

液化 CO₂ 大量輸送に向けた輸送実証試験船 “えくすくうる”

Liquefied CO₂ Transport Vessel “EXCOOL”



三菱造船株式会社
営業部
マリンエンジニアリングセンター

カーボンニュートラル社会を実現するための有効な手段として、CO₂ を回収して転換利用や貯留を行う CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) が注目されている。CCUS のバリューチェーンを実現するためには、回収した CO₂ を貯留地まで輸送する手段が必要であるが、液化 CO₂ 輸送船は、安全かつ低コストな輸送手段として将来的な需要拡大が見込まれており、その技術確立が期待されている。

“えくすくうる” (以下、本船) 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 (以下、NEDO) の“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”に供する目的で、液化 CO₂ (LCO₂) / LPG 兼用輸送船として三菱重工業下関造船所にて建造された。2023 年 11 月に引渡し完了し、今後は上記 NEDO の実証試験に活用される。

1. 本船の特徴

1.1 主要目及び概略配置

本船の主要目及び概略配置図をそれぞれ表1、図1に示す。本船は船首楼、船尾楼付き加圧式液化ガスばら積船である。主船体はシングルボトム構造で2つの貨物ホールドを有しており、各ホールドに1基の横置円筒型の貨物タンクを搭載している。推進方式は1機1軸、可変ピッチプロペラを採用し、船首部には離着岸用のサイドスラスタを有している。航行区域は近海 (非国際) としており、実証試験海域の航行制限が少ない仕様となっている。また、主な航路が舞鶴-苫小牧間であることから寒冷地対策にも配慮がなされている。

表1 “えくすくうる”の主要目

全長	(m)	約 71.99
幅	(m)	12.50
深さ	(m)	5.50
満載喫水	(m)	4.60
総トン数		996
最大搭載人員	(名)	10
貨物タンク合計容積	(m ³)	約 1450
航海速力	(kn)	12.0
主機関最大出力	(kW)	1471

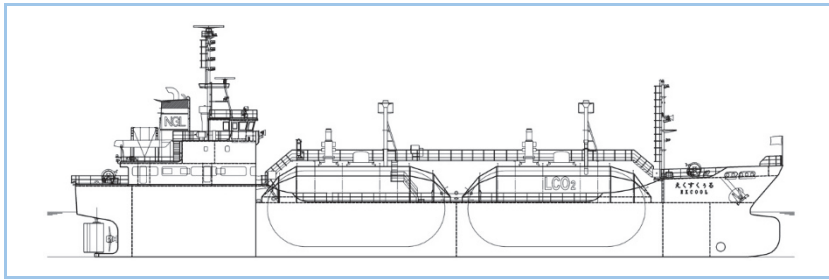


図1 概略配置図

1.2 CO₂の特徴と液化CO₂輸送船の要件

CO₂は常温・大気圧では空気より重く、無色無臭の気体である。これを船舶で輸送する際、液化して体積を減少させることが望ましいが、図2の状態図に示す通り、CO₂を液体状態に保つには低温かつ高い圧力を維持しなければならない。従って、海上輸送される液化CO₂の状態としては、温度を-55~-20℃程度、圧力を1.0弱~2.0MPaA程度の範囲内にする必要があり、これを格納するタンクは圧力容器であるとともに、高強度かつ低温特性に優れた材料が選定される必要がある。

また、海上輸送や荷役などにおいて、CO₂の圧力・温度が三重点を下回った場合、固化するすなわちドライアイスが生成されるリスクがあることから、液化CO₂輸送船ではこれらの要素にも十分に配慮して貨物タンクと貨物荷役設備を設計する必要がある。

一般にオペレーション中にドライアイスが生成されるリスクを低減するためには、比較的高い圧力を維持して図2に示すTriple Point(三重点)に対して十分なマージンを保つことが望ましいが、この場合、貨物タンクは相対的に高い圧力に耐える必要があり、構造強度的な観点からその大型化には限界がある。一方で輸送効率向上のためには、圧力条件を極力低く抑え、貨物タンクの容積を大きくすることが望まれる。このように、相反する二つの事象に対し注意深く配慮し、貨物タンク構造や荷役設備の設計を行い、荷役条件を設定することは液化CO₂船による安全かつ効率的な海上輸送を実現する上での重要な技術的ポイントとなる。

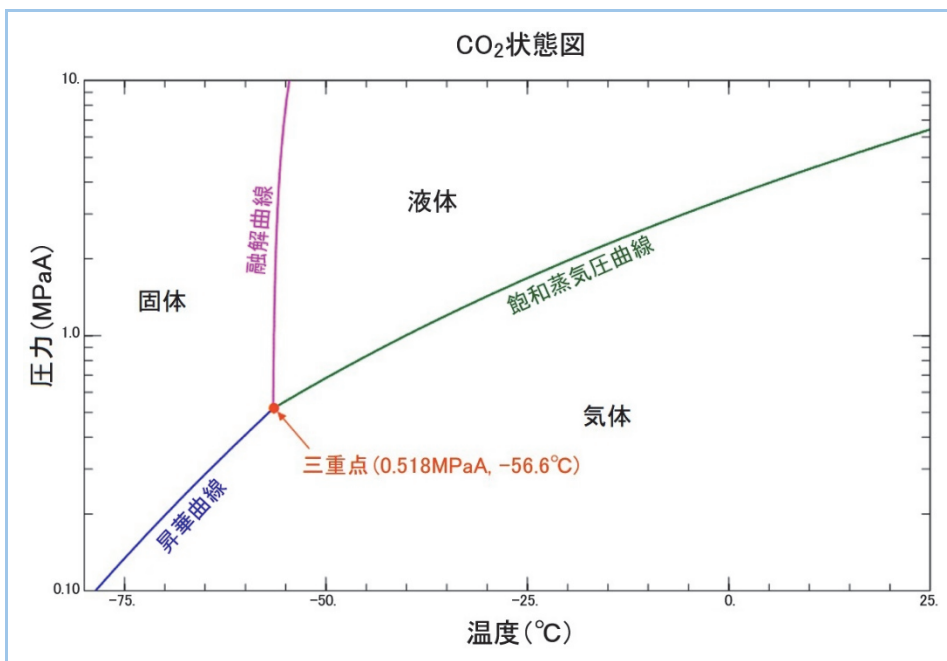


図2 CO₂状態図

1.3 貨物タンク

本船は、国際海事機関(IMO)の液化ガスばら積み船に関する規則(IGCコード)で規定される独立型タンクタイプC方式として、横置円筒型の貨物タンクを2基搭載している。液化CO₂/LPG

兼用輸送船として IGC コード及び船級協会の規則要件を満足させるべく、適切な貨物タンクの構造設計及び材料の選択がなされているほか、船体の動揺周期とタンク内液体自由表面の固有周期が同調したときに生じるスロッシング現象に対して、CFD (Computational Fluid Dynamics) 計算による詳細な流体荷重の算定と、タンク構造の FEA (Finite Element Analysis) による強度評価を行い、必要な対策を講じている。図3に CFD 解析によるタンク内液化 CO₂ の流動の一例を示す。

また、貨物ホールドは前後 2 つに区画され、タンクカバーは No.1 及び No.2 貨物タンク上にそれぞれ独立して配置しているが、貨物タンクとタンクカバーのクリアランスを最小化し、タンク容積を最大化するべく、タンクカバーの構造補強部材はホールド外側に配置している。この対策により、総トン数 996 トンに対し、2 タンクの全容積として約 1450m³を確保している。

さらに、貨物タンクには低温の液化 CO₂ を格納するため、タンク外面をウレタンフォーム材の防熱材で覆い、外部からの侵入熱を抑制している。図4に貨物タンクの外観を示す。

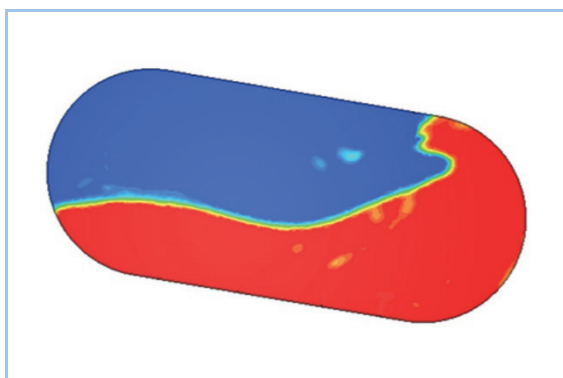


図3 CFD 解析によるタンク内 LCO₂ の流動



図4 貨物タンク

1.4 貨物荷役設備

本船の荷役設備は、船陸間の貨物荷役時の接続部であるマニホールドを 2 タンクの間となる船体中央部両舷に設置し、各タンクは貨物ポンプ、配管、計装及びタンク内アクセス用マンホールのためのタンクドームを有している。荷役用の貨物ガス圧縮機は船首楼甲板下の貨物ガス圧縮機室に 2 台設置した。

これらの貨物荷役設備については、各種貨物条件により異なる温度/密度への対応や、オペレーション中の圧力/温度変化による液化 CO₂ の状態変化にも十分留意した上で、液化 CO₂/LPG 兼用輸送船としての機器類の選定や配管の設計を実施した。

また CO₂ を船上で安全に扱うために、三菱重工グループ内の有識者が集まり、リスク評価を繰り返すなどして必要な安全対策を講じている。本船引渡し前には、IGC コードで要求されるガストライアル(貨物液を用いた試験)を実施し、貨物タンクや貨物荷役設備の性能を確認した。

2. 今後の展開

日本政府の削減目標である 2050 年にカーボンニュートラルを達成するためには CCUS の社会実装が重要とされており、排出源で分離・回収した CO₂ を貯留地まで安全、安価、大量に輸送する手段となる液化 CO₂ 輸送船は、将来的な需要拡大が見込まれている。

三菱造船株式会社は、目指す成長戦略“海洋 Future Stream”において、“海の脱炭素化”に取り組んでおり、その一環として、液化 CO₂ 輸送船に搭載する貨物タンクや貨物荷役設備などで構成される“LCO₂ ハンドリングシステム”の製品化を積極的に推進している。このような活動を通じて、今後も海洋システムインテグレーターとして脱炭素化社会の実現に貢献していく。