

# 脱炭素社会実現に向けたイノベーションと社会実装

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

特別講演

第76回セメント技術大会  
一般社団法人 セメント協会

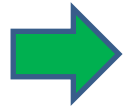
2022年5月19日

@赤坂インターシティコンファレンス＋ウェブ配信

# 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°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: カーボンニュートラル**)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。

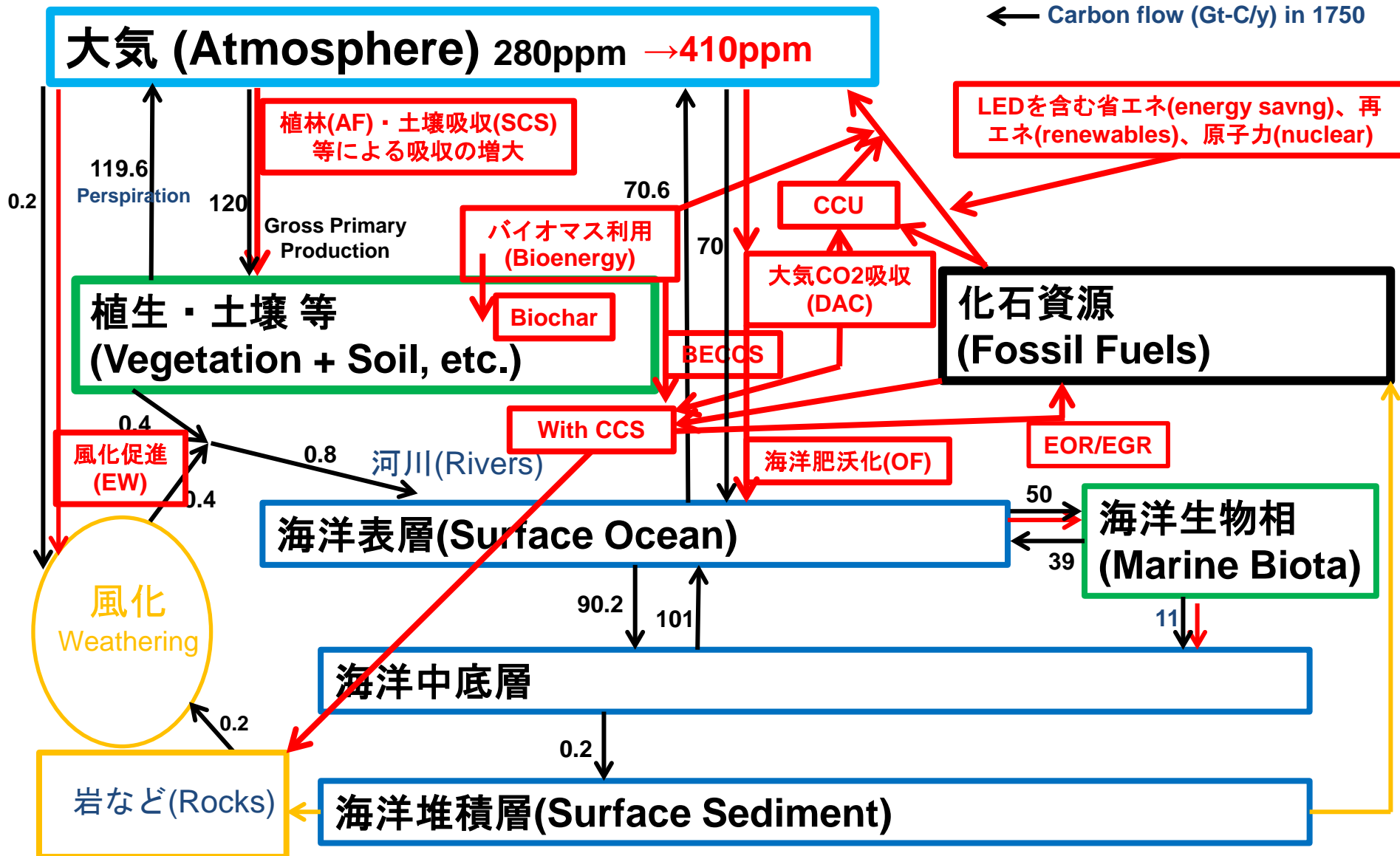
## COP26のハイライト:

- ・第6条（市場メカニズム等）の実施規則合意
- ・1.5度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

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))

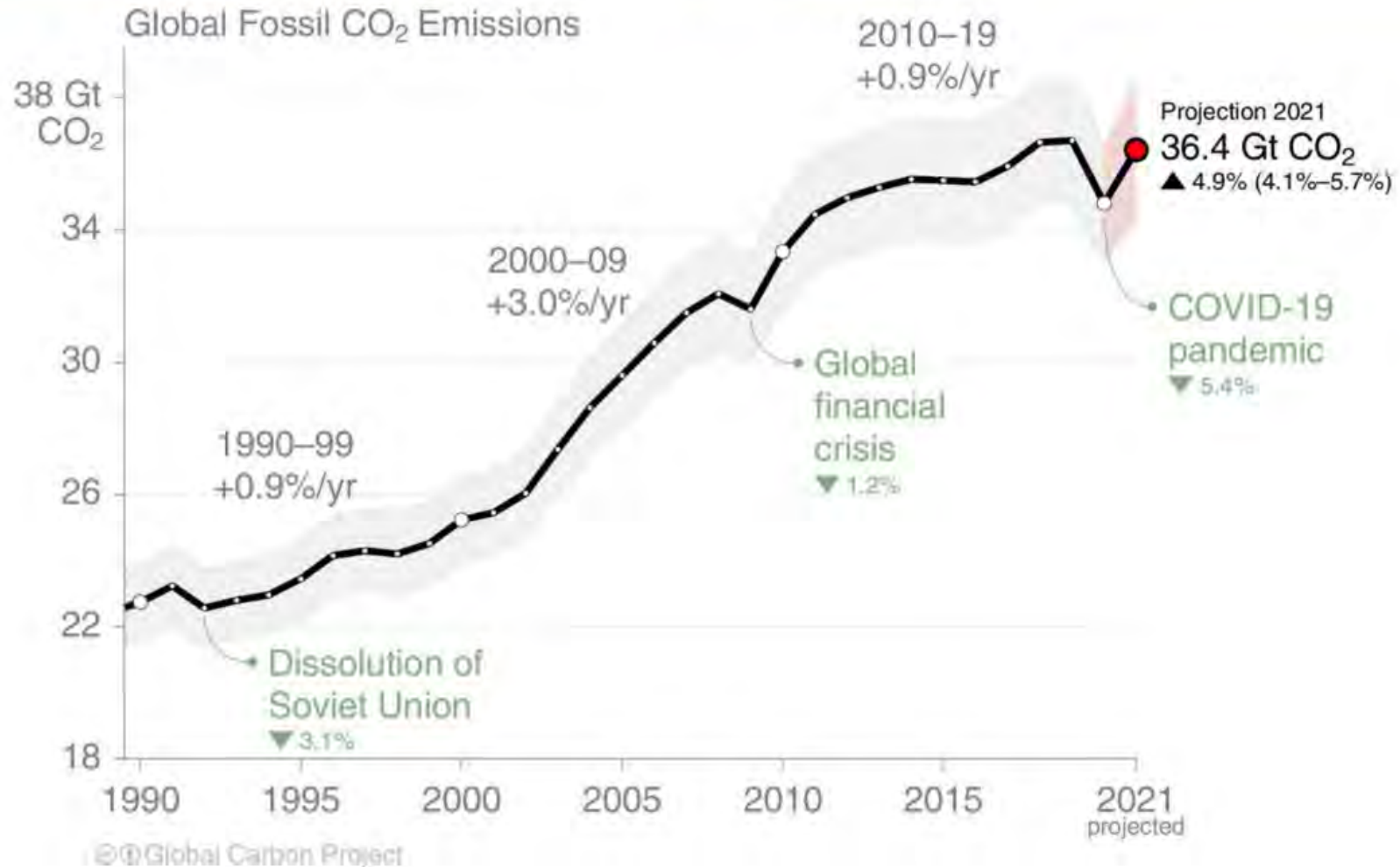


(IPCC AR4 WG1 (2007)のFig 7.3に基づき山地が作成)

# 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)**
- 2021年12月：クリーンエネルギー戦略合同会合開始**
- 2022年1月：CCS長期ロードマップ検討会開始**
- 2022年2月：ロシア軍ウクライナ侵攻**

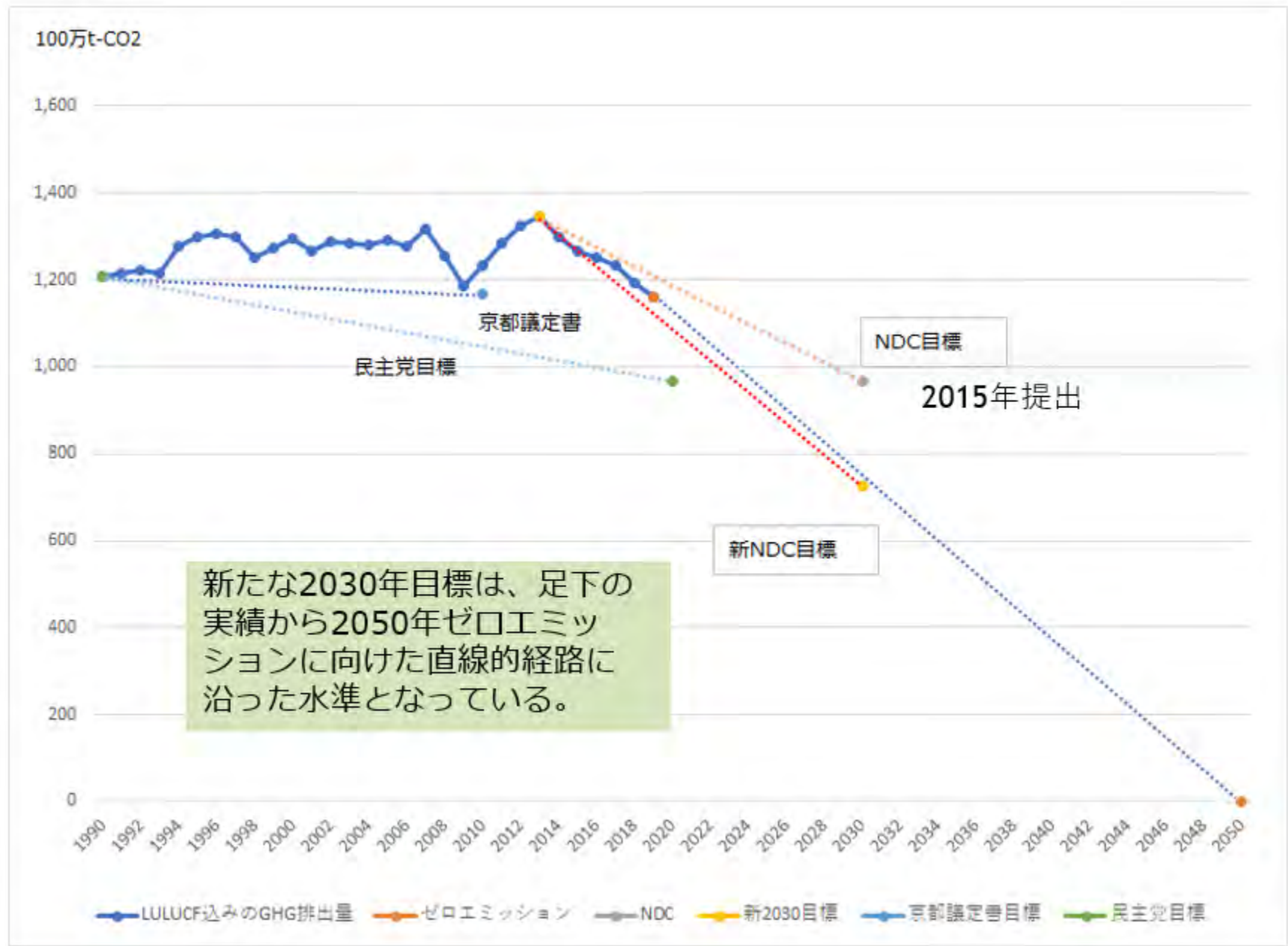
# 世界のCO<sub>2</sub>排出量の推移



出典) Global Carbon Project, 2021

- 経済とCO<sub>2</sub>排出量のカップリングは続いている。CO<sub>2</sub>排出も大きく減少したときは、経済(GDP、所得)も悪化している状態。世界の排出量を簡単に減らせる状況にはない。

# 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



326百万kL



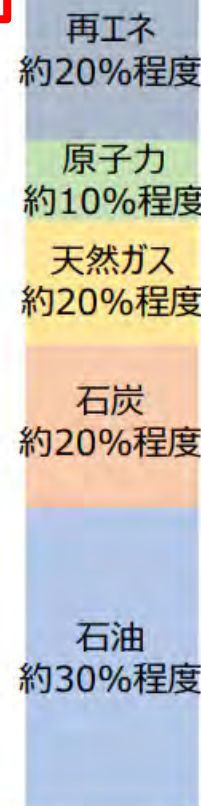
2013年度

2030年度

2030年度  
(H27策定時)

水素・アンモニア  
約1%程度

約430百万kL



自給率  
約30%  
程度

489百万kL



自給率  
24.3%  
程度

2030年度

2030年度  
(H27策定時)

\* 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

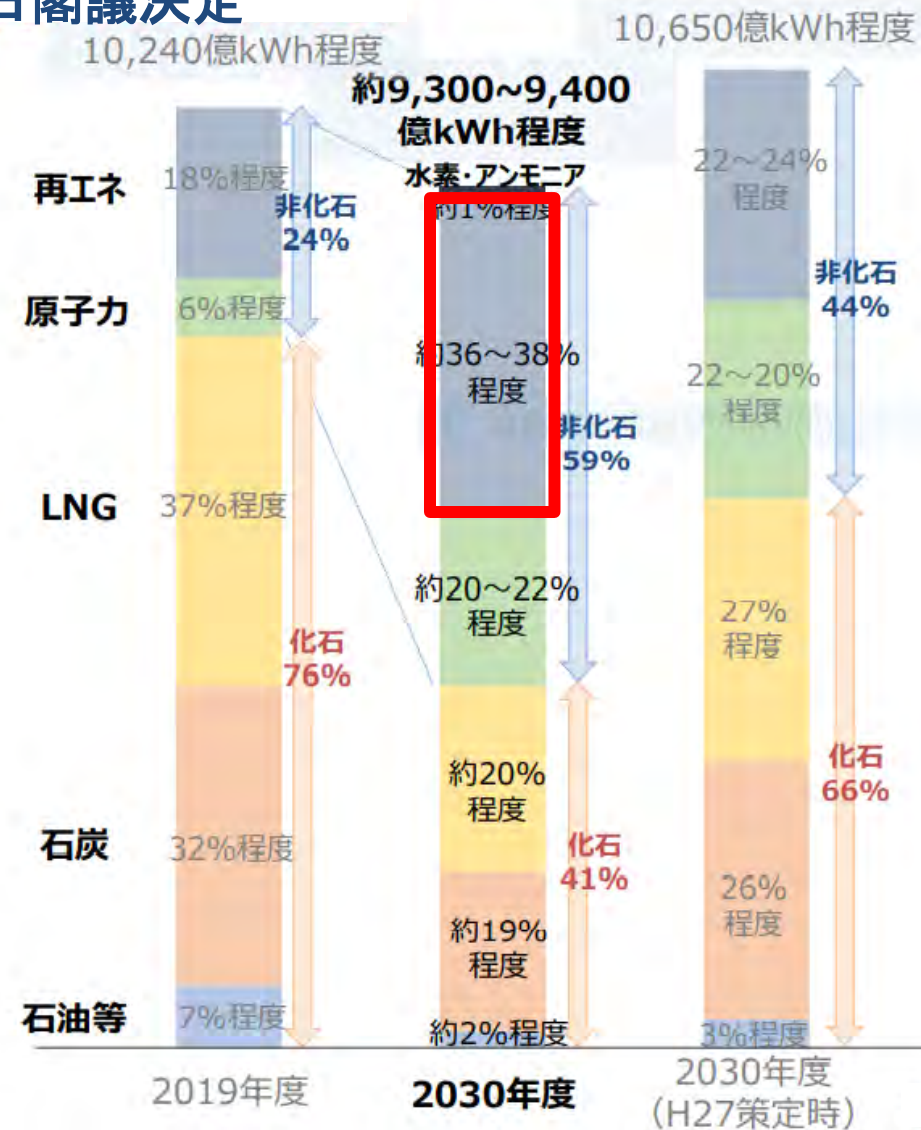
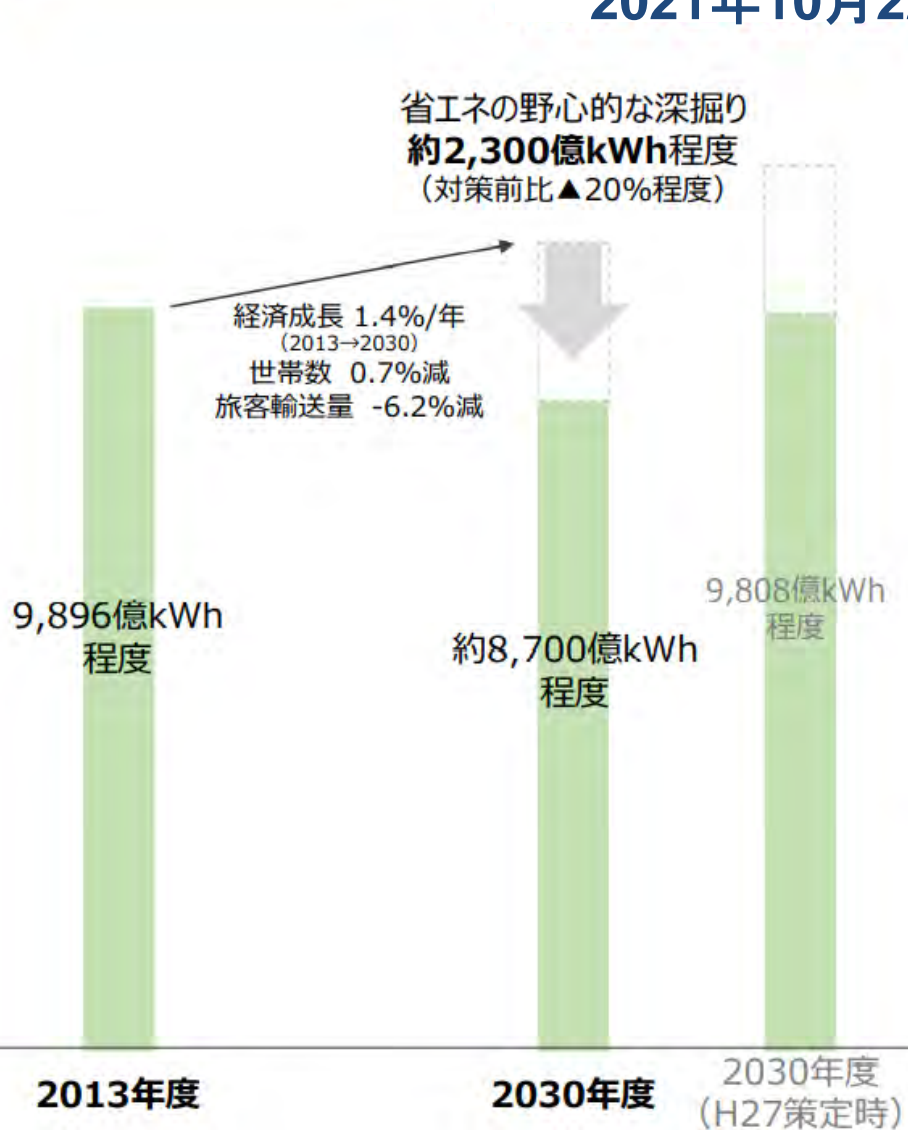
\* H27の長期エネルギー需給見通し策定以降、総合エネルギー統計は改訂されており、2030年推計の出発点としての2013年実績値が異なるため、単純比較は出来ない点に留意

# 電力需要・電源構成

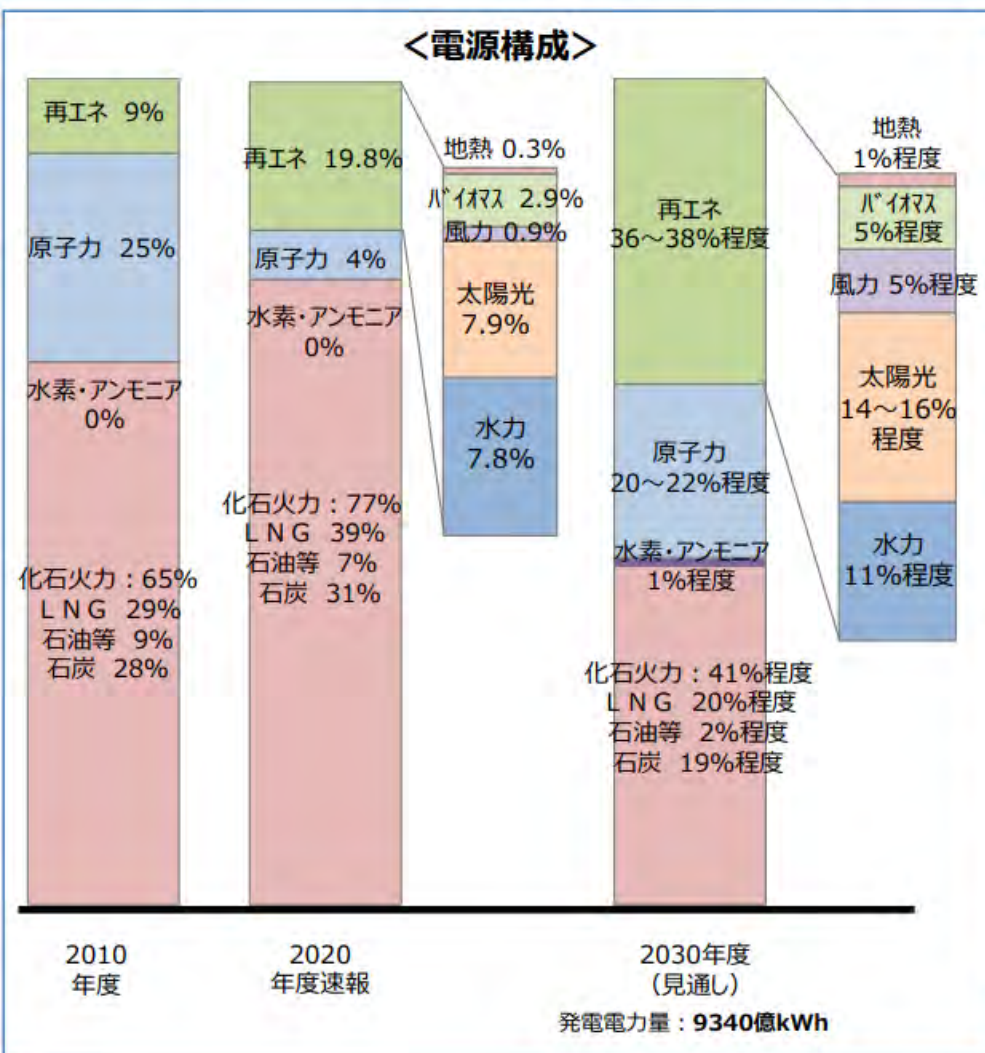
## 電力需要

## 電源構成

2021年10月22日閣議決定



# (参考) 新たな「エネルギーミックス」実現への道のり



出典) 総合エネルギー統計(2020年度速報値)等を基に資源エネルギー庁作成

(GW)	導入水準 (21年9月)	FIT前 導入量 +FIT認定 量(21年9月)	ミックス (2030年度)	ミックスに 対する 導入進捗率
太陽光	63.8	81.6	103.5~ 117.6	約58%
風力 (上段: 陸上 下段: 洋上)	4.6 —	15.3 0.7	17.9 5.7	約19%
地熱	0.7	0.7	1.5	約41%
中小 水力	9.8	10.0	10.4	約94%
バイオ マス	5.3	10.3	8.0	約66%

※バイオマスはバイオマス比率考慮後出力。

※改正FIT法による失効分(2021年9月時点で確認できているもの)を反映済。

※太陽光の「ミックスに対する進捗率」はミックスで示された値の中間値に対する導入量の進捗。

# 買取総額／賦課金総額の推移

- 2022年度（予測）の買取費用総額は4.2兆円、賦課金（国民負担）総額は2.7兆円となっている。
- 国民負担を抑制しつつ、再生可能エネルギーの導入拡大との両立を図ることが政府の方針。

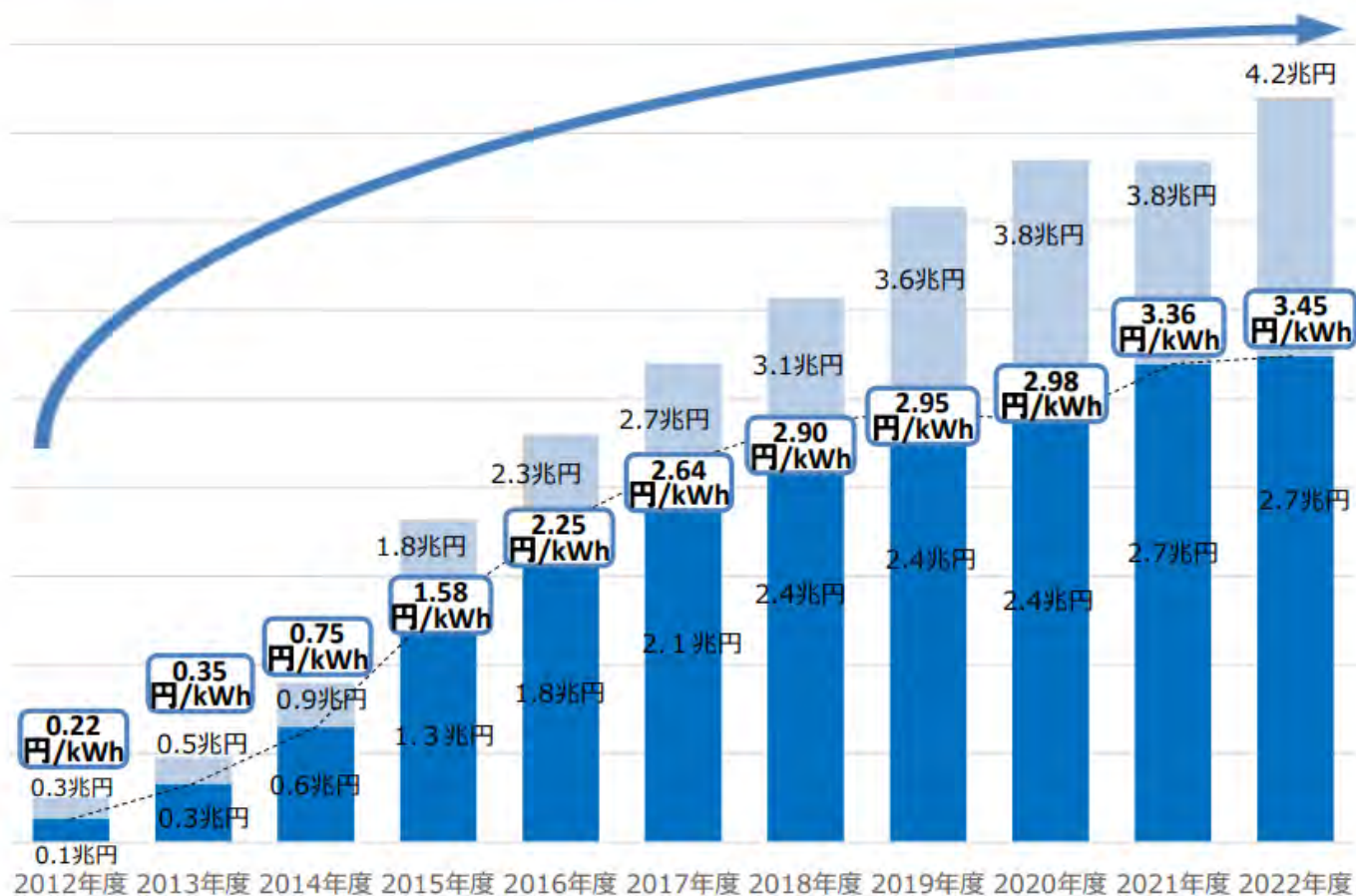


表1 エネルギー起源二酸化炭素の各部門の排出量の目安

	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 <sup>8</sup>	106	89.3	約60

[単位：百万t-CO<sub>2</sub>]

エネルギー起源CO<sub>2</sub>以外のGHG排出量目安（CO<sub>2</sub>換算（百万トン）@2030年）

非エネルギー起源CO<sub>2</sub>:70、メタン:27、N<sub>2</sub>O: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

# DNE21+ (Dynamic New Earth 21+)モデルによる 2050年カーボンニュートラルシナリオ分析

- ◆ 各種エネルギー・CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>(ただしCO<sub>2</sub>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)、CO<sub>2</sub>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)

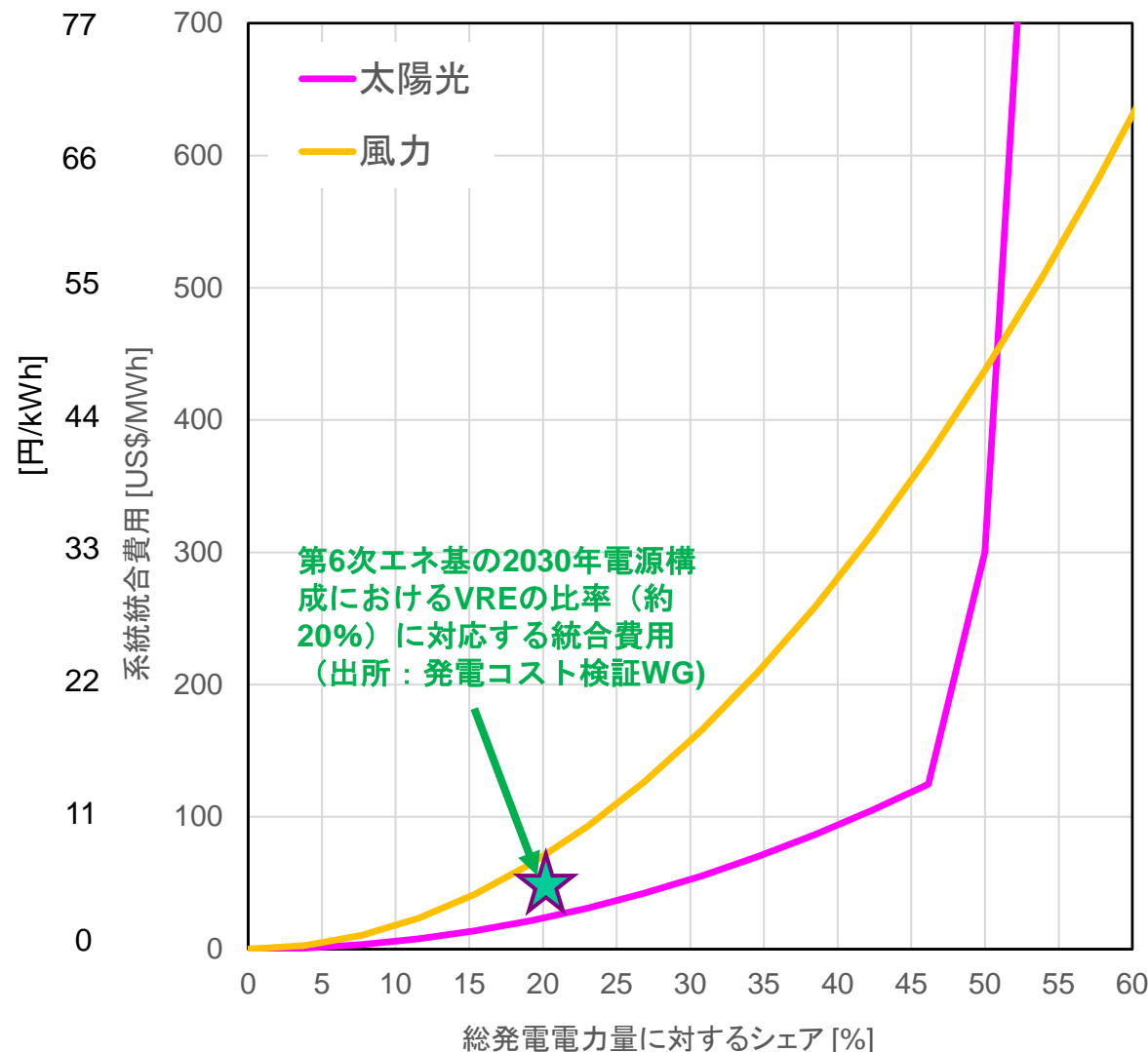
- 地域別、部門別に技術の詳細な評価が可能。また、それらが整合的に評価可能
- 非CO<sub>2</sub> GHGについては、別途、米EPAの技術・コストポテンシャル推計を基にしてRITEで開発したモデルを利用

・2021年5月@基本政策分科会にて「2050年カーボンニュートラルのシナリオ分析(中間報告)」(秋元圭吾)  
・2021年9月@未来社会を支える温暖化対策技術シンポジウム in 関西にて「2050年カーボンニュートラル実現のための技術とコスト」発表(秋元圭吾)

# 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

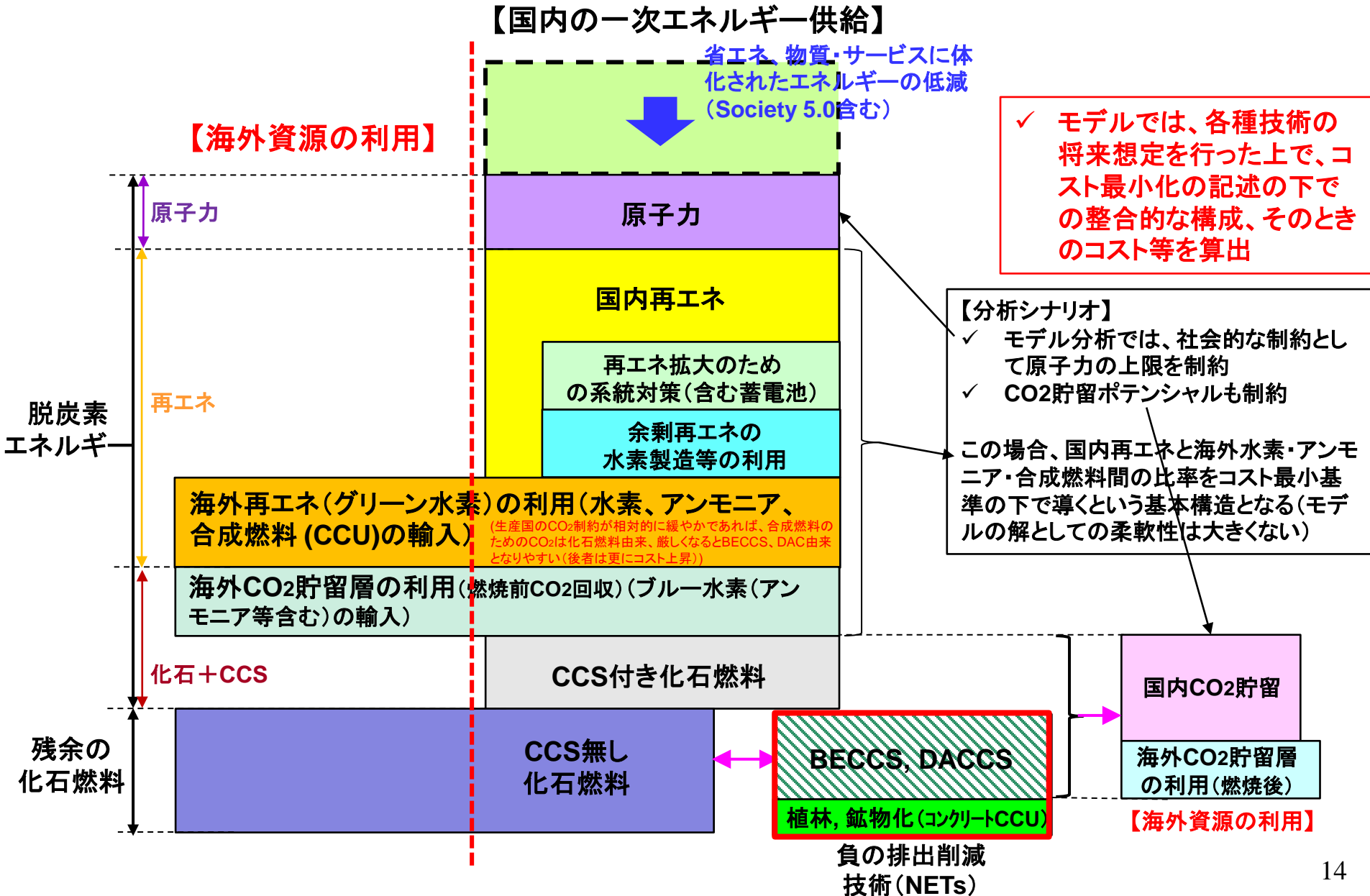


- VRE比率が高まると、**限界統合費用は比較的急速に上昇傾向有**。これは、既にVREが大量に導入されている状況で更に導入を進める場合、曇天・無風状態が数日以上継続するリスクに対応するため、利用頻度の低い蓄電システムや送電線を保持することが必要となることによる。
- 例えば、再エネ比率50%程度（太陽光約400TWh、風力約100TWh）のケースにおいては、蓄電池導入量は最適化計算の結果、**870GWh**、再エネ100%程度（VRE56%）のケースでは**3980GWh**程度となる。（足下導入量約10GWh程度）

※ 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。

# 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
海外クレジット活用ケース(世界 費用最小化＝世界限界削減費用 均等化)		国内削減率はモ デルで <b>内生的に 決定</b>	モデルの標準想定  (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)	モデルで <b>内生的に決定</b> (コスト最小化)。た だし <b>原子力は上限10%</b> で制約。 <b>CO2貯留 量制約</b> 想定
参考値のケース		▲100%		<b>再エネほぼ100%</b> (原子力0%)
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、CO2に ついて全体で ▲100%を想定 (GHGは2065年 頃▲100%):1.5℃ シナリオ)		
それぞれの技術課 題が克服され、より 利用が拡大すると 想定したシナリオ	② 再エネイノベ		<b>再エネのコスト低減 加速</b>	モデルで <b>内生的に決定</b> 。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		<b>原子力の導入拡大</b>	モデルで <b>内生的に決定</b> 。ただし <b>原子力の 上限を20%</b> と感度を想定。CO2貯留量制 約想定
	④ 水素イノベ		<b>水素のコスト低減 加速</b>	モデルで <b>内生的に決定</b> 。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		<b>CO2貯留可能量拡大</b>	モデルで <b>内生的に決定</b> 。ただし原子力は 上限10%で制約。 <b>CCS可能量を大きく想 定</b>
	⑥ 需要変容		<b>カー・ライドシェア拡大</b>	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 <b>劇的に拡大</b> すると想 定。その他は参照シナリオの想定と同じ

# シナリオ想定と再エネ比率 (2050年)

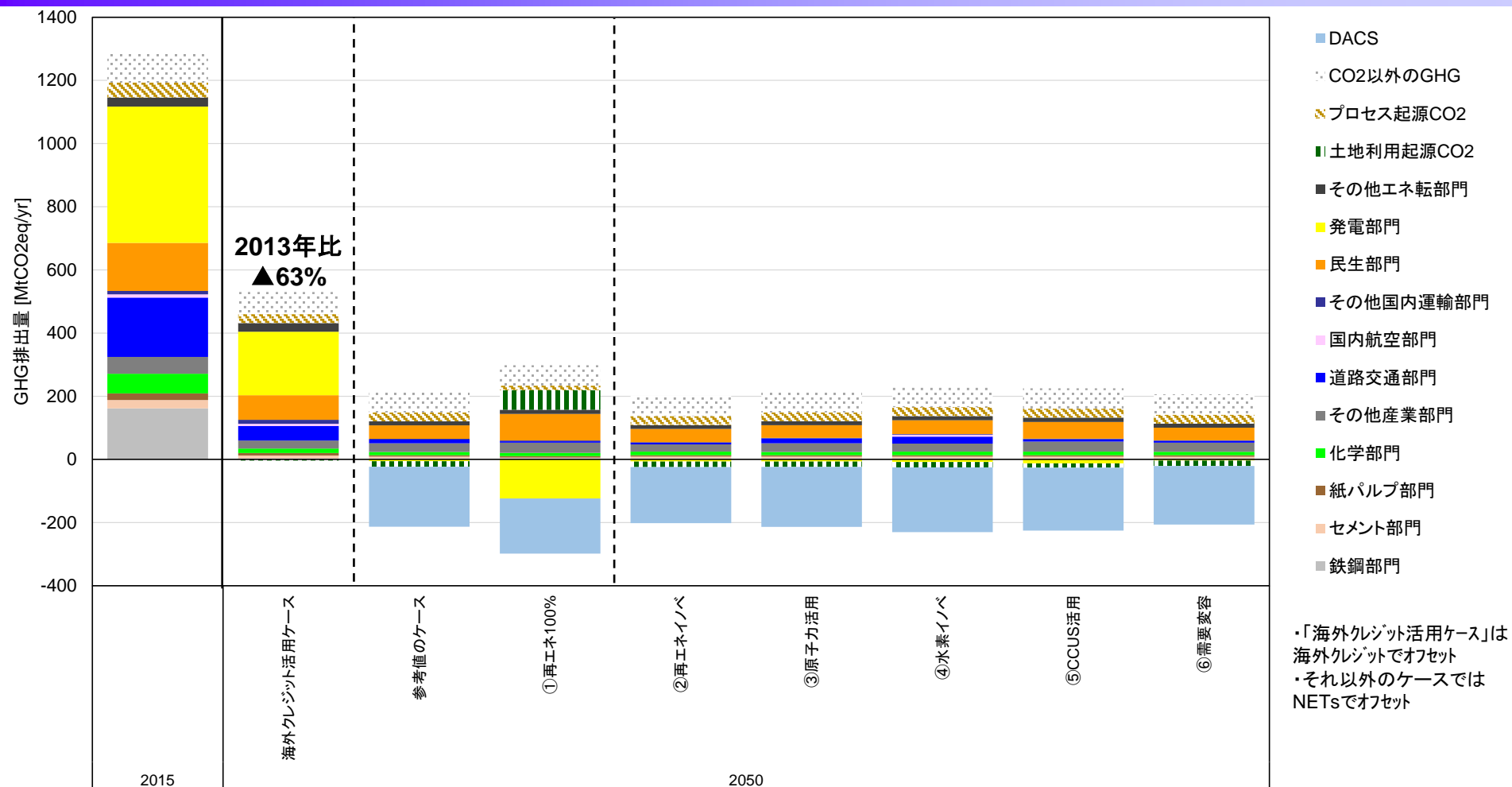
シナリオ名	再エネコスト	原子力比率	水素コスト	CCUS (貯留ポテンシャル)	完全自動運転 (カー・ライドシェア)	電源構成に占める 再エネ比率
参考値のケース <sup>*1</sup>	標準コスト	10%	標準コスト	国内貯留: 91MtCO <sub>2</sub> /yr、 海外への輸送: 235MtCO <sub>2</sub> /yr	標準想定 (完全自動運転車実現・普及想定せず)	54% (最適化結果)
①再エネ100%		0%				ほぼ100% (シナリオ想定)
②再エネイノベ	低位コスト	10%				63% (最適化結果)
③原子力活用 <sup>*2</sup>	標準コスト	20%	水電解等の水素製造、水素液化設備費:半減	国内:273MtCO <sub>2</sub> /yr、 海外:282MtCO <sub>2</sub> /yr		53% (最適化結果)
④水素イノベ		10%				標準コスト
⑤CCUS活用			44% (最適化結果)			
⑥需要変容					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

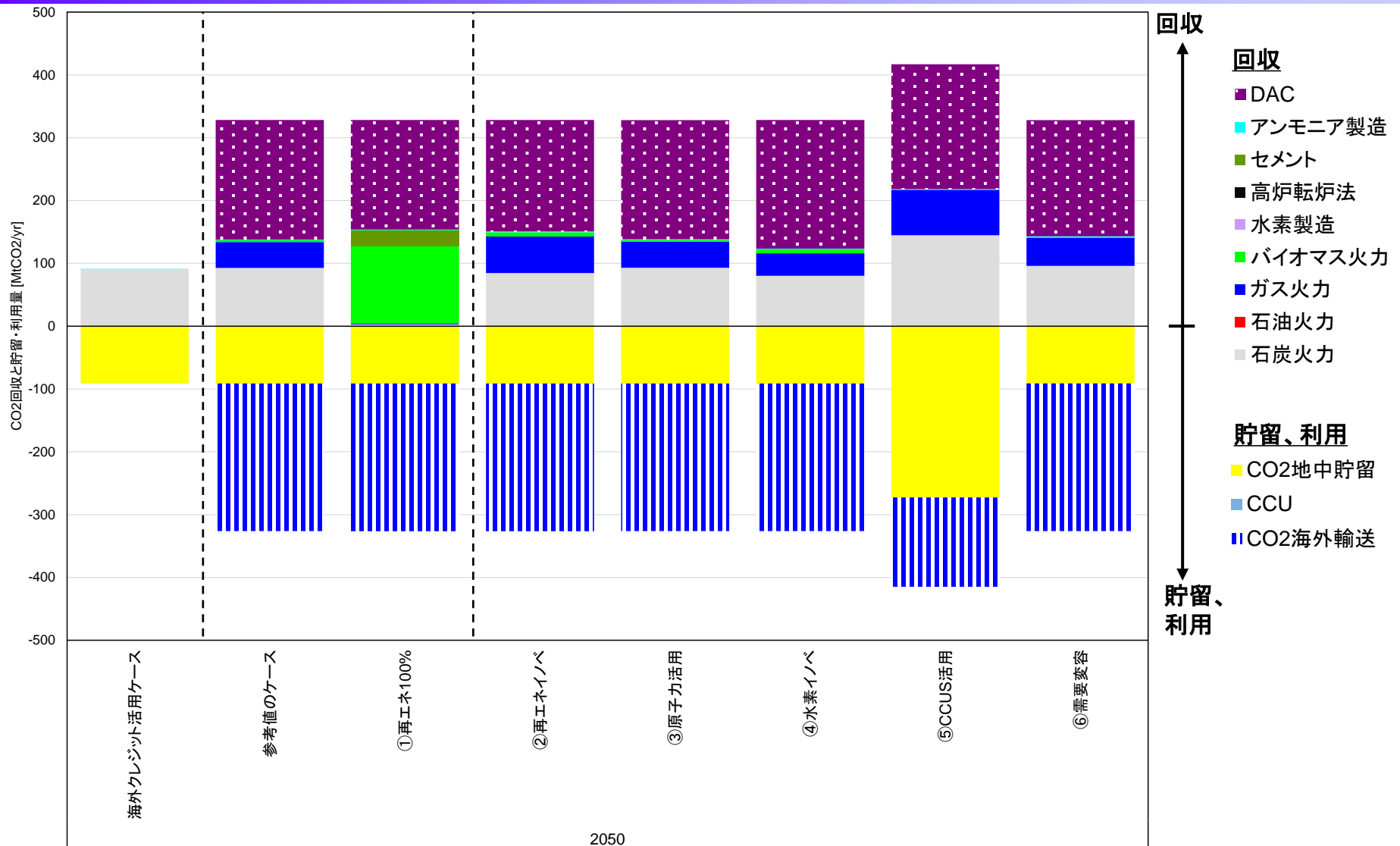
\*2: 原子力活用シナリオは別途、比率50%まで分析を実施

# 日本の部門別GHG排出量（2050年）



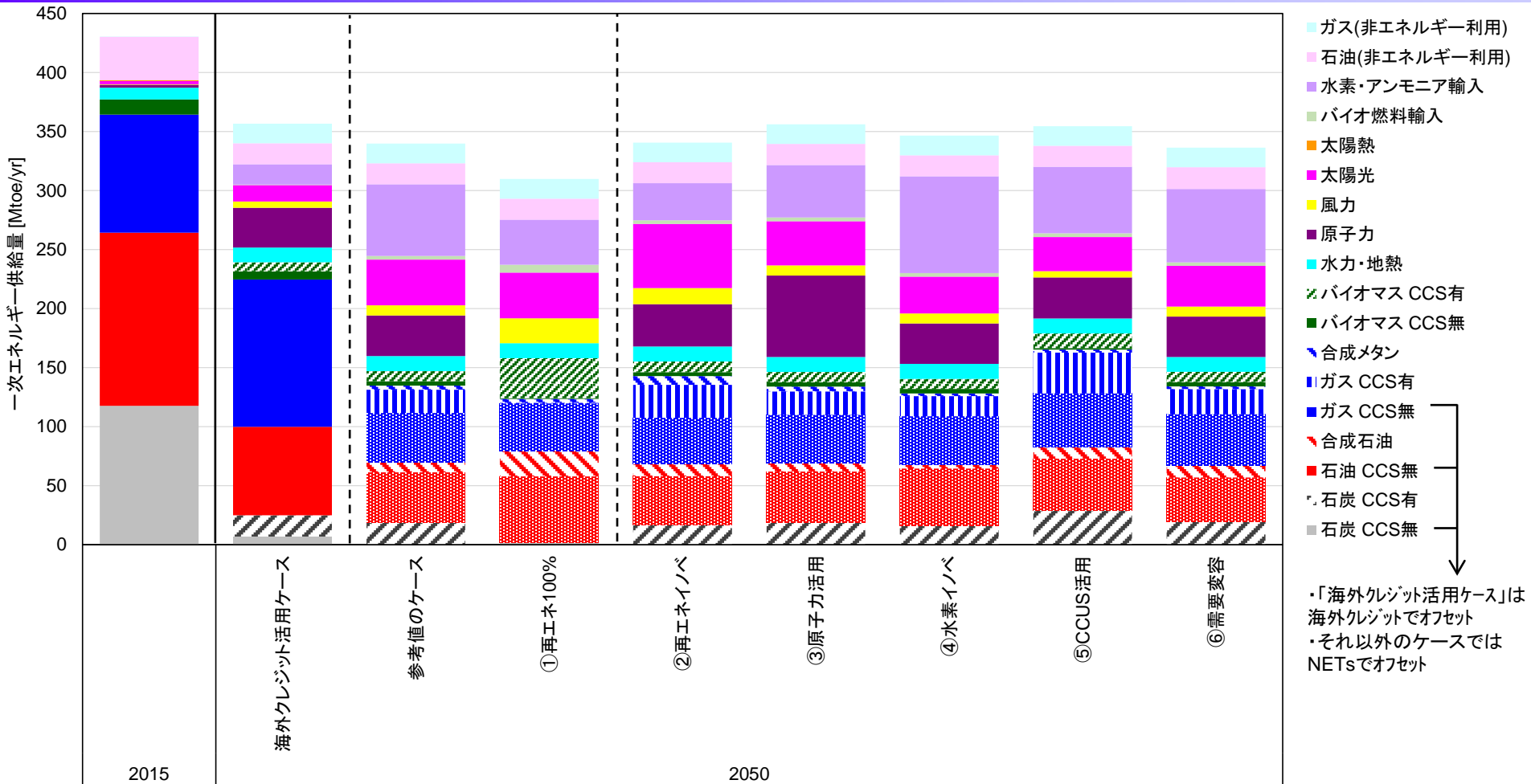
- ✓ 世界の限界削減費用均等化の「海外クレジット活用ケース」では、日本の2050年の正味GHG排出量は2013年比▲63%に留まる（海外に、国内▲63%を超える排出削減に対応する排出削減費用以下の、植林、BECCS、DACCS等のオプションが十分存在すると推計されるため）。
- ✓ その他のケースでは、いずれもDACCSの活用が見られる。（CO<sub>2</sub>以外のGHG、プロセス起源CO<sub>2</sub>排出量のオフセットも必要）

# 日本のCO<sub>2</sub>バランス（2050年）



- ✓ 「①再エネ100%」では、化石燃料発電+CCSは除かれるため、BECCSを利用
- ✓ 世界の限界削減費用均等化の「海外クレジット活用ケース」では、日本においてはDACは経済的なオプションにはなっていない。CO<sub>2</sub>の海外輸送も経済合理性はなくなる。

# 日本の一次エネルギー供給量（2050年）

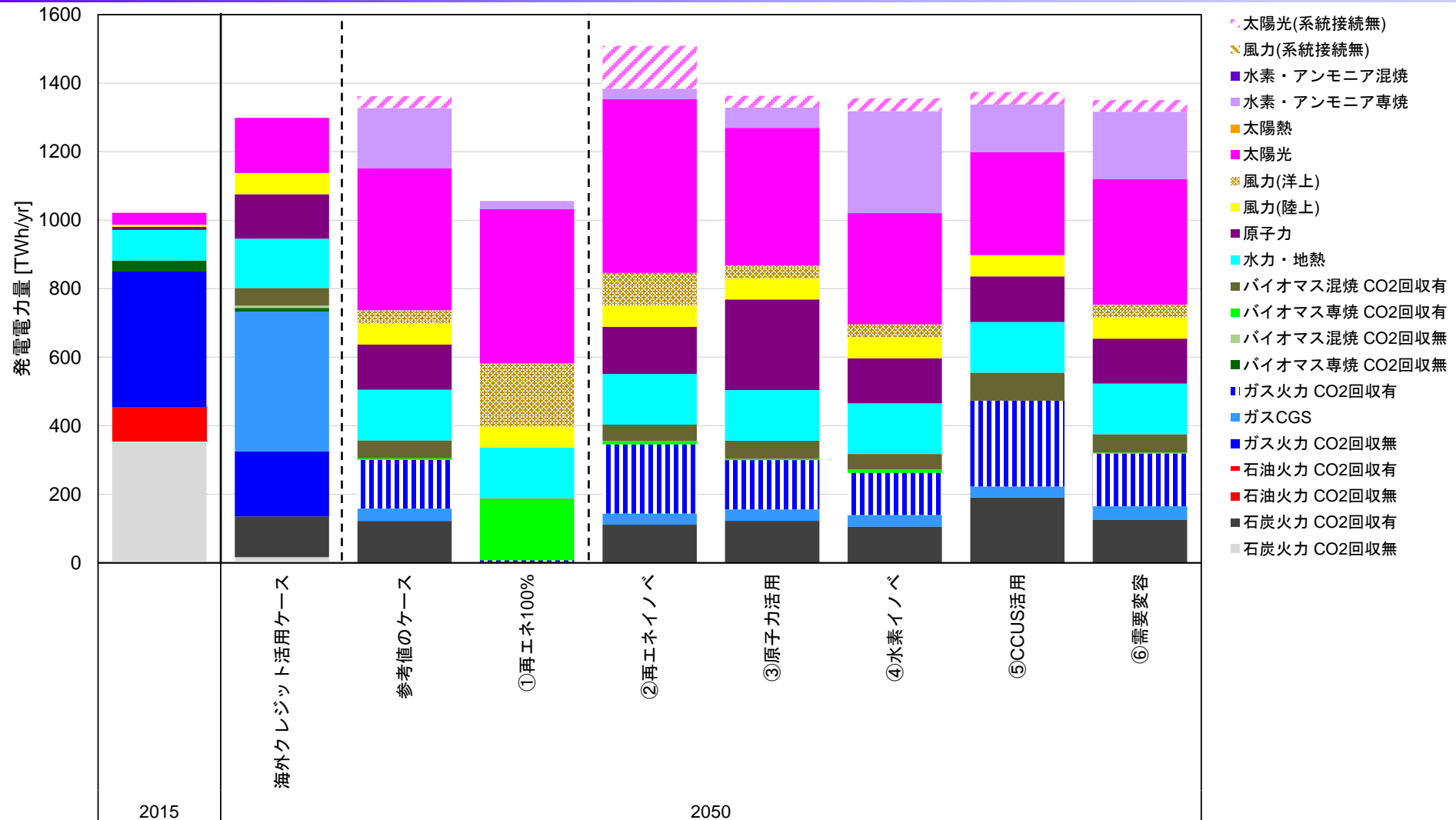


注1) 一次エネルギー換算はIEA統計に準じている。バイオマス以外の再エネ: 1 TWh=0.086 Mtoe、原子力: 1TWh=0.086÷0.33 Mtoe

注2) 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。

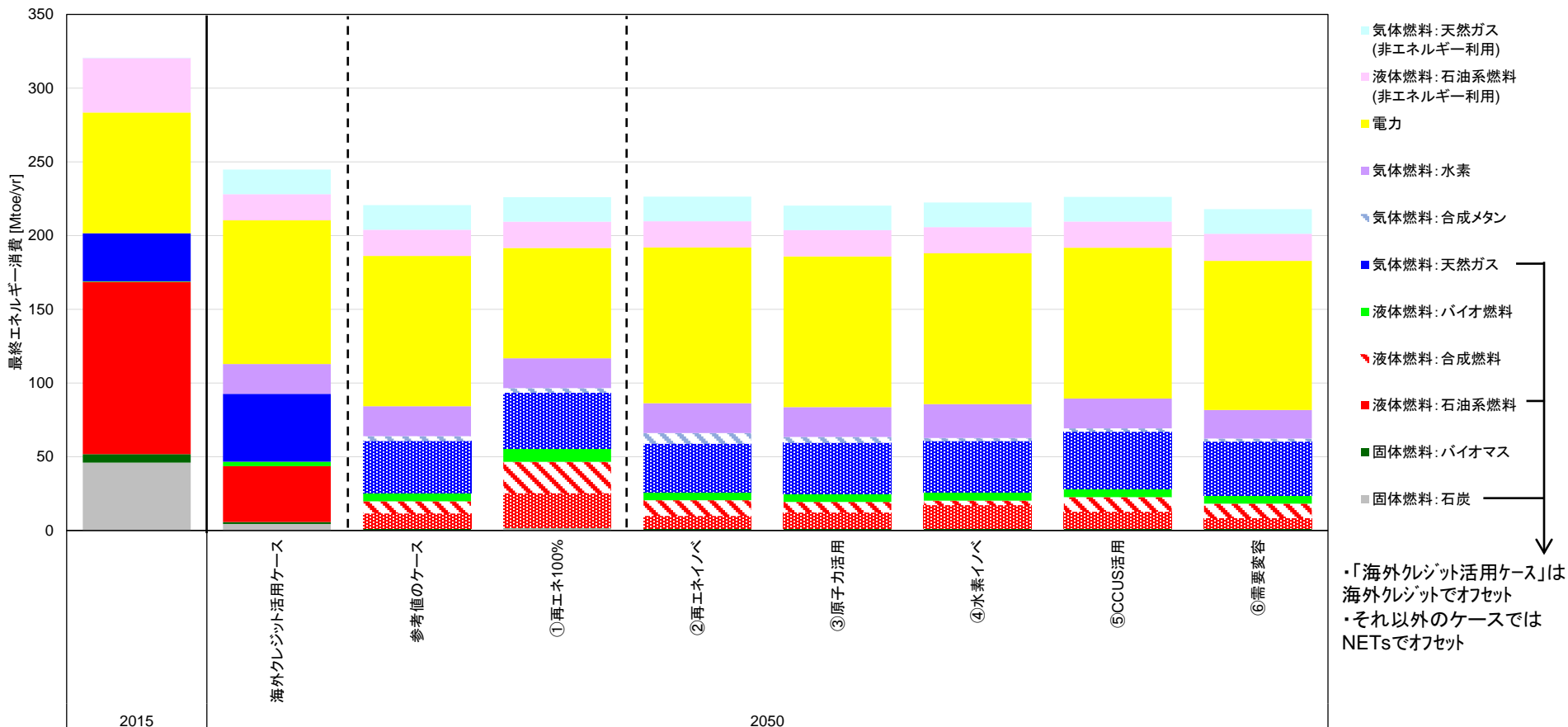
✓ ▲100%のいずれのシナリオにおいても、相当量の水素・アンモニア・合成燃料の輸入が見られる。

# 日本の発電電力量（2050年）



- ✓ 再エネ100%ケースのBECCSを含め、いずれもCCSは経済合理的なオプション
- ✓ 世界全体でCNを費用最小で実現するケース(海外クレジット活用ケース)ではCCS無のガス比率が高い。
- ✓ 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。「①再エネ100%」では統合費用の急上昇により電力限界費用が相当上昇するため、電力需要が大きく低減。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「①再エネ100%」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。

# 世界のCO<sub>2</sub>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\$/tCO<sub>2</sub>]

注) CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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] <sup>*1</sup>		2050年の電力 限界費用 [US\$/MWh] <sup>*2</sup>
ベースライン (特段の排出制約無)	標準想定の下で、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 <sup>*3</sup>	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

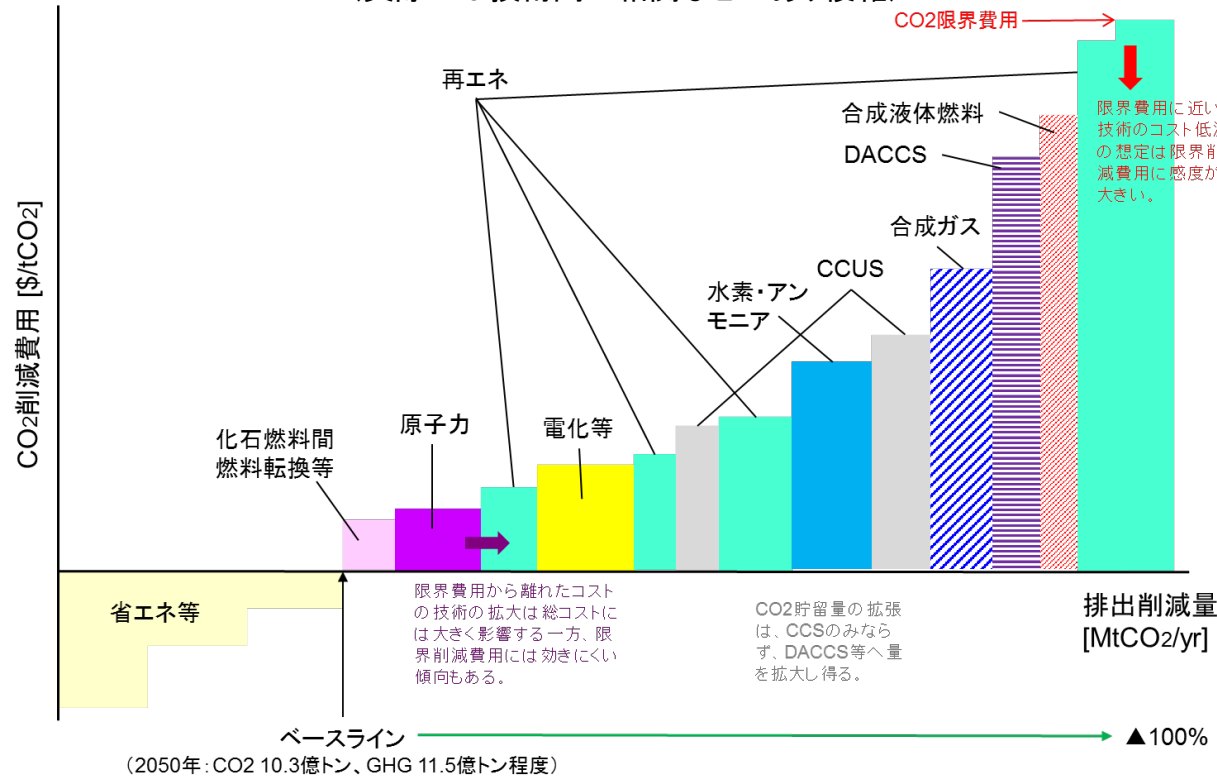
\*1 [] (青字) はベースラインからのコスト増分。() 赤字は「参考値のケース」からのコスト変化

\*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 <sup>*1</sup> (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 <sup>*2</sup>	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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>を回収するDACが全てのシナリオで活用される。回収したCO<sub>2</sub>利用は行われるが規模は大きくない。わが国のCO<sub>2</sub>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。
- 海外クレジット活用ケース（世界全体で最適対応）では、わが国の2050年のCO<sub>2</sub>削減量は2013年度比63%に留まるが、対策コストは大幅に低減する。

## 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

## 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

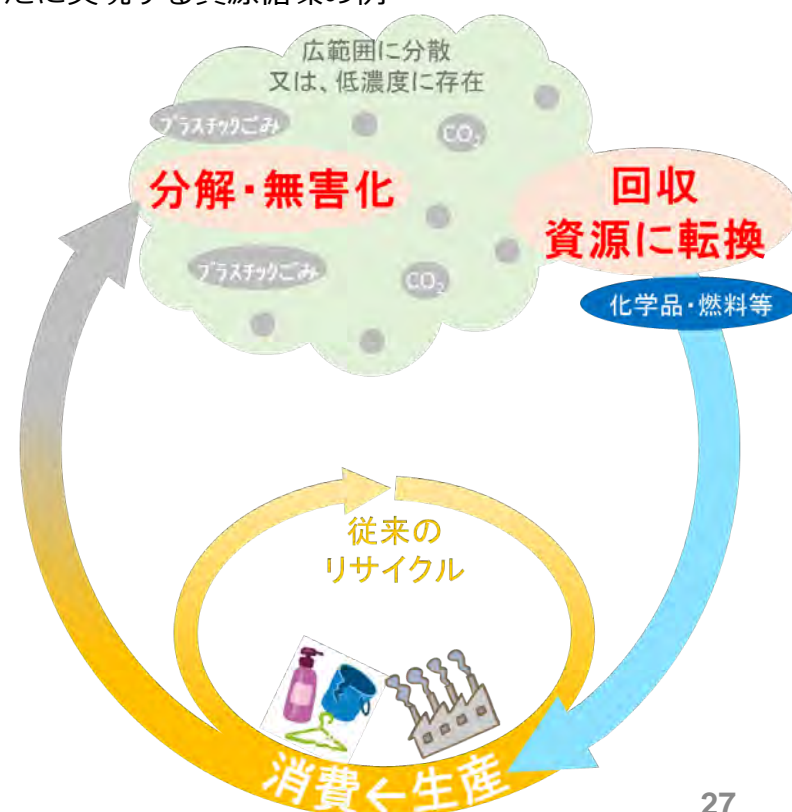
- 2030年までに、環境汚染物質を有益な資源に変換もしくは無害化する技術を開発し、パイロット規模または試作品レベルで有効であることを確認する。

(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<sub>2</sub>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。

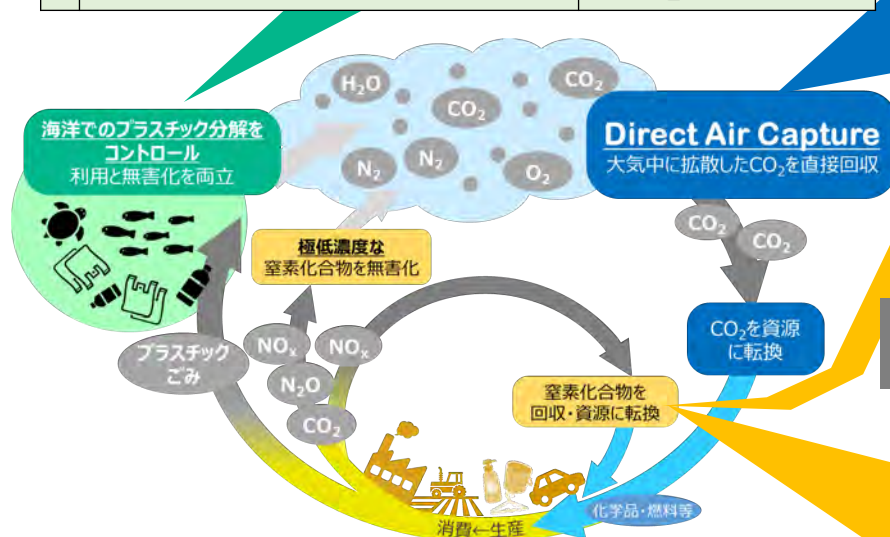
新たに実現する資源循環の例



# ムーンショット目標4のプロジェクト一覧

Clean Earth	<海洋プラスチック> 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

Cool Earth	<炭素(CO <sub>2</sub> )循環> 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	大気中からの高効率CO <sub>2</sub> 分離回収・炭素循環技術の開発	(国大)金沢大学 児玉 昭雄
2	電気化学プロセスを主体とする革新的CO <sub>2</sub> 大量資源化システムの開発	(国大)東京大学 杉山 正和
3	C <sup>4</sup> S研究開発プロジェクト	(国大)東京大学 野口 貴文
4	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
5	大気中CO <sub>2</sub> 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
6	“ビヨンド・ゼロ”社会実現に向けたCO <sub>2</sub> 循環システムの研究開発	(国大)九州大学 藤川 茂紀
7	電気エネルギーを利用し大気CO <sub>2</sub> 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
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



Clean Earth	<窒素循環> 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 協原 徹

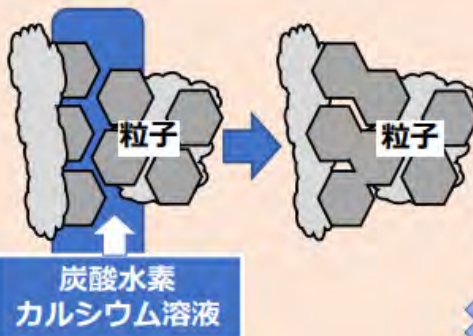


# C<sup>4</sup>S研究開発プロジェクトの全体像

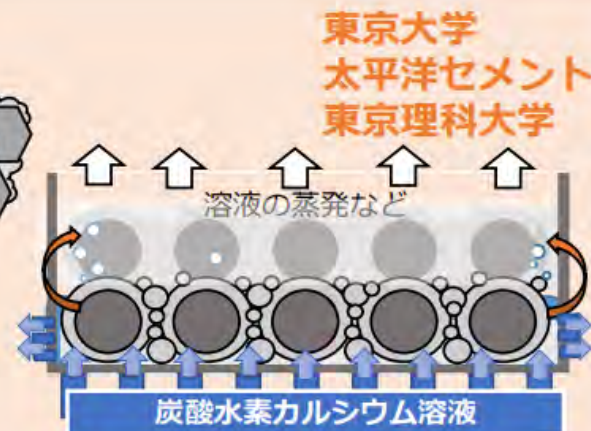
## 社会実装 (PJⅢ)

性能評価法・材料設計法・構造設計法の開発  
資源循環シナリオ設計  
法令・規格の制定  
CO<sub>2</sub>排出削減効果分析

東京大学  
工学院大学  
宇都宮大学  
清水建設

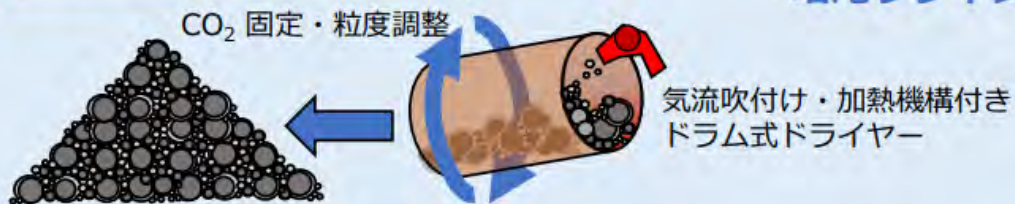


## CCC製造 (PJ I)

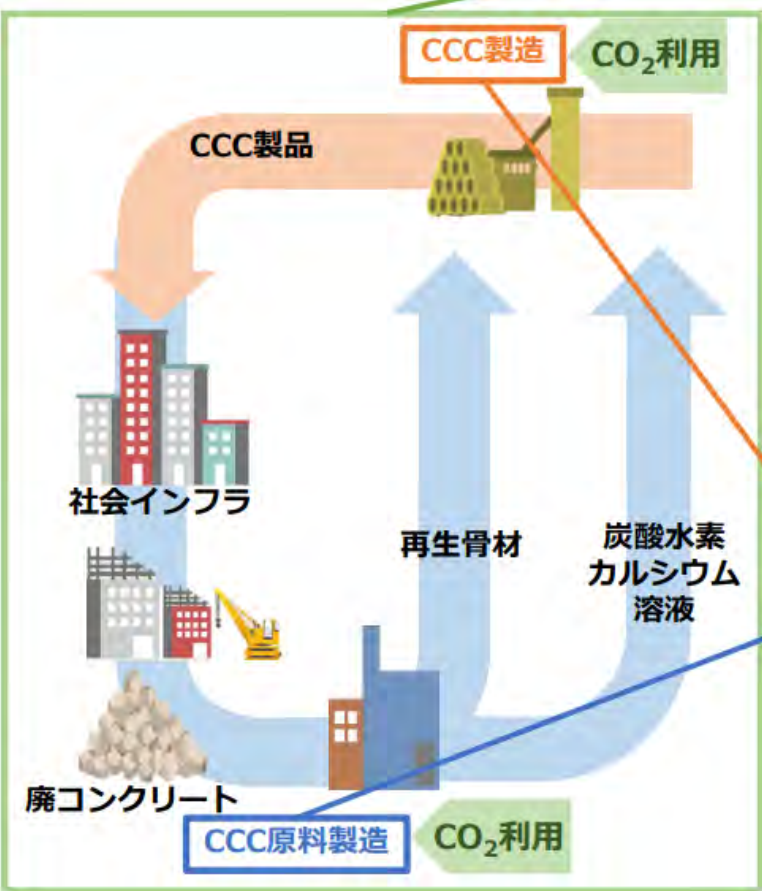


東京大学  
太平洋セメント  
東京理科大学

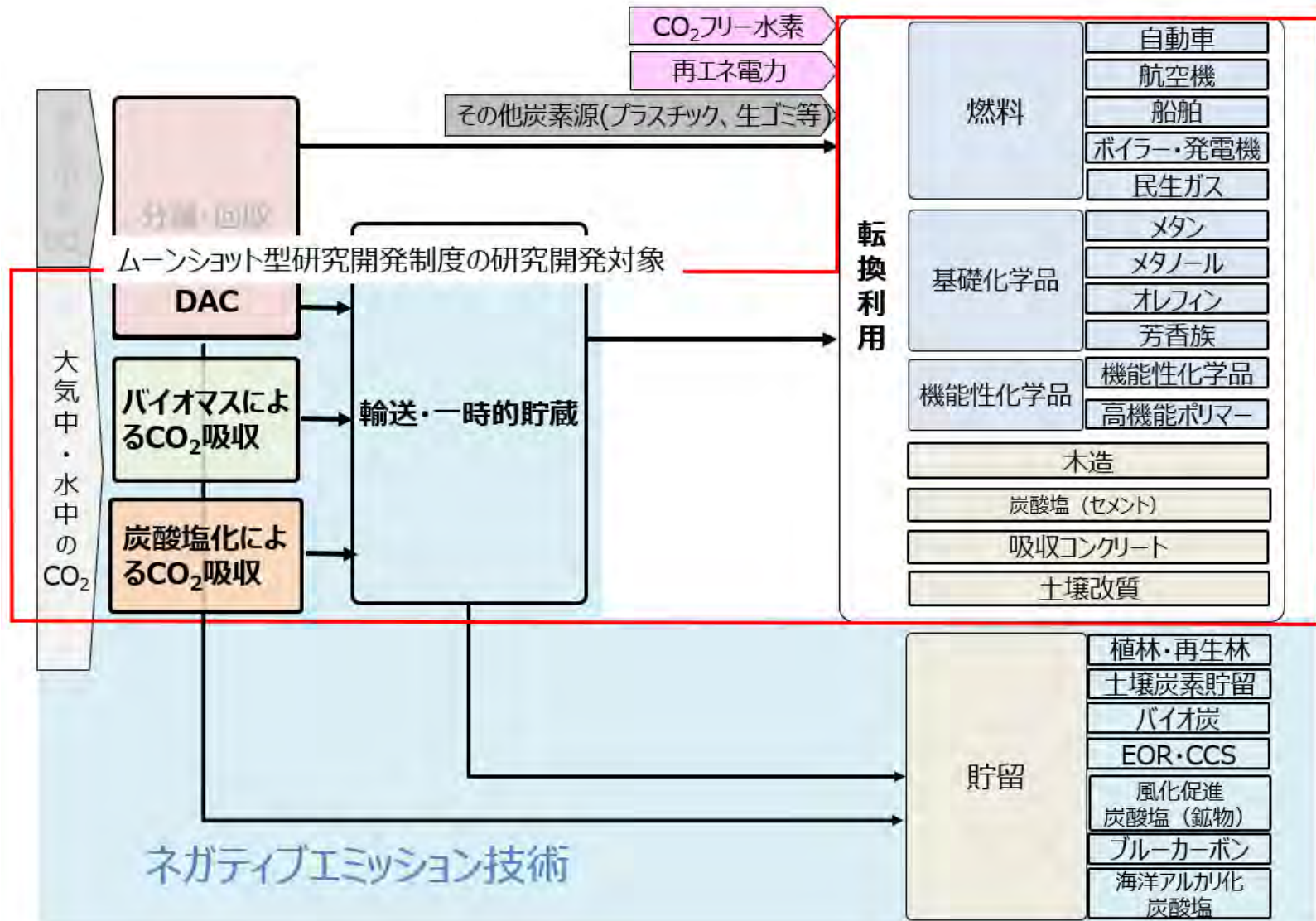
## CCC原料製造 (PJⅡ)



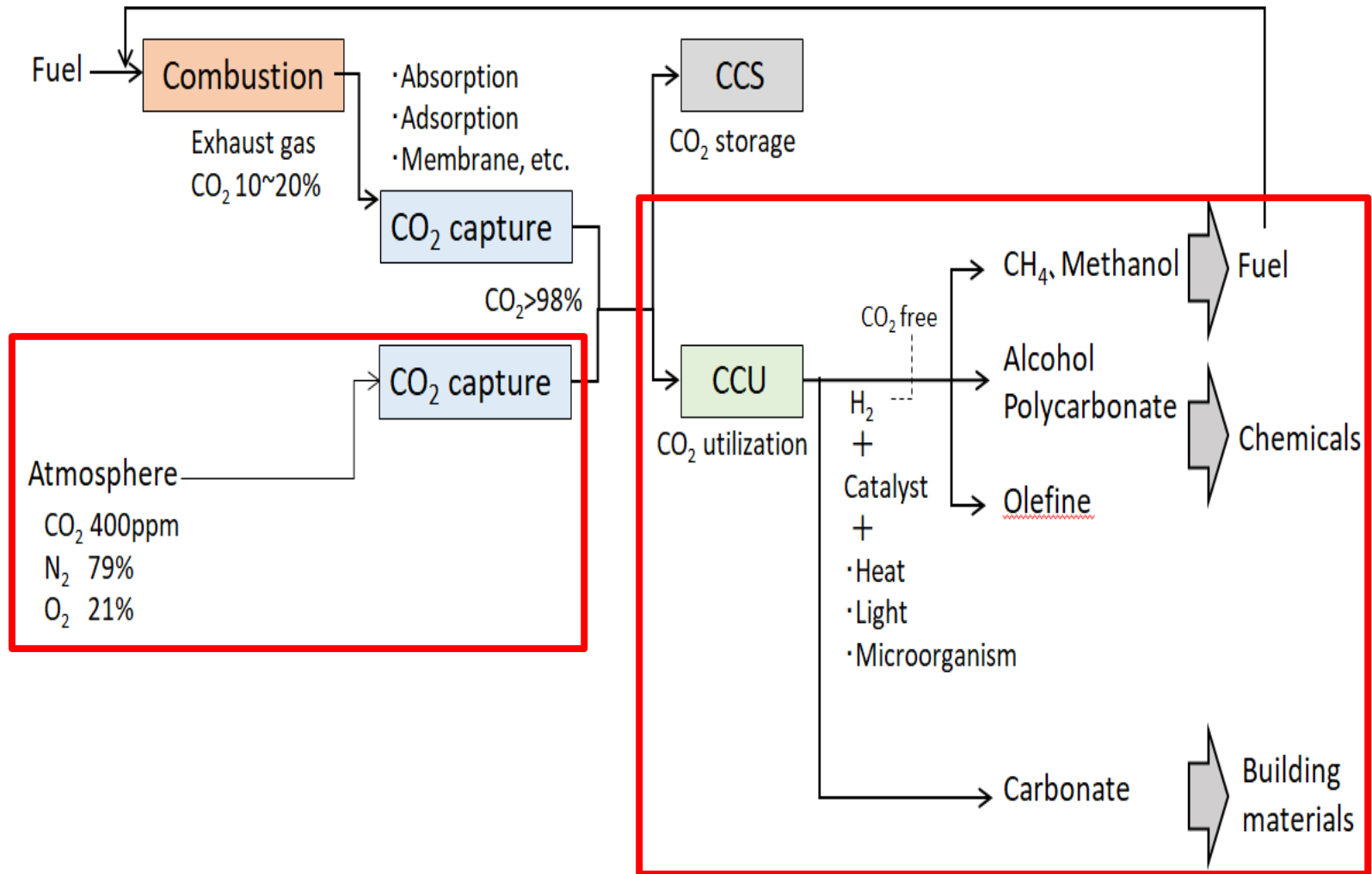
北海道大学  
増尾リサイクル



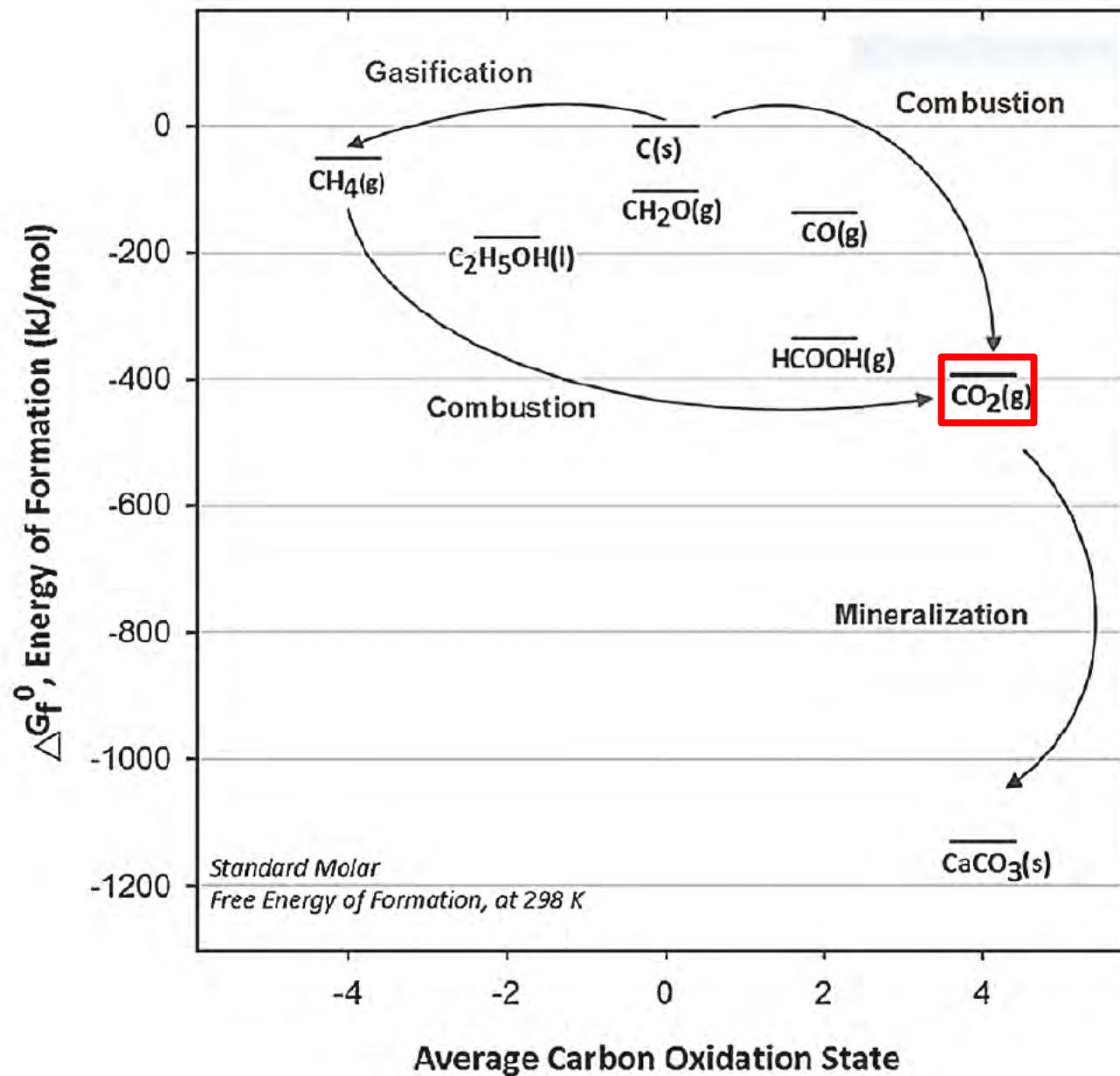
# ムーンショット型研究開発制度（目標4）の研究対象の拡大イメージ （2022年4月より追加公募）



**Challenge:** CO<sub>2</sub> recovery from atmosphere (**DAC**), and Recovered CO<sub>2</sub> can be converted into fuel and/or various chemicals as a raw material (**CCU**)



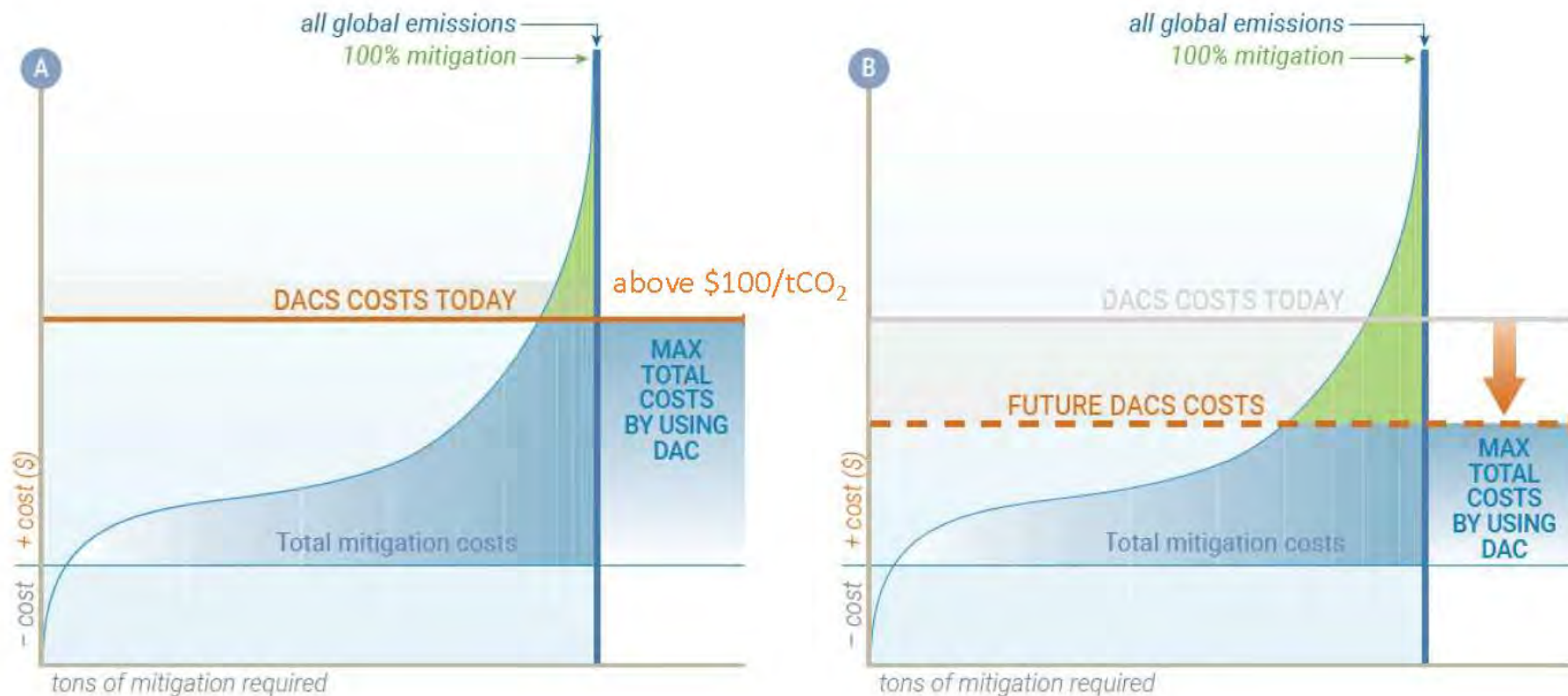
# 化学的に安定なCO<sub>2</sub>利用への挑戦



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 CO<sub>2</sub> Removal (DAC as a Backstop Technology)

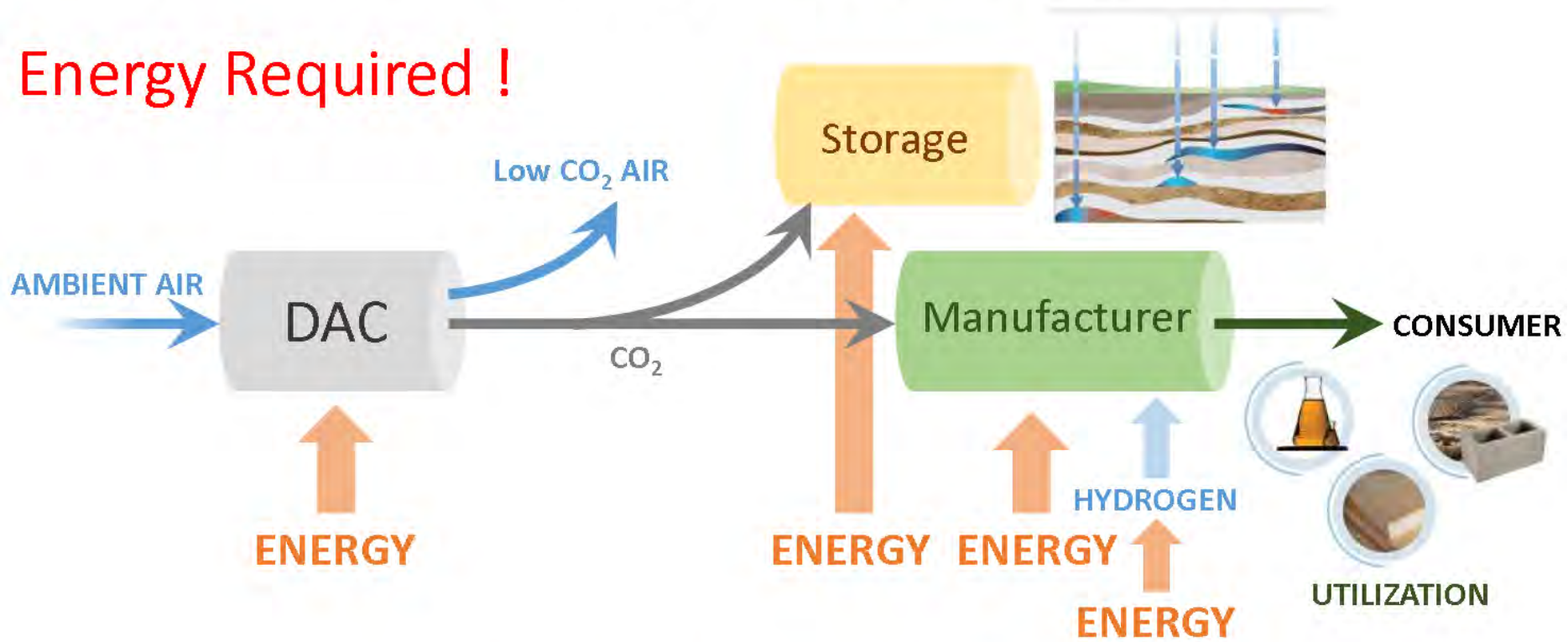


Relationship between cost and introduction amount of DAC

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

# Direct Air Capture + CO<sub>2</sub> Utilization/CO<sub>2</sub> Storage

Energy Required !



Energy resource should be zero/low CO<sub>2</sub> emission

(Source: Atsushi INABA, How to evaluate technologies?, Moonshot International Symposium, Dec. 18, 2019)

# 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）、③CO<sub>2</sub>固定・再利用（カーボンリサイクル、CO<sub>2</sub>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。

 <b>洋上風力・太陽光・地熱</b> ・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】	 <b>水素・燃料アンモニア</b> ・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】	 <b>次世代熱エネルギー</b> ・2050年、既存インフラに合成メタンを90%以上注入	 <b>原子力</b> ・2035年、ITER計画の核融合運転の開始	 <b>自動車・蓄電池</b> ・2035年、乗用車の新車販売で電動車100%	 <b>半導体・情報通信</b> ・2040年、半導体・情報通信産業のカーボンニュートラル化	 <b>船舶</b> ・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
 <b>物流・人流・土木インフラ</b> ・2050年、建設施工におけるカーボンニュートラルを実現	 <b>食料・農林水産業</b> ・2040年、高層木造建築物の技術確立	 <b>航空機</b> ・2030年以降、電池などのコア技術を、段階的に技術搭載	 <b>カーボンサイクル・マテリアル</b> ・2050年、人工光合成プラを既製品並み【CR】 ・同年、ゼロカーボンチールを実現【マテリアル】	 <b>住宅・建築物・次世代電力マネジメント</b> ・2030年、新築住宅・建築物の平均でZEH・ZEB【住宅・建築物】	 <b>資源循環関連</b> ・2030年、バイオマスプラスチックを約200万トン導入	 <b>ライフスタイル関連</b> ・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。

- |  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| <b>1 予算</b><br>・ <b>グリーンイノベーション基金（2兆円の基金）</b><br>・経営者のコミットを求める仕掛け<br>・絞り込んだ重点的投資 | <b>2 税制</b><br>・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）           | <b>3 金融</b><br>・サステナブルファイナンス（TCFD）<br>・グリーン国際金融センター<br>・グリーンボンドガイドラインの改訂 | <b>4 規制改革・標準化</b><br>・新技術に対応する規制改革<br>・市場形成を見据えた標準化<br>・成長に資するカーボンプライシング |
| <b>5 国際連携</b><br>・日米・日EUとの技術協力<br>・アジア・エネルギー・トランジション・イニシアティブ<br>・東京ビヨンド・ゼロ・ウィーク  | <b>6 大学における取組の推進等</b><br>・大学等における人材育成<br>・カーボンニュートラルに関する分析手法や統計 | <b>7 2025年日本国際博覧会</b><br>・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）                    | <b>8 若手ワーキンググループ</b><br>・2050年時点での現役世代からの提言                              |

# ⑪カーボンリサイクル・マテリアル産業

●導入フェーズ：

1. 開発フェーズ

2. 実証フェーズ

3. 導入拡大・コスト低減フェーズ

4. 自立商用フェーズ

（カーボンリサイクル）の成長戦略「工程表」●具体化すべき政策手法：①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等

※代表事例を記載	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年
●コンクリート コスト目標 2030年 30円台/m3 (=既製品と同等)	・2025年日本国際博覧会における導入を検討 ・新技術に関する国交省データベースにCO <sub>2</sub> 吸収型コンクリートを登録し、地方自治体による公共調達を拡大 さらに、道路、建物等への導入による販路拡大、コスト低減						・大規模な国際展示会でのPR等を行い、 途上国等へも販路拡大  ・知財戦略を通じたライセンス事業形態の活用 によるシェア獲得・拡大	
	・防錆性能を持つコンクリートの技術開発		・防錆性能を持つコンクリートの実証					
	・CO <sub>2</sub> 吸収量の増大と低コスト化を両立させた新技術・製品の開発				・新技術を活用した製品の実証			
	・日米の産学官の関係者がCO <sub>2</sub> 炭酸塩化（コンクリート化）に関する共同プロジェクトを実施 ・関係国とのカーボンリサイクル協力MOCを締結し、共同研究・実証を推進							
●セメント 国内キルン全機導入	・セメント製造工場でのCO <sub>2</sub> 回収技術の開発 ・回収CO <sub>2</sub> の炭酸塩化による原料・燃料化プロセスの開発				・大規模設備でのCO <sub>2</sub> 回収と炭酸塩化技術実証		・設備導入コスト低減・補助金等による導入支援 ・国内メーカー、アジアメーカーへの技術展開 ・海外企業へのライセンスビジネスの展開	
●カーボンリサイクル燃料 コスト目標 2030年 100円台/L (=既製品と同等) (i) 持続可能な航空燃料 (SAF)	・2030年頃の商用化に向けた大規模実証、コスト低減 ・国際航空に関し、ICAOにより、2019年比でCO <sub>2</sub> 排出量を増加させないことが制度化（2021～2035年） (※ICAO：国際民間航空機関)						・SAFの国際市場の動向に応じて、国内外において、航空機競争力のあるSAFの供給拡大	
	【ガス化FT合成】様々な原料の品質を均一化する破砕処理技術の開発を継続 【ATJ】高温状態の触媒反応の制御技術の開発を継続 【微細藻類】CO <sub>2</sub> 吸収効率の向上や藻の安定的な増殖による生産性向上、品質改良の技術開発を継続、等							
(ii) 合成燃料	合成燃料の製造技術の開発 ・既存技術（逆シフト反応+FT合成プロセス）の効率化、 ・製造設備の設計開発				大規模製造の実証		導入拡大・コスト低減	自立商用
	合成燃料の革新的製造技術の開発 ・CO <sub>2</sub> 電解（+水電解）+FT合成プロセスの研究開発 ・共電解+FT合成プロセスの研究開発 ・直接合成（Direct-FT）プロセスの研究開発							
(iii) 合成メタン コスト目標 2050年 40～50円/Nm3 (=現在のLNG価格と同等)	2040年頃の商用化に向けた大規模実証、コスト低減						更なるコスト低減による導入拡大	商業的拡大
	低コスト化に向けた新たな基礎技術の開発（共電解等）						実証による大規模化、低コスト化	更なるコスト低減による導入拡大
	海外サプライチェーン構築に向けた調査・実証				海外から国内への輸送開始・導入拡大			商業的拡大
(iv) グリーンLPG	触媒等の実証試験に必要な基礎技術の開発				★目標（2030年時） グリーンLPガスの商用化		★目標（2050年時） LPガスにおけるカーボンニュートラルの実現	
	商用化に向けた実証						コスト低減	グリーンLPガス合成技術の普及拡大

# 今後必要とされる政策要素の検討の視点

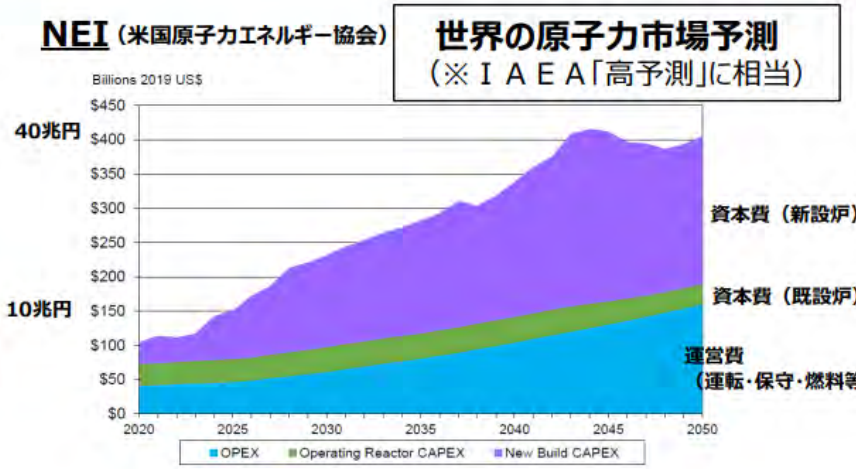
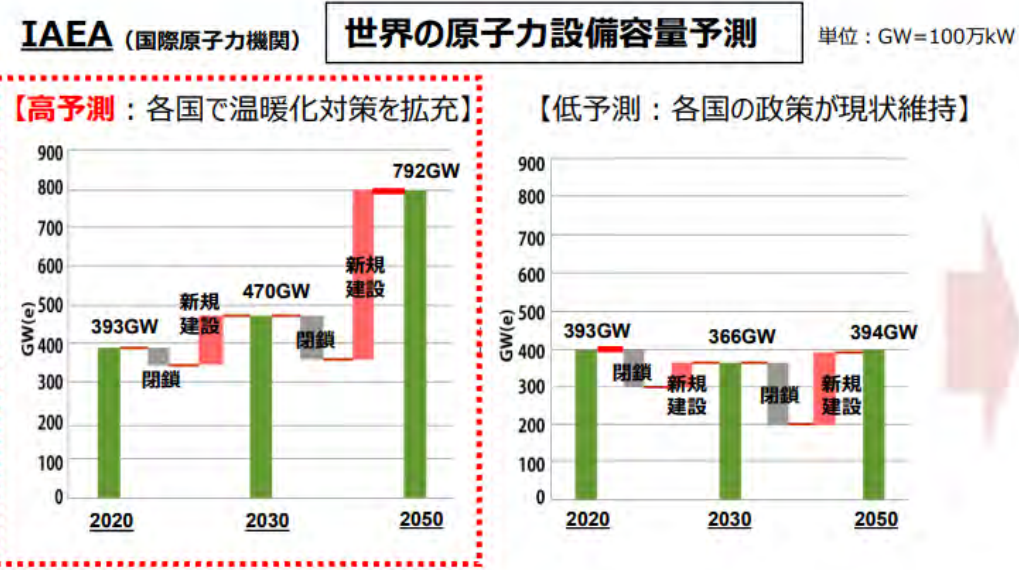
ビジネス環境の分析や海外の政策動向も踏まえ、例えば、以下のような視点で、どのような政策を行っていくか検討していくべきではないか。

- 各分野における「勝ち」の定義が必要（技術開発、社会実装スピード、市場ルールメイキングなど）
- 技術レイヤー、ビジネスレイヤー、マーケットレイヤーそれぞれについて、課題や政策要素を整理。

技術レイヤー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 付加価値の高い分野への支援徹底</li> <li>・ 海外技術の囲い込み/連携 等</li> </ul>
ビジネスレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 先行需要創出、国際サプライチェーンへの参画、海外勢との連携</li> <li>・ オープン＆クローズ戦略、ライセンス活用、</li> <li>・ 炭素価値、経済的メカニズム</li> <li>・ 新技術・ビジネスへのリスクマネー供給 等</li> </ul>
マーケットレイヤー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国際市場 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 国際ルール整備（条約、国際標準・規格）</li> <li>➢ アジア各国への働きかけ</li> <li>➢ 技術移転リスクへの対処</li> <li>➢ トランジションファイナンスのアジア等への普及・海外展開における資金需要と官民協調のファイナンス 等</li> </ul> </li> <li>・ 国内市場 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 国内市場の規律（重要インフラや戦略物資確保の観点）</li> <li>➢ 技術・データの流出防止 等</li> </ul> </li> </ul>

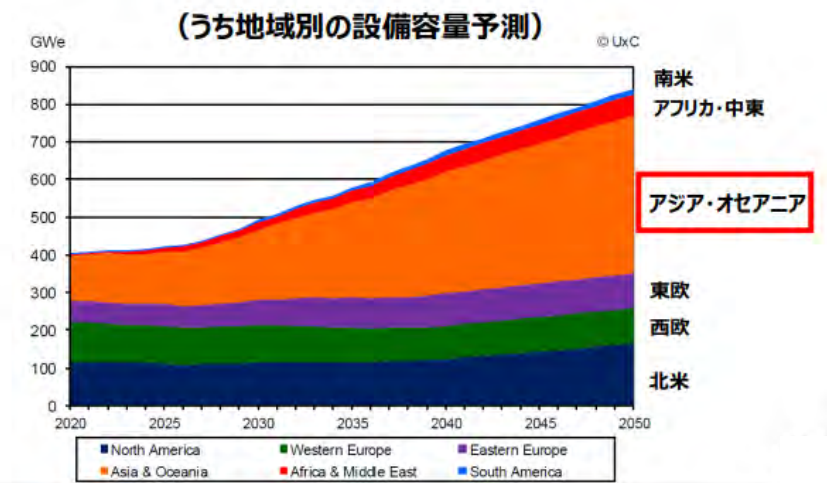
# 世界の原子力市場は今後大きく拡大見込み。革新炉も徐々に増加か

- 国際機関の分析によると、原子力の市場規模は、**2050年には最大で年間約40兆円程度まで拡大**。そのうち、**アジアの旺盛な需要拡大**に依る伸び（石炭からのリプレイス等）が太宗を占める。
- **革新炉のシェアは、2050年で市場の1/4規模との予測**（当面は大型軽水炉が需要増を満たす構図。）



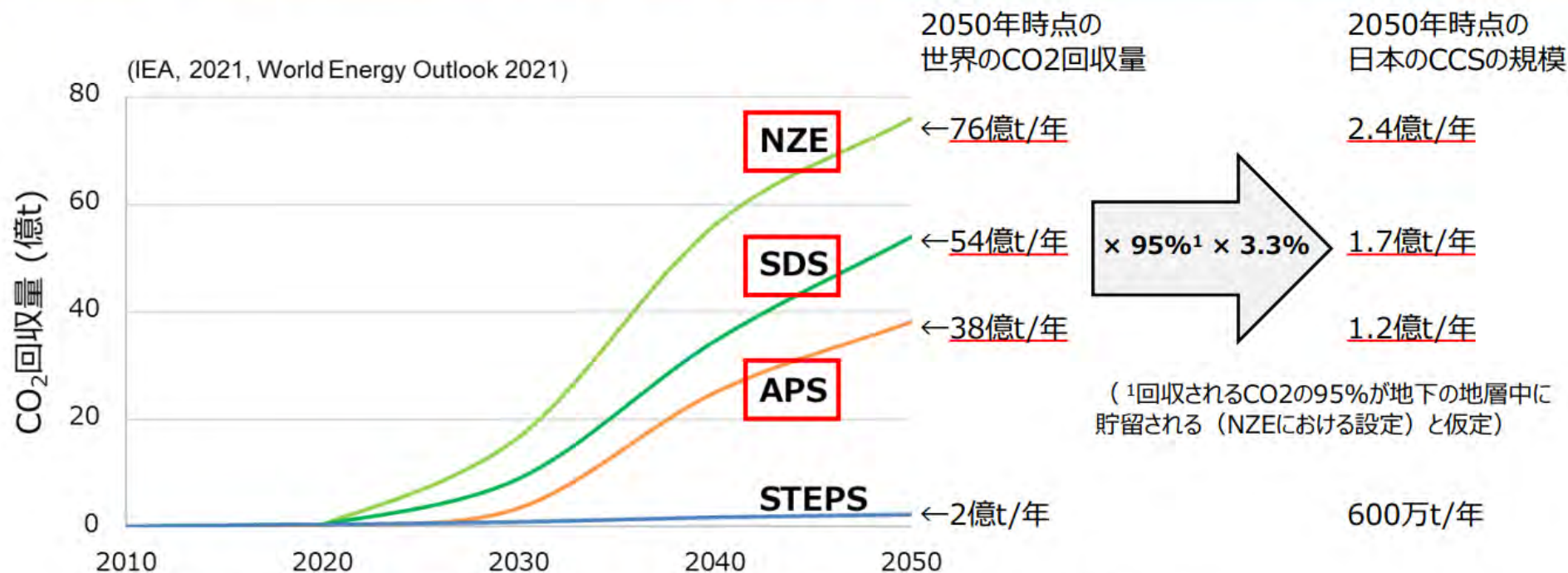
## NEI（米国原子力エネルギー協会）による非従来型炉の市場規模予測

「SMR、マイクロ炉、革新炉（高温ガス炉、熔融塩炉等）が、より市場に浸透していけば、これら非従来型の炉は、2050年の市場において、最大で25%を占める可能性がある」



# IEA試算から推定される日本のCCSの想定年間貯留量の目安

- IEA試算においては、シナリオ毎に年間約36～72億tのCCSが必要。<sup>※</sup>※CO<sub>2</sub>回収量の95%をCCS量と仮定
- 上記の試算に、日本のCO<sub>2</sub>排出量割合（3.3%）をかけると、年間約1.2～2.4億tのCCSが必要と推計。



NZE (**N**et **Z**ero **E**missions by 2050):世界のCO<sub>2</sub>排出量を2050年までにネット・ゼロにする軌道に乗せるためのシナリオ

SDS (**S**ustainable **D**evelopment **S**cenario):先進国は2050年、中国は2060年、その他の国は2070年までにネット・ゼロを達成するためのシナリオ

APS (**A**nnounced **P**ledges **S**cenario): NDCや長期ネットゼロ目標等の各国の気候約束をベースとするシナリオ

STEPS (**S**tated **P**olicy **S**cenario):分野別に目標を達成し得るかを精緻に評価した、各国の取組をベースとするシナリオ

WEO2021で取り上げられた3つのシナリオ（APS, SDS, NZE）に基づけば、日本のCCSの規模は、**2050年時点で国内外あわせて年間1.2億～2.4億tが目安**

# ネガティブエミッション技術の比較

※TRL : Technology Readiness Level

分類	TRL	削減コスト \$/tCO <sub>2</sub> *1	削減ポテンシャル GtCO <sub>2</sub> /年 *2	土地利用 *3 m <sup>2</sup> /tCO <sub>2</sub> /年	削減効果 の確認 *4	日本での実 施の優劣 *5
海洋アルカリ化	3	305 10~600	11.0 2~20	0	要	○
海洋肥沃化	3	67 23~111	4.4 2.6~6.2	0	要	○
植物残渣海洋隔離	2	72 50~94	0.9 0.7~1	0	済	○
風化促進	4	128 50~200	3.0 2~4	29	要	○
DACCS	6	172 30~600	3.5 1~6	4	済	△
BECCS	7	135 60~200	5.6 0.5~15	379	済	△
植林・再生林	9	28 5~50	2.3 0.5~3.6	978	済	○
土壌炭素貯留	7	28 -45~100	4.1 0.4~8.6	0	要	○
バイオ炭	6	75 30~120	2.6 0.3~75	580	済	○

マテリアルとしての固定化（DAC+炭酸塩化+土木・建築利用、木造建築、木質素材の循環利用）

\*1:2050年想定のコ<sub>2</sub>削減コストの中央値

\*2:2050年の世界の削減ポテンシャルの中央値、陸上バイオ系は重複あり。

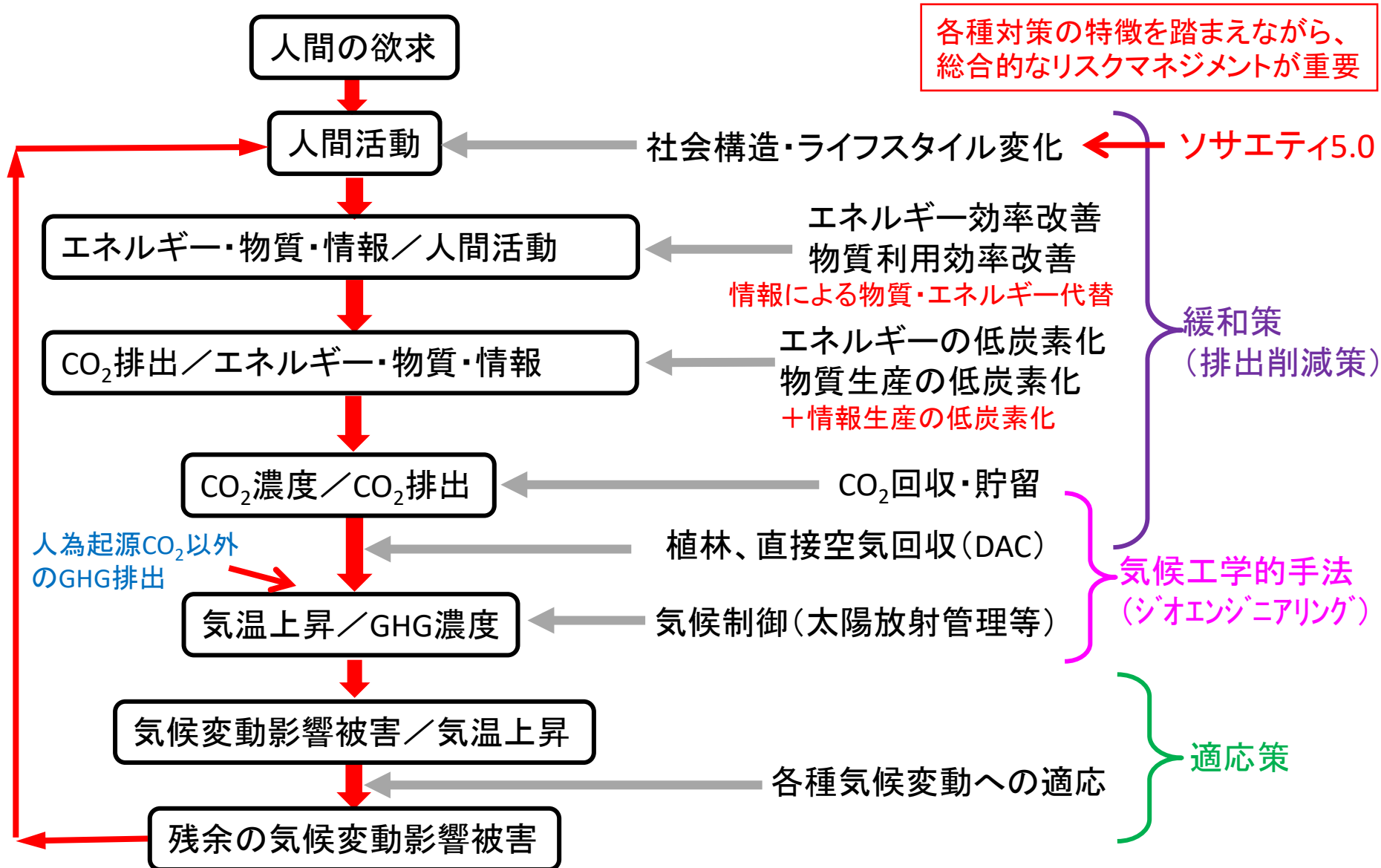
\*3:年間1トンのCO<sub>2</sub>削減に必要な面積、植林・再生林978は北海道全体(8.3万km<sup>2</sup>)で0.85億tCO<sub>2</sub>/年の削減に相当、PVは10程度(効率18%, 稼働率12%, 0.5kgCO<sub>2</sub>/kWhの電力を代替の場合)

\*4:CO<sub>2</sub>削減効果が確認されコンセンサスを得ているか

\*5:諸外国との比較で日本での実施の優劣、DACCSとBECCSはCCSが必須でCCS適地の点で日本は劣後

出典：第6回グリーンイノベーション戦略推進会議WG発表資料, (2022), 各種情報(文末参照)を元にNEDO-TSC作成資料を一部加筆

# 地球温暖化対策の基本構造

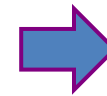


# 超スマート社会(Society 5.0)のインパクト

**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



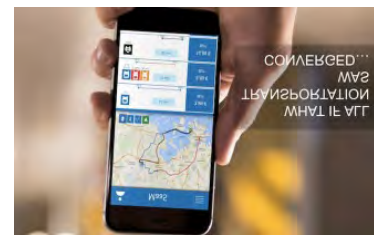
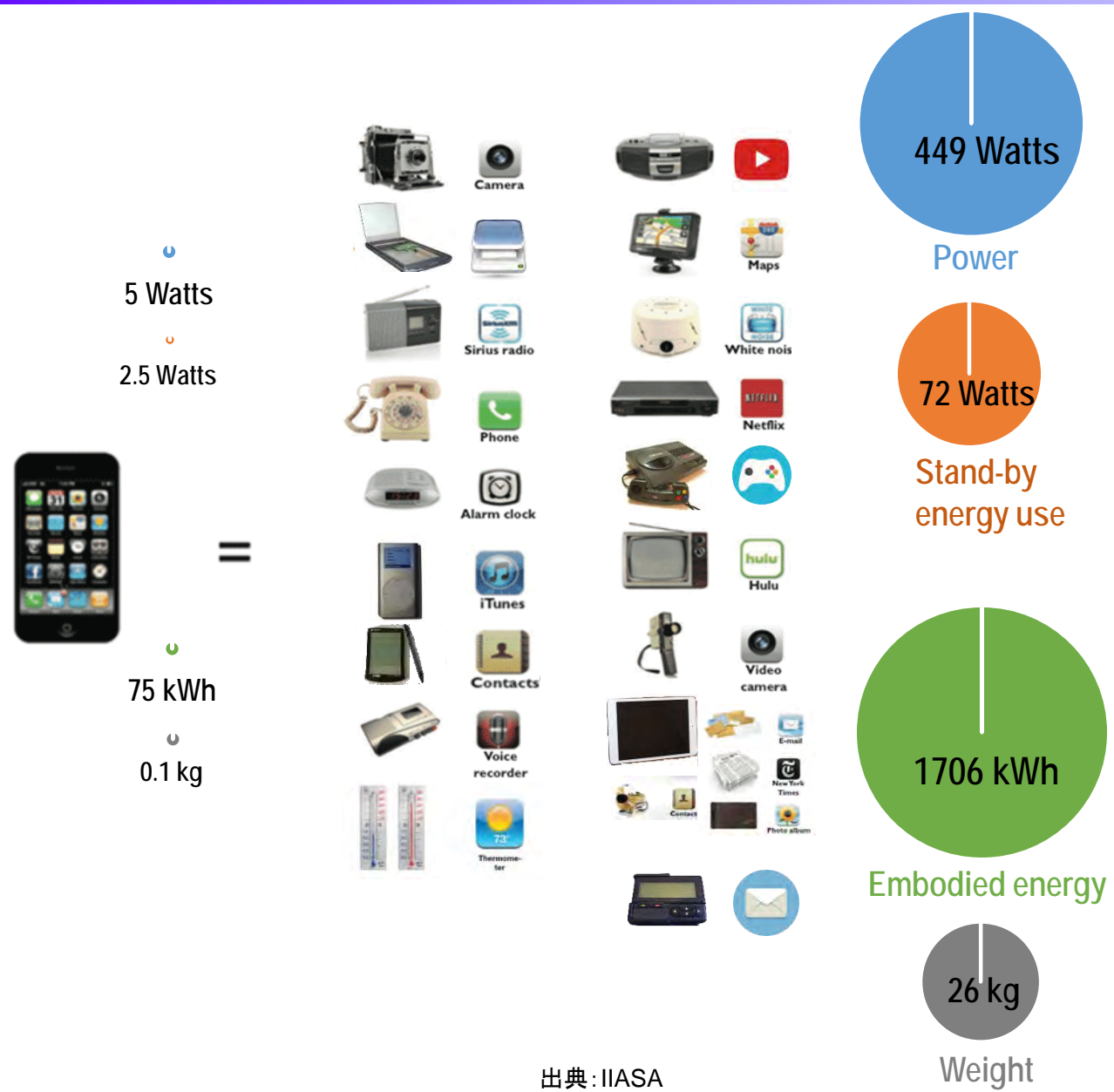
ただし、リバウンド効果に注意!

(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** → CO<sub>2</sub>削減

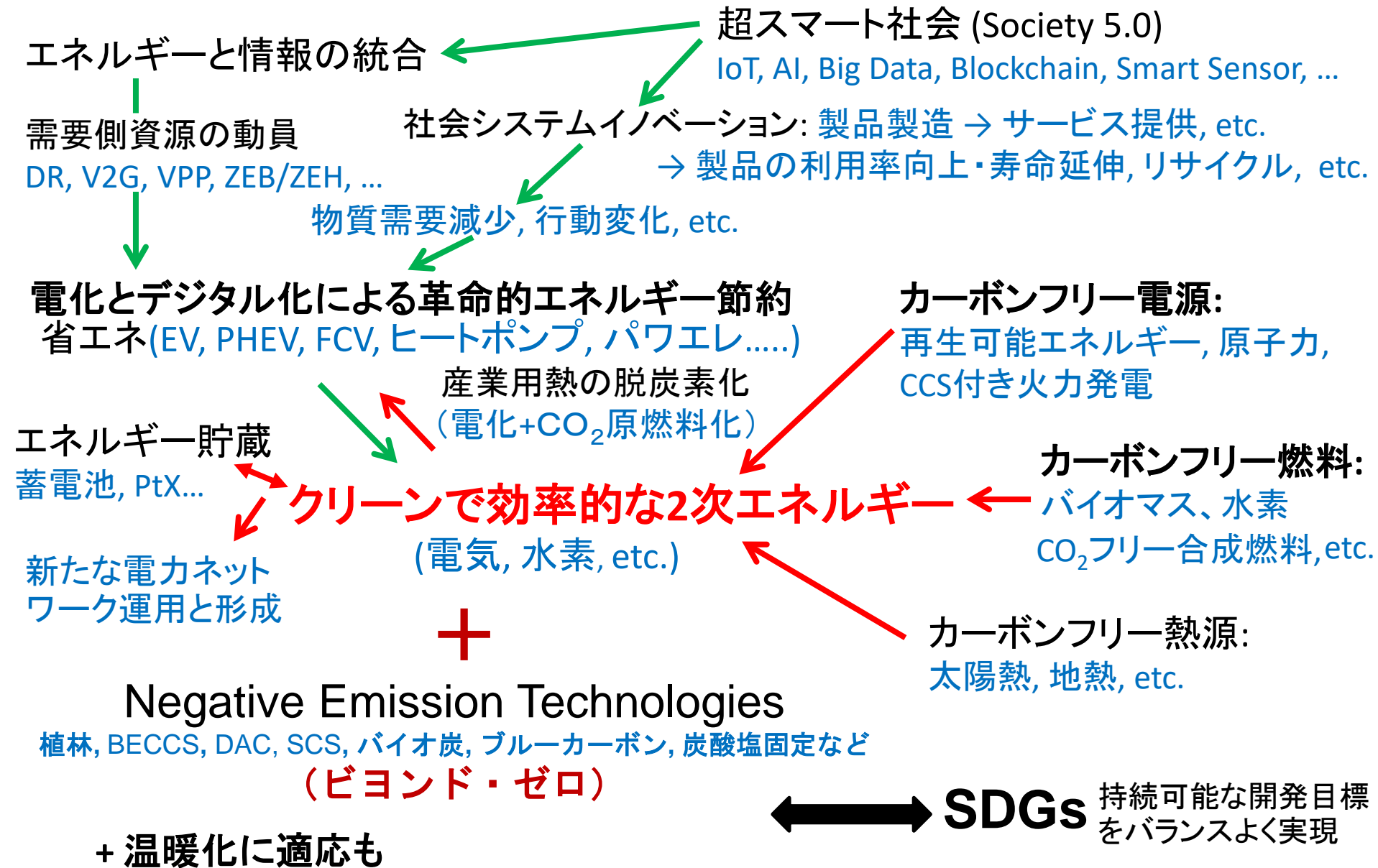
例えば、IoTでスマートメンテナンス → 部品・製品寿命の延伸 → 部品・製品需要の低下 → **エネルギー需要減少** → CO<sub>2</sub>削減

# 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