



Title	選択的透過性をもつ弾性膜と希薄溶液の相互作用問題 に対する数値計算法の研究
Author(s)	宮内, 優
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/52133
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認した ため、全文に代えてその内容の要約を公開していま す。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文につい てをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (宮 内 優)

論文題名

選択的透過性をもつ弾性膜と希薄溶液の相互作用問題に対する数値計算法の研究

論文内容の要旨

選択的透過性をもつ膜は広範な領域で利用されている。特に、生体では、膜による物質輸送は生命活動において重要な役割を担っている。近年では、生体内の流れに対して数値シミュレーションを用いた解析が見られるが、膜による物質輸送は膜の柔軟性に加えて、膜を透過する流束を考慮する必要があるために、その解析は難しく、その数値解析技術は未だ萌芽的な段階にある。本研究では、柔軟な膜構造物による物質輸送問題に対する、数値解析法の開発を目的とした。

第1章では、連続体スケールにおける、膜による物質輸送現象に対する既存の解析法に言及し、本研究の目的を明示した。

第2章では、濃度に関するジャンプ量を有限要素法の離散化式に組み込み、不連続面を再現できる内挿関数を提案し、弱形式化した膜透過流束に関する式と移流拡散方程式を連成させることにより、膜における溶質の透過と不透過の両方を扱うことができる手法の開発を行なった。

第3章では、第2章で提案した手法を検証問題に適用し、提案手法が溶質に対する透過性と不透過性の両方をもつ膜を同じ計算アルゴリズムで扱えることを示し、空間解像度による誤差の収束性と物質の保存性が保障されることを実証した。

第4章では、速度勾配ジャンプと圧力ジャンプを考慮した有限要素離散化式と、流体と透過性をもつ膜との連成法を提案し、流体と透過性をもつ膜の相互作用問題に対する手法の開発を行なった。

第5章では、第4章で提案した手法の検証のため、流体と膜の相互作用問題の例として、膜により流体領域が分断される流路内流れに対して解析を行い、提案手法がDLM/FD法に比べ不透過膜による流れの遮断をより高い精度で再現できること、複数の透過係数による流路内流れの解析により、提案手法が溶媒に対して透過と不透過両方の特性をもつ膜を扱うことができることを示した。

第6章では、第2章と第4章で提案した手法をカップリングさせ、膜によって流体領域が分断される流路内の2成分系溶液の流れに適用し、膜表裏における圧力差・浸透圧差が流れ場および膜の変形に対して与える影響を解明した。

第7章では、以上の結果を総括した。

本手法は界面非適合格子法の枠組みで構築されており、柔軟な膜や複数の膜に対する扱いが容易であるといった特長を有する。さらに、提案した解析法は膜表裏における物理量の不連続の扱いを陰的な算出とし、溶媒・溶質の透過と不透過の両方を同じ計算アルゴリズムで扱うことのできる高い汎用性をもつ。今後はより現実的な応用問題への適用が期待される。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (宮 内 優)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	梶 島 岳 夫
	副 査	教 授	津 島 将 司
	副 査	教 授	杉 山 和 靖 (基礎工学研究科)
	副 査	准教授	竹 内 伸太郎

論文審査の結果の要旨

選択的透過性をもつ膜は広範な領域で工業的に利用されている。また、膜を介した物質交換は生命活動において重要な役割を担っている。近年では、生体内の流れに対して数値シミュレーションを用いた解析が試みられている。しかし、生体膜による物質輸送現象の解析の際に不可欠な因子である、膜を透過する物質流束と膜の柔軟性を同時に考慮する数値解析技術は萌芽的な段階にある。本論文は、流体力や物質濃度差により変形しうる柔軟な膜構造物による物質輸送問題に対する連続体力学的な数値解析法の研究成果を取りまとめたものである。本論文では、特に膜表裏の物理量に関する不連続量に対し、その取り扱いや算出方法に焦点を当てた手法開発が行われ、膜面上のシャープな不連続面の再現に成功している。また、本研究で開発された解析手法は、界面非適合格子法の枠組みで構築されており、柔軟な膜や複数の膜に対する扱いが容易であるという特長を有している。加えて、溶媒・溶質の透過と不透過の双方を同じ計算アルゴリズムで扱うことのできる汎用性を備えている。具体的には本論文の成果は以下のように要約される。

1. 濃度に関するジャンプ量を有限要素法に組み込み、不連続面の存在を反映できる内挿関数を提案し、弱形式化した膜透過流束に関する式と移流拡散方程式を連成させることにより、膜における溶質の透過と不透過の両方を扱うことができる手法を開発し、十分な精度と保存性を有することを検証している。
2. 速度勾配および圧力に関するジャンプ量を採り入れた有限要素法とともに、流体と膜の挙動を連成させる一体型解法を提案し、流体と透過性をもつ膜の相互作用問題に対する手法を構築し、既存の方法に対して膜の透過率の影響を的確に再現できることを実証している。
3. 膜によって流体領域が分断される流路内の 2 成分系溶液の流れに以上の新規計算手法を適用し、膜表裏の圧力差や浸透圧差が流れ場および膜の変形に及ぼす影響を解析し、選択的透過性を有する柔軟な膜による物質輸送問題の広範な条件に対して適用可能であることを示している。

以上のように、本論文は化学工学における膜による物質分離、生体における膜を介した物質交換に関連して、溶質・溶媒の輸送および大変形をともしうる柔軟な膜の挙動を同時に解析できる手法を初めて提示し、厳密に検証できる問題を設定して導出した解析解に基づいて精度検証しており、環境プロセスや医療機械などの分野の基盤技術として新規技術開発の進展に寄与するものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。