

氏名	谷田克義
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博第2324号
学位授与の日付	平成15年11月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科機械工学専攻
学位論文題目	振動膜・回転膜の固液分離特性に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 小森 悟 教授 吉田 英生 教授 増田 弘昭

### 論文内容の要旨

振動膜と回転膜の固液分離特性を明らかにすることは、高濃度溶液に対する高効率固液分離技術を開発するうえで、また振動膜や回転膜を用いた固液分離装置の性能予測や設計をするうえで重要である。本論文は、固液分離装置に使用される膜の振動や回転が膜分離特性に及ぼす影響について、実験と数値計算により詳細に検討した結果をまとめたものであり、8章からなっている。

序論である第1章では、本研究の目的及びその必要性について述べるとともに、既往研究との関連性について概説している。

第2章では、ラテックス懸濁液の振動膜分離実験を行うことにより、膜の振動が膜分離特性に及ぼす影響について検討している。既往の研究において膜の振動が膜分離特性に及ぼす影響を表すパラメータとして有効であった振動速度は、高濃度溶液の振動膜分離においては有効でないことを明らかにしている。また、速度境界層を考慮したせん断速度をパラメータとして導出し、せん断速度は低濃度から高濃度に至る広範囲において、膜の振動が膜分離特性に及ぼす影響を表すパラメータとして有効であることを明らかにしている。さらに、振幅と周波数のうち、周波数の方が膜分離特性に及ぼす影響が大きく、特に高濃度溶液の膜分離においては、振動膜方式が有効な方式であることを明らかにしている。

第3章では、食塩水の振動膜分離実験を行うことにより、膜の振動が膜の阻止特性に及ぼす影響を検討している。さらに、流速変化法により濃度境界層厚さと膜表面での溶質濃度を求めることにより、操作条件が食塩の阻止率に及ぼす影響を評価している。膜表面近傍の流体に与えられるせん断速度を大きくすると、濃度境界層が薄くなり膜表面での濃度が低下するため、膜の阻止性能が上昇することを明らかにしている。さらに原液濃度が高く、操作圧力が低い方が膜の振動の影響が大きくなることも明らかにしている。

第4章では、規模の異なる二つの装置を使用してラテックス懸濁液の振動膜分離実験を行うことにより、実プラント規模の装置と実験室規模の装置の間で振動膜分離特性を比較している。せん断速度と膜モジュール内部での濃度勾配の違いにより、実プラント規模の装置の透過流束が実験室規模の装置の透過流束よりも小さくなることを明らかにしている。さらに、実験室規模の装置の透過流束から実プラント規模の装置の膜分離性能を実用上十分な精度で予測可能なせん断速度をスケールアップパラメータとしたスケールアップ計算法を提案している。

第5章では、振動膜表面近傍の流れの直接数値計算を行い、本研究で提案したせん断速度の妥当性について検討している。膜の振動により流体は膜表面近傍でのみ複雑な往復運動をし、膜の振動が効率よく濃度分極現象を低減することを明らかにしている。さらに、振動膜表面近傍の流れが層流状態にあることを明らかにするとともに、せん断速度を層流理論から導出する方法の妥当性を示している。

第6章では、ラテックス懸濁液の回転膜分離実験を行うことにより、膜の回転が膜分離特性に及ぼす影響について検討している。膜の回転により起こる透過液の圧力上昇は遠心力により発生し、理論的に推算可能であることを明らかにしている。

また、既往の研究で膜の回転が膜分離特性に及ぼす影響を表すパラメータとして有効と考えられていた回転数や回転速度は、本研究のような高濃度溶液の回転膜分離においては有効ではなく、本研究で提案したせん断速度の方が有効であることを明らかにしている。また、回転膜方式は特に高濃度溶液の膜分離において有効な方式であることを明らかにしている。

第7章では、振動膜分離方式と回転膜分離方式におけるせん断速度と透過流束の関係を比較している。振動膜方式と回転膜方式におけるせん断速度と透過流束の関係は、低濃度では一致するが、高濃度では膜表面近傍の流動場の状態の違いにより一致しないことを明らかにしている。これは、振動膜近傍の流れが層流状態であるのに対して回転膜近傍の流れは乱流状態にあるので、回転膜の場合、固液混相流による膜表面からの粒子の排除効果が大きく、特に粒子の量が多い高濃度においてその影響が大きくなるため、せん断速度が同じでも透過流束が大きくなることによると考えられる。

第8章では、本研究を通して得られた知見を総括し、本研究の今後の進展と将来の研究課題について言及している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、固液分離装置に使用される振動膜および回転膜の固液分離特性とそれらの有効性を明らかにするため、膜の振動および回転が膜分離特性に及ぼす影響について、実験と数値計算を行うことにより詳細に検討した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

- 1) ラテックス懸濁液および食塩水の振動膜分離実験を行った結果、膜の振動が膜分離特性に及ぼす影響は、既往研究で用いられてきた膜の振動速度ではなく、膜表面近傍の流体に与えられるせん断速度により決定されることを明らかにした。さらに、振動膜方式は、高濃度溶液の膜分離において特に有効な方法であることを明らかにした。
- 2) せん断速度をスケールアップパラメータとして用いることにより膜モジュール構造の違いを考慮した振動膜分離装置のスケールアップ方法を提案し、実験室規模の装置で得られる透過流束から実プラント規模の装置における透過流束を精度良く予測することを可能にした。
- 3) 振動膜表面近傍の流動場に対して直接数値計算を適用した結果、膜の振動により流体は膜表面近傍でのみ複雑な往復運動をすること、および膜の振動が効率よく濃度分極現象を低減することを明らかにした。さらに、振動膜表面近傍の流動場は層流状態にあることを明らかにした。
- 4) ラテックス懸濁液の回転膜分離実験を行った結果、膜の回転が膜分離特性に及ぼす影響は、膜の回転数や回転速度ではなく、振動膜の場合と同様、膜表面近傍の流体に与えられるせん断速度により決定されることを明らかにした。さらに、回転膜方式も、高濃度溶液の膜分離において有効であることを明らかにした。

以上要するに、本論文は高濃度溶液の固液分離において、振動膜および回転膜分離方式を用いた固液分離装置の有効性を実証するとともに、それらの分離特性を明らかにしたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成15年9月26日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。