

# 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\*<sup>1)</sup>、鈴木照敏\*<sup>2)</sup>、伊藤吉晃\*<sup>3)</sup>、池田 潤\*<sup>4)</sup>、牧 忠峰\*<sup>5)</sup>

 ミューカンパニーリミテド

技術提携 MU USA Corporation

## 1. はじめに

### 1-1. 水資源を取り巻く環境

近年、世界的な社会経済の発展とそれに伴う人口増加によって、水資源の需要に拍車がかかっている。そして、一部の地域では経済発展による著しい工業化と都市化によって、水質環境汚染が深刻化し、社会問題にもなっている。水は生活の基盤であり、持続可能な社会を維持するためには、水環境の整備は必須である。

このような状況下で、水処理技術の重要性がますます高まりつつあり、現在さまざまな水処理装置が開発されているが、その中でも弊社の製品は、従来の製品とは異なる原理で、省スペース・高性能・メンテナンスフリーを実現している。本稿では、まず水処理装置としての弊社製品の実績を紹介し、次に製品の核となる部分である MU-SSPW（ミュ静止型らせん状多孔翼）の原理を説明する。最後に、従来の水平型の水処理装置とは異なる「垂直型」の水処理装置を提案し、現在の水処理装置に一石を投じることになれば幸いである。

### 1-2. 本稿の構成

まず、2章で弊社の水処理装置に関する実績を述べる。3章では、自然の摂理を取り入れた弊社の水処理装置の原理を説明し、さらに、従来の水平型の水処理装置とは異なり、省スペース・高性能・メンテナンスフリーである弊社の垂直型の水処理装置の特長についても言及する。4章において、池や湖沼などの閉鎖水域で使用され、ミュアクアタワーおよびミュフローティングタワーを中心とする弊社の垂直型の水処理装置に関する説明を行い、最後の5章では、結論として締めくくる。

## 2. 弊社の排水処理・排ガス処理装置の主な実績

弊社の製品は主に排水処理および排ガス処理装置として使われてきたが、本章では主な実績を説明する。それぞれの装置には MU-SSPW エレメントという共通したエレメントが内蔵されている。MU-

\*1) Hisao KOJIMA：(株)ミュ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

\*1) E-mail：01150324kojima@mu-company.com

URL：http://www.mu-company.com/

SSPW は、MU Static Spiral Perforated Wings（ミュ静止型らせん状多孔翼）の略で、多孔体のらせん状の羽根体のことで、MU-SSPW から成るエレメントはそれらを複数段内蔵したスタティックミキサーである。MU-SSPW エレメントは混合・分離・吸収から蒸留操作まで幅広く採用されている。水質環境改善で、そのユニークさが大きな効果をあげている事例を紹介したい。

### 2-1. 曝気槽におけるエアレーション

はじめは排水処理の曝気槽のエアレーションの改善事例である。曝気槽のエアレーションには図1のごとく多くの方法がある。

これらはいずれも、①機器本体の汚れや詰まりによる故障が多い、②曝気槽の底部に汚泥が堆積し有毒ガス（ $H_2S$ 、 $NH_3$ 、 $CH_4$ ）が発生するので定期清掃を必要とする、③酸素利用効率が低い、④耐久性に欠ける等の欠点を持っている。

〈改善事例〉

4,300 $m^3$ ×2 槽の曝気槽において、表面曝気式を運転し長年にわたり臭気とミストの飛散に悩まされ

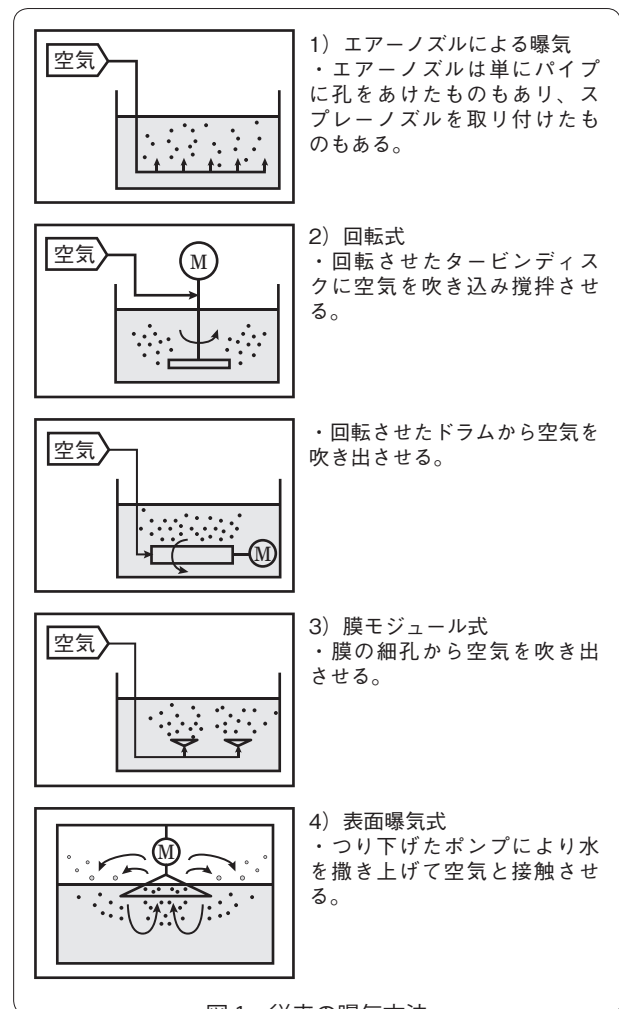


図1 従来の曝気方法

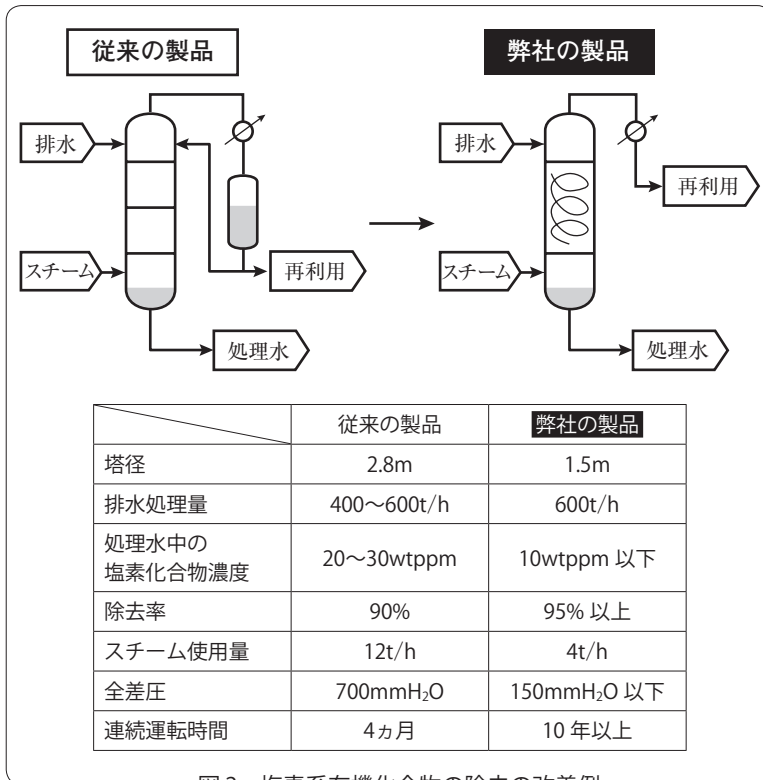


図2 塩素系有機化合物の除去の改善例

ていた。また、清掃は2年に1度行っていた。表面曝気式をやめ、ミューエアレータ（MA-125タイプ）によるエアレーションに変更したところ、臭気が大幅に減少し、ミストの飛散や有害ガスの発生はなくなった。さらに、清掃が不要になり、メンテ費用が大幅に削減され、電力コストが24%削減された。

## 2-2. 排水の脱ガス処理

次に排水の脱ガスに威力を発揮しているMU-SSPWの採用事例である。わが社としては創立以来35年の間に30基以上供給し、リピーターの多い装置である。代表的な応用例として、①排水中の塩素系有機化合物の除去、②かん水の脱ガス、③海水中のCO<sub>2</sub>の除去、④排水中のNH<sub>3</sub>の放散除去について説明する。

### 2-2-1. 排水中の塩素系有機化合物の除去

これはMU-SSPWの特長の1つである自浄作用がよく発揮され、大きな効果を生んだ事例である（図2）。

本ユニットはプロセス排水に含有されている塩素系有機化合物をシーブトレイを使った塔でストリップングし除去するのが目的である。この排水はカルシウム系物質を含んでおり、塔内で析出しやすく4ヵ月ごとに運転を停止し開放清掃していた。

詰まりやすいためにリボイラーは使用できず、塔底に直接スチームを吹き込む方式を採用していた。排水中に塩素化合物が300wtppm含有し、この90

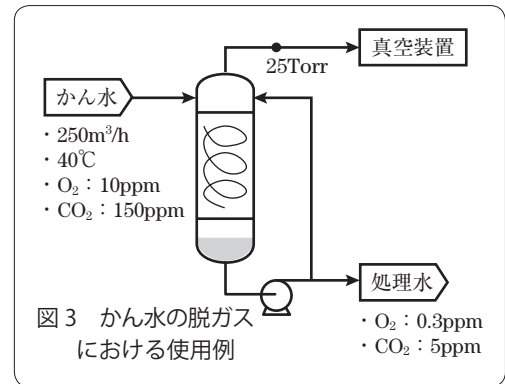


図3 かん水の脱ガスにおける使用例  
・O<sub>2</sub>: 0.3ppm  
・CO<sub>2</sub>: 5ppm

%以上を塔頂ヘストリップングして回収しプロセスで再利用している。塔は直径が2.8m、シーブトレイが8段あり、減圧水蒸気蒸留を行っている。塔内、特にシーブトレイのダウンカマー部の汚れの進行により塩素化合物の除去率が低下してくるので、還流率を増加させたり、排水処理量を減少させて対応しなければならず、ついには運転継続不可能となりユニットを停止し、開放清掃するというパターンの繰り返しであ

った。

シーブトレイをMU-SSPWエレメントに変更することにより、第一の目的である塔内部の汚れ、詰まりを解消することができ、長期安定運転が可能となった。改造後10年以上経過したが、塩素系化合物の除去率は95%以上を継続し安定した低差圧を保った運転を継続している。

以上のごとくメンテナンス費用、省エネルギー、塩素化合物の再利用増加により大きな相乗的な効果が得られた。

### 2-2-2. かん水の脱ガス

かん水（NaCl 20wt%含有）中のCO<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>を真空中で脱気している装置にMU-SSPWエレメントを採用した例である（図3）。この厳しい条件下で、詰まりがなく長期安定運転を継続していくことが高く評価されている（写真1, 2）。また、塔の材質を耐食性の金属からFRPにして、耐久性の長期化を達成し、初期投資の低減に寄与している。

### 2-2-3. 海水中のCO<sub>2</sub>の除去

これは排海水に溶解している100ppmのCO<sub>2</sub>を空気によって除去する操作の改善事例である（図4）。この操作には大規模な設備と大量の空気を必要とし、さらに塩により充填物が詰まり停止して清掃しなければならず多大なメンテナンス費用を要していた。

そこで、①充填物をMU-SSPWエレメントに交換する。②海水フィードラインにMU-MIXERを設

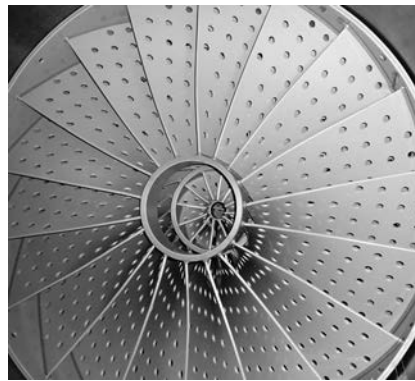
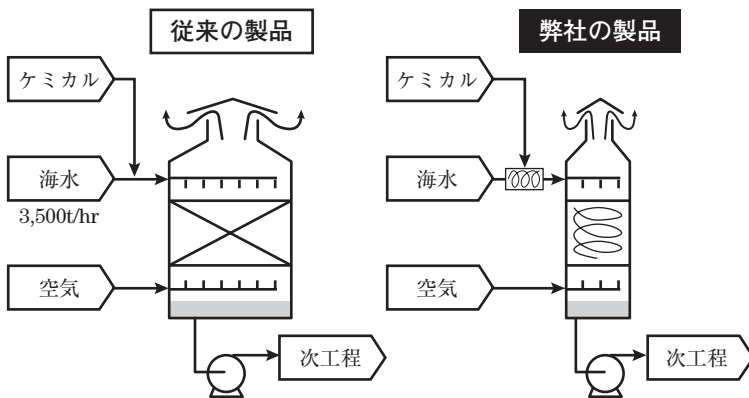


写真2 MU-SSPW エLEMENT

写真1 従来の脱気塔とミュー式脱気塔との比較



	従来の製品	弊社の製品
塔サイズ	Φ6.8m×8m <sup>H</sup>	Φ2.8m×8m <sup>H</sup>
充填物	不規則充填物 70m <sup>3</sup>	MS-SSPW Φ2.8m×2m
塔材質	CS+レジンライニング	FRP
インターナル材質	レジン	PP
全差圧	200mmH <sub>2</sub> O	100mmH <sub>2</sub> O 以下
空気使用量	—	60% 削減
電力使用量	—	60% 削減
ケミカル使用量	—	50% 削減
清掃頻度	1回/年	5年以上なし

図4 海水中の二酸化炭素除去における改善例

置し、pH調整を確実にする等の対策を実施した。

塩分によって汚れや詰まりが進行するために、装置の大型化を余儀なくされ、それにより気液接触が低下するので、維持するべく大量の空気が必要という悪循環になっていた。

MU-SSPWを導入することで汚れが解消し、この

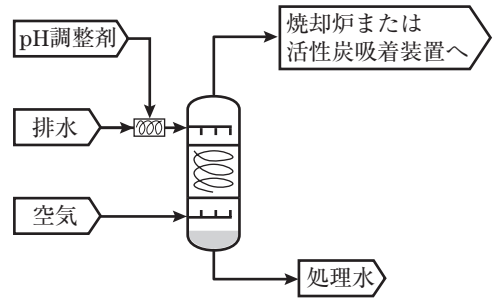


図5 アンモニアの放散除去のフロー

悪循環を断つことができ、小型化→空気吹き込み量の低減→省動力→長期安定運転の達成が可能となった。

#### 2-2-4. 排水中のNH<sub>3</sub>の放散除去

排水中のNH<sub>3</sub>を空気により放散させる塔にMU-SSPWエレメントを採用した(図5)。いずれも向流操作で塔内ガス流速を2~4m/sで設計できるので非常にコンパクトである。空気の代わりにスチームを使うスチームストリッピングもでき、いずれもNH<sub>3</sub>除去率は90%以上、塔内差圧200mmH<sub>2</sub>O以下である。

#### 2-3. 排ガス中のエタノールの除去

排ガス中の7,000volppmのエタノールを水に吸収させ、100volppm以下にする向流吸収塔である。次の使用のMU-SSPWを採用して、エタノール回収率98.5%以上を達成した(図6)。ガス空塔速度は3m/sで他の充填物ではフラッキング域にあるが、運転開始以来、数年以上の安全運転を継続している。図6が塔の仕様である。

#### 2-4. 養殖への応用

排水処理にミューエアレータを採用する例を紹介したが、最近では魚やエビの養殖にも応用され始めている。これはマイクロバブルの発生による高い酸素利用率のマイクロバブルエアレータと、らせん流による攪拌力の高いミューエアレータを使い分けている事例である。

養殖池は図7のような水車によるエアレーションが多く採用されている。この欠点は、①酸素溶存率が低い(3~4ppm)こと、②池の底部にエサや排泄物が堆積し、腐敗により有毒ガスが発生し池が汚染され薬品の消費が増加することである。

養殖するエビや魚の種類によってエアレータのタ



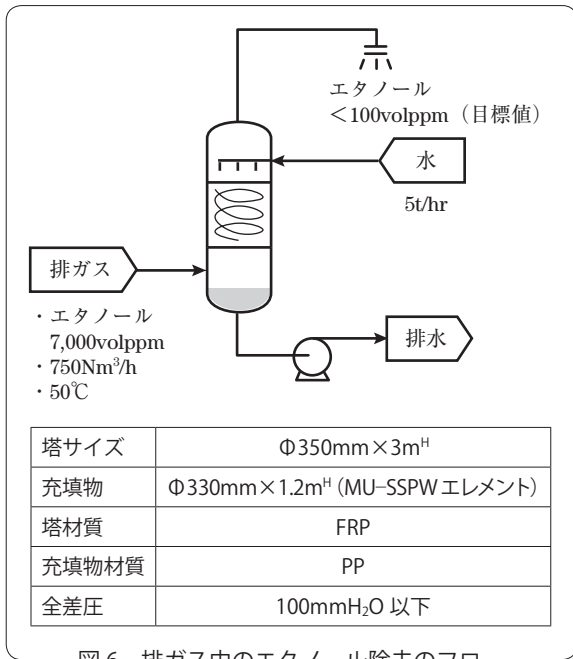


図6 排ガス中のエタノール除去のフロー

イプを使い分けることが重要である。むやみにエアレーションを高めたり、マイクロバブル化すればよいというものではない。排水処理とは違ったユーザのノウハウがあり、相談しながら最適化を図っている。

#### 2-4-1. 魚（回遊魚）の養殖池のエアレーションの改善

ミュエアレータ（MA-125）を深い池の底部に設置し、らせん流を与える（図8）。これはオーストラリア、ペルー、ベトナムで採用されている。前述の欠点をなくし、シンプルで魚にやさしいと好評である。

#### 2-4-2. エビの養殖池のエアレーションの改善

エビの生態を考慮して2槽式としている（図9）。前槽で多量にマイクロバブルを発生させた水を、ゆるやかに攪拌させたエビの養殖池に供給させる方式である。これはインドネシア、タイで採用されている。

#### 2-4-3. 出荷前の生け簀のエアレーション

出荷10日前に養殖池から浅い生け簀（10m<sup>3</sup>）に魚を移して出荷の準備をする（図10）。オーストラリアの生け簀のエアレーションにMA-25が使用されている。

### 2-5. 小結

上記の実用例からわかるように、弊社製品を導入することで、設備の小型化、省エネルギー、メンテナンスフリーを実現することで、設備の初期投資やランニングコストの削減に寄与できた。今後も引き続き、さらなる改良を行うことで、性能向上を図り、

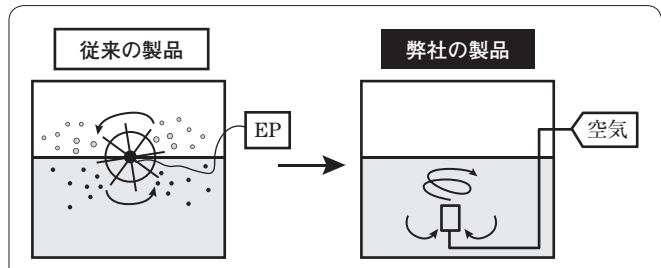


図7 養殖池における曝気方法比較

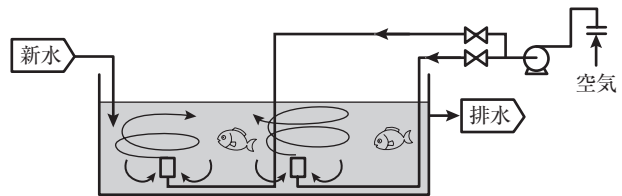


図8 魚の養殖池における曝気改善事例

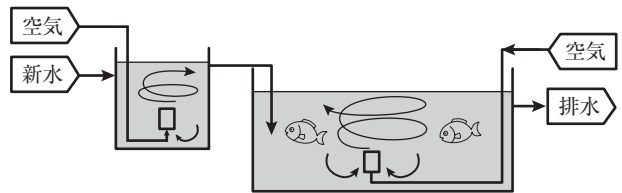


図9 エビの養殖池における曝気改善事例

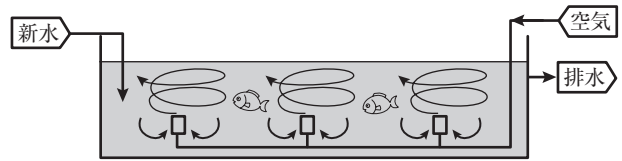


図10 出荷前の生け簀における曝気改善事例

弊社製品の応用範囲も拡大していく所存である。

## 3. 弊社の水処理装置の原理

本章では、まず弊社製品の発想のもとになった滝について考察する。その後、滝と弊社製品の関連性について述べ、弊社製品の原理について説明していく。そして、弊社製品の特長を説明し、応用範囲にも触れる。

### 3-1. 滝の物理的な作用

滝は落差という位置エネルギーと、岩の表面の凹凸の相互作用によって、水を破碎させる。滝において、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、それにより流水は小さな粒となり、さらなる衝突により微細な粒子となり、そして霧になっていき、空気中に滞留する。南アメリカのギアナ高地に、エンジェルフォールという落差979mの世界最大の滝がある（写真3<sup>1)</sup>）。その滝では、落下の過程で水が幾度となく岩にあたり細分化され、水が落下



写真3 エンジェルフォール（ベネズエラ）

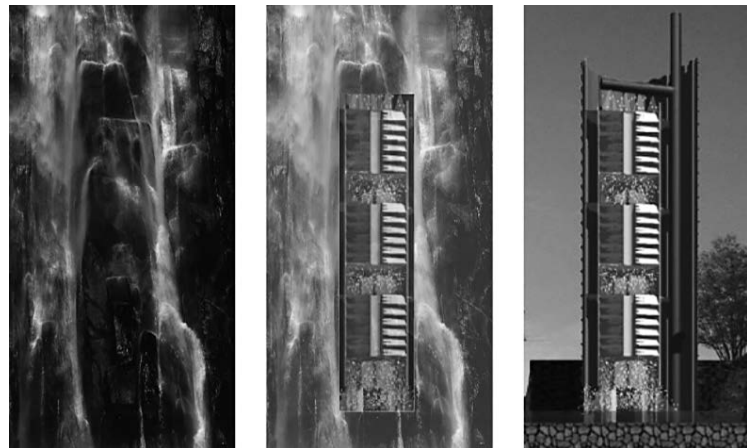


図11 滝とMU-SSPWとの比較

し下に行きつくまでに微細化された水が空気と絡み合い、霧として空気中に漂うことで、滝の流れが途中で消えてしまう。つまり、この滝には滝壺が存在しない。落差と岩の凹凸によって流水が霧に変わる。流水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が常に更新しながら増大するということを意味している。

### 3-2. 滝とミューミキシングエレメントの関係

滝の持つ水の細分化と、そのことによる気液相の接触界面積の増大という自然の摂理を人工的かつ効率的に作り出しているのが、ミューアクアタワーである（図11）。ミューアクアタワーは地上に設置される塔状の水処理装置である。ミューミキシングエレメントが積層され、その中を水と空気が通ることによって、水に空気中の酸素が取り込まれる。水の流れとしては、まず、水はこの装置の上部までポンプでくみ上げられ、何層にも重ね合わさったミューミキシングエレメントの中を通過する。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、そのことが水への大量の酸素溶解を促進させている。ちょうど、この装置に内蔵されているミューミキシングエレメントが滝の岩肌に相当する部分である。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。

### 3-3. 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、このミューミキシングエレメントによって、流体の位置エネルギーによって生じる単なる落下の衝突エネルギーを、さまざまな方向の無数のせん断力に変換することで液体が細分化され、それによって気液相の接触界面積が増大される。ミューアクアタワーには複数のミューミキシングエレメントが塔内に配置され、円筒状の静止

型流体混合器（スタティックミキサー）を形成している。このエレメントは、この製品ひいてはミュー社製品の心臓部分でもある。それでは、ミューミキシングエレメントとは一体どのようなものだろうか。エレメント内部には複数枚の多孔の羽根体が、らせん状に配置され、エレメントの軸中心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、しかもらせん状に配置されている。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。

### 3-4. ミューミキシングエレメントの原理

それでは、なぜ多孔体のらせん状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ことによって、流体には、羽根体に沿った渦流に加え、羽根体の表面を流れる方向とは異なる流れが加わる。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、らせんというフォルムに注目してみると、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、この孔を通り一段下のらせん状の羽根体に落ちる。

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ちるときには、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量が多ければ多いほど、羽根体表面を流れていた流体が孔から落ちて、その下にある羽根体に落ちる回数が多くなる。

つまり、円筒の単位体積あたりの羽根体の量が多ければ、一つのミキシングエレメント内を流体が通過するとき、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増えることになる。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、羽根体の枚数が多ければ多いほど、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、前述の通りミューミキシングエレメント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によって、外周部側はミューミキシングエレメントの円筒の内側表面に羽根を溶接することによって固定されている。中心部分にはリングが配置されるので、ミューミキシングエレメントの軸方向の中心部には、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。そうするとどのような現象が起こるかというところ、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。

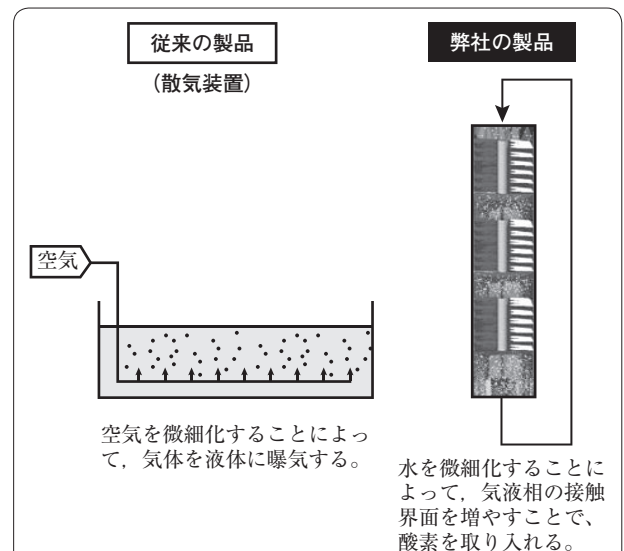


図12 水平型曝気装置(散気装置)と垂直型曝気装置(ミューアクアタワー)の比較

ここで一度、ミューミキシングエレメントを構成している多孔体のらせん状の羽根体の特長を整理する。まず、多孔体のらせん状の羽根体により、流体にさまざまなせん断力が働くことになる。羽根体表面から孔に落ちる時や、羽根体表面を流れる流体にその上部から孔を通して落ちてきた流体が衝突する場合や、そして軸中心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大きくなっていく。

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も、流体の細分化が促進される。ミューミキシングエレメントは、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。

### 3-5. ミューアクアタワーの特長

#### 3-5-1. 高性能・省スペース

ここでは、ミューミキシングエレメントを内蔵するミューアクアタワーの特長について考察する。

ミューアクアタワーの一番の特長は、ミューミキシングエレメント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、曝気能力を増大させることである(図12)。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やしている。つまり、気体を液体に注入するのではなく、





写真4 滝の詳細

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が液体に溶け込んでいた場合に、効率的に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。

#### 3-5-2. 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4)。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作用を持っている。

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、岩の表面をきれいにもしている。水の破碎は、その表面を掃除する働きもある。このことは、

ミューアクアタワーにも当てはまる。流水がミューミ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きれいにする。このようにして、水が分割されることによって、羽根体がきれいになっていく。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。

#### 3-6. 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の特長は、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ことになる。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、浮かべ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、その他にも、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気中に放散する(アンモニア・ストリッピング)際にも威力を発揮する。次章では、垂直型のエアレータであるミューアクアタワーがどのように応用されているかを見ていく。

### 4. ミューミキシングエレメントを用いた水質浄化装置

#### 4-1. 種類とメカニズム

ミューミキシングエレメントを用いた水質浄化装置の一覧を紹介する。

図13はそれぞれの水質浄化装置の利用状況をイメージ化したものである。ミューミキシングエレメントを用いた水質浄化装置には「ミューアクアタワー」、「ミューグリーンリアクター」、「ミューフローティングタワー」の3種類がある。

「ミューアクアタワー」は、複数個のミューミキシングエレメントを積層してタワー状に組み立て、



そこに循環水ポンプによって湖などから汲み上げた水を自然落下させて「人工の滝」を作り、効率的に水質浄化を行う装置である。水の自由落下による酸素溶存効果を活用して水の活性化を行うと同時に、落下水とミューミキシングエレメントの衝突における水粒破碎効果によって、酸素吸収効率を増大させている。なお、設置場所としては湖岸など水質改善域の周辺部に設置するケースが多い。

「ミューグリーンリアクター」は湖底などに沈めて設置するタイプの水質浄化装置である。新鮮な加圧空気をルーツブロー、コンプレッサーなどによって水中に設置した装置底部に送り込み、マイクロバブルを発生させることで水質の酸素富化及び活性

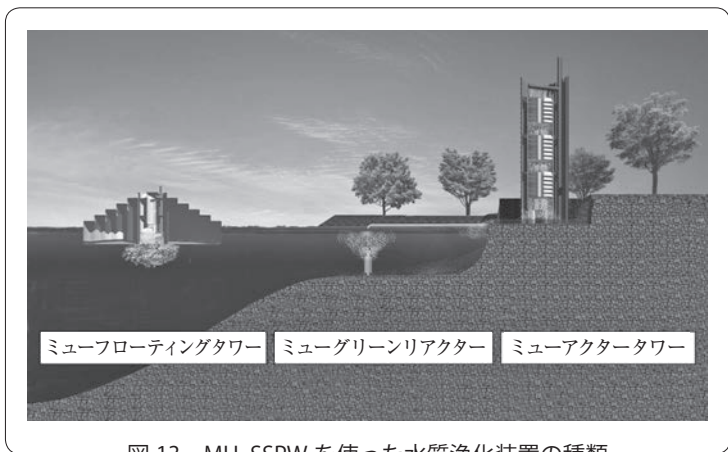


図 13 MU-SSPW を使った水質浄化装置の種類

化を行う。装置底部に圧送された空気は浮力で水面へと浮き上がってくるが、その途中に何段にも配置されたミューミキシングエレメントを通過するたびに気泡が細かく砕かれ、マイクロバブルを生成して水中に酸素を溶け込ませやすくしている。

「ミューフローティングタワー」は、これらの装

図+名称	 ミューグリーンリアクター	 ミューアクアタワー	 ミューフローティングタワー
構造	発振素子と複数枚の螺旋状の羽根体を内設した高性能散気筒。	ミューミキシングエレメントを配置した浄水塔上部から循環液を供給し、落下エネルギーを利用して大気吸引し、気液混合・接触を行う散気塔。	浮体によって水面に浮いた状態で本体中にミューアクアタワー、あるいはミューグリーンリアクターを併設した散気塔。太陽光発電により自家発電を行う。
方式	エアリフトで吸引した液体と加圧空気をミキシングエレメント内で強力に混合・攪拌させて煙霧状の気液混相流を作る散気方式。水中設置型。	液体の位置エネルギーを利用した新しい散気方式。ダム放水および滝を連想していただきたい。地上設置型。	アクアタワー型、ケーシング型、エアリフト型、グリーンリアクター型の各種あり。水上浮体型。
型式	MGR-300~MGR-1800	MAQ-500~MAQ-1800	
気泡状態	超微細	微細	超微細・微細
酸素移動効率 EA %	8~24	2~5	2~6
酸素移動動力効率 kg・O <sub>2</sub> /kWh	2.3~3.6	—	—
長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>閉塞に強い。</li> <li>攪拌力およびせん断力は強力。</li> <li>設置工事が簡易。</li> <li>マイクロバブルを生成する。</li> <li>液体用加圧ポンプは不要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>閉塞に強い。</li> <li>循環液量は大容量。</li> <li>地上設置工事が簡易。</li> <li>加圧空気用ブローは不要。</li> <li>マイナスイオンが生成できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>閉塞に強い。</li> <li>循環液量は大容量。</li> <li>水上での移動が可能。</li> <li>水深の深い所の水質浄化が可能。</li> </ul>
短所	特になし	特になし	特になし
備考	<ul style="list-style-type: none"> <li>供給空気量は 2~100m<sup>3</sup>/min である。</li> <li>ガス質量速度は 3.2×10<sup>3</sup>kg/m<sup>2</sup>h である。</li> <li>材質は SS, SUS, Ti, ハステロイ, P.P, PVC 等。</li> <li>ガス吸引, ガス放散等に使用可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>液質量速度は 4.0×10<sup>2</sup>kg/m<sup>2</sup>h である。</li> <li>循環液量は 50~1,000m<sup>3</sup>/h である。</li> <li>材質は SS, SUS, P.P, PVC, FRP 等である。</li> <li>モニュメンタル造形と水浄化のコラボレーションに最適である。</li> </ul>	※ミューグリーンリアクター, ミューアクアタワー欄を参照。

図 14 水質浄化装置の性能比較表

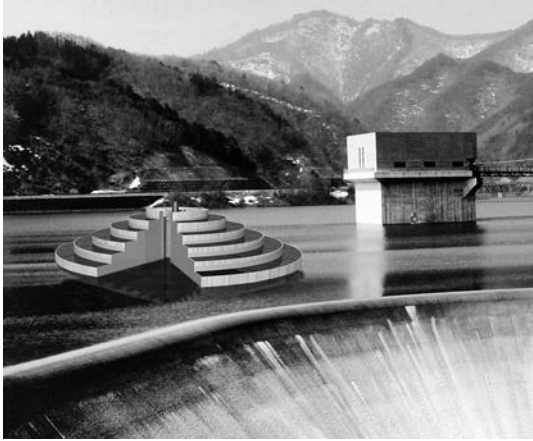


図15 ミューフローティングタワーの設置イメージ

置をさらにコンパクトにして水上に浮遊させるタイプのものである。小型化した「ミューアクアタワー」を搭載したタイプと、水中ケーシング内に「ミューグリーンリアクター」を併設したタイプの2系統がある。両者とも船のように水上に浮かべることができるので、装置自体の移動が簡単で広い範囲の水質浄化への対応が可能である。「ミューフローティングタワー」の構造、種類等については以下に詳述する。図14には、それぞれの水質浄化装置の性能比較表を提示した。3種類の装置とも水の自然落下や気泡の浮力上昇など自然の力を最大限利用しているため、無駄なエネルギー負荷を極力排除することが可能になっている。世界的なエネルギー不足が深刻となってきているこれからの時代に即した未来的な水質浄化装置であるといえる。同時に、いずれの装置の場合もコンパクトな設計が施されており、省スペース、省エネルギー、メンテナンスフリーであり、また生態系にも影響を及ぼさないものになっている。

#### 4-2. ミューフローティングタワーの使用域

今世紀における水環境問題の最大の課題は水が循環しにくい湖沼などの閉鎖性水域での水質改善にあると言われている。近年、河川等での各所の水質改善は進んできたが、湖沼等の閉鎖的な広い水域での水質改善については、多大なエネルギーコストが必要となるために、効果的で有効な方法の確保が難しいとされてきた。

「ミューフローティングタワー」はこのような湖沼やダム湖、沿岸

海域などの閉鎖性水域での広域水質浄化に有効な装置として開発検討されている。

#### 4-3. ミューフローティングタワーの基本構造

「ミューフローティングタワー」は船のような構造を持った浮体の一部に、小型化した「ミューアクアタワー」や「ミューグリーンリアクター」を組込んだ水質浄化装置である。「ミューグリーンリアクター」を組込む場合には水中に二重管を挿入し、エアリフト効果によって水の循環とマイクロバブルを生成させる。

図15に「ミューフローティングタワー」の設置イメージを示している。自在に水面に浮かべることができるので、特に水深の深いダム湖や湖沼、広域の沿岸閉鎖海域などでの設置が容易で、広範囲での利用が期待できる。また、本体部分上部に太陽光・風力発電装置を併設することによって電力の自家発電を行い、揚水や空気の圧送のための電力を賄うことができる。今後このシステムを実現させることによって、半永久的な水質浄化システムを構築していくことも可能であると考えている。

#### 4-4. ミューフローティングタワーのバリエーション

図16に「ミューフローティングタワー」の種類及びバリエーションを示した。以下にその概要を示す。

##### ①アクアタワー型

小型化した「ミューアクアタワー」を装置中央部に搭載し、揚水ポンプで吸い上げた水をその上部から落下させ、ミューミキシングエレメントを通過させることで水の浄化を行う。比較的水深の浅い水域に有効と考えられる。

##### ②ケーシング型

装置中央部の水中ケーシング内にミューミキシン

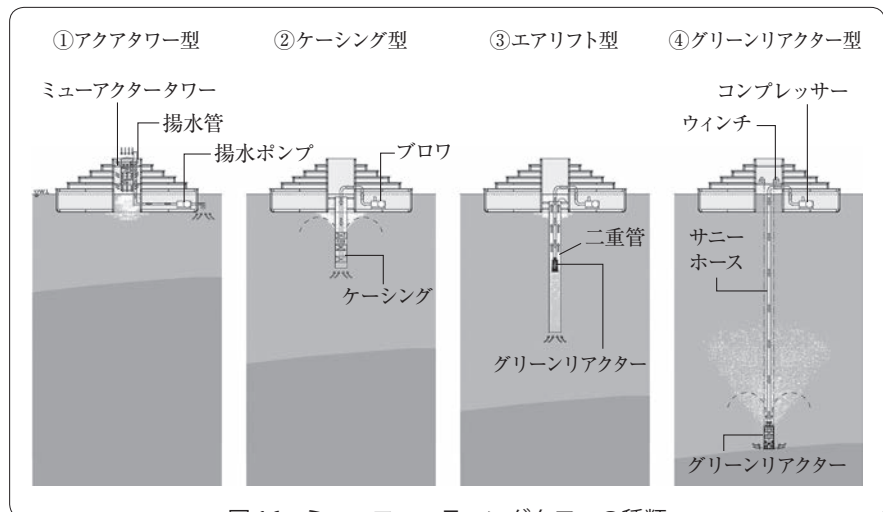


図16 ミューフローティングタワーの種類

グエレメントを設置し、ブロワによって圧送された空気を水中ケーシング底部から吹出すことで、マイクロバブルを生成させる。比較的水深の浅い水域に有効と考えられる。

### ③エアリフト型

ブロワによって圧送された空気を装置中央部の二重管内に設置された「ミュージーグリーンリアクター」に送り込み、エアリフトによって大容量のマイクロバブルを生成する。比較的水深の深い水域にも対応が可能である。

### ④グリーンリアクター型

装置に据付けられたウィンチによって「ミュージーグリーンリアクター」を水域底面迄沈め、そこにブロワによって圧送された空気をサニーホースで送り込む。水域最深部からマイクロバブルを発生させることができるため、大容量の水質改善が可能となる。

#### 4-5. ミューフローティングタワーの長所

以上述べてきたように「ミューフローティングタワー」は移動性、省エネルギー性、バリエーションの豊富さ等において様々な活用展開の可能性を持っている。さらに、装置が非常にコンパクトなことやメンテナンスフリーであること、自然生態系にもやさしいことなどのメリットも併せ持っている。

また、シンプルで良質なデザインであることから、湖沼や沿岸海域などにおける景観上の問題も回避できるものと思われる。ヒューマンな時間スケールを超えた永久的な水質浄化装置として各所で活用されることを望んでいる。

#### 4-6. ミューグリーンリアクターとミューアクアタワーの併用による相乗効果

ミュージーグリーンリアクターは、強力な循環流を生成することができるので、面積の大きな閉鎖水域では、ミューアクアタワーはミュージーグリーンリアクターと併用することで、より効率的に溶存酸素を上昇させることができる(図17)。図17は、上流側から①調整槽、②曝気槽、③沈澱槽から構成されている。②曝気槽内には④ミューアクアタワーと⑤ミュージーグリーンリアクターが各々配置されている。また、ミューアクアタワーは、 $O_3$  ガスを注入することでオゾン処理装置、または空気を導入することで $NH_3$ 、 $H_2S$  ガスなどの放散装置としても利用可能である。

## 5. 結び

「滝は 怒濤は 何故白く観えるのか」を発想の

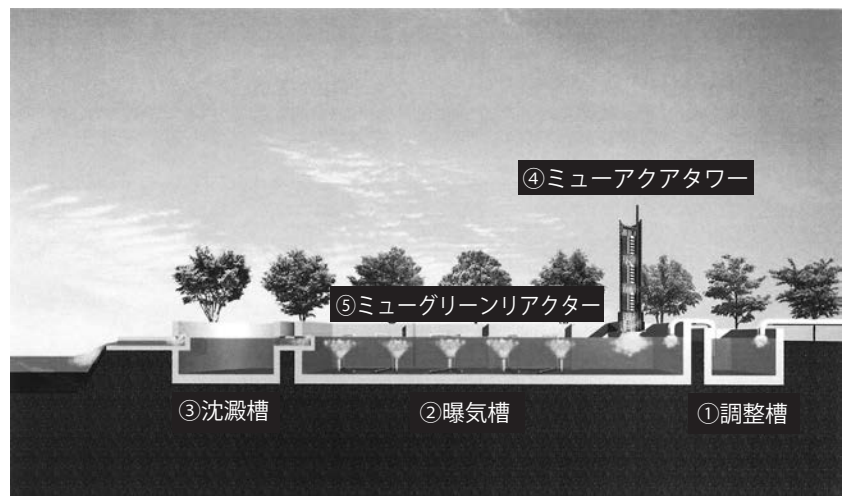


図17 ミューアクアタワーとミュージーグリーンリアクターの併用

原点にして、35年間、地球環境保全に貢献すべく、高性能・メンテナンスフリー・省エネルギーに優れたMU-SSPWの研究・開発に、一步一步着実に歩んできました。MU-SSPWの水分野での実績はいまだ少数ですが、太陽光、風力などの再生エネルギーと、滝理論から生まれた自然落下エネルギー、位置エネルギーを融合させて、如何に水処理に応用可能かを述べさせていただきます。

水平型から垂直型への変換を夢見て、自然循環によるリサイクル、再生、共生に想いを寄せながら、日々努力をしていく所存である。

いま 海は凧っている。

「さくらさくらわが不知火はひかり凧<sup>2)</sup>」(石牟礼道子『天』)

#### 〈参考文献〉

- 1) <https://www.flickr.com/photos/ent108/2184549701/in/gallery-flickr-72157644747506520/>(2018年6月1日)
- 2) 生から死へ直線的に存在している「人類」ではなく、いま此処に在るいのちの不思議さを慈しみながら、永遠回帰と再生を円環的に繰り返す存在である全ての「生類」を静かに語る石牟礼道子の詩である。

※本論文は雑誌『化学装置』(発行:株式会社工業通信)2018年8月号、pp33~42からの抜刷です。本文の一部を訂正及び追記しております。お詫び申し上げます。