

TEXEL 技報

Vol.5 2014.05

 **セイコー化工機株式会社**
技術開発研究所

PP 製立形ポンプ VEP 形

ポンプ事業部設計課 新山 裕司

1. はじめに

立形成形ポンプである現行製品 VEM 形ポンプは、PVDF (Polyvinylidene Fluoride) 製が 1988 年に上市して以来、今年で 26 年目になる。また、PP (Polypropylene) 製は 2001 年上市で、13 年目になる。この間、国内メーカーや台湾製の安価な射出成形品の立形ポンプと競合を行って来たが、一部の市場のみで売上には大きく影響することはなかった。しかし、近年では海外市場への販路拡大や三流製品との競合が当たり前の状況となっている現実がある。本問題解決の一環として、長年の足枷となっていた厚肉成形からの脱却、以前より問題視されていたポンプ効率改善を念頭に置いた性能設計の見直しを含め、今回の射出成形品 VEP 形ポンプの新製品開発に取り組んだ。

2. 製品仕様

- 1) 開発機種 (図 1) :
VEP 形ポンプ
(VEM 形ポンプのフルモデルチェンジ)
- 2) 口径 :
25A/40A/50A/65A/80A/100A
- 3) 性能範囲 (表 1、図 2・3) :
VEM-025~100 形 カタログ範囲
- 4) 最大出力 :
min.0.75~max.7.5kW (TEFC/d₂G₄)
min.0.75~max.5.5kW (eG₃)
2P 仕様 : 50/60Hz
- 5) 本体材質 :
成形品 : G-PP
(20% Glass Fiber Reinforced Polypropylene)
- 6) 構造 (図 4) :
 - ・ 駆動…電動機直結タイプ
 - ・ ガスシール…V リング&ガス抜き開口部
 - ・ インペラ…クローズドタイプ
- 7) 使用可能温度範囲 :
0~80°C

8) 回転方向

時計方向 (電動機側より視)

9) フランジ :

JIS 10K RF 相当

(ANSI/DIN は、PCD のみ対応)

10) 電動機 :

汎用フランジ 2 極誘導電動機



図 1. VEP/外観

3. 製品概要

3-1. 従来の立形成形 VEM 形ポンプ

前述のとおり、VEM 形ポンプは国内・国外問わず、販路拡大の弊害となる次頁のような様々な仕様を抱えていた。

表 1. VEP/要目表

ポンプ形式	50Hz×2P		60Hz×2P	
	使用可能流量 L/min	最大全揚程 m	使用可能流量 L/min	最大全揚程 m
VEP-025	20 - 130	21	20 - 160	28
VEP-040	20 - 250	22	20 - 300	30
VEP-050	50 - 480	27	50 - 500	38
VEP-065	100 - 700	24	100 - 800	36
VEP-080	150 - 1000	25	150 - 1000	35
VEP-100	200 - 1300	22	200 - 1200	30

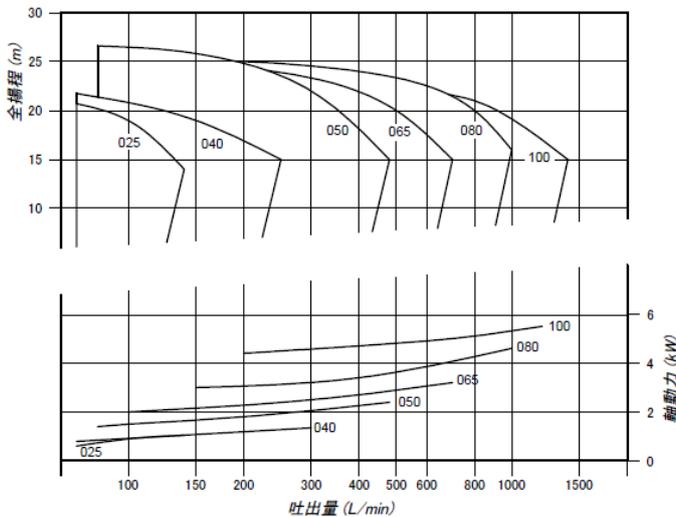


図 2. VEP/容量図 (50Hz)

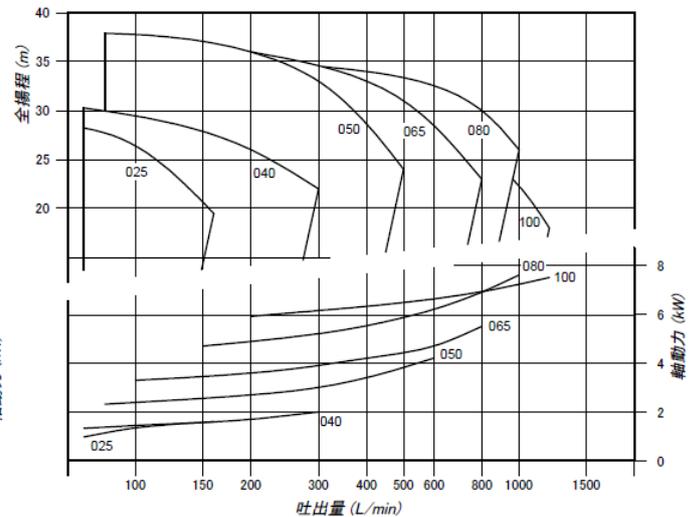


図 3. VEP/容量図 (60Hz)

- 1) 弊社専用の長軸電動機を採用していたため、防爆仕様には容易に対応できず、また全閉外扇屋外型、高効率電動機の 2 種類での対応となっている。
- 2) VEM 形ポンプは、JIS フランジのみでの提供となっている。
- 3) 銅管は高い剛性を確保することを目的とし、金属管を樹脂に埋め込んでいたため、相当な重量となっている。
- 4) PVDF 製が主体であったため、高品質なポンプという扱いで、ガスシールサポートに V リングとエアリングを取り付けるという二重のガスシール対策を採用している。
- 5) 銅管ボルトには、雰囲気による腐食の影響の少ない PPS 樹脂被覆ボルトを標準として採用している。
- 6) ポンプ主軸と電動機軸の結合方式は、通常であれば、転がり軸受ナット・ワッシャ方式を採

用している。

- 7) VEM 形の槽内型ポンプの仕様は、吸込・吐出フランジに TS フランジを樹脂製ボルト・ナット+O リングでセットする方法を採用していた。

3-2. 新製品立形ポンプの構想

無駄な部品、過剰な品質・仕様を徹底的に見直し、品質と原価低減の共存する製品開発に努めた。

- 1) 電動機は汎用 2 極の設計とする。これは日本以外の国での販売に大きく寄与することと、防爆仕様への容易な対応を可能とする。また、法令による電動機の高効率規制にも対応するためである。
- 2) ルーズフランジ方式を採用し、ボルト穴は ANSI・DIN 規格対応とするために長穴とした。

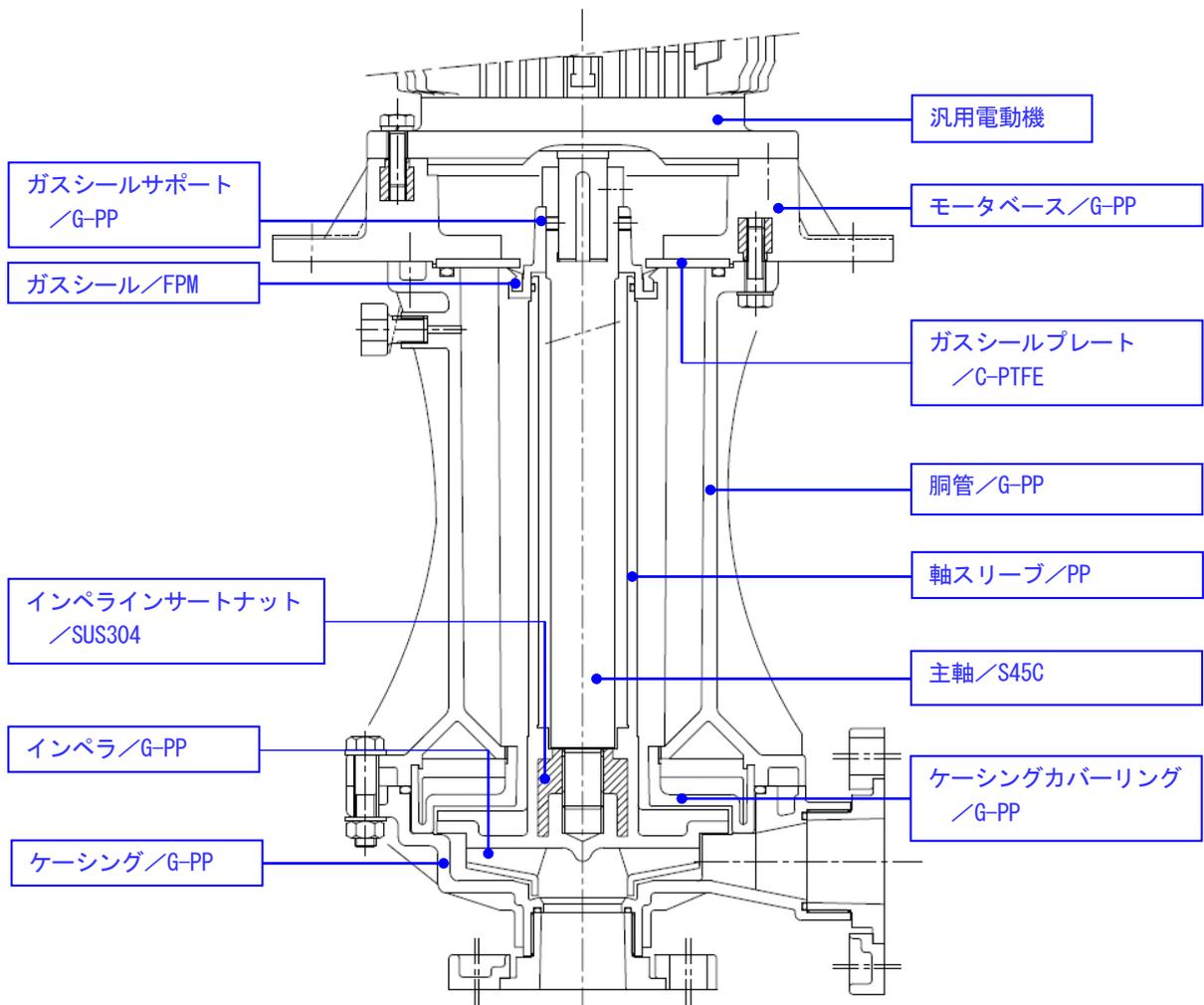


図 4. VEP/部品構造図

- 3) 構造・形状を工夫しながら、樹脂単体での剛性の維持・向上を追求した。本仕様の採用は、軽量化へ的一端を担っている。
- 4) 定量的な評価のできない、効果の不確かさの残るエアリングを不採用とした。
- 5) 胴管ボルトについては、金属ボルトを標準品として、従来のPPS樹脂被覆ボルトはオプション品とした。
- 6) 特別設計品での対応で、転がり軸受ナット・ワッシャではなく、キャップスクリュー（六角穴付き止めネジ）を採用しているパターンもあり、こちらも問題視された経緯がないため、キャップスクリュー止め方式を採用した。
- 7) 槽内型ポンプの仕様として、従来の吐出しフランジ方式を標準で採用せず、バルブソケットを直接ねじ込むこととし、部品点数の削減を目指した。ポンプ側は、管用平行ネジ（めねじ）となっている。

3-2. 製品説明

既存 VEM 形ポンプのフルモデルチェンジ、性能設計線図の見直し、25 口径については低比速度ポンプの設計法を適応させるなど、性能設計の最適化によりポンプの大幅な高効率化を実現（当社従来機種比較）しており、顧客の消費電力削減を可能とする。

VEM 形ポンプの本体材質は、PVDF/PP というラインナップで提供していたが、高強度な樹脂（G-PP）を採用した射出成形品とすることで、薄肉化、モーターベース・胴管の樹脂単一成形を実現し、軽量化に富んだ製品を提供する。（図 5）

汎用電動機の搭載が可能であり、JIS/ANSI/DIN などのフランジ規格に容易に対応できるよう長穴を採用する。バルブソケット接続も可能とし、VEM 形ポンプでは難しかった様々な用途にも対

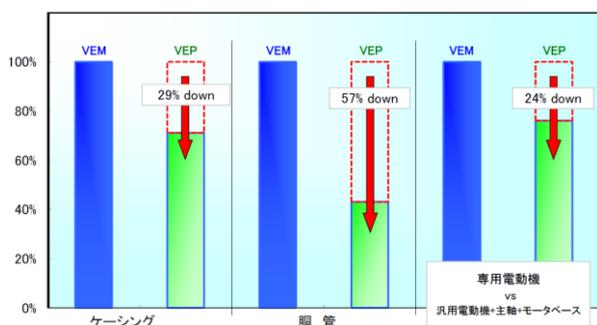


図 5. 重量比較/VEM vs VEP

応可能な形状としている。

モータベースの開口部には、雨水侵入防止用の傾斜を設け、また、ポンプ主軸には回転確認用タップ穴があり、長ボルトをセットすることでポンプ据付け後に、回転確認を行うことができる構造である。

従来品ではインペラ分解時、インペラ主羽根にチェーンソーなどを用いて取り外す構造となっていたが、新製品では、ポンプ分解時のインペラ損傷の可能性を軽減させることを目的に、インペラを段付き構造として、段付き部分を用いたインペラ分解仕様とする。

弊社立形ポンプは、基本的に、液中内に軸受を設けない構造となっているため、スラリーやスラッジなどの固形分に対して比較的強い。しかしながら、長期間の使用ではインペラ裏羽根付近で摩耗が生じる。従来品は胴管とケーシングカバーが一体構造であったが、新製品では分離構造となっており、その接合方法はネジ止めとしている。固形分の回転力により、徐々にネジが緩む可能性が危惧されるため、同部には左ネジによる取付けを採用している。また、激しい摩耗が生じた際には、ケーシングカバーリングが分離できるため、保全費用圧縮の助力を可能とする。

VEM 形ポンプとの部品互換性はないが、新製品ポンプは異なる口径でも、高い互換性を有する構造を採用している。(表 2)

また、VEM 形ポンプでは不可能であった、65口径に 5.5kW 電動機を搭載することや、80口径に 3.7kW を搭載することも可能としている。そのため、従来品よりも最適な製品を顧客に提供することができる。

表 2. VEP/部品互換表

No.	部品名	口径					
		25A	40A	50A	65A	80A	100A
001	ケーシング	■	■	■	■	■	■
003	ケーシングカバーリング	■	■	■	■	■	■
013+019	インペラ+軸スリーブ	■	■	■	■	■	■
018	主軸	■	■	■	■	■	■
026	胴管	■	■	■	■	■	■
037	空気抜きプラグ	■	■	■	■	■	■
050	主軸止めネジ	■	■	■	■	■	■
069	ガスシールサポート	■	■	■	■	■	■
101-04	空気抜きガスケット	■	■	■	■	■	■
102-01	リング(ケーシング用)	■	■	■	■	■	■
102-08	リング(ガスシールプレート用)	■	■	■	■	■	■
102-18	リング(ガスシールサポート用)	■	■	■	■	■	■
103-08	ガスシール(Vリング)	■	■	■	■	■	■
104-01	ケーシングボルト&ナット	■	■	■	■	■	■
104-16	胴管ボルト	■	■	■	■	■	■
104-57	ガスシールサポート止めネジ	■	■	■	■	■	■
237	ガスシールプレート	■	■	■	■	■	■
301	モータベース(0.75~3.7kW)	■	■	■	■	■	■
	モータベース(5.5/7.5kW)	■	■	■	■	■	■

槽内型仕様であれば VEM 形ポンプとは、据付けの互換性がある。しかしながら、槽外型仕様の場合、首下寸法が変わるため、吸込面基準として、吐出管位置が変更となる。つまり、VEM 形ポンプの取替えの際には、吐出配管の取替え工事と、液面制御を行っている場合は下限設定の見直しが必要となる。

4. おわりに

販路拡大という課題に対して、従来の立形形ポンプの無駄を省きながら、踏襲すべき点を生かし、改善すべき点は補填することを心掛け、製品開発に取り組んできた。ポンプ効率改善はランニングコストを抑えられ、本体重量の軽量化はメンテナンス性向上の一助となり、電動機・フランジはフレキシブルな対応を実現している。

今後ともポンプの改良・開発に尽力し、品質・安全を確保し、信頼性の高い製品を市場に提供する所存である。

米国 ヨウ素製造工程への FRP 製送風機納入事例

送風機事業部設計課 藤井厚徳

1. はじめに

当社、FRP 製送風機は、1967 年から製造を開始し、国内化学工業、めっき工業、半導体工業の耐蝕送風機部門で確固たる位置を築いてきたが、それら企業の海外進出による国内市場の縮小傾向は避けられない状況であり、海外市場への積極的展開を数年前から開始したところである。

現在、米国では、シェールガス革命のおかげで少なくともエネルギー関係の産業が好景気であるといわれているが、化学プラントにも好影響を与えると考えられ、耐蝕送風機の市場も少なくない。

今回、米国の I 社のヨウ素製造工程に FRP 製送風機を 3 台納入した。その事例について報告する。

2. ヨウ素製造工程とブロー

米国 I 社は、ヨウ素の生産とヨウ素製品として消毒剤、殺菌剤、液晶パネルの偏光フィルム等を製造している会社であり、かん水と呼ばれる約 200 万～1200 万年前にできた地層中天然ガスと

ともに眠る、ヨウ素を含む地下水からヨウ素を抽出している。

図 1 にヨウ素製造工程フローを示す。かん水に酸化剤を注入しヨウ素ガスを放散させ、放散したヨウ素ガスを還元剤で吸収濃縮する方法でブローアウト法と呼ばれるものである。送風機は、ヨウ素を吸収したガスを放散塔に循環する用途で使用され、日本国内のヨウ素製造工程にも多くの納入実績がある。

3. 送風機仕様

図 2 に納入送風機外観を示す。

本送風機は、当初、ウクライナ製のチタンブローワが使用されていたが、その送風機が据付状態の不備で振動が高く破損に至ったため、最終的に当社の FRP 製送風機が採用された。

FRP 製送風機の構造図、仕様を図 3 に示す。

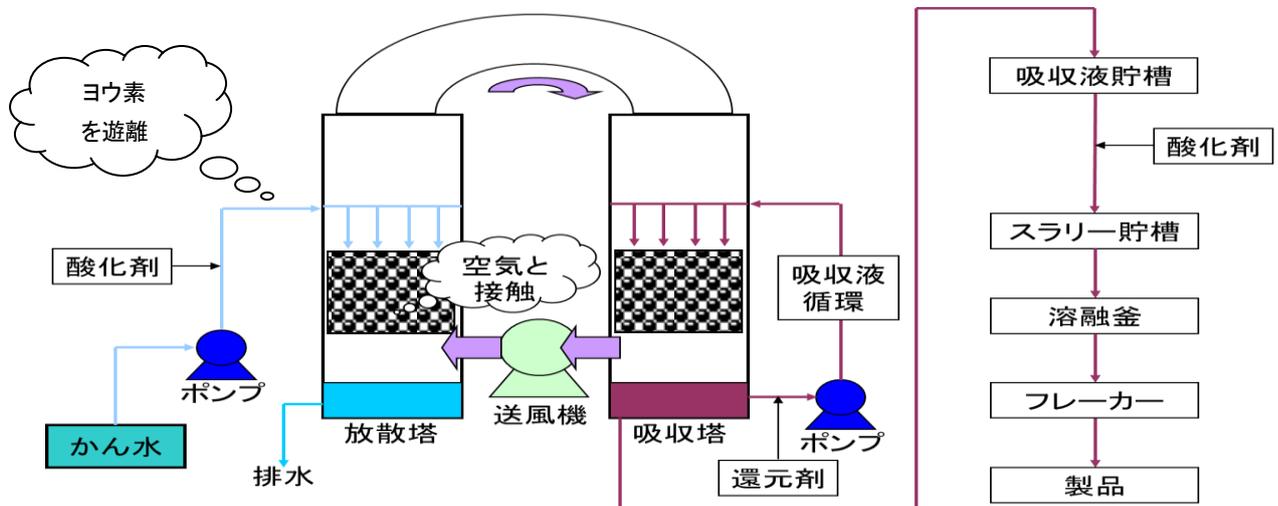
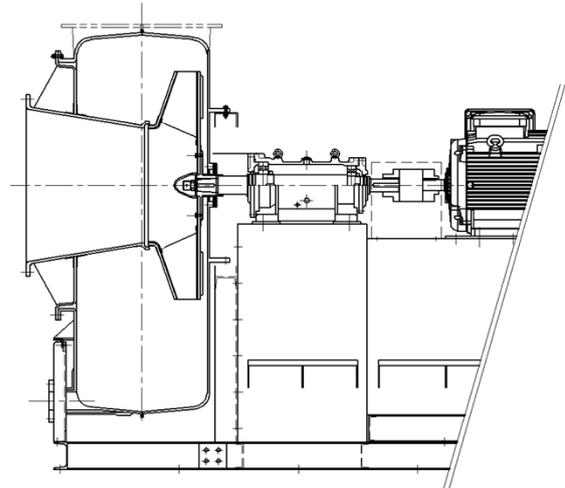


図 1 ヨウ素製造工程（ブローアウト法）



形式 : FTB801Z
 風量 : 662m³/min
 静圧 : 7.1kPa
 回転数 : 1750min⁻¹
 電動機 : 225kW(3φ×460V×60Hz×4P)

図3 送風機構造図と仕様

図2 納入送風機外観

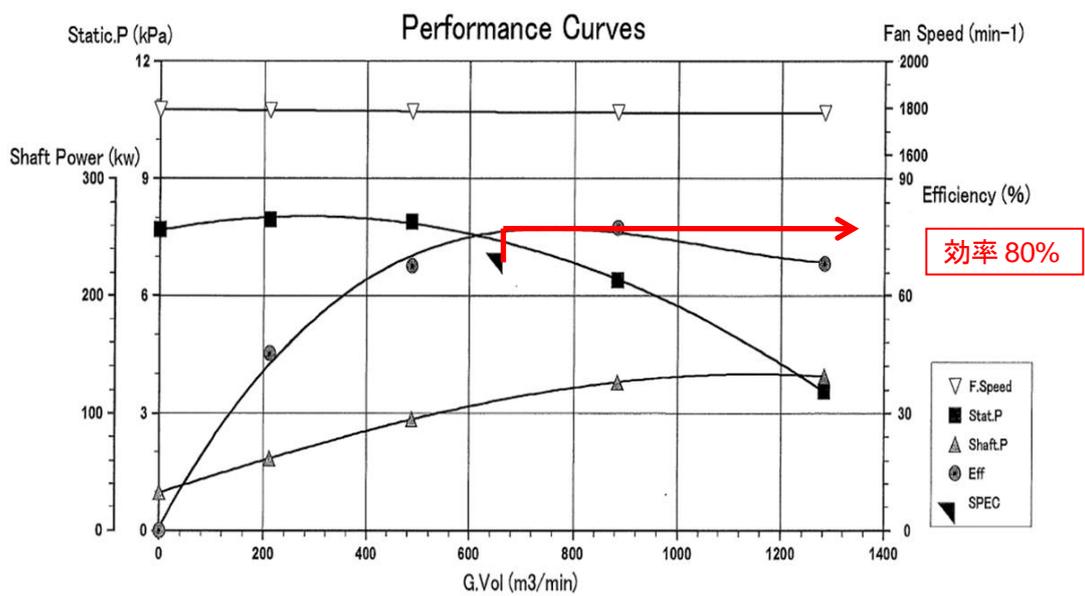


図4 工場性能試験結果

送風機は、ケーシング、羽根車が FRP 製、カップリング直結駆動方式で、電動機は、米国製であるため、米国で組立・調整を行った。

尚、既設送風機の仕様が不明であったため、現地プラントの風量、静圧を測定し、決定した。

本送風機は、全圧効率、80%を示し（図4）、高効率が顧客から評価された。現在、現地試運転も完了し、順調に稼働している。

4. 終わりに

当社、送風機が採用された要因として、高効率以外にも既設送風機の破損後、現地視察や性能測定などの迅速で的確な処置や技術的アドバイスが顧客から高く評価されたものである。

米国では、FRP 製送風機メーカーが、広範な土地に対し 10 社程度しかなく、耐蝕送風機市場としては期待できる。より良い製品の提供はもちろんであるが、日本のきめこまやかな技術サービスや仕組みづくりは、海外でも非常に評価されている点であり、その点を活かし受注活動ができればと考えている。

ロストコア法によるインペラー一体成形技術

技術開発研究所 平櫛 真男

1. はじめに

プラスチック射出成形とは、熔融した熱可塑性樹脂を金型内に射出し、冷却固化させ金型形状に成形品を得る方法であるが、複雑な形状の成形品、アンダーカット形状¹の場合、金型から離型させるには、非常に困難である。

当社のポンプでは、インペラがその形状にあたり、主板と副板をそれぞれ成形後、融着しているが、製品の寸法精度のばらつきなどが問題となる場合がある。

そこで、アンダーカット形状に近年実用化されているロストコア法でフッ素樹脂インペラの一体成形を試みた。その概要について紹介する。

2. ロストコア法

ロストコア法とは、溶解性の中子を金型内にセットし、射出成形後、中子を溶解除去する方法で、複雑な形状の成形品、アンダーカット形状の賦形、偏肉中空成形等が可能となる。耐食ポンプの部品としてのインペラを成形するためには耐熱性が高く、高耐食性を有するフッ素樹脂により成形する必要があり、中子材料や成形条件など多くの課題を克服する必要がある。

今回用いた方法は、オートクレーブ²等の水熱装置による加水分解反応により中子を溶解する方法である。成形フローを図1に示す。

- ① 中空部の空間の形状を加水分解性の材料を用い、中子として成形する。
- ② その中子を製品になる外殻樹脂の金型にセ

ットし、外殻を成形する。

- ③ オートクレーブを使用した加水分解により中子材料を除去し、製品を完成させる。



図1 ロストコア成形フロー図

¹ 成形加工において、金型から成形品を取り出す（離型）際に、型を開く方向のみでは離型できない形状のこと。

² 内部を高圧力にすることが可能な耐圧容器のこと。常圧下(1気圧)では、水の沸点は100℃でありそれ以上高温になることはないが、高圧下では沸点が上昇し、100℃を超える高温で水分を保持させたまま物体を加熱することが可能となる。

3. 中子樹脂

加水分解により除去される中子樹脂には、親水性が非常に強く、温水に可溶という特徴を持つ特殊な樹脂を使用した。本材料の融点は 175℃となっており、それほど高くない。したがって、外殻樹脂成形時に、溶融した外殻樹脂と金型内で接触することにより、中子材料が溶融することが予測される。そこで、主材料である樹脂に融点の高いプラスチック廃材(融点 260℃)を混練したり、ガラス繊維・ビニロン繊維等の強化繊維や炭酸カルシウム等のフィラーを充填することにより、耐熱性の向上や剛性の向上を図った。

4. 外殻樹脂

外殻樹脂として使用可能な材料には以下のような条件が必要となる。

- 非水溶性であること。
- 融点または構造的問題となる熱変形温度が 110℃以上であること。
- 成形温度が 350℃以下であること。

非水溶性であることと融点もしくは熱変形温度が 110℃以上であることという条件は、中子樹脂を加水分解により除去する際に、外殻樹脂が形状を保持するため必要な条件であり、成形温度が 350℃以下であることという条件は、外殻成形時に中子樹脂が溶融しないために必要な条件である。しかし、耐食ポンプのインペラの成形材料として優れた性質を示すフッ素樹脂はいずれも成形温度が高く、PFA の成形温度は、350℃以上の条件となっている。表 1 に採用を検討した各フッ素樹脂の成形条件を示す。

表 1 フッ素樹脂の成形条件

	成形温度 (°C)	金型温度 (°C)	融点 (°C)
PVDF	180~200	90	155~160
ETFE	260~320	120	258
PFA	350~380	180	295~310

次に各フッ素樹脂の特性を耐食性、耐熱性、成形性、機械的特性、価格、耐浸透性について検討

を行った。検討結果を図 2 に示す。PFA は、成形温度は、350℃を超え、耐食金属製の特殊成形機が必要であるため、成形性が悪いという判断になるが、耐食ポンプ材料として最も必要である耐食性と耐熱性に優れるため、PFA によるロスコア一体成形技術を確立することにした。

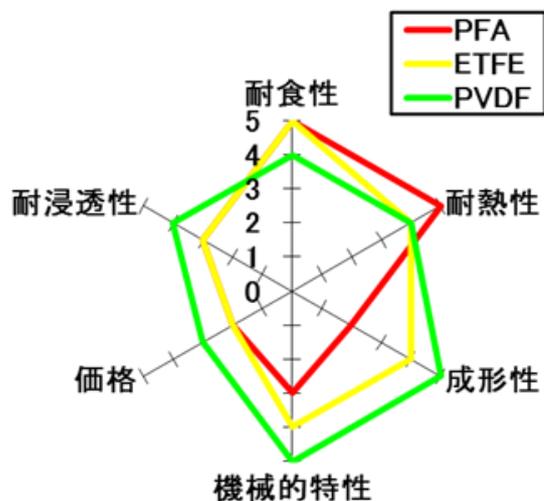


図 2 フッ素樹脂の特性比較

5. マグネットポンプのインペラ

図 3 にマグネットポンプの構造を示す。マグネットポンプは渦室内でインペラとインナーマグネット（従動磁石）が、リアケーシングで隔てて、電動機に直結したアウターマグネット（駆動磁石）により磁気的にカップリングし、駆動される構造となっている。インナーマグネットは、耐食樹脂により完全密封されており、インペラとインナーマグネットは融着され一つの部品となっている。

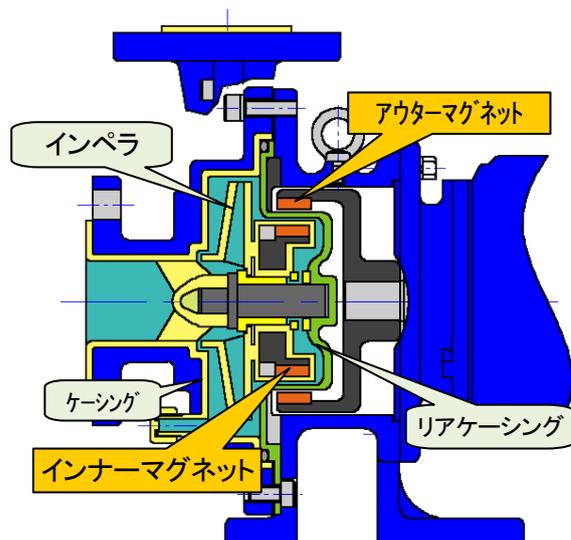


図 3 マグネットポンプの構造

6. ロストコアによるインペラの成形

インペラの形状は中心部の吸い込み側の羽高さが高く外周に行くほど低くなるアンダーカット形状となっている。したがって、一般にインペラは、主板と副板を別々に成形し、熱板融着³等の方法により接合させ、形状を完成させる。図4に熱板融着により接合したインペラを示す。接合部には融着バリが発生しており、この融着バリを製品より完全に除去することは難しく、完成品の寸法にもムラがでて性能の安定性を欠く場合もでてくる。

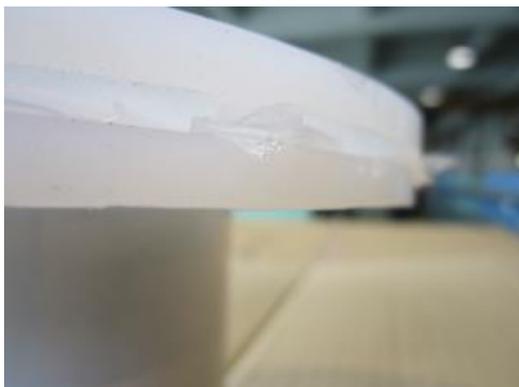


図4 インペラの融着バリ

一方、ロストコア成形による方法では、加水分解により分解される中子材をインサート成形することにより、副板と主板が一体となった完成形状であるインペラ形状が成形される。さらに、図5に示すようなインナーマグネットも同時にインサートすることにより、1回の成形工程でインペラとインナーマグネットが一体となった成形品を製作でき、同時に高い構造的信頼性も得る事ができる。

7. おわりに

ロストコア法は、高耐食・高耐熱フッ素樹脂であるPFAに適用し、高耐食かつ構造的信頼性の高い一体成形インペラを成形することができる。また、すべての部品を一回の成形工程で完成させるため、高い寸法安定性が確保でき、ポンプ性能のバラツキを抑える効果が期待できる。

現在、PFAのインペラの一体成形は成功しており、インペラとインナーマグネットが一体となった成形品に取り組んでいる。

さらに、中子材成形品の形状をひねりの加わった3次元羽根形形状にすることにより、3Dインペラの製作も可能である。3Dインペラ採用によ

るポンプ性能の高効率化により、省エネルギーに貢献できることが期待される。

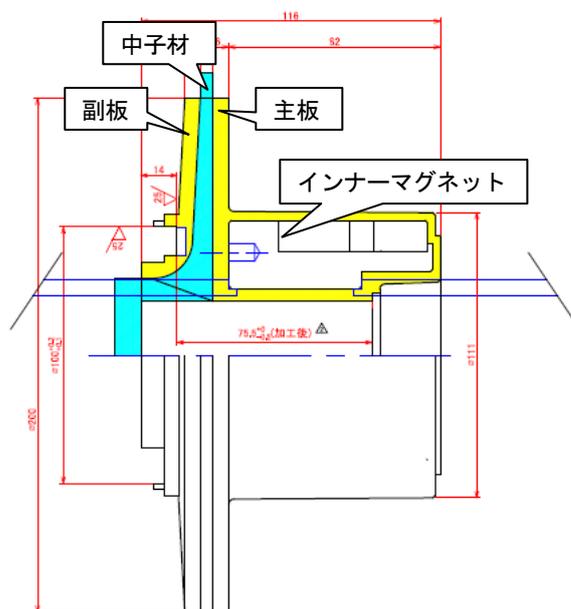


図5 一体成形インペラ

³ 接合部を加熱した金属板により、熔融させ、金属板を除去後、熔融部分を圧着させることにより接合する方法のこと

最少液面高さと空気巻き込み防止策

ポンプ事業部設計課 新山裕司

1. はじめに

取水タンクにポンプが取り付けられている場合、ポンプ稼働中、徐々に水位は低下していき、ある一定の水位になると液面で渦が発生して、空気巻き込みが生じる。このときの水位を最少液面高さと呼んでいる。ポンプに空気が吸い込まれた場合、マグネットポンプなどは、回転部の支持にすべり軸受を有し、その潤滑剤が取り扱う液体であるため、空気巻き込みが生じると気泡の混入した液体がポンプ内部に吸い込まれることとなり、ポンプ内部で液循環不良・冷却不良によるトラブルが生じる。

ポンプ取水タンクにおける空気巻き込み渦は、管内流速とタンク内の自由表面高さに依存することは広く知られている。そこで実際に弊社マグネットポンプを使用して、その関係を確認した。

なお、本実験は循環用タンク・戻り管などは想定せず、取水タンクの液面から真横に抜き取られた場合を考え、取水タンクの形状・寸法・配管口径などはひとつのケースについて行ったものである。

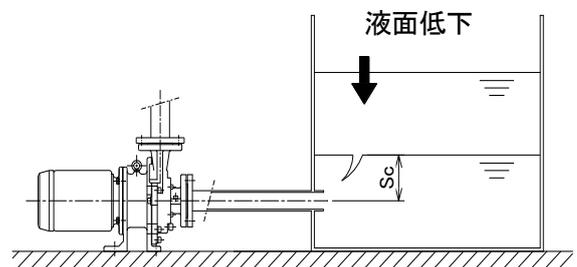


図1 実験装置モデル



図2 実験装置全体

2 実験装置および方法

2.1 実験装置

本実験に用いた装置を、図1、2に示す。

装置は、φ1000×700Hの吸込タンクとマグネットポンプMER-050を使用し、吸込タンクより別のタンクに配管接続した。

2.2 実験方法

吸込タンク内に水道水を溜め、ポンプを稼働させ、ポンプ稼働中、タンク内の液面が徐々に低下し、空気巻き込みが生じるが、流量を変化させ、空気巻き込み開始水位を測定した。

流量(Q)は、吐出ボールバルブで流量調整を行い、デジタル流量計により読み取り、空気巻き込み開始水位は、目視で判定し、吸込タンクの吐出口のセンターから液面までの水位(Sc)とした。

3. 実験結果&考察

3.1 渦の発生

ポンプ稼働すると、徐々に水位は低下していき、吸込タンクの自由表面に部分的な旋回流が生じ、空気巻き込み渦の発生・成長、その後、同渦が管内に巻き込まれていく現象が観察された(図3)。

尚、水位をある程度確保することを目的に、常時水道水を注入したが、その影響で液面に波打ち現象が生じ、良好な実験結果が得られなかったため、液面を安定させる目的で簡易的な遮蔽板を取り付けた。

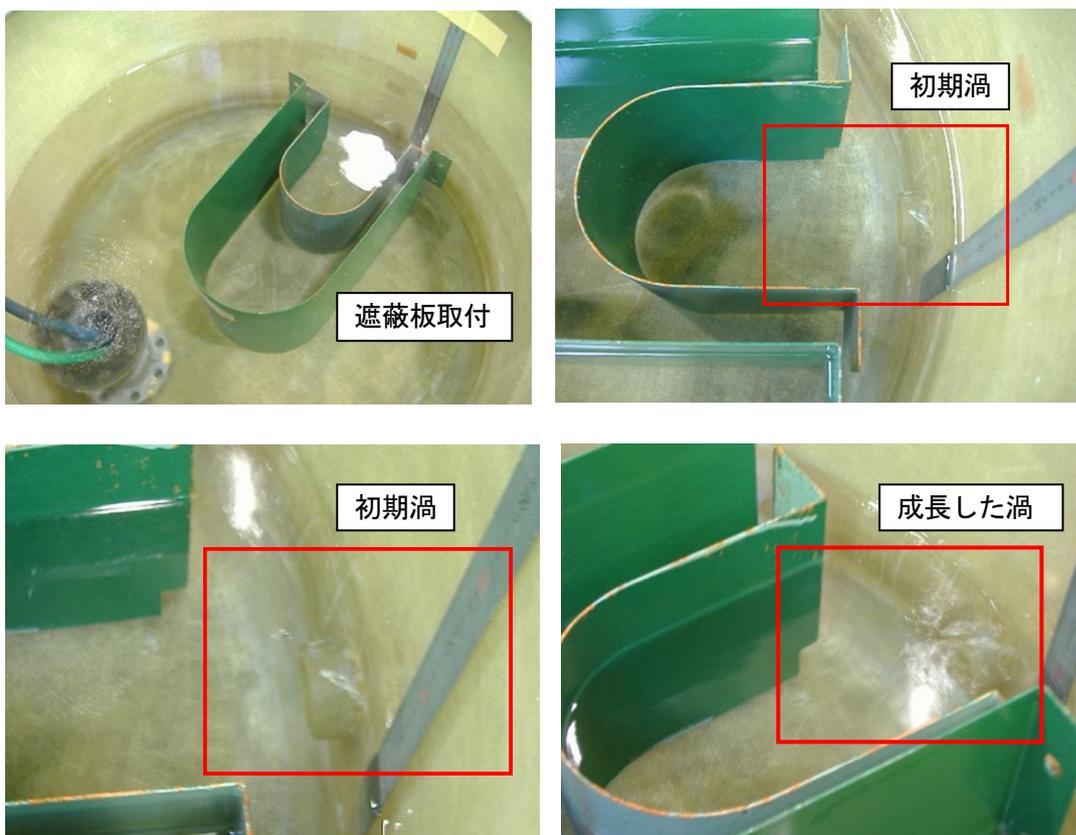


図3 自由表面での空気巻き込み渦の発生・成長の様子

3.2 管内流速と空気巻き込み開始水位の関係

空気巻き込み開始水位は、流量を大きくすると、小さくなる傾向がみられ、管内流速 v と、空気巻き込み

開始水位 Sc と吸込管直径 d との比率 Sc/d との間には、図3で示す関係が得られた。得られた結果をもとに、種々の機種、条件で最少液面高さを計算することができる

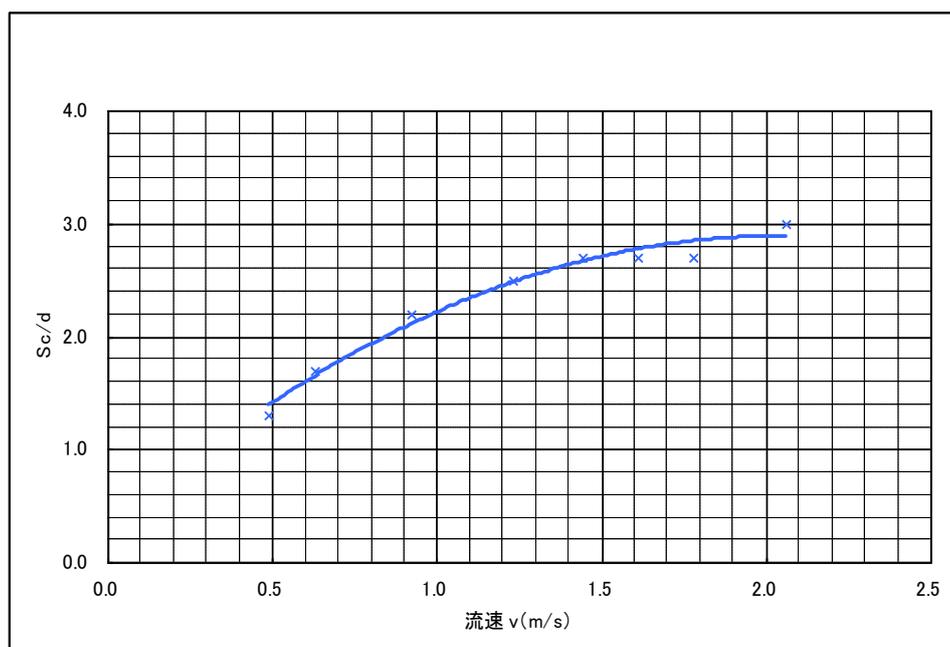


図4 管内流速と空気巻き込み開始水位の関係

3.3 計算例

MER-050、VEM-100 の各々異なる口径における計算例結果を次に示す。

3.3.1 MER-050 の最少液面高さ : Sc

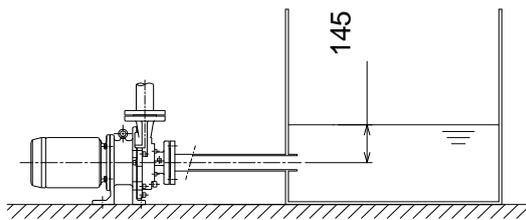
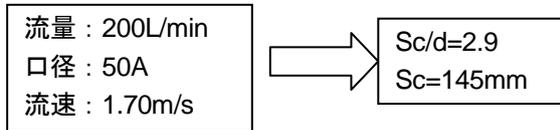


図5 モデル : MER-050

3.3.2 VEM-100 (槽外) の最少液面高さ : Sc

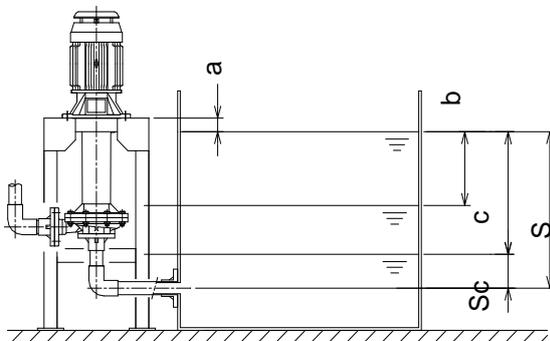
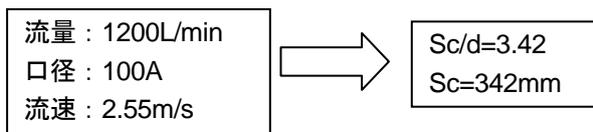


図6 モデル : VEM-100

記号	名称	数値
a	最高水位	50mm
b	起動時最低水位	350mm
c	停止水位	658mm
S	液面高さ	1000mm と仮定する
Sc	最少液面高さ (臨界水位)	342mm

4. 空気巻き込み防止策 (参考例)

取水タンクを例とした場合の基本的な防止策としては、ポンプ停止水位を上げることである。また、実験結果より管内流速を遅くすることで、最少液面高さを小さく見積ることができる。他にも様々な手法があり、その一例を図7(a)、(b)、(c)に示す。

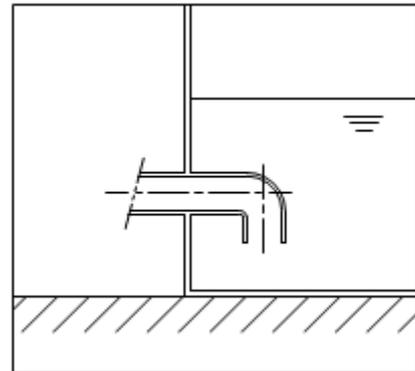


図7(a) 防止策 (下吸上げ)

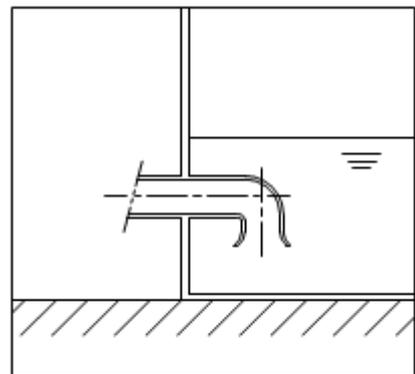


図7(b) 防止策 (ベルマウス)

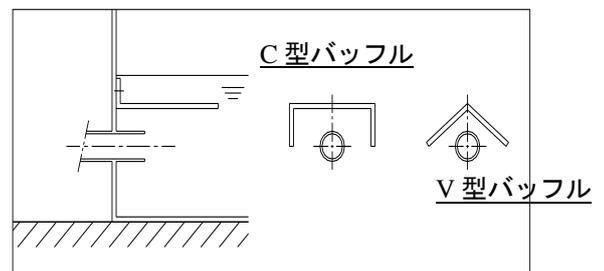


図7(c) 防止策 (バッフル板)

5. 終わりに

吸込タンクの自由表面に対して全体的な旋回流れを排除、かつ吸込タンクから横に抜き出した条件での実験結果より、管内流速と最少液面高さの関係を求め、次の結論を得た。

-
- (1)空気巻込みの過程は、管内流速が増加するにしたがい、吸込タンクの自由表面に部分的な旋回流が生じ、空気巻込み渦の発生・成長、その後、同渦が管内に巻き込まれていく。
 - (2)本実験結果である図4を用いることで、実際の使用流量から臨界水位を確認することができ、より良い水位設定が可能となる。ただし、実際の水位設定は、臨界水位に対して少し安全を設ける必要がある。
 - (3)空気巻込み防止策としては、吸込口を大きくして吸込タンクの自由表面近くの流れ速度を遅く（旋回流を抑制）したり、バッフル板などを取付け、下向きの吸込流れを極力阻害させることが大事である。
 - (4)吸込タンクに、循環配管・注入配管などが取付けられている場合、その空気巻込み運転の原因は、自由表面の空気巻込み渦の発生によるものではなく、循環液などの落下時に生じる気泡の吸い込みが大半であり、各配管の取付け位置に注意が必要となる。

湿式排ガス処理装置の概要と運転管理について

技術開発研究所 中川 祥示

1. はじめに

湿式排ガス処理装置(以降、スクラバと略す)は、液と有害ガス又は粉塵とを接触させ有害成分を除去する装置の総称である。イニシャル・ランニングコストが低く、これまで化学工場、半導体工場、めっき工場、食品工場、医薬品工場、研究所、大学など、薬品を使用するあらゆる工場で使用されている。ただし、選定や運転管理が正しく理解されておらず、性能が発揮できない例や閉塞等により吸引風量が低下している例も少なくない。

本稿は、当社の規格スクラバを例に、スクラバの概要と運転管理方法について述べるものである。

2. スクラバの概要

2.1 スクラバの原理¹⁾

ガスと液を接触させると、ガス分子がガスと接する液の内部に界面を超えて移動する現象(吸収)が起こり、最終的にガス濃度と液中の濃度が一定の関係を示す。これがヘンリーの法則と呼ばれ、 $P=H \cdot C$ で表される(P : ガス分圧 H : ヘンリー定数、 C : 濃度)。ヘンリー定数が小さいほどガスの溶解度が大きいことになる。

一方、ガスの吸収速度は、二重境膜モデルで表現される(図1)。気・液界面には、 $P_i=H \cdot C_i$ というヘンリーの法則が成立するが、気体と液体との接触面にはそれぞれ境膜が存在し、その境膜が移動抵抗となっているという理論である。ガス移動量 N は、(1)式で表され、気液の接触面積を大きくすれば、移動量が大きくなる。

$$N=K_G \cdot A \cdot (P-P_i)=K_L \cdot A \cdot (C-C_i) \cdots (1)$$

ここで

A : 気液接触面積

K_G : ガス境膜物質移動係数

K_L : 液境膜物質移動係数

境膜移動係数は、ガス拡散係数や境膜厚みが関係する実験的係数である。

従って、スクラバとは、①気液の接触面積を増やし、②気液の流れに十分な乱れをつくることにより境膜の厚みを小さくした結果、境膜移動係数を小さくして、ガス吸収せしめる装置であるといえる。

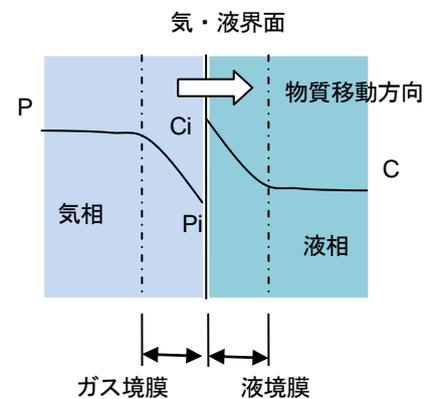


図1 二重境膜モデル

2.2 スクラバの種類

スクラバには、充填塔、スプレー塔、ベンチュリースクラバ、サイクロンスクラバ、濡れ壁塔などの液分散型と段塔、多孔板塔、漏れ棚、気泡塔などのガス分散型がある。一般的に、液分散型は、液に対する溶解度が大きいガス(*ガス境膜抵抗が支配的)に適用され、液を小滴化することにより気液の接触面積を大きくしてガス吸収を行っている。一方、ガス分散型は、液に対する溶解度が小さいガス(液境膜抵抗が支配的)に適用され、液中に気泡を分散させ、気泡の攪拌作用により乱流状態をつくり液境膜抵抗を小さくするものである。ただし、洗浄液を薬液に変更してガス移動量を大きくする{(1)式で $C_i=0$ となる}ことで充填塔が利用される場合が多い。

また、気液の流れ方向にも、並流(気液が同方向に流れ接触)、向流(気液が逆方向)、十字

流（気液が垂直に接触）がある。並流方式より向流方式の方がガス吸収は優れている。

今まで考案されてきたスクラバはいろいろあるが、一長一短があり、発生条件などにみあう最適な装置の選定が必要である。最も一般的な装置が充填塔であるが、粉塵処理や粉塵が混入した場合には、ベンチュリースクラバ、サイクロンスクラバ、多孔板塔などが利用される。

2.3 各種スクラバの構造と選定基準

スクラバの種類の詳細については、他の成書にゆずるとし、以下、当社の主な規格スクラバについて述べる（表1参照）。

2.3.1 充填塔

充填塔は、吸収効果が高く、経済的であるので最も使用されている装置である。気液接触面積をアップさせる目的で塔内に充填物を充填したもので、塔頂よりスプレーされた液が、充填物表面を薄膜状に流下し、充填物の隙間を流れる有害ガスと接触することにより、ガス吸収される。吐出ガスには、散水液滴（ミスト）を同伴するため、ミストキャッチャ（慣性衝突方式）によりミストを分離する（図2）。

性能を決定するのが、充填物種類、高さ、風速、液速度の操作条件である。風速を低くし充填高さを大きくするほど性能はアップする傾向がある。

充填物にはこれまでにいろいろなものが提案されているが、単位充填面積あたりの比表面積が大きい、軽く、耐蝕性に優れるものが求められる。粉塵混入した場合など閉塞の可能性があるが、当社では、比較的閉塞しにくい、規則充填物（規則的

に充填）と不規則充填物（ランダム充填）を機種により使い分けている。

2.3.2 スプレー塔

洗浄液をスプレーノズルで噴霧し、有害ガスと直接接触させるものである。そのため、吸収効果は充填塔より劣り、低濃度水溶性ガスが対象となる。一方、充填物がないため、粉塵混入しても閉塞しにくい（図3）。

当社では、気液接触効果アップのため、ガス整流格子を採用し、スプレーノズルは、目詰まりしにくく、低圧で微細な液滴を発生させる特殊ノズルを採用している。

2.3.4 多孔板塔

多孔板塔は、十字多孔板2段、散水部（スプレーノズルはない）、ミストキャッチャ部で構成し、洗浄液は、十字多孔板上でバブリングとウイーピング（孔から漏れる）現象を起し、有害ガスと接触する。

低～中濃度のガス処理に適し、20 μ m以上の粉塵に対しても除去が可能であるが、圧損が高く、インバータ等で風量を変動させる場合性能低下する場合がある。（風量を仕様の70%以下にすると多孔板上でバブリングしなくなり、気液接触面積が低下）

2.4 有害ガスの種類と洗浄液の選定

工場から排出される大気汚染物質については物質の種類、施設の種類・規模により排出基準等が決められている（大気汚染防止法）。全国一律

表1 当社の主な規格スクラバの種類と選定基準

分類	種類	気液接触方式	当社形式	適用*
液分散型	充填塔	充填物による気液接触	TRS-F形、G形	低～中濃度 約90%除去
			STP形	低～高濃度 90～98%
	スプレー塔	スプレー液滴とガスの接触	TES形	低濃度 粉塵混入に対して閉塞しない
ガス分散型	多孔板塔	多孔板状の液バブリングによる気液接触	SBS-F形	低～中濃度 約90% 除去、20 μ m 粉塵処理可能（70～90%）

* 除去効率は、一般酸性ガスの処理性能

* 低濃度 30ppm 以下 中濃度：30～100ppm 高濃度：100～10000ppm



ミストキャッチャ



規則充填物.



不規則充填物.

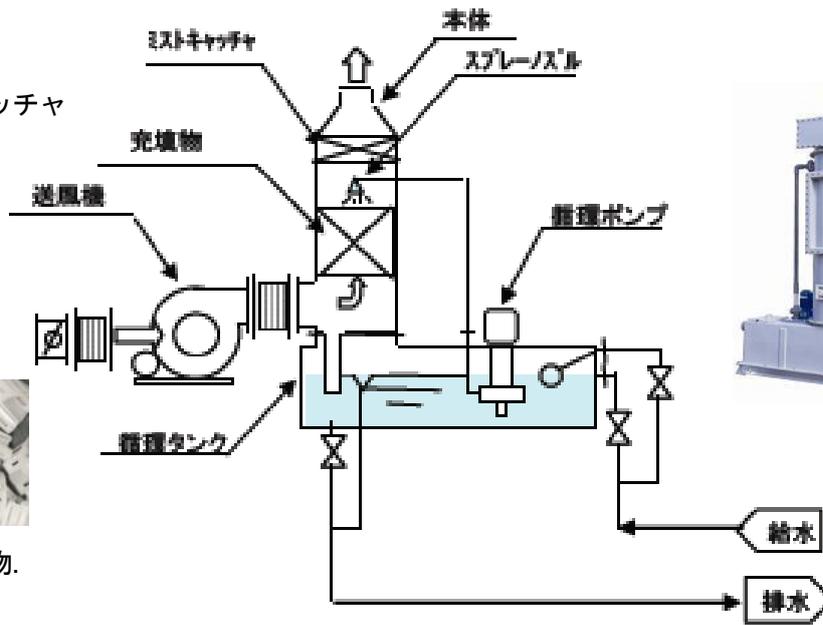


図3 充填塔.構造

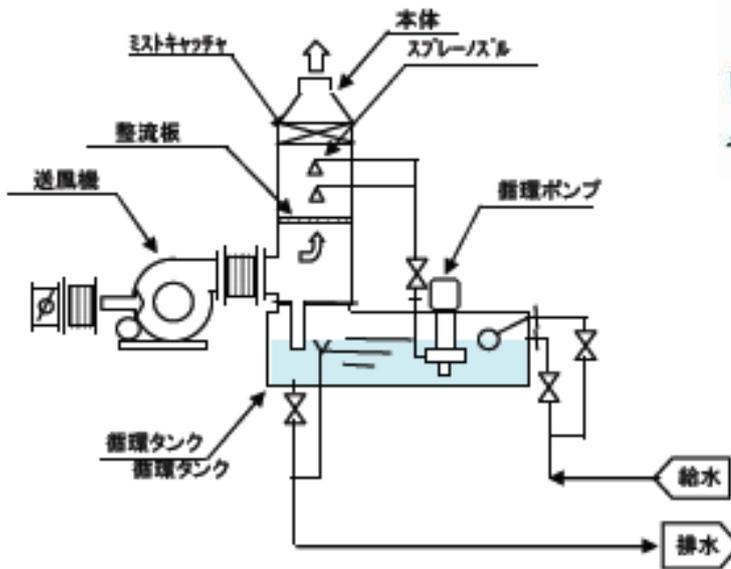


図4 スプレー塔.構造

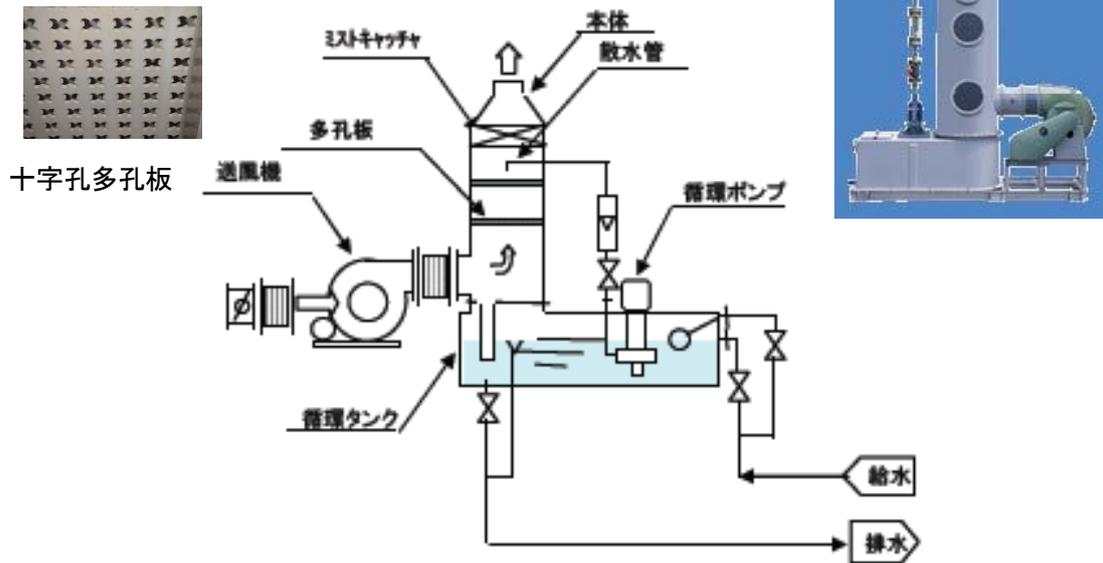


図4 多孔板塔構造

基準は、表2のとおりであるが、都道府県・市条例で一律基準より規制物質が多く数値が厳しい上乗せ排出基準があり、いおう酸化物や窒素酸化物が排出総量規制、光化学オキシダント、浮遊粒子状物質の原因物質として揮発性有機化合物（VOC）が規制されている。

また、排出基準はないものの人の健康、生活環境に被害を生ずる恐れのある特定物質として、アンモニア、シアン化水素、硫化水素、硫酸等28種類がある。スクラバの排出濃度は当然、該当する条例や全国一律の規制値以下となるが、規制値がない場合、他府県条例や許容濃度（日本産業衛生学会）を勧案すべきであろう。

有害ガスには、酸性、アルカリ性、酸化性、還元性、水溶性、水難溶性など、種類により性質が異なり、それに適した洗浄液を選定する必要がある。例えば、水溶性ガスの場合は、水洗浄でも十分であるが、酸性成分であれば、苛性洗浄、アルカリ成分では、硫酸洗浄などの中和反応が適しており、塩素などの酸化性成分ガスでは、チオ硫酸ナトリウム（還元剤）洗浄、硫化水素などの還元性ガスの場合、次亜塩素酸ナトリウム（酸化剤）洗浄の酸化還元反応が適している場合もある。

また、揮発性有機化合物（VOC）については、水溶性の場合、水洗浄で吸収されるが、一過式で多量の水を使用しないと性能が維持できなくなる

し（洗浄水を循環すると液濃度が高くなり、循環液からガスが再発生）、水不溶性の場合、吸着塔などの乾式処理でないと対応できない。

表2 有害物質の規制値

有害物質名	化学式	排出口規制値
塩化水素	HCl	80mg/m ³
カドニウム及びその化合物	Cd	1 mg/m ³
塩素	Cl ₂	30 mg/m ³
弗素・弗化水素・弗化珪素	F	10~20 mg/m ³
鉛及びその化合物	Pb	10~30mg/m ³

（全国一律基準）

表3にガス成分の種類と適正な洗浄液の組合せを示す。洗浄液に十分な反応量があること、塩濃度が適正であることがスクラバの運転管理のポイントであるといつて過言ではない。

2.5 運転方式

洗浄液中の薬液量や塩濃度を適正にするためには、循環タンクに薬液の注入と液の更新が不可

表3 代表的なガスの種類と適正な洗浄液の組合せ

ガス名	洗浄液	ガス名	洗浄液
塩化水素 (HCl)	水洗浄(pH3 以上)or 苛性ソーダ(NaOH)	アンモニア (NH ₃)	硫酸(H ₂ SO ₄) (pH 2~4)
フッ化水素 (HF)	水洗浄(pH3 以上)or 苛性ソーダ	硫化水素 (H ₂ S)	苛性ソーダ (pH12 以上)or 次亜塩素酸ソーダ (有効塩素 600ppm、pH8~10)
硝酸ミスト (HNO ₃)	水洗浄 or 苛性ソーダ	クロム酸ミスト (CrO ₃)	水洗浄 多量の水必要
硫酸ミスト (H ₂ SO ₄)	水洗浄 or 苛性ソーダ	酢酸 (CH ₃ COOH)	苛性ソーダ
二酸化硫黄 (SO ₂)	苛性ソーダ	シアン化水素 (HCN)	苛性ソーダ
塩素 (Cl ₂)	苛性ソーダ or チオ硫酸ナトリウム (pH12)	ホルマリン (HCHO)	苛性ソーダ 4%以上

ただし、pH、濃度管理値は、濃度条件などにより異なる場合がある。

欠である。その方式により、バッチ方式、新水補給方式、半バッチ方式に分けられる。バッチ方式とは、初めに循環タンクの薬液を調整しておき、液中の薬液が消費したり、循環液が汚れた時点で全量とりかえる方式で装置を停止する必要がある。

新水補給方式とは、薬液を pH 計（次亜塩素酸の場合、次亜塩素酸濃度計）と薬液注入ポンプを連動させ注入（低設定濃度で薬液注入ポンプ ON—高設定濃度で薬液注入ポンプ OFF）する一方、塩濃度制御のため新水を補給する方法で、水補給による排水が多量に発生する。

半バッチ方式の場合、薬液は pH 計による薬液注入ポンプの ON—OFF 制御で行うが、循環液の更新を部分的に行い塩濃度制御を行う方式である。

運転方法は、ガスの発生条件、給排水条件などその場に適した方式を採用すべきである。

ここまで、スクラバの原理、種類、選定基準、運転方法について述べてきたが、スクラバを選定または設計するために必要な情報は ①発生源、②処理風量・処理ガス温度条件③処理ガス濃度(同伴ガス)・処理要求濃度③給排水条件（水質、水量：水質は工水以上）④電源⑤ダクト圧損⑥スクラバ据付場所⑦施工範囲などである。

特に、同伴ガスについても大事な情報で、同伴ガスにより洗浄塔本体 FRP 樹脂が劣化した事例もある。

3.スクラバの運転管理

3.1 運転管理項目

スクラバの日常管理項目を表4に示す。

風量、循環液量、補給水量が規定どおりで循環液の管理が適正であれば性能は維持できるが、風量の出過ぎ(圧損上昇)や循環液の管理が適正でない場合、性能低下や充填物やミストキャッチャーが閉塞に至り、圧損増大、風量低下やミスト飛散現象が起こる場合もある。

スクラバを適正に運転するためには液管理指標である補給水量が適正であること、pH 値に誤差が生じていないかの点検が最も重要である。

表4 スクラバの日常管理項目

管理項目	内容
風量	風速計による確認(規定値)
循環液量	流量計または圧力計による確認(規定値)
補給水量	流量計による確認(規定値)
圧力損失	マンメータ確認(規定値)
pH 計 (濃度計)	校正・電極洗浄
送風機・循環ポンプ	適正な電流値であること、異常振動、発熱の有無確認

3.2 液管理指標

(1)pH 管理値

薬液による吸収の場合、薬液量の指標になるものが pH 値で、循環液中の水素イオン濃度の対数値から酸性～アルカリ性の度合を示すものである

(pH<7 酸性、pH=7 中性、pH>7 アルカリ性)。

①水溶解度が低いガスの場合の設定例

二酸化硫黄、塩素、など水溶解度が低いガスの場合の管理 pH は、循環液中に発生ガスと反応する薬液の絶対量から求める。

苛性洗浄の場合、下限 pH 値は次式による。

$$G=Q \times C \times 273 / (22.4 \times 10^3 \times (273+t))$$

$$[\text{OH}] = a \times b \times G / L$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = 14 + \log [\text{OH}]$$

ここで

G : ガス発生量 (mol/min)

Q : 風量 (m³/min)

C : 発生酸性ガス濃度(ppm)

t : ガス温度 °C

L : 循環液量 (L/min)

a : 酸性ガスに対する苛性反応比率

b : 安全率 2~3 倍

[OH] : 水酸化物イオン濃度 (mol/L)

[H⁺] : 水素イオン濃度 (mol/L)

$$[\text{H}^+] \times [\text{OH}] (\text{水のイオン積}) = 1.0 \times 10^{-14}$$

pH 値が 13 以上になると、pH 計が実際の pH より低い値を示す現象 (アルカリ誤差) や空気中との炭酸ガスとの反応による薬液消費を考慮する必要がある。図 5 に循環液 pH とスクラバでの空気中炭酸ガスの吸収率の関係 (実験値) を示す。pH12 を超えると急激に炭酸ガスの吸収率が上昇する傾向があり、このことから循環液 pH の上限設定は 12.5 前後であるといえる。(設計計算では、苛性ソーダの反応による炭酸ガス吸収率を 5.5%としている)

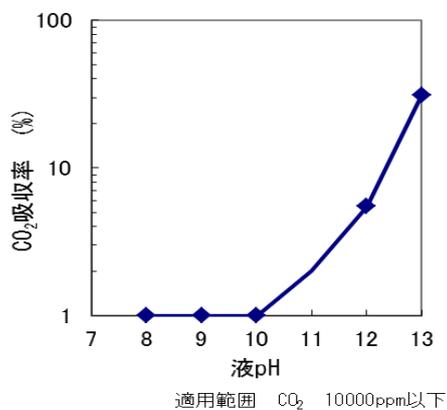


図5 液 pH と CO₂ 吸収率の関係

②循環液 pH が吸収を支配する場合の設定例

ガスが吸収した成分の液中イオンの状態で pH 設定値を決定する例である。

図 6 に液中での硫化水素(H₂S)、硫化水素イオン(HS⁻)、硫化物イオン(S²⁻)の状態 (平衡定数からの計算値) と液 pH の関係を示す。

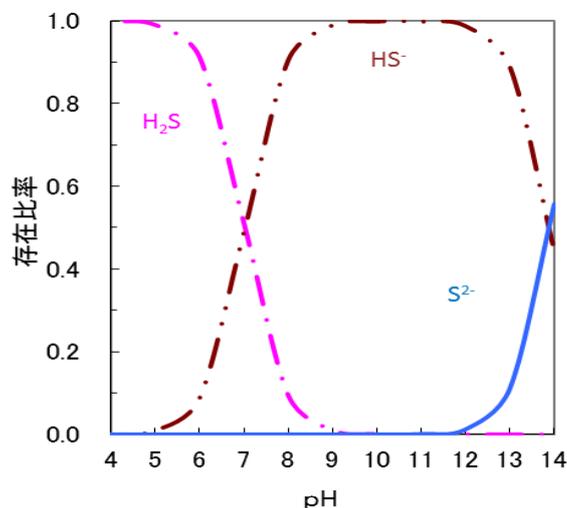


図6 液中での硫化水素の存在比率と液pHの関係

本図は、pH5 以下では、硫化水素の状態が存在、pH9~12 では、水酸化ソーダ(NaHS)として存在、pH12 を超えると硫化ソーダ(Na₂S)の量が増加してくることを示している。水酸化ソーダは、酸に接触すると硫化水素を発生しやすく (硫化水素の存在比率が増加)、循環液は、硫化ソーダの存在比率が増加始める pH12~13 が望ましいと言える。実際のスクラバ実験では、pH12.5 以下になると性能が低下する傾向があった。

③薬液の反応性や安定性からの設定例

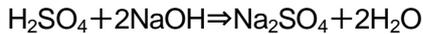
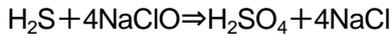
酸化剤 (次亜塩素酸ソーダ) や還元剤 (チオ硫酸ナトリウム) を使用する場合、pH が酸側に傾くと、安定性がなくなる場合 (分解) や、反応性が低くなる場合がある。

図 7 に液中の次亜塩素酸の存在比率と液 pH の関係を示す。本図は、pH10 以下から次亜塩素酸 (HClO) の存在比率が上昇していき、酸側に傾くと高い比率で存在するようになること (一部が塩素に変化) を示している。次亜塩素酸は、次亜塩素酸イオンより強い酸化力をもつため、酸化作用が最も働くのは pH10 以下である一方、pH8 以下では塩素への分解が活発となる。以上のことから、次亜塩素酸ソーダ洗浄の場合、次亜濃度の制御 (次亜濃度計と注入ポンプとの連動) とともに、pH

値は8~10の間で制御する。

硫化水素を次亜塩素酸ソーダ洗浄すると、次式のように硫酸まで酸化するが、苛性ソーダ洗浄と異なり、pHを低く設定できるので薬液の消費が低く抑えられる(図5参照 炭酸ガス吸収率1%)。

<次亜塩素酸ソーダ洗浄> pH 8~10



<苛性ソーダ洗浄> pH 12.5~13

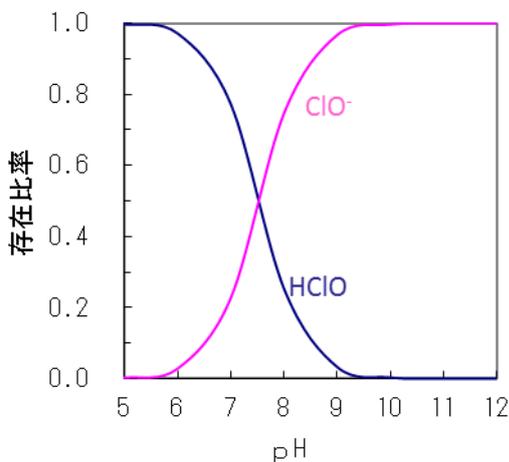
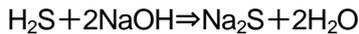


図7 液中の次亜塩素酸の存在比率とpHの関係

④水溶性が高いガス成分の設定例

塩酸、弗化水素の場合のように水溶性が高い成分の場合、水で吸収させた液を循環タンク内で中和する方法で、低濃度ガスに適している。pHを弱酸性域に設定し炭酸ガスによる吸収を抑制することができる。

(2)pH計の管理

pH計や濃度計を使用していると、指示値は、真値からズレを生じるようになる。正常に作動させるには、pH計や濃度計の校正、電極の洗浄が必要である。校正とは、既知のpH値または濃度の標準液に電極を浸漬し、指示値を標準液の値に設定しズレを修正することである。pH計の場合、通常pH4と7の標準液を用い2点校正を行う。

電極先端を洗浄瓶にいれた精製水でよく洗浄し、ティッシュペーパーなどで軽く拭いた後、校正する。ガラス電極は非常にデリケートであるため、破

損しないように十分に注意する必要がある。

電極校正・電極洗浄の頻度としてpH計メーカーは1~2週間程度を推奨しているが、ガス発生状況や液更新状況によっても変動するため、はじめは1週間毎に行い、ズレてなければ徐々に頻度を伸ばしていくのが实际的であろう。

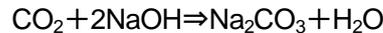
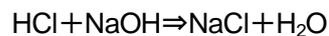
その他、点検・消耗品などについては、メーカー取扱説明書を参照されたし。

(3)新水補給水量

新水補給の目的は、水洗浄の場合と薬液洗浄の場合で異なる。

水洗浄の場合は、水溶性ガスを吸収していくと循環液の濃度が上昇し、液中からガスが再発生、除去性能が低下する。そのため、液中のガス成分の濃度抑制を目的としている。一方、薬液洗浄の場合は、生成塩濃度の抑制である。酸とアルカリが反応すると塩と水が生成する。その生成塩量が蓄積し溶解度を超えると生成塩が析出するが、析出しないように水を補給するわけである。

例えば、塩化水素を苛性洗浄した場合、次のような反応が進行する。ここで注意が必要なのは、空気中の炭酸ガスも苛性と反応し、生成する炭酸ソーダ塩も考慮しなければならないことである。



補給水は、生成塩量÷溶解度×安全率により求めるが、一般的には炭酸ソーダを基準にして求めた値で十分である。

<炭酸ソーダ基準の補給水量計算式>

$$W = Q \times C \times \eta \times 273 \times MW / (22.4 \times 10^3 \times (273 + t))$$

$$Lo = a \times W / \omega$$

ここで

Lo : 補給水量 (L/min)

W : ガス発生量 (g/min)

Q : 風量 (m³/min)

C : 炭酸ガス濃度 400(ppm)

MW : 炭酸ソーダ分子量 106

η : 炭酸ガス吸収率 0.055 (5.5%)

t : ガス温度 °C

W : 補給水量 (L/min)

ω : 0°C 炭酸ソーダ溶解度 65.4(g/L)

a : 安全率 3~5倍

粉塵などが同伴する場合には、さらに多く補給する必要がある。補給水量は、運転状況にも左右されるため、経験的にならざるを得ない部分であ

るが、液更新が不十分であると、スクラバが閉塞したり、風量、性能が低下する場合があります、十分注意する必要があります。

スクラバが閉塞した場合、充填物やミストキャッチャ、散水ノズルを取出し、高圧洗浄や交換を行うことになる。

3. おわりに

現在、納入されているスクラバは、ボールタップで蒸発分だけ水補給を行い、液管理不十分な例が少なくない。排水量がかなりの量になることが理由と考えられるが、その場合は、間欠的に循環液の一部を引き抜き、その分を補給する方法を提案したい。洗浄などのメンテ頻度をのばすことができると考えられる。

最後に、本文を読んでいただき、スクラバの概要、液管理の重要性を理解していただければ、幸いである。

参考文献

1)化学工学協会編：「初歩化学工学」いずみ書房、p179-190（1974）