

脱炭素社会の姿と実現へのシナリオ

Carbon Neutral Society: Vision and Scenarios

山地憲治 Kenji YAMAJI, Senior Vice President/Director-General
(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)副理事長・研究所長
Research Institute of Innovative Technology for the Earth(RITE)

2019年度 ALPS国際シンポジウム

ALPS International Symposium (FY 2019)

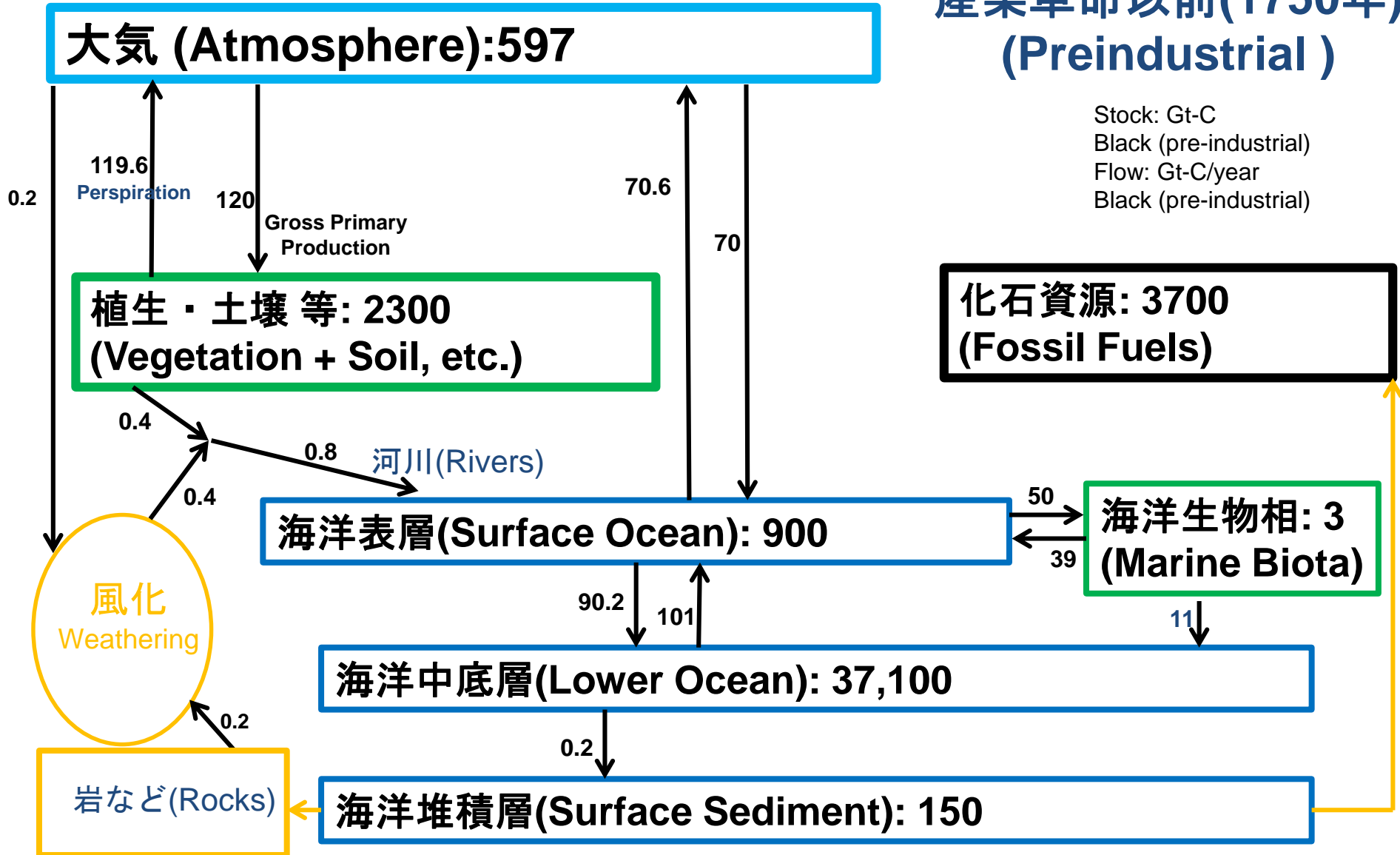
2020年2月13日 Feb.13, 2020

@虎ノ門ヒルズフォーラム、東京

@Toranomom Hills Forum, Tokyo

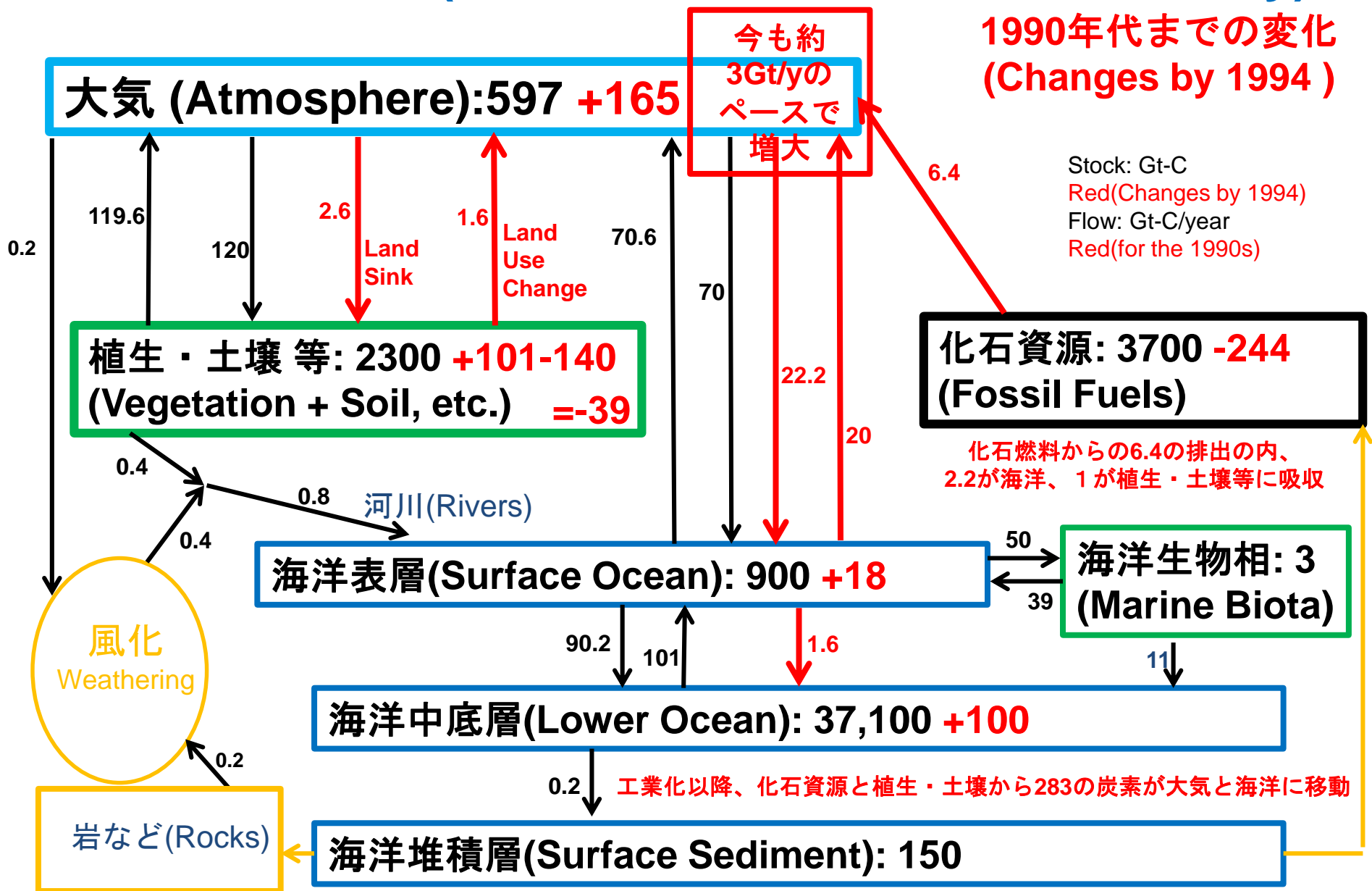
脱炭素社会の姿(Vision of Carbon Neutral Society)

産業革命以前(1750年)
(Preindustrial)



(IPCC AR4 WG3 (2007)のFig 7.3に基づき山地が作成)

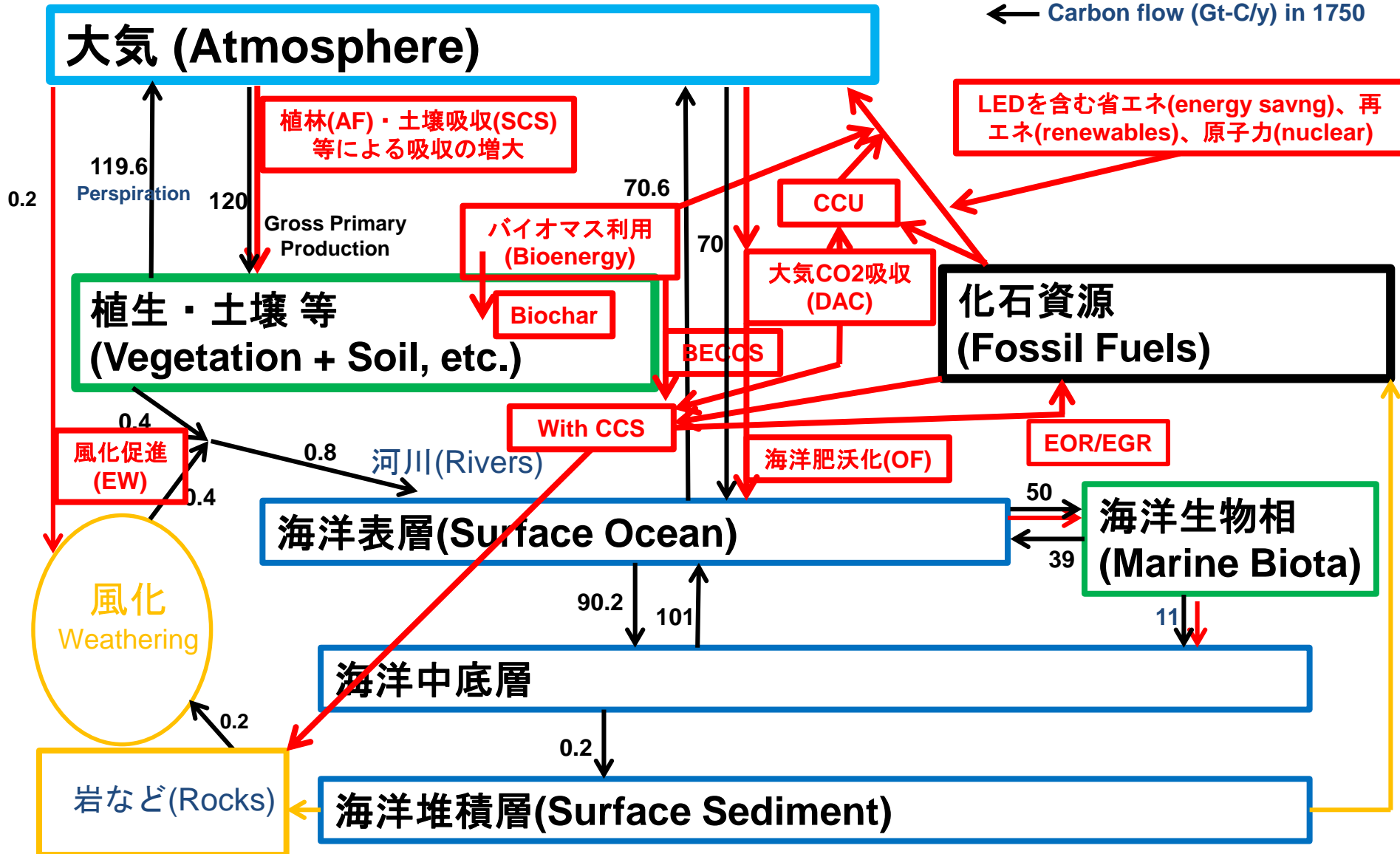
脱炭素社会の姿(Vision of Carbon Neutral Society)



(IPCC AR4 WG3 (2007)のFig 7.3に基づき山地が作成)

脱炭素社会への道筋(Possible Pathways to Carbon Neutrality)

大気中GHG濃度の安定化(UNFCCC)→正味排出量ゼロ(脱炭素社会(Carbon Neutrality))



(IPCC AR4 WG3 (2007)のFig 7.3に基づき山地が作成)

パリ協定の基本構成

世界全体の目標:

・産業革命以降の温度上昇を1.5°C~2°C以内に抑える。

・今世紀後半に正味の排出ゼロ(**脱炭素社会**)を目指す。



グローバルストックテイク:

・2023年から5年毎に世界全体の目標に向けた進捗状況をチェック。

・各国の目標改訂に反映



各国の行動:

・国情にあわせて自主的に温室効果ガス削減・抑制目標を設定(NDC)。

・進捗状況を定期的に報告し、レビューを受ける(**Pledge & Review**)

・5年毎に目標を見直す。

・2050年を念頭に**長期戦略**の策定。

COP21(2015年12月、採択)、2016年11月発効、COP24(詳細ルール合意)、2019年11月米国脱退通告、COP25(市場メカニズム?)

エネルギー・環境イノベーションに関する最近の動向

2015年12月 : COP21においてパリ協定採択

2016年 1月 : 第5期科学技術基本計画で超スマート社会(Society 5.0)提唱

2016年 4月 : エネルギー・環境イノベーション戦略策定

2017年春 : 長期地球温暖化対策プラットフォーム(経産省)、長期低炭素ビジョン(環境省)

2018年7月 : 2050年へCOCN提言 : 再エネ、原子力、水素、CCUS、Society5.0、産業省エネ

2018年7月 : 第5次エネルギー基本計画

2018年10月 : IPCC 1.5°C特別報告書

2019年2月 : CCUS ラウンドテーブル@ワシントンDC

2019年3月 : 水素・燃料電池戦略ロードマップ

2019年6月 : カーボンリサイクル技術ロードマップ(7日)

エネルギー・環境技術のポテンシャル・実用化検討会報告(10日)

(対象とした個別技術 : 水素、CCUS(NETs含む)、再エネ・蓄エネ、パワエレ)

パリ協定長期成長戦略(11日閣議決定、26日UNFCCC事務局へ提出)

G20 エネルギー・環境関係閣僚会合@軽井沢(15-16日)

G20大阪サミット(28-29日)

2019年9月 : 水素閣僚会議(25日)グローバル・アクション・アジェンダ "Ten, Ten, Ten"

→ 今後10年で10千か所の水素ステーション、10百万台の燃料電池システム

カーボンリサイクル産学官国際会議(25日)

2019年10月 : TCFDサミット(8日)、ICEF(9, 10日)、RD20(11日); グリーンイノベーションウィーク

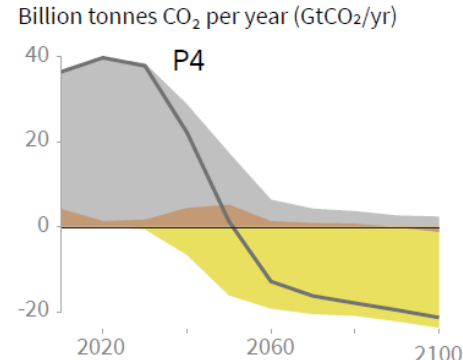
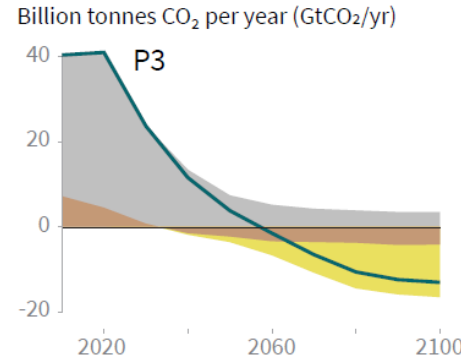
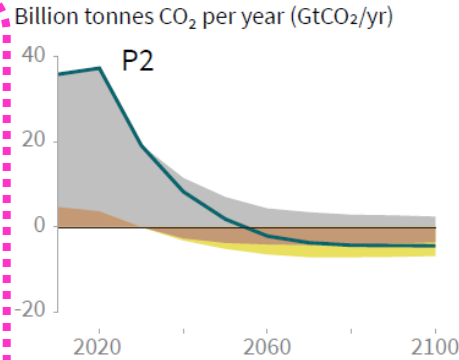
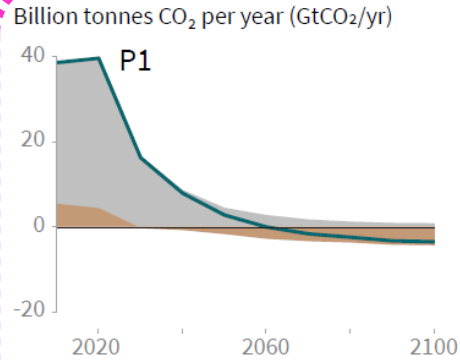
革新的環境イノベーション戦略検討会がとりまとめ方針案提示(29日)

2020年1月 : 革新的環境イノベーション戦略公表

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(LED)シナリオ

SSP1

SSP2 (中位シナリオ)

SSP5

小 ← → 大

最終エネルギー需要

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。
- ✓ LEDシナリオは、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

パリ協定長期成長戦略におけるイノベーションの記述

(最終到達点としての「脱炭素社会」を掲げ、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期実現を目指すとともに、2050年までに80%の削減に大胆に取り組む)

第3章：「環境と成長の好循環」を実現するための横断的施策

第1節：イノベーションの推進

・温室効果ガスの大幅削減につながる横断的な脱炭素技術の実用化・普及のためのイノベーションの推進・社会実装可能なコストの実現

(1) 革新的環境イノベーション戦略

- ・コスト等の明確な目標の設定、官民リソースの最大限の投入、国内外における技術シーズの発掘や創出、ニーズからの課題設定、ビジネスにつながる支援の強化等
- ・挑戦的な研究開発、G20の研究機関間の連携を強化し国際共同研究開発の展開(RD20)等
- ・実用化に向けた目標の設定・課題の見える化
 - CO₂フリー水素製造コストの10分の1以下など既存エネルギーと同等のコストの実現
 - CCU/カーボンリサイクル製品の既存製品と同等のコストの実現、原子力(原子炉・核融合) ほか

(2) 経済社会システム/ライフスタイルのイノベーション

第2節：グリーン・ファイナンスの推進

・イノベーション等を適切に「見える化」し、金融機関等がそれを後押しする資金循環の仕組みを構築

(1) TCFD[※]等による開示や対話を通じた資金循環の構築 ※気候関連財務情報開示タスクフォース

- ・産業：TCFDガイダンス・シナリオ分析ガイド拡充/金融機関等：グリーン投資ガイダンス策定
- ・産業界と金融界の対話の場（TCFDコンソーシアム）
- ・国際的な知見共有、発信の促進（TCFDサミット（2019年秋））

(2) ESG金融の拡大に向けた取組の促進

・ESG金融への取組促進（グリーンボンド発行支援、ESG地域金融普及等）、ESG対話プラットフォームの整備、ESG金融リテラシー向上、ESG金融ハイレベル・パネル等

第3節：ビジネス主導の国際展開、国際協力

・日本の強みである優れた環境技術・製品等の国際展開/相手国と協働した双方に裨益するコ・イノベーション^{ひえき}

(1) 政策・制度構築や国際ルールづくりと連動した脱炭素技術の国際展開

・相手国における制度構築や国際ルールづくりによるビジネス環境整備を通じた、脱炭素技術の普及と温室効果ガスの排出削減（ASEANでの官民イニシアティブの立上げの提案、市場メカニズムを活用した適切な国際枠組みの構築等）

(2) CO₂排出削減に貢献するインフラ輸出の強化

・パリ協定の長期目標と整合的にCO₂排出削減に貢献するエネルギーインフラや都市・交通インフラ（洋上風力・地熱発電などの再エネ、水素、CCS・CCU/カーボンリサイクル、スマートシティ等）の国際展開

(3) 地球規模の脱炭素社会に向けた基盤づくり

・相手国におけるNDC策定・緩和策にかかる計画策定支援等、サプライチェーン全体の透明性向上

イノベーション・アクションプラン

－革新的技術の2050年までの確立を目指す具体的な行動計画（5分野16課題）－

①コスト目標、世界の削減量、②開発内容、③実施体制、④基礎から実証までの工程を明記。

強力に後押し

アクセラレーションプラン –イノベーション・アクションプランの実現を加速するための3本の柱–

①司令塔による計画的推進

【グリーンイノベーション戦略推進会議】府省横断で、基礎～実装まで長期に推進。既存プロジェクトの総点検、最新知見でアクションプラン改訂。

②国内外の叡智の結集

【ゼロエミ国際共同研究センター等】G20研究者12万人をつなぐ「ゼロエミッション国際共同研究センター」、産学が共創する「次世代エネルギー基盤研究拠点」、「カーボンリサイクル実証研究拠点」の創設。「東京湾岸イノベーションエリア」を構築し、産学官連携強化。

【ゼロエミクリエイターズ500】若手研究者の集中支援。

【有望技術の支援強化】「先導研究」、「ムーンショット型研究開発制度」の活用、「地域循環共生圏」の構築。

③民間投資の増大

【グリーン・ファイナンス推進】TCFD提言に基づく企業の情報発信、金融界との対話等の推進。

【ゼロエミ・チャレンジ】優良プロジェクトの表彰・情報開示により、投資家の企業情報へのアクセス向上。

【ゼロエミッションベンチャー支援】研究開発型ベンチャーへのVC投資拡大。

ゼロエミッション・イニシアティブズ –国際会議等を通じ、世界との共創のために発信–

グリーンイノベーション・サミット、RD20、ICEF、TCFDサミット、水素閣僚会議、カーボンリサイクル産学官国際会議

● 革新技术の構成 (要素技術だけでなく、システム化・構造化して提示、山地)

エネルギー転換分野：

再エネ主力電源化
柔軟で強靱な電力NW
水素サプライチェーン
革新的原子力技術・核融合
低コストCO₂分離回収
⇒CCUS

運輸分野：

多様なグリーンモビリティ

民生分野：

省エネ・未利用エネの徹底活用
スマートコミュニティ
社会システム・ライフスタイル革新
(シェアリング/テレワーク等)

産業分野：

化石資源依存からの脱却

電化

CO₂の原燃料化

農業その他分野：

農畜産業のメタン・N₂O削減
吸収源（農地、林業関係、ブルーカーボン）
スマート農林水産業

DAC

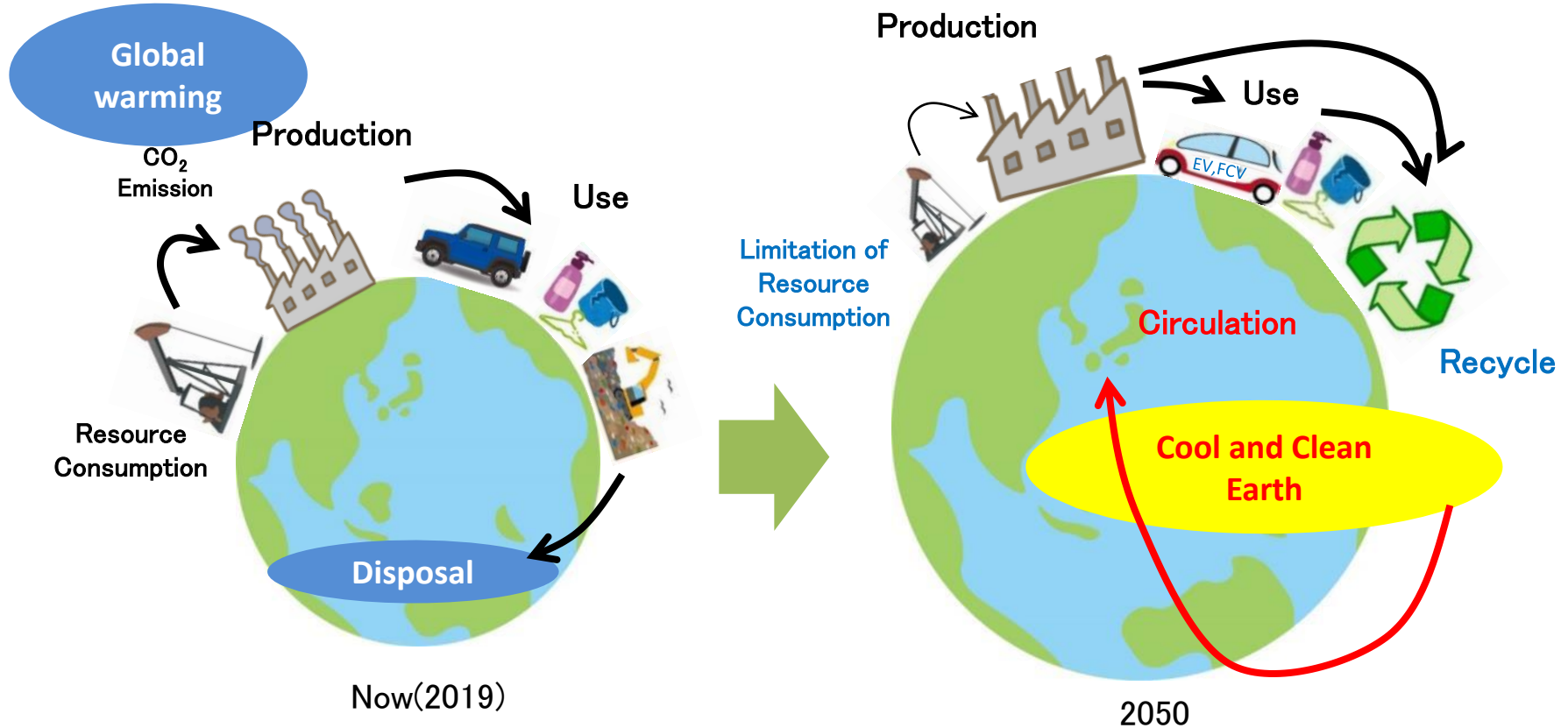
共通基盤技術：

デジタル技術（ビッグデータ解析、AI、ブロックチェーン、…）
パワエレ、材料、エネルギー貯蔵
観測システム、情報基盤
バイオテクノロジー、etc.

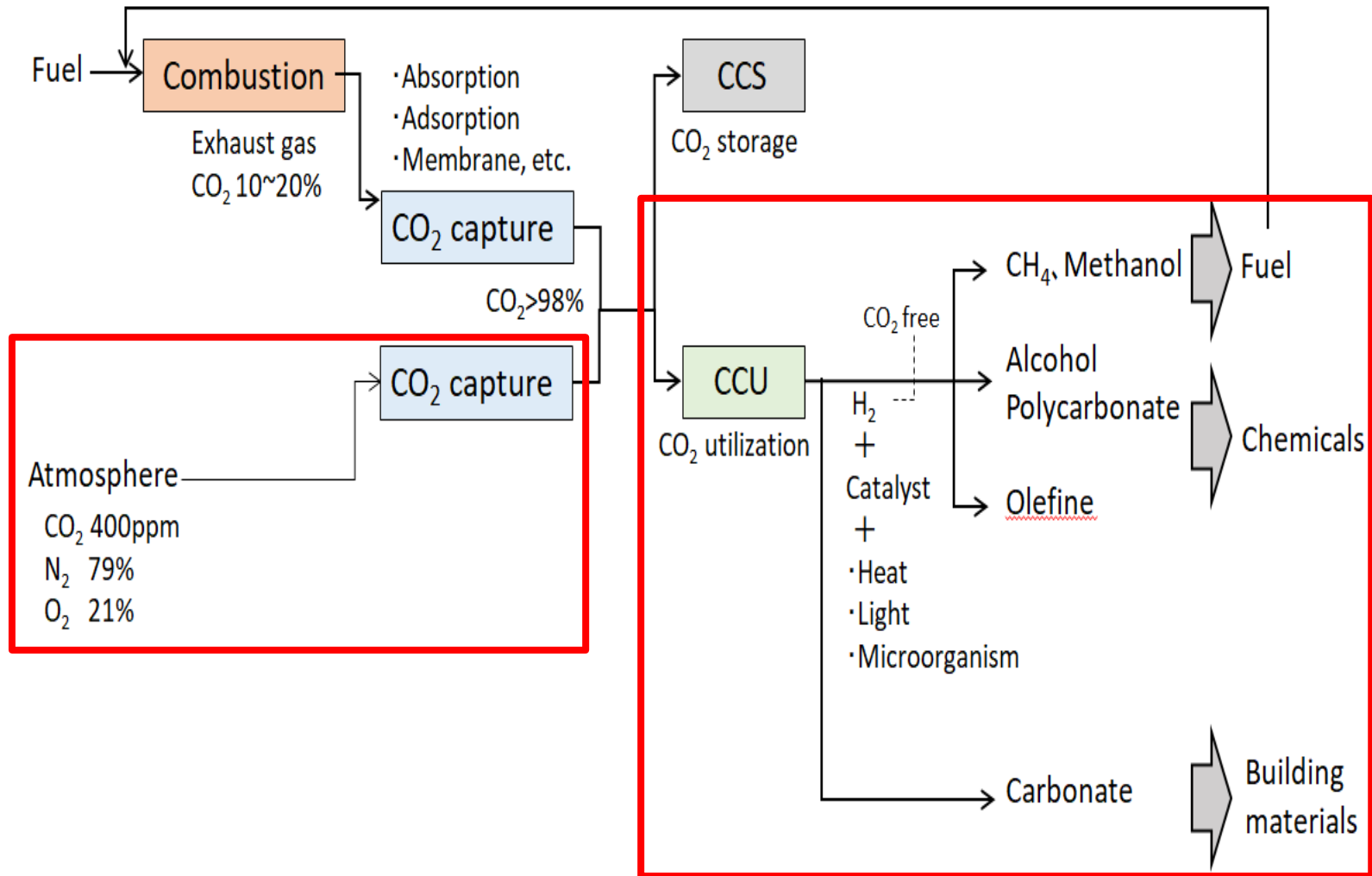
Moonshot Goal No. 4:

Realization of Sustainable Resources Circulation to Recover the Global Environment by 2050

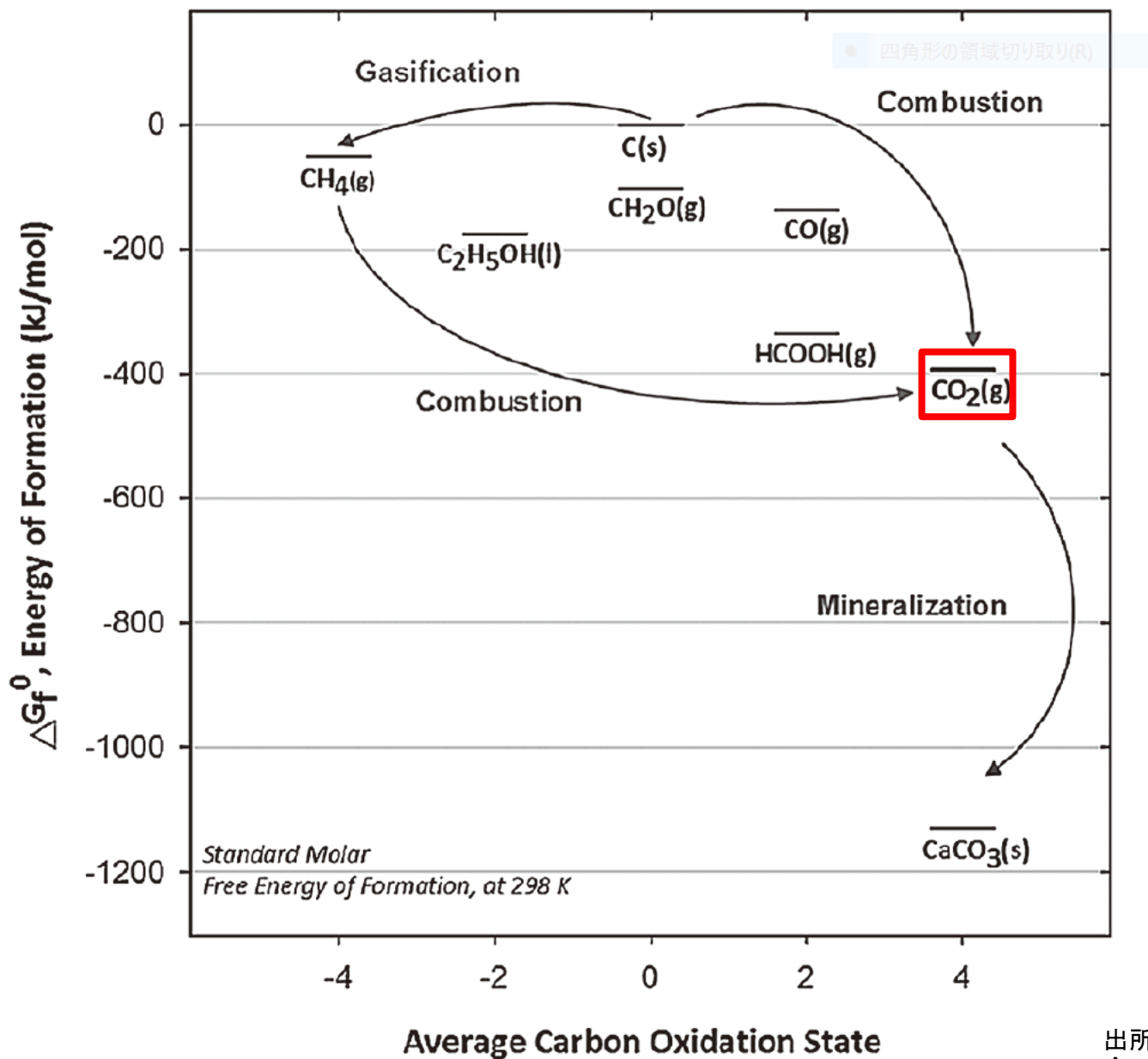
The mission of this Moonshot Goal Candidate is to develop technology for reducing the emissions of greenhouse gases and pollutants to contribute to the recovery from the ongoing issues of global warming and environmental pollution. The concept of this theme consists of two pillars of **“Cool Earth”** and **“Clean Earth”**



Challenge: CO₂ recovery from atmosphere (**DAC**), and Recovered CO₂ can be converted into fuel and/or various chemicals as a raw material (**CCU**)



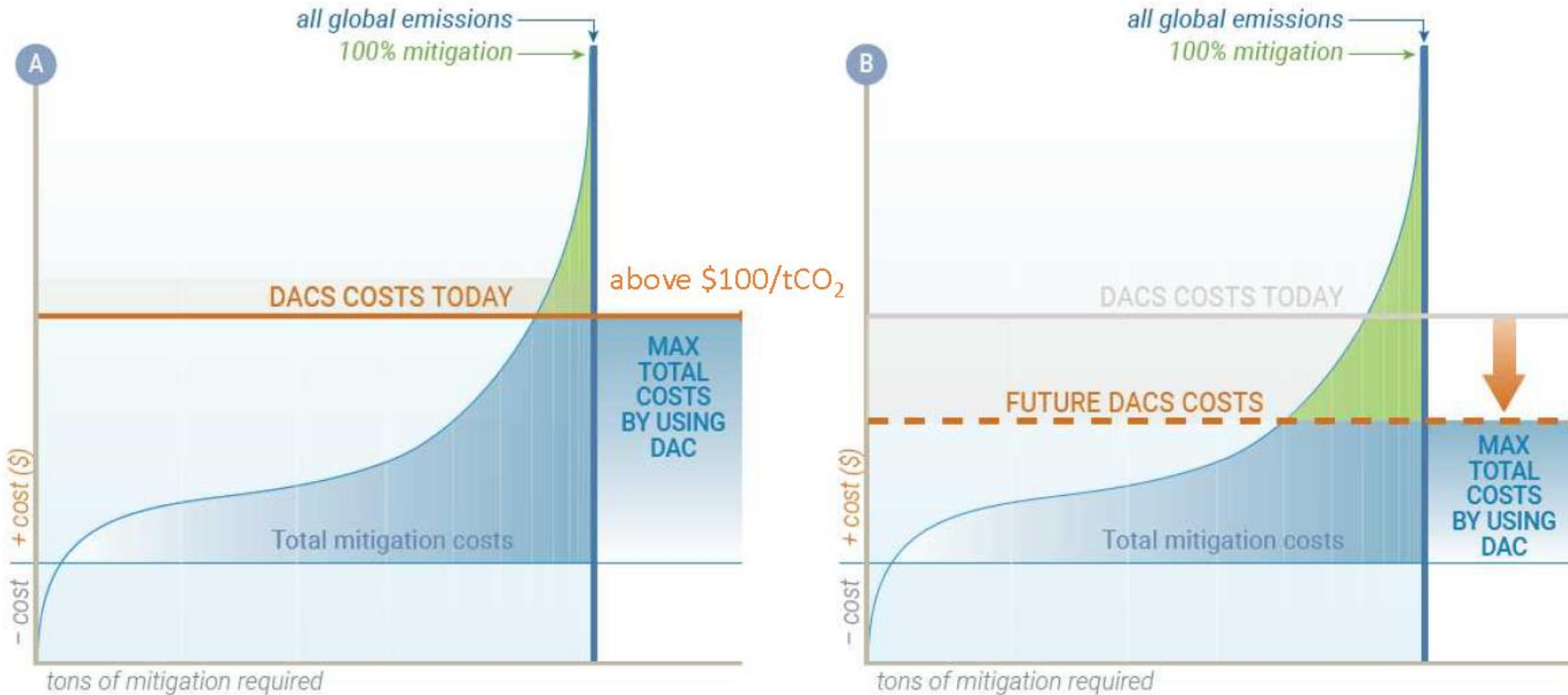
化学的に安定なCO₂利用への挑戦



炭素化合物のギブスの自由エネルギー準位

出所：酒井奨、季報エネルギー総合工学、2019年10月号

Cost for CO2 Removal (DAC as a Backstop Technology)

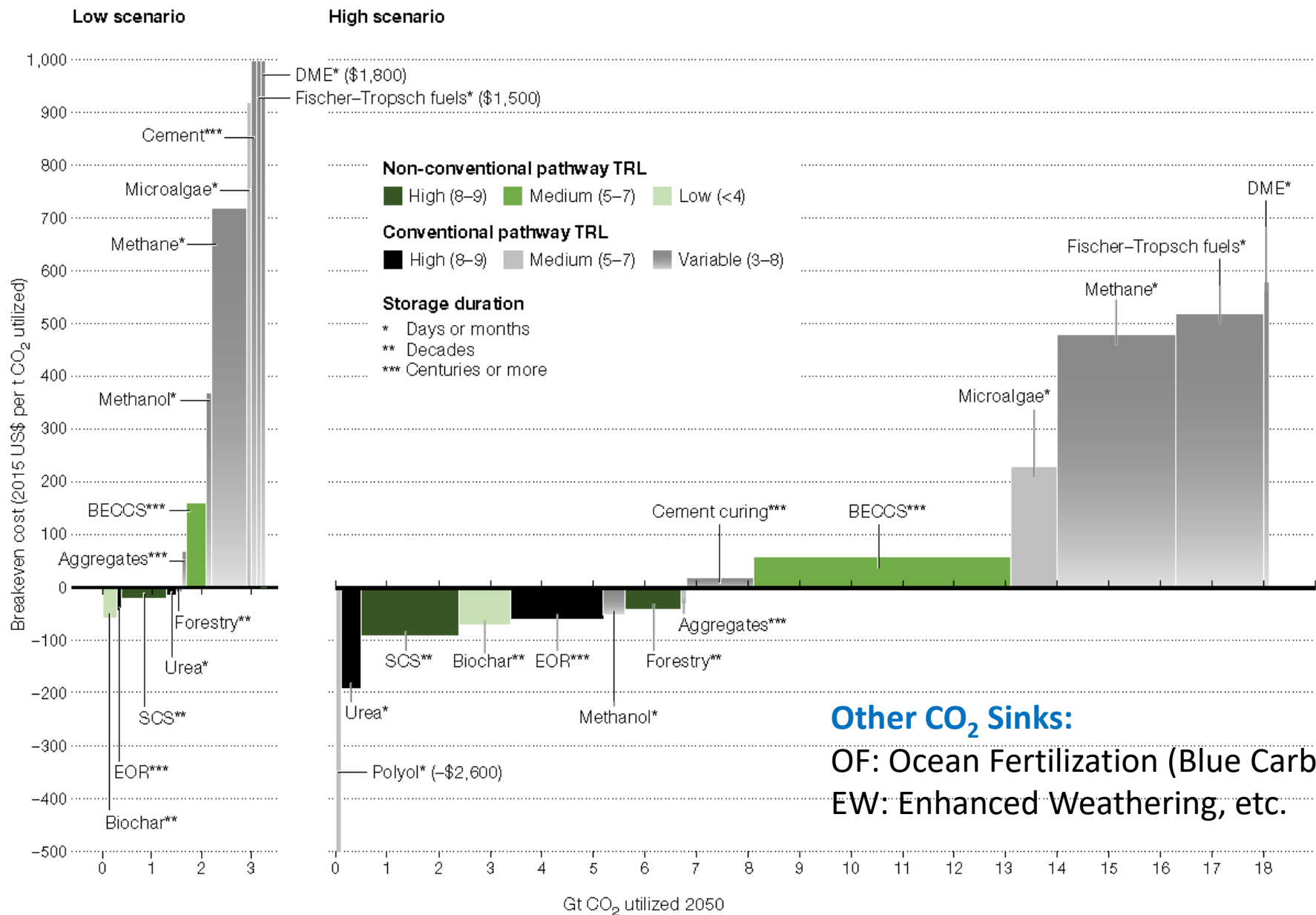


Relationship between cost and introduction amount of DAC

Source: Direct Air Capture of Carbon Dioxide Roadmap (IEF 2018)

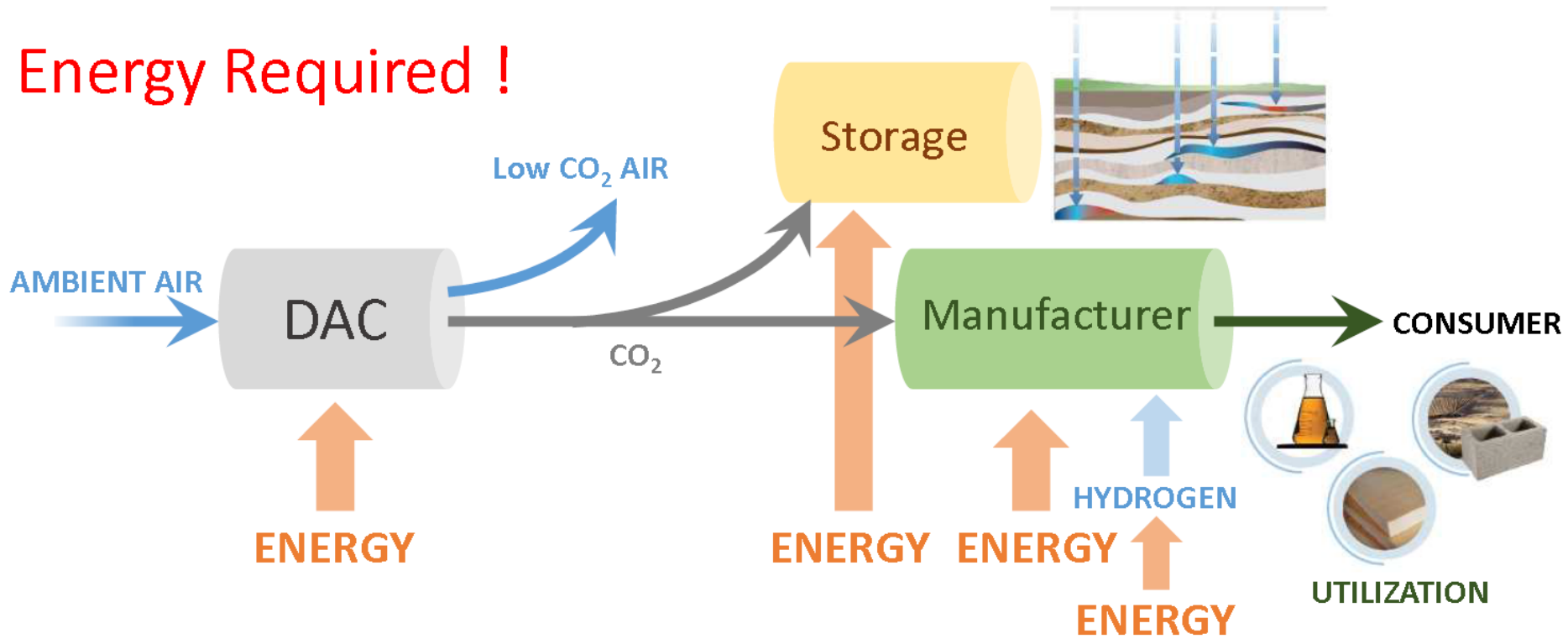
CCUの供給曲線評価例

(Hepburn et al. (2019) Nature Vol.575, 87-97)



Direct Air Capture + CO₂ Utilization/CO₂ Storage

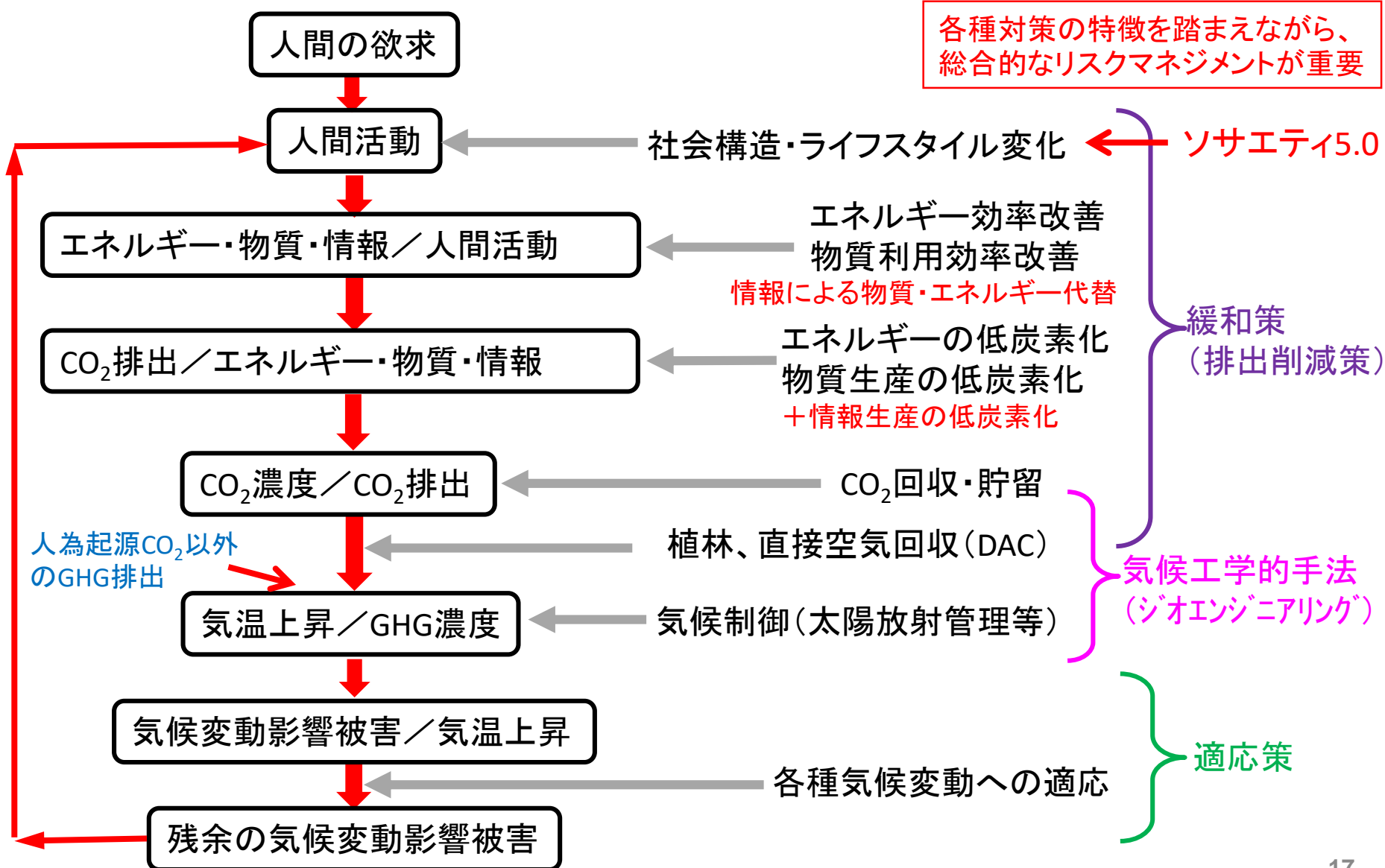
Energy Required !



Energy resource should be zero/low CO₂ emission

(Source: Atsushi INABA, How to evaluate technologies?, Moonshot International Symposium, Dec. 18, 2019)

地球温暖化対策の基本構造



第5期科学技術基本計画（2016年）で示された超スマート社会

第2章 未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取組み

（2）世界に先駆けた「超スマート社会」の実現（**Society 5.0**）

- ・ IoTの活用をものづくりだけではなく、様々な分野に広げ、経済成長や健康長寿社会の形成、さらには社会変革につなげていく。
- ・ **サイバー空間とフィジカル空間が高度に融合した「超スマート社会」**を未来の姿として共有し、その取組みを「Society 5.0」として推進。
- ・ サービスや事業のシステム化、複数のシステム間の連携協調が必要であり、**超スマート社会サービスプラットフォーム**を構築。

高度道路交通システム、**エネルギーバリューチェーン最適化**、インフラ維持管理、防災、地域包括ケアシステムなど11のシステム開発を先行的に進める。

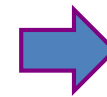
ロボット、センサ、アクチュエータ、バイオ、ヒューマンインターフェース（脳科学、感性工学等）、素材・ナノ、光・量子などの**基盤技術の強化**を図る。

超スマート社会 (Society 5.0) のインパクト

超スマート社会とは: 必要なモノ・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会のニーズにきめ細かく対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き生きと快適に暮らすことができる社会。
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

影響は単なる省エネに留まらない:

シェアリングエコノミーを推進し、
モノの生産からサービス提供へと産業を変える
+ 情報タグで究極のリサイクル社会へ



情報によるモノの代替



ただし、リバウンド効果に注意!

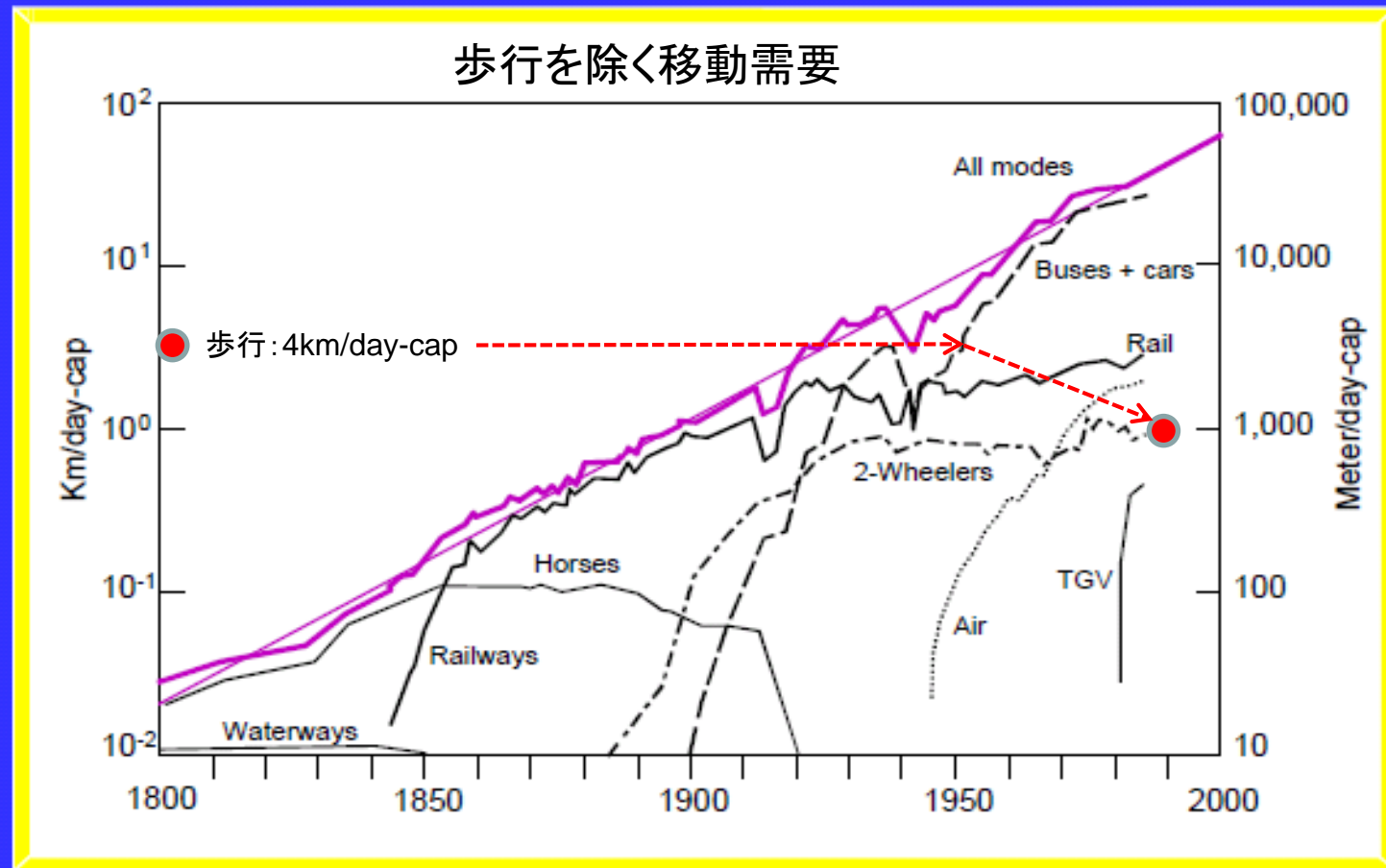
(モビリティや照明需要ではイノベーションに伴う大きな需要増(リバウンド)が観察されている)

例えば、自動運転+カーシェア/ライドシェア → 自動車利用率(現状4%)の向上 → 自動車保有台数の減少 → 自動車生産量の低下 → 鉄鋼等素材生産量の低下 → **エネルギー需要減少** → CO₂削減

例えば、IoTでスマートメンテナンス → 部品・製品寿命の延伸 → 部品・製品需要の低下 → **エネルギー需要減少** → CO₂削減

大きなリバウンド効果：便利なイノベーションが需要を拡大する

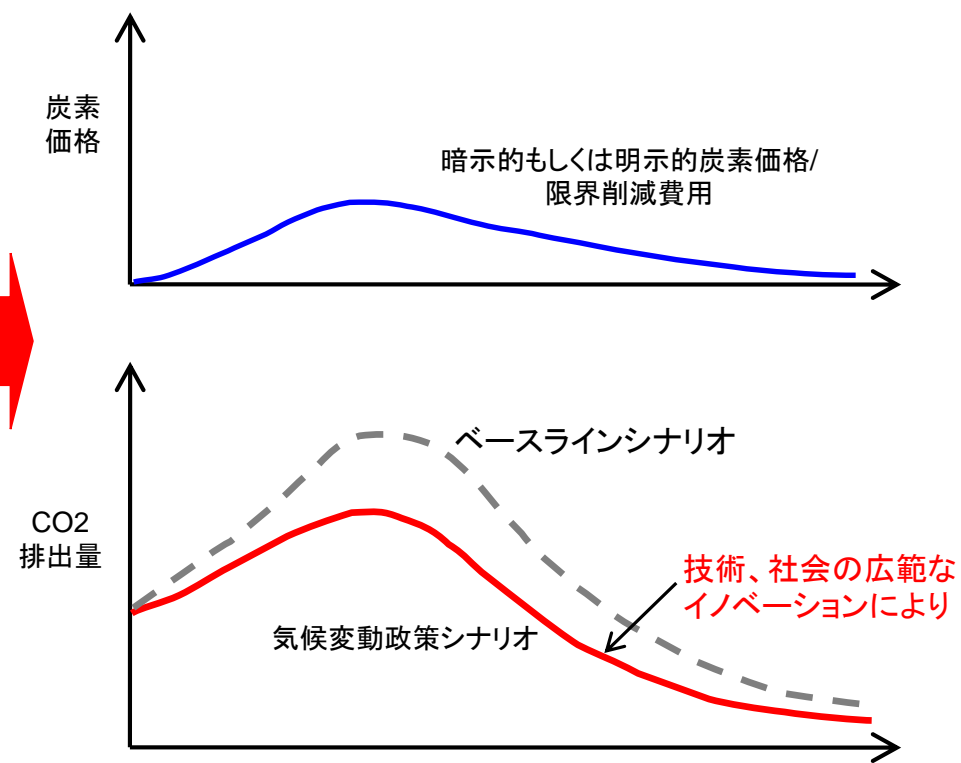
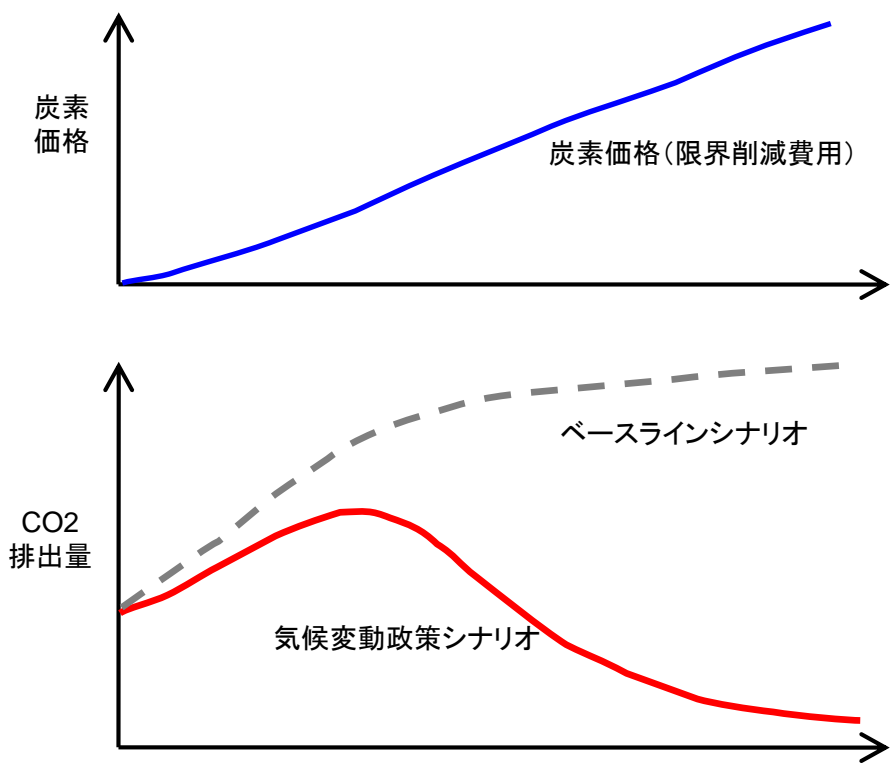
France – Mobility by Travel Mode (passenger-kilometers per day per person)



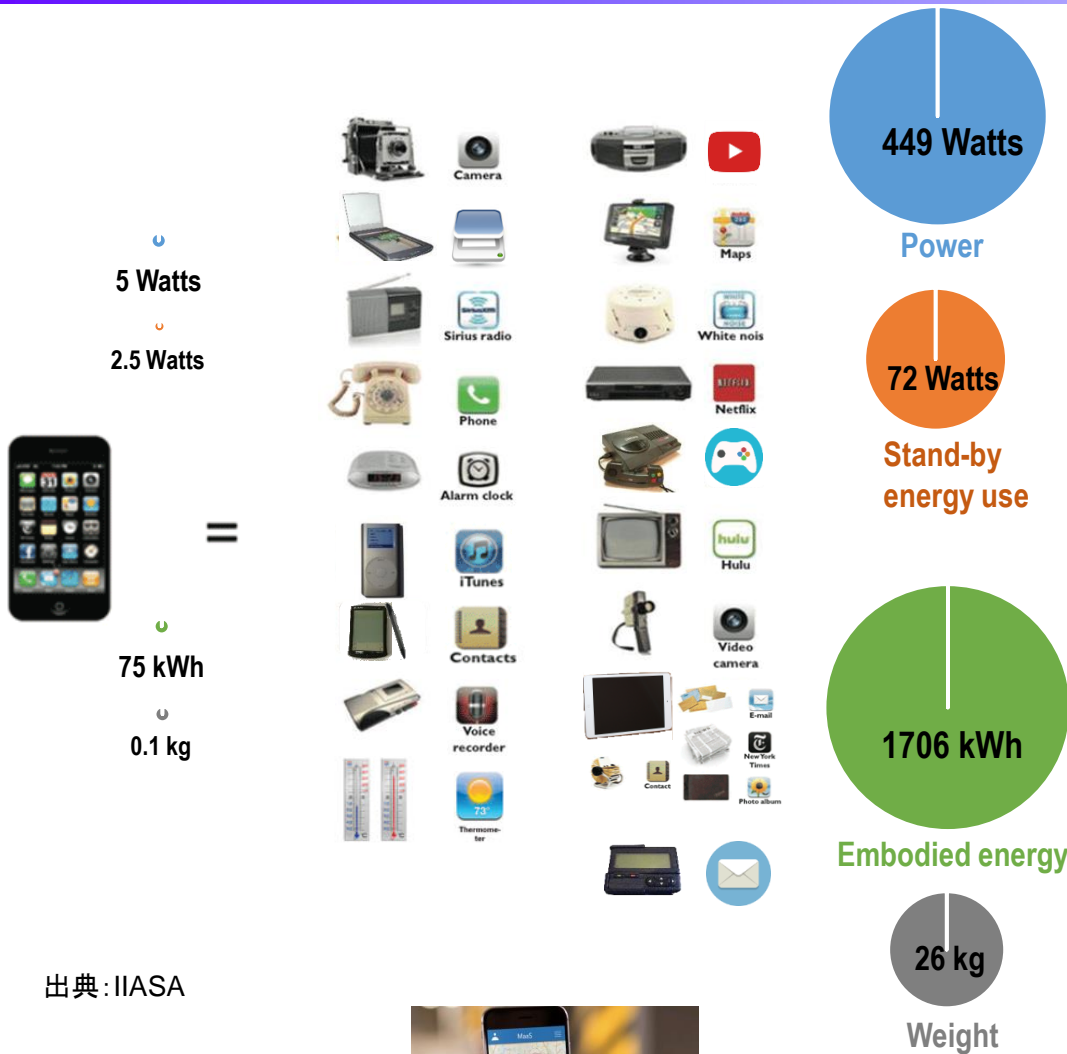
モデルによって通常示される大幅排出削減シナリオと 現実社会でよりあり得る大幅排出削減シナリオ

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



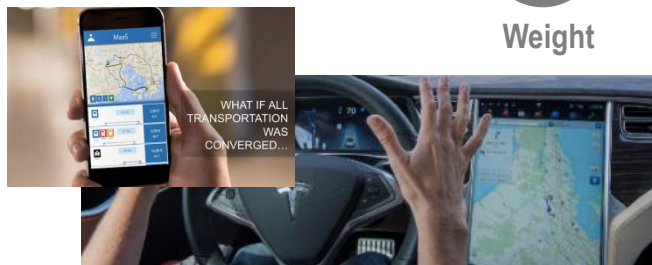
現実世界においては、高い明示的な炭素価格(例えば100\$/tCO₂を超えるような)を継続的につけるようなことは非現実的。高くない(暗示的もしくは明示的な)炭素価格であっても(2次エネルギー価格の世界的な協調を含め)結果として、排出が大幅に減るように誘発するような技術、社会の大幅なイノベーションが起こらなければ、現実世界では大幅な排出削減は不可能と考えられる。



- 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。

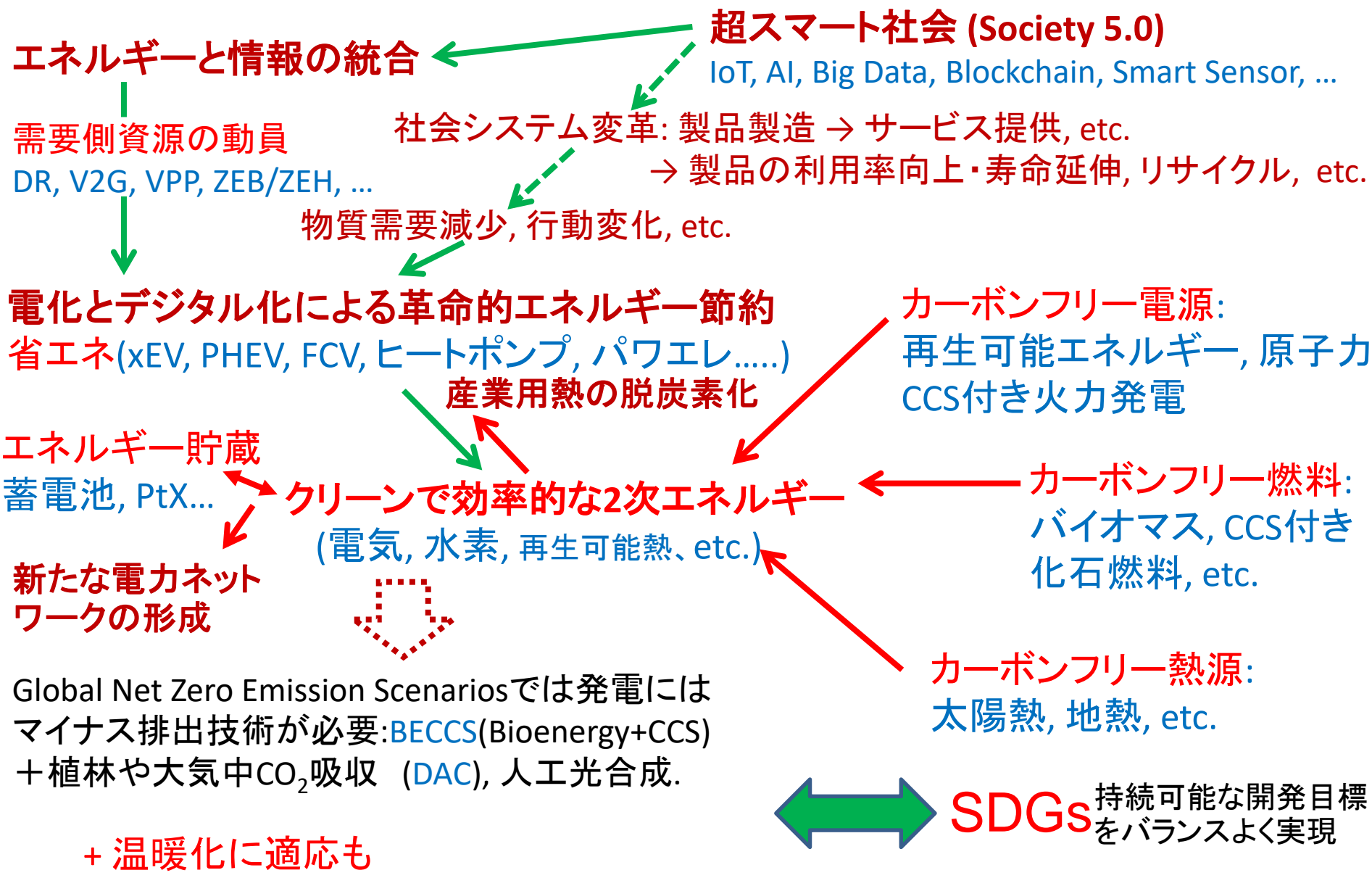
出典: IIASA

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をもたらされ得る。



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

CO₂正味ゼロ排出に向かうエネルギーシステム



Keep Options as Many as Possible!

ご清聴ありがとうございました

Thanks for your attention



公益財団法人 地球環境産業技術研究機構 (RITE)
Research Institute of Innovative Technology for the Earth