

CCUS実用化への展望と課題

山地憲治

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)副理事長・研究所長

革新的CO₂分離回収技術シンポジウム

～地球温暖化防止に貢献する固体吸収材及び膜による分離回収技術の最新動向～

主催：地球環境産業技術研究機構、次世代型膜モジュール技術研究組合

2021年2月2日

@オンライン開催

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

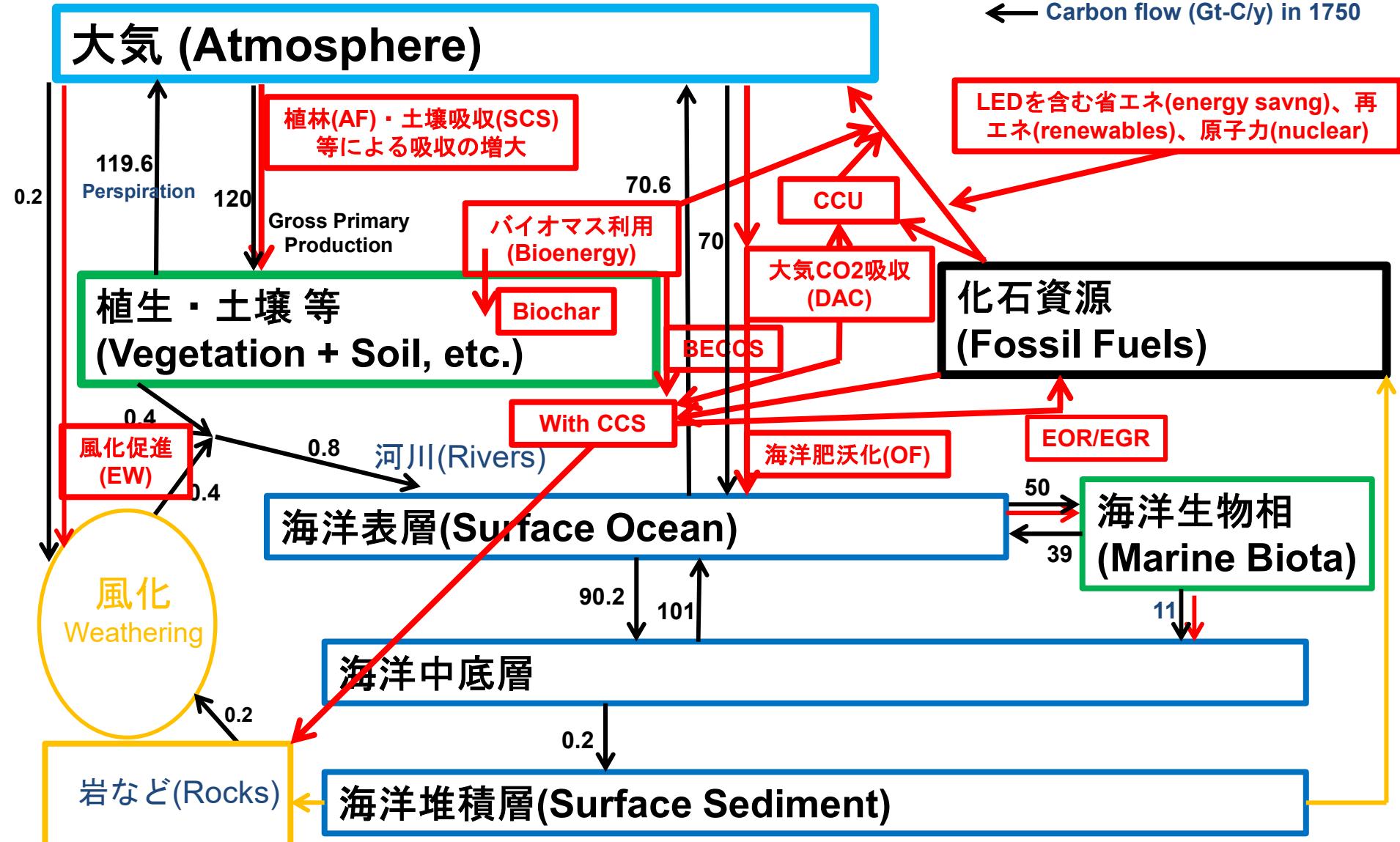
各国の行動:

- ・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月米国退出通告、COP25(市場メカニズム？)、COP26(1年延期)

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 WG1 (2007)のFig 7.3に基づき山地が作成)

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CO2N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

次期エネルギー基本計画検討の進め方（案）

四角形の領域切り取り(R)

3E+Sを目指す上で課題を整理

- レジリエンスの重要性など新たな要素の確認

今世紀後半のできるだけ早期に「脱炭素社会」を実現するための課題の検証

- 気候変動対策を進める世界の状況
- CO₂排出の太宗を占める、エネルギーの需給構造
- 脱炭素化技術への投資確保 など

2030年目標の進捗と更なる取組の検証

- エネルギーミックスの達成状況
- エネルギー源ごとの取組状況
- 今後、さらに取り組むべき施策 など

グリーンイノベーション
戦略推進会議

脱炭素社会に不可欠な
イノベーションのあり方

【参考】『パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略』（2019年6月11日閣議決定）

「我が国は、最終到達点として「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に実現していくことを目指す。」

「2050 年までに 80% の温室効果ガスの排出削減という長期的目標を掲げており、その実現に向けて、大胆に施策に取り組む。」 → 2050年までに実質ゼロ排出(カーボン・ニュートラル)を目指す

2050年カーボンニュートラルに向けたグリーン成長戦略に関する論点

■ 四角形の領域切り

令和2年11月

内閣官房成長戦略会議事務局

1. カーボンニュートラルに向けたグリーン成長戦略

- ・「我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」との方針に沿って、成長戦略の柱に経済と環境の好循環を掲げ、グリーン社会の実現に最大限注力すべきではないか。
- ・もはや、温暖化への対応は経済成長の制約ではなく、積極的に温暖化対策を行うことが、産業構造や経済社会の変革をもたらし、大きな成長につながるという発想の転換が必要ではないか。

2. 革新的なイノベーションの推進

- ・革新的なイノベーションを図る分野として、①電化+電力のグリーン化(洋上風力、次世代蓄電池技術など)、②水素(熱・電力分野を脱炭素化するための水素大量供給)、③CO₂固定・再利用(カーボンリサイクル、CO₂回収・貯留付バイオマス発電等)に重点を置くべきではないか。実用化を見据えて、具体的な目標数値を定めた研究開発を加速度的に促進すべきではないか。
- ・規制改革などの政策を総動員し、企業の資金をグリーン投資に向かわせるとともに、ESG投資や企業のカーボンニュートラルに向けた投資をサポートする税制や金融支援を検討すべきではないか。
- ・環境関連分野のデジタル化により、効率的、効果的にグリーン化を進めるべきではないか。世界のグリーン産業をけん引し、経済と環境の好循環をつくり出していくべきではないか。
- ・産業構造や経済社会の変革により、事業の再構築や労働移動が必要になる者への支援を検討すべきではないか。

3. カーボンニュートラルに向けたエネルギー政策

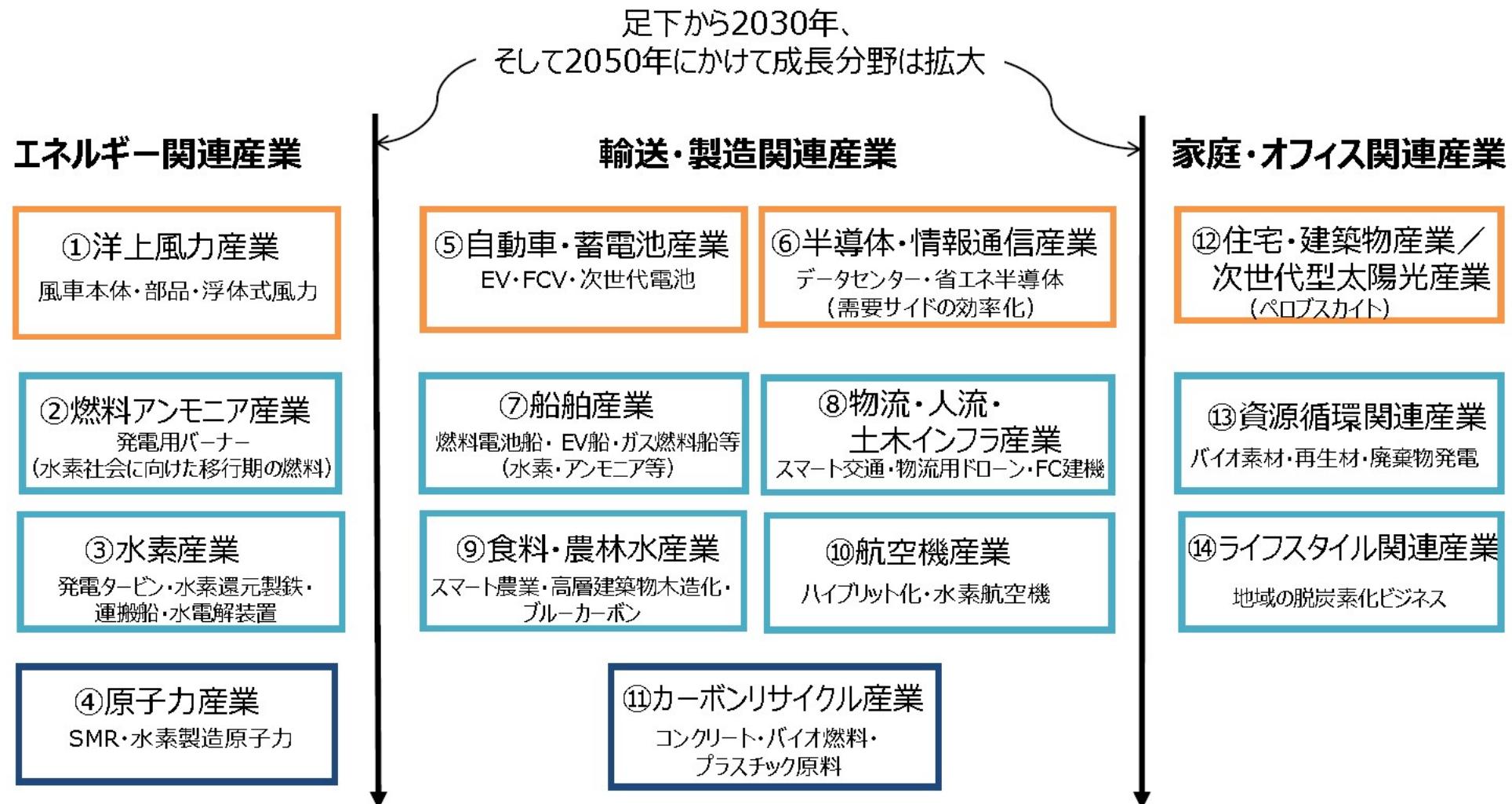
- ・省エネルギーを徹底し、再生可能エネルギーを最大限導入するとともに、安全最優先で原子力政策を進めることで、安定的なエネルギー供給を確立すべきではないか。
- ・石炭火力発電に対する政策を抜本的に転換すべきではないか。

2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

(2020年12月25日)

14重要産業分野の実行計画 (革新的環境イノベーションの社会実装)

※来春のグリーン成長戦略の改定に向けて
目標や対策の更なる深掘りを検討。
(自動車・蓄電池産業など)



革新的環境イノベーション戦略の全体像 (革新的環境イノベーション戦略、2020年1月)

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「ゼロエミッショニ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。

ゼロエミッショニン・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

●革新技術の構成 (要素技術だけでなく、システム化・構造化して提示、山地)

①エネルギー転換分野 :

再エネ主力電源化
強靭な電力ネットワーク
水素サプライチェーン
革新的原子力技術・核融合
低成本CO₂分離回収
⇒CCUS

②運輸分野 :

多様なグリーンモビリティ

④民生分野・その他・横断領域 :

最先端のGHG削減技術の活用
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)
GHG削減効果検証の科学的知見

③産業分野 :

化石資源依存からの脱却
CO₂の原燃料化

電化

□は山地が追加した項目

⑤農業・吸収源 :

最先端のバイオ技術（ブルーカーボン等を含む）
農畜産業のメタン・N₂O削減
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.

ムーンショット型研究開発の目標 4

目標 4

2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現

<ターゲット>

地球環境再生のために、持続可能な資源循環の実現による、**地球温暖化問題の解決(Cool Earth)**と環境汚染問題の解決(Clean Earth)を目指す。

Cool Earth & Clean Earth

- 2050年までに、資源循環技術の商業規模のプラントや製品を世界的に普及させる。

Cool Earth

- 2030年までに、温室効果ガスに対する循環技術を開発し、ライフサイクルアセスメント(LCA)の観点からも有効であることをパイロット規模で確認する。

Clean Earth

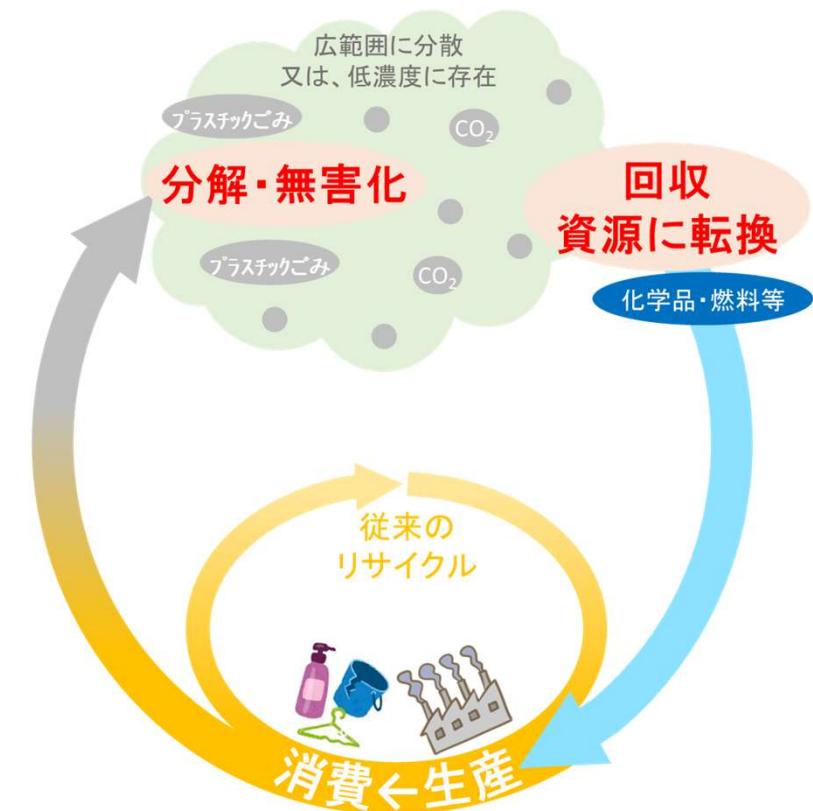
- 2030年までに、環境汚染物質を有益な資源に変換もしくは無害化する技術を開発し、パイロット規模または試作品レベルで有効であることを確認する。

(参考：目指すべき未来像)

Cool Earth & Clean Earth の実現

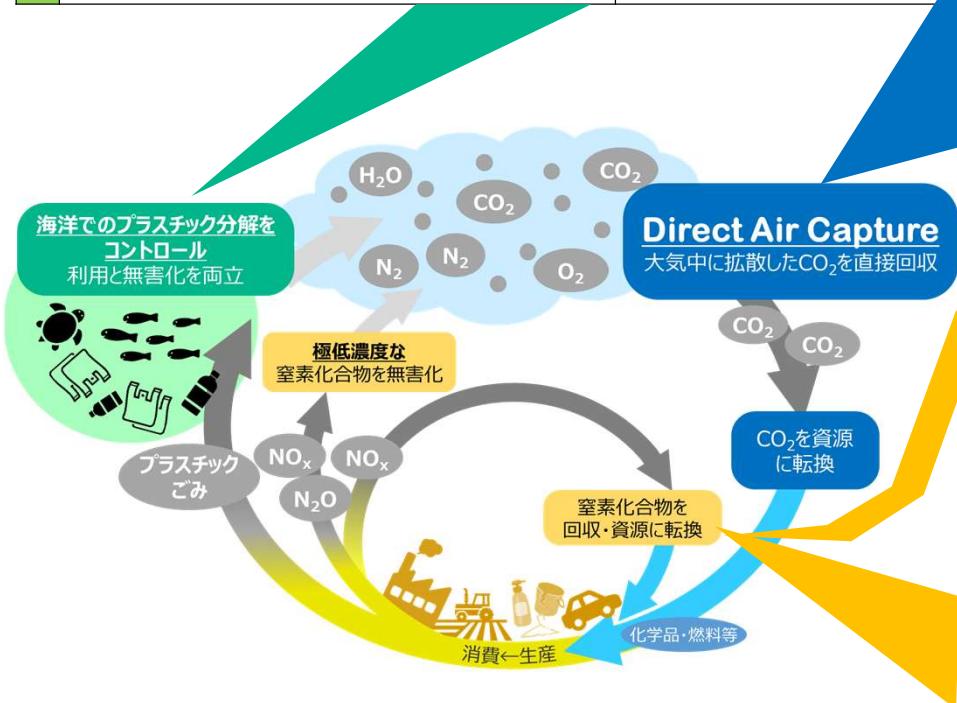
- 2050年までに、**大気中のCO₂の直接回収・資源転換**や、プラスチックごみの分解・無害化技術等を社会実装。

新たに実現する資源循環の例



生分解のタイミングやスピードをコントロールする 海洋生分解性プラスチックの開発

研究開発プロジェクト		PM
11	非可食性バイオマスを原料とした海洋分解可能なマルチロック型バイオポリマーの研究開発	(国大)東京大学 伊藤 耕三
12	生分解開始スイッチ機能を有する海洋分解性プラスチックの研究開発	(国大)群馬大学 粕谷 健一
13	光スイッチ型海洋分解性の可食プラスチックの開発研究	(国大)北陸先端科学技術大学院大学 金子 達雄



温室効果ガスを回収、資源転換、無害化する技術の開発

研究開発プロジェクト		PM
1	電気エネルギーを利用し大気CO2を固定するバイオプロセスの研究開発	(国研)産業技術総合研究所 加藤 創一郎
2	大気中からの高効率CO2分離回収・炭素循環技術の開発	(国大)金沢大学 児玉 昭雄
3	電気化学プロセスを主体とする革新的CO2大量資源化システムの開発	(国大)東京大学 杉山 正和
4	C4S研究開発プロジェクト	(国大)東京大学 野口 貴文
5	冷熱を利用した大気中二酸化炭素直接回収の研究開発	(国大)東海国立大学機構名古屋大学 則永 行庸
6	大気中CO2を利用可能な統合化固定・反応系(quad-C system)の開発	(国大)東北大学 福島 康裕
7	“ビヨンド・ゼロ”社会実現に向けたCO2循環システムの研究開発	(国大)九州大学 藤川 茂紀
8	資源循環の最適化による農地由来の温室効果ガスの排出削減	(国大)東北大学 南澤 究

窒素化合物を回収、資源転換、無害化する技術の開発

研究開発プロジェクト		PM
9	産業活動由来の希薄な窒素化合物の循環技術創出—プラネタリーバウンダー問題の解決に向けて	(国研)産業技術総合研究所 川本 徹
10	窒素資源循環社会を実現するための希薄反応性窒素の回収・除去技術開発	(国大)東京大学 脇原 徹

DAC技術に関する海外事例

Climeworks (スイス) : 世界初の商業プラント(900t-CO₂/year)、600\$/t-CO₂、固体吸収材

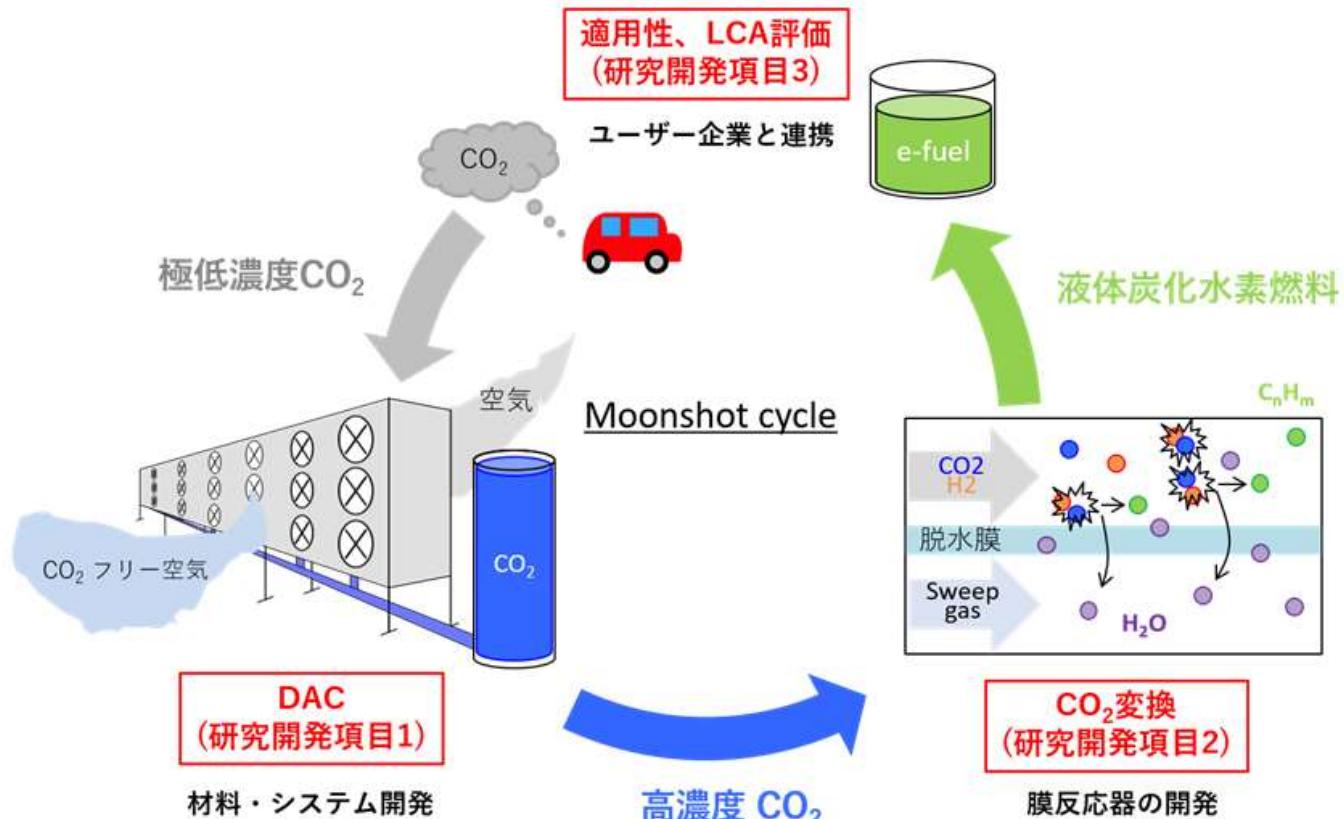
Carbon Engineering (カナダ) : 50万t-CO₂/yearのプラント2基を2022年稼働予定、94-232\$/t-CO₂、アルカリ水溶液

Global Thermostat (米国) : 4000t-CO₂/yearのパイロットプラント建設、150\$/t-CO₂、固体吸収材

Center for Negative Carbon Emissions (米国) : Artificial Treeを提案、220\$/t-CO₂、イオン交換樹脂(アミン系)

The VTT Technical Research Center (フィンランド) : Day/night サイクルで 1-2kg-CO₂/day、イオン交換樹脂(アミン系)

P2. 大気中からの高効率CO₂分離回収・炭素循環技術の開発

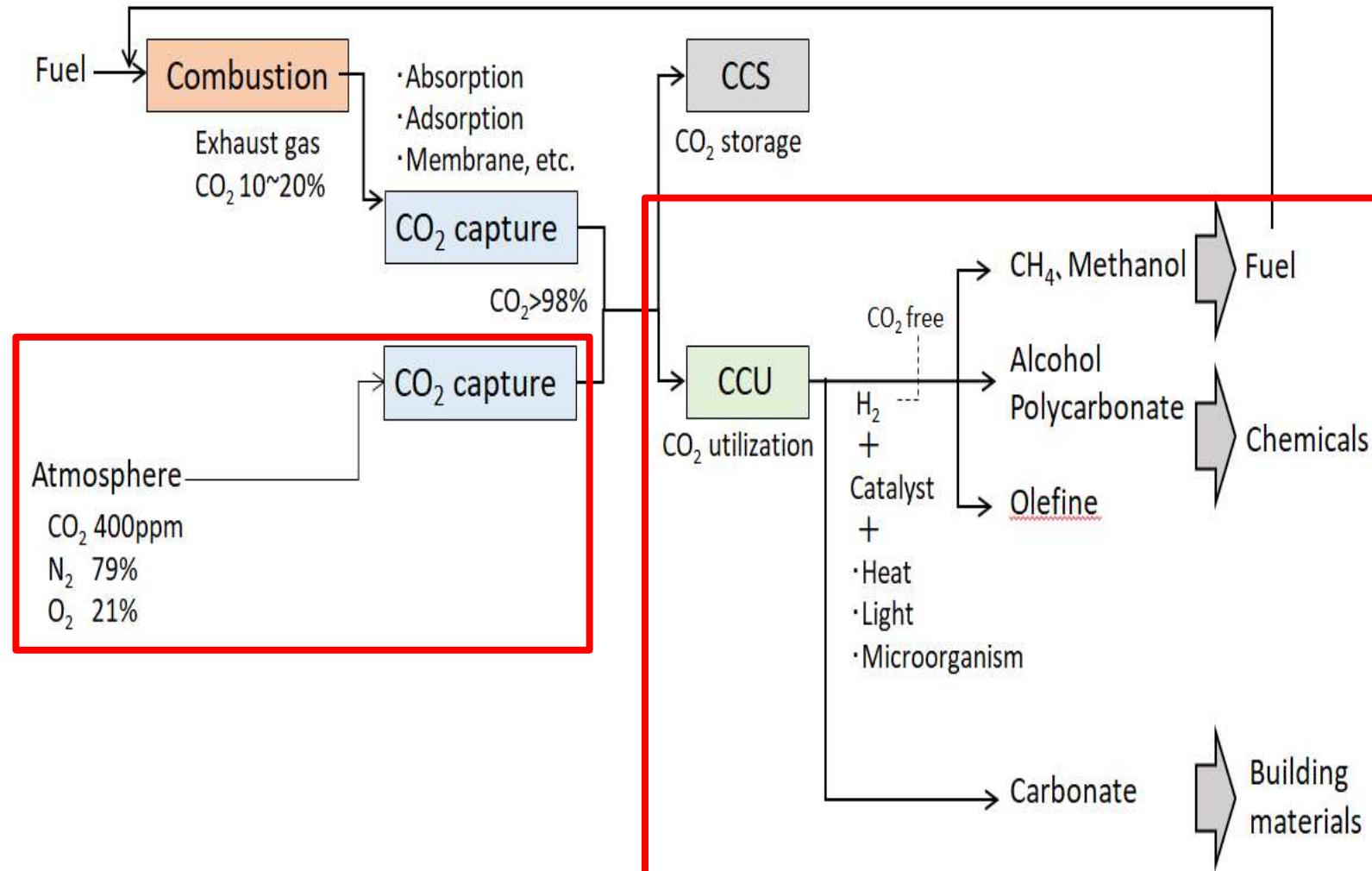


本研究開発の概要図と資源循環のイメージ。

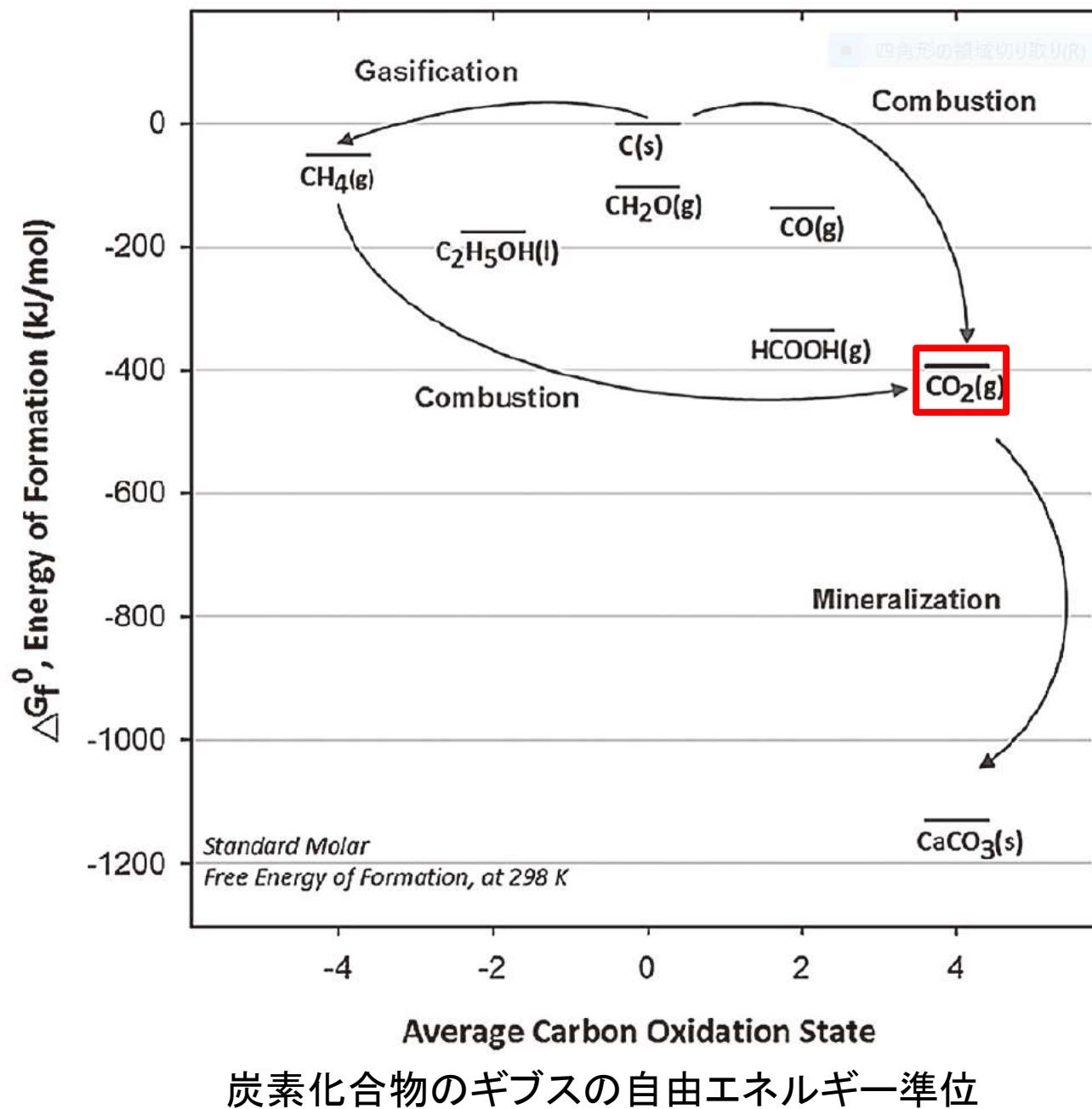
委託予定先：

国立大学法人金沢大学、公益財団法人地球環境産業技術研究機構

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

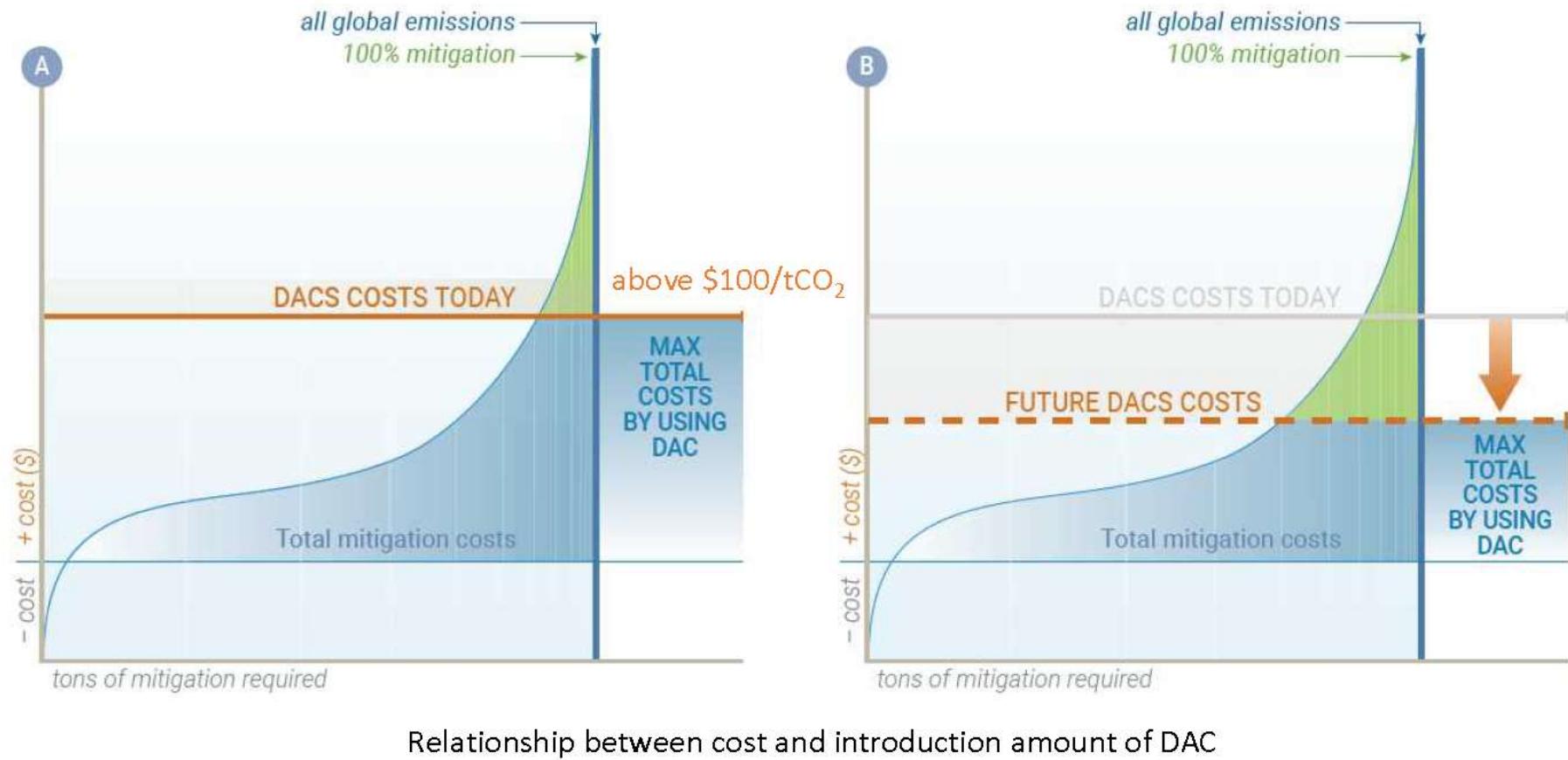


化学的に安定なCO₂利用への挑戦



出所: 酒井獎、季報エネルギー総合工学、2019年10月号

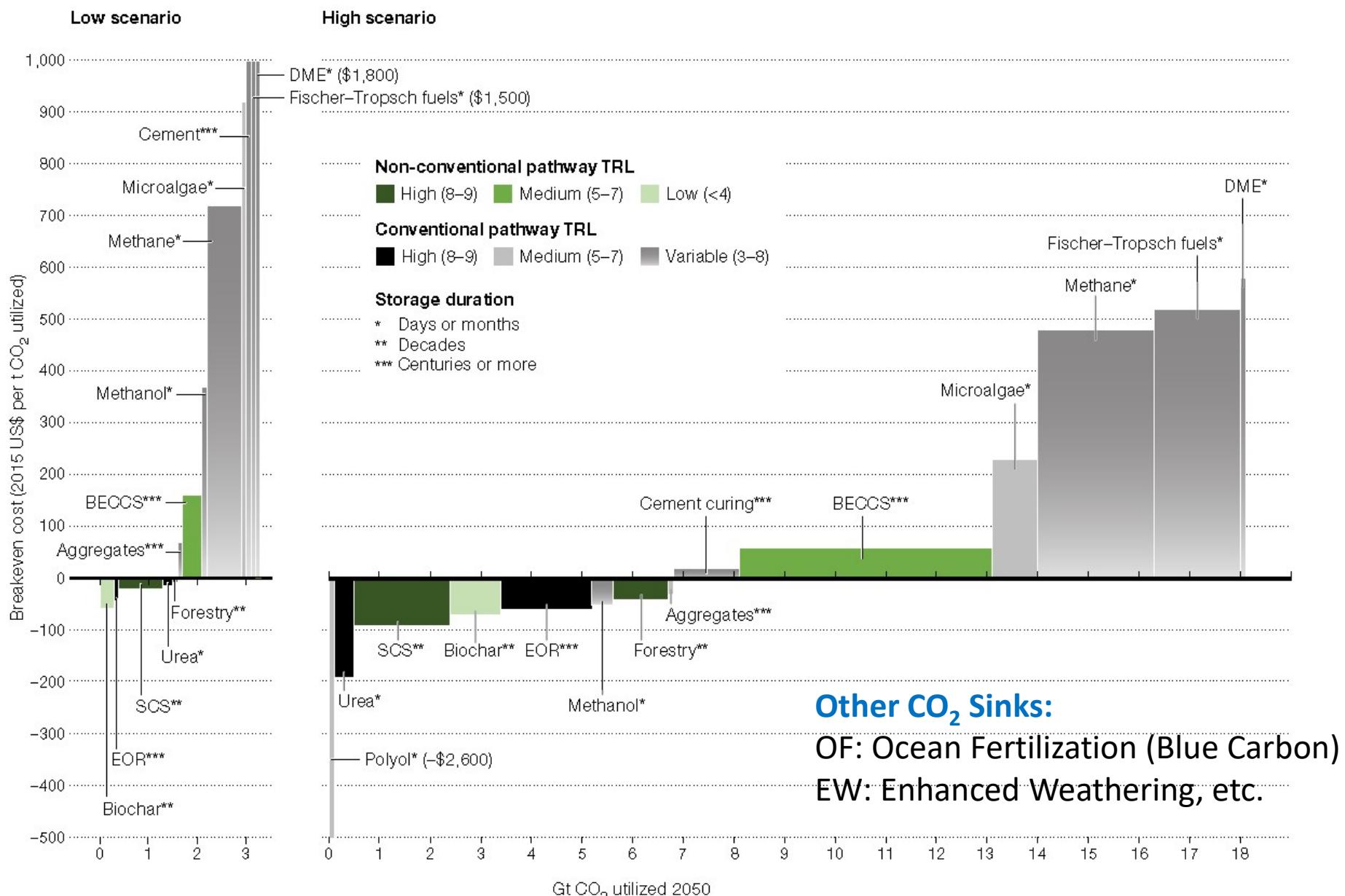
Cost for CO₂ Removal **(DAC as a Backstop Technology)**



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

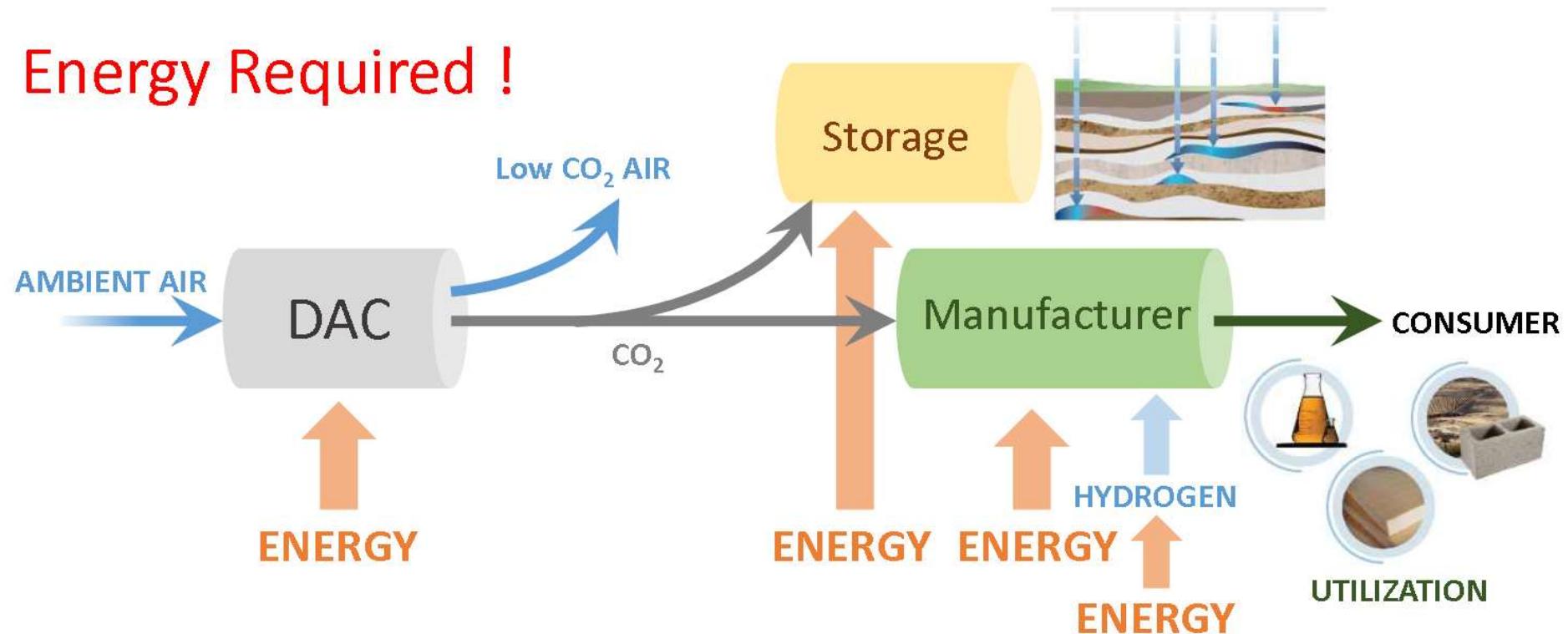
CCUの供給曲線評価例

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



Direct Air Capture + CO₂ Utilization/CO₂ Storage

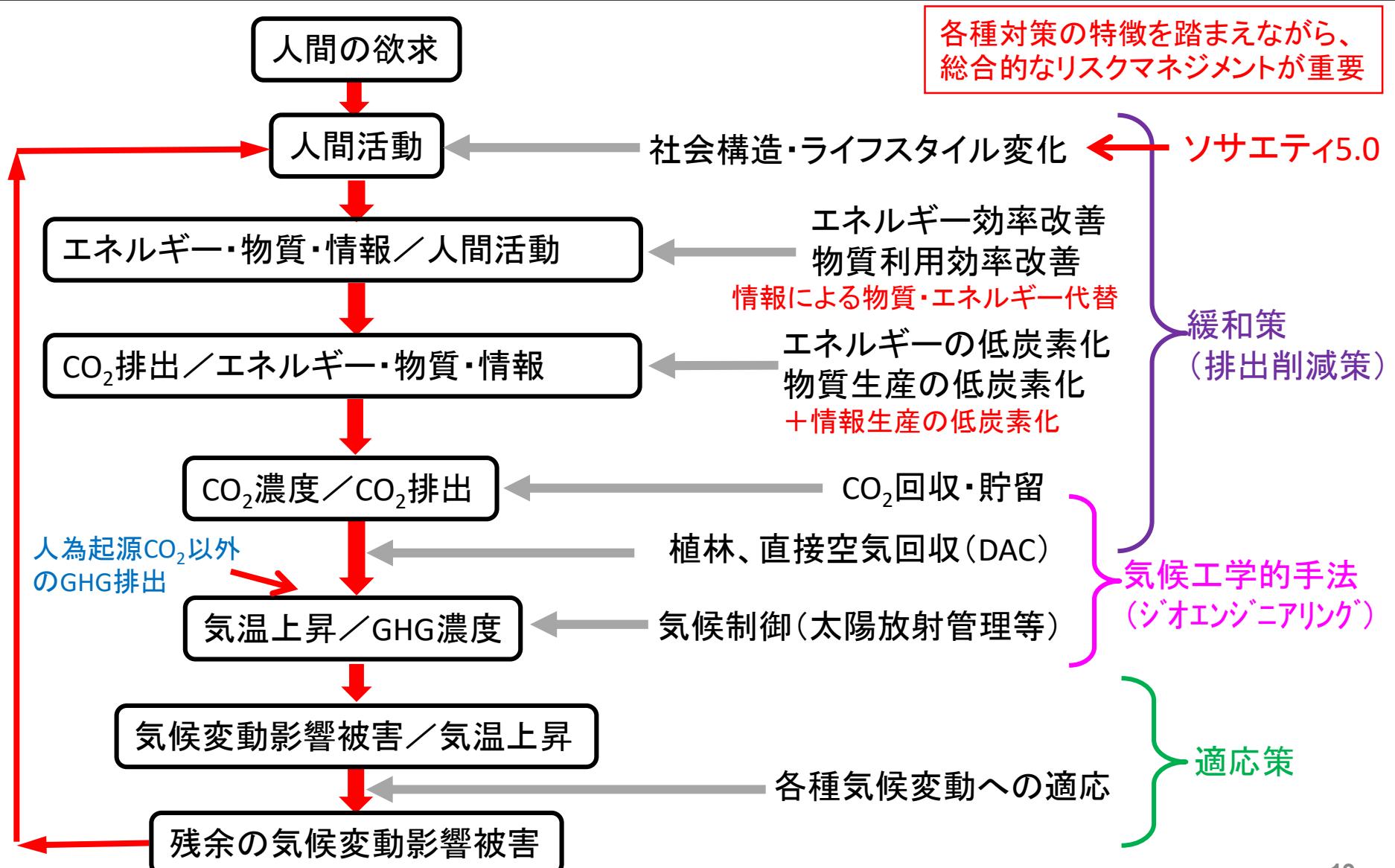
Energy Required !



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



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、活き活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

+情報タグで物流スマートリサイクル

→ 情報によるモノの代替



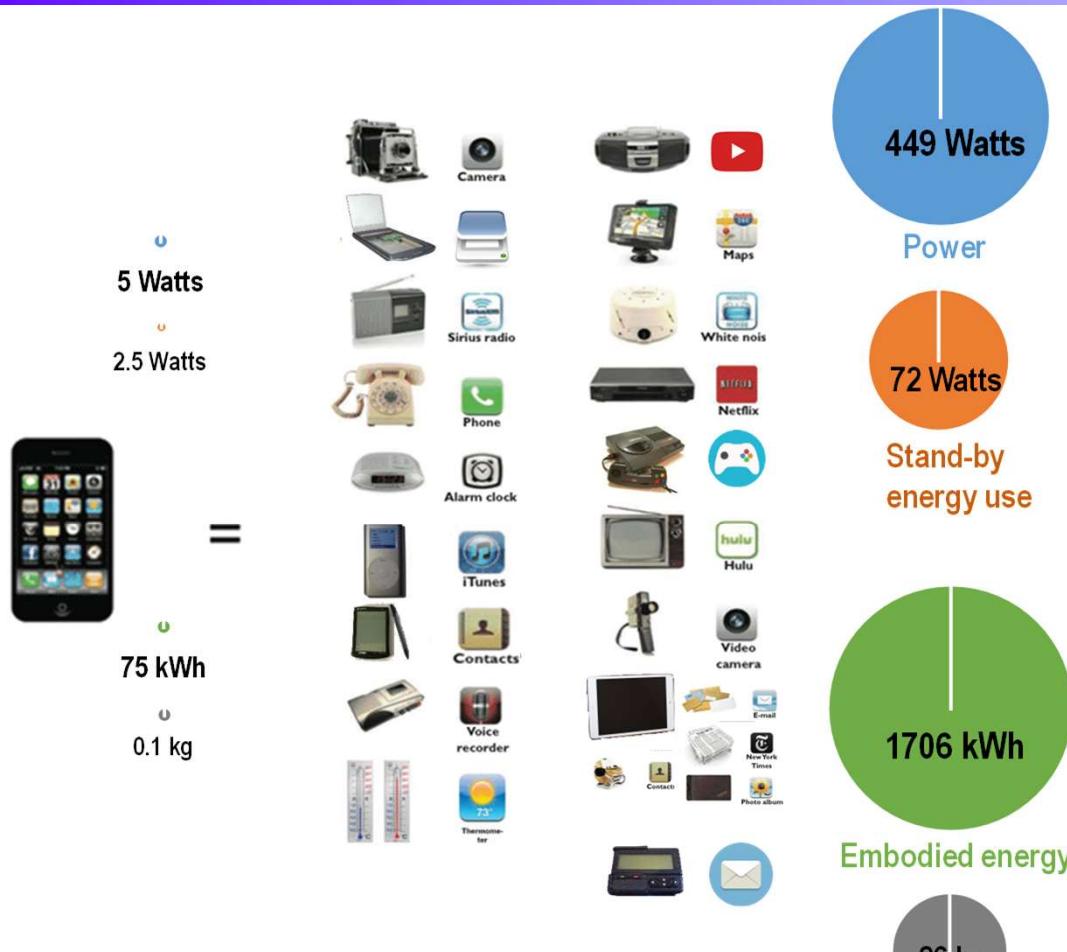
ただし、リバウンド効果に注意！

(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

IT, AI等のエンドьюース技術の革新と社会変化



出典:IIASA

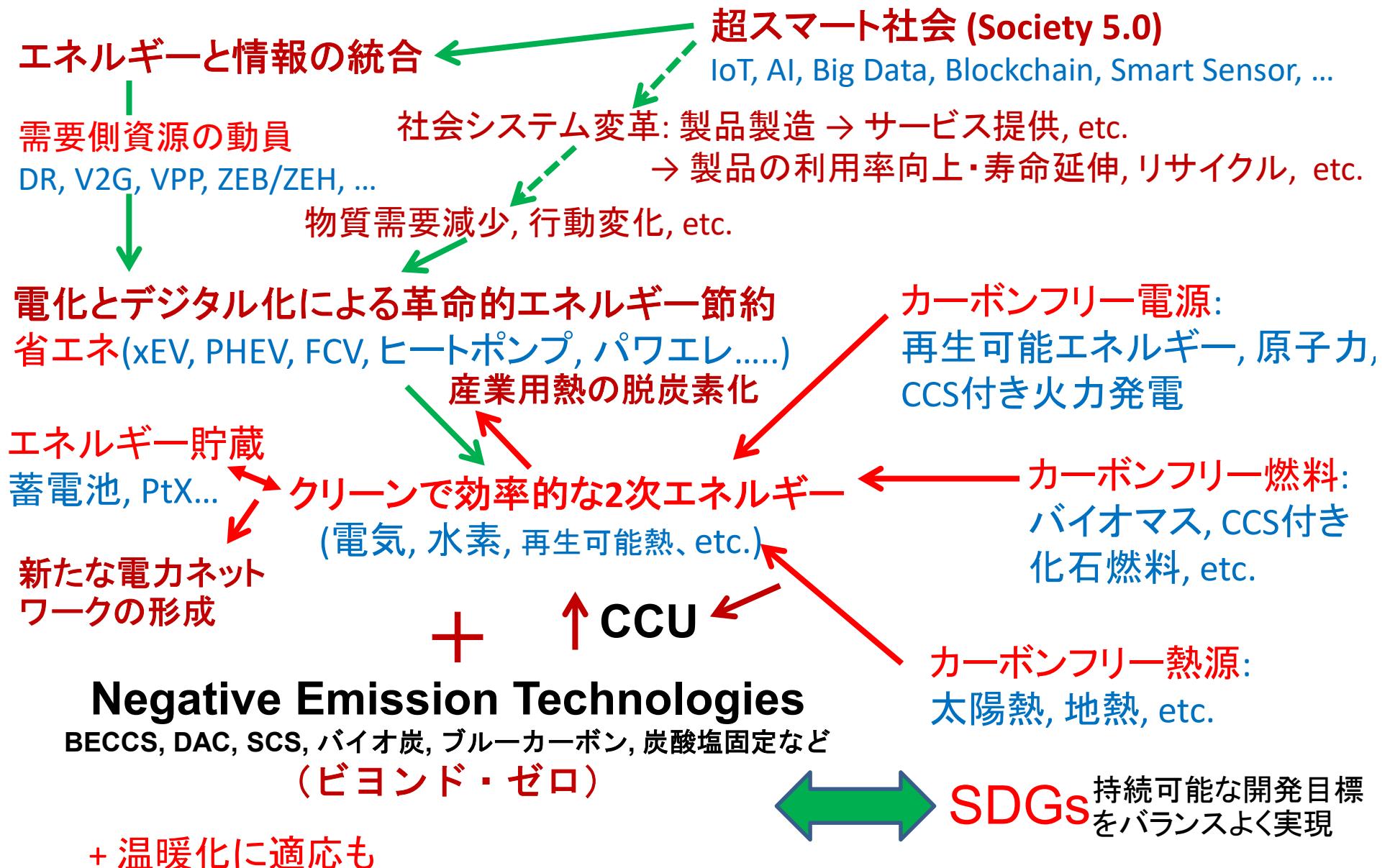
例えば自家用車の稼働率は5%前後であり、完全自動運転でシェアリングとなれば大きな変化がもたらされ得る。



- ・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

CO₂正味ゼロ排出に向かうエネルギー・システム

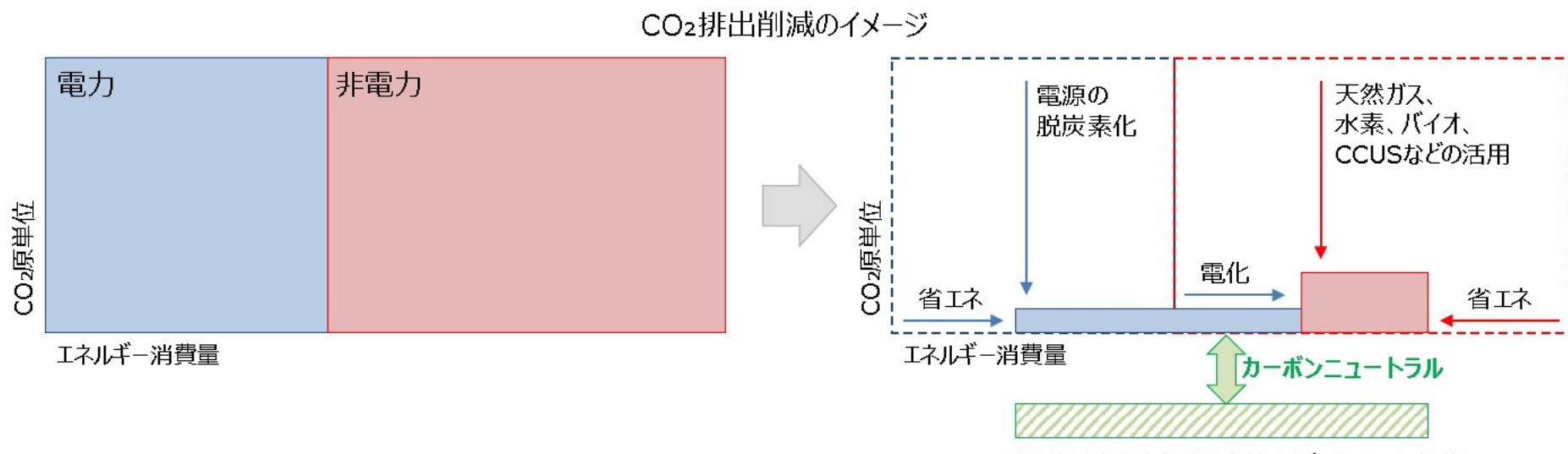


グリーンイノベーションの方向性

● 四角形の領域切り取り(R)

- 2050年カーボンニュートラルという困難な課題を実現するためには、
 - ①既存の技術を最大限に活用・普及を推進し、**新たな技術の社会実装**に重点的、計画的に取り組むことが重要。各国ともこれに取り組んでいる。
 - ②省エネ、電化、電源の脱炭素化、水素化を進めても、化石燃料を使わない姿は現実的ではなく、**CO₂を回収・貯留するネガティブエミッション技術も重要**であること
 - ③**脱炭素化が難しい産業部門における技術・対策**については、長期的な不確実性があるため、**複数のオプション**で取り組んでいく必要があること

も、充分に意識して検討する必要がある。



出所) (公財) 地球環境産業技術研究機構秋元氏資料を簡略化

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