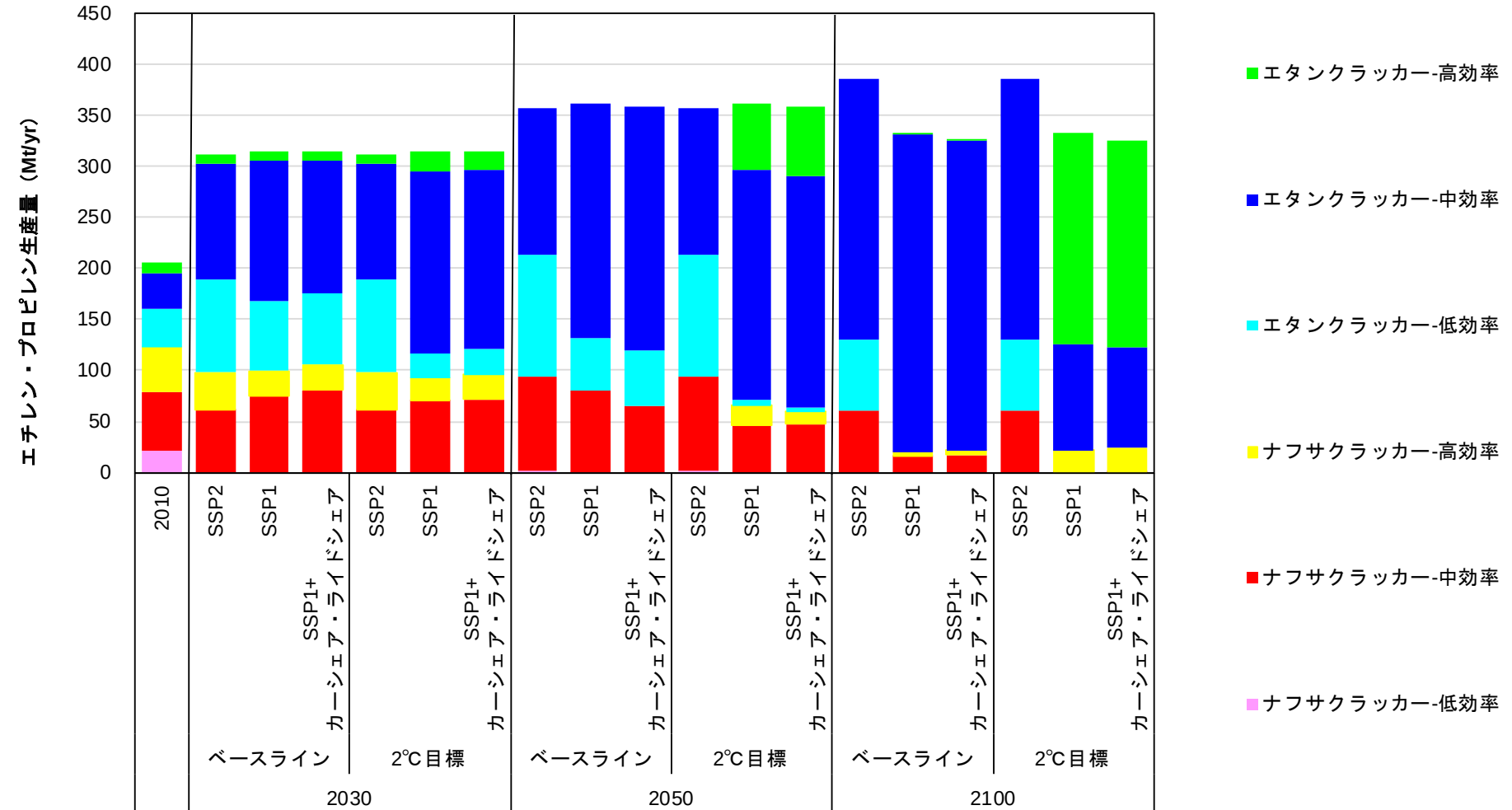
- 車両価格の見通しの違いが、ベースラインにおけるエネルギー消費に違いをもたらす。(SSP2⇒SSP1)
- 完全自動運転実現によるカーシェアリング-ライドシェアリングの誘発を含む社会経済シナリオの違いの方が、運輸部門に圧倒的に大きなインパクトを有する。(SSP2、SSP1⇒SSP1+カーシェア・ライドシェア)

世界における技術別の粗鋼生産量



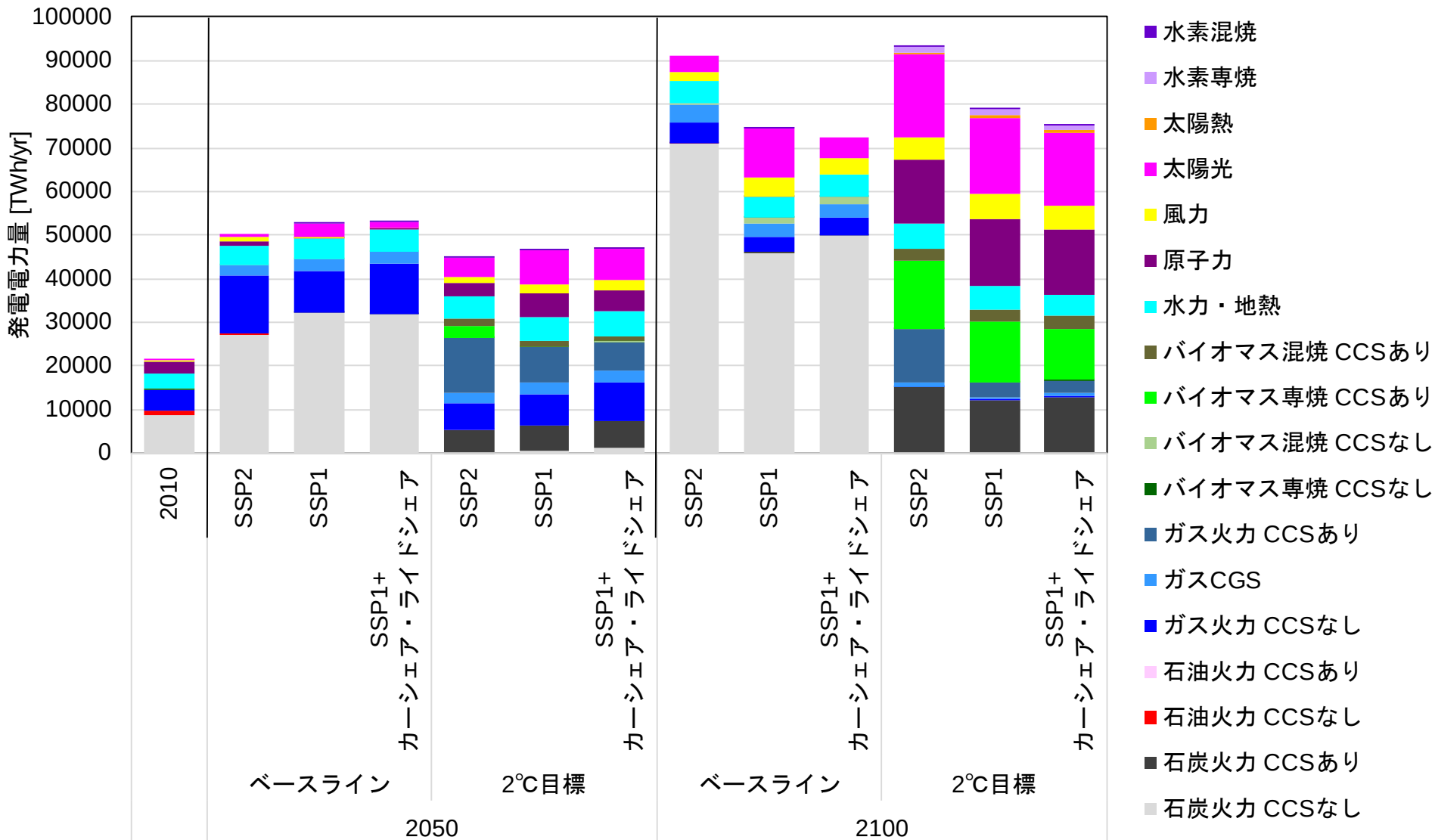
- 2050年まではいずれのシナリオでも粗鋼生産の拡大が見込まれる一方、SSP1やSSP1+カーシェア・ライド・シナリオでは、2100年にはSSP2よりもかなり小さな粗鋼生産となる可能性もある。
- カーシェアによる自動車用鉄鋼製品需要の低下も見られるが、全体の粗鋼生産量との比較では量的にはそれほど大きいわけではない。

世界における技術別のエチレン・プロピレン生産量



- 長期的にはいずれのシナリオでもガスを利用したエタンクラッカーが優位になると評価される。
- SSP1+カーシェア・ライドシェアシナリオでは、SSP1シナリオよりも若干生産量が低下(カーシェアによるプラスチック需要低下の影響)

世界における発電電力量



SSP1+カーシェア・ライトシェアシナリオにおいては、運輸部門でCO2削減が進み、2050年▲40%に排出の余裕が生まれ(限界削減費用が低下し)、それによってCCSなしの石炭火力発電も一部経済性を有するようになる。

5. まとめと課題



Framing (1 chapter)

1. Introduction and framing

High-level assessment of emission trends, drivers and pathways (3 chapters)

2. Emissions trends and drivers

3. Mitigation pathways compatible with long-term goals

4. Mitigation and development pathways in the near- to mid-term

Sectoral chapters (8 chapters)

5. Demand, services and social aspects of mitigation

6. Energy systems

9. Buildings

7. Agriculture, Forestry, and Other Land Uses

10. Transport

8. Urban systems and other settlements

11. Industry

12. Cross sectoral perspectives

AR6で特に新しいとされている章

Institutional drivers (2 chapters)

13. National and sub-national policies and institutions

14. International cooperation

Financial and technological drivers (2 chapters)

15. Investment and finance

16. Innovation, technology development and transfer

Synthesis (1 chapter)

17. Accelerating the transition in the context of sustainable development

Chapter 5: Demand, services and social aspects of mitigation

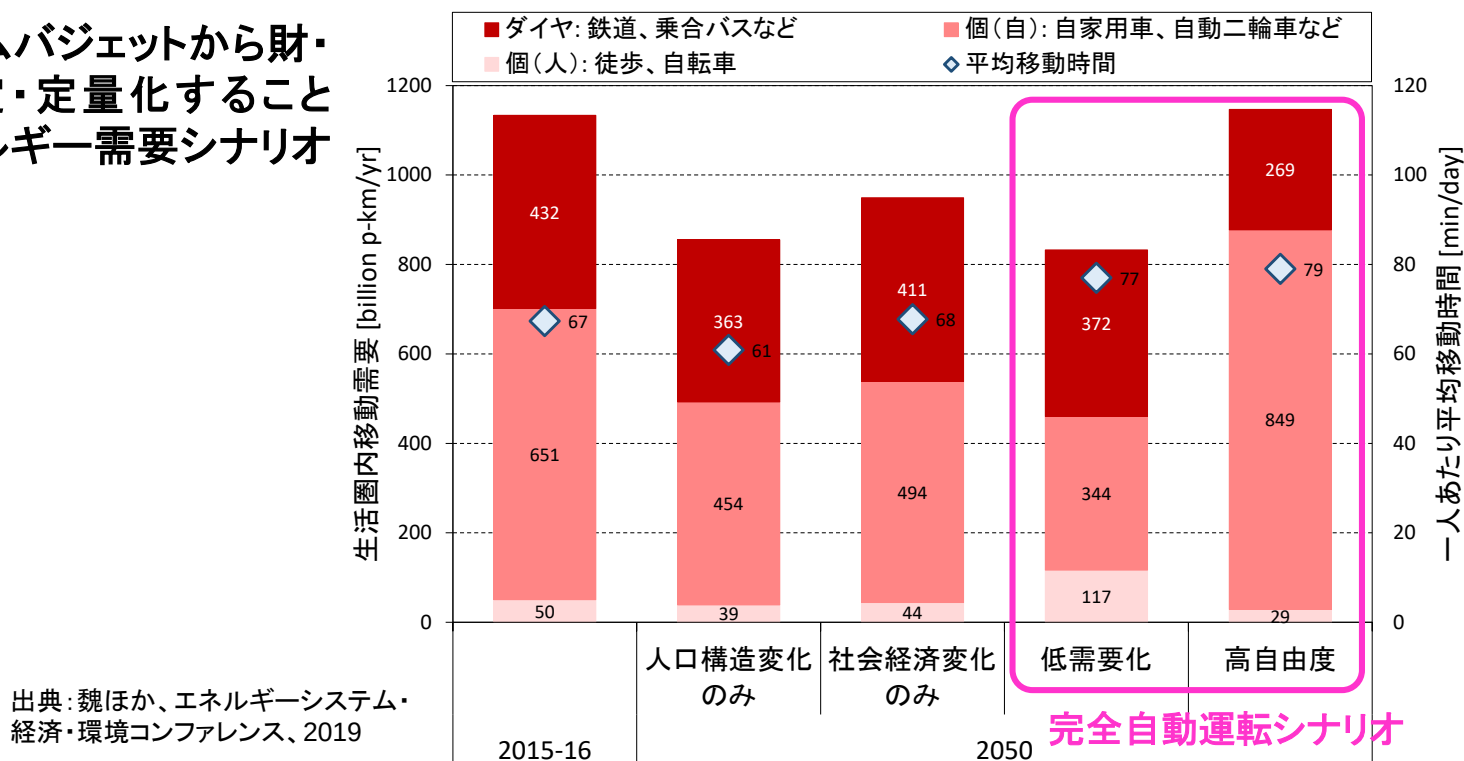
- ❖ Mitigation, sustainable development and the SDGs (human needs, access to **services**, and affordability)
- ❖ *Patterns of development* and **indicators of wellbeing**
- ❖ *Sustainable consumption and production*
- ❖ Culture, social norms, practices and behavioural changes for lower resource requirements
- ❖ Sharing economy, collaborative consumption, community energy
- ❖ Implications of **information and communication technologies** for mitigation opportunities taking account of social change
- ❖ **Circular economy** (maximising material and resource efficiency, closing loops): and insights from life cycle assessment and material flow analysis
- ❖ Social acceptability of supply and demand solutions
- ❖ Leapfrogging, capacity for change, feasible rates of change and lock-ins
- ❖ Identifying actors, their roles and relationships
- ❖ Impacts of non-mitigation policies (welfare, housing, land use, employment, etc.)
- ❖ Policies facilitating **behavioural and lifestyle change**

Chapter 12: cross-sectoral perspectives

- ❖ Summary of **sectoral costs and potentials**
- ❖ Comparison of sectoral costs and potentials with integrated assessments
- ❖ Summary of sectoral **co-benefits and trade-offs**
- ❖ Aspects of **GHG removal techniques** not covered in chapters 6 to 11 (land based, ocean based, direct air capture): status, costs, potentials, governance, risks and impacts, co-benefits, trade-offs and spill-over effects, and their role within mitigation pathways
- ❖ Impacts, risks and opportunities from large-scale land-based mitigation: land, water, food security; use of shared resources; management and governance
- ❖ Emissions intensity of **food systems** and mitigation opportunities across the food system (production, supply chain, demand and consumption) including emerging food technologies
- ❖ Policies related to food system and food security including food waste and food demand
- ❖ Links to adaptation and sustainable development (including co-benefits, synergies and trade-offs)

生活時間から日本の移動需要推計:リバウンド効果等の検討

- 2100年までの長期では、社会、経済、技術等、大きく変化する可能性が高い
- 一方で、現存の統合評価モデルは主に過去のトレンドに基づいて活動量(財・サービス需要)のシナリオを構築
- それに対し、生活時間および時間予算(タイムバジェット)の観点から生活行動をみることで、技術革新や政策によるサービス需要の変化とそれがもたらすエネルギー需要を、リバウンドを含めて包括的かつ整合的に捉えられる可能性あり
- 生活時間およびタイムバジェットから財・サービス需要を特定・定量化することで、整合的な低エネルギー需要シナリオの検討も実施中



- ✓ 日本全体として、2050年に移動需要が激減するケース(低需要化: 個(自)が現況比▲47%)と急増するケース(高自由度: 個(自)が現況比+30%)がありうる

- ◆ 様々な不確実性をよく理解した上での総合的なリスクマネジメントは重要。各種の温暖化対策技術のコスト、ポテンシャル、こういった場面で重要な役割を果たし得る技術なのか、等を見極め、それぞれの技術の活用を考えることは重要。低炭素排出エネルギー供給・利用の温暖化対策技術開発は重要
- ◆ ただし、イノベーションは様々な技術等の新たな繋がりで生まれる。直接的な温暖化対策技術ではない技術の進展が新たな結合を生み、社会を変化させ、大きな温暖化対策になる可能性あり。AI, IoT, ビッグデータ等の進展が、効用を低下させずに、需要低減をもたらし、エネルギー需要の大きな減少に寄与する可能性がある（プロダクト、サービスの革新から、エネルギー、温暖化対策を考える。ビジネスベースの経済自律的なCO₂排出削減へ）。
- ◆ 本報告では、自動運転によって誘発されるカーシェア、ライドシェアが、他部門への波及も含めて、エネルギー需給、CO₂排出にどのような影響を及ぼし得るかについてモデル分析を実施。大幅な排出削減への多様な道筋の一つを定量的に提示
- ◆ AI等の進展によるエネルギー需要低減は幅広い分野に及ぶ可能性がある一方、国内外の統合評価モデル（IAM）分析では、具体的、定量的な分析はほとんど手付かずであった。モデル拡張を行いながら（リバウンド効果などの考慮も）、そのエネルギー需給全体に及ぼす影響を統合的に分析し、技術開発、政策への示唆を導いていく予定。IIASA他、海外の研究機関とも協力しながら、引き続き、より現実性のある大幅排出削減の道筋を探求していく。

付録

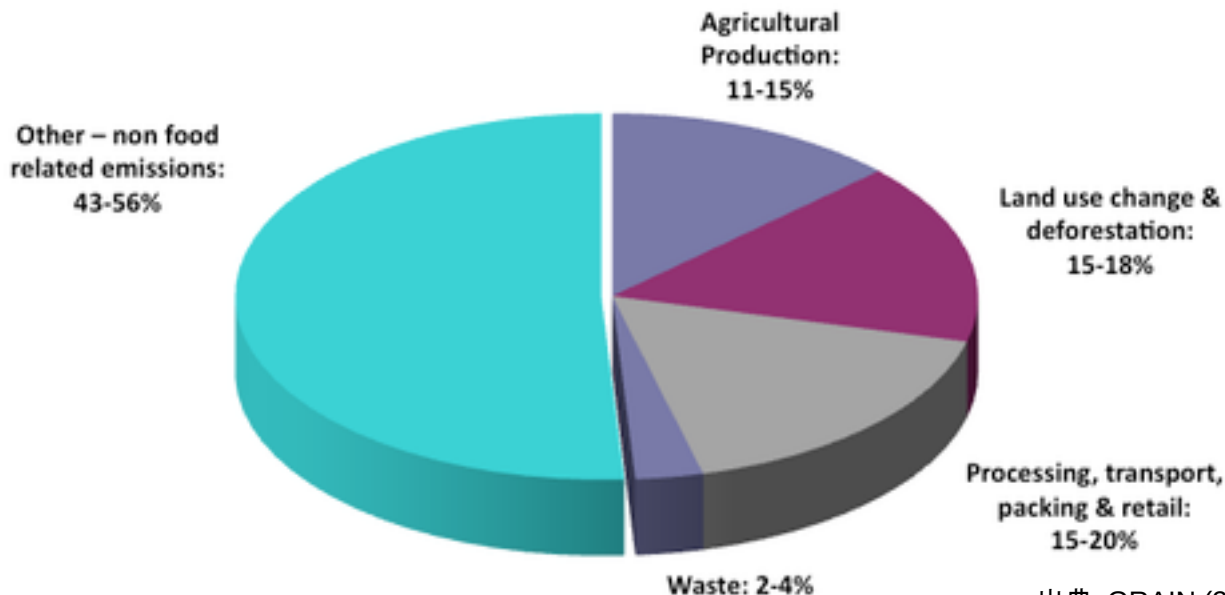
食料のライフサイクルにおけるエネルギー消費(米国)の推計例



米国での推計例では10.8 EJ/yr(1990年代)(エネルギー消費全体の12%程度)
食料のライフサイクルにおける様々な工程でエネルギーが消費される。

出典: <https://www.oregon.gov/deq/FilterDocs/PEF-FoodTransportation-FullReport.pdf>

GHG排出量に対する食料需給関連の寄与(世界)の推計例



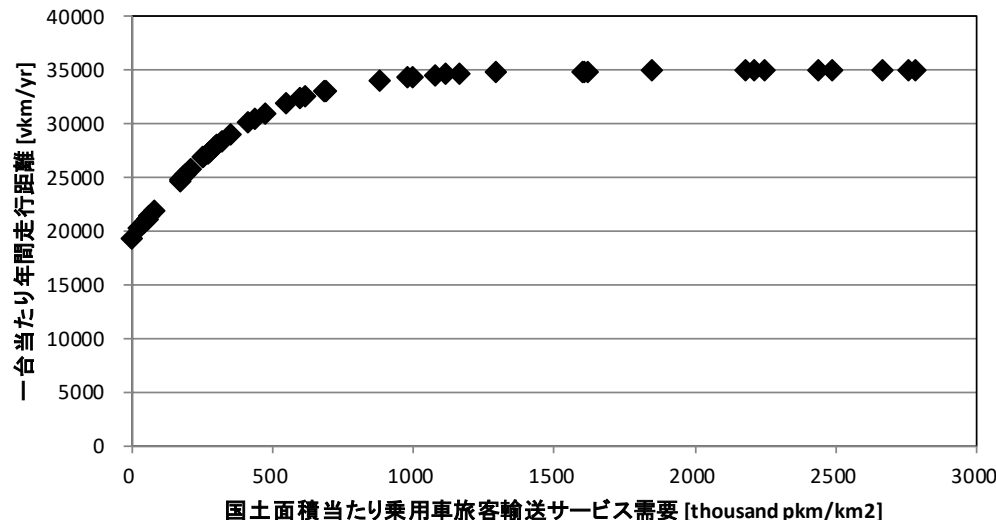
食料のライフサイクルでは相当大きなエネルギー、GHG排出がなされている。
食料ロス・廃棄を減らせられれば、生産量が減り、加工や輸送等におけるエネルギー消費、容器の低減とそれを製造するためのエネルギー消費、小売での保存、陳列の食料品減少によるエネルギー消費低下など、大きな波及効果が予想される。

出典: GRAIN (2011) Food and climate change: the forgotten link

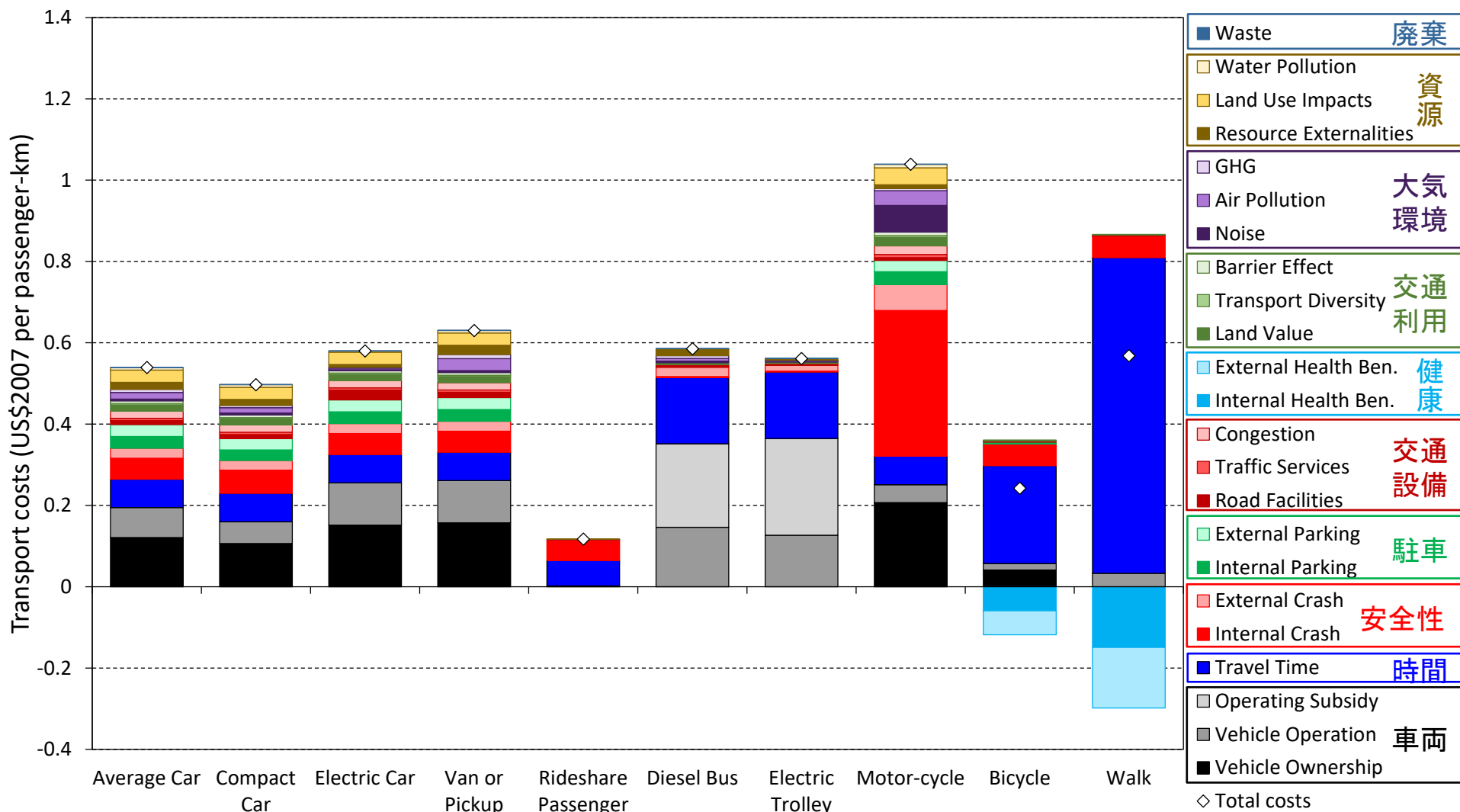
カーシェア、ライドシェアシナリオの想定

- ◆ カーシェア・ライドシェアを明示的には考慮しないシナリオ（標準シナリオ）と以下のように考慮した場合（自動運転シェアカー普及シナリオ）について、DNE21+モデルによる試評価を実施
- ◆ 自動運転シェアカーは2030年以降利用可能とし、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
 - 自動化の費用：自動化のために1台当たり10,000\$の費用と想定(2030年)。技術進歩による価格低減も見込んだ(2050年：5,000\$、2100年：2,800\$)。
 - 自動車の稼働率：国土面積当たりの自動車による旅客輸送サービス需要が多いほど、自動車の稼働率が高いと想定（国土面積当たり乗用車旅客輸送サービス需要と一台当たり年間走行距離の関係は下図）
 - 自動車の寿命：従来の自家用車を13～20年と想定しているのに対し、シェアカーは6～20年と想定
 - 一台当たり乗車人数：従来の自家用車は将来に向けて乗車人数の低減を見込んでいるのに対し(2050年：1.1～1.5人、2100年：1.1～1.3人)、ライドシェアリングを見込み、シェアカーは2050年1.75人、2100年2人と想定

国土面積当たり乗用車旅客輸送サービス需要と一台当たり年間走行距離の関係



移送手段による移動距離当たりの平均コスト（項目別）



（データ出典）Litman, Transportation Cost and Benefit Analysis (2009, 2015, 2017, 2018)

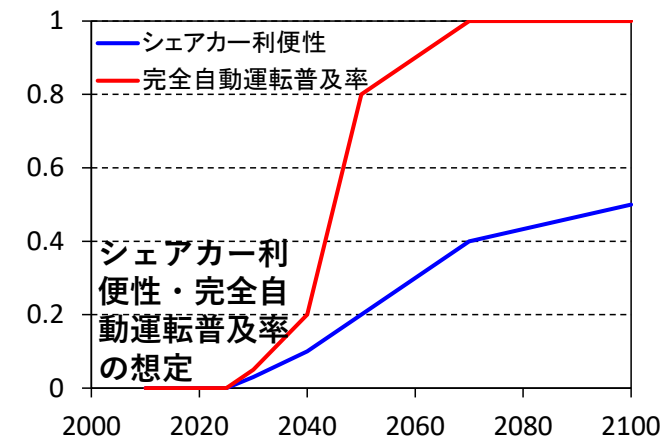
- ・車両コスト以外の要素のコストも大きい。
- ・自動運転の有無、シェアリングの有無の費用を考慮するため、ここでは時間と安全性のコストを先行してモデルで反映した。

自動運転車・シェアリング関連の機会費用の想定

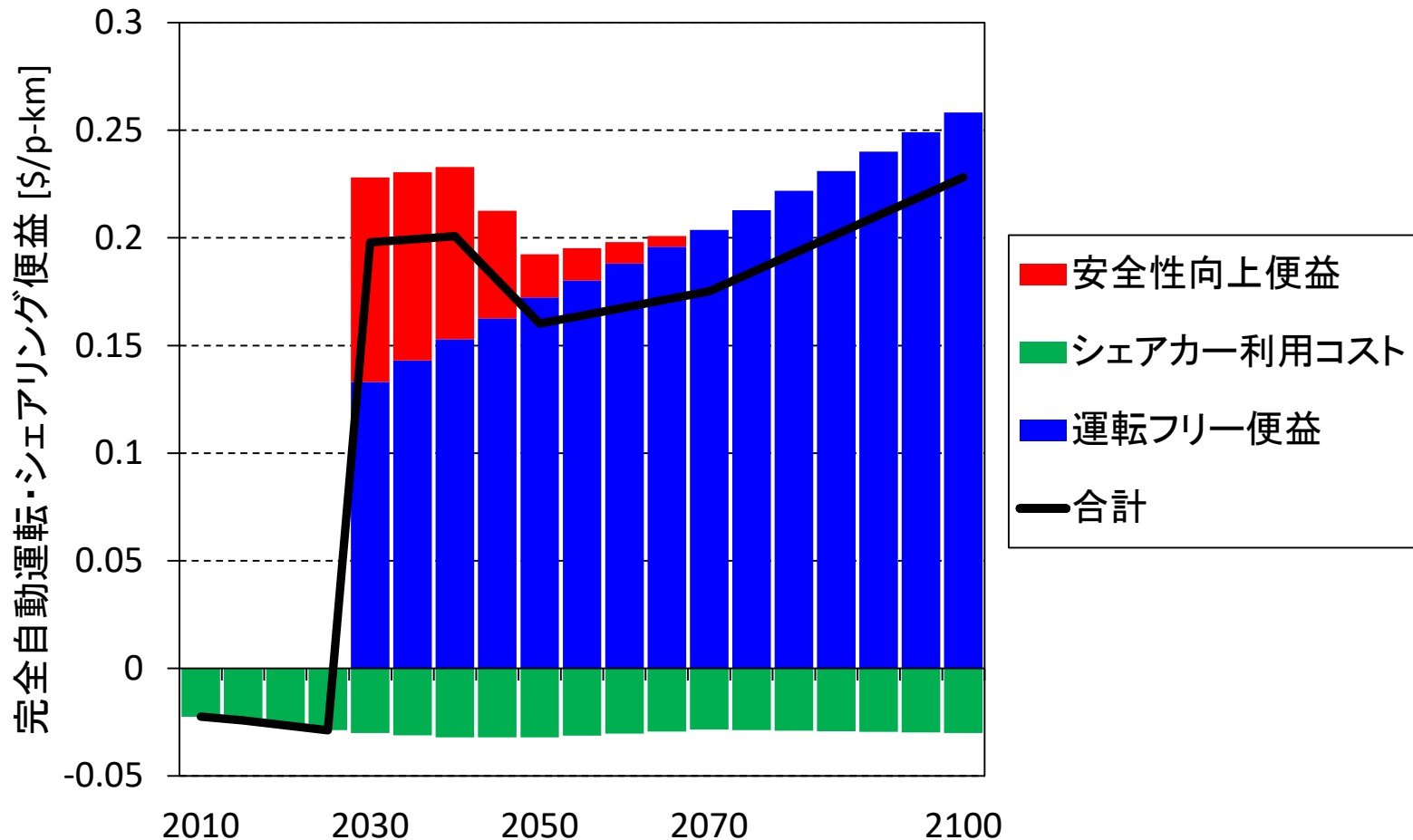
	時間コスト	安全性コスト
完全自動運転のみ有	賃金 (\$/hour) = Per capita GDP (\$/year) ÷ 2000 (hour/year; 一年あたりの労働時間) 移動時間 (hour/year) = 移動需要 (p-km/year) ÷ 30 (v-km/hour; 車速) 運転フリー便益 (\$/year) = 賃金 (\$/hour) × 0.15 (便益率) × 移動時間	安全性向上便益 (\$/year) = 0.1 (\$/v-km) × (1 - 完全自動運転普及率) × 移動需要 (v-km/year)
シェアリングのみ有	シェアカー利用コスト (\$/year) = 賃金 × 0.35 (便益率) × 移動時間 × 0.1 (移動時間増加率) × (1 - シェアカー利便性)	
完全自動運転かつシェアリング	運転フリー便益 (\$/year) シェアカー利用コスト (\$/year)	安全性向上便益 (\$/year)

完全自動運転シェアカーによる移動に対し、「完全自動運転かつシェアリング」の機会費用を、従来の自家用車との相対費用として想定した。

- ・ **時間コスト**として、運転フリー便益(完全自動運転により付与)とシェアカー利用コスト(シェアリングにより発生)を想定
- ・ **安全性コスト**として、安全性向上便益(完全自動運転により付与)を想定



自動運転車・シェアリング関連の機会費用推計例： 米国の場合



- ・**運転フリー便益**は、賃金の上昇と共に徐々に増加する。
- ・**シェアカー利用コスト**は、賃金の上昇に伴うコスト増をシェアカー利便性の向上によって相殺し、ほぼ横ばいとなる。
- ・**安全性向上便益**は、完全自動運転車の導入の当初は大きいですが、完全自動運転車が普及してしまうと、相対的な便益はなくなる。

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

- ◆ 2050年における乗用車の保有台数は60%に、新車販売台数は70%に (SSP1→SSP1+カーシェアリング・ライドシェアリング)。

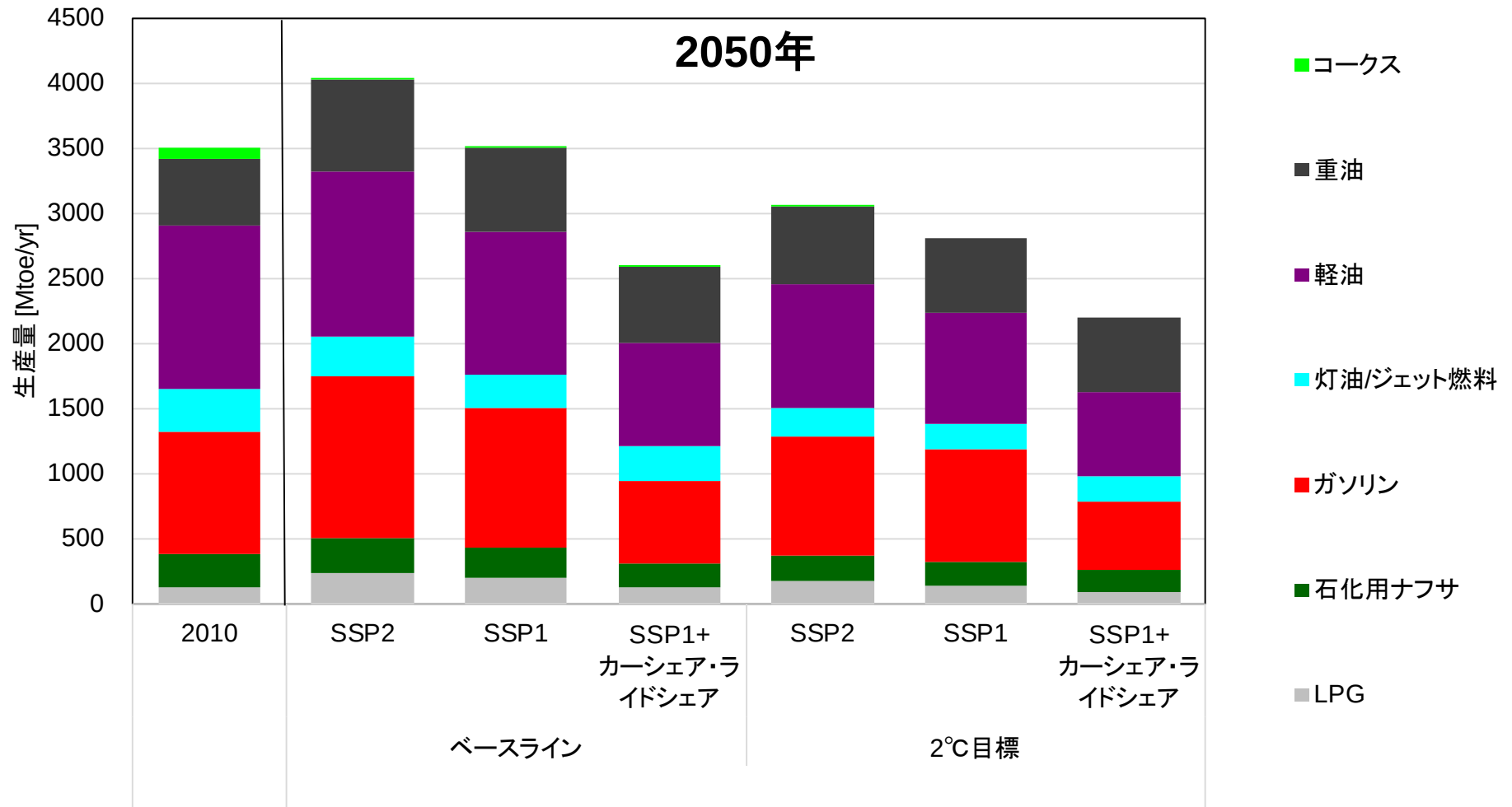
【粗鋼生産量への影響】

- ◆ 乗用車1台当たり1000kg、小型トラック2500kg、バス5000kg、大型トラック5000kgと想定(平戸他、2009)し、新車ベースの鉄重量に換算すると、78%に (SSP1→SSP1+カーシェアリング)
- ◆ 全体の粗鋼生産は98%に。
- ◆ その際、自動車輸入国は域内の車体需要減ほどには粗鋼生産量が低下しないものの、自動車輸出国は域外の車体需要減に応じて粗鋼生産量が低下するような想定をおいて計算。

【エチレン・プロピレン生産量への影響】

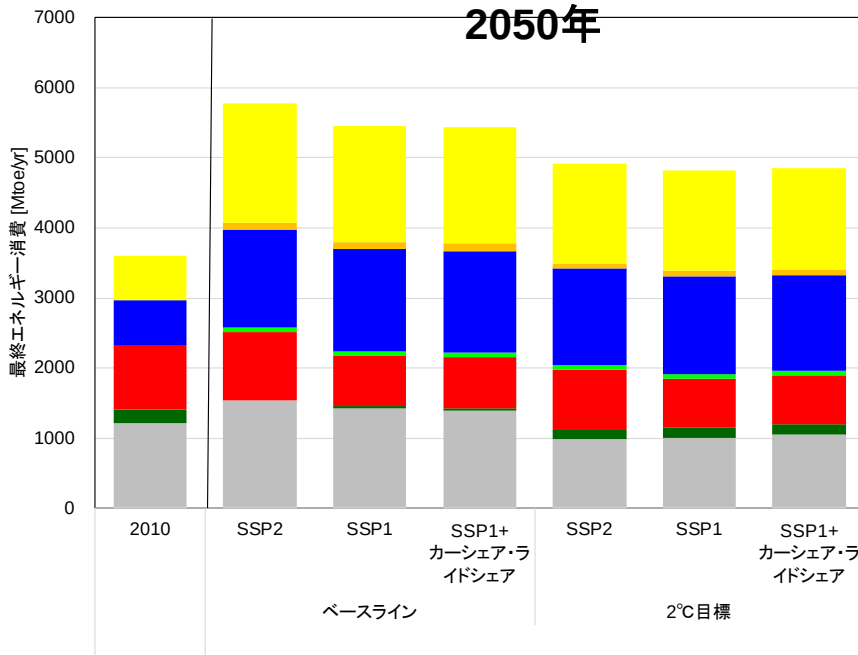
- ◆ エチレン・プロピレンに占めるプラスチックのシェアは85%、そのうち自動車のシェアは8%と想定。
- ◆ 結果、エチレン・プロピレンの生産量は99%に (これに伴い、ナフサ、エタン共に減少)。

世界における製品別の石油精製量



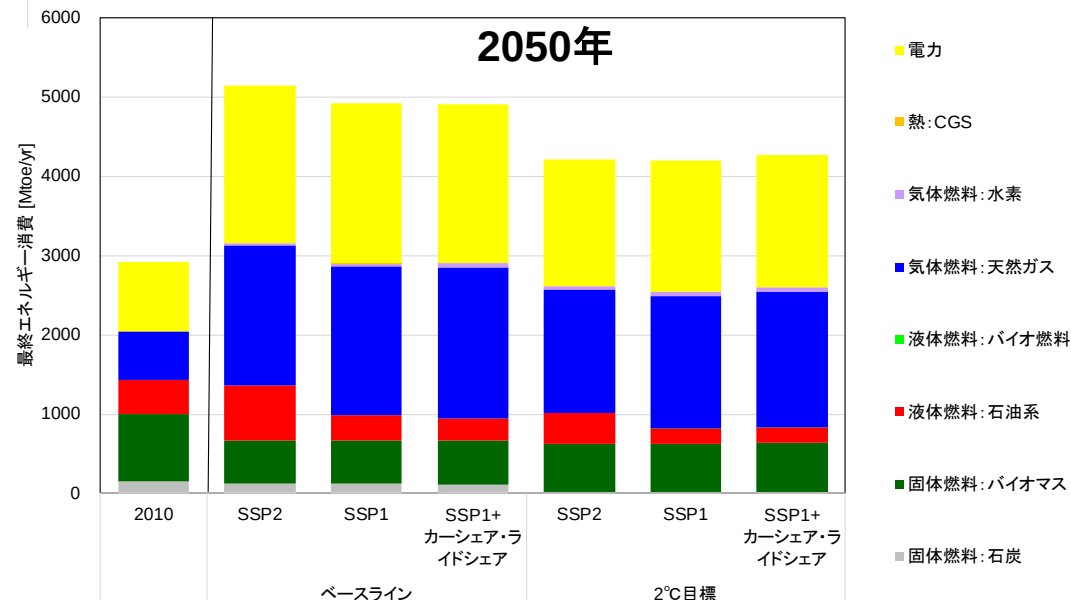
SSP1やSSP1+カーシェア・ライドシェアシナリオでは、自動車用のガソリン、軽油需要が大きく低下

世界における産業部門、民生部門



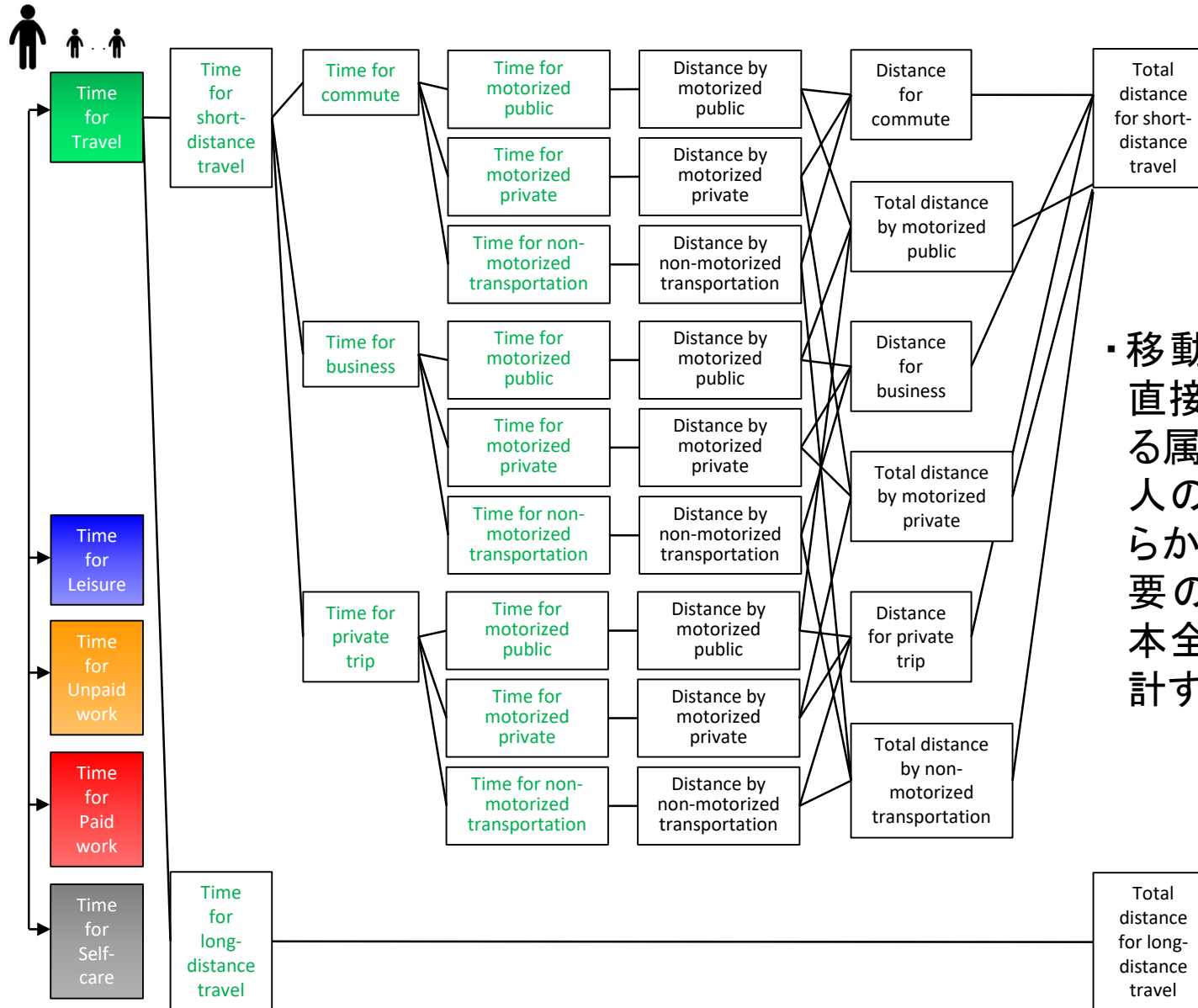
産業部門

民生(業務・家庭)部門



- 2050年に向けては、産業、民生部門において、いずれのシナリオにおいても、ガス、電力需要が拡大。
- エチレン・プロピレン生産量で示したように排出削減時にはガスへの転換も生じているが、トップダウン部門も含めた全体としては排出削減時の方が減少している。

日本の移動需要: 分析フレームワーク



- ・移動時間と移動距離を直接的に対応させ、異なる属性をもった代表的個人の移動需要構造を明らかにし、彼らの移動需要の積み上げとして日本全体の移動需要を推計する

日本の移動需要: 代表的個人と推計対象

・160の代表的個人を設定し、統計データからボトムアップ的に移動構造を推計する



性別	年齢	就業	Representative
男	15～29	有	M1
		無	M2
	30～49	有	M3
		無	M4
	50～64	有	M5
		無	M6
	65+	有	M7
		無	M8
女	15～29	有	F1
		無	F2
	30～49	有	F3
		無	F4
	50～64	有	F5
		無	F6
	65+	有	F7
		無	F8

職業	Representative
管理	A
専門、事務、 販売、サービス	B
農林漁業	C
生産工程	D

×

地域	Representative
3大都市圏	M
大都市圏	U
都市	C
町村	V

総移動需要 = 生活圏内移動 + 生活圏外移動

生活圏内移動距離 $_{R, P, M}$ (km/yr)

= トリップ回数 $_{R, P, M}$ (トリップ/yr) × トリップ距離原単位 $_{R, P, M}$ (km/トリップ)

= トリップ回数 $_{R, P, M}$ (トリップ/yr) × トリップ所要時間 $_{R, P, M}$ (h/トリップ) × 移動速度 $_{R, M}$ (km/h)

= 移動時間 $_{R, P, M}$ (h/yr) × 移動速度 $_{R, M}$ (km/h)

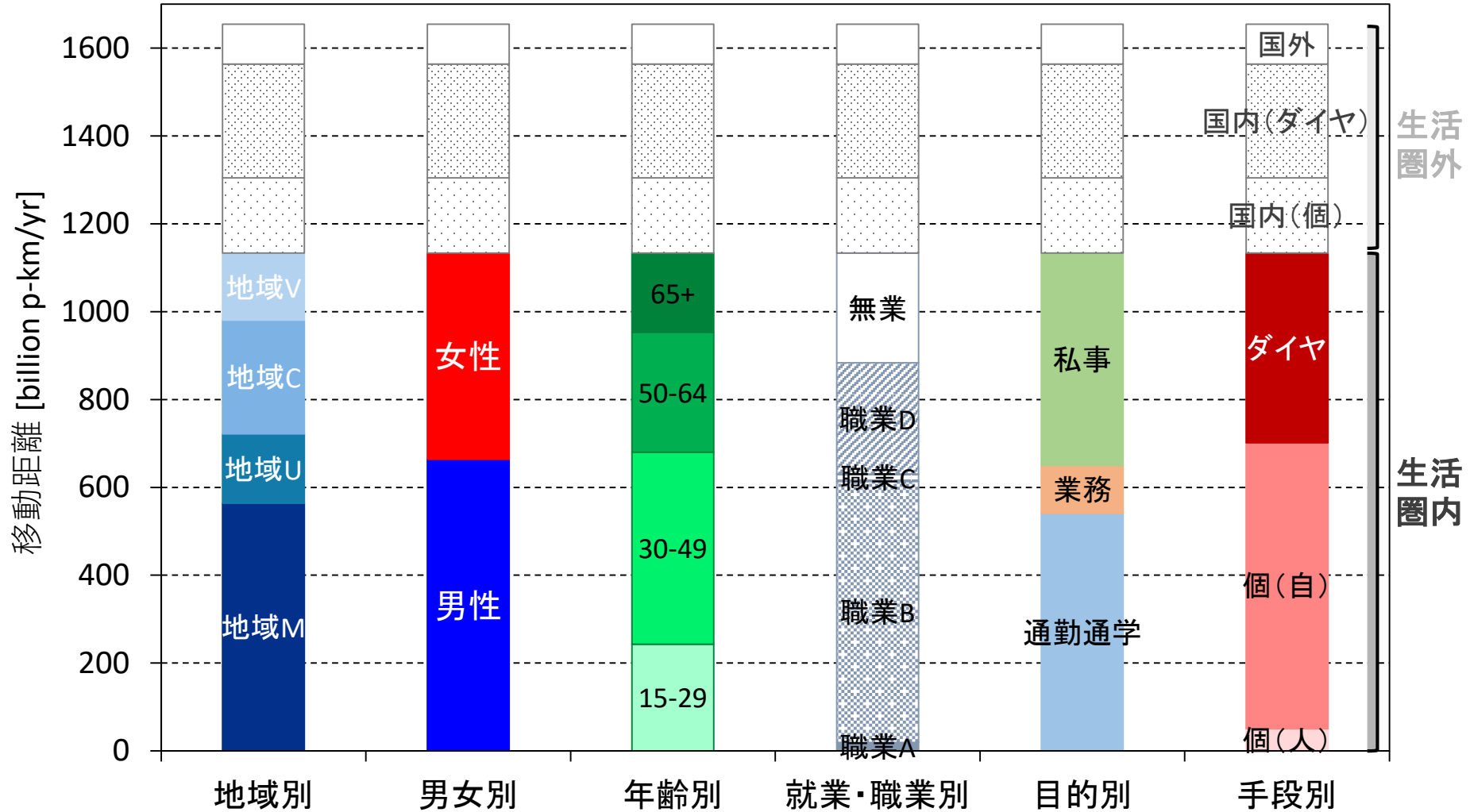
R: 個人属性(地域, 男女, 年齢, 就業, 職業)

P: 移動目的(通勤通学, 業務, 私事)

M: 移動手段(個(人), 個(自), ダイヤ)

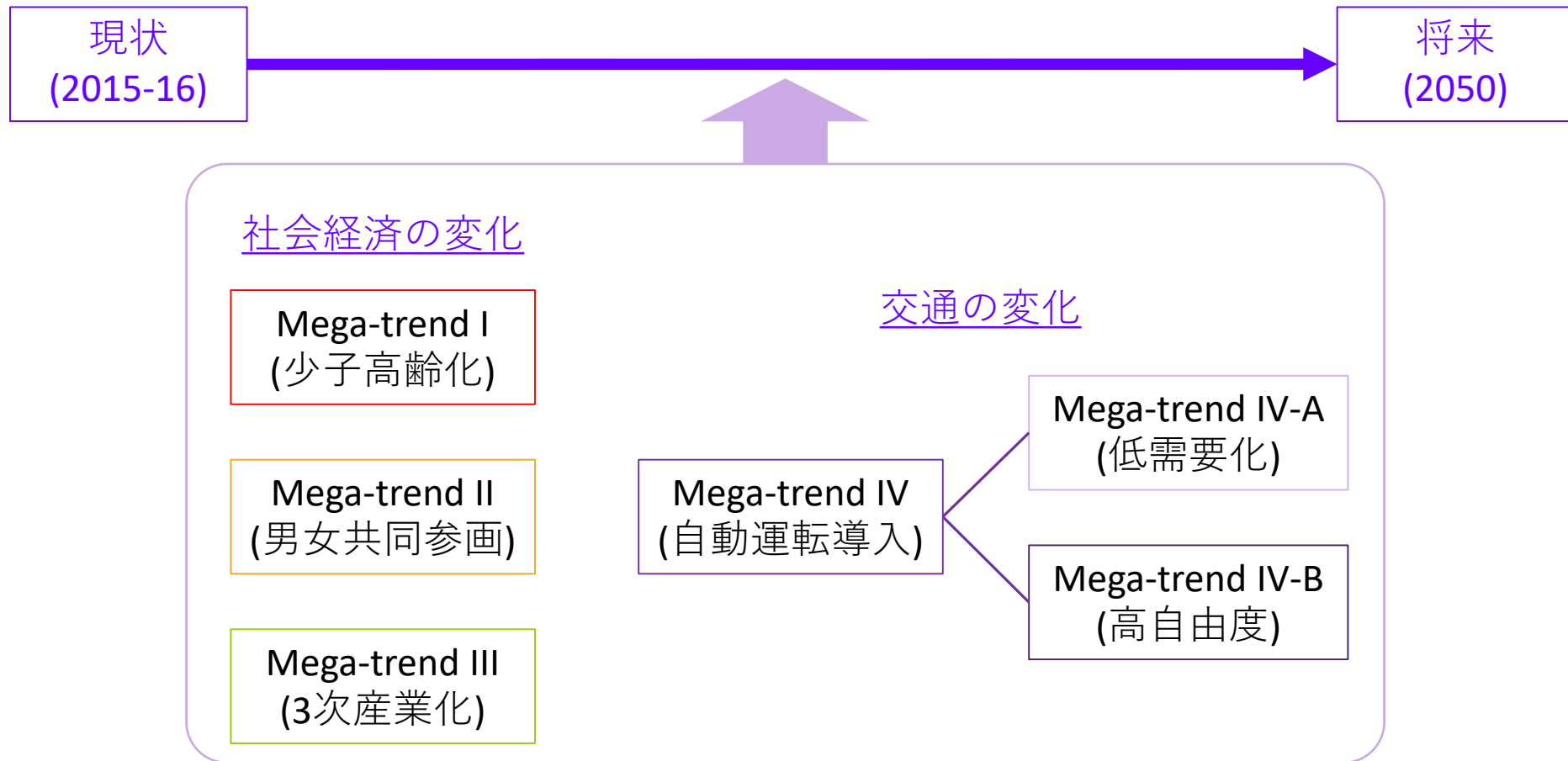
日本の移動需要: 現況の再構成

* 個(人): 徒歩、自転車など、個(自): 自家用車、自動二輪車など、ダイヤ: 鉄道、乗合バスなど



- ・交通手段別の移動サービス需要が決まれば、エネルギーモデルによって必要なエネルギー消費が求まる

日本の移動需要: 将来シナリオの計算方法



- ・社会経済、技術革新におけるMega-trendを設定し、2050年までの変化を検討する

日本の移動需要: Mega-trendの想定(定性的ストーリー)

Mega-trend		定性的変化	
I. 少子高齢化	a	地域・男女・年齢別人口の変化	
	b	65+歳就業率が増加	
II. 男女共同参画の進展	a	女性の有業者割合、管理職が増加	
	b	若年層ほど男女差が収束	
III. 経済成長 (3次産業シフト)		ブルーカラーからホワイトカラー・管理職へシフト	
IV. 交通 関連技術革新	共通	a	完全自動運転乗用車の普及により、個（自）の選好が上昇
		b	自動運転車による交通流の効率化から、個（自）の移動速度が上昇
	A. 低需要化	a	シェアカー志向により、個（自）の実質移動速度が低下
		b	オンラインショッピング、在宅余暇の効用向上により、私事移動需要が減少
		c	ホワイトカラーにおけるテレワークの浸透により、通勤移動需要が減少
		d	e-Educationの普及により、通学移動需要が減少
		e	健康促進の喚起から、都市部の個（人）移動割合が増加
		f	コンパクトな都市設計により、都市部のダイヤ移動割合が増加し、1トリップあたりの移動距離が低下
	B. 高自由度	a	オンデマンド移動への強い志向により自動車を完全保有し、ダイヤ移動から自動運転乗用車移動にシフト
		b	交通流の効率化により、交通手段の移動速度が増加。都市部の個（自）は道路渋滞により移動速度が低下
		c	自動運転乗用車による移動中の快適性向上により、移動が“ながら”活動化（時間制約を非感知）し、都市圏が拡大
		d	道路整備により、末端交通が個（人）から個（自）にシフト

・各ストーリーラインの低位と高位の組み合わせを計算し、次の頁では中央値となるケースを抽出