

CCUS実用化への展望と課題

山地憲治

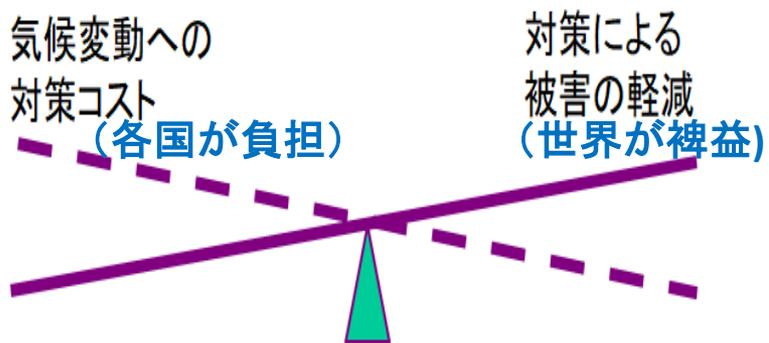
(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)副理事長・研究所長

革新的CO₂分離回収技術シンポジウム

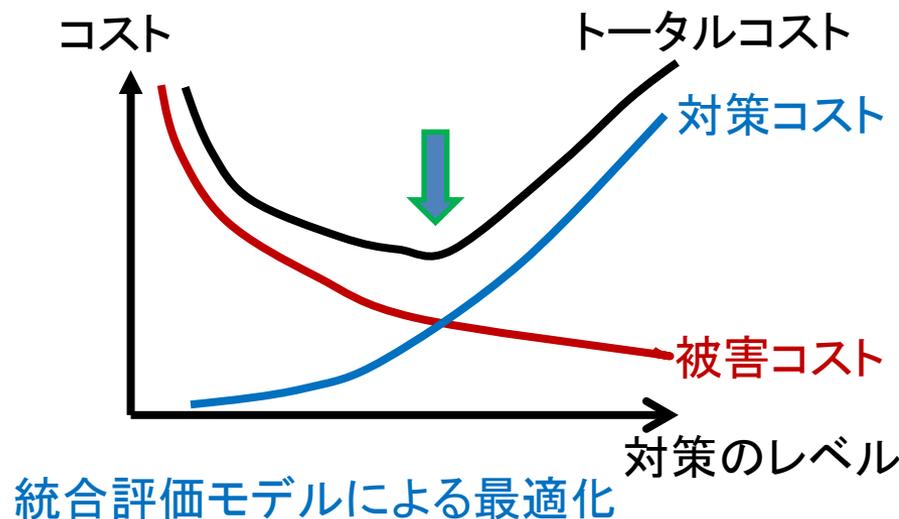
～地球温暖化防止に貢献する固体吸収材及び膜による分離回収技術の最新動向～

2020年1月20日 @伊藤謝恩ホール、東京大学

地球温暖化対策の理論と現実



地球温暖化対策の費用便益解析



国連機関の活動
UNFCCC/COP, IPCC

地球温暖化劇場のスター達



不確実性

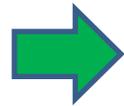
- ・長期持続的対応
- ・SDGs同時達成

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CO2削減提言 : 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)

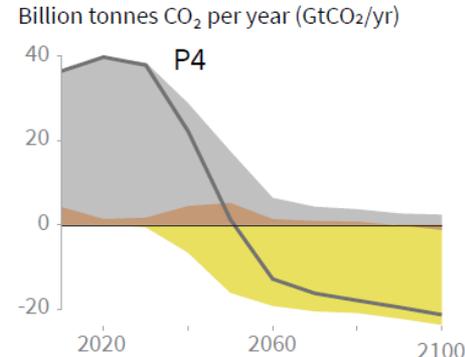
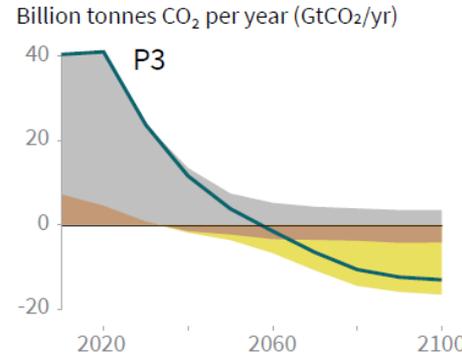
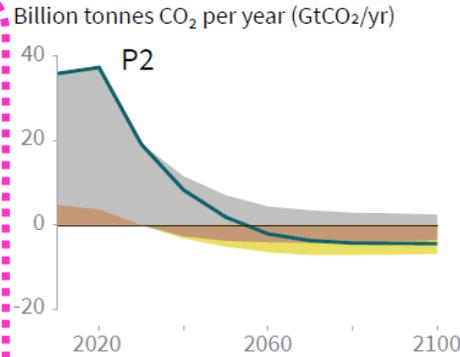
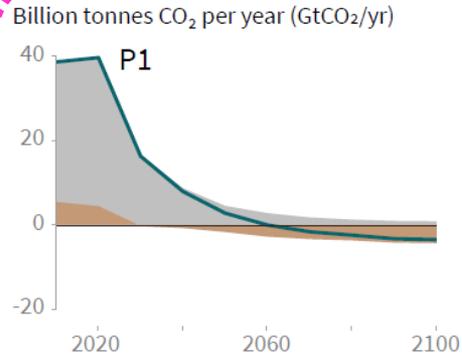
2019年10月 : TCFDサミット(8日)、ICEF(9, 10日)、RD20(11日); グリーンイノベーションウィーク

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)

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(LED)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 ←————→ 大

最終エネルギー需要

- ✓ 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

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

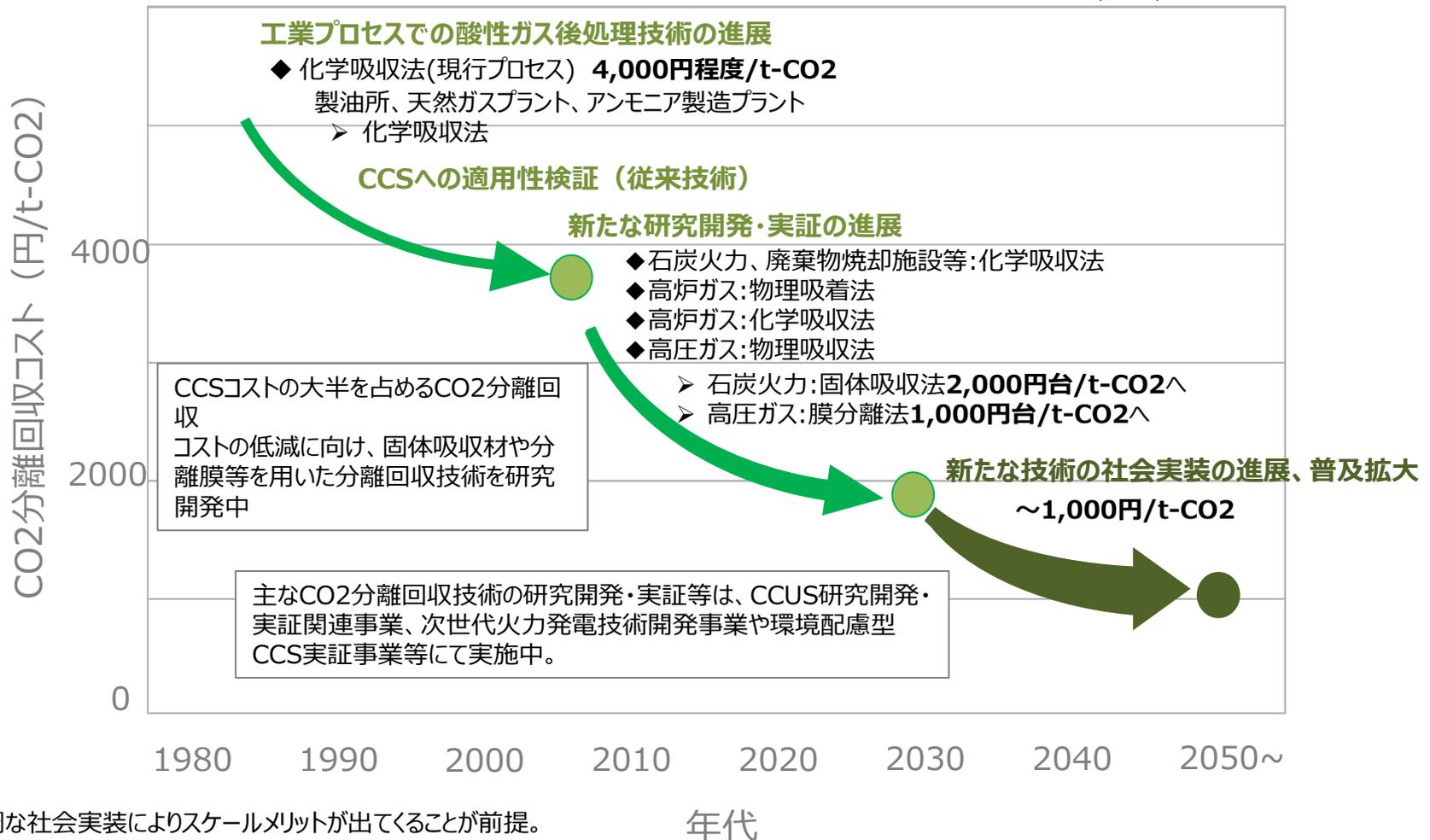
G20軽井沢イノベーションアクションプランの項目

- ・**省エネルギー** : 知識とベストプラクティスの共有、省エネベンチマーク
- ・**再生可能エネルギー** : 電力システム管理、輸送・熱での直接利用(バイオマス)
- ・**水素・合成燃料** : PtX、国際協力、水素キャリア
- ・**CCUS/カーボンリサイクル/Emission to Value** : 国際協力・会議
- ・**デジタル化** : スマート化(電力、都市、交通)、エネルギー需要減
- ・**エネルギー資源のバリューチェーン** : LCA、Well-to-Wheel分析
- ・**電力システム** : VREのシステム統合、国際協力、電力市場の発展
- ・**原子力** : 革新技術(SMR)、革新的利用(熱利用)、HLW処分の国際協力
- ・**LNG及びその他化石燃料** : 供給セキュリティ、高効率低排出(HELE)技術
- ・**持続可能な近代的エネルギーへのアクセス** : SDGs、国際・官民協力

イノベーションでコストは下がるのか？（CO₂分離回収の例）

- これまでの経験と、現在見つかった革新的な技術を勘案し、2050年までにCO₂分離回収のコストを1,000円/t-CO₂以下とすることを旨とする。

※カーボンリサイクルロードマップ(2019)を参考に作成



注1) 順調な社会実装によりスケールメリットが出てくることが前提。

注2) 競合技術のコスト変動には留意する必要がある。

革新的環境イノベーション戦略が目指す将来像

【脱炭素社会の実現に寄与するエネルギー供給】

- 新たな素材や構造による太陽光発電の飛躍的な効率向上と低コスト化等により、再生エネルギーの脱炭素化した主力電源化、化石燃料 + **CCUS**等を進め、低炭素かつ安価なエネルギー供給を実現。

【産業部門におけるゼロカーボン技術の最大限活用】

- 化石資源依存からの脱却
 - ・ゼロエミ電源を利用した水素のみで鉄鉱石を還元する超革新的なゼロカーボン・スチール技術の確立
 - ・プラスチック等の循環利用拡大
 - ・農林水産部門での農漁業機器の電動化
 - ・高性能蓄電池と高度な情報技術の組み合わせによる電力ネットワーク
- CO₂を原料利用する等の**カーボンリサイクル技術**等の技術確立。
 - ・人工光合成技術を利用した化学品製造技術の確立
 - ・機能性化学品製造への利用
 - ・CO₂の炭酸塩化によるセメントプロセス技術の確立
 - ・バイオマス燃料の利用

【社会システム・ライフスタイルの変革】

- 情報通信技術の飛躍的な進歩を通じたシェアリングエコノミー等によるライフスタイルの変革。

【**ネガティブ・エミッション**の実現】

- 海洋・農地・森林へのCO₂固定、**DAC+CCUS**等を通じたネガティブ・エミッション技術の最大活用。

● 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

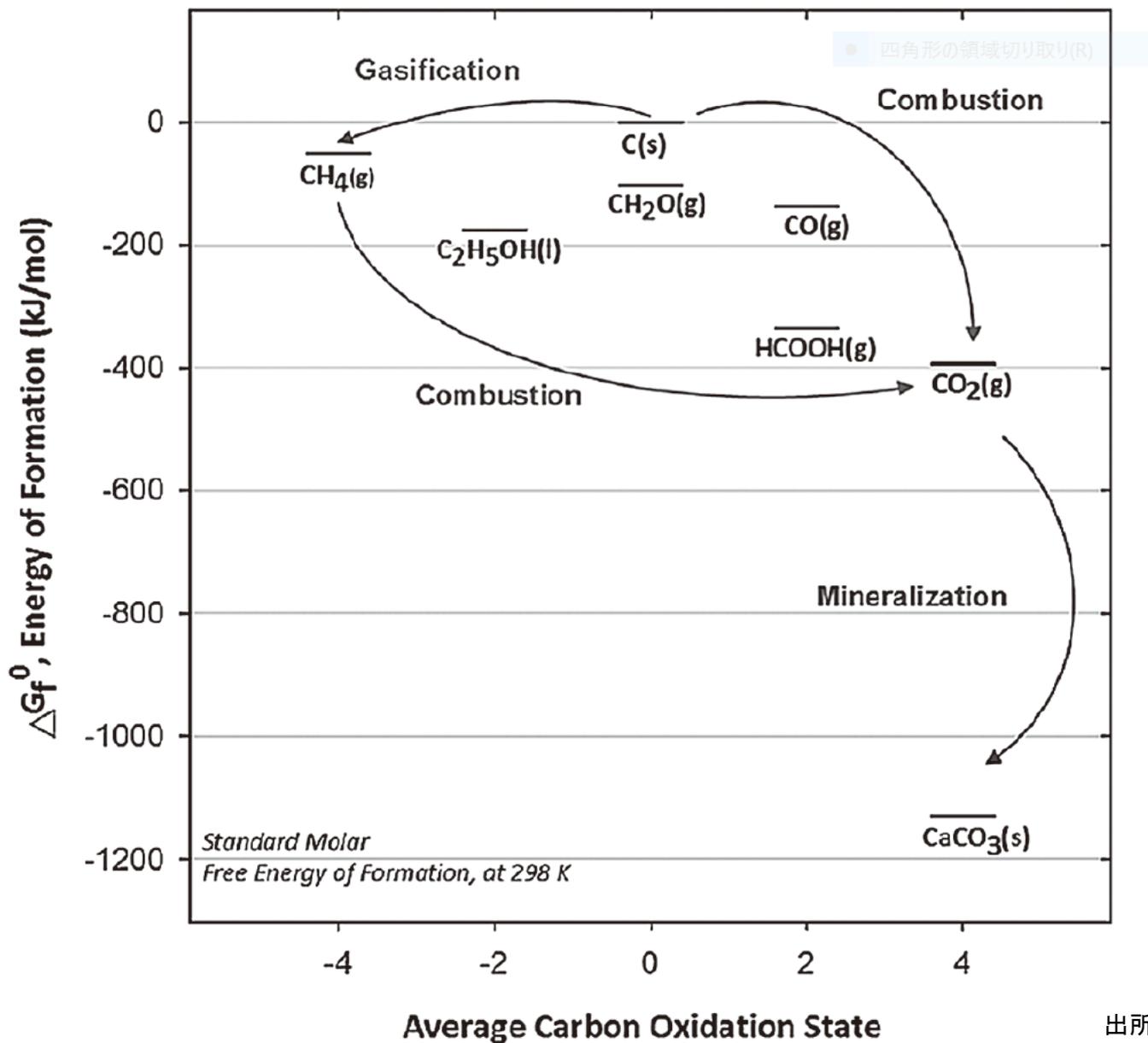
共通基盤技術：

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.

CCUS分野(CO₂分離・回収, 利用, 貯留)

	研究段階		実証段階	商業化
	基礎(TRL:1-3)	応用(TRL:4-6)	(商業化に向けたスケールアップ等の実証研究)	
CO ₂ 分離・回収		非水系吸収剤, 膜分離 <1000円/tCO ₂ , <0.5GJ/tCO ₂ を実現する技術の探索	物理吸収, 固体吸収, 物理吸着, 膜分離 • 所要エネルギー低減と低コスト化を目的とした分離回収法 (NEDOプロ実施中) • 米国では実証のための共通インフラ	アミン吸収法 • 海外のEOR, CCSプラントで商業運転, 500億円/年の市場規模(2015), 日本企業が75%のシェア • DACも本技術の応用
セメント・コンクリート利用		炭酸塩の利用 • CO ₂ が固定化された炭酸塩のセメント原料化や土木資材等への利用 • 欧米では実証化研究進む		コンクリート利用 • 特殊なアルカリ源利用と硬化時CO ₂ 吸収により低炭素化 • 一部の用途で実用化
炭酸塩化		In-situ • 玄武岩層等, 反応性鉱物を含む地層にCO ₂ を圧入し永久に固定化	Ex-situ • 安価かつ入手容易なアルカリ源 (鉄鋼スラグ, 廃棄物等) を利用した炭酸塩化. 利用法, 所要エネルギー低減が課題	
機能性化学品	含酸素化合物 • アクリル酸 連続精密合成	• 有機カーボネート • イソシアネート	ポリウレタン	ポリカーボネート • 日本企業が世界に先駆け開発, 海外にライセンス中
基礎化学品	水素・再エネ利用 • CO ₂ 共電解 • 人工光合成	• 光触媒, 膜分離,	オレフィン製造(NEDOプロ) • メタネーション(NEDOプロ)	バイオマス利用 • ガス化を含むバイオマス利用による生産 • 発酵法によるプロパノール経由ポリプロ
燃料			バイオ燃料	

化学的に安定なCO₂利用への挑戦

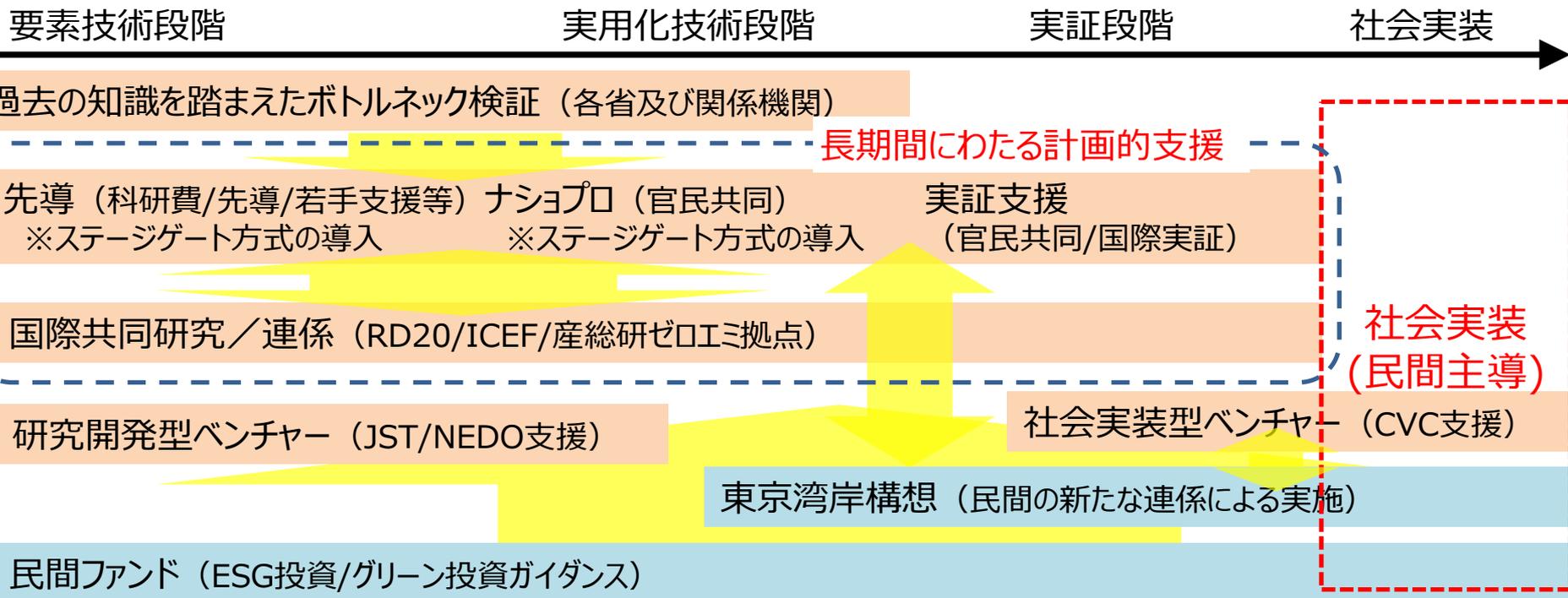


炭素化合物のギブスの自由エネルギー準位

出所: 季報エネルギー総合工学、
2019年10月号

アクセラレーションプラン（政策のイノベーション）

- エネルギー・環境技術の開発は、社会実装までに長期間を要し、コスト低減に向けた開発リスクが大きい（※）ことから、リスクに応じた政府の関与と長期的計画に基づく実施が不可欠。さらに、国際的な叡智を結集するための環境を整備するとともに、ベンチャー等新たな研究開発の担い手を拡大に取り組む。
- また、世界的に研究開発・イノベーションへの民間投資を拡大することも必要。TCFD/グリーン投資ガイドンスによる開発投資の実効性向上を図るとともに、我が国においては、エネルギー・環境分野の官民の研究開発投資を10年間で30兆円とすることを目指す。



※エネルギー・環境の技術開発は、自然からのエネルギー転換、物質循環という科学的にはエネルギー損失を伴う現象を如何に損失を最小限に効率良く、CO2排出源の利用をせず転換、循環させていくかが課題であり、技術開発そのものの困難さが大きい。また、社会実装までに間に、現象の発見・証明・再現、実用先を定めた開発、実用化のために必要な周辺技術の開発・インテグレーション、社会実証に加え、付加価値に対する対価の支払いという経済原理と異なり、CO2削減技術等が大幅な追加的コストとならないよう実装時のコストを極限まで下げる技術であることも必要条件であることから、**技術開発及び社会実装までに長期間**を要する。

● 技術のボトルネックの検証とシーズ発掘（政府の先導的取組）等

<技術のボトルネックの検証>

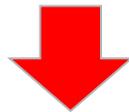
- これまで政府は、多様なゼロエミッション関係の研究開発プロジェクトを実施。まずはこれらのプロジェクトを精査し、技術の実用化に向けた**ボトルネック課題の解消可能性を改めて検証**した上で、今後の方針を検討する。
- プロジェクトの実施に当たっては、研究フェーズに応じ、CO2排出量、コスト等に関する**LCA手法**を導入する。
- このため、関係府省庁が連携し、民間の有識者も交え、ボトルネックを検証し、今後のプロジェクトのあり方を検討する**体制を整備**する。

<シーズ発掘等>

- 既存研究についてもボトルネックの検証結果等を踏まえ、必要な研究開発プロジェクトに取り組む。
- その際、基礎的研究から実用化・実証までがスムーズに進むよう、**各省庁の連携を強化**する。
- ゼロエミッションに向けた斬新な技術・研究開発テーマの発掘・創出や、**革新的な研究を行う若手研究者の発掘・支援等**を行う。
- **社会的アプローチ**を踏まえた研究開発にも取り組む。
- 研究開発成果の普及に際し、基準や規格の整備が必要な場合は、プロジェクト初期段階から専門家を交えて**国際標準の整備等**に取り組む。
- NEDO、JST、NAROの連携強化を行う。

● 長期的・国際的視点からのプロジェクトの推進

- 目標達成に向け、要素技術から実証まで一気通貫に、かつ長期的な計画を策定し、シームレスな研究開発投資を実施。
- 初期段階では複数の技術オプションを平行に開発。その後、ステージゲート方式によって有望技術を選抜するなど、開発スピードの加速化と効率化を図る。
- 国際的な知の結集によるイノベーションの加速を可能とする研究拠点の整備と国際共同研究を充実強化。
- 民間連携による効率的な実証環境の場を整備。

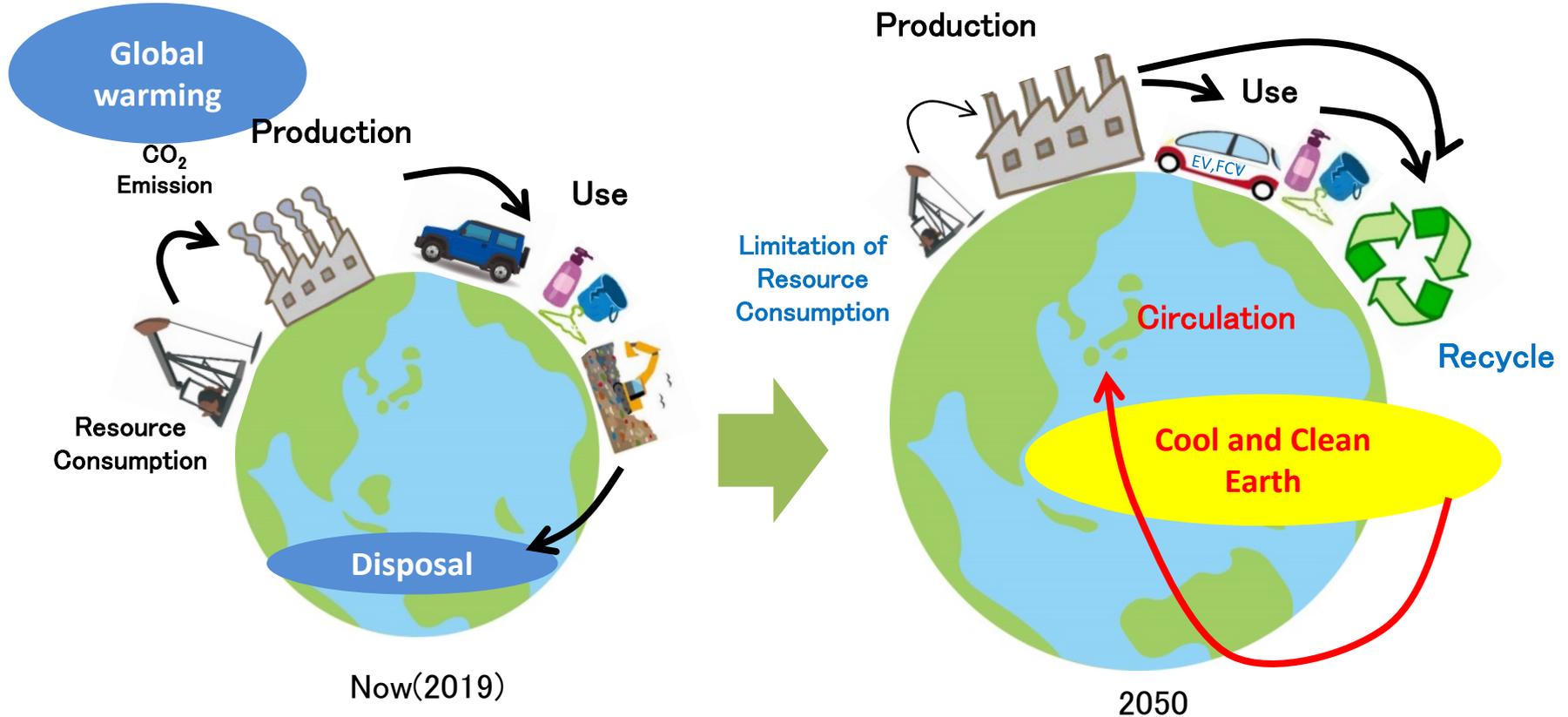


- ゼロエミッション・グローバル研究拠点の整備(産総研、RD20後の展開))
- 基礎基盤研究拠点の整備 (大学、研究機関のプラットフォーム拠点 ⇔ 産業界)
- 民間連携による大規模実証の検討 (東京湾岸構想など)
- 地域循環共生圏の推進 (地域ニーズに基づく革新的環境イノベーションの社会実装)

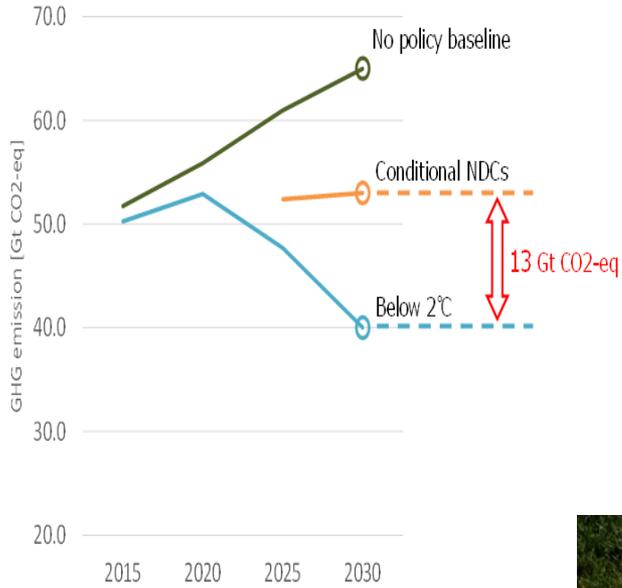
Moonshot Goal Candidate:

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 the this theme consists of two pillars of **“Cool Earth”** and **“Clean Earth”**



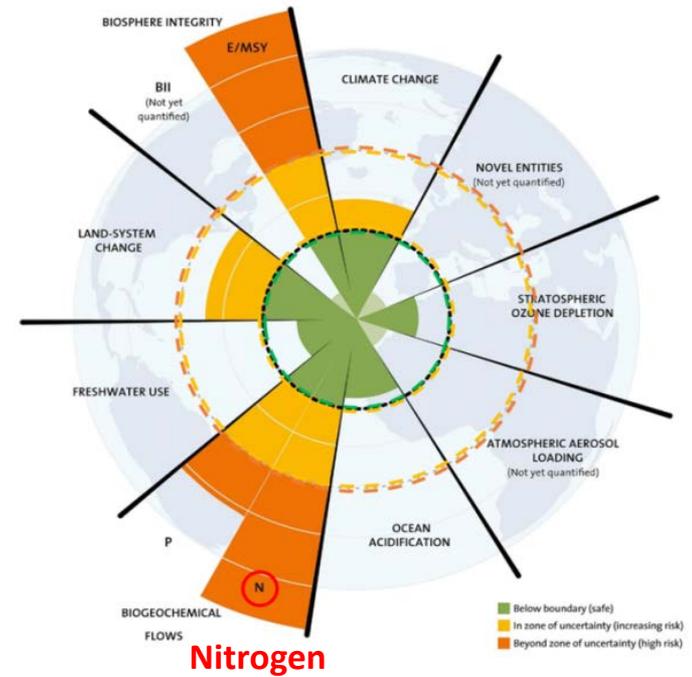
Global Threats for Cool Earth and Clean Earth



Giga-ton Gap for the Below 2°C Target

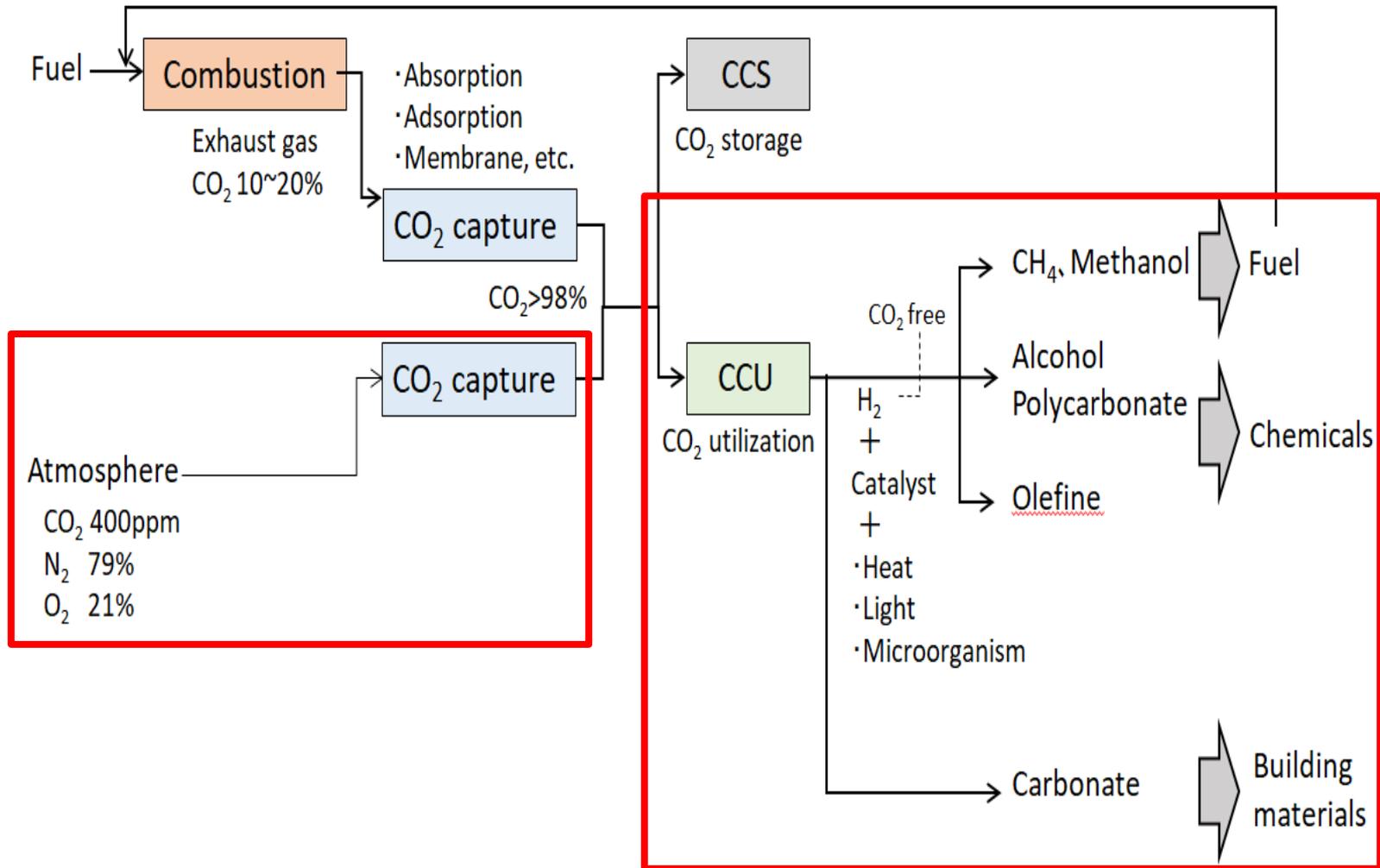


Marine Plastic Litter

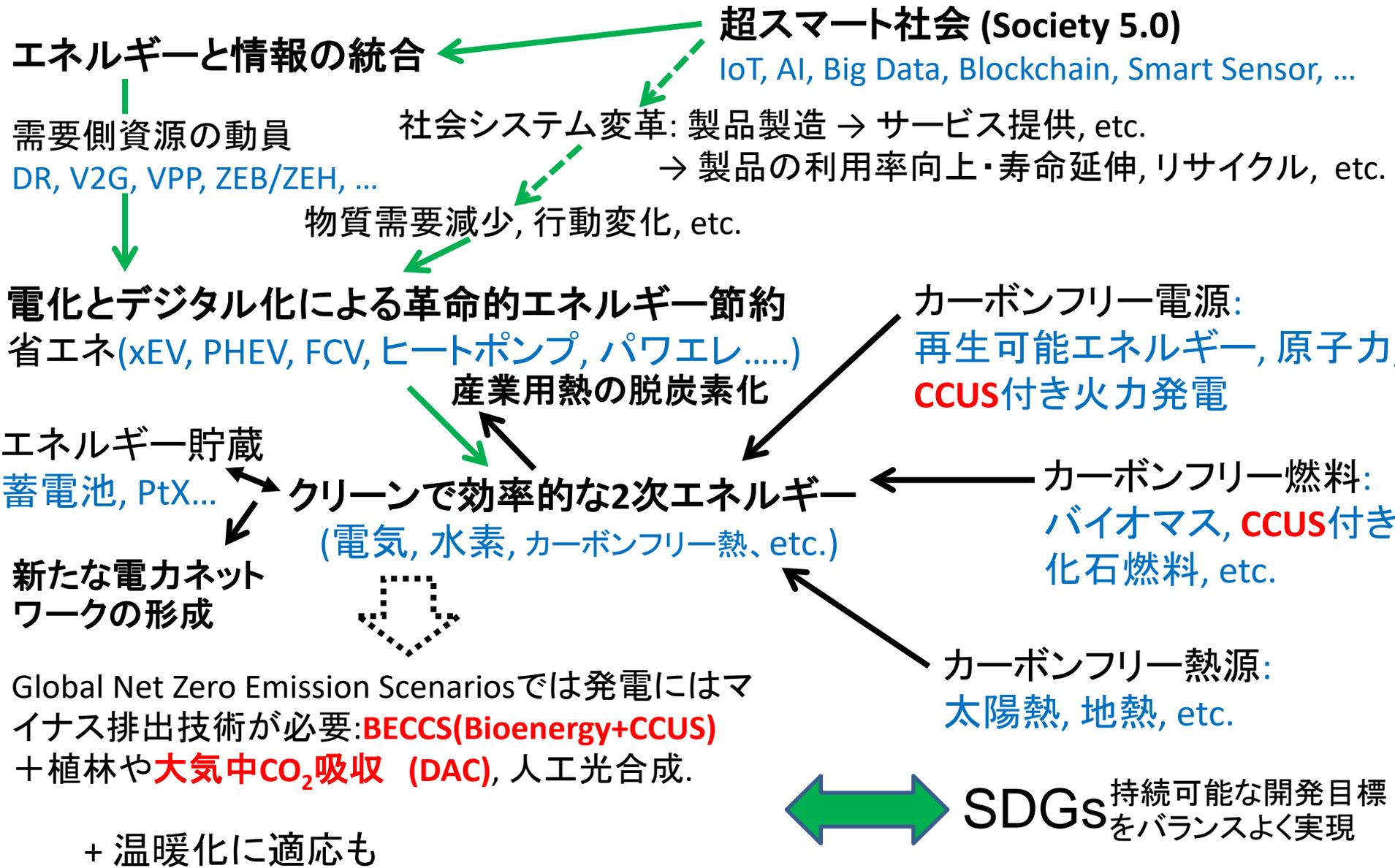


Beyond Planetary Boundaries

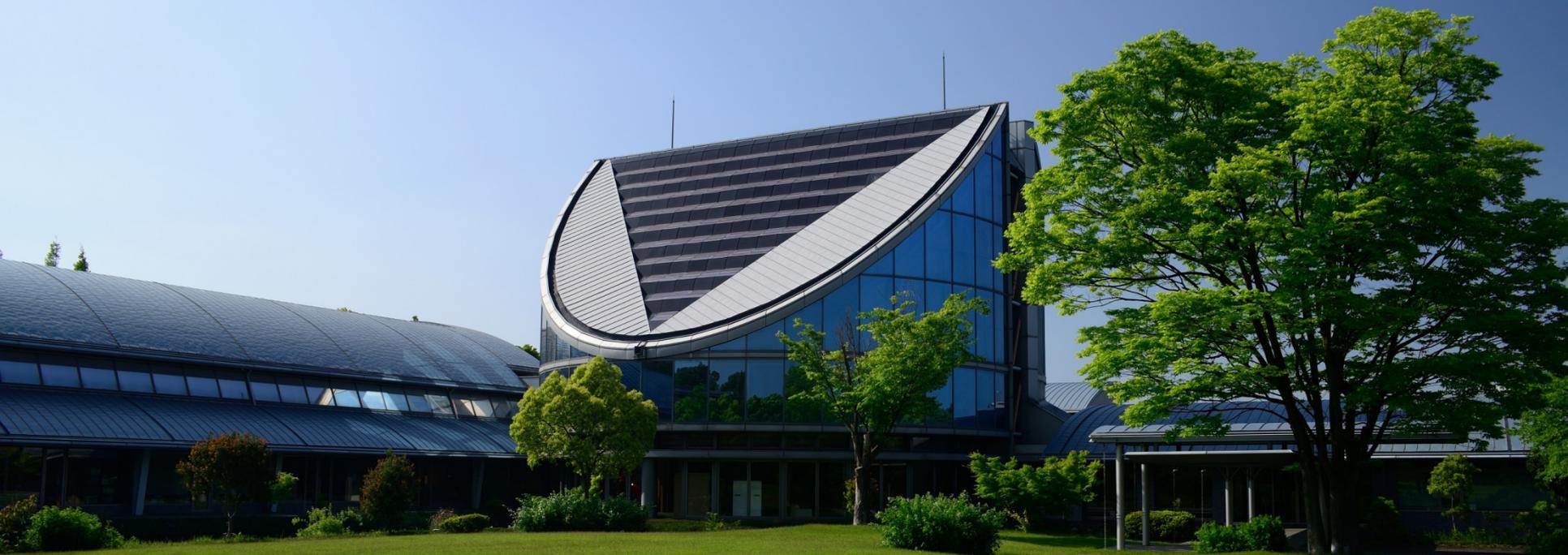
Challenge: CO₂ recovery from atmosphere (**DAC**), and Recovered CO₂ can be converted into fuel and/or various chemicals as a raw material (**CCU**)



CO₂正味ゼロ排出に向かうエネルギーシステム



ご清聴ありがとうございました



公益財団法人 地球環境産業技術研究機構

Research Institute of Innovative Technology for the Earth