

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 ハイ ファイセル イブネイ

本論文は「Enhancement of dye degradation and mitigation of membrane fouling in a membrane-coupled fungi reactor treating textile wastewater (染色工場排水処理のための膜分離菌類リアクターにおける染料分解促進と膜ファウリング制御)」と題し、新たな膜分離菌類リアクターを提案し、これまで染料含有排水処理に適用が試みられながら安定した処理が達成できず実用化されてこなかった白色腐朽菌を用いた連続処理に成功したものであり、また染料分解促進の方法論を提示し、さらに中空糸膜モジュールにスパーサを導入した画期的なコンパクトモジュールの開発に成功した独創的研究である。

第1章は「序論」である。研究の背景、染色工場排水処理の抱える課題、それを受けた研究の必要性、目的と位置づけ、及び論文構成等を述べている。

第2章は「文献レビュー」である。染色工場排水の特徴、含有難分解性物質、毒性、従来の処理法、菌類が産生する分解酵素、その他の染料含有排水処理に関する既往の知見をまとめている。

第3章は「実験材料及び方法」である。用いた菌類や染料の種類、分析方法、実験装置および方法についてまとめている。

第4章は「ファウリング抑制型スパーサ付コンパクト中空糸モジュールの開発」である。根元を織り込んだ中空糸レイヤーとスパーサを重ねて巻き込みモジュール化し、その外周部をプラスチックメッシュで固定した膜モジュールを開発し、染色含有排水の処理に適用したところ、スパーサが膜糸の動きを適度に拘束し膜モジュールの変形を抑制することによりモジュール内への汚泥の進入を防止することが可能となった。また、膜モジュール内に浸入する溶解性ファウリング物質については定期的なインライン化学洗浄を用いて除染するが、その場合にスパーサが汚染物質の排水路となり効果的な化学洗浄が実現した。また、洗浄のためのエアレーションはモジュール外周部だけに、かつ間歇的に与えるだけでよく、洗浄用エアレーション必要量を従来型モジュールより大きく削減することに成功した。ここで開発したモジュールは汎用性が高いと考えられ、今後の浸漬型メンブレンバイオリアクター (MBR) に適用するモジュールの革新への一歩を踏み出すものであると評価できる。

第5章は「菌類の産生する酵素活性及び染料分解効率に及ぼす諸因子」である。本研究で用いた白色腐朽菌 *Coriolus versicolor*, NBRC 9791 について、アゾ染料の一種である Poly S119、Acid Orange II、及び Poly R-478 を用いて染料分解性能に関するバッチ試験を行ったものである。染料分解能力に及ぼす主要な因子として菌の形態、攪拌条件等が抽出されたが、それに加え、特に実処理を想定するときに避けられない細菌との競合関係が分解性能に大きく影響を及ぼす

ことがわかった。その場合、菌類の形態が分散的であると産生した酵素の細菌による分解の影響を大きくうけるため、集塊状態を保持することの重要性が指摘された。

第6章は「汚泥床付き菌類 MBR における汚泥吸着能の異なる染料の脱色」である。MBR 下部に汚泥床を設け、原水を槽上部60%、下部から40%に分配して流入させる方法により、全体の処理性能(脱色率及び全有機炭素除去率(TOC))を向上させることができた。汚泥床は、槽内の汚泥保持量の増大を達成しつつ膜モジュールへの汚泥負荷を減少させる効果があり、また染料を吸着保持する効果が認められた。特に汚泥吸着能の高い染料の場合は、染料が汚泥に吸着された後、徐々に分解させるため、処理効率是非常に高くなる。しかし、汚泥吸着能の低い染料の場合は、なお処理水に着色成分が若干流出することが認められ、その場合は後処理として活性炭カラムに通水することで解決できることを実証した。

第7章は「MBR 性能に及ぼす運転モード及び同時吸着デバイスの影響」である。前章までに開発した膜モジュールに、さらに染料及び菌類産生染料分解酵素の吸着能を持たせるため、膜モジュール外周部に活性炭層をコートさせたハイブリッドモジュールを開発した。別に活性炭層が染料及び菌類産生染料分解酵素を吸着し活性炭層で染料の分解が生じていることを確認し、また連続処理実験によりハイブリッドモジュールにより安定処理ができることを実証した。また、コートする活性炭層の量が限られるので、処理性能には通水速度が大きく影響し、その点でろ過時の通水量が大きくならざるを得ないSBR(反復回分槽)運転法よりも連続流運転法の方が優れていることを示した。

第8章は「MBR の処理性能に及ぼす菌類形態の影響」である。MBR を用いた染料含有排水の連続処理試験において、5章で示した集塊を保持する運転条件が重要であることが確認された。また、積極的に集塊を形成するために支持体の存在が効果的であることが示唆された。

第9章は「菌類付着反応槽-MBR システムの処理性能」である。前章で示唆された結果を受け、菌類を積極的に保持させるための付着型反応槽を MBR に前置する2段処理システムを開発し、その処理性能を調べた。菌類付着反応槽と MBR の間に粗目スクリーンを挿入することにより菌類の流出を出来るだけ防いだ結果、期待通りの処理性能を達成することができた。排水処理として混合培養系にならざるを得ない状況において、いかに菌類の有する機能を保持することができるかが実用化の鍵を握り、その意味で菌類を優占させる方法論を提示できた意義は大きい。

第10章は「結論」である。

以上要するに、本論文は、ユニークな発想により、これまでにない画期的なコンパクト膜モジュールの開発に成功し、それを用いた新たな膜分離菌類リアクターを提案し、菌類を用いた染色工場排水処理法の実用化への道を切り開いたものであり、同時に膜分離菌類リアクターにおける基礎的、学術的情報を与える独創の極めて高い研究であると評価できる。また、本研究で得られた知見は、都市環境工学の学術の発展に大きく貢献するものである。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。