

CCS実用化への展望と課題

— 2050年カーボンニュートラル実現シナリオにおける役割 —

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～

2022年2月2日

@東京大学伊藤謝恩ホール＋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 $1.5^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$ 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)

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)

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

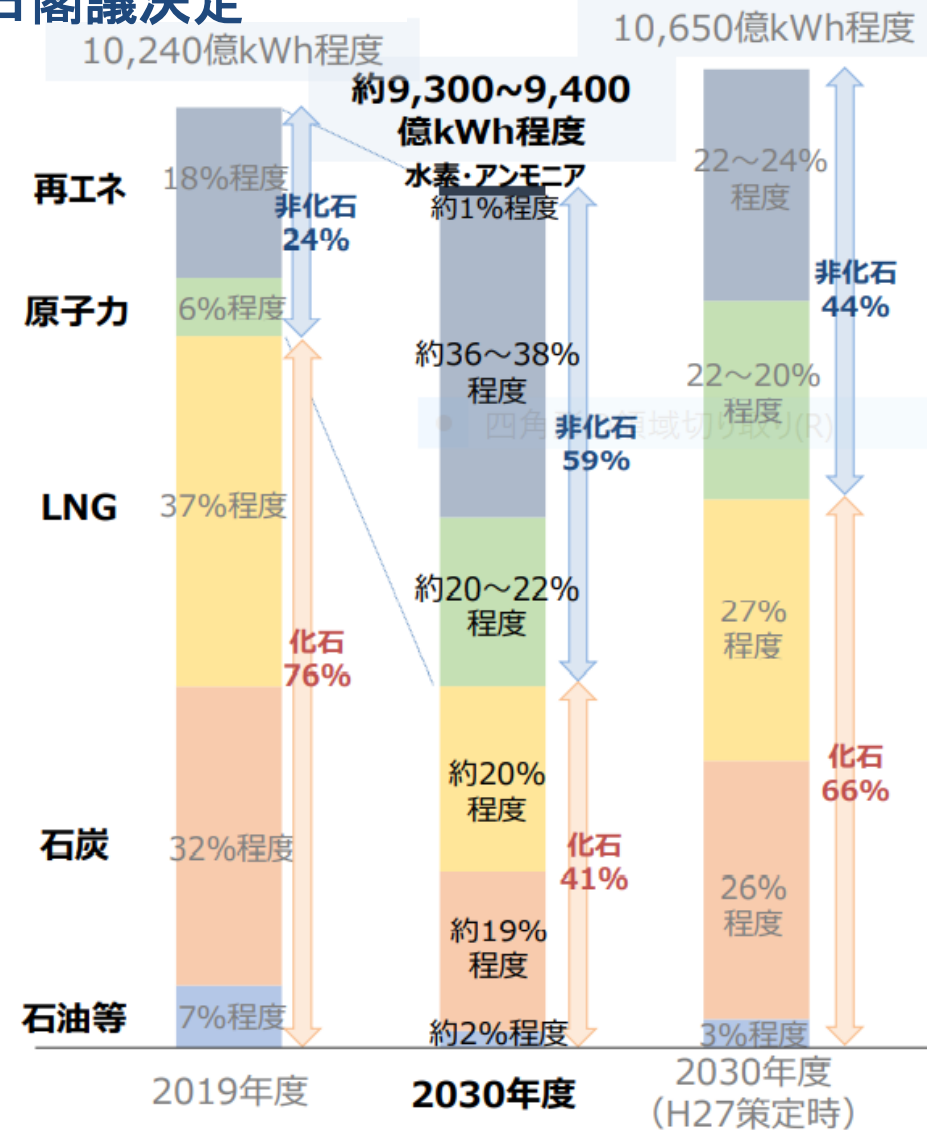
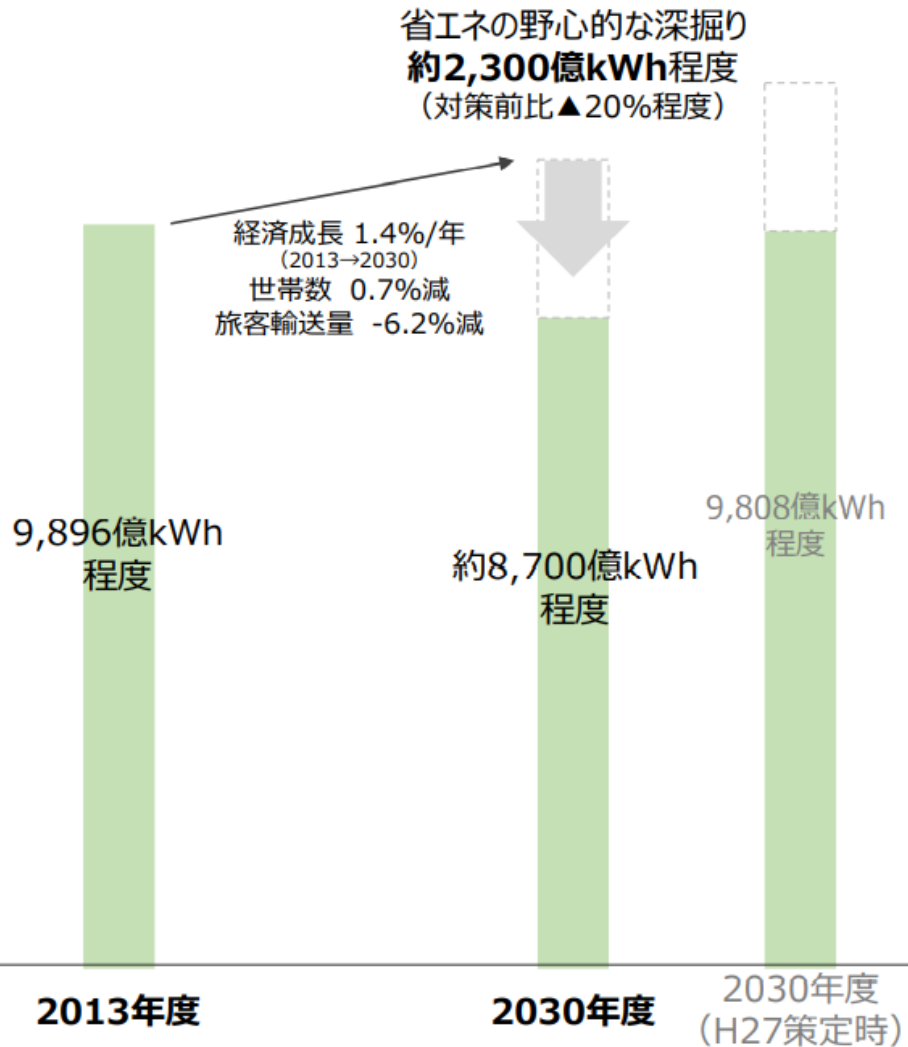


表1 エネルギー起源二酸化炭素の各部門の排出量の目安

	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](#)

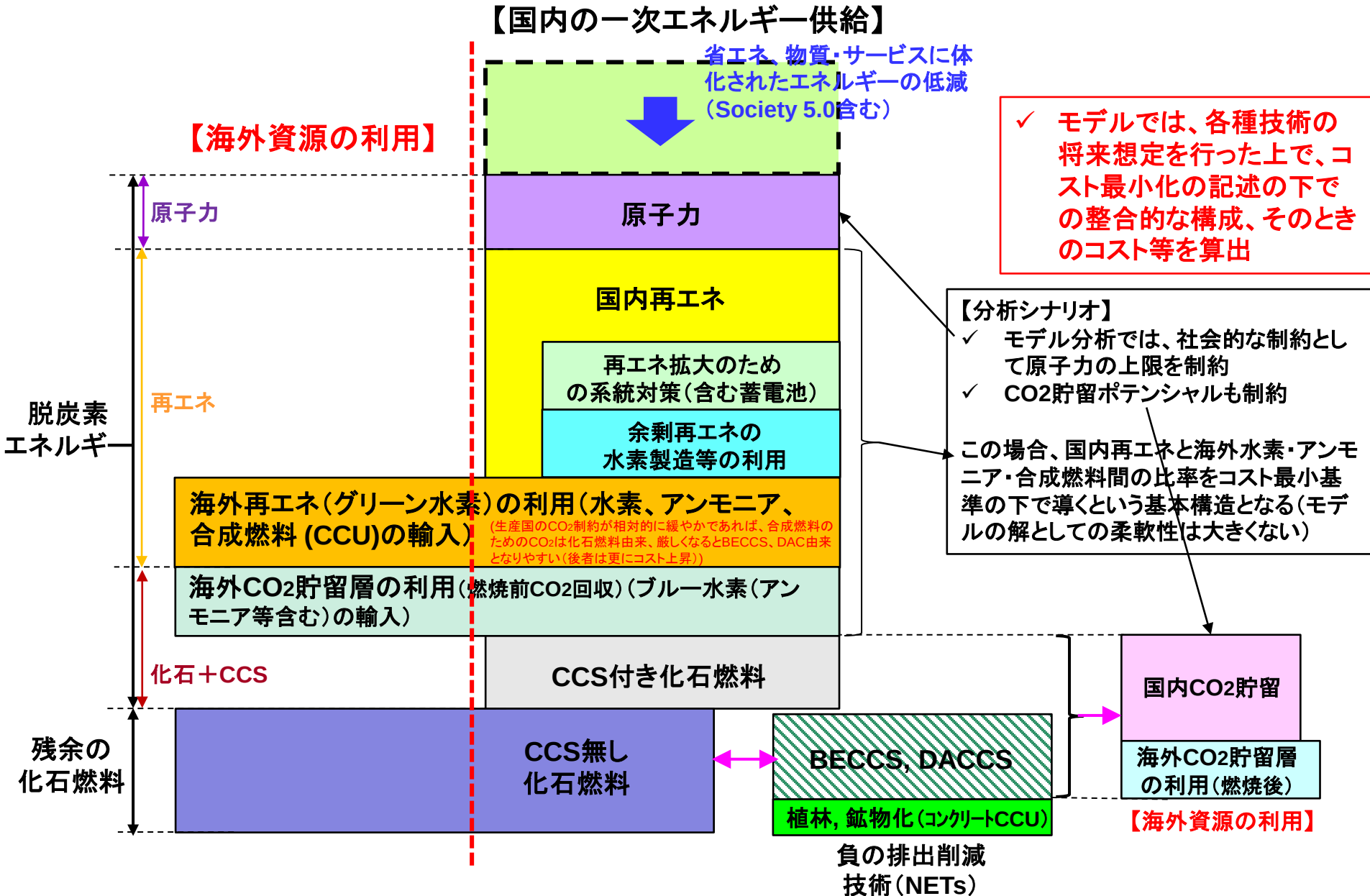
(PDFファイル3,841KB)

• [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)

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% (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)	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%		(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%)
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		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)

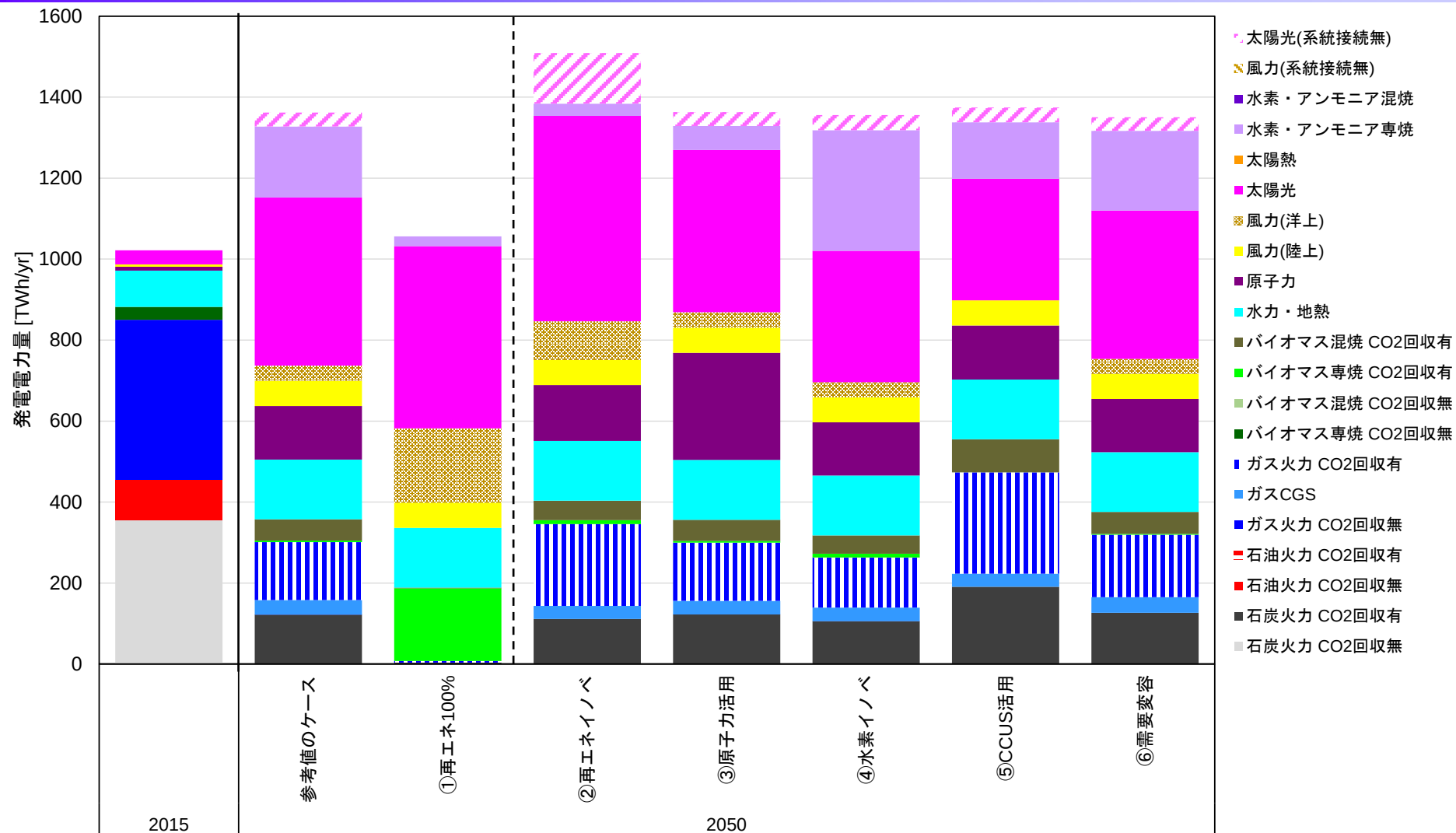
シナリオ名	再エネコスト	原子力比率	水素コスト	CCUS (貯留ポテンシャル)	完全自動運転 (カー・ライドシェア)	電源構成に占める 再エネ比率
参考値のケース ^{*1}	標準コスト	10%	標準コスト	国内貯留： 91MtCO ₂ /yr、 海外への輸送： 235MtCO ₂ /yr	標準想定 (完全自動運転車実現・普及想定せず)	54% (最適化結果)
①再エネ極大		0%		ほぼ100% (シナリオ想定)		
②再エネイノベ	低位コスト	10%		国内貯留： 91MtCO ₂ /yr、 海外への輸送： 235MtCO ₂ /yr		63% (最適化結果)
③原子力活用 ^{*2}	標準コスト	20%	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	47% (最適化結果)			
⑤CCUS活用		標準コスト	国内：273MtCO ₂ /yr、 海外：282MtCO ₂ /yr			44% (最適化結果)
⑥需要変容			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	51% (最適化結果)

※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

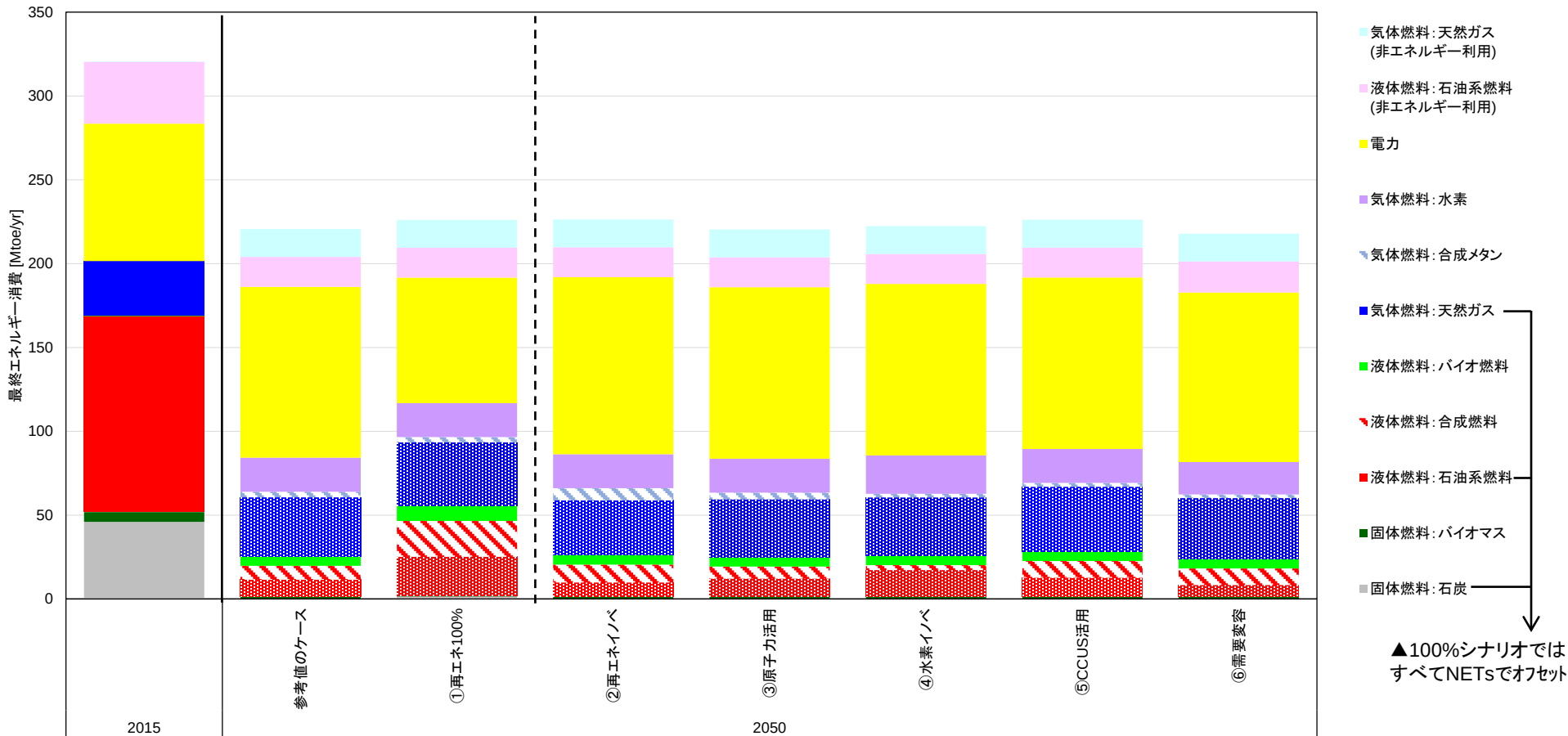
*2: 原子力活用シナリオは別途、比率50%まで分析を実施

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。

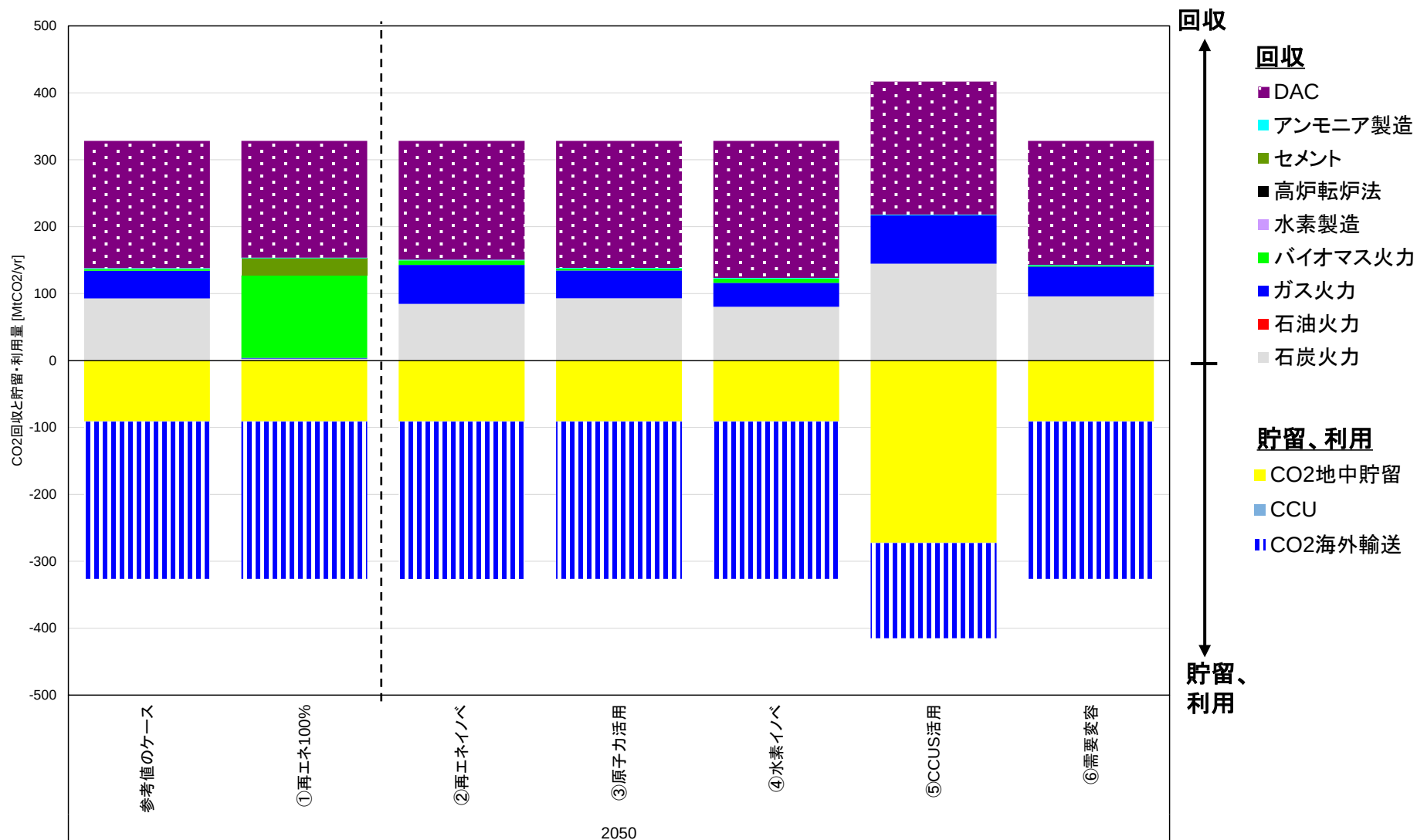
最終エネルギー消費量（2050年）



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

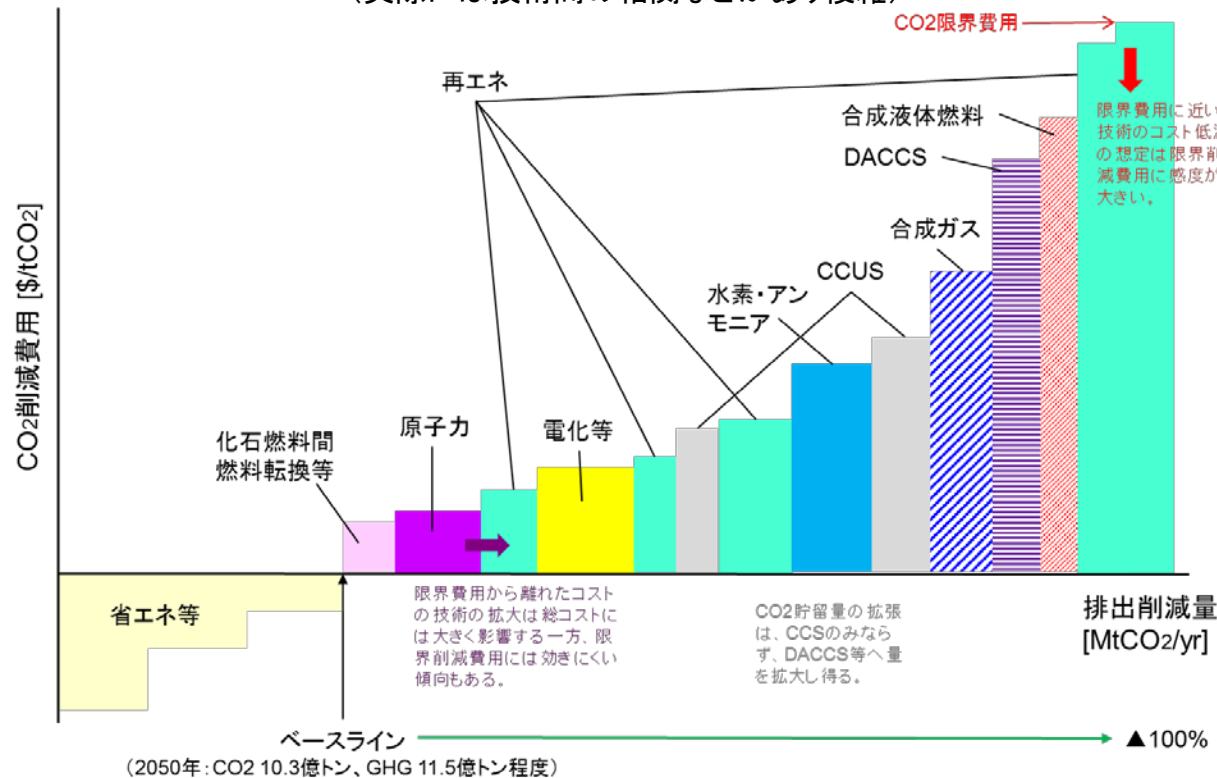
*1 [] (青字) はベースラインからのコスト増分。() 赤字は「参考値のケース」からのコスト変化

*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】 1	 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】 2	 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 3	 原子力 ・2035年、ITER計画の核融合運転の開始 4	 自動車・蓄電池 ・2035年、乗用車の新車販売で電動車100% 5	 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 6	 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 7
 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 8	 食料・農林水産業 ・2040年、高層木造建築物の技術確立 9	 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 10	 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、ゼロカーボンチールを実現【マテリアル】 11	 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】 12	 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 13	 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 14

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

Purpose and Overview of the Green Innovation Fund Business

- Toward the goal of achieving carbon neutrality by 2050, it is necessary to significantly accelerate efforts toward structural changes in the energy and industrial sectors, and undertake bold investment for innovation.
- METI has **established Green Innovation Fund at the level of 2 trillion yen** and decided to assign the **New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)** to its operation. Based on specific goals shared by the public and private sectors, the government will provide continuous support over the next ten years to companies and other organizations committed to take on challenge toward achieving the ambitious goals as one of the most critical business issues. The support will assist efforts ranging from R&D through demonstrations to social implementation of the outcomes.

List of projects expected to start in FY2021 H1

***As of October 27**

Working Group on the Field of Green Power Promotion

(1) Cost Reductions for Offshore Wind Power Generation
10/1-11/15: Call for applicants
National expense: up to ¥119.5bn

(2) Next-Generation Solar Cell Development
10/1-11/15: Call for applicants
National expense: up to ¥49.8bn

Working Group on the Field of Energy Structure Transformation

(3) Large-scale Hydrogen Supply Chain Establishment
8/26: Announced a project organizer
National expense: up to ¥300bn

(4) Hydrogen Production through Water Electrolysis Using Power from Renewables
8/26: Announced a project organizer
National expense: up to ¥70bn

(5) Hydrogen Use in Steelmaking Processes
9/15-11/1: Call for applicants
National expense: up to ¥193.5bn

(6) Fuel Ammonia Supply Chain Establishment
9/15-11/1: call for applicants
National expense: up to ¥68.8bn

(7) Development of Technology for Producing Raw Materials for Plastics Using CO₂ and Other Sources
10/15-11/29: Call for applicants
National expense: up to ¥126.2bn

(8) Development of Technology for Producing Fuel by Using CO₂ *
10/21: WG had a meeting

(9) Development of Technology for Producing Concrete and Cement Using CO₂
10/15-11/29: Call for applicants
National expense: up to ¥ 56.78bn

(10) Development of Technology to Separate and Recover CO₂
9/13: WG had a meeting *

(11) Development of Technology to Reduce CO₂ when Treating of Waste *

Working Group on the Field of Industry Structure Transformation

(12) Next-Generation Storage Battery and Motor Development
National expense: up to ¥151bn (being adjusted)

(13) Development of In-Vehicle Computing and Simulation Technology for Energy Saving in Electric Vehicles
10/26: WG had a meeting

(14) Establishment of Smart Mobility Society *
10/26: WG had a meeting

(15) Next-Generation Digital Infrastructure Construction
10/19-12/3: Call for applicants
National expense: up to ¥141bn

(16) Next-generation Aircraft Development
9/16: End of call for applicants/ examining candidates
National expense: up to ¥21.08bn

(17) Next-generation Vessels Development
10/26: Announced a project organizer
National expense: up to ¥35bn

(18) Development of CO₂ Reduction and Absorption Technology for Food/Agriculture, Forestry, and Fisheries Industries *

*tentative

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

☐ 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・N₂O削減
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.

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

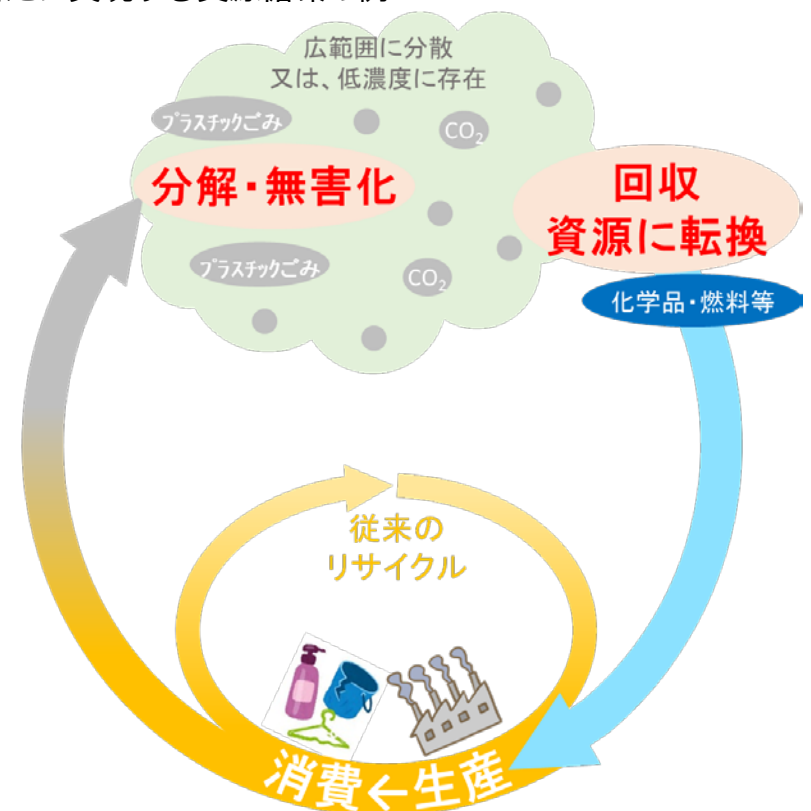
- 2030年までに、環境汚染物質を有益な資源に変換もしくは無害化する技術を開発し、パイロット規模または試作品レベルで有効であることを確認する。

(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



Projects in Moonshot Goal No. 4

Development of marine biodegradable plastics which can control the timing and speed of their degradability

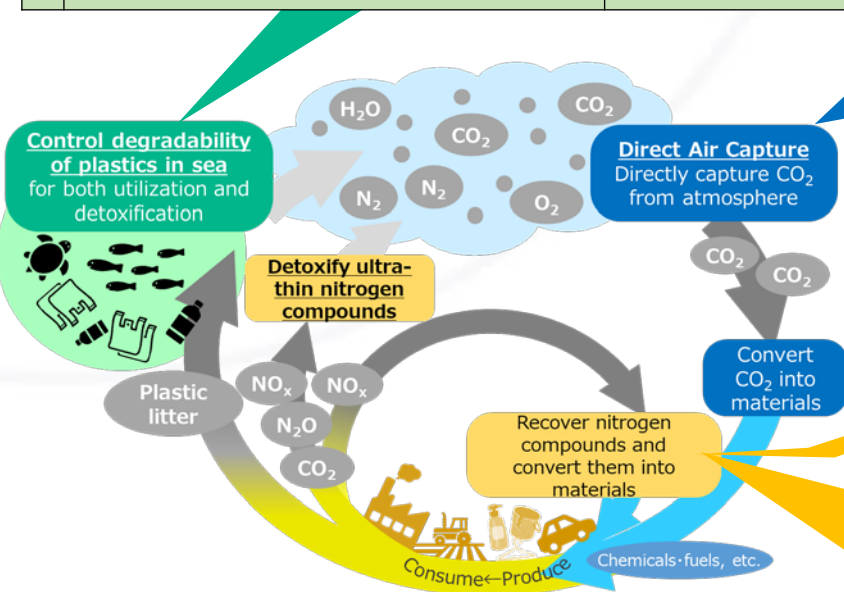
	R&D Projects	Project Managers
11	Development of Multi-lock Biopolymers Degradable in Ocean from Non-food Biomasses	Dr. ITO Kohzo, The University of Tokyo
12	Research and development of marine biodegradable plastics with degradation initiation switch function	Dr. KASUYA Ken-ichi, Gunma University
13	Development of photoswitching ocean-degradable plastics with edibility	Dr. KANEKO Tatsuo, Japan Advanced Institute of Science and Technology

Development of technologies to recover greenhouse gases ("GHGs") and convert them into valuable materials

	R&D Projects	Project Managers
1	Development of a bioprocess that uses electrical energy to fix atmospheric CO ₂	Dr. KATO Souichiro, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
2	Development of highly efficient direct air capture (DAC) and carbon recycling technologies	Dr. KODAMA Akio, Kanazawa University
3	Integrated Electrochemical Systems for Scalable CO ₂ Conversion to Chemical Feedstocks	Dr. SUGIYAMA Masakazu, The University of Tokyo
4	C4S Research and Development Project	Dr. NOGUCHI Takafumi, The University of Tokyo
5	Research and development toward saving energy for direct air capture with available cold energy	Dr. NORINAGA Koyo, Nagoya University
6	Development of Combined Carbon Capture and Conversion (quad-C) modules targeting low carbon dioxide concentration gases for balancing the global carbon budget	Dr. FUKUSHIMA Yasuhiro, Tohoku University
7	Development of Global CO ₂ Recycling Technology towards "Beyond-Zero" Emission	Dr. FUJIKAWA Shigenori, Kyushu University
8	Mitigation of greenhouse gas emissions from agricultural lands by optimizing nitrogen and carbon cycles	Dr. MINAMISAWA Kiwamu, Tohoku University

Development of technologies to recover nitrogen compounds and convert them into harmless or useful materials

	R&D Projects	Project Managers
9	Innovative circular technologies for harmful nitrogen compounds	Dr. KAWAMOTO Tohru, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
10	Development of recovery and removal techniques of dilute reactive nitrogen to realize nitrogen circulating society	Dr. WAKIHARA Toru, The University of Tokyo



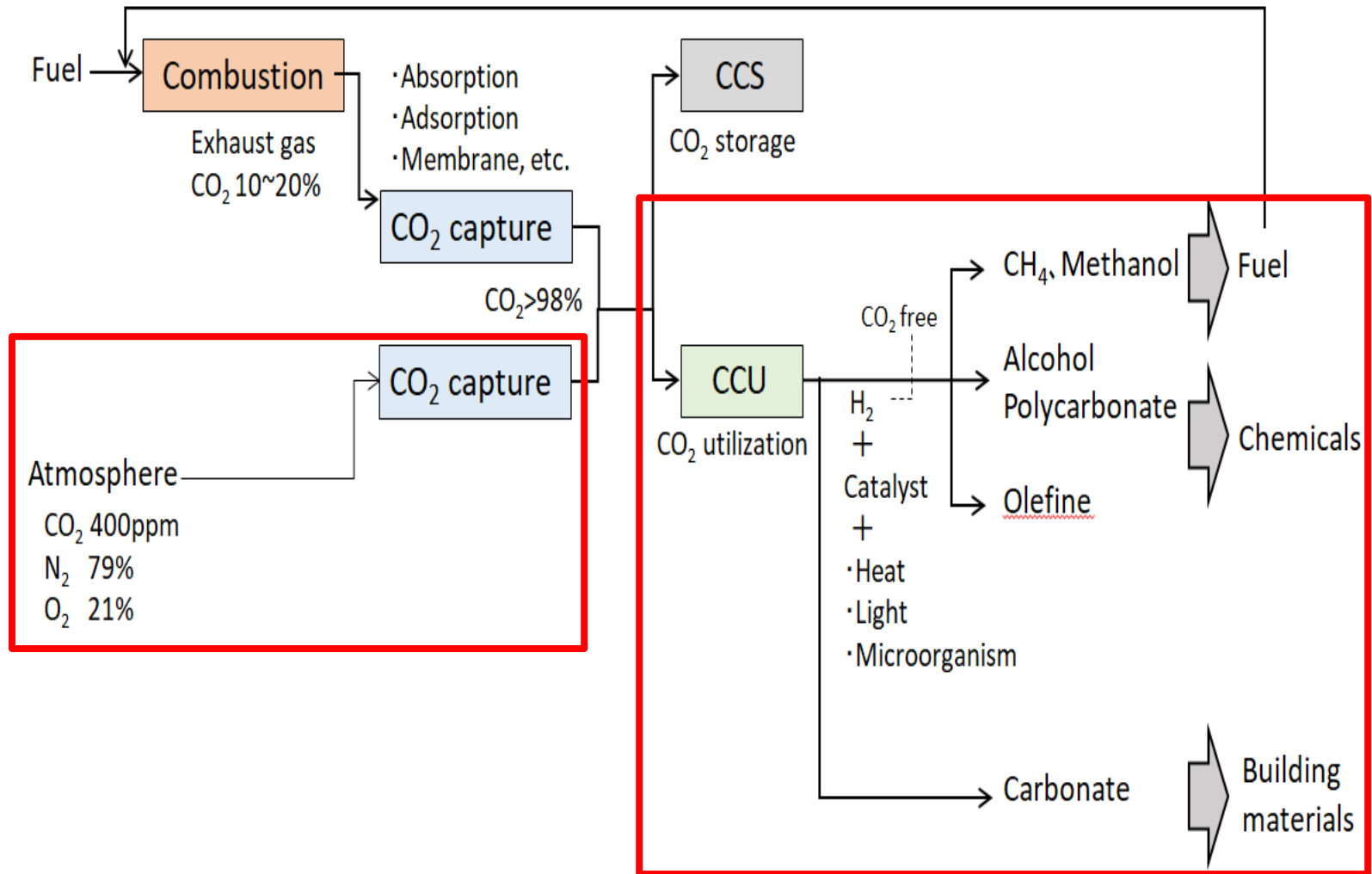
NEDO Moonshot Research and Development Program

DAC and CO₂ utilization projects

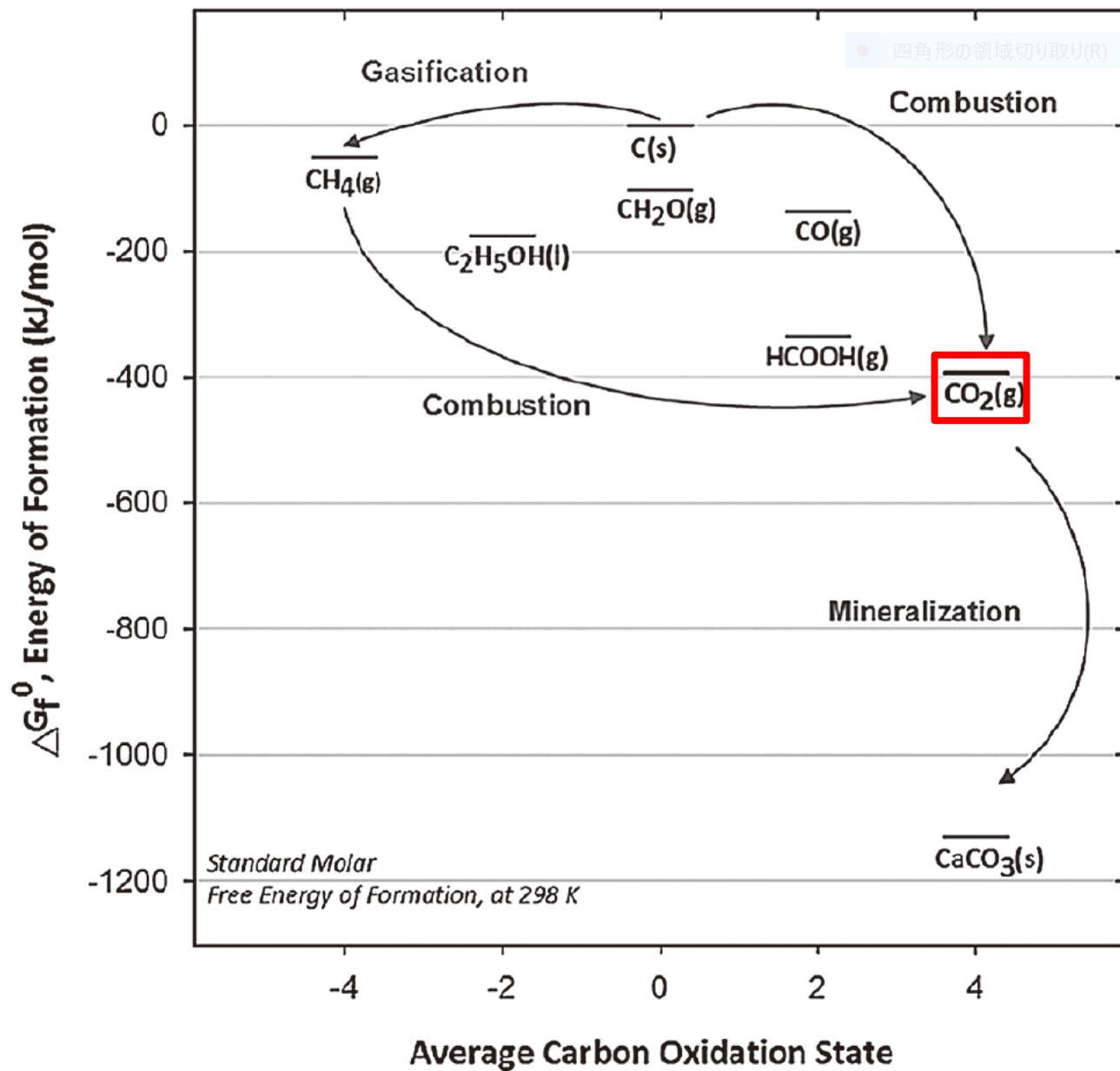


Project Managers	Approaches to Carbon Capture	Approaches to Carbon Utilization
① Dr. KATO Souichiro, AIST	✓ Artificially synthesizing microorganisms that can utilize electric energy	
② Dr. KODAMA Akio, Kanazawa University	✓ Solid sorbent ✓ Honeycomb Rotor	✓ Membrane Reactor
③ Dr. SUGIYAMA Masakazu, The University of Tokyo	✓ Physical Absorption ✓ Electrochemical CO ₂ Enrichment	✓ Electrolysis
④ Dr. NOGUCHI Takafumi, The University of Tokyo		✓ Calcium carbonate concrete
⑤ Dr. NORINAGA Koyo, Nagoya University	✓ Pressure swing driven by cryogenic pumping with LNG cold	✓ Carbon Neutral Methane, etc.
⑥ Dr. FUKUSHIMA Yasuhiro, Tohoku University	✓ Membrane separation ✓ Dual function materials	✓ Dual function materials ✓ Carbonyl-containing products
⑦ Dr. FUJIKAWA Shigenori, Kyushu University	✓ Membrane separation	✓ Electrochemical/ thermochemical conversion

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



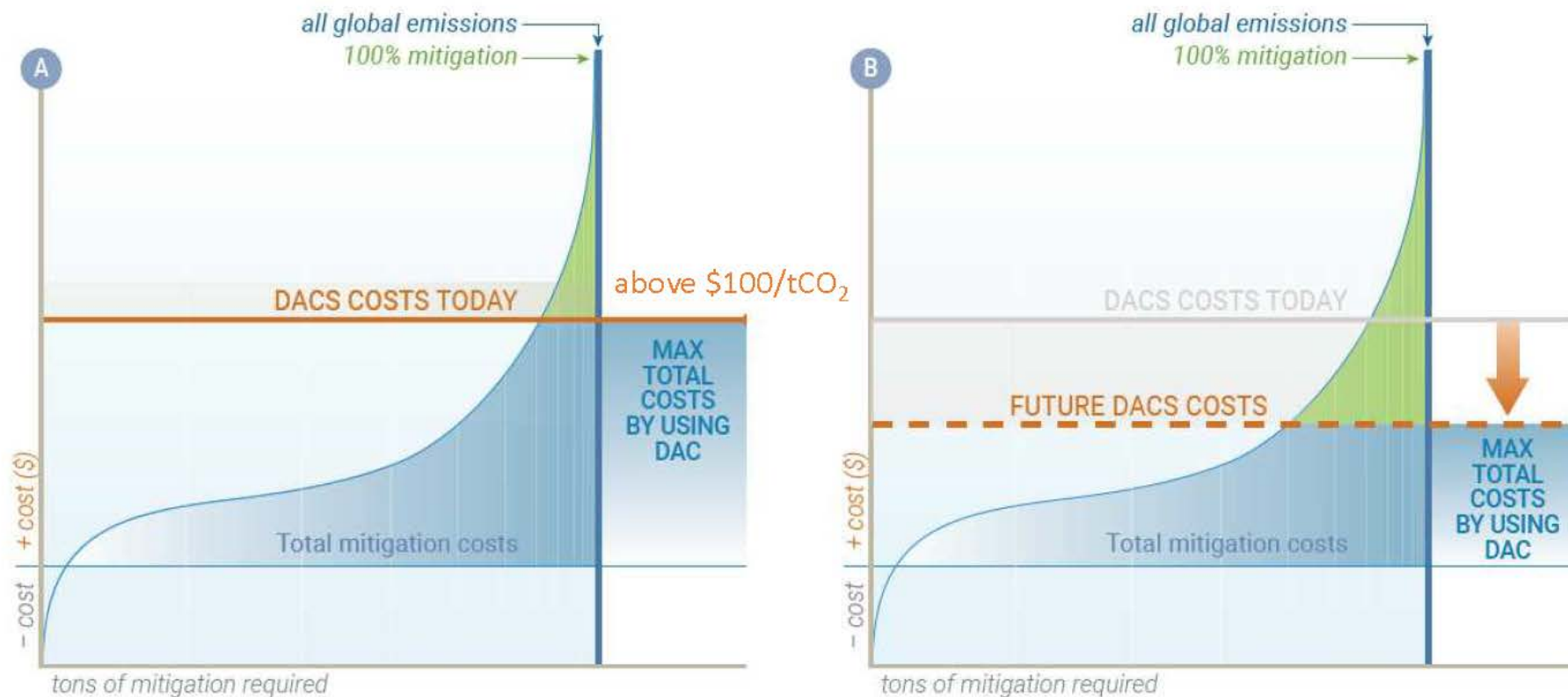
化学的に安定なCO₂利用への挑戦



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)

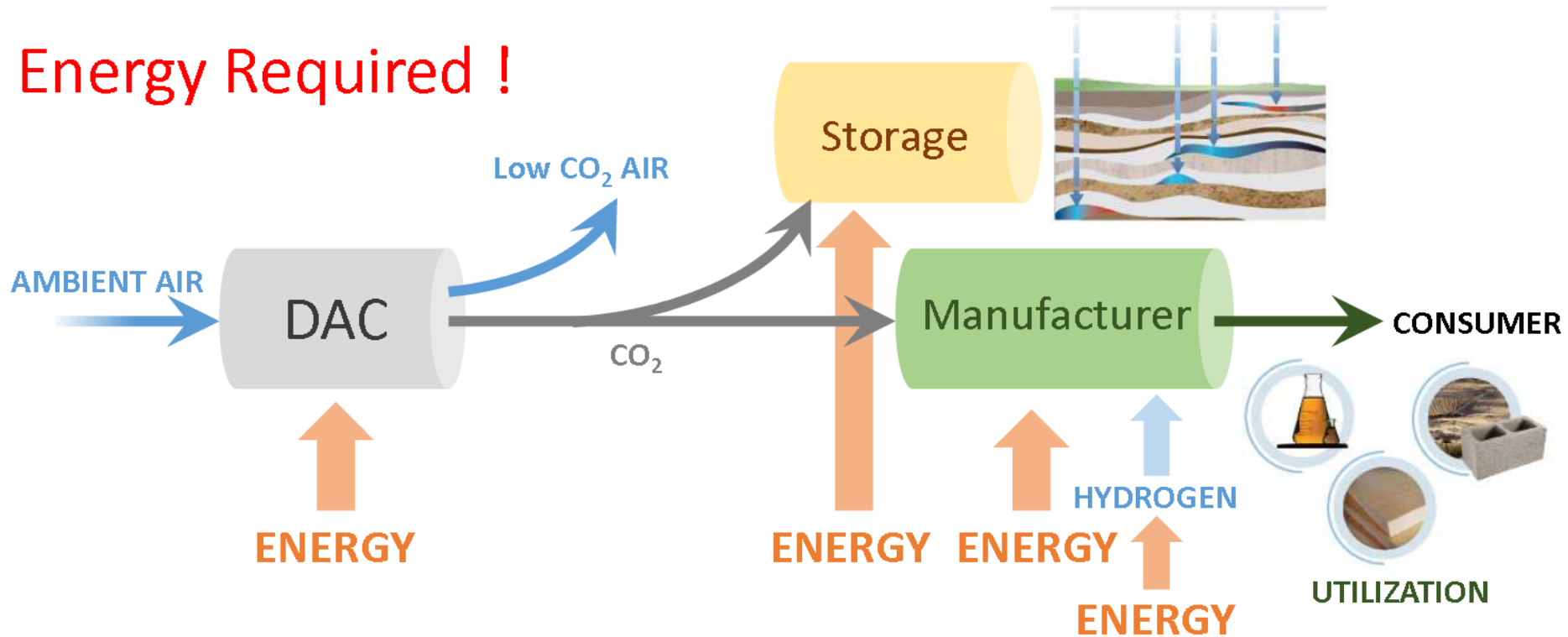


Relationship between cost and introduction amount of DAC

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

Direct Air Capture + CO₂ Utilization/CO₂ Storage

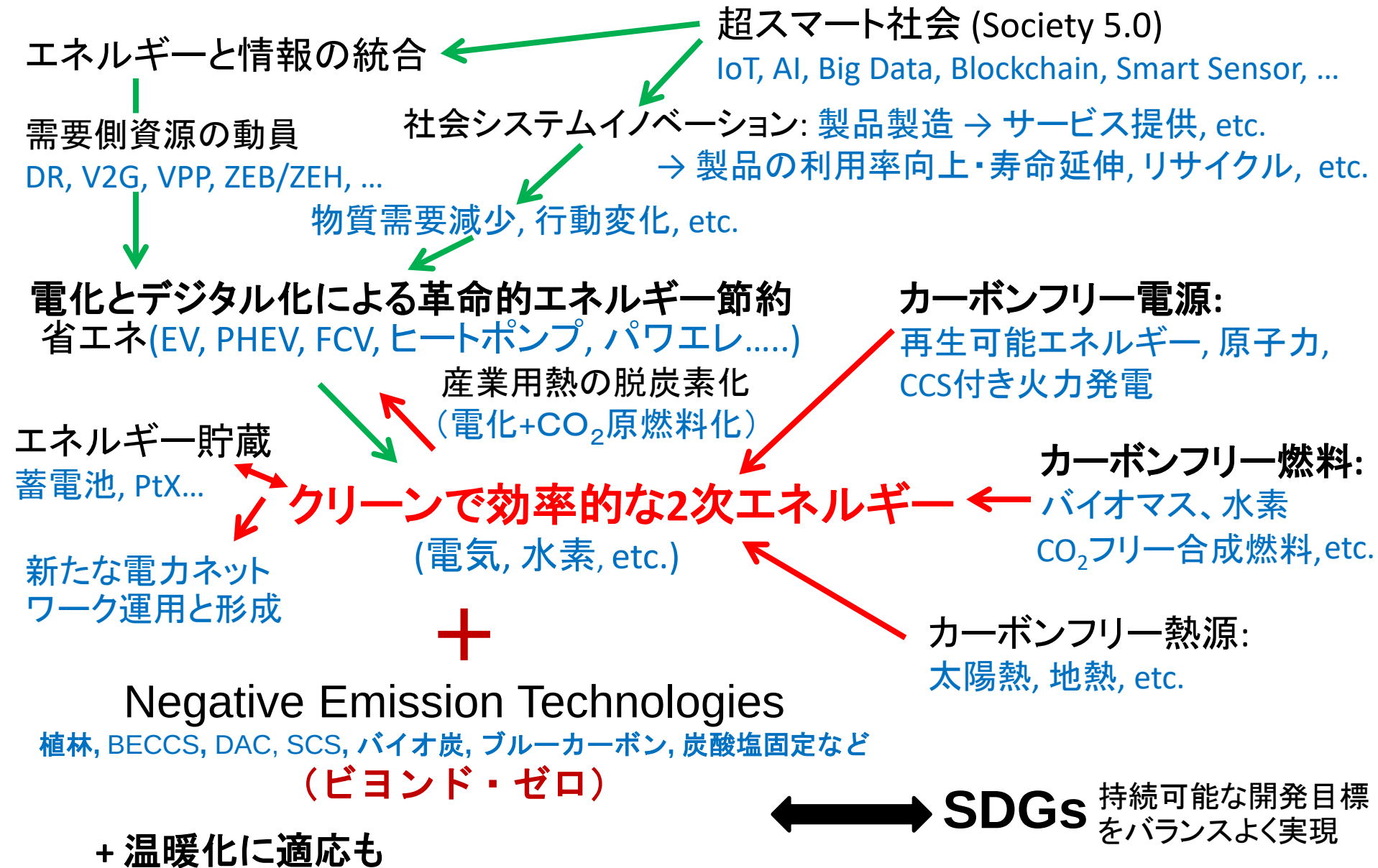
Energy Required !



Energy resource should be zero/low CO₂ emission

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

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!

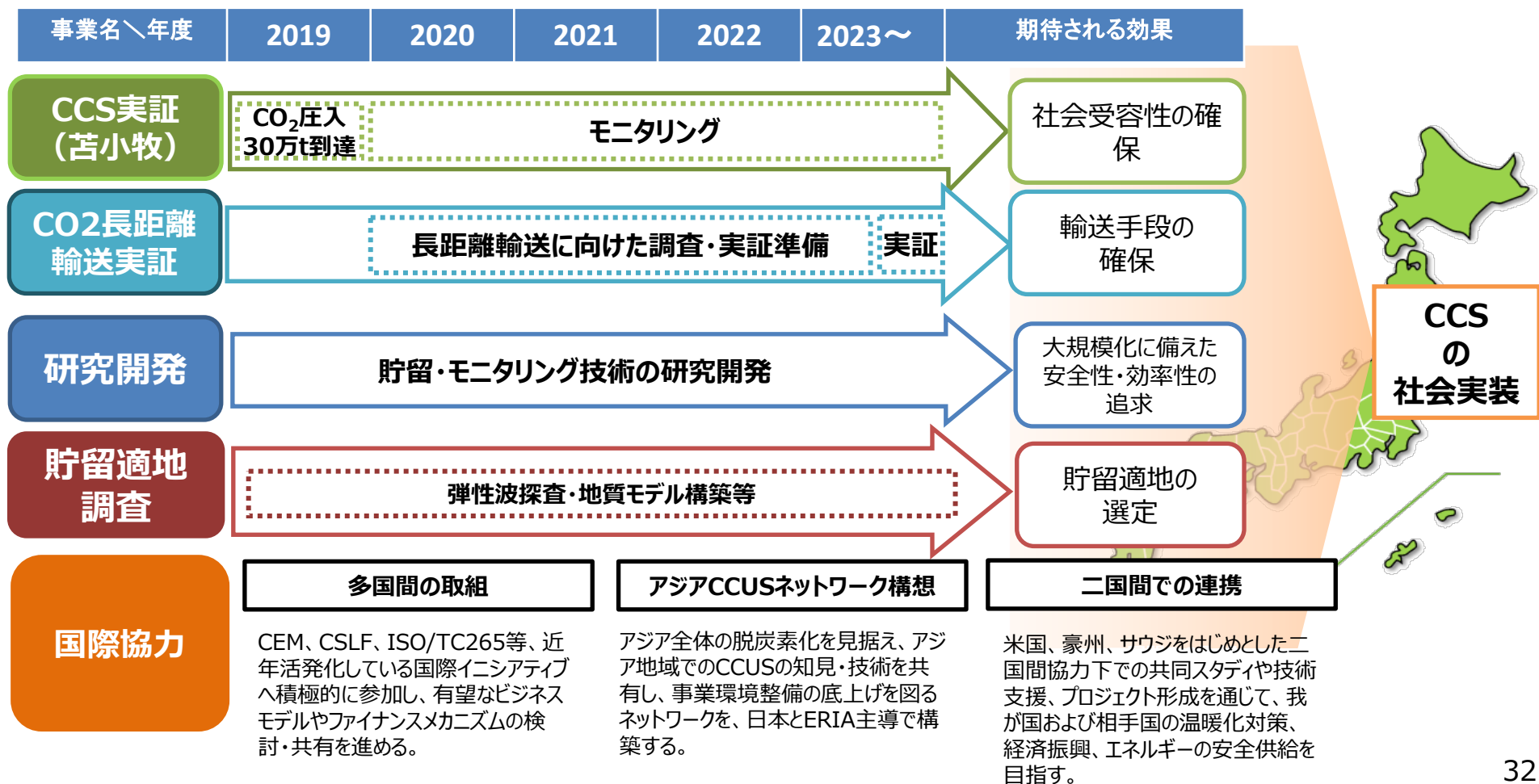
CCS社会実装に向けた取組み

1. CCSの取組概要
2. 苫小牧実証事業
3. CO2貯留適地の調査事業
4. CCS導入のあり方に係る調査事業

出所：「我が国の CCS 導入のあり方に係る調査事業」報告書、2020年3月、RITE
(METIホームページ掲載：https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000145.pdf)

1. CCSの取組概要_CCSに係る取組と今後の方向性

- パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略に沿って、
- CCS技術の2020年頃の実用化、2030年までの商用化、社会実装を見据え、
- ①苫小牧における大規模CCS実証、②CO₂長距離輸送実証、③カーボンリサイクルとの連携、④貯留・モニタリング技術の研究開発、⑤CO₂の貯留適地の調査を実施



1. CCSの取組概要_ CCSの実現に向けた課題

① 技術的確立

一貫した基礎技術は確立。将来の大規模化に向けて技術的課題も存在

【分離回収】基礎技術は確立。CO2回収率の向上と低コスト化、エネルギー効率の向上が課題。

【輸送】日本では船舶輸送が不可欠であり、世界でも実施例が少ない。

【貯留・モニタリング】陸域貯留、陸域からの海底下貯留技術は実証済み。海上から海底下貯留技術の確立。

② コスト低減

分離回収コストの低減と、CO2チェーンの効率化による全体のコスト低減が鍵

【分離回収】CCUS/カーボンリサイクルのコストの太宗を占める分離回収技術の進展によるコスト低減が不可欠。

【輸送】将来の大規模輸送に向けて、排出源の集積と幹線ネットワークの構築によるハブ＆クラスターによって、全体としてのCCS輸送のコスト低減が必要。

【貯留・モニタリング】掘削・貯留の低コスト化が必要。モニタリングの緻密化、自動化、低コスト化等が必要。

③ ポテンシャル拡大

CCSは貯留適地の選定と貯留量拡大が課題

【貯留適地の調査】日本に貯留可能な貯留ポテンシャルは約1500～2400億トンだが、探査・調査井の掘削等を通して、より精緻な貯留適地の特定が必要。さらに、経済性・社会的受容性を考慮して、適地の選定は必要。

【年間のCCS可能量】掘削井1本あたりの年間の貯留可能量は限界があり、圧入井の本数の確保が重要。また、輸送ネットワークの整備も必要。

④ 事業環境の整備

CCSを実施する際の法整備・ビジネスモデルの検討が必要。

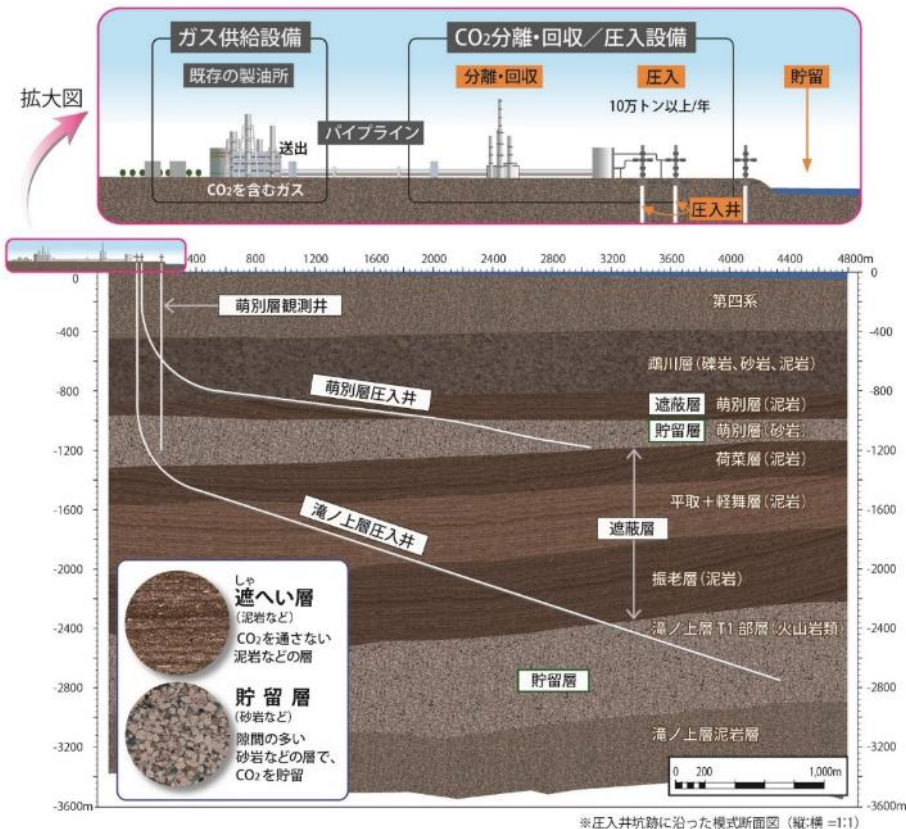
【事業環境の整備】CCUSに特化した法令がなく、様々な法律を適用法規としているため、手続きが煩雑かつ過剰なコスト負担。さらにモニタリングに永続義務があり、民間企業が参入しにくい。

【政策支援】日本では低コストで実現可能なEORが困難な中、政策的な支援によるインセンティブが必要。また、CCSの事業リスクもあるため官民の役割・コスト分担を含めた議論が必要。

2. 苦小牧実証事業

- 実用規模でのCCS実証を目的とした、我が国初の大規模CCS実証試験。
- 2012年度から2015年度に実証設備を建設し、2016年度からCO2圧入を開始。地域社会と緊密に連携を取りつつ、2019年11月に累計圧入量30万トンを達成。
- 都市圏近辺で地元の理解を得ながら、安全かつ安心に操業を完了できたのは世界でも有数の事例。

苫小牧CCS実証試験の全体像



苫小牧CCS実証試験の施設の概要



2. 苫小牧実証事業【課題】CCS事業環境整備の必要性

●CCSへの民間参入障壁を下げるためには、以下のような観点から事業環境整備が必要。

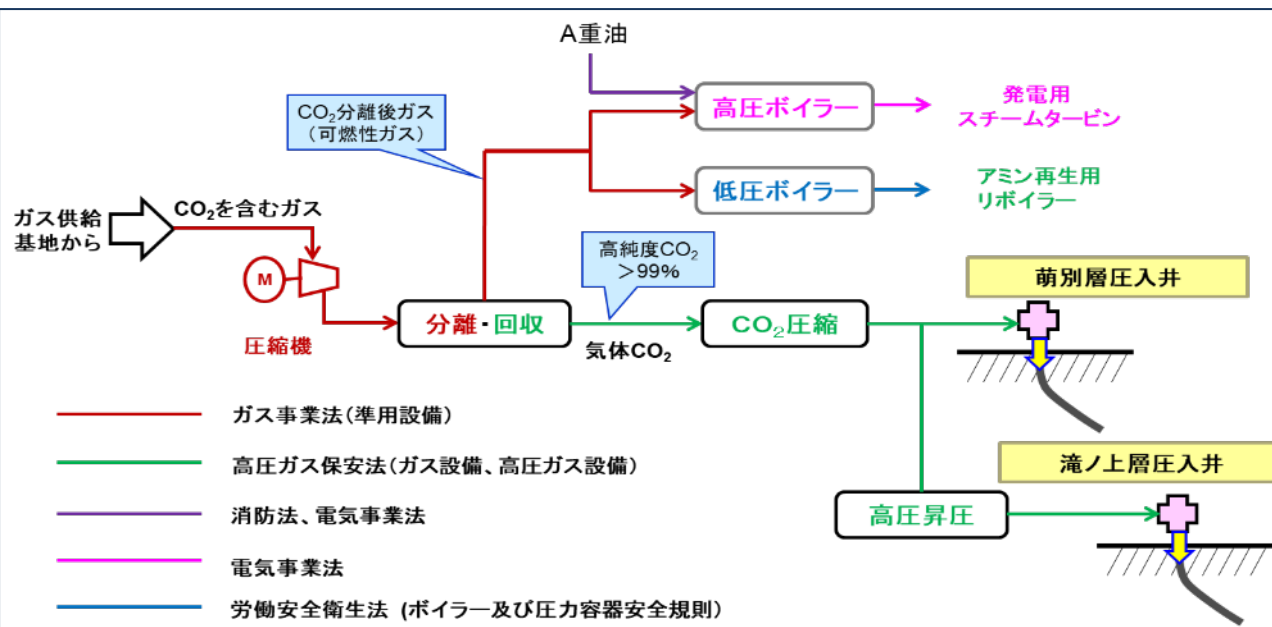
(1) CCSに特化した法律がない

操業のために、高圧ガス保安法、労働安全衛生法、ガス事業法、鉱業法、鉱山保安法、海洋汚染防止法など各種法規に対応する必要がある。

(2) 貯留地点及び貯留CO₂に係る長期的責任

CO₂圧入後の長期的責任とその移管の主体が定められておらず、唯一海洋汚染防止法において、CO₂が地中貯留（廃棄）されている限り実施者が監視を続けることが示されている。（無期限の貯留サイト運用責任）

地上設備の適用法規（苫小牧CCSの事例）



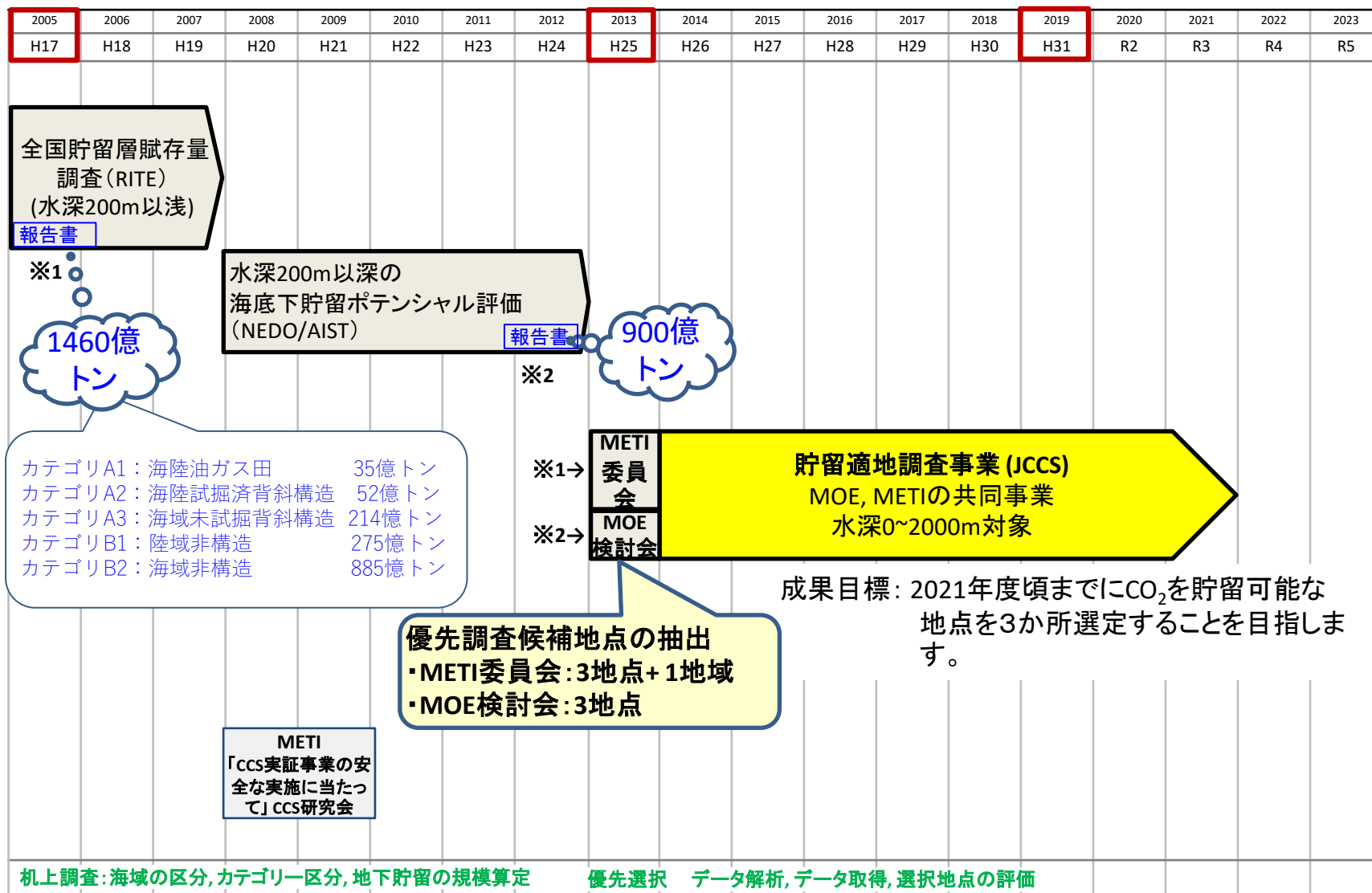
事業者からの国への責任移管

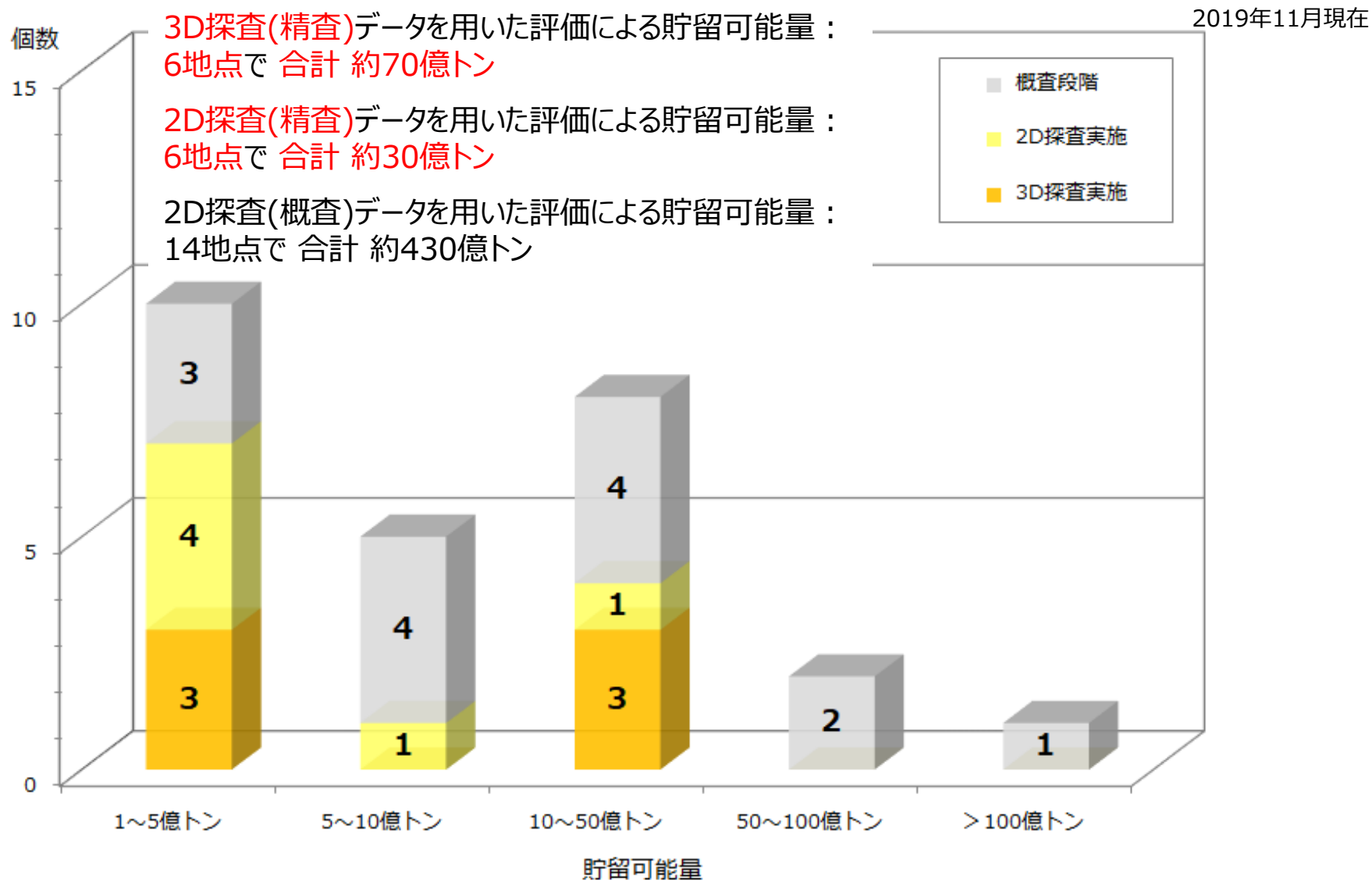
責任移管までの経過期間

EU CCS指令	最低 20 年 (加盟国によっては30年)
豪州 連邦法	最低 15 年
米国 モンタナ州の例	最低 15 年
日本 海洋汚染防止法	永続

3. CO2貯留適地の調査事業_ 貯留可能量評価の経緯

36





4. CCS導入のあり方に係る調査事業

① CCS事業の制度設計のあり方調査 海外CCSプロジェクトの状況

		地域	EOR	補助金	回収コスト 相対的に低い	税控除など	法規制など	炭素税	輸送&貯留コスト 相対的に低い	国有企業	事業体制 (垂直統合)
1	Terrell	米	●		●				●		
2	Enid Fertiliser	米	●		●				●		
3	Shute Creek	米	●		●		●		●		
4	Sleipner	ノルウェー	(帯水層貯留)		●			●	●	●	●
5	Great Plains	カナダ	●		●						
6	Snøhvit	ノルウェー	(帯水層貯留)		●		●	●		●	●
7	Century Plant	米	●		●	●					
8	Air Products SMR	米	●	●		●					
9	Coffeyville	米	●		●	●					
10	Lost Cabin	米	●		●	●					
11	Petrobras Santos	ブラジル	●		●				●	●	●
12	Boundary Dam	カナダ	●	●			●		●	●	
13	Quest	カナダ	(帯水層貯留)	●		●					●
14	Uthmaniyah	サウジアラビア	●		●				●	●	●
15	Abu Dhabi CCS	UAE	●						●	●	
16	Illinois Industrial	米	(帯水層貯留)	●	●	●			●		●
17	Petra Nova	米	●	●		●					
18	CNPC Jilin	中国	●		●				●	●	●
19	Gorgon	豪州	(帯水層貯留)	●	●		●		●		●
20	ATCL with Sturgeon	カナダ	●	●	●						
21	ATCL with Nutrien	カナダ	●	●	●						
			16	8	16	7	4	2	11	7	8

出典: GCCSI, GLOBAL STATUS REPORT 2019等を基にRITEにて作成

回収コストが相対的に低い排出源とEOR目的の組合せが12件で過半数を占める。

4. CCS導入のあり方に係る調査事業_ CCS関連の法的課題

- CCSの広範な普及のためには技術的進展と共に、CCSの実施に関連した法規制の整備が不可欠である。IEAは、CCS実施の際の法規制の課題を次のように挙げている。それらの中で特に以下を重要としている。

- ① 貯留サイトおよび貯留CO₂に係る長期的責任の主体
- ② 空隙空間の所有権および地中利用に関する競合の調整
- ③ 貯留サイトの閉鎖後管理の国あるいは事業者の資金負担

一般的な課題	既存法適用に関する課題	CCS特有の課題	新興の課題
• CO₂の分類（廃棄物、危険物、等） • 所有権 • 地中利用の競合・優先権 • CO₂の越境移動 • 海洋環境保護の国際法 • 気候変動緩和策としてのCCSへのインセンティブ付与	• 健康保護 • CO₂流の組成 • 環境影響評価 • 貯留サイト及び輸送インフラへの第三者アクセス • パブリックエンゲージメント	• CO₂回収 • CO₂輸送 • 制度枠組みの範囲と禁則 • 用語の定義 • 貯留サイトの探査許可 • サイト選定と特性把握調査の規制 • 貯留活動の許可 • プロジェクトの査察 • モニタリング、報告、検証 • 是正措置と回復措置 • プロジェクト期間中の法的責任 • 貯留サイトの閉鎖許可 • 閉鎖後の法的責任 • 閉鎖後管理の資金負担	• 実施期間中の知見・情報の共有 • CCSレディ • バイオマスCCS • CCSによる炭化水素類増産の理解

4. CCS導入のあり方に係る調査事業

② CCS事業の制度設計のあり方調査_ 海外のインセンティブ施策

各国で導入されているインセンティブ施策は、大別すると「金銭的施策」、「事業リスク軽減施策」に分類される。

「金銭的施策」は、CCS導入に必要となる資金の直接提供や、税制を優遇することにより間接的にコストを補填することで、高コストなCCSの導入の障壁を低くすることで導入を促すものである

「事業リスク軽減施策」は、貯留したCO₂の漏洩リスクや貯留に伴う誘発地震への責任などCCS事業がもつリスクを軽減するために、複数の事業者・政府でシェアすることや、長期にわたる管理責任を政府が受け持つことで、CCS導入を促すものである。

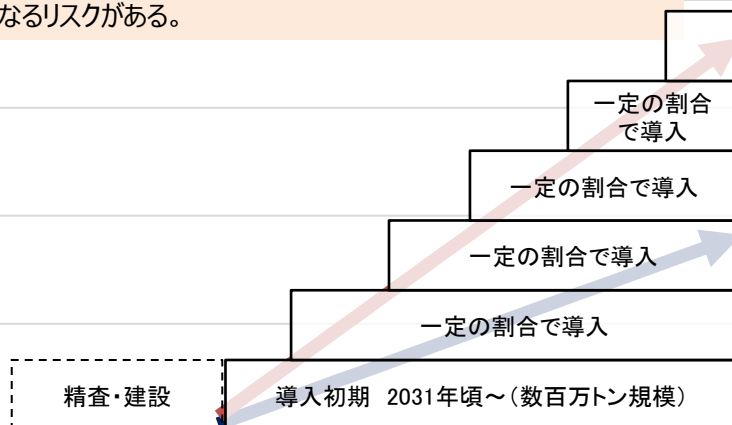
概要	具体的な施策	代表的な導入例
直接資金を提供したり、CCS導入に対して税制優遇をすることで <u>コスト補填</u> をし、CCS導入の障壁を小さくして、CCS導入を促す	建設・運用補助金	米国、カナダ、アルバータ州
	研究・開発資金支援	EU NER300、イノベーション基金（旧NER400）
	税制優遇	米国45Q
	債務保証	米国
	差額決済契約	英国電力市場
事業リスクを複数の事業者・政府でシェアしたり、長期にわたる責任を政府が受け持つことで、個別事業者が抱える <u>リスク</u> を軽減しCCS導入を促す	リスクシェアリング	South West Hub CCS Project（豪）
	長期的責任移管	EU、米国、豪州

4. CCS導入のあり方に係る調査事業

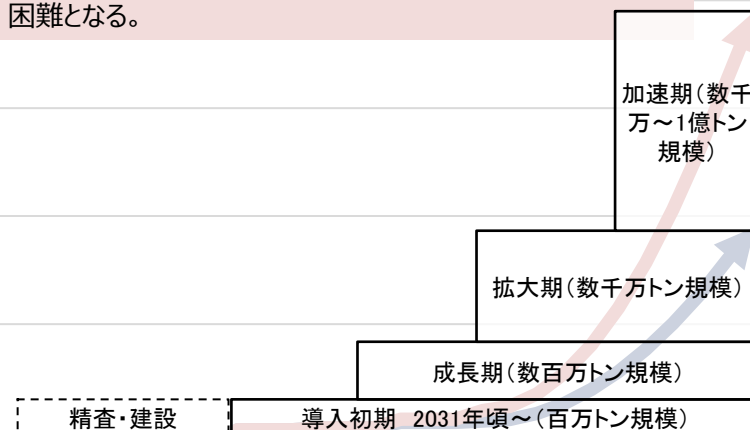
③CCSコスト低減と事業リスク低減を両立するプロジェクトの実施可能性調査

- ✓ ①及び②の調査結果を参考に、国内におけるCCS導入シナリオを検討した。2030年以降から2050年に向け、一定割合で導入するシナリオ、経済性や技術動向等を確認しつつ徐々に拡大するシナリオが考えられる。
- ✓ 徐々に拡大するシナリオの方が、導入初期における設備投資が抑えられること、経済性や技術動向等を確認してから次の段階に入ることから座礁資産化による事業リスクの可能性が低く、より受け入れやすいケースとして認識された。

- 2050年に向け、確実に導入量を達成していくシナリオ。
- 一定割合での導入を進めるため、回収、輸送、貯留設備等の設備投資を順次進めていかなければならない。
- 脱炭素化技術（再エネ、水素、直接回収等）の動向、政策変化によっては、将来においてCCSの必要性が低下し、先行投資（回収設備、輸送設備、貯留設備）が座礁資産となるリスクがある。



- 投資コスト、地点開発等、着手しやすい事例から始めるシナリオ。
- 経済性、社会受容性等のCCS導入のための環境が十分整った段階で、次の段階へ進む。
- このケースでは、投資が後半に集中するため、十分にコストが下がらなければ、2050年に1億トン～2億トン規模の導入は困難となる。



4. CCS導入のあり方に係る調査事業

③CCSコスト低減と事業リスク低減を両立するプロジェクトの実施

－ 可能性調査Low-hanging fruit プロジェクトの可能性 －

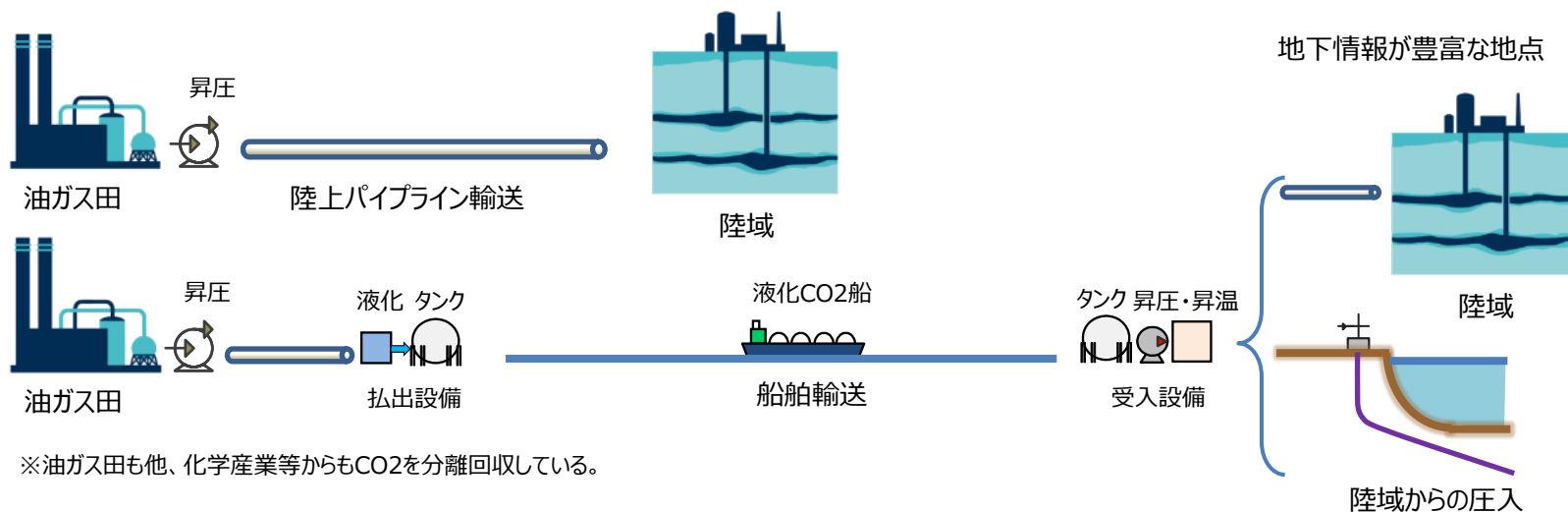
- 国内においてCCSの導入の障壁を下げる事が期待できるプロジェクト（Low-hanging fruit プロジェクト）の可能性について、公開資料を中心に調査を実施。
 - **排出源**
 - ✓ 国内においても、油ガス田、エチレンオキサイドプラント、アンモニアプラント等の非エネルギー起源のCO₂を回収して、液化CO₂およびドライアイスを製造するビジネス（市場は年間100万トン程度）が存在している。現在CO₂市場はタイトであり余剰はないが、検討の基礎資料として、これらの設備を対象とした。
 - **貯留地点**
 - ✓ 円滑にCCSを導入するためには、現時点において、貯留地点の地下構造や貯留性能に関する情報がある程度揃っていることが望ましい。国内において地下情報が豊富な地点として、油ガス田（閉山した油ガス田を含む）を対象とした。
- 注）分離・回収および貯留地点開発の追加コストが少ない等、着手しやすいCCSプロジェクトをLow-hanging fruit プロジェクトとした。

4. CCS導入のあり方に係る調査事業

③CCSコスト低減と事業リスク低減を両立するプロジェクトの実施 －（検討例）CCS導入イメージ（導入初期）－

油ガス田 + 輸送（PL・船） + 油ガス／その他地下情報が豊富な地点

- 貯留地点をガス田とし、そこから一番近い排出源として、油田を想定した。貯留地点、排出源ともに陸域にあり、同一地域の場合、輸送距離は比較的近距离になると想定されるため、輸送手段は、パイプライン輸送がコスト効果的と考えられる。このケースは最もシンプルなケースになると見込まれる。ただし、規模（CO2回収量）は大きくない。
- 貯留地点、排出源が同一地域に無い場合、輸送距離が長くなると想定される。数百kmを超えると、船舶輸送がコスト効果的となる。船舶輸送のためには港湾設備の整備が必要となる。



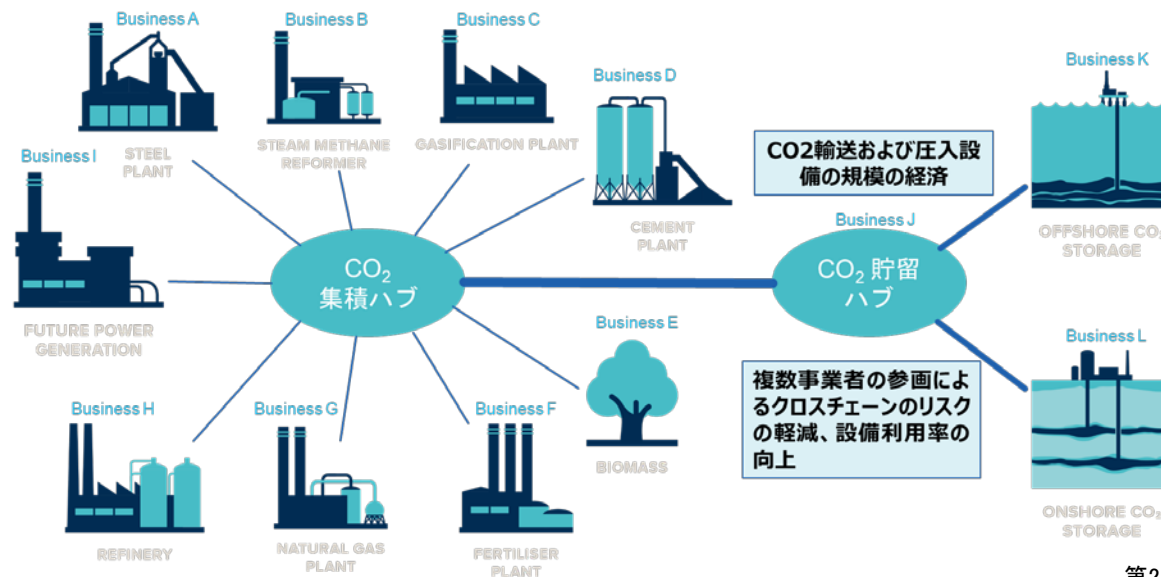
第2回検討会（GCCSI）資料より図を引用

4. CCS導入のあり方に係る調査事業

③CCSコスト低減と事業リスク低減を両立するプロジェクトの実施 －（検討例）CCS導入イメージ（加速期）－

加速期のプロジェクトのイメージ（2045年頃～2050年頃）

- ・ ハブ＆クラスターによる更なる拡大によるコスト低減のアイデア
- ・ 貯留地点も複数になる（水深の深い地点でも経済的にCCSが実施可能な状況になると想定）
- ・ 各地に輸送設備（都市近郊にある大規模排出源を結ぶパイプライン網、輸送船舶基地）が整備され、様々な排出源からのCO₂を処理。
- ・ CCSの規模の拡大に伴い、船舶輸送をはじめとして、CCSに係る人材確保も重要。

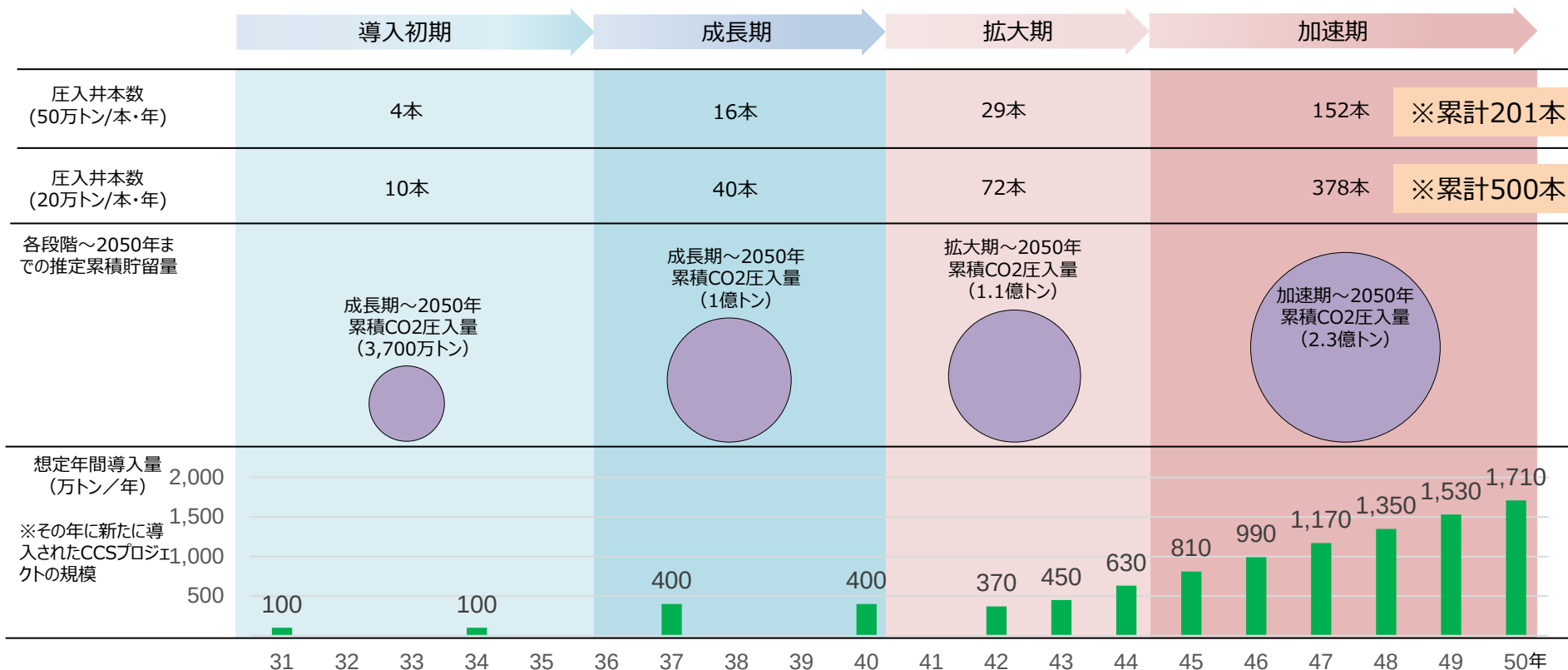


第2回検討会（GCCSI）資料より引用

(参考) 各段階の規模感のイメージ

③CCSコスト低減と事業リスク低減を両立するプロジェクトの実施

- 2050年時点で、CO₂を年間1億トン圧入する場合に必要な圧入井戸本数は、圧入レートを50万トン／年・本とすれば200本程度、圧入レートを20万トン／年・本とすれば500本程度と見込まれる。



4. CCS導入のあり方に係る調査事業_課題の整理(抜粋)

① 貯留地点

地点選定は、地下の不確実性による事業リスクの影響が将来の貯留事業者に強く関わることを考慮すると、官民の役割分担を明確にした上で、将来の貯留事業者となる者が進めることが相応しいと考えられる。

地点選定には多くの費用と期間を要し、さらに鉱業権者との調整や地域住民への説明等、社会の理解も欠かせない。そのため国の役割が重要。

② 輸送

将来のCCS普及、商用化のためには、大規模CCSを想定した輸送技術（パイプライン、船）の確立が求められる。

③ 官民の役割分担、事業モデル（ビジネスモデル）

CCSを民間事業者で行う場合、想定される事業リスクを緩和するための条件整備やリスクに見合うリターンの見通し、経済合理性などが確立されていることが必須である。CCS事業モデルについては、CO₂輸送と貯留プロセスは共有インフラとして整備されることが効率的である。また、貯留では、長期的責任を民間事業者が担いうるか、慎重な検討が必要である。官民の責任分担を明確にするためには、国内におけるCCSはどのようなケースであるのか、実施体制を含めた議論をスタートさせることが重要である。

④ 事業環境整備（インセンティブ施策、法整備）

CCSは環境対策に特化した技術のため外部不経済である。CCSを実施する場合には、追加コストのギャップを埋める施策が必要となる。民間事業者にとっては、CCS事業への投資判断を行うためには、事業の予見性を高めるためのCCS推進を目的とした包括的な法整備が望まれる。

⑤ 研究開発

CCS事業の低コスト化はCCS普及における必要条件であり、そのための技術開発を継続して進めるべきである。

⑥ ロードマップ

官民協力して実現性の高いロードマップの策定に早急に着手すると共に、具体的な進め方を示したアクションプランを作成し、それを官民で共有することが重要である。

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