

CCS プラントが直面している 問題点とその対策案

鈴木照敏、小嶋久夫



株式会社ミュールカンパニーリミテド

CCS プラントが直面している 問題点とその対応策

小嶋久夫*, 鈴木 照敏**

1. はじめに

最近の2, 3年, CCS 事業で加速している動きがある。CCS-EOR である。CCS (Carbon dioxide Capture and Storage: CO₂ を回収して圧縮し地層に安定して貯蔵する技術) と EOR (Enhanced Oil Recovery: 油田に CO₂ や液体を圧入して残留している 30~60% の原油を増進回収する老朽化油田の再生技術) を組合せ原油増産と CO₂ の大幅削減を図る事業である。これが CCS にインセンティブを与え年間 100 万トン規模のプラントが次々と稼働し始めている。CCS の有効な技術として実行されているのに化学吸収法がある。これは現状では CO₂ 回収量が 100 万トンという大規模なプロセスに適合できる唯一の技術である。

CCS プラントが直面している問題点とその対応策について述べてみたい。

2. CCS プラント

煙突から大気に放出されている多量の高温低圧の排ガスを処理し、その中に含まれている低濃度の CO₂ を回収するのが CCS プラン

*Hisao KOJIMA; ミューカンパニーリミテド 代表取締役, 米国化学会会員
**Terutoshi SUZUKI; 同上技術部長
〒110-0007 東京都台東区上野公園 18-8
TEL: 03(3828)7090
FAX: 03(3823)2890
01150324kojima@mu-company.com
http://www.mu-company.com

トである。

CO₂ 回収量が年間 100 万トン規模の CCS プラントの概要を例に説明する。以下のように各ユニットの負荷は大別できる (図 1)。

ガス処理の負荷は排ガス中の CO₂ 濃度が低いので「前処理ユニット」と「CO₂ 吸収ユニット」の規模がかなり大きくなる。これは時間当たり 60 万 m³ に相当するガス流量を充填塔で処理しなければならないということである。円筒形の充填塔では塔径が 15m の塔が必要となる。塔径が 10m の充填塔の実用化はあるが 15m 以上となると複数の塔を並列で採用したり、角型でコンクリート製の塔で代用したりいずれも気液接触効率の低い構造になっており、大型化の設備費を高くしている要因になっている。

一般的な CCS プラントのユニットの構成は図 2 のようになっている。

前処理ユニット: 排ガス中の SO₂ とダストの除去とガス冷却を目的とする向流塔である。循環液中にケミカルを添加している。塔底から反応物とダストを抜き出している。

CO₂ 吸収ユニット: CO₂ 吸収塔の塔底に排ガスをフィードし塔上部から CO₂ 吸収液をフィードさせている。向流での気液接触により CO₂ を吸収した CO₂ 吸収液は塔底から抽出し次工程の CO₂ 放散ユニットに送られる。塔頂からは CO₂ を除去された

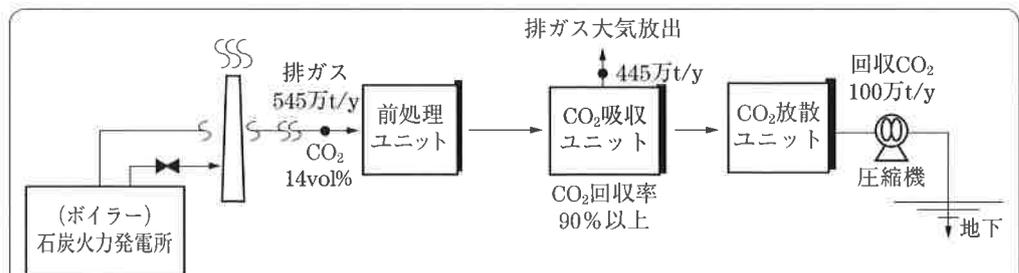


図 1 CCS プラント

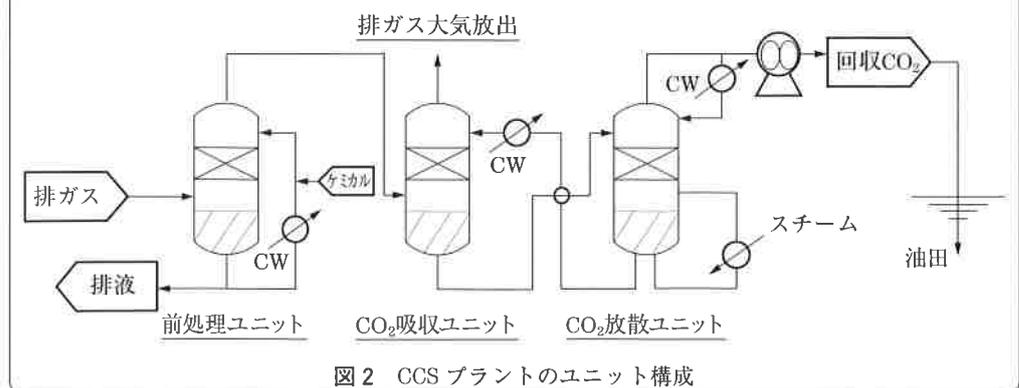


図 2 CCS プラントのユニット構成

排ガスが大気に放出される。

CO₂ 放散ユニット：CO₂ 放散塔では CO₂ 吸収液中の CO₂ を加熱減圧等により効率よく CO₂ を放散させ回収している。塔底からは CO₂ を放出した高温の CO₂ 吸収液が熱回収、冷却され再び CO₂ 吸収ユニットに戻され CO₂ 吸収液として循環使用されている。塔頂からは高純度の CO₂ が回収され圧縮機で加圧されて長いパイプラインを經由し原油層に封入されている。

以下に CCS プラントの各ユニットの問題点と対応策を説明したい。

2-1. 前処理ユニット

このユニットは CCS プラントを安全に長期運転させるために重要な役目を持っている。排ガス中には SO₂ の他にダスト分として多くの不純物が混入している。

CCS プラントで使用されている CO₂ 吸収液は各社各様の研究がなされ非常に優れた性能のものが開発されている。しかし、そのためには本ユニットで吸収の弊害となる不純物を完全に除去して CO₂ 吸収液を常にクリーンな状態に保ち CO₂ の吸収能力を十分に発揮できるように維持させなければならない。現状ではケミカルを含有した溶液を循環させ向流塔で SO₂ を反応させ同時にダストを除去させている。向流接触のためフラディングの発生を防止すべくガス空塔速度が律速となり前処理塔の塔径は決定される (図 3)。問題点は、①この塔は前述のごとく大型であるために多量の循環液を必要としている。②さらにダストによる充填物の閉塞を防止するために効率の低い構造になっている (せざるを得ない) ことである。そして、最大の問題点は現実のプラントは汚れにより長期運転が達成できないことである。

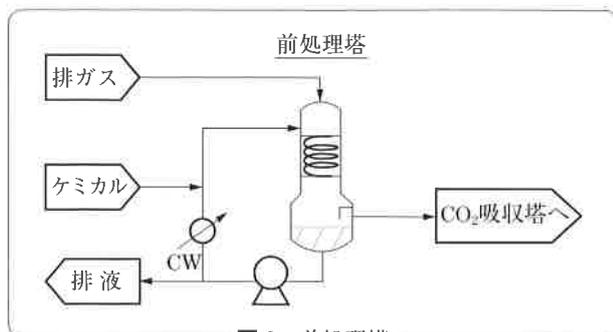


図 3 前処理塔

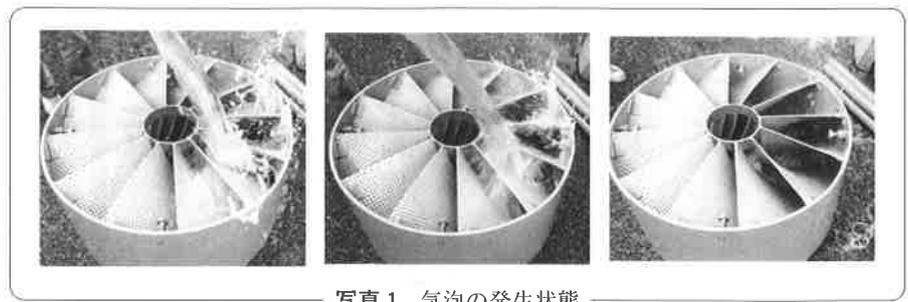


写真 1 気泡の発生状態

われわれは前処理塔のエレメントを充填物から MU-SSPW (ミュー静止型らせん状多孔翼：MU-Static Spiral Perforated Wings) に交換すること、そして塔内の気液の流れを向流から並流にすることを推奨している。MU-SSPW は並流運転が可能な唯一のエレメントであり、このユニットの主目的である SO₂ の反応除去とダストのノックバック除去を完全に実行できる機能を有している。

反応とダスト除去およびガスのダイレクトクーリング操作には以下のように MU-SSPW による並流運転が最適であるという多くの実績を持っている。

ここでトレイと充填物に代わるエレメントである MU-SSPW について紹介したい。

① MU-SSPW の発想の原点

「瀧 怒濤はなぜ白く観えるのか」が発想の原点である。とともにミューキシングエレメントを地上に置いて、上から水を流した時に発生した白い泡 (気泡) を発見した時である。

自然と人工観察 (実験) を合致させて、MU-SSPW は生まれた。写真 1 に気泡の発生状態を示す。

② MU-SSPW の混合原理

流体は、MU-SSPW を通流するごとに、正・反・

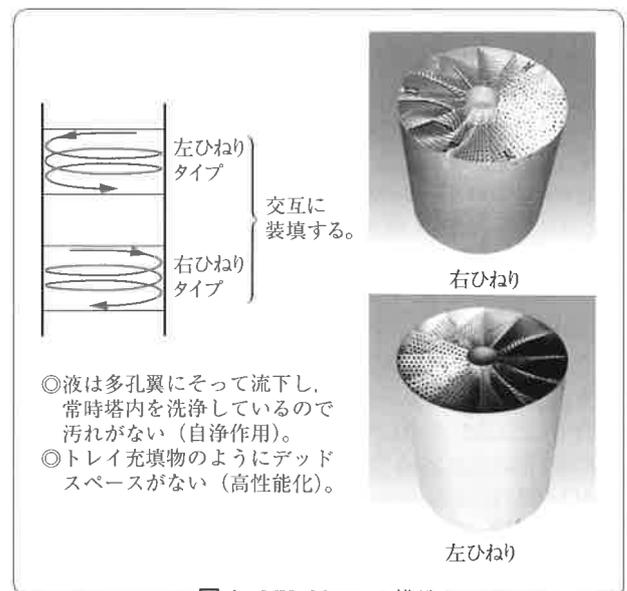


図 4 MU-SSPW の構造

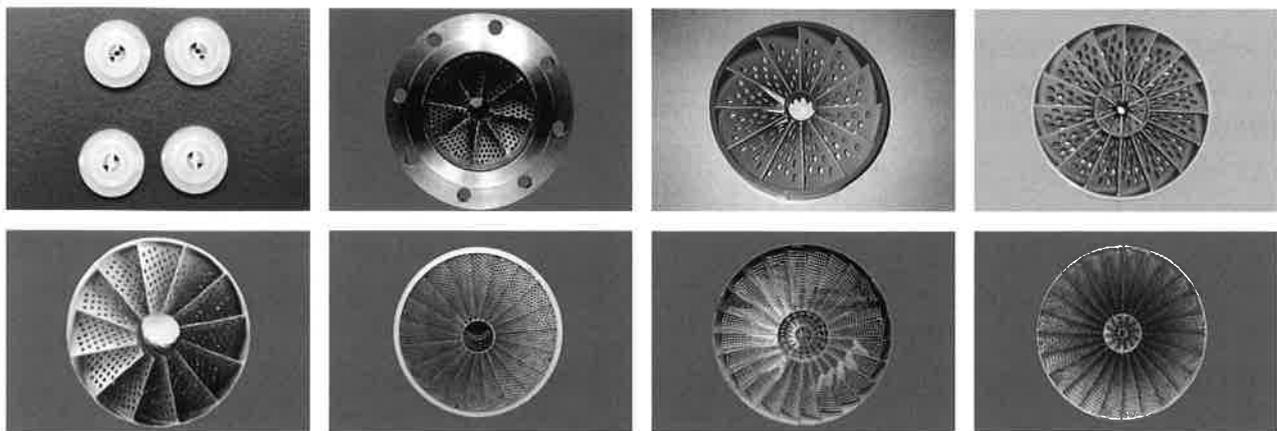


写真2 用途に合わせたミューミキシングエレメントが用意されている。

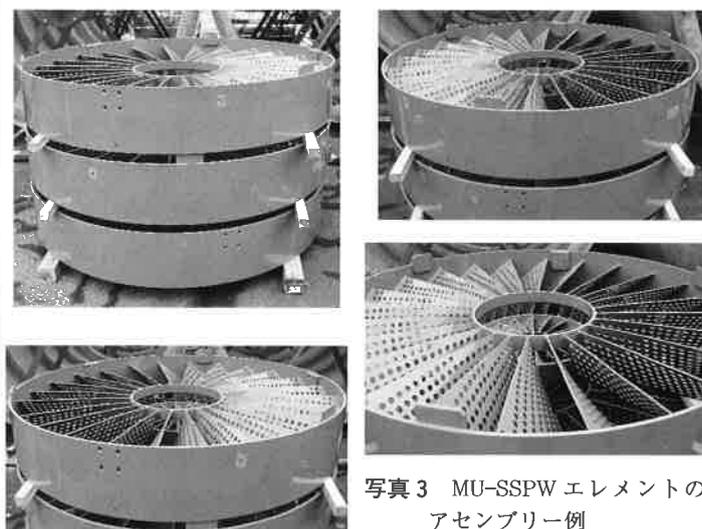


写真3 MU-SSPW エレメントのアセンブリー例

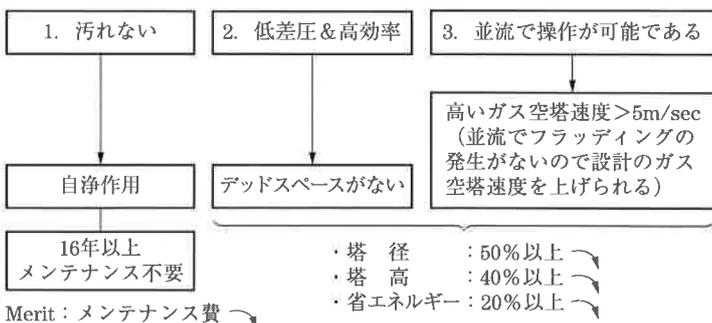


図6 MU-SSPW の有利なポイント

合の螺旋状の渦流と軸方向での分割せん断流とを連続的に繰り返しながら、無動力で攪拌・混合される。右および左捻りの螺旋状多孔翼から成る複数の羽根体（ミューミキシングエレメント）を、空間を介して交互に配置して、洗浄、吸収、放散ユニットは構成されている。図4にMU-SSPWの構造を示す。

③ 気泡の存在

液中分離体として存在している気泡は、気体と液体との気液混相流のなかに気泡として存在している。気泡は流体の流速が速くなるほど微細化されて、サ

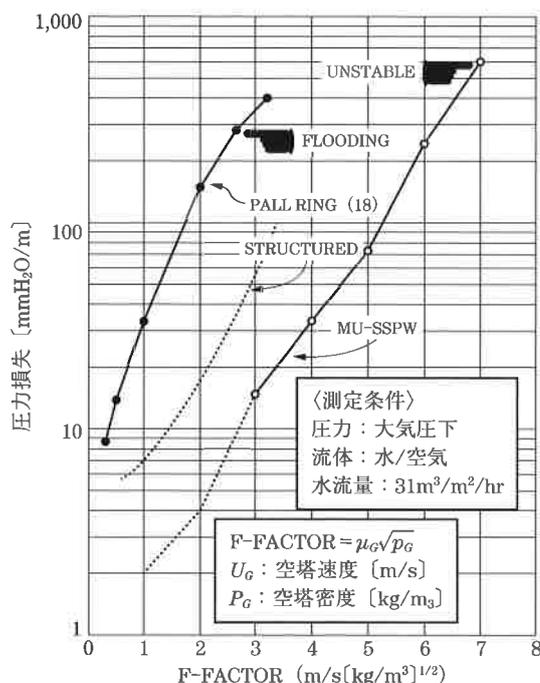


図5 圧力損失の比較 (向流)

ブミクロンの気泡を生成させる。比表面積の増大により、内部圧力の高い気泡は、MU-SSPW内を通流するたびに、気泡の生成と物理的破壊とを連続的に繰り返しながら、気液界面と気泡界面は常に更新されて、気体から

液体へ、液体から気体へと物質移動が行われて、除塵、吸収、放散機能は進化する。

除塵、吸収、放散効率は気液接触時間と気液接触面積とに比例する。塔高を高くするか、塔を直列に複数配置することで効率は極大化できる。気泡は摩擦を低下させる機能を有している。また、イオンを保持している。また、ミューミキシングエレメントにはニーズに合わせて多くの種類（写真2）がある。写真3にはMU-SSPWエレメントのアセンブリーの例を示す。図5は、大気圧下で、水/空気系での

テスト結果であるが、MU-SSPWはパッキングの1/10の低差圧で、省エネルギーと汚れ防止につながる。図6には、MU-SSPWの有利なポイントを示した。

MU-SSPWは、並流にすることでガスの空塔速度を5m/sec以上に上げられる。すなわち、ガス空塔速度を1m/secで設計した向流塔に比べて塔径を半分以下にできるということである。大塔径ゆえに過剰に要していた循環液流量を低減することが可能になる。

この運転条件でもMU-SSPWは塔内の差圧は150mmH₂O以下を維持することが可能である。前処理塔のMU-SSPW化と並流塔化のメリットをまとめると、

- ①前処理塔の塔径を半分以下にすることができ、塔、ポンプ等の小型化により設備費を削減できる。
- ②MU-SSPWの自浄作用によって塔内の汚れ、閉塞がなくなり長期運転が可能となる。
- ③前処理ユニットとしての役目を果たすことができ、CO₂吸収液がクリーンに保たれ次工程の、汚れ防止やフォーミング防止による長期安定運転に寄与できる。

2-2. CO₂吸収ユニット (図7)

このユニットは吸収熱の除去のためのインターナリクーラーや塔頂へのCO₂吸収液の同伴防止用の洗浄部が設置されている。CO₂を如何に効率よくCO₂吸収液に吸収させるかがポイントである。基本的にはCO₂のCO₂吸収液による吸収は電解質溶液下での化学反応によるものである。したがってCO₂吸収塔も前処理塔と同様にMU-SSPWを採用し、向流塔を並流塔に変更することを推奨する。

メリットは、

- ①CO₂吸収塔の塔径を半分以下に出来、設備費を削減できる。
- ②塔内でフォーミングやフラッディング現象がなくなり運転が安定する。

2-3. CO₂放散ユニット (図8)

大きくは3つの改良を行う。

- ①エレメントにMU-SSPWを採用するが向流のままよい。
- ②CO₂放散塔の下部にインターナリボイラーを設置する。

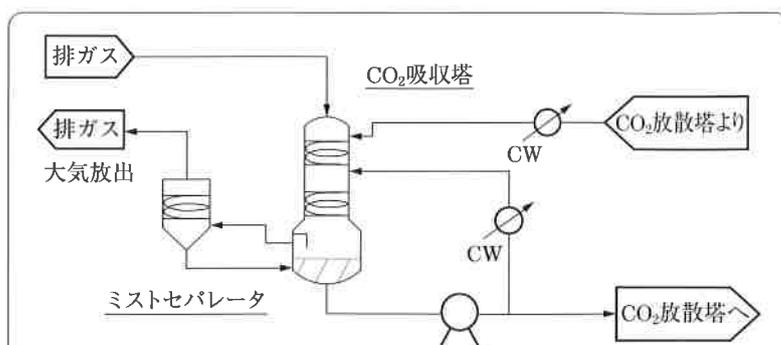


図7 CO₂吸収ユニット

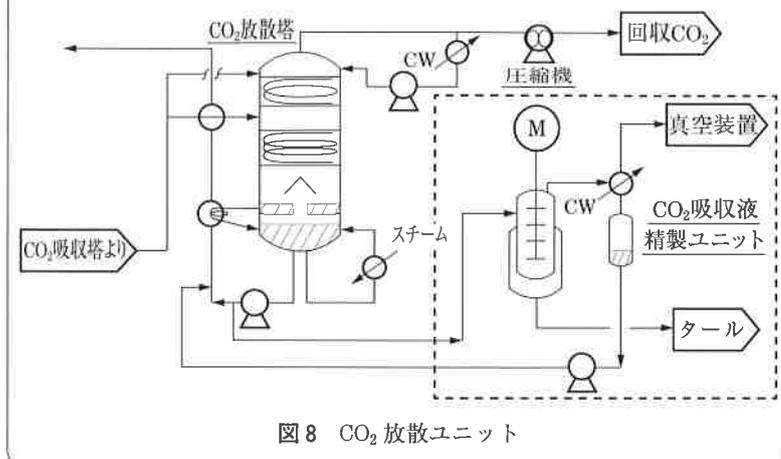


図8 CO₂放散ユニット

CO₂放散塔の塔内温度分布は放散塔の特長である塔底だけが高温でそれから上部は一気に低温領域になっている。そこで塔底とその上部の温度差が10℃以上あることを利用し、この部分にインターナリボイラーを設置し効率的な熱回収を行いリボイラーで使用しているスチームを削減する。

現状のCO₂放散塔の塔底液とフィードの完全熱交換方式はマッチポンプ効果でCO₂放散塔の塔頂にCO₂吸収液の同伴量が多くなり、リフラックスが増加し省エネルギーに反する運転となっている。

③CO₂放散塔の塔底液の一部をCO₂吸収液の精製ユニットで再生する。

どうしても運転の変動等によって前処理ユニットからの不純物の混入は避けられない。またCO₂吸収液自身やその添加物の熱分解物質、不純物が重合した生成物によってCO₂吸収液は常に汚染されている。特に最高温部であるリボイラーの伝熱壁の表面に積層し熱伝達機能を阻害させる要因になっている。これらは既設のフィルターによる物理的分離では除去できない超微細な汚れ物質や溶解性の重合物である。これを低温低圧の条件下で分離除去するCO₂吸収液再生のための小さなユニットを追加する。本ユニットの処理量は、CO₂吸収液流量の5%以下でよい。

メリットは、

- ①MU-SSPW 採用により塔の差圧が小さくなり塔底の温度が下がり汚れが抑制され長期運転が可能となる。
- ②インターナルリボイラーの設置および①の効果で省スチームが図れる。
- ③CO₂ 吸収液再生ユニットで常に汚れ物質が除去され①の効果を促進できる。

最後に MU-SSPW 採用による塔の小型化をまとめれば表 1 のように大きな設備費削減の効果が見込まれる。

3. むすび

現代、石炭産業は地球温暖化の一要因として、CO₂ 排出問題をかかえて、北風に晒されている。

弊社は地球環境保全に貢献すべく、創立以来 35 年に亘り、研究開発し、製品化を実行してきた。

上記に述べたように、前処理ユニット、CO₂ 吸収ユニットおよび CO₂ 放散ユニットに「MU-SSPW」を配置し、CCS システムに採用することで、CO₂ 排出を可能な限り放出ゼロにすることができる。弊社

表 1 CO₂ 回収 100 万 t/y の CCS 設備の改善

	前処理塔	CO ₂ 吸収塔	CO ₂ 放散塔
塔内ガス流量	46 万 Nm ³ /hr (60 万 m ³ /hr at 80℃)	46 万 Nm ³ /hr (54 万 m ³ /hr at 50℃)	5.8 万 Nm ³ /hr (8 万 m ³ /hr at 100℃)
現状	φ 15m × 20mH <向流>	φ 14m × 20mH <向流>	φ 7.5m × 20mH <向流>
↓ 充填物			
MU-SSPW 化	φ 5.5m × 12mH <並流反応塔>	φ 5.2m × 12mH <並流反応塔>	φ 3.0m × 10mH <向流>
塔径縮小率	63 %	63 %	60 %

はサブミクロンのダスト濃度を 0.1mg/Nm³、酸性ガス濃度を 0.1ppm 以下に達成できる処理システムの実績を保有している。これは、バグフィルターや電気集塵機では困難なダスト濃度領域であり、革新的な処理技術と確信している。皆様のご指導、ご協力を戴きながら「本日 晴天なり」の地球環境保全に貢献できることを念じて、螺旋状に、無極をめざして、一歩一歩、着実に歩いていく覚悟である。

芭蕉の句に雄大な天河銀河の星々が螺旋状に渦巻いて日本海の荒海に流れ込んでゆく光景に MU-SSPW の発想の原点を想起した。

「荒海や 佐渡によこたふ 天河」—芭蕉—