



## 特殊環境微生物利用技術

長谷川 進 技術開発本部  
第2研究開発部  
第5研究室  
主任研究員  
工学博士，技術士（水道部門）

### まえがき

地球は、創世期の灼熱地獄から氷河期の極低温と、その長い歴史の中で様々な環境を経験して現在に至っている。そして、それぞれの時代にその環境に順応した生物が表舞台で活動し、環境にそぐわないものは、舞台より消え去るか、あるいは、わずかに与えられた生活の場で密かに息を潜めて生き続けている。その結果、現在地球上には、高温、低温、強アルカリ、強酸、嫌気、高塩濃度、高圧などわれわれの目から見て特殊といえる環境を好む種々の微生物が生存<sup>1)</sup>するようになった。それら表舞台から追いやられた特殊環境微生物も、彼らの好む環境を整えてやるとたちまち活気付き、その機能を発揮する。特殊環境微生物が生育できる環境では、通常の微生物が成育できないため、開放系であっても、目的微生物（特殊環境微生物）を優先的に増殖させ、その機能を利用することができる。

本稿では、これら特殊環境微生物を利用した当社開発製品を概説する。

### 1. 好酸性細菌の利用

当社製品名：吸着材併用型生物脱臭装置  
「B-DOシステム<sup>®</sup>」

#### 1.1 生物脱臭の原理

生ゴミをごみ箱に入れて放置しておくと強烈な悪臭を発するようになるが、それを庭の畑に埋めると悪臭はほとんど感じられなくなる。これは、土壌中の微生物が悪臭成分を分解し、無臭化しているためである。B-DOシステムは、この土壌脱臭の原理を充填層内で効率よく再現している。

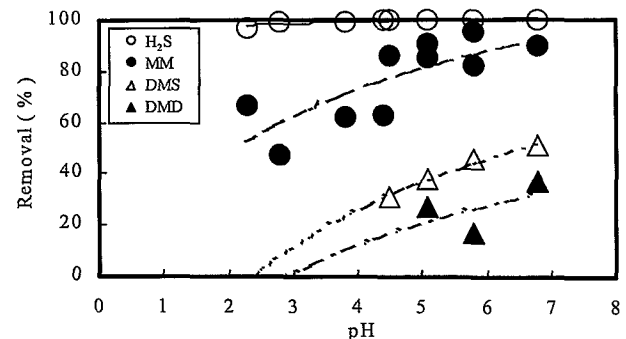
本法において、悪臭ガスは、微生物を着生させた特殊吸着材充填層中に通気され、悪臭成分を吸着材に吸着除去させ、処理ガスとして排出する（吸着

脱臭）。吸着された悪臭成分は吸着材表面に着生する悪臭成分分解微生物（*Thiobacillus* 属，*Nitrosomonas* 属，*Pseudomonas* 属など）により分解無臭化され（分解無臭化），この時生じた代謝生成物は1日数回の散水により洗浄される（洗浄）。これら3つの過程を充填層内で並行して進行させることにより、悪臭成分は、物理学的+生物学的に効率よく分解除去され、吸着材も破過することなく半永久的使用が可能である。

#### 1.2 好酸性細菌の利用

下水処理場においては、イオウ系臭気成分が悪臭成分の主体となる場合が多い<sup>2)</sup>。イオウ系臭気成分は、イオウ酸化細菌により最終的に $SO_4^{2-}$ まで酸化されるため、充填層内 pH が2～4まで低下する。通常の悪臭成分分解微生物の至適 pH は中性付近であるため、生物脱臭の進行に伴う pH 低下により、脱臭活性が極端に低下する結果となる。

第1図に充填層内 pH と各臭気成分除去率の関係を示す。低 pH 域においてメチルメルカプタン (MM)，硫下メチル (DMS)，および二硫化メチル (DMDS) の除去率が大幅に低下している。硫化水



第1図 臭気成分除去率におよぼす pH の影響  
Fig. 1 Effect of pH on removal of odor components

素 (H<sub>2</sub>S) のみは、低 pH 域でも高い除去率を示すが、これは、H<sub>2</sub>S を分解する微生物に好酸性の種が存在する<sup>9)</sup>ことを示唆している。そこで、B-DO システムでは、好酸性イオウ酸化細菌を利用するため、充填槽内に低 pH 域を設ける工夫をしている。

### 1.3 B-DO システム

B-DO システムは、上段と下段を異なる pH 条件で運転する 1 塔 2 層式充填層となっている。上段を低 pH 条件で運転し、好酸性イオウ酸化細菌により主として H<sub>2</sub>S を除去し、下段を中性付近で運転して、一般の微生物により他の臭気成分を除去している。具体的には、第 2 図に示すよう、上段と下段の間に水切りを設け上段散水ドレンが下段に流下しないようにしている。第 1 表に 1 塔 1 層式と 1 塔 2 層式の処理成績を示す。1 塔 1 層式の場合、pH 低下により MM, DMS, DMDS の除去率が極端に低いが、1 塔 2 層式では、上段 pH が 3 以下まで低下しているにもかかわらず、下段は中性付近で運転されており、処理成績が大幅に改善されている。

写真 1 に、上段、下段の担体表面の微生物の電子顕微鏡写真を示す。下段では、形状や大きさが様々で多種の微生物が認められるのに対し、上段の微生物種は低 pH という特殊環境により限られていることが分かる。第 3 図に充填材に付着する細菌の計数結果を示す。特に上段では、好酸性イオウ酸化細菌

が優先し、一般細菌が消失していることがわかる。

### 1.4 実施例<sup>9)</sup>

#### (1) 処理設備概要

設備全景を写真 2 に示す。

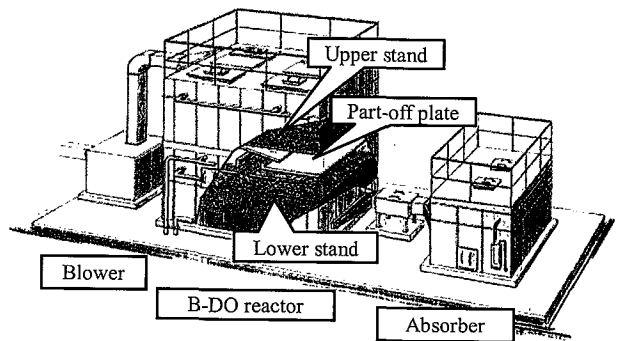
処理風量：300 m<sup>3</sup>/min (150 m<sup>3</sup>/min × 2 基)

通気速度：0.1 m/秒

空間速度：225 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/h

#### (2) 処理成績

上段 pH は 3 まで低下したが、H<sub>2</sub>S が上段でほとんど除去されるため、下段充填層 pH は低下することなく中性付近に維持され 1 塔 2 層式運転が実現された。各臭気成分の平均除去率は、H<sub>2</sub>S, MM, DMS, DMDS, それぞれ、99.9%, 99%,



第 2 図 B-DO システム鳥瞰図

Fig. 2 Birds-eye view of B-DO system

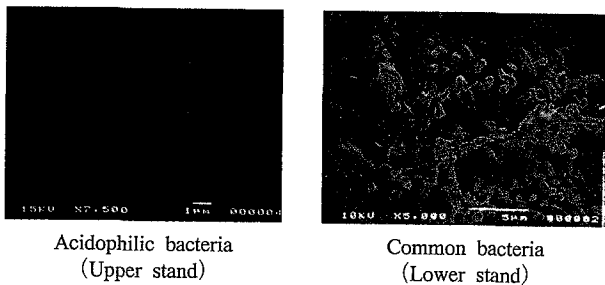
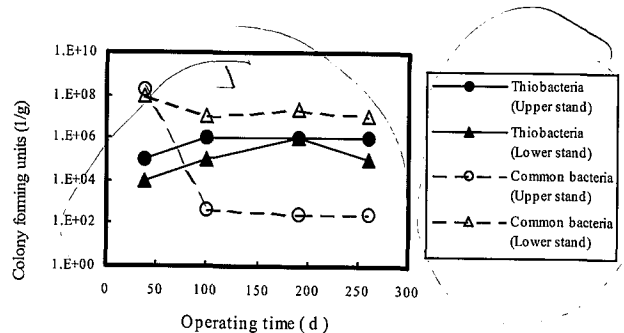


写真 1 好酸性細菌の電子顕微鏡写真

Photo 1 Electron micrograph of acidophilic bacteria



第 3 図 イオウ酸化細菌数の経日変化

Fig. 3 Time course of the number of thiobacteria

第 1 表 B-DO システム処理成績

Table 1 Performance of B-DO system with two stands

(a) 1 stand

	Influent (ppm)	Effluent (ppm)	Removal (%)
H <sub>2</sub> S	6.3	<0.006	>99.9
MM	0.21	0.11	47.6
DMS	0.026	0.026	—
DMDS	0.025	0.026	—
NH <sub>3</sub>	0.2	<0.1	>50
pH		3.1	

(b) 2 stands

	Influent (ppm)	Upper stand (ppm)	Lower stand (ppm)	Removal (%)
H <sub>2</sub> S	19	<0.006	<0.006	>99.9
MM	0.67	0.32	0.058	91.3
DMS	0.064	0.057	0.04	37.5
DMDS	0.011	0.018	0.005	27.3
NH <sub>3</sub>	0.5	<0.1	<0.1	>80
pH		2.8	6.8	

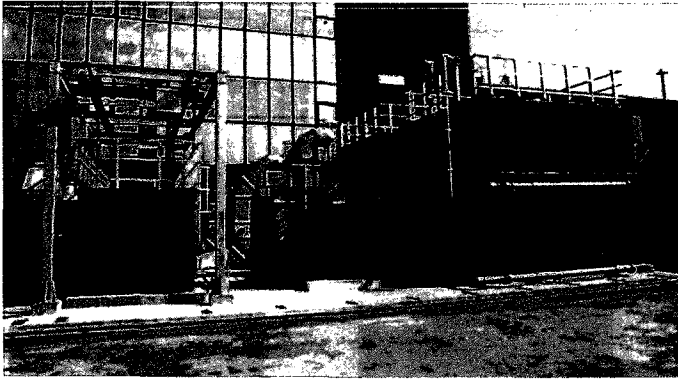


写真 2 B-DO システム全景  
Photo 2 Outside view of B-DO system

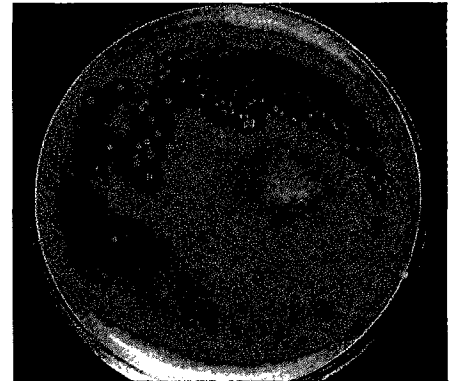


写真 3 好熱性細菌による汚泥プレートの可溶化  
Photo 3 Sludge solubilization by thermophilic bacteria

96%, 88%と良好で、後段の活性炭吸着塔出口では、臭気強度2.0相当濃度以下を十分満足した。

現在、約40件に及ぶB-DOシステムが稼働中である。

## 2. 好熱性細菌の利用

当社製品名：生物学的汚泥減量化技術  
「エステプロセス®」

### 2.1 生物学的汚泥減量化の原理

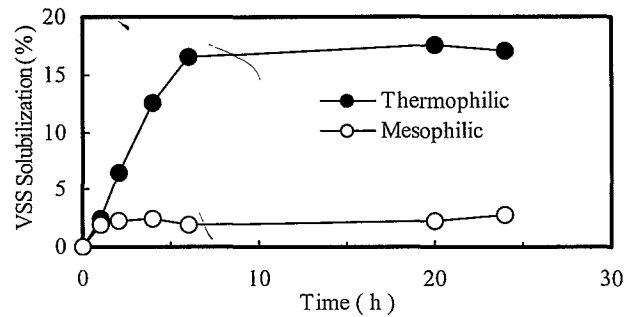
有機性固形物は、多種の酵素により低分子化され、最終的に微生物に取り込まれ、無機化される。たとえば、たんぱく質を資化する場合は、まず、プロテアーゼにより各種アミノ酸に分解され、さらに分解する必要がある場合は、脱アミノ作用、脱炭酸作用を触媒する酵素により分解代謝されていく。同様に、炭水化物は、たとえば、アミラーゼにより分解され、グルコースは解糖系に入り、好気条件においては、二酸化炭素と水にまで酸化される。

下水処理場などの活性汚泥処理設備から排出される余剰汚泥は大半が蛋白質で構成され、脂質、炭水化物がそれぞれ10%程度含まれている<sup>5)</sup>。したがって、プロテアーゼ、アミラーゼなどを分泌する微生物により余剰汚泥が分解できることは容易に予想される。

筆者らは、好熱性細菌のある種のもの、プロテアーゼ、アミラーゼを体外に分泌し、余剰汚泥を溶解することを見出し、分離に成功した。

### 2.2 汚泥を可溶化する好熱性細菌（好熱菌）

下水余剰汚泥を基質として、70℃の高温槽中で好熱菌を培養し、その中から汚泥を可溶化する好熱菌を分離した。培養液の一部を汚泥を懸濁させた寒天平板上に塗抹し、コロニーを形成させ、コロニー周辺に汚泥可溶化部（ハロー）が認められたものを汚泥可溶化菌として分離した（写真3）。



第4図 SPT2-1株培養液上澄みによる汚泥の可溶化  
Fig. 4 VSS solubilization by the supernatants of thermophilic and mesophilic culture

第4図は、汚泥可溶化好熱菌 SPT2-1株（生命研受託番号 FERM P-15395）を標準液体培地で純粋培養し、その培養液を18 000Gで高速遠心した上澄み液に下水処理場の余剰汚泥を等量添加し、70℃で24時間振とうした場合のVSS（揮発性固形物質：有機性固形物量を代表する値）の分解率を示す。約5時間の短時間で分解が進んでいることから、上澄み液中に汚泥可溶化酵素が存在していたと推察される。比較として、汚泥可溶化能を示さなかった中温菌の培養液上澄み液についても同様の試験を行ったが、可溶化は認められなかった。

### 2.3 エステプロセス

エステプロセスは第5図に示すように、余剰汚泥を汚泥可溶化槽（S-TE槽）で好熱菌により可溶化処理後、水処理系の曝気槽に返送し、無機化する水処理・汚泥処理一体型のプロセスである。

エステプロセスで使用する好熱菌は *Bacillus stearothermophilus* に分類される病原性のない安全な細菌で、自然界から分離されたものである。この細菌は好気性条件の下で60~70℃で活発に増殖

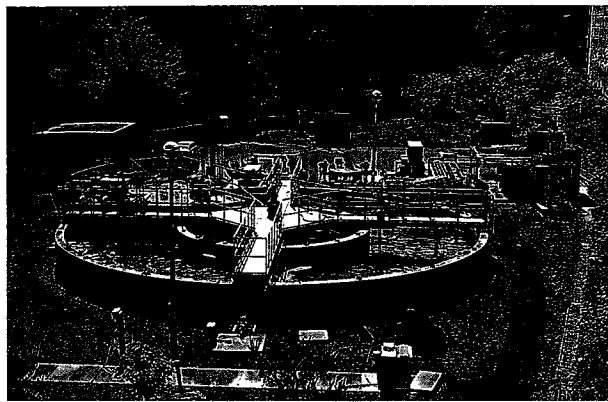


写真 4 エステプロセス設置処理場全景  
Photo 4 Outside view of S-TE plant

し、強力な汚泥可溶性酵素を分泌し、汚泥を溶解する。また、本菌は50℃以下では増殖せず、かつ、汚泥可溶性酵素も50℃以下では不活性であるため、可溶化液を水処理系曝気槽に返流しても活性汚泥に悪影響を及ぼすことはない。

本菌は、芽胞（孢子）形成細菌の一種であり、芽胞は種々のストレス（温度変化、毒性物質の混入、乾燥等）にさらされても死滅することなく生残する。曝気槽内では一部芽胞の状態で存在するため、死滅することなく、沈殿槽を経てエステ槽に送られ、再度活性化（発芽）し、汚泥の可溶性に寄与する。したがって、種菌の追加接種は原則的に不要である。

## 2.4 実施例<sup>6)</sup>

### (1) 処理設備概要

実下水処理施設（オキシデーションディッチ法）において実証実験を行なった。設備全景を写真4に示す。

オキシデーションディッチ槽：400 m<sup>3</sup>

流入下水量：260～270 m<sup>3</sup>/d

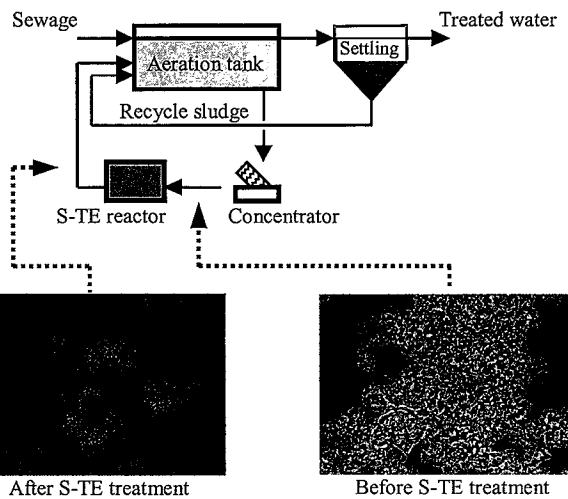
余剰汚泥発生量：25～30 kgDS/d

S-TE 槽：5 m<sup>3</sup>

### (2) 処理成績

最適な運転条件を検討した結果、余剰汚泥の排出量が従来の1/5程度に削減され、汚泥処理に要する用役費も2/3程度となった。処理水質についても、T-BOD、SSは年平均10 mg/L程度と良好で、CODMnについても1年を通して20 mg/Lを上回ることはなかった。

現在、群馬県中之条町沢渡水質管理センターに



第5図 エステプロセス基本フロー

Fig. 5 Standard flow of S-TE PROCESS

てエステプロセスが実働している。

## むすび

特殊環境微生物としては他にも嫌気性細菌を利用した嫌気処理技術もあるが、広く汎用化されているため本稿では割愛した。

地球上には、有用な機能を持った特殊環境微生物が他にも多く認められている。また、未だ発見されず、どこかに潜んでいるものもあると推察される。今後、このような特殊環境微生物の持つ有用な機能あるいは特殊な機能を利用することによって、より効率的な生物利用技術が確立されていくものと期待する。

## 【参考文献】

- 1) 大島泰郎監修：極限環境微生物ハンドブック，(1991) (株)サイエンスフォーラム
- 2) 建設省都市局下水道部，日本下水道事業団：下水道施設における生物脱臭技術の開発に関する調査，(1990)
- 3) Murray, R. G. E et al.: Bergy's Manual of Systematic Bacteriology, Vol. 3 (1984), p.1854-1857, Williams & Wilkins.
- 4) 藤本莞二：月刊下水道，Vol.16, No.2 (1995), p.49
- 5) 長谷川進他：下水道協会誌，Vol.34, No.408 (1997), p.76
- 6) 若山正憲他：第38回下水道研究発表会講演集，(2001), p.668