

審査の結果の要旨

氏 名 フォンタノス サイキ マギストラド

本論文は「Performance evaluation and microbial community analysis of an inclined-plate membrane bioreactor treating municipal wastewater at short hydraulic retention time (HRT) and complete sludge retention (短い水理的滞留時間と汚泥完全貯留を実現させる傾斜板メンブレンバイオリアクターによる都市下水処理の性能評価と微生物叢解析)」と題し、次世代型といわれる新しいメンブレンバイオリアクターの中核技術となる傾斜板付き無酸素槽導入による、プロセス内の汚泥分配による効果を定量化し、長期にわたる実下水を用いた性能評価と、滞留時間が短くかつ汚泥を引き抜かないという従来にない運転条件の下で適応したプロセス内の微生物叢を明らかにしたものである。

第1章は「緒論」である。研究の背景と研究目的、及び論文構成等を述べている。

第2章は「既往の研究」である。メンブレンバイオリアクターについて、歴史的展開から下水処理への適用、既存の運転条件、ファウリング等についてまとめ、また既往の微生物群集解析の知見をまとめている。

第3章は「実験材料と方法」である。傾斜板メンブレンバイオリアクターの装置構造、膜試験用の付加装置、使用した膜モジュール、洗浄方法、水質等分析項目、分子生物学的微生物解析方法などについて述べている。

第4章は「傾斜板メンブレンバイオリアクターによる都市下水処理の長期性能評価」である。滞留時間1時間から6時間、分析のためのサンプリング以外の汚泥引抜無し（サンプリングによる汚泥滞留時間は5年程度）の条件で、実下水を400日以上連続処理し、安定した処理水における化学的酸素要求量（COD）及び浮遊物質（SS）の高度な除去を維持しつつ、好気槽の混合液浮遊物質（MLSS）を従来型より低濃度（平均 4,800mg/L）に保ちつつ、無酸素槽傾斜板間の汚泥濃度を高濃度（平均 11,100mg/L）に維持した運転が可能であることを実証した。これは現在広く普及している活性汚泥法だけに留まらず、新技術と言われる従来型のメンブレンバイオリアクターを含めた、これまでの生物学的下水処理法では実現不可能であった運転条件下での安定運転を実証した、画期的な成果である。また、今後の展開について、汚泥を収穫してバイオマスエネルギー回収を図る場合、さらに滞留時間を短く、よりコンパクトにできる可能性や、曝気量を抑えさらにエネルギー消費量を小さくする工夫が容易であること等の重要な示唆を与えている。窒素除去については、滞留時間を短く設定すれば硝化に不利になり、施設のコンパクト化とエネルギー消費

削減と硝化の促進はトレードオフの関係にあり、本論文ではコンパクト化を重視した結果、硝化が完全ではなく、処理水質として全窒素 10mg/L 以下をぎりぎり達成する程度の窒素除去性能を与えた。今後の展開として、窒素除去の方法そのものの転換を示唆するものであった。

第5章は「傾斜板メンブレンバイオリアクターにおける微生物叢解析」である。従来にない下水処理プロセスにおける安定した系での微生物叢解析であり、初めての適用場から得られた情報は学術的に極めて価値の高いものである。既に確立されている分子生物学的手法方法を複数使用して確度の高い情報を得たもので、今後の展開が期待されるが、特に注目されるのは、無酸素槽に膨大な汚泥貯留機能を持たせたことによる特徴として、これまでの活性汚泥法をベースとした下水処理プロセスとは異なり、無酸素槽では *Bacterioides* が優占することである。これは汚泥分解に関わる微生物群の存在を示唆するものであり、今後の無酸素槽の機能の工学的位置づけが脱窒のみならず汚泥分解に重点を移すことの可能性を示すものである。また、ファウリングの進行に伴って膜に付着する微生物群が変遷し、それが膜材質（ポリエチレンとポリフッ化ビニリデン）の違いにより優先する微生物群が異なるなどの有用な知見を与えている。

第6章は「高フラックスおよび高汚泥返送比下での傾斜板メンブレンバイオリアクターの短期性能評価」である。第4章で、安定的な性能を実証した後、本プロセスの核となる傾斜板による汚泥分離性能の限界を調べるため短期負荷試験を行ったものである。具体的には、傾斜板間の上昇流速の限界値について調べ、1.8 mm/s で汚泥の分離性を失うことを示した。また、十分な分離のためには、1 mm/s 以下での運転が良いことを示唆し、これらの値は今後の設計の指針となるものである。

第7章は、「結論と今後の展望」である。

以上要するに、本論文は、次世代型メンブレンバイオリアクターによる処理プロセス内の汚泥分配による効果を定量化し、長期にわたる実下水を用いた性能評価と、滞留時間が短くかつ汚泥を引き抜かないという従来にない運転条件の下で適応した新規プロセス内の微生物叢を初めて明らかにしたもので、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。