

革新的環境技術シンポジウム

2018年12月19日

技術革新による低エネルギー需要の 可能性とその温暖化対策への影響

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)

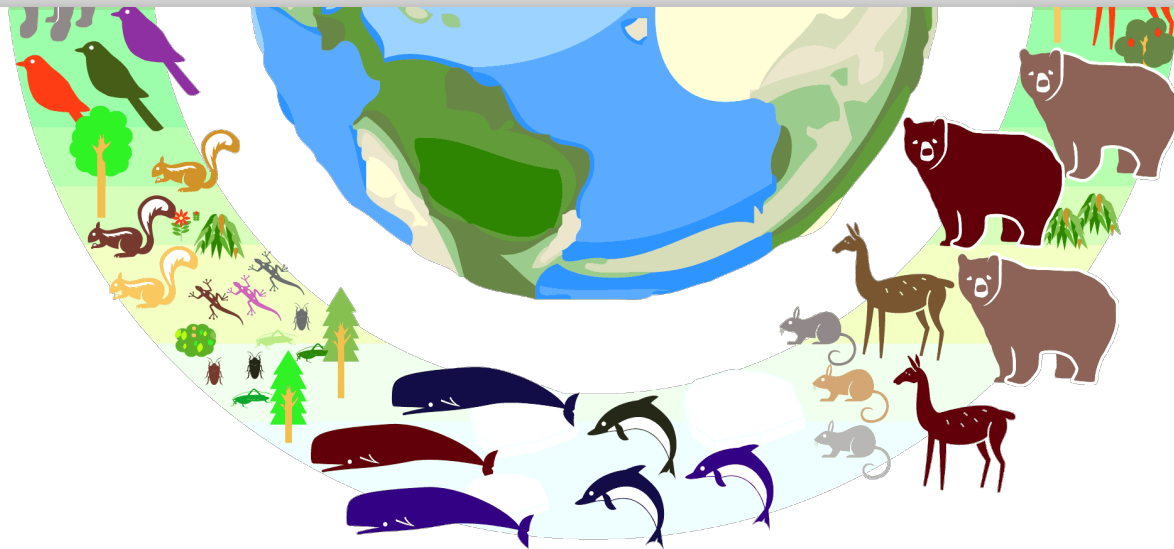
システム研究グループ グループリーダー

秋元 圭吾





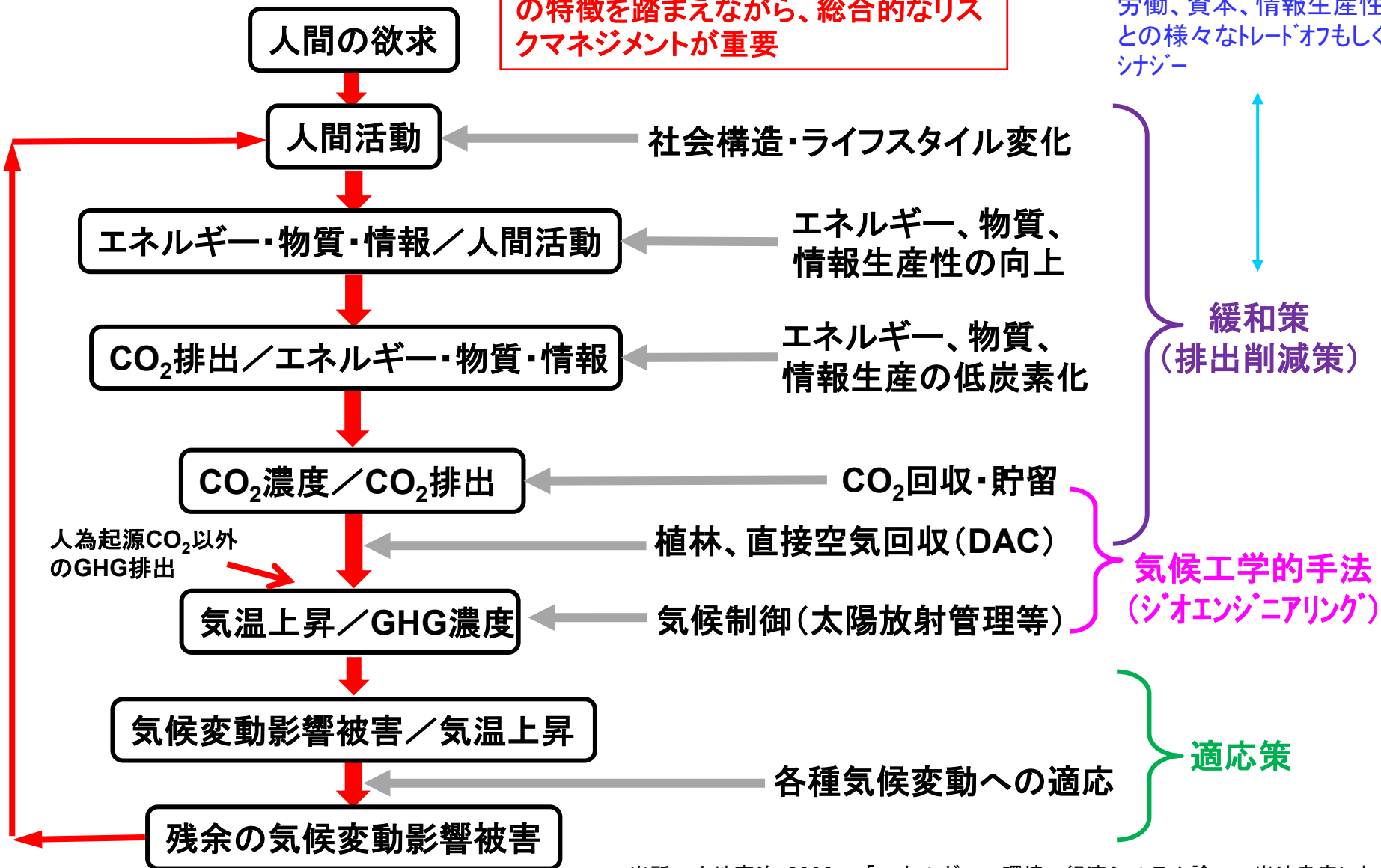
1. はじめに



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

労働、資本、情報生産性等との様々なトレードオフもしくはシナジー



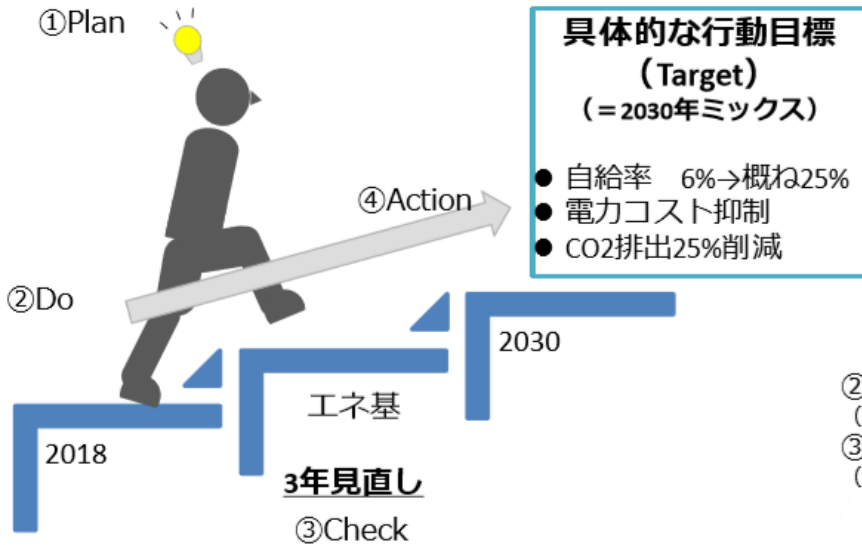
第5次エネルギー基本計画における2030、2050年への対応方針

2030年に向けて

- 相応の蓋然性をもって
予見可能な未来
(予見性⇔現実的)
- インフラ・システム所与
 - ✓ 既存の人材
 - ✓ 既存の技術
 - ✓ 既存のインフラ



実現重視の直線的取組
(PDCAサイクル)



2050年に向けて

- 不確実であり、それゆえ
可能性もある未来
(不確実性⇔野心的)
(VUCA : Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity)
- インフラ・システム可変
 - ✓ 人材育成
 - ✓ 技術革新
 - ✓ インフラ更新



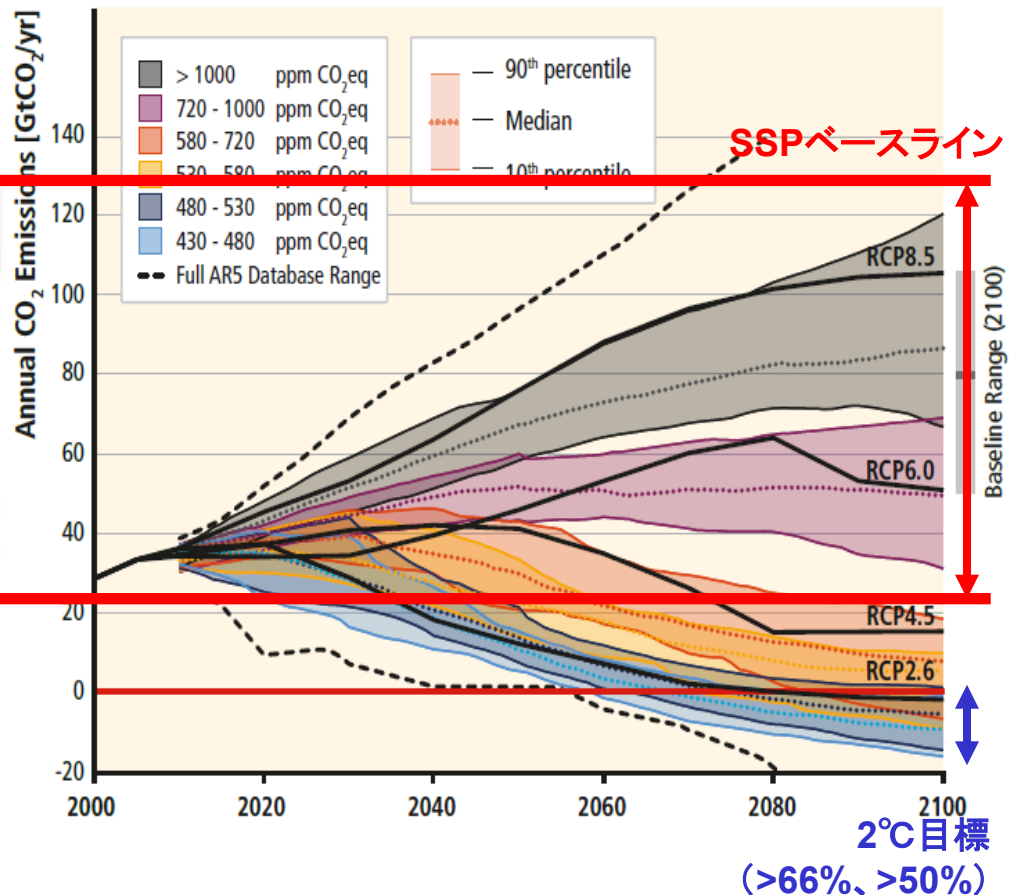
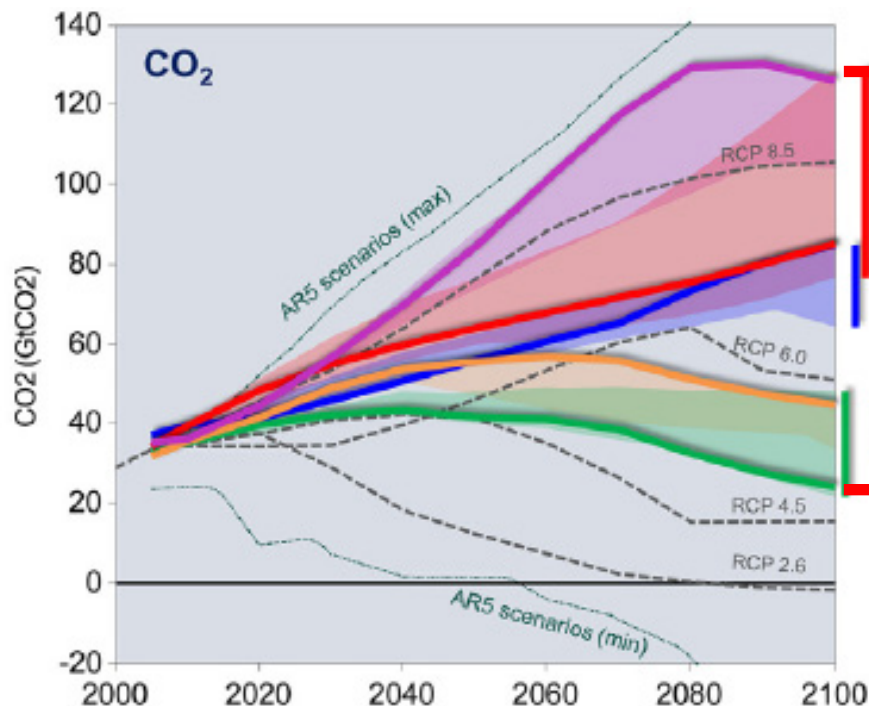
多様な選択肢による
複線シナリオ
(OODAサイクル)



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°C目標の関係性

SSP: 共有社会経済パス
(IPCC等で利用予定)

Total CO₂ Emissions in all AR5 Scenarios

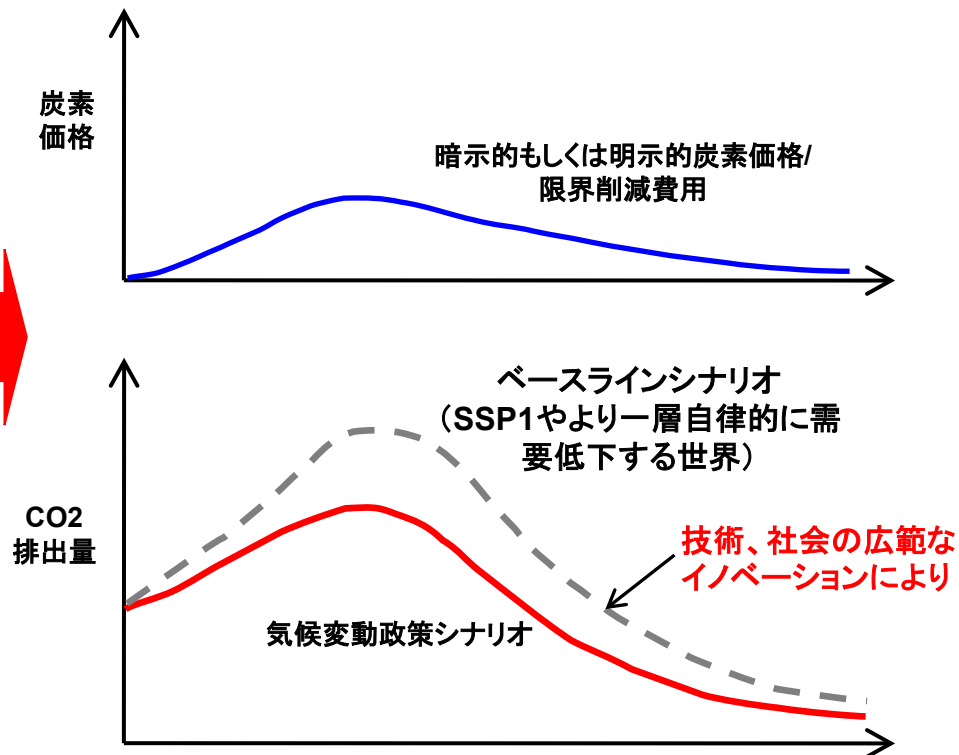
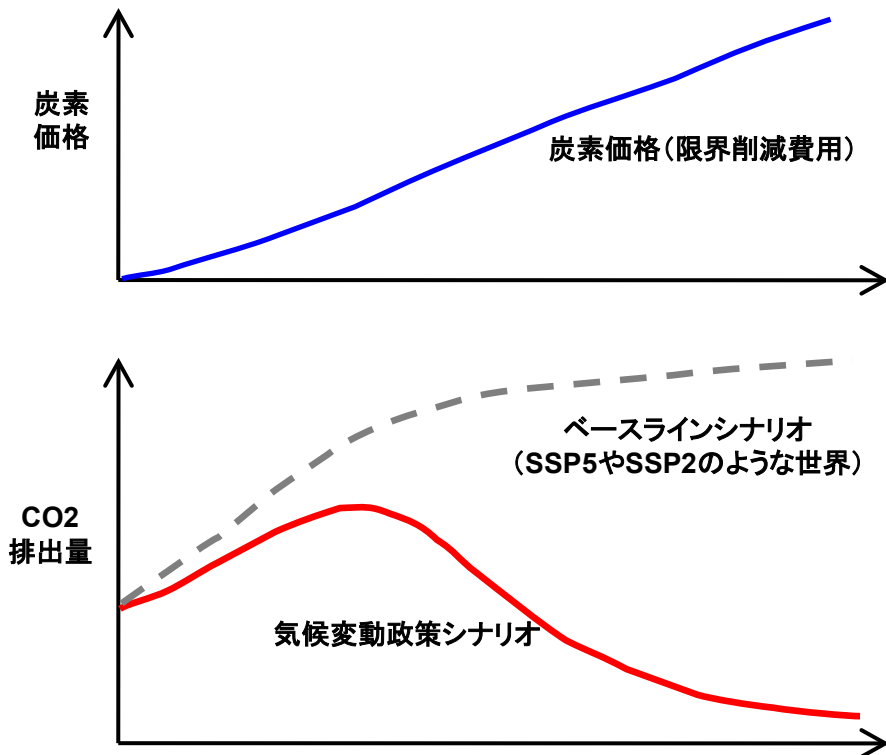


- ベースライン(社会経済の動向)の方が0.5°C前後(例えば1.5~2.5°C程度)の気温目標の差異よりも、ずっと大きな不確実性あり
- ベースライン(炭素価格ゼロ以下)をいかに低い排出量に導けるか(それに寄与する技術)は大変重要。

モデルによって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、実質価格で100\$/tCO₂を超えるような高い明示的な炭素価格をつけるようなことは非現実的。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。

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

中位

★ **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

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

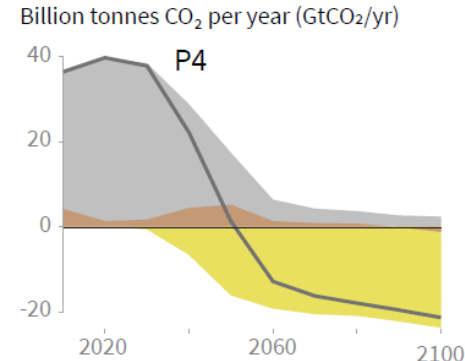
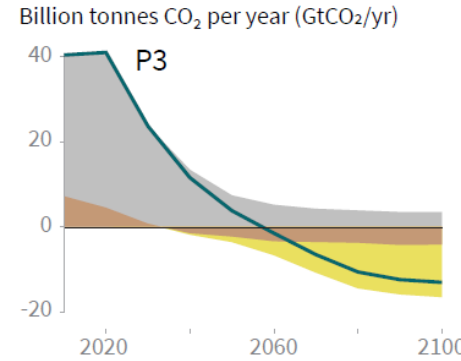
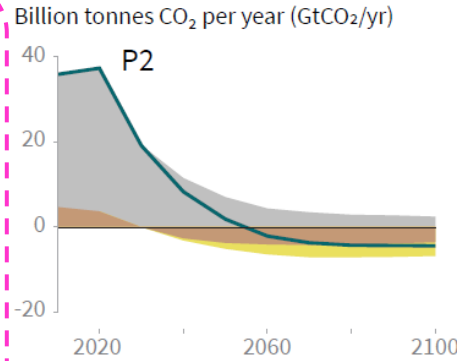
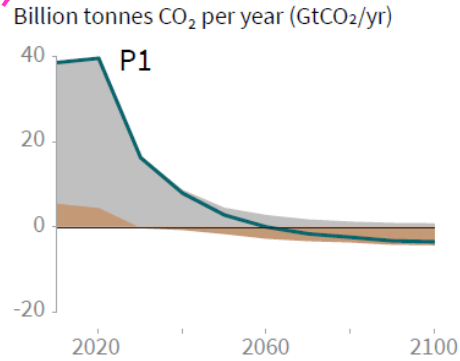
Socio-economic challenges
for adaptation

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.

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.

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.

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.

SSP1よりも更に小さいエネルギー需要シナリオ

SSP1

**SSP2
(中位シナリオ)**

SSP5

小 ← 最終エネルギー需要 → 大

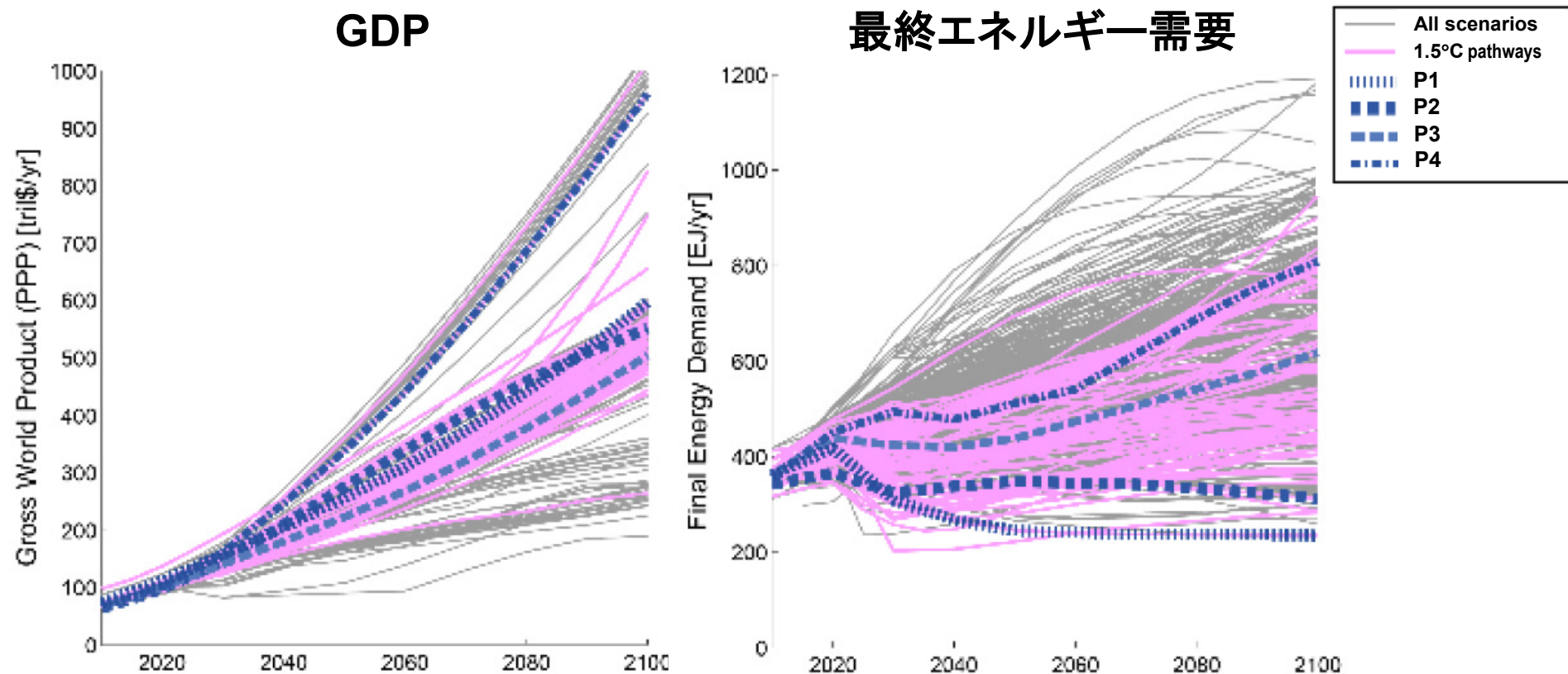
炭素価格小(排出削減の国際協調が緩やかでも民間主導で対策が進展)

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

- ✓ 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。
- ✓ 本発表では、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フォーカス

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

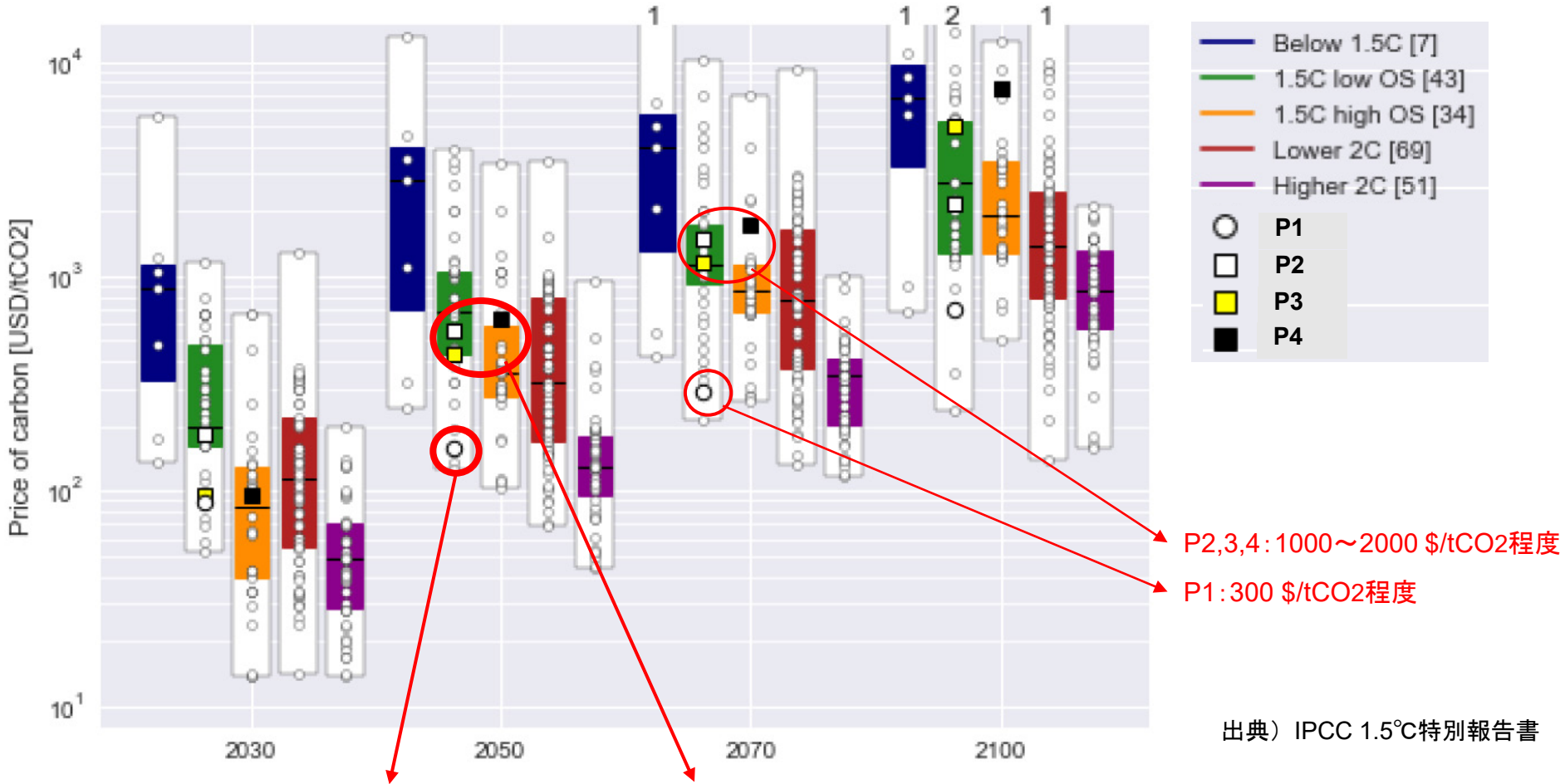
IPCC SR1.5で収集されたGDPと最終エネルギーシナリオ —類型化されたシナリオP1～P4の位置づけ—



出典) IPCC 1.5°C特別報告書

- P1シナリオは、低エネルギー需要であるが、GDP成長はP2, P3並みにはなり得るシナリオとなっている。

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): 150 \$/tCO₂程度 P2, P3, P4: 400 \$/tCO₂以上

✓ 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)

2. 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



Society 5.0 (第5期科学技術基本計画)

新たな社会
"Society 5.0"

5.0

4.0

(内閣府作成)

1.0

Society 1.0 狩猟

2.0

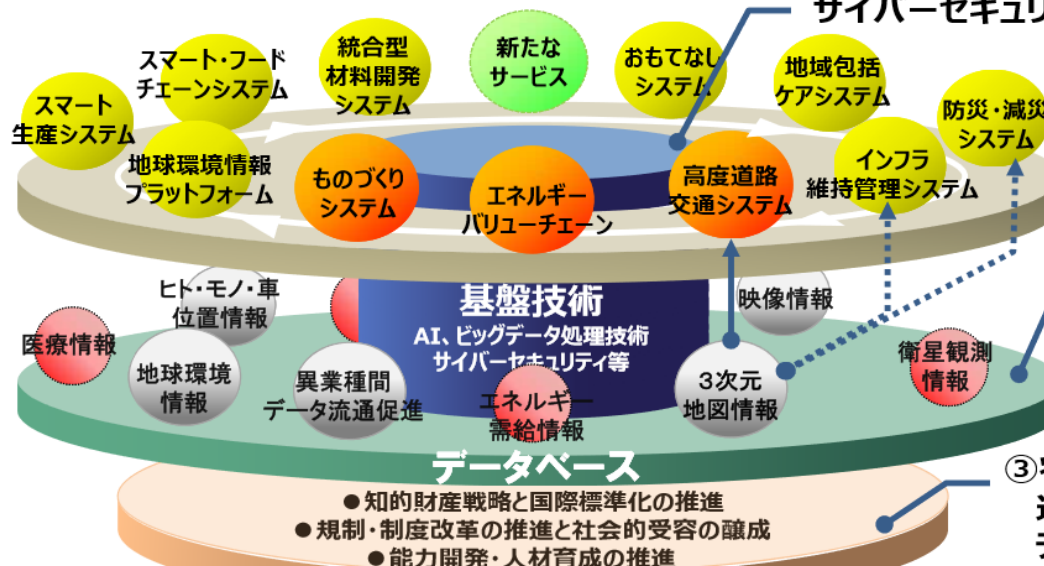
Society 2.0 農耕

Society 3.0 工業

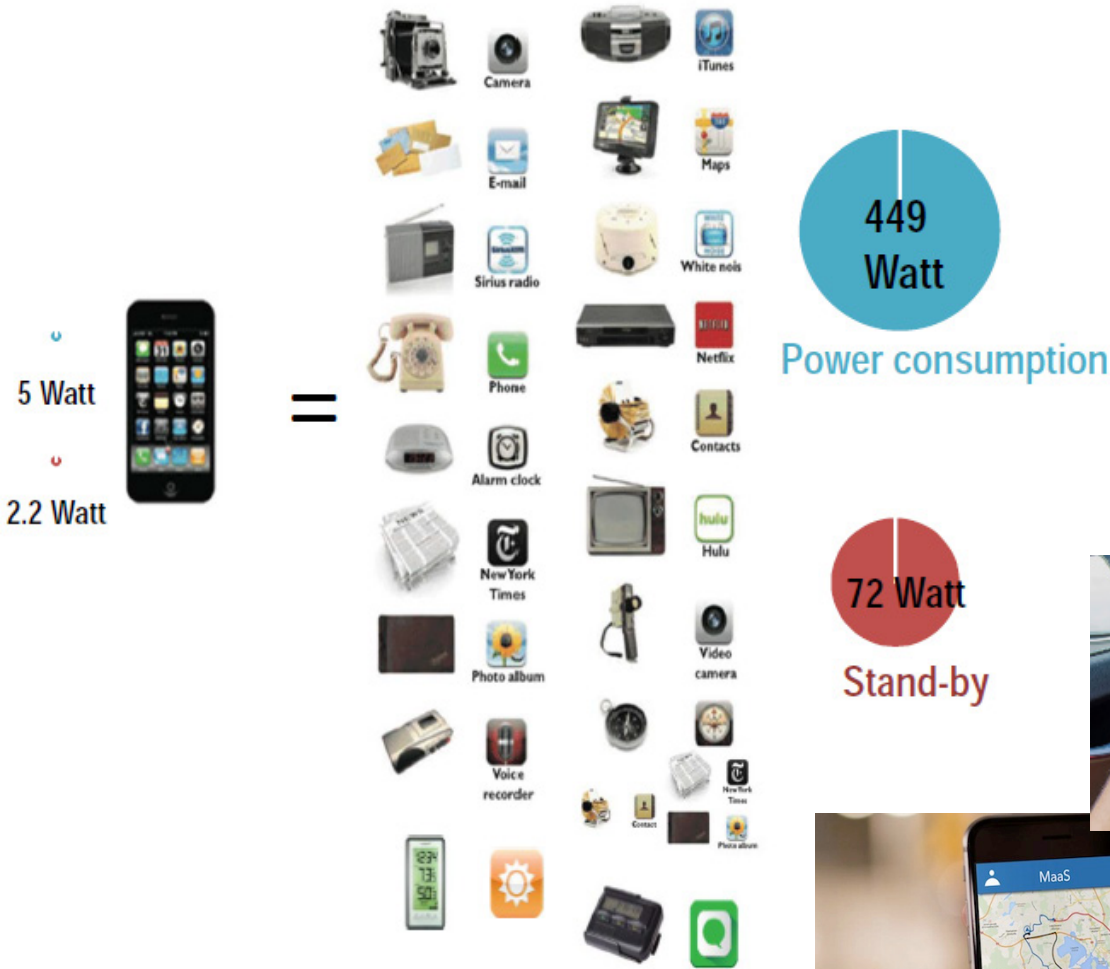
3.0

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

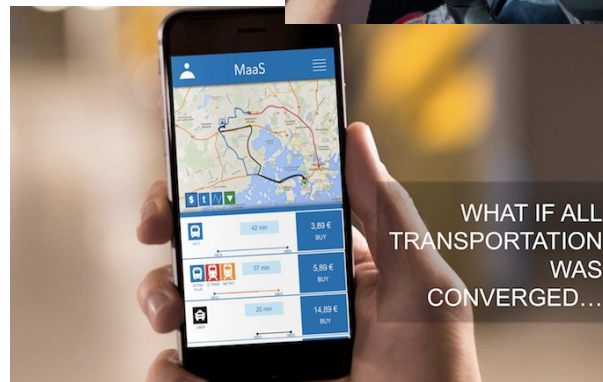
●「Society 5.0」プラットフォーム構築のイメージ



エンドユース技術の革新と社会変化



- 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。



自動運転+カーシェアリング+IoTによるサービス提供(MaaS等)などの連携による社会変化(AI, IoT, ビッグデータ等の進展による)

出典: IIASA

出典: フィンランド

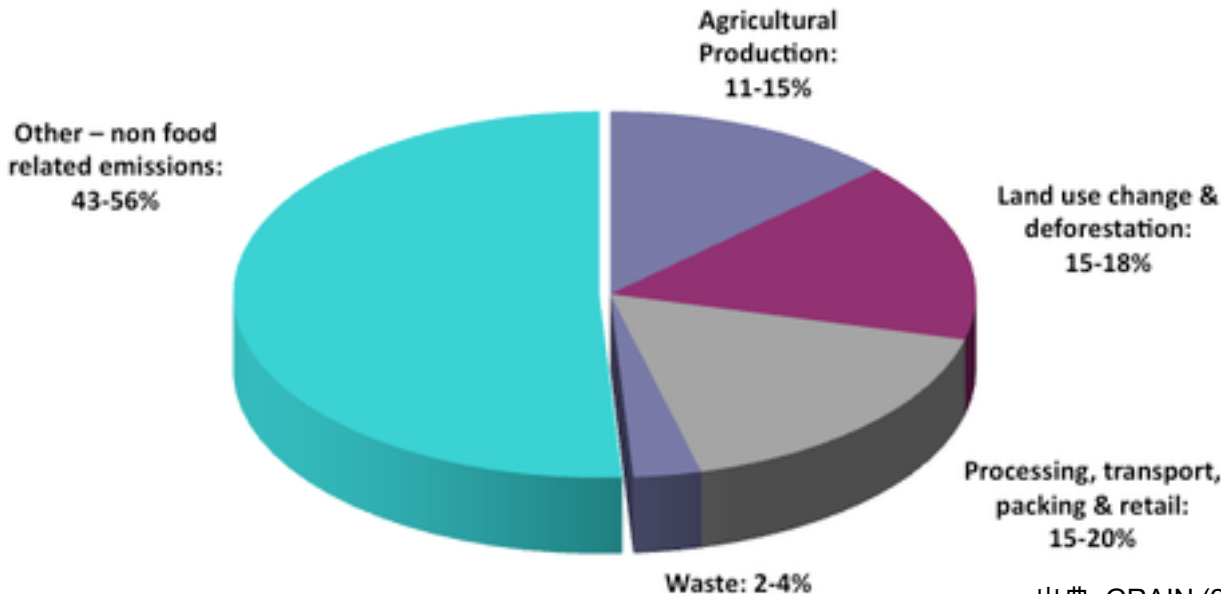
食料のライフサイクルにおけるエネルギー消費(米国)の推計例



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>

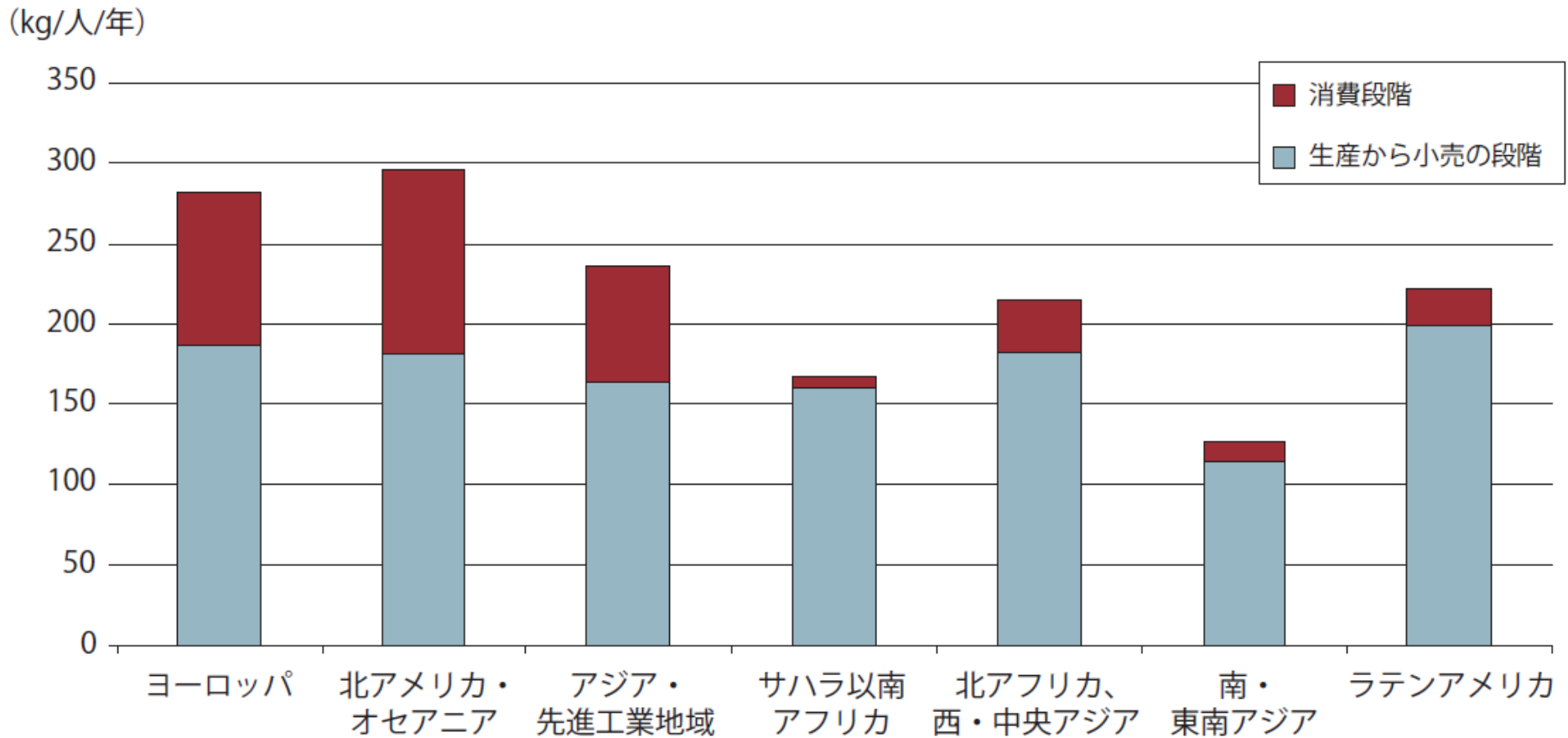
GHG排出量に対する食料需給関連の寄与(世界)の推計例



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。

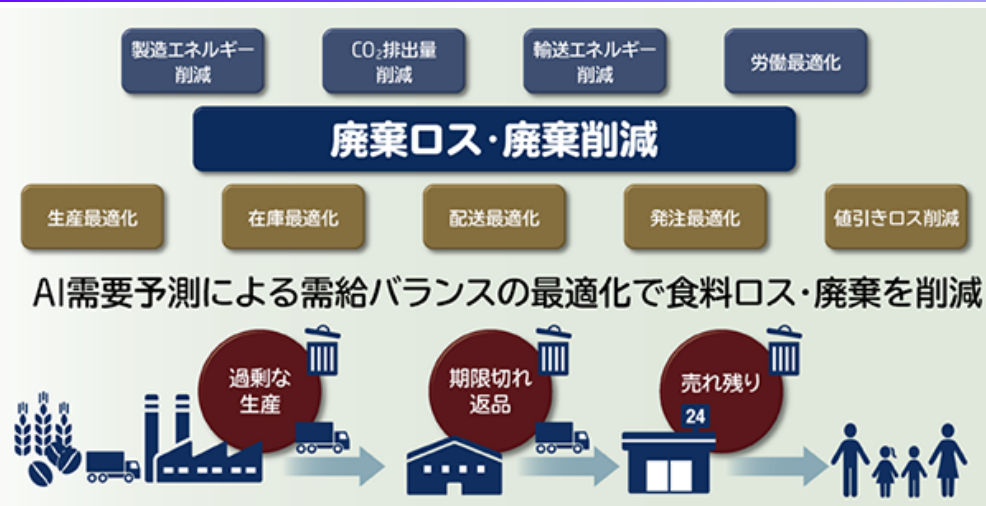
出典: GRAIN (2011) Food and climate change: the forgotten link

1人当たり食料のロス・廃棄量



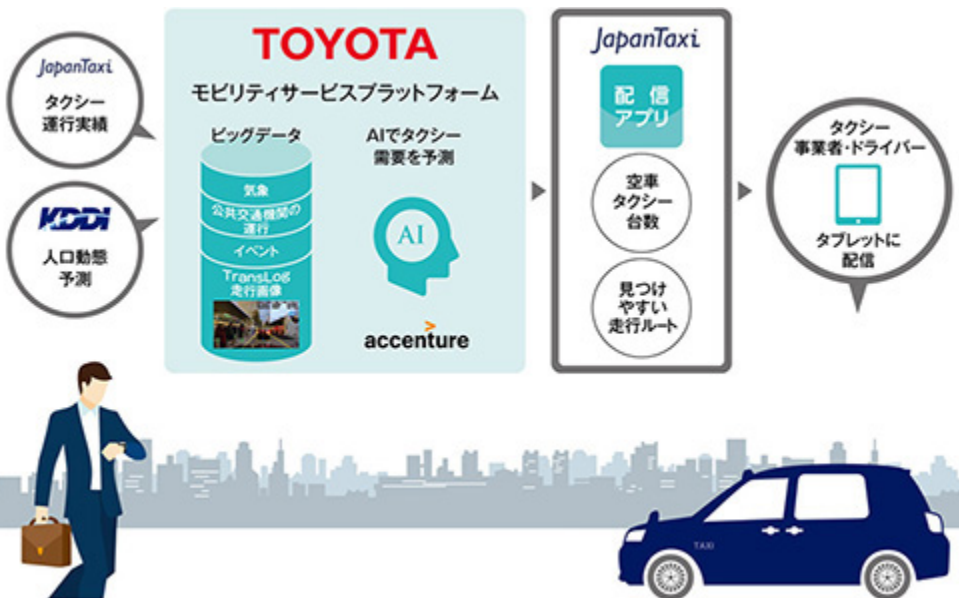
- ◆ 世界全体で年間約13億トン(人の消費用に生産された食料(可食部)の約1/3)
- ◆ ヨーロッパ、北アメリカ: 280-300 kg/人/年
- ◆ サハラ以南アフリカ、南・東南アジア: 120-170 kg/人/年

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ず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

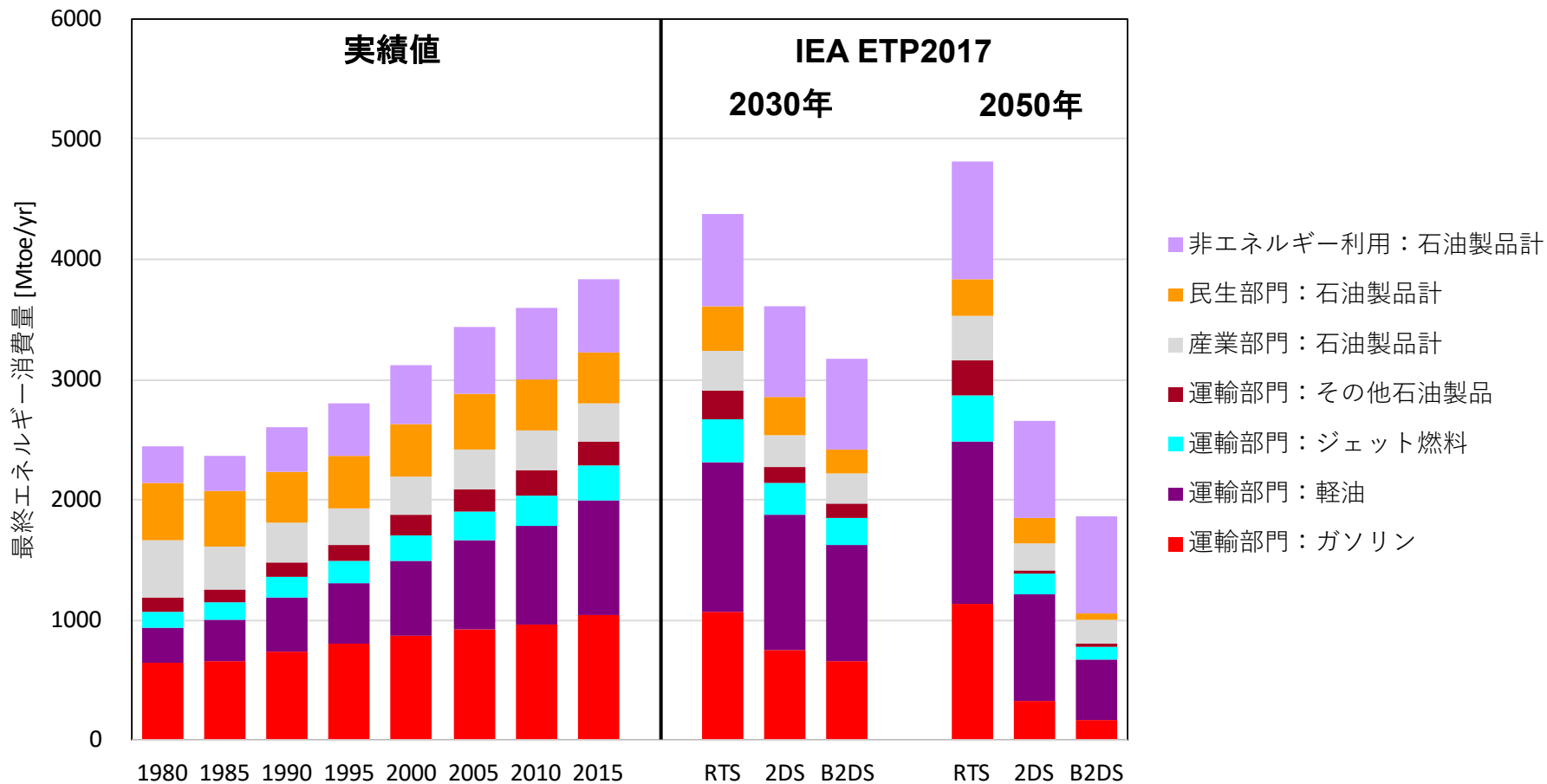
(出典) <http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/1803/12/news043.html>



3. 需要の見通し



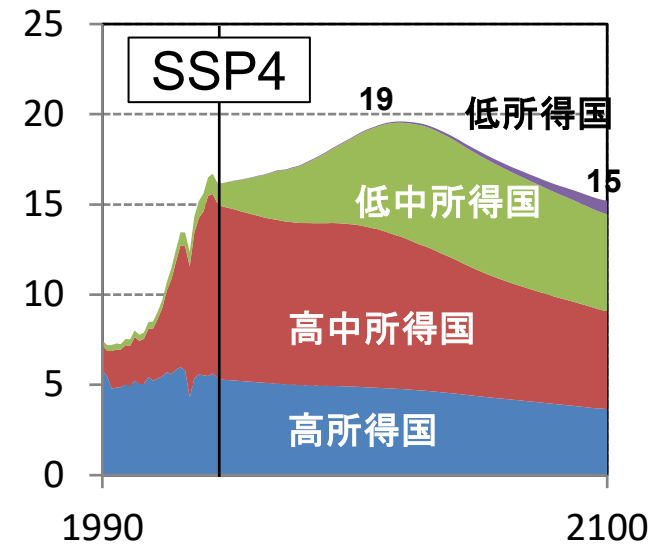
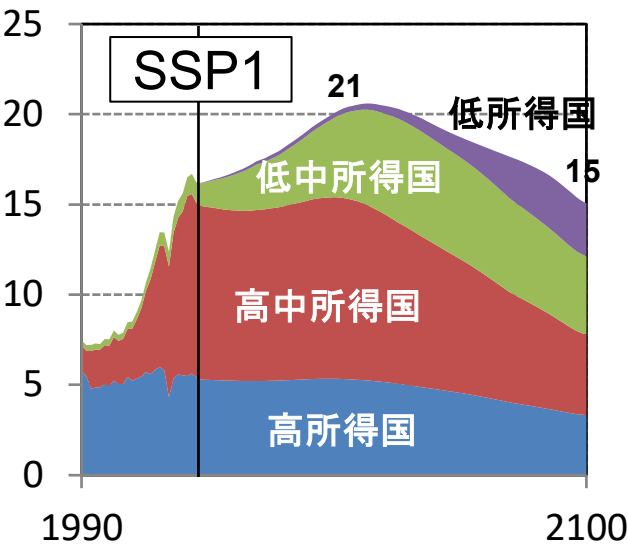
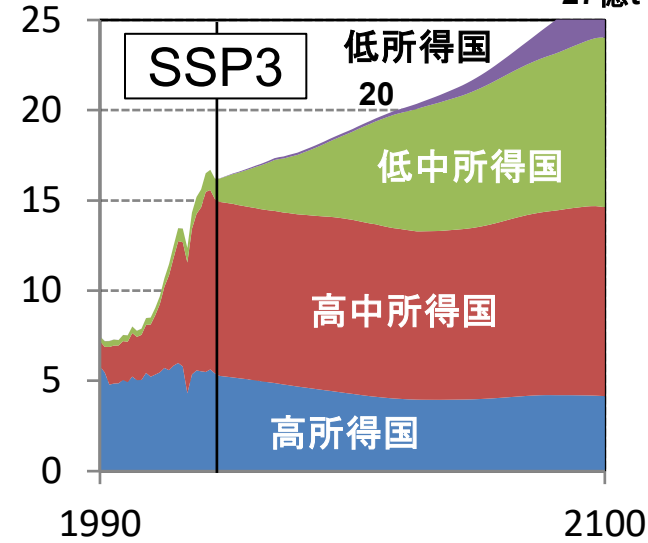
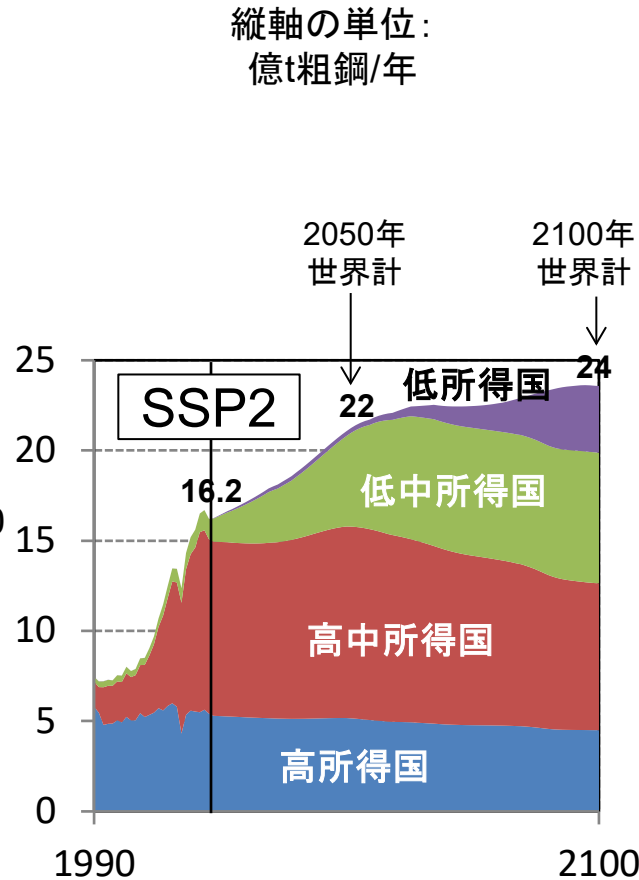
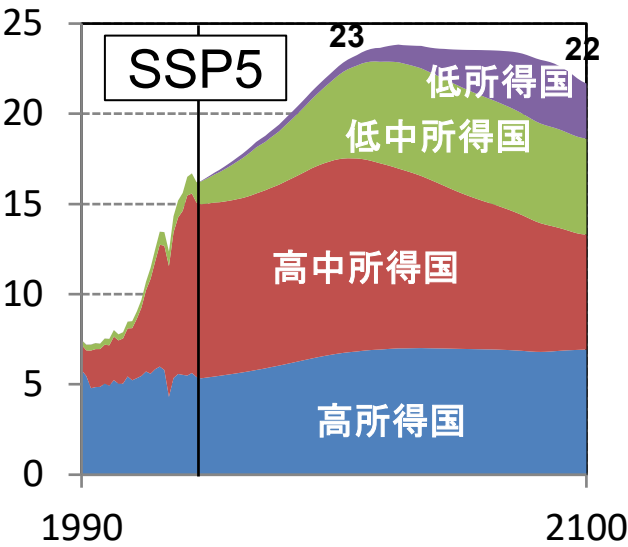
石油製品の将来見通し (IEA)



出典：IEA ETP2017

- ◆ 2°C目標のような厳しい排出削減目標の下では、運輸部門の燃費改善、バイオ燃料利用、EV化等により、将来のガソリン、軽油等の需要は大きく低下すると見込まれる。
- ◆ 一方、非エネルギー利用の石油系製品の需要は相応に残る見通しにもなっている。

世界粗鋼生産量見通し（複数シナリオ）



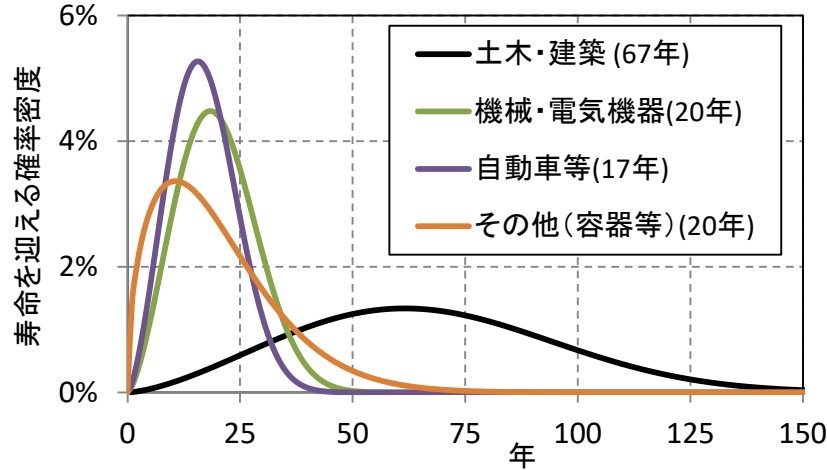
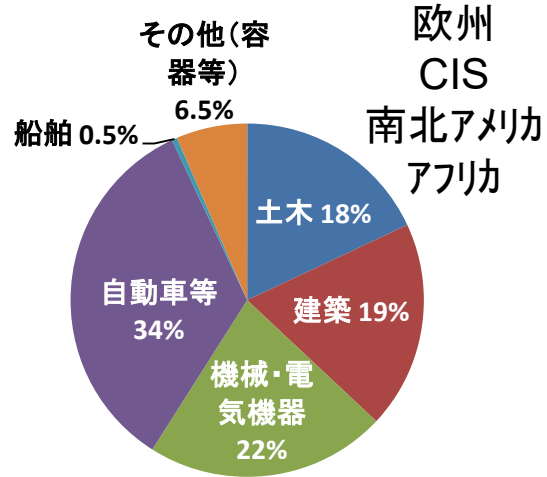
自動運転車の普及、カーシェアに伴って自動車販売台数の低下を想定しない場合の見通し

鋼材需要シェア、寿命関数から推計される鉄スクラップ量と粗鋼生産量の関係

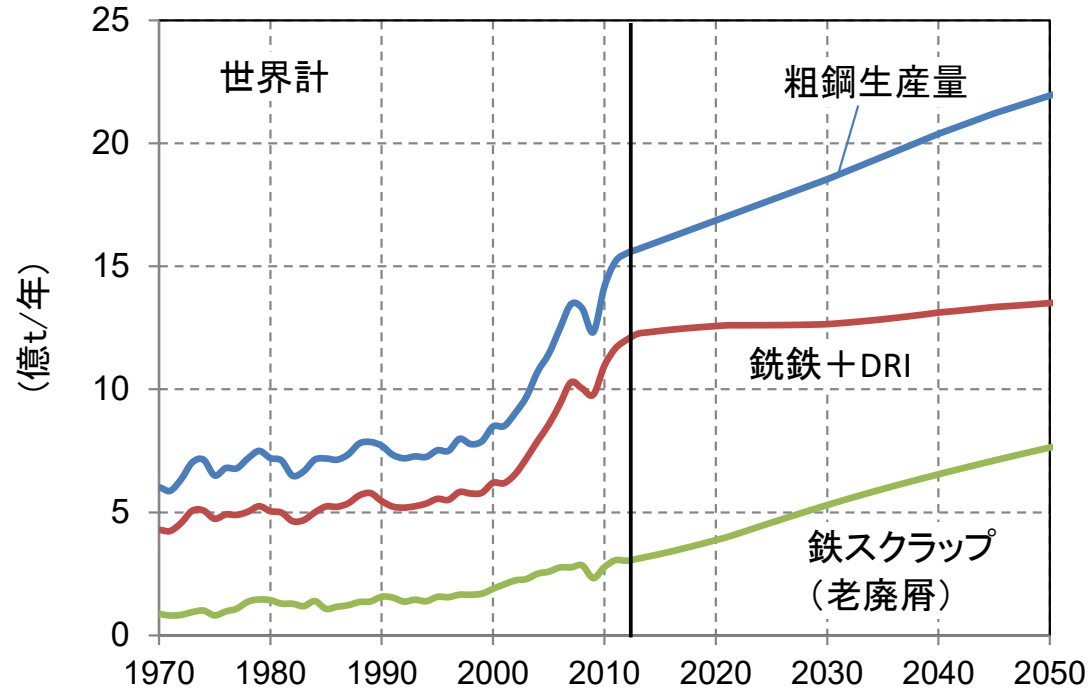
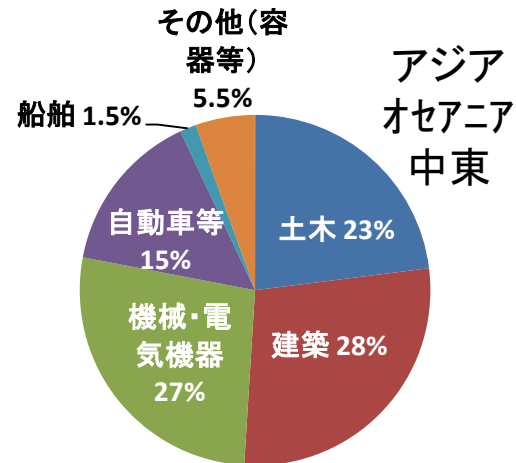
鋼材需要シェア

寿命の確率密度

注) 括弧内は平均寿命



鉄スクラップの利用可能量推計と世界の粗鋼生産量推計からは、少なくとも2050年頃までは一次生産(銑鉄+DRI)は相当量必要と見込まれる。



4. パリ協定長期目標のシナリオ分析

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。



温暖化対策評価モデルDNE21+の概要

(Dynamic New Earth 21+)

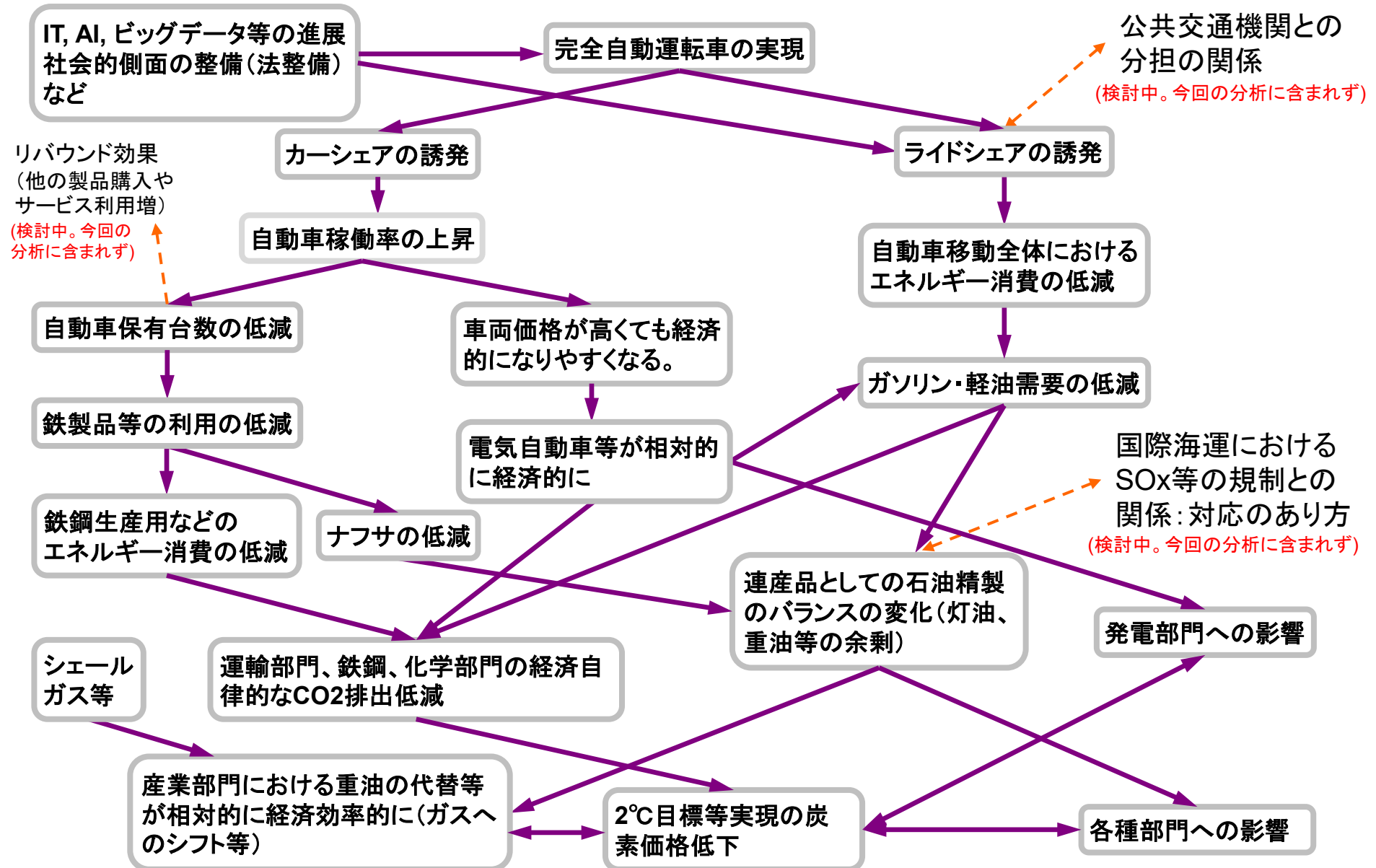
- ◆ 各種エネルギー・CO₂削減技術のシステム的なコスト評価が可能なモデル(ただしDEARSモデルのように経済全体を評価対象とはしていない)
- ◆ 線形計画モデル(エネルギーシステム総コスト最小化)
- ◆ モデル評価対象期間: 2000~2100年(代表時点: 2005, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 70, 2100年)
- ◆ 世界地域分割: 54 地域分割(米国、中国等は1国内を更に分割。計77地域分割)
- ◆ 一次エネルギー: 石炭(石炭、褐炭)、石油(在来型、非在来型)、ガス(在来型、シェールガス)、原子力、水力、地熱、バイオマス、風力、太陽光、太陽熱
- ◆ 地域間輸送: 石炭、石油(各種製品別に今回拡張)、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以上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、それらが統合的に評価可能

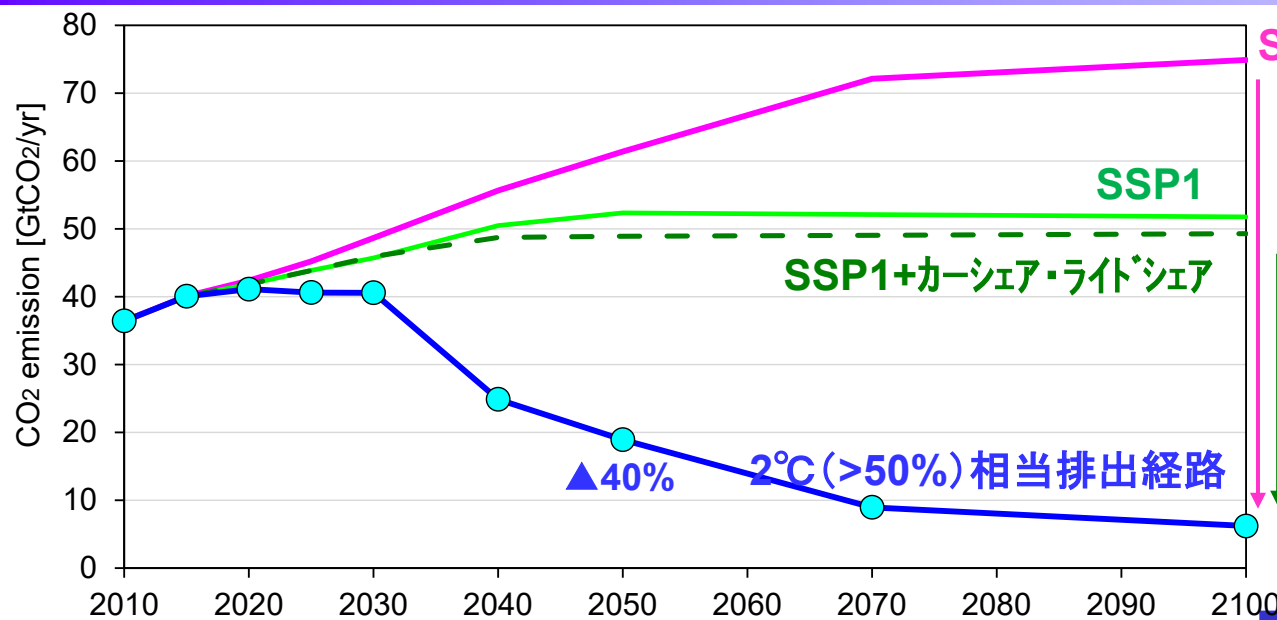
以下のような改良を実施

- ✓ 自動運転など、自動車部門の大きな変化の可能性も踏まえたモデル拡張、詳細化
- ✓ ガソリン需要低下などの変化の可能性も踏まえ、石油化学部門への影響を踏まえ、石油化学部門を中心にモデルの精緻化(連産品における需要バランス変化をより適切に分析できるよう改良) 等

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



2°C排出経路の限界削減費用

Unit: \$/tCO₂ (実質価格)
世界均一の炭素価格を想定

- 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)

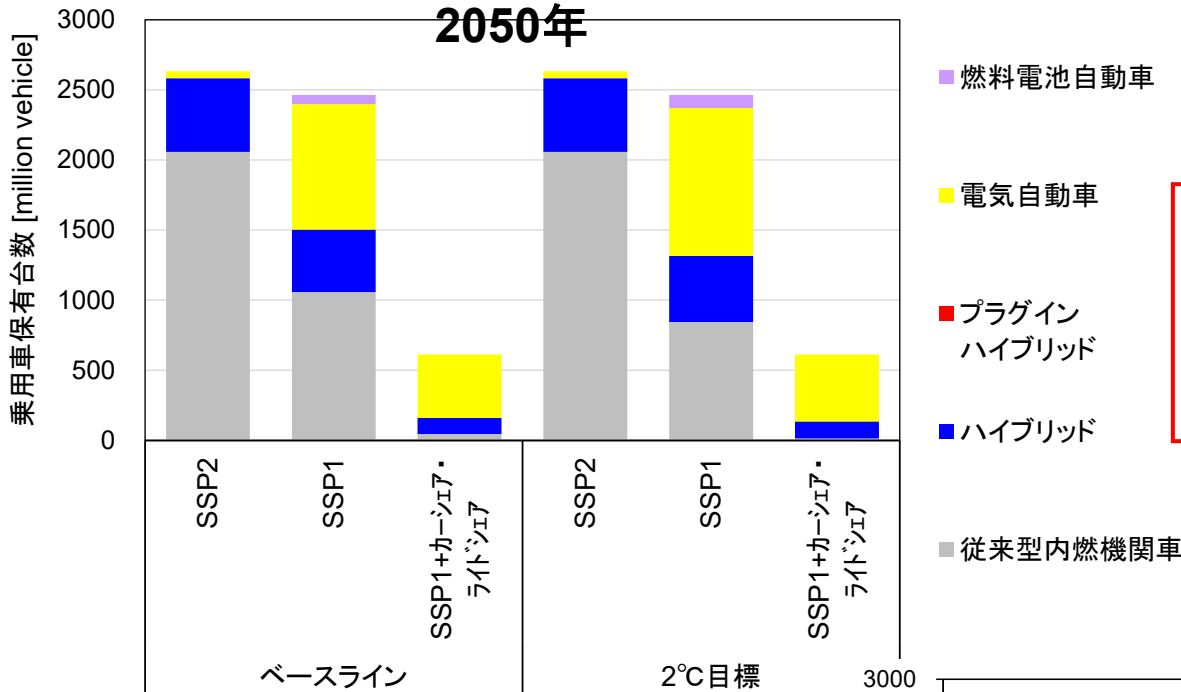
※ 1.5°C目標はあまりに非現実的であり、
ここでは2°C目標について分析

出典) RITE DNE21+モデルによる推計

SSP2に比べ、SSP1+カーシェア・ライドシェアシナリオでは、限界削減費用は半分程度に低下

	IPCC SR1.5分 類との関 係性	2050 年	2100 年
SSP2(中 位シナリオ)	P3	171	283
SSP1	P2	125	167
SSP1+ カーシェア・ラ イドシェア	P1	94	144

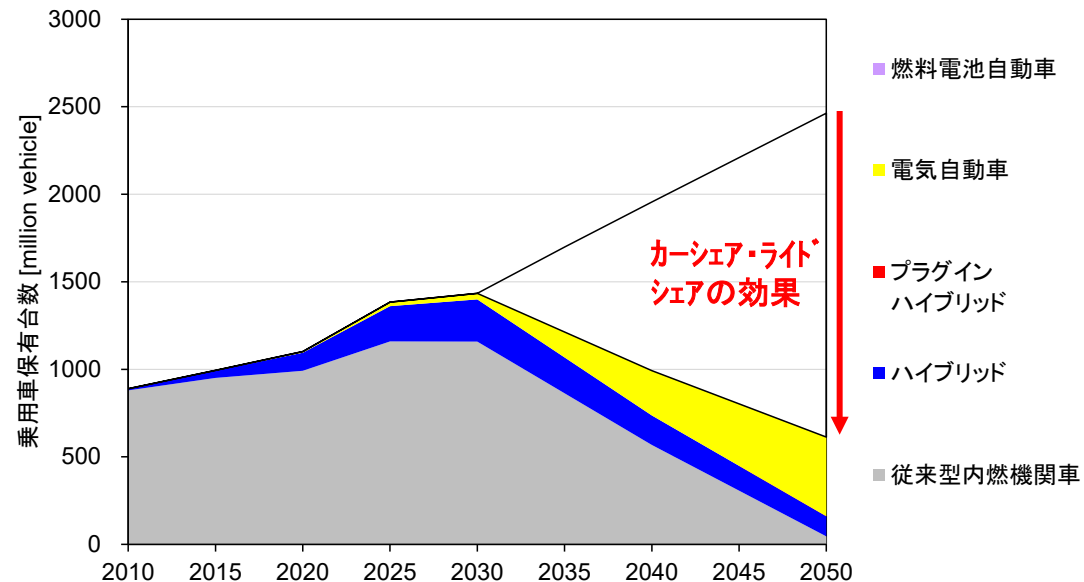
世界の乗用車見通し



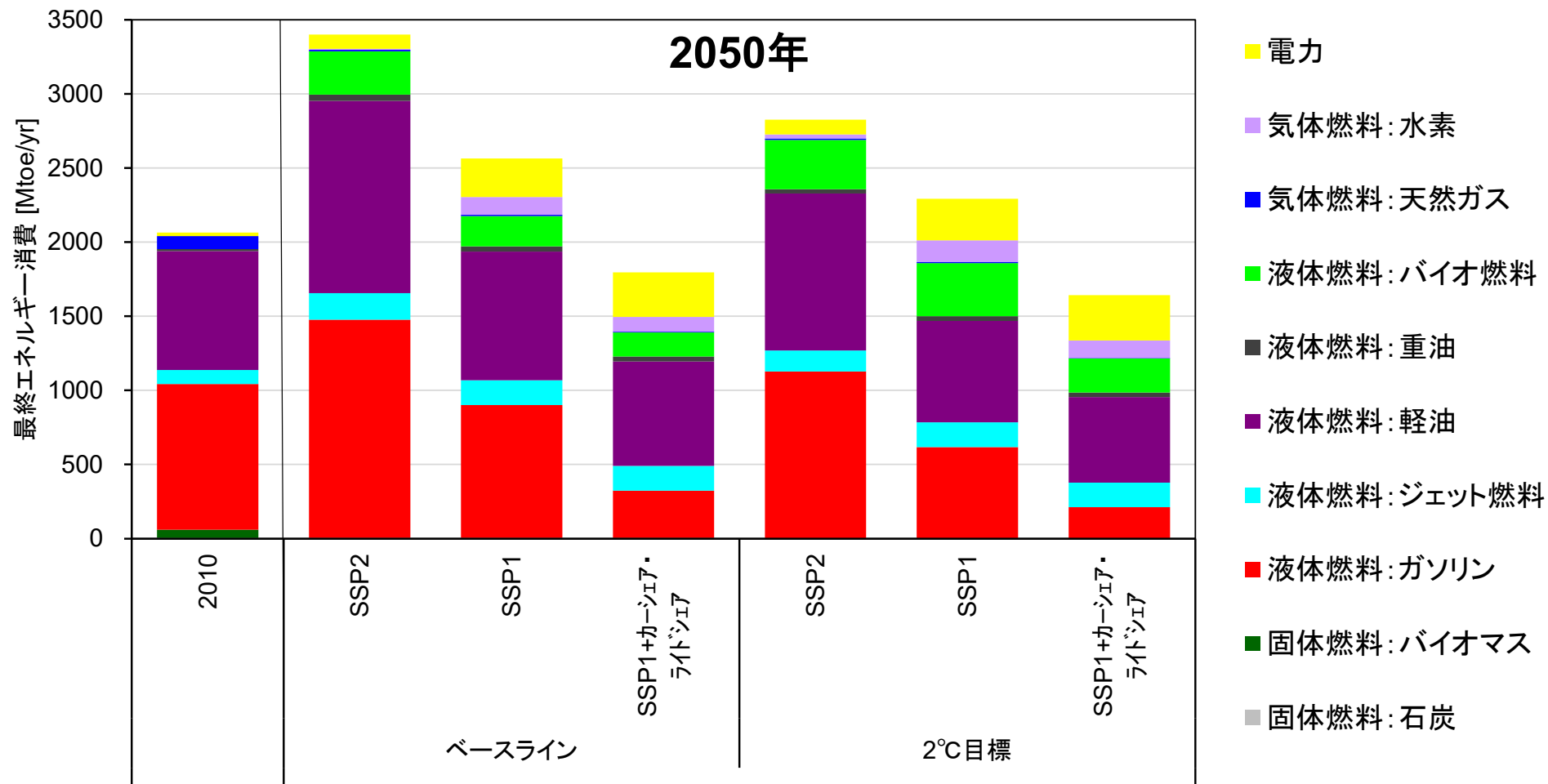
燃料の転換等による車両本体の進展 (EV化、FCV化等) も重要だが、IoT, AI等の技術進展によって誘発され得るカーシェア、ライドシェア等の社会変化の効果は極めて大きい可能性がある。

政府の自動車新時代戦略では電動車 (xEV: EV, HEV, PHEV, FCV等) が2050年に100%を目指すとしているが、SSP1+シェアリングシナリオではそれと整合的

※ 消費者の多様性や地理特性等を踏まえた各国・地域のカーシェア・ライドシェアリングの有効性の違い等を踏まえた分析について引き続き検討、分析中



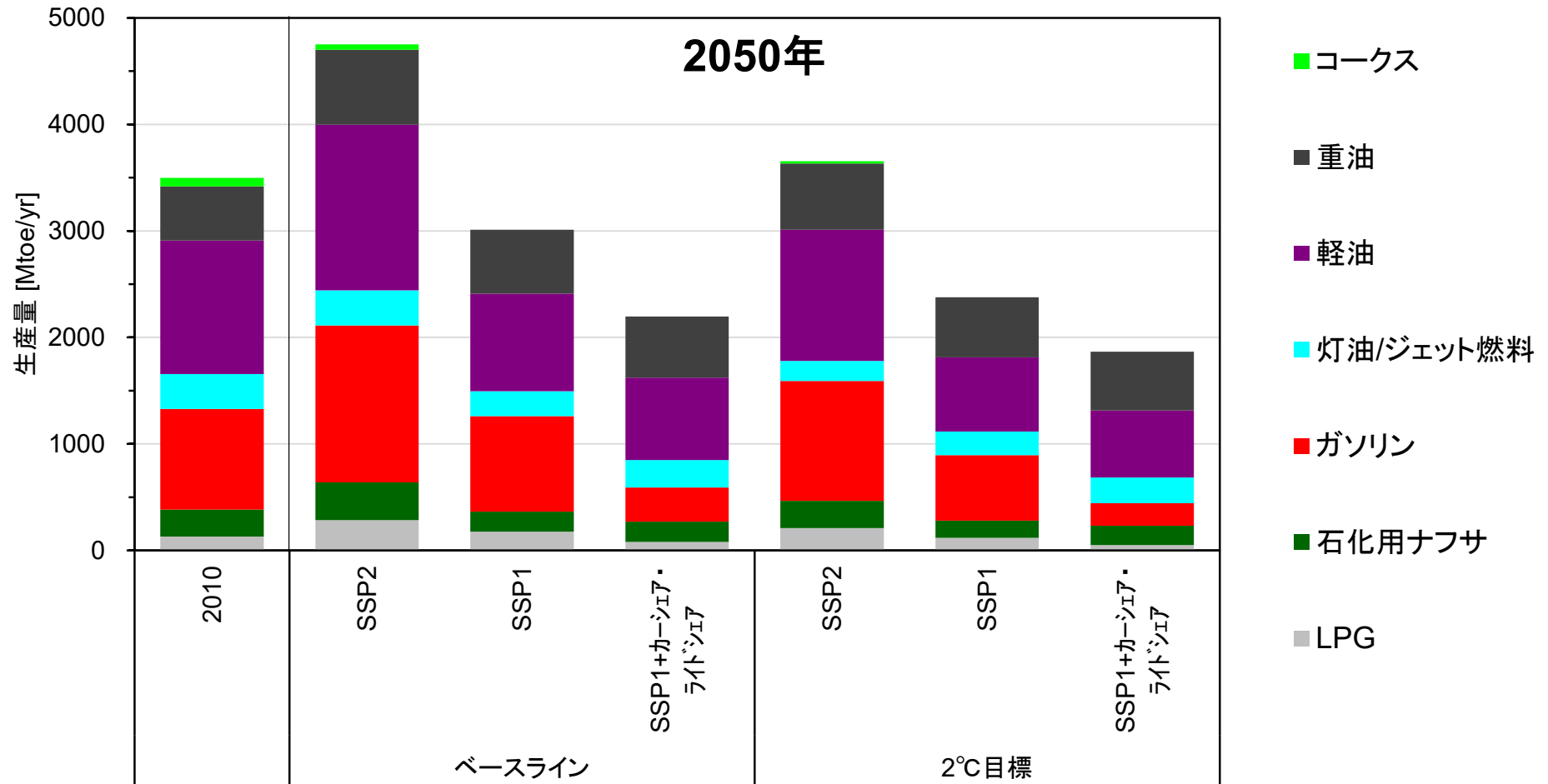
世界における運輸部門のエネルギー消費



- ベースラインか、2°Cシナリオかよりも、乗用車では、エネルギーコストに比べ、相対的に車両価格が大きいため、車両価格の見通しの違いが、エネルギー消費にも大きな違いをもたらす。(SSP2⇒SSP1)

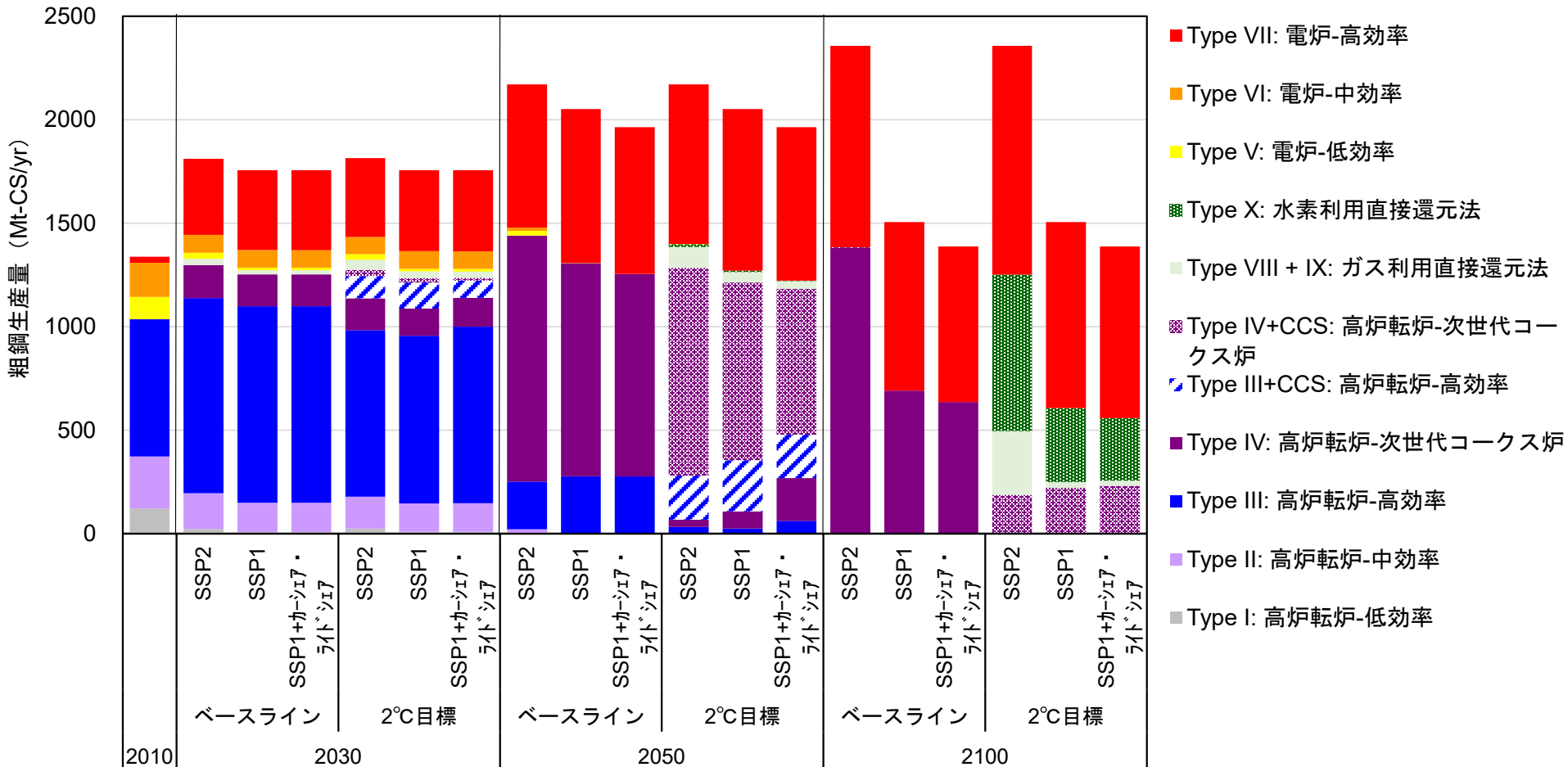
- 完全自動運転実現によるカーシェアリング-ライドシェアリングの誘発を含む社会経済シナリオの違いの方が、運輸部門に圧倒的に大きなインパクトを有する。(SSP2、SSP1⇒SSP1+カーシェア・ライドシェア)

世界における製品別の石油精製量



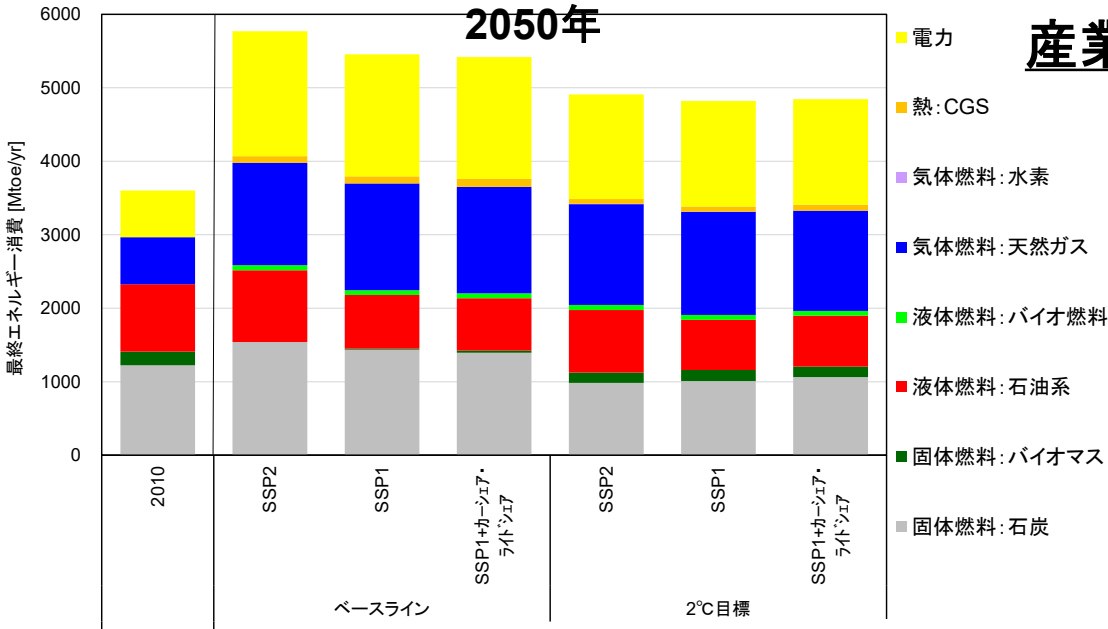
- SSP1やSSP1+カーシェア・ライトシェアシナリオでは、自動車用のガソリン、軽油需要が大きく低下。
 ・今後、化学部門におけるバイオリファイナリー、CCUなどの役割についても、モデル拡張を行いながら分析を進める予定。

世界における技術別の粗鋼生産量

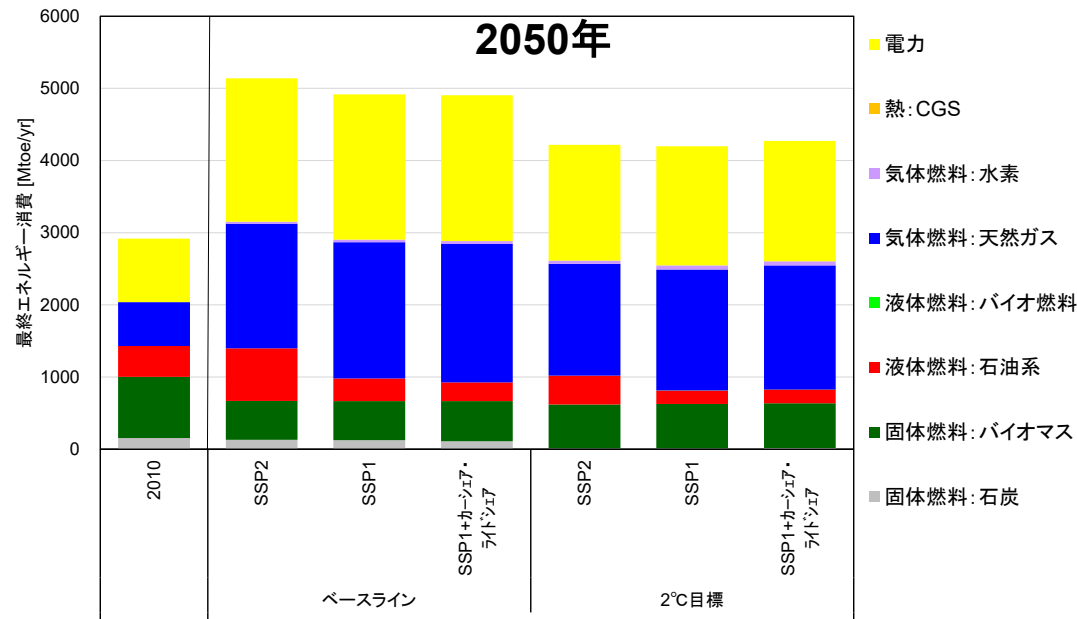


- 2050年まではいずれのシナリオでも粗鋼生産の拡大が見込まれる一方、SSP1やSSP1+カーシェア・ライト・アジアシナリオでは、2100年にはSSP2よりもかなり小さな粗鋼生産となる可能性もある。
 - カーシェアによる自動車用鉄鋼製品需要の低下も見られるが、全体の粗鋼生産量との比較では量的にはそれほど大きいわけではない。

世界における部門別・燃料種別の最終エネルギー消費量

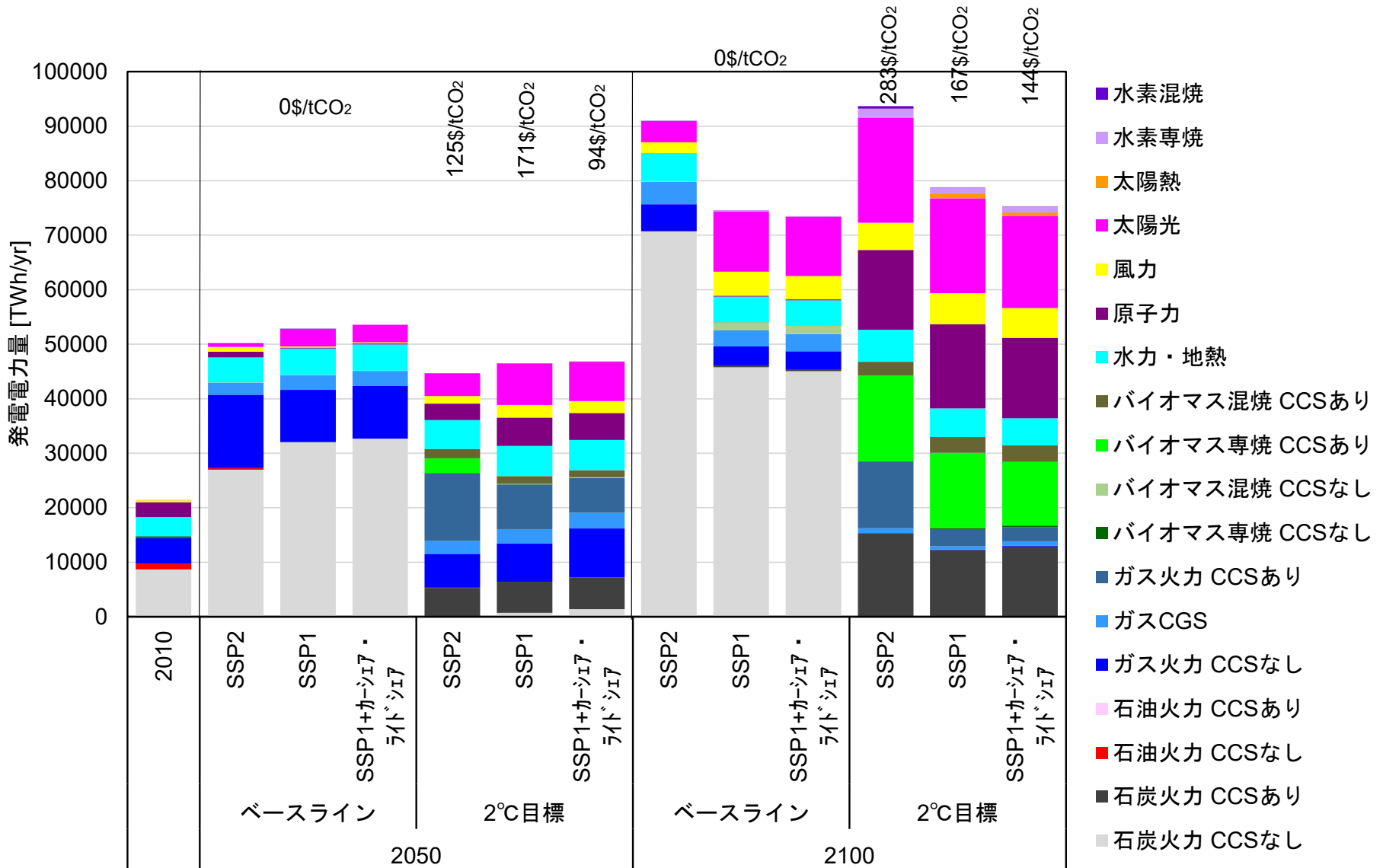


民生(業務・家庭)部門



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、電力の需要拡大が見込まれる。

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



- ◆ 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、ど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。
- ◆ 国際競争力への影響等を踏まえると、50 \$/tCO₂程度以下の対策でなければ世界規模での大規模な普及は難しいと考えられ、これと合致し得るパリ協定2°C目標等の可能性を引き続き探索していく予定

付録

世界における一次エネルギー供給量

