

第16回JAPICオンライン講演会

日本のCCS事業の発展と将来像

2023.12.22

みずほ銀行

執行理事 産業調査部長

定岡 祐二

目次

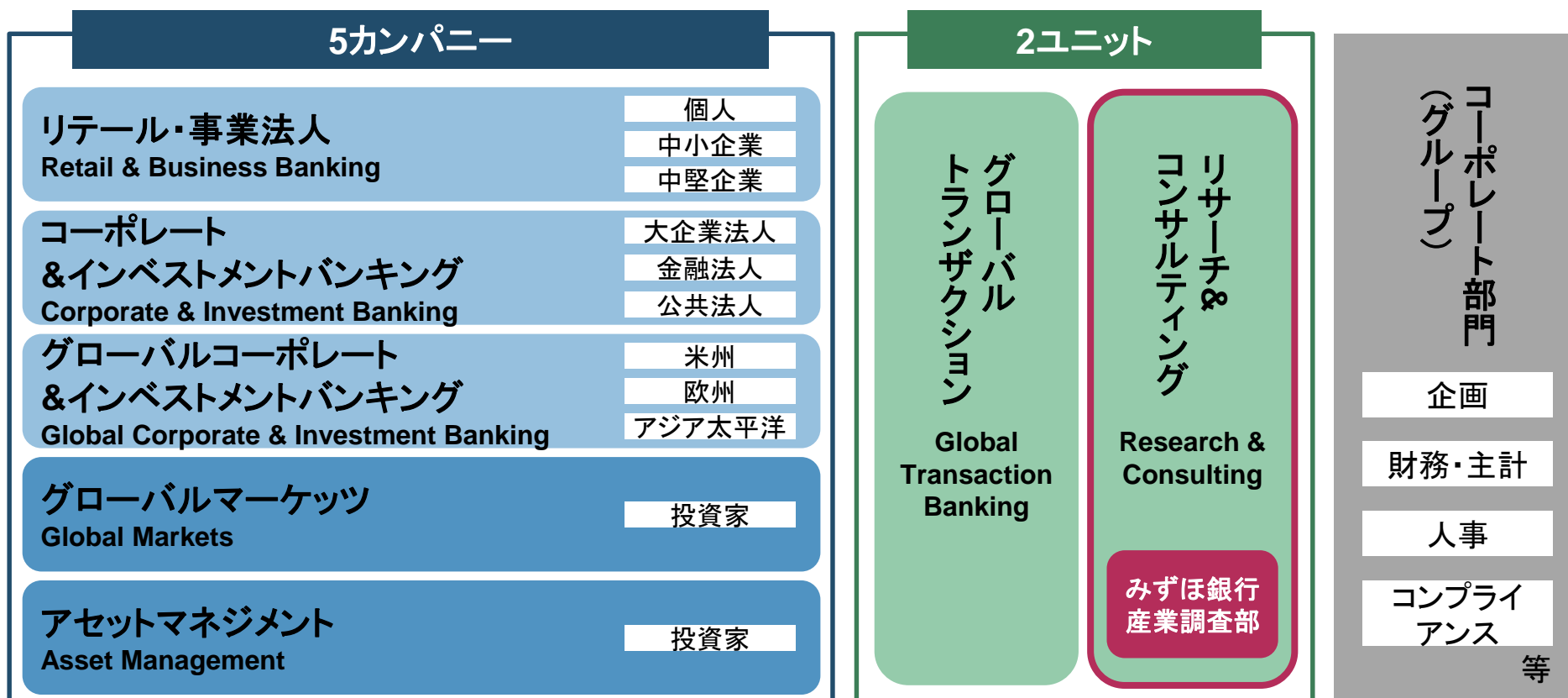
- | | |
|-------------------|------|
| 1. 産業調査部のご紹介 | P 2 |
| 2. CCSの概観 | P 6 |
| 3. 日本のCCSバリューチェーン | P 27 |
| 4. 日本のCCS事業の将来像 | P 49 |

1. 産業調査部のご紹介

〈みずほ〉の体制（カンパニー制）

- 〈みずほ〉は、顧客セグメントに応じた5カンパニー、専門性の更なる強化と全カンパニー横断的な機能活用を目指す2ユニットを中心とする体制
- 産業調査部は、お客さまの課題解決に取り組む専門家集団である「リサーチ&コンサルティングユニット」の中核部隊

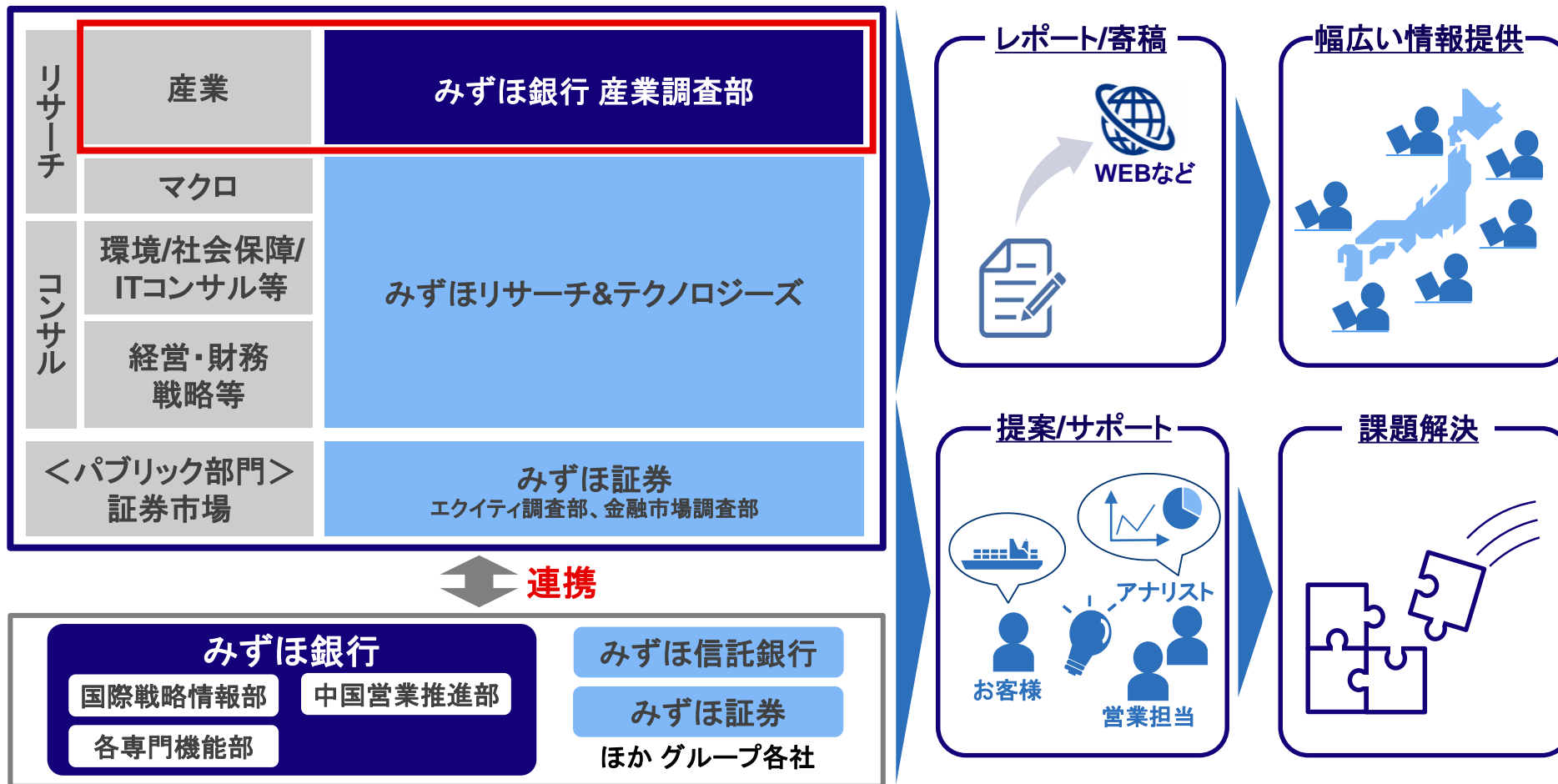
〈みずほ〉の組織体制



リサーチ&コンサルティングユニットの体制

- 〈みずほ〉のリサーチ・コンサルティング機能を集め、営業部店や他の専門機能部等と連携して、お客さまのニーズに応える様々な情報提供・提案を実施

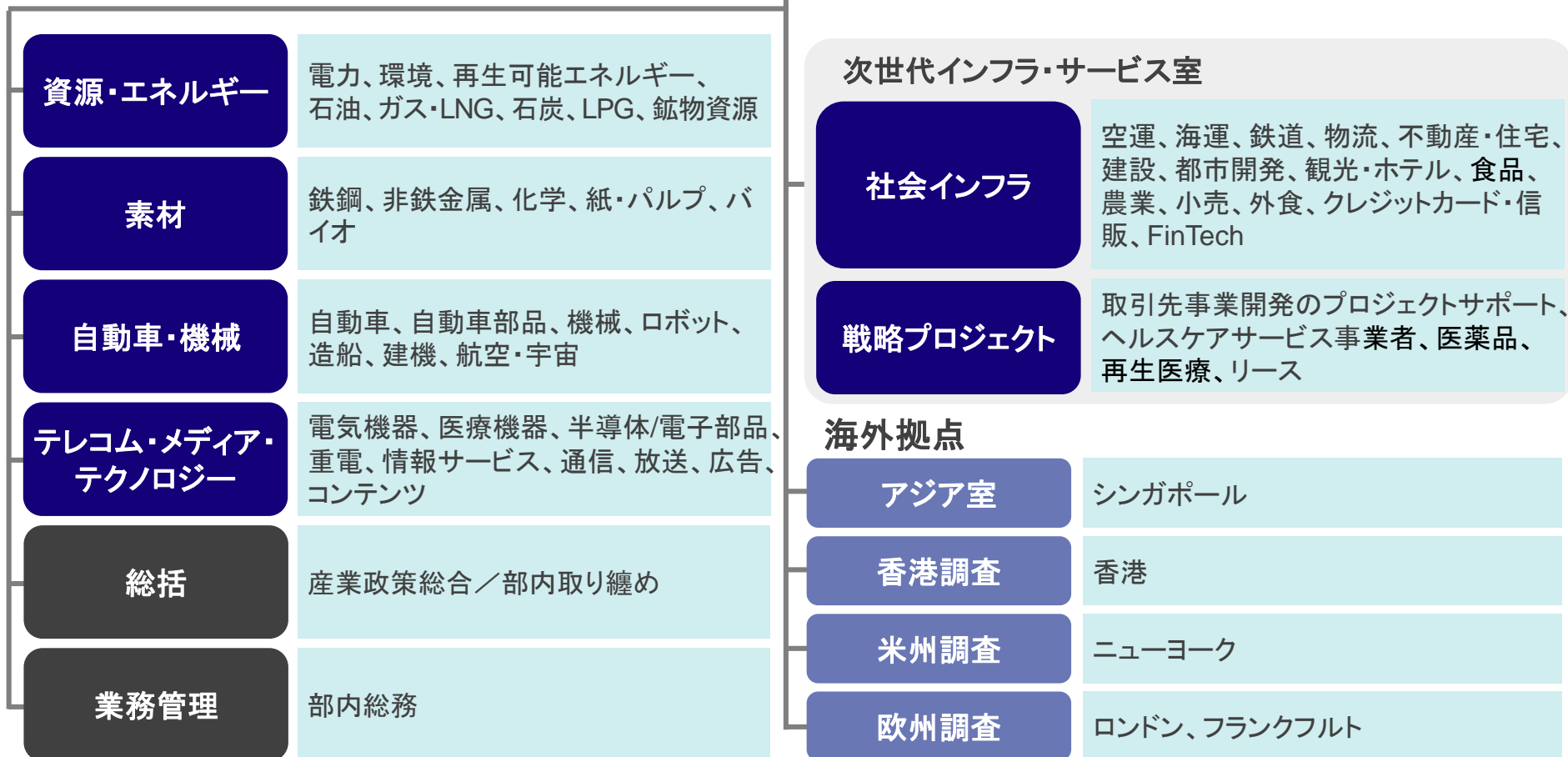
リサーチ&コンサルティングユニットの役割



みずほ銀行産業調査部の組織体制

- チーム数: 12チーム(含む海外拠点(4チーム)、総括、業務管理)
- アナリスト約100名(総員数約140名)

産業調査部



2. CCSの概観

CCSの概観

- CCS (Carbon Dioxide Capture & Storage) は排ガス等からCO₂を分離・回収し、適地に輸送し、地中貯留する技術
 - 分離・回収したCO₂を原材料として利用可能な素材等を製造する技術をCCU (Carbon Capture and Utilisation)、CCSとCCUを合わせた呼称としてCCUSとの呼称が一般に使われる
 - 本稿は主にCCSについて論考を行う

CCS/CCUSのプロセス概要





(出所) IEA(2022a)等より、みずほ銀行産業調査部作成

【補論】CCSとCCUの共通性と補完性：CN社会実現に向けた相互協力に基づく発展が有益

- CCSとCCUには、CO₂分離・回収、CO₂輸送の技術やプロセスにおける共通性と、両者の特性の違いを背景とした補完性が存在

— 日本でのカーボンニュートラル社会実現に向けては、CCSとCCUの相互協力に基づく発展が有益

CCUの分類

分類	概要
CCUによる 化学品生産 	汎用品 オレフィン、BTX(ベンゼン、トルエン、キシレン)等
	含酸素化合物 ポリカーボネート、ウレタン等
	その他 バイオ由来化学品
CCUによる 燃料生産 	液体燃料(合成燃料) e-fuel、メタノール
	液体燃料(バイオ燃料) Sustainable Aviation Fuel (SAF、持続可能な航空燃料)
	ガス燃料 合成メタン、LPガス等
CCUによる 鉱物生産	— コンクリート、セメント、炭酸塩、炭素、炭化物等

CCSとCCUの特性の整理

	共通性	補完性	その他特性の違い
共通性	CO ₂ 分離・回収、CO ₂ 輸送に関する共通技術	CO ₂ 分離・回収からCO ₂ 輸送にかかるプロセス	
補完性	CO ₂ 削減の大規模化可能性	CO ₂ 削減における柔軟性	
その他特性の違い	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大規模開発が必要 ・ 2030年に向け、年間数百万t規模のCCS PJ検討が進行 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 生産物は多様だが、一件あたりCO₂処理容量はCCS対比、小規模なものが多い 	<ul style="list-style-type: none"> ・ CCS適地は限られるため、CO₂を貯留地に輸送する必要 ・ 大規模事業であり、柔軟性は相対的に低
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多排出産業からの分離・回収、輸送プロセスの一部は共通であり、インフラの共同利用で効率的運営が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ CCSからは有価物が産出されず、新たなビジネス形態を整理する必要 ・ 商務上の整理、事業立ち上げ難度は高 	<ul style="list-style-type: none"> ・ CO₂を原料とし、既存の生産物を製造するため、商務上の整理は既存の援用で可能 ・ 需要家の開拓には、難しさ
	<ul style="list-style-type: none"> ・ コスト競争力があり、多排出産業の排出源特性に合致したCO₂分離・回収技術や、コスト効率的なCO₂輸送の研究開発促進はCCS/CCU双方に有益 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大型事業となる傾向 ・ 担い手は大企業中心のコンソーシアム 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小規模での事業展開事例もあり、スタートアップ企業も参画

(出所)資源エネルギー庁(2023a)、みずほ銀行(2021)等より、みずほ銀行産業調査部作成

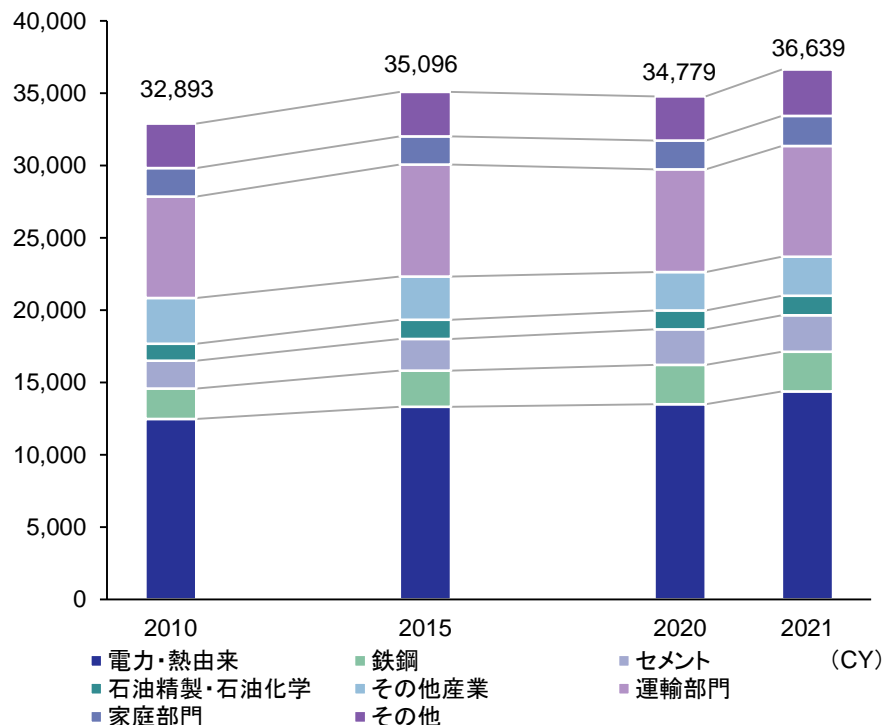
(出所)資源エネルギー庁(2023a、2023b)等より、みずほ銀行産業調査部作成

世界のCO2排出量の推移と内訳

- IEAによれば、2021年の世界のCO2排出量は約366億t
 - 新型コロナウイルス感染拡大による経済活動低下の影響から持ち直し、2020年対比+5%の増加
- 内訳では、電力・熱関連が4割弱、産業由来が2割強を占める
 - 比較的大規模施設からの排出が多い電力や製造業は、CCS利用の可能性(実際の活用可否には個別性が存在)

世界のCO2排出量の推移

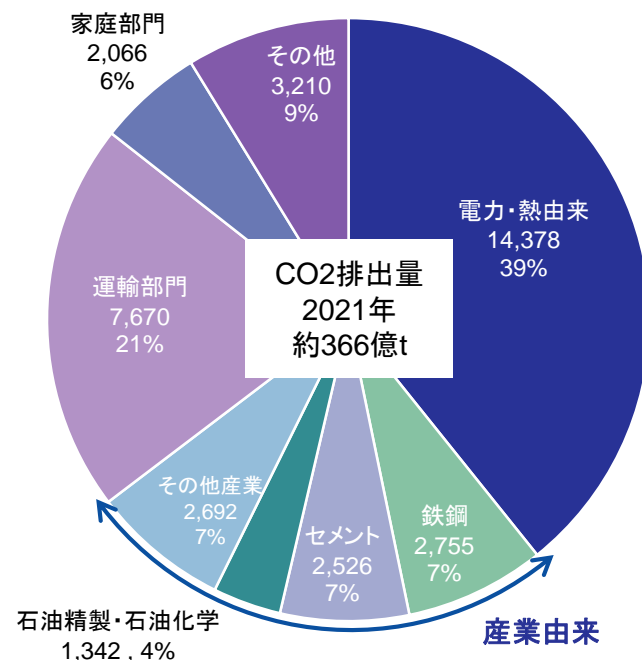
(単位:百万t)



(出所)IEA(2022b)より、みずほ銀行産業調査部作成

世界のCO2排出量の内訳

(単位:百万t)



(注)排出量は工業プロセスのCO2排出等を含む。
(出所)IEA(2022b)より、みずほ銀行産業調査部作成

排出源別のCO2特性とIEAのシナリオ別CO2分離・回収量見通し

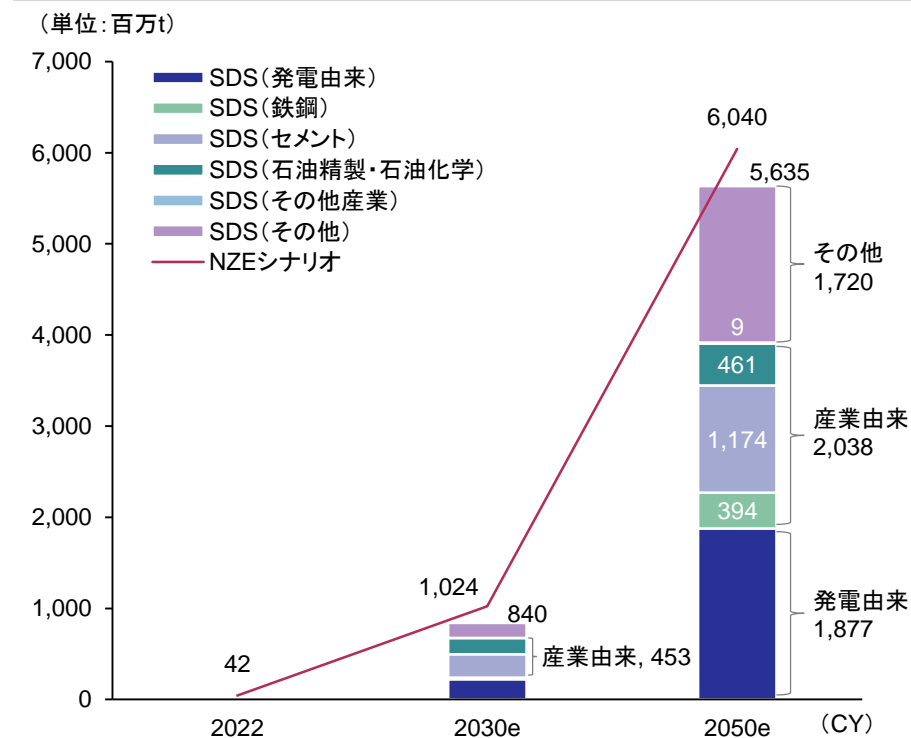
- 電力や製造業から排出されるCO2は、排出源となる施設、プロセスの違いにより特性に大きな差異
 - 各施設からCO2を回収するためには、排出源の特性を踏まえたCO2分離・回収技術を活用する必要
- IEAの分析によれば、パリ協定達成シナリオ(SDS)では2050年までに56億t程度に分離・回収量が拡大
 - 発電、産業由来の排出CO2に対する脱炭素ソリューションとしての活用が拡大する見通し

排出源別のCO2特性

セクター	排出源	燃焼前・燃焼後	CO2濃度 (%)	ガス圧 (MPa)	CO2分圧 (MPa)	混合成分
電力	ガス火力	後	7~10	0.1 (大気圧)	0.007 ~ 0.01	N2, O2, SOx, NOx 等
	石炭火力	後	12~14	0.1 (大気圧)	0.012 ~ 0.014	
	石油火力	後	11~13	0.1 (大気圧)	0.011 ~ 0.013	
	IGCC	前	8~20	2~7	0.16~1.4	
鉄鋼	高炉ガス①	前	20	0.2~0.3	0.04 ~ 0.06	N2, CO 等
	高炉ガス②	後	27	0.1 (大気圧)	0.027	
セメント	セメントキルンオフガス	後	14~33	0.1 (大気圧)	0.014 ~ 0.033	N2, O2, SOx 等
石油精製・石油化学	水素製造	前	15~20	2.2~2.7	0.3 ~ 0.5	N2, O2, NOx, SOx 等
	メタノール製造	前	10	2.7	0.27	
大気中からの直接回収	大気	-	0.04	0.1 (大気圧)	0.00004	N2, O2 等

(注) CO2分圧 = (CO2濃度) × (ガス圧)、IGCC: 石炭ガス化複合発電プラント(出所) IPCC (2005)、NEDO (2020) 等より、みずほ銀行産業調査部作成

IEAのシナリオ別CO2分離・回収量見通し

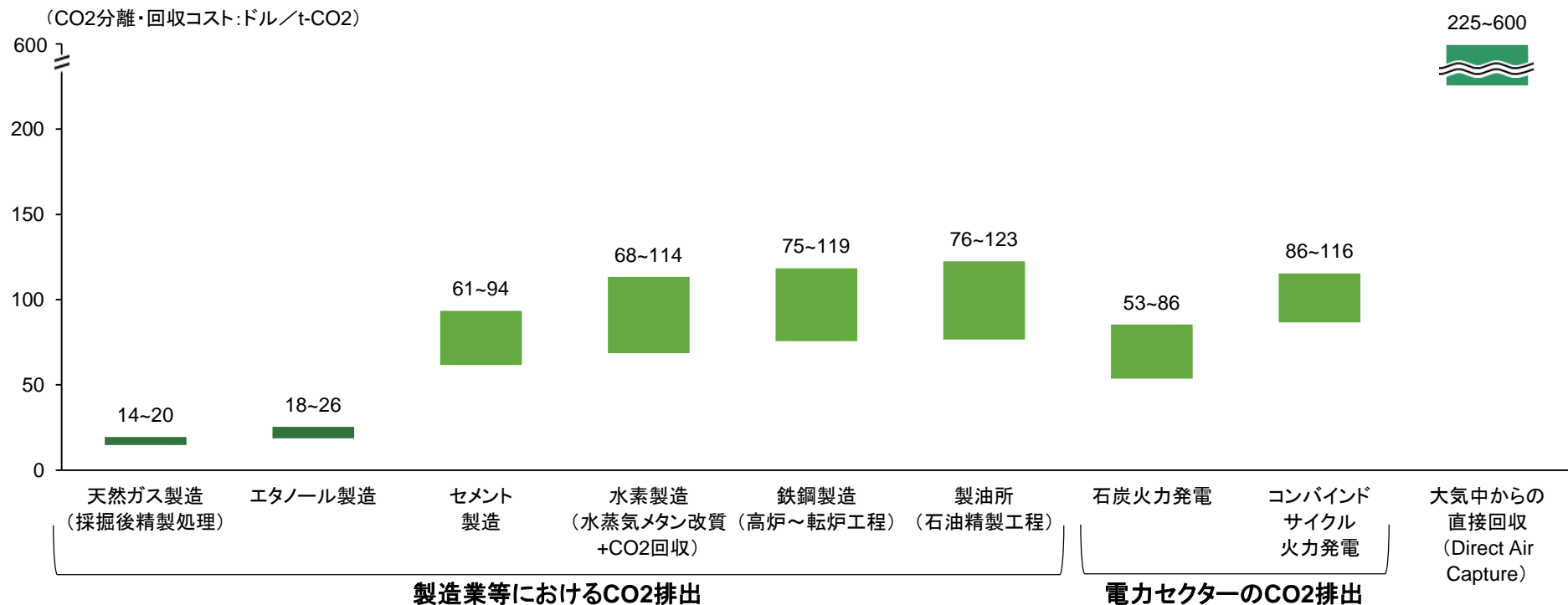


(注) SDS: Sustainable Development Scenario、パリ協定達成を想定したシナリオ
 NZE: Net Zero Emission Scenario、2050年グローバルネットゼロシナリオ
 (出所) IEA (2020)、IEA (2023a) より、みずほ銀行産業調査部作成

排出源別のCO2分離・回収コスト: CO2分離・回収コストは濃度等の影響を受ける

- CO2分離・回収コストは排出源のCO2濃度が低いとコストが増加する傾向
 - CO2濃度約400ppm(0.04%)の大気からCO2を回収する大気中からのCO2直接回収(Direct Air Capture)のCO2分離・回収コストは排ガス等からの回収に比べ、特に高コスト
- ただし、実際のCO2分離・回収コストは、排出源施設等に対して適用する分離・回収手法や回収対象の個々の特性に大きく影響を受ける点に留意の要

主要なCO2排出源からのCO2分離・回収コスト分布



(出所) U.S. Department of Energy (2023) より、みずほ銀行産業調査部作成

主要なCO2分離・回収技術とその特徴

■ CO2の分離・回収には多様な手法が存在

- 現在最も利用されているアミン吸収液による化学吸収法は、CO2回収にエネルギーコストがかかることや、吸収液の劣化による交換コストなどが課題
- 今後は低濃度のCO2を効率的に分離・回収できるかが重要に

主要なCO2分離・回収技術とその特徴

	分離起因力	主要事例概要	技術レベル	長所・特徴	課題	日本企業の立ち位置(資源エネルギー庁(2022a))
化学吸収法	温度差	CO2と液体(アミン吸収液)との化学反応を利用して分離・回収する方法	商用(高濃度)	大型向き 低圧ガス向き	再生用熱量大 吸収液劣化 腐食、発泡	天然ガス随伴ガス、リフォーマー等高压ガスへの適用で海外企業等の吸収剤が市場先行したが、低圧ガス向けには日本企業が高性能吸収剤を開発し、商用適用でリード
物理吸収法	分圧差	CO2を液体中に溶解させて分離・回収する方法	商用(高濃度)	大型向き 高压高濃度ガス向き	吸収液劣化	天然ガス随伴ガス、リフォーマー等高压ガスへの適用で海外企業が存在感
物理吸着法	分圧差	ゼオライト等の多孔質固体を用い、昇圧・降圧による分圧差や昇温・降温による温度差でCO2の分離・回収を行う方法	商用(高濃度)	適用範囲が広い 高純度生成が可能 装置が比較的簡易	吸着剤劣化 吸湿性	海外企業はリフォーマー向け等で多くの実績。日本は製鉄向け(COURSE50)で世界に先駆け実ガス実証完了。物理吸着システム設備に特段優劣はないが、CO2吸着剤で日本企業の存在感あり欧米でも採用実績有
	温度差		商用(高濃度)			
膜分離法	分圧差	ゼオライト膜、炭素膜、有機膜などの分離機能を持つ薄膜を利用し、混合ガスからCO2を分離する方法	商用～ 実証(高濃度)	小型向き 高压ガス向き 装置が比較的簡易	膜コスト 不純物による劣化	天然ガス随伴ガスへの適用で海外企業が高分子膜適用により先行したが、日本企業は高性能な分離膜(分子ゲート膜、ゼオライト膜)を開発し、材料開発、実証などコア技術では世界をリード
その他	深冷分離法	気体の種類による沸点の違いを利用して、CO2のみを分離する方法(LNG冷熱利用等)	実証(高濃度)	大型向き 高濃度ガス向き 高純度生成が可能	設備費大	—
	オキシ フューエル法	酸素を圧入燃焼させ、高濃度CO2排ガスを回収する技術	実証(高濃度)	高エネルギー効率	ガスタービン 未商用化	—
	ケミカル ループ燃焼法	金属の酸化と還元を利用した燃焼法	実証(高濃度)	高エネルギー効率	酸化物劣化・ 粉塵	—

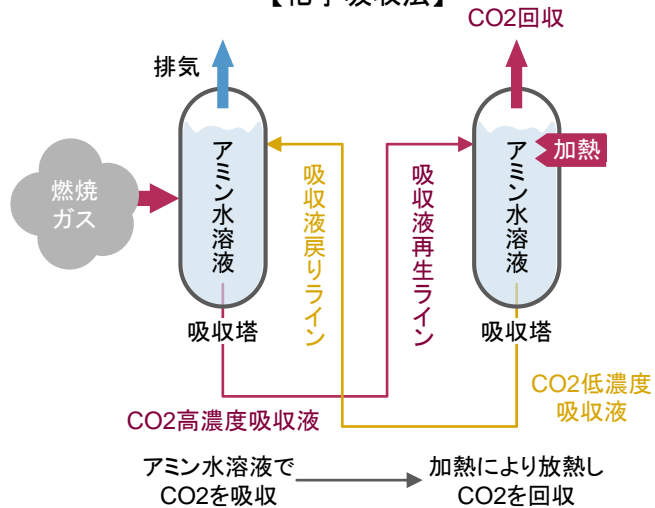
(注) 相変化: 固体・液体・気体の間での状態変化

(出所) 経済産業省(2021)、資源エネルギー庁(2021)、資源エネルギー庁(2022a)等より、みずほ銀行産業調査部作成

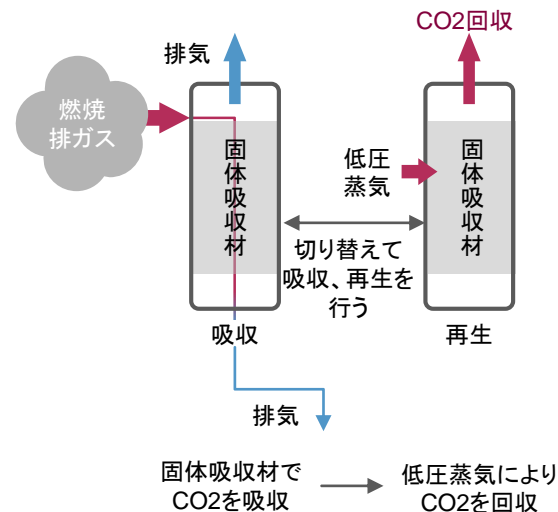
参考: 主要なCO2分離・回収手法

主要なCO2分離・回収手法(概念図)

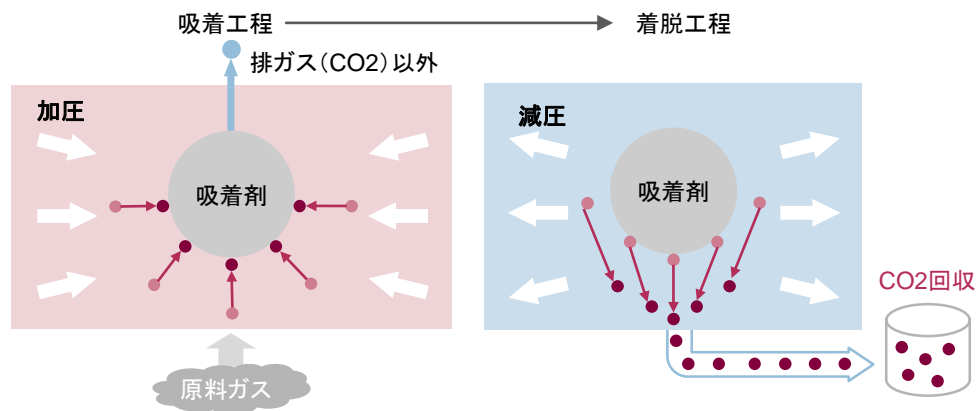
【化学吸収法】



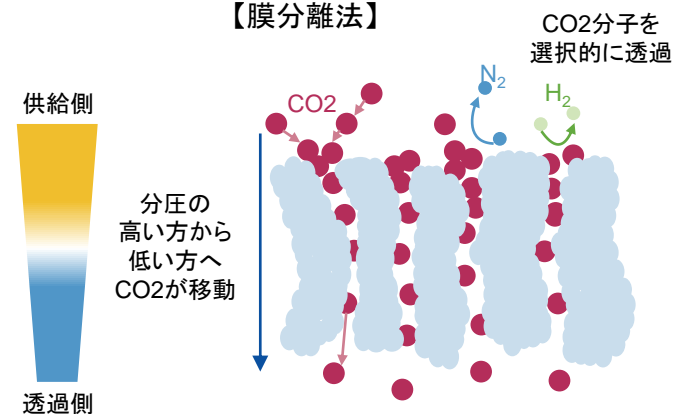
【固体吸収法】



【物理吸着法】



【膜分離法】

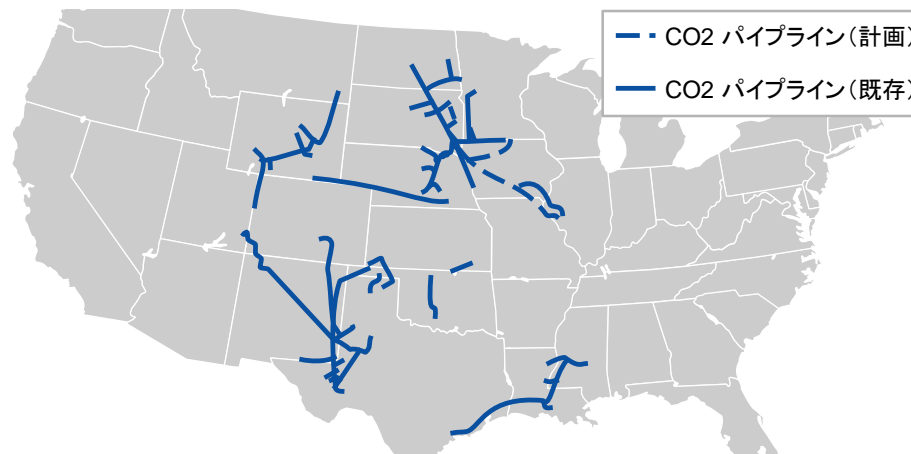


(出所)NTT(2022)、RITE(2015)、CORSE 50 HPより、みずほ銀行産業調査部作成

CO2パイプライン輸送の現状: 米国を中心に活用事例

- IEA(2023b)によれば、世界のCO2パイプライン総延長は約9,500kmで、その約90%が米国に集中
 - 米国では、1970年代よりCO2を油田に圧入して原油増産を図るEnhanced Oil Recovery(EOR)を実施しており、天然のCO2貯留層や産業集積地と油田を結ぶCO2パイプラインが存在。CO2の低コスト輸送手段として確立
- みずほ情報総研・産業技術総合研究所・千代田化工建設(2014)によれば、建設コストが高いとみられる日本では、近距離かつ相当量の輸送であればパイプライン、190km以上の輸送であれば船舶輸送がコスト効率的との指摘

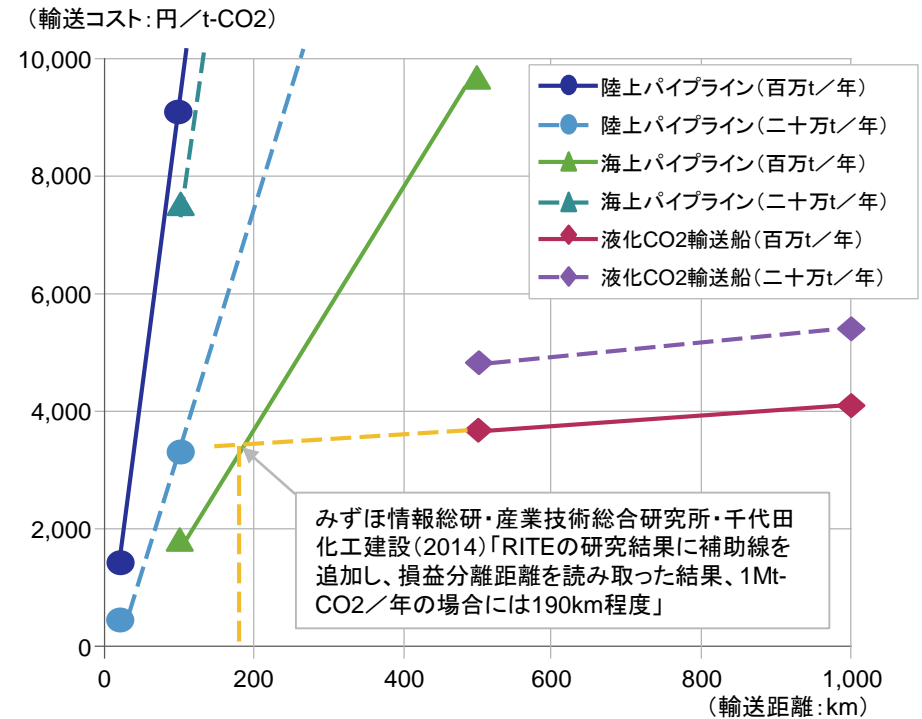
米国の主要なCO2パイプラインと米国におけるCO2輸送手段別コスト比較



輸送手段	輸送コスト (/t-CO2)	技術レベル	世界の導入状況
パイプライン	5~25ドル	成熟段階	米、加、ブラジル、中、オランダ、ノルウェー洋上EORで主に利用
船舶	14~25ドル	小規模: 成熟段階 大規模: 開発段階	食品産業で小規模利用。大規模はNorthern Lights等で開発段階
鉄道、トラック	35~60ドル	小規模: 成熟段階 大規模: 開発段階	末端市場で小規模利用例はあるものの、大規模事例なし

(出所) U.S. Department of Energy(2023)より、みずほ銀行産業調査部作成

日本におけるCO2輸送手段別コスト比較



(出所) みずほ情報総研・産業技術総合研究所・千代田化工建設(2014)より、みずほ銀行産業調査部作成

CO2船舶輸送の現状: 大型化に向けた開発が進む

- 現時点でCCS用途の液化CO2輸送船は存在せず、食品産業向けの小型船が数隻ある程度
- 多くのCO2を長距離運ぶために輸送船の大型化が検討されており、貯蔵タンクも現状の「中温・中圧」仕様だと板厚の観点等により大型化が難しいことから、「低温・低圧」仕様もしくは「常温・高圧」仕様にすべく開発していく必要あり

液化CO2対応船舶

船名	建造年	タンクサイズ(m ³)	載貨重量(t)
あまぎ丸 (廃船済み)	1986	365	353
Helle	1999	1,250	1,666
Embla	2005	1,800	3,486
Froya	2005	1,800	3,486
Gerda	2005	1,800	3,486

- ✓ 現在就航している液化CO2輸送船は4隻であり、タンクサイズは1,000~2,000m³程度の「中温・中圧」仕様
 - これらはCCS用途でなく、主に食品産業向けのCO2輸送に使用
- ✓ 今後CCS需要拡大に伴う、CO2の大量輸送および貨物容量あたりのコスト削減に向けては、「低温・低圧」仕様の開発・実用化が重要に（「常温・高圧」の開発を進めている事例もあり）

(出所) NEDO公表資料より、みずほ銀行産業調査部作成

CO2状態図 / 液化CO2海上輸送条件

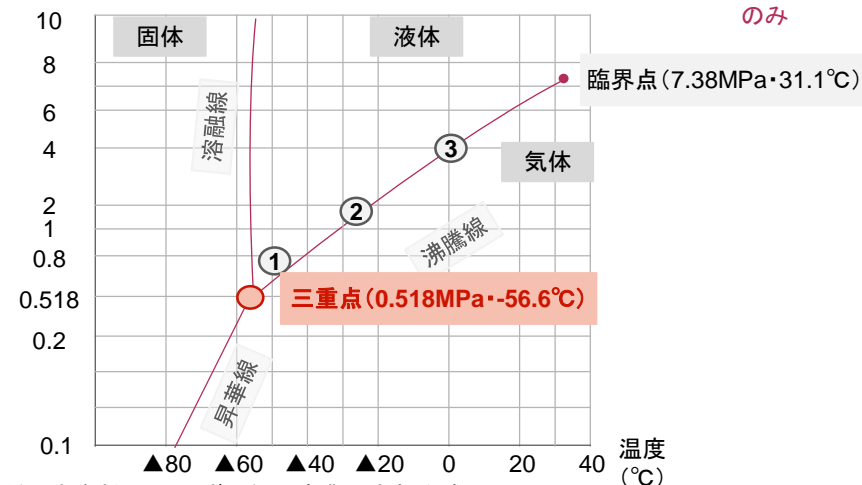
	圧力	温度	輸送実績	論点
① 低温・低圧	6~8 bar	約▲50℃	なし	✓ 大量輸送可能。低温維持や圧力変動によるドライアイス化のネック有
② 中温・中圧	15~18 bar	約▲25℃	あり	✓ 既に取り扱い実績があり ✓ 一方で船の大型化が難しく、大量輸送には向かない
③ 常温・高圧	35~45 bar	約0℃	なし	✓ 大量輸送可能。同じ体積当たりに入るCO2は少ない

今後の開発・実用化が重要

現状

現状は一部企業のみ

圧力 (MPa-a)



(出所) 各種公表資料より、みずほ銀行産業調査部作成

CO2の圧入・貯留に適した条件と国別貯留ポテンシャル

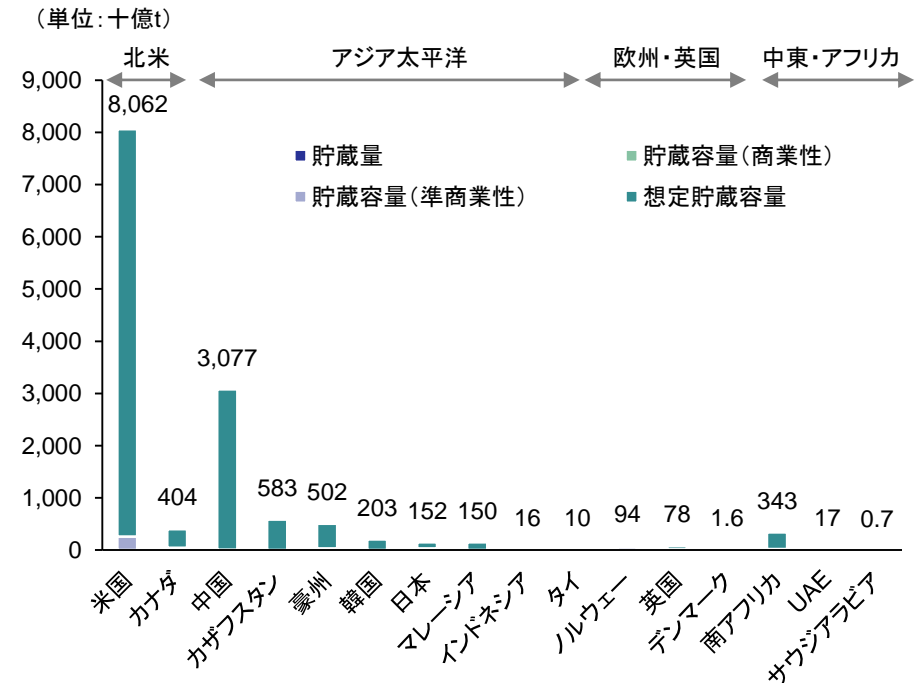
- CO2の圧入・貯留には、枯渇石油・ガス貯留層や深部塩水帯水層などのCCSに適した地層が必要
- OGC(2022)によれば、北米、豪州、中国のほか、日本にも多くの貯留ポテンシャルが存在
 - ただし、実際の貯留可否を見極めるには試掘等調査が必要であり、開発の時間軸を見通しにくい点に留意

CCSに適した地質条件と主要貯留サイト概要

CCSに適した地質条件		① 地表面や海底面から1,000m以上深い地質であること ② 多孔質の岩石(貯留岩)が存在し、貯留岩が泥岩などの不浸透性の岩石(帽岩)で覆われていること ③ 十分な貯留容積を有していること		
貯留サイト	枯渇石油・ガス貯留層	深部塩水帯水層	深部非可採石炭層	
	Depleted Oil & Gas reservoirs	Deep Saline Aquifers	Deep Unmineable Coal Seams	
概要	油ガス田は過去石油や天然ガスを長期間貯留していた実績があり、CO2貯留にも適している可能性有。過去の開発過程で、データが蓄積されていることも多く、より正確にCO2貯留量を把握することが可能。	飲用に適さない塩水を含む、多孔質で透過性のある堆積岩層。広く分布する地質学的特徴であり、理論的に相当の貯蔵能力が存在。ただし、調査データの不足のため、実際利用可能な貯蔵能力は不明。	地下深部の非可採石炭層にCO2を注入すると、石炭に吸着していたメタン(CBM, Coalbed Methane)とCO2が置換される特性を活用したCO2貯留。発生したCBMの捕集等の対応が必要。	
推定貯蔵能力	低位推定	6,750億t-CO2	1兆t-CO2	30~150億t-CO2
	高位推定	9,000億t-CO2	不明(10兆t-CO2規模の可能性)	2,000億t-CO2
プロジェクト事例	Acorn(英) Moomba CCS(豪)	Gorgon CCS(豪) Quest CCS(加)	-	

(出所) IPCC(2005)、IEA(2022)、JOGMEC HP等より、みずほ銀行産業調査部作成

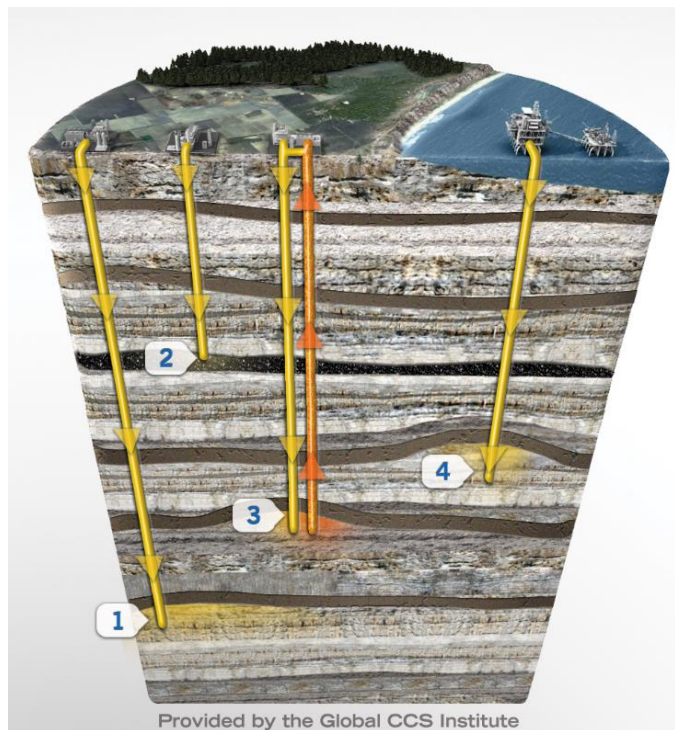
国別のCCS貯留ポテンシャル



(注) 貯蔵量: 既に圧入・貯蔵されたCO2の累積量
 貯蔵容量(商業性): 以下四要件を満たす、商業利用可能な貯蔵容量
 ①既に発見され、特性が判明、②必要とされる圧入レートで圧入可能、③開発PJが商業ベース、④貯蔵容量が残存
 貯蔵容量(準商業性): 発見済かつ特性判明済だが、他の商業性要件未充足の容量
 想定貯蔵容量: 未発見または特性未判明ながら、将来貯蔵可能と想定される容量
 (出所) OGC(2022)より、みずほ銀行産業調査部作成

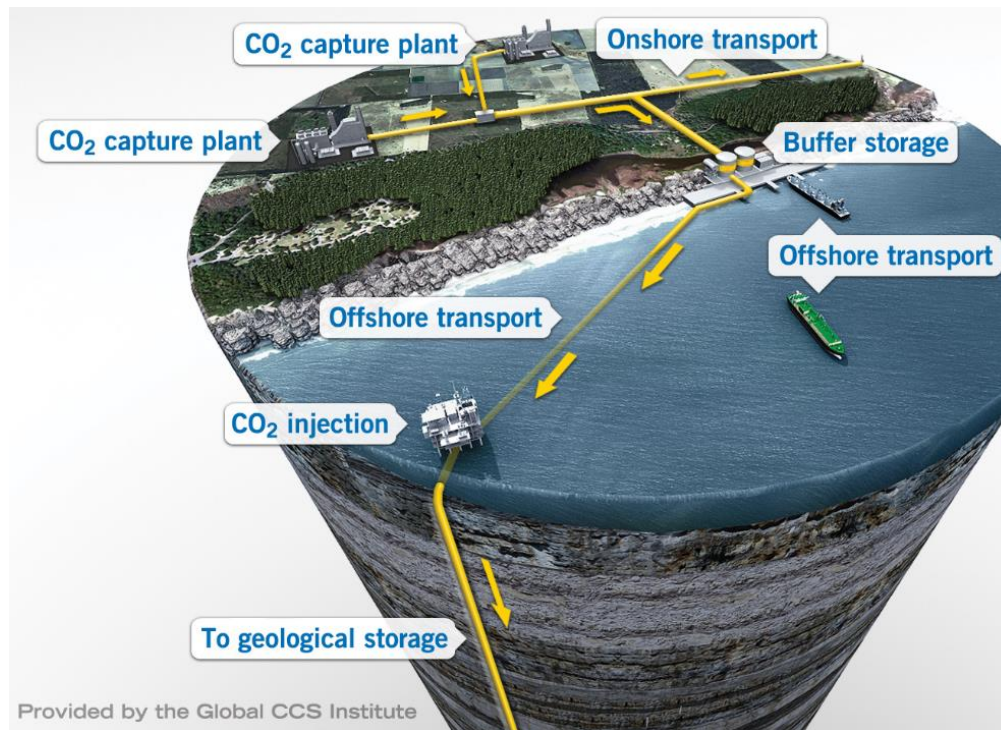
参考:CO2圧入・貯留の概念図

主要貯留サイトの概念図



- ① 深部塩水帯水層への貯留
- ② 深部非可採石炭層への貯留
- ③ EORでのCO2利用
- ④ 枯渇石油・ガス貯留層への貯留

CCSバリューチェーン構築の概念図



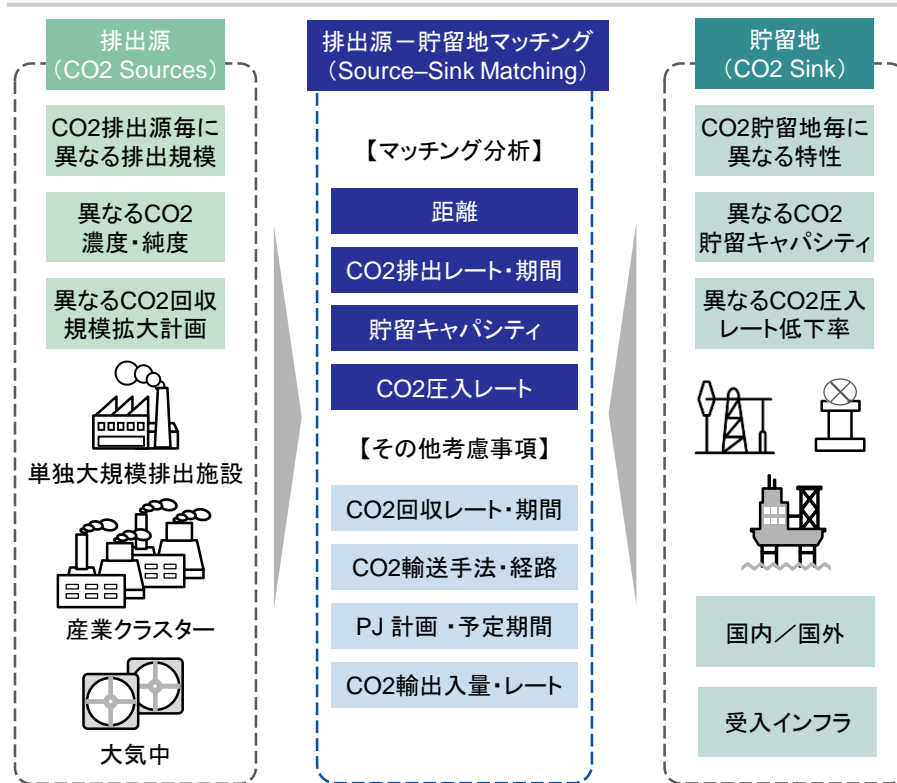
(出所) Global CCS Institute, "Image Library"より、みずほ銀行産業調査部引用

(出所) Global CCS Institute, "Image Library"より、みずほ銀行産業調査部引用

【補論】CCSバリューチェーン構築：CO2排出源とCO2貯留地のマッチングが重要

- CCSバリューチェーン構築にあたっては、排出源と貯留地のマッチング分析を踏まえた計画策定が必要
 - 将来的には、マッチング過程において最適化機能を発揮する主体(アグリゲーター)の登場が期待される
- 海外事例では既存の化石燃料向けパイプラインを転用したプロジェクト事例も存在
 - IEA(2023b)によれば、パイプラインや洋上プラットフォーム、圧入井に関連するインフラに活用の可能性

排出源 - 貯留地マッチングに関する検討事項



(出所)IEA(2022a)より、みずほ銀行産業調査部作成

化石燃料インフラのCCS用途への転用可能性とパイプライン利用事例

既存インフラタイプ	化石燃料インフラからの転用可能性	
	CO2、CCS/CCUS関連	(参考) 水素関連
パイプライン	高	高
洋上プラットフォーム	高	低
圧入井関連設備	中～高	-
天然ガス輸送ターミナル	低～中	中～高
海底資源開発関連システム	低～中	-
地下ガス貯蔵	-	中～高

【既存パイプライン利用事例】

プロジェクト名	パイプライン名	国	当初用途	長さ(km)	稼働状況
Acorn	Goldeneye	英	ガス用	102	開発中
Humber Zero	LOGGS 36" trunkline	英	ガス用	118	開発中
Cranfield EOR	West Gwinville Pipeline	米	ガス用	80	2008年運転開始
OCAP	OCAP pipeline	蘭	石油用	97	2005年運転開始

(出所)IEA(2023b)より、みずほ銀行産業調査部作成

世界の主要CCSプロジェクトと開発状況：足下で初期的な開発検討が増加

- 現在稼働するCCSプロジェクトでは、天然ガス生産時にCO2を回収し、EOR用途で圧入する形態が多くみられる
- 2017年以降CCSプロジェクトの検討が増加しており、2022年は初期的な検討等を含めれば2.5億t 規模まで拡大

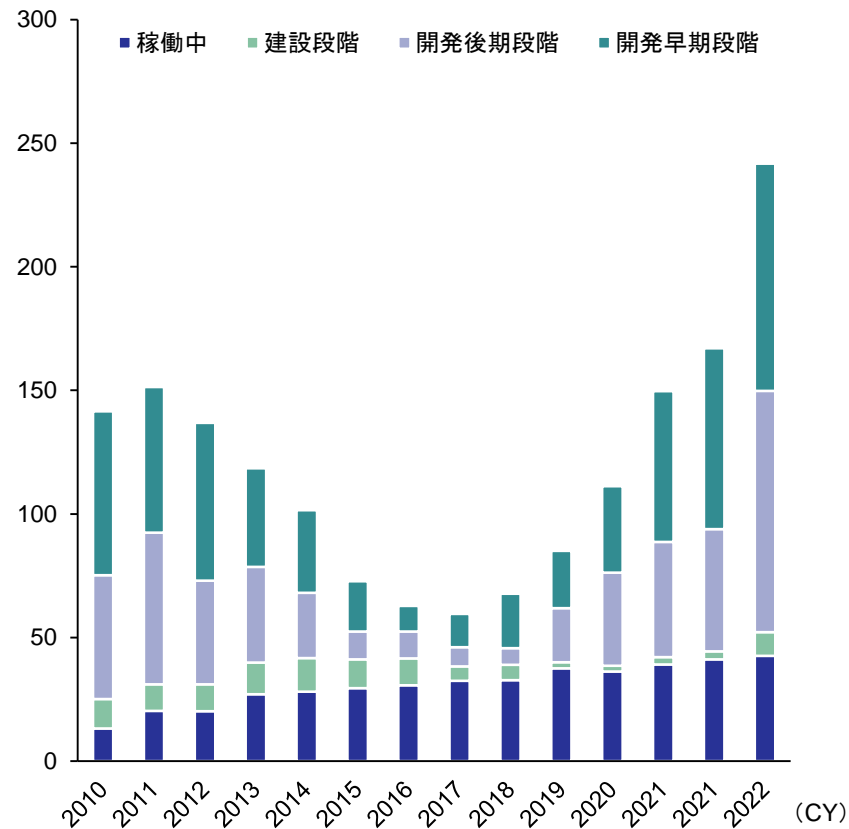
稼働中の主要なCCSプロジェクト

プロジェクト名	国	PJタイプ	年間CO2回収能力(百万t)	圧入貯留タイプ
1 Shute Creek Gas Processing Plant	米国	天然ガス	7	EOR
2 Petrobras Santos Basin Pre-Salt Oil Field CCS	ブラジル	天然ガス	7	EOR
3 Century Plant	米国	天然ガス	5	EOR
4 Gorgon Carbon Dioxide Injection	豪州	天然ガス	4	貯留のみ
5 Great Plains Synfuels Plant And Weyburn-Midale	米国	合成天然ガス	3	EOR
6 Qatar LNG CCS	カタール	天然ガス	2.2	貯留のみ
7 Alberta Carbon Trunk Line	カナダ	石油精製	1.6	EOR
8 Quest	カナダ	水素製造	1.3	貯留のみ
9 Sleipner CO2 Storage	ノルウェー	天然ガス	1.0	貯留のみ
10 Air Products Steam Methane Reformer	米国	エタノール	1.0	貯留のみ
(参考/Direct Air Capture)				
- ORCA	アイスランド	DAC	4千t	貯蔵のみ

(出所) Global CCS Institute (2022) より、みずほ銀行産業調査部作成

CCSプロジェクトの開発状況

(年間CO2回収能力、単位：百万t)



(出所) Global CCS Institute (2022) より、みずほ銀行産業調査部作成

CCSに対するグローバルでの期待の高まり: 先進国で目標発表と支援検討の動き

- 先進国を中心に、CCS/CCUSに対する政策的支援の拡充などの動きが相次ぐ
 - G7首脳会談コミュニケでもCCS/CCUSの重要性を強調する記載

各国・地域における近時CCS/CCUSに関する動向

国・地域	動向
米国	<ul style="list-style-type: none"> 2022年8月16日のバイデン大統領の署名により、Inflation Reduction Act of 2022 (IRA) が成立 従来からCCS推進の原動力だった45Q tax credit を更に拡大し、政策的に支援
EU	<ul style="list-style-type: none"> これまで北海周辺国(ノルウェー、ベルギー、オランダ等)を中心に積極的な取り組みが進展 CCS/CCUSに消極的であったドイツ(化石燃料発電所延命忌避の観点)も2022年末にCCSの必要性を認め、2023年にCarbon Management Strategy策定予定 2023年3月に提案されたネットゼロ産業法では、CCS/CCUSをネットゼロ戦略技術に指定し、2030年までに50百万t/年のCO2貯留容量確保の目標を設定
英国	<ul style="list-style-type: none"> これまでの2030年1,000万tのCO2削減を目指す計画(2020年11月、UK 10 Point Plan)に加え、2,000~3,000万tのCO2回収(うち600万tは産業からのCCS)のロードマップ発表(2023年4月)
日本	<ul style="list-style-type: none"> CCS長期ロードマップ最終とりまとめ公表 2050年1.2~2.4億tCO2貯留を目途とし、2030年に「先進的CCS事業」を選定。3~5PJの支援開始、600~1200万tCO2貯留量確保を目指す
その他	<ul style="list-style-type: none"> 中東、東南アジア等各地でPJ構想の発表が相次ぐ

(出所) 報道、公開資料等より、みずほ銀行産業調査部作成

G7 首脳会談コミュニケにおけるCCS/CCUS関連の記載

<Energy>

25. (前略) While acknowledging various pathways according to each country's energy situation, industrial and social structures and geographical conditions, we highlight that these should lead to our common goal of net zero by 2050 at the latest in order to keep a limit of 1.5 ° C within reach.

(我々は、各国のエネルギー事情、産業・社会構造及び地理的条件に応じた多様な道筋を認識しつつ、気温上昇を摂氏1.5度に抑えることを射程に入れ続ける為に、これらの道筋が遅くとも2050年までにネット・ゼロという共通目標につながることを強調する。)(中略)

We acknowledge that Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS)/carbon recycling technologies can be an important part of a broad portfolio of decarbonization solutions to reduce emissions from industrial sources that cannot be avoided otherwise and that the deployment of carbon dioxide removal (CDR) processes with robust social and environmental safeguard, have an essential role to play in counterbalancing residual emissions from sectors that are unlikely to achieve full decarbonization.

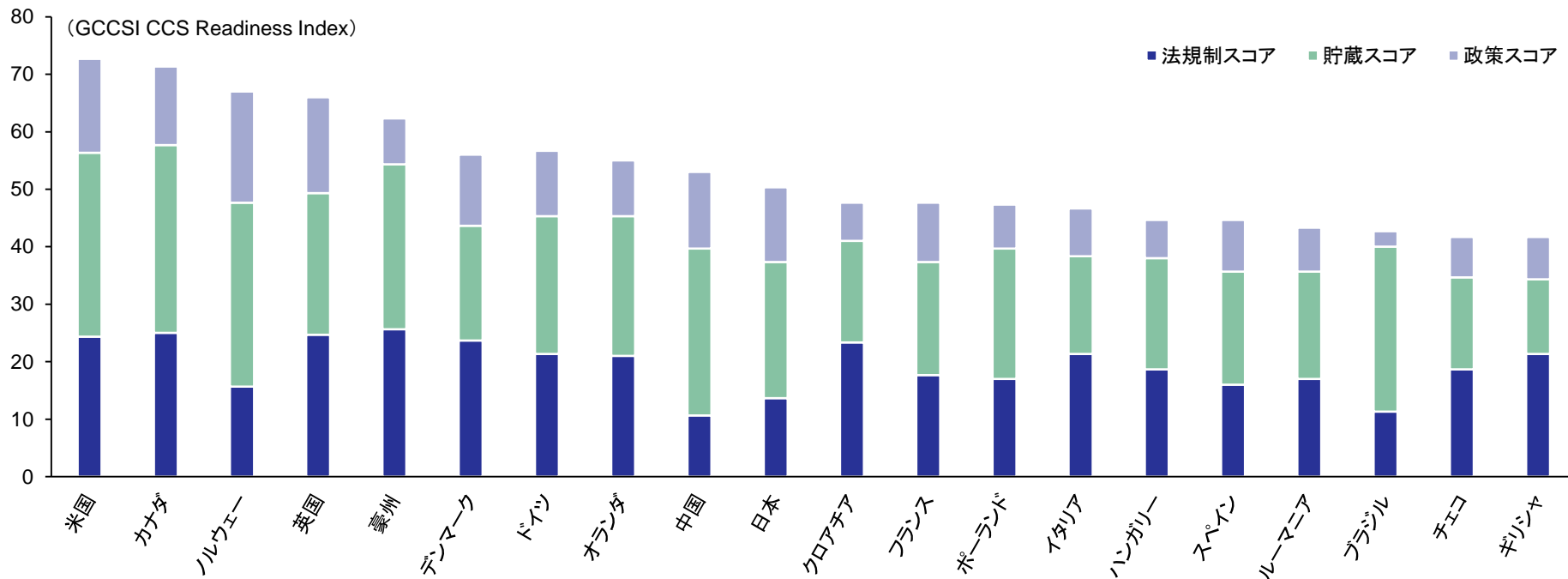
(我々は、**CCUS/カーボンリサイクル技術が、他の方法では回避できない産業由来の排出を削減するための脱炭素化解決策の幅広いポートフォリオの重要な要素となり得ること**、また、強固な社会・環境面のセーフガードを備えた二酸化炭素除去(CDR)プロセスの導入が、完全な脱炭素化が困難なセクターにおける残余排出量を相殺する上で不可欠な役割を担っていることを認識する。)(後略)

(出所) G7 Hiroshima Leaders' Communiquéより、みずほ銀行産業調査部作成

GCCSI CCS Readiness Indexに見るCCS先進国

- GCCSIによれば、北米、欧州（ノルウェー、デンマーク、ドイツ等）、英国、豪州はCCSの事業環境として先進的
— 日本は10位で、上記地域対比劣後
- CCS先進国は、それぞれ独自の事業支援体制の構築などでCCSの社会実装を後押し

CCS Readiness Indexから見るCCS先進国動向



(注) CCS Readiness Index: CCSに対する各国の政策、法律、規制、貯留資源開発状況を評価し、CCS事業環境構築において主導的な国々を特定。以下スコアから算出

- ・法規制スコア: 法的・規制の枠組みを評価。環境評価、公的協議、長期的責任に関する課題を含む、PJライフサイクル全体にわたる広範な行政上および許可上の取決めを評価。
- ・貯蔵スコア: 貯留資源の開発状況を評価。対象国の地質学的貯蔵能力、貯蔵評価の成熟度、CO2圧入サイト開発の進捗状況を評価。
- ・政策スコア: CCS導入に関連する政策の導入状況を評価。CCSに対する直接支援から、より広範な気候変動および排出削減政策まで、幅広い政策を評価。

(出所) GCCSI, "CCS Readiness Index"より、みずほ銀行産業調査部作成

CCS先進国の概要 米国:IRAにより開発案件が増加傾向

- 米国は、大きな貯留ポテンシャルと、過去からCO2パイプラインなどのインフラの整備が進んでいることが特色
- Inflation Reduction Act 2022 (IRA)による政策支援が市場拡大をけん引し、今後事業開発が大きく進展する見通し

米国のCCS概況

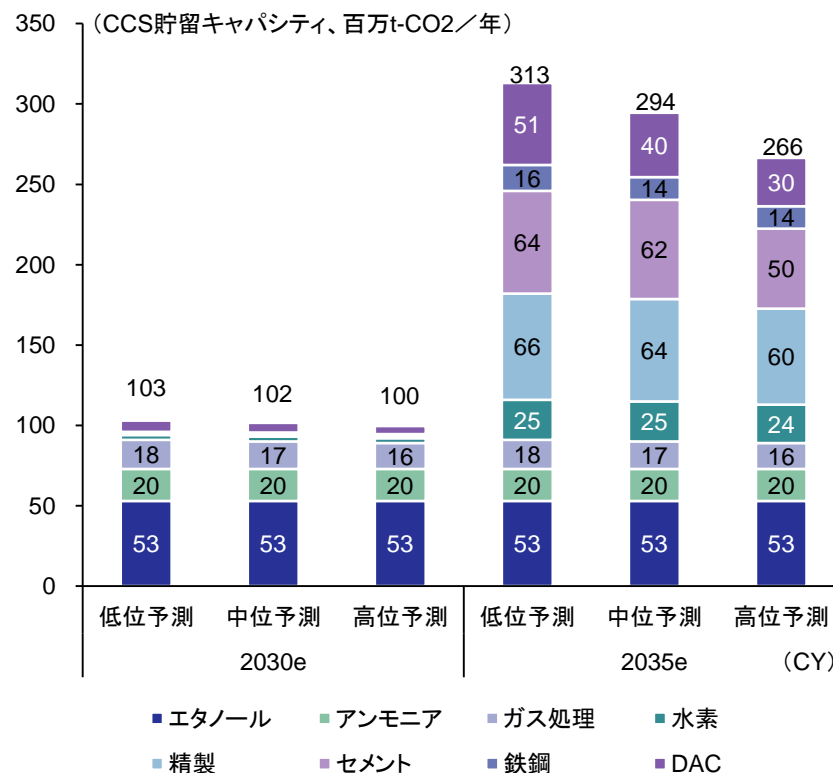
CCS Readiness Index	Legal Regulatory Score	Storage Score	Policy Score	
72 (1位)	73	96	49	
貯留ポテンシャル (百万t)	Undiscovered	7,803,826	Capacity	4
	Sub-Commercial	257,979	Stored	5
CO2排出量(百万t)	FY2021	4,641	2050年 Net Zero	
主要関連政策	1970年代からEnhanced Oil Recovery (EOR)を目的としたCCS活用が行われており、CO2パイプライン等のインフラが既に存在。Inflation Reduction Act 2022 (IRA)によるTax Credit付与(45Q)等で事業拡大を支援。米国エネルギー省は2040年に4.5億t/年のCO2圧入・回収目標を設定。			

【IRAによるTax Credit概要】

種類	IRA導入前(ドル/t-CO2)	IRA導入後(ドル/t-CO2)
Storage	42	85
Enhanced Oil Recovery (EOR)	28	60
Storage + Direct Air Capture	- (DAC特例無)	180
EOR + Direct Air Capture	- (DAC特例無)	130

(注) Tax Credit利用は要件充足が必要(要件未充足の場合のTax Creditは1/5の規模)
 (出所)GCCSI, "CCS Readiness Index", OGCI(2022)、RITE(2022)等より、
 みずほ銀行産業調査部作成

IRAによるCCS事業拡大見通し



(注) 脱炭素化におけるCCS活用度、CO2排出量等が異なる3つのEIAシナリオを基に
 Rhodium Groupが試算
 (出所)Rhodium Group(2022)より、みずほ銀行産業調査部作成

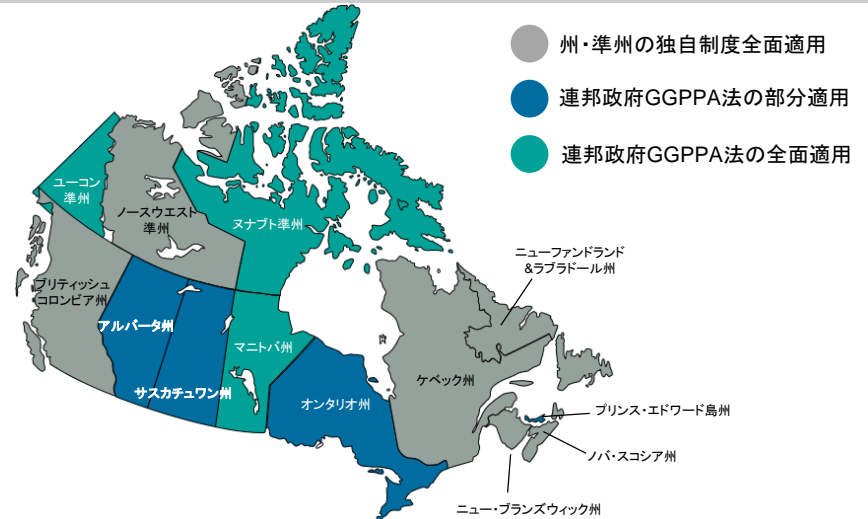
CCS先進国の概要 カナダ:カーボンプライシングとクレジット、補助制度を活用

- カナダは、CCSに適した地下構造とパイプライン等のインフラを有し、CCSを後押しする政策的インセンティブも整備
 - 連邦または州による排出枠取引制度のクレジットを活用したインセンティブやCCSを対象とする助成金が追い風に

カナダのCCS概況

CCS Readiness Index	Legal Regulatory Score	Storage Score	Policy Score	
71 (2位)	75	98	41	
貯留ポテンシャル (百万t)	Undiscovered	360,270	Capacity	56
	Sub-Commercial	43,641	Stored	5
CO2排出量 (百万t)	FY2021	513	2050年 Net Zero	
主要関連政策	連邦制のカナダは、国内政策については、連邦政府と各州・準州との連携が不可欠。連邦政府はGreenhouse Gas Pollution Pricing Act (GGPPA法、多排出施設を対象とした排出枠取引と炭素税)を「カナダ連邦内の最低限の排出規制(バックストップ)」と位置づけ、各州・準州が同等の法を整備しない場合は自動的に同法を適用する運営。また、CCSIに対する助成金は連邦、各州でそれぞれ運営。			

カナダ各州におけるGGPPA法適用状況



【カナダ・アルバータ州における主なCCS投資支援(Quest PJの例)】

タイプ	支援方式	概要
CAPEX 支援	直接補助金	直接補助金の2/3を、PJの開発ステージに応じ7段階の要件を充足する毎に支払い、残り1/3を稼働時支払
	直接補助金	OPEX補助のため、要件充足を条件に毎年支払い
稼働時 支援	炭素税免除	30カナダドル/t-CO2(当初は15カナダドル)の免除
	オフセット クレジット	正味貯留量と同等のオフセットクレジット付与と共に、10年限定で赤字年のみ同量のボーナスクレジット付与

(出所) GCCSI, “CCS Readiness Index”, OGCI (2022)、RITE (2022) 等より、
みずほ銀行産業調査部作成

カナダ西部の代表的なCCS事業

バウンダリー・ダム (Boundary Dam)	クエスト (Quest)	Alberta Carbon Trunk Line (ACTL)
<ul style="list-style-type: none"> 石炭火力発電所からのCO2分離・回収・輸送PJ。減退油ガス田に地下圧入し、EORに用いた後、恒久的に地下貯留 世界初、唯一の石炭火力発電所統合型CCS 	<ul style="list-style-type: none"> Shellの重質油改質プラントから排出されるCO2の1/3を輸送し、深部塩水帯水層に地下圧入し恒久的に地中貯留 オイルサンド事業への世界初商業規模CCS 	<ul style="list-style-type: none"> 製油所と化学肥料工場からCO2分離・回収・輸送。減退油ガス田に地下圧入し、EORに用いたのち、恒久的に地下貯留 1,460万t/年の世界最大規模のCO2輸送可

(出所) Environment and Climate Change Canada (2022)、JOGMEC (2021) より、
みずほ銀行産業調査部作成

CCS先進国の概要 欧州：EU-ETS+助成金でのインセンティブ付けと旗艦PJ推進

- 欧州は、排出枠取引制度の活用と脱炭素関連事業への助成金により、気候変動対応へのインセンティブを付与
 - CCSに対してもEUイノベーション基金により支援の方向であり、旗艦PJであるNorthern Lightsプロジェクトを推進

欧州のCCS概況

上位3カ国	CCS Readiness Index	Legal Regulatory Score	Storage Score	Policy Score
ノルウェー	67 (3位)	47	96	58
デンマーク	56 (6位)	71	60	37
ドイツ	56 (6位)	64	72	34

貯留ポテンシャル (3カ国合算、百万t)	Undiscovered	39,193	Capacity	37
	Sub-Commercial	56,106	Stored	26
CO2排出量(百万t)	FY2021	2,632	2050年 Net Zero	

主要関連政策

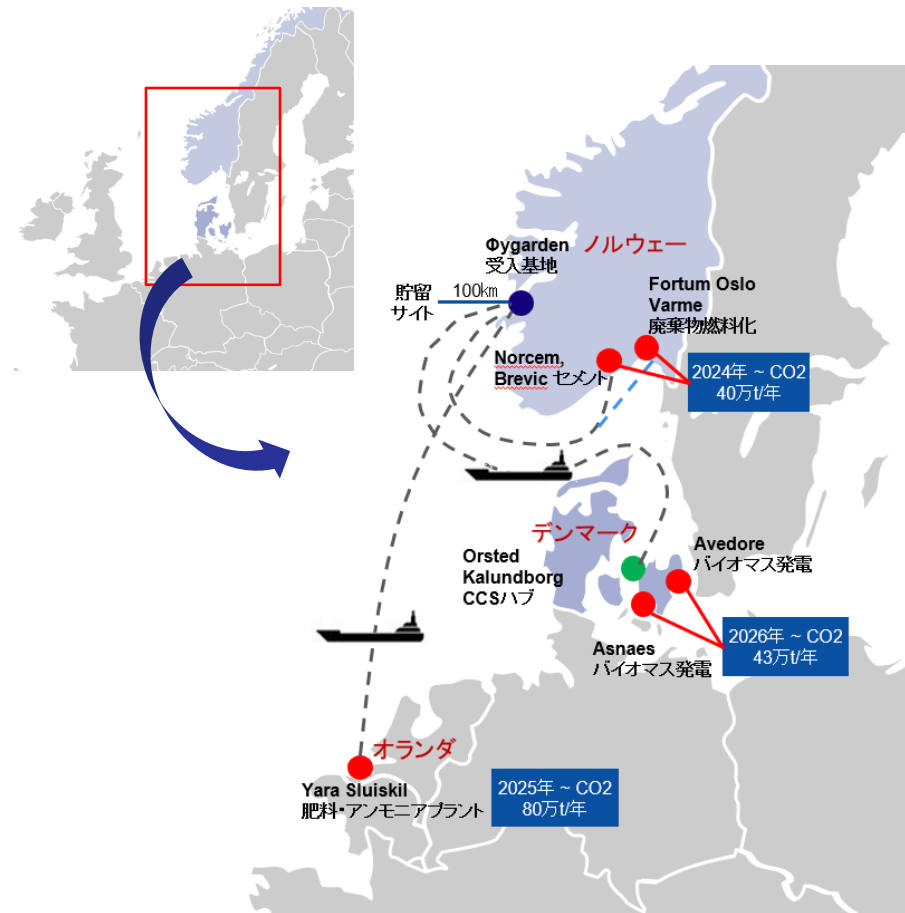
EU-ETS(排出枠取引制度)による多排出産業への気候変動対応インセンティブ付けに加え、ETS排出枠オークション収益を財源とするEUイノベーション基金を通じ2030年までに約400億ユーロ規模の助成金交付。支援対象に"Construction and operation of CCS facilities"と明記。

【EUイノベーション基金によるCCS・CCUプロジェクトに対する支援】

PJ支援発表	支援総額	支援発表PJ数	CCS PJ所在国
第一次発表 (2021/11)	11億 ユーロ	7件 (うち、CCS 4件)	フィンランド、ベルギー、 スウェーデン、フランス
第二次発表 (2022/7)	18億 ユーロ	17件 (うち、CCS 7件)	ブルガリア、スウェーデン、フランス、 ドイツ、ポーランド、アイスランド
第三次発表 (2023/7)	36億 ユーロ	41件 (うち、CCS 11件)	ギリシャ、フランス、ドイツ、ベルギー、 クロアチア、スペイン、オランダ等

(注) 貯留ポテンシャルはノルウェー、スウェーデン、ドイツの数値を合算
 (出所) GCCSI "CCS Readiness Index", OGCI (2022), RITE (2022), JOGMEC (2023a),
 European Commission HP等より、みずほ銀行産業調査部作成

Northern Lights CCS プロジェクト概要



(出所) JOGMEC (2023a), Northern Lights JV HP等より、みずほ銀行産業調査部作成

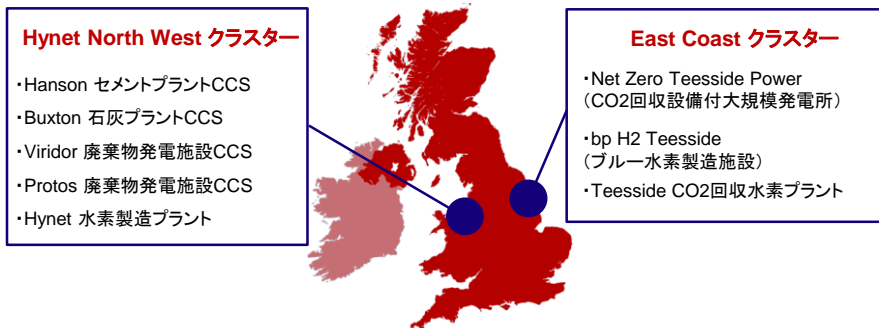
CCS先進国の概要 英国: CCUS Clusterの選定とCCUSロードマップ発表

- 英国はCCS促進区域を設定し、多排出産業とCCSサイトを繋ぐハブ&クラスター型CCUSを集中的に構築する方針
- 2030年に年間2~3千万tのCO2回収(うち600万tは産業由来)を目指すロードマップを発表

英国のCCS概況

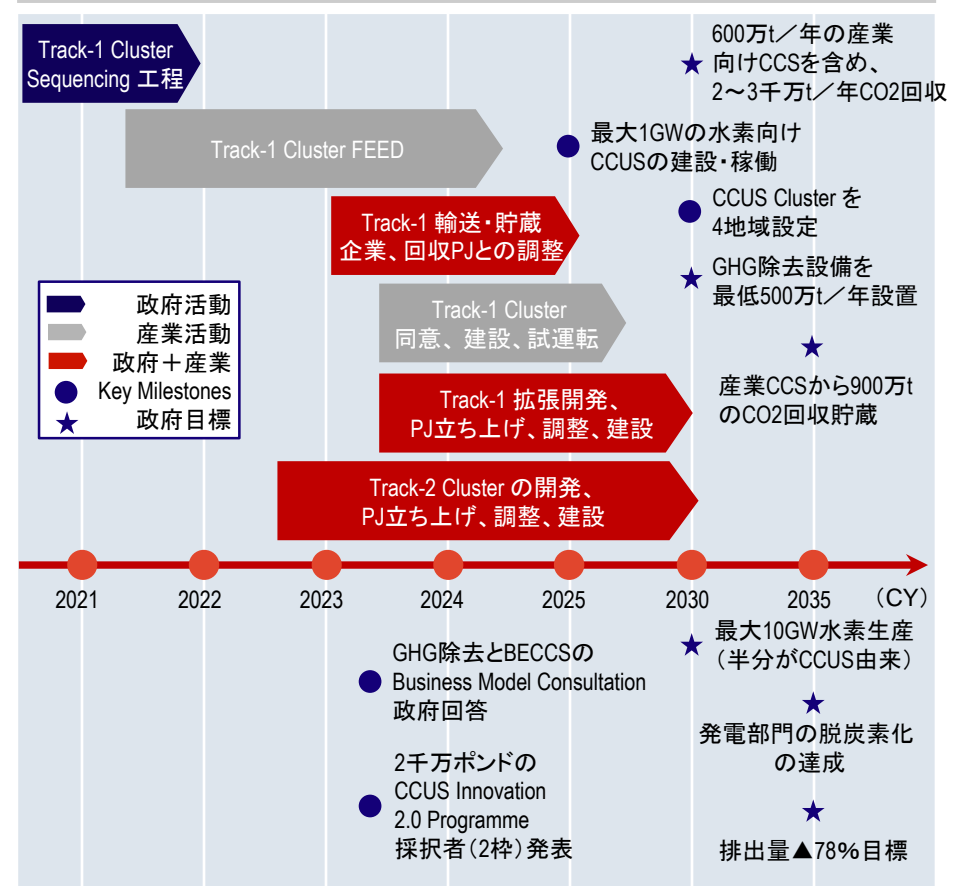
CCS Readiness Index	Legal Regulatory Score	Storage Score	Policy Score	
66 (4位)	74	74	50	
貯留ポテンシャル (百万t)	Undiscovered	60,565	Capacity	0
	Sub-Commercial	17,111	Stored	0
CO2排出量(百万t)	FY2021	325	2050年 Net Zero	
主要関連政策	英国はIndustrial Clusters (産業集積地)の脱炭素化と新たな低炭素事業誘致を目標に支援策を構築。2030年までにCCUS Clusterを4地域設定、年間2~3千万tのCO2回収を目指す。2023年には、CCUS Investment Roadmapや、今後20年間にCCSの早期社会実装に対し200億ポンドの投資を行う等の支援策を発表。			

【Track-1 CCUS Clustersの選定】



(出所) GCCSI “CCS Readiness Index”、OGCI(2022)、RITE(2022)、UK Government Dept. for Energy Security and Net Zero(2023)より、みずほ銀行産業調査部作成

英国政府 “CCUS Investment Roadmap”の概要(一部抜粋)



(出所) UK Government Dept. for Energy Security and Net Zero(2023)より、みずほ銀行産業調査部作成

CCS先進国の概要 豪州: CCSに適した地理的環境を活用

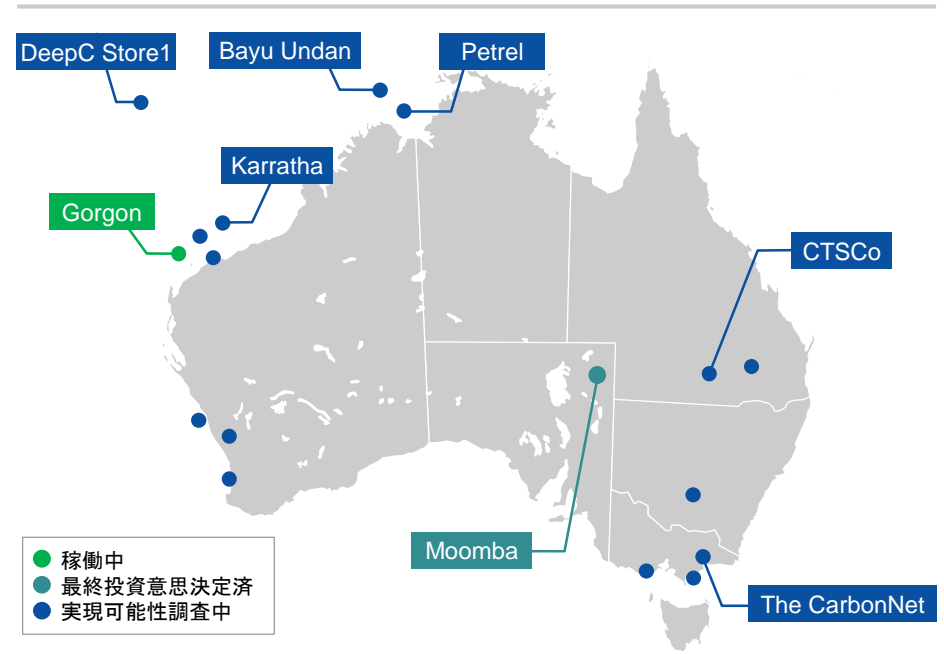
- 豪州はこれまで、豊富なCCS適地の活用の観点から法規制の整備や助成金制度などの拡充を推進
- 2022年5月の総選挙での政権交代後、独自色を示す労働党政府によるCCSの支援体制の一部見直し等がみられるものの、産業界を中心にCCSに対する支援継続拡充を求める声もあり、今後の動向に注目が集まる
 - 2022及び2023年予算案のCCUS助成金(CCUS Hubs and Technologies program、2億5千万豪ドル規模)は打ち切られたものの、代わりにCO2回収技術への助成金(1億4千万豪ドル規模)の創設を発表
 - 2023年9月には、産業界からの要望等も踏まえ、CCSを含む全てのCO2排出削減関連技術を国家再建基金(150億豪ドル規模)の支援対象に含める方針を表明

豪州のCCS概況

CCS Readiness Index	Legal Regulatory Score	Storage Score	Policy Score	
62 (5位)	77	86	24	
貯留ポテンシャル (百万t)	Undiscovered	471	Capacity	0
	Sub-Commercial	31	Stored	0
CO2排出量(百万t)	FY2021	365	2050年 Net Zero	
主要関連政策	保守連合政府(スコット・モリソン前首相)はこれまで、CCSを「ネット・ゼロ目標達成のために必要な手段」として位置づけ、各種助成金のほか、2.5億豪ドル規模のCCS/CCUS PJに対する助成金(CCUS Hubs and Technologies program)を発表。しかし、2022年5月に政権交代した労働党は、2022/23年度予算案の中で当該助成金を撤回。新たにCO2回収技術を支援する補助金(Carbon Capture Technologies for Net Zero and Negative Emissions)に1.4億豪ドルの拠出を発表。また、セーフガード・メカニズム改定で排出上限値の引き下げを行うことで、新規ガス田プロジェクト等におけるCCS導入の必要性が高まっている。			

(出所)GCCSI “CCS Readiness Index”、OGCI(2022)、RITE(2022)、JETRO(2023) より、みずほ銀行産業調査部作成

豪州の主要なCCUSプロジェクト



(出所)CO2CRC HP等より、みずほ銀行産業調査部作成

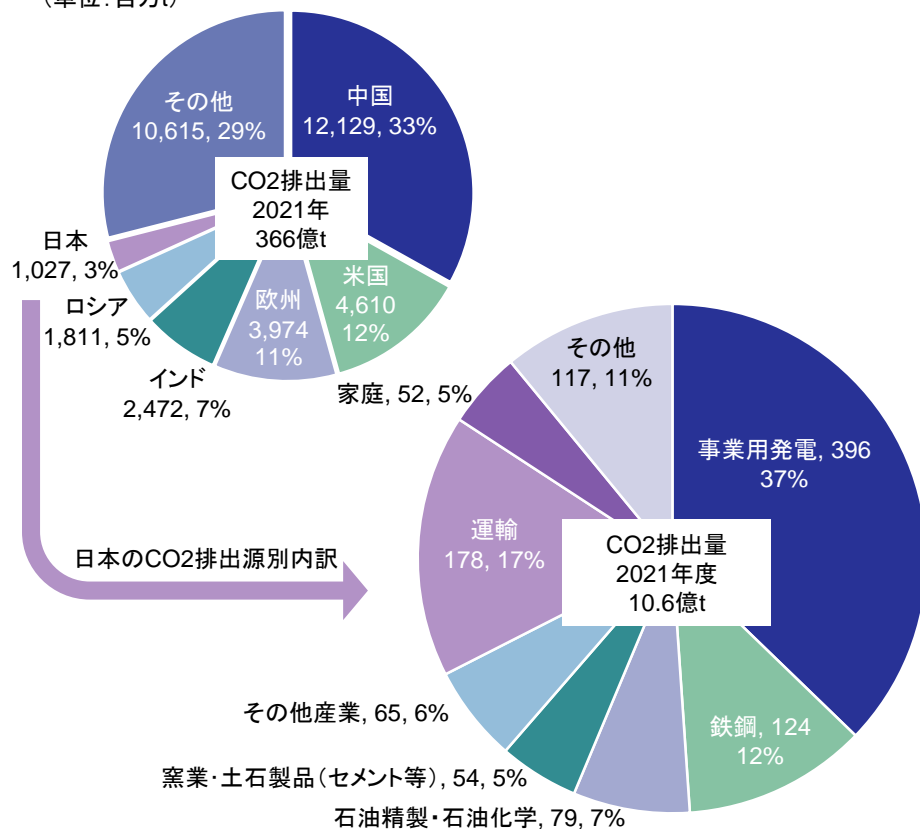
3. 日本のCCSバリューチェーン

日本のCO2排出量の排出源別内訳とこれまでの排出量の推移

- 2021年度の日本のCO2排出量は約10億tで、世界のCO2排出量の約3%を占める
- 過去推移では、震災後の原子力からガス火力発電等への転換が発生した2012年にピークを示し、その後減少傾向

日本のCO2排出量と排出源別内訳

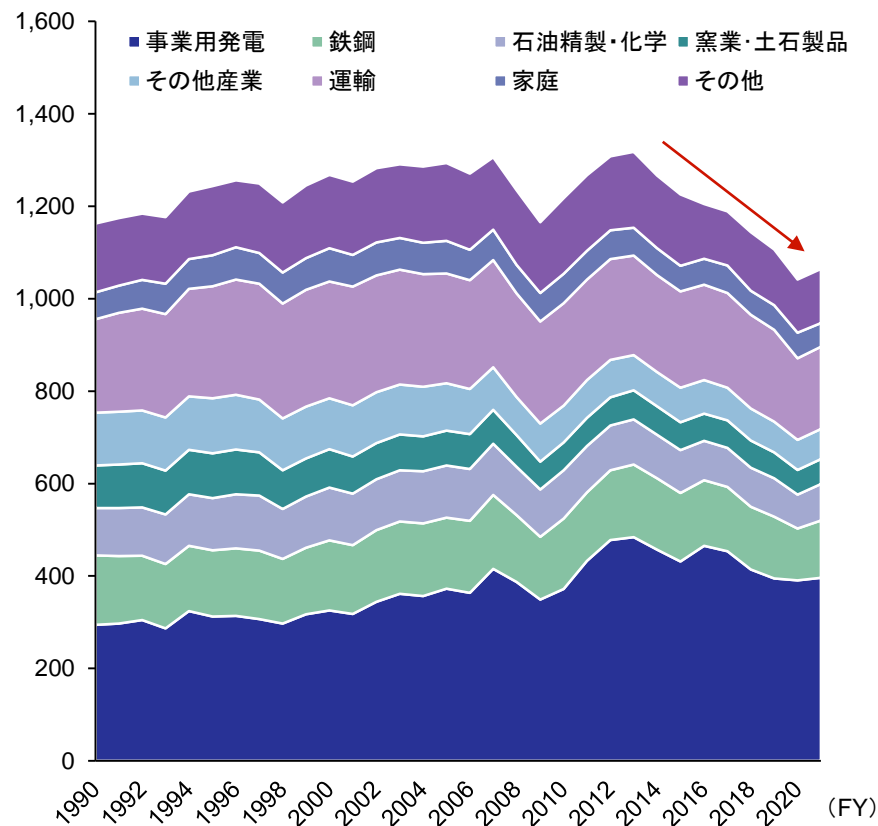
(単位:百万t)



(注) 日本の排出源別内訳の内、石油精製・化学、窯業・土石製品にはプロセス由来を含む
 グローバルのCO2排出量と日本のCO2排出量内訳には統計誤差を含む
 (出所)IEA(2022b)、国立環境研究所(2023)より、みずほ銀行産業調査部作成

日本のCO2排出量の推移

(単位:百万t)



(注) 日本の排出源別内訳の内、石油精製・化学、窯業・土石製品にはプロセス由来を含む
 (出所)国立環境研究所(2023)より、みずほ銀行産業調査部作成

日本のCCSの状況: 2030年の先進的CCS事業立ち上げに向け検討が急速に進む

- 日本政府は、2030年600～1,200万tの年間貯留量確保に向け、法制面等含めた検討を急速に進めている状況

日本政府の「先進的CCS事業」概要とCCSIに関する長期ロードマップ、GX基本方針の概略

- 将来のCCS事業の普及・拡大に向けて横展開可能なビジネスモデルを確立するため、2030年までの事業開始を目標とし事業者主導による「先進的CCS事業」を選定し、国により集中的に支援。
- CO₂の回収源、輸送方法、CO₂貯留地域の組み合わせが異なる3～5プロジェクトから支援を開始し、多様なCCS事業モデルの確立を目指すとともに、2030年までに年間貯留量600～1,200万tの確保に目途を付けることを目指す(年間貯留量目標はCCS参入を計画する事業者の目標等に基づき設定。英国:2030年までに年間1,000万t。)
- モデル性としては、CO₂回収源のクラスター化やCO₂貯留地域のハブ化による事業の大規模化と圧倒的なコスト低減に取り組む事業とする。
- なお、事業の選定に当たっては、事業の早期実現性、拡張性、経済性に加えて、CO₂貯留地域の理解を得る方向で事業が進められているか、将来のCCS事業の発展に寄与するかを重点的に確認する。

CCSロードマップ+GX基本方針	ビジネスモデル構築期			本格展開期
	2023年まで	2026年まで	2030年まで	2050年まで
CCS事業への政府支援	モデル性のある先進的CCS事業を支援し、2030年までに年間貯留量600～1200万tの確保に目途 <small>想定スケジュール</small> CCS適地検討、事業性調査等 試掘、貯留量評価等 <small>最終投資判断(FID)</small> 掘削、設備投資等			2050年目安 1.2～2.4億t/年 操業
	先進的なCCUSバリューチェーンの早期構築: 今後10年間で約4兆円～の投資を実施 分離・回収(多排出産業の能力構築)、輸送(港湾・パイプライン等)、貯留(適地・貯留場)、CCU・カーボンリサイクル事業者へのCO ₂ の安定供給メカニズム構築			(2050年目安の実現には、更に数十兆円の投資が必要)
CCSコスト低減取り組み	2050年CCSコスト目標を2023年比で、分離・回収:1/4以下、輸送:7割以下、貯留:8割以下と設定 コスト低減を可能とする技術の研究開発・実証推進			
CCS事業への国民理解推進	CO ₂ 貯留地域の理解を得るため、丁寧な説明を行うことに加え、地公体・民間団体が行うCCSを中核としたハブ&クラスターや関連産業・雇用創出に向けた活動を支援する仕組みを検討		検討結果を踏まえて取り組み実施	
	2030年まで当面、国主導により地域毎にCCUS説明会開催			
「CCS行動計画」策定・見直し	「CCS行動計画」策定: 年間貯留量目標精緻化、コスト目標見直し、技術開発指針作成、適地調査計画作成		省エネルギーや電化、水素化等による脱炭素化の取り組みの進捗、コスト低減の進捗等を踏まえ、必要な見直しを実施	

(出所)資源エネルギー庁(2023c)より、みずほ銀行産業調査部作成

日本における先進的CCS事業選定の動きとCCSコンソーシアム動向

- 令和5年度(2023年度)の先進的CCS支援事業で選定された7コンソーシアム合計の貯留量は約1,300万t / 年
 — うち、国内5案件は現状900万t / 年の計画ながら、拡張計画も有り(拡張完了時の規模は約3,000万t / 年)

先進的事業評価の観点とJOGMECの先進的CCS支援事業

先進的CCS事業評価の観点

2050年におけるCO2回収源のクラスター化やCO2貯留地域のハブ化による事業の大規模化と圧倒的なコスト低減を目指して取り組む事業が対象

要件

1	2030年またはそれ以前にCO2圧入を開始し、開始時点において50万t / 年以上
2	分離・回収、輸送、貯留分野すべてを網羅した事業構想であり、それぞれの分野において以下の表のいずれかの特徴を有すること
CO2回収源	複数産業分野(発電、石油精製、鉄鋼、化学、紙・パルプ、セメント分野等)からの回収、または脱炭素燃料(ブルーアンモニアまたは水素製造)
輸送	パイプライン、または船舶
貯留	陸域の地下、または海底下(沿岸地域、沖合)

評価ポイント

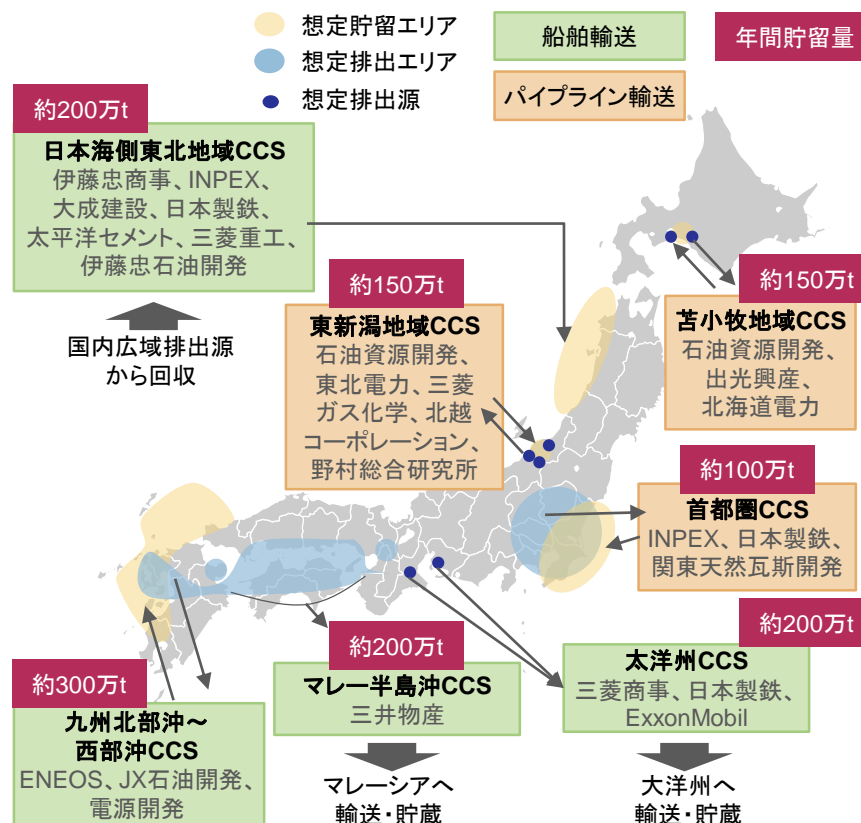
実現性	実施体制と内容、スケジュールの妥当性、および貯留地域からの理解度
拡張性	操業開始以降のCO2回収量、輸送量、貯留量増大、コスト抑制に関する構想
経済性	t-CO2当たりの見込みコストと将来の収益性に関する見通し
波及性	事業の広報活動や知見の共有、地域への貢献性

令和5年度(2023年度)先進的CCS支援事業

CO2回収源、輸送方法、貯留地域の組み合わせが異なる3~5のPJから支援開始、2030年までに年間貯留量600~1,200万t 確保目指す

予算	35億円
事業化調査	CCS事業化に向けた貯留地の事前調査、Engineeringに関する予備的検討
試掘準備	試掘位置選定にかかる技術検討、各種準備作業

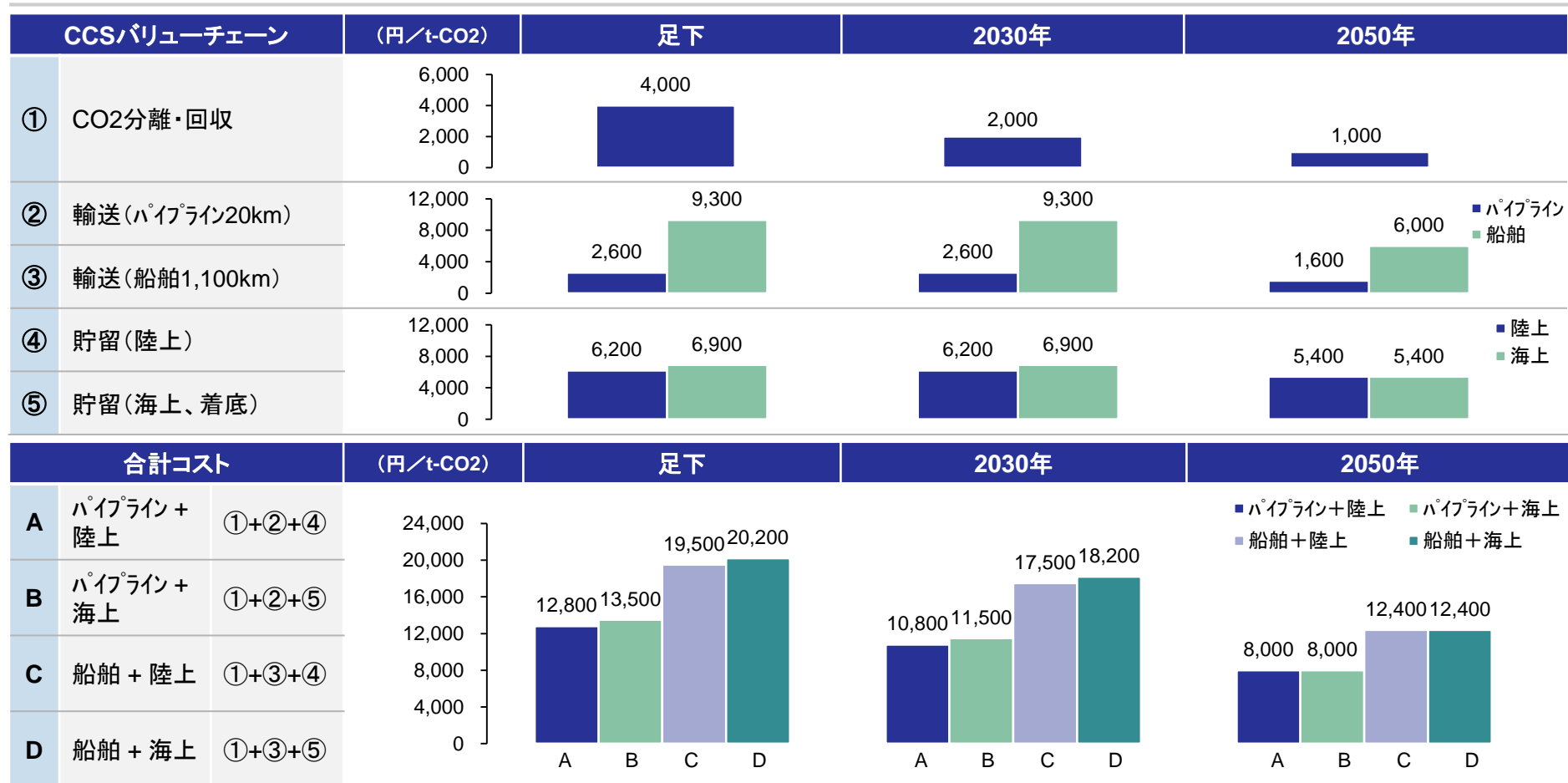
(出所)資源エネルギー庁(2023b、2023c)等より、みずほ銀行産業調査部作成



CCSコスト低減に向けた取り組みでは、2050年までに4割以上の削減を目指す方針

- 分離・回収、輸送、貯留の各段階でのコスト削減を積み上げることで合計コストを約4割削減することを目指す

CCS長期ロードマップ最終とりまとめにおけるCCSコスト低減の取り組み目標



(注) 試算前提: 輸送(②、③)は足下から2030年までは50万t-CO₂/年規模、2050年は300万t-CO₂/年規模の輸送を想定。貯留(④、⑤)は、足下から2030年までは20万t-CO₂/年・本、2050年は50万t-CO₂/年・本を想定

(出所) 資源エネルギー庁(2023c)より、みずほ銀行産業調査部作成

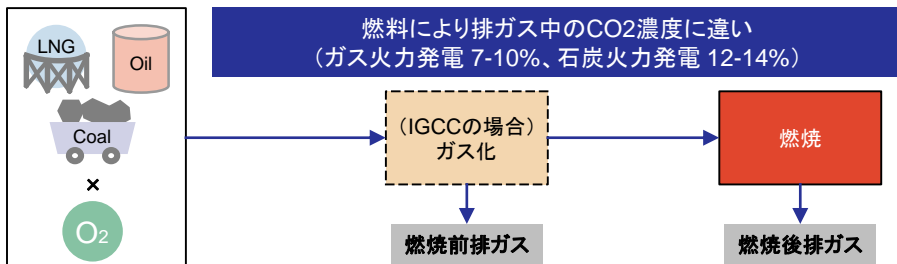
【CO2多排出産業(エミッター)】電力業界のCCSに関する動向

- 電力業界は、CCSをCO2大幅削減に有効な技術オプションの一つとして、プロジェクト参画、技術開発協力等を実施
 - 水素発電等のカーボンニュートラル火力の技術開発の進展次第で、今後のCCSの活用度合いは変化する可能性

電力業界における排出CO2特性の概要

排出CO2特性	概要
CO2排出量(百万t)	FY2021: 396(日本全体の37%)
燃焼CO2/プロセスCO2	燃料燃焼時のCO2排出が主(IGCCではガス化時の燃焼前排ガスもCO2分離・回収の対象に)
需要(国内/国外)	国内発電事業は国内需要向けビジネスのため、他国にて日本向けに発電することは困難(炭素リーケージ懸念小)
プロダクトあたり排出量	天然ガス火力: 1kWhあたり 943g のCO2排出 石炭火力: 1kWhあたり 474~599g のCO2排出
CO2濃度/圧力	ガス火力 7~10% / 0.1MPa (大気圧)
	石炭火力 12~14% / 0.1MPa (大気圧)
	石油火力 11~13% / 0.1MPa (大気圧)
	IGCC 8~20% / 2~7MPa
CO2分離・回収方法	化学吸収法の導入が主流。その他、物理吸収法や固体吸収法の実証プロジェクトが存在

電力産業における主要なCO2発生フローの概観図



(出所) IPCC (2005)、NEDO (2020)、経済産業省 (2021)、資源エネルギー庁 (2021)、資源エネルギー庁 (2022a)、国立環境研究所 (2023) 等より、みずほ銀行産業調査部作成

電力業界における主要なCCSに関する取り組みと政策提言

主要事例	取り組み内容
先進的CCS事業等への各社参画	「先進的CCS事業」においては、北海道電力(苫小牧地域CCS)、東北電力(東新潟地域CCS)、電源開発(九州北部沖~西部沖CCS)が参画。その他にもコンソーシアム立ち上げの動き
CCS関連技術開発への取り組み	従来より、日本CCS調査を通じた苫小牧CCS実証実験への参画や、大崎クールジェンにおけるCO2分離・回収実証試験、舞鶴発電所におけるCO2分離・回収技術開発(固体吸収法)への協力や、液化CO2輸送実証試験への協力等を実施

【2022年2月 長期CCSロードマップ検討会における提言概要】

電気事業連合会「CCS導入に向けた電力業界の取組状況について」概要

- (CCSはCO2大幅削減に有効な技術オプションの一つと認識。要望として以下を提示)
- ✓ 分離・回収商用化に向けた技術開発を進めるにあたっては、国の主導のもと、**進捗状況に応じた資金面も含む支援が必要**
 - 各CO2分離・回収手法の実現可能性やコスト低減を含めた見極め等に課題有
 - 産業界全体への展開が期待される一方、現時点において技術確立・社会実装に係る不確実性が高い
 - ✓ CO2輸送・貯留インフラの整備
 - 輸送・貯留は全産業界共通のプロセスであること、技術確立・社会実装に係る不確実性が高いこと、貯留事業では長期貯留責任など民間が負うことが難しいリスクが存在することを考慮する必要
 - ✓ エネルギー価格抑制に資する政策支援、コスト負担に関する国民理解醸成、適切な負担のあり方、関連法整備、CCS事業に対する社会受容性の獲得等も重要

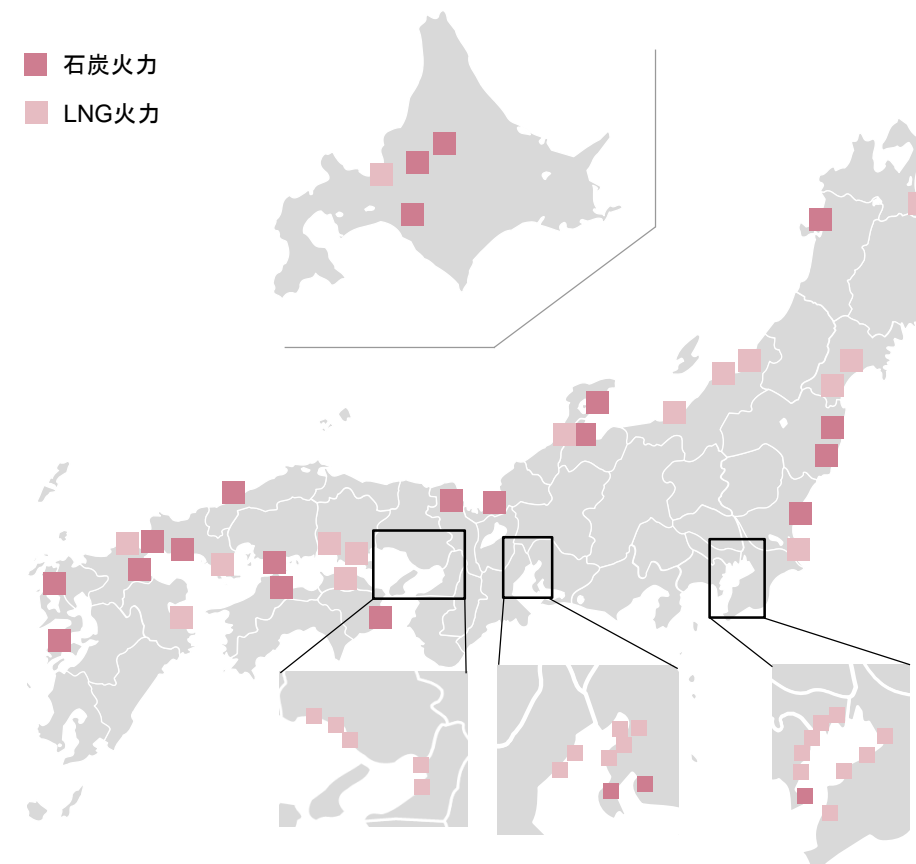
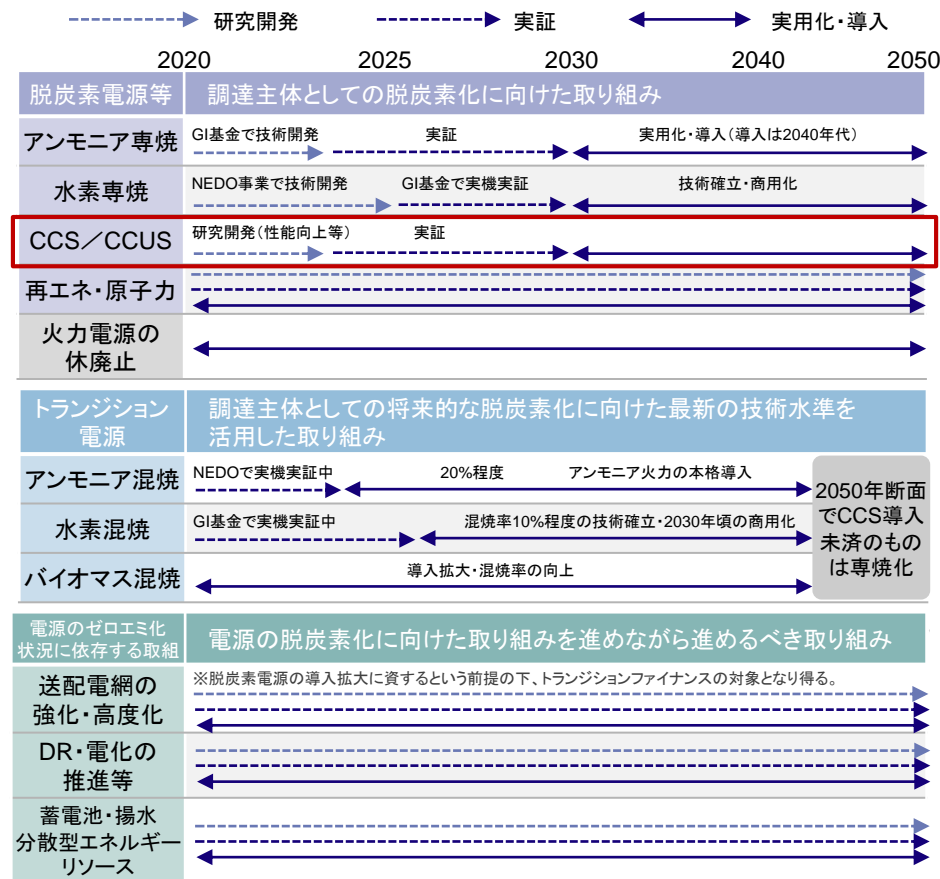
(出所) 電気事業連合会 (2022)、資源エネルギー庁 (2023c) より、みずほ銀行産業調査部作成

【エミッター】電力分野のトランジション・ロードマップと主要設備の分布

- 電力分野において、CCS/CCUSは脱炭素電源化に向けた取り組みであり、2030年以降の確立を目指す位置づけ
 - 水素・アンモニアと両輪での活用を行うことで、各地の火力発電所からの排出CO2低減に貢献

電力分野の脱炭素化に向けたトランジション・ロードマップ

日本における主要なLNG・石炭火力発電所立地



(注) 混焼率はいずれも熱量ベース
 (出所) 資源エネルギー庁(2022d)より、みずほ銀行産業調査部作成

(注) 一部の発電所は石油火力発電設備も混在
 (出所) 公表資料等より、みずほ銀行産業調査部作成

【エミッター】鉄鋼業界のCCSに関する動向

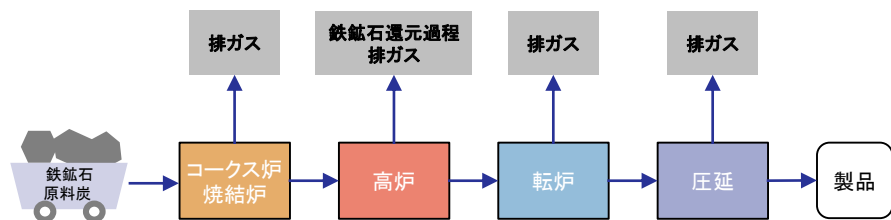
- 鉄鋼業界は、製造プロセスにおいて発生するCO₂を削減し、ゼロカーボン・スチールの製造を達成するため、CCSを排出削減手段の一つと位置づけて社会的なインフラ整備などを要望

鉄鋼業界における排出CO₂特性の概要

排出CO ₂ 特性	概要
CO ₂ 排出量(百万t)	FY2021: 124(国内全体の12%)
燃焼CO ₂ /プロセスCO ₂	高炉における還元時のプロセスCO ₂ 排出と燃料燃焼時のCO ₂ 排出が主
需要(国内/国外)	国内+海外需要に向けた生産を行っており、グローバル生産体制、拠点戦略が重要(炭素リーケージ可能性有)
プロダクトあたり排出量	鉄鋼製造1tあたり約2tのCO ₂ 排出
CO ₂ 濃度/圧力	高炉ガス① 20% / 0.2~0.3MPa
	高炉ガス② 27% / 0.1MPa(大気圧)
CO ₂ 分離・回収方法	CORSE50で開発した化学吸収法の導入が主流。その他、物理吸着法の実証プロジェクトが存在

鉄鋼産業における主要なCO₂発生フローの概観図

製鉄における各プロセスでCO₂が発生するが、排出量の大半は高炉における鉄鉱石還元過程で発生(CO₂濃度も20%~27%と高濃度)



(出所) IPCC (2005)、NEDO (2020)、経済産業省 (2021)、資源エネルギー庁 (2021)、資源エネルギー庁 (2022a)、国立環境研究所 (2023) 等より、みずほ銀行産業調査部作成

鉄鋼業界における主要なCCSに関する取り組みと政策提言

主要事例	取り組み内容
先進的CCS事業等への参画	「先進的CCS事業」では、日本製鉄が日本海側東北地方CCS、首都圏CCS、大洋州CCSの3コンソーシアムに参画
CCS関連技術開発への取り組み	革新的製鉄プロセス技術開発(COURSE50)にて化学吸収法と物理吸着法の開発を共同検討

【2022年2月 長期CCSロードマップ検討会における提言概要】

日本鉄鋼連盟「ゼロカーボン・スチールへの挑戦」概要

(日本鉄鋼連盟はゼロカーボン・スチール実現に向けた課題として以下を提示)

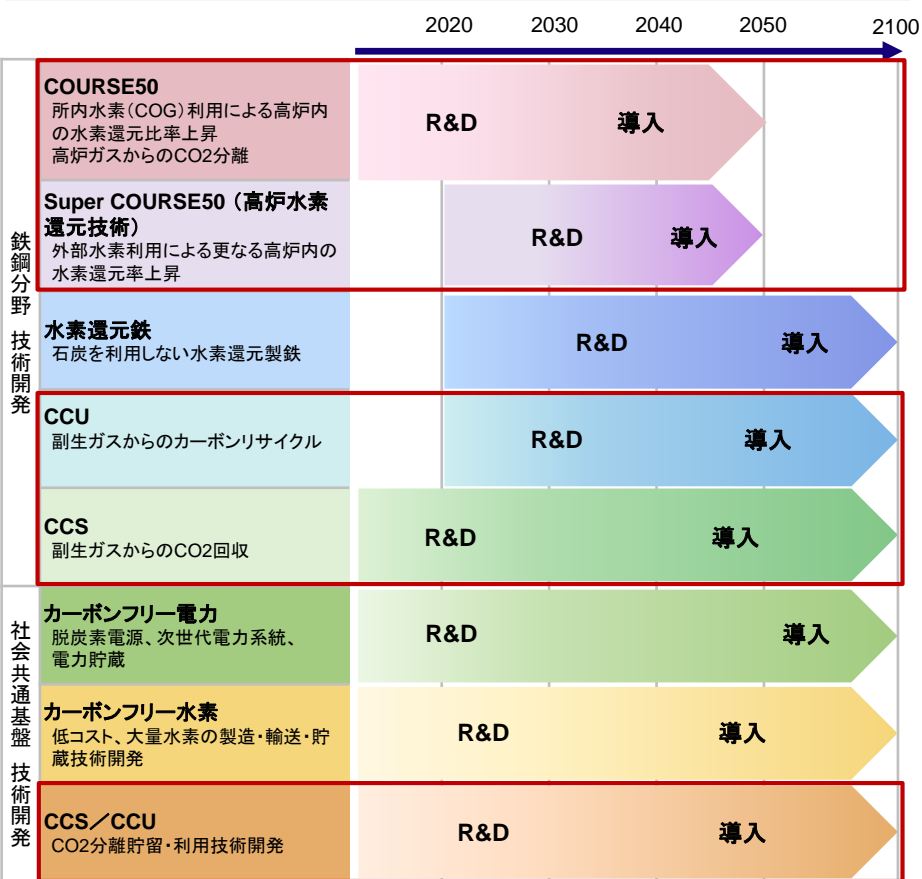
- ✓ 革新技術開発
 - 水素還元製鉄の商業規模での実現
- ✓ 社会インフラ整備
 - 莫大なクリーン水素/アンモニア資源開発・サプライチェーン構築
 - **商業規模CCS実現のための技術的・社会科学的課題解決、法整備**
 - 大量のカーボンフリー電力の安定供給
- ✓ 設備転換
 - 製鉄・製鋼工程の革新プロセスへの転換、資金確保(数千億~兆円レベル)
 - 既存製鉄・製鋼プロセス等の座礁資産化(数千億~兆円レベルの特別損失)
- ✓ コスト負担ルール
 - 製品性能向上にも生産効率向上にも寄与しない設備投資
 - 高コスト用役・原料利用に伴う生産コスト
- ✓ 事業環境
 - 技術開発、国内での生産活動、設備投資が継続できる事業環境

(出所) 日本鉄鋼連盟(2022)、資源エネルギー庁(2023c)より、みずほ銀行産業調査部作成

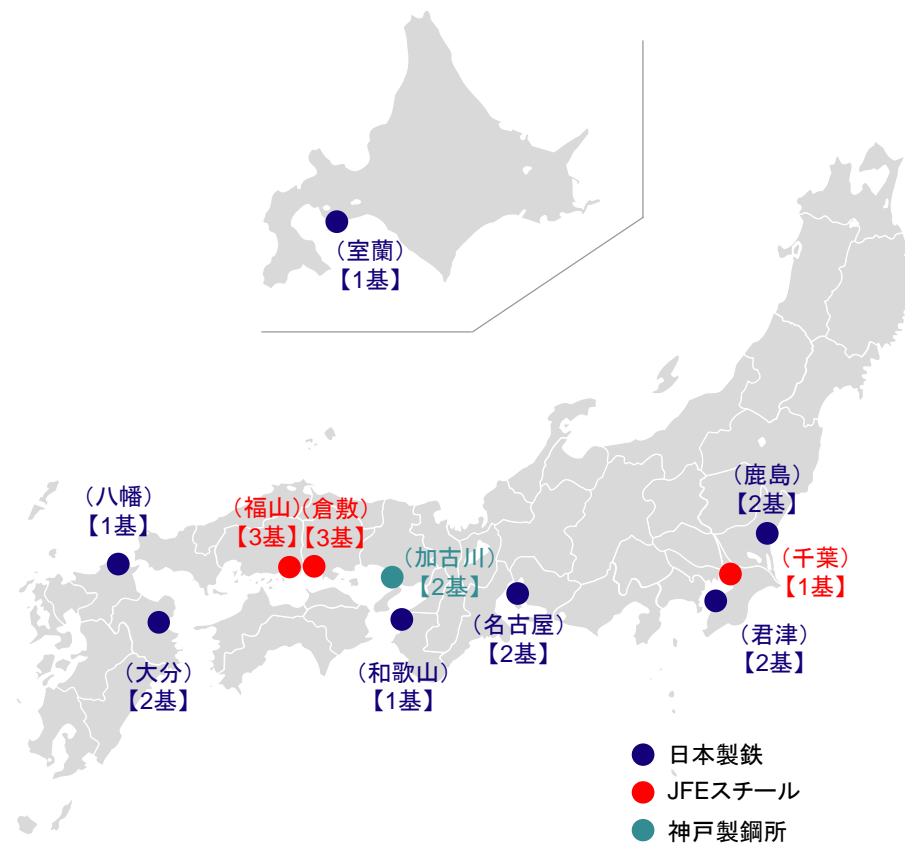
【エミッター】鉄鋼分野のゼロカーボン・スチールロードマップと主要製鉄所の分布

- 水素還元製鉄の商業規模導入の時間軸は長期に及ぶため、2050年に向けてはCCS/CCUの活用が必要に
 - 製鉄所の多くは臨海地域に所在しており、船舶によってCCS適地に輸送するのに適した立地

日本鉄鋼連盟「ゼロカーボン・スチールへの挑戦」におけるロードマップ



日本における主要な製鉄所立地



(注)【】内は高炉の基数
(出所)鉄鋼新聞社「鉄鋼年鑑」、各社公開資料より、みずほ銀行産業調査部作成

(出所)日本鉄鋼連盟(2022)より、みずほ銀行産業調査部作成

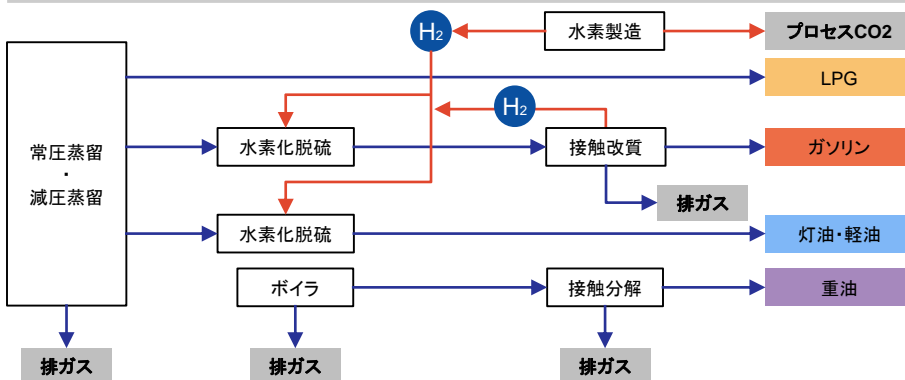
【エミッター】石油精製業界のCCSに関する動向

- 石油精製業界は、自社製油所施設等のCO2排出量削減手段としてCCSに関与
 - ENEOSはグループ会社のJX石油開発の持つ上流開発知見も活用し「先進的CCS事業」を推進

石油精製業界における排出CO2特性の概要

排出CO2特性	概要
CO2排出量(百万t)	FY2021:79(全体の7%、石油精製・石油化学あわせて)
燃烧CO2/プロセスCO2	精製、化学プロセス時のプロセスCO2排出と燃料燃烧時のCO2排出が主
需要(国内/国外)	油種ごとに差はあるものの、概ね国内需要に向けた生産(炭素リーケージ懸念少)
プロダクトあたり排出量	石油換算通油量 1kLあたり21.73kgのCO2排出
CO2濃度/圧力	水素製造 15~20% / 0.3~0.5MPa
	メタノール製造 10% / 0.27MPa
CO2分離・回収方法	プロセスCO2回収に対する物理吸着または化学吸収法、燃烧CO2回収に対する化学吸収法の導入が主流

石油精製産業における主要なCO2発生フローの概観図



(出所)IPCC(2005)、NEDO(2020)、経済産業省(2021)、資源エネルギー庁(2021)、資源エネルギー庁(2022a)、国立環境研究所(2023)等より、みずほ銀行産業調査部作成

石油精製業界における主要なCCSに関する取り組みと政策提言

主要事例	取り組み内容
先進的CCS事業等への各社参画	「先進的CCS事業」では、ENEOS+JX石油開発が電源開発と共に九州北部沖～西部沖CCSプロジェクトを推進。出光興産は苫小牧地域CCSに参画
その他CCSに関連する取り組み	JX石油開発は米国Petra NovaプロジェクトにおけるCO2-EORやマレーシア等海外におけるCCS事業開発に従来より取り組み

【2022年10月 カーボンニュートラル燃料の導入・普及に向けた提言概要】

石油連盟(2022年10月) 提言概要

(石油連盟は、CCSについて、産業活動等から排出されるCO2を回収して貯留するなどトランジション期の脱炭素やエネルギーの安定供給に寄与するだけでなく、2050年に世界のCO2排出量と吸収量を均衡させるカーボンニュートラルを実現するために欠かすことのできない技術と認識。要望として以下を提示)

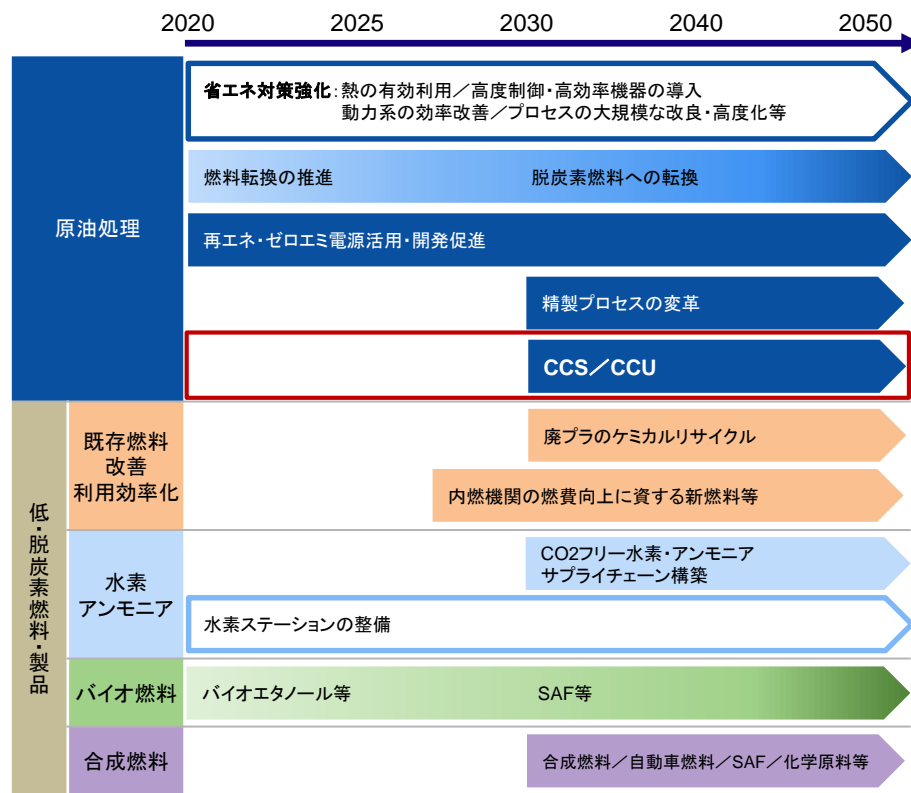
- ✓ CO2の分離・回収・貯留技術に係る研究開発・実証やコスト低減の推進
- ✓ 国民理解の促進と適地開発
- ✓ CCSのライフサイクルに適応した法整備
- ✓ CCS実装化に向けた長期的支援の検討・導入
- ✓ 特に、現時点ではCCS事業は収益を確保することができないため、分離・回収、輸送・貯留というバリューチェーン全体の建設段階および操業段階への全面的な支援を要望
- ✓ また、国内外でのCCSプロジェクトに対してJOGMECのリスクマネー供給機能(出資・債務保証)の更なる強化を要望

(出所)石油連盟(2022)、資源エネルギー庁(2023c)より、みずほ銀行産業調査部作成

【エミッター】石油分野のトランジション・ロードマップと主要設備の分布

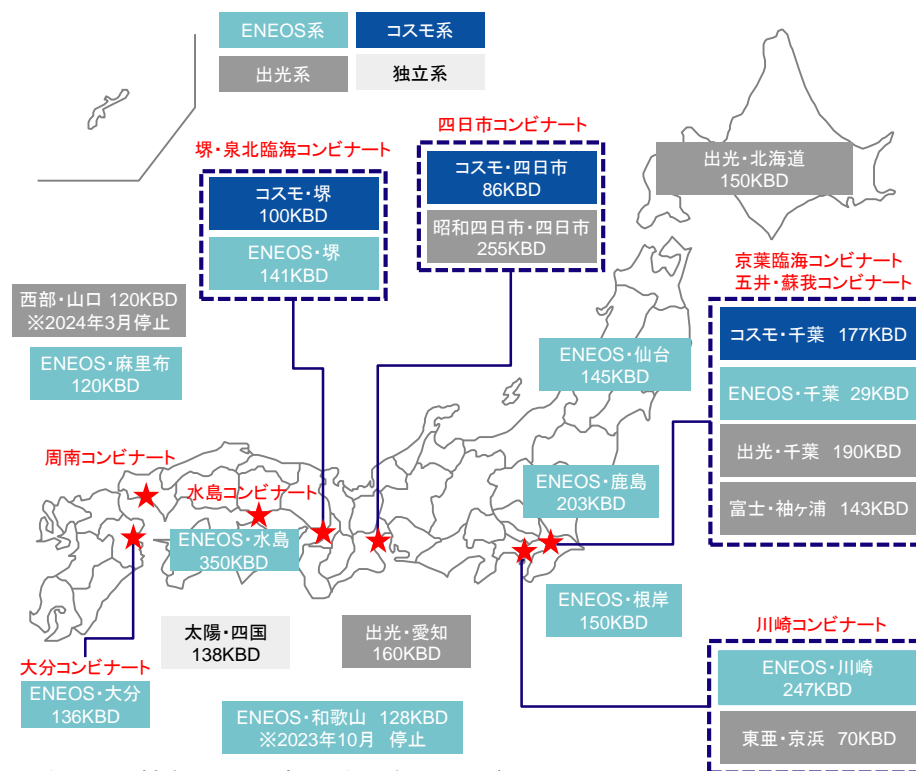
- 石油分野のロードマップでは原油処理の過程における対策の一つとして、2030年以降のCCS/CCU活用を明記
- 製油所立地地域のコンビナートの多くがカーボンニュートラルコンビナートを目指す方向性を提示
 - 周辺施設の排出CO2も合わせたハブ&クラスター型CCSの検討が可能な立地特性の可能性

石油分野の脱炭素化に向けたトランジション・ロードマップ



(出所) 資源エネルギー庁(2022e)より、みずほ銀行産業調査部作成

製油所とカーボンニュートラルコンビナートの分布



(注) KBD: 製油所の一泊あたり処理能力、千バレル/日
赤字記載はエチレンプラントがあるコンビナート
(出所) 各社公表資料より、みずほ銀行産業調査部作成

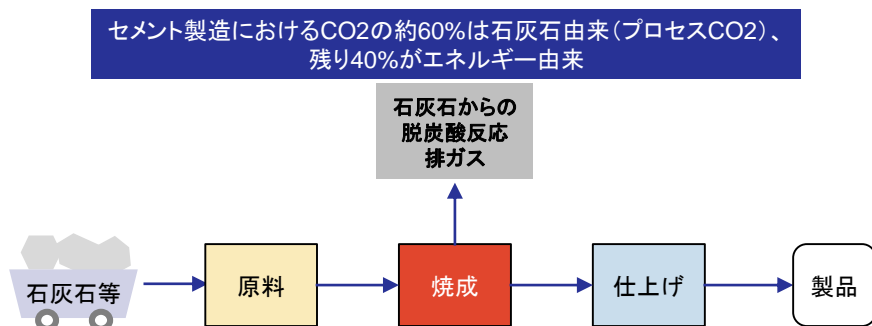
【エミッター】セメント業界のCCSに関する動向

- セメント業界は、製造工程で発生する石灰石由来のプロセスCO₂排出量削減のため、CCUSを重要技術として認識
 - ただし、CCUS導入による海外セメントとの競争環境悪化に対するサポート等の支援も同時に必要に

セメント業界における排出CO₂特性の概要

排出CO ₂ 特性	概要
CO ₂ 排出量(百万t)	FY2021:54(全体の5%、窯業・土石製品あわせて)
燃焼CO ₂ /プロセスCO ₂	焼成過程におけるプロセスCO ₂ 排出(石灰石由来、約60%)と燃料燃焼CO ₂ 排出(約40%)が主
需要(国内/国外)	国内需要に向けた生産(炭素リーケージ可能性少)
プロダクトあたり排出量	セメント1tあたり763kgのCO ₂ 排出
CO ₂ 濃度/圧力	セメントキルン オフガス 14~33% / 0.1MPa(大気圧)
CO ₂ 分離・回収方法	化学吸収法の導入が主流

セメント産業における主要なCO₂発生フローの概観図



(出所)IPCC(2005)、NEDO(2020)、経済産業省(2021)、資源エネルギー庁(2021)、資源エネルギー庁(2022a)、国立環境研究所(2023)、セメント協会(2022)等より、みずほ銀行産業調査部作成

セメント業界における主要なCCSに関する取り組みと政策提言

主要事例	取り組み内容
先進的CCS事業等への参画	「先進的CCS事業」では、太平洋セメントが日本海側東北地域CCSに参画
その他CCSに関連する取り組み	トクヤマと三菱重工エンジニアリングによるセメント製造時の排出CO ₂ 回収技術共同実証試験、GI基金での基礎研究等CCSの技術開発に向けた取り組みを実施

【2022年2月 長期CCSロードマップ検討会における提言概要】

セメント協会「セメント産業における2050年カーボンニュートラルへの対応に向けたCCUSの活用方針について」概要

(セメント協会としては、2050年のカーボンニュートラル達成のためには、かなりの部分をCCUSに頼らざるを得ない状況であると認識。要望として以下を提示)

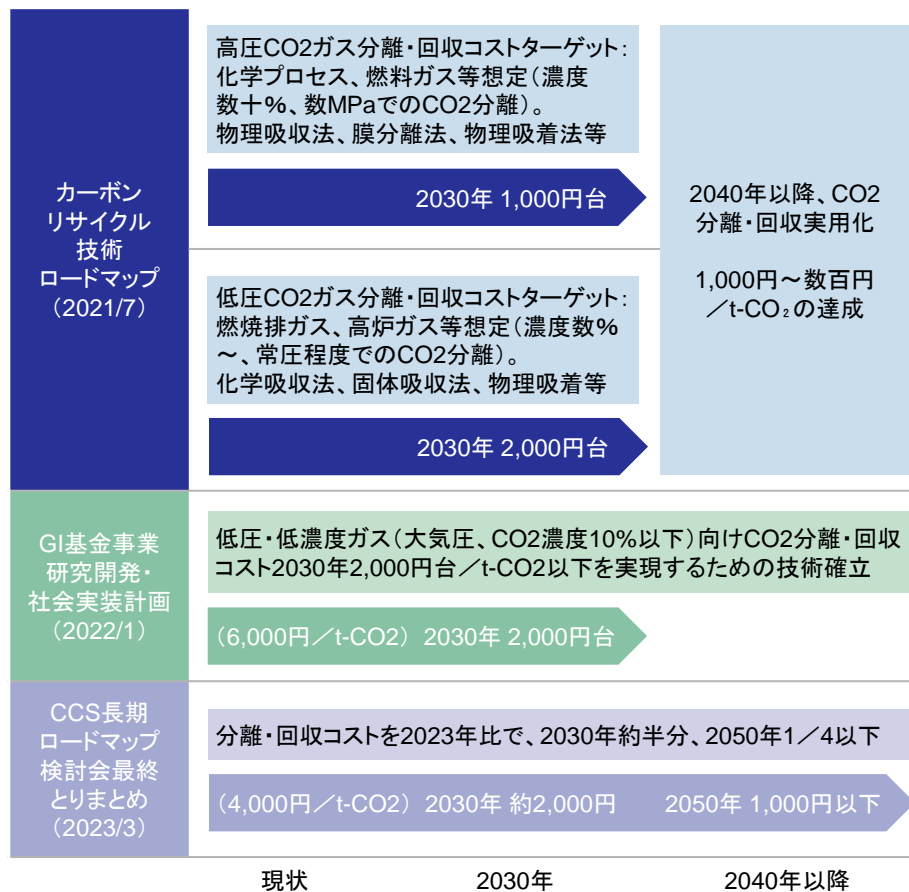
- ✓ 実装に向けて業種毎の排ガスの特性に対応したシステムが必要になるため、CCUSに関して今後更なる政府のサポートを要望
- ✓ 「集積場」に収集されたCO₂について、貯留だけでなくメタネーション等の有効活用が可能な仕組みや、「集積場」への移送・運搬手段の支援(優先割当、国外CCS集積場への輸送コスト補助等も含む)
- ✓ CCS集積場での受け入れ基準(濃度等)の明示
- ✓ 山間部等に存在するセメント工場への対応(内陸部の工場からCO₂出荷設備の間における中継点、仮集積所設備の検討)
- ✓ CCS実装によるコスト負担による企業競争力の低下、海外セメントとの価格競争に対するサポート対応

(出所)セメント協会(2022)、資源エネルギー庁(2023c)より、みずほ銀行産業調査部作成

【CO2分離・回収】分離・回収技術コストと今後のロードマップ上の削減方向性

- CCSバリューチェーンにおいて、CO2分離・回収プロセスはコスト削減の期待が大きい領域
 - 特に燃焼排ガス等の低濃度CO2ガスに用いる分離・回収技術の課題解決に向けた研究開発の進展に期待

分離・回収分野における今後のコスト削減の方向性とロードマップ



(出所)経済産業省(2021)、経済産業省(2022)、資源エネルギー庁(2023c)より、みずほ銀行産業調査部作成

低濃度CO2排ガスからのCO2分離・回収の技術課題

- 低濃度排ガス(CO2濃度10%以下)はガス処理量が増加し、設備大型化、ポンプ等の補機の消費エネルギー増大が発生

課題解決の方向性:
設備大型化を最小限に留めるため、圧力損失を低減する設備設計、補機のエネルギー効率向上等が必要
- 低濃度排ガスのCO2回収には、①よりCO2に対する強い吸収・吸着力を持つCO2分離素材の利用、②左記素材投入量の増加、等の方策が必要だが共にCO2回収に多くのエネルギーを要求

課題解決の方向性:
課題解決のためには、①アミン吸収法:水の潜熱・顕熱をカットする新たな固体系素材開発、②物理吸着法:熱ではなく、圧力差で再生を行う相変化型素材開発等が必要。排・冷熱の有効活用等の総合エネルギーマネジメントも一層必要となる他、新分離技術への挑戦も必要
- 低濃度排ガスは、相対的に酸素濃度が高く、アミン等素材の劣化が促進されるため、材料入れ替え等のメンテコストが増大

課題解決の方向性:
酸化劣化に強い耐性を有する素材開発要

低濃度排ガスに適したCO2分離・回収基盤(材料)技術の確立と共に、複数の有望な技術方式(アミン吸収法、物理吸着法、膜分離法等)の特性を比較しつつ、用途に対し最適技術を組み込んだシステムを構築することが必要

(出所)経済産業省(2022)等より、みずほ銀行産業調査部作成

【CO2分離・回収:注目点】CO2分離・回収段階はコスト削減への期待が大きい分野

- CCSバリューチェーンにおいては、技術革新余地が大きいCO2分離・回収におけるコスト削減に大きな期待
 - コスト優位性を持つCO2分離・回収手法の開発は、将来的な炭素除去事業の競争力にも繋がる重要分野
- また、米国ではCO2輸送に主にパイプラインを利用するため、輸送過程におけるコスト削減への期待は中程度だが、日本では液化CO2輸送船による輸送においてもコスト削減が可能な可能性
 - 既存成熟技術であるCO2パイプラインに比し、液化CO2輸送船は大規模化等によるコスト削減の可能性有

U.S. Department of Energy (2023) に基づくコスト削減可能性の整理

	CO2分離・回収	CO2輸送		CO2圧入・貯留
		パイプライン	(参考)液化CO2輸送船	
現在の各プロセスのコスト (ドル/t-CO2)	25~175ドル/t-CO2	5~25ドル/t-CO2	14~25ドル/t-CO2	5~15ドル/t-CO2
各プロセスの コスト削減の可能性	大	中	【弊行仮説】 既存成熟技術であるパイプラインに 比し、船舶の大規模化等によるコスト 削減の可能性有	小
コスト削減に向けた 主要な論点	<ul style="list-style-type: none"> 最大規模の排出源を分離・回収導入のターゲットとし、規模の経済を活用 新しいCO2分離・回収技術の開発・イノベーション 実装による学習効果 モジュール化・標準化 	<ul style="list-style-type: none"> 排出源と貯留地間の距離の最小化(マッチング分析) パイプライン径の拡大やCO2圧縮による規模の経済の活用 多様なCO2排出源のアグリゲーション 既存のRights-of-Way(敷設権)の活用 	<ul style="list-style-type: none"> 【弊行仮説】 左記に加え、以下も論点に 液化CO2輸送船の大規模化、研究開発、イノベーション 規格標準化 	<ul style="list-style-type: none"> 既存インフラと良好な監視性を備え、特性についても良く認識された立地の選定 大規模貯留キャパシティを梃子にした規模の経済の活用 研究開発や学習効果によるMMV(監視・測定・検証)費用の削減

(出所)U.S. Department of Energy(2023)等より、みずほ銀行産業調査部作成

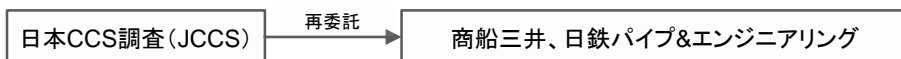
【CO2輸送】国内の液化CO2輸送船の開発動向

- 国内におけるCO2船舶輸送は苫小牧のNEDO実証を通じて検討が進められており、同PJの液化CO2輸送船は三菱造船が開発・建造
- 三菱造船は他社との連携により、グローバル需要を見据えた外航船開発等を積極的に進める

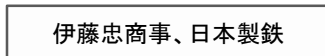
液化CO2輸送船のNEDO実証について

【NEDO事業「CCUS研究開発・実証関連事業 / 苫小牧におけるCCUS大規模実証試験 / CO2輸送に関する実証試験」】

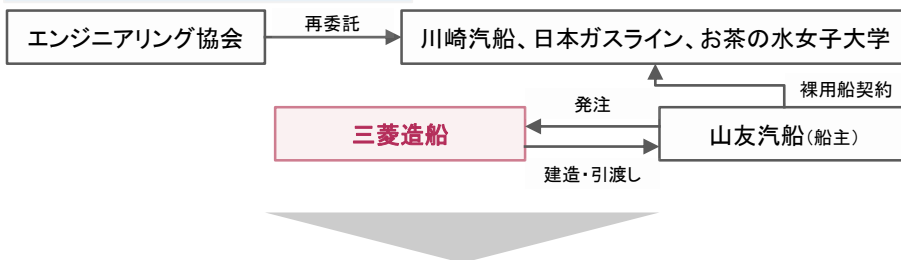
<CO2液化・貯蔵システムおよび大型船社会実装に関する研究開発>



<事業性検討>



<輸送船舶に関する研究開発>



日本で液化CO2輸送船の開発に取り組む造船会社は限定的
現在開発に関与している造船会社が
日本における同船種の中のメインプレーヤーに

(出所)NEDO公表資料、各社公表資料より、みずほ銀行産業調査部作成

三菱造船による液化CO2輸送船開発の方向性

	液化CO2輸送船の開発に向けた取り組み
①	初号船の開発・商用化 - NEDO実証に向けた初号船の開発
②	海外プレーヤーとの協業による、液化CO2輸送船開発に向けた取り組み - EquinorやTotalEnergiesとの連携や、CO2LOS IIIプロジェクトへの参画を通じ、液化CO2輸送船の開発促進を目指す(含むFS実施による実効性検証やPJメンバーとの情報共有)
③	大型船の開発 - 日本郵船との共同開発により、中小型～大型船の開発を目指す - 日本シップヤードと外航向け大型液化CO2輸送船の共同開発を検討。2027年以降の竣工を目指す方針
④	その他輸送効率化、輸送コスト削減に向けた取り組み - 商船三井と協働し、アンモニア・液化CO2兼用船のコンセプトスタディ完了を公表。往路:アンモニア、復路:液化CO2を輸送することで輸送効率化を目指す

(出所)三菱造船公表資料より、みずほ銀行産業調査部作成

【CO2輸送】足下の受注状況および海外造船会社との競合

- 日本が世界初のCCUS用途の液化CO2輸送船を建造・引き渡しする見込み
- 韓国、中国の造船会社も液化CO2輸送船の受注や大型船開発に積極的であることから、グローバルの競合で日本がリードするためには、更なる案件創出や大型船の早期商用化も検討することが急務

受注済みの液化CO2輸送船および競合国(韓国・中国)の主要造船会社における液化CO2輸送船開発動向

造船会社	オーナー	タンク サイズ(m ³)	契約時期～建造時期(年)					
			2021	2022	2023	2024	2025	2026
三菱造船(日本)	山友汽船(日本)	1,450 <small>小</small>	2021年9月 ●		2023年12月 ●		世界初のCCUS用途の液化CO2輸送船	
大連船舶重工(中国)	Northern Lights(ノルウェー)	7,500	2021年10月 ●		2024年3月 ●			
大連船舶重工(中国)	Northern Lights(ノルウェー)	7,500	2021年10月 ●		2024年6月 ●			
大連船舶重工(中国)	Northern Lights(ノルウェー)	7,500			2023年8月 ●		2025年以降	
現代重工業(韓国)	Capital Maritime(ギリシャ)	22,000			2023年7月 ●		2026年1月	
現代重工業(韓国)	Capital Maritime(ギリシャ)	22,000 <small>大</small>			2023年7月 ●		2026年4月	

韓国

現代重工業

- ✓ 2021年8月、POSCOとの共同開発により、2025年までに2万m³型以上の大型船開発や、ルールに関する検討などを進める旨を公表
- ✓ 2022年7月、4万m³型の設計に韓国船級協会がAiPを付与

ハンファ オーシャン (旧 大宇造船)

- ✓ 2021年9月、ABS(米船級協会)と、7万m³型の液化CO2輸送船を共同開発する旨を公表。2022年4月には、ABSからAiPを取得

中国

中国船舶集団

- ✓ 2021年8月、子会社の江南造船がアンモニアを燃料とする液化CO2輸送船を開発したと発表。既に韓国船級協会からAiPも取得済み

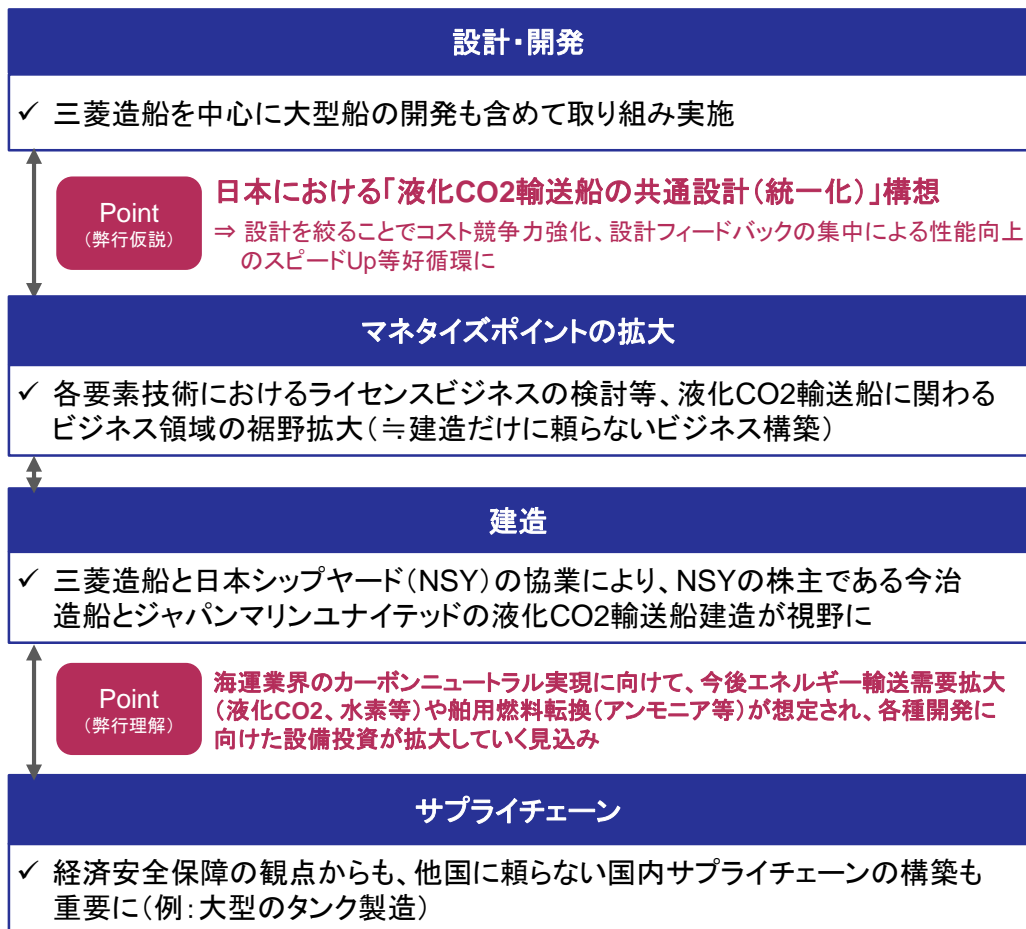
(注) AiP: Approval in Principle, 基本設計承認

(出所) 各種資料、Clarksonより、みずほ銀行産業調査部作成

【CO2輸送:注目点】本邦液化CO2輸送船ビジネスの論点及び政府支援の必要性

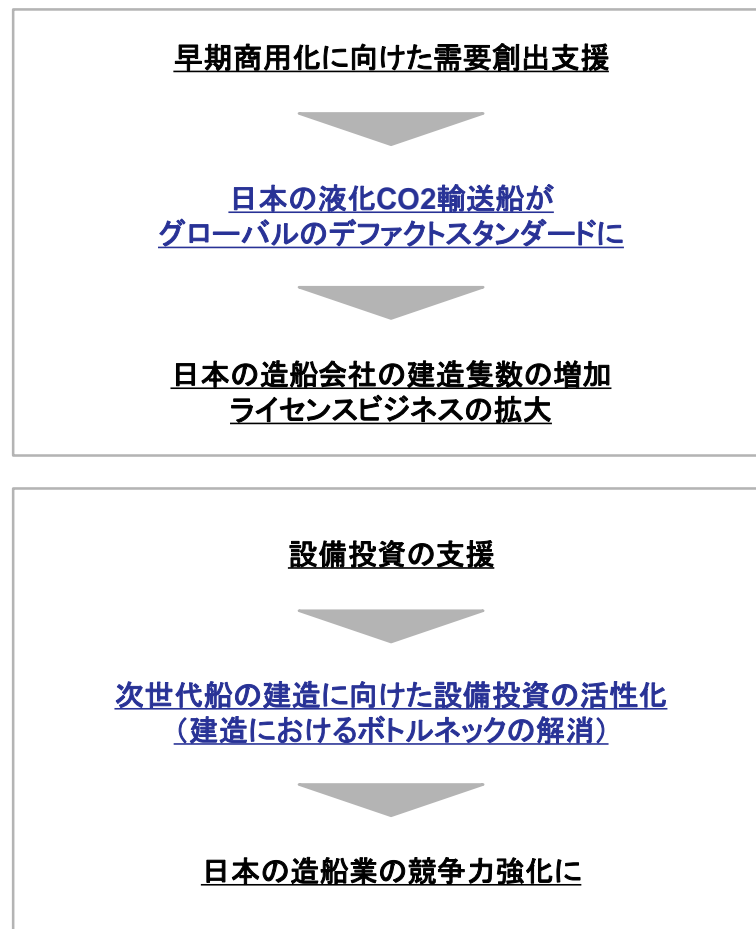
- 国内における液化CO2輸送船の関連プレーヤーは揃いつつある一方、検討課題も明確になる中、液化CO2輸送船ビジネスおよび造船業全体の競争力強化に向けた政府支援が必要な状況

液化CO2輸送船における論点



(出所)みずほ銀行産業調査部作成

政府支援のポイントおよび今後期待される展開



(出所)みずほ銀行産業調査部作成

【CO2貯留】日本は自国のCCS開発と並行して、海外CCS開発案件を推進

- 将来の安定的なCO2貯留量拡大を企図する上では、日本と近いアジア・太平洋地域での環境整備、協力が重要
 - CO2海外輸送には法制度等の整備が必要なため、現段階から日本とアジアのCCS制度の調和を行うことが有効

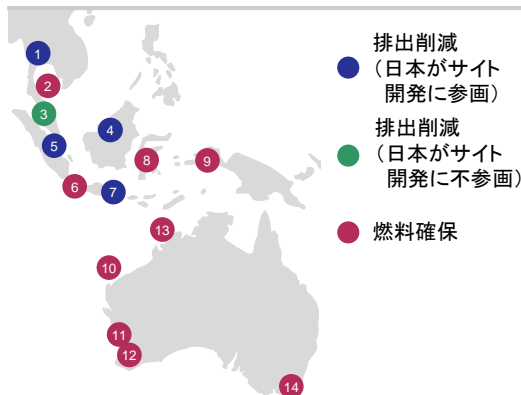
アジアCCUSネットワークのKey Milestones

2020 ～ 2025	CCUSネットワークを構築し、CCUS発展の場を提供 - 人材育成、情報共有、プロジェクト推進、発掘 - 地域内ポテンシャルの確認、ロードマップ作成
2025 ～ 2030	プロジェクト開発と事業環境整備 - 排出源と貯留地の最適なマッチング - 共通のルール作りでASEAN地域内でのCCUS運用環境を整備 - 新規技術とニーズの組み合わせによるPJ形成
2030 以降	CCUSを中心とした脱炭素アジア経済圏へ - インド太平洋圏への展開 - CO2削減目標への貢献 - ASEANにおけるCCUSプロジェクトの商用化 - 産業、研究開発活性化 - アジアハブ&クラスター構想

日本国内で発生したCO2を海外に輸送・貯留するための制度整備の必要性(審議会資料抜粋)

- 2009年のロンドン議定書改正により、CO2輸出国と受入国(関係国間)の合意等があれば、海底貯留のためのCO2の海外輸出が可能に。ただし、現時点において、議定書締約国の2/3以上が改正を受諾しておらず、発効要件を満たさないため、未発効の状態。
- 2019年に北海地域での国を跨るPJを構想するノルウェーから、暫定的適用に関する手続が新規提案され決議。当該手続を経て、関係国間での暫定的適用に関する宣言をIMO事務局に寄託することでCO2の輸出入が可能に。
 - CO2受入国が議定書締約国(例:豪州):CO2受入国で議定書に沿った海域CCSの許可制度が整備されていることを条件に、関係国間で合意。
 - CO2受入国が議定書非締約国(例:インドネシア):CO2受入国で議定書に沿った海域CCSの許可制度が整備されていること、またはCO2輸出国における海域CCSの許可制度をCO2受入国が準用することに同意することを条件に、関係国間で合意。
- 東南アジアのほとんどの国が議定書非締約国(締約国はフィリピンのみ)のため、日本からのCO2輸送・貯留を行うためには、CO2受入国である他国での制度整備か、日本における制度整備と受入国での当該制度の準用が必要。

日本企業が関与する主要なアジアCCS案件



①	タイ	タイ国内対象のCCS事業FS
②	タイ沖合	アーチットガス田でのCCS検討
③	マレーシア	CCUS向け液化CO2海上輸送FS
④	マレーシアサラワク州	ピンツルLNG基地CCS共同検討
⑤	インドネシアスマトラ島	CCUSバリューチェーン構築FS
⑥	インドネシア西ジャワ州	CO2EOR/CCS実証
⑦	インドネシア中央ジャワ州	グンディガス田CCS/EGR検討
⑧	インドネシア中央スラウェシ州	Clean Ammonia用CCS共同調査
⑨	インドネシア西パプア州	タングーガス田CCS+EGR検討

⑩	豪州北西大陸棚	北西沖CCS事業化調査の政府許可取得
⑪	西豪州	Clean Ammonia生産を見据えたCCS共同調査
⑫	西豪州	Blue Ammoniaサプライチェーン事業化調査
⑬	豪州ノーザンテリトリー州	ボナパルトCCS
⑭	豪州ビクトリア州	Carbon NetによるCCS事業化検討

(出所)資源エネルギー庁(2023c、2022b、2022c)等より、みずほ銀行産業調査部作成

【注目点】脱炭素化ソリューションとしてのCO2貯留キャパシティ開発の重要性

- 海外企業は、将来の脱炭素化ソリューション展開を見据えた積極姿勢を示しており、グローバルでプロジェクトを展開している状況。日本企業も、CCS適地という資源を先行的に獲得・開発する動きの更なる活発化が期待される
 - ShellはCCS事業について、短期的な自社オペレーション低炭素化への活用から、中長期的な低炭素化プロダクト提供や脱炭素化ソリューションとしての展開までの将来展望を提示

ShellのCCS事業の展開

	プロジェクト名	排出源	国/地域	役割	シェア	総容量 (mtpa)	オペレーター	Shellの取り組み方向性
稼働	Quest	Bitumen 改質	加/アルバータ	Technical developer, Operator, JV partner	10%	1	Yes	<p>自社のオペレーションにおける低炭素化 (2030年 Scope 1,2 Net Emission 2016年比▲50%)</p> <p>自社提供プロダクトの低炭素化 (Low-Carbon Gas, Low-Carbon Hydrogen)</p> <p>脱炭素化ソリューションとしての提供、DACCS/BECCSへの拡張</p>
	Gorgon	天然ガス	豪州	JV partner	25%	Up to 4	No	
建設中	Technology Centre Mongstad test & research facility	ガス火力発電、石油精製・化学	ノルウェー	JV partner	8.7%	Test site	No	
	Northern Lights (Phase 1)	産業由来	ノルウェー	JV partner	33.3%	1.5	No	
FID前	Acorn (Initial)	産業由来	英/スコットランド*	Technical developer, JV partner	30%	Approx. 6	No	
	Aramis (Initial)	産業由来	オランダ*	JV partner	25%	5	No – transport Yes – storage	
	Polaris	石油精製・化学	加/アルバータ	Operator	TBC	0.75	Yes	
	Atlas	石油精製・化学、産業	カナダ	Operator	TBC	10	Yes	
	South Wales Industrial Cluster	産業由来	英/ウェールズ*	Operator, JV partner	TBC	1.5	Yes	
	Pernis CO2 capture (for transport & storage by the third-party Porthos project)	石油精製・化学	オランダ*	CO2 capture	100%	1.15	Yes – capture No – T&S	
	Pernis SPeCCS CO2 capture expansion	石油精製・化学	オランダ*	CO2 capture	100%	0.5	TBC	
	Asia-Pacific CCS hub	石油精製・化学、産業	アジア太平洋	-	TBC	-	-	
	US Gulf Coast (Phase 1)	石油精製・化学	米国	Operator	100%	2	Yes	
	Liberty (Phase 1)	化学品製造	米国	TBC	100%	1.7	TBC	
Daya Bay	石油精製・化学	中国	JV partner	TBC	10	TBC		
Northern Carnarvon (Angel)			豪州	JV partner	20%	5	TBC	

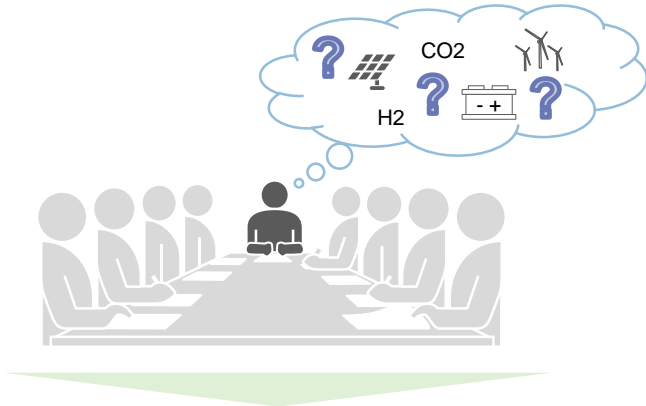
(出所) Shell Energy Transition Strategy資料等より、みずほ銀行産業調査部作成

【補論】ShellのClean-Power-as-a-Service構想

- Shellは、エネルギー需要家が脱炭素化のために様々な商品・サービスを組み合わせた複雑な選択を迫られている点に注目し、Shellが脱炭素化ソリューションをパッケージ化した”Clean-Power-as-a-Service”を展開する構想を提示
 - CCSも含む脱炭素化ソリューションを繋ぎ合わせたプラットフォーム型の事業戦略と拝察

ShellのClean-Power-as-a-Service 構想

エネルギー需要家は、自社の脱炭素化のために様々な商品・サービスを組み合わせ、複雑な選択を行う必要

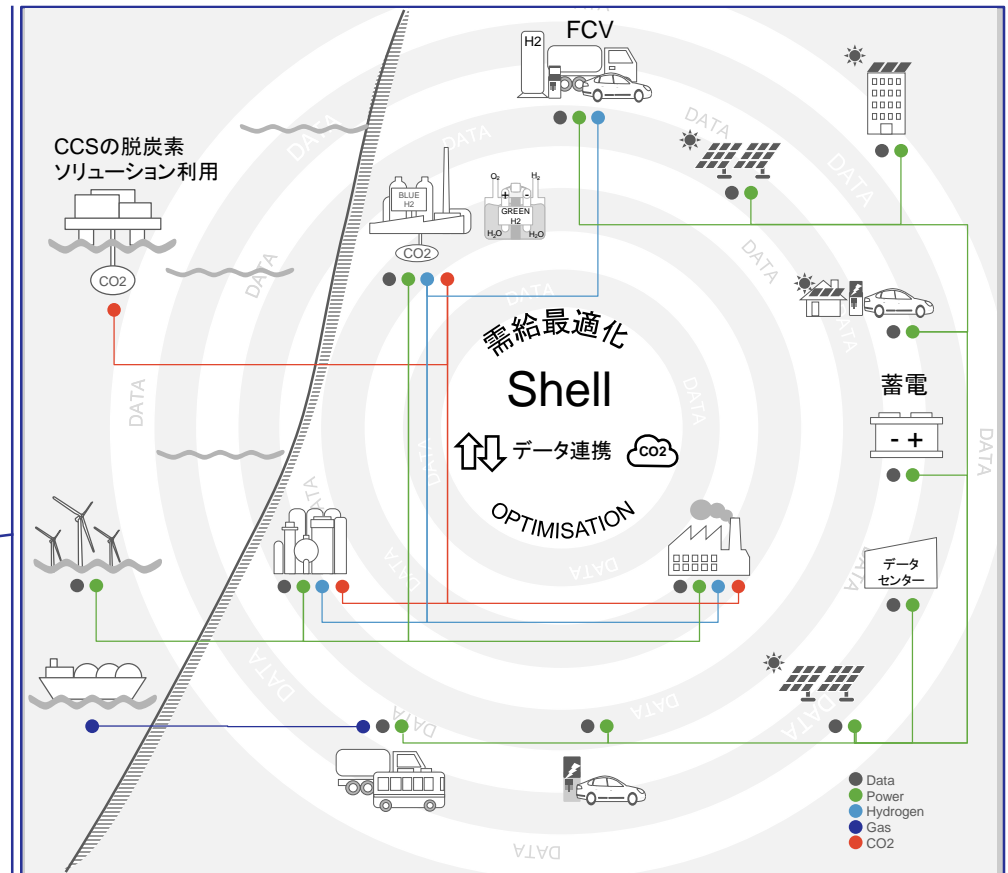


Shellは、自社の持つ脱炭素化ソリューションをパッケージ化し、**Clean-Power-as-a-Service**を展開する構想を提示



(出所) Shell Energy Transition Strategy資料等より、みずほ銀行産業調査部作成

【Clean-Power-as-a-Service 構想イメージ図(Shell)】



【補論】Decarbonization as a Serviceのバリューチェーンとマネタイズポイント

- 企業が脱炭素化への道筋を描くにあたっては、様々なサービスに対するニーズが発生
- ソリューション毎の企業間競争を優位に進めるための方策として、顧客の脱炭素化の検討プロセスに入り込み、代替困難な役割を確立する戦略が選択肢に
 - 脱炭素化に向けた包括的サービス提供者＝Decarbonization as a Serviceプレイヤーが競争力を持つ可能性
 - バリューチェーン上の複数のマネタイズポイントを繋ぐことで、顧客からの収益機会の面的拡大を企図

【弊行仮説】Decarbonization as a Service ビジネスのバリューチェーン分析とマネタイズポイント

脱炭素化検討における顧客ニーズ	Decarbonization as a Service ビジネスのバリューチェーンとマネタイズポイント	
GHG排出量の計測・見える化	1	GHG排出量の計測・見える化支援 顧客の排出量計測・見える化ノウハウ・インフラ提供
GHG排出量の直接削減	2	GHG排出量の直接削減支援 削減実行計画策定支援、再エネ調達支援で顧客のGHG排出量の直接削減をサポート
クレジット等(外部から移転した排出削減価値)の活用による残余排出量への対応	3	クレジット等の創出 クレジット等排出削減価値の創出事業への関与
	4	クレジット等の認証 創出されたクレジット等排出削減価値の認証取得
	5	クレジット等の取引管理 クレジット取引所等のインフラへの関与
	6	クレジット等の提供 クレジット等を最終需要家に提供

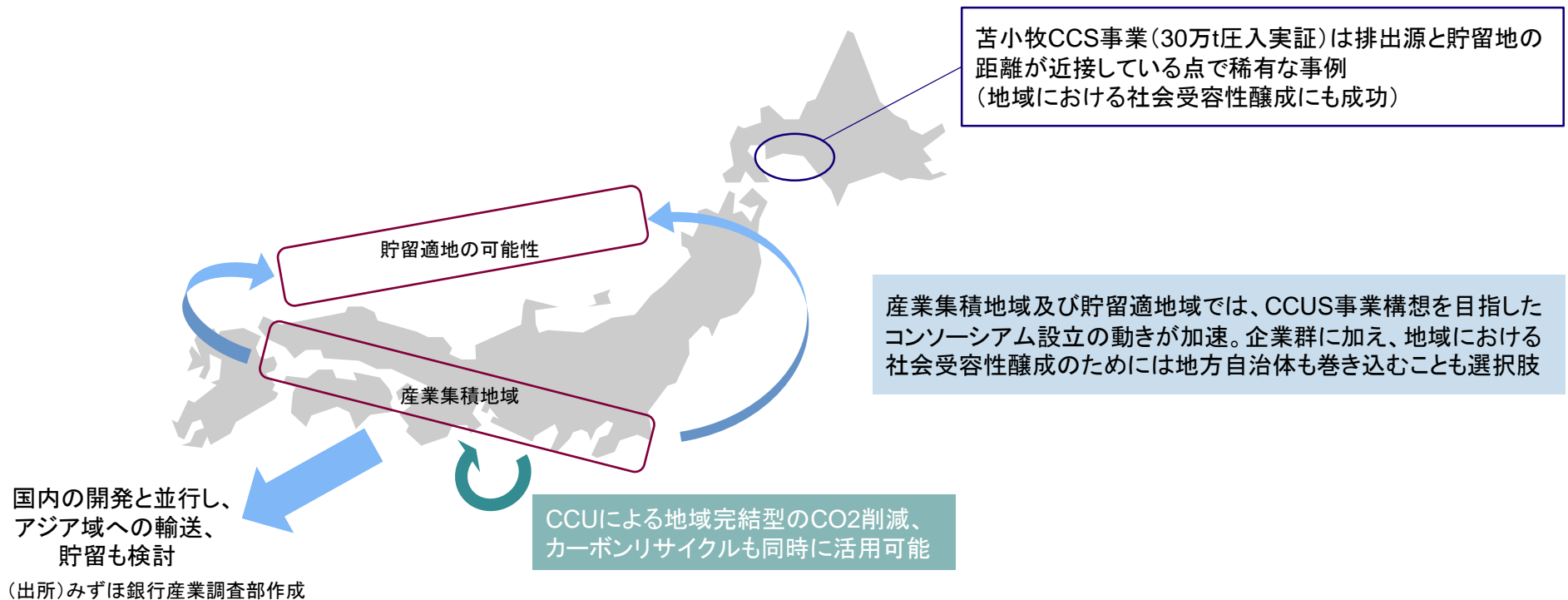
(出所)みずほ銀行産業調査部作成

4. 日本のCCS事業の将来像

【弊行仮説】日本の中期的CCS事業構想：地域に根差したハブ&クラスター型CCS

- 効率的なCO2回収の観点からは、排出源が集中する地域でクラスターを形成し、貯留ポテンシャルを持つCCS適地までのCCSバリューチェーンを整備するハブ&クラスター型CCS事業を目指す動きが各地域で進展する見通し
 - ハブ&クラスター型CCS事業構想を打ち出すため、CO2排出量が多い設備を持つ企業、CO2分離・回収関連企業、CO2輸送・貯留関連企業、地方自治体等が加わったコンソーシアムの設立、プロジェクト検討が進む
- ハブ&クラスター型構想においては、特に多排出セクターとの協働が重要であり、①単独大規模CO2排出施設、②コンビナート等の産業クラスター、が立地する地域での検討が活発化

【弊行仮説】日本の中期的CCS事業構想：地域に根差したハブ&クラスター型CCS



【弊行仮説】CCS事業の資金流から見たエコシステム

- CCSバリューチェーンが円滑に機能するためには、特性上支出が集中する排出源企業が事業を継続しながら、CCSを有効に活用できるビジネスモデルの構築と政府支援の拡充が必要

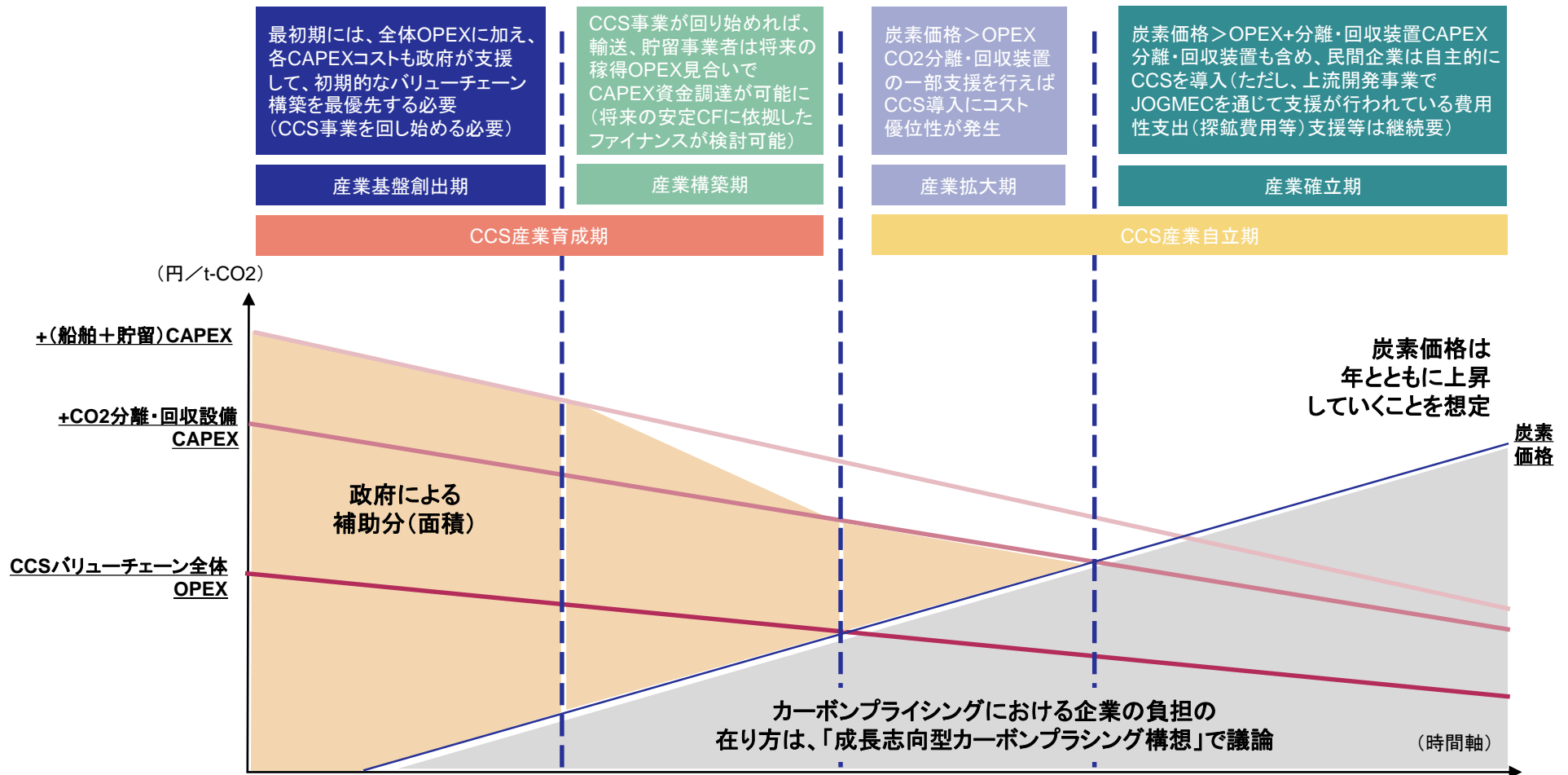
主体	支出特性	CCSバリューチェーン					政府の役割	備考
		CO2分離・回収		CO2輸送		CO2貯留		
排出源企業 (エミッター)	CAPEX	—	CO2分離・回収設備建設費用 CAPEX支払					機能面からは排出源企業に支払いが集中するため (分離・回収設備CAPEX+バリューチェーン全体OPEX) CCSのバリューチェーンが機能するためには政策的支援が必要
	OPEX	—	CO2分離・回収設備運営費用 (エネルギーコスト等) OPEX支払	—	CO2液化輸送船 利用料 OPEX支払	—	CO2貯留施設 利用料 OPEX支払	
CO2輸送企業	CAPEX			—	CO2液化輸送船 建設費用 CAPEX支払			各主体の機能発揮のために必要な支援 (資金流への関与や信用の補完)
	OPEX			+	CO2液化輸送船 利用料 OPEX受取			
CO2貯留企業	CAPEX					—	CO2貯留施設 建設費用 CAPEX支払	日本のCCS事業立ち上げの社会的意義に沿った負担費用再配分、補助等
	OPEX					+	CO2貯留施設 利用料 OPEX受取	
その他企業 (段階毎に違う主体)	CAPEX	+	<u>エンジニアリング企業</u> 分離・回収設備 建設費用 CAPEX受取	+	<u>船舶建造企業</u> CO2液化輸送船 建設費用 CAPEX受取	+	<u>エンジニアリング企業</u> 分離・回収設備 建設費用 CAPEX受取	主体毎の機能の統合等による 日本版CCSビジネスモデルの最適化
	OPEX	+	<u>エネルギー企業等</u> 分離・回収設備 運営費用 OPEX受取					

(出所)みずほ銀行産業調査部作成

【弊行仮説】時間軸を踏まえた日本のCCS事業の発展ステップ

- CCS事業においては、技術革新等によるCCS関連コストの逡減や社会全体の炭素価格の変化に沿って、政府補助の形態を変化させる必要

【弊行仮説】時間軸を踏まえた日本のCCS事業の発展ステップ



(出所)みずほ銀行産業調査部作成

【弊行仮説】参考：時間軸を踏まえた日本のCCS事業の発展ステップ

		産業基盤創出期	産業構築期	産業拡大期	産業確立期
		CCS産業育成期		CCS産業自立期	
環境想定		CCS産業の立ち上げ時期。バリューチェーンの各設備含め整備が必要な状況。政府は全体OPEXに加え、各段階のCAPEXコストも支援して、初期的なバリューチェーン構築を行う必要	政府支援を基にした先行的事業の運営開始。CO2輸送、貯留関連事業においては、徐々に将来の稼得OPEX見合いでCAPEX資金調達が可能(安定CFに依拠した金融が検討可能)な状況に移行	CO2輸送、CO2貯留関連事業運営に対するCAPEX支援は徐々に縮小。CO2分離・回収設備への一部政策支援を行えば、炭素価格対比CCSを利用することにコスト優位性が発生	炭素価格対比、CO2分離・回収設備を導入し、CCSを利用することにコスト優位性が発生(ただし、上流開発でJOGMECを通じた支援が行われているような費用性支出(探鉱費用等)支援、保証支援等は要継続)
前段階からの移行トリガー		—	輸送・貯留関連事業の将来CFの予見性、安定性向上など、ビジネス環境の整備	炭素価格 > OPEX	炭素価格 > OPEX+CAPEX(分離・回収)
政府からの補助対象の想定		OPEX(バリューチェーン(VC)全体)+CAPEX(VC全体)	OPEX(VC全体)+CAPEX(分離・回収)輸送・貯留CAPEX支援縮小	CAPEX(分離・回収)	なし(ただし、上流開発における費用性支出支援等は継続)
各関連企業の支援等收受の想定	排出源企業(エミッター)	OPEX(VC全体)+CAPEX(分離・回収)分の支援を直接または間接的に收受	OPEX(VC全体)+CAPEX(分離・回収)分の支援を直接または間接的に收受	CAPEX(分離・回収)分の支援を收受	なし(炭素価格との比較により、CCSを利用することがコスト優位に)
	CO2輸送企業	CAPEX(輸送)分の支援を收受、OPEX(輸送)分を利用企業より收受	CAPEX(輸送)分の政府支援縮小 OPEX(輸送)分を利用企業より收受	OPEX(輸送)分を利用企業より收受	OPEX(輸送)分を利用企業より收受
	CO2貯留企業	CAPEX(貯留)分の支援を收受、OPEX(貯留)分を利用企業より收受	CAPEX(貯留)分の政府支援縮小 OPEX(貯留)分を利用企業より收受	OPEX(貯留)分を利用企業より收受	OPEX(貯留)分を利用企業より收受

(出所)みずほ銀行産業調査部作成

【弊行仮説】日本のCCS産業の「避けるべき未来像」と「ありたき未来像」

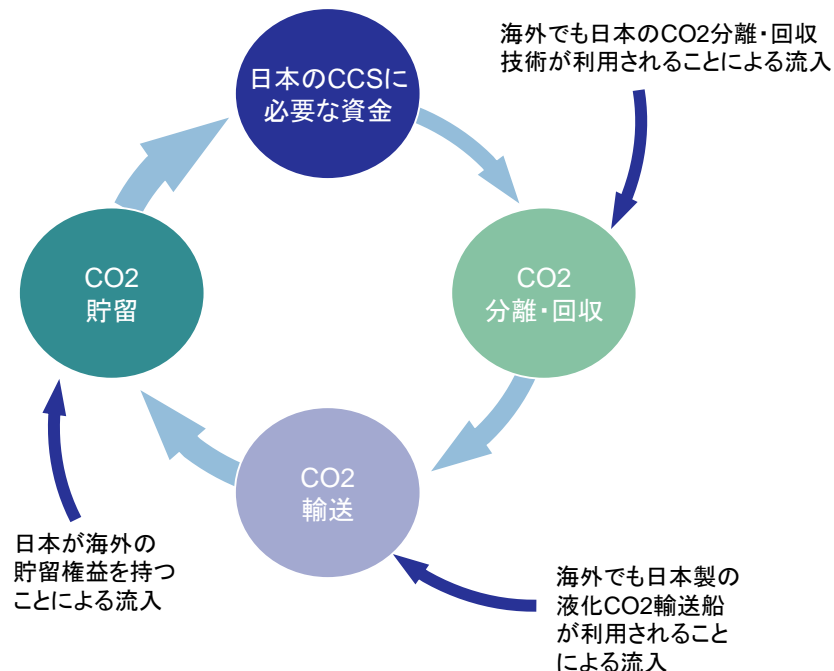
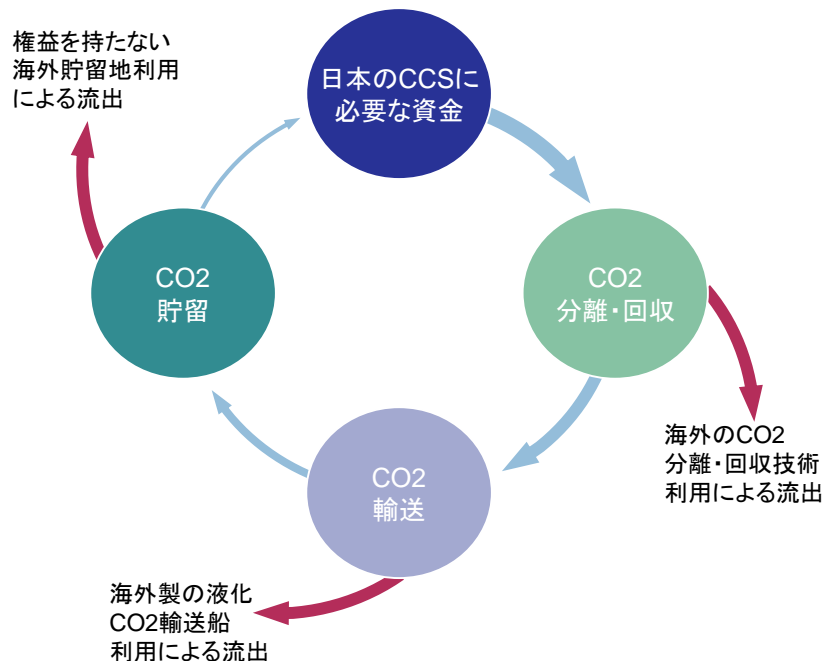
- 日本においてCCSの相応の継続利用が発生することを前提とすれば、国富の循環を目指した産業育成が必要

【2050年 日本のCCS産業の避けるべき未来像】

- 日本の産業・製造業維持、エネルギーセキュリティ確保のため、日本では相応のCCSの継続的利用が不可欠に
- しかし、国内でCCSIに関する技術、ビジネスのリーディングプレイヤーの育成ができず、分離・回収技術、液化CO2輸送船は海外企業のものを利用。また、貯留コストの観点からアジア太平洋域諸国でのCO2貯留も活用するものの、権益を持たず継続的に貯留委託費用を支払う状況
- CCSバリューチェーンを運営するためには莫大な資金が必要となるが、分離・回収、輸送、貯留の各段階で海外への資金流出が発生し、国富は十分には循環せず

【2050年 日本のCCS産業のありたき未来像】

- 日本は国内の産業・製造業維持、エネルギーセキュリティ確保のため、日本に有益な形でCCS産業を育成・構築
- 国内需要の強さと政策的支援により、国内CCSリーディングプレイヤーの育成に成功。日本国内のCCSプロジェクトは、日本企業がそれぞれ強みを発揮して受注を獲得。また、分離・回収技術、液化CO2輸送船は海外にも展開。さらに、海外の貯留権益も日本企業が一部確保することで、貯留時の資金流出に対応（日本以外の国のCO2を貯留する際には資金の流入が発生）
- CCSバリューチェーンを運営する資金とCCS関連事業の海外展開による資金流入分が日本の中で循環し、産業の更なる発展に繋がる

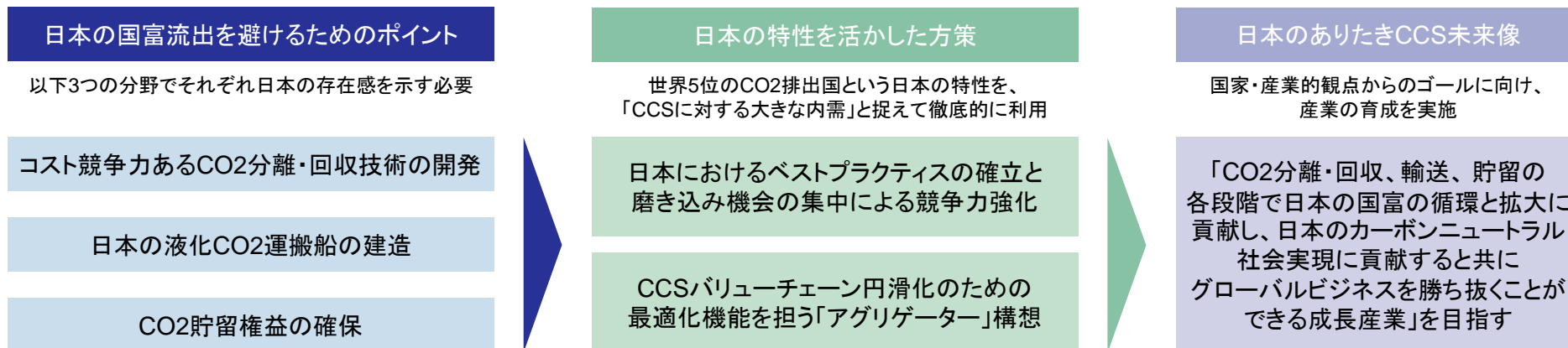


(出所)みずほ銀行産業調査部作成

【弊行仮説】日本の国富流出を避け、CCS産業による国富循環を実現する方策

- 「日本の避けるべきCCS未来像」で示した国富流出を回避するには、CO2分離・回収技術、液化CO2輸送船、CO2貯留権益のそれぞれの分野で日本の存在感を示す必要
- そのためには日本の世界第5位のCO2排出量を集中的に活用し、立ち上げ期にあるCCS産業を育成することが重要
 - CCS産業の育成が不十分な状態で小規模事業同士の競争に移行してしまうと、日本の特性である大規模排出量を有効に使えず、海外企業との競争が困難になる懸念(=小規模、個別プロジェクト単位では魅力的な技術があるものの、グローバル大規模ビジネスの競争に入れず、デファクトスタンダードを取られてしまう状態に陥る懸念)
- 自国排出量を集中的に活用し、①日本におけるベストプラクティスの確立と磨き込み機会の集中による競争力強化を行うとともに、②CCSバリューチェーン円滑化のための最適化機能を担う「アグリゲーター」を立ち上げることで、「CO2分離・回収、輸送、貯留の各段階で日本の国富循環と拡大に貢献し、日本のカーボンニュートラル社会実現に貢献すると共にグローバルビジネスを勝ち抜くことができる成長産業」を目指すことが国家・産業的観点から肝要と思料

【弊行仮説】日本の国富流出を避け、CCS産業による国富循環を実現する方策

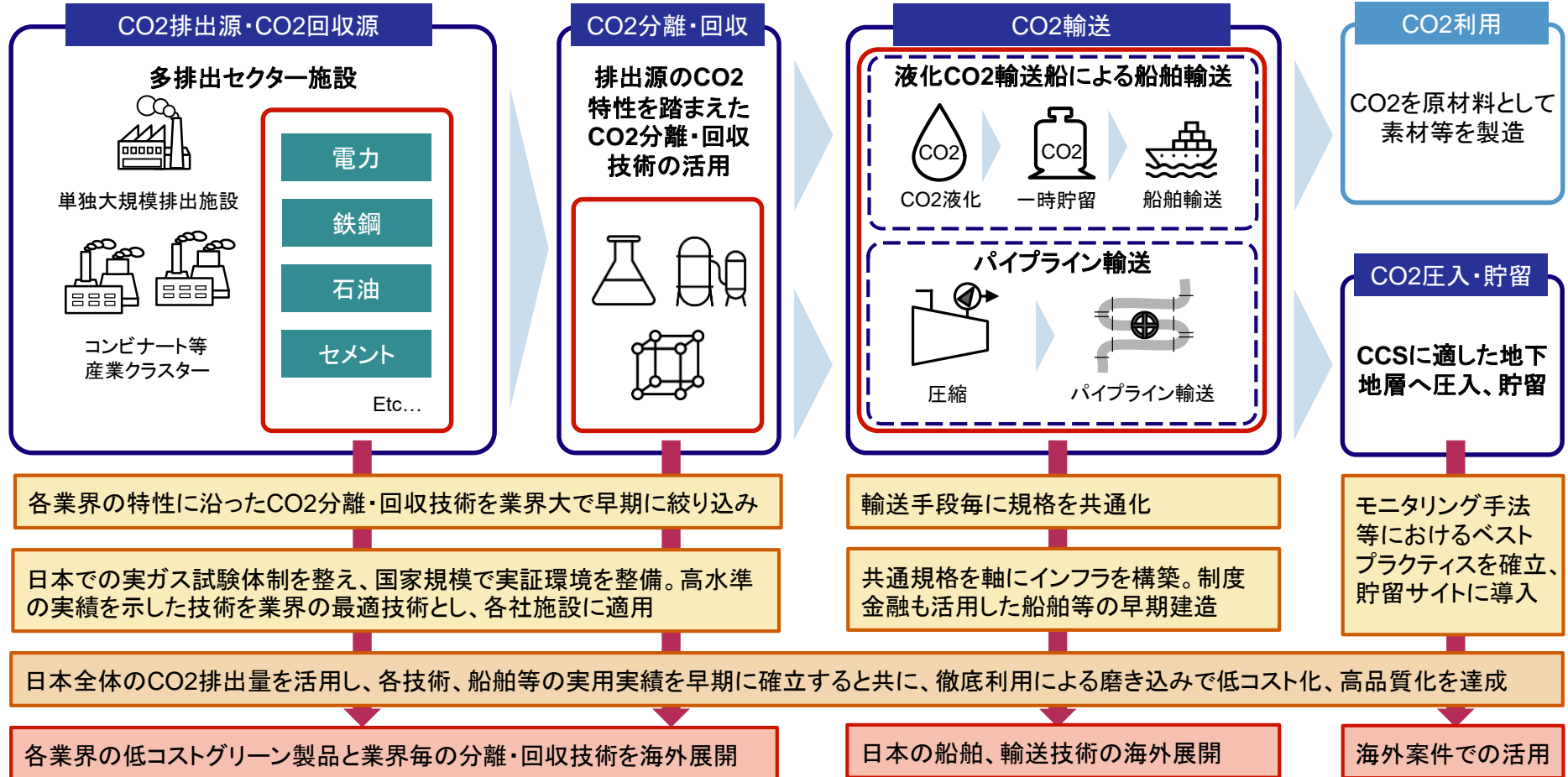


(出所)みずほ銀行産業調査部作成

日本におけるベストプラクティスの確立と磨き込み機会の集中による競争力強化

- 日本全体での排出量を最大限有効利用するためには、日本のトップランナーによるベストプラクティスを基に、国内の共通規格化を図り、当該規格を国内で徹底的に実用利用することで低コスト化、高品質化の磨き込みをかける必要

【弊行仮説】日本におけるベストプラクティスの確立と磨き込み機会の集中による競争力強化

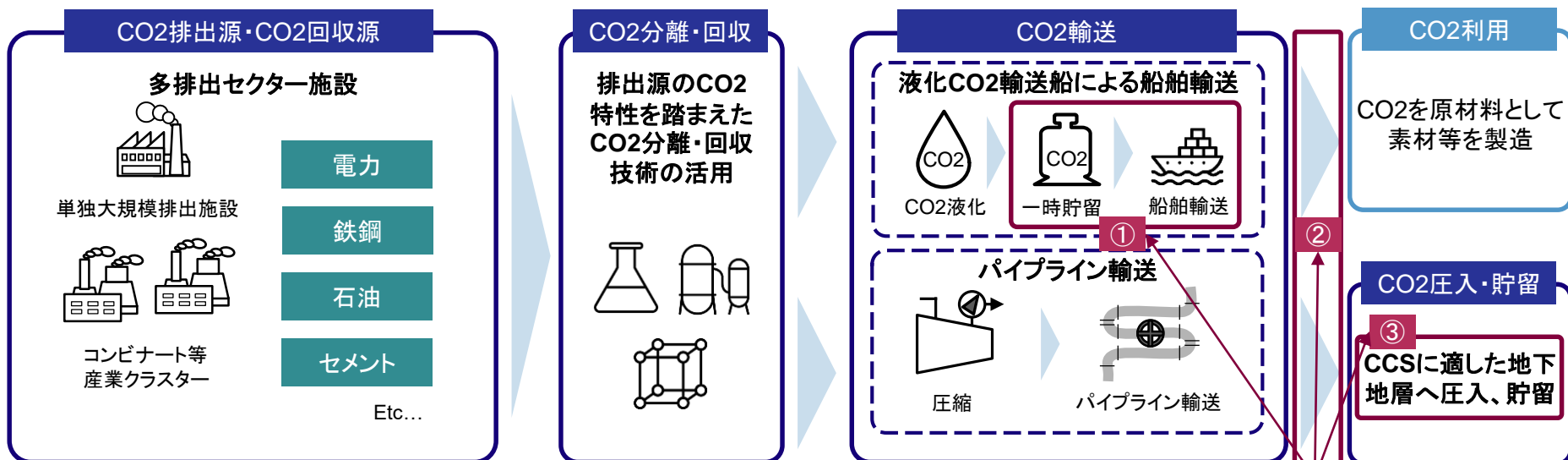


(出所)みずほ銀行産業調査部作成

CCSバリューチェーン円滑化のための最適化機能を担う「アグリゲーター」構想

- CCSバリューチェーンには、複数のフリクションポイントが発生すると考えられ、摩擦を極小化する最適化機能を発揮する「アグリゲーター」が確立すれば、日本のCCS利用最適化と海外CCS市場獲得の武器になる可能性
 - ただし、「非効率極小化による社会コスト圧縮」を目指す主体の確立には、官民一体となった検討が必要に

【弊行仮説】CCSバリューチェーン円滑化のために求められる最適化機能と「アグリゲーター」像



フリクションが発生するポイント	求められる最適化機能	求められる「アグリゲーター」像
① 大型船舶輸送では、CO2排出源からのCO2の一時滞留設備が必要。貯留から船舶輸送までの運用に摩擦的な非効率が発生する可能性	貯留施設を用い、貯留容量と配船輸送計画を適切にコントロールする「時間」の最適化機能	<ul style="list-style-type: none"> • 幅広いCO2流通に関与し、商品取引でトレーダーが行う最適化をCCS領域で行う主体 • CCSの性質上、主体の目的は「裁定取引による利益」よりも、「非効率極小化による社会コスト圧縮」という公的性質を帯びる
② CO2貯留(CCS)、利用(CCU)の双方の実用化、規模拡大が進んだ場合、CO2配分次第で稼働の非効率が発生する可能性	CCSとCCUの間の需給の不均衡を発見し、平準化を行う「時間」と「空間」の最適化機能	
③ CO2輸送量増大及び輸送ルート多様化が進んだ場合、CO2排出源からCO2貯留地までの固定的な輸送運用は非効率が発生する可能性	多数の輸送運用に関与し、カーゴスワップ等によって輸送費用極小化を可能とする「空間」の最適化機能	

(出所)Trafigura(2019)等より、みずほ銀行産業調査部作成

参考文献(1/2)

- Environment and Climate Change Canada(2022), “2030 EMISSIONS REDUCTION PLAN”
- Global CCS Institute(2022), “Global Status of CCS 2022”
- IEA(2020), “Energy Technology Perspective 2020 Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage”
- IEA(2021), “Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector”
- IEA(2022a), “CO2 Storage Resources and their Development - An IEA CCUS Handbook”
- IEA(2022b), “World Energy Outlook 2022”
- IEA(2023a), “Net Zero Roadmap”
- IEA(2023b), “Energy Technology Perspectives 2023”
- Institute of Environmental Management & Assessment(2020), “Pathways to Net Zero”
- IPCC(2005), “IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage”
- JETRO(2023), 「オーストラリアにおける水素産業と脱炭素化関連分野の動向に関する調査」
- JOGMEC(2021)、石油天然ガスレビュー2021年11月号「カナダにおけるCO2排出規制と政策動向 2050年カーボンニュートラル実現へ向けた取り組み」
- JOGMEC(2023a)、「エネルギートランジションをけん引する欧州 ―世界が脱炭素に向かう中今後その存在感を保てるか―」
- JOGMEC(2023b)、「Handbook for CCS Carbon Credits”
- NTT(2022)、「CO2分離回収技術とは？競争力強化をめざすグリーンイノベーション基金事業プロジェクト始動」
- OGCI(2022), “CO2 Storage Resource Catalogue”
- Rhodium Group(2022), “A Turning Point for US Climate Progress: Assessing the Climate and Clean Energy Provisions in the Inflation Reduction Act, August 2022”
- RITE(2015)、「CO2分離・回収技術(固体吸収材、分離膜)の開発動向」、次世代火力発電の早期実現に向けた協議会(第二回会合)」
- RITE(2022)、「CCS普及に向けた規制とインセンティブの海外事例」、第3回 CCS長期ロードマップ検討会資料
- Trafigura(2019), “Commodities Demystified”
- UK Government Department for Energy Security and Net Zero(2023), “Carbon capture, usage and storage net zero investment roadmap”
- U.S. Department of Energy(2023), “Pathways to Commercial Liftoff: Carbon Management”
- 経済産業省(2021)、「カーボンリサイクル技術ロードマップ」
- 資源エネルギー庁(2023a)、「カーボンリサイクル政策について」、第一回カーボンマネジメント小委員会資料

参考文献(2/2)

- 資源エネルギー庁(2023b)、「CCS政策について」、第一回カーボンマネジメント小委員会資料
- 資源エネルギー庁(2023c)、「CCS長期ロードマップ検討会最終とりまとめ」
- 資源エネルギー庁(2022a)、「グリーンイノベーション基金事業「CO2分離回収等技術開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画」
- 資源エネルギー庁(2022b)、「海外CCSの推進について」、第4回 CCS事業コスト・実施スキーム検討ワーキンググループ資料
- 資源エネルギー庁(2022c)、「CCS長期ロードマップ検討会中間とりまとめ 参考資料」
- 資源エネルギー庁(2022d)、「「トランジション・ファイナンス」に関する電力分野におけるロードマップ」
- 資源エネルギー庁(2022e)、「「トランジション・ファイナンス」に関する石油分野におけるロードマップ」
- 資源エネルギー庁(2022f)、「「トランジション・ファイナンス」に関するセメント分野におけるロードマップ」
- 資源エネルギー庁(2021)、「CO2分離回収等技術開発」プロジェクトの研究開発・社会実装の方向性」
- 石油連盟(2022)、「カーボンニュートラル(CN)燃料の導入・普及に向けて(提言)」
- セメント協会(2022)、「セメント産業における2050年カーボンニュートラルへの対応に向けたCCUSの活用方針について」、第2回CCS長期ロードマップ検討会資料
- 電気事業連合会(2022)、「CCS導入に向けた電力業界の取組状況について」、第2回CCS長期ロードマップ検討会資料
- 日本鉄鋼連盟(2022)、「日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョン『ゼロカーボン・スチールへの挑戦』」、第2回CCS長期ロードマップ検討会資料
- みずほ銀行(2021)、「みずほ産業調査 Vol. 67「カーボンニュートラルのインパクト～脱炭素社会に向けたトランジションの中で日本企業が勝ち残るために～」
- みずほ情報総研・産業技術総合研究所・千代田化工建設(2014)、「平成25年度 シャトルシップによるCCSを活用した二国間クレジット制度実現可能性調査委託業務報告書」
- みずほフィナンシャルグループ(2023)、「Mizuho research & Analysis No.29、「カーボンプライシングとカーボンクレジットを巡る国内外の動向～加速する脱炭素の潮流を見据えた企業経営を考える～」

© 2023 株式会社みずほ銀行

本資料は情報提供のみを目的として作成されたものであり、特定の取引の勧誘・取次ぎ等を強制するものではありません。また、本資料はみずほフィナンシャルグループ各社との取引を前提とするものではありません。

本資料は、当行が信頼に足り且つ正確であると判断した情報に基づき作成されておりますが、当行はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しては、貴社ご自身の判断にてなされますよう、また必要な場合は、弁護士、会計士、税理士等にご相談のうえお取扱い下さいますようお願い申し上げます。

本資料の著作権は当行に属し、本資料の一部または全部を、①複写、写真複写、あるいはその他の如何なる手段において複製すること、②当行の書面による許可なくして再配布することを禁じます。