わが国のカーボンニュートラルとグリーン成長戦略について

山地憲治
(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)理事長・研究所長

（公財）りそなアジア・オセアニア財団 第39回セミナー
カーボンニュートラルへどう取り組むか
～新時代のエネルギー政策を考える～

2021年7月20日
＠ウェスティンホテル大阪＋オンライン

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℃～2℃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℃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（一次案）公表（2021年6月：改訂版）

2021年４月：気候サミット（バイデン大統領主催）
菅首相が2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減を表明

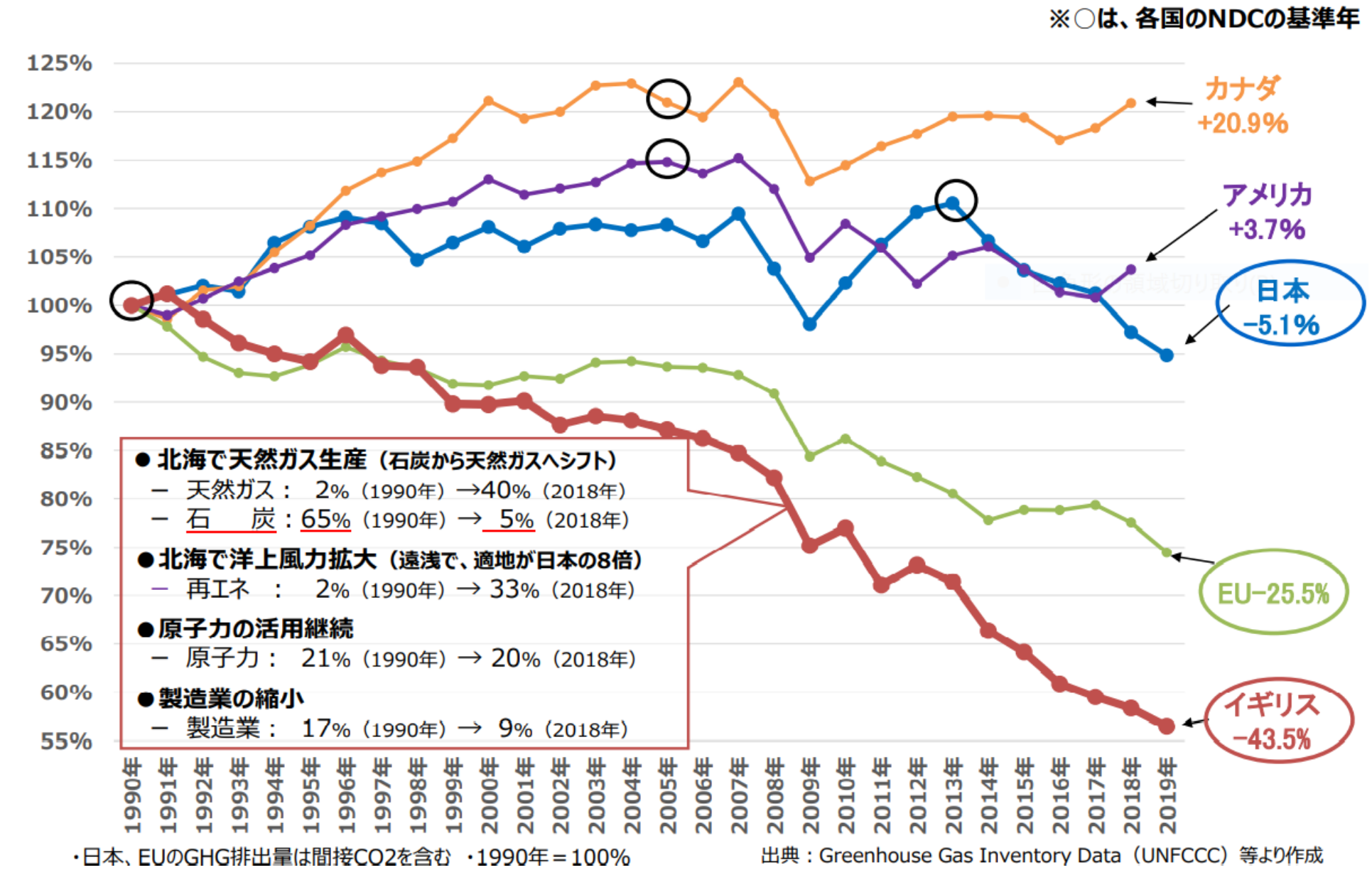
2021年6月：G7サミット（英国・コーンウォール）
2021年9月：国連総会（ニューヨーク）
2021年10月：G20サミット（ローマ）
2021年11月：COP26（グラスゴー）

気候サミットを踏まえた主要国の排出目標

●4月22日の気候サミットを踏まえ、**米国、カナダ、日本が目標引き上げを表明**。

国名	従来の目標	気候サミットを踏まえた排出目標
日本	2030年**▲26%（2013年）** <2020年3月NDC提出>	**▲46%（2013年比）**を目指す、さらに**50%の高みに挑戦**と表明。
米国	2025年**▲26～28%（2005年比）** <2016年9月NDC提出>	**▲50～52%（2005年比）**を表明。 ※上記目標のNDC提出済み
カナダ	2030年**▲30%（2005年比）** <2017年5月NDC提出>	**▲40～45%（2005年比）**を表明
EU	2030年**▲55%（1990年比）** <2020年12月NDC提出> ※引き上げ前は▲40%（1990年比）	目標の変更無し
英国	2030年**▲68%（1990年比）** <2020年12月NDC提出> ※提出前はEUのNDCとして▲40%（1990年比）	**2035年に▲78%（1990年比）**を表明。 ※2030年目標の変更はなし。
韓国	2030年**▲24.4%（2017年比）** <2020年12月NDC提出>	目標の変更無し。気候サミットにおいて、**今年中のNDC引き上げを表明**。
中国	**2030年までにピーク達成**、 **GDP当たりCO2排出▲65%**（2005年比） <国連総会(2020年9月)、パリ協定5周年イベント（2020年12月）での表明>	目標の変更無し。 ※気候サミットでは、石炭消費の縮減を表明。

主要先進国の温室効果ガス排出量の推移（1990年比）

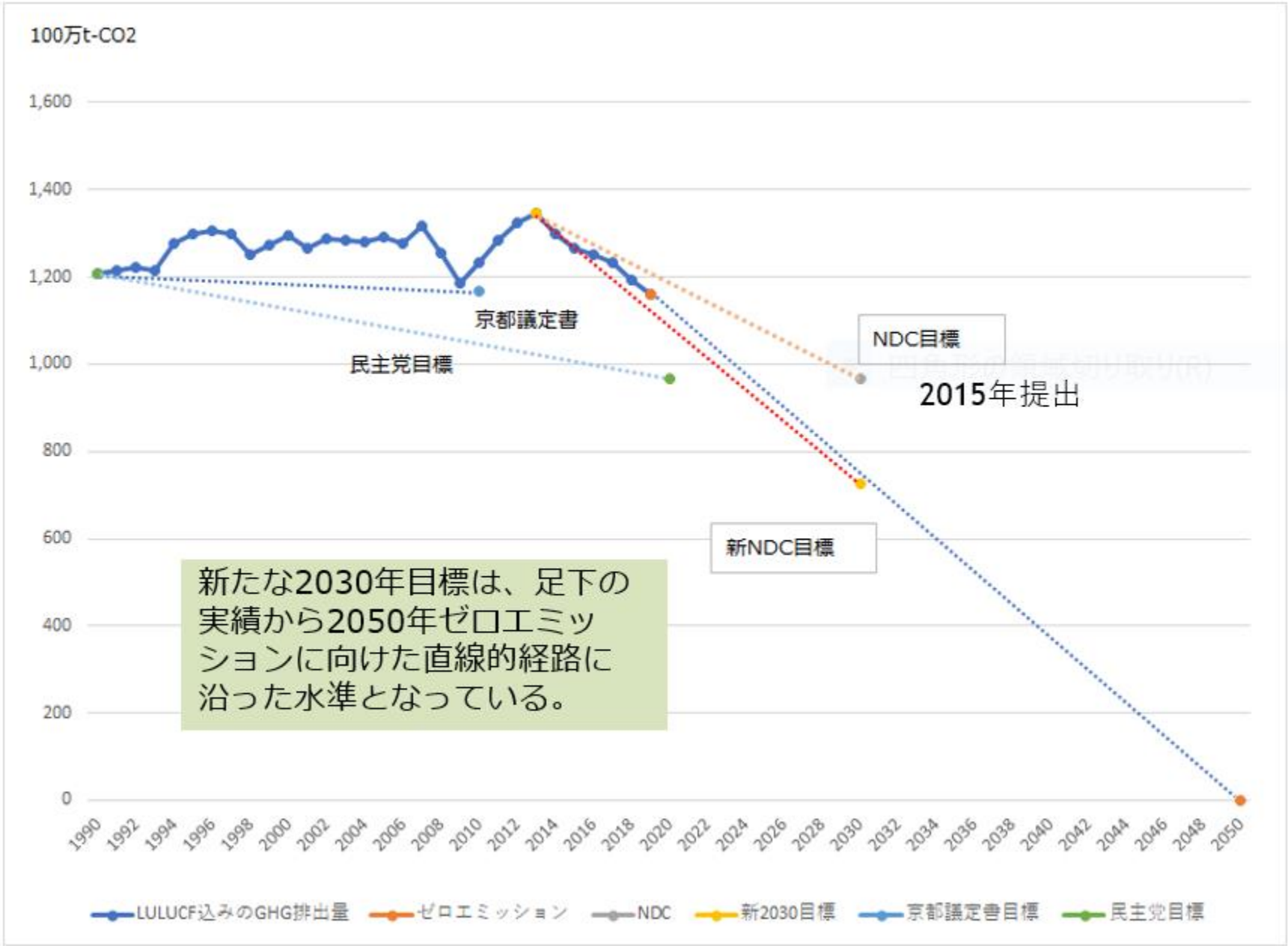


・日本、EUのGHG排出量は間接CO2を含む ・1990年＝100%

出典：Greenhouse Gas Inventory Data（UNFCCC）等より作成

経済同友会・未来選択会議（2021年4月20日）飯田祐二氏説明資料より

わが国のGHG排出量と各種削減目標



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**

総合資源エネルギー調査会・基本政策分科会(2020年10月13日）資料

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。

グリーン成長戦略の概要（６月18日決定）

- **温暖化への対応を、経済成長の制約やコストとする時代は終わり、「成長の機会」と捉える時代に突入している。**
- **実際に、研究開発方針や経営方針の転換など、「ゲームチェンジ」が始まっている。この流れを加速すべく、グリーン成長戦略を推進する。**
- **「イノベーション」を実現し、革新的技術を「社会実装」する。これを通じ、2050年カーボンニュートラルだけでなく、脱炭素効果以外の「国民生活のメリット」も実現する。**

2050年に向けて成長が期待される、14の重点分野を選定。

・高い目標を掲げ、技術のフェーズに応じて、実行計画を着実に実施し、国際競争力を強化。 ・2050年の経済効果は約290兆円、雇用効果は約1,800万人と試算。

1 洋上風力・太陽光・地熱
- 2040年、30~40GW導入【洋上風力】
- 2050年、世界シェア約1.25兆円【太陽光】

2 水素・燃料アンモニア
- 2050年、2,000万トン程度の導入【水素】
- 東南アジアの5,000億円市場【燃料アンモニア】

3 次世代熱エネルギー
- 2050年、既存インフラに合成メタンを90%以上注入

4 原子力
- 2035年、ITER計画の核融合運転の開始

5 自動車・蓄電池
- 2035年、乗用車の新車販売で電動車100%

6 半導体・情報通信
- 2040年、半導体・情報通信産業のカーボンニュートラル化

7 船舶
- 2028年よりも前倒しでゼロエミッション船の商業運航実現

8 物流・人流・土木インフラ
- 2050年、建設施工におけるカーボンニュートラルを実現

9 食料・農林水産業
- 2040年、高層木造建築物の技術確立

10 航空機
- 2030年以降、電池などのコア技術を、段階的に技術搭載

11 カーボンリサイクル・マテリアル
- 2050年、人工光合成プラを既製品並み【CR】
- 同年、ゼロカーボンスチールを実現【マテリアル】

12 住宅・建築物・次世代電力マネジメント
- 2030年、新築住宅・建築物の平均でZEH・ZEB【住宅・建築物】

13 資源循環関連
- 2030年、バイオマスプラスチックを約200万トン導入

14 ライフスタイル関連
- 2050年、カーボンニュートラル、かつレジリエントで快適なくらし

政策を総動員し、イノベーションに向けた、企業の前向きな挑戦を全力で後押し。

1 予算
- グリーンイノベーション基金（２兆円の基金）
- 経営者のコミットを求める仕掛け
- 絞り込んだ重点的投資

2 税制
- カーボンニュートラル投資促進税制（最大10%の税額控除・50%の特別償却）

3 金融
- サステイナブルファイナンス（TCFD）
- グリーン国際金融センター
- グリーンボンドガイドラインの改訂

4 規制改革・標準化
- 新技術に対応する規制改革
- 市場形成を見据えた標準化
- 成長に資するカーボンプライシング

5 国際連携
- 日米・日EUとの技術協力
- アジア・エネルギー・トランジション・イニシアティブ
- 東京ビヨンド・ゼロ・ウィーク

6 大学における取組の推進等
- 大学等における人材育成
- カーボンニュートラルに関する分析手法や統計

7 2025年日本国際博覧会
- 革新的イノベーション技術の実証の場（未来社会の実験場）

8 若手ワーキンググループ
- 2050年時点での現役世代からの提言

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
低コストCO_2分離回収
⇒**CCUS**

②運輸分野：
多様なグリーンモビリティ

③産業分野：
化石資源依存からの脱却
CO_2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・N_2O削減
スマート農林水産業
DAC

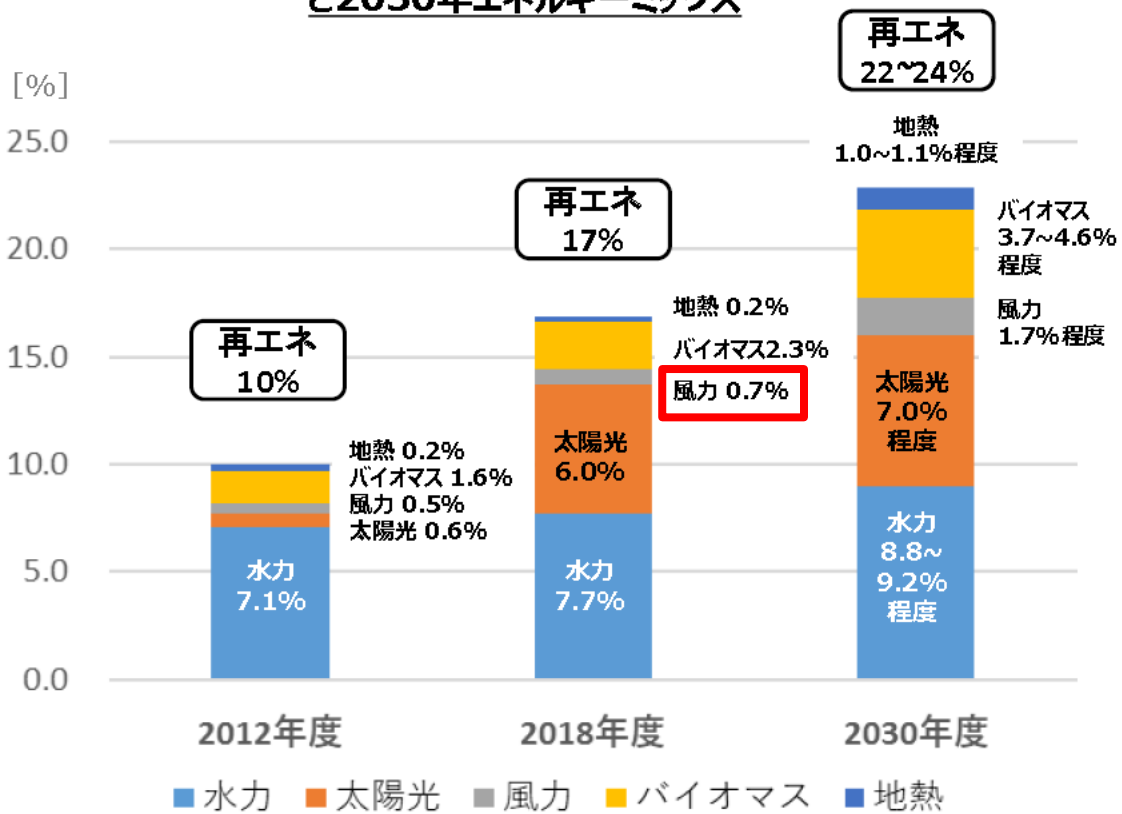
④民生分野・その他・横断領域：
最先端のGHG削減技術の活用
スマートコミュニティ
社会システム・ライフスタイル革新
（シェアリング/テレワーク等）
GHG削減効果検証の科学的知見

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.

（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

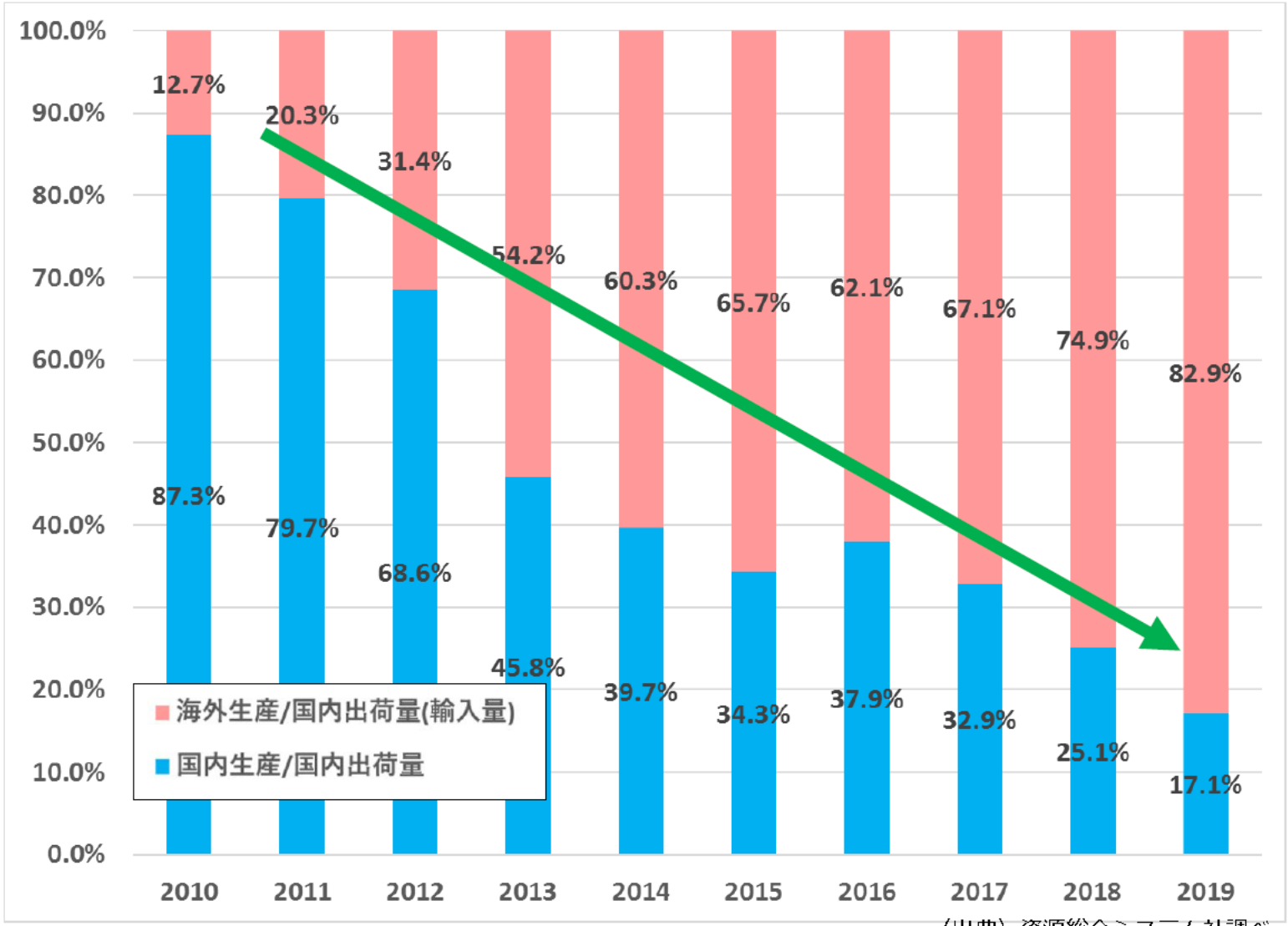
	2012年	2018年
日本	309 → 963 **3.1倍**	
EU	4,319 → 6,743 **1.6倍**	
ドイツ	1,217 → 1,962 **1.6倍**	
イギリス	358 → 934 **2.6倍**	
世界	10,693 → 21,870 **2.0倍**	

出典：IEA データベースより資源エネルギー庁作成

総合資源エネルギー調査会・基本政策分科会(2020年10月13日）資料

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

総合資源エネルギー調査会・基本政策分科会(2020年10月13日）資料

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（占用）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、**長期占用を可能とする制度**を創設。 →**十分な占用期間（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

洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会(2020年7月17日)

NW増強案と費用便益比　電源偏在シナリオ（45GW）

官民協議会ベース
（電源ポテンシャル考慮）

- 50Hzエリア（北海道～東京）は北海道東北に洋上風力約23GW導入に800万kW程度の増強。長距離送電で経済性や系統安定性という面で優位となるHVDC送電を活用。
- 60Hzエリア（九州～中部）は関門連系線～中国・関西（陸上）とつなぐルートを現状の2倍程度（556万kW）に増強。
- 総投資額は約3.8～4.8兆円に及ぶがB/C≧1.0となった。

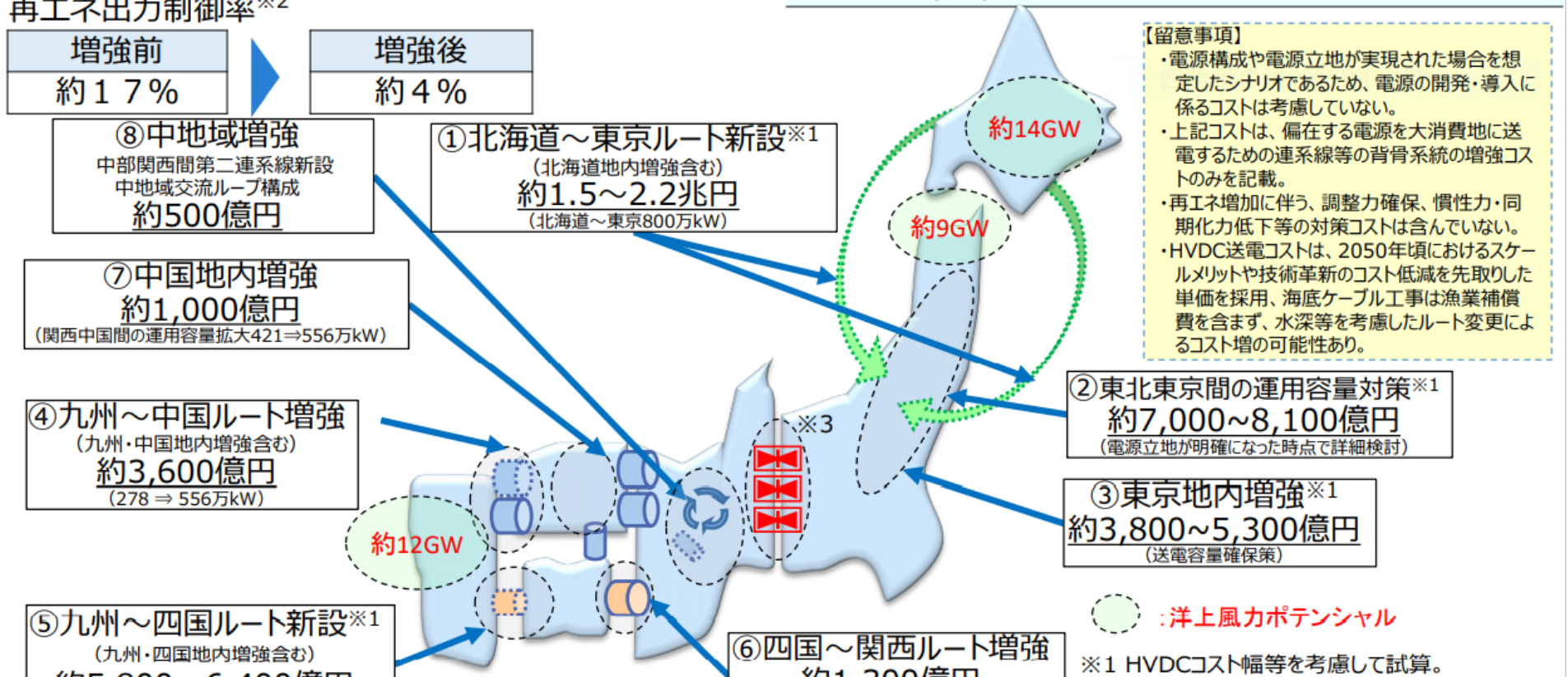
電源偏在シナリオ（45GW）

再エネ比率 42%

必要投資額※1	約3.8 ～ 4.8兆円
費用便益比(B/C) ※1	1.13 ～ 1.44

再エネ出力制御率※2

増強前	増強後
約１７%	約４%



【留意事項】
- 電源構成や電源立地が実現された場合を想定したシナリオであるため、電源の開発・導入に係るコストは考慮していない。
- 上記コストは、偏在する電源を大消費地に送電するための連系線等の背骨系統の増強コストのみを記載。
- 再エネ増加に伴う、調整力確保、慣性力・同期化力低下等の対策コストは含んでいない。
- HVDC送電コストは、2050年頃におけるスケールメリットや技術革新のコスト低減を先取りした単価を採用、海底ケーブル工事は漁業補償費を含まず、水深等を考慮したルート変更によるコスト増の可能性あり。

※1 HVDCコスト幅等を考慮して試算。
※2 太陽光・風力の全国平均
※3 アデカシーやセキュリティの観点から必要性を検討

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。

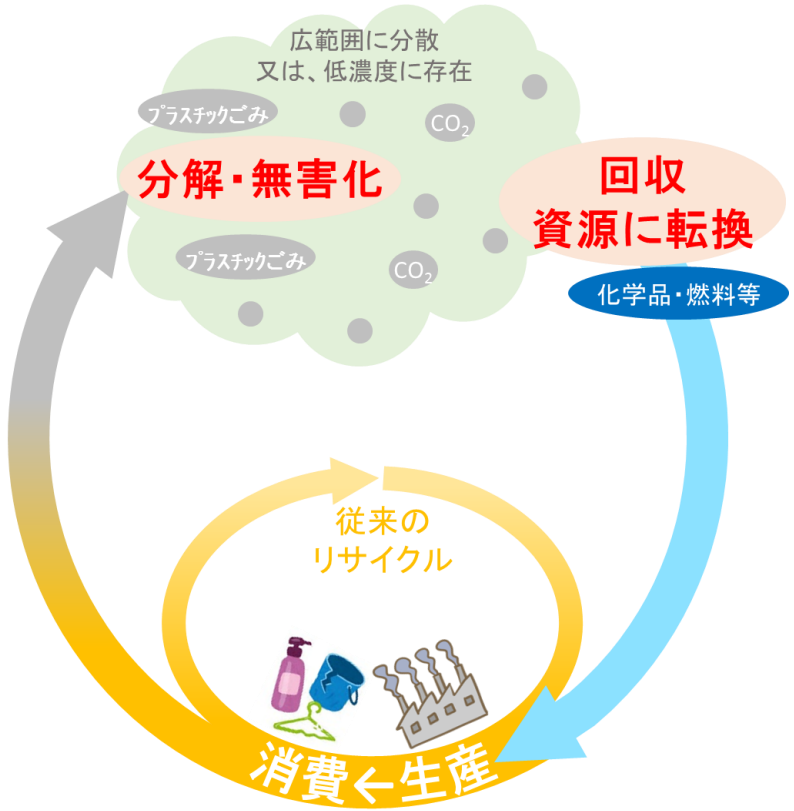
Clean Earth
- 2030年までに、環境汚染物質を有益な資源に変換もしくは無害化する技術を開発し、パイロット規模または試作品レベルで有効であることを確認する。

（参考：目指すべき未来像）

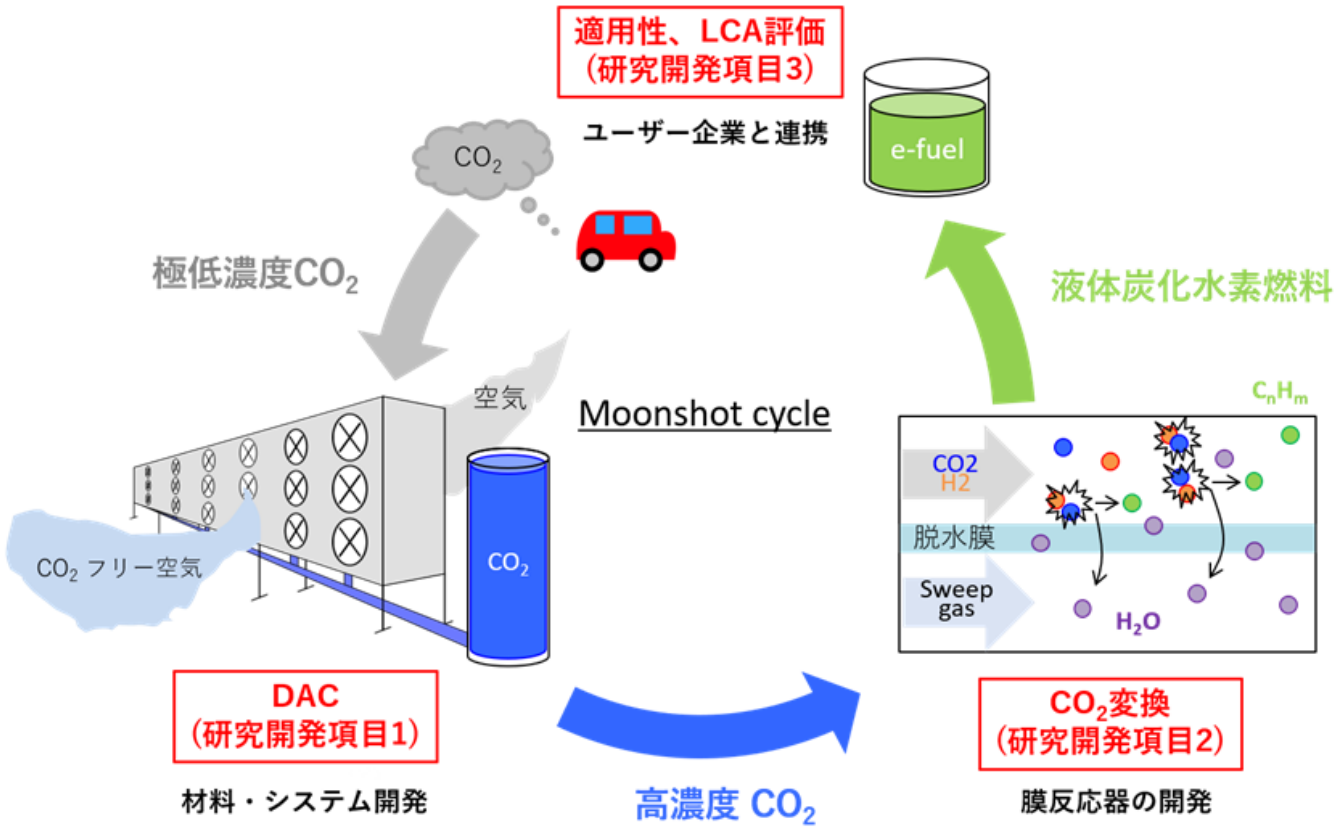
Cool Earth & Clean Earth の実現

- 2050年までに、**大気中のCO_2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



P2. 大気中からの高効率CO_2分離回収・炭素循環技術の開発

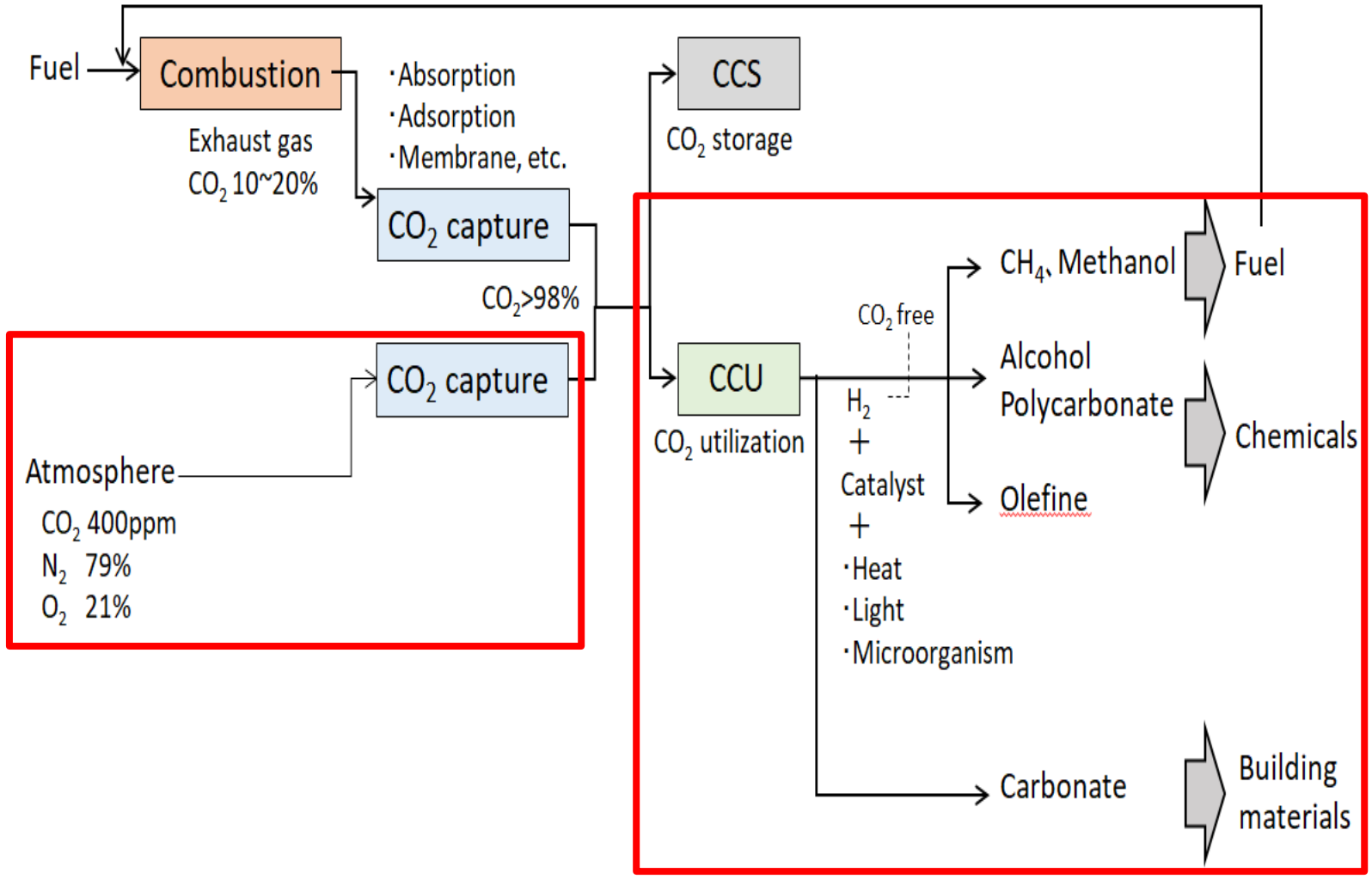


本研究開発の概要図と資源循環のイメージ

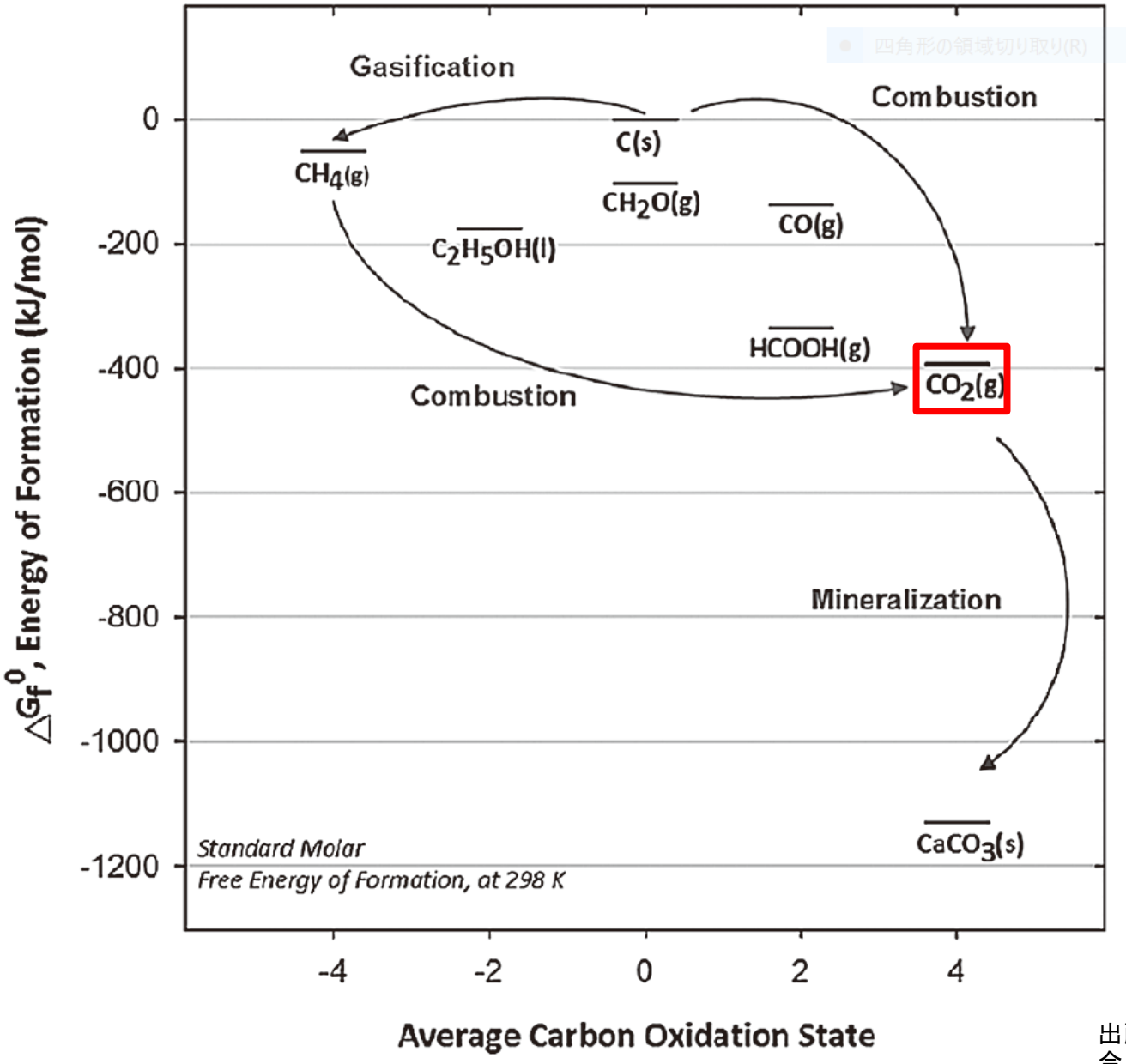
委託予定先：

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: CO_2 recovery from atmosphere (DAC), and Recovered CO_2 can be converted into fuel and/or various chemicals as a raw material (CCU)



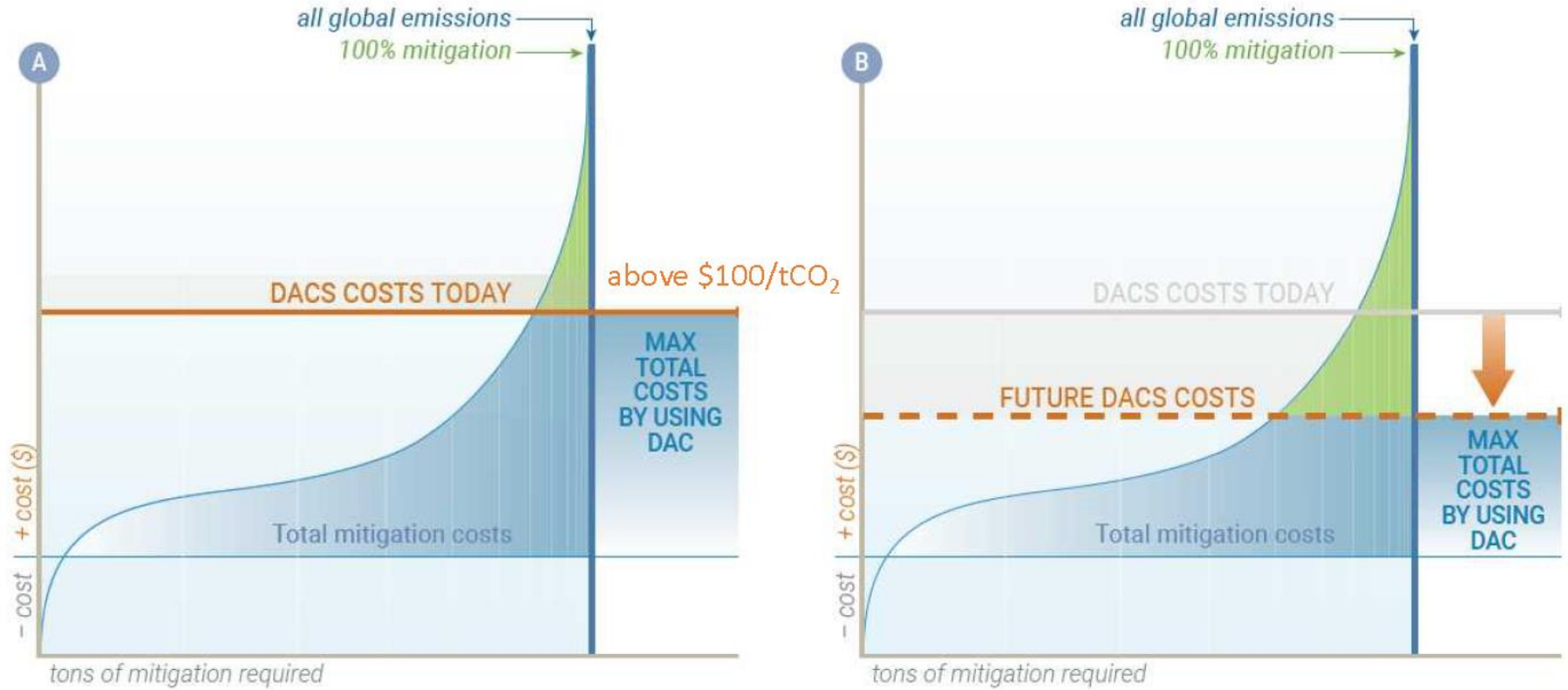
化学的に安定なCO_2利用への挑戦



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)

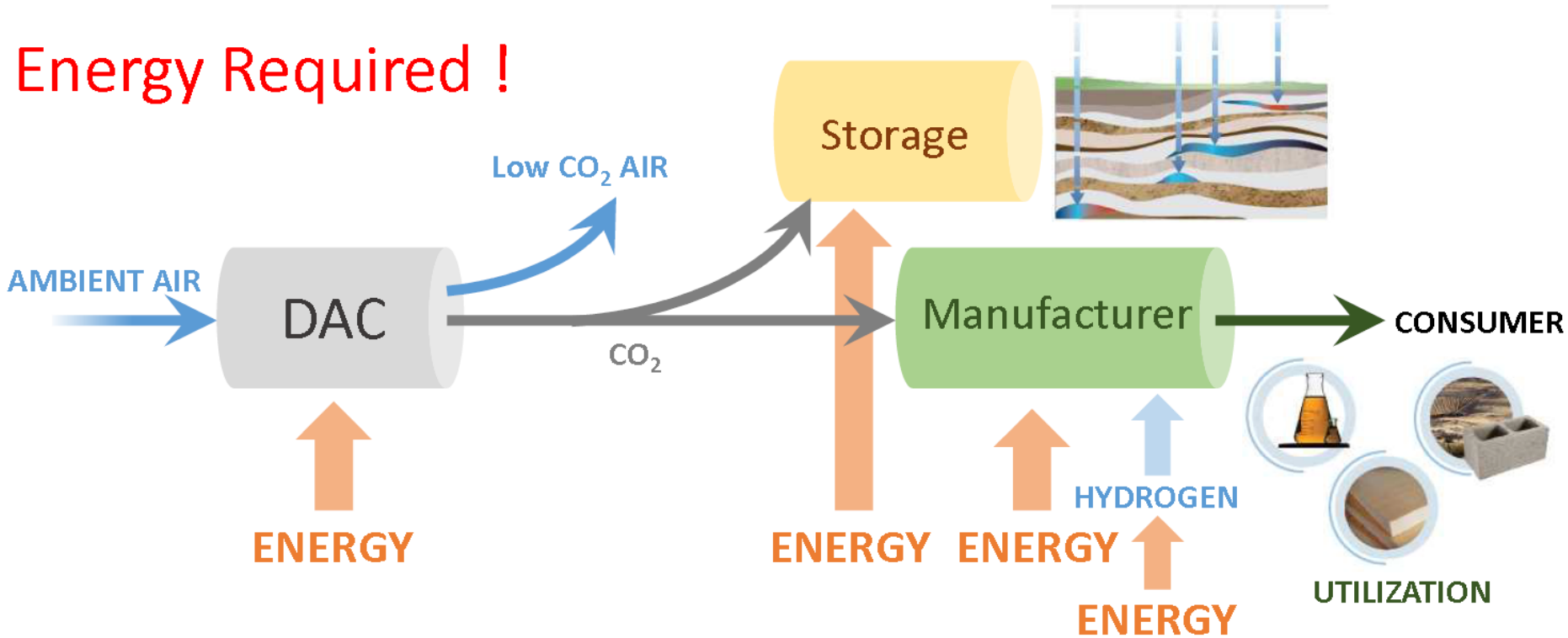


Relationship between cost and introduction amount of DAC

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

Direct Air Capture + CO_2 Utilization/CO_2 Storage

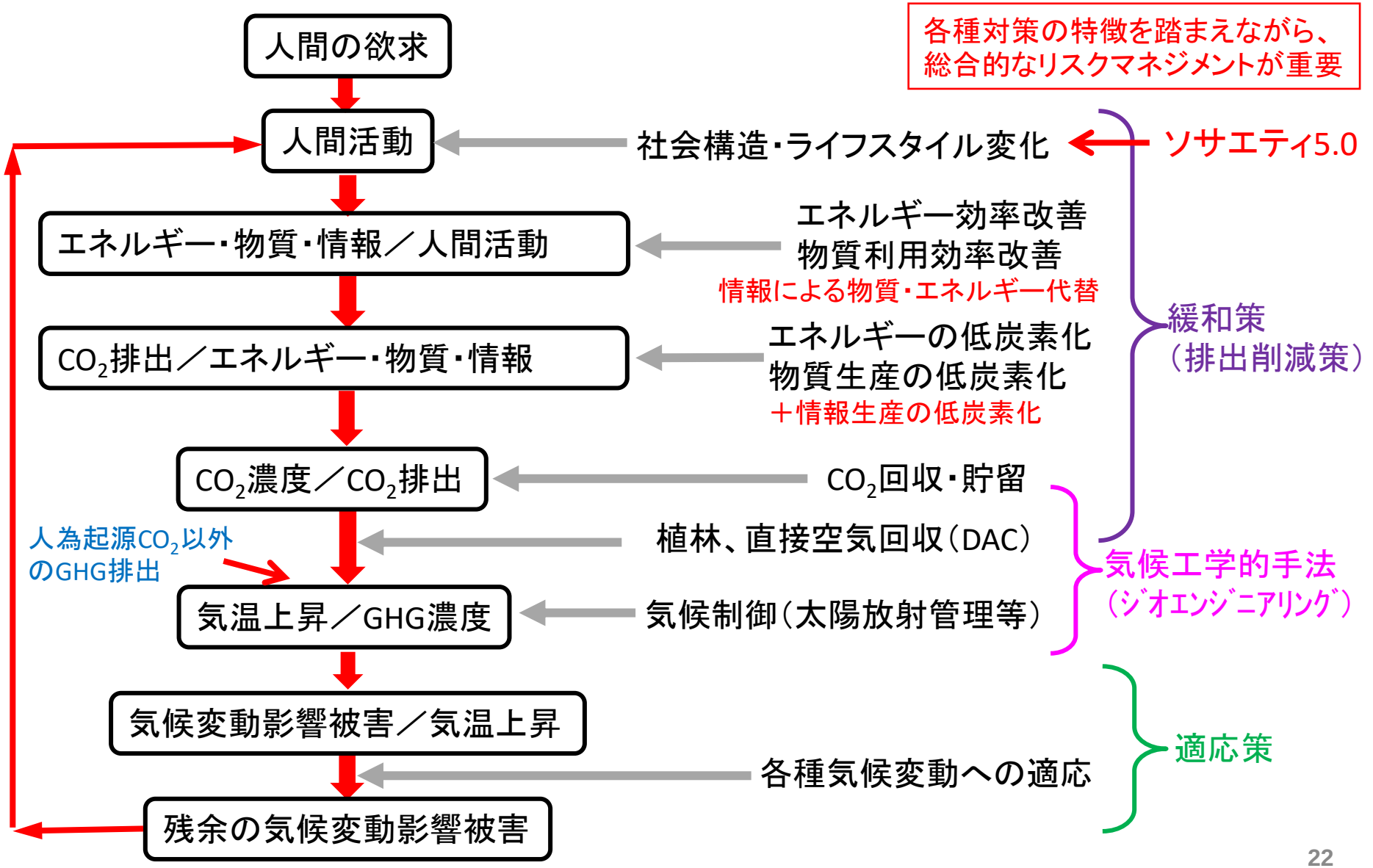
Energy Required !



Energy resource should be zero/low CO_2 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



出所：山地憲治（2006）「エネルギー・環境・経済システム論」岩波書店に加筆

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

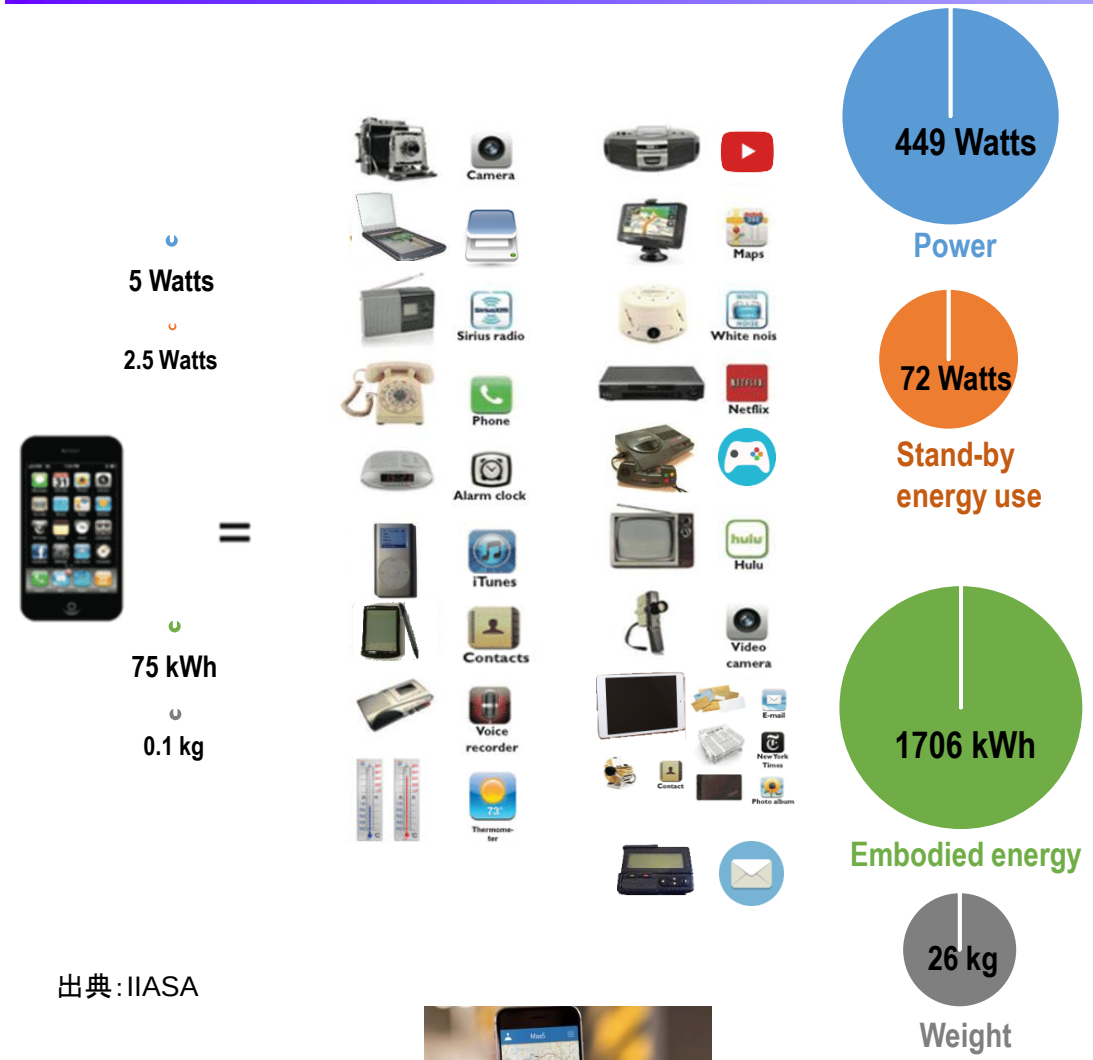
→ 情報によるモノの代替

↓ 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→ CO_2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→CO_2削減

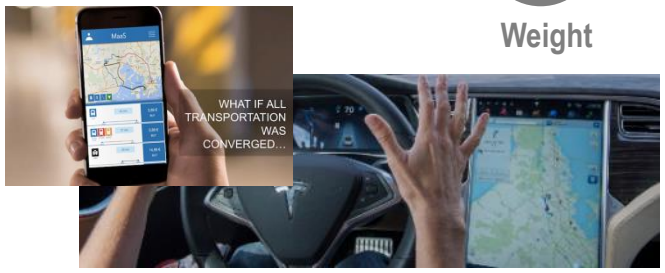
IT, AI等のエンドユース技術の革新と社会変化



出典：IIASA

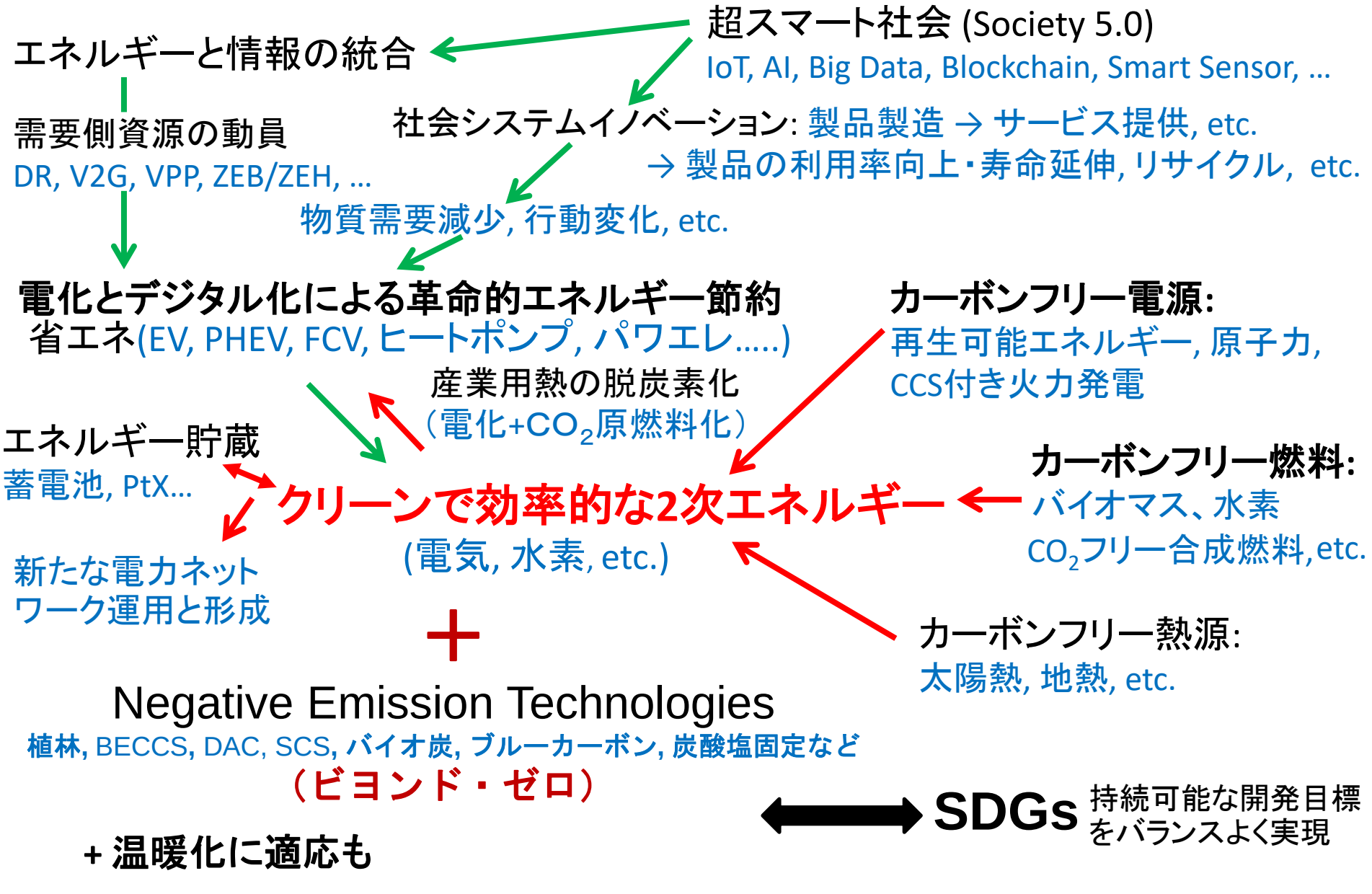
- 社会はエネルギー消費を目的にエネルギーを消費しているわけではない。製品・サービスが効用増をもたらすため、それに体化されたエネルギーを消費しているに過ぎない。
- 効用増をもたらす製品・サービスの展開は急速な場合が多く、それに付随したエネルギー・CO_2排出低減は急速になる可能性あり。

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。



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

脱炭素を実現するエネルギーシステムの構成



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