

CCUSの早期社会実装会議(第4回)

洋上圧入船の実現に向けた取り組み

2023年10月27日

上野トランステック株式会社

内 容

- 洋上圧入の必要性（液化CO₂の貯留候補地と排出源の位置関係）
- 海上輸送及び洋上から海底下へ圧入の有用性について
- 洋上圧入実現に向けた取組み

- 液化CO₂の輸送船舶の検討と成果
- 洋上圧入輸送船に関する検討課題

- 洋上圧入の仕組み SAL (Single Anchor Loading System)方式
- 洋上圧入の仕組み ソケットSPAR方式（接続型洋上プラットフォーム）
- SAL方式とソケットSPAR方式の比較
- 洋上からの液化CO₂圧入方式の検討における成果
- CO₂圧入方式及び圧入設備（SPAR）に関する検討課題

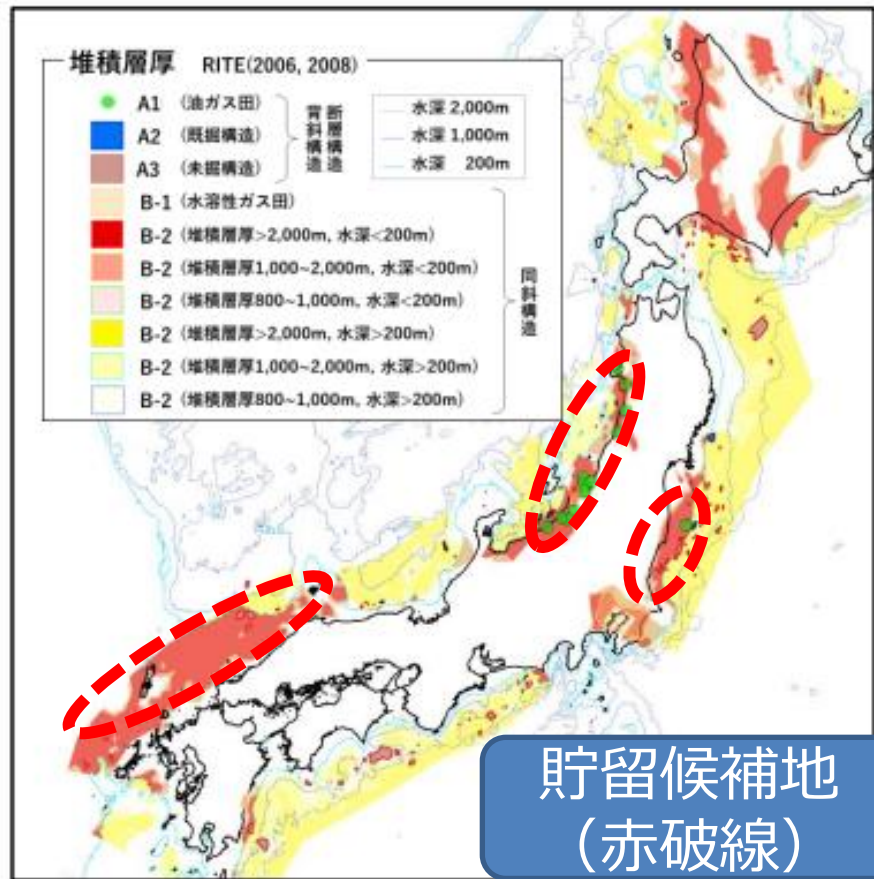
- 圧入輸送船の稼働率向上への検討と成果

洋上圧入の必要性 (液化CO2の貯留候補地と排出源の位置関係)

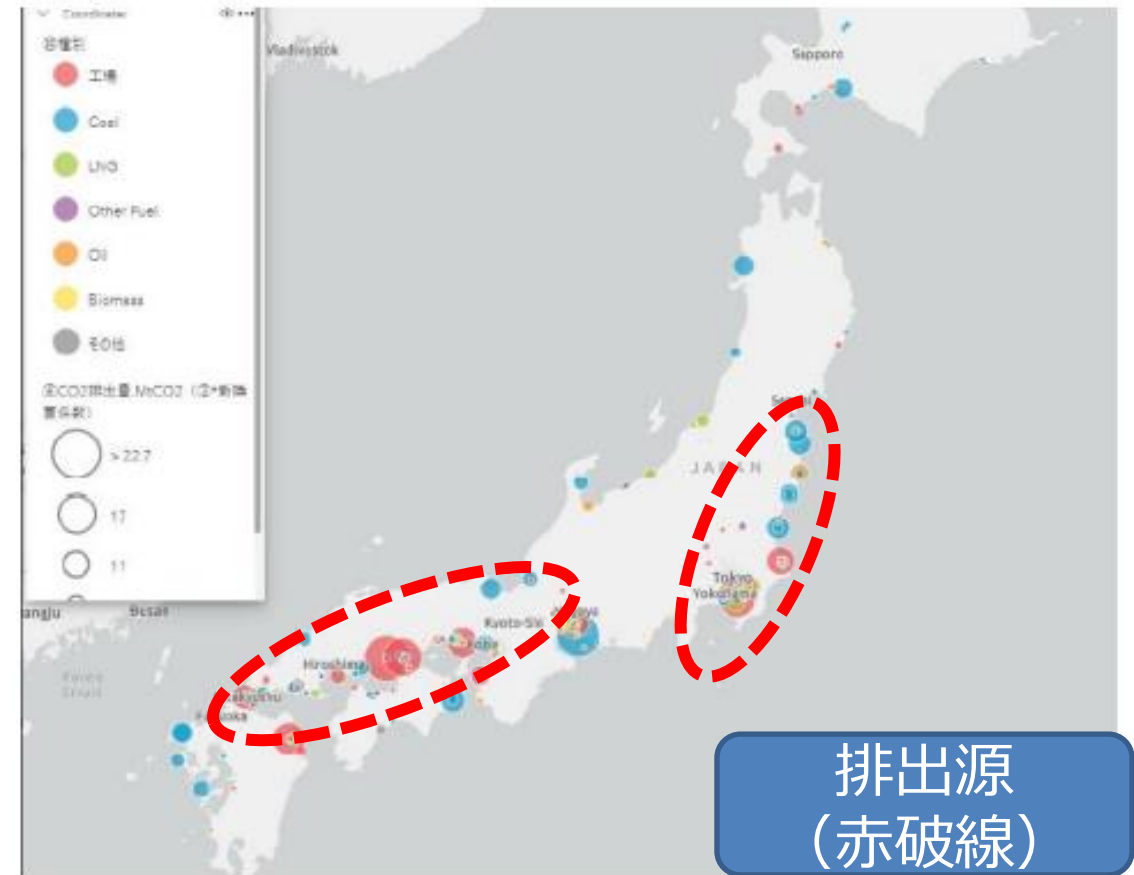
国内には水深200-1000m未満の海域に2,400億トンの貯留層が偏在していると推測される。

左下図の液化CO2貯留層候補地と、右下図の50万トン以上の排出源が同じ地域に重複することが少なく、排出源から貯留地へ長距離の輸送が必要となるケースが多い。

【CO2貯留層賦存量マップ (出典: RITE、編集: JCCS)】



【50万トン以上の排出源マップ (出典: RITE)】



出典: 国内におけるCCS/CCUSの現状 ~法制化の観点から~
令和4年11月25日 資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油・天然ガス課

海上輸送及び洋上から海底下への圧入の有用性について

液化CO₂の輸送方式として、「船舶」と「パイプライン」が候補となる。
排出地から貯留地までの距離が大きくなる場合、地権、地形要件等を考慮すると、パイプラインの敷設は困難を伴うと考えられる。

国内貯留候補地は海域に多く存在し、CO₂排出源である火力発電所等は臨海部に多数存在する為、排出源から貯留地へ海上輸送を行うことは合理的な選択肢となり得る。

また、船舶による海上輸送及び洋上から海底下への圧入では、次のような要因に対して、柔軟に対応可能であり、自由度が高い。

- * 輸送量
- * 輸送距離
- * 貯留候補地の変更

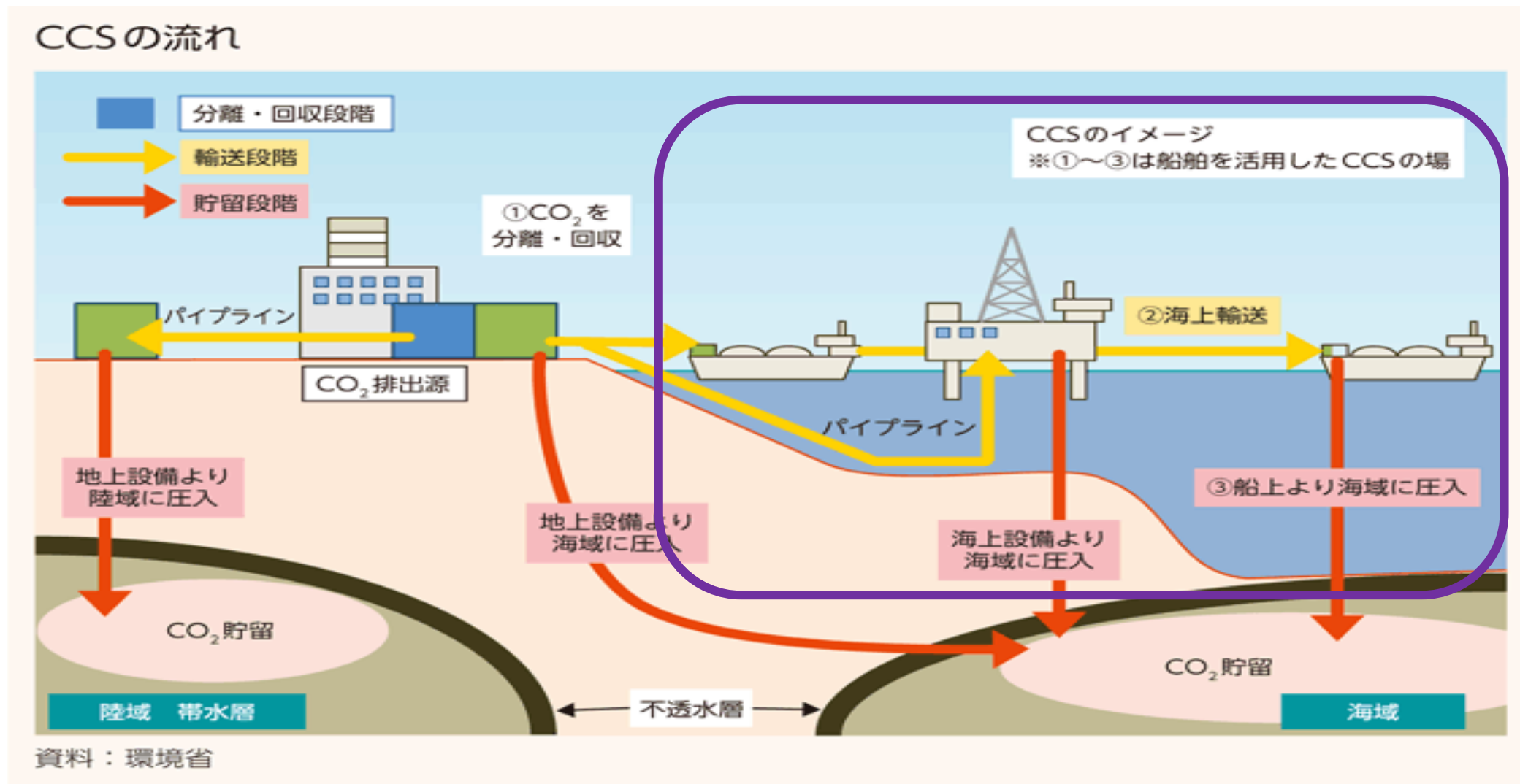
特に、排出源と貯留候補地が離れている我が国においては、その航路(経路)の自由度を持つことは重要と考えられる為、沿岸部から離れた洋上の貯留地まで船舶で液化CO₂を輸送し、洋上から海底下へ圧入する仕組みが必要と考える。

洋上圧入実現に向けた取組み

本事業では洋上圧入の実現に向けた取組みとして、2つの洋上圧入方式を検討。

- ・フェーズ1 (2016年～2021年) : SAL (Single Anchor Loading System) 方式、
- ・フェーズ2 (2022年～) : ソケットSPAR方式

フェーズ2では、ソケットSPAR方式に対応する液化CO₂輸送船の検討を進めている。



液化CO2の輸送船舶の検討と成果

2021年3月、本環境省事業にて、液化CO2を海上輸送し、海底へ圧入・貯留させる船のAiPを取得した。本船型は液化CO2の輸送作業に加え、圧入作業にも転用可能な船型として開発。世界初の液化CO2輸送船(圧入船Ready)となる。

液化CO2カーゴタンク前方には、圧入サイトへの嵌合設備を含めた圧入システム専用のスペースを確保。また、主推進方式に2軸アジマス推進方式採用し、船尾船型は船体抵抗が低減できるバトックフロー船型としている。これにより、洋上での液化CO2圧入作業に要求されるDPS(定点保持性能)を満足するとともに、外洋航海にも適した推進性能を確保している。



最大積載量: 1,600トン

全長: 106m

幅: 14.5m

中温・中圧タンク仕様・再液化装置・2軸アジマス推進方式・DPSシステム(定点保持)



AiP授与式の様子

出典: 上野トランステック株式会社HPより

洋上圧入輸送船に関する検討課題

液化CO₂輸送船(圧入Ready)においてAiP (Approval in Principle)取得の際に、審査会社であるClass NK(日本海事検定協会)より以下の検討課題を受けた為、①液化CO₂ドライアイス化の防止、②タンク鋼材の腐食について検証実験に取り組んでいる。

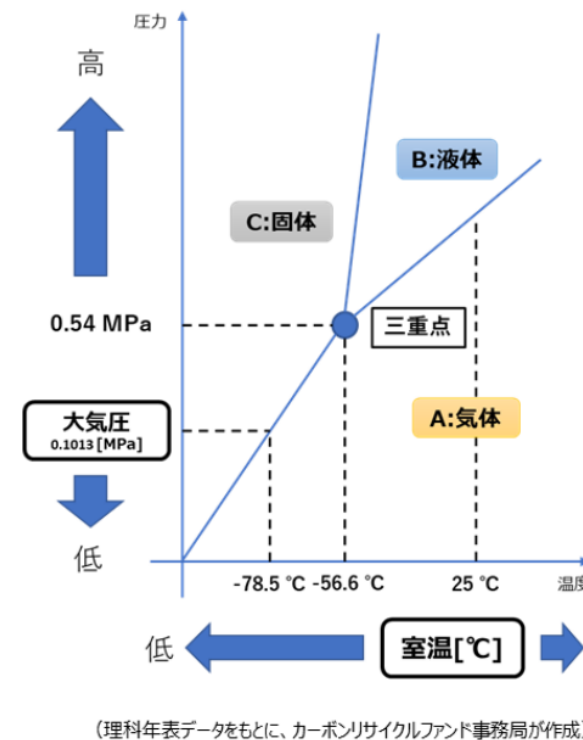
① 液化CO₂のドライアイス化の防止

圧縮された液化CO₂は、圧力や温度の変化によって容易にドライアイス化する。ドライアイスは安全弁等の配管を閉塞し、圧入作業が出来なくなり、洋上圧入船としての機能を失ってしまう。ドライアイス化の防止は重要課題の一つである。

液化CO₂の輸送時のドライアイス化を防止する為に温度や圧力の変化に伴う二酸化炭素の挙動の検証試験を進めている。

～本年度の取組～

本年度は、実オペレーションで想定される圧力及び温度変化に基づくドライアイス化防止の実験計画を策定する。



【A:気体】二酸化炭素 (炭酸ガス)

室温・大気圧下では化学的に非常に安定した状態にあり、主に炭素を含む物質の燃焼等によって生じる。

【B:液体】液化炭酸ガス

室温・大気圧下のCO₂に約6.4 MPa以上の圧力をかけると液化炭酸ガスとよばれる液体となる。パイプラインや高压ガストラックによって運ばれ、産業界で利用される。

【C:固体】ドライアイス

液化炭酸ガスを圧縮することによりできるドライアイスは、食品保存等に利用される。室温・大気圧下でドライアイスは液体になることなく気化(昇華)する。

二酸化炭素性状表

出典 左図：上野トランステック株式会社調べ
上図：理化年表データから一般社団法人カーボンサイクルファンド作成

洋上圧入輸送船に関する検討課題

②タンク鋼材の腐食

排出源から分離回収されたCO₂に含まれる不純物が、タンク鋼材に腐食を及ぼす可能性があることが知られている。

タンク材質には適正な鋼材を選定し、健全性を維持することが必要である。

～本年度の取組～

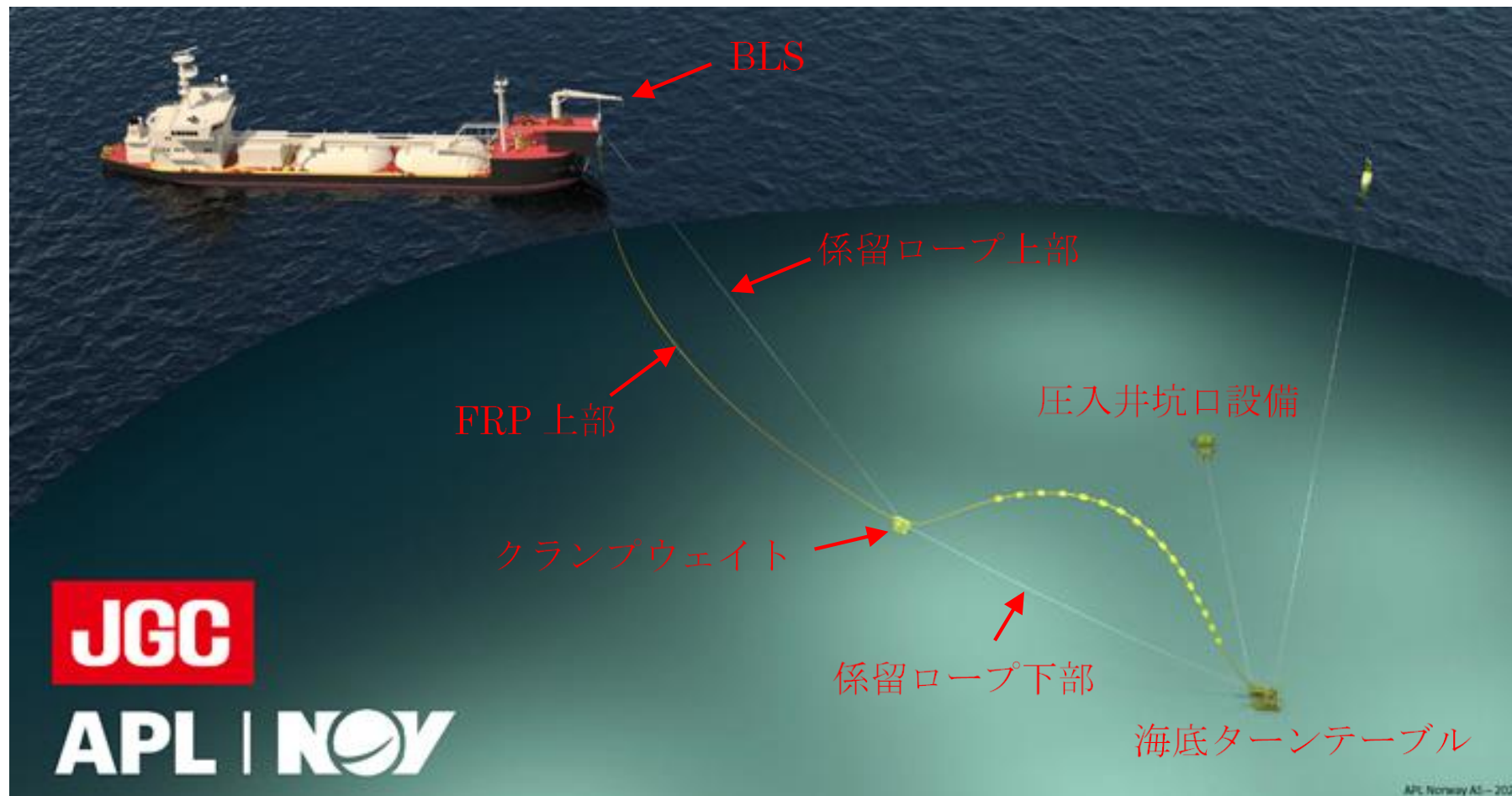
本年度は、液化CO₂によるタンクの腐食を確認する陸上試験機を製作し、液化CO₂の不純物の含有量による腐食の有無と進行を確認する。

洋上圧入の仕組み SAL (Single Anchor Loading System) 方式

SALシステム(Single Anchor Loading System)とは、タレット係留システムである。
主なシステム構成は、

- ・BLS(Bow Loading System)
- ・FRP(Flexible Riser Pipe)
- ・海底ターンテーブル

であり、洋上に浮体設備を持たない為、コンパクトな設計となる。
船に洋上圧入の装置を保有し、その装置にて圧入作業を行うシステムである。



SALシステム (Single Anchor Loading system)

出典：令和3年度環境配慮型CCUS一貫実証拠点・
サプライチェーン構築事業委託業務 事業検討会第一回

洋上圧入の仕組み ソケットSPAR方式(接続型洋上プラットフォーム)

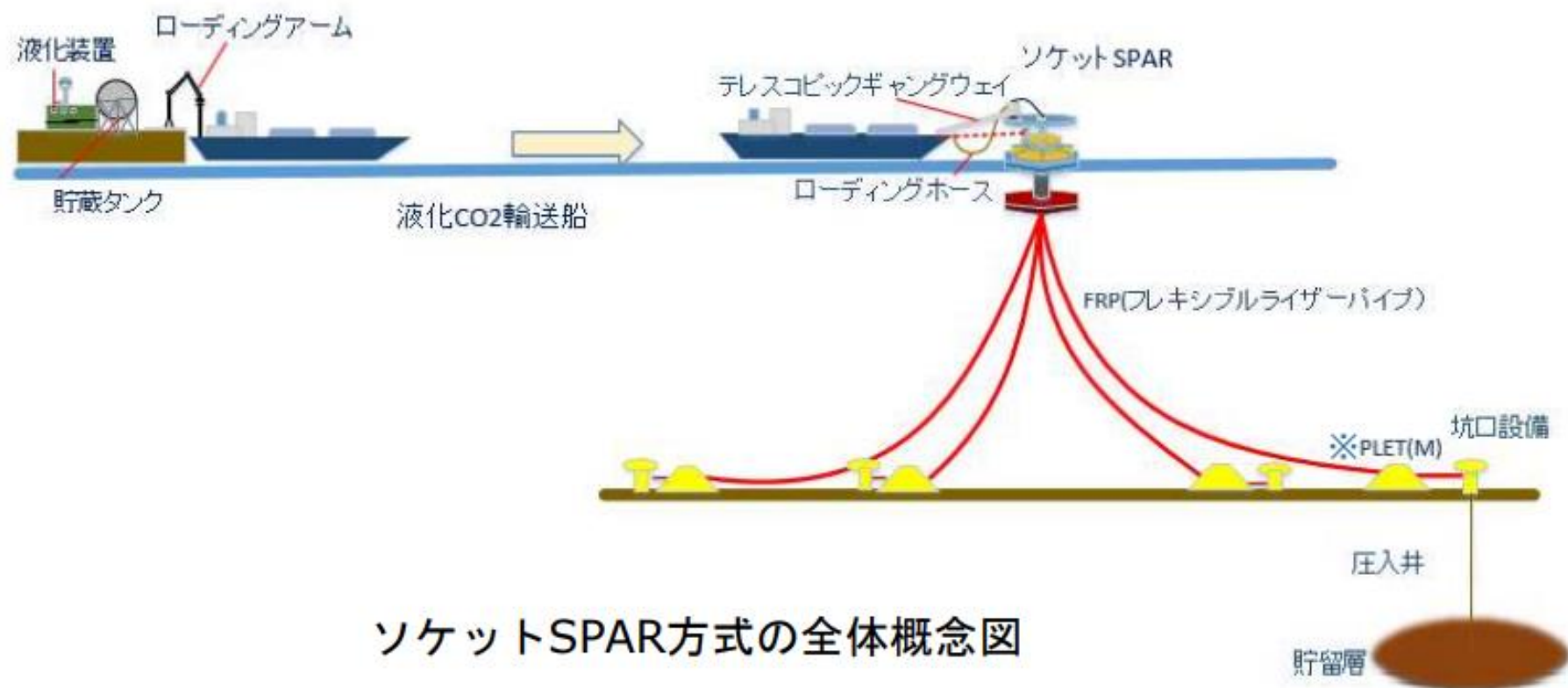
ソケットSPAR方式のシステム構成は、

- ・ソケットSPAR(圧入設備を備えた浮体設備)
- ・FRP(Flexible Riser Pipe)

となる。

洋上の浮体に圧入設備を設け、浮体からFRPを通じて海底下へ圧入する。

圧入の都度、FRPを拾い上げる必要がなく、船から浮体に要員が移乗し、圧入作業を行うシステムである。



出典：2021年3月31日 CCUSの早期社会実装会議（第3回）
環境配慮型CCS実証事業-輸送技術について-

※PLET(M)Pipe Line End Termination (Manifold)

SAL方式とソケットSPAR方式の比較

	SAL方式	ソケットSPAR方式
構成	BLS(Bow Loading System) FRP(Flexible Riser Pipe) 海底ターンテーブル	SPAR(圧入設備を備えた浮体設備) FRP
圧入方法	船上の圧入設備からBLSを通じて圧入する。	浮体に要員が移乗し、浮体上から圧入作業を行う
特徴	洋上に浮体等を持たない為、コンパクトな設計となる	圧入の都度、FRPを拾い上げ接続する必要が無い。
適用水深	50m～500mを想定	100m～800mを想定

SAL方式に関する成果

本事業での成果として、2022年11月、ノルウェーの認証機関DNV（ノルウェー船級協会）からAiP（Approval in Principle/基本設計承認）を取得した。

ソケットSPAR方式に関する成果

本事業の成果として、2023年2月、日本海事検定協会（Class NK）からソケットSPARのAiPを取得した。

液化CO₂ 圧入方式及び圧入設備（SPAR）に関する検討課題

- ① 輸送船舶からSPARへ液化CO₂をドライアイス化することなく、確実に移送するため（フローアシュアランスを確保するため）、試験による検証や対策の検討に取り組んでいる。

～本年度の取組～

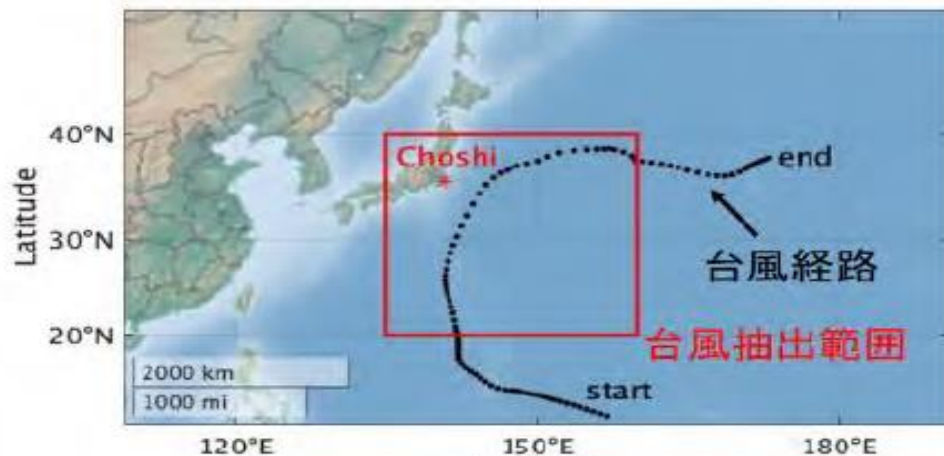
- ・ 船舶の揺動によって生じるホースの動揺の影響の検証
⇒現在、簡易配管を用いた揺動試験装置の設計を進めている。
- ・ 緊急時にローディングホースのカプラーを切り離す際のCO₂の挙動のシミュレーション
- ・ ローディングホース巻き取り時の液化CO₂残液量及び液抜きを検証準備

圧入輸送船の稼働率向上への検討と成果

洋上液化CO2輸送システムの構築

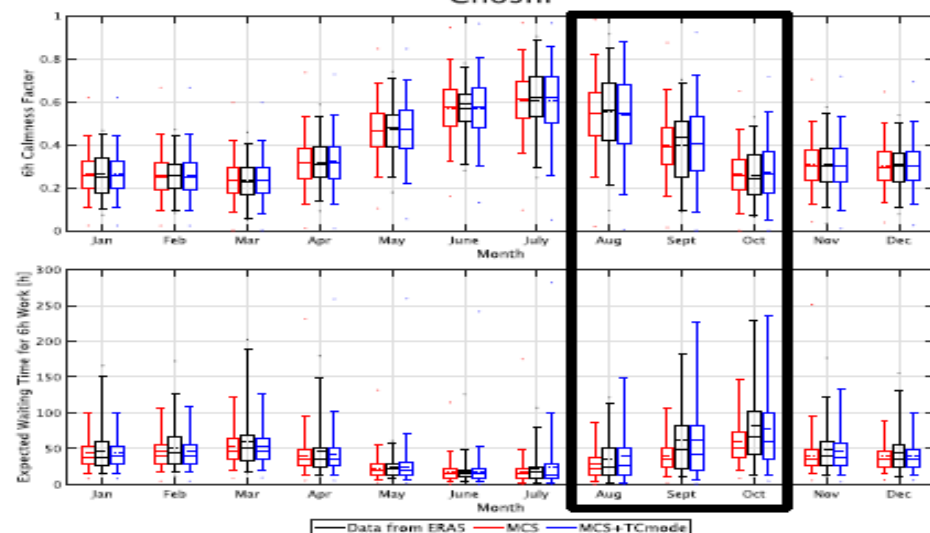
- ・令和4年度、気象海象モデルに台風影響を考慮した改良を行い、精度の向上を図った。
- ・令和5年度、気象海象モデルに天候予報データを取り込んだシミュレーションを行う。これと運航計画ツールを組み合わせ、輸送・圧入船の運航計画を策定する仕組みを構築する。

台風モデルを考慮した確率過程モデルの構築

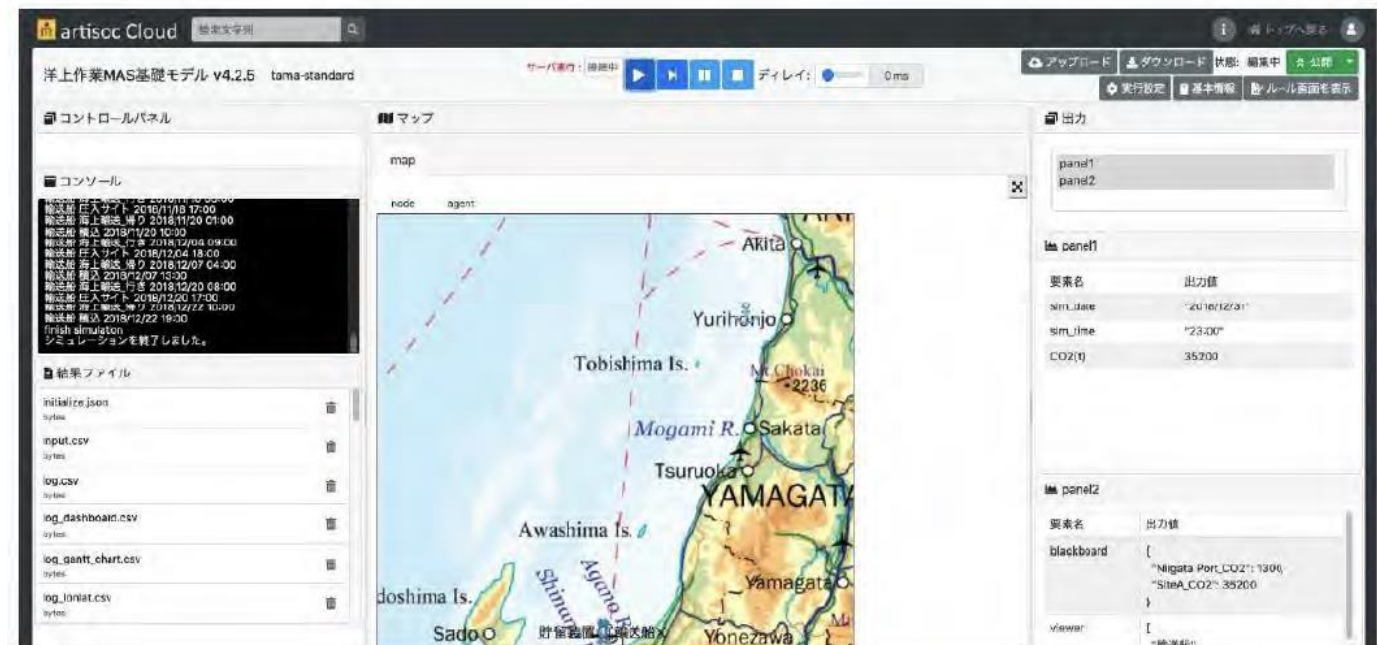


左：台風通過時に関する連続荒天のモデル表現

下：8,9,10月の海象表現精度の向上が確認された



令和5年度 天気予報データを利用したシミュレーション



天候予報情報を考慮した出航判断モデル
(例：予報情報の精度を考慮する)