

# 令和5年度燃料安定供給対策調査等事業 (CCSバリューチェーン構築の検討に係る調査等事業)

最終報告書

**MRI** 三菱総合研究所

2024年3月28日

ビジネスコンサルティング本部

# 目次

● 1.本事業の背景と目的	3
● 2.実施フロー	5
● 3.実施結果	7
3-1.CCSバリューチェーンを構成する各種設備の特定及び優位性に関する調査・分析	8
➢ 3-1-1.バリューチェーンの概要	8
➢ 3-1-2.設備概要と優位性の評価	17
➢ 3-1-3.国内事業者が強みを持つ設備の優位性および課題の整理	50
➢ 3-1-4.国内外の主なプレイヤーの整理	62
➢ 3-1-5.マップを用いた整理	79
3-2.優位性を保有する各種設備の市場調査	85
➢ 3-2-1.CCSの市場概要	85
➢ 3-2-2.各種設備の市場規模評価	91
3-3.優位性を保有する各種設備の産業成長性評価	104
➢ 3-3-1.各種設備の産業成長性評価	104
➢ 3-3-2.各種設備の産業成長戦略策定のための論点の整理	104
● 4.総括	127
● 別添資料(特定産業分野におけるCCSコスト等に関する調査)	

# 1.本事業の背景と目的

---

## 背景と目的

### 背景

- 本年2月に、エネルギー安定供給の確保が世界的に大きな課題となる中、脱炭素、エネルギー安定供給、経済成長の3つを同時に実現するべく、「GX実現に向けた基本方針」が閣議決定された。2050年CN目標達成に向けた脱炭素化の取組を進めつつ、GXの実現に向け、経済成長に向けた投資支援を進めることが重要であり、「CCS」の本格的な事業化に当たってもこれらの両立が求められる。
- 特に、CCSにおいては、CCSの実施に向けた初期投資が多額であり、かつ、CO2排出事業者にはCCSに要するコストを回収可能な仕組みがないことから、国による投資支援が不可欠であり、CCSのバリューチェーン全体として投資額に対する産業成長戦略を構築する視点が必要である。



### 目的

- 本事業は、資源エネルギー庁資源・燃料部燃料環境適合利用推進課が実施するCCSバリューチェーンを構成する各要素技術について産業成長戦略を構築していくために必要な調査を実施する。

## 2.実施フロー

---

# 実施フロー

- 本事業は以下のフローで実施した。

仕様書項目	主な実施事項	実施結果
(1)CCSバリューチェーンを構成する要素技術の調査、分析及び特定	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ CCSをバリューチェーンを「分離・回収」、「輸送」、「貯留」、「モニタリング」の4つのセグメントで区切り、各セグメントを構成する要素技術を設備単位(素材、部品、機器、設備など)で調査・整理した</li> <li>➢ 構成設備のうち国内事業者が優位性を有する領域を、各種文献調査およびヒアリングによって特定し、その優位性(技術的優位性やその他の優位性、解決すべき課題)と当該設備の特徴(国内外の事業者等)について調査・分析した</li> <li>➢ 上記の調査で得られた調査結果をマップ形式で取りまとめた</li> </ul>	<p>CCSバリューチェーンを構成する各種設備の調査・特定及び優位性に関する調査・分析</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ バリューチェーンの概要</li> <li>➢ 設備概要と優位性の評価</li> <li>➢ 国内事業者が強みを持つ設備の優位性および課題の整理</li> <li>➢ 国内外の主なプレイヤーの整理</li> <li>➢ マップを用いた整理</li> </ul>
(2)CCSバリューチェーンを構成する要素技術における優位性に関する調査及び分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ CCS市場全体の概況を調査・整理した</li> <li>➢ 国内事業者が優位性を発揮しうる構成設備に対し、2023年(現在)、2030年、2040年及び2050年の各断面において、CCSに限定した市場規模および、CCSを含む当該要素技術を使用する産業全体の市場規模を整理した</li> </ul>	<p>優位性を保有する各種設備の市場調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ CCS全体の市場概要</li> <li>➢ 各種設備の市場規模評価</li> </ul>
(3)CCSバリューチェーンを構成する要素技術における世界市場規模の調査及び分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 国内事業者が優位性を発揮しうる構成設備において、(1)～(3)の調査結果を踏まえ、2030年、2040年及び2050年の各断面の産業成長性を評価した</li> <li>➢ 上記評価から産業成長のポイントや課題の抽出を行い、今後の産業成長戦略の立案に向けた論点の整理を実施した</li> </ul>	<p>優位性を保有する各種設備の産業成長性評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 各種設備の産業成長性評価</li> <li>➢ 各種設備の産業成長戦略策定のための論点の整理</li> </ul>
(4)CCSバリューチェーンを構成する要素技術の産業成長性の分析及びCCSバリューチェーン全体における産業成長性の論点整理	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 特定産業分野(製鉄業、セメント製造業)の排出事業者について、CCSにより脱炭素化を行った場合のほか、国内外から調達した水素その他の脱炭素化に向けた技術を活用した場合のコストを調査・積算し、その比較を実施した。</li> </ul>	<p>別添資料にて報告</p>
(5)特定産業分野におけるCCSコスト等に関する調査		

## 3.実施結果

---

- 3-1.CCSバリューチェーンを構成する各種設備の調査・特定及び優位性に関する調査・分析
- 3-2.優位性を保有する各種設備の市場調査
- 3-3.優位性を保有する各種設備の産業成長性評価

## 3-1.CCSバリューチェーンを構成する各種設備の調査・特定及び優位性に関する調査・分析

---

- 3-1-1.バリューチェーンの概要
- 3-1-2.設備概要と優位性の評価
- 3-1-3.国内事業者が強みを持つ設備の優位性および課題の整理
- 3-1-4.国内外の主なプレイヤーの整理
- 3-1-5.マップを用いた整理

## 調査方法

- 「3-1-1.バリューチェーンの概要」では、バリューチェーンを構成する各セグメント(分離回収・輸送・貯留・モニタリング)のフローや構成を整理した。
- 各セグメントのフローや構成に従って、セグメント毎に必要な設備を整理するための分類を定めた。

### 各セグメントのフローのイメージ(分離回収の例)



# バリューチェーンを構成する設備の分類

- バリューチェーンを構成する各種設備を以下の分類で整理した。

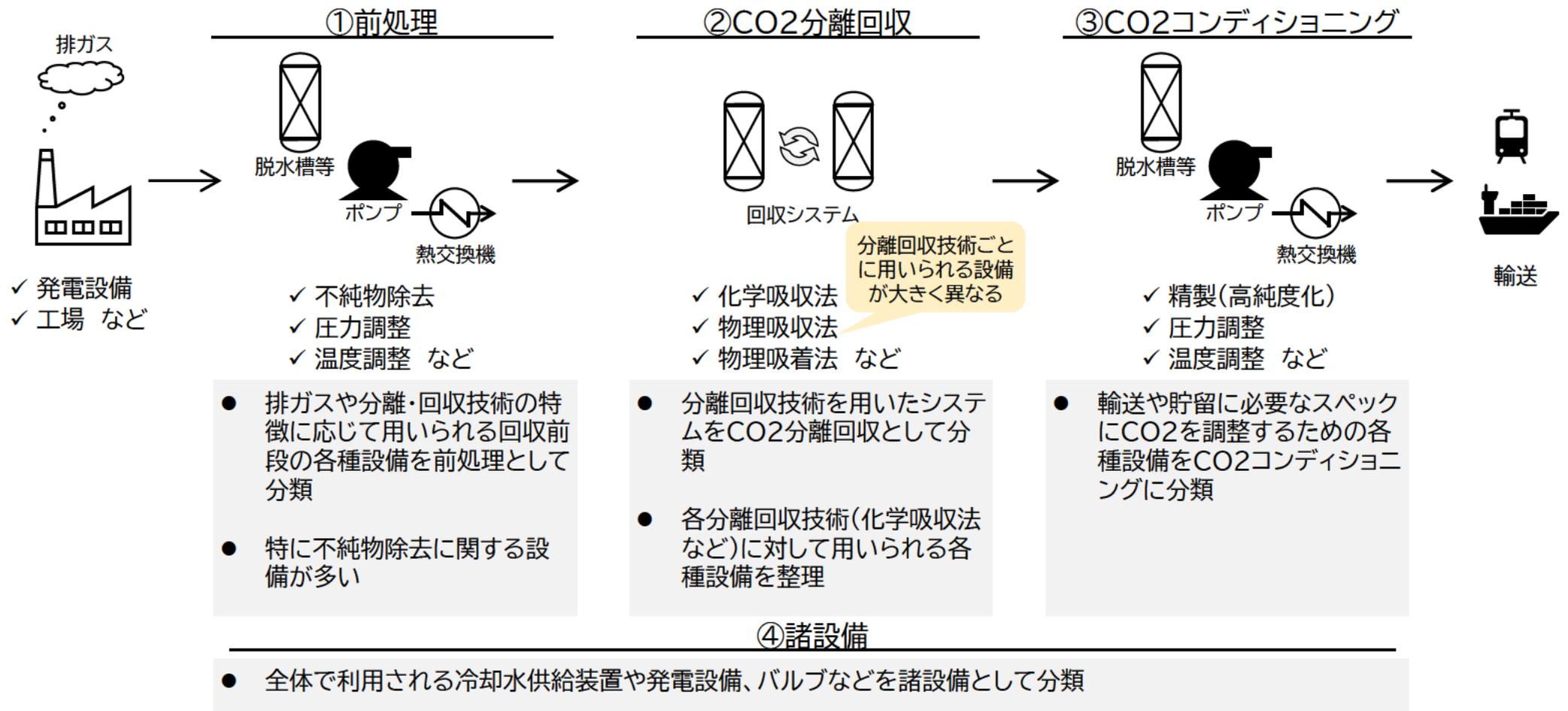
プロセス	テクノロジータイプ	主要設備等
分離・回収	化学吸収法	前処理
		CO2分離回収
		CO2コンディショニング
		諸設備
	物理吸収法	(同上)
	物理吸着法 化学吸着・吸収法	(同上)
	ルーピング法	(同上)
	膜分離法	(同上)
	その他	(同上)
輸送	CO2輸送前後処理	液化処理
		気化処理
		一次貯留(バッファ)
	地上輸送	パイプライン
		鉄道
		トラック
	海上輸送	港湾設備(液化CO2)
		港湾設備(高圧CO2)
輸送船		

プロセス	テクノロジータイプ	主要設備等
貯留	帯水層貯留(海域)	CO2圧縮設備
		掘削設備
		圧入設備
	帯水層貯留(陸域)	(同上)
	油ガス田貯留(陸域)	(同上)
油ガス田貯留(海域)	(同上)	
モニタリング	圧入CO2モニタリング	圧入CO2監視システム
	坑井モニタリング	光ファイバー計測
		物理検層
	圧入後CO2モニタリング	温度圧力測定
		弾性波探査
		地層流体試料採取・分析
		物理検層
	貯留層・遮蔽層モニタリング	微動観測
		地層試料採取・分析
		電気/電磁探査
重力探査		
CO2漏出モニタリング	気泡音響計測	
	化学センサ	
	同位体分析	
	サンプル採取・分析	

# 分離回収分野の概要

- 分離回収のフローは前処理、CO2分離回収、CO2コンディショニング、諸設備の4つに分類できる。
- コアとなる分離回収技術によって用いられる設備が大きく異なるため、各技術に対して設備構成を整理した。
  - ▶ 前処理、CO2コンディショニング、諸設備は一般的な設備が多く、異なる技術間でも同様の設備が利用可能と考えられている。

## 分離回収のフロー



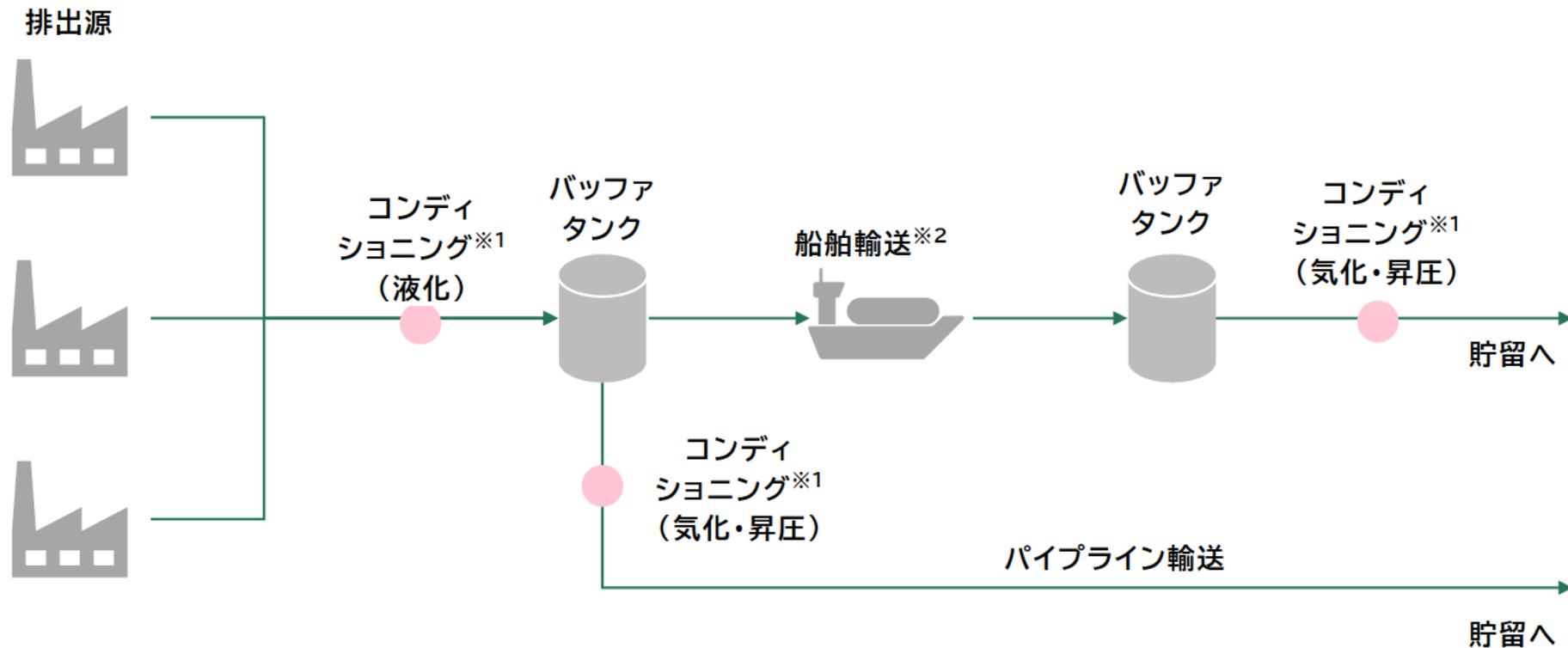
# 主な分離回収技術

- 主な分離回収技術は、吸収法(液体)、吸着・吸収法(固体)、膜分離法の大きく3つに分類できる。
- 化学吸収法が既に商業化しているが消費エネルギーが大きい等の課題が存在し、それらの課題解決のため他技術(膜分離法など)の技術開発が行われている。

大分類	小分類	特徴	典型的な適用先	TRL
吸収法 (液体)	化学吸収法	ガス分子とアミン/アルカリとの化学反応を利用する。吸収材の種類によってCO2分圧が低い場合にも適用可能である。	高CO2濃度(最大70%程度)の天然ガス精製から低CO2濃度(5%程度)の天然ガス火力発電所まで、幅広いCO2濃度で活用	~9
	物理吸収法	ガス分子を液体中に溶解させて成分分離する。CO2分圧が高いほど有利である。	高圧の排気ガスを排出するプロセスで採用	~9
吸着・ 吸収法 (固体)	物理吸着法	圧力差で多孔質材にCO2を吸脱着させ分離する。	石炭火力発電所などで一部採用されているが、他手法に性能面で劣後するためCO2回収では事例は少数	6-9
		温度差で多孔質材にCO2を吸脱着させ分離する。		5-7
	固体吸収法 (化学吸着・ 吸収法)	化学吸収法と反応メカニズムは同じである。多孔質材にアミンを含浸またはアルカリ金属を担持させることで、吸収材の再生エネルギーを低減している。設備は物理吸着法とほぼ同様となる。	他と比べると新しいCO2回収手法であり、石炭火力発電所やDACで活用	6
	ルーピング法	CaOとCaCO3を循環させて再生サイクルを構築し、燃焼後ガスからCO2を除去する。	石炭火力発電やセメントプラントの排ガスで実証採用	6
膜分離法		主に圧力差を駆動力とし、膜の透過速度の違いによってCO2を分離する。高圧、高濃度ガスの処理に適する。	天然ガスへの適用は商業化 低圧、低濃度な排ガスへの適用が実証段階	~9
その他		上記に属さない方法。 (例:電気化学的手法や超音波を用いた手法など)		~6

## 輸送分野の概要

- CO<sub>2</sub>の輸送技術は、排出源から貯留サイトまでCO<sub>2</sub>を運ぶ範囲について対象とする。
- 輸送方法は、パイプラインによる地上輸送と、船舶による海上輸送を想定する。

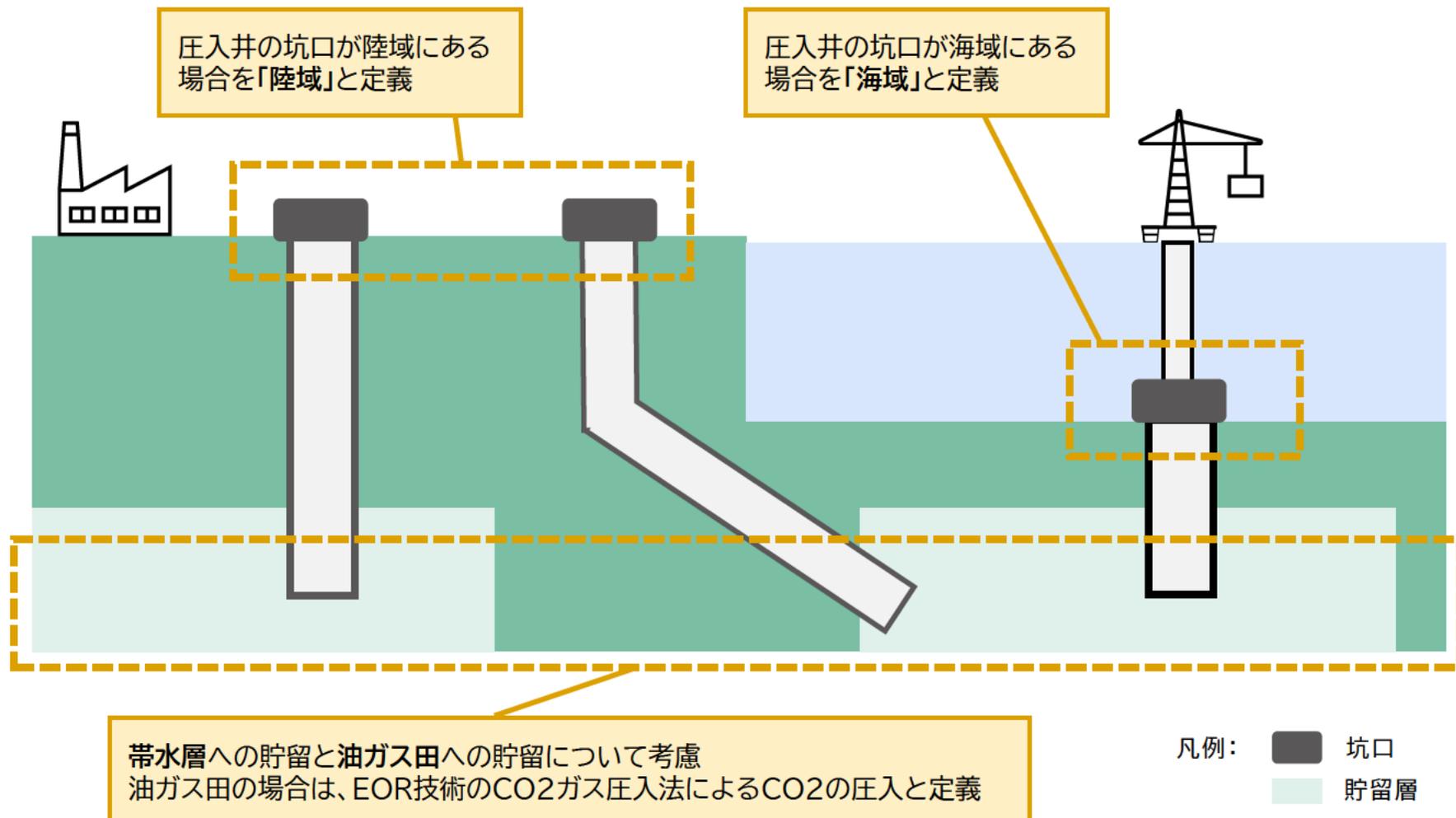


※1 必要に応じて

※2 トラック輸送・鉄道輸送は輸送量が限定的と見込まれるため除外

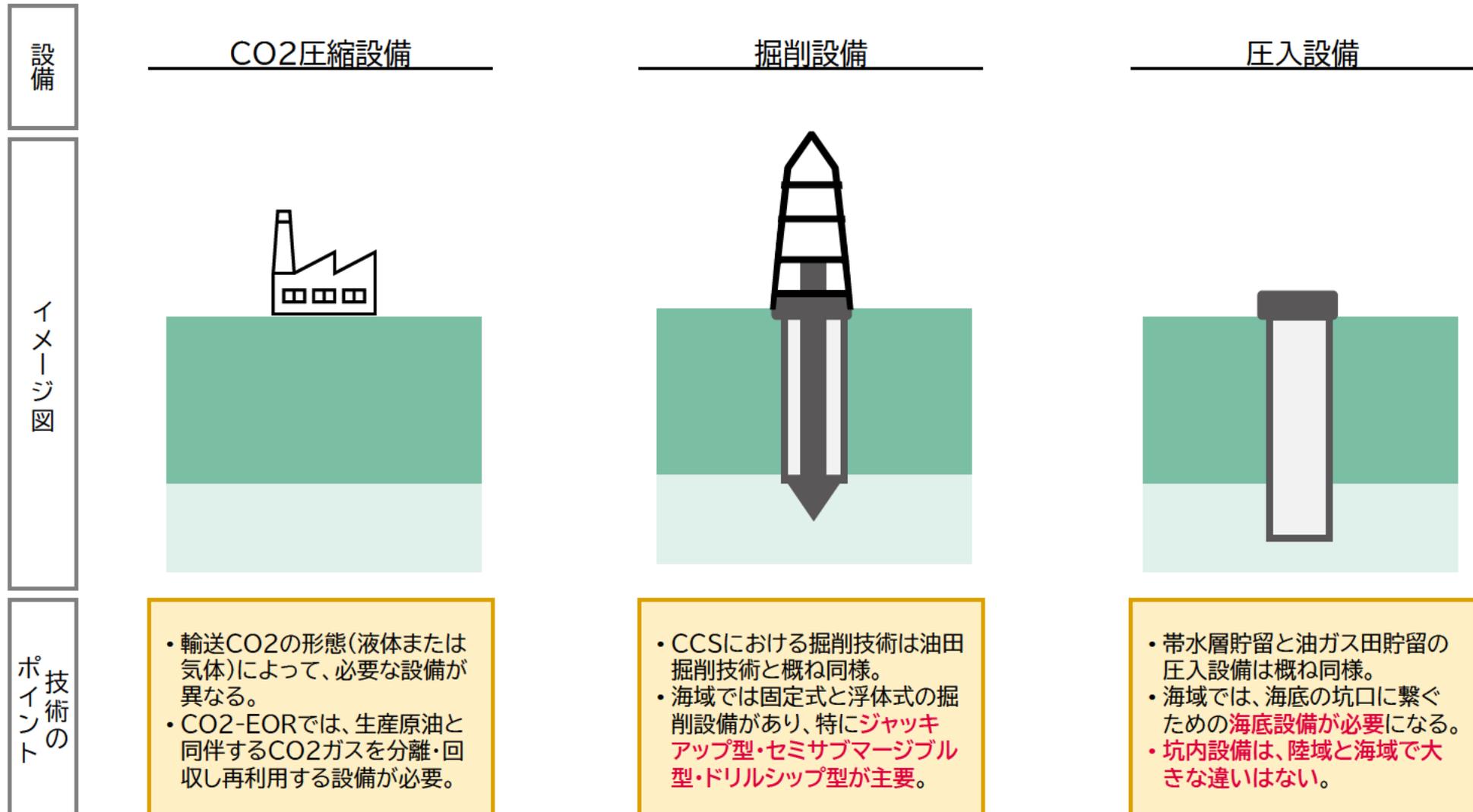
## 貯留分野の概要 (1/2)

- 設備に着目して分類を行う場合、貯留技術は帯水層貯留(陸域、海域)、油ガス田貯留(陸域、海域)の4種類に分類可能である。
  - 陸域/海域の区分は、圧入井の坑口の位置により定義した。
  - 油ガス田貯留は、EOR技術のCO<sub>2</sub>ガス圧入法のことと定義した。



## 貯留分野の概要 (2/2)

- 貯留技術の主要設備は、CO2圧縮設備、掘削設備、圧入設備の3つである。
  - 必要な詳細設備は貯留技術の分類に関わらず概ね共通である。
  - 圧入井が海域に存在する場合、掘削・圧入のためのプラットフォームや海底の坑口に繋ぐための設備が必要である。



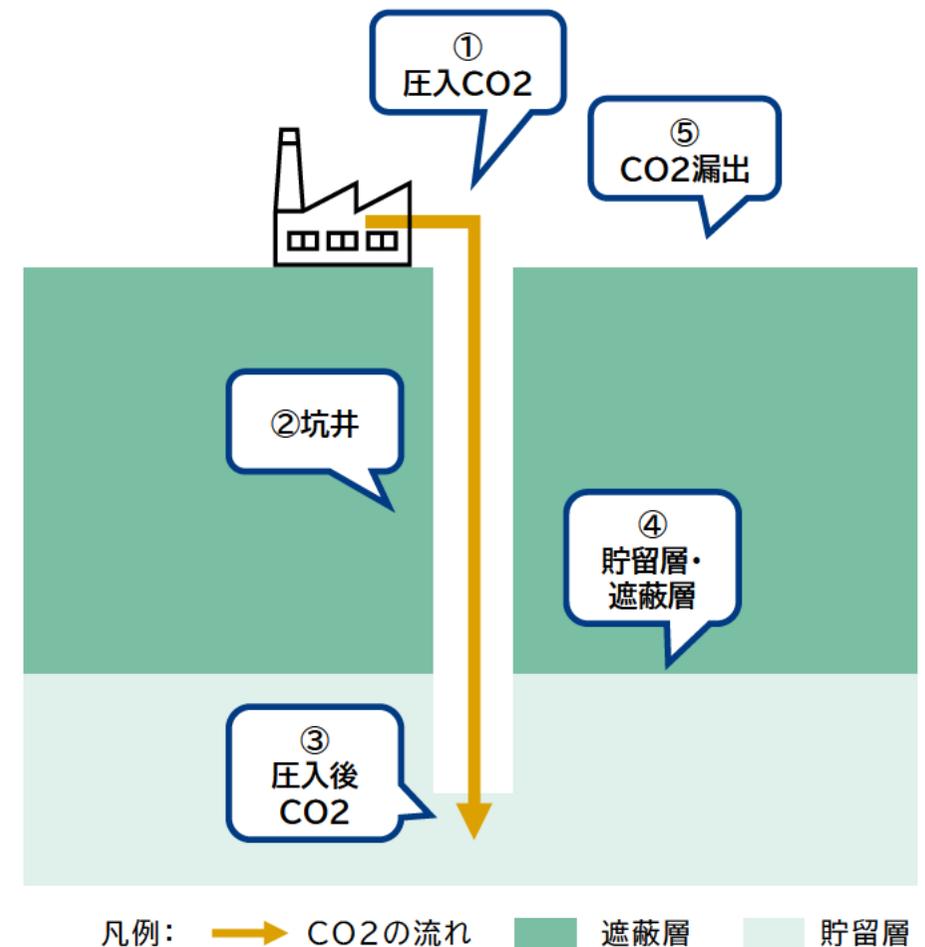
# モニタリング分野の概要

- CCSにおけるモニタリングの目的は5つあり、それぞれの目的に対してモニタリング対象は圧入CO<sub>2</sub>、坑井、圧入後CO<sub>2</sub>、貯留層・遮蔽層、CO<sub>2</sub>漏出が対応する。
- 目的に対応する技術を整理し、バリューチェーンで用いられる設備を検討した。

## モニタリングの目的と対応する技術

モニタリングの目的	対応するモニタリング技術
①圧入CO <sub>2</sub> の性状が適切であるか	圧入CO <sub>2</sub> 監視システム
②坑井の耐久性に問題はないか	光ファイバー計測 物理検層
③圧入後のCO <sub>2</sub> 状況・挙動は適切であるか	温度圧力測定 弾性波探査 地層流体試料採取・分析 物理検層
④貯留層・遮蔽層は安定しているか	微動観測 地層試料採取・分析 電気/電磁探査 重力探査
⑤地上にCO <sub>2</sub> が漏出していないか	気泡音響計測 化学センサ 同位体分析 サンプル採取・分析

## モニタリング対象



## 3-1.CCSバリューチェーンを構成する各種設備の調査・特定及び優位性に関する調査・分析

---

- 3-1-1.バリューチェーンの概要
- 3-1-2.設備概要と優位性の評価
- 3-1-3.国内事業者が強みを持つ設備の優位性および課題の整理
- 3-1-4.国内外の主なプレイヤーの整理
- 3-1-5.マップを用いた整理

## 調査方法

- 「3-1-1.バリューチェーンの概要」の分類に基づき、各種文献等から構成設備と設備の概要、国内事業者の優位性に関する情報を整理した。
- また、バリューチェーンを構成する各種設備や要素技術に知見を持つ事業者へヒアリングを実施し、整理結果の妥当性について検証を実施した。

### 構成設備の整理イメージ

技術分類	主要設備	技術概要	CCSにおける優位性の評価
対象となる 技術分類	設備1	・ XXXの用途で利用	・ 成熟した技術であり、海外CCSプロジェクト等においても、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される
	設備2	・ XXXの用途で利用	・ 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定
	設備3	・ XXXの用途で利用	・ 国内事業者が高いシェアを誇り、技術的な優位性を保有
	XXX		

公開情報等の調査からから優位性を確認できた技術を抽出

抽出技術

## 国内事業者が優位性を持ちうる技術の抽出結果（1/2）

- 各種文献調査と複数事業者へのヒアリングに基づき、CCSの拡大において国内事業者が優位性を持ちうる技術・領域を抽出した。

### 分離回収・輸送分野で抽出した技術

分野	抽出技術	技術の優位性
分離回収	化学吸収法	<ul style="list-style-type: none"> <li>三菱重工エンジニアリングと関西電力が共同開発している吸収液は、排ガスからのCO2回収において世界シェア70%以上を占める</li> </ul>
	固体吸収法	<ul style="list-style-type: none"> <li>川崎重工/RITEの取組みでは、関西電力舞鶴発電所にて実証実験まで進んでいる</li> <li>研究開発が盛んに行われている</li> </ul>
	膜分離法	<ul style="list-style-type: none"> <li>排ガスからのCO2回収は米国MTR社がリードするが、国内においても住友化学、日本ガイシ等が研究開発を実施している</li> </ul>
	CO2コンプレッサー	<ul style="list-style-type: none"> <li>三菱重工、川崎重工、IHI、神戸製鋼等はCO2コンプレッサーの分野で実績を保有する国内事業者が多数存在する</li> </ul>
輸送	ラインパイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>ラインパイプ自体に大きな技術的優位性が存在しているわけではないが、実績・生産設備面で優位性あり</li> </ul>
	LCO2船	<ul style="list-style-type: none"> <li>低温・低圧での輸送は三重点に近いLCO2を取り扱うため、ドライアイスとなりやすい</li> <li>そのためタンクの材質やタンクを揺れを防ぐ仕組み、ボイルオフガスの処理が重要となる</li> <li>2020年度～のNEDO事業で世界に先駆けて実証船の建造まで実現した</li> </ul>

## 国内事業者が優位性を持ちうる技術の抽出結果（2/2）

- 各種文献調査と複数事業者へのヒアリングに基づき、CCSの拡大において国内事業者が優位性を持ちうる技術・領域を抽出した。

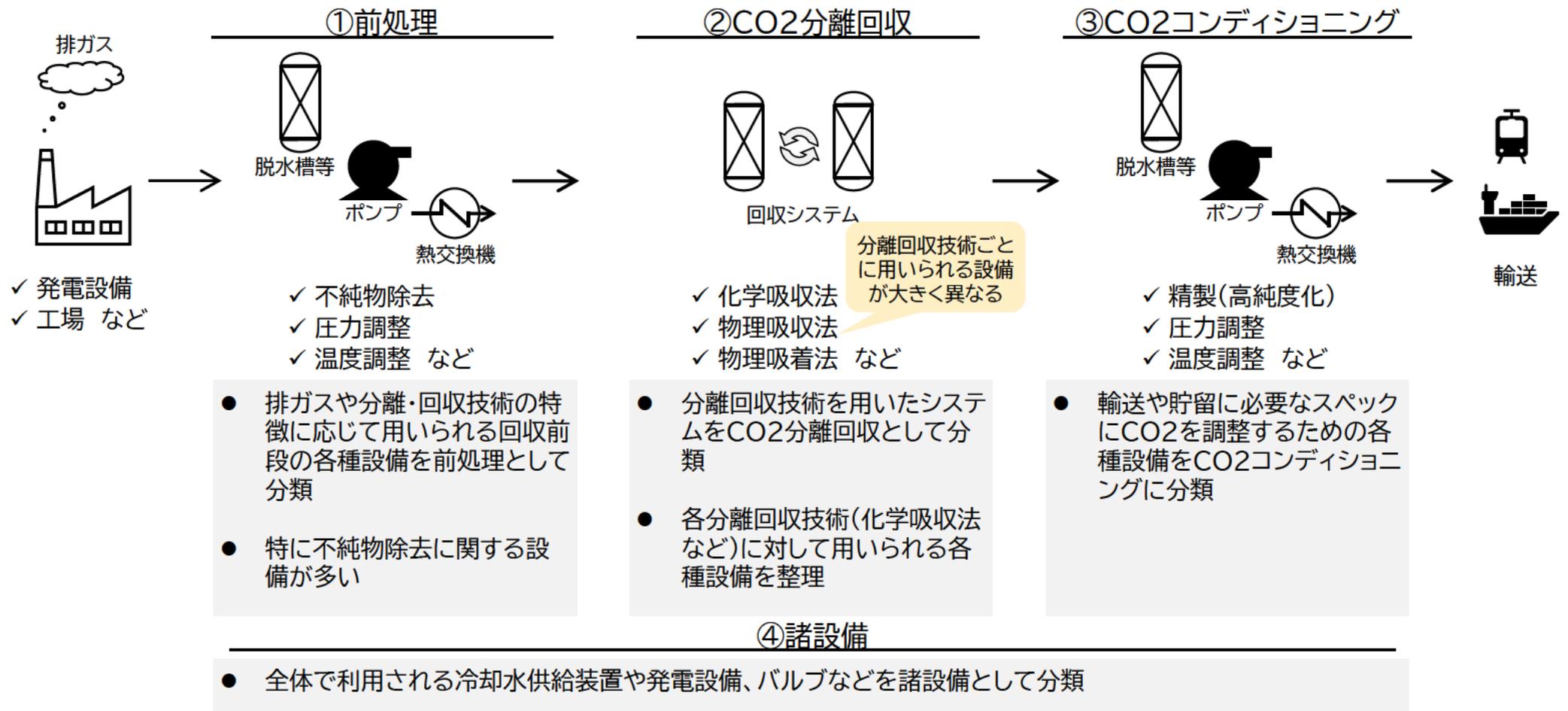
### 貯留・モニタリング分野で抽出した技術

分野	抽出技術	技術の優位性
貯留	耐CO2ケーシングパイプ/ 耐CO2チュービングパイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO2圧入のパイプとして利用するためにはCO2への耐腐食性が必要である</li> <li>• 国内企業としては日本製鉄、JFEスチールが製造・供給を行う</li> </ul>
	CO2コンプレッサー	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 分離回収分野で取り扱い</li> </ul>
モニタリング	光ファイバーケーブル	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 位置・時間の連続データを多項目（音響、温度、歪みなど）で取得できることによるモニタリング品質の向上と、コストの高い既存技術（物理検層や弾性波探査など）の代替によるモニタリングコストの削減から、光ファイバー計測は今後市場を伸ばすと考えられる。</li> <li>➢ 光ファイバー計測は、RITEにて技術開発中</li> </ul>
	DSS装置	
	地震計	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 国内事業者が製造する地震計は、海外事業者と比較して高い品質と実績を保有し、競争力を持つと考えられる。</li> <li>➢ 東京測振や白山工業にて製造・販売</li> </ul>

## (再掲) 分離回収分野の概要

- 分離回収のフローは前処理、CO<sub>2</sub>分離回収、CO<sub>2</sub>コンディショニング、諸設備の4つに分類できる。
- コアとなる分離回収技術によって用いられる設備が大きく異なるため、各技術に対して設備構成を整理した。
  - ▶ 前処理、CO<sub>2</sub>コンディショニング、諸設備は一般的な設備が多く、異なる技術間でも同様の設備が利用可能と考えられている。

### 分離回収のフロー



# 国内事業者が優位性を持ちうる分離回収技術

- 分離回収技術の中で国内事業者が優位性を持ちうる技術として化学吸収法、固体吸収法、膜分離法を抽出した。
  - 物理吸収法やルーピング法は、現状では主に海外事業者の取組みが中心である

技術対象	分離回収技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
CO <sub>2</sub> 分離・回収	化学吸収法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ガス分子とアミン/アルカリとの化学反応を利用する。吸収材の種類によってCO<sub>2</sub>分圧が低い場合にも適用可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 三菱重工と関西電力が開発した吸収液は排ガスからのCO<sub>2</sub>回収において世界シェア70%以上を占める</li> <li>・ 三菱重工、日鉄エンジニアリング/RITE、東ソーなど国内事業者の取組みが多く存在</li> </ul>
	物理吸収法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ガス分子を液体中に溶解させて成分分離する。CO<sub>2</sub>分圧が高いほど有利である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 物理吸収液は主に海外事業者が強みを持つ(米国HoneywellUOP社のSelexol液など)</li> </ul>
	固体吸収法(化学吸着・吸収法)、 ※物理吸着法は、設備構成がほぼ同様と想定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 多孔質材にCO<sub>2</sub>を吸脱着させ分離する。アミンの含浸やアルカリ金属を担持させるものは化学吸着・吸収法と呼ばれるが基本的な設備は物理吸着法とほぼ同様となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 固体吸収法は、関西電力舞鶴発電所にて、川崎重工/RITEによる実証試験が進む</li> <li>・ 川崎重工、千代田化工建設やエア・ウォーターなど国内事業者の取組みが多く存在</li> </ul>
	ルーピング法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ CaOとCaCO<sub>3</sub>を循環させて再生サイクルを構築し、燃焼後ガスからCO<sub>2</sub>を除去する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ EUを中心にパイロット試験が実施されている</li> </ul>
	膜分離法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 主に圧力差を駆動力とし、膜の透過速度の違いによってCO<sub>2</sub>を分離する。基本的には高圧、高濃度ガスの処理に適する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 排ガスからのCO<sub>2</sub>回収は米国MTR社がリードする一方、国内においても住友化学、OOYOO、日本ガイシ等が研究開発を実施</li> </ul>
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 上記に属さない方法(例:電気化学的手法や超音波を用いた手法など)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 萌芽的研究が大半で、実現時期の見通しがついていない</li> </ul>

## 分離回収分野の設備詳細 (1/5)

- 前処理工程で用いられる設備は既に成熟した技術で、海外事業者も同レベルの対応が可能と想定される。
  - 集塵機や脱硫脱硝設備に関して国内事業者も実績を多数保有するが、CCSにおいては分離回収技術(化学吸収法や膜分離法等)の特徴に合わせ、それらの設備を適切に配置するシステム構築が重要と考えられる。

技術分類	主要設備	技術概要	CCSにおける優位性の評価
前処理 (排ガス処理)	集塵機	・ 排ガス中の塵や埃の除去	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 成熟した技術であり、海外CCSプロジェクト等においても、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> <li>・ 一方で、国内に豊富な実績を有する事業者が存在し、回収システムの構成要素として重要である</li> <li>・ 設備の必要性はプロジェクトによって異なる</li> </ul>
	脱硝装置	・ 排ガス中のNOx除去	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 一般的な設備だが、海外展開を実施し技術的優位性を持つと考えられる企業が存在する</li> </ul>
	脱硫装置	・ 排ガス中のSOx除去	
	酸性ガス吸収塔・再生塔	・ 溶媒による酸性ガス(H <sub>2</sub> S等)の除去、および溶媒の再生	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> <li>・ 主に物理吸収法で用いられる</li> </ul>
	フラッシュドラム	・ 蒸留操作による組成調整	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
	気液分離器	・ 排ガスに含まれる重質分等の除去	
	水洗器	・ 水溶性のガス(アンモニアなど)の除去	
	脱水器	・ 後段のCO <sub>2</sub> 分離に水分が影響する場合は脱水	
	ポンプ	・ 水洗器などへの送液	
	ファン	・ 排ガスの送風	
	ブロワー	・ 同上	
	熱交換器	・ 排ガス冷却器など	

## 分離回収分野の設備詳細 (2/5)

- 回収システム(化学吸収法、固体吸収法、膜分離等)では、特定設備ではなくシステム全体でのコスト削減や性能向上が重要と考えられる。

技術分類	主要設備	技術概要	CCSにおける優位性の評価
CO <sub>2</sub> 分離回収 -化学吸収	吸収塔	・ 溶媒によりCO <sub>2</sub> を吸収	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 三菱重工、東芝、日鉄エンジニアリング/RITEなど多数の国内事業者が存在</li> <li>・ 三菱重工は排ガスからのCO<sub>2</sub>回収において世界シェアの70%以上を占める</li> <li>・ 回収システムに関しては、特定の設備単体ではなくCO<sub>2</sub>分離回収に用いる素材(吸収液など)に対応したシステム全体の最適化が各社の強みと考えられる</li> <li>・ 化学吸収法では熱交換器による熱回収がエネルギー削減のために重要であり、プレート式熱交を生産する日阪製作所などが強みを持つ</li> </ul>
	水洗セクション(吸収塔内部)	・ 吸収塔から飛散する溶媒の流出を防止	
	洗浄塔	・ 吸収塔出口ガスの浄化	
	フラッシュドラム	・ 溶媒が吸収したCO <sub>2</sub> の脱着	
	再生塔	・ 溶媒が吸収したCO <sub>2</sub> の脱着	
	CO <sub>2</sub> 分離器	・ 再生塔から飛散する溶媒を回収し、CO <sub>2</sub> と液に分離	
	溶媒	・ CO <sub>2</sub> 吸収に用いられる溶媒(アミンなど)	
	溶媒タンク	・ 溶媒の貯蔵	
	ポンプ	・ 溶媒などの送液	
	熱交換器	・ コンデンサー、リボイラー、溶媒熱交換器など	
CO <sub>2</sub> 分離・回収 -固体吸収法(化学吸着・吸収法)、 物理吸着法	吸着槽	・ 吸着・吸収材によりCO <sub>2</sub> を吸着	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 固体吸収材は、川崎重工業、RITE、千代田化工建設などが多数の国内事業者が存在</li> <li>・ 川崎重工業とRITEは関西電力舞鶴発電所にて先進的な実証試験に取り組む</li> <li>・ 回収システムに関しては、特定の設備単体ではなくCO<sub>2</sub>分離回収に用いる素材(吸収液など)に対応したシステム全体の最適化が各社の強みと考えられる</li> </ul>
	再生槽	・ 脱圧/加温によりCO <sub>2</sub> を脱着	
	吸着・吸収材	・ CO <sub>2</sub> 吸着に用いられる吸着剤	
	ポンプ	・ 吸着・吸収材の再生(脱圧など)	
	コンプレッサー	・ CO <sub>2</sub> の圧縮用	
	加熱器	・ 吸着材の再生用(蒸気式と電気式)	
	熱交換器	・ 冷却器など	

## 分離回収分野の設備詳細 (3/5)

- 回収システム(化学吸収法、固体吸収法、膜分離等)では、特定設備ではなくシステム全体でのコスト削減や性能向上が重要と考えられる。

技術分類	主要設備	技術概要	CCSにおける優位性の評価
CO2分離回収 -膜分離	膜モジュール	・ 膜分離システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 分離膜は、住友化学、OOYOO、日本ガイシなど多数の国内事業者が存在</li> <li>・ 上記企業は一般的に膜分離法では不利とされる、低圧な産業排ガスからのCO2回収に取り組む。</li> <li>・ 回収システムに関しては、特定の設備単体ではなくCO2分離回収に用いる素材(吸収液など)に対応したシステム全体の最適化が各社の強みと考えられる</li> </ul>
	膜	・ CO2分離膜(高分子膜、ゼオライト膜など)	
	加湿器	・ 膜特性に応じた湿度調整用	
	ブロワー	・ 処理ガスの送風	
	ポンプ	・ CO2分離の駆動力(昇圧・バキュームなど)	
	コンプレッサー	・ CO2分離の駆動力(昇圧など)	
	熱交換器	・ 冷却器など	

## 分離回収分野の設備詳細（4/5）

- CO2コンプレッサーでは特に信頼性や実績が重視される傾向があるが、国内事業者はCO2コンプレッサーで豊富な実績を保有しており優位性をもちうると想定した。

技術分類	主要設備	技術概要	CCSにおける優位性の評価
CO2コン ディショニ ング	CO2コンプレッサー	・ CO2の高純度化用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ CO2コンプレッサーでは、三菱重工、川崎重工、IHI、神戸製鋼など国内事業者が多数存在</li> <li>・ 三菱重工や川崎重工は、海外でのCCSにも製品を納入しているとプレスリリースにて公表している</li> <li>・ 信頼性や実績が重視される分野であり、国内事業者が各社高い信頼性および実績を保有</li> </ul>
	コンプレッサー用ロックアウトドラム	・ CO2の高純度化用	
	給油装置	・ コンプレッサーの潤滑油供給	
	モーター	・ コンプレッサーの駆動部	
	脱水用ロックアウトドラム(気液分離)	・ CO2の高純度化用(水分除去)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
	コアレッサー(油水分離)	・ CO2の高純度化用(油分除去)	
	吸着槽/再生槽	・ 水分の吸着除去(並列で配置し、常に片方は再生)	
	再生ガス分離器	・ 再生に利用するガス	
	ダストフィルター	・ 吸着材の分散防止用	
	コンデンセートドラム	・ 重質分の除去	
	ポンプ	・ 液化CO2の送液など	
	ブロワー	・ 再生ガスの昇圧用途など	
	熱交換器	・ 吸着槽の再生ガス冷却用など	
加熱器	・ 吸着槽の再生ガス加熱用(蒸気式と電気式)など		

抽出技術

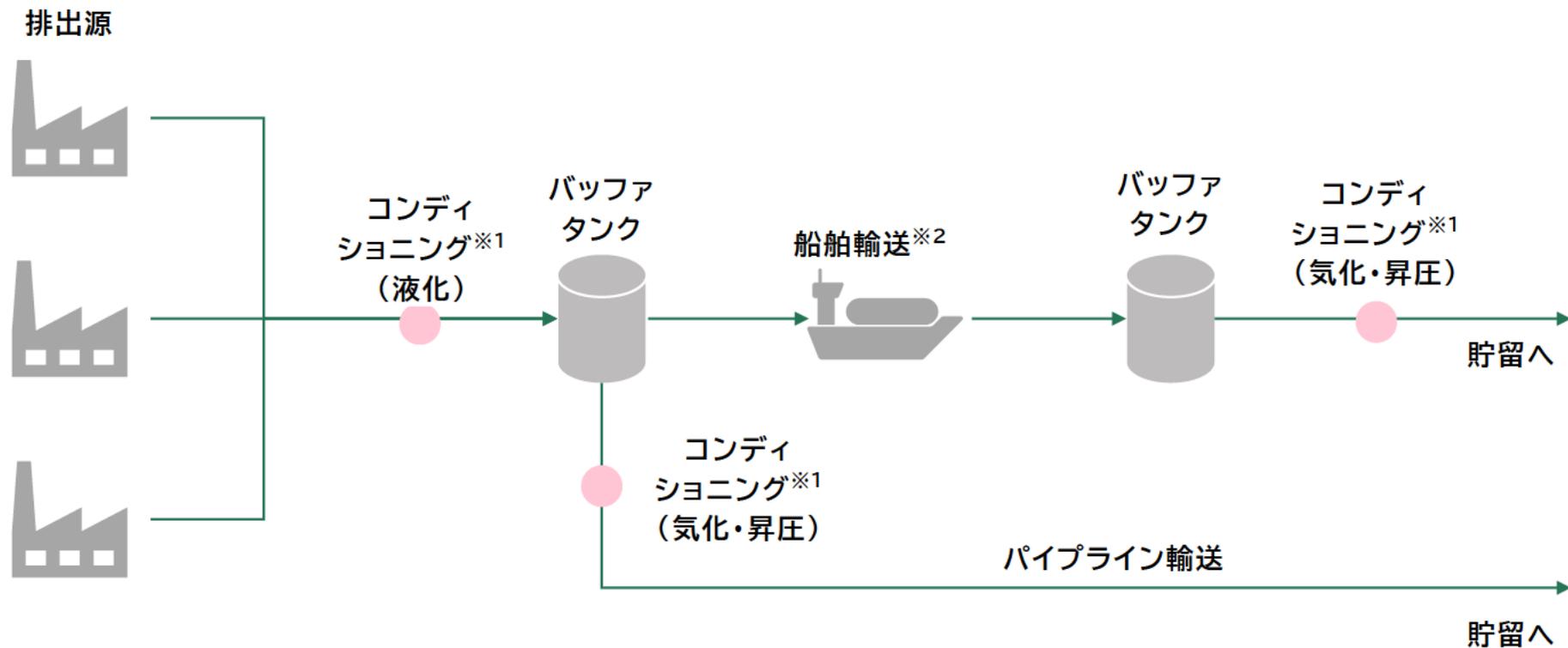
## 分離回収分野の設備詳細（5/5）

- 諸設備工程で用いられる設備は既に成熟した技術で、海外事業者も同レベルの対応が可能と想定される。
  - 排水処理においては国内事業者も実績を多数保有するが、CCSにおける必要性はプロジェクトによって異なると想定される

技術分類	主要設備	技術概要	CCSにおける優位性の評価
諸設備	脱塩水供給装置	・ 工業用水供給	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
	排水処理装置	・ 各種設備の排水処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設備の必要性はプロジェクトによって異なる</li> <li>・ 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> <li>・ 栗田工業はアジアを中心に水処理ビジネスを展開する</li> </ul>
	冷却水供給装置	・ 熱交換器への冷却水供給	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
	蒸気供給装置	・ 熱交換器や加熱器への蒸気供給	
	発電機	・ 電力供給	
	空気分離器	・ 高濃度酸素の供給	
	圧縮空気タンク	・ 圧縮空気供給	
	ブロワー	・ 各種ガスの昇圧	
	ポンプ	・ 各種ガス・液の昇圧	
	コンプレッサー	・ 各種ガス・液の昇圧	
	一般計器	—	
	モニタリング装置	—	
	制御装置	—	
	バルブ	—	
	パイプ	—	
	CO2計	・ 排ガスや精製後CO2の測定	
ハウジング	・ 装置外装		

## (再掲)輸送分野の概要

- CO<sub>2</sub>の輸送技術は、排出源から貯留サイトまでCO<sub>2</sub>を運ぶ範囲について対象とする。
- 輸送方法は、パイプラインによる地上輸送と、船舶による海上輸送を想定する。



※1 必要に応じて

※2 トラック輸送・鉄道輸送は輸送量が限定的と見込まれるため除外

## 輸送分野の設備詳細 (1/3)

- CO2輸送前後処理における整理結果を以下に示す。

技術分類		主要設備	技術概要	CCSにおける優位性の評価
CO2輸送 前後処理	液化処理	蒸留塔	濃縮用	<ul style="list-style-type: none"> <li>成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		コンデンサー	濃縮用	
		還流ポンプ	濃縮用	
		還流ドラム	濃縮用	
		コンプレッサー用ノックアウトドラム	異物除去	
		冷媒用コンプレッサー	熱交換用	
		洗浄塔	精製・脱湿用	
		吸着塔	精製・脱湿用	
		冷却塔	液化用	
		ポンプ	共通設備	
	気化処理	電気ヒーター	加温用	<ul style="list-style-type: none"> <li>成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		熱交換器	蒸発用	
		ガス化ポンプ	送り出し用	
		マニホールド	入口部の分岐用	
コントロールバルブ		調節弁		
一次貯留 (バッファ)	液化CO2貯蔵タンク	バッファタンク	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材の開発余地はあるも技術的な優位性は見出しづらいため</li> </ul>	

## 輸送分野の設備詳細（2/3）

- 地上輸送における整理結果を以下に示す。

主要設備	詳細分類	要素技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
地上輸送	パイプライン	パイプ	CO2の流路	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 生産設備・実績面で優れる国内企業(日本製鉄・JFEスチール)が存在するため</li> <li>・ 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		ケーシング(断熱材含む)	パイプの外殻で断熱も担う	
		バルブ	パイプ内のCO2流量を調整する	
		コーティング	パイプの腐食を防止する	
		コンプレッサー	昇圧用	
		メーターポイント	流量計	
		ピグランチャー/レシーバー	パイプ内の洗浄塔に活用	
		光ファイバーケーブル	配管のひずみや漏れ等の検知に活用	
		ケミカルインジェクション装置	パイプ内のつまり防止薬剤の投入装置	
		パイプ用陰極防食設備	腐食に対する電気防食装置	

抽出技術

## 輸送分野の設備詳細 (3/3)

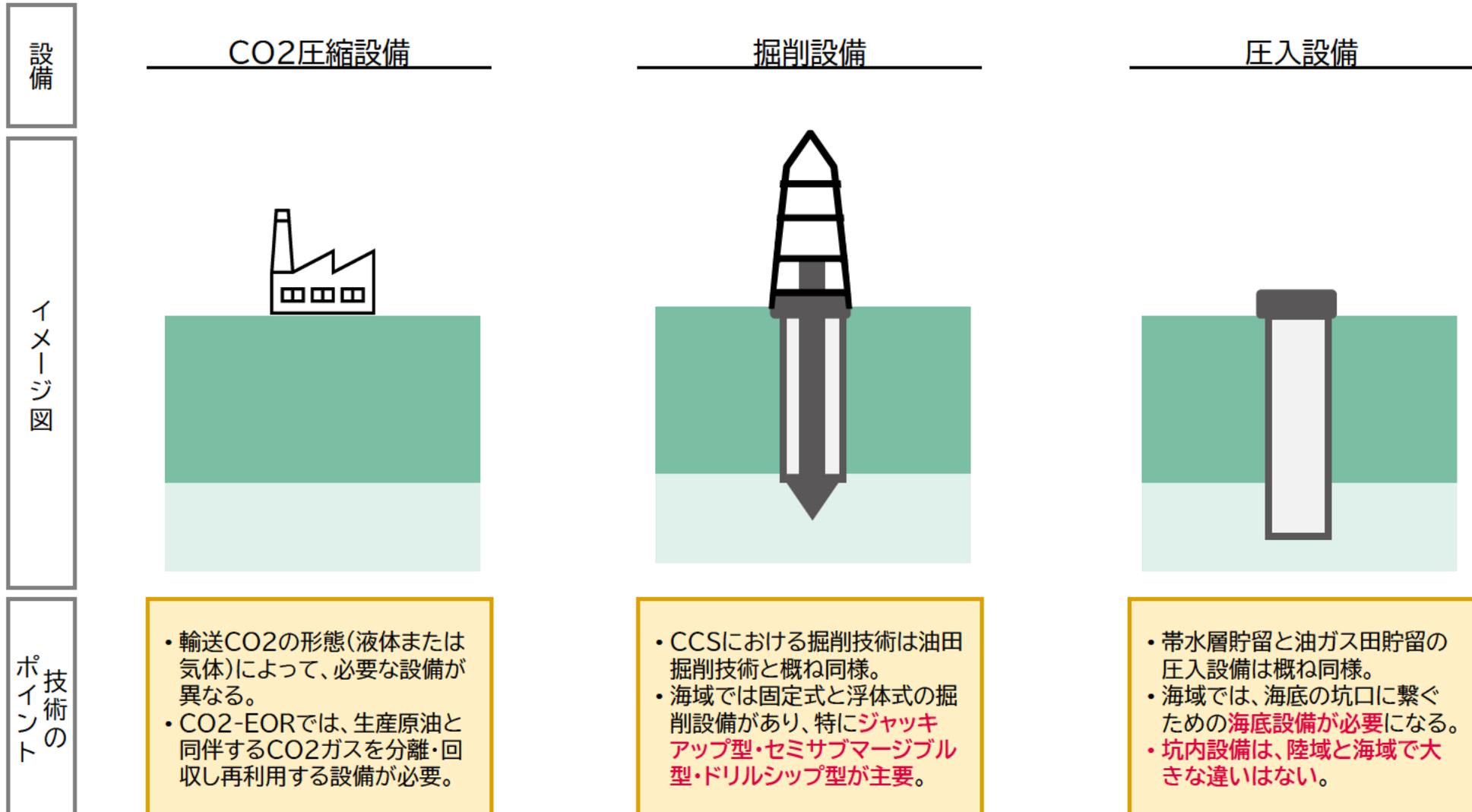
- 海上輸送における整理結果を以下に示す。

主要設備	詳細分類	要素技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
海上輸送	港湾設備 (液化CO <sub>2</sub> )	液化CO <sub>2</sub> ガスタンク	バッファー用タンク	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材の開発余地はあるも技術的な優位性は見出しづらいため</li> <li>成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		液化CO <sub>2</sub> 荷役用アーム	荷役装置	
		ポンプ	荷役装置	
		ボイルオフバント	安全装置	
		保温パイプ	荷役装置	
	輸送船	船体	船本体	<ul style="list-style-type: none"> <li>低温・低圧での輸送は三重点に近いLCO<sub>2</sub>はを扱うため、ドライアイスとなりやすい。そのため本体の材質やタンクを揺れを防ぐ仕組み、ボイルオフガスの処理が重要となる。これらについては2020年度～のNEDO事業で検討し、<b>世界に先駆けて実証船の建造まで実現した実績を有する</b></li> <li>成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		タンク(保温・保圧)	輸送用球形タンク	
		冷却装置	荷役装置	
		海上圧入装置	荷役装置	
		荷役装置	荷役装置	

抽出技術

## (再掲)貯留分野の概要

- 貯留技術の主要設備は、CO2圧縮設備、掘削設備、圧入設備の3つである。
  - 必要な詳細設備は貯留技術の分類に関わらず概ね共通である。
  - 圧入井が海域に存在する場合、掘削・圧入のためのプラットフォームや海底の坑口に繋ぐための設備が必要である。



# 貯留分野の設備詳細 (1/12)

- 帯水層貯留(陸域)における整理結果を以下に示す。

主要設備	詳細分類	要素技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
CO2圧縮設備	CO2ガス圧縮設備	コンプレッサー	CO2の高純度化用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO2コンプレッサーでは、三菱重工、川崎重工、IHI、神戸製鋼など国内事業者が多数存在</li> <li>• 三菱重工や川崎重工は、海外でのCCSにも製品を納入しているとプレスリリースにて公表</li> <li>• 信頼性や実績が重視される分野であり、国内事業者が各社高い信頼性および実績を保有</li> </ul>
		コンプレッサー用 ノックアウトドラム	CO2の高純度化用	
		給油装置	コンプレッサーの潤滑油供給	
		モーター	コンプレッサーの駆動部	
		脱水装置	水分の除去	
		パイプ	—	
		弁	—	
	液化CO2昇圧・加温設備	液体CO2貯蔵タンク	バッファタンク	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 鋼材の開発余地はあるも技術的な優位性は見出しづらい</li> <li>• 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		ブースターポンプ	昇圧のための装置	
		圧入ポンプ		
		加温機	加温のための装置	
		パイプ	—	
		弁	—	
CO2ガス及び液化CO2の統合設備	パイプ	—		
	高圧昇圧設備	地下深い場合に必要		

抽出技術

## 貯留分野の設備詳細 (2/12)

- 帯水層貯留(陸域)における整理結果を以下に示す。

主要設備	詳細分類	要素技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
掘削設備	檣および檣下機器 (マストおよびサブストラクチャー)	ドリルカラー	これらの構成全体をドリル・ストリングと称し、坑井の掘削のために利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> <li>• 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		ドリルパイプ		
		ビット		
		ドローワークス	巻揚げ機構を構成する巨大なウインチ	
		トラベリングブロック	檣の頂上部に取り付けられた動滑車	
		ロータリーテーブル	掘進時にドリル・ストリングを回転させる装置	
		トップ・ドライブ・システム	ドリル・ストリングに回転を与えるシステム	
	泥水循環システム	マッドスクリーン (シールドシェーカー)	リターンしてきた泥水とカッティングスをふるい分ける装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
		シェーカータンク	マッドスクリーンで除去出来なかったカッティングスを自然沈澱させるためのタンク	
		マッドポンプ	掘削泥水を循環させるための大型・高圧のポンプ	
噴出防止装置	BOP: Blowout Preventer	坑井を密閉し地層からのキックを抑えるための装置		

## 貯留分野の設備詳細 (3/12)

- 帯水層貯留(陸域)における整理結果を以下に示す。

主要設備	詳細分類	要素技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
圧入設備	坑口設備	クリスマスツリー	バルブを幾段にも重ねた安全装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
		BOP	坑井を密閉し地層からのキックを抑えるための装置	
	坑内設備	緊急遮断弁	緊急時にCO <sub>2</sub> の逆流を防止するための弁	
		チュービングパイプ	CO <sub>2</sub> を圧入するためのパイプ	
		耐CO <sub>2</sub> セメント	ケーシングパイプの固定や補修のために用いられる設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
		ケーシングパイプ	坑壁抵抗の軽減、坑内トラブル防止等を目的に裸坑に挿入される炭素鋼パイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		耐CO <sub>2</sub> ケーシングパイプ/ 耐CO <sub>2</sub> チュービングパイプ	CO <sub>2</sub> と水の反応による酸性環境が想定される場合に用いられるステンレス製のパイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>生産設備・実績面で優れる国内企業(日本製鉄・JFEスチール)が存在</b></li> </ul>
		温度・圧力計	圧入時の温度・圧力の計測装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
		スクリーンパイプ	微細な孔が多数空いた管を包み、砂の流入を防ぐためのパイプ	

抽出技術

## 貯留分野の設備詳細 (4/12)

- 帯水層貯留(海域)における整理結果を以下に示す。

主要設備	詳細分類	要素技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
CO2圧縮設備	CO2ガス圧縮設備	コンプレッサー	CO2の高純度化用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO2コンプレッサーでは、三菱重工、川崎重工、IHI、神戸製鋼など国内事業者が多数存在</li> <li>• 三菱重工や川崎重工は、海外でのCCSにも製品を納入しているとプレスリリースでも公表している</li> <li>• 信頼性や実績が重視される分野だが、各社高い信頼性および実績を保有</li> </ul>
		コンプレッサー用 ノックアウトドラム	CO2の高純度化用	
		給油装置	コンプレッサーの潤滑油供給	
		モーター	コンプレッサーの駆動部	
		脱水装置	水分の除去	
		パイプ	—	
		弁	—	
	液化CO2昇圧・加温設備	液体CO2貯蔵タンク	バッファタンク	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 鋼材の開発余地はあるも技術的な優位性は見出しづらい</li> <li>• 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		ブースターポンプ	昇圧のための装置	
		圧入ポンプ		
		加温機	加温のための装置	
		パイプ	—	
		弁	—	
	CO2ガス及び液化CO2の統合設備	パイプ	—	
高圧昇圧設備		地下深い場合に必要		

抽出技術

# 貯留分野の設備詳細 (5/12)

## ● 帯水層貯留(海域)における整理結果を以下に示す。

主要設備	詳細分類	要素技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
掘削設備 (固定式、 浮体式 共通)	プラット フォーム	プラットフォーム	海上において掘削装置を搭載した施設。固定式、浮体式が存在しており、水深によって使い分けられる	<ul style="list-style-type: none"> <li>輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
掘削設備 (浮体式)		DPS ( Dynamic Positioning System)	船体・浮体を同一位置に保持するシステム。プロペラやスラスターをPC制御し、風・波・潮流の影響を打ち消す	
固定係留設備		船体・浮体の位置を保持するための設備		
		スィバル	流体・気体・制御信号・電力など送信するラインを静止物体から回転をゆるす物体へ繋ぐ際に、ラインのねじれやよじれを生じさせないための機器	
掘削設備 (固定式、 浮体式 共通)	掘削機器	ドリルカラー	これらの構成全体をドリル・ストリングと称し、坑井の掘削のために利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		ドリルパイプ		
		ビット		
		ドローワークス	巻揚げ機構を構成する巨大なウインチ	
		トラバリングブロック	檣の頂上部に取り付けられた動滑車	
		ロータリーテーブル	掘進時にドリル・ストリングを回転させる装置	
		トップ・ドライブ・システム	ドリル・ストリングに回転を与えるシステム	
		ライザーパイプ	掘削パイプを中に収め、サブシーBOPと掘削リグの間をつなぐ大口径のパイプ	
	泥水循環システム	マッドスクリーン (シェールシェーカー)	リターンしてきた泥水とカッティングスをふるい分ける装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
		シェーカータンク	マッドスクリーンで除去出来なかったカッティングスを自然沈澱させるためのタンク	
マッドポンプ		掘削泥水を循環させるための大型・高圧のポンプ		
噴出防止装置	サブシーBOP	坑井を密閉し地層からのキックを抑えるための装置		

# 貯留分野の設備詳細 (6/12)

- 帯水層貯留(海域)における整理結果を以下に示す。

抽出技術

主要設備	詳細分類	要素技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
圧入設備	海底設備	マニフォールド	圧入井からのバルブ、配管等を集約させた構造物	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
		ジャンパー	マニフォールドとサブシーツリーを繋ぐためのパイプ	
		フレキシブルライザーパイプ	CO <sub>2</sub> を海底の坑口設備まで運ぶための変形可能なパイプ	
	坑口設備	クリスマスツリー	バルブを幾段にも重ねた安全装置	
		サブシーBOP	坑井を密閉し地層からのキックを抑えるための装置	
	坑内設備	緊急遮断弁	緊急時にCO <sub>2</sub> の逆流を防止するための弁	
		チュービングパイプ	CO <sub>2</sub> を圧入するためのパイプ	
		耐CO <sub>2</sub> セメント	ケーシングパイプの固定や補修のために用いられる設備	
		ケーシングパイプ	坑壁抵抗の軽減、坑内トラブル防止等を目的に裸坑に挿入される炭素鋼パイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		耐CO <sub>2</sub> ケーシングパイプ/ 耐CO <sub>2</sub> チュービングパイプ	CO <sub>2</sub> と水の反応による酸性環境が想定される場合に用いられるステンレス製のパイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>生産設備・実績面で優れる国内企業(日本製鉄・JFEスチール)が存在</b></li> </ul>
		温度・圧力計	圧入時の温度・圧力の計測装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
		スクリーンパイプ	微細な孔が多数空いた管を包み、砂の流入を防ぐためのパイプ	

# 貯留分野の設備詳細 (7/12)

## ● 油ガス田貯留(陸域)における整理結果を以下に示す。

抽出技術

主要設備	詳細分類	要素技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
CO2圧縮設備	CO2-EOR設備	随伴ガスCO2分離プラント	生産原油とCO2ガスを分離・回収し再利用するための装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		水タンク	CO2と水による交互圧入のための設備	
		水注入ポンプ		
		耐食鋼	CO2と水の交互圧入により生じる炭酸腐食環境への耐性を付与するための設備	
		コーティング材		
		腐蝕防止剤		
	CO2ガス圧縮設備	コンプレッサー	CO2の高純度化用	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO2コンプレッサーでは、三菱重工、川崎重工、IHI、神戸製鋼など国内事業者が多数存在</li> <li>三菱重工や川崎重工は、海外でのCCSにも製品を納入しているとプレスリリースでも公表している</li> <li>信頼性や実績が重視される分野だが、各社高い信頼性および実績を保有</li> </ul>
		コンプレッサー用ノックアウトドラム	CO2の高純度化用	
		給油装置	コンプレッサーの潤滑油供給	
		モーター	コンプレッサーの駆動部	
		脱水装置	水分の除去	
		パイプ	—	
	弁	—		
	液化CO2昇圧・加温設備	液体CO2貯蔵タンク	バッファタンク	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材の開発余地はあるも技術的な優位性は見出しづらい</li> </ul>
		ブースターポンプ	昇圧のための装置	
		圧入ポンプ		
		加温機	加温のための装置	
		パイプ	—	
弁		—		
CO2ガス及び液化CO2の統合設備	パイプ	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>	
	高圧昇圧設備	地下深い場合に必要		

出所)各種公開情報よりMRI作成

## 貯留分野の設備詳細 (8/12)

- 油ガス田貯留(陸域)における整理結果を以下に示す。

主要設備	詳細分類	要素技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
掘削設備	檣および檣下機器 (マストおよびサブストラクチャー)	ドリルカラー	これらの構成全体をドリル・ストリングと称し、坑井の掘削のために利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> <li>• 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		ドリルパイプ		
		ビット		
		ドロークラス	巻揚げ機構を構成する巨大なウインチ	
		トラベリングブロック	檣の頂上部に取り付けられた動滑車	
		ロータリーテーブル	掘進時にドリル・ストリングを回転させる装置	
		トップ・ドライブ・システム	ドリル・ストリングに回転を与えるシステム	
	泥水循環システム	マッドスクリーン (シールドシェーカー)	リターンしてきた泥水とカッティングスをふるい分ける装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
		シェーカータンク	マッドスクリーンで除去出来なかったカッティングスを自然沈澱させるためのタンク	
		マッドポンプ	掘削泥水を循環させるための大型・高圧のポンプ	
噴出防止装置	BOP: Blowout Preventer	坑井を密閉し地層からのキックを抑えるための装置		

## 貯留分野の設備詳細 (9/12)

- 油ガス田貯留(陸域)における整理結果を以下に示す。

主要設備	詳細分類	要素技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
圧入設備	坑口設備	クリスマスツリー	バルブを幾段にも重ねた安全装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
		BOP	坑井を密閉し地層からのキックを抑えるための装置	
	坑内設備	緊急遮断弁	緊急時にCO2の逆流を防止するための弁	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		チュービングパイプ	CO2を圧入するためのパイプ	
		耐CO2セメント	ケーシングパイプの固定や補修のために用いられる設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
		ケーシングパイプ	坑壁抵抗の軽減、坑内トラブル防止等を目的に裸坑に挿入される炭素鋼パイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		耐CO2ケーシングパイプ/ 耐CO2チュービングパイプ	CO2と水の反応による酸性環境が想定される場合に用いられるステンレス製のパイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 生産設備・実績面で優れる国内企業(日本製鉄・JFEスチール)が存在</li> </ul>
		温度・圧力計	圧入時の温度・圧力の計測装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
スクリーンパイプ	微細な孔が多数空いた管を包み、砂の流入を防ぐためのパイプ			

抽出技術

# 貯留分野の設備詳細 (10/12)

- 油ガス田貯留(海域)における整理結果を以下に示す。

抽出技術

主要設備	詳細分類	要素技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
CO2圧縮設備	CO2-EOR設備	随伴ガスCO2分離プラント	生産原油とCO2ガスを分離・回収し再利用するための装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		水タンク	CO2と水による交互圧入のための設備	
		水注入ポンプ		
		耐食鋼	CO2と水の交互圧入により生じる炭酸腐食環境への耐性を付与するための設備	
		コーティング材		
	腐蝕防止剤			
	CO2ガス圧縮設備	コンプレッサー	CO2の高純度化用	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO2コンプレッサーでは、三菱重工、川崎重工、IHI、神戸製鋼など国内事業者が多数存在</li> <li>三菱重工や川崎重工は、海外でのCCSにも製品を納入しているとプレスリリースでも公表している</li> <li>信頼性や実績が重視される分野だが、各社高い信頼性および実績を保有</li> </ul>
		コンプレッサー用ノックアウトドラム	CO2の高純度化用	
		給油装置	コンプレッサーの潤滑油供給	
		モーター	コンプレッサーの駆動部	
		脱水装置	水分の除去	
		パイプ	—	
		弁	—	
	液化CO2昇圧・加温設備	液体CO2貯蔵タンク	バッファタンク	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材の開発余地はあるも技術的な優位性は見出しづらい</li> </ul>
		ブースターポンプ	昇圧のための装置	
		圧入ポンプ		
		加温機	加温のための装置	
		パイプ	—	
弁		—		
CO2ガス及び液化CO2の統合設備	パイプ	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>	
	高圧昇圧設備	地下深い場合に必要		

出所)各種公開情報よりMRI作成

# 貯留分野の設備詳細 (11/12)

## ● 油ガス田貯留(海域)における整理結果を以下に示す。

主要設備	詳細分類	要素技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
掘削設備 (固定式、 浮体式 共通)	プラット フォーム	プラットフォーム	海上において掘削装置を搭載した施設。固定式、浮体式が存在しており、水深によって使い分けられる	<ul style="list-style-type: none"> <li>輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
掘削設備 (浮体式)		DPS ( Dynamic Positioning System)	船体・浮体を同一位置に保持するシステム。プロペラやスラスターをPC制御し、風・波・潮流の影響を打ち消す	
		固定係留設備	船体・浮体の位置を保持するための設備	
		スイバル	流体・気体・制御信号・電力など送信するラインを静止物体から回転をゆるす物体へ繋ぐ際に、ラインのねじれやよじれを生じさせないための機器	
掘削設備 (固定式、 浮体式 共通)	掘削機器	ドリルカラー	これらの構成全体をドリル・ストリングと称し、坑井の掘削のために利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		ドリルパイプ		
		ビット		
		ドローワークス	巻揚げ機構を構成する巨大なウインチ	
		トラバリングブロック	檣の頂上部に取り付けられた動滑車	
		ロータリーテーブル	掘進時にドリル・ストリングを回転させる装置	
		トップ・ドライブ・システム	ドリル・ストリングに回転を与えるシステム	
	ライザーパイプ	掘削パイプを中に収め、サブシーBOPと掘削リグの間をつなぐ大口径のパイプ		
	泥水循環システム	マッドスクリーン (シェールシェーカー)	リターンしてきた泥水とカッティングスをふるい分ける装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
		シェーカータンク	マッドスクリーンで除去出来なかったカッティングスを自然沈澱させるためのタンク	
マッドポンプ		掘削泥水を循環させるための大型・高圧のポンプ		
噴出防止装置	サブシーBOP	坑井を密閉し地層からのキックを抑えるための装置		

# 貯留分野の設備詳細 (12/12)

- 油ガス田貯留(海域)における整理結果を以下に示す。

抽出技術

主要設備	詳細分類	要素技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
圧入設備	海底設備	マニフォールド	圧入井からのバルブ、配管等を集約させた構造物	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
		ジャンパー	マニフォールドとサブシーツリーを繋ぐためのパイプ	
		フレキシブルライザーパイプ	CO <sub>2</sub> を海底の坑口設備まで運ぶための変形可能なパイプ	
	坑口設備	クリスマスツリー	バルブを幾段にも重ねた安全装置	
		サブシーBOP	坑井を密閉し地層からのキックを抑えるための装置	
	坑内設備	緊急遮断弁	緊急時にCO <sub>2</sub> の逆流を防止するための弁	
		チュービングパイプ	CO <sub>2</sub> を圧入するためのパイプ	
		耐CO <sub>2</sub> セメント	ケーシングパイプの固定や補修のために用いられる設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
		ケーシングパイプ	坑壁抵抗の軽減、坑内トラブル防止等を目的に裸坑に挿入される炭素鋼パイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 成熟した技術であり、海外事業者が国内事業者と同等の設備を供給可能と想定される</li> </ul>
		耐CO <sub>2</sub> ケーシングパイプ/ 耐CO <sub>2</sub> チュービングパイプ	CO <sub>2</sub> と水の反応による酸性環境が想定される場合に用いられるステンレス製のパイプ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 生産設備・実績面で優れる国内企業(日本製鉄・JFEスチール)が存在</li> </ul>
		温度・圧力計	圧入時の温度・圧力の計測装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 輸入品に依存しており、国内の事業者の優位性は低いと想定</li> </ul>
	スクリーンパイプ	微細な孔が多数空いた管を包み、砂の流入を防ぐためのパイプ		

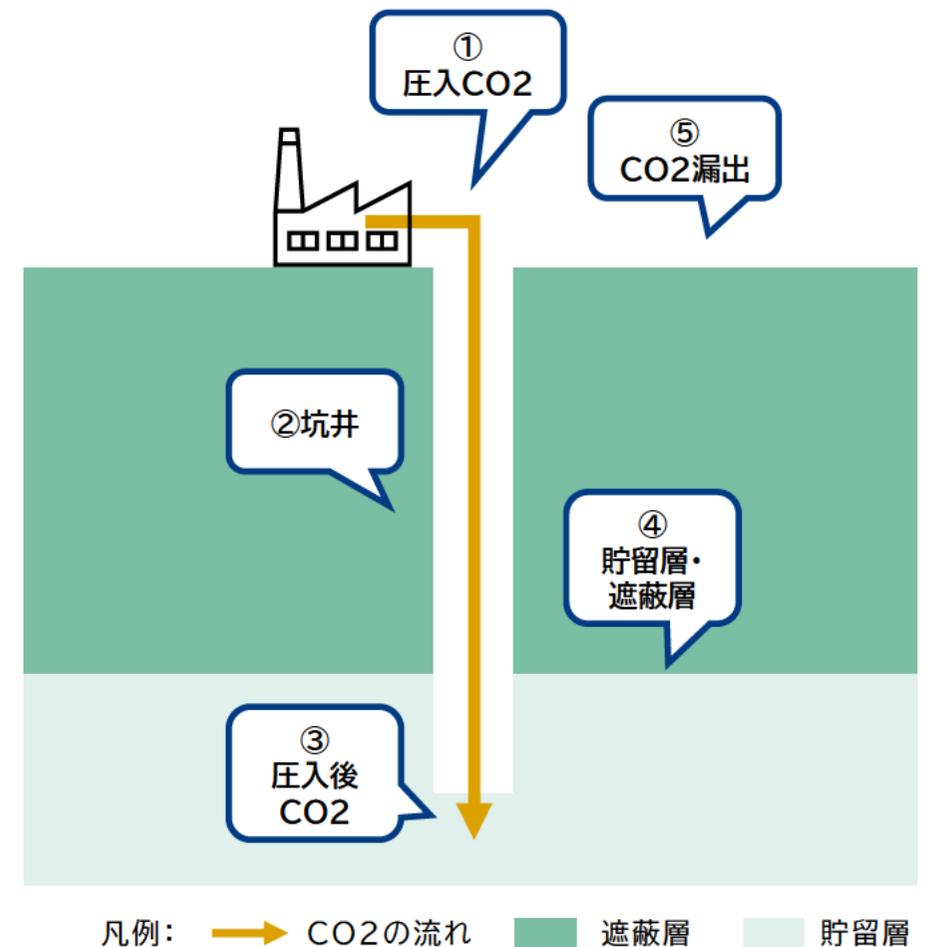
## (再掲)モニタリング分野の概要

- CCSにおけるモニタリングの目的は5つあり、それぞれの目的に対してモニタリング対象は圧入CO<sub>2</sub>、坑井、圧入後CO<sub>2</sub>、貯留層・遮蔽層、CO<sub>2</sub>漏出が対応する。
- 目的に対応する技術を整理し、バリューチェーンで用いられる設備を検討した。

モニタリングの目的と対応する技術

モニタリングの目的	対応するモニタリング技術
①圧入CO <sub>2</sub> の性状が適切であるか	圧入CO <sub>2</sub> 監視システム
②坑井の耐久性に問題はないか	光ファイバー計測
	物理検層
③圧入後のCO <sub>2</sub> 状況・挙動は適切であるか	温度圧力測定
	弾性波探査
	地層流体試料採取・分析
	物理検層
④貯留層・遮蔽層は安定しているか	微動観測
	地層試料採取・分析
	電気/電磁探査
	重力探査
⑤地上にCO <sub>2</sub> が漏出していないか	気泡音響計測
	化学センサ
	同位体分析
	サンプル採取・分析

モニタリング対象



## 国内事業者が優位性を持ちうるモニタリング技術（1/2）

- 国内事業者が優位性を持ちうるモニタリング技術として、光ファイバー計測技術と微動観測技術を抽出した。

モニタリング対象	モニタリング技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
圧入CO2	圧入CO2監視システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>温度計や圧力計などで圧入CO2の性状を常時モニタリングする</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CCS固有の技術ではなく、成熟した技術である。特定の企業に優位性がある状況ではないと考えられる。</li> </ul>
坑井	光ファイバー計測	<ul style="list-style-type: none"> <li>光ファイバーにより温度、歪、振動を計測する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低コストかつ高精度な技術であることから、今後、既存技術（物理検層や弾性波探査等）の代替として市場を伸ばすと考えられる。</li> <li>RITEが研究開発、実証試験を実施</li> </ul>
	物理検層	<ul style="list-style-type: none"> <li>掘削した孔井内に各種測定器（検層器）を降下させる。検層器から得られる物理量を用いて、地層中の地質情報を連続的に計測する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>光ファイバー計測技術にて代替されると考えられる。</li> </ul>
圧入後CO2	温度圧力測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>PTセンサーにより、貯留層と遮蔽層の温度、圧力を測定する</li> </ul>	
	弾性波探査	<ul style="list-style-type: none"> <li>弾性波を発振し、反射波を受振することにより、地下構造や貯留層内のCO2分布状況を把握する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>油ガス田開発事業でも利用されており、海外で成熟した技術である。</li> <li>本技術は手間と時間、コストがかかる。今後、光ファイバー計測技術を用いることで、実施回数を削減すると考えられる。</li> </ul>
	地層流体試料採取・分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>ケーシングに穴をあけ地層流体試料を採取・分析する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コストが大きいと基本的には実施されない</li> </ul>
	物理検層	（上記、物理検層と同様）	（上記、物理検層と同様）

抽出技術

## 国内事業者が優位性を持ちうるモニタリング技術（2/2）

- 国内事業者が優位性を持ちうるモニタリング技術として、光ファイバー計測技術と微動観測技術を抽出した。

モニタリング対象	モニタリング技術	技術概要	CCSにおける優位性の評価
貯留層・遮蔽層	微動観測	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震計等を設置することで圧入に伴う微小振動の監視を行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>海外事業者と比較して高い品質と実績を保有し、競争力を持つと考えられる。</li> </ul>
	地層試料採取・分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>地層試料を採取・分析する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>手段としては存在するが、現状、他のモニタリング技術で代替でき、基本的に実施されない</li> </ul>
	電気/電磁探査	<ul style="list-style-type: none"> <li>大地の比抵抗を調査することにより地下構造を推定する</li> <li>陸上～浅海まで有効</li> </ul>	
	重力探査	<ul style="list-style-type: none"> <li>地球上のある場所での重力を測定することで、基盤構造の決定、褶曲構造、潜在断層、カルデラ構造の検出を行う</li> </ul>	
(参考) CO2漏出	気泡音響計測	<ul style="list-style-type: none"> <li>漏出CO2の検出・定量化技術。漏出場所が特定されている場合に有効</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>左記のモニタリングは2次監視に該当。上述のモニタリング(1次監視)でCO2漏出兆候が検知された時のみ実施される検査であり、定常的な設備でないため、評価の対象外とする</li> <li>検査の実施回数は、圧入開始前の1回+適宜であり、市場の拡大は見込めないと想定される</li> </ul>
	化学センサ	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO2漏出可能性がある海域にて、漏出懸念点の存在範囲を絞り込む面的な調査として、pH または pCO2を測定する</li> </ul>	
	同位体分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO2起源を同定することで、圧入されたCO2か否かを判断する</li> </ul>	
	サンプル採取・分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>大気・海水・土壌などを採取し、CO2の流入を検知する</li> </ul>	

抽出技術

## 抽出したモニタリング技術の設備詳細

- 国内事業者が優位性を持ちうる設備として、光ファイバー計測技術から光ファイバーケーブルとDSS装置を、微動観測技術から地震計を抽出した。

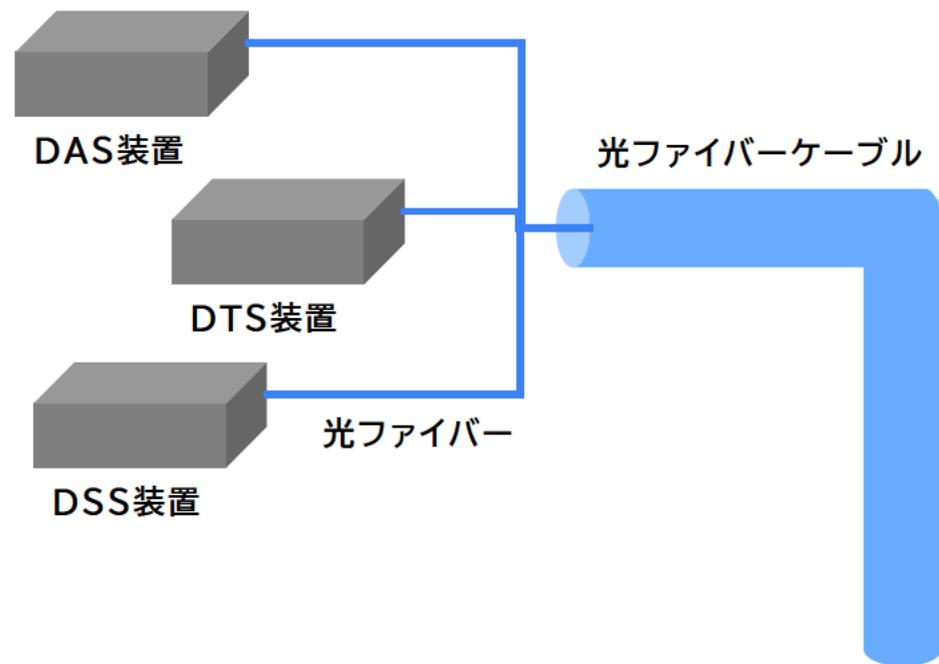
技術分類	主要設備	技術概要	CCSにおける優位性の評価	
光ファイバー計測	光ファイバーケーブル	<ul style="list-style-type: none"> <li>CCSにおいては分布式センサー方式の採用が検討されており、長距離かつ連続的な多点計測が可能</li> <li>メンテナンスが不要で半永久的に使用可能。また、複数の光ファイバーを束ねて1本の光ファイバーケーブルとすることで、音響、温度、歪といった多項目のデータ取得が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存の光ファイバーケーブル市場では、国内事業者が競争力を保有しているため、CCS市場においても対応できる可能性がある。</li> </ul>	
	計測装置	DAS装置 (Distributed Acoustic Sensing)	<ul style="list-style-type: none"> <li>音響計測を行い、CO2分布状態の把握や地震観測が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>汎用品として、海外事業者が強みを保有</li> </ul>
		DTS装置 (Distributed Temperature Sensing)	<ul style="list-style-type: none"> <li>温度計測を行い、坑井周辺のCO2漏洩監視が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>汎用品として、海外事業者が強みを保有</li> </ul>
		DSS装置 (Distributed Strain Sensing)	<ul style="list-style-type: none"> <li>歪計測を行い、貯留層・遮蔽層の力学的安定性監視が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>汎用品は、海外事業者が強みを保有</li> <li>高感度な製品として、国内事業者が強みを保有</li> </ul>
微動観測	地震計	<ul style="list-style-type: none"> <li>圧入に伴う微小振動の監視を行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>海外事業者と比較して高い品質と実績を保有</li> </ul>	

抽出技術

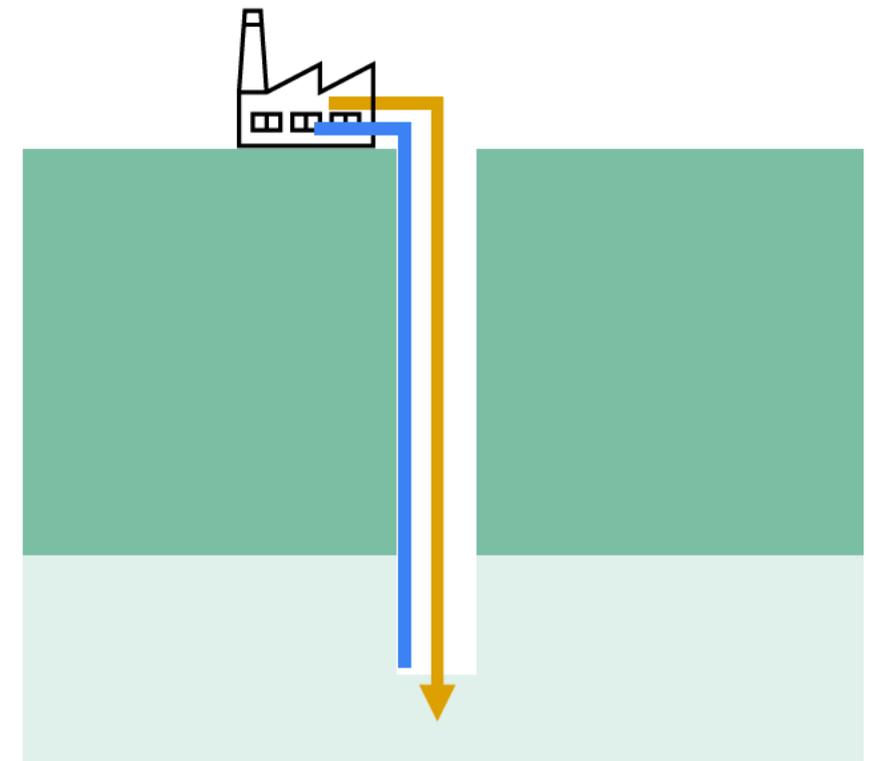
## (参考)光ファイバー計測技術

- 光ファイバー計測技術は、複数の光ファイバーを1本に束ねた光ファイバーケーブルと各計測装置(DAS装置、DTS装置、DSS装置)が主要設備となる。
- 光ファイバーケーブルは坑井掘削時に坑壁に沿わせて設置されるため、坑井掘削の計画段階から導入を決定する必要がある。

光ファイバー計測技術の主要設備



光ファイバーケーブルの設置イメージ



凡例: — 光ファイバーケーブル → CO2の流れ  
 遮蔽層     貯留層

## 3-1.CCSバリューチェーンを構成する各種設備の調査・特定及び優位性に関する調査・分析

---

- 3-1-1.バリューチェーンの概要
- 3-1-2.設備概要と優位性の評価
- 3-1-3.国内事業者が強みを持つ設備の優位性および課題の整理
- 3-1-4.国内外の主なプレイヤーの整理
- 3-1-5.マップを用いた整理

# 調査方法

- 「3-1-2.設備概要と優位性の評価」において抽出した国内事業者が優位性を持ちうる設備を対象に各種公開情報を調査し、国内外の事業者および、国内事業者の優位性や課題を帳票の形式でとりまとめた。

## 各技術の技術に関する情報の整理

### 技術帳票を作成した抽出設備リスト

分野	技術帳票を作成した技術	
分離回収	化学吸収法	
	固体吸収法	
	膜分離法	
	CO2コンプレッサー	
輸送	ラインパイプ	
	LCO2船	
貯留	耐CO2パイプ	
モニタリング	光ファイバー計測	光ファイバーケーブル
		DSS装置
	地震計	

### 技術帳票のイメージ

要素技術分類		• XXX
主な事業者	国内	• XXX
	海外	• XXX
技術概要		• XXX
CCSにおける優位性	技術	• XXX
	技術以外	• XXX
CCSにおける解決すべき課題	技術	• XXX
	技術以外	• XXX
技術課題の解決方向性		• XXX
その他の優位性(CCS以外の他事業・産業への横展開ポテンシャル)		• XXX

## 分離回収 - 化学吸収法

- 三菱重工の開発した化学吸収法プロセスは、CO<sub>2</sub>の回収エネルギーが約2.4GJ/t-CO<sub>2</sub>と、通常のアミンの回収エネルギー:4.0GJ/t-CO<sub>2</sub>に比べて大幅に少ない。また、既に商用化済みの技術であり、顧客の信頼を獲得していることが強みと考えられる
- 化学吸収法の課題として、更なるエネルギー削減や環境性の向上が求められている。

### 優位性および課題の整理結果

要素技術分類		分離回収 - 化学吸収法
主な事業者	国内	・三菱重工、東芝、日鉄エンジニアリング(RITEと共同研究)、東ソー、IHIなど
	海外	・Shell、Aker、CARBON CLEAN、Fluor、BASFなど
技術概要		・ガス分子とアミン/アルカリとの化学反応を利用して、CO <sub>2</sub> を分離回収する。吸収液の種類によってCO <sub>2</sub> 分圧が低い場合にも適用可能で、連続プロセスのため大規模な排出源に対しても適用可能である。
CCSにおける優位性	技術	・エネルギー消費が少なく、有害物資の放出量が少ない吸収液の開発 -化学吸収法の吸収液に関する研究が盛んに行われており、CO <sub>2</sub> の回収に必要なエネルギーの削減が取組まれている。三菱重工の開発した化学吸収法プロセス(KM-CDR)ではCO <sub>2</sub> 回収エネルギーが、約2.4GJ/t-CO <sub>2</sub> と、一般的なアミン吸収液の回収エネルギー 4.0GJ/t-CO <sub>2</sub> に比べ、大幅に少ない。また、有害物質であるアミンの放出量が少ないなどの優位性を持ち、世界の多くのプロジェクトで用いられている。
	技術以外	・先行開発による先行者利益の獲得・参入障壁の形成 -三菱重工は、化学吸収法を用いた排ガスからのCO <sub>2</sub> 回収において、30年以上の研究・商用実績を持つ。技術開発段階の技術が多い分離回収技術の中で、実績のある技術として顧客からの信頼を獲得している。
CCSにおける解決すべき課題	技術	・更なるエネルギー消費の削減 -化学吸収法の課題は、CO <sub>2</sub> を吸収した液の再生に多量のエネルギー(主に蒸気)が必要で、運転コストが高くなってしまいうことである。再生にかかるエネルギーを削減することで更なる普及拡大が見込まれる。
	技術以外	・アミンの環境負荷 -吸収液に用いられるアミン溶媒は環境負荷が高く、大気へ放散しないことが重要である。
技術課題の解決方向性		・新規吸収液の開発による回収エネルギー削減、回収プロセスの最適化(熱回収など)
その他の優位性(CCS以外の他事業・産業への横展開ポテンシャル)		・化学吸収法は、アンモニア製造においてCO <sub>2</sub> を分離するために利用されている。高純度なCO <sub>2</sub> が得られることが特徴で、回収したCO <sub>2</sub> はドライアイスや液化炭酸ガスに利用されるケースが多い。

## 分離回収 – 固体吸収法

- 川崎重工、RITEの開発した固体吸収法プロセスは、CO<sub>2</sub>の回収エネルギー目標が1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>であり、化学吸収法と比較して大幅なエネルギー削減が見込まれている。
- 固体吸収法の課題として、実証段階の技術であるため顧客の信頼獲得が必要なことや、供給体制の確立が挙げられる。

### 優位性および課題の整理結果

要素技術分類		分離回収 – 固体吸収法(化学吸着・吸収法)
主な事業者	国内	・川崎重工(RITEとの共同事業)、千代田化工建設、エア・ウォーター、戸田工業など
	海外	・Shell、Svante、TDA Research Incなど
技術概要		・アミンを含浸またはアルカリ金属を担持した多孔質材に、圧力差や温度差を駆動力にしてCO <sub>2</sub> を吸脱着させ分離回収を行う。バッチ式プロセスであり、中小規模の排出源に適した回収技術である(大規模化には系列数を増やす必要がある)
CCSにおける優位性	技術	・エネルギー消費が少ない吸着・吸収材の開発 -吸収材の実証開発が行われており、CO <sub>2</sub> の回収に必要なエネルギーの削減が目標とされている。川崎重工とRITEの開発した吸収材は、化学吸収法に比べCO <sub>2</sub> 回収エネルギーを大幅に削減することが可能で、1.5GJ/t-CO <sub>2</sub> での分離回収が見込まれている。低温蒸気(60℃)で再生可能なことも特徴の一つであり、廃熱が適用できるケースでは更なるコスト削減が見込まれる。同技術は、2025年度の商用化を目指している。
	技術以外	・技術的優位性を維持するための取組み -RITEは、低温(60℃)で再生が可能な固体吸収材の開発し、米国および日本で特許を取得している。また、エンジニアリング企業の川崎重工と連携して技術開発を行い、スケールアップの実証に繋げている。
CCSにおける解決すべき課題	技術	・プラントの更なる大型化と信頼性の向上 -RITEの固体吸収材は、現在実証段階であり、2023年10月より実施する実証における目的は、将来の社会実装を見据えたプラントの大型化および信頼性の向上とされている。スケールアップによって技術成熟度を高める必要がある。
	技術以外	・需要に対応できる供給体制 -RITEの固体吸収材では材料開発における課題として、大規模製造技術の確立が挙げられている。
技術課題の解決方向性		・関西電力舞鶴発電所の実ガス試験を通して大型プラントにおける成立性の検証が行われている ・固体吸収材の製造技術はベンチスケールの製造技術確立が進み、現在製造期間の短縮などを検討中
その他の優位性(CCS以外の他事業・産業への横展開ポテンシャル)		・特になし(現状CO <sub>2</sub> 分離用途で開発が進んでいる。CO <sub>2</sub> 回収の中でもDACへの利用が検討されている)

## 分離回収 - 膜分離法

- 次世代型膜モジュール技術研究組合の推計では、作成した単膜によってCO<sub>2</sub>回収エネルギー:0.5GJ/t-CO<sub>2</sub>を達成しており、化学吸収法と比較して大幅なエネルギー削減が期待されている。
- 膜分離法の課題として、実証段階の技術であるため顧客の信頼獲得が必要なことや、実用化へのスピード向上が挙げられる。

### 優位性および課題の整理結果

要素技術分類		分離回収 - 膜分離法
主な事業者	国内	・住友化学、OOYOO、日本ガイシなど
	海外	・MTRなど
技術概要		・主には圧力差を駆動力にして、CO <sub>2</sub> を分離するため高圧プロセスで有利である。一方で、より低圧な産業排ガスへの適用もに検討されている。連続プロセスであり、ガスを膜に通せば分離できるため、シンプルな設備構成が可能である。
CCSにおける優位性	技術	・エネルギー消費が少ない分離膜の開発 -分離に膜に関する研究が盛んに行われており、CO <sub>2</sub> の回収に必要なエネルギーの削減が主な目的である。例えば、次世代型膜モジュール技術研究組合が開発した単膜(分子ゲート膜)を用いた試算では0.53GJ/t-CO <sub>2</sub> での分離回収を想定しており、回収エネルギー削減に大きなポテンシャルを持つ。
	技術以外	・膜開発に強みを持つ多様なプレイヤー -住友化学や日本ガイシや以外にも、九州大学や神戸大学など膜分野の研究に強い大学が存在する。また商業化している天然ガス向けの分離膜では東レや富士フィルムなど多様な企業が存在し、国内事業者として膜に関わるプレイヤーが多く存在する。
CCSにおける解決すべき課題	技術	・安定性や分離性能に優れる膜の開発 -分離膜は、多くのケースでガス中に含まれる微量不純物による膜の劣化が起これ安定性に課題がある。また、更なるCO <sub>2</sub> の分離性能の向上も実用化に向けた課題とされている。
	技術以外	・実用化へのスピード向上のため開発体制構築 -排ガスからのCO <sub>2</sub> 回収においては、一部海外企業が実証段階へと先行している。国内技術に関しては、実用化に向けたスピードも課題の一つとされており、オープンイノベーションの活用等が期待されている。
技術課題の解決方向性		・膜自体の性能構造、膜製造のための塗工プロセスの開発等によるコスト削減が取組まれている
その他の優位性(CCS以外の他事業・産業への横展開ポテンシャル)		・天然ガス製造では既に商業化しており、採掘したガスからCO <sub>2</sub> を分離する際に利用されている。

## 分離回収 -CO<sub>2</sub>コンプレッサー

- CO<sub>2</sub>コンプレッサーは設備導入後の安定性やメンテナンス対応などの、信頼性・実績が特に重視される設備であり、類似の実績（肥料プラントやEORなど）やCCS実証での納入実績が大きな優位性となると想定する。
- 既に商業化されており類似の実績も存在するため大きな課題はないが、実績が重視されるためCCS市場への早期導入が重要と考えられる。

### 優位性および課題の整理結果

要素技術分類		分離回収 -CO <sub>2</sub> コンプレッサー
主な事業者	国内	・三菱重工、川崎重工、IHI、神戸製鋼
	海外	・Ingersoll Rand、Siemens Energy AG、Baker Hughes Company、Atlas Copco、MAN Energy Solutionsなど
技術概要		・CO <sub>2</sub> コンプレッサーはCO <sub>2</sub> 圧入や輸送のための昇圧に利用される。CCSにおいて必要不可欠な設備である。
CCSにおける優位性	技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CCS用途に向けた設備コストの削減</li> <li>-CO<sub>2</sub>を貯留するためだけのCCSでは可能な限り設備投資にかかる建設費用や設備維持のためのメンテナンス費用の低減が求められており、三菱重工は大容量CO<sub>2</sub>圧縮に適したコンプレッサーの開発に取り組む。</li> </ul>
	技術以外	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CO<sub>2</sub>を扱う化学プラントやEOR、CCS実証プロジェクトへの納入実績</li> <li>-コンプレッサーは性能も重要だが、導入後の安定性やメンテナンス対応などでの実績・信頼性が特に重視される設備である。肥料プラントやEOR、CCS実証での納入実績が大きな優位性となる。</li> <li>・コンプレッサー以外でのCCSに関する取り組み</li> <li>-三菱重工や川崎重工、IHIなどコンプレッサーを取り扱う国内事業者の多くが、コンプレッサー以外のCCS技術（分離回収技術など）にも取り組んでいる。回収システムと同時にCO<sub>2</sub>コンプレッサーの導入をサービス提案することが可能と想定する。</li> </ul>
CCSにおける解決すべき課題	技術	・CCSの普及に応じたコスト削減等は進むと想定されるが、既に商業化している技術であり大きな技術的課題はない
	技術以外	・既に商業化されており類似の実績も存在するため大きな課題はないが、実績が重視される設備のためCCS市場への早期導入が重要と考えられる
技術課題の解決方向性		—
その他の優位性（CCS以外の他事業・産業への横展開ポテンシャル）		・ガスコンプレッサーの技術がCCSにも展開されている。ガスコンプレッサーを製造している企業がCO <sub>2</sub> コンプレッサーも取り扱う。

## 輸送 - ラインパイプ

- ラインパイプは成熟された技術で対応可能なため、技術的な優位性を見出すことは難しい。
- 一方で、実績が重視される市場となることが想定されるため、オイル&ガス市場で豊富な実績を有する国内事業者に一定の優位性があると考える。

### 優位性および課題の整理結果

要素技術分類		輸送-陸上輸送-ラインパイプ
主な事業者	国内	・日本製鉄、JFEスチール
	海外	・Vallourec、Tenaris SA、ArcelorMittal、Welspun Corp Ltd、POSCO Holdings Incなど
技術概要		・陸上において、CO <sub>2</sub> を輸送するためのパイプ
CCSにおける優位性	技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・輸送対象のガス性状(水分量等)に応じて腐食が発生しないような工夫が必要</li> <li>・極短距離であれば、ステンレス等の高価な素材を用いることで防食対策が可能だが、基本的にはコスト高となるため事前にガスのコンディショニングを行い、通常の炭素鋼パイプを用いる。</li> <li>・基本的に成熟した技術を用いるため、技術以外の優位性が重要となる。</li> </ul>
	技術以外	<ul style="list-style-type: none"> <li>・従来用途であるオイル&amp;ガス市場では、ラインパイプの選択に実績面が重視されているため。CCS市場立ち上がり期はEOR等の用途での導入が進むと考えられ、オイル&amp;ガス市場の顧客による発注が想定されることから、CCS市場においても実績が重視される可能性が高い。そのため、実績が豊富な国内事業者が優位性を持つ可能性がある。</li> </ul>
CCSにおける解決すべき課題	技術	・基本的には既存技術で対応可能
	技術以外	・CCSにおける早期の実績獲得が肝要
技術課題の解決方向性		—
その他の優位性(CCS以外の他事業・産業への横展開ポテンシャル)		—

## 輸送 - LCO2船

- LCO2船は、CO2ハンドリング技術が技術的な差別化要素となる。
- 国内事業者は世界初のCCS向けLCO2輸送実証船を竣工するなど、一定の技術的優位性を有する。

### 優位性および課題の整理結果

要素技術分類		輸送-海上輸送-LCO2船(船体・タンク・冷却装置など)
主な事業者	国内	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 企画・設計: 日本シッパード、商船各社(商船三井・日本郵船・川崎汽船)</li> <li>• 造船: 今治造船、JMUなど</li> <li>• CO2ハンドリングシステム: 三菱造船など</li> <li>• タンク: 泉鋼業株式会社、新来島サノヤス造船など</li> </ul>
	海外	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hanwha Ocean, Hyundai Heavy Industries and Hyundai Glovis Co., Dalian Shipbuilding Industry Co. Ltd, Shanghai Merchant Ship Design &amp; Research Institute, TGE Marine, Frisian Shipyardなど</li> </ul>
技術概要		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 長距離輸送向けの低温・低圧での液化CO2輸送技術</li> <li>• 特にCO2ハンドリングにかかる技術が差別化の要素となる</li> </ul>
CCSにおける優位性	技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 低温・低圧での輸送は三重点に近いLCO2はを取り扱うため、ドライアイスとなりやすい。そのためタンク材質やタンクを揺れを防ぐ仕組み、ボイルオフガスの処理が重要となる</li> </ul>
	技術以外	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2020年度から実施するNEDO事業で検討され、世界に先駆けて実証船の建造まで実現した実績を有する</li> </ul>
CCSにおける解決すべき課題	技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 実証船で得られた知見を踏まえた、大型商用船の建造に向けた各種技術開発</li> </ul>
	技術以外	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LCO2向けタンクの鋼材開発自体は技術的に対応可能であるが、需要が十分に確保できない場合には開発コストに見合わなくなるため開発が行われず、既存の高価な鋼材で対応する必要があり競争力が低下する。よって需要確保が課題となる。</li> <li>• 現時点の大型船の建造能力は中韓の方が高いため、状況が改善されない場合には、大型船に関しては国内事業者が劣勢になることが想定される。</li> </ul>
技術課題の解決方向性		—
その他の優位性(CCS以外の他事業・産業への横展開ポテンシャル)		—

## 貯留 – 耐CO2パイプ

- 耐CO2パイプは、実績が重視される市場となることが想定されるため、Northern Lightsプロジェクトにおける供給実績を有する日本製鉄をはじめ、国内事業者に一定の優位性があると考えられる。
- 一方、IEAのシナリオ通りのCO2回収量を達成する場合、耐CO2パイプの製造に必要なステンレス鋼の供給力不足が課題となる可能性がある。

### 優位性および課題の整理結果

要素技術分類	貯留 – 圧入設備 – 耐CO2ケーシングパイプ/耐CO2チュービングパイプ	
主な事業者	国内	・日本製鉄、JFEスチール
	海外	・Tenaris
技術概要	・酸性環境に対する高耐腐食性を兼ね備えたケーシングパイプ/チュービングパイプ	
CCSにおける優位性	技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地層水と圧入CO2が反応する場合に酸性環境が引き起こされるため、酸性への耐腐食性を有するステンレス製のパイプの製造が可能である点が優位。</li> <li>・加えて、ケーシングパイプについてはパイプの自重や地層圧による加重への耐性を両立することが必要であり、高グレードAPI規格を満たすことができる点も優位。</li> </ul>
	技術以外	・日本製鉄は2021年に欧州北海で実施されているNorthern Lightsプロジェクトにおいて、1,390mのステンレス油井管の供給実績を保有。
CCSにおける解決すべき課題	技術	・基本的には既存技術で対応可能
	技術以外	<ul style="list-style-type: none"> <li>・IEAのシナリオ通りのCO2回収量を達成する場合、耐CO2パイプの製造に必要なステンレス鋼が不足すると想定される。そのため、ステンレス鋼を含めて耐CO2パイプの供給力の向上を図る必要がある。</li> <li>・実証実験をはじめとした各種PJへの導入等で実績を積むことで、早期のシェア獲得・維持を目指す必要がある。</li> </ul>
技術課題の解決方向性	—	
その他の優位性(CCS以外の他事業・産業への横展開ポテンシャル)	—	

## モニタリング - 光ファイバーケーブル

- 光ファイバー計測技術は、現在RITEが実証試験を実施しており、低コストかつ高精度な技術であることから、今後市場を伸ばすと考えられる。
- 光ファイバーケーブル自体の製造技術は国内で一定の強みを有していると考えられる一方で、CCS向け光ファイバーケーブルとしては、新たな技術開発や生産ラインの整備が必要になる。

### 優位性および課題の整理結果

要素技術分類		モニタリング - 光ファイバー計測 - 光ファイバーケーブル
主な事業者	国内	・フジクラ、古河電工、住友電気工業など
	海外	・Corning、Amphenol Corporation、YOFCなど
技術概要		<ul style="list-style-type: none"> <li>・複数の光ファイバーを束ねた1本の光ファイバーケーブルにより、音響、温度、歪を坑井内の複数地点において同時に連続的に計測可能。</li> <li>・光ファイバー計測技術により、物理検層を代替可能。また、コストの高い反射法探査の実施回数を低減できるため、モニタリングコストの大幅な削減が期待できる。</li> <li>・ケーブルメンテナンスの必要がなく、数十年間同様のケーブルで計測可能。ツール変更による検出能力のずれがない。</li> </ul>
CCSにおける優位性	技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CCSで用いる光ファイバーケーブルは、高感度、長距離、高強度な必要がある</li> <li>・既存の光ファイバーケーブル市場では、国内事業者3社(フジクラ、古河電工、住友電気工業)が一定のシェアを占めているため、光ファイバーケーブル自体の製造技術は強みを保有していると考えられる。</li> </ul>
	技術以外	・RITEが光ファイバー計測の実証試験を実施中
CCSにおける解決すべき課題	技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CCSに向けた高感度、長距離、高強度な光ファイバーケーブルの技術開発が必要になると想定される。</li> <li>・課題ではないが、坑井掘削時に設置する必要があるため、既存の坑井には導入ができない点に留意が必要。</li> </ul>
	技術以外	・国内市場が確立していないため、CCS向け光ファイバーケーブルの生産ラインが整備されていないと考えられる。
技術課題の解決方向性		・新たな技術開発に加え、生産ラインの整備が必要となる。
その他の優位性(CCS以外の他事業・産業への横展開ポテンシャル)		・油田開発事業の坑井やラインパイプ、橋梁やトンネルなどの社会インフラ設備、大型構造物などにおいて、健全性監視ツールとしての適用が考えられている。

## モニタリング -DSS装置

- 光ファイバー計測技術は、現在RITEが実証試験を実施しており、低コストかつ高精度な技術であることから、今後市場を伸ばすと考えられる。
- ニューブレックスのDSS装置は、汎用品と比較して高感度であり優位性を保有する。一方で、供給力が課題となる可能性がある。

### 優位性および課題の整理結果

要素技術分類	モニタリング -光ファイバー計測 -DSS装置	
主な事業者	国内	・ニューブレックス
	海外	・Schlumberger、Halliburton、Baker Hughes、Silixaなど
技術概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・歪の計測によって圧入に伴う応力変化やCO2Plumeの把握が可能。地層の変形や井戸の健全性を直接的に計測できる。</li> <li>・光ファイバー計測技術により、物理検層を代替可能。また、コストの高い反射法探査の実施回数を低減できるため、モニタリングコストの大幅な削減が期待できる。</li> </ul>	
CCSにおける優位性	技術	・ニューブレックスのDSS装置はひずみ計測精度が $1\mu\varepsilon$ 以下であり、汎用品の $50\sim 100\mu\varepsilon$ と比較しても非常に高感度な製品である。
	技術以外	・RITEが光ファイバー計測の実証試験を実施中
CCSにおける解決すべき課題	技術	・現状、特筆すべき課題はない。現在、実証試験が実施されており、国内では2030年頃から導入予定。
	技術以外	・ニューブレックスはベンチャー企業であるため、供給力が乏しい可能性がある。
技術課題の解決方向性	—	
その他の優位性(CCS以外の他事業・産業への横展開ポテンシャル)	・油田開発事業の坑井やラインパイプ、橋梁やトンネルなどの社会インフラ設備、大型構造物などにおいて、健全性監視ツールとしての適用が考えられている。	

## モニタリング－地震計

- 国内事業者は、優れた品質の地震計を製造できるとして優位性を保有する。
- 地震計は成熟した技術であり、大きな技術課題は存在しない。

### 優位性および課題の整理結果

要素技術分類		モニタリング－微動観測－地震計
主な事業者	国内	・東京測振、白山工業、応用地質など
	海外	・NANOMETRIC、Geospace Technologies、Kinematicsなど
技術概要		・操業に伴う振動、自然地震を坑内外の3成分地震計にて計測。
CCSにおける優位性	技術	・海外事業者と比較して高い品質と実績を保有し、競争力を持つと考えられる。
	技術以外	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハイネットという地震観測を20年以上運用しているため、運用上のノウハウを国や研究所が保有している可能性が高い。</li> <li>・地震計による計測結果が安全か否かを判断するためのソフトウェアも必要になるため、RITEが開発したATLS(※)などとセットで販売することが考えられる。(※ATLSとは、地震計で常時観測しているCO2圧入サイト周辺の自然地震や微小振動の結果と、他の観測結果を総合判断しCO2圧入操業管理へフィードバックする安全管理システム。)</li> <li>・地震国への展開が考えられる。地震国以外にも地震とCCSとの関係を否定するために用いられる可能性は大いにある。</li> </ul>
CCSにおける解決すべき課題	技術	・成熟している技術であるため、大きな技術的課題はない。
	技術以外	・地震計はコストの関係上、陸上のみに設置されることが多い。
技術課題の解決方向性		—
その他の優位性(CCS以外の他事業・産業への横展開ポテンシャル)		・油ガス田開発等にも利用される、既に成熟している技術である。

## 3-1.CCSバリューチェーンを構成する各種設備の調査・特定及び優位性に関する調査・分析

---

- 3-1-1.バリューチェーンの概要
- 3-1-2.設備概要と優位性の評価
- 3-1-3.国内事業者が強みを持つ設備の優位性および課題の整理
- 3-1-4.国内外の主なプレイヤーの整理
- 3-1-5.マップを用いた整理

## 調査方法

- 「3-1-2.設備概要と優位性の評価」において抽出した国内事業者が優位性を持ちうる設備を対象に各種公開情報を調査し、国内外の事業者および、その動向の詳細について企業リストの形式でとりまとめた。

### 各技術の国内外の企業に関する情報の整理

#### 技術帳票を作成した抽出設備リスト

分野	技術帳票を作成した技術	
分離回収	化学吸収法	
	固体吸収法	
	膜分離法	
	CO2コンプレッサー	
輸送	ラインパイプ	
	LCO2船	
貯留	耐CO2パイプ	
モニタリング	光ファイバー計測	光ファイバーケーブル
		DSS装置
	地震計	

#### 企業リストのイメージ

国内/海外	企業名	概要
国内	A社	・XXX(CCSに関する取組みや、開発技術の特徴など)
	B社	・XXX
	C	・XXX
海外	D社	
	E社	

## 抽出設備の主なプレイヤー

- 「3-1-2.設備概要と優位性の評価」において抽出した国内事業者が優位性を持ちうる設備を対象に、国内外の主なプレイヤー動向の整理を実施した。

各設備において調査した企業リスト

分野	抽出技術		企業名	
			国内	海外
分離回収	化学吸収法		三菱重工、東芝、日鉄エンジニアリング、東ソー、IHI	Shell、Aker、CARBON CLEAN、Fluor、BASF
	固体吸収法		川崎重工、千代田化工建設、エア・ウォーター、戸田工業	Shell、Svante、TDA Research Inc
	膜分離法		住友化学、OOYOO、日本ガイシ	MTR
	CO2コンプレッサー		三菱重工、川崎重工、IHI、神戸製鋼	Atlas Copco、Ingersoll Rand、Baker Hughes Company、Siemens Energy AG、MAN Energy Solutions
輸送	ラインパイプ		日本製鉄、JFEスチール	Vallourec、Tenaris SA、ArcelorMittal、Welspun Corp Ltd、BAOSTEEL、POSCO Holdings Inc
	LCO2船		三菱造船、日本シッパード	Hanwha Ocean、Hyundai Heavy Industries and Hyundai Glovis Co.、Dalian Shipbuilding Industry Co. Ltd、TGE Marine、Frisian Shipyard
貯留	耐CO2パイプ		日本製鉄、JFEスチール	Tenaris
モニタリング	光ファイバー計測	光ファイバーケーブル	フジクラ、古河電工、住友電気工業	Corning、Amphenol Corporation、YOFC
		DSS装置	ニューブレクス	Schlumberger、Halliburton Baker Hughes、Silixa
	地震計		東京測振、白山工業、応用地質	NANOMETRIC、Geospace Technologies、Kinematics

## 分離回収 - 化学吸収法 (1/2)

- 化学吸収法は、既に商業段階の技術であり、国内外に多くのプレイヤーが存在する。
- 三菱重工は、シェア70%以上を占めており優位性を保有する。

### 化学吸収法に取り組む国内外の企業

国内/海外	企業名	概要
国内	三菱重工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1990年に関西電力と高性能アミン吸収液「KS-1」およびCO2回収プロセス「KM CDR Process」を共同開発。2021年には、新型吸収液「KS-21」およびKS-21を採用した最新鋭のCO2回収プロセス「Advanced KM CDR Process」を開発し、英国電力会社Drax社のプロジェクトに採択</li> <li>・ CO2回収エネルギーが、約2.4GJ/t-CO2と、一般的なアミン吸収液の回収エネルギー 4.0GJ/t-CO2に比べ、大幅に少ない。また、CO2回収プラントコストの3割を削減可能とプレスリリースを発表</li> <li>・ 世界各地に計16基の商用CO2回収プラントを納入した実績を保有。排ガスからのCO2改修でシェア70%を占める。</li> </ul>
	日鉄エンジニアリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 主にRITEが低熱消費量で運転可能となる高性能アミン吸収液の開発を実施</li> <li>・ 日鉄エンジは液開発と連携しながら実証プラントを設計・建設し、従来法に比べ熱消費量が少なく液劣化速度が遅い、省エネ型化学吸収法を検討</li> <li>・ 熱消費量2.5GJ/t-CO2を達成しており、2.0GJ/t-CO2以下を目標としている</li> </ul>
	東芝	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2009年9月、福岡県大牟田市にある株式会社シグマパワー有明三川発電所内にCO2回収量10トン/日規模のパイロットプラントを建設</li> <li>・ CO2分離回収設備に用いられる高性能なCO2吸収液の開発を佐賀市と共同で実施。2023年度中に新CO2吸収液の商用化を目指す。</li> <li>・ 2010年の報告時点で2.7GJ/t-CO2でのCO2回収を実現している</li> </ul>
	東ソー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 東ソーが開発したNOx耐性CO2回収用アミンは幅広い燃焼排ガスからのCO2回収に適用可能であり、CO2回収用アミンの長期安定使用、回収エネルギーの低減、運用コストの低減などに期待できる</li> <li>・ 開発アミンは、NOxガスによるアミンの分解率が従来MEAの13%から1%未満まで低下している</li> </ul>
	IHI	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ IHIオリジナルの吸収液とプラント技術で、90%以上のCO2回収をオーストラリアの発電所において5000時間以上安定に実現している</li> <li>・ 一般的なアミンを用いたシステムに比べて、再生エネルギーを40%削減した(一般的なアミンの回収エネルギーが4.0GJ/t-CO2のため、約2.4GJ/t-CO2と想定)</li> </ul>

## 分離回収 - 化学吸収法 (2/2)

- 化学吸収法は、既に商業段階の技術であり、国内外に多くのプレイヤーが存在する。
- 三菱重工は、シェア70%以上を占めており優位性を保有する。

### 化学吸収法に取り組む国内外の企業

国内/海外	企業名	概要
海外	Shell (英)	<ul style="list-style-type: none"> <li>再生可能なアミンを利用したCO2回収技術を開発(CANSOLVシステム)。低いエネルギー消費、速い反応速度、極めて低い揮発性など、高い性能を備え、排ガスからのCO2回収が可能</li> <li>カナダのQuestプロジェクト(2025年まで実施想定)やノルウェーのThe Northern Lightsプロジェクトに採択</li> <li>回収エネルギーは約2.3GJ/t-CO2と報告されている</li> </ul>
	CARBON CLEAN (英)	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模工業プラントの排ガスや特にバイオガス等に適用可能な技術を保有</li> <li>開発した溶剤は、自社開発のプロセスと組み合わせることで1トンあたり40ドルの回収コストを実現。また、溶媒安定性が高く、腐食性が低く、再生に必要なエネルギーが少なく済み、酸素を含む環境でも良好に機能</li> </ul>
	Fluor (米)	<ul style="list-style-type: none"> <li>独自の炭素回収技術(Fluor Econamine FG Plus)は、30以上の認可プラントと30年以上の運転実績を持つ</li> <li>燃焼後の排出源からCO2を回収。1日あたり10,000トン以上のCO2回収能力を持つ大規模な施設を含め、発電所や製油所のような大規模な排出源からのCO2回収に適する</li> </ul>
	Aker Solutions (諾:ノルウェー)	<ul style="list-style-type: none"> <li>子会社のAker Carbon Captureが所有するアミンと水を利用した回収技術や、低コストのコンテナ型回収システムCO2回収・液化システム(Just Catch)などの技術を保有</li> <li>Ørsted 社から、デンマーク における大規模な炭素回収プロジェクトを受注</li> <li>熱回収によって1.6GJ/t-CO2のCO2回収を検討し、2024年以降の実証プロジェクトの規模拡大に取り組む</li> </ul>
	BASF(独)	<ul style="list-style-type: none"> <li>BASFは1971年に自社のアンモニアプラントにおいて合成ガスから二酸化炭素(CO2)を分離・回収する技術を開発。ガス精製技術に強みを持つ</li> <li>日本初となる大規模CCSプロジェクトである苫小牧CCSでは、BASFのライセンス技術であるOASEがCO2分離・回収設備に採用</li> </ul>

## 分離回収 – 固体吸収法

- 固体吸収法は、実証段階の技術のため研究開発に取り組むプレイヤーを整理した。
- 川崎重工は2025年以降の商用化に向けた実証試験を実施しており、目標としている回収エネルギーやコストも他社に比べて低い。

### 固体吸収法に取り組む国内外の企業

国内/海外	企業名	概要
国内	川崎重工	<ul style="list-style-type: none"> <li>2009年より、固体吸収材を用いたCO2分離回収に取り組む</li> <li>2023年に、国内で初めて固体吸収材を用いて燃焼排ガス(関西電力舞鶴発電所の石炭火力発電所)からCO2回収を行う試験設備(40t/日)の運転を開始。</li> <li>2025年以降の商用化に向けて、回収量は2000~3000t/日に規模を拡大、CO2回収エネルギー:1.5GJ/t-CO2、回収コストは2000円台/t-CO2が目標。DACへの技術利用も想定している</li> </ul>
	エア・ウォーター、戸田工業	<ul style="list-style-type: none"> <li>エア・ウォーター、戸田工業らは2022年にGI基金に採択され、固体吸収材を用いたCO2分離回収技術の開発に取り組む</li> <li>低圧・低CO2濃度の排ガスの中で、ボイラー排ガスをターゲットとして開発を実施</li> <li>目標として、CO2回収量:2030年までに10万/年を回収、CO2回収エネルギー:1.0GJ/t-CO2以下、CO2回収コスト:2000円台/t-CO2を定めている</li> </ul>
	千代田化工建設	<ul style="list-style-type: none"> <li>2022年にGI基金に採択され、固体吸収材を用いたCO2分離回収技術の開発に取り組む</li> <li>低圧・低CO2濃度の排ガスの中で、天然ガス火力の排ガスをターゲットとして開発を実施</li> <li>実証スケジュールより、2030年以降の商用化が目標と想定される。回収エネルギーやCO2回収コストに関する記載は確認できない。</li> </ul>
海外	Shell(英)	<ul style="list-style-type: none"> <li>アミン系吸収剤を用いたCO2回収を検討し、オーストラリアのバイオマス発電所での実証に成功</li> <li>新たに検討しているオランダの実証では、2024年には150t-CO2/d規模の回収を計画</li> <li>回収エネルギーは3.5GJ/t-CO2</li> </ul>
	Svante(加:カナダ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2007年に創立のスタートアップで、2019年にはセメント工場からのCO2回収システム(MOF系)の実証および評価を実施</li> <li>セメント、鉄鋼等の排ガスからCO2を分離回収可能</li> <li>燃焼排ガス(CO2濃度4~14%程度)から回収量25t/日のシステム実証試験を予定。現状の回収エネルギーは4GJ/t-CO2。回収コストは30\$/t-CO2以下が目標</li> </ul>
	TDA Research Inc(米)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2019年より燃焼後排ガスを対象としたCO2吸収システム(MOF系)の開発プロジェクトを実施</li> <li>約30\$/t-CO2でのCO2回収が可能と推計しており、アミンによる回収コストよりも約30%コスト削減となると示している</li> </ul>

## 分離回収 – 膜分離法

- 膜分離法は、実証段階の技術のため研究開発に取り組むプレイヤーを整理した。
- 米国のMTRが複数の実証プロジェクトを実施し世界をリードしている。
- 住友化学とOOYOOはMTRと同じく排ガスを想定した、CO<sub>2</sub>回収システムの開発を行っており、2050年には2億t/年のCO<sub>2</sub>回収を目標としている。

### 膜分離法に取り組む国内外の企業

国内/海外	企業名	概要
国内	住友化学、OOYOO	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2022年にGI基金に採択され、分離膜を用いたCO<sub>2</sub>分離回収技術の開発に取り組む</li> <li>・ OOYOOは京都大学インキュベーションプログラムを通じて2020年に創業したスタートアップ</li> <li>・ CO<sub>2</sub>濃度が10%以下の工場排ガスなどからのCO<sub>2</sub>回収を想定した研究開発を実施</li> <li>・ 2032年に実装、2035年で230万t-CO<sub>2</sub>、2050年で2億t-CO<sub>2</sub>が目標</li> <li>・ 2000円台/t-CO<sub>2</sub>の回収コストが目標</li> </ul>
	日本ガイシ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ テキサス州の油田にて随伴ガスからのCO<sub>2</sub>分離回収の実証試験を実施</li> <li>・ 2021年に産業ガス排ガス向けの新たなCO<sub>2</sub>分離膜を開発</li> <li>・ 高温の産業排ガスを想定ターゲットに、2030年実用化が目標</li> </ul>
海外	MTR(米)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1982年創業で膜の開発に強みを持つ。燃焼排ガスに適用できる分離膜の実用化において世界をリードする企業</li> <li>・ ノルウェーにおいて10t-CO<sub>2</sub>/日規模の実証試験を実施。他にもWyoming ITC(Integrated TestCenter)にて150 t-CO<sub>2</sub>/dayの実ガス試験を計画。</li> <li>・ MTR社のPolaris膜は、CO<sub>2</sub>ガス透過性と選択性の向上によって20-30\$/t-CO<sub>2</sub>程度の回収コストを見込む</li> </ul>

## 分離回収 -CO2コンプレッサー (1/3)

- CO2コンプレッサーは、成熟技術であり国内外に多数のプレイヤーが存在する。
- 国内では三菱重工や川崎重工、IHI、神戸製鋼が存在し、各社がCCSに関する取組みを有している。
- 海外では、Baker Hughes Company、Ingersoll RandなどがCCSに関する取組みを有すると共に Baker Hughes は三菱重工と同様に数千台規模のコンプレッサー導入実績を持つ。

### CO2コンプレッサーに取り組む国内外の企業

国内/海外	企業名	概要
国内	三菱重工(三菱重工コンプレッサー)	<ul style="list-style-type: none"> <li>三菱重工業株式会社(MHI)のコンプレッサ事業部門が、2010年4月に独立し三菱重工の100%出資会社として三菱重工コンプレッサ株式会社(MCO)が誕生</li> <li>2010年の独立時はコンプレッサ事業の売上で約500億円と報告 (参考)MCOが含まれる三菱重工エナジーセグメントの売上は2022年度:17,386億円</li> <li>世界60か国超に向け年間100台を出荷、累計で4,000台を超える納入実績を持つ</li> <li>米国、英国、ブラジル、サウジアラビア、韓国に営業、製造、サービス拠点を有する</li> <li>尿素プラントや、CCS、EORでの長時間の運転実績があり、CO2回収設備の安全運転が可能</li> <li>石油化学・石油精製分野で約25%の世界シェアを保有</li> </ul>
	川崎重工	<ul style="list-style-type: none"> <li>主に石油&amp;ガス業界向けに遠心圧縮機を製作。洋上設備向け圧縮機・ガスコンプレッションモジュールではインド、東南アジアを中心に豊富な実績あり</li> <li>コンプレッサ事業単体の売上や販売台数は取得できない (参考)圧縮機事業が含まれるエネルギーソリューション&amp;マリンセグメントの売上は2022年度:3,145億円。インド向け天然ガス圧縮機トレインの製作およびコンプレッションモジュール・エンジニアリング業務を受注。今回の受注によって当社のコンプレッションモジュールの受注実績は57基となり、うちインド向けは41基</li> <li>マレーシア・サラワク州北方沖のKasawariガス田に世界最大規模の海洋CO2回収貯留プラットフォームを新設するKasawari CCSプロジェクト向けにガス圧縮機1基を受注</li> </ul>
	神戸製鋼所(コバルコ・コンプレッサ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2021年7月、株式会社神戸製鋼所の汎用圧縮機事業が、従来空気圧縮機の国内販売・サービスを担っていた「コバルコ・コンプレッサ(KCC)株式会社」に移管</li> <li>2021年度で約400億円と想定(2021年度の神戸製鋼所と三浦工業の資本業務提携時に、「2030年度をめぐりにKCCの売上規模を50%増の600億円に拡大」との発表から推計)</li> <li>神戸製鋼の無給油式(DRY)スクリュウ圧縮機は、1955年に製作販売を開始して以来、オイル&amp;ガス、石油精製・化学、製鉄用等、多くの分野において、国内・海外2,500台以上の納入実績</li> <li>CO2に関して、各種プラントで発生するCO2を分離、回収し、地下貯蔵するCCSやCCU(CO2バッテリー貯蔵等、CO2を直接扱うソリューション)など用途に関して圧縮機を納入</li> </ul>

## 分離回収 -CO2コンプレッサー (2/3)

- CO2コンプレッサーは、成熟技術であり国内外に多数のプレイヤーが存在する。
- 国内では三菱重工や川崎重工、IHI、神戸製鋼が存在し、各社がCCSに関する取組みを有している。
- 海外では、Baker Hughes Company、Ingersoll RandなどがCCSに関する取組みを有すると共に Baker Hughes は三菱重工と同様に数千台規模のコンプレッサー導入実績を持つ。

### CO2コンプレッサーに取り組む国内外の企業

国内/海外	企業名	概要
国内	IHI(IHI回転機器エンジニアリング)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 無給油式コンプレッサーでは世界トップレベル、LNG、LEG (Liquid Ethylene Gas)、LPG (Liquefied Petroleum Gas) など低温ガス分野ではIHI が圧倒的なシェアをもつ</li> <li>・ 2022年度の売上は約406億円。圧縮機の販売台数はCO2圧縮に利用できるレシプロコンプレッサ分野で約2000台の納入実績を保有</li> <li>・ IHIは、2023年9月、北海道電力と共同で、苫東厚真発電所における CO2分離回収設備および精製・圧送設備の設計と最適化検討を開始</li> <li>・ CCSに関するコンプレッサ導入実績は不詳</li> </ul>
海外	Atlas Copco (典:スウェーデン)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1873年設立のスウェーデンに本拠を置く世界規模の産業機械企業グループ。世界約20ヶ国、80の製造施設で生産を行い、180ヶ国以上の市場で事業展開。コンプレッサー、真空機器、産業用機器、建設機械の4つの事業エリアを展開し、それぞれの分野での世界的リーダー。</li> <li>・ 2022年度の売上はCompressor Techniqueセグメントで約7,867億円</li> <li>・ 産業プロセス、EORへの実績がありCCUS用途向けの販売も実施</li> </ul>
	Ingersoll Rand (米)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Ingersoll Randは、空圧工具や流体機械など産業向け機械を提供する企業。幅広い産業と用途向けに、多様なコンプレッサを提供。</li> <li>・ 2022年度の売上はコンプレッサー事業が含まれるIndustrial Technologies and Servicesセグメントで約6,193億円 (参考)二つのセグメントの内、もう一方のPrecision and Science Technologiesセグメントは売上1,540億円</li> <li>・ ノルウェーのオスロを拠点とするAqualung社と提携し、産業用CO2回収のための新しいシステムを開発</li> </ul>

## 分離回収 -CO2コンプレッサー (3/3)

- CO2コンプレッサーは、成熟技術であり国内外に多数のプレイヤーが存在する。
- 国内では三菱重工や川崎重工、IHI、神戸製鋼が存在し、各社がCCSに関する取組みを有している。
- 海外では、Baker Hughes Company、Ingersoll RandなどがCCSに関する取組みを有すると共に Baker Hughes は三菱重工と同様に数千台規模のコンプレッサー導入実績を持つ。

### CO2コンプレッサーに取り組む国内外の企業

国内/海外	企業名	概要
海外	Baker Hughes Company (米)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Baker Hughesは、重工業、プロセス産業への圧縮機やデジタルサービスの提供を行うインダストリー事業と、油田の生産性向上や運営サービスを行うオイルフィールドサービス事業を行う。</li> <li>● 1960年以来、5,000台以上の遠心式コンプレッサと軸流コンプレッサを設置。</li> <li>● 2022年度の売上はコンプレッサー事業が含まれるIndustrial &amp; Energy Technologyセグメントで10,432億円(参考)二つのセグメントの内、もう一方のOilfield Services &amp; Equipmentセグメントは17,412億円</li> <li>● オーストラリアの大手天然ガス生産会社であるサントス社と、ムンバ炭素回収・貯留プロジェクトにターボ機械装置を供給する契約を締結。ガス処理プラントを対象に、南オーストラリア州のクーパー盆地にある枯渇した天然ガス貯留層に年間170万トンの二酸化炭素を恒久的に貯留</li> <li>● CCUSに関しては、分離回収や貯留でのサービス提供も実施</li> </ul>
	Siemens Energy AG (独)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2020年、シーメンスがコンプレッサー事業などをシーメンスエナジーとして分社化。再エネ分野で、製品の製造開発から管理・運用含む事業と、産業用アプリケーションや回転機器などの提供事業を行う。</li> <li>● 2022年度の売上はコンプレッサー事業が含まれるGas and Powerセグメントで25,800億円(参考)三つのセグメントの内、Siemens Gamesaセグメントは13,200億円、Reconciliationセグメントは4億円</li> <li>● シーメンスエナジーの機器を使用した世界初の大規模直接空気回収プラントが、オキシデンタル初の大規模ダイレクト・エア・キャプチャー(DAC)プラントで使用される</li> </ul>
	MAN Energy Solutions (独)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● MAN Energy Solutionsは、大口径ディーゼルエンジン、ガスエンジン、ターボ機械の世界有数のプロバイダー(参考)2018年 MAN Diesel&amp;Turboは、MAN Energy Solutionsに社名を変更</li> <li>● コンプレッサー事業単体の売上や販売台数は取得できない(参考)2022年度の全社の売上は36億€(約6000億円)</li> <li>● オランダのCCSプロジェクトにて圧縮ユニットを5台納入</li> </ul>

## 輸送 – ラインパイプ

- 輸送分野のラインパイプにおいては、国内企業2社が競争力を有すると判断した。
- これらの企業においてはこれまでグローバルトップレベルで鋼管を製造・輸出してきた実績を有しており、実績が重視される同業界においてはCCSにおいても引き続き採用されることが想定される。

### ラインパイプに取り組む国内外の企業

国内/海外	企業名	概要
国内	日本製鉄	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国内最大/世界で4位(2022年)の粗鋼生産量を持つ製鉄企業</li> <li>・ オイルメジャー各社と高性能なラインパイプを数多く共同開発しており、技術的な強みを多く持つ <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 世界最高強度(X120)のラインパイプをExxonMobil社と共同開発</li> <li>➢ 高い耐腐食性能を持つラインパイプ用スーパー13クロムステンレス鋼管をロイヤル・ダッチ・シェル社と共同開発</li> </ul> </li> <li>・ CCS分野で数多くの共同研究を実施しており、本分野においても影響力を持つことが想定される <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 2021年、欧州北海でのNorthern Lightsプロジェクトにて高合金シームレス油井管が採用</li> <li>➢ 2022年、大型洋上浮遊式CO2回収貯留ハブ・プロジェクトCStore1へのCO2回収・液化・海上輸送に関する共同スタディ契約をディープシー・ストア社と締結</li> <li>➢ 2023年、令和5年度先進的CCS事業においても、日本海側東北地方と首都圏の2件のCCS事業に参画</li> <li>➢ 2023年、国内でのCO2回収・海外での貯留を想定したCCSバリューチェーン構築検討に関する覚書を三菱商事株式会社、ExxonMobil Asia Pacific Pte. Ltd.と締結</li> </ul> </li> </ul>
	JFEスチール	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国内2位/世界で14位(2022年)の粗鋼生産量を持つ製鉄企業</li> <li>・ 高強度ラインパイプ、高変形鋼管(HIPER®)、従来の電縫鋼管に対して高い信頼性を有するマイティーシーム®電縫鋼管、腐食環境で使用されるマルテンサイト系ステンレス鋼ラインパイプなど特徴ある製品を取り揃える。</li> <li>・ CCS分野で数多くの共同研究を実施しており、本分野においても影響力を持つことが想定される <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 2023年、マレーシアCCS共同スタディと連携した日本起点のCCSバリューチェーン構築共同検討の実施(JAPEX、日揮グローバル、川崎汽船)</li> <li>➢ 2023年、関西電力とJFEスチールによるCCS事業の共同検討・調査</li> <li>➢ 2023年、「瀬戸内・四国CO2ハブ構想」実現に向けた事業性調査(住友商事株式会社、住友大阪セメント株式会社、川崎汽船株式会社、Woodside Energy Ltd)</li> </ul> </li> </ul>

## 輸送 – ラインパイプ

- 各国に主要ミルは点在しており、地域ごとにそれぞれ製品を供給しているとみられる。

### ラインパイプに取り組む国内外の企業

国内/海外	企業名	概要
海外	Vallourec(仏)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1957年設立。20カ国以上で事業を展開</li> <li>・ オンショア、オフショア向けシームレスラインパイプをに強みを持つ</li> <li>・ 2020年、オランダ領北海におけるNeptune Energy社のCCS貯蔵プロジェクトの材料試験を実施</li> <li>・ CO2を地下貯留層で安全に回収、輸送、貯蔵するための耐久性、耐腐食性に優れたシームレスチューブソリューションを開発</li> </ul>
	Tenaris SA (ルクセンブルク)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 16か国で製鋼、世界30カ国以上で事業を展開</li> <li>・ オンショアラインパイプ(シームレス溶接)、オフショアラインパイプ(深海・超深海用カスタム鋼管)を提供</li> <li>・ 地域別の売上では北米が過半数を占める</li> <li>・ 鋼管やテナリスハイドリル継手を含む製品は、石油増進回収法(Enhanced Oil Recovery)のCO2圧入井戸や塩水ドームで幅広く使用されている</li> </ul>
	ArcelorMittal S.A. (ルクセンブルク)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 15カ国に鉄鋼製造拠点をもち、140カ国で事業を展開</li> <li>・ オンショアラインパイプ(シームレスおよび溶接-大口径LSAWおよびスパイラルSAW)、オフショアラインパイプ(海底アンピリカル、ライザー、フローライン(SURF))を製造</li> </ul>
	Welspun Corp Ltd (印)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1995年設立。大口径パイプの世界的な大手メーカー。世界のトップ3ラインパイプメーカーにランクインし、インド、米国、サウジアラビアの3カ国に6つの製造施設をもち、50カ国に拠点を置く。</li> <li>・ 石油・ガス大手から50件以上の承認を取得</li> <li>・ HFW(高周波溶接)、HFIW(高周波誘導溶接)、HSAW(水平サブマージアーク溶接)、LSAW(縦サブマージアーク溶接)などの幅広い高級ラインパイプを製造</li> </ul>
	BAOSTEEL(中)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2000年設立。鉄鋼コングロマリット。アメリカ、日本、ドイツ、シンガポール、香港、ブラジル、ドイツに現地法人を持つ</li> <li>・ SMLS(seamless)、HFW(高周波溶接)、SAWL(Submerged Arc Welded)の製造を行う</li> </ul>
	POSCO Holdings Inc(韓)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1968年設立。16カ国に45の子会社を持つ鉄鋼メーカー</li> <li>・ 強靱性タイプ、耐酸性タイプのパイプも製造する</li> <li>・ 2023年、マレーシア・米国でCCS実施を表明した</li> </ul>

## 輸送 - LCO2輸送船

- 日本が先行して実証船を建造するなど一部リードしているが、中国や韓国でも基本設計に取り組む企業が多く存在しており、競争の激化が想定される。
- 特に海外企業では大型船を中心に設計が検討されていることが特徴である。

### LCO2船に取り組む国内外の企業

国内/海外	企業名	概要
海外	三菱造船、日本シッピヤード	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 日本の造船業トップ企業群で、CO2ハンドリングシステムについては三菱造船から、設計については日本シッピヤードが担う</li> <li>● 1,450m<sup>3</sup>、72 m x 13 m級の船舶を計画しており2027年の竣工を目指す</li> </ul>
海外	Hanwha Ocean(韓)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 韓国3大造船企業に入るハンファグループのグループ企業。</li> <li>● 70,000m<sup>3</sup>、260m x 44mと40,000m<sup>3</sup>の2パターンを検討中</li> <li>● ABSとギリシャのEcolog、イギリスのBabcock LGEでLCO2船を計画</li> <li>● 20,000m<sup>3</sup>、167 m x 28 m、8 barg、-55°Cおよび84,000m<sup>3</sup>、275 m x 48 m、8 barg、-55°C</li> </ul>
	Hyundai Heavy Industries and Hyundai Glovis Co. (韓)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 韓国の総合重工業企業で、世界最大の造船会社</li> <li>● ABSから世界最大のLCO2船に関する基本設計承認を取得</li> <li>● 2021年に40,000 m<sup>3</sup>、239 m x 30 mで設計された技術を用いて、74,000 m<sup>3</sup>、284 m x 42 mで計画中</li> </ul>
	Dalian Shipbuilding Industry Co. Ltd (中)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 中国船舶集団のグループ会社で、グループ全体の建造量は世界2位(2022年)</li> <li>● Northern lightsプロジェクト向けに7,500m<sup>3</sup>、130m、14 barg、-28°Cの船舶を供給予定</li> </ul>
	Shanghai Merchant Ship Design & Research Institute (中)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 中国国家造船集団の船舶設計コンサルタント企業で商船設計を専門に担う</li> <li>● 商船三井およびマレーシアPETRONASと共同でDNVから設計基本承認を取得</li> <li>● 87,000m<sup>3</sup>および14,000m<sup>3</sup>の2パターンについて取り組む</li> </ul>
	TGE Marine(独)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ドイツのガス船エンジニアリング会社でType CタンクおよびハンドリングシステムのEPCS事業を行う</li> <li>● 125,000m<sup>3</sup>、50,000m<sup>3</sup>、22,000 m<sup>3</sup>(8bar、-55°Cから19bar、-35°C)の2パターンを検討中</li> </ul>
	Frisian Shipyard (蘭)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● オランダの造船企業で、1999年に世界初のLCO2船を製造</li> <li>● 1,250 m<sup>3</sup>、79 m x 14 m、18 barg、-22.5~-40°C</li> </ul>

## 貯留 – 耐CO2パイプ

- 耐CO2ケーシングパイプ/耐CO2チュービングパイプにおいては、国内企業が優位性を保有すると思料。
- 日本製鉄の耐CO2パイプはNorthern Lightsプロジェクトにも採用されており、実績が重視されるであろう耐CO2パイプでは優位性を維持可能であると想定。

### 耐CO2ケーシングパイプ/耐CO2チュービングパイプに取り組む国内外の企業

国内/海外	企業名	概要
国内	日本製鉄	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 日本製鉄のステンレス油井管は2021年にNorthern Lightsプロジェクトに採用。</li> <li>● 中期経営計画の中では「日本製鉄カーボンニュートラルビジョン 2050」ではCCSを重要な技術と位置付けており、CCSの推進に対して前向き。</li> <li>● また、グループ企業である日鉄ステンレスは国内最大級のステンレス製造能力を保有しており、供給可能量の面でも優位性を保有。</li> </ul>
	JFEスチール	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 世界で唯一のクロム系ステンレス鋼専門メーカーであり、1962年から製造を開始している歴史を持つ。</li> <li>● 2023年に公開した「カーボンニュートラル戦略」ではCCSの必要性にも触れており、CO2圧入の検討等を実施しており、CCSの推進に対して前向き。</li> </ul>
海外	Tenaris (ルクセンブルク)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ルクセンブルクに本拠地を置く、世界最大級の鋼管専門企業。</li> <li>● 世界23か国に拠点を保有しておりグローバル性の高い事業を展開。</li> <li>● 低クロム含有ステンレスから高クロム含有ステンレスまでの幅広い取扱いあり。</li> <li>● 2000年～2022年まで、JFEスチールとの合併会社であるNKKシームレスにて油井管やラインパイプを製造。</li> </ul>

## モニタリング – 光ファイバーケーブル

- CCS向けの光ファイバーケーブルは実証段階のため、既存の光ファイバーケーブル市場において競争力を有するプレイヤーを整理した。

### 光ファイバーケーブルに取り組む国内外の企業

国内/海外	企業名	概要
国内	フジクラ	<ul style="list-style-type: none"> <li>1885年創業の国内非鉄金属メーカー。米国、タイ、中国、スペイン、米国に拠点あり。ミャンマーとブラジルでEPC事業を成長。</li> </ul>
	古河電工	<ul style="list-style-type: none"> <li>1884年創業、世界で初めて光ファイバーを生産した会社。北米、中南米、欧州・アフリカ、東アジア、南アジア・東南アジアに拠点あり。</li> </ul>
	住友電気工業	<ul style="list-style-type: none"> <li>1897年創業、電線・ケーブルの製造技術をベースに自動車、情報通信、エレクトロニクス、環境エネルギー、産業素材の5つの事業分野を世界約40カ国で展開。ドイツのシーメンスと事業提携し欧州とアジアを開拓。</li> </ul>
海外	Corning(米)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1851年設立、ガラス製品メーカ。研究所は、北米、ヨーロッパ、アジアに約10か所あり。</li> <li>運用性能が高く、10km以上のロングケーブルにも対応する分散型光ファイバーケーブルも製造している。</li> </ul>
	Amphenol Corporation(米)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1932年設立。ハイテク相互接続、センサ、およびアンテナソリューションの世界最大級のプロバイダ。</li> <li>2021年12月、光ファイバー相互接続デバイスのメーカーであるHalo Technology Limitedを買収、光ファイバー製品を強化。</li> </ul>
	YOFC(中)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1988年中国湖北省武漢に設立された、光ファイバメーカー。</li> <li>2015年、信越化学工業(日本)と合併会社を設立し、光ファイバー用材料の新工場を設立。生産能力は、光ファイバー換算で年1500万km。</li> </ul>

## モニタリング –DSS装置

- 既存の光ファイバー計測装置市場では、海外事業者が競争力を有している。
- 一方で、ニューブレクスは他社よりも高感度なDSS装置を販売しており、優位性を保有する。

### 光ファイバー計測装置に取り組む国内外の企業

国内/海外	企業名	概要
国内	ニューブレクス	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2002年設立の国内ベンチャー企業</li> <li>• DSS装置の感度が汎用品と比べ非常に高く、優位性を保有する</li> </ul>
海外	Schlumberger(仏)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1927年創立。世界120カ国以上でエネルギー業界の技術ソリューションを提供。</li> <li>• 2022年、CCSを含む複数の産業向けに光ファイバーソリューションを共同開発する契約をSintela社と締結。</li> </ul>
	Halliburton(米)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1919年設立。石油・天然ガス産業のサービスや製品のプロバイダー。</li> <li>• 分散型光ファイバーセンシングの設計調整等行う。</li> </ul>
	Baker Hughes(米)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1987年Hughes Tool CompanyとBaker Oil Tool Companyの合併により設立。</li> <li>• 世界120カ国以上で事業を展開。油田事業向けの製品とサービスを提供。</li> <li>• DAS及びDTSによる坑井モニタリングを提供する。</li> </ul>
	Silixa(英)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2007年設立。英国と米国に拠点を置く。</li> <li>• 光ファイバー計測技術によるソリューションを提供。</li> </ul>

## モニタリング –地震計

- 地震計は、成熟技術であり国内外に多数のプレイヤーが存在する。
- 国内事業者は、海外事業者と比較して高い品質と実績を保有し、競争力を持つと考えられる。

### 地震計に取り組む国内外の企業

国内/海外	企業名	概要
国内	東京測振	<ul style="list-style-type: none"> <li>1970年設立、地震・振動計測機器の設計・製造・販売・メンテナンスを行う。国内拠点のみ。</li> </ul>
	白山工業	<ul style="list-style-type: none"> <li>1986年設立、地震防災ソリューションを提供。国内拠点のみ</li> </ul>
	応用地質	<ul style="list-style-type: none"> <li>1957年設立、130カ国以上環境調査やコンサルティング、計測器開発などを行う。</li> <li>1986年に米国ジオスペース社、1991年に米国Kinometrics社、1997年にGeometrics社を買収など、世界的な地震計メーカーを買収している。</li> </ul>
海外	NANOMETRIC (加:カナダ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1986年設立、人工地震と自然地震活動を研究するための監視ソリューションと機器を提供。その技術は、世界90カ国以上でミッションクリティカルな地震アレイや津波警報システムに使用されている。</li> <li>CCS運用において、地震リスクの管理といったモニタリングソリューションを提供している。</li> </ul>
	Geospace Technologies(米)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1980年設立、東京を拠点とする応用地質が北米の地震計装市場に参入したことから設立された。球物理学的地震データ収集システムのエンジニアリングと製造を行う。</li> <li>CCSにおいて、高度な地震センサーや貯留層監視ソリューション等MMV製品を提供している。</li> </ul>
	Kinometrics(米)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1969年創立、地震アプリケーションと計測器の世界的リーダー。世界数十カ国に代理店を持つ。</li> <li>地震国であるカリフォルニア州パサデナに位置し、地震研究の主要な機関と研究を重ねている。</li> <li>1991年に応用地質に買収されている。</li> </ul>

## 3-1.CCSバリューチェーンを構成する各種設備の調査・特定及び優位性に関する調査・分析

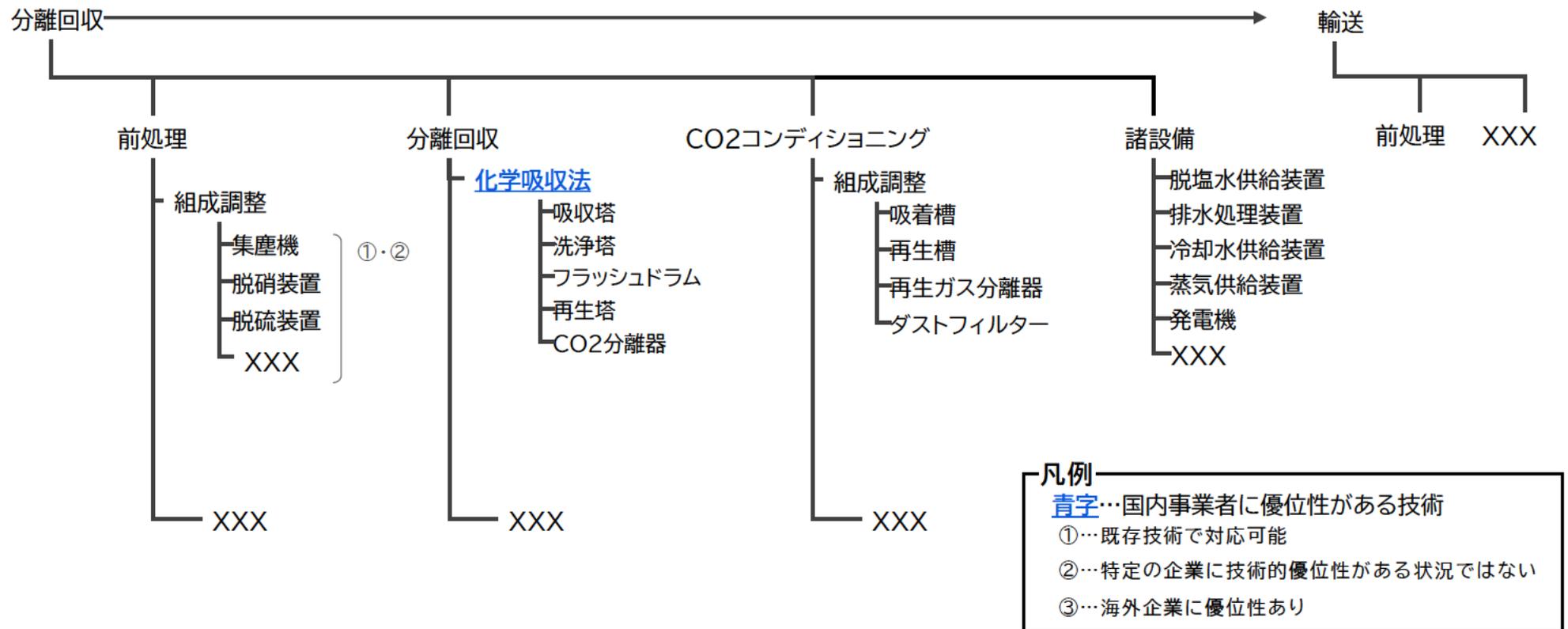
---

- 3-1-1.バリューチェーンの概要
- 3-1-2.設備概要と優位性の評価
- 3-1-3.国内事業者が強みを持つ設備の優位性および課題の整理
- 3-1-4.国内外の主なプレイヤーの整理
- 3-1-5.マップを用いた整理

# 調査方法

- 「3-1-2.設備概要と優位性の評価」において整理した設備を対象に、セグメント単位で技術マップの形式で取りまとめを実施した。

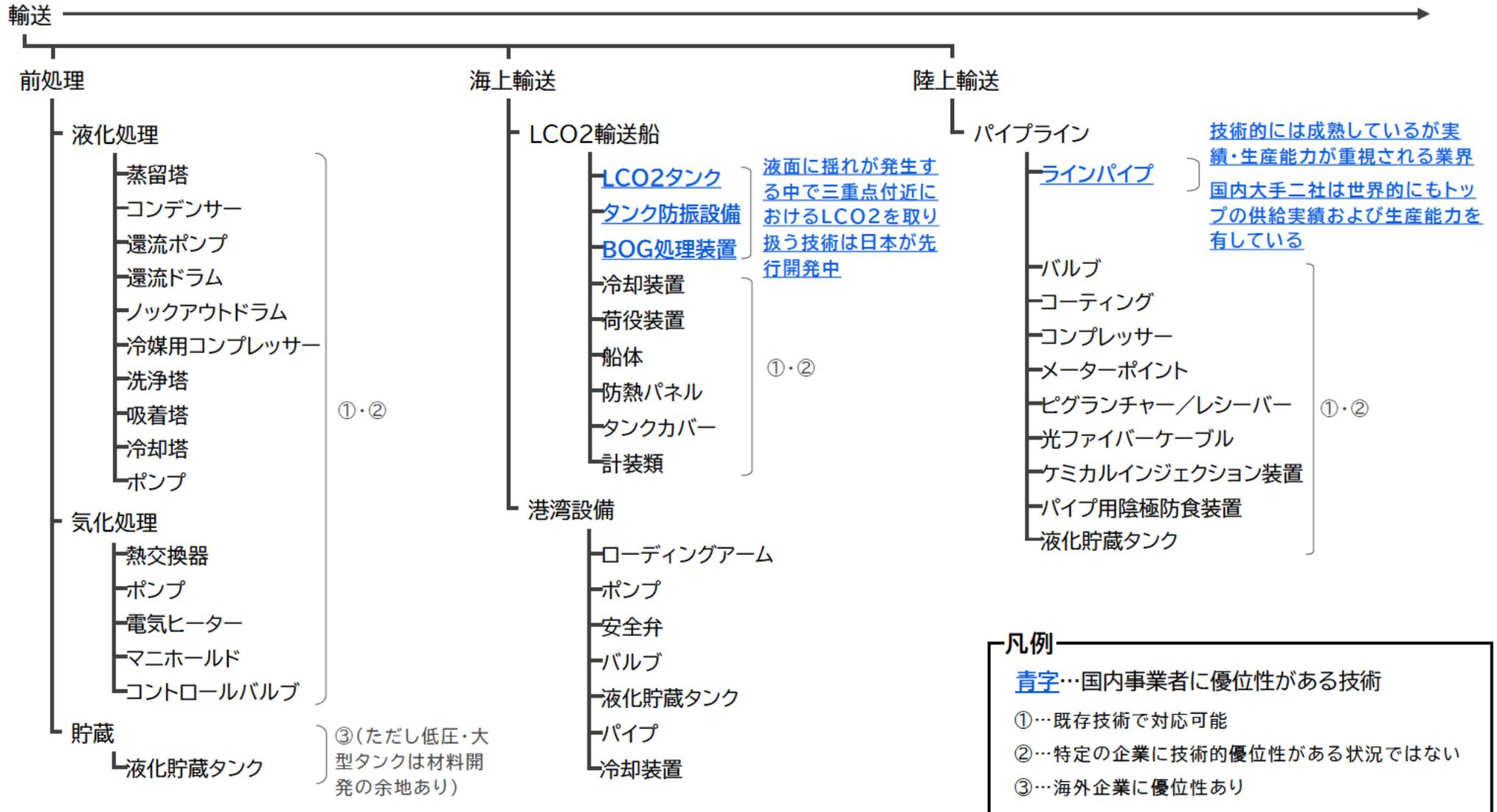
## 技術マップの整理イメージ





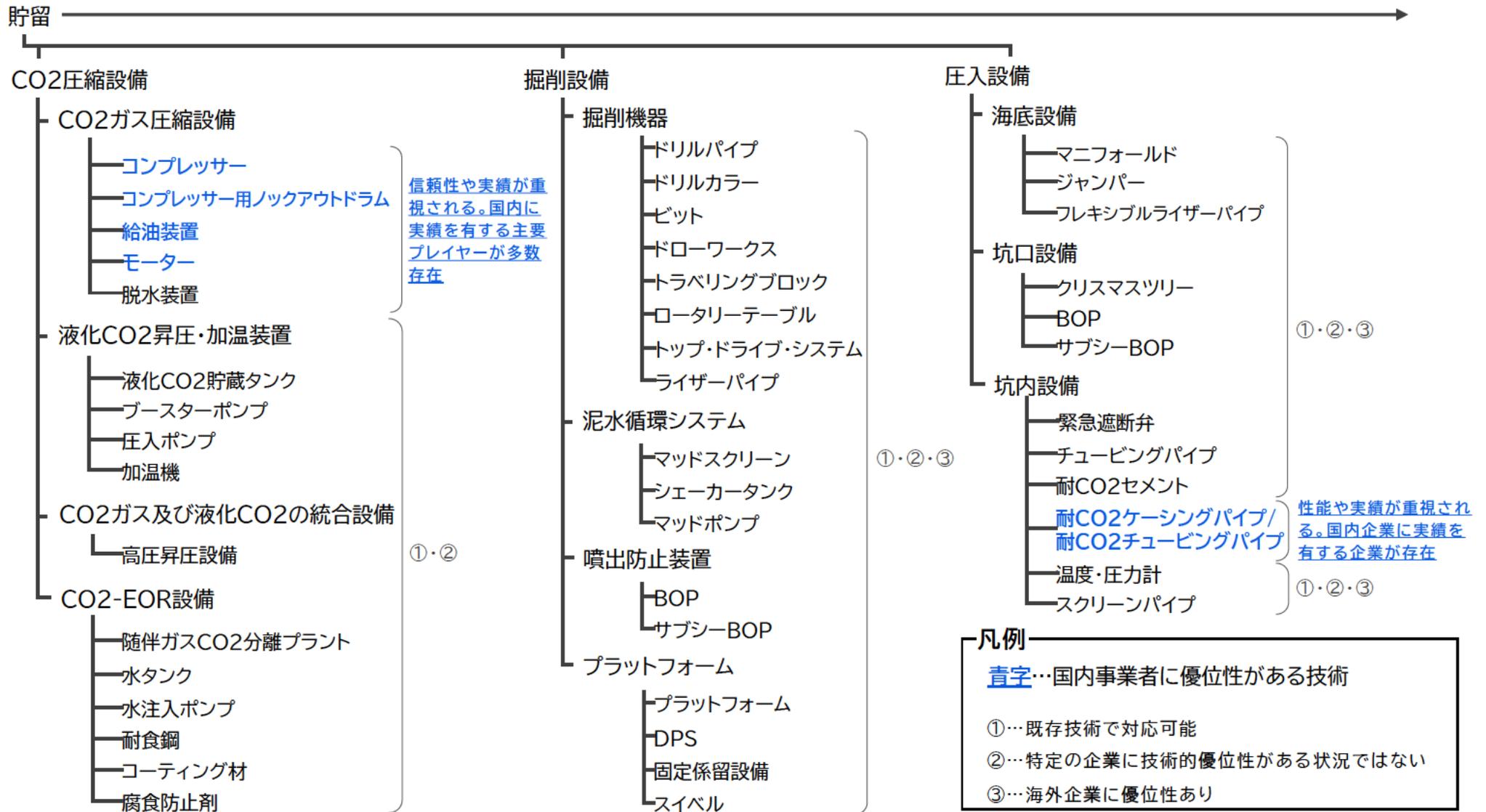
# 技術マップ(輸送)

- 輸送分野においては、実績及び生産能力が重視されるラインパイプと、揺れが発生する状況下におけるLCO2のハンドリング技術の2つの要素技術で国内事業者が優位性を持つ。



# 技術マップ(貯留)

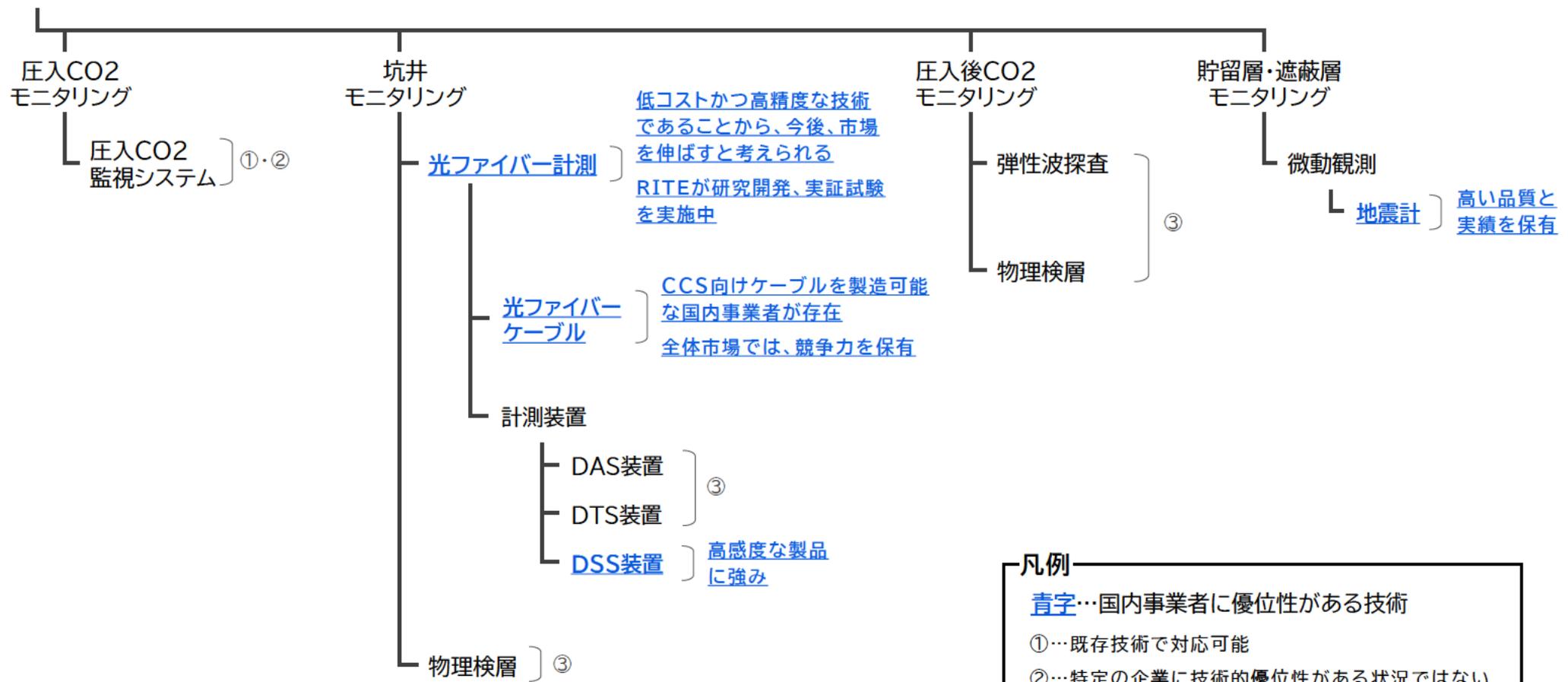
- 貯留分野においては、圧入のための昇圧を行うCO2コンプレッサーと耐腐食性を付与する耐CO2パイプの2つの要素技術で国内事業者が優位性を持つ。



# 技術マップ(モニタリング)

- モニタリング分野では、光ファイバーケーブルとDSS装置、地震計の3つの要素技術で国内事業者が優位性を持つ。
  - 今後市場を伸ばすと考えられる光ファイバー計測のうち、光ファイバーケーブルはCCSに限らない全体市場で競争力を保有しており、DSS装置は高感度な製品に強みを保有している。
  - 地震計は高い品質と実績を保有している。

モニタリング



## 3-2.優位性を保有する各種設備の市場調査

---

- 3-2-1.CCSの市場概要
- 3-2-2.各種設備の市場規模評価

## 調査方法

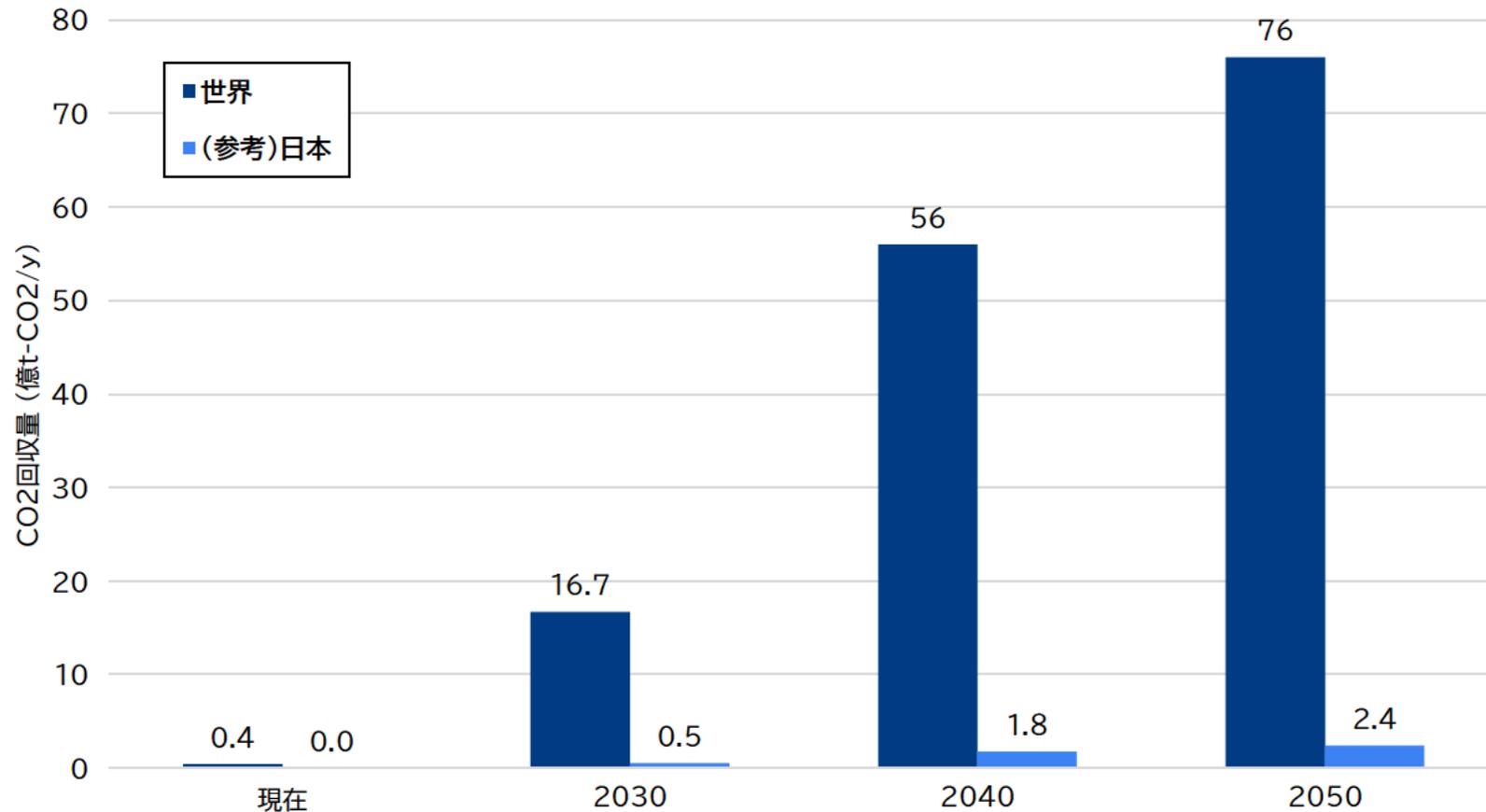
---

- 世界全体で見たCCSの市場規模を推計するため、各種公開情報からCO<sub>2</sub>回収量の見込みや、バリューチェーン全体での平均コストを整理した。

## 世界のCO2回収量

- IEAのネットゼロシナリオでは、2050年における世界のCO2回収量は約76億t/年と見込まれている。
  - 経済産業省は日本のCCSの見通しに関して、IEAの回収見通しに日本のCO2排出量割合(3.3%)、地下貯留の割合(95%)を乗じ、約2.4億t/年と推計している。

### CO2の回収量見通し



出所)IEA「Net Zero by 2050」[https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector\\_CORR.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf)、経済産業省「CCS長期ロードマップ検討会最終とりまとめ説明資料」  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/ccs\\_choki\\_roadmap/pdf/20230310\\_2.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/ccs_choki_roadmap/pdf/20230310_2.pdf) (閲覧日:2024/2/28)

## (参考)IEAのシナリオ比較

- IEAは定期的にシナリオの分析結果を更新しており、同じNZEシナリオでもCO2回収量の見込みは異なる。
- カーボンニュートラル達成のために必要とされるCO2回収量の最大値を見積もるため、2050年の回収量が最も大きいIEA NZEシナリオ(2021年)を利用した。

IEAのシナリオ別CO2回収量

(MtCO <sub>2</sub> )	IEA SDS※1(2020)		IEA NZE※2(2021)			IEA NZE (2023)		
	2030	2050	2020	2030	2050	2022	2030	2050
合計	841	5,634	40	1,670	7,610	44	1,025	6,042
化石燃料や産業由来	749	4,562	39	1,325	5,245	43	759	3,736
電力	ETP(2020)のみ 分類が異なり詳細不詳		3	340	860	1	188	811
産業			3	360	2,620	4	247	2,152
水素			3	455	1,355	0	161	756
その他			30	170	410	38	163	17
バイオマス由来	81	955	1	255	1,380	1	186	1,265
電力	ETP(2020)のみ 分類が異なり詳細不詳		0	90	570	0	44	438
産業			0	15	180	0	23	232
水素			1	150	625	1	114	474
その他			0	0	5	0	5	121
DAC	11	117	0	90	985	0	80	1,041

※1：SDS(Sustainable Development Scenario):パリ協定で定められた目標を達成するためのシナリオ ただし2022年以降は削除(最も早くCNを達成するシナリオとしてNZEが継承)

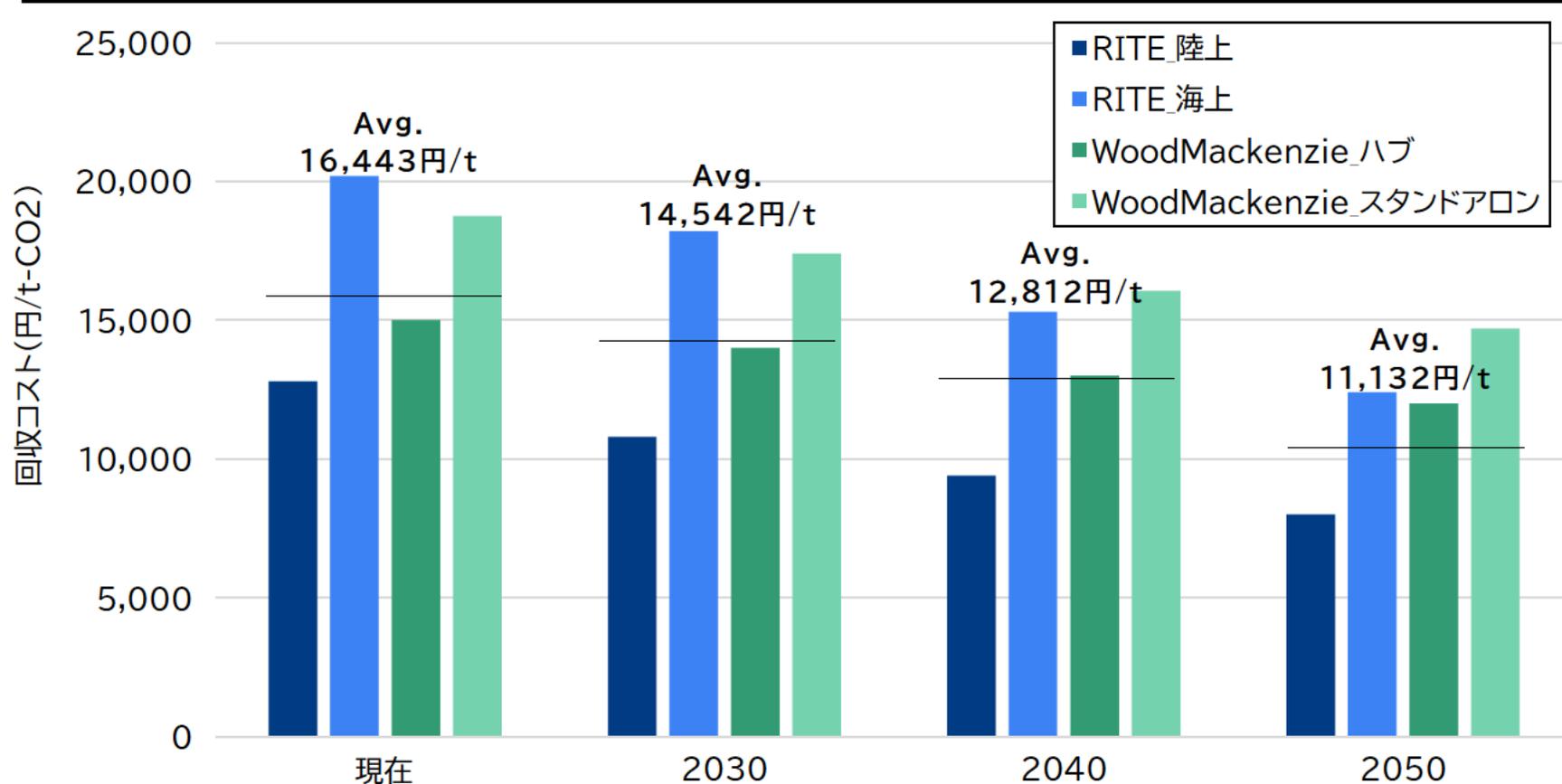
※2：NZE(Net Zero Emissions by 2050 Scenario):2050年に世界全体でネットゼロを達成するためのシナリオ

出所)IEA「ETP 2020」[https://iea.blob.core.windows.net/assets/181b48b4-323f-454d-96fb-0bb1889d96a9/CCUS\\_in\\_clean\\_energy\\_transitions.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/181b48b4-323f-454d-96fb-0bb1889d96a9/CCUS_in_clean_energy_transitions.pdf)、IEA「Net Zero by 2050」  
[https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector\\_CORR.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf)、IEA「Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach」<https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>よりMRI作成 (閲覧日:2024/3/12)

# CCSの平均コスト

- CCSバリューチェーン全体に係る平均的なコストを求めるため、バリューチェーン全体のコストを試算しているRITE、Wood Mackenzieの報告値を用いた試算を行った。
- 加重平均より、現在で約16,400円/tのコストは2050年には約11,100円/tまで低減される見込みである。
  - RITEのシナリオは陸域と海域の比率を乗じ、Wood Mackenzieのシナリオにはハブ&クラスターの比率を乗じ算出した。
  - CCSのコストは条件により大きく変わるため、実際のコストは必ずしもこの値に一致しないことに留意が必要である。

CCSのバリューチェーン全体の平均コスト



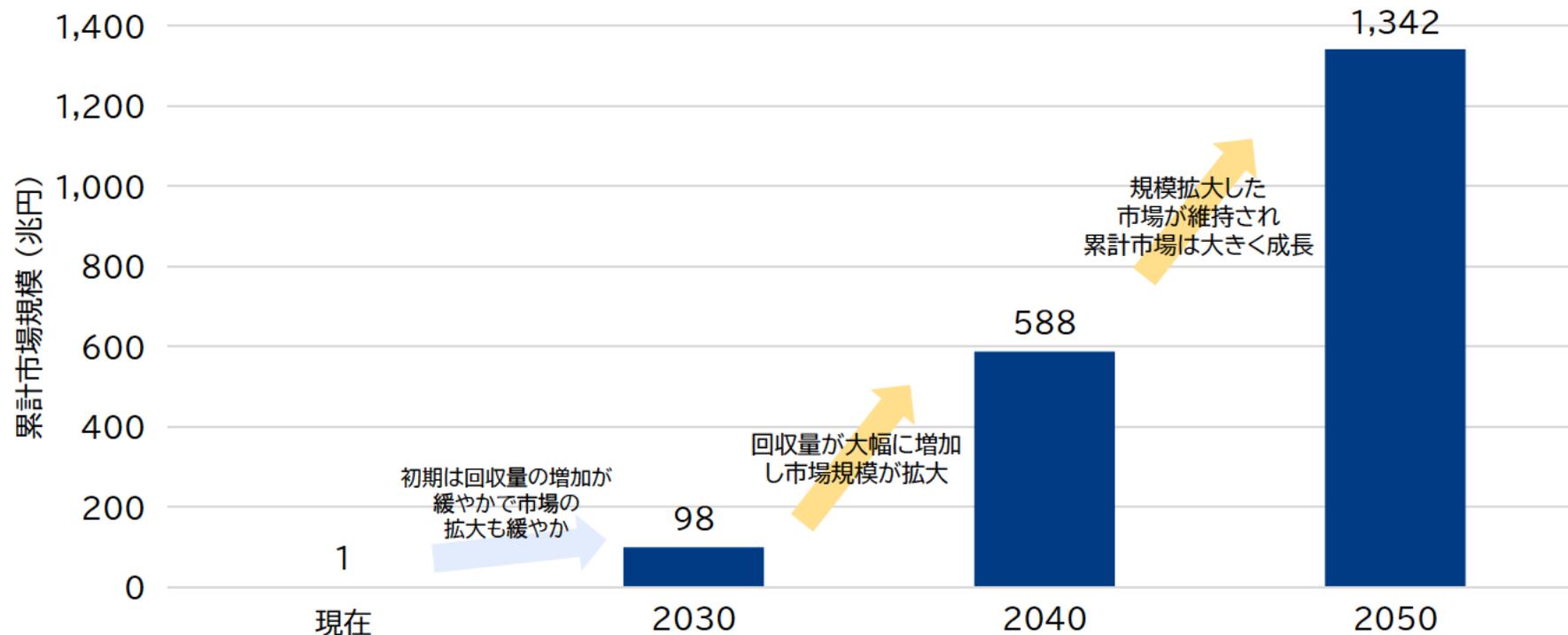
※1 陸域と海域の比率はCCSの貯留ポテンシャルから陸域76%、海域24%で設定

※2 ハブ&クラスターの比率はGCCSI報告書より現在12%(現状PJ中のハブPJ比率)、2050年55%(将来的にハブにて42億トンの回収が可能との記載から2050年の回収量76億で除算)と設定。2030年、2040年の値は線形近似により26%、41%と設定した(ハブPJは既に多数存在し、急激な増加はないものと想定した)

# CCSの世界市場規模

- 世界全体の累計市場規模は2050年で約1,340兆円となる見込みである。
- CO<sub>2</sub>の回収量が大きく増加し市場成長が見込まれる2030年以降、拡大した市場が維持されることで2050年にかけて大きな市場が期待できる。

CCSの世界市場規模(累計)



### 市場規模の推計方法

単年の市場規模※を推計し、推計値を現在～2050年まで加算することで、2050年時点の累計市場規模を推計  
 ※単年の市場規模は現在/2030年/2040年/2050年を対象に算定し、中間となる年は線形近似によって補間した

## 3-2.優位性を保有する各種設備の市場調査

---

- 3-2-1.CCSの市場概要
- 3-2-2.各種設備の市場規模評価

## 調査方法

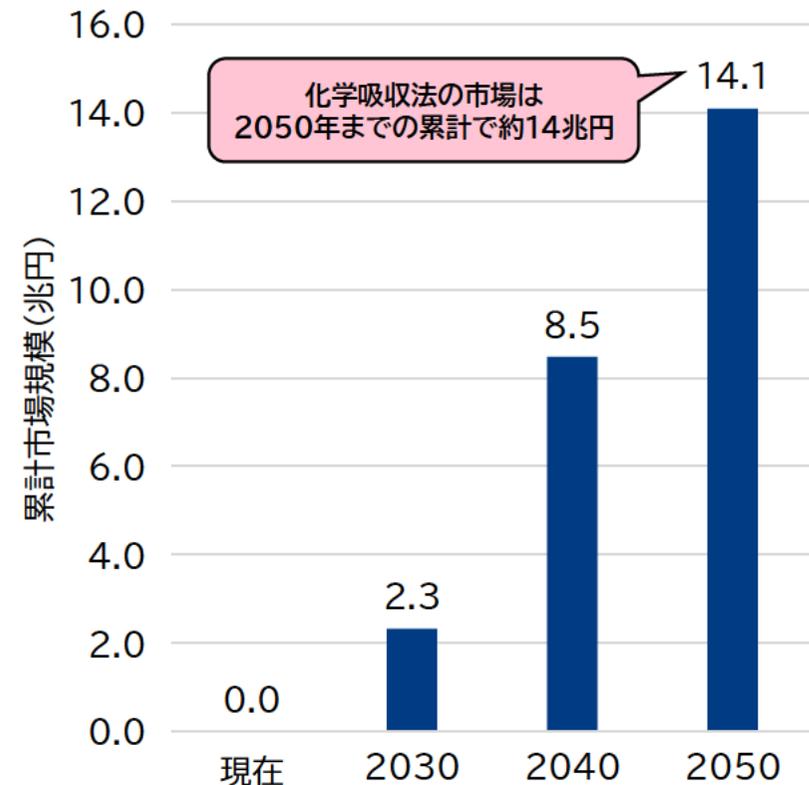
- 「3-1-2.設備概要と優位性の評価」において抽出した国内事業者が優位性を持ちうる設備を対象に各種公開情報を調査し、市場規模試算を実施した。
  - 本推計は設備や素材などを算定対象としており、各種エネルギーコストや、労務費、エンジニアリング費用などは含まれていない

### 各技術の市場規模試算

#### 技術帳票を作成した抽出設備リスト

分野	技術帳票を作成した技術	
分離回収	化学吸収法	
	固体吸収法	
	膜分離法	
	CO2コンプレッサー	
輸送	ラインパイプ	
	LCO2船	
貯留	耐CO2パイプ	
モニタリング	光ファイバー計測	光ファイバーケーブル
		DSS装置
	地震計	

#### 試算結果のイメージ



## 市場規模評価のまとめ

- 「3-1-2.設備概要と優位性の評価」において抽出した国内事業者が優位性を持ちうる設備を対象にその設備市場規模の推計を実施した。
  - 本推計は設備や素材などを算定対象としており、各種エネルギーコストや、労務費、エンジニアリング費用などは含まれていない
- 検討対象とした設備の合計で2050年までに40兆円以上の市場が見込めることが分かった。
- 耐CO2パイプと化学吸収法は2050年までに10兆円を超える市場規模が見込まれる。

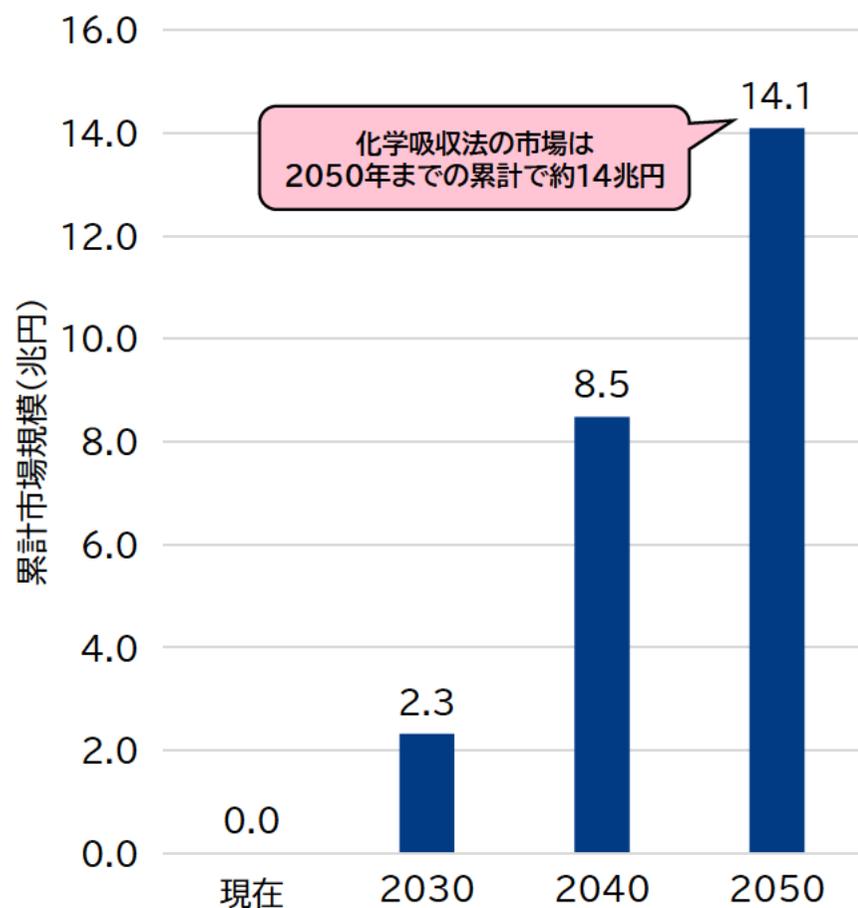
### 各分野で抽出した技術の市場規模推計結果

分野	抽出技術	市場規模(兆円)		
		2030	2040	2050
分離回収	化学吸収法	2.3	8.5	14.1
	固体吸収法	1.1	6.4	7.7
	膜分離法	0.2	0.4	1.3
	CO2コンプレッサー	0.6	2.0	2.7
輸送	ラインパイプ	1.3	4.3	7.2
	LCO2船	1.1	3.2	4.1
貯留	耐CO2ケーシングパイプ/ 耐CO2チュービングパイプ	2.5	10.4	20.6
モニタリング	光ファイバーケーブル	0.0	0.2	0.4
	DSS装置(高感度品)	0.0	0.3	0.7
	地震計	0.0	0.2	0.3
合計		6.8	27.4	45.0

## 化学吸収法の市場規模

- CCSに用いる化学吸収法は、2050年までの累計で約14兆円の市場規模が見込まれる。

化学吸収法の市場規模(累計)

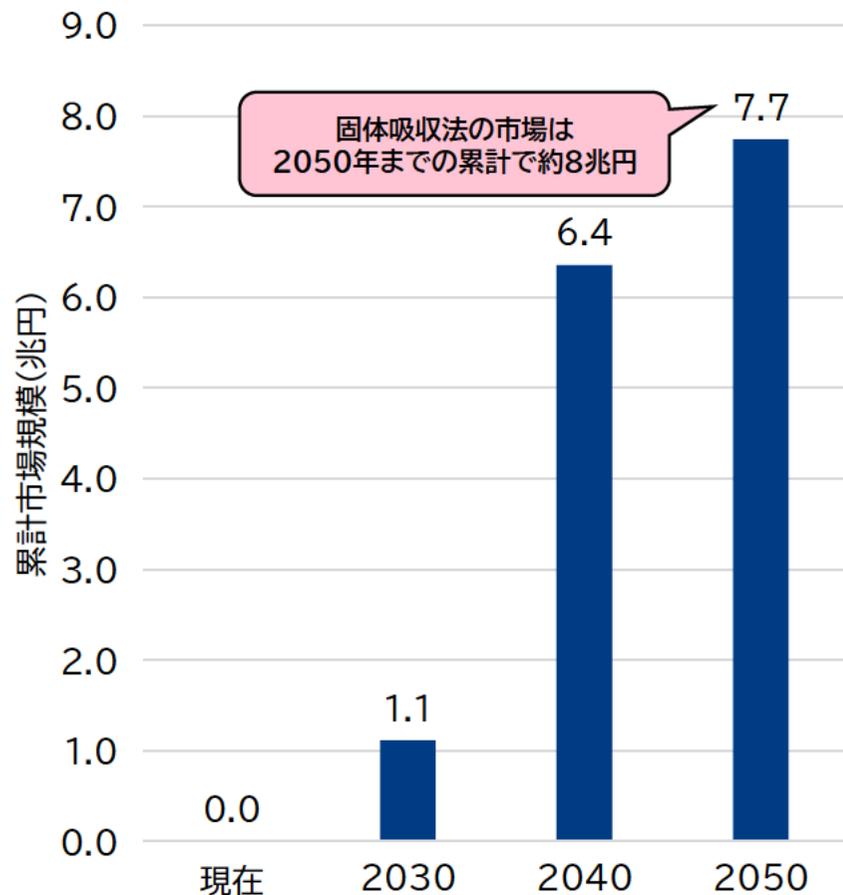


項目	内容
CCS市場規模の算定方法	<p>単年の市場規模を推計し、推計値を2050年まで加算することで、2050年時点の累積の市場規模を推計</p> <p>市場規模 = ①トンCO<sub>2</sub>当たりの化学吸収法のコスト(設備・吸収液分)(円/t-CO<sub>2</sub>) × ②化学吸収法によるCO<sub>2</sub>回収量(t-CO<sub>2</sub>/年)</p>

## 固体吸収法の市場規模

- CCSに用いる固体吸収法は、2050年までの累計で約8兆円の市場規模が見込まれる。

固体吸収法の市場規模(累計)

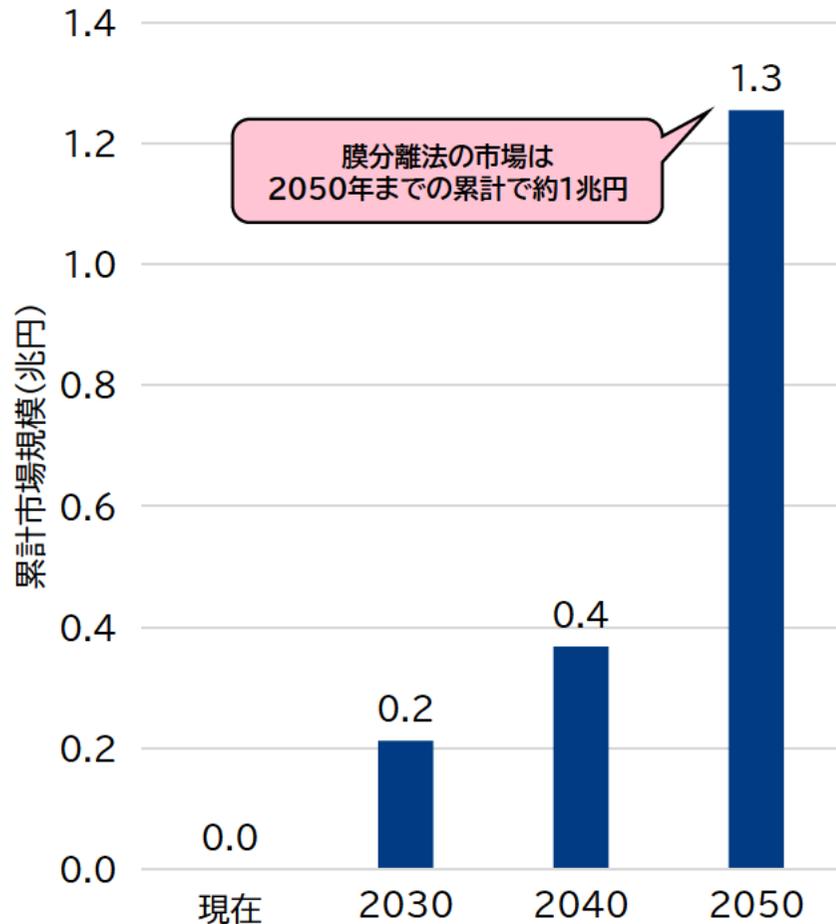


項目	内容
CCS市場規模の算定方法	<p>単年の市場規模を推計し、推計値を2050年まで加算することで、2050年時点の累積の市場規模を推計</p> <p>市場規模 = ①トンCO<sub>2</sub>当たりの固体吸収法のコスト(設備・吸収材分) (円/t-CO<sub>2</sub>) × ②固体吸収法によるCO<sub>2</sub>回収量(t-CO<sub>2</sub>/年)</p>

# 膜分離法の市場規模

- CCSに用いる膜分離法は、2050年までの累計で約1.3兆円の市場規模が見込まれる。

膜分離法の市場規模(累計)

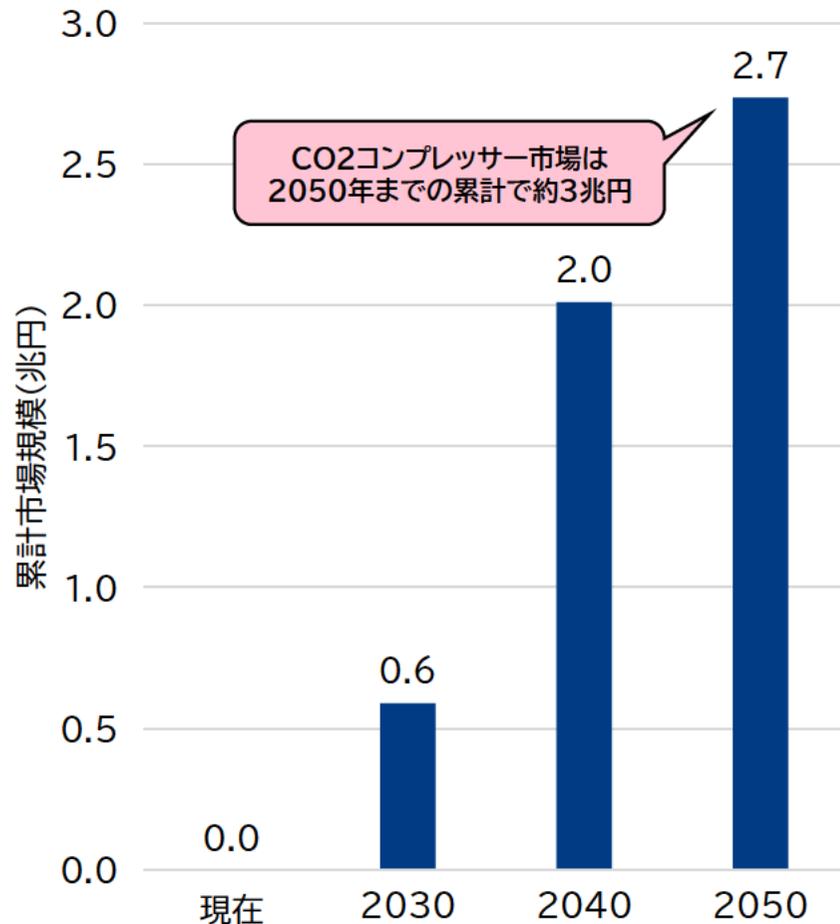


項目	内容
CCS市場規模の算定方法	<p>単年の市場規模を推計し、推計値を2050年まで加算することで、2050年時点の累積の市場規模を推計</p> <p>市場規模 = ①トンCO<sub>2</sub>当たりの膜分離法のコスト(設備・分離膜分)(円/t-CO<sub>2</sub>) × ②膜分離法によるCO<sub>2</sub>回収量(t-CO<sub>2</sub>/年)</p>

# CO2コンプレッサーの市場規模

- CCSに用いるCO2コンプレッサーは、2050年までの累計で約3兆円の市場規模が見込まれる。

CO2コンプレッサーの市場規模(累計)

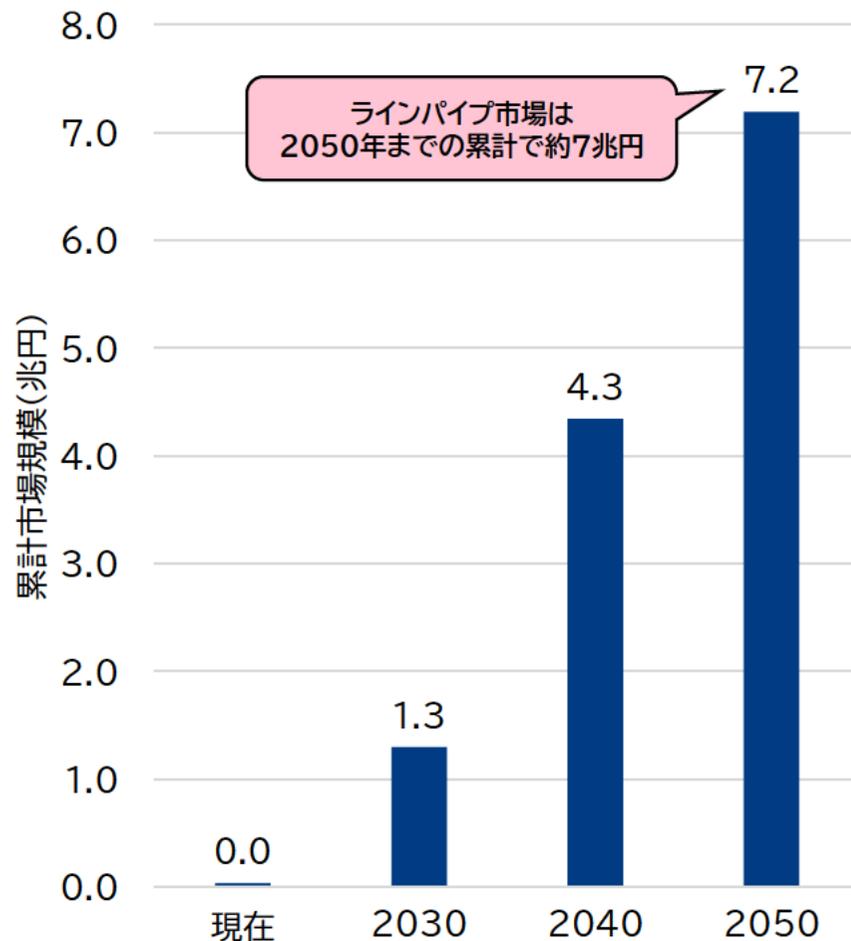


項目	内容
CCS市場規模の算定方法	<p>単年の市場規模を推計し、推計値を2050年まで加算することで、2050年時点の累積の市場規模を推計</p> <p>市場規模 = ①トンCO2当たりのCO2コンプレッサーのコスト(円/t-CO2) × ②CO2回収量(t-CO2/年)</p>

## ラインパイプの市場規模

- CCSに用いるラインパイプは2050年までの累計で約7.2兆円の市場規模が見込まれる。

ラインパイプの市場規模(累計)

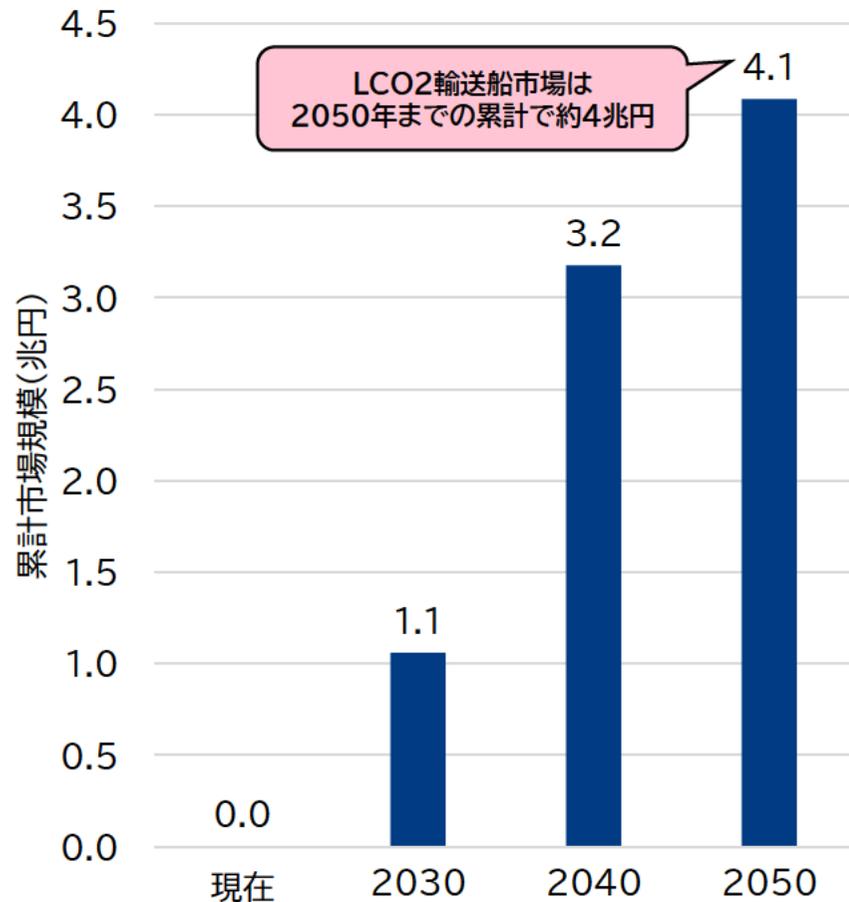


項目	内容
CCS市場規模の算定方法	<p>単年の市場規模を推計し、推計値を2050年まで加算することで、2050年時点の累積の市場規模を推計</p> <p>市場規模 = ①PL単価(円/t-CO<sub>2</sub>) × ②陸上CO<sub>2</sub>輸送量</p> <p>※IEAのWEOによるとNZEシナリオにおいても2050年の液体ベースのエネルギー消費量は一定ペースで増加し続けるため、線形補完で対応</p>

# LCO2輸送船の市場規模

- CCSに用いるLCO2輸送船は2050年までの累計で約4.1兆円の市場規模が見込まれる。

LCO2輸送船の市場規模(累計)

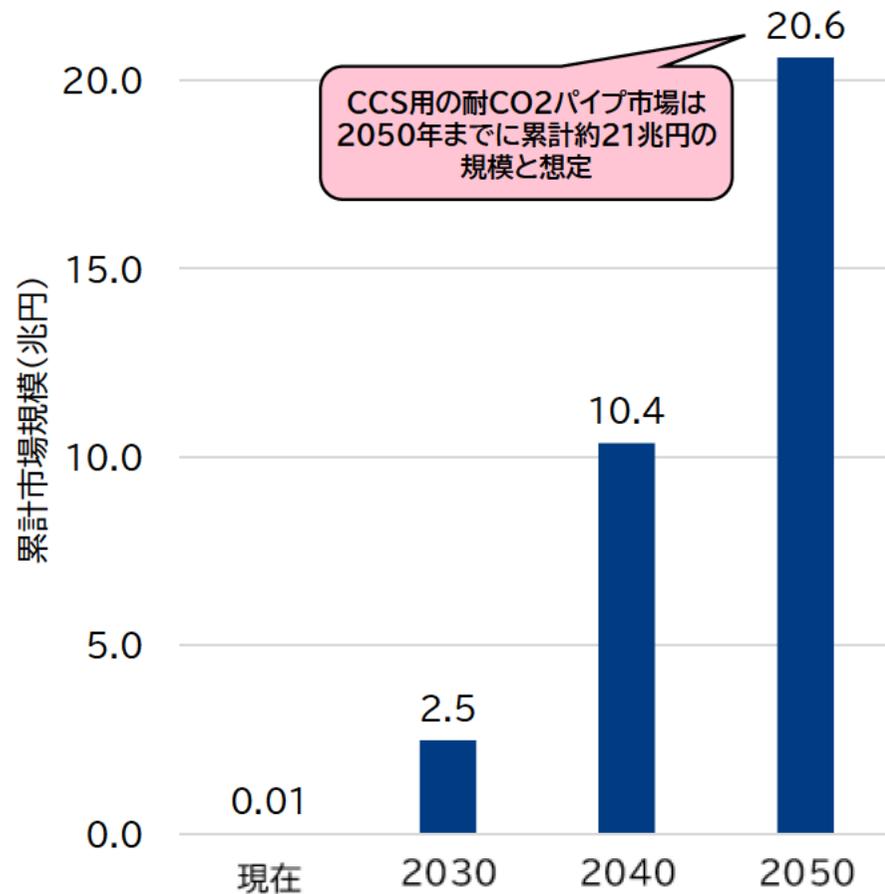


項目	内容
CCS市場規模の算定方法	<p>単年の市場規模を推計し、推計値を2050年まで加算することで、2050年時点の累積の市場規模を推計</p> <p>市場規模=①×(②/③)×④</p> <p>①船価原単位(億円/隻)            ②海上CO2輸送量(t-CO2/年)            ③1隻あたりのCO2年間輸送量(t-CO2/隻/年)            ④船価低下率(%/年)</p>

## 耐CO2パイプの市場規模

- CCSに用いる耐CO2ケーシングパイプ/耐CO2チュービングパイプの市場は、2050年までの累計で約21兆円の市場規模が見込まれる。

耐CO2ケーシングパイプ/耐CO2チュービングパイプの市場規模(累計)

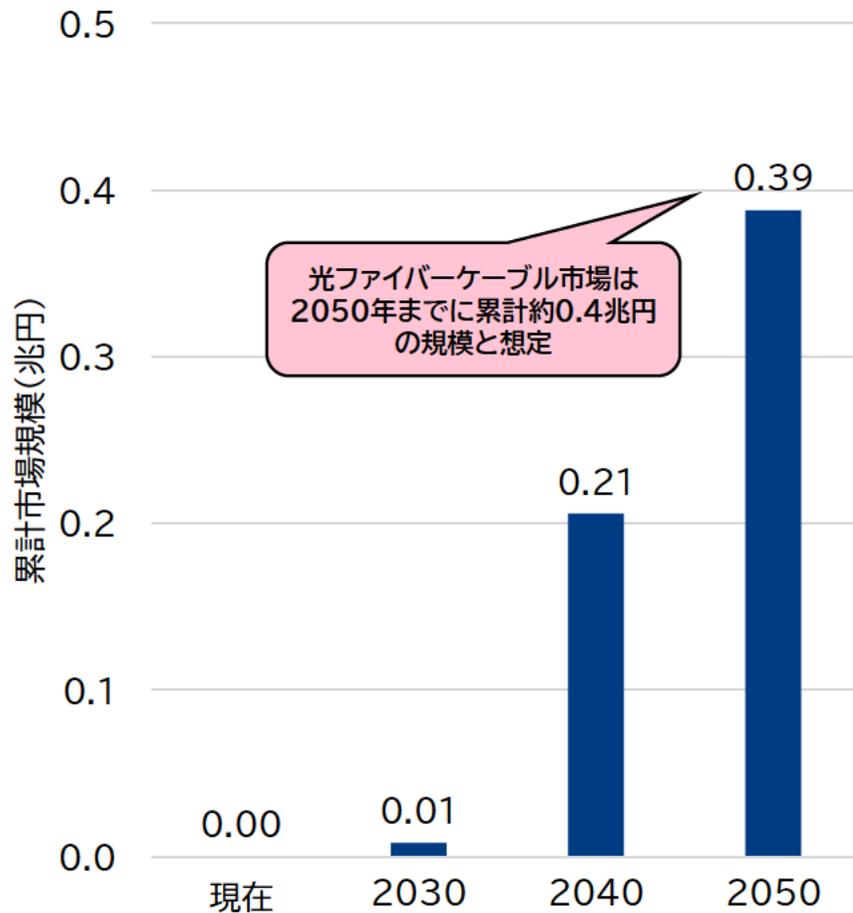


項目	内容
CCS市場規模の算定方法	<p>単年の市場規模を推計し、推計値を2050年まで加算することで、2050年時点の累積の市場規模を推計</p> <p>市場規模 = ①掘削される圧入井の数(本/年) × ② {耐CO2ケーシングパイプの単価(円/本) + ③耐CO2チュービングパイプの単価(円/本)}</p>

## 光ファイバーケーブルのCCS市場規模

- CCSに用いる光ファイバーケーブルは、2050年までの累計で約0.4兆円の市場規模が見込まれる。

光ファイバーケーブルのCCS市場規模(累計)

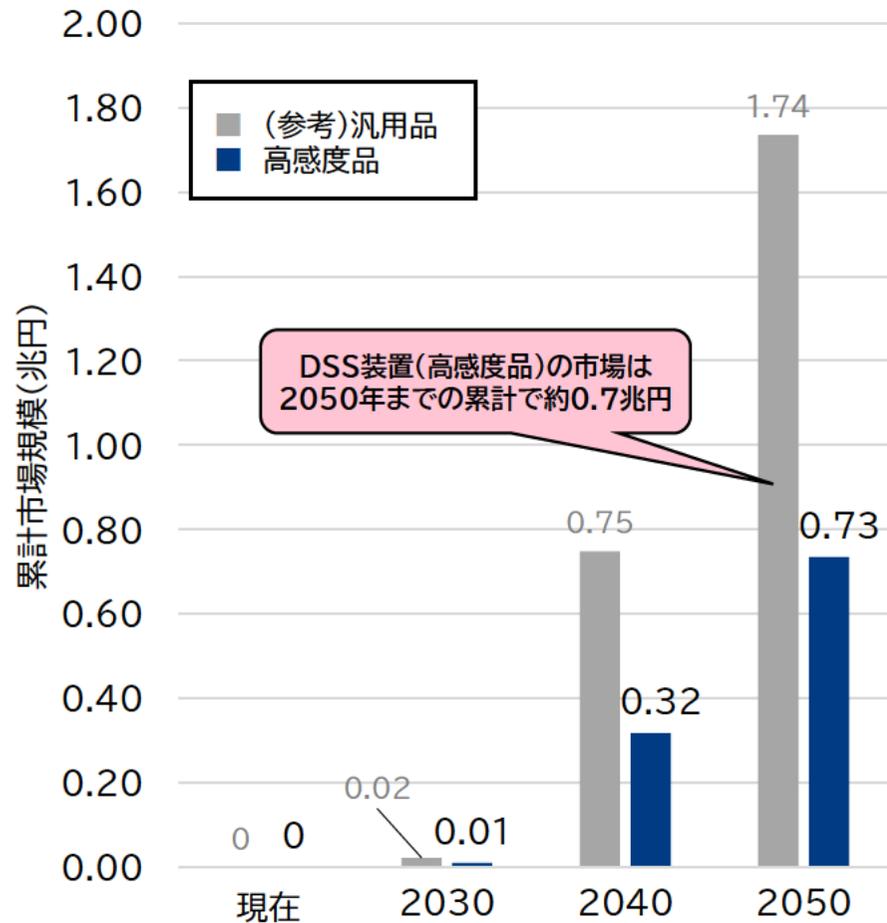


項目	内容
CCS市場規模の算定方法	<p>単年の市場規模を推計し、推計値を2050年まで加算することで、2050年時点の累積の市場規模を推計</p> <p>市場規模=①光ファイバーケーブル1本あたりのコスト(円/本)×②1坑井あたりの光ファイバーケーブルの本数(本/坑井)×③新規に掘削される坑井の数(坑井)</p>

# DSS装置のCCS市場規模

- CCSに用いるDSS装置(高感度品)は、2050年までの累計で約0.7兆円の市場規模が見込まれる。
  - CCSに用いるDSS装置(汎用品)は、2050年までの累計で約1.7兆円の市場規模が見込まれる。

DSS装置のCCS市場規模(累計)

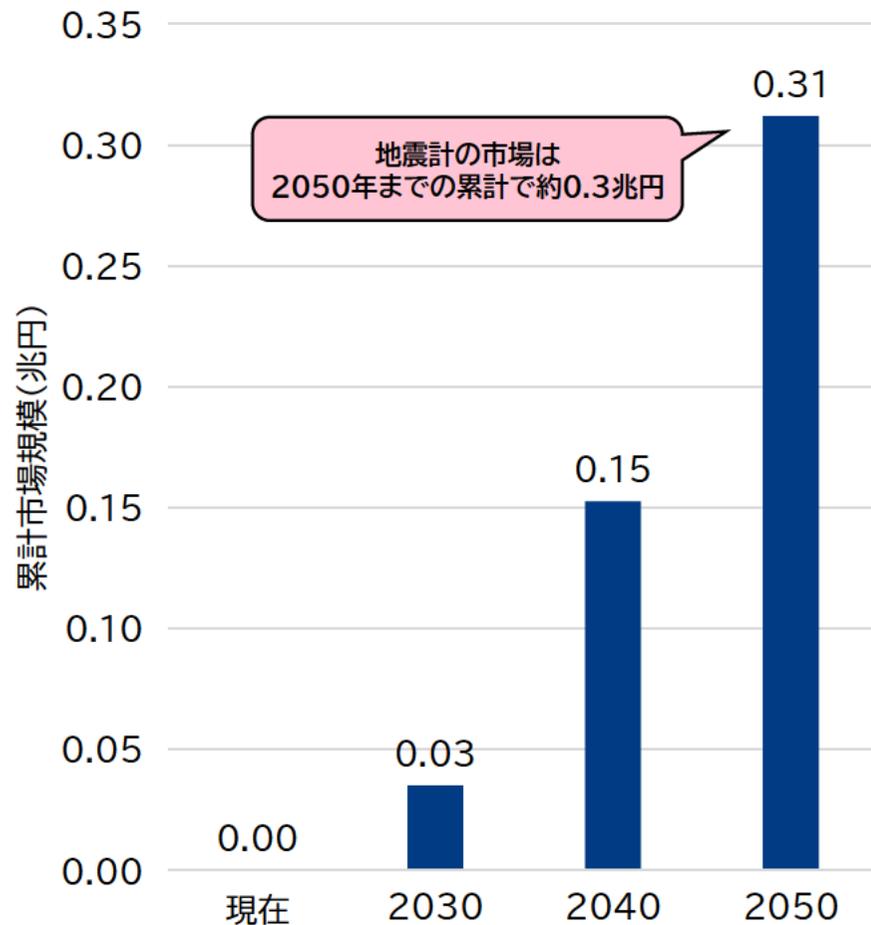


項目	内容
CCS市場規模の算定方法	<p>単年の市場規模を推計し、推計値を2050年まで加算することで、2050年時点の累積の市場規模を推計</p> <p>市場規模 = ①DSS装置1台あたりのコスト(円/台) × ②1サイトあたりのDSS装置の数(台/サイト) × ③対象年にDSS装置が導入される坑井の数(坑井) ÷ ④1サイトあたりの坑井の数(坑井/サイト)</p>

## 地震計のCCS市場規模

- CCSに用いる地震計は、2050年までの累計で約0.3兆円の市場規模が見込まれる。

地震計のCCS市場規模(累計)



項目	内容
CCS市場規模の算定方法	<p>単年の市場規模を推計し、推計値を2050年まで加算することで、2050年時点の累積の市場規模を推計</p> <p>市場規模 = ①地震計1つあたりのコスト(円/個) × ②1サイトあたりの地震計の数(個/サイト) × ③対象年に地震計が導入される坑井の数(坑井)(坑井) ÷ ④1サイトあたりの坑井の数(坑井/サイト)</p>

## 3-3.優位性を保有する各種設備の産業成長性評価

---

- 3-3-1.各種設備の産業成長性評価
- 3-3-2.各種設備の産業成長戦略策定のための論点の整理

## 調査方法

- 「3-1.CCSバリューチェーンを構成する各種設備の特定及び優位性に関する調査・分析」および「3-2.優位性を保有する各種設備の市場調査」で整理・分析した情報に基づき、各技術の産業成長性の評価及び論点の整理を実施した。
  - ▶ 各技術の産業成長性のために重要なポイントを整理することを目的としている。

### 各技術の産業成長性の評価および論点の整理

#### 技術帳票を作成した抽出設備リスト

分野	技術帳票を作成した技術	
分離回収	化学吸収法	
	固体吸収法	
	膜分離法	
	CO2コンプレッサー	
輸送	ラインパイプ	
	LCO2船	
貯留	耐CO2パイプ	
モニタリング	光ファイバー計測	光ファイバーケーブル
		DSS装置
	地震計	

#### 整理イメージ

主な国内事業者					
三菱重工、東芝、日鉄エンジニアリング、東ソー					
国内事業者を取り巻く環境			2030	2040	2050
技術全体の CCS市場 見通し	分離回収の 市場規模	▶ XXX			
	技術成熟度	▶ XXX			
	代替技術の 有無	▶ XXX			
要素技術を保有する プレイヤーの動向		▶ XXX			
産業成長のポイント			優位性の論点		
▶ XXX			XXX		
			XXX		
			XXX		

## 市場規模評価を実施した技術リスト

- 商業化技術には、化学吸収法、CO<sub>2</sub>コンプレッサー、ラインパイプ、耐CO<sub>2</sub>パイプ、地震計が存在し、早期のシェア獲得によって実績を強みとできる可能性が高い。
- 実証段階の技術には、固体吸収法、膜分離法、LCO<sub>2</sub>船、光ファイバー計測が存在し、研究開発の促進によって先行者となれる可能性がある技術も多く存在する。また、CCS自体のコスト削減に繋がる技術が発展することでCCSの普及拡大にも繋がるのが想定される。

各分野で抽出した技術の市場規模推計結果

分野	抽出技術	全体の累計市場規模(兆円)			技術成熟度	代替技術の有無	産業成長のポイント
		2030	2040	2050			
分離回収	化学吸収法	2.3	8.5	14.1	商業化	あり	代替技術の普及も想定されるため早期の実績拡大が重要
	固体吸収法	1.1	6.4	7.7	実証	あり	実証等で研究開発をリードしており、早期の市場導入によって同分野の先行者となる可能性 DACへの展開も想定
	膜分離法	0.2	0.4	1.3	実証	なし	コスト削減ポテンシャルが大きく、萌芽的技術も含め 中長期的な取組みが重要
	CO <sub>2</sub> コンプレッサー	0.6	2.0	2.7	商業化	なし	実績が重視されることが想定され、CCS分野での早期導入が継続的な成長に繋がる
輸送	ラインパイプ	1.3	4.3	7.2	商業化	あり	技術的な差別化要素は少ない 実績重視の業界のため早期のシェア獲得が重要
	LCO <sub>2</sub> 船	1.1	3.2	4.1	実証	あり	技術開発でリードし、中小型船段階からシェアを獲得することで企業体力を維持・成長させることが重要
貯留	耐CO <sub>2</sub> パイプ	2.5	10.4	20.6	商業化	なし	耐腐食性と高グレードの高品質製品の製造力と増加する需要に沿った供給力を兼ね備えることが必要
モニタリング	光ファイバーケーブル	0.0	0.2	0.4	実証	なし	CCS向け光ファイバーケーブルの技術開発や生産ライン整備が必要
	DDS装置(高感度品)	0.0	0.3	0.7	実証	なし	供給力を強化することが重要
	地震計	0.0	0.2	0.3	商業化	なし	地震国への展開が有望。安全判断システムとのセット販売により売上を伸ばすことが可能
合計		6.8	27.4	45.0			

# 化学吸収法の産業成長性評価

- 化学吸収法は、商業化済みの技術のため2030～2040年にかけて大きく社会実装が進むと考えられる。
- 一方で中長期的には、固体吸収法や膜分離法の研究開発によって、代替される可能性がある。

## 産業成長性の見通し

### 主な国内事業者

三菱重工、東芝、  
日鉄エンジニアリング、東ソー

国内事業者を取り巻く環境		2030	2040	2050
技術全体の CCS市場 見通し	分離回収の 市場規模			
	技術成熟度	商業化済み		
	代替技術の 有無	固体吸収法 物理吸着法	固体吸収法 物理吸着法 膜分離法	固体吸収法 物理吸着法 膜分離法
要素技術を保有する プレイヤーの動向	<p>国内事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>三菱重工は回収エネルギー約2.4GJ/t-CO<sub>2</sub>の高性能な吸収液(KS-1)を保有し、現状のシェアは70%</li> </ul> <p>海外事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ShellやAkerなどの競合が複数存在</li> <li>ShellはカナダのQuestやノルウェーのノーザンライツ等の大規模PJを受注</li> </ul>	<p>現状～2030年</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>三菱重工は新開発した吸収液KS-21を開発し、英国電力会社Drax社のプロジェクトに採択。またCO<sub>2</sub>回収プラントコストの3割を削減可能と見通しを表明</li> <li>Akerは熱回収によって1.6GJ/t-CO<sub>2</sub>のCO<sub>2</sub>回収を検討し、2024年以降の実証プロジェクトの規模拡大に取り組む</li> <li>Shellは2.3GJ/t-CO<sub>2</sub>のCO<sub>2</sub>回収を達成。2015～2025年にはカナダで大規模CCSプロジェクトを実施(2025年までを想定)</li> </ul>		

## 化学吸収法の産業成長戦略策定に向けた論点整理

- 化学吸収法は、現在のCCS実装に対して重要な技術であるが競合が多数存在し、コストカットや付加価値向上（対応可能な排出源の多様化によるや環境性能等）が重要となる。
- また、中長期的には他技術に代替される可能性があることを踏まえると、現在のシェアの維持・拡大によって早期に市場を獲得することで、その後のO&M業務への展開も可能となると想定する。

### 論点の整理

産業成長のポイント	優位性の論点
<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 化学吸収法は、一般的な排ガスに対するCO<sub>2</sub>回収技術として唯一、商業化レベルの技術のため、足元のCCS実装は化学吸収法によって進むと考えられる</li> </ul>	<p><u>システム最適化によるコストカット</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ CO<sub>2</sub>回収エネルギー削減のためには、吸収液の開発および開発した液の特性に合わせたプロセス最適化が重要となる</li> <li>➢ 三菱重工は、吸収液とプロセスの両方を自社で取組み、RITEは日鉄エンジニアリングと共同で開発した液のプロセス化に取り組む</li> <li>➢ すなわち、化学吸収法が市場に導入される際は吸収液や単体機器のみの販売ではなくプロセス全体で取り組むことが重要である</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 一方で、中長期的にはCO<sub>2</sub>回収コストの削減ポテンシャルが大きい競合技術(固体吸収法や膜分離法等)に代替される可能性がある</li> <li>➢ よって、化学吸収法の産業成長を最大化するためには2030～2040年の早期から、市場シェアを獲得することが重要と考えられる</li> </ul>	<p><u>対応可能な排出源の多様化</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 商業化レベルに既に達している化学吸収法は、多くの排出源への適用が想定されている。その結果プロジェクトによって、対応しなければならない条件は大きく異なり、ケースバイケースでの対応が求められる状況にある</li> <li>➢ 化学吸収法に取り組む国内事業者が、強みをもつ排出源や今後拡大していく領域を見定めた支援が重要である</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 早期にシェアを獲得することによって代替技術が発展した際にも、化学吸収法が利用されているプラントのO&amp;M業務の市場が維持できる</li> </ul>	<p><u>環境性能の向上</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 分離回収プロセスで利用するアミンは有害物質である。有害性削減や、プロセスから排出されない工夫が必要となる</li> <li>➢ アミンはプロセス内でリサイクルされるが、劣化したアミンは最終的に産業廃棄物となり、処理に課題が残る。再利用できる技術を保有する企業は今後、優位性を持つ可能性がある</li> </ul>

# 固体吸収法の産業成長性評価

- 固体吸収法は実証段階の技術で、国内外で実証試験が進んでいる。
- 川崎重工が目標とする2025年以降の商用化は他社と比べても早期で、先行した市場導入が期待される。
- 一方で中長期的には、膜分離法の研究開発によって、代替される可能性がある。

## 産業成長性の見通し

### 主な国内事業者

川崎重工、千代田化工建設  
エア・ウォーター、戸田工業、

国内事業者を取り巻く環境			2030	2040	2050
技術全体の CCS市場 見通し	分離回収の 市場規模	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 2050年に向けて継続的に新設プラントは増加</li> <li>➢ 2040年にはCCSの導入が大きく進むと見込まれる</li> </ul>	1.1兆円	6.4兆円	7.7兆円
	技術成熟度	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 現状は実証段階</li> <li>➢ 国内外で商業化に向けた実証プロジェクトが存在</li> </ul>	実証段階～商業化	商業化	商業化
	代替技術の 有無	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 代替先の技術は化学吸収法が想定</li> <li>➢ コスト削減ポテンシャルが大きく代替されうる技術として膜分離法が存在</li> </ul>	化学吸収法 物理吸着法 膜分離法	化学吸収法 物理吸着法 膜分離法	膜分離法
要素技術を保有する プレイヤーの動向		国内事業者 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 川崎重工が実証試験を実施(2025年以降商業化)</li> </ul> 海外事業者 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Shell、Svanteなどが主な競合として存在し、両者共にスケールアップ実証を実施/計画中</li> </ul>	2025年以降を想定 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 川崎重工の実証は海外の競合と比較しても同等以上の商業化が目標とされており、エネルギー目標も1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>と低い</li> <li>➢ Svante社の明確な商業化目標は確認できないが、2023年10月にはBASF社がSvanteへの吸収材供給の商業生産に見通しが立ったことを公表(回収コストは30\$/t-CO<sub>2</sub>以下が目標)</li> <li>➢ Shellに関しては、目標などが確認できない(シェルは化学吸収法にも取組んでおり、現在は化学吸収法に注力していると推察)</li> </ul>		

## 固体吸収法の産業成長戦略策定に向けた論点整理

- 固体吸収法は、CO<sub>2</sub>回収のコスト削減可能性が高い実証技術として、研究開発の促進が重要となる。
- 排ガスへの適用取組みとして、国内企業の実証が海外と比較しても先行しており、早期の市場導入ができれば先行者となる可能性が高い。
- また固体吸収法はDAC分野では最も有力な技術の一つであり、DACへの展開による産業成長も期待できる  
論点の整理

産業成長のポイント	技術的優位性の論点
<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 固体吸収法は、実証段階の技術のため、更なる実証試験や研究開発が重要な分野である</li> <li>➢ 実装時の競合技術は化学吸収法となるため、化学吸収法のCO<sub>2</sub>回収コストを下回ることや異なる付加価値の提供が重要となる。CO<sub>2</sub>回収エネルギーの目標は化学吸収法に比較して低く、優位性を持つ可能性がある。またDACへの展開も検討されている。</li> </ul>	<p>知見蓄積のための実証継続や研究開発支援</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 既に商業化している化学吸収法とは異なり、実証段階である固体吸収法は継続的な実証や研究開発支援がより重要となる</li> <li>➢ CCSの導入が進む際に、化学吸収法のみを実プロジェクトや投資が集中すると固体吸収法の研究開発が停滞するリスクが存在する</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 固体吸収法に取り組む海外競合(Svante等)を見ても、国内企業はより低いエネルギー目標を設定しており、実証試験も同等以上のレベルで進んでいる。</li> <li>➢ 固体吸収法の産業成長を最大化するためには、排ガスからの回収では海外の競合に先んじた市場導入を目指し、DACという異なる分野への展開も見据え取り組むことが重要と考えられる</li> </ul>	<p>他分野への展開</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 低圧の燃焼排ガスへ固体吸収法を適用する際の競合技術は化学吸収法となる。代替のためには化学吸収法のコストを下回ることが重要となる。一方で現在、研究開発が進むDAC(直接空気捕獲)分野では、固体吸収法が最も有力な技術である。実際に、DAC分野で先行する海外企業として、グローバルサーモスタットやクライムワークスは固体吸収法の技術を利用している</li> <li>➢ 他分野への展開も検討することで異なる市場をターゲットとした産業成長が期待できる</li> </ul>

# 膜分離法の産業成長性評価

- 膜分離法は実証段階の技術で、主に海外企業のMTRが先行している。
- 一方で、膜分離法はコスト削減ポテンシャルが大きく、将来的に最もコスト面で優れた技術となる可能性がある。
- よって、分離回収分野の市場を中長期的に維持するためにも膜分離の開発に取り組むことは重要であり、国内では住友化学らが、2050年で2億t-CO<sub>2</sub>/年の回収を目標に開発に取り組んでいる。

## 産業成長性の見通し

### 主な国内事業者

住友化学、OOYOO  
日本ガイシ

国内事業者を取り巻く環境			2030	2040	2050
技術全体の CCS市場 見通し	分離回収の 市場規模	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 2050年に向けて継続的に新設プラントは増加</li> <li>➢ 2040年にはCCSの導入が大きく進むと見込まれる</li> </ul>	0.2兆円	0.4兆円	1.3兆円
	技術成熟度	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 実証段階の技術</li> <li>➢ 大きなコスト削減ポテンシャルが見込まれている</li> </ul>	実証段階	商業化	商業化
	代替技術の 有無	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 技術成熟度が高い技術としては化学吸収法が競合</li> <li>➢ 膜分離法が、最も大きなコスト削減ポテンシャルを見込まれているため、削減ポテンシャルとしての競合は現状は存在しない</li> </ul>	化学吸収法 物理吸着法 物理吸収法	化学吸収法 物理吸着法 固体吸収法 物理吸収法	—
競合の有無や 動向		<p>国内事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 住友化学、OOYOOは排ガスに適用可能な分離膜の研究開発を実施している</li> </ul> <p>海外事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ MTRはノルウェーにおいて10t-CO<sub>2</sub>/日規模の実証試験を実施。他にもWyoming ITCにて150 t-CO<sub>2</sub>/日の実ガス試験を計画する等、膜分離分野をリードする企業である</li> </ul>	<p>2030年以降を想定</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 住友化学、OOYOOは排ガスに適用可能な分離膜の研究開発を実施しており目標コストは2000円/t-CO<sub>2</sub>。また、事業化の目標として2035年230万t-CO<sub>2</sub>/年、2050年で2億t-CO<sub>2</sub>/年を設定</li> <li>➢ MTR社のPolaris膜は、CO<sub>2</sub>ガス透過性と選択性の向上によって20-30\$/t-CO<sub>2</sub>程度の回収コストと試算されている。実証は2026年まで計画されているため、それ以降の商業化となると推察</li> </ul>		

## 膜分離法の産業成長戦略策定に向けた論点整理

- 膜分離法は、CO<sub>2</sub>回収のコスト削減可能性が最も高い技術である。
- 海外技術が実証では先行しているが、より革新的な萌芽的研究も含めて中長期的な目線で取り組むことが重要である。

### 論点の整理

産業成長のポイント	技術的優位性の論点
<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 膜分離法は、実証段階の技術であり、研究開発を通し中長期的にCCSに実装されると見込まれる</li> <li>➢ 膜分離法はCO<sub>2</sub>分離回収技術の中でも最も大きなコスト削減ポテンシャルが見込まれている</li> <li>➢ 排ガスへの適用では、米国のMTRが世界をリードし複数の実証実験を実施しているが、中長期的にも我が国が分離回収分野で市場を維持するために、ポテンシャルの大きい膜分離に取り組むことは重要である</li> <li>➢ 国内では、住友化学とOOYOO等が排ガスを対象とした膜分離の研究開発に取り組んでいる。革新的な萌芽的な技術を含めて検討を継続することが重要と考えられる</li> </ul>	<p>分離膜の更なる性能向上</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 膜分離法は、CO<sub>2</sub>回収コストの削減ポテンシャルは大きいと考えられている一方で、現状の回収コストはMTR社で20-30 \$ /t程度である。また、一般的に膜が排ガスによる汚染に弱いことも大きな課題とされている。研究開発によって削減ポテンシャルがより大きい膜素材を探索することや、プロセスの改良によって商業利用に耐えうるシステム構築が重要である</li> <li>➢ 膜素材に関しては、重要なパラメーターは主にガス透過性(CO<sub>2</sub>を含むガスの流しやすさ)とCO<sub>2</sub>選択性(他のガスとCO<sub>2</sub>の分離のしやすさ)の二つとされている。多くの膜において、この二つはトレードオフの関係にあり、実用化が困難な利用の一つでもあるが、このトレードオフの関係を崩す研究が注目されている。</li> </ul> <p>産学連携での技術開発の促進</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 例えば九州大学は膜分離によって、空気からCO<sub>2</sub>を回収するDAC(直接空気捕獲)に焦点を当て、研究開発や事業化に取り組んでいる。MTRとは異なる領域をターゲットとすることで、競争を避けることも重要と考えられる</li> <li>➢ また、膜分離法に関しては国内に九州大学や神戸大学等の優れた研究を実施する大学が存在し、企業だけではなく産学連携での取り組みも重要と考えられる</li> </ul>

# CO2コンプレッサーの産業成長性評価

- CO2コンプレッサーは商業段階の技術で、国内外に多くのプレイヤーが存在している。
- CO2コンプレッサーは、CO2圧縮において必要不可欠な設備かつ代替技術が現状、存在しないためCCSの普及に比例した市場規模の拡大が見込まれる。
- コンプレッサーを取り扱う企業には、分離回収技術も含めた幅広いサービス提供を行う企業も存在する。

## 産業成長性の見通し

### 主な国内事業者

三菱重工、川崎重工、IHI、神戸製鋼

国内事業者を取り巻く環境		2030	2040	2050
技術全体の CCS市場 見通し	分離回収の 市場規模	0.6兆円	2.0兆円	2.7兆円
	技術成熟度	商業化済み		
	代替技術の 有無	—		
競争の有無や 動向	国内事業者 ▶ 三菱重工は石油化学を中心に全世界に4,000台以上の機器納入実績 海外事業者 ▶ Baker Hughesは石油精製・化学・資源分野等で5,000台以上の機器納入実績を保有	現状～2030年 ▶ 国内の事業者はいずれもCCUSへの取組み(設備検討や販売実績)が存在し、CCS市場への進出が期待できる ▶ Baker HughesはCCUSに積極的に取り組んでおり、分離回収から坑井まで広範なサービスを提供する。圧縮以外も含めた取組みの活発化が想定される		

# CO2コンプレッサーの産業成長戦略策定に向けた論点整理

- CO2コンプレッサーはCCS導入に比例した市場規模の拡大が見込まれるが、実績が重視される傾向にあるため石油・天然ガス系企業など既存顧客のCCS導入に採択されることが重要と考えられる。
- 実績の蓄積によりやコンプレッサー以外のサービス提供により、新規顧客との接点を獲得することが産業成長において重要と想定する。

## 論点の整理

産業成長のポイント	優位性の論点
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ CO2コンプレッサーはCCSでは必要不可欠かつ代替技術が存在しないため、CCSの普及拡大に応じた市場規模の拡大が見込まれる</li> <li>▶ コンプレッサー導入においては信頼性が重視される傾向がある。例えばエミッター(石油化学工場などを想定)が新たにCCSを検討する際は、工場へのコンプレッサー納入実績がある企業を選択する可能性が高い。</li> </ul>	<p><u>CCSにおける実績の早期獲得</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ コンプレッサー市場は信頼性や実績が重視される傾向にあるため、CCSの普及拡大期の早期に実証や実際の受注を獲得することが将来の規模拡大に繋がると想定される</li> <li>▶ 実証や実プロジェクトで早期に実績を積むため、既存顧客と連携したCCS実証プロジェクト参画や、既存顧客へのCCS導入検討支援などが有効と考えられる</li> <li>▶ また、複数の企業で実施される新規実証プロジェクトで採択されれば、信頼性の証明や顧客接点の獲得が可能と考えられ、海外での実証プロジェクト採択を国として支援することも有効と考えられる。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ よって、コンプレッサー分野では、既に販売実績がある企業や事業者へアプローチし実績を早期に積み重ねることが重要と考えられる。実績を積み信頼性が認められればCCSを新たに検討する顧客にも選択されやすくなる。</li> <li>▶ また、国内にはコンプレッサーの他に分離回収等でもサービス提供が可能な企業が存在し、新規顧客との接点をコンプレッサー以外の分野から獲得することも有用と想定する</li> </ul>	<p><u>コンプレッサー以外での価値提供</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ コンプレッサーを取り扱う国内や海外の事業者において、圧縮工程以外においても(CO2分離回収等)、サービス提供を実施している事業者が存在する</li> <li>▶ コンプレッサーが成熟市場で、実績が重視されることを鑑みると既存顧客以外へのアプローチが困難な可能性が高い。コンプレッサーのみで顧客接点を獲得する以外にも、分離回収や貯留技術など他の取組みから異なる顧客接点を獲得することも重要と想定される</li> </ul>

# ラインパイプの産業成長性評価

- ラインパイプは2040年前後に市場が大きく拡大することが見込まれる。
- 技術的には成熟しているため、実績面や価格、規格への対応状況等が差別化の要素となっている。

## 産業成長性の見通し

### 主な国内事業者

日本製鉄、JFEスチール等

国内事業者を取り巻く環境			2030	2040	2050
技術全体の CCS市場 見通し	ラインパイプ の市場規模	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 2050年に向けて継続的な需要が存在</li> </ul>	1.29兆円	4.34兆円	7.19兆円
	技術成熟度	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 既存の炭素鋼ラインパイプ製造技術で対応可能</li> </ul>	商業化済み		
	代替技術の 有無	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 耐食性パイプが想定されるが、高価であるため採用は限定的と想定(例:輸送距離が短く、CO2コンディショニング費用よりも耐食性パイプ導入費用の方が安価となるような特殊な場合など)</li> </ul>	代替技術はなし		
要素技術を保有する プレイヤーの動向	<b>国内事業者</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 日本製鉄とJFEスチールは供給量が豊富であり、実績面で世界トップレベル</li> </ul> <b>海外事業者</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ エリアごとに主要企業が点在している状況</li> <li>➢ 低グレードのパイプであれば製造可能な事業者は多数存在しており、シェアが分散する傾向にあると想定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ ラインパイプ市場は実績が重要であるとの有識者コメントから、競合関係が急激に変化することは想定しがたい。</li> <li>➢ 一方で、CCS分野ではオイル&amp;ガス程の実績の差がないこと、顧客層が広がることなどから従来のシェア構造が崩れる可能性がある。</li> </ul>			

# ラインパイプの産業成長戦略策定に向けた論点整理

- 既存用途であるオイル&ガス市場では実績が重視される傾向にあるため、実証試験や既存顧客である石油系企業等のCCS導入に早期に採択され実績を積み上げることが重要になると考えられる。
- また、パイプ単体の技術自体で差別化を図ることは難しいため、前後工程とのすり合わせを踏まえた最適化提案等も行える体制を敷くことが差別化要素となる可能性がある。

## 論点の整理

産業成長のポイント	優位性の論点
<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 炭素鋼のパイプは成熟された技術であるため、技術単体で差別化を図ることは難しい。</li> <li>➢ オイル&amp;ガスでは実績が重視されていることからCCSにおいても実績が重視される可能性が高いため、早期に実績を積み上げることが重要である。</li> <li>➢ また、炭素鋼のパイプを利用するためには前工程のCO2コンディショニングが重要となるため、これらの工程等を含めた最適化提案ができると付加価値が高まる可能性がある。</li> </ul>	<p><b>早期のシェア獲得</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ ラインパイプ市場は実績が重要であるため、競合関係が急激に変化することは想定しがたいが、CCS分野ではオイル&amp;ガス程の実績の差がないこと、顧客層が広がることなどから従来のシェア構造が崩れる可能性がある。</li> <li>➢ そのため、実証を含めた各種PJにおいて、戦略的な導入を行い早期に実績を積み上げることが重要になると想定される。</li> </ul> <p><b>CO2コンディショニングとの組み合わせによる高付加価値提案</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 炭素鋼のラインパイプは生産設備があれば製造可能な事業者は多いためパイプ単体での技術的な差別化は困難と想定する。</li> <li>➢ 一方で、ガスによる腐食等の条件に関する知見を活用し、前工程のCO2コンディショニングの設計を最適化するなど、他工程まで含めた高付加価値な提案が行えるようになると、新たな差別化要因となりうる可能性がある。</li> <li>➢ そのため、ラインパイプの産業成長に向けては、他技術・工程・企業との連携を密に行える体制を組むことが重要になると考えられる。</li> </ul>

# LCO2船の産業成長性評価

- LCO2船は2040年前後に市場が大きく拡大することが見込まれる。
  - 一方で、LCO2船も既存市場と同様の競争環境に置かれるため、従来からの造船業の課題解決が求められる。
- 産業成長性の見通し

## 主な国内事業者

今治造船、JMU、名村造船所など  
(設計に関しては各海運会社や重工企業、設計コンサルタントなどが参入)

国内事業者を取り巻く環境		2030	2040	2050
技術全体の CCS市場 見通し	LCO2船の 市場規模	1.06兆円	3.18兆円	4.09兆円
	技術成熟度	実証段階 (2030年頃の商業化を想定)		
	代替技術の 有無	オフショアラインパイプとLCO2船は 輸送距離・輸送量に応じて選択されるため共存		
要素技術を保有する プレイヤーの動向	<p>国内事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 今治造船とJMUの共同営業設計会社である日本シッパードと三菱造船が外航LCO2船を共同検討</li> <li>▶ 特に三菱造船は世界初のCCUS用LCO2実証船建造実績を有するなど世界に先駆けた取り組みあり</li> </ul> <p>海外事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Northern lightsプロジェクト向けの商用船などの受注実績を有しており商用段階で一步リード</li> </ul>	<p>現状～2030年</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 船体の建造については既存技術で対応可能</li> <li>▶ LCO2タンクについては、従来円筒型・バイローブ型・トリローブ型が標準的であったところ、三菱造船が球形カーゴタンクシステムの基本設計承認を取得するなど一部先行</li> <li>▶ 商用船の受注や大型船の基本設計承認等は中韓が先行</li> </ul>		

# LCO2船の産業成長戦略策定に向けた論点整理

- 造船業は中韓欧が競合国であり、これらの国においても大型船の基本設計等が完了している段階であるなど、既存の造船業の競争環境を引き継ぐ可能性がみられている。
- ただし、LCO2船の付加価値の源泉はLCO2ハンドリング技術にあるため、これらを中心に性能面で差別化を図り、船体とセットでの販売を行うなどのビジネスモデルの工夫によって産業成長を実現することが考えられる。

## 論点の整理

産業成長のポイント	優位性の論点
<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 技術面でのLCO2船の差別化ポイントは、LCO2のハンドリング技術とLCO2に適したタンク鋼材の供給であるため、これらの研究開発が重要となる。</li> <li>➢ 供給能力面では、大型造船設備を有し、人件費の安い国にて優先的に受注が埋まることが想定される。ただし、2030年前後の中小型船が主流になる市場拡大期においては、競合国との建造能力の差が相対的に小さいことから、この時期にシェアを獲得し、企業体力をつけることができるかが重要となる。</li> <li>➢ そのため、中小型船が普及する時期における早期の技術確立と、技術優位性を梃子にしたシェア獲得を実現するビジネスモデルの検討が重要となる。</li> </ul>	<p><b>中小型船シェアの戦略的獲得</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ LCO2船は中小型からの普及が想定されるため、日本の造船業にとって建造能力・実績の差が少なく比較的競争がしやすい環境から市場拡大が見込まれる。</li> <li>➢ ただし、将来的には船舶規模の大型化が見込まれることから、既存の建造能力では徐々に日本に不利な状況になると考えられる。(現代重工業や中国船舶集団等は、大型のドックや船台を多く有しており、大型船の製造に効率的な体制を有する。)</li> <li>➢ そのため、中小型船段階でのシェア獲得を通じて、諸外国との大型船建造競争に耐える企業体力を獲得することが重要である。</li> </ul> <p><b>CO2ハンドリングシステム等の高付加価値化</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ LCO2船は、発生を抑止やBOG発生量の削減に向けた液ハンドリング技術、タンク材の開発等を開発余地があり、これらが差別化要素となる。</li> <li>➢ 特にCCS向けの規模では、これらの技術は未確立であるため、性能の差はシェアに大きな影響を与えることが想定される。</li> <li>➢ そのため、LCO2船においてはこれらの技術開発に注力することが重要と考える。</li> </ul> <p><b>次世代船舶(燃料転換)との融合</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ LCO2船自身のCO2排出量はSCOPE3に該当することが想定されるため、排出のCO2排出量も重要な性能の一つとなる。</li> <li>➢ そのため、燃料としての水素やアンモニア、LNG等を活用する技術との組み合わせも重要となるため、これらの技術開発も重要となる。</li> </ul>

# 耐CO2パイプの産業成長性評価

- 耐CO2ケーシングパイプ/耐CO2チュービングパイプは商業化済みの技術であり、CO2の目標回収量が大幅に増加する2030年～2040年にかけて大きく社会実装が進むと考えられる。

## 産業成長性の見通し

### 主な国内事業者

日本製鉄、JFEスチール

国内事業者を取り巻く環境			2030	2040	2050
技術全体の CCS市場 見通し	耐CO2 ケーシング パイプの 市場規模	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 2040年にはCO2の目標回収量の大幅な増加により、市場規模も大きく増加すると見込まれる</li> </ul>	2.5兆円	10.4兆円	20.6兆円
	技術成熟度	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 商業化済みの技術</li> </ul>	商業化済み		
	代替技術の 有無	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ CO2と水分が反応するような状況では耐CO2性を保有するステンレスパイプの導入は必須。</li> <li>➢ 代替製品は現状存在しない。</li> </ul>	—		
要素技術を保有する プレイヤー動向		<p>国内事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 日本製鉄のグループ企業である日鉄ステンレスは国内最大級のステンレス製造能力を保有。</li> </ul> <p>海外事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Tenarisは世界最大級の鋼管専門企業であり、世界23か国の拠点でグローバル性の高い事業を展開。</li> </ul>	<p>現状～2030年</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 日本製鉄は2021年にNorthern Lightsプロジェクトにおいて、1,390mのステンレス油井管を供給した実績を保有。</li> <li>➢ JFEスチールは製鉄所で排出されるCO2の分離・回収～貯留の調査・検討を実施。</li> <li>➢ TenarisはNorthern Lightsプロジェクトにおいて、輸送・貯留のための105kmのパイプを供給した実績を保有。</li> </ul>		

## 耐CO<sub>2</sub>パイプの産業成長戦略策定に向けた論点整理

- 耐CO<sub>2</sub>ケーシングパイプ/耐CO<sub>2</sub>チュービングパイプの製造能力を保有するプレイヤーは少なく、国内プレイヤーがシェアを獲得可能な技術領域であると思料。
- ステンレス鋼の需要増加に対応するために、ステンレス鋼も含めて耐CO<sub>2</sub>パイプの供給力の向上を図る必要がある。また、過去の導入実績が重視される設備であるため、早期のシェア獲得を図る必要がある。

### 論点の整理

産業成長のポイント	優位性の論点
<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 耐CO<sub>2</sub>パイプは地下の水分と圧入CO<sub>2</sub>が反応する環境においては必須設備であるため、CCSの普及と比例して需要が高まる。</li> <li>➢ 耐CO<sub>2</sub>パイプは酸性への耐腐食性が必要である。加えて、ケーシングパイプは坑井内の圧力に耐えうる高グレードのAPI規格を満たす必要がある。</li> <li>➢ 上記要件に対応可能な企業は限られており、高品質製品の製造力と需要に沿った供給力を兼ね備える必要がある。</li> </ul>	<p><u>供給力の向上</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ IEAのシナリオ通りのCO<sub>2</sub>回収が見込まれる場合、ピークとなる2040年では耐CO<sub>2</sub>パイプの製造のために約36万t/年のステンレス鋼が必要と見込まれる。</li> <li>➢ 日本企業がシェア獲得をするためには、ステンレス鋼を含めて耐CO<sub>2</sub>パイプの供給力の向上を図る必要がある。</li> </ul> <p><u>実績の維持・拡大</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 腐食や破損の発生により坑井内のパイプの一部または全部を取り換えることは非常に困難である。そのため、耐腐食性と強度の両面で優れた実績を保有している企業を選定されることが考えられる。</li> <li>➢ 実証実験をはじめとした各種PJへの導入等で実績を積むことで、早期のシェア獲得を目指す必要がある。</li> </ul>

# 光ファイバーケーブルの産業成長性評価

- 光ファイバー計測技術は2030年に商業化予定であるため、CO2の目標回収量が大幅に増加する2030～2040年にかけて大きく社会実装が進むと考えられる。
- モニタリングにおいて、重要なコスト削減技術であるため、長期的な産業成長が見込める。

## 産業成長性の見通し

### 主な国内事業者

フジクラ、古河電工、住友電気工業

国内事業者を取り巻く環境			2030	2040	2050
技術全体の CCS市場 見通し	光ファイバー ケーブルの 市場規模	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑井掘削時に設置する必要があるため、単年の導入数は新規に掘削される坑井の数に依存する。</li> </ul>	0.01兆円	0.21兆円	0.39兆円
	技術成熟度	<ul style="list-style-type: none"> <li>現在は実証段階</li> <li>2030年に商業化予定</li> </ul>	実証段階～商業化	商業化	商業化
	代替技術の 有無	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存技術として弾性波探査や物理検層などがある。</li> <li>本技術は計測精度が高く、コスト削減ポテンシャルが大きいいため、既存技術の代替先技術となる。</li> </ul>	弾性波探査 物理検層	—	—
要素技術を保有する プレイヤーの動向		<p>国内事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>既存の光ファイバーケーブル市場では、フジクラ、古河電工、住友電気工業が一定のシェアを占める</li> </ul> <p>海外事業者</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Corning(米)やYOFC(中)等の競合が複数存在</li> </ul>	<p>現状～</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Corning(米)は現在10km以上のロングケーブルにも対応するCCS向け光ファイバーケーブルを製造しており、今後もトップシェアを占めると考えられる。</li> </ul>		

## 光ファイバーケーブルの産業成長戦略策定に向けた論点整理

- 光ファイバー計測技術は開発中の技術であるため、実証試験での評価が今後の導入に重要になると考えられる。
- 光ファイバーケーブルは坑井掘削時に導入する必要があるため、CCSの本格的な実装に向けて、技術開発や生産ライン整備の支援を早期に実施することで、国内事業者のシェア拡大が期待できる。

### 論点の整理

産業成長のポイント	優位性の論点
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 光ファイバー計測技術は、既存技術の代替によるコスト削減ポテンシャルが大きいいため、商業化以降は導入率が高くなると考えられる。</li> <li>▶ 既存の光ファイバーケーブル市場では、国内事業者が一定のシェアを占めるため、CCS市場でもシェアを獲得できる可能性は高い。しかし、現状は、国内のCCS市場が確立していないため、一部の国内事業者しか製造対応していない。</li> <li>▶ CCSで用いる光ファイバーケーブルは、高感度、長距離、高強度な必要があるため、製造するには新たな技術開発や生産ライン整備が必要となる。</li> </ul>	<p>実証試験による代替可能性の証明</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 実証試験で光ファイバー計測技術の精度や性能を評価し、既存技術と代替可能かを証明することが必要になる。また、既存技術の代替によるコスト削減ポテンシャルの評価が、商業化以降の導入率に大きく関わると考えられる。</li> <li>▶ 現在、RITEが実証試験に取り組んでいる。</li> </ul>
	<p>CCS向け光ファイバーケーブルの技術開発や生産ライン整備</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 現状CCS市場が確立されていないために、国内事業者はCCS向け光ファイバーケーブルの技術開発や生産ライン整備を実施できていないと考えられる。今後、CCS向け光ファイバーケーブルを製造するためには、技術開発投資や製造設備の投資が必要になる。</li> <li>▶ 光ファイバーは坑井掘削時に導入する必要があるため、CCSが本格的に実装される際に製造対応できる事業者が大きくシェアを伸ばすと考えられる。そのため、国内事業者のシェアを伸ばすには、技術開発や生産ライン整備の支援を早期に実施することが重要になる。</li> </ul>

# DSS装置の産業成長性評価

- 光ファイバー計測技術は2030年に商業化予定であるため、CO2の目標回収量が大幅に増加する2030～2040年にかけて大きく社会実装が進むと考えられる。
- モニタリングにおいて、重要なコスト削減技術であるため、長期的な産業成長が見込める。

## 産業成長性の見通し

### 主な国内事業者

ニューブレクス

国内事業者を取り巻く環境			2030	2040	2050
技術全体の CCS市場 見通し	DSS装置の 市場規模	【高感度品】 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 高感度品は汎用品よりも高価</li> <li>➢ 必要に応じて光ファイバーに接続されると考えられ、汎用品より必要台数が少ない。</li> </ul>	0.01兆円	0.32兆円	0.73兆円
		【汎用品(参考)】 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 汎用品は日常的に利用されており、常に光ファイバーと接続されていると考えられる</li> </ul>	0.02兆円	0.75兆円	1.74兆円
	技術成熟度	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 現在は実証段階</li> <li>➢ 2030年に商業化予定</li> </ul>	実証段階～商業化	商業化	商業化
	代替技術の 有無	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 既存技術として弾性波探査や物理検層などがある。</li> <li>➢ 本技術は計測精度が高く、コスト削減ポテンシャルが大きい。既存技術の代替先技術となる。</li> </ul>	弾性波探査 物理検層	—	—
要素技術を保有する プレイヤーの動向	国内事業者 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ ニューブレクスは他社よりも高感度なDSS装置を販売しているが、現状販売数は多くないと考えられる。</li> </ul> 海外事業者 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Silixa(英)など大手競合が複数存在</li> </ul>	現状～2030年 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 汎用品はこれまで通り、海外トップメーカーが高いシェアを占めると考えられる。</li> <li>➢ 高感度品に関しては、競合が少なく、ニューブレクスが高いシェアを占めると考えられる。</li> </ul>			

# DSS装置の産業成長戦略策定に向けた論点整理

- 光ファイバー計測技術は開発中の技術であるため、実証試験での評価が今後の導入に重要になると考えられる。
- 国内事業者のDSS装置は、高感度な製品として海外事業者の汎用品と差別化できると想定する。今後国内外で販売数を増やすには、供給力の強化が必要になると考えられる。

## 論点の整理

産業成長のポイント	優位性の論点
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 光ファイバー計測技術は、既存技術の代替によるコスト削減ポテンシャルが大きいいため、商業化以降は導入率が高くなると考えられる。</li> <li>▶ 汎用品に関しては、今後も海外事業者が大きなシェアを占めると考えられるため、国内事業者がシェアを拡大することは難しいと見料。</li> <li>▶ ニューブレクスのDSS装置は、汎用品と比較して高感度であるため、スポット利用として販売数を増やす見込みがある。</li> </ul>	<p>実証試験による代替可能性の証明</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 実証試験で光ファイバー計測技術の精度や性能を評価し、既存技術と代替可能かを証明することが必要になる。また、既存技術の代替によるコスト削減ポテンシャルの評価が、商業化以降の導入率に大きく関わると考えられる。</li> <li>▶ 現在、RITEが実証試験に取り組んでいる。</li> </ul>
	<p>高感度な製品として差別化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ ニューブレクスのDSS装置はひずみ計測精度が<math>1\mu\epsilon</math>以下であり、汎用品の<math>50\sim 100\mu\epsilon</math>と比較しても非常に高感度な製品である。</li> <li>▶ 汎用品と比較して高価であるため、日常的な計測は汎用品で行い、定期的な検査は高感度品で行うというスポット利用が考えられる。</li> <li>▶ ニューブレクスはベンチャー企業であるため、今後国内外で販売数を増やすには、供給力を強化する必要があると考えられる。</li> </ul>

# 地震計の産業成長性評価

- 地震計は商業化済みの技術のため、CO2の目標回収量が大幅に増加する2030～2040年にかけて大きく社会実装が進むと考えられる。

## 産業成長性の見通し

### 主な国内事業者

東京測振、白山工業、応用地質

国内事業者を取り巻く環境			2030	2040	2050
技術全体の CCS市場 見通し	地震計の 市場規模	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ CCS市場の拡大に伴い、市場規模が大きくなる</li> </ul>	0.03兆円	0.15兆円	0.31兆円
	技術成熟度	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 成熟した技術である</li> </ul>	商業化済み		
	代替技術の 有無	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ なし</li> </ul>	—	—	—
要素技術を保有する プレイヤーの動向		<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 汎用的な技術であるため、国内外の事業者が多数存在</li> </ul>	現状～2030年 <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 品質に優位性を保有する東京測振や海外トップメーカーの買収を行う応用地質など、国内事業者は海外においても強みを持つと考えられる。</li> </ul>		

## 地震計の産業成長戦略策定に向けた論点整理

- 地震計は地震とCCSとの関係を否定するために用いられるため、地震国への展開が有望だが、地震国以外への展開可能性も大いにある。
- 国内事業者は品質に優位性を保有するため、他国でもシェア拡大することが期待できる。
- 地震計測結果の解析ソフトウェアとセットで販売することで、更なる国内事業者の収益増大が期待できる。

### 論点の整理

産業成長のポイント	優位性の論点
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 地震国での設置が主になると考えられるが、地震国以外でも地域住民の安心のために必要になると考えられる。実際、カナダやフランスなど地震国以外のCCSで、地震計が適用された事例がある。</li> <li>▶ 「CO2圧入に伴う微小振動を計測し、地域住民の安心に繋げる」という地震計の特性から、品質や信頼性が重視されると考えられる。国内事業者が製造する地震計は、海外事業者と比較して高い品質であるため、競争力を持つと考えられる。</li> </ul>	<p><u>他国への展開</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 品質の優位性から、他国への展開が期待できる。他国への営業活動や、大量生産に向けた生産ラインの整備が必要になる可能性がある。</li> <li>▶ 国外メーカーを買収することができれば、シェアを拡大できる他、他国の地震データを手に入れる可能性が上がると考えられる。応用地質は、海外トップメーカーを買収し、海外の主要な研究機関と共同研究を行っている。</li> <li>▶ インドネシア、フィリピン、マレーシアなど地震国への展開が有望と考えられる。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 地震計による計測結果の解析には、過去の地震データとの比較や、安全判断システムの導入が重要になる。地震データについては、その国の大学や研究機関から入手する必要がある。</li> </ul>	<p><u>安全判断システムとのセット販売</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 地震計による計測結果が安全か否かを判断するためのソフトウェアも必要になるため、RITEが開発したATLSなどとセットで販売することが考えられる。</li> </ul>

## 4.総括

---

## 総括 (1/2)

- CCS全体の世界市場規模は、2030年以降に飛躍的な拡大が見込まれ、2050年までの累計でみた市場規模は約1,300兆円に達する見通しである。
- 成長が見込まれるCCS市場だが、国による投資を効率的に行うためには、我が国がどのような技術で優位性を持つか、もしくは将来的に優位性を持ちえるか見立てを付けることが重要である。
- 本事業ではCCSバリューチェーンを構成する各種設備に焦点を当て、国内事業者が優位性を持ちうる技術を整理し複数の有識者ヒアリングを通して有望技術の絞り込みを行った。
- 国内事業者の実績や研究開発の取組み有無などの観点から、以下の技術が抽出された。
  - 分離回収: 化学吸収法、固体吸収法、膜分離法、CO<sub>2</sub>コンプレッサー
  - 輸送: ラインパイプ、LCO<sub>2</sub>輸送船
  - 貯留: 耐CO<sub>2</sub>パイプ
  - モニタリング: 光ファイバーケーブル、DSS装置(高感度品)、地震計
- 抽出した技術の設備に関する累計の世界市場規模は、2030年約7兆円、2040年約27兆円、2050年約45兆円となる見込みであり、我が国にとって有望な市場が存在することを確認できた。
- 中でも化学吸収法と耐CO<sub>2</sub>パイプは2050年までに累計で14兆円、21兆円の大きな市場が期待できることと、グローバルでも競争力を有する企業が国内に存在する点で有望な分野である。どちらも既に商業化段階の技術であり、CCSの普及拡大に応じて早期に売上やシェアを伸ばすことが可能と考えられる。
- 設備に関しては実績が重視される市場も多く、国内のCCS実証PJで実績を積むことが、企業の海外展開の足掛かりにもなると想定される。

## 総括 (2/2)

- また、我が国は各分野において実証段階の先進的技術(固体吸収法、LCO<sub>2</sub>船、光ファイバーなど)にも多数の取組みが存在することが強みの一つであり、これらの技術開発によってCCSバリューチェーン全体で中長期的にも市場を獲得することができると考えられる。
- 分離回収分野では、今後の技術開発によって優位性を持つ技術が変化することが想定される。実際に使える技術かどうかや、どの程度コスト削減が可能かを踏まえ、有望度が高い技術を選定し支援することが重要である。
- 輸送分野では、まだ世界でも実現していないCO<sub>2</sub>の長距離輸送船の実用化において、我が国が技術開発で先行する。実証船の製造等によって実績を重ね、市場を先行する支援によって新規市場の獲得が可能となると想定する。
- 貯留分野では、耐CO<sub>2</sub>パイプで優位性を持つが、CCSの拡大による供給能力不足が懸念となる。需要拡大に備え、企業の投資判断が可能となる制度設計や支援が必要と考えられる。
- モニタリング分野では、光ファイバー計測の技術実証が進むが産業成長のためには供給面での対応も必要である。CCS用の光ファイバーケーブル製造技術や生産能力拡大支援が重要となる。
- また、ヒアリングを実施する中で、CCSバリューチェーン構築のためには設備技術だけでなく、CCS関連のサービス(オペレーションなど)への支援も重要との意見が複数の有識者から得られている。
- 設備以外も含めたCCS全体市場は更に大きなポテンシャルが見込まれる。CCSへの投資効率を最大化し更に大きな市場を獲得するため、設備技術とサービスを統合した産業成長戦略を描くことが必要である。

未来を問い続け、変革を先駆ける

**MRI** 三菱総合研究所

株式会社三菱総合研究所殿

2023 年度再委託成果報告書  
鉄鋼業およびセメント業における  
脱炭素化方策の経済性ならびに環境性評価

2024 年 3 月

一般財団法人電力中央研究所

この報告書は、一般財団法人電力中央研究所が株式会社三菱総合研究所から委託を受けて実施した「鉄鋼業ならびにセメント業における脱炭素化方策の経済性ならびに環境性評価」に関する成果をとりまとめたものです。

# 鉄鋼業およびセメント業における 脱炭素化方策の経済性ならびに環境性評価

西美奈\*<sup>1</sup>      市川和芳\*<sup>2</sup>      泰中一樹\*<sup>3</sup>      森田寛\*<sup>4</sup>      加古謙司\*<sup>5</sup>

---

\*<sup>1</sup> エネルギートランスフォーメーション研究本部 エネルギー化学研究部門 上席研究員  
\*<sup>2</sup> エネルギートランスフォーメーション研究本部 研究統括室 副統括室長 研究参事  
\*<sup>3</sup> エネルギートランスフォーメーション研究本部 プラントシステム研究部門 主任研究員  
\*<sup>4</sup> エネルギートランスフォーメーション研究本部 研究統括室 研究参事  
\*<sup>5</sup> エネルギートランスフォーメーション研究本部 材料科学研究部門 上席研究員

# 目 次

1. はじめに .....	1
2. 試算の前提条件および方法 .....	1
2.1 試算対象時期 .....	1
2.2 試算対象ケース .....	1
2.3 試算方法 .....	2
2.4 試算の前提条件 .....	4
3. 試算結果と考察 .....	8
3.1 鉄鋼業における脱炭素化方策の経済性比較 .....	8
3.2 セメント業における脱炭素化方策の経済性比較 .....	10
3.3 CO <sub>2</sub> 排出原単位、CO <sub>2</sub> 地中貯留原単位の比較 .....	10
4. まとめ .....	12
謝辞 .....	12
参考文献 .....	12

## 1. はじめに

鉄鋼業ならびにセメント業における二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の排出量削減方策として、CO<sub>2</sub> 回収・貯留 (CCS: Carbon dioxide Capture and Storage) 技術の適用が挙げられる。また、鉄鋼業の排出削減対策としては、国内外から調達した低炭素水素(排出基準値 3.4 kg-CO<sub>2</sub>/kg-水素以下)の利用が挙げられる。ここで低炭素水素には、再生可能エネルギーを用いて水電解で得られるグリーン水素ならびに、化石原料を用いて水素製造し、排出 CO<sub>2</sub> に CCS を適用するブルー水素などがある。これら技術の社会実装に向けては、当該技術を適用した時の経済性ならびに環境性の評価が重要となる。そのため貴社は当研究所に鉄鋼業ならびにセメント業における脱炭素化方策の経済性、環境性の試算を依頼した。これを受けて当研究所では、国内外の研究機関の報告結果などを基に、鉄鋼業とセメント業について、種々の脱炭素化方策のケースを対象として、コストならびに CO<sub>2</sub> 排出原単位などを試算した。

## 2. 試算の前提条件および方法

### 2.1 試算対象時期

本報告は国内外の鉄鋼業ならびにセメント業に関する経済性や環境性に関する既報告データを用いてコストや CO<sub>2</sub> 排出原単位などを試算した。ただし、現状は市場に流通していない低炭素水素の製造、輸送コストについては、2.3 節で後述のように国内外の研究機関による 2030 年頃の子測値、目標値などを基にして算出した。

### 2.2 試算対象ケース

わが国における鉄鋼業では、鉄鉱石および石炭を輸入し、石炭を用いて鉄鉱石を還元し、銑鉄を製造する高炉還元法が主に採用されている。そのため本報告書では、従来の石炭を用いる高炉還元法に CCS 技術を適用して脱炭素化する方法、還元剤である石炭の一部を低炭素水素に代替した高炉還元法、および低炭素水素を用いた水素直接還元法の各ケースについて、経済性ならびに環境性を試算する。使用する低炭素水素は、国内製造グリーン水素ならびに豪州で製造し、液化後日本に輸入したグリーン水素の利用を想定した。また比較のためにスクラップ鉄を電炉焼結法により製鉄する方法についても検討した。

セメント業に関しては、従来の原料製造および焼成によりセメントを製造する方法と、そこから排出された CO<sub>2</sub> に CCS 技術を適用した方法を試算し、比較検討する。

以下に、試算対象である鉄鋼業 5 ケース、セメント業 2 ケースの概要を示す。また、図 2.1 に鉄鋼業、図 2.2 にセメント業における対象とする各ケースでの概念図を示す。

#### 【鉄鋼業の対象ケース】

- ① 原料製造→高炉還元(石炭 100%)→純酸素転炉焼結
- ② 原料製造→高炉還元(石炭 100%)→純酸素転炉焼結+国内 CO<sub>2</sub> 地中貯留
- ③ 原料製造→高炉還元(石炭 70%)→純酸素転炉焼結+国内 CO<sub>2</sub> 地中貯留
- ④ 原料製造→水素直接還元 →電炉
- ⑤ スクラップ鉄の収集→電炉

#### 【セメント業の対象ケース】

- ① 原料製造→焼成
- ② 原料製造→焼成+国内 CO<sub>2</sub> 地中貯留

上記の内CO<sub>2</sub>地中貯留を実施するケースとしては、原料採掘から製品製造時までに発生するCO<sub>2</sub>を回収し地中貯留を行う場合を想定した。

## 2.3 試算方法

### 2.3.1 経済性の試算方法

鉄鋼業について種々の製造方法の経済性を横並びで比較検討した例としては、国際エネルギー機関(IEA)の「Iron and Steel Technology Roadmap (2020) [1]」、国立研究開発法人科学技術振興機構低炭素社会戦略センター(LSC)の「水素直接還元

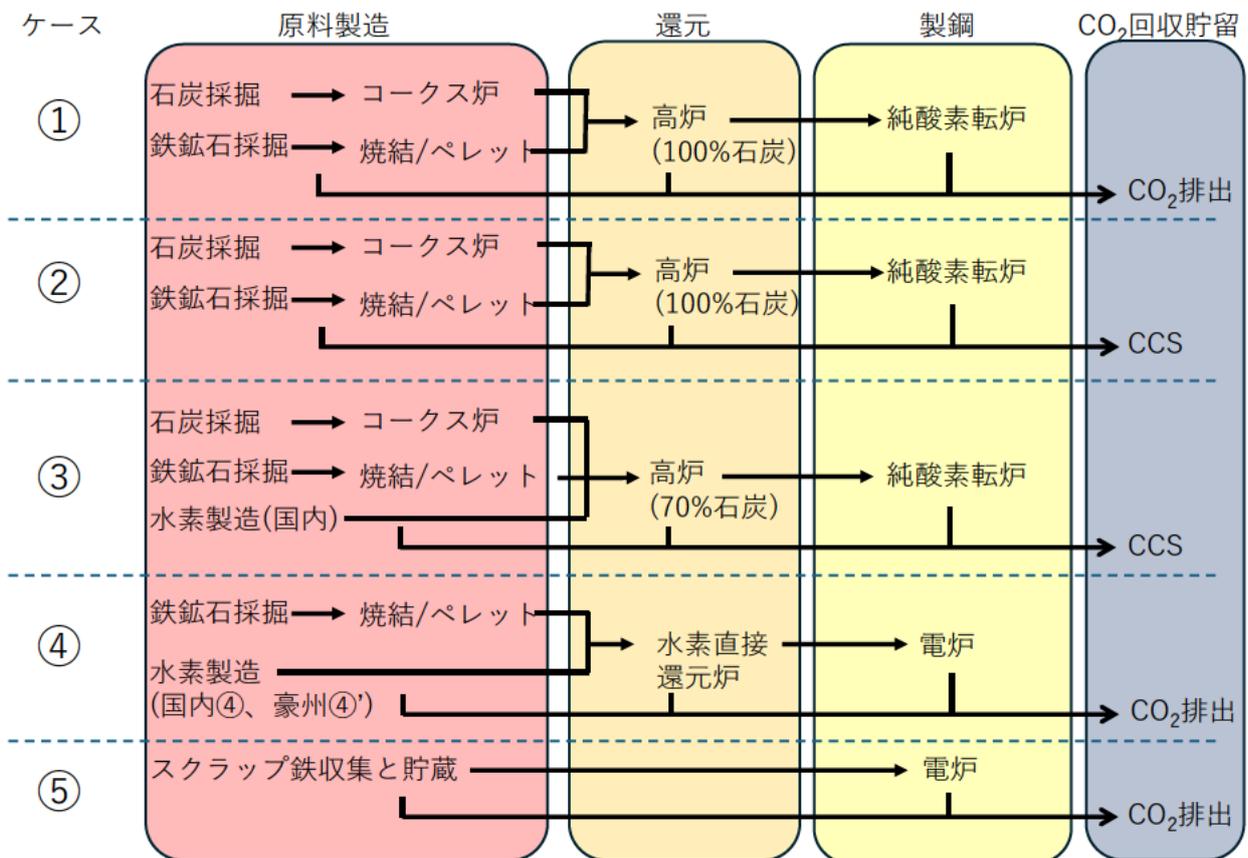


図 2.1 鉄鋼業における試算ケース概念図

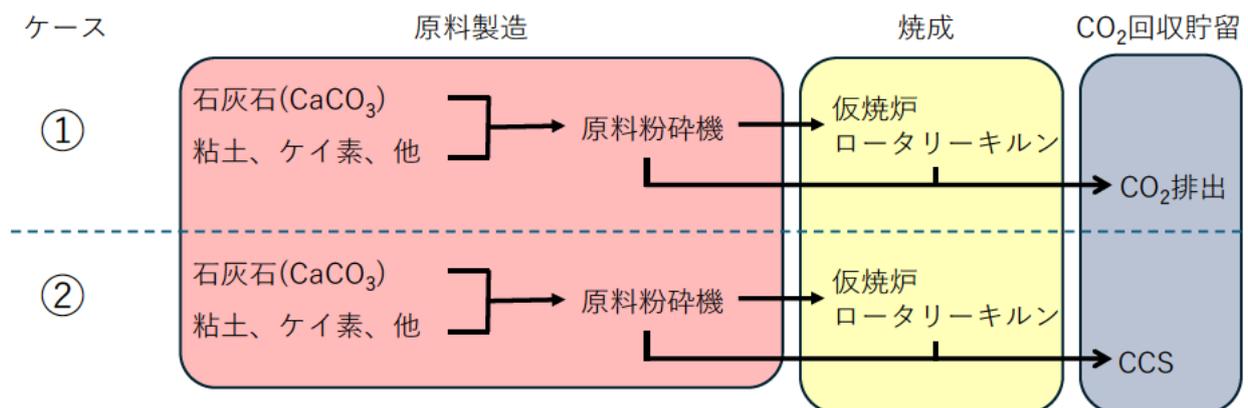


図 2.2 セメント業における試算ケース概念図

製鉄法の評価と技術課題 令和4年5月(2021)[2]」などがある。IEAは、現在世界的にも主流である石炭を用いた高炉還元法と純酸素転炉焼結法を用いた製造方法に加え、スクラップ鉄の電炉焼結法について、均等化製鉄原価を試算している[1]。LSCは、石炭を用いた高炉還元法ならびに水素を用いた直接還元製鉄方法について、均等化製鉄原価ならびに環境性について試算している[2]。

ここで均等化製鉄原価とは、式(2.1)により算出される。均等化発電原価[3]と同様の考え方で、製鉄設備を対象に、割引率によって金銭価値の将来的な不確実性を踏まえた上で、耐用期間中の総費用を総製鉄量で除すことで算出される。ここで割引率はIEAの報告[1]と等しい8%とした。

均等化製鉄原価

$$= \frac{\sum_{t=1}^{t_{\max}} \{(I_t + M_t + F_t)(1+r)^{-t}\}}{\sum_{t=1}^{t_{\max}} \{P_t(1+r)^{-t}\}} \quad [\text{円/kg}] \quad (2.1)$$

- $I_t$  :  $t$ 年目における資本費 [円]  
(製鉄設備の初期投資費用)
- $M_t$  :  $t$ 年目における運転維持費 [円]
- $F_t$  :  $t$ 年目における原燃料費 [円]
- $P_t$  :  $t$ 年目における製品製造量 [kg]
- $t$  : 期 [年]
- $t_{\max}$  : 耐用年数 [年]
- $r$  : 割引率 [-]

なお、IEAの報告[1]には一部の前提条件が明記されていないため、報告結果を基に設備費、運転維持費率などを当研究所が算出した。

セメント業における製品製造の経済性については、欧州員会 Joint Research Center (JRC)により報告された「Science for Policy Report ‘Production costs from energy intensive industries in the EU and third countries’(2016)[4]」がある。一般にセメント業は鉄鋼業に比較して、経済性の公開情報が少なく、上記 JRC の報告[4]内においても各前提条件が詳細には報告されていないが、その原料費、燃料費、設備費を基に試算を実施した。

鉄鋼業ならびにセメント業のいずれにおいても

CCS のコストについては、CO<sub>2</sub> の回収、輸送、国内地中貯留する場合についてそれぞれ試算し、その合計値を比較した。CO<sub>2</sub> の輸送と地中貯留のコストについては、CO<sub>2</sub> 回収量などの情報を当研究所が公益法人地球環境産業技術研究機構に提供し、同機構が算出したコストを評価に用いた。

### 2.3.2 環境性の試算方法

環境性を評価する指標として、CO<sub>2</sub> 排出原単位ならびに CO<sub>2</sub> 地中貯留原単位を試算した。

鉄鋼業における CO<sub>2</sub> 排出原単位については、LSC の報告[2]ならびに Carbon Trust の「International Carbon Flows(2011)[5]」を参照し、図 2.1 に示すケースの還元ならびに製鋼工程の積算値を求めた。電炉焼結法を用いる場合に供給される電力に関わる CO<sub>2</sub> 排出原単位については 2021 年度全国平均係数の 0.434 kg-CO<sub>2</sub>/kWh として評価した。鉄鋼業においてグリーン水素を用いる場合、水素の製造に関わる CO<sub>2</sub> 排出原単位は、本試算と前提条件に近い Hydrogen Council の報告する 0.09 kg-CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>-水素[6]を用いた。豪州で水素製造した場合の国際輸送に関わる CO<sub>2</sub> 排出原単位については、参考となる資料がないため、本報告の試算には含まれていない。

一方セメント業の製造方法における CO<sub>2</sub> 排出原単位については、IEA らの「The Breakthrough Agenda Report 2023[7]」の報告値を用いた。

式(2.2)に鉄鋼業ならびセメント業で排出される CO<sub>2</sub> の排出原単位の試算式を示す。

CO<sub>2</sub> 排出原単位

$$= \frac{E_{\text{CO}_2, \text{原料製造}} + E_{\text{CO}_2, \text{水素製造設備}} + E_{\text{CO}_2, \text{製品製造設備}}}{P \text{ 製品製造量}} \quad [\text{gCO}_2/\text{kg}] \quad (2.2)$$

$E_{\text{CO}_2, \text{原料製造}}$  : 鉄鉱石、石炭など原料の採掘から輸送で大気に排出された CO<sub>2</sub> および CH<sub>4</sub> の年間 CO<sub>2</sub> 換算排出量 [gCO<sub>2</sub>/年]

$E_{\text{CO}_2, \text{水素製造設備}}$  : 水素を用いるケースにおける水素製造設備からの年間 CO<sub>2</sub>

$E_{CO_2}$ , 製品製造設備 : 製品製造設備からの年間 CO<sub>2</sub> 大気排出量 [gCO<sub>2</sub>/年]  
 $P$  製品製造量 : 年間製品製造量[kg/年]

式 (2.3) に製鉄業ならびセメント業で排出される CO<sub>2</sub> の地中貯留原単位の試算式を示す。本報告の CO<sub>2</sub> 地中貯留原単位は、回収した CO<sub>2</sub> を液化して船舶を用いて輸送し、国内地下に貯留する前提とした。

CO<sub>2</sub> 地中貯留原単位

$$\frac{S_{CO_2, \text{原料製造}} + S_{CO_2, \text{製品製造}}}{P_{\text{製品製造量}}} \text{ [gCO}_2\text{/kg]} \quad (2.3)$$

$S_{CO_2, \text{原料製造}}$  : 原料製造工程で回収した CO<sub>2</sub> の年間地中貯留量 [gCO<sub>2</sub>/年]  
 $S_{CO_2, \text{製品製造}}$  : 製品製造工程で回収した CO<sub>2</sub> の年間地中貯留量 [gCO<sub>2</sub>/年]  
 $P$  製品製造量 : 年間製品製造量 [kg/年]

## 2.4 試算の前提条件

### 2.4.1 鉄鋼業における原料コスト

表 2.1 に、鉄鋼石など原料コストの前提条件を示す。昨今の情勢変化により個別の燃料価格が大きく変動している。しかし本試算における前提条件については、2021 年の LSC の報告[2]を基に前提条件を揃えた。スクラップ鉄-電炉のケース⑤に関しては IEA の報告[1]を基にした。

表 2.1 鉄鋼業における原材料の前提条件[2]

原料名	-	鉄鉱石	石灰石	CaO	スクラップ鉄[1]
単価	円/t	12,000	1,030	14,000	27,500
高炉製鉄法原単位 ケース①②③	kg/t-銑鉄	1,594	118	44.6	-
水素直接還元法原単位 ケース④	kg/t-銑鉄	1,417	-	-	-
スクラップ鉄-電炉 ケース⑤	kg/t-銑鉄	-	-	-	828

### 2.4.2 グリーン水素コスト

前述の通り、本報告では国内ならびに豪州でグリーン水素を製造する 2 通りを検討対象とした。豪州でグリーン水素を製造する場合は、液化による国際輸送を想定した。

水素コストの試算には、LCOE の考え[3]を基にした均等化水素原価 (LCOH : Levelized Cost of Hydrogen) を用いた。式 (2.4) に、LCOH の計算式を示す。ここの割引率についても、IEA の報告[1]と等しい 8%とした。

$$LCOH = \frac{\sum_{t=1}^{t_{\max}} \{(I_t + M_t + E_t)(1+r)^{-t}\}}{\sum_{t=1}^{t_{\max}} \{P_t(1+r)^{-t}\}} \text{ [円/Nm}^3\text{]} \quad (2.4)$$

$I_t$  :  $t$  年目における水素製造・輸送・貯蔵設備の資本費 [円] (初期投資費用)

$M_t$  :  $t$  年目における水素製・輸送・貯蔵設備の運転維持費 [円]

$E_t$  :  $t$  年目における再エネ発電電力費 [円]

$P_t$  :  $t$  年目における水素製造量 [Nm<sup>3</sup>]

$t$  : 期 [年]

$t_{\max}$  : 耐用年数 [年]

$r$  : 割引率 [-]

LCOH は、均等化製品製造コストと同じく、割引率によって金銭価値の将来的な不確実性を踏まえた上で、稼働期間の総費用を総製品量で除すことで算出される。式 (2.4) に示される通り、LCOH には、再エネ発電電力価格、水素の製造、輸送、貯蔵コストが含まれる。国内水素製造の場

合は、長距離輸送を行わないので、輸送と貯蔵コストを加算しないこととした。そこで本報告のLCOHは、それらに関する国の目標値や国際機関の報告など[8~16]を基に試算した。表 2.2、2.3、

2.4 に、水素製造のための再エネ電力、水電解設備、水素製造、輸送、貯蔵に関わる諸元をそれぞれ示した。なお、水電解設備は固体高分子形水電解設備の使用を想定した。

表 2.2 グリーン水素経済性試算における再エネ電力の前提条件

		2030年の太陽光発電諸元	
		国内	豪州
均等化発電原価	円/kWh	7.0 <sup>*1</sup>	2.2 <sup>*4</sup>
運転維持費率	%	3.6 <sup>*2</sup>	2.0 <sup>*2</sup>
耐用年数	年	30 <sup>*3</sup>	30 <sup>*3</sup>
設備利用率	%	15 <sup>*3</sup>	27 <sup>*5</sup>
設備単価	万円/kW	10.0 <sup>*3</sup>	3.8 <sup>*4</sup>

\*1 資源エネルギー庁(2016) [18]より

\*2 他の前提条件を基に当研究所が算出[16]

\*3 NEDO(2014) [9]より

\*4 国際再生可能エネルギー機関(2019) [10]より

\*5 Boretti ら(2020) [11]より

表 2.3 グリーン水素経済性試算における固体高分子形水電解設備の前提条件[12]

電力消費原単位	kWh/Nm <sup>3</sup>	4.3
運転維持費率	%	2.0
耐用年数	年	10
設備単価	万円/kW	5.2

表 2.4 グリーン水素経済性試算における水素輸送と貯蔵の前提条件[13,14,15]

		液化	積荷基地 貯蔵	国際輸送	揚荷基地 貯蔵と気化
		電力消費原単位	kWh/Nm <sup>3</sup>	0.55	0.055
運転維持費率	%	3.6	1.9	1.9	1.9
耐用年数	年	15	15	15	15
設備単価	万円/(Nm <sup>3</sup> /年)	17.0	8.4	4.9	4.0

### 2.4.3 鉄鋼業における製品製造コスト

表 2.5 に、鉄鋼業における設備の前提条件を示す。本条件はIEAの報告[1]を基として、設備費ならびに運転維持費率を当研究所が算出した。高炉還元で石炭を水素で一部代替するケース③の設備費と運転維持費については、従来の還元剤に石炭100%を用いるケース①、②と等しいとした。また水素直接還元炉の設備費と運転維持費については、IEAの報告[1]の天然ガスを用いた直接還元炉と等しいとした。

### 2.4.4 鉄鋼業における燃料コスト

鉄鋼業における必要な石炭や水素などの燃料コストについては、表 2.6 に示す通り LSC の報告[2]を基に試算した。図 2.1 のケース③における必要な水素量については、公開情報が無いため、[17]の報告を参考に高炉で石炭30%分を水素で代替した場合に、高炉ガスに元々含まれる水素量の2倍の量が必要となる前提で試算を行った。スクラップ鉄と電炉を用いるケース⑤については、IEAの報告[1]から400 kWh/t-鉄の電力量を要するとして

表 2.5 製鉄設備における前提条件\*

	鉄鋼製造量	設備費	運転維持費率	設備利用率	耐用年数
	万t-鉄/年	億円	%	%	年
高炉還元+転炉 ケース①②③	250	1920	8.3	90	25
直接還元+電炉 +CCS ケース④	250	2560	8.4	90	25
スクラップ鉄-電炉 ケース⑤	250	1280	9.8	90	25

\*IEAの報告[1]を基にした。ただし、設備費および運転維持費率は当研究所が算出した。

表 2.6 鉄鋼業における燃料等の前提条件\*

	石炭	酸素	LPG	LNG	水素	電力
単価	10,000 円/t	500 円/Nm <sup>3</sup>	1.5 円/MJ	1.5 円/MJ	56, 61 円/Nm <sup>3</sup>	15 円/kWh
高炉製鉄法原単位 (石炭のみ) ケース①②	827 kg/t	19.2 Nm <sup>3</sup> /t	5.3 Nm <sup>3</sup> /t	-	-	139 kWh/t
高炉製鉄法原単位 (一部水素) ケース③	580 kg/t	19.2 Nm <sup>3</sup> /t	5.3 Nm <sup>3</sup> /t	-	70 Nm <sup>3</sup> /t	139 kWh/t
水素直接還元法原単位 ケース④	-	-	-	54.5 Nm <sup>3</sup> /t	800 Nm <sup>3</sup> /t	535 kWh/t
スクラップ鉄-電炉 ケース⑤	-	-	-	-	-	400 kWh/t

\*LSCの報告[2]を基にした。ただし、水素単価は当研究所が前述の前提条件を基に算出した。

試算を行った。ケース④の電炉に要する電力についても公開情報がないため、ケース⑤の電炉と同等の電力量が必要と想定して試算した。電炉を用いる場合の電力コストは、燃料コストに含んだ。

#### 2.4.5 セメント業の各コスト

JRC は、欧州、中国、エジプトなどにおけるセメント業のコストの内、原材料コスト、エネルギーコスト、人件費について報告している[4]。報告[4]には、わが国のケースが含まれないため、本検討では欧州に関する報告を用いる。IEA は「Energy Technology Perspective2023[17]」で、先進国のセメント製品価格に対する設備コストの割合は4.2%と報告しているため、JRCの報告[4]とIEAの報告からセメント製造設備コストを算出した。

#### 2.4.6 CO<sub>2</sub>回収、輸送、貯蔵コスト

CO<sub>2</sub>回収コストは本来、対象となるCO<sub>2</sub>の濃度によって回収方法が異なるため、コストに差が生じる。しかし、同じ回収方法でも報告によりコストに大きなばらつきがあり、技術開発進展によって今後大きくコストダウンすることが予測されるなど、コストの不確実性が高い。そのため本報告では、IEAの報告[18]の中のブルー水素製造時に用いられるCO<sub>2</sub>回収率90%、CO<sub>2</sub>回収コストは3,000円/t-CO<sub>2</sub>として試算を実施した。CCSを実施するケースについて、表2.7に算出したCO<sub>2</sub>回収量、毎時処理するCO<sub>2</sub>量、輸送距離を示す。CO<sub>2</sub>輸送、貯蔵コストについては、表2.7の値を基に、CO<sub>2</sub>を液化後、液化CO<sub>2</sub>輸送船(5万トン未満)を用いて輸送し、国内地中貯留する想定で、地球環境産業技術研究機構が試算した値を使用した。

表 2.7 CO<sub>2</sub>国内地中貯留に関する試算に用いた諸元

		鉄鋼業 ケース②	鉄鋼業 ケース③	セメント業 ケース②
CO <sub>2</sub> 回収量	万t-CO <sub>2</sub> /年	473	350	250
CO <sub>2</sub> 液化量	t-CO <sub>2</sub> /時	606	449	320
輸送距離	km	1,000	1,000	1,000

### 3. 試算結果と考察

#### 3.1 鉄鋼業における脱炭素化方策の経済性比較

図 3.1 に、国内および豪州でグリーン水素を製造した場合の水素の経済性試算結果を示す。図 3.1 より、国内でグリーン水素を製造した場合の LCOH は 61.1 円/Nm<sup>3</sup> である。国内製造水素のコスト内訳は、約半分が再エネ電力に由来し、残りが水電解設備に関するコストである。一方、豪州で製造、液化し、日本に輸入する場合の LCOH は 56.4 円/Nm<sup>3</sup> である。コスト内訳は再エネ電力が約 4 分の 1、水電解設備が約 5 分の 1 であり、半分以上が液化、国際輸送にかかるコストである。国内製造の場合と比較して、豪州でグリーン水素製造する場合の LCOH は 4.7 円/Nm<sup>3</sup> 低い結果となった。

図 3.2 に鉄鋼業における各低炭素化技術を用いた場合の製鉄コストを示す。図 3.2 のケース①、②、③は、それぞれ均等化製鉄コストが 53.5、71.1、68.3 円/kg-鉄となった。ケース③は、国内製造水素(再エネ電力価格 7.0 円/kWh、再エネ設備利用率 15%)を用いる想定で試算した結果である。ケース①と②の比較から低炭素化のための CCS 技術のコスト増分の割合は 33%であることが

分かる。ケース①と③の比較から、石炭の一部を水素に代替し CCS を適用するとコストが 28%増加した。CO<sub>2</sub> 回収、輸送、地中貯留コストが大きい、ケース②と③では、ケース③の方が低コストという結果になった。ケース④は水素直接還元製鉄法を適用した場合であり、図 3.2 の④と④'に、国内と豪州それぞれで水素製造した結果を示した。図 3.2 のケース④国内水素(LCOH 61.1 円/Nm<sup>3</sup>)を用いた場合、均等化製鉄原価は 88.1 円/kg-鉄となる。一方ケース④'の豪州水素(LCOH 56.4 円/Nm<sup>3</sup>)を用いた場合、均等化製鉄原価は 84.3 円/kg-鉄となる。ケース④の国内水素を用いた場合、ケース①に対して 65%のコスト増となり、そのコスト増分の大部分が水素製造コストならびに電力コストに由来する。図 3.2 のケース⑤はスクラップ鉄を回収して電炉を用いる方法で製鉄コストは 46.1 円/kg-鉄となる。ケース①と比較すると 14%低コストとなった。

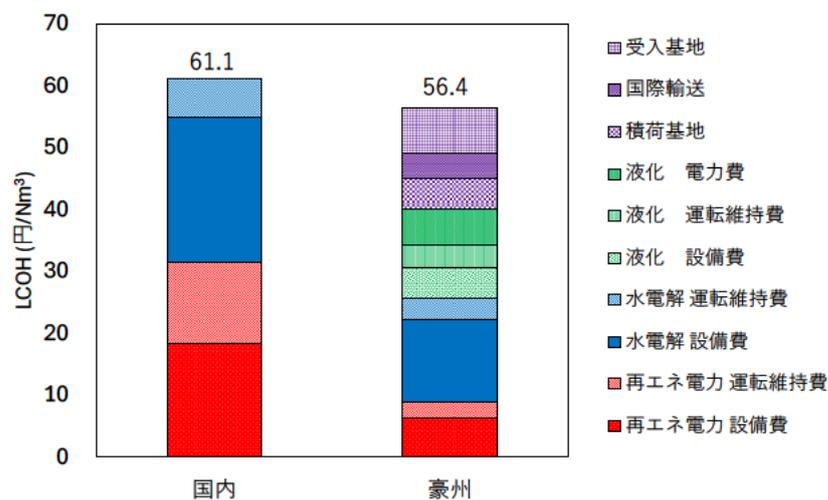


図 3.1 国内と豪州におけるグリーン水素製造、国際輸送・貯蔵コストの試算結果

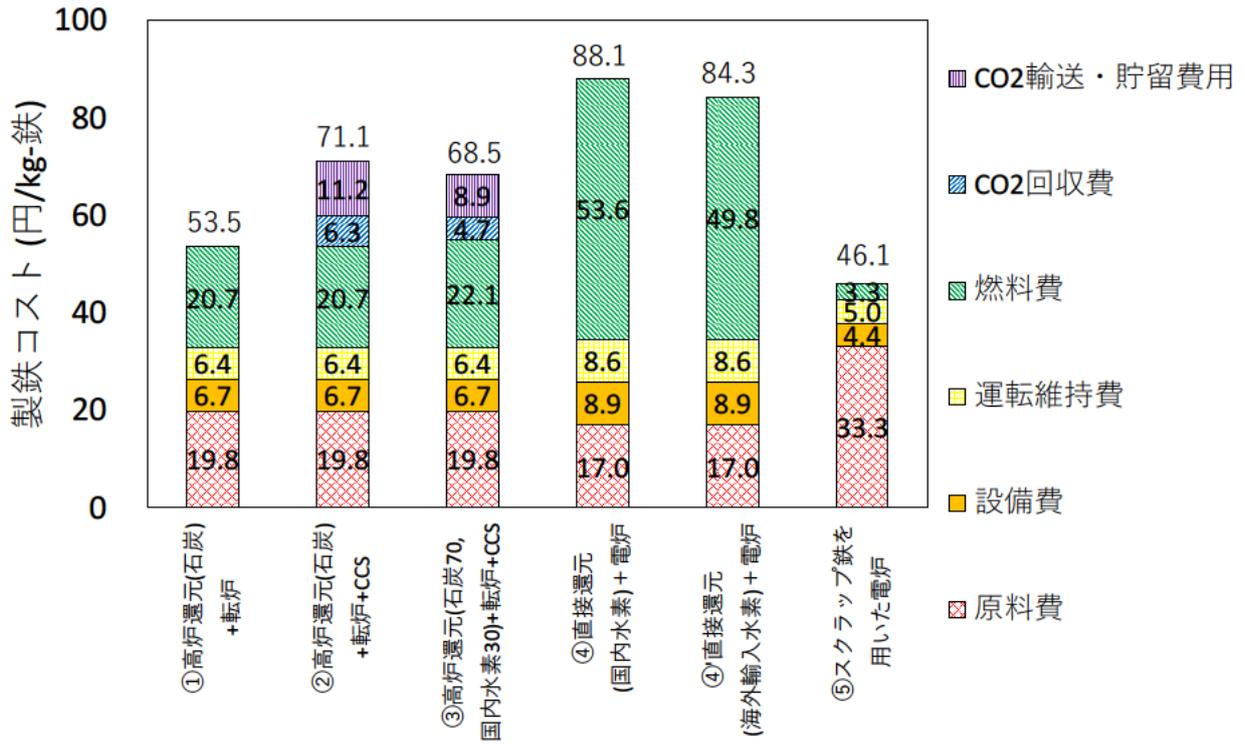


図 3.2 鉄鋼業の脱炭素化方策の経済性試算結果\*

\*四捨五入しているため、合計と内訳の計は必ずしも一致しない

### 3.2 セメント業における脱炭素化方策の経済性比較

図 3.3 に、セメント業における脱炭素化方策のセメント製造コストを示す。図 3.3 より、セメント業に CCS を適用した場合にセメント製造コストは 7.5 から 13.1 円/kg-セメントと、75%増加する。鉄鋼業の場合と比較して、CCS コストのセメント製造コスト全体に占める割合が 42%で、鉄鋼業の 25%に比べて大きい。

### 3.3 CO<sub>2</sub> 排出原単位、CO<sub>2</sub> 地中貯留原単位の比較

図 3.4 に、鉄鋼業の各ケースにおける CO<sub>2</sub> 排出原単位を示す。前述の通り、図 3.4 の CO<sub>2</sub> 排出原単位は報告[2, 5]を基に試算した。グリーン水素に関わる CO<sub>2</sub> 排出原単位については、製造国など本試算の条件に近い前提を用いた Hydrogen Council の報告[6]を用いた。図 3.4 より、ケース②

～⑤の脱炭素化方策の CO<sub>2</sub> 排出原単位は、ケース①に比較すると 90%以上削減されており、大きな差は見られない。

図 3.5 には、鉄鋼業における各ケースの CO<sub>2</sub> 地中貯留原単位を示す。図 3.5 より、ケース③の石炭の一部を水素で代替する方法は、100%石炭の場合に比べて CO<sub>2</sub> 地中貯留原単位が 26%減少する。ケース②と③の比較から、石炭の一部を水素に代替すると CO<sub>2</sub> 排出原単位、地中貯留原単位が減少する。ケース②と④の比較から、ケース④の CO<sub>2</sub> 地中貯留原単位は 0 だが、CO<sub>2</sub> 排出原単位はケース②と比較すると増加する。

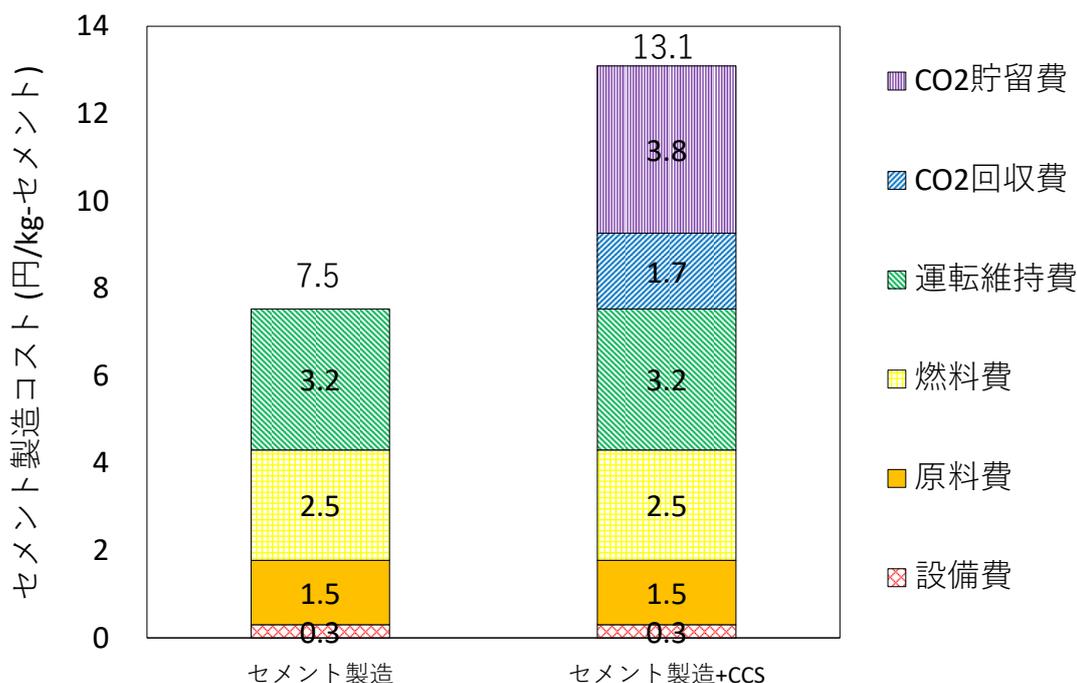


図 3.3 セメント業の脱炭素化方策の経済性試算結果\*

\*四捨五入しているため、合計と内訳の計は必ずしも一致しない

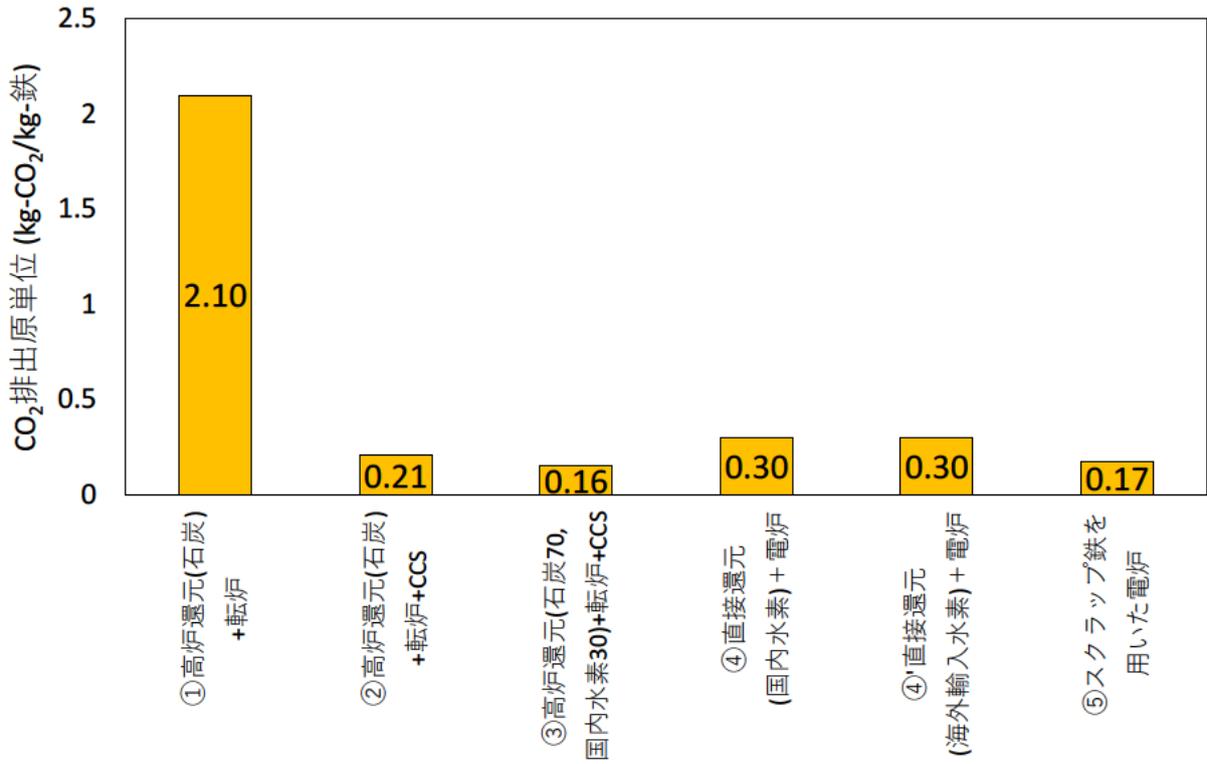


図 3.4 鉄鋼業における各ケースの CO<sub>2</sub> 排出原単位

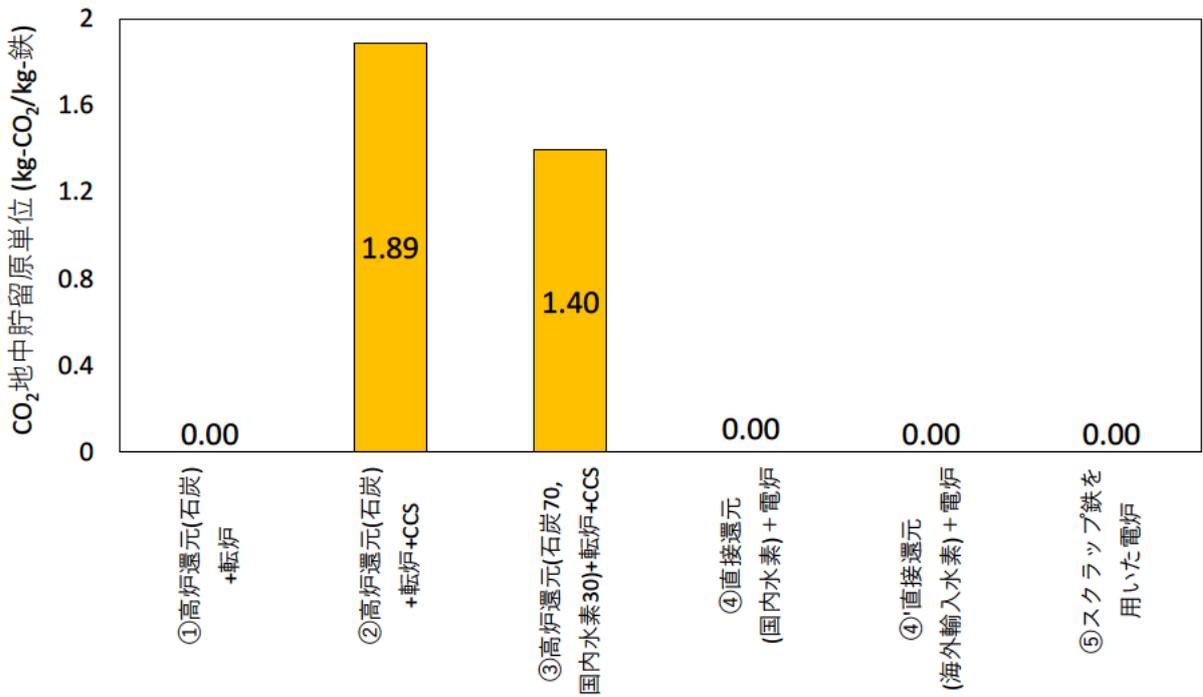


図 3.5 鉄鋼業における各ケースの CO<sub>2</sub> 地中貯留原単位

セメント業における CO<sub>2</sub> 排出原単位は、IEA の「The Breakthrough Agenda Report 2023[18]」を基に算出した。図 3.6 に、セメント業における CO<sub>2</sub> 排出原単位の比較を示す。CCS の適用により、セメント製造で排出される CO<sub>2</sub> 排出原単位は 90% 抑制され、CO<sub>2</sub> 地中貯留原単位は 0.52 kg-CO<sub>2</sub>/kg-セメントとなる。

#### 4. まとめ

本報告では、鉄鋼業とセメント業それぞれについて、各低炭素化方策である CCS 技術や低炭素水素利用を適用したケースの経済性および環境性を評価した。原料費、設備費、運転維持費、燃料費については国内外の研究機関による既報告のデータを用いた。現状市場に流通していない水素価格については、2030 年頃の目標値を想定して算出した。

鉄鋼業において従来の高炉を用いる場合、CCS 技術や高炉での一部グリーン水素利用により、コストは 30% 増となる一方、水素直接還元製鉄法では、水素が高コストのため、コストは 63% 増となる。いずれの場合も環境性については、従来法に比較して 90% 以上の CO<sub>2</sub> 排出削減が可能となる。

セメント業については CCS 技術適用により、

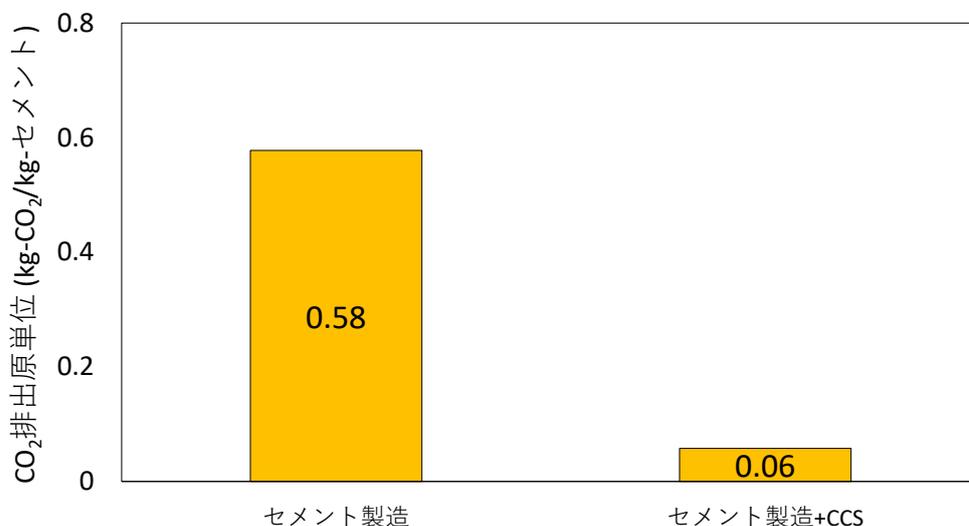


図 3.6 セメント業における CO<sub>2</sub> 排出原単位

従来法に比較して 90% 以上の CO<sub>2</sub> 排出削減が可能となるが、セメント 1kg に占める CCS のコスト割合は大きく、コストは 75% 増となる。

将来の水素価格の低下を見込んだ場合、上記のコスト傾向に変化が起こる可能性がある。また脱炭素化の更なる促進のためには、新たな低炭素化技術開発も望まれるため、今後も鉄鋼業やセメント業などの経済性、環境性を鑑みつつ調査、および評価、検討を継続する必要がある。

#### 謝辞

本報告中の CO<sub>2</sub> 輸送、地中貯留コスト試算については、公益法人地球環境産業技術研究機構に実施戴きました。ここに謝意を表します。

#### 参考文献

- [1] IEA, Iron and Steel Technology Roadmap, 2020.
- [2] 国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター(LSC),水素直接還元製鉄法の評価と技術課題 令和 4 年 5 月, 2021.
- [3] IEA, IAEA, OECD, Projected Costs of Generating Electricity 2015 Edition, 2015.
- [4] 欧州員会 Joint Research Center, Science for

- Policy Report 'Production costs from energy intensive industries in the EU and third countries', 2016.
- [5] Carbon Trust, International Carbon Flows, 2011.
- [6] Hydrogen Council, Hydrogen decarbonization pathways -A life-cycle assessment-, 2021.
- [7] IEA, IRENA, UN Climate Change High-Level Champions, The Breakthrough Agenda Report, 2023.
- [8] 資源エネルギー庁, 電源種別 (太陽光・風力) のコスト動向等について 平成 28 年 11 月, 2016.
- [9] 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 太陽光発電開発戦略 (NEDO PV Challenges), 2014.
- [10] IRENA, Future of solar Photovoltaic -Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects, 2019.
- [11] Alberto Boretti, Stefania Castelletto, Wael Al-Kouz, Jamal Nayfeh, Capacity factors of solar photovoltaic energy facilities in California, annual mean and variability, E3S Web of Conferences, vol.181, 02004, 2020.
- [12] 水素・燃料電池戦略協議会, 水素・燃料電池戦略ロードマップ ～水素社会実現に向けた産学官のアクションプラン～ 平成 31 年 3 月 12 日, 2019.
- [13] 川崎重工業(株) (NEDO 技術開発機構委託) , 平成 22～23 年度成果報告書 国際連携クリーンコール技術開発プロジェクト クリーンコール技術に関する基盤的国際共同研究 低品位炭起源の炭素フリー燃料による将来エネルギーシステム (水素チェーンモデル) の実現可能性に関する調査研究平成 24 年 2 月, 2012.
- [14] 關思超, 柴田善朗, APEC 地域における CO2 フリー水素の経済性評価, Journal of Japan Society of Energy and Resources, Vol.40, No.1, 1-7, 2019.
- [15] 一般財団法人 エネルギー総合工学研究所 (NEDO 技術開発機構委託) ,平成 26 年度～平成 27 年度成果報告書水素利用等先導研究開発事業 エネルギーキャリアシステム調査・研究 エネルギーキャリアシステムの経済性評価と特性解析 平成 28 年 2 月, 2016.
- [16] 西美奈, 山本博巳, 竹井勝仁, 再生可能エネルギーを用いた電解水素の経済性-国内外コスト比較と電解設備容量抑制の効果-, 電力中央研究所報告 M19003, 2020.
- [17] Course50 ホームページ, <https://www.course50.com/technology/technology01/> (最終閲覧日 2024 年 2 月 7 日)
- [18] IEA, The Future of hydrogen, 2019.
- [19] IEA, Energy Technology Perspective, 2023.

