



Title	排ガス中のトルエンに対する生物処理法の開発
Author(s)	山下, 茂樹; 北川, 政美
Description	第8回衛生工学シンポジウム (平成12年11月16日 (木) -17日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 1 廃棄物 . 1-5
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 8, 22-27
Issue Date	2000-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7202">https://hdl.handle.net/2115/7202</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	8-1-5_p22-27.pdf



## 1-5 排ガス中のトルエンに対する生物処理法の開発

山下 茂樹（株式会社荏原製作所、環境技術開発部）

北川 政美（同上）

### 1 要約

揮発性有機化合物(VOC)は工場排ガスなどに含まれて大気中に放出されており、大気汚染の一因となっている。トルエンは中でも放出量の多い物質の一つである。生物処理法は経済性及び安全性の高い排ガス処理法であり、排ガス中の VOC 処理法の一つとして利用されている。

充填塔式生物処理装置(以下、「生物処理装置」と記す。)には接種源となる分解菌が必要である。これには活性汚泥などが利用できるが、優れた分解菌を単離し、利用することにより、馴致期間の短縮及び処理能力改善などの効果が期待できる。そこで、本研究では新たにトルエン分解菌を単離し、生物処理装置への適応可能性を評価した。

分解菌の単離源として、トルエン含有排ガス連続処理実験装置(以下、「連続実験装置」と記す。)の付着汚泥を使用した。装置内には  $5.6 \times 10^8$  CFU/ml-充填層 のトルエン分解菌が検出され、その中から優占種と思われるコロニーを単離した。

このうち、Tol-5 と命名した株は生物処理装置への応用可能性が高いと考えられる以下のような性質を示した。菌体乾燥重量あたりのトルエン分解速度は  $7.4 \text{ mg/g-乾燥菌体/min}$  で、分離源である付着汚泥の約 10 倍の値を示した。また、生物担体(ポリウレタン発泡体)に対して高い付着性を示し、生物担体を共存させて液体培養すると、最大  $140\text{mg-g-乾燥菌体/g-担体の菌体}$  が付着した。

さらに、Tol-5 を付着させた生物担体を充填した生物処理装置を用いてトルエン含有模擬排ガスを連続的に処理したところ、運転開始 2 日後に  $1.1\text{kg-トルエン/m}^3\text{-充填層/d}$  に達したことから、この分解菌による生物処理装置の馴致期間短縮に対する効果が示唆された。

### 2 緒言

産業活動に伴い、多種多様な揮発性有機化合物(VOC)が環境中に放出されている。VOC は光化学スモッグの一因であり、発癌性などの毒性を有するものも含まれるため、環境中への放出を抑制する必要がある。平成10年度の環境庁による PRTR パイロット事業によれば、トルエンは VOC の中で最も多量に環境中に排出されており、しかも主に排ガスとして大気中放出されている(大気への排出量:7330t/年)。<sup>1</sup>

VOC を含む排ガスの処理法には、燃焼法、活性炭吸着法、生物処理法などがある。生物処理法は経済性、安全性などの点で優れた方法であり、比較的低濃度の排ガス処理に適し、主にドイツ、オランダなどで実用化されている。<sup>2</sup>

我々は硫化水素などの悪臭に対する生物処理装置に対して、すでに多数の実用化実績がある。<sup>3, 4</sup>近年、VOC 排ガスの生物処理装置の実用化に向けて、さまざまな検討を行っている。<sup>5, 6, 7</sup>

排ガスの生物処理装置には接種源となる分解菌が必須である。これには活性汚泥などが利用できるが、運転開始当初は処理対象とする VOC に対して十分な除去性能がなく、数週間の馴致期間を必要とする場合もある。また、排ガスは工場の操業が休止すると、同時に停止する。したがって長期間操業が停止すると、分解菌が死滅し、運転再開時に除去性

能が不十分になることが予想される。そのようなとき、VOC 分解菌の添加によって、馴致期間の短縮や速やかな除去性能の回復が期待できる。そこで今回、トルエン分解菌を新たに単離し、その特性を明らかにするとともに、連続試験によって効果を確認した。分解菌には高いトルエン分解能力が求められるのはもちろんであるが、充填塔式の生物処理装置では、生物担体に対する付着能力が重要な性質であると考えられる。従って分解菌の特性解明に際しては、これらの点に着目した。

### 3 方法

#### 3. 1 トルエン分解菌の計数及び単離

トルエン分解菌を含む汚泥の懸濁液を無機塩寒天平板培地( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ : 1.0g、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ : 3.0g、 $\text{Mg}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ : 50mg、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ : 10mg、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ : 10mg、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ : 10mg、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ : 1.0 mg、 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ : 1.0mg、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ : 5.0g、 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ : 2.0g、酵母エキス: 2.0mg、寒天: 25g、純水: 1L、pH7.2)に塗沫し、デシケーターに入れた。そこに、トルエンを染み込ませたガラスウールを詰めた硝子容器を入れて密閉し、25°Cで7日間培養し、出現したコロニーを計数した。これらのコロニーから定法に従ってトルエン分解細菌を純化し、単離菌体を得た。

#### 3. 2 トルエン分解細菌の培養にともなうトルエン分解の確認

125ml 容バイアルに上記の培地と同じ組成の液体培地 20ml を添加し、菌体を接種し、ブチルゴム栓で密閉した後、10ml のトルエンを添加した。この容器を 25°Cで振とう培養(120rpm)した。定期的に気相のトルエン濃度を測定し増殖にともなうトルエンの減少を確認した。

#### 3. 3 トルエン除去活性の測定

液体培地に増殖した菌体を無機塩液体培地(無機塩寒天平板培地から窒素源と寒天を除いたもの)に懸濁し、125ml 容バイアルに注入、バイアルを密閉して 25°Cのウォーターバス中で30分以上振とうした後、注射器で所定量のトルエンを添加した。その後、気相中のトルエン濃度変化を追跡し、終了後、直ちに菌体量を測定し、トルエン除去活性を算出した。

#### 3. 4 トルエン濃度の測定

トルエン濃度はガスクロマトグラフ(島津製作所製 GC-14A 型)にカラム充填材として同社製 SBS-100 を使用し、FID 検出器で分析した。

#### 3. 5 トルエン分解細菌の同定

グラム染色は和光純薬社製グラム染色液を用い、常法に従って行った。

同定は、BIOLOG 社製の微生物同定装置(Micro Station System)を用いて行った。

#### 3. 6 菌体の生物担体に対する付着能力

500ml 容の三角フラスコに生物担体を入れ、100ml の無機塩液体培地(無機塩寒天平板培地と同じ組成の液体培地)を注入し、トルエン分解細菌を接種した後、密閉し、注射器を用いて所定量のトルエンを添加した後、25°Cで振とう培養(120rpm)した。培養終了後、生

物担体付着菌体及び液体培地中のトルエン分解菌量を測定した。生物担体にはポリウレタン発泡体(大きさ:12.5mm×12.5 mm×10mm、形状:スポンジ状)を使用した。生物担体の添加量を段階的に変えることによって、生物担体に対する菌体の付着量を明らかにした。

### 3.7 トルエン分解細菌によるトルエンの連続除去

1L容の坂口フラスコに200mlの無機塩液体培養液及び生物担体を添加し、3.6と同様にトルエン分解細菌を培養した。2日間培養後、菌体の付着した生物担体を取り出し、実験装置に充填した。その際、菌体濃度は2.3g-乾燥菌体/L-充填層であった。

実験装置のフローを図-1に示す。実験装置は硬質塩化ビニールで、上部に散水部、中央には生物担体充填部、底部に循環水槽を設けた。充填層の形状は直径68mm、高さ370mmの円筒とした。トルエン含有ガスは市販の試薬(和光純薬社製、特級)に窒素ガスをばっ気して発生させた

高濃度ガスを空気で約100ppmに希釈して生物反応装置に供給した。ガス流速は充填層容積に対する滞留時間を27秒となるように調整した。また、分解菌に水分と栄養塩類を供給するため、循環水槽中の水を散水(散水流量:100L/m<sup>3</sup>-充填層/min)した。循環水槽には培養液(CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>:150mg、NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O:10.8mg、FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O:2.0mg、水道水:1.0L)を注入した。

また、充填層の温度はウォータージャケットで25°Cに保温した。

## 4 結果及び考察

### 4.1 トルエン分解細菌の分離

トルエン分解細菌の分離源として、トルエンを連続的に分解している生物処理装置の付着汚泥を用いた。この装置は約3ヶ月間トルエンを分解しており、トルエン除去速度は1.1kg-トルエン/m<sup>3</sup>-充填層/dであった<sup>7</sup>。付着汚泥を一部採取して、トルエン分解菌を計数したところ、充填層中には5.6×10<sup>8</sup>CFUのトルエン分解菌が存在した。ここで出現したコロニーからトルエン分解細菌を定法に従って純化し、単離菌株、5株を得た。以後、これらの菌株をTol-1~Tol-5として示す。

### 4.2 トルエン分解細菌の同定

グラム染色の結果、Tol-1~Tol-4はグラム陽性、Tol-5はグラム陰性を示した。さらに同定の結果、Tol-1~Tol-4は*Rhodococcus erythropolis*、Tol-5は*Acinetobacter genospecies 10*に分類された。

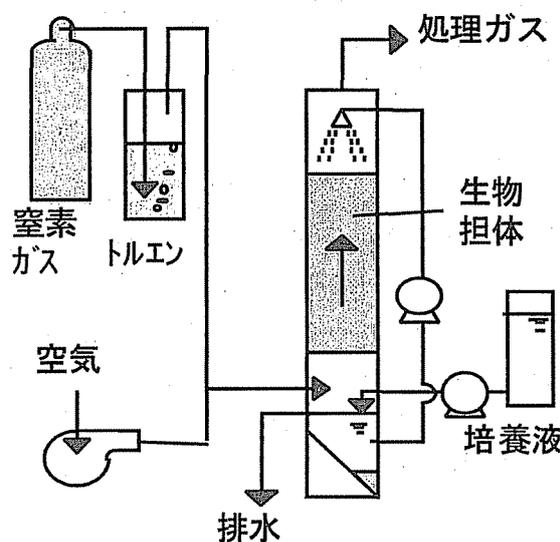


図-1 実験装置のフロー

#### 4. 3 増殖にともなうトルエン分解

図-2に示すように、Tol-5の気相中のトルエン濃度が培養開始2日後に99%以上除去され、培養液中に菌体による懸濁が認められた。他の菌株では3日後に、気相中のトルエン濃度が97%以上除去された。この結果から、今回新たに単離した5菌株がいずれもトルエン分解能力を有することが分かった。なかでもTol-5は最も早く増殖し、トルエンを分解することが分かった。

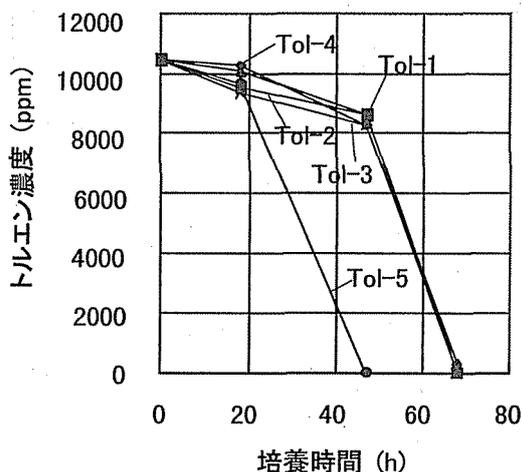


図-2 増殖にともなうトルエン分解

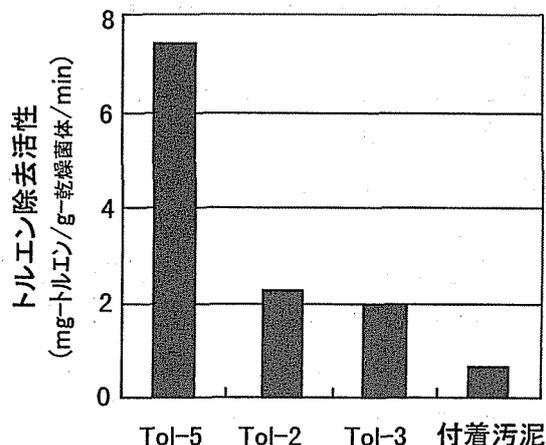


図-3 トルエン除去活性の比較

#### 4. 4 トルエン除去活性の比較

トルエンを基質として増殖した Tol-5、Tol-2、Tol-3 及び担体付着汚泥(トルエンを連続的に除去している実験装置内の付着汚泥)のトルエン除去活性を図-3に示す。Tol-5 が最も高い値を示し(7.4mg-トルエン/g-乾燥菌体/min)、付着汚泥の約 10 倍の値を示した。Tol-2 及び Tol-3 も担体付着汚泥と比較すると高い値を示した。

また、Tol-5 を10:1(V:V)のエタノールとトルエンの混合物又はトルエン単独で培養し、それぞれのトルエン除去活性を比較したところ、ほぼ同じ値であった。即ち Tol-5 はエタノールを主な基質として培養できることが分かった。エタノールは取扱が容易で廉価であるため、多量の菌体を培養するときに有用である。

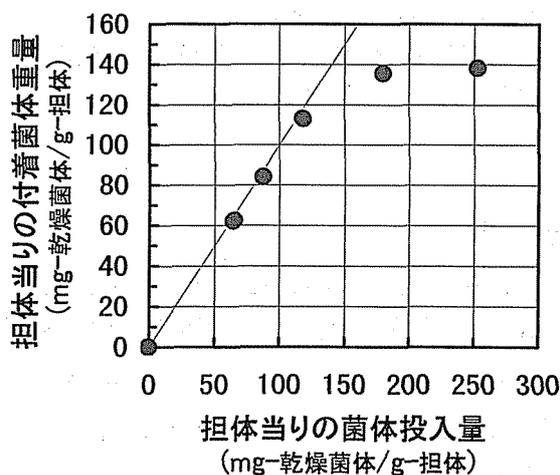


図-4 生物担体への付着能力

#### 4. 5 生物担体への付着能力

図-4に Tol-5 の生物担体への付着能力を示す。Tol-5 は最大で 140mg-乾燥菌体/g-担体付着した。また、最大付着量に満たないとき、菌体は液体培地中にはほとんど検出され

なかった。

#### 4.6 トルエン分解細菌によるトルエン含有ガスの連続処理

図-5にトルエン分解細菌によるトルエンの連続除去実験の結果を示す。流入濃度100ppmのトルエンは通気開始直後には39%除去され、翌日には75%、2日後には84%除去された。2日後及び3日後のトルエン除去速度の平均値は $1.1\text{kg-トルエン}/\text{m}^3\text{-充填層}/\text{d}$ に達した。この値は分離源とした実験装置のトルエン除去速度と同等であった。この実験装置は既に馴致されており、このことからTol-5を用いることによって、2日で馴致完了時と同等の除去速度に達したと言える。このように、Tol-5が生物処理装置の馴致期間の短縮に役立つことが示唆された。

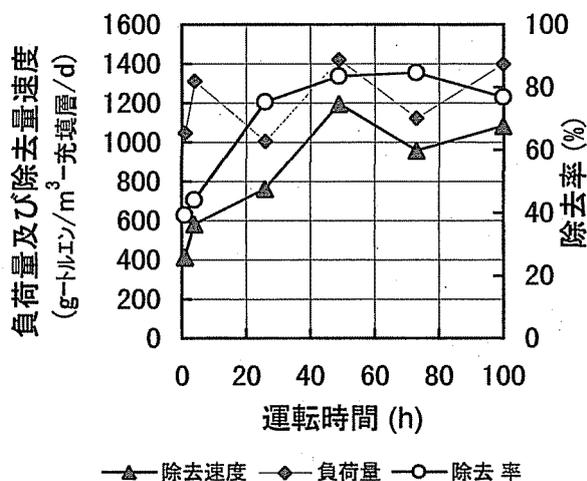


図-5 トルエン分解細菌によるトルエン含有ガスの連続処理

#### 5 結語

トルエンを処理している生物処理装置の充填容量1mlあたり $5.6 \times 10^8$ CFUのトルエン分解菌が計数された。それらの分解菌から5株を同定したところ、*Rhodococcus erythropolis*及び*Acinetobacter genospecies 10*に分類された。このうちTol-5は増殖が早く、トルエン除去活性が高く( $7.4\text{mg-toluene}/\text{g-dry cell}/\text{min}$ )、生物担体に対する付着能力も高かった( $140\text{mg-dry cell}/\text{g-microbial carrier}$ )。そこで、Tol-5を生物担体に付着させて装置に充填した。その結果、2日後に $1.1\text{kg-トルエン}/\text{m}^3\text{-充填層}/\text{d}$ の除去速度に達し、Tol-5の馴致期間短縮に対する効果が示唆された。

#### 参考文献

1. 環境庁、平成10年度・PRTRパイロット事業報告、1999年8月
2. Leson, G., Winer, M. A., :Biofiltration: An Innovative Air Pollution Control Technology For VOC Emissions, *J Air Waste Manage. Assoc.*, Vol.41, No.8, 1991
3. Toyoda, F., Yade, N., Arikawa, A., Iwasaki, K., :Development of Bio-Scrubber Deodorizing Equipment with Sponge Media, *J. Odor Research and Eng.*, Vol.21, P.340-350, 1990
4. Tyugo, A., Toyoda, F., Yade, N., Hoshino, Y., Yamashita, S., :下水処理施設における生物脱臭装置, *EBARA-INFILCO ENGINEERING REVIEW*, Vol.108, P.14-24, 1993
5. Yamashita, S., Kitagawa, M., :Removal of Toluene and Benzene from Flue Gas by a Urethane Foam Filter Biotrickling Filtration System, *Proceedings of the 91<sup>th</sup> annual meeting of AWMA.*, 1998
6. Yamashita S., : Isolation of the toluene degrading bacteria and application to the biotrickling filtration system of off-gas treatment., *Proceedings of the 92<sup>th</sup> annual*

*meeting of AWMA, 1999*

7. Yamashita, S., Kitagaw, M., :Elimination of toluene from off-gass using a trickle bed biofilter system with urethane foam microbial carrier, *J. Odor Research and Eng.*, Vol.30, No.4, 1999