

特集記事・6

カーボンニュートラルに向けた日本の各産業の取り組み

CO₂ 回収装置の製鉄所適用に向けた取り組みApplication of CO₂ Capture Plant for Steelmaking Process三菱重工業(株) 脱炭素事業推進部
CO₂回収プロセスグループ
グループ長岸本真也
Shinya Kishimoto三菱重工業(株) 脱炭素事業推進部
CO₂回収プロセスグループ
上席主任福田俊大
Toshihiro Fukuda

1 はじめに

我が国では、2020年10月に、“2050年カーボンニュートラル及び脱炭素社会の実現”を目指すことが宣言され、発電・産業など様々な分野で脱炭素化に向けた取り組みが加速している。カーボンニュートラル社会を実現するためには、人為的に排出されるCO₂を可能な限り削減し、それでも排出せざるを得ない量については、排出量と同じ量を分離・回収することにより、CO₂の正味排出量を差し引きゼロとする必要がある。

CO₂の排出は化石燃料の使用が主要因であるため、この対策として、水素やアンモニアへの燃料転換、太陽光・風力等の再生エネルギーの利用などの脱炭素化技術が検討されている。しかし、この実現には、現状の設備や装置の更新、社会インフラやシステムの改修が必要であり、これら全てを定められた期間に完了させることは難しいため、既存の設備をなるべく活かしたままCO₂削減する事が必要で、その対策として、CO₂回収装置の適用が挙げられる。化石燃料の燃焼から発生するCO₂を分離・回収することで、カーボンニュートラル社会の実現に貢献できる。

CO₂回収の分野としては、既存の火力発電所に加え、バイオマス発電所、LNG液化プラント、セメントプラント、ごみ焼却設備など、多種多様な排出源からの回収ニーズが高まっている(図1参照)。ここで、CO₂排出削減が困難な産業、所謂、Hard-to-Abate産業、例えば鉄鋼やセメント産業において、着実にカーボンニュートラルへの移行を促進していく事が重要である。

中でも鉄鋼業は、鉄道、自動車、PC、スマートフォン、住宅など、人々の生活を支えるあらゆる製品に組み込まれている素材を供給する、サプライチェーン上で最も重要な産業の1つであり、後のカーボンニュートラル社会においても、脱炭素化製品の基礎素材として引き続き必要となるだろう。しかしながら、鉄鋼業は、製造過程のCO₂排出量が多い事が課

題であり、事実、セメントや化学業を含めた産業部門の中で、鉄鋼業はCO₂排出量が最も多いとされている¹⁾。

鉄鋼業のCO₂排出削減に関する技術開発は世界各国で行われており、日本や欧州の大手鉄鋼企業の間で、カーボンニュートラルに向けた製鉄プロセス改善に関する開発競争が始まっている。我が国の鉄鋼業の国際競争力を確保するためには、世界に先駆けて製鉄プロセスにおける脱炭素化技術開発や、CO₂回収装置の適用の推進が不可欠である。

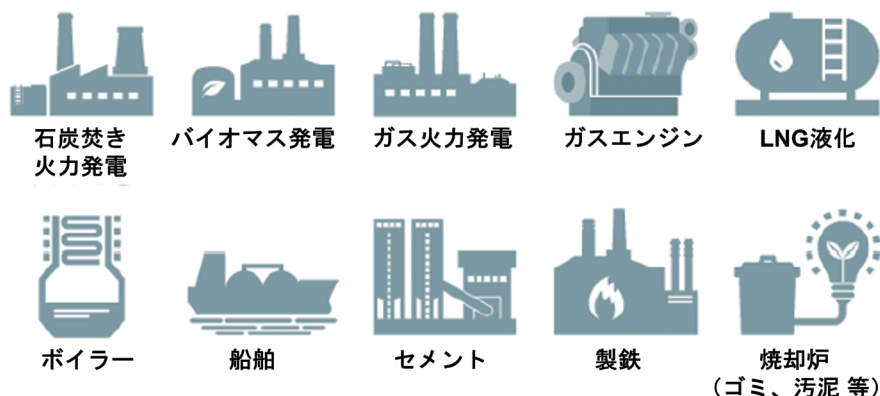
2 製鉄プロセスの脱炭素化技術

高強度や高耐食性といった、優れた機能を発揮する鉄鋼製品をつくるためには、鉄鉱石に含まれる酸素を取り除き、銑鉄をつくる還元プロセスが必要である。従来、この還元プロセスには、石炭を蒸し焼きにした炭素の塊であるコークスを高炉に投入する手法が使われており、鉄鋼業から発生するCO₂の多くは、この高炉による炭素還元起因する。鉄は他素材に比べ単位生産量あたりのCO₂発生量は少ないとされているが、用途が幅広く大量に使用・生産されるため、鉄鋼業トータルのCO₂発生量が多い。

この高炉法は、数百年の間続いてきた製鉄方法であり、これまで日本や欧州の大手鉄鋼企業の間でエネルギー効率向上に関する技術開発が進められ、長年にわたって省エネルギーとCO₂削減に貢献してきたが、今般、CO₂の正味排出量を差し引きゼロというカーボンニュートラルを実現するためには、さらなる技術開発が必要である。

昨今の新しい技術としては、水素を利用した直接還元プロセスが挙げられる。コークスの代わりに水素を用いて鉄鉱石から酸素を取り除く水素還元反応は、銑鉄をつくる過程でCO₂を発生させない。

ただし、このような技術でCO₂排出を極限まで抑えることを目指してはいるものの、新技術の実現には移行期間が必要

図1 CO₂回収装置の適用先例 (Online version in color.)

である事、また最終的にどうしても一定程度のCO₂発生が不可避である事から、製鉄プロセスから発生するCO₂を分離・回収し、地中に貯留する、或いは、化学品などの原料としてカーボンリサイクルするといった、CCUS (Carbon dioxide Capture Utilization & Storage) の技術開発が併せて必要である。

3 当社のCO₂回収技術

当社は、“2040年カーボンニュートラル宣言”を行い、生産活動におけるCO₂排出量 (Scope 1,2)^(注1)を2030年までに2014年比50%削減し、2040年までにCO₂の排出量を正味ゼロとする“Mission Net Zero”を目標として取組みを開始した。社会インフラを担う一企業として、温室効果ガスであるCO₂の排出抑制及び削減に貢献できる技術・製品のみならず、CO₂を回収する技術・製品も得意としている²⁾。

当社が関西電力株式会社と共同開発したCO₂回収技術 KM CDR Process™のプロセスフローを図2に示す。装置は排ガス冷却塔、吸収塔及び再生塔から構成される。排ガスは冷却塔にて所定の温度まで冷却後、吸収塔に送られる。吸収塔内部には、ガスと液を気液接触させる充填材が設置されており、排ガスは充填材の内部を上昇していく。当社が開発したアミン吸収液KS-1™およびKS-21™は吸収塔の上部から噴霧され、充填材表面を流れながら排ガス中のCO₂を吸収する。CO₂吸収後の排ガスは吸収塔の上部から排出され、一方、CO₂が溶け込んだ吸収液は再生塔に送られ、再生塔では吸収液を加熱し、吸収液から気化させたCO₂ガスとして回収する。再生塔の塔頂からは純度99.9%のCO₂を得ることが可能である。CO₂を排出した吸収液は再び吸収塔に送られ循環利用される。

当CO₂回収技術は、納入実績において世界をリードする

CO₂化学吸収プロセスであり、当社は1日当たり最大約5,000トンの容量を回収できる世界最大級のCO₂回収プラントを既に納入しているが、更なるイノベーションを通じて、発電分野やその他産業の大規模排出源への展開できる技術開発に力を入れている。最新の成果として、アミンを用いた新しいCO₂吸収液であるKS-21™の商用化が挙げられる³⁾。

4 新型アミン吸収液 KS-21™

前章に示したCO₂回収技術の次世代型として、新たにAdvanced KM CDR Process™を開発した。当プロセスでは、関西電力株式会社と共同で開発した新型アミン吸収液KS-21™の適用が可能である。

新型アミン吸収液の開発経緯として、まず、2014年から2年間にわたり、吸収液スクリーニングを実施し、吸収に適する候補物質を見出し、その後、関西電力株式会社南港発電所、および当社開発研究設備で試験を実施し、2019年にパイロット装置によるパラメータ試験、最適運転等の試験を完了した。さらにその後、2021年にCO₂回収分野における最先進国の1つであるノルウェーの世界最大級のCO₂回収実験施設であるモングスタッドCO₂回収技術センター (TCM : Technology Centre Mongstad) にて新型アミン吸収液の実証試験を実施し、良好な試験結果が得られたことにより商用化が決定した。当吸収液の性能試験ではTCM施設内のガスタービンから排出された排ガスに対するCO₂回収率の条件を業界標準 (約90%) より高い95~98%に設定して試験を行った結果、化学吸収法に使用される一般的なアミン吸収液 (MEA : monoethanolamine) を大きく凌駕し、当社がかつて開発しそれまで使用していたアミン吸収液をも上回る性能と運用コストの低減、および低いアミンエミッション^(注2)を確

(注1) 温室効果ガス排出量の算定と報告の国際基準であるGHG (Greenhouse Gas) プロトコルにおけるScope 1,2

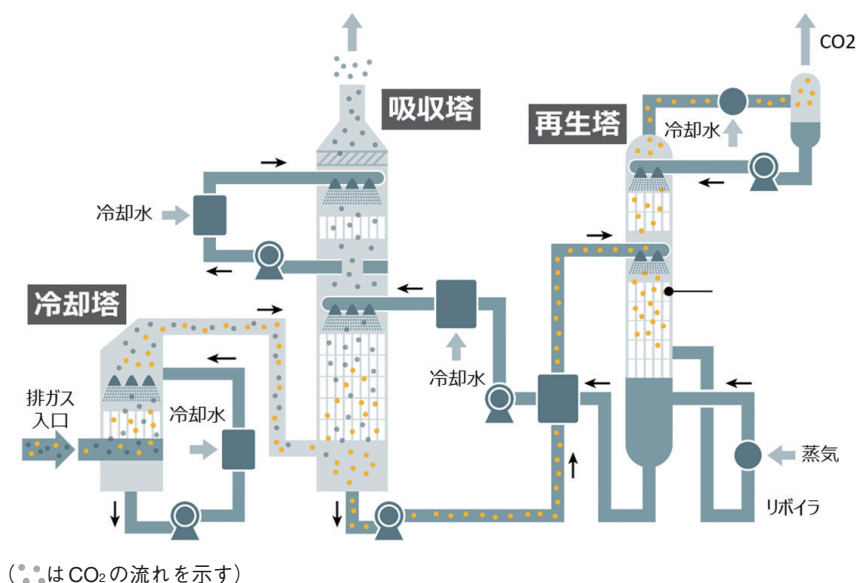
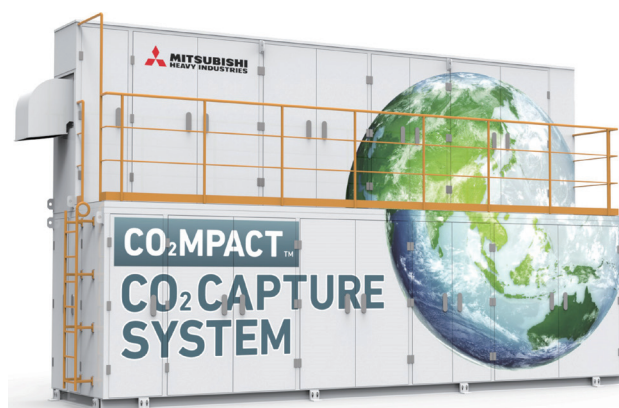


図2 KM CDR Process™ のプロセスフロー (Online version in color.)

認した。また、運転条件を変更して実施した高CO₂回収率試験では世界最高水準となる99.8%の回収率を達成し、大気中に含まれるCO₂濃度を下回るレベル（100 ppm未満）まで排ガスからCO₂を回収することに成功した。これらの試験は、TCM に隣接するモングスタッド製油所の残油流動接触分解装置からの排ガスに対しても実施され、同様の結果が得られている。さらに、最先端の設備と専門知識を有するTCMでの新型アミン吸収液の実証試験において、運転に伴う劣化物の生成量やハンドリングノウハウなどといった、当吸収液のさらなる改善・改良に向けた有益な運転データを取得すると共に、環境影響評価という側面において今後の商談に必要となる第三者機関による信頼性の高いエミッション計測結果を取得することができ、今後各国で対応を求められる環境アセスメントについての申請や許認可などについてもこれらのデータを活用し、さらなる事業拡大につなげることが可能となった。

KS-21™はこれまでの吸収液と比べ、さらに低揮発性で、劣化に対する安定性が高いといった有利な特徴を有し、今後の展開に向けて運用コストの削減など経済性の向上が期待でき、具体的に下記の特徴がある。

- ①揮発性の低下により、吸収塔から排ガスに同伴しエミッションとして大気へ放出される吸収液の量を大幅に低減可能である。
- ②耐熱性の向上により、再生塔をより高圧な状態で運転可能である。その結果、回収したCO₂を例えば地中貯留する際に設置するCO₂圧縮機の動力および設備費を削減することが

図3 小型CO₂回収装置 (300kg-CO₂/day) ⁴⁾ (Online version in color.)

できる。

- ③耐酸化性の向上により、排ガス中に存在する微量成分との反応で消費される、吸収液の劣化量を低減可能である。その結果、排ガスの種類に依存することなく、取り扱える排ガス源の多様化に繋げられる。
- ④CO₂回収に必要な吸収液循環量は、これまでの吸収液と比較し、やや増加するが、KS-21™とCO₂との反応熱は少なくなるため、CO₂回収装置全体としてのユーティリティ消費量で有利である。
- ⑤従来の吸収液でベンチスケール機からのスケールアップ経験を含む大型商用機の経験をベースに、KS-21™仕様としてすぐに実用化が可能である。

(注2) 吸収塔から大気へ放出される微量のアミン物質の値を指し、この数値が低いほど環境への影響が小さい事を示す

5 CO₂回収装置の製鉄所適用

前章に示した CO₂回収技術を用いて、当社は現在、製鉄大手の ArcelorMittal と、総合鉱業会社である BHP、さらに金属資源開発事業を手掛ける MDP (Mitsubishi Development Pty Ltd) と協業し、CO₂回収技術の製鉄所への適用に関する複数年の実証試験と、商用機の概念設計を進めている。

この実証試験は、ArcelorMittal がベルギーのゲントに保有する年間粗鋼生産量 500 万トン規模の製鉄所現地にて行われ、実機ガスを既設ガス配管から Slip Stream し、1 日あたり 300kg の CO₂ を回収できる小型 CO₂回収装置 (図3 参照) に送り込み、CO₂ を分離・回収する。

試験は 3 ステージあり、第 1 に高炉ガス (BFG: Blast Furnace Gas) からの CO₂ 分離・回収、第 2 に圧延工程再加熱炉 (HSM: Hot Strip Mill) の排ガスからの CO₂ 分離・回収を実施する。

また、最後には、北米の直接還元製鉄 (DRI: Direct Reduced Iron) のリフォーマ排ガスに小型 CO₂回収装置を移設した試験も計画されている。

各種試験ガスの主な組成を表 1 に示す。高炉ガスは圧延工程再加熱炉や直接還元製鉄の排ガスとは異なり、可燃性ガスである H₂ や CO が比較的高濃度で含まれている事が特徴として挙げられる。本実証試験結果に基づき、これら製鉄所の各試験ガス条件に対する最適な設計が可能となり、CO₂削減が困難な Hard-to-Abate 分野と言われる鉄鋼産業の CCUS 展開を加速させる所存である。

6 まとめ

本稿では、2050 年カーボンニュートラル及び脱炭素社会の実現に向け、CO₂排出削減が困難な Hard-to-Abate 産業の 1 つである鉄鋼産業の CO₂排出削減の取り組みとして、製鉄所内で扱われるガスに含まれる CO₂を化学吸収法によって分離・回収する技術、および昨今の技術開発状況として、当社が試

表 1 試験ガスの主な組成 (Online version in color.)

		BF	HSM	DRI
CO ₂	vol% (wet)	25	10	16
O ₂		0.6	6.4	1.8
H ₂		5.0	-	-
CO		24	-	-
SO _x	ppm (dry)	1.0	3.9	-
H ₂ S		30	-	-
COS		26	-	-

(-) は、未定または殆ど含まれない事を示す。

みている ArcelorMittal, BHP, MDP との協業実証試験について紹介した。

気候変動問題、温暖化対策に対しては、産業界への大幅な CO₂排出削減要求は今後も拡大していくと予想され、鉄鋼をはじめその他業界への期待は大きい。

当社は、高効率な発電プラント及び発生する排ガスの浄化装置 (脱硝、除塵、脱硫、等) を開発・納入してきた経緯があり、本稿で紹介した CO₂回収装置の製品・技術の信頼性及び経済性の向上、ひいては普及を目指し、更なる環境・エネルギー問題の解決に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 仙波範明, 秋山知雄, 中川慶一, 辻内達也, 乾正幸, 米川隆仁: 三菱重工技報, 59 (2022) 1, 新製品・新技術特集.
- 2) 平田琢也, 反町美樹: ふえらむ, 24 (2019) 12, 790.
- 3) 桧垣浩平, 登里朋来, 中谷晋輔, 大貫拓郎: 三菱重工技報, 59 (2022) 2, プラント・インフラドメイン特集.
- 4) 仙波範明, 長安弘貢, 乾正幸, 米川隆仁: 三菱重工技報, 59 (2022) 4, カーボンニュートラル特集.

(2023 年 9 月 7 日 受付)