

生物脱臭装置 “ViviClean”

石川 洋二 溝田 陽子
辻 博和

Biofilter "ViviClean"

Yojii Ishikawa Yoko Mizota
Hirokazu Tsuji

Abstract

The biofilter “ViviClean” has been developed as one of our air purification systems. Small scale preliminary in-house experiments have led to development of a new ceramic substance which can efficiently hold microorganisms around itself and consequently decompose odorous gases. The newly manufactured larger scale apparatus has been applied to actual odor emitted from a waste water treatment facility of a food factory in Ibaragi prefecture to verify its performance. The odor to be removed is mainly composed of hydrogen sulfide and methylmercaptan, which are removed by 99% and 78%, respectively. “Odor concentration” which is considered as a measure of odor sensed by humans is removed by 96%. The results also show that the removed sulfur compounds and sulfates which are drained from the apparatus are equal in molar quantity, indicating that the odorous gases are certainly treated by microorganisms. “ViviClean”’s removal efficiency and load performances can be used as design criteria for real-size manufacturing. “ViviClean” shows high empty column velocity of 360 l/hour, showing that its performance compares favorably with that of other biofilters.

概 要

悪臭除去システムには、従来、物理化学的システムが多く用いられてきたが、近年、維持管理費が低廉な生物脱臭法が注目を集めている。生物脱臭装置の原理、適用先、構造、従来の問題点を調べた上で、開発課題を明確にし、室内予備実験を行った。この結果、微生物担体の性質を充たし、かつ、微生物環境を良好に維持できる焼成セラミック担体を開発した。この担体を利用して、スケールアップした装置を試作し、茨城県の某食品工場排水処理施設に実証プラントとして適用した。原臭の主成分は硫化水素とメチルメルカプタンであるが、当装置により、それぞれ、99%と78%が除去された。官能試験によって測定され臭気の指標を示す臭気濃度は96%の除去率を示した。臭気成分（硫化水素など）は微生物により酸化物（硫酸）となるが、除去された硫化物とドレン水中に排出された硫酸量は、モル量においてほぼ等しく、臭気はほぼすべて微生物による酸化を受けていることが分かった。除去性能、負荷性能、必要散水量など装置の特性を示すパラメータを測定し、これにより、実機を設計する際の要求仕様として、原臭ガス種、原臭濃度、処理風量、要求除去率が与えられた場合の設計基準を示した。当担体を用いる“ViviClean”において、装置の性能を表わす空塔速度（処理風量に対する担体容積の比）は360 l/hour以上と高く、充分な性能を持つことが分かった。

1. はじめに

悪臭の除去システムには、従来、洗浄法、吸着法、燃焼法、酸化法などの物理化学的システムが多く用いられてきたが、活性炭や燃料などの維持費がかかるため、近年、生物脱臭法が注目を集めている。生物脱臭法とは、微生物の働きにより悪臭成分を酸化分解するという方法であり、基本的にメンテナンスフリーであり、維持管理

費が安いという特長がある。また、特殊な微生物を添加するわけではなく、自然の微生物の働きで臭気除去がなされるという点で、環境にも負荷の少ない方法でもある。生物脱臭法に適した対象となる悪臭ガスとしては、硫化水素、硫化メチル、メチルメルカプタンなどの硫黄含有化合物、そして、アンモニア、トリメチルアミンなどの窒素含有化合物がある。これらの特徴を考慮すると、生物脱臭法の適用先は、農業集落排水処理施設、食品工場

排水処理施設，下水処理場，尿尿処理場などである。

しかし，従来の生物脱臭法には，臭気が除去される過程で微生物周りの環境が酸性となり限られた臭気成分のみしか除去できなくなるという問題点があった。この問題を解決するために，微生物担体に着目し，微生物環境を最適化することにより多種類の臭気に対応できる微生物担体を開発することを重要な開発課題とした。その結果として廃液のpH処理の必要もなくなるという利点も併せ持つ生物脱臭法の構築を目的とした。

今回，特殊な焼成セラミック担体を利用する生物脱臭装置 “ViviClean” を開発し，実証実験において所定の性能が得られたので報告する。

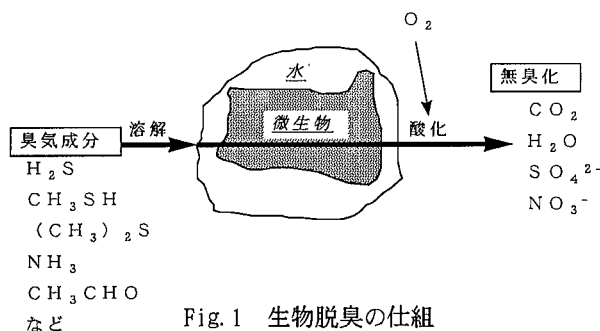


Fig.1 生物脱臭の仕組
Flow of Biological Deodorization

2. 生物脱臭法の従来の問題点

2.1 生物脱臭装置の構造

生物脱臭装置の構造は，主に，送風用のブローア，脱臭用微生物担体の充填された脱臭塔，および，脱臭塔への散水システムからなる。除去すべき悪臭は送風用ブローアにより，脱臭塔に導かれる。通常，悪臭は上向流で塔内の微生物担体中を流れ，その過程で除去される。Fig. 1 に微生物担体周囲での微視的な生物脱臭の仕組を示す。臭気成分（硫化水素，メチルメルカプタン，硫化メチル，アンモニア，アルデヒド等）は，第一段階で水に溶解し，水中において微生物による分解，酸化作用を受け，微生物の生存のためのエネルギーになるとともに，酸化物である二酸化炭素，水，硫酸，硝酸等に変化する。こうして浄化されたガスは外部に導かれて大気に放出される。一方，微生物担体に間欠的に散水がなされ，微生物環境に水分を供給すると同時に，悪臭成分の酸化物が洗い流される。脱臭塔の下方に集められた散水は，ドレン水として，必要があればpH調整を施した後，放流される。

2.2 生物脱臭法の従来の問題点

現状の生物脱臭装置の問題点とされるのは以下の点である。

- 1) 一種類のガスしか除去できない。
- 2) 悪臭物質が除去される過程で，酸化分解されるため，硫酸などの酸が生成し，pH低下により，性能が低下する。
- 3) 硫酸塩などの塩が蓄積する。
- 4) 低温では性能が低下する。
- 5) 臭気濃度の変動に追従できない。

このうち，1) についての理由としては，酸性環境で生育する微生物では硫化水素のみしか除去できないが，中性環境で生育する微生物は，硫化水素，メチルメルカプタン，硫化メチル，などの多数の化合物を除去することが知られている¹⁾。したがって，微生物の棲息環境についてpHが中性の環境を保つことが多種類の臭気を除去するうえで重要となる。

これらの問題点を克服するに当たり，主要部分となる

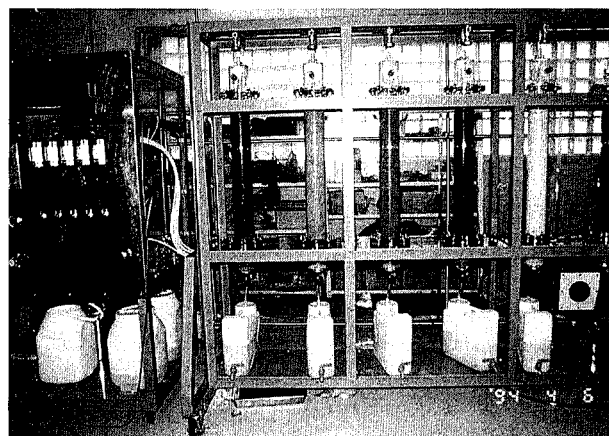


Photo 1 室内カラム実験
Small Scale In-House Experimental Apparatus

微生物担体は，微生物の活性，処理流量，処理に際し発生する余剰水のpHに関与し，重要な部分である。微生物担体には，従来，ビートモス，鉄鉱スラグ，ポリビニルアルコールなどの物質が用いられてきているが，上記の問題点に対処できていない。そこで，新規に開発を行うにあたり，上記の問題点を解決する微生物担体の開発を重要課題と位置づけた。なお，上記の課題以外に，微生物担体に要求される性質として，①気体が液相に溶解されやすい。すなわち，充填物の形状が工夫されており，かつ，接触断面積が大きい，②微生物が付きやすい。すなわち，保水性がよく，かつ，比表面積が大きい，③圧力損失が小さい，④強度が大きい，⑤軽い，⑥コストが安い，という点を考慮することも必要である。

3. 室内カラム実験

前章で述べた問題点を考慮しつつ，異なる材料からなる担体の性能比較のための室内カラム実験を行った。比較した担体材料は，有機質材料A，無機質材料B，無機質材料C，木炭系材料D，天然系材料Eである。実験条件として，空塔速度が100 l/hour，除去対象臭気として20～30ppmの硫化水素を用いた。PHoto 1に室内カラム実験の装置を示す。

除去性能の指標として，除去率，圧力損失を経時的に測定した。臭気濃度測定には検知管を用いた。また，余剰な散水をドレン水として集め，その水質を経時的に測定した。また，実験期間終了後の担体の含水比，pHを測

定した。終了後の担体を振とうして得られる物質を懸濁物質とし、その物理化学的性質と微生物分析を行い、かつ、電子顕微鏡で観測した。あらかじめ担体そのものについて、物理的・化学的性質を測定した。

上述の予備的な室内カラム実験の結果を踏まえ、除去率を維持しつつ、圧力損失の増大を防ぎ、pH環境をなるべく中性に維持する焼成セラミック担体を新たに考案した。この“ViviClean”担体と他の担体との各種性能の比較をTable 1に示す。

除去性能は、いずれの担体でも、それぞれの微生物馴養期間を経た後、ほぼ100%の除去率を達成し、以後、維持した。微生物の馴養には、有機系担体A、無機系担体B・C、木炭系担体Dは4カ月を要したのに対し、天然系担体Eと“ViviClean”担体は早い立ち上がりを示した。圧力損失は、実験の経過とともに有機系担体Aと天然系担体Eにおいて流路の狭窄が起り、実用不可能なほどの圧力損失値を示した。実験終了後の担体の含水比より評価した保水性は有機系担体Aが高く、無機系担体B、木炭系担体D、“ViviClean”担体は含水比で40~70%を示した。実験終了後の担体のpHは、天然系担体Eと“ViviClean”担体において中性を示した。ドレン水のpHは、“ViviClean”

担体については酸性になりにくかったのに対し、有機系担体A、無機系担体B、および、木炭系担体DはpH前後と強い酸性を示すため実際の使用に際しては中和等の処理が必要となる。いずれの担体についても、実験終了後の電子顕微鏡等の観測により、微生物の存在が認められた。

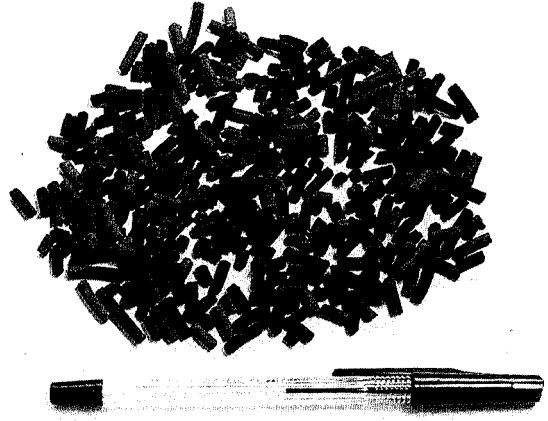


Photo 2 “ViviClean”の微生物担体
Substance for “ViviClean”

Table 1 微生物担体の比較
Characteristics of Substances for Microorganisms

評価項目 (良い評価の基準)	微生物担体					
	有機系 A	無機系 B	無機系 C	木炭系 D	天然系 E	ViviClean
除去性能 (高い)	◎	◎	◎	◎	◎	◎
馴養 (期間が短い)	△	△	△	△	○	◎
圧力損失 (小さい)	×	◎	◎	◎	×	◎
保水性 (高い)	◎	○	△	○	△	○
担体のpH環境 (中性に近い)	△	△	○	△	◎	◎
ドレン水のpH (中性に近い)	×	×	○	×	○	◎

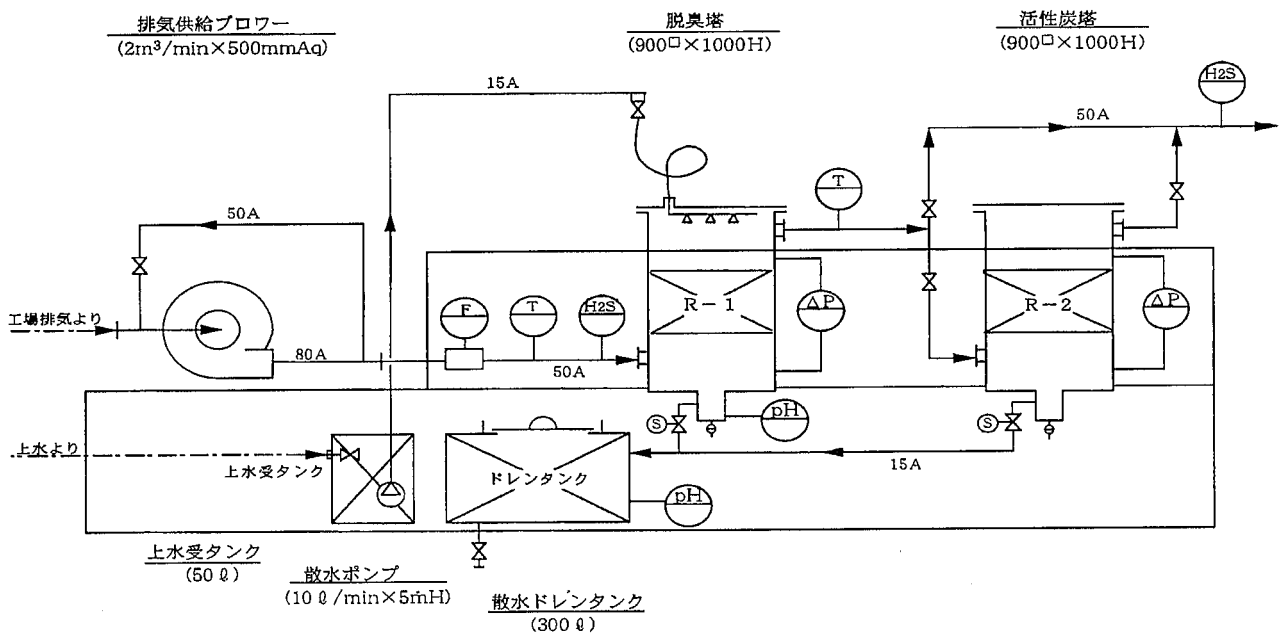


Fig. 2 実証実験装置模式図
Diagram of Verification Test

以上の結果より，“ViviClean”担体は、担体の問題点として指摘されていた事柄を解決する性質を持つと判断し、この担体を用いて実証実験を行うこととした。この微生物担体をPhoto 2に示す。

4. 実証実験

4.1 概要

室内カラム実験の結果を受けて、実際に食品工場排水処理施設の悪臭処理のために実証プラントを設置し、計測を行った。Fig. 2に実験装置模式図を、Fig. 3に実験装置の全景写真を、Table 2に概要を示す。

悪臭源は食品工場廃水処理施設であるため、除去対象ガス種は硫化水素をはじめとする硫黄含有化合物の混合臭気である。その硫化水素濃度は2から480ppmと変動した。処理風量は、1m³/minを基準とし、装置性能を見るために1.5m³/minまで随時増加した。空塔速度は、装置出口で120 l/hour (1m³/min) ないし180 l/hour (1.5m³/min) であり、装置中間地点では、240 l/hourから360 l/hourのデータを得ることができる。線速度は、処理風量が1m³/minの時で2cm/secである。

4.2 除去性能

除去性能把握のための臭気分析として、定常的な分析として主に硫化水素について検知管で、それ以外には随時、硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチル、アンモニアについてガスクロマトグラフで、臭気濃度について官能試験法によって、それぞれ調査した。

Fig. 3に処理風量が1m³/minの時の硫化水素濃度と除去率を示す。除去率は装置中間、出口のどちらにおいても90%以上を維持している。Table 3に、1996年8月に実施した官能試験およびガスクロマトグラフの計測結果を示す。表中には、測定値に加えて、その臭気が単独であった場合に臭気濃度換算で表わした数値（濃度を検知閾値で除した値）も併記した。この結果によれば、臭気に影響を及ぼす成分は、硫化水素とメチルメルカプタンであり、全体的な臭気の指標である臭気濃度で見ると、96%の除去率となっている。さらに、硫化水素とメチルメルカプタンの除去率は出口でそれぞれ99%と78%である。二硫化メチルは若干減少している。しかしながら、濃度は検知閾値と近いので臭気自体にそれほど影響を及ぼさない。

以上の結果から、当装置は除去効果を持っていることがわかる。さらに、硫化水素ばかりではなく、メチルメルカプタンも除去できていることから、中性の微生物が活躍する場が形成されていることがわかる。これは次節4.3に示すドレン水のpHの結果からも裏付けられる。

4.3 散水量および担体のpHバッファ一量

担体塔には、定期的に水分を供給し、微生物担体表面

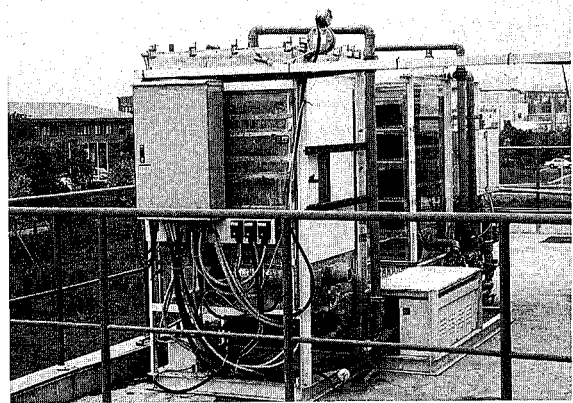


Photo 3 実証実験装置
Apparatus for Verification Test

Table 2 実証実験諸元
Characteristics of Verification Test

実験場所	某食品工場排水処理施設
臭気源	排水処理施設脱臭槽
実験期間	1995年8月～1997年4月
担体塔	900mm x 900mm x 150mm x 4段
担体	セラミック担体
臭気	硫化水素を含む混合臭気
臭気濃度	2～480ppm (硫化水素) の範囲で変動
処理風量	1～1.5m ³ /min
空塔速度	120～180 l/hour (装置出口にて) 240～360 l/hour (装置中間にて)
線速度	2cm/sec (1m ³ /min) ～3cm/sec (1.5m ³ /min)

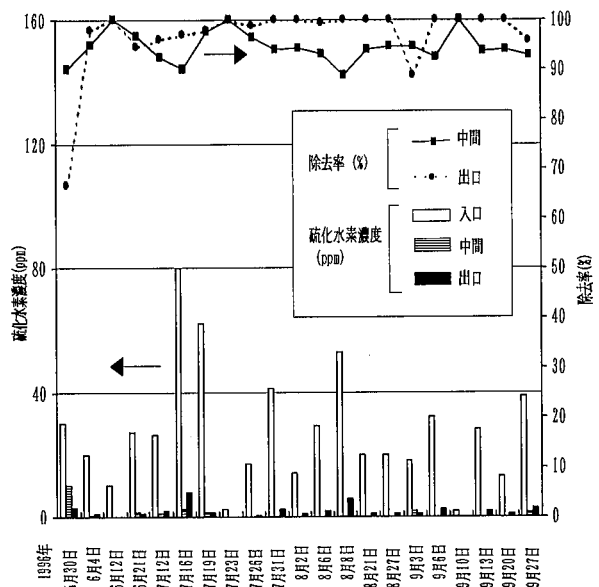


Fig. 3 硫化水素濃度と除去率
Concentration of Hydrogen Sulfide and
Odor Removal Efficiency

Table 3 悪臭ガス濃度、臭気濃度、および、除去率（ガス濃度は上段がppm表示、下段が臭気濃度に換算した数値）
Concentration of Odorous Gases, Odor Concentration, and Removal Efficiency

	臭気濃度実測	アンモニア	硫化水素	硫化メチル	二硫化メチル	メチルメルカプタン
入口		<0.5	13.00	0.019	0.0051	2.30
	130,000	<1	33,000	6	2	33,000
中間		<0.5	1.10	0.015	0.0025	0.53
	13,000	<1	2,800	5	1	7,600
出口		<0.5	0.14	0.023	0.0039	0.51
	5,400	<1	350	8	2	7,300
除去率	96%	-	99%	-	-	78%

除去率：入口濃度に対し、出口までに除去された割合

に微生物の生育しやすい環境を作り出す必要がある。このため、当実証プラントにおいても排水処理施設の沈殿槽からの水を毎日一定量自動的に散水した。散水用水はまず、散水補給用ポンプにより散水用タンク（容量44L）に貯えられ、その後、タイマーによって、1日当たりに設定した回数だけ散水した。

1996年6月から12月までのドレン水のpHをFig. 4に示す。この担体の使用によりpHが中性に保たれていることがわかる。

4.4 硫黄収支

当該現場の臭気の成分としては、アンモニア系の悪臭成分はなく、硫黄を含む硫化水素、メチルメルカプタンが悪臭の構成成分であった。これらの硫黄化合物は、担体塔内部で微生物による酸化分解を受けて、硫酸塩となる。硫酸塩は、散水によって洗浄され、ドレン水中に現われてくる。従って、悪臭としてガス状態で除去された硫黄分とドレン水中に流出してきた硫酸塩中の硫黄分とを量的に比較すると、他に行き場がない場合、等しくなるはずである。これは、散水量が充分であり、毎回、硫酸塩が洗い流されている場合に起こる。本実証実験において、硫化水素の担体塔への流入量から流出量を差し引いたものを「ガス由来S」成分とし、ドレン水に含まれる硫酸塩中の硫黄を「SO₄-S」成分として、1996年7月より1996年12月までプロットしたものをFig. 5に示す。なお、「ガス由来S」成分には、硫化水素ばかりではなく、メチルメルカプタン由来（前節ガスクロマトグラフの結果を利用）の硫黄分も含めている。また、ドレン水中の硫黄には担体中の硫黄分の溶出成分が含まれているので、「SO₄-S」の計算にあたり、別途測定した未使用担体からの硫黄分の溶出量を全期間にわたり一律に差し引いている。Fig. 5においてわかるように、ガス由来の硫黄とドレン水中の硫黄は、日によって若干違いがあるもののほぼ同量といっている傾向を示す。

これらの硫黄量のこの期間にわたるトータル量は、ガス由来の硫黄成分が8.3kgであり、ドレン水中の硫黄成分が8.7kgである。担体塔に流入した硫黄量はほぼすべてドレン水中に流出したと結論づけることができる。これは、散水量が充分であったことを裏付ける傍証にもなっている。

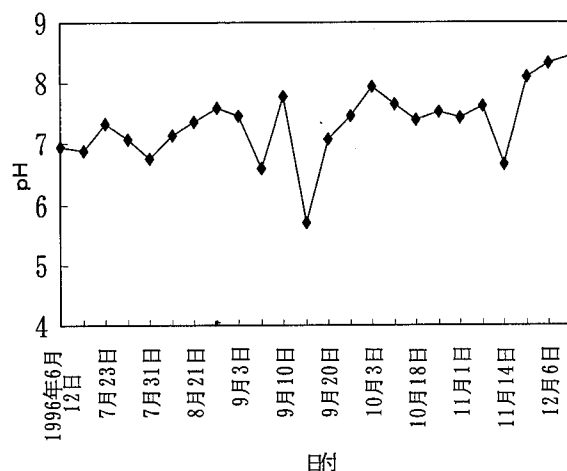


Fig. 4 ドレン水のpH
pH in Drain Water

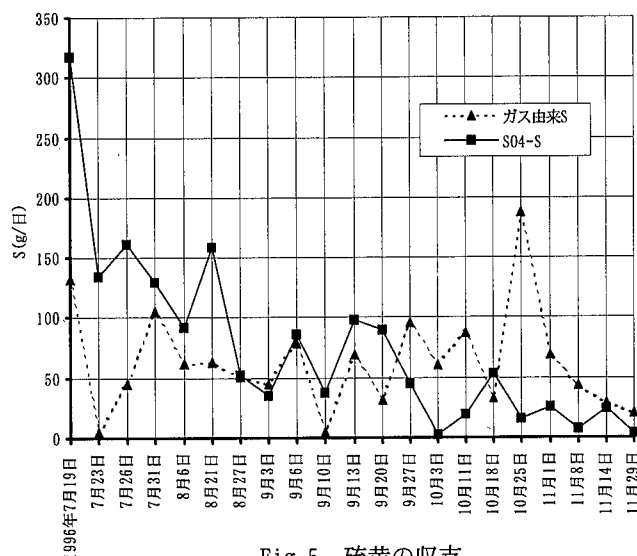


Fig. 5 硫黄の収支
Inventory of Sulfur

4.5 担体付着物質

実験終了後、直ちに担体を採取し、分析を行った。担体を水で振とうし、2mmのふるいで粗くろ過した後、ろ液をさらに0.22μmのメンブレンフィルターでろ過した。Fig. 6に0.22μmのフィルターで回収された懸濁物の炭素量、窒素量を、担体塔中に収納されていた4段の担体収納箱の各層ごとに示す。これによれば、量的には、炭素、窒素は各層において異なっているが、そのC/N比をとると各層ともほぼ6を示した。第3章で述べた無機質の担

体を用いたカラム実験において、担体付着物質のC/N比が5.2~6.4を示し、寒天培養法によりこの物質中に硫酸酸化菌の存在が確認されている。上述のように実証実験における担体付着物質のC/N比がほぼ6であったことから、実証実験においても同様の微生物の存在が示唆された。

5. 装置の設計基準

当生物脱臭装置は、さまざまな流量に対して、脱臭塔のサイズを変えることにより対応することができる。装置設計フローをFig. 7に示す。一般に仕様要求として、原臭ガス種、原臭濃度、処理風量、除去率が与えられる。これに対して、装置の性能としてあらかじめ空塔速度、負荷性能、および、線速度のデータが決められている。これらの仕様要求と装置の性能から、装置の設計パラメータとして、担体塔容積、および、担体塔断面積を決定することができる。

実証実験の場合、装置の中間地点(空塔速度360 l/hour)で除去率がほぼ100%を達成している。したがって、空塔速度が少なくとも360 l/hourの条件で、“ViviClean”は浄化性能を発揮できる。また、原臭負荷と除去率の関係から、負荷性能が決定されるが、実証実験の結果では、少なくとも0.6kg-S/(m³·d)までの硫化水素の負荷に対応できることが分かった。

一方、一般に、担体長を長くしていくと圧力損失が大きくなり、装置としてはブローの大型化などを招く。カラム実験の結果、圧力損失は線速度にほぼ比例し、かつ、担体長にも比例していた。装置設計の場合、これらの関係を用いて、ブローの性能によって決まる許容最大圧力損失、許容最大線速度、および、許容最長担体長を決定することができる。

6. まとめ

生物脱臭法が安価で注目を集めている。そこで、従来法と異なり、中性系で生物処理し、硫化水素はもちろん、メチルメルカプタンも除去できるとともに、排水も中性で排液管理もきわめて簡単であることをめざし、特殊なセラミック担体を製作し、それを組み込んだ“ViviClean”工法を開発した。実証実験でその効果を確認した。その内容は以下の通りである。

- 1) この担体により、従来問題とされていた担体内の微生物環境の酸性化を防ぐことができた。
- 2) ドレン水のpHは中性を示し、この担体使用の効果を確認した。
- 3) 臭気の主成分である硫化水素とメチルメルカプタンの除去率はそれぞれ99%, 78%である。臭気の官能試験の指標である臭気濃度は96%減少した。この担体の使用によって、硫化水素はもとより、比較的除去しにくいメチルメルカプタンも除去できた。

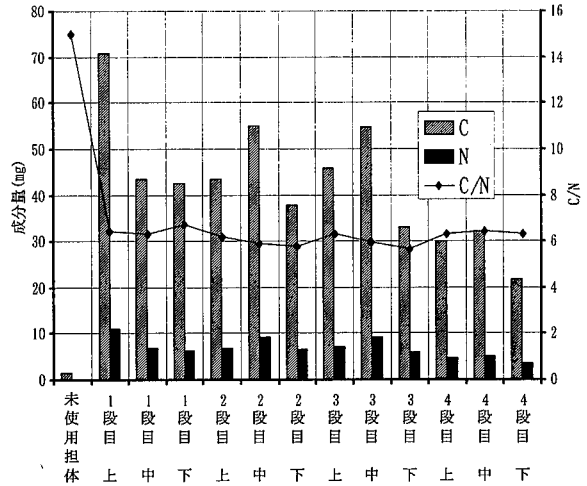


Fig. 6 実験終了後の担体付着物中の炭素(C)、窒素(N)、C/N比(C/N) Carbon, Nitrogen, C/N ratio of Surface Material of Substance taken after Experiment

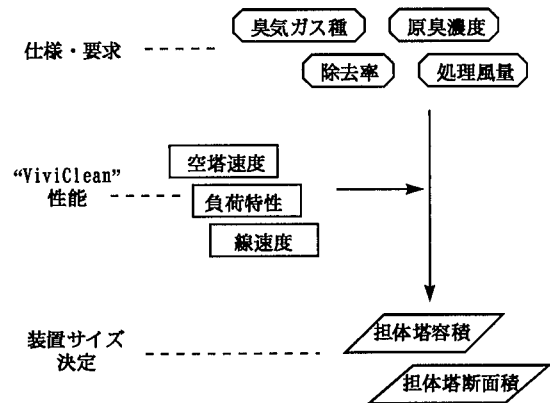


Fig. 7 装置設計フロー Design Flow of “ViviClean”

4) 臭気中に含まれる硫黄と、ドレン水に排出される硫酸塩量がモル量でほぼ等しく、臭気が酸化されたことにより微生物が除去に関与していたことが分かった。

5) 実証実験終了後の担体付着物のC/N比から担体表面での微生物の存在を示唆した。

なお、当装置は日立造船株式会社と共同開発したものである。

参考文献

- 1) 西田耕之助監修,「消・脱臭技術の進歩と実務」, 総合技術センター, 1991.