

# 回転平膜モジュールの開発及びその排水処理への 適用に関する研究

## 学位論文内容の要旨

近年、社会構造が環境型社会へと移行するにつれ、膜分離装置技術の重要性が種々の分野で増々認識されてきている。排水処理分野においては、省スペース、省力化、処理水質の高度化などの観点から、活性汚泥混合液に代表される高濃度懸濁液を直接に膜処理できる技術が強く望まれている。こうした要求に対して、既存のチューブラ型やプレート&フレーム型の膜モジュールを用いたシステムが実用化されているが、このシステムは運転動力の増大に加え、膜処理を安定運転するために頻繁に膜洗浄を行うなど、維持管理上の問題を抱えている。そこで、本研究では高濃度懸濁液を安定して、かつ低動力で運転できる新しい膜モジュールである回転平膜モジュールの開発研究をおこない、実用機を構築するとともに、活性汚泥混合液と凝集汚泥混合液を対象液として各種排水処理への適用研究を行い、回転平膜モジュールを用いた新しい排水処理システムの確立を目指した。研究結果は以下の通りである。

### ①回転平膜モジュールの開発

回転平膜モジュールを開発するため、まず高濃度懸濁液の代表として、活性汚泥混合液を用い、膜を回転させることの効果を確認した。次に二軸かみ合わせタイプの回転平膜モジュールの基本構造を立案した。構成要素としては膜材質、膜孔径、ディスク形状について検討し、ディスク径 750 mmの実規模ディスク構造を構築した。また、回転平膜モジュールに適した運転方法として、間欠減圧運転を採用した。実装置化を行うにあたり、膜ディスクの保管、親水化方法等の取扱いに関する検討を行い、乾燥膜状態で1年間保管できることを確認し、乾燥膜の親水化は20%のエタノール液で行えることを明らかにした。さらに、膜ディスクの信頼性を膜の剥離強度の評価から行ない、より信頼性の高い膜を開発した。これらの検討結果に基づき、回転平膜モジュール、制御盤、ポンプ類等を組込んだ実用膜装置ユニットの標準化を行った。また、膜ディスクにおける透過挙動を解析するとともに、活性汚泥混合液を対象に回転平膜モジュールにおけるろ過圧力、回転数、液濃度変化によるろ過特性を調べ、汚泥濃度 10~20g/L の範囲に透過流束の増加する領域が存在することを明らかにした。これは、回転平膜モジュールに特有な現象であると考えられた。さらに多軸膜モジュール内の流動シミュレーションを行い、より低動力運転が可能な新しい膜モジュールの可能性を示唆した。

## ②排水処理システムへの適用

排水処理システムにおいて、高濃度懸濁液の固液分離を必要とするのは、生物処理と凝集処理であり、膜分離の対象となるのは活性汚泥混合液と凝集汚泥混合液である。生物処理を有するシステムとして、窒素除去システム、窒素・りん除去システム、ビル排水処理、食堂排水処理、再生水色度除去システム、し尿処理システムについて、回転平膜モジュールの適用性を研究した。窒素除去システムでは、通産省の大型プロジェクト「アクアルネッサンス'90 計画」で行った結果であり、生物学的窒素除去システムの固液分離に回転平膜モジュールを用いたことで、窒素の高負荷処理が可能になり、本システムの有効性を見出した。窒素・りん除去システムは、窒素除去システムの生物反応槽に Al 系凝集剤を添加しており、硝化活性は低下するものの、汚泥の高濃度化によりシステムの処理性能は維持できた。食堂排水処理では、負荷と膜性能の関係をまとめた。ビル排水処理では、実規模装置の運転データから従来法との比較を行い、建設費、運転費とも 3 割以上の低減が見込まれ、システムの優位性を明確にした。再生水色度除去システムは、生物反応槽に粉末活性炭を添加し、再生水の処理水質向上を図った。し尿処理(生物系)では、二段膜処理システムの前段の活性汚泥混合液の分離特性を調べ、維持管理性が向上できることを明らかにした。

また凝集汚泥混合液を対象とした排水処理システムについて、し尿処理(凝集系)、浄水場排泥処理、ゴミ埋立地浸出水処理システムへの適用を図った。し尿処理(凝集系)では、二段膜処理システムの後段の処理、すなわち色度とりんの除去を行うための凝集汚泥混合液の分離に適用した。実施への導入結果について、既存のチューブラ膜との比較を行い、プロセスの簡素化、運転費の低減が実証できた。浄水場排泥処理では、厚生省プロジェクト「MAC21 計画」「高度処理MAC21 計画」の中で研究を行った結果、対象汚泥液の 50g/L 以上の濃縮が可能であることを明らかにした。ゴミ埋立地浸出水処理は、既存プロセスの簡素化を目的に、凝集-沈殿-砂ろ過-活性炭処理を凝集槽に粉末活性炭を添加し、この混合液を膜分離する簡素なプロセスを確立した。

最後に、回転平膜モジュールは新しい膜モジュールとして成書などに記載され、一つの膜モジュール型式と認知された。また、回転平膜モジュールを用いた新しい排水処理システムを構築でき、実機も多数稼動している。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 渡 辺 義 公

副 査 教 授 高 桑 哲 男

副 査 教 授 眞 柄 泰 基

学 位 論 文 題 名

## 回転平膜モジュールの開発及びその排水処理への 適用に関する研究

近年、社会構造が環境型社会へと移行するにつれ、膜分離装置技術の重要性が種々の分野で益々認識されてきている。排水処理分野においては、省スペース、省力化、処理水質の高度化などの観点から、活性汚泥混合液に代表される高濃度懸濁液を直接に膜処理できる技術が強く望まれている。こうした要求に対して、既存のチューブラ型やプレート&フレーム型の膜モジュールを用いたシステムが実用化されているが、このシステムは運転動力の増大に加え、膜処理を安定運転するために頻りに膜洗浄を行うなど、維持管理上の問題を抱えている。そこで、本研究では高濃度懸濁液を安定して、かつ低動力で運転できる新しい膜モジュールである回転平膜モジュールの開発研究を行い、実用機を構築するとともに、活性汚泥混合液と凝集汚泥混合液を対象液として各種排水処理への適用研究を行い、回転平膜モジュールを用いた新しい排水処理システムの確立を目指した。

本論文は6章から構成されている。第1章は序論であり、研究の背景と必要性について言及している。第2、3章では、回転平膜モジュールの開発についての研究成果がまとめられている。回転平膜モジュールを開発するため、まず高濃度懸濁液の代表として、活性汚泥混合液を用い、膜を回転させることの効果を確認した。次に二軸かみ合わせタイプの回転平膜モジュールの基本構造を立案した。構成要素としては膜材質、膜孔径、ディスク形状について検討し、ディスク径 750mm の実規模ディスク構造を構築した。また、回転平膜モジュールに適した運転方法として、間欠減圧運転を採用した。実装置化を行うにあたり、膜ディスクの保管、親水化方法等の取扱に関する検討を行い、乾燥膜状態で1年間保管できることを確認し、乾燥膜の親水化は20%のエタノール液で行えることを明らかにした。さらに、膜ディスクの信頼性を膜の剥離強度の評価から行い、より信頼性の高い膜を開発した。これらの検討結果に基づき、回転平膜モジュール、制御盤、ポンプ類等を組み込んだ実用膜装置ユニットの標準化を行った。また、膜ディスクにおける透過挙動を解析するとともに、活性汚泥混合液を対象に回転平膜モジュールにおけるろ過圧力、回転数、液濃度変化によるろ過特性を調べ、汚泥濃度 10~20g/L の範囲に透過流速の増加する領域が存在することを明らかにした。これは、回転平膜モジュールに特有な現象であると考えられた。さらに多軸膜モジュール内の流動シミュレーションを行い、より低動力運転が可能な新しい膜モジュールの可能性を示唆した。

第4章では回転平膜モジュールの活性汚泥混合液の分離への適用についての研究成果をまとめた。排水処理システムにおいて、高濃度懸濁液の固液分離を必要とするのは、生物

処理と凝集処理であり、膜分離の対象となるのは活性汚泥混合液と凝集汚泥混合液である。生物処理を有するシステムとして、窒素除去システム、窒素・リン除去システム、ビル排水処理、食堂排水処理、再生水色度除去システム、し尿処理システムについて、回転平膜モジュールの適用性を研究した。窒素除去システムでは、通産省の大型プロジェクト「アクアルネッサンス'90 計画」で行った結果であり、生物学的窒素除去システムの固液分離に回転平膜モジュールを用いたことで、窒素の高負荷処理が可能になり、本システムの有効性を見いだした。窒素・リン除去システムは、窒素除去システムの生物反応槽に AI 径凝集剤を添加しており、硝化活性は低下するものの、汚泥の高濃度化によりシステムの処理性能は維持できた。食堂排水処理では、負荷と膜性能の関係をまとめた。ビル排水処理では、実現膜装置の運転データから従来法との比較を行い、建設費、運転費とも3割以上の低減が見込まれ、システムの優位性を明確にした。再生水色度除去システムは、生物反応槽に粉末活性炭を添加し、再生水の処理水質向上を図った。し尿処理（生物系）では、二段膜処理システムの前段の活性汚泥混合液の分離特性を調べ、維持管理性が向上できることを明らかにした。

第5章では回転平膜モジュールの凝集汚泥混合液の分離への適用について報告した。凝集汚泥混合液を対象とした排水処理システムについて、し尿処理（凝集系）、浄水場排泥処理、ゴミ埋め立て地浸出水処理システムへの適用を図った。し尿処理（凝集系）では、二段膜処理システムの後段の処理、すなわち色度とリンの除去を行うための凝集汚泥混合液の分離に適用した。実施への導入結果について、既存のチューブラ膜との比較を行い、プロセスの簡素化、運転費の低減が実証できた。浄水場排泥処理では、厚生省プロジェクト「MAC21 計画」「高度処理 MAC21 計画」の中で研究を行った結果、対象汚泥液の 50g/L 以上の濃縮が可能であることを明らかにした。ゴミ埋め立て地浸出水処理は、既存プロセスの簡素化を目的に、凝集-沈殿-砂ろ過-活性炭処理を凝集槽に粉末活性炭を添加し、この混合液を膜分離する簡素なプロセスを確立した。

第6章は結論である。回転平膜モジュールは新しい膜モジュールとして成書などに記載され、一つの膜モジュール型式と認知された。また、回転平膜モジュールを用いた新しい排水処理システムを構築でき、実機も多数稼働している。

以上要するに、著者は排水処理の高度化、高率化のための新しい回転平膜装置を開発し、それが高濃度の活性汚泥混合液や凝集汚泥混合液の分離に極めて有効であることを実証しており、環境工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。