

CCUS社会実装シンポジウム

浮体からの洋上圧入CCS

～事業の全体像と利点、コスト、ポテンシャル～

2026年1月29日

一般財団法人カーボンフロンティア機構
崎元 尚土

環境配慮型CCUS実証拠点・サプライチェーン構築事業委託業務 (輸送・貯留等技術実証) の概要 (事業期間: 2021年度~2025年度)



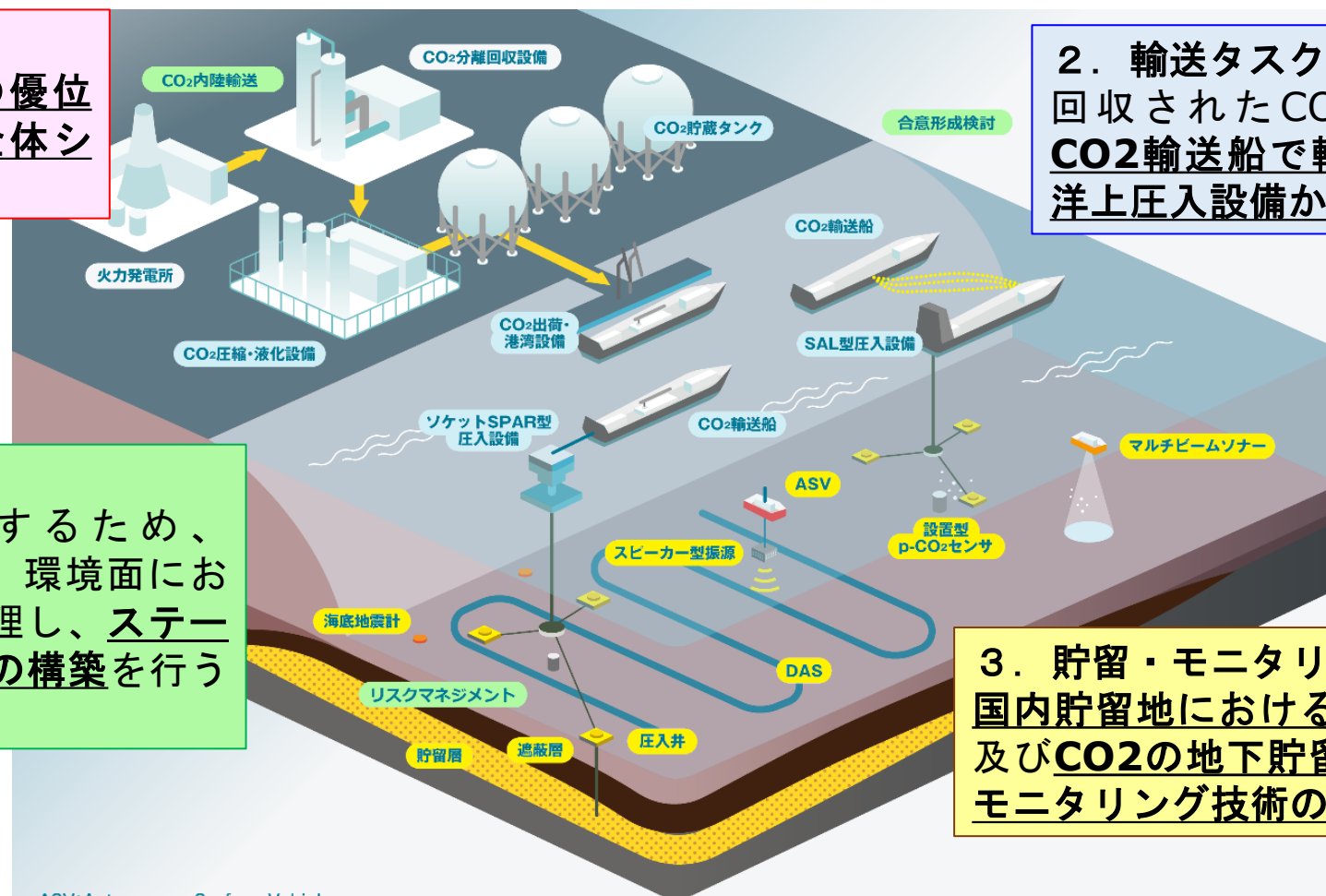
- 2030年以降にCCS事業者が、洋上浮体からCO₂を圧入・貯留する環境に配慮した浮体式洋上圧入CCSを実施することを想定し、CCSを一貫して実施するのに必要な実証を行う準備とCCS事業化を円滑に進める上で必要な知見の集積を目的に、**実現性検討**、**輸送**、**貯留・モニタリング**、**円滑導入**の4つのタスクを実施する。

1. 実現性検討：
浮体式洋上圧入CCSの優位性、ポテンシャル、全体システム等の検討

4. 円滑導入タスク：
CCUSを円滑に実施するため、CCUSにおける経済面、環境面における利点とリスクを整理し、ステークホルダとの合意形成の構築を行うことの検討

2. 輸送タスク：
回収されたCO₂を圧縮・液化後、CO₂輸送船で輸送し、沖合の浮体式洋上圧入設備から圧入することの検討

3. 貯留・モニタリングタスク：
国内貯留地におけるCO₂貯留に関する検討、及びCO₂の地下貯留状況と海洋環境の適切なモニタリング技術の確立に関する検討

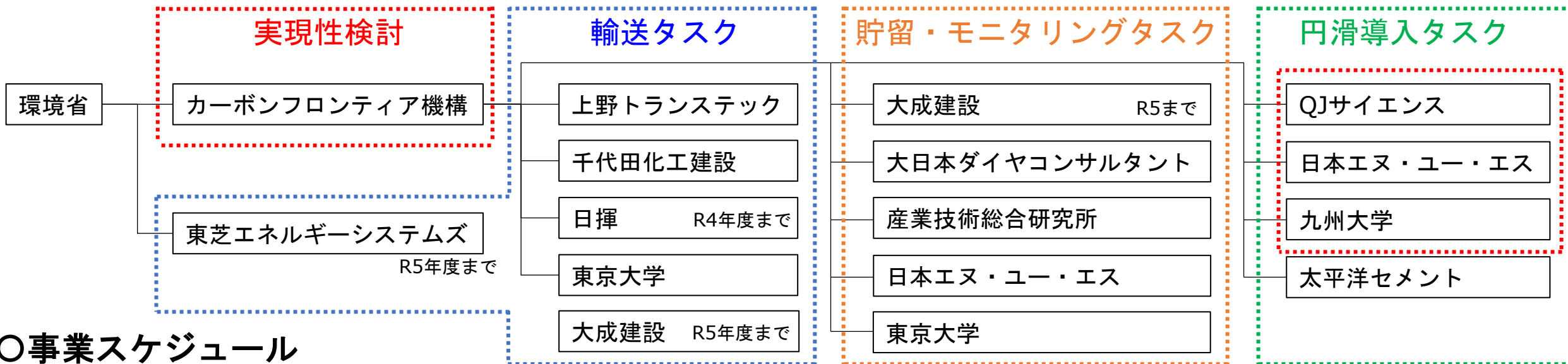


ASV: Autonomous Surface Vehicle
DAS: Distributed Acoustic Sensing

実施体制と事業スケジュール



○実施体制（13機関体制）



○事業スケジュール

	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024	FY2025
1. 実現性検討	CCS実施方式ごとのコストと特徴の分析		ソースシンクマッチングによる国内洋上圧入ポテンシャル検討	CO2海外貯留実現可能性検討	
	海外貯留ポテンシャルの把握				
2. 輸送タスク	ドライアイス、再液化、腐食試験準備		ドライアイス、再液化、腐食試験		輸送船AIP取得
	洋上圧入設備検討	圧入設備AIP取得	フローアシュアランス試験準備	フローアシュアランス試験	
	輸送船運航シミュレーション作成		輸送船運用計画手法の検討		運用計画手法策定
3. 貯留・モニタリングタスク	調査井掘削計画策定の方法論取り纏め			地下モニタリング実証	地下モニタリングの成果整理
	VSP*及びDAS**による地下モニタリング仕様検討+導入準備				
	設置型センサ、ソナーによる海洋モニタリング設備の個別試験			海洋モニタリング実証	
4. 円滑導入タスク	圧入地域におけるコミュニケーション計画立案			情報発信手法の確立と実践	
	CCS全体におけるリスクと対応策の検討			リスクマネジメント計画立案	
	CCSに向けた大容量CO2内陸輸送の方法と課題の検討			内陸輸送社会実装の計画提言	

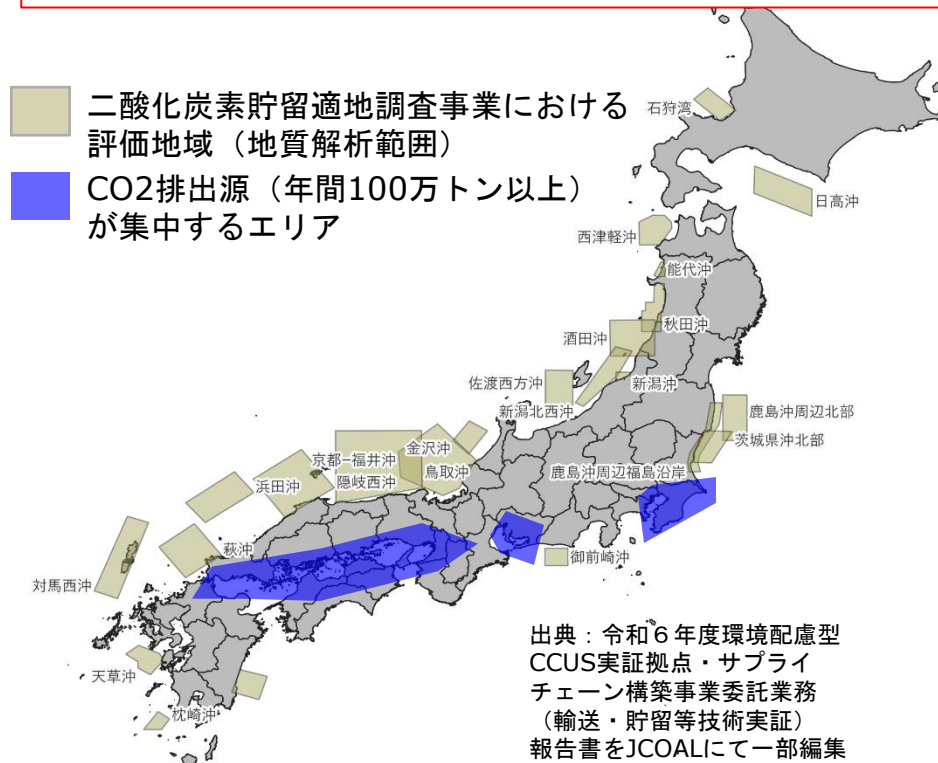
本事業で対象とするCCSの実施方法



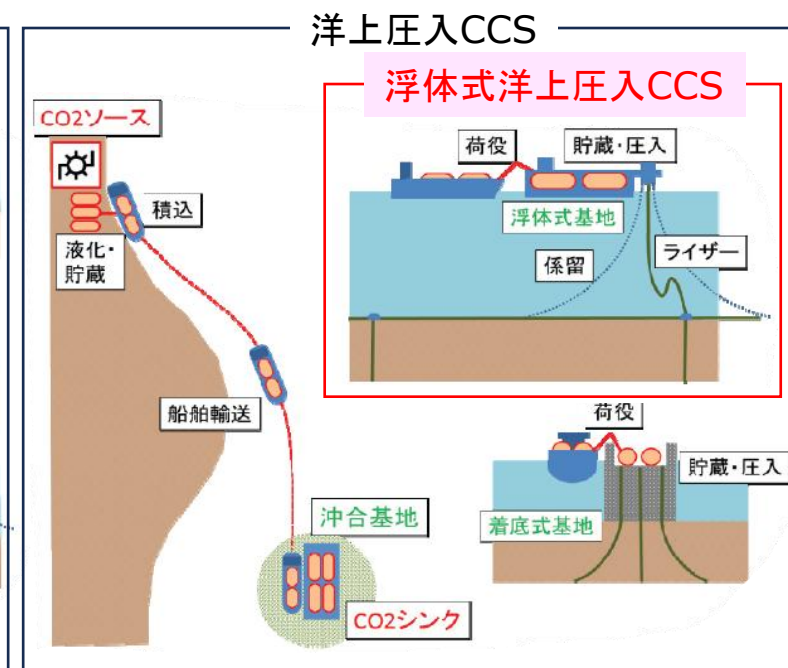
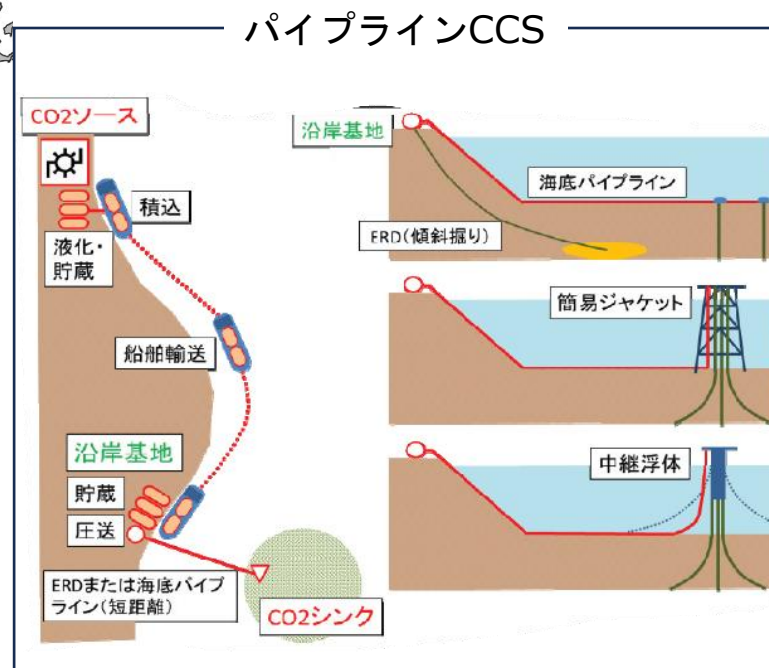
- CCSはCO₂発生源や貯留地、実施者に応じて、様々な実施方法があるものの、大きくはパイプラインCCSと洋上圧入CCSの2方式に分けられる。
- 本事業では、洋上圧入CCSの中でも特に、浮体からの直接圧入を行う実施方法（浮体式洋上圧入CCS）を対象としている。

CO₂貯留適地と年間100万トン以上の大規模なCO₂排出源が集中するエリアは離れている。

日本では、CO₂を貯留地またはその付近まで船で輸送・集積するプロジェクトが形成される可能性が高い。



CO₂貯留適地とCO₂排出源（年間100万トン以上）の位置関係



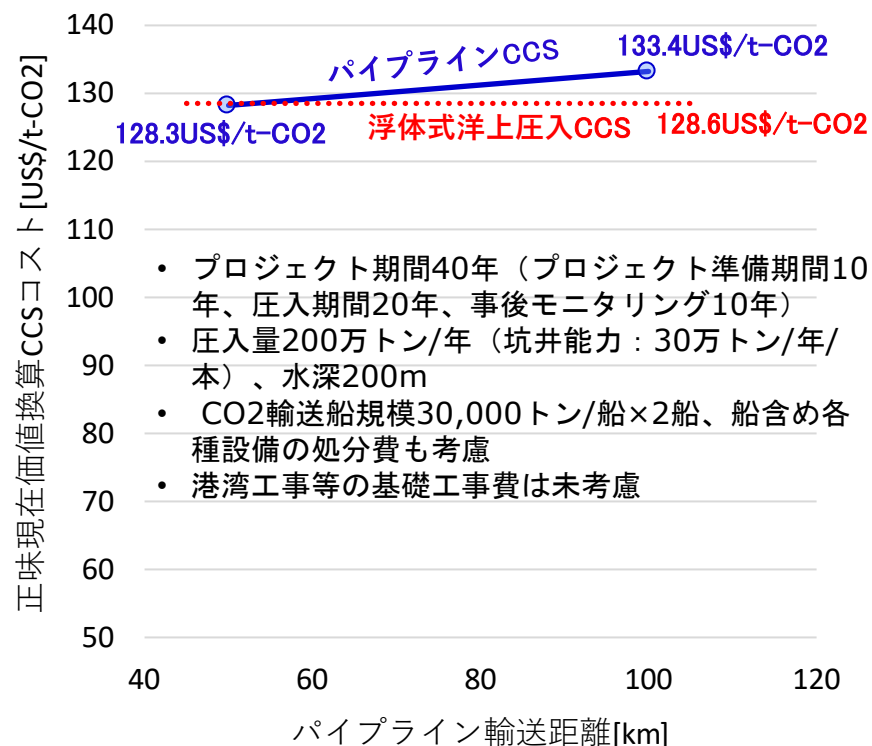
主なCCSの実施方法

浮体式洋上圧入CCSの選択理由（1／3）



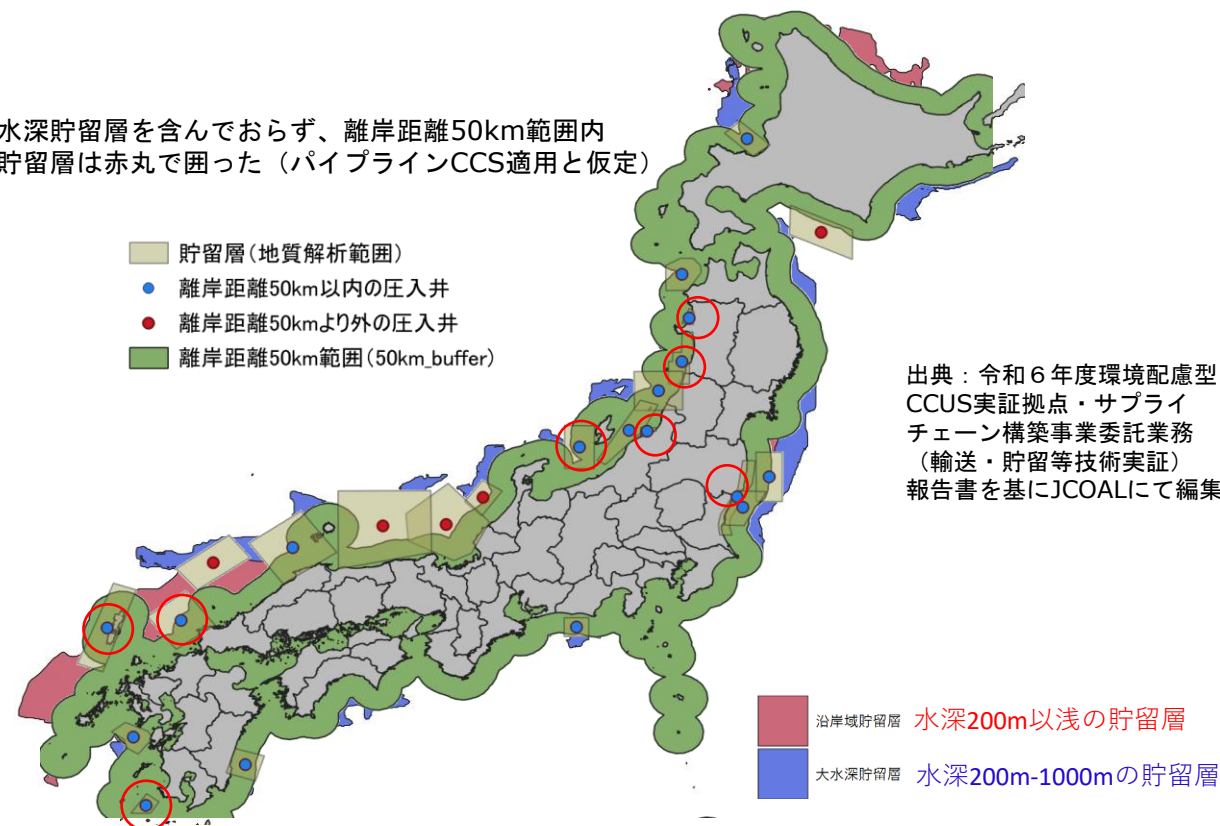
- 海底パイプライン距離が約50kmを超えると浮体式洋上圧入CCSがコスト的に有利になる。
- 国内の貯留ポテンシャルのうち約8割が浮体式洋上圧入CCSが適用される可能性がある。
 - 物理条件のみ考慮した国内の貯留ポテンシャルは488億トンとなる。そのうち、パイプラインCCS適用可能性があるのは95億トン、浮体式洋上圧入CCS適用可能性があるのは393億トン（※）

※令和3、4年度二酸化炭素貯留適地調査報告書を参考に作成・算出



海底パイプライン距離に対するCCSコストの変化

大水深貯留層を含んでおらず、離岸距離50km範囲内の貯留層は赤丸で囲った（パイプラインCCS適用と仮定）



出典：令和6年度環境配慮型CCUS実証拠点・サプライチェーン構築事業委託業務（輸送・貯留等技術実証）報告書を基にJCOALにて編集

地理的条件から絞り込んだ洋上圧入CCS適用可能性地域（※）

- カーボンニュートラル達成のためにはCCSは必須であるが、地元理解を踏まえた実現性も考慮すると、パイプラインCCSだけでは十分な貯留量を確保できない可能性がある。



- 離岸距離50km以内の圧入井
- 離岸距離50kmより外の圧入井

大水深貯留層を含んでおらず、離岸距離50km範囲内の貯留層は赤丸で囲った（パイプラインCCS適用と仮定）

Ocean Newsletter 552号の図に前スライドの圧入井位置をプロット

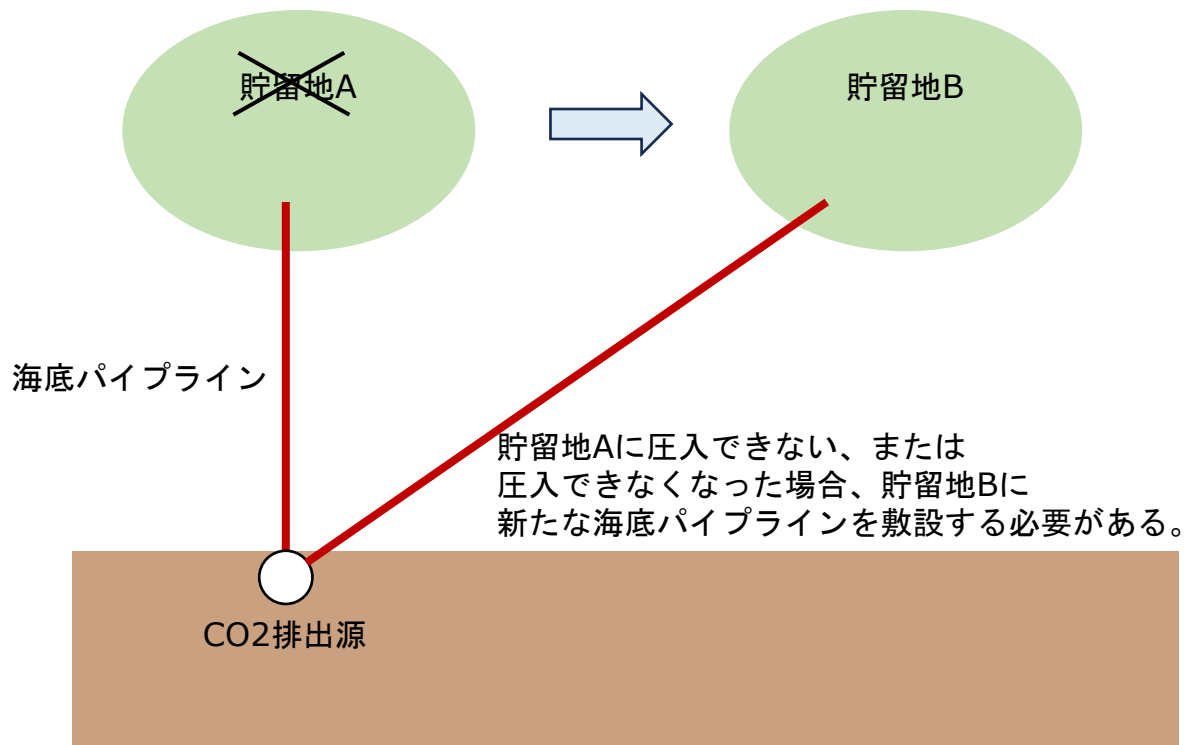
2018年1月1日～2023年6月1日の0.1度メッシュごとの累積推定漁船航海時間の分布

浮体式洋上圧入CCSの選択理由（3／3）

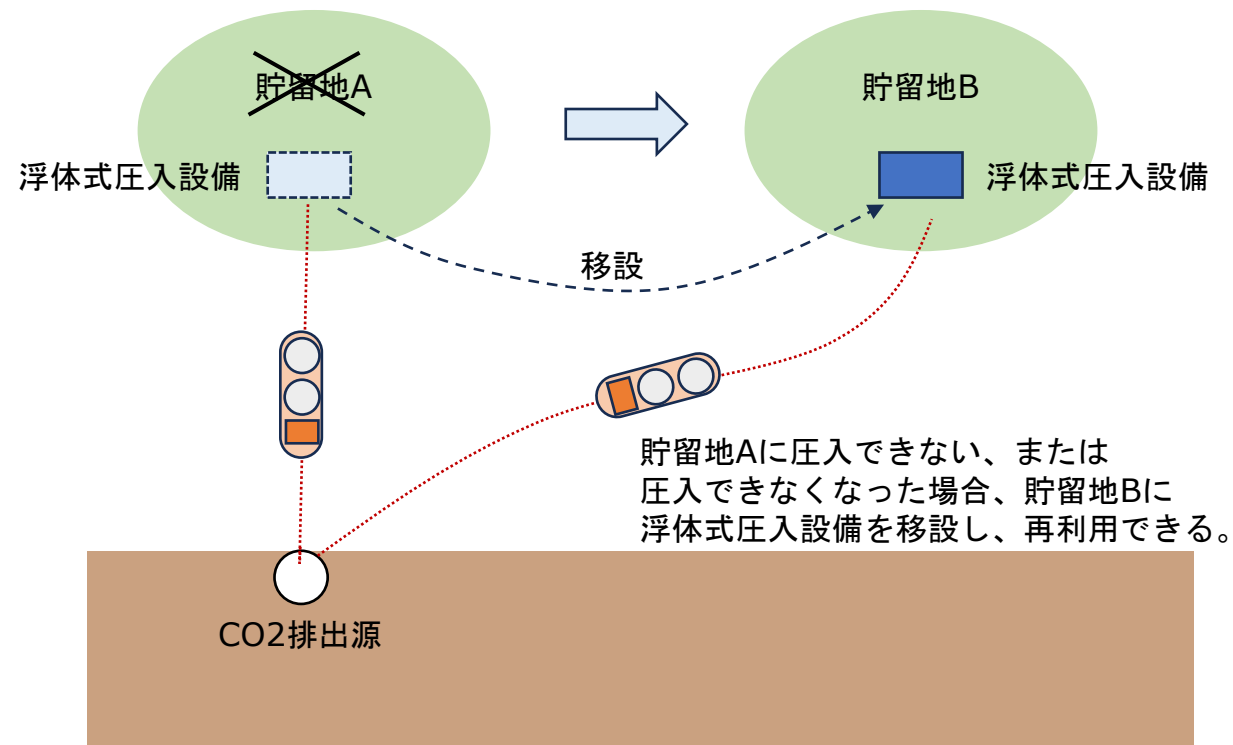


- 1つの圧入井での圧入ができなくなった場合、浮体式洋上圧入CCSは圧入設備を移動できるが、パイプラインCCSは海底パイプラインの回収ができない。
 - 貯留層は必ずしも事前に予測されたCO2貯留可能量が確保できるわけではなく、圧入ができないということも起こり得る。

パイプラインCCS



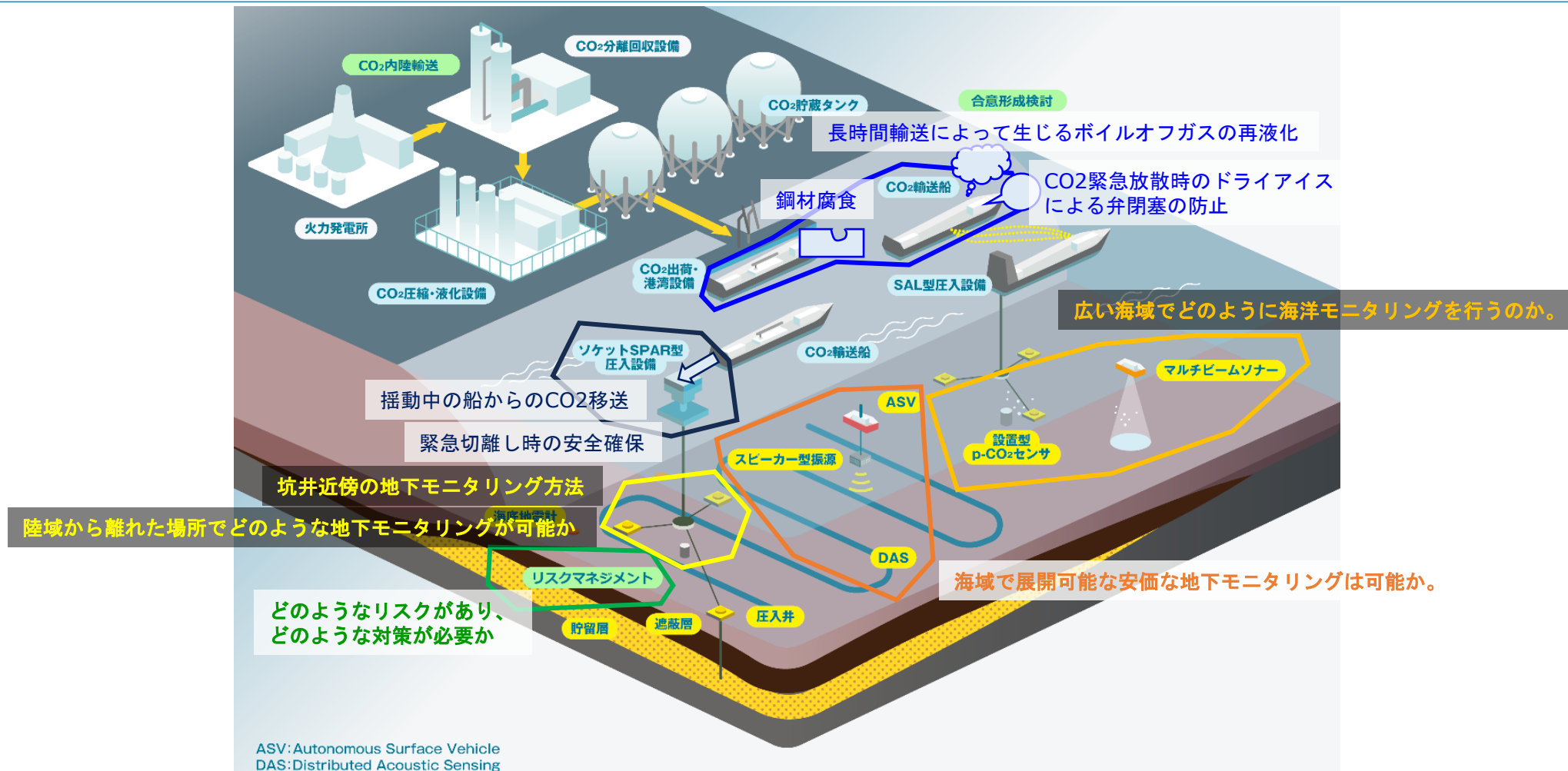
浮体式洋上圧入CCS



浮体式洋上圧入CCSにおける主要課題



- 浮体式洋上圧入CCSは、パイプライン敷設が困難な地域・海域でも圧入・貯留が実施でき、沖合域の地層を有効に活用できるため貯留ポテンシャルが高く、圧入する場所を柔軟に変更できるなどのメリットがあるものの、社会実装にあたっては課題がある。



- 検討段階にあるものも含めると、海外の洋上圧入CCSに関連するプロジェクトは13プロジェクト確認されている。

No.	事業者	技術内容・状況
①	Petrobras	水深2000mを対象としたブラジル沖でのEOR。
②	Technip Energies + deepCstore	浮体式貯蔵・注入ユニット（Offshore C-Hub™）の概念設計、FS。
③	NEMO Maritime	CO2を輸送し、洋上から直接圧入する。
④	Project Greensand (INEOS Energy Denmark)	2023年の実証時はISOコンテナでCO2を船輸送し、洋上圧入する技術。
⑤	Equinor + Breeze Ship Design	潜水式タレットローディングブイを使ってライザーと繋ぐシステム。
⑥	Havstjerne CCS プロジェクト（Stella Maris）	2025年9月から” K” LINE ENERGY SHIPPINGが船と圧入設備の技術検討開始。
⑦	Samsung E&A Shepherd CCS(Samsung E&A)	韓国からCO2を船で輸送し、東南アジアで圧入を行う。
⑧	Sea-Quester Carbon Harvester(Sea-Quester)	海底にターンテーブルがある一点係留式の洋上圧入設備（Pivotree™）
⑨	Bumi Armada	英国CO2を船で輸送し、貯蔵船に一次貯蔵し、圧入船から洋上圧入する。
⑩	Shell + DNV（その他、MOL、” K”LIN含む）	技術リスクの整理、設計ガイドラインの作成、規制・運用インタフェース問題及び知見ギャップの特定。
⑪	MODEC	浮体式貯蔵・注入ユニット（LCO ₂ FSIU）の設計。AiP取得。
⑫	Hyundai Engineering & Construction	メガフロートのような圧入設備（ハブターミナル）を想定。
⑬	オーストラリアVictoria州政府	海外からのCO2受け入れ先として検討中。

■ 13事業者の一部事業者に対し、洋上圧入CCSを選択したモチベーションをヒアリング

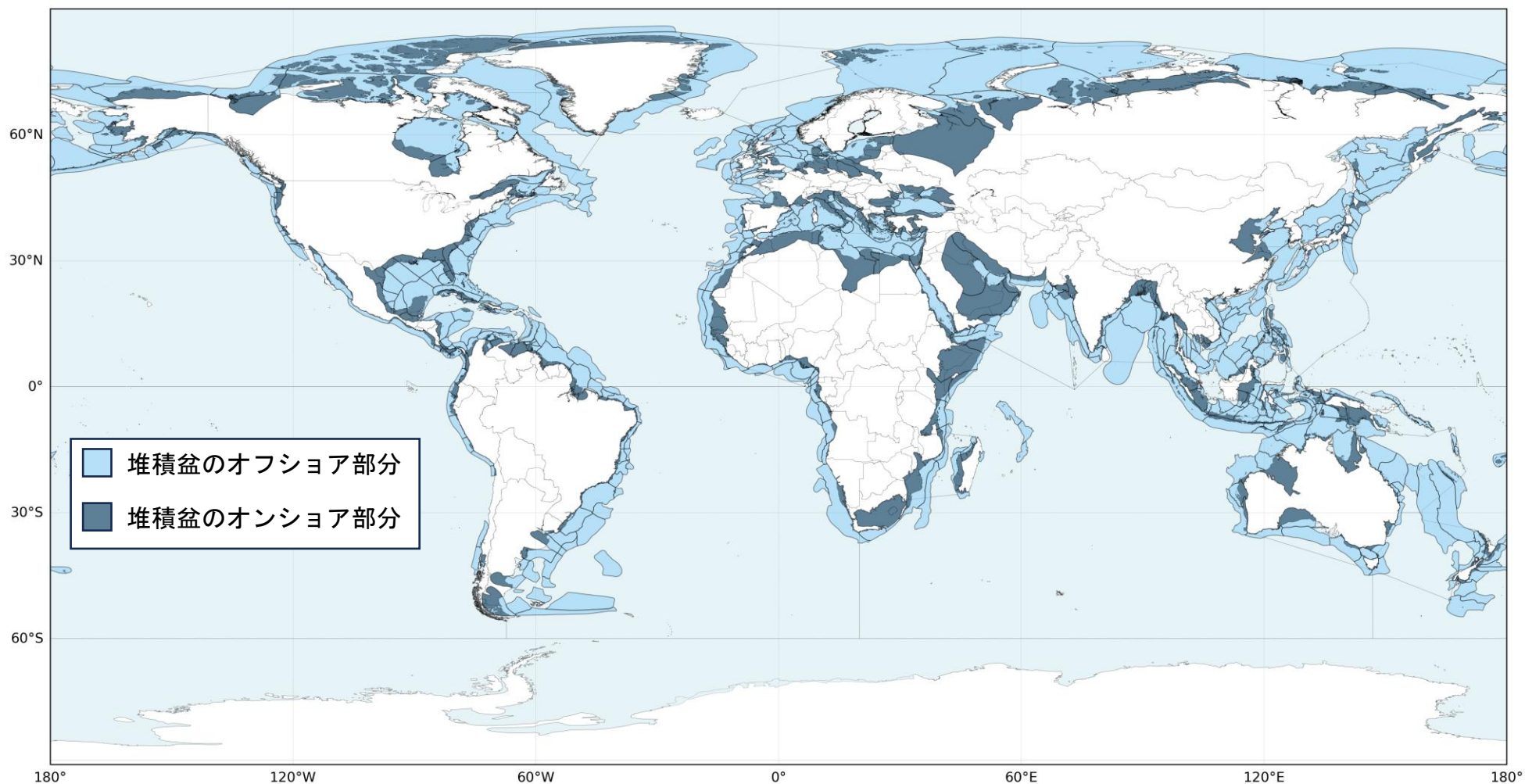
モチベーションのヒアリング結果

カテゴリ	モチベーション
コスト優位性	<ul style="list-style-type: none">● パイプラインよりも初期投資が小さく、市場規模に応じて、段階的な拡張が可能。● 想定する貯留サイトでは、パイプラインよりも経済的に有利であった。
プロジェクト形成	<ul style="list-style-type: none">● 貯留層が健全であることを確認した後にパイプラインCCSへの転換が可能。● 設備の再利用が可能で、貯留層に問題がある場合に移設できる柔軟性。● パイプラインで必要な長期間の許可申請や建設を回避でき、圧入開始時期を短縮可能。● 分散した複数発生源からのCO2収集に有利。● 越境CCSに最適。● 海域でCCSを実施すること自体が洋上圧入CCSのモチベーション。
環境面	<ul style="list-style-type: none">● 海洋環境影響がパイプラインよりも小さい。

浮体式洋上圧入CCSの世界の貯留可能量の算出対象堆積盆



- 堆積盆ごとに浮体式洋上圧入CCSの貯留ポテンシャルを算出した。



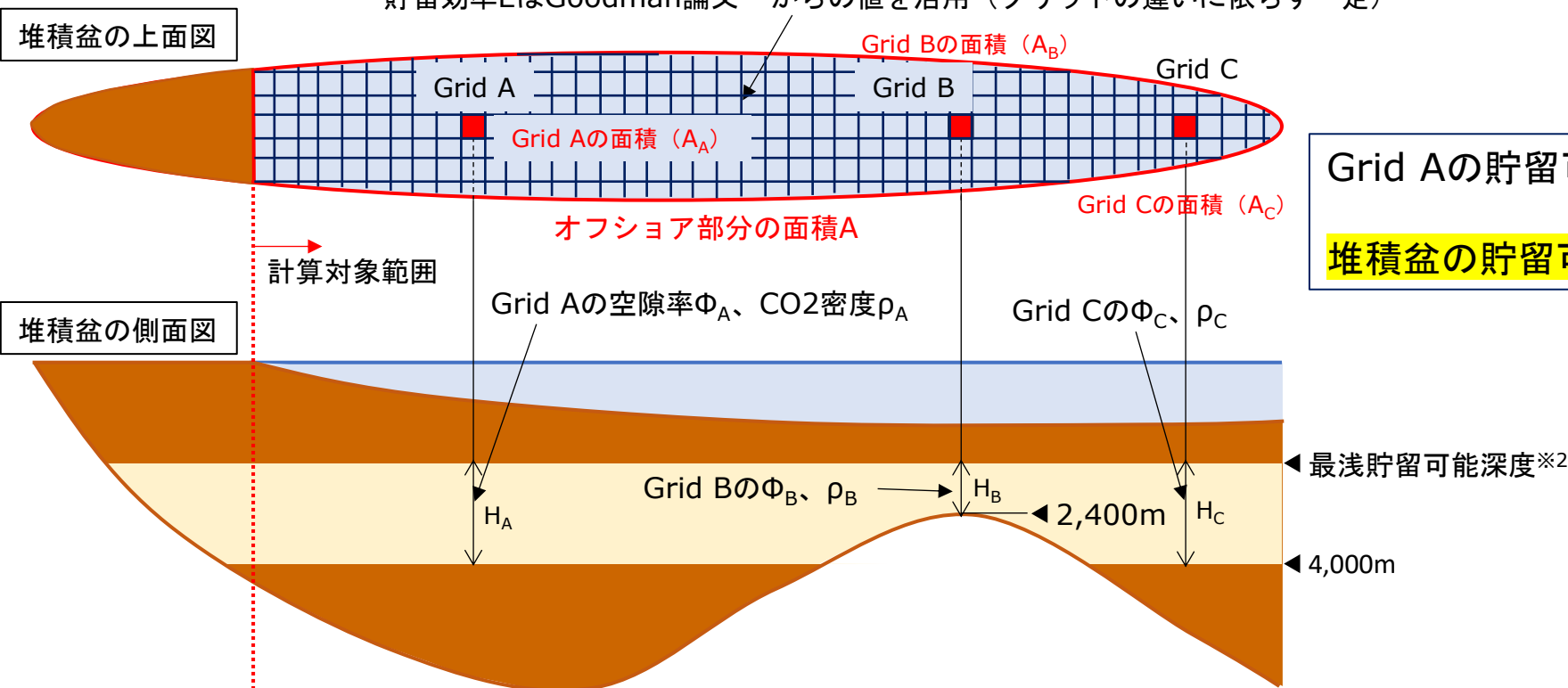
貯留可能量の算出対象とした堆積盆

浮体式洋上圧入CCSの世界の貯留可能量算出方法



- 堆積盆をグリッドに区切り、グリッドごとの貯留可能量を算出し、前グリッドの貯留可能量の積算値を堆積盆の貯留可能量とした。

貯留効率EはGoodman論文※1からの値を活用（グリッドの違いに依らず一定）



$$\text{Grid Aの貯留可能量 } M_{\text{CO2A}} = H_A \times A_A \times \Phi_A \times \rho_A \times E$$

$$\text{堆積盆の貯留可能量 } M_{\text{CO2}} = M_{\text{CO2A}} + M_{\text{CO2B}} + M_{\text{CO2C}} + \dots$$

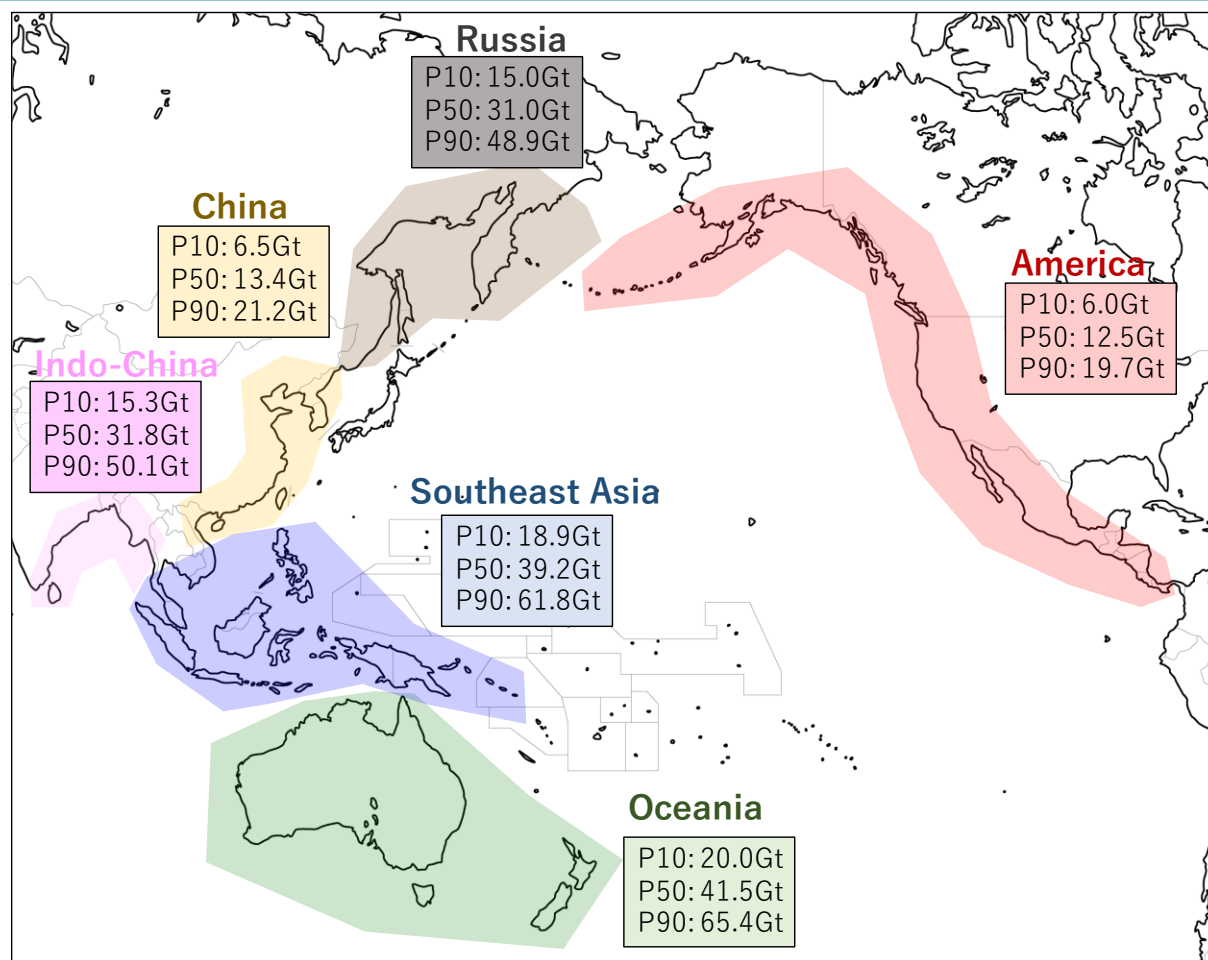
Grid A、B、Cの最深貯留可能深度はそれぞれ4,000、2,400、4,000m

Grid AのH (H_A) = 4,000m - Grid Aの最浅貯留可能深度
Grid BのH (H_B) = 2,400m - Grid Bの最浅貯留可能深度
Grid CのH (H_C) = 4,000m - Grid Cの最浅貯留可能深度

※1 : A. Goodman *et al.*, "U.S. DOE methodology for the development of geologic storage potential for carbon dioxide at the national and regional scale," *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 5, no. 4, pp. 952-965, 2011

※2 : CO2が超臨界条件となる深度、グリッドによって異なる。

- 日本周辺だけでもP50の浮体式洋上圧入CCSの貯留可能量は約170Gtあり、日本の年間CO2排出量の約170年分に相当する。



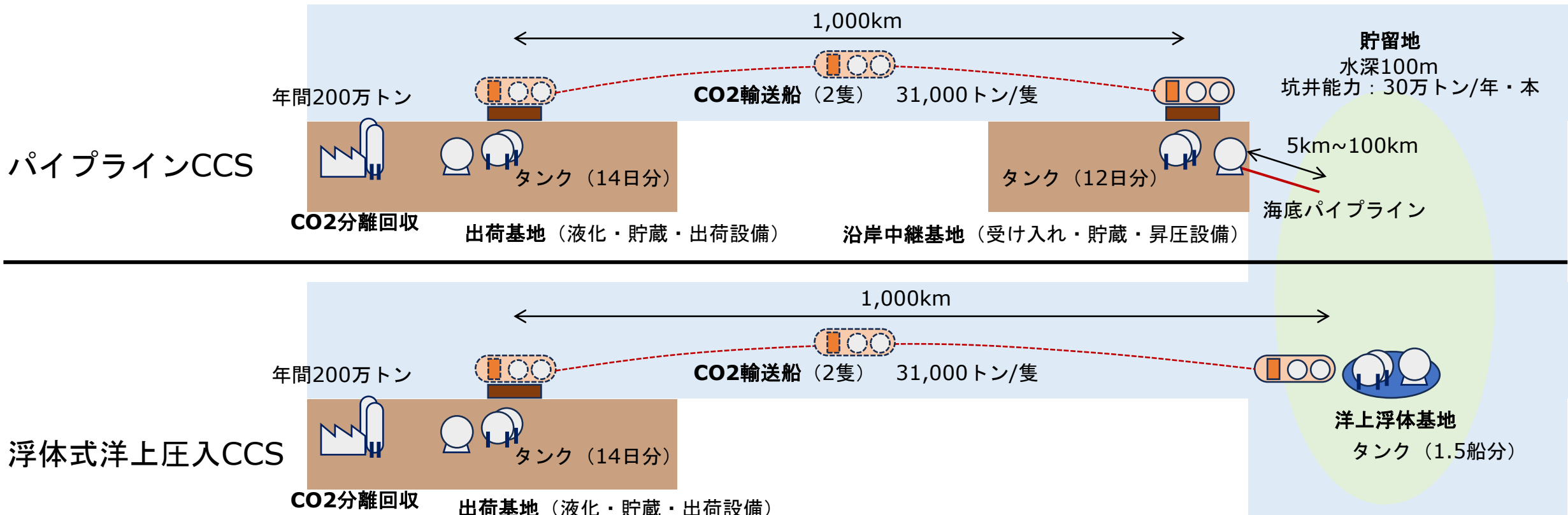
P10 : 実際の結果または値が算出値以下となる確率が10%
(悲観シナリオ)
P50 : 実際の結果または値が算出値以下となる確率が50%
P90 : 実際の結果または値が算出値以下となる確率が90%
(楽観シナリオ)

浮体式洋上圧入CCSの日本周辺の貯留可能量

パイプラインCCSと浮体式洋上圧入CCSのコスト比較に係る取組



- 先進的CCS支援事業では、CO₂を船で貯留地付近まで輸送し、海底パイプラインでCO₂を圧入するプロジェクト（パイプラインCCS）が多い。
- パイプラインCCSのプロジェクトに浮体式洋上圧入CCSを適用し、コスト面での優位性について比較・検討した。



コスト調査におけるプロジェクトタイムライン



■ CCS事業の計画段階からモニタリングの責任移譲期間までをコスト算出範囲とした。

- 準備期間：10年
 - 圧入期間：20年
 - モニタリング責任移譲期間：10年（仮）
- 計40年間のプロジェクト

※1US\$=150円で換算する。

■ 処分費用

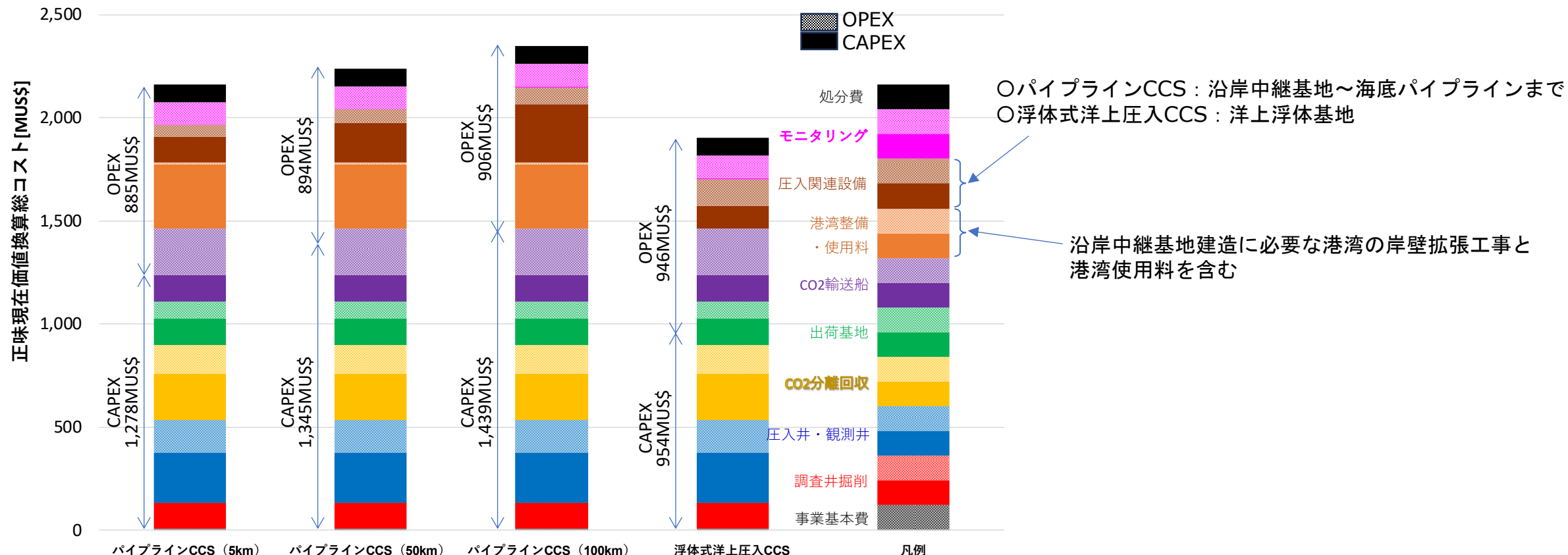
- 石油ガスにおける実績を基に処分費用をCAPEXの10%を基本とした。
- 坑井処分費は調査井含む8本の処分で129MUS\$。
- パイプラインの処分は沿岸域3kmを対象とすることとし、処分費を40億円/km※とした。

大項目	小項目	期間（年）																																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40									
貯留地評価	3D震探／適地スクリーニング	■	■																																					
	調査井掘削			■																																				
	貯留層評価				■																																			
設備	FS（地上、海上設備）			■																																				
	FEED（地上、海上設備）				■	■	■	▼FID																																
	港湾整備（パイプライン方式）							■	■	■	■																													
	EPC（地上、海上設備）							■	■	■	■																													
	廃棄（地上、海上設備）																					■	■																	
圧入井	圧入井掘削計画、調達						■	■	■	■																														
	圧入井掘削										■	■																												
	廃坑																					■																		
操業	CO2圧入																																							
モニタリング	海洋モニタリング																																							
	地下モニタリング（震探）																																							
	地震計観測																																							

総コストの比較（正味現在価値換算）



- 総コスト（準備期間から設備の処分まで含めたCAPEXとOPEXの合計金額）を正味現在価値に換算し、パイプラインCCSと浮体式洋上圧入CCSの比較を行った。
 - コスト差は主にCAPEX（特に圧入関連設備、港湾工事）及び港湾使用料（OPEX）で生じる。
 - 港湾設備・使用料の影響により、パイプライン距離に依らず浮体式洋上圧入CCSの方が安価となった。

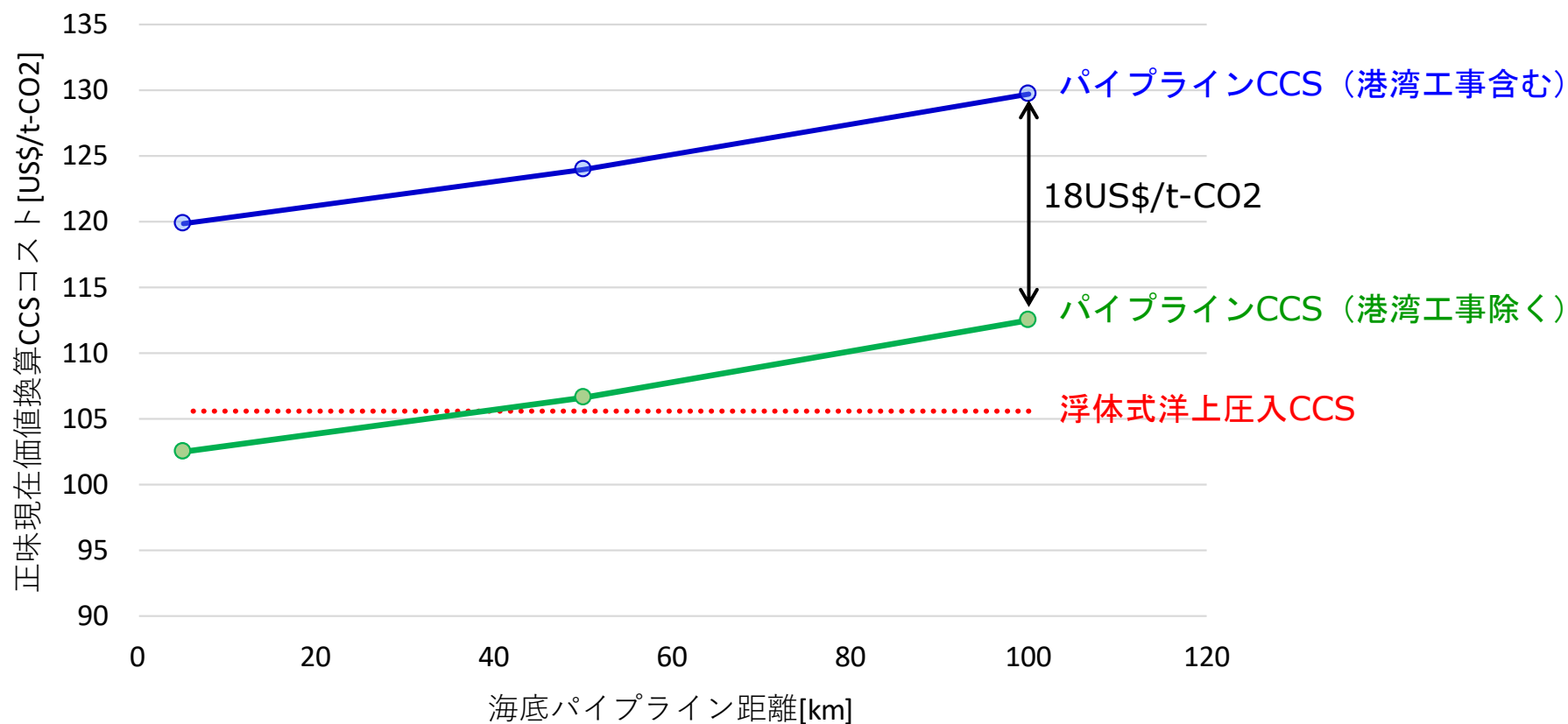


パイプラインCCSと浮体式洋上圧入CCSの総コストと内訳の比較
(水深100m、年間200万トン貯留、坑井能力30万トン/年/本、割引率1.04)

CCSコスト（単位CO₂あたりのコスト）の比較



- CCSコストは100US\$/t-CO₂～130US\$/t-CO₂となった。
- 港湾工事が18US\$/t-CO₂であり、港湾工事を含まない場合、パイプラインCCSと浮体式洋上圧入CCSのコストが逆転する海底パイプライン距離は約37kmであった（クロスポイント）。

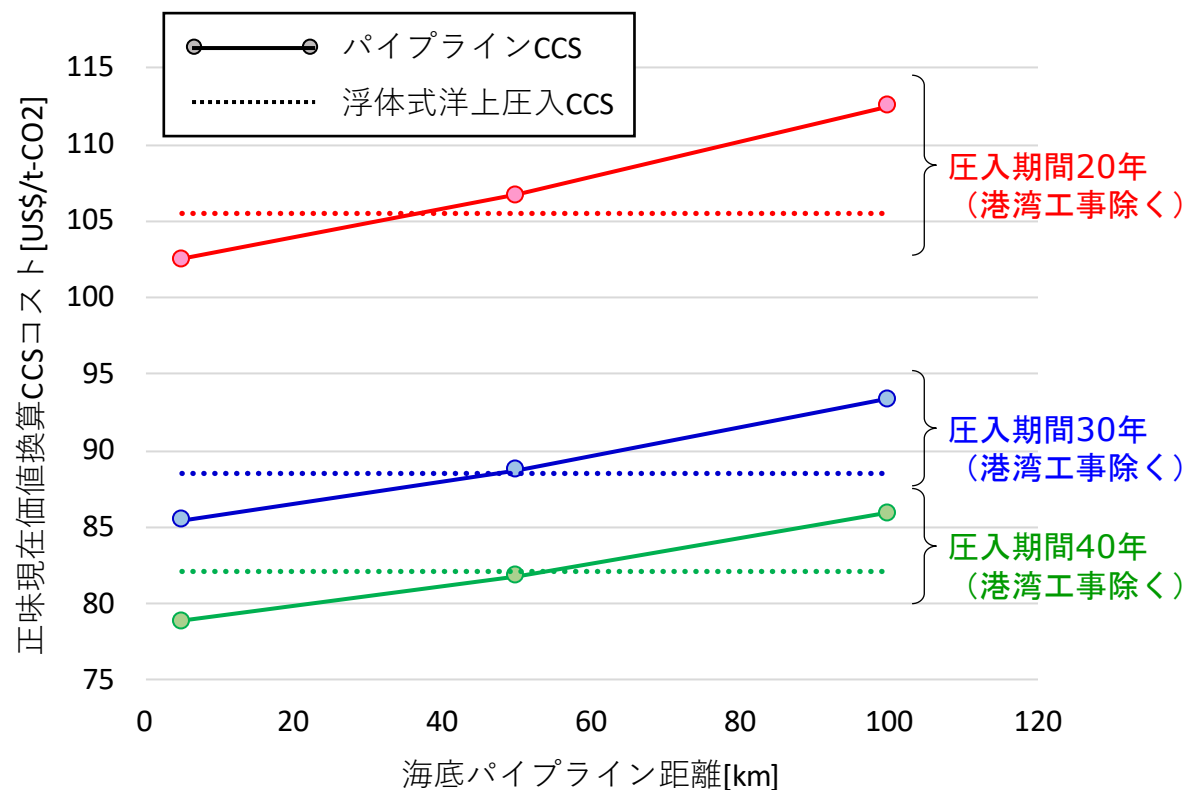


パイプラインCCSと浮体式洋上圧入CCSのCCSコストの比較
(水深100m、年間200万トン貯留、坑井能力30万トン/年/本、割引率1.04)

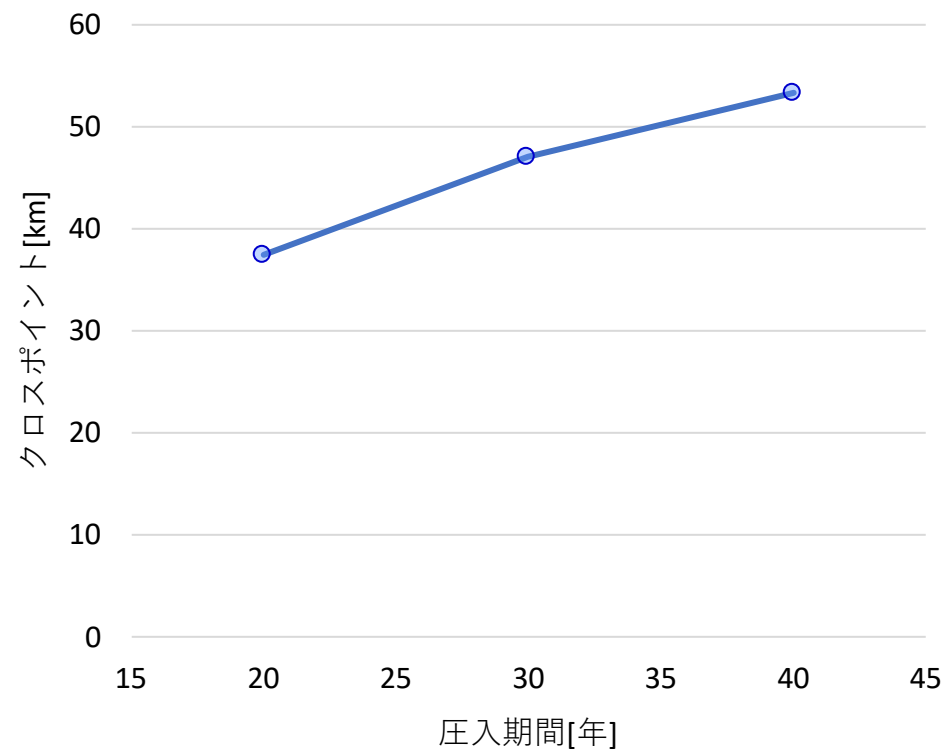
圧入期間延長による影響



- 圧入期間が20年から40年に延びることで、
 - CCSコストは約30US\$/t-CO₂減少する。
 - クロスポイントは37kmから53kmに延びる。
- 浮体式洋上圧入CCSは圧入期間が短い方がパイプライン方式よりも有利になる。



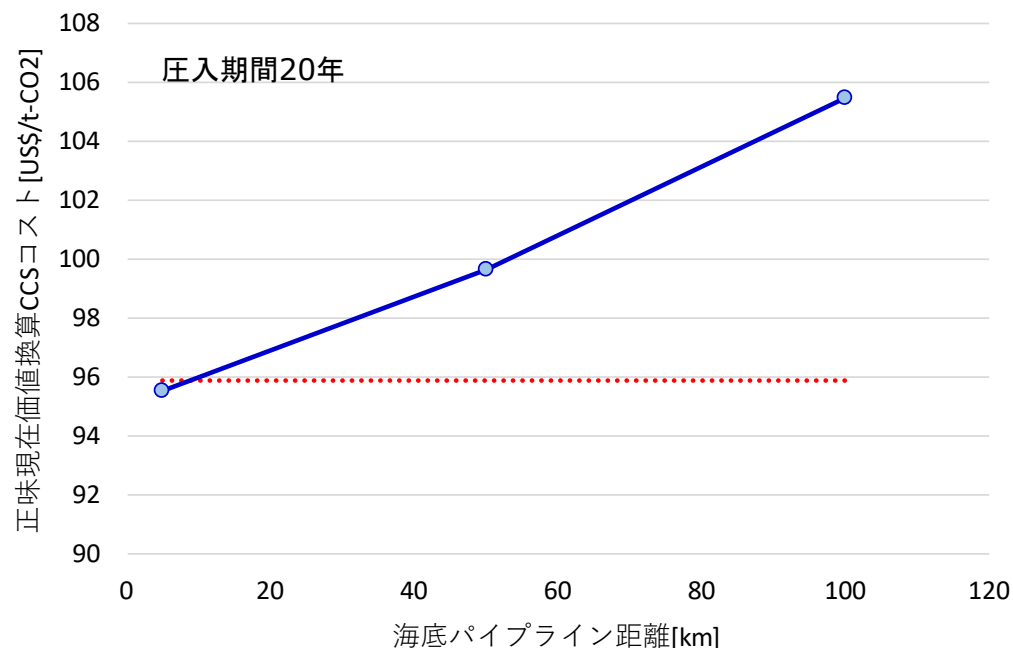
圧入期間ごとのパイプラインCCSと浮体式洋上圧入CCSのCCSコストの比較
(水深100m、年間200万トン貯留、坑井能力30万トン/年/本、割引率1.04)



圧入期間とクロスポイントの関係 (港湾工事除く)
(水深100m、年間200万トン貯留、坑井能力30万トン/年/本、割引率1.04)

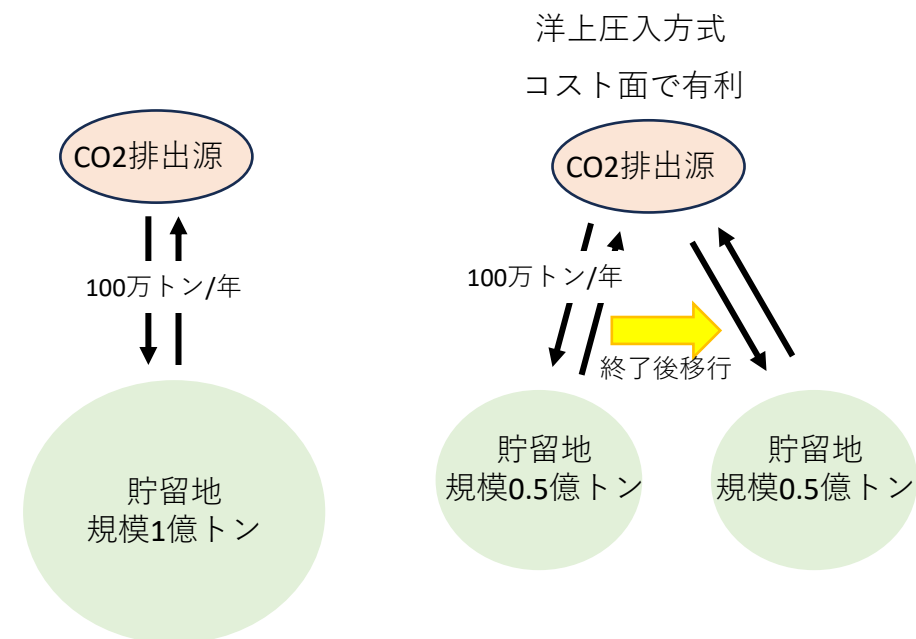
■ CO2輸送船と洋上圧入設備を再利用するとし、これらのCAPEXを省いたCCSコストを算出した。

- パイプラインCCS：CO2輸送船の再利用により、約7US\$/t-CO2の削減
- 浮体式洋上圧入CCS：CO2輸送船と洋上圧入設備の再利用により、約10US\$/t-CO2の削減
- クロスポイントは約9kmとなった。



パイプラインCCSと浮体式洋上圧入CCSのCCSコストの比較（施設再利用時）
（水深100m、年間200万トン貯留、坑井能力30万トン/年/本、割引率1.04）

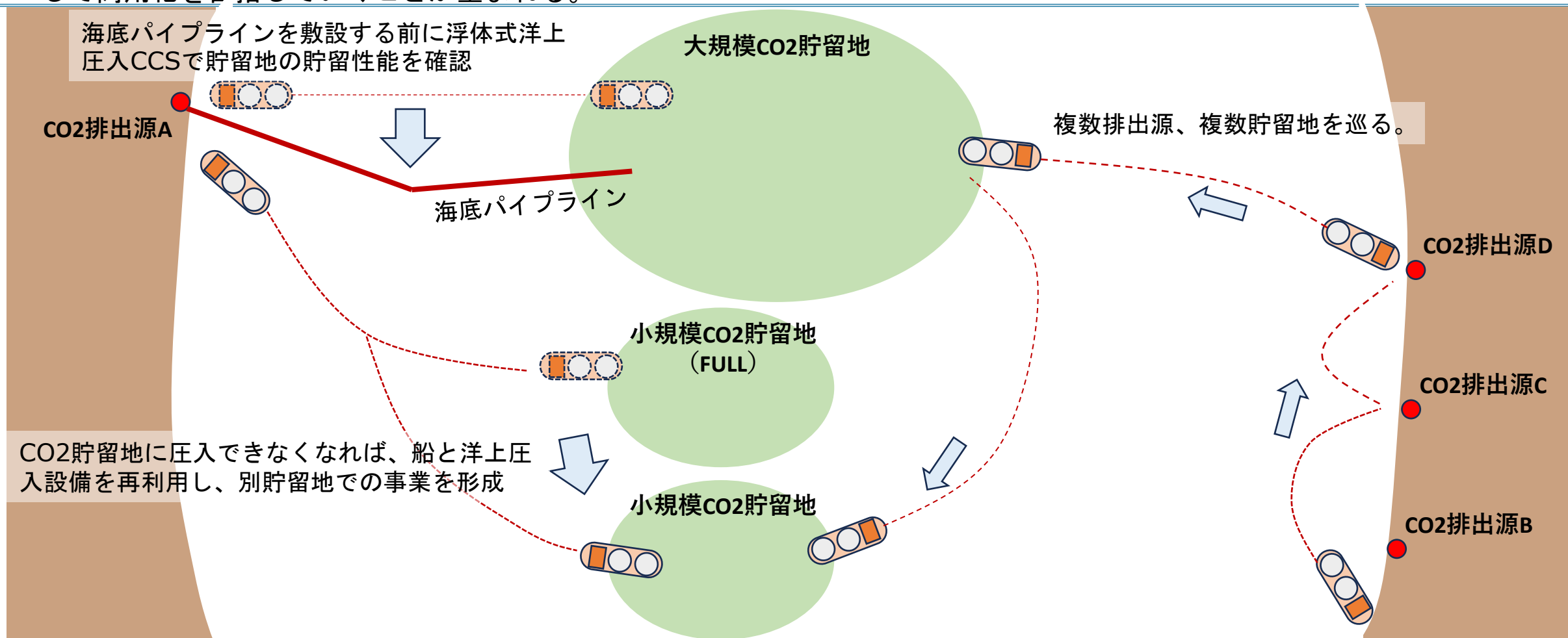
○規模が小さい貯留地が複数ある事業の場合、パイプラインCCSよりも浮体式洋上圧入CCSの方が適用されやすい。



浮体式洋上圧入CCSの今後と商用化イメージ



- 浮体式洋上圧入CCSの「柔軟性」という特色を活かした事業が想定され、これにより、パイプラインCCSも含めたCCS事業全体のコストとリスクの低減に貢献することができる。
- 商用化に向けては一貫実証の課題は残っているものの、有望な技術であるため、先進的CCS支援事業の次のプロジェクトとして商用化を目指していくことが望まれる。



ご清聴ありがとうございました。