

# 高効率生物脱臭技術

榎野由憲\*・西江雅一朗\*・中島敏幸(理博)\*・牧村芳希\*\*・石丸賢二\*\*・大越芳男\*\*\*

\*技術開発本部・化学環境研究所 \*\*都市環境本部・環境エンジニアリングセンター \*\*\*東京都下水道サービス局

## High-performance Biological Deodorizing Technology

Yoshinori Kashino・Masaichirou Nishie・Dr.Toshiyuki Nakajima・Yoshiki Makimura・Kenji Ishimaru・Yoshio Ohkoshi

New biological deodorizing equipment using porous carbon carriers has been developed to deodorize all components of odoriferous gases which evolved in the sludge treatment process at sewage works. The odor concentrations in the treated gas satisfied the strictest regulations in Japan. Because of the high performance of deodorization, this equipment does not require activated carbon treatment which is necessary in conventional systems .

まえがき = 悪臭に対する全国の苦情件数は騒音・振動に次いで第2位であり、20年間変わっていない<sup>1)</sup>。ここ数年、規制が強化される方向にある状況の中で、下水処理場の汚泥処理設備から発生する臭気の除去技術として、イオウ酸化細菌などの微生物を応用した生物脱臭法が開発され、ランニングコストが低く維持管理が容易であるという利点から注目されている。しかしながら、現在の生物脱臭システムでは難分解性悪臭物質の除去が不十分であることから、活性炭吸着処理との併用が不可欠となっている。そこで、ランニングコストをいっそう低減するため、生物脱臭法単独で難分解性悪臭物質を高度除去することを目的とした高効率生物脱臭技術の開発をおこなった。本稿では、A下水処理場でのフィールド実験をパイロットスケールの装置(写真1)でおこなった結果について報告する。

### 1. 生物脱臭とは

下水関連設備から発生する臭気の主成分は、硫化水素(H<sub>2</sub>S)、メチルメルカプタン(MM)、硫化メチル(DMS)、二硫化メチル(DMDS)の4物質で、いずれも悪臭防止法の対象となっている。これらのイオウ化合物は *Thio-*

*bacillus* 属や *Hyphomicrobium* 属などのイオウ酸化細菌によって下記の化学反応式のように無臭の硫酸にまで酸化されることが知られており、この作用を利用して悪臭を処理する方法を生物脱臭法という<sup>2)</sup>。第1図に生物脱臭装置の工程図を示す。

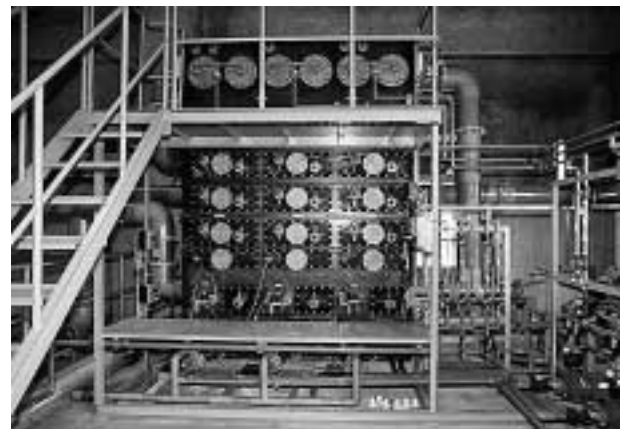
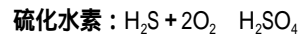
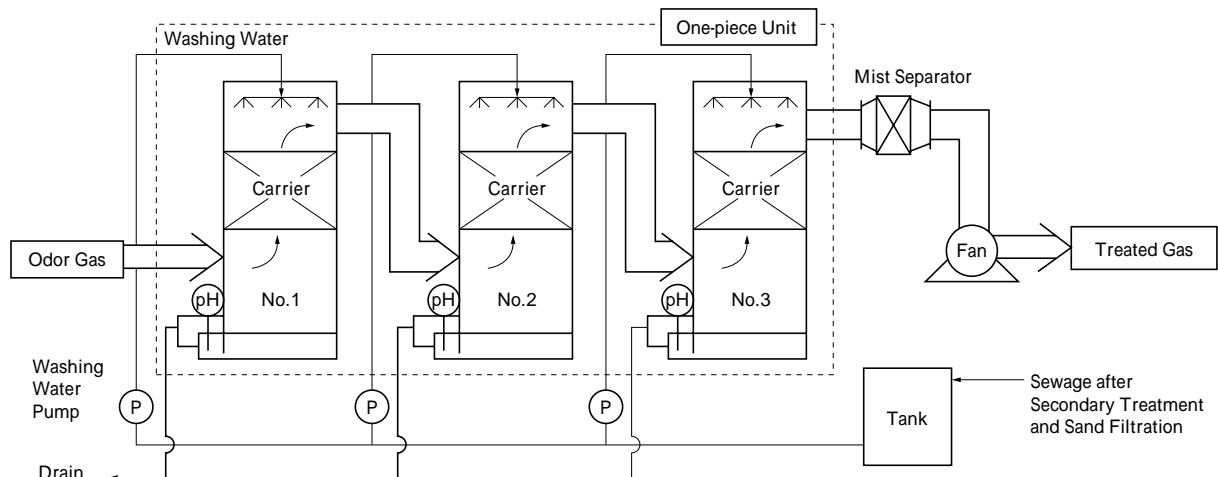


写真1 生物脱臭パイロット実験装置  
Photo. 1 Pilot plant of biological deodorization



第1図 生物脱臭装置のフロー  
Fig. 1 Schematic flow of biological deodorizing equipment

メチルメルカプタン： $2\text{CH}_3\text{SH} + 7\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

硫化メチル： $(\text{CH}_3)_2\text{S} + 5\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$

二硫化メチル： $\chi(\text{CH}_3)_2\text{S}_2 + 13\text{O}_2 \rightarrow 4\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{CO}_2$

これらの臭気物質のうち、硫化水素は比較的容易に微生物で酸化されるものの、他の3物質は難分解性であることから、従来技術による生物脱臭法単独では環境規制を満足できる濃度まで処理することが困難であった。このため後段に活性炭吸着塔を設けて規制値まで処理する脱臭システムが採用されてきたが、活性炭は年1~2回交換する必要があり、ランニングコストの大きな部分を占めていた。

そこで我々は、いっそうの低コスト化を図るため、難分解性悪臭物質を含む4物質を生物脱臭法単独で処理できるよう高効率化した生物脱臭システムの開発をおこなった。

実験にあたっては、脱臭装置の高効率化を図るため、

- 1) 脱臭関連微生物を多量に保持できる新規担体の探索および担体サイズの検討
- 2) 培養した脱臭関連微生物の接種・固定化の検討
- 3) 散水条件などの運転条件の検討

をおこなった。

## 2. 実験方法

### 2.1 パイロット実験装置

脱臭装置内で臭気が処理される際は、悪臭4物質が同時に除去されていくのではなく、装置入口近くでは易分解性の硫化水素が優先的に除去され、続いてメチルメルカプタン、二硫化メチルが、最後にもっとも難分解性の硫化メチルが除去される。これらの各物質は別々の種類の微生物により酸化されるといわれていることから、おのおのの微生物に最適な運転条件を設定できるよう、横型3層式として各層に独立した散水系を設けた(写真1および第1図参照)。散水用水には砂ろ過水を使用し、充填層上部から一過式で散水して臭気物質の酸化により生成する硫酸などを洗浄した。脱臭対象は下水処理場でもっとも高濃度の臭気が発生する污泥処理系の臭気とした。

装置には受水槽のpH計、各部位の気温・水温・ガス温センサ、定電位電解式硫化水素測定装置を設置し、パソコンと電話回線などを介して運転状況を遠隔監視した。

### 2.2 担体および微生物固定化方法

微生物を装置内に保持するための担体は、耐久性、圧力損失、圧縮強度、価格、微生物への生理的適合性から探索をおこない、石炭を乾留して調製した多孔質カーボン担体を見出した<sup>3)</sup>(破砕状、圧縮強度200~250kg/個、炭素含有率85%以上)。一例として、セラミック担体と多孔質カーボン担体の存在下でイオウ酸化細菌を培養した際の担体表面の電子顕微鏡写真を、それぞれ写真2および写真3に示す。セラミック担体(写真2)では菌の付着していない部分が認められたのに対し、多孔質カーボン担体(写真3)ではすき間なく生育していた。

担体の粒径を小さくするほど充填体積あたりの表面積

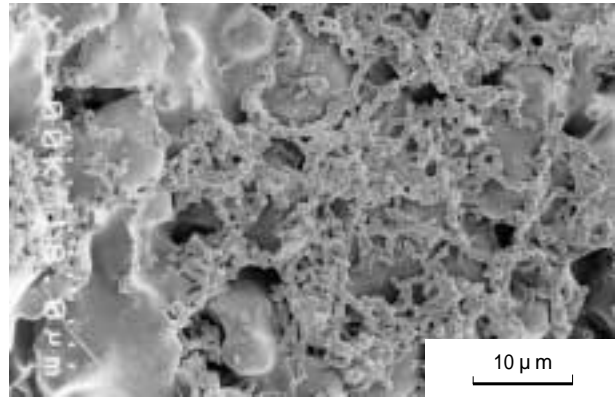


写真2 イオウ酸化細菌を生育させたセラミック担体の電子顕微鏡写真

Photo. 2 Electron micrograph of ceramic carrier growing sulfur bacteria

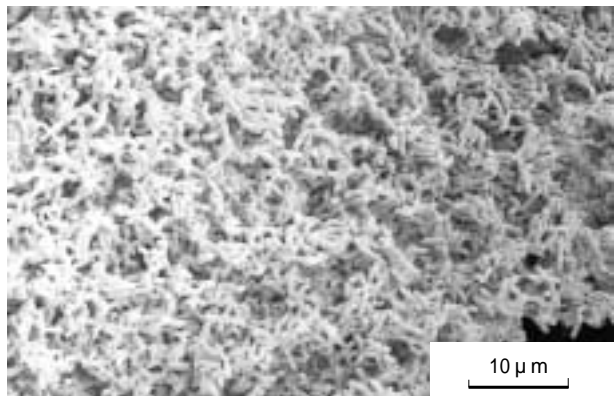


写真3 イオウ酸化細菌を生育させた多孔質カーボン担体の電子顕微鏡写真

Photo. 3 Electron micrograph of porous carbon carrier growing sulfur bacteria

が理論上増大し、微生物付着量と気液接触面積を大きくすることができる。このことにより脱臭性能が高まることが期待できるが、反面、圧力損失が上昇する欠点がある。そこで、数種の粒径の担体について脱臭性能と圧力損失を検討し、4~7mmの粒径を選定した。

しかしながら、装置入口の第1層下部は硫酸濃度が高くなるため、硫酸カルシウムなどのイオウ化合物が析出しやすくなり<sup>4)</sup>、圧力損失の上昇や閉塞の恐れがある。そこで、第1層下部50cmには粒径の大きい10~15mmの担体を使用し、これ以外の部分には粒径4~7mmの担体を充填した<sup>5)</sup>。

担体への微生物の固定化は結合法とし、微生物懸濁液を担体上部より接種した後、循環散水して固定化した。

### 2.3 分析方法

各臭気物質の濃度は悪臭防止法<sup>6)</sup>に基づき、ガスクロマトグラフィーにより定量した。

検出器：FPD

カラムおよび濃縮管充填物：

， -oxydipropionitrile 25% Uniport HP

カラム： 3 I.D. x 3 000mm

キャリアガス：窒素 60 ml/min

温度：オープン 60 80 ，注入部/検出部 120

また、官能試験による臭気濃度の測定は三点比較式臭袋法<sup>7)</sup>に基づいた。

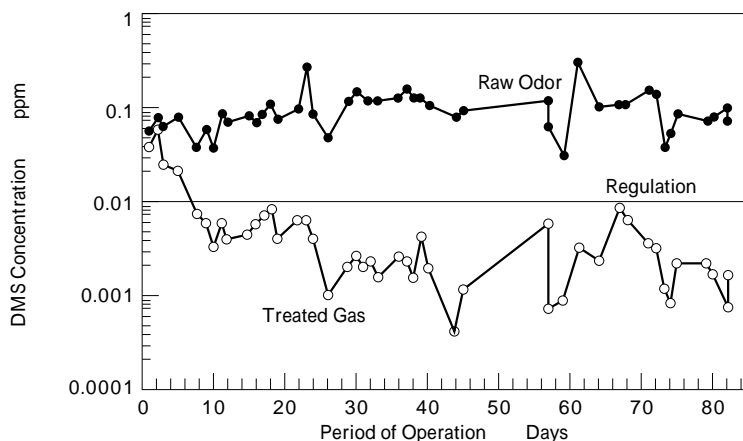
第1表 生物脱臭装置の性能

Table 1 Function of biological deodorizing equipment

Odor Components	Raw Odor ppm	Treated Gas ppm	Regulation ppm Odor Intensity < 2.5 (shuukiyoudo)
Hydrogen Sulfide	7 ~ 63	0.001 ~ 0.017	< 0.02
Methyl Mercaptan	0.2 ~ 6.0	0.0002 ~ 0.002	< 0.002
Dimethyl Sulfide	0.03 ~ 0.29	0.0003 ~ 0.008	< 0.01
Dimethyl Disulfide	< 0.0001 ~ 0.009	< 0.0001	< 0.009
Odor Concentration (shuukinoudo)	7 300 ~ 31 000 ( - )	73 ~ 230 ( - )	Regulation < 300

第2図 生物脱臭装置立ち上げ時のDMS除去能の変化

Fig. 2 Time course of DMS removal by biological deodorization equipment at first stage



### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 臭気発生状況

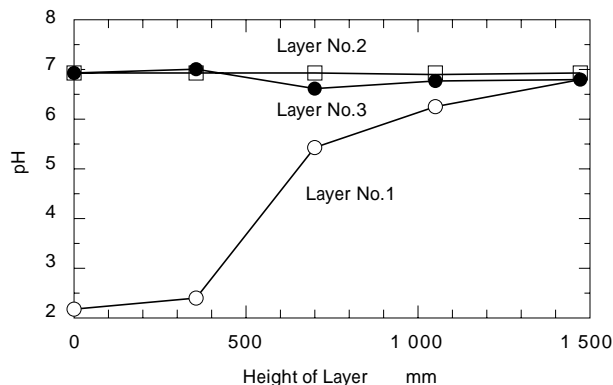
硫化水素測定装置で原臭ガス中の濃度を連続測定したところ、約30分ごとに高濃度の臭気が発生していた。実験対象の約3カ月間で硫化水素は7~63ppmの間で変動し、これにメチルメルカプタン、硫化メチルの濃度も追従した(第1表)。原臭ガスの臭気濃度は7300~31000であった。

#### 3.2 立ち上げ経過

従来技術では、下水処理生成物である汚泥を直接担体に付着させており、ここから脱臭関連微生物が生育してくるのを待つ方法で装置を立ち上げていたために、約2カ月もの長期間を要していた。そこで、汚泥などから分離した当社保有の脱臭関連微生物群を担体に接種・固定化し、立ち上げ期間の短縮を試みた。第2図は、もっとも難分解性である硫化メチルの脱臭性能で立ち上げ経過をみたものである。接種から10~20日後、脱臭性能が低濃度で安定したことから立ち上げが終了したと判断でき、従来技術にくらべて大幅な期間短縮を実現した。

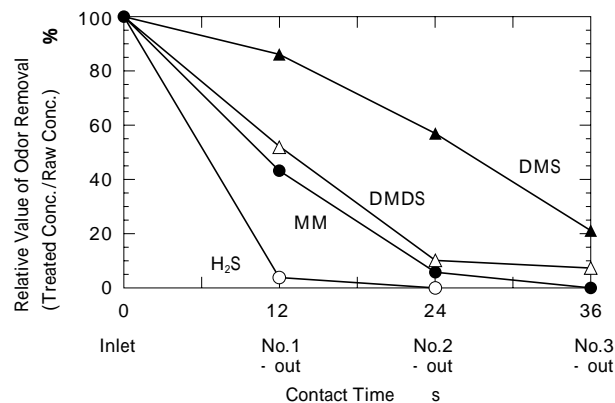
#### 3.3 充填層内のpH分布と各臭気物質の除去過程

各層の散水条件を検討したことにより、第1層は硫化水素を除去する微生物に好適な酸性~中性に、第2、第3層はそのほかの3物質を除去する微生物に好適な中性に<sup>3)</sup>制御することができた(第3図)。このことにより、難分解性物質の分解を阻害する硫化水素を第1層で除去しておき、第2、第3層で難分解性物質を除去するという、理想的な除去過程を形成できた(第4図)。



第3図 生物脱臭装置各層のpH分布

Fig. 3 pH distribution in each layer of biological deodorization



第4図 接触時間と各悪臭物質の濃度比

Fig. 4 Relative value of odor removal as a function of contact time

第2表 運転条件  
Table 2 Operating condition

Odor Gas	Gas Flow Rate :	m <sup>3</sup> /min	4.73
	Space Velocity (SV) :	h <sup>-1</sup> /3 Layers	120
	Contact Time (CT) :	s	30
	Linear Velocity (LV) :	m/s	0.14
	Temp. of Odor Gas :		3~23
Washing Water	Sprayed Water Supply :	l/min/Layer	5
	Spray Type : Single Pass Spray		No.1 Layer : Continuous Washing  No.2, No.3 Layer Intermittent Washing Interval : 5min / 30min

### 3.4 脱臭性能

パイロット実験装置の運転条件を第2表に示す。空間速度 SV120h<sup>-1</sup> で運転した結果、多孔質カーボン担体を使用したことで、硫化水素はもとより難分解性悪臭物質も高効率に除去でき、国内でもっとも厳しい規制値である臭気強度 2.5 を全物質について満足することができた(第1表)。このときの除去率は硫化水素およびメチルメルカプタンに対しては 99.97% 以上、二硫化メチルは 98.8% 以上、もっとも難分解性である硫化メチルでも 97.2% 以上であった。

また、官能検査による臭気濃度の測定結果では、原臭ガス 7300~31000 に対して 73~230 まで処理でき、官能検査を採用している自治体の大部分で、もっとも厳しい規制値として掲げられている臭気濃度 300 以下をクリアできた(第1表)。

下水処理場で発生する実際の臭気ガスでは、悪臭物質の濃度やガス温度が急激に変動するが、これらの環境変化に対しても、本生物脱臭装置は安定した性能を示すことを確認している。

装置部位に応じて担体の粒径を変えた結果、運転期間中の充填層の閉塞はまったく認められなかった。圧力損失は通気開始当初から変化せず、空塔速度 LV0.14m/s で 20mmAq./m と低圧損であったことから、送風コストは従来型装置とおおむね同程度に抑えることができた。装置の維持管理は散水状況の確認など目視程度の点検で十分であり、容易であった。

以上の結果、活性炭吸着による処理をおこなうことなく、生物脱臭法単独で環境規制を満足することができ、

従来技術で活性炭に費やしていたコストを削減可能な脱臭技術を開発した。

むすび=多孔質カーボン担体を見出したことと、その担体サイズや運転条件の検討により、難分解性悪臭物質を含む悪臭 4 物質を生物脱臭法単独処理で高効率に除去することができ、この結果、従来技術とくらべてランニングコスト・イニシャルコストを大幅に削減できる高効率生物脱臭技術を開発した。

また、あらかじめ培養した脱臭関連微生物を接種・固定化したことにより、脱臭装置の立ち上げ期間を従来の約 2 か月から 10~20 日へ短縮することができた。

污泥処理系臭気を対象とする高効率生物脱臭技術を確立できたことから、今後は、下水処理プロセスの中核である曝気槽の臭気の脱臭や、最近問題になっている揮発性有機化合物(VOC)の除去に本技術を応用していきたい。

### 参考文献

- 1) 笹井春雄：長野県衛公研情報, Vol.25, No.5 (1995), p.8.
- 2) 金川貴博：紙パルプ技術協会誌, Vol.43, No.5 (1989), p.473.
- 3) 公開特許：平7-284659.
- 4) 高川恭敬：第33回下水道研究発表会講演集 (1996), p.1093.
- 5) 特許出願：平9-140257.
- 6) (社)産業公害防止協会：悪臭防止法改正関係資料, 平成元年11月.
- 7) 東京都告示, 第238号.
- 8) K. Fujie et al.: J. Odor Research and Eng., Vol.22, No.6 (1991), p.25.