



CO₂ の船舶による大量輸送

森 義仁 Yoshihito MORI

CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) 技術の一環として CO₂ を輸送する船舶用カーゴタンクシステムの開発が行われ, CO₂ 実証試験船「えくすくうる」による実証試験運航が行われている。この事業は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) による事業であり, 本稿ではそれを取り囲む状況を解説する。我が国の CCS 展望は実証試験完了後, 事業展開のための環境整備に続き, 2030 年以降に本格的な事業開始, 2050 年時点で年間約 1.2~2.4 億トンの二酸化炭素貯留が期待される。

CO₂ 輸送実証試験船「えくすくうる」

図 1 は世界で最初の CO₂ 輸送実証試験船であり, 船名を「えくすくうる」と命名された。本船は, 全長 72.0 m, 全幅 12.5 m, 重量 1290 トン, タンク容量 1450 m³ 液化 CO₂ を輸送する実証船で, 三菱重工株式会社下関造船所で 2023 年 11 月 28 日に竣工された¹⁾。CO₂ カーゴタンク (液体貨物を積載する専用のタンク) システムとしては, 中温・中圧 (-20 °C, 2 MPa など) から低温・低圧 (-50 °C, 0.6 MPa など) までの液化 CO₂ を積載可能である。運航は日本ガスライン株式会社 (NGL) が担当し, 試験運行後に, CO₂ の液化・貯蔵・荷役および船舶輸送プロセスについての試験が, 京都府舞鶴市と北海道苫小牧市の陸上基地間で航行に伴い行われる¹⁾。

この CO₂ 輸送実証試験船の建造は, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) のプロジェクト事業に関わるものである²⁾。本稿では, 主に NEDO の公開資料を参考にして液化 CO₂ の船舶輸送を取り囲む状況を解説する。当該事業は, 2021 年 6 月 21 日, 事業件名「CCUS (carbon dioxide capture, utilization and storage) 研究開発・実証関連事業/苫小牧に

もり・よしひと

お茶の水女子大学基幹研究院 教授
〔経歴〕 1983 年徳島大学薬学部卒, 88 年北海道大学大学院薬学研究科博士後期課程修了, 薬学博士。同年富山医科薬科大学附属病院薬剤師, 89 年分子科学研究所技官, 94 年名古屋工業大学助手, 98 年お茶の水女子大学助教授, 2014 年より現職。
〔専門〕 非平衡系科学。
E-mail: mori.yoshihito@ocha.ac.jp



図 1 CO₂ 輸送実証試験船「えくすくうる」

おける CCUS 大規模実証試験/CO₂ 輸送に関する実証試験, 採択テーマは「CO₂ 船舶輸送に関する実証試験の研究開発」, 期間は 2021~2026 年度, 委託先に日本 CCS 調査株式会社 (JCCS), 一般財団法人エンジニアリング協会 (ENAA), 伊藤忠商事株式会社, 日本製鉄株式会社として採択決定された。

NEDO の 2021 年の報告資料²⁾では, 本プロジェクトの概要は, 2030 年頃の CCUS 社会実現に向けて年間 100 万トン規模の CO₂ 排出地点から貯留・利用地点への長距離・大量輸送と低コスト化につながる輸送基盤として, 液化 CO₂ の船舶輸送技術を確認するための研究開発および年間 1 万トン規模の CO₂ 船舶輸送実証試験および関連調査を行うものとされている²⁾。

2025 年 3 月時点での実施体制は, 委託先に JCCS, ENAA, NGL, 伊藤忠商事株式会社, 再委託先として, JCCS が委託元の株式会社商船三井, 会社関電パワーテック, ENAA が委託元の川崎汽船株式会社, 国立大

学法人お茶の水女子大学である。プロジェクトにおける役割分担として、JCCSは、研究開発として、CO₂液化システムに関する技術開発（効率・経費等）および本プロジェクトの実証試験を参照した大型液化CO₂輸送船の概念設計、実証試験として舞鶴基地と苫小牧基地の陸上設備建設等、ENAAは、研究開発として、CO₂船舶輸送における安定性に関する基礎研究等、NGLは、研究開発として船舶用タンクシステムの研究開発、実証試験として船舶輸送の実証試験の計画と実施、伊藤忠商事は、事業化として、国内鉄鋼業に関連するCO₂輸送事業のビジネスモデルの検討を行う。

筆者は再委託先業務管理責任者として2021年度から、このNEDOプロジェクトに参加し、進行具合を知る機会を得た。CCUSまたはCCS（carbon dioxide capture and storage）については、経済産業省所管のNEDOや独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）の取り組みが進み、多くの資料が公開されていて、CCUSまたはCCSに関する取り組みが急速に展開されていることがわかる。

CCSと船舶輸送^{3, 4)}

発電所、セメント工場、製鉄所、化学工場などCO₂を含んだ排ガス源からのCO₂を有効利用（utilization）することがカーボンニュートラルの大きな目標である。そのためにはCO₂を分離・回収し、輸送、貯留を行う。そこではCCSが中核技術となる。貯留方法としては、その規模から地下貯留が期待されている。地下貯留では、50年を超える実績のある石油増産技術（enhanced oil recovery, EOR）が転用され、その貯留槽は地下約1000~3000mに位置し遮へい層により漏れ出さない仕組みが利用できる。これまで国内11地点160億トンの貯留容量が見込まれているが、CO₂の大規模排出源は太平洋側の沿岸域に多く立地し、その近傍に貯留適地が存在しないこともある。輸送手段としてタンクローリー、パイプライン、船舶があり、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。タンクローリーの場合には、国内の液化CO₂タンクローリーの積載量は10トン程度で、大量に輸送する場合に

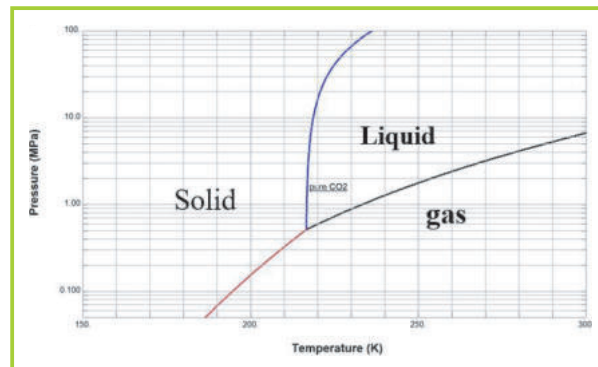


図2 CO₂相図

は台数の確保や交通事情等の課題がある。パイプラインの場合、輸送量が大きく、輸送距離200km以下の場合では経費が相対的に低くなるが、配送経路が固定されるため、柔軟な運用には多様なパイプライン経路を要請され、加えて、土地の権利や河川を越えることや土地の起伏への対応が必要になる。船舶の場合、輸送量が大きく、輸送距離が長く、試算によると200km以上の輸送距離になると、船舶輸送の優位が高くなり、輸送距離の増加による経費の増が相対的に大きくない。輸送量や排出源・貯留地点の変更に対する柔軟な対応が比較的容易であるが、陸上に貯蔵基地が必要になる。以上のことから各輸送方法に長短があるが、日本の産業構造を考慮すれば、CO₂排出は大容量・長距離の輸送において船舶輸送が大いに期待されている。

船舶輸送技術開発について関心が持たれているのは温度と圧力の選択である。図2は純粋なCO₂の相図である。-30~-20℃、1.5~2.0MPaの領域は、中温・中圧と呼ばれ、現在の液化CO₂の輸送・貯蔵の条件で、-55~-40℃、0.5~1.0MPaの領域は、低温・低圧と呼ばれ、大容量輸送時に期待される条件とされる。また、-56.6℃、0.52MPaは三重点である。低コストでかつ大容量CO₂輸送を実現するためにタンクの構造材料をなるべく薄くし、低温・低圧が要請されるが、この低温・低圧領域では固体つまりドライアイスの発生が予想され、この固体発生を適切に管理することが船舶輸送技術開発の大きな課題の1つとなる。

GHGT⁵⁾

液化CO₂の船舶輸送技術開発は日本だけではなく多くの国が関心を持っている。特に、ノルウェーは、日本に先駆けての船舶輸送の取り組みを始めている。ノルウェー政府の大型CCSプロジェクト「ロングシップ」のCO₂輸送・貯蔵部分を、民間会社イクイノール、シェル、トタルエナジーの3社による共同事業会社ノーザンライツが担っている。産業界の視点に立ったCO₂の諸課題を議論する会議体に Green House Gas Control Technology (GHGT) があり⁵⁾、2年に1回開催されている。本プロジェクトは2022年フランス・リヨンで開催されたGHGT-16で、日本の船舶輸送技術研究の途中経過と将来への展望の発表を申し込んだところ、口頭発表としての機会を与えられた⁶⁾。船舶輸送に関心を持つ多くの国は、ビジネス的視点から、船舶の大型化実現を視野に入れている。GHGT-16のスポンサーを見るとビジネス色が強い会議体であることがわかる(図3)。そのために、低温・低圧条件が要請され、同時に、固体発生、つまりドライアイス問題があることも共通の課題となっているが、多くの国からの発表内容に、ドライアイス問題を取り上げられておらず、日本からの発表演題が、「低温・低圧CO₂に関する非平衡状態でのドライアイスの動的挙動」であったことから、口頭発表として選ばれたと推測される。

大容量の船舶輸送では、低温・低圧における安全な液送操作の確立を目指す。そのとき、図2の相図が操作の指標とされ、誰もが認識しているところだが、陸上から船舶へ、さらに船舶内で配管を通じてタンクへと有限の時間内で、有限の大きさの圧力差で流れる非平衡状態で、図2が保証されているとは言いがたい。流体力学計算によると⁶⁾、狭路後方の流れにおいて、図4が示すように平均値圧より低い圧力部分が発生(赤が高圧側、青が低圧側)し、この低圧が固体発生を誘起することが予想される。このような非平衡状態における固体発生を念頭に置きながら、どのように液化CO₂液送を操作するのかについて、GHGT-16で、政府・企業との個別会議につながった。そこで、わかっ



図3 GHGT-16 スポンサー企業

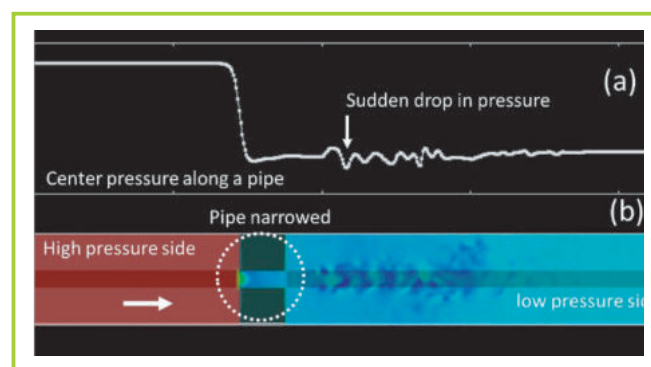


図4 狭路後方の流れの圧力高低差
(a) パイプ中心軸に沿った圧力変化、(b) パイプ中心平面での圧力分布。

たことは、工学的研究の報告はあっても、理学的な基礎研究が少ないということであった。本プロジェクトは、現在もこの点について研究を継続し、2024年のカナダ・カルガリーでのGHGT-17でも発表を行った。我が国のCCS展望は本プロジェクト実証試験完了後、事業展開のための環境整備に続き、2030年以降に本格的な事業開始、2050年時点で年間約1.2~2.4億トンの二酸化炭素貯留が期待される⁴⁾。

- 1) https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101705.html (2026年2月現在)
- 2) https://www.nedo.go.jp/koubo/EV3_100225.html (2026年2月現在)
- 3) <https://www.nedo.go.jp/content/800031421.pdf> (2026年2月現在)
- 4) <https://www.nedo.go.jp/content/800018001.pdf> (2026年2月現在)
- 5) <https://ghgt.info/> (2026年2月現在)
- 6) Y. Mori et al., Proceedings of the 16th Greenhouse Gas Control Technologies Conference (GHGT-16) Lyon France, 23-24 Oct. 2022.

© 2026 The Chemical Society of Japan