

水溶性切削油剤含有廃水を対象とした効率嫌気性処理システムの提案

香川高等専門学校 学生会員 ○薬師侑祐, 宮岡佑馬
 長岡技術科学大学 学生会員 出濱和弥
 香川高等専門学校 正会員 多川 正

1. はじめに

精密金属部品の切削加工工程では、作業効率向上や品質向上のために油剤(切削油剤)が使用されてきたが、工程の自動化や高速化、無人化の進行と環境への関心の高まりに伴い、その需要は不水溶性から水溶性切削油剤へと転換している。近年では水溶性切削油剤の排出量が年間 100 万トンを超える中、PRTR 法改正や EU の REACH 規則によって含有化学物質が規制を受け、更なる環境負荷低減への開発が進められている。

切削工程で排出される水溶性切削油剤廃水は、使用時の希釈水起因の水分が 90%以上を占め、基油や界面活性剤、防腐剤、消泡剤等の難分解性化学物質が含まれる高濃度有機性廃水である。この切削油剤廃水は既設排水処理設備内の凝集沈殿などによって処理されている現状にあるが、放流に際して十分な処理水質を得ることが難しく、薬品代や電力コストの負担も大きい。また、小規模工場においてはほとんどの切削油剤廃水が焼却処分されており、化石燃料消費や CO₂、NO_x 等の温室効果、酸化ガスの排出といった環境負荷を与えている。

本研究では水溶性切削油剤廃水に対し、生物学的廃水処理システムの中でも安価で高濃度・高負荷汚濁に対応可能である嫌気性処理システムの利用可能性を検討したものである。

2. 実験方法

2.1 水溶性切削油剤廃水の組成及び供給原水

表-1 に水溶性切削油剤廃水の水質分析結果を示した。分析結果より、COD_{Cr} 97,800mg/L、全窒素 2,300mg/L と非常に高濃度の有機性汚濁と窒素成分を含む廃水であり、嫌気性処理のメリットを生かしやすい高濃度の有機性廃水であるが、パイロット実験により水溶性切削油剤廃水は COD_{Cr} 5,000mg/L 以上の濃度において、酢酸からのメタン生成阻害が確認された¹⁾。これより、供給原水は水溶性切削油剤廃水の原液を COD_{Cr} 5,000mg/L を越えないように水道水で 17~20 倍に希釈し、塩化第二鉄にて中性域(7~7.5)に pH 調整したものを使用した。

2.2 嫌気性 DHS リアクターによる処理システム

種々の嫌気性処理システムのうち、スポンジ担体に汚泥を付着させて廃水の浄化を図る DHS 法は、汚泥の剥落・流失が少なく、UASB 法のようにグラニュー状汚泥が不要であるため、阻害成分を多く含んだ廃水の処理に適応できる可能性がある。連続通水実験に使用した嫌気性 DHS リアクターのフローを図-1 に示した。嫌気性 DHS リアクターは容積 60L(G3 型スポンジ容積 23.5L)であり、水溶性切削油剤廃水処理の予備検討にて運転していた小型(5L)嫌気性 DHS リアクター内汚泥付着スポンジ 100 個と新たに 900 個の新品スポンジを追加し、合計 1,000 個のスポンジ汚泥をリアクターに充填した。また、リアクター内温度は混合槽を温水浴中に設置することで中温度域の 30°C以上とした。

馴養期間および連続運転条件は 3 つに分けられ、その処理特性の追跡を行った。以下にその条件を示す。
 条件①：2L の原水を 5 日間循環させ、5 日後混合槽より 2L 排水し、新たな原水を 2L 添加する馴養期間(26 日目まで)、条件②：原水供給量 5L/d での連続通水期間(206 日目まで)及び、条件③：原水供給量 2.5L/d および窒素(NH₄Cl)、リン(KH₂PO₄)を追加した連続通水期間(207 日目以降)

表-1 水溶性切削油剤廃水の組成

| pH | COD _{Cr} [mg/L] | TOC [mg/L] | T-N [mg/L] | T-P [mg/L] |
|-----|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 8.7 | 97,800 | 25,620 | 2,300 | 120 |

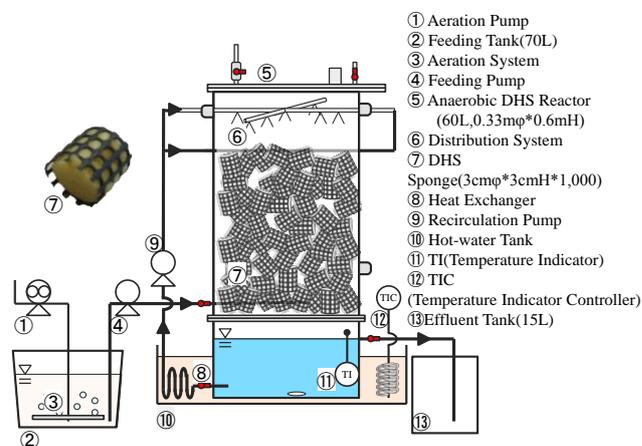


図-1 水溶性切削油剤廃水処理嫌気性 DHS フロー

2.3 リアクター内汚泥の微生物群集構造解析

連続通水実験開始 56 日目にリアクター内スポンジをサブリングし、domain *Bacteria* の 16S rRNA 遺伝子を標的としスポンジ汚泥中の微生物群集構造解析を行った。PCR における反応液調製には、EUB338F および UNIV1490R プライマーを用いた。クローニングによって得られたクローンは、Rebosomal Database Project(RDP)を用いて菌種の検索を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 嫌気性 DHS システムによる連続通水実験

連続通水実験における供給原水および DHS 処理水の COD_{Cr} 濃度の経日変化、およびリアクター内ガスの濃度組成測定結果を、図-2 および図-3 に示した。連続通水実験開始直後は処理水 COD_{Cr} 600mg/L と高い処理水質であったが、これは馴養期間にスポンジ担体に油分や SS が吸着・捕捉されたためと考えられる。その後 COD_{Cr} 除去率は低下し、条件②の期間の平均 COD_{Cr} 除去率は 40% 程度であった。運転条件③では負荷の低減および栄養塩の添加により COD_{Cr} 除去率は若干改善され、平均除去率 45~50% で推移するが、十分な有機物除去能は現状では得られていない。リアクター内ガス組成に関してもメタン濃度は 40% 程度まで上昇した(208 日目以降のメタン濃度低下はスポンジ付着汚泥の確認のためリアクターを開放したためである)。また、窒素濃度が 80% 超であったことから、脱窒反応による有機物除去の可能性が示唆されたが、ガス組成分析の継続によってメタン濃度の増加と窒素濃度の 60% 以下までの減少が見られ、メタン発酵による嫌気分解が確認された。

3.2 微生物群集構造解析結果

domain *Bacteria* をターゲットとしたクローニングにより 96 クローン中 50 クローンの解析結果を得た。解析結果を表-2 に示した。*Holophagaceae* 科 *Holophaga* 属酢酸生成細菌、*Porphyromonadaceae* 科 *Petrimonas* 属酢酸生成細菌等が確認できたほか、*Sphingomonadaceae* 科 *Novosphingobium* 属土壌油分分解細菌等、切削油の油分分解に関わる細菌群も数例確認され、微生物学的観点からも含油廃水への嫌気性処理の適応性は示唆された。

4. 総括

嫌気性 DHS リアクターによる水溶性切削油廃水の連続通水試験の結果、COD_{Cr} 除去率は 40~50% と低い値であった。しかしながら、難分解性物質、特に界面活性剤

や防腐剤といった汚泥中の微生物を失活・死滅させかねない種々の物質を含む水溶性切削油廃水に対しても、メタン発酵による嫌気性処理が確認できたため、適用可能性は十分にあると考えられる。今後は更なる除去率の向上、希釈水必要量の低減、処理原水量のアップを目標とし、嫌気性 DHS(生物学的処理)単独のみならず、前段・後段の物理化学処理の適用、嫌気・好気性 DHS の直列運転などのプロセスの組み合わせを検討していく。

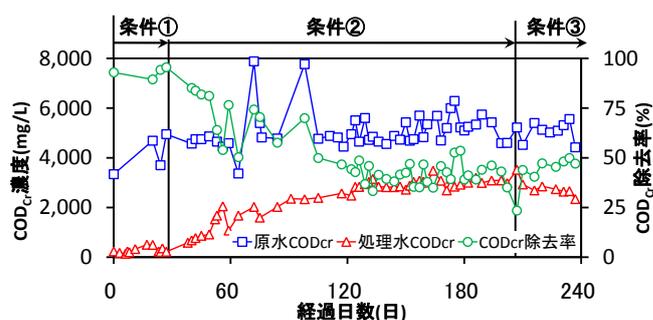


図-2 COD_{Cr} 濃度および除去率の経日変化

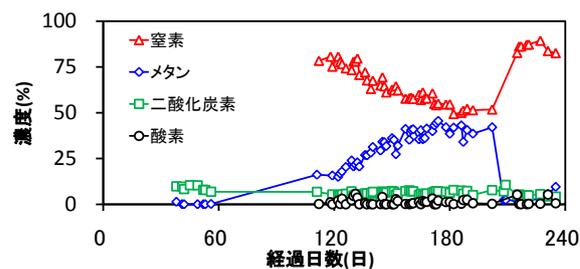


図-3 リアクター内ガス組成の経日変化

表-2 スポンジ保持汚泥の微生物群集構造解析結果

| phylum, class and order | number | phylum, class and order | number |
|---------------------------|--------|-------------------------------|--------|
| Acidobacteria | | Proteobacteria | |
| Holophagae | | Alphaproteobacteria | |
| <i>Holophagales</i> | 5 | <i>Rhizobiales</i> | 1 |
| Gp3 | 1 | <i>Sphingomonadales</i> | 2 |
| Gp7 | 1 | Betaproteobacteria | |
| Bacteroidetes | | <i>Nitrosomonadales</i> | 1 |
| Bacteroidia | | <i>Burkholderiales</i> | 2 |
| <i>Bacteroidales</i> | 10 | <i>Rhodocyclales</i> | 10 |
| <i>Sphingobacteria</i> | | Unclassified_Betaproteobacter | 1 |
| <i>Sphingobacteriales</i> | 1 | Gammaproteobacteria | |
| Firmicutes | | <i>Xanthomonadales</i> | 8 |
| Clostridia | | Unclassified_Proteobacteria | 2 |
| <i>Clostridiales</i> | 1 | Unclassified_Bacteria | 13 |
| Planctomycetes | | | |
| <i>Planctomycetacia</i> | | | |
| <i>Planctomycetales</i> | 4 | | |

[謝辞]

本研究は、科学研究費補助金(課題番号 21760422, 研究代表者 多川正)の助成を受けて遂行した。記して謝意を表する。

5. 参考文献

1) 薬師、出濱ら：水溶性切削油の嫌気性生分解特性の把握、第 45 回日本水環境学会年会講演集 (2011)