

MU Static Spiral Perforated Wings (MU-SSPW)™ を採用した水処理技術

～水平型から垂直型への道のり～

小嶋久夫*¹⁾、鈴木照敏*²⁾、伊藤吉晃*³⁾、池田 潤*⁴⁾、牧 忠峰*⁵⁾

 ミューカンパニーリミテド

※本論文は雑誌『化学装置』（発行：株式会社工業通信）
2019年8月号、pp54～61からの抜刷になります。

© 2019 MU Co., Ltd.

1. はじめに

近年、工業製品のグローバルな生産量の増加と、新興国を中心にした人口の飛躍的な増加のため、一部の地域では水質汚染が深刻化している。また一方で先進国を中心にして資源・地球環境の危機意識が広がりを見せている。循環型社会形成のためには、水処理技術の開発や普及が不可欠である。このような背景の中で、さまざまな水処理技術の研究が行われ、装置が開発されている。弊社の製品は、独自の原理に基づいて、省スペース・高性能・メンテナンスフリーを同時に実現させたユニークな装置である。

本稿では、まず弊社の水処理装置の原理を説明し、次に製品の性能の核となっているエレメントであるMU-SSPW（ミュース静止型らせん状多孔翼）について記述する。水中で空気を微細化する従来の曝気装置とは逆に、空気中で水を微細化する弊社装置ミューアクアタワーを紹介し、最後に、MU-SSPWを使い、水中で空気をファインバブルに微細化する応用例をいくつか紹介したい。

2. MU-SSPW™ を採用した水処理装置の原理

本章では、まず弊社製品の発想の原点となった滝について考察する。その後、滝と製品の関連性及び製品の原理について説明する。そして、製品の特長と幅広い応用事例についても紹介したい。

2-1. 滝の物理的な作用

滝は落差という位置エネルギーと、岩はだの凹凸の相互作用によって、水を破碎させる（写真1）。つまり、滝の水の流れは、落下し岩肌につぶれることによって分割され、それにより流水は細かな粒となり、さらなる衝突により微細な粒子となる。通常の滝は、流れ落ちる水の大部分が滝壺に落ちるが、一部は霧となり、空気中に滞留する。流水の一部が霧に変わるということは、気体と液体および気泡との接触界面積を常に更新しながら増大するというこ

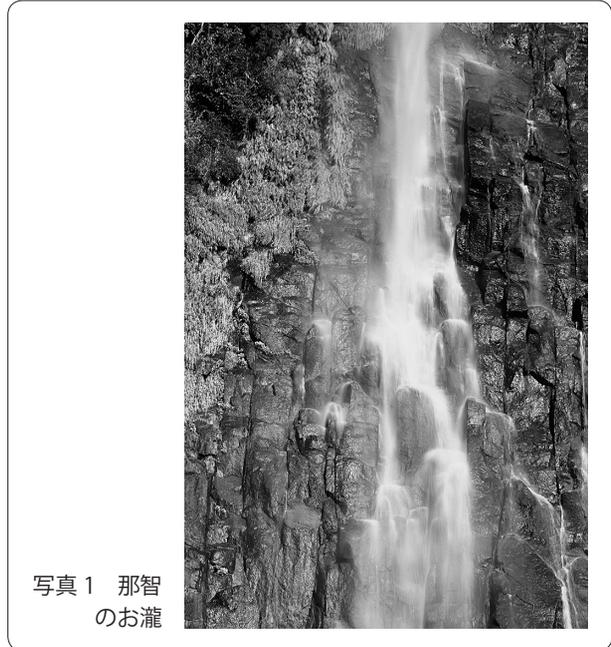


写真1 那智のお瀧

を意味している。

2-2. 滝とミュースキミングエレメントの関係

滝によって水が細分化され、その結果、気液相の接触界面積が増大する。この自然の摂理を人工的かつ効率よく再現しているのが、ミューアクアタワーである（図1）。ミューアクアタワーは、塔状の水処理装置で地上に設置される。ミューアクアタワーの塔内部にMU-SSPW（写真2）が積層され、その中を水が通過することで水が微細化され、その結果表面積が増え、その水に空気中の酸素が取り込まれる。水の流れについて、水はまずタワーの上部までポンプで押し上げられ、タワーにフィードされ、何層にも積み上げられたMU-SSPWの中をらせん流で落下し通過する。それにより、水が細かな粒子に分解され、表面積の増加に伴って、気液相の接触界面積が増え、水への大量の酸素溶解を促進する。ちょうど、ミュースキミングエレメントは、滝の岩肌に相当する。ミューアクアタワーは、重力エネルギーのみを利用することで、人工の滝を再現したものである。

2-3. ミューアクアタワーの原理の概要

ミューアクアタワーでは、塔の上部まで押し上げられた流体の位置エネルギーによって生じる静的な落下の衝突エネルギーを、このMU-SSPWによって液体が、ダイナミックにさまざまな方向の無数のせん断力に変換することで細分化され、それによって気液相の接触界面積が増大される。

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

*2) Terutoshi SUZUKI：同上技術部長

*3) Yoshiaki ITO：同上顧問、一級建築士

*4) Jun IKEDA：同上顧問、一級建築士

*5) Tadamine MAKI：同上技術次長

〒110-0007 東京都台東区上野公園18-8

TEL：03-3828-7090（代）FAX：03-3823-2890

E-mail：01150324kojima@mu-company.com

URL：http://www.mu-company.com/



図1 ミュー
アクアタ
ワー

ミューアクアタワーには複数の MU-SSPW が塔内に配置されている。MU-SSPW は円筒状の静止型流体混合器（スタティックミキサー）の機能を有し、弊社の全製品の核となる部分である。MU-SSPW の内部には、複数枚の多孔の羽根体が、らせん状に配置され、MU-SSPW の中心軸部は空洞になっている。一つのエレメントに多孔体の羽根が複数枚、しかもらせん流の方向が交互になるように配置されている。よって、一度通過するたびに、流体の分割・混合が連続的に何回にもわたって行われることになる。

2-4. MU-SSPW の原理

それでは、なぜらせん状の多孔の羽根体が気液相の接触界面積の増大に適しているのだろうか。らせん状の羽根体に多数の孔が空いていると、羽根体の表面に沿って流れ落ちる流体の一部は、羽根体の表面に空いている孔を通過する。孔を通過することによって、流体には、羽根体に沿った渦流に、羽根体の表面を通過するせん断流が加わる。これら2つの流れによって、流体の細分化が促進され、これらの流れが衝突することによって、さらなる分裂が起こる。

また、らせんという形に注目してみると、らせんは、上から下にかけて途切れることなく曲面が続いている。そして、この表面上を流体が流れ、しかも回転運動を行いながら落下していくので、装置頂部から底部まで落下する際の流体の移動距離が、自由落下のとき、つまり垂直距離よりも長くなる。移動距離が長くなるので、その分、気液相および気泡との接触時間も長くなるということになる。

しかも、この羽根体には数多くの孔が空けられて

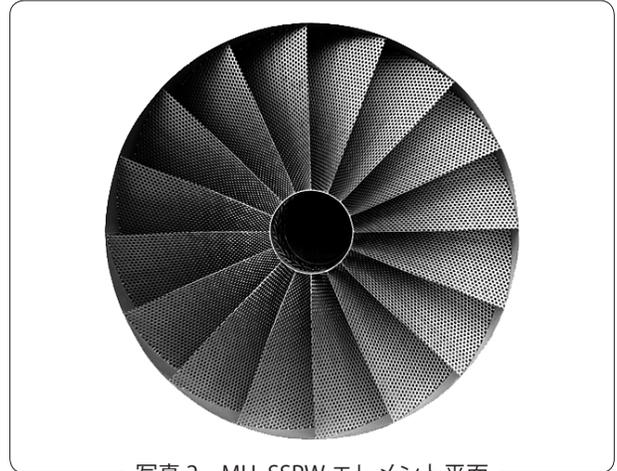


写真2 MU-SSPW エレメント平面

いるので、らせんの表面上を流れる流体の一部は、この孔を通過し一段下のらせん状の羽根体に落下する。らせんの羽根体上を流れる流体が孔にさしかかるとき、羽根体の方向に働く慣性の力と流体の粘性、そして装置内の風向きや重力などによって、流体の動く方向が決められる。羽根体の表面上を流れる流体が孔に落下するときには、重力によってせん断力が生じ、流体の細分化が起こる。

また、ミキシングエレメントの円筒状内には、何枚もの多孔体のらせん状の羽根体が内蔵されている。この羽根体がある一定間隔をおいて配置されているので、円筒の容積に対して内蔵されている羽根体の枚数が多いほど、羽根体の表面を流れていた流体が孔から落下して、その下にある羽根体に落下する回数が多くなる。

つまり、円筒の単位体積あたりの羽根体の枚数が多ければ、一つのみキシングエレメント内を流体が通過するときに、羽根体に空いている孔を貫通する回数が増えることになり、それだけ流体の分裂される回数が多くなることになる。ちなみに、羽根の密度は、2つの指標で決められる。一つは、ある大きさの円筒状に対して、羽根体の枚数が多いほど、円筒の容積に対する羽根体の密度が高くなり、もう一つは、その羽根体のらせんを描くカーブが緩やかに落下していけば行くほど、羽根の枚数が同じでも、一つの羽根の総表面積が大きくなり、容積に対して羽根体の密度は高くなる。羽根体の全羽根面積をエレメント容積で除した数値を気液接触段効率（仮称） m^2/m^3 として計算して、スケールアップのときの重要な因子としている。

これらの羽根体は、前述の通り MU-SSPW の中に複数枚内蔵されているが、その固定方法については、羽根の内周部側は円の中心に配置されるリング

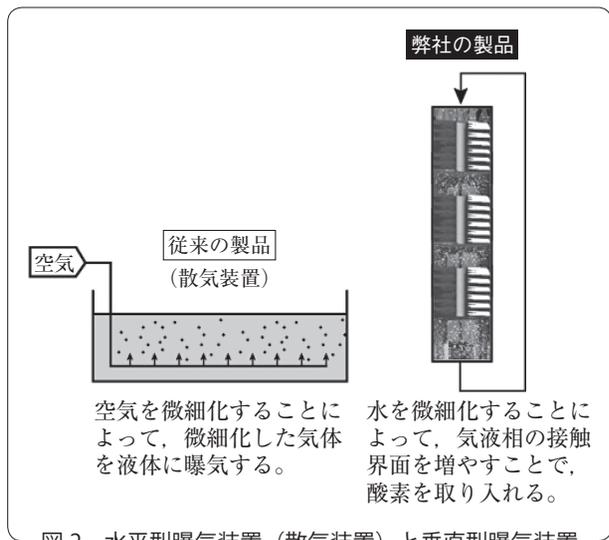


図2 水平型曝気装置（散気装置）と垂直型曝気装置（ミューアクアタワー）の比較

によって、外周部側は MU-SSPW の円筒の内側表面に羽根を溶接して固定させている。中心部分にはリングが配置されるので、MU-SSPW の軸方向の中心部には、若干の空洞ができることになる。この軸方向の空洞には、障害物が何もないので、そこを通る流体は自由落下により、羽根の表面に沿って流れる流体と中心部を落下する流体との気液界面が接触しながら、装置の底部に到達する。つまり、ここを通る流体の流れは、羽根体を流れる流体とは異なる方向と速度をもつ流れということになる。その軸方向を垂直に流れる流れと、その周りを囲んでいるらせん状の羽根体を流れる流れの接する面には、異なる方向の力が働くので、その面で流体に新たなせん断力が生じる。ここでも、せん断力が生じ、それによって流体の細分化が促進されることになる。

ここで一度、MU-SSPW を構成しているらせん状の多孔の羽根体の特長を整理する。まず、らせん状の多孔の羽根体により、流体にさまざまなせん断力が働く。羽根体表面から孔に落下する時や、羽根体表面を流れる流体にその上部から孔を通過して落下してきた流体が衝突する場合や、そして中心軸部を流れる流体とらせん状の羽根の上を流れる流体が接する面に、せん断力が生じる。それらのせん断力によって、流体が細分化され気液相と気泡との接触界面積が増大されていく。

さらに、羽根がらせん状のカーブを描くことによって、流体の移動距離が長くなり、流体と羽根体との接触面積が増えることによって、流体の細分化が促進される。MU-SSPW は、多孔体やらせんのフォルム、そして軸方向とらせんの流れの違いなどにより、幾何学的に自然の摂理を制御・凝縮すること

で、流体の法則に裏づけされた高性能の曝気処理技術を生み出している。

2-5. ミューアクアタワーの特長

ここでは、MU-SSPW を内蔵するミューアクアタワーの最大の特長である「高性能・省スペース」と「自浄作用によるノーメンテナンス」について考察する。

1) 高性能・省スペース

ミューアクアタワーの一番の特長は、MU-SSPW を垂直に積み重ねることによって、気液相の接触界面積を増大させ、曝気能力を向上させていることである（図2）。通常の曝気装置は、水槽の中に設置するが、ミューアクアタワーは水中ではなく地上に設置することで、水中に気体を送り込むのではなく、処理対象となる液体を細分化することで、気相と液相および気泡との接触界面積を増加させている。つまり、気体を液体に注入するのではなく、滝のように液体を細分化することによって液体を周りの気体で包み込むことで、酸素を液体の中に取り入れている。この方法では、気体を液体に取り入れるだけではなく、例えばアンモニアのような揮発性の高い物質を溶解している液体から、効率的にアンモニアを取り除くことができる。また、エレメントを積み上げ、塔内に垂直に内蔵することで、小さな設置面積でも大量の曝気処理を行うことができる。従来の水中に設置する曝気装置では、処理水量に応じた面積が必要だったが、ミューアクアタワーは処理対象となる液体の微細化機能を垂直に積み上げることで曝気機能を凝縮し、高性能・省スペースを実現した。

2) 自浄作用によるノーメンテナンス

ミューアクアタワーのもう一つの特長としてあげられるのは自浄作用である。滝のごとく自らの流れによって表面の汚れを洗い落とすことで、この装置はメンテナンス不要になっている。

ところで、滝をよく見ると岩肌に対する水の当たり具合によって、岩の表面が異なっている。常時岩に水があたり、水しぶきがあたっているところでは、苔が生えず岩肌が裸出しているが、流水が直接あたらず、滝で発生した霧によって岩肌が湿っているようなところでは、苔が岩肌を覆っている（写真1）。滝の上部から流れ落ちてくる水が岩肌に衝突すると、その衝突によって岩肌は水を分割し、反対に水は岩肌の表面に叩きつけられ、その表面に瞬間的な圧力を加えることで、そこに付着しているものを取り除く効果を発揮している。

つまり、水は自身の持っている位置エネルギーによって、水の流量、岩肌の形状、水が岩に当たる角度などの諸条件下で、水は岩によって破碎されるとともに、岩の表面を常に清浄にしている。水の破碎は、その表面を掃除する働きも有している。このことは、ミューアクアタワーにも当てはまる。流水がミューキシングエレメントの羽根の表面上を流れ、孔に差し掛かったところで、羽根の流れとは大きく方向を変え、孔の中を通り落下する。そのとき、孔の端部に水が当たることで水の流れが重力によって引きちぎられ、水が細分化される。水の流量や速度、そして水の当たり方によっては、水が細分化され、その過程で、羽根体の孔の端部には、水の破碎による圧力がかかり、エッジ部分の表面は洗い流されることになる。

また、ある水は落下した際に羽根体の孔のエッジ部分にぶつかり、その水はさらに細分化され、それと同時に落下部分の表面を洗浄している。このようにして、水が分割されることによって、羽根体が清浄化される。この製品にとって、水が孔によって細分化されるということは、羽根体にとっては自身が洗浄されるということと同義である。

2-6. ミューアクアタワーの応用範囲

このようにミューアクアタワーは、高性能で、垂直型ゆえの省スペース、そしてノーメンテナンスという特長を有している。このタワーは基本的には地上に設置されるが、高性能・省スペースがゆえに、応用範囲は他の曝気装置に比べて広い。例えば、湖や池のような波のあまり立たない閉鎖水域で架台を組んでその架台に本タワーを組み込めば、浮遊させることもできる。また、ミューアクアタワーは、基本的に気液相および気泡との接触界面積を増大させて、空気中の酸素を水中に溶解させているが、前述のごとく、処理する液体に含まれているアンモニアなどの揮発性物質を空气中に放散する（アンモニア・ストリップング）際にも威力を発揮する。高性能・省スペース・ノーメンテナンスという特長を有効に活かし、今後用途が広がっていくことが期待される。

3. ミューエアレータの応用

前章では、水を微細化して気液の接触境界面を増やすミューアクアタワーの説明を行ったが、本章では、従来の空気を微細化する曝気装置であるミューエアレータの応用例をいくつか取り上げる。

3-1. 閉鎖循環飼育の養殖システム

良質なタンパク源として世界的に魚の需要が急増する中、漁業による供給はここ数十年ほとんど増加せず、養殖に占める割合が増加してきている。水産養殖は、世界的な人口増加によるタンパク源の供給源として重要な立ち位置にある。

現在の海産魚の養殖の主流は、海上で行う小割網生簀式養殖である。この養殖形態のメリットは、作業船と区画漁業権があれば初期投資が少なくて済むことである。しかし、養殖の過程で排出されるふんや尿、残餌による窒素・リンなどの有機物の蓄積によって、周辺海域の水質に大きな悪影響を及ぼすことにある。また、赤潮などの外部環境に影響を受けやすいといったデメリットもある。

これらのデメリットを解消すべく生み出されたのが陸上養殖である。方式として、止水飼育、流水かけ流し、半循環飼育、閉鎖循環式などがあり、それらの特徴を海上養殖の小割網生簀方式とあわせて、表1にまとめた。その中でも、環境保全に優れ、高効率な生産性が可能で、疾病リスクも低く、場所に特定されない閉鎖循環式の陸上養殖が注目を浴びている。

1) 閉鎖型循環養殖のメリットとデメリット

この閉鎖型循環養殖のメリットとデメリットは、以下の通りである。

【メリット】

- ・台風や温暖化の影響を受けにくく、飼育環境の人為的管理が可能。
- ・薬品の不使用や品質の向上が図れるので、ブランド化が推進できる。
- ・漁業法の制約がないことから、設置場所を自由に選定できる。
- ・作業を陸上でできることから、高齢者などの雇用促進につながる。
- ・排せつ物などの環境への影響を軽減できる。

【デメリット】

- ・容易に魚を全滅させてしまう可能性がある。
- ・停電などのトラブル時のバックアップ体制の不備。
- ・初期投資や生産コストがかかり生産性に問題がある。

2) 閉鎖循環型養殖システムの構成

今回、弊社製品をこの装置に使うことで、上記のデメリットを一つである初期投資を抑えることができると考えている。既存の閉鎖型循環養殖の標準的なシステムと弊社製品を使ったときのシステムは図3の通りである。図に示す通り、従来の物理ろ過層、

表1 養殖システムの比較

	海上養殖	陸上養殖			
方式	小割網生簀	止水飼育	流水かけ流し	半循環飼育	閉鎖循環式
水の交換	なし	なし	あり	一部あり	なし
水浄化システム	なし	なし	なし	あり	あり
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 外部環境の変化に影響を受けやすい。 作業船と区画漁業権が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 飼育は容易 有害物質が蓄積 生産性低い 	<ul style="list-style-type: none"> 飼育は容易 飼育環境の悪化は小 注水量が大量に必要 → 場所が限定 疾病リスク高い 加温・冷却費高い 環境負荷大 	<ul style="list-style-type: none"> 飼育環境の悪化は小 疾病リスク低 加温・冷却費用少 用水確保で場所限定 水質浄化装置が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 場所限定されず 高い生産性 疾病リスク低 環境負荷小 設備費高 水質管理は難

↓

弊社製品を使うことで
設備費を下げ、水質管理をシンプルに！

生物浄化槽，脱窒装置，紫外線照射装置をミューエアレータで置き換えることによって大幅な初期設備費及び運転費を削減できると考えている。

閉鎖循環型養殖システムでは，固形物除去，浮遊汚濁物除去，酸素供給，アンモニア除去，硝酸除去，殺菌消毒，水温調整を行う。現在使われているシステムの一つの一般的な例をとると，残餌・排泄物などの固形物除去には，沈殿槽が使われ，浮遊汚濁物除去や酸素供給には物理ろ過槽，酸素供給には曝気装置，アンモニアを硝酸にするためには生物浄化槽，硝酸を炭酸ガスにするためには脱窒装置，殺菌消毒には紫外線照射装置，水温調整には温度調節装置が用いられる。

これらに対し，ミューエアレータだけで，上記の4つの装置（物理ろ過槽，生物ろ過槽，脱窒装置，紫外線照射装置）の替わりとすることができる。ミューエアレータによってマイクロバブルを発生させることによって，気液混合により酸素が供給される。そして，マイクロバブルの気泡の気液界面に汚濁物質が吸着，濃縮する性質を利用して，水中より浮遊汚濁物質を分離除去することができる。つまり，物理ろ過槽と同じ働きをすることができる。さらに，ミューエアレータは強力なマイクロバブルの生成装置で，水中のアンモニアを直接空气中にストリップできる実績を持つ。従来の装置であれば，生物浄化槽でアンモニアを硝酸に硝化し，そして，脱窒装置で硝酸を窒素

ガスに段階的に処理していたが，ミューエアレータは，それらの処理を一気に行うことができる。さらに，マイクロバブルが水中で圧壊するときに，OHラジカルを発生することが知られている。そのOHラジカルには，オゾンと同じように殺菌効果があることが確認されている¹⁾。よって，大量のマイクロバブルを生成するミューエアレータにも殺菌効果が期待できる。

以上，ミューエアレータは，閉鎖循環型養殖システムにおいて，浮遊汚濁物除去，酸素供給，アンモニア除去，硝酸除去，殺菌消毒を行うことができ，それらを担っている物理ろ過槽，生物ろ過槽，脱窒装置，紫外線照射装置の役割を1台で果たすことができる。よって，設備費や運転費の大幅な削減が期待でき，初期費用や生産コストがかかるという閉鎖循環型養殖システムのデメリットの一つが解消され，

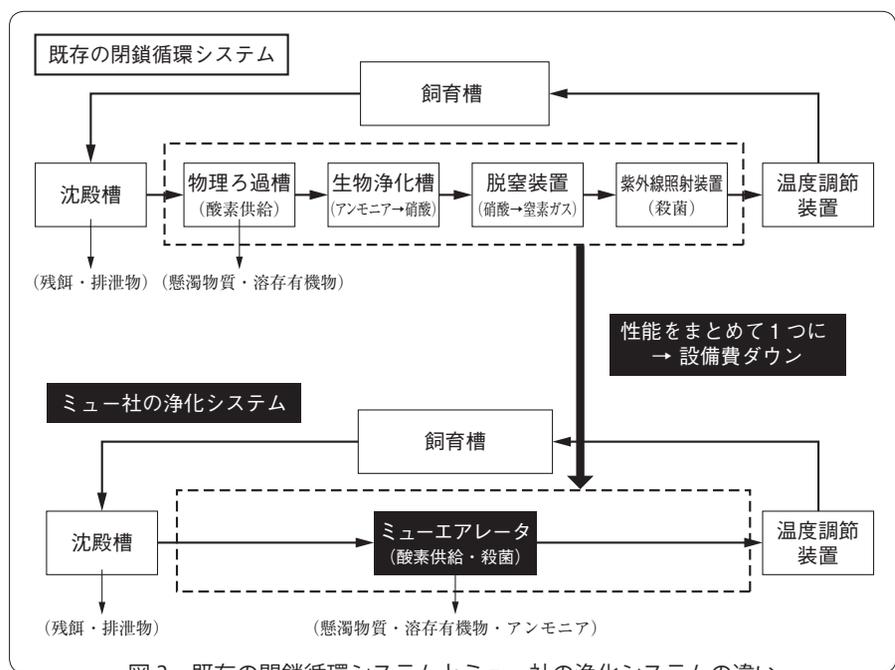


図3 既存の閉鎖循環システムとミュー社の浄化システムの違い

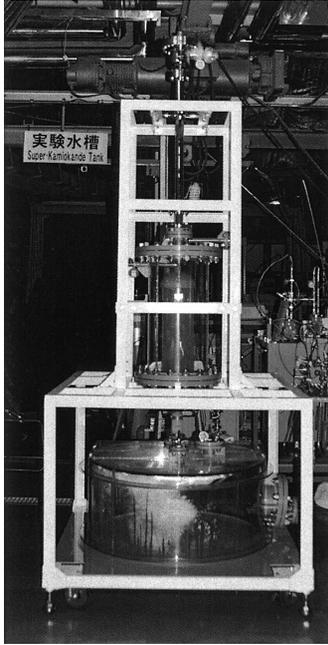


写真3 ラドン放散装置

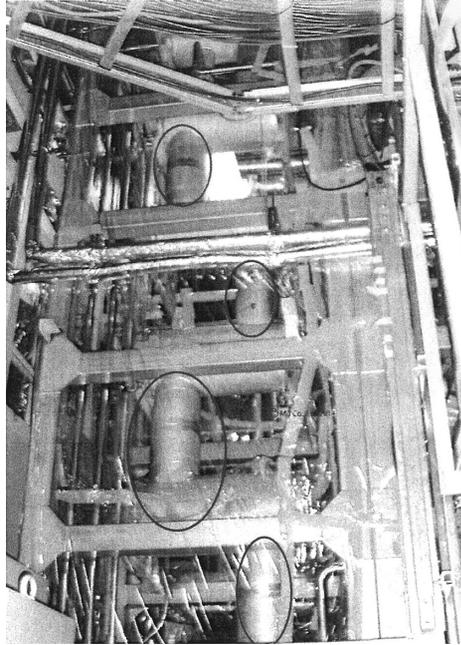


写真4 カムランド真空脱気装置

ミュージェアレータは、同システムの普及に一翼を担うことが今後期待される。

3-2. 純水中のラドン放散装置

MU-SSPWを内蔵したミュリアクターは、スーパーカミオカンデ東大宇宙線研究所にラドン放散装置として使われた実績を持っている。スーパーカミオカンデは、岐阜県飛騨市神岡町旧神岡鉱山内に設置された、東京大学宇宙線研究所が運用する世界最大の水チェレンコフ宇宙素粒子観測装置である。旧神岡鉱山の地下にあるニュートリノ観測装置「スーパーカミオカンデ (Super-K)」において、装置内の超純水中のラドン (Rn) 濃度の測定に使用される。つまり、超純水中に含有し蓄積してくる Rn を純エアー (ラドンフリーエアー) で放散 (脱気) する工程に使用される。

具体的には、ミュリアクターの上部から観測装置内の超純水を供給し、下部から純エアーを供給して、ミュリアクターの装置内にある MU-SSPW により気液混合され、超純水中の Rn はラドンガスとして放散 (脱気) されて、Rn 計測装置に供給される (写真3)。マイクロバブルによる気液混合接触を高効率に行うことで、超純水中に含有している超低濃度 (0.8mBq/m^3) の Rn をほぼ気液平衡値で放散することができ、観測装置内の超純水中の Rn 濃度を低レベルで測定することができた。

また、ミュリアクターの気液混合部の寸法は外径 34mm、長さ 600mm、超純水 60~120 l/h を

放散処理できる。ミュリアクターの性能として、ほぼ 100% 気液平衡値で超純水中の Rn を放散でき、液質量速度は $1.4 \times 10^5 \text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$ 、ガス質量速度は $2.4 \times 10^2 \text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$ 、塔効率は 20~25% である。従来技術である充填塔方式と比較した場合、直径は 1/6、容積 (気液接触部) は 1/50、気液接触時間は 3/100 であり、ミュリアクターは高効率であることがわかる。ちなみに、スーパーカミオカンデの附属施設である純化装置の処理能力は、 $70\text{m}^3/\text{hr}$ である。

3-3. 純油中の放射性希ガス放散装置

ミュリアクターは、東北大学大学院理学研究科附属ニュートリノ科学研究センター (Research Center for Neutrino Science) による反ニュートリノ検出器であるカムランドにも使われている。

ちなみに、スーパーカミオカンデでは、ニュートリノ反応を検出するのに大量の水を使っているが、カムランドでは精製されたオイルの混合物である液体シンチレータを使っている。液体シンチレータに用いられている純油中の Rn や Kr の真空脱気装置に採用されている。バックグラウンドを下げて検出感度を向上させるために、装置内の純油に存在している Rn や Kr などの放射性希ガスを脱気して純油の純化に使用されている (写真4)。マイクロバブルの気液混合接触により、純油中に含まれる超低濃度 ($0.1 \sim 30\text{mBq/m}^3$) の Rn や Kr をほぼ気液平衡値で放散することができる。

3-4. 海水中のラドン測定装置

また、海洋研究開発機構 (JAMSTEC) の海洋地球研究船 (海洋調査船) である「みらい」にも、ミュリアクターは搭載され、海水中のラドン (^{222}Rn) の連続測定に使われている。「みらい」は、最新鋭の海洋観測機器を搭載し、国内では最大、世界的に見ても屈指の有力な海洋調査船である。荒れ狂う南極海で船が 30° 傾斜してもラドン 222 の放散機能を損なわずに連続測定を可能にしたのは、MU-SSPW のらせん状の 180° 捻りの羽根体のダイナミックな働きによるものであった。この証明は大きな成果で

あった。

3-5. 有機塩素系化合物を含む廃水の処理装置

化学工場から排出される有機塩素系化合物を含む廃水処理に、MU-SSPW は使用されている。その仕様は、廃水中に Ca, Mg 系化合物および有機塩素系化合物が含有している。その廃水量は 600m³/hr, 塩素系化合物の入口濃度は 200~500wtppm である。MU-SSPW を内蔵した減圧蒸留塔 (写真 5) は、蒸留塔の下部から水蒸気を、上部から廃水を MU-SSPW に供給して向流で気液接触・混合・放散の操作が実施されて、液相側から気相側に物質が移動される。塔は、直径 1500mm, 高さ 18m の自立塔である。理論計算段数は 8 段のところ、実際は 5 段とした。さらに、Ca, Mg 系化合物による目詰まりもなく、20 年以上メンテナンスフリーで稼働している。MU-SSPW の放散効率は 85~95 % である。

3-6. 放射性汚染水の処理装置

福島原子力発電所の爆発事故により発生している汚染水の貯蔵タンクは日々増加している。この汚染水に含有していると予想される超微粒子の核分裂生成物は、²³⁹Pu, ²³⁸U, ²³⁵U, ⁹⁰Sr, ⁸⁷Rb, ⁹³Zr, ¹³⁵Cs, ¹²⁹I, ¹⁴⁴Nd, ¹⁴⁷Sm などが考えられる²⁾。

これらの核分裂生成物を含む放射性汚染水の処理方法は、

- 1) 蒸発濃縮法
- 2) 吸着法 (吸着剤としてイオン交換樹脂, 活性炭, モレキュラシーブなどがある。現在東芝製アルプスが活躍中である。)
- 3) 浮上分離法 (MU-SSPW を利用する。)
- 4) 液-液抽出法 (MU-SSPW を利用する。)
- 5) 稀釈法

などがある。このうち、MU-SSPW を利用した 3) と 4) について以下に簡単に述べる。3) の浮上分離法は、MU-SSPW を配置した曝気槽または放散塔を直列に多段に配置して汚染水を処理する。おのおの曝気槽から排出されるベントガス中の超微細な放射性物質は、ミュースクラバーで捕集回収される。浮上した放射性物質は濃縮化し、固化体として処分される。この利点は、新たな放射性廃棄物を増やさないことである。つまり、「無限循環」に陥らないシステムの提案である。

4) の液-液抽出法は、廃液を重液とし、抽出液としての有機溶媒を軽液とし、抽出塔の上部から重液を抽出塔の下部から軽液を各々供給する。抽出塔の



中心部に配置された MU-SSPW 内を重液と軽液は向流で接触・混合して、重液から軽液へ放射性物質は物質移動して、軽液は抽出塔の上部から、重液は下部から各々排出される。軽液は蒸留・濃縮されて高濃度の放射性廃棄物として、固化処理される。抽出液としては、TBP+ケロシンが考えられる。

このシステムの特長は、①抽出塔内に機械的可動部がまったくないこと、②メンテナンスフリーであること、③高性能であること、④省スペースであること、⑤抽出塔の中心部を空洞 (MU-SSPW の中心部に相当する。) にすることで、またその空間に中性子吸収材を配置することで、臨界反応を未然に防止できること、などがある。写真 6 は、重液と軽液との混合状態のモデルを示した。空気を軽液、水を重液として仮定した。放射性汚染水の処理方法で一番の問題点は、有機塩素系化合物、有機フッ素系化合物、有機水銀、ヒ素などによる「化学汚染」は、化学・物理的な方法、例えば、焼却、埋設、分解、元素結合による化学式の変換などにより無毒化は可能である。他方、放射性核種による「放射性汚染」は、核種に①中性子を照射して核反応による半減期の転換・短縮化を図る、②放射性崩壊による寿命を待つ。①の核反応は種々の核種に合致したエネルギーを必要とする。なぜなら、アインシュタインの質量とエネルギーは等価であるという $E=mc^2$ の哲学に制約される。新しい解を発見することは可能だろうか。

4. 展望

今回は MU-SSPW の水処理への応用について述べたが MU-SSPW は幅広い分野に適用性をもったエレメントであることは、当社のホームページ (<http://mu-company.com/>) から理解していただけたと思う。従来の処理方法では不可能であった過酷な条件下でのラドンの放散の実績は、大きな成果の一つであった。これを踏まえてさらなる高いハードルに向かってお客様と共同で鋭意努力を重ねているところである。

MU-SSPW でしかできない並流塔による操作，すなわち，反応・除塵・ガスのダイレクトクリーニングシステムへの採用を促進し，有効性を実感していただきたい。同時に汚れや詰まりにより，長年にわたって頻繁に清掃を繰り返すことが常態化した装置を，MU-SSPW に交換することで打破できることを説明していきたい。これらは旧態依然の方法の打破であり，つまり 100 年の歴史を有するトレイや充填物への挑戦であると認識している。わが社の挑戦の歴史はまだ 35 年。始まったばかりである。貸与したテスト装置から好ましい結果が生まれ，改善がひとつひとつ実現していく喜びを糧として挑戦を続けていく所存である。そして，わが社の使命である「地球環境の改善」，すなわち MU-SSPW による①高性能化による省エネルギー，②装置のコンパクト化による省資源・省スペース，そして③汚れや詰まりをなくしてメンテナンスフリーを達成することで貢献が可能と信じている。

5. 結び

以上，MU-SSPW を利用した実績例および応用例を述べてきた。廃水処理技術については特に水平型から垂直型への転換について詳しく述べた。また，これから問題になる放射性汚染水の処理技術についても試論を述べた。従来にない革新的な技術である MU-SSPW が，これらの問題解決に貢献できれば，技術者として，否一人の人間として，これ以上の喜びはない。皆様方のご協力ご指導をいただきながら，地球上のすべての生類に，「おいしい水」「安全な水」「さわやかな大気」を提供すべく，道なき道をらせん状に一步一步，着実に歩いていく所存である。

地下深く，不死身の高線量放射性廃棄物で構築されていく神殿に，われわれ人類は何を観て，何を求めていくのであろうか。

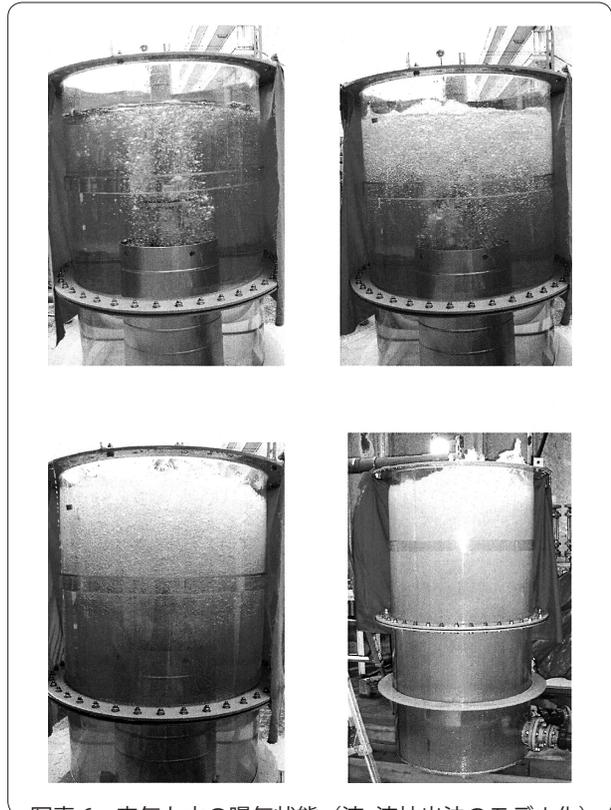


写真6 空気と水の曝気状態（液-液抽出法のモデル化）

「さくらさくらわが不知火はひかり凧」
(石牟礼道子『天』)

〈参考文献〉

- 1) 石井淑夫編集代表，『泡のエンジニアリング』，p. 69-470，テクノシステム
- 2) 『原子力工業』，p. 109-110，Vol. 18，No.7，1972年7月，日刊工業新聞社