

MU-SSPWを採用した ミューグリーンリアクターと その水処理技術の大型化

小嶋 久夫*1)、鈴木 照敏*2)、有坂 晃一*3)

〔特集〕 進化する日本の水処理技術と実際

MU-SSPW を採用した ミューグリーンリアクターと その水処理技術の大型化

小嶋 久夫*¹⁾, 鈴木 照敏*²⁾, 有坂 晃一*³⁾

1. まえがき

那智の「お瀧」と日本海の「怒濤」を観照して、何故、「瀧」と「怒濤」は白く観えるのか？を発想の原点にして、MU-SSPW (MU Static Spiral Perforated Wings)[®] は創造された。

西洋哲学には、「正」と「反」の対立から「合」が止揚される弁証法の考え方がある。1970年代米国のケニックス社が商品化した「スタティックミキサー」の基本混合原理は、「流体の2分割・転換・反転作用」により流体は連続的に混合される。

その構造は、180°右回転および左回転の螺旋状エレメントの端縁同士を直交させて、管内に配置してスタティックミキサー（静止型流体混合器）を形成している。その混合は、異種類の流体は、最初の右回転エレメントで2層に2分割されつつ、右回転の渦流が発生する。同様に、次の左回転エレメントで4分割されつつ左回転の渦流が発生し、合流する。

流体は、この右回転、左回転、合流作用を連続的に繰返すことで、2ⁿ (n:エレメント数) に層分割されて渦流により混合される。他方、「MU-SSPW」の基本混合原理は、「流体の複数の分割・回転・合流・反転作用および軸方向と回転方向でのせん断応力作用」の向上により、流体は連続的に高効率で混合される。MU-SSPW は螺旋状エレメントの中心部は軸方向に空間を有し、エレメントは多孔板で形成されている (US Pat. 7, 510, 172B2)。

MU-SSPW は、1998年11月5日、12月3日、1999年1月7日、2月11日、3月11日号の5回にわたつ

て「nature」誌に掲載した「ミューリアクター」[®] の広告は、その当時、世界的に大きな反響を得た。

それから22年、MU-SSPW を採用した水処理技術の「水平から垂直へ」の技術革新を、一步一步、静かに進化させてきた。

当社の自然エネルギーを利用した水処理技術 (MU Green Technology[®]) は、現代の重要なテーマである ESG (環境・社会・企業統治) の環境に貢献できると確信している。これらの哲学と技術革新を背景にして、これまでに「化学装置」2018年8月号および2019年8月号に MU-SSPW を採用した水処理技術についての小論文を投稿してきた。

本稿では、MU-SSPW を採用したミューグリーンリアクターとその水処理技術の大型化の実績とスケールアップについて述べる。

2. ミューグリーンリアクター[®] の設計思想

2-1. 開発の経緯

ミューグリーンリアクターは、衝突式の散気装置に位置づけられ、スタティックエアレーターの発展型の装置である。本散気装置は、静止型 (Static) 流体混合器であり、動力を用いない、排水処理性能の向上、酸素吸収効率が非多孔性 (大気泡性) 散気装置と比較して高い、目詰まりがなく、維持管理が容易などを目標に開発された装置である。

散気装置選定の際に重要なことは、目詰まりしないものや散気装置に汚水中の夾雑物が引掛かったりしにくいもの、長時間運転しても故障が生じ難く安定的に性能を発揮できるものを選定することが求められる。散気装置に目詰まりや故障が生じてしまうと、ばっ気効果が低下し処理機能低下が生じた場合は、装置の取り換えもあることから施設の排水特性から最適な散気装置を選定することが一般的である。

施設の供用開始以降、保守点検において散気装置の経年変化に伴う点検や交換が必要とされるが、ランニングコストについては施設管理者として抑制し

*¹⁾ KOJIMA Hisao : (株) ミューカンパニーリミテド 代表取締役 (米国化学会員)

〒110-0007 東京都台東区上野公園 18-8
TEL : 03-3828-7090 FAX : 03-3823-2890
E-mail : 01150324kojima@mu-company.com

*²⁾ SUZUKI Terutoshi : 同上 技術部長

*³⁾ ARISAKA Koichi : 同上 技術副部長 (設備設計一級建築士)

表1 ばっ気装置の種類と特徴

散気装置等の装置の種類		酸素移動効率	特徴	参考図
多孔性	平板	高い	磁製または合成樹脂製板が固定支持枠に取り付けられ、槽底面に配置	多孔性散気管 (磁製、合成樹脂製) 空気 散気板 ホルダー
	ドーム	高い	ドーム型をした、磁製または合成樹脂製板が送気管に取り付けられ、槽底面に配置	ドームディフューザー ディフューザーヘッド管
	円盤	高い	磁製または柔らかい多孔性膜が送気管に取り付けられ、槽底面に配置	ディスクディフューザー 制御オリフィス ディフューザーヘッド管
	管	普通～高い	磁製または柔らかいプラスチックまたは合成ゴムの鞘で送気管に取り付けられる。	ニップル クランプ さや ディフューザーヘッド管
非多孔性	スパージャー	低い	成型プラスチックで送気管に取り付けられる。	スパージャー 空気
	バルブオリフィス	低い	空気を遮断した際に逆流防止の弁が付いている。送気管に取り付けられる。	固定具 プラスチックディスク コーン ディフューザーヘッド管
	衝突式スタティックエアレーター	低～中	垂直管が槽底部に固定され、エアリフトポンプのような働きがある。	スタティックチューブ ディフューザーメンブレン ディフューザーヘッド管 空気 アンカー 空気オリフィス スタティックチューブエアレーター
	ミューグリーニアクター	普通～高い	大気泡が円筒内を通過する際に、微細化される方式。送気管に取り付けられる。	空気
その他のばっ気装置	吸気式吸気装置	低い	傾斜プロペラポンプを槽表面に設置し、空気を吸引して気液混合液を水面下に放出する	空気取り入れ プロペラ 水中に噴射された空気
	噴射式噴射式エアレーション	普通～高い	ポンプからの液と空気を混合しノズルを通して槽底部近くに噴射する装置。	水の流入(背後) 空気流入 空気と水の流出

※) 文献 より作成

たいところであり、理想は恒久的に利用できる散気装置が求められていた。

このような背景から、平成10年(1998年)に衝突式散気装置の性能向上を目標とした、ミューグリーニアクター装置の開発に着手した。平成11年(1999年)以降から、パイロットプラントでの実験

が行われ、平成10年代半ばから実施設が稼働しており、プラントや生活排水向けに10～5,000m³/日の規模の施設で数十カ所稼働している。本装置は、閉塞がないことから15年以上も維持管理が不要であり安定した性能を発揮している。

2-2. 原理と単位装置フロー

(1) 原理

生物反応槽で利用されるばっ気装置は、機械攪拌装置、散気装置および両者を併用した装置などが用いられ、散気装置(ディフューザー)方式においては、多孔性(微細気泡性)散気装置や非多孔性(大気泡性)散気装置、衝突式あるいは噴射式散気装置などの種類がある。散気装置(ディフューザー)方式でのばっ気装置の種類と特徴を表1に示す¹⁾。

衝突式散気装置(以下、スタティックエアレーターと言う)の特徴として、散気管より吐出された空気が筒内を通過する際に空気が微細化される構造になっている。内部構造例およびフローパターンを、図1に示す²⁾。

スタティックエアレーターでの通過風量は、多孔性(微細気泡性)の散気装置と比較して数十倍多く設定することが可能であり、外筒がエアリフトポンプとして機能し強力な旋回流を発生させながら、槽内汚水のばっ気攪拌が行われる。また、槽底部はスタティックエアレーターへ汚水の吸い込み効果が生じるため、槽底部流速も確保され活性汚泥の堆積もなく、生物処理が効率的に行われる。

散気管より吐出された空気(大気泡)と汚水は、筒内の偏流板等の通過の際に攪拌およびせん断作用が繰り返され、外筒上部より微細化空気がばっ気槽内に放出される。微細化空気が発生し、汚水の接触が促進され酸素吸収効率(E_A)が高まるよう偏流板には工夫が講じられている。スタティックエアレーターは、多孔性(微細気泡性)散気

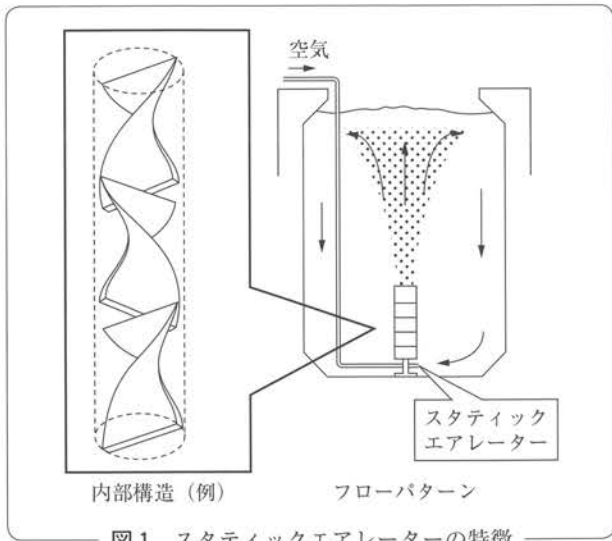


図1 スタティックエアレーターの特徴

装置と比較して、酸素吸収効率は、多少劣るものの、工事での取り付けが容易、設備費が安価、目詰まりが生じない、清浄な空気を必要としない、圧力損失が低い、装置の故障が全くなく維持管理が容易なことなどから、多孔性（微細気泡性）散気装置費の欠点を補っている。

一般に散気装置は、ばっ気槽中での酸素移動効率 (E_A) が高い、槽内での水流を確保し、ばっ気攪拌を行う、沈殿槽における活性汚泥の沈降性を損なわない、目詰まり等での機能低下が生じないことなどが重要なパラメーターになっている。

近年、省エネや CO_2 削減が叫ばれる中、大規模な処理施設においては超微細気泡式散気装置（メンブレン式散気装置や高密度配置型散気板）の採用が増加している。本装置は、酸素移動効率が高いものの、導入後の目詰まりや外表面部のスライムや無機物の沈着に起因する汚染対応など、酸素移動効率 (OTE) が低下する可能性もあることから、運転操作や送風機の圧力管理等、維持管理面においても、きめ細やかな対応や高度な技術力が求められている。

スタティックエアレーターの酸素移動効率は、散

気管から吐出される空気と吸込み汚水との比率および偏流板等での気液分散が重要なパラメーターになる。散気管から吐出される空気の状態を図2に示す³⁾。

垂直方向での二相流の流動状態について、気相流量が少なく液相流量が多い場合は、①気泡流の状態となる。気相流量が少から中で、液相流量が少ない場合は、②スラグ流の状態となる。また、ボイド率（気体の体積比）が大きくなると気体と液体のどちらが連続相か分からない複雑な界面形状を示すようになり、③フロス流（チャーン流）の状態に移行していく。気相流量が多く液相流量が多い場合は、④環状噴霧流気泡流や⑤完全噴霧流（写真は、ミュージェーンリアクター実機の状態）を呈し、分散状態となり他の領域よりも均質な流れにかなり近いものとなる。

(2) ミュージェーンリアクターの導入事例

前述した、①から④のような空気の流れて筒内の偏流板等の機能が不十分である場合、ばっ気槽中に粗大空気が上昇するだけで酸素移動効率は低い。このようなことから、どのような領域においても、完全噴霧流が発生し、微細気泡が発生するミュージェーンリアクター装置を開発した。

本装置は、筒内に配置された螺旋形状の羽根に空気が通過する際、強力に混合、攪拌、せん断、破碎が生じ汚水中へ微細気泡が放出され水中への酸素移動が効率的に行われる。また、ミュージェーンリアクター (MGR-125) のばっ気攪拌時に発生する微細気泡状況 (図3) と酸素移動効率を図4に示す。写真に示すとおり、ミュージェーンリアクターから放出する気泡は、均一かつ微細な状況を呈しており、併せて、マイクロバブルが発生している。また、標準酸素移動効率 (SOTE) について、MGR-125の場合、4.5m水深時において20%となっている。

また、ミュージェーンリアクターの圧力損失は、

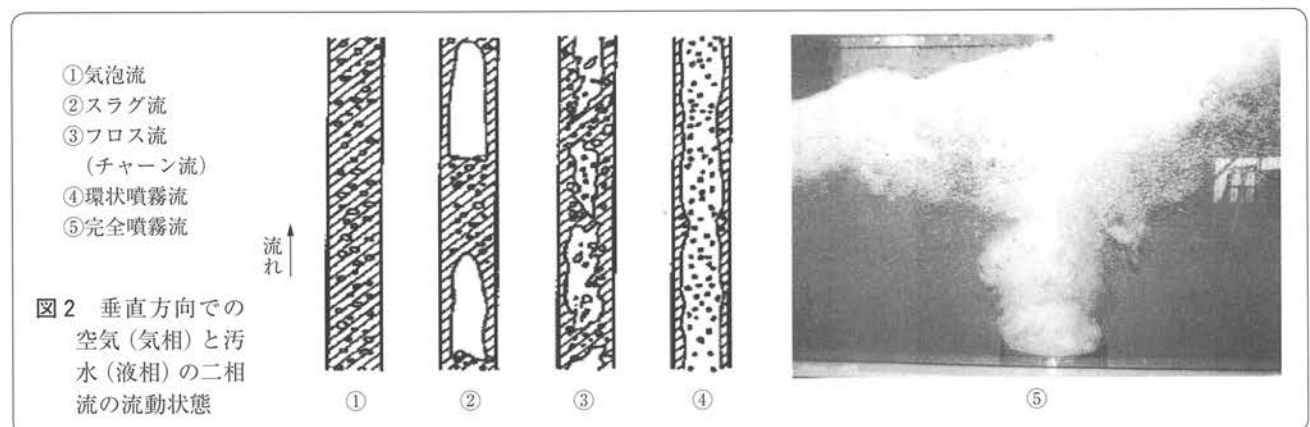


図2 垂直方向での空気（気相）と汚水（液相）の二相流の流動状態



図3 ばっ気攪拌時に発生する微細気泡状況

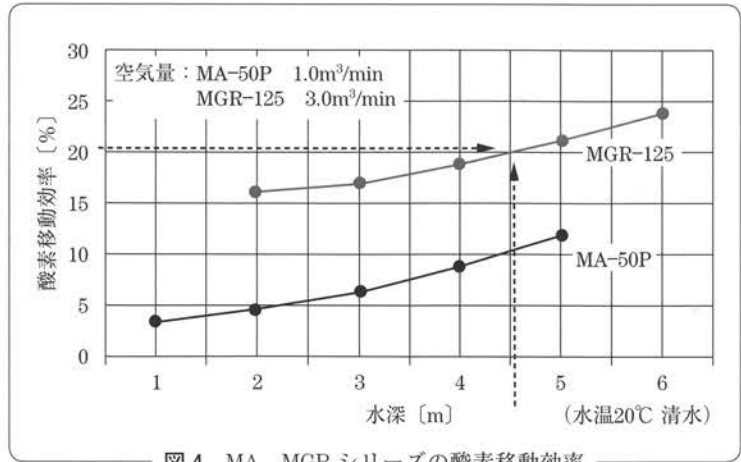


図4 MA, MGR シリーズの酸素移動効率

ライザー管（空気配管）吐出側で一度開放されるため、散気装置等の圧力損失を送風機（ブロワ）設備に見込む必要がない。他方、微細気泡（メンブレン式）散気装置の場合、設計にあたっての圧力損失設計値として、初期の圧力損失と変動分で11kPaと空気濾過器（送風機の吸い込み側のエアフィルター）の圧力損失0.15kPa程度を見込むが、本装置は、圧力損失が0kPaのため、送風機（ブロワ）設備の圧力負荷が低減し消費電力が抑制され省エネ効果がある。

ミュグリーンリアクターを通過した場合の、垂直方向での二相流の変化について、図5に示す⁵⁾。写真の変化は、気相および液相流量が小から大への変化を示しているが、リアクター内の螺旋状の羽根を強制的に通過することで、空気や汚水が均一に攪拌、混合されるため、スラグ流や環状流といった不規則な流れがなく微細気泡に変化していることが認められる。

(3) 処理特性

T県Y市の食品加工排水処理施設において、これまで前ばっ気槽（流量調整槽）でループ式散気装置を用いて排水処理を行っていたが、汚水濃度の均質化や流量調整が不十分であったため、既存のループ式散気装置（VPφ40千鳥穴あき）から、令和元年5月中旬にミュグリーンリアクターのMA-25P型（ミュグリーンリアクターの小規模タイプ。以下、ミュグリーンリアクターと言う）に変更し12基（風量0.350m³/分・基）配置とした。前ばっ気槽の下部平面図を図6

に示す。本施設の計画汚水量、計画流入水質および計画放流水質、装置の概要について表2に示す。施設の流入水量および汚濁負荷量は、ほぼ100%であり設計計画値に近似している。

1) 除去性能

前ばっ気槽流出水のBOD, SS, N-hx, T-N, T-Pの水質試験結果を図7に示す。前ばっ気槽流出水のBOD（生物化学的酸素要求量）が560~720mg/Lであったものが、ミュグリーンリアクターに変更後はBOD290mg/Lと半減している。一般に、前ばっ気槽は、ばっ気槽（生物反応槽）と異なりBODの除去率は見込まないが、本装置の設置によりBOD除去が進行し後段の生物反応槽の負荷が低減されている。また、改修以前は、前ばっ気槽や生物反応槽に石けん状の白い泡が発生し保守点検作業に苦慮していた

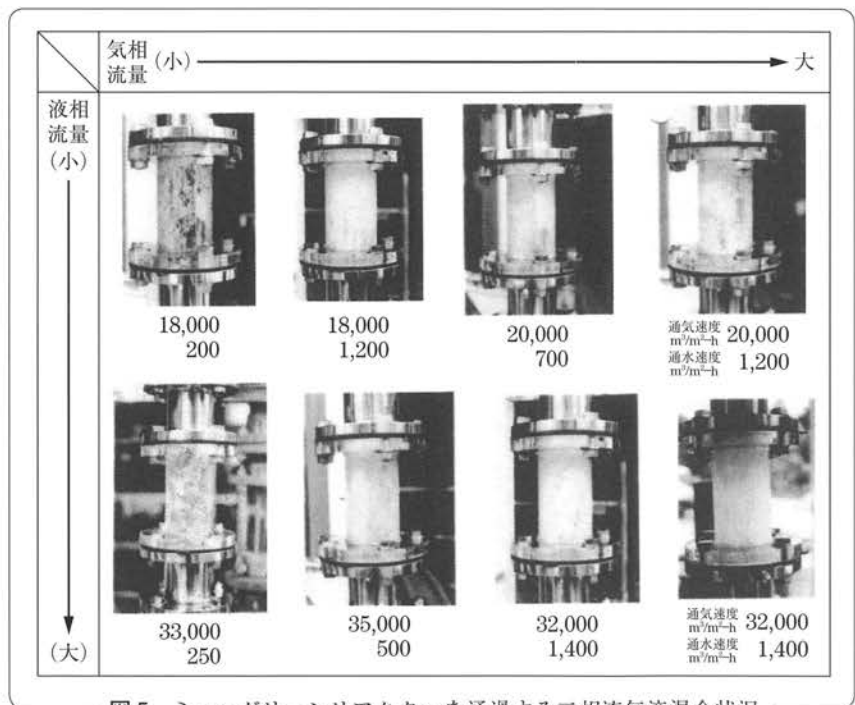


図5 ミュグリーンリアクターを通過する二相流気液混合状況

表2 施設の設計諸元

(1) 計画汚水量

名称/項目	水量	備考
日平均汚水量	1,000m ³ /日	水量率 100 % , なお休日の水量は減少する
時間最大汚水量	105m ³ /時	ピーク係数 2.5 1日の排水時間は 12 時間

(2) 計画流入水質および計画放流水質

項目	単位	流入水質	放流水質	備考
BOD	mg/L	500	40	
S S	mg/L	500	40	
T-N	mg/L	100	20	
T-P	mg/L	—	2	
N-hx	mg/L	200	→	
pH		5.8~8.6	5.8~8.6	

(3) 装置の概要

槽および機器	寸法および機器仕様	備考
前ばっ気槽	5.2×9.4×6.15m(有効水深 5.15m)×2 槽	RC 造
実滞留時間	12.0 時間	脱離液は含まない
ばっ気時間	24 時間連続 ばっ気強度 1.0m ³ /m ³ ・時	
送水設備	φ80×0.695m ³ /min×8.0m×2.2kW×2 基	内 1 台予備機
散気装置 改修前	ループ式散気装置 VPφ40 6 基	千鳥穴あき
散気装置 改修後	ミューエアレーター 12 基	MA-25P 型
ブロワ設備 ^{注1)}	φ65×4.20m ³ /min×70.1kPa×7.5kW×1 基	陸上型ルーツブロワ

注 1) ブロワ設備は、ばっ気能力が確保できたことから既存設備を流用している。

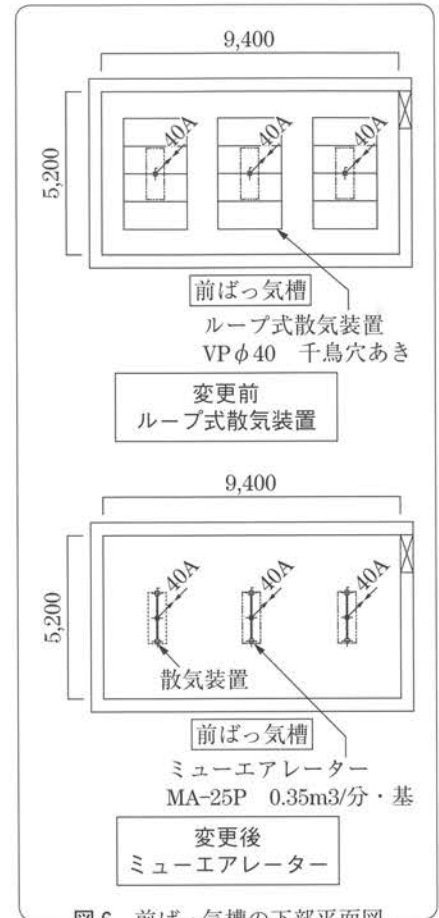


図6 前ばっ気槽の下部平面図

※前ばっ気槽は、2槽あり1槽分を表示。

が、ミューエアレーター設置後はほとんど発生しない状態になった。

同様に、SS(浮遊物質量)は、380~440mg/Lが170~340mg/Lと低減している。さらに、ノルマルヘキサン(N-hx)抽出物質含有量(動植物油類含有量)は、150mg/Lから50mg/Lと1/3程度までに低減している。

2) 若い汚水

ミューエアレーター導入により、BOD、SSおよびN-hxの低減について考察すると、生物処理は、主に好気性菌によって有機物除去が行われ、有機物が細菌類の表面に物理的に吸着され菌体内に摂取される(図8⁴⁾)。

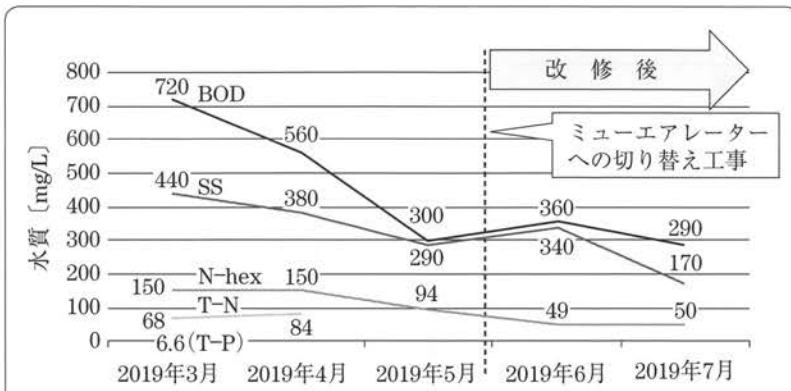
活性汚泥のフロックは、500~600μm(0.5~0.6mm)の大きさで、凝集性が非常に良く細菌類はフロックに固着または浮遊している。原生動物の虫体は種類にもよるが、代表的なボルティセラ(Vorticella)は30~150μm(0.03~0.15mm)程度である(図9)。一方、流入する浮遊物質のうち夾雑物やし渣は、スクリーン設備(微細目スクリーンの場合は目幅1~2mm)で除去され、スクリーンを通過した1μm~2mm程度の浮遊物質(有機物)が生物処理される。

下水道のように管渠延長が長く、ポンプ場などを通過した汚水性状は、固形物も十分に細分化されているが、浄化槽や同一敷地内の処理施設の場合、配管設備延長も短く排水処理施設までの流下時間も極端に短い。このような汚水性状は、固形物も原型をとどめ分散化されにくく新鮮な生下水(若い汚水)と言える。

有機物の粒子を2.0mmの球体と仮定すると、この大きさはボルティセラ虫体の2,300~300,000倍の体積となり、原生動物群が如何に極小で2.0mmの有機物を吸着しても、この大きさを細胞内に効率的に摂取することは困難であることが容易に推測できる。

浮遊物質中の有機物は、間接的表示であるが、BODやCOD、N-hxなどで示され、ミューエアレーターを通過する際に、強力に混合、攪拌、せん断、破碎が生じ有機物の細分化が促進され、粒子径の表面積が増加し原生動物群が効率的に有機物を吸着し除去しやすい環境になる。これまでのループ式散気装置のばっ気攪拌と比較して処理効果が向上したものと考えられる。

その他、既存のループ式散気装置の圧力損失



- 注1) 水質検査は1回/月で実施。
 2) 採水方法は、グラフ・サンプリング(スポット)試験により下水試験法で実施
 3) T-Pは、栄養塩類確認のため3月に実施。それ以外は簡易水質試験で確認
 4) ミューエアレーターMA-25P型への切り替え工事は5月後半となる
 5) 5月の前ばっ気槽の水質が低下しているが、採水の前日が大型連休のため汚水量の流入が少なかったため負荷が低減している(施設管理者より聞き取り)
 6) 採水期間中での運転設定の変更はなく、流入水量パターンや汚濁負荷量について変化はない
 7) 前ばっ気槽への返送汚泥は行っていない

図7 前ばっ気槽流出水のBOD, SS, N-hx, T-N, T-Pの水質試験結果

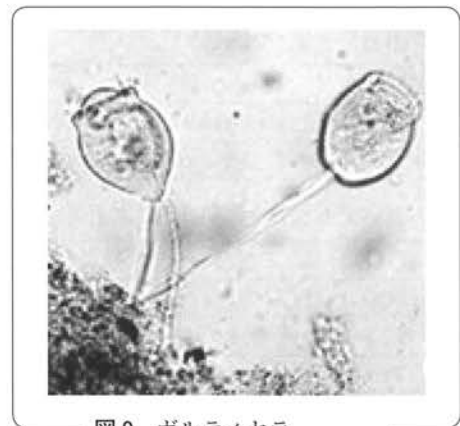


図9 ボルティセラ (Vorticella convallaria)

必要としない散気装置である。このため、他の散気装置と比べて保守点検や運転管理は容易である。日常の作業で最も労力を要する汚泥処理も、ばっ気槽などでの生物処理が向上するため汚泥転換率も低下し作業負担も低減できる。

5kPa (500mmAq) に対し、ミューエアレーターの圧力損失が1kPa (100mmAq) 程度と低下したため、電流値も10%程度抑制され電力量の削減が図れる。また、SSの細分化による排水処理能力の向上と汚泥転換率の減少が生じ、余剰汚泥の削減効果が期待できる。

今回、食品加工排水処理施設の前ばっ気槽改修工事において、ミューエアレーターを設置し生物処理能力を向上させ安定的な水質を確保することができた。併せて、保守点検作業が容易となり維持管理費用の低減が図れている。ばっ気槽の増設や単位装置の新設などを必要としなかったことから、低コストで施設の機能強化を行うことができた。

(4) 適用範囲

1) 操作性

ミューグリーンリアクターは、静止型流体混合器であり電動機などを用いたばっ気攪拌装置と異なり、可動部や摺動部もないため消耗品などの部品交換を

また、ミューグリーンリアクターは、原水ポンプ槽やビルピットの嫌気化防止、グリストラップや流量調整槽の散気、生物反応槽のばっ気攪拌、汚泥貯留槽の攪拌など多様な用途で利用できる。高度処理として、窒素除去を目的に運転する場合には、好気時間や嫌気時間を明確にすることから、負荷変動に応じてミューグリーンリアクターの間欠運転や空気量の調整が必要となるが、間欠運転による目詰まりなどもなく、一度設定してしまえば複雑な運転操作を要しないところである。

ミューグリーンリアクターの初号機が設置されて以来、15年以上経過しているが装置の故障は皆無であり、機器性能も低下すること無く稼働している。

2) 適用範囲

ミューグリーンリアクター(スタティックエアレーター)は、インド、タイ、インドネシアでの、排水処理施設の新設や改修(表面ばっ気攪拌方式からスタティックエアレーターの改修)工事において計画や建設が行われている。わが国においても農林水産業の酪農排水、水産加工排水をはじめ各種産業排水、建築設備の中水や排水処理等の中小規模施設の散気装置として普及している。

3. Air Stripping と Steam Stripping について

MU-SSPW エLEMENTの排水

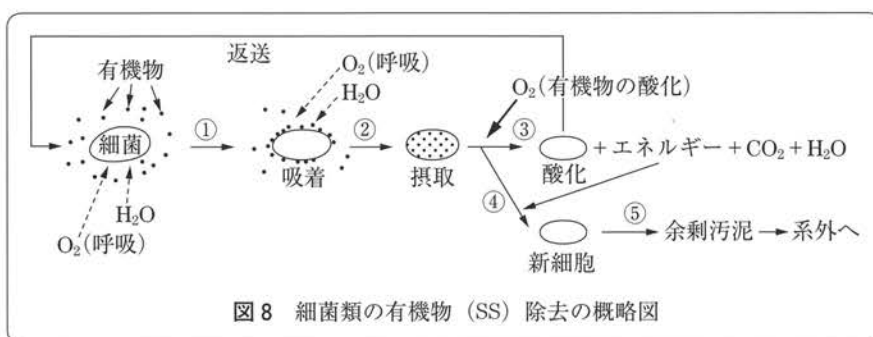


図8 細菌類の有機物(SS)除去の概略図

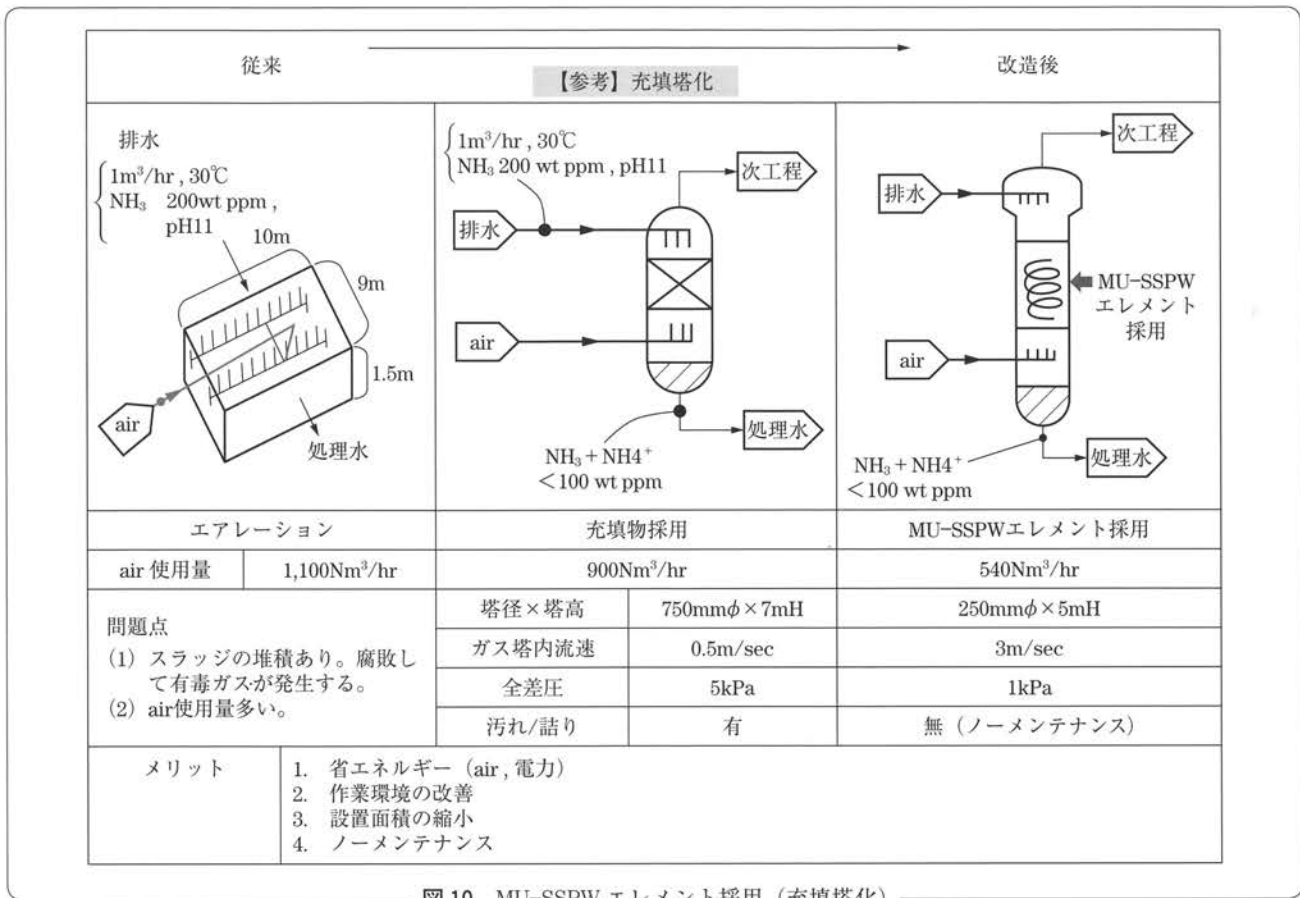


図10 MU-SSPW エレメント採用 (充填塔化)

の Stripping への応用例を紹介する。

3-1. Air Stripping

充填塔の底部から空気や窒素をバブリングさせて排水に含有する臭気成分を Stripping して除去する操作は広く行われている。

排水ポンドで空気をバブリングして低濃度の NH₃ 等の臭気成分を曝気していたが作業環境の改善と設備面積および空気の使用量を低減するために MU-SSPW エレメントを装填した塔による Air Stripping に変更した。この結果を図10と図11に示した。

NH₃ Stripping 塔に MU-SSPW エレメントを採用することで充填塔よりも塔内ガス流速を 0.5m/sec から 3m/sec に上げることができ、またデッドスペースのないダイナミックな気液混合が可能となり塔径と塔高を大幅に減少することができた。

MU-SSPW エレメントを内蔵した Stripping 塔は排水の Stripping 以外にも、①スーパーカミオカンデで純水に蓄積したラドンの放散、②かん水からヨウ素を放散し回収する、③海水中の O₂ や CO₂ の脱気、④活性汚泥法への応用等に幅広く採用され実績を上げている。特に設置面積が大幅に縮小可能であるので「水平から垂直へ」をスローガンに積極的に Stripping 塔の採用を推進している。

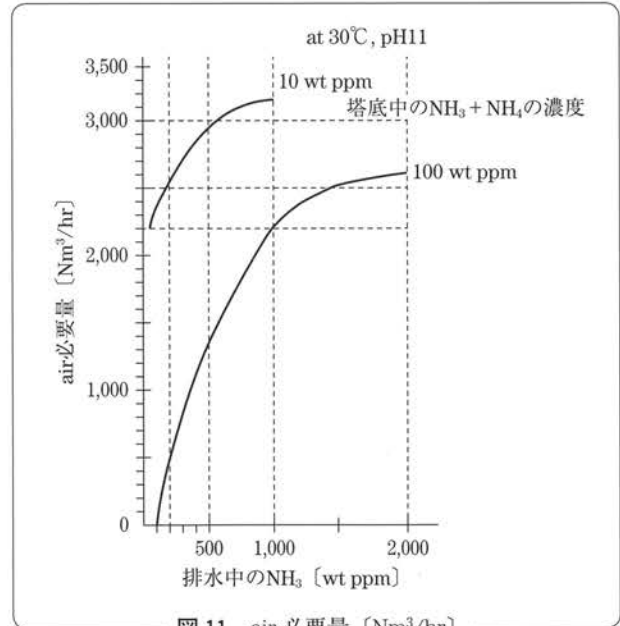


図11 air 必要量 [Nm³/hr]

また条件によっては上記の向流操作よりも並流操作が有効な場合がある。

並流操作は向流操作のように Flooding の発生が全くないので塔内ガス速度を 6m/sec 以上に上げた運転が可能である。これは MU-SSPW エレメントでしかできない操作で主として反応、除塵、ガスのダイレクターリングに採用されている。Stripping には

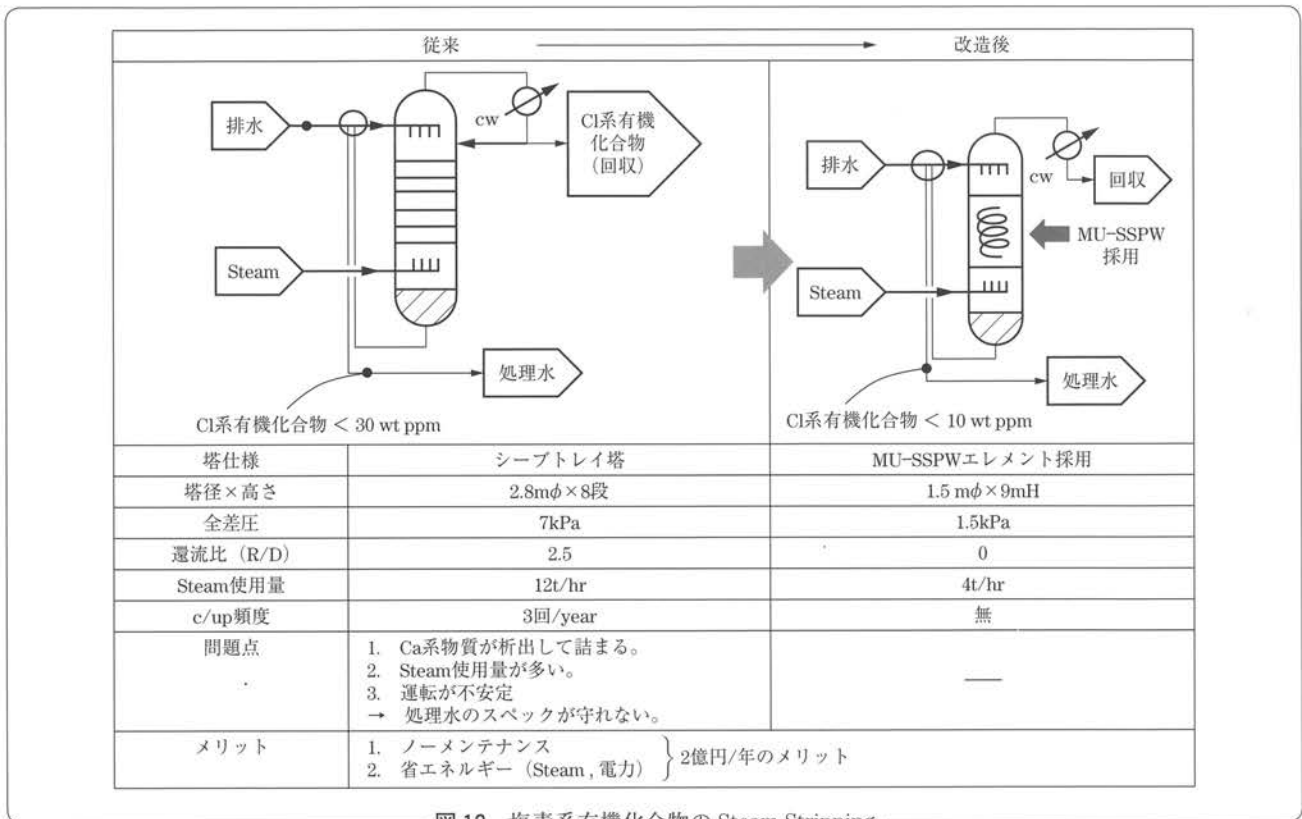


図 12 塩素系有機化合物の Steam Stripping

フィード濃度（特にダストの含有の有無）、処理水のスペック等の条件を勘案して向流か並流かの操作方法を選定している。

客先の要望により現場でテスト機により実証試験を実施して効果を実感していただいている。

3-2. Steam Stripping

Stripping したガスを大気に放出ができない場合には Boiler, RTO やプラズマ処理装置等で燃焼分解させる方法をとっているが排水中に高濃度で VOC 等が含有されている場合には Steam Stripping を採用するケースもある。

これは Reboiler からの入熱ではなく塔底に直接 Steam を吹き込む方法である。塔頂に除去され回収された成分は再利用されていることが多い。しかし、排水は不純物を含有しておりこれがトラブルを起こしているケースが多い。それらは予測されるダストやスラッジであったり、熱分解して塔内で生成されたスラッジやポリマーである場合もある。これらは塔内で汚れや詰まりの要因となり運転継続を不能にし製造ラインの停止と多額のメンテナンス費用が発生する問題に悩まされているのが現状である。汚れ易い Reboiler をなくしても塔本体の充填物の詰まりは解消されていないためである。

特に前項で説明したように MU-SSPW エレメントのダイナミックに落下する液体のらせん流が気液混

合接触効率を高めている以外に自身の液体による自浄作用が詰まり防止に大きな効果を果たしている。この点で MU-SSPW エレメントはメンテナンスフリーに長年の実績を有し多くのリピータを獲得してきた。MU-SSPW エレメントを内蔵した Steam Stripping 塔は高濃度の NH₃ および塩素系有機化合物を含有した排水の処理に採用され省エネルギー (Steam, 電力や冷却水使用量の削減)、メンテナンスフリー、初期投資費用の抑制にも寄与している。

これを図 12 に塩素系有機化合物の Steam Stripping と図 13-1 に NH₃ の Steam Stripping および図 13-2 に排水中の NH₃ 濃度と Steam 使用量の例を示した。

多種多様の成分の取り扱いの相談を受けるが最終的にはテスト機（塔径 125A または 200A）で実証実験をしていただき成果を確認後スケールアップした実機を納入させていただいている。

MU-SSPW の材質は PVC, HT-PVC, PP, テフロン, 各種ステンレス, チタン, ハステロイ等の準備が可能である。

4. テスト機から実機へのスケールアップについて

上記で述べたテスト結果を基に本体である MU-SSPW エレメント内蔵の塔と付属機器一式を設計している。MU-SSPW の用途は図 14 の如く多岐にわた

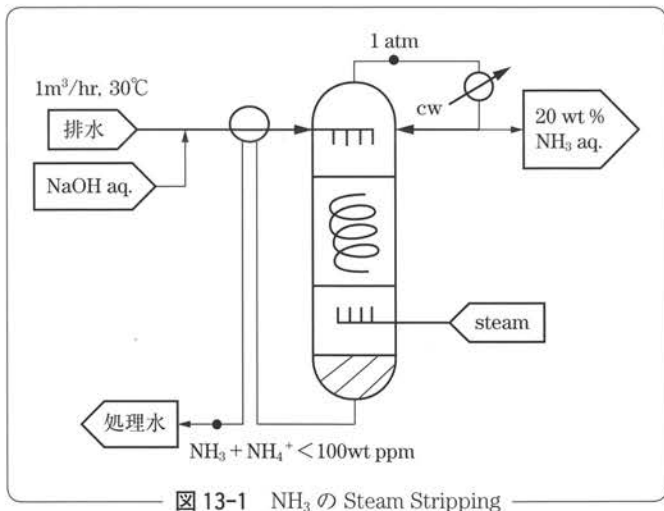


図 13-1 NH₃ の Steam Stripping

り、今回はこの中の Stripping 装置についてのスケールアップの基本的な考え方について述べる。

4-1. テスト機による実証実験の準備

当社ではプロセスの基本的なコンセプトをシミュレーションと実績をベースに構成し客先に提案している。その後、条件を詰めていく段階で改善点、さらにクリアにすべき点等がある場合には実証実験機による実流体でのテストを実施するというステップを踏んでいる。この場合には使用ガスと薬液の条件、ポンプとファンの必要性、実証実験機の材質、計装設備、サンプリングや分析方法等を考慮した実証実験機を準備している。

4-2. テストで測定するデータ

- ① 温度、圧力（圧力損失）、特に最低と最高流量での運転状態の確認。（運転の安定性をサイトグラス等、五感で確認）
- ② 各条件（ガス流速、L/G（液・ガス比：L/m³）、気液接触時間、許容圧力損失、pH）下でのガスの出入り口の濃度の測定と液の出入り口で物理・化学的性状の分析。
- ③ ダストの測定には時間を要する。⇒同時に塔底液部の界面/沈殿物等の異物のチェック、Pump 配管のストレーナの点検、サイトグラスからスプレイノズルの作動チェックを実施する。
- ④ 材質の妥当性。
- ⑤ 最適条件に設定後、長時間の連続運転に入る。（ダストやスラッジの影響の見極めには長期間を要することもある。）

4-3. 実機設計（スケールアップ）

- ① MU-SSPW エLEMENTの直径と高さの設計
 確定した最適条件下での塔内ガス流速、L/G、気液接触時間、許容圧力損失等に基づいて決定する。
 シミュレーションが可能な場合は塔高と理論段数

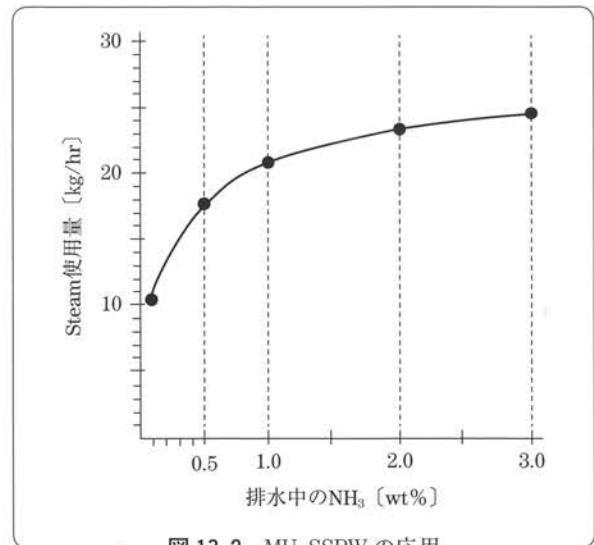


図 13-2 MU-SSPW の応用

から HETP を求め設計の妥当性を確認している。

② ダストやスラッジの生成および汚れ状況によりスプレイノズルの位置、型式、噴霧パターン等を最適化する。

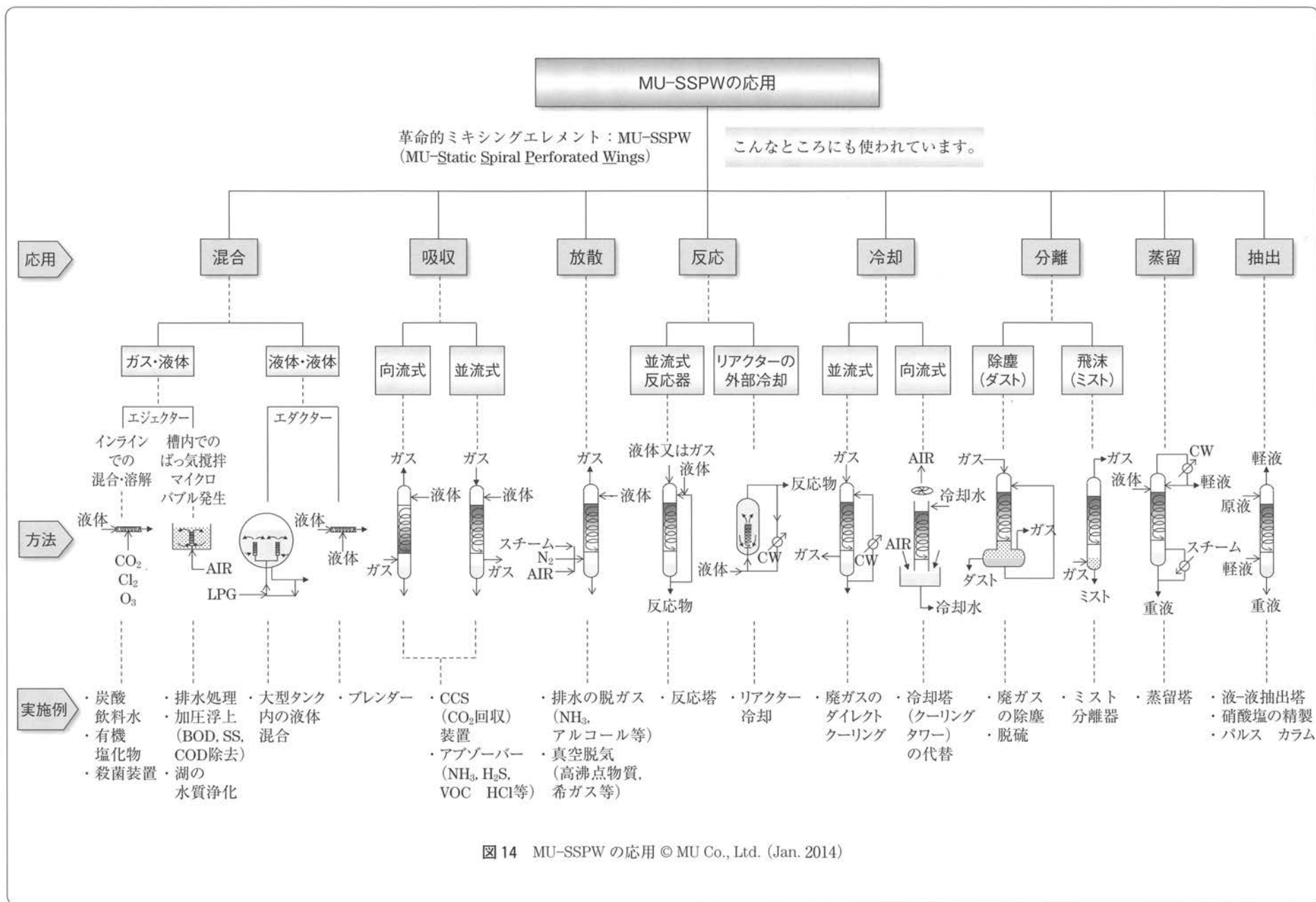
③ MU-SSPW ELEMENTの構造の設計

- (1) 羽根の充填密度（羽根の全表面積/ELEMENTの体積：m²/m³）から羽根の枚数を確定する。
- (2) 羽根の右回転、左回転の回転角度の決定する。
- (3) 多孔体で形成される羽根の孔径と開孔率を決定する。
- (4) 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要因等を総合的に加味し心臓部である MU-SSPW ELEMENTの構造を最終決定する。

④ 全塔内圧力損失の決定

テスト機での圧力損失データをベースに塔内ガス流速、L/G、羽根の充填密度、ELEMENT高さ等から実機の運転時の全塔内圧力損失を推算する。この値が許容圧力損失以下であることを確認し最終的に決定をしている。MU-SSPW を利用したスケールアップの容易性の最大要因は、反応装置内に、流体のデッドスペース（死領域）、つまり「淀み部」を作らない構造で製造できることである。これらにより、温度、濃度、圧力分布を均一、均質にでき、流体は偏在することなく、層流域、乱流域においても、等速で連続して完全に反応できる。

以上のコンセプトで設計し納入した MU-SSPW 内蔵の Scrubber がスタートからノーメンテナンスで 30 年間稼働し続けている。この間、客先の関係者は何世代も交代しているが高性能、ノーメンテナンスが評価され新規プラントに導入されていることは技



術者として大きな喜びである。現在、「くもの巣」を参考に直径6mのMU-SSPWの開発を進めている。直径6mのアクアタワーを水処理に利用した場合、処理能力は1万から2万m³/hrである。ちなみに、ガス吸収塔に利用した場合、処理能力は向流式で30万m³/hr、並流式で80万m³/hrである。

MU-SSPWの応用を図14に示す。

5. おわりに

会社創業以来36年間、荒波にもまれながら、沈没せずに、非線型の航海を続けている。

今後、既存の設備は老朽化し設備の更新や新規立て直しの時期に差し掛かっている。MU-SSPWエレメントによる設備のコンパクト化、高性能とノーメンテナンスの効果を理解していただき多くの装置への導入を推進していきたい。

いま、私たちは、リーマンショックの世界的な景気後退や東日本大震災からの復旧・復興といった自然災害などに直面してきたところであるが、わずか0.1μmほどの新型コロナウイルスにより、緊急事態宣言の発令を受け都市の風景を激変させた。われわ

れの生活様式もテレワークや在宅勤務の導入、対面よりもオンラインでの業務など、これまでの常識とっていたことが特殊であったこともわかってきた。

マスク、消毒液、定期的な換気をはじめ、取引先との対面での会合、面談の延期や中止も相次ぎ、極力対面の打ち合わせを行わない、作業員同士は2m以上の距離を保つ、車に乗る場合は乗る人数を定員より減らすなど、さまざまな方法で「社会的距離」を確保し、感染防止対策を実施している。

コロナ渦が終息するのは、今以ってわからないが、社会が以前と同じ状態に戻ることはありえないと思っている。

アフターコロナの世界では、BCP（事業継続計画）をはじめ危機管理対応や設計や維持管理の考え方も変化が求められるだろう。このような中、ノーメンテナンスであるマイクロバブルを生成するミューエアレーターや、超微細な0.1μm以下の粉塵を捕集可能なミュースクラバー等を通じて、社会に微力ながら貢献できる場面があるものと考えている。

「格物致知」の世界の実践に生涯を捧げられた師云く、
「競争のない処に創造はなく」、
「自由のない処に創造はなく」、
「想像のない処に創造はなく」、
「破壊と創造のない処に進化はない」と。

童心の心をもちながら、
作法をわきまえながら、
時折寄り道をしながら、
時系列で常に動いている、
ミュー=MU=無=12の無始無終の世界を、水平から垂直への見果てぬ夢をいだきながら、死と生の循環を繰り返しながら、二重螺旋を形成しているDNAのごとく、

「瀧」のごとく、「怒濤」のごとく、
長い螺旋の道程を、着実に詩作（思索）を続けながら、
ベンチャーとしての使命を全うすべく、小世帯ながら、
一步一步「無」の世界を歩いている。

花は無心にして蝶を招き
蝶は無心にして花を尋ぬ
花開く時 蝶来たり
蝶来たる時 花開く
吾もまた人を知らず
人もまた吾を知らず
知らずして帝則に従う

「良寛」

[謝辞]

これまでに、ご指導、ご協力をいただきました皆様方に、ここに記して謝意を表明する。

〈引用文献〉

- 1) 松尾友矩, 水質環境工学, 下水の処理・処分・再利用, 散気式エアレーション, p.413-418 (1996)
- 2) 井出哲夫, 水処理工学, 理論と応用, スタティックエアレーター, p.241 (1976)
- 3) 村山哲夫, 小野耕一, 小規模下水道の計画, 設計, 施工, 二相流の流動様式, p.148-150 (1991)
- 4) メンブレンパネル式散気装置, 技術マニュアル, (財)下水道新技術推進機構, 散気装置の圧力損失, p.14-15 (2004.3月)
- 5) 千草薫, 微生物による水質管理, 有機物除去のメカニズム, p.22-25 (1996)
- 6) 小嶋久夫, 鈴木照敏, 伊藤吉見, 池田潤, 牧忠峰, 化学装置, ◇特集◇水環境技術の現状と実際—最近の水処理技術と課題— (2019.8月号 p.54-61)

画期的な技術で環境改善と省エネルギー、ノーメンテナンスに貢献する
ミュールカンパニー製品の数々を御紹介いたします。

MU Green Technology[®]

MU Static Spiral Perforated Wings 〈MU-SSPW〉

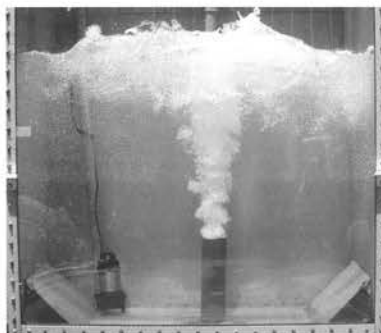
散気筒／放散塔

MU AERATOR[®]

ミュールエアレータ



瀧+MU-SSPW



MA-125 曝気状態



曝気槽：林立するMA-125群




VOC放散塔
φ1500×18mH
処理液量：600m³/hr

- 1.原理** 2つのエレメントで構成されたコンパクトで高効率にマイクロバブルを生成させることの出来る機器です。
気体はミュール発振素子から20~100m/secの高速で励振噴射されて、MU-SSPWエレメントに導入されます。
ここで、左右交互に旋回するらせん流と軸方向に直進する直線流とさらに多孔翼で多層に分割された分割流とにより濃密な気液混相流を形成して、マイクロバブルが生成されます。
気相は液相側に完全に混合、溶解、吸収され、液相中の揮発性物質（NH₃・H₂S・VOC・Kr・Rn等）は気相側に各々物質移動され、分離が促進されます。

- 2.特徴**
- (1). ルーツブロー単独で大容量のマイクロバブルを生成します。
 - (2). 装置内に機械的駆動部はありません。摩耗等による機械的故障や化学的汚染はなく、メンテナンス費用は不要です。
 - (3). 耐酸、耐アルカリ、機械的強度及び耐久性に優れています。
 - (4). 小型で高性能です。酸素溶解効率率は8~25%です。
 - (5). MU-SSPWエレメントによる独自の攪拌、混合、溶解、分散、乳化機能を有しています。同時に、自浄作用により本体の汚れ、詰まりはなくメンテナンスフリーです。
 - (6). 材質はPVC、PP（ポリプロピレン）、SUS316、チタン、特殊金属などで製造いたします。

- 3.用途**
- (1). 曝気・放散処理装置
 - (2). 活性汚泥処理装置
 - (3). 気・液反応装置
 - (4). 浮上分離装置
 - (5). バイオリアクター
 - (6). オゾン利用処理装置
 - (7). パラスト水処理装置
 - (8). マイクロプラスチック捕集処理装置
 - (9). 放射性処理水放散処理装置

 株式会社 ミュールカンパニーリミテド

〒110-0007 東京都台東区上野公園18-8

TEL：03(3828)7090(代)

FAX：03(3823)2890

<http://www.mu-company.com/>

技術提携：MU USA CORPORATION

日本・米国・欧州・中国・チェコ・インド・

シンガポール 特許

© 2019 MU Co., Ltd

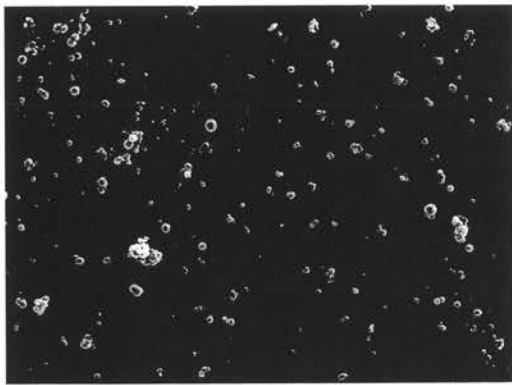
環境対策と省エネルギーに貢献する
MU Green Technology[®]

大気汚染物質 PM2.5+ α を除害する

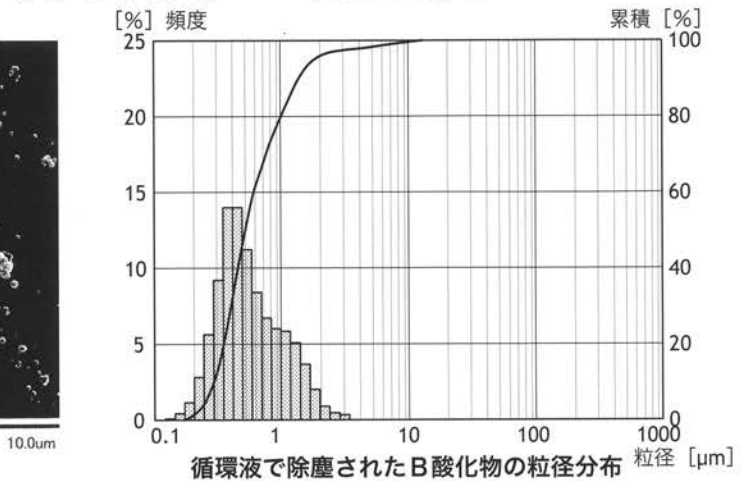
MU-SSPW(MU Static Spiral Perforated Wings : ミュー静止型らせん状多孔翼) を装備した
 世界初の並流による湿式排ガス処理装置

ミュースクラバー[®]
MU SCRUBBER

小型/高性能 メンテナンスフリー 省エネルギー



循環液中のA酸化物のSEM写真

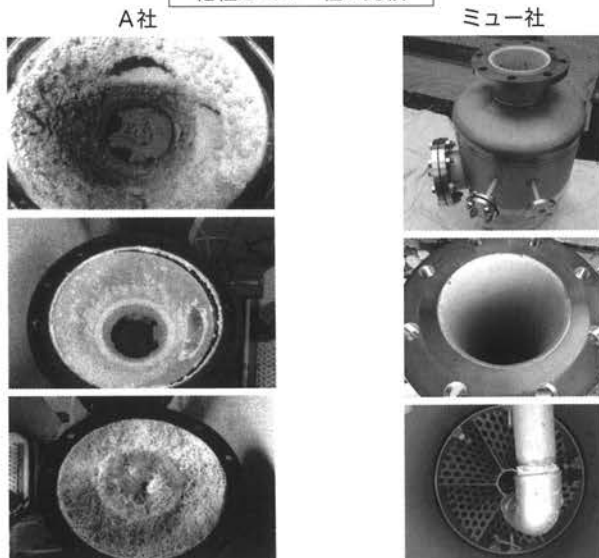


循環液で除塵されたB酸化物の粒径分布

特長

1. 高濃度HCl, SiCl₄, SiH₂Cl₂, Si(CH₃)Cl₃, TiCl₄ガスの加水分解反応吸収に多数の実績をもっております。
2. ミュースクラバー塔は、反応吸収部にはMU-SSPWを配置し、排ガス導入部には特許構造体を採用して、閉鎖もなく、年間8千時間安定運転されて、需要家の要望に貢献しております。
3. 予備のスクラバー塔は必要と致しません。初期投資を大幅に削減致します。

他社とミュー社の比較



*メンテナンス10日~2週間
 *写真は見積り時に需要家から提出して戴いたものです。

*1年以上メンテナンスフリーです。
 *写真は解体点検時に、需要家の了解のもとに撮影したものです。



ミュースクラバー未使用
 (SiO₂:400mg/Nm³)

白煙あり



ミュースクラバー使用
 (SiO₂:20mg/Nm³以下)

白煙なし

ミュースクラバーの実力

 株式会社 ミューカンパニーリミテド
 〒110-0007 東京都台東区上野公園18-8
 TEL/03(3828)7090(代) FAX/03(3823)2890
 URL : <http://www.mu-company.com/>
 技術提携 : MU USA CORPORATION
 日本・米国・欧州・中国・チェコ・インド・シンガポール 特許

© 2019 MU Co., Ltd.

 (株) ミューカンパニーリミテド
〒110-0007 東京都台東区上野公園 18-8
TEL:03-3828-7090(代) / FAX:03-3823-2890
URL: <http://www.mu-company.com/>