

三菱重工業のCO₂回収技術

—これまでの実績と船舶への適用—

仙波 範明*, 米川 隆仁**

1. はじめに

2023年7月、国際海事機関（以下、IMO）は“GHG 削減戦略”を大幅に見直し、2050年の目標をこれまでの50%から強化しネットゼロとした¹⁾。

海運は、いわゆるhard to abateセクターと呼ばれ脱炭素化が容易ではない分野であるが、一方で海運の温室効果ガス（GHG）排出量は、総排出量の約3%を占めており無視することはできない。

当社は、1990年から関西電力株式会社（以下、関西電力）と共同で燃焼排ガスからのCO₂回収技術の開発に着手し、1999年マレーシア向けに初の商用機を納入して以降、2025年8月現在、合計18基のCO₂回収装置が世界各地で稼働している。当社CO₂回収装置は、重油、石炭、天然ガスといった広範囲な燃焼排ガスを対象とし、回収したCO₂の用途は肥料・メタノール増産といった化学用途、冷却用ドライアイス等の一般用途、原油増産を目的としたEO（Enhanced Oil Recovery）用途など多岐にわたっている。米国Petra Nova社に納入したCO₂回収装置は、世界最大のCO₂回収量（4776トン／日）を有し、2016年12月末より商業運転が行われている。当社はCO₂回収装置の更なる信頼性・経済性向上を最大のテーマに掲げ、現在も積極的に研究開発を推進している。

2. 当社の実証試験／商用機納入実績

当社は、関西電力と共同でCO₂回収技術を開発し、独自のアミン吸収液KS-1TMを用いたCO₂回収プロセスKM CDR ProcessTMを商業化している²⁾。このプロセスの特徴は、対象ガスに含まれるCO₂を90%以上回収（純度99.9%以上）することができ、さらに独自の省エネ再生システムにより蒸気消費量の低減を実現していることである。図1に当社CO₂回収装置の概略フローを示す。

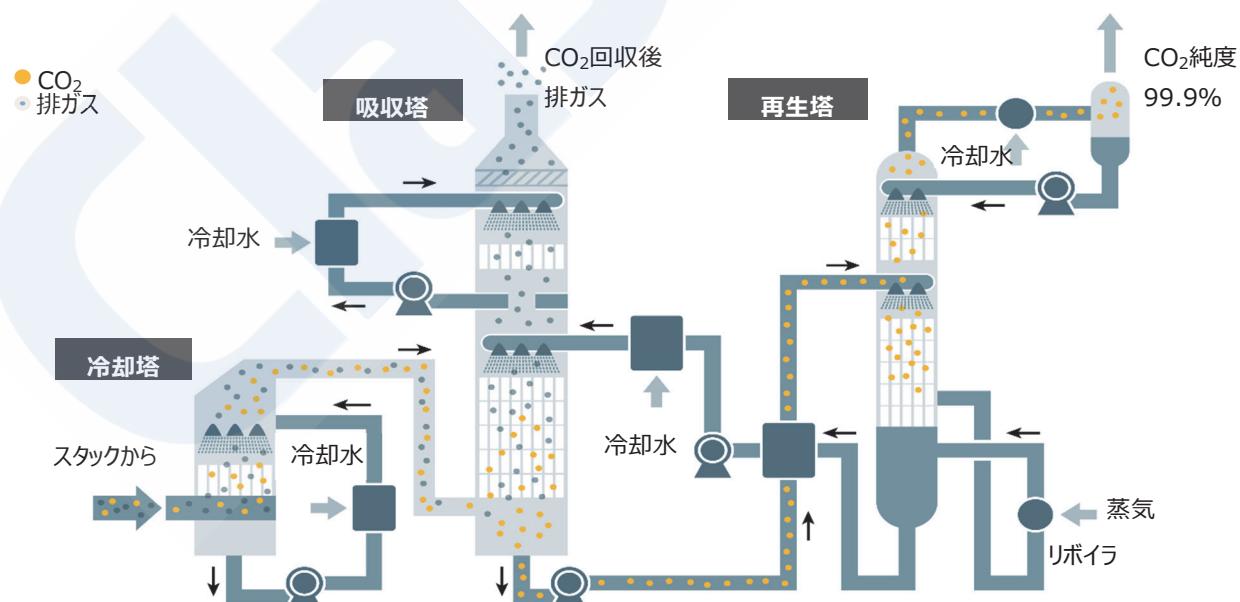


図1 当社CO₂回収プロセス (KM CDR ProcessTM)

* 三菱重工業株式会社 総合研究所エコシステム研究推進室

** 三菱重工業株式会社 GXセグメントCCUS技術開発部

CO₂を含む排ガスは冷却塔に送られ冷却された後、冷却塔後流に設置されたブロワにより、吸收塔に送られる。吸收塔に送られた排ガスは、吸收塔下部で当社が関西電力と共同開発したアルカリ性の吸收液と接触し、CO₂が吸收液に吸収される。CO₂が吸収された後の排ガスはクリーンな排ガスとして、大気に放出される。一方、CO₂を多く含む吸收液は再生塔に送られ、蒸気により加熱することでCO₂を放出し、吸收液は再生される。この再生プロセスに当社が開発した最新の省エネプロセスを採用することで、大幅な蒸気使用量の低減が可能である。また、再生した吸收液は吸收塔に戻し、再利用される。

JX石油開発株式会社（現：ENEOS Xplora）及び米国独立系発電事業者のNRGエナジー社が共同で推進している大型原油増進回収（EOR）プロジェクト（2022年以降はJX石油開発が100%出資）向けに、世界最大となるCO₂回収装置（4776トン／日）を納入し、2016年12月末に商業運転が開始された。プラント概要を表1に、完成写真を図2に示す。発電出力240MWに相当する排ガスから回収したCO₂は、CO₂圧縮機により圧縮された後、約130kmのパイプラインを通じて油田に輸送・圧入される。これにより、油田の生産量は従来の約300バレル／日から大きく増産される見込みであり、2017年10月時点での約4000バレル／日の生産量が確認されている³⁾。

表1 米国テキサス州EORプロジェクト向けプラント概要

項目	内容
プラント場所	Thompsons（米国テキサス州）
ガス源	NRG WA Parish 発電所 610MW 石炭火力発電設備
プロセス	KM CDR Process™
吸収液	アミン吸収液KS-1™
プラント規模	240MW相当
CO ₂ 回収率	90%
CO ₂ 回収量	4776トン／日



図2 米国テキサス州EORプロジェクト向けプラント外観

このCO₂回収装置及び周辺設備のシステム構成を図3に示す。CO₂回収装置の運転に必要な電気及び蒸気は、付帯するガスタービン及び廃熱回収ボイラから供給されており、既設発電設備の出力を低下させることなくCO₂回収を行うことが可能である。また、CO₂圧縮機は、世界最大級の8段ギアドコンプレッサ（三菱重工コンプレッサ株式会社製）を採用し、CO₂圧縮工程には、パイプライン輸送時の水分濃度規定をクリアするため、脱水機を設置している。

石炭火力発電所では、日々の電力需要に応じて運転負荷が調整される。ボイラの運転状態は常時変化し、それに伴い燃焼排ガス中のCO₂濃度などのガス性状や排ガス流量が変動する。そのため、当社では、ボイラの運転状態に追従するCO₂回収装置の自動負荷追従システムを開発した。このシステムの導入により、CO₂回収装置の最適運転維持及び運転人員の負荷低減を達成した⁴⁾。

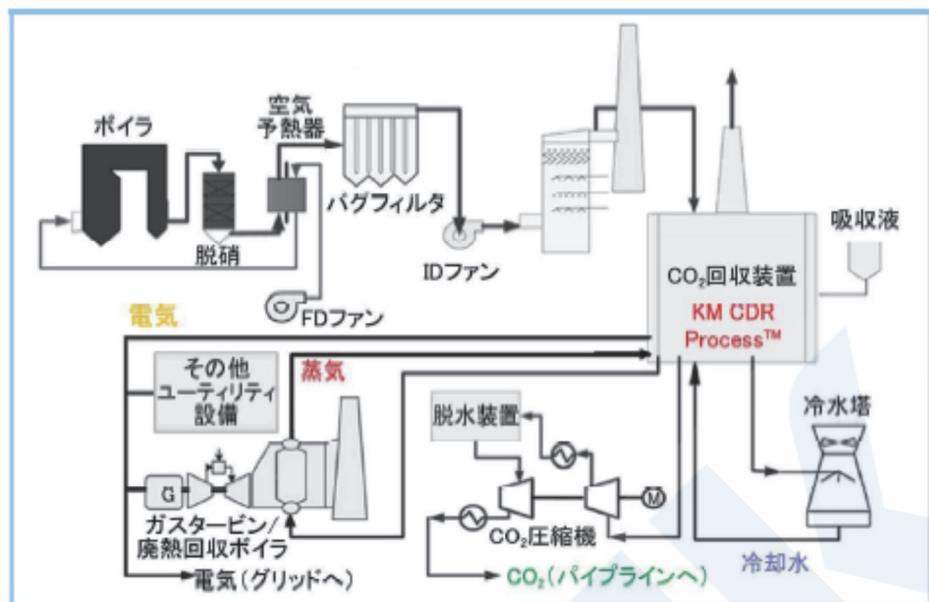


図3 米国テキサス州EORプロジェクト向けCO₂回収装置および周辺設備のシステム構成

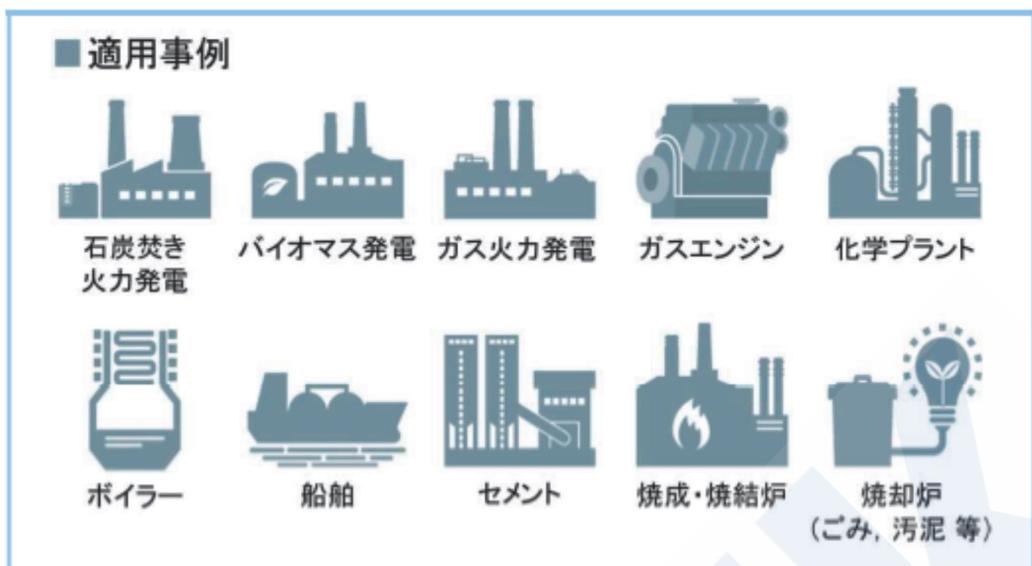
3. 小型CO₂回収装置の特徴

当社では、石炭火力発電所や化学プラントに対して、独自のCO₂回収プロセスKM CDR Process™を納入してきた。これまで納入してきた装置規模はおおよそ500t·CO₂/日以上である。この技術をベースに、同時並行的なCO₂削減を実現すべく、また小規模CO₂発生源での削減ニーズに対応すべく、小型のCO₂回収装置の開発を進めている。CO₂回収のベースとなるプロセスは大型機と同様であるが、小型装置で求められる特徴としては、以下の項目が挙げられる。

- (1) 設置対象排出源の数が多い。
- (2) 設置面積が限られている場合が多い。
- (3) 専任の運転人員を置くことが難しい。

多くの問合せに対応するため、従来の大型機とは異なり、客先仕様ごとの都度設計ではなく、標準設計を採用した。また、モジュール化によるコンパクトな設計を実現し、より小さな面積で設置できる装置とした。モジュール化の効果として、現地工事が減少し、運転開始時期を早めることができる。また、工事用の資材置き場等が不要となる。運転人員については、自動運転及び遠隔監視システムを搭載することにより、専任の運転人員を設ける必要なく、運用可能な装置とした。

また、今まで納入してきた火力発電所や化学プラントだけでなく、今後CO₂削減への取組みが加速すると思われるバイオマス発電所、セメント工場、製鉄工場、ガスエンジン、ごみ焼却炉等様々な産業分野への適用が期待される（図4）⁵⁾。

図4 小型CO₂回収装置の適用事例

4. 船上CO₂回収装置の開発

また、当社では、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。この最新の取組みとして、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）と共に実施した、船上CO₂回収装置の実証プロジェクト（“CC-Ocean (Carbon Capture on the Ocean)”）について紹介する⁶⁾。

本プロジェクトは洋上におけるCO₂回収技術の検証と舶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、供試船）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評価と装置・システムの安全性評価の後にデモプラントを製作し供試船に搭載、約6カ月間の洋上環境下での運転と性能確認計測を実施した。供試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上搭載へ転用したものである（図5）。



図5 供試船“CORONA UTILITY”およびデモプラント（白色コンテナ部）

本実証試験において、CO₂回収量、CO₂回収率、回収CO₂純度は計画値以上の性能を達成するとともに、供試船乗組員にて装置の操作・整備を問題無く実施した。また、機関負荷変動や船体動搖がCO₂回収性能に及ぼす影響、排ガスがCO₂吸収液に及ぼす影響などの検証も実施した。海上環境下で稼働させるための要件として、CO₂吸収液の漏洩対策、装置設置区画の換気思想、等々の運航に伴う安全措置に関する要領などを取り纏めた。

今後は本実証試験で得られた知見と技術課題を踏まえ、液化・船内貯蔵を含めた装置全体コンセプトの確立や舶用システムとしての最適化検討、船内貯蔵されたCO₂の陸上への払い出しの検討などを行い船上CO₂回収装置の製品化へ向けた取組みをすすめる。

5. まとめ

IMOは“GHG 削減戦略”を大幅に見直し、2050年の目標をこれまでの50%からネットゼロに強化した。GHG排出削減は大きな課題であり、自社のみならず三菱重工グループ内及び外部団体とも連携して推進する。当社の持つ技術で国際海運のゼロエミッション化を推進する所存である。

参考文献

- 1) 一般財団法人日本海事協会, 国際海運ゼロエミッションへの道筋 (2023), <https://www.classnk.or.jp/>
- 2) 上條孝ほか, 三菱重工技報Vol.50, No.1 (2013) p.27-32
- 3) 米国エネルギー省 プレスリリース <https://energy.gov/fe/articles/doe-supported-petra-nova-captures-more-1-million-tons-co2>
- 4) 平田琢也ほか, 三菱重工技報Vol.55, No.1 (2018) p.42-47
- 5) 小久保美乃里ほか, 日本ガスタービン学会誌Vol.53, No.1 (2025) p.2-7
- 6) 田中太一ほか, 三菱重工技報Vol.59, No.2 (2022) p.1-6