BOSTON CONSULTING GROUP

令和3年度
地球温暖化・資源循環対策等に資する調査委託費（カーボンニュートラルに向けた我が国の産業構造及び諸外国の気候変動政策に係る分析・調査事業）

報告書

令和4(2022)年3月28日

経済産業省
Ministry of Economy, Trade and Industry

背景及び事業目的

2020年10月、日本は、「2050年カーボンニュートラル」を宣言した。
また、2021 年 4 月には、2030年度の新たな温室効果ガス削減目標として、2013年度から46%削減することを目指し、さらに50%の高みに向けて挑戦を続けるとの新たな方針も示された。
こうしたなか、温暖化への対応を経済成長の制約やコストとみなすのではなく成長の機会と捉え、「経済と環境の好循環」を作っていく産業政策として、経済産業省は、関係省庁と連携し、「グリーン成長戦略」を策定した。

気候変動問題は地球規模の課題であり、このような世界情勢・市場変化の中で我が国が自国での取組を促進しつつ、世界の気候変動問題解決に貢献し、グリーン成長を実現していくためには、常に新たな取り組みが打ち出され変化している国際状況をリアルタイムかつ正確に把握することが重要である。加えて、世界の気候変動を中心とした市場変化の状況を踏まえて、「経済と環境の好循環」によるグリーン成長を実現するような政策立案が必要である。

Source:経済産業省「令和3年度地球温暖化・資源循環対策等に資する調査委託費（カーボンニュートラルに向けた我が国の産業構造及び諸外国の気候変動政策に係る分析・調査事業）」の仕様書 資料番号 2)

そこで、本事業では、その政策立案にあたり必要な以下項目を行うことを目的とする

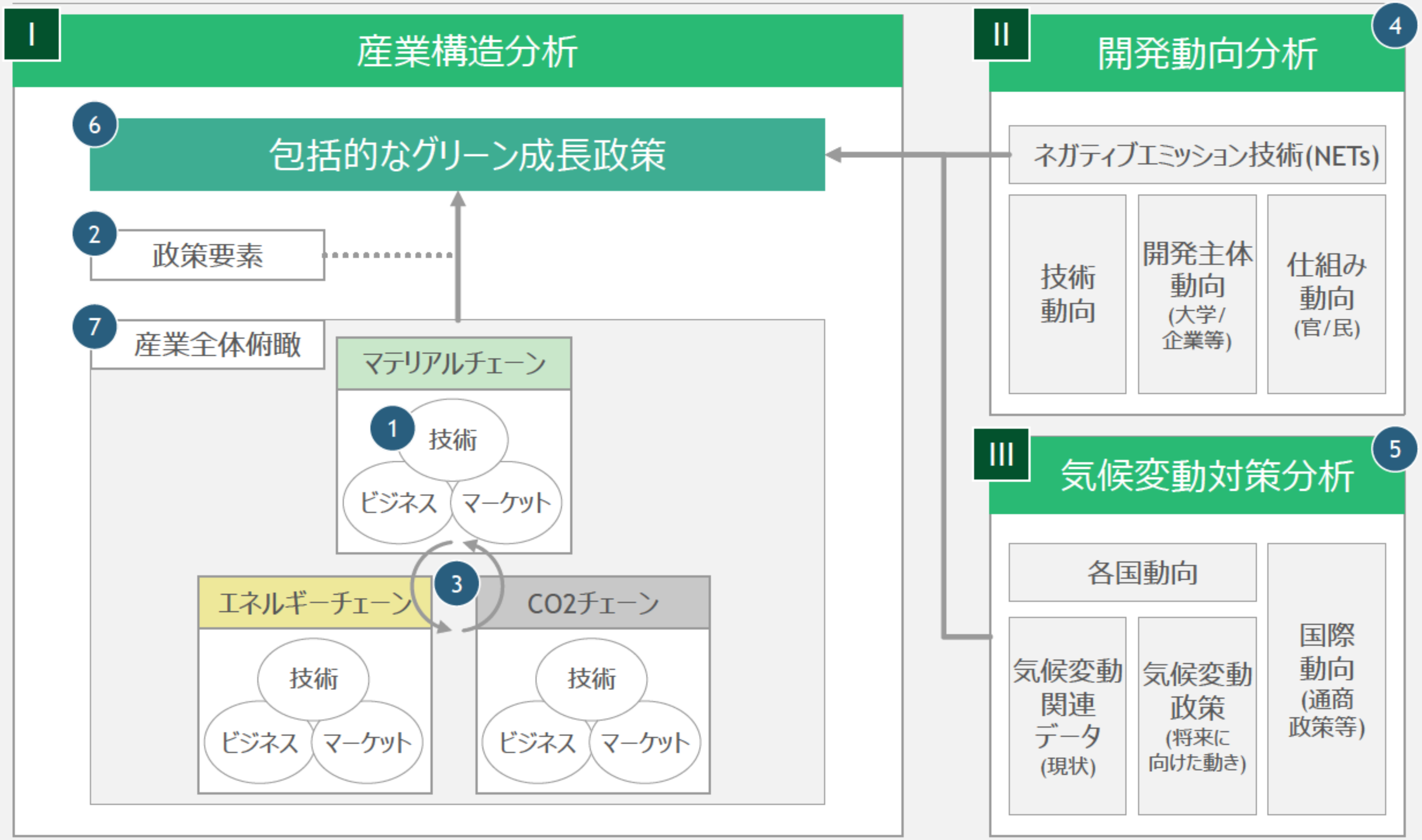
1. CNに伴い想定される産業構造変化の分析
2. 産業構造変化を受けて求められる戦略の実現のために必要となる政策の整理
3. 産業構造変化を受けて求められる戦略の実現可能性の分析(必要となる資源の調査・分析)
4. 未来の産業育成に向けた取組の調査・分析
5. 気候変動に係るデータ・関連政策動向の調査・分析等
6. 我が国の包括的なグリーン成長政策の検討
7. 俯瞰的産業構造全体分析

本プロジェクトの全体像

仕様書記載の業務内容

1. CNに伴い想定される産業構造変化の分析
2. 産業構造変化を受けて求められる戦略の実現のために必要となる政策の整理
3. 産業構造変化を受けて求められる戦略の実現可能性の分析(必要となる資源の調査・分析)
4. 未来の産業育成に向けた取組の調査・分析
5. 気候変動に係るデータ・関連政策動向の調査・分析等
6. 我が国の包括的なグリーン成長政策の検討
7. 俯瞰的産業構造全体分析

本プロジェクトにおける各業務の関係性(BCG整理)



Source:経済産業省「令和 3年度地球温暖化・資源循環対策等に資する調査委託費（カーボンニュートラルに向けた我が国の産業構造及び諸外国の気候変動政策に係る分析・調査事業）」の仕様書 資料番号 2); BCG

本報告書構成

(参考) 産業俯瞰分析イメージ

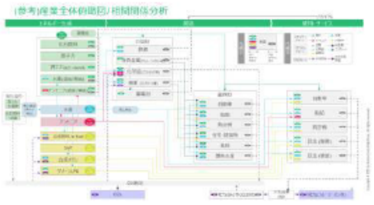
関係性の明確化	「需要」・「供給」個々の分析	「需要」×「供給」分析

需要面の分析

供給面の分析

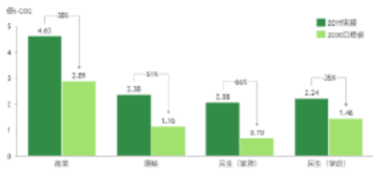
0 産業俯瞰図

- 産業間の相関をマッピング



1 断面ごとの脱炭素必要量

- 産業別・断面別の脱炭素必要量を明確化

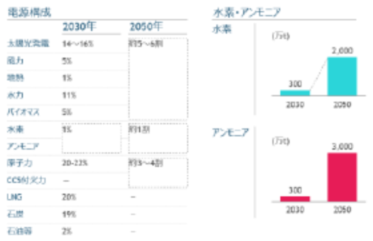


2 脱炭素手段構成比

- 産業ごとの特性を鑑みた脱炭素手段の進展を想定

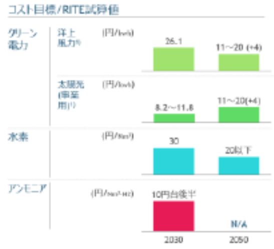
3 脱炭素資源の供給可能量

- 政府目標値や、主要な試算値の供給量を整理



4 脱炭素資源「価格」

- 政府目標値や、主要な試算値の価格を整理



5 需給ギャップ検証

2030年:クリーン電力(イメージ)

供給量	需要量	
	分野	必要量
xxTwh	鉄鋼	xxTwh
	非鉄金属	xxTwh
	化学	xxTwh
	⋮	

6 設備投資額算出

2030年: グリーン水素(イメージ)

	2030	2040	2050
需要量	Xx万t	Xx万t	Xx万t
× 単位コスト	Xx円/Nm3	Xx円/Nm3	Xx円/Nm3
× CAPEX比率	xxx	xxx	xxx
= CAPEX	Xx億円	xx億円	xx億円

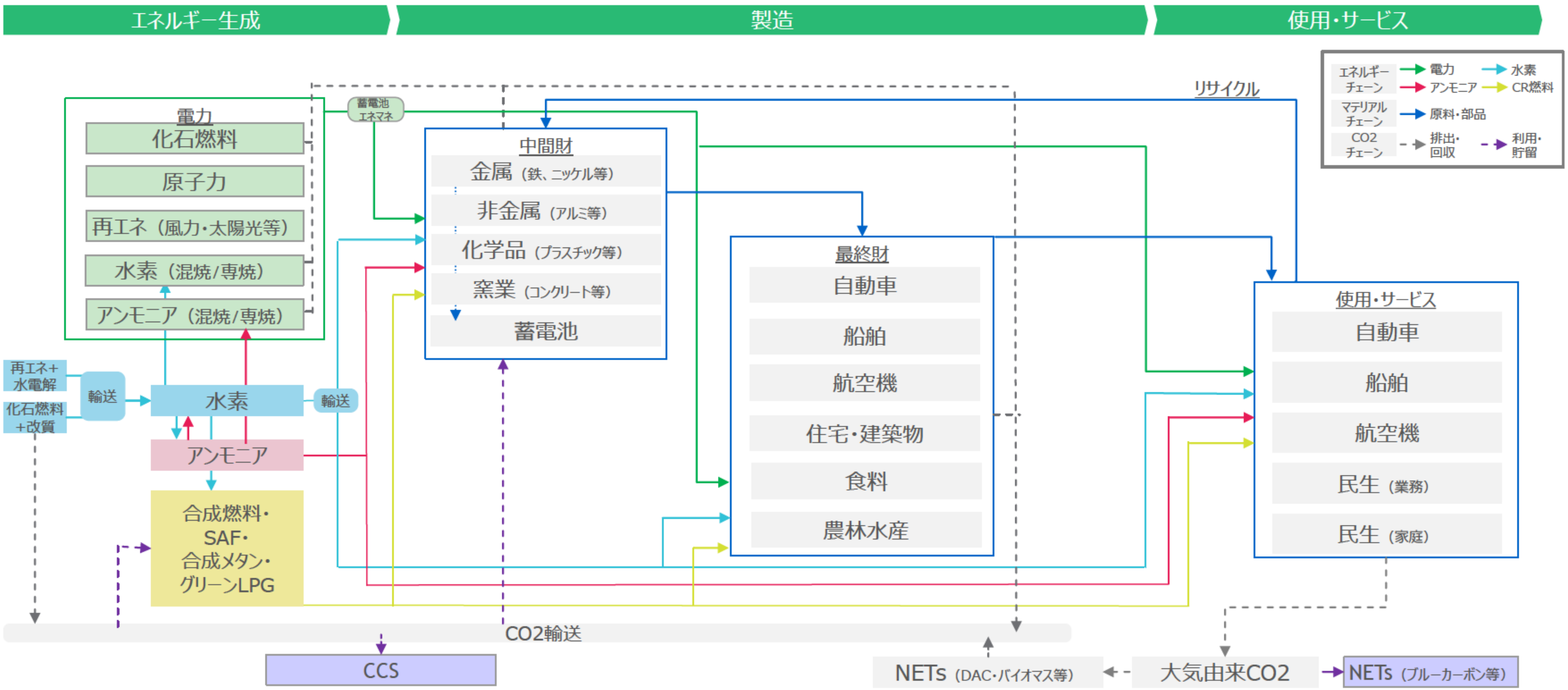
7 政策支援検討

- 目標コストと産業ごとのパリティコストの差分を抽出
- 上記差分に対して、産業ごとの脱炭素投資量を乗じて、追加コストを算出

Source: BCG

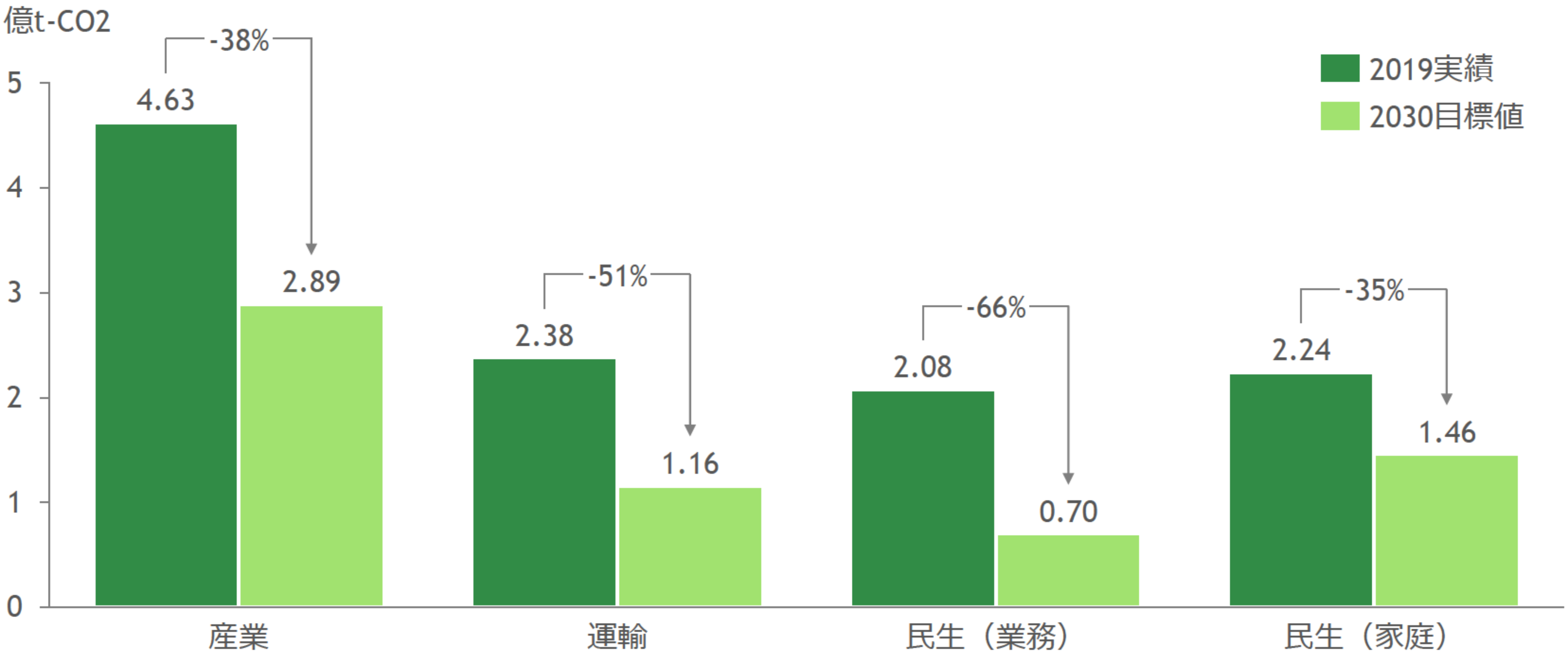
0 エネルギーチェーン、マテリアルチェーン、CO2チェーンを加味した俯瞰的な分析を検討

産業俯瞰図



Source: BCG分析

❶ 部門別CO2排出実績と目標値（公表情報の整理）



Note: エネルギー起源CO2のみを集計
Source: 環境省「地球温暖化対策計画(令和3年10月22日閣議決定)」(2021)

② 電力/熱需要に対する脱炭素手段は、クリーン電力化、水素化をはじめ大きく7つ存在

産業別の主な脱炭素手段 (概要)

需要	主要な脱炭素手段	各分野での可能性 (例示)							
		製造業			輸送			民生	
		鉄鋼	化学	自動車	自動車	船舶	航空	業務	家庭
二次エネルギ・電気	1 省エネ・効率化	燃費改善や業務効率化等							
	2 (電化+) クリーン電力化	電炉	電化 (ヒートポンプ)	電化 (ヒートポンプ)	EV	電動船	電動航空機	電化 (ヒートポンプ)	電力
一次エネルギー・熱需要	3 水素化	水素還元製鉄	熱需要	熱需要	FCV/水素エンジン	燃料電池船	水素航空機	熱需要	熱需要
	4 アンモニア化		ナフサ向け			アンモニア船			
	5 CR燃料利用	合成メタン	合成メタン	合成メタン	代替燃料/バイオ燃料	合成メタン	SAF	合成メタン	合成メタン/グリーンLPG
	6 リサイクル率向上	スクラップ利用 + 電炉	ケミカルリサイクル	蓄電池リサイクル					
	7 化石燃料 +CCUS	CCUS	CCUS	CCUS	DAC				

Source: BCG分析

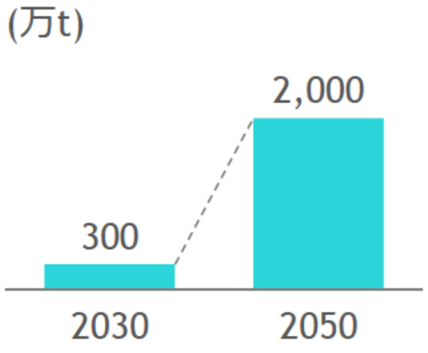
③ 各脱炭素手段の導入可能量/目標量 （公表情報の整理）

電源構成

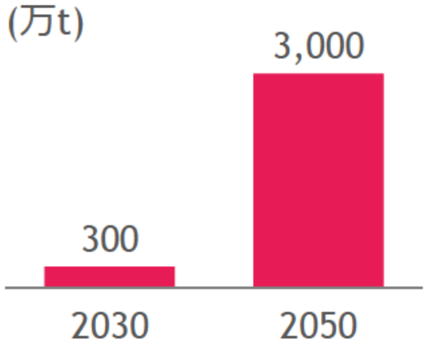
	2030年	2050年
太陽光発電	14～16%	約5～6割
風力	5%	
地熱	1%	
水力	11%	
バイオマス	5%	
水素	1%	約1割
アンモニア		
原子力	20-22%	約3～4割
CCS付火力	–	
LNG	20%	–
石炭	19%	–
石油等	2%	–

水素・アンモニア

水素

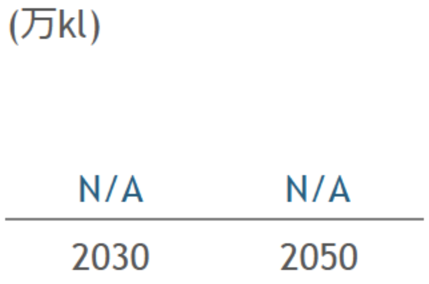


アンモニア

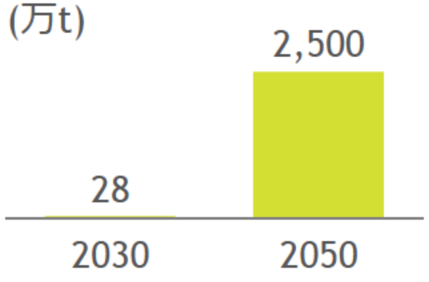


CR燃料

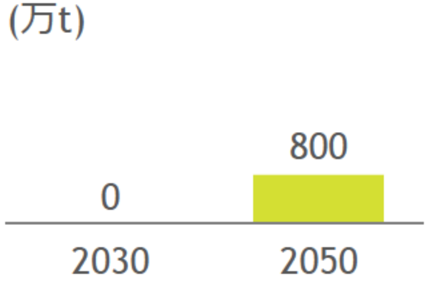
SAF



合成メタン

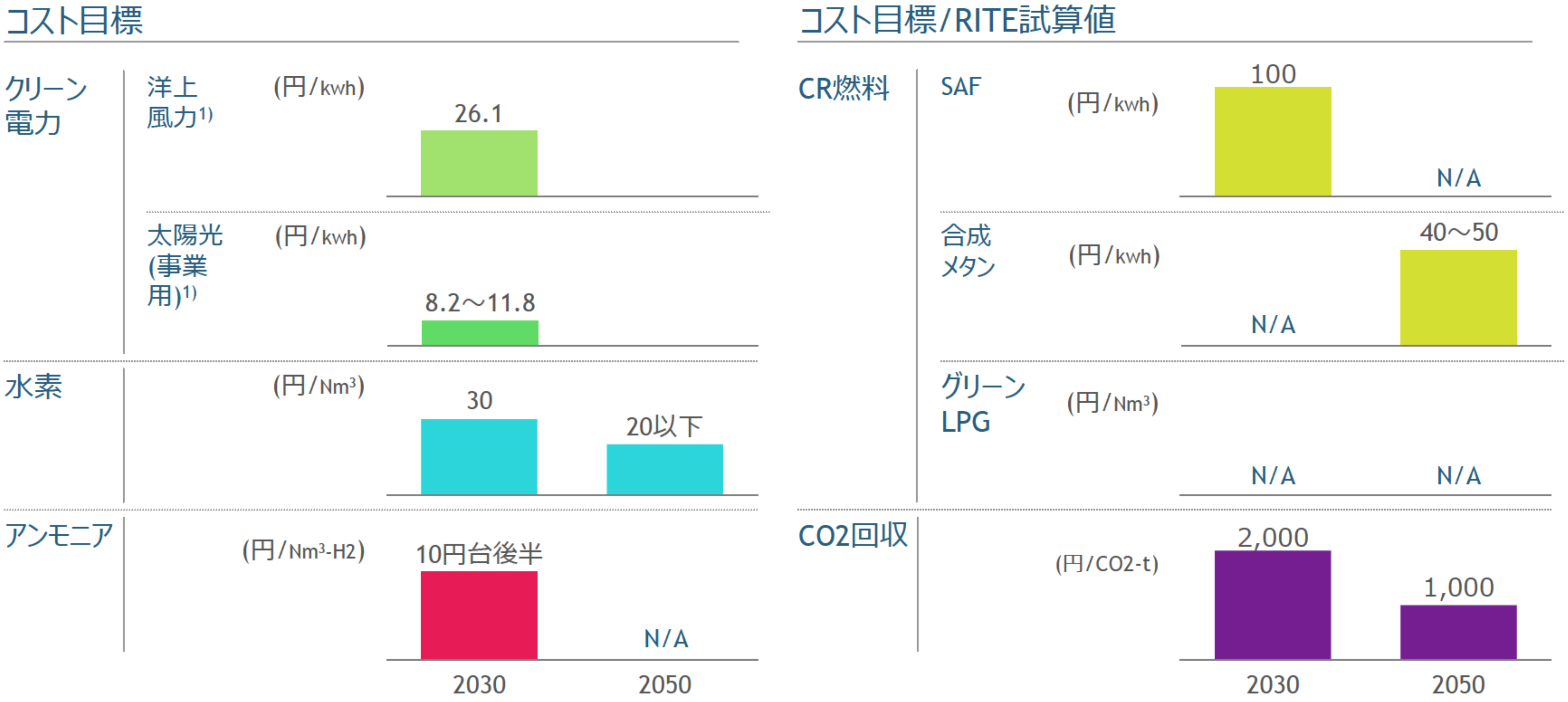


グリーンLPG



Source: 経済産業省「第6次エネルギー基本計画」(2021); 経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(2021); 経済産業省「グリーンイノベーション基金事業「CO_2等を用いた燃料製造技術開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画」(2021)

④各脱炭素手段の導入コスト目標/主な試算値（公表情報の整理）

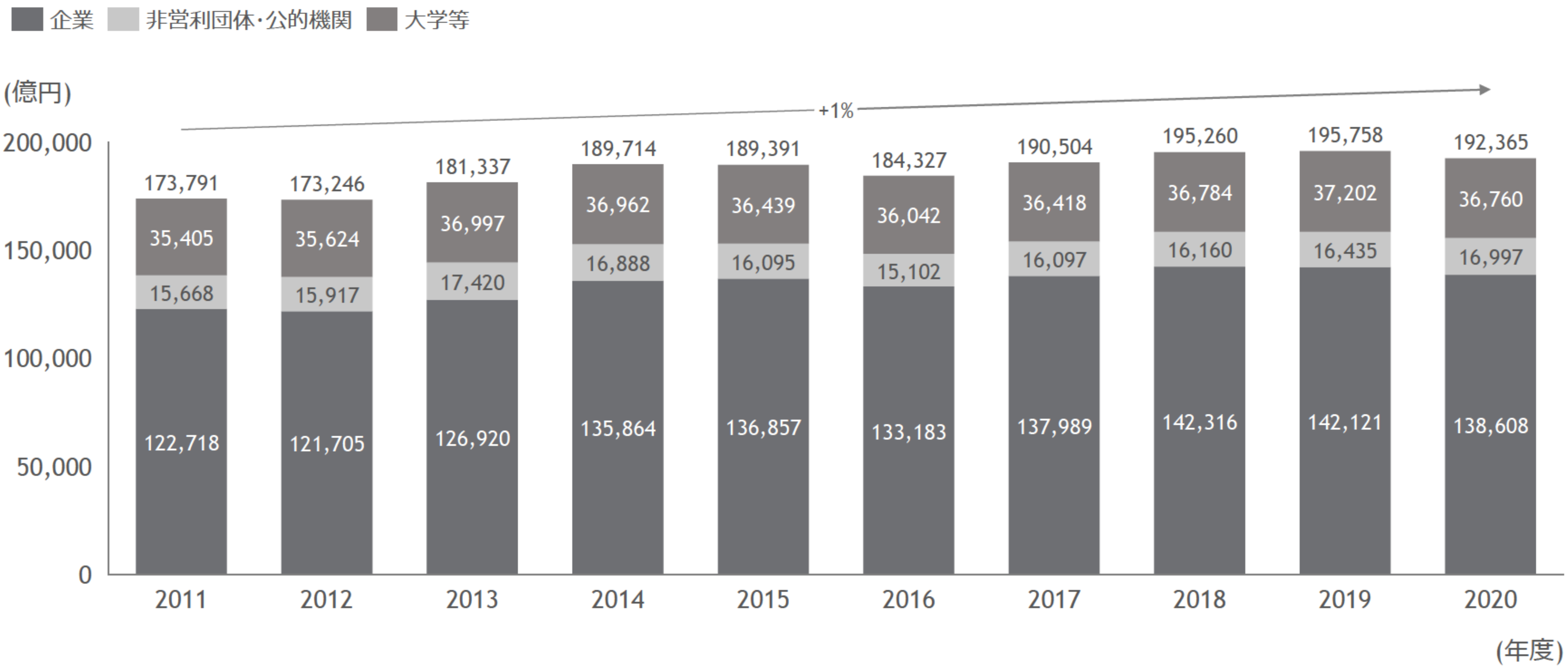


1. RITE分析においては、風力に関しては、陸上風力と洋上風力の合計値のみが、太陽光について事業用と家庭用のコストの合計値のみが示されている
Source:経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(2021); 経済産業省「第8回 発電コスト検証ワーキンググループ事務局資料」(2021)

6 (参考) 2020年はコロナ禍で減速したが、概ね研究費は拡大傾向

足元の研究開発費の推移

研究主体別研究費の推移



Source: 総務省「科学技術研究調査」(2021); BCG分析

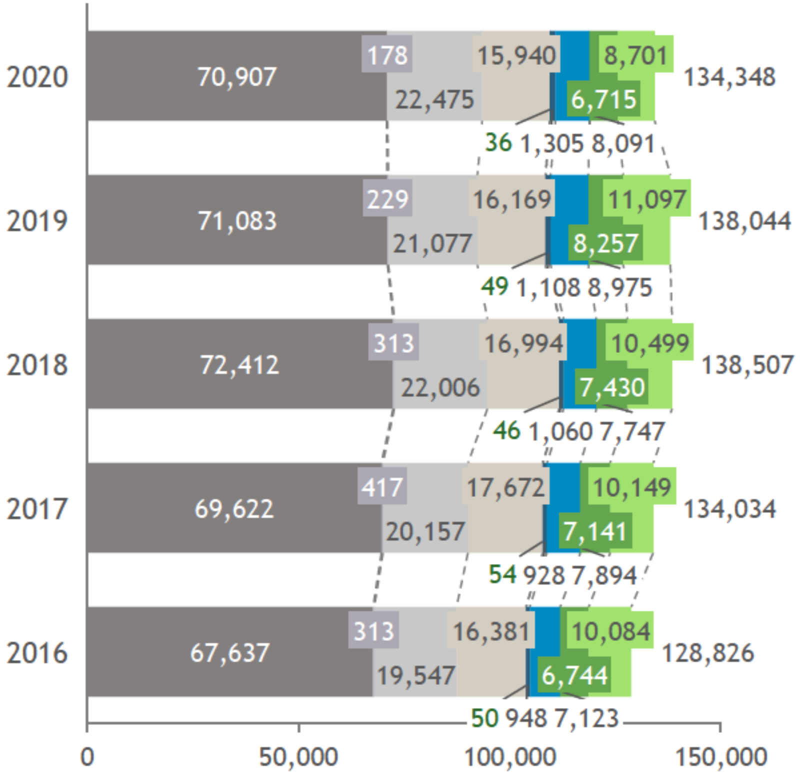
6 (参考) 非営利団体・公的機関や大学等は環境・エネルギーともに拡大傾向、民間企業もコロナ禍前までは拡大傾向

足元の研究開発費の推移: 研究主体別

不明 / 情報通信 / 海洋開発 / 物質・材料 / 環境 / 宇宙開発 / ライフサイエンス / ナノテクノロジー / エネルギー

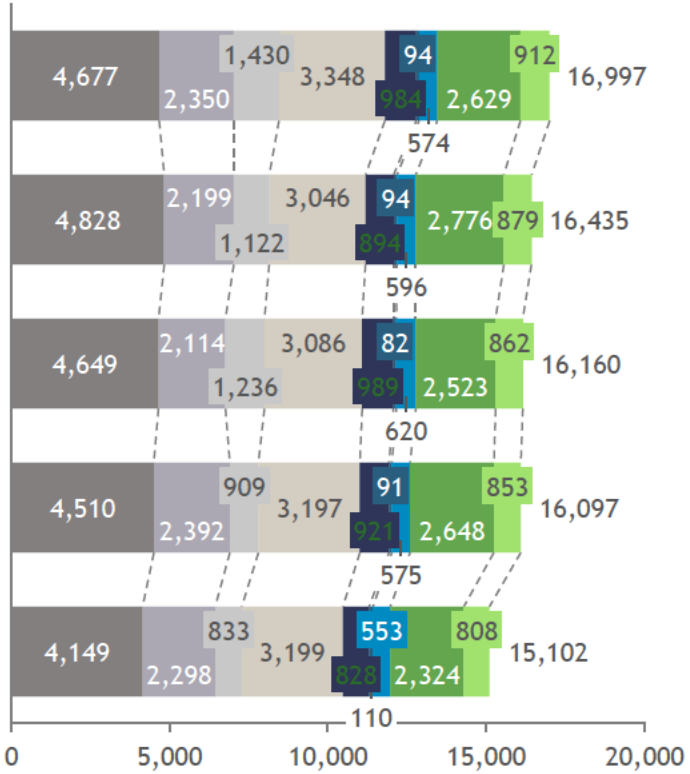
民間企業 (資本金1億円以上)[1)]

- コロナ禍で2021年はR&D全体が落ち込んだものの、エネルギー・環境は概ね増加傾向



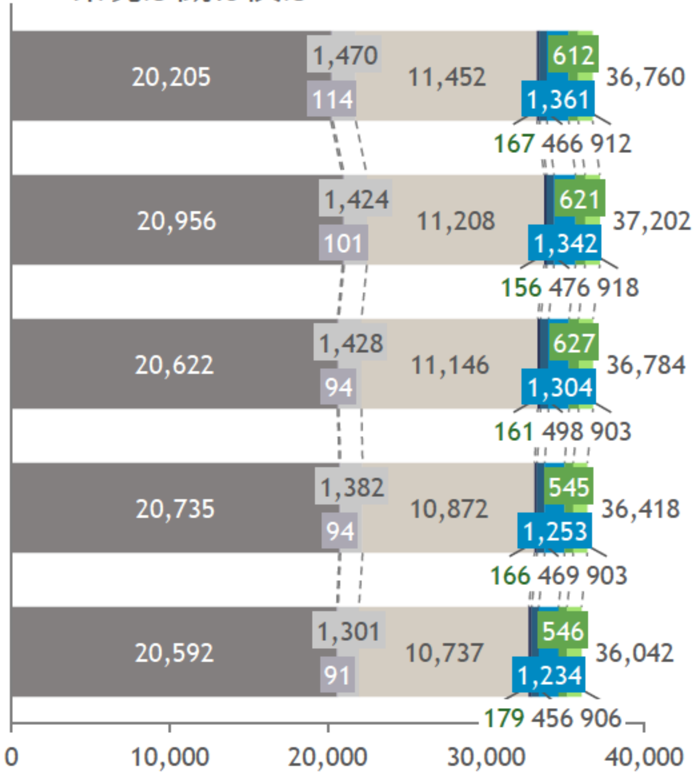
非営利団体・公的機関

- エネルギー・環境ともに増加傾向



大学等

- ライフサイエンス分野の研究が大宗を占める
- エネルギーは2019年以降増加したものの、環境は概ね横ばい



1. 学術研究、専門・技術サービス業を除く

Source: 総務省「科学技術研究調査」(2021); BCG分析

6 (参考) 化学・鉄鋼は過去4年で環境分野が倍増、輸送用機器も環境分野を更に拡大

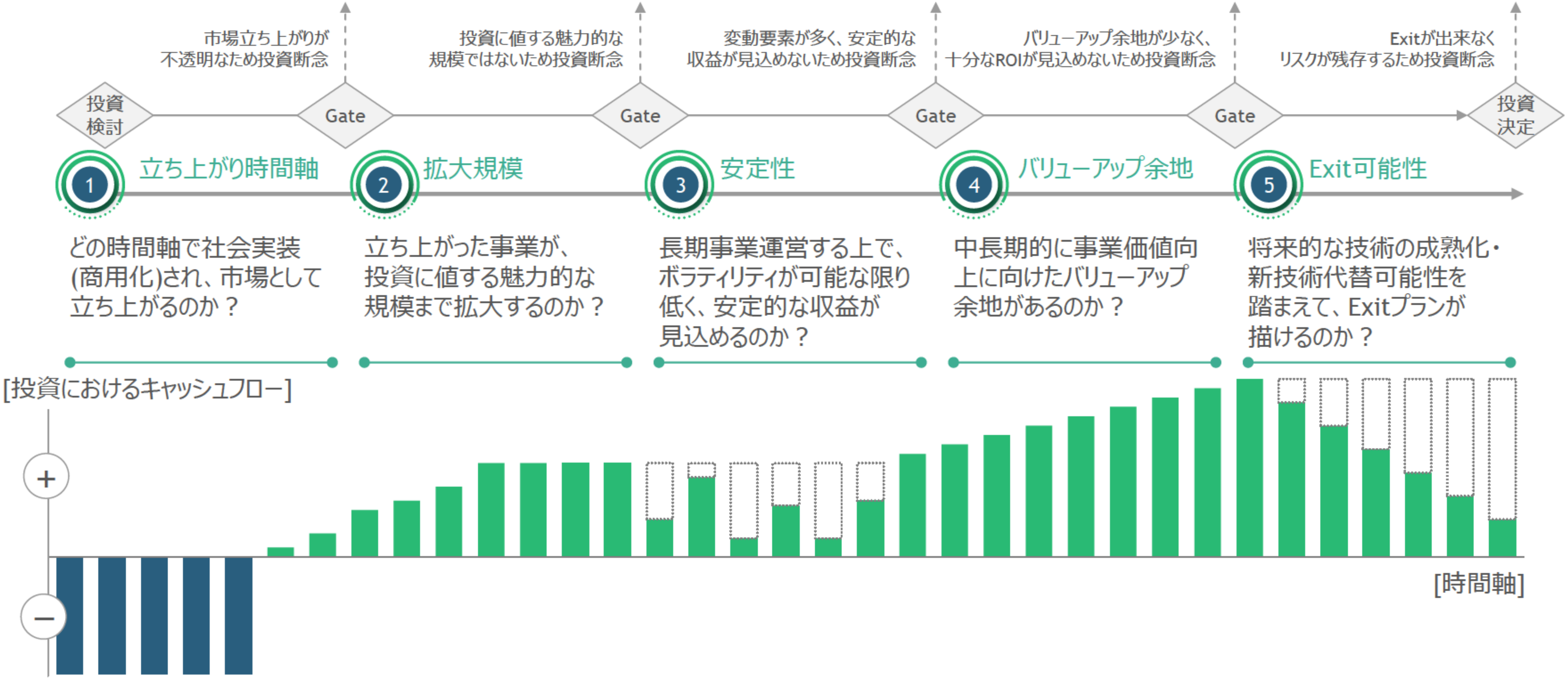
足元の研究開発費の推移: 民間企業 (資本金1億円以上) 製造業

(単位: 億円)	環境					エネルギー				
	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
食料品製造業	1	3	2	3	5	0	0	61	61	9
繊維工業	74	104	99	154	70	51	75	119	98	67
パルプ・紙・紙加工品製造業	8	10	9	24	25	3	2	4	5	3
印刷・同関連業	3	1	3	12	14	5	9	10	14	11
医薬品製造業	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
化学工業	167	175	158	308	605	146	132	134	205	204
石油製品・石炭製品製造業	134	144	120	186	138	92	89	118	123	121
プラスチック製品製造業	16	12	9	19	36	63	78	78	79	42
ゴム製品製造業	116	109	13	11	13	6	2	1	3	3
窯業・土石製品製造業	106	135	146	134	159	68	102	96	76	55
鉄鋼業	45	43	63	78	89	89	87	84	97	122
非鉄金属製造業	66	38	33	37	41	124	142	163	153	120
金属製品製造業	6	5	5	6	4	9	6	5	7	3
はん用機械器具製造業	149	159	151	139	89	452	433	461	512	319
生産用機械器具製造業	210	232	274	302	211	170	169	209	193	169
業務用機械器具製造業	18	22	21	11	18	34	34	41	14	20
電子部品・デバイス・電子回路製造業	220	214	193	199	156	255	189	203	229	192
電気機械器具製造業	952	864	1,223	1,337	376	312	382	365	795	852
情報通信機械器具製造業	74	35	37	21	86	116	83	104	53	80
輸送用機械器具製造業	5,359	5,346	5,241	5,701	6,229	3,353	3,509	3,428	3,577	3,302
その他の製造業	3	3	3	5	7	6	5	5	7	5

Source: 総務省「科学技術研究調査」(2021); BCG分析

民間企業が投資の意思決定をする際には、主に①立ち上がり時間軸/②拡大規模/③安定性/④バリューアップ余地/⑤Exit可能性の各ゲート管理を踏まえて事業性を判断

民間企業による投資意思決定プロセス



Source: エキスパートインタビュー; BCG分析

民間企業による脱炭素関連投資においては、意思決定プロセスの1~5 の各ゲートで異なる懸念・ボトルネックが存在

脱炭素関連投資に対する民間企業の懸念

投資プロセス	1 立ち上がり時間軸	2 拡大規模	3 安定性	4 バリューアップ余地	5 Exit可能性
論点	どの時間軸で社会実装(商用化)され、市場として立ち上がるのか？	立ち上がった事業が、投資に値する魅力的な規模まで拡大するのか？	長期事業運営する上で、ボラティリティが可能な限り低く、安定的な収益が見込めるのか？	中長期的に事業価値向上に向けたバリューアップ余地があるのか？	将来的な技術の成熟化・新技術代替可能性を踏まえて、Exitプランが描けるのか？
民間企業の懸念	複数の脱炭素技術が混在しており、各時間軸の最有望技術が不明瞭	複数の脱炭素技術が導入されることで、いずれも小規模になることを懸念	規制含めた市場環境の変化が激しく、将来的な投資回収目途が不透明	海外輸出強化も含めた更なる事業拡大戦略が不在	技術開発サイクルが速く、投資技術の陳腐化/座礁資産化を懸念
脱炭素文脈(例)	製鉄プロセスの脱炭素化手段は、再エネ電力由来電炉、高炉水素還元、水素直接還元、高炉+CCUS付帯等複数存在するが、各時間軸断面で • どのように優先順位をつけて、投資をしていくのかが悩ましい...	水素キャリアとして、アンモニア、MCH、液化水素等の複数技術の開発が進められているが、どのキャリアも同時並行的に立ち上がることで投資が分散してしまい、骨太な水素サプライチェーンが構築されないのではないか...	CBAMやLCA等のCO2排出量算出・評価に係る国際ルールが形成されつつある中で、特定の技術が"環境価値"だと認められなくなるのではないか... (例: グリーン水素の環境価値は認めれるが、ブルー水素は認めない等)	日本国内の生産設備に脱炭素投資をするかには、内需だけでなく、海外輸出強化も図っていく必要があるが、どの製品/品目を輸出強化すべきかの事業戦略が定まっていない...	投資意思決定当初は技術的に成熟している有望技術として、CCSインフラへ投資をしたとしても、将来的にCCSからCCUに移行する中で、貯留に係る設備が座礁資産化してしまうのではないか...

Source: エキスパートインタビュー; BCG分析

"新興領域"である脱炭素投資は、既存市場における投資と比較して、特に、1立ち上がり時間軸/2拡大規模の見立てが困難であることが大きな懸念

投資意思決定プロセスにおける脱炭素特有の課題

投資プロセス	1 立ち上がり時間軸	2 拡大規模	3 安定性	4 バリューアップ余地	5 Exit可能性
論点	どの時間軸で社会実装(商用化)され、市場として立ち上がるのか？	立ち上がった事業が、投資に値する魅力的な規模まで拡大するのか？	長期事業運営する上で、ボラティリティが可能な限り低く、安定的な収益が見込めるのか？	中長期的に事業価値向上に向けたバリューアップ余地があるのか？	将来的な技術の成熟化・新技術代替可能性を踏まえて、Exitプランが描けるのか？

新興領域である脱炭素関連投資検討の際に、特に懸念される視点

- 新興領域である脱炭素関連投資検討時には、特に1立ち上がり時間軸/2拡大規模を重点的に精査
  - 例: 高炉の脱炭素化検討時には、2030年までに貯留地選定含めたCCSチェーンの立ち上がり確度を精査
  - 例: 火力発電設備の脱炭素化検討時には、2030年以降の必要十分な水素/アンモニア調達可能量を精査

既存市場への投資検討時に特に懸念される視点

- 既に市場が顕在化している領域への投資検討時には、特に3安定性/4バリューアップ余地/5Exit可能性を重点的に精査
  - 例: ガス/油田開発投資検討時には、将来的な原油/天然ガス価格トレンドを踏まえた収益安定性を精査
  - 例: 既存高炉改修投資検討時には、将来的に需要が拡大するアジア/アフリカ市場への輸出可能性等のバリューアップ余地を精査

Source: エキスパートインタビュー; BCG分析

民間企業の脱炭素投資促進に向けては、投資意思決定プロセスの各ゲートに対応した「方向性の明示」と「それを実現する政策支援」の組み合わせが必要

民間脱炭素投資促進に必要な要素

投資プロセス	1 立ち上がり時間軸	2 拡大規模	3 安定性	4 バリューアップ余地	5 Exit可能性
論点	どの時間軸で社会実装(商用化)され、市場として立ち上がるのか？	立ち上がった事業が、投資に値する魅力的な規模まで拡大するのか？	長期事業運営する上で、ボラティリティが可能な限り低く、安定的な収益が見込めるのか？	中長期的に事業価値向上に向けたバリューアップ余地があるのか？	将来的な技術の成熟化・新技術代替可能性を踏まえて、Exitプランが描けるのか？
方向性明示(案)	**アベイトメント・カーブに基づく有望技術選定** • 例: 縦軸CO2削減コスト×横軸CO2削減量のチャートで定量的に明示	**産業×技術別の導入量のコミットメント** • 例: 日本国内水素導入量300万t(2030年)、2,000万t(2050年)の発電/鉄鋼/化学等の産業用途別の明示		**脱炭素インフラシステムの海外輸出戦略策定** • 例: 「インフラシステム海外輸出戦略」を脱炭素の文脈でアップデート	**産業別の段階的な移行計画策定** • 例: 電力/鉄鋼/化学等のCO2多排出産業を中心に移行計画を策定
× 政策支援(案)	**有望技術社会実装に向けたR&D/設備投資支援** • 例: 有望技術につき、R&Dと設備投資に係る投資資金を一連のパッケージで補助	**事業運用段階での立上げ支援** • 例: 脱炭素設備の事業立上げ数年間の税制優遇、運用費用を補助	**環境対応製品に対するインセンティブ制度設計** • 例: 環境対応製品を製造/販売する事業者に対する一定期間の長期固定のプレミアムを付与	**トップセールスによる脱炭素インフラ海外展開支援** • 例: 政府間連携により、主にアジア諸国向けを中心にインフラ輸出マーケティングを展開	**座礁資産に対する費用補填支援** • 例: 短期的には有益だが、中長期的に座礁資産化する可能性のある資産の廃棄・撤去費用負担

Source: エキスパートインタビュー; BCG分析

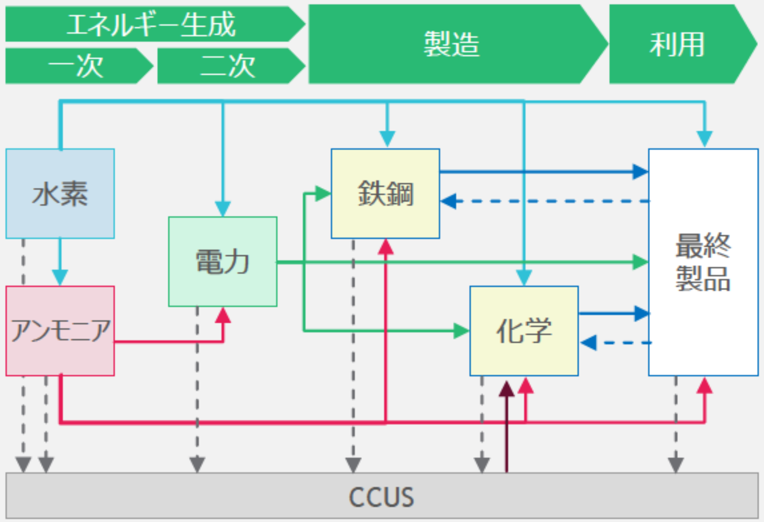
本報告書構成

工業エリア単位での脱炭素化に向けた方向性(案)

1 工業エリア単位でのモデルケース組成/拡大展開

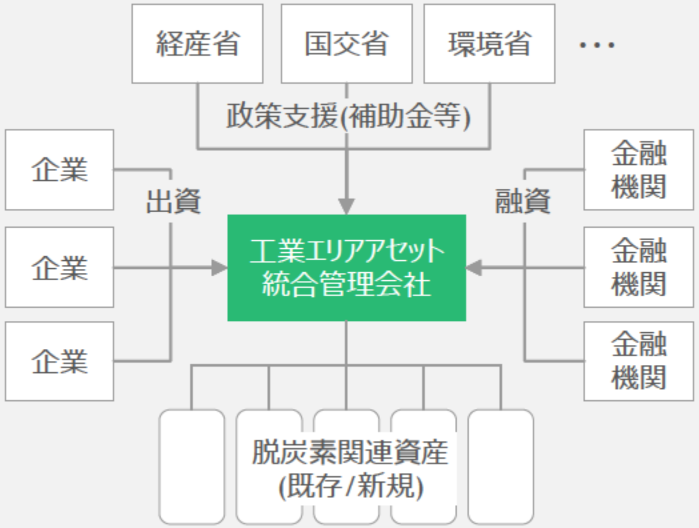
- "着眼大局、着手小局"の方針の下、脱炭素化を積極的に推進する工業エリアを都市/市町村単位で選定
- 各工業エリア単位での脱炭素化推進事業を"モデルケース"として、実行プロセスや課題解決方法を標準化の上、全国展開

2 産業横断/一体でのトランジション推進



- 特定業種/資産ではなく、複数業種/資産を脱炭素化対象として、産業/企業横断的に脱炭素化を推進
- サプライチェーンの関係性が強い、熱電供給/鉄鋼/化学等を組み合わせて時間軸に応じた工業エリア単位のトランジションロードマップを策定

3 地域アセット統合管理会社による脱炭素化投資実行



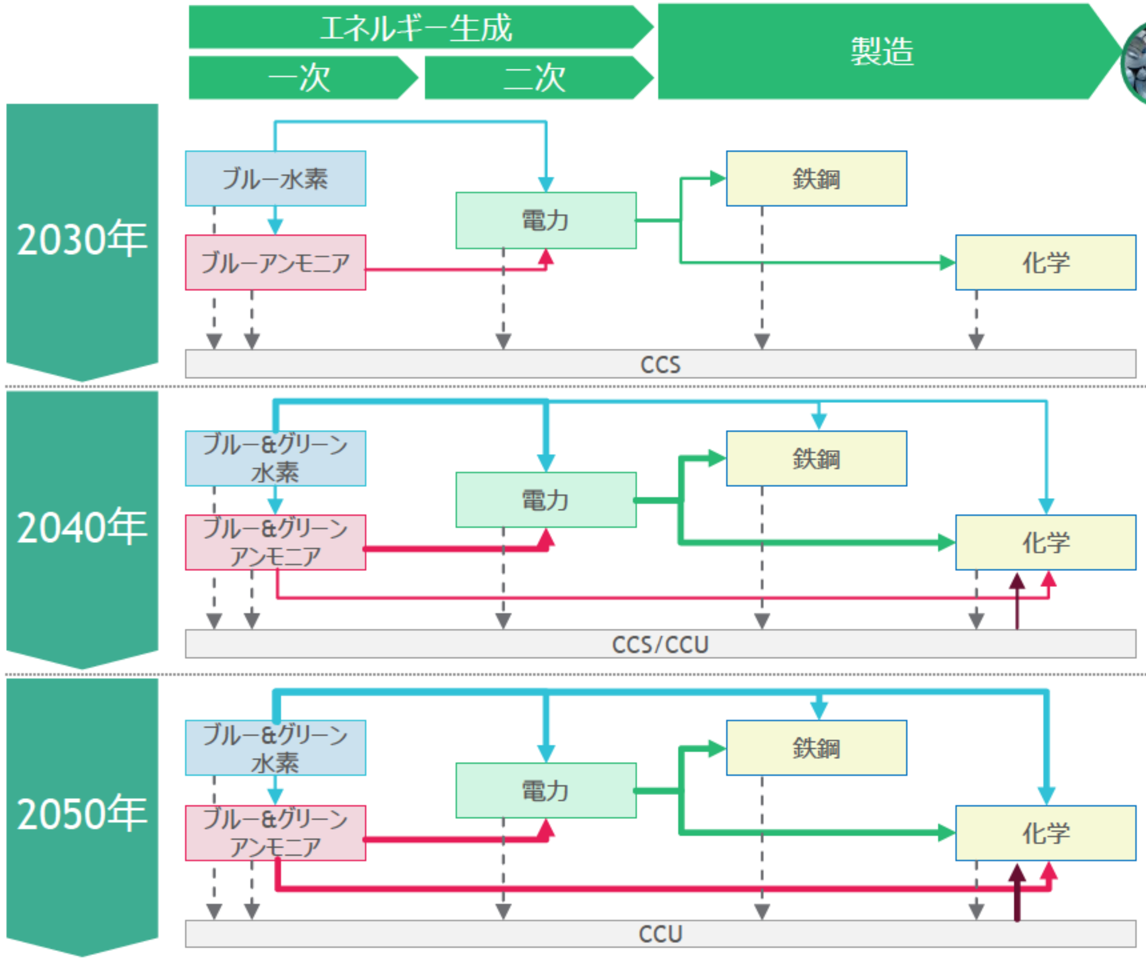
- 工業エリア/産業横断で脱炭素化を推進する上で、重複投資を回避し、効率的な既存アセット転換/新規アセット投資を実施する上で、アセット統合管理会社の設立/運用は有効
- また、官民連携で投資促進をする上での政府支援先の集約化、及び脱炭素化進捗の透明化効果も期待

Source: BCG分析

技術成熟度の異なる脱炭素化技術を時間軸に応じて産業横断で社会実装し、工業エリア単位で段階的に各産業のトランジションを推進

産業横断でのトランジションオプション(案)

時間軸　各産業のトランジション方向性



エネルギーチェーン

2030年：ブルー水素/アンモニアでの火力混焼化
- 化石資源+CCSのブルー水素/アンモニアを主体としたLNG/石炭火力混焼化を推進

2040年：ブルー&グリーン水素/アンモニアでの火力専焼化
- ブルー水素に加えて、再エネ由来グリーン水素も活用し、LNG/石炭火力専焼化を推進

2050年：国内火力発電所の脱炭素化実現
- 国内火力発電所の全てが水素/アンモニア専焼もしくはCCUS付帯により、脱炭素化実現

マテリアルチェーン

2030年：製造プロセスのクリーン電力由来での電化
- 鉄鋼ではスクラップ鉄活用による電炉化、化学ではヒートポンプ/Power to heatによる電化を推進

2040年：製造プロセスにおける水素/アンモニア利用開始
- 鉄鋼では水素還元製鉄、化学ではナフサ分解炉のアンモニア/水素燃焼利用が開始

2050年：国内製鉄所/石化コンビナートの脱炭素化実現
- 国内製鉄所/石化コンビナートが電化、水素/アンモニア利用、CCUS付帯により脱炭素化が実現

CO2チェーン

2030年：電力/鉄鋼/化学プラントの低濃度CCS
- 周辺インフラ共用化による複数プラントCO2分離回収及び国内・海外液化輸送でのCO2貯留化

2040年：CCU産業の立ち上がり
- CO2利用産業(SAF等の合成燃料)が徐々に立ち上がり、国内回収CO2を貯留から利用へ転換

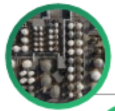
2050年：CCUチェーンの拡大/強化
- CO2利用品目が更に拡大し、高付加価値なCCUチェーン網が更に拡大/強化

Source: BCG分析

産業横断で必要な脱炭素化インフラは工業エリア内で共同投資/共用化することで、社会コストを可能な限り抑制しながらトランジションを推進

産業横断で必要となる脱炭素化インフラ構築方針(案)

主要な脱炭素化手段とインフラ構築方針 / インフラ活用先産業

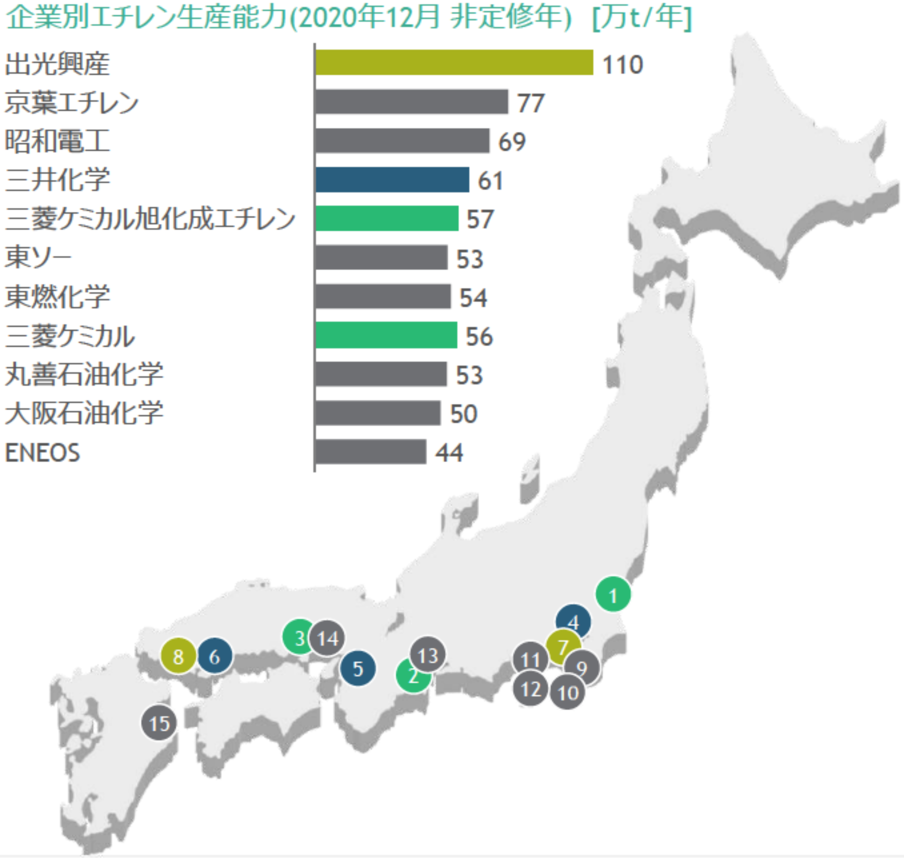
脱炭素化手段	工業エリア単位でのインフラ構築方針(案)	 発電	 化学	 鉄鋼
省エネ/効率化	複数企業/複数アセットを対象とした熱電併給プロセス再構築(更なる廃熱利用等)、副生物の再利用プロセス再構築(副生水素の有効活用範囲拡大等)	✓	✓	✓
クリーン電化	工業エリア一体を電力需要地とした自家発用途での複合型再生可能エネルギー設備導入(産業用太陽光/陸上風力＋蓄電池他の需給調整設備)		✓ (ヒートポンプ)	✓ (電炉)
水素化	海外からの水素調達も視野に、水素受入/利用に必要な港湾設備、水素圧縮設備、貯蔵保管タンク、水素パイプライン設備等のサプライチェーン関連設備の共用化	✓ (GT-H_2発電)	✓ (ナフサ分解炉H_2燃焼)	✓ (水素還元製鉄)
アンモニア化	海外からのアンモニアキャリアでの調達も視野に、アンモニア受入/利用に必要な港湾設備、貯蔵保管タンク、アンモニアパイプライン設備等のサプライチェーン関連設備の共用化	✓ (BTG-NH_3発電)	✓ (ナフサ分解炉NH_3燃焼)	
CR燃料	工業エリア内で発生したCO2をメタネーション化・合成燃料化するためのCR燃料製造設備の共用化	✓	✓ (合成メタン燃焼等)	
リサイクル	廃プラ、スクラップ鉄を安定的に確保するための、貯蔵保管設備、廃棄物処理プラント等の静脈系設備の共用化		✓ (ケミカル＋マテリアルリサイクル)	✓ (スクラップ鉄利用)
CO2分離回収	工業エリア一体での発電所/化学プラント/製鉄所の低濃度CO2を回収するための大型CO2分離回収装置の周辺インフラの共用化	✓	✓	✓
CO2貯留	国内に加えて、海外(東南アジア/豪州/中東)へのCO2貯留も視野に、CO2パイプライン、C液化CO2港湾設備等のCO2輸送インフラの共用化	✓	✓	✓

Source: BCG分析

日本国内には15の石油化学コンビナートが、茨城/千葉/神奈川の関東エリア、三重/大阪/岡山/山口の関西エリア、大分の九州エリアに分布

日本: 石油化学コンビナート実態

日本: 石油化学コンビナート分布



石油化学コンビナート概要

#	コンビナート名	エチレンプラント保有事業所	所在地
1	三菱ケミカルコンビナート	三菱ケミカル: 茨城事業所	茨城県鹿嶋市/神栖市
2		三菱ケミカル: 三重事業所	三重県四日市市
3		三菱ケミカル旭化成エチレン/三菱ケミカル: 岡山事業所	岡山県倉敷市
4	三井化学コンビナート	三井化学: 市原工場/京葉エチレン	千葉県市原市
5		大阪石油化学(三井化学100%子会社)	大阪府堺市/高石市/泉大津市
6		三井化学: 岩国大竹工場	山口県玖珂郡
7	出光興産コンビナート	出光興産: 千葉工場	千葉県市原市
8		出光興産: 徳山事業所/東ソー/トクヤマ	山口県周南市
9	住友化学コンビナート	住友化学: 千葉工場/京葉エチレン	千葉県市原市
10	丸善石油化学コンビナート	丸善石油化学: 千葉工場/京葉エチレン	千葉県市原市
11	東燃化学コンビナート	東燃化学: 川崎工場	神奈川県川崎市
12	ENEOSコンビナート	ENEOS: 川崎製油所 他	神奈川県川崎市
13	東ソーコンビナート	東ソー: 四日市事業所	三重県四日市市
14	旭化成コンビナート	三菱ケミカル化成エチレン	岡山県倉敷市
15	昭和電工コンビナート	昭和電工: 大分コンビナート	大分県大分市

Source: 経済産業省「我が国の主要石油化学製品生産能力調査(令和2年12月末時点)」; 各種公開情報; BCG分析

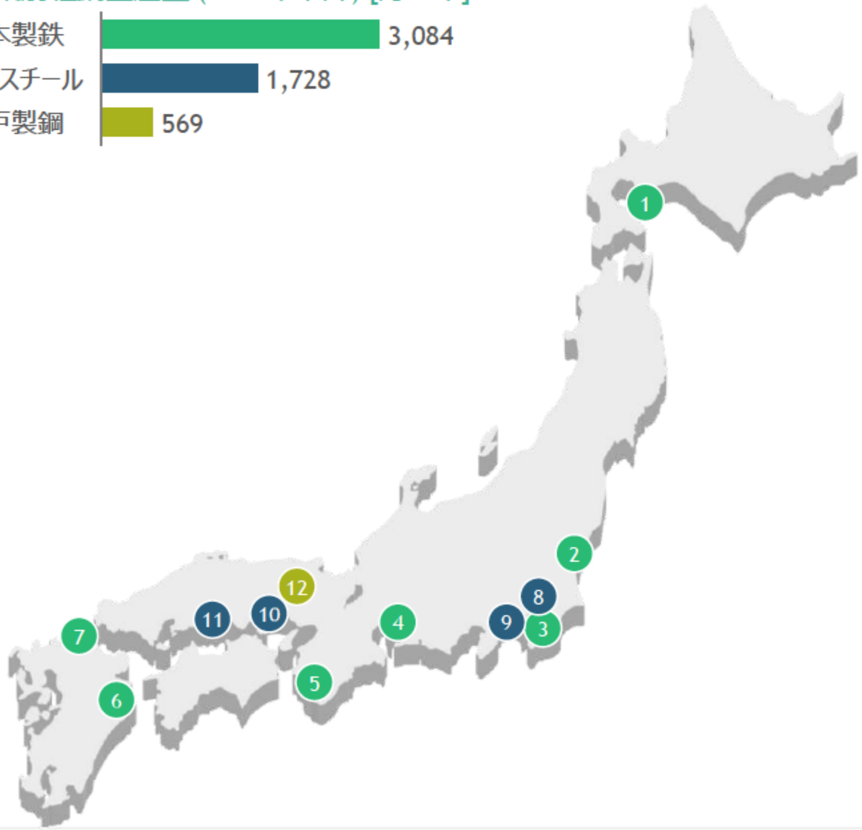
日本国内では日本製鉄、JFEスチール、神戸製鋼の製鉄メーカー3社が高炉製鉄所を保有しており、12拠点が日本全国に点在

日本: 高炉製鉄所実態

日本: 高炉製鉄所分布

企業別粗鋼生産量 (2020年累計) [万t/年]

日本製鉄	3,084
JFEスチール	1,728
神戸製鋼	569



高炉製鉄所概要

#	保有企業	製鉄所名	所在地	粗鋼生産量 (2020年累計: 万t)
1	日本製鉄	室蘭製鉄所	北海道室蘭市	79
2		鹿島製鉄所	茨城県鹿嶋市	445
3		君津製鉄所	千葉県君津市	570
4		名古屋製鉄所	愛知県東海市	557
5		和歌山製鉄所	和歌山県和歌山市	269
6		大分製鉄所	大分県大分市	839
7		八幡製鉄所	福岡県北九州市	325
8	JFEスチール	東日本製鉄所: 千葉地区	千葉県千葉市	322
9		東日本製鉄所: 京浜地区	神奈川県川崎市	347
10		西日本製鉄所: 倉敷地区	岡山県倉敷市	651
11		西日本製鉄所: 福山地区	広島県福山市	408
12	神戸製鋼所	加古川製鉄所	兵庫県加古川市	569

Source: 鉄鋼新聞; 各種公開情報; BCG分析

日本国内では、37のLNG基地が宮城/福島の東北エリア、新潟/富山の北陸エリア、東京/千葉/神奈川の関東エリア、三重/大阪/岡山/山口の関西エリアなど幅広く分布

日本: LNG基地実態

日本: LNG基地分布

LNG基地概要

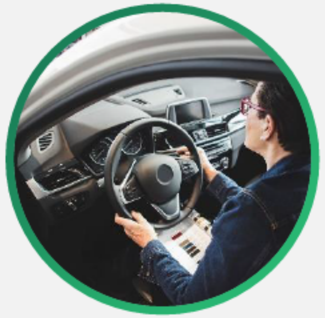
#	LNG基地名	基地容量(kl)
1	石狩LNG基地	610,000
2	八戸LNGターミナル	280,000
3	新仙台火力発電所	320,000
4	仙台市ガス局港工場	80,000
5	相馬LNG受入基地	460,000
6	日立LNG基地	230,000
7	袖ケ浦LNG基地	2,540,000
8	富津火力発電所	1,360,000
9	東扇島火力発電所	540,000
10	扇島LNG基地	850,000
11	根岸LNG基地	1,060,000
12	日本海LNG新潟基地	720,000
13	上越火力発電所	540,000
14	直江津LNG受入基地	360,000
15	富山新港火力発電所	180,000
16	清水LNG袖師基地	337,200
17	知多LNG事業所	640,000
18	知多LNG共同基地	300,000
19	知多緑浜工場	620,000
20	川越火力LNG設備	840,000
21	四日市工場	160,000
22	四日市LNGセンター	320,000
23	堺LNGセンター	560,000
24	泉北製造所第二工場	1,435,000
25	泉北製造所第一工場	275,000
26	姫路製造所	740,000
27	姫路LNG基地	520,000
28	水島LNG基地	320,000
29	廿日市工場	170,000
30	柳井発電所	480,000
31	坂出LNG基地	180,000
32	新居浜LNG基地	0
33	戸畑基地	480,000
34	ひびきLNG基地	360,000
35	大分LNG基地	460,000
36	鹿児島工場	86,000
37	吉の浦火力発電所	280,000

Source: 「The LNG industry, GIIGNL Annual Report 2019」を基に各種資料よりBCG分析

本報告書構成

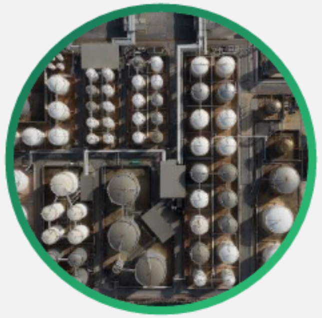
個別産業分析: 対象産業

マテリアルチェーン　　エネルギーチェーン　　CO2チェーン



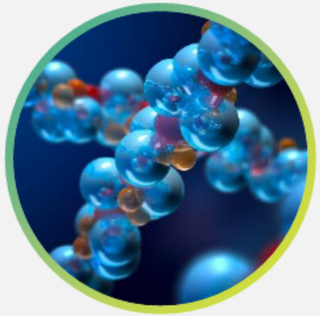
自動車

鉄鋼



化学

蓄電池



水素/アンモニア

洋上風力

CCUS

自動車・鉄鋼・化学: 経済的側面(産業規模×グローバル市場プレゼンス)＋環境的側面(エネルギー/CO2排出量×CO2削減ポテンシャル)の両面で脱炭素化優先度の高い日本の基幹産業

蓄電池: マテリアルチェーンとエネルギーチェーンを横断する成長産業

水素/アンモニア: 一次エネルギー(燃原料)領域での脱炭素関連成長産業

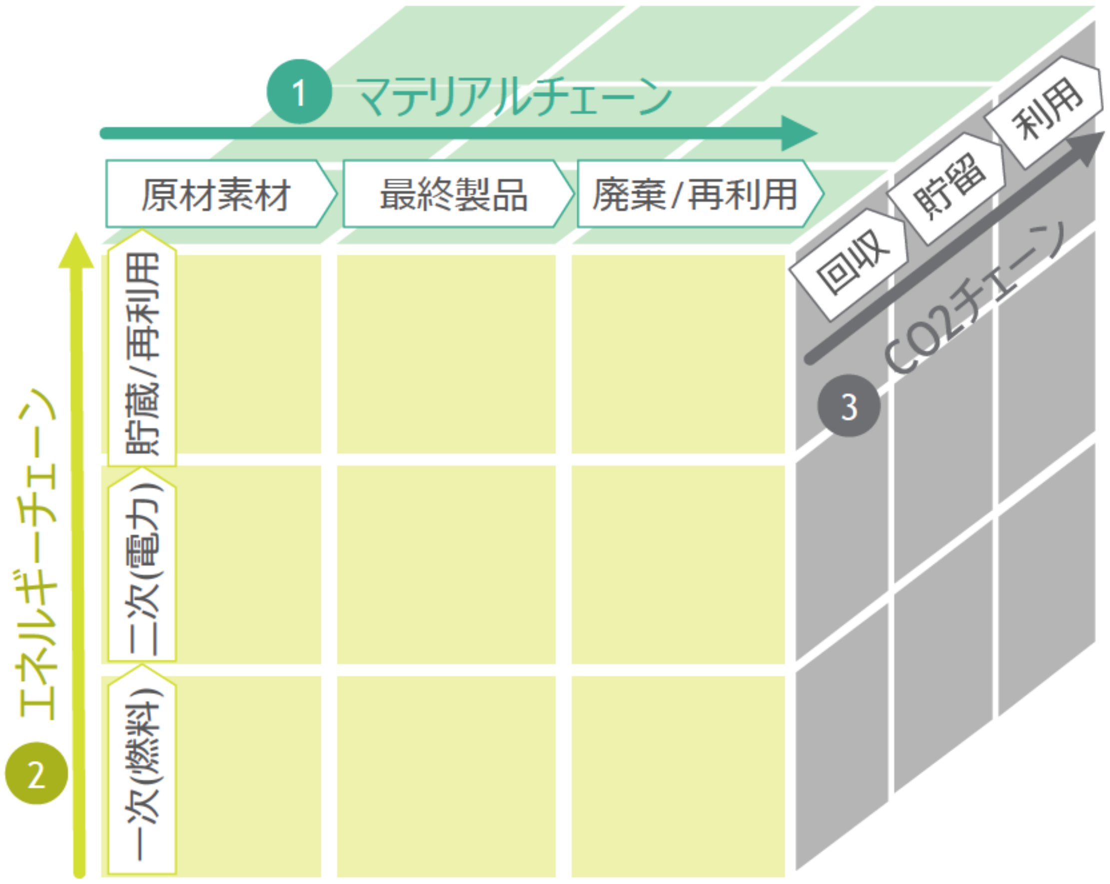
洋上風力: 二次エネルギー(電力)領域での脱炭素関連成長産業

CCUS: CO2チェーン領域での脱炭素関連成長産業

Source: BCG分析

産業全体のカーボン・ニュートラル化を推進するにあたり、相互関係性を有する「マテリアル」「エネルギー」「CO2」の3つのチェーンの視点が必要

産業構造分析における主要チェーン全体像



1

マテリアルチェーン

エネルギーを利用して、原料/素材から最終製品までを生成するチェーン

- 対象産業例: 鉄鋼、化学工業、窯業、非鉄金属、輸送用機器(自動車)等

2

エネルギーチェーン

一次エネルギー(燃料)/二次エネルギー(電力)を供給するチェーン

- 対象産業例: 水素/アンモニア、洋上風力等の再エネ、蓄電池、原子力

3

CO2チェーン

エネルギー供給/需要側の双方から、CO2を回収し、貯留 and/or 利用するチェーン

- 対象産業例: CCUS

Source: BCG分析

経済的側面と環境的側面の2軸で、日本の各産業の脱炭素優先度を3段階評価

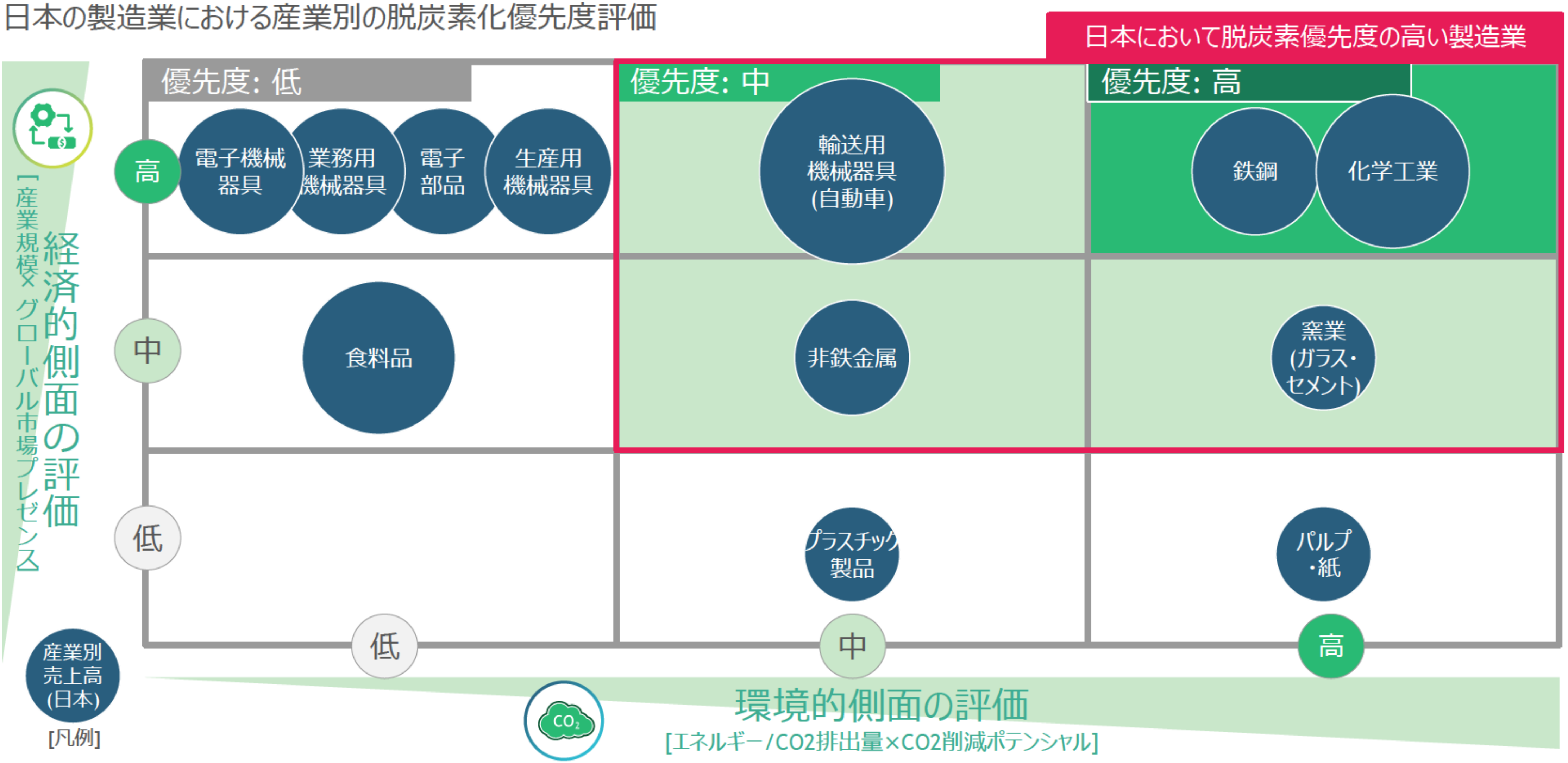
日本の製造産業における脱炭素化優先度評価アプローチ

評価軸	経済的側面		環境的側面	
評価視点	1 産業規模	2 グローバル市場プレゼンス	3 エネルギー/CO2排出量	4 CO2削減ポテンシャル
	規模の大きい産業ほど脱炭素化に伴う日本への影響が大きい	グローバル競争に晒されている産業ほど脱炭素化による影響をより大きく受ける	CO2排出量の大きい産業ほど、脱炭素化による影響をより大きく受ける	CO2削減ポテンシャルの大きい産業ほど、脱炭素化に伴う影響が大きい
評価指標	• 産業別売上高規模	• 日本輸出額における産業別シェア • 世界市場における日本企業売上高順 • 国境炭素税の影響範囲	• 産業別最終エネルギー消費量 • 産業別CO2排出量	• 産業別CO2排出削減ポテンシャル
評価分類(脱炭素化優先度) 高	大	and 高	大	and 高
中	いずれかが大きいもしくは高い		いずれかが大きいもしくは高い	
低	小	and 低	小	and 低

Source: BCG分析

日本の製造業において、経済的・環境的側面の両面から、特に脱炭素優先度が高い産業は、鉄鋼、化学工業、自動車、窯業、非鉄金属

日本の製造業における産業別の脱炭素化優先度評価

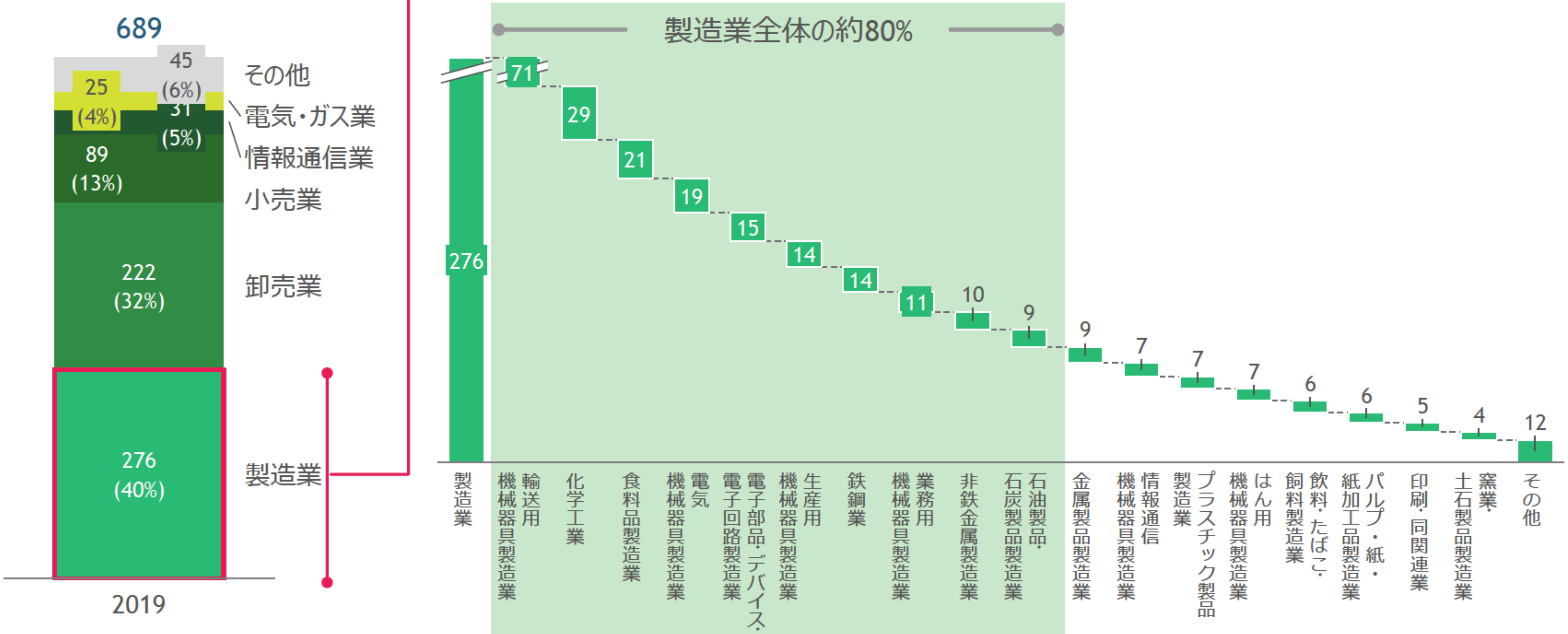


Source: BCG分析

1 日本の産業別売上の4割を製造業が占めており、製造業のうち輸送用機器(自動車)/化学/食料品/電気機械器具/電子部品/鉄鋼等が規模上位

経済的側面: 産業別売上高規模(日本)

日本: 産業別売上(兆円)　　製造業: 産業分類別売上(兆円)



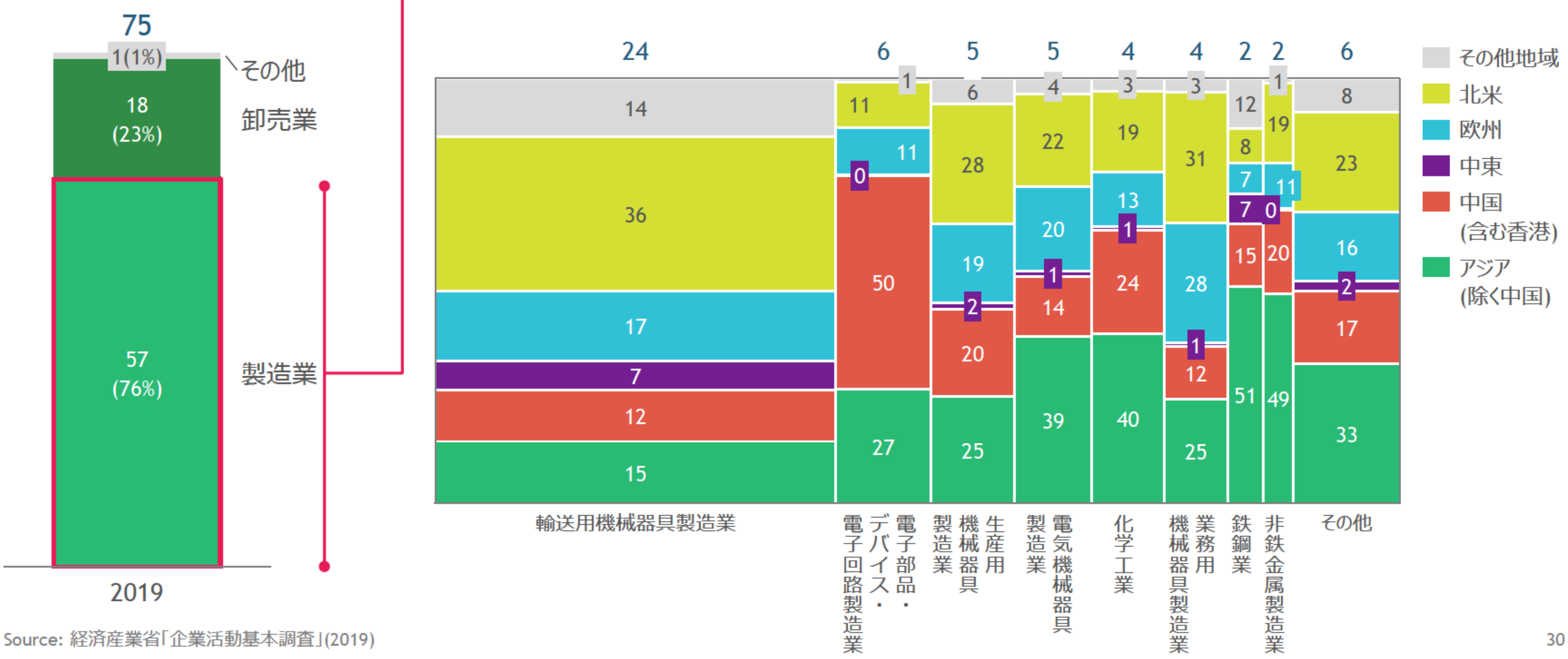
Source: 経済産業省「企業活動基本調査」(2019)

2 日本からの輸出額の7割以上を製造業が占めており、製造業のうち輸送機器(自動車)/電子部品/生産用機械/電気機械/化学が規模上位

経済的側面: 輸出額における産業別シェア(日本)

日本: 産業別輸出額(兆円)

製造業: 産業分類×地域別輸出額(兆円)



Source: 経済産業省「企業活動基本調査」(2019)

2 欧州CBAMによって、主にセメント・鉄鋼・非鉄金属・化学・電力産業に影響が発生

経済的側面: 国境炭素税の影響範囲(CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism)

国境炭素税のEU優先分野

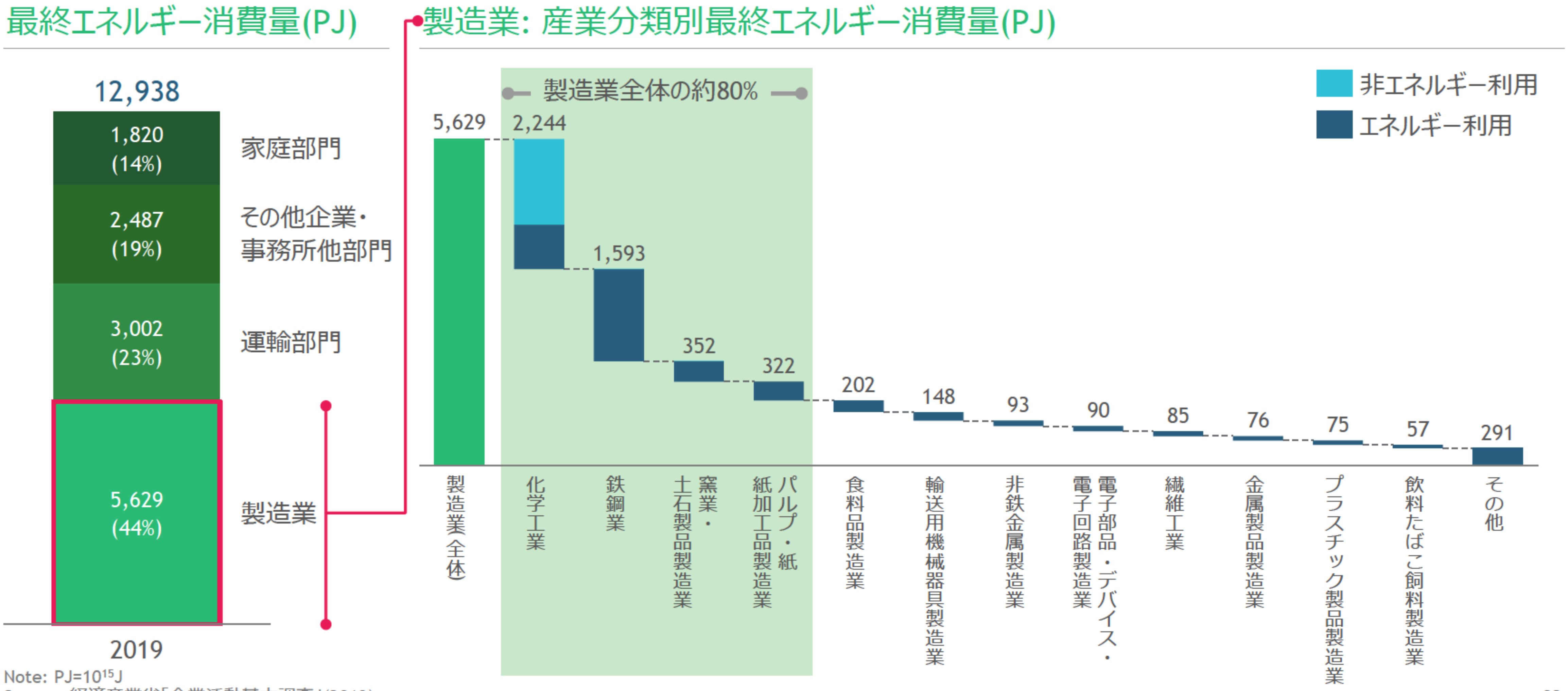
		セメント	鉄	非鉄金属	化学	パルプ&ペーパー	ガラス	電力	EU27カ国の生産付加価値(億ドル)	影響を受けるセグメント
シンプルなサプライチェーン	建設	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	686	住宅、商業施設、輸送
	消費者向け食品			✓	✓	✓	✓	✓	263	パッケージされた食品、ソフトドリンク、スピリッツ
	ゴム・プラスチック				✓			✓	106	様々な民生用、建設用、工業用アプリケーション
	パッケージング&コーティング		✓	✓	✓	✓	✓	✓	76	
	マイニング&採石	✓	✓	✓	✓			✓	27	金属、石炭、非鉄金属
複雑なサプライチェーン	金属・機械		✓	✓	✓			✓	328	冶金、機械、機械装置
	自動車		✓	✓	✓		✓	✓	200	部品メーカー、自動車OEM
	ハイテク製品		✓	✓	✓		✓	✓	143	通信機器、PCおよびモバイル機器、電気製品
	医薬品				✓			✓	124	特許取得済みのバイオ医薬品、ワクチン、ジェネリック医薬品
	航空宇宙		✓	✓	✓		✓	✓	39	部品メーカー、LCA、ビジネスジェット、軍用機
	家電製品		✓	✓	✓		✓	✓	15	洗濯機、乾燥機、冷蔵庫、掃除機など

第一フェーズで対象とされる見込み。化学物質はアンモニアと硝酸、それらを原料とする肥料のみとなる見込み

Source: BCG分析

3 日本の最終エネルギー消費量の4割以上が製造業が占めており、製造業のうち化学工業/鉄鋼業/窯業/パルプ・紙産業がエネルギー消費量上位

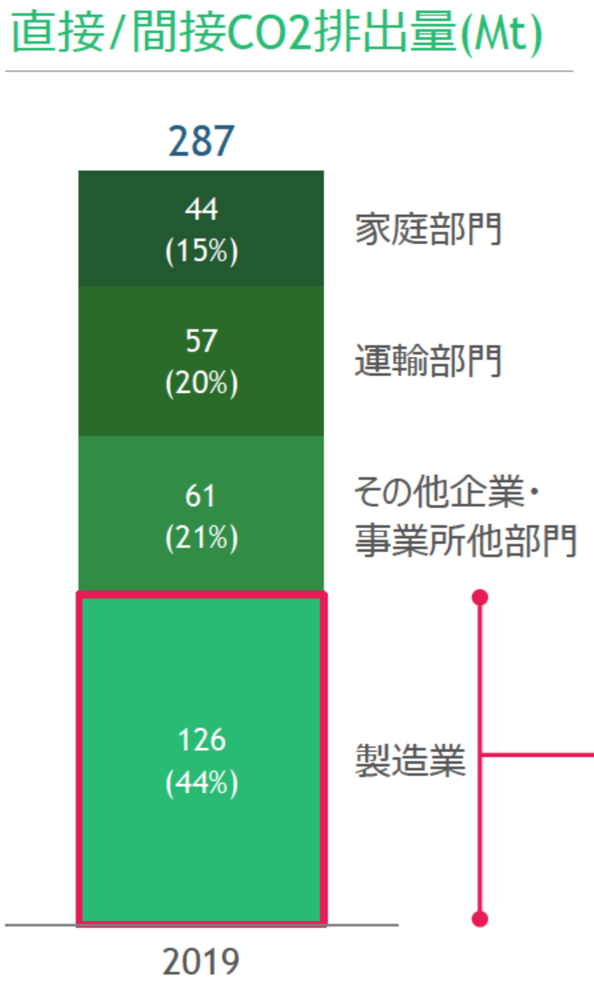
環境的側面: 産業別最終エネルギー消費量(日本)

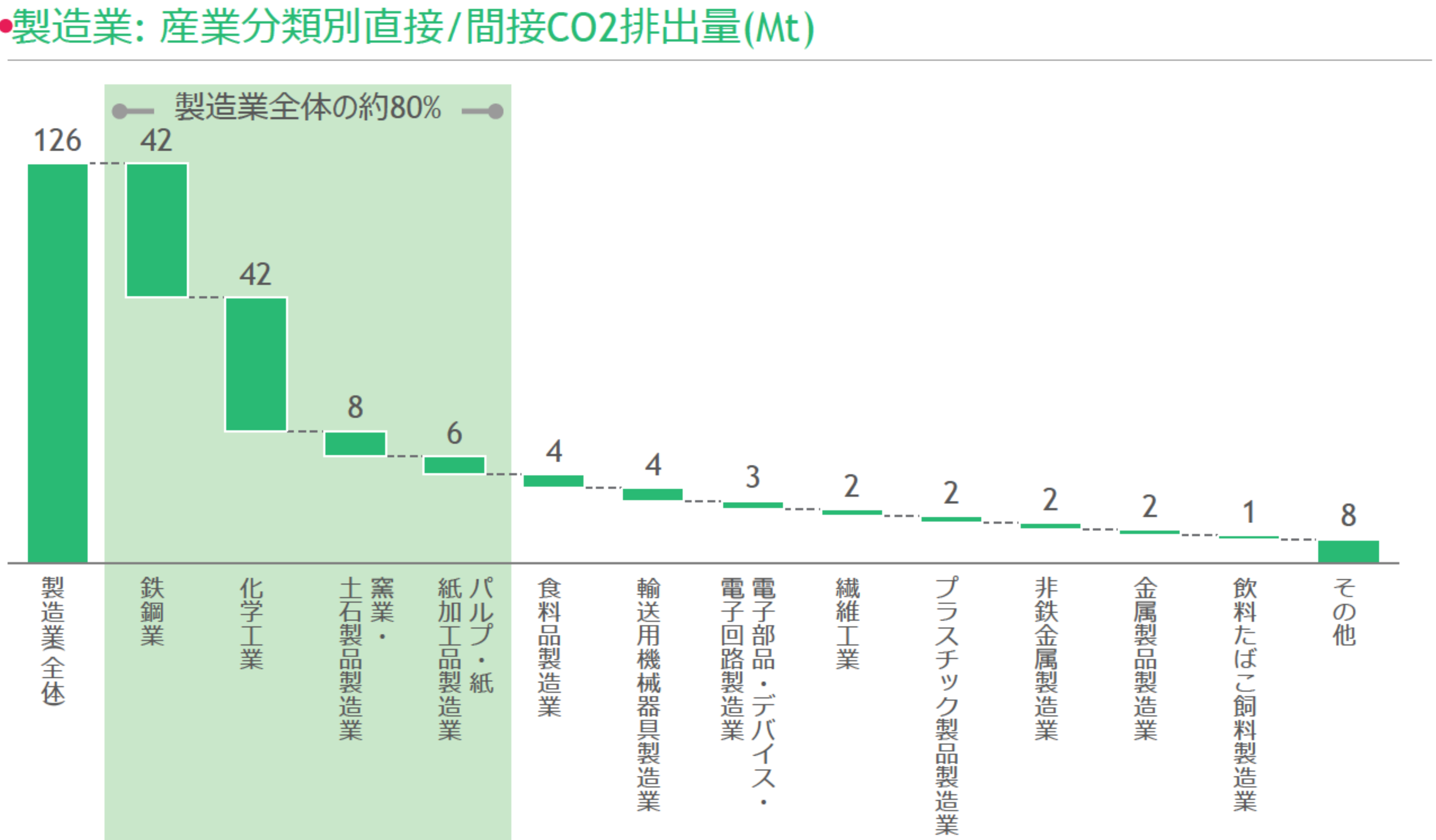


Note: PJ=10^{15}J
Source: 経済産業省「企業活動基本調査」(2019)

3 日本の直接/間接CO2排出量の4割以上が製造業が占めており、製造業のうち鉄鋼業/化学工業/窯業/パルプ・紙産業がCO2排出量上位

環境的側面: 産業別CO2排出量(日本)

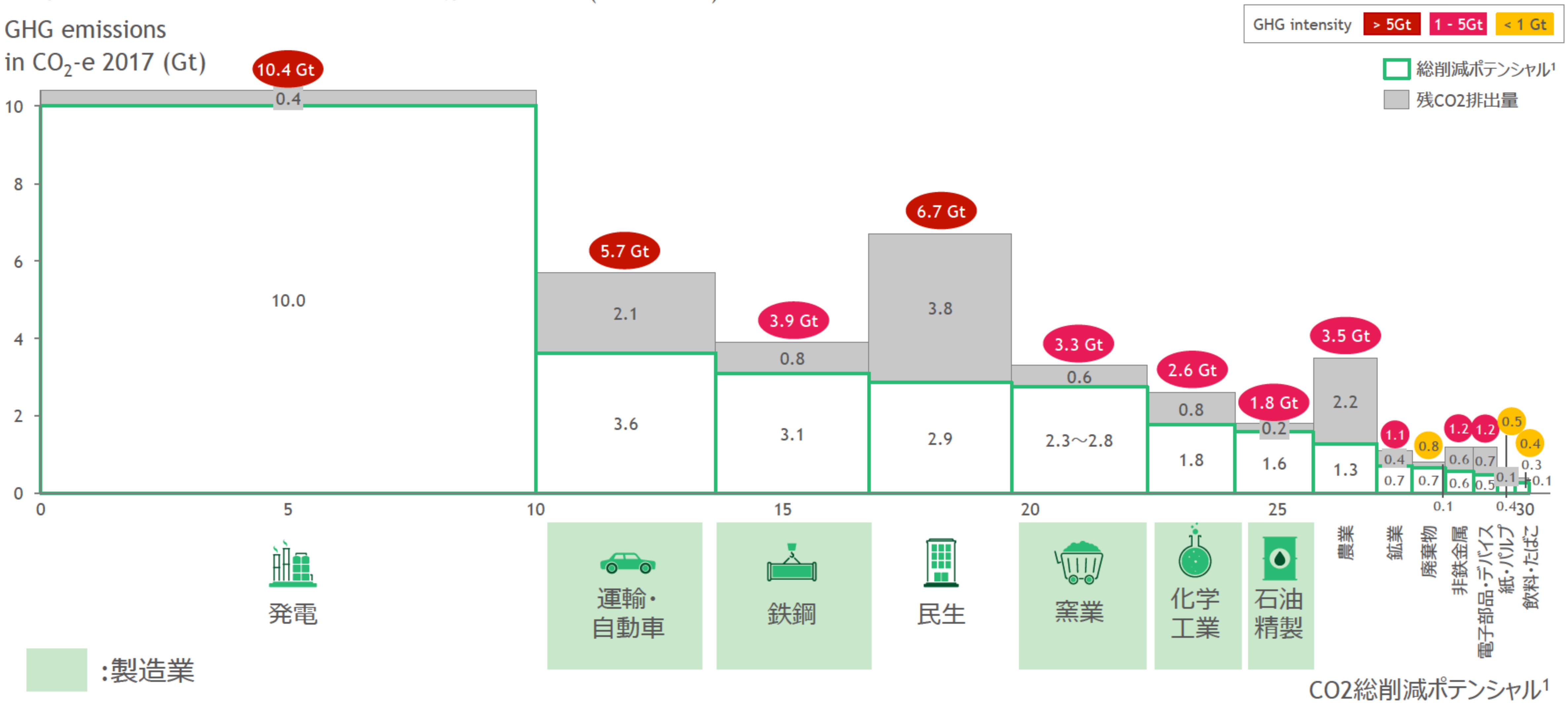




Source: 経済産業省「企業活動基本調査」(2019)

4 製造業では、自動車/鉄鋼/窯業/化学のCO2排出量削減ポテンシャルが高い

環境的側面: CO2排出量×CO2削減ポテンシャル(グローバル)



[1]Maximum potential takes into account that some levers are not additive (e.g., Transport reduction total includes electric vehicle usage instead of fuel cells alternative)
Source: United Nations Framework Convention on Climate Change; BCG分析

(政府)日本政府統計における製造業分類

090 食料品製造業
- 091 畜産食料品製造業
- 092 水産食料品製造業
- 093 精穀・製粉業
- 099 その他の食料品製造業

100 飲料・たばこ・飼料製造業
- 101 清涼飲料・酒類・茶・たばこ製造業
- 102 飼料・有機質肥料製造業

110 繊維工業
- 111 製糸、紡績、ねん糸等製造業
- 112 織物・ニット生地製造業
- 113 染色整理業
- 114 その他の繊維工業
- 115 織物・ニット製衣服製造業
- 119 身の回り品・その他の繊維製品製造業

120 木材・木製品製造業（家具を除く）
- 121 製材・合板製造業
- 129 その他の木製品製造業（家具を除く）

130 家具・装備品製造業

140 パルプ・紙・紙加工品製造業
- 141 パルプ・紙製造業
- 142 紙加工品製造業

150 印刷・同関連業

160 化学工業
- 161 化学肥料・無機化学工業製品製造業
- 162 有機化学工業製品製造業
- 163 油脂加工製品等
- 164 医薬品製造業
- 169 その他の化学工業製品製造業

170 石油製品・石炭製品製造業
- 171 石油精製業
- 179 その他の石油製品・石炭製品製造業

180 プラスチック製品製造業

190 ゴム製品製造業
- 191 タイヤ・チューブ製造業
- 199 その他のゴム製品製造業

200 なめし革・同製品・毛皮製造業

210 窯業・土石製品製造業
- 211 ガラス・同製品製造業
- 212 セメント・同製品製造業
- 219 その他の窯業・土石製品製造業

220 鉄鋼業
- 221 銑鉄・粗鋼・鋼材製造業
- 222 鋳鍛造品・その他の鉄鋼製品製造業

230 非鉄金属製造業
- 231 非鉄金属製錬・精製業
- 232 非鉄金属加工品製造業

240 金属製品製造業
- 241 建設用・建築用金属製品製造業
- 249 その他の金属製品製造業

250 はん用機械器具製造業
- 251 ボイラ・原動機製造業
- 252 ポンプ・圧縮機器製造業
- 253 一般産業用機械・装置製造業
- 259 その他のはん用機械・同部品製造業

260 生産用機械器具製造業
- 261 金属加工機械製造業
- 262 特殊産業用機械製造業

270 業務用機械器具製造業
- 271 事務用・サービス用機械器具製造業
- 273 計量器・測定器等
- 274 医療用機械器具・医療用品製造業
- 275 光学機械器具・レンズ製造業
- 276 武器製造業

280 電子部品・デバイス・電子回路製造業

290 電気機械器具製造業
- 291 産業用電気機械器具製造業
- 292 民生用電気機械器具製造業
- 293 電子応用装置製造業
- 299 その他の電気機械器具製造業

300 情報通信機械器具製造業
- 301 通信機械器具・同関連機械器具製造業
- 302 電子計算機・同附属装置製造業

310 輸送用機械器具製造業
- 311 自動車・同附属品製造業
- 319 その他の輸送用機械器具製造業

320 その他の製造業

Source: e-StatよりBCG作成

個別産業分析

自動車

自動車: 主要国の気候変動政策動向サマリ

		日本	米国	ドイツ	中国	インド
政策ビジョン/目標設定		新車販売電動化目標を設定 • 2035年新車電動車100% • 2030年販売目標は、BEV・PHEV比率20~30%、FCEV比率~3%	政府・各州の両方で新車販売電動化目標を設定 • EV販売5割(2030年) • カリフォルニア州: 販売目標BEV・FCEV100%(2035年)	電動車普及数目標を設定 • 2030年ストック台数目標EV1,500万台	新車販売電動化目標を設定 • 2025年販売目標 BEV・FCEV・PHEVの比率20%	政府、業界がEV販売普及率目標を設定 • 政府: 新車EV販売3割 • 業界: 新車EV販売4割 (いずれも2030年目標)
製造領域	技術開発	技術的先進性のある研究開発に補助金を提供 • 先端的なリチウムイオン電池やその部材・材料、電池材料のリサイクル等が対象	国内におけるバッテリーの技術開発を支援 • EV用蓄電池等にUS $28M、充電インフラでUS$15B等	車載用蓄電池のEU域内製造技術開発に助成金給付 • 他EU6か国の政府と連携し、研究開発助成金を給付	蓄電池や充電インフラの技術開発を重点分野に指定 • 蓄電池: 重量・安全面強化 • 充電インフラ: 高電圧充電、ワイヤレス充電、安全性等	― • 原材料を他国に依存、かつ技術力が不足しているため、電池は輸入を志向
	サプライチェーン構築	国内サプライチェーン強靭化が期待される設備投資を支援 • サプライチェーンリスク軽減、CO2排出低減・責任調達対応、等	国内EVや蓄電池のサプライチェーン構築に予算を配賦 • 先端技術自動車製造ローンプログラムに約170億ドル • EVのSC強化に140億ドル等	革新技術/プロセス/工場に投資するための補助金提供 • 2020年、2021年のボーナスプログラムの一環として導入	他産業分野との協力、電池リサイクルシステム確立に重点 • 電力や通信との協力が推奨 • トレサビ向上などによる電池リサイクルシステムの確立支援	インセンティブ給付で自動車やバッテリーの国内生産を推進 • PLIスキームで奨励金給付 • バッテリーの国内生産を促進するためにインセンティブ提供
利用領域		次世代自動車購入やインフラ整備に補助金 • 総額80億円のEV補助金 • 水素ステーション整備補助金 • 他、自治体も補助金支給	EVの購入や充電設備の導入支援に税控除や補助金 • 米国製EV購入時や、充電設備整備が対象	EV購入、充電インフラ拡大向けに予算確保(~2030) • BEV/PHEV補助金増額 • 充電インフラ整備に長期で予算を割り当て	充電インフラ整備目標提示、水素ステーション基盤造り推進 • 充電インフラは、都市・グリッド計画などへの組込みを要求	EV車購入・充電設備設置に補助提供、公共調達も実施 • EVの消費税の優遇、充電設備新規設置に補助金給付 • 公共調達車両は全てEV
ルール・規格整備		燃費基準取りまとめ;蓄電池や水素スタンドの規制改革検討 • 蓄電池の常用圧力上限値や、水素スタンドの充填容器等の上限温度の見直し、等	野心的な燃費・排ガス規制(CAFE、EPA)を導入 • 2026年までに2020年比で~25%強化を提案	カーボンプライシング導入によりCO2排出を抑制する動き	電池リユース・リサイクルの法律整備とカーボントレードメカニズムの導入を検討	低コストAC充電ポイントのインド規格リリース • 電動二輪車・三輪車を対象に低価格でスマホ操作可能な充電ポイントを提供

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

日本では、2035年の新車販売100%電動車を実現するため、技術開発、国内サプライチェーン構築、購入インセンティブ、インフラ補助金、燃費基準設定や設備規制改革を実施

日本: 自動車産業における気候変動政策動向

導入目標

2035年までに、新車販売で電動車比率100%実現

- 2021年1月、菅義偉首相が表明
- 電動車には、電気自動車(BEV)、燃料電池自動車(FCV)、プラグインハイブリッド自動車(PHV)、ハイブリッド自動車(HV)を含む

導入促進政策の概要

製造領域

技術開発

技術的先進性のある研究開発に補助金を提供
- 先端的なリチウムイオン電池(エネルギー密度の向上等)、先端的なリチウムイオン電池の部材・材料、電池材料のリサイクル等の研究開発が対象

サプライチェーン構築

国内サプライチェーン強靭化への寄与が期待される設備投資に係る費用を補助
- サプライチェーンリスクの軽減策の実施、CO2排出低減・責任調達への対応、サイバーセキュリティリスクへの対応（BMS等）がある事業が対象

利用領域

次世代自動車を購入する消費者・企業や、インフラ整備事業に対して補助金を提供
- クリーンエネルギー自動車の導入に向け2021年1月に80億円、約1万台のBEV向けのEV補助金を確保しており、地方自治体もEV補助金の予算を確保
- 燃料電池自動車の普及促進に向けた水素ステーション整備事業費補助金に120億円

ルール・規格

燃費基準値を取りまとめ
- 2030年を目途に、新燃費基準値を平均 25.4 km/L(2016年度比で32.4%の燃費改善)設定

次世代自動車の普及にあたり、蓄電池や水素スタンドなどの規制改革を検討
- 蓄電池等の常用圧力上限値の見直しや、障壁に係る技術基準の見直し、水素スタンドの充填容器等の上限温度の見直し、設備故障・修理時における予備品使用手続きの合理化、等

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

米国では、2030年新車販売50%ゼロエミッション車を目指し、技術開発やサプライチェーン強靭化を支援、購入・インフラ導入にインセンティブを提供、加えて燃費規制を厳格化

米国: 自動車産業における気候変動政策動向

導入目標

2030年までに新車販売の50%をゼロエミッション車に限定

- ゼロエミッション車にはPHVも含む

州単位でも目標設定

- CA州、MA州 : 2035年までに小型自動車の新車販売を100%ゼロエミッションとする知事令を発布

導入促進政策の概要

製造領域

技術開発

国内におけるバッテリーや充電インフラの技術開発を支援

- 2021年はEV用蓄電池や運転システムにUS$28million、充電インフラでUS$15billionの研究開発費用

サプライチェーン構築

米国内EVサプライチェーン強化やバッテリーのサプライチェーン構築に予算

- DOEが「リチウム電池のための国家の青写真」発表、「バッテリー・ラウンドテーブル」を開催
- 加えて、「先端技術自動車製造ローンプログラム (ATVM) 」に約170億ドルを追加
- 米国雇用プランで米国内EVサプライチェーン強化に140億ドルの税優遇向けに予算確保

利用領域

EVの購入支援、充電設備の導入支援に税控除や補助金を提供

- 米国製EV購入時のリベートと税優遇 (予算1,000億ドル)、連邦政府によるEV調達拡大
  - バッテリー容量16kW以上のPHEV購入者に最大7,500ドルの税額控除を許可
- 補助金や税控除により、2030年までに50万台の充電ステーションを整備(予算150億ドル)
  - 充電スタンドを設置するビジネスに税額控除(FY21購入・設置費用30%が上限)

ルール・規格

野心的な燃費・排ガス規制(CAFE、EPA)を導入

- NHTSAとEPAは燃費・排ガス規制(CAFE、EPA)を2026年までに2020年比で~25%強化を提案
- 上位14社の自動車OEMのうち、2018年モデルで11社、2019年モデルで10社が、EPA、CAFE目標に対してそれぞれ不足しており、OEMは過去のクレジットやトレードを利用して不足分を補う

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

ドイツでは、2030年時点で1,500万台のEV普及を目指し、バッテリーのEU内製造技術開発やEV購入・インフラ拡充の支援予算を確保

ドイツ: 自動車産業における気候変動政策動向

導入目標

新政権の合意文書には2030年には路上の車の少なくとも1,500万台がEV (2021年12月時点)

(参考)
EUは、2035年までに新車販売をゼロエミッション車、つまりEVと燃料自動車（FCV）に限定するという野心的な方針を示している

導入促進政策の概要

製造

技術開発

車載用蓄電池のEU域内製造技術開発に助成金給付

- 2019年12月欧州委員会は欧州バッテリー同盟による車載用バッテリーの生産のサポートを目的に、ドイツやフランス、イタリアなどEU7ヶ国政府が域内でのバッテリーの生産に携わる17社に対して最大で32億ユーロの研究開発助成金の給付を容認

サプライチェーン構築

新しい技術、プロセス、工場に投資するための補助金を提供

- 2020年、2021年のボーナスプログラムの一環として導入

利用領域

民間企業・消費者のEV購入、国内の充電インフラ拡大向けに2030年までを目途に予算を配賦

- 2016年よりメーカーと共同でEV購入補助金「環境ボーナス」を導入し、2020~2021年末は補助を2倍に引き上げ、EVとFCVは~9,000ユーロ、PHVは~6,750ユーロの購入助成金を提供
- 10億~ユーロの補助金がEV用の充電チャージングポイントの建設支援に当てられる予定
- 政府は、将来的に全ガソリンスタンドでEV充電機能も同時に提供を義務付ける計画を発表

ルール・規格

カーボンプライシング導入により自動車産業のCO2排出を抑制する動き

- 自動車からのCO2排出コストへの「カーボン・プライシング」を開始し、政府は会社に対し、価格が固定されたCO2排出枠証書の購入を義務化

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

中国では、新エネルギー自動車産業発展計画で導入目標を定め、普及に必要な技術開発やインフラ整備、電池リサイクルの法整備を実施

中国: 自動車産業における気候変動政策動向

導入目標

2025年までに新車販売に占めるNEV比率の20%まで引上げを発表

2035年を目途に新車販売は環境対応車(EVやHV)のみ対象

(2021-2035 新エネルギー自動車産業発展計画)

導入促進政策の概要

製造領域 ― 技術開発

2025年目標に平均電力消費の12.0kWh/100km以下[1]を掲げ、NEV向けに蓄電池や充電インフラの技術開発を重点分野に指定

- 蓄電池技術：電極材料、電解質技術、軽量化、安全性、コストの競争力強化
- 充電インフラ：高電圧充電、ワイヤレス充電、安全性確保、充電インフラの監視・警報システムに加え、ボトルネックになっている技術の開発を後押し

製造領域 ― サプライチェーン構築

産業エコシステムの構築で自動車以外の分野とのシナジー強化、電池のリサイクルシステム確立

- 部品生産、自動車OEM、エネルギー、電子情報通信といった産業で連合を形成し、車両操作システムの安全性、信頼性、利便性を向上させるために協力することを推奨
- 拡大生産者責任政策の実施、電池トレサビ管理プラットフォームの構築、再利用・リサイクル・廃棄のための技術および産業展開の改善による効率的な電池リサイクルシステムの確立をサポート

利用領域

充電インフラの整備目標・戦略を提示し、加えて水素ステーション構築に向けた基盤づくりも推奨

- 電動車充電インフラ：短期的には住宅地への低速充電導入、高速道路沿いの急速充電の配備を推進し、長期的には都市・農村計画、グリッド計画、住宅・駐車場計画への充電インフラの組み込みを要求
- 水素インフラ：FCVの普及を見据え、水素ステーションの基盤の配備も推奨

ルール・規格

使用済み電池のリユース・リサイクル関連の法律の整備と、カーボントレードメカニズムの導入を検討

- NEV義務化の強化と共に、カーボントレードメカニズムとの統合を検討中
- 蓄電池トレーサビリティおよび管理プラットフォームの確立により、使用済み電池の再利用とリサイクルに関する法律の整備を加速予定

1.乗用車用BEVを想定
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

インドでは、2030年までに新車販売比率の3割EV化を掲げ、国内サプライチェーン構築支援、環境車購入者インセンティブやインフラ・規格の整備を推進

インド: 自動車産業における気候変動政策動向

導入目標

2030年までに新車販売の3割をEV化(政府目標)

2030年までに乗用車販売の4割をEV化(業界目標)

導入促進政策の概要

製造領域

技術開発

–

- 原材料の供給を他国に依存し、技術力が不足しているため、高度化学電池は輸入で賄われている状況で、国内の技術力強化は課題視

サプライチェーン構築

インセンティブ給付により、自動車やバッテリーの国内生産を推進

- PLIスキーム(生産連動型優遇措置)を通じてEVを含む自動車・部品生産に対する奨励金給付
- 2021年5月12日には、インド重工業省が、高エネルギーストレージを持つバッテリーの国内生産を促進するために約2700億円のインセンティブを提供するという案を承認

利用領域

EV車購入や充電ステーション設置に給付金や税優遇や補助金を提供、同時に公共調達も実施

- EV生産普及補促進(FAME)で補助金給付、老朽車両の廃棄を伴う新車購入への優遇措置
- 消費税(GST)の優遇 : ガソリン車28%に対し、EVは5%
- 充電ステーションの新規設置に対する補助金給付(グジャラート州独自の補助金政策)
- 2022年度以降、州政府が公共調達する車両を全てEV化(マハラシュトラ州独自の取組)

ルール・規格

革新的で低コストなAC充電ポイント(LAC)のインド規格リリース

- 特にインドで普及が進む電動二輪車および三輪車のユーザーを対象に、目標価格Rs3,500未満、スマホで操作をする充電ポイントを提供することで世界的なブレークスルーを実現
- 最大3kWの電力をe-スクーターおよびe-三輪車に充電可能で、拡張性が高く、220V15Aの単層回線が利用できればどこでも展開が可能

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

自動車: 脱炭素化に伴う競争環境・産業構造変化サマリ

	競争環境変化: 日本企業	競争環境変化: 海外企業	産業構造変化
技術レイヤー	**EV/FCV/CN燃料等の多様な技術開発** • トヨタはバイオ燃料・水素燃料を既存内燃機関と掛け合わせた技術に加え、EV、FCVの技術開発に注力 • ホンダはバイオ燃料の研究を進めつつ、EV、FCVにリソースを移行	**EV/FCVの技術開発にシフト** • メルセデスベンツやFord、GM等の欧米各社は純粋なEV、FCVの開発に注力 • VWは水素活用には消極的でEV関連技術開発に集中	**パワートレインの多様なゼロ・エミッション化** • パワートレインのゼロ・エミッション化手段として、EV(電動車)、FCV(燃料電池車)、水素エンジン、合成燃料(e-Fuel, Bio-Fuel等)の多様な技術開発が促進され、社会実装 • 脱炭素化の過渡期には、HEVも主要な動力源として拡大
ビジネスレイヤー	**都市開発を通し、自動運転やAI技術などの新技術開発に取り組み** • トヨタのスマートシティ「Woven City」	**都市交通管理の改善や路上安全性向上に資する取り組みが進展** • Daimler、Boschの自動運転開発 • Mercedes-Benzがカリフォルニア州で交通技術システムを開発	**MaaSを基盤とした全体システム統合化** • MaaS(Mobility as a Service)を基盤としたモビリティシステム全体の最適化が進展し、自動車関連企業がプラットフォーマーとして都市開発等にも関与 • 脱炭素化インフラ(充電・水素ステーション等)を前提としたモビリティ都市も拡大
マーケットレイヤー	**LCA規制を見据え、CO2排出削減方針を発表し、段階的に削減を規格** • トヨタは、サプライヤへの段階的なCO2削減の要求、自社工場の再エネ稼働、EVインフラ整備を進展	**欧州のLCA規制に対応するCO2削減取り組みを開始** • メルセデス・ベンツは、2039年CN未達サプライヤ除外を発表、各社と覚書締結 • Bosch：2020年に自社の拠点400カ所でカーボンニュートラル達成済、等	**LCAでのGHG排出規制標準化** • Tank to Wheel(燃料タンクから車両走行まで)を超えて、Life Cycle(自動車原料から廃棄まで)でのGHG排出規制の動きが加速 • 原料調達先見直し、自社工場の拠点再編・エネルギー脱炭素化・自動化、カーボンオフセット等の取組が必須化

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビューに基づくBCG分析

自動車パワートレインの脱炭素化手段として、ICEのクリーン燃料化、電動化、燃料電池化等の多様な技術開発が推進されている状況

自動車-技術レイヤー: パワートレイン脱炭素化主要技術

	ICE: クリーン燃料化		EV: 電動化		FCV
	バイオ燃料	水素燃料	HEV	BEV	
エネルギー源	バイオエタノール バイオディーゼル、他	水素ガス	ガソリン、電気	電気	水素
パワトレ技術	既存の内燃機関 •HV含む	水素エンジン	既存の内燃機関と電動モーターの併用	車載二次電池および電気モーター	燃料電池および電気モーター
脱炭素寄与度	LCAの観点で懸念あり •食料を主原料とする場合は、食料との競合や森林破壊に伴うCO2増加の可能性	走行中のCO2排出ゼロ実現可能 •ただし、再エネ電力を使用した場合	走行中のCO2排出削減は可能だが、排出ゼロは不可 •EV走行時は通常のガソリン車より燃費が良い	走行中のCO2排出ゼロ •脱炭素に向けては、使用電気を再エネにする必要 製造時にはガソリン車よりCO2排出が多い傾向	走行中のCO2排出ゼロ •脱炭素に向けてはグリーン水素を調達する必要
技術的ハードル	•量産に不適 •エネルギー変換効率低い •長期保管が困難	•水素の製造効率が低い •大量の電力消費が必要	•巡航時の燃費効率が低い	•電池の性能が低い •航続距離が短く長距離運転に不向き •充電インフラ整備が不十分	•電池の性能が低い •水素供給インフラの整備が不十分
技術成熟度	既に実用化	2040年以降	既に実用化	既に実用化	2025年以降

Source: BCG分析

欧米ではEVやFCVに舵を切る自動車OEMがある一方、日本のOEMは将来技術の不確実性も鑑みて複数のパワートレイン脱炭素化技術を同時並行的に推進

自動車-技術レイヤー: 自動車OEMのパワートレイン脱炭素化技術開発動向

		自動車OEM各社の脱炭素化方針	特に注力しているパワートレイン脱炭素化技術				
			ICE: クリーン燃料化		EV: 電動化		FCV
			バイオ燃料	水素燃料	HEV	BEV	
日本	トヨタ自動車	異なる地域の脱炭素に対応すべく、内燃機関であるエンジン、ハイブリッド、EV、FCV等全パワートレインの研究開発を推進	✓	✓	✓	✓	✓
	本田技研工業	2040年までに先進国の新車をEV/FCVにすると宣言 HEV、PHEVも含めたEVおよびFCVの研究開発に注力				✓	✓
欧州	VW	EVを前提としたインフラ網への投資や新プラットフォームの作成を掲げ、過渡期はICEビジネスに頼るが、今後はEVの販売拡大を計画				✓	
	メルセデス・ベンツG	「EVファースト」から「EVオンリー」へと加速を宣言し、2030年までの完全電動化を発表				✓	
米国	Ford	2030年までに世界販売の40%がフルEVにシフトすると予想し、バッテリー技術に投資し、自社バッテリーを設計・製造する体制を整備				✓	
	GM	完全電動化の未来に備え、低コスト化を見込める新開発EVモーター・アルティアム技術の開発を推進				✓	
韓国	現代自動車	R&D本部内のエンジン開発センターを廃止し電動化開発担当に全面改編するなど、EV、FCV開発に主軸をおいて開発推進				✓	✓
中国	上海汽車	2025年までの商用車販売台数におけるNEV比率38%、10モデル以上のFCV発売を目指し、スマートEVなどの革新的分野に3,000億元投資				✓	✓

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

従来型の自動車製造ピラミッド構造から、MaaSを基盤としたモビリティ・プラットフォーマーが上位レイヤーとなる都市開発型のビジネスモデルが拡大

自動車-ビジネスレイヤー: MaaSを基盤とした全体システム統合化

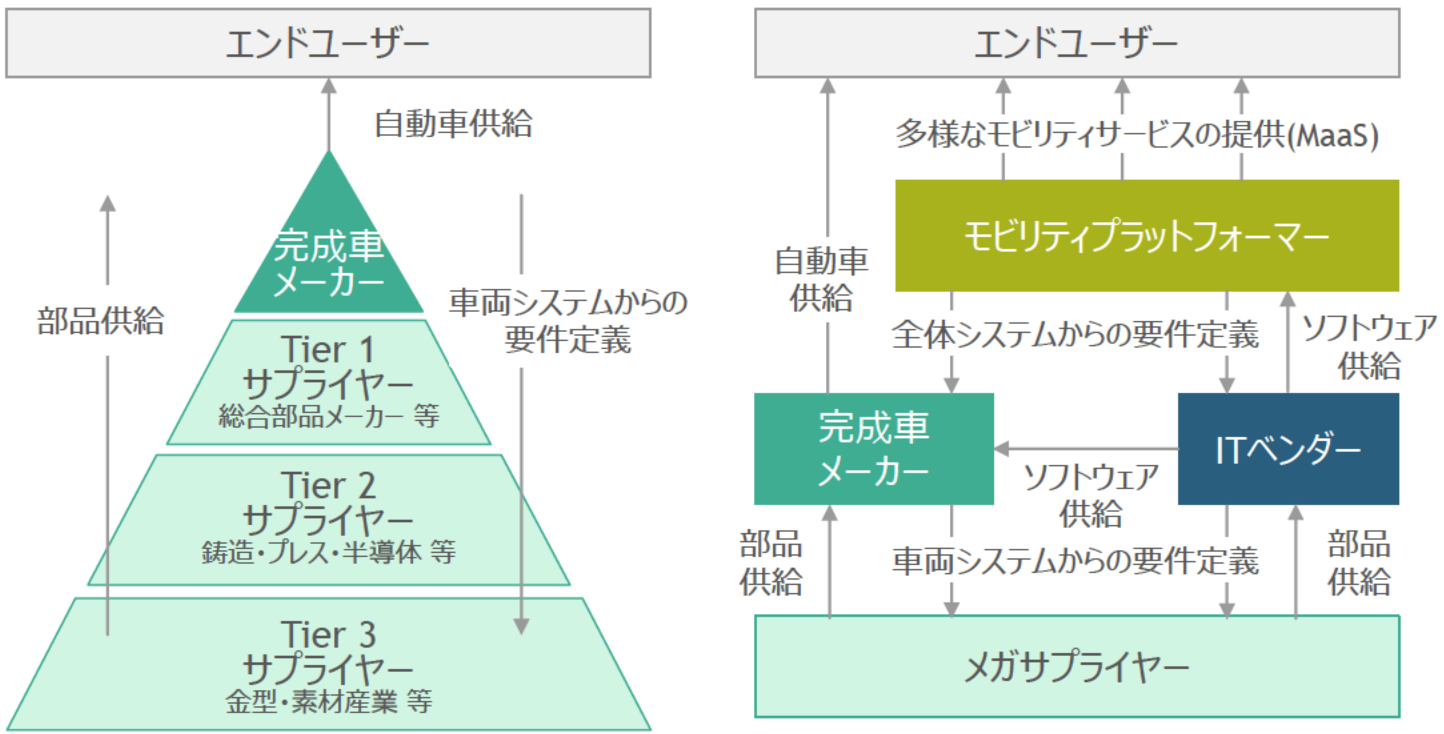
自動車産業のレイヤー構造変化

過去~現在

完成車メーカーを頂点としたピラミッド構造で、エンドユーザー接点は完成車メーカーが保有

将来

多様なモビリティサービスを提供するプラットフォーマーがエンドユーザー接点を強化



自動車関連企業による都市開発動向

企業名	取組内容
Woven Planet Holdings (トヨタ)	静岡県裾野市でWoven Cityを整備 (2021年2月～) • 自動運転、パーソナルモビリティ、ロボット、AI技術をはじめ、新技術をリアルな場で実証
Daimler、Bosch	カリフォルニアで自動運転の実証実験に着手 • 市街地での交通改善、路上の安全性向上を計画
Mercedes-Benz	カリフォルニア州で交通技術システムを開発 • 都市交通管理を改善し住みやすさを向上させるシステムを開発

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビュー; BCG分析

MaaSの推進モデルは主に(1)伝統的プレイヤー主導型、(2)ディスラプター主導型、(3)政府主導型の3つが存在

自動車-ビジネスレイヤー：MaaS推進モデル

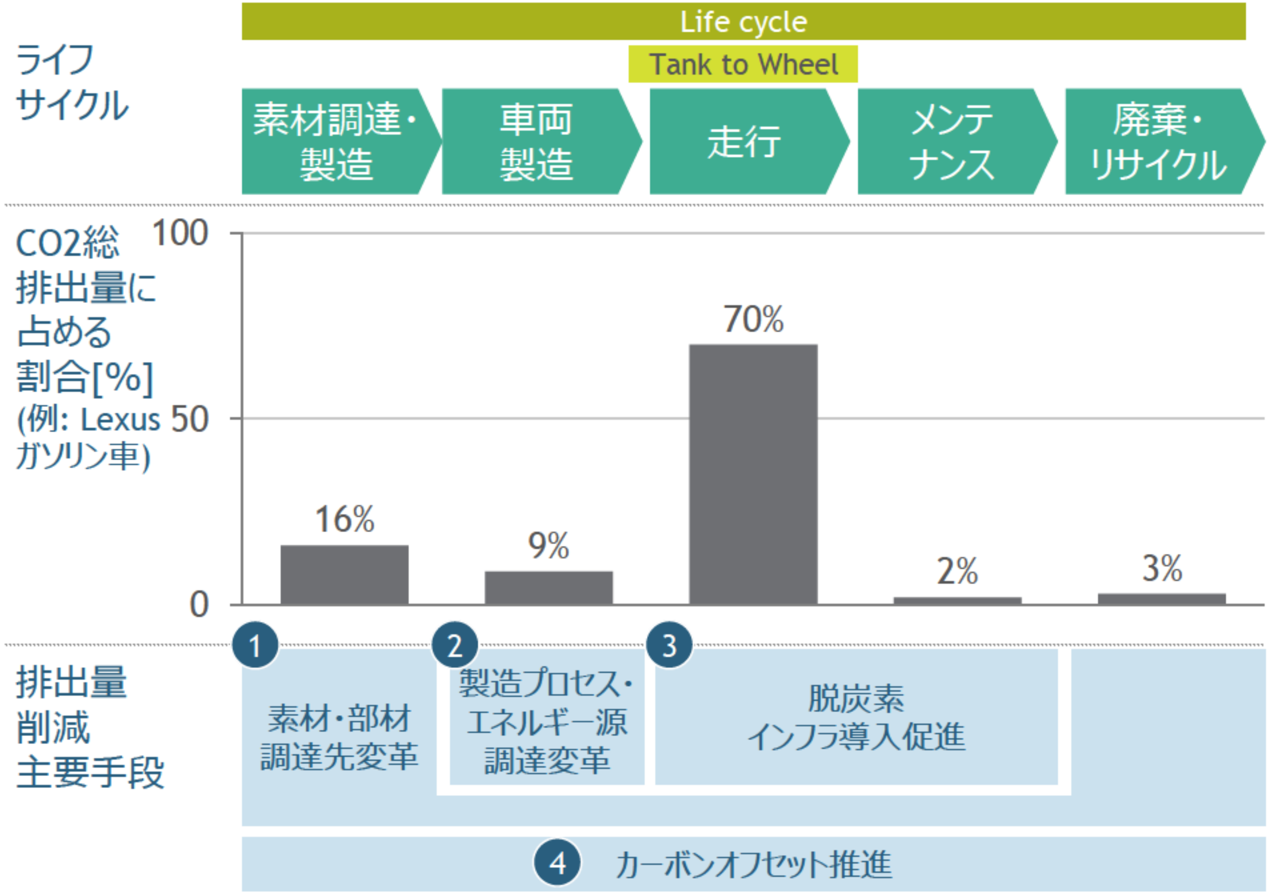
	(1) 伝統的プレイヤー主導型	(2) ディスラプター主導型 未成熟市場モデル	(2) ディスラプター主導型 成熟市場モデル	(3) 政府主導型
対象国の例	  	 		 
特徴	**大手モビリティ事業者主導**のサービス開発	共有プラットフォーム、データ活用プラットフォームはあるが、**サービス全体としては発展途上**	モビリティ開発とプラットフォームの両面で、**主要ディスラプターがしのぎを削る**	**規制見直しからサービス開発まで政府が主導**
近未来のイメージ	**大手モビリティ事業者は、次世代モビリティサービスの開発を継続してリード** • 政府がデータ整備・規制を支援	**共有PFやデータ活用PFで蓄積したデータをもとに、モビリティサービスを展開** • 政府が積極的でないため、新興プレーヤーが中心となって進展する可能性あり	**メガプレーヤーによる覇権争いが続く** • 政府によるスマートシティ開発プログラムを作り支援	**政府が次世代モビリティサービスを構築** • 民間は主導権を握らない
近未来のイメージ図 モビリティオペレータ	大手モビリティ事業者が複数存在 電気・IoT開発 / 自動運転と無人化 / 新しい交通手段 トヨタ (日本)、Daimler/VW (ドイツ) Etc. JR (日本)、Deutsche Bahn (ドイツ) etc.	電気・IoT開発 / 自動運転と無人化 / 新しい交通手段	多数の有力企業が開発に参入 電気・IoT開発 / 自動運転と無人化 / 新しい交通手段 Uber Tesla Google/Apple	政府主導のモビリティサービスを推進 電気・IoT開発 / 自動運転と無人化 / 新しい交通手段
近未来のイメージ図 モビリティサービサー	大手モビリティ事業者がサービスを拡充 シェアリング サブスクリプション (NOREL、Car-mo (日本) etc.) インフラ	既存のシェアリング事業者が他のサービスへ展開 シェアリング (Indonesia Go-Jek etc.) サブスクリプション インフラ	多くの著名なサービサーも台頭 シェアリング (Uber、Lyft etc.) サブスクリプション (Canvas(Ford)、Clutch etc.) インフラ (Tesla etc.)	シェアリング サブスクリプション インフラ
近未来のイメージ図 データ活用サービス事業者	Maas データ活用によるエコシステムの拡大 外部サービスとの融合	蓄積データ活用事業者が他サービスに拡大 Maas データ活用によるエコシステムの拡大 (Indian Droom etc.) 外部サービスとの融合	古くからあるデータバンドルビジネス MaaS (Miles (交通手段に応じたマイル還元アプリ) 等) データ活用によるエコシステムの拡大 (CarFax etc.) 外部サービスとの融合	MaaS (Whim、Mobility-X etc.) データ活用によるエコシステムの拡大 金融・保険サービスの統合

Source：BCG分析

従来のTank to Wheel(燃料タンクから車両走行まで)を超えて、Life Cycle(自動車原料から廃棄まで)でのGHG排出削減に向けた動きが加速

自動車-マーケットレイヤー: LCAでのGHG排出規制

自動車ライフサイクルでの現状CO2排出量と削減手段



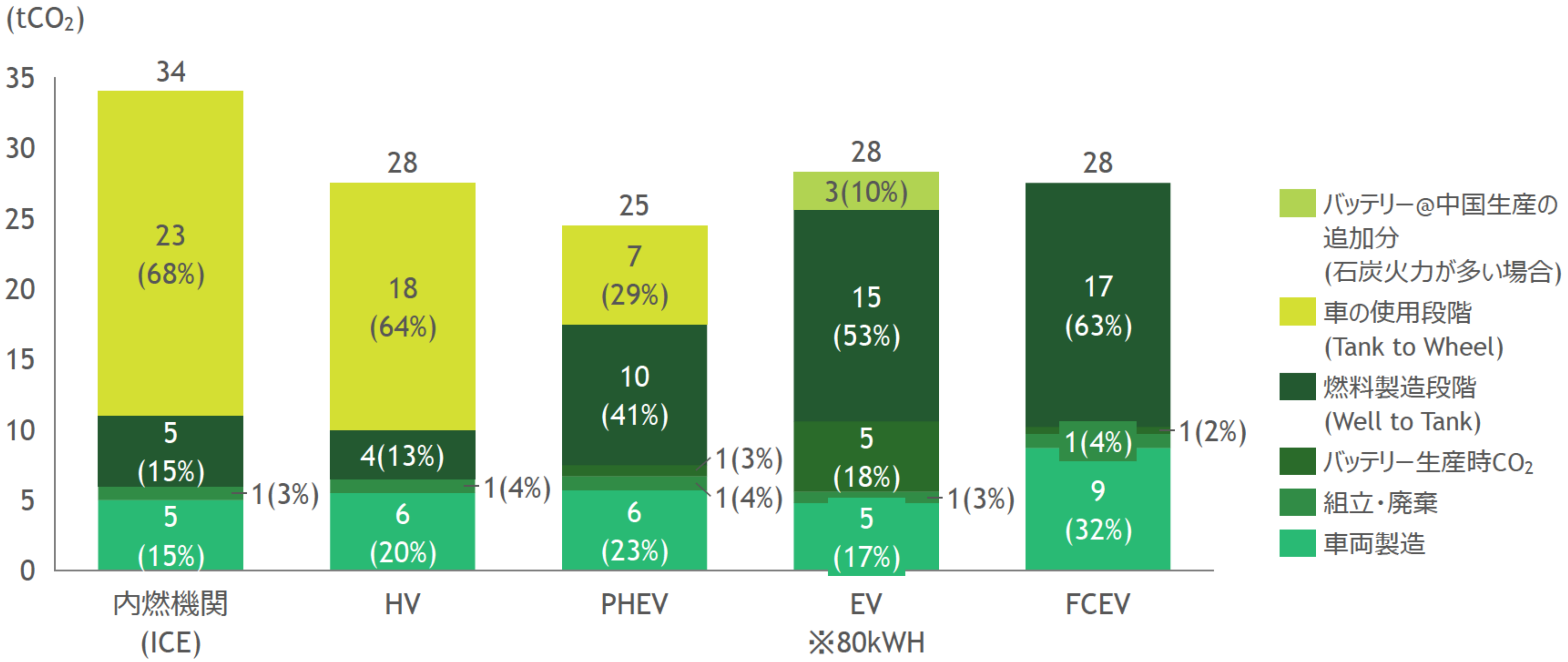
LCA規制を見据えた自動車各社動向

	日本企業	海外企業
1	トヨタ: 主要Tier 1サプライヤに対し、2021年CO2排出削減目標前年比3%減を要請	メルセデス・ベンツ: 2020年に2039年CN未達のサプライヤを除外の方針、既に75%が実現へ向けた覚書に署名済
2	トヨタ: 国内FCV生産ライン、欧州全8工場、南米4工場の100%再エネ電力化を達成	Bosch: 2020年に、自社の拠点400ヵ所でカーボンニュートラル達成済
3	トヨタ: 2025年までに国内全約5000カ所の系列販売店にEVの充電器を設置する方針	GM: EV導入促進のため7億5千ドルを投資し充電インフラ整備を計画、米国・カナダのディーラーに充電器を提供
4	ホンダ: 2020年、欧州市場での米テスラ・欧FCA主導のCO2排出枠連合に参画し、カーボンクレジット融通を推進	GM: 予測される残存炭素排出量を考慮して、カーボンクレジットまたはオフセットに投資

Source: Lexus; 各種公開情報を基にしたBCG分析

内燃機関やHVではTank to Wheel段階でのCO_2排出が多いが、EVやFCVでは燃料製造で多くのCO_2を排出するため、現状LCAでは差が限定的

自動車-マーケットレイヤー: パワートレイン別CO_2排出量の比較



Note. 電力のCO_2排出量は2017年の世界平均で計算
Source: 日刊自動車新聞; BCG分析

個別産業分析

鉄鋼

鉄鋼: 主要国の気候変動政策動向サマリ

		日本	EU	米国	中国	インド
政策ビジョン/目標設定		政府が鉄鋼業の脱炭素ロードマップを策定 • ~2050年温暖化ガス排出実質ゼロのための工程表策定 • 日本鉄鋼連盟も基本方針を公表	EUで鉄鋼業の脱炭素化ビジョンを発表 • EUは新産業戦略の一環として2021年5月に「競争力のあるグリーンな欧州の鉄鋼を目指して」を発表	脱炭素目標とグリーン水素導入時期の目標を発表 • 2030年にGHG排出量を50~52%削減(2005年比) • 2030年グリーン水素導入の目標	鉄鋼業界のCO2排出量ピークアウト時期を設定 • 中国の鉄鋼業界が排出するCO2量をピークアウト時期を2030年に設定(当初の2025年から延期)	国家政策で高炉・電炉比率の目標を掲げる • National Steel Policyを公表、高炉生産比率60-65%引下げ、電炉生産比率35-40%引下げが目標(2017年)
製造領域	Scope 1-2 (熱源・電力)	必要電力や燃料の脱炭素化に向けた技術開発を支援 • 省エネ補助金を活用し、次世代コークス炉の導入や発電設備の効率化、等の省エネ対策を実施	グリーン水素・グリーン電力を優先的に拡大 • ~2030年にグリーン水素生産目標を1,000万トンに設定 • 自然エネルギー電力目標を、2050年シェア81-85%に設定	グリーン水素イニシアチブを開始・支援 • 雇用を創出する地域グリーン水素ハブに80億ドルを拠出 • グリーン水素製造・リサイクルイニシアチブに5億米ドル、他	再エネ・水素活用拡大を図る • 「中国水素エネルギー燃料電池産業白書」で2050年までに全エネルギーの1割を水素で賄う、生産コストを10元/kgにする、等の目標を発表	製鉄所のエネルギー効率改善、再エネ拡充、水素生産拡大 • 2047年までのエネルギー自立に向けてNHM国家水素ミッションを発表、水素生産拡大への機運が上昇
	Scope 3 (製鉄技術)	水素を利用する次世代製鉄技術開発「COURSE50」支援 • 水素利用、CO2を分離回収する技術の開発のなかで、中長期的に水素のみで鉄鉱石の還元実現を目指す	低炭素鉄鋼生産技術に対しての投資・支援を促進 • イノベーション・ファンド、クリーン・スチール・パートナーシップ、サステナブル投資のためのEUタクソノミー等	サプライチェーン強化、コスト低下、雇用創出を支援 • America COMPETES Actやそれに含まれるプログラムで、鉄鋼含む産業セクターを脱炭素化	鉄鉱石を必要としない電炉ルート、等への移行が進む • 電炉比率を2025年までに2割(現在1割)に引上げ方針 • 豪中関係悪化に備え、鉄鉱石不要な製鉄方式を確立	製鉄、CCUSの技術は、海外からの輸入を検討か • 海外鉄鋼メーカーと資本関係にある企業は、提携先の技術を導入することで環境対応を推進
ルール・規格		鉄鋼産業には広義の炭素税が適用 • 鉄鋼は年間700億円を負担 日本のCO2排出測定方法が国際基準(ISO)に	CBAMに代表される炭素排出抑制に関連する税制度や再利用等の促進ルールを設定 • 欧州排出量取引制度(EU-ETS)、炭素国境調整メカニズム(CBAM)、等	脱炭素に資する製鉄を行うメーカーに報いるための貿易政策の構築を推進 • 米国政府は、欧州連合と協力し、国際貿易と気候変動に関する目標を一致させるため対策	排出量取引制度の導入や、タクソノミーを発表 • 2021年に温暖化ガス排出量取引制度(ETS) 取引が開始 • EUと中国の制度の共通点と相違点を明らかにする「コモングランドタクソノミー」を発表	英政府と工業ディープ脱炭素イニシアチブを設立 • 英政府とインド政府の主導で、「工業ディープ脱炭素イニシアチブ(IDDI)」を発足、政府調達で低炭素鉄鋼や低炭素セメントを積極的に購入

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

日本では、鉄鋼業の2050年温暖化ガス排出量実質ゼロを目指して工程表を策定しており、電力・燃料の脱炭素化や次世代製鉄技術「COURSE 50」等の支援が進展

日本: 鉄鋼産業における気候変動政策動向

導入目標

経済産業省が鉄鋼業界が2050年までに温暖化ガスの排出量を実質ゼロにするための工程表を策定

- 当面は省エネ・高効率化を進めて排出量を減らす
- 30年以降は石炭の代わりに一部水素を使って製鉄する手法を広げ
- 40年代には水素のみで製鉄する脱炭素技術を導入

上記に伴い、日本鉄鋼連盟も「我が国の2050年カーボンニュートラルに関する日本鉄鋼業の基本方針」公表

導入促進政策の概要

製造領域

Scope 1-2 (熱源・電力)

必要電力や燃料の脱炭素化に向けた技術開発を支援

- ゼロカーボン・スチールの実現に必要な、電力、水素、CCUSなどに関連する取り組みでは、いずれの分野でも中長期の大規模な社会実装に向けて、2020年代中に商用化に必要な技術開発を完了することを目指す
- 省エネ補助金を活用し、次世代コークス炉の導入や発電設備の効率化、等の省エネ対策を実施

Scope 3 (製鉄技術)

NEDOプロジェクトで水素を利用する次世代製鉄技術開発「COURSE50」を支援

- NEDOと大手鉄鋼メーカー(日本製鉄、日鉄エンジニアリング、神戸製鋼、JFE)が連携し、水素還元製鉄技術開発「COURSE50（CO2 Ultimate Reduction Systemfor Cool Earth 50)」を実施
  - 水素を部分的に利用するとともに、CO2を分離回収する技術の開発を目指す技術の発展で、中長期的に水素のみで鉄鉱石の還元を実現を目指す
- 他にも、民間からはGI基金の拡充による研究開発や商用化設備投資等社会実装段階への政策支援が求められており、整備が進む可能性

ルール・規格

鉄鋼産業には広義の炭素税が適用、日本のCO2排出測定方法が国際基準(ISO)に

- 広義の炭素税が適用されており、鉄鋼業が年間700億円を負担
  - 但し、カーボンプライシングはCO2開発分野への先行課税として競争力喪失につながっている可能性があり、見直しが求められている
- 官民(日本鉄鋼連盟、等)が提案した鉄鋼産業の二酸化炭素排出測定方法が国際標準化機構の新規格に
  - CO2排出量を製鉄所単位で包括的に測るのが特徴で、廃熱を自家発電に利用するなど日本の鉄鋼大手が得意な省エネ対策のCO2削減効果を反映が容易に

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

EUでは、鉄鋼の脱炭素化ビジョンを提示し政策枠組みを設計、グリーン水素・電力を優先的に拡大し、鉄鋼生産技術への投資支援を進めながら、CBAM等のルール形成を促進

EU: 鉄鋼産業における気候変動政策動向

導入目標

EUの2030年のGHG排出量削減目標を55%に引き上げることを提案（2021年に採択）

EUは新産業戦略の一環として2021年5月に「競争力のあるクリーンな欧州の鉄鋼を目指して」を発表し、EUの鉄鋼の脱炭素化へのビジョンを提示

ドイツ政府は、カーボンニュートラルな鉄鋼業を支援するため、「スチール・アクション・コンセプト」と名付けた包括的な政策枠組みを設計

導入促進政策の概要

製造領域	Scope 1-2 (熱源・電力)	**グリーン水素・グリーン電力を優先的に拡大** • ~2030年に電解装置を40GW整備し、グリーン水素生産量を1,000万トンとする目標を設定 • 自然エネルギー電力は、EU電力の38%を占め、コストも安い2050年までにシェアを81-85%と目標設定 • 鉄鋼メーカーの水素製造プロジェクトや低排出ガス金属生産への転換をスムーズに行うために必要なインフラの建設、その他の研究プログラムの支援に50億ユーロを追加で支出予定[ドイツ] • 水素技術の市場浸透のための重要な基盤となる「水素基本戦略」(2020年6月) で、連邦政府は、鉄鋼セクターの水素ニーズを綿密に分析し、積極的に伝えることに早くから着手[ドイツ]
	Scope 3 (製鉄技術)	**革新的・画期的な低炭素の鉄鋼生産技術に対しての投資・支援を促進** • イノベーション・ファンド：鉄鋼などのエネルギー集約型産業を含む複数のセクターを対象に、革新的な低炭素技術の実証に、2021年から2030年の間に270億～360億ユーロを提供 • クリーン・スチール・パートナーシップ：カーボンニュートラルな鉄鋼生産に資する画期的な技術の研究・イノベーションに関する活動を支援しており、パイロット～実証段階までの活動に最大7億ユーロを拠出 • サステナブル投資のためのEU タクソノミー：気候変動対策が主要な柱で、鉄鋼業では、技術手法ごとに製品の排出基準(生産トン当たりCO2排出量)を設定し、基準に適合するサスティナブルな生産への投資を促進
ルール・規格		**CBAMに代表されるような炭素排出抑制に関連する税制度や再利用等の促進ルールを設定** • 欧州排出量取引制度(EU-ETS)(汚染者負担の原則)：鉄鋼メーカーも対象の排出枠の無償割当を2026年から2035年にかけて段階的に廃止(年率10%削減) • 炭素国境調整メカニズム(CBAM) 提案: カーボン・リーケージ・リスクを低減することを目的に、特定品目をEUへ輸入する際、EU-ETSと同等の炭素価格を課すもので、鉄鋼を含む計5部門が対象 • 産業の排出に関する指令(Industrial Emissions Directive): 排出防止や排出削減技術導入を課す基準を設定することで、鉄鋼生産からのGHG排出を規制(導入義務／加盟国が定める適用罰則) • サーキュラーエコノミー・アクションプラン： 鉄鋼は、寿命の長い耐久性製品であり、リサイクル、再利用、再製造に適しているため、循環型社会に可能性を秘めた優先されるべき製品・材料グループの一つと位置付け

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

米国では、2030年の温室効果ガス排出量50~52%削減の目標を発表し、グリーン水素や雇用創出が見込める脱炭素取組み支援を通し、メーカーに有利な貿易関税構築を推進

米国: 鉄鋼産業における気候変動政策動向

導入目標

2021年4月に、2030年に温室効果ガス排出量を2005年比で50～52%削減する目標を発表

バイデン政権の気候変動対策ではインフラを中心に据えており、鉄鋼の鍛造に使われるグリーン水素導入の2030年導入目標の達成が鍵になりそう

導入促進政策の概要

製造領域	Scope 1-2 (熱源・電力)	**グリーン水素イニシアチブを開始・支援** • 雇用を創出する地域グリーン水素ハブに80億ドルを拠出 • クリーンな電気から製造される水素のコストを削減するためのグリーン水素電解プログラムに10億ドル • 装置製造と国内サプライチェーンを支援するためのグリーン水素製造・リサイクルイニシアチブに5億米ドル
	Scope 3 (製鉄技術)	**脱炭素化のため、サプライチェーン強化やコスト低下、雇用創出を行う企業を支援** • America COMPETES Actではサプライチェーン強化により、コスト低減、製造業の雇用創出を図っており、そこに含まれるRegional Clean Energy Innovation Program(25,000万ドル) と、鉄鋼を脱炭素化する新しいプログラムを通じて産業セクターを脱炭素化
ルール・規格		**脱炭素に資する製鉄を行うメーカーに報いるための貿易政策の構築を推進** • 米国政府は、クリーンな鉄鋼製造を行うメーカーに報いるため、炭素ベースの貿易政策を進めており、欧州連合と協力し、政府は国際貿易と気候変動に関する目標を一致させるため対策 - 環境価値の低い製品を排除し、米国人の雇用拡大と低価格化に繋げる狙い

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

中国では、政府が環境改善に向けて過剰生産能力解消・生産方式の見直しを求めており、製鉄プロセスでの再エネ・水素割合拡大、電炉や石炭不要の製鉄方式移行が進展

中国: 鉄鋼産業における気候変動政策動向

導入目標

中国は2060年にカーボンニュートラルを達成する目標を打ち出しており、その実現に向けて鉄鋼業の過剰生産能力の解消と生産方式の見直しを進めている

中国の鉄鋼業界が排出するCO2量をピークアウトさせる時期を2030年に設定(当初の2025年から延期)

導入促進政策の概要

製造領域	Scope 1-2 (熱源・電力)	**発電原に占める再エネ・水素活用の拡大を計画** • 2019年、水素エネルギー・燃料電池産業戦略創新連盟は、2050年までに全エネルギーの1割を水素で賄うとともに、生産コストを10元/kgにするといった目標を含む、「中国水素エネルギー燃料電池産業白書」を発表 • 水素、再生可能エネルギーや原子力を活用することで1次エネルギーに占める化石燃料の割合を2050年に5割以下引き下げを目指しており、発電源に占める再エネのシェアは2020年に約1割と、2010年から大きく上昇 • 過剰生産能力の解消促進のため、新規設備建設時にその生産量を上回る生産能力を削減することを義務付ける「鉄鋼業生産能力置換実施便法」を2021年に厳格化
	Scope 3 (製鉄技術)	**鉄鉱石を必要としない電炉ルート、石炭を必要としない製鉄方式に移行** • 政府は粗鋼生産に占める電炉の比率を現在の約1割から2025年までに2割に引き上げる方針 • 急速な豪中政治関係悪化により豪州から鉄鉱石を輸入する中国にとっての影響が懸念されており、鉄鉱石を必要としない電炉ルートでの鉄鋼生産の拡大、高炉における石炭製品を必要としない製鉄方式の導入が重要視 • 2015、中国は2050年までにCCUSにより24億トン(現在排出量1/4相当)を削減することを目指すロードマップをADBと共同で作成、その後、科学技術省・社会開発科学技術局とアジェンダ21 管理センター(政府の環境政策にかかわる専門家のワーキンググループ)が共同で新たなロードマップを策定
ルール・規格		**排出量取引制度の導入や、タクソノミーを発表** • 2021年より、温暖化ガスの排出量取引制度(ETS)の取引が開始しており、中国政府は排出量取引を今後拡大するため、業界団体と協力して鉄鋼、非鉄金属、化学などの業界のデータを収集 • EUと中国の制度の共通点と相違点を明らかにする「コモングランドタクソノミー」を発表しており、農林水産業、製造業、電気・ガス・蒸気・空調の供給など6つのシナリオにわたる61の活動が対象

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

インドでは、高炉比率・電炉比率を目標に設定しており、製鉄所のエネルギー効率化や再エネ利用の拡充を自国内で実施する動きだが、革新技術は海外からの輸入を検討

インド: 鉄鋼産業における気候変動政策動向

導入目標

2017年にNSP (National Steel Policy、国家鉄鋼政策)を公表、高炉生産比率の60-65%引き下げ、電炉生産比率35-40%引き上げを目標に設定

- それ以外にも、鉄鋼需要が2030年度にかけて2015年度の約3倍(現在の1億トン弱から年間3億トン)に拡大すると予測し、国内の粗鋼生産能力拡大する方針

導入促進政策の概要

製造領域

Scope 1-2 (熱源・電力)

製鉄所のエネルギー利用効率改善や、再エネ発電の拡充、水素生産拡大を計画

- 製鉄所の近代化によるエネルギー利用効率の改善、再生可能エネルギーによる発電を拡充
  - 現状約6割となっている石炭火力発電への依存度を2020年代半ばに約4割に引き下げるべく、再生可能エネルギーの導入を推進(ただし、過去10年間の上昇ペースを踏まえると目標達成はほぼ不可能)
- 2047年までのエネルギー自立に向けてNHM(National Hydrogen Mission、国家水素ミッション)を発表し、これを受けて水素生産を拡大

Scope 3 (製鉄技術)

製鉄、CCUSの技術開発への動きは限られており、海外からの輸入を検討

- 水素活用還元方式による製鉄やCCUSなど、革新的な技術の導入にかかわる具体的な動きは限られており、海外からの技術輸入で対応を検討
  - 海外鉄鋼メーカーと資本関係にある企業は、提携先の技術を導入することで環境対応を進める見込み
- インドで包括的戦略がないCCUSは、COP21で立ち上げられたクリーン・エネルギー分野の研究投資を促進する「ミッション・イノベーション」への参加を通じてCCUS関連の知見を深化
  - ただし、適地調査や用地収用等の手続きに時間がかかる見込みで、国内実証実験に向けた動きは緩慢なものにとどまる可能性

ルール・規格

英政府と工業ディープ脱炭素イニシアチブを設立し、脱炭素を支援

- 英政府とインド政府の主導で、鉄鋼とセメントのカーボンニュートラルでグローバル規模の協働体制を築くイニシアチブ「工業ディープ脱炭素イニシアチブ (IDDI) 」を発足し、二酸化炭素排出量の多い製鉄とセメント業界で、政府調達で低炭素鉄鋼や低炭素セメントを積極的に購入

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

鉄鋼: 脱炭素化に伴う競争環境・産業構造変化サマリ

競争環境変化 / 産業構造変化

技術レイヤー

日本企業

国内では高炉比率が高く、高炉を使う水素還元製鉄技術の開発を推進
- 日本では高炉が約75%と高比率
- 日本の製鉄メーカー各社が2050年までのカーボンニュートラルを掲げ、取り組みを実施
- 「COURSE 50」を通じて、複数社合同で高炉を使う水素還元製鉄技術の開発を推進

海外企業

特に欧州で電炉と水素還元技術を組み合わせた技術・プロジェクト開発を推進
- イランやアメリカ、トルコ、インドでは電炉の比率が高くなっており、ドイツでは過半以上が高炉
- 欧州を中心に、水素還元製鉄技術と電炉を用いたプロジェクトの導入を推進

産業構造変化

鉄鋼製造プロセスの低/脱炭素化に向けた多様な技術開発推進
- 鉄鋼製造プロセス全体の低/脱炭素化に向けて、クリーン電力＋電炉、天然ガスによる直接還元鉄(DRI-EAF)、水素還元製鉄法、高炉＋CCUS等の多様な技術開発/社会実装が推進

ビジネスレイヤー

日本企業

日本企業のシェアは低下しつつあり、東南アジアにフットプリント拡大し海外現地化推進
- 1980年台は日本や欧米の企業がシェア上位を占めていたがが、他国が追随
- 日本製鉄メーカーが東南アジアで現地企業買収やプラント設立等の海外現地化を推進

海外企業

鉄鋼生産量の多い中国が、東南アジア等海外へとプレゼンスを拡大
- 現在の鉄鋼生産量は中国が半分以上を占めるが、将来的にはインド、東南アジア、アフリカ等のその他新興国が拡大
- 地産地消を進めるため、中国製鉄メーカーが東南アジアでの製鉄所の建設を推進

産業構造変化

新興国の鉄鋼需要拡大とグローバルでの製鉄サプライチェーン再構築
- 鉄鋼需要/生産地の中心地が、現状の中国から経済成長著しい新興国(インド、東南アジア、アフリカ等)へ徐々にシフト
- それに伴い、鉄鋼メーカーのグローバルレベルでのサプライチェーン再構築が進展

マーケットレイヤー

日本企業

個社単位で気候変動への取り組みを実施
- 日本製鉄とリオティントは、炭素排出の少ない鉄のバリューチェーンへの移行に向けた技術探索、開発、実証を共同で行う覚書を締結
- 他にも日本製鉄企業が脱炭素目標を公表

海外企業

鉄鋼業の脱炭素化の加速を目指す国際イニシアチブが続々と発足
- 例えば、Mission Possible Partnership Net-Zero Steel Initiativeでは、2030年以降高炭素排出施設を造らないことを志向

産業構造変化

環境軸での新たな競争ルール導入による国際鉄鋼取引市場の変化
- CBAM(国境炭素税)やLCA(ライフサイクルアセスメント)等の環境価値を主軸とした新たな競争ルールの導入が進展
- それに伴い、ブロック経済化及び鉄鋼の地産地消化等の変化を誘発

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビューに基づくBCG分析

将来的な低/脱炭素製鉄技術には、高炉+CCUS、直接還元法、鉄鉱石電解等が存在

鉄鋼-技術レイヤー: 将来的な低/脱炭素製鉄技術

CO2排出量のイメージ

Integrated route

高炉-転炉法(BF-BOF)

- 鉄鉱石とコークスを原料に高炉で銑鉄をつくり、転炉で精錬、鉄鋼生産
- 粗鋼1tにつき1.8～2.9t-CO2のCO2を排出

Carbon Capture, Use & Storage (CCUS)

高炉-転炉＋CCUS法 (BF-BOF ＋ CCUS)

製錬所-転炉＋CCUS法 切替 Smelter-BOF + CCUS)

- 高炉-転炉法からの排出を低減させる技術と、排出したCO2を回収・使用・貯留する(CCUS)技術を組み合わせ
  - 排出低減技術の例としては、高炉への水素ガスの注入や副生ガスのリサイクル、ヒサルナ等
- 還元材に一部水素を利用できるが、石炭利用は残存

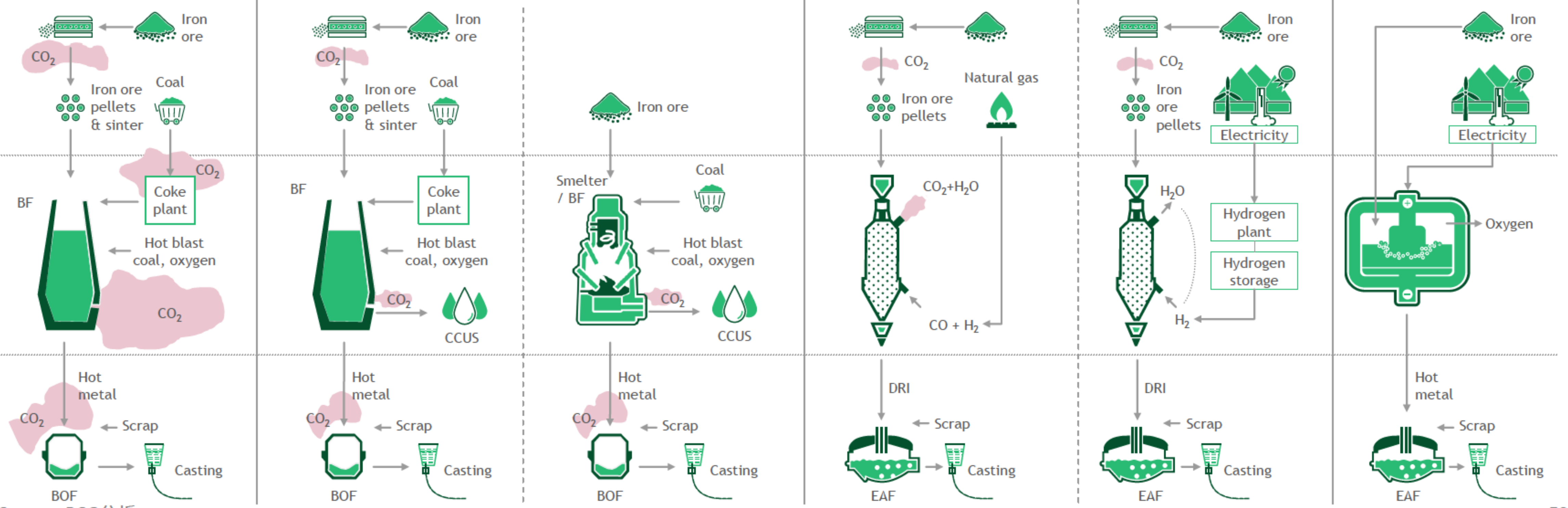
Carbon Direct Avoidance (CDA)

直接還元-電炉法(NG DRI-EAF) から、最終的にはグリーン水素 直接還元電炉法(green H2 DRI-EAF)に切替

- 鉄スクラップを利用し脱炭素電力で稼働する電気アーク炉(EAF)で鉄鋼リサイクル
- 水素への転換と電力の脱炭素化で排出をゼロに

- 直接還元法を改良し水素を還元材と燃料として利用
- グリーン水素の利用可能性に合わせて設備を改修不要で100%水素還元に転換

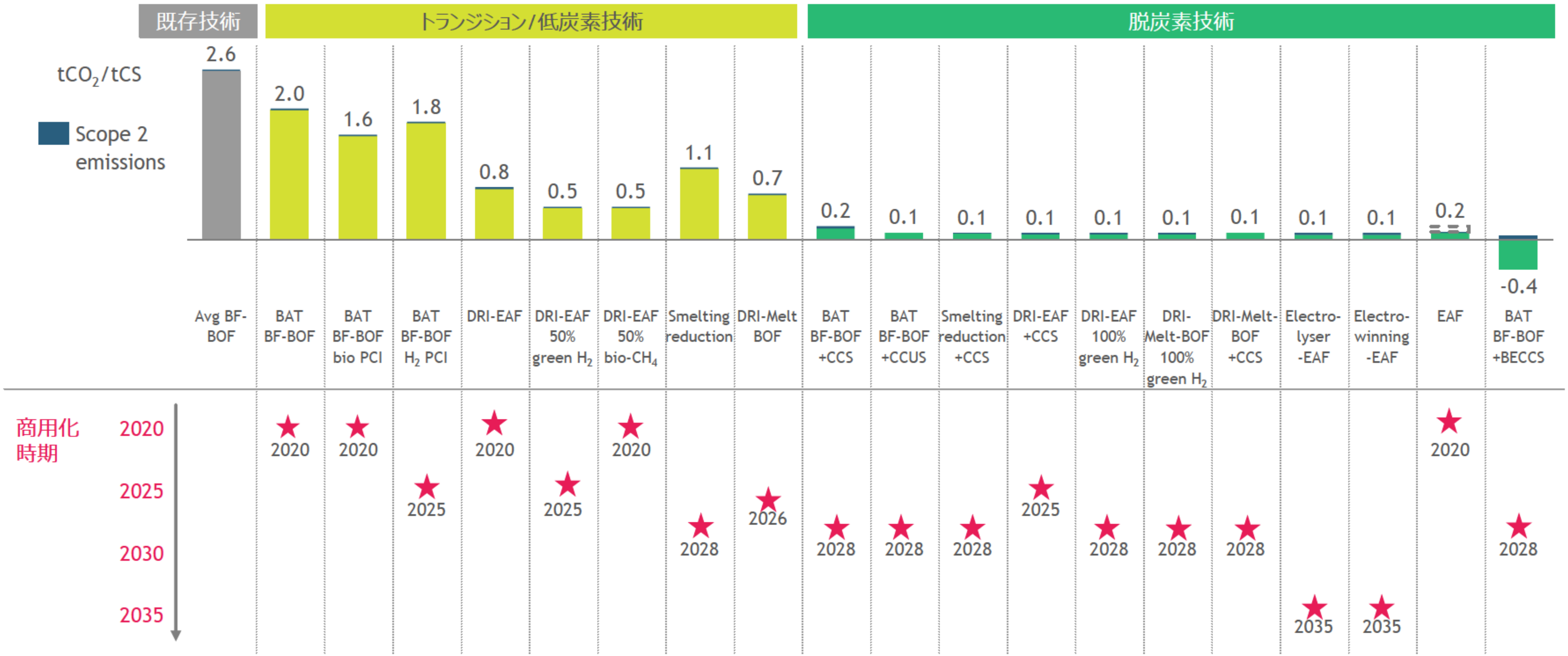
鉄鉱石電解 (Iron ore Electrolysis)



Source: BCG分析

トランジション/低炭素技術は2020~2030年の間、脱炭素技術は2020~2040年の商用化の想定

鉄鋼-技術レイヤー:技術別 低/脱炭素製鉄技術のCO2排出量と商用化時期



Source: Mission Possible Partnership "NET-ZERO STEEL SECTOR TRANSITION STRATEGY(NET-ZERO STEEL INITIATIVE / OCTOBER 2021)"; BCG分析

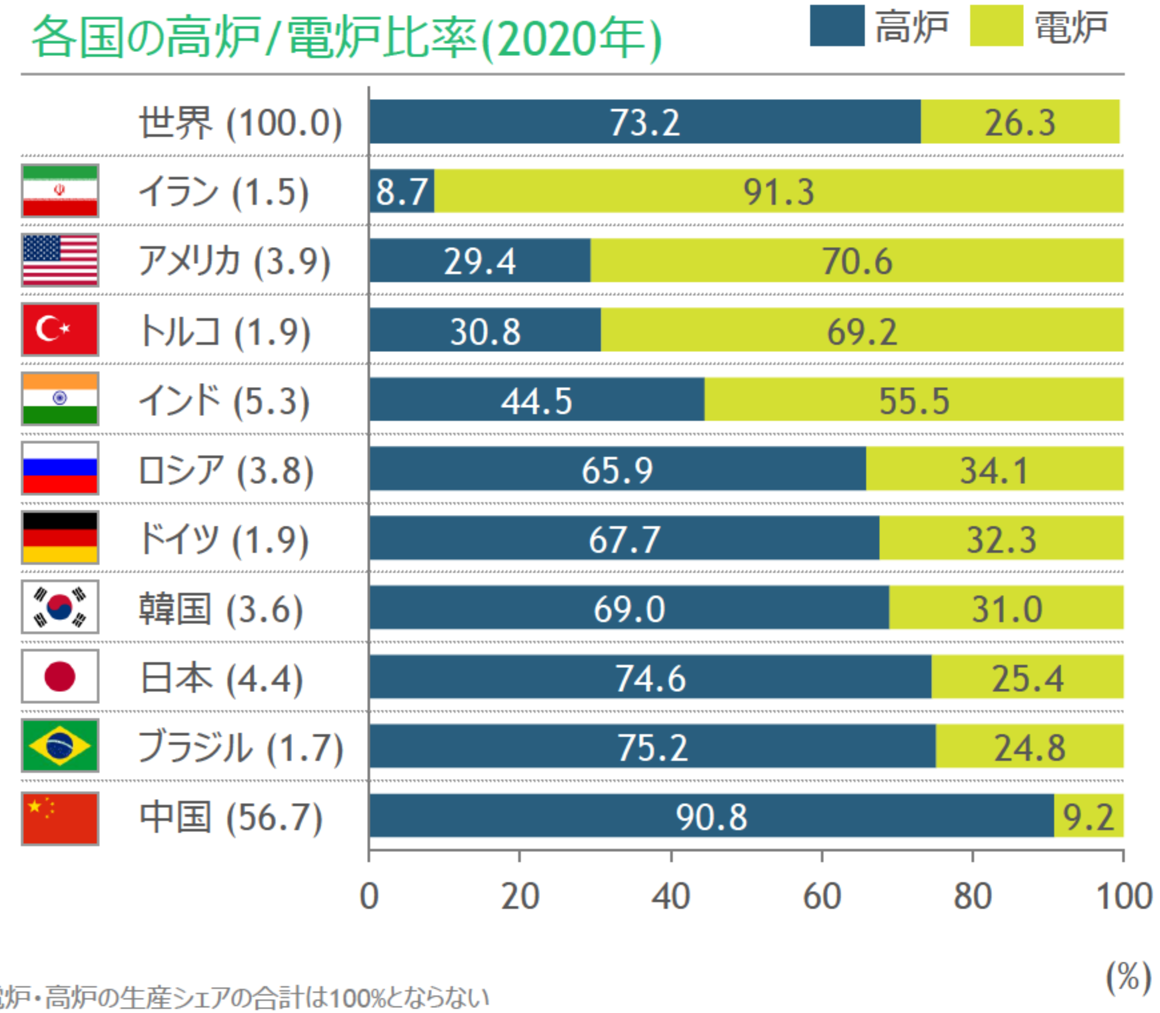
電炉は高炉対比でCO2排出量が少なく、初期投資も少額であることが特徴も、日本国内における現在の製鉄プロセスは高炉が中心

鉄鋼-技術レイヤー: 高炉・電炉の技術比較、高炉/電炉の比率

高炉・電炉の比較

		高炉	電炉
概要	製造工程	鉄鉱石をコークスで還元 •還元時に大量の二酸化炭素を排出 •大量生産に向く(自動車用鋼板等)	鉄くず・スクラップを電気で熔解(リサイクル) •高炉ほど広い土地は不要で、生産規模の融通が効く
	CO2排出量	•約2t-CO2/t-鉄(還元時) •主原料輸送工程で電炉の35~125倍のCO2排出	•約0.5t-CO2/t-鉄 (但し、使用電力のクリーン度合に依存)
	日本企業	•日本の高炉メーカーは3社 - 新日鐵住金、JFEスチール、神戸製鋼所	•日本の電炉メーカーは約8社 - 東京製鐵、JFE条鋼、共英製鋼、合同製鐵、大阪製鐵、他
設備コスト		5000億円~1兆円(新設) •高炉、転炉、圧延機など大規模な設備が必要	高炉の1/20程度(初期投資) •電炉、圧延機が必要

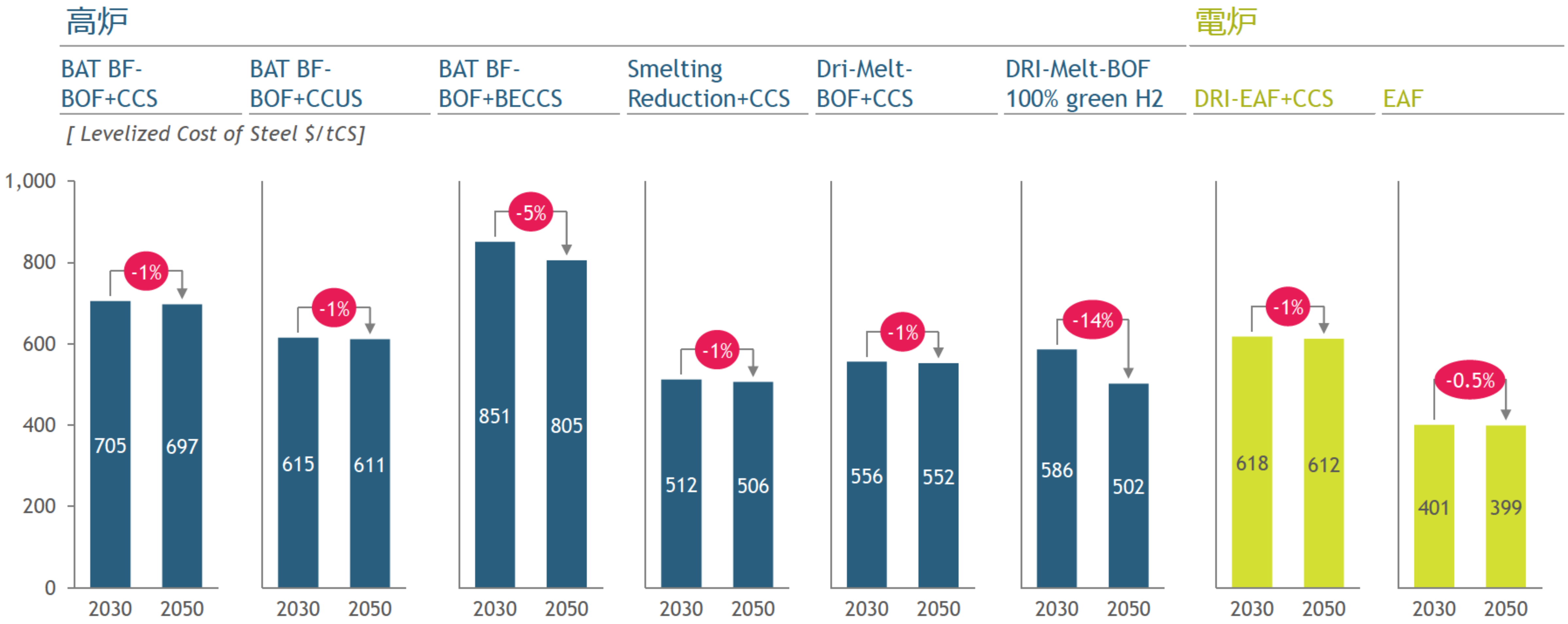
各国の高炉/電炉比率(2020年)



Note: 国名のカッコ内数値は世界の生産に占めるシェア; 電炉・高炉以外の生産方式も存在するため、世界の電炉・高炉の生産シェアの合計は100%とならない
Source: World Steel Association、BCG分析

低/脱炭素化製鉄プロセスの均等化コスト(粗鋼生産量当たりコスト)は、現状見立てでは、2030年から2050年にかけて減少

鉄鋼-技術レイヤー: 低/脱炭素化製鉄プロセスの均等化コスト(2030/2050年)



Note: Estimated costs include Favorable location + Unfavorable location
Source: Mission Possible Partnership "NET-ZERO STEEL SECTOR TRANSITION STRATEGY(NET-ZERO STEEL INITIATIVE / OCTOBER 2021)"; BCG分析

日本では高炉を用いた水素活用還元の脱炭素化プロジェクトが推進されている一方で、欧州を主体に、電炉を用いた水素還元プロジェクトが拡大

鉄鋼-技術レイヤー: 国内外における製鉄プロセス低/脱炭素化プロジェクト動向

国	プロジェクト名(企業)	プロジェクト概要	製鉄プロセス低/脱炭素化技術		
			高炉	電炉	直接還元
日本	iACRES	高炉から排出されるCO2をCOに再生してリサイクルするスマート製鉄	✓		
	COURSE 50	環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発	✓		
韓国	Finex (Posco)	鉄鉱石の微粉末と非粘結炭で直接溶銑、処理段階が不要			✓
オランダ	Hisarna (Tata Steel)	原料を粉末のまま使用し、直接液体の銑鉄に変換			✓
スウェーデン	Boden (H2Green Steel)	完全デジタル化された、グリーン・スチール生産拠点を建設		✓	
	HYBRIT (SSAB)	LKAB, Vattenfall共同で、化石燃料不使用の電気と水素に置換		✓	
スペイン	Gijón (ArcelorMittal)	スペイン政府が10億€投資し、~2025年末にDRI-EAFで生産開始予定		✓	
ドイツ	H2 Hamburg (ArcelorMittal)	世界初工業規模で年間10万トンの100%H2 DRIで製造		✓	
	tkH2Steel (ThyssenKrupp)	高炉の還元剤として水素を活用		✓	
	MIDREX H2	MIDREX®シャフト炉で水素を使用			✓
	SALCOS	水素生成と高炉から直接還元へ鉄鋼生産転換、CO2排出95%+削減			✓
フランス	Dunkerque (Liberty Steel)	フランスにて初めての産業規模の水素製鉄プラントを建設・運営		✓	
	IGAR(ArcelorMittal)	廃棄されたCO2を鉄鉱石の還元に適した合成ガスに改質	✓		
	ULCOS-BF	高炉をCO2分離装置と閉ループで効率的に操業することが可能と証明	✓		
ベルギー	Gent (ArcelorMittal)	250万tのDRIプラントと電炉2基を建設、廃材等利用できる高炉と併設		✓	

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

主要企業は2050年前後のカーボンニュートラルを目標に、水素還元製鉄やCCUS活用の高炉、電力のグリーン化等の脱炭素に向けた取組みを推進

鉄鋼-技術レイヤー: 主要企業の脱炭素目標及び低/脱炭素化に向けた取り組み

国・地域	企業	脱炭素目標	低/脱炭素化に向けた主要な取組み
日本	日本製鉄	• 2030年までにCO2総排出量を30%削減(2013年比) • 2050年までにカーボンニュートラル	大型電炉での高級鋼量産、水素還元製鉄、CCUSを含め複線的にアプローチ(R&D投資5000億円、4~5兆円の設備投資)
	JFEホールディングス	• 2030年までにCO2総排出量を20%削減(2013年比) • 2050年カーボンニュートラル実現	カーボンリサイクル高炉とCCUを軸とした超革新的技術開発／高付加価値電磁鋼板の供給体制拡大／製造プロセスDXに1,000億円投資
	神戸製鋼所	• 2030年までにCO230~40%削減(2013年比) • 2050年カーボンニュートラル実現	技術・製品・サービスで1億t以上のCO2排出削減に貢献／既存技術の省エネ化と革新技術開発、MIDREX技術で業界をリード
中国	宝山鋼鉄社	• 2023年に炭素排出量をピークアウト • 2030年までに30%削減	ミニ高炉を利用して水素還元製鉄の研究を進め、低炭素材料や電気自動車向けの軽量鋼材などの研究開発に売上高の3%を投資
アメリカ	US Steel	• 2030年までにCO2総排出量を20%削減(2018年比) • 2050年ネットゼロを達成	電炉をDRIや脱炭素電源、CCUSと組み合わせ／自動車産業に高性能な製品を提供することでCO2削減に貢献
欧州	Arcelor Mittal	• 2030年までにCO2総排出量を25%削減(2018年比)、ヨーロッパでは35%削減	革新的なDRI-電炉プロセスで脱炭素化／~2025年に世界初のCO2排出ゼロ製鉄所をスペインに建設／政府支援で脱炭素費50%を受ける
	Tyssenkrupp	• 2030年までにCO2総排出量を30%削減(2018年比) • 2050年カーボンニュートラル	CCUの改修とBF-BOFのDRIへの一部変更／H2-DRIに完全転換し、電気溶融装置とBOF製鉄で気候変動に対応
	Salzgitter AG	• 2025年までにCO2総排出量を26%削減(2019年比) • 2050年までに95%削減	BF-BOFをH2-DRI-EAFに完全に置き換え／グリーンH2とグリーン電力を使用
	Voestalpine AG	• 2025年までにCO2総排出量を30%削減(2019年比) • 2050年までに80%削減	CCUレトロフィットや、グリーンH2とグリーン電力を使用するH2-DRI-EAFへ完全移行
	SSAB	• 2025年までにCO2総排出量を25%削減(2018年比) • 2045年までに100%削減	スウェーデンでグリーンH2とグリーン電力を使用するH2-DRI-EAFへ完全移行
	Liberty	• 2030年までにClimate Neutral	BF-BOFの一部をDRI-EAFで代替し、スクラップ利用拡大／再生可能エネルギーを利用
インド	Tata Steel	• 2030年まで30%削減（2019年） • 2050年までカーボンニュートラルを目指す	オランダと英国におけるCCSネットワークプロジェクトを実施／水素ベースの製鉄技術に段階的に転換

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

1980年台は日欧米の製鉄企業が世界シェア上位を占めていたが、2000年代以降の中国勢の台頭により、現在は中国企業が上位10社のうち7社を占める

鉄鋼-ビジネスレイヤー：製鉄企業の世界シェアトップ10の推移

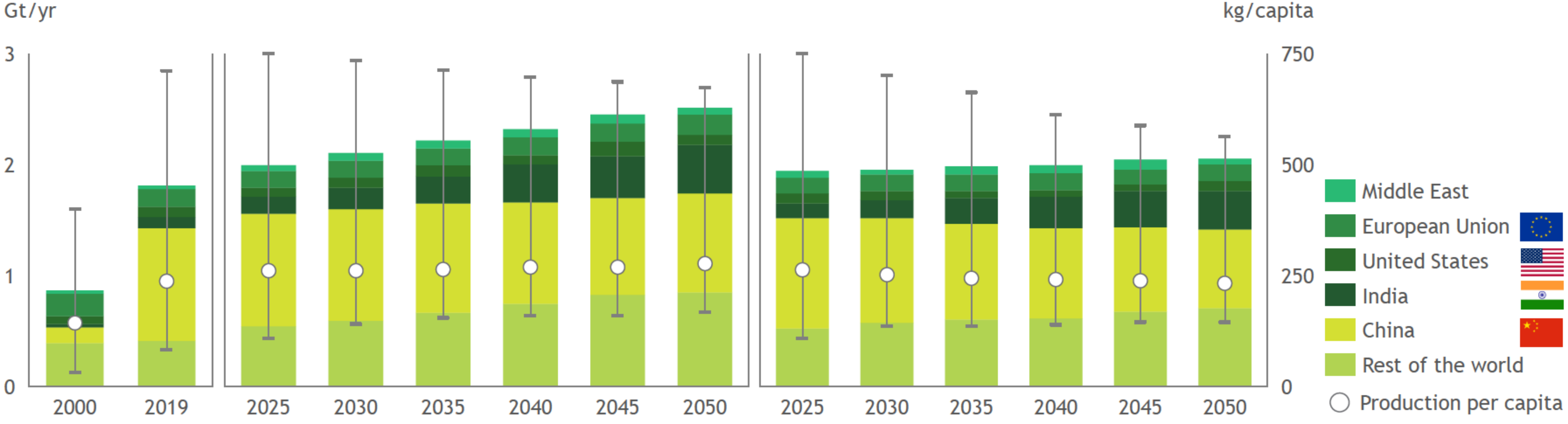
順位	1980年	(百万トン)	1990年	(百万トン)	2000年	(百万トン)	2010年	(百万トン)	2020年	(百万トン)
1	新日本製鉄	32.9	新日本製鉄	28.8	新日本製鉄	28.4	Arcelor Mittal	98.2	宝鋼集団	115.3
2	US Steel	21.1	Usinor	23.3	POSCO	27.7	宝鋼集団	37.0	Arcelor Mittal	78.5
3	日本鋼管	14.0	POSCO	16.2	Aebed	24.1	POSCO	35.4	河北鋼鉄集団	43.8
4	Finsider	13.7	British Steel	13.8	LNM	22.4	新日本製鉄	35.0	江蘇沙鋼集団	41.6
5	Bethlehem Steel	13.6	USX	12.4	Usinor	21.0	JFEスチール	31.1	日本製鉄	41.6
6	住友金属	12.7	日本鋼管	12.1	Corus	20.0	江蘇沙鋼集団	23.2	POSCO	40.6
7	川崎製鉄	12.7	ILVA	11.5	ThyssenKrupp	17.7	Tata Steel	23.2	鞍鋼集団	38.2
8	Thyssen	12.4	Thyssen	11.1	上海宝鋼集団	17.7	US Steel	22.3	建龍集団	36.5
9	Usinor	9.2	住友金属	11.1	日本鋼管	16.0	鞍鋼集団	22.1	首鋼集団	34.0
10	J&L	8.8	川崎製鉄	11.1	Riva	15.6	Gerdau	18.7	山東鋼鉄集団	31.1

Note: 各社の生産量には連結対象子会社・持分法適用会社の生産量を含む
Source: World Steel Association; BCG分析

現在の鉄鋼生産量は中国が半分以上を占めるが、将来的にはインド、東南アジア、アフリカ等のその他新興国での鉄鋼生産量が拡大

鉄鋼-ビジネスレイヤー: シナリオ別の地域別鉄鋼生産量

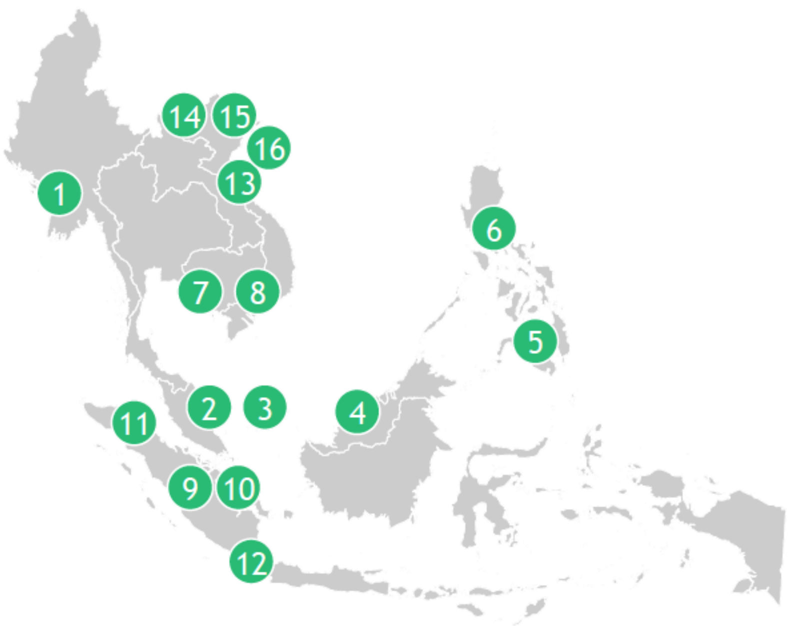
実績	STEPS	SDS
	公表政策シナリオ (Stated Policies Scenario：STEPS) 実施中の政策に加えて 現在公表されている新規政策やそれに基づく目標値が実現することを前提	持続可能な開発シナリオ (Sustainable Development Scenario： SDS) パリ協定が目指す「1.5℃ないし2℃目標」と一致する前提



Note: STEPS = Stated Policies Scenario. SDS = Sustainable Development Scenario;
Production per capita: dot represents the global average; the range represents the spread of regional values.
Source: IEA "Iron and Steel Technology Roadmap Towards more sustainable steelmaking"; BCG分析

中国製鉄企業は、鉄鋼需要増加が見込まれる東南アジア地域において、積極的に現地化・製鉄所建設を拡大

鉄鋼-ビジネスレイヤー: 東南アジアにおける中国製鉄企業の製鉄所拡大動向



国	中国製鉄企業	生産能力 (万トン)
ミャンマー	1 雲南永楽海外投資有限公司	400 (計画)
マレーシア	2 北京健龍重工集団	500 (計画)
	3 広西北部湾国際港務集団	350
	4 河北新武安鋼鉄集団	1,000 (計画)
フィリピン	5 攀華集団	1,000 (計画)
	6 河鋼集団	
カンボジア	7 宝武鋼鉄集団	310
	8 雲南永楽海外投資有限公司	100 (計画)
インドネシア	9 青山鋼鉄	200
	10 印尼徳信鋼鉄	2,000 (計画)
	11 南京鋼鉄	100
	12 河北卒氏集団	300 (計画)
ベトナム	13 ベトナム聖力特鋼	50
	14 昆明鋼鉄	50
	15 Cao Bang Integrates	50
	16 Hang Nguyen Company	50

Source: 経済産業省製造産業局金属課「金属産業の現状と課題」(令和3年12月) ; BCG分析

日本の製鉄企業も、鉄鋼需要増加が見込まれるアジア・アフリカ地域で現地企業買収やプラント設立等海外現地化を推進

鉄鋼-ビジネスレイヤー: 東南アジア・アフリカにおける日本企業の製鉄所設立状況

日本製鉄企業	国	取り組み	詳細
日本製鉄	タイ	現地企業買収	• 電炉を使うGスチールとGJスチールを買収、完全子会社化を目指し、買収額は負債を含め最大で約880億円を見込む • 東南アジアに製鉄所を持つのは初めてで、現在主流の高炉より二酸化炭素排出量が少ない電炉を活かし、現地で需要が拡大する建材や自動車向けの需要を取り込む(2021年度)
	インド	現地企業買収 現地製鉄所新設	• ArcelorMittalと共同で、Essar Steel India Limitedの共同買収 • 鉄源一貫製鉄所を有する鉄鋼メーカーとして、拡大するインドの鉄鋼需要を中長期的に取込む • 東部のオディシャ州政府と製鉄所建設のための土地取得で覚書を締結 • インドは今後鋼材需要が足元の2倍超に拡大する見通しで成長市場での事業基盤の強化を図る
JFEホールディングス	インド	事業性検証実施	• インドの戦略的アライアンスパートナーであるJSW Steel Limitedと共同で、インドでの方向性電磁鋼板製造販売会社設立の事業性検証(FS)実施を決定し、FS実施に関する覚書をJSWと締結
	ベトナム	現地で高炉を操業	• 台湾塑膠工業グループなどと共同でベトナムで建設していた高炉一貫製鉄所の操業を開始 • 日本勢の東南アジアでの高炉事業参画は初 • JFEは新高炉を東南アジアの中核拠点と位置づけ、製造した半製品をベトナムの建設用途向けに販売するほか、東南アジアにあるグループの加工会社向けにも供給予定
神戸製鋼所	タイ	地域統括会社設立	• 東南アジアおよび南アジア地域における統括会社として、タイにKobelco South East Asia Ltd. を設立し、2017年8月より業務を開始 • 経営管理の強化を図ると共に、グループ会社のサポート、人材交流などグループ内の連携、事業効率化を推進し、当該地域における事業成長を引き続き実現
	アルジェリア	現地プラント受注	• 神戸製鋼所グループのミドレックス社と、Paul Wurth S.A.のコンソーシアムは、アルジェリアの国営製鉄会社Algerian Qatari Steel向けに、MIDREX®直接還元鉄プラントを受注 • 還元鉄プラントとしては世界最大クラスとなる年産能力250万トンを誇る大型受注であり、2018年11月の稼動開始を目指し、建設を開始

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

鉄鋼業の脱炭素化の加速を目指す国際イニシアチブが続々と発足

鉄鋼-マーケットレイヤー: 鉄鋼業の脱炭素化加速を目指すイニシアチブ

イニシアチブ	オーガナイザー、メンバー	目的	取り組み
Mission Possible Partnership Net-Zero Steel Initiative	Energy Transitions Commission, RMI, We Mean Business Coalition、世界経済フォーラム	• この10年でゼロカーボン一次製鉄技術を市場化、スクラップベースの製造促進	• 鉄鋼等高排出7産業を対象に、脱炭素化に向け、産業のCEO、需要家、サプライヤーでコミュニティを形成、推進 • 2030年以降、高炭素排出施設を造らないことを目指す
Leadership Group for Industry Transition (LeadIT)	スウェーデン政府、インド政府発足、世界経済フォーラムが支援、16か国、19社がメンバー	• パリ協定達成のための行動を約束する国や企業を集める	• LeadITのメンバーは2050年までのゼロエミッションを目標に、エネルギー集約産業の低炭素化を進展させる必要
Clean Energy Ministerial (CEM)/ Industrial Deep decarbonization initiative	英・印が主導、独・加・UAEが参加、MI、LeadIT、IRENA、世銀と協働	• CEMの官民協働イニシアチブ • 低炭素工業材料の需要喚起に取り組む官民組織の世界的な連合体	• 各国政府と協力し、炭素評価の標準化、公共・民間部門の野心的な調達目標の設定、低炭素製品開発への投資の奨励、業界ガイドラインの設計を実施
First Movers Coalition (FMC)	米・国務省と世界経済フォーラムの官民パートナーシップ	• 2030年までに、鉄鋼等高炭素排出4分野の低炭素の製品・サー ビスの初期需要を高め、ソリューションの拡大を図る	• メンバーは2030年までに鉄鋼調達の10%以上をニア・ゼロエミッション・スチールに置換
Climate Group's Steel Zero	オーステッド等15社が参画	• ~2050年の炭素排出量ゼロの世界を実現	• 市場と政策の転換に需要側からの強いシグナルを送るため、鉄鋼の調達・選定・貯留を、~2030年50%、~2050年100%ネットゼロスチールとすることにコミットする企業を集結
Mission Innovation/ Industry Mission	22か国とEUが参加	• 政府、公的機関、企業、投資家、アカデミアを結集、広く安価なクリーンエネルギーを世界的に実現し、パリ協定目標達成を目指す	• クリーンエネルギーをこの10年間で、全ての人に、手ごろなコストで魅力的、かつ利用しやすいものにするための研究・開発・実証と、それに対する投資を促進
Responsible Steel	ブルースコープ・スチール、アルセロール・ミタルが創立ファウンダー	• 2050年鉄鋼業のネットゼロをミッションに、鉄鋼のサプライチェーン全体を対象とした基準・認証を目指す	• 鉄鋼業を対象とするマルチスティクホルダーの基準、認証 • 2021年に生産と加工に適用されるレスポンシブル・スチール・スタンダードV.1.1を発表

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

個別産業分析

化学

化学: 主要国の気候変動政策動向サマリ

		日本	EU	米国	中国
政策ビジョン/目標設定		政府、産業団体が脱炭素目標設定 •トランジションファイナンスに関するロードマップの一つに化学産業を選定 •化学工業協会は「カーボンニュートラルへの化学産業としてのスタンス」を発表し、CO2削減目標を提示	政府、産業団体が脱炭素方針設定 •持続可能なイノベーションを後押しすること等を目的にChemicals Strategy for Sustainabilityを制定 •EUのプラスチックリサイクル目標は2025年に50%、2030年に55%	政府が国全体の脱炭素目標を設定 •2021年4月に、2030年に温室効果ガス排出量を2005年比で50～52%削減する目標を発表(国全体の目標)	政府が脱炭素目標および脱炭素開発計画を発表 •2060年にCN達成する目標 •第14次5カ年計画期間で石油化学を含む産業分野のグリーン開発計画を発表し低炭素化へと転換を要求
製造領域	Scope 1-2 (熱源・電力)	ナフサ分解炉の効率化による省エネ化や燃料転換・活用、CCSを推進 •BPT(エチレン製造設備)の効率の改善、天然ガスへの転換 •石油・重油からアンモニアや水素への燃料転換、オフガスの原料化等	グリーン電力やグリーン水素を必要とされる化学領域に優先的に拡大 •官民で投資主体設立、財源はEU基金・EIB等の仕組を最大限活用 •欧州共通プロジェクト(IPCEI)の対象として各国補助金も積極的に活用	化学産業の熱需要の脱炭素化としてグリーン水素イニシアチブ開始・支援 •気候応用研究プロジェクトエージェンシー(ARPA-C)で、化学品等を製造する際の産業用熱需要の脱炭素化を主要研究テーマの一つに設定	発電源に占める再エネ・水素活用の拡大を計画 •「中国水素エネルギー燃料電池産業白書」で水素割合やコスト目標発表 •1次エネルギーの化石燃料の割合引き下げのため、再エネシェア向上予定
	Scope 3 (製鉄技術)	原料転換や使用済品からのリサイクル技術の確立を支援 •バイオマス原料転換、CO2を原料とした機能性化学品の生成、等を支援 •マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル技術の開発も支援	サーキュラーエコノミー政策に基づき、ケミカルリサイクルの普及拡大を後押し •政策の後押しにより欧米国際企業の多くがプラスチックリサイクル材料の使用率を高める目標を誘発 •関連技術等の投資が促進予定	プラスチックリサイクル等の技術開発に政府が資金を投資 •米国エネルギー省(DOE)が、使い捨てプラスチックのエネルギー消費と二酸化炭素排出を削減する次世代プラスチック技術に1,340万ドルの資金提供	環境にやさしい化学技術のブレークスルーを表彰し、技術開発を推進 •科学者等の表彰式典では、石油化学・石炭化学産業関連で功績を挙げた10以上のプロジェクトが受賞
ルール・規格		製品ライフサイクルでのGHG排出削減貢献量分析手法 cLCAを設定 •化学工業協会が、手法を設定、手法の普及・啓発を実施	CBAMに代表される炭素排出抑制に関連する税制度や再利用等の促進ルールを設定 •炭素国境調整メカニズム(CBAM)、産業の排出に関する指令、サーキュラーエコノミー・アクションプラン、等	州単位での排出量取引制度や、プラスチック製品利用規制を導入 •加州のキャップ&トレード制度や、北東部10州のRGGI等が導入 •使い捨てプラスチックの利用禁止、等	石油化学、化学産業等を対象に排出量取引制度導入、タクソノミー発表 •2021年より、温暖化ガスの排出量取引制度(ETS)の取引が開始 •EUと中国の制度の共通点・相違点を示した「コモングランドタクソノミー」発表

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

日本は、化学産業をトランジションファイナンスの一分野に選定し、熱源転換や原料の転換、リサイクル技術の確立の支援、委員会設置による国際基準議論に参画

日本: 化学産業における気候変動政策動向

導入目標

2050年のCN実現を最終的な目標に置くトランジションファイナンスに関するロードマップの分野の一つに化学産業を選定

日本化学工業協会は令和3年5月、「カーボンニュートラルへの化学産業としてのスタンス」を発表し、2030年目標(2013年比)を下記に設定

- BAU比 650万 t -CO2削減(基準年度電力排出係数固定)
- 絶対量 679万 t -CO2削減(電力排出係数は毎年の調整後排出係数)

導入促進政策の概要

製造領域	Scope 1-2 (熱源・電力)	**ナフサ分解炉の効率化による省エネ化や燃料転換・活用、CCSを推進** • 低炭素社会実行計画では、BPT(エチレン製造設備)の運転方法の改善、排出エネルギーの回収、プロセスの合理化、設備・機器効率の改善、石炭燃料から天然ガスへの転換に取り組み、既に導入済み • GI基金-社会実装計画では、石油・重油からアンモニアや水素への燃料転換、ナフサ分解炉から排出されるメタン等のオフガス をプラスチック等向けに原料化、等の実装に向けて取り組み
	Scope 3 (製造技術)	**化学製品のバイオマス原料転換やリサイクル技術の確立を支援** • バイオマスによる原料転換(基礎化学品、ポリマー・原料)、水素・CO2からのメタノール生産を実施 • CO2を原料とした機能性化学品の生成、CO2からのメタン生産、人口光合成等をGI基金等で支援 - グリーンイノベーション基金における化学品生産プロセス転換の支援「CO2等を用いたプラスチック原料製造技術開発」プロジェクト(国費負担上限1,262億円) • マテリアルリサイクル(廃プラスチックからプラスチック製品生産)、ケミカルリサイクル(廃プラまたは廃ゴムからオレフィンを生産)技術をGI基金等で支援
ルール・規格		**国際標準を策定するためにISO下に専門委員会を設置** • ある特性を有する原料の投入量に応じて、生産する製品の一部を「その特性を持つ原料(だけ)で生産した」とみなすマスバランス方式を含む、chain of custody（加工流通過程の管理）の国際標準を策定すべく、ISOの下に専門委員会（TC308）の設置が正式に決定し、日本も日本化学工業協会が代表となり議論に参画 **化学工業協会が製品ライフサイクルでのGHG排出削減貢献量分析手法を設定** • JCIA 化学工業協会は、温室効果ガス(GHG)排出削減を推進するため、ライフサイクル全体を俯瞰し製品のGHG排出削減貢献量を把握するcLCA(Carbon Life Cycle Analysis)手法の普及・啓発を実施

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

EUは、化学産業のサステナビリティ戦略を制定し、サステナブルな化学イノベーションを後押し グリーン電力・水素の拡大や、ケミカルリサイクル普及、税制度やルール作りを推進

EU: 化学産業における気候変動政策動向

導入目標

EUの2030年のGHG排出量削減目標を55%に引き上げ (2021年に採択)

Chemicals Strategy for Sustainabilityを制定し、有害な化学物質から市民と環境を保護し、より安全で持続可能な化学物質の使用を促進することによってイノベーションを後押しすることを目的

EUのプラスチックリサイクル目標は2025年に50%、2030年に55%

導入促進政策の概要

製造領域 — Scope 1-2 (熱源・電力)

電化にはグリーン電力、化学プロセス熱需要に対してはグリーン水素を優先的に拡大

- 投資主体Clean Hydrogen European Allianceを官民で設立、財源はEU基金・EIB等の仕組を最大限活用
- 欧州共通プロジェクト (IPCEI)の対象とし、各国からの補助金も積極的に活用
- ~2030年に電解装置を40GW整備し、グリーン水素生産量を1,000万トンとする目標を設定
- 自然エネルギー電力は、EU電力の38%を占め、コストも安くなる2050年までにシェアを81-85%と目標設定
- [ドイツ] 水素利用による運転コスト補助のCfDプログラムを検討しており、化学産業等での水素利用促進を狙う

製造領域 — Scope 3 (製造技術)

サーキュラーエコノミー政策に基づく行動計画により、ケミカルリサイクルの普及拡大を後押し

- サーキュラーエコノミー政策に基づく行動計画により、欧米国際企業の多くがサステナブル・ロードマップで製品におけるプラスチックリサイクル材料の使用率を2025年には30%、2030年には比率を50%にまで高める目標を設定
- 産業団体によると目標達成には特にケミカル・リサイクルのより一層の普及が必須で、欧州でのケミカル・リサイクル関連技術やインフラへの投資は2025年までに約26億ユーロ、2030年までには72億ユーロまで拡大予定

ルール・規格

CBAMに代表されるような炭素排出抑制に関連する税制度や再利用等の促進ルールを設定

- 欧州排出量取引制度(EU-ETS): 化学メーカーも対象、2026年～2035年に段階的に廃止(年率10%削減)
- 炭素国境調整メカニズム(CBAM) 提案: カーボン・リーケージ・リスクを低減することを目的に、特定品目をEUへ輸入する際、EU-ETSと同等の炭素価格を課しており、プラスチック含む計5部門が対象
- サーキュラーエコノミー・アクションプラン： 寿命の長い耐久性製品であり、リサイクル、再利用、再製造に適しているというため、循環型社会に可能性を秘めた優先されるべき製品・材料グループの一つと位置付けられる
- EPS(Expanded Polystyrene)が単一使用プラスチック(SUP)指令で、特定材料として禁止されている
- 欧州のプラスチック企業団体であるPlastics Europeは、欧州委員会に対して、2030年までにプラスチック容器包装に再生プラスチックを30%含有することを義務化するよう提言した

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

米国は、国として2030年のGHG排出半減を目標に掲げており、グリーン水素イニシアチブやプラスチックリサイクル技術等の開発を政府が支援、州単位で排出量取引制度導入が進展

米国: 化学産業における気候変動政策動向

導入目標

2021年4月に、2030年に温室効果ガス排出量を2005年比で50～52%削減する目標を発表(国全体の目標)

導入促進政策の概要

製造領域

Scope 1-2 (熱源・電力)

化学産業の熱需要の脱炭素化の一環としてグリーン水素イニシアチブを開始・支援

- 気候応用研究プロジェクトエージェンシー(ARPA-C)で、化学品等を製造する際の産業用熱需要の脱炭素化を主要研究テーマの一つに設定
- 雇用を創出する地域グリーン水素ハブに80億ドルを拠出
- クリーンな電気から製造される水素のコストを削減するためのグリーン水素電解プログラムに10億ドル
- 装置製造と国内サプライチェーンを支援するためのグリーン水素製造・リサイクルイニシアチブに5億米ドル

Scope 3 (製造技術)

プラスチックリサイクル等の技術開発に政府が資金を投資

- 米国エネルギー省(DOE)が、使い捨てプラスチックのエネルギー消費と二酸化炭素排出を削減する次世代プラスチック技術に1,340万ドルの資金提供を行う
  - 産業界と大学が主導する7つの研究開発プロジェクトで、プラスチックフィルムをより価値の高い材料に変換し、リサイクル性と生分解性に優れた新しいプラスチックを設計
- 米国エネルギー省(DOE)は、高度なプラスチックリサイクル技術・デザインによるリサイクルが可能な新しいプラスチックの開発を支援する12のプロジェクトに対し、2,700万ドルを超える資金を提供(2020)
  - DOEのPlastics Innovation Challengeの一環として、既存のリサイクルプロセスの改善も支援

ルール・規格

州単位での独自の排出量取引制度を導入や、州・都市レベルでプラスチック製品利用に規制

- カリフォルニア州のキャップ＆トレード制度や、北東部10州（コネチカット、デラウェア、メイン、メリーランド、マサチュー セッツ、ニューハンプシャー、ニュージャージー、ニューヨーク、ロードアイランド、バーモント）における発電部門を対象としたGHG削減イニシアチブ（RGGI：Regional Greenhouse Gas Initiative）が導入
- 使い捨てプラスチックの利用禁止 (サンディエゴやメイン州)や、レストランやバーでのプラスチック製ストローや調理器具の使用を禁止(シアトル)
- バイデン大統領は、国内産業保護の観点で炭素国境調整メカニズムに言及

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

中国は、2060年CN達成に向け石油化学のグリーン開発計画を発表しており、電力源の再エネシフトや水素活用拡大、技術ブレイクスルーの誘発や排出量制度導入を推進

中国: 化学産業における気候変動政策動向

導入目標

中国は2060年にカーボンニュートラルを達成する目標を打ち出す(国全体)

工業情報化部(MIIT)が第14次5カ年計画期間で産業分野のグリーン開発計画を発表し、石油化学、などの伝統的な産業セクターが低炭素化を進め、より環境性に優れる産業へと転換するよう求めている

導入促進政策の概要

製造領域	Scope 1-2 (熱源・電力)	**化学産業が多く消費する電力源の再エネ・水素活用の拡大を推進** • 2019年、水素エネルギー・燃料電池産業戦略創新連盟は、2050年までに全エネルギーの1割を水素で賄うとともに、生産コストを10元/kgにするといった目標を含む、「中国水素エネルギー燃料電池産業白書」を発表 • 水素、再生可能エネルギーや原子力を活用することで1次エネルギーに占める化石燃料の割合を2050年に5割以下引き下げを目指しており、発電源に占める再エネのシェアは2020年に約1割と、2010年から大きく上昇
	Scope 3 (製造技術)	**環境性に優れる化学合成技術の最新のブレークスルーを表彰し、技術開発を推進** • 基礎化学原料を従来の方法よりも環境に優しくエネルギー消費と排出を抑えながら生産できる技術を開発 - 常温・大気圧でバイオポリオールを一酸化炭素にする方法、穏やかな条件下でアセチレンを水素化してエチレンを製造する方法や、二酸化炭素からデンプンを合成する方法や一酸化炭素、二酸化炭素、アンモニア水を含む工業用排ガスを利用したタンパク質生産方法の開発、等 • 中国の優れた科学者、技術者、研究成果を称える式典では、石油化学・石炭化学産業関連で、触媒分解処理技術、炭層メタンや岩石油の効率的な開発、原油回収など、石油化学や石炭化学産業に関する10以上のプロジェクトが受賞
ルール・規格		**石油化学、化学産業等を対象にした排出量取引制度の導入や、タクソノミーを発表** • 2021年より、温暖化ガスの排出量取引制度(ETS)の取引が開始しており、中国政府は排出量取引を今後拡大するため、業界団体と協力して鉄鋼、非鉄金属、化学などの業界のデータ収集に取り組んでいる • EUと中国の制度の共通点と相違点を明らかにする「コモングランドタクソノミー」を発表しており、農林水産業、製造業、電気・ガス・蒸気・空調の供給など6つのシナリオにわたる61の活動が対象

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

化学: 脱炭素化に伴う競争環境・産業構造変化サマリ

	競争環境変化: 日本企業	競争環境変化: 海外企業	産業構造変化
技術レイヤー	**主要メーカーが、再エネ/LNG利用拡大、CN貢献技術開発、制度設計・体制を強化** • 三菱ケミカルは2050年CN達成に向け、再エネ / LNG等活用や、社内炭素価格制度導入や全製品でLCA実施体制強化取り組み • 東レ、住友化学もCN貢献製品提供やネガエミ技術開発・プラスチック資源循環に注力	**主要化学メーカーが、再エネ調達やリサイクル技術開発等の技術開発を行う** • DOW、DuPontは2050年CN達成に向け、特定事業者から再エネ調達契約を結び、リサイクルプラスチック技術を開発、等 • BASFがケミカルリサイクルPyrolysis技術を持つ企業の追加生産能力の支援に約€40M投資	**エネルギー源転換、原料転換、原料循環等の多様な技術開発推進** • 化学産業の脱炭素化に向けて、エネルギー源転換(クリーン電化/水素・アンモニア/CCUS化等)、原料転換(バイオ・CO2原料化等)、原料循環(マテリアル/ケミカルリサイクル等)のScope1/2/3全体での技術開発が推進
ビジネスレイヤー	**大規模PETリサイクル工場の稼働を目指す** • セブン&アイ、三井物産がVeoliaと協業で、年間約2.5万トンの製造能力を持つPETボトルリサイクル工場に関する合弁会社を設立して2022年の工場稼働を目指す	**複数企業が協業し、リサイクル技術開発やリサイクル工場に投資** • DOWやBASFが使用済みマットレスを用いたリサイクルプロセスの技術/事業開発を実施、等 • TOTALが、フランス初のケミカルリサイクル工場を設置、2023年稼働予定	**静脈系も含めた新たなサーキュラーエコノミ/資源循環型サプライチェーン再構築** • 従来までの動脈系(原料製造から利用)中心から、静脈系(最終製品回収・リサイクル)まで含めた資源循環型のサプライチェーン再構築に向けた動きが拡大
マーケットレイヤー	**WBCSDでグローバル基準の規制やルールメイキングに参画、LCA基準の順守も行う** • 三菱ケミカル、住友化学がWBCSD(The World Business Council for Sustainable Development)のChemical Groupに参画 • 三菱ケミカルは、脱炭素取り組みの一環として、全製品でLCA実施体制を強化	**主要化学メーカーがWBCSDに参画し、世界の基準となる規制やルールメイキングに参画** • BASF、DOW、Dupont、Evonik、SABICが、WBCSD(The World Business Council for Sustainable Development)のChemical Groupに参画	**環境軸での新たな競争ルール導入による国際化学品取引市場の変化** • CBAM(国境炭素税)やLCA(ライフサイクルアセスメント)、廃棄物処理法等の環境価値を主軸とした新たな競争ルールの導入が進展 • それに伴い、ブロック経済化及び石油化学品の地産地消化等の変化を誘発

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビューに基づくBCG分析

化学産業では、化石資源由来のエネルギー源から、電化、バイオマス/クリーン燃料(水素等)、CCUS、リサイクル等の多様なトランジション手法が存在

化学-技術レイヤー: Material Economicsによる世界の化学産業におけるエネルギー/原料構成見立て(2015-2050年)

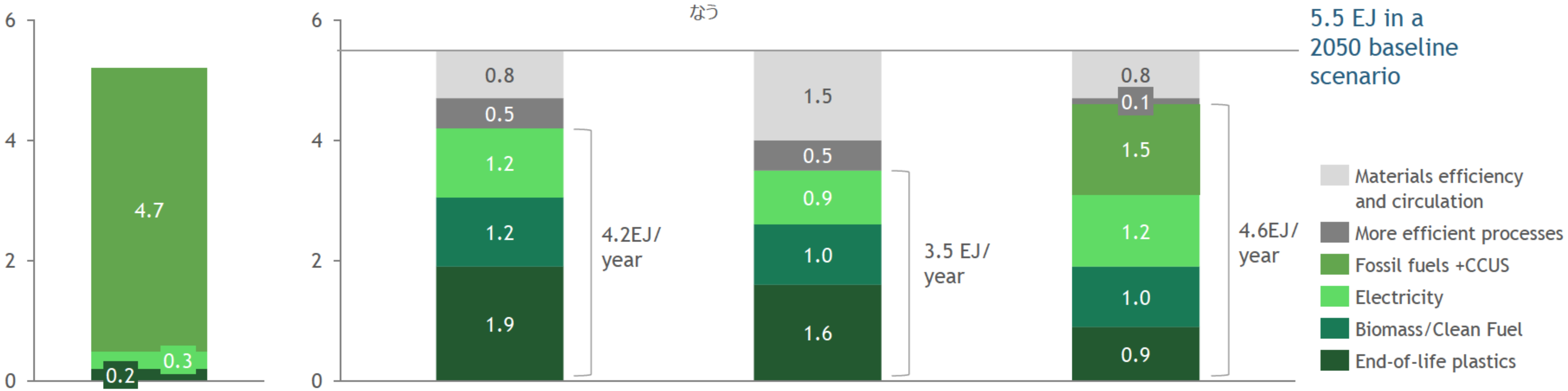
2015年

2050年: 複数シナリオによる2050年に向けた脱炭素化方向性

New processes Pathway
- 新しい生産プロセスと原料に重点
- ケミカルリサイクルによって生産されるプラスチックの割合が最も高く、その量も多いため、使用済みプラスチックの回収を大幅に改善する必要

Circular economy Pathway
- 主要バリューチェーンでプラスチック使用を再構築
- ベースラインのプラスチック需要の1/3を、材料効率の高い生産方式、シェアリングエコノミー、材料代替でまかなう

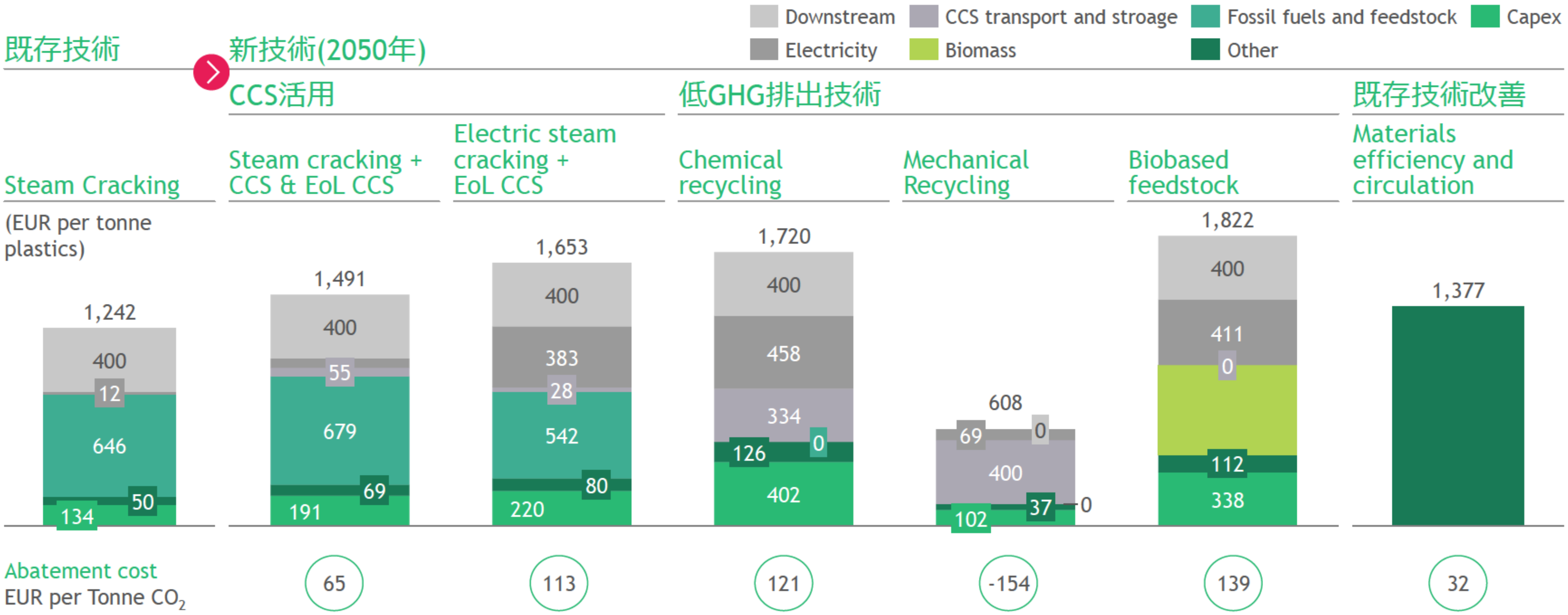
Carbon capture Pathway
- 製油所と廃棄物焼却場の2/3はCCSを導入
- メカニカル・リサイクル、ケミカル・リサイクルも、重要な役割を担っているが、その割合は小さい



Note: 0.9-1.2 EJ of electricity corresponds to 238-332 TWh
Source: NET ZERO 2050 " Material Economics Industrial Transformation 2050"よりBCG作成

既存の化学プロセスであるスチームクラッキング(水蒸気分解)から、低/脱炭素プロセスへの転換で生産量当たりのコストは20~50%上昇

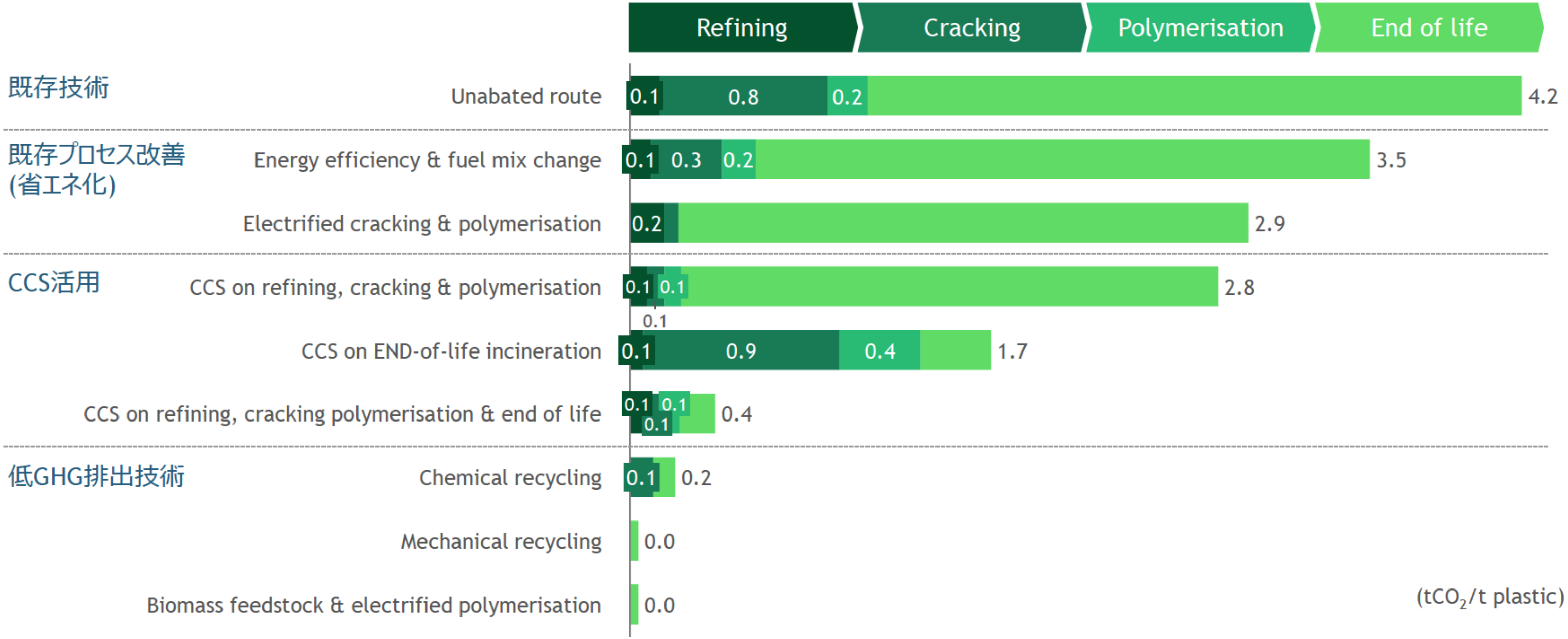
化学-技術レイヤー: 化学製造プロセス技術別のプラスチック生産量当たりコスト比較(2050年)



Note: Abatement cost calculated assuming zero-carbon electricity. CO_2 prices not include in the production costs
Source: NET ZERO 2050 " Material Economics Industrial Transformation 2050"よりBCG作成

プラスチックサプライチェーン全体でCO2排出量を削減する手段として、リサイクルやバイオマス原料の活用が存在

化学-技術レイヤー: 製造技術別プラスチックのライフサイクル単位当たりCO2排出量



Note: Not including emissions from feedstock production, and assuming Zero-carbon electricity and transport in 2050, cracking includes steam cracking and other foreground processes. Polymerisation step is assumed to be decarbonized in low-GHG options in 2050, mainly through electrification
Source: NET ZERO 2050 " Material Economics Industrial Transformation 2050"よりBCG作成

主要化学メーカーは2050年のカーボンニュートラル達成を目標にセットし、脱石炭/再エネ利用による電源の脱炭素化や革新技術を用いた脱炭素製品提供を推進

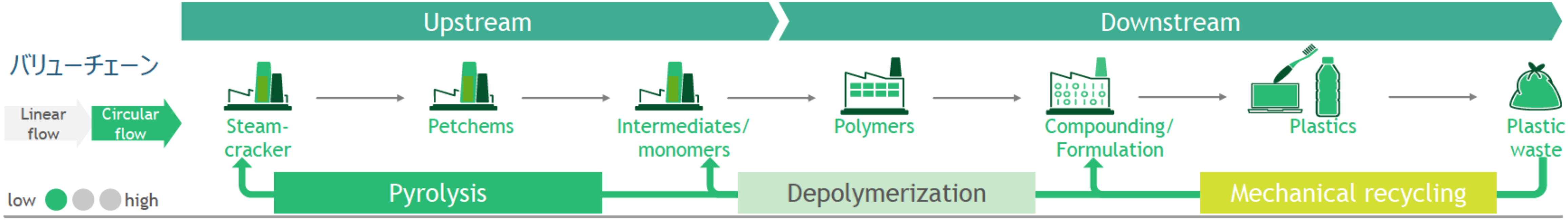
化学-技術レイヤー: 化学メーカーの脱炭素化に向けた取組動向

国	企業	脱炭素目標 短期(~2030年)	脱炭素目標 中長期(~2050年)	脱炭素化に係る主要な取組動向 電源・熱源の脱炭素化	脱炭素化に係る主要な取組動向 脱炭素革新技術の導入
日本	三菱ケミカル	グローバルGHG排出29%削減(2030年/19年比)	カーボンニュートラルを達成(2050年)	• 国内事業所・工場で再エネ/ LNG等の発電を推進、脱石炭火力	• 社内炭素価格制度導入 • 全製品でLCA実施体制強化
	東レ	—	カーボンニュートラルを達成(2050年)	• プロセス改善による省エネの推進 • 再エネ活用、石炭利用の削減	• 炭素繊維の用途拡大・燃費向上 • 蓄電池・燃料電池への素材応用
	住友化学	グループGHG排出量50%削減(2030年/2013年度比)	カーボンニュートラルを達成(2050年)	• 省エネルギーの徹底、LNG発電・高効率ガスタービン発電導入予定	• CN貢献製品提供(含む他社連携) • ネガエミ技術開発、プラ資源循環
欧州	BASF	CO2排出を25%削減(2030年/2018年比)	CO2の排出実質ゼロ	• 化石燃料を再エネ由来に切り替え • 自社で風力発電に投資	• 独リンデやSABICと共同で電炉を開発・実用化
米国	DOW	CO2排出15%/500万t削減(2030年/2020年比)	カーボンニュートラル(Scope 1/2/3・製品利用、2050年)	• ソーラーパネル製造のファーストソーラー社との電力売買契約	• バイオ由来のプラスチック、プラリサイクル技術とインフラ構築への投資
	DuPont	GHG排出量30%削減、電力の60%再エネ化(2030年)	カーボンニュートラルを達成(~2050年)	• NextEra子会社からの135メガワットの再エネ調達契約を締結	• リサイクルプラスチック製品を販売
アジア	中国石油化工(Sinopec Group)	—	カーボンニュートラルを達成(~2050年)	• 水素事業の技術開発、生産・貯蔵・輸送、供給ネットワークの拡大	• クリーンなCCSチェーン拡大、炭素排出削減技術革新基盤を構築

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

リサイクル技術はPyrolysis(熱分解)、Depolymerization、Mechanical Recyclingの3つあり、Pyrolysisが原料分離の必要性が最も低く、Mechanicalはエネルギー効率が高い

化学-技術レイヤー: 化学品リサイクル技術の全体像



	Pyrolysis	Depolymerization	Mechanical recycling
再利用の仕組み	• プラスチックを無酸素状態約400度で熱分解、CDUやナフサクラッカー等のFeedstockとして再利用	• 高分子ポリマーを加水分解でモノマーに還元、重合装置のFeedstockとして再利用	• 分別回収した後汚れや不純物を除去、粉砕後に再生ペレットやフィルムになり、繊維やボトル製造に活用される
適した材料	• 低価値材料及び異種プラスチック廃棄物リサイクル • 石油化学製品の構成要素に変換	• 高付加価値材料のリサイクル • それらでPET,PU,PA等のリサイクル製品をつくる	• 純粋でよく選別された材料のマテリアルループ • PET、PP、HDPE 等
最終製品	●●○ 各種製品製造のための原料としての一次産品/炭化水素	●●● 高付加価値モノマー	●○○ 劣化・ダウンサイクルを経た原料と同じプラスチック(循環は限定的)
原料の種類と純度	●●● プラスチック分離の必要性が低く、プラスチックの混合が可能	●●○ 均質であることが必要 主にPET、PU、PA (PLA、PC、PHA、PEF1含む)	●●○ 高度な分離と前処理が必要な特定の種類のプラスチックしか取り込めない
エネルギー消費量とCO2削減量[2]	●○○ 0.0-0.3 t CO2/t plastic	●●○ 1.3-1.6 t CO2/t plastic	●●● 1.7-2.3 t CO_2/t plastic ケミカルリサイクルと比較して必要なエネルギーが少ない
技術の成熟度	●●○ 商用プラントも既に存在(ケミカルリサイクルの+80%がPyrolysis)	●○○ PET向けには商用プラントも存在、経済性の向上が必要	●●● 高度に成熟した技術による代表的なリサイクル方法
スケーラビリティ[3]	●●○ <40 kt/a per module	●○○ <20 kt/a per module	●●○ Up to 70 kt/a
経済的リターン	●○○ IRR: <0-12%	○○○ n/a	●●○ IRR: 14-26%

1. Polylactide (PLA), polycarbonate (PC), polyhydroxyalkanoates (PHA), polyethylene furanoate (PEF) 2. Difference between avoided and generated emissions for 1t of plastic
3. Current max. capacity per module
Note: Dimensions to compare recycling technologies related to performance & ability to GtM - see back-up for details
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

資源メジャーや化学メーカーによるPyrolysis(熱分解)の投資活動が近年活発化

化学-技術レイヤー: 資源メジャーや化学メーカーによるPyrolysis(熱分解)の技術/事業開発動向

カテゴリ	国	企業	時期	Pyrolysis技術/事業開発
資源メジャー	オランダ	Shell	2019年11月21日	Shellが、プラスチック廃棄物を利用して化学製品を製造 • プラスチック廃棄物を熱分解して作った液体原料を使ってハイエンドな化学品を作ったと発表 • 2025年までに世界の化学工場で年間100万トンのプラスチック廃棄物を利用する目標
	フランス	Total	2020年9月24日	Totalが、Plastic Energyと共同でケミカルリサイクルプラントを建設予定 • 熱分解油・TACOILを生産し食品用途に使用されるポリマーの生産原料として使用予定 • 2030年までにポリマーの30%をリサイクル原料から生産することが目標
化学メーカー	アメリカ	DOW	2019年9月5日	DOWが、熱分解スタートアップと供給契約を締結 • 熱分解で廃プラスチックのリサイクルを行うFuenix Ecogy Groupとオフテイク契約締結 • Fuenixの熱分解油を購入し、新しいポリマーに加工
	英国	INEOS	2020年4月21日	INEOSとPlastic Energyが熱分解で廃プラスチックをプラスチック原料に変換する新プラント建設で協力 • 新施設の生産は2023年末を目指す • 工場では、混合、多層、LDPE、LLDPE、HDPE、PP、PSを年間約30,000トン投入する予定
	オランダ	Lyondellbasell	2020年9月8日	LyondellBasellが、新しいパイロット分子リサイクル施設の稼動に成功 • イタリア・フェラーラ工場におけるMoReTec熱分解設備の運転開始を発表
	ドイツ	BASF	2020年9月21日	BASF、熱分解技術を持つPyrum社とQuantafuel社の追加生産能力の建設支援に約€40M投資 • 2019年にQuantafuelに€25M、2020年にPyrumに€16M投資 • BASFは、熱分解油が化石原料の一部を代替するとしている

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビュー; BCG分析

欧米では、複数企業が協業し、リサイクル技術の開発やプロセス改革を推進

化学-ビジネスレイヤー: 化学品リサイクルチェーン構築に向けた海外企業動向

国	参画企業	取り組み名	プロジェクト概要	カテゴリ 技術開発	事業開発
サウジアラビア	SABIC Plastic Energy	再生プラスチック原料製造	SABICのプラントでPlastic Energyの熱分解油を精製し、再生プラスチック原料を製造する計画を発表 • 最初のユーザーはユニリーバ等3社向けに、食品、飲料、日用品のパッケージとして仕様予定		✓
欧州	Plastic Europe (欧州のプラスチック企業団体)	ケミカルリサイクル投資	2025年までに26億ユーロ、2030年までに72億ユーロをケミカルリサイクルに投資する計画を発表	✓	
	Recticel NV他	PUReSmart initiative	世界初のPU熱硬化性樹脂を熱可塑性樹脂と同様にリサイクルする技術を開発 • PU構成材料の再価値化技術の開発でポリオール、イソシアネート前駆体の回収にも注力	✓	
	DOW	ケミカルリサイクル事業	2019年、オランダの Fuenix Ecogyと提携して廃棄プラスチックを熱分解した原料を基にしイタリアで再生プラスチックを生産するケミカルリサイクル事業を発表 • 25 年までにEUで1万トンの再生プラスチックを供給する計画 20年1月には米Al社とリサイクル材を利用したプラスチック原料の独占供給契約を締結 中国企業と連携し、中国国内のプラスチック廃棄物リサイクルにも取り組む	✓	
ドイツ	BASF	Pyrolysis投資	廃プラスチックを熱分解して生成油を製造する技術を持つQuantafuel社に2,000万ユーロを投資 • Quantafuel社に対して、熱分解生成油を石油化学プラントに投入できるスペックまで精製する技術を指導し、ChemCyclingTMと称して、サステナビリティ経営の優先順位の高いものに位置付けて推進 20年9月、廃タイヤの熱分解を手掛けるPyrum Innovations AGへの出資を発表	✓	✓
オランダ	シェル	ケミカルリサイクル事業を発表	2019年、米国でNexus Fuelsから供給された廃棄プラスチックを原料としたケミカルリサイクル事業を発表 • 25年までに世界で100万トンの廃棄プラスチックを原料として利用する目標		✓
	Lyondellbasell	熱分解製品生産	2019年、ドイツで植物油廃棄物の熱分解によるPP、LDPEの生産計画を発表		✓
フィンランド	Neste	ケミカルリサイクルへの投資工場を建設	化学品会社RavagoとJVを設立しオランダに55,000t/年規模のミックスプラスチック廃棄物のケミカルリサイクル工場を建設する計画を発表 • 米国Alterra Energy社のコア技術熱化学液化技術を利用		✓
フランス	TOTAL、Plastic Energy	ケミカルリサイクル工場建設	仏グランピュイ製油所でバイオリファイナリー、ポリ乳酸(PLA)工場、ケミカルリサイクル工場、太陽光発電所建設 • もともとの石油精製を2021年1～3月期に終了 • Plastic Energyと共同で廃プラスチックを原料にポリマーを生産		✓
米国	Exxon mobil	ケミカルリサイクル施設建設	2022年～2023年にかけて、ケミカルリサイクル施設の建設を発表 • 2022年末までにテキサス州ベイタウンにプラスチック廃棄物のケミカルリサイクル施設(3万t/年)建設を計画 • 2023年までにPlastic Energy社と連携し、仏にも2万5000t/年規模のケミカルリサイクル施設建設を計画		✓

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

日本の化学品メーカーは、ケミカルリサイクル設備の建設や熱分解の実証を推進

化学-ビジネスレイヤー: 化学品リサイクルチェーン構築に向けた日本企業動向

国	参画企業	取り組み名	プロジェクト概要	カテゴリ 技術開発	カテゴリ 事業開発
日本	三菱ケミカルとENEOS	ケミカルリサイクル設備を建設	三菱ケミカル茨城事業所に、年間2万トンの処理能力(商業ベースでは国内最大)を備えたケミカルリサイクル設備を建設し、2023年度に廃プラスチックの油化を開始することを目指すと発表		✓
	BASFジャパン、三井化学	ケミカルリサイクル推進で協業	日本でのケミカルリサイクルの推進に向けた協業検討を開始したとプレス発表 • バリューチェーン横断的な連携を通じてケミカルリサイクルを日本で事業化することを目指し、共同ビジネスモデルを含めあらゆる可能性を検討	✓	
	Veolia、セブン&アイ、三井物産	PETボトルリサイクル工場の合弁会社設立	年間約2.5万トンの製造能力を持つPETボトルリサイクル工場の合弁事業に係る株主間契約を締結、本年度中に3社での最終投資意思決定の後、合弁会社を設立して2022年の工場稼働を目指す		✓
	コカ・コーラ・ボトラーズ・ジャパン	ケミカルリサイクルで連携	台湾の繊維大手・遠東新世紀とPETボトルのケミカルリサイクルで連携 従来の再利用PETボトルより濁りが少なく透明度の高いPETボトルを製造し、数年後の商業化目標	✓	
	日本環境設計、アサヒ飲料	ケミカルリサイクル樹脂製造	21年夏にケミカルリサイクルによるリサイクル PET樹脂の製造(年間2万2,000トン)を開始予定 • PET中間体を選択的に抽出し、高純度のモノマーを回収、ボトルグレードの高い品質基準を満たす 20年10月にはPETボトル国内完全循環を目指す企業間連携「BRING BOTTLE コンソーシアム」の立上げ発表		✓
	積水化学、住友化学	ごみを原料として製品製造する技術を確立	積水化学は17年に米国ランザテックと連携で、ゴミをまるごとエタノールに変換する世界初の生産技術を確立 20年には住友化学と連携 し、国内でゴミを原料にポリオレフィンを製造する技術の検討を開始 22年に試験的生産を開始、25年の本格上市が目標	✓	
	アールプラスジャパン	ケミカルリサイクルの再資源化技術開発を進める	使用済みプラスチックの再資源化事業に取り組む共同出資会社「アールプラスジャパン」を設立 • 直接原料に戻すケミカルリサイクルの再資源化技術開発を推進 • サントリーなど20社超が業界を超えた連携により、27年の事業化を目指す		✓
	東洋スチレン	ポリスチレン熱分解実証	ポリスチレン樹脂を熱分解によりスチレンモノマーに戻す実証プラントの建設を発表	✓	
	PSジャパン	ポリスチレン熱分解実証	ポリスチレン樹脂を熱分解によりスチレンモノマーに戻す実証プラントの建設を発表	✓	

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

WBCSDは化学企業14社を含む200社が参画、持続可能な未来の実現を目指して設立し、SDGsロードマップやポートフォリオサステナビリティのガイドラインを示したレポート等を複数出版

化学-マーケットレイヤー: WBCSD(The World Business Council for Sustainable Development)の取り組み

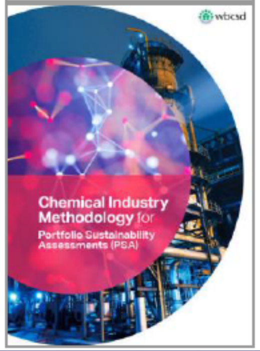
WBCSD概要

目的	• 持続可能な未来の実現を目指して経済、環境、社会に関する調査・提言活動を実施
設立	• 1995年に設立され、スイスのジュネーブが本拠地 • 世界約70カ国に地域拠点
取り組み	• 一企業の取り組みでは解決できない社会課題に対して、同業種・異業種の加盟企業間、政府やNGO、国際機関で協業し、リーダーシップを発揮することで、持続可能な発展に関する課題への取り組みや経験を共有
参画企業	• 持続可能な開発を目指す先進的企業約200社が加盟 • Chemical Groupには、14社が参画 - 日本：三菱ケミカル、住友化学 - 海外：BASF、DOW、Dupont、Evonik、SABIC、Clariant、AEKEMA、BOREALIA、DSM、LANXESS、Sika、Solvay

主な化学関連の出版物

The Chemical Sector SDG Roadmap
化学セクターのSDGsロードマップ

Chemical Industry Methodology for Portfolio Sustainability Assessments (PSA)



Vision 2050 Products & Materials Pathway: We can make things, smarter

Source: WBCSD; BCG分析

WBCSDは「化学セクターのSDGsロードマップ」にて、優先SDGと主要な機会を特定

化学-マーケットレイヤー: WBSCD「化学セクターのSDGsロードマップ」概要

The Chemical Sector SDG Roadmap: 概要

目的

- 優先SDGと影響を与える主要な機会について、化学セクターにとってユニーク且つ共有のビジョンを提供
- 化学セクターによるSDGへの影響を高めるためコラボレーションの機会を特定し、業界全体としての行動を動機付け
- 化学セクターが、他セクターのステークホルダー・グループのSDGに貢献し、セクター間の協力を推し進めるための機会を提供

概要

- 2030年に向けて、SDGの課題を実現する上で化学セクターが果たさなければならない重要な役割を強調
- SDGの影響を最大限に引き出すために、セクター全体が、サプライヤー、顧客及びその他のステークホルダーと協力し合うことを推奨

提案取り組み: 5つのテーマで特定された18の主要な機会と優先SDGへの影響

5つのテーマ	食糧	水	人々と健康	エネルギー	インフラと都市
18の主要機会	1. 持続可能で健康的な食糧供給への貢献 2. 食品ロスと廃棄を防ぐ食品包装への変革 3. 栄養不足に有効な食品添加物への変革	4. 水道管システムにおけるレジリエンスの向上 5. 都市における水処理能力の改善 6. ウォータースチュワードシップの促進 7. 海洋廃棄物問題に向けたバリューチェーンの他社との協働	8. プラスの影響をもたらす製品をより多く含むポートフォリオへの変革 9. 人々への操業における影響の低減 10. 国際的な化学産業におけるキャパシティビルディング	11. 下流セクターにおけるエネルギー効率化の促進 12. インフラを含む再生可能エネルギーの生産及び貯蔵 13. 継続的な自社プロセスにおけるエネルギー改善 14. 代替製造プロセスに向けた画期的技術 15. 製造時の再生可能エネルギー利用比率の増大/エネルギー技術の革新	16. 都市部の貧困生活の改善、持続可能かつ包括的な都市を実現させるためのマルチステークホルダーとの協働 17. 産業共生による便益の実現 18. レジリエンスを促進するための製造資産の強化
対応する優先SDG	2, 9, 12, 14	6, 9, 11, 12, 13, 14	3, 8, 12	7, 12, 13	3, 9, 11, 12, 13

横断的要因: ← 人権 — 低炭素経済 — 循環性 — デジタル化 →

Source: WBCSD; BCG分析

WBCSDはPSAにて持続可能なポートフォリオを目指した一貫性のある評価手法を提供するための指針を作り、詳細プロセスを提示

化学-マーケットレイヤー: WBSCD「Chemical Industry Methodology for Portfolio Sustainability Assessments(PSA)」概要

PSA概要

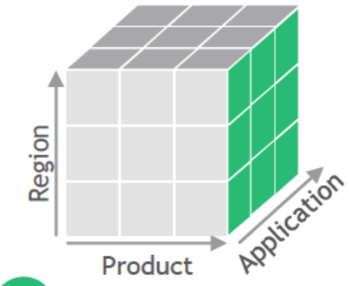
化学系企業が持続可能な製品ポートフォリオを目指した一貫性のある評価手法を提供するための指針を提案

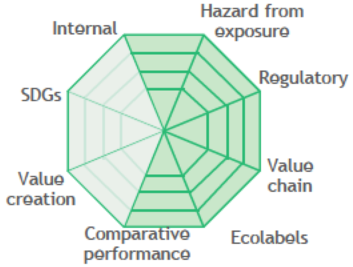
目的

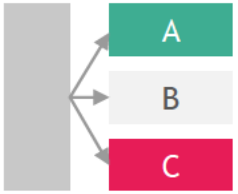
PSAメソドロジーの目的は以下

- 製品ポートフォリオのなにが「持続可能」と考えられるかの共通理解を得る
- 同業他社が採用するベストプラクティスのアプローチを採用し、既存のPSAアプローチの堅牢性を向上
- 高品質PSAが遵守すべき要件に合意し、外部発表される結果の信頼性向上
- 実践的なハウツーガイドラインと事例を提供しPSAを始める企業の複雑さを軽減
- 持続可能性の属性とパフォーマンスのコミュニケーションの一貫性向上

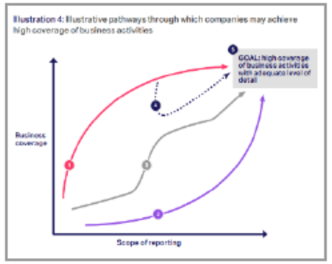
取り組み: PSAのプロセス

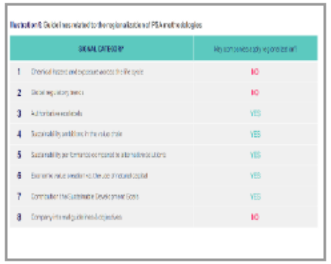


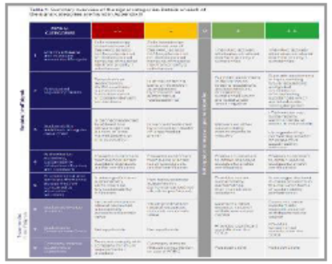


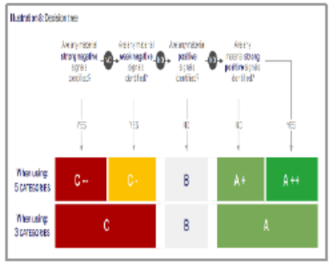


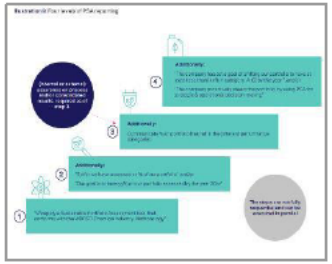
1. Defining objectives, scope and process
2. Defining assessment segments
3. Detecting market signals
4. Categorizing the portfolio
5. Reporting and using PSA results











Source: WBCSD; BCG分析

個別産業分析

蓄電池

蓄電池: 主要国の気候変動政策動向サマリ

	日本	米国	欧州	中国	韓国
政策ビジョン/目標設定	政府戦略策定・価格目標設定 • G成長戦略の成長分野に指定 • 車載用・家庭用蓄電池価格の2030年時点目標を設定	政府がコスト目標設定 • 電力事業規模の蓄電池コスト10年間90%削減を目標に設定 • 各州が蓄電池導入目標設定	政府が脱炭素取組みの重点として蓄電池を指名 • 2050年までにCNを目指すEUグリーンディールに蓄電池を含む	政府が関連政策を発表 • 「中国製造2025」の重点領域の一つに蓄電池を使う新エネ車の導入を掲げる	政府が産業政策を発表 • 「2030二次電池産業発展戦略」(K-バッテリー)で、2030年の世界第1位を目指すことを発表
製造領域 技術開発	革新技術やシステム開発を支援 • GI基金で革新型電池や蓄電池材料性能向上、蓄電システム開発等の研究開発を支援	輸入に頼るレアメタルが不要な、新原料を用いた電池開発を支援 • 海外原産の原料に頼らないコバルト・ニッケルフリーの蓄電池開発実現に向けて支援	幅広い電池開発を支援 • 全バリューチェーンに関わる計46の研究開発を2028年にかけて政策支援	産業補助金を支給 • 「中国製造2025」で産業補助金を支給し、中国企業の技術開発・プレゼンス向上	各種電池の開発を支援 • 次世代二次電池の商用化LiB高性能化・安全性向上を図る • R&D投資は最大50%税控除
製造領域 サプライチェーン構築 原料調達	政府としての原料確保に動き • 供給リスクが高く、需要が急増する鉱物はJOGMECによるリスクマネー支援を上積み	上流~下流の各種工場設立に助成金を提供 • EV/BESS向け電池の生産を促進するため、電池材料の精製・製造工場、電池セル・パック製造工場、リサイクル施設に助成金(計29億米ドル)	EU域内でサプライチェーン全体を構築するために支援 • 2017年、約500社が参画するEUバッテリーアライアンス(EBA)を設立し、原料調達から生産、リサイクルまで域内でサプライチェーン構築を志向 • 液系リチウムイオン電池の製造拠点の域内設立支援	豊富な原料確保を推進 • 国内の各種レアメタルを確保 • 今後原料になりうるマンガンのグローバル供給網を統制	政府としての原料確保を実施 • 鉱物資源開発案件支援、資源国との協力チャネルの拡大、鉱物資源備蓄システムの改等
製造領域 サプライチェーン構築 製造	製造拠点の国内設立を支援 • 液系リチウムイオン電池の製造拠点の国内設立支援			国内工場保有企業を支援 • 一定の基準を満たすバッテリー工場保有企業の所得税率を軽減(25→15%)	製造装置等に多額の投資 • 装置産業等の成長と技術確保に官民ファンド創設(約80億円)、施設投資に~20%の税額控除
利用領域	EV車の利用拡大を支援 • EV車の大規模投資支援、技術開発・実証、等を支援	EV/BESS用蓄電池利用を支援 • 米国製EVを購入するインセンティブを消費者に提供 • 電力貯蓄用にITCを整備中	EV事業者の研究開発を支援 • テスラやBMW等の電池・電池材料工場支援や研究開発支援(計8,000億円)	NEV/BESS用蓄電池利用を支援 • 新エネルギー車(NEV)に約5,600億円の補助金 • 発電所の蓄電池配置を支援	蓄電池リサイクルを推進 • 使用済二次電池のリサイクル市場を創出しライフサイクル全般の市場創出と産業育成を企図
ルール・規格整備	規格を国際標準化 • 「蓄電池を使用した定置用大型蓄電システムの安全性」国際規格が採用	レアメタル採掘ルール導入を図る • 重要な鉱物の採掘のために、強力な環境レビューの許可方法を開発	新たにバッテリー規制案を導入 • カーボンフットプリント規制、責任ある材料調達、リサイクル材活用規制を提案	過剰投資や粗製濫造を防ぐ規制を導入 • 生産能力拡大ではなく、技術革新とコストダウンを要求 • 多項目の技術基準も列挙	ドイツとバッテリー技術標準化協力 • 韓国ドイツカンファレンスにて、バッテリーを含む製造分野の技術開発と標準化の推進状況を共有

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

蓄電池: 脱炭素化に伴う競争環境・産業構造変化サマリ

	競争環境変化: 日本企業	競争環境変化: 海外企業	産業構造変化
技術レイヤー	**自動車/電子部品/素材等の多業種の日本企業が次世代蓄電池技術開発を推進** • トヨタ自動車は、2020年代前半での車載向け実用化に向けて、硫化物系の全固体電池技術開発を推進 • 村田製作所は、全固体電池技術開発にセラミックコンデンサー技術を応用	**欧米中韓の大手企業/スタートアップが次世代蓄電池開発を推進** • 中韓では大手蓄電池メーカーのCATL、BYD、サムスンSDI、LGES、欧州ではSiemens、Saft、Solvay等の大手企業、米国ではionic、Solid Energy等のスタートアップ企業が次世代蓄電池技術開発を推進	**リチウムイオン電池セルの更なるコスト下落と次世代蓄電池技術開発競争の加速** • 製造プロセス成熟化とスケールメリットにより、リチウムイオン電池セル価格が更に下落 • 加えて、国内外ともに官民連携による多様な次世代蓄電池(全固体電池等)の技術開発が加速化
ビジネスレイヤー	**素材品質/機能価値追求、制御高度化、サービス統合化のビジネスモデルが拡大** • 東芝/双日等によるLiB向け素材開発推進 • 横河電機による蓄電池の制御高度化/最適診断ソリューション提供 • 関西電力によるDR・V2Gを組み合わせたエネルギーサービス	**中韓勢による大規模/効率追求、欧米企業によるサービス統合化が拡大** • CATL、BYD、LGESの中韓蓄電池大手はLiBの生産能力の更なる増強を推進 • Sonnen(独)によるPV＋蓄電池の電力シェアリング、Tesla(米)によるEV/充電スタンド/PVの家庭用蓄電システム等のサービスが台頭	**エネルギー、モビリティ等の産業を跨ぐ蓄電池ビジネスモデル類型の多様化** • 蓄電池のビジネスモデルとして、素材価値追求型、大規模/効率型、制御高度型、サービス統合型等の類型が多様化し、特にサービスモデルはエネルギー(DR等)やモビリティ(V2G等)産業と横断する形態に進化
マーケットレイヤー	**蓄電池品質/技術に係る国際標準化に向けた働きかけを推進** • 2020年、日本(NITE: 製品評価技術基盤機構)が提案した「蓄電池を使用した定置用大型蓄電システムの安全性」が、国際電気標準会議(IEC)で初の規格化	**リサイクル含む蓄電池ライフサイクル全体での規制・ルール形成が進展** • EUは、全蓄電池を対象とした新たな規則案を提案しており、材料段階での調達情報開示、製造段階でのCO_2排出量可視化、利用段階での性能情報可視化、リサイクル段階での数値基準設定等を織り込み	**各国の蓄電池産業の覇権争いにおけるルール形成競争の激化** • 蓄電池の品質基準、充電規格、リサイクル基準等に係る国際ルール整備が進展中 • 自国蓄電池産業の優位性確立に向けて、各国/企業がルール形成に向けた動きを活発化

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビューに基づくBCG分析

新しい電池技術で蓄電性能の向上が期待されるが、充電速度や安定性が依然として課題

蓄電池-技術レイヤー：従来型および新型の蓄電池技術の比較

評価指標	従来型LiB	高機能LiB	全固体 (ポリマー)	全固体 (メタル)	全ポリマー電池
1 蓄電池容量	200-600 Wh/L @ cell	-800 Wh/L @ cell	500-600 Wh/L @ cell	450 Wh/L @ cell	500-600 Wh/L @ cell + adv. at pkg. lvl
2 重量性能	200 Wh/kg @ cell	300-350 Wh/kg @ cell	Similar to LiB unless use metal electrode	1.5-2 times conventional LiB	200 Wh/kg @ cell + adv. at pkg. lvl
3 動作温度	Only small reduction in perform. <0 ºC	TBA	Limited perf. at r.t. and below	TBA	Limited perf. at r.t. and below
4 応答速度	Sufficient for all application achieved	TBA	TBA	TBA	TBA
5 充放電速度	Proven quick charge; however limited success in 5-10 C	Proven quick charge; however limited success in 5-10 C	Limited due to low conductivity	Expected higher than LiB	Limited due to low conductivity
6 充放電サイクル	3,000+ 70% cap.	3,000+ 70% cap.	TBA	500+ 75% cap.	Lower than liquid-base in principle
7 安全性	Risk of fire and leakage in accidents	Risk of fire and leakage in accidents	Low risk of fire or leakage	Low risk of fire or leakage	Low risk of fire or leakage
8 コスト	6.6 JPY/Wh in 2030	TBA	TBA	10JPY/Wh in 2030	Same or likely lower than LiB

Source: エキスパートインタビュー; BCG分析

国内外企業はリチウムイオン電池に次ぐ次世代電池の研究開発の取り組みを推進

蓄電池-技術レイヤー: 次世代蓄電池開発に向けた企業動向

技術分野	主な開発主体	概要	実用化状況
高容量全固体LiB	東工大・トヨタ、パナソニック、オハラ、NEDO(日)、CATL(中)、(仏)	可燃性の電解液を使わず安全性が高い、高容量化・低コスト化が可能 車載用や定置用に適した技術	'20~後半以降 実車搭載
有機二次電池	海外研究機関 イーメックス社(日)	LiBの正極に使われる金属酸化物系の活物質を有機物に置き換え、安全性が高い LiBだけでなくキャパシター用途の置き換えも目指す	数年後
レドックスフロー電池	住友電気、ギャラクシー、阪大(日) 海外企業	電解液をポンプ循環させるという独自の仕組み、耐久性あり、柔軟に大容量化可能 大型定置型として特に再生可能エネルギー発電との系統連系に適用	実用化済
小型全固体LiB・薄形電池	STマイクロエレクトロニクス(スイス)、サムスン・LG(韓)、FDK、TDK、スター・エレクトロニクス(日)	可燃性の電解液を使わず安全性が高い高機能カードやセンサー端末に適用	実用化済
Li-S電池	OXIX Energy(英)、海外研究機関、ADEKA、ルネシス/東京炭素工業、東電、住友ゴム(日)	硫黄系活物質を使う正極とLi金属等の高容量負極を組み合わせ、大容量化可 電気自動車（EV）などの車載用や定置型大容量電池に適用	'20年頃～
ナトリウム二次電池	日本ガイシ、東大、京大(日)	ナトリウムイオンを伝導種とする二次電池、リチウム資源希少時の代替として注目 中型から大型の定置用に適用	実用化済
金属空気電池	NantEnergy(米)、VARTA (独)、古河電池、富士色素、NIMS(日)	Li, Al, Mgその他の金属を活物質として使う負極と空気中酸素を取り込んで活物質として使う正極を組み合わせ、大容量化が可能 ボタン電池~定置用まで既存電池の幅広い用途へ適用	一部金属で実用化 (ボタン電池)
新原理・新型電池	海外研究機関、CONNEX SYSTEMS社、リコー、PJP Eye(日)	既存の二次電池とは蓄電原理が異なる電池や、既存の電池に特長的な改良（高機能、新機能、新構造）を加えた電池、LiBの置換を志向 電動アシスト自転車などの電動モビリティ機器から市場化が始まる見込み	'20年前半以降
多価イオン電池	海外研究機関 富士フィルム、SAITEC(日)	Mg,Caなどの多価イオンを用い、大容量化が可能、LiBの知見も活用可 先行するラミネート型ではIoTセンサーなどの小型アプリケーション用途を想定	'23年頃~

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

自動車、電子部品、素材等の多様な業種の日本企業が全固体電池の製品化に向けた取り組みを実施

蓄電池-技術レイヤー: 日本企業による全固体電池開発動向

企業	材料・プロセス	製品化時期	用途
トヨタ自動車	電解質に硫化物系	20年	車載
村田製作所	積層セラミックコンデンサー技術を応用	19年	ウェアラブル機器、スマホ、車載
TDK	セラミックス層を積層	18年	IoT、リアルタイムクロック、Bluetoothビーコン
日立造船	電解質に硫化物系	18年	産業、宇宙、車載
三井金属	電解質にアルジロダイト型硫化物	20年以降	定置用電源、車載
出光興産	電解質に硫化リチウム、正極材にコバルト酸リチウム、負極材に黒鉛	ー	携帯・民生用機器、定置用電源、車載
オハラ	電解質に固体酸化物系無機材料「LICGC」	19年	定置用電源、車載
Charge CCCV (C4V)	ー	19年4-6月	車載
イリカ・テクノロジーズ	正極材にコバルト酸リチウム、負極材にアモルファスシリコン	16年	IoT、センサーネットワーク、ウェアラブル機器

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

中国のCATLはOEM連携による安定的な需要獲得に加え、研究開発でリチウムイオン電池の高機能化を実現

蓄電池-技術レイヤー：CATLによる蓄電池技術開発動向

自動車OEMとの連携

2012年の独BMWとの協業を契機に、自動車OEMとの水平分業型戦略を採用

以降、技術力とブランド力の向上を果たし、2018年には独ダイムラーやVWにもLIBを供給

CATLが手を組む主な自動車メーカー

CATL

中国
上海上記集団、
吉利汽車、
北京汽車集団
等10社以上

日本
トヨタ自動車、ホンダ、日産自動車

ドイツ
フォルクスワーゲン (VW)、
ダイムラー、BMW

その他
米テスラ、韓国・現代自動車、
仏グループPSA、英ジャガー・
ランドローバー (JLR)、
スウェーデン・ボルド

蓄電池の独自高機能化

電気自動車搭載時で、16年間または走行距離200万キロメートルの超長寿命を実現

- テスラ「Model S」「Model X」の電池保証期間8年間または24万キロメートルを大幅に超過

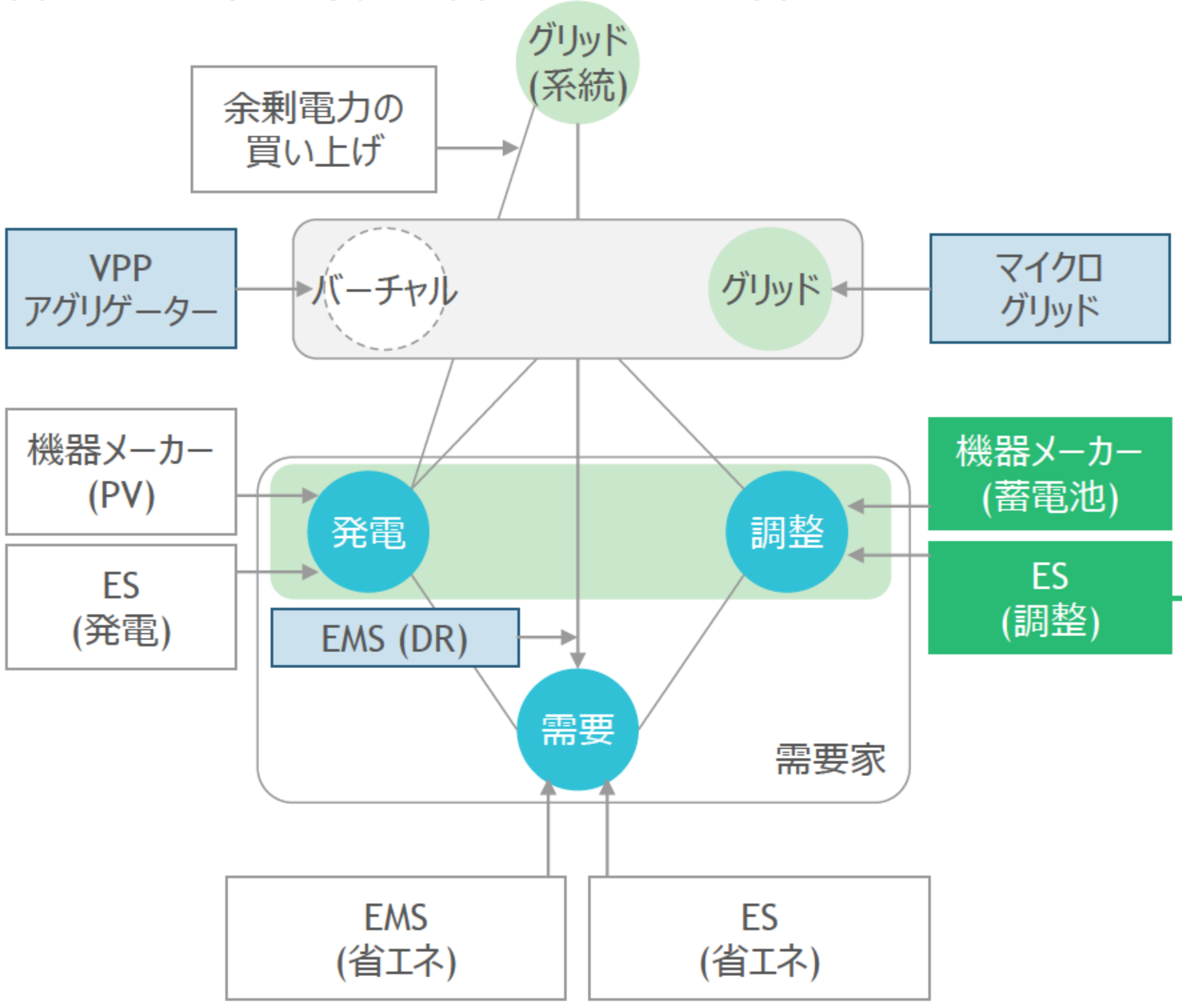
化学材料の配合と高度な生産技術の組み合わせにより実現

- 特に、活性リチウムイオンの減少速度を抑えたことによる電池の容量低下のコントロール
- 正極、負極、電解液にそれぞれ異なる技術を取り入れ、劣化反応を抑制することで寿命延長に成功

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

蓄電池サービス統合型として、再生可能エネルギー領域(PV等)やモビリティ領域(EV、V2G)との組み合わせ等が拡大

蓄電池-ビジネスレイヤー: 蓄電池サービス統合型



1 (シンプルな) 蓄電池TPO
- 蓄電池システムのリース、メンテナンス、運用

2 PV + 蓄電池TPO
- 蓄電池を含めたPVシステムをTPO

3 PV + 蓄電池ハイブリッドシステム
- 充放電の最適管理ソリューション

4 EVエネルギーサービス (DR / V2G)
- EV向けの充電遅延や逆潮流サービス

5 EV蓄電池リサイクル
- EV用蓄電池を、住宅用定置向けに転用

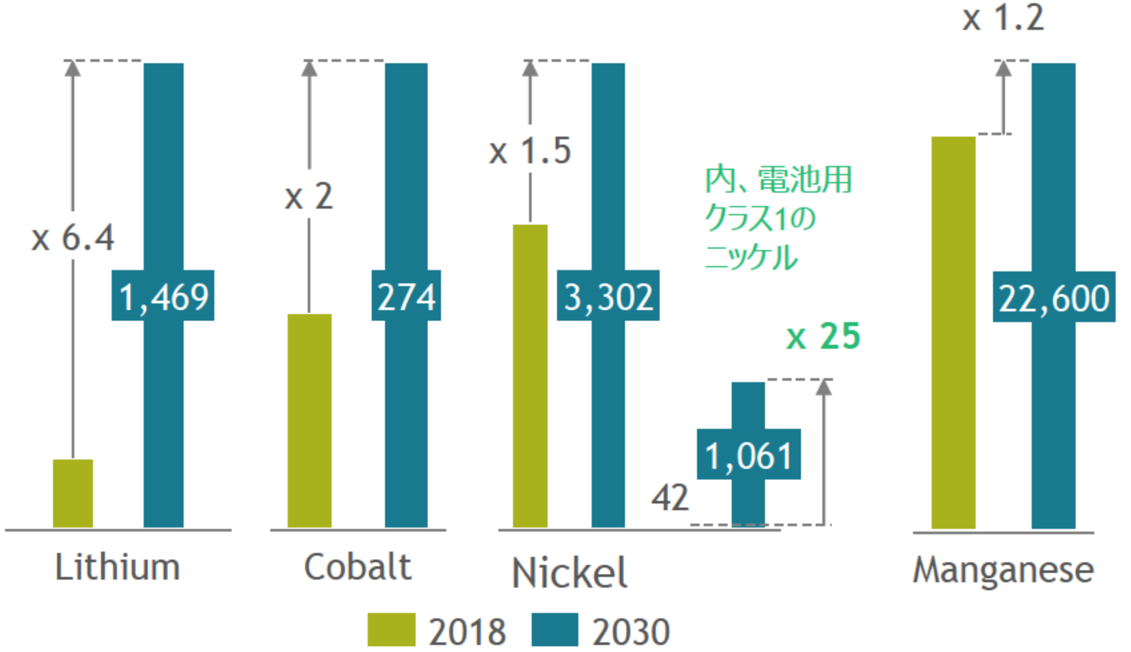
6 蓄電池 + 電力シェア
- 蓄電池ユーザー間での余剰電力の共有

Source: 各種公開情報、エキスパートインタビューを基にしたBCG分析

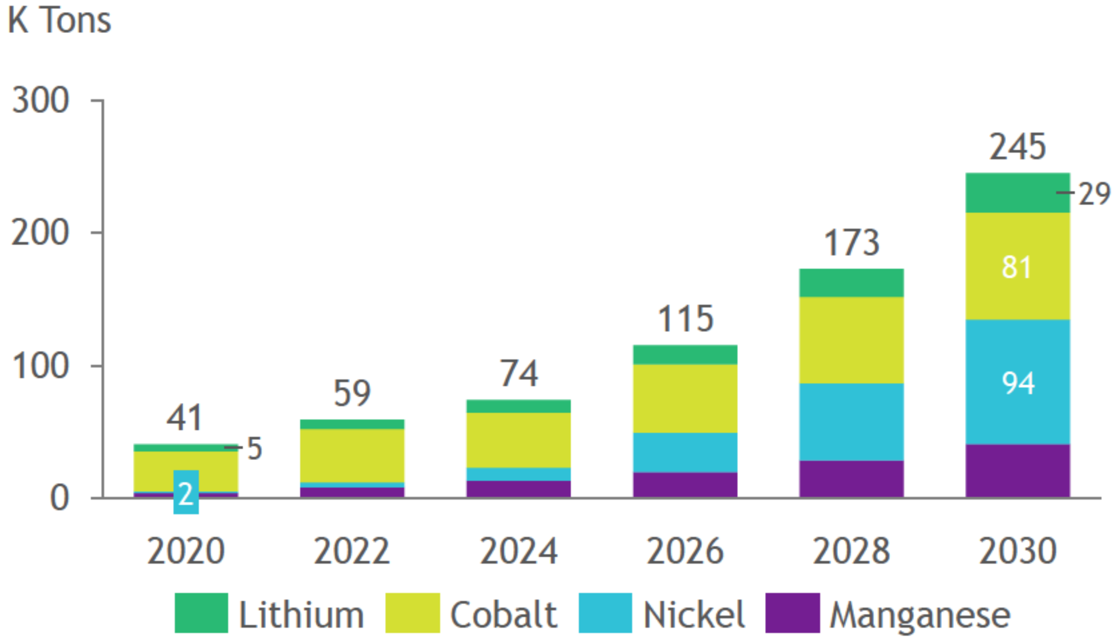
リサイクル金属は、新たな電池製造への重要な供給源となる可能性

蓄電池-マーケットレイヤー: 金属別需要量の推移(2018-2030)およびリチウムイオン電池からのリサイクル量の推移 (2020-2030)

金属別の需要量 (k tons/年)



金属別リチウムイオン電池からのリサイクル量 (2020-2030)



- 高純度ニッケルへの需要が市場を圧迫し、新規鉱山と精製所の開設に莫大な投資が必要
- 電池製造により、世界のコバルト埋蔵量が10%以上減少する可能性
- EV市場拡大に伴い、2025年までにリチウムの需要が供給を上回る可能性

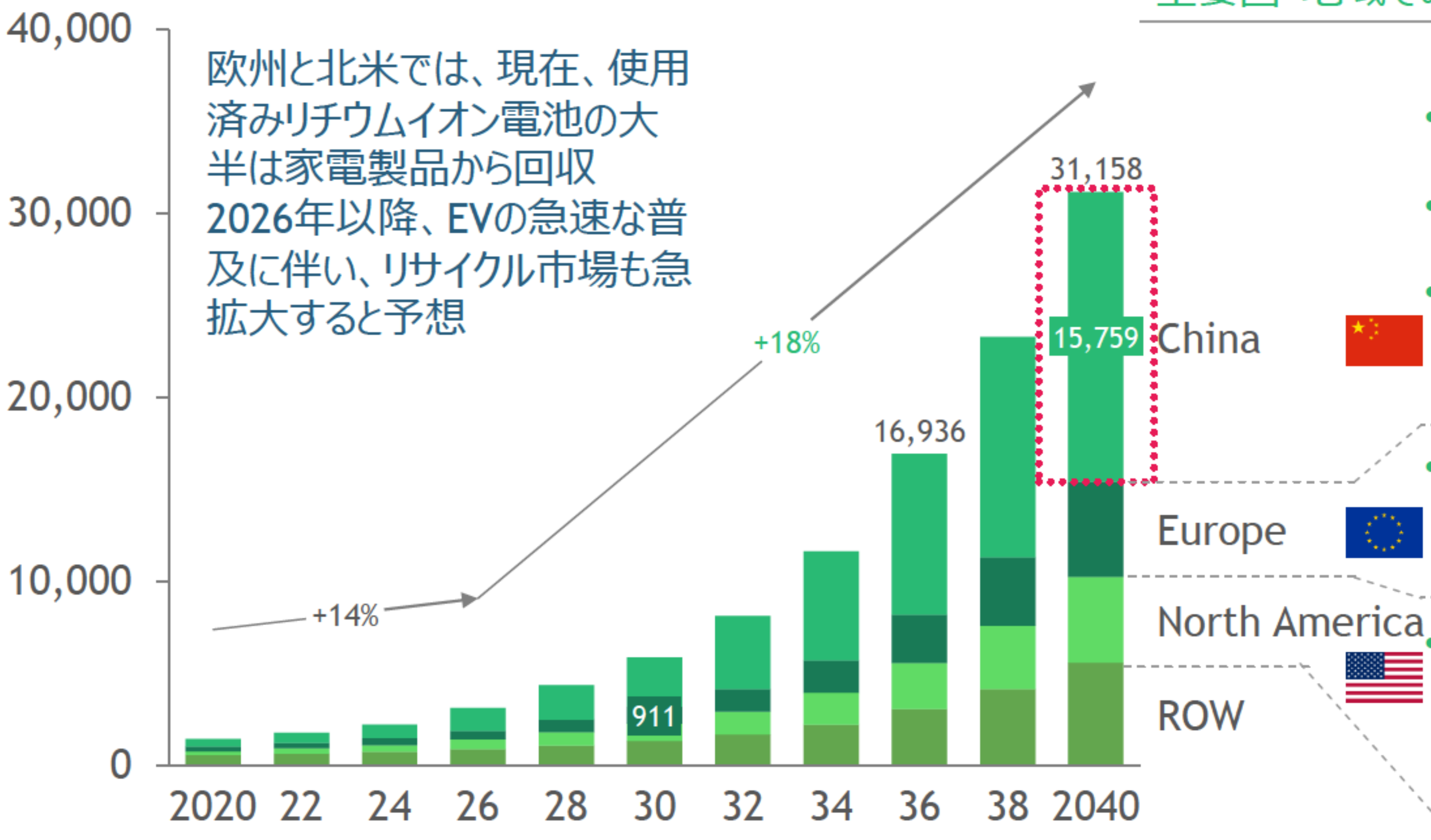
- 再生電池のニッケルは、ニッケル含有ステンレス鋼に利用可能
- 現在、リチウムイオン電池の回収・リサイクル率は5%未満
- 28トンのリチウムイオン電池から1トンの電池用リチウムを得ることが可能 (250トンの鉱石や750トンの塩水に比べ)
- 回収・再資源化率は5%未満

Source: IDTechEX,; World Economic Forum; Global Battery Alliance; US DOE; BCG分析

世界のリチウムイオン電池リサイクル市場は今後20年間で17%成長する見立て

蓄電池-マーケットレイヤー: グローバルリチウムイオン電池リサイクル市場推移予想(2020-2040)

リチウムイオン電池リサイクル世界市場価値予測 2020-2040年 ($M)



主要国・地域でのリサイクルへの動き

China

- 市場がAPAC地域に集中し中国と韓国による激しい競争が発生
- 電子機器から排出される電池の大半は、欧米と比べてリサイクル業者が高い価格を提案する中国に輸出
- 政府による省エネ技術の推進、EVメーカーへのバッテリーリサイクル施設設置の義務付けにより、中国の業界独占がさらに強化

Europe

- European Battery Allianceは、地理的な競合相手への依存を減らすために、リチウムイオン電池の持続可能な国内製造バリューチェーンの構築を目指す

North America

- 米国DOEは、「The Battery Recycling Prize Competition」550 万ドルを投じ、国内の使用済みリチウムイオン電池の90%を回収し、主要材料を回収して米国のサプライチェーンに再導入するプロセスを開発する米国の起業家にインセンティブを与える

Source: IDTechEx; BCG分析

電池の欧州域内生産・域内循環を誘導するため、欧州バッテリー規制案で、カーボンフットプリント規制や、Battery Passport導入、責任ある材料調達、原料回収率目標を提案

蓄電池-マーケットレイヤー: 欧州のバッテリー規制動向

	全体		天然資源採掘・精錬	材料電池製造	利用	回収・リユース・リサイクル・廃棄
EU バッテリー規制(案)	カーボンフットプリント規制 • 持続可能性について、電池製造者が達成すべき炭素フットプリントの目標値を設定	Battery Passport導入 • 正極・負極・電解液の詳細構成、炭素フットプリント、調達責任、リサイクル原料の含有量、サイクル寿命など利用者に公開 • 電池部材、交換部品、分解手順、安全対策の情報も限定的に公開	環境・社会インパクト配慮型調達の義務付け • 電動車両用と電力貯蔵用の大型電池を市場投入する事業者には、活物質原料の調達先における環境的・社会的インパクトの配慮を義務付け			原料回収率の目標値設定 • 電池リサイクル業者に対して、安全処理作業の要求およびリサイクル率や原料回収率などの処理能力を規定
導入タイムライン 2020 2025 2030 2035	★ 2024 • 製造者による数字開示を要求 ★ 2026 • 性能区分が設定 ★ 2027 • 上市の際の上限値が設定	★ 2026 • 電池の電子記録搭載と「Battery Passport」への登録義務化 ★ 2027 • 電池の識別ラベル・QRコード搭載	★ 2023 • サプライチェーンデューデリジェンス方針の義務化、電池の調達業者のグリーン調達			★ 2030 • 回収率目標① コバルト12%、ニッケル4%、リチウム4% ★ 2033 • 回収率目標②コバルト20%、ニッケル12%、リチウム10%

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

日本が主導した電気化学的技術を用いた蓄電池 (化学蓄電池) から構成される、電力システムに接続するBESSの安全要求項目を規定した国際規格を発行

蓄電池-マーケットレイヤー: 日本主導による蓄電池国際規格化

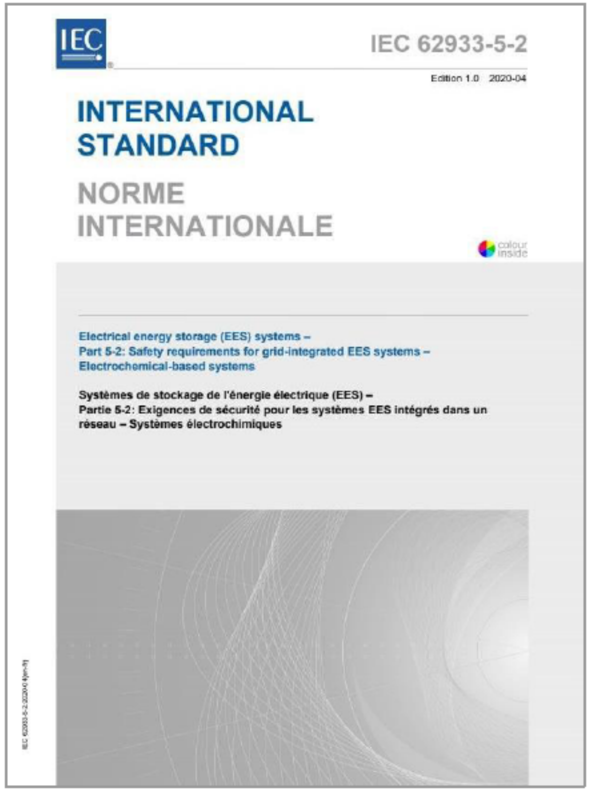
蓄電池の国際規格 (IEC 62933-5-2): 概要

電気化学的技術を用いた化学蓄電池から構成される、
電力システムに接続するBESSの安全要求項目を規定

- 特に人命に関わる火災・爆発・有毒ガス滞留への対策として、BESS 製造者の視点での故障モード影響解析、及び BESS 利用者の視点での故障の木解析を組み合わせ、事故シナリオを整理して、システム全体として必要な安全対策及び確認方法を検討
- 安全要求項目の技術的根拠とすべく、NLAB にて電池ユニットの類焼実験を実施して、国際規格原案をとりまとめ
- システムの設計から運用期間終了時の管理までのライフサイクル全体に適用できる規格

IEC 62933-5-2の採用項目
- 過充電の防止
- 換気の確保
- 防爆対策
- システムの状態監視 等

IEC 62933-5-2 Electrical energy storage (EES) systems Part 5-2: Safety requirements for grid-integrated EES systems - Electrochemical-based systems


IEC 62933-5-2

Edition 1.0 2020-04

INTERNATIONAL STANDARD

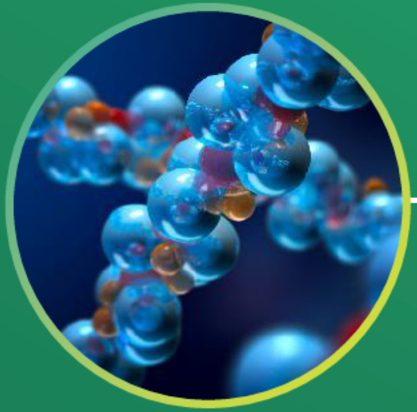
NORME INTERNATIONALE

colour inside

Electrical energy storage (EES) systems –
Part 5-2: Safety requirements for grid-integrated EES systems –
Electrochemical-based systems

Systèmes de stockage de l'énergie électrique (EES) –
Partie 5-2: Exigences de sécurité pour les systèmes EES intégrés dans un réseau – Systèmes électrochimiques

Source: 独立行政法人製品評価技術基盤機構(NITE)プレスリリースよりBCG作成



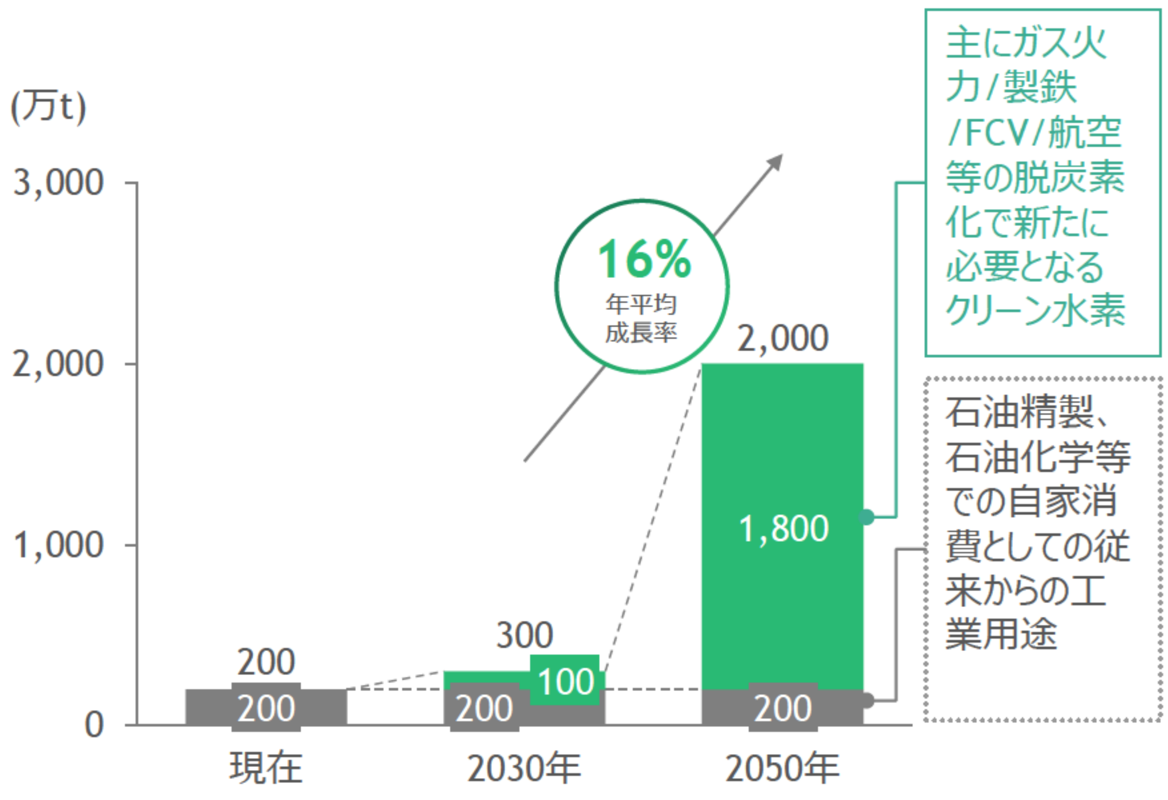
個別産業分析

水素/アンモニア

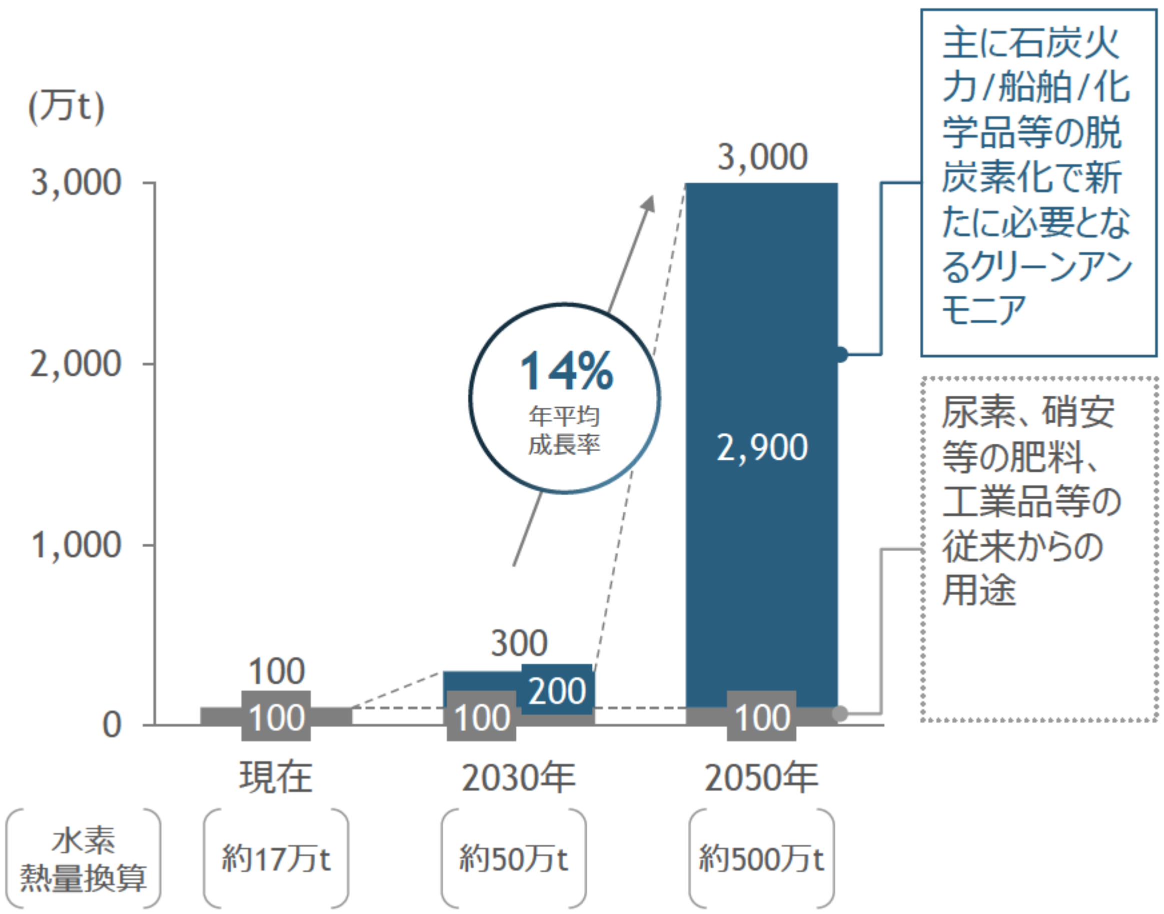
日本では水素導入量目標として300万t(2030年)→2,000万t(2050年)、アンモニア導入量目標として300万t(2030年)→3,000万t(2050年)を標榜

日本: 水素・アンモニア導入量政策目標

水素: 政府導入量目標ベース



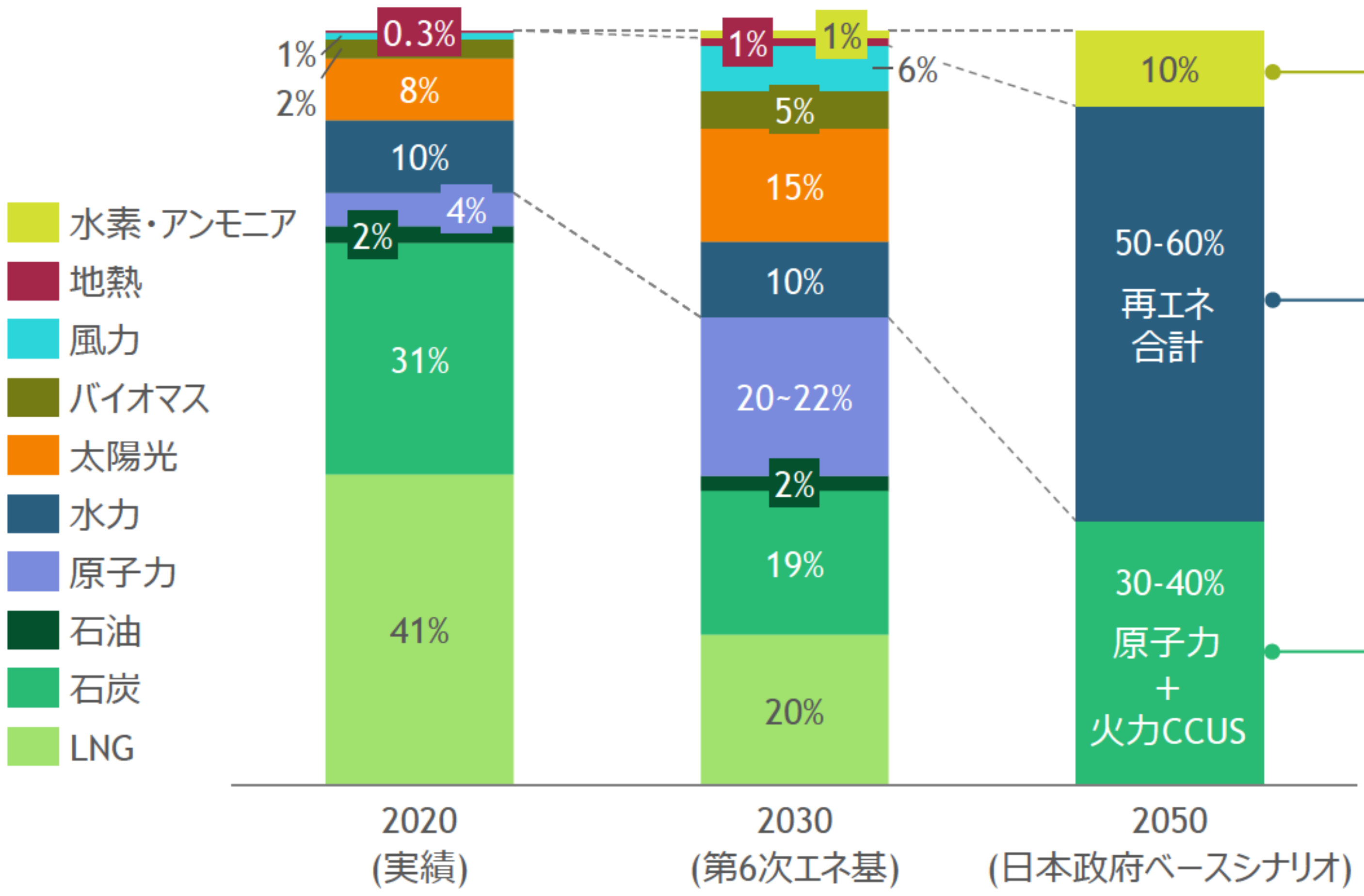
アンモニア: 政府導入量目標ベース



Source: 経済産業省; BCG分析

水素・アンモニア火力がエネルギーミックスに占める割合は2030年時点では1%程度も、2050年に向けては10%程度まで拡大させる方針

日本: 2030年/2050年のエネルギーミックス(電源構成)



水素・アンモニア

- 2030年時点では1%程度も、2050年までに10%の導入を目標
- 水素・アンモニアチェーン構築には多大な投資と時間を要することから、2030年までの社会実装が必要

再エネ

- 2012年のFIT以降導入が進んだ太陽光・陸上風力に加えて、洋上風力(着床+浮体式)が再エネ急拡大の切り札
  - 国内サプライチェーン構築、送配電増強、案件開発リスク負担等の課題は残存

原子力 + 火力

- 安定供給性・経済性に優れる電源として中長期的にも主力電源の位置づけ
- 「廃止」ではなく、「如何に既存アセットを活用しながら脱炭素化を図るか」が論点

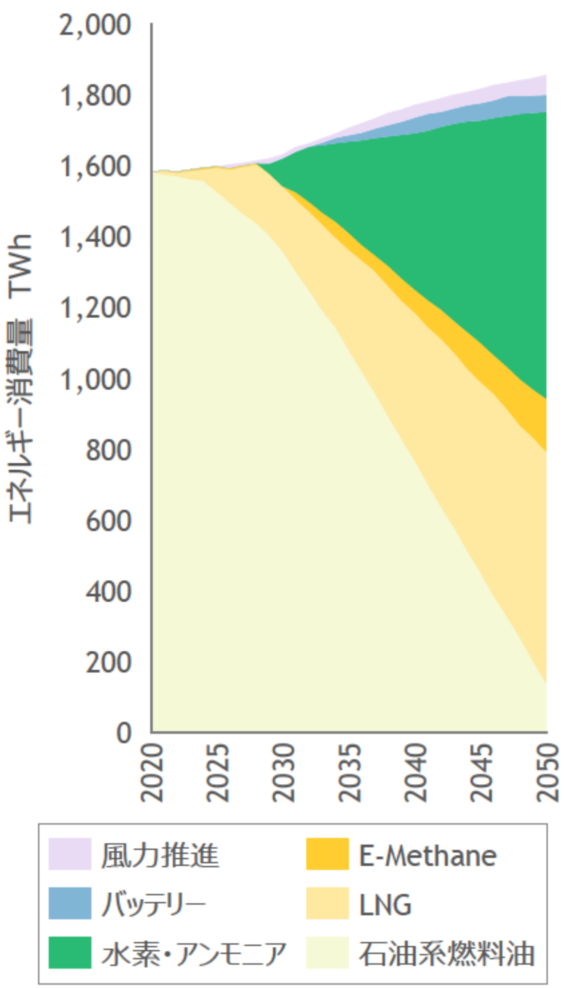
Note: 2020年実績はOCCTO取り纏めの送電端電力量より試算
Source: 資源エネルギー庁; BCG分析

国土交通省は水素・アンモニアの船舶での活用を2028年前後より本格化させる方針

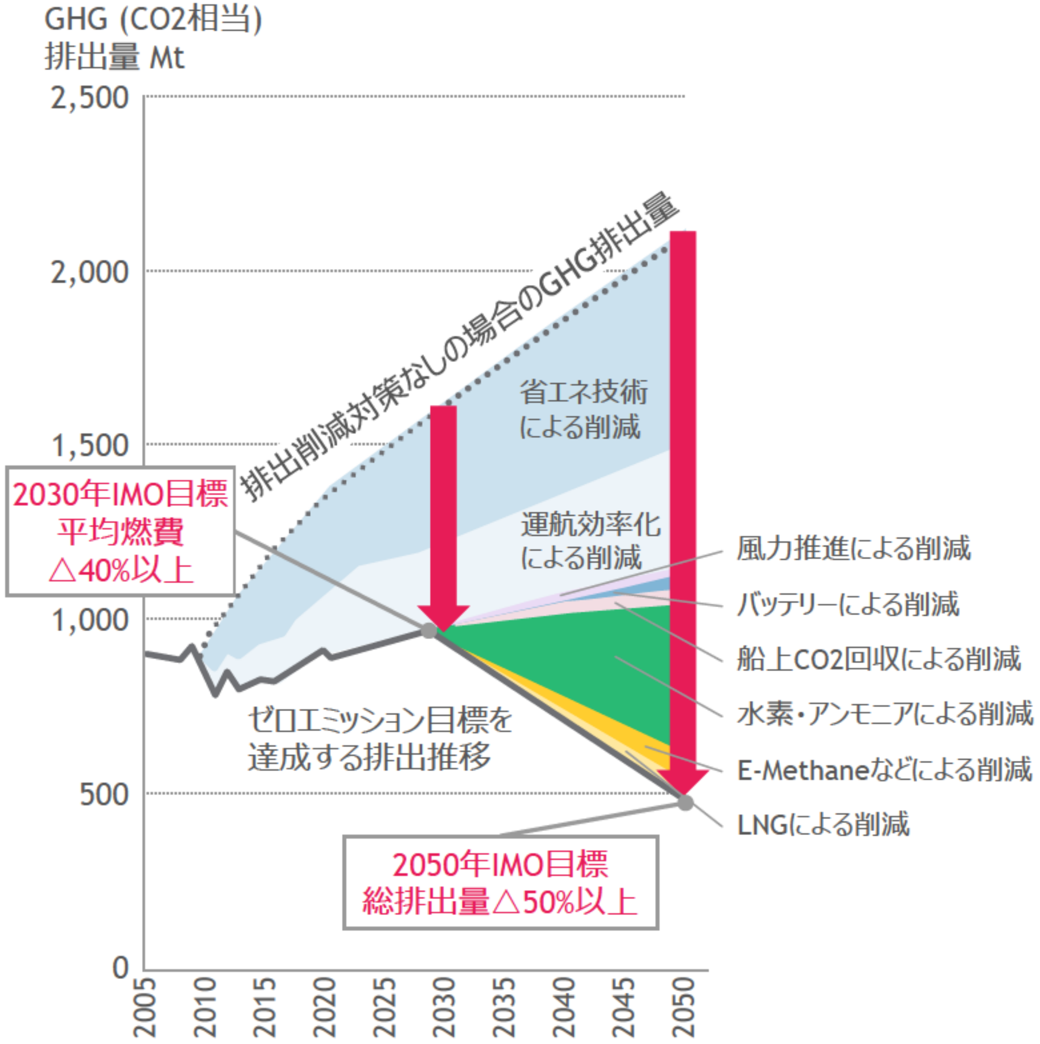
日本: 国土交通省における世界の船舶業界の水素・アンモニア燃料拡大シナリオ

国土交通省

船舶水素・アンモニア拡大シナリオ



削減想定カーブ



シナリオの詳細・前提

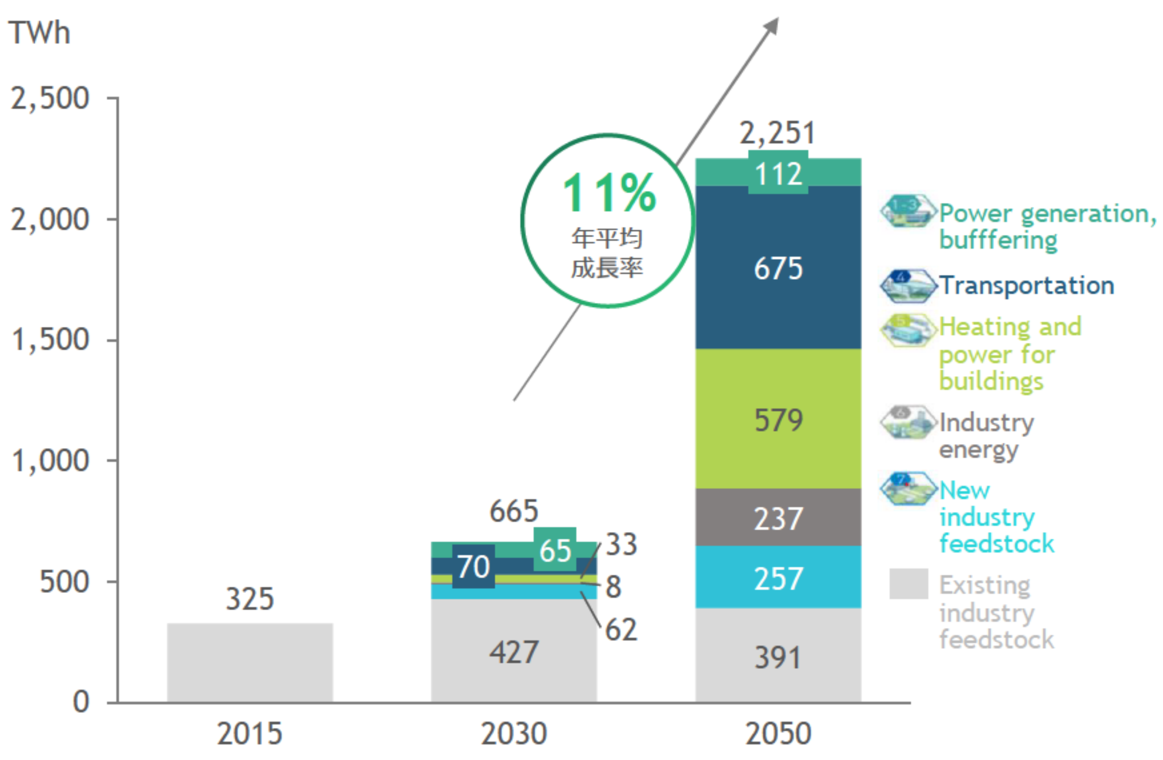
省エネ技術・運航効率化	• 2030年に国際海運全体の平均燃費40%改善を想定 • 2050年に国際海運全体の平均燃費45%を想定(2030年から+5%の改善)
石油系燃料油の使用	• 2050年までに陸上において燃料としての原油需給が減少し、これに伴って舶用重油の供給が減少すると想定 • 石油系燃料油を使用する船舶の建造が減少し、2035年以降は全ての新造船がLNGその他の代替燃料を使用すると想定
LNG燃料	• 2050年時点で、国際海運で消費されるエネルギー約30%がLNGで賄われると想定
E-Methane・バイオメタン	• 2050年時点で、国際海運の消費エネルギーの約7%がE-Methane/バイオメタンで賄われると想定
水素・アンモニア	• 2050年時点で、国際海運の消費エネルギーの約45%が水素又はアンモニアで賄われると想定
船上CO2回収	• 2050年時点で、国際海運全体の約5%が導入すると想定
風力推進・バッテリー	• 風力推進、バッテリーともに、2050年時点で、国際海運全体の約2%が導入すると想定

Source: 国土交通省; BCG分析

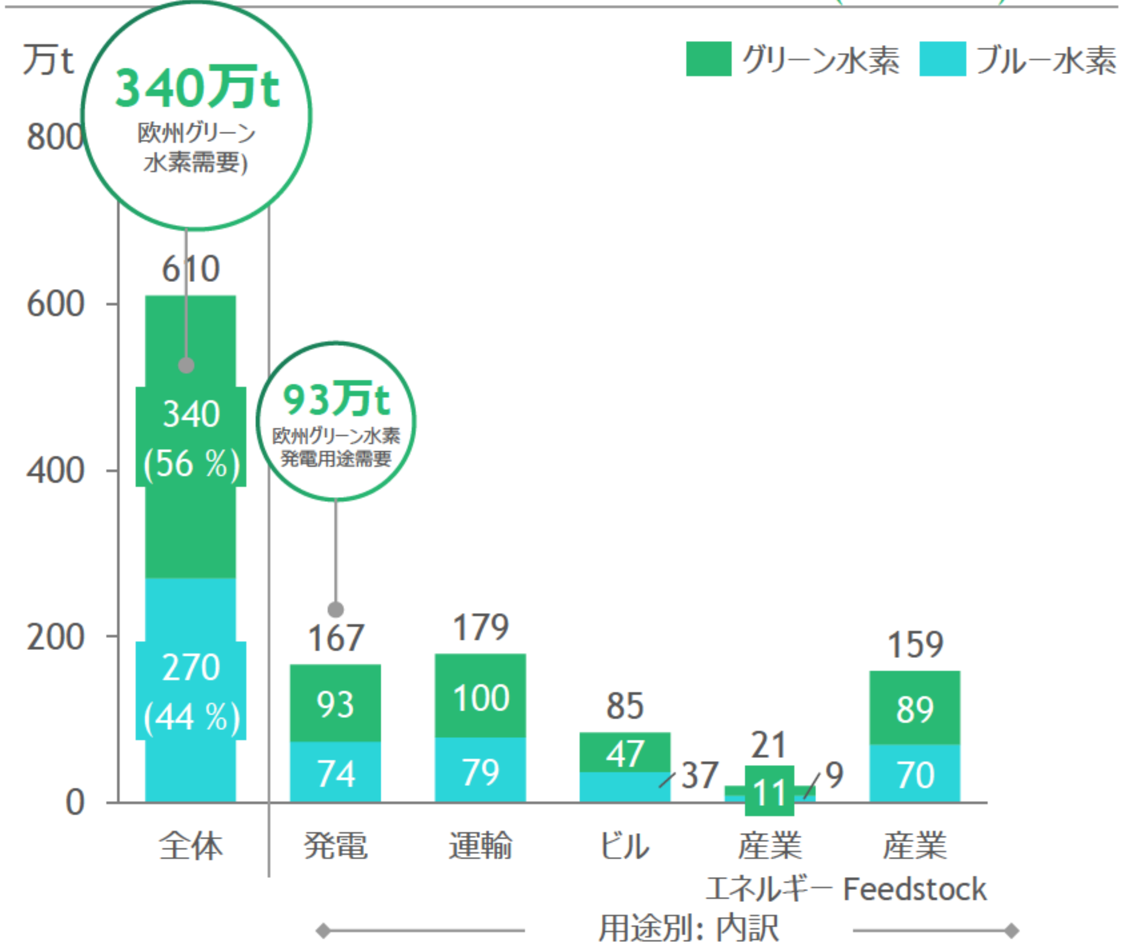
EUはグリーン水素導入量目標として2030年時点で340万tを標榜しており、そのうち発電用途は93万t

欧州: 水素導入量政策目標

欧州: 水素導入量推移



欧州: 用途別での必要水素量の種類内訳(2030年)



Note: 水素の活用量のシナリオは水素活用を積極的に行ったケース
Source: FCH JU; BCG分析

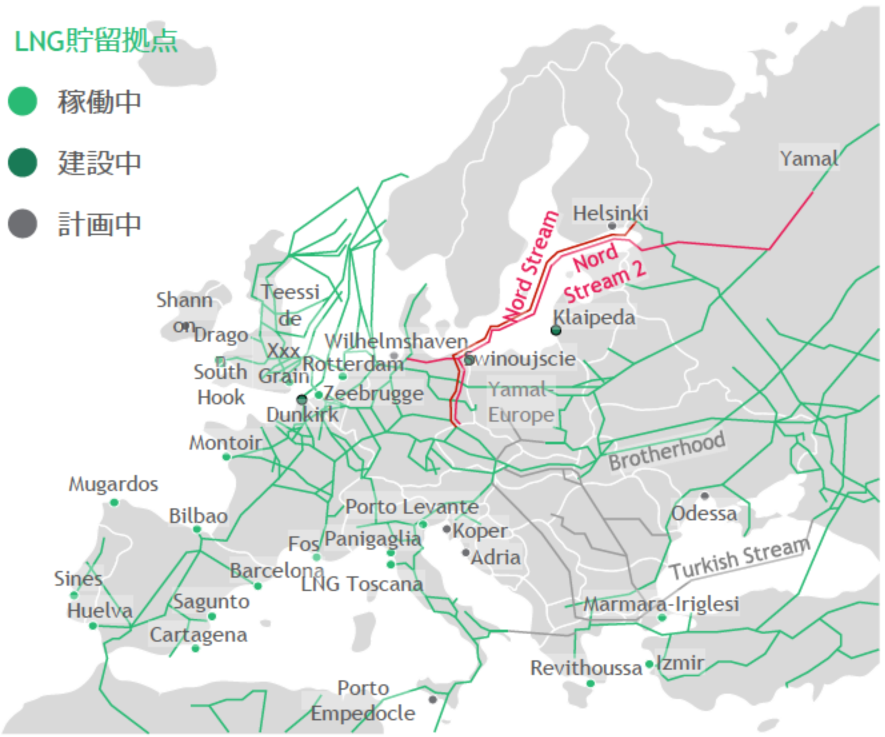
欧州域内およびロシアを跨ぐ国家間パイプラインはすでに整備済で、水素転用に向けた計画が進行中で、主となる3,000km以内のパイプライン輸送のコストは~€1/kgを想定

欧州: 水素の社会実装に向けた輸送インフラの整備と輸送コストの推移

既存の広域パイプライン網

稼働中パイプライン
建設予定のパイプライン

LNG貯留拠点
稼働中
建設中
計画中

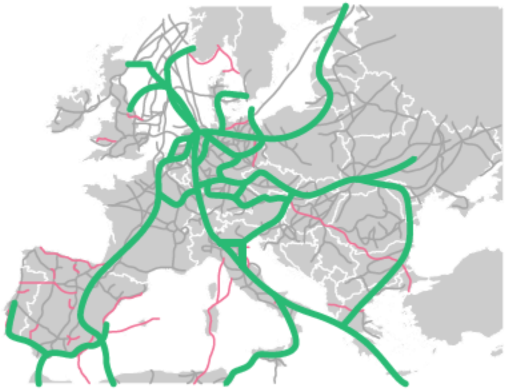


既存パイプラインの水素転用

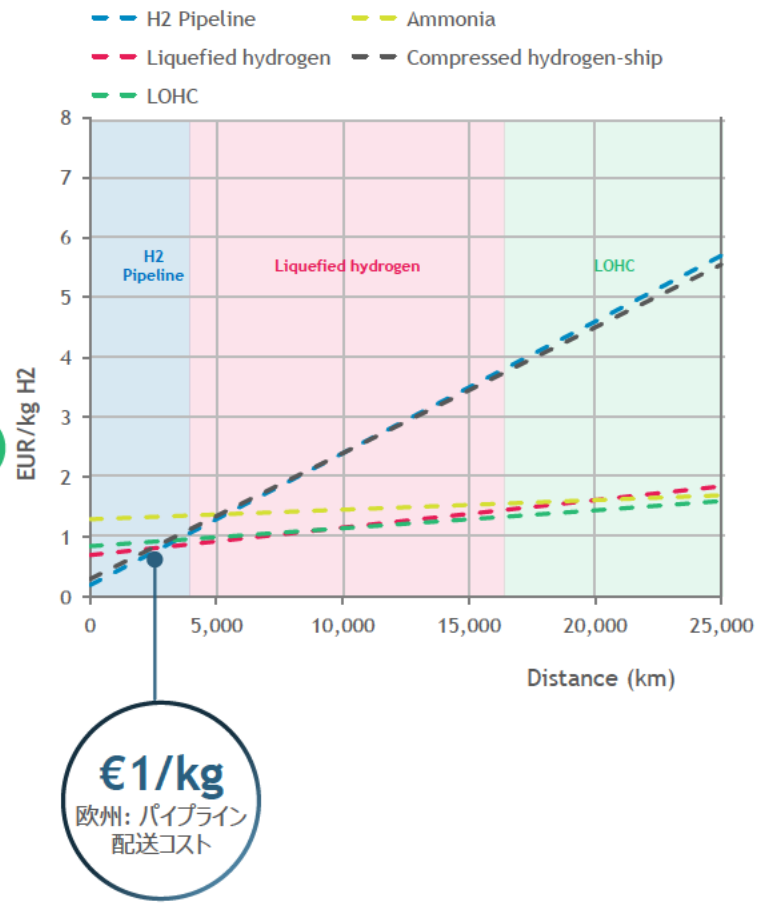
水素社会にむけたロードマップによると2030年前後より本格的に水素転用を実施

- 欧州横断エネルギーネットワーク（TEN-E）の見直しや今後10 年間のネットワーク開発計画（TYNDP）の策定を実施

水素パイプラインのイメージ



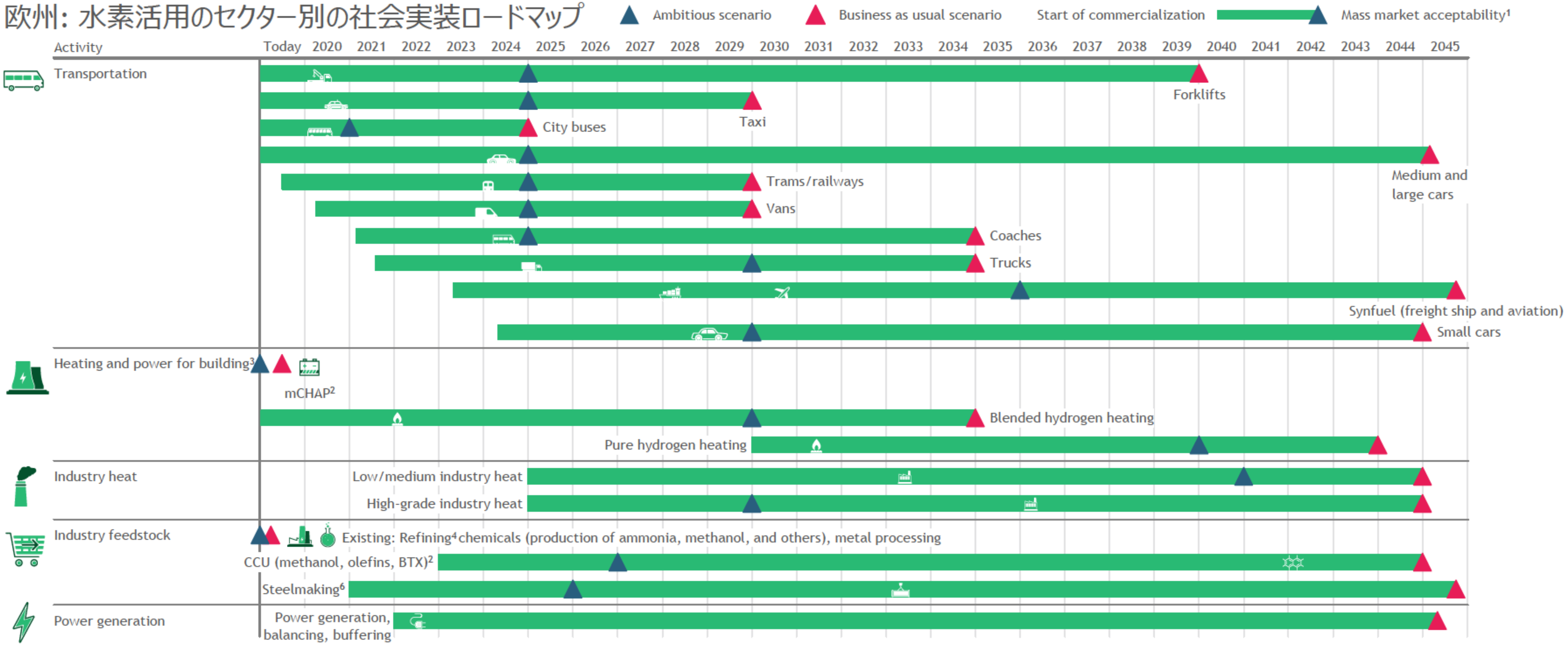
パイプライン輸送のコスト



Source: European Commission; BCG分析

EUでは、輸送領域全般、住宅向け熱需要、産業向け熱需要を中心に水素社会実装を計画

欧州：水素活用のセクター別の社会実装ロードマップ

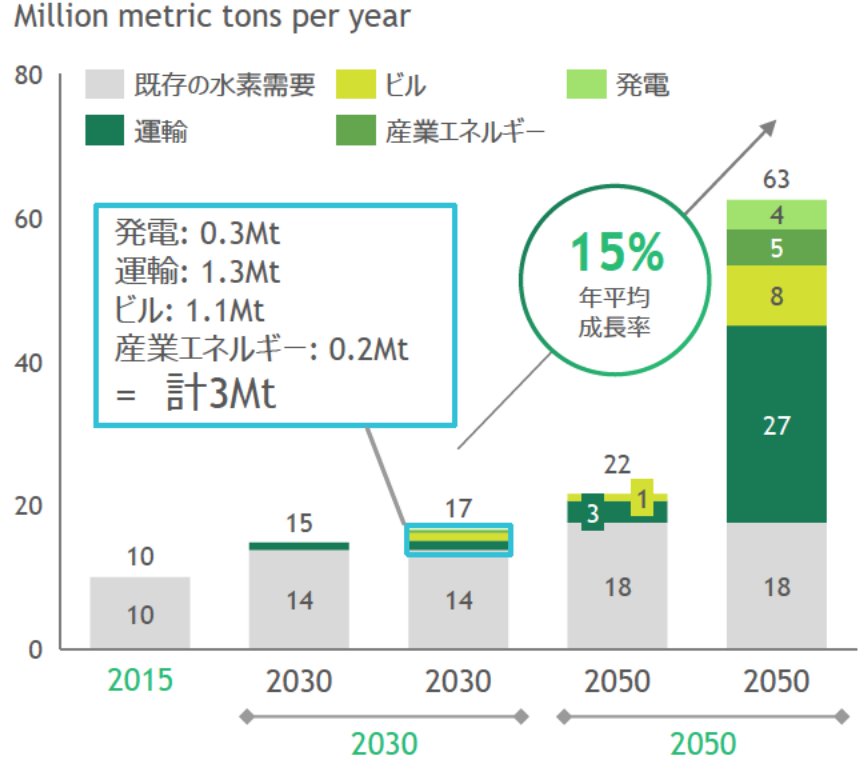


1 Defined as sales >1% within segment 2 mCHPs sales in EU independent of fuel type (NG or H_2) 3 Pure and blended H_2 refer to shares in total heating demand
4 Refining includes hydro-cracking, hydro-treating, bio-refinery 5 Market share refers to the amount of production that uses hydrogen and captured carbon to replace feedstock 6 CDA process and DRI with green H_2, iron reduction in blast furnaces and other low-carbon steel making processes using H_2
Source: Hydrogen Roadmap Europe report ; BCG分析

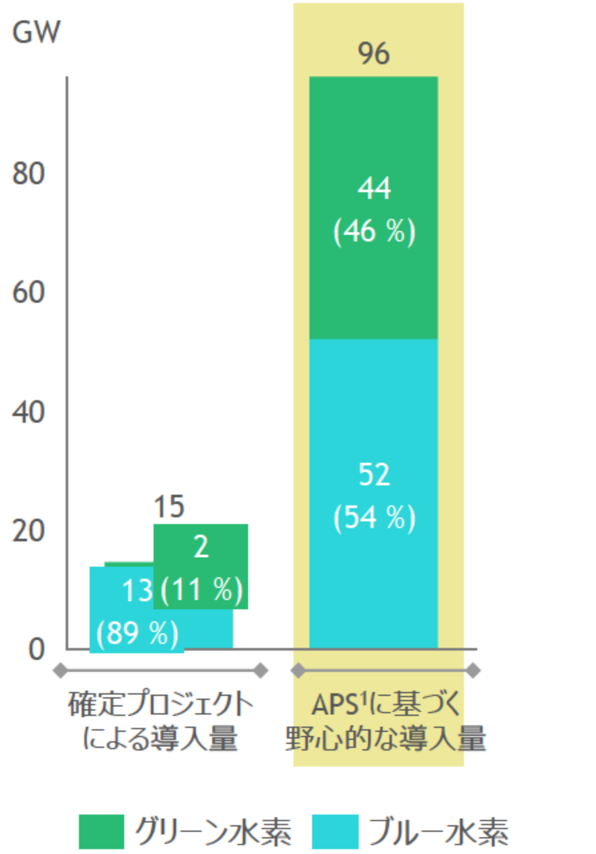
米国では新規水素導入量として約300万t ('30年)→4,500万t ('50年)を標榜しており、2030年時点でグリーン水素は133万t、ブルー水素は157万tの需要見込み

米国: 水素導入量

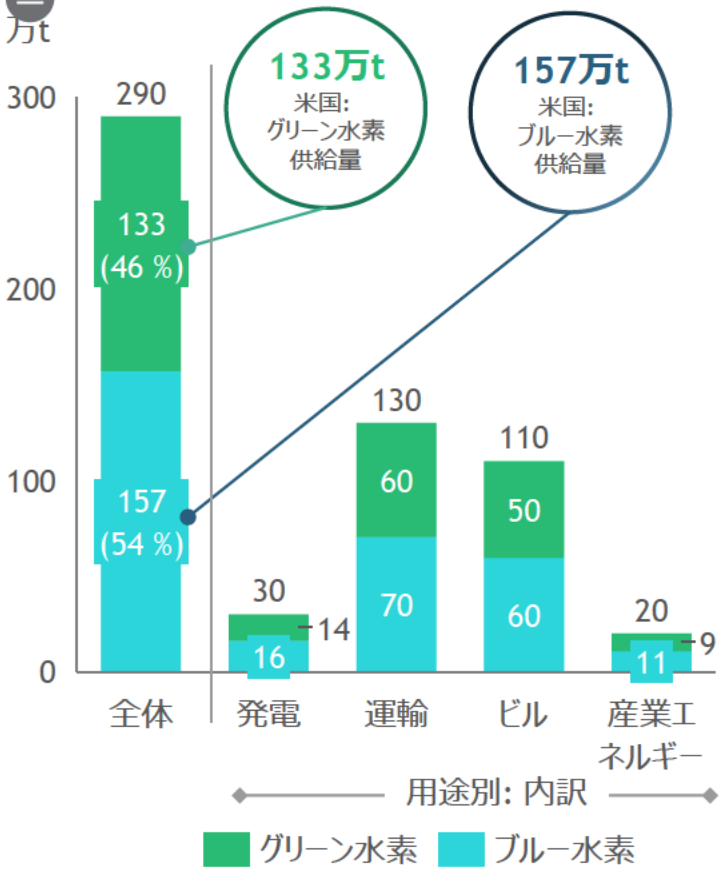
水素導入量推移



グリーン・ブルー水素製造キャパシティ導入見込み(~2030年)



2030年のグリーン・ブルー水素需要量

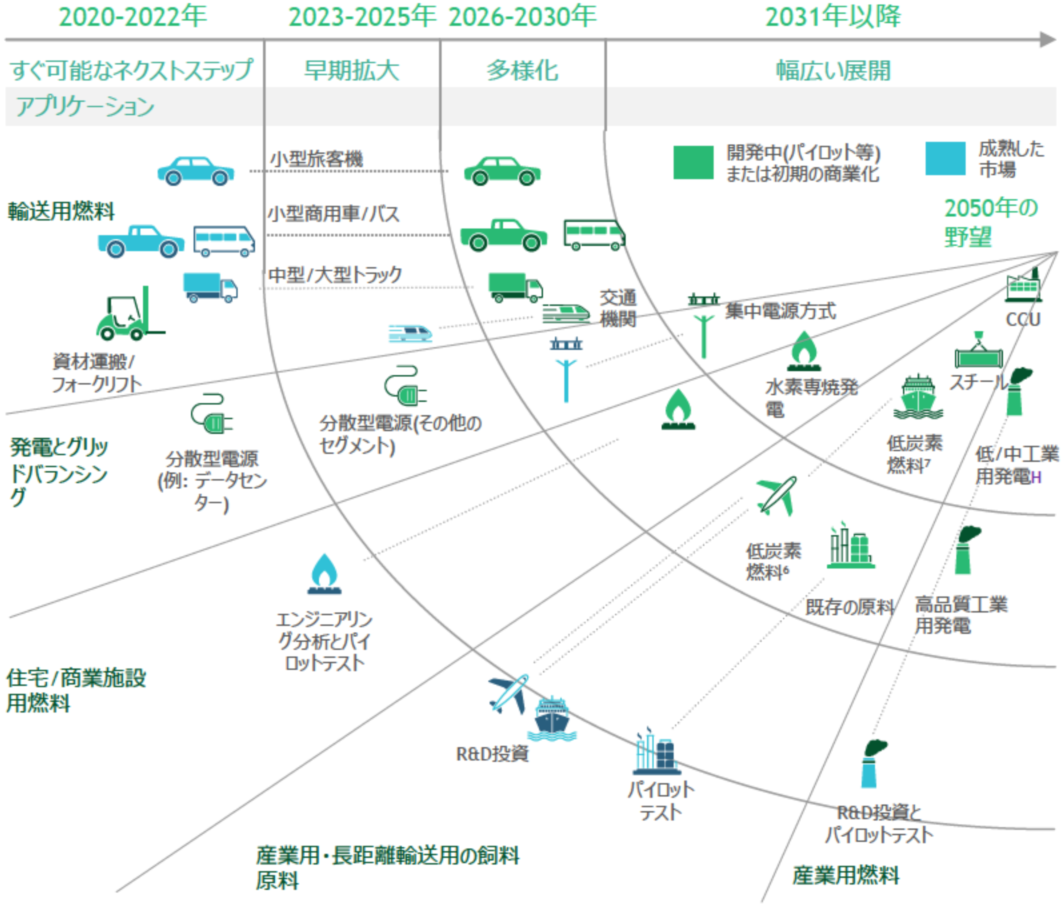


1. Announced Pledges Scenario
Source: ROAD MAP TO A US HYDROGEN ECONOMY; IEA Global Hydrogen Review 2021

米国では2030年までに運輸領域を中心に水素社会実装を進める計画であり、2030年以降には多様なアプリケーションへの展開を想定

米国: 2030年前後の水素拡大に向けたロードマップとマイルストーン

水素応用ロードマップ



水素の規模拡大-目標とするロードマップのマイルストーン

	今日 すぐ可能なNest step	2022 早期拡大	2025 多様性の追求	2030 幅広い展開
水素需要、メートル	11m	12m	13m	17m
FCEV販売	2,500	30,000	150,000	1,200,000
資材運搬FCEV	25,000	50,000	125,000	300,000
給油所[1]	63	165[2]	1,000[2]	4,300[3]
資材運搬用給油所[4]	120	300	600	1,500
年間投資額		$1B	$2B	$8B
新規雇用[5]		+50,000	+100,000	+500,000

1. 稼働中および開発中の両燃料供給ステーションを含む 2.500kg/日のステーション; 資材運搬の燃料ステーションは含まず 3. 1,000kg/日のステーション; 資材運搬用設備用給油所は含まず 4.プラグ電力のデータ
5. 現在このセクター分野に存在する推定20万人分の雇用を基にした、直接的、間接的、および結果的な雇用が含まれる 6. 炭素回収およびとその利用(化学品の製造用) 7.バイオ燃料、合成燃料、アンモニア
Source: DOE Department of Energy Hydrogen Program Plan; BCG分析

米国では航空機・船舶の合成燃料原料としての水素活用に着目

米国: 航空・船舶向けの脱炭素化燃料技術一覧と成熟度

米国でテストされた低炭素燃料経路			生産工程	炭素源/主な原料	成熟度
航空 低炭素ジェット燃料	バイオ燃料	HVOバイオケロシン	水素処理	植物油(バージンオイルおよびリサイクル)、非食用動物性油脂、油が抽出できる場合は都市ごみ	●
		アルコール・ツー・ジェット燃料(シュガー・ツー・ジェットの派生型)	嫌気性醗酵/水相改質	食用または非食用バイオマス(木、草、廃棄物)、バイオガス	◑
		灯油換算	バイオマスから灯油への代謝経路	バイオマス	◔
	合成燃料	バイオマス・ツー・リキッド(BTL)	フィッシャー・トロプシュ法	バイオガス、可食/非可食バイオマス(木、草、廃棄物)、都市固形廃棄物	◑
		パワー・トゥ・リキッド	フィッシャー・トロプシュ法	二酸化炭素(CCU)	◑
船舶 低炭素型バンカー燃料	バイオ燃料	HVO 再生可能ディーゼル燃料	水素処理	植物油(バージンおよびリサイクル)、非食用動物性油脂、油が抽出できる場合は都市ごみ	●
		バイオディーゼル - 脂肪酸エステル(FAME)	エステル交換反応	植物油(バージンおよびリサイクル)、非食用動物性油脂	◔
		バイオ原油	熱分解	非食用バイオマス(森林、汚泥、藁)、プラスチック	●
		圧縮/液化されたバイオガス	嫌気性消化	バイオガス	●
		固体バイオマス	ペレタイズ、ガス化	バイオマス	●
	合成燃料	バイオマス・ツー・リキッド(BTL)	フィッシャー・トロプシュ法	バイオガス、可食/非可食バイオマス(木、草、廃棄物)、都市固形廃棄物	◑
		パワー・トゥ・リキッド	フィッシャー・トロプシュ法	(二酸化炭素(CCU)	◔
		メタノール	合成ガス/SMRからの合成	(二酸化炭素(CCU)/天然ガス、低炭素水素を含むバイオガス	◑
		ジメチルエーテル	脱水、合成	メタノール、炭素系フィードストック	◑
	その他	アンモニア	ハーバー・ボッシュ法	低炭素窒素(空気分離)	◔
		液体水素	ガス改質、電気分解	天然ガス、RNG、水	◔

水素を原料とする技術　既存技術にて水素を活用する方法　水素を不使用

◔ 研究中　◑ パイロット　● 商業化済み

Source: DOE Department of Energy Hydrogen Program Plan; BCG分析

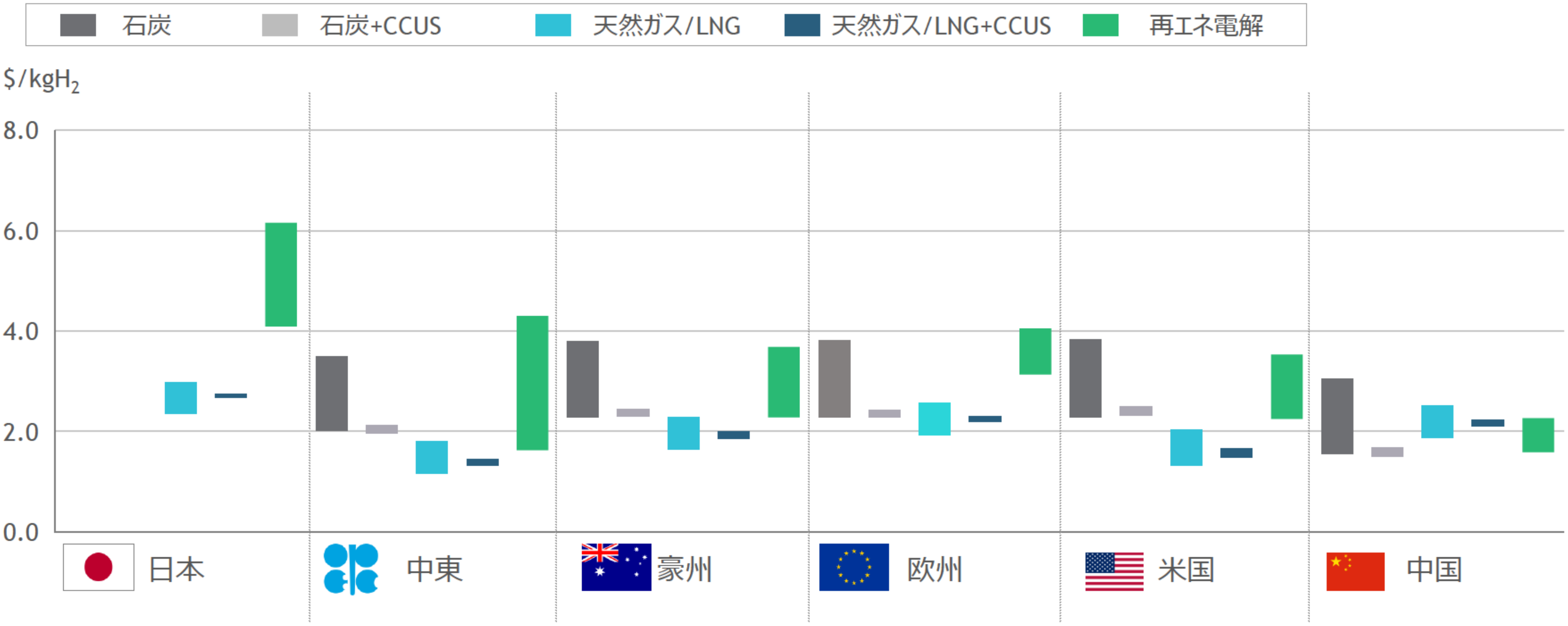
水素/アンモニア: 脱炭素化に伴う競争環境・産業構造変化サマリ

	競争環境変化: 日本企業	競争環境変化: 海外企業	産業構造変化
技術レイヤー	**グローバル連携を主軸にブルー/グリーン水素技術開発を推進** • 資源制約のある日本では、海外資源活用/輸入も想定した上でブルー/グリーン双方の技術開発を推進 • グリーン水素領域では、旭化成(AEC)、日立造船(PEM)等が電解槽技術開発を推進	**化石/再エネ資源賦存状況と連動した水素技術開発を推進** • 資源賦存状況が水素製造コストの主要変動要因でもあるため、各国が異なる時間軸で複数の水素技術開発を推進 • グリーン水素領域では、欧米系企業が技術開発で先行(Hydrogenics/nel/Siemens等)	**地域エネルギー事情を踏まえた製造/輸送領域での多様な水素技術開発加速** • 地域のエネルギー事情も踏まえた上で、水素製造 (化石+CCUSのブルー水素/再エネ由来グリーン水素/ターコイズ水素等)と輸送キャリア(液化水素/アンモニア/MCH等)に係る多様な技術開発が加速
ビジネスレイヤー	**電力/O&G/EPC/メーカー/商社等を中心に水素チェーン横断型の事業開発推進** • 既存化石資源アセットを保有する電力(JERA等)、O&G(ENEOS等)、EPC(千代田化工等)、メーカー(三菱重工等)、商社(三菱商事等)が、各社連携しながら、水素チェーン横断での事業開発を推進	**大手ユーティリティ/資源メジャー等を中心に水素チェーン横断型の事業開発推進** • グローバルエネルギー産業で影響力を有する欧米系の大手ユーティリティ(Orsted/RWW/Entergy等)と資源メジャー(Shell/BP/Exxon等)が水素チェーン横断での事業開発を推進	**上流から下流まで接続する水素チェーン横断での事業開発/企業連携加速** • 特定領域に閉じた形ではなく、上流(水素製造)/中流(輸送)/下流(利用)での一気通貫のチェーン構築に向けた事業開発及び各社連携が加速
マーケットレイヤー	**実証プロジェクト推進を契機とした水素関連コンソーシアムが徐々に組成** • AHEAD、HESC、HySTAR、Fuel Cell Ship Project、FH2R等の実証プロジェクトを推進するコンソーシアムが組成されつつあり、個別案件開発を通じた市場立上げを標榜	**グローバル企業が連携して水素関連コンソーシアムを組成し、ルール形成を主導** • HYBRID(スウェーデン)、Green Flamingo(ポルトガル)、CHP Synfuels(イングランド)、NorthH2(フランス)、Lingen Green H2(ドイツ)等の水素コンソーシアムが組成され、グローバル企業連合でルール形成を主導	**グローバルでの水素市場立上げに向けた企業連合によるルール形成主導** • 市場形成段階で黎明期である水素市場の立ち上げに向けて、チェーン全域で複雑に絡み合っている課題を解決するために、複数企業が連合/コンソーシアムを組成し、各ステークホルダーを巻き込んだルール形成を主導

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビューに基づくBCG分析

クリーン水素には、化石資源+CCUSのブルー水素、再エネ電解によるグリーン水素等が存在するが、各国のエネルギー事情により水素製造コストには差異が存在

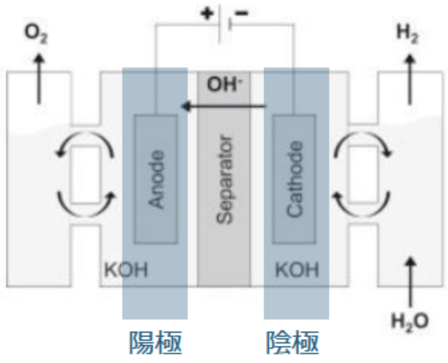
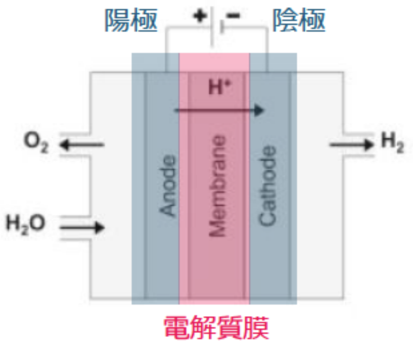
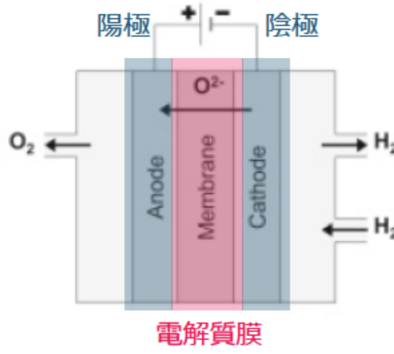
水素/アンモニア-技術レイヤー: 地域別水素製造コスト(2030年とそれ以降の中長期時間軸の幅)



Note: コストの幅は時間軸(near and long term)によって変化し、near term(2030年想定)ではCO2コストをUSD25/tCO2、long-termではCO2コストを100t/CO2で設定
化石資源由来水素は下限値がnear term(2030年想定)で上限値がlong term、再エネ由来水素は下限値がlong termで上限値がnear term(2030年想定)
Source: IEA" Future of Hydrogen"(2019); BCG分析

電解槽は大きく3つの技術に分類されており、商用化に向けた技術成熟度も異なる

水素/アンモニア-技術レイヤー: グリーン水素製造における電解槽技術比較

	AEC (Alkaline Electrolysis Cell)	PEM (Proton Exchange Membrane)	SOEC (Solide Oxide Electrolyzer)
機構図			
技術概要	• 水酸化カリウムの強アルカリ溶液を用いた水電解を行う技術 • 既に商用化、数年毎のメンテナンスで数十年に亘る稼働が可能 • 安定した電力供給が必要 (但し近年は再エネにも徐々に対応) • 装置が大型であり、広い専有面積が必要	• 純水を用いた水電解を行う技術 • 製造される水素の純度が高く、精製が不要 • 電解質膜にフッ素系イオン交換膜等が使用されており、電解効率向上の研究のポイント • 陰極、陽極にチタンやプラチナ等の希少金属を使用するため高コスト	• 高温水蒸気 (800-1,000度) の水電解を行う為の技術 (熱源は原発、燃料電池等を想定) • 電解効率をAECやPEMよりも高められることから、研究が推進 • 現時点ではあくまでも研究開発段階であり、実用例も少数
技術成熟度	成熟度:高 • 1950-60年代から利用 • 旭化成が福島でフィールド実証 (2020年)	成熟度:中 • ここ10年で実用化 • 日立造船・東レがNEDO補助で研究開発 (2015-2019)	成熟度:低 • 東芝がNEDO実証 (2018年-) • 2025年~2030年頃に実装予定

Source: BCG, METI「CO2フリー水素ワーキンググループ報告書」, NEDO

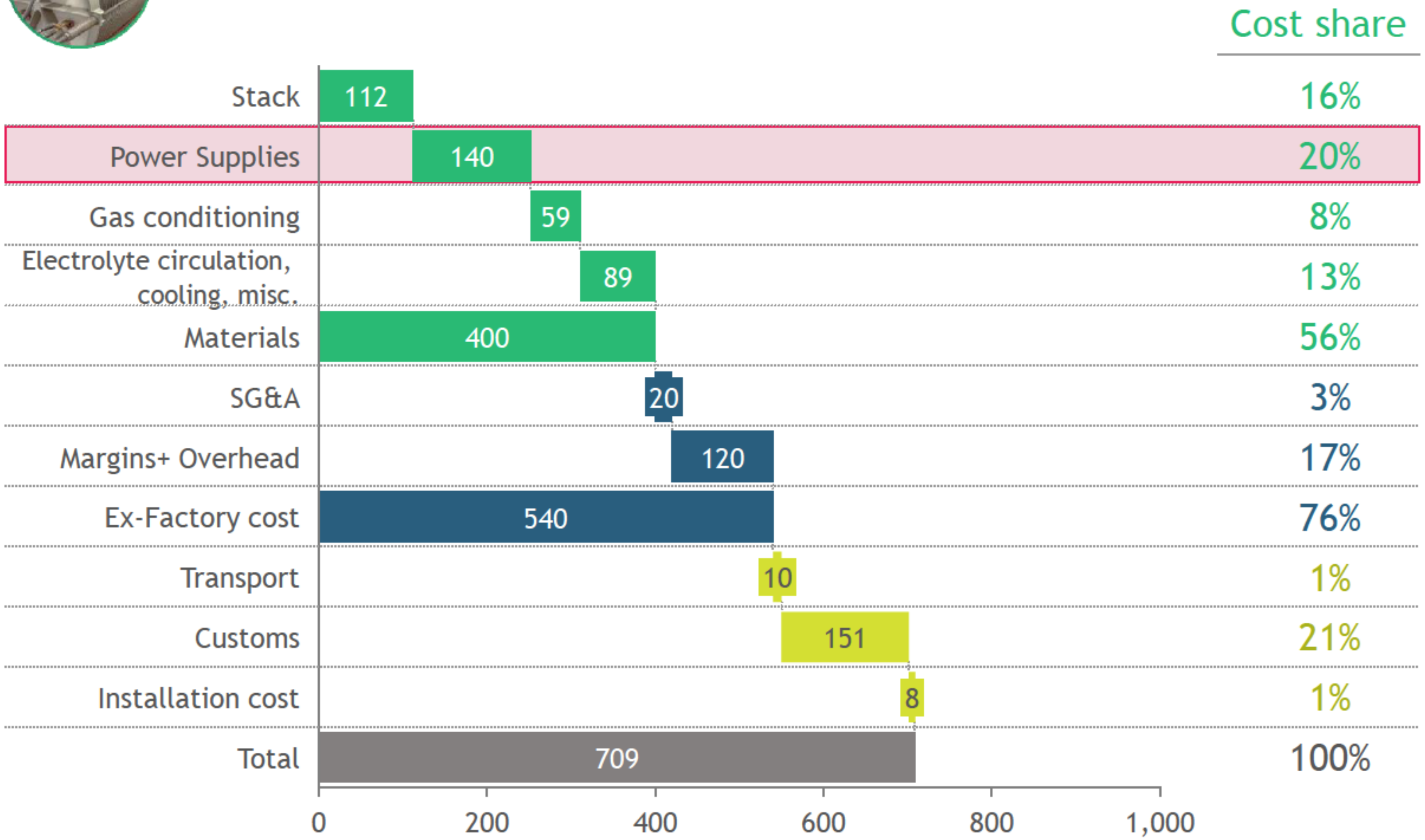
AECの現状コスト構造では、特に電力設備(インバータ/コンバータ等)の占める比率が大きい

水素/アンモニア-技術レイヤー: AEC CAPEX構造

前提条件

- Assuming 50 MW electrolyser
- ExFactory cost = Materials +Labour + Project Overhead +SG&A
- Assuming Labour for Stack assembly = 20% x Stack cost
- Assuming Overheads for Stack Manufacturing = 20% x Stack cost
- Assuming SG&A = 5% x Materials cost
- Assuming Margins + Overhead = 30% x Materials cost
- Transport = US$10 / kW
- Customs = 28% x Ex
- Factory cost Installation cost = 33% x Ex Factory cost

AEC CAPEX Breakdown(USD/kW)



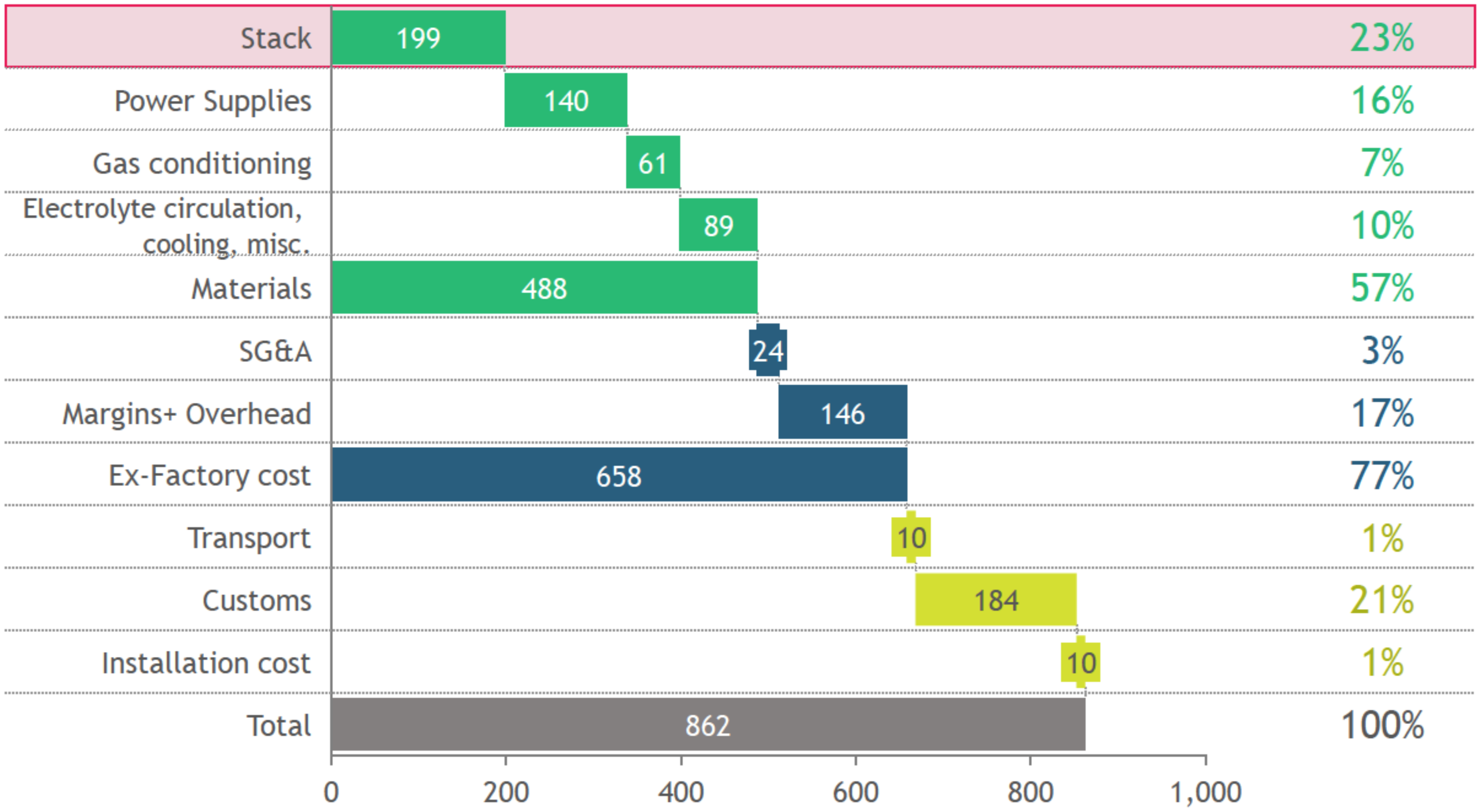
PEMの現状CAPEX構造では、電解槽スタックの占める比率が高い

水素/アンモニア-技術レイヤー: PEM CAPEX構造

前提条件

- Assuming 50 MW electrolyser
- ExFactory cost = Materials +Labour + Project Overhead +SG&A
- Assuming Labour for Stack assembly = 20% x Stack cost
- Assuming Overheads for Stack Manufacturing = 20% x Stack cost
- Assuming SG&A = 5% x Materials cost
- Assuming Margins + Overhead = 30% x Materials cost
- Transport = US$10 / kW
- Customs = 28% x Ex
- Factory cost Installation cost = 33% x Ex Factory cost

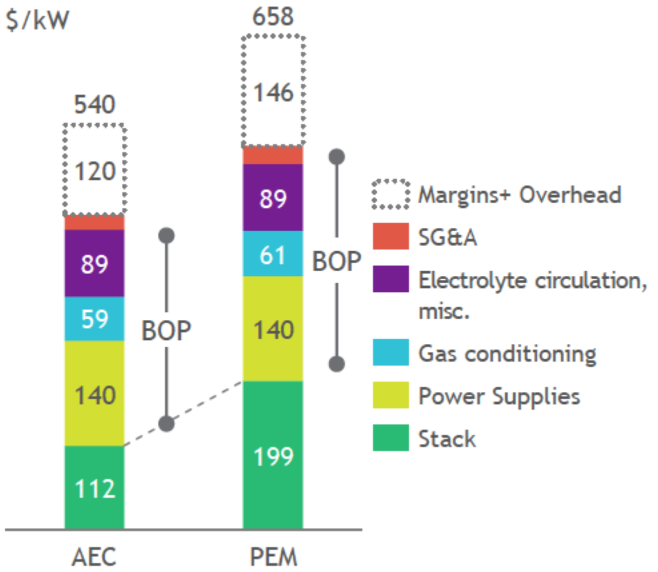
PEM CAPEX Breakdown(USD/kW)



水素製造システムコスト全体のうち、製造スケール拡大によって、特に電解槽スタックコスト低減 (▲30~50%)に期待

水素/アンモニア-技術レイヤー: 水素製造スケール化によるCAPEX低減推移

Total ex-factory cost buildup for both technologies ($/kW)

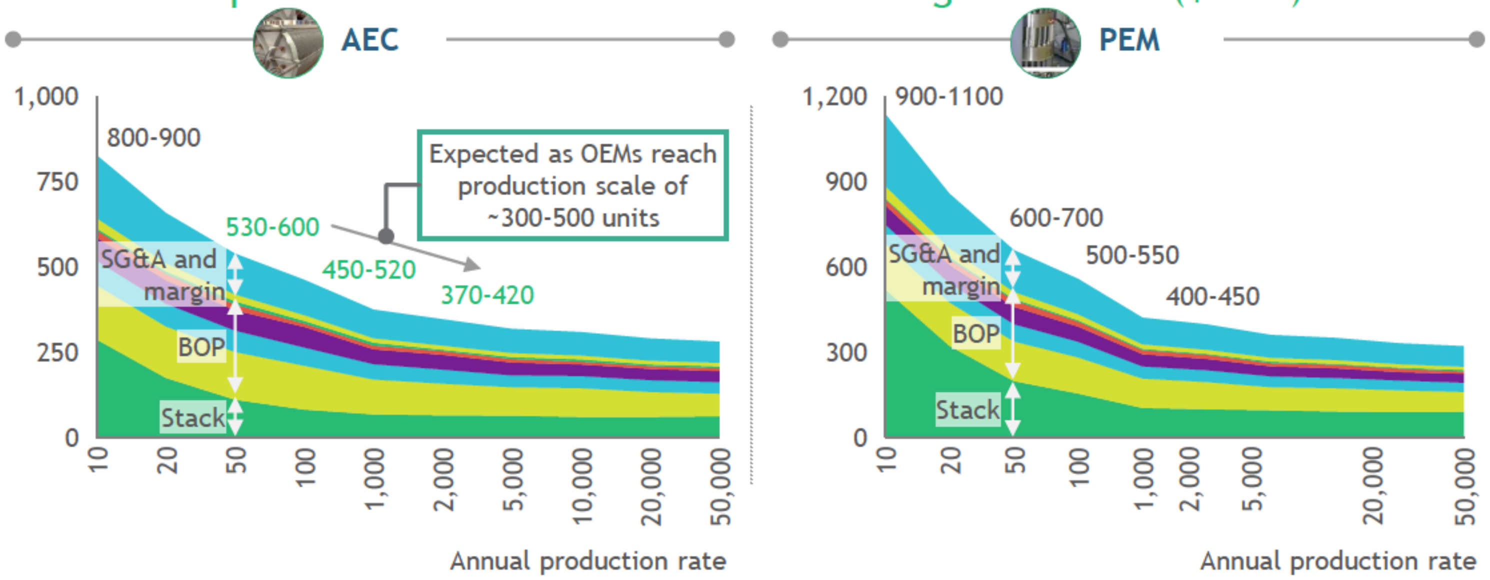


Currently largest OEMs in range of 40-100 MW scale with aggressive expansion plans

- nel: 80 MW; Ph 1 320 MW AEC; Ph 2 640 MW
- ITM: 100 MW; Ph 1: 200MW; & 700MW Ph 2

Quotes may not be representative of actual cost as most OEMs running on -ve EBITDA margins nel: -36%, Hydrogenics: -29%, ITM power: -163%, Mcphy: -69%

Expected cost reduction with increasing OEM scale ($/kW)



Key drivers

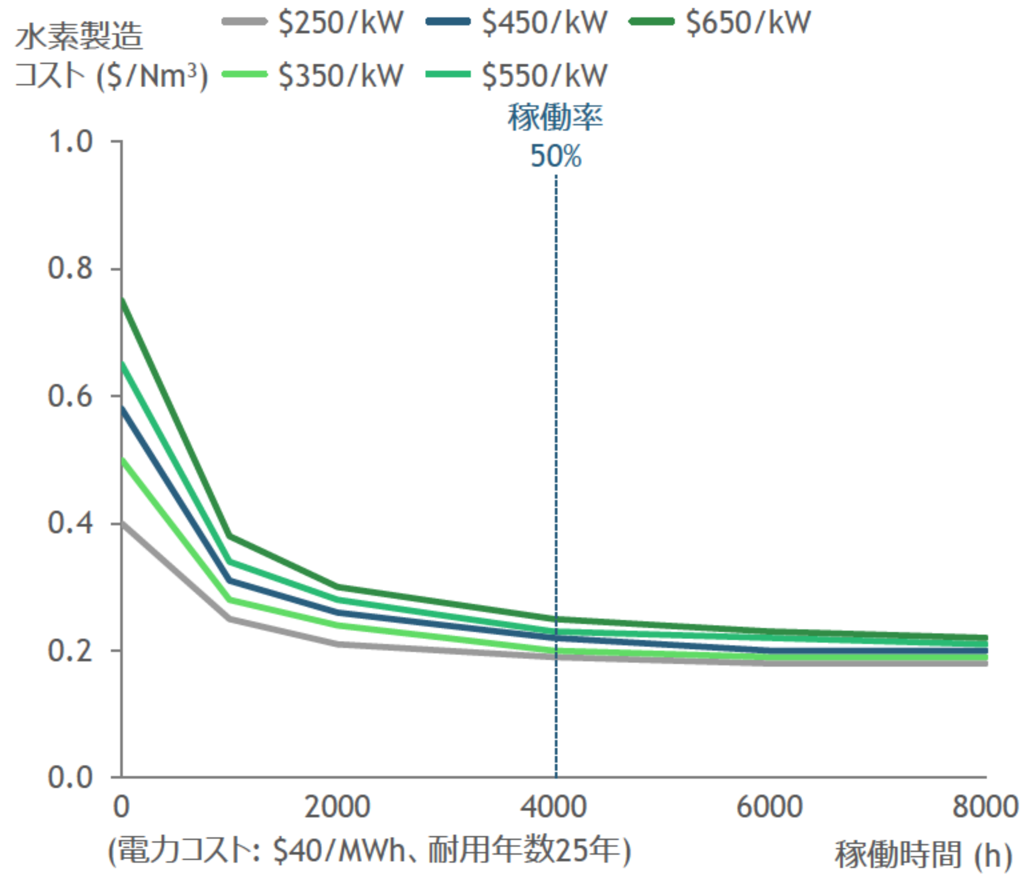
Component	Driver	Reduction expected (%)	Component	Driver	Reduction expected (%)
Stack Component	Scale effect Std. Design	20-30% High direct material component, low reduction	Stack Component	Larger stacks Scale Effect	30-40% Low impact on catalyst membrane (uses rare metals)
Stack Assembly	Automation	30-40% Labor cost & overhead red.	Stack Assembly	Automation	40-50% Labor cost & overhead red.
Balance of Plant	Bulk Ordering	20-30% Standard design across OEMs	Balance of Plant	Design Optimization	25-30% Larger unit stack size

Source: BCG Analysis; Manufacturing Competitiveness Analysis for Hydrogen Refueling Stations; capital IQ, Annual Reports

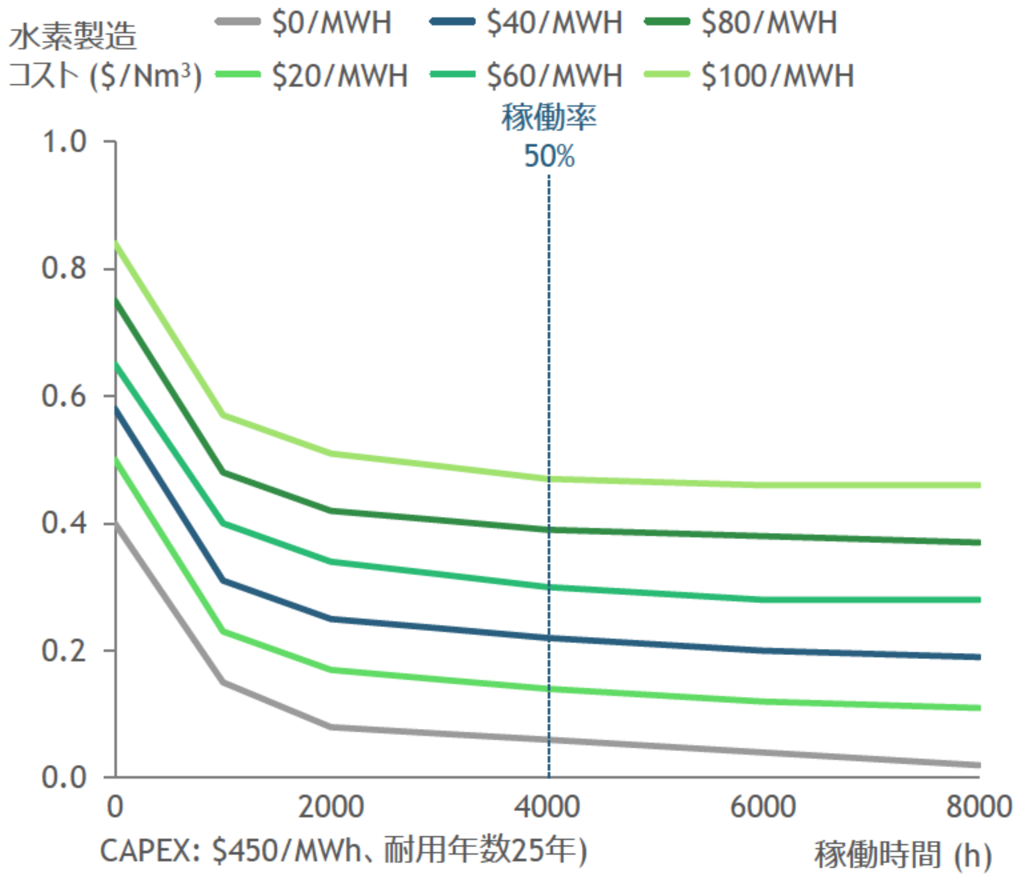
グリーン水素コストの変数は①CAPEX②稼働率③電力コストの3つだが、③電力コストが最も感度が高く、余剰再エネが生まれ電力コストが低下するとグリーン水素コストも低減

水素/アンモニア-技術レイヤー: グリーン水素コストの感度分析(AEC製造時)

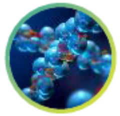
①CAPEX②稼働率を変数とした場合のグリーン水素コスト



②稼働率③電力コストを変数とした場合のグリーン水素コスト



Source: IEA "The Future of Hydrogen" (2019); BCG分析



水素製造装置領域で高いプレゼンスを有するHydrogenisやnelはAECとPEMの双方を手掛ける

水素/アンモニア-技術レイヤー: 主要水素製造装置プレイヤー(海外)

企業名	電解増技術ポートフォリオ			燃料電池製品ポートフォリオ		
	AEC	PEM	SOEC	System	Module	Stack
Proton Technologies		✓				
CSSC	✓	✓				
Teledyne Technologies		✓				✓
Hydrogenics	✓	✓		✓	✓	✓
nel	✓	✓				
Sunfire			✓	✓	✓	✓
H-TEC systems		✓				✓
Siemens		✓		✓	✓	
ITM Power		✓				
McPhy	✓					

複数のプレイヤーは電解槽技術と燃料電池技術の双方を手掛ける

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

日本では、AECを手掛ける旭化成、PEMを手掛ける日立造船等が技術/事業開発推進中

水素/アンモニア-技術レイヤー: 主要水素製造装置プレイヤー(日本)

企業名	電解槽技術			コンポーネント					電解槽に関する主な活動
	AEC	PEM	SOEC	組立	電解膜	電極	触媒	その他	
旭化成	✓			✓	✓	✓	✓	✓	• AEC電解槽の技術を自社開発(商用化前段階)
日立造船	✓	✓		✓					• PEMの組立メーカー • 子会社のInovaにてAEC型電解槽製造 • 海外では欧州で実証実験を構想中
川崎重工	✓							✓	• AEC型向けコンポーネントを技術開発中 • 液化技術/輸送技術を保有(液化設備、輸送トラック、貯蔵タンク)
東芝	✓		✓	✓			✓		• AEC型とSOECを研究開発中
トウレ		✓			✓		✓		• PEM電解槽膜、触媒の国内トップランナー • 山梨県/NEDO事業など、実証実験向けコンポーネント供給実績多数
トクヤマ	✓				✓				• 電解膜のみ研究開発 • 水素製造装置を試作している海外メーカーの小型装置向けに製造
日本触媒	✓				✓				• AEC型向けの隔膜を製造しており、国内外の電解槽メーカーに供給

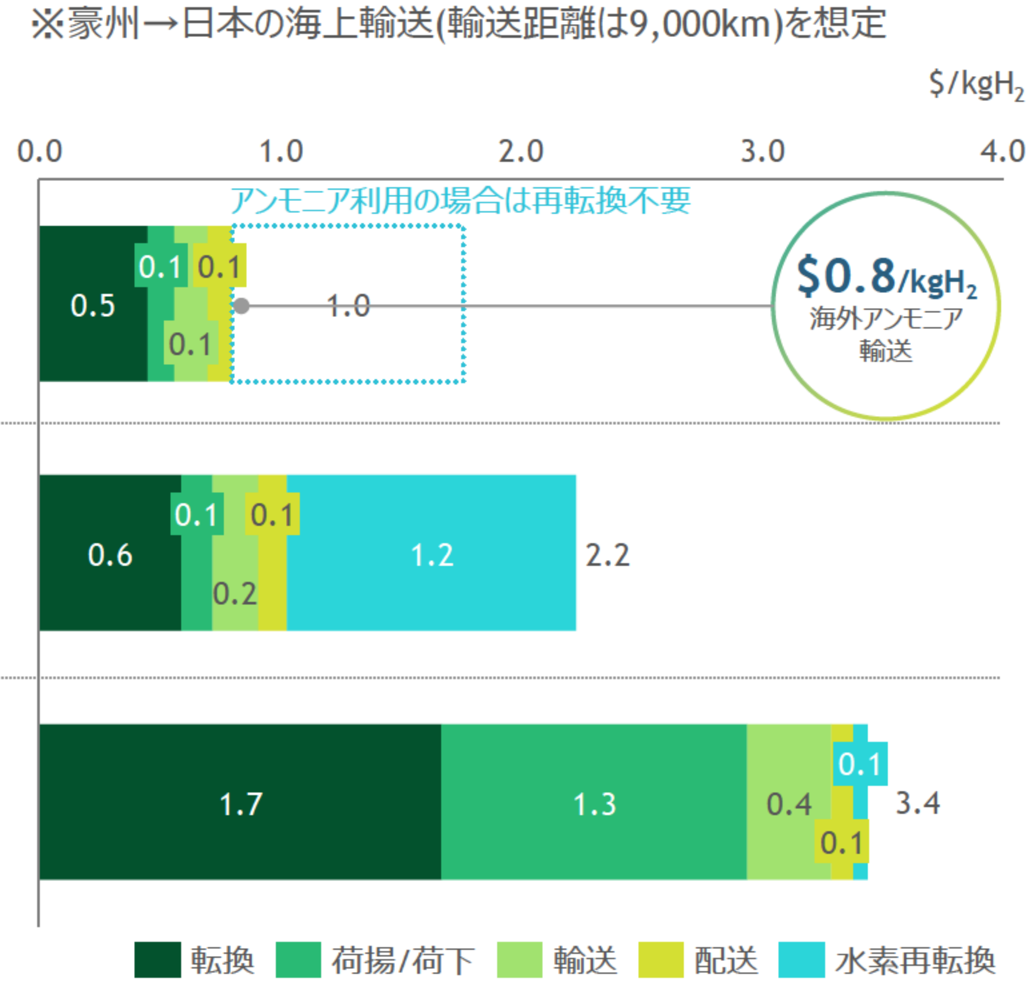
Source: Source: 各種公開情報; エキスパートインタビュー; BCG分析

水素製造以降のアンモニア変換→海上輸送/配送(貯蔵含む)までのコストは$0.8/kgH$_2$

水素/アンモニア-技術レイヤー: 水素キャリアコスト(2030年)

キャリア	メリット	デメリット	各キャリアの技術的特徴: 輸送効率(水素含有量)	各キャリアの技術的特徴: 船舶輸送
アンモニア	• 液体容易 (-33℃ or 8.5atm) • 既存の商流が確立済み • 直接燃焼が可能	• 脱水素反応に熱源が必要 • 毒性有り	水素含有量が17.8%	-33度での冷却輸送が可能
MCH (CH_3)	• 常温常圧で液体 • 既存の輸送インフラの利用可能	• 脱水素に起源が必要 (加熱→水素化) • 不純物が多く、FCV向けは精製が必要	水素含有量が6.2%と最も低い	常温での輸送可能
液化水素	• 高純度水素を得ることが可能	• 液体化するのに-235度までの冷却が必要 • 断熱機構の船舶の開発が必要 • 液体期の大型化・高効率化必要	大規模な液体水素化は未開発	-253度での冷却輸送が必要

コスト構造



Source: 資源エネルギー庁「第5回CO2フリー水素WG事務局提出資料」等よりBCG分析; IEA "The Future of Hydrogen"(2019); BCG分析

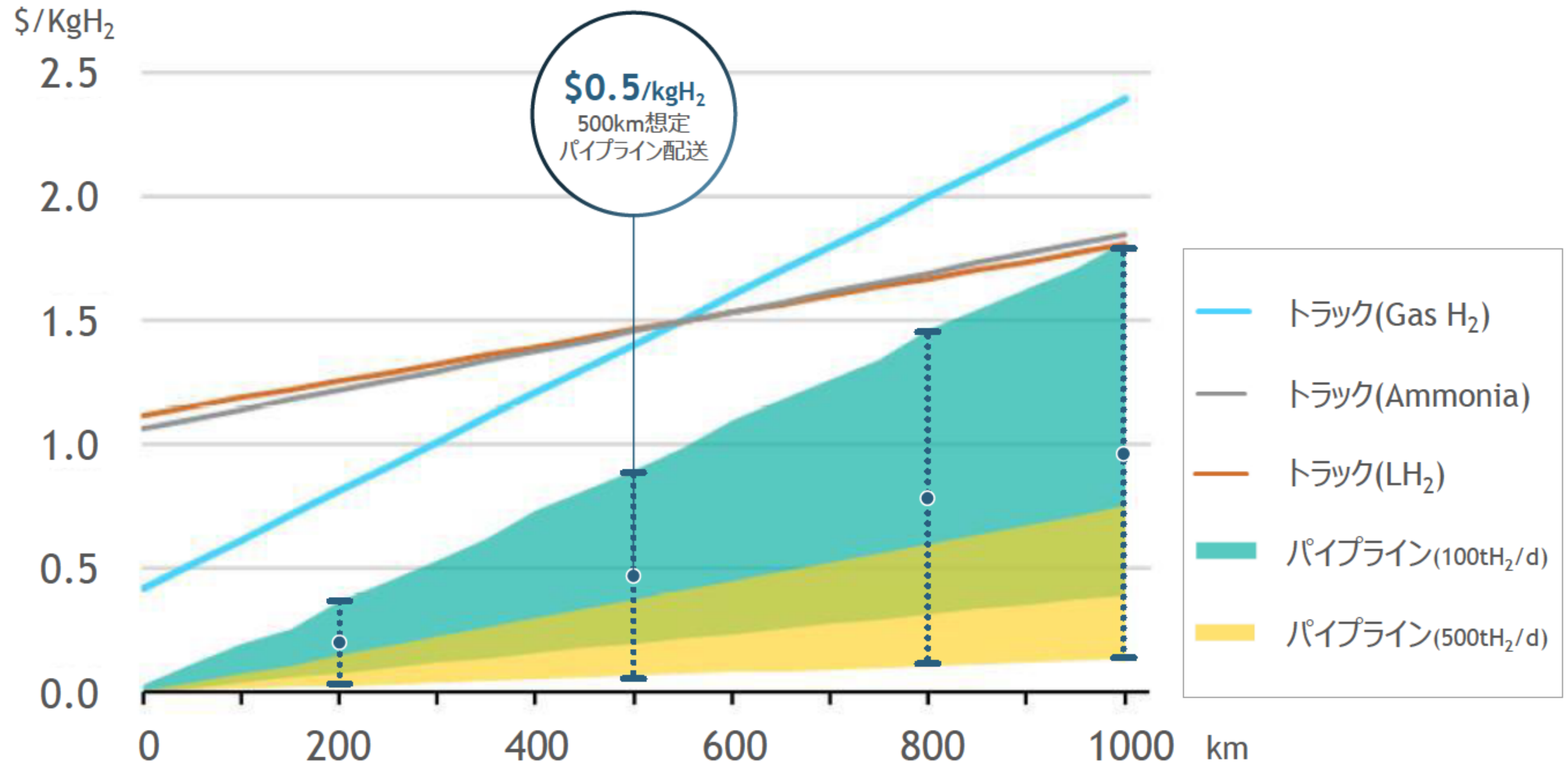
日本国内におけるパイプラインによる水素配送コストは、500km想定(東京-大阪間)で約$0.5/kgH$_2$

水素/アンモニア-技術レイヤー: 水素配送コスト(2030年)

前提条件

- パイプライン配送コストの下限値は既存ガスパイプライン設備活用、上限値は新たに水素専用パイプライン敷設が前提
- トラック配送コストにおける配送料は、10t H2/dが前提

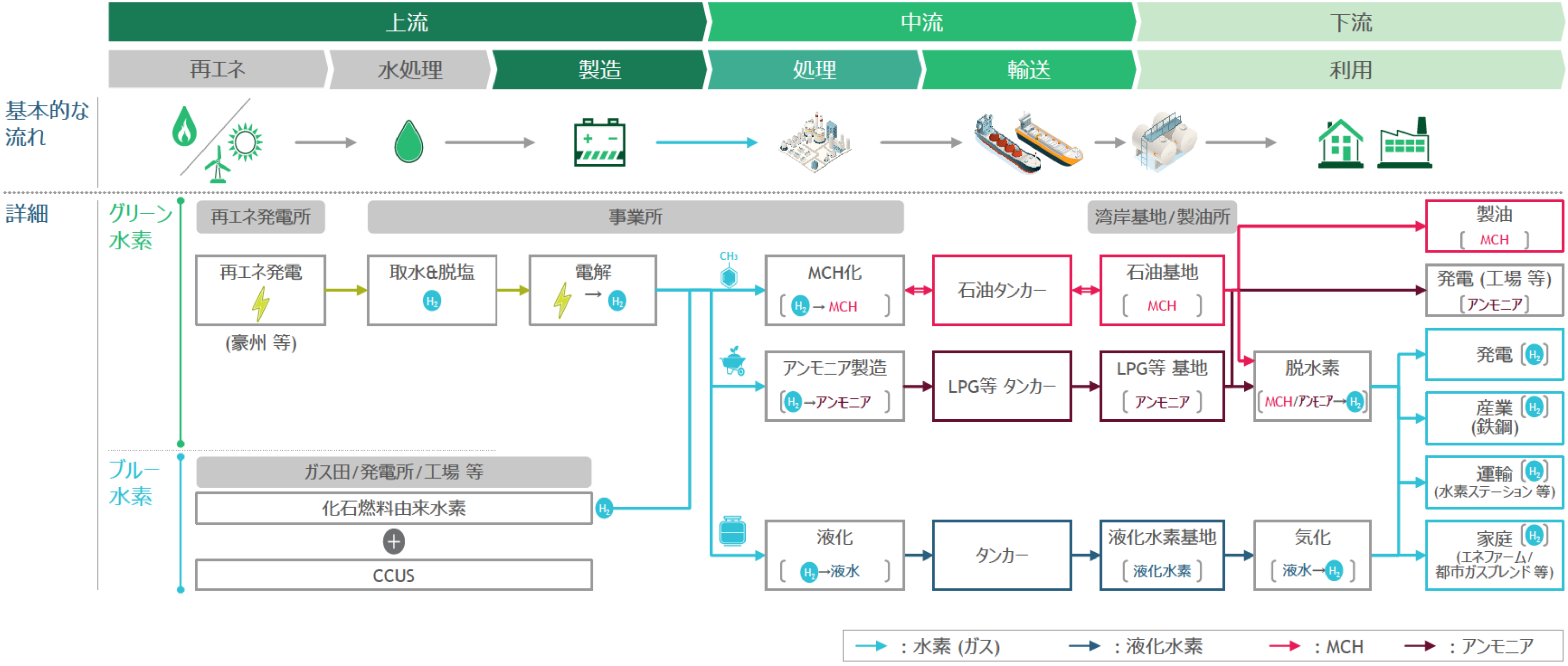
水素配送手段別コスト



Source: IEA" Global Hydrogen Review2021"; BCG分析

水素産業の立ち上げにおいては、上流(水素製造)/中流(輸送)/下流(利用)での一気通貫のチェーンの構築が必要

水素/アンモニア-ビジネスレイヤー: 水素関連チェーンの全体像

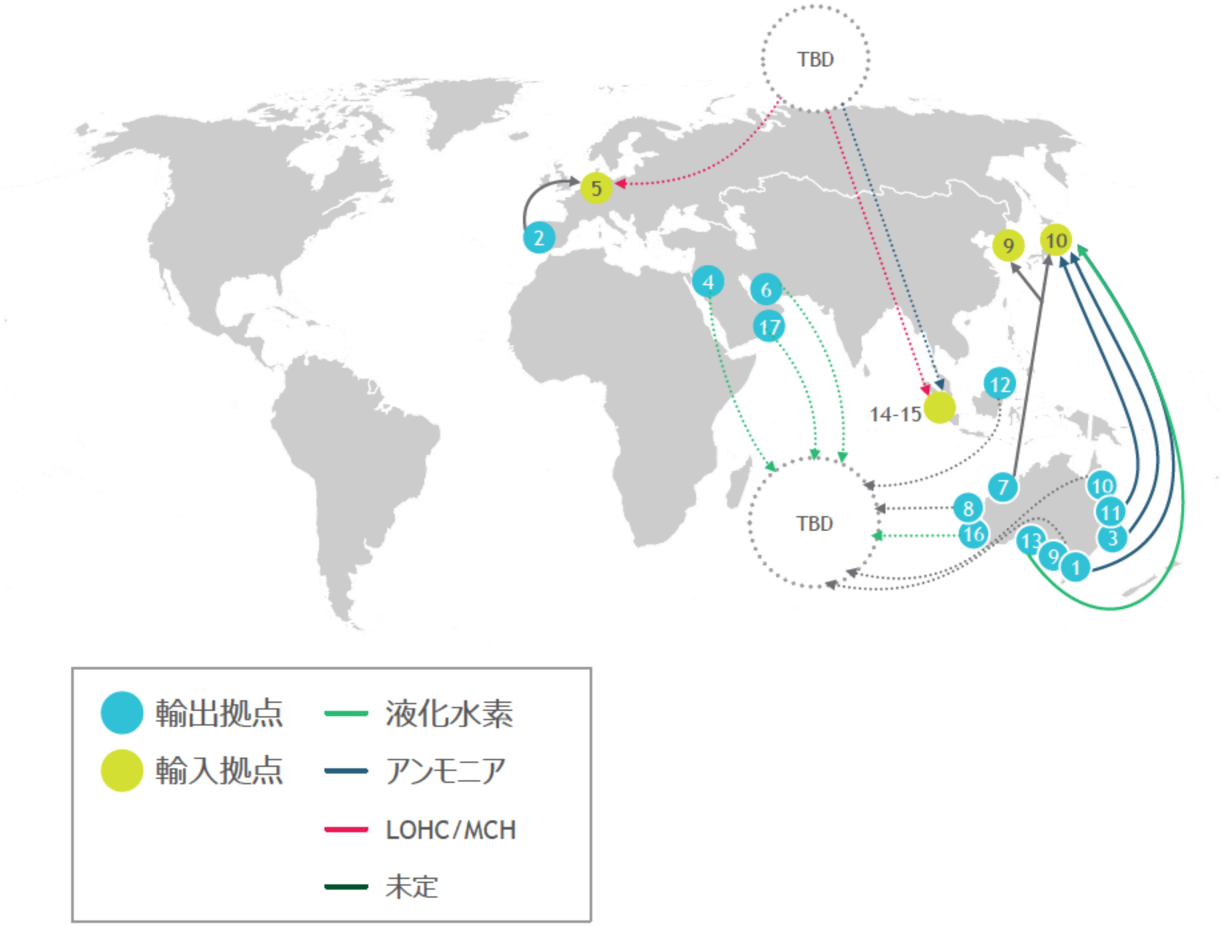


Note: 現行のエネルギー政策に則った場合のシナリオ数値を使用
Source: IEA; BCG H2COST model; BCG分析

水素/アンモニアの国際取引開発は、中東/豪州輸出・日本輸入プロジェクトが主流

水素/アンモニア-ビジネスレイヤー: 水素/アンモニア国際取引案件動向

グローバル: 水素/アンモニア国際取引プロジェクト全体像



プロジェクトリスト

#	プロジェクト名	輸出国	輸入国	取引量	キャリア	取引開始時期
1	Hydrogen Energy supply chain			225,540 tpa	LH_2	2030年
2	H2 Sines	ポルトガル	オランダ	TBD	TBD	TBD
3	Stanwell-Iwatani Gladstone project			280,000 tpa	LH_2	2026年
4	Helios Green Fuels	サウジ	TBD	650 tpd	Ammonia	2025年
5	H2Gate	TBD	オランダ	1,000,000 tpa	LOHC	TBD
6	ADNOC-TA'ZIZ industrial hub	UAE	TBD	175,000 tpa	Ammonia	2025年
7	Asian Renewable Energy Hub			TBD	LH_2 or Ammonia	2028年
8	Murchison		TBD	TBD	TBD	TBD
9	Crystal Brook Energy Park		TBD	25 tpd	TBD	TBD
10	Pacific Solor Hydrogen		TBD	200,000 tpd	TBD	TBD
11	Origin Energy-Kawasaki Heavy Industries Townsville project			36,000 tpa	LH_2	2025年
12	KBR SE Asia feasibility study		TBD	TBD	TBD	TBD
13	Eyre Gateway			7,000 tpa	Ammonia	TBD
14	Unnamed	TBD		TBD	LH_2	TBD
15	Unnamed	TBD		TBD	LOHC	TBD
16	Project Geri		TBD	175,000 tpa	Ammonia	TBD
17	Green Mega Fuels Project	オマーン	TBD	175,000 tpa	Ammonia	2032年

Source: IEA" Global Hydrogen Review2021"; BCG分析

各国の企業は、水素チェーン横断での技術/事業開発を推進

水素/アンモニア-ビジネスレイヤー: 企業の水素チェーン横断取組動向(日本)

参入チェーン ✔:OEM・EPCとして参入 ✓:オペレーター・事業者として参入

技術開発	R&D・技術実証プロジェクトに参画中の状況
事業開発	パイロットプロジェクトに参画中で、事業立上げの状況

企業名	製造		輸送・貯蔵		利用				中長期戦略・展望	現状事業ステータス
	グリーン系	ブルー系	海上輸送	陸上輸送	発電事業	鉄鋼事業	化学事業	船舶事業		
1 三菱重工	✔	✔	✔		✔	✔	✔	✔	「エナジートランジション」を全社の成長戦略の中核に据えており、その一環として「水素エコシステムの実現」を目指す、チェーン横断で製品事業を展開	事業開発
2 川崎重工	✔	✔	✔	✔	✔			✔	短～長期的にブルー・グリーン両水素の全SCへの参入を狙い、30年度の連結売上の5%を占める成長分野とし、40年度3千億円の売上高目標を設定	事業開発
3 千代田化工	✔	✔					✔		ブルー・グリーン水素/アンモニアを含むエナトラ事業を2040年時点で総売上高の6割まで拡大予定	事業開発
4 日本郵船			✓					✓	アンモニア・水素等のCO2フリー燃料の導入を幅広に検討しており、アンモニア燃料船の事業開発を先行して推進	事業開発
5 三菱商事	✓	✓	✓	✓	✓		✓		長期的にグリーン・ブルー両水素の全VCへ参入するが、現状はコスト・リスクがより明白なアンモニア技術と日本でのブルー水素製造を中心に検討	事業開発
6 ENEOS	✓	✓	✓	✓			✓		既存アセットの輸送インフラの活用準備を行いつつ、LNG → MCH・アンモニア → 水素への移行計画を検討	事業開発
7 JERA	✓	✓		✓	✓				ゼロエミ火力と再エネの両方を拡大させ水素・アンモニアを調達するために上流プラットフォーム参入も視野	事業開発
8 日本製鉄				✔		✓			2030年までは電炉対応するものの2050年までに100%水素直接還元プロセスを確立・実機化	技術開発
9 三菱化学	✓						✓		化学品原料をCO2フリー水素へ置換え、人口光合成を活かしたCCUによる製品製造を2040年までに実装	技術開発

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビュー; BCG分析

各国の企業は、水素チェーン横断での技術/事業開発を推進

水素/アンモニア-ビジネスレイヤー: 企業の水素チェーン横断取組動向(欧州)

参入チェーン ✓:OEM・EPCとして参入 ✓:オペレーター・事業者として参入

技術開発: R&D・技術実証プロジェクトに参画中の状況
事業開発: パイロットプロジェクトに参画中で、事業立上げの状況

企業名	製造: グリーン系	輸送・貯蔵: 陸上輸送	利用: 発電事業	利用: 鉄鋼事業	利用: 化学事業	利用: 船舶事業	中長期戦略・展望	現状事業ステータス
1 nel	✓ OEM・EPC	✓ OEM・EPC					AEC・PEMなどのグリーン水素製造設備に加えて貯蔵まで展開予定であり、バリューチェーンの拡大を志向	事業開発
2 Orsted	✓ オペレーター・事業者	✓ オペレーター・事業者					2040年までにスコープ1-3でカーボンニュートラルを達成するロードマップを策定、グリーン水素製造やモビリティ向け合成燃料を展開	事業開発
3 RWE	✓ オペレーター・事業者	✓ オペレーター・事業者	✓ オペレーター・事業者				2030年までにスコープ1-2で排出量を2019年比▲50%削減するべく、再エネ開発・水素製造・輸送・利用に注力	事業開発
4 Shell	✓ オペレーター・事業者	✓ オペレーター・事業者			✓ オペレーター・事業者		2050年までにゼロエミッションの目標や、マーケットシフトリスク・電化に対応するための新規事業の選択肢の1つとして水素事業展開を検討	事業開発
5 BP	✓ オペレーター・事業者	✓ オペレーター・事業者			✓ オペレーター・事業者		電化の進展によって電力・ガス等のユーティリティ業界との競争が激化することが見込まれ、事業ポートフォリオの変革のためにグリーン/ブルー水素を導入	事業開発
6 OGE		✓ オペレーター・事業者					既存ガスパイプラインを水素向けに転換・コンプレッサーステーションを設置すると同時に法規制の変更のロビイングをするなど、水素社会への適応を志向	事業開発
7 uniper	✓ OEM・EPC / オペレーター・事業者	✓ オペレーター・事業者	✓ オペレーター・事業者				発電事業を2035年までにカーボンニュートラル(Scope1/2)にするべく、再エネ開発及び水素プロジェクト開発に注力	事業開発
8 Arcelor Mittal				✓ オペレーター・事業者			2030年までにCO2排出量を30%削減するためにEAF/DRIでのグリーン水素活用を推進	事業開発
9 Meyer Werft						✓ OEM・EPC	100%LNG稼働のクルーズ船を建設するなど、重油と比較してクリーンな燃料船の開発に意欲的	技術開発
10 Siemens	✓ OEM・EPC		✓ OEM・EPC				2030年までにカーボンニュートラル達成に向け、デジタル・省エネ技術・脱炭素製品(グリーン水素製造設備など)の展開を志向	事業開発

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビュー; BCG分析

各国の企業は、水素チェーン横断での技術/事業開発を推進

水素/アンモニア-ビジネスレイヤー：企業の水素チェーン横断取組動向(米国)

参入チェーン 🔴:OEM・EPCとして参入 🟢:オペレーター・事業者として参入

現状事業ステータス：技術開発 R&D・技術実証プロジェクトに参画中の状況 / 事業開発 パイロットプロジェクトに参画中で、事業立上げの状況

企業名	製造 グリーン系	製造 ブルー系	輸送・貯蔵 陸上輸送	利用 発電事業	利用 鉄鋼事業	利用 化学事業	利用 船舶事業	中長期戦略・展望	現状事業ステータス
1 Plug Power	🔴							足元アメリカにグリーン水素製造施設の建設を開始しており、2025年までに500t/d、2028年までに1,000t /dの液体グリーン水素を供給する予定	事業開発
2 Quantum			🔴					水素ステーション向けに10,000psiの水素貯蔵タンクを開発する等、輸送・貯蔵に特化して事業を展開	事業開発
3 Air Products	🔴🟢	🔴🟢	🔴🟢					2030年までに2015年比でCO_2排出量を3分の1に削減する目標の達成に向けCCSや低炭素水素活用を推進	事業開発
4 ExxonMobil		🟢				🟢		2030年までに2016年比CO_2排出量20%削減を目標とするも、アクティビストの動きにより今後脱炭素化を加速させる様相であり、再エネ・水素開発に注力すると想定	事業開発
5 Entergy	🟢	🟢	🟢	🟢				2030年までに2020年比CO_2排出量50%削減の目標に向け、既存/新設ガス火力発電所での水素混焼を急ぐとともに水素製造・貯蔵も自社で推進	事業開発
6 Dow	🟢	🟢				🟢		2050年までにカーボンニュートラルを達成にむけグリーン・ブルー水素製造や、化学工程でのカーボンフリー水素の活用を志向	事業開発
7 GE				🔴				2030年までに市コープ1/2、2050年までに全てスコープでカーボンニュートラルを達成するために、再エネ関連や水素タービンの展開を志向	事業開発

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビュー; BCG分析

グローバルでの水素市場立上げ及びルール形成に向けて、複数の水素関連国際枠組やイニシアチブが組成

水素/アンモニア-マーケットレイヤー: 水素関連国際枠組み/イニシアチブ動向

設立時期	水素関連国際枠組/イニシアチブ名	目的及び取組概要
2003年	1 International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy	米国エネルギー省長官(当時)により提唱され、2003年に開始した「国際水素・燃料電池パートナーシップ」で、水素/燃料電池の技術開発/基準/標準化を議論
2009年	2 International Renewable Energy Agency(CFGH)	2009年にドイツで設立会合で発足した「国際再生可能エネルギー機関」であり、主に再エネ由来グリーン水素の普及拡大に向けた情報・知見を発信
2010年	3 Clean Energy Ministerial (Hydrogen Initiative)	2010年に米国で初開催された「クリーンエネルギー部長級会議」で、水素含むクリーンエネルギー技術協力に関する交流を目的として世界の閣僚が参加
2015年	4 Mission Innovation (Hydrogen challenge)	2015年にCOP21で米国オバマ大統領(当時)によって提唱された国際イニシアチブで、官民連携での水素含む気候変動関連技術商用化及び雇用の創出を志向
2017年	5 Hydrogen Council(Industry)	2017年のダボス世界経済フォーラムで発足された「水素協議会」であり、水素領域へ投資加速と適切な政策策定と支援制度確立を議論
2018年	6 Hydrogen Energy Ministerial	2018年に日本で初開催された「水素閣僚会議」で、国際的な水素社会の実現に向けて解決されるべき課題や、政策の方向性についての議論を実施

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

海外では水素関連コンソーシアムを組成し、案件開発と同時にルール形成を推進

水素/アンモニア-マーケットレイヤー: 水素関連コンソーシアム動向(海外)

	HYBRID (Fossil free steel)	Green Flamingo	CHP Synfuels	NEOM	NorthH2	Lingen Green H2
国名	スウェーデン	ポルトガル	イングランド	サウジアラビア	フランス	ドイツ
加盟企業	Vattenfall SSAB LKAB	Vestas Galp	Copenhagen Airports MAERSK SAS DSV Orsted	Air products ACWA Power	Shell Groningen Seaports Gasunie	Orsted bp
展望	2035年までに鉄鋼のバリューチェーン全体の化石燃料をゼロに	ポルトガルのSinesにおける低コストH_2生産とロッテルダム港での需要のつなぎ	複数の国を跨いだプロジェクトで、10年間のロードマップを策定し、大型輸送機に対してe-fuelを供給	中東のグリーン水素・アンモニア製造プラントの建設に約5,000億円を投資	2030年までに設置予定の3-4GWの洋上風力発電設備を活用し、北西ヨーロッパの主要な産業クラスターにグリーン水素を供給	500MW以上の電気分解機を建設し、(1)現在のグレー水素に代わるグリーン水素を生産、(2)将来の合成燃料生産のための原料の提供
産業	鉄鋼	産業・重量物輸送	大型貨物輸送	グリーンアンモニア	産業・大型貨物輸送	リファイナリー
主な強み	EU政府による鉄鋼業界の脱炭素化への支援	グリーン水素製造におけるコスト競争力	明確なロードマップに基づいた継続的な資産開発の実行力と、外部からのプロジェクト資金獲得	グリーン水素製造におけるコスト競争力	グリーン水素製造におけるコスト競争力	有力プレイヤーによるパートナーシップ、需要家からの安定した水素需要、将来的なスケールアップのための明確なロードマップ
潜在的な課題	グリーン水素を使ったDRI製法はまだ存在していない状況	グリーン水素の運搬における物流上の課題(輸送、貯蔵、圧縮)	商用向け展開とコスト競争力	グリーン水素の運搬における物流上の課題(輸送、貯蔵、圧縮)	グリーン水素の運搬における物流上の課題(輸送、貯蔵、圧縮)	商用向け展開とコスト競争力

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

日本においても各社コンソーシアムを組成し、実証プロジェクトやルール形成が推進

水素/アンモニア-マーケットレイヤー: 水素関連コンソーシアム動向(日本)

コンソーシアム名	背景/目的	VC上の位置づけ 上流		中流		下流	参画企業/団体
		再エネ	製造	処理	輸送	利用	
AHEAD	VCの構築 • 有機ケミカルハイドライド法 (MCHへの転換) 実用化のためのVC形成			✓	✓		千代田化工, 三井物産, 日本郵船, 三菱商事
HESC	VCの構築 • 日豪間における水素VC構築のパイロット実証PJ • HESC(主に豪州政府)が上流のガス精製〜中流の豪州での陸上輸送を担当 • Hystra(NEDO)がその両端のVC (ガス化・海上輸送) を担当		✓	✓	✓		AGLエナジー, J Power, 岩谷産業, 川崎重工, 丸紅, 住友商事
HySTRA			✓		✓		川崎重工, J Power, 岩谷産業, ENEOS, Shell, 丸紅, 川崎汽船
Fuel Cell Ship Project	下流(船舶)の垂直統合 • 2024年実証運航に向けて、水素を活用したFuel Cell搭載船の開発					✓	ENEOS, 東芝, 日本海事協会, 日本郵船, 川崎汽船
FH2R	VCの構築 • 世界最大級の大規模水素製造装置 (10MW) の開発・試験供給		✓	✓	✓	✓	東芝, 岩谷産業, 旭化成, 東北電力
やまなし・ハイドロジェン・カンパニー (YHC)	VCの構築 • P2Gシステムの実用化による、水素エネルギーの工場・スーパーへの供給		✓	✓	✓	✓	山梨県, TEPCO, 日立造船, 東レ

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

個別産業分析

洋上風力

洋上風力: 主要国の洋上風力導入量政策目標サマリ

(単位: GW)

地域	国	2020年	2030年	2040年	2050年
欧州	英国	10.0	40※(うち1GWは浮体式)	N/A	N/A
欧州	EU全体	12.0	60 ※ (浮体式は7GWの導入予想[1])	N/A	N/A
欧州	ドイツ	8.0	20 ※	40 ※	300※
欧州	ノルウェー	N/A	3(浮体式)※ [1]	N/A	N/A
	米国	N/A	25 ※	N/A	N/A
アジア	インド	0.0	30 ※	16	N/A
アジア	中国	7.0	52	112	N/A
アジア	台湾	0.1	11 ※	N/A	N/A
アジア	韓国	0.1	12 ※	25	N/A
アジア	日本	0.8	10 ※	30 +15 45※	N/A

Note: 2040年EU導入見通しはUKを含む ※は導入目標
1.Wind Europeの予想
Source: IEA, 各種公開情報を基にしたBCG分析

台湾政府は、2035年までに15GWの長期洋上風力導入目標を掲げた上で、詳細ロードマップを提示し、FIT、法改正、ローカルコンテンツ規制の政策を導入

台湾: 洋上風力産業目標及び政策

洋上風力・再エネ導入目標

洋上風力導入目標

2035年までに15GWの導入が目標
- 2025年に5.5GW、以降2035年まで毎年1GWずつ追加

脱原発をきっかけに、再エネ導入へと舵切り
- 2016年に、2025年までに原子力発電 (全4.9GW分) の廃止を決定
- 同時に、2025年までに電力供給に占める再生可能エネルギーの比率を20%に引き上げることを発表

導入促進政策の概要

具体ロードマップの提示

2016-25年を3フェーズに分割し、それぞれで開発計画を明示
- 第1フェーズ (～'16年): モデルファーム奨励
  - 経済部が「洋上風力モデルファーム奨励法」を発表し、法規・技術・財務等実行可能性を確認の上、'17/4に苗栗県沖にモデル発電機2基が設置
- 第2フェーズ (～'20年): ポテンシャル海域開発
  - 選抜と入札の2つの方法を採用し優良業者を選定して開発することで、発電コストを国際的な水準に抑え、国内にサプライチェーンを構築
  - 将来の電力買取費用を抑え、洋上風力経済の推進力とすることを狙う
- 第3フェーズ (～'25年): ブロック開発

2025年以降についても、同様に開発計画案について発表される見込み

FITの導入

タイパワー社と20年間電力売買契約を締結し、20年間のFITを保証
- タイパワー社 (台湾電力公司) は国営の発電事業者で、台湾全土の送配電を担う
- 例えば、2018年のFITレートは5.8NTD/kWh

法改正

電気事業法の改正による電力自由化の促進
- 再エネ発電事業者の電力の直接販売を明示的に許可 (以前は発電したエネルギーは全てタイパワーへの販売が必須)
- タイパワー社の発電事業と送配電事業を分離

現地調達の推進

台湾政府が機器の現地調達を要請
- 2018年の公募案件では、外資が落札した案件について、政府の現地調達要求により海外企業と台湾企業の合弁工場の開設計画が多発

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

韓国政府は、再エネ推進の中核として洋上風力導入目標を2030年まで12GWに設定し、政府が産業競争力強化に向けた方策を多角度から展開

韓国: 洋上風力産業目標及び政策 (1/2)

洋上風力導入目標

目標	2030年までに12GW (RE3020より)
ビジョン	"地元住民・水産業との共存・共生"

様々な政府計画で低炭素化・再エネ推進を掲げており、洋上風力導入はその中核の一つに位置付け

- 2019年、第3次エネルギー基本計画で、再エネ発電割合目標を2040年30～35%に設定
- 2020年選挙で、ムン・ジェイン大統領率いる与党がマニュフェストで「カーボン実質ゼロ」を表明
- ニューディール政策にて、再エネおよび関連技術で190万の新たな雇用を生み出すことを目標に掲げる

洋上風力発電法案: 三大推進方策 (2020年7月)

事業者向け: 政府主導の立地発掘と許認可の簡素化

政府主導で洋上風力発電に適した敷地を継続的に発掘
- ①地図作成: 風況、規制、漁船活動、漁獲量情報等を統合・分析
- ②検討区域発表: 事業性が良く漁業の影響が少ない海域を発表
- ③F/S実施: 風況計測器、環境モニタリング機器を用い経済性・環境性調査

集積化団地[1]制度を導入し、インセンティブを用意し自治体主導の検討区域開発を推進
- 「新再生法」を施行し、モデル事業を実施
- 計画段階から漁協参加の官民協議会の構成を使用し関係者の意見集約を強化
- 開発促進のために系統連系と風況計測値設置等、インセンティブを用意

海洋・漁業政策の整合性の向上、および、冗長な環境評価等許認可手続きの合理化

周辺住民向け: 住民理解・環境配慮

住民・漁業関係者等が望む形での洋上風力の導入推進に向けた制度や支援の拡大
- 洋上風力特性に合わせた周辺地域支援 (支援金の配分に漁業への影響を考慮、等)
- 地元へのリターンの提供 (住民が株主として案件参画、金融機関が漁師に利子還元)、他
- 漁業活動や通行の許可

建設~運営~撤去までの全サイクルで環境に配慮した洋上風力発電の導入
- 環境影響を最小化した工法・商品の使用 (騒音や振動を最小限に抑える、等)
- 海洋環境モニタリング義務付け、専門機関を通じた環境影響分析、原状回復義務の新設

住民の意見を積極的に収集するため、ガイドラインを設定

メーカー向け: 産業競争力の強化

国務調整室・関係省庁の協力強化を通じて大規模プロジェクトの早期着工をサポート
- 詳細な開発区域・導入容量を含むロードマップを作成、加えて先鋭的な系統を構築

大容量風力・浮体式洋上風力の技術開発・実証支援を強化し、産業競争力の強化の支援
- 併せて、必要な港湾・デモ・トレーニング・製造・人材育成等のインフラ構築も実施

REC[2]比重の改編、炭素低減保証制度の新設による案件経済性向上サポートの強化

1. 集積化団地:40MW以上の再生可能エネルギー (太陽光、風力) 発電施設を設置・運営するためのエリア、2.再生可能エネルギー・クレジット
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

外資系事業者が参画している韓国の洋上風力プロジェクトでは、民間企業が韓国国内の雇用・サプライチェーンへのメリットを明確に提示

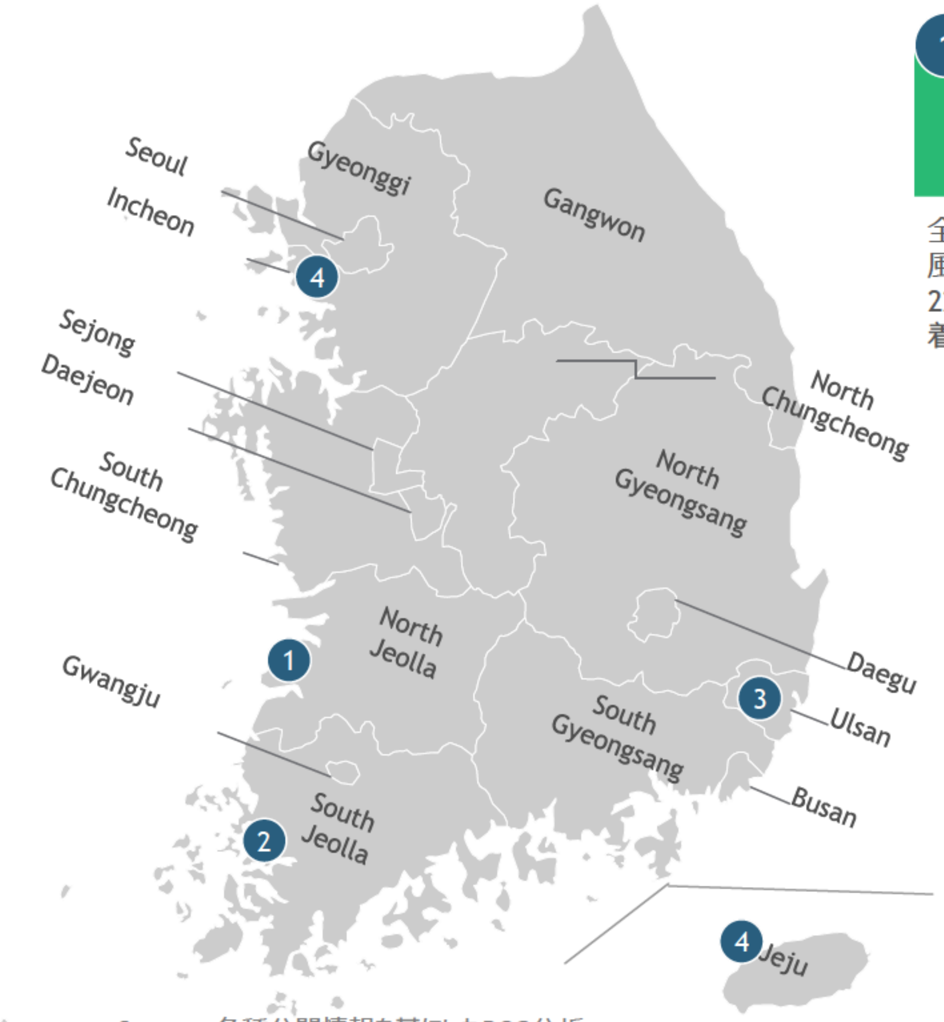
韓国: 洋上風力産業目標及び政策 (2/2)

	TOTAL/GIG	Ørsted
プロジェクト概要	仏TOTALは欧州Green Investment Groupとの共同開発プロジェクトで韓国国内の調達率を最大化することを表明 • 2社は2.3GWの浮体式洋上風力を共同開発 • 再エネや新技術を通じて190万人の新規雇用創出を目標とする政府の「ニューディール」計画に沿い、SC内で韓国の国内調達率を最大化 • GIGは、蔚山市と、地元メーカーのHESIとユニゾン、韓国東西発電、KEPCO-ENCを含む18の組織、及び蔚山テクノパークと蔚山大学を含む多くの研究開発組織とMoUに署名 　- MoUは、蔚山の洋上風力発電の促進、地域の技術開発、新しい雇用創出に協力すると表明	Ørsted は仁川市沖で多くの投資・雇用を生み出す開発計画を発表 • 最大1.6GWの潜在容量を持つ韓国の洋上風力プロジェクトで、140万世帯への提供が可能 • これらの韓国の旗艦プロジェクトは、数兆ウォンの投資をもたらし、経済活動の活性化、質の高い雇用の創出に繋がると開発者は分析 • 許可、韓国エネルギー会社とのオフテイク契約、および最終的な投資決定を条件として、プロジェクトは2026年以降に委託される可能性
韓国経済への影響に関するコメント	“韓国政府のグリーンニューディール計画を支援し、経済の活性化と、韓国のグリーントランジションを通じた雇用創出の支援のために、韓国企業や地元の労働者と可能な限り協力することを約束 ーGIGグローバルヘッド、Mark Dooley	“世界およびアジア太平洋地域での洋上風力開発における経験と比類ない実績に基づき、韓国政府および地元のステークホルダーとの長期的なパートナーシップ構築に従事 ーØrsted Asia Pacific President、Matthias Bausenwein

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

韓国は政府が開発計画を地域単位で区切り公表することで、地域単位の洋上風力サプライチェーン形成を促進

韓国: 洋上風力開発・入札方式概要



1 チョンブク南西地域

全北南西部地域の洋上風力発電のMOUを締結し、22年から2.4GWの段階的な着工を推進

- '10年ロードマップ、2011年の協約書を締結
- '19/7~20/7: 官民協議会開催し決定、MOU締結
- 22年に着工を開始し、28年に工事がすべて完成する見込み

2 シナン地域

第1期は、地方自治体と民間主導で合計4.1GWを建設予定

- 3.5GWは地方自治体が住民意見を収集し主導
- 0.6GWは民間発電事業者が主導

第2,3期は、4.1GWを'26年から推進

- 当面は敷地発掘と実現可能性調査を実施予定

3 ウルサン + 南東地域(浮体式)

ウルサンに1.4GW、東南圏に4.6GWの浮遊式洋上風力を建設予定

- 第一段階として、ウルサン市は自己開発(200MW)の他に民間投資企業6社とMOUを締結し、23年から締結フェーズを開始して推進
- その結果を基に、26年から盗難権を中心に4.6GW規模の浮遊式団地の造成を推進

トタル(TOTAL)

- 豪投資銀行GIGと組んで、ウルサンとチョルラド2GW超の浮体式洋上風力の建設を決定

4 ジェジュ + インチョン

ジェジュに0.6GW、インチョンに0.6GWの洋上風力発電の建設を計画

- ジェジュではCarbon Free Island計画に基づいて20年から翰林等5つのプロジェクトの段階的開発を推進
- 加えて、インチョンでも地元調整を実施し、'23年から着工を予定

オーステッド

- インチョン沖に1.6GWの海上風力発電プロジェクトを推進し、8兆ウォンを投じることを決定

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

中国政府は、洋上風力含む再エネ導入促進に向けて、政府による案件形成や税優遇・補助金、FIT導入を実施

中国: 洋上風力産業目標及び政策

洋上風力・再エネ導入目標

洋上風力導入目標	2020年1,000万kW着工、500万kWの完成を確保 (再生可能エネルギー13次5ヶ年計画)
原則	"統一的に計画し、集中と分散を同時に実施し、陸上と海上を同時に推進し、効果的に利用する"

2030年までにCO2排出のピークアウト及び2060年までにカーボンニュートラルの達成という新たな目標を発表

導入促進政策の概要 (2019-20年施策)

政府案件形成支援 (開発地域特定・推進)	**風力発電開発のマッピングを実施し開発の進め方を調整・最適化** • 「三北」地域から中部・東部地域に、分散型風力発電を積極的に開発 • 中部・東部地域、南部地域での資源探査・開発を強化し、分散型風力発電の開発を優先し、低圧側系統連系と近接消費を実現
FIT導入	**洋上風力発電に対し、0.75~0.85元/kWのFITを保証** • 但し、技術進歩と発電所建設・運営ノウハウの成熟により、グリッドパリティが達成されているケースも散見されており、2022年でFITが終了する可能性も存在
地方政府による出資	**地方政府が特別基金の設立等出資者としての産業後押しを実施** • 例: 洋上風力発電ビッグデータセンターの設立、等
税金の免除・優遇	**特定注力地域では、企業所得税や増値税の減免等実施** • 2020年風力発電機セットの最優遇国税率は8%、2020年の暫定税率は5% • (広東省) 製造業者・開発企業に係る企業所得税を1～3年免除、4～6年半額 (三免三半) • 特定注力地域は江蘇省、福建省、広東省
補助金の提供	• 「再生可能エネルギー価格の追加補助金資金の管理措置」にて2021年の再生可能エネルギー電気料金の追加補助金資金を表明

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

米国では、州単位で目標設定の上、洋上風力開発を推進しており、西海岸各州は緩やかに開発着手した一方で、東海岸各州は案件開発や政策強化を推進

米国: 洋上風力産業目標及び政策

西海岸側

開発推進やゾーン特定に動く州も複数あるが、導入予定や目標は未定

オレゴン州 (0 MW | なし)
- 州と連邦の合同タスクフォースが、連邦海域での開発計画を継続
- 2040年までの再生可能エネルギーRPS 50%は、2016年以降変更なし

ハワイ州 (0 MW | なし)
- オアフ島沖には2つのコールエリアがあり、州は帳簿上の100%のRPSを保有しているが、2019年連邦政府と州政府の間の継続的な調整は、深海を含め最小限
- 島間伝送の欠如が、大規模なプロジェクト構築の大きな妨げ

ワシントン州 (0 MW | なし)
- 2019年5月、州は2045年までに100%クリーンエネルギー基準を可決
- これにより、電力会社は新たな義務を果たすために様々な技術に目を向ける予定
- 一方で、州は洋上風力を支援する特段のアクションなし

カリフォルニア州 (0 MW | なし)
- 州と連邦の合同タスクフォースが、3つのコールエリアを含む潜在的な開発ゾーンの特定に取り組み
- Monterey Bay Community PowerとCastle Windは8月に1GWのPPAを締結する意向を示す覚書に署名

東海岸側

State name (contracted | offshore specific manadate[1])

多くの州で案件契約の決定や導入目標設定がされ、具体的な案件形成が進む
規制当局の案件承認や州のイニシアチブ発足等、政策面でも前進

メイン州 (12MW | 2030年までに5GW(目標))
- 2050年までに新たにRPS 100%を採択
- 規制当局に12MWの浮体式パイロットプロジェクトを承認するよう指示し洋上風力イニシアチブを開始する等2019年に大きく前進
- 一方で、深海や送電の混雑等の障壁は残っている状況

マサチューセッツ州 (1.6 GW | 2035年までに3.2 GW (混合)[1])
- 州のユーティリティーは、83C 2の勧誘でメイフラワーウィンドの804MWの「低コストエネルギー」プロジェクトを選択したことで、別のベンチマークとなる低価格を設定
- 一方で、このコスト注視は、投資視点を犠牲にしている可能性

ニューヨーク (1.8 GW | 2035年までに9 GW)
- 2019年に2035年までに9GWのマンデート(米国最大)と100%クリーンエネルギー基準を採択
- 7月に1.8GWの大規模な契約を発表(COVID-19により次回募集が遅延)

ニュージャージー州(1.1GW | 2035年までに7.5GW(混合)[1]
- 2019年6月に最初のOREC公募を終了し、オーステッド社の1.1GW洋上風力プロジェクトに1件の入札
- 2020年から地域温室効果ガスイニシアチブ(RGGI)の規制枠組みに再参加

バージニア州(12MW | 2034年までに5.2GW)
- 2020年4月に民主党が州政府を統一的に支配
- 新たに、100%カーボンフリーのエネルギー基準、5.2GWの洋上風力発電事業の切り分け、ドミニオンが所有する2.5～3GWのプロジェクトを規制当局が承認する方向性が提示

コネチカット州 (1.1GW | 2030年までに2.3GW)
- 2GWの義務化を可決し、近隣のマサチューセッツ州やニューヨーク州と一緒にマルチ・ギガワットの要件を設けている
- 案件募集では、連邦政府のITC資格を持つVineyard Wind社の804MWパークシティ・プロジェクトに決定

ロードアイランド州 (400 MW | なし)
- 米国初の洋上風力発電所が稼働していることから、政策立案者はこの分野を支持しており、州は陸上支援施設の提供を目指す
- しかし、明確な規定はなし

メリーランド州(368MW | 2030年までに1.6GW
- 知事を無視し、立法府が2030年までに州のマンデートを1.6GWに増加し、同法では、すでに契約済みの368MWに加えて、1.2GWをオンライン化するためのスケジュールを段階的に設定
  最初の2つのプロジェクトは、少なくとも2023年まで延期

ノースカロライナ州 (0 MW | なし)
- 民主的な知事と共和党の立法府の分裂が政策立案を妨げ
- 予算が不足する中、知事は洋上風力研究への資金提供を前進
- ノースカロライナ州のRPSは2021年にトップアウト

1. (目標)以外は拘束力を持つ (混合)マサチューセッツ州は2027年に1.6GW、2027年までに1.6GWの義務化に加え、2035年までに1.6GWの目標を設定／ニュージャージー州は、2030年までに3.5GWの義務化と、2035年までに4GWの目標を行政命令で設定　ITC = Investment Tax Credit投資税額控除　RPS＝Renewables Portfolio Standard再生可能エネルギー利用割合基準制度
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

欧州各国毎に洋上風力系統整備の費用負担構造は異なり、洋上風力発電では、系統整備の複雑さからTSOの負担範囲が他再エネよりも広い

欧州: 洋上風力系統整備の費用徴収手段と責任分界点

民間 / 国営

論点	項目	オランダ	ドイツ	デンマーク	イギリス
1 洋上風力系統整備における費用徴収手段	税金				
	託送料金	✓	✓	✓	✓
	FIT/CfD				
	洋上風力賦課金		✓	✓ 2022年までに廃止予定	
2 洋上風力系統整備における送配電事業者と発電事業者の責任	Onshore grid	TSO	TSO	TSO	TSO
	Onshore substation	TSO	TSO	TSO	Developer
	Export cables	TSO	TSO	TSO/ Developer	Developer
	Offshore converter station	TSO	TSO	TSO/ Developer	Developer
	Export cables	TSO	TSO	TSO/ Developer	Developer
	Offshore substation	TSO	Developer	TSO/ Developer	Developer
	Array cables	Developer	Developer	Developer	Developer
3 洋上風力系統整備における他再エネとの比較	欧州各国において、陸上風力、太陽光、地熱発電の系統整備負担はTSO持ち				

Source: エキスパートインタビューに基づくBCG分析

欧州セントラル方式では、政府がゾーニング、国営送電系統運用者(TSO)が入札までの調査を実施することで、開発リスクを軽減する仕組みを構築し、継続的な案件形成を促進

欧州: 継続的な案件形成に向けたセントラル方式動向

セントラル方式の概要・背景

仕組み概要

- 政府が長期的・挑戦的な導入目標を掲げ、洋上風力の開発区を定め、系統接続や各種許認可等の必要な手続きをTSO(Transmission System. Operator: 送電系統運用者)と連携して実施
- その上で、規定開発区での発電事業者を入札で決定

導入背景

- 政府及びTSOが開発に係る調査・許認可を担うことで、民間事業者の開発リスクを低減し、継続的な案件形成を促進
- 持続的な需要形成によって、風車大型化や効率的な施工等の次世代技術開発も促進

欧州各国のセントラル方式導入モデル

■: 政府機関　■: TSO (送電系統運用者)　■: 民間開発事業者

<table>
<tr><th rowspan="2"></th><th rowspan="2"></th><th rowspan="2">ゾーニング</th><th rowspan="2">地元調整</th><th rowspan="2">風況調査</th><th rowspan="2">海底・海象調査</th><th rowspan="2">環境アセス</th><th colspan="2">系統</th><th rowspan="2">港湾</th></tr>
<tr><th>系統割当</th><th>系統連系</th></tr>
<tr><td rowspan="3">セントラル方式</td><td>オランダ</td><td>政府(経済・気候政策省)</td><td>政府(経済・気候政策省)/TSO</td><td colspan="5">TSO(国営送電事業者TenneT)</td><td rowspan="3">対象外</td></tr>
<tr><td>デンマーク</td><td>政府(エネルギー省)</td><td>政府(エネルギー省)/TSO</td><td colspan="4">TSO(気候エネルギー省下部組織Energinet)</td><td>TSO/開発事業者</td></tr>
<tr><td>ドイツ</td><td>政府(連邦海運・水路庁)</td><td>開発事業者</td><td colspan="3">政府/開発事業者</td><td>政府</td><td>TSO(TenneT、50Hertz Transmission)</td></tr>
<tr><td>(参考)デセントラル=民間主導</td><td>英国</td><td>政府(Crown Estate)</td><td>政府/開発事業者</td><td colspan="3">開発事業者</td><td>TSO/開発事業者</td><td colspan="2">開発事業者</td></tr>
</table>

Source: BCG分析

オランダでは、政府がゾーニング、国営TSOが政府指示の下、現地調査と系統整備を実施し、民間開発事業者は調査結果確認のための補足的な調査を実施

オランダ: 洋上風力セントラル方式概要

セントラル方式の概要

制度・法律導入時期

- 2013年: 基本政策「Agreement on Energy for Sustainable Growth」に基づき、政府がプロジェクトを選定して入札を実施する方式に変更
- 2015年7月: 「洋上風力エネルギー法」に基づき、政府側の所掌範囲を拡大

実案件への提供件数/時期

- 2015-2019年にかけて毎年700MW (350MW×2か所) の入札を実施、合計3.5 GW (10か所) が契約獲得
- 2020年以降は1GW/年に導入ペースを引き上げる予定

政府・民間の責任分担

✓ 実施者/リスク負担者

	ゾーニング	地元調整	風況調査	海底・海象調査	環境アセス	系統: 系統割当	系統: 系統連系	港湾
政府 (経済・気候政策省)	✓ 電源計画や初期調査に基づき海域の区分けを実施	✓ 地元漁協や環境団体のとの調整						役割分担の対象外 (既に港湾が整備済)
TSO (TenneT: 国営送電事業者)		✓ 現地調査を通して、発電事業計画策定に必要な情報 (風況、海底・海象、環境情報) を収集し、取り纏め調査データは公開	✓	✓	✓	✓ 系統整備計画・工事計画策定	✓ 系統連系工事を実施	
民間開発事業者			TSO公表の調査データを踏まえて、更なる精査が必要と判断した場合は追加調査を実施					

Source: 各種公開情報, エキスパートインタビューを基にしたBCG分析

デンマークでは、オランダ同様に政府がゾーニング、国営TSOが地元調整や調査・系統整備を行う仕組みだが、今後は事業者が系統整備の責任を担う方針へ転換中

デンマーク: 洋上風力セントラル方式概要

セントラル方式の概要

制度・法律導入時期

- 2012年3月:
  基本方針(DK Energy Agreement)に基づき、政府が案件開発し、事業者入札を開始するプロセスが整備
- エネルギー庁が入札プロセスを一貫して管理し、他省庁とのやり取りを一手に引き受けるOne Stop Shopサービスを提供

実案件への提供件数/時期

- 2015年春にHornes Rev (400MW), 2016年秋にKriegers Flak (600MW) がこれまでより大幅に低い価格で落札

政府・民間の責任分担

✓ 実施者/リスク負担者

	ゾーニング	地元調整	風況調査	海底・海象調査	環境アセス	系統: 系統割当	系統: 系統連系	港湾
政府 (エネルギー省)	✓ 電力計画や初期調査に基づき海域の区分けを実施	✓ 地元漁協や環境団体との調整						役割分担の対象外 (既に港湾が整備済)
TSO (Energinet: 気候エネルギー省下部組織)		✓	✓	✓	✓	✓ 系統整備計画・工事計画策定	✓ 系統連系工事を実施	
民間 開発事業者							✓ 海底送電線や変電所の設置も開発に包含	

TSO(地元調整〜環境アセス): 現地調査を通して、発電事業計画策定に必要な情報 (風況、海底・海象、環境情報) を収集し、取り纏め調査データは公開

2020年入札から移行

民間(風況調査〜環境アセス): TSOによる調査報告データについて、情報の精査を実施

開発事業者が乱立する中、大規模案件開発のケイパビリティを保有する事業者が落札で優位になるように、大規模事業者がロビイングを実施し、制度変更

Source: 各種公開情報, エキスパートインタビューを基にしたBCG分析

デンマークでは、エネルギー庁主導の下、関連当局や専門家委員会が候補地の洗い出しに資する関連調査や候補地の経済性評価、サイト決定に向けた調整を実施

デンマーク: ゾーニングプロセス概要

調査母体の概要

Spatial Planning Committee for Offshore Windがゾーニングを実施

- 創設: 1995年
- 目的・役割:
  - 洋上風力発電所及び関連する送電網の計画的かつ協調的な開発を確保する
  - 洋上風力発電所のための、自然や他の海域利用への影響が少なく、洋上風力の収穫に適していると予想される立地の創作
  - (計画時以外は、休眠状態)
- 参画メンバー:
  - デンマークエネルギー庁が主導
  - 政府: 自然環境、海上安全、航行、海洋資源採取、視覚的利益、送電網の条件を担当する政府当局
  - 他専門家: 風力発電、タービン、基礎、グリッド技術の技術分野

ゾーニングプロセス

1 候補地の洗い出し

GISマップに現在の未使用海域をマッピングした上で、当該地域を自然条件を分析し、有用な場所を特定

- 海軍・航空航法、環境・景観保護による規制状況や、送電系統等での既存使用状況を確認
- 岸までの距離・風速・水深で、洋上風力に適した地域を特定

2 候補地の評価

洋上風力設置と操業で予想されるコストに応じて評価

- 最大の風速と最低の建設コストから可能な限り最大の経済的利益を得るために、風力発電と送電網の計画的かつ調整された拡大を重視

3 合意形成

残りの海洋当局と陸上の影響を受ける自治体との間で協議
さらに、必要に応じて近隣へのヒアリングや調整を実施

Source: 各種公開情報, エキスパートインタビューを基にしたBCG分析

ドイツでは、政府が予備調査等を実施の上、民間事業者に情報を開示し、追加調査については案件落札した民間開発事業者が実施

ドイツ: 洋上風力セントラル方式概要

セントラル方式の概要

制度・法律導入時期

- 2017年1月:
  連邦ネットワーク庁が、入札、計画、許認可手続きを定めた洋上風力エネルギー法 (WindSeeG) を施行

実案件への提供件数/時期

- 2017年4月:
  計4件、1.49GWが契約を獲得
  - 内3件は政府補助金なし
- 2018年4月:
  計6件、1.61GWが契約を獲得

政府・民間の責任分担

✓ 実施者/リスク負担者

	ゾーニング	地元調整	風況調査	海底・海象調査	環境アセス	系統: 系統割当	系統: 系統連系	港湾
政府 (連邦海運・水路庁)	✓ 電力計画や初期調査に基づき海域の区分けを実施		✓	✓	✓	✓ 政府がTSOに接続容量を割当て		役割分担の対象外 (既に港湾が整備済)
			予備調査を実施し、調査結果等を民間開発事業者に開示					
TSO (TenneT、50Hertz Transmission)				送電網の整備に必要な情報は政府の予備調査や独自の深掘調査を通して収集			✓ 整備・運用を実施 投資は電気料金に上乗せして回収	
民間開発事業者		✓ 落札者が地元調整を実施	✓	✓	✓			
			候補地域における事業実施に向け、情報 (風況観測、ドップラーライダー観測等) を収集し、入札に向けて実現性や環境リスクを深掘調査					

Source: 各種公開情報, エキスパートインタビューを基にしたBCG分析

英国では、Crown Estate(国営資産運用会社)がゾーニングを実施するが、風況/海底/海象調査、地元調整、系統/港湾調整等はすべて民間開発事業者が実施

英国: 洋上風力デセントラル方式概要

デセントラル方式の概要

関連方針導入時期

- 2008年:
  「計画法 (The Planning Act)」で、100MW以上の洋上風力を国家として重要性が高いインフラPJとして認定し、許認可や利害調整を円滑に進める制度を適用開始
- 2019年3月:
  洋上風力発電産業戦略 (Offshore Wind Sector Deal) を策定
  - 目標として、2030年までに洋上風力産業のコストに占める英国内の調達率を60%まで引き上げること、および従事する女性労働者の割合3分の1以上引き上げが目標

政府・民間の責任分担

✓ 実施者/リスク負担者

	ゾーニング	地元調整	風況調査	海底・海象調査	環境アセス	系統: 系統割当	系統: 系統連系	港湾
政府 (Crown Estate)	✓ 海域を区分けし、事業者に公開し、入札を実施	✓ 対象地域の感触を調査しゾーニングに反映 (環境団体が強いため事前議論が必須)						
TSO (National Grid)						✓ 開発事業者の申込を承認		
民間開発事業者		✓ 地元環境団体への計画の開示や継続的な調整を実施	✓ 入札した海域について、発電事業計画策定に必要な情報収集 その際、開発地・系統接続点となる地域も調査スコープに含む	✓	✓	✓ TSOへの系統割り当て申し込み	✓ OFTO[1]と連携の上、送電線や変電所を整備	✓ 港湾を選定し、利用に向けて調整・交渉

1. Offshore Transmission Operator
Source: 各種公開情報, エキスパートインタビューを基にしたBCG分析

洋上風力: 脱炭素化に伴う競争環境・産業構造変化サマリ

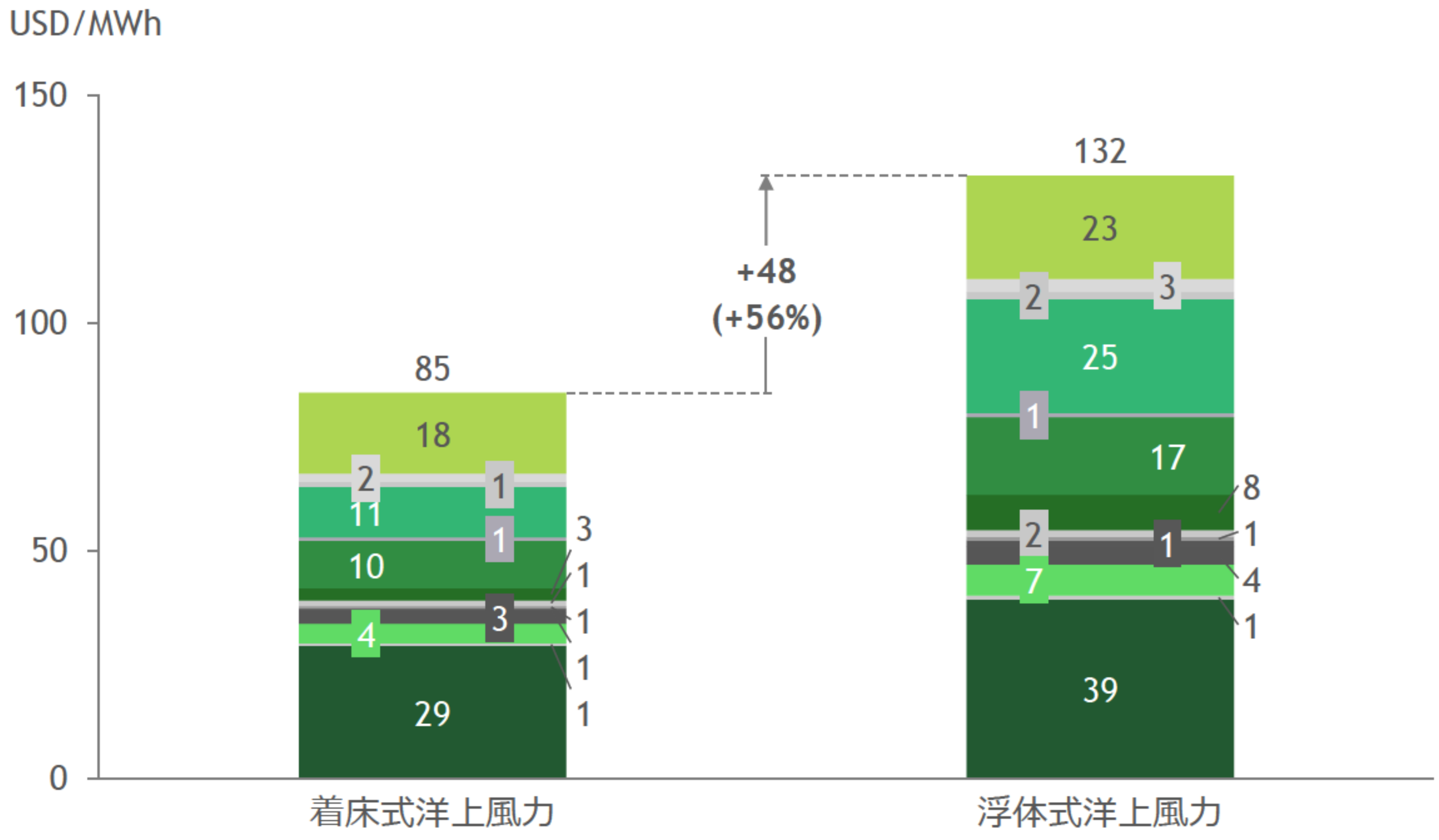
	競争環境変化: 日本企業	競争環境変化: 海外企業	産業構造変化
技術レイヤー	**将来的なアジア展開も見据えた複数形式での浮体式技術開発加速** • バージ型(日立造船)、セミサブ型(JMU/三菱造船)、スパー側(JMU/戸田建設/五洋建設/東京電力)の複数の洋上風力浮体形式において、国内造船/建設/電力企業を中心に技術開発を推進	**官民一体となった浮体式洋上風力関連プロジェクト推進** • 英国(Crown EstateによるPJ主導)、ノルウェー(政府主導PJへのequinor参画)、米国(AEPA-Eプロジェクト推進)、台湾(台湾離岸風電産業協会: TOWIA設立)等の諸外国が浮体式洋上風力関連プロジェクトを推進	**次世代技術としての浮体式洋上風力関連技術開発競争の加速** • 技術的に成熟しつつある着床式洋上風力の欧州・中国を中心とした社会実装化が進展する一方、次世代技術である浮体式洋上風力(バージ/セミサブ/スパー型等)の各国での技術開発競争が加速
ビジネスレイヤー	**海外風車OEM国内誘致と国内企業部材事業参入によるサプライチェーン構築推進** • 風車OEMが不在の日本では、海外OEMの国内工場誘致を推進するとともに、潜在的な技術力を有する国内企業の部材事業参入を促進することで、国内洋上風力サプライチェーンの構築・強靭化を推進	**風力タービン大型化とサプライチェーン全体でのデジタル化進展** • GE/Siemens Gamesa/Vestasの大手OEM3社は風力タービン大型化(~15MW)を推進 • 洋上風力社会実装で先行する欧州ではサプライチェーン全域でのデジタル技術活用が進展(例: SKFによる軸受センサーデータ活用等)	**OEM・部材サプライヤ双方の高度化による着床式洋上風力サプライチェーン全体での更なるコスト低減進展** • 欧米系OEMによる洋上風力タービンの更なる大型化、部品サプライヤによるナセル内電気・機械品の高効率化・小型軽量化が進展し、発電コストが(LCOE)の低減が進展
マーケットレイヤー	**「洋上風力産業ビジョン(2020年12月)」にて洋上風力人材育成プログラム策定** • 国内マーケットで不足している洋上風力人材を育成するために、スキル棚卸・評価制度の確立、技術標準化等を織り込んだ人材育成プログラムを「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」で策定	**官民連携による包括的な洋上風力人材育成戦略策定** • 英国は、洋上風力発電セクターディールにおいて、スキル標準化/資格制度/教育プログラム/人材投資/人材多様化/安全性向上等のアクションを織り込んだ戦略を策定し、遂行	**製品技術の国際標準化、スキル標準化に向けた洋上風力人材開発の加速** • 自国での洋上風力産業の立ち上げ/拡大とグローバル市場での国際連携・国際標準化に向けて、各国が官民一体となった人材開発プログラムを策定・遂行

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビューに基づくBCG分析

浮体式は着床式に比べ、タービンや基礎工事、電気設備、組立/設置にかかるCAPEXやOPEXが高く、LCOEベースで約1.5倍のコストが必要

洋上風力-技術レイヤー: 着床式洋上風力と浮体式洋上風力の発電コスト比較

着床式と浮体式の発電コスト(LCOE)構造詳細



着床式比での浮体式での増加額(率)

タービン投資	5(28%)
開発	1(53%)
エンジニアリング/監理	1(50%)
基礎/下部構造	14(126%)
物流/運搬	0(0%)
電気設備	7(64%)
組立/設置	5(185%)
リース	0(25%)
建設保険	0(50%)
撤去債	5(63%)
建設ファイナンス	1(56%)
予備	3(58%)
プラント手数料	0(50%)
オペレーション	10(35%)
計	48(56%)

Source: 2019 Cost of Wind Energy Review Tyler Stehly, Philipp Beiter, and Patrick Duffy National Renewable Energy Laboratory; BCG分析

英国では、政府とCrown Estate(国営資産運用会社)が主体となり、浮体式洋上風力発電の調査研究、プロジェクトを支援

洋上風力-技術レイヤー: 英国の浮体式洋上風力発電取組

政府・Crown Estateの取組内容

調査研究支援

英国での浮体式洋上風力発電の調査研究

- サプライチェーン構築と開発権の調査
- 浮体式洋上風力発電の開発による空間的・環境的な影響可能性の調査

プロジェクト支援

プロジェクトを通じた商業化・技術的可能性の検証

Crown Estate主導のプロジェクト

プロジェクト名	事業者	事業概要
Hywind Scotland (スコットランド北東部の北海)	equinor	合計出力 30MW 2017年操業開始の浮体式洋上風力発電PJ
Scotwind (ケルト海)	SSE Renewables Copenhagen Infrastructure Partners 丸紅	合計出力目標300MW 2024年以降開始目標 • 複数の浮体式洋上風力発電開発の実証実験地のリースを予定

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

ノルウェーでは、政府が産業育成の一環として浮体式洋上風力発電の開発への支援及びプロジェクト組成を進めており、地元企業を中心にプロジェクトが進行

洋上風力-技術レイヤー: ノルウェーの浮体式洋上風力発電取組

ノルウェー政府の取組内容

R&D支援

浮体式洋上風力発電の開発に対し、累計23億ノルウェークローネ(約400億円)の供与

プロジェクト組成

浮体式洋上風力発電のプロジェクトを国内に組成、国内企業を中心にした風力発電産業の育成

Floating Wind演説(2021年6月)
石油エネルギー大臣 Tina Bru

ノルウェー政府主導の浮体式風力発電プロジェクト

プロジェクト名	事業者	事業概要
Hywind Tampen	equinor	合計出力 88MW 2022年第3四半期に運用開始
Utsira Nord	現在選定中	合計出力目標 4,500MW • 許認可制で複数の事業者が選定される見通し
Sørlige Nordsjø II (固定式、浮体式双方を受け入れ可)	現在選定中	合計出力目標 4,500MW • 許認可制で複数の事業者が選定される見通し

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

米国では、エネルギー省(DoE)再生可能エネルギー局 ARPA-E(先進研究プロジェクト機関)が主体となり、米国企業・大学での浮体式風力発電の研究・開発・実証への支援を開始

洋上風力-技術レイヤー: 米国の浮体式洋上風力発電取組

ATLANTISプログラムの概要

2019年8月、ATLANTIS (Aerodynamic Turbines Lighter and Afloat with Nautical Technologies and Integrated Servo-control) が、米国エネルギー省 の先進研究プロジェクト機関にて開始

2年間のプログラムには12のプロジェクトが含まれており、いずれも浮体式洋上風力タービン (FOWT) 技術の発展を目指す

ATLANTISのプロジェクト一例

テーマ	実施主体	概要	支援額 (Mドル)
12MWの軽量タービン開発	GE	タービンと制御装置を従来より35%以上質量を削減する設計技術を開発	$2.8M
浮体式風力発電ソフトウェアの開発	Principle Power	世界初の浮体式洋上風力発電に特化したデジタル・ツイン・ソフトウェアの開発・検証・運用	$3.6M
垂直軸風力システムの開発	テキサス大学ダラス校	深海の環境に適した垂直軸風力発電システムの特性に合わせた制御の共同設計手法を開発	$3.3M

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

台湾では、経済部が英国政府の協力の下で洋上風力発電の開発を推進しており、浮体式風力発電を含めた技術的連携を開始

洋上風力-技術レイヤー: 台湾の浮体式洋上風力発電取組

台湾経済部と英国政府の取組

2021年7月、第3回英台エネルギー対話にて、浮体式洋上風力発電、水素、CO2のCCSに焦点を当てたワークショップを開催

- 英国の沖合再生可能エネルギー・カタパルト(ORE Catapult)と台湾の工業技術研究院(ITRI)との間で、洋上風力発電の技術革新プロジェクトと情報交換に関するMoUを締結

2021年8月、第16回英台円卓会議にて洋上風力のO&M、浮体式風力発電技術に関するベストプラクティスを共有

- 台湾の造船企業と英浮体式洋上風力企業が、政府関係者の立会いのもとMoUを締結

民間企業による協会設立の動き

2021年3月、欧・豪・台・日などの大手洋上風力発電事業者8社が台湾洋上風力発電産業協会 (TOWIA) を設立

協会参加企業

CiP	JERA
Energy Taiwan	Macquarie
Northland Power	Orsted
WPD	Yushan Energy

浮体式風力発電開発への提案

“現在台湾が進める洋上風力発電の研究開発の第3段階に浮体式風力タービンを含めること

パイロット浮体式風力発電所を建設する目標及び、2~3の先進的な100MWパイロット計画”

CIP Managing Director
Marina Hsu

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

日本企業が潜在的な強みを持ち得る浮体式洋上風力では、国内外の企業がバージ/セミサブ/スパーのそれぞれの型式で技術開発を推進

洋上風力-技術レイヤー: アジア展開も見据えた浮体式等の次世代技術開発

浮体式メーカーの国内外連携

洋上風力浮体形式		バージ型	セミサブ型	スパー型
		比較的揺れやすい形式であるが、水深の浅い海域に設置するのに適する	浮体の大部分を没水させ波の影響を受けにくくしているので、沖合に設置するのに適する	水面貫通部分が小さく水深が必要であるため、水深が深く波浪条件の厳しい沖合に設置するのに適する
技術開発推進企業例	国内企業	日立造船	JMU 三菱造船	JMU 戸田建設 五洋建設 東京電力
	海外企業	ideol	GustoMSC Nautilus Cobra Aqua Ventus EOLINK NAVAL Energies	equinor SEATWIRL innogy Stiesdal

日本: 浮体式バリューチェーン構築における論点

1. 2030年までの商用化
   - アジア近隣諸国に先んじて、国産産業基盤を構築し、2030年までに商用化

   技術開発支援
   - 商用化・競争力向上に向け低コスト化に資する技術開発を長期的に支援
2. 国内外の浮体企業のマッチング支援
   - 浮体式の海外プレーヤーを日本に呼び込み、国内企業とのマッチングを促進
   - 国内の浮体メーカーの競争力を強化
3. 日本式浮体モデルの世界展開
   - 浮体式の技術開発は世界横一線の状態であり優位性が未確立の中、日本として勝ち筋を見極め
   - 世界展開を見据え浮体式モデルを日本から発信

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

着床式と比べ浮体式洋上風力発電施設の建設コストは増大化する傾向にあり、建設会社・造船会社を中心にSEP開発やスパー型の開発を推進

洋上風力-技術レイヤー: 日本企業の浮体式洋上風力製造・建設コスト低減に向けた取り組み

課題の概要

海面に浮かべた構造物の上に風車を置く浮体式は、着床式に比べ高度な技術力が求められ建設費2倍高い

- 浮体式洋上風力発電向けの浮体は、設置後20年以上稼働することが前提となり、その間に台風をはじめとした日本特有の厳しい気象海象に耐える必要があり、高い信頼性を要求
- 浮体式の技術開発は世界で横一線と言われており、コストを念頭に要素技術の開発やその実証が今後期待

課題解決に向けた各社の打ち手例

テーマ	事業者名	取組内容
浮体形式の研究	五洋建設	NEDOの事業にて、東京大学・東京電力とともに円柱型で水面貫通部分が小さく波浪の影響を受けにくい「スパー型」を調査・研究
	戸田建設	九州大学と開発した「ハイブリッド・スパー型」浮体構造物を開発し、安定性の向上とともにコスト削減を実現
	TEPCO	RWE, Shell, Stiesdalの「テトラ・スパー型」実証プロジェクトに参画し、製造、組立、設置工程の簡略化・標準化を志向
	日立造船	風力発電設備と海面が接する面積を小さくし揺れを抑え、風車の土台部分の工期を短くし、建設費を3割減とする工法を開発
浮体形式研究+SEP船	JMU	福島での洋上風力プロジェクトをもとに、セミサブ型浮体デザインを開発 着床式の洋上風力で使われる自己昇降式作業台船(SEP船)技術をもとに、浮体式SEP船を低コストで開発

Source: 各種調査; BCG分析

浮体式洋上風力向けに台風等の天候不順時にも耐えられる安定性/耐久性のある係留方法・電力ケーブル開発が推進中

洋上風力-技術レイヤー: 日本企業の係留技術/電力ケーブル強化に向けた取組

課題の概要

係留索

- 国内の浮体式洋上風力の設置は、浅い海域(大陸棚)が有力だが、係留方法に課題
  - ライン(チェーン)の自重を利用したカテナリー係留は、十分な係留力を得るために重量や中間シンカー等の工夫が必要
  - ライン(合成繊維索・鋼製ワイヤー)の伸びを利用したトート係留は、ラインが短くなるため必要な伸びを得難くなり、より伸びの大きい素材のラインが望まれている

電力ケーブル

- 浮体構造物は定常的な揺れがあるため、それに対応できるケーブルが必要

課題解決に向けた各社の打ち手例

製品	事業者名	取組内容
係留索	東洋紡	浮体式洋上風力発電などの海洋建造物向け係留ロープを想定した低クリープ品を提供 • 引っ張ると少しずつ伸びるクリープ現象を抑えた製品を開発し、半永久的に固定が必要な海洋建造物にも対応
	東レ	浮体式洋上風力向け係留索「ナイロンパラレルロープ」を発表
電力ケーブル	古河電工	潮流や浮体挙動に伴う曲げやねじれなど機械的強度に優れた高電圧ダイナミックケーブルや最大水深1500メートル級の深海に敷設できる直流高圧ケーブルを提供 • 福島の洋上風力プロジェクトに参画
	住友電工	浮体式洋上風力向けの電力ケーブルとして、揺れる浮体構造物でも"曲げに強い"ケーブルを開発

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

洋上風力発電設備上部のナセルは "風車の心臓部" と呼ばれ、多数の電気品・機械品が搭載

洋上風力-ビジネスレイヤー: 洋上風力発電設備部品詳細とコスト構造

電力変換器 7%
- 風車によって発電された出力を交流(AC)/直流(DC)変換し、系統要求に合わせる部品

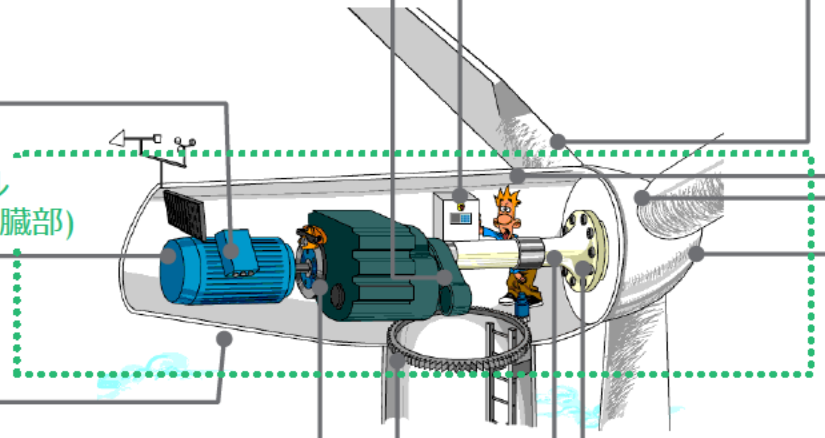
増速機 18%
- 5~15rpmで回転するロータを1,500rpmまで加速させ、発電機を回転させる部品

変圧器 5%
- 発電された電気を昇圧し、送電線へと電力を伝える部品

発電機 5%
- 風車の主軸の回転力を電機エネルギーに変換する部品

ナセルカバー 2%
- 風車の心臓部であるナセル内部品を保護する目的の構造部品

ブレーキシステム 2%
- 故障時・保守対応時にブレードの回転を停止させる部品



その他部品・組立 15%

ブレード 31%
- 風のエネルギーを捉える部品で、通常1つの風力発電機に3枚据え付け

メインフレーム 4%
- 増速機の負担を減らすための高強度のフレーム

ピッチ駆動装置 4%
- ブレード(羽)のピッチ角を調整し、出力制御、荷重制御、起動停止を行う部品

ロータハブ 2%
- ブレードの付け根とナセルに続くロータ軸を繋ぎ、回転するブレードを固定するための鋳鉄製部品

ヨー駆動装置 2%
- 風速・風向きによってのブレード確度・向きを駆動装置で調整する部品

メインシャフト 3%
- ロータ回転力を増速機(ギアボックス)に伝える部品

軸受 2%
- 主軸、増速機、発電機、旋回座の摩擦を抑え、滑らかな回転を支える部品

Source: Irena "Renewable Energy Technologies, Cost Analysis Series Wind Power"; BCG分析

洋上風力関連のコンポーネントには、性能・設計上に係る技術開発ニーズとコスト・経済損失低減に係る技術開発ニーズが多数存在

洋上風力-ビジネスレイヤー: 風車部品・ブレード・電気設備における技術開発ニーズ

コンポーネントの種類		コンポーネント毎の技術開発のニーズ: 性能・設計に係るニーズ	コンポーネント毎の技術開発のニーズ: コスト・経済損失低減に係るニーズ
風車部品	発電機	• ナセルサイズの低減のための小型化 • 効率維持・故障抑制のための冷却方式	• 故障率の低下に資する耐久性向上 - 故障による平均ダウンタイムは108日
	増速機	• ナセルサイズの低減のための小型化	• 故障率の低下に資する耐久性向上
	主軸受	• ナセルサイズの低減のための小型化	• 故障率の低下に資する耐久性向上 - 故障による平均ダウンタイムは340日
	ヨーシステム	• NA	• 故障率の低下に資する耐久性向上 - 故障による平均ダウンタイムは83日
	パワーコンバーター	• SiCモジュールの展開による電気損失低減と小型化 • 効率維持・故障抑制のための冷却方式	• 故障率の低下に資する耐久性向上 • 遠隔監視や故障診断機能活用によるメンテコスト削減
	変圧器	• ナセルサイズの低減のための小型・軽量化 • 耐環境性(塩害等)の向上	• 故障率の低下に資する耐久性向上
	スイッチギア	• ナセルサイズの低減のための小型・軽量化 • 耐環境性(塩害等)の向上	• 故障率の低下に資する耐久性向上
ブレード	複合材料	• 重量低減によるベアリング荷重低減 • 風車大型化に伴う素材の高剛性化	• 故障率の低下に資する耐久性向上 • 重量低減によるLogisticsコストの低減
電気設備	エクスポートケーブル アレイケーブル	• HVDC電線の開発 • 電線の長尺化	• HVDC化による送電ロスの低減
	変電所	• HVDC変電所の開発	• HVDC化による送電ロスの低減

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビュー; BCG分析

洋上風力産業で先行している欧州諸国では サプライチェーン全域でのデジタル技術を活用したコスト/リスク低減取組が進展

洋上風力-ビジネスレイヤー: 欧州での洋上風力サプライチェーン全域のデジタル化動向

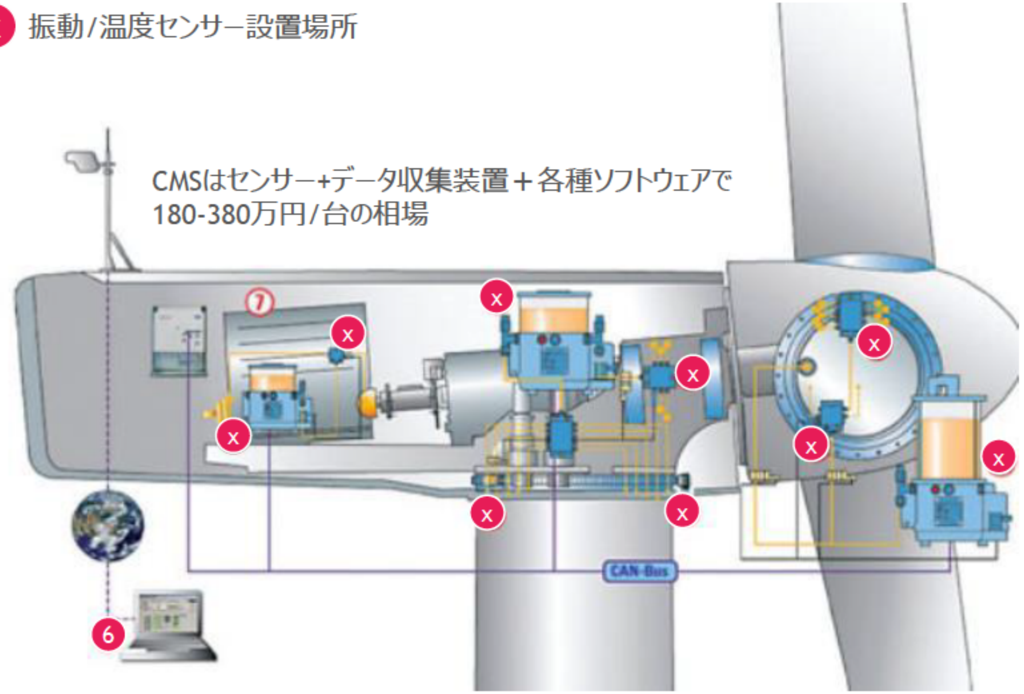
	製造				設置・メンテナンス	
	風車製造	部品製造	電気系統	基礎製造	設置	メンテナンス
デジタル化取組例	例: デジタルツインを活用した風車設計の高度化	例: 部品へのセンサー搭載/運転シミュレーションによる効率化	例: IoTアナリティクスを活用した変電所・ケーブルレイアウトの最適化	例: 高度3D技術を活用した鉄鋼製造/測定プロセスの効率化	例: 建設プロセス全体の可視化による工期削減・在庫効率化	例: ドローンを活用した点検システム構築
取組欧州企業	Siemens Gamesa RE	SKF	Ørsted	MBV systems	SAP	Siemens Gamesa RE
取組概要	風車全体システム関連データを仮想空間に取込み (デジタルツイン)、シミュレーションを重ねることで、最適設計を実現	軸受けにセンサーを取り付け、遠隔で運転データを取り込み、シミュレーションすることで予兆保全を実施	風車設備と変電所を繋ぐケーブルレイアウト設計を独自アルゴリズムのツールを開発し、最適化	ベルトコンベア上の鉱物へレーザー光線照射し、3D化分析することで、安定計測と自動制御を実現	IoTを活用し、建設現場、船舶内、倉庫の部品状況をトラッキングし、必要部品のオンタイムデリバリーを実現	ドローンからの洋上設備映像を画像認識で繋ぎ合わせて、正確なモデルを作成し、遠隔で点検を実施
デジタル化によるコスト/リスク低減効果	• 設計期間短縮 • CAPEX低減 (試験工数削減)	• OPEX削減 (O&M コスト~2%削減可能)	• 設計期間短縮 • CAPEX低減 (試験工数削減)	• 高炉プロセスコスト削減 (歩留まり改善、人件費削減)	• 在庫削減 (15~30%) • 建設期間削減 (~5%)	• 点検時間・ダウンタイム短縮 • 点検・修理コスト削減

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビュー; BCG分析

スウェーデン軸受けメーカーSKFは、軸受けセンサーから得られるデータをCMSで活用することでO&Mコスト低減/高度化を実現し、洋上風力保険料率を低減

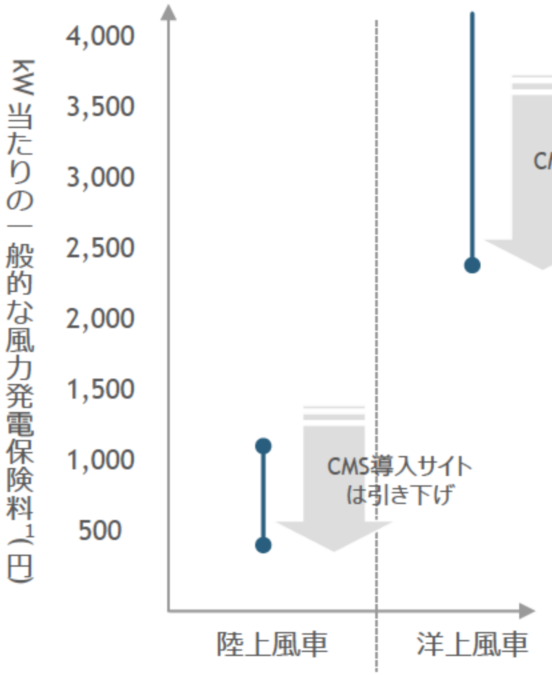
洋上風力-ビジネスレイヤー: CMS(Condition Monitoring System)導入による風力発電の保険料率低減事例

スウェーデン軸受メーカーSKFの風車CMS



- 各種センサーを風力発電設備内に取り付け、データ収集装置で遠隔で集約し、収集したデータをソフトウェアでシミュレーションをすることで、予兆診断、部品の事前手配、O&M計画スケジュールを策定（Digital Twinの発想）
- CMSによる振動開始を10年間継続すると、風力発電設備の**運転&保守トータルコストの2%削減が可能**

O&Mの透明性担保による保険料率の優遇



“今後は、事業者の事業実績やO&Mに対する考え方・理解度・予防保全への取組状況、CMS導入状況を勘案して保険料が決定されると考えられ、同様の気象条件のサイトでも、**保険料に幅が3倍**程度生じてくると予測される
（業界レポート）”

- 独保険会社のAllianzはSKF製CMSが導入されている風力発電サイトの保険料を優遇
- 欧州でのCMS導入比率は陸上風車では10-20%に留まるが、保守・保険コストが高額である洋上風車ではほぼ100%に近い水準

1. 2015年データ 仕様は物保険+休業/操業遅延保険/第三者賠償責任保険
Source: 各種公開情報; エキスパートインタビュー; BCG分析

日本の洋上風力産業ビジョンでは (1)風車OEMの誘致、(2)風車OEMと国内企業の連携強化を推進し、SC全域での(3)浮体式を中心とした次世代市場の獲得を推進

洋上風力-ビジネスレイヤー: 日本が洋上風力産業ビジョンで目指す競争力がありレジリエンスなサプライチェーン構築

	製造				設置・メンテナンス		事業
	風車製造	部品製造	電気系統	基礎製造	設置	メンテナンス	発電事業
国内サプライチェーンの現状	風車製造 (タワー/ブレード/ナセル組立 等) を担う国内メーカーは不在 他方で、素材・部品領域 (炭素繊維、永久磁石、増速機、軸受、発電機 等) で潜在的な競争力を有している日本企業は存在				ローカライズが必要な領域で国内企業 (建設会社、保守専業会社 等) が担うことが一般的		商社、国内エネルギー会社が欧州企業を中心に連携加速中

産業構造構築の方向性

(1) 風車メーカーの誘致 (海外の競争力の取り込み)

(2) 風車メーカーと国内サプライヤーの結びつき強化 (国際連携による競争力強化)

(3) 浮体式を中心とした次世代マーケットの獲得

国内産業構築を担う企業（一例）

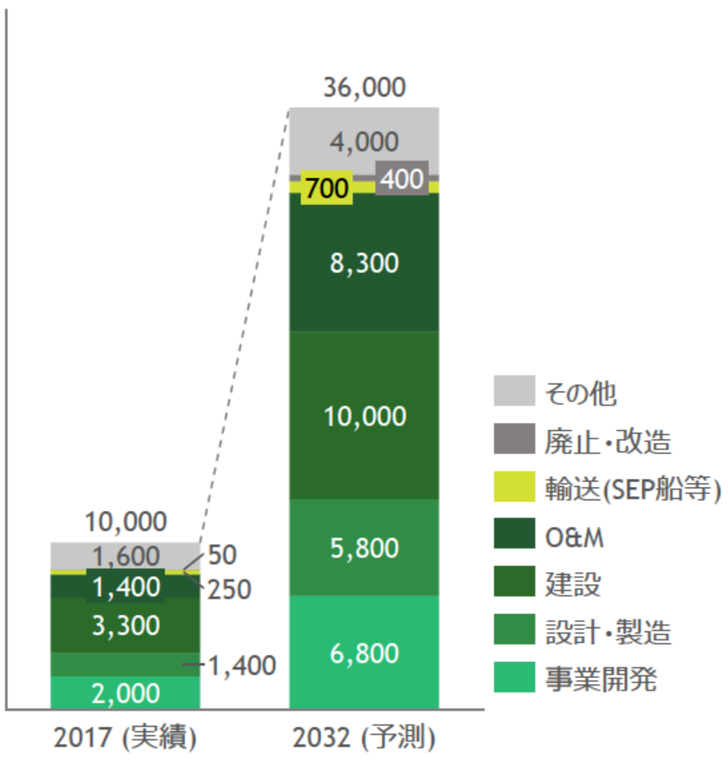
	風車製造	部品製造	電気系統	基礎製造	設置	メンテナンス	発電事業
国内企業		安川電機 三菱電機 石橋製作所 NTN 東レ	日立ABB PG 住友電工 古川電工 東芝 富士電機	JMU 日立造船 日鉄エンジニアリング JFEエンジニアリング	鹿島 清水建設 大林組 五洋建設 大成建設、戸田建設	北拓 EES	三菱商事パワー 丸紅、ユーラスエナジー コスモエコパワー JRE、JWD、九電みらいエナジー 東京電力
海外企業	MVOW SGRE GE RE	LM Wind Power SKF SCHAEFFLER rexroth Bonfiglioli	Prysmian Gr. NKT JDR Cable Nexans	Sif EEW Bladt Industries Smulders	DEME Van Oord Subsea7 Boskalis Jan De Nul	James Fisher Deutsche Windtechnik	Equinor Ørsted RWE Vattenfall Shell

Source: BCG分析

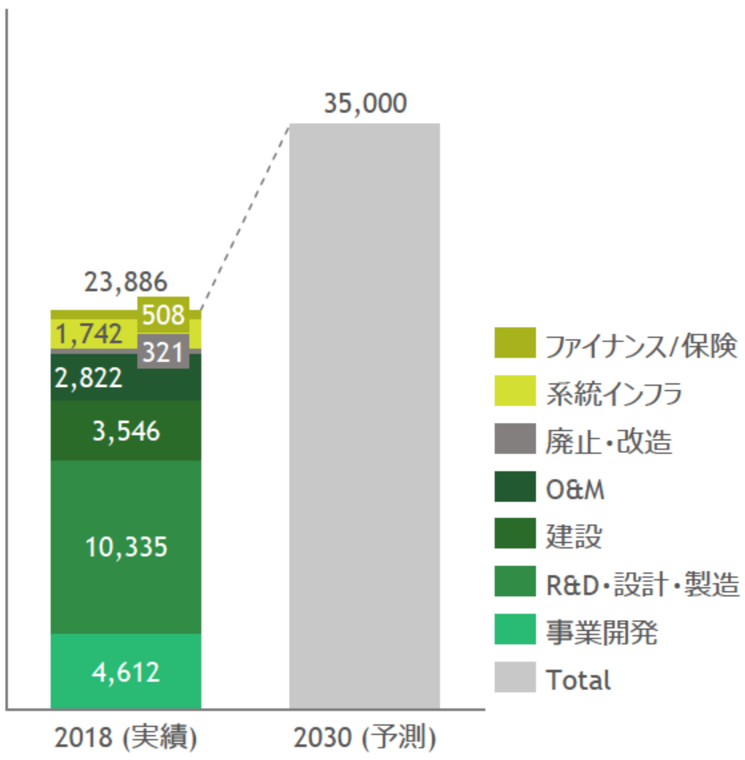
英国/ドイツは、現状1~2.5万人の洋上風力関連雇用があり、今後も拡大する見込みである一方、日本では海洋人材だけでも現状と今後必要な数で大きな開きがあり、対応が必要

洋上風力-マーケットレイヤー: 欧州・日本の洋上風力関連雇用の実態と見通し

英国



ドイツ



日本

現状洋上風力関連の人材が少なく、今後も引き続き不足が見込まれる

- 2030年に洋上風力発電の分野で8,600名以上の人材が必要
  - 他方で、2020年2月時点での海洋開発技術者数は2,865名

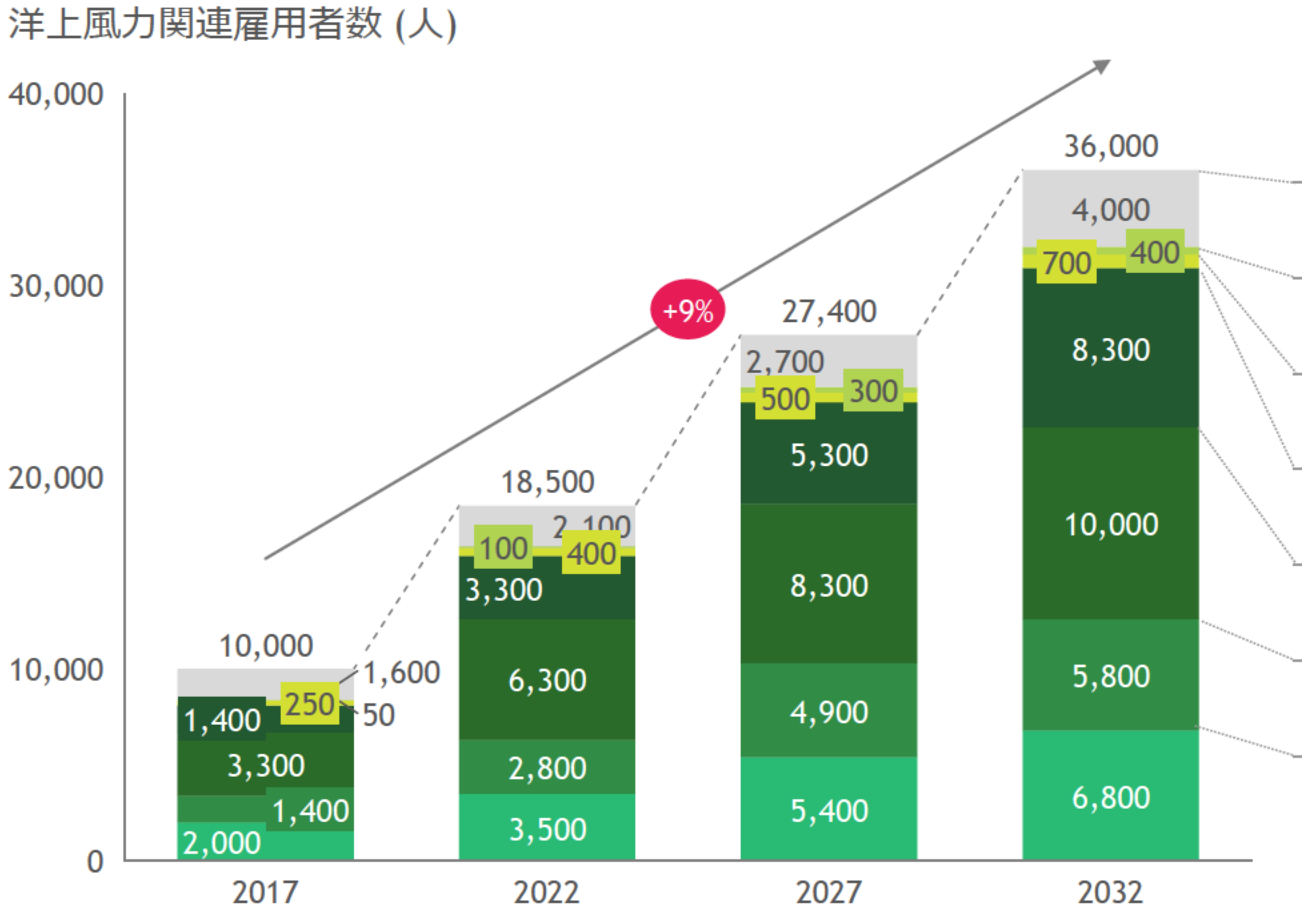
今後の持続的な案件形成・産業構想構築に向けては人材開発、育成が急務

Source: Energy & Utility Skills, "Skills and Labor Requirements of the UK Offshore Wind Industry2018 to 2032", p32,33, (2018)
Wind research, "Wertschopfung der OffshoreWindenergie in Deutschland", p10、日本財団プレスリリース、BCG分析

英国は、5年単位の雇用見通しを推計しており、'22年まではO&M/建設/製造、'27年まではO&M/製造、'32年まではO&M関連の人材が特に増加

洋上風力-マーケットレイヤー：英国の洋上風力関連雇用現状/目標(バリューチェーン別)

英国の洋上風力関連雇用数



CAGR

	2017-'22	2022-'27	2027-'32
Total	13.1%	8.2%	5.6%
Specialist Support & Other	5.6%	5.2%	8.2%
Decommissioning/ Repowering	14.9%	24.6%	5.9%
Specialist Transport	9.9%	4.6%	7.0%
Operation& Maintenance	18.7%	9.9%	9.4%
Construction & Installation	13.8%	5.7%	3.8%
Manufacture& Design	14.9%	11.8%	3.4%
Site planning& Development	11.8%	9.1%	4.7%

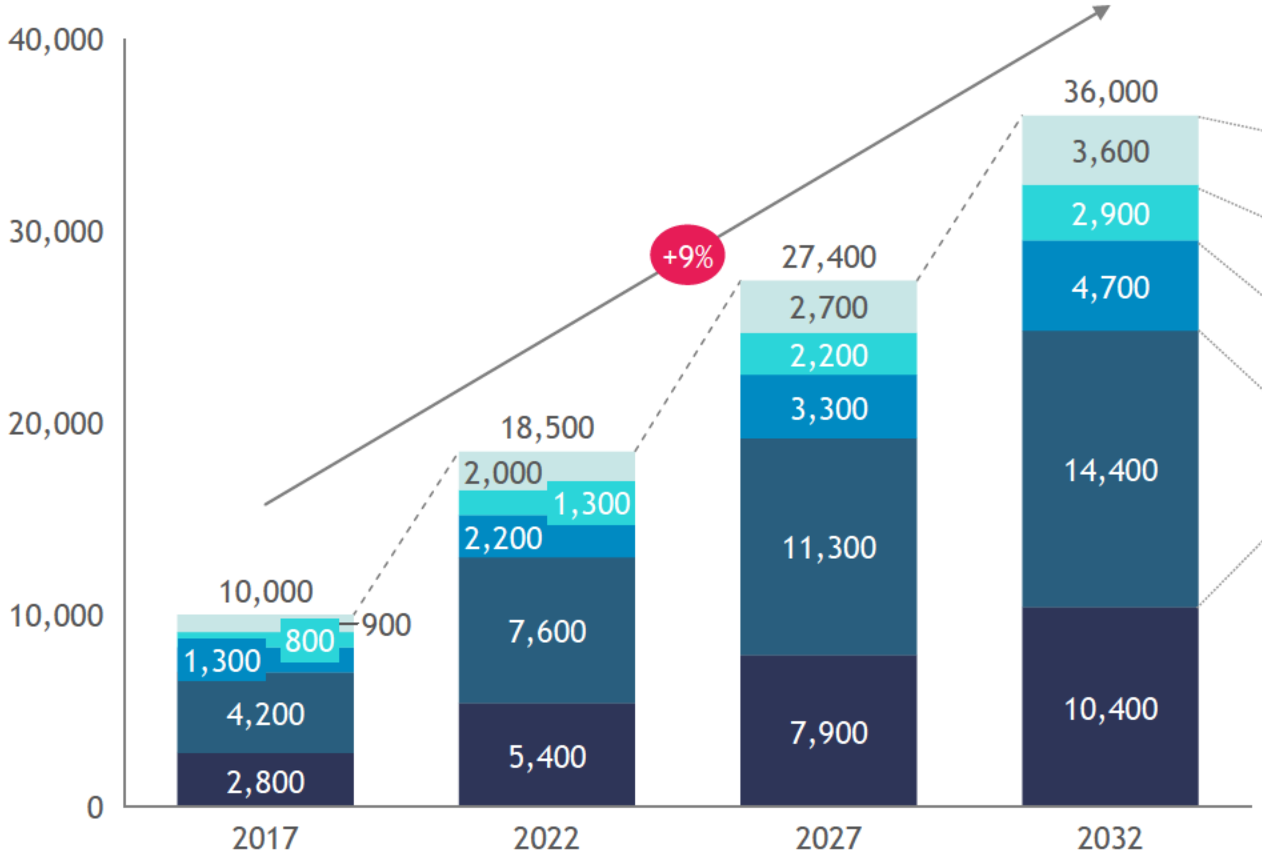
Source: Energy & Utility Skills, "Skills and Labor Requirements of the UK Offshore Wind Industry2018 to 2032", p32,33, (2018)、BCG分析

英国は、Management、Technical/Professional(専門職/技術職)、Skilled Manual(熟練技能)、Semi-Skilled Operative(技能)、Supportの5類型で雇用計画立案

洋上風力-マーケットレイヤー: 英国の洋上風力関連雇用現状/目標(スキル別)

英国の洋上風力関連雇用数

洋上風力関連雇用者数 (人)



CAGR

	2017-'22	2022-'27	2027-'32
Total	13.1%	8.2%	5.6%
Support	17.3%	6.2%	5.9%
Semi-Skilled Operative	10.2%	11.1%	5.7%
Skilled Manual	11.1%	8.4%	7.3%
Technical/ Professional	12.6%	8.3%	5.0%
Management	14.0%	7.9%	5.7%

Source: Energy & Utility Skills, "Skills and Labor Requirements of the UK Offshore Wind Industry2018 to 2032", p32,33, (2018)、BCG分析

英国は、洋上風力サプライチェーンで必要とされる技能の棚卸を実施しており、人材育成プラグラムに有効活用

洋上風力-マーケットレイヤー: 洋上風力で求められる技能要件概要 (英国事例)

事業開発	ファイナンス	風車 設計・製造	BoP	建設・据付	O&M
港湾調査: 環境科学、経済学、工学の学位、グラフィックデザインスキル **地盤工学・物理的調査:** 環境科学学位、海洋学、水文学、地球物理学修士号 **環境・生物調査:** 生物学、海洋生物学または環境モニタリングの学位	**財務モデリング:** CFモデル作成、感応度分析に基づく投融資評価 **リスク評価:** 洋上風力事業全般(開発-EPC-O&Mの各フェーズ)のリスク評価 **法務:** プロジェクト関連契約全般に係る作成・評価	**機械工学・電気工学知見:** 電気工学の高等技術検定/2年間の職業訓練、機械工学・物理学学位 **製造業研究開発・設計:** 物理学、電気機械工学、数学等学位 **製造・組立領域の技能:** 職人や技能者	**タービンタワー:** 溶接、メッキ、加工、ブラスティング(発破)等の技術、素材工学の学位等 **基礎:** 土木、設計、機械、製造工学学位等 **ケーブル:** 電気工学のHNC[1]/HND[2]、製品設計工学の学位 **変電所:** 製品設計工学と電気工学の学位等	**基礎工事:** 工学、海洋建築、海洋工学学位、ヨット及び造船の職業資格 **ケーブル敷設:** 工学・機械工学の学位 **据付サポート:** GWOモジュール証明書、爆発物処理資格(ISSEE)地球物理学と環境科学の学位 船舶証明書 海上保安庁(MCA)の証明書	**タービン保守:** IRATAレベル3認証、高圧電気取扱業務経験、高所作業のトレーニング及び認証資格 **海洋変電所保守:** 高圧電気取扱業務経験、電気・機械工学のHNC/HND **陸上変電所保守:** 高圧電気取扱業務経験 **タービン基礎保守:** タービン専用機器取扱技能、IOSH、GWO証明書

1. Higher National Certificateの略で、高等技術検定の意味; 2. Higher National Diplomaの略で、職業的な教育を2年間学ぶもの
Source: Energy & Utility Skills, "Skills and Labor Requirements of the UK Offshore Wind Industry2018 to 2032",を基にしたBCG分析

英国は、洋上風力発電セクターディールにおいて、スキル標準化/資格制度/教育プログラム/人材投資/人材多様化/安全性向上等のアクションを人材戦略にて考慮

洋上風力-マーケットレイヤー: 英国セクターディールでの人材育成に係る打ち手 (1/2)

打ち手の類型	打ち手の概要
スキル棚卸・標準化	労働者データを追跡し、報告するための労働者とスキルに関するモデル導入 • 業界全体に渡る多様性、包摂性、平等な機会へのアクセスを奨励し、明確な目標とマトリクスについて合意する手段を確立するために、NSAR (National Skills Academy for Rail) モデルを活用し、労働者データに関する追跡と報告 (スキルギャップ分析) を実施
資格・技能認定制度	技能研修ニーズ分析を実施の上、技術認定制度を導入 • スキル専門家による人材投資グループ (Investment In Talent Group) を設置し、セクター全体でのスキルのニーズを特定し、スキルベースをさらに向上させるために、教育課程と認定制度を導入 • 洋上労働者を認定し、洋上の再生可能エネルギーおよび採掘業界間での労働流動性を促進するための洋上エネルギー・パスポート (英国外で認められる) の作成も含み、適切なスキルを持つ元軍人の洋上風力業界への移動を容易にするための仕組みも構築
教育プログラム整備 (1/2)	高い技能を有する研究・開発・実証 (RD&D) 労働者を育成するために、大学との協働を拡大 • セクター全体で60件以上の技能訓練基準および枠組みの監査を完了しており、今後は定期的な基準のレビューに重点を置きつつ、今後は技能訓練・技術教育研究所との協力を促進 • セクターは政府と協力し、セクターの実習生の人数を増やすための目標を設定し、セクターは地方分権政府と協力し、業界全体のスキルセットの一貫性を確保

Source: HM Government「産業戦略 洋上風力発電産業政策」を基にしたBCG分析

英国は、洋上風力発電セクターディールにおいて、スキル標準化/資格制度/教育プログラム/人材投資/人材多様化/安全性向上等のアクションを人材戦略にて考慮

洋上風力-マーケットレイヤー: 英国セクターディールでの人材育成に係る打ち手 (2/2)

打ち手の類型	打ち手の概要
教育プログラム整備(2/2)	洋上風力関連スキルおよび知識へのアクセス整備 • セクター全体に跨る標準教育課程を提供する技術系大学の設置を支援するために、16歳以上を対象とする教育機関との協力を継続 • 洋上風力発電業界内でのスキルの移転を促進し、高等水準の技術研修 (特にレベル4及び5)の雇用側と教育提供側の連携を強化し、地域クラスターを支える熟練した多様な労働者を供給するための労働経験を提供
官民人材投資協力	政府および地方分権政府は、セクターが推進する人材投資グループに参画 • 人材投資グループは、セクターのアクションが政府のスキル・アジェンダと合致するように努める • 加えて、人材投資グループは石油・ガス、原子力、自動車等の他のセクターとも連携
労働者の多様化	2030年までにセクターでの雇用の40%を女性にすることを目標として、労働者の多様性を引き上げ • セクターは多様性と包摂性の改善を確約しており、2030年までに労働者における女性の比率を3分の1に引き上げるための対策を講じ (2018年の16%からの引き上げ)、実施可能であれば40%というさらに高い数値まで引き上げることも目指す
技術安全性向上	開発、建設、運転、廃止作業中に最高水準の健康・安全基準を確保するための協力を継続

Source: HM Government「産業戦略 洋上風力発電産業政策」を基にしたBCG分析

日本での洋上風力関連人材育成の方向性として、インフラ整備を前提としつつ、キャリア開発・能力開発の両面でスキル開発を推進

洋上風力-マーケットレイヤー: 国内人材育成における課題と打ち手の方向性

		課題	打ち手の方向性
スキル	A キャリア開発	**洋上人材不足により技術力向上が困難** • 例えば、海洋人材は現状国内に2~3千人程度のみで、今後3倍程度の人員が必要 • 知見・経験の構築のためには国内の交流では足りず、海外との交流が必要	**既存の人材のスキルアップ** • 洋上風力関連事業に従事する人材の経験・知識向上を支援 • デジタル化等の新たなトレンドも踏まえ、"次世代人材" への教育支援も注力
	B 能力開発	**将来、産業を担う人材が不足** • 適正なファイナンスの提供や、海洋開発、風車メンテナンスの分野で人材不足が顕著 • 一方で、洋上風力にも精通するエネルギー・電気の知見・経験を持つ人材を活用する必要	**未経験・関連業種からの呼び込み・スキル転換** • 洋上風力や関連産業の経験がない人材の学びの支援 • 関連産業で豊富な経験と知識を有する "中堅技術者" の洋上風力産業への従事を支援
前提	C インフラの整備	**案件、風車数が少なく知見の蓄積が困難** • 安定した新規案件の形成がないため、知見の蓄積が困難 • メンテナンス人材の育成のために風車の数が少ない	**人材育成を安心して推進できる環境・仕組みづくり** • 持続的な人材育成を実現するために、国内で継続的に需要形成することが大前提 • 産業の将来性や魅力度を多方面から訴求し、安心してキャリア開発・能力開発を開始・継続

Source: BCG分析

個別産業分析

CCUS

CCUS: 主要国の気候変動政策動向サマリ

<table>
<tr><th colspan="2"></th><th>日本</th><th colspan="2">米国</th><th>イギリス</th><th>オーストラリア</th><th>中国</th></tr>
<tr><td colspan="2">政策ビジョン/目標設定</td><td>中長期のCCSロードマップが今後発表される予定
• 現在は「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」で、CO2分離回収技術(含コスト)の現状と目標を提示</td><td colspan="2">分離回収コスト目標を発表
• 2025~2035年の商業化、陸上・海上CCS技術の性能向上、コスト低下、等を推進
• 分離回収技術コスト$30/t-CO2(2035年以降) を志向</td><td>CO2排出量目標を発表
• 2040年までにCO2排出量が正味ゼロの工業地帯を完成させる方針</td><td>CCSの重要性を明示し、コスト目標を発表
• CCSを次世代技術開発の優先取組分野に位置づけ
• CCS: 20豪ドル未満/t-CO2が目標</td><td>CCUSロードマップを発表し、大規模普及目標を発表
• 「CCUSロードマップ2019」で、2050年時点で計8億t/年のCCUS大規模普及と新たなCCUS活用の構築を志向</td></tr>
<tr><td rowspan="2">CO2チェーン</td><td>CCS</td><td>長期ロードマップの策定に伴い、貯留・輸送関連技術の研究開発・実証を支援
• 現在も大規模CCS実証や船舶輸送実証、貯留・モニタリング技術研究等を支援</td><td>CO2貯留・除去及び直接回収の研究・実証を支援
• CREATE ACT of 2020、等</td><td rowspan="2">CO2 隔離による税額控除の拡張のための法案(45Q法案)で、CO2-EOR、CCUを税額控除
• 2020年にガイドライン発表、制度の適用開始</td><td>CO2貯留技術研究および海底貯留のプロジェクトを支援
• 2021年3件は海底にCO2を貯留するCCSプロジェクトが、英国研究イノベーション機関(UKRI)入札によって選定</td><td>CCS関連を含む技術研究開発に補助金を提供
• 「技術投資ロードマップ」では、CCSや土壌炭素貯留、水素や電力貯蔵、等を優先分野に指定</td><td>国家重点対策研究開発計画でCCSプロジェクトを支援
• 国家重点計画開発計画で「CO2回収の高性能吸収剤、吸着材量と技術」を支援</td></tr>
<tr><td>CCU</td><td>国際イニシアチブ参画を通し、有望なビジネスモデルやファイナンス手法を検討
• アジアCCUSネットワーク等の国際イニシアチブに参画</td><td>サプライチェーン構築に向け国と自治体の連携を支援</td><td>CCU含む脱炭素技術革新・投資やプロジェクトを支援
• 10-Point PlanでCCUを含む10の脱炭素関連技術革新・投資に120 億GBPを投じ、雇用創出・支援を図る計画</td><td>GHG低排出技術の研究開発・実証に予算を拠出
• 国際的なパートナーシップの下での研究開発や実証に総額5億豪ドル以上拠出(2021年～)</td><td>CO2の商用利用を見据えた実証実験が進む
• CO2食品向け利用のための実証実験が拡大</td></tr>
<tr><td colspan="2">ルール・規格整備</td><td>炭素税の導入や排出量取引制度を検討
• 企業にGHG 排出量の上限を設ける、有償割当を原則として分配、入札を通じて排出枠を購入する形での導入を想定して議論</td><td colspan="2">州単位で排出量取引制度を導入
• 反対意見が多く、全米対象の排出量取引制度なし
• 北東部やカリフォルニア州等で産業部門にて独自に排出量取引制度が導入される</td><td>CCSの義務付け、炭素税導入、排出量取引制度を新設
• EU 離脱を受けて2021 年より独自に「英国排出量取引制度(UK-ETS)」を新設・導入、他</td><td>GHG削減量の買取り制度や設備への排出量上限を設定
• 一方で、炭素税や排出量取引制度(ETS)の導入なし</td><td>全国炭素排出量取引制度(全国ETS)導入に向けて、法整備が進む
• 「炭素排出割当量取引管理弁法(試行版)」(2020)を根拠法に制定済み</td></tr>
</table>

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

日本では、分離回収コストの目標が掲げられ、今後CCSのロードマップが策定が見込まれる 分離回収や貯留・輸送に係る研究開発・実証が支援されており、ETS導入の検討も進む

日本: CCUS産業における気候変動政策動向

導入目標

現状、「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」(2016年6月)でCO2分離回収技術の現状と目標が立てられており、2030年頃までに石炭火力発電所へCCSを適用する方針

コスト面では、2030年1,000~2,000円台/t-CO2(化学吸収・物理吸収・膜分離)、2050年以降1,000円以下/t-CO2を目指す(現在約4,000円/t-CO2)

CCSについては、長期ロードマップを策定し、関係者と共有したうえで進めていく

導入促進政策の概要

CO2チェーン

CCS

大規模CCS実証や船舶輸送実証、貯留・モニタリング技術研究等を支援

- CCS技術の2030年までの商用化・社会実装を見据え、苫小牧における大規模CCS実証や、液化CO2船舶輸送実証、安全なCCS実施のための貯留・モニタリング技術の研究開発、貯留適地調査等を実施

今後長期ロードマップの策定に伴い、貯留・輸送関連技術の研究開発・実証も支援される見込み

- 策定予定のロードマップでは分離回収技術の研究開発・実証、貯留技術やモニタリングの精緻化・自動化、掘削・ 貯留・モニタリングのコスト低減等の研究開発を推進
- 加えて、低コスト・効率的・柔軟なCCSの社会実装に向けて、液化CO2船舶輸送の実証試験、CO2排出源と再利用・貯留の集積地とのネットワーク最適化のための官民共同でのモデル拠点構築を進めていく予定
- また、海外のCCS事業の動向等を踏まえた上で、国内のＣＣＳの事業化に向けた環境整備等の検討をを推進

CCU

国際イニシアチブ参画を通し、有望なビジネスモデルやファイナンス手法の検討が進む

- アジアCCUSネットワーク等の国際イニシアチブを通じて、産業界・金融機関とともに有望なビジネスモデルやファイナンスメカニズムの検討・共有を推進
- 設備の有効利用のため、カーボンリサイクルのFS、設計調達に取り組み
- NEDOの実証や環境省の技術スケールアップ支援等で、カーボンリサイクル技術開発を支援

ルール・規格

炭素税の導入や排出量取引制度を検討

- 「地球温暖化対策のための税(地球温暖化対策税)」として2012 年より炭素税が導入され、化石燃料(石油、ガス(LPG・LNG)、石炭等)のCO2排出原単位に対し等しくなるよう課税
- 「2050 年のカーボンニュートラル」(2020)宣言を受け、環境省・経済産業省を中心にETS導入議論が活発化
  - 現在は企業にGHG 排出量の上限を設け、有償割当を原則として分配し、入札を通じて排出枠を購入する形での導入を想定して議論
- 責任移譲の年数の制限なし

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

米国では、2025~2035年での本格的なCCS商用化を推進しており貯留・直接回収技術の研究・実証の支援や、取り組み企業への税優遇制度を提供

米国: CCUS産業における気候変動政策動向

導入目標

2013年にエネルギー省(DOE)の国立エネルギー技術研究所(NETL) が「Carbon Storage Technology Program Plan」で陸上・海上CCS技術の性能向上、コスト低下、2025~2035年の商業化等を推進

DOE/NETLのCarbon Capture R&Dプログラム目標では、第2世代の分離回収技術コストを2020~2025年$40/t-CO2以下、2035年以降には$30/t-CO2までの削減を目指す

導入促進政策の概要

CO2チェーン

CCS

CO2貯留・除去及び直接回収の研究・実証を支援

- Carbon Removal, Efficient Agencies, Technology Expertise Act（CREATE ACT）of 2020でCO2 貯留を含むCO2 除去技術の開発と実証を実行
- DAC技術の研究開発を対象とする最大2,400万ドルの資金提供公募(2021年3月、DOE)
- CO2地中貯留における地震活動への影響とCO2漏洩リスク特定・軽減方法の開発に関するプロジェクトに計400万ドルを提供総額(2021年6月、DOE)、他
- 他、DOEのファンドを得て様々な固体吸収剤の検討がパイロットスケールで進行中

CCU

サプライチェーン構築に向け、国と自治体の連携を支援

- CCUS設備とCO2パイプライン建設に向けた連邦・州・自治体間の連携支援(2019年6月)

CO2 隔離による税額控除の拡張のための法案(45Q法案)で、CO2-EOR、CCUを税額控除

- 2020年にガイドラインが発表され、制度の適用がスタート
- CO2-EOR/EGR およびCO2 利用による税額控除を2026年まで35USD/t-CO2、地中貯留による税額控除を2026年まで50USD/t- CO2 とする

ルール・規格

国としての排出量取引制度はないが、州単位では導入が進む

- 2010 年に全米を対象とした排出量取引制度の導入が模索されたが、反対意見が多く導入が見送られて以降、現在に至るまで全米を対象とした排出量取引制度なし
  - バイデン政権は気候変動対策に積極的だが、現在のところ排出量取引制度の導入には消極的
- ただし米国では、北東部の電力部門向けで2009 年から、California 州で2013 年からといった様に、一部の州や地域、産業部門にて独自に排出量取引制度が導入
- 圧入終了後原則 50 年が責任移譲期間となっており、モニタリング等の管理が求められるが、責任移譲に関する法規制なし

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

英国ではCCUS行動計画の発表やGCCSI本部設置等CCUSの重要性を打ち出しており、CO2貯留技術研究やCCUSプロジェクト支援し、CCS義務化や排出量取引制度を導入

英国: CCUS産業における気候変動政策動向

導入目標

International CCUS Summit にて、CCUS の行動計画を公表
2019 年中に今後のCCUS設備実現に向けた計画の提示、CCUS 技術・脱炭素化技術への補助等が明文化

GCCSI本部を設置し、国際的に先駆的な政策を提言

2040年までにCO2排出量が正味ゼロの工業地帯を完成させる方針

導入促進政策の概要

CO2チェーン

CCS

CO2貯留技術研究および海底貯留のプロジェクトを支援

- 老朽化した北海ガス田や帯水層にCO2を貯留する技術検討及び経済性評価の研究開発
- 2021年に約1.7億ポンドを投じて9つのCCS/CCUSプロジェクト支援する方針で、内3件は海底にCO2を貯留するCCSプロジェクトが、英国研究イノベーション機関(UKRI)の入札によって選定

CCU

CCU含む脱炭素技術革新・投資やプロジェクトを支援

- 2021年に約1.7億ポンドを投じて9つのCCS/CCUSプロジェクトを支援する方針を明らかにしており、うち6つはCCUSイノベーションとして、工業地帯で実施されるCO2分離プロジェクトが英国研究イノベーション機関(UKRI)の入札によって選ばれる
- 10-Point Planで、CCUを含む10 項目の脱炭素関連技術革新・投資向けに総額120 億GBP を投じ、約25 万人の雇用創出・支援を図る計画で、「グリーン産業革命」を進める方針

ルール・規格

企業に対してのCCSの義務付けや炭素税の導入、排出量取引制度を新設

- 以前は「EU 排出量取引制度(EU-ETS)」に参加・導入していたが、EU 離脱を受けて2021 年より独自に「英国排出量取引制度(UK-ETS)」を新設・導入
- 「CCS Ready法」に基づき電力企業に対してCCSが義務付け
- 2001 年に気候変動税、2013 年に炭素下限価格を導入し、産業・電力部門を対象に課税
- 発電燃料用課税(Carbon Price Support Rate : CPS)

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

オーストラリアはCCSコスト20AUD/t-CO2を目標にしており、CCS技術研究開発への補助金の提供や、GHG削減量買い取り制度導入、設備の排出量上限設定を実施

オーストラリア: CCUS産業における気候変動政策動向

導入目標

CCS 技術の商業化に向け、Technology Investment Roadmap Discussion Paper (2020) をエネルギー・排出削減担当大臣が公表し、鉄鋼等GHG の削減が難しい分野におけるCCS の重要性や、クリーン水素製造、電力貯蔵、CCS、土壌炭素貯留等にフォーカス

達成すべき数値目標に下記を設定

- CCS: 20豪ドル未満/t-CO2
- 土壌炭素貯留: 年間3豪ドル/1ha

導入促進政策の概要

CO2チェーン

CCS

CCS関連を含む低GHG排出技術研究開発に補助金を提供

- 「技術投資ロードマップ」では、、水素や電力貯蔵、低排出の素材製造（鉄鋼、アルミニウム）、CCS、土壌炭素貯留を優先分野として、これらの技術が目指す数値目標を掲げ、達成に向けた開発に対して投資
- 2021 年4 月に、国際的なパートナーシップの下で行われるGHG 低排出技術(水素、CCS/CCUS)の研究開発や実証等に対して、総額5 億3,920 万AUD を拠出することを表明
  - CCS/CCUS関連のプロジェクト向けは、2億6,370万AUD

CCU

GHG低排出技術の研究開発・実証に予算を拠出

- 2021 年4 月に、国際的なパートナーシップの下で行われるGHG 低排出技術(水素、CCS/CCUS)の研究開発や実証等に対して、総額5 億3,920 万AUD を拠出することを表明
  - CCS/CCUS関連のプロジェクト向けは、2億6,370万AUD
- すでに協力関係にあるドイツ、日本、韓国、シンガポール、英国、米国等との共同出資によって、オーストラリアで行われる低排出技術関連プロジェクトを支援する方針で、潜在的なパートナーと協議を進める

ルール・規格

GHG削減量の買い取り制度や設備への排出量上限を設定

- 炭素税や排出量取引制度(ETS)の導入なし
- サイト閉鎖認証から最低15年で責任を移譲
- 排出量削減基金で、省エネ、低炭素プロジェクトを公募し、設定排出基準以上の削減量を基金で買い取る(基金対象はCO2、CH4、N2O、SF6、HFC、PFC、NF3)
- 「セーフガードメカニズム」制度を導入し、一定規模の排出量の設備に対して排出量のキャップを設定し、大手企業約140 社にキャップを遵守

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

中国では、2050年のCCUS大規模普及と新CCUS活用の構築を目指しロードマップが作成され大規模CCSプロジェクトの支援や、CCU実証、全国ETS導入に向けた法整備が進展

中国: CCUS産業における気候変動政策動向

導入目標

「CCUSロードマップ2019」を公表し、2050年時点で計8億t/年のCCUS大規模普及と新たなCCUS活用の構築を目指す

他開発目標は下記の通り

- 2025年: 既存技術による設計・建設手法の確立(計900万t/年)
- 2030年: 既存技術の商用化手法の確立、新規技術の実現可能性の検証(計2,000万t/年)
- 2035年: 新規技術の商用化手法の確立(計7,000/年)
- 2045年: CCUSクラスターの商用化手法の確立(計2億t/年)

導入促進政策の概要

CO2チェーン	CCS	**国家重点対策研究開発計画等でCCSプロジェクトを支援、国際的協力も進む等活発に取り組み** • 国家重点計画開発計画で「CO2回収の高性能吸収剤、吸着材量と技術」を支援 • 現在建設完了テスト調整段階にある2つの大規模プロジェクト、国家能源集団のCCSモデルプロジェクト(15万t/年)、中華電力のCCSモデルプロジェクト(15万t/年)等が支援対象 • 2014年には米中首脳による気候変動に関する共同声明の中でもCCS関連の協力を取り上げ • また、米国との協力を広東CCSプロジェクトとしても具体化、本格化
	CCU	**CO2の商用利用を見据えた実証実験が進行中** • 華能上海石洞口発電所や華潤海豊発電所 CO2 回収測定プラットフォーム事業にてCO2食品向け利用のための実証実験が進行 • 2040年のCCSU システムの集積通りスク規制技術で突破を図り、CCSU 集積群が概ね完成し、CCSU 全体コストが大幅に下がることを、2050年時点でのCCSU 技術を広く手配し、複数の CCSU 産業集積区を計画
ルール・規格		**全国炭素排出量取引制度(全国ETS)の導入に向けて、法整備が進む** • 「炭素排出割当量取引管理弁法(試行版)」(2020)を根拠法に、2021年本格運用開始予定 • 初期は、発電産業における年間CO2 排出量が2.6 万t-CO2 以上の企業や経済団体が対象で、将来的に石油化学、化学、非鉄金属、鉄鋼、非鉄、紙・パルプ、航空、電力等追加見込み • スキームとしてはCaps and Tradeで、排出割当量の設定にはベンチマーク方式を採用、初期段階では無償割当を中心とし、段階的に有償割当の比率が高まる

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

CCUS: 脱炭素化に伴う競争環境・産業構造変化サマリ

競争環境変化 / 産業構造変化

技術レイヤー

日本企業

CO2分離回収やカーボンリサイクル技術商用化に向けた技術開発を推進

- CO2分離回収では、日鉄エンジ、東芝、三菱重工エンジ等の主要企業が化学吸収法の研究開発
- カーボンリサイクルでは旭化成(化学領域)、中国電力・鹿島建設(鉱物領域)で商用化段階

海外企業

小容量で扱える膜分離等のCO2分離・回収技術の技術開発を推進

- Air Liquide(欧)やHoneywell(米)が小容量で適用範囲が広い膜分離や物理吸収、物理吸着も扱う
- 米国やイギリスではスタートアップがメインでカーボンリサイクル技術の実証/商用化に着手

産業構造変化

CO2回収源の多様化・効率化とEOR/CO2貯留から利用への拡大

- CO2回収先が高濃度から低濃度(発電所/セメント/鉄鋼等)へ多様化するとともに、CO2分離回収装置の小型高効率化も進展
- 2030~35年まではEOR/貯留が中心だが、'30年以降はカーボンリサイクル技術も実用化

ビジネスレイヤー

日本企業

主要企業がCO2分離回収~輸送~貯留/利用まで横断的に事業展開

- 日鉄エンジ、JERA、三菱重工エンジ(シェア7割)等が、自社のCO2排出ビジネスを起点に、回収・輸送・貯留・利用等を横断的に事業開発を行い、事業を拡大

海外企業

個社のチェーン横断的事業展開に加え、複数企業の共同開発によるCCU取組が進行

- Equinor(欧)はチェーン横断で事業開発し石油・ガス生産脱炭素化ビジネスモデルを模索
- Evonik(欧)は、エンジニアリング企業と共同開発で最適化を図り、ガス分離膜を強みにCCU実用化取り組みを加速

産業構造変化

上流(分離回収)/中流(輸送)/下流(貯留/利用)を繋ぐチェーン横断の事業開発拡大

- 特定領域の事業開発ではなく、業界横断の複数企業の連携/エコシステムによるチェーン横断型の事業開発が主流化
- デジタル活用によるCO2チェーン横断のプロセス最適化・アセットマッチングサービスが拡大

マーケットレイヤー

日本企業

気候変動対策取り組みの活発化のため、日本独自のイニシアチブを立ち上げ

- 日本では、気候変動イニシアチブ (JCI)が立ち上げられ、日本全体の気候変動や温暖化対策への取り組みの盛り上げが図られる

海外企業

取り組み評価やGHG測量の標準化等のイニシアチブやCCS事業実施規制整備が進行

- 企業の環境取組みの対外公表の方法や取り組みレベルの評価、GHG量の計り方の標準化を行うイニシアチブが立ち上がる
- CCS事業実施には事業前後も含めて規制整備が必要で国・地域ごとに検討が進む

産業構造変化

官民連携イニシアチブ(OGCI等)によるCO2チェーン横断でのルール形成

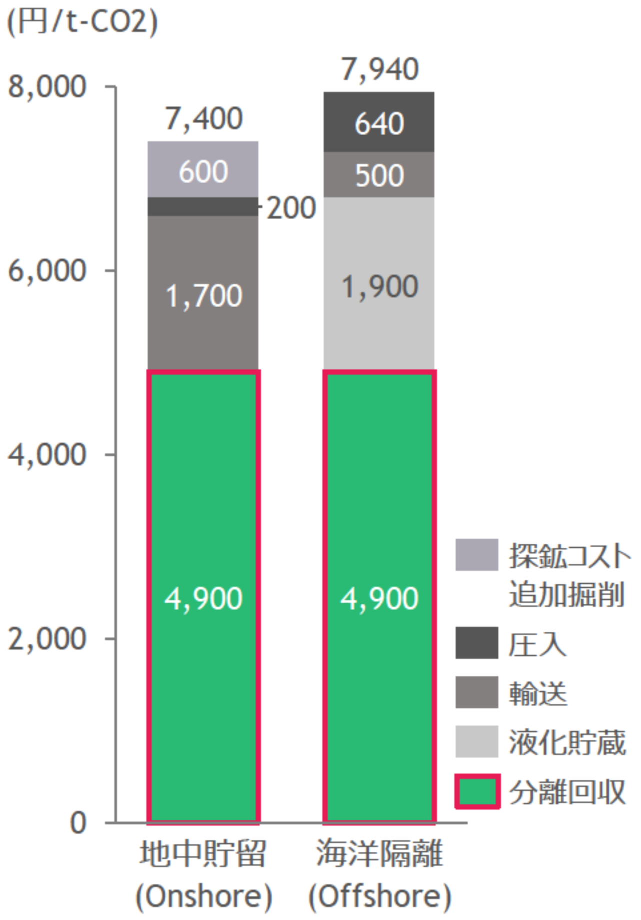
- CO2サプライチェーン全域での、評価基準(CO2回収性能、漏洩等)、規格(安全、品質等)の国際標準化を目指して、国を跨いだ官民連携でのイニシアチブ主導によるルールメイキングが本格化

Source: 各種公開情報; エキスパートインタビューに基づくBCG分析

CCSでは分離回収がコストの大半を占めており、複数の回収技術の研究が進展

CCUS-技術レイヤー: CCSコストの詳細・CO2分離回収技術

CCSコスト詳細



CO2分離回収技術の比較

	Post -Combustion (発生燃焼排ガスよりCO2を分離・回収)			Pre-Combustion (燃焼前の燃料ガスを分離・精製)
	化学吸収法	膜分離法	物理吸収法	物理吸着法(PSA)
技術概要	アミン等の溶剤を用いて化学的にCO2を吸収液に吸収させ、分離する方法	各種膜を用いてCO2 を透過・分離する技術 各気体の透過速度の差を利用して、選択的にCO2を分離	吸収液中に化学変化を伴わず物理的にCO2を吸収・分離 吸収量はガス分圧に比例するため、特に高分圧ガス源からのCO2 分離・回収に適用	吸着材に分離成分を吸着させ、温度または圧力を変化させ、吸着した成分を脱離分離を行う技術
コスト	4,200円/t-CO2 (現在)	2,100円/t-CO2 2030年頃1,000円台予想	約3,500 円/t-CO2	約5,000 円/t-CO2
長所	• 低分圧ガス向き • 炭化水素への親和力が低い • 大容量向き	• 簡便 • 安価 • 小容量向き	• 高分圧ガス向き • 適用範囲が広い • 腐食、浸食、泡立ちが少い • 再生熱源が不要	• 高純度精製が可能 • 装置が比較的簡易 • 適用範囲が広い
短所	• 吸収液が高価 • 腐食、浸食、泡立ちがある • 適用範囲が限定的 • 再生用熱源が必要	• 低純度 • 運転費が高い • 大容量に不向き • 油脂分含有ガスに弱い	• 吸収液が高価 • 重炭化水素への親和力が高い	• 再生ガスが必要 • 水分の親和性が強い
取組み企業例	• 日鉄エンジニアリング • 東芝 • Carbon Clean	• Air Liquide • Honeywell	• Air Liquide • Fluor • Honeywell	• Air Liquide • Honeywell

Source: NEDO「CO2回収・地中貯留(CCS)技術の現状と展望(世界)」、NEDO 委託事業(1992)よりBCG分析

日欧米の企業は主要事業等のCO2排出等を起点に、関連するCO2分離回収技術で研究を進展

CCUS-技術レイヤー: CO2分離技術開発動向

CCS取組企業名	企業動向/方針	分離技術			
		Post -Combustion		Pre-Combustion	
		化学吸収法	膜分離法	物理吸収法	物理吸着法
日本 日鉄エンジニアリング	2030年までに、製鉄所から排出されるCO2の回収・貯留技術の実用化に向け開発を推進	✓			
日本 東芝	脱炭素化技術としてバイオマス、CO2 分離・回収、超臨界CO2サイクル火力発電システムに注力しており、特に、バイオマス発電でのCO2 分離・回収(BECCS)の社会実装を推進	✓			
日本 三菱重工エンジニアリング	世界を先導する「グローバルリーダー」としての地位確立を目指し、量産効果の創出や設備の標準化により「CO2回収プラント」関連のコストを約3割下げられるという見通しを表明	✓			
米国 FLUOR	~2023年のScope 1+2のGHG排出ネットゼロを目指しており、達成に向けてCarbon Capture, Carbon to Value、Carbon techに注力を表明	✓		✓	
米国 Honeywell	発電所や製鉄所等におけるCO2 分離回収については実績が少なく、今後燃焼後排ガスからのCCUSの事業展開の進め方に注目が必要	✓	✓	✓	✓
米国 BASF	近年は電気加熱式スチームクラッカーやメタン熱分解による水素製造等、CO2フリー生成プロセスの開発への注力度を向上	✓			
欧州 Carbon Clean	他社との提携/協業で商業規模での実証を進めており、特にセメント工場のCCS・CCU に注力しており、特にCBG(compressed biogas)領域を強化	✓			
欧州 Thyssenkrupp	製鉄所から排出される膨大な排ガスを産業全体で最適運用する構想で、~2030 年で30%、~2050年で0とする目標を掲げており、CCUに期待	✓			
欧州 Air Liquide	独自技術である「Cryocap」をCO2 関連の基幹技術と据えて開発・実証 産業ガスメーカーとしてCO2 直接利用に重点を置いている可能性		✓	✓	✓

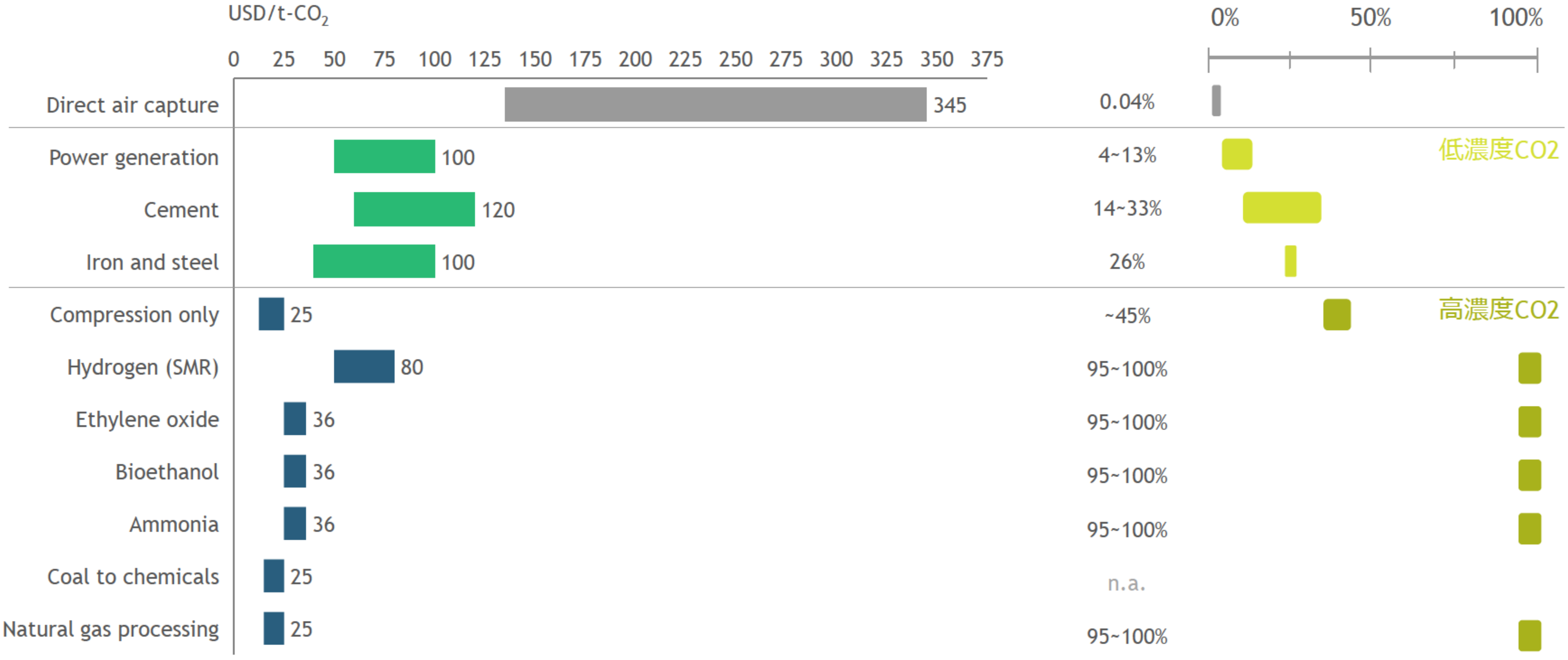
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

CO2分離回収は点源によりコストが異なり、大きく低濃度と高濃度が存在

CCUS-技術レイヤー: 回収源別CO2分離・回収コストとCO2濃度

CO2点源別回収コスト(2019年)

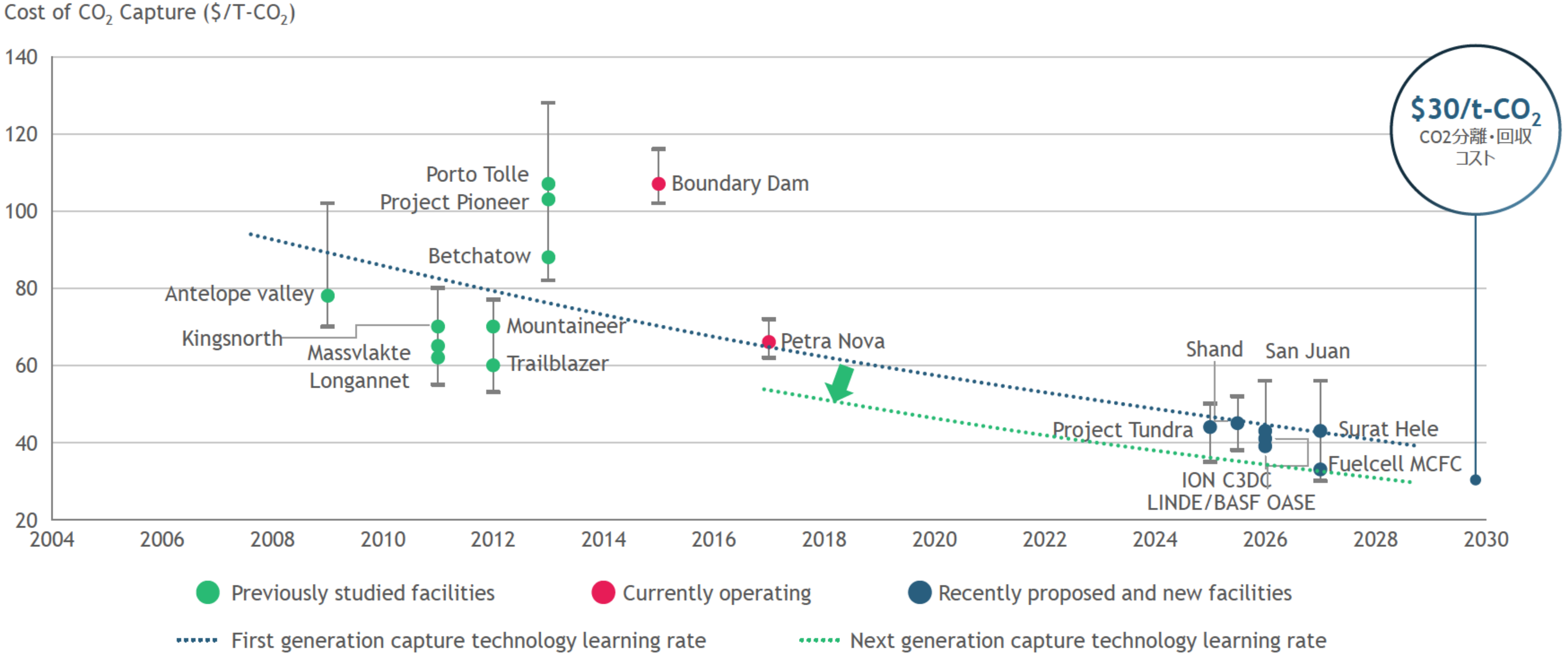
CO2濃度(CO2 concentration)



Source: IEA "CCUS in clean energy transition"(2020)

直近CCSプロジェクト開発動向を踏まえると、2030年時点のCO2分離・回収コスト相場は約$30/t-CO_2$の見込み

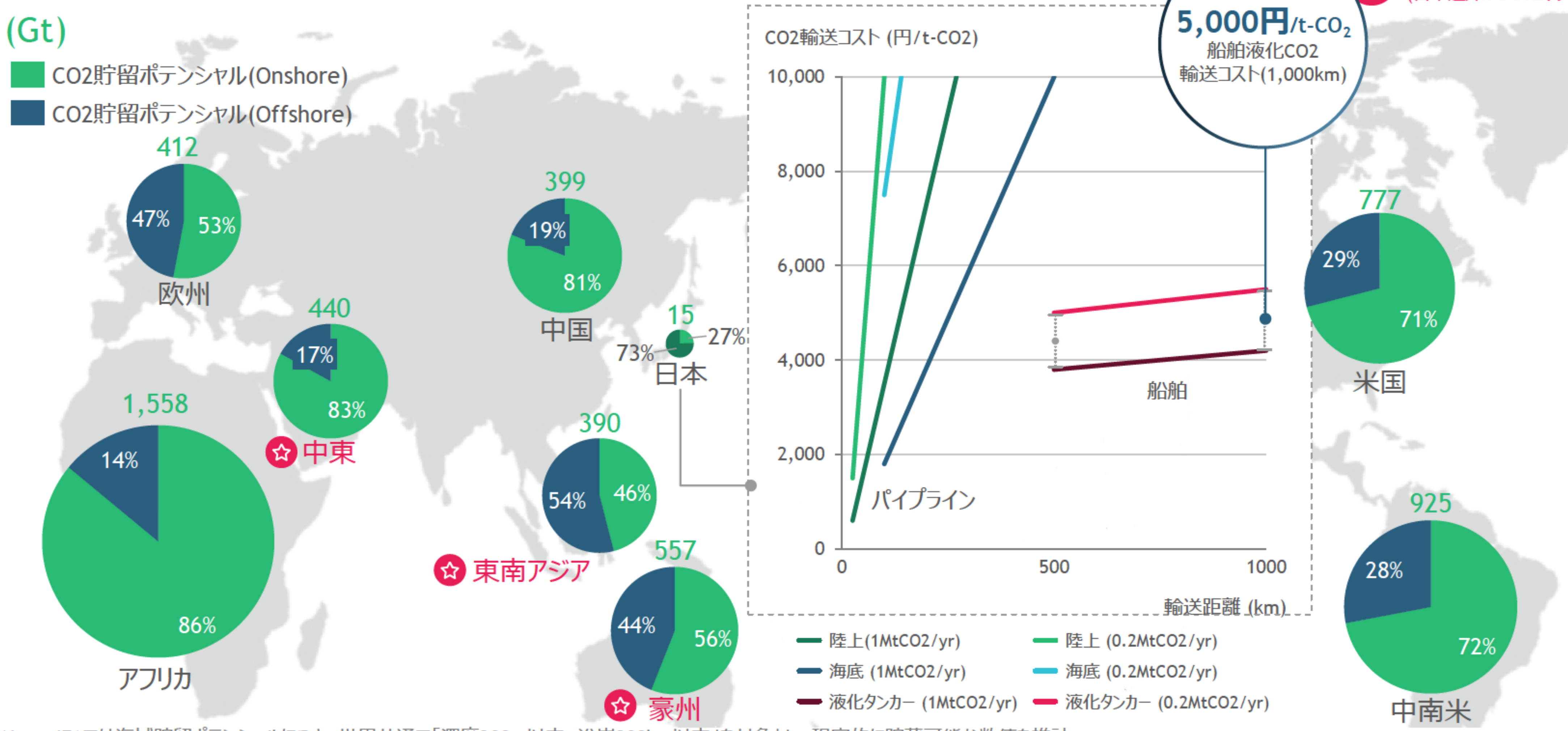
CCUS-技術レイヤー: グローバル直近プロジェクト動向を踏まえたCO2分離・回収コスト(~2030年)



Source: Global CCS Institute; BCG分析

日本~東南アジア(1,000km~)間でのCO2輸送で想定される船舶液化CO2コストは約5,000円/t-CO2の見込み

CCUS-技術レイヤー: グローバルのCO2貯留ポテンシャルと輸送コスト

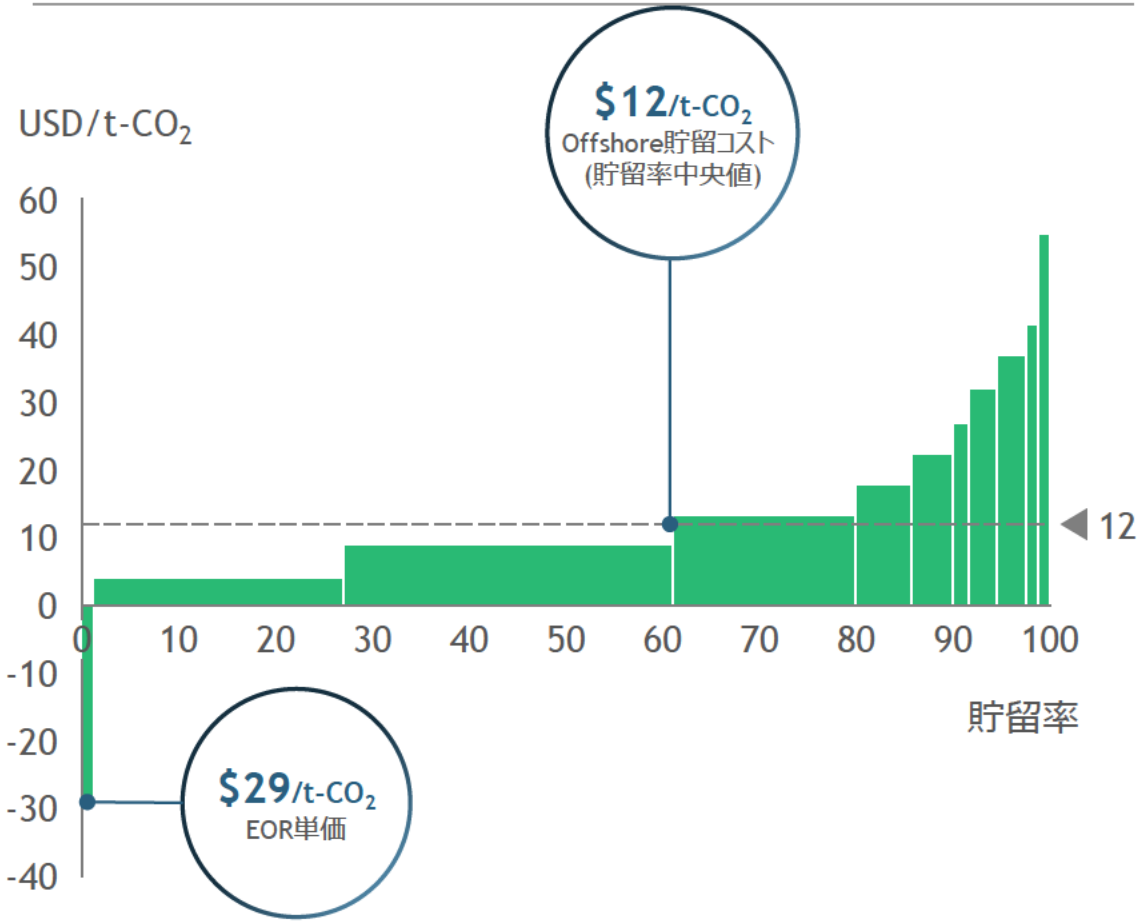


Note: IEAでは海域貯留ポテンシャルにつき、世界共通で「深度300m以内、沿岸300km以内」を対象とし、現実的に貯蔵可能な数値を推計
Source: IEA; 経済産業省; BCG分析

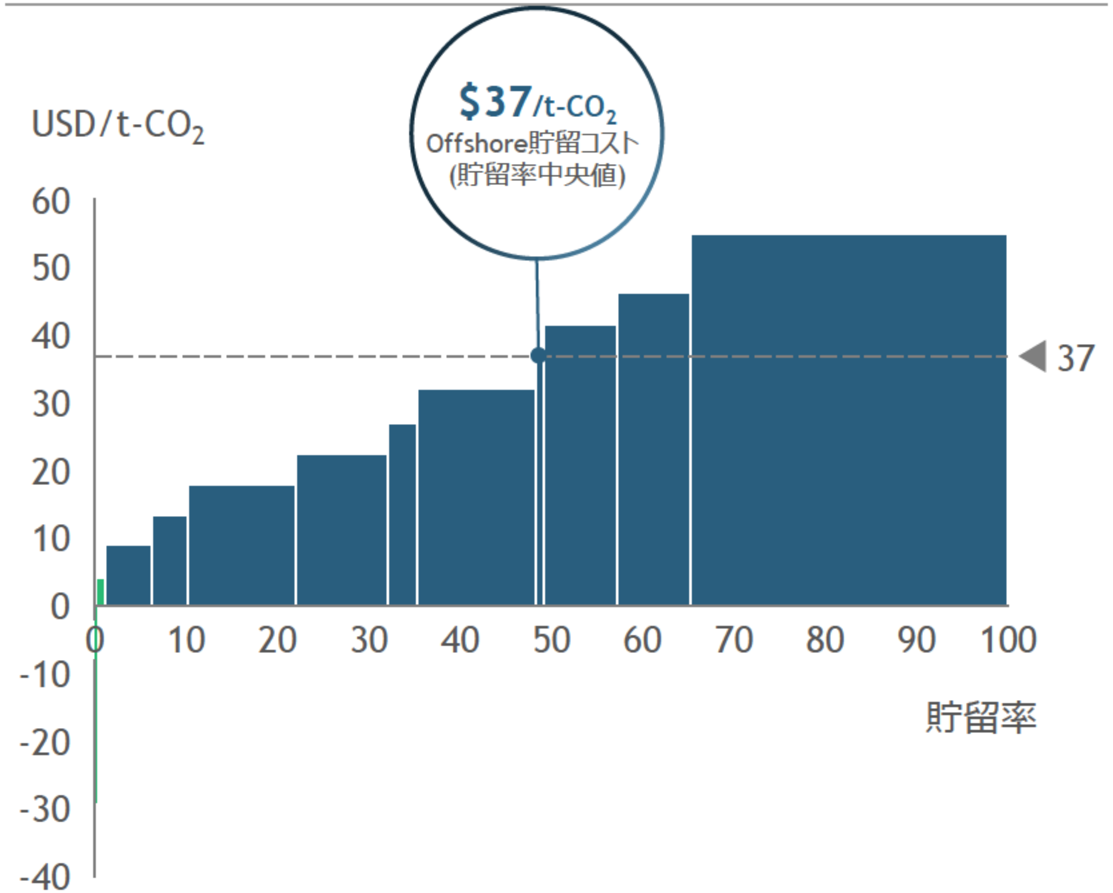
EOR/CO2貯留で先行する米国CCS事例を踏まえると、EOR単価:約$29/t-CO2、Onshore貯留コスト:$12/t-CO2、Offshore貯留コスト:$37/t-CO2と想定

CCUS-技術レイヤー: CO2貯留コスト(米国ケースを参照)

CO2貯留: Onshore



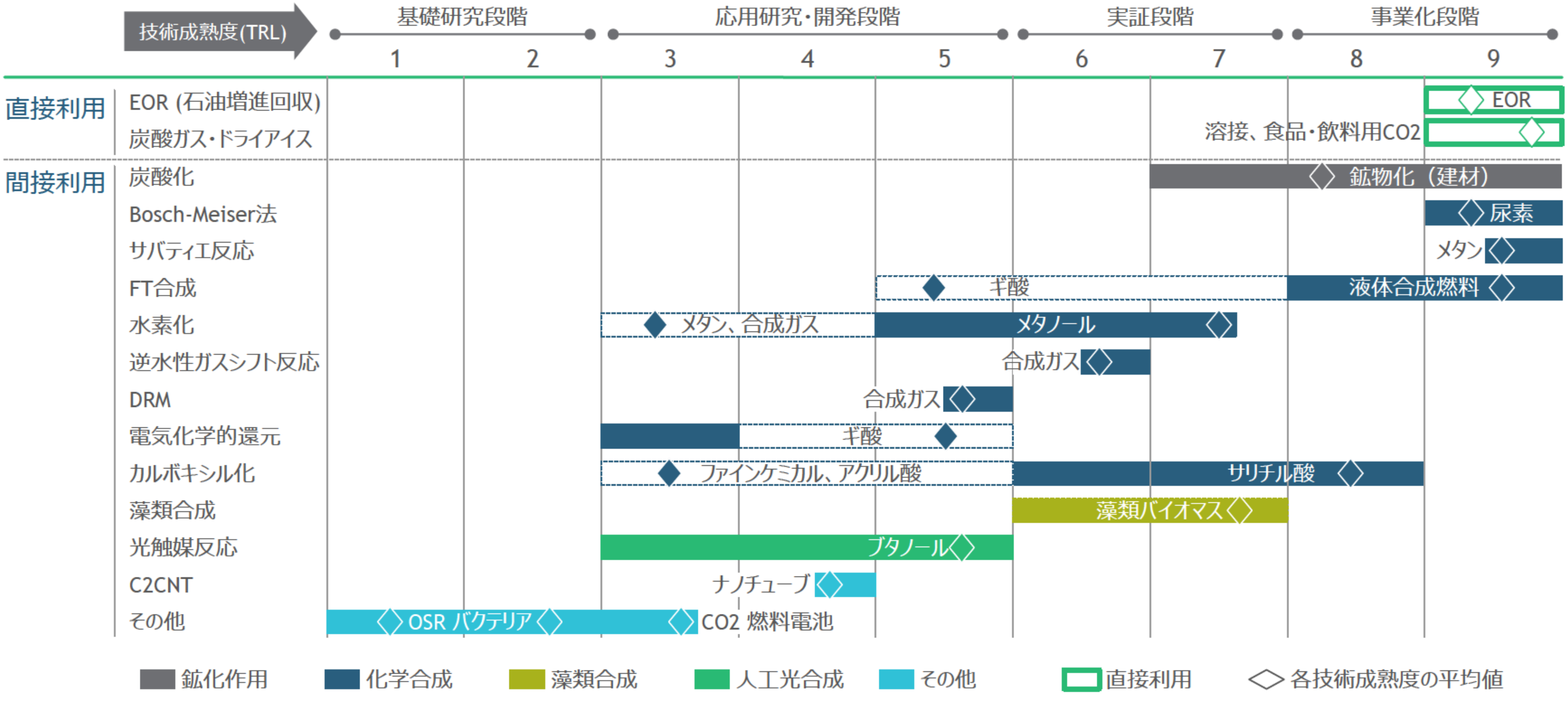
CO2貯留: Offshore



Source: IEA "CCUS in clean energy transition"(2020)

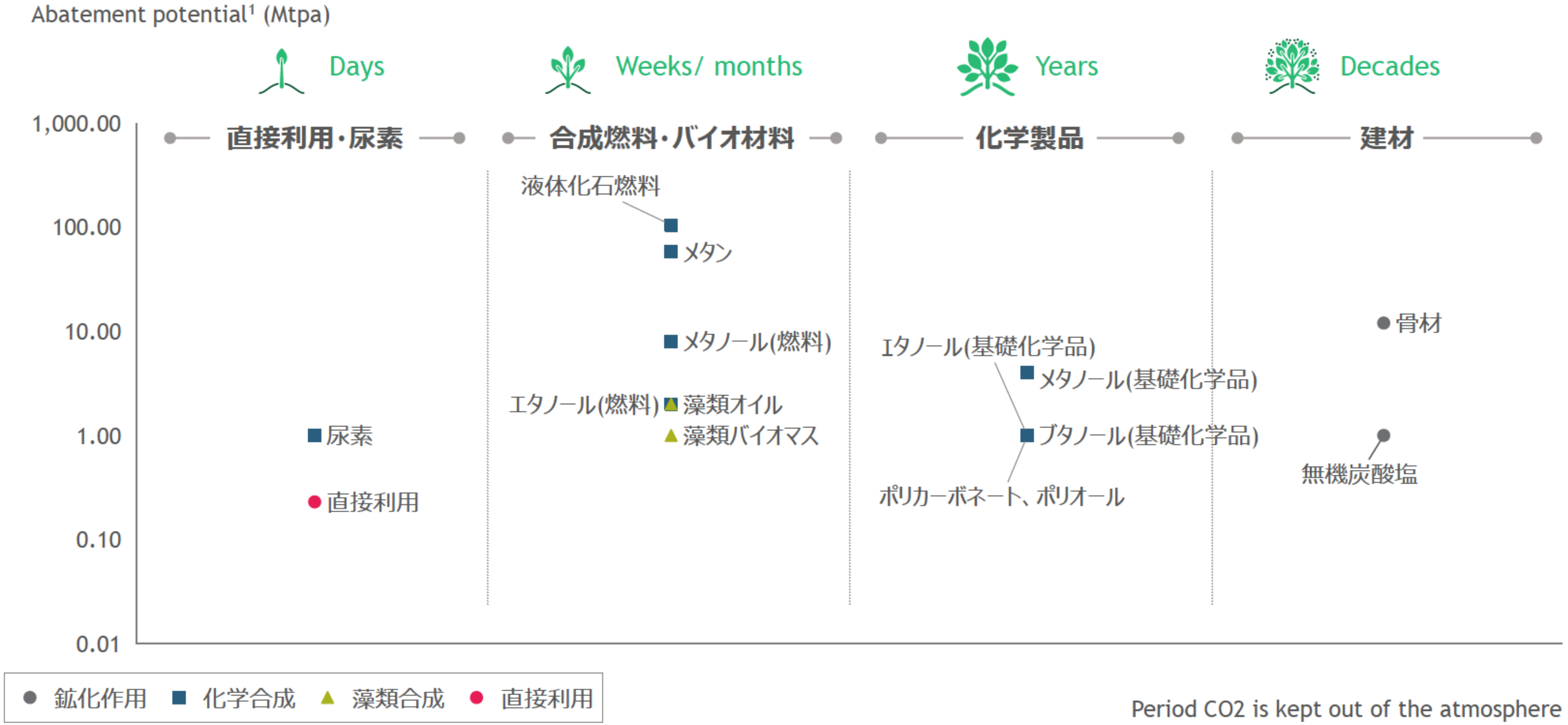
カーボンリサイクル技術の間接利用では、建材・合成燃料への利活用技術が特に成熟

CCUS-技術レイヤー: カーボンリサイクル技術成熟度



カーボンリサイクル技術の中では、建材や化学製品が比較的長期の固定化が可能

CCUS-技術レイヤー: カーボンリサイクル技術別のCO2固定化期間



1. Data based on case study in Spain. Prioritization is based on abatement potential (CO2 consumption) and maturity of technology with thresholds set at 10 Mtpa CO2 and TRL > 4 respectively

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

カーボンリサイクル技術実用化に向けて企業が化学品・燃料・鉱物等の幅広い領域で開発

CCUS-技術レイヤー: カーボンリサイクル取り組む企業及び製品

地域	CCU取組企業名	製品・生成物	CO2利用先領域: 化学品	CO2利用先領域: 燃料	CO2利用先領域: 鉱物	技術成熟段階 (基礎 / 実証 / 商用化)
日本	旭化成	ポリカーボネート	✓			商用化
日本	日本製鉄・千代田化工	パラキシレン	✓			基礎
日本	東ソー・産総研	ウレタン原料	✓			基礎
日本	三菱ケミカル	メタノール/オレフィン	✓			基礎
日本	国際輸出開発帝石・日立造船	メタン		✓		実証
日本	ユーグレナ	ジェット燃料(微細燃料)		✓		実証
日本	IHI	ジェット燃料(微細藻類)		✓		基礎
日本	中国電力・鹿島建設	CO2吸収コンクリート			✓	商用化
日本	宇部興産、日揮、出光、東北大学	セメント原料			✓	実証
日本	太平洋セメント、東京大学、早稲田大学	セメント原料			✓	実証
米国	Newlight Technologies(スタートアップ)	ポリマー(生体触媒活用)	✓			商用化
米国	Lanzatech(スタートアップ)	エタノール		✓		実証
米国	Opus 12(スタートアップ)	メタン、エタン、エタノール		✓		実証
米国	Solidia Technology(スタートアップ)	CO2吸収コンクリート			✓	商用化
米国	Fortera(スタートアップ)	CO2吸収コンクリート			✓	商用化
欧州	BASF (ドイツ)	アクリル酸	✓			基礎
欧州	Audi (ドイツ)	メタン		✓		実証
欧州	O.C.O Technology (英、スタートアップ)	軽量骨材			✓	商用化
欧州	LafargeHolcim、等(フランス)	セメント原料			✓	実証

Source: 経済産業省 資源エネルギー庁「2050年カーボンニュートラルの実現に向けた検討(令和2年12月21日)」; : 各種公開情報を基にしたBCG分析

主要プレイヤーは分離・輸送・貯留・利用のうち、複数チェーンを跨いで事業開発を推進

CCUS-ビジネスレイヤー: CCUS事業実施企業の参入チェーン

	企業名	企業動向	CO2チェーンにおける各社の事業開発領域							
			分離・回収・圧入				輸送		貯留	利用
			CO2排出源			分離回収	パイプライン	船舶輸送	貯留	利用
			発電	鉄鋼	化学					
日本	日鉄エンジニアリング	2030 年までに、製鉄所から排出されるCO2 の回収・貯留技術の実用化に向けた開発を推進		✓		✓	✓		✓	✓
日本	JERA	「JERAゼロエミッション2050ロードマップ」では主力の火力発電でのアンモニア混焼・水素混焼を進め、その過程で排出されるCO2はCCUS技術で回収	✓				✓		✓	✓
日本	三菱重工エンジニアリング	「グローバルリーダー」としての地位確立を目指し、量産効果の創出や設備の標準化にで「CO2回収プラント」コストの約3割削減見通しを表明				✓		✓	✓	✓
米国	Exxon Mobil	2030年までに業界トップクラスの温室効果ガス排出量を目指し、Carbon Capture等二酸化炭素削減に資する研究開発へ継続的な投資を表明			✓	✓			✓	✓
米国	Denbury	2030年までにCO2排出量のネットゼロを目指しており、これまで同様EOR戦略に重点を置き、産業用CO2の回収割合を増やす取り組みを続ける方針					✓	✓	✓	✓
欧州	EVONIK	強みのガス分離膜の一つ、CO2分離膜を成長事業に位置づけ／CCUは実用化取り組みを加速／エンジニアリング企業と共同開発で最適化			✓	✓				✓
欧州	Equinor	これまでに23Mt-CO2を貯留／今後はCCSを実用化し、石油・ガスの生産を脱炭素化するための新しいビジネスモデルを模索			✓		✓	●	✓	✓

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

世界や各国でCCUS関連の取組みの情報開示等に関連するイニシアチブが組成

CCUS-マーケットレイヤー: CCUS関連イニシアチブ

地域	イニシアチブ名	参画機関・企業	設立の目的	取り組みの特徴
アジア	アジアCCUSネットワークフォーラム	東アジア・アセアン経済研究センター(ERIA)、経済産業省	• アジア全域でのCCUS活用に向けた環境整備や知見を共有することを目的 • 2020年11月の第14回東アジアサミットエネルギー大臣会合(EAS-EMM)において提案、各国から歓迎	• CCUSに関する知識・経験の共有のためのキャパシティビルディングやワークショップ、事業環境整備に向けた調査等、アジア全域でのCCUS普及に向けた活動を行う予定
世界	CEM CCUSイニシアチブ	11ヶ国が参加 • 日、米、加、英、オランダ、ノルウェー、中、南アフリカ、メキシコ、サウジアラビア、アラブ首長国連邦(UAE)	• クリーンエネルギー大臣会合(CEM)は、クリーンエネルギー分野の世界的普及・促進を目指す閣僚会合 • ベストプラクティスを共有する等の国際協力を通じたCCUSの推進	• CEMの対象のクリーンエネルギー技術の範囲にCCUSを含める • 民間セクター、政府、投資コミュニティがCCUSの展開を加速させるための持続的なプラットフォームを構築 • ビジネスケース改善にむけ短長期の投資機会特定を促進 • 統合されたクリーンエネルギーシステムの一部としてのCCUSに関する新たな政策、規制、投資のベストプラクティスを普及
	OGCI CCUS KickStarter イニシアチブ	石油・ガス大手12社 • BP、Eni、レプソル、サウジアラムコ、ロイヤル・ダッチ・シェル、スタトイル、トタル、ペメックス、リライアンス、中国石油天然気集団	• 世界中の複数の産業ハブを脱炭素化 • 経済性があり、安全かつ環境責任を果たすことができるCCUS産業を促進することにより、2030年までに、貯留されたCO_2の量を現在の2倍に増加	• 石油・ガス上流部門での平均排出量(炭素強度)を石油換算バレル当たりの二酸化炭素(CO_2)換算(CO_2e/boe) で2017年実績23キロから、25年までに20-21キロに削減することで合意
	グローバルCCSインスティチュート	政府会員と多国籍企業 • 政府会員: 米国、英国、中国、日本、オーストラリア政府 • 多国籍企業: シェル、エクソンモービル、BHP Billiton、東芝、三菱重工業、川崎重工業等	• 気候変動に取り組み、気候中立性を実現するために不可欠な技術である、炭素回収貯留（CCS）の展開を加速	• 所内の専門家チームで専門知識を共有し、能力を構築 • インスティテュートの会員にアドバイスとサポートを提供することにより、共に協力しながら、CCSの展開を推進

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

CCS事業実施には事業前後も含めて規制整備が必要、国・地域ごとに検討が進展

CCUS-マーケットレイヤー: CCSのバリューチェーン毎の規制に関する論点・海外政府の検討状況

	全般	事業計画段階		事業運営段階					事業後
		サイト選定	貯留地特性評価	計画・開発	財務保証	操業			閉鎖・移行
						運搬	貯留	モニタリング	
論点	CCUS/CCSの包括的規制の有無 • CCUS/CCSを既存の石油・ガス産業や環境関連の法規制枠内で管理 • CCUS/CCSに特化した新規法規制の導入	サイト選定における特定技術の要否 • サイト選定方法・探査方法に特定の技術を適用することが求められているか 地元理解の獲得 • 安全面、他産業への影響面での懸念について	CO_2海底圧入の取り扱い • ロンドン条約ロンドン議定書における取扱いへの対応 (船舶による運搬及び海底圧入が関係する事業に限る)	土地利用・所有権および許認可 • 既存の国内法において地上・地下(孔隙空間含む)の所有権・利用権の有無	財政的責任の有無 • CCUS/CCSに関連する許認可を受ける条件として、財政的責任に係る要件の有無とその厳格性	CO_2の越境移動取扱い • CO_2 越境移動に係る法規制の有無	CO_2の扱いに関する分類 • 汚染物質、廃棄物 (地中圧入が廃棄とみなされるか) 等 • コモディティ (CO_2の売買)	CO_2漏洩等のモニタリング手法 • 明示されたモニタリング手法の有無	サイト閉鎖後の法的責任と損害への対処法 • CCS-EORサイトの閉鎖後のライアビリティの所在、対象期間、責任の移転等についてのルール
各国検討状況	• 米国/カナダは既存の法規制枠内で対応、EU/英国/ノルウェーは新規に包括的規制を導入	• EU/英国/ノルウェーでは、特定の技術・手法の特定が求められる一方、米国/カナダ等では同様の適用を言及	• ノルウェー/オランダ/英国で積極的に対応	• カナダ/英国は明確に所有権・利用権を定義、米国は不明瞭	• EU/英国/米国/ノルウェーで厳格な要件あり	• EU/英国/米国/カナダ/ノルウェーでは、廃棄物輸送等に係る法規制から適応外となり、陸上越境移動が可能	• 全般で明確な定義を有していないが、米国/カナダではコモディティ色が強く、EUでは廃棄物色が強い	• EU/英国/米国/カナダ/ノルウェーでは、モニタリング手法を提示	• 対象期間を、EU/英国/ノルウェーは20年間、米国は50年間と設定

Source: 三菱総合研究所「令和元年度二国間クレジット取得等のためのインフラ整備調査事業(CCUS国際連携事業)報告書」; BCG分析

日本では、CO2カウントに関する論点整理が進展

CCUS-マーケットレイヤー：CO2カウントの考え方

			案1	案2	案3	案4
概要			排出削減の二重カウントを認めない制度等を前提に、**RCF利用の誘因を最大化**しつつ、CO2回収の誘因を確保する案	排出削減の二重カウントを認めない制度等を前提に、**CO2回収の誘因を最大化**する案	排出削減の二重カウントを認めない制度等を前提に、**CO2回収とRCF利用の双方で按分**する案	**CO2回収とRCF利用の双方の誘因を最大化**する案
差分	二重カウントの可否		× 二重カウントを認めない	× 二重カウントを認めない	× 二重カウントを認めない	○ 二重カウントの方針
	CO2排出負担	原排出/回収側	△ 排出計上	○ CO2排出をゼロとカウント	△ 案分	○ CO2排出をゼロとカウント
		利用側	○ CO2排出をゼロとカウント	△ 排出計上	△ 案分	○ CO2排出をゼロとカウント
効果	RCFの扱い・利用促進		○ 「CO2排出を計上しない燃料」の扱いとすればインセンティブが最大	△ 化石燃料と同じくCO2を排出する燃料という扱い	○ RCFの利用促進やカーボンリサイクルの回る社会・経済の実現は十分に可能	—
	回収CO2の利用価値		○ 価値が最大となり、回収CO2の有償取引が期待	△ 価値はマイナスであり、逆有償でなければ引き取り手が見込めない	—	—
	国際的なルールとの整合		○ EU-ETSの改正案でも二重カウントは認めない考え方	○ EU-ETSの改正案でも二重カウントは認めない考え方	○ EU-ETSの改正案でも二重カウントは認めない考え方	× Jクレジットで認められていない EU-ETS改正案でも認めない考え方

Source: 資源エネルギー庁「CO2カウントに関するタスクフォースでの検討状況【CO2カウントに関する論点の整理（案）】」

本報告書構成

開発動向分析: プロジェクトアプローチ全体像

A 技術

- A-1 将来産業化が期待されるネガティブエミッション技術(NETs)の特定
- A-2 対象NETsの詳細評価
- A-3 対象NETsの社会実装に向けた課題分析

B 開発主体

- B-1 大学/研究機関等によるNETsの技術開発動向分析
- B-2 企業によるNETsの事業開発動向分析
- B-3 海外比較に基づく日本の開発現状・実態分析

C 仕組み

- C-1 NETs開発/社会実装に向けた政策支援動向分析
- C-2 NETs社会実装に向けた市場動向分析(VCC等)
- C-3 海外動向を踏まえた日本の仕組みの方向性

未来の産業育成プラン(統合化)

Source: BCG

開発動向分析: 論点全体像

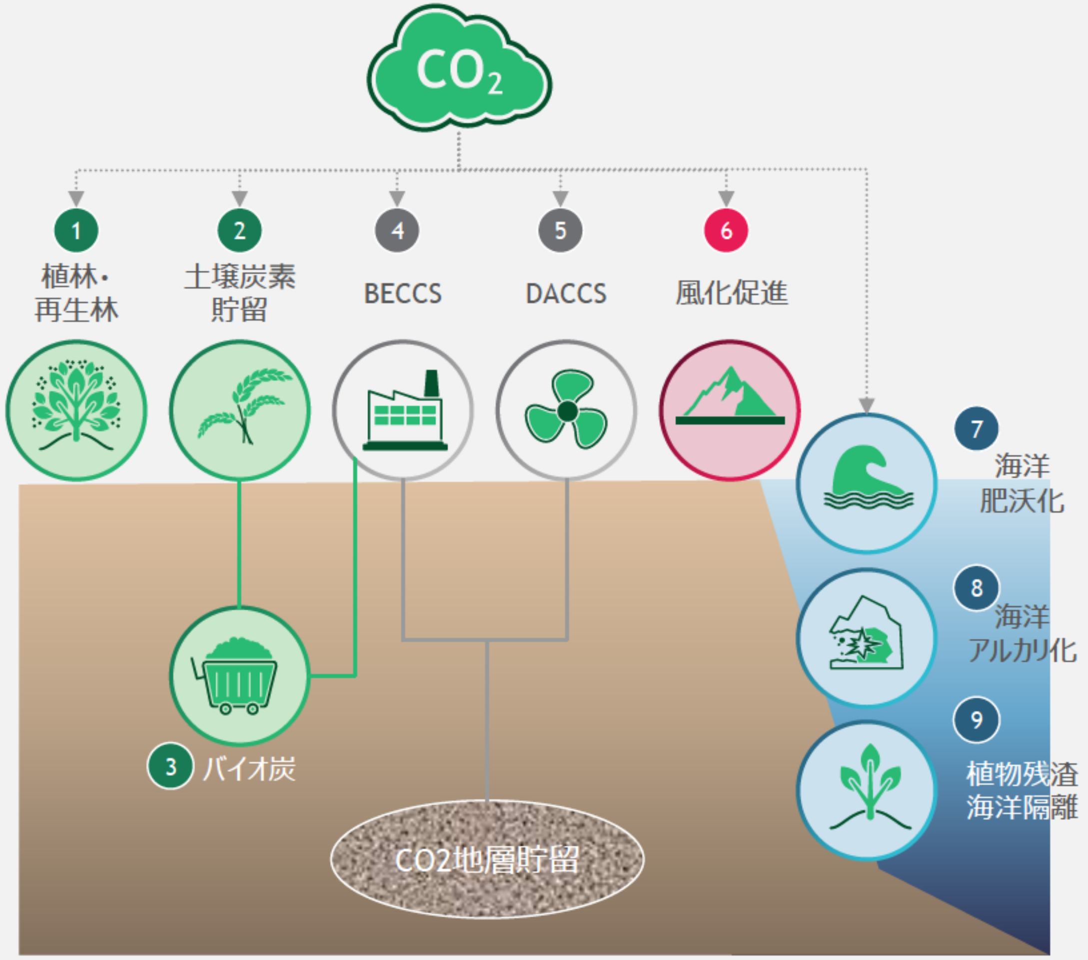
区分	論点構造	2050年を見据えた日本の未来の産業を育成するために、日本としてどのような技術を対象に、どのような方向性を打ち出すべきか？
A 技術	A-1 将来産業化が期待されるネガティブエミッション技術(NETs)の特定	• 将来的に日本での産業化が期待されるネガティブエミッション技術は何か？
	A-2 対象NETsの詳細評価	• 対象となるNETsの実態を把握するために、どのような評価視点が必要か？ • 上記評価視点に基づくと、各NETsはどのような技術的特性を包含しているか？
	A-3 対象NETsの社会実装に向けた課題分析	• 各NETsは、どのような技術固有の課題を抱えているか？ • 日本がNETsを開発/社会実装する上で、どのような構造的な課題を抱えているか？
B 開発主体	B-1 大学/研究機関等によるNETsの技術開発動向分析	• どのような大学/研究機関、どのような研究者がNETs技術開発を主導しているか？
	B-2 企業によるNETsの事業開発動向分析	• どのような企業が、NETs事業開発を主導しているか？
	B-3 海外比較に基づく日本の開発現状・実態分析	• NETsに係る海外開発動向との比較において、日本が相対的に進んでいる、または遅れている要素は何か？
C 仕組み	C-1 NETs開発/社会実装に向けた政策支援動向分析	• NETsの社会実装に向けた海外諸外国の政策的な支援の仕組みは何か？
	C-2 NETs社会実装に向けた市場動向分析	• NETsの社会実装に向けた海外諸外国の民間主導な仕組みは何か？(VCC: Voluntary Carbon Credits等)
	C-3 海外動向を踏まえた日本の仕組みの方向性	• NETsの社会実装に向けて、日本の現状/実態、及び構造的に抱える課題を踏まえた上で、海外動向も参考に推進していくべき仕組みの方向性はどのようなものか？

Source: BCG

サマリ: 9つのネガティブエミッション技術(NETs)

NETs分類		技術プロセス: 自然プロセス人為的加速	技術プロセス: 工学的プロセス	技術概要
森林系	1 植林・再生林	✓		植林: 新たな土地の森林化 再生林: 破壊・減少した森林への植林
森林系	2 土壌炭素貯留	✓		木材等有機物に炭素を吸収させ、土壌貯蔵することで自然分解によるCO2発生を防止
森林系	3 バイオ炭	✓		バイオマスを炭化することで炭素を固定
CCS系	4 BECCS		✓	バイオマスエネルギーの燃焼により発生したCO2を回収・貯留
CCS系	5 DACCS		✓	大気中のCO2を直接回収・貯留
6 風化促進		✓		玄武岩・橄欖石等の岩石を粉砕・散布し、風化の人工的促進によりCO2を吸収
海洋系	7 海洋肥沃化	✓		海洋への鉄種等散布により生物学生産を促進し、CO2吸収・固定化を人工的に加速
海洋系	8 海洋アルカリ化	✓		海水にアルカリ性物質を散布し、海洋の自然な炭素吸収を促進
海洋系	9 植物残渣海洋隔離	✓		海洋における植物残渣に含まれる炭素を半永久的に隔離

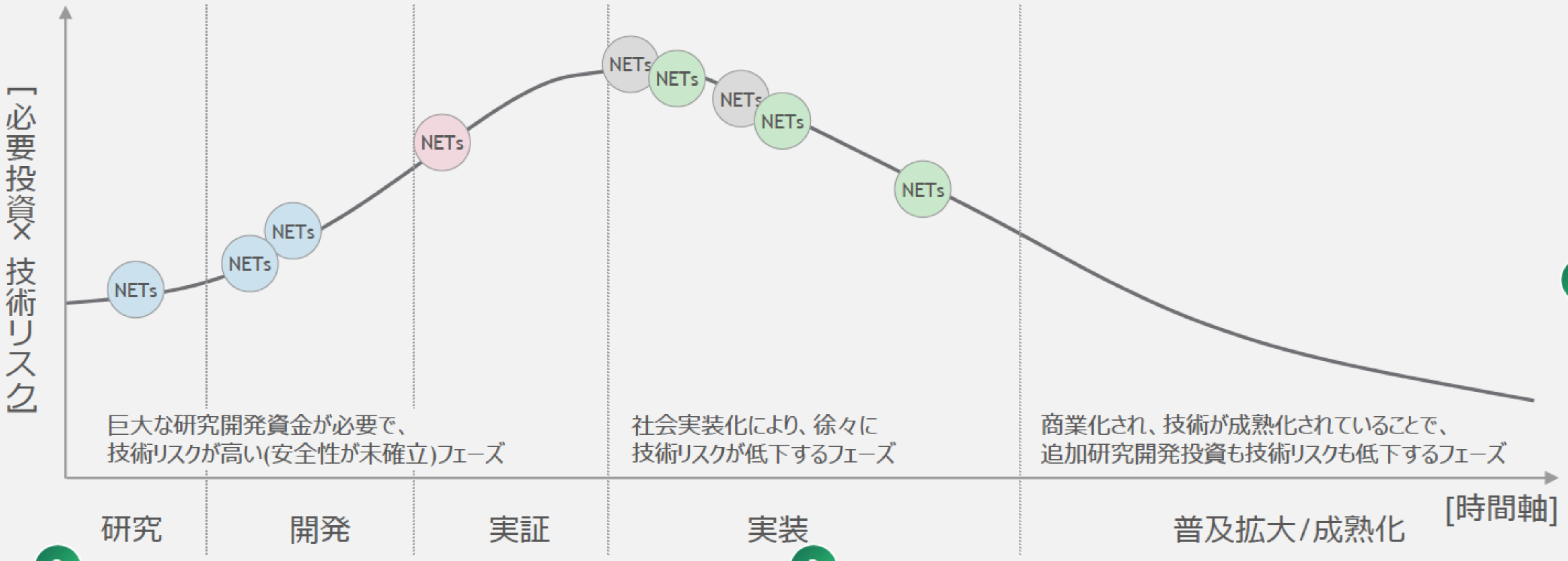
技術導入イメージ



Source: BCG分析

サマリ: NETs等の未来の産業育成に向けた方向性

1 技術ポートフォリオ管理に基づくNETs推進資源配分
主要NETsはそれぞれ技術成熟度が異なっていることから、各NETsの技術成熟度/リスクを適切に評価の上、ポートフォリオ管理に基づく資源配分方針を策定



2 長期的視野に立った継続的な技術開発支援
未来の技術であるNETsは、2040~50年に向けたスパンで、継続的な研究開発資金支援と人材育成支援を実施

3 "仕組み化"による社会実装支援
技術をマネタイズするために、VCC等の市場創出や、技術の標準化に向けたルール策定など仕組み構築を推進

4 農林水産業政策との統合推進
森林系・海洋系技術が中心のNETsは、農林水産業と密接な関係性を持つため、日本国内でのNETs産業育成においては、農林水産業政策と統合化して推進

5 複数ステークホルダーによるエコシステム形成
NETs産業育成に向けては、政府/民間企業/投融資家/大学・研究機関/自治体等の多様なステークホルダーを巻き込んだ"エコシステム"を形成して、産業育成を主導

Source: BCG分析

本報告書構成

サマリ: ネガティブエミッション技術(NETs)定量評価

NETs分類		TRL	グローバル総論文数[1] (対象期間: 2012-2022)	CO2削減コスト $/tCO2[2]	(範囲)	年間CO2削減量 GtCO2/年[3]	(範囲)	削減効果の確認[4]	土地利用量[5] ㎡/tCO2/年	エネルギー投入量 GJ/tCO2	日本: 論文数[1] ( )内%数値はグローバル総論文数に占める日本論文数比率
		A 技術成熟度		B CO2削減コスト		C CO2削減ポテンシャル			D 必要リソース		
森林系	1 植林・再生林	9	11,401	27	5~50	4.1	0.2~10.5	済	978		275 (2.4%)
森林系	2 土壌炭素貯留	7	3,843	50	-45~100	2.7	0.4~8.6	要			78 (2.0%)
森林系	3 バイオ炭	6	19,634	75	0~121	2.0	0.2~4	済	580		328 (1.7%)
CCS系	4 BECCS	7	432	149	60~200	5.0	0.5~16.1	済	379		20 (4.6%)
CCS系	5 DACCS	6	376	154	94~400	2.9	0.4~8	済	4	5.4	12 (3.2%)
	6 風化促進	4	2,125	125	50~200	3.0	1.2~7.6	要	29	1.5	54 (2.5%)
海洋系	7 海洋肥沃化	3	591	67	23~111	4.4	2.6~6.2	要			30 (5.1%)
海洋系	8 海洋アルカリ化	3	291	305	10~600	11.0	2~20	要		10.0	18 (6.2%)
海洋系	9 植物残渣海洋隔離	2	379	72	50~94	0.9	0.7~1	済			17 (4.5%)

1. 論文数は2022年2月18日時点の調査結果 ;2. 2050年想定のCO2削減コストの中央値 2. 2050年想定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.CO2削減効果が確認されコンセンサスを得ているか; 4. 年間1トンのCO2削減に必要な面積・植林・再生林は北海道全体（8.3万㎢）で0.85億tCO2/年の削減に相当、PVは10程度（効率18%, 稼働率12%, 0.5kgCO2/kWhを代替）
Source: NEDO ネガティブエミッション技術(NETs)に関する分析; Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

サマリ: NETs各技術社会実装化に向けた見立て

NETs技術分類 | 定量評価に基づく技術間相対評価 = 社会実装化に向けた見立て

[凡例]
- ◎ 9技術の内、高評価3技術
- ○ 9技術の内、中評価3技術
- △ 9技術の内、低評価3技術

A 技術成熟度 × B CO_2削減コスト × C CO_2削減ポテンシャル × D 必要リソース

分類	No.	技術	A 技術成熟度（TRLを基に評価／高成熟度＝高評価）	B CO_2削減コスト（t/CO_2当たり削減コストを基に評価／低コスト＝高評価）	C CO_2削減ポテンシャル（年間CO_2削減ポテンシャル総量を基に評価／高ポテンシャル＝高評価）	D 必要リソース（土地利用、エネルギー投入量を基に評価／低必要リソース＝高評価）	社会実装に向けた優位点	社会実装に向けた制約/ボトルネック
森林系	1	植林・再生林	◎	◎	○	△	技術的には成熟し事業モデルも立ち上がっており、単位当たり削減コスト/ポテンシャルも高い	広大な土地確保が必要な点が制約であり、場合によっては土地整備に追加投資を要する
森林系	2	土壌炭素貯留	◎	◎	△	◎	技術的成熟度が高く、CO_2削減コストも相対的に低く、追加リソースは不要	CO_2削減ポテンシャルは相対的に低く、かつ削減効果が不透明で検証が必要
森林系	3	バイオ炭	○	○	△	△	技術的にはシステムレベルまで成熟しており、CO_2削減コストは相対的には低い	土壌埋没に相当の土地が必要で、かつCO_2削減ポテンシャルも低いため、低効率性が難点
CCS系	4	BECCS	◎	△	◎	○	技術的には商用化段階で、高いCO_2削減ポテンシャルも期待できる	バイオマス発電＋貯留用地が必要で、プロセス設計含めたCO_2削減高コストが制約
CCS系	5	DACCS	○	△	○	○	システムレベルの技術開発が推進中で、CO_2削減ポテンシャルは比較的高い	希薄なCO_2(~400ppm)回収に多大な熱/電気が必要で、CO_2削減高コストが制約
	6	風化促進	○	○	○	○	9つのNETs内ではCO_2削減コストは比較的低く、CO_2削減ポテンシャルは比較的高い	リソース観点では追加的な土地/エネルギーの双方が必要で、CO_2削減効果検証も不十分
海洋系	7	海洋肥沃化	△	◎	◎	◎	追加的な土地/エネルギーも不要で、低コストで多くのCO_2削減効果が期待できる	技術的には未成熟で不確実要素が多く、削減効果の更なる追加的検証が必要
海洋系	8	海洋アルカリ化	△	△	◎	△	効果は未検証なものの、CO_2削減ポテンシャルは極めて高い	CO_2削減コスト/必要リソースは9つのNETsの中で最も高く、経済合理性が制約
海洋系	9	植物残渣海洋隔離	△	○	△	◎	追加リソースを必要とせず、CO_2削減コストも相対的/比較的には低位	9つのNETsの中で技術的に最も未成熟で、CO_2削減ポテンシャルは最低位

Source: BCG分析

日本は相対的には海洋関連のネガティブエミッション技術の研究が盛ん

NETsのグローバル論文総数と国別論文数比率

NETs関連論文動向(対象論文時間軸: 2012-2022年/調査日時: 2022年2月18日時点)

NETs分類		グローバル総論文数	日本	英国	フランス	ドイツ	米国	中国	Others
森林系	1 植林・再生林	11,401	2.4	7.8	3.8	6.9	26.1	26.0	37.5
森林系	2 土壌炭素貯留	3,843	2.0	8.6	5.6	8.8	24.7	33.6	32.3
森林系	3 バイオ炭	19,634	1.7	4.1	1.8	4.2	15.9	47.4	35.0
CCS系	4 BECCS	432	4.6	30.8	5.1	15.7	27.5	8.3	31.3
CCS系	5 DACCS	376	3.2	15.4	1.6	11.2	36.4	14.1	29.8
	6 風化促進	2,125	2.5	8.8	7.1	8.1	22.7	25.8	39.7
海洋系	7 海洋肥沃化	591	5.1	19.1	21.7	17.4	34.7	8.5	26.2
海洋系	8 海洋アルカリ化	291	6.2	16.2	7.6	21.6	30.2	15.5	29.6
海洋系	9 植物残渣海洋隔離	379	4.5	21.1	11.1	18.5	45.4	15.0	18.7

(国別の列: 論文総数に占める国別論文数比率)

国を跨ぐ共同論文はダブルカウントしており、上記の比率算出の分母は総論文数とは異なる
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

(参考) 日本は相対的には海洋関連のネガティブエミッション技術の研究が盛ん

NETsのグローバル論文総数と国別論文数比率 (CO2同意語 AND検索[1])

NETs分類 / NETs関連論文動向(対象論文時間軸: 2012-2022年/調査日時: 2022年2月18日時点)

論文総数に占める国別論文数比率

NETs分類		グローバル総論文数	日本	英国	フランス	ドイツ	米国	中国	Others
森林系	1 植林・再生林	768	3.0	13.2	3.4	10.0	25.8	27.9	36.6
森林系	2 土壌炭素貯留	1,030	3.6	11.0	4.4	9.2	24.9	31.8	32.8
森林系	3 バイオ炭	2,090	1.9	6.2	2.0	6.9	17.1	41.0	36.8
CCS系	4 BECCS	329	3.6	31.6	5.5	14.0	27.1	7.6	33.7
CCS系	5 DACCS	370	3.2	15.4	1.6	11.6	37.0	13.5	29.5
	6 風化促進	1,397	2.5	10.0	5.9	7.4	21.1	23.1	43.0
海洋系	7 海洋肥沃化	173	3.5	27.7	15.0	30.1	37.0	9.8	22.0
海洋系	8 海洋アルカリ化	148	5.4	20.9	9.5	30.4	39.2	8.8	18.9
海洋系	9 植物残渣海洋隔離	209	6.2	23.4	11.0	20.6	43.5	15.3	15.8

国を跨ぐ共同論文はダブルカウントしており、上記の比率算出の分母は総論文数とは異なる
1. 前頁と同一キーワード調査に、AND条件として"CO2"同意語("CO2" OR "carbon dioxide" OR "carbon di oxide" OR "carbon di-oxide" OR "carbondioxide")を追加
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

中国の研究がハイペースで増加。日本ではDACCSと海洋肥沃化の論文発行が盛ん

NETsの国別論文発行伸長率

NETs分類 / NETs関連論文発行伸長率 (CAGR: 2017-2021年/調査日時: 2022年2月28日時点)

Value: Low – High

NETs分類		Global	日本	英国	フランス	ドイツ	米国	中国	Others
森林系	1 植林・再生林	13%	8%	18%	9%	13%	5%	26%	9%
森林系	2 土壌炭素貯留	13%	2%	14%	9%	22%	4%	22%	10%
森林系	3 バイオ炭	29%	35%	17%	21%	17%	12%	37%	28%
CCS系	4 BECCS	33%	32%	16%	32%	41%	24%	44%	44%
CCS系	5 DACCS	52%	73%	27%	N/A	N/A	37%	46%	61%
	6 風化促進	11%	50%	-1%	19%	36%	6%	18%	7%
海洋系	7 海洋肥沃化	0%	63%	-9%	24%	4%	11%	29%	-14%
海洋系	8 海洋アルカリ化	9%	N/A	-4%	0%	-20%	29%	50%	2%
海洋系	9 植物残渣海洋隔離	1%	0%	-5%	-4%	0%	0%	29%	6%

Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

技術ではCCS系が多く、日本の論文では植物残渣海洋隔離の平均引用数が高い

NETsの1論文あたりの平均引用件数における技術別/国別比較

NETs分類 | NETs関連論文の平均引用数 (対象論文時間軸: 2012-2022年/調査日時: 2022年2月28日時点)

Value: Low — High

NETs分類		Global	日本	英国	フランス	ドイツ	米国	中国	Others
森林系	1 植林・再生林	14.3	10.8	23.2	24.9	21.9	20.5	15.6	10.4
森林系	2 土壌炭素貯留	26.3	18.1	45.6	41.1	36.7	41.1	23.4	18.8
森林系	3 バイオ炭	23.8	18.0	34.5	20.8	34.0	34.5	24.1	20.1
CCS系	4 BECCS	27.0	22.2	40.9	28.6	64.9	42.6	20.5	17.6
CCS系	5 DACCS	24.3	18.8	50.9	24.3	60.2	33.0	14.8	20.8
6 風化促進		20.7	11.2	44.8	25.0	27.6	25.0	18.7	16.8
海洋系	7 海洋肥沃化	22.7	29.6	43.9	25.1	32.3	31.1	13.6	18.2
海洋系	8 海洋アルカリ化	19.5	20.1	28.5	35.3	26.0	22.9	19.5	15.1
海洋系	9 植物残渣海洋隔離	27.8	59.1	38.0	46.9	39.4	32.8	19.4	25.8

Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

イギリスのDACCS論文の引用伸長率が顕著。日本は風化促進の論文の伸び率が大きい

NETsの論文引用伸長率における技術別/国別比較

NETs分類 | NETs関連論文引用伸長率 (CAGR: 2017-2021年/調査日時: 2022年2月28日時点)

Value
Low High

NETs分類								Others
森林系	1 植林・再生林	36%	41%	30%	32%	35%	47%	29%
森林系	2 土壌炭素貯留	40%	37%	37%	40%	32%	48%	29%
森林系	3 バイオ炭	49%	42%	47%	45%	40%	69%	48%
CCS系	4 BECCS	20%	77%	44%	65%	76%	67%	87%
CCS系	5 DACCS	40%	122%	50%	N/A	76%	68%	43%
6 風化促進		63%	32%	24%	43%	34%	47%	28%
海洋系	7 海洋肥沃化	25%	22%	18%	26%	26%	41%	26%
海洋系	8 海洋アルカリ化	34%	31%	20%	25%	38%	51%	26%
海洋系	9 植物残渣海洋隔離	17%	35%	29%	33%	34%	28%	31%

Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

(参考) NETs論文検索条件(1/2)

	NETs分類	論文検索ワード(時間軸: 2012~2022年/調査日時: 2022年2月28日時点)
森林系	① 植林・再生林 (Afforestation and Reforestation)	(Afforestation OR Reforestation OR "Re forestation" OR Reafforestation OR "Re afforestation" OR forestation OR "tree planting" OR "tree growing" OR "forest restoration" OR "restoring forest" OR "restoring forests" OR "forest landscape restoration" OR (("Ecological restoration" OR "Restoration ecology") AND (tree* OR forest* OR woodland*)))
森林系	② 土壌炭素貯留 (Soil Carbon Sequestration)	((soil OR soils) NEAR/5 ("carbon sequestration" OR "carbon sequestered" OR "CO2 sequestration" OR "CO2 sequestered" OR "carbon capture and storage" OR "carbon capture & storage" OR "carbon capture and utilization" OR "carbon capture & utilization" OR "carbon capture and utilisation" OR "carbon capture & utilisation" OR "carbon capture" OR "carbon capturing" OR "capturing carbon" OR "capture carbon" OR "carbon storage" OR "carbon storing" OR "storing carbon" OR "storage of carbon" OR "CO2 capture and storage" OR "CO2 capture & storage" OR "CO2 capture and utilization" OR "CO2 capture & utilization" OR "CO2 capture and utilisation" OR "CO2 capture & utilisation" OR "CO2 capture" OR "CO2 capturing" OR "capturing CO2" OR "capture CO2" OR "CO2 storage" OR "CO2 storing" OR "storing CO2" OR "storage of CO2"))
森林系	③ バイオ炭 (Biochar)	(biochar OR "bio char" OR biocharcoal OR "bio charcoal")
CCS系	④ BECCS	("Bioenergy with carbon capture and storage" OR "Bioenergy with carbon capture & storage" OR "Bio energy with carbon capture and storage" OR "Bio energy with carbon capture & storage" OR "BECCS" OR ((bioenergy OR "bio energy") NEAR/3 ("carbon capture and storage" OR "carbon capture & storage" OR "carbon capture and utilization" OR "carbon capture & utilization" OR "carbon capture and utilisation" OR "carbon capture & utilisation" OR "carbon capture" OR "carbon capturing" OR "capturing carbon" OR "capture carbon" OR "carbon storage" OR "carbon storing" OR "storing carbon" OR "storage of carbon" OR "CO2 capture and storage" OR "CO2 capture & storage" OR "CO2 capture and utilization" OR "CO2 capture & utilization" OR "CO2 capture and utilisation" OR "CO2 capture & utilisation" OR "CO2 capture" OR "CO2 capturing" OR "capturing CO2" OR "capture CO2" OR "CO2 storage" OR "CO2 storing" OR "storing CO2" OR "storage of CO2")))
CCS系	⑤ DACCS	("Direct Air Carbon Capture and Sequestration" OR "Direct Air Carbon Capture & Sequestration" OR "Direct Air Carbon Capture and Storage" OR "Direct Air Carbon Capture & Storage" OR "Direct Air Carbon Dioxide Capture and Storage" OR "Direct Air Carbon Dioxide Capture & Storage" OR "Direct Air Carbon Dioxide Capture and Sequestration" OR "Direct Air Carbon Dioxide Capture & Sequestration" OR "Direct Air Capture with Carbon Storage" OR "Direct Air Capture with Carbon Sequestration" OR "Direct carbon capture" OR "Direct CO2 capture" OR "DACCS" OR (("Direct air capture") and ("CO2" OR carbon)) OR (("Direct air") NEAR/3 ("carbon capture and storage" OR "carbon capture & storage" OR "carbon capture and utilization" OR "carbon capture & utilization" OR "carbon capture and utilisation" OR "carbon capture & utilisation" OR "carbon capture" OR "carbon capturing" OR "capturing carbon" OR "capture carbon" OR "carbon storage" OR "carbon storing" OR "storing carbon" OR "storage of carbon" OR "CO2 capture and storage" OR "CO2 capture & storage" OR "CO2 capture and utilization" OR "CO2 capture & utilization" OR "CO2 capture and utilisation" OR "CO2 capture & utilisation" OR "CO2 capture" OR "CO2 capturing" OR "capturing CO2" OR "capture CO2" OR "CO2 storage" OR "CO2 storing" OR "storing CO2" OR "storage of CO2")))

Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

(参考) NETs論文検索条件(2/2)

NETs分類		論文検索ワード(時間軸: 2012~2022年/調査日時: 2022年2月28日時点)
	6 風化促進 (Enhanced Weathering)	("enhanced weathering" OR "enhanced rock weathering" OR "enhanced silicate weathering" OR "carbon mineralization" OR "mineral carbonation")
海洋系	7 海洋肥沃化 (Ocean Fertilization)	((Ocean OR oceans OR "seas" OR "sea") NEAR/3 (fertilization OR fertilisation OR nourishment)) OR (("Iron fertilization" OR "Iron fertilisation") AND (ocean* OR "seas" OR "sea" OR marine* OR geoengineer* OR "geo engineering" OR biogeoengineering))
海洋系	8 海洋アルカリ化 (Ocean Alkalinization)	((Ocean OR oceans OR "seas" OR "sea" OR oceanic) NEAR/3 (Alkalinization OR Alkalinisation OR alkaline OR alkalinity))
海洋系	9 植物残渣海洋隔離 (CO2 Ocean Sequestration)	(((Ocean OR oceans OR "seas" OR "sea" OR oceanic) NEAR/5 (Sequestration OR sequester OR sequestered OR sequestering)) AND (carbon OR "CO2"))

Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

NETs: 社会実装に向けた課題全体像

系	NETs技術分類	解決すべき技術固有課題	解決すべき日本固有の構造的課題
森林系	1 植林・再生林	• 森林成長速度促進 • 炭素量飽和対策 • 植林による生態系影響評価	• 国内木材自給率向上 • 林業集約化/物流網整備 • 国内林業人材育成
森林系	2 土壌炭素貯留	• 土壌炭素貯留用地選定 • CO_2大気放出抑制土壌管理 • 土壌モニタリングシステム確立	• 国内不耕起栽培手法の拡大 • 大規模用地運用による効率化 • 国内農業人材育成
森林系	3 バイオ炭	• バイオ炭種別特性検証 • バイオ炭/土壌相性を踏まえた環境評価 • バイオ炭投入後のpH最適調整	• 国内木炭供給網の拡大 • 大規模用地運用による効率化 • 国内農業人材育成
CCS系	4 BECCS	• バイオマス資源生成の生態系環境評価 • ライフサイクルCO_2削減効果検証(LCA) • CO_2貯留モニタリング技術確立	• 国内木材自給率向上 • 小型分散設備運用の高効率化 • 海外貯留CO_2サプライチェーン構築
CCS系	5 DACCS	• 接触技術高度化 • 回収・分離エネルギー効率向上 • CO_2貯留モニタリング技術確立	• DACインフラ用地確保 • DAC技術開発のオープンイノベーション • 海外貯留CO_2サプライチェーン構築
	6 風化促進	• 炭酸塩化反応CO_2吸収効果検証 • ライフサイクルCO_2削減効果検証(LCA) • 岩石粉砕・流布による環境評価	• 玄武岩のサプライチェーン網構築 • 大規模用地運用による効率化 • 国内林業/農業人材育成
海洋系	7 海洋肥沃化	• 海洋肥沃によるCO_2吸収効果検証 • 鉄種散布による生態系環境評価 • 追加温室効果抑制	
海洋系	8 海洋アルカリ化	• 海洋アルカリ化によるCO_2吸収効果検証 • アルカリ散布による生態系環境評価 • ライフサイクルCO_2削減効果検証(LCA)	• 漁業被害最小化に向けた適地選定 • ステークホルダー調整(漁業組合、海運企業等) • 水産業人材育成
海洋系	9 植物残渣海洋隔離	• 植物残渣による生態系環境評価	

Source: 有識者ヒアリング; 各種公開情報を基にBCG分析

植林・再生林は、森林成長速度/炭素飽和/生態系影響等の技術固有課題と、自給率向上/林業集約化/人材育成等の日本固有の構造的課題が存在

植林・再生林: 社会実装に向けて解決すべき課題

NETs分類		解決すべき技術固有課題		解決すべき日本固有の構造的課題	
森林系	1 植林・再生林 (Afforestation and Reforestation)	1-a 森林成長速度促進	• 森林が成長し、CO2吸収量が増加するまで5~10年要するため、人間/自然活動からのCO2排出量と吸収量にタイムギャップが生じる • 特に日本は熱帯地域に比べて、森林成長速度が相対的に遅い	1-d 国内木材自給率向上 BECCSと共通	• 日本の木材自給率は1950年代の約90%から、安価な海外産木材輸入拡大により2020年には約42%まで落ち込み • 安価な海外産木材輸入による木材価格相場低下及び国内供給量減少により、国内林業採算が悪化
		1-b 炭素量飽和対策	• 複数の主要樹種(針葉樹のスギ・ヒノキ、広葉樹のクヌギ等)は樹齢~20年が炭素吸収量のピークで、その後樹齢の増加に伴い吸収量は徐々に減少 • 森林炭素量飽和に伴い、適切なその他バイオマス系手法(バイオ炭、BECCS等)を組み合わせる必要	1-e 林業集約化/物流網整備 風化促進と共通	• 日本の森林所有構造として、所有面積10ha未満の林家数が9割を占めており小規模・零細構造 • それ故に、大規模路網整備が未整備で間伐材搬出が困難、作業システムが非効率等が課題
		1-c 植林による生態系影響評価	• 一定の気候状況や生態学的状況に置かれた土地では、生育を維持するための水量に上限が存在 • そのため、新たな植林によって生態学的水需要が高まることによる生態系への悪影響が懸念	1-f 国内林業人材育成 風化促進と共通	• 林業従事者の高齢化も深刻化しており、高齢化率(65歳以上)は1950年代の約4%から、2015年には約25%まで上昇 • 結果として、林業従事者不足による森林管理不備に伴う老朽化が加速しており、国土の約80%の占める森林の約40%が無効CO2吸収森林

Source: 有識者ヒアリング; 各種公開情報を基にBCG分析

土壌炭素貯留は、用地最適選定/CO2放出抑制管理/モニタリング等の技術固有課題と、不耕起栽培拡大/用地運用効率化/人材育成等の日本固有の構造的課題が存在

土壌炭素貯留: 社会実装に向けて解決すべき課題

NETs分類: 森林系 — 2 土壌炭素貯留(Soil Carbon Sequestration)

解決すべき技術固有課題

2-a 土壌炭素貯留用地最適選定

- 元来の土壌性質(微生物の種類等)によって長期的なCO2炭素貯留可能量が変化するため、適切な用地選定が必要
- 加えて、洪水等の自然災害の発生で貯留炭素が流出する懸念もあるため、用地選定では災害リスク及び災害対策の観点も必要

2-b CO2大気放出抑制土壌管理

- 土壌内植物を微生物が分解し、CO2が大気中に放出する量を抑制するために、不耕起栽培等(農耕を耕さずに作物栽培する方法)によって、土壌内流入空気を抑制し、土壌有機物分解速度を遅延化させることが必要

2-c 土壌モニタリングシステム確立

- 土壌毎に土壌状態や微生物の種類は異なっているとともに、天候(日射量・雨量等)・気温・湿度によって土壌内の微生物の活性状況は不規則に変化し得る
- そのため、静的な土壌性質と動的な土壌変化状況を適切にモニタリングし、CO2の貯留量を適切に評価する必要

解決すべき日本固有の構造的課題

2-d 国内不耕起栽培手法拡大

- 土壌炭素貯留に適した栽培手法の不耕起栽培は、広大な農地面積を有する米国、欧州では広く普及
- 他方で、不耕起栽培は雑草繁茂による除草労力増大があり、特に高温の日本では顕著なため、現状の日本農家での不耕起栽培を導入率は数%と限定的

2-e 大規模用地運用による効率化

バイオ炭と共通
風化促進と共通

- 日本では経営耕地面積に占める20ha未満の小規模農家の割合が62%(2015年時点)で小規模農家が分散
- 20ha以上の農家割合は徐々に増加(2005年:26%→2015年:38%)しているものの、土壌炭素貯留効率向上のためには大規模用地運用が必要

2-f 国内農業人材育成

バイオ炭と共通
風化促進と共通

- 日本の基幹的農業従事者は約136万人(2020年)だが、従事者年齢構成比は65歳以上(70%)、60-64歳(10%)、50-59歳(10%)、49歳未満(10%)で高齢化
- 土壌炭素貯留には長期に渡る適切な農地管理が必要なため、国内での農業人材育成が必要

Source: 有識者ヒアリング; 各種公開情報を基にBCG分析

バイオ炭は、炭種別特性検証/環境評価/pH最適調整等の技術固有課題と、国内炭供給網拡大/用地運用効率化/人材育成等の日本固有の構造的課題が存在

バイオ炭: 社会実装に向けて解決すべき課題

NETs分類		解決すべき技術固有課題		解決すべき日本固有の構造的課題	
森林系	3 バイオ炭 (Biochar)	3-a バイオ炭種別特性検証	• バイオ炭は原材料と作り方によって多様多種であり、バイオ炭種別毎の異なる特性(炭粒子の科学的・物理的特性、水質影響、汚染物質除去原理、微生物群集変化、CO2減少効果等)を明らかにする必要	3-d 国内木炭供給網拡大	• 日本の木炭国内自給率は年々減少傾向(1995年:約60%→2019年:約15%)であり、主な輸入先は中国、マレーシア、インドネシアで全体の8割を占める • 中長期的なバイオ炭の価格及び供給量の安価化のために、国内バイオ炭供給網の拡大が必要
		3-b バイオ炭/土壌相性を踏まえた環境評価	• バイオ炭と土壌の相性が悪い場合、作物収穫量減少、土壌微生物叢破壊、植物の昆虫・病原体に対する防御遺伝子の活性低下等が懸念 • そのため、バイオ炭と土壌の双方の相性を踏まえた上での環境影響リスク評価が必要	3-e 大規模用地運用による効率化 土壌炭素貯留と共通 風化促進と共通	• 日本では経営耕地面積に占める20ha未満の小規模農家の割合が62%(2015年時点)で小規模農家が分散 • 20ha以上の農家割合は徐々に増加(2005年:26%→2015年:38%)しているものの、バイオ炭貯留効率向上のためには大規模用地運用が必要
		3-c バイオ炭投入後のpH最適調整	• アルカリ性であるバイオ炭(pH8~10)は、酸性土壌のpH調節効果は期待できるものの、過剰使用によって土壌pH上昇による農作物等への悪影響が懸念 • そのため、バイオ炭投入後の土壌pHの継続的なモニタリングと適切なpH調整システムの導入が必要	3-f 国内農業人材育成 土壌炭素貯留と共通 風化促進と共通	• 日本の基幹的農業従事者は約136万人(2020年)だが、従事者年齢構成比は65歳以上(70%)、60-64歳(10%)、50-59歳(10%)、49歳未満(10%)で高齢化 • バイオ炭には散布作業、長期に渡る適切な農地管理が必要なため、国内での農業人材育成が必要

Source: 有識者ヒアリング; 各種公開情報を基にBCG分析

BECCSは、生態系影響評価/CO_2-LCA/CO_2貯留モニタリング等の技術固有課題と、木材自給率向上/小型高効率化/人材育成等の日本固有の構造的課題が存在

BECCS: 社会実装に向けて解決すべき課題

NETs分類		解決すべき技術固有課題		解決すべき日本固有の構造的課題	
CCS系	4 BECCS	4-a バイオマス資源生成の生態系影響評価	• バイオマス資源の生成によって、食糧競合、水資源枯渇、生物多様性の喪失等の生態系への悪影響が懸念 • そのため、BECCS普及に伴うバイオマス資源の生成の持続可能性の評価を適切に実施する必要	4-d 国内木材自給率向上 植林・再生林と共通	• 国内バイオマス発電導入量拡大に伴い、木質ペレット輸入量は急拡大(2012年:7.1万トン→2020年: 約202万トン) • 他方で、国内バイオマス発電用燃料自給率は2012年の約58%から約26%まで半減しており、エネルギー安全保障の観点からも国内木材供給網の拡充は必要
		4-b ライフサイクルCO_2削減効果検証(LCA)	• BECCSによるCO_2削減効果は検証済な一方で、上流工程のバイオマスエネルギー生成及び収集時の化石資源消費によりCO_2発生する場合がある • そのため、バイオマスエネルギー生成・収集時も含めたライフサイクル視点でのCO_2削減効果検証が必要	4-e 小型分散設備運用の高効率化	• 日本のバイオマス資源は広い地域に分散しており、小規模分散型設備になりやすい傾向がある • そのため、発電設備+CO_2回収設備の双方で規模の経済が働きにくいため、小型分散を前提とした効率的な事業開発手法が必要
		4-c CO_2貯留モニタリング技術確立 DACCSと共通	• 圧入CO_2の長期・安定的に貯留層内に留め、地層安定性(地層水へのCO_2溶解、鉱物固定等)を考慮したCO_2挙動把握が必要 • また、現状のCO_2漏洩検出精度は低いため、画像処理等での検出制度向上・無人/自動化が必要	4-f 海外貯留CO_2サプライチェーン構築 DACCSと共通	• 日本のCO_2貯留ポテンシャルは15Gtで、海外諸国と比較しても小さい(米国: 777Gt/豪州: 557Gt/欧州: 412Gt/東南アジア: 390Gt) • そのため、国内回収CO_2の海外貯留を見据えたCO_2輸送技術開発(液化船等等)、CO_2貯留地選定等が必要

Source: 有識者ヒアリング; 各種公開情報を基にBCG分析

DACCSは、接触技術高度化/エネ効率向上/CO2貯留モニタリング等の技術固有課題と、インフラ用地確保/オープンイノベーション/海外貯留等の日本固有の構造的課題が存在

DACCS: 社会実装に向けて解決すべき課題

NETs分類: CCS系 ― 5 DACCS

解決すべき技術固有課題

5-a	接触技術高度化	• 大気中からのCO2分離・回収する方法には、化学吸収法、物理吸着法、膜分離法等の複数の化学的手法が存在 • 大気中からのCO2をより多く分離させるためには、大気と吸着材等の接触効率の更なる向上が必要
5-b	回収・分離エネルギー効率向上	• 大気中CO2濃度は希薄(約400ppm)な一方で、回収CO2を吸着材等から分離する「再生プロセス」では大量の電力・熱を要する • そのため、再生プロセス(温度スイング/圧力スイング等)においては更なるエネルギー効率向上が必要
5-c	CO2貯留モニタリング技術確立 (BECCSと共通)	• 圧入CO2の長期・安定的に貯留層内に留め、地層安定性(地層水へのCO2溶解、鉱物固定等)を考慮したCO2挙動把握が必要 • また、現状のCO2漏洩検出精度は低いため、画像処理等での検出制度向上・無人/自動化が必要

解決すべき日本固有の構造的課題

5-d	DACインフラ用地確保	• 大型のDAC設備に加えて、DAC用供給電源・熱源設備の再エネ・原子力・クリーン燃料(水素・アンモニア等)が必要 • 再エネ資源賦存が限定的かつ分散している日本では、DAC設備＋DAC向け熱電供給設備の大型インフラの敷地確保及び最適プロセス開発が必要
5-e	DAC技術開発のオープンイノベーション	• DAC技術開発は欧米勢が先行しており、スイスClimeworksは2017年に商用化プラント稼働、カナダCarbon Engineeringは2026年稼働予定のプラント建設中 • 日本企業(三菱重工、川崎重工、IHI等)はDAC実証試験中だが、技術開発・社会実装の促進に向けては複数企業連合によるオープンイノベーション化が必要
5-f	海外貯留CO2サプライチェーン構築 (BECCSと共通)	• IEAレポートによると、日本のCO2貯留ポテンシャルは15Gtで、海外諸国と比較しても小さい(米国: 777Gt/豪州: 557Gt/欧州: 412Gt/東南アジア: 390Gt) • そのため、国内回収CO2の海外貯留を見据えたCO2輸送技術開発(液化船等等)、CO2貯留地選定等が必要

Source: 有識者ヒアリング; 各種公開情報を基にBCG分析

風化促進は、CO2吸収効果検証/CO2-LCA/環境評価等の技術固有課題と、玄武岩SC網構築/用地運用効率化/人材育成等の日本固有の構造的課題が存在

風化促進: 社会実装に向けて解決すべき課題

NETs分類	解決すべき技術固有課題		解決すべき日本固有の構造的課題	
6 風化促進 (Enhanced Weathering)	6-a 炭酸塩化反応CO2吸収効果検証	• 風化促進は、ケイ酸塩を含む岩石の粉砕・散布によって人工的に自然の風化を促し、大気中CO2と炭酸塩化反応でCO2を吸収する原理 • ただし、風化促進によるCO2吸収効果は未検証段階であり、定量的かつ中長期的な検証が必要	6-d 玄武岩のSC網構築	• 風化促進に必要となる玄武岩は日本国内の陸地には偏在しており、日本近海の海洋底には豊富に存在 • 陸地・海洋に分散する玄武岩を大量かつ効率的に収集するサプライチェーン(SC)網を構築する必要
	6-b ライフサイクルCO2削減効果検証(LCA)	• 風化促進の上流工程にあたる岩石採掘、粉砕、運搬、散布時には電力・熱を必要とするため、CO2発生懸念あり • そのため、風化促進によるCO2吸収効果のみならず岩石採掘時からのCO2排出量も踏まえたライフサイクル視点でのCO2削減効果検証が必要	6-e 大規模用地運用による効率化 土壌炭素貯留と共通 バイオ炭と共通	• 風化促進の実施場所としては、農地・森林等が該当するが、日本の農家・林家は小規模・零細構造 • 風化促進の一連のサプライチェーン効率を最大化するためには、農地・林地の主役大規模化が必要
	6-c 岩石粉砕・流布による環境評価	• 玄武岩・カンラン石等のケイ酸塩含有岩石粉砕における金属溶出、環境中での分解が困難な残留性有機化鉱物の発生が懸念 • そのため、農地土壌等の陸地・海洋の双方での環境影響リスク評価は必要	6-f 国内林業/農業人材育成 土壌炭素貯留と共通 バイオ炭と共通	• 風化促進には、農地・林地への岩石散布及び管理に伴い追加的な作業工数が発生 • 他方で、日本国内では農業・林業従事者ともに減少及び高齢化が進展しているため、風化促進拡大に伴う国内人材育成が必要

Source: 有識者ヒアリング; 各種公開情報を基にBCG分析

海洋肥沃化は、CO2吸収効果検証/生態系影響評価/温室化効果抑制等の技術固有課題と、適地選定/ステークホルダー調整/人材育成等の日本固有の構造的課題が存在

海洋肥沃化: 社会実装に向けて解決すべき課題

NETs分類		解決すべき技術固有課題		解決すべき日本固有の構造的課題	
海洋系	7 海洋肥沃化 (Ocean Fertilization)	7-a 海洋肥沃によるCO2吸収効果検証	• 同一海域・同一時期に鉄撒布しても、応答規模や生物群集組成が異なるケースや、表面混合層が深い場合は植物プランクトン生物量はほとんど増加しない実験結果も出ており、複雑な海洋生態系を踏まえたCO2吸収効果の検証が必要	7-d 漁業被害最小化に向けた適地選定 海洋アルカリ化と共通 残渣海洋隔離と共通	• 日本近海では赤潮(プランクトン異常発生)による漁業被害が定期的に発生しており、海洋肥沃化による同様の被害誘発も懸念 • そのため、漁業被害最小化を見据えた対策及び最適な海洋肥沃用地選定が必要
		7-b 鉄種散布による生態系影響評価	• 鉄散布によって毒性量生産プランクトンの成長まで促進、鉄肥沃化による深海中の酸素濃度の低下等の海洋生態系の崩壊が懸念 • そのため、鉄種散布による海洋汚染及び生態系へのリスク評価が必要	7-e ステークホルダー調整 (漁業組合、海運企業等) 海洋アルカリ化と共通 残渣海洋隔離と共通	• 海洋系ネガティブエミッション全般に共通して、漁業権を有する漁業組合、海運航路を利用する海運企業、地元住民等の多様なステークホルダーとの調整が必要不可欠
		7-c 追加温室化効果抑制	• 鉄散布によってCO2を抑制できたとしても、メタン(CO2の25~36倍の温室効果)、亜酸化窒素(CO2の300倍以上の温室効果)が追加的に発生する懸念 • そのため、CO2のみならず他の温室化効果ガスの抑制も踏まえた総合的な技術評価が必要	7-f 水産業人材育成 海洋アルカリ化と共通 残渣海洋隔離と共通	• 日本における漁業従事者は一貫して減少傾向(1988年: 約39万人→2018: 約15万人) • 海洋肥沃に必要となる鉄散布や生態系影響評価には水産業従事者との支援が必要不可欠なため、国内での人材育成が必要

Source: 有識者ヒアリング; 各種公開情報を基にBCG分析

海洋アルカリ化は、CO2吸収効果検証/生態系影響評価/CO2-LCA等の技術固有課題と、適地選定/ステークホルダー調整/人材育成等の日本固有の構造的課題が存在

海洋アルカリ化: 社会実装に向けて解決すべき課題

NETs分類		解決すべき技術固有課題		解決すべき日本固有の構造的課題	
海洋系	8 海洋アルカリ化 (Ocean Alkalinization)	8-a 海洋アルカリ化によるCO2吸収効果検証	• 広大な海にアルカリ性物質を添付してもpH濃度に影響を及ぼさず、結果として人間/自然活動からのCO2排出量とギャップが大き過ぎる点が懸念 • 技術的にも未成熟で、理論的なCO2吸収効果しか推計されていなため、更なる効果検証が必要	8-d 漁業被害最小化に向けた適地選定 海洋肥沃化と共通 残渣海洋隔離と共通	• 海洋アルカリ化による海洋pH濃度影響効果が確認された場合でも、海洋生態系への一定の影響は発生 • そのため、漁業被害最小化を見据えた対策及び最適な海洋肥沃用地選定が必要
		8-b アルカリ散布による生態系環境評価	• アルカリを海洋に散布することで、特定プランクトンの急激な繁殖、酸より比重の重いアルカリの海底沈殿による海洋汚染が懸念 • そのため、アルカリ散布による海洋汚染及び生態系へのリスク評価が必要	8-e ステークホルダー調整 (漁業組合、海運企業等) 海洋肥沃化と共通 残渣海洋隔離と共通	• 海洋系ネガティブエミッション全般に共通して、漁業権を有する漁業組合、海運航路を利用する海運企業、地元住民等の多様なステークホルダーとの調整が必要不可欠
		8-c ライフサイクルCO2削減効果検証 (LCA)	• 海洋アルカリ化には大量の橄欖石が必要なるため、陸上の採掘・収集に加えて、大型船舶での輸送も必要となる • そのため、海洋アルカリ化の上流工程も含めたライフサイクルでのCO2削減効果検証は必要	8-f 水産業人材育成 海洋肥沃化と共通 残渣海洋隔離と共通	• 日本における漁業従事者は一貫して減少傾向(1988年: 約39万人→2018: 約15万人) • 海洋アルカリに必要となる橄欖石散布や生態系影響評価には水産業従事者との支援が必要不可欠なため、国内での人材育成が必要

Source: 有識者ヒアリング; 各種公開情報を基にBCG分析

海洋隔離は、生態系影響評価等の技術固有課題と、適地選定/ステークホルダー調整/人材育成等の日本固有の構造的課題が存在

植物残渣海洋隔離: 社会実装に向けて解決すべき課題

NETs分類		解決すべき技術固有課題		解決すべき日本固有の構造的課題	
海洋系	9 植物残渣海洋隔離 (CO2 Ocean Sequestration)	9-a 植物残渣による生態系環境評価	• 植物残渣に他の海洋植物、生態系が絡み合ってしまうことで海洋生態系への悪影響が懸念 • そのため、植物残渣の海洋汚染及び生態系へのリスク評価が必要	9-b 漁業被害最小化に向けた適地選定 海洋肥沃化と共通 海洋アルカリ化と共通	• 増大した植物残渣が漁業船舶の障害になる等の漁業被害が懸念 • そのため、漁業被害最小化を見据えた対策及び最適な植物残渣海洋隔離用地選定が必要
		※植物残渣海洋隔離は9つのNETsの中でTRL値が最も低く、技術的に未成熟なため、今後の研究開発活動拡大が根本的な課題		9-c ステークホルダー調整 (漁業組合、海運企業等) 海洋肥沃化と共通 海洋アルカリ化と共通	• 海洋系ネガティブエミッション全般に共通して、漁業権を有する漁業組合、海運航路を利用する海運企業、地元住民等の多様なステークホルダーとの調整が必要不可欠
				9-d 水産業人材育成 海洋肥沃化と共通 海洋アルカリ化と共通	• 日本における漁業従事者は一貫して減少傾向(1988年: 約39万人→2018年: 約15万人) • 植物残渣海洋隔離に必要となる生態系影響評価には水産業従事者との支援が必要不可欠なため、国内での人材育成が必要

Source: 有識者ヒアリング; 各種公開情報を基にBCG分析

本報告書構成

サマリ: 国内外のNETs開発主体現状を踏まえた示唆

技術開発

- 9つのNETs関連技術開発は、欧州(英独仏)/米国/中国が先行している状況
  - 2012~2022年の直近10年間の9つのNETs関連論文発行数/引用件数上位論文発行国のいずれにおいても、英/独/仏/米/中の5カ国が上位を占有
- 日本は、ブルーカーボン系NETs(海洋アルカリ化/植物残渣海洋隔離)技術開発は相対的に進んでいるものの、NETs技術開発速度(NETs関連論文発行数/引用件数伸長率)は欧米中比で劣後

日本は、今後技術ポートフォリオ管理に基づく更なるNETs技術開発促進が必要

事業開発

- 海外のNETs事業開発動向として、欧米中ではスタートアップ企業への投資による社会実装支援が活性化
  - 欧米では、Breakthrough Energy Ventures(BEV)等のVC主導によるNETs関連企業への投資が近年拡大
  - 中国では、政府主導による特定企業支援が拡大
- 日本は、近年森林系NETsスタートアップが資金調達を実施しており、徐々に事業開発が進展しつつある状況

日本は、NETsを取り巻く資金循環システムを整備し、更なるNETs事業開発促進が必要

Source: BCG分析

植林・再生林分野の引用件数上位の論文発行国はドイツ、アメリカ、イギリスが多く、執筆論文が最も多く引用されているPedro H. S. Brancalion氏が著名研究者

植林・再生林: 引用件数上位論文及び著者

1 植林・再生林 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者[1]
1	Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5	902	2013		Giorgetta, Marco A.; Jungclaus, Johann; Reick, Christian H.; Legutke, Stephanie; Bader, Juergen; Boettinger, Michael; Brovkin, Victor; Crueger, Traute; Esch, Monika; Fieg, Kerstin; Glushak, Ksenia 他
2	Natural climate solutions	714	2017		Griscom, Bronson W.; Adams, Justin; Ellis, Peter W.; Houghton, Richard A.; Lomax, Guy; Miteva, Daniela A.; Schlesinger, William H.; Shoch, David; Siikamaki, Juha V.; Smith, Pete 他
3	Revegetation in China's Loess Plateau is approaching sustainable water resource limits	598	2016		Feng, Xiaoming; Fu, Bojie; Piao, Shilong; Wang, Shuai; Ciais, Philippe; Zeng, Zhenzhong; Lu, Yihe; Zeng, Yuan; Li, Yue; Jiang, Xiaohui; Wu, Bingfang
4	Carbon emissions from land use and land-cover change	584	2012		Houghton, R. A.; House, J. I.; Pongratz, J.; van der Werf, G. R.; DeFries, R. S.; Hansen, M. C.; Le Quere, C.; Ramankutty, N.
5	Global land change from 1982 to 2016	569	2018		Song, Xiao-Peng; Hansen, Matthew C.; Stehman, Stephen V.; Potapov, Peter V.; Tyukavina, Alexandra; Vermote, Eric F.; Townshend, John R.

1 植林・再生林 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Brancalion, Pedro H. S.	3,307	110
2	Fu, Bojie	2,982	57
3	Chazdon, Robin L.	2,448	53
4	Smith, Pete	1,999	23
5	Wang, Shuai	1,741	20

1. 共著の場合は10名まで記載 (但し日本人は追加記載)　Note: 2022年2月28日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

土壌炭素貯留分野の引用件数上位の論文発行国は中国、アメリカ、イギリスが多く、執筆論文が最も多く引用されているYong Sik Ok氏が著名研究者

土壌炭素貯留: 引用件数上位論文及び著者

2 土壌炭素貯留 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者[1]
1	Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review	2,160	2014		Ahmad, Mahtab; Rajapaksha, Anushka Upamali; Lim, Jung Eun; Zhang, Ming; Bolan, Nanthi; Mohan, Dinesh; Vithanage, Meththika; Lee, Sang Soo; Ok, Yong Sik
2	Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent - A critical review	1,278	2014		Mohan, Dinesh; Sarswat, Ankur; Ok, Yong Sik; Pittman, Charles U., Jr.
3	The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon	779	2013		Stockmann, Uta; Adams, Mark A.; Crawford, John W.; Field, Damien J.; Henakaarchchi, Nilusha; Jenkins, Meaghan; Minasny, Budiman; McBratney, Alex B.; de Courcelles, Vivien de Remy; Singh, Kanika 他
4	Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species	744	2013		Gamfeldt, Lars; Snall, Tord; Bagchi, Robert; Jonsson, Micael; Gustafsson, Lena; Kjellander, Petter; Ruiz-Jaen, Maria C.; Froberg, Mats; Stendahl, Johan; Philipson, Christopher D. 他
5	Consistent effects of nitrogen amendments on soil microbial communities and processes across biomes	671	2012		Ramirez, Kelly S.; Craine, Joseph M.; Fierer, Noah

2 土壌炭素貯留 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Ok, Yong Sik	3,807	10
2	Mohan, Dinesh	3,507	3
3	Lal, Rattan	3,493	54
4	Smith, Pete	3,036	46
5	Bolan, Nanthi S.	2,575	13

1. 共著の場合は10名まで記載 (但し日本人は追加記載) Note: 2022年2月28日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

バイオ炭分野の引用件数上位の論文発行国は中国、アメリカが多く、執筆論文が最も多く引用されているYong Sik Ok氏が著名研究者

バイオ炭: 引用件数上位論文及び著者

3 バイオ炭 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者[1]
1	Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review	2,160	2014		Ahmad, Mahtab; Rajapaksha, Anushka Upamali; Lim, Jung Eun; Zhang, Ming; Bolan, Nanthi; Mohan, Dinesh; Vithanage, Meththika; Lee, Sang Soo; Ok, Yong Sik
2	Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent - A critical review	1,278	2014		Mohan, Dinesh; Sarswat, Ankur; Ok, Yong Sik; Pittman, Charles U., Jr.
3	Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions	868	2015		Tan, Xiaofei; Liu, Yunguo; Zeng, Guangming; Wang, Xin; Hu, Xinjiang; Gu, Yanling; Yang, Zhongzhu
4	Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters	852	2016	Other	Kan, Tao; Strezov, Vladimir; Evans, Tim J.
5	Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis	844	2013		Biederman, Lori A.; Harpole, W. Stanley

3 バイオ炭 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Ok, Yong Sik	23,437	343
2	Gao, Bin	14,553	159
3	Zeng, Guangming	11,692	129
4	Tsang, Daniel C. W.	10,581	199
5	Bolan, Nanthi S.	8,011	89

1. 共著の場合は10名まで記載 (但し日本人は追加記載) Note: 2022年2月28日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

BECCS分野の引用件数上位の論文発行国はイギリス、アメリカ、ドイツが多く、執筆論文が最も多く引用されているSabine Fuss氏が著名研究者

BECCS: 引用件数上位論文及び著者

4 BECCS 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者[1]
1	Carbon capture and storage (CCS): the way forward	1,069	2018	イギリス, ドイツ, アメリカ	Bui, Mai; Adjiman, Claire S.; Bardow, Andre; Anthony, Edward J.; Boston, Andy; Brown, Solomon; Fennell, Paul S.; Fuss, Sabine; Galindo, Amparo; Hackett, Leigh A. 他
2	Negative emissions-Part 2: Costs, potentials and side effects	320	2018	イギリス, ドイツ, アメリカ	Fuss, Sabine; Lamb, William F.; Callaghan, Max W.; Hilaire, Jerome; Creutzig, Felix; Amann, Thorben; Beringer, Tim; Garcia, Wagner de Oliveira; Hartmann, Jens; Khanna, Tarun 他
3	Bioenergy and climate change mitigation: an assessment	320	2015	フランス, ドイツ, アメリカ, イギリス	Creutzig, Felix; Ravindranath, N. H.; Berndes, Goran; Bolwig, Simon; Bright, Ryan; Cherubini, Francesco; Chum, Helena; Corbera, Esteve; Delucchi, Mark; Faaij, Andre 他
4	Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies	317	2016	イギリス	Smith, Pete
5	The underestimated potential of solar energy to mitigate climate change	283	2017	ドイツ, アメリカ	Creutzig, Felix; Agoston, Peter; Goldschmidt, Jan Christoph; Luderer, Gunnar; Nemet, Gregory; Pietzcker, Robert C.

4 BECCS 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Fuss, Sabine	1,954	10
2	Mac Dowell, Niall	1,679	26
3	Smith, Pete	1,677	15
4	Wilcox, Jennifer	1,621	4
5	Fennell, Paul S	1,375	5

1. 共著の場合は10名まで記載 (但し日本人は追加記載)　Note: 2022年2月28日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

DACCS分野の引用件数上位の論文発行国はイギリス、アメリカ、ドイツが多く、執筆論文が最も多く引用されているJennifer Wilcox氏が著名研究者

DACCS: 引用件数上位論文及び著者

5 DACCS 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者[1]
1	Carbon capture and storage (CCS): the way forward	1,069	2018	イギリス, ドイツ, アメリカ	Bui, Mai; Adjiman, Claire S.; Bardow, Andre; Anthony, Edward J.; Boston, Andy; Brown, Solomon; Fennell, Paul S.; Fuss, Sabine; Galindo, Amparo; Hackett, Leigh A. 他
2	Direct Capture of CO2 from Ambient Air	764	2016	アメリカ	Sanz-Perez, Eloy S.; Murdock, Christopher R.; Didas, Stephanie A.; Jones, Christopher W.
3	Made-to-order metal-organic frameworks for trace carbon dioxide removal and air capture	333	2014	Other	Shekhah, Osama; Belmabkhout, Youssef; Chen, Zhijie; Guillerm, Vincent; Cairns, Amy; Adil, Karim; Eddaoudi, Mohamed
4	Negative emissions-Part 2: Costs, potentials and side effects	320	2018	イギリス, ドイツ, アメリカ	Fuss, Sabine; Lamb, William F.; Callaghan, Max W.; Hilaire, Jerome; Creutzig, Felix; Amann, Thorben; Beringer, Tim; Garcia, Wagner de Oliveira; Hartmann, Jens; Khanna, Tarun 他
5	Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies	317	2016	イギリス	Smith, Pete

5 DACCS 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Wilcox, Jennifer	1,720	10
2	Fuss, Sabine	1,714	5
3	Jones, Christopher W.	1,445	21
4	Bardow, Andre	1,249	6
5	Mac Dowell, Niall	1,195	8

1. 共著の場合は10名まで記載 (但し日本人は追加記載)　Note: 2022年2月28日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

風化促進分野の引用件数上位の論文発行国は中国、イギリス、アメリカが多く、執筆論文が最も多く引用されているMercedes Maroto-Valer氏が著名研究者

風化促進: 引用件数上位論文及び著者

6 風化促進 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者[1]
1	An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies	1,381	2014		Leung, DYC; Caramanna, G; Maroto-Valer, MM
2	Carbon capture, storage and utilisation technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts	659	2015		Cuellar-Franca, RM; Azapagic, A
3	Methane emissions from wetlands: biogeochemical, microbial, and modeling perspectives from local to global scales	562	2013		Bridgham, SD; Cadillo-Quiroz, H; Keller, JK; Zhuang, QL
4	Production and characterization of slow pyrolysis biochar: influence of feedstock type and pyrolysis conditions	409	2013	Other	Ronsse, F; van Hecke, S; Dickinson, D; Prins, W
5	A review of mineral carbonation technologies to sequester CO2	391	2014		Sanna, A; Uibu, M; Caramanna, G; Kuusik, R; Maroto-Valer, MM

6 風化促進 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Maroto-Valer, Mercedes	2,242	15
2	Caramanna, Giorgio	1,772	2
3	Leung, Dennis Y. C.	1,435	2
4	Smith, Pete	1,044	8
5	Hartmann, Jens	862	10

1. 共著の場合は10名まで記載 (但し日本人は追加記載)　Note: 2022年2月28日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

海洋肥沃化分野の引用件数上位の論文発行国はアメリカ、イギリス、ドイツが多く、執筆論文が最も多く引用されているSamuel L Jaccard氏が著名研究者

海洋肥沃化: 引用件数上位論文及び著者

7 海洋肥沃化 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者[1]
1	Impacts of invasive alien marine species on ecosystem services and biodiversity: a pan-European review	361	2014	米国	Katsanevakis, Stelios; Wallentinus, Inger; Zenetos, Argyro; Leppakoski, Erkki; Cinar, Melih Ertan; Ozturk, Bayram; Grabowski, Michal; Golani, Daniel; Cardoso, Ana Cristina
2	Negative emissions-Part 2: Costs, potentials and side effects	320	2018	英国、ドイツ、米国	Fuss, Sabine; Lamb, William F.; Callaghan, Max W.; Hilaire, Jerome; Creutzig, Felix; Amann, Thorben; Beringer, Tim; Garcia, Wagner de Oliveira; Hartmann, Jens; Khanna, Tarun 他
3	Bringing physics to life at the submesoscale	259	2012	フランス、英国、米国	Levy, Marina; Ferrari, Raffaele; Franks, Peter J. S.; Martin, Adrian P.; Riviere, Pascal
4	Deep carbon export from a Southern Ocean iron-fertilized diatom bloom	249	2012	フランス、英国、ドイツ、米国	Smetacek, Victor; Klaas, Christine; Strass, Volker H.; Assmy, Philipp; Montresor, Marina; Cisewski, Boris; Savoye, Nicolas; Webb, Adrian; d'Ovidio, Francesco; Arrieta, Jesus M. 他
5	Iron Fertilization of the Subantarctic Ocean During the Last Ice Age	246	2014	英国、米国	Martinez-Garcia, Alfredo; Sigman, Daniel M.; Ren, Haojia; Anderson, Robert F.; Straub, Marietta; Hodell, David A.; Jaccard, Samuel L.; Eglinton, Timothy I.; Haug, Gerald H.

7 海洋肥沃化 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Jaccard, Samuel L	819	15
2	Anderson, Robert F	698	7
3	Martinez-Garcia, Alfredo	658	9
4	Fuss, Sabine	643	3
5	Lamb, William F.	643	3

1. 共著の場合は10名まで記載 (但し日本人は追加記載)　Note: 2022年2月28日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

海洋アルカリ化分野の引用件数上位の論文発行国はアメリカ、イギリス、ドイツが多く、執筆論文が最も多く引用されているRobert R. Gaines氏が著名研究者

海洋アルカリ化: 引用件数上位論文及び著者

8 海洋アルカリ化 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者[1]
1	Ocean acidification and the Permo-Triassic mass extinction	197	2015		Clarkson, M. O.; Kasemann, S. A.; Wood, R. A.; Lenton, T. M.; Daines, S. J.; Richoz, S.; Ohnemueller, F.; Meixner, A.; Poulton, S. W.; Tipper, E. T.
2	Formation of the 'Great Unconformity' as a trigger for the Cambrian explosion	180	2012		Peters, Shanan E.; Gaines, Robert R.
3	The Drive to Life on Wet and Icy Worlds	170	2014		Russell, Michael J.; Barge, Laura M.; Bhartia, Rohit; Bocanegra, Dylan; Bracher, Paul J.; Branscomb, Elbert; Kidd, Richard; McGlynn, Shawn; Meier, David H.; Nitschke, Wolfgang; Shibuya, Takazo 他
4	Enhanced chemical weathering as a geoengineering strategy to reduce atmospheric carbon dioxide, supply nutrients, and mitigate ocean acidification	150	2013		Hartmann, Jens; West, A. Joshua; Renforth, Phil; Koehler, Peter; De La Rocha, Christina L.; Wolf-Gladrow, Dieter A.; Duerr, Hans H.; Scheffran, Juergen
5	Mechanism for Burgess Shale-type preservation	127	2012		Gaines, Robert R.; Hammarlund, Emma U.; Hou, Xianguang; Qi, Changshi; Gabbott, Sarah E.; Zhao, Yuanlong; Peng, Jin; Canfield, Donald E.

8 海洋アルカリ化 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Gaines, Robert R.	307	2
2	Russell, Michael J.	292	3
3	Wolf-Gladrow, Dieter A	256	4
4	Nitschke, Wolfgang	253	2
5	Branscomb, Elbert	253	2

1. 共著の場合は10名まで記載 (但し日本人は追加記載)　Note: 2022年2月28日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

植物残渣海洋隔離分野の引用件数上位の論文発行国はドイツ、アメリカ、イギリスが多く、執筆論文が最も多く引用されているDaniel M. Alongi氏が著名研究者

植物残差海洋隔離: 引用件数上位論文及び著者

9 植物残渣海洋隔離 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者1)
1	Carbon Cycling and Storage in Mangrove Forests	546	2014	Other	Alongi, Daniel M.
2	Negative emissions-Part 2: Costs, potentials and side effects	320	2018	UK, Germany, USA	Fuss, Sabine; Lamb, William F.; Callaghan, Max W.; Hilaire, Jerome; Creutzig, Felix; Amann, Thorben; Beringer, Tim; Garcia, Wagner de Oliveira; Hartmann, Jens; Khanna, Tarun 他
3	Plankton networks driving carbon export in the oligotrophic ocean	317	2016	France, Japan, Germany, USA	Guidi, Lionel; Chaffron, Samuel; Bittner, Lucie; Eveillard, Damien; Larhlimi, Abdelhalim; Rou5ptx, Simon; Darzi, Youssef; Audic, Stephane; Berline, Leo; Brum, Jennifer R.; Sunagawa, Shinichi; Ogata, Hiroyuki他
4	Pan genome of the phytoplankton Emiliania underpins its global distribution	313	2013	France, Japan, UK, Germany, USA	Read, Betsy A.; Kegel, Jessica; Klute, Mary J.; Kuo, Alan; Lefebvre, Stephane C.; Maumus, Florian; Mayer, Christoph; Miller, John; Monier, Adam; Salamov, Asaf; Ogata, Hiroyuki 他
5	Carbon sequestration in mangrove forests	306	2012	Other	Alongi, Daniel M.

9 植物残渣海洋隔離 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Alongi, Daniel M.	852	2
2	Bowler, Chris	631	3
3	Ogata, Hiroyuki	630	2
4	de Vargas, Colomban	630	2
5	Boss, Emmanuel	531	4

1. 共著の場合は10名まで記載 (但し日本人は追加記載) Note: 2022年2月28日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

(参考)植林・再生林: 日本における引用件数上位論文/著者

植林・再生林: 引用件数上位論文及び著者

1 植林・再生林 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者[1]
1	Historical carbon dioxide emissions caused by land-use changes are possibly larger than assumed	169	2017		Arneth, A; Sitch, S; Pongratz, J; Stocker, BD; Ciais, P; Poulter, B; Bayer, AD; Bondeau, A; Calle, L; Chini, LP; Kato, E 他
2	Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology	137	2017		Mori, AS; Lertzman, KP; Gustafsson, L
3	Forest biomass carbon sinks in East Asia, with special reference to the relative contributions of forest expansion and forest growth	130	2014		Fang, JY; Guo, ZD; Hu, HF; Kato, T; Muraoka, H; Son, Y
4	Present state of Japanese cedar pollinosis: The national affliction	129	2014		Yamada, T; Saito, H; Fujieda, S
5	Land-use types and soil chemical properties influence soil microbial communities in the semiarid Loess Plateau region in China	66	2017		Tian, Q; Taniguchi, T; Shi, WY; Li, GQ; Yamanaka, N; Du, S

1 植林・再生林 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Mori, Akira S.	251	7
2	De Jong, Wil	192	10
3	Kato, Etsushi	190	2
4	Son, Yowhan M	154	2
5	Kato, Tomomichi	142	2

1. 共著の場合は10名まで記載（但し日本人は追加記載） Note: 2022年3月8日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

(参考)土壌炭素貯留: 日本における引用件数上位論文/著者

土壌炭素貯留: 引用件数上位論文及び著者

2 土壌炭素貯留 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者1)
1	Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues	358	2014		Jindo, K; Mizumoto, H; Sawada, Y; Sanchez-Monedero, MA; Sonoki, T
2	Changes in soil organic carbon storage predicted by Earth system models during the 21st century	189	2014		Todd-Brown, KEO; Randerson, JT; Hopkins, F; Arora, V; Hajima, T; Jones, C; Shevliakova, E; Tjiputra, J; Volodin, E; Wu, T; Zhang, Q; Allison, SD
3	Reducing greenhouse gas emissions in agriculture without compromising food security?	82	2017		Frank, S; Havlik, P; Soussana, JF; Levesque, A; Valin, H; Wollenberg, E; Kleinwechter, U; Fricko, O; Gusti, M; Herrero, M; Hasegawa, T
4	Experimental warming studies on tree species and forest ecosystems: a literature review	74	2013		Chung, H; Muraoka, H; Nakamura, M; Han, S; Muller, O; Son, Y
5	The 4p1000 initiative: Opportunities, limitations and challenges for implementing soil organic carbon sequestration as a sustainable development strategy	72	2020		Rumpel, C; Amiraslani, F; Chenu, C; Cardenas, MG; Kaonga, M; Koutika, LS; Ladha, J; Madari, B; Shirato, Y; Smith, P; Soudi, B 他

2 土壌炭素貯留 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Sonoki, Tomonori	362	2
2	Jindo, Keiji	362	2
3	Sawada, Yohei	358	1
4	Mizumoto, Hideki	358	1
5	Hajima, Tomohiro	219	3

1. 共著の場合は10名まで記載（但し日本人は追加記載） Note: 2022年3月8日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

🇯🇵 (参考)バイオ炭: 日本における引用件数上位論文/著者

バイオ炭: 引用件数上位論文及び著者

3 バイオ炭 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者[1]
1	Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues	358	2014	🇯🇵	Jindo, K; Mizumoto, H; Sawada, Y; Sanchez-Monedero, MA; Sonoki, T
2	Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil	301	2013	🇨🇳 🇯🇵	Tang, JC; Zhu, WY; Kookana, R; Katayama, A
3	Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: A critical review	242	2020	🇨🇳 🇩🇪 🇯🇵	Palansooriya, KN; Shaheen, SM; Chen, SS; Tsang, DCW; Hashimoto, Y; Hou, DY; Bolan, NS; Rinklebe, J; Ok, YS
4	In-situ catalytic conversion of tar using rice husk char-supported nickel-iron catalysts for biomass pyrolysis/gasification	235	2014	🇨🇳 🇯🇵	Shen, YF; Zhao, PT; Shao, QF; Ma, DC; Takahashi, F; Yoshikawa, K
5	Chars as carbonaceous adsorbents/catalysts for tar elimination during biomass pyrolysis or gasification	219	2015	🇯🇵	Shen, YF

3 バイオ炭 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Jindo, Keiji	850	10
2	Sonoki, Tomonori	830	8
3	Shen, Yafei	628	4
4	Hashimoto, Yohey	588	7
5	Shinogi, Yoshiyuki	449	18

1. 共著の場合は10名まで記載（但し日本人は追加記載） Note: 2022年3月8日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

(参考)BECCS: 日本における引用件数上位論文/著者

BECCS: 引用件数上位論文及び著者

4 BECCS 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者[1]
1	Research priorities for negative emissions	77	2016		Fuss, S; Jones, CD; Kraxner, F; Peters, GP; Smith, P; Tavoni, M; van Vuuren, DP; Canadell, JG; Jackson, RB; Milne, J; Moreira, JR; Nakicenovic, N; Sharifi, A; Yamagata, Y
2	Global energy sector emission reductions and bioenergy use: overview of the bioenergy demand phase of the EMF-33 model comparison	59	2020		Bauer, N; Rose, SK; Fujimori, S; van Vuuren, DP; Weyant, J; Wise, M; Cui, YY; Daioglou, V; Gidden, MJ; Kato, E; Kitous, A; Sano, F;Tsutsui, J; Hasegawa, T; Kurosawa, A; Mima, S; Muratori, M 他
3	Global zero emissions scenarios: The role of biomass energy with carbon capture and storage by forested land use	47	2017		Tokimatsu, K; Yasuoka, R; Nishio, M
4	CO2-recycling biomass gasification system for highly efficient and carbon-negative power generation	43	2015		Prabowo, B; Aziz, M; Umeki, K; Susanto, H; Yan, M; Yoshikawa, K
5	Role of innovative technologies under the global zero emissions scenarios	42	2016		Tokimatsu, K; Konishi, S; Ishihara, K; Tezuka, T; Yasuoka, R; Nishio, M

4 BECCS 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Yamagata, Yoshiki	167	4
2	Kato, Etsushi	111	4
3	Tokimatsu, Koji	89	2
4	Nishio, Masahiro	89	2
5	Yasuoka, Rieko	89	2

1. 共著の場合は10名まで記載（但し日本人は追加記載） Note: 2022年3月8日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

(参考)DACCS: 日本における引用件数上位論文/著者

DACCS: 引用件数上位論文及び著者

5 DACCS 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者1)
1	Amine-Oxide Hybrid Materials for CO2 Capture from Ambient Air	136	2015	日本; 米国	Didas, SA; Choi, S; Chaikittisilp, W; Jones, CW
2	CO2-Selective Absorbents in Air: Reverse Lipid Bilayer Structure Forming Neutral Carbamic Acid in Water without Hydration	31	2017	日本	Inagaki, F; Matsumoto, C; Iwata, T; Mukai, C
3	Solar photovoltaics is ready to power a sustainable future	26	2021	ドイツ; 日本; 米国	Victoria, M; Haegel, N; Peters, IM; Sinton, R; Jager-Waldau, A; del Canizo, C; Breyer, C; Stocks, M; Blakers, A; Kaizuka, I; Komoto, K; Smets, A
4	A new strategy for membrane-based direct air capture	15	2021	日本	Fujikawa, S; Selyanchyn, R; Kunitake, T
5	Moisture-Driven CO2 Sorbents	12	2020	日本; 米国	Shi, XY; Xiao, H; Kanamori, K; Yonezu, A; Lackner, KS; Chen, X

5 DACCS 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Chaikittisilp, Watcharop	136	1
2	Matsumoto, Chiaki	31	1
3	Inagaki, Fuyuhiko	31	1
4	Iwata, Takashi	31	1
5	Mukai, Chisato	31	1

1. 共著の場合は10名まで記載（但し日本人は追加記載） Note: 2022年3月8日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

(参考)風化促進: 日本における引用件数上位論文/著者

風化促進: 引用件数上位論文及び著者

6 風化促進 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者1)
1	Linking temperature sensitivity of soil organic matter decomposition to its molecular structure, accessibility, and microbial physiology	97	2013		Wagai, R; Kishimoto-Mo, AW; Yonemura, S; Shirato, Y; Hiradate, S; Yagasaki, Y
2	Benthic carbon mineralization in hadal trenches: Assessment by in situ O-2 microprofile measurements	65	2016		Wenzhofer, F; Oguri, K; Middelboe, M; Turnewitsch, R; Toyofuku, T; Kitazato, H; Glud, RN
3	Supporting of pristine TiO2 with noble metals to enhance the oxidation and mineralization of paracetamolby sonolysis and sonophotolysis	57	2015		Ziylan-Yavas, A; Mizukoshi, Y; Maeda, Y; Ince, NH
4	Carbon Capture and Utilization Technology without Carbon Dioxide Purification and Pressurization : A Review on Its Necessity and Available Technologies	33	2019		Ho, HJ; Iizuka, A; Shibata, E
5	Benthic Carbon Mineralization in Hadal Trenches: Insights From In Situ Determination of Benthic Oxygen Consumption	30	2018		Luo, M; Glud, RN; Pan, BB; Wenzhofer, F; Xu, YP; Lin, G; Chen, DF

6 風化促進 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Iizuka, Atsushi	151	11
2	Yonemura, Seiichiro	113	2
3	Glud, Ronnie N	112	6
4	Shirato, Yasuhito	97	1
5	Wagai, Rota	97	1

1. 共著の場合は10名まで記載（但し日本人は追加記載） Note: 2022年3月8日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

(参考)海洋肥沃化: 日本における引用件数上位論文/著者

海洋肥沃化: 引用件数上位論文及び著者

7 海洋肥沃化 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者[1]
1	Natural, incidental, and engineered nanomaterials and their impacts on the Earth system	190	2019		Hochella, MF; Mogk, DW; Ranville, J; Allen, IC; Luther, GW; Marr, LC; McGrail, BP; Murayama, M; Qafoku, NP; Rosso, KM; Sahai, N 他
2	How well do global ocean biogeochemistry models simulate dissolved iron distributions?	166	2016		Tagliabue, A; Aumont, O; DeAth, R; Dunne, JP; Dutkiewicz, S; Galbraith, E; Misumi, K; Moore, JK; Ridgwell, A; Sherman, E; Stock, C 他
3	Baleen boom and bust: a synthesis of mysticete phylogeny, diversity and disparity	140	2015		Marx, FG; Fordyce, RE
4	Ocean fertilization for geoengineering: A review of effectiveness, environmental impacts and emerging governance	72	2012		Williamson, P; Wallace, DWR; Law, CS; Boyd, PW; Collos, Y; Croot, P; Denman, K; Riebesell, U; Takeda, S; Vivian, C
5	Origin of magnetic mineral concentration variation in the Southern Ocean	65	2012		Yamazaki, T; Ikehara, M

7 海洋肥沃化 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Murayama, Mitsu	190	1
2	Misumi, Kazuhiro	166	1
3	Marx, Felix G.	140	1
4	Takeda, Shigenobu	72	1
5	Yamazaki, Toshitsugu	65	1

1. 共著の場合は10名まで記載（但し日本人は追加記載） Note: 2022年3月8日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

(参考)海洋アルカリ化: 日本における引用件数上位論文/著者

海洋アルカリ化: 引用件数上位論文及び著者

8 海洋アルカリ化 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者1)
1	The Drive to Life on Wet and Icy Worlds	170	2014	🇫🇷 🇯🇵 🇺🇸	Russell, MJ; Barge, LM; Bhartia, R; Bocanegra, D; Bracher, PJ; Branscomb, E; Kidd, R; McGlynn, S; Meier, DH; Nitschke, W; Shibuya, T; Vance, S 他
2	Tracking Improvement in Simulated Marine Biogeochemistry Between CMIP5 and CMIP6	37	2020	🇨🇳 🇫🇷 🇩🇪 🇯🇵 🇬🇧 🇺🇸	Seferian, R; Berthet, S; Yool, A; Palmieri, J; Bopp, L; Tagliabue, A; Kwiatkowski, L; Aumont, O; Christian, J; Dunne, J 他
3	Late Proterozoic juvenile arc metatonalite and adakitic intrusions in the Sor Rondane Mountains, eastern Dronning Maud Land, Antarctica	28	2013	🇯🇵	Kamei, A; Horie, K; Owada, M; Yuhara, M; Nakano, N; Osanai, Y; Adachi, T; Hara, Y; Terao, M; Teuchi, S; Shimura, T; Tsukada, K; Hokada, T; Iwata, C; Shiraishi, K; Ishizuka, H; Takahashi, Y
4	Perspective on the response of marine calcifiers to global warming and ocean acidification-Behavior of corals and foraminifera in a high CO2 world "hot house"	27	2019	🇯🇵	Kawahata, H; Fujita, K; Iguchi, A; Inoue, M; Iwasaki, S; Kuroyanagi, A; Maeda, A; Manaka, T; Moriya, K; Takagi, H; Toyofuku, T; Yoshimura, T; Suzuki, A
5	Energetics of Amino Acid Synthesis in Alkaline Hydrothermal Environments	22	2015	🇯🇵	Kitadai, N

8 海洋アルカリ化 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	McGlynn, Shawn E	182	2
2	Shibuya, Takazo	170	1
3	Tsujino, Hiroyuki	37	1
4	Nakano, Hideyuki	37	1
5	Watanabe, Michio	37	1

1. 共著の場合は10名まで記載（但し日本人は追加記載） Note: 2022年3月8日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

(参考)植物残渣海洋隔離: 日本における引用件数上位論文/著者

植物残差海洋隔離: 引用件数上位論文及び著者

9 植物残渣海洋隔離 引用件数上位論文(対象期間: 2012-2022)

#	論文タイトル	引用数	発行年	発行国	著者[1]
1	Plankton networks driving carbon export in the oligotrophic ocean	317	2016	🇫🇷🇩🇪🇯🇵🇺🇸	Guidi, L; Chaffron, S; Bittner, L; Eveillard, D; Larhlimi, A; Roux, S; Darzi, Y; Audic, S; Berline, L; Brum, JR; Ogata, H 他
2	Pan genome of the phytoplankton Emiliania underpins its global distribution	313	2013	🇫🇷🇩🇪🇯🇵🇬🇧🇺🇸	Read, BA; Kegel, J; Klute, MJ; Kuo, A; Lefebvre, SC; Maumus, F; Mayer, C; Miller, J; Monier, A; Salamov, A; Ogata, H 他
3	A reevaluation of the magnitude and impacts of anthropogenic atmospheric nitrogen inputs on the ocean	97	2017	🇩🇪🇯🇵🇬🇧🇺🇸	Jickells, TD; Buitenhuis, E; Altieri, K; Baker, AR; Capone, D; Duce, RA; Dentener, F; Fennel, K; Kanakidou, M; LaRoche, J; Uematsu, M 他
4	How organic carbon derived from multiple sources contributes to carbon sequestration processes in a shallow coastal system?	82	2015	🇯🇵	Watanabe, K; Kuwae, T
5	Ubiquity and quantitative significance of detoxification catabolism of chlorophyll associated with protistan herbivory	39	2012	🇯🇵	Kashiyama, Y; Yokoyama, A; Kinoshita, Y; Shoji, S; Miyashiya, H; Shiratori, T; Suga, H; Ishikawa, K; Ishikawa, A; Inouye, I; Ishida, K; Fujinuma, D; Aoki, K; Kobayashi, M; Nomoto, S; Mizoguchi, T; Tamiaki, H

9 植物残渣海洋隔離 引用件数上位著者

#	研究者名	発行論文の総引用数	発行論文総数
1	Ogata, Hiroyuki	630	2
2	Shiraiwa, Yoshihiro	313	1
3	Uematsu, Mitsuo	97	1
4	Kuwae, Tomohiro	82	1
5	Watanabe, Kenta	82	1

1. 共著の場合は10名まで記載（但し日本人は追加記載） Note: 2022年3月8日時点
Source: Web of Science; BCG Center for Growth & Innovation Analytics

サマリ: NETs関連スタートアップ企業動向

NETs分類	関連スタートアップ企業(直近3年以内に投資家から資金調達している企業)		
森林系 ① 植林・再生林	GREEN FORESTERS (2020年) • 地方でのサステナブルな働き方を提案する植林・育林事業を展開	Land life company (2013年) • 自社開発容器コクーン、データ分析等を組み合わせた効率的な植林事業を展開	Pachama (2018年) • デジタル技術を活用し、森林のCO2吸収量を予測・測定するサービスを展開
森林系 ② 土壌炭素貯留	TOWING (2020年) • 炭素固定効果が期待できる人工土壌高機能ソイルを活用した栽培システムを開発	Loam Bio(旧Soil Carbon) (2019年) • 植物への共生微生物投与により炭素吸収率を高める技術を開発	Indigo Agriculture (2013年) • 農地炭素貯留由来の第三者認証排出権の生成事業を展開
森林系 ③ バイオ炭	サグリ (2018年) • 農地状況把握アプリを活用したバイオ炭による炭素貯留効果検証技術を開発	Made of Air (2016年) • 廃棄木材から作られたバイオ炭を原料とするバイオプラスチックを開発	Carbo Culture (2016年) • 超高速コンバージョンによるバイオ炭製造とカーボンクレジット供給事業を展開
CCS系 ④ BECCS	C Capture (2009年) • 独自の溶剤技術によるCO2回収技術を開発し、Drax社とBECCS共同PJを推進	Econic Technologies (2011年) • Drax社と共同でBECCS事業を推進し、バイオプラスチックを開発	Aker Carbon Capture (2020年) • 中小型CO2回収装置を手掛け、大手エネルギー企業とBECCS事業を推進
CCS系 ⑤ DACCS	Climeworks (2009年) • 固体吸着剤を用いたスイングリアクターDAC装置を開発・製造	Carbon Engineering (2009年) • アルカリ溶液法によるDAC装置を開発・製造	Verdox (2019年) • 充放電を用いた電気化学的炭素捕捉技術によるDAC装置を開発・製造
⑥ 風化促進	44.01 (2020年) • 再エネ利用でCO2を地下へ注入し、橄欖石反応促進によるCO2貯留技術を開発	Heirloom Carbon Technologies (2020年) • 鉱物の炭素硬化作用を利用して大気中からCO2を除去する技術を開発	Eion (2021年) • ケイ酸塩岩を土壌に混ぜて風化促進する独自技術を開発
海洋系 ⑦ 海洋肥沃化	Sea6 Energy (2010年) • 大規模海洋農業事業を手掛け、海藻からバイオ燃料を生産する技術を開発	IntelliReefs (2017年) • 環境耐性の強い人工漁礁システムを構築し、CO2を回収する技術を開発	Running Tide (2017年) • 高度なソフトウェアで海洋環境を制御し、海洋肥沃によるCO2を回収する技術を開発
海洋系 ⑧ 海洋アルカリ化	Heimdal (2020年) • 海洋アルカリ化によるミネラルの析出でCO2吸収率を高める技術を開発	Ebb Carbon (2021年) • 独自の電気化学システムを用いて海洋の酸を除去することでCO2回収する技術を開発	
海洋系 ⑨ 植物残渣海洋隔離	技術成熟度が9つのNETs技術の中で最も低い(TRL:2)ため、現時点では事業化は限定的と想定		

凡例: 年 = 企業設立年

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

植林・再生林領域で台頭しているスタートアップ企業として、GREEN FORESTERS(日)、Land life company(欄)、Pachama(米)が近年資金調達を実施

植林・再生林: スタートアップ企業動向

1 植林・再生林	GREEN FORESTERS	Land life company	Pachama
本社所在国	(日本国旗)	(オランダ国旗)	(米国国旗)
設立年	2020年	2013年	2018年
従業員数	N/A	65名	55名
事業概要	• 地方でのサステナブルな生活とキャリアを実現する"柔軟で効率的な働き方"を最重要テーマに置いた「GREEN WORK」を提案する植林・育林事業を展開	• メンテナンスが~1年不要となる100%生分解性の自社開発容器コクーン、リモートセンシング技術、地理データ分析等の複数技術を組み合わせた効率的な植林事業を展開	• 森林由来カーボン・クレジットの信頼性向上のために、LIDAR等のセンシング技術活用、人工知能、機械学習を活用し、森林エリアのCO_2吸収量を予測・測定するサービスを展開
資金調達動向	• 時期: 2021年 • 調達金額: N/A • 調達先: GMOグループ経営者・投資担当の村松竜氏による寄付	• 時期: 2020年 • 調達金額: 6Mユーロ • 調達先: Achmea Innovation Fund, sustainable investment fund Meewind, DOEN Participates、the Grantham Environmental Trust等の複数投資家	• 時期: 2021年 • 調達金額: 15Mドル • 調達先: Breakthrough Energy Ventures、Amazon Climate Pledge Fund、Saltwater、Lowercarbon Capital

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

土壌炭素貯留領域で台頭しているスタートアップ企業として、TOWING(日)、Loam Bio(豪)、Indigo Agriculture(米)が近年資金調達を実施

土壌炭素貯留: スタートアップ企業動向

2 土壌炭素貯留	TOWING	Loam Bio(旧Soil Carbon)	Indigo Agriculture
本社所在国			
設立年	2020年	2019年	2013年
従業員数	N/A	34名	2,305名
事業概要	• 炭素の固定や吸収効果が期待されている人工土壌「高機能ソイル」を活用した次世代の作物栽培システム「宙農(そらのう)」を開発	• 植物に共生微生物菌を投与し、植物の炭素吸収率を高め、土壌内に炭素隔離する事業を展開	• 微生物コーティング種子の製造販売、生産者と需要家が直接交渉して売買可能なオンラインマーケットプレイス事業、農地炭素貯留による第三者認証排出権の生成事業を展開
資金調達動向	• 時期: 2021年 • 調達金額: 1.6億円 • 調達先: Beyond Next Ventures、epiST Ventures、NOBUNAGA キャピタルビレッジ	• 時期: 2021年 • 調達金額: 40M豪ドル • 調達先: Time Ventures、Main Sequence Ventures、Horizons Ventures、the Clean Energy Finance Corporation、Acre Venture Partners、Grok Ventures、Lowercarbon Capital	• 時期: 2020年 • 調達金額: 360M米ドル • 調達先: Alaska Permanent Fund、Flagship Pioneering

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

バイオ炭領域で台頭しているスタートアップ企業として、サグリ(日)、Made of Air(独)、Carbo Culture(フィンランド)が近年資金調達を実施

バイオ炭: スタートアップ企業動向

3 バイオ炭	サグリ	Made of Air	Carbo Culture
本社所在国	日本	ドイツ	フィンランド
設立年	2018年	2016年	2016年
従業員数	7名	15名	11名
事業概要	• 農地状況把握アプリ"ACTABA"を手掛けており、バイオ炭による炭素貯留効果検証に繋がるアルゴリズムを開発(土壌を衛星データから検出し、炭素量と窒素量を推定)	• 廃棄される木材から作られたバイオ炭を原料とするバイオプラスチックを開発・提供(主要供給先: アパレル、自動車、家具等)	• 自社独自開発の超高速コンバージョン技術によるバイオ炭の製造とバイオ炭由来のカーボンクレジット供給事業を展開
資金調達動向	• 時期: 2021年 • 調達金額: 1.55億円 • 調達先: リアルテックファンド、みなとキャピタル、池田泉州キャピタル、広島ベンチャーキャピタル、ひょうご神戸スタートアップファンド	• 時期: 2021年: • 調達金額: 5Mユーロ • 調達先: Norwegian sustainability-focused family fund、TD Veen、EQT Group, Thomas Von Koch、Tuesday Capital、the Co-Founders of Pexip、Aksel Lund Svindal等	• 時期: 2021年 • 調達金額: 6.2米ドル • 調達先: Silicon Valley VC True Ventures、Cherry Ventures、Swiss climate investor Übermorgen Ventures

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

BECCS領域の台頭しているスタートアップ企業として、C Capture(英)、Econic Technologies(英)、Aker Carbon Capture(ノルウェー)が近年資金調達を実施

BECCS: スタートアップ企業動向

4 BECCS	C Capture	Econic Technologies	Aker Carbon Capture
本社所在国	英国	英国	ノルウェー
設立年	2009年	2011年	2020年
従業員数	27人	19	N/A
事業概要	• 独自の溶剤技術による排ガスからのCO2回収技術を開発しており、英電力Drax社とのBECCS共同プロジェクトを推進	• 英電力Drax社との共同PJによるバイオマス発電所から回収されたCO2を、プラスチック製品における石油代替として活用する技術を開発	• 中小型CO2回収装置の開発・製造を手掛け、複数の大手エネルギー企業(Ørsted、Vattenfall等)と共同でBECCS事業を推進
資金調達動向	• 時期: 2021年 • 調達金額: 8Mポンド • 調達先: IP Group、Drax Group、bp Ventures、the British Business Bank's Future Fund	• 時期: 2020年 • 調達金額: 3.2Mポンド • 調達先: the UK government's Future Fund、OGCI Climate Investments、IP Group	• 時期: 2021年 • 調達金額: 840Mノルウェークローネ • 調達先: 約3,800万株(38,181,818株)を1株当たり22ノルウェークローネで新規発行

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

DACCS領域の台頭しているスタートアップ企業として、Climeworks(スイス)、Carbon Engineering(加)、Verdox(米)が近年資金調達を実施

DACCS: スタートアップ企業動向

5 DACCS	Climeworks	Carbon Engineering	Verdox
本社所在国			
設立年	2009年	2009年	2019年
従業員数	144名	133名	21名
事業概要	• ファンで大気を吸気し、固体吸着剤フィルターでCO2を捕集するスイングリアクターによるDAC装置を開発・製造(2017年にスイスHinwilの廃棄物処理事業者施設に初導入)	• 水酸化カリウム溶液を通じて、大気中のCO2を炭酸カリウムに変え、その後炭酸カルシウムの燃焼でCO2を捕集するアルカリ溶液法によるDAC装置を開発・製造	• 充放電による電気化学反応を用いて、二酸化炭素の吸着と脱着を行う電気化学的炭素捕捉技術によるDAC装置を開発・製造
資金調達動向	• 時期: 2020年 • 調達金額: 73Mスイス・フラン • 調達先: N/A	• 時期: 2019年 • 調達金額: 68M米ドル • 調達先: Bill Gates, Murray Edwards、BHP、Chevron Technology Ventures、Oxy Low Carbon Ventures、Bethel Lands Corporation等	• 時期: 2022年 • 調達金額: 80M米ドル • 調達先: Breakthrough Energy Venture、Prelude Ventures、Lowercarbon Capital

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

風化促進領域の台頭しているスタートアップ企業として、44.01(オマーン)、Heirloom Caron Technologies(米)、Eion(米) が近年資金調達を実施

風化促進: スタートアップ企業動向

6 風化促進	44.01	Heirloom Carbon Technologies	Eion
本社所在国	オマーン		
設立年	2020年	2020年	2021年
従業員数	18名	23名	N/A
事業概要	• 再生可能エネルギーを活用して、CO2を地下に注入し、地層内の橄欖石の反応を促進することで、CO2を永久貯蔵する技術を開発	• 鉱物(ミネラル)の炭素硬化作用を利用して、大気中からCO2を除去する技術を開発	• ケイ酸塩岩を土壌に混ぜることで鉱物の風化を促進する「Carbon Lock™」技術開発、風化促進によるCO2吸収量の測定技術を開発
資金調達動向	• 時期: 2021年 • 調達金額: 5M米ドル • 調達先: Breakthrough Energy Ventures、Apollo Project、United First Partners	• 時期: 2021年 • 調達金額: N/A(Millions of dollars) • 調達先: Breakthrough Energy Ventures、Lowercarbon Capital、Prelude Ventures	• 時期: 2021年 • 調達金額: 6M米ドルの一部 • 調達先: Stripe Climate - 同社は4社の炭素貯蔵技術会社へ6Mドルを投資し、そのうちの1社がEion

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

海洋肥沃化領域の台頭しているスタートアップ企業として、Sea6 Energy(印)、IntelliReefs(加)、Running Tide(米)が近年資金調達を実施

海洋肥沃化: スタートアップ企業動向

7 海洋肥沃化	Sea6 Energy	IntelliReefs	Running Tide
本社所在国	インド	カナダ	米国
設立年	2010年	2017年	2017年
従業員数	68名	4名	51名
事業概要	• 大規模海洋農業事業を手掛け、海藻から持続可能なバイオ燃料生産技術を開発	• ナノテクノロジーとデータ分析によって環境ストレス耐性の強い人工漁礁システムを構築し、海洋CO2回収を促進する技術を開発	• センサーデータ分析アルゴリズムによる高度なソフトウェアによって海洋環境を制御し、海洋肥沃によるCO2回収を促進する技術を開発
資金調達動向	• 時期: 2021年 • 調達金額: 9M米ドル • 調達先: Aqua-Spark、Silverstrand Capital	• 時期: 2021年 • 調達金額: 25K米ドル • 調達先: Innovacorp	• 時期: 2019年 • 調達金額: 11M米ドル • 調達先: N/A

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

海洋アルカリ化・植物残渣海洋隔離領域の台頭しているスタートアップ企業としてHeimdal(英)、Ebb Carbon(米)が近年資金調達を実施

海洋アルカリ化: スタートアップ企業動向

8 海洋アルカリ化	Heimdal	Ebb Carbon
本社所在国		
設立年	2020年	2021年
従業員数	9名	3名
事業概要	• 海水アルカリ化により、ガス状の水素、塩素、水酸化物の吸着剤を分離後に、海水と混成してミネラルを析出することで大気中のCO2吸収率を高める技術を開発	• 独自の電気化学システムを用いて海洋から酸を除去することで、大気中のCO2を吸引して海洋重炭酸塩として貯蔵する技術を開発
資金調達動向	• 時期: 2021年 • 調達金額: 10.7米ドル • 調達先: Zillionize	• 時期: 2021年 • 調達金額: 6Mドルの一部 • 調達先: Stripe Climate - 同社は4社の炭素貯蔵技術会社へ6Mドルを投資し、そのうちの1社がEbb Carbon

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

本報告書構成

サマリ: 国内外のNETs仕組み現状を踏まえた示唆

"官"による仕組み

- 欧米中の海外諸国では、NETsの技術開発/社会実装の双方を支援する複数の政策を策定・実行
  - 米国: DAC/森林系/藻類炭素固定化の支援が豊富
  - 中国: 9つのNETsを技術成熟度に応じて支援
  - EU: 欧州グリーン・ディールの一環でNETsを支援
  - 英国: 産業振興の名目で9つのNETsを全般支援
  - ドイツ: 9つのNETsのリスク評価も踏まえて、NETs導入の最適デザインを主導
  - フランス: 森林系NETsを中心に民間投資喚起を実施

日本は、技術開発から社会実装まで一気通貫での政策支援が必要

"民"による仕組み

- 海外では、脱炭素技術のマネタイズ/社会実装化の仕組みとしてVCC(Voluntary Carbon Credit)市場が台頭
  - 現状ではCO2総排出量に占めるVCCによる削減割合は1%未満だが、将来的には徐々に拡大見込み
  - 今後は、現状の相対取引中心から、複数企業/組織間取引へ移行するにあたり、透明性の高い取引プラットフォームやルール整備が必要な状況
- 日本企業も近年VCCに参画し始めており、クレジット供給側では商社、利用側では資源エネルギー企業の取組が拡大

民間主導によるNETs社会実装促進の仕組みとして日本企業によるVCC取引拡大・ルール形成参画が必要

Source: BCG分析

主要国のNETs支援策サマリ

- DAC/土壌炭素貯留/バイオ炭/藻類の炭素固定化の開発/実装を支援
  - 国土の約20%を占める農地や吸収効率の良い大型藻類に着目。藻類はバイオ燃料源/商品資材としての活用によるコスト回収も視野
- 特にCO2回収・貯留、バイオ燃料生産技術のコスト低減と汎用化を目指し、既存産業の変革とカーボンニュートラルを並行推進
- 民間投資には尚早だが国益に寄与する革新的エネルギー関連技術の支援を行う、エネルギー省の「ARPE-E」による資金援助が多い事も特徴

- 9つ全てのNETsの開発/実装を、技術成熟度に合わせて適確に支援
- 「海洋強国」を目指す国家方針の元、特にブルーカーボン技術革新/産業化/取引プラットフォームの構築に重点注力し成果を創出
- トップダウンでの支援体制が確立し、党大会を機に国務院が各都市に号令、都市政府が目指す姿実現の為の実行プランを策定/実施
  - 都市政府の条例には中小企業への資金注入や、市民への啓蒙(教育/広報)など、細部に至るまで実施事項が言及されるのも特徴

- 植林・再生林、土壌炭素貯留、DACCSやCCUS、海洋生態系における炭素固定技術の開発/実装を支援
- 世界初の「気候中立」達成と国際競争力の強化、EU経済の変革及び工業・農業などの産業保護が狙い
  - 特に炭素集約型の経済活動に依存し、グリーン産業移行の影響が大きい地域を重点支援
- 最優先環境政策「欧州グリーン・ディール」を中心に、各種資金調達プログラムやEU排出量取引制度などの仕組みを連動させて推進

- 産業支援文脈で9つ全てのNETsの開発/実装をサポート。商業/スケール化観点で有望であれば、海外の企業/大学を含む案件にも投資
- 工業/林業/農業におけるグリーン産業革命を通じた自国の雇用創出と、産業 x グリーンイノベーションにおける世界的なリードが狙い
- グリーン産業革命でコロナ禍から持続可能な社会/経済への復興を目指す首相のリーダーシップの下、ビジネス・エネルギー・産業戦略省が尽力
  - NETs含むカーボンニュートラル推進はエネルギー革命による産業支援文脈につき、ビジネス・エネルギー・産業戦略省の存在感が大きい

- 9つ全てのNETsで開発/実装と並行して導入による社会的/環境的/経済的/政治的リスクに焦点を当て、最適導入デザインにを主導
- イノベーション国家として技術革新を軸としたサステナビリティ戦略で国内産業保護を図ると共に、EU/世界でのドイツの優位性を確立する狙い
- 主にドイツ連邦教育・研究省のFONA (Research for Sustainability Strategy)プログラム内で、NETsの開発/実装を支援
  - 2005年に始まった持続的発展の為の研究助成プログラムで、2025年までの5年間の環境保護とSDGsに関する研究に40億ユーロを投資

- NETsでは森林系や藻類による炭素固定を支援しており、特に森林系で他のNETsに先んじて民間投資を喚起する仕組みを構築
- アグロフォレストリーの推進など、林業・農業の保護/育成に注力してきた事が背景
- NETsの支援体制としては、他国の様な有望案件への直接投資より、民間/諸外国も巻き込んだ投資呼び込みの仕組み作りに注力
  - COP21ではフォーパーミル・イニシアチブ創設を提唱

Source: BCG分析

CCS系においてはDACの低コスト化に寄与する研究/実装を支援

アメリカにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(1/8)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
CCS系	5 DACCS	米国財務省 (USTD)	組織単位	Section 45Q (セクション45Q税控除)	2021年1月	• CO_2回収・貯留に係る税額控除 - 地質学的に安定した場所に貯留した場合1t/CO_2当たり50ドルの控除 - 回収したCO_2をEOR(原油増進回収)に活用する場合1t/CO_2当たり30ドルの控除 • 本施策でタックス・エクイティ投資も推進 - 回収当事者に代わり回収装置の所有者も申請可能	$23億 (財務省による2020~29年の控除試算額)		✓
CCS系	DAC	米国エネルギー省 (DOE) 化石エネルギー局 (FE)	案件単位	DAC技術開発推進に係るファンド	2021年1月	• DAC技術開発に係る研究を支援 - 産業寄与の観点で低コストでスケーラブルな技術を支援 • 以下の観点で国立エネルギー技術研究所(NETL)がプロジェクトを管理 - プロジェクトでは回収最適化を目的とした開発推進/ベンチスケール・テスト - 商業規模のCCUS/DACシステムの実証/ビジネスケースの検証 • 開発者にエンジニアリング/調達/建設に知見のあるパートナーを加えた産学連携での申請を奨励	$1,500万	✓	

Note: 2022年2月21日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

CCS系においてはDACの低コスト化に寄与する研究/実装を支援

アメリカにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(2/8)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
CCS系	DAC	米国エネルギー省(DOE) エネルギー高等研究計画局(ARPA-E)	市場全体	HESTIA (Harnessing Emissions into Structures Taking Inputs from the Atmosphere)	2021年8月	• 建築物における炭素貯蔵構造化の技術開発を支援 - 建築物構造変換で、建築/製造時の排出量以上のCO2吸収を目指す • 希少で高価な炭素蓄積建材の低コスト化、汎用化が目的	最大$4,500万 (HESTIA: $4,100万, DOEより: $400万)	✓	
CCS系	DAC	米国エネルギー省(DOE)	案件単位	DAC技術開発推進に係るファンド	2021年3月	• DAC技術開発に係る研究を支援 - 国立研究所/大学/産業界/非営利団体を対象とした公募プログラム • DACの社会実装/汎用化を見据え、特にコスト観点でのブレークスルーを狙う	$2,400万	✓	

Note: 2022年2月21日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

CCS系においてはDACの低コスト化に寄与する研究/実装を支援

アメリカにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(3/8)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
CCS系	DAC	米国エネルギー省(DOE) 化石エネルギー・炭素管理局(FECM)	案件単位	DAC技術への拠出	2021年6月/8月 • 6月に$1,200万の投資を発表 • 8月に$600万の追加助成を発表	• DAC技術を推進する6つの研究開発プロジェクトを支援 - CO2捕集量の最大化/導入コスト低減/CO2除去作業におけるエネルギー効率向上を実現する技術開発を支援 • 2050年までのカーボンネットゼロ達成への貢献が目的 • 国立エネルギー技術研究所(NETL)がプロジェクトを管理 (プロジェクト例) • ①DACによるCO2捕集量の最大化 (Cormetech, Inc./ノースカロライナ州) • ②低コストの風力発電で作動するDACシステムの初期テスト(Research Triangle Institute/ノースカロライナ州) • ③新規DAC技術のための高容量再生材料の開発(Susteon Inc./ノースカロライナ州) • ④DAC技術の初期エンジニアリング設計(The Black & Veatch Corporation/カンザス州) • ⑤商業規模のDACシステムを用いた3つのカーボンファームの初期設計(Silicon Kingdom Holdings Ltd./アイルランド) • ⑥商業規模のDAC運用への低炭素エネルギー源の活用(イリノイ大学) • ⑦積層造形接触子によるCO2回収のための先進的な網状吸着剤塗布システムの開発 (GE Research/NY州) • ⑧熱統合型3Dプリントモジュールと大量生産可能な低圧力損失繊維吸着剤のハイブリッド化(ジョージア工科大学) • ⑨高純度なCO2分離のためのエネルギー効率に優れたDACシステム開発(シンシナティ大学) • ⑩水素のコジェネレーションを伴うDACのための、電気化学的に再生された溶媒のベンチスケール実証(ケンタッキー大学)	総額: $1,800万 ①~③: 各$150万 ④~⑥: 各$250万 ⑦~⑩: 総額$600万 (8月の追加助成)	✓	✓

Note: 2022年2月21日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

森林系ではバイオ燃料による地域産業のグリーン化推進に寄与する開発/実装を支援

アメリカにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(4/8)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022)		支援内容		対象ステージ	
				政策名	発令時期	支援概要	予算額	技術開発	社会実装
森林系	② 土壌炭素貯留	米国エネルギー省(DOE)エネルギー高等研究計画局(ARPA-E)	案件単位	OPEN+	2019年1月	• バイオエネルギーや農業用のセンサー開発を支援 - 同局FOA(OPEN 2018)の派生施策 (プロジェクト例) • 分解性分析センサーネットワークを用いた精密農業(PANDAS) (コロラド大学ボルダー校) - 生分解性農業用土壌センサーを開発 - 土壌と作物の状態をモニタリングして水分/肥料の最適量を算出 - 省コスト/土壌の炭素貯留増を目指す	総額: $1,100万 PJ: $170万	✓	

Note: 2022年2月21日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

森林系ではバイオ燃料による地域産業のグリーン化推進に寄与する開発/実装を支援

アメリカにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(5/8)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
森林系	3 バイオ炭	米国農務省森林局 (USDA)	市場全体	ウッド・イノベーション助成プログラム	2021年1月	• 木製品や木質バイオマス燃料市場の活性を目的とした研究/実証を支援 - 公募により23州およびプエルトリコの44案件を支援 • NETsでは計4件のバイオ炭開発/実装プロジェクトを支援 - CARの炭素市場を通じたバイオ炭の生産と利用の活性化($11万) - 上記の他に、Pacific Biochar Benefit Corp.($25万)、ネブラスカ大学($12万)、Orcas Power & Light Cooperative($7万)などを支援	総額: $890万	✓	✓
				コミュニティ・ウッド助成プログラム	2021年5月	• 建築/木材製造において直ちに着工/導入可能な革新的プロジェクトを支援 - 公募により、6州の建築業者・木材資材製造業による6案件を選出 - 農村地域における木材原料のエネルギーシステム開発や、革新的な木製品製造施設の建設などを支援 • 地元調達の木材の使用とサスティナブルな森林管理が助成の条件 (プロジェクト例) • 建築/木材生産工程へのバイオ炭プラントの導入支援 (Arizona Log & TimberWorks, LLC)	総額: $210万 PJ: $48万		✓

Note: 2022年2月21日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

海洋系では藻類燃料の国際的優位性構築も視野にコスト低減に寄与する研究を支援

アメリカにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(6/8)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
海洋系	海洋生態系による炭素固定(ブルーカーボン) (7, 9)	米国エネルギー省(DOE)バイオエネルギー技術局(BETO)	案件単位	バイオエネルギー技術の拡大と変換への研究開発に係るファンド	2021年9月	• 低コスト、低炭素のバイオ燃料生産技術/プロセス開発に係る22件のプロジェクトを支援 • 将来的に飛行機や船などCNが困難な領域への燃料(SAF)供給が目的 (プロジェクト例) • 炭素固定化を行う藻類培養(Global Algae Innovations) - CO_2吸収を行う藻類の大規模な培養、収穫、加工技術の開発 - 藻類バイオ燃料の商業発展に向け、低コストな生産技術の実装を目指す	総額: $6,400万 PJ: $400万	✓	✓
		米国エネルギー省(DOE)エネルギー高等研究計画局(ARPA-E)		MARINER (Macroalgae Research Inspiring Novel Energy Resources)	2017年9月	• 大型藻類研究に係る18件のプロジェクトを支援 • 大型藻類/海草の生産ツール開発において他国をリードする事が目的 (プロジェクト例) • スケーラブルな沿岸・沖合大藻類養殖の開発(アラスカ大学フェアバンクス校) - 生産～収穫/再播種までのシュガーケルプ養殖スケールモデルを開発 - シンプルな生産設計と漁業技術応用により低資本・コストでの導入を実現	総額: $2,200万 PJ: $50万	✓	

Note: 2022年2月14日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

海洋系では藻類燃料の国際的優位性構築も視野にコスト低減に寄与する研究を支援

アメリカにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(7/8)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
海洋系	海洋生態系による炭素固定(ブルーカーボン) 7 9	米国エネルギー省(DOE)	案件単位	バイオエネルギー研究開発に係るファンド	2020年3月	• バイオ燃料研究開発を支援 • バイオ燃料の低価格化とバイオマス/廃棄物資源からの高付加価値製品生産が目的 • NETsにおいては藻類のCO2吸収・固定化の効率化技術の開発を助成 - 藻類バイオ燃料の低コスト化を目指す	総額: 最大 $9,600万 PJ: 最大 $1,400万	✓	
海洋系	海洋生態系による炭素固定(ブルーカーボン)	米国エネルギー省(DOE) エネルギー高等研究計画局(ARPA-E)	案件単位	OPEN 2018	2018年11月	• エネルギー技術開発に係る第4期ファンド - 建築効率、分散型発電、電気効率、資源効率、輸送エネルギー変換など10の技術分野で79案件を支援 (プロジェクト例) • KRUMBS-海草の反芻微生物によるバイオコンバージョン(ハワイ州 Kampachi Farms, LL) - 大型藻類からバイオ燃料/製品への高効率変換プロセスの開発 - 藻類バイオマスを迅速に消化する微生物の分離、最適配分を実施	総額: $1億 9,900万 PJ: $330万	✓	

Note: 2022年2月21日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

海洋系では藻類燃料の国際的優位性構築も視野にコスト低減に寄与する研究を支援

アメリカにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(8/8)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
海洋系	7 9 海洋生態系による炭素固定(ブルーカーボン)	米国エネルギー省(DOE) エネルギー効率・再生可能エネルギー局(EERE)	案件単位	廃棄物および藻類バイオエネルギー技術開発への拠出	2021年8月	• 廃棄物および藻類バイオエネルギーの技術開発を支援 - 11の大学/産業界主導のプロジェクトで、航空機/船舶用の低炭素燃料に転換可能なバイオマス資源を開発 - 主にバイオ燃料/バイオパワー/バイオプロダクツの改良と生産向上を支援 • 2050年までのカーボンネットゼロ達成への貢献が目的 - 特にバイオマス燃料によって航空や船舶など電化の障害となっている運輸産業の脱炭素化に寄与する狙い - 地域の産業育成や新たな雇用創出も視野 • NETsにおいては、6件の藻類の炭素固定プロジェクトを支援 - 藻類養殖における成長促進/生産向上に寄与する画期的な手法の開発を支援 (プロジェクト例) • 燃料およびポリウレタン前駆体用の藻類脂質および糖質の生産性向上 (カリフォルニア大学) • 培養操作と系統形質の革新による藻類生産性の向上 (コロラド州立大学) • 微細藻類の大規模培養/安定性/生産性向上を目的とした生態系モニタリング技術(カリフォルニア大学) • DAC技術と藻類炭素生触媒の統合(アリゾナ州立大学) • DACで捕集したCO2で藻類を培養する技術による生産性の向上(Global Algae Innovations/ハワイ州) • DACで捕集したCO2による藻類純生産の向上及び有機炭素の損失最小化 (トレド大学)	総額: 約$3,400万 うち藻類培養PJ総額: $1,870万 PJ: 約$320万	✓	✓

Note: 2022年2月21日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

森林系では事業やプロジェクト拡大に向けた取引の仕組みや資金援助体制が整う

中国におけるNETs開発/社会実装推進支援策(1/11)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
森林系	1 植林・再生林	中国国務院 中国生態環境部(MEE)/ 国家発展改革委員会(NDRC)	市場全体	CCER (中国認証排出削減量: Chinese Certified Emission Reduction)	N/A	• CCERによりCO2排出削減技術の社会実装を支援 - CCERは中国国内のプロジェクトに基づくCO2削減量に応じ、政府が購入事業者に対し発行する炭素クレジット • 中国CO2排出市場におけるオフセットの供給不足を補う事が目的 • 認証基準や価格合理性、案件規模観点で2017年以降取引が中止されていたが、ETS制定により再開見込み - ETSは全国統一のキャップ・アンド・トレード型CO2排出権取引制度で、ETSに基づき全国CO2排出量取引市場(上海環境エネルギー取引所)が21年7月に誕生 - 同市場でCEA(炭素排出枠)、CCERの取引を開始 • 5つの植林・再生林関連プロジェクトが認証済み - 5つのプロジェクトの総取引量は全CCERの中で3%に留まる(2017年度時点) - 全植林・再生林のプロジェクト取引の60%を占める炭素吸収源植林公益プロジェクト(AR-CM-001)が最有望 - 植林・再生林プロジェクト事業者は、取引収益の他に開発推進インセンティブが得られる仕組みも存在	N/A	✓	✓

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

森林系では事業やプロジェクト拡大に向けた取引の仕組みや資金援助体制が整う

中国におけるNETs開発/社会実装推進支援策(2/11)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
森林系	1 植林・再生林	中国国務院自然資源部国家林業草原局	案件単位	中国グリーンカーボン基金(CGCF:China Green Carbon Foundation)	2010年設立	• 中国内の森林系プロジェクトを支援 - CGCFは気候変動に対応するために設立された中国初の国営財団 - 森林系CCER、炭素吸収源植林プロジェクト(AR-CM-001)のほか、100を超えるプロジェクトを支援 (プロジェクト例) • 飲料水源地区の炭素吸収源植林プロジェクト(香港ジョッキークラブ) - 香港の飲料水源である東江水源の広東省龍泉県智光鎮、回竜鎮、利水鎮に8000ムー1)規模の植林を実施 - クラブで排出したCO_2の吸収、東江の水質改善、農家の収入増、持続可能な開発推進に寄与	N/A	✓	✓

1. 1ムー=約6.667アール Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

CCS系では技術開発から産業化へのブレークスルーを狙った支援を展開

中国におけるNETs開発/社会実装推進支援策(3/11)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
CCS系	④ BECCS	中国国家自然科学基金委員会(NSFC)	案件単位	中国国家自然科学基金	2021年11月	• 中国鉱業大学低炭素エネルギー研究所のBECCSプロジェクトを支援 - CO_2地中貯留ポテンシャルとエネルギー資源システムの相乗効果等に焦点をあて、両者を相乗的に活用する理論・方法論システムの構築を目指すプロジェクト(CO_2地中貯留可能性とエネルギー資源相乗理論・方法体系とその応用基礎) • NSFCにおけるカーボンニュートラルの実現に向けた重点プロジェクトして、選定	300万元	✓	

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

CCS系では技術開発から産業化へのブレークスルーを狙った支援を展開

中国におけるNETs開発/社会実装推進支援策(4/11)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
CCS系	5 DACCS	中国国務院 工業情報化部	案件単位	グリーン産業発展のための「第14次5カ年計画」	2021年 12月	• グリーン製造業の育成を目的とした5カ年行動計画においてCCUS開発/実装を支援 • 産学双方を支援し、エンジニアリングと産業化のブレークスルーを狙う - 産業革新センター/工学研究センター/技術革新センターなどの建設を奨励 - 大企業による研究機関/大学/工業団地などを統合した市場志向のグリーン技術革新コンソーシアム設立を支援 - 将来的なイノベーションの核となる事を目指し中小/零細企業も支援 • NETsにおいては100万トンのCO2回収と貯留など、大規模なCO2削減プロジェクトを支援	N/A	✓	✓
CCS系	5 DACCS	中国国務院 国家発展改革委員会 (NDRC)	案件単位	CO2回収・利用・貯蔵プロジェクトに係る報告要請	2021年 6月	• 各省/都市/自治区/企業などに対し、NDRCに対するCO2回収・利用・貯留プロジェクトの概要報告を要請 • 技術レベルと開発/実装状況を管理/評価し、支援に繋げる事が目的 • プロジェクト管理者は以下を報告 - 基本情報(PJ名/投資額/内容/タイムライン/関連産業) - 技術概要(コア技術/プロセス等)、ポテンシャル(CO2回収量・効率/CO2貯留期間・条件/貯留生成物など) - 経済分析(収支/投資・負債額/投資回収期間など) - 影響分析(PJのエネルギー・資源消費量/生態系・環境負荷/経済・社会貢献度など)	-	✓	✓

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

CCS系では技術開発から産業化へのブレークスルーを狙った支援を展開

中国におけるNETs開発/社会実装推進支援策(5/11)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
CCS系	CCUS	北京市発展改革委員会	組織単位	北京市グリーン技術イノベーション支援計画	2021年9月	• 第14次5ヵ年計画に基づく北京市独自のグリーン技術開発/実装支援計画 - 風力発電/水素エネルギー/CCUS等のグリーン技術開発/実装/事業拡張を支援 - 発展潜在性の高い先進技術を公募/専門家推薦で選定、目録化し、管理/サポート - 技術需給マッチング/実証支援(財政・環境)/第三者への技術評価委託・フォロー/汎用時の需給予測/融資プラットフォームの構築/金融機関への融資依頼等を実施 • 支援プラットフォームを構築し、支援対象の継続動向観察/支援にも注力 - 業界団体の定期訪問で事業社ニーズを吸い上げ政策に反映 - 支援策享受サポート/適切な支援機関とのマッチング/グリーンボンド発行支援/投資ファンド設立支援なども実施	総額: N/A PJ: 1,000万元を上限としPJ投資額の30%を支援	✓	✓

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

風化促進は商用/商業化を見据えた産学連携プロジェクトをピンポイントで支援

中国におけるNETs開発/社会実装推進支援策(6/11)

NETs分類	支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
6 風化促進(BECCS)	中国国務院科学技術部など	案件単位	N/A	N/A	• CO2鉱物化/無機化/利用プロジェクトの実証を支援 - 主に中国科学技術部の資金提供を企業が補う形で、大学/研究機関と企業の共同プロジェクトを支援 - CO2鉱化技術の応用によるCO2の大規模利用/商業化を目指す (プロジェクト例) • ケイ酸塩鉱石と建築廃材によるケミカルルーピングと鉱床化を利用したCO2回収・利用実証プロジェクト(圓中科技股份有限公司、清華大学/2018年) - セメント工場で排出されたCO2を年間1,000トン処理する事を想定 • ミネラルカーボネーション養生技術プロジェクト(河南羌活新材料有限公司、浙江大学/2020年) - コンクリート材料とCO2の炭酸化反応によりCO2貯留とコンクリート製品の強度向上を目指す - 年間1万トンのCO2貯蔵、1億個の軽量/高強度コンクリートの生産を想定	N/A	✓	✓

Note: 2022年2月28日時点
Source: Emerging CO2-Mineralization Technologies for Co-Utilization of Industrial Solid Waste and Carbon Resources in China (Mar. 2021)

海洋系では「海洋強国」実現に向け技術革新/産業化/取引プラットフォーム構築に注力

中国におけるNETs開発/社会実装推進支援策(7/11)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
海洋系	⑦⑨ 海洋生態系による炭素固定(ブルーカーボン)	中国国務院自然資源部国家林業草原局	組織単位	マングローブの保護・再生に係る特別行動計画(2020-2025)	2020年8月	• マングローブ林の保護/拡大を目的とした国家プロジェクト • 既存生息地の浙江省/福建省/広東省/広西チワン族自治区/海南省にマングローブ林の保護を義務付け - 52のマングローブ自然保護区を設置し2025年までに18,800haのマングローブ林の造成/復基に注力 • 指定都市の再生活動を包括的に監督/支援しモデルケースを構築 - 計画指導/技術支援/モニタリング/法改正/投資呼び込み/市民向け広報活動/国際協力仲介などを実施 (参考: 本計画に端を発する各都市の施策) • 本計画を受け、湛江市は中国初のVCC向けマングローブ植林プロジェクトを開発し、VCS/CCBの認証獲得(21年4月) - 広東湛江マングローブ植林プロジェクト - 380haのマングローブ林で年間平均4,000トン、2015~2055年で16万トンのCO2排出削減を見込む - 北京企業家環境保護基金(SEE基金会)が5,880トンのCO2排出削減量購入に合意 • 海南省東寨港自然保護区は教育活動と絡め植林を実施 - 中学生とボランティアによる湿地保護をテーマとした教育実践活動の一環として、植林活動を実施 - マングローブ林増築による豊かな生態系はユネスコ世界遺産暫定リストに登録され、同省の観光収入にも寄与	N/A	✓	✓

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

海洋系では「海洋強国」実現に向け技術革新/産業化/取引プラットフォーム構築に注力

中国におけるNETs開発/社会実装推進支援策(8/11)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
海洋系	7 9 海洋生態系による炭素固定(ブルーカーボン)	山東省威海市人民政府	案件単位	威海市ブルーカーボン経済発展行動計画(2021-2025)	2021年4月	• 国と連携した威海市独自のブルーカーボン経済都市化計画 - 藻類/貝類の養殖池増築で海洋保全と産業新興を図る - 2025年末までに海洋経済に占めるブルーカーボンの割合を30%以上、30社以上で100億元以上の収益を達成 - 多様な海洋系産業育成を目指し、将来的に実証開発特区(ブルーカーボンバレー)の設立も視野(養殖/燃料/素材/ロボット/情報/金融/サービス業等) • 開発/事業化支援に加え、文化/国際発信も実施 - 大学/研究所共同研究開発プラットフォームの確立 - 技術評価/管理システム確立(CO2吸収量算定方法・評価基準の確立/ブルーカーボン技術のデータベース構築) - プロジェクトの上場/マネタイズ支援(投資・税制優遇) - 国内外への広報(教育映画制作/ブルーカーボンExpo) • 「海洋強国」実現への貢献が目的 • NETsにおいては上記の他に専用研究所を開設して支援 - 海洋ネガティブエミッション研究・イノベーションセンターを開設し、海洋炭素吸収に係るプロジェクトを支援 (参考: 本計画に端を発する動き) • 本計画を受け、中国初の「ブルーカーボン融資」も実現 - 威海市の栄城農商銀行が、威海長慶海洋科技有限公司に2,000万元の「ブルーカーボン融資」を実施 - 10万ムー[1]の国家海洋牧場実証モデル区を建設し、年間約42.5万トンのCO2吸収を見込む	N/A	✓	✓

1. 1ムー=約6.667アール Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

海洋系では「海洋強国」実現に向け技術革新/産業化/取引プラットフォーム構築に注力

中国におけるNETs開発/社会実装推進支援策(9/11)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
海洋系	7 9 海洋生態系による炭素固定(ブルーカーボン)	福建省厦門人民政府	案件単位	海洋経済発展を促進する3ヵ年計画(2021-2023)	2021年9月	• 国と連携した厦門市独自のブルーカーボン産業新興計画 - 海洋関連産業の呼び込み/支援を実施 - 2025年末までに市の海洋関連生産額 約3,000億元(地域の生産額の約30%)を達成 - 革新的技術を軸とした国際的企業の創出も目指す - 多様な海洋系産業育成を目指し、将来的には世界的な海洋生態系ガバナンスモデルの構築を視野(水産業/ハイテク/素材/海運/医療/環境/文化など) • 開発/事業化支援に加え、文化/国際発信も実施 • 「海洋強国」実現への貢献が目的 • NETsではプロジェクト支援と、新たな研究所の開設も推進 - 養殖/沿岸湿地/マングローブ/海洋微生物のCO2吸収効率向上/吸収量モニタリングシステムの開発案件を支援 - 新たに福建省海洋養殖カーボンニュートラル応用研究センター/国家重点研究所の設立を推進 • 更に厦門財産権取引センターにて中国初のブルーカーボン取引プラットフォーム開発を推進 - 2021年に中国初のブルーカーボン取引が成立(泉州洛陽江マングローブ生態修復プロジェクト/2,000トン) - 2022年1月には中国初の海洋漁業カーボンシンク取引が成立(福建省福州市連江 海水養殖漁業海洋カーボンシンク取引プロジェクト/1万5,000トン) - 取引の仕組みに加え、大学/研究機関と共同で海洋でのCO2吸収量算定システムの開発も実施 • 例) マングローブPJ取引では、厦門大学環境・生態学院とマングローブ造林カーボンプロジェクト方法学を開発	N/A	✓	✓

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

海洋アルカリ化は国際共同プロジェクトを中国国家自然科学基金で援助

中国におけるNETs開発/社会実装推進支援策(10/11)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022)		支援内容		対象ステージ	
				政策名	発令時期	支援概要	予算額	技術開発	社会実装
海洋系	8 海洋アルカリ化	中国国家自然科学基金委員会(NSFC)	案件単位	中国国家自然科学基金	2020年12月	• 海洋アルカリ化の共同研究プロジェクトを支援 - カナダのダルハウジー大学と山東大学・厦門大学海洋研究教育共同研究室による研究/実証プロジェクト - 無酸素環境における微生物を介した海洋炭素マイナス放出(ONCE)プロセスのデモンストレーション等を実施	N/A	✓	

Note: 2022年2月28日時点
Source: Jiao, N., Liu, J. et al. "Microbes mediated comprehensive carbon sequestration for negative emissions in the ocean", National Science Review, Vol. 7, Issue 12, 1858-1860 (2020.12)

第14次5ヵ年計画を受け、貴州省では自然/技術ベース双方のNETs開発を支援

中国におけるNETs開発/社会実装推進支援策(11/11)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
森林系	① 植林・再生林 ② 土壌炭素貯留 ③ バイオ炭	遵義市紅花崗区人民政府	市場全体	貴州省における第14次科学技術革新5カ年計画	2021年11月	• 第14次5ヵ年計画に基づく省独自の科学技術革新計画 - オープンイノベーションの仕組み充実や、産業支援の強化、企業による技術革新支援の加速化を推進 - 科学技術革新と産業革新を同時推進し、未来の革新と発展を支える新技術/新製品/新ビジネスモデルを創出 - ハイテク・ガゼル・ユニコーン企業の創業を奨励し、国際的な革新型リーディングカンパニー/産業クラスターを育成 • 東部や他の西部の省とは差別化された特色ある強い科学技術省となる事が目的 - 地域イノベーション能力は中国トップ15、総合科学技術イノベーションレベルは中国トップ20に入ることを目指す • NETsにおいては森林系/CCS系/風化促進/海洋系の技術開発を支援 - 大規模CCUS技術、生態系・森林・草原・湿地や土壌・バイオ炭によるCO_2隔離・吸収技術開発を支援 - 粘土鉱物の風化のCO_2吸収ポテンシャル評価に係る研究を助成 - CO_2隔離・吸収量/ポテンシャルの計算/評価手法の開発もサポート (参考) • 貴州省ではBeston社(中国)のバイオ炭生産設備を導入(中国貴州省のBST-10木炭製造工場プロジェクト) • 政府関係者も同プロジェクトの支援を表明	N/A	✓	
CCS系	CCUS								
	⑥ 風化促進								
海洋系	⑦⑨ 海洋生態系による炭素固定								

Note: 2022年2月28日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

EUにおける最優先環境政策において森林系/CCUS/海洋系/の重要性と支援を打ち出し

EUにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(1/5)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
森林系	1 植林・再生林 2 土壌炭素貯留	欧州委員会 (European Commission)	市場全体	欧州グリーン・ディール/欧州グリーンディール投資計画 (The European Green Deal Investment Plan)	2019年12月	• EUの最優先環境政策と投資計画で、気候中立を推進 - GHG削減目標の設定や必要な法制度、投資整備など気候中立に向けた行動計画を策定 - 欧州投資銀行を主軸として官民による投資を実行 - 特に炭素集約型の経済活動に依存し、グリーン産業移行の影響が大きい地域への重点支援を発表 • 世界初の「気候中立」達成と国際競争力の強化、EU経済の変革/産業保護が目的 - 2050年までにEUのGHG排出量ゼロを達成 - EUの基準に準ずる製品を優遇、準じない製品(輸入食品)を市場から排他し、国際的な気候中立推進とEUの産業保護を実現 - 持続可能な農業戦略「From Farm To Fork戦略」において農家の地位向上を推進 • NETsにおいては森林系/海洋生物の炭素固定/CCUSの展開を支援 - 新たにEU森林戦略を策定予定で、EUの森林面積拡大とCO2吸収量の向上を推進 - 農業においてアグロフォレストリーや土壌炭素貯留を推進 - 2030年までにCCUSで革新的技術の商業展開を実現 - 気候変動課題の持続的な解決における、海洋ベースのソリューションの重要性に言及	最低€1兆 (2021年-2030年)	✓	✓
CCS系	CCUS								
海洋系	7 9 海洋生態系による炭素固定								

Note: 2022年3月18日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

欧州グリーン・ディールを受けた行動計画では、森林系/CCUSの具体目標を策定

EUにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(2/5)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
森林系	1 植林・再生林 2 土壌炭素貯留	欧州委員会気候変動対策総局 (Directorate-General for Climate Action)	市場全体	持続可能な炭素循環 (Sustainable Carbon Cycles)	2021年12月	• 欧州グリーン・ディールの目標達成を促す、CO2除去量を増やすための持続可能ソリューション開発に係る行動計画 - カーボンファーミング（炭素農業）と産業用サステナブルカーボンの目標達成に寄与する短/中期的な計画を策定 - アクションとしては実証/モニタリング/検証・評価基準の確立や、政策/資金プログラム(Innovation基金/LIFE プログラム/Horizon Europeなど)の整備などを実施 • 気候中立達成とその先のマイナスエミッションにおける森林/農業/技術ベースのCO2除去技術の重要性を提唱 • 陸上/産業におけるCO2除去の大規模推進が目的 - カーボンファーミング：2028年までに全ての土地管理者が検証済みのCO2排出/除去アプローチのデータにアクセス - 産業用サステナブルカーボン：2030年までに製品に使用するCO2の最低20%を非化石資源から調達し、年500万t/CO2を技術ベースの手法で大気から除去/永久貯留 • 2022年末までに、CO2除去手法の認証に関するEUの規制的枠組みの提案を予定 - 同認証で大気中のCO2除去に寄与するカーボンファーミング/産業用サステナブルカーボンの透明性と確実性を保証 - CO2除去のモニタリング/報告/検証手法を見直し、炭素証書の規制上の利用と強固な市場形成を志向	-	✓	✓
CCS系	5 DACCS								

Note: 2022年3月18日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

欧州グリーン・ディールを受けEU主要基金でも森林系/海洋系/CCS系の開発/実装を支援

EUにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(3/5)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
森林系	② 土壌炭素貯留	欧州委員会 (European Commission)	案件単位	Horizon Europe	2020年12月 (欧州議会の最終採択は2021年4月)	• 欧州グリーン・ディールの目標達成を促す資金調達プログラムの一つで、EUの研究開発/イノベーション推進を支援 - 画期的、破壊的でスケーラブルな研究/実装を支援 - 民間投資家にとってリスクが高いイノベーション、技術成熟度(TRL)の低い技術、中小企業を重点支援 - ①卓越した科学/②グローバルチャレンジ・欧州の産業競争力/③イノベーティブ ヨーロッパ、の3つの柱(Pillar)で構成 (NETsは②に関連) - 国際協力重視(欧州/世界の最高の頭脳を結集)で、EU加盟国以外も条件(EU加盟国・アソシエイト加盟国と協同/低所得国など)を満たせば助成対象 - 多年次に渡るEUの資金助成枠組み計画の第9次にあたり、Horizon2020の後継プログラム • 国連のSDGs目標の達成とEUの雇用創出/経済成長/産業競争力促進が目的 • NETsではPillar2においてCCUSと自然ベースのCO2吸収の強化と保全における開発/実証を支援 - 高いポテンシャルを持つCO2排出削減オプションとして、発電/産業用途におけるCCUSの開発を推進 - 森林系では森林回復、土壌有機炭素蓄積量の保全に係るイノベーションを支援	総額: €955億 (2021年-2027年) Pillar1: €249億, Pillar2: €538億, Pillar3: €134億, 参加拡大と欧州研究圏強化: €134億 気候変動対策関連: 約€334億 (全体の35%)	✓	✓
CCS系	CCUS								

Note: 2022年3月18日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

欧州グリーン・ディールを受けEU主要基金でも森林系/海洋系/CCS系の開発/実装を支援

EUにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(4/5)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
森林系	1 植林・再生林 2 土壌炭素貯留	欧州気候・インフラ・環境執行機関 (CINEA)	案件単位	LIFEプログラム 2021-2027	2021年7月	• 欧州グリーン・ディールの目標達成を促す資金調達プログラムの一つで、気候変動対策関連プロジェクトを支援 - 環境/気候/エネルギーに特化した唯一の資金プログラム - EUの環境/気候関連の目標達成に寄与する革新的な技術/手法の開発/実証を支援 - 関連する数値目標を他政策と一にして投資効率/アクセスを改善すると共に、民間投資呼び込みにも注力 - 関連法律/政策策定と執行、モニタリングなどガバナンス改善もサポートし、技術/政策展開のハブを担う • EUの気候中立実現と気候変動や災害に強い経済への転換が目的 - 自然・生物多様性/循環型経済と生活の質/気候変動緩和と適応/クリーンエネルギー移行の4プログラムで構成 (NETsは「気候変動緩和と適応」カテゴリーが該当) • NETsにおいては、自然ベースのCO2吸収の強化/保全プロジェクトを支援 - 持続可能な自然ベース（土地/森林/土壌/海洋）の保全及び管理手法の開発/実装/スケールをサポート - 森林系は、災害対策も加味した森林・湿地の保護と回復に寄与する手法を助成 - 海洋系では沿岸/海洋のポテンシャル開発と評価、ガイドライン構築を推進	総額: €28億3,368万 (2021年-2024年) NETs関連支援: €5億550万 (2021年-2024年)	✓	✓
海洋系	海洋生態系による炭素固定								

Note: 2022年3月18日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

欧州グリーン・ディールを受けEU主要基金でも森林系/海洋系/CCS系の開発/実装を支援

EUにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(5/5)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
CCS系	4 BECCS 5 DACCS	欧州委員会(European Commission)/イノベーション・ネットワーク執行機関(INEA)が実行	案件単位	イノベーション基金(Innovation Fund)	2019年2月	• 欧州グリーン・ディールの目標達成を促す資金調達プログラムの一つで、革新的なクリーンエネルギープロジェクトを支援 - 水素技術/エネルギー集約型産業での低炭素技術/エネルギー貯蔵/CCUSの、商業観点での実証/実装を支援 - 公募制で、外部の専門家が事業の有効性/GHG削減ポテンシャル/技術の革新性や成熟度などの観点で審査 - EU排出権取引制度(EU ETS)からの収入と、同基金前身プログラム(NER 300)の残資金が財源(2020～2030年でEU ETSで取引される排出枠4.5億枠分を充当予定で、炭素価格に応じて基金は最大約380億ユーロに達する可能性(75ユーロ/tCO2)) • EU市場への脱炭素化に寄与する産業ソリューションの投入と国際優位性の確立が目的 • NETsにおいてはDACCS/BECCSなどの実証プロジェクトを支援 (プロジェクト例) • 水素や化学製品の製造から発生するCO2回収/貯蔵バリューチェーン構築（Kairos-at-C/ベルギー・オランダ・ノルウェー) • 既存バイオマス熱電併給施設におけるCO2回収・貯留施設建設 (BECCS@STHLM/スウェーデン) • セメント工場で発生するCO2の海中、及びコンクリートへの貯留（K6/フランス)	総額: €100億 (2021年-2030年) 第一弾支援額: €10億 (2021年-2030年)	✓	✓

Note: 2022年3月18日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

10ポイントプランにおいても産業貢献の期待が高いCCUSの実装/スケール支援を打ち出し

イギリスにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(1/8)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
CCS系	CCUS	イギリス首相官邸/ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS)	市場全体	「グリーン産業革命」を推し進めるための「10-Point Plan」	2020年 11月	• グリーン産業革命を推進する10項目の開発/実装を支援 - 10項目はクリーンエネルギー/電気自動車/航空・船舶の脱炭素化/住宅のグリーン化/CCUS/植樹/ファイナンス等 • グリーン産業革命の加速によるコロナ禍からの経済成長、25万人の雇用創出が目的 • CCUS支援では、グローバルネット・ゼロ経済における英国産業の長期的な競争力強化を狙う - CCUS実装で世界をリードし脱炭素が困難な産業を支援 - 2030年までに約5万人の雇用創出を支援 - 北海海底へのCO2貯留実現も目指す • 目標達成の為の実施事項/マイルストーンは下記の通り - ノースイースト/ハンバー/ノースウェスト/スコットランド/ウェールズに特区（Super Places）を創設 - 2021年: 産業界と協働でCCUS導入プロセスを決定、民間投資呼び込みの為の収益メカニズムを策定 - 2022年: CCUSの新たなビジネスモデルを確定 - 2030年: 2020年代半ばまでに2カ所、2030年までに更に2カ所の炭素回収クラスターを稼働 (プロジェクト例) • 英国初のCCU実証プラント建設にBEISから￡420万を投資 - Tata Chemicals Europe (TCE)社の敷地内にCCU実証プラントを建設し、高純度重炭酸ナトリウムを製造 - TCEは英国で生産する炭酸水素ナトリウムの60%を60カ国に輸出しており、輸出市場拡大が狙い	総額: ￡120億 CCUS: ￡10億	✓	✓

Note: 2022年3月14日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

10ポイントプランを受け工業/林業/農業のグリーン産業革命推進に寄与するNETsを支援

イギリスにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(2/8)

NETs分類	支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
森林系: 1 植林・再生林, 3 バイオ炭 CCS系: 4 BECCS, 5 DACCS 6 風化促進 海洋系: 7 9 海洋生態系による炭素固定, 8 海洋アルカリ化	ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS)	案件単位	CO2排出量の実質ゼロ化に向けた技術革新ポートフォリオ (NZIP:Net Zero Innovation Portfolio)	2021年3月	• 10-Point Planを受けてBEISが策定した、電力/建物/産業における低炭素技術やシステムの開発/商業化支援基金 - CCUS/バイオエネルギー/DAC/GGR技術/破壊的技術/浮上式洋上風力/水素/原子力先進モジュラー原子炉(AMR)/水素/産業燃料転換/エネルギー貯蔵と柔軟性など10の分野が対象 - 特に脱炭素化に係るコストの削減に寄与する革新的技術の開発支援を重視 - グリーン産業革命のための10ポイントプランにおいて、首相から創設を発表 - 2015~2021年まで実施されたBEIS Energy Innovation Programme (EIP)の後継 • 世界をリードするグリーン産業革命の推進、グリーン雇用創出が目的 - 世界に先駆けて2050年までの英国内の温室効果ガス排出量実質ゼロ化を目指す	£10億	✓	✓

Note: 2022年3月14日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

10ポイントプランを受け工業/林業/農業のグリーン産業革命推進に寄与するNETsを支援

イギリスにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(3/8)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
CCS系	5 CCUS/DAC	ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS)	案件単位	CCUS Innovation 2.0 コンペティション	2021年5月	• ネット・ゼロ・イノベーション・ポートフォリオの一つで、英国内での先進的CCUS技術の展開を支援 - CCUS技術の技術/商業成熟度（TRL/CRL）を向上させる革新技術を支援 - 次世代CCUS技術の、2025年からの商業展開を目指す - 特に既存技術との競争力を高める導入コスト削減を奨励 • 技術成熟度により2つのロット(カテゴリー)に分けて支援を実施 - Lot1: ミッドステージ(TRL 3-5)のCCUS技術の開発/試験運用が対象 - Lot2: は後期(TRL 6-8) CCUS技術を支援し、特に中級(~100tCO_2/日)スケール以上の実証プロジェクトが対象	総額: 最大 £1,950万 Lot1: 最大 £100万/案件 Lot2: 最大 £500万/案件	✓	✓

Note: 2022年3月14日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

10ポイントプランを受け工業/林業/農業のグリーン産業革命推進に寄与するNETsを支援

イギリスにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(4/8)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022)		支援内容		対象ステージ	
				政策名	発令時期	支援概要	予算額	技術開発	社会実装
森林系	1 植林・再生林 3 バイオ炭	ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS)	案件単位	バイオマス原料イノベーションプログラム	2021年 3月	• ネット・ゼロ・イノベーション・ポートフォリオの一つで、バイオマス生産における革新技術の開発/実装を支援 - 有機エネルギーとなる原料の品種改良や植林/栽培/収穫の改良でバイオマスの生産性向上を図る - 2つのフェーズで構成され、Phase1の有望プロジェクトをPhase2で追加支援する仕組み • 持続可能な国産バイオマスの生産拡大とCO_2吸収増、農業・林業支援が目的 • NETsでは藻類炭素固定や植林・再生林プロジェクトを支援 (プロジェクト例) • 植林・再生林: 遺伝子操作による草木の生育加速や収穫自動化、効率的な植林 - ゲノム選抜によるススキ等の高生産プラットフォーム構築/バイオマス生産適地の選定/ブラウンフィールド活用など • 藻類炭素固定: 養殖の機械化やバクテリア利用による大型/微細藻類の生産性向上、経済性評価など - 英国沖合での藻類養殖の機械化推進/微細藻類バイオマスの生産強化/技術ポテンシャルや経済性評価など • 横串プロジェクト: 上記のようなイノベーションプロジェクトの周知/実装加速プラットフォームの構築 - 英国内のバイオマスプロジェクト支援プラットフォーム構築/第二世代エネルギー作物に係る技術評価など	Phase1: 最大 £20万/案件 Phase2: £2,600万/案件 (総額N/A、Phase1のみで£400万拠出)	✓	✓
海洋系	7 9 海洋生態系による炭素固定								

Note: 2022年3月14日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

10ポイントプランを受け工業/林業/農業のグリーン産業革命推進に寄与するNETsを支援

イギリスにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(5/8)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022)		支援内容		対象ステージ	
				政策名	発令時期	支援概要	予算額	技術開発	社会実装
CCS系	4 BECCS	ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS)	案件単位	水素BECCSイノベーションプログラム	2022年1月	• ネット・ゼロ・イノベーション・ポートフォリオの一つで、バイオ水素生成とCO2回収を組み合わせた技術開発を支援 - 中小企業の技術革新を支援するSmall Business Research Initiative(SBRI) 制度を通じて支援 • 2020年半ば~2030年代にかけての革新的クリーンエネルギー技術/プロセスの商業化推進が目的 • 具体的に3つのカテゴリーにおける革新的な水素BECCSソリューションを支援 - ①原料前処理：低コスト/エネルギー効率/材料効率の高い技術を開発し、高度なガス化技術でバイオマス原料を最適化 - ②ガス化コンポーネント: 合成ガスの品質向上と水素生成の改良に焦点を当てた、高度なガス化技術コンポーネントの開発 - ③新規バイオ水素技術: 暗黒発酵/嫌気性消化/廃水処理などCO2回収と組合せ可能なバイオ水素技術の開発 • 2つのフェーズで構成され、Phase1の有望プロジェクトをPhase2で追加支援する仕組み	Phase1: 最大£25万/案件 (総額N/A、Phase1のみで£500万拠出)	✓	✓

Note: 2022年3月14日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

産業貢献が現実的な優れたGGR技術を有するプロジェクトは、他国組織も含め積極支援

イギリスにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(6/8)

NETs分類	支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
CCS系: 4 BECCS / 5 DAC/DACCS; 6 風化促進; 海洋系: 8 海洋アルカリ化	ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS)	案件単位	DAC及びGGR技術に関するコンペ	2020年8月	• ネット・ゼロ・イノベーション・ポートフォリオの一つで、英国におけるGGR除去技術の開発/商業化を支援 - DAC/BECCS/バイオ炭/風化促進/海洋アルカリ化/低炭素ガス技術などが対象 - 植林、効果検証出来ないブルーカーボン技術は非対象 • 2つのPhaseで構成され、Phase1の有望プロジェクトをPhase2で追加支援する仕組み - Phase1では実装を見込める高TRLのDACプロジェクトや低TRLだが革新的なGGRアプローチの開発を支援 - Phase2では商業科に向けたパイロット運用や実証を支援 • 農業/航空業など炭素削減困難な産業への寄与が狙い • 優れた技術を有する組織であれば、海外の企業/大学を含む案件にも投資 (プロジェクト例) • DAC:サイズウェルC原子力発電所開発プロジェクトにおけるDAC技術開発 (EDFエナジー/ノッティンガム大学/ストラタ・テクノロジー/アトキンズ/斗山バブコック他) • BECCS:マイナスエミッションガス化(ドラックス・コーポレーション) • バイオ炭:バイオ炭ネットワーク(Sofies UK/Arla Foods/BSW/Biomacon/R&S Biomass/エディンバラ大学/ニューカッスル大学/英国水文学研究所) • 風化促進:玄武岩の風化促進によるCO2除去(The Future Forest Company/ヘリオットワット大学/シェフィールド大学) • 海洋アルカリ化:海洋酸性化に対抗するカーボン・マイナス水素製造技術(プラネタリーハイドロジェン)	総額: €1億 Phase1: 最大 £25万/案件	✓	✓

Note: 2022年3月14日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

10ポイントプランを受けて森林系でも国内の森林再生と雇用創出に係るプロジェクトを支援

イギリスにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(7/8)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
森林系	1 植林・再生林	イギリス環境・食糧・農村地域省(Defra)	案件単位	グリーン・リカバリー・チャレンジ・ファンド	2021年3月(第2弾の募集)	• 10-Point Planを受けてDefraが創設した基金で、気候変動に対処しながら雇用創出に寄与するプロジェクトを支援 - 環境慈善団体とそのパートナーが対象 - 第1弾の募集では湿原/湿地/森林回復に寄与する68のプロジェクトに約4000万ポンドを投資 - DefraとNational Lottery Heritage Fund、ナチュラル・イングランドによる共同プロジェクト • 10-Point Planで首相が掲げた目標の実現が目的 - 2025年までに毎年3万ヘクタール(75,000エーカー)の植林を行い、国内の再森林化に寄与	総額: ￡4,000万 PJ: 最大 ￡200		✓
森林系	植林・再生林	環境・食糧・農村地域省(Defra)	組織単位	ウッドランドカーボン保証スキーム	2019年11月	• 農家や土地所有者による気候変動への対処を目的とした植林を奨励/支援 • 応募者はオークションを通じ、木の成長に応じて政府から支払いを受ける - オプションで炭素貯留投資への必要な資金も獲得	￡5,000万		✓

Note: 2022年3月14日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

10ポイントプランを受けて森林系でも国内の森林再生と雇用創出に係るプロジェクトを支援

イギリスにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(8/8)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022)		支援内容		対象ステージ	
				政策名	発令時期	支援概要	予算額	技術開発	社会実装
森林系	1 植林・再生林 2 土壌炭素貯留	環境庁/環境・食糧・農村地域省(Defra)	案件単位	自然環境投資準備基金	2021年7月	• 自然環境投資準備基金にて、気候変動に対処する革新的な27の自然保護プロジェクトを支援 - 森林や生物生息地の創出、泥炭地の復元、河川流域管理など自然の修復にフォーカス - 収益源の開発を重視し、民間投資のパイプライン構築と継続的に資金調達可能なモデル開発をサポート - 全プロジェクトでマネタイズの仕組みを確立し、投資へのリターン創出まで発展させる • 自然保護プロジェクトの民間投資呼び込みと、継続的なマネタイズの仕組み構築による産業支援が目的 (プロジェクト例) • 英国土壌・農場炭素コード試行と炭素投資の開発(FWAG) - 農場・土壌規範の提案/再生農業での炭素収益化 • その他塩性湿地の炭素クレジットモデル開発、サセックス海岸のケルプの森の再生、ノースヨークシャーでの森林創出などで投資モデルや炭素クレジットの開発を支援	総額: ￡1,000万 (自然環境投資準備基金総額) PJ: 最大£10万	✓	✓
海洋系	7 9 海洋生態系による炭素固定								

Note: 2022年3月14日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

FONAでCDR(Carbon Dioxide Removal)技術として9NETsの開発/実装デザインまで支援

ドイツにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(1/3)

NETs分類	支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
森林系: 1 植林・再生林 / 2 土壌炭素貯留 / 3 バイオ炭; CCS系: 4 BECCS / 5 DACCS; 6 風化促進	ドイツ連邦教育・研究省 (BMBF)	案件単位	FONAプログラム内: CDR (Carbon Dioxide Removal)	応募期間: 2020年6月~8月 選定期間: 2020年8月~2021年10月 投資期間: 2021年10月~2024年9月	• FONAプログラム内で7件の陸上炭素貯留プロジェクトを支援 • ポテンシャルと社会受容性を検証し、実装シナリオを策定 (各プロジェクトの概要) • CDRSynTra (横串PJ:全アプローチ包括評価/導入デザイン) - 陸上/地中/海洋/物質のCDRアプローチを包括的に評価 - 技術/社会/環境観点で最適なCDRの組み合わせを開発 - 企業/政治家との連携、国民へのコミュニケーション • CDR-PoEt (陸上でのCDRに係る政策/倫理の検討) - CDR推進に必要な政策と利害関係者の公平性を検討 • STEPSEC (植林・再生林/BECCSのCDRポテンシャル検証) - 効果と生来の社会・環境システムへの影響がトレードオフであるかも分析 • NETPEC (光電気化学によるネガテイブエミッション手法開発) - 人工光合成によるCO_2の抽出・長期貯留物質への変換で、既存手法を補完 • DAC-TALES (DACCSの大規模実装に向けたリスク分析) - ポテンシャル/環境・経済影響/社会受容性を統合評価 • BioNET (バイオベースCDR技術の情報プラットフォーム構築) - 政治/農林/科学関係者向け研究データ/リスク情報提供、導入シナリオ策定 • GONASIP (森林系CDRスケール化に向けた不均質性評価) - 植林・再生林/土壌炭素貯留のコストと利益、社会的便益と価値の、不均質性調査/調整	€2,100万 (2021~2025年のFONAプログラム総支援額€40億内)	✓	✓

Note: 2022年3月7日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

FONAでCDR(Carbon Dioxide Removal)技術として9NETsの開発/実装デザインまで支援

ドイツにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(2/3)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
海洋系	7 9 海洋生態系による炭素固定(ブルーカーボン) 8 海洋アルカリ化	ドイツ連邦教育・研究省(BMBF)	案件単位	FONAプログラム内: CDRmare (脱炭素社会への道としての海洋炭素貯留プロジェクト)	応募期間: 2020年5月~8月 選定期間: 2020年8月~2021年8月 投資期間: 2021年8月~2024年7月	• FONAプログラム内で6件の海洋炭素貯留プロジェクトを支援 - ドイツ海洋研究同盟(DAM)を中心とした海洋関連の大学・研究所・企業による共同プロジェクト • 全案件でCO_2吸収ポテンシャルと実装の可能性、環境/社会への影響を包括的に検証。モニタリングシステムも開発 (各プロジェクトの概要) • ASMASYS (ブルーカーボンの評価基準開発) - 海洋でのCO_2貯留オプションの集約と評価基準の開発 - 法的/社会的/政治的観点からも5つのプロジェクトを横串で検証/評価 • GEOSTOR (海洋地層へのCO_2貯留) - 北海の海底砂岩層におけるCO_2貯留可能エリアの調査/実装可能性と環境・地震リスクの検証 • AIMS3 (海洋地殻へのCO_2貯留) - 海洋地殻における炭酸塩としてのCO_2貯留ポテンシャルと環境リスクの検証 • RETAKE (海洋アルカリ化) - 環境保全とCO_2除去を両立する海洋アルカリ化技術開発 • sea4soCiety/ TestArtUp (海洋生態系による炭素固定) - 産業リスク・利用を踏まえた、沿岸生態系におけるCO_2貯留技術の開発(sea4soCiety) - 深層水の湧昇を促進してプランクトンの成長を早める事による、CO_2吸収量増幅技術の開発(TestArtUp)	€2,600万 (2021~2025年のFONAプログラム総支援額€40億内)	✓	✓

Note: 2022年3月7日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

CCS系では2030年からの大規模利用に向け実行性を伴う支援を実施

ドイツにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(3/3)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022)		支援内容		対象ステージ	
				政策名	発令時期	支援概要	予算額	技術開発	社会実装
CCS系	CCS/CCU	ドイツ連邦経済エネルギー省(BMWi)/環境・自然保護・原子力安全省(BMU)/教育・科学技術省(BMBF)	市場単位	Climate Action Programme 2030内: 第一次産業におけるCO2除去/利用に関するプログラム	2019年10月	• Climate Action Programme 2030内で第一次産業の炭素排出量削減に絞ったCDA/CCS/CCUの開発/実装を支援 - 産業プラント/地域毎の技術適正や開発～輸送までのCO2フローをモデリング - EU内協力による北海海底深部への炭素貯留も含む • 背景として、ドイツ工学アカデミー(acatech)より2030年からの第一次産業でのCCS大規模利用に向け支援を求める提言 • 産業立国としてのドイツの国際優位性維持と、国内産業の育成/保護が目的 - 国内においては特に輸出産業支援と長期的なグリーン雇用創出 - 対外的には、気候変動に対応した資源・エネルギーの主要市場、革新的産業国を目指す	2021年: €1億500万 2025年まで: €1億2,000万/年	✓	✓
5	DACCS	ドイツ連邦環境庁(UBA)	市場単位	CCU技術開発に関する提言	2021年11月	• 同省の研究結果報告で、CCUにおけるDAC技術の重要性を強調 - CCUはDAC技術との組合せによってこそカーボンニュートラルに寄与するとの見立て • DACCS利用は再生可能エネルギーが電力供給の80%以上に達した時点で開始すべきと提唱 - CCUへの依存のみで真のカーボンニュートラル達成は困難 - 工業プロセスに加え、原料生産プロセスの再エネ化推進を提唱	-	✓	✓

Note: 2022年3月7日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

森林系では民間投資を喚起する仕組みを構築し、国内の脱炭素と産業育成を図る

フランスにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(1/3)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
森林系	1 植林・再生林	フランス環境連帯移行省	案件単位	低炭素ラベル (LBC:Label Bas Carbone)	2018年11月	• CO2排出削減/炭素固定に寄与するプロジェクトを対象とした投資呼び込みの為の政府による認証システム - 排出オフセット等を目的に気候関連プロジェクトへの資金提供を考える企業/自治体/個人に対しプロジェクトの質や効果を認めて投資有効性を保証し、資金投入を促す - ユーロ/tCO2単位での価格設定ではなく、プロジェクト全体コストに準じた資金を調達 - 新技術/システムの開発加速、地域レベルでのエコロジー推進も狙い(プロジェクト認定/監視は地域総局が実施) - プロジェクトオーナーと融資側とのネットワーキングも支援 • 2021年時点で計177プロジェクトが認証ラベルを獲得 - 30社以上の大企業を含む40以上の組織により、100万ユーロ以上の融資が成立 - 現状は林業/農業中心だが海洋生態系/運輸/建築セクターのプロジェクト開発も奨励 • 企業の排出削減枠への充当は不可 - クレジットの様な取引/移管も行わない • NETsでは主に植林・再生林プロジェクトが認証を受ける - 森林再生が多く、主に林業・木材セクターに寄与 - 今後ブルーカーボンプロジェクトも対象となる予定	ー	✓	✓

Note: 2022年3月14日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

森林系では民間投資を喚起する仕組みを構築し、国内の脱炭素と産業育成を図る

フランスにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(2/3)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022) 政策名	発令時期	支援内容 支援概要	予算額	対象ステージ 技術開発	社会実装
森林系	2 土壌炭素貯留	フォーパーミル・イニシアチブ (4 per 1000 initiative)	案件単位	フォーパーミル・イニシアチブ (4 per 1000 initiative)	2015年発足	• 土壌炭素貯留による大気中のCO2濃度低減と地球温暖化の抑制を目指す、国際的イニシアチブ - 世界の土壌表層の炭素量を年間4/1000ずつ増加させられれば、大気中のCO2増加量をゼロにできるという考え - 土壌炭素貯留のポテンシャル評価や特定の土壌/気候条件に適応したプラクティスの展開、土壌炭素のモニタリング技術などを支援 • 気候変動への対応と、食料安全保障・農業保護が目的 • COP21でフランスが提唱し、2021年時点で日本を含む623の国や国際機関が参画 - フランスはこの中でアグロフォレストリー連携の取組に注力 (参考) • 日本国内では2020年に山梨県が初めて参画 - モモやブドウ等の果樹園で発生する剪定枝を炭にしてCO2を土壌中に貯留 - 草生栽培/剪定枝のチップや堆肥等の施用を実施 - 同取組みで生産された果実等を脱炭素社会の実現に貢献した農産物として認証する、「やまなし4パーミル・イニシアチブ農産物等認証制度」を制定しブランド化を進める	―	✓	✓
	3 バイオ炭								

Note: 2022年3月14日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

海洋系では産業支援と共に、雇用創出/経済成長にも寄与するプロジェクトを支援

フランスにおけるNETs開発/社会実装推進支援策(3/3)

NETs分類		支援主体	支援対象	支援政策 (2018-2022)		支援内容		対象ステージ	
				政策名	発令時期	支援概要	予算額	技術開発	社会実装
海洋系	7 9 海洋生態系による炭素固定(ブルーカーボン)	フランス環境エネルギー管理庁(ADEME)	案件単位	PIAN	2021年2月	• 石油事業者のSARAによるフランス領ギアナでの微細藻類バイオマスの大規模培養システム開発を支援 - 微細藻類(スピルリナ)の培養プロセス/プロトコル開発と最適化を実施 • 未来への投資プロジェクト(PIA)で選出 - PIAは革新的研究開発プロジェクトや研究機関、クラスターへの投資により、経済成長を促す事が目的 • 微細藻類の生産コスト・環境負荷の低減と、SARAの産業用地から排出されるCO2回収が目的 • 持続可能な産業を創出し、ギアナの雇用創出にも寄与 - 産業界のCO2を生態系固定により回収し、食品サプリメント/バイオ素材/バイオ燃料などへの変換を志向	€260万 (PIA支援€140万+他助成€120万、€140万はPIA総額の€570億内)	✓	✓

Note: 2022年3月14日時点
Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

サマリ: NETs社会実装に向けたVCC動向

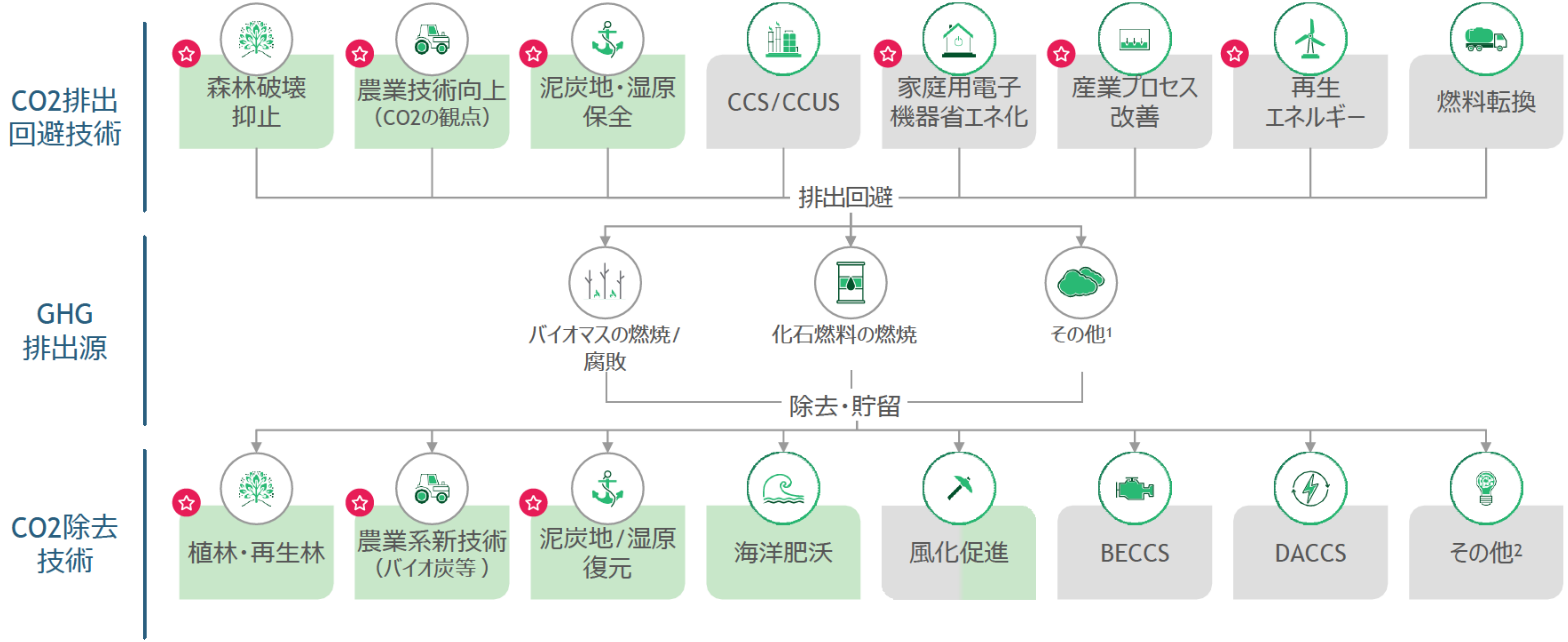
内容		まとめ
1. VCC市場の全体像		現状、CO2総排出量に占めるVCCによる削減割合は1%未満 将来的にはVCC市場の急拡大が予測されるものの、供給不足が生じる可能性 • 供給量は急拡大すると予測されるが、それを超える需要拡大に追い付かず • 2030年までに供給量を15倍に拡大する必要があると提言する民間タスクフォースも存在 現在はNETsの一部だけがVCCプロジェクトと認定されているが、CO2削減の本質的な意味に振り返る声も高まっており、今後はVCC市場においてNETsが重要な役目を担っていくと考えられる • 需要側・供給側両面から、VCC市場におけるNETs市場の拡大を求める声があがってきている
2. VCCのビジネスモデル	ビジネスモデルの全体像	現在、VCC市場においてはバリューチェーンのカバー範囲に応じて10のビジネスモデルが存在 • 既存の1対1の相対取引から、複数企業・組織が関係する方向へとビジネスモデルが拡大してきている
	認証	クレジットの質の担保の重要度があがる中、最大プレーヤーのVCS(Verra)の認証項目を基準として、他のプレーヤーは項目を追加して対抗 • 認定基準を採用した上で、独自の採用基準を設けている企業/組織も多数存在
	その他ビジネスモデルにおける企業事例	VCCに対する姿勢は企業により大きく異なる 確立されたビジネスモデルがない中、各社がビジネスを立ち上げている段階
3. VCCの課題		従来行われてきた1対1の相対取引でのルールから、多くの企業・組織が参画することを想定したプラットフォームやルールの確立等が必要 VCCはバリューチェーンの各段階において様々なリスク・懸念点が存在し、特にバリューチェーン横断でのレピュテーションリスクはカーボンクレジット特有の大きなリスク

Source: BCG

現段階では森林系・海洋系のNETsの一部がVCC対象プロジェクトとして流通

CN関連技術の中でのVCCプロジェクト対象カテゴリー

[凡例]
現在のVCC対象プロジェクト
自然ベース
技術ベース

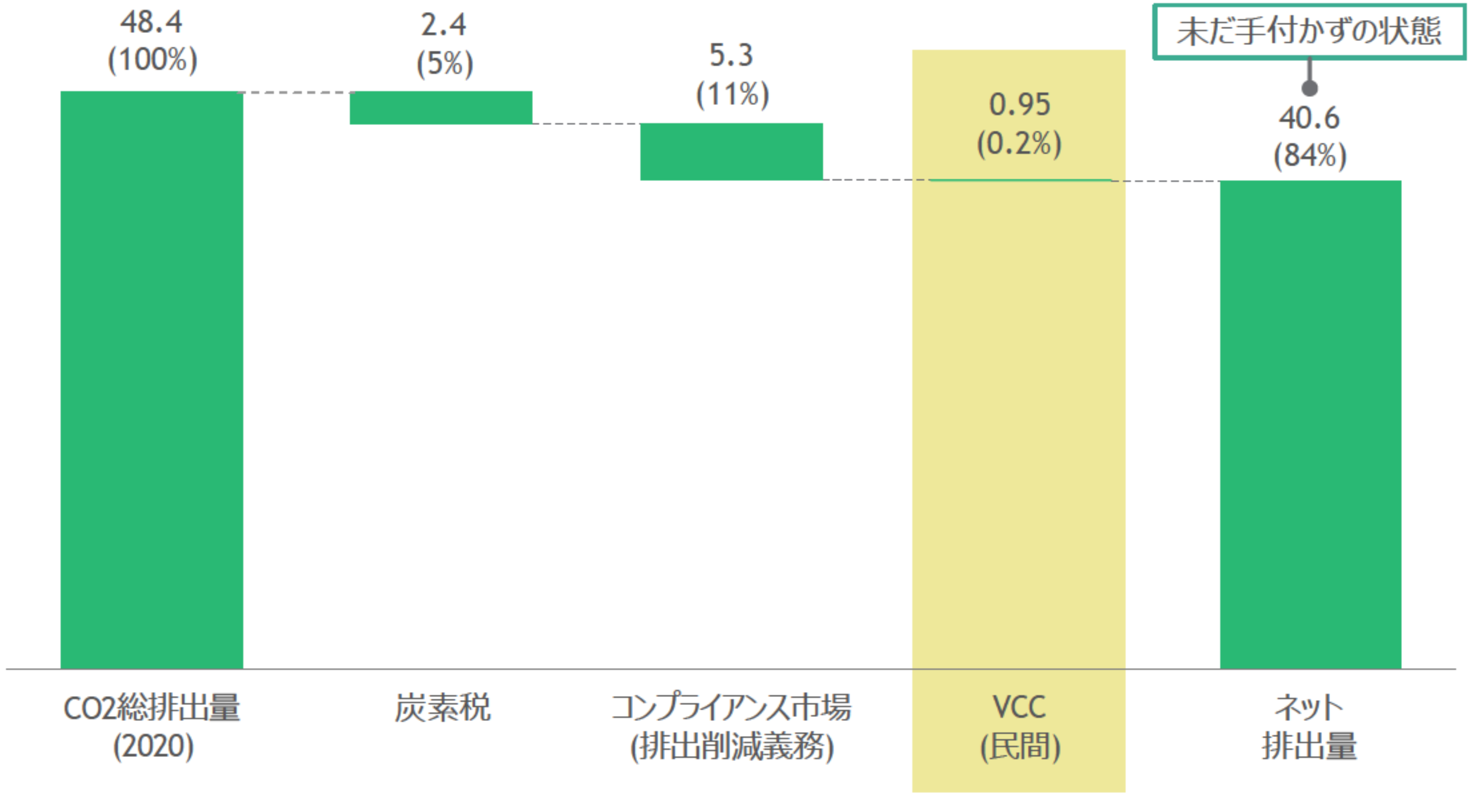


1. 例：排ガスや土壌に貯留した炭素の放出 2.例：遺伝子組換え植物プランクトンなどのフロンティア技術
Source: BCG分析

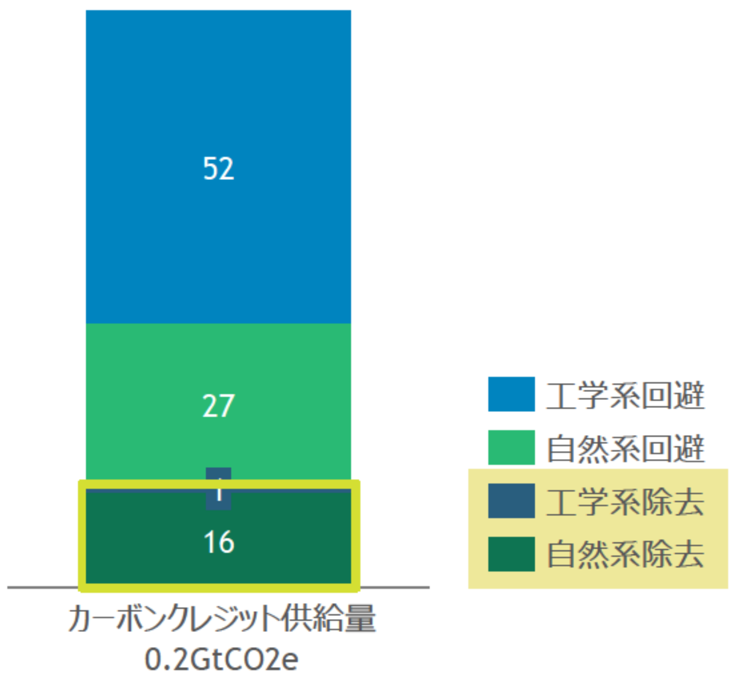
VCCによるCO2削減量はCO2排出総量の0.2%、カーボンクレジット供給量全体のうち排出除去によるものは17%

VCCの現状: CO2排出総量に占めるカーボンプライシングによる排出削減量、カーボンクレジットの供給量の除去/回避の内訳

カーボンプライシングの種類別CO2排出削減量(GtCO2)



カーボンクレジット供給量の内訳(%)

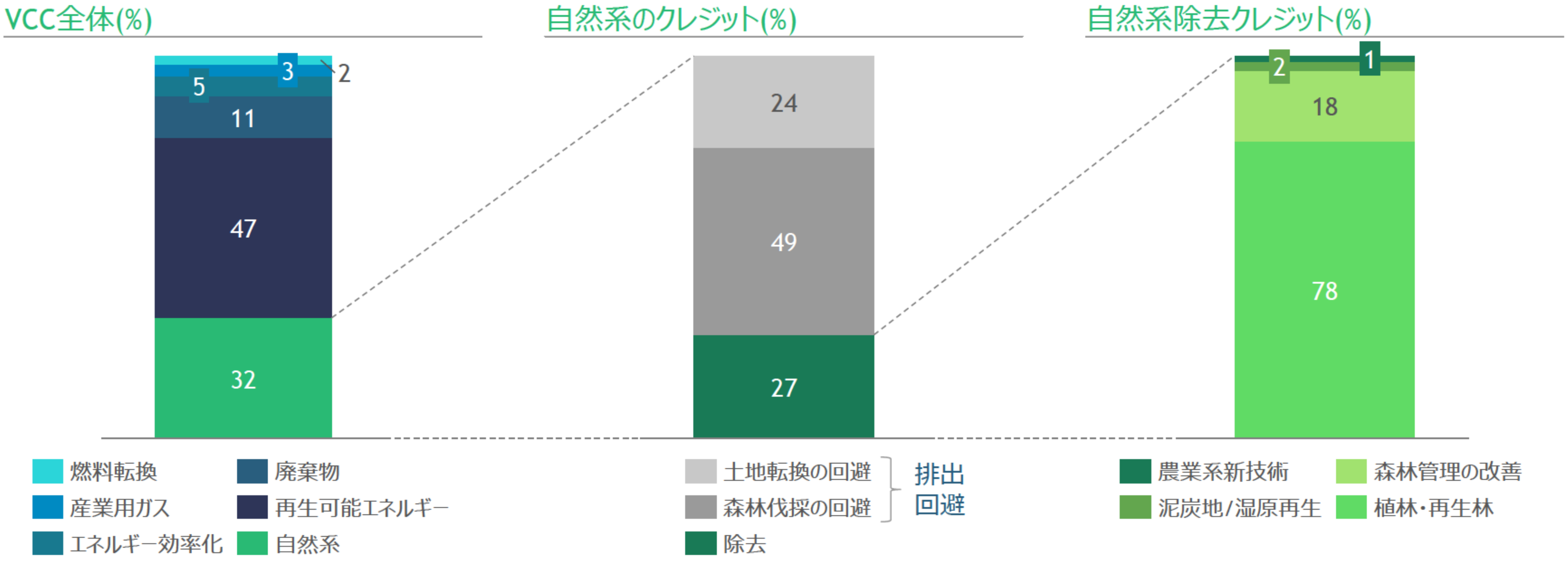


Note: Verra VCS、Gold Standard、ACR、CARの2020年のデータをもとに分析。VCCによるCO2削減量とカーボンクレジット供給量に差があるのは、2020年では需要により償却される（CO2削減量として算定される）カーボンクレジットは供給の50%に留まるため

Source: World Global Carbon Project、State of the Voluntary Carbon Market 2019、World Bank State and Trends of Carbon Pricing 2021、Registries (Verra, Gold Standard, ACR, CAR); CORSIA; IMO; IEA; CDP; Company commitments; ICAP; Fraunhofer ISI BCG分析

VCCの自然系除去クレジットの中では、植林・再生林によるクレジットが最大

VCCの現状: VCCの活動タイプ別クレジット発行量の割合



自然系のVCC
32%

×

そのうち除去
27%

=

VVCに占める自然系除去クレジット
8.6%

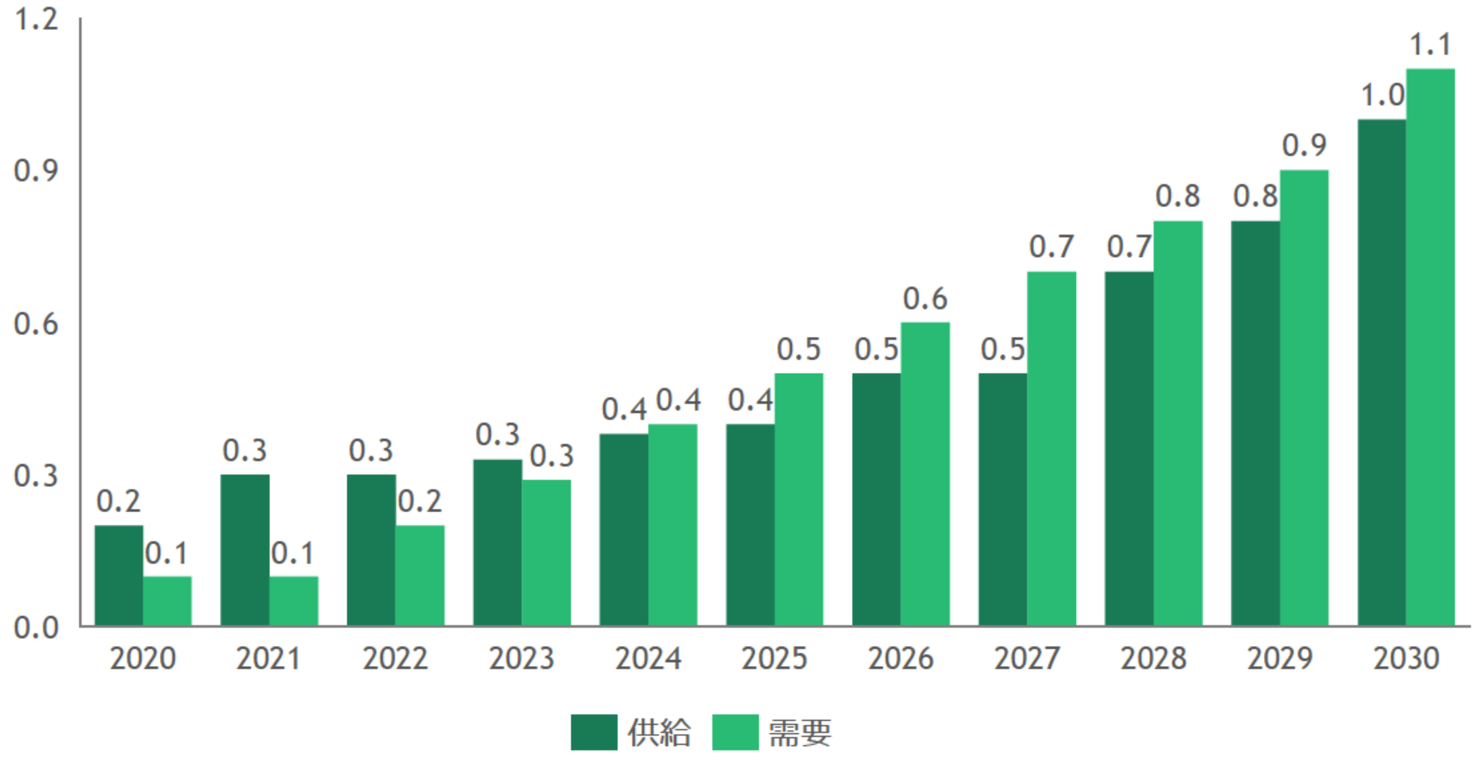
Note:Verra VCS、Gold Standard、ACR、CARの2020年のデータをもとに分析
Source: Voluntary Carbon Market Dashboard (Climate Focus) ,BCG分析

カーボンクレジットの需要は急拡大し、2024年に需要が供給を上回ると予測される

VCC将来動向: カーボンクレジット需要・供給量推移

カーボンクレジットの需要と供給 ($GtCO_2e$)

コンプライアンス市場とボランタリー市場の連携が進むシナリオの場合



2024年には市場がショートする可能性

- このシナリオの場合、2030年の需要量は1.1 Gtとなる見込み

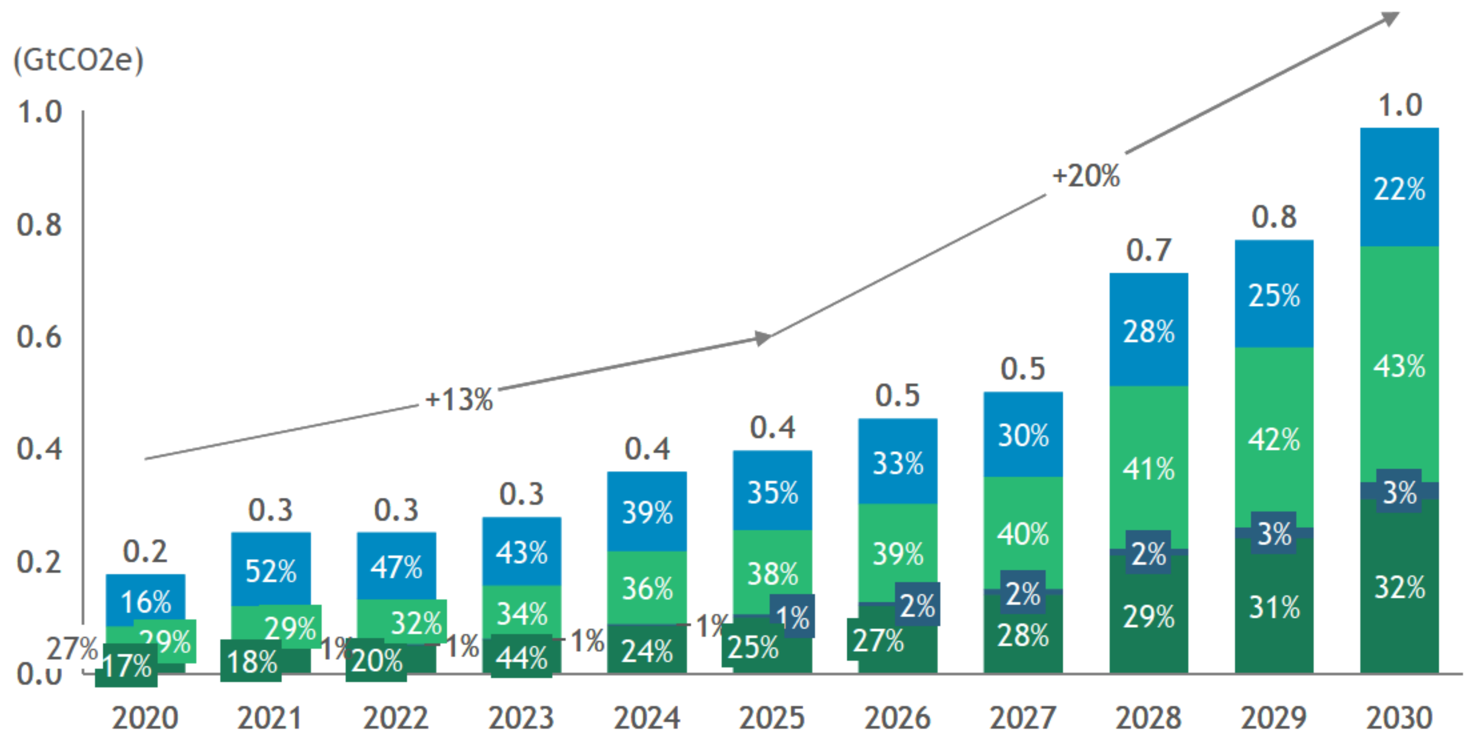
	CAGR 2020-2025	CAGR 2025-2030
供給	13%	20%
需要	31%	17%

Note: 設定した３つのシナリオのうち、市場拡大が中間のシナリオ。2020のデータは実績値、2021年以降は推計値
Source: Registries (Verra, Gold Standard, ACR, CAR; CDM); CORSIA; IMO; IEA; CDP; Company commitments; ICAP; Fraunhofer ISI; BCG分析

カーボンクレジットの供給は、除去クレジットの成長率が回避クレジットを上回る見込み

VCC将来動向: カーボンクレジット供給推移

カーボンクレジットの供給推移



CAGR	2020-2025	2025-2030
工学系回避	3%	9%
自然系回避	21%	23%
工学系除去	36%	40%
自然系除去	24%	26%

Note: 2020のデータは実績値、2021年以降は推計値。複数の領域にまたがるクレジットは等しく分配(例:Increased Forest Management)
Source: Registries (Verra, Gold Standard, ACR, CAR); CORSIA; IMO; IEA; CDP; Company commitments; ICAP; Fraunhofer ISI; BCG分析

NETsのクレジット認証は初期的な段階で、今後も市場投入は開発進捗次第と想定

NETsのVCCクレジット認証における動向

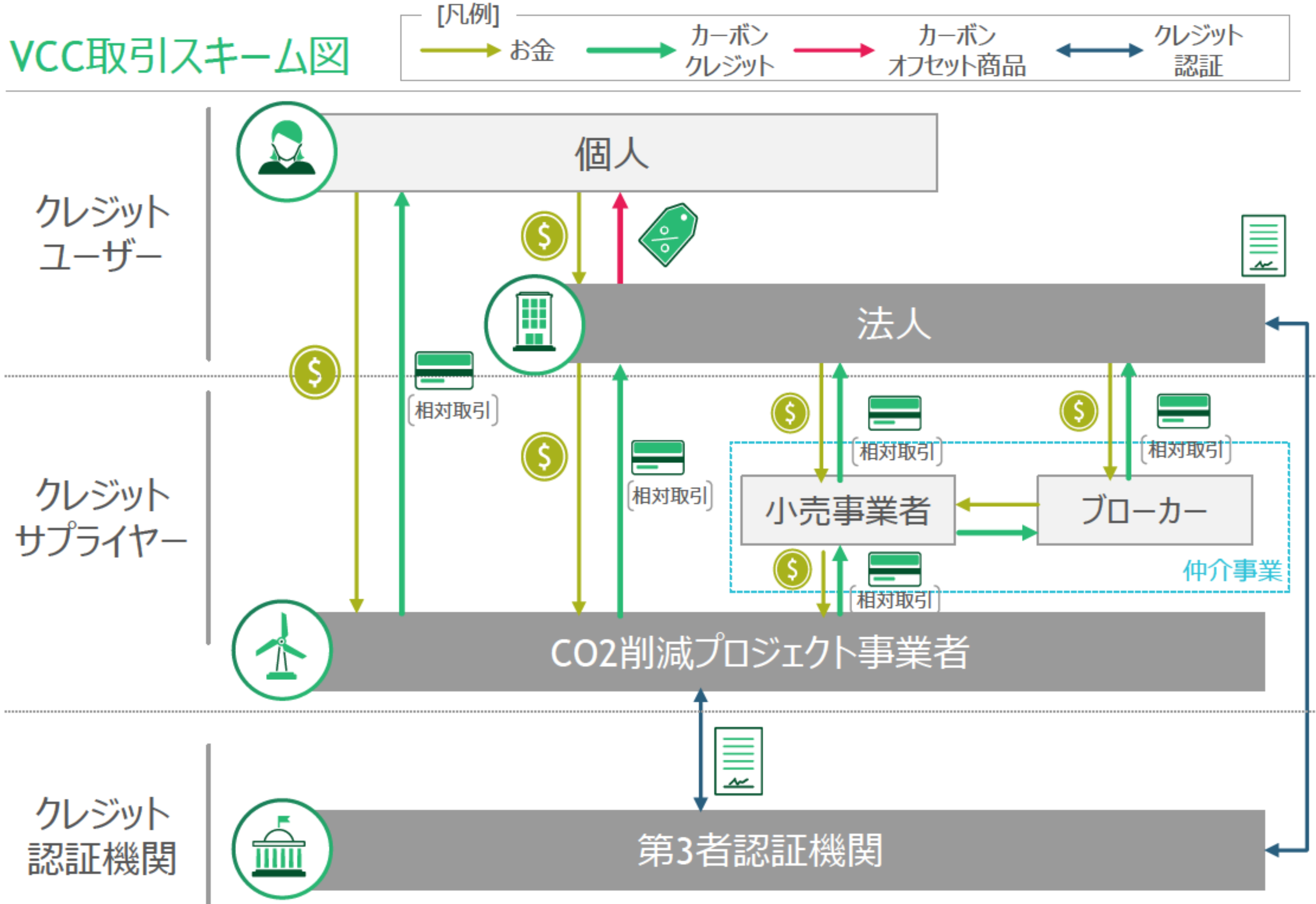
NETs分類		VCCを巡る動向
森林系	1 植林・再生林 2 土壌炭素貯留 3 バイオ炭	• 技術の成熟に伴い、NETsの中では最もクレジット化が進む • ただし、総じて発展途上である事は変わらず、有効性の検証不足から申請を取り下げられた例も存在 - 例：American Carbon Registry（ACR）はバイオ炭で処理した畑の土壌炭素貯留の安定性に関する論文記述の科学的検証が不十分である事を理由に国際バイオ炭イニシアチブ（IBI）のクレジット申請を却下
CCS系	4 BECCS	• オフセットプロジェクトが認証された事例は無く、発展途上の段階
CCS系	5 DACCS	• 技術装置が非常に高価であるため、従来のクレジット発行と異なるモデルでのマネタイズが進む状況 • 具体的に企業がプロジェクト開発に共同出資し、排出削減量を取得 - 例：Swiss Reは世界有数の空気直接捕集技術を持つ新興企業 Climeworksと、10年間で1,000万ドル（約11億円）のボランタリー・カーボンクレジットの購入契約を締結 今後リスクマネジメントの知見やリスク移転ソリューションも共同で開発
6 風化促進		• オフセットプロジェクトが認証された事例は無く、発展途上の段階
海洋系	7 海洋肥沃化 8 海洋アルカリ化 9 植物残渣海洋隔離	• 開発が相当初期の段階にあり、オフセットプロジェクトが認証された事例は無い • 加えて同技術が及ぼす生態系への影響に懸念があり、今後のプロジェクト化も不透明

Source: 各種公開情報を基にしたBCG分析

従来のCO2削減事業者/第三者認証機関/法人のスキームから、最近は「仲介事業者の台頭」「カーボンオフセット販売」等の動きが出現

VCCの取引スキームと直近トレンド

VCC取引スキーム図



Source: BCG分析

各レイヤーにおける特徴/トレンド

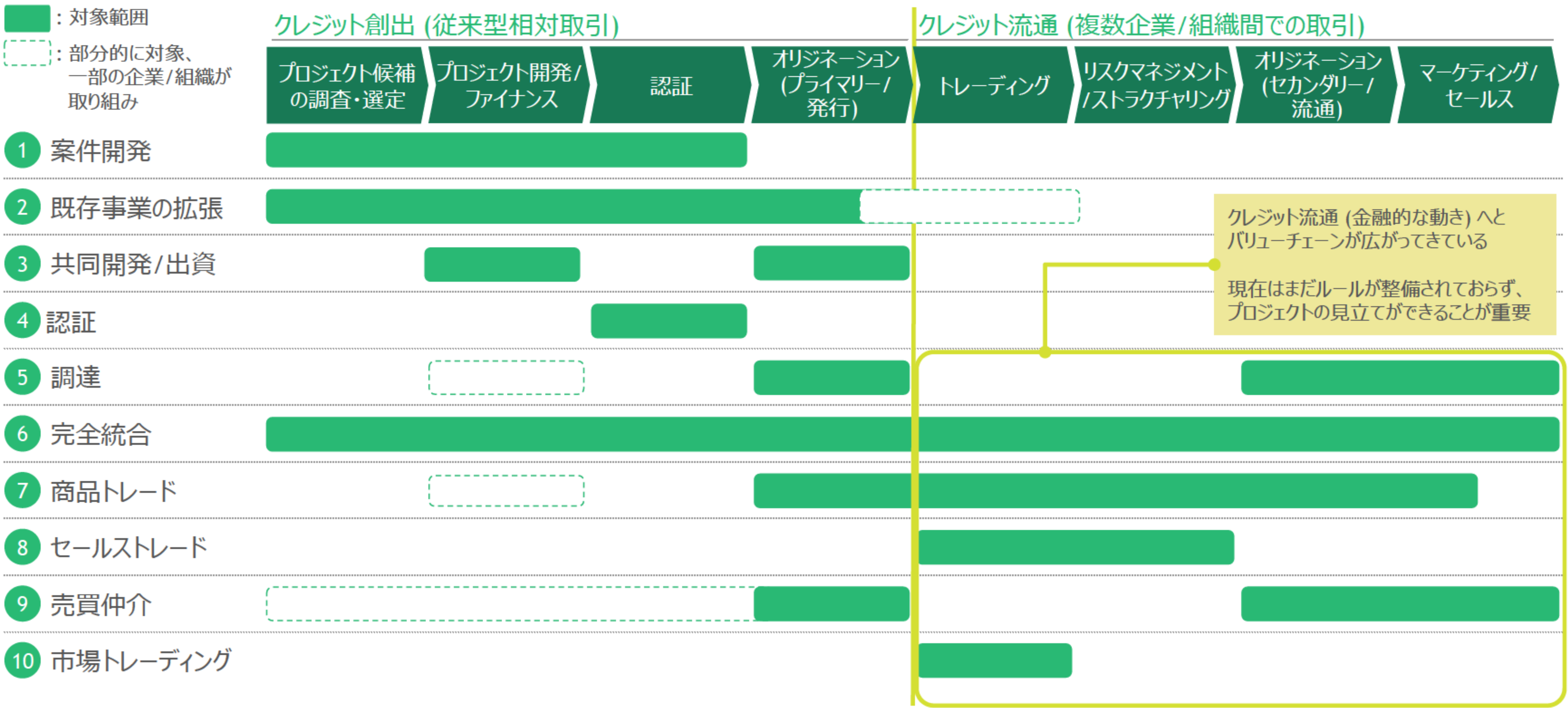
自社購入カーボンクレジット＋自社商品を組み合わせたカーボンオフセット販売が拡大
- 投融資家・個人消費者の環境意識の高まり、マーケティング活動の一環として実施
  - 例: JALは飛行機搭乗によるCO2排出相当量のオフセットプログラムを提供

VCCニーズ/取引量拡大に伴い取引仲介の動きが出現
- 小売事業者: CO2削減プロジェクト事業者からバルクでクレジットを購入し、ブローカー経由 or 法人に直接販売
- ブローカー: 複数小売事業者とのネットワークからクレジット調達し、法人に販売

主要認証機関はNGOが設立/参加する以下4機関
- VERRA (VCS)
- Gold Standard事務局 (GS)
- Climate Action Registry (CAR)
- Winrock International (ACR)

VCC市場においてはバリューチェーンのカバー範囲に応じて10のビジネスモデルが存在

VCCのバリューチェーンとビジネスモデル



Note: 技術、方法論、プロセスなどによりバリューチェーンを支えるプレーヤーも存在 (例: Planetly, COMET-Farm)
Source: Expert interviews; BCG分析

VCCに対しては、ビジネスとしてマネタイズまで想定して取り組む企業から、何も取り組んでいない企業まで、対応姿勢は大きく異なる

企業によるVCCに対する温度感の違い

VCCビジネスの成熟度

	1 検討前	2 検討開始	3 立ち上げ段階	4 バリューチェーンの一部でのビジネス	5 バリューチェーン全体でのビジネス
バリューチェーンのカバー状況	個別に対応 • 連続性なし	バリューチェーンのごく一部分について検討中、または立ち上げ予定	ビジネスモデルの一部分は確立している	必要十分なバリューチェーンをカバーするビジネスモデルが確立している	バリューチェーンの大部分をカバーしたビジネスモデルが確立している(特に中流から下流)
プロセス/ガバナンス	個別対応	検討開始	整備途中	整備済み	整備済み
体制	なし	小規模、または他を担当するチームが兼任	小さな組織が存在	専任チームが存在	専任チームが存在

Source: Expert interviews; BCG分析

従来行われてきた1対1の相対取引でのルールから、多くの企業・組織が参画することを想定したプラットフォームやルールの確立等が必要

VCC市場の現状と今後の動き

VCC市場の現状：1対1の相対取引の中でルールを整備

①クレジット当たりの統一排出量基準が存在
- マーケット全体で「1クレジット＝1tCO_2削減」が業界標準

②クレジット種類の分類基準も確立
- クレジットの種類はCO_2排出回避/CO_2削減に分類され、更に手法により自然ベース/技術ベースに分解

③発行要件の徹底
- 全プロジェクトが第三者機関の認証を経てクレジット化されるルールが徹底

④共通ライフサイクルの確立
- クレジットの認証から発行、償却まで全クレジットで共通のライフサイクルが確立済み

今後必要な動き：多企業・組織が参画することを想定した整備が必要

①取引プラットフォームの確立
- 現状の相対取引から株式市場の様なプラットフォームの確立により、取引の透明性/公平性を担保

②価格設定基準の整備
- 共通基準を設け、価格の妥当性を開示/担保
  - 社会ベネフィットの付随で環境効果以上の値付けをする企業も存在する等、価格が幅広、且つ不透明

③最適マッチングの仕組み整備
- 取引プラットフォームを通じ、売り手(プロジェクト事業者)と買い手(法人/個人)の最適なマッチングを図る

④品質基準の確立
- 共通評価基準を設け、クレジット全体の品質担保/向上を図る

Source: Expert interviews; BCG分析

VCCはバリューチェーンの各段階において様々なリスク・懸念点が存在し、特にバリューチェーン横断でのレピュテーションリスクはカーボンクレジット特有の大きなリスク

VCCのバリューチェーンにおけるリスクの全体像

VCC特有のリスク　一般的なリスク

クレジット創出 (従来型相対取引)
- プロジェクト候補の調査・選定
- プロジェクト開発/ファイナンス
- 認証
- クレジット発行(プライマリーマーケット)

クレジット流通
- トレーディング
- リスクマネジメント/ストラクチャリング
- クレジット流通(セカンダリーマーケット)
- マーケティング/セールス

レピュテーションリスク: 「グリーンウォッシュ」の疑いやプロジェクトに負の側面がある[1]

ローカルリスク: 主に発展途上国でその土地特有のリスクがある (一部不安定)

プロジェクトコントロールリスク: ライフサイクルにおいて確実にプロジェクトが推進できない

プロジェクト責任のリスク:
会計、CO2削減の追加量、リーケージ等に対する健全性が保たれない

ボリュームリスク:
プロジェクトで実際に削減されるCO2削減量が少ない

複雑性リスク: 新規事業構築のための技術要件の複雑さが過小評価されていた

依存性リスク:
パートナーシップを組める信頼できる相手が限られ、プロジェクト数が限定される

取引先リスク:
取引先の成果物が信頼できない・遅れる、デフォルトになる

為替変動リスク: 為替変動により想定していた利益が得られない(特に、グローバルなプロジェクト・ポートフォリオや輸出入が発生する場合)

価格リスク:クレジット発行量や需要の変化により、CO2価格が予想を下回る

1. 土地や森林を購入する際のマネーロンダリング、児童労働、新・植民地主義などの問題も含まれる
Source: Expert interviews; BCG分析

リスク要素とその対応の方向性: レピュテーションリスクの場合

リスク要素(例)	リスクへの対応の方向性
グリーンウォッシング • CO2以外の観点で環境に配慮しきれていない	プロジェクト・デューデリジェンス手法を確立する(特に会計の信頼性、CO2の追加性、プロジェクトの永続性、カーボンリーケージなどについて)
新・植民地主義	土地への投資は慎重に考えるー土地の所有を必要としないプロジェクトを支援する
マネーロンダリング	すべての関係者の記録を入念に調査する (プロジェクト開発担当者、認証担当者者、仲介担当者などの主要な責任者)
児童労働	プロジェクト自体やプロジェクト開発者の履歴を詳細に確認し、プロジェクト実施エリアを定期的に(物理的に)抜き打ち検査する
水・食料供給リスク	事前にプロジェクトが悪い影響を及ぼす可能性を幅広く検討する(例：バイオ燃料プロジェクトでは地域の水・食糧資源を危険にさらす可能性がある)

Source: BCG分析

日本では、直近では商社を中心としたカーボンクレジット供給側事業の拡大と資源エネルギー企業を中心とした利用側のカーボンオフセットの取組が拡大

VCC: 日本企業取組動向

日本企業のVCC関連取組(直近3年)

クレジット供給

- 植林・再生林: 住友林業、三菱商事、三井物産、日本郵船
- CCUS: 三菱商事
- 農地炭素貯留: 住友商事

仲介事業

- ブルードットグリーン

クレジット利用

- 都市ガス: 東京ガス、大阪ガス、北海道ガス、静岡ガス、東邦ガス …等
- LPG: サイサン、アストモスエナジー …等
- GTL: 伊藤忠エネクス
- LNG: INPEX
- 原油海上輸送: 出光興産
- エチレン海上輸送: 丸紅
- アルミ: 丸紅

日本企業の直近VCCトレンド

供給

商社を中心とした事業開発が拡大

- 技術的に成熟している植林・再生林系の事業開発案件が主流だが、CCUS、農地炭素貯留等の新技術領域の開発案件も徐々に立ち上がり

仲介

現状プレイヤーは限定的

- 日本でのVCC関連案件が拡大し始めたのが直近3年のため、現時点では仲介事業者の新規参入は限定的

利用

ガス・LPG等の資源エネルギー企業を中心としたオフセットが拡大

- 特に脱炭素化による将来的な需要減少影響が大きい都市ガス・LPG事業者が積極的にオフセットを活用

Source: 公開情報を基にしたBCG分析

(参考) 日本企業によるVCC関連直近取組事例 (1/2)

#	カテゴリ	関連事業	関連企業	時期	取組概要
1	供給	森林	住友林業	2022年	国内外の森林運営に投資するファンドを設立し、ファンドを通じて取得した自然林や人工林を保護・運用して、二酸化炭素の排出量を相殺するためのカーボンクレジットを配分する仕組み化を計画
2			三井物産	2021年	三井物産出資先のNew Forests社と共同開発した森林カーボンクレジット・ファンド事業に出資参画し、総事業費は約50百万豪ドル(初期段階)、創出されるカーボンクレジット数量は合計約400MtCO2eを予定
3			三菱商事/日本郵船	2021年	豪州にて原生林再生プロジェクトを通じたCO2の吸収と獲得されたカーボンクレジットの販売を手掛けるAustralian Integrated Carbon社に三菱商事/日本郵船の両社で共同出資
4		CCUS	三菱商事	2021年	世界最大手のカーボンクレジット開発・販売会社であるスイスのSouth Pole社とCCUS等に由来するカーボンクレジットの開発から販売までを手掛ける事業の共同検討開始
5		農地炭素貯留	住友商事	2021年	農地の炭素貯留量を第三者認証付きの排出権として買い取り・販売する仕組みを運営する米Indigo Agricultureと協業
6	仲介		ブルードットグリーン	2019年	カーボンクレジットの仲介を皮切りに、再エネ導入や省エネ化、Jクレジットやグリーン電力証書の創出、CDP回答やSBT設定を念頭に置いたCO2排出量算定とサステナビリティ戦略立案、海外事業展開調査を提供
7	利用	都市ガス	大阪ガス	2021年	Shellグループから天然ガス採掘/燃焼に至る工程で発生するCO2とShellが保有するCO2クレジットを相殺するLNGを調達し、国内でカーボンニュートラル(CN)都市ガスとして供給
8			北海道ガス	2021年	三井物産が保有するVCCによってオフセットされたCN-LNGを、北海道ガス年間LNG取扱量10%に相当する総量を調達し、国内でカーボンニュートラル(CN)都市ガスとして供給
9			静岡ガス	2021年	INPEXから天然ガス採掘/燃焼に至る工程で発生するCO2とShellが保有するCO2クレジットを相殺するLNGを調達し、国内でカーボンニュートラル(CN)都市ガスとして供給

Source: 公開情報

(参考) 日本企業によるVCC関連直近取組事例 (2/2)

#	カテゴリ	関連事業	関連企業	時期	取組概要
10	利用	都市ガス	東邦ガス	2021年	ダイアモンド・ガス・インターナショナル社から天然ガス採掘/燃焼に至る工程で発生するCO2とShellが保有するCO2クレジットを相殺するLNGを調達し、国内でカーボンニュートラル(CN)都市ガスとして供給
11			東京ガス	2019年	Shellグループから天然ガス採掘/燃焼に至る工程で発生するCO2とShellが保有するCO2クレジットを相殺するLNGを調達し、国内でカーボンニュートラル(CN)都市ガスとして供給 (日本国内初のCN都市ガス供給)
12		LPG	サイサン (ガスワングループ)	2022年	ジャパンガスエナジー社からVCS認証されたクレジットのオフセットによる「カーボンオフセットLPガス」を購入し、業務用向けに日本国内全域で供給
13			アストモスエナジー	2021年	ShellグループからShellが保有するCO2クレジットとLPG排出CO2量をオフセットしたLPGを調達し、国内でカーボンニュートラル(CN)LPGして供給
14		GTL	伊藤忠エネクス	2021年	ShellグループからShellが保有するCO2クレジットとGTL排出CO2量をオフセットしたGTLを調達し、国内でカーボンニュートラル(CN)GTLとして供給(日本国内初のCNGTL供給)
15		LNG	INPEX	2021年	オーストラリアで操業するイクシスLNGをVCS認証のクレジットでオフセットとし、複数の都市ガス会社 (静岡ガス、東邦ガス、青梅ガス、堀川産業、蒲原ガス、西部ガス、本庄ガス、アストモスエネルギー 等) へ供給
16		原油海上輸送	出光興産	2021年	Verra、Gold Standardに認証されているVCCを活用した日本中東間の原油海上輸送を実施
17		エチレン海上輸送	丸紅	2021年	化学品ガス輸送大手船主の英Navigator Gasとともに、両社が購入したVCCによりエチレン海上輸送のCO2をオフセット
18		アルミ	丸紅	2021年	アルミニウムの採掘から製造・輸送に係るCO2をVCCによりオフセットとしてカーボンニュートラルアルミニウム地金「Neutr-Al」として国内販売

Source: 公開情報

本報告書構成

各国/地域の気候変動関連基礎データ　1. CO2関連指標 (1)

1 CO2関連指標

			日本	中国	インド	インドネシア	オーストラリア	ロシア
1-1. CO2排出状況/削減目標	CO2排出量 現在 (MtCO2e)		1,024	9,919	2,310	583	381	1,640
	(世界のCO2排出量に対する割合)		3%	30%	7%	2%	1%	5%
	CO2削減目標[1]	カーボンニュートラル達成年	2050年	2060年	2070年	2060年	2050年	2060年
		2030年目標	-46% (2013年度比)	2030年に総量はピークアウト。GDPあたり排出量-65%以上 (2005年比)	GDPあたりの排出量-33～35% (2005年比)	BaU比-29% (国際支援がある場合は-41%)	-26～28% (2005年比) • -35%見通し	-30% (1990年比)
	GDPあたりCO2排出量 (kg-CO2/$)		0.2	0.7	0.9	0.6	0.3	1.1
	1人あたりCO2排出量 (t-CO2/人)		8.2	7.1	1.7	2.3	14.6	10.8
	CO2排出源		48 / 4 / 18 / 19 / 5 5 1	53 / 4 / 28 / 9 / 3 1 1	52 / 3 / 25 / 14 / 4 1 1	39 / 5 / 25 / 26 / 4 / 0 1	48 / 11 / 10 / 26 / 2 / 1 2	50 / 3 / 17 / 16 / 12 / 1 1
1-2. CO2貯留可能性	CO2貯留ポテンシャル[2] (Gt)		8	403	99	N/A	(オーストラリア・ニュージーランド) 595	(ユーラシア) 1,720

CO2排出源の凡例: ■: 電力/熱　■: その他ｴﾈﾙｷﾞｰ産業　■: 産業　■: 運輸　■: 家庭　■: ｻｰﾋﾞｽ　■: 農業

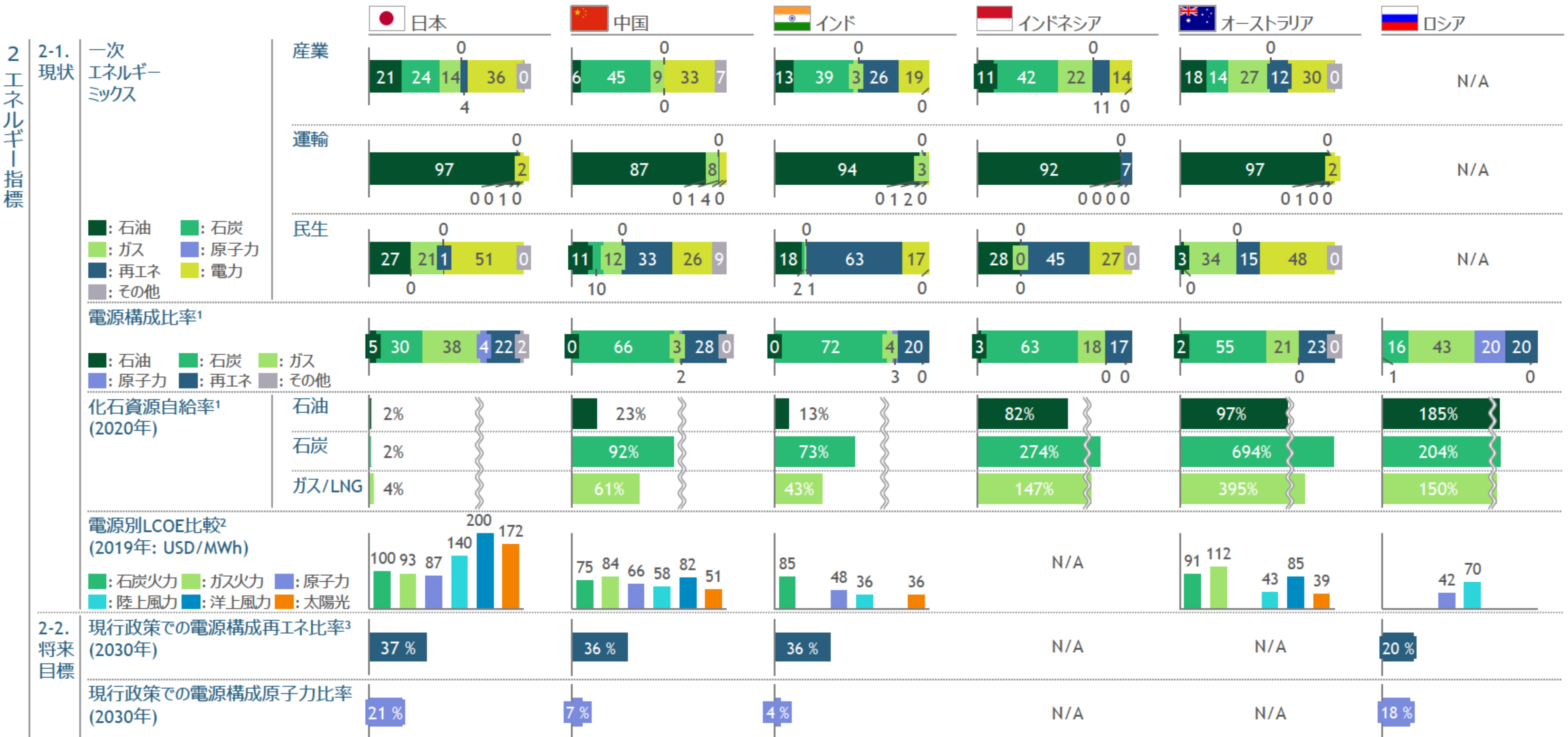
1.　補足がない場合は、2021年1月現在のNDCに基づいた目標 2. IEAのデータの定義により、水深300m以上または沖合300km以上の貯留ポテンシャルは除く
Note: 2020年のデータ
Source: World Bank; Oxford Economics; IEA; UNFCC 各国NDC; オーストラリア政府"Australia's Nationally Determined Contribution Communication 2021"を基にBCG作成

各国/地域の気候変動関連基礎データ　1. CO2関連指標 (2)

1 CO2関連指標				アメリカ	カナダ	イギリス	フランス	ドイツ	イタリア	EU
	1-1. CO2排出状況/削減目標	CO2排出量 現在 (MtCO2e)		4,743	572	342	294	644	309	2,994
		(世界のCO2排出量に対する割合)		14%	2%	1%	1%	2%	1%	9%
		CO2削減目標[1]	カーボンニュートラル達成年	2050年	2050年	2050年	2050年	2045年(国内法2021年5月) 2050年(NDC)	2050年	2050年
			2030年目標	-50～52% (2005年比)	-40～45% (2005年比)	2035年に-78% (1990年比、国内法2021年4月) -68%以上 (1990年比、NDC)	-55%以上 (1990年比、NDC) 産業分野-35% (2015年比、大統領発表2022年1月)	-65%以上 (1990年比、国内法2021年6月) -55%以上 (1990年比、NDC)	-55%以上 (1990年比)	-55%以上 (1990年比)
		GDPあたりCO2排出量 (kg-CO2/$)		0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
		1人あたりCO2排出量 (t-CO2/人)		13.0	13.8	4.6	3.8	7.0	4.7	5.2
		CO2排出源	■: 電力/熱 ■: その他ｴﾈﾙｷﾞｰ産業 ■: 産業 ■: 運輸 ■: 家庭 ■: ｻｰﾋﾞｽ ■: 農業	34 8 10 37 7 5 1	36 5 9 37 7 5 1	21 8 9 35 19 7 1	13 7 13 43 14 8 3	37 4 15 25 14 5 1	31 4 10 33 14 6 2	31 6 13 31 12 5 2
	1-2. CO2貯留可能性	CO2貯留ポテンシャル[2] (Gt)		812	318	N/A	N/A	N/A	N/A	302 (ヨーロッパ)

1. 補足がない場合は、2021年1月現在のNDCに基づいた目標 2. IEAのデータの定義により、水深300m以上または沖合300km以上の貯留ポテンシャルは除く
Note: 2020年のデータ
Source: World Bank, Oxford Economics; IEA; UNFCC 各国NDC; ドイツ Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protectionプレスリリース (2021/5/12) 閣議決定; ドイツ政府HP Intergenerational contract for the climate (2021年6月) 法案成立; フランス政府 France2030 (2022年1月、マクロン大統領が発表した投資計画); イギリス政府プレスリリース (2021/4/21)を基にBCG作成

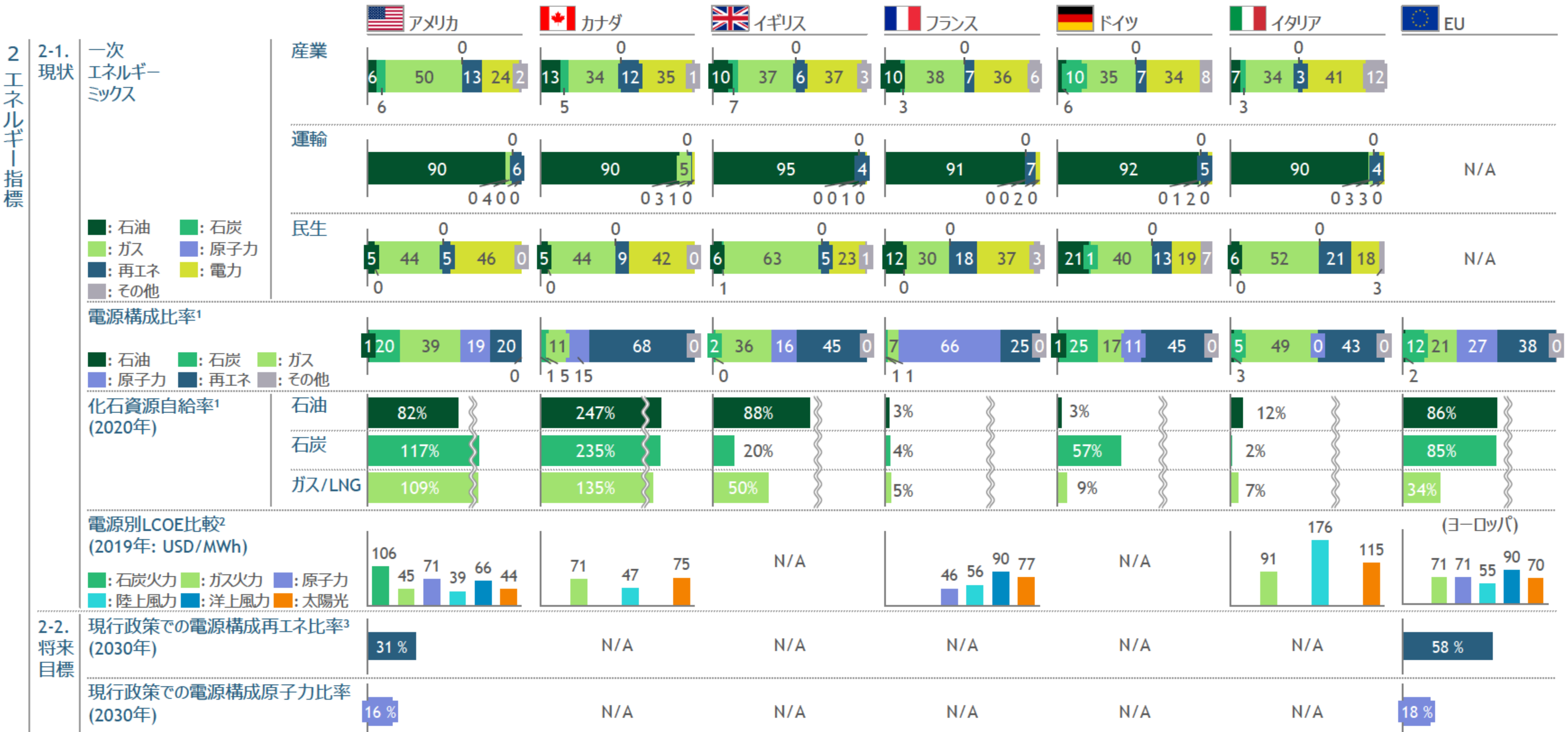
各国/地域の気候変動関連基礎データ 2. エネルギー指標 (1)



1.電源構成比率のうち中国・EUの原子力は2019年のデータ、化石資源自給率のうち日本・EUは2019年のデータ 2. 石炭/ガス火力のCCS/CCUS付は除く、太陽光はutilityのみ、風力は1MW以上 3. 再エネ比率はIEA "World Energy Outlook2020" のデータより、ただし日本は経済産業省「第6次エネルギー基本計画」(令和3年10月) での36-38%の平均を使用 Note:注釈を入れたもの以外は2020年のデータ

Source: World Bank; Oxford Economics; IEA; Enerdataを基にBCG作成

各国/地域の気候変動関連基礎データ 2. エネルギー指標 (2)



1.電源構成比率のうち中国・EUの原子力は2019年のデータ、化石資源自給率のうち日本・EUは2019年のデータ 2. 石炭/ガス火力のCCS/CCUS付は除く、太陽光はutilityのみ、風力は1MW以上 3. 再エネ比率はIEA "World Energy Outlook2020" のデータより Note:注釈を入れたもの以外は2020年のデータ

Source: World Bank; Oxford Economics; IEA; Enerdataを基にBCG作成

各国/地域の気候変動関連基礎データ　3. 産業指標 (1)

3 産業指標

		日本	中国	インド	インドネシア	オーストラリア	ロシア
3-1. 国内産業構造	GDP (10億ドル)	5,058	14,723	2,660	1,058	1,328	1,483
	(世界GDPに対する割合)	6%	17%	3%	1%	2%	2%
	1人当たりGDP (ドル)	39,856	10,230	1,887	3,879	52,822	10,154
	GDPに対する各産業の割合[1] (%) ■: 製造業 ■: その他工業[2] ■: 農業 ■: サービス業 ■: その他	20 / 8 / 1 / 69 / 1	26 / 12 / 8 / 55 / 0	13 / 10 / 18 / 49 / 9	20 / 18 / 14 / 44 / 4	6 / 20 / 2 / 66 / 6	13 / 17 / 4 / 56 / 10
3-2. 輸出	輸出額 (10億ドル)	785	2,723	496	182	318	379
	(各国のGDPに対する割合)	16%	18%	19%	17%	24%	26%
	輸出品目内訳 (%) ■: 商品 ■: サービス	80 / 20	92 / 8	58 / 42	92 / 8	84 / 16	88 / 12
	輸出商品内訳 (%) ■: 製品 ■: 燃料 ■: 鉱物・金属 ■: 農作物 ■: 食品 ■: その他	86, 1, 3, 1, 1, 8	94, 1, 1, 0, 3, 1	71, 10, 5, 1, 13, 0	47, 16, 5, 6, 24, 3	11, 14, 40, 1, 11, 23	21, 42, 9, 3, 8, 17
	輸出相手国[3] (上位3ヶ国、%)	アメリカ 20, 中国 19, 韓国 7, 46	アメリカ 17, 香港 11, 日本 6, 34	アメリカ 17, UAE 9, 中国 5, 31	日本 10, シンガポール 8, インド 7, 24	中国 39, 日本 15, 韓国 7, 60	中国 13, オランダ 11, ドイツ 7, 31
3-3. 輸入	輸入額 (10億ドル)	800	2,363	493	160	250	304
	(各国のGDPに対する割合)	16%	16%	19%	16%	20%	21%
	輸入品目内訳 (%) ■: 商品 ■: サービス	76 / 24	84 / 16	76 / 24	85 / 15	84 / 16	79 / 21
	輸入商品内訳 (%) ■: 製品 ■: 燃料 ■: 鉱物・金属 ■: 農作物 ■: 食品 ■: その他	62, 17, 7, 2, 11, 2	63, 13, 13, 3, 8, 1	53, 28, 5, 2, 6, 6	69, 11, 3, 3, 13, 2	77, 8, 2, 1, 8, 5	79, 1, 3, 1, 12, 4
	輸入相手国[3] (上位3ヶ国、%)	中国 23, アメリカ 11, オーストラリア 6, 41	韓国 8, 日本 8, アメリカ 6, 23	中国 14, アメリカ 7, UAE 6, 28	中国 26, シンガポール 10, 日本 9, 46	中国 26, アメリカ 12, 日本 7, 45	中国 22, ドイツ 10, ベラルーシ 6, 38

1. 日本、アメリカのみ2019年のデータ 2.その他工業: 鉱業、建設業、電気/水/ガス業界 等 3.2019年のデータ Note: 注釈を入れたもの以外は2020年のデータ
Source: World Bank; Oxford Economicsを基にBCG作成

各国/地域の気候変動関連基礎データ　3. 産業指標 (2)

3 産業指標

		アメリカ	カナダ	イギリス	フランス	ドイツ	イタリア	EU
3-1. 国内産業構造	GDP (10億ドル)	20,894	1,644	2,764	2,630	3,846	1,889	15,292
	(世界GDPに対する割合)	25%	2%	3%	3%	5%	2%	18%
	1人当たりGDP (ドル)	63,414	43,258	41,238	39,008	46,143	31,747	34,203
	GDPに対する各産業の割合[1] (%) 製造業 / その他工業[2] / 農業 / サービス業 / その他	11 / 7 / 1 / 77 / 4	N/A	9 / 8 / 1 / 73 / 10	9 / 7 / 2 / 71 / 11	18 / 8 / 1 / 63 / 10	15 / 7 / 2 / 67 / 10	14 / 8 / 2 / 66 / 10
3-2. 輸出	輸出額 (10億ドル)	2,123	476	770	733	1,670	555	7,133
	(各国のGDPに対する割合)	10%	29%	28%	28%	43%	29%	44%
	輸出品目内訳 (%) 商品 / サービス	67 / 33	82 / 18	52 / 48	66 / 34	82 / 18	85 / 15	73 / 27
	輸出商品内訳 (%) 製品 / 燃料 / 鉱物・金属 / 農作物 / 食品 / その他	60 / 13 / 3 / 2 / 11 / 10	47 / 19 / 8 / 4 / 15 / 6	68 / 7 / 7 / 1 / 8 / 10	77 / 2 / 2 / 1 / 14 / 4	85 / 2 / 3 / 1 / 6 / 4	81 / 2 / 2 / 1 / 10 / 4	79 / 3 / 3 / 1 / 11 / 3
	輸出相手国[3] (上位3ヶ国、%)	カナダ 18 / メキシコ 16 / 中国 6 (計40)	アメリカ 75 / 中国 4 / イギリス 3 (計83)	アメリカ 16 / ドイツ 10 / フランス 7 (計32)	ドイツ 14 / アメリカ 8 / イタリア 8 (計30)	アメリカ 9 / フランス 8 / 中国 7 (計24)	ドイツ 12 / フランス 11 / アメリカ 9 (計32)	N.A.
3-3. 輸入	輸入額 (10億ドル)	2,775	510	767	808	1,450	486	6,573
	(各国のGDPに対する割合)	13%	31%	28%	30%	38%	26%	41%
	輸入品目内訳 (%) 商品 / サービス	84 / 16	82 / 18	76 / 24	71 / 29	79 / 21	82 / 18	74 / 26
	輸入商品内訳 (%) 製品 / 燃料 / 鉱物・金属 / 農作物 / 食品 / その他	79 / 5 / 2 / 1 / 7 / 6	76 / 5 / 3 / 1 / 9 / 5	64 / 5 / 4 / 1 / 10 / 16	77 / 7 / 2 / 1 / 11 / 2	75 / 6 / 4 / 1 / 9 / 5	70 / 9 / 5 / 2 / 11 / 4	74 / 7 / 4 / 1 / 10 / 3
	輸入相手国[3] (上位3ヶ国、%)	中国 18 / メキシコ 14 / カナダ 13 (計45)	アメリカ 51 / 中国 12 / メキシコ 6 (計69)	ドイツ 12 / アメリカ 10 / 中国 9 (計32)	ドイツ 15 / 中国 9 / イタリア 8 (計32)	中国 10 / オランダ 8 / アメリカ 7 (計24)	フランス 8 / 中国 7 / スペイン 5 (計21)	N.A.

1. 日本、アメリカのみ2019年のデータ 2.その他工業: 鉱業、建設業、電気/水/ガス業界 等 3.2019年のデータ Note: 注釈を入れたもの以外は2020年のデータ

Source: World Bank; Oxford Economicsを基にBCG作成

各国/地域の気候変動関連基礎データ　4. 投資指標 (1)

4 投資指標			日本	中国	インド	インドネシア	オーストラリア	ロシア
4-1. 国内投資	公共投資 (10億ドル)		286	1,311	224	13	70	39
	(GDPに対する割合)		6%	9%	8%	1%	5%	3%
	公共調達 (10億ドル)		1,066	2,461	332	98	277	307
	(GDPに対する割合)		21%	17%	13%	9%	21%	21%
	R&D投資額 (10億ドル)		173	526	N/A	N/A	24	45
	(GDPに対する割合)		3%	4%	N/A	N/A	2%	3%
	R&D投資の内訳[1]	フェーズ (■: 基礎研究 ■: 応用研究 ■: 実証研究 ■: その他)	13 / 19 / 68 / 4	6 / 11 / 83	N/A	N/A	N/A	N/A
		セクター (■: 政府 ■: 民間 ■: 教育機関 ■: NPO)	14 / 76 / 5 / 5	21 / 79	N/A	N/A	N/A	68 / 31 / 1 / 0
4-2. 国際投資	対内直接投資[1] (10億ドル)		14	187	51	24	36	32
	(GDPに対する割合[1])		0.3%	1.3%	1.8%	2.1%	2.6%	1.9%
	対外直接投資[1] (10億ドル)		233	137	13	3	5	22
	(GDPに対する割合[1])		4.6%	1.0%	0.5%	0.3%	0.4%	1.3%

1. 2019年のデータ Note: 注釈を入れたもの以外は2020年のデータ Source: World Bank; Oxford Economics; OECDを基に作成

各国/地域の気候変動関連基礎データ　4. 投資指標 (2)

4 投資指標			アメリカ	カナダ	イギリス	フランス	ドイツ	イタリア	EU
4-1. 国内投資	公共投資 (10億ドル)		782	67	84	98	102	49	N/A
	(GDPに対する割合)		4%	4%	3%	4%	3%	3%	N/A
	公共調達 (10億ドル)		3,078	372	616	659	862	394	3,447
	(GDPに対する割合)		15%	23%	22%	25%	22%	21%	22%
	R&D投資額 (10億ドル)		657	30	N/A	N/A	148	39	N/A
	(GDPに対する割合)		3.0%	2.0%	N/A	N/A	4.0%	2.0%	N/A
	R&D投資の内訳[1]	フェーズ (■: 基礎研究 ■: 応用研究 ■: 実証研究 ■: その他)	16 / 19 / 65 / 0	N/A	N/A	N/A	N/A	21 / 40 / 39	N/A
		セクター (■: 政府 ■: 民間 ■: 教育機関 ■: NPO)	24 / 68 / 4 / 4	N/A	N/A	34 / 62 / 3 / 1	30 / 70 / 0	36 / 62 / 2 / 1	N/A
4-2. 国際投資	対内直接投資[1] (10億ドル)		238	50	45	28	54	18	452
	(GDPに対する割合[1])		1.1%	2.9%	1.6%	1.0%	1.4%	0.9%	2.4%
	対外直接投資[1] (10億ドル)		58	79	-6	34	139	20	358
	(GDPに対する割合[1])		0.3%	4.6%	-0.2%	1.2%	3.6%	1.0%	1.9%

1. 2019年のデータ Note: 注釈を入れたもの以外は2020年のデータ Source: World Bank; Oxford Economics; OECDを基に作成

本報告書構成

サマリ: 各国の気候変動政策動向(1/2)

EU	• 2021年に "Fit for 55" で排出量削減を達成するための政策パッケージを提案 • EU内での再エネの強みを活かしたカーボンニュートラル実現の強力な推進と国境炭素調整措置 (CBAM) を組み合わせ、世界のカーボンニュートラル化推進を牽引する意欲
アメリカ	• 2021年に "Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050" でカーボンニュートラル実現方法の方向性を発表 • カーボンフリー電力の早期実現(2035年) と電化をかけあわせ、カーボンニュートラルの実現を目指す • ファースト・ムーバーズ・コアリション、グローバル・メタン・プレッジといった国際イニシアチブでも中心的な役割を果たす
中国	• 2021年に通称 "I+N文書" で2030年までのカーボンピークアウト/2060年までのカーボンニュートラルに向けた具体策を発表 • 単位GDPあたりのCO2排出量の2030年までの65%減 (2005年比)を目指し、エネルギーの低炭素化 (新設電源の再エネ割合原則50%以上、風力・太陽光・水力発電の推進)、省エネ、工業の低炭素化 (過剰な生産能力適正化、素材の低炭素化) を進める
ドイツ	• 2019年の "気候保護法/気候保護プログラム2030" で削減目標と対応策を発表 • 2021年の "改正気候保護法" ではカーボンニュートラル実現を2045年に前倒し • 脱原発 (2022年末) ・ 脱石炭火力 (遅くとも2038年末) を掲げ、再エネ電力やグリーン水素の自国活用・輸出産業化を推進
イギリス	• 2021年に "Net Zero Strategy: Build Back Greener" で2050年ネットゼロに向けた全体戦略を雇用/官民投資のインパクトと共に発表、世界のカーボンニュートラル化のリードを図る • 2035年までに電力を脱炭素化、水素やCCUS・SAF等の新技術は2030年までの一部導入を目指し、その後の拡大を見込む
フランス	• 2020年に "国家低炭素戦略 (Strategie Nationale Bas-Carbone)" でセクターごとの排出量目標と方向性/シナリオを発表 • 高い原子力への依存度を下げることを決めた中 (現状66%→2035年50%) 、シナリオでは再エネによるエネルギーミックスの多様化、製造業の脱炭素化、輸送の電化・低炭素化、水素導入、建造物の脱炭素化の促進などに言及

Note: 2022年3月16日時点
Source: 各種公開情報を基にBCG分析

サマリ: 各国の気候変動政策動向(2/2)

インド	🇮🇳	• COP26でそれまでは言及していなかったCN達成時期を2070年と明言 • 2047年までにエネルギー自立国となることをを目指し、電気自動車・太陽光発電・グリーン水素への投資を拡大 • 広大な国土を活用し、グリーン水素・アンモニアの世界的な生産・輸出拠点を目指す
ロシア	🇷🇺	• 2021年に「2050年までの温室効果ガス排出削減を伴う社会経済発展戦略」を発表し、2060年のカーボンニュートラル、2030年/2050年の排出/吸収量目標を発表、2050年の吸収量は2019年の2倍に拡大と設定 • 自国に対する制約は最小限にとどめつつ、カーボンニュートラルを水素・関連エネルギー資源を輸出産業へと育てるチャンスととらえる
インドネシア	🇮🇩	• 2030 年に排出量ピーク、従来から10年前倒しの2060年カーボンニュートラル達成を2021年7月にUNFCCCに提出 • 同時に"Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience 2050: LTS-LCCR 2050"でシナリオ分析を発表した段階 • ニッケルの世界最大産出国であることを活かし、ニッケルからEVまでの一貫生産体制を構築、アジアのEVのハブとなることを目指す
カナダ	🇨🇦	• 2020年に"Canada's Climate Actions for a Healthy Environment and a Healthy Economy"で5つの柱64の新しい施策を発表 • 5つの柱のうち「炭素排出に課金し家庭に返金」する考え方は特徴的(他の柱は、省エネ、クリーンで安価な交通と電力の提供、クリーンな産業競争優位性構築、自然の力の活用)
オーストラリア	🇦🇺	• 2021年に"Long-Term Emissions Reduction Plan"を発表、オーストラリアの既存産業等に配慮した「オーストラリアン・ウェイ」を追求 • 課税などで負担を強いるのではなく、注力技術(クリーン水素、エネルギー貯蔵、低炭素鉄鋼・アルミ、CCS、土壌炭素貯留、超低コストソーラー)への投資によるコスト削減・導入を加速化。地域の特性を踏まえた地域毎の戦略構築の方向性も発表
イタリア	🇮🇹	• 2019年に、2030年までの戦略"エネルギーと気候に関する国家統合計画(Pubblicato il testo definitivo del Piano Energia e Clima)"を発表、再エネ促進と運輸・市民(住宅・第三次)セクターにおける省エネ化が中心 • 電力分野では、太陽光発電と風力発電の拡大を中心とした再エネの促進を計画

Note: 2022年3月16日時点
Source: 各種公開情報を基にBCG分析

EUは2021年に "Fit for 55" で排出量削減を達成するための政策パッケージを提案、再エネの強みを活かし、域内のカーボンニュートラル化の強力な推進に加え、世界を牽引する意欲

各国/地域の代表的な気候変動政策: EU

主となる大型政策

	名称/項目	時期	概要
1. CO2関連指標/全体	欧州グリーンディール	2019年12月	• カーボンニュートラルと経済成長の両立を柱に、欧州の理念や目標を掲げた政策文書
	長期低排出発展戦略	2020年3月	• 2050年のカーボンニュートラル達成を目指す
	2030年CO2 55%削減目標	2020年12月	• 2030年のCO2排出量を少なくとも55%削減 (1990年比) まで引き上げ - 2021年7月に、欧州気候法案により法的拘束力のある目標へ
	政策パッケージ "Fit for 55"	2021年7月(提案)	• CO2排出量削減目標を達成するための政策パッケージを提案 • 今後欧州議会や欧州理事会で審議予定
	• 加盟国の排出削減の分担に関する規則 (ESR) の改正		• 建物、道路、国内海上輸送、農業、廃棄物処理等の産業における加盟国ごとの排出目標を強化 (EU全体の削減目標を2030年時点で30%から40%に引き上げ)
2.エネルギー指標	• 再生可能エネルギー指令 (RED)		• 2030年の再生可能エネルギー割合の目標を32%から40%に引き上げ (最終エネルギー消費)
	• エネルギー効率化指令 (EED)		• 2030年のエネルギー消費量の削減目標を32.5%から36～39%に引き上げ
	• エネルギー課税指令		• 実質的に化石燃料使用のインセンティブになるような措置を排除
	• 代替燃料インフラ指令 (AFID)		• 代替燃料や充電設備等のインフラ整備に関し目標を導入 (2030年までに水素ステーションを150kmごとに設置 等)
	• ReFuelEU Aviation (航空燃料)		• SAF (Sustainable aviation fuel) の最低導入量を示す(2030年5%、2050年63%)
	• FuelEU Maritime (海上輸送の燃料)		• 再生低炭素燃料の導入目標を提示 (2030年6-9%、2050年86-88%)
3.産業指標	• EU排出量取引制度 (EU-ETS) の改正		• 年間排出枠の引き下げ等現行のETSの強化 • 対象分野の拡大 (建築、海上・陸上輸送) • 航空機の無償割り当ての段階的な廃止
	• 炭素国境調整措置 (CBAM)		• 「鉄鋼、セメント、肥料、アルミニウム、電力」を対象に、 EU-ETSの炭素価格と連動した形で炭素国境調整措置を導入を検討
	• 自動車CO2排出規則		• 乗用車のCO2排出量を2030年時点で37.5%削減から55%削減へ引き上げ、2035年時点でICE販売中止
	• 土地利用、土地利用変化及び林業 (LULUCF) に関する規制		• 大気中の二酸化炭素 (CO2) の吸収量目標を定め、2035年までに土地利用・林業・農業セクターのクライメイト・ニュートラルを目指す
	• 新EU森林戦略		• 2030年までに少なくとも30億本の木を植える
	EUタクソノミー	策定中	• 環境的にサステナブルな経済活動を分類・定義
4.投資指標	次期EU7か年予算 (MFF)/復興基金 (NGEU: Next Generation EU)	2020年7月	• グリーンとデジタルを2つの柱とし、コロナからの復興計画を盛り込んだ総額1.8兆€ (約230兆円) の予算の30%をグリーンリカバリーに充当 (7年間) - 2021～2027年のEUの長期予算1兆740億€+2021年～2023年の復興基金7500億€ - 復興基金7500億€ のうちの37%を2年間でグリーン分野に集中投入

Note: 2022年3月16日時点
Source: EU"Fit for 55"; 各種公開情報を基にBCG分析

アメリカは2021年に "Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050" でカーボンニュートラル実現の方向性を発表、電化の促進と脱炭素電力の早期実現を目指す

各国/地域の代表的な気候変動政策: アメリカ

主となる大型政策

	名称/項目	時期	概要
1. CO2関連指標/全体	Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050	2021年11月	• 2050年カーボンニュートラル、2030年GHG排出削減目標50～52%削減 (2005年比)
	• メタン/非CO2のGHGの削減		• 2030年までに世界のメタン排出量を少なくとも30%削減することを目指す (グローバル・メタン・プレッジ)
2.エネルギー指標	• 電力の脱炭素化		• 2035年までのカーボンフリー電力100%を目指す
	• 電化/クリーン燃料への転換		• 自動車・建物・工業プロセスを安価で効率的に電化 • 電化に技術的な課題がある分野 (航空、船舶、一部の工業プロセス 等) では、クリーンな燃料を優先的に使用
	• 省エネ化		• 家電製品、新築・既設の建物への効率化の組み込み、製造プロセス等の省エネ化
	• 航空燃料の脱炭素化		• 2030年までにSAFを30億ガロン生産 (米国航空部門が消費する燃料は年間約350億ガロン)、2050年までにはSAF100%へ
3.産業指標	• CO2除去の拡大		• CO2吸収源対策や、大気中から二酸化炭素を除去する技術の拡大
	乗用車の脱炭素化	2021年8月	• 2030 年までに新車 (乗用車及び小型トラック) 販売台数の50%をゼロエミッション車 (電動車) に
	4分野のサプライチェーン強化	2021年2月	• 大容量電池、レアアース等の金属資源、医薬品、半導体の4 分野におけるサプライチェーンを強化
	国際的イニシアチブのリード	2021年 6月/11月	• 産業部門の脱炭素化、市場創出に向けたイニシアチブ発足をリード - インダストリアル・ディカーボナイゼーション・アジェンダ (IDA): 排出削減対策が困難な分野 (セメント・鉄・化学) における協調的な取り組みの推進(G7で立ち上げ) - ファースト・ムーバーズ・コアリション (FMC): 重要技術の早期市場創出に向け、世界の主要グローバル企業が購入をコミット(COP26で立ち上げ)
4.投資指標	Build Back Better Act	2021年10月 (下院通過、 上院未定)	• クリーンエネルギー・気候変動分野への5,500億$の投資を含む1.75兆$の財政調整法案 - クリーンエネルギー税額控除 (3,200億$) - 技術・製造・サプライチェーン投資とインセンティブ (1,100億$) 等
	超党派インフラ投資計画	2021年11月	• 気候変動関連の研究開発、インフラへの投資として、新規支出は今後5年間で5,500億$ (総額1.2兆$) - 電力インフラ: 再エネ対応の新規送電線の整備・研究開発、新技術の実証・研究への投資(650億$) - EVインフラ: 50万基のEV充電器 (75億$) - 電気バス等: 電気スクールバス・フェリー等に投資、購入支援 (75億$)

Note: 2022年3月16日時点
Source: 米国政府"Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050"; 各種公開情報を基にBCG分析

中国は2021年に通称 "1+N文書" で2030年カーボンピークアウト/2060年カーボンニュートラルに向けた具体策を発表

各国/地域の代表的な気候変動政策: 中国

主となる大型政策

	名称/項目	時期	概要
1. CO2関連指標/全体	1+N文書	2021年10月	• 2030年までのカーボンピークアウト、2060年までのカーボンニュートラル達成に向けた具体策。通称「1」と「N」の2つから成る
	「1」新発展理念を完全・正確・全面的に徹底し、カーボンピークアウトとカーボンニュートラル目標実現を着実に行うことに関する意見		• 全体像 - 2030年までのカーボンピークアウト、2060年までのカーボンニュートラル達成に向けた具体策 - 単位GDP当たりのCO2排出量を2030年までに65%減 (2005年比)
	「N」2030年までのカーボンピークアウトにおける行動方案		• 分野ごとの行動指針 - ①エネルギーのグリーン低炭素への転換、②省エネルギー、③工業分野、④都市と農村、⑤交通輸送、⑥循環経済、⑦グリーン低炭素イノベーション、⑧カーボンシンク能力向上、⑨全民行動、⑩各地区における順次・秩序ある行動
2.エネルギー指標	• 非化石エネルギーの推進		• 非化石エネルギー消費の割合を2025年20%、2030年25%に - 2021年10月にUNFCCCに提出した長期戦略では非化石エネルギー消費の割合を2060年までに80%以上と発表
	• 省エネの推進		• 単位GDP当たりのエネルギー消費量2025年13.5%減 (2020年比)
	• 再エネの促進		• 新設する電源における再生可能エネルギーの割合は原則50%以上 • 2030年までに風力・太陽光発電の総設備容量を1200GWに • 2021-'25年、'26-'30年にそれぞれ水力発電を約4,000万kW前後増強
	• 発電・蓄電の整備		• 2025年までに新型蓄電装置を3,000万kW以上に、2030年までに揚水発電による蓄電容量を1億2,000万kWに
3.産業指標	• 鉄鋼業界、非鉄金属業界、建材業界、石油化学業界		• カーボンピークまでの行動指針を発表 (過剰な生産能力の適正化、素材の低炭素化 等) - 例: 2025年までに都市部の新規建築にはグリーンビルディング基準を導入する、新築の公共施設と工場の屋上太陽光発電設置率を50%に
	• 自動車		• 2030年までに新エネルギー車/クリーンエネルギー車 (EV,PHEV,FCV,天然ガス自動車) の割合を約40%、炭素排出原単位を約9.5%減 (2020年比)
	• 運輸		• 陸上輸送の石油消費を2030年までにピークアウトするよう努める。鉄道輸送化、水運化を進め、2025年までに合計輸送量を年15%以上増加させる • 2030年までに人口100万人超の都市での低炭素・脱炭素な手段による移動を70%以上とする
	• 資源リサイクル		• 鉄鋼、銅、アルミニウム、鉛、亜鉛のスクラップ、古紙、廃プラスチック、廃ゴム、廃ガラス等主要な9種のリサイクル量を2025年までに4億5,000万トン、2030年までに5億1,000万トンにする
4.投資指標	エネルギー分野における特別融資	2021年	• 中国開発銀行 (CDB) によるエネルギー分野に対する5,000億元の特別融資
	再生可能エネルギーに対する追加補助金	2021年	• 890億元 (約1.6兆円) の太陽光発電、風力発電、その他再生可能エネルギー発電に対する追加補助金
	国有鉄道に対する開発資金	2021年	• 国有鉄道の開発資金を1,000億元増加

Note: 1+N文書は全方位的に方針が打ち出されているが、そのうち数値目標が入っているものを抜粋。投資についてはIEA Renewables Policies Databaseより2021年以降の予算が発表されている政策を掲載; 2022年3月16日時点
Source:中国政府「中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见」; 中国政府「国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知」; IEA Renewables Policies Database; 各種公開情報を基にBCG分析

ドイツは2019年の "気候保護法/気候保護プログラム2030" で削減目標と対応策を発表、2021年の "改正気候保護法" ではカーボンニュートラル実現を2045年に前倒し

各国/地域の代表的な気候変動政策: ドイツ

主となる大型政策

	名称/項目	時期	概要
1. CO2関連指標/全体	気候保護法	2019年12月	• 2030年に向けた6領域(エネルギー、産業、建造物、交通、農林業、廃棄物管理)の排出量の上限を設定 • カーボンプライシングを熱利用、交通(航空以外)にも導入(EU-ETSは火力発電、鉄鋼、航空等)
	改正気候保護法	2021年6月	• CO2削減目標 2030年65%、2040年88%(1990年比)、**2045年カーボンニュートラル達成**、2050年以降カーボンネガティブ • 2030年までの6領域におけるCO2排出量引き上げ、エネルギー産業と製造業の削減枠拡大が最大
2.エネルギー指標	気候保護プログラム2030	2019年10月	• 電力消費に占める再エネ割合を2030年に65%へ、石炭火力は段階的廃止(脱石炭法で「遅くとも2038年」と発表)
	国家水素戦略	2020年6月	• グリーン水素だけが長期的に持続可能なエネルギーと明示、将来的には水素をドイツの輸出産業へと育成 • グリーン水素は2030年までに14TWh生産を目指す(水素電解プラントは2030年約5GW→2035-'40年約10GW) • H2グローバル財団に約9億€を拠出、グリーン水素等の輸入を長期契約し2024年から納入予定(2021年6月発表)
	脱石炭法	2020年7月	• 石炭・褐炭火力発電を遅くとも2038年までに全廃 (予定の3年前倒しの2035年に廃止可能か検討)
	EEG2021 (改正再生可能エネルギー法)	2021年1月	• 陸上風力は事業者に対する各自治体独自の賦課金を可能に、自家発電用の太陽光発電設備は賦課金免除対象を拡大 • 石炭火力発電の全廃時期 (2035-'38年) に合わせて再生可能エネルギーへの助成も打ち切り
	(脱原発法案	2011年5月	• 2022年末までの原子力発電廃止)
3.産業指標	気候保護プログラム2030	2019年10月	• 電気自動車の促進 (電気自動車への助成金引き上げ)、充電設備の整備 (公共充電施設2030年に100万ヶ所を目指す) • 鉄道旅客輸送の強化、効率的な建築物の促進 (税優遇、助成措置) 等
	イノベーション・プレミアム (EV助成金引き上げ)	2020年7月	• 2030年までにEV700万～1,000万台の市場投入を目標に、電気/燃料自動車の新車購入の助成金を最大9,000€に拡大
	EV充電設備に対する助成制度	2021年5月	• EVの私用充電施設設置への助成を拡充、1台当たり900€、総額5億€へ増額 (100%再エネ電力を利用等の条件あり)
	改正気候保護法	2021年6月	• 森林や湿地等でのCO2吸収源の保全・再生により、畜産や特定産業の排出オフセット目標を設定
4.投資指標	経済刺激策	2020年6月	• 気候変動関連に400億€ (コロナ危機に対する総額 1,300 億€の経済刺激策の一部)、国家水素戦略90 億€ (技術関連70億€、国際連携20億€) や再エネ賦課金の減額、電気自動車購入の補助金増額へ活用
	脱炭素法	2020年7月	• 褐炭火力発電の2030年までの廃止事業者に対し合計43億5,000万€、石炭火力発電・小型褐炭発電は2020-'26年に廃止事業者を公募、補償金を交付。それ以外は2027年以降補償金なしで強制的に廃止 • 石炭関連産業地域に対して、2038年までに最大400億€を支援
	気候保護緊急プログラム	2021年6月	• 2022年から2025年にかけて建築、交通、製造業、土地利用など、農業、エネルギー産業などの分野に総額80億€以上

Note: 2022年3月16日時点
Source: ドイツFederal Ministry for Economic Affairs and Climate Action HP; 各種公開情報を基にBCG分析

イギリスは2021年に "Net Zero Strategy: Build Back Greener" で2050年ネットゼロに向けた全体戦略を雇用/官民投資のインパクトと共に発表

各国/地域の代表的な気候変動政策 イギリス

主となる大型政策

	名称/項目	時期	概要
1. CO2関連指標/全体	気候変動法	2021年4月	• 2035年までにCO2 78%削減(1990年比)、2050年にカーボンニュートラル達成
	Net Zero Strategy: Build Back Greener	2021年10月	• 2050年ネットゼロに向けた全体戦略を発表、世界の脱炭素化のリードを図る
2.エネルギー指標	• 電力		• 2035年までに電力分野での供給保障の条件付きでの脱炭素化 - 原子力: 現行議会の任期終了 (2024年を予定) までに大規模原子力発電所への投資を最終決定、原子力の選択肢を保持するため1.2億ポンドの基金を立ち上げ - 風力: 2030年までに洋上風力40GW (うち浮体式1GW) 導入、世界をリードする洋上風力発電部門に3.8億ポンド資金提供
	• 燃料・水素		• 2030年までに水素発電で5GW、ガス・原油による排出量を半減
	• 熱・建築		• 2035年以降、家庭や職場の新規暖房器具の低炭素化の道筋をつくる (2035年までにガスボイラーの新規販売停止、家庭の脱ガスボイラー促進(4.5億ポンド)、低所得世帯の低炭素暖房への切り替え (17.5億ポンド))
	• 交通 (航空燃料)		• 2030年までに航空燃料の10%をSAFに置き換え、SAFプラントの開発を支援 (1.8億ポンド)
3.産業指標	• CCUS		• 2030年までに年間2000万～3000万tをCCUSで回収 (うち600万tは産業分野から)、4つのCCUSクラスターを確立 - 産業エネルギー変革基金 (3.2億ポンド) を通じて、エネルギー効率化・現場の脱炭素対策導入を支援
	• 交通		• 自動車の排出量ゼロ、国際移動の排出量ゼロを目指す - 自動車: 2030年までにガソリン・ディーゼル乗用車の新車販売終了、2035年までに全乗用車のゼロエミッション達成。ZEVの補助・EVインフラ促進 (6.2億ポンド予算追加)、電動化サプライチェーン構築支援 (3.5億ポンド追加投資) - 都市交通: 2030年までに町・都市での移動の半分を自転車・徒歩化 (20億ポンド)、バス運行の最適化 (30億ポンド)
	• 自然資源		• 森林造成を3倍、毎年3万ヘクタール以上の森林地創出、2050年までに約28万ヘクタールの泥炭地回復 、Nature for Climate Fund に拠出(7.5億ポンド以上)
	• 工学系CO2除去		• 2030年までにBECCSやDACCS等の先端技術によりGHGを年間500万t回収 • DACCS等のイノベーション創出を支援 (1億ポンド)
4.投資指標	Net Zero Strategy: Build Back Greener		• 2030年までに雇用44万人、最大900億ポンドの民間投資を呼び込み(以下雇用の2030年までの最大人数、官民投資の2037年までの目標) - 電力1,500-2,700億ポンド/12万人、燃料・水素200-300億ポンド/1万人(供給サイド)、産業140億ポンド以上/5.4万人、熱・建築2,000億ポンド/17.5万人、交通2,200億ポンド/7.4万人、自然資源300億ポンド/0.2万人、工学系CO2除去200億ポンド/NA(高いスキルが要求される)

Note: 2022年3月16日時点
Source: 英国政府"Net Zero Strategy: Build Back Greener"; "UK enshrines new target in law to slash emissions by 78% by 2035"(2021年4月20日); "UK's path to net zero set out in landmark strategy"(2021年10月19日); 各種公開情報を基にBCG分析

フランスは2020年に "国家低炭素戦略 (Strategie Nationale Bas-Carbone)" でセクターごとの2030年/2050年の排出量目標と方向性/シナリオを発表

各国/地域の代表的な気候変動政策: フランス

主となる方針

	名称/項目	時期	概要
1. CO2関連指標/全体	エネルギー・気候法	2019年11月	• 2050年にGHG排出量ネットゼロ
	国家低炭素戦略 "Strategie Nationale Bas-Carbone" (方向性/シナリオ)	2020年4月 (改訂版採択)	• カーボンニュートラル達成に向けたロードマップ(2033年までの5年毎の総排出量削減計画、分野ごとの排出量・方向性/シナリオ) - 運輸: 2050年に排出ゼロ、2030年までに28%減(2015年比) - 建築: 2050年に排出ゼロ、2030年までに49%減(2015年比) - 農業: 2050年に46%減、2030年に18%減(2015年比) - 産業: 2050年に81%減、2030年に35%減(2015年比) - エネルギー: 2050年に排出ゼロ、2030年に33%減(2015年比) - 廃棄物処理: 2050年に66%減、2030年に27%減(2015年比) - 森林 (吸収): BAUシナリオに比較して2050年までには87%吸収量増
2.エネルギー指標	エネルギー・気候法	2019年11月	• 2022年までに石炭火力発電停止、2030年までに化石燃料消費量を2012年比で40%削減 • 原子力依存度の低減 (2035年に発電設備容量ベースで構成比50%) • 再生可能エネルギーの開発を加速(グリーン水素プロジェクトの推進、大規模ビルへの太陽光パネル設置義務化)
	• エネルギー需要のコントロール		• 技術導入によるエネルギーの効率向上、インテリジェントデバイスの利用と行動変容によるエネルギー消費の平準化
	• エネルギーミックスの脱炭素化/多様化		• 2050年のエネルギーミックス: カーボンフリー電力55%,バイオマス/その他カーボンフリー燃料37%,再生可能熱(バイオマス除)8%
	国家水素戦略	2020年9月	• 2030年までに6.5GWのグリーン水素生産設備を設置 • 3つの戦略の柱 (①水電解によるクリーン水素生産セクターの創出と製造業の脱炭素化、②クリーン水素を燃料とする大型モビリティの開発、③水素エネルギー分野の研究・イノベーション・人材育成支援)
3.産業指標	• 輸送		• 2040年までに小型車の新車は全て排出量ゼロ、国内海上輸送2050年排出量ゼロ、航空機の2050年のバイオ燃料利用率50%
	• 建築		• 2050年には排出量ゼロエネルギー100%使用、建築物のリノベーションの促進(2022年から37万件/年、長期的には70万件/年
	• 農業		• 一酸化窒素 : 窒素投入量削減/窒素循環の最適化、メタン : 家畜の糞尿管理改善、家畜管理最適化での腸内発酵の制御
	• 産業		• CCUSにより2050年までに15MtCO2eqの削減、2050年には排出量ゼロエネルギーを100%使用、省エネの強化
	• 廃棄物処理		• 省梱包・製品寿命の延長などのエコデザインの実現、コジェネレーション等のエネルギー回収
4.投資指標	経済復興策	2020年9月	• 2030年までの総額1,000億€の経済復興策のうち300億€を環境対策に(建造物の省エネ改築支援 (67億€)、鉄道部門支援 (47億€)、環境に優しい農業への転換 (25億€)、水素関連支援 (20億€、2030年までに合計70億€)、低公害車への買い替え支援措置の継続 (19億€)、製造業の脱炭素化促進 (12億€) 等) ※2021年10月にマクロン大統領が「フランス2030」という5年間で300億€の投資計画を発表、そのうち環境関連は120億€ (電力/製造業の脱炭素化 (80億€)、EV/PHEV促進/低炭素航空機生産開始前倒し (40億€))

Note: 2022年3月16日時点
Source: フランスMinistere de la Transition ecologique "Strategie Nationale Bas-Carbone"; 各種公開情報を基にBCG分析

インドはCOP26で2070年のカーボンニュートラル実現に言及、広大な国土を活用した再エネの導入とそれを活かしたグリーン水素・アンモニアの世界的な生産・輸出拠点を目指す

各国/地域の代表的な気候変動政策: インド

主となる方針

	名称/項目	時期	概要
1. CO2関連指標/全体	COP26でのモディ首相のスピーチ	2021年11月	COP26にてそれまで言及していなかった達成時期について言及、モディ首相が「2070年までのネット・ゼロ」と以下4点を発表 • インドは2030年までに非化石エネルギー容量を500GWに • 2030年までにエネルギー需要の50%を再生可能エネルギーに • 現在から2030年までに、二酸化炭素の排出量を10億トン削減(参考:2020年のCO2排出量 23億トン) • 2030 年までに炭素集約度を 45%以上削減
2.エネルギー指標	International Solar Alliance	2015年	• COP21でフランスと共同で設立、世界全体で1,000GWの太陽光発電設備を導入することを目標とし、80か国が加盟
	洋上風力設備容量目標	2018年以前	• 2030年までに洋上風力発電所の設備容量を30GWまで拡大する計画
	浮体式水上太陽光発電所建設計画	2020年7月	• インド国営水力発電NHPCが500MWの世界最大の浮体式水上太陽光発電所を契約
	国家水素ミッション	2021年8月	• 2030年までにグリーン水素の年間生産量を500万tへ拡大し、グリーン水素・アンモニアの世界的な生産・輸出拠点へ - 広大な国土での太陽光・風力発電を活用し、低コストで生産
	国家インフラ計画 Gati Shakti	2021年11月	• 2047年までにエネルギー自立国を目指し、電気自動車、太陽光発電、グリーン水素への投資を拡大
	送電網整備	2022年1月	• 送電網の整備に5年間で約16億米$をかけ、7州での再生可能エネルギープロジェクトを系統連系させる
3.産業指標	Energy Sufficient Services Limited	2009年	• Ministry of Powerと公営企業で設立したJV、効率的なエネルギーポートフォリオを提供 - 年間470億kWhのエネルギーを節約し、3650万tのCO2を削減(例:インド全土で4750万個のLEDを配布する大規模なLED化キャンペーンを実施)
	Industrial Deep Decarbonisation Initiative(IDDI)	2021年6月	• クリーンエネルギー大臣会合(CEM)において英政府とインド政府の主導により、鉄鋼とセメントのカーボンニュートラル実現に向けたグローバル規模の協働体制を築くイニシアチブを発足、政府調達での低炭素鉄鋼や低炭素セメントの積極的購入を促す
	インド国鉄の電化目標	2021年11月	• インド国鉄は2023年12月までに100%電化、再エネを活用して2030年までにネットゼロを目指す
	EV充電スタンドに関するガイドライン改訂版	2022年1月	• 安価で利用しやすい充電インフラの普及加速化を狙う - 公共の充電設備提供のスケジュールと市場ルールを策定、政府や地方自治体の所有地を確保し充電施設に利用。土地のレベニューシェアリングモデルを導入し1kWh当たり1インドルピー(0.013米$)でレートを固定
4.投資指標	国家インフラ計画 Gati Shakti	2021年10月	• 100兆ルピー(約150兆円)の国家インフラ計画に、気候変動対策を盛り込む

Note: 2022年3月16日時点 Source: インド政府 HP "PM Gati Shakti - National Master Plan for Multi-modal Connectivity"; インド首相オフィス HP "National Statement by Prime Minister Shri Narendra Modi at COP26 Summit in Glasgow"(2021年11月1日); インドMinistry of Ports, Shipping and Waterways "PM launches Gati Shakti- National Master Plan for infrastructure development"(2021年10月13日); 各種公開情報を基にBCG分析

ロシアは「2050年までの温室効果ガス排出削減を伴う社会経済発展戦略」で排出量目標とシナリオ分析を発表、制約は最小限にとどめつつ水素産業を輸出産業へと育成する計画

各国/地域の代表的な気候変動政策 ロシア

主となる方針

	名称/項目	時期	概要
1. CO2関連指標/全体	2050年までの温室効果ガス排出削減を伴う社会経済発展戦略	2021年10月	• 2060年までのカーボンニュートラル達成を目指し、2030年のネット排出量6%増、2050年同40%減(2019年比)を目指すためのシナリオを発表 - ネット排出量 2019年16億トン、2030年17億トン(+6%)、2050年6億トン(-40%)(CO2換算、2019年比) - GHG排出量 2019年21億トン、2030年22億トン(+4%)、2050年18億トン(-14%)(CO2換算、2019年比) - GHG吸収量 2019年5億トン、2030年5億トン(+1%)、2050年 12億トン(+124%)(CO2換算、2019年比) • 実現に向けて、製品認証に関する技術規則の見直し、財政・税制上の措置等を講じる予定で、6カ月以内に経済発展省が具体的な行動計画を取りまとめ - 例: カーボンプライシング、エネルギー効率の高い技術の導入支援、グリーンプロジェクトに対する融資の優遇(グリーンプロジェクトに原子力も含む)、森林によるCO2吸収(森林管理の改善、植林・再生林) など
2.エネルギー指標	水素エネルギー発展コンセプト	2021年8月	• 将来的に水素・関連エネルギー資源の世界最大の輸出国となることを目指し、3つのフェーズを設定 - 1. 2024年までに最大20万トンを輸出する、3つのクラスターを創設 - 2. 2035年に200万トン(楽観目標1,200万トン)輸出可能なプロジェクトの稼働開始 - 3. 2050年までに輸出量1,500万トン(楽観目標5,000万トン)を目標 • 3つのクラスター毎に役割を分担 - 北西部クラスター:EU向け輸出、輸出製品向けにカーボン・フットプリントを削減した水素の製造 - 東部クラスター:アジア向け輸出、輸送セクターやエネルギーセクターにおける水素インフラを整備 - 北極圏クラスター:ロシア北極圏向け、低炭素電力供給システムの創設や水素/水素混合エネルギーの輸出 • 今後3年間の投資計画を90億ルーブルとなる見込み
3.産業指標	温室効果ガス排出削減に関する連邦法	2021年7月	• GHG排出量の報告を企業に義務付け(GHG排出量15万トン/年以上の企業 2023年1月から、5万トン以上の企業 2025年1月から)
	ロシア産EVに対する補助金	2021年10月	• 国産EV/水素自動車の開発/普及促進 - 2030年までにEVと水素自動車の開発に5910億ルーブルを投資(2030年までにロシア産自動車の10%、22万台/年をEV化) - 2020年から国産EVに対する補助金も予定(購入価格の最大25%、62.5万ルーブルを上限として支援) - EV充電ステーション設置目標は2024年までに9400基、2030年までに72,000基
4.投資指標	N/A		

Note: 2022年3月16日時点
Source:ロシア政府No.3052-P "ОБ УТВЕРЖДЕНИИ СТРАТЕГИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С НИЗКИМ УРОВНЕМ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ДО 2050 ГОДА"(2021年10月29日); IEA Renewables Policies Database; 各種公開情報を基にBCG分析

インドネシアは2021年に "長期戦略(Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience 2050: LTS-LCCR 2050)" というシナリオ分析を発表した段階

各国/地域の代表的な気候変動政策: インドネシア

主となる方針

	名称/項目	時期	概要
1. CO_2関連指標/全体	長期戦略 (シナリオ分析)	2021年7月	• 2030 年に排出量ピーク、2060年カーボンニュートラル達成に向けて4領域でのシナリオ分析を発表(①林業・土地利用、②エネルギー、③廃棄物、④工業プロセス)
2.エネルギー指標	• 領域②エネルギー領域		• 次の4つの対策についてシナリオ分析を発表: (i) エネルギー効率化、(ii) 運輸・建築における脱炭素電力の利用、(iii) 産業における石炭からガス・再エネへの燃料転換、(iv) 電力・運輸・産業における再エネの拡大 - 電力は3つの施策導入により2050年に脱炭素化されると予測(再エネの大規模導入、石炭火力へのCCS/CSUSの導入、バイオマス石炭混焼+CCS・BECCS)
	電力供給事業計画 (2021-2030、(政府が承認した国営電力会社 PT PLN (Persero)の計画)	2021年 9 月	• 石炭火力は2056年までに段階的に縮小の方針だが、2030年までは約6割とほぼ横這いとなるシナリオが公開 - 石炭火力のバイオマス混焼を推進。混焼率を10-20%に引き上げ、今後全52か所に導入予定 • 再エネ導入を加速化し、2030年の電源構成に占める再エネ割合23-25%を目指す。今後5年間で再エネ12GWを新設予定
3.産業指標	電気自動車(EV)の促進に関する政令	2019年8月	• 2022年から EV の製造を本格化。ニッケルから EV までの一貫生産体制を構築し、2024年までに燃料電池を国産化、アジアのEVハブとなることを目指す(2025 年までに生産台数に占める EV 比率を 20%へ、インドネシアはニッケル産出量世界最大)
	ETS、炭素税の導入	2021年3月	• 2025 年までにETS導入を目指す - 2021年3月から8月にかけて国内の石炭火力発電所 80 ヵ所で試験的に ETS を導入 - 2022年4月から炭素税の導入を予定(ただし、2.1\$/tとかなり低い水準となる予定)
	• 領域①林業・その他土地利用(AFOUL)		• 森林や泥炭等でのCO2削減を促進、現行政策シナリオで2050年、低炭素シナリオで2030年にこの分野でのカーボンネガティブに - 森林伐採と泥炭関連の排出(泥炭火災と泥炭分解)の削減、炭素固定量の大幅な増加、植林・再植林(森林伐採の削減策は穀物の生産性・作付け強度の向上、統合農業や複合農業の実施等) - 従来から取り組んできたREDD+(森林の減少・劣化抑制による排出削減)を通じて残された自然林の維持
	• 領域③廃棄物		• 長期戦略で廃棄物管理から生じるGHG/廃棄物処理から生じるメタンガスについてシナリオ分析
	• 領域④工業プロセス		• セメント、金属(鉄鋼)、アンモニア肥料、石油化学、セラミックスをGHG排出集約産業のうち、工業プロセスの重点産業としてシナリオ分析
4.投資指標	長期戦略(シナリオ分析)		• インドネシア環境基金(BPDHL)を設立し、環境に関連する分野の資金を運用予定

Note: 2022年3月16日時点
Source:インドネシア政府 "Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience 2050: LTS-LCCR 2050"; 各種公開情報を基にBCG分析

カナダは2020年に"Canada's Climate Actions for a Healthy Environment and a Healthy Economy"を発表、炭素排出に課金し家庭に返金する施策は特徴的

各国/地域の代表的な気候変動政策: カナダ

主となる方針

	名称/項目	時期	概要
1. CO_2関連指標/全体	気候変動対応計画"Canada's Climate Actions for a Healthy Environment and a Healthy Economy"	2020年12月	• 気候変動対策計画として、5つの柱64の新しい施策を発表 - ①エネルギーの無駄の削減、②クリーンで安価な交通と電力の提供、③汚染 (炭素排出) に課金し家庭に返金、④自国のクリーンな産業の他国に対する優位性構築、⑤自然の力の活用
2. エネルギー指標	• ①エネルギーの無駄の削減		• 住宅のエネルギー効率化に対する補助金:最高5,000C$、100万件の無料アセスメント (7年間26億C$) • カナダ産低炭素の建築材料(低炭素セメント、高効率窓・断熱材)のサプライチェーンの構築 • 商用の大規模ビルのエネルギー効率化のための改修の支援 (20億C$)
	• ②クリーンで安価な交通と電力の提供		• スマートな再エネと送電網を促進 (追加4年間9.6億C$) • 水力発電地域と化石燃料発電地域をつなぐインフラ構築 (Canada Infrastructure Bankにより25億C$) • 水素戦略立案予定を発表（主要輸出国かつ技術の世界的リーダーとなることを目標とするカナダ水素戦略を2021年に発表）
	石炭火力の段階的廃止（宣言）	2021年4月	• 2030年までに石炭火力発電の段階的廃止（バイデン大統領主催の気候サミットでの発言）
3. 産業指標	GHG汚染価格法(連邦炭素税)	2018年	• 国の炭素税を設定、最低価格を2019年に20C$/t ($CO_2$換算) としその後毎年上昇。2022年に50C$/t、2030年に170C$/t • 国境を越えた炭素調整措置の可能性も検討
	• ②クリーンで安価な交通と電力の提供		• ゼロエミッション車向け支援 (小型のゼロエミッション車に最大5,000$) を2022年3月まで継続(2年間2.9億C$追加投資 • 充電・燃料補給ステーションの拡大 (3年間1.5億C$追加投資)
	• ③汚染 (炭素排出) に課金し、家庭に返金		• 炭素税による負荷軽減のため、家庭や企業に対する減税や補助金を2018年から支給 • 気候変動対応計画により、2022年から年単位から四半期単位の支給へ
	• ④自国のクリーンな産業の他国に対する優位性構築		• 脱炭素化プロジェクトの迅速な推進等を目的としたイノベーションファンド"Net-Zero Accelerator Fund"を設立(5年間で30億C$) • 低炭素燃料の生産・利用促進のための "Low-carbon and Zero-emissions Fuels Fund" に資金を拠出 (15億C$) • スタートアップのクリーン技術の実証・商用化を支援するSustainable Development Technology Canadaに継続支援(追加7.5億C$) • 農業へのクリーンエネルギーの導入支援(7年間1.7億C$)
	• ⑤自然の力の活用（自然系の炭素削減・除去の促進）		• 20億本を植林 (10年間最大31.6億C$) • 湿地、泥炭地、草原、農地を回復・強化し、炭素貯留量を増加 (10年間最大6.3億C$)
4. 投資指標	気候変動対応計画"Canada's Climate Actions for a Healthy Environment and a Healthy Economy"		• 気候変動緩和分野に今後10年間で150億C$ (約1.3兆円) - 2020年秋のCanada Infrastructure Bankによるクリーンインフラへの60億C$投資に追加 • 政府調達でもクリーン技術を支援する
	連邦予算	2021年度	• 環境政策に176億C$ (約1.6兆円)

Note: 2022年3月16日時点
Source: カナダ政府 "A Healthy Environment and a Healthy Economy"; 各種公開情報を基にBCG分析

オーストラリアは2021年に"Long-Term Emissions Reduction Plan"を発表、既存の石炭・ガス生産や農業にも配慮した独自の「オーストラリアン・ウェイ」を追求

各国/地域の代表的な気候変動政策: オーストラリア

主となる大型政策

	名称/項目	時期	概要
1. CO2関連指標/全体	Long-Term Emissions Reduction Plan	2021年10月	• 国民・企業に課税等の負担を課すのではなく、技術投資によるコスト削減/技術導入の加速化に焦点を当てた「オーストラリアン・ウェイ」を追求 - 目標は法制化せず、計画の進捗状況は5年ごとに見直し - 石炭やガスの生産を停止せず、既存産業や雇用を維持したままネットゼロを実現する • 本計画までで必要な排出削減量の85%をカバー、残り15%は本計画を超えた"未来の技術ブレークスルー"が必要と定義 - 85%の内訳:これまでの削減量 (20%)、低炭素技術ロードマップ(40%)、世界の技術の取り込み (15%)、国際・国内オフセット (10-20%)
2.エネルギー指標	• 新技術のコスト目標(エネルギー関連)		• 注力新技術のコスト低減により、技術の導入拡大を狙う - クリーン水素 (2 A$(160円)/kg以下)、超低コストソーラー (15 A$(1200円)/MWh以下、エネルギー貯蔵 (100 A$(8,000円)/MWh以下)
3.産業指標	• 新技術のコスト目標(産業関連)		• 注力新技術のコスト低減により、技術の導入拡大を狙う - 低炭素鉄鋼 (700 A$(5.6万円)/t以下)・低炭素アルミ (2200 A$(17.6万円)/t以下)、CCS (20 A$(1,600円)/t以下)、土壌炭素貯留 (3 A$(240円)/年・ha以下)
	• 大規模開発の促進		• 低排出技術導入のための企業へのインセンティブの付与、ボランタリー・カーボン・マーケットの構築、消費者に対する啓蒙と認証制度、インフラ構築 (Snowy 2.0(揚水発電・蓄電)、EV充電施設、送電網の拡充)
	• 新しいチャンスの取り込み		• 低炭素化で必要となる鉱物・金属市場の拡大 (銅、ニッケル、リチウム 等)、クリーン水素の輸出産業化、低炭素燃料の輸出強化 (LNG,ウラン)
	• グローバルなコラボレーションの促進		• イノベーションの加速と投資促進のための国際的なパートナーシップの構築、複数プレーヤーとの技術的なイニシアチブへの参加、インド・太平洋カーボンオフセットスキームの構築
4.投資指標	低炭素技術ロードマップ/Long-Term Emissions Reduction Plan	2020年9月/2021年10月	• 注力新技術に今後10年間で200億A$(約1.6兆円)投資し、800億A$以上の公共投資/民間投資を呼び込む - クリーン水素、エネルギー貯蔵、低炭素鉄鋼・アルミ、CCS、土壌炭素貯留、超低コストソーラー (2021年10月追加)
	Long-Term Emissions Reduction Plan		• 各地域の背景を踏まえた地域別戦略を構築し、投資を紐づけ - 西オーストラリア州ピルバラ 水素製造・輸出、クイーンズランド州グラッドストーン 水素・再エネ・低排出原料 など - クリーン水素産業ハブに4.6億A$ (水素産業全体で12億A$以上、7つの優先拠点)、重要鉱物プロジェクトに2億A$ (+20億A$の融資)、CCUSに3億A$以上、新しい製造業戦略に5.5億A$ 等

Note: 2022年3月16日時点
Source:オーストラリア政府 "Australia's Long-Term Emissions Reduction Plan"(2021年10月26日); 各種公開情報を基にBCG分析

イタリアは2019年に、2030年までの戦略"Pubblicato il testo definitivo del Piano Energia e Clima"を発表、2030年までは発電・輸送での再エネ促進と省エネ化を重視

各国/地域の代表的な気候変動政策: イタリア

主となる大型政策

	名称/項目	時期	概要
1. CO2関連指標/全体	エネルギーと気候に関する国家統合計画 "Pubblicato il testo definitivo del Piano Energia e Clima"	2019年12月	• 2030年までの戦略（EUが2030年のGHG排出量削減量を40%から55%に引き上げる前に策定、40%減を前提としたプラン) - 再生可能エネルギーの促進と運輸・市民(住宅・第三次)セクターにおけるエネルギーの効率化を重視、2030年目標は、エネルギー総消費量に占める再生可能エネルギーの割合30%（EU目標32%）、1次エネルギー消費量43%減（EU目標32.5%減） • 5つの柱で構成(①脱炭素、②省エネ、③エネルギー安全保障・安定供給、④国内市場、⑤リサーチ・イノベーション・競争力)
2.エネルギー指標	• 再生可能エネルギーによる発電の促進(①、④)		• 化石燃料による発電の2025年までの段階的廃止 - 代替プラントと必要なインフラが準備できた場合としており、LNGインフラ整備も本計画に記載されている • 太陽光発電・風力発電の拡大中心、再エネによる最終電力消費量の割合2017年34.1%から2030年55%を目指す
	• 輸送分野での再エネ燃料利用の促進(①)		• 1MW以上の大型再エネプラント導入促進(競争入札における差額決済契約、長期契約など)、送電網・蓄電システムの整備 • 輸送分野においてバイオ燃料/その他再エネ燃料利用を促進(2022-2030年) - バイオ燃料は2030年に3.5%導入を目指す(バイオ燃料の開発とバイオメタン製造プラントの建設・運営を促進、バイオメタン75%・その他バイオ燃料25%の割合を想定) - EVは2030年までに累積400万台、PHEV/EVの新車販売台数は2030年600万台 - 水素を燃料とする輸送は、2030年に再エネによる輸送の1%程度(水素直接利用0.8%・メタネーション0.2%)
	• 省エネの促進(②)		• 建物の熱効率の向上のための改修支援 • エネルギー多消費産業のエネルギー監査の実施
	• エネルギー・トランジションに対する支援(③)		• 石油製油所からバイオ燃料精製所への産業転換に対して支援 • LNGインフラの整備（エネルギートランジションの過程で再生可能エネルギーでは賄えない部分はガスで対応予定)
	• エネルギー安全保障(③)		• エネルギー輸入依存度の2016年の77.7%から2030年には68%に引き下げ
3.産業指標	• 自動車の低排出化(①)		• 低排出な自動車の購入奨励金(1台あたり最大6,000€) • EVの充電インフラの整備(購入と設置に対する税額控除) • 代替燃料補給インフラの整備(EV 2019年2,900か所→2020年6,500か所、圧縮天然ガス 2019年 1,100か所→2030年2,400か所、LNG 現在数十か所→2030年800か所)
	• サーキュラーエコノミー/廃棄物対策(①)		• 店舗でのばら売りや量り売り、ペットボトルのバウチャー制(返金制度)の試み
	• 貨物輸送/人の移動のモーダルシフト(②)		• 貨物輸送/人の移動のモーダルシフト(陸上・会場・列車輸送の組み合わせ、国立ロジスティックプラットフォーム)など
4.投資指標	• イノベーション促進のための基金(⑤)		• 電力システム研究ファンド(3年2.1億€)、研究開発投資に対する税額控除(エネルギー分野の投資は4.4-5億€増)
	National Recovery and Resilience Plan	2021年4月	• 欧州委員会の「復興レジリエンス・ファシリティー」予算計画1,915億€のうち、718億€を気候変動対策として計上 - グリーン革命・エネルギー移行:エネルギー移行・サステナブルモビリティ(253.6億€)、省エネ・建物の改修(222.4億€)、サステナブル農業・サーキュラーエコノミー(69.7億€) - サステナブルモビリティのためのインフラ構築:鉄道網・道路(279.7億€)

Note: 2022年3月16日時点; 名称/項目の()内の数字①～⑤は5つの柱に対応
Source: イタリア政府 "Pubblicato il testo definitivo del Piano Energia e Clima (Integrated National Energy and Climate Plan)" ; "Italy's National Recovery and Resilience Plan"; IEA Renewables Policies Database; 各種公開情報を基にBCG分析

本報告書構成

気候変動政策(ムチ×アメ)と対象市場(自国内×他国間)で4つに分類

気候変動政策×通商政策のマッピング(1/3)

対象: 自国内 / 他国間

政策・取り組み

ムチ (守り)
- 課金
- 規制

他国間:

輸入品に対するカーボンプライシング
- CBAM

特定国からの防御のための連携
- アメリカ/EU 鉄鋼・アルミ追加関税撤廃に関する合意

自国内・他国間:

カーボンプライシングの国際水準の設定 (不公平感の緩和)
- OECD 炭素価格に関するフレームワーク提案、IMF/OECD Tax Policy and Climate Change、ドイツ 気候クラブ

炭素集約的な技術の廃止
- EU ICE(内燃エンジン)の販売中止(2035年)、ドイツ 石炭・褐炭火力発電を遅くとも2038年までに全廃 等

自国内:

カーボンプライシング
- 炭素税、ETS (30カ国以上)

アメ (攻め)
- 補助金
- 需要創出

自国内・他国間:

カーボンニュートラルのエコシステム構築を目的としたイニシアチブ
- 官民：FMC (First Movers Coalition) 、Breakthrough Energy Catalyst / 官：IDA (Industrial Decarbonization Agenda)

公共調達の世界的な促進
- IDDI (クリーンエネルギー大臣会合 Industrial Deep Decarbonization Initiative) 、Green Public Procurement (GPP) pledge

自国内:

各国大型施策
- EU Fit for 55、アメリカ Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050 等

各国公共調達
- アメリカ バイ・クリーン・タスクフォース、イギリス Net Zero Strategy 等

Note: 2022年3月16日時点
Source: 各種公開資料よりBCG分析

気候変動政策×通商政策の大きな目的はグループごとに異なる

気候変動政策×通商政策のマッピング(2/3)

① 自国のカーボンニュートラルをムチで促進する

② 自国への炭素集約的な製品の流入を防ぐ/自国市場からのカーボンリーケージを防ぐ

対象：自国内／他国間

政策・取り組み

ムチ（守り）
- 課金
- 規制

他国間：
輸入品に対するカーボンプライシング
- CBAM

特定国からの防御のための連携
- アメリカ/EU 鉄鋼・アルミ追加関税撤廃に関する合意

カーボンプライシングの国際水準の設定（不公平感の緩和）
- OECD 炭素価格に関するフレームワーク提案、IMF/OECD Tax Policy and Climate Change、ドイツ 気候クラブ

炭素集約的な技術の廃止
- EU ICE(内燃エンジン)の販売中止(2035年)、ドイツ 石炭・褐炭火力発電を遅くとも2038年までに全廃 等

カーボンプライシング
- 炭素税、ETS（30カ国以上）

アメ（攻め）
- 補助金
- 需要創出

カーボンニュートラルのエコシステム構築を目的としたイニシアチブ
- 官民：FMC（First Movers Coalition）、Breakthrough Energy Catalyst / 官 IDA（Industrial Decarbonization Agenda）

公共調達の世界的な促進
- IDDI（クリーンエネルギー大臣会合 Industrial Deep Decarbonization Initiative）、Green Public Procurement（GPP）pledge

各国大型施策
- EU Fit for 55、アメリカ Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050 等

各国公共調達
- アメリカ バイ・クリーン・タスクフォース、イギリス Net Zero Strategy 等

③ 自国のカーボンニュートラルをアメで促進する

④ 自国のカーボンニュートラル達成に必要な技術を世界から呼び込む/買い負けないようにする

Note: 2022年3月16日時点
Source: 各種公開資料よりBCG分析

②他国間のムチ(守り)では自国への炭素集約的製品流入を阻止し、自国市場からのカーボンリーケージを防ぐ意図

気候変動政策×通商政策のマッピング(3/3)

① 自国のカーボンニュートラルをムチで促進する

② 自国への炭素集約的な製品の流入を防ぐ/自国市場からのカーボンリーケージを防ぐ

政策・取り組み	対象: 自国内	対象: 他国間
ムチ(守り) • 課金 • 規制		輸入品に対するカーボンプライシング • CBAM 特定国からの防御のための連携 • アメリカ/EU 鉄鋼・アルミ追加関税撤廃に関する合意
	カーボンプライシングの国際水準の設定(不公平感の緩和) • OECD 炭素価格に関するフレームワーク提案、IMF/OECD Tax Policy and Climate Change、ドイツ 気候クラブ	
	炭素集約的な技術の廃止 • EU ICE(内燃エンジン)の販売中止(2035年)、ドイツ 石炭・褐炭火力発電を遅くとも2038年までに全廃 等	
	カーボンプライシング • 炭素税、ETS(30カ国以上)	
アメ(攻め) • 補助金 • 需要創出	カーボンニュートラルのエコシステム構築を目的としたイニシアチブ • 官民:FMC(First Movers Coalition)、Breakthrough Energy Catalyst / 官 IDA(Industrial Decarbonization Agenda)	
	公共調達の世界的な促進 • IDDI(クリーンエネルギー大臣会合 Industrial Deep Decarbonization Initiative)、Green Public Procurement (GPP) pledge	
	各国大型施策 • EU Fit for 55、アメリカ Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050 等	
	各国公共調達 • アメリカ バイ・クリーン・タスクフォース、イギリス Net Zero Strategy 等	

③ 自国のカーボンニュートラルをアメで促進する

④ 自国のカーボンニュートラル達成に必要な技術を世界から呼び込む/買い負けないようにする

Note: 2022年3月16日時点
Source: 各種公開資料よりBCG分析

CBAM等によりマーケットが求める商品が脱炭素品と既存品に分化し、それに伴いサプライチェーンの再編・再構築が起こる見立て

他国間のムチ(守り)

現状

政府の動向

輸入品に対するカーボンプライシング
EUは2026年からCBAMを本格導入予定
- 対象はセメント、鉄・鉄鋼、アルミニウム、肥料、電力 (完成品は対象外)
- EUへの輸入時に、EU-ETSに相当する炭素価格を支払う
  - EU以外で炭素価格を支払っている場合はその分減額

特定国からの防御のための連携
アメリカ/EU間で鉄鋼・アルミに対する追加関税撤廃に関して合意
- 中国からの炭素集約的な鉄・アルミの自国マーケットへの流入を防止
- 他国にも門戸を開放

カーボンプライシングの国際水準の設定
ドイツはG7を中心にCBAM等による貿易摩擦を回避するための「気候クラブ」設立を提案
- 世界共通の炭素価格導入を図る

OECD「炭素価格に関するフレームワーク提案」、IMF/OECD「Tax Policy and Climate Change」も同様の趣旨

炭素集約的な技術の廃止
EUでのICE(内燃エンジン車)販売に対する規制やドイツでの石炭火力の廃止などが予定されており、国外からの流入も不可

産業の動向

市場動向
CBAMの直接的な影響を大きく受ける国は中国、ロシア、インド
将来的に部品や完成品にもCBAMが課される場合は、日本企業にとっても幅広い影響が考えられる
- 対象製品が原料として関わる領域は広い
- 自動車で1台当たり約160-500ユーロの負担増

企業動向
影響を受けるロシア・インド等の鉄鋼・アルミ業界では3つの動きがでてきている
①脱炭素追求施設と既存施設の分社化
- ルサール(露・アルミ)が2021年に発表

②脱炭素化方針の打ち出し
- ルサール (露・アルミ) は2017年にグリーンアルミブランド "ALLOW" を立ち上げ
- TMK (露・鋼管製造) は2023 年までという短期間でのGHG8%削減を2021年に発表
- タタ製鉄 (インド・鉄鋼) は2021年CCU開始、水素による直接還元鉄の導入や輸送のバイオ燃料研究にも取組み

③顧客への炭素価格の転嫁
- タタ製鉄欧州 (インド・鉄鋼) が徴収開始
- 中国鋼鉄 (CSC、台湾・鋼鉄) は輸出向けに導入予定

将来的な影響 (見立て)

マーケットが国の脱炭素への対応度合いにより分化する
- 欧米は脱炭素化が進んだ製品
  - CBAMやETS/炭素税により、国内/外どちらから調達しても炭素に同等のコストがかかるようになる
  - 企業としても脱炭素化を目指す
- 脱炭素後進国は、炭素排出量に関わらず、コスト競争力のある製品

マーケットの変化に合わせ、サプライチェーンも再編・再構築を迫られるようになる
- マーケットに合わせて生産拠点/流通網を分ける必要性
  - 欧米向けの脱炭素化製品
  - 脱炭素後進国向けの炭素排出量に関係なくコスト競争力のある製品
- 欧米向け脱炭素化製品は対応しやすい立地へと生産拠点が移転する可能性
  - 再エネや水素等が調達しやすい
  - 消費地に近い 等

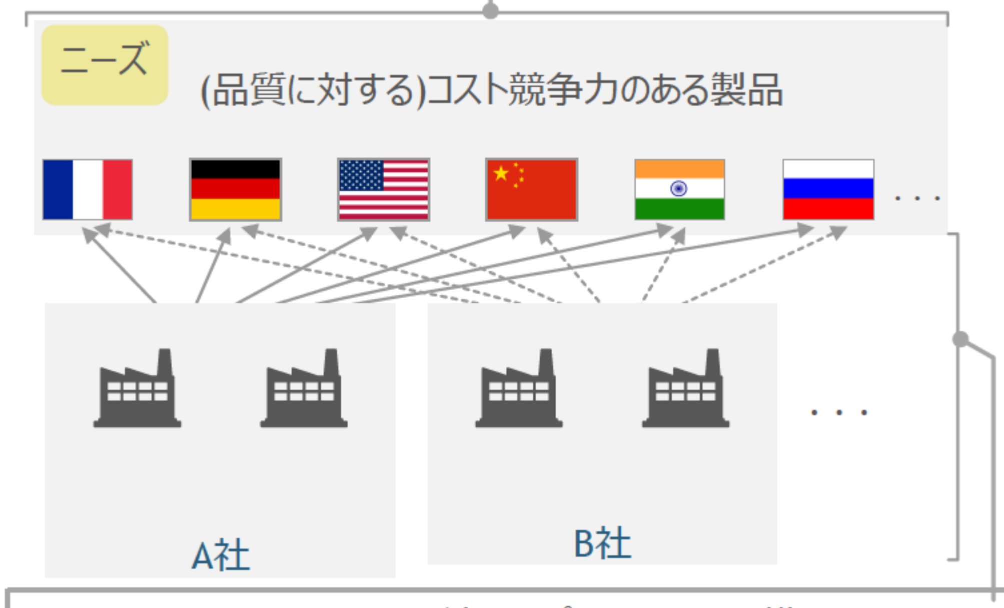
Note: 2022年3月16日時点 Source: 各種公開資料よりBCG分析

国としての脱炭素化への対応度合いによりマーケットが分化することで、サプライチェーンが再編・再構築

他国間のムチ (守り)の将来的な影響 (見立て)

現在

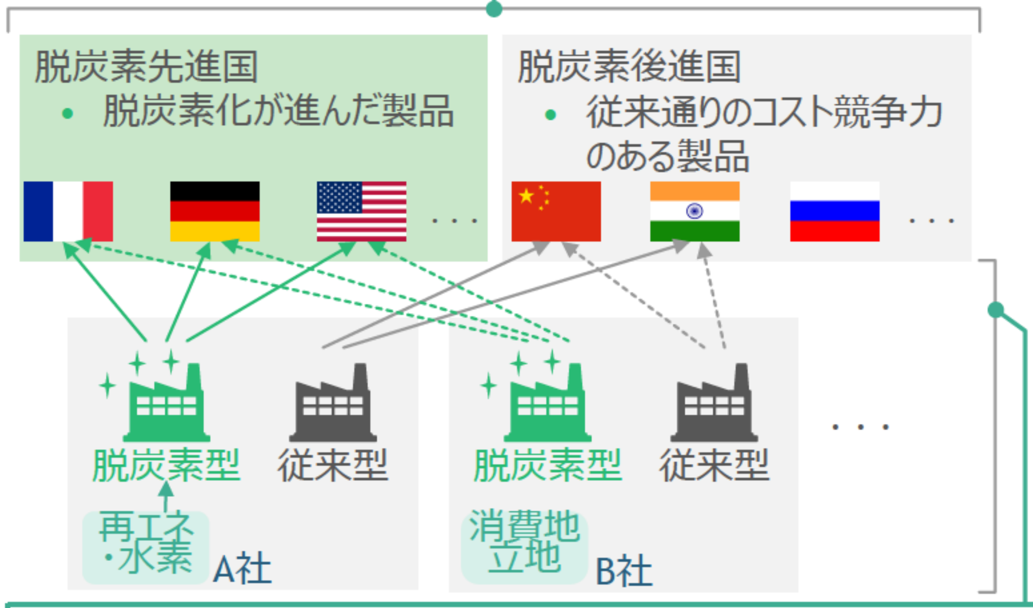
① マーケットが求める方向性は１つ



② コスト競争力の観点で最適なサプライチェーンを構築

将来

① 国の脱炭素への対応度合いによりマーケットが分化



② サプライチェーンも再編・再構築を迫られるようになる

- マーケットに合わせて生産拠点/流通網を分ける必要性
- 欧米向け脱炭素化製品は対応しやすい立地へと生産拠点が移転する可能性
  - 再エネ・水素が調達しやすい
  - 消費地に近く、輸送で排出するCO2が少ない　等

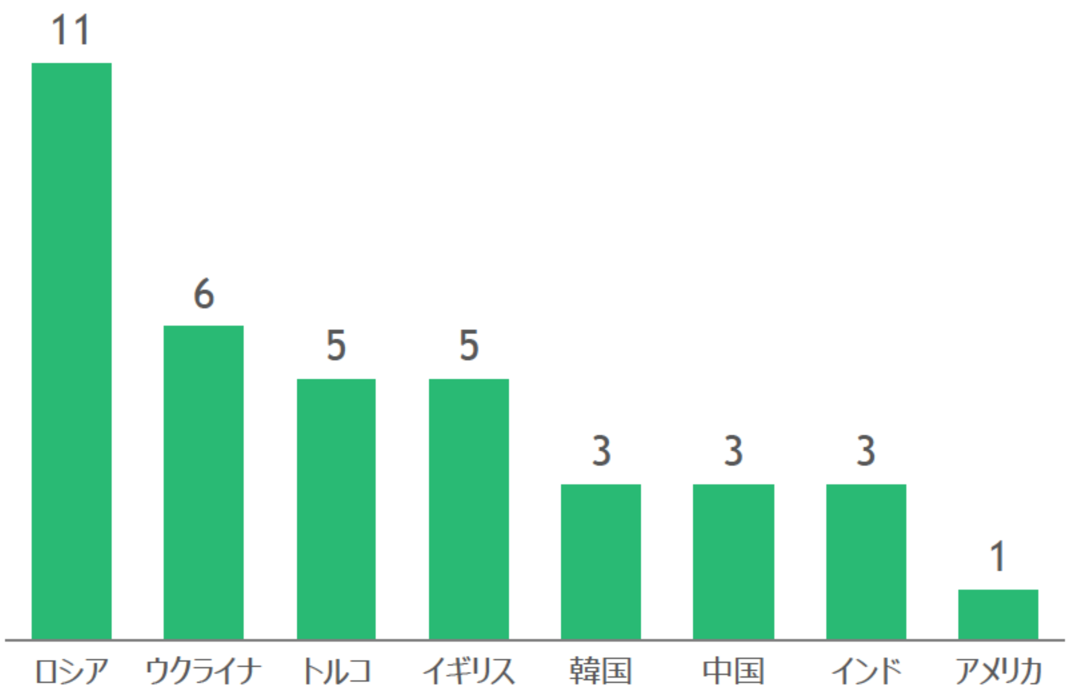
Source: BCG分析

鉄鋼へのCBAMによる単位当たりのコスト上昇は、特にインド、ロシア、中国に大きな影響

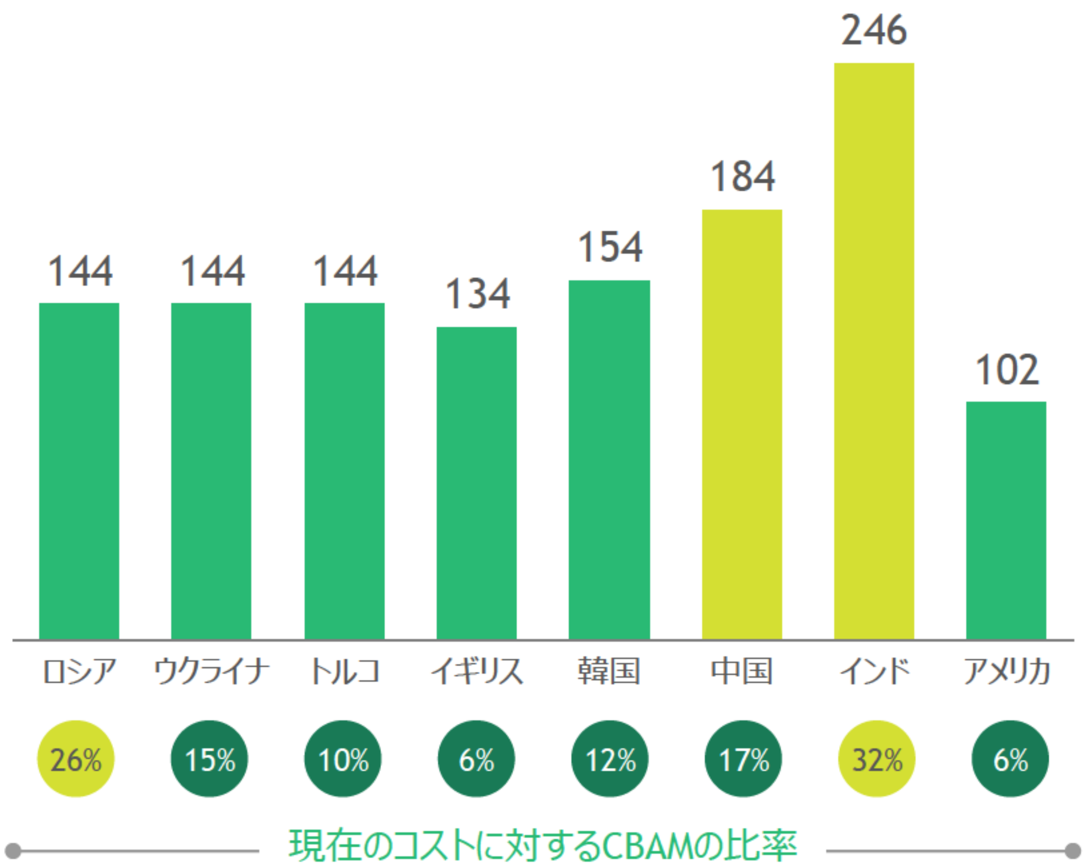
鉄鋼のEUの輸入量とCBAMのコストへの影響 (鉄鋼)

CO2価格 100ユーロ/tでの試算

鉄鋼のEUの輸入量(2019年)



CBAMによって鉄鋼1トンにかかる炭素価格



欧州市場ではCBAMの第一フェーズの対象だけでも、様々な業界に影響

国境炭素税の影響範囲(CBAM)

国境炭素税の優先分野

		セメント	鉄	非鉄金属	化学	パルプ&ペーパー	ガラス	電力	EU27カ国の生産付加価値(億ドル)	影響を受けるセグメント
シンプルなサプライチェーン	建設	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	686	住宅、商業施設、輸送
	消費者向け食品			✓	✓	✓	✓	✓	263	パッケージされた食品、ソフトドリンク、スピリッツ
	ゴム・プラスチック				✓			✓	106	様々な民生用、建設用、工業用アプリケーション
	パッケージング&コーティング		✓	✓	✓	✓	✓	✓	76	
	マイニング&採石	✓	✓	✓	✓			✓	27	金属、石炭、非鉄金属
複雑なサプライチェーン	金属・機械		✓	✓	✓			✓	328	冶金、機械、機械装置
	自動車		✓	✓	✓		✓	✓	200	部品メーカー、自動車OEM
	ハイテク製品		✓	✓	✓		✓	✓	143	通信機器、PCおよびモバイル機器、電気製品
	医薬品				✓			✓	124	特許取得済みのバイオ医薬品、ワクチン、ジェネリック医薬品
	航空宇宙		✓	✓	✓		✓	✓	39	部品メーカー、LCA、ビジネスジェット、軍用機
	家電製品		✓	✓	✓		✓	✓	15	洗濯機、乾燥機、冷蔵庫、掃除機など

□ 第一フェーズで対象とされる見込み。非鉄金属はアルミニウム、化学はアンモニアと硝酸、それらを原料とする肥料のみとなる見込み

Source: BCG分析

自動車生産・運搬の排出CO2 は1台当たり約7,000kg、CBAMが完成品や輸送まで対象拡大するとした場合の炭素コストは約500ユーロと試算

1台当たりCO2排出量 (kg)

少 <100 kg　中 100-300 kg　多 >300 kg

	原材料						その他		
	鉄鋼	アルミ	プラスチック	電子材料	その他[1]	原材料合計	部品製造	製品組立	物流
エンジン	113	422	37	50	9	632	135	443	950
ボディ	967	54	295	132	13	1,460	91		
電子・電気	1	0	21	225	0	247	101		
トランスミッション	131	204	1	27	9	373	84		
内装	114	0	274	25	23	437	49		
アクスル・駆動軸	245	43	1	0	0	289	40		
温度調節器、エンジンクーリング	2	66	103	49	0	220	35		
サスペンション	36	0	11	0	0	47	27		
ブレーキ	120	9	3	24	1	157	19		
ステアリング	13	79	6	16	2	116	18		
燃料供給システム	6	0	65	5	0	76	21		
シートベルト等	5	0	26	26	0	58	18		
オーディオ&テレマティクス	0	0	15	16	0	31	17		
排気システム	57	23	3	1	0	84	17		
ホイール・タイヤ	17	433	226	0	1	677	5		
ボディガラス	0	0	0	0	32	32	15		
合計	1,827	1,333	1,087	596	90	4,936	692	443	950

CO2排出量
7,020kg

炭素コスト
525€
CO2価格75€/t

1. ガラス、化学品を含む
Note: 数字は四捨五入
Source: BCG分析

ハンディ掃除機生産・運搬の排出CO2は1台当たり約30kg、CBAMが完成品や輸送まで対象拡大するとした場合の炭素コストは約2ユーロと試算

1台当たりCO2排出量 (kg)

Low <0.3 kg　Medium 0.3-1 kg　High >1 kg

	原材料						その他		
	鉄鋼	アルミ	プラスチック	銅	その他[1]	原材料合計	部品製造	製品組立	物流
ホイール	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0	4.6	0.3
上部ノズル	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0		
下部ノズル	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0		
ノズル	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0		
右ハンドル	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0		
スイッチ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0		
左ハンドル	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0		
左本体	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.1		
右本体	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.1		
ダストケースカバー	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0		
メッシュフィルター	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1		
接続パイプ	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0		
ダストケース	0.1	0.0	0.5	0.0	0.0	0.6	0.1		
上部フィルター	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2		
モーター	1.0	0.0	0.4	3.2	0.5	5.2	12.9		
ファンの外側フレームのゴム	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
ファンの外側フレーム	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0		
ファン	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0		
合計	1.6	4.1	3.2	3.2	0.7	12.8	13.6	4.6	0.3

1. 電子材料、化学品等を含む; Note: 数字は四捨五入
Source: BCG分析

CO2排出量
31kg

炭素コスト
2.3€
CO2価格75€/t

④他国間のアメ(攻め)の目的は、自国のカーボンニュートラル達成に必要な技術を世界から呼び込むと共に、技術を買い負けないようにする

気候変動政策×通商政策のマッピング

① 自国のカーボンニュートラルをムチで促進する

② 自国への炭素集約的な製品の流入を防ぐ/自国市場からのカーボンリーケージを防ぐ

対象: 自国内 / 他国間

政策・取り組み

ムチ (守り)
- 課金
- 規制

輸入品に対するカーボンプライシング
- CBAM

特定国からの防御のための連携
- アメリカ/EU 鉄鋼・アルミ追加関税撤廃に関する合意

カーボンプライシングの国際水準の設定 (不公平感の緩和)
- OECD 炭素価格に関するフレームワーク提案、IMF/OECD Tax Policy and Climate Change、ドイツ 気候クラブ

炭素集約的な技術の廃止
- EU ICE(内燃エンジン)の販売中止(2035年)、ドイツ 石炭・褐炭火力発電を遅くとも2038年までに全廃 等

カーボンプライシング
- 炭素税、ETS (30カ国以上)

アメ (攻め)
- 補助金
- 需要創出

カーボンニュートラルのエコシステム構築を目的としたイニシアチブ
- 官民：FMC (First Movers Coalition) 、Breakthrough Energy Catalyst / 官：IDA (Industrial Decarbonization Agenda)

公共調達の世界的な促進
- IDDI (クリーンエネルギー大臣会合 Industrial Deep Decarbonization Initiative) Green Public Procurement (GPP) pledge

各国大型施策
- EU Fit for 55、アメリカ Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050 等

各国公共調達
- アメリカ バイ・クリーン・タスクフォース、イギリス Net Zero Strategy 等

③ 自国のカーボンニュートラルをアメで促進する

④ 自国のカーボンニュートラル達成に必要な技術を世界から呼び込む/買い負けないようにする

Source: 各種公開資料よりBCG分析

"アメ" によりカーボンニュートラル実現に向けた技術の商用化に向けたエコシステムが形成され、将来的には強いエコシステムが市場を総取りする可能性

他国間のアメ(攻め)

現状

政府の動向

カーボンニュートラルのエコシステム構築を目的としたイニシアチブ

官民連携

Breakthrough Energy Catalystは低炭素社会に必要な新技術の開発とスケール化に投資
- 民が立ち上げ、民 (発足時13社) と官 (欧州委員会、米国エネルギー省、英国) が参加
- 投資対象はグリーン水素、SAF、DAC、長期間エネルギー貯蔵

First Movers Coalition は脱炭素製品・サービスに対し需要を約束することで、市場形成を促進
- 米国大統領特使/WEFが立ち上げ、民間企業 (発足時32社) が調達にコミット
- 対象は鉄鋼、セメント、アルミニウム、化学品、海運、航空、トラック輸送、DAC

官

IDA (Industrial Decarbonization Agenda) はイノベーション・調達・標準・金融により脱炭素化を促進
- 対象はセメント、鉄鋼、化学等

Mission Innovationは最も困難な分野 (都市/工業のネットゼロ 等) の実現に向けた実証実験を計画

公共調達の世界的な促進

CEM (クリーンエネルギー大臣会合) でIDDI (Industrial Deep Decarbonization Initiative) が発足、その一部として低炭素鉄鋼・セメントの公共調達を促進を目指す
- 英国、インド、ドイツ、カナダ、UAEが参加

産業の動向

市場動向

2050年カーボンニュートラル達成に向けて「開発の道筋が見えている技術」だけではCO2削減量が不足するため、新規技術の開発・スケール化が必須
- 2度目標でさえ、「開発の道筋が見えている技術」だけでは2割程度削減量が不足

1社だけでの課題解決は難しく、左記の官民連携を含め様々な切り口での企業間のイニシアチブが多数発足
- Mission Possible Partnership (鉄鋼含む7産業)
- Climate Group Steel zero (鉄鋼業)
- Responsible Steel (鉄鋼業) 等

企業動向

イニシアチブへ参加する企業は増え続けている
- Breakthrough Energy Catalyst 発足時7社→現在13社
- First Movers Coalition 発足時34社→現在35社

新技術の供給側は、イニシアチブが支援した技術に資金が集まり、研究開発が加速化する例も
- 例: 2017年創業の蓄電池Form Energyに対しBreakthrough Energy Venturesが2018年にシリーズAで出資、その後シリーズDまで成長

将来的な影響 (見立て)

① カーボンニュートラル関連の新技術に対するエコシステムが複数形成される
- 政府・需要側企業・供給側技術供給企業・投融資家が資金面/活動面で積極的に活動し、領域毎のエコシステムを立ち上げ
- エコシステムに参加しない場合、エコシステム内の技術獲得が難しくなる

② エコシステム間での競争が起きる
- 従来の技術開発/導入は企業単位の競争が中心
- カーボンニュートラルではエコシステム単位の組織戦に
  - 技術開発、技術獲得
  - 資金導入
  - 標準化、規制策定 等

③ 強いエコシステムが市場を総取りする
- エコシステムの勝ち組/負け組が明確に
- 勝ち組エコシステムがグローバルを支配
- 負け組エコシステムは市場から排除
  - 負け組に参加していた場合、後追いで勝ち組エコシステムに従う

Note: 2022年3月16日時点 Source: 各種公開資料よりBCG分析

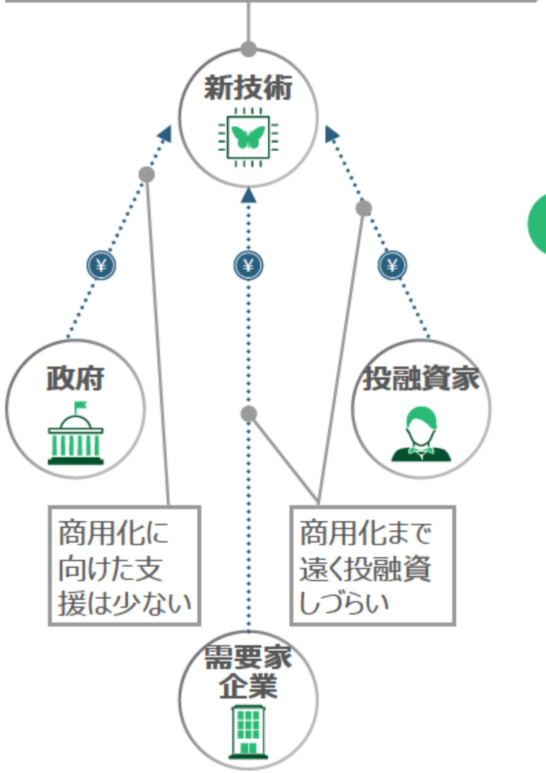
各プレーヤーの積極的な関与によりエコシステムが形成、将来的には強いエコシステムが市場を総取りし、エコシステム内のプレーヤーがエコシステム内のCO2削減技術も優先的に確保

他国間のアメ(攻め)の将来的な影響(見立て)

現状

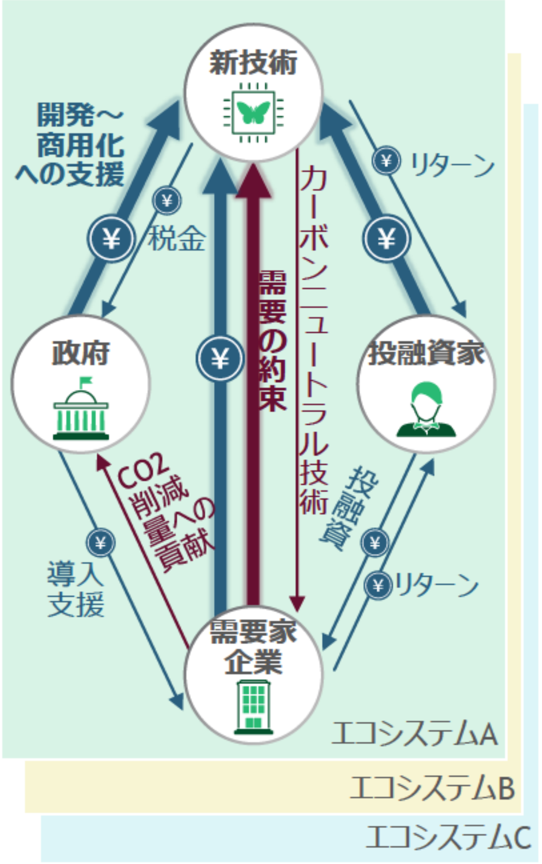
開発の道筋が見えている技術だけでは、必要なCO2削減量を達成できない

資金が集まらず、新技術が商用化までつながらない

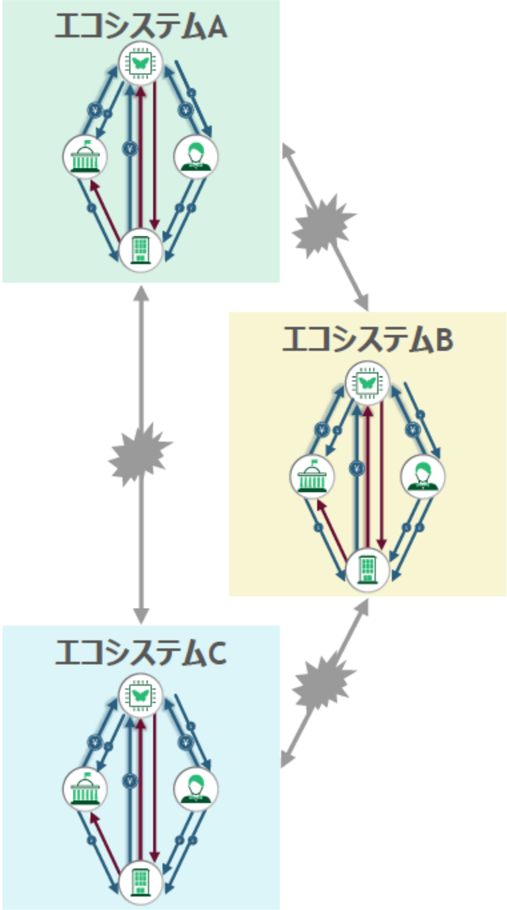


将来

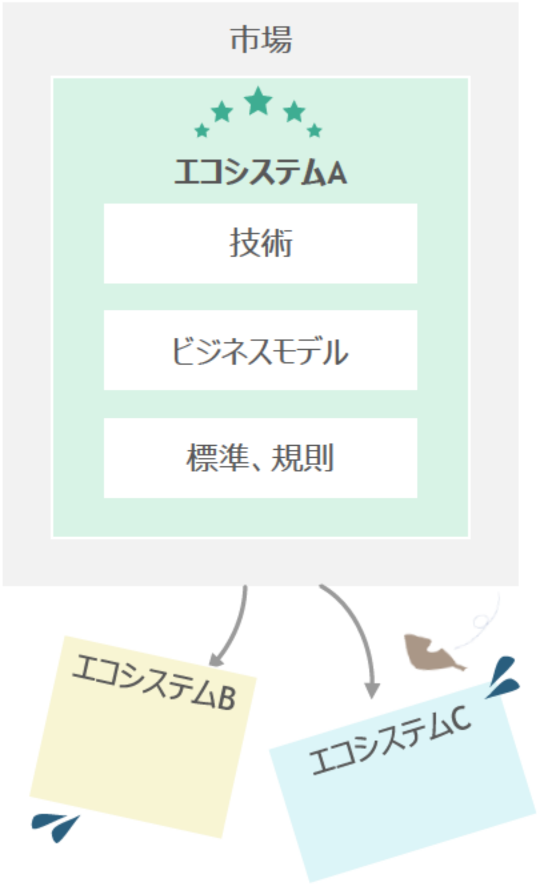
① エコシステムが複数形成される



③エコシステム間での競争が起こる



③ 強いエコシステムが市場を総取りする



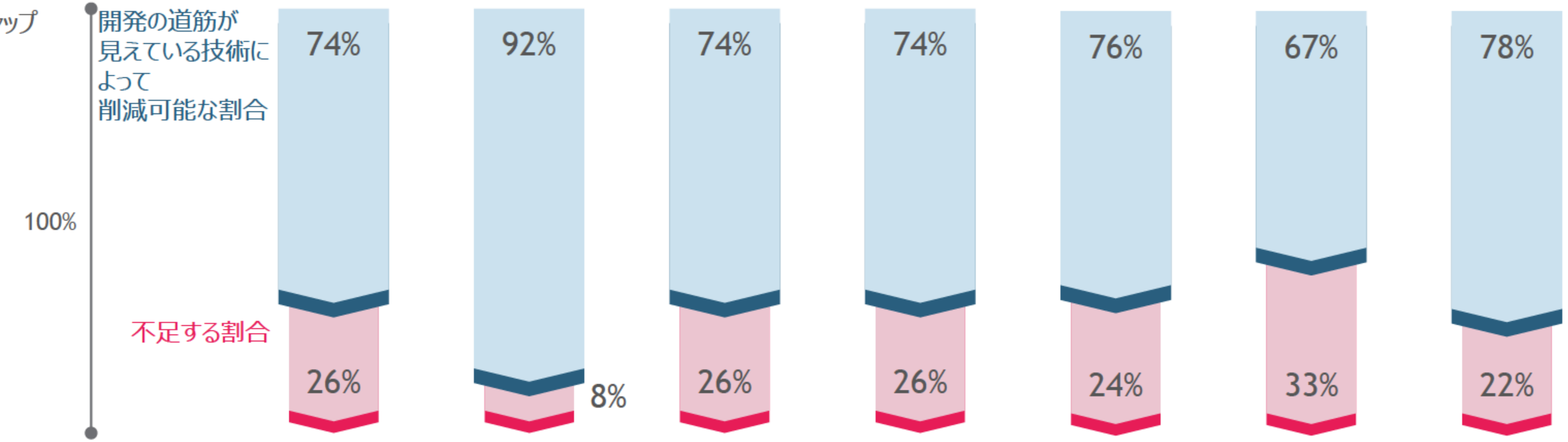
Source: BCG分析

2018年段階で「開発の道筋が見えている技術」の普及だけでは、2度シナリオの達成でさえ困難

2度シナリオに対する「開発の道筋が見えている技術」によって削減可能なCO2量の割合 (2018年時点での分析)

GHG 排出量 (Gt CO_2e)

	中国	インド	米国	ロシア	ブラジル	ドイツ	南アフリカ
2050年排出量 (現状の政策を維持する場合)	13.3	7.3	5.6	2.2	1.2	0.5	0.5
2度シナリオとのギャップ：開発の道筋が見えている技術によって削減可能な割合	74%	92%	74%	74%	76%	67%	78%
2度シナリオとのギャップ：不足する割合	26%	8%	26%	26%	24%	33%	22%
2050年排出量 (2度シナリオを達成する場合)	3.7	3.8	1.3	0.5	0.5	0.06	0.1



Source: International Energy Agency; BCG分析 (BCGレポート"The Economic Case for Combating Climate Change")

各産業における具体的な「開発の道筋が見えている技術」/「新規技術」(ドイツの場合)

- 開発の道筋が見えている技術
- 新規技術

エネルギー:
再生可能燃料の輸入340 TWH (Power-to-liquid/Gas)

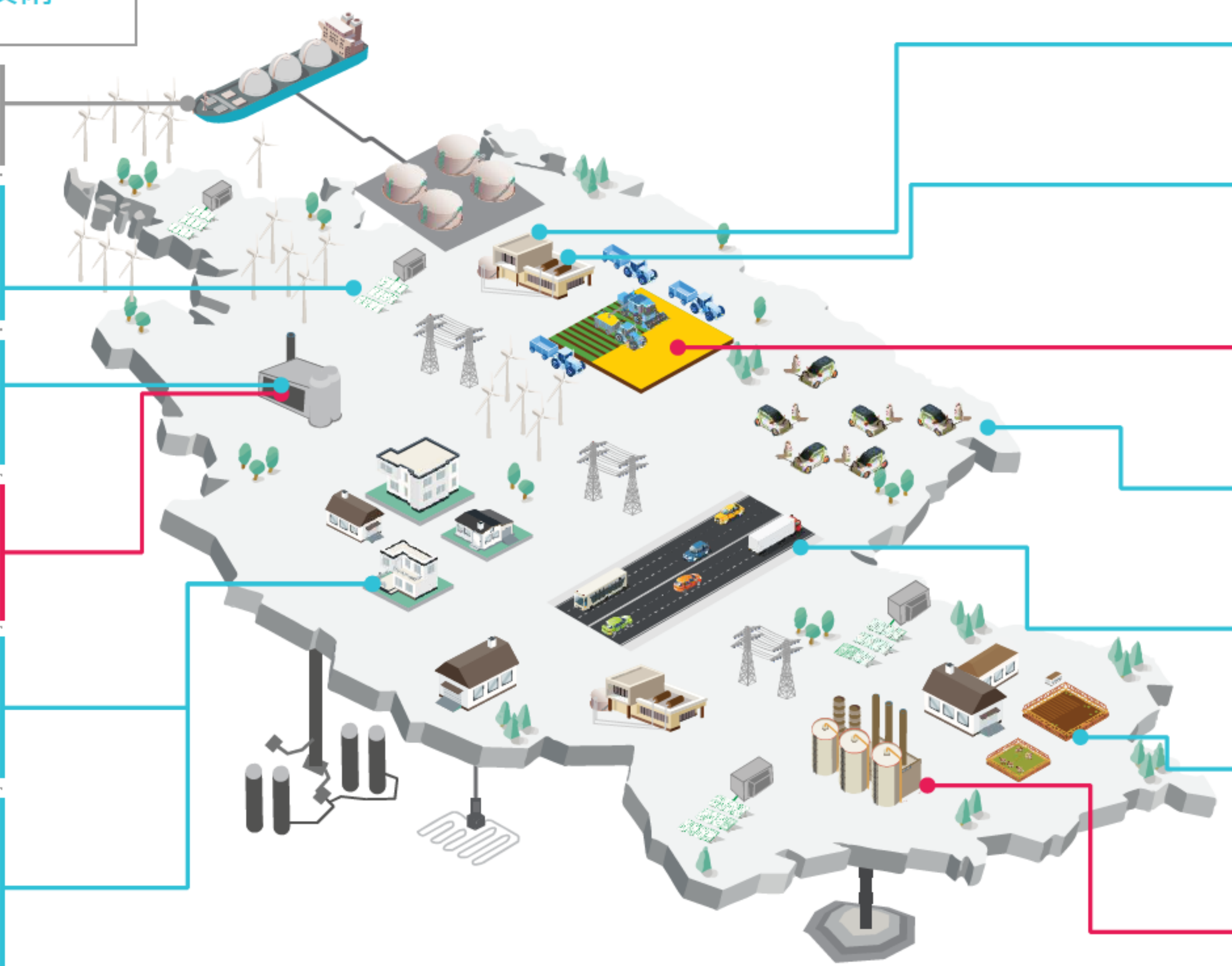
電力:
292GWの風力/太陽光発電、送配電網の拡大

電力:
石炭に代わり、ガスがバックアップ電源に

電力:
Power-to-gasで100%再生可能エネルギーに

建物:
断熱工事により70%強化(年率1.9%)

建物:
都市地域の暖房を拡大し、1~2世帯住宅を中心に1,600万台のヒートポンプ



産業界:
高効率技術の普及率90%

産業界:
熱/蒸気発生用の国産バイオマス

産業界:
カーボンリサイクル

交通機関:
3,100万台の電気自動車(乗用車の4/5)

物流:
電気トラック用に8,000kmの電線路を高速道路に設置

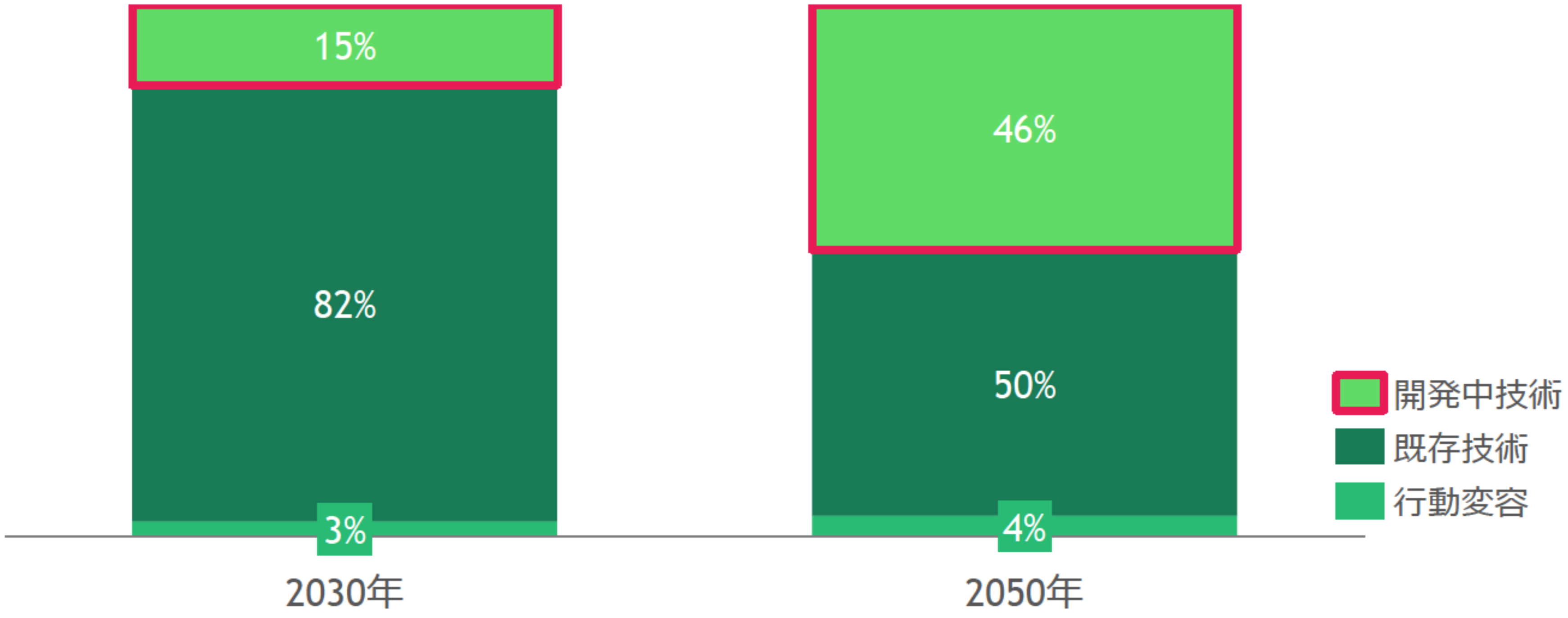
農業:
効率的な施肥

産業界:
鉄鋼、セメント、アンモニア生産、廃棄物を焼却するためのCCS

Note: 全ての数値は2050年の数値
Source: BCGレポート"The Economic Case for Combating Climate Change"

目標とするCO2削減量を達成するには、2030年ではCO2削減量の15%分、2050年では約50%分は開発中の技術に頼る必要

2030年/2050年で必要なCO2削減量を実現する技術/施策の割合(CO2削減量ベース)



Source: IEA "Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector" よりBCG作成

Disclaimer

The services and materials provided by Boston Consulting Group (BCG) are subject to BCG's Standard Terms (a copy of which is available upon request) or such other agreement as may have been previously executed by BCG. BCG does not provide legal, accounting, or tax advice. The Client is responsible for obtaining independent advice concerning these matters. This advice may affect the guidance given by BCG. Further, BCG has made no undertaking to update these materials after the date hereof, notwithstanding that such information may become outdated or inaccurate.

The materials contained in this presentation are designed for the sole use by the board of directors or senior management of the Client and solely for the limited purposes described in the presentation. The materials shall not be copied or given to any person or entity other than the Client ("Third Party") without the prior written consent of BCG. These materials serve only as the focus for discussion; they are incomplete without the accompanying oral commentary and may not be relied on as a stand-alone document. Further, Third Parties may not, and it is unreasonable for any Third Party to, rely on these materials for any purpose whatsoever. To the fullest extent permitted by law (and except to the extent otherwise agreed in a signed writing by BCG), BCG shall have no liability whatsoever to any Third Party, and any Third Party hereby waives any rights and claims it may have at any time against BCG with regard to the services, this presentation, or other materials, including the accuracy or completeness thereof. Receipt and review of this document shall be deemed agreement with and consideration for the foregoing.

BCG does not provide fairness opinions or valuations of market transactions, and these materials should not be relied on or construed as such. Further, the financial evaluations, projected market and financial information, and conclusions contained in these materials are based upon standard valuation methodologies, are not definitive forecasts, and are not guaranteed by BCG. BCG has used public and/or confidential data and assumptions provided to BCG by the Client. BCG has not independently verified the data and assumptions used in these analyses. Changes in the underlying data or operating assumptions will clearly impact the analyses and conclusions.

BOSTON CONSULTING GROUP

bcg.com