

ミューマグレータ[®]を用いた排水処理の事例 —ファインバブルの発生と排水処理の向上を目指して—

小嶋久夫^{*1)}、竹林昌洋^{*2)}、小嶋真慈^{*3)}、有坂晃一^{*4)}、中司雅文^{*5)}



株式会社 ミューカンパニーリミテド

ミューマグレータ[®]を用いた排水処理の事例 —ファインバブルの発生と排水処理の向上を目指して—

小嶋久夫*1) 竹林昌洋*2) 小嶋真慈*3) 有坂晃一*4) 中司雅文*5)

1. はじめに

磁石を用いたイノベーションの製品は、私たちの生活の中でも急速に増加し身近な製品として数多く利用されている。例えば、省電力化や省資源化を目的としたブラシレス DC モータを使用している製品が増加している。ブラシレス DC モータは、接点がないためエネルギー変換効率が良い、電磁ノイズが低い、安定した速度制御が可能、メンテナンスの手間がかからないなどのメリットがある。無接点により、低ノイズで長寿命が可能であることから、家電製品のほか産業機器や情報機器など連続運転を要する機器や信頼性が求められる用途に広く利用されている(図1)。水処理分野においては、浄化槽などの小規模施設の送風機(ブロワ)に、ロータリーブロワなどが用いられていたが、最近の新設や更新で採用されるブロワは、電磁石のコイルと磁力作用により振動子に固定された永久磁石のロッドの往復運動

を利用した、電磁式ブロワなどが普及している(図2)。これまでのロータリーブロワの場合、オイルの補充、フィルター清掃、Vベルトの調整や消耗品の交換が伴っていたが、電磁式ブロワになると、オイル交換やVベルト交換もないため、省エネルギー、装置の省スペース、省メンテナンスそして低騒音などの特徴が挙げられる。また、排水処理施設の固液分離方式として、活性汚泥に強磁性である四三酸化鉄(Fe_3O_4)の粉末を添加し、汚泥のフロックに捕捉させ磁性を持つフロックとし、この磁化させた活性汚泥で生物処理を行うとともに、磁気分離装置を用いて汚泥と処理水に分離する方法が試されている(図3)。活性汚泥の粒子は、直径も沈降速度も小さく、したがってレイノルズ数も小さいため沈降速度はストークスの式により求められる。このため沈殿槽の設計に当たっては、滞留時間、水面積負荷および越流負荷などにより決定され、滞留時間も一日の排水量の3~4時間分程度は必要であることから大きな装置となる。これが、磁気分離装置を利用することで30秒から数分で汚泥の分離が行える¹⁾。

このため、既存の沈殿槽を停電や緊急時対応などのバックアップとして利用すれば、平時の運転では省略することができる。また、ばっ気槽でバルキングなどの水質障害が生じても安定して固液分離が容易であり、さらに、ばっ気槽での汚泥濃度を高めることが可能なため、余剰汚泥の発生量を抑制することができるなどの特徴を有している²⁾。

他方、磁気を用いた上水や排水処理などの効果は

*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 American Chemical Society
〒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) TAKEBAYASHI Masahiro : 同社 技術部長

*3) KOJIMA Shinji : 同社 一級建築施工管理技士

*4) ARISAKA Koichi : 同社 技術副部長 設備設計一級建築士

*5) NAKATSUKA Masahumi : 合同会社 ジルコテクノロジー
博士(工学)

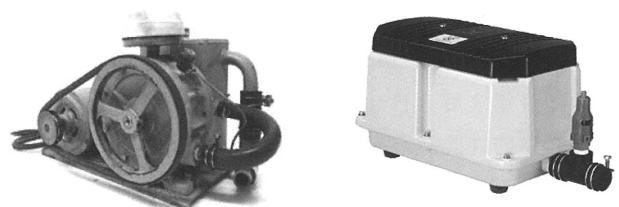
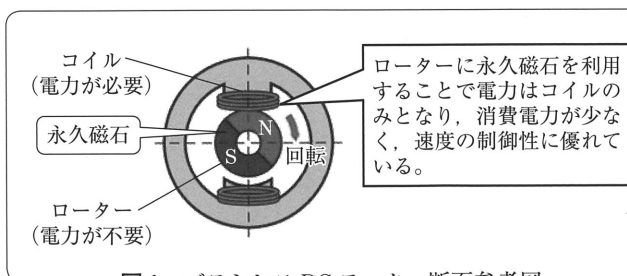


図1 プラシレス DC モーター断面参考図 図2 ロータリーブロワ(左)と電磁式ブロワ(右)

これまでに多くの結果報告がある。磁気を用いて活性処理を行うことにより、水 (H₂O) の分子集団の変化、溶解度の上昇、剥離作用、細菌類の制御などの変化が生じるものと考えられ、水のヌメリの抑制、大腸菌や一般細菌の減少、薬品の添加量の削減、配管内部に付着した鉄分、カルシウム、マンガンおよびシリカ等のスケールの制御、汚泥の削減、臭気の減少などが期待できる。また、磁気水を利用した分野は多岐に渡り、農業、水産業、畜産業、食品産業、水処理分野および一般家庭向けに効果や事例が知られている。

このような中、弊社においても永久磁石を組み込んだミューマグレータ® (マグレータは、Magnet: 磁石と Aerator: ばっ気装置の造語) を開発し、各種試験および排水処理施設への導入を行っている。今回は、これらについての報告を行っていきたい。

2. ミューマグレータの原理と構造

ミューマグレータは、これまでのミューエアレータに永久磁石を組み込んだ散気装置であり、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の発展型の装置である。

本散気装置は、静止型 (Static) の流体混合器で、ミュー静止型螺旋状多孔翼 (MU-SSPW: MU Static Spiral Perforated Wings® 以下、MU-SSPW と言う) の羽根体の混合部と永久磁石が配置される磁気処理装置で構成される (図4)。最初に空気は、噴射ノズルから高速で排出され通路管内で液体を巻き込みながら、気液混相流が螺旋形状の羽根体に移流する。羽根体で空気が通過する際に強力に混合、攪拌、せん断、破碎が生じながら気液混相流は、N極とS極の異なる永久磁石を交互に配置した磁気処理装置に移流し、磁場を発生させた磁気区間を通過する。微細気泡を含んだ気液混相流に磁性を帯びさせ、その後水中へ磁気処理水および磁化空気が気液混相流として放出される構造になっている。また、気体をマイクロバブルにすることで、気泡の比表面積が大きくなり、そこに強い磁力線が照射することで照射効率が向上している。

3. ミューマグレータの性能試験

3-1. 試験内容

令和3年3月5日、当社試験場においてミューマグレータの性能試験を実施した。散気装置の評価を行う指標である、総括酸素移動係数 (KL_a) や酸素溶解効率 (E_a) の算出にあたって、「下水試験法」

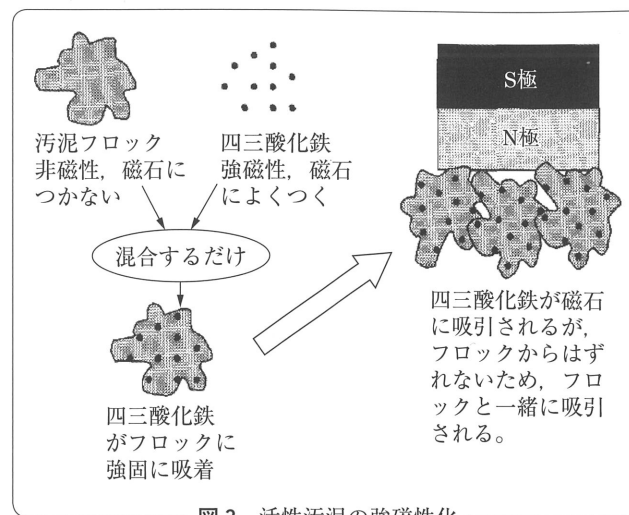


図3 活性汚泥の強磁性化

および (一財) 日本建築センターの「浄化槽型式適合認定申請要領での通水試験要領 DO, KL_a の測定」に準拠し実施した。また、測定にあたり酸素移動効率の要因である気泡径について、定点状態のデジタルカメラ (約 2,000 万画素) で映像を撮影し、併せて金尺を映し込み映像から気泡径を測定することとした。

今回のミューマグレータ性能試験は、代表的な MMA-125-40-PVC および MMA-25-PP の2タイプについて実験を行った (表1)。また、実験装置の概要は以下のとおりである (図5, 写真1)。

4. 調査結果および考察

4-1. 試験結果

ミューマグレータ MMA-125-40-PVC およびミューマグレータ MMA-25-PP の総括酸素移動容量係数 (KL_a) や酸素溶解効率 (E_a) をはじめ、各試験結果については、表2のとおりである。また、溶存酸

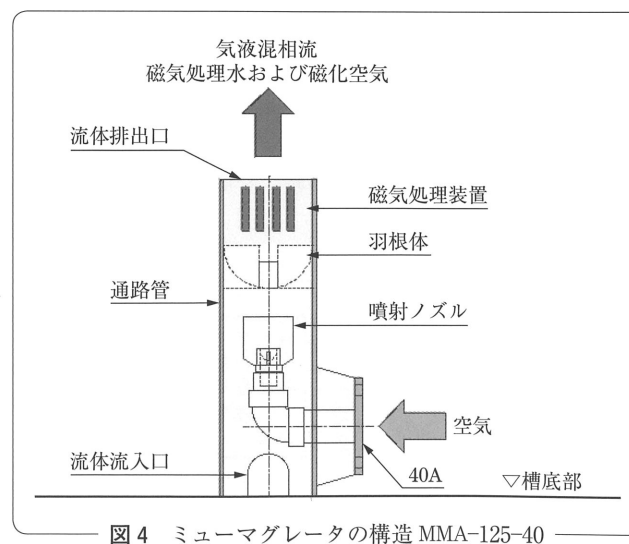


図4 ミューマグレータの構造 MMA-125-40

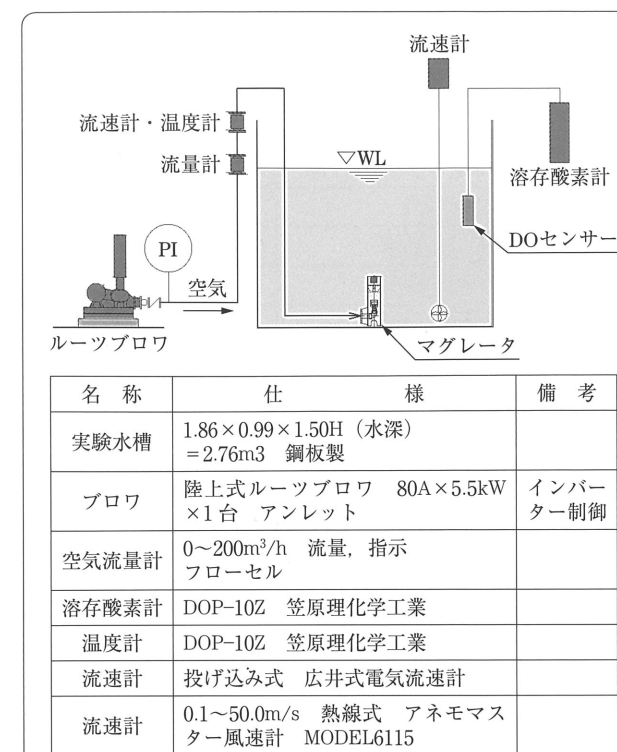


図5 実験装置概要

表1 ミューマグレータ実験の内容

No.	試験内容	設定条件
1	ミューマグレータ MMA-125-40-PVC	3.0m ³ /min
2	ミューエアレータ MMA-25-PP	3.0m ³ /min

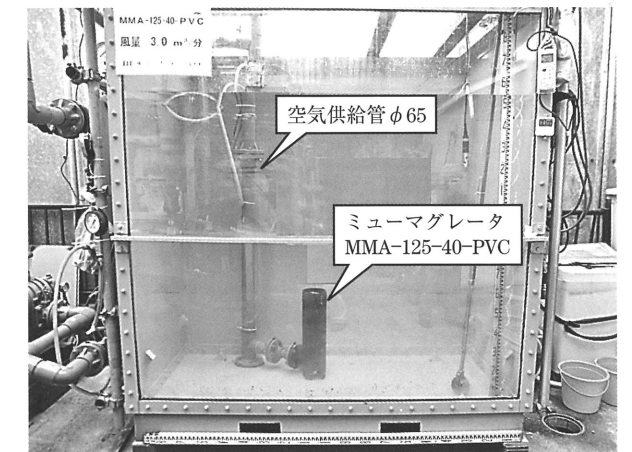


写真1 現地試験全景

素増加グラフおよび KL_a 算出グラフを表3, 表4に示す。

4-2. 考察

KL_a 20 [L/H] 値において、MMA-125-40-PVC は 26.67, MMA-25-PP が 41.60 の値となった。その結果、酸素溶解効率 (E_a 20, 5m) は、MMA-125-40-PVC で 11.69%, MMA-25-PP で 18.23% となった。MMA-25-PP の成績が良好な理由として、ばっ気攪拌の上昇速度が MMA-125-40-PVC と比較して速く、溶存酸素計付近の旋回水流が強まり酸素溶解効率が高まったことが考えられる。より測定精度を高めるためには、溶存酸素計を水深に応じて複数箇所設置し変化を見て行くことも一案である。

MMA-125-40-PVC に 3.0m³/分の空気を送り、槽内のばっ気攪拌および気泡の状況を観察していくと、試験開始後 2分程度で上昇する粗大な気泡のほかに微細な気泡が増加し、旋回水流により槽底部まで、気泡径 1μm~100μm の白濁した微細気泡 (マイクロバブル) の分布が確認できた。(写真2) その後、微細気泡は増加の一途をたどり 6分経過後において、前面の透明アクリル側より 50cm 後方の位置に配置されている VPφ65 の空気供給 (ライザ) 管が微細気泡の白濁により確認できない状況になった。開始直前の写真1と比較すると、その違いが明白である (写真3)。

試験は、経過時間 9分で溶存酸素が飽和状態に近づき空気供給を停止したところであるが、その後数分間にわたり白濁した微細気泡が浮遊している状況であった。これまでのミューエアレータ実験によりマイクロバブルの発生は確認していたが、今回の磁気処理装置を具備したマグレータは、マイクロバブルの発生を顕著に確認することができた。

この白濁 (マイクロバブル) 現象は、前述したマグレータの特徴で説明したところであるが、ミューマグレータの羽根体で空気が通過する際に強力に混合、攪拌、せん断、破碎が生じながら気液混相流が磁場を発生させた磁気区間を通過する際、強い磁力線が効果的に照射されることで水の分子集団が変化したマイクロバブルの増加現象に至ったものと考えられる。

5. 音響試験およびレーザー光試験

過日、ミューマグレータの性能試験に引き続き、ミュー散気装置の音響試験および磁気処理水のレーザー光点灯試験を行った。

5-1. ミューマグレータ等の音響試験

ミュー散気装置は、スタティックエアレータの発展型の装置であり羽根体 (MU-SSPW) で空気が通過する際に強力に混合、攪拌、せん断、破碎が生じながら気液混相流を排出する構造を有している。こ

表2 ミューマグレータ MMA-125-40-PVC および MMA-25-PP の試験結果

		No. 1	No. 2	備考
機種		ミューマグレータ MMA-125-40	ミューマグレータ MMA-25	
測定日		令和3年3月5日 9:30~	令和3年3月5日 14:30~	
項目	単位			
水深	m	1.50		
槽容量	m ³	2.76		
エアレータ数	基	1		
気温	℃	11.1	12.0	
水温	℃	11.2	12.1	
プロワ風量	m ³ /min	3.00	3.00	流量計部
ばっ気強度	m ³ /m ³ ・h	65.21	65.21	
ばっ気圧力	kPa	33.0	42.0	プロワ吐出部
KL _a (総括酸素移動容量係数)	L/h	21.54	34.50	
KL _{a20}	L/h	26.67	41.60	
酸素移動量	kg・O ₂ /h	0.807	1.194	
酸素供給量	kg・O ₂ /h	21.05	32.81	
酸素溶解効率 (E _{a20})	%	1.305	2.035	
酸素溶解効率 (E _{a20} , 5m)	%	11.69	18.23	
底部流速	m/sec	0.10	0.10	
気泡径の分析	mm	0.1~	0.1~	マイクロバブル発生

注) 酸素移動量 (kg・O₂/h) = KL_{a20} [L/h] × 水深補正した測定時飽和酸素濃度 [mg/L] × 水槽容量 [m³] × 10⁻³

表3 溶存酸素増加グラフ

MMA-125およびMMA-25 3.0m³/分
溶存酸素増加グラフ

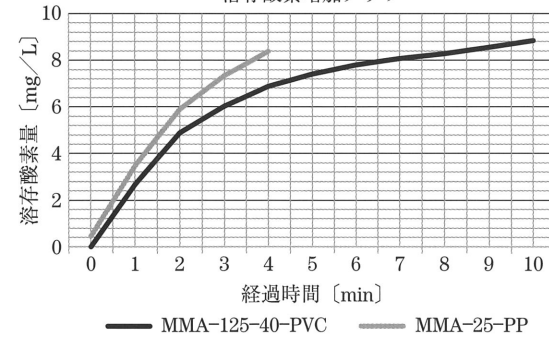


表4 KL_a算出グラフ

MMA-125およびMMA-25 3.0m³/分
KL_a算出グラフ

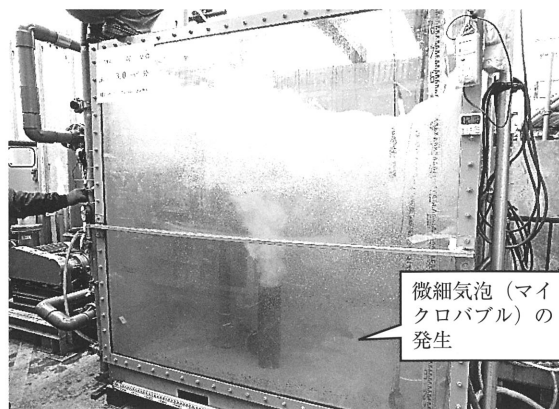
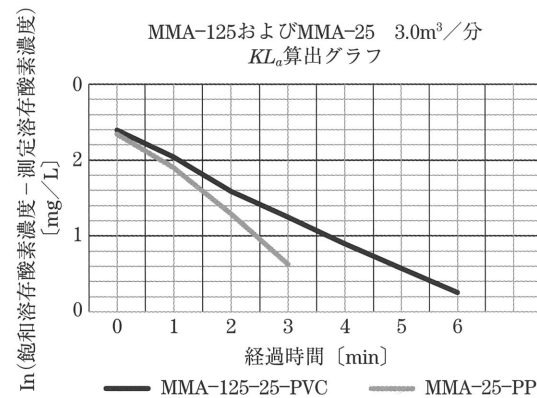


写真2 MMA-125-40 2分経過後



写真3 MMA-125-40 6分経過後

のようなことから、水中で発生するエアレータ音を計測し、その特性から排水処理に与える影響を推察した。

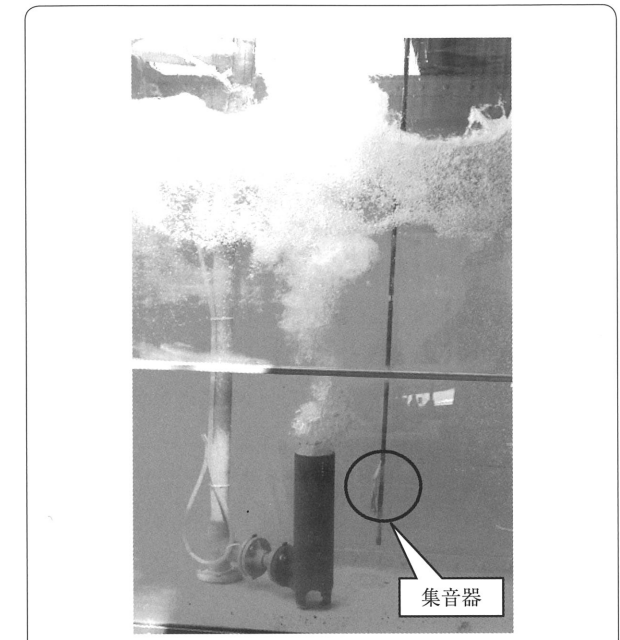


写真4 音響試験風景

試験は、ミュー散気装置でラインナップしている13機種とブランク試験を対象とし、散気装置より20cm側方に集音器を配置し風量を0.5m³/分、1.0m³/分、2.0m³/分、3.0m³/分および4.0m³/分と変化させ、ミューマグレータから発生する水中の音を記録した(写真4)。また、音響データはMP3形式とし、web上で (<https://online-audio-converter.com/>) を利用し .wav (44.1kHz, 16bit) 書式に変換し、試験データより解析対象の部分切り出しファイル作成を行った³⁾。

音による性能評価はエンジンなどの分野で古くから行われてきた。スズキは、1983年世界初となるオートバイ、水冷 DOHC2バルブ直列4気筒のGS250FWを発売。当時、月刊オートバイの広告に4気筒のエンジン音(無響室で測定したFFT波形: Fast Fourier Transform 解析の略で、高速フーリエ変換とも呼ばれている)の周波数分析や波形などエンジン特性の報告が知られている。

今回、音響試験のダイジェスト版の報告として、ミューマグレータ MMA-125-40-PP, 風量 2.0m³/分

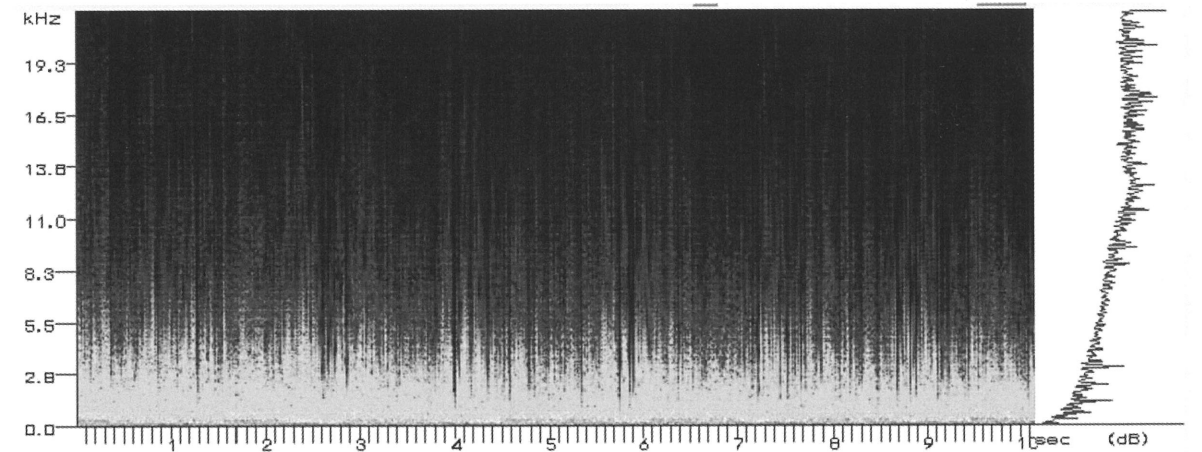


図6 ミューマグレータ MMA-125-40-PP 風量 2.0m³/分のスペクトルグラム

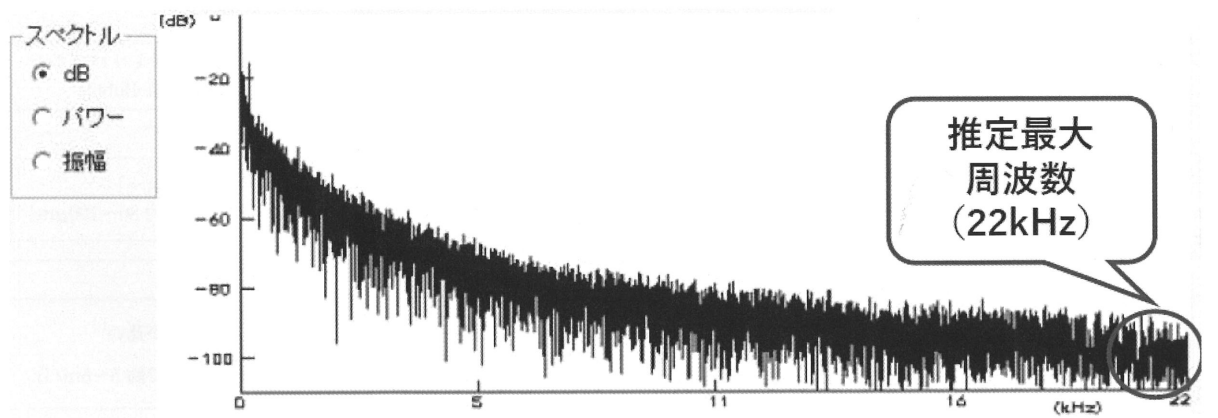


図7 ミューマグレータ MMA-125-40-PP 風量 2.0m³/分のスペクトル分布

の試験解析結果を報告する。

周波数分析（スペクトルグラム）より、約 5.5kHz 以下の低周波数が支配的であり、10kHz 前後の脈動（パルス波）が見られた。なお、風量を増加させた試験では、パルスの最大値が上昇し、全体的に高周波が増大することがわかった（図 6）。

また、音のスペクトルを解析すると、一般に聞こえる周波数の範囲（可聴域）は低い音で 20Hz、高い音で 20kHz 位までの間であるが、人の耳に聞こえない 20kHz 以上の「超音波」とされる周波数まで分布し、推定最大周波数は約 22kHz（以上）と推定される（図 7）。また、風量を 3.0m³/分、4.0m³/分と増加していくと、この「超音波」も継続して発生されていることを確認できた。

超音波の伝わり方は音や電波と異なる性質を有している。超音波は、空気中よりも、むしろ水や金属などの物質中で強い伝播力を発揮するという特徴がある。一方、周波数や温度などの条件もあるが、真空状態の中では、まったく伝わらない性質がある（表 5）。

他方、汚泥を減量化する装置として、超音波処理（周波数：20kHz 以上）や磁気処理装置が実用化されている。今回、ミュー散気装置には、使用状況により超音波を有した特性結果が判ったことから、今後、実施での汚泥転換率など

表 5 超音波の性質

項目	真空中	気体中	水中	金属中
超音波	×	△	◎	◎
音	×	○	◎	○
電波	◎	◎	△	×

表 6 ファインバブルの定義と特徴⁴⁾

	ファインバブル Fine-Bubble		
	ウルトラファインバブル Ultrafine-Bubble [UFB]	マイクロバブル Micro-Bubble [MB]	ミリバブル/サブミリバブル Milli-/Submilli-Bubble
泡の直径	数十 nm~1μm	1μm~100μm	100μm~
同サイズの比較対象物	<ul style="list-style-type: none"> ■ウイルス [数十~100nm] ■タバコの煙 [数十~500nm] 	<ul style="list-style-type: none"> ■スギ花粉 [約 30μm] ■黄砂 [500nm~5μm] 	<ul style="list-style-type: none"> ■通常の泡 [数 mm~] ■髪の毛の直径 [約 80~100μm]
目視	不可能（無色透明）	可能（白濁）	可能
動態	水中に長期残存（液中安定性） 数週間~数ヶ月の寿命がある 浮力よりも粘性力が大きい	非常にゆっくりと上昇 直径 10μm の気泡で約 3mm/分 （ミリバブルの 1/2000 程度）	上昇速度が速い 直径 1mm の気泡で約 5~6m/分
	ブラウン運動（微細振動）	水中で消滅	水面で破裂

の調査を展開していきたい。

5-2. 磁気処理水のレーザー光点灯試験

ミューマグレータの性能試験後、この磁気処理水を探取し暗室においてレーザー光点灯試験を行った。暗室内で、今回の磁気処理水と水道水を並べ緑色レーザーを点灯すると、磁気処理水ではレーザー光が散乱しレーザー軌道を明確に確認（チンダル現象と言う）でき、ウルトラファインバブルが発生しているものと考えられる。また、24 時間経過後に再測定を行っても磁気処理水ではレーザー光線を確認することができた（写真 5）。

一般に、気泡径 1μm~100μm の白濁した状況はマイクロバブルが発生したものと判断できるが、数十 nm~1μm の気泡であるウルトラファインバブルは無色透明であり目視確認できないといった特徴がある。また、数十 nm~1μm のウルトラファインバブル（Ultrafine-Bubble : UFB）の気泡と 1μm~100

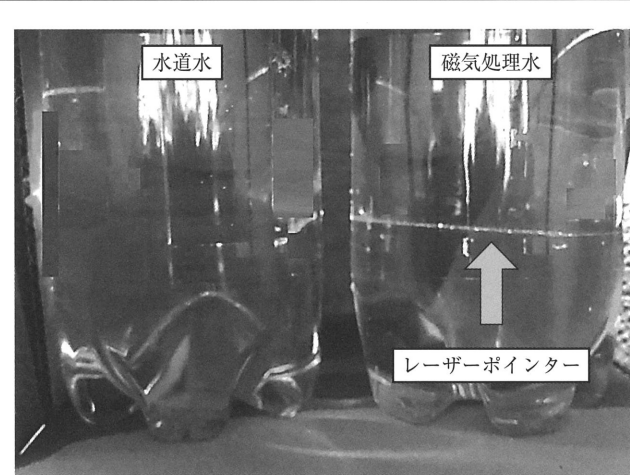


写真 5 レーザー光線を用いたウルトラファインバブルの「見える化」

μm のマイクロバブル（Micro-Bubble : MB）の気泡サイズのを合わせて「ファインバブル（Fine-Bubble）」と呼び、それらの定義と特徴は表 6 のとおりである。

6. ミューマグレータの適用範囲

ミューマグレータは、これまでのミューエアレータと同様に、各種排水施設や養魚池の散気装置、汚泥の臭気対策、固形物の減少の装置としての利用をはじめ、磁気特性を利用した機器類・配管などでの防錆やスケール対策などの活用が挙げられる。

今回、ミューマグレータ試験においてマイクロバブル発生ほかに、チンダル現象を確認できたことから、ウルトラファインバブルの発生があるものと考えられる。ファインバブルは、単に気泡径が小さいだけでなく、気体溶解度の向上、凝集作用の向上による物理的吸着、気体封入効果、洗浄効率の向上および生理活性の向上など様々な効果があり、環境

装置、農業施設、食品、水産業、洗浄施設、産業、美容など幅広い分野において活用されている（表 7）。

排水処理で用いられる微細気泡の散気装置の気泡径は、超微細気泡散気装置の 1mm 程度や微細気泡全面ばっ気式で用いられる 2mm 程度などが知られているが、ミューマグレータは、空気が羽根体を通過する際に強力に混合、攪拌、せん断、破碎が生じながら気液混相流を排出させるため、粗大気泡の空気が主流ではあるが、その一部は気泡径 1μm~100 μm などのファインバブルが発生する機能を具備している。このため、通常のばっ気攪拌の他にファインバブル発生副次的な効果があり、一般の散気装置にはない特徴を有しているため、水処理施設での水質向上に寄与することが期待できる。ファインバブルを発生させる方式や発生装置は多数の形式がある（表 8）。ミューマグレータは、スタティックミキサー式の発展型の装置であり、マイクロバブルやウルトラファインバブルの装置として用いる場合、施

表 7 ファインバブルの代表的な効果の事例

MB	UFB	効果	概要
○	○	気体溶解	高効率で気泡中のガスを液体に溶かすことができる。飽和度を超過して溶解することも可能。
○	○	物理的吸着	液に含まれる物質・微粒子に対して凝集作用を発揮し、フロック形成に寄与する。有用資源の固液浮上分離などに活用することも可能。
△	○	洗浄	MB が消滅する際に局所的に放出されるエネルギー（発光、高温高圧、衝撃波など）が付着物質の剥離に効果を発揮する。
	○	気体封入	各種ガス（O ₂ 、O ₃ 、N ₂ 等）の気泡を液中に長時間・安定的に存在させることで、UFB 含有水の機能向上や新しい効果を付与することができる。
	○	生理活性	UFB は皮膚や根から浸透しやすく、人体では体内血流の改善・体内温度の上昇、植物では成長促進効果などが報告されている。

表 8 ファインバブルの発生方式とメリット・デメリット

発生方式	ガス供給	ガス利用	出力	大型化	目詰まり	
マイクロバブル発生装置	旋回液流式	○	○	中	×	△
	スタティックミキサー式	加圧	○	中	△	△
	微細孔式	加圧	○	大	×	×
	エゼクター式	○	○	中	×	△
	ベンチュリー式	○	○	中	×	△
	加圧溶解式（減圧析出式）	○	○	大	△	△
	冷却溶解式（加温析出式）	×	×	中	△	○
ウルトラファインバブル発生装置	混合蒸気凝縮式	加圧	×	大	○	○
	界面活性剤添加+微細孔式	加圧	○	大	×	×
	スタティックミキサー式	加圧	○	大	△	×
	旋回液流式	加圧	○	中	×	△
加圧溶解式	○	○	大	△	△	

（出典）FBM—ファインバブルマガジン、ファインバブル産業会資料：一般的なものを評価

設規模や利用用途にもよるが、ブロワ設備などの空気供給を前提とした場合、大容量処理が可能となるとともに原動機の出力は中程度に抑えられるなどのメリットを有していることが特徴になっている⁵⁾。

7. ミューマグレータ試験のまとめ

ミューマグレータは、これまでのミューエアレータとの比較試験を行っており酸素溶解効率をはじめ、槽内のばっ気攪拌状況など同等以上の性能を有していることを確認している⁶⁾。今回のミューマグレータ試験において、ファインバブルの発生を顕著に確認することができた。また、磁気処理水にはウルトラファインバブルが含まれていることが考えられているため、今後の試験では、ウルトラファインバブルのサイズや個数濃度測定を実施し、併せて、磁気効果の関係についての比較検証を行う。ファインバブル水は前述した、表7での気体封入効果をはじめ、水に対するさまざまな物性の変化や効果があることから、排水処理施設のばっ気槽での細菌や微生物に与える生理的变化やBOD、COD、*n*-Hex およびT-N、T-Pといった汚濁物質の変化について調査領域を広げていく。

また、磁気処理水は、光散乱測定や電子スピン共鳴(ESR)法などを用いてその効果は実証されつつあるが、今後、ミューマグレータから発生する磁気処理水の各種試験を行い、データの蓄積および可視化を進めていきたい。

8. ミューマグレータ導入施設での現地調査

8-1. 現地施設の概要

M市の菓子製造業排水処理施設のばっ気攪拌装置に、ミューマグレータを導入した。本施設の流入水質および放流水質を表9、施設のフローシートを図8に示す。

排水処理施設の特徴として、回分式活性汚泥方式(SBR)により汚水処理を行っている。回分槽への流入、ばっ気攪拌、沈殿、排出工程のタイムスケジュールは、図9のとおり。

本施設は流入BODが高いことから、前処理設備に油分離槽を設けBODおよび*n*-Hex(ノルマルヘキサン抽出物質)の除去を行っている。回分槽は1室とし槽の有効容量は、300m³であり、BOD容積負荷0.8kg/m³・日、BOD-SS負荷0.30kg/MLSSkg・日程度のため高負荷の条件ではあるが、産業排水処理では典型的な設計諸元と言える。なお、現在の流入水量負荷は50%程度のため、計画時の負荷の半分程

度になっている。

回分槽のブロワ設備は、陸上型ルーツブロワが2基、内1台予備機としてφ150×14.6m³/分×49.0kPa×22kWのものが配置され、空気逃がしを用いて風量調整を行っている。回分槽へのばっ気風量は8.0m³/分とし、ばっ気強度は1.60m³/m³・時程度としている。一方、本施設は供用開始より20年経過しているため、施設の経年劣化が生じ各単位装置においても機器類の修繕や更新の時期になっている。

8-2. ミューマグレータの設置工事

令和3年7月21日、回分槽の合成ゴム製の多孔性散気装置⁷⁾に目詰まりなどが生じているものについ

表9 菓子製造業排水処理施設の計画および放流水質

項目	単位	流入水質	放流水質	除去率 [%]
BOD	mg/L	2,900	20	99.4
<i>n</i> -Hex	mg/L	390	10	97.5
SS	mg/L	1,360	30	97.8
pH	—	4.85	5.8~8.6	—

日平均汚水量 Q=100m³/日

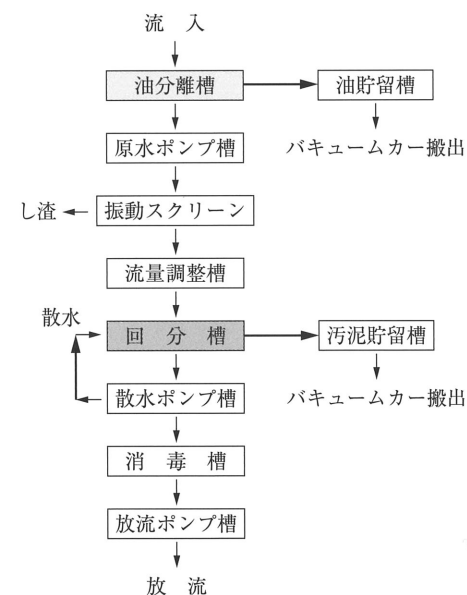
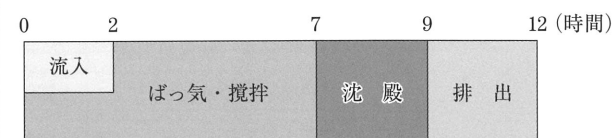


図8 菓子製造業排水処理施設のフローシート



(注)
1) 1サイクル12時間を標準とし、2サイクル/日としている。
また、タイムスケジュールは任意に設定変更が可能。
2) 沈殿工程の最後に、散水工程が15分程度ある。
3) 排出工程の最後に、汚泥引抜工程が10分程度ある。

図9 回分式活性汚泥方式(SBR)のタイムスケジュール

て、ミューマグレータ MMA-125-40-PP, 1基およびミューマグレータ MMA-25-PP, 4基について交換工事(写真6)を行いミューマグレータ運転によるばっ気攪拌状況や処理水質の変化などについて調査を行った。ミューマグレータの設置位置について、回分槽下部平面図およびA-A断面図(図10)に示す。

改修工事での注意点として、本施設の回分槽は1室(槽)であり、日々排出される汚水を止めることができないことや、回分槽のシーケンス制御を停止や変更してまでの対応、ならびに改修工事中での運転管理の調整や処理水質確保のための仮設工事などは極力回避したいところである。

このような中、ミューマグレータの重量は、通常

の散気装置と同等程度でありライザ管を含めて5~10kg/基と軽量のため、槽内水を空にすることなく散気装置の交換が行えた(写真7)。また、ミューマグレータは駆動部がなく電気・計装工事を必要としないことから、回分槽のシーケンス制御での機器の運転状況確認も省略できデータロガーの書き換えや設定変更も必要なく容易に工事を進めることができた。現地での撤去・機器据付工事および試運転調整が半日程度で完了することができ、結果、改修工事費用についても安価に対応することができた。

8-3. 施設の水質状況の変化

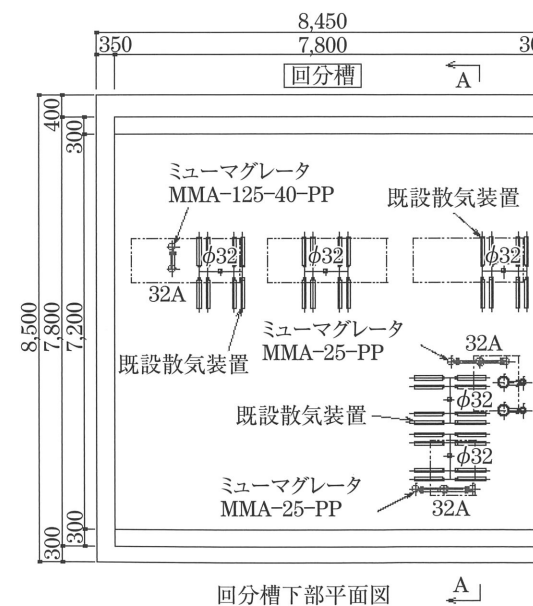
施設調査について、令和3年4月から9月において各水槽の点検および水質調査を実施した。流入水量の季節的変動もあまり無いことから、ミューマグ



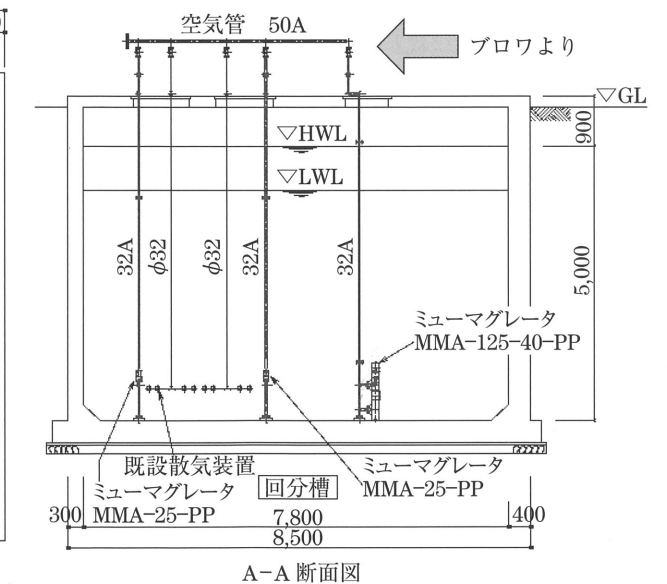
写真6 改修工事で設置したミューマグレータ



写真7 回分槽の汚水を空にせず機器の据付



回分槽下部平面図



A-A断面図

図10 回分槽下部平面図およびA-A断面図

レータ設置工事以降の回分槽ブロワのばっ気風量は変更させることなく、工事前の風量と同様として施設の変化状況を確認した。

水質調査は、水温、pH、DO、ORP、透視度 (T_r)、SV30 の他に簡易水質試験 (パックテスト) により BOD、COD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、硫化物 (硫化水素) および塩化物について実施した。他方、これまで BOD の簡易水質試験はなく COD を測定しその値から BOD を予測していたが、昨年より BOD の簡易水質試験キットが発売された (写真 8)。簡易水質試験の BOD は、わずか 2 分間で測定できることから流入水や放流水の判断がしやすくなった。注意点として、本施設の流入水の特性として油脂類の混入があるため簡易水質試験では反応しにくい物質があり、やや低めに測定結果が示されることが判っている。

特に、今回のように流入水の BOD2,000~3,000mg/L と高濃度の場合は顕著な傾向になる。より正確な値を求める場合は、工場排水試験方法 (日本工業規格 JIS-K0102) により検査を行い、簡易水質試験

との相関について把握する必要がある。

また、試料の採水は、グラブサンプル (スポット採取) 試料とし、排水濃度の高い流量調整槽以前の試料は希釈法を用いて測定を行った。流入水質の変化を表 10、放流水質 (回分槽流出水) を表 11 に示す。

流入水質の変化を見ると、計画値の BOD2,900mg

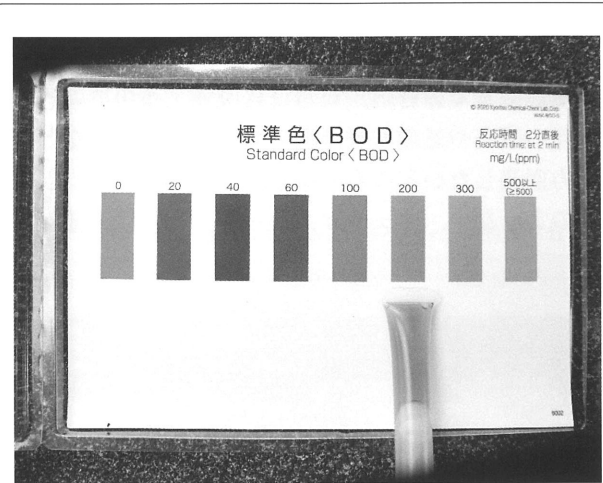


写真 8 BOD の簡易水質試験

表 10 流入水質 (油脂分離槽) の変化

測定項目 日時	水温 ℃	pH	DO mg/L	ORP mV	Tr cm	BOD mg/L	COD mg/L	$\text{NH}_4\text{-N}$ mg/L	$\text{NO}_2\text{-N}$ mg/L	$\text{NO}_3\text{-N}$ mg/L	$\text{PO}_4\text{-P}$ mg/L	硫化物 mg/L
2021.4.3	30.5	3.81	0.36	-312	4.5	—	2,500	ND	ND	ND	2	—
2021.5.1	29.3	4.49	1.18	-219	8	2,000	2,000	ND	0.4	40	5	0.5
2021.6.5	29.3	4.68	1.85	-189	7	1,200	1,500	4	0.4	40	2	0.2
2021.7.3	30.0	4.23	0.67	-150	5	2,000	1,500	0.2	0.05	1	3	0.5
2021.8.7	36.1	4.43	0.20	-205	5	2,000	1,200	0.2	ND	ND	3	1.0
2021.9.4	29.6	4.41	0.18	-219	5	2,000	1,000	0.2	ND	ND	3	0.5

(注) 1) 調査期間中、流入水の外観は白色、臭気は微芳香臭で推移。
2) 塩化物量は 250mg/L 程度で推移。また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度は、製造する排水系統により変動が大きい。

表 11 放流水質 (回分槽流出水) の変化

測定項目 日時	水温 ℃	pH	DO mg/L	ORP mV	Tr cm	BOD mg/L	COD mg/L	$\text{NH}_4\text{-N}$ mg/L	$\text{NO}_2\text{-N}$ mg/L	$\text{NO}_3\text{-N}$ mg/L	$\text{PO}_4\text{-P}$ mg/L	硫化物 mg/L
2021.4.3	27.4	6.97	0.05	-22	—	—	35	ND	ND	ND	0.2	ND
2021.5.1	28.5	7.00	0.21	102	30	10	10	ND	ND	ND	ND	ND
2021.6.5	30.6	7.22	0.02	-14	18	17	13	ND	ND	ND	0.5	ND
2021.7.3	32.4	7.36	0.22	-22	43	20	20	ND	ND	ND	ND	ND
2021.8.7	34.3	7.47	0.46	-44	30	20	20	ND	ND	ND	0.2	ND
2021.9.4	34.2	6.84	0.67	95	30	10	17	ND	ND	ND	5	ND

(注) 1) 調査期間中、放流水の外観は微白色から透明、臭気は微芳香臭から無臭で推移。また、ミューマグレータ設置以降の臭気は無臭で推移。
2) 調査期間中の回分槽 MLSS は 4,000mg/L 程度で推移。
3) MLSS が高いことから、SV30 値は 88~98%、SVI 値 250~300mL/g 程度と高い値を示しているが、回分槽の汚泥沈降とは異なる。別途、希釈法を用いての測定も実施。
4) DO は、ばっ気槽ばっ気攪拌終了工程直前での値。

/L に対し、測定値 2,000mg/L+ α のため、ほぼ、設計値に近似した濃度であった。また、計画値のとおり流入水の pH が低く槽内のコンクリート壁面や点検蓋等の腐食が認められた。ORP はマイナス (還元) が強い状況を呈し、併せて、硫化物 (硫化水素) 0.2~1.0mg/L の発生が認められ、嫌気的狀況になっていることが確認できた。

令和 3 年 7 月 21 日に回分槽散気装置の一部をミューマグレータに変更し、改修前の処理水質の状況と改修後の処理水質の変化について述べる。まず、施設の放流水質基準が BOD20mg/L (日間平均) であり、一般に放流水質の透視度 (T_r) は 20cm 以上あれば排水基準を満足していると言われている。そのような中、ミューマグレータに変更した 8 月 7 日および 9 月 4 日の調査において、これまでと同様の処理水質を確保している。

特質すべきは、改修後の回分槽内の水温は 34.2~34.3℃とこれまでより高温にもかかわらず、溶存酸素量は、0.46~0.67mg/L と槽内 DO が上昇した状況になった。また、改修前は処理水の透視度 (T_r) 測

定でピンポイントフロック (30 μm 以下のフロック) の混入 (写真 9) が目視確認されていたが改修後は確認できない状況であった (写真 10)。

8-4. 考察

回分槽内の溶存酸素濃度がこれまで 0.02~0.22mg/L 程度と低い値であったが、ミューマグレータに変更以降、水温上昇の不利な条件の中 0.46~0.67mg/L と増加している。これは、散気装置を改修したことにより、効果的に回分槽内のばっ気攪拌などが行われたものと考えられる (写真 11)。

今後は、ブロワ風量の調整を行いばっ気攪拌終了時の溶存酸素濃度が 1.0mg/L 程度の保持や適切に MLSS を調整していくとともに、ばっ気攪拌時間が 420 分の設定であることから、適切に間欠運転を行い電気量の節減を図ってきたい。

活性汚泥のフロックは、凝集性の度合いを示しており大きなフロックは直径 500~600 μm 程度になり、それだけ多数の細菌類が集めたものの結果である。一方、ピンポイントフロックが多い状態では、汚泥の沈降性が悪く、透視度が低い、過ばっ気などの白濁で COD が放流規制値を超過する原因になったりする。ミューマグレータに変更以降、放流水のピンポイントフロックが減少した理由として、

- ①回分槽内の DO の回復により、*Zoogloea* (ズーグレア) などの凝集性細菌類が増加した。
- ②ミューマグレータよりファインバブルが発生し、前述の表 7 に示すファインバブルの代表的な効果事例の「物理的吸着効果」が得られ、ピンポイントフロックに凝集作用が働いた。
- ③活性汚泥の MLVSS (活性汚泥有機性浮遊物質) の比率は 75% 程度であり、残りは無機性浮遊物質となる。その、無機性浮遊物質が、強力な磁性を帯び



写真 9 【改修前】放流水のピンポイントフロック

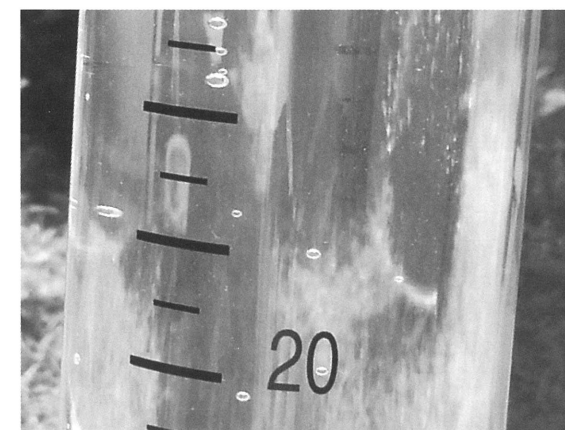


写真 10 ミューマグレータに変更後の放流水



写真 11 回分槽内のばっ気攪拌状況

たミューマグラータを通過する際に、一部が磁性体となりピンポイントフロックの吸着効果が作用した。などの、複合的な要因が推測される。

他方、酸素 (O₂) やナトリウム (Na) などは、磁石に引き寄せられる性質があり常磁性体の物質である。また、排水中には強磁性体の鉄 (Fe) なども、わずかに含まれていることからミューマグラータから放出される磁気処理水や磁化空気が排水処理に与える影響などについて引き続き調査を行い、ミューマグラータの効果や現象について確認していきたい。

9. おわりに

磁石や磁気を利用した製品は、省エネルギー、装置の省スペース、省メンテナンスといった、今日の利用者のニーズに合致したものが増加している。一方、水処理の分野では、水面積負荷を確保した大きな沈殿槽、反応槽での長い水理学的滞留時間 (HRT)、栄養塩類除去や汚泥脱水などに用いられる大量の薬品注入、大量の余剰汚泥の処理などの課題を抱えている。今回、ミューマグラータの開発により、これらの課題を解決する新しい水処理技術として、磁場環境を利用した排水処理施設の研究・開発を進めていきたい。

筆者は、排水処理施設の設計や工事および維持管理などについて30年以上携わってきた。今回、磁気処理装置の開発や設計に携わり、ミューマグラータの試験やミューマグラータ導入施設の現地調査に立ち会ってきた。磁気処理水を測定する機器は高価なことから分析などは限られているが、水 (H₂O) を活性化処理させると、水の分子集団の変化、・OHラジカルの生成、酸化還元電位の変化、水の溶解定数の変化および水の溶解度の変化などが知られている。

他方、現地調査では、人の五感と水質測定器や簡易水質試験の数値を元に、これまでの試験結果の変化や導入後の違いについて検討を行っている。日々の状況を知ることで、ミューマグラータ導入後の僅かな違いを知ることができ、調査は正に「真理は平凡の中にあり」いくつか知見として判ったところである。磁気処理水は水の潜在能力を引き出す装置として、21世紀の新しい水環境を構築する有用な技術として、願ってやまない。

以上、ミュー静止型螺旋状多孔翼 (MU-SSPW) を内設したミューエアレータと磁性体から構成されるミューマグラータの性能について詳細を述べてきた。レーザー照射によるチンダル現象の確認と

20kHz程度の超音波の発生も確認された。

今後の水処理分野への拡販とともに新たな挑戦として、世界中の原子力発電所から放出されているトリチウム含有水の処理装置を開発して、分離・濃縮・貯蔵方法を提案していきたい。高性能、省エネルギー、メンテナンスフリーのミューマグラータが保有している「螺旋」のもつ不思議なエネルギーと、ファインバブルを形成する機能と磁力線を生じさせて磁場を形成するエネルギーそしてスーパーカミオカンデに設置されていたラドン (²²²Rn) の放散装置MR-40の実績を基礎に、生物の末端まで血液を届けることが出来る血流 (螺旋流) とを融合させて、困難といわれている極超低濃度のトリチウムを取り込む機能を有するガドリニウム (Gd) を利用して反応・分離・濃縮・貯蔵処理方法を是非見出すべく一歩一歩進んでいく所存である。

高性能、省エネルギー、メンテナンスフリーのMU Green Technology を社是に掲げている当社としては、技術者としての使命および人としての責務であり、そして、この地球上に生きる生類の一員として、貢献できることは最大の喜びとするところである。皆様方のご協力、ご指導をお願いする次第である。

【謝辞】

施設調査にあたり、ご快諾していただいたM市菓子製造業排水処理施設の施設管理者および保守点検関係者の方々に低頭申し上げます。

【参考文献】

- 1) 酒井保蔵, 環境浄化技術 2004年5月号, [特集] 余剰汚泥ゼロをめざす磁化活性汚泥法, p14-p18
- 2) 文部科学省, 水の特性を生かした様々な活用1 新しい水処理, 「磁気分離活性汚泥法を用いた余剰汚泥ゼロの都市下水処理」, p6-p7
- 3) 幸田見著, 音響学・音声学入門, 斯文堂, 2019年第3版, p. 34-42
- 4) 経済産業省 九州経済産業局, 2018年1月, ファインバブル活用事例集—微細な気泡・ファインバブルが日本の産業を変える—, p. 1-5
- 5) FBM—ファインバブルマガジン— ファインバブルの技術, 株式会社ワイビーエム
- 6) 小嶋久夫, 有坂見一, 竹林昌弘, 化学装置 2021年5月号, [一本記事] 磁気を組み込んだミューマグラータの開発, p. 65-69
- 7) 小嶋久夫, 鈴木照敏, 有坂見一, 化学装置 2020年8月号, [特集] 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, ばっ気装置の種類と特徴, p. 33

地球環境保全と生産コストと省エネルギーに貢献する

MU Green Technology®

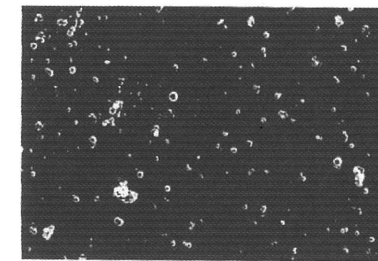
ミュースクラバー® MU SCRUBBER

国内で最初に、静止型流体混合器を利用して
シラン系ガス※の加水分解反応吸収処理装置を製品化した企業です。

※ SiCl₄, SiH₃Cl, SiH₂Cl₂, Si(CH₃)Cl₃, SiF₄ etc

そのキーポイントは

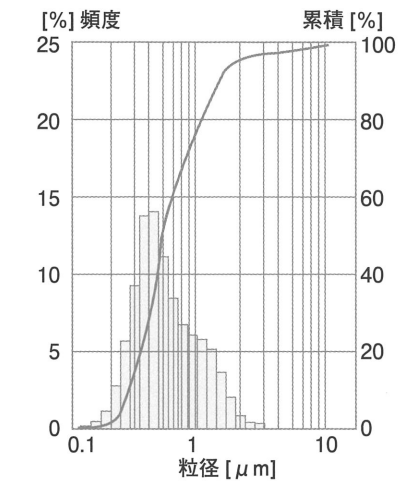
「ミュー静止型螺旋状多孔翼」(MU-Static Spiral Perforated Wings®)の発明です。
螺旋状インターナルMU-SSPWは最小内径2.8mm~最大直径10.0mまで製作致します。



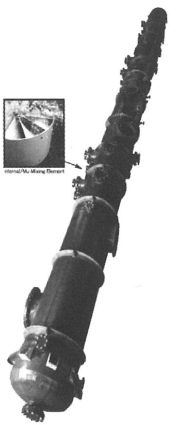
循環液中のシラン系酸化物のSEM写真
10.0μm

特徴

- 1) 高濃度の塩化水素(HCl)600kg/h、ケイ素化合物50kg/hを各々1volppm以下及び0.1mg/Nm以下に処理します。
→ガス冷却、ガス吸収、除塵工程を1塔で処理致します。
※液・ガス比は0.1~500ℓ/m³で利用できます。
- 2) メンテナンスフリーです。
付着成長が予想される螺旋状多孔翼の裏表は、吸収液により常時、洗浄されています。実績として、年間8千時間連続運転されています。
- 3) 省スペースです。
初期投資は安価になります。塔内ガス流速は1~20m/secで設計致します。
→スケールアップは容易です。
主たる因子は、ガス流速(m/sec)、液ガス比(ℓ/m³)、充填密度(m³/m³)、気液接触時間(sec)等です。
- 4) 省エネルギーです。塔内圧力損失は、3kPa以下で設計致します。
- 5) 材質は、PVC、PP、FRP、SUS、Tiおよび特殊金属で製作致します。
- 6) 排ガス入口部分において、SiCl₄は水分と瞬時に反応してSiO₂が生成します。この超微細粉末はガス入口部及び装置内を徐々に閉塞させます。
特許製品であるミュースクラバーは、特殊な特許構造体を内設して、これらのトラブルを未然に防止して連続運転を可能にしております。



ミュースクラバーに捕捉されたシラン系酸化物の粒子径分布



吸収塔
3段式ミュースクラバー
900A×22mH

USP/PCT

4,878,925

5,605,400

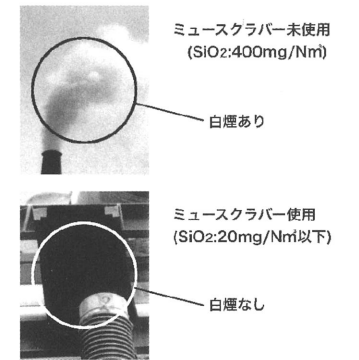
6,431,528

7,510,172

7,975,991

10,124,396

JP2018/011902



ミュースクラバー未使用
(SiO₂:400mg/Nm)

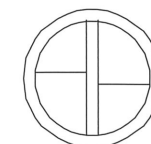
白煙あり

ミュースクラバー使用
(SiO₂:20mg/Nm以下)

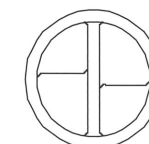
白煙なし

ミュースクラバーの実力

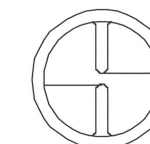
MU-SSPWへの変遷 創業1983年



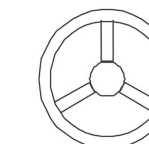
①原型
1枚羽根
90°捻り
回転成型



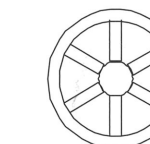
②製品
1枚羽根
90°捻り
抜き成型



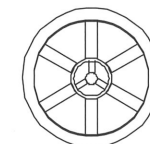
③製品
2枚羽根
90°捻り
抜き成型



④製品
3枚羽根
90°捻り
溶接型



⑤製品
6枚羽根
90°捻り
溶接型



⑥製品の改良型
12枚羽根
30°60°捻り
溶接型
2重構造型



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 FAX.03-3823-2890 URL: http://www.mu-company.com
技術提携: MU USA CORPORATION 特許: 日本・米国・欧州・中国・チェコ・インド・シンガポール ©2021 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/>