

船上CO₂回収装置の開発

— 洋上用CO₂回収装置実証プロジェクト“CC-Ocean Project” —

川又 伸一*, 渡辺 祐輔*, 雲石 隆司*

1. はじめに

脱炭素化の世界的な機運が高まる中、IMOでは国際海運分野からのGHG排出量を2050年に半減(2008年比)させ、今世紀中早期にゼロとすることを旨とする「GHG削減戦略」が採択され、更なる削減加速も議論されている。GHG削減策としては化石燃料から合成燃料、水素、アンモニアなどの代替燃料への転換が検討されている。一方、船舶から排出されるCO₂を船上で分離・回収し、CO₂貯留地に半永久的に貯留することや転換利用することもGHG削減策の候補の一つと考えられている。

三菱造船株式会社(以下、三菱造船)は三菱重工グループの描くエナジートランジション戦略の一環として船舶が排出するCO₂を削減すべく船上CO₂回収装置の開発にも取り組んでいる。この最新の取り組みとして国土交通省支援のもと、川崎汽船株式会社(以下、川崎汽船)、一般財団法人日本海事協会(以下、日本海事協会)と共同で実施した、洋上用CO₂回収装置実証プロジェクト(Carbon Capture on the Ocean Project: CC-Ocean Project)について紹介する。

2. CC-Ocean Project概要

本プロジェクトは洋上におけるCO₂回収技術の検証と船用化要件の整理のため、世界に先駆けてCO₂回収小型デモプラント(以下、デモプラント)を川崎汽船運航の石炭運搬船“CORONA UTILITY”(以下、本船)に搭載し、商用運航条件で実証試験を実施したものである。

プロジェクト実施期間は2カ年であり、日本海事協会によるデモプラントのHAZID(潜在危険および想定災害についての同定評価)実施後に、デモプラントを製作し本船に搭載、2021年8月より実証試験を開始し、約6カ月間の洋上環境下における運転と性能確認を行うための計測を実施した。

本船に搭載したデモプラントは化学吸収法を採用した陸上プラント排ガス処理用のCO₂回収装置をベースに船舶特有の船体動揺・振動などに対する対策を織り込んで船用化し製造したものである。デモプ

ラントのイメージ図を図1に示す。



図1 デモプラントのイメージ図

3. CO₂回収システム概要

図2に船用機関排ガスからのCO₂回収プロセスフローを示す。デモプラントは、排ガス冷却塔、吸収塔、排ガス洗浄塔、再生塔の主に4塔から構成される。船用機関から排出された排ガスは、煙突出口の排ガス管より一部分岐させた配管よりブローにて吸引し、デモプラントに供給される。デモプラントに供給された排ガスは、排ガス冷却塔に送られ、排ガス冷却塔内で上部より散布した清水により常温近くまで冷却される。尚、当該清水は系内を循環しており海水と熱交換することで排ガスより得た熱を除去する。

排ガス冷却塔を出た排ガスは、吸収塔に送られ、吸収塔内で上部より散布した吸収液と接触することにより排ガス中のCO₂が吸収液に吸収される。

吸収塔を出た排ガスは、排ガス洗浄塔に送られ、排ガス洗浄塔内で上部より散布した清水により排ガスに含まれるCO₂吸収液が洗い流される。

排ガス洗浄塔を出たCO₂の少ないクリーンな排ガスは、煙突近傍まで導設した配管を通り大気に放出される。

CO₂を吸収した吸収液は、吸収塔下部から再生塔に送られ、蒸気により加熱されることでCO₂を放出し、再生された吸収液は吸収塔に戻り再利用される。

* 三菱造船株式会社

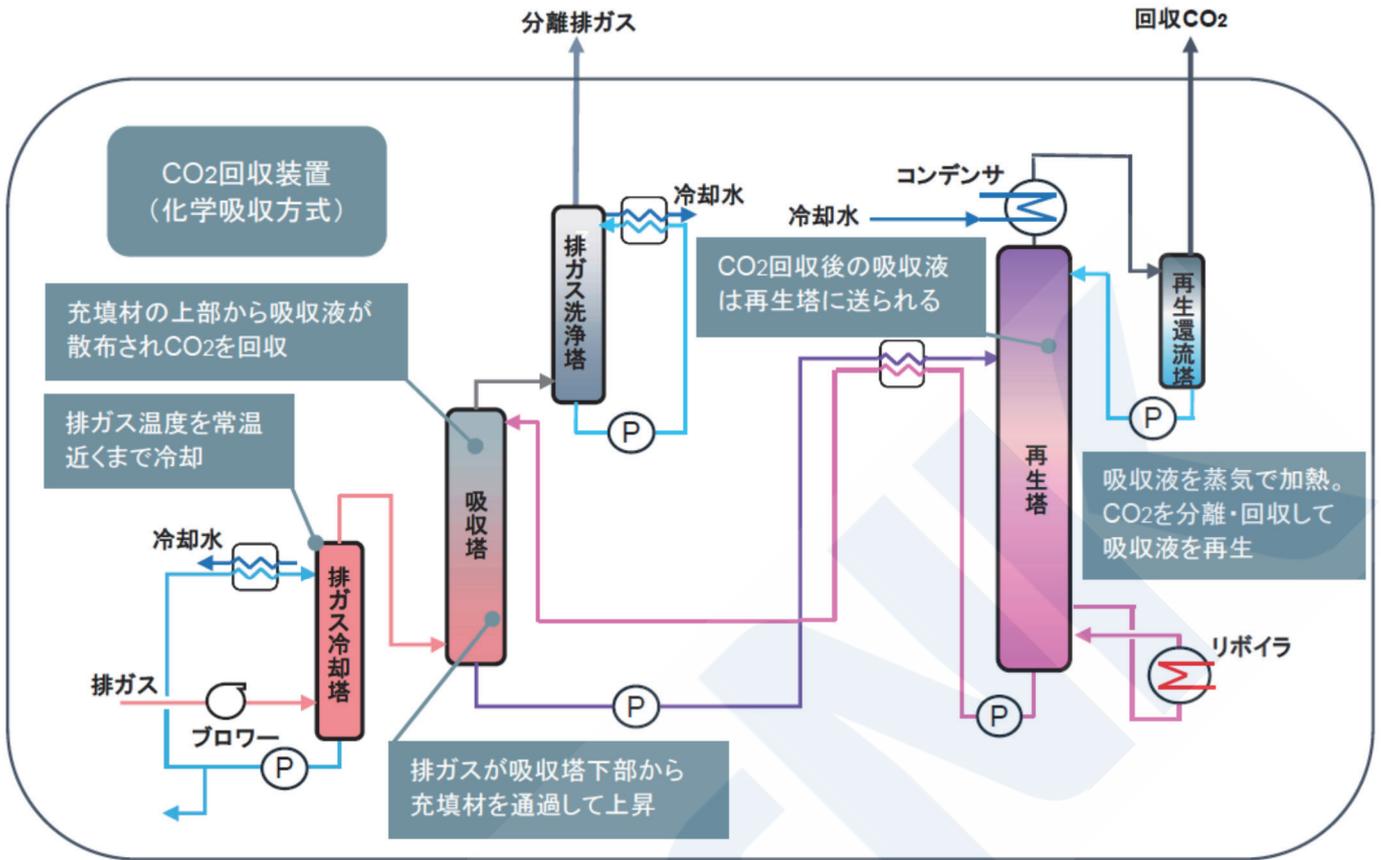


図2 CO₂回収プロセスフロー

尚、前述の通り本プロジェクトでは、洋上でのCO₂回収技術の検証を目的としているため、回収したCO₂の液化装置、貯蔵タンクは装備しておらず、再生塔で回収したCO₂は、性状分析後に大気開放とした。

4. デモプラントのHAZID

4.1 HAZID実施手順

デモプラントで実施したHAZIDの手順を以下に示す。

- ①日本海事協会が主にCO₂回収システムの安全性に関するレビューを、川崎汽船が主にデモプラントのオペレーションに関するレビューを行い、リスクを洗い出す。
- ②洗い出したリスクに対し、システムの故障モードと原因、その故障が及ぼす影響（局所的な影響とシステム全体に及ぶ影響）を分析する。
- ③リスクが発生した場合の人間や船舶への影響の深刻度と頻度を指標で数値化しリスクを評価する。
- ④リスク低減対策を立案し、デモプラントの設計・製造や運転要領書、CO₂吸収液の取扱要領書にフィードバックする。

- ⑤リスク低減対策実施後のリスクを再評価し、リスクが許容可能なレベルであることを確認する。

4.2 リスクおよびリスク低減対策

HAZIDで洗い出した主要なリスクおよびリスク低減対策を表1に示す。

表1 主要なリスクおよびリスク低減対策

リスク	リスク低減対策
CO ₂ 吸収液の漏洩	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂吸収液システムの配管継手部に飛散防止処置を実施する。 ・デモプラント起動前、運転中、停止後にCO₂吸収液の漏洩が無いことを目視で確認する。 ・デモプラント室の入口に注意銘板（「入室時は薬液漏れ等の異常が無いことを確認」）を設置する。 ・デモプラントからCO₂吸収液が漏洩した場合でも船外漏洩しない対策を実施する。 ・運転要領書に、入室時のCO₂吸収液の漏れ確認、漏洩時の処置要領を追記する。

リスク	リスク低減対策
CO ₂ 吸収液の取り扱いミス	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂吸収液の取り扱い時は保護具を着用する。 ・CO₂吸収液は補給タンクの液位を目視で確認しながら補給する。 ・デモプラント設置場所真下にある非常用発電機起動中の振動や船体動揺により、CO₂吸収の補給が困難な場合は補給しない。
排ガス、CO ₂ の漏洩	<ul style="list-style-type: none"> ・デモプラント室に入る際またはデモプラントの起動前に排気ファンを運転する。 ・排気ファンの発停スイッチは区画外部に設置する。 ・デモプラント室の入口に注意銘板（「入室の際またはデモプラント起動前の排気ファン運転」）を設置する。 ・運転要領書に、上記排気ファンの運転要領を追記する。

5. 搭載工事

5.1 搭載船概要

デモプラントを搭載した本船概要を以下に示す。

船名：CORONA UTILITY

船種：88,000トン型 石炭専用船

船の寸法：全長 229.98m，型幅 38m，型深 19.9m

竣工：2016年1月

船籍：日本

5.2 搭載工事概要

搭載工事は三菱重工業 横浜製作所の岸壁にて実施した。図3に搭載工事のイメージ図を示す。

Engine Casing横に張り出しデッキを追設し、その上に設けた独立の部屋（以下、デモプラント室）内にデモプラントを設置した。

電力炭運搬に従事している本船は、揚荷後、積地へ向かう途中で搭載工事を実施する必要があるため、横浜製作所の岸壁の空き状況と本船運航スケジュールを綿密に調整しながら工事のタイミングを決定した。

また、工期を短縮すべく横浜製作所での搭載工事前に以下の準備を実施し、計画通り短期間で搭載工事を完了した。

- ・デモプラントへ接続する配管や電線工事，デモプラント室搭載に伴う船殻補強などは中国ドックで実施した。
- ・デモプラント室は内部の艙装品を含め事前に陸上で製作しておき，本船着岸後に当該室を一括搭載した。

- ・デモプラント室搭載にあたり必要となるJG証書，船級証書の書換えによる改測等諸検査は，同室搭載前に陸上で事前に実施した。
- 図4～6に搭載工事の様子を示す。

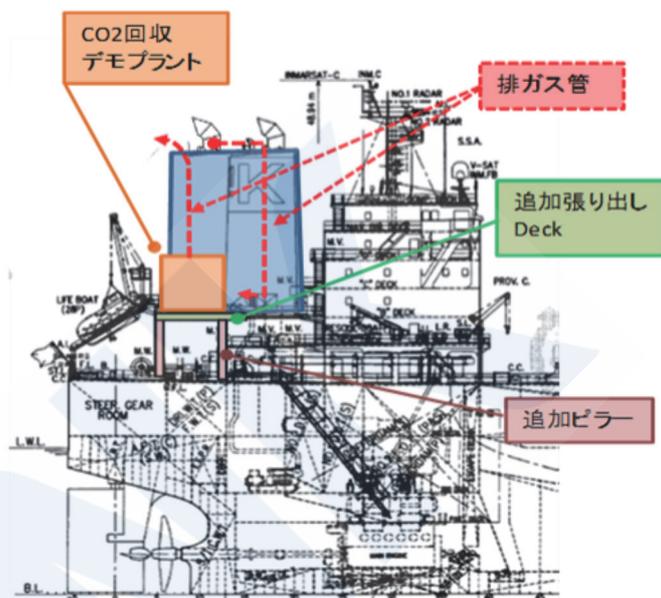


図3 搭載工事のイメージ図



図4 デモプラント室搭載中の様子



図5 デモプラント室搭載中の様子



図6 本船に搭載完了したデモプラント室

6. 実証試験

6.1 試験概要

実証試験は、日本とオーストラリア、カナダ、ロシア間の航路で実施した。デモプラントを本船に搭載後、三菱造船技師が約1カ月間乗船し、同プラントの運転、メンテナンス、乗組員への操作指導、排ガスおよび分離・回収したCO₂の計測などを実施した。

三菱造船技師による試験終了後も乗組員が引き続き同プラントの運転、計測、メンテナンスなどを約5カ月間実施した。この実証試験期間中、デモプラントの運転要領書は実運転に即して乗組員によりアップデートが続けられ、現場でのノウハウが詰め込まれた貴重なマニュアルへと昇華していき確実なオペレーションのためのバイブルとなった。このようにして乗組員が商用運航中にCO₂回収を行う世界初の試みは成功裏に完結した。

実証試験における各種計測はデモプラントの運転が定常状態になってから開始し、入口排ガス組成、出口排ガス組成、回収CO₂ガス組成をそれぞれ計測した。船上で分析ができない項目については、サン

プリングのみ行い、陸上に持ち帰って分析した。

一方、本船上で取得した運転データは直ちに陸上に転送され三菱造船側で種々解析し、デモプラントの調整やCO₂吸収液の追加補充などのアドバイスを本船に連絡することで乗組員による実証試験をサポートした。このような船陸通信の要領や運転データの確認・乗組員へのサポート体制を川崎汽船、本船と実証試験開始前に取り決めていたことも実証試験が成功した要因の一つと考えられる。

図7～10に実証試験の様子を示す。



図7 デモプラント操作中の様子



図8 本船乗組員への操作指導



図9 船用機関より排出される排ガスの計測



図10 本船乗組員によるデモプラントの運転

6.2 検証項目

実証試験での主要な検証項目を以下に示す。

- ①デモプラントのCO₂回収性能
- ②機関負荷変動，船体動揺がCO₂回収性能に及ぼす影響

6.3 試験結果

6.3.1 デモプラントのCO₂回収性能

実証試験では計画通りのCO₂回収量，CO₂回収率，回収CO₂純度を達成し，陸上で実績のあるCO₂回収技術が洋上で適用可能であることを実証した。回収CO₂純度に関しては99.9%以上を達成した。陸上プラントの場合，純度が99.9%以上の回収CO₂は肥料・メタノール増産といった化学用途，冷却用ドライアイスなどの一般用途，原油増産を目的としたEOR（Enhanced Oil Recovery）用途など多岐にわ

たって活用されているが，今回の実証試験において，そのような高純度のCO₂を回収することに成功した。

6.3.2 機関負荷変動，船体動揺がCO₂回収性能に及ぼす影響

実証試験期間中，主機負荷は概ね40%～70%で変動していたが，デモプラント入口排ガスのCO₂濃度はほとんど変化が無かったため，CO₂回収性能への影響はほとんど見られなかった。また，実証試験期間中の船体動揺に対してもCO₂回収性能への影響はほとんど見られなかった。

7. まとめと今後の展望

船舶からのCO₂回収技術の取り組みとして，CC-Ocean Projectの概要，検証項目，実証試験結果について紹介した。

今後は実証試験で得られた知見と技術課題を踏まえ，未検討の液化・船上貯蔵も含めたトータルシステムの開発を進めると共に，船用化・コンパクト化・コストダウンなどを実現し製品化へ向けた取り組みを進めていく。

前述の通り，三菱重工グループはエナジートランジションの事業強化に戦略的に取り組んでおり，CO₂エコシステムの構築はその中の柱の一つである。CO₂を回収して貯留や転換利用するCCUSは，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なる。三菱造船では，パリ協定の発効により世界的に脱炭素化への意識が高まる中，船舶のみならず洋上設備からのGHG排出削減についても継続して取り組むことで，世界規模でのカーボンニュートラル社会の実現に貢献していく。

謝辞

本実証試験は，国土交通省海事局の補助事業である「海洋資源開発関連技術高度化研究開発事業」の支援を受けて実現したものであり，実証試験の機会を与えて頂いたことに御礼申し上げます。また，HAZIDを中心にご助言頂いた日本海事協会，実証試験をリードしていただいた川崎汽船，ケイラインローローバルクシップマネジメント株式会社，「CORONA UTILITY」の乗組員の方々に改めて御礼申し上げます。