

N-6 DHSリアクターによるVOC含有排水の 生物学的酸化分解処理

○稲田康平¹ 中村将一郎¹ 幡本将史¹ 山口隆司^{1*} 田村英輔² 長野晃弘²

¹長岡技術科学大学 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

²三機工業株式会社 技術開発部 (〒242-0001 神奈川県大和市下鶴間1743-7)

* E-mail: ecoya@vos.nagaokaut.ac.jp

1. はじめに

揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds : VOC) は、人体への健康被害や環境に悪影響を及ぼす光化学オキシダントや浮遊粒子状物質の原因物質として知られる。VOCは塗料、印刷等に溶剤として広く使用されており、工場の煤煙などからも排出されている。平成16年5月にはVOC排出抑制を目的とした大気汚染防止法の改正も行われており、適切な排出削減技術が求められている。現在のところ、VOCの除去は燃焼法が主流である。燃焼法は高いVOC分解率を示すが、ランニングコストが高く、補助燃料を使用するためCO₂排出量が増大するといった問題がある。そこで、低コストであり、省エネルギー且つ環境負荷低減に優れた、生物処理法によるVOC除去が注目されている。VOCのような揮発性物質は開放系の活性汚泥処理プロセスでは、処理が困難なため、揮散しても再溶解可能な、密閉された空間内で処理を行う必要がある。そこで、我々はVOC処理装置として、生物保持担体にスポンジを用いた密閉型のDown-flow hanging sponge (DHS)リアクターに着目し、VOCの処理効率に優れた密閉型DHSリアクターを用いた処理装置の研究開発を行っている。本研究では、模擬VOC含有廃水を供給した連続処理実験より、生物処理の分解性能や有機物除去性能の評価を行った。

2. 実験方法

(1) 供給基質

供給基質は、現在国内で使用頻度の高いVOC類から選定し、芳香族炭化水素類のトルエン、アルコール類のイソプロピルアルコール (IPA)、ケトン類のメチルエチルケトン (MEK)、エステル類の酢酸エチルの4基質とした。リアクターには上記VOC類を1種類ずつ別々に炭素濃度250 mg-C・L⁻¹となるように溶解させ、微生物増殖に必要な栄養塩を添加した基質を供給した。

(2) 実験装置および分析方法

図1にDHSリアクターによるVOC処理装置の概要図を示す。リアクターカラム容積は22.0 Lであり、内部にスポンジを9.4 L充填させた。植種汚泥には活性汚泥を用いた。供給基質中に溶解させたVOCは、大気接触によって拡散し、濃度が低下すること懸念される。そこで、

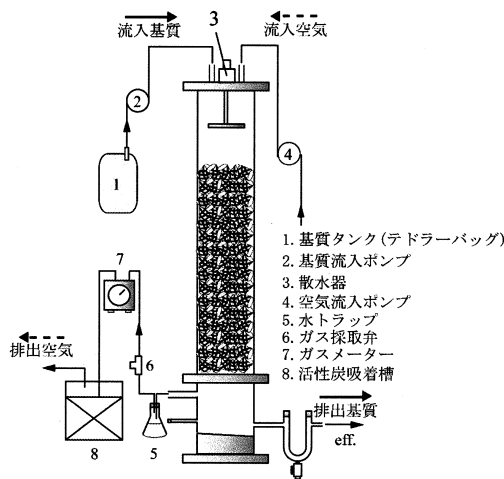


図1 DHS概要図

供給基質は耐薬品性のテドラーバッグに充填し、大気接触拡散を防いだ。各基質につき、1基のDHSリアクターを用い、4基のDHSリアクターを同時並行で運転した。供給したVOCが拡散するのは望ましくないため、空気供給は、リアクター上部から供給させ、スポンジに補足された微生物によって酸化分解を試みた。空気供給量は、有機物酸化に利用する酸素消費量を3%とし、306 m³・m³・day⁻¹の空気を供給した。HRTは、12時間 (スポンジ容積当たり) で運転を行った。温度は室温 25±2°Cで運転した。液中炭素濃度の分析には、触媒酸化式TOC計 (TOC-v, Shimadzu) を用い、気中炭素濃度はFID形VOC計 (HCM-1B, Shimadzu) を用いて分析を行った。

(3) 栄養塩の比率によるTOC除去性能評価

一般的な菌体増殖には、栄養塩の比率がC:N:P=100:5:1とされているが、VOC除去に関しての知見が少ない。そこで本実験では、栄養塩添加率を変更により、VOC含有模擬廃水の有機物除去の効果を検討した。また、栄養塩の添加率はPhase1 (0~100日) ではC:N:P=100:5:1、Phase2 (101~180日) では、C:N:P=200:5:1とした。

(4) 保持汚泥の微生物群集解析

運転開始後177日目のスポンジ担体保持汚泥に対して、

細菌の16rRNA遺伝子に基づいたクローン解析を行った。汚泥は4基のリアクターからスポンジをそれぞれ採取し、DNA抽出には、Fast DNAR SPIN Kit for Soilを用いた。PCR増幅には、EUB338とUNIV1500のプライマーセットを用いて、細菌の16rRNA遺伝子域を特異的に増幅した。得られたPCR産物はTOPO TA Cloning kit (Invitrogen) によってクローン化し、塩基配列の解析に用いた。得られた塩基配列は、Ribosomal Database Project (RDP) のClassifierを用いて近縁種の特特定および分類を行った。

3. 実験結果及び考察

(1) TOC除去性能評価

図2にTOC除去率の経日変化を示す。Phase1において、トルエン、MEK、酢酸エチルは、運転開始15日までに、速やかに除去が行われた。IPAにおいては運転開始後、徐々にTOC除去率は上昇し、2週間程度で、TOC除去率は89.9%を達成した。栄養塩添加量を低下させたPhase2では、条件変更直後にIPAのTOC除去率が一時的に低下したものの、全基質において80%以上の除去率を示した。このTOC除去が揮散によるものか微生物酸化によるものか確認するため、流出ガスの炭化水素濃度および二酸化炭素濃度を分析し、リアクターの炭素収支を計算した。図3にPhase1における1日当たりの炭素収支を示す。特に、トルエンは、本実験で用いた基質の中で、最も揮散率が高いと言われている。トルエンの流出の炭化水素ガス濃度を分析したところ、Phase1の平均流出炭化水素濃度は 0.51 ± 0.29 ppm (標準偏差) であった。一方、平均流出二酸化炭素濃度は 2381 ± 546 ppm であった。この結果を元に、トルエンの流入炭素量 ($3.8 \text{ g-C} \cdot \text{day}^{-1}$) に対する炭素バランスを把握したところ (図3 (a)), 流出ガスの炭素量は僅か $0.01 \text{ g-C} \cdot \text{day}^{-1}$ であり、微生物反応によって生成された炭素量 (二酸化炭素) は $3.6 \text{ g-C} \cdot \text{day}^{-1}$ であった。このことから流出炭化水素の減少は微生物酸化によるもので、流入トルエンの90%以上はDHSリアクター内で微生物分解されていることがわかった。また、IPAその他の比較的溶解性の高いVOCに関しても70%以上の高い除去率が得られた (図3 (b),(c),(d))。

(2) 微生物群集解析

表1にリアクター保持汚泥の微生物解析の結果を示す。本リアクターはVOCを唯一の炭素源として運転を行っていたが、リアクター保持汚泥には特定の細菌種が集積されることは無かった。これは有機物負荷量を $0.5 \text{ kg-C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ と低負荷で運転を行ったために十分な培養ができなかったのではないかと考えられる。一方、網レベルにおいては、4サンプルとも β -proteobacteria 綱の存在が多く確認された。 β -proteobacteria 綱に属する細菌は非常に多様な化合物を分解できることが知られており、VOC類の分解も β -proteobacteria 綱に属する細菌によって行われているのではないかと考えられる。

4. まとめ

DHSリアクターを用いた溶解性VOCの連続処理の結果、4基質すべてにおいて高いTOC除去性能を有し、その除去率は80%以上であった。また、トルエンのような難溶解物質でも、良好な処理が確認できた。

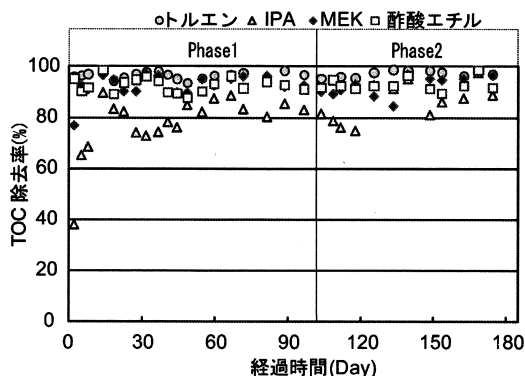


図2 TOC除去率の経日変化

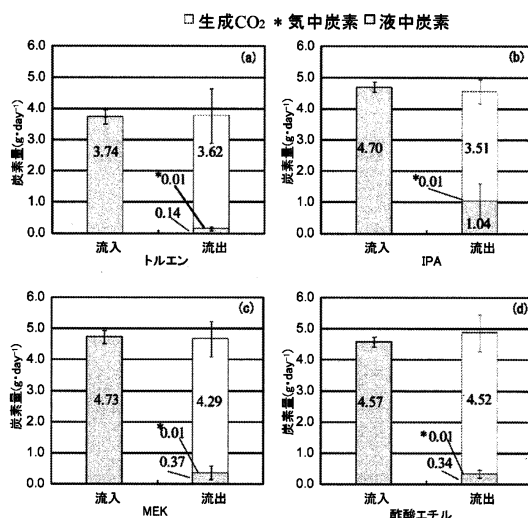


図3 Phase1における1日あたりの炭素収支

(a) トルエン (b) IPA (c) MEK (d) 酢酸エチル

表1 Phase2における微生物群集解析

Classification	NO. of clones (% of total clones)			
	toluene	IPA	MEK	EA
Proteobacteria				
Alpha-proteobacteria				
Sphingomonadales	1(2.1)			
Rhizobiales	1(2.1)		4(8.3)	1(2.1)
Rhodobacterales		2(4.2)		
Sphingomonadales				7(15)
Betaproteobacteria				
Rhodocyclales	1(2.1)	2(4.2)	6(13)	1(2.1)
Burkholderiales	8(16.7)	13(27)	17(35)	14(29)
Methylophilales		2(4.2)		
Neisseriales				1(2.1)
Gammaproteobacteria	1(2.1)			
Legionellales				
Xanthomonadales	2(4.2)	7(15)	4(8.3)	4(8.3)
Pseudomonadales	2(4.2)			2(4.2)
Deltaproteobacteria				
Mycococcales	2(4.2)			
Desulfosporichniales				1(2.1)
Other	5(10)	2(4.2)	4(8.3)	2(4.2)
Bacteroidetes	13(27)	13(27)	5(10)	7(15)
Other	12(25)	7(15)	8(17)	8(17)
Total number of clones	48	48	48	48