

排ガスからの CO₂ 回収装置の当社実績と最近の取組み

MHI's CO₂ Capture Commercial Experiences and Recent R&D Activities

平田 琢也^{*1}

Takuya Hirata

岸本 真也^{*2}

Shinya Kishimoto

乾 正幸^{*3}

Masayuki Inui

辻内 達也^{*4}

Tatsuya Tsujiuchi

島田 大輔^{*2}

Daisuke Shimada

川崎 晋平^{*5}

Shimpei Kawasaki

当社は、1990 年から関西電力(株)と共同で燃焼排ガスからの CO₂ 回収技術の開発を開始し、1999 年マレーシア向けに初の商用機を納入して以降、2018 年1月現在、合計 13 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 EOR (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。この CO₂ 回収装置は、Power Engineering や Power Magazine、Engineering News Record (ENR) といった有名な業界誌内でも紹介された。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。

1. はじめに

一般的に CO₂ は、炭酸飲料や冷却用ドライアイス、溶接用シールドガス等で幅広く使われ、化学工業分野では肥料やメタノール等の原料として用いられている。また北米では原油増産を目的とした EOR 用途として CO₂ が多く利用されている。このように CO₂ は人間の経済活動に有用な面を持つ一方、近年では地球温暖化の原因となる温室効果ガスとして取り沙汰されることが多い。

2015 年 12 月“国連気候変動枠組条約締約国会議(COP)”にてパリ協定が採択され、2016 年 11 月に発効された。このパリ協定は、2020 年以降の CO₂ を含む温室効果ガス排出削減に関する新たな国際的枠組みである。

地球温暖化への世界的な関心の高まりとともに、化石燃料の燃焼などによって排出される CO₂ を回収し、地中に貯留する、CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) が注目されている。国際エネルギー機関(IEA)は、2016 年 11 月に発行した 20 Years for Carbon Capture and Storage の中で CCS の重要性を述べており、パリ協定の目標を達成するため、とりわけ CO₂ 排出量の大部分を占める発電部門への適用が期待されている。また最近では、回収した CO₂ を有効活用する CCU (Carbon dioxide Capture and Utilization) の研究が活発化しており、CO₂ 回収の経済性を高めるものとして注目されている。いずれにしても、CO₂ 回収装置を今後広く普及させるためには、設備費・運転費の低減と技術の信頼性向上を両立させることが鍵となる。

*1 三菱重工業株式会社 総合研究所化学研究部 主席研究員

*2 三菱重工エンジニアリング株式会社 CO₂ EOR 推進室

*3 三菱重工エンジニアリング株式会社 CO₂ EOR 推進室 博士

*4 三菱重工業株式会社 総合研究所化学研究部

*5 三菱重工エンジニアリング株式会社 計画部

2. 当社の実証試験／商用機納入実績と回収 CO₂ 用途

当社は、関西電力(株)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 Process^{TM(1)} を商業化している。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 99.9vol% 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。図1に当社 CO₂ 回収装置の概略フローを示す。

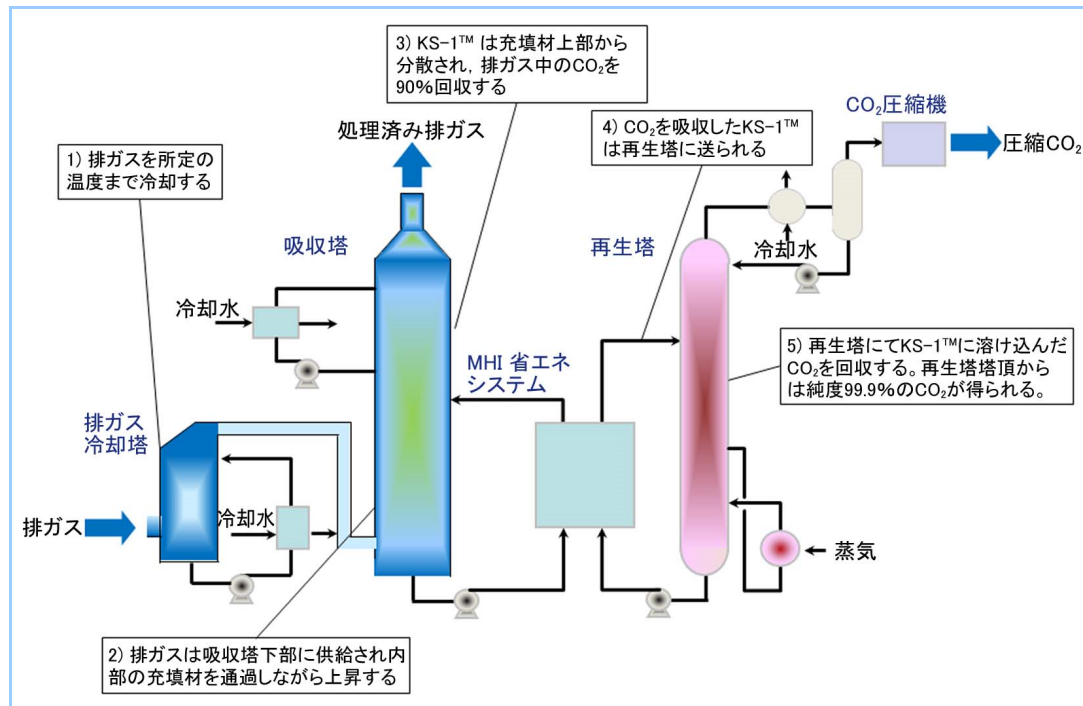
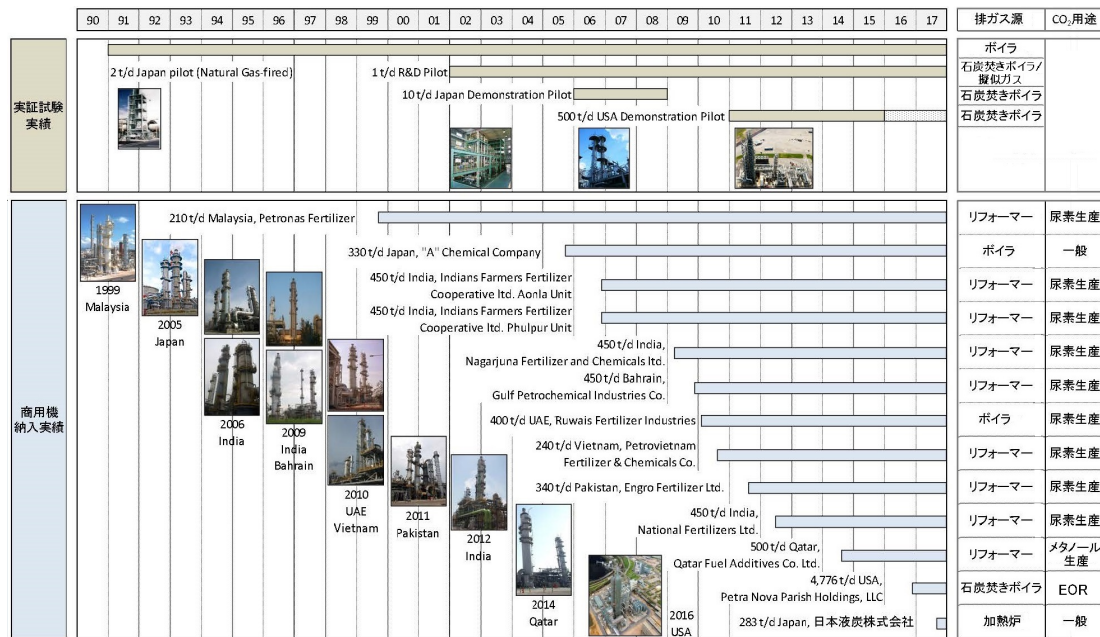


図1 三菱重工の CO₂ 回収プロセス (KM CDR ProcessTM) フロー

1991 年に関西電力(株)と共同で建設した 2 トン/日パイロット試験装置 (関西電力(株)南港発電所内) が稼働し、以降、技術の開発・改良のための試験を継続している。不純物を多く含む石炭焚き排ガスに関しては、1 トン/日のパイロット試験装置 (当社総合研究所内) 及び 10 トン/日の実証試験装置 (電源開発(株)松島火力発電所内) での試験を通じて運転実績及びノウハウを積み重ね、2011 年には 500 トン/日の CO₂ 回収装置を米国大手電力会社サザンカンパニー/米国電力研究所と共同で建設し、世界初の石炭火力発電所排ガスからの CO₂ 回収・貯留一貫実証試験を実施した。この大規模実証試験を通じて得られた排ガス中の不純物挙動や、装置のスケールアップに関する知見を活用し、信頼性の高い数千トン/日規模の大型装置の商業化に成功した。図2に、当社の実証試験／商用機の納入実績及び回収した CO₂ の用途を示す。

1999 年にマレーシアに納入した 210 トン/日の初号機は、納入以降 20 年近く運転を継続している。初号機納入以降、インドや中東諸国を中心に CO₂ 回収装置を納入しており、いずれの装置も現在に至るまで安定して稼働している。昨年 11 月には 13 基目の商用機となる日本液炭(株)向け CO₂ 回収装置が商業運転を開始した。回収した CO₂ は肥料・メタノール増産といった化学用途から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 EOR (Enhanced Oil Recovery) 用途まで多岐にわたっており、CO₂ 回収量としては初号機の 210 トン/日から世界最大の 4776 トン/日まで幅広い。

燃焼排ガスからの CO₂ 回収装置の商業実績を有する競合他社は現在世界に数社存在するが、その中でも当社は CO₂ 回収量、納入実績共に各社実績を大きくリードしている (当社調べ、CO₂ 回収量 100 トン/日以上装置対象)。

図2 当社の実証試験／商用機納入実績とそのCO₂用途

3. 世界最大のCO₂回収装置稼働

JX 石油開発(株)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、プラント完成写真を図3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月時点で約4000 バレル/日の生産量が確認されている⁽²⁾。

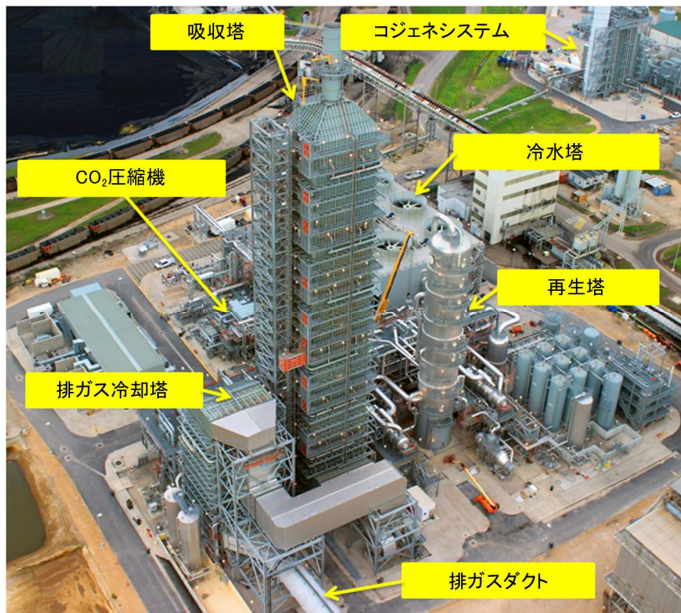
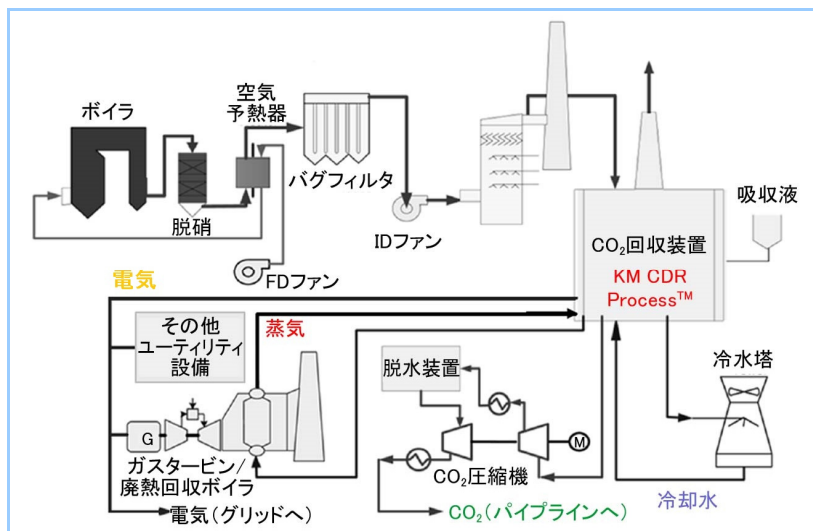
このCO₂回収装置及び周辺設備のシステム構成を図4に示す。CO₂回収装置の運転に必要な電気及び蒸気は、付帯するガスタービン及び廃熱回収ボイラから供給されており、既設発電設備の出力を低下させることなくCO₂回収を行うことが可能である。排ガス冷却塔、吸収塔は角型タワーを採用しており、建設工事の効率化及び工期短縮を実現した。また、CO₂圧縮機は、世界最大級の8段ギアドコンプレッサ(三菱重工コンプレッサ(株)製)を採用し、CO₂圧縮工程には、パイプライン輸送時の水分濃度規定をクリアするため、脱水機を設置している。

本CO₂回収装置に導入している新技術のうち、以下の3つについて紹介する。

- 1) 自動負荷追従システム
- 2) 改良型アミンエミッション低減システム
- 3) 改良型省エネ再生システム

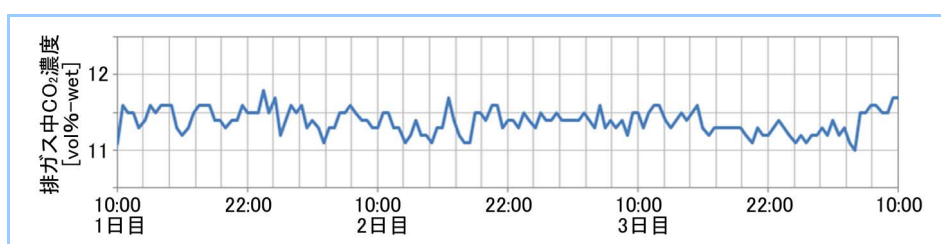
表1 米国テキサス州 EOR プロジェクト向けCO₂回収装置概要

項目	内容
プラント場所	Thompsons (米国テキサス州)
プロジェクトオーナー	Petra Nova 社※ ※ JX 石油開発(株)及び NRG エナジー社の合弁会社
ガス源	NRG WA Parish 発電所 610MW 石炭焚火力発電設備
プロセス	KM CDR Process™
吸収液	KS-1™ 吸収液
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3 米国テキサス州 EOR プロジェクト向け CO₂ 回収装置図4 米国テキサス州 EOR プロジェクト向け CO₂ 回収装置及び周辺設備のシステム構成

3.1 自動負荷追従システム

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、従来システムにおいては CO₂ 回収装置の最適な運転状態を保つために、運転員による細やかな調整が必要であったが、500 トン/日実証試験装置での検証試験を通じて開発した CO₂ 回収装置の自動負荷追従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員の負荷低減を達成した。図5, 6, 7, 8に自動負荷追従システムを用いた運転トレンドを示す。排ガス中の CO₂ 濃度が大きく変動しても、最適な蒸気消費量の下、定格 CO₂ 回収率及び回収量を維持可能なシステムとなっている。

図5 米国テキサス州 EOR プロジェクトにおける排ガス中 CO₂ 濃度の運転トレンド

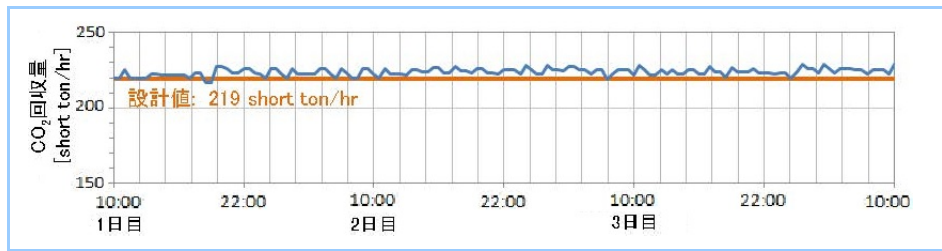
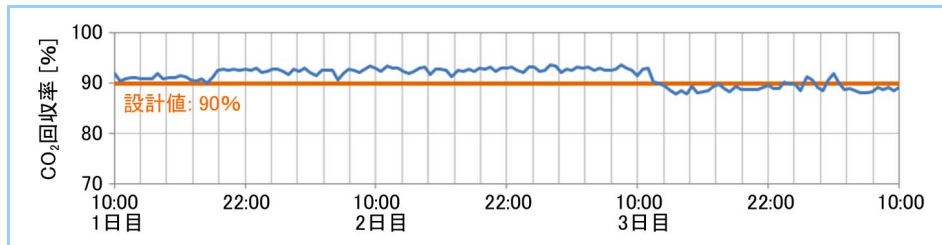
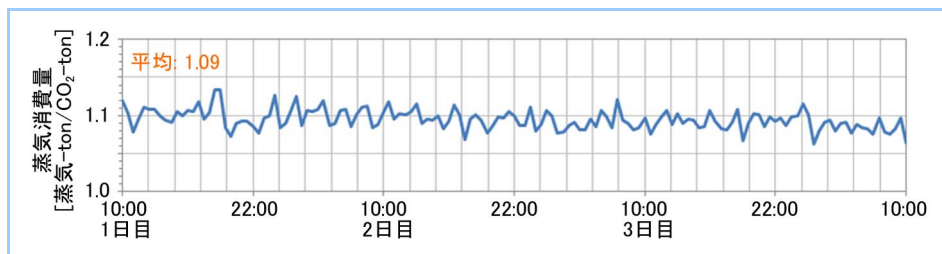
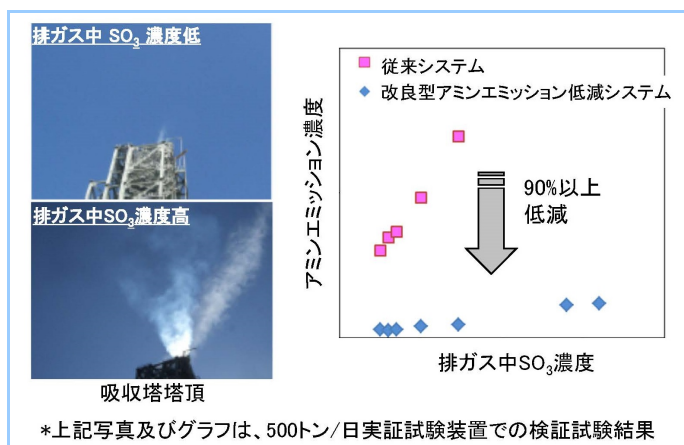
図6 米国テキサス州 EOR プロジェクトにおける CO₂ 回収量の運転トレンド図7 米国テキサス州 EOR プロジェクトにおける CO₂ 回収率の運転トレンド

図8 米国テキサス州 EOR プロジェクトにおける蒸気消費量の運転トレンド

3.2 改良型アミンエミッション低減システム

CO₂ 除去後の排ガスが吸収塔から放出される際、吸収液の主成分であるアミンが僅かながら排ガスに同伴される(アミンエミッション)。石炭焼き排ガスは多くの不純物を含んでいるが、特に SO₃ については、低濃度であってもアミンエミッションを増大させる要因となる。そのため、アミンエミッションによる吸収液の損失を防ぐため、改良型アミンエミッション低減システムを導入した。本システムについても、500 トン/日実証試験装置での検証試験で効果を確認している(従来システムと比較し 90%以上の低減を達成)。図9に 500 トン/日実証試験装置での検証試験結果を示す。

図9 排ガス中 SO₃ 濃度とアミンエミッションの関係

3.3 改良型省エネ再生システム

2009 年に実用化した省エネ再生システムから、更に約5%の蒸気消費量低減となる改良型省エネ再生システムを採用しており、当社がこれまで納入した CO₂ 回収装置の中で最高の省エネ性能を達成している。

4. 最近の取組み

4.1 新吸収液開発及びプロセス最適化

近年は、現行吸収液 KS-1TM と同等の省エネ性能を有し、且つ化学的により安定で吸収液損失が少なく、アミンエミッションを大幅に低減できる新吸収液の開発に取り組んでいる。現在2トン/日パイロット試験装置(関西電力(株)南港発電所内)にて性能試験を継続して実施しており、これまでのところ、省エネ性能、アミンエミッション共に計画値をクリアしている。今後は、周辺システムを含めたプロセス全体の最適化検討を実施し、早期実用化に向けて取り組む。

4.2 全自動運転システム

自動負荷追従システムの実用実績と、これまで蓄積した膨大な商用機運転データを活用し、装置の起動や停止などの非定常運転時の操作ミスや運転員の負荷軽減を目的とした、CO₂ 回収装置の全自動運転システムの開発・構築に取り組んでいる。このシステムは、新設装置への導入だけでなく、アフターサービスの一環として既存装置への導入も視野に入れている。

4.3 コスト低減

今後 CO₂ 回収装置を更に普及させるため、設備費・運転費の低減に向けたコストダウン活動を実施している。最近では、商用機の運転データ解析に基づく各機器/設備の最適化、機器配置見直しによる省スペース化、装置モジュール化による現地工事費低減に取り組んでいる。また、ユーティリティなどの付帯設備を含めた全体プロセスの最適化によるコスト低減も進めている。

4.4 他工業分野への展開

当社技術の新たな適用先として、従来の燃焼排ガスからの CO₂ 回収に加え、より CO₂ 濃度の低い各種設備のプロセスガスへの適用を検討している。対象ガスの性状は設備で異なるが、いずれも化石燃料に由来した燃焼排ガスとは異なった成分を含んでいることから、各ガスに対応した最適なプロセスを検討し、実用化を目論んでいる。

5. まとめ

当社は、1990 年より燃焼排ガスからの CO₂ 回収技術の開発を進めており、1999 年のマレーシア向け初号機から現在に至るまで、化学プラント、石炭焚発電所向けに多くの商用機を納入しており、本分野において世界トップシェアを誇っている。当社 CO₂ 回収装置は、優れた省エネ性能と高い信頼性を有しており、回収 CO₂ は肥料・メタノールなどの化学製品や EOR など様々な分野で用いられている。世界最大の CO₂ 回収装置を納入した現在においても、更なる技術の信頼性・経済性向上に向けた研究開発を推進・継続しており、今後も本技術の普及促進によって、環境・エネルギー問題の解決に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 上條孝ほか, 三菱重工技報 Vol.50, No.1 (2013) p.27-32
- (2) 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>