

# ミューミキシングエレメントの 化学プラントへの適用

小嶋 久夫\*, 鈴木 照敏\*\*

## 1. はじめに

地球環境保全と生産コストの削減を目標に自社開発し、製品化してきた「ミューミキシングエレメント<sup>®</sup>」については、これまでに多数報告<sup>1)</sup>されている。今回は、円塔内に MU-SSPW (MU Static Spiral Perforated Wings) 「ミューミキシングエレメント」を配置した「ミュースクラバー<sup>®</sup>」を主眼に報告する。

## 2. ミュースクラバーへの道程

まず、図1をもとにミュースクラバーの開発過程を示す。

図1-1は、世界最小径2.8mmの「ミューミキシングエレメント」を最初に商品化したものである。このエレメントは1枚の羽根体と通路管で構成されている。複数の右捻りおよび左捻りのエレメントを直交させて、交互に配置して静止型管内混合器「ミューミキサー」は形成されている。この「ミューミキサー」は、高粘度領域（例えば10万cPs以上）および完全層流域（レイノルズ数100以下）においても完全混合を達成している。混合器内での淀み部（デットスペース）をなくし、メンテナンスフリーで流体を均質に混合できる。最小混合量は0.01ml/secである。

図1-2のエレメントは2枚の羽根体で構成されている。エレメントの中心部は、羽根体の軸方向の全長にわたって空間を設けている。

図1-1および図1-2の右回転および左回転のエレ

メントを交互に配置して「ミューミキサー」を構成している。この「ミューミキサー」は、完全層流域においても、すじ状（金太郎飴）の混合物を解消して、流体の均質混合を達成している。

図1-3は、通路管壁に複数の右回転および左回転の多孔体から成る螺旋状の羽根体 (MU-SSPW) を接合して「ミューミキシングエレメント」は構成される。

図1-4は、大風量 (18,000~180,000m<sup>3</sup>/h) の排ガス処理用に開発した「ミューミキシングエレメント」(MU-SSPW)<sup>2)</sup>である。この「ミューミキシングエレメント」は、通路管の同心円状に、幅、高さ、穴径、開口率等の違う2種類以上の羽根体 (MU-SSPW) を配置して構成される。

## 3. ミュースクラバーの説明

### 3-1. 構造

「ミュースクラバー」は、無動力で流体を混合する静止型管内混合器 (Static Mixer) であり、円筒形の塔本体の内部に高性能の気液接触効率を有する複数の攪拌用混合羽根 (MU-SSPW) で構成されている。「ミューミキシングエレメント」を内蔵している。ミューミキシングエレメントは、右捻りおよび

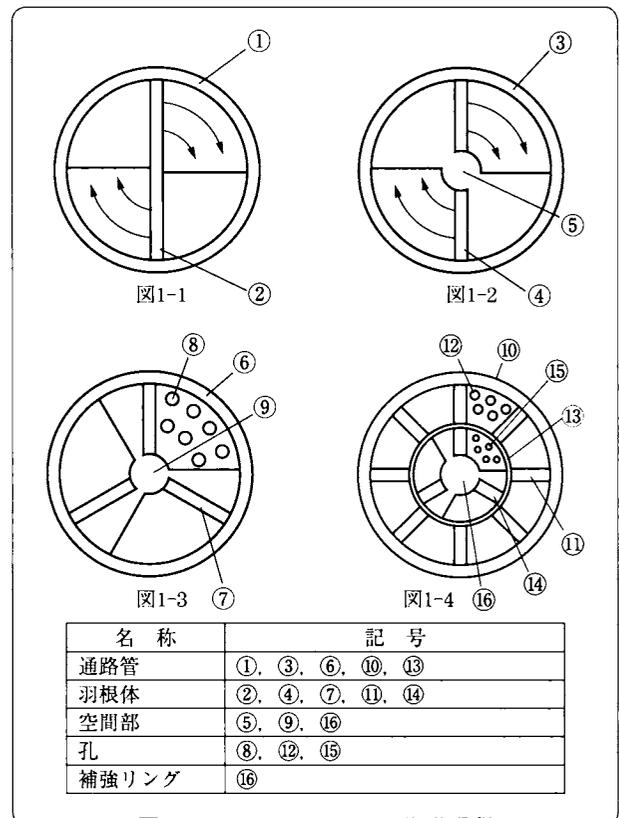


図1 ミュースクラバーの開発過程

\*Hisao KOJIMA ; (株)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 ; 同社顧問  
〒110-0007 東京都台東区上野公園 18-8-306  
TEL : 03-3828-7090  
FAX : 03-3823-2890  
E-mail : 01150324kojima@mu\_company.com

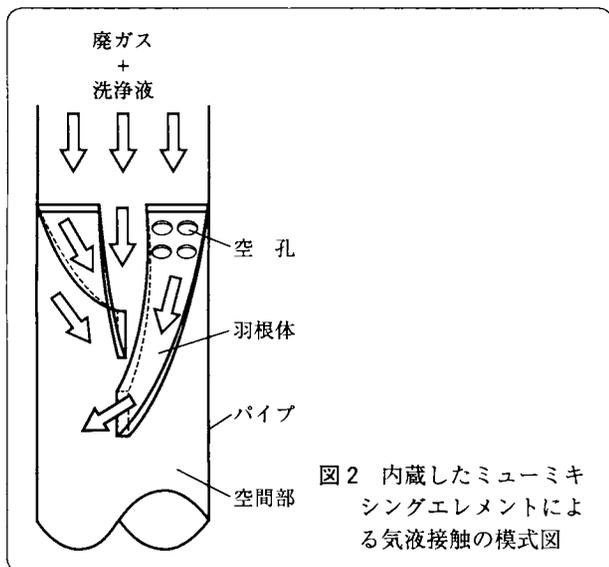


図2 内蔵したミューミキシングエレメントによる気液接触の模式図

左捻りの螺旋状の羽根体である。羽根体は多数の空孔を有する多孔体である。微細粒子および化学物質を含有する排ガスは、ミュースクラバーの上部から供給される。

一方、ポンプにより装置下部タンクから供給された洗浄液は、塔本体の側面に配置された散水管に設置したスプレーノズルを介して塔内に噴射する。この洗浄液は、排ガス中の化学物質と粉塵を吸収しつつ、塔の上部から下部へ落下して下流に配置したタンク内に集まり、再び塔内を循環する。

すなわち、塔を通過する排ガスと循環する液体は、内設されたミューミキシングエレメント内を並流で通流する間に、多分割、旋回、合流、右、左方向の螺旋状回転および半径方向と軸方向でのせん断を繰り返しながら、気液は完全に混合、接触される。

最初に、この方式による効果は排ガスからの含有物質の捕捉である。前述のように気液接触効率を増大させ、捕捉を高効率で行う。排ガス中の化学物質は化学的に吸収して、また、不活性物質は物理的に接触して洗浄液に捕捉する。また、排ガス中の粉塵の微細粒子は、装置内を通流する間に凝集や膨潤により粒子成長して粗大化する。さらに気液の強い混合で塔内に発生する微細な気泡に捕捉される（滝理論）。微細粒子は洗浄液に容易に捕捉されるようになり、洗浄液に懸濁する。これらにより、排ガスは清浄化される。

次に、排ガスからの物質の捕捉を装置内の閉塞なしに行うことである。これは、排ガスと洗浄液の気液混相流とミューミキシングエレメントの相互の連携による効果である。反応生成物および粉塵等の付着成長による羽根の表面・裏面や空孔の目詰まりお

よび装置壁面での付着成長を防止する。

3番目は、排ガス処理の通流時の圧力損失の低減である。これは、ミューミキシングエレメントの構造に基づき圧力損失を小さくする効果である。また、塔本体側面に配置する散水管のスプレーノズルからの循環洗浄液の噴き出しによってエジェクター効果を生じさせて、圧力損失のさらなる低減化に貢献している。

ミュースクラバーを通過した洗浄後の排ガスは、次にミスト分離装置へ送られる。通常、空塔速度が速ければ速いほど、処理後の排ガスに排液ミストが飛沫同伴する量が増える。このミストを、分離装置および循環液タンクで回収する。すなわち、気流中に存在する小径の飛沫を気体から分離して、循環液タンク内に返送する。一方、排ガスは大気中に放出するか、または次工程に送られる。なお、このミスト分離装置にミューミキシングエレメントを利用した「ミューセパレータ」を製品化している。

この排ガス処理において、ミュースクラバーには適宜新液が供給される。これは、気液温度制御のためであり、通常は新液の顕熱、蒸発熱を用いた冷却を行うためである。これに加えて、循環液ラインに熱交換器を設置して外部から冷却、または加熱を行う方法もあり、そのプロセスに適すように設計する。

新液投入のもうひとつの目的は、タンク内の循環排液中の捕捉物質の濃度制御のためであり、捕捉物質を含有した排出液をタンクの液レベルを維持しつつ排出する。

### 3-2. 混合原理

図2に示すように、パイプ内周面に螺旋状の右捻り（右旋回）および左捻り（左旋回）の羽根体を設置して、複数個の右捻り羽根体および左捻りの羽根体を、空間部を介して交互に配置している。羽根体は多数の空孔を有している。

従来のスタティックミキサーにはこの空間部はない。隣接するミキシングエレメントの端縁同士を接合してスタティックミキサーを形成している。この空間部は、特に、乱流域において半径方向での複数の流体通路からの合流効果を促進して、通流する流体の気液混合効率を向上させる機能をもっている。

羽根体に多孔板を使用することで、機能的には、混合効率の向上と渦流による自浄作用と、メンテナンスフリー化を達成している。製作面では、羽根体への粉塵の付着成長を防止して精密な螺旋状の羽根体を金型を使用して鍛造で安価に製作できる。

排ガスと洗浄液とは並流で、螺旋状に右に捻った羽根体を通流しながら、分割、合流、水平および垂直方向のせん断作用により、気液の混合接触が行われる。そして、空間部で合流し、次に螺旋状に左に捻った羽根体による再分割、せん断作用により混合接触される。このように、多分割、旋回、合流、反転作用、および半径方向と軸方向でのせん断作用を連続的に繰り返しながら気液は完全に混合接触される。

### 3-3. 混合テスト

図3に示した気液混合状態の写真から、ミュースクラバーを使用して、良好な気液の混合、接触状態を得るポイントは、以下の二点であることが理解できる。

- ①液／ガス比を高くする（ガス流速が一定下）
- ②ガス流速を速くする（液／ガス比が一定下）

### 3-4. 特長

1) コンパクトに、排気ライン上に設置できる。

ガス空塔速度は2~30m/secであり、排気管の途中に設置できる。気液は並流なのでフラッディングおよびチャンネリング現象が起きず、塔内流速を最大30m/secで運転することができ、コンパクト設計で設備費が低減できる。

2) 低い圧力損失。

操業開始時は、塔内をガスが通流するとともに液を循環する。その液ガス比は0.2~500ℓ/m<sup>3</sup>の範囲であるが、良好な気液接触を得るために、ガスの最小流速2m/sec近傍では液ガス比は50~500ℓ/m<sup>3</sup>と高目に設定する。また、最大流速の30m/sec下では液ガス比は低目で0.1~20ℓ/Nm<sup>3</sup>の範囲である。

低圧力損失を求める場合は、圧力損失ゼロの運転も塔内流速を低くしたり液ガス比を小さくすることで可能である。これに反して、気液接触効率を最大限に上昇させる、高流速、かつ高い液ガス比の条件下では、圧力損失は通常運転の3kPaG以下を外れて増加する場合がある。

3) 目詰まりがなく、メンテナンスフリーである。

付着性の強い粉塵を処理したり、気液接触部で金属酸化物等の固体を析出したりする過酷な要求の気液混合の条件下であっても、生成物による目詰まりを完全に防止して、長時間、連続運転(8,000時間/年以上が通常で、17年間連続運転の実績もある)ができる。また、長期運転後に装



(a) 単位面積通気量  
: 35,000m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · h  
ガス流速: 10m/sec  
液ガス比: 70ℓ/m<sup>3</sup>



(b) 単位面積通気量  
: 35,000m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · h  
ガス流速: 10m/sec  
液ガス比: 45ℓ/m<sup>3</sup>



(c) 単位面積通気量  
: 35,000m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · h  
ガス流速: 10m/sec  
液ガス比: 15ℓ/m<sup>3</sup>



(d) 単位面積通気量  
: 35,000m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · h  
ガス流速: 10m/sec  
液ガス比: 8ℓ/m<sup>3</sup>



(e) 単位面積通気量  
: 18,000m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · h  
ガス流速: 5m/sec  
液ガス比: 35ℓ/m<sup>3</sup>



(f) 単位面積通気量  
: 18,000m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · h  
ガス流速: 5m/sec  
液ガス比: 15ℓ/m<sup>3</sup>

図3 気液混合状態の写真

$$\left( \text{※液ガス比} = \frac{\text{液量}[\ell/\text{h}]}{\text{ガス量}[\text{m}^3/\text{h}]} \right)$$

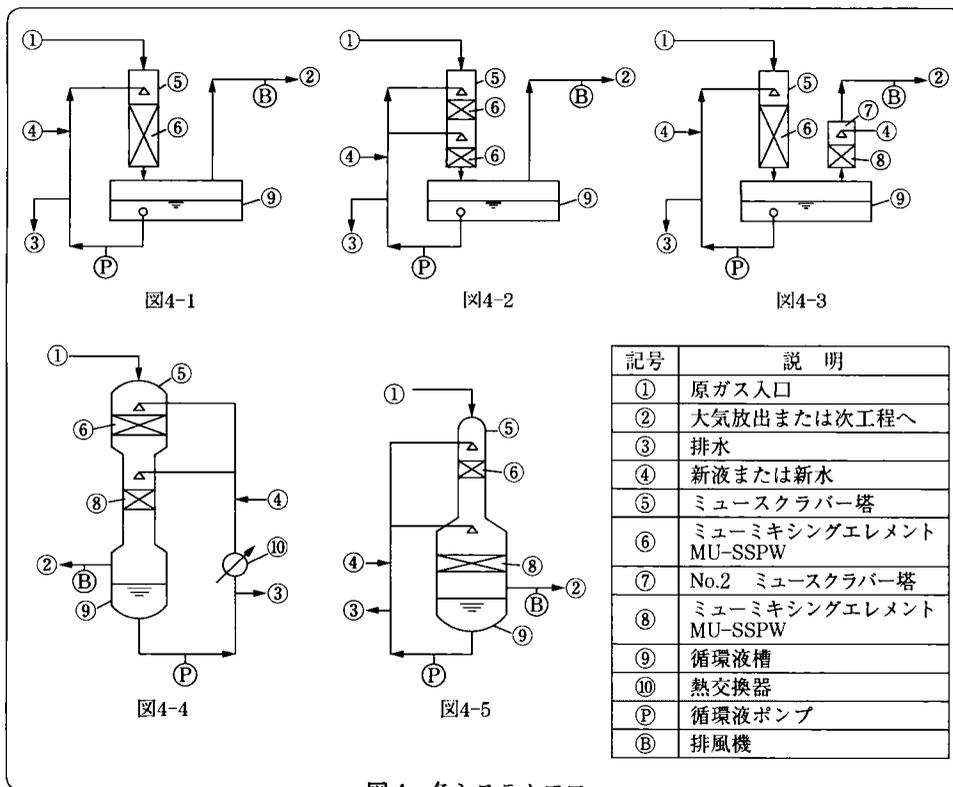


図4 各システムフロー

99.99%以上である。プロセスの組み方次第で99.999%以上も可能であるが、化学物質の性質にもよる。また、1ミクロン以下の粉塵やミストは通常90%以上の除去効率であるが、洗浄液との相溶性によって変化する。もし、さらなる除去効率の上昇が必要な場合は、通常はエレメント数を増やすことで容易に対応することができる。

5) 高濃度、および低濃度ガスの両方の処理に適する。

10~100%の高濃度の化学物質を含有する排ガスであっても容易に処理

置洗浄を行う際は、装置の分解と洗浄作業を容易に行うことができる。

4) 粉塵、ミスト、化学物質の捕捉は高性能。

除去効率は、1塔当たり化学物質の吸収で90~

できる。空気や窒素で希釈する必要はない。また、気液接触効率が高いため、数十容積 ppm の低濃度の化学物質の処理にも適する。

6) 気液接触効率が高いため、気液平衡の実現を仮定して簡素に設計できる。

化学吸収、蒸発凝縮の相変化、またはヘンリー法則に基づく物理吸収などを気液平衡データに基づき、気液の組成、温度、ならびに必要熱量を求めて設計する。気液中の化学物質の吸収、脱着に関して、ミュースクラバー内で気液平衡へ到達することを幾つかの例で確認している。洗浄液が水である場合に水の蒸発・凝縮は、気液平衡に到達する。

7) 捕捉と冷却を同時に行う機能がある。

排ガスから粉塵および化学物質を捕捉すると同時に、気液の冷却を行う。この同時機能を備えていることはミュースクラバーの利点である。

8) 向流式でも使用できる。

このケースは、多段のミューミキシングエレメントに蒸留塔のような考えを適用し理論段数を求める。もし吸収速度の遅い物質ならば段数にゆとりをもつ。吸収においては、排液中の化学物質濃度を高め、かつ、排ガス中の化学物質濃度は極微量に低下する。一方、放散に使うと吸収液から高濃度の化学物質を気体として回収して、かつ、放散後に残った吸収液の化学物質濃度を極力低下させる。また、並流と向流の組み合わせを、最適設計として用いる場合もある。

表1 各システムフローの特長

記号	特長
(1) 図4-1	ミュースクラバーのガス吸収、除塵装置として利用される代表的な実施例である。塔内の圧力損失による変動値は±3mm水柱である。
(2) 図4-2	ミュースクラバー塔内に複数のミューミキシングエレメントを配置して構成している。付着性の強い粉塵処理および高濃度ガス処理に最適である。排煙脱硫装置および除塵装置などに使用される。スプレー効果により、圧力損失を小さくできる。排風機を設置しなくても、設計できる。
(3) 図4-3	2塔方式で、高濃度のHCl、NH <sub>3</sub> +シラン系およびチタン系ガスの処理装置として使用している。処理後HCl濃度は5ppm、SiO <sub>2</sub> 濃度は10mg/Nm <sup>3</sup> 以下である。
(4) 図4-4	高温排ガスのガス吸収・除塵・冷却処理装置として、1塔で利用される。焼却炉の排ガス処理装置として使用されている。特に、ダイオキシン、Hg対策処理として有効である。排ガスの直接冷却塔としても利用している。
(5) 図4-5	塔内に、ガス流速の異なる(上部は10~30m/sec、下部は2~10m/sec)気・液接触領域を設けて、微細な粒子の除塵装置およびガス吸収装置として利用している。

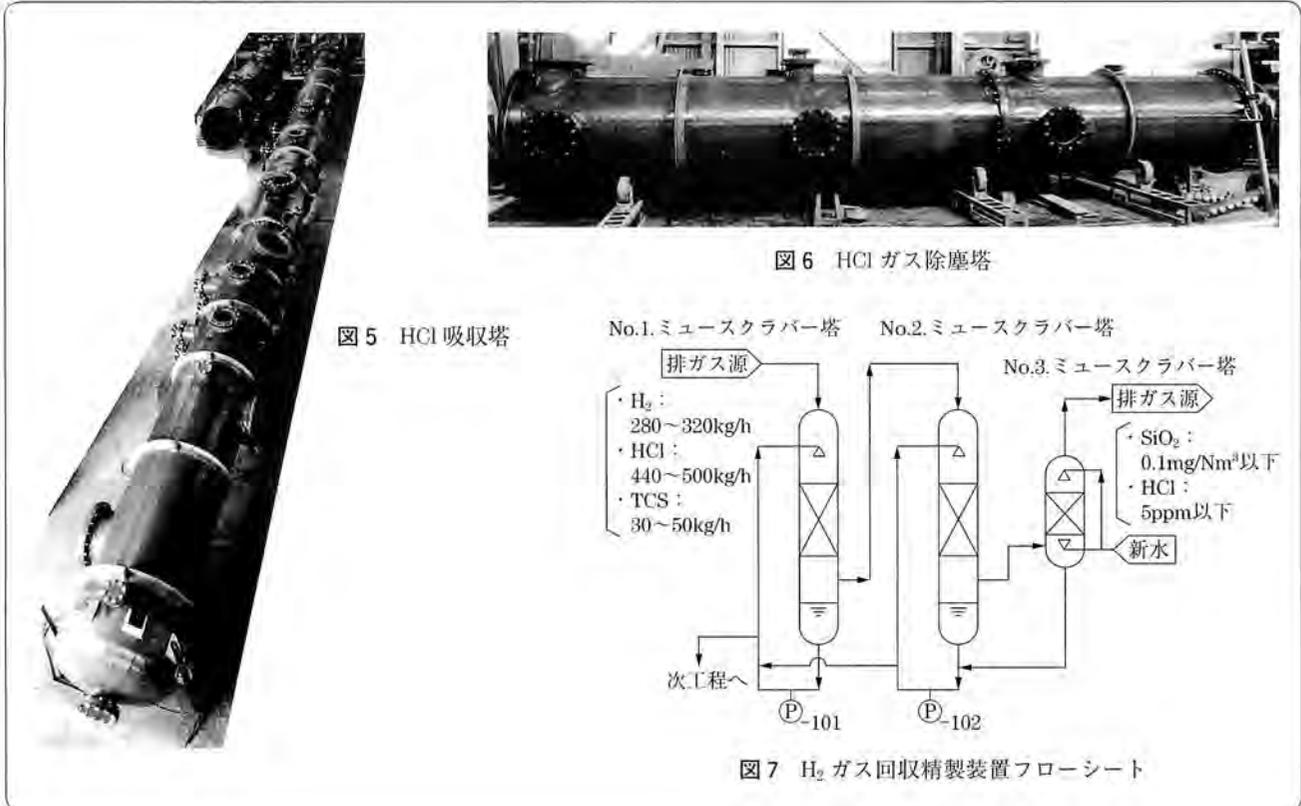


図5 HCl 吸収塔



図6 HCl ガス除塵塔

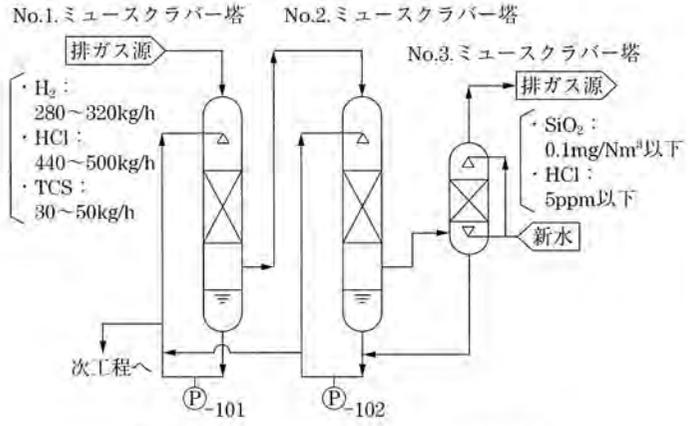


図7 H<sub>2</sub> ガス回収精製装置フローシート

#### 4. システムフロー

次に、ミューミキシングエレメントを利用した湿式排ガス処理システムについて説明をする。

表1は各システムフローの特長を、図4には各システムフローを示した。

#### 5. ミュースクラバーの応用例

##### 5-1. 排ガスからのHCl吸収および回収

3塔式のミュースクラバー塔を使用した30% HCl回収装置を図5(写真)に示した。このHCl吸収・回収プロセスの除塵塔および吸収塔に使用されて稼働中である。このプロセスの詳細に関しては、論文<sup>3)</sup>を参照されたい。

この論文で注目される記事は、「図7. HCl吸収の気液平衡到達度の判定」に示されている「ほぼ気液平衡に従い吸収が行われていることを確認した。」と述べられている点である。また、除塵塔(図6)写真においても、年間8千時間メンテナンスフリーで連続運転をしている。除塵効率は95%以上である。高濃度25~30% HCl、およびSiO<sub>2</sub>濃度は0.1~1.0wt%の吸収液を循環使用している。

表2に充填塔方式とミュースクラバー方式との比較を示した。充填塔方式と比較して、塔径は約1/2、塔全長は1.5倍、充填物高さは1/2、HCl回収効率は3~4%向上している。メンテナンス回数は年間

表2 HCl吸収塔における充填塔方式とミュー方式との比較

項目	充填塔方式	ミュースクラバー方式
塔径	φ1,700	φ900
塔全長	14,000	21,000
充填物高さ	不規則充填物 6m	ミューミキシングエレメント 3m
HCl回収効率 [%]	90~92	93~96
メンテナンス [回数/年間]	2~3	0

を通じてほぼゼロである。HCl回収による生産コストへの貢献度は、HCl原ガス濃度1,600kg/hとして、回収効率96%、回収される30% HCl価格を24,000円/tと仮定した場合、

$$1,600\text{kg/h} \times 0.96 \times 8,000\text{h/Y} = 12,288,000\text{kg/Y}$$

$$12,288\text{t} \times 24,000\text{円/t} = 2.95\text{億円}$$

1年間で約3億円、生産コストの低減に貢献することになる。また、メンテナンス費用もほぼゼロになり、生産コストの低減化にさらに寄与している。なお、3塔式から4塔式にすることで、プロセスの安定性および吸収効率の向上に貢献することも実証されている。

##### 5-2. 排ガスからH<sub>2</sub>の回収

図7に、排ガスからH<sub>2</sub>の回収精製プロセスのシ

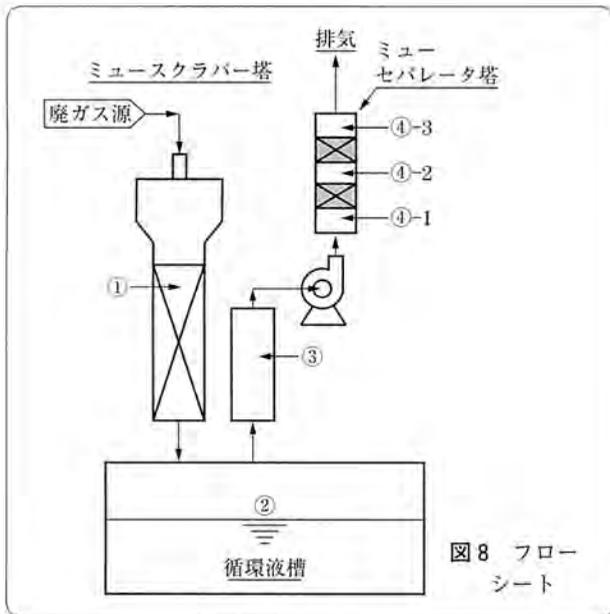


図8 フローシート

ステムフローを示した。ミュースクラバー塔は、3塔直列方式を採用して、No.1、No.2 ミュースクラバー塔は並流方式で、No.3 は向流方式で使用している。原ガス組成は、 $H_2$ : 280~320kg/h、 $HCl$ : 440~500kg/h、 $TCS$ : 30~50kg/h である。

処理後排ガス濃度は、 $HCl$ : 5ppm 以下、 $SiO_2$ : 0.1mg/Nm<sup>3</sup> 以下である。

$H_2$  ガス回収精製プロセスによる生産コストへの貢献度は、 $H_2$  使用量は 280~320kg/h、 $H_2$  価格は 1,000 円/kg、年間稼働時間は 8,000h とした場合、 $230\sim 320\text{kg/h} \times 1,000 \text{ 円/kg} \times 8,000\text{h} / Y = 22.4\sim 25.6$  億円になる。

### 5-3. 排ガス中のシラン系ガスの吸収・除塵

高濃度のシラン系ガス（例えば  $SiCl_4$ ）を加水分解反応を用いて除害処理を行う場合、加水分解反応式は、



である。

生成する  $SiO_2$  は超微細な粒子（サブミクロン）であり、スプレー塔、充填塔では、 $SiO_2$  粒子を高効率で捕捉することは困難であった。従来はベンチュリー方式を採用している。ベンチュリー方式の欠点は、高い圧力損失（500~1,000mm 水柱）のために電力消費量が高価になる。また  $HCl$  の大気放出濃度を 5ppm 以下にすることは難しい。合成石英工場における排ガス処理のフローシートを図8におよび稼働状態を写真1から写真4に示した。原ガスは、ミュースクラバー塔、循環液槽、排風機、ミューセパレーター塔を通流して、大気放出される。原ガスに



写真1 シラン系ガスの稼働状態



写真2



写真3



写真4-1



写真4-2



写真4-3

写真1~4 稼働状態

は、 $HCl$  は 3,000~5,000ppm、 $SiO_2$  は 1~3g/Nm<sup>3</sup> 含まれている。処理後排ガスは、 $HCl$  濃度は 5ppm 以下、 $SiO_2$  濃度は 10mg/Nm<sup>3</sup> 以下で大気放出される。撮影箇所は、写真①はミュースクラバー塔の中段、②は循環液槽、③は空塔、④-1 はミューセパレーター塔の下段、④-2 は中段、④-3 は上段である。

### 5-4. かん水中の $O_2$ 、 $CO_2$ の真空脱気

かん水の  $O_2$ 、 $CO_2$  の真空脱気放散処理装置（ミューリアクター塔）としてミューミキシングエレメントが利用されている。

ミューリアクター塔の設計仕様は、かん水量は

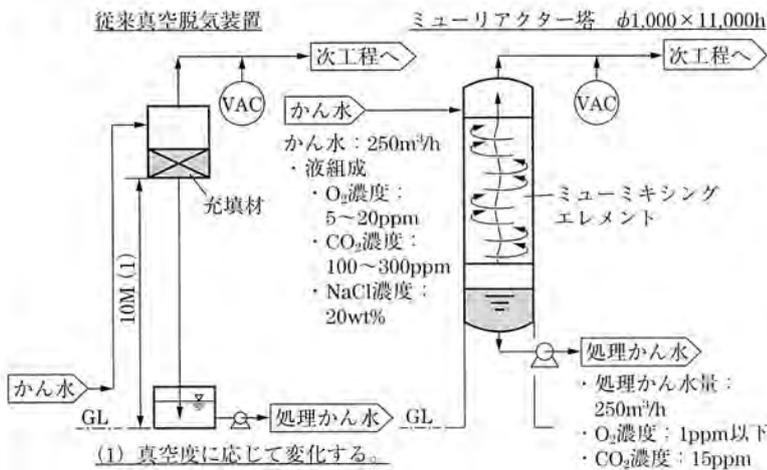


図9 従来方式とミュー式との比較



図10 従来方式とミュー方式との比較

250m<sup>3</sup>/h、液中のO<sub>2</sub>濃度は5~20ppm、CO<sub>2</sub>濃度は100~300ppm、NaCl濃度は20wt%、Ca系化合物は少量含んで、真空度は-9,996mm水柱である。図9に、従来真空脱気装置とミュー式脱気塔のフローシートを示した。図10に、従来の脱気塔1、ミュー式脱気塔2を示した。ミューリアクター塔は、Ca系化合物などによるスケーリングの発生もなく、順調に運転されている。材質は、塔本体はFRP、ミューミキシングエレメントはPP（ポリプロピレン）製である。

### 5-5. 大型反応槽

直径20m、容積4,000m<sup>3</sup>の大型反応槽にC<sub>5</sub>~C<sub>10</sub>

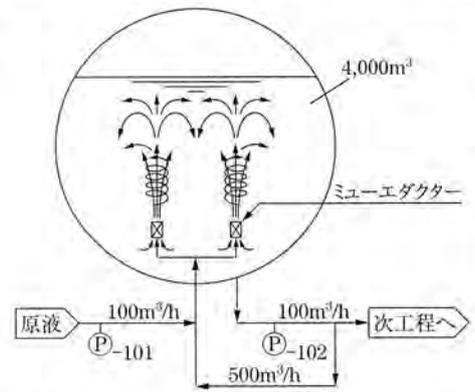


図11 ミューエダクターシステムフロー図

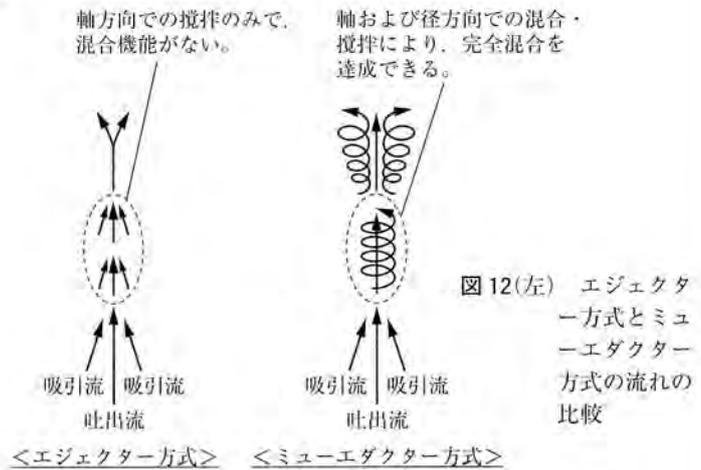
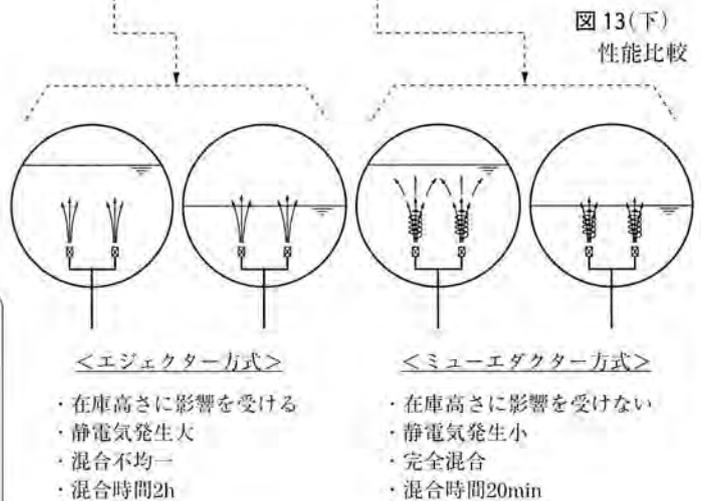


図12(左) エジェクター方式とミューエダクター方式の流れの比較



の炭化水素の混合・攪拌装置として、ミューミキシングエレメントを内蔵した「ミューエダクター<sup>®</sup>」が利用されている。図11にシステムフローを示した。「ミューエダクター」の寸法は、200A×500A×750Hであり、1基の処理能力は、250m<sup>3</sup>/h×2基=500m<sup>3</sup>/hを循環して使用している。図12に、従来のエジェクター方式とミューエダクター方式との性能比較を示した。図13に、エジェクター方式とミューエ

表3 CO<sub>2</sub>ガス吸収 メンテナンス費用の削減

ミューは自浄（セルフクリーニング）作用があるが、従来の充填物で1年毎にクリーニングしていたのが、ミューを採用して5年間連続運転可能となり汚れが激減した。

省エネルギー

高効率 → ダイナミックな気液接触により高性能化

低差圧 →

低差圧	従来の充填物	ミュー	
差圧 [kPa/m]	0.2	0.04	1/5

設備費の低減

高効率（高性能化） → 塔径が小さくなる。

	従来の充填物	ミュー	
塔径	4m	1.8m	1/2
蒸気流速	1m/sec	5m/sec	

→ 塔高を低くできる。

汚れなし → スペア不要

ダクター方式の流体の混合機能の比較を示した。現在、プロセスに影響を与える振動もなく順調に稼働中である。シェールガス、LNG、原油、貯液タンク等における温度、濃度の均質化に貢献できるものと期待されている。

### 5-6. 今後の技術展開

#### (1) 排ガスのCO<sub>2</sub>ガス吸収、放散。

石炭火力発電所から排出されるCO<sub>2</sub>ガスによる地球温暖化への影響を最小限にすべく、CO<sub>2</sub>ガス吸収、放散プロセスの技術革新が要望されている。従来技術の問題点は、

- 1) アミン系吸収液の粉塵による汚染。
- 2) 粉塵の付着・成長による吸収塔の目詰まりの

発生。

#### 3) CO<sub>2</sub>放散塔の使用エネルギーに対する放散効率の問題。

等がある。

これらの問題点をミューミキシングエレメントを利用することで解決可能となる。表3にミューミキシングエレメント採用の利点について示した。

図14に、ミューミキシングエレメントを排ガス水洗浄塔、CO<sub>2</sub>吸収塔、CO<sub>2</sub>放散塔に配置したCO<sub>2</sub>回収システムフローを示した。これまでのミューミキシングエレメントの実績から、大いに貢献できるものとする。

#### (2) 原子力発電所の事故時に放出されるベントガスの処理。

UO<sub>2</sub>およびUO<sub>2</sub>+PuO<sub>2</sub>混合物からなる核燃料が運転中に何らかの原因で暴走し、圧力容器の内圧が設定圧力以上になった場合、圧力容器の破損防止のために、圧力容器内のガス圧力を下げる必要がある。この多核種の核分裂生成物を含んだベントガスを規制値以下にして大気中に放出するために、ベントガス中の微細な核分裂生成物および揮発性ガスから成る放射性物質を除去しなければならない。前述したように、「ミュースクラバー」は、

- 1) 超微細な粒子を捕捉できる高性能の除塵機能を有している。
- 2) メンテナンスフリーである。自浄機能を有している。生成物の付着・成長による目詰まりの発生はない。

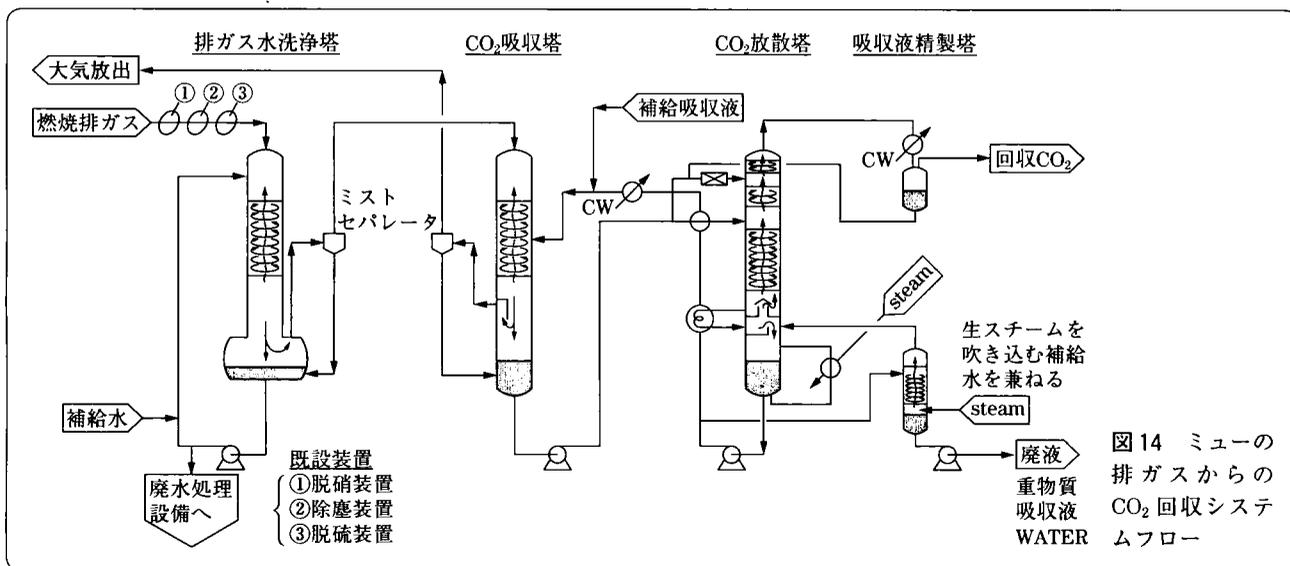


図14 ミューの排ガスからのCO<sub>2</sub>回収システムフロー

- 3) 1塔方式で、ガス冷却、ガス吸収、ダスト除塵の3機能を有している。
- 4) 圧力損失は5kPa以下で設計できる。
- 5) 塔内ガス流速は3~30m/secで設計できる。
- 6) 省スペースに設計できる。

等の特長がある。以上の考察および実績から、ベントガスの処理装置として「ミュースクラバー」は優れていると考えられる。

### 5-7. スケールアップの考え方

ミュースクラバーのスケールアップの考え方について簡単に述べる。通常、化学装置のスケールアップは非常に難しいという認識が一般的である。特に、乱流域での流体の混合状態をシミュレーションするのは難しい。そのために、流体の流れ状態のシミュレーション、ビーカーテスト、パイロットプラント、実証プラント、実機プラント設計という過程を踏んで実施される。これに対して、以下に述べるようにミュースクラバーのスケールアップは比較的容易である。

#### (1) ミューミキシングエレメントの主なる混合因子 (気-液混合・接触の場合)

- ① 液体および気体の空塔速度
- ② 液体および気体の粘度、温度、表面張力等
- ③ 液・ガス比 ( $L/G = \ell/m^3$ )
- ④ 気・液接触時間 (エレメント全長÷ガス流速)
- ⑤ スプレーノズルの噴霧形状および液体の通過孔径
- ⑥ 溶解度、反応速度、蒸気圧
- ⑦ 羽根体の回転角度
- ⑧ 隣接するエレメントとエレメントとの距離 (空間部の長さ)
- ⑨ 羽根体の穴径および開口率
- ⑩ 羽根体の充填密度 [ $m^2/m^3$ ] (羽根の全表面積÷エレメント容積)

#### (2) テスト因子

- ① ガス空塔速度 [ $m/s$ ]
- ② 液・ガス比 [ $\ell/m^3$ ]
- ③ ダスト濃度 [ $mg/Nm^3$ ]
- ④ ガス濃度 [ $ppm$ ]

#### (3) 実機設計 (スケールアップ)

- ① 実ガスでの運転テスト結果をもとに、確定した最適条件下でのガス速度、 $L/G$ 、気液接触

時間、許容圧損、および排ガス導入部の粉塵による閉塞防止装置の必要性の有無等を考慮して、実機を設計する。塔径、塔長および排ガスの導入位置、散水管の散水位置および散水方法、スプレーノズルの型式、噴霧パターンなどを選択し決定する。

#### ② 次に、ミューミキシングエレメントの構造を設計する。

- (a) 羽根体の充填密度 (羽根の全表面積/塔体積 [ $m^2/m^3$ ]) を計算し、羽根体の枚数を確定する。
- (b) 羽根体の右回転、左回転の回転角度を決定する。
- (c) 多孔体で形成される羽根体の孔径、開口率を決定する。
- (d) これまでの実績値およびテスト結果を検討して、高性能、メンテナンスフリーを維持すべく構造および化学反応工程上のトラブル要因等を加味して、最終決定をする。
- (e) 循環液中の粉塵濃度、塩濃度およびpH等の操作管理条件は客先範囲と考えている。
- (f) 長期間運転上の問題点の有無を検討する。

#### (4) まとめ

以上の点を熟慮して、当社の実績値および客先でのテスト結果等を総合的に判断し、さらに創造力と想像力を高めて実機を設計する。

## 6. おわりに

会社創立以来32年間、少人数の社員と共に荒波にもまれながらも、沈没せずに、大海原を航海できているのは、一重に、ご指導、ご協力を戴いた皆様方のお蔭と感謝をしている。ここに誌して、心から厚くお礼申し上げます。

「ものゝ実 (実相)」を見極めて、芭蕉の「不易流行」を反芻しながら、「格物致知」に至る「無 (MU) の連続性」を顕現化する「螺旋」を玉手箱に、地球環境保全と生産コスト削減のための技術革新を、未知なる道を、道なき道を、一步一步探求していく覚悟である。

さみだれを あつめて早し 最上川

[松尾芭蕉:「奥の細道」最上川]

#### 〈参考文献〉

- 1) 小嶋久夫、池田潤: 環境時代の設計・製造・エンジニアリング技術, 工業材料, 2014年9月号, 10月号, 11月号, 日刊工業出版プロダクション
- 2) USP7,510,172B2, EP1716917
- 3) 美谷芳雄、西野耕司: 最近の乾式シリカ製造技術と環境対策 (2), 化学装置, pp91~95, 1995年4月号

※この俳句が詠まれた元禄期、最上川流域には金銀の鉱山が点在していた。川の水は澄みきった状態ではなく、さみだれのように川の所々にさまざまな色の濁りが生じていた。おそらく鉱山からの排水が川に流れ込んでいたからであろう。収穫した米は稲舟に積み込まれ、急流を下り酒田港まで運ばれ、そこで北前船に積み替えられ、上方まで運ばれていった。芭蕉はこのような風景を隠喩としてこの句に込めたのであろう。