

2050年カーボンニュートラルを支えるイノベーション

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

基調講演

革新的環境技術シンポジウム2021

～2050年カーボンニュートラルを支えるイノベーション～

主催:(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)

2021年12月1日

@イイノホール＋Web配信

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 $1.5^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$ 以内に抑える。

- ・今世紀後半に正味の排出ゼロ(**脱炭素社会: カーボンニュートラル**)を目指す。

COP26のハイライト:

- ・ 第6条（市場メカニズム等）の実施規則合意
- ・ 1.5°C へ向けた野心度引上げ（議論の場を設定）
- ・ 石炭火力の段階的削減(phase out→phase down)
- ・ 有志国連合の宣言（石炭、車、森林等）
- ・ その他：途上国支援、共通の時間枠、メタン等

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**)

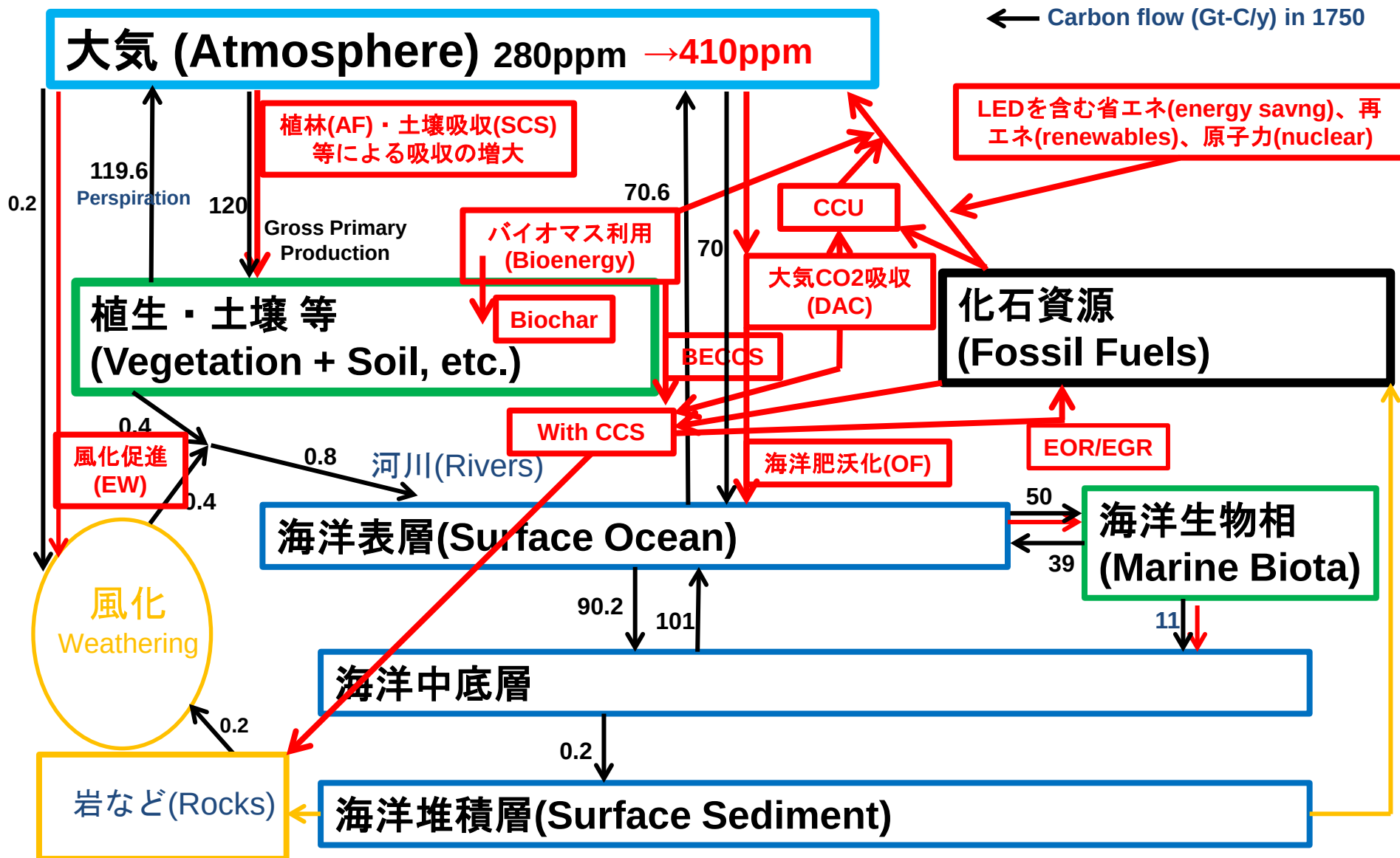
- ・5年毎に目標を見直す。

- ・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)

カーボンニュートラル（脱炭素社会）とは？

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)

地球温暖化対策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(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)

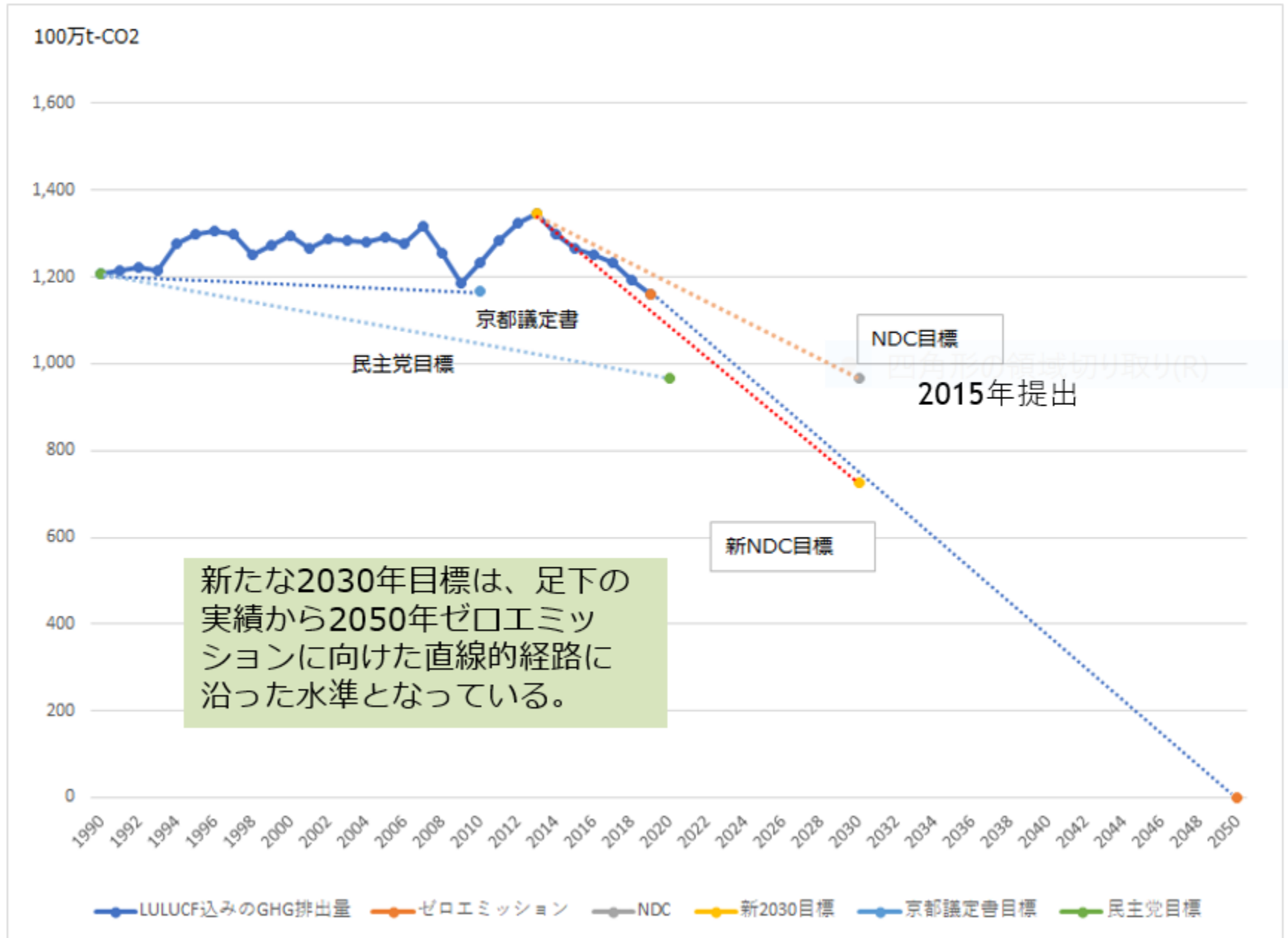
2021年9月：国連総会(ニューヨーク)

2021年10月：第6次エネルギー基本計画等を閣議決定

2021年10月：G20サミット(ローマ)

2021年11月：COP26(グラスゴー)

わが国のGHG排出量と各種削減目標



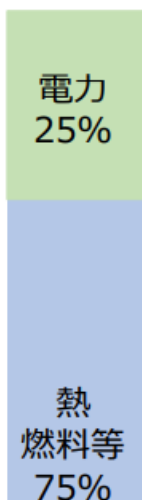
エネルギー需要・一次エネルギー供給

エネルギー需要

一次エネルギー供給

2021年10月22日閣議決定

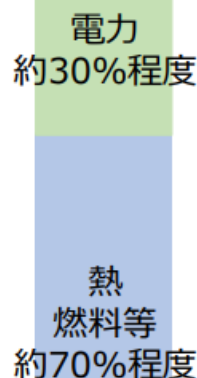
360百万kL



経済成長 1.4%/年
(2013→2030)
世帯数 0.7%減
旅客輸送量 -6.2%減

省エネの野心的な深掘り
約6,200万kL程度
(対策前比▲18%程度)

約280百万kL



2013年度

2030年度

2030年度
(H27策定時)

326百万kL



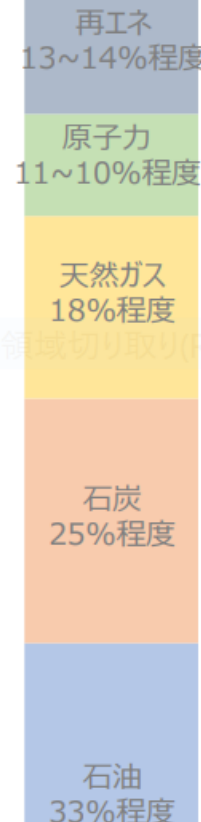
水素・アンモニア
約1%程度

約430百万kL



2030年度

489百万kL



2030年度
(H27策定時)

自給率
約30%
程度

● 四角形の領域切り取り(R)

自給率
24.3%
程度

* 自給率は総合エネルギー統計ベースでは約30%強程度、IEAベースでは約30%弱程度となる

* H27の長期エネルギー需給見通し策定以降、総合エネルギー統計は改訂されており、2030年推計の出発点としての2013年実績値が異なるため、単純比較は出来ない点に留意

電力需要・電源構成

電力需要

電源構成

2021年10月22日閣議決定

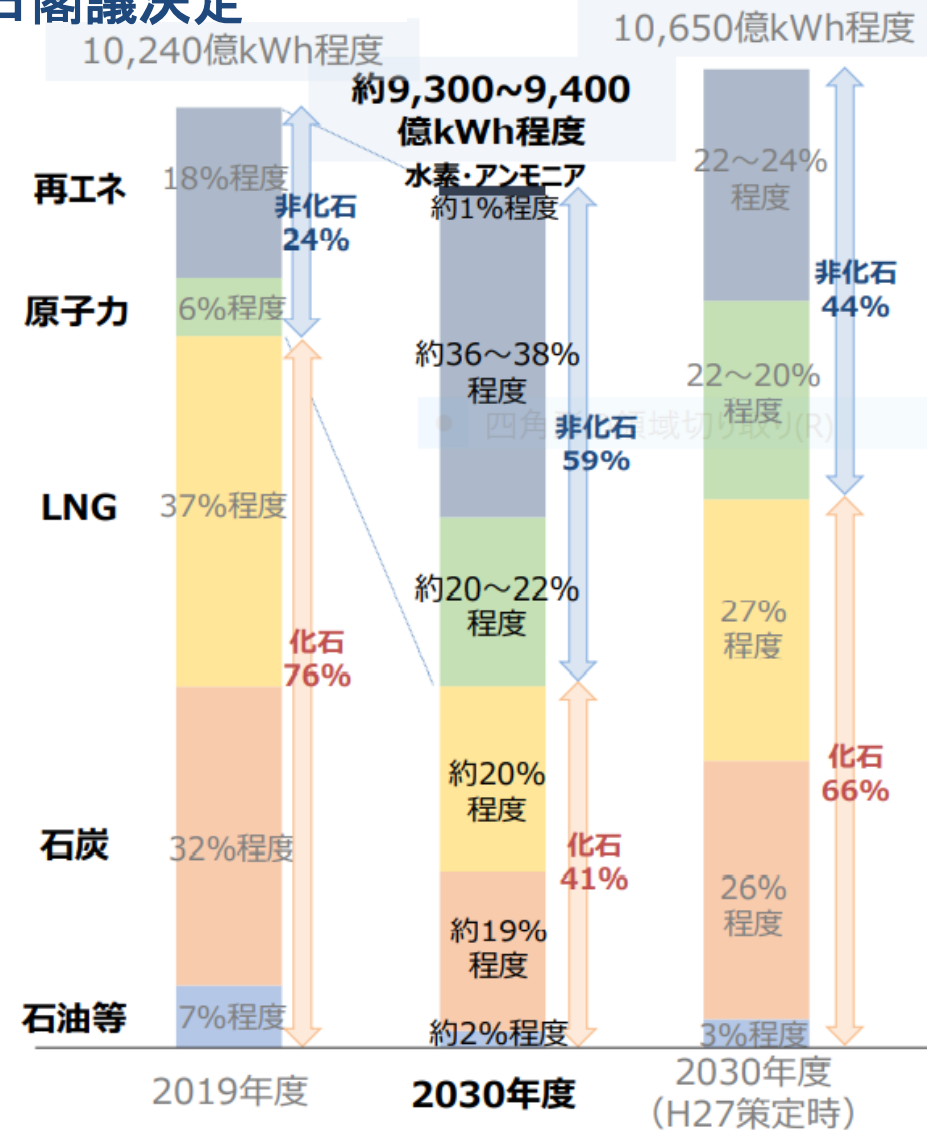
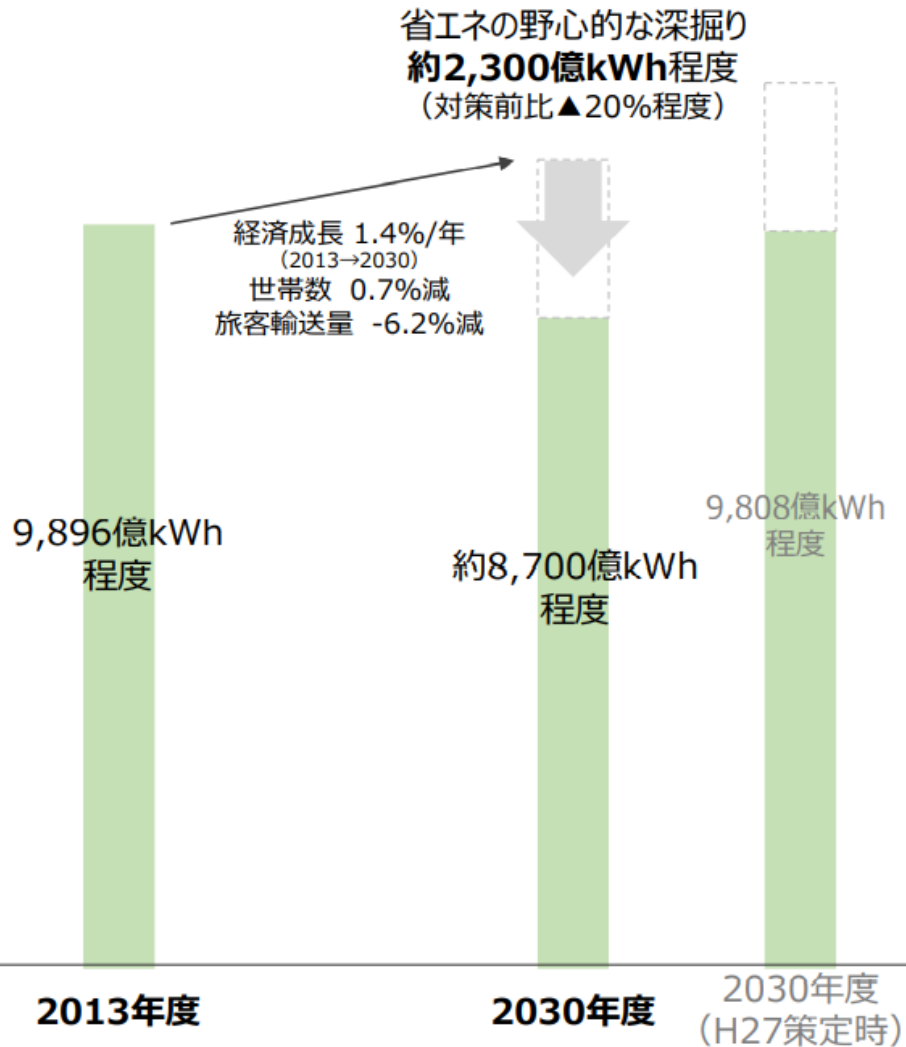


表1 エネルギー起源二酸化炭素の各部門の排出量の目安

	2013年度 実績	2019年度 実績	2030年度の 各部門の 排出量の目安
エネルギー起源二酸化炭素	1,235	1,029	約680
産業部門	463	384	約290
業務その他部門	238	193	約120
家庭部門	208	159	約70
運輸部門	224	206	約140
エネルギー転換部門 ⁸	106	89.3	約60

[単位：百万t-CO₂]

エネルギー起源CO₂以外のGHG排出量目安（CO₂換算（百万トン）@2030年）

非エネルギー起源CO₂:70、メタン:27、N₂O:18、フロン類: 22、

森林吸収: -38、土壌吸収等:-10；+2国間クレジット(JCM)で2030年までの累積で100程度

RITEの2050年カーボンニュートラルのシナリオ分析

中長期のエネルギー政策を盛り込んだ「エネルギー基本計画」の改定に向け、経済産業省の総合資源エネルギー調査会（経済産業大臣の諮問機関）で議論が進められています。5月13日の基本政策分科会では、経産省からの委託を受けてRITEによる分析「2050年カーボンニュートラルのシナリオ分析（中間報告）」を発表しました。

それを受けて追加データの提供の要望、質問などが寄せられたため、その理解の促進に供するような分析データ、解説を用意しました。

• [2021年5月13日総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会提供資料「2050年カーボンニュートラルのシナリオ分析（中間報告）」補足版](#)

(PDFファイル3,841KB)

• [指摘事項等に関する解説](#)

• [RITEの2050年カーボンニュートラルのシナリオ分析へのIGESの指摘事項に対する解説](#)(PDFファイル1,175KB)

• [RITEの2050年カーボンニュートラルのシナリオ分析への内閣府再生可能エネルギータスクフォースの指摘事項に対する解説](#)(PDFファイル879KB)

RITEホームページ（2021年6月11日）より

IPCC AR6(WG1)の2050年カーボンニュートラル実現の排出経路や第6次エネ基の2030年エネルギーミックスは反映されていない。

温暖化対策評価モデルDNE21+の概要

(Dynamic New Earth 21+)

- ◆ 各種エネルギー・CO₂削減技術のシステムの的なコスト評価が可能なモデル
- ◆ 線形計画モデル(エネルギーシステム総コスト最小化。決定変数:約1千万個、制約条件:約1千万本)
- ◆ モデル評価対象期間: 2000～2100年(代表時点:2005, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 70, 2100年)
- ◆ 世界地域分割: 54 地域分割(米国、中国等は1国内を更に分割。計77地域分割)
- ◆ 地域間輸送: 石炭、原油・各種石油製品、天然ガス・合成メタン、電力、エタノール、水素、CO₂(ただしCO₂は国外への移動は不可を標準ケースとしている)
- ◆ エネルギー供給(発電部門等)、CO₂回収・利用・貯留技術(CCUS)を、ボトムアップ的に(個別技術を積み上げて)モデル化
- ◆ エネルギー需要部門のうち、鉄鋼、セメント、紙パ、化学、アルミ、運輸、民生の一部について、ボトムアップ的にモデル化。その他産業や民生においてCGSの明示的考慮
- ◆ 国際海運、国際航空についても、ボトムアップ的にモデル化
- ◆ 500程度の技術を具体的にモデル化、設備寿命も考慮
- ◆ それ以外はトップダウン的モデル化(長期価格弾性値を用いて省エネ効果を推定)

- ・ 地域別、部門別に技術の詳細な評価が可能。また、それらが整合的に評価可能
- ・ 非CO₂ GHGについては、別途、米EPAの技術・コストポテンシャル推計を基にしてRITEで開発したモデルを利用

- ・ 中期目標検討委員会およびタスクフォースにおける分析・評価
- ・ 国内排出量取引制度の検討における分析・評価
- ・ 環境エネルギー技術革新計画における分析・評価

はじめ、気候変動政策の主要な政府検討において活用されてきた。またIPCCシナリオ分析にも貢献

統合費用の想定：東大-IEEJ電源構成モデルの分析結果を活用

- ◆ DNE21+モデルは世界モデルであるため、国内の電力系統や再エネの国内での地域偏在性を考慮した分析は難しい。そこで系統対策費用については、別途、東京大学藤井・小宮山研究室および日本エネルギー経済研究所による最適電源構成モデル^{1),2)}による、変動性再生可能エネルギーが大量に導入された場合の電力システム費用の上昇分(統合費用)を推計結果を活用
- ◆ 全国のAMeDASデータ等をもとに変動性再生可能エネルギーの出力の時間変動をモデル化し、線形計画法によって電力部門の最適な設備構成(発電設備及び蓄電システム)及び年間の運用を推計
- ◆ 今回は日本全体を5地域(北海道、東北、東京、九州、その他)に区分し、1時間刻みのモデル化により計算を実施。発電コストや資源制約などの前提条件はDNE21+の想定に合せて設定

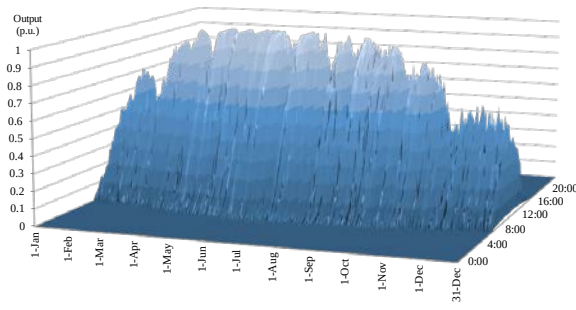
モデル計算で考慮されているもの・・・出力抑制、電力貯蔵システム(揚水発電、リチウムイオン電池、水素貯蔵)、発電設備の利用率低下、地域間連系線、貯蔵や送電に伴う電力ロス

モデル計算で考慮されていないもの・・・地内送電線、配電網、回転慣性の低下の影響、EVによる系統電力貯蔵、再生可能エネルギー出力の予測誤差、曇天・無風の稀頻度リスクなど

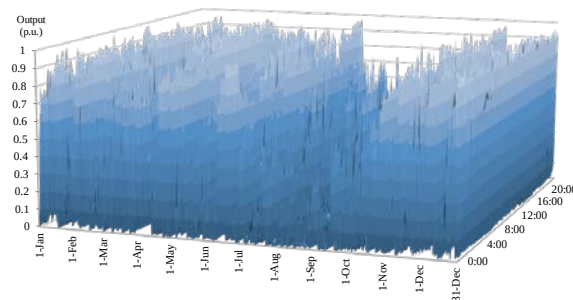


気象データ

(AMeDAS: 全国1300地点)



太陽光発電の出力例



風力発電の出力例

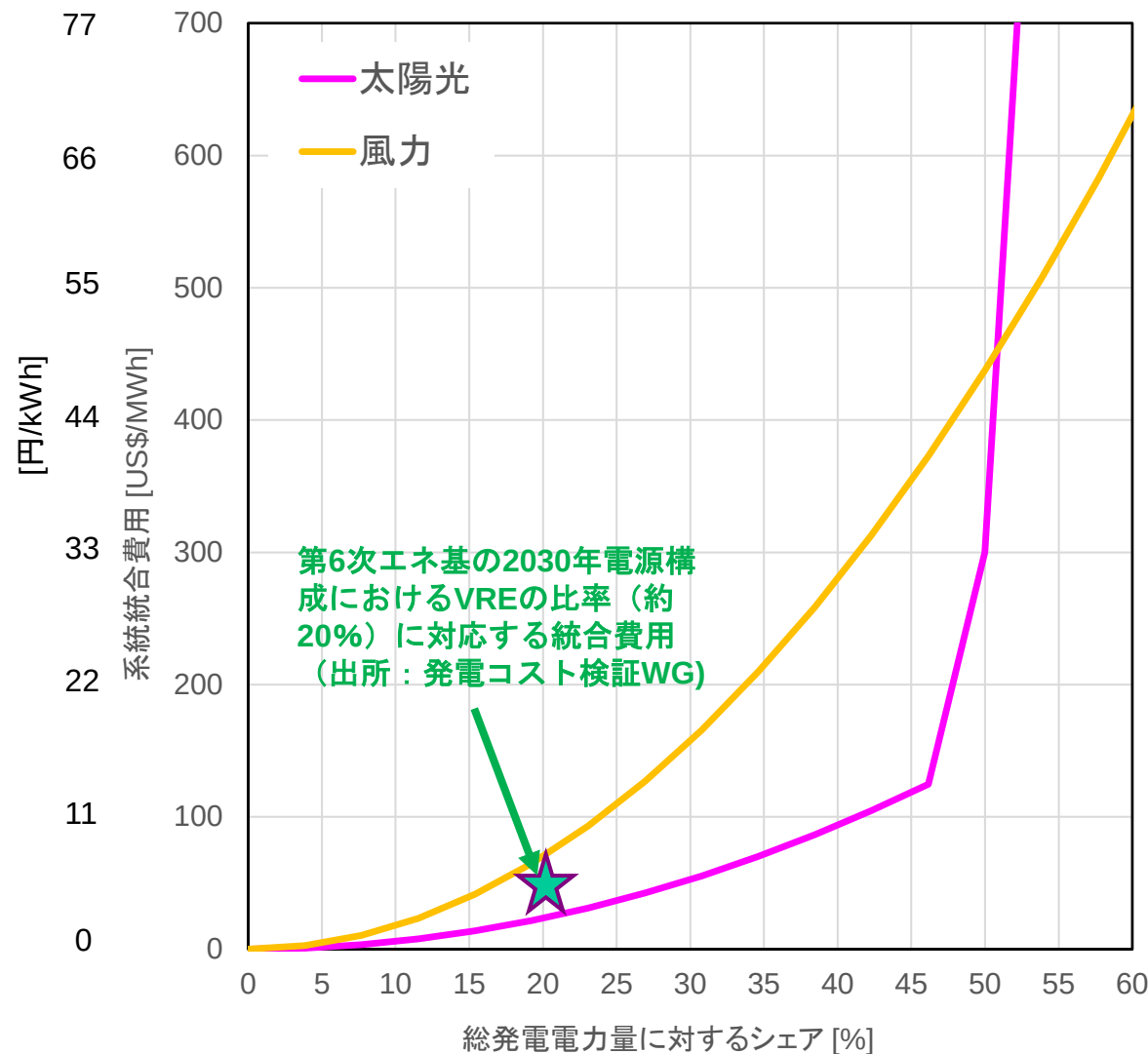
- 1) R. Komiyama and Y. Fujii, (2017). *Energy Policy*, 101, 594-611.
- 2) Y. Matsuo et al., (2020). *Applied Energy*, 267, 113956.

謝辞: 分析に協力頂いた、日本エネルギー経済研究所 松尾雄司氏に感謝申し上げます。

系統対策における統合費用の想定（2050年）

東大-IEEJ電源構成モデルの分析結果から近似した系統統合費用
＝DNE21+で想定した系統統合費用の想定（各導入シェア実現時の**限界費用**）

※ 総費用は積分値



- VRE比率が高まると、**限界統合費用は比較的急速に上昇傾向有**。これは、既にVREが大量に導入されている状況で更に導入を進める場合、曇天・無風状態が数日以上継続するリスクに対応するため、利用頻度の低い蓄電システムや送電線を保持することが必要となることによる。
- 例えば、再エネ比率50%程度（太陽光約400TWh、風力約100TWh）のケースにおいては、蓄電池導入量は最適化計算の結果、**870GWh**、再エネ100%程度（VRE56%）のケースでは**3980GWh**程度となる。（足下導入量約10GWh程度）

※ IEEJモデル分析結果は、風力、太陽光導入シェアの組み合わせによって統合費用には差異が生じる。DNE21+での想定では、IEEJモデル分析結果の風力、太陽光のシェアの組み合わせの統合費用から、風力、太陽光それぞれのシェアのみによる関数として近似的に想定した上で、シェア毎に差分値を算定して、各シェアにおける統合費用の限界値を推計して、DNE21+に組み入れた。

注) 各VREのポテンシャルは先のスライド記載のとおりであり、本グラフの記載のシェアは、想定ポテンシャルによって制約を受けるため、実現不可能な場合もある。

2030年の電源別発電コスト試算の結果概要

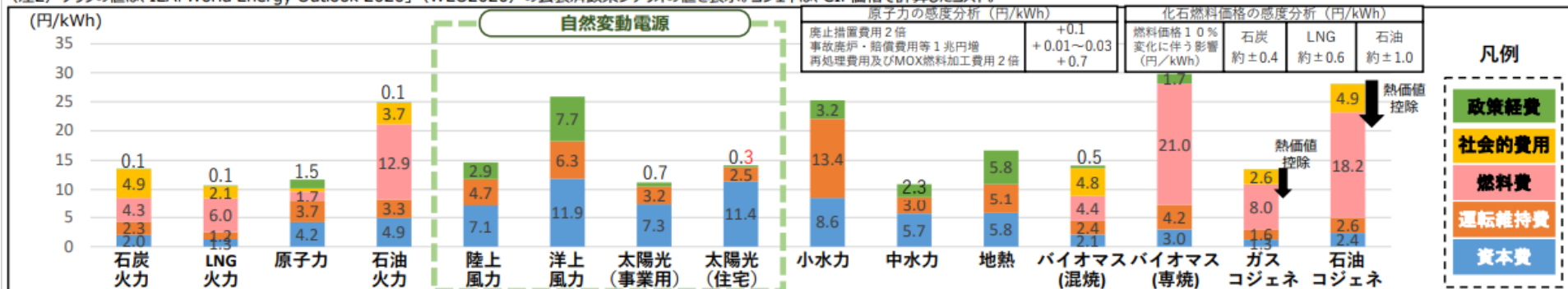
均等化発電原価(LCOE)は、標準的な発電所を立地条件等を考慮せずに新規に建設し所定期間運用した場合の「総発電コスト」の試算値。政策支援を前提に達成すべき性能や価格目標とも一致しない。

- 各電源のコスト面での特徴を踏まえ、どの電源に政策の力点を置くかといった、**2030年に向けたエネルギー政策の議論の参考材料**とする。
- 2030年に、新たな発電設備を更地に建設・運転した際のkWh当たりのコストを、一定の前提で機械的に試算。**
(既存の発電設備を運転するコストではない)。
- 2030年のコストは、燃料費の見通し、設備の稼働年数・設備利用率、太陽光の導入量などの**試算の前提を変えれば、結果は変わる。**
- 事業者が**現実に発電設備を建設**する際は、ここで示す**発電コストだけでなく、立地地点毎に異なる条件を勘案して総合的に判断**される。
- 太陽光・風力（自然変動電源）の大量導入により、火力の効率低下や揚水の活用などに伴う費用が高まるため、これも考慮する必要がある。**
この費用について、今回は、系統制約等を考慮しない機械的な試算（参考①）に加え、**系統制約等を考慮したモデルによる分析も実施し、参考として整理**（参考②）。

電源	石炭 火力	LNG 火力	原子力	石油 火力	陸上 風力	洋上 風力	太陽光 (事業用)	太陽光 (住宅)	小水力	中水力	地熱	バイオマス (混焼、5%)	バイオマス (専焼)	ガス コジェネ	石油 コジェネ
発電コスト(円/kWh) ※()は政策経費なしの値	13.6~22.4 (13.5~22.3)	10.7~14.3 (10.6~14.2)	11.7~ (10.2~)	24.9~27.6 (24.8~27.5)	9.8~17.2 (8.3~13.6)	25.9 (18.2)	8.2~11.8 (7.8~11.1)	8.7~14.9 (8.5~14.6)	25.2 (22.0)	10.9 (8.7)	16.7 (10.9)	14.1~22.6 (13.7~22.2)	29.8 (28.1)	9.5~10.8 (9.4~10.8)	21.5~25.6 (21.5~25.6)
設備利用率 稼働年数	70% 40年	70% 40年	70% 40年	30% 40年	25.4% 25年	33.2% 25年	17.2% 25年	13.8% 25年	60% 40年	60% 40年	83% 40年	70% 40年	87% 40年	72.3% 30年	36% 30年

(注1) 表の値は、今回検証で扱った複数の試算値のうち、上限と下限を表示。将来の燃料価格、CO2対策費、太陽光・風力の導入拡大に伴う機器価格低下などをどう見込むかにより、幅を持った試算としている。例えば、太陽光の場合「2030年に、太陽光パネルの世界の価格水準が著しく低下し、かつ、太陽光パネルの国内価格が世界水準に追いつくほど急激に低下するケース」や「太陽光パネルが劣化して発電量が下がるケース」といった野心的な前提を置いた試算値を含む。

(注2) グラフの値は、IEA「World Energy Outlook 2020」(WEO2020)の公表政策シナリオの値を表示。コジェネは、CIF価格で計算したコスト。



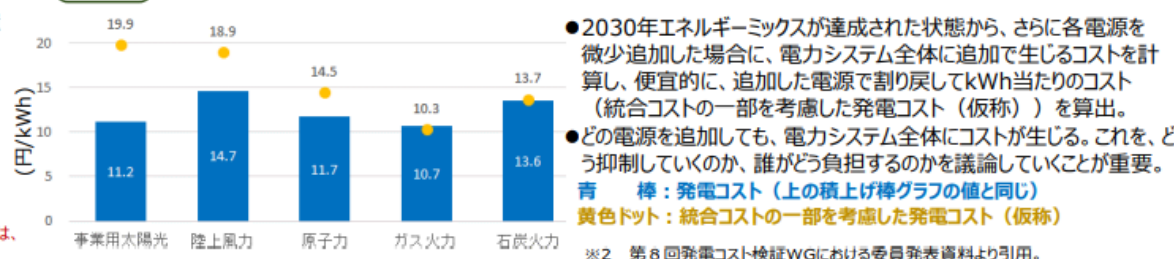
参考① 電源立地や系統制約を考慮しない機械的な試算 (2015年の手法を踏襲)

「系統が日本全国で大幅に増強され、日本全体で電力需給が瞬時に調整される」前提を置いてもおこる追加費用（火力効率低下や揚水活用等の費用）追加費用として試算。

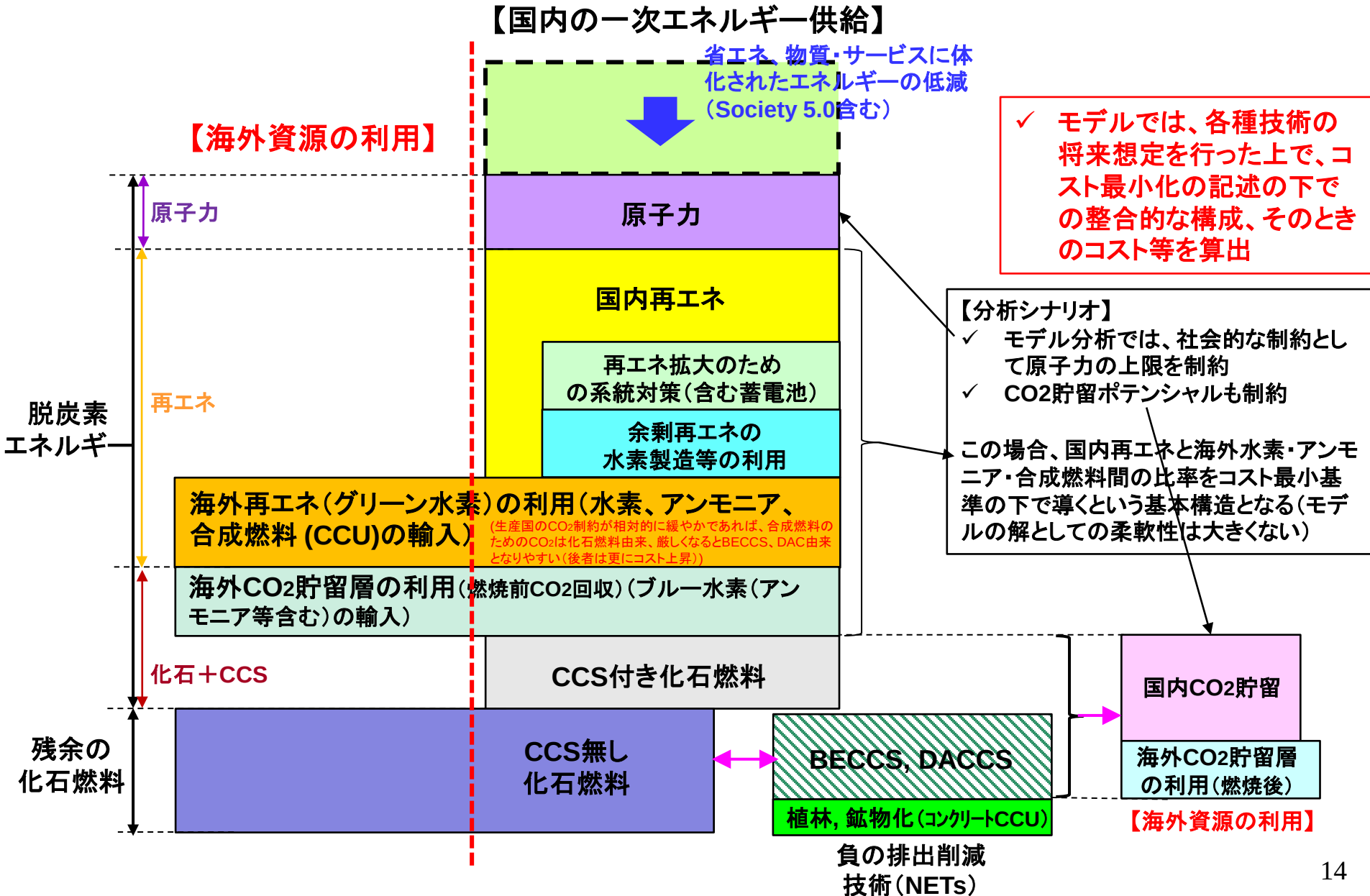
自然変動電源の導入量・割合※1	生じる追加費用
1450億kWh (15%) 程度	年間8,470億円
1850億kWh (20%) 程度	年間1兆1,580億円
2350億kWh (25%) 程度	年間1兆4,780億円

※1 検証時点では、洋上風力の時間変動実データが得られないため、洋上風力の追加費用の計算には、陸上風力の諸元を流用した。

参考② 電源立地や系統制約を考慮した、モデルによる分析・試算 (委員による分析※2)



日本の正味ゼロ排出のイメージ



シナリオ想定（概略）

		2050年GHG 排出削減	各種技術の想定 (コスト・性能)	各種技術の導入シナリオ
参考値のケース		▲100%	モデルの標準想定	モデルで 内生的に決定 (コスト最小化)。ただし 原子力は上限10% で制約。 CO2貯留量制約想定
参考値のケースの モデル想定下で再 エネ比率が変化し た場合のコスト等 を推計	① 再エネ100%	(日本以外につい ては、欧米はそれ ぞれ▲100%、そ れ以外は、全体で ▲100%を想定)	(注:ただし、再エネ比率が高 いシナリオでは、疑似慣性力 が実現し、普及していること が暗黙の前提となる)	再エネほぼ100% (原子力0%)
	② 再エネイノベ		再エネのコスト低減 加速	モデルで 内生的に決定 。ただし原子力は 上限10%で制約。CO2貯留量制約想定
	③ 原子力活用		原子力の導入拡大	モデルで 内生的に決定 。ただし 原子力の 上限を20% と感度を想定。CO2貯留量制 約想定
	④ 水素イノベ		水素のコスト低減 加速	モデルで 内生的に決定 。ただし原子力は 上限10%で制約。CO2貯留量制約想定
	⑤ CCUS活用		CO2貯留可能量拡大	モデルで 内生的に決定 。ただし原子力は 上限10%で制約。 CCS可能量を大きく想 定
	⑥ 需要変容		カー・ライドシェア拡大	完全自動運転車実現・普及により、カー シェア・ライドシェアが 劇的に拡大 すると想 定。その他は参照シナリオの想定と同じ

※需要サイドの変化については、カーシェアリング以外の要素も踏まえた更なるシナリオ分析を継続する。

シナリオ想定と再エネ比率 (2050年)

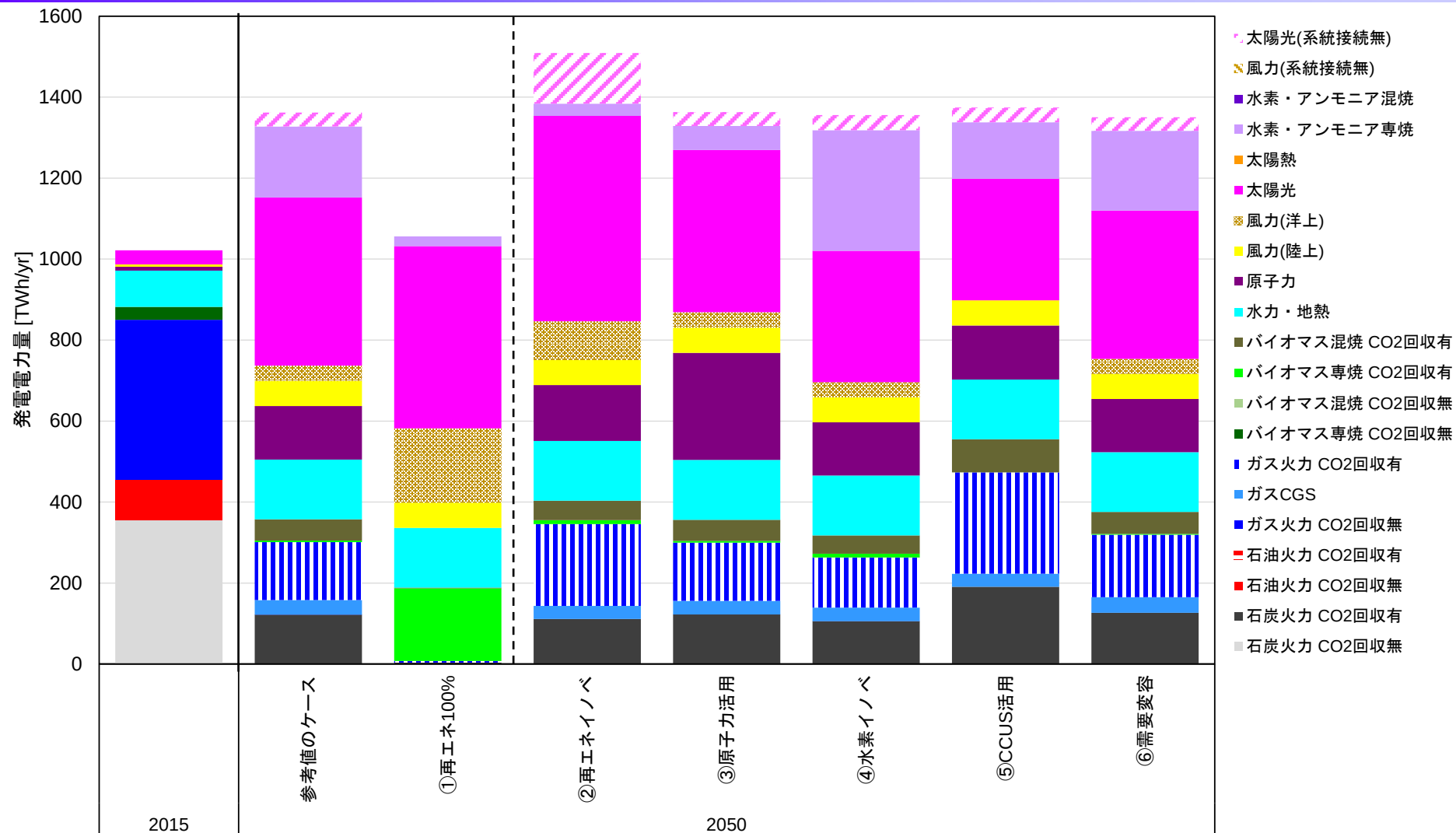
シナリオ名	再エネコスト	原子力比率	水素コスト	CCUS (貯留ポテンシャル)	完全自動運転 (カー・ライドシェア)	電源構成に占める 再エネ比率
参考値のケース ^{*1}	標準コスト	10%	標準コスト	国内貯留： 91MtCO ₂ /yr、 海外への輸送： 235MtCO ₂ /yr	標準想定 (完全自動運転車実現・普及想定せず)	54% (最適化結果)
①再エネ極大		0%		ほぼ100% (シナリオ想定)		
②再エネイノベ	低位コスト	10%		国内貯留： 91MtCO ₂ /yr、 海外への輸送： 235MtCO ₂ /yr		63% (最適化結果)
③原子力活用 ^{*2}	標準コスト	20%	国内：273MtCO ₂ /yr、 海外：282MtCO ₂ /yr			53% (最適化結果)
④水素イノベ		水電解等の水素製造、水素液化設備費：半減		国内91Mt、 海外235Mt		47% (最適化結果)
⑤CCUS活用			標準コスト			10%
⑥需要変容		標準コスト	10%	標準コスト	国内91Mt、 海外235Mt	2030年以降完全自動運転実現・普及し、カー・ライドシェア拡大、自動車台数低減により素材生産量低下

※需要サイドの変化については、カーシェアリング以外の要素も踏まえた更なるシナリオ分析を継続する。

*1: DAC無しでは実行可能解が無く、全てのシナリオでDACが利用可能と想定

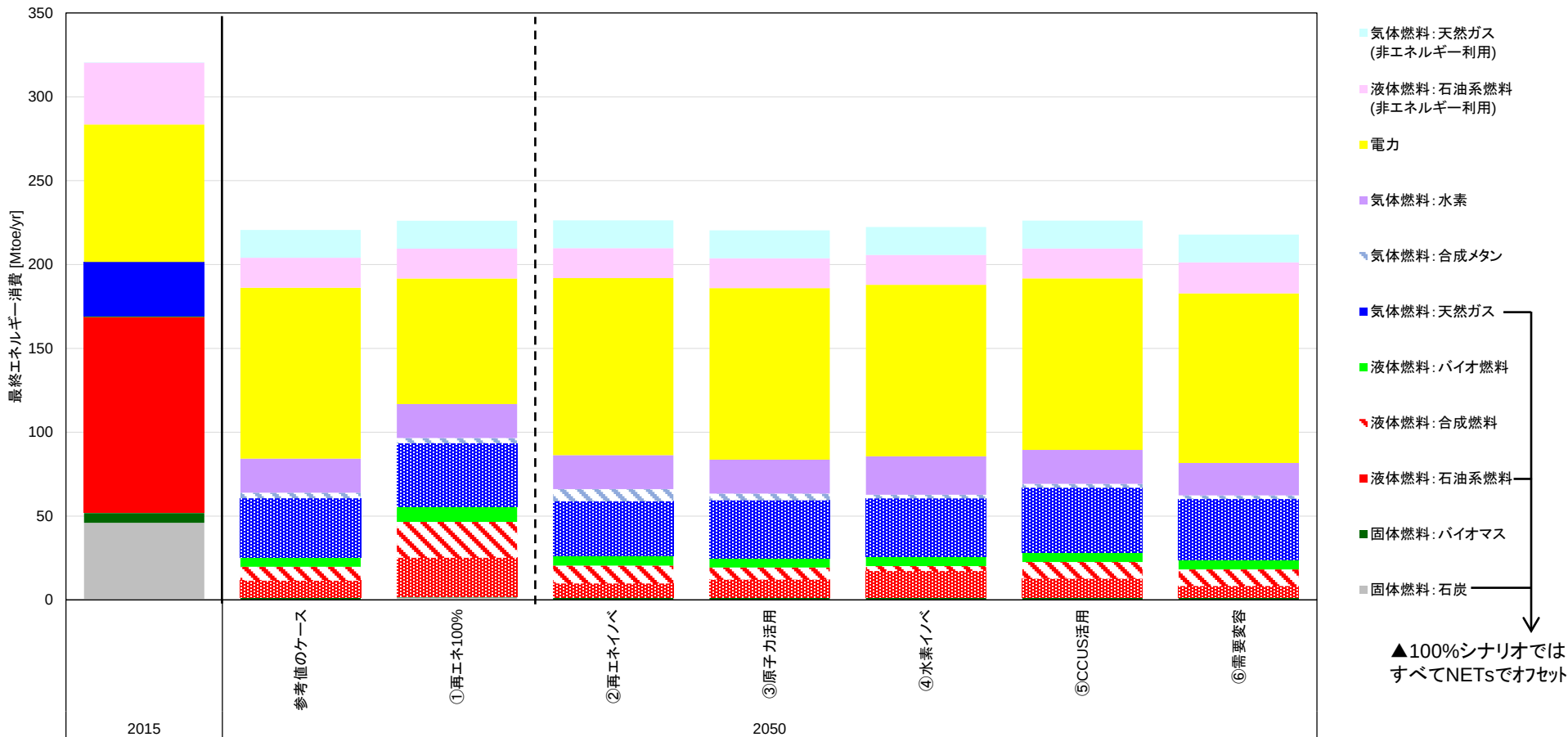
*2: 原子力活用シナリオは別途、比率50%まで分析を実施

日本の発電電力量（2050年）



✓ 再エネ比率が参考値のケースから上昇すると、統合費用が上昇。特に「再エネ極大」では統合費用の急上昇により電力供給の限界費用が相当上昇するため、電力需要を大きく低減させる結果に。化石+CCSのかわりに、需給調整等のためBECCSが増大。

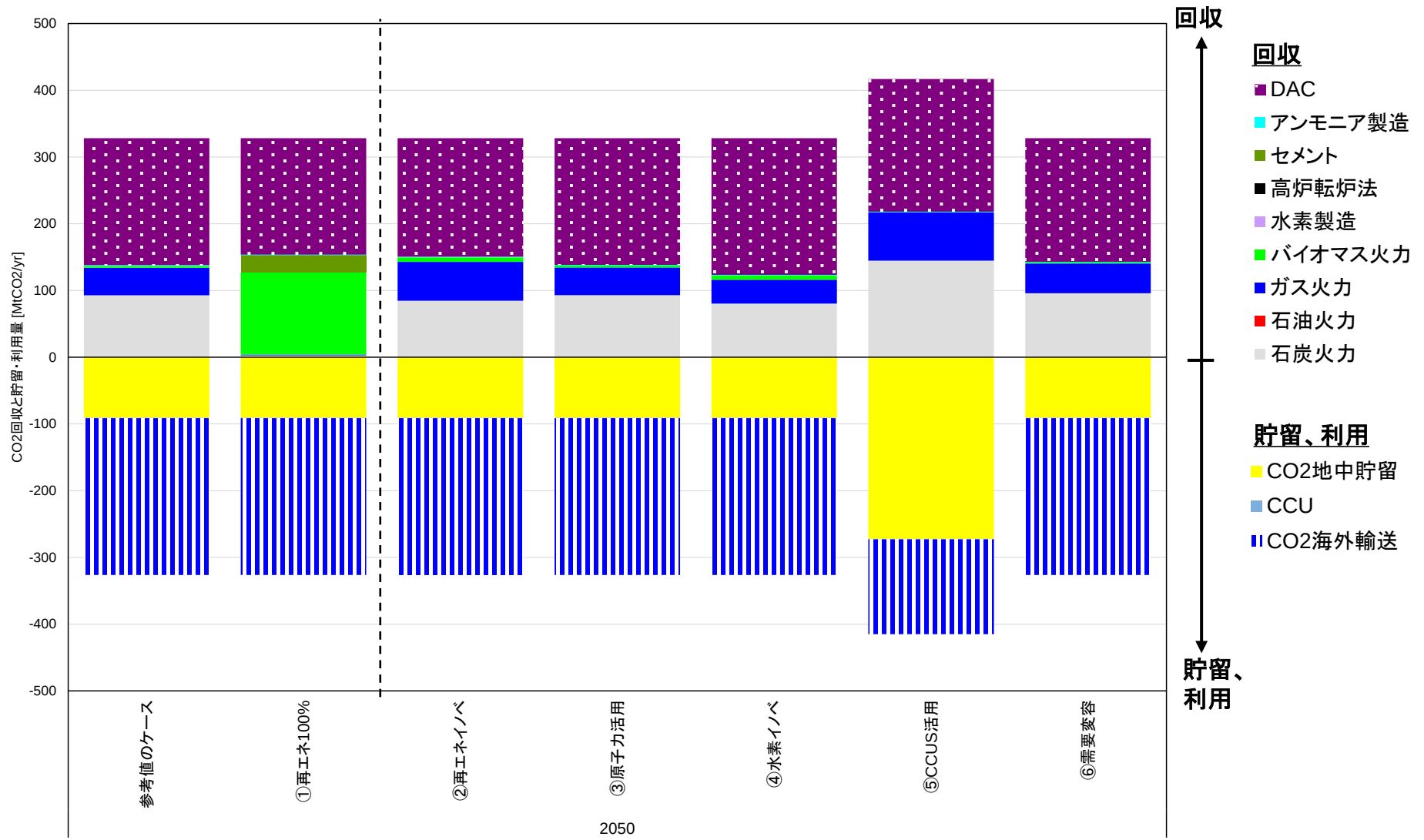
最終エネルギー消費量（2050年）



注) CCSなしの化石燃料は、負排出技術でオフセットされており、カーボンニュートラル化石燃料となっている。産業部門などでは石炭からガスへの転換が見られるが、電化が難しい部門もあり、ガスが残りやすい。

- ✓ 2050年▲100%ではいずれのシナリオでも相当大的な省エネルギーが見られる。
- ✓ 再エネ比率が参考値のケースから上昇すると、統合費用が上昇。特に「再エネ極大」では電力供給の限界費用が相当上昇するため、電力需要を大きく低減させる結果に。民生部門などで、電化が進みにくく、参考値のケース比で石油需要が上昇。

日本のCO₂バランス（2050年）



✓ 「再エネ極大」では、化石燃料発電+CCSは除かれるため、BECCSを利用

世界のCO₂限界削減費用(2050年): 日本との比較

	参考値のケース	再エネイノベケース
日本	525	469
米国	167	138
英国	181	141
EU	211	169
その他	162	138

[US\$/tCO₂]

注) CO₂限界削減費用は、電力のみならず、エネルギーシステム全体の限界費用であり、各国の産業構造や潜在的な経済成長見通し、脱炭素技術の利用可能量(再エネの価格分布、CCS貯留量、原子力の社会制約の強度など)が総合的に結果に影響している。とりわけ本分析結果においては、日本以外の国の限界費用は、CO₂貯留ポテンシャル制約が緩やかであることからDACCSの費用が限界値に大きな影響を与え、差異が大きくなっていると見られる。

✓ 日本は、低コストの再エネポテンシャルが小さいこと、CCSポテンシャルも小さいことなどから、CO₂限界削減費用が高い。

CO2限界削減費用、エネルギーシステム総コスト、 電力限界費用：日本

	2050年のCO2限界 削減費用 [US\$/tCO2]	2050年の エネルギーシステムコスト [billion US\$/yr] ^{*1}		2050年の電力 限界費用 [US\$/MWh] ^{*2}
ベースライン (特段の排出制約無)	標準想定条件下で、国 別でなく世界全体で20 50年CNを最適に達成	986	—	121
海外クレジット活用	168	1044	[+58]	184
参考値のケース	525	1179	[+193]	221
①再エネ100%	545	1284	[+299]	485
②再エネイノベ	469	1142	(-37)	198
③原子力活用 ^{*3}	523～503	1166～1133	(-13～-45)	215～177
④水素イノベ	466	1160	(-19)	213
⑤CCUS活用	405	1150	(-29)	207
⑥需要変容	509	909	(-270)	221

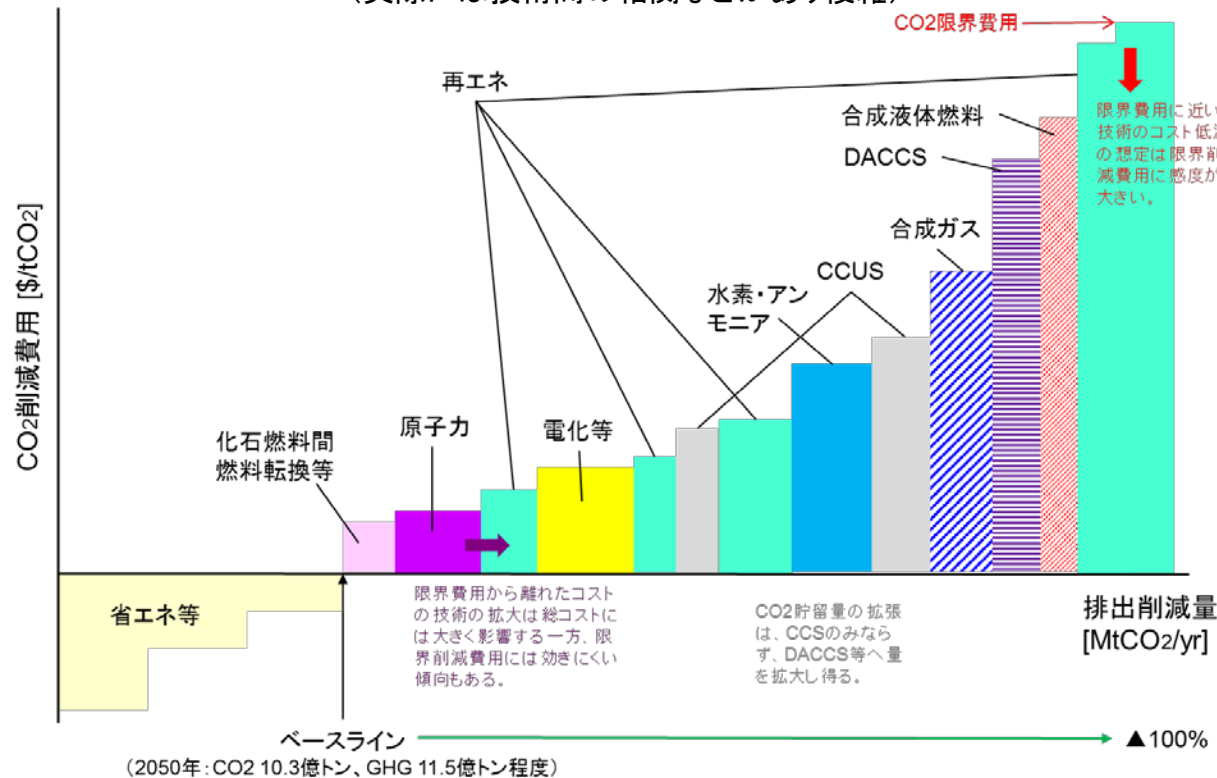
*1 〔青字〕はベースラインからのコスト増分。〔赤字〕は「参考値のケース」からのコスト変化

*2 発電端での限界費用。ただし、系統統合費用は含む。2020年のモデル推計の電力限界費用は123 US\$/MWh

*3 原子力活用シナリオは、原子力比率20%～50%の下での結果

【参考】限界削減費用とエネルギーシステム総コストの解説

※ 費用曲線はあくまでイメージ
(実際には技術間の相関などがあり複雑)



[面積にあたるコスト]:
[▲100%のエネルギーシステム総コスト]
ー[ベースラインのエネルギーシステム総コスト]

	2050年のエネルギーシステムコスト*1 (billion US\$/yr)	
参考値のケース	1179	—
①再エネ極大	1284	(+106)
②再エネイノベ	1142	(-37)
③原子力活用*2	1166～1133	(-13～-45)
④水素イノベ	1160	(-19)
⑤CCUS活用	1150	(-29)
⑥カーシェアリングにより需要が低減するケース	909	(-270)

*1: 括弧書きの数値は参照からの変動分

*2: 原子力活用シナリオは、原子力比率20%および50%の下での結果

- 省エネ・再エネ・原子力・CCS・水素/アンモニア・大気からのCO₂削減(NETs)など技術を総動員しなければカーボンニュートラル(CN)は実現できない。原子力の導入量は最適解では設定した上限に張り付く。
- 電化と電力部門の脱炭素化はどのシナリオでも必要になる。ただし、発電コストはほぼ倍増する。再エネ電気100%とすると更に倍増する。再エネ100%は電化促進に弊害となる。
- 非電力部門では水素やゼロエミ合成燃料の利用が必要になる。それでも排出ゼロは実現できないので、NETsを活用してネット排出ゼロを目指すことになる。
- 大気からCO₂を回収するDACが全てのシナリオで活用される。回収したCO₂利用は行われるが規模は大きくない。わが国のCO₂貯留容量だけでなく、海外の貯留容量も活用される。
- デジタル社会でのシェアリングエコノミー推進は、情報を活用した新たな省エネを実現し、エネルギーシステムコストが大幅に低減する可能性がある。

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。

 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】	 水素・燃料アンモニア ・ 2050年、2,000万吨程度の導入【水素】 ・ 東南アジアの5,000億円市場【燃料アンモニア】	 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	 原子力 ・ 2035年、ITER計画の核融合運転の開始	 自動車・蓄電池 ・ 2035年、乗用車の新車販売で電動車100%	 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	 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
 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	 食料・農林水産業 ・ 2040年、高層木造建築物の技術確立	 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	 カーボンサイクル・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】	 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】	 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	 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暮らし

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

グリーンイノベーション基金プロジェクトの進捗状況

(11/26時点)

分野	プロジェクト名	① WG準備	② WG 1回目	③ WG 2回目	④ 公募	⑤ 採択	予算規模 (億円)
WG1	①洋上風力発電の低コスト化	済	済 (6/23)	済 (8/31)	10/1～11/15	審査中	1,195
	②次世代型太陽電池の開発	済	済 (6/23)	済 (8/31)	10/1～11/15	審査中	498
WG2	③大規模水素サプライチェーンの構築	済	済 (4/15)	済 (4/28)	5/18～7/1	済 (8/26)	3,000
	④再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造	済	済 (4/15)	済 (4/28)	5/18～7/1	済 (8/26)	700
	⑤製鉄プロセスにおける水素活用	済	済 (6/22)	済 (8/24)	9/15～11/11	審査中	1,935
	⑥燃料アンモニアサプライチェーンの構築	済	済 (6/22)	済 (8/24)	9/15～11/11	審査中	688
	⑦CO ₂ 等を用いたプラスチック原料製造技術開発	済	済 (7/15)	済 (9/13)	10/15～11/29	未定	1,262
	⑧CO ₂ 等を用いた燃料製造技術開発	済	済 (10/21)	調整中	未定	未定	調整中
	⑨CO ₂ を用いたコンクリート等製造技術開発	済	済 (7/15)	済 (9/13)	10/15～11/29	未定	567.8
	⑩CO ₂ の分離・回収等技術開発	済	済 (9/13)	調整中	未定	未定	調整中
	⑪廃棄物処理のCO ₂ の削減技術開発	実施中	未定	未定	未定	未定	調整中
WG3	⑫次世代蓄電池・次世代モータの開発	済	済 (7/30)	済 (10/26)	11/11～1/6	未定	1,510
	⑬電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発	済	済 (10/26)	調整中	未定	未定	調整中
	⑭スマートモビリティ社会の構築	済	済 (10/26)	調整中	未定	未定	調整中
	⑮次世代デジタルインフラの構築	済	済 (7/30)	済 (10/1)	10/19～12/3	未定	1,410
	⑯次世代航空機の開発	済	済 (5/24)	済 (7/8)	7/19～9/16	済 (11/5)	210.8
	⑰次世代船舶の開発	済	済 (5/24)	済 (7/8)	7/19～9/6	済 (10/26)	350
	⑱食料・農林水産業のCO ₂ 削減・吸収技術の開発	実施中	未定	未定	未定	未定	調整中

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

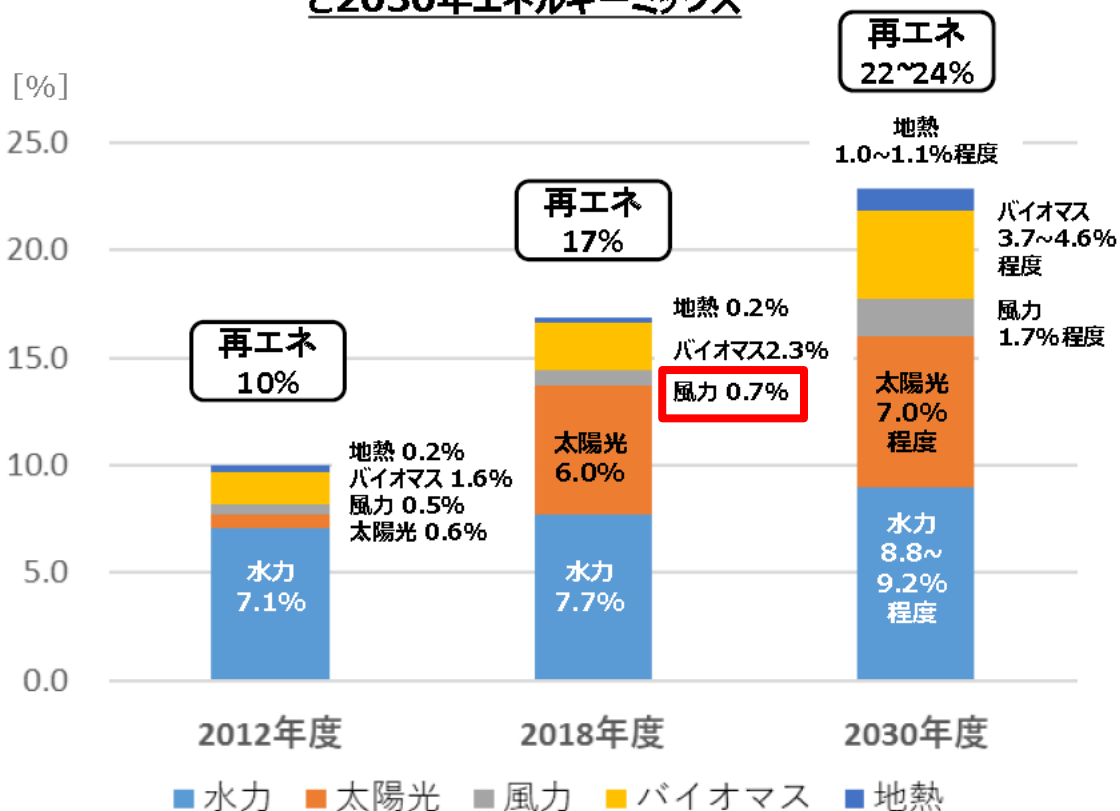
観測システム、情報基盤

バイオテクノロジー、etc.

(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**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）

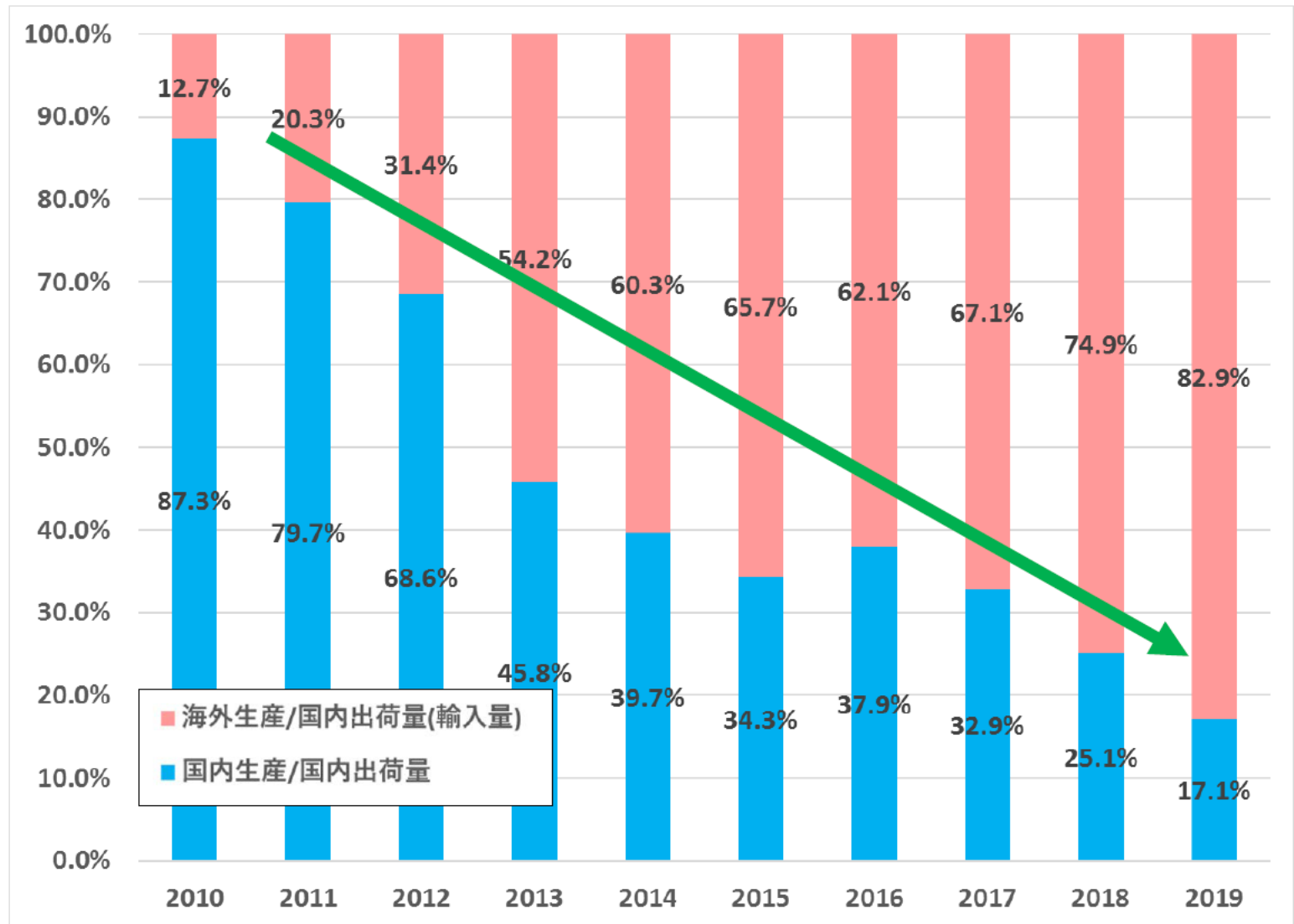
単位：億kWh

	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

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）とつなぐルートで現状の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 $\geq$ 1.0となった。

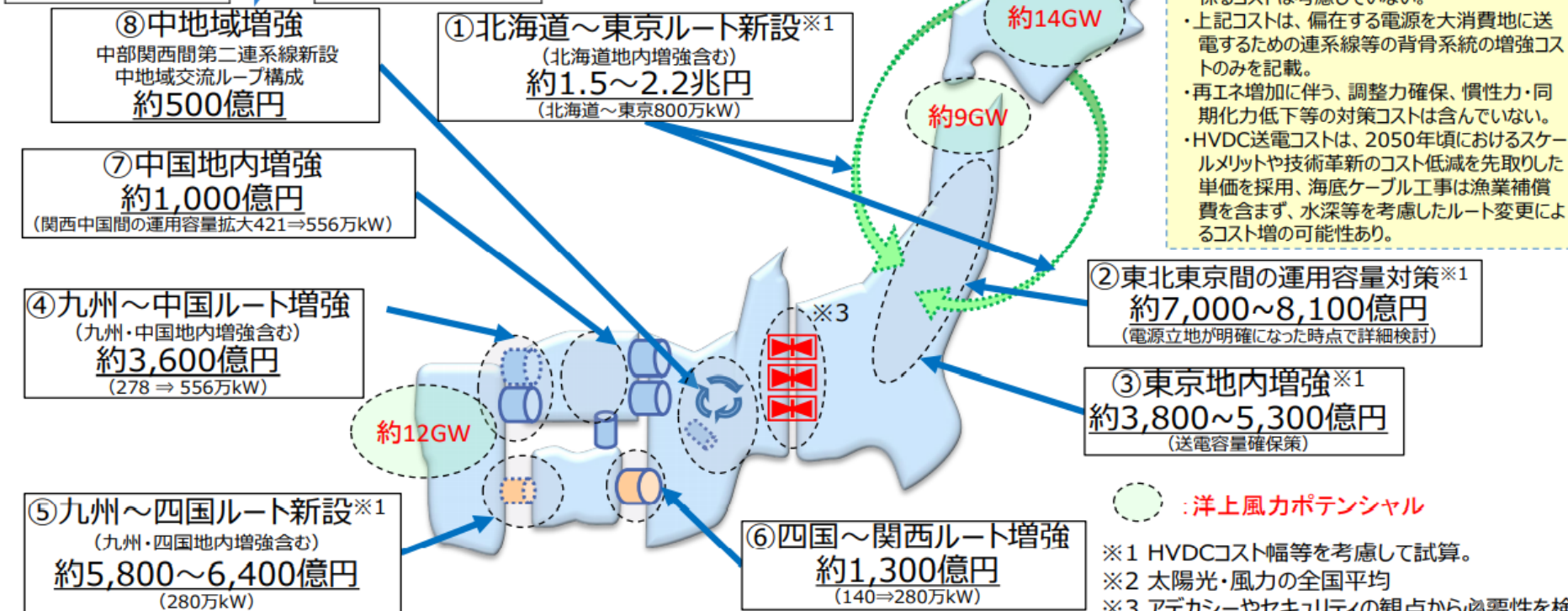
電源偏在シナリオ（45GW）

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%



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

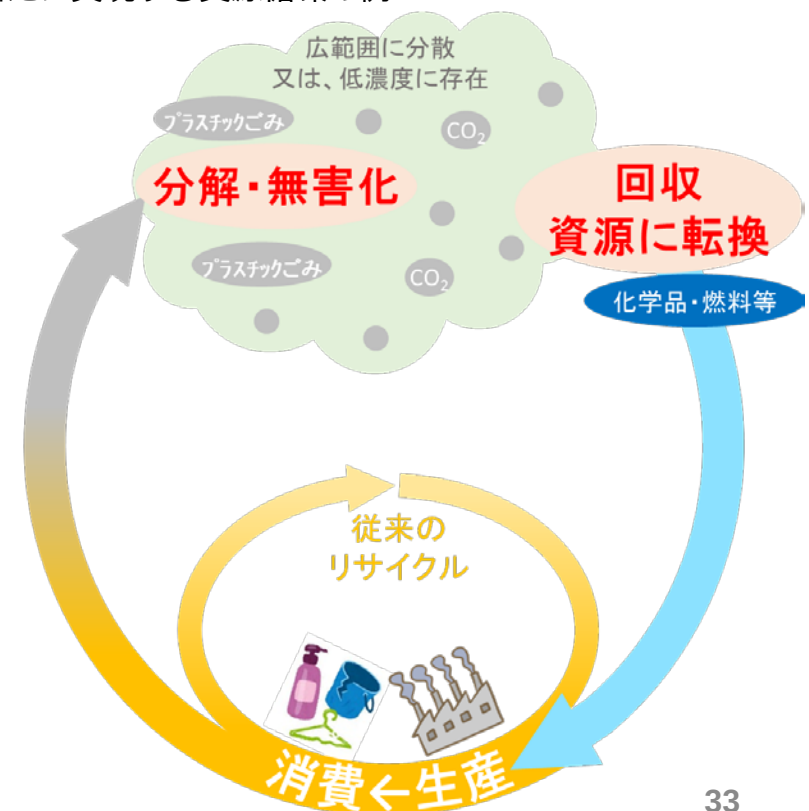
- 2030年までに、環境汚染物質を有益な資源に変換もしくは無害化する技術を開発し、パイロット規模または試作品レベルで有効であることを確認する。

(参考：目指すべき未来像)

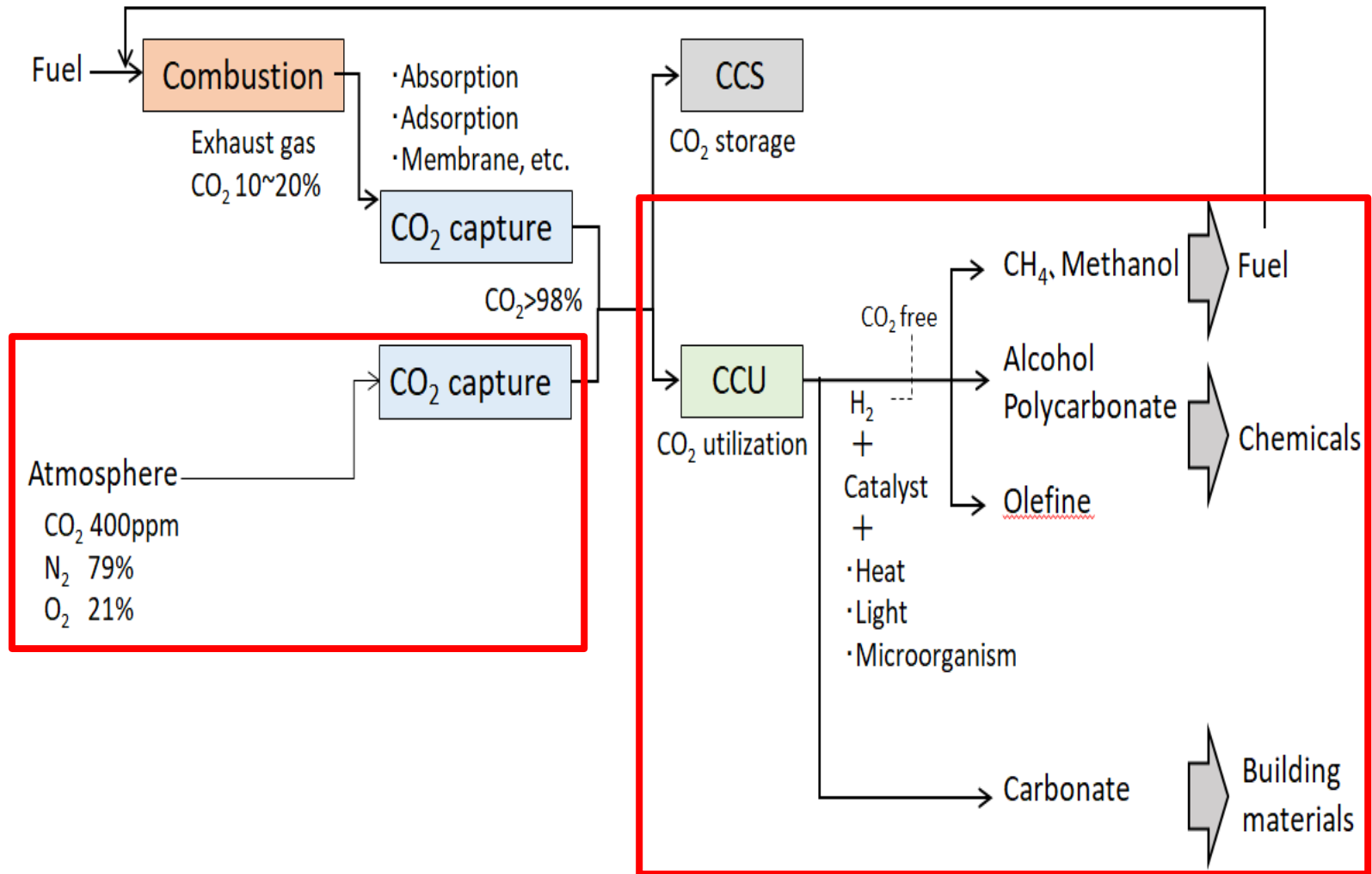
Cool Earth & Clean Earth の実現

- 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。

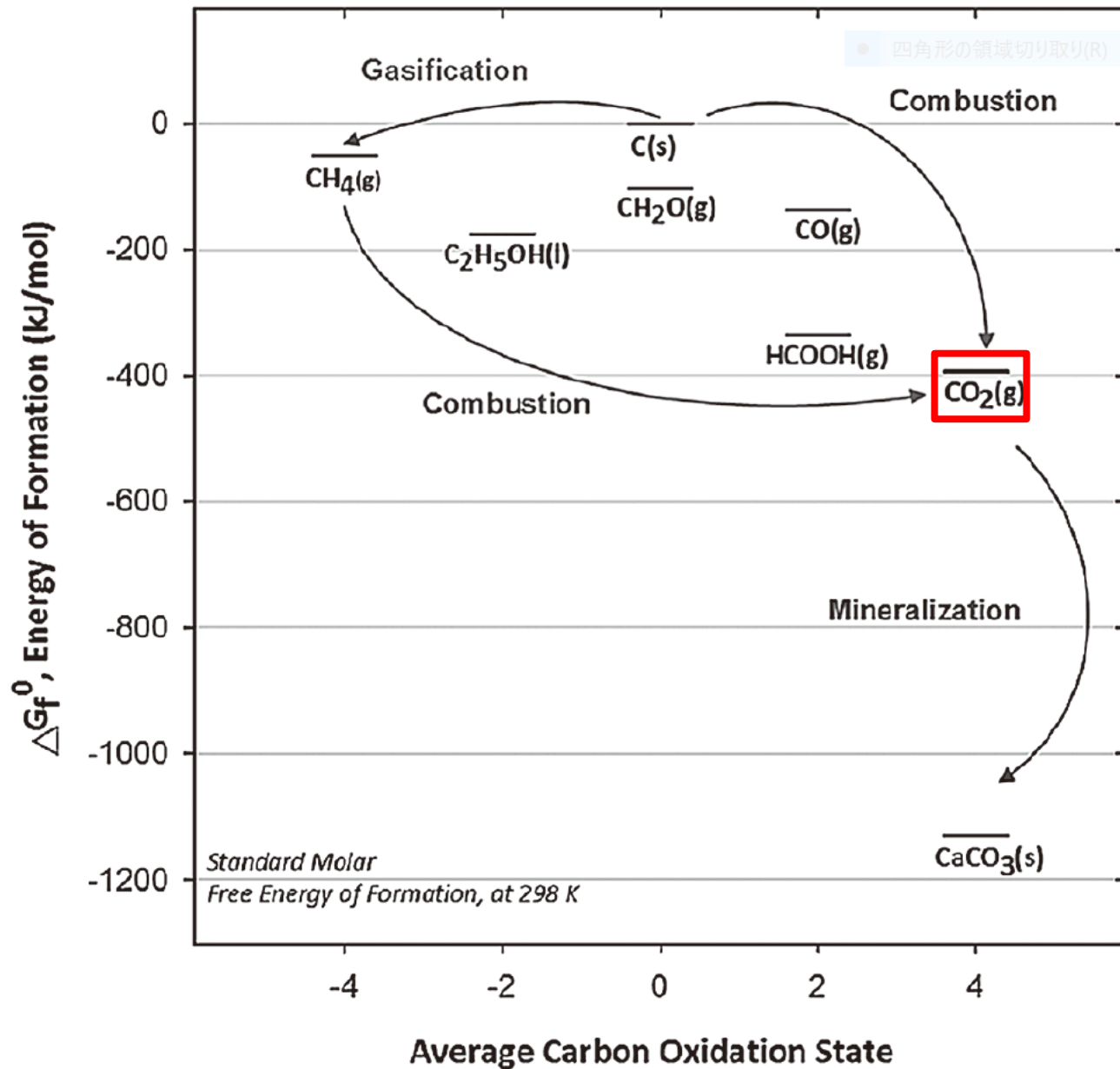
新たに実現する資源循環の例



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



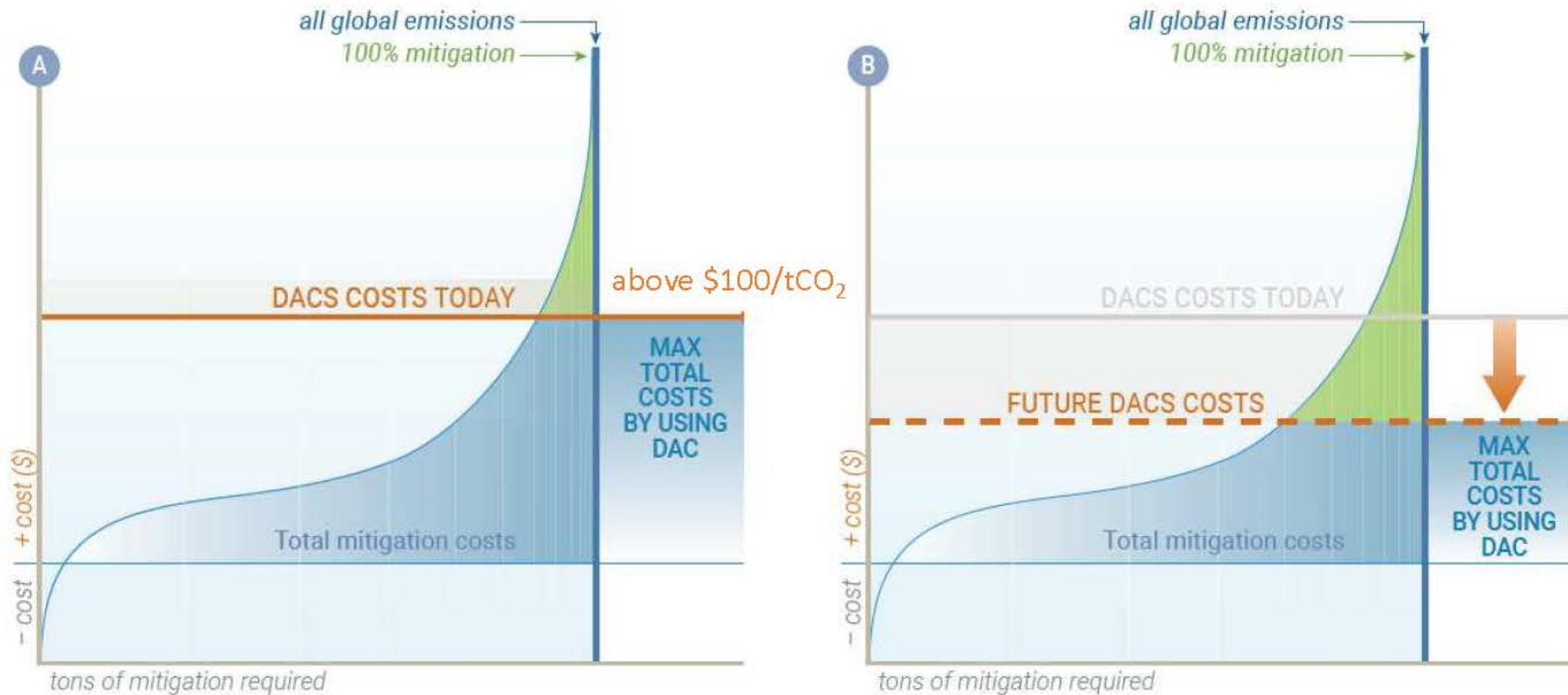
化学的に安定なCO₂利用への挑戦



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)

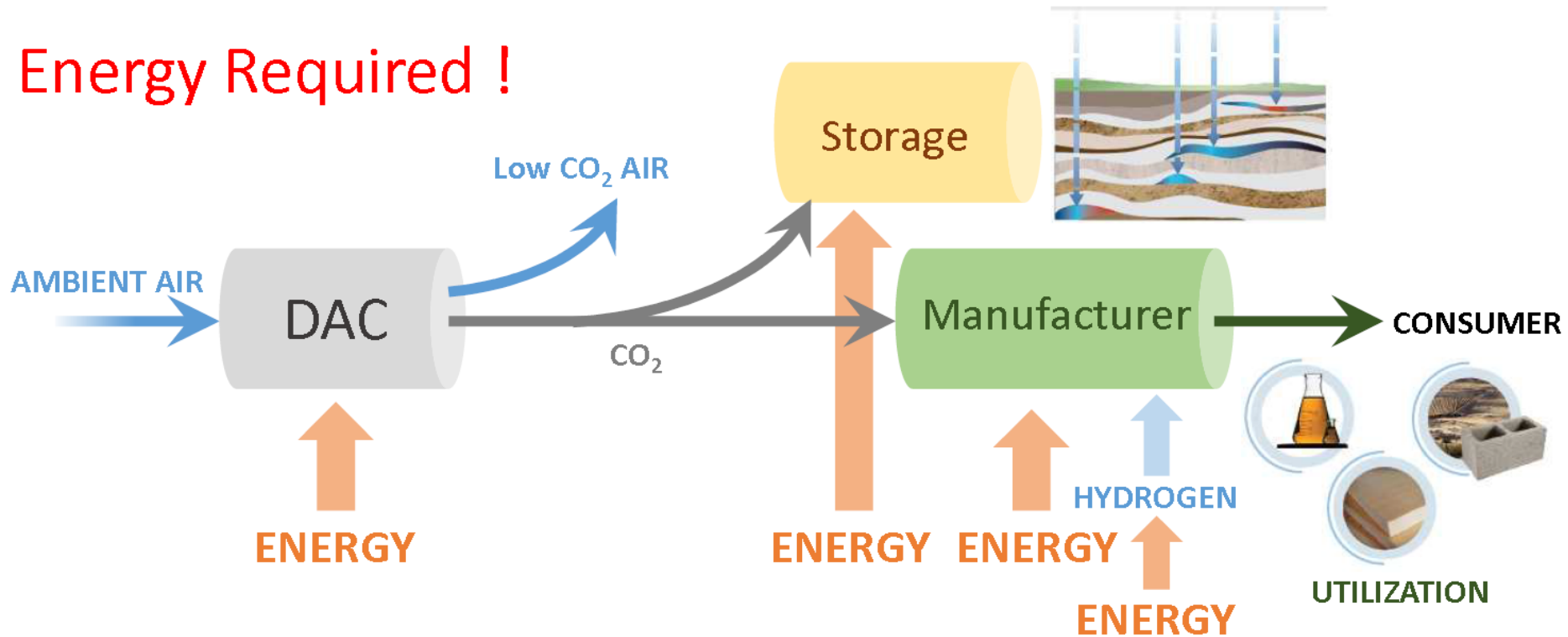


Relationship between cost and introduction amount of DAC

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

Direct Air Capture + CO₂ Utilization/CO₂ Storage

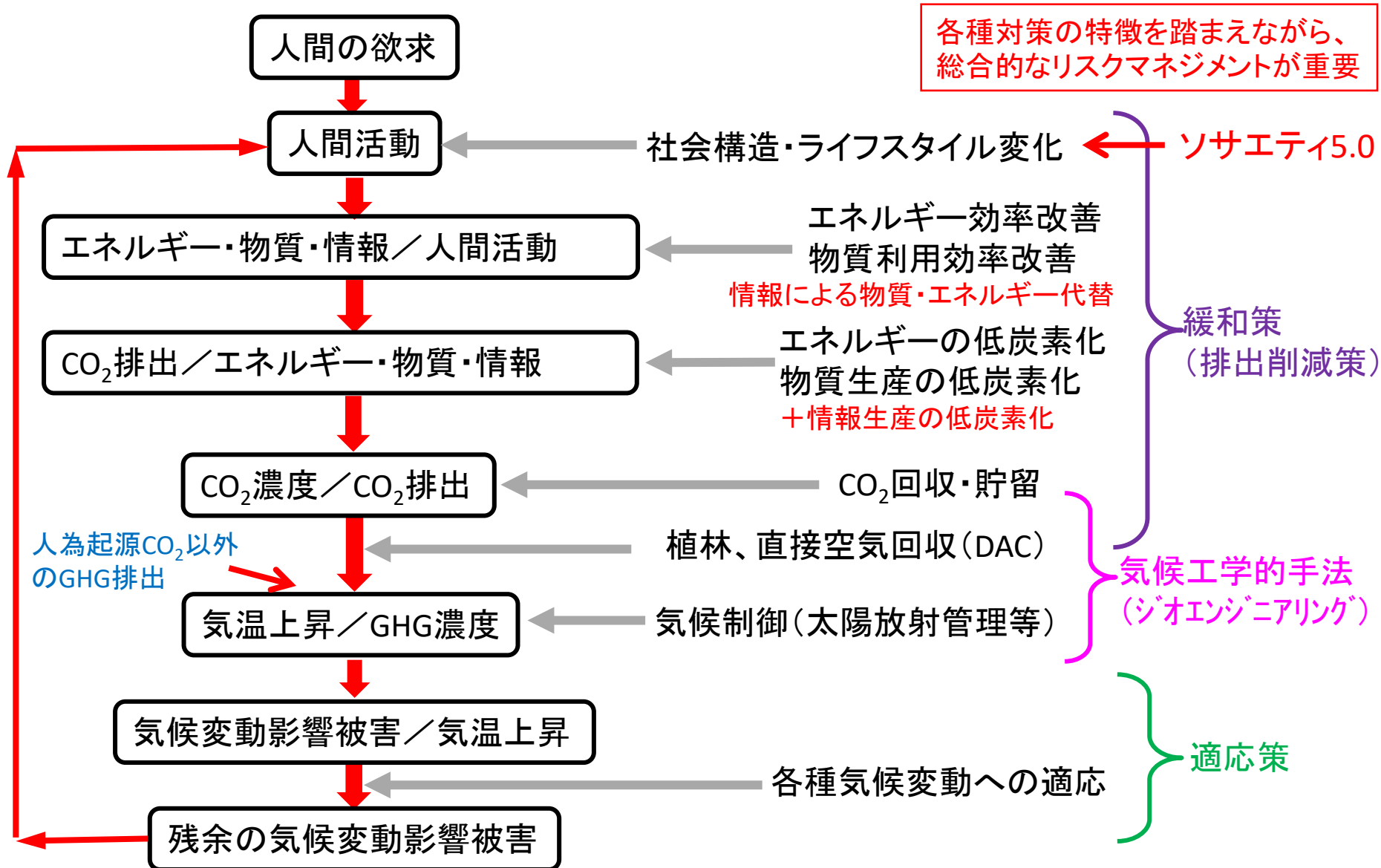
Energy Required !



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

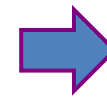


超スマート社会(Society 5.0)のインパクト

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



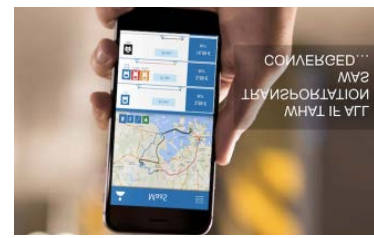
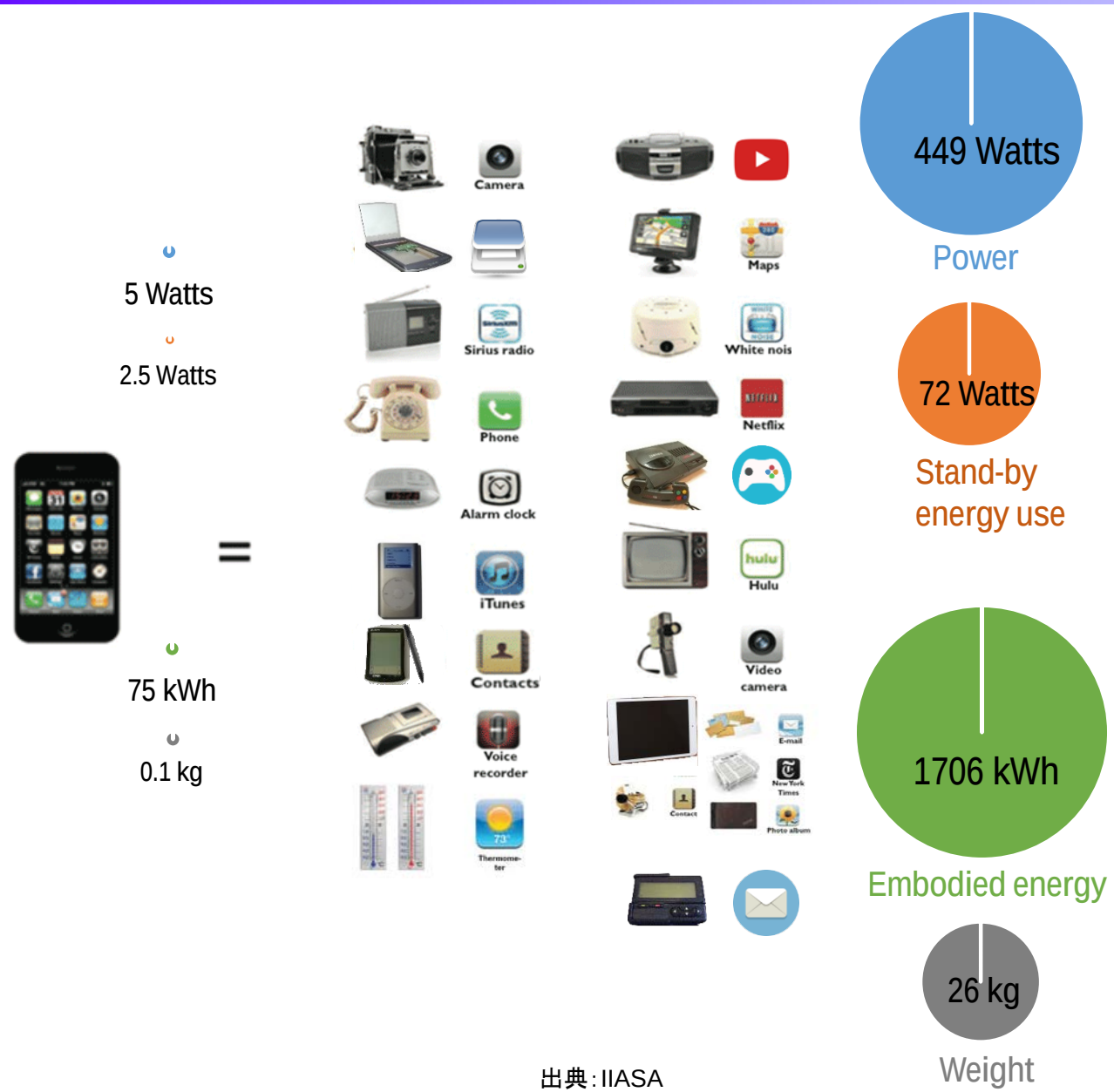
ただし、リバウンド効果に注意!

(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

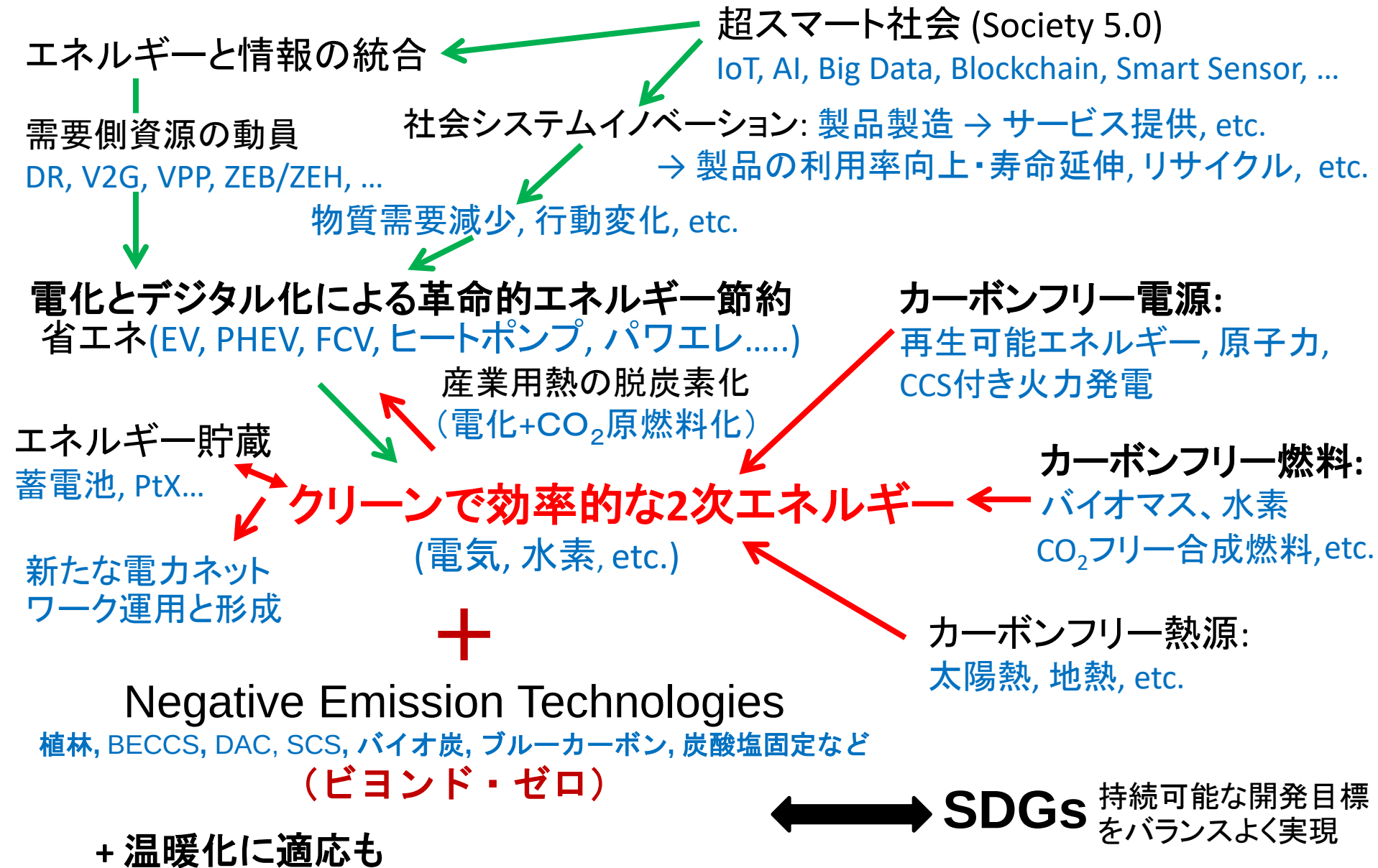
例えば、IoTでスマートメンテナンス → 部品・製品寿命の延伸 → 部品・製品需要の低下 → **エネルギー需要減少** → CO₂削減

IT, AI等のエンドユース技術の革新と社会変化(スマホの例)



- 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。

脱炭素を実現するエネルギーシステムの構成



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