# TEXEL 技報

Vol.7 2016.05



## 新製品紹介

## ケミカルスラリーポンプ TSU 形

#### 機械設計課 續木 毅

#### 1.はじめに

現在市場にある耐スラリー用ポンプは、耐摩 耗・耐食性を必要とする部分にゴムライニング、 高耐食金属を採用されることが多く、納入されて いる分野は製鉄所・化学工業・製薬業界・製紙工 業・火力発電所等幅広いものとなっている。

TSU 形ポンプは、耐摩耗性・耐食性を備え持つ UPE (Ultra high molecular weight PolyEthylene) 「超高分子量ポリエチレン」を主材質とする遠心 渦巻きポンプで、40 年以上前から特別設計品として提供してきた製品であるが、鉄鋼・化学・電力等の様々な用途でスラリー(固形物を含む)薬液の需要に幅広く対応することを目的とし標準化した(図 1)。



図 1 TSU 形ポンプ外観

TSU 形ポンプは、既に当社では 1986 年に火力発電所の排煙脱硫プロセスにおいて、スートスラリー(未燃焼カーボンを含む硫酸酸性液)用横形遠心渦巻きポンプとして納入した実績がある。

また、横形ポンプと同様に UPE を使用した立 形ポンプ: VEU 形や、マグネットポンプのリアケ ーシング摩耗対策として UPE 内貼り構造を採用 するなど用途は広範囲に及ぶ。本報では、UPE の 特性を最大限に生かした高耐食スラリーポンプ (以下、ケミカルスラリーポンプと呼称) TSU 形 について紹介する。

#### 2.UPE(超高分子量ポリエチレン)の特性

#### 1) UPE の概要

超高分子量ポリエチレン樹脂を原料に低圧法により成形加工した材料となり、一般の高密度ポリエチレンに比べて分子量が 10 倍以上も高く、500万~900万の分子量を有する材料である。UPE は様々な分野で使用されており、特に食品・医療分野におけるチェーンレール、スクリューやホッパー等に多く用いられ、その優れた特性である低摩擦性や衝撃吸収性を発揮する用途に採用されている。

#### 2) 耐摩耗性

当社で行った摩耗試験装置を図2に示す。容器Aに黒色炭化珪素(#60)と水を1:1(体積比)で入れ、容器A内に回転軸Bに固定した摩耗試験片Cを撹拌回転させ、摩耗損量を測定するものである。

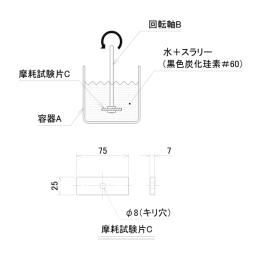


図2 摩耗試験装置と摩耗試験片

UPE の摩耗損量は、各種プラスチック材料、金属材料のなかでも、圧倒的に小さく、耐摩耗性は最高レベルにあると言える(図3)。

これは材料の持つすべり特性と自己潤滑性に優れているためである。

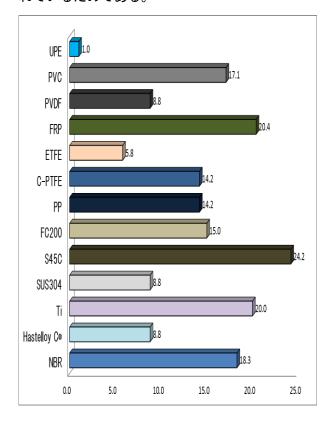


図 3 各種材料の摩耗損量比較値 (UPE:1.0)

## 3) 耐食性

UPE は、一部の強酸(濃硫酸、濃硝酸)、一部の有機溶剤(二硫化炭素・四塩化炭素など)には使用することはできないが、低分子量ポリエチレンと比べ同等以上の優秀な耐食性を有している(表 1)。また、分子量が非常に大きいため、ストレスクラックに対しても安定しており、一般的な PE (ポリエチレン)では使用できない条件においても使用することができる。

#### 4) 機械的性質

一般的に分子量が増すに従い耐摩耗特性、耐衝撃性、引張破断強さ等が向上する。UPE は 500~900 万と非常に大きい分子量となるため、一般の高密度ポリエチレンでは対応できない多くの分野に使用されている。

表 1 代表的薬液に対する UPE の耐食性

薬液	濃度	20°C	40°C	60°C	80°C
無機酸			•		
塩酸	10%	0	0	0	0
	35%	0	0	0	0
硫酸	50%	0	0	0	0
	75%	0	0	Δ	Δ
	95%	0	×	×	×
硝酸	20%	0	0	0	Δ
	50%	Δ	×	×	
クロム酸	30%	0	0	0	0
フッ化水素酸	40%	0	0		
アルカリ					
水酸化ナトリウム	飽和	0	0	0	0
アンモニア水	飽和	0	0		
無機塩類					
次亜塩素酸ナトリウム	10%	0	0	0	
硫酸アンモニウム	飽和	0	0	0	0
硫酸銅	飽和	0	0	0	0
有機酸					
酢酸	10%	0	0	0	0
	95%	0	0	0	×
蓚酸	飽和	0	0		
有機溶剤					
エチルアルコール	100%	0	0	0	
アセトン	100%	0	0	0	
四塩化炭素	100%	Δ	Δ	×	
トルエン	100%	Δ	×		
二硫化炭素	100%	Δ			

## 5) 熱的性質

UPE の熱安定性は高温、低温に対しても、低分子量ポリエチレンより優れており、融点は 136°C、連続使用温度は 80°Cとなっている。また、線膨張係数が大きいので加工精度の必要なものは注意が必要となる。

#### 6) 加工性と成形性

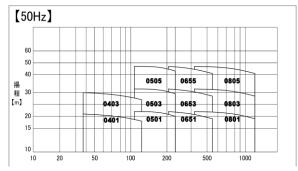
UPE の素材は板・丸棒等があり、一般に使われている金属加工用、木工加工用の機械を用いて加工することは可能である。しかし、UPE は高い粘弾性を有しているために、切削工具刃先を十分に鋭利にし、すくい角、逃げ角を大きくすることが必要となる。

UPE の溶接・接着については、基本的にできないものと考えなければならないが、成形性については一部のグレードでインジェクションが進められている。

## 3.ケミカルスラリーポンプ TSU 形の特長

#### 1) 性能

TSU 形の容量図を図 4 に示す。口径は 40~80A、 最大容量・揚程は 1200L/min×40m である。



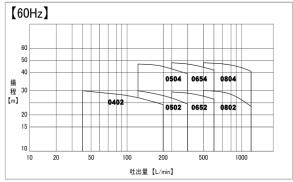


図 4 TSU 形ポンプ性能範囲

## 2) ポンプの全体構造

TSU 形ポンプの断面構造図を図5に示す。当該ポンプは主要部品となる接液部が UPE を採用している高耐食渦巻きポンプとなっている。接液部であるインペラ、ケーシング、ケーシングカバー、吸込カバー、吸込・吐出管に UPE を使用し、鋼製の締付金具で前後から挟み込む構造となる。即ち、耐食性能に加えて耐圧性能も備え持っている。また、高耐食金属ポンプ、ゴムライニングポンプと比べて大半が UPE 樹脂で構成されているため、軽量であることが最大のメリットとなる。

#### 3) ビルト・イン構造

ポンプの使用状況から各部品の摩耗に応じて、 摩耗部品だけを交換することが可能となるビルト・イン構造となっているため、摩耗状況に応じた部品選定が可能となる。従って、部品の耐久性や交換年数を把握することができ、ポンプとしての管理しやすさも備えている。

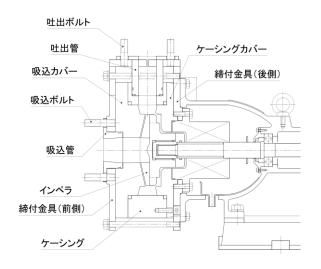


図5 TSU 形ポンプ断面構造図

## 4) オープンインペラの採用

ポンプ内流路を構成する部材の摩耗は、固形物の微小部分である粒子(以下、粒子)との衝突によって発生する衝突摩耗、及び、液体が運ぶ粒子との滑り接触による滑り摩耗に区分される。

また、メカニカルシールやすべり軸受摺動面は、 粒子の流動による摩耗ではなく摺動面圧、及び、 回転によって粒子が摺動材に押し込まれることに よって生じる押込み摩耗がある。

副板を必要とするクローズドインペラ(図 6)は、副板とケーシング入口に循環流量を制限するためのラビリンス(マウスリング)部を有するため、この隙間を閉塞する粒子径であれば、隙間付近に堆積することになる。

セミオープンインペラ(図 7)の場合、副板を必要としないため、ケーシングとの最小隙間は羽根前面との間である。この微小隙間はポンプ性能に影響されるため、小さければ小さいほど高効率が得られるが、TSU 形ポンプでは 500~1000  $\mu$  m (0.5~1.0mm) である。これより小さい粒径の固形物は羽根前隙間を通過し、大きい粒子径の場合でも羽根内側の速度は相当に速いため、羽根前面に粒子が閉塞することなく外径方向に排出されてケーシング渦室に入る。

また、フルオープンインペラ(図 8)は、背面 閉塞も解消することが可能となる。

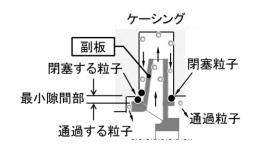


図6 クローズドインペラ

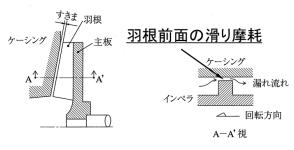




図7 セミオープンインペラ

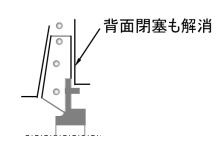




図8 フルオープンインペラ

## 4.ケミカルスラリーポンプ用メカニカルシール

TSU 形ポンプに搭載するデッドエンドタイプ の MDE 形メカニカルシールの特徴について以下 説明する。

## 1) 高耐食メタルレス構造

TSU 形ポンプをはじめ当社の横形渦巻きポンプは接液部が全て耐食樹脂であるため、様々な薬液に対応することができる。

メカニカルシールにおいても、摺動部である回転環・固定環のセラミック部品を樹脂加工品に組み込む構造であり、摺動面圧を保持するスプリング等の金属部品についても接液しない構造とすることで、高耐食性能を維持している。



図9 MDE 形メカニカルシール

## 2) MDE 形メカニカルシール各部品説明

MDE 形メカニカルシールの断面構造図を図 10 に示す。

摺動部品である回転環は、回転環とインペラに 加工されたクラッチ部に固定されており、主軸と 同期回転する。回転環はインペラクラッチ部に隙 間なく固定されているため、セット部にスラリー が詰まる等の影響は受けにくくなっている。

固定環は O-リング(固定環カバー)を介して固定環カバーに固定され、固定環背面にセットされたスプリングによって、摺動部の面圧を保持する構造となっている。また、ドライブピンが、回り止め効果を発揮している。

固定環カバーは、固定環、スプリング、ドライブピンをセットする重要な部品であると共に、部品点数を減らすことができるため、メカニカルシール自体がシンプルな構造を実現している。

スプリングは安定性を目的としたマルチコイル タイプとなっているため、摺動部の追従性を向上 させている。また、コンプリングと固定環カバー 押えが金属製であるため、摺動面圧による変形を 抑えることができる。

スラリー用メカニカルシールとして開発された 構造的特徴としては、スプリングを接液側ではな く大気側へセットすることで、摺動面からの液漏 れがない限り、スプリングの薬液による腐食や結 晶の付着による面圧不良が起こりにくい構造であ る。

また、固定環側にスプリングを配置する静止形にすることで、回転形と比べてスプリングが遠心力の影響を受けない形状となっている。

MDE 形は 1.0MPa の耐圧性能を有しているほか、流体が摺動面の外周(接液側)から内周(大気側)に漏れようとするインサイド形を採用しており、ポンプ運転中には摺動部の遠心力よって、反対方向に漏れようとする流れが作用する。そのため、摺動面からの液漏れを抑制することが可能となり、更に摺動部付近の液体循環が行えることで、スラリーを滞留させにくい効果を得ることができる。

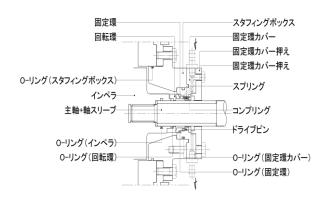


図 10 MDE 形メカニカルシール断面構造図

## 3) デッドエンド・テーパボア構造

前項 3-4) で記したように、ケーシングとインペラに発生する粒子閉塞に対してはオープンインペラの採用により回避することが可能になるが、ポンプ内部の行き止まり流路における粒子濃度の上昇、粒子の閉塞に注意が必要となる。例えば、インペラ背面からメカニカルシール摺動面までの流路がある。

インペラ背面に入った液はスタフィングボック スから摺動面に向かう。これは半ば「行き止まり」 流路であるため、滞留防止のために強制的に速度 差を与えるように、スタフィングボックスの内周 側をテーパ形状(テーパボアと呼称)にしたもの である。

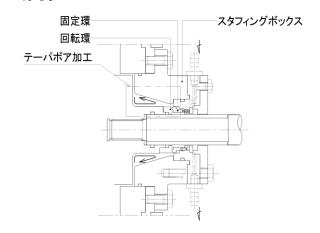


図 11 テーパボア構造

#### 5.おわりに

TSU 形ポンプは、耐食部へ UPE を採用し、デッドエンドタイプの専用メカニカルシールを搭載したケミカルスラリーポンプである。メカニカルシールはダブルメカニカルシール MAW 形も標準ラインナップしており、高濃度のスラリーにも対応することもできる。

既に納品されているポンプにおいては、スラリーに対する耐摩耗性アップと樹脂の特性を生かした「軽さ」がメンテナンス効率を格段に上げると好評を得ている。

さらに耐摩耗グレードをアップした UPE (分子量を上げた UPE) による実機運転も開始しているが、今後もスラリーによる摩耗特性の明確化、納入実績からのスラリー特性の把握から、更なる開発に繋げていきたいと考えている。

## 新製品紹介

## センター吐出ターボファン(CET形)

技術開発研究所 高梨 武

#### 1. はじめに

半径流ポンプでは一般的であるが、送風機においてはセンター吐出ケーシングは国内でも少なく、当社でも CES と CTF 形のみである。センター吐出のメリットは回転方向を気にすることなく、吐出方向も左右と上の3方向に限定でき、ダクト設置なども容易になる。

本報では、2015.12 月に上市したセンター吐出 ターボファンについて紹介する。

#### 2. センター吐き出しターボファン製品概要

センター吐出ケーシングは一般的な吐出口形状と比較して、婉曲部が増え、その部分の圧力損失により効率が低下すると言われている。今回の開発ではできるだけ効率を低下させない点とケーシングが大きくなりすぎないことを念頭に CFD 解析により形状を最適化し、試作機による最終確認を行なった。

図 1 にセンター吐出ターボファンの外観及び全体容量図を示す。FTF と FTE は一般的な横吐出の送風機であり、CES、CTF と本開発品のCET はセンター吐出ケーシングである。CET にはインペラ材質の違いによって-P と-F 形があり、それぞれ G-PP 製(ガラス繊維補強ポリプロピレン)と FRP 製のインペラである。したがって、制限回転数が異なり、容量も異なる。本開発のCET 形は従来センター吐出機種である CTF 形と CES(シロッコタイプ)形より、高静圧を達成している。

#### 3. CFD について

解析で使用した CFD ソルバーは ANSYS Inc. の Fluent 16.0 である。解析原理等は、他にも文献があるので本報では詳細な記載は行わないが、解析モデルの省略化についてのみ示す。目的は計算時間の短縮であり、ナットカバー、主軸、ケーシング部の詳細な面取り(R 部および



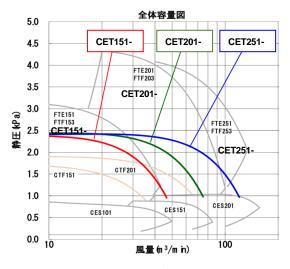


図1 外観及び容量範囲

C 部)などはメッシュが増加するだけで、マクロ量である静圧やトルク(軸動力)には大きな影響を与えない。計算は主に定常(時間平均値)とし境界層メッシュは作成せず渦モデルは工業的解析で用いられる、Standard k- $\varepsilon$ -モデルである。計算時間が必要な詳細なモデルは、形状決定後に行った。

三次元形状の生成はダッソーシステムズ社の3D CAD SolidWorks にて作成し、中間ファイルはISO 10303 による step ファイルを用いた。中間ファイルは、ANSYS Inc.の Design Modeler に読み込まれ、非常に短いエッジ(線)や面積の小さいフェイス(面)を他のエッジやフェイスとマージ(結合)することで、それらの微小な線や面を除外した。それらが存在したままでメッシュを生成するとそれらに基づくサイズでメッシュが生成されてしまい、メッシュ数と計算時間の増加につながるからである。

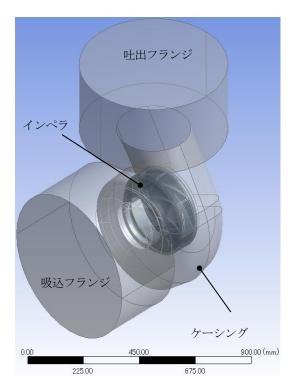


図 2 CET 形解析モデル

#### 3. ケーシングの流体解析モデル

#### 3.1 ケーシング

従来の横吐出ケーシングとセンター吐出ケーシングの違いを図3に示す。従来品は一般的にみなれた形状であり、インペラ渦室を通過した搬送流体がそのまま吐き出される形状になっている。それに対してセンター吐出ケーシングは

吐出フランジ部で流れが湾曲しているので、圧 力損失が発生し、効率低下の要因になる。

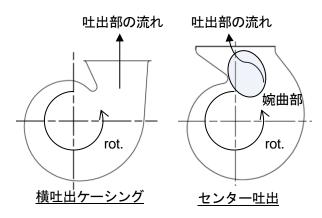


図3 センター吐出と横吐出ケーシング

3.2 ケーシング設計パラメータ ケーシングの主な設計パラメータは次の通り である。

- D<sub>3</sub>:基礎円(ケーシングの基礎となる円)
- α<sub>V</sub>:ボリュート角(ケーシングの広がり角)
- b<sub>3</sub>: 渦室高さA<sub>8</sub>:最終断面積
- 断面形状(矩形, 辣韮, 台形など)
- 舌部の位置

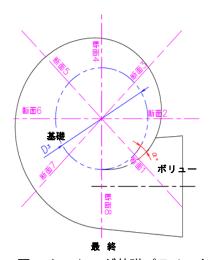


図4 ケーシング基礎パラメータ

基礎円とはケーシング設計時の基礎となる 円であり、比速度によって異なるが、インペラ 直径の 1.0~1.2 倍程度になる。ボリュート角は ケーシングが半径方向に拡がっていく角度で、 通過断面積に影響を与え、性能と外形寸法に大 きな影響を与える。舌部の位置はセンター吐出 を採用すれば変わるのは自明である。

各パラメータは部品の互換性や現行機種との 違いが大きくなることは避けるため、一定の範 囲での最適化を進めた。

#### 3.3 CFD による形状最適化

ケーシングの設計パラメータを最適化する前後の吸込側からの視点での流線跡を図 5 に示す。ケーシング内部には十分に流れない領域が発生してしまうが、最適化を行うことで流れていない領域を減少させることができた。

P-Q および L-Q 特性の比較を図 6 に示す。若干ではあるが、P-Q 特性はほぼ全域にわたって改善されている。また、グラフには記載されていないが、全圧効率も 2~3%ポイント程度改善されている。

当然ではあるが、CFD は機械的摩擦損失などは考慮されていないため、実際の効率上昇値は CFD との予想より小さくなる場合が多い。

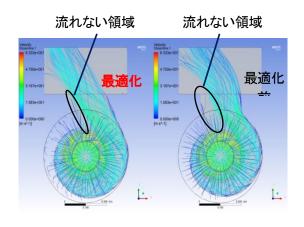


図5 ケーシング最適化と流跡線

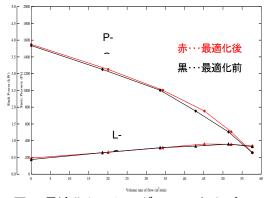


図6 最適化ケーシングの P-Q および L-Q

## 4. G-PP 製インペラ

本送風機は従来のFRP製インペラに加え汎用プラスチックである G-PP 製インペラも用意している。G-PP インペラは、射出成形品であり、生産性アップと品質安定性のアップが期待できる。FRP と比較して、機械強度、耐熱性および耐食性が劣るので、中・低静圧で中耐食の用途に向いている。形状は性能面を考慮して、高効率形送風機 FTE 形に準拠している。

インペラの接合はカシメピンを用い、リベットのような形状になるように先端を溶融させて接着させる方法を選択した。図7に側板と主板+ブレードおよびインペラ完成形状を示す。



図7 インペラ組立方法概略

(特許申請中)

#### 5. FTF 形と FTE 形との互換性

従来機の FTF 形と FTE 形との互換性を表 1 に示す。

CET-PとCET-Fの違いはインペラ材質の違いであり、インペラ自体の形状はほぼ同等であるが、耐食性、耐熱性および制限回転数が異なる。ケーシングは吸込フランジの位置は変更にな

っていないが、吐出がセンターに移動している ため、互換性は有さない。

ナットカバー類はインペラ材質に依存するので、PP製インペラはナットカバーも PP製、FRP製インペラはナットカバーも FRP製である。PP製ナットカバーは Oリングでナットカバー内部に搬送ガスが侵入しないためにシール性を保持しているが、FRP製ナットカバーはパテによって取り付けられている。その他の部品は互換性があり、流用可能である。

表 1 従来 FTF と FTE 形との部品互換性

ファン形式	CET-P	CET-F
インペラ材質	G-PP	FRP
ケーシング材質	FRP	FRP
インペラ	×	0
ケーシング	×	×
ナットカバー類	X	0

〇: 互換性あり X: 互換性なし ただし、CET-F 形に FTE 形インペラ使用で FTE 同等性能となる

## 6. さいごに

センター吐出を備える FRP 製高効率ターボファンを上市した。一般的な横吐出形状を持つターボファンと比較して、ほぼ同等の性能を持つケーシング形状で、インペラは、FRP 製と G-PP 製の 2 タイプを有す、従来品と互換性を持たせた製品である。

本製品(特に G-PP 製)が、中・低静圧で中耐食の用途に使用いただければ、幸いである。

#### 製品紹介

## 機能性リアケーシング

#### 技術開発研究所 平櫛 真男

## 1. マグネットポンプとリアケーシング

マグネットポンプは、動力伝達をマグネットカップリングにより行うポンプであり、動力伝達軸が渦室内を貫通しないため、完全無漏洩を実現できるケミカルポンプとして広く使用されている。図1に代表的なマグネットポンプの構造を示す。電動機に直結したアウターマグネットとインナーマグネットの間にあり、渦室後部の液封を行っているのがリアケーシングと呼ばれる部品となる。

リアケーシングには、以下のような特性が求められる。

- ① インナーマグネットとアウターマグネットは、距離が近いほど、強力にカップリングし、大きなトルクを伝達することができるため、できるだけ薄いこと。
- ② マグネットカップリングが回転することにより、リアケーシングには磁力線が貫通するため、非磁性であり、導電性がないことが望ましい。
- ③ ポンプうず室内に発生する圧力を保持する圧力容器であるため、十分な耐圧性能を 有すること。
- ④ ケミカルポンプの接液部品となるため、優れた耐食性および耐熱性を有すること

したがって、耐食ポンプのリアケーシングは、 非金属材料で薄く耐圧性能に優れたものである必 要がある。さらに、優れた耐食性が求められるこ ととなる。

当社では、様々な繊維強化プラスチックをリアケーシング材料とし採用してきたが、さらに耐圧性能を向上させるために、アラミド繊維によるリアケーシングの開発を行った。

また、耐食性の一要素である耐透過性を向上させるために、耐透過性樹脂をリアケーシングの成形材料として使用し、成形技術の開発を行った。

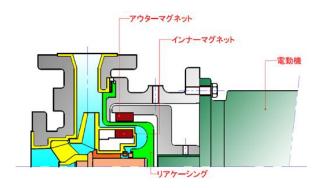


図1 マグネットポンプ構造

#### 2. リアケーシングの材質および構造

表 1 に主なマグネットポンプのリアケーシングの材質を示す。

ポンプの主な用途、価格等により、リアケーシングの材質も様々なものがラインナップされているが、特に耐食性を重視する用途のポンプでは、接液側に耐食性・耐熱性に優れる PFA を採用し、外側に補強層としてガラス繊維強化ナイロン(G-PA66)や、カーボン繊維強化ポリエーテルエーテルケトン(C-PEEK)を採用した部品となっている。

これらのリアケーシングは、図2に示したような2重構造となっているため、耐食性と耐圧性を両立させたものとなっている。さらに最上位グレードとなる MSX 形ポンプには、SiC セラミック製のリアケーシング(図3)もラインナップされている。

表 1 主なリアケーシング材質一覧

	MER-051	MET-050	MTA-080	MSX-125
	C-PVDF	PFA/	PFA/	PFA/
材		G-PA66	G-PA66	C-PEEK
質	C-ETFE	C-PVDF	C-PVDF	SiC

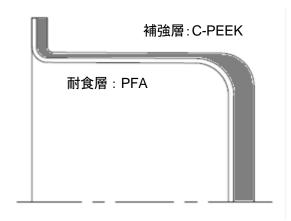


図2 MSX リアケーシング構造



図3 SiC リアケーシング

#### 3. アラミド繊維強化リアケーシング

アラミド繊維とは、デュポン社の KEVLAR(ケブラー)等が有名であるが、防弾チョッキにも使用されている非常に強い繊維である。高強度・高耐熱性を有し、同じ重さの鋼鉄と比べて約5倍の強度を持っている。

このアラミド繊維を2重構造リアケーシングの 補強層に使用することにより、さらに高強度のリアケーシングを目指した。図4にMSX形マグネットポンプのリアケーシングをアラミド繊維強化バージョンとしたものの外観を示す。補強層は、型内にアラミド繊維クロス等の強化繊維を配置したものに耐食性に優れるビニルエステル樹脂を注入し、硬化させるRTM成形(:Resin Transfer Molding)により成形したものである。さらに、耐食層としてPFA樹脂成形品を組み合わせ、高耐食・高強度リアケーシングとした。



図 4 アラミド繊維強化リアケーシング

図5にアラミド強化リアケーシングの耐圧試験の様子を示す。油圧ポンプによりリアケーシング内部に内圧を負荷し、その時の上面(鏡面)と側面の変位を測定した。

図6にそれぞれの内圧でのリアケーシング鏡面部と胴部の変位量を示す。内圧と各部の変位量の間には線形関係がみられる。点線で示したPFAとC-PEEKの2重構造リアケーシングの変位量と比較して、実線で示したアラミド繊維強化リアケーシングの変位量は、鏡面部・胴部ともに小さいことがわかる。リアケーシング破壊時の内圧となる耐圧強度は、元の C-PEEK 製リアケーシングの50%アップであった。

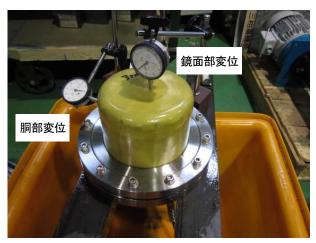


図5 リアケーシング耐圧試験

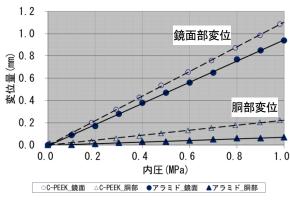


図6 内圧と各部の変位量

アラミド強化リアケーシングは、MSX 形以外にも MTA-40~MTA-100 形、MTA-101~MTA-150 形に ついても開発に成功しており、それぞれ標準仕様 ものに対して 1.5 倍程度の耐圧強度を有したもの となっている。

## 4. 耐透過性フッ素樹脂

耐透過性フッ素樹脂は、図6に示したようなテトラフルオロエチレン(TFE)とパーフルオロアルキルビニルエーテル(PAVE)の共重合体に第3のフッ素系成分(X)を主鎖中に導入した分子構造をとっており、PFAに対して、その透過量を劇的に低減させた新しいタイプのフッ素樹脂である。

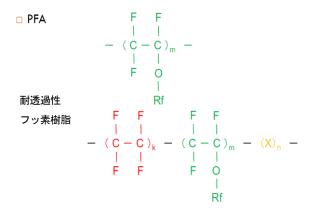


図6 耐透過性フッ素樹脂構造

## 5. 薬液成分透過試験

3 種類のフッ素樹脂と耐透過性樹脂について、 薬液の透過試験を行った。試験は、図7に示すよ うに、圧縮成形により成形した薄膜により区切っ た一方に薬液として、塩酸35%を、他方に純水を 入れた。薄膜中を薬液揮発成分が透過することに より、純水中の塩酸濃度が変化するため、イオン クロマトグラフにより濃度定量を行い、純水中に 透過した塩酸変化量を測定した。

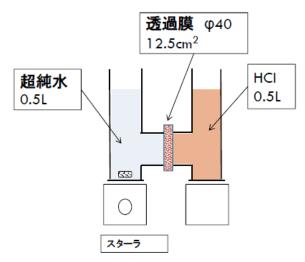


図7 薬液成分透過試験装置

フッ素樹脂等の高分子材料は、ミクロの世界では、小さな分子の集合体と考えることができるため、気体及び揮発成分は、溶解する性質を示し、 濃度の高い方から低い方へと自発的に拡散後、反対側で揮散する性質がある。つまり薄膜を透過することになる。

イオンクロマトグラフにより得られた透過量と時間の関係から、膜の厚さ・面積を考慮し透過速度を算出した。(図 8)

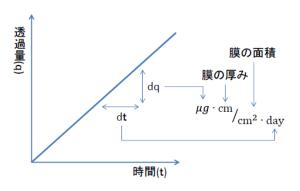


図8 透過速度の算出方法

算出した各樹脂製膜での透過速度を図9に示す。耐透過性樹脂の透過速度は、PFAと比較して、1/10~1/50とかなり小さく、低透過性材料であることを確認した。

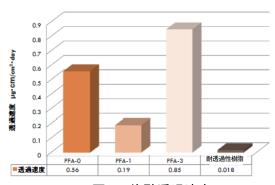


図9 塩酸透過速度

## 6. ガス透過試験

耐透過性樹脂のガス透過試験についても行った。 図 10 に試験装置の概略を示す。片側のセルに Cl<sub>2</sub>標準ガスを供給し、十分循環し一定濃度(30~10%)にした後、薄膜で仕切られたもう一方のセルに空気を送り込みサンプリングし、検知管により塩素濃度を測定した。

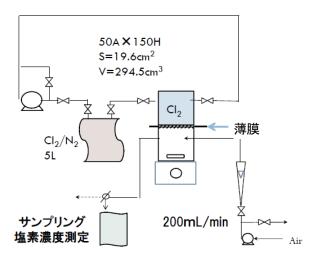


図 10 ガス透過試験装置

単位時間に透過した量は、塩素濃度×空気量で表され、単位面積、膜厚みあたりに換算後、その値を塩素分圧差で除したものが透過係数となる。

図 11 に PFA 樹脂と耐透過性樹脂の塩素ガス透過試験における透過係数を示す。耐透過性樹脂の透過係数は、PFA 樹脂の 1/4 以下となっており、塩素ガスに関しても、耐透過性樹脂は優れた耐透過性を有していることがわかった。



図 11 塩素ガス透過係数

## 7. 耐透過性樹脂製リアケーシング

耐透過性に優れる材料を用いてリアケーシング 等のポンプ部品の成形を行った(図 12)。MSX 形マグネットポンプのリアケーシング内側の耐食 層をはじめ、インナーマグネット等の成形品化に も成功している。



図 12 耐透過性樹脂性ポンプ部品

#### 8. おわりに

マグネットポンプの重要な部品の一つであるリアケーシングについて、その耐圧性能と耐食性能 を向上させるための取り組みについて紹介した。

リアケーシングの耐圧性能がアップすることにより、ポンプ揚程(圧力)を大きく設計することができ、リアケーシングの耐食性能がアップすることにより、耐食ポンプの寿命を長くすることができる。特に耐透過性樹脂+アラミド繊維強化リアケーシングは、耐圧と耐食に大きく寄与することとなる。

今後もポンプ各部品の機能アップを継続的に進めて行きたい。

## 論文

## 排ガス洗浄塔の FRP 劣化診断事例

#### 技術開発研究所 杉本 健一

#### 1. はじめに

耐食性に優れる繊維強化プラスチック(以下、FRP)は、各種の腐食性を有する薬液やそれらを含んだミストが接触する部材へ用いられることが多い。鉄鋼や半導体、化学、メッキ工場などでは、これらの薬品を使用する製造ラインが数多く設置されている。結果として大量の腐食性の廃液や排ガスが生成され、それらはライン外へ適切に排出される必要がある。

FRP 製の排ガス洗浄塔は、製造ラインなどで生じた排ガスを規制値以下の濃度に低減してから大気へ放出する重要な装置である。このため、突発的なトラブルによる装置の故障は、製造ラインにおける一部あるいは全体の操業を停止することになり、適切なメンテナンスや更新が必要である。しかしながら、FRPが耐食性に優れるが故、ガス濃度に大きく依存するとはいえ、製品寿命の到来には長期間を要する場合が少なくない。

長期間の使用を経た耐食 FRP について、現状の健全性を正確に判断する手法はなく、当社では超音波を用いた非破壊的な劣化診断手法の開発を進めている。既報 <sup>1-3)</sup>においては、送風機羽根車における内部損傷の非破壊的検出や塩酸タンク、硫酸タンクにおける劣化度合いと力学的強度の関係について検討し、本手法の可能性について論じてきた。

本報では、当社製品の某ユーザにおいて実施した排ガス洗浄塔(以後洗浄塔の劣化診断の事例について報告する。

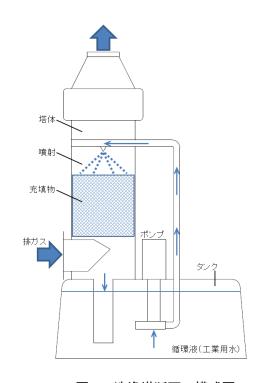


図1 洗浄塔断面の模式図

#### 2. 洗浄塔仕様

今回診断を実施した洗浄塔が設置される当該製造ラインにおいては、アルカリ系、酸系の2種類のガスが独立に発生する。これらのガスは合計7基の洗浄塔を経て大気に放出されている。洗浄塔7基の仕様を表1に示す。アルカリ系は、アンモニアを含む排ガス処理で4基、酸系は、フッ化水素酸を含む排ガス処理で3基となっている。製造年が最も古いものは1990年であり、新しいものでも1996年である。

我! <i>沈</i> 乃名在冰								
		アルカリ系排ガス				酸系排ガス		
呼 称	Al-1	Al-1 Al-2 Al-3 Al-4 Ac-1				Ac-2	Ac-3	
型式	TRS-B150	TRS-B150	TRS-B200	TRS-B300	TRS-B80	TRS-B200	TRS-B150	
製造年	1990	1995	1996	1996	1990	1995	1996	
洗浄液		工業用水						

表 1 洗净塔什様

表 2 超音波エコー測定条件

超音波探傷器	UI25S、菱電湘南エレクトロニクス
超音波探触子	狭帯域型 5MHz、
音速	2150m/s
ゲイン	12dB
測定点数	タンク、塔体それぞれランダムに 20 点

当該洗浄塔における排ガスの洗浄液は、7基すべて工業用水である。図1に示すように、タンク内に貯蔵された洗浄液は、ポンプにより塔体上部へ輸送、噴射され、排ガスと接触することによりガス中のアルカリ成分や酸成分の濃度を低減させる。洗浄液はタンクに戻され、再びポンプに輸送される循環サイクルを繰り返す。したがって、洗浄塔タンク最初に充填した水は中性(pH=7.0)であるが、稼働時間の増加にしたがって pH は徐々に変化することとなる。

#### 3. 評価方法

#### 3-1 超音波エコーの測定方法

超音波エコーの測定条件を表1に示す。超音波の送受信および探触子は、汎用の探傷装置および探触子を使用した。洗浄塔1基について、タンクと塔体それぞれ20個所を測定した。

各測定箇所においては、図2に示すようなエコー強度と透過距離の関係が得られる。図2の場合、透過距離 2.5mm でエコーのピークが見られる。これより、測定箇所の板厚が2.5mm、エコー強度が85%であることがわかる。

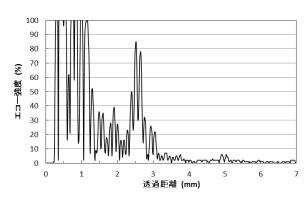


図2 典型的なエコー強度と透過距離の関係

## 3-2 板厚によるエコ一強度の補正

図2に示したエコー強度とは、超音波の入射波に対する受信波の強さである。エコー強度がFRPの劣化度合いに応じて低下することに着目することが、本劣化診断の概要であるが、一方でエコー強度は板厚の影響を大きく受ける。図3にブラン

クの FRP におけるエコー強度と板厚の関係を示す。このように、板厚が大きくなるほどエコー強度は著しく低下する。

ハンドレイアップにより作製される FRP の板厚は一様ではなく、ばらつきを有しているのが通常である。そこで、板厚のばらつきによるエコー強度のばらつきを考慮する必要がある。図3に示す近似直線は、板厚が 1mm 大きくなるとエコー強度が23.84 ポイント低下することを示唆している。各測定点より得られたエコー強度と板厚より、表3に示すそれぞれの基準板厚におけるエコー強度に換算して比較した。

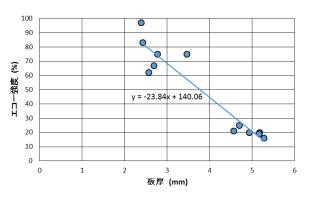


図3 ブランク FRP におけるエコー強度と板厚の 関係

表3 タンク、塔体の基準板厚

型式	呼称	基準板厚 (mm)			
至氏	叶丁小	タンク	塔体		
TRS-B80	Ac-1	4	2		
TRS-B150	Al-1、Al-2	1	2		
	Ac-3	4	۷		
TRS-B200	Al-3、Ac-2	5	3		
TRS-B300	Al-4	5	5		

## 3-3 力学的強度の推定

既設洗浄塔の非破壊検査による超音波エコーを 計測することにより、劣化度合いに応じた様々な エコー強度のデータが得られる。FRP が劣化する と、図3に示すブランク材の近似直線から外れた エコー強度を示すことになる。 一方、劣化による力学的強度の低下を推定することが診断する上での目的であり、力学的強度とエコー強度を関連付けることが重要である。FRPの劣化様相は酸とアルカリで異なると考えられ、同等のエコー強度であっても力学的強度が同等であるとは限らない。したがって、劣化要因となる薬品毎に力学的強度とエコー強度の関係を把握する必要がある。

図4には苛性ソーダに浸漬したFRP、図5には 塩酸に浸漬したFRPにおける曲げ強度とエコー 強度の関係を示す。それぞれの横軸は、ブランク FRPのエコー強度に対する浸漬したFRPのエコー強度の比とした。したがって、エコー強度比 100%はブランクと同等のエコー強度を意味する。 図4、図5に基づいて、既設洗浄塔のエコー強度 比から残存曲げ強度を推定した。

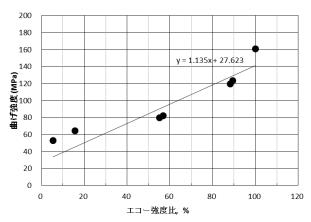


図4 15%苛性ソーダに浸漬させたFRPの曲げ強度とエコー強度比の関係

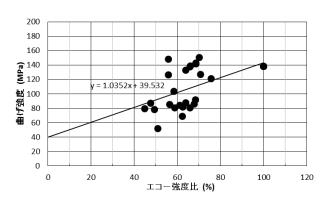


図5 35%塩酸に浸漬させたFRPの曲げ強度とエコー強度の関係

#### 4. 結果

## 4-1 エコー強度と板厚の分布

図 6(a)~(c)にアルカリ系の各洗浄塔、図 7(a) ~(c)に酸系の各洗浄塔のタンクと塔体における

20 個所のエコー強度と板厚の関係を示す。いずれの図からもタンクは塔体よりも板厚が大きいことがわかる。ハンドレイアップにより作製されるFRP の板厚は一様でないこともわかる。全体の傾向として、タンクは塔体と比較して低いエコー強度となった。また、エコー強度には大きなばらつきが見られる。

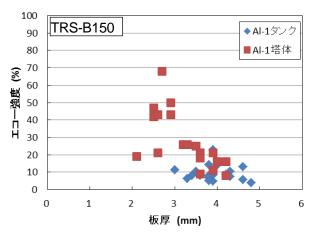


図 6(a) Al-1 洗浄塔のエコー強度と板厚の関係

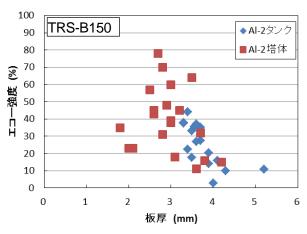


図 6(b) Al-2 洗浄塔のエコー強度と板厚の関係

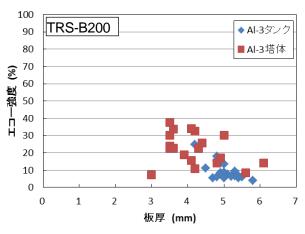


図 6(c) Al-3 洗浄塔のエコ一強度と板厚の関係

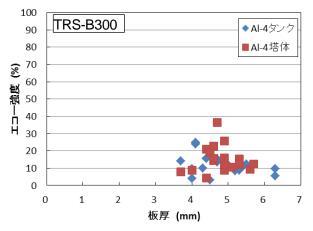


図 6(d) Al-4 洗浄塔のエコー強度と板厚の関係

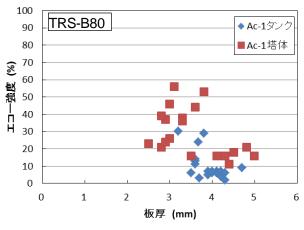


図 7(a) Ac-1 洗浄塔のエコー強度と板厚の関係

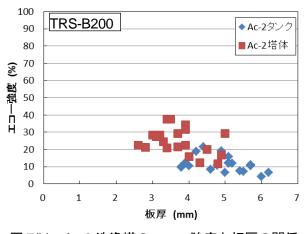


図 7(b) Ac-2 洗浄塔のエコー強度と板厚の関係

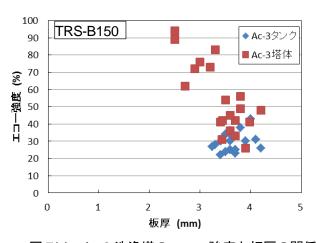


図 7(c) Ac-3 洗浄塔のエコ一強度と板厚の関係

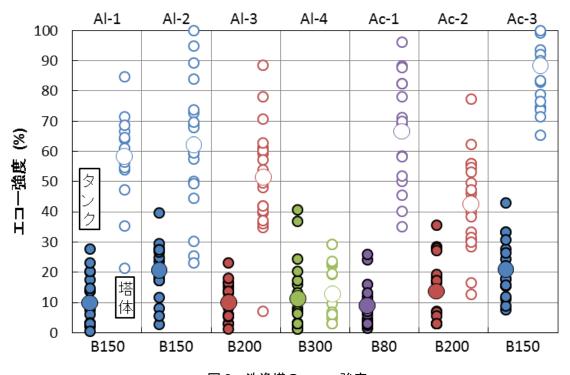


図8 洗浄塔のエコー強度

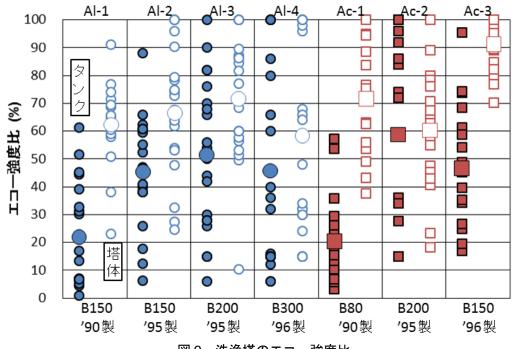


図9 洗浄塔のエコー強度比

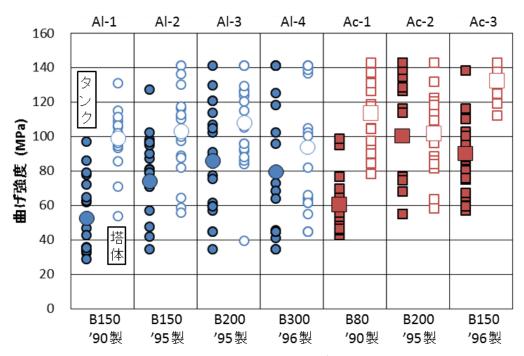


図 10 洗浄塔の推定曲げ強度

それぞれの洗浄塔の各部位について、表3に示した基準板厚におけるエコー強度への換算値を図8に示す。各洗浄について、タンクは塗り、塔体は白抜きで示した。平均値を大プロットで示すが、同板厚においても相当のばらつきが見られる。全体としてタンクは塔体よりも板厚が大きいため、タンクのエコー強度は塔体と比較しても低い値に分布している。

#### 4-2 エコー強度比

図8では板厚が異なるため、型式や部位の直接 的な比較ができない。そこで各基準板厚における ブランク FRP のエコー強度に対するそれぞれの エコー強度を比として図9に示す。これにより、 型式による板厚の違う FRP の直接比較が可能と なる。図中ではアルカリと酸でプロットを分けて 表示した。年式の最も古い1990年製のタンクが 最も低いエコー強度比の範囲に分布している。

#### 4-3 推定曲げ強度

図9に示したエコー強度比について、アルカリ系排ガスの洗浄塔は図4の苛性ソーダに浸漬させた FRP、酸排ガス系の洗浄塔は図5の塩酸に浸漬させた FRP における曲げ強度とエコー強度比の関係より、現在の曲げ強度の推定値を求めた。図10に各洗浄塔の各部位における推定曲げ強度の分布を示す。超音波エコーはばらつきが大きいため、曲げ強度も広い範囲に分布することとなった。それぞれの推定曲げ強度について、平均値と最大値、最小値を表4に示す。平均値、最大値、最小値のいずれにおいても、1990年製の推定曲げ強度は、アルカリ系排ガス、酸系排ガスともに低い値

表 4 推定曲げ強度

		平均値	最大値	最小値		
Al-1	タンク	53	97	29		
'90 製	塔体	98	131	54		
Al-2	タンク	79	128	35		
'95 製	塔体	103	141	56		
Al-3	タンク	86	141	34		
'95 製	塔体	109	141	39		
Al-4	タンク	80	141	34		
'96 製	塔体	94	141	45		
Ac-1	タンク	60	99	43		
'90 製	塔体	114	143	78		
Ac-2	タンク	100	143	55		
'95 製	塔体	102	143	58		
Ac-3	タンク	88	138	57		
'96 製	塔体	134	143	112		

(単位: MPa)

#### 5. 考察

を示した。

FRPとは直径が十数μmのガラス繊維の集合体と樹脂の複合材料である。実際には、微視的および局所的なガラス繊維の粗密の差は大きくなる。探触子で一度に計測する範囲は、直径が約11mmの円形であるが、このガラス繊維の疎密差が超音波の透過性に大きく影響を及ぼしていると考えられる。この結果、超音波エコーのばらつきが過大になり、FRP元来のばらつきに加え、薬液による劣化が一様に進行しないこともばらつきを大きくする原因と推察される。

最も古い年式、換言すれば稼働期間が長い洗浄 塔において最も低い推定曲げ強度が得られたこと は妥当な結果といえる。FRP を構成するポリエステルやビニルエステルのアルカリや酸に対する劣化は、樹脂中のエステル基の加水分解であるとされている。基本的には循環する水に排ガスが溶け込んだ低濃度のアルカリや酸であるが、約25年間の使用により、少なくともエコー強度が明確に低下する程度には劣化が進行していることが推察できる。

エコー強度にばらつきが大きく、結果としては 推定される曲げ強度についても、相当にばらつき の大きい結果となった。ブランク材の曲げ強度は 約 140MPa であり、Al-1 や Ac-1 の平均曲げ強度 はそれぞれブランク材の 38%、43%にまで低下し ている。物体の損傷は、最も弱い個所が起点にな ると考えられるため、判定としては最小値を十分 に考慮する必要がある。その場合、Al-1 や Ac-1 の最小曲げ強度はそれぞれブランク材の 21%、 31%であり、決して余裕のある状態ではないとい える。

## 6. まとめ

設置から 20 年以上が経過する既設の排ガス洗 浄塔 7 基(アルカリ系 4 基、酸系 3 基)について、 当社で開発を進める劣化診断手法による診断を試 みた。以下に本報の結論をまとめる。

○板厚の異なる被検体であっても、ブランク材の データで補正することで直接比較することが可能 である。

〇タンク、塔体それぞれについて 20 か所の測定点としたが、エコー強度は非常に大きい範囲に分布する。

〇設置から 25 年の最も古い洗浄塔については、 アルカリ系、酸系ともにエコー強度が最も低い分 布を示した。結果として推定される力学的強度も 低い分布となり、経年による劣化傾向を定量的に 示すことが可能である。

#### 参考文献

1)杉本健一;超音波を用いた FRP の劣化診断事例,TEXEL 技報,pp.15-19,Vol.1(2012).

2)杉本健一;超音波による FRP の劣化診断事例 第 2 報 廃塩酸タンクの診断事例, TEXEL 技 報,pp.15-20,Vol.4(2014).

- 3) 杉本健一;スクラバ循環タンクの劣化診断事例, TEXEL 技報,pp.17-20,Vol.6(2015).
- 4) 高圧ガス保安協会、耐食 FRP ハンドブック (1983).

## 新製品紹介

## 汎用性スクラバ TRS-HS 形シリーズ

環境設計課 大西 康浩

## 1. はじめに

TRS (TEXEL Reasonable Scrubber) は、約34年前、ドラフト、酸洗などの一般低濃度排ガス処理をターゲットに当時の冷却塔の技術であった自然落下散水方式、および FRP の外面ゲルコート仕上げを採用し 高速化と低圧損、循環水量低減により省スペース、省エネを実現した当社主力製品である。これまでマイナーチェンジを繰り返し、F形、G形の販売に至るが、F形販売開始から約10年以上経過しており、製品改善を目的として、TRS フルモデルチェンジに取り組んだ。

製品改善は、従来品の汎用性を残し、従来品以上の高性能、装置高さ低減による省スペース化、メンテ性向上を目標として行い、今回、新製品の完成に至った(図 1)。

本報では、新製品TRS-HS形について紹介する。

#### 2. 仕様(標準仕様)

一般酸性・アルカリ性ガス、処理風量 165m³/min 以下を対象に、風量基準で 5 機種をラインナップ した。性能、メンテ性は従来品以上である。汎用 性、オプションは従来品同等である。 仕様詳細を表 1、および表 2 に示す。



図1 TRS-HS 形外観

# 表 1 共通仕様

14 A 15 -	60.±6.44 →	L _L" →					
対象ガス	一般酸性・アルカリ性ガス						
処理風量	165m³/min以下						
除去効率	ガス名	化学式 洗浄液 除去効率					
	塩化水素	HCI H <sub>2</sub> O 97%以上					
	アンモニア	NH <sub>3</sub> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 97%以上					
	二酸化硫黄	SO <sub>2</sub>	Na0H	90%以上			
装置圧損	0. 45kPa以下						
循環ポンプ	槽内縦型ポンプ						
送風機	シロッコファン	機外圧損0. 4kPa以下					
	ターボファン	機外圧損0. 4kPaより高圧損					
材質	本体、循環タンク	FRP					
	充填物	PP, PE					
	ミストキャッチャ	PVC					
塗装	本体、循環タンク	マンセルN-7					
	送風機	マンセル 2.5G6/3					
オプション	排突フランジ、ダンパ、吸込防振継手、pH計、レベル計						
(従来品同等)	ヒータ、送風機用防振架台、薬液注入口、薬注ポンプ						
	薬液タンク、操作盤、点検タラップ、ドレンパン						

## ※ 除去効率は、各ガス入口濃度 100ppm 基準値

# 表 2 機種毎の仕様

				循環ポンプ		送風機			
形式	処理風量	循環液量	タンク	形式	電動機	形式		電動機	装置概略寸法
	[m³/min]	[L/min]	容量		[kW]			[kW]	L×W×H
			[L]		50Hz/60Hz			50Hz/60Hz	[mm]
TRS-HS 25	~10	50	350	VSP-025	0. 2/0. 2	シロッコ	CES101	1. 5/1. 5	2150 × 850 × 2483
						ターボ	CET151	1. 5/1. 5	2290 × 850 × 2483
TRS-HS 50	26~53	100	600	VHP-040	0. 4/0. 4	シロッコ	CEC151	2. 2/2. 2	2475 × 1100 × 2700
						ターボ	CET201	3. 7/3. 7	2635×1100×2700
TRS-HS 80	54~83	160	820	VHP-050	0. 4/0. 4	シロッコ	CES201	3. 7/3. 7	2850 × 1300 × 2700
						ターボ	CET251	3. 7/3. 7	2965 × 1300 × 2700
TRS-HS 120	84~120	230	900	VHP-065	0. 75/0. 75	シロッコ	CES201	3. 7/3. 7	2870 × 1500 × 2700
						ターボ	FTE301	3. 7/5. 5	3200 × 1500 × 2700
TRS-HS 160	121~165	310	1140	VHP-065	1. 5/1. 5	シロッコ	NSF302	5. 5/5. 5	4000 × 1700 × 2700
						ターボ	FTE301	7. 5/7. 5	3400 × 1700 × 2700

#### 3. 製品の特長

HS 形は、高性能かつ省スペースを最大の特長とした製品である。これは、新規充填物、新規スプレーノズル採用による充填高さ低減、性能向上により実現した結果である。充填物、スプレーノズル、およびその他の特長について、従来品 F 形との比較を含め、次に述べる。

#### 3.1 新充填物の採用

充填塔の性能や装置高さを決定する最も重要な 因子は、充填物の種類、形状である。高性能、装 置高さ低減を実現するためには、接触効率の良い 充填物を採用する必要がある。従来品 F 形、G 形 では、規則充填物 TPX-17(シート状のものを り合わせたもの)を用いている。規則充填物は 低圧損、安価であるが高除去性能確保のためには、 充填高さが必要となる。開発当初、規則充填物を 用い実験検討を行ったが、要求性能に満たない結果となり、不規則充填物(リング、またはボール 状等をランダムに充填)では、規則充填物より 性能であるが高圧損となった。最終的に圧損が従 来の規則充填物同等で性能を向上させるには、新 規充填物の採用が必要との結論に至った。

新充填物の形状は、当社既存充填物、および市販充填物をもとに、接触効率を高めるための最適形状、可能な範囲での縮小化、製作面での成型の容易さ等を考慮し、3Dプリンタでの試作品製作、実験検討で決定した。

最終試作品での性能確認を経て、リング状の新規充填物 SNR を採用した。当充填物は、従来品と圧損が同等であるにもかかわらず、性能は向上し、充填高さは従来品の 1/2 となる。(図 2,図 3)。





図3 新充填物 SNR

図 2 従来充填物 TPX-17

#### 3.2 新スプレーノズルの採用

充填塔の性能に対し、スプレー散布状態(散布 角度、必要スプレー圧、液滴径)も重要な因子と なる。

従来品F形、G形では、スプレーノズルにST-80を採用しており、このノズルは目詰まりの少ないスパイラルノズルで、スプレー圧が非常に低い状態で広角度に散水される結果、充填物部分での分散性が良いことが特長である。しかし、散水が自然落下に近く液膜状に近い状態であり、今回の要求性能を満たすためには、スプレー圧を上げスプレー液滴を微細化し、接触効率を高くするが必要性が生じた。

新スプレーノズルの形状は、目詰まりの少ないスパイラルノズルを採用し、当社既存品、および市販品をもとに考案、流体解析により、スプレー圧、散布角度を確認し(図 4)、3D プリンタでの試作品製作、実験検討を繰り返し、最適形状を把握した。

最終試作品で性能確認を経て、新スプレーノズル STF-50(図5)を採用した。

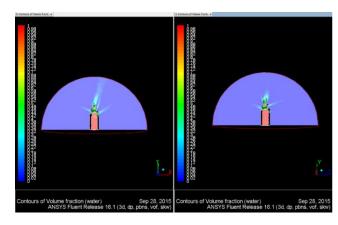


図4 スプレーノズル流体解析例



図5 新スプレーノズル STF-50

#### 3.3 高除去効率

塩化水素、アンモニア、二酸化硫黄に対する除 去効率を図6に示す。

HS 形は、塩化水素、アンモニアに対して、入口濃度 100ppm 以下で除去効率一定であり、従来品が 90~95%であるのに対し、除去効率は 97%以上を示す。

二酸化イオウに対して、入口濃度が高くなると 除去率は低下するが、100ppm 程度までは除去効 率 90%以上の高除去効率である。

なお、同図には従来品の除去効率を同時に示しているが、この結果からも従来品に対して除去効率が向上していることが確認される。

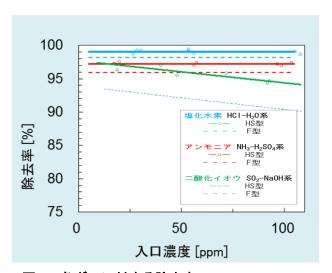


図6 各ガスに対する除去率

## 3.4 省スペース

前述のように、HS 形では、装置高さ低減により、大幅な省スペース化が実現されている。従来品 F 形と比較し、最大の 30%の装置高さ低減である。これにより、従来品では、輸送時の高さ制限に伴い、装置を分割して搬入する必要があったが、HS 形では、塔高を 2800mm 以下とし、全機種一体型、分割なしでの輸送、搬入が可能となった。

## 3.5 装置構造、およびメンテナンス性

装置構造については、従来品の汎用性を重視し、 処理方式の変更を行っていないことから、装置高 さ低減を除き、外観上での大きな変化はないが、 メンテナンス性を考慮し、各部の改善を行った。 主な改善点を次に述べる。

#### 1) 塔体部の分割について

従来品では塔体部で分割個所がない構造であったが、HS 形では製作時の複雑さを無くす

ため、充填部とガス入口部を分割して製作する 方法を採用した。装置高さが低く一体輸送、搬 入が可能であることから、標準品では運転時の 液漏れリスクを回避するため、分割部は圧着し た形での納入となる(図 7)。なお、設計段階 で事前に把握している際は、ガス入口方向変更 や分割部ボルト止めへの変更対応は可能である。



図7 塔体部外観

#### 2) 循環タンク(成型法)

循環タンクは、従来成型、脱型後、反転して 底板を二次加工で取り付ける製法であり、これ は、脱型後の積重ね輸送や完成時の安定感を考 慮したためであるが、液漏れ懸念より底板取り 付けに特に時間を要していた。HS 形では脱型 したタンクに天板を後付けする製法に変更し、 循環タンクー体型としたため液漏れの懸念はな く、また安定性については試作機製作で十分な 確認を行った。

#### 3) ドレン

循環タンクのドレンは、従来品では FRP パイプをねじ加工しバルブ接続していたが、経年劣化によるねじ加工部からの液漏れトラブルが発生した事例もあり、HS 形ではフランジ方式とした(図8)。

#### 4) 給水口、pH 計座、LS 計座

給水口(ボールタップ口含)については、従来オプション対応としていたクロスコネクション対策(タンク液面と給水口の距離をとる)を標準化した(図8)。

pH 計座、LS 計座については、従来 FRP 製のフランジを二次加工して取り付けしていたが、取り付けを簡素化するため、PVC 製フィッティングを採用した。

#### 5) 循環タンク点検口

汎用性を重視し従来同等のサイズとし、上述 のようにクロスコネクション対策のため、側面 に給水口を取り付けた(図8)。

#### 6) 充填物出入口

メンテナンス性を考慮し、可能な範囲で最大 化した。上部充填物投入口からはスプレーノズ ルの交換も可能である。

#### 4. おわりに

TRS-HS 形の販売は2015 年 10 月から開始しており、既に納入実績がある。販売開始に際し、これまでに、説明会を実施したが、今後もユーザー等からの依頼があれば開催する予定である。

また、既存実験装置での性能確認が可能であり、 依頼に基づく各種ガスに対する実験検討も可能で あり、テスト機貸出も検討中である。

なお、従来品F形、G 形については、現時点では生産可能であるが、随時 HS 形に移行する予定である。既納入品の部品供給については、従来通り継続する。

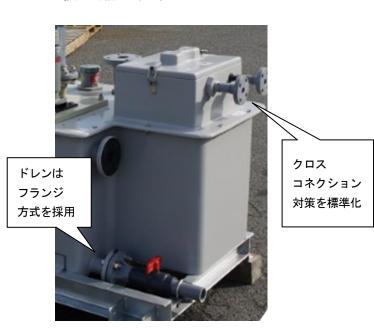


図8 ドレン、および循環タンク点検口外観