

脱炭素社会に向けた取り組みと実現へのシナリオ

Carbon Neutral Society: Initiatives 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)

2020年度 ALPS国際シンポジウム

ALPS International Symposium (FY 2020)

—2050年カーボンニュートラルに向けた今後の戦略—
- Strategy for 2050 Carbon Neutral -

2021年3月9日 March 9, 2021
@イイノホール、東京 + オンライン配信
@IINO Hall, Tokyo + On Line

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(20年11月脱退;21年2月復帰)、COP26(1年延期、2021年11月)

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

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6月：パリ協定長期成長戦略(UNFCCC事務局へ提出)

2019年10月：グリーンイノベーションウィーク：TCFDサミット、ICEF、RD20

2020年1月：革新的環境イノベーション戦略公表

2020年7月：グリーンイノベーション戦略推進会議発足

2020年10月：2050年カーボンニュートラル宣言

2020年12月：グリーン成長戦略公表

2021年4月：気候サミット（バイデン大統領主催）

2021年6月：G7サミット（英国・コーンウォール）

2021年9月：国連総会（ニューヨーク）

2021年10月：G20サミット（ローマ）

2021年11月：COP26（グラスゴー）

次期エネルギー基本計画検討の進め方（案）

3E+Sを目指す上での課題を整理

- 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

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。

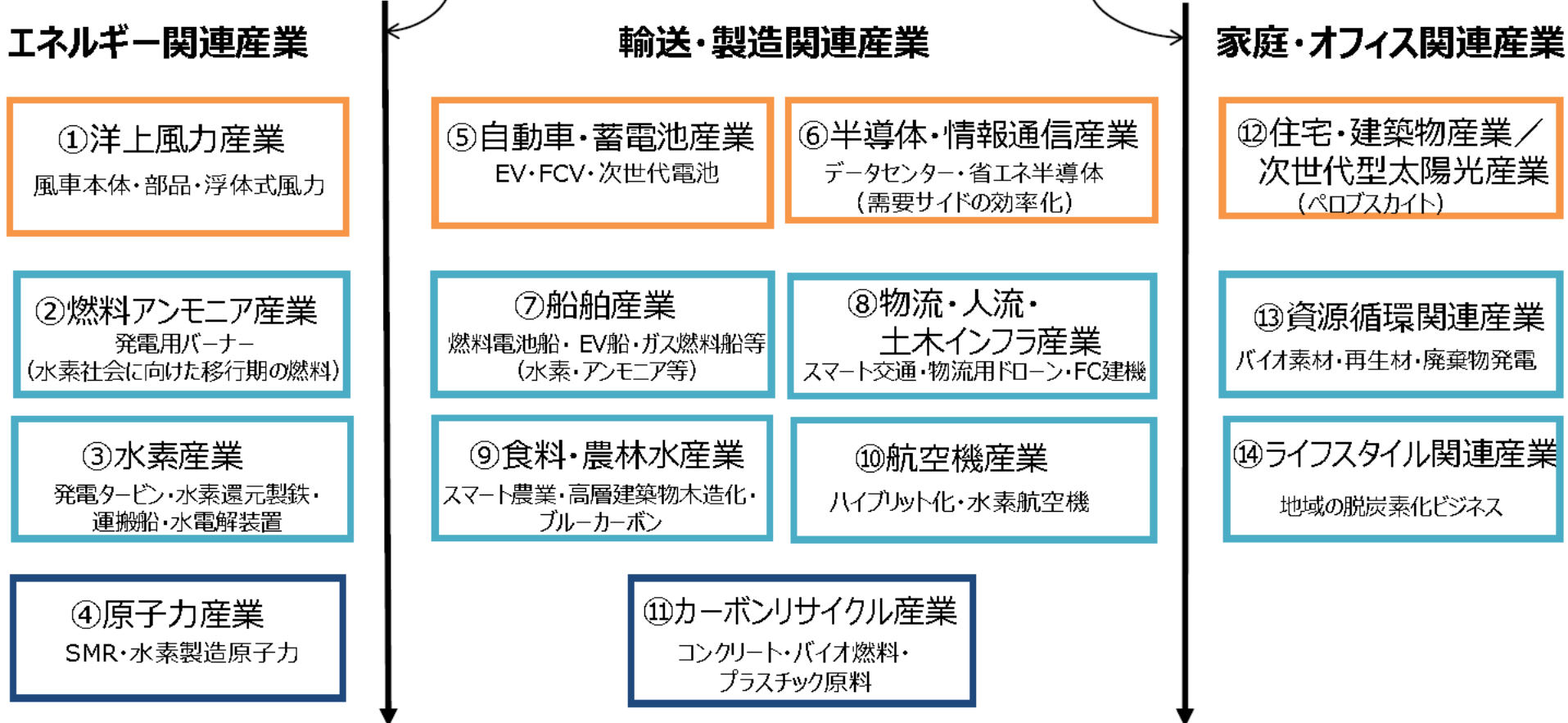
2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略

(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)

足下から2030年、
そして2050年にかけて成長分野は拡大



グリーンイノベーション基金事業

令和2年度第3次補正予算額 2.0兆円

事業の内容

事業目的・概要

- 2050年までのカーボンニュートラル目標は、「今世紀後半のなるべく早期」という従来の政府方針に比べ大幅な前倒しで、現状の取組を大幅に加速することが必要です。
- 当該目標に向け、我が国の温室効果ガス排出の約85%をエネルギー起源CO2が占めていることを踏まえ、エネルギー転換部門の変革や、製造業等の産業部門の構造転換を図るため、革新的技術の早期確立・社会実装を図ります。
- 2050年までに、新たな革新的技術が普及することを目指し、グリーン成長戦略の「実行計画」を踏まえ、具体的な目標年限とターゲットへのコミットメントを示す企業の野心的な研究開発を、今後10年間、継続して支援します。

成果目標

- 政府資金を呼び水として、民間企業の研究開発・設備投資を誘発することが見込まれます。また、世界で3,000兆円規模のESG資金を国内の事業に呼び込み、経済と環境の好循環を実現します。

条件（対象者、対象行為、補助率等）

補助（基金造成）

委託/補助

国

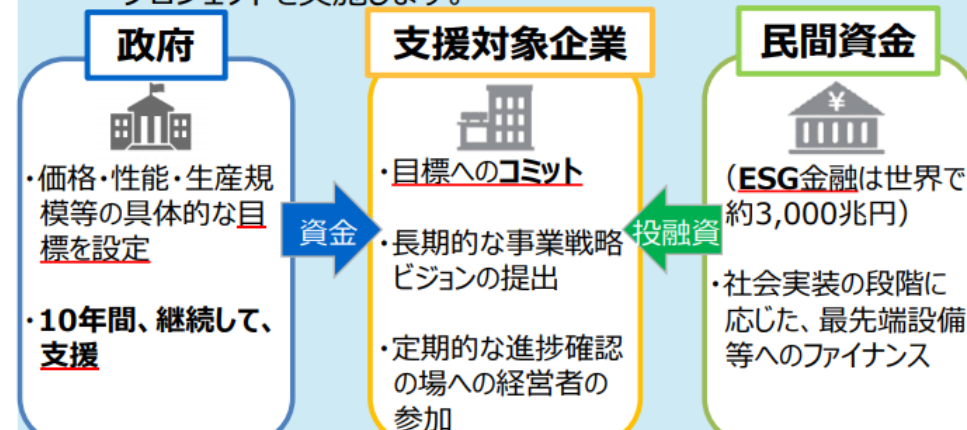
NEDO

民間企業等

事業イメージ

- NEDOに基金を設け、具体的な目標年限とターゲットへのコミットメントを示す民間企業等に対して、今後10年間、継続して支援を行うことで、革新的技術の早期確立・社会実装を図ります。
- カーボンニュートラル社会の実現に必須となる3つの要素、
 - ① 電化と電力のグリーン化（次世代蓄電池技術等）
 - ② 水素社会の実現（熱・電力分野等を脱炭素化するための水素大量供給・利用技術等）
 - ③ CO2固定・再利用（CO2を素材の原料や燃料等として活かすカーボンリサイクルなど）

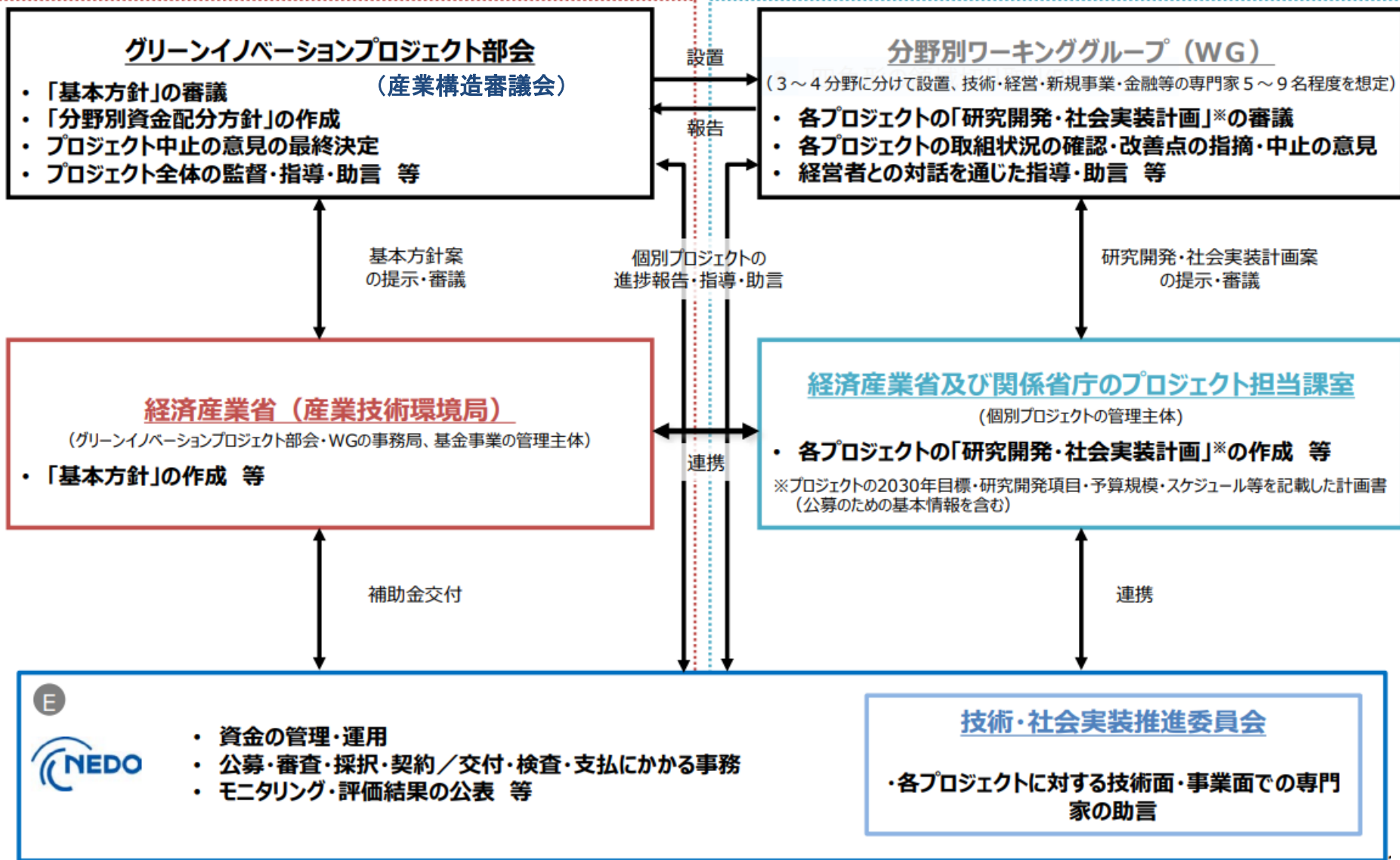
等の重点分野について、社会実装につながる研究開発プロジェクトを実施します。



3-5. 基金事業の実施体制（各主体の役割）

【基金事業全体の設計・管理】

【個別プロジェクトの設計・管理】



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)

① エネルギー転換分野：

再エネ主力電源化

強靱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

低コスト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

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

は山地が追加した項目

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.

< 3E+Sに関する政策目標 >

自給率 (Energy Security)

震災前 (約20%) を
更に上回る概ね25%程度

経済効率性 (電力コスト) (Economic Efficiency)

現状よりも引き下げる

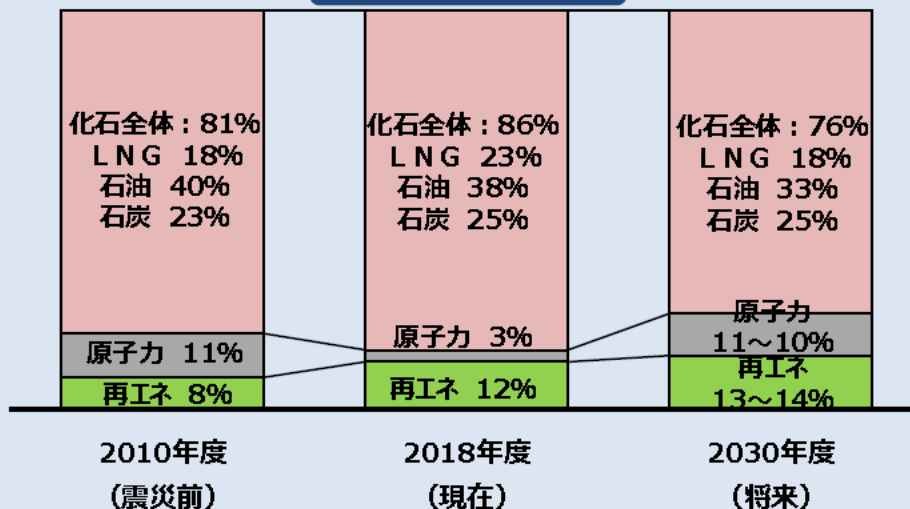
温室効果ガス排出量 (Environment)

欧米に遜色ない
温室効果ガス削減目標

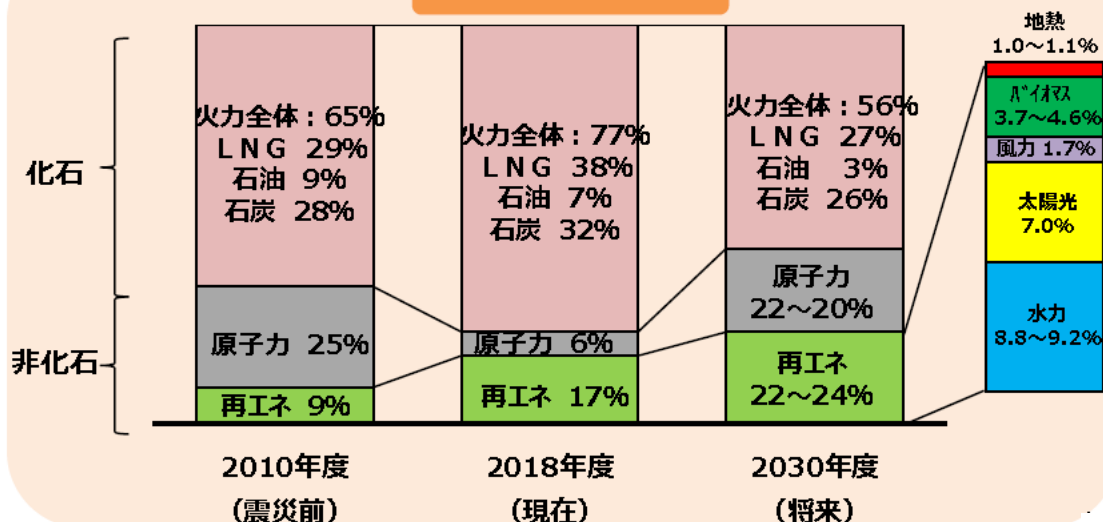
安全性(Safety)

安全性が大前提

一次エネルギー供給



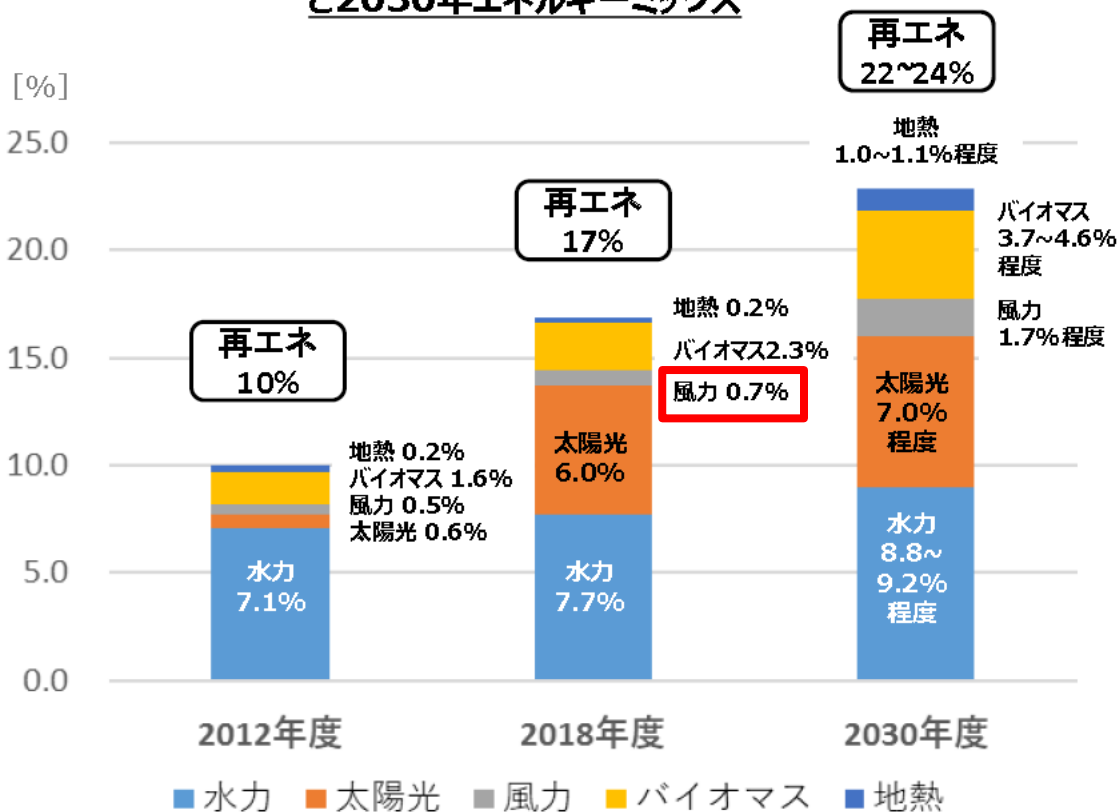
電源構成



(参考6) 再生可能エネルギーの導入状況

- FIT制度を2012年に導入し、**再エネ比率は17%** (2018年度)、**再エネ導入量は世界第6位** (2017年)と導入が拡大。
- **この6年間で約3倍**にという日本の増加スピードは、世界トップクラス。

我が国の再エネ比率の推移
と2030年エネルギーミックス



発電電力量の国際比較 (水力発電除く)

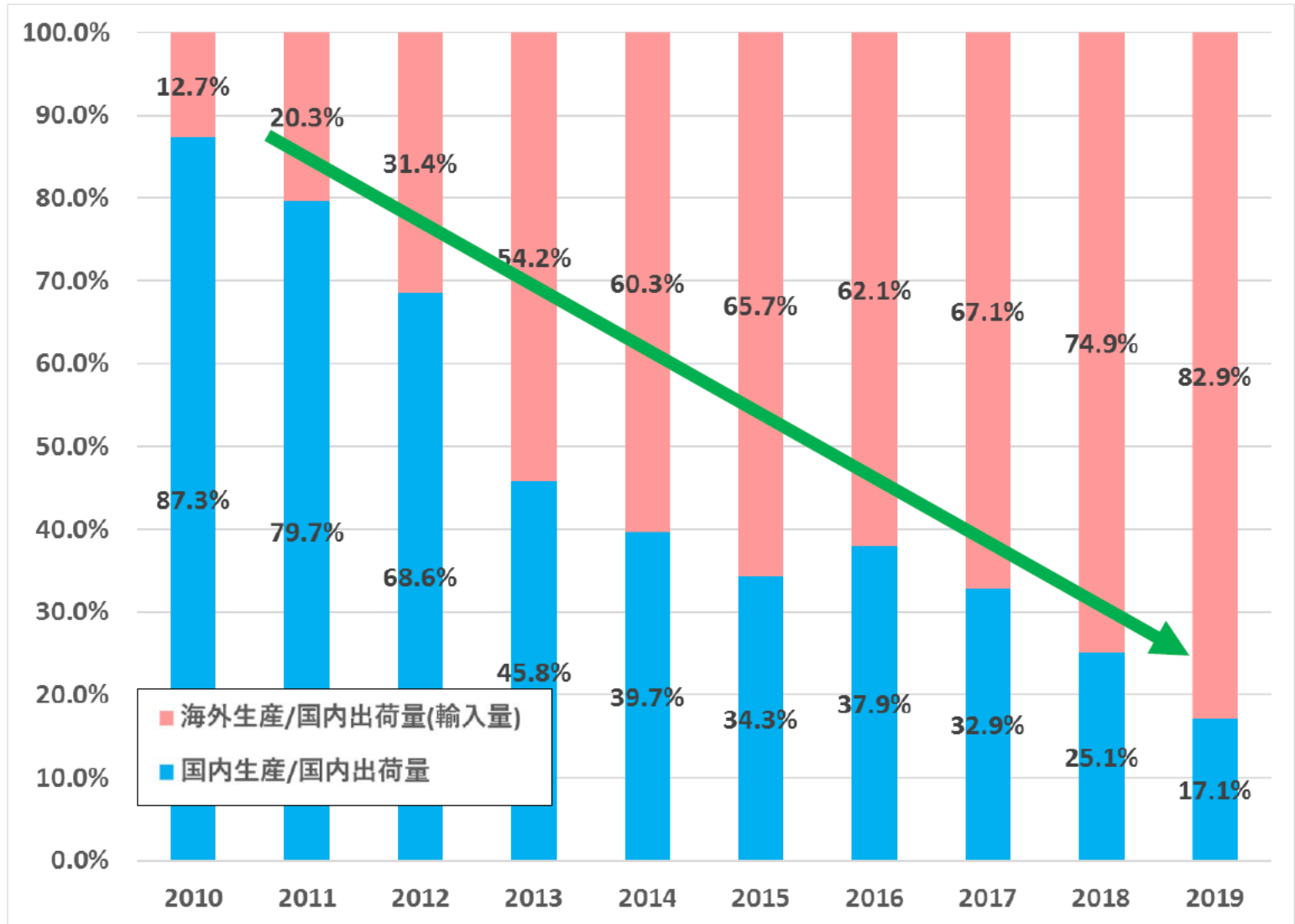
単位：億kWh

	2012年	2018年
日本	309	963 → 3.1倍
EU	4,319	6,743 → 1.6倍
ドイツ	1,217	1,962 → 1.6倍
イギリス	358	934 → 2.6倍
世界	10,693	21,870 → 2.0倍

出典：IEA データベースより資源エネルギー庁作成

日本の太陽光パネルにおける海外シェア

- 日本製が高い世界シェアを誇った太陽光パネルも、現在は輸入に依存する割合が拡大。



(出典) 資源総合システム社調べ

日本における洋上風力発電に対する制度整備の状況

2018年7月 エネルギー基本計画（閣議決定）

○陸上風力の導入可能な適地が限定的な我が国において、**洋上風力発電の導入拡大は不可欠**である。（中略）
地域との共生を図る海域利用のルール整備や系統制約、基地港湾への対応、関連手続きの迅速化と価格入札も
組み合わせた**洋上風力発電の導入促進策を講じていく**。



2018年12月 再エネ海域利用法の成立

【洋上風力発電の主な課題】

【対応】

課題① 海域利用に関する統一的なルールがない

- ・海域利用（占有）の統一ルールなし
（都道府県の許可は通常3～5年と短期）

- ・国が、洋上風力を実施可能な**促進区域を指定**。公募を行って事業者を選定、**長期占有を可能とする制度**を創設。
→**十分な占有期間（30年間）、事業の安定性を確保**。

課題② 先行利用者との調整の枠組が不明確

- ・海運や漁業等の地域の先行利用者との調整に係る枠組みが存在しない。

- ・**関係者による協議会**を設置。**地元調整を円滑化**。
- ・**区域指定の際、関係省庁と協議**。他の**公益との整合性を確認**。
→**事業者の予見可能性向上、負担軽減**。

課題③ 高コスト

- ・FIT価格が欧州と比べ**36円/kWhと高額**。
- ・国内に経験ある**事業者が不足**。

- ・**価格等により事業者を公募・選定**。
→ **競争を促してコストを低減**。

再エネ海域利用法により実現

国内洋上風力産業の競争力強化に向けた基本的な考え方

● 四角形の領域切り取り(R)

- 洋上風力を主力電源化とするためには、関連産業の競争力を強化し、コスト削減していくことが必要。
- 関連産業の競争力強化・コスト削減の鍵となるのは、投資拡大。一方で、事業者からは、日本の市場拡大の見通しが見えないと投資を躊躇するとの声がある。
- そのため、洋上風力発電の計画的・継続的な導入拡大（予見性の確保）と関連産業の競争力強化・コスト削減を官民が一体となる形で進め、相互の「好循環」を生み出すこととしたい。
- 本協議会では、この「好循環」を形成するため、官民が一体となって取り組むべき事項についてご議論いただきたい。



官民が一体となって取り組むべき事項

【本協議会の検討課題】

- ① 中長期的な洋上風力発電導入のポテンシャルと課題の分析
- ② 分野別課題分析（設計・製造、建設・海洋土木、メンテナンス、ファイナンス等）
- ③ 計画的導入に向けたインフラ環境整備の在り方（電力系統、港湾・コンビナート、産業基盤）
- ④ 事業者（業界）の投資コスト削減等に関する取り組み

⇒課題解決と導入拡大に向けた、具体的な方向性を示す「洋上風力産業ビジョン（仮称）」を作成

日本風力発電協会の意気込み

意欲的で明確な中長期導入目標の設定

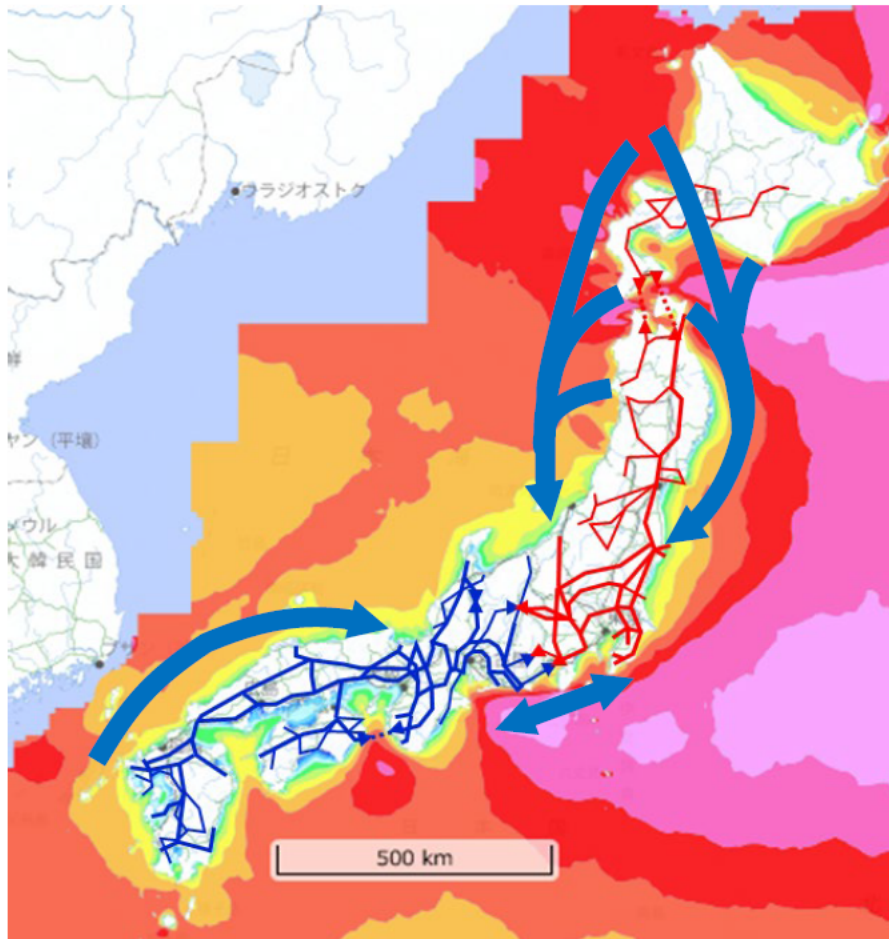
四角形の領域切り取り(R)

- **2030年：洋上風力10GW**
 - 中間点として目標を設定
 - 投資判断に最低限必要な市場規模(1GW程度×10年間)
- **2040年：洋上風力30～45GW**
 - 産業界が投資回収見通し可能な市場規模(年間当り2～4GW程度)
 - 世界各国と肩を並べる競争環境を醸成できる市場規模
- **2050年：洋上風力90GW (+陸上40GW = 130GW)**
 - 政府目標：GHG排出量80%削減に相応しい目標値
 - 2050年推定需要電力量に対して風力より30%以上を供給

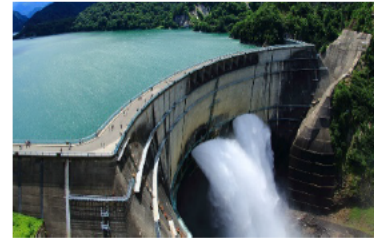


【参考】ジャパン・スーパーグリッドのイメージ

大型電源 = 広域消費



ダム



原子力



洋上風力



- 海底ケーブルによる短納期での整備
- 直流送電でロス少なく長距離に最適
- 全国大で系統の一体運用を可能に

※ NEDO洋上風況マップ (http://app10.in.foc.nedo.go.jp/Nedo_Webgis/index.html) に主要電力系統 (275kV以上) 概略図を重ねた

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

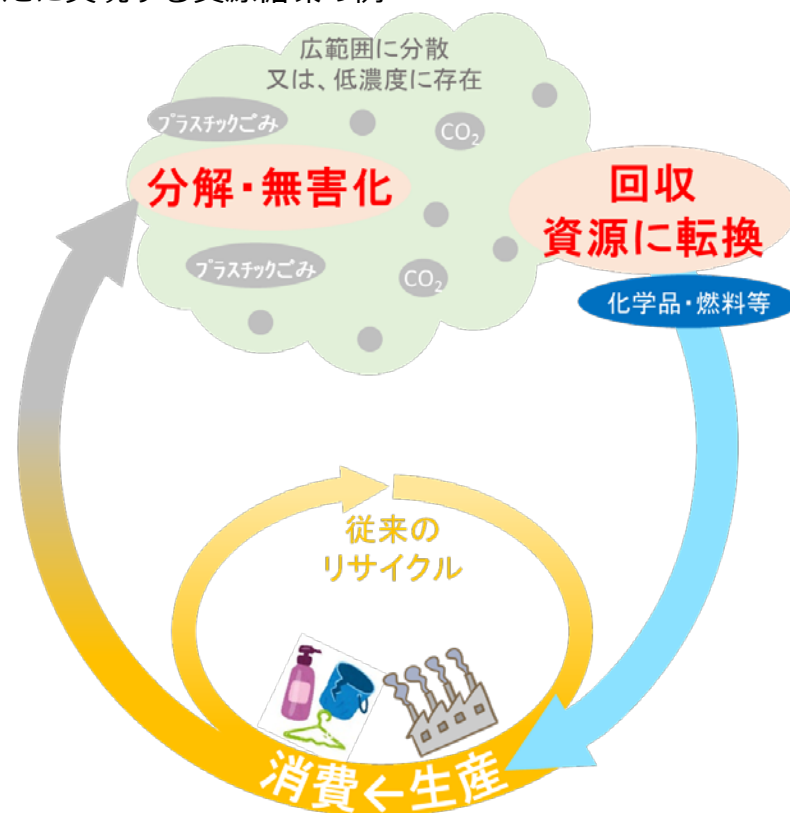
- 2030年までに、環境汚染物質を有益な資源に変換もしくは無害化する技術を開発し、パイロット規模または試作品レベルで有効であることを確認する。

(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

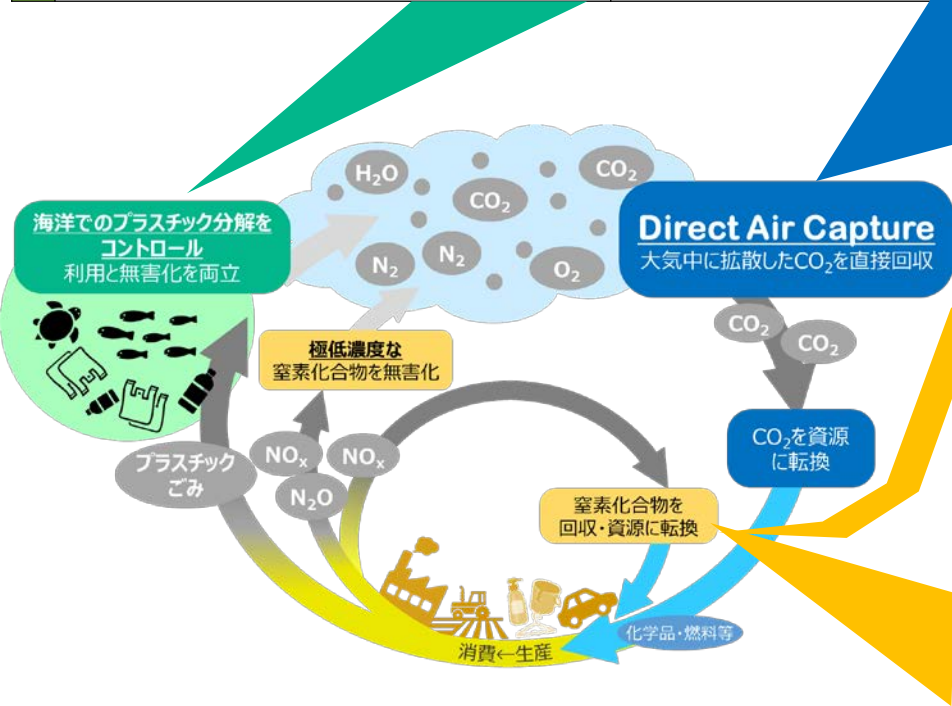


生分解のタイミングやスピードをコントロールする 海洋生分解性プラスチックの開発

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
11 非可食性バイオマス为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

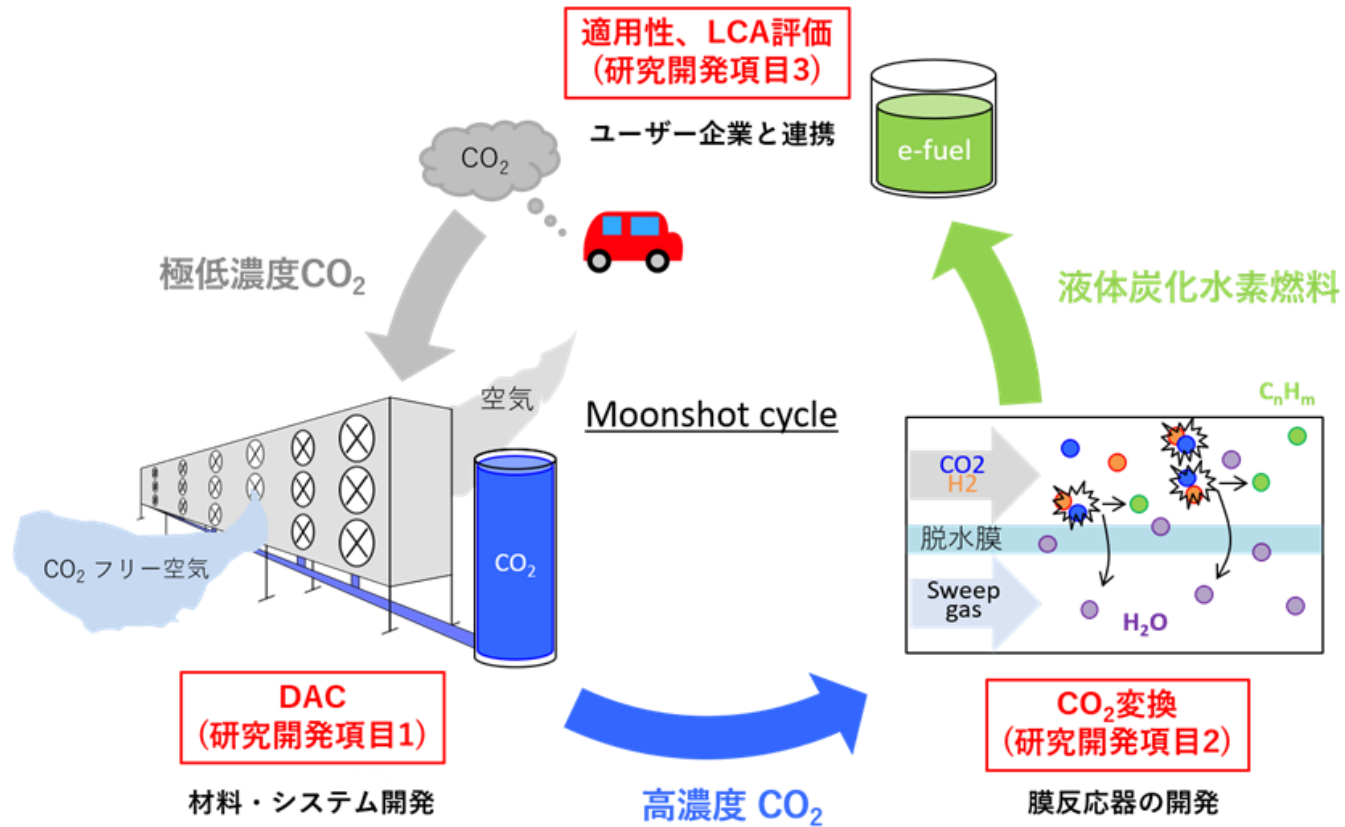
研究開発プロジェクト	PM
1 電気エネルギーを利用し大気CO2を固定するバイオプロセスの研究開発	(国研)産業技術総合研究所 加藤 創一郎
2 大気中からの高効率CO2分離回収・炭素循環技術の開発	(国大)金沢大学 児玉 昭雄
3 電気化学プロセスを主体とする革新的CO2大量資源化システムの開発	(国大)東京大学 杉山 正和
4 C4S研究開発プロジェクト	(国大)東京大学 野口 貴文
5 冷熱を利用した大気中二酸化炭素直接回収の研究開発	(国大)東海国立大学機構名古屋大学 則永 行庸
6 大気中CO2を利用可能な統合化固定・反応系 (quad-C system) の開発	(国大)東北大学 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リ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

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

P11. 非可食性バイオマス为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



委託予定先：↓

国立大学法人東京大学、三菱ケミカル株式会社、株式会社ブリヂストン、帝人株式会社、株式会社クレハ、国立大学法人九州大学、国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学、国立大学法人山形大学、公益財団法人地球環境産業技術研究機構、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人愛媛大学、国立大学法人東京工業大学↓

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

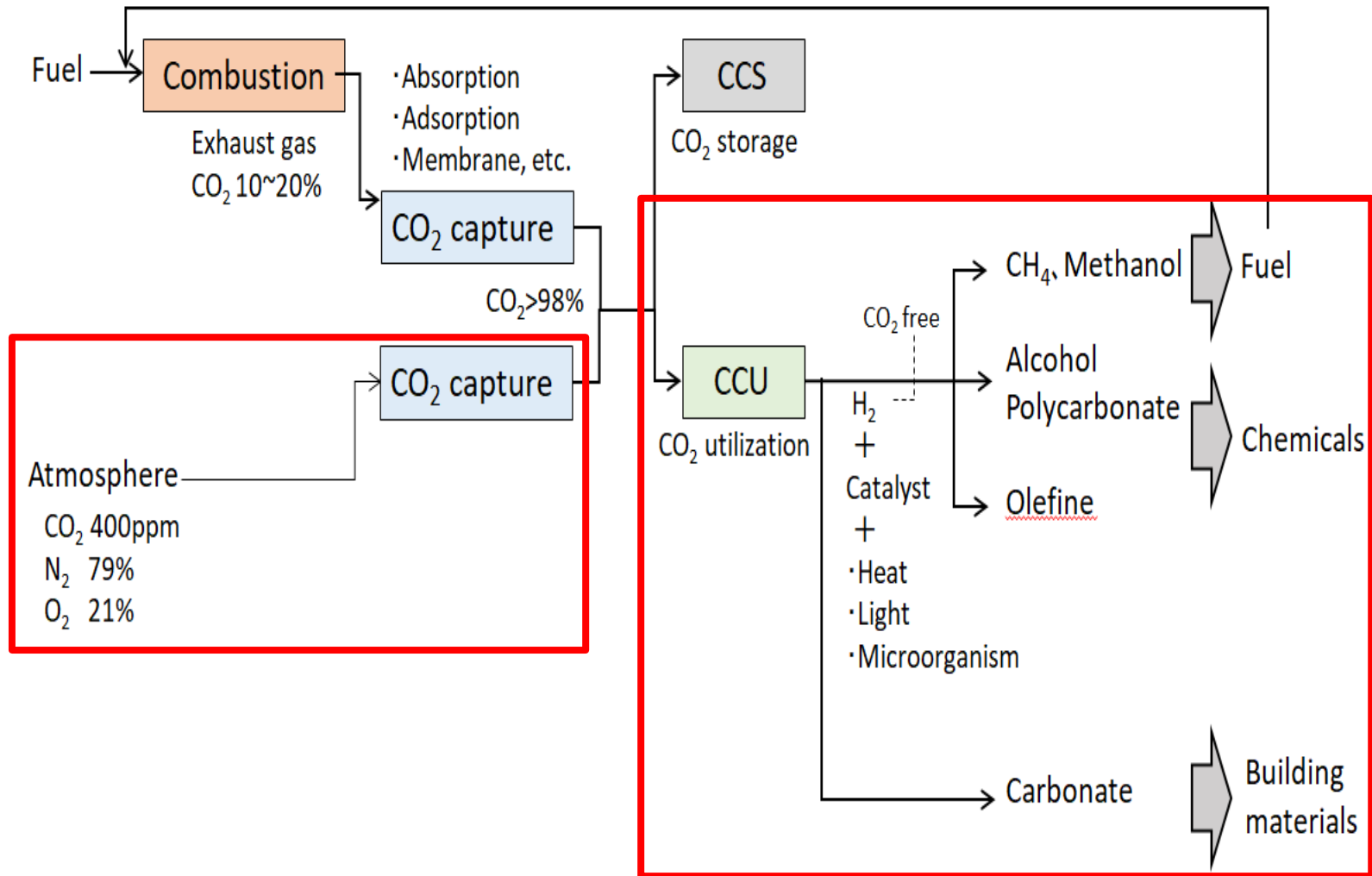
Carbon Engineering (カナダ) : 50万t-CO₂/yearのプラント2基を2022年稼働予定、94-232\$/t-CO₂、アルカリ水溶液

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

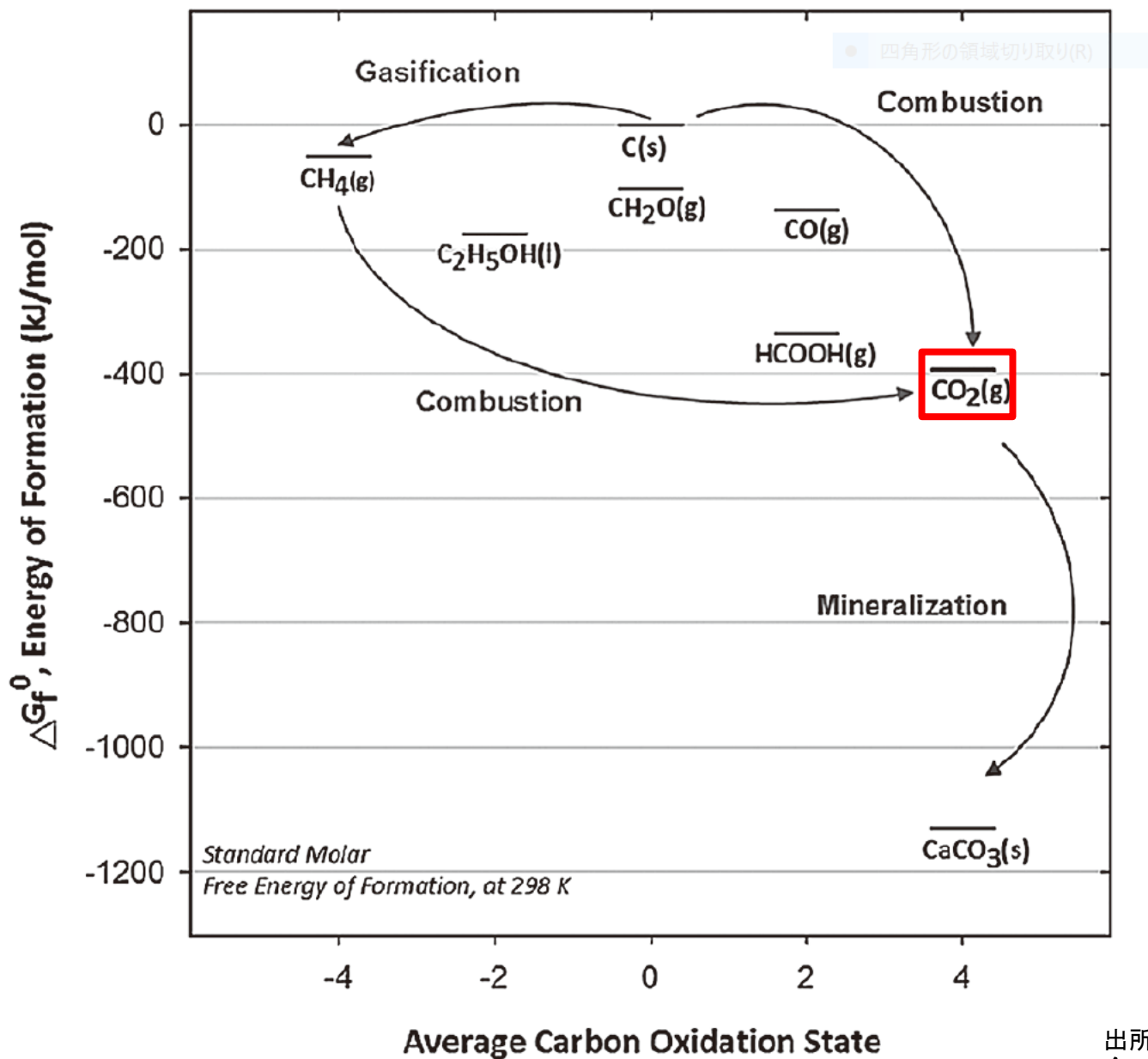
Center for Negative Carbon Emissions (米国) : Artificial Treeを提案、220\$/t-CO₂、イオン交換樹脂(アミン系)

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)

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



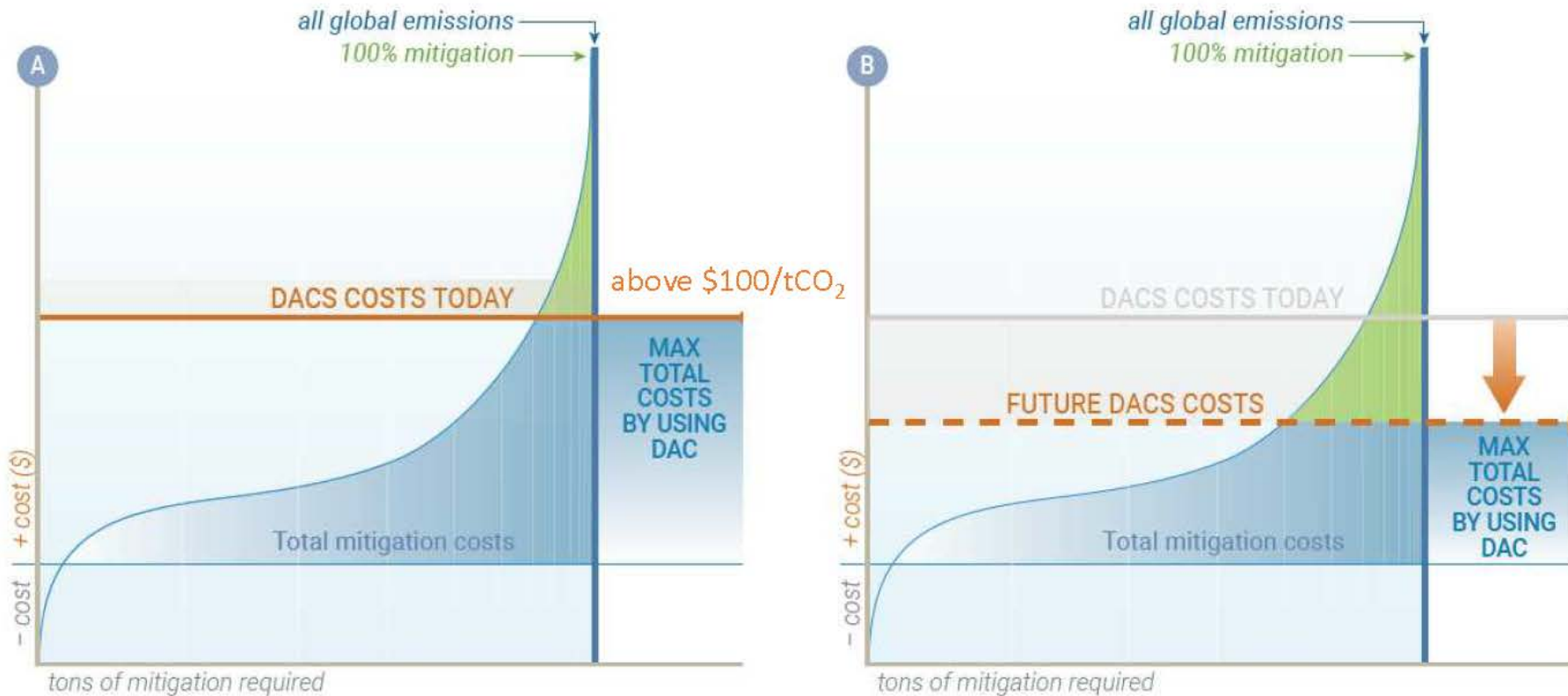
化学的に安定なCO₂利用への挑戦



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)

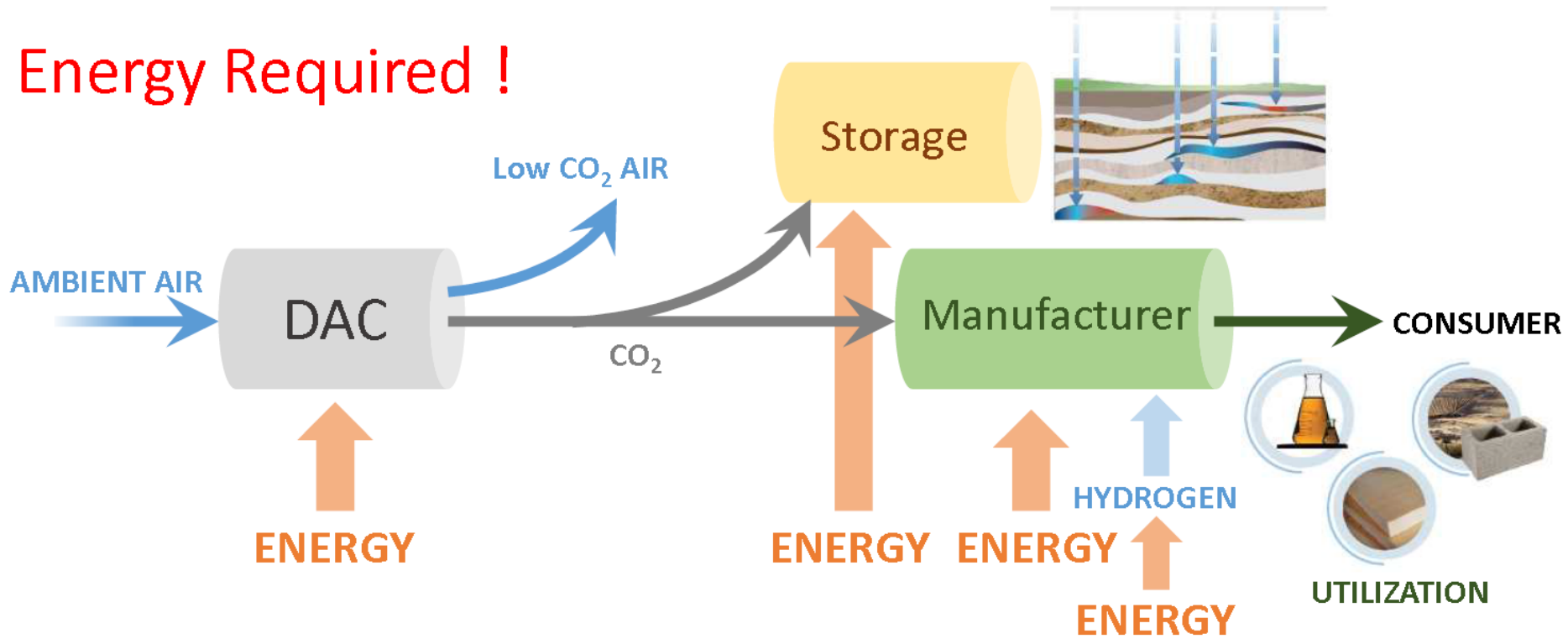


Relationship between cost and introduction amount of DAC

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

Direct Air Capture + CO₂ Utilization/CO₂ Storage

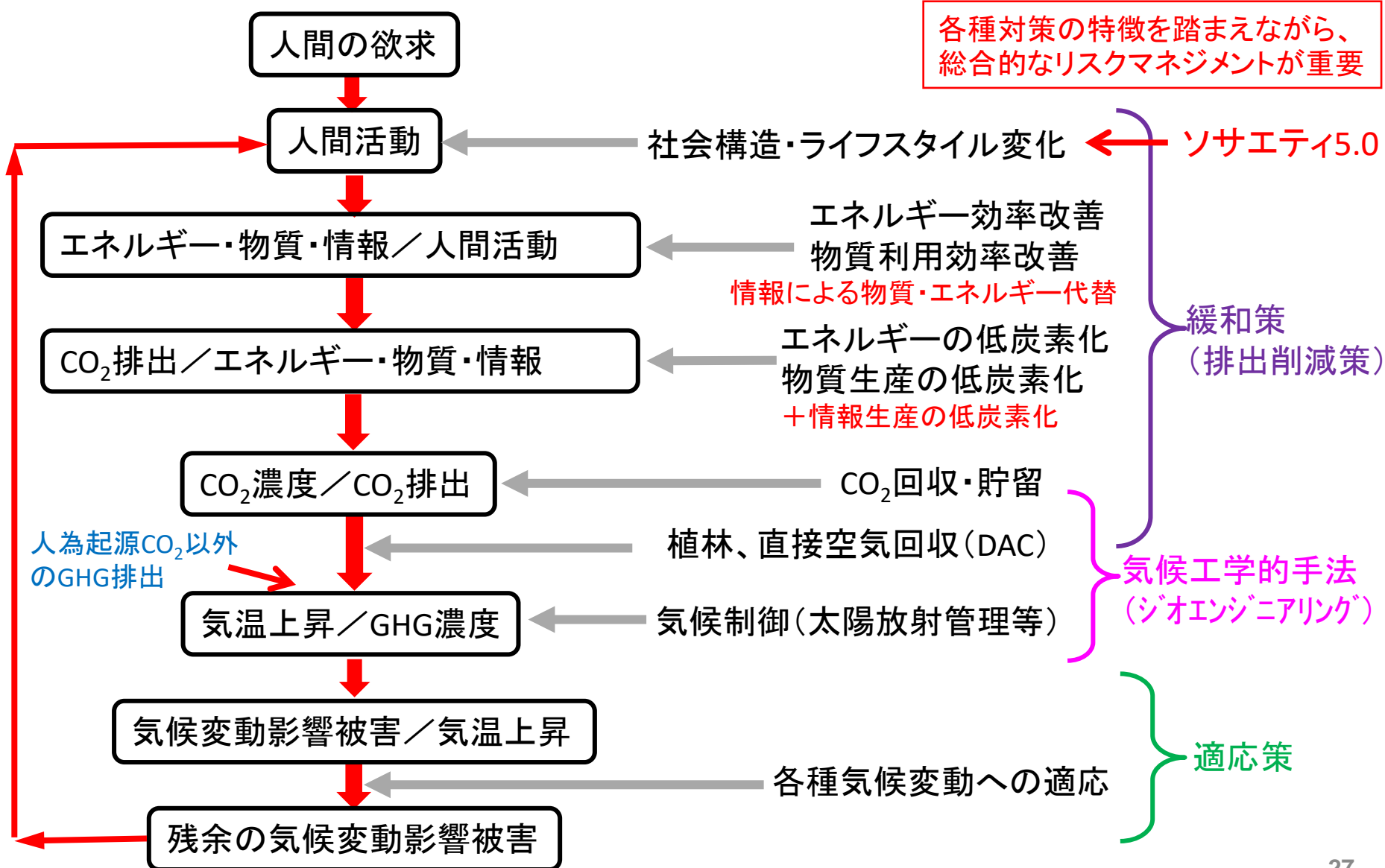
Energy Required !



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

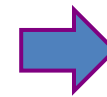


超スマート社会 (Society 5.0) のインパクト

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、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



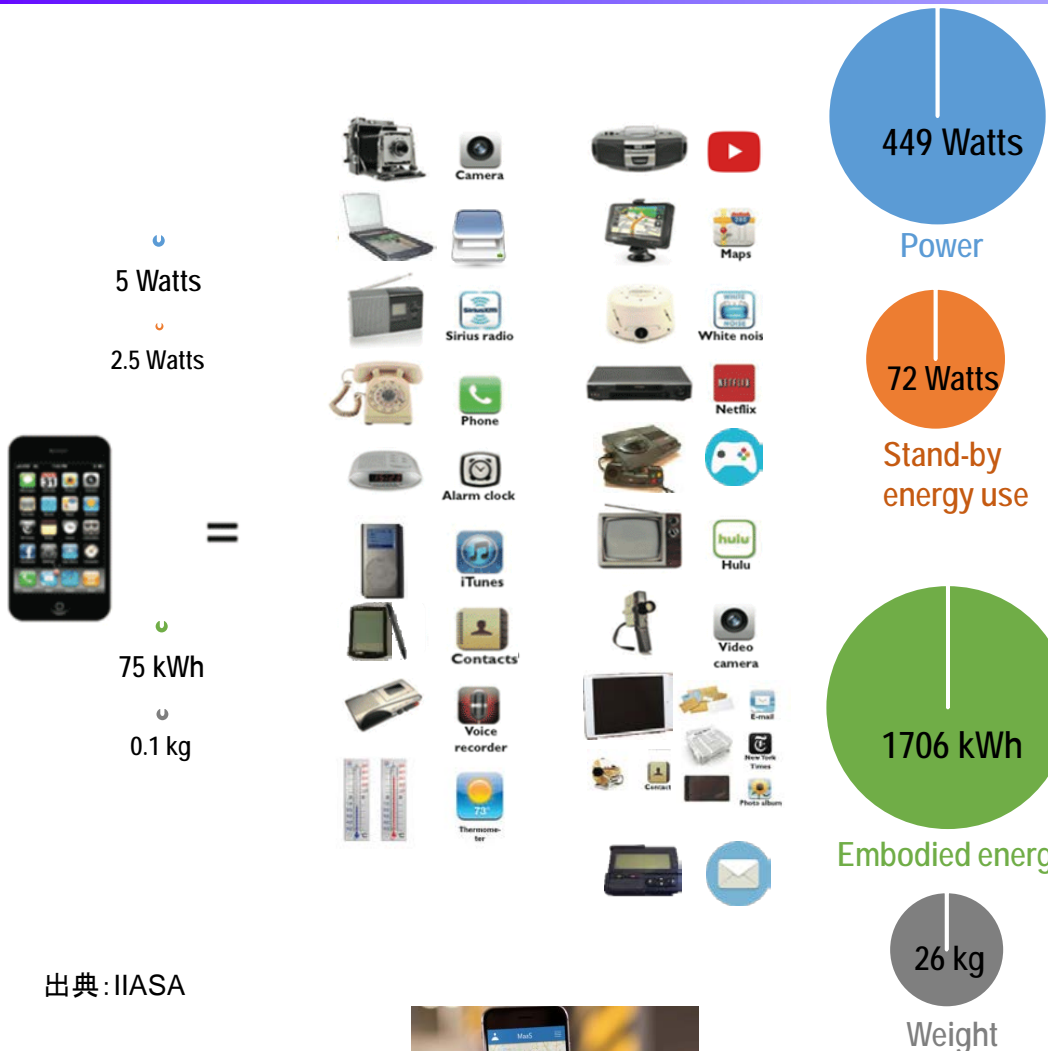
情報によるモノの代替



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

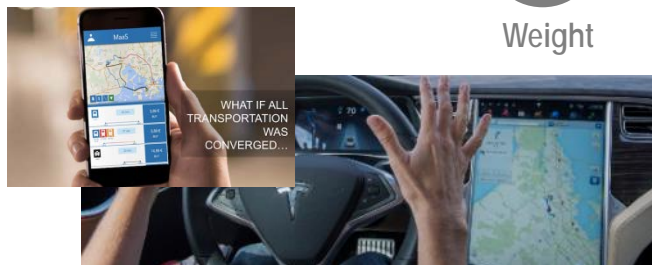
例えば、IoTでスマートメンテナンス → 部品・製品寿命の延伸 → 部品・製品需要の低下 → **エネルギー需要減少** → CO₂削減



- 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。

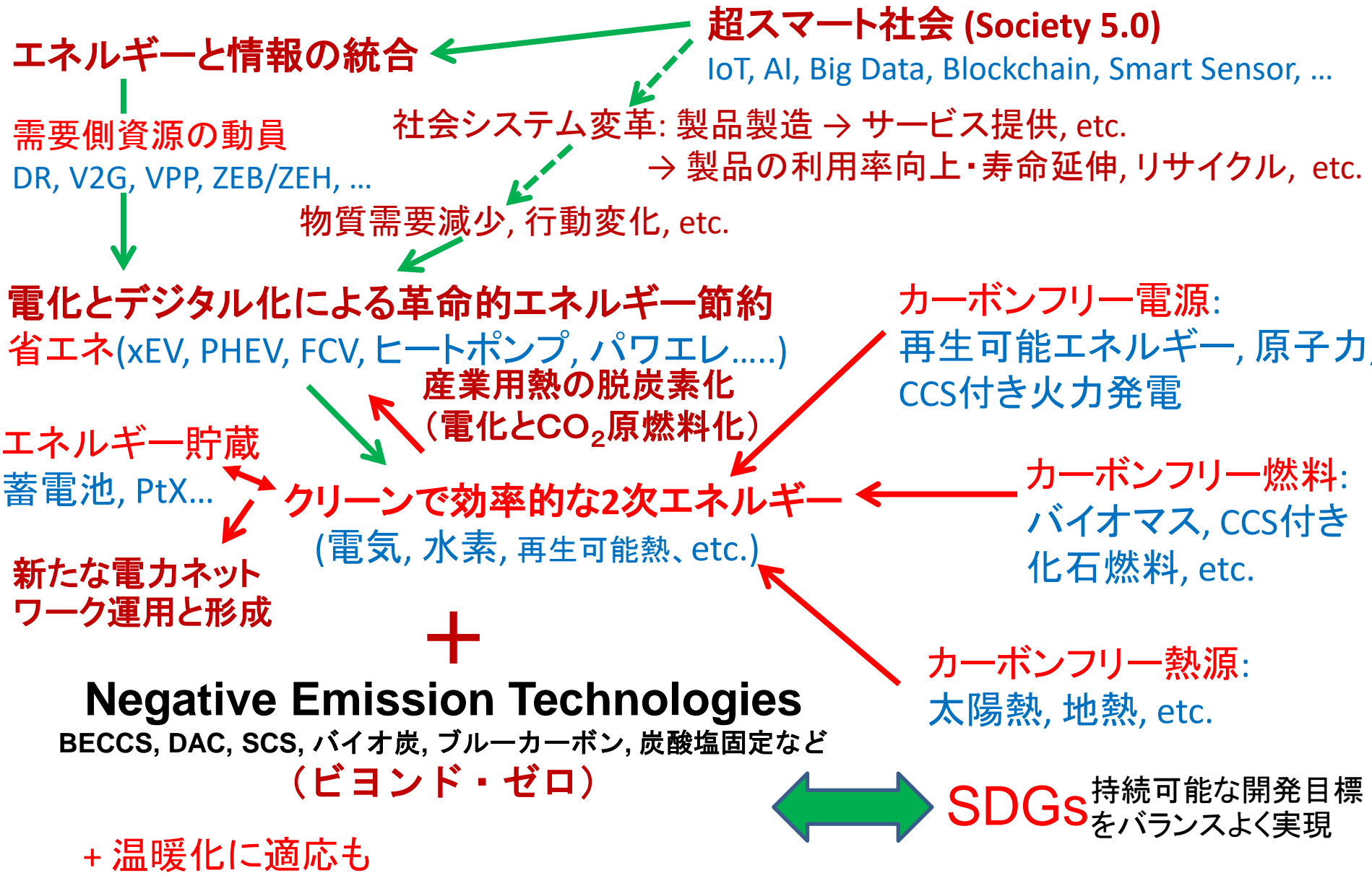
出典: IIASA

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も多く存在

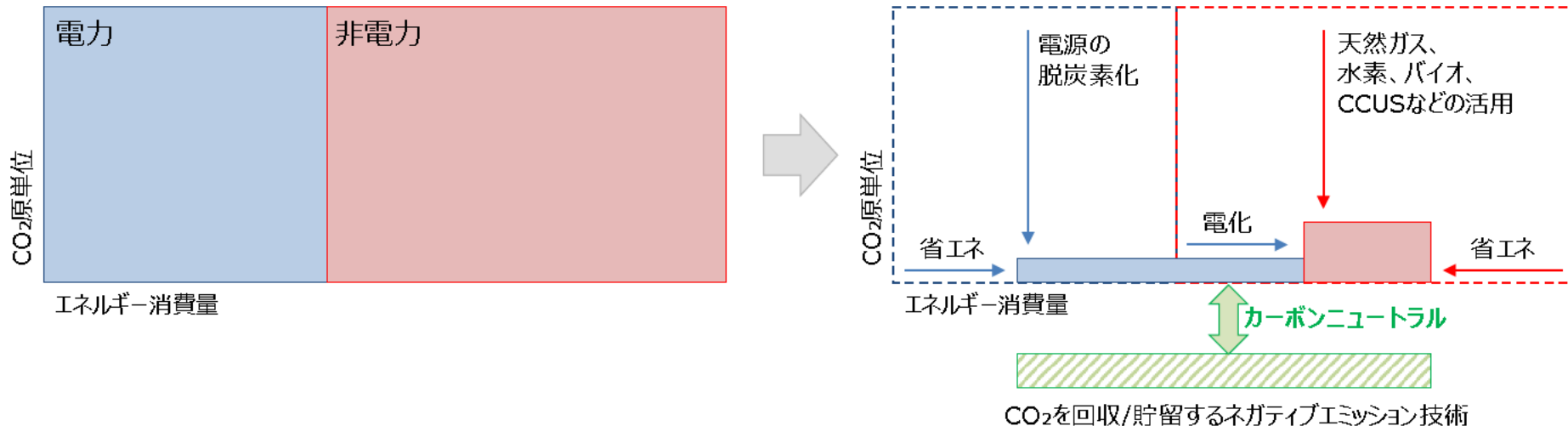
CO₂正味ゼロ排出に向かうエネルギーシステム



Keep Options as Many as Possible!

- 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、十分に意識して検討する必要がある。

CO₂排出削減のイメージ



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