

NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025

プログラムNo.3

CCUS研究開発・実証関連事業／苫小牧における
CCUS大規模実証試験／CO₂輸送に関する実証試験／
CO₂船舶輸送に関する技術開発および実証試験

発表：2025年7月16日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 福永 隆男

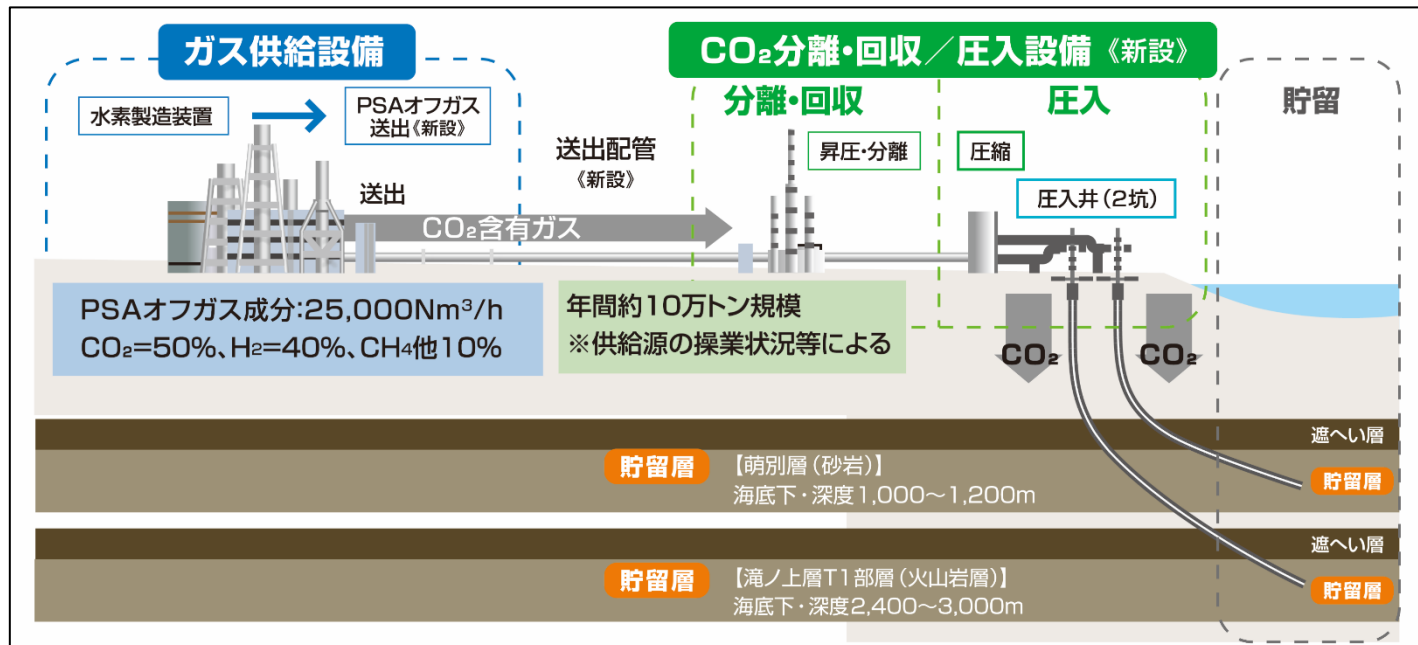
*団体名（企業・大学名など） 日本CCS調査(株)、(一財)エンジニアリング協会、日本ガスライン(株)、伊藤忠商事(株)、(株)商船三井、(株)関電パワーテック、(国)お茶水女子大学、川崎汽船(株)

問い合わせ先 日本CCS調査(株) 会社URL [日本CCS調査株式会社](#)

CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) 概要

工場や発電所などから排出される二酸化炭素 (CO₂) を含んだガスからCO₂を分離・回収して、地下深くの安定した地層の中に貯留する技術。CO₂の大気中への放出を大量に削減できるため、省エネルギー、再生可能エネルギーなどとともに、地球温暖化対策に貢献していくことが期待されている。

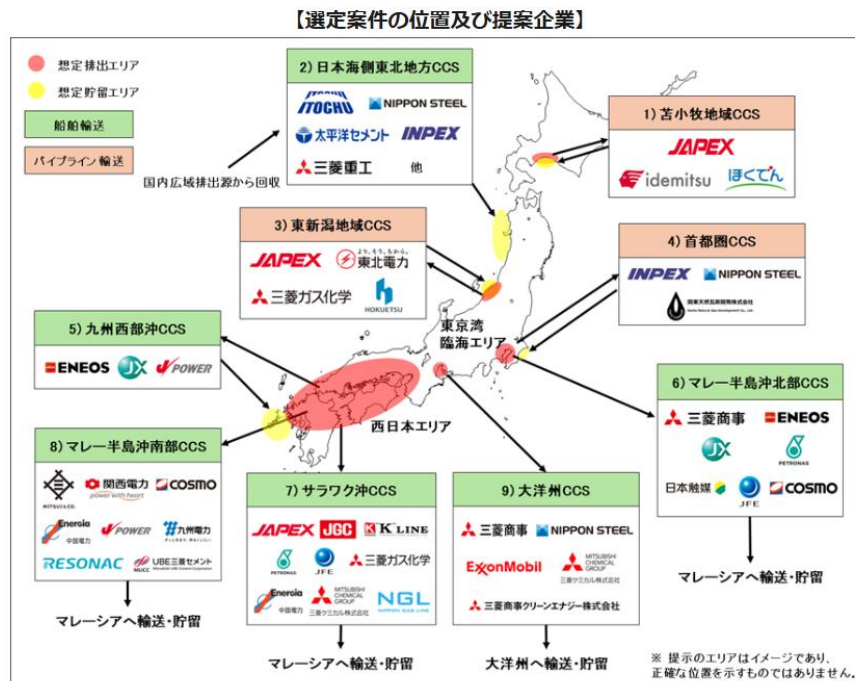
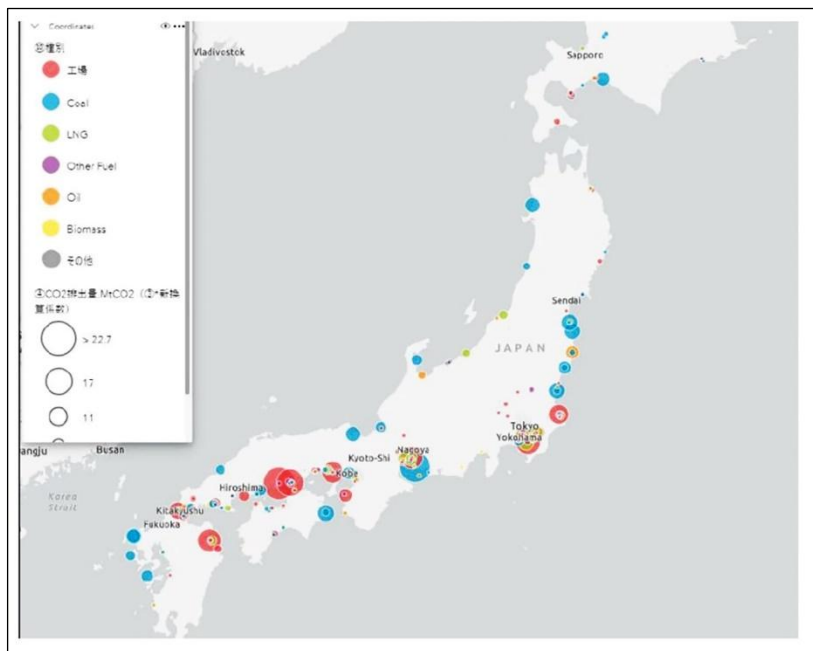
NEDO CCUS研究開発・実証関連事業
苫小牧におけるCCUS大規模実証試験



背景 (CO₂の排出源とCO₂の貯留候補地点)

- CO₂の大規模排出源は、太平洋側の沿岸域に多く立地するが、その近傍に貯留適地が存在するとは限らない。
- JOGMECの先進的CCS事業では、海外への輸送も想定されている。

【50万トン以上の排出源マップ (出典：RITE)】



(出典：JOGMEC)

背景（CO₂の輸送方法）

- CO₂の輸送方法は、タンクローリー、パイプライン、船舶などがあるが、距離や輸送量などの条件に応じて、最適な方法が選択される。
- 大量輸送で長距離（例えば200km以上）が見込まれる場合、船舶輸送の優位性が増す。



輸送方法	特徴
タンクローリー	<ul style="list-style-type: none"> ● 国内の液化CO₂タンクローリーの積載量は10t程度 ● 大量に輸送する場合、台数の確保や道路交通事情等の課題がある
パイプライン	<ul style="list-style-type: none"> ● 輸送量が多く、輸送距離が短～中距離程度の場合、最も低コスト ● 配送ルートが固定するため、柔軟運用にはパイプライン網拡充が不可欠 ● 土地の権利、渡河、起伏の多い地形に対する考慮が必要
船舶	<ul style="list-style-type: none"> ● 輸送量が多く、輸送距離が長い場合、最も低コスト ● 輸送距離の増加によるコスト増が少ない ● 輸送量や排出源・貯留地点の変更に対する柔軟性が高い ● 陸上に貯蔵設備が必要になる <p>※1000トンの隻規模の特定輸送用以外、船舶による大量一貫輸送の実績がない為、今後はCO₂輸送船の開発を含む技術開発の取り組みが必要となる。</p>

本事業の目的・実施体制

■ 目 的

工場等からの排出されたガスから分離・回収されたCO₂をCCUSを実施する地点へ、安全に低コストで大量に輸送する手段の一つとして、CO₂を最適な温度・圧力条件で液化、貯蔵、荷役、海上輸送する船舶一貫輸送システムの構築に必要な技術の研究開発・実証試験。

■ 実施体制 (2025年3月時点)

NEDO (国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構)

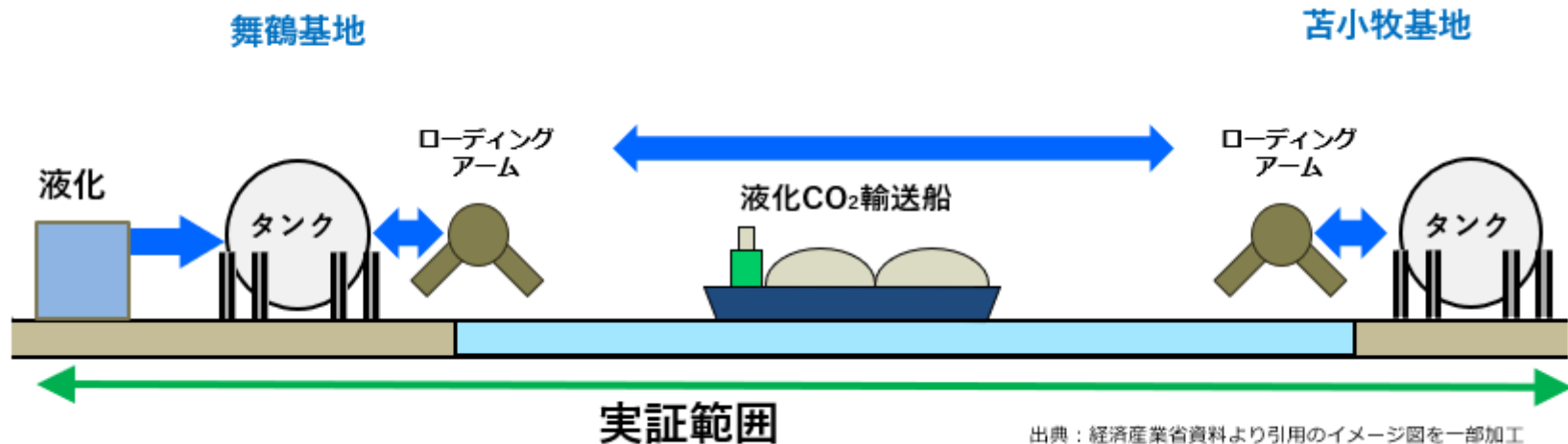
- 日本CCS調査株式会社 (JCCS)
 - ◆ 株式会社商船三井
 - ◆ 株式会社関電パワーテック
- 一般財団法人エンジニアリング協会 (ENAA)
 - ◆ 川崎汽船株式会社
 - ◆ 国立大学法人お茶の水女子大学
- 日本ガスライン株式会社 (NGL)
- 伊藤忠商事株式会社

◆ : 再委託先

NGL : ~2023.11 ENAAの再委託先、2023.11~委託先、日本製鉄 : 2023年度で終了

概要

本事業において開発したCO₂を輸送する船舶用カーゴタンクシステムが組み込まれた、液化CO₂輸送実証試験船「えくすくうる」に、さまざまな温度で液化したCO₂を積載するとともに、圧力などを含めタンク内の状態を変更し、京都府舞鶴市と北海道苫小牧市の陸上基地間を繰り返し輸送する。これにより、陸上基地の荷役設備や貯蔵用タンクの機能性も併せて評価し、船舶一貫輸送に最適なCO₂の輸送条件を特定することで、安全で低コストの大量輸送技術の開発を実施する。



実施項目・期間

■ 実施項目

担当社/協会	分類	実施項目（テーマ）
JCCS	①研究開発	CO ₂ 液化システムに関する技術開発（効率、コスト、自然冷媒）
		液化CO ₂ 大量貯蔵システムに関する技術開発
		大型液化CO ₂ 輸送船の概念設計（設計に必要な技術開発）
	②実証試験	舞鶴基地/苫小牧基地の陸上設備建設、実証試験の計画・実施
ENAA 2023.11～ NGL*1	①研究開発	CO ₂ 船舶輸送における安定性に関する研究開発および液化ガス兼用船の仕様検討、船用タンクシステムの研究開発
	②実証試験	船舶輸送の実証試験の計画・実施
	③事業化調査	液化CO ₂ の長距離・大量輸送に係る国際的なルール形成に向けた調査
伊藤忠商事	③事業化調査	国内のCO ₂ 排出源ならびに国内外のCO ₂ 輸送事業の動向調査、CO ₂ 輸送事業のビジネスモデルの検討
日本製鉄*2	③事業化調査	CO ₂ 輸送事業のビジネスモデルの検討（国内鉄鋼業）

*1 NGL：～2023.11 ENAAの再委託先、2023.11～委託先、*2 日本製鉄：2023年度で終了

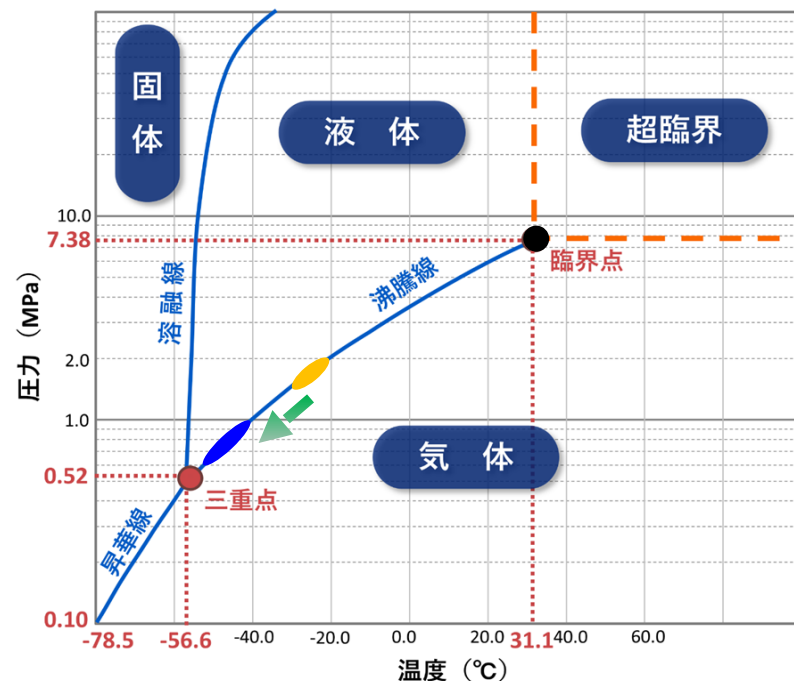
■ 期間 2021年6月～2027年3月（6年間）

技術開発のポイント（温度・圧力）

- 低コストかつ大量のCO₂輸送を実現するため、タンクの構造材料を薄くし大容量化が可能な低温・低圧とすることが望ましい。
- 低温・低圧にすると三重点に近くなり、操作上、安全上のリスクとなるドライアイス化が起こりうると懸念される。
- このリスクを適切に管理した低温・低圧での船舶による液化CO₂の輸送技術開発を行う。

CO₂の性状：「中温・中圧」「低温・低圧」

状態	温度・圧力	特記事項
● 中温・中圧	-30℃~-20℃ 1.5MPa ~2.0MPa	現在の液化CO ₂ 輸送・貯蔵条件
● 低温・低圧	-55℃~-40℃ 0.5MPa ~1.0MPa	大量輸送に期待される条件 CO ₂ の三重点に近い
● CO ₂ 三重点	-56.6℃ 0.52MPa	ドライアイス化が起きる条件



出典：CCSA-ZEP「Achieving a European market for CO₂ transport by ship January 2024 (P6)」
 (https://zeroemissionsplatform.eu/wp-content/uploads/ZEP_report_HD-1.pdf) を基に作成



(大型液化CO₂輸送船のイメージ図)

- 積載液化CO₂温度・圧力
カーゴタンク設計条件：-54.4℃・0.7MPaG
- 液化CO₂積載可能量
カーゴタンク合計容積：約64,000m³
- 主要寸法
総トン数：約66,100トン、全長：最大約235m
幅：最大約43m、喫水：最大約12.6m
- 液化CO₂タンク基数、タンク容量：タンク8基、約8,000m³/基



AiP証書

低温・低圧条件がコスト（建設費・操業費等）等に及ぼす影響例

- **メリット：タンクの大型化**

船舶：1隻当たりの輸送量増加

⇒ CO₂トン当たり輸送コスト削減（建設費・操業費）：必要船舶数・輸送用燃料等の削減

陸上：必要タンク基数減少

⇒ 建設費の削減、敷地面積の縮小、建設工期の短縮

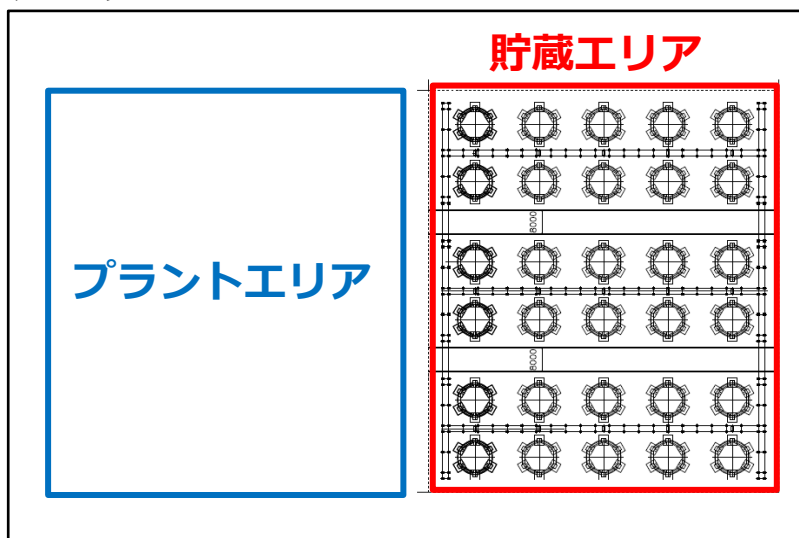
- **デメリット（陸上）：操業費（液化に係る電力消費量等）の増加** → 本実証試験にて緩和策を検討

液化CO₂製造・貯蔵設備：所用敷地面積の比較（イメージ）

船舶は20,000トンの内航船を想定し、陸上タンク容量を24,000トンとした場合

中温中圧条件

貯蔵タンク：800 t×30基必要



低温低圧条件

貯蔵タンク：12,000 t×2基で対応可能

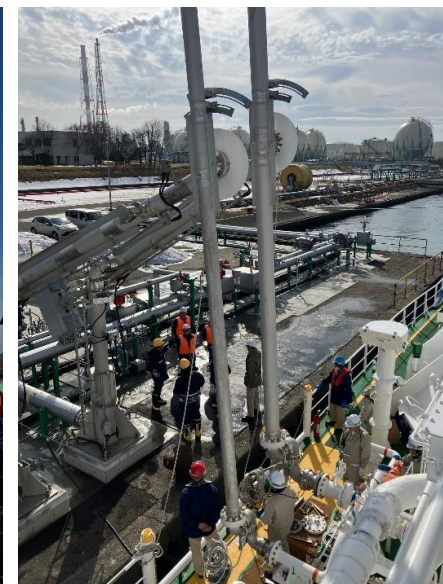


貯蔵エリア面積：約7割減
タンク鋼材重量：約5割減

■ 舞鶴基地



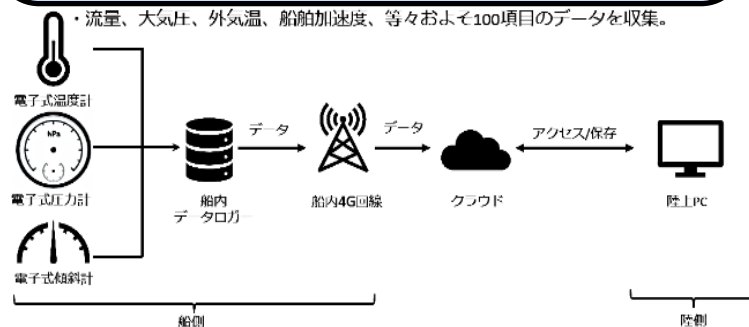
■ 苫小牧基地



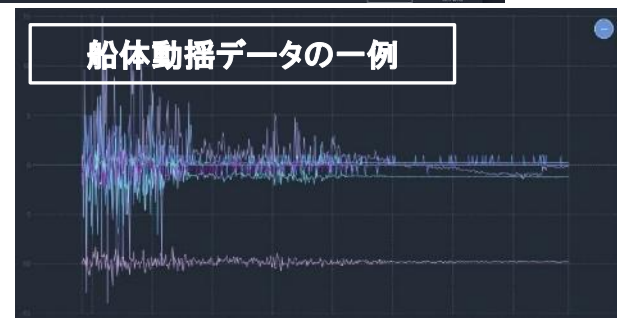
実証船 えくすくうる 船舶概要

竣工	2023年11月	タンク の 設 計 条 件	容量(m ³)	1,450	
船種	液化ガスばら積船		温度(°C)	-20	-50
船級	日本海事協会		圧力(MPaG)	1.9(安全弁設定圧)	
主要寸法	全長 約72.0m 船幅 約12.5m 喫水 約4.55m		液密度(kg/L)	1.030	1.154
貨物タンク	独立型 - type C				

船体各所に装備された多数の計測装置と新たに開発した専用アプリで、貨物の挙動を把握し、安全かつ最適な荷役・輸送技術の開発を目指す。



- ・ 低温低圧の液化CO₂を積載可能な世界初の実証試験船として2023年11月に竣工。
- ・ 日本ガスラインが裸傭船し、運航を開始した。
- ・ 2024年度前半は乗組員のトレーニングを中心に各種の実証試験を実施した。



提供：NEDO、山友汽船 撮影：日本CCS調査株式会社

Truck to Ship(TTS)

船陸訓練として本邦初のTruck to Ship方式での液化CO₂の荷役を実施

- 外部冷熱を用いない断熱膨張で温度を低下
- 船・陸・車で入念な訓練を実施
- 緊急時の放散手法も検討

<成果>

- -20℃から-35℃への断熱膨張での冷却に成功。数値の変化も計算通りであった。
- 事前に計画した手法通りに船陸で安全に荷役が実施できた。
- 揚荷役ではポンプなどの荷役機器の有用性も確認できた。
- 小規模に液化CO₂を輸送することにより、今後の実証実験が遂行できることを確認できた。



低温低圧の液化CO₂船として本邦初のドック

- タンクシステム計測機器の校正作業
- 長期耐久性確認のためゼロ点計測
- タンク内部ガス置換作業実施

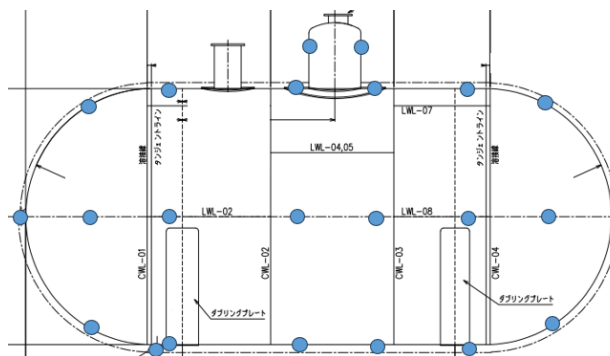
<成果>

- 計測装置も含めた膨大な機器校正も正確に実施できた。
- 板厚計測箇所が多く、難しい工事であったが、全箇所精密な計測が実施できた。
- 次年度以降、摩耗状況の確認をするため、今回の計測結果と比較していく。
- ドック前後に比重差を活かしてタンク内のガスを置換することに成功。
- 実証実験のみならず、液化CO₂船のドック工事により、造船所や船員、陸上運航担当者の知見を蓄積できた。今後も継続して知見を涵養していく。

<Dry-UP直後の本船>



<タンク板厚計測>



<タンク内を空気置換中>

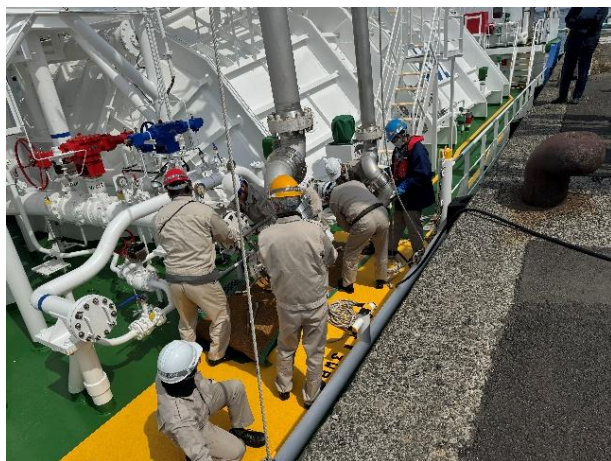


舞鶴・苫小牧の陸上基地が竣工、 -50°C 域の液化 CO_2 の連続的な輸送実証を開始
2024年11月末に舞鶴・苫小牧両基地が竣工し、船陸協力の下、低温低圧域である -50°C 域をターゲットに輸送実証を開始した。

<成果>

- 低温低圧域での液化 CO_2 の海上荷役は**世界初**であったが、 -50°C 域においてもドライアイス生成や異常な圧力上昇といったトラブルを起こさず、積地から揚地まで一連の輸送・荷役を安全に実施できた。
- 今後は、輸送数量の増加や温度・圧力・流速など様々な条件を変更し、データの蓄積やそれぞれの条件に応じた荷役・輸送技術の開発を目指す。

<ローディングアーム接続作業>



<舞鶴基地荷役中風景>

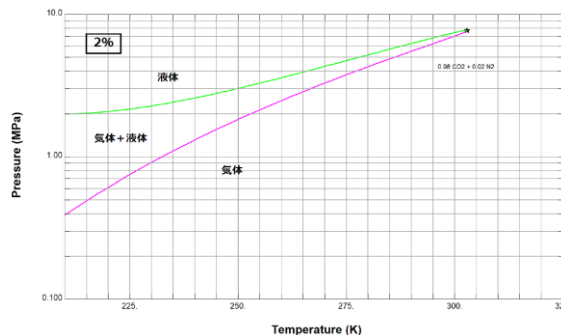
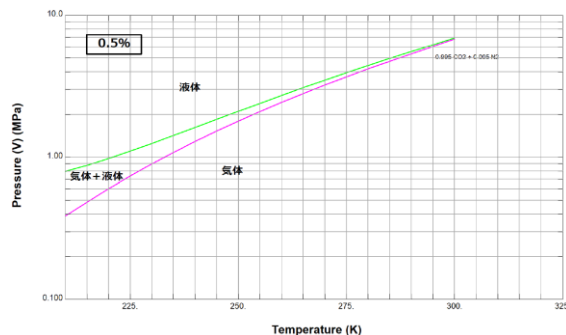


<苫小牧基地荷役中風景>

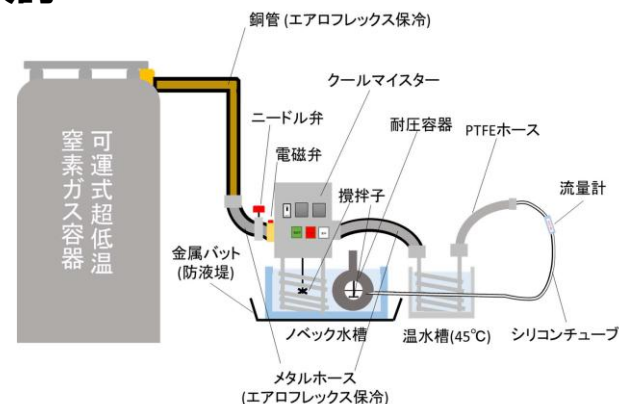


1. 相図の研究

- ・高純度CO₂、不純物含有CO₂（窒素等低沸点成分）の相図検討
- ・不純物含有CO₂では三重点温度・圧力の上昇を確認



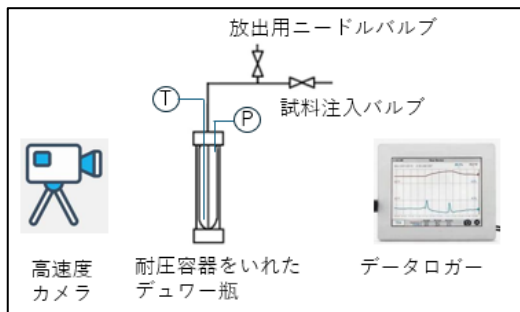
気液共存領域の不純物濃度依存性
(CO₂-N₂二成分系相図)



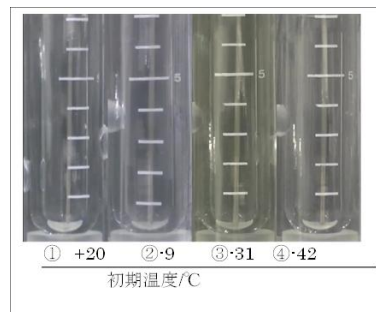
三重点測定装置

2. 減圧によるドライアイス生成メカニズムの研究

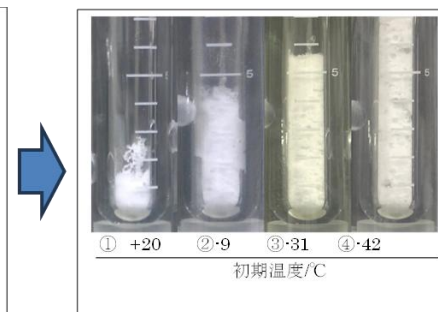
- ・LCO₂の減圧時の挙動を観測（急激な気化→温度低下→ドライアイス生成）
- ・LCO₂温度が低い程、ドライアイスの収率増（低温・低圧ほど、ドライアイス化し易い）



セル減圧実験装置



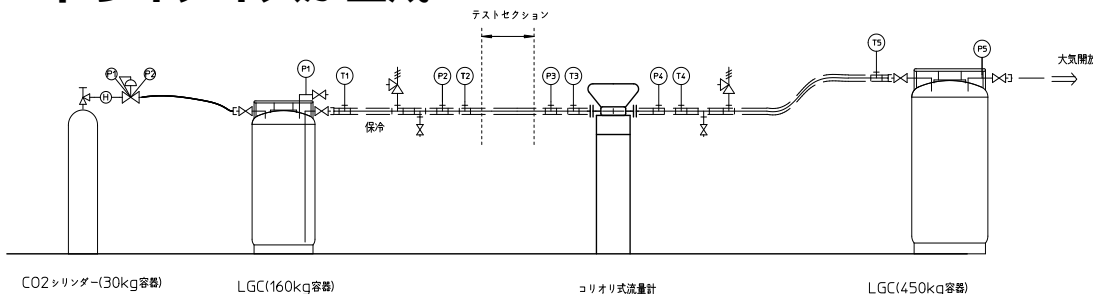
減圧前



減圧後のドライアイス化

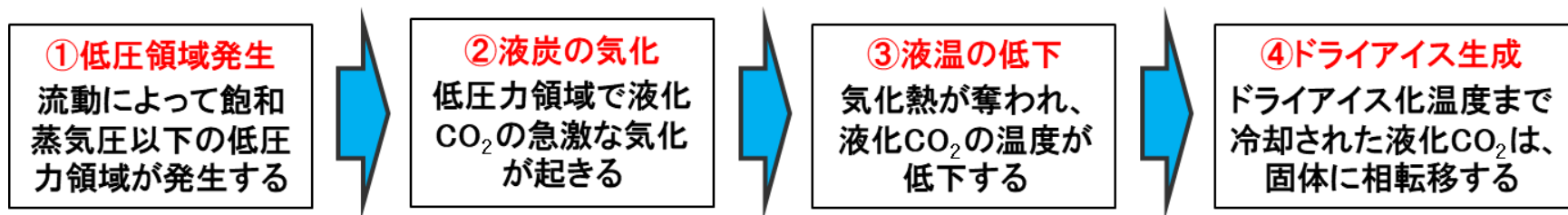
3. 流動によるドライアイス生成メカニズムの研究

- ・ 小型流動実験装置を製作
- ・ CFDでLCO₂の配管流動中の流速/圧力分布をシミュレーション
- ・ 圧力低下域が発生すると、LCO₂が気化、ドライアイスが生成



小型流動実験装置フローと写真（日本液炭提供）

<液化CO₂の流動時のドライアイス生成の推定メカニズム>



<実施内容>

- 2024年度は低温低圧、中温中圧双方の条件にて、積み地陸上設備費用（液化～貯蔵～積出）+ 船舶輸送費用（CAPEX+OPEX）を算出し、コスト比較を実施した。

変数	輸送量 (kt/年)	500, 1,000, 5,000, 10,000
	輸送距離 (km)	(内航) 100, 500, 1,000, 2,000, (外航) 5,000
	船型 (km ³)	5, 10, 25, 50 (※中温中圧の50km ³ は船型なし)
	船舶隻数	上記に準じた必要隻数を設定
主要情報源	船舶費用 (CAPEX)	GCCSI/ADVANCEMENTS IN CCS TECHNOLOGIES AND COSTS (Jan 2025)
	船舶費用 (OPEX)	2020年度NEDO事業報告書、他コンソ内確認、一般情報より
	陸上費 (CAPEX/OPEX)	低温低圧：2022年度本事業, 中温中圧：2020年度NEDO事業より

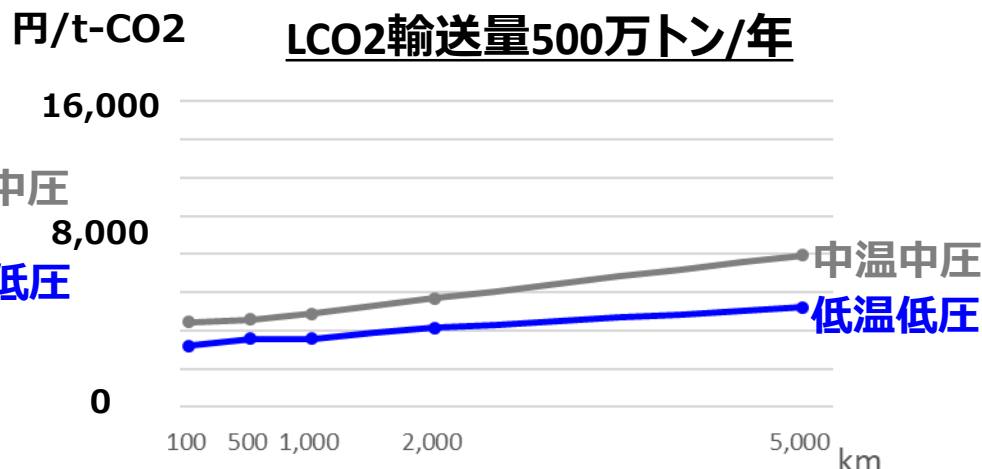
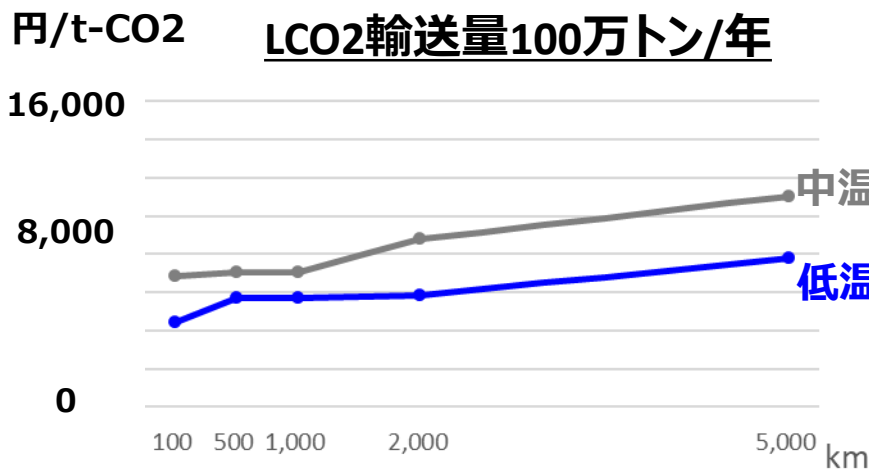
(※各種仮定のもと試算)

<実施結果・今後>

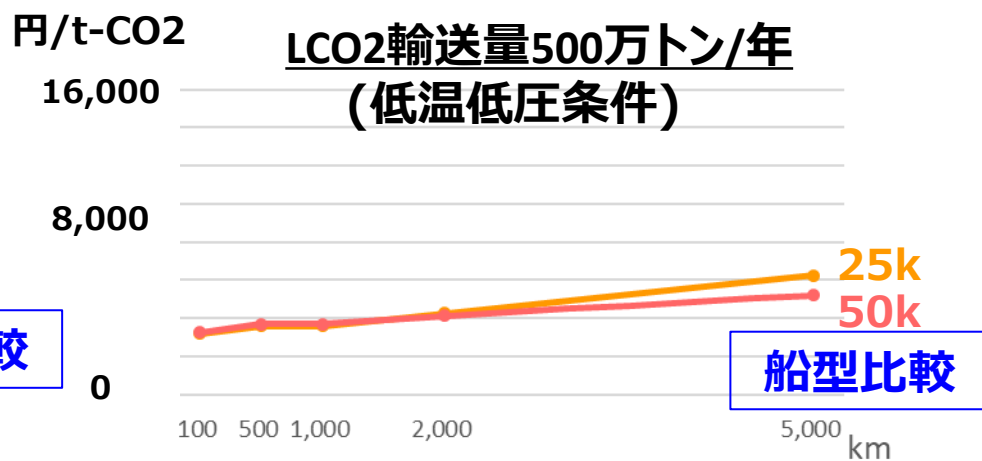
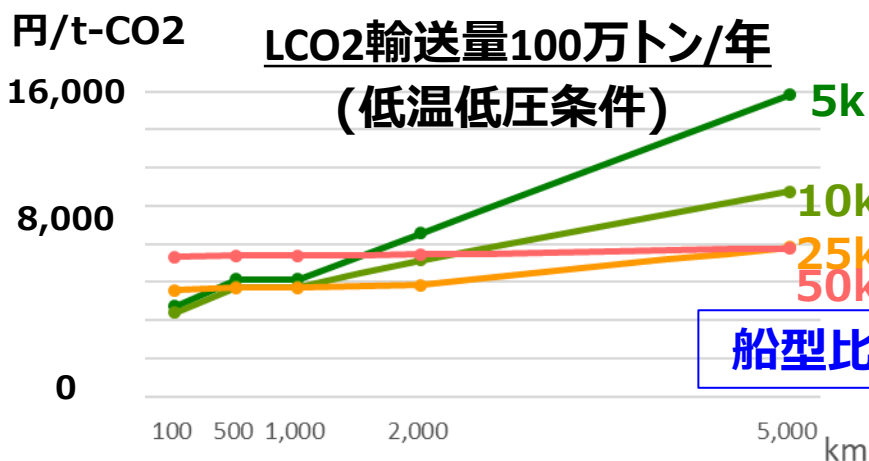
- LCO₂船舶輸送（液化～貯蔵～積出～輸送）について、当社比較条件において低温低圧条件は中温中圧条件より液化～輸送コスト(円/t-CO₂)が低いことが示された。
- 低温低圧条件について、当社条件においては大規模輸送かつ長距離の場合に大型船型のコストメリットが確認された。
- コスト試算結果については業界内ヒアリングを行い妥当性を確認した。
- 今後低温低圧条件にて、ハブ&クラスター方式、兼用船方式によるコスト削減を検討。

LCO₂船舶輸送コスト比較

■ 中温中圧条件と低温低圧条件との比較では、低温低圧条件にコスト優位性あり。



■ 低温低圧条件において、大規模輸送かつ長距離の場合に大型船型のコストメリットあり。



(※LCO₂輸送量100万トン/年、500万トン/年のデータを抜粋)