

High-rate cotreatment of purified terephthalate and dimethyl terephthalate manufacturing wastewater by a mesophilic upflow anaerobic sludge blanket reactor and the microbial ecology relevant to aromatic compound degradation

黒田 恭平（産業技術総合研究所生命工学領域生物プロセス研究部門・研究員）

この度は、栄誉ある論文奨励賞（廣瀬賞）を授与いただき誠にありがとうございます。ご推薦およびご審査いただいた先生方、日本水環境学会の関係者の皆様へ心より感謝申しあげます。

受賞対象となった論文は、汎用プラスチックの1つであるポリエチレンテレフタート（PET）の原料である高純度テレフタル酸（PTA）とテレフタル酸ジメチル（DMT）の製造廃水の一括処理とその処理機構の解明に関する研究となります。この論文では、私の前職である都城工業高等専門学校助教時代から稼働していた上昇流嫌気性スラッジブランケット（UASB）反応器を用いて1年半かけて行った実験結果を掲載しています。これらの研究成果は、都城工業高等専門学校の私の研究室の卒業生である蔵下はづきさん、山口陽香さん、新島二葉さん、吉田実桜さん、元同僚の野口太郎准教授、鹿児島工業高等専門学校の山内正仁教授、山田真義教授、産業技術総合研究所の成廣隆研究グループ長、Masaru K. Nobu主任研究員（当時）、中原望特別研究員（当時）、Mei Ran特別研究員（当時）、テクニカルスタッフの時沢里保さん、椎葉千慧さんのご協力なくして完遂することはできませんでした。この場をお借りして、心より感謝申しあげます。

PETはペットボトルなどに広く利用されており、その製造量は年々増加していることから、今後も世界規模でPET製造が継続されると考えられています。PETは石油由来のPTAもしくはDMTを主原料として製造されますが、その製造工程では高濃度有機性廃水が排出されます。これらの廃水は、しばしば嫌気性生物学的廃水処理法を用いてメタンを製造し、エネルギー回収が行われています。現在、PTAおよびDMTは個別のプラントで製造されているため、その製造過程で生じる廃水の処理プロセスも個別に設置・運用されていますが、PTA製造廃水の単独処理では芳香族化合物の微生物分解は容易ではありません。そのため、廃水処理後の放流基準を満たすために処理時間を長くしたり、廃水処理システムの設置面積に余裕をもたせたりする設計がなされており、導入や運用で余剰なコストが生じています。このような背景から、PTA製造廃水処理の効率化に向けた技術開発が求められていました。本研究では、芳香族化合物を主成分とするPTA製造廃水に、メタノールやギ酸を主成分とするDMT製造廃水を混合して処理することで、芳香族化合物の分解の鍵を握る微生物群の浄化能力を活性化することを着想し、PET原料製造廃水の一括処理システムの確立に向けた研究開発を進めました。

まず実験室スケールで製作したUASB反応器で段階的に有機物濃度を上昇させて518日間の長期連続処理実験を行い、廃水の有機物濃度やその大部分を安定的に分解できる処理条件を明らかにしました。さらに、ギ酸の添加により、ギ酸や水素を利用するメタン生成アーキア(*Methanoregula*属)と、芳香族化合物分解を担う嫌気性共生細菌(*Pelotomaculum*属や*Syntrophorhabdaceae*科など)の反応器内での存在量が増加することを確認し、この結果から、DMT製造廃水に含まれる成分をPTA製造廃水に添加することで、UASB反応器における芳香族化合物の分解に必要不可欠な嫌気性共生細菌とメタン生成アーキアがその相互作用で活性化され、高い処理効率を示したと考えされました。このように、PTA製造廃水とDMT製造廃水の複合廃水の効率的な一括処理が実現しました。これら複合廃水の処理機構を解明するため、ショットガンメタゲノム解析を行った結果、UASB反応器内において、廃水中に高濃度で存在する芳香族化合物(テレフタル酸、イソフタル酸、オルソフタル酸、安息香酸など)や有機酸を分解する微生物群の推定に成功しました。そのうち、とくに*Syntrophorhabdaceae*科に属する2種の系統群は、オルソフタル酸を分解する新しい代謝経路をもつことが示唆されました。

今後は、石油由来原料だけでなく、廃プラスチックや生物由来原料を利用するPET製造プロセス技術が普及し、新しい事業形態のプラントの建造が社会的に見込まれています。そのため、本研究のような異なるプロセスから排出される性質の異なる廃水を単一のプロセスで同時に処理する技術開発の需要は、今後高まることが予想されます。現在、PTA製造廃水、DMT製造廃水だけでなくPET製造時に排出される他のPET製造廃水の一括処理を検討し、微生物学的な視点から性質の異なる廃水の一括処理技術の適用範囲の拡大を目指しています。さらに、本研究で新規提案したオルソフタル酸に加え、分解経路が未解明であるその他の芳香族化合物についても微生物ゲノム情報解析を駆使した解析に取り組んでいきます。これらの微生物学的情報に基づき新しい処理プロセスを設計し、将来的には化学プロセスから排出される廃水に含まれる難分解性化合物を効率的に分解できる環境調和型廃水処理プロセスを創出し、バイオエコノミー社会の形成に資することを目指して参ります。

最後に、本研究の一部はJSPS科研費JP18H01576とJP21H01471の助成を受け実施致しました。ここに記して感謝の意を表します。