

短期連載

環境時代の設計・製造・エンジニアリング技術

—大気汚染防止装置・水環境保全装置—

第2回

ミューミキシングエレメント®を用いた 水質浄化装置による水質保全

株式会社 ミューカンパニーリミテド 小嶋 久夫*1、池田 潤*2

水質環境汚染の現況

近年、著しい工業化やそれに伴う人口増などによって、世界各地で水の循環しにくい湖沼や閉鎖性海域などでの水質環境汚染が問題化している。特に開発途上国や経済発展地域において問題は顕著であり、例えば中国の名勝地である太湖周辺(江蘇省、浙江省)では急速な都市化や産業化が進行している影響で湖水の水質環境が急激に悪化し、公害が発生して大きな社会問題になっている。

日本においても近年、環境保全の視点から河川などの水質改善は進んできたが、湖沼を始めとした閉鎖的な広い水域での水質改善に関しては、依然、多大なエネルギーコストを必要とすることな

どから効果的で有効な方法が確立されるまでには至っていないのが現状である。

ミューミキシングエレメントについて

ミューミキシングエレメントを用いた水質浄化装置は、このような湖沼・ダム湖や閉鎖性海域などの広域水質浄化に有効な装置として開発されている。ミューミキシングエレメントは当社独自開発の水質浄化装置である。構造的には攪拌動力を必要としないスタティックミキサー(静止型流体混合器)であり、その機能性および効率性のよさから、従来のスタティックミキサーの概念を越えた革新的なスーパースタティックミキサーと呼ぶことができる(図1)。

ミューミキシングエレメントは右回転または左回転の螺旋状の多孔体の攪拌翼を交互に配置してミューミキサーを構成している。成分、濃度、温度、粘度などの異なる複数種類の流体がミューミキシングエレメント内を連続的に通過するとき、液体はミューミキシングエレメント内を連続的に通流するたびに、分割・回転・反転・合流および管軸・半径方向でのせん断作用を繰り返しながら、無動力で完全に混合・攪拌される。

水質浄化を目的として使用する場合には、水と気体(酸素)がミューミキシングエレメント内を通流するたびに、連続的に微細化されながら気液接触しあうことによって効率的な混合を行うことが

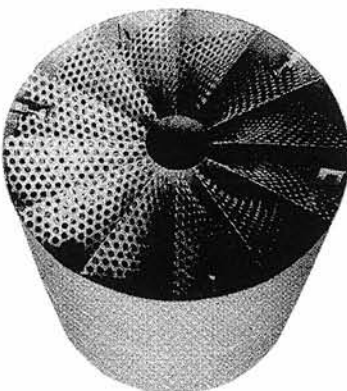


図1 ミューミキサー

*1こじま ひさお：代表取締役

*2いけだ じゅん：顧問

〒110-0007 東京都台東区上野公園18-8-306

☎03-3828-7090

できる。ミューミキシングエレメントは、この混合・攪拌効率が従来品に比べて飛躍的に優れたものとなっている。

ミューミキシングエレメントを用いた水質浄化装置の種類

次に、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2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。このメカニズムなどについては後で詳しく説明する。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

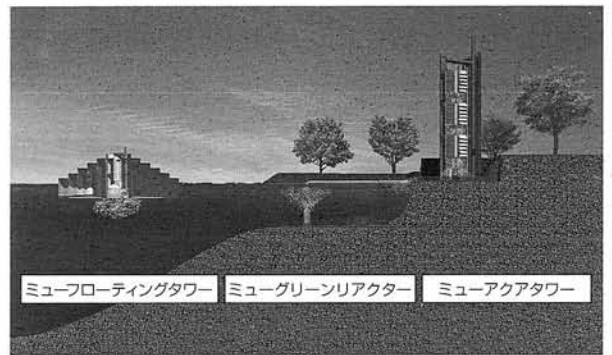


図2 ミューミキサーを用いた水質浄化装置の種類

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および活性化を行う。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、その途中で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、これらの装置をさらにコンパクトにして水上に浮遊させるタイ

	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
名称			
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塔	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の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%	8～16	2～5	
酸素移動動力効率 kg-O ₂ /kWh	1.0～1.8		
長所	<ul style="list-style-type: none"> 閉塞に強い 攪拌力およびせん断力は強力 設置工事が簡易 マイクロバブルを生成する 液体用加圧ポンプは不要 	<ul style="list-style-type: none"> 閉塞に強い 循環液量は大容量である 地上設置工事が簡易 加圧空気用ブローアは不要である マイナスイオンが生成できる 	<ul style="list-style-type: none"> 閉塞に強い 循環液量は大容量である 水上での移動が可能 水深の深い所の水質浄化が可能
短所	特になし	特になし	特になし
備考	<ul style="list-style-type: none"> 供給空気量は 2～100m³/h である ガス質量速度は 3.2×10kg/m³/h である 材質は SS、SUS、Ti、ハステロイ、P.P、PVC など ガス吸引、ガス放散などに使用可能 	<ul style="list-style-type: none"> 液質量速度は 2.5～4.5kg/m³/h である 循環液量は 50～1,000m³/h である 材質は SS、SUS、P.P、PVC、FRP など モニュメンタルな造形と水浄化のコラボレーションに最適 	※ミューグリーンリアクター、ミューアクアタワー一欄を参照。

図3 水質浄化装置の比較表



図4 那智の滝

図3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、ムダ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言える。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。

ミューアクアタワーのメカニズム

1. なぜ滝は白く見えるのか

図4は和歌山県熊野地方にある「那智の滝」の写真である。水は本来透明なものであるが、滝を勢いよく流れ落ちる水は真っ白に変色して見える。これは一体なぜなのだろうか。その原理を読み解くことがミューアクアタワーのメカニズムの解明につながる。

滝の水が白く変色して見えるのは、滝の水粒が落下する際に周辺から多くの空気(以下、酸素という)を取り込んでいることによるものである。またその際同時に、滝を流れ落ちる水は岩肌につかり細かく砕け散る。このとき、水粒が小さく砕かれるためその表面積が増加し、空気との気液接触界面積も増えるため、より水中に酸素を取り込みやすい状況が生み出されることになる。

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のもので、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ものの2種類がある。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。

この滝の「落下」と「破碎」の2つの効果は「滝効果」とも呼ぶことができるが、ミューミキシングエレメントはこの滝効果を最大限に利用した水質浄化装置であると言える。このミューミキシングエレメントを積層して人工的な滝を構成したものがミューアクアタワーである。

2. ミューアクアタワーの原理

ここで滝の原理と重ね合わせながら、もう少し詳しくミューアクアタワーのメカニズムを説明する。ミューアクアタワーにおける滝効果とは具体的には次に示す2つの酸素溶存効果を指している。

① 水の自由落下による酸素溶存効果

1つ目が水の自由落下による酸素溶存効果である。滝や堰などの落差がある場所では、水の落下に伴い、水の色が白く変色して見える。このとき、微細空間において、図5-①に示すような事象が生じている。水が落下するときにはニュートンの原理が働き、落下距離に応じて水の落下速度が加速される。その際、同図に示すように水の粒は Δt 秒後、 ΔH の距離を落下したときに、加速度による速度差が生まれ、水粒と水粒の間に真空域が生み出されることになる。すると、落下する水の周りから空気が真空域に向かって流れ込み、そこで空気と水粒が気液接触することによって混合され、水粒の中に酸素が取り込まれる。落下域で水が白く見えるのは酸素を取り込んだ水の粒が過飽和状態になっていることを意味している。このようにミューアクアタワーでは、水の自由落下による酸素溶存効果を最大限に利用している。

② 螺旋状の攪拌翼による水粒破碎効果

2つ目が岩肌などによる水粒破碎効果である。滝を流れ落ちる水は岩肌などにぶつかる白いしぶきになる。これは勢いよく落下する水粒が岩肌に当たった際に細かく砕かれ、より小さな水粒になることによって、水粒と酸素の気液接触界面積が増し酸素吸収効率が上がるためである。

ミューアクアタワーでは、図5-②のように細かな多量の穴のあいた螺旋状の攪拌翼が滝の岩肌に相当する役目を果たし、水粒がそこにぶつかり合うことでさらに細かい水粒を生み出すことができる。そのことが水粒と酸素の気液混合を加速さ

滝による浄化システム

アクアタワーによる浄化システム

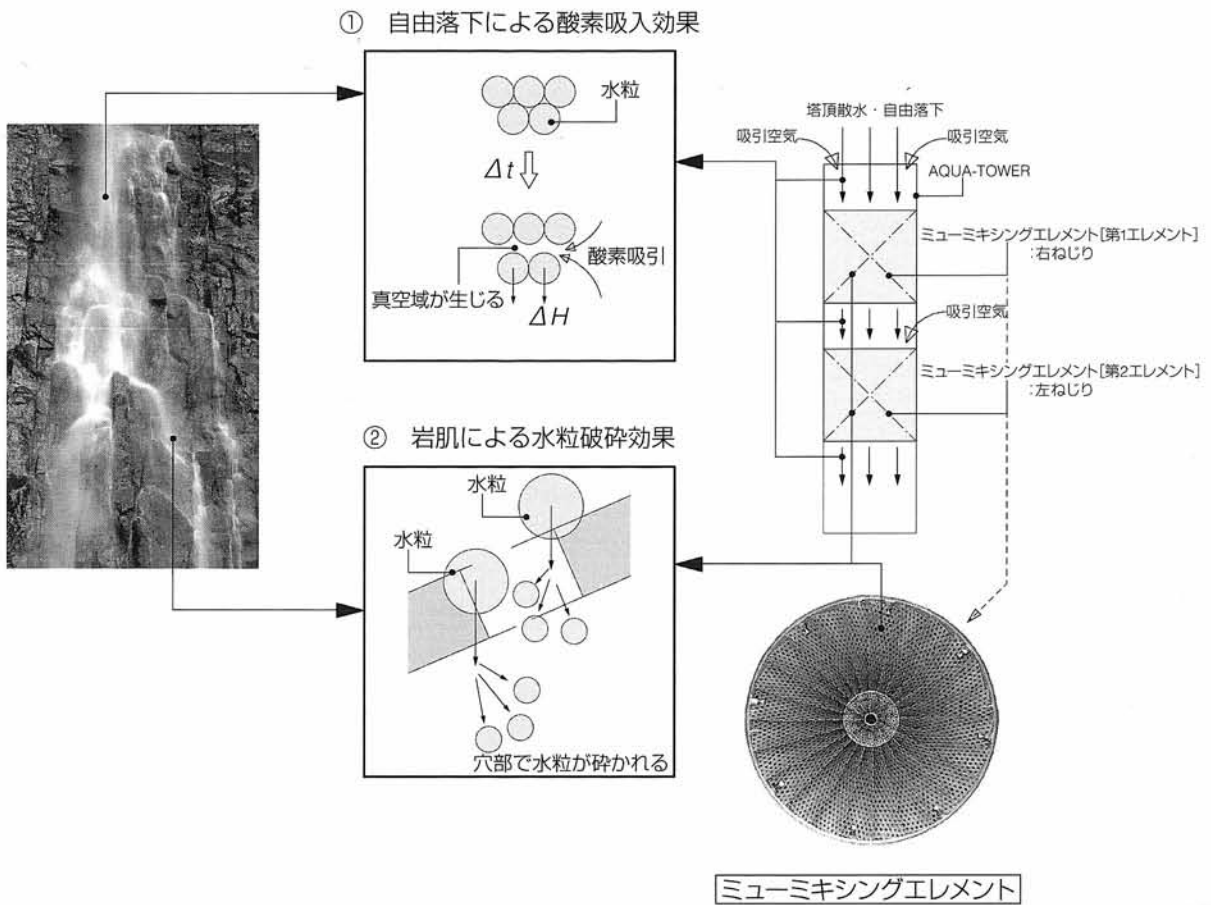


図5 ミューアクアタワーのメカニズム

せるのである。

3. ミューアクアタワーのデザインコンセプト

酸素を多く含んだ水は生態系にも活性化をもたらす水質の浄化作用につながる。また、この装置においては化学的な処理や動力的な負荷を与えることがいっさいないため、自然の生態系にもほとんど影響を及ぼすことがない。

図6はミューアクアタワーのデザインイメージ例である。外観デザインを整えることによって、景観を損なわない構築物とすることが可能であり、技術的にも景観的にも自然と調和した水質浄化装置として環境に同化させていくことができる。さらに、造型美と音楽を融合させたモニュメンタルとしても活用できる。

ミューグリーンリアクターのメカニズム

ミューグリーンリアクターはミューアクアタワ

ーと同様に、ミューミキシングエレメントを装置内部に積層させた構成となっているが、ミューアクアタワーが大気中に設置され、水の自然落下によって酸素と気液混合させる構造であったのに対し、装置を水中に設置し空気の浮力によって水の中にマイクロバブル化した酸素を溶け込ませる構造になっている。ミューミキシングエレメントという同じエレメントを用いながら、いわば、水面を基準にしてミューアクアタワーを反転させたようなメカニズムでできているとも言える。

水と空気を機械的に攪拌する水中曝気攪拌装置を不要とし、動力としてはミューグリーンリアクターの底部に空気を送り込むためのルーツブローもしくはコンプレッサー程度の設置で済むので、大変効率よく水質浄化を行うことができる。

図7はミューグリーンリアクターの実例写真である。すでに各所で実績を上げており、コスト

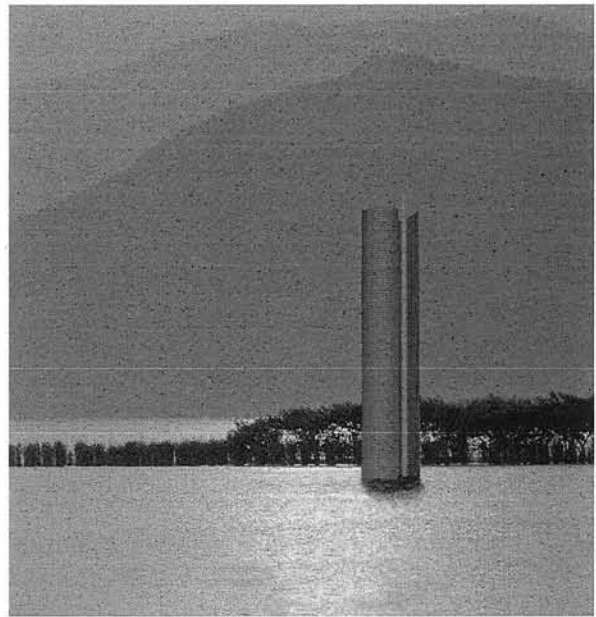
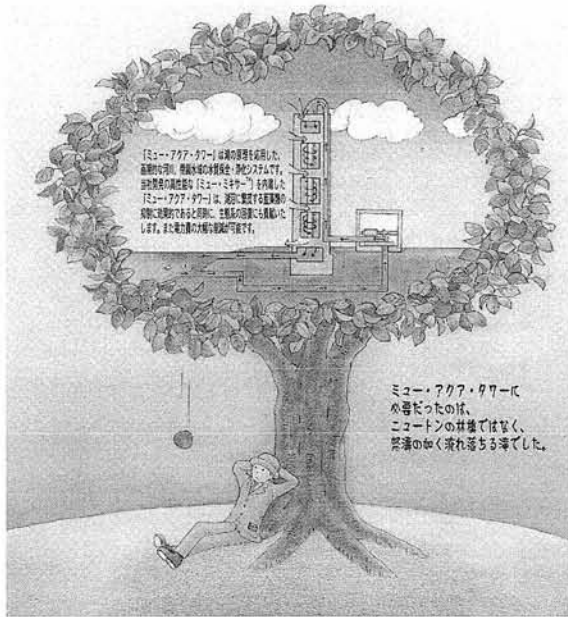


図6 ムーアクアタワーのイメージ

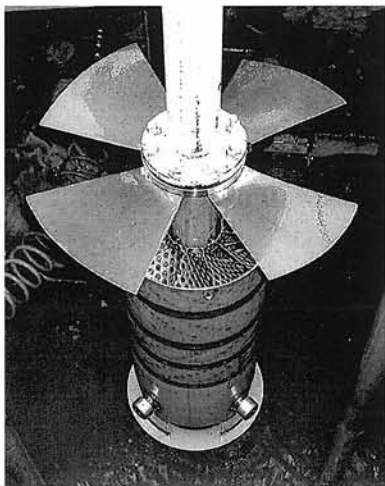


図7 ムーグリーンリアクター MGR-300

パフォーマンスに優れた水質浄化装置として認知されつつある。強制曝気装置などによる無理な機械的、電気的な負荷を加えることなく、図8に見られるような細かなマイクロバブルを瞬時に大量に発生させることができる。直径1,800mmで、空気量6,000m³/hが可能である。農業集落排水処理施設を利用して、回分式曝気試験を行い、回分式曝気槽装置として実用可能か試験を実施した。この試験は、太陽環境(株)と共同で実施をした。

1. 試験条件

- ・ 原水量：350m³/日
- ・ 曝気槽容量：165m³×2槽
- ・ 曝気槽形状寸法：5.8×5.8m
- ・ 水深：5.03m

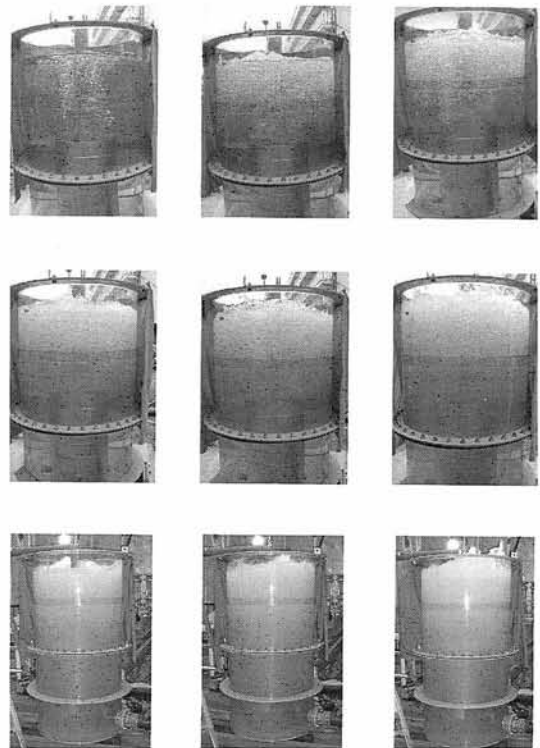


図8 マイクロバブルの発生状況

・ MLSS：3,300mg/L

2. 性能比較

性能比較を表1に示す。この試験結果から、

- ① 電力量は48%減の省エネルギーになる
- ② MGRは動力部分(回転体)がないため、メンテナンス費用はかからない
- ③ MGRは漏電、摩耗などの機器故障がない

表 1 回分式汚水処理(汚水温度15.5℃ MLSS3,300mg/L)

	曝 気 用		攪 拌 用		動 力		合計	酸素溶 存効率 (%)
	供給 空気量	ブロー ワー	水中エア レータ	水中 ポンプ	好気	嫌気		
既設水中 曝気攪拌 装置	1.0m ³ /min	2.64kW (定格3.7kW)	2.2kW	不要	4.84kW	2.2kW	7.04kW	12.1
ミュー グリーン リアクター MGR-300	1.0m ³ /min	2.64kW	不要	0.75kW	2.64kW	0.75kW	3.39kW	9.7

などの長所が判明した。なお、MGRは「バラスト水」および「上水」のオゾン処理に利用できる。

ミューフローティングタワーのメカニズム

ミューフローティングタワーは船のような構造をもった浮体の一部に、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み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み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9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。自在に水面に浮かばせることができるので、特に水深の深いダム湖や湖、広域の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、本体部分に太陽光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、水の揚水や空気の圧送を行うことも検討している。今後これ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。

ミューミキシングエレメントの思想

古来より日本における「技術」とは、自然と人間を柔らかくつなぐ性質のものであった。よく知られているように、治水技術における「信玄堤」などの発想は自然の地形を利用しながら水の力を無理なく逃がすことで洪水などの災害を防いできた。そこには人工の力だけで自然をねじ伏せるのではなく、自然に寄り添い自然の力を利用しながら人と自然が共存していく方法「智水」を探るというこの国特有の思想がある。また、オランダの北海に

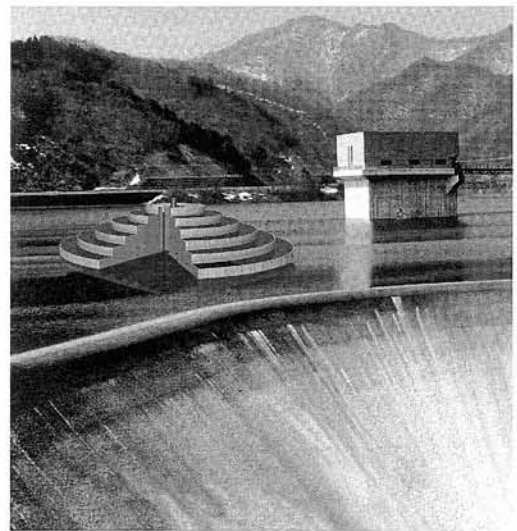


図9 ミューフローティングタワー

対峙してある堤防兼道路は「自然石」で構築している。そこには科学・技術と自然(歴史)との融合による人間の叡智が見られる。

ミューミキシングエレメントを用いた水質浄化装置の基本的発想の本質もまさにその部分にある。この国の豊かな自然の中にこそ、これからを担う「技術革新」の重要なヒントが隠されている。

“一水の流を参究し、不流を参究するに、万法の究尽たちまちに現成するなり。”

[永平道元：『正法眼蔵』山水経]

参考文献

- 1) A. Pasveer, S. Sweerie : A New Development in Diffused Air Aeration, Journal WPCF, September (1965), pp.1267-1274
- 2) 宗宮功編著：自然の浄化機構, pp.211-227(1990.5.25)、技報堂出版
- 3) 宇井純：パスフィーア先生、新公害原論(1997.6.25)、朝日新聞コラム