

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 三次元屈曲チャンネルの層流流動特性ならびにそれを応用した平板静止型マイクロミキサーの開発に関する研究  |
| Author(s)    | 大川, 和男  |
| Citation     | 大阪大学, 2006, 博士論文  |
| Version Type |   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/46778">https://hdl.handle.net/11094/46778</a>   |
| rights       |   |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。 |

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

|            |   |
|------------|---|
| 氏名         | 大川和男  |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士(工学)  |
| 学位記番号      | 第20433号   |
| 学位授与年月日    | 平成18年3月24日  |
| 学位授与の要件    | 学位規則第4条第1項該当<br>基礎工学研究科化学系専攻                      |
| 学位論文名      | 三次元屈曲チャネルの層流流動特性ならびにそれを応用した平板静止型マイクロミキサーの開発に関する研究 |
| 論文審査委員     | (主査)<br>教授 平田 雄志<br>(副査)<br>教授 上山 惟一 教授 井上 義朗     |

#### 論文内容の要旨

本論文は、マイクロデバイス開発の基礎となる三次元的に屈曲した流路(チャネル)内の流動状態の詳細な検討および流体界面の制御法の確立と、その制御法を応用したマイクロミキサーの開発ならびに混合・流動特性について詳細に検討したものであり、6章から構成されている。

第1章では、本研究へ至る背景および本研究の目的と構成を述べている。

第2章では、マイクロデバイスの最も基本的チャネル構造である三次元屈曲チャネルを対象に、三次元屈曲チャネル内で壁との相互作用によって生じる流体界面の変形および回転現象を、レーザーによる可視化法と数値計算で明らかにしている。また、屈曲チャネルを構成するチャネルの交差角と屈曲の方向が流体界面の変形や回転に与える影響を明らかにしている。

第3章では、マイクロデバイス開発への応用例として、前章で得られた結果を基に分割・再合流型の平板静止マイクロミキサー(Y型ミキサー)を設計している。静止型混合が流体層の分割・再合流と適切な交差角の屈曲チャネルの組み合わせにより進行することをヨウ素を用いた可視化と数値計算から確かめている。またミキサーの形状や操作条件が混合性に与える影響も明らかにしている。

第4章では、第3章と同じくチャネルの屈曲を利用したマイクロミキサーとして開発された $\sigma$ 型の混合ユニットを持つマイクロミキサー( $\sigma$ 型ミキサー)に関する研究結果をまとめている。このミキサーにおいても、同一平面上に構成した分割・並べ替え整列・再配列チャネルにより、Y型ミキサーと同様の機構で混合が行われることを実験と数値計算で明らかにしている。

第5章では、開発したY型および $\sigma$ 型ミキサーの流動特性を数値計算により解析している。圧力損失特性を装置の形状や操作条件と関連づけ、その傾向を明らかにしている。また、流体の混合に要する操作圧力や所要動力についても考察している。さらに、Y型および $\sigma$ 型ミキサーの滞留時間分布についても数値計算により考察している。

第6章では、本研究において得られた知見を総括し、今後の研究課題を示している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文では、最初に、化学装置のマイクロ化によるプロセス強化技術の現状分析を行い、マイクロデバイスの設計において汎用性のある基礎理論構築の必要性を述べている。次に、マイクロデバイスの流路（チャンネル）として基本的な三次元屈曲マイクロチャンネルの流動特性を、流体界面の変形と回転に着目してレーザーを用いた可視化実験ならびに CFD（数値流体力学）解析により詳細に検討した。その結果、レイノルズ数が 10 以下の条件では、流体界面は小さい変形を保ったまま流路断面上の固定座標系において 3 次元チャンネルの屈曲角度に等しい角度だけ回転すること、また、回転方向は入口チャンネルからみた出口チャンネルの捩じれ回転方向によって一意的に決まることを明らかにしている。

この回転則に基づき、流体を分割・180 度回転・再合流させて多層化する平板マイクロミキサーの構成法を提案した。その中で最も流路屈曲数の少ない 120 度と 60 度の屈曲角度をもつ Y 型ミキサーを作製し、脱色反応と数値解析を併用してその混合過程を明らかにした。また、脱色反応完了に要するエレメント数の評価法を理論的に検討し、さらに、数値解析を行ってミキサーの形状や操作条件が混合性能に与える影響を明らかにした。次に、流体界面を一回の屈曲で 180 度回転させて分割・再合流の多層化混合を行うために開発した  $\sigma$  型マイクロミキサーについても同様の検討を行った。同一平面上に構成した分割・並べ替え整列・再配列チャンネルにより、流体の分割・再合流による多層化混合が進行すること明らかにし、また、脱色反応の完了に要するエレメント数の評価も行っている。

最後に、開発したチャンネルの実用化にあたって必要となる圧力損失と滞留時間分布を数値計算し、レイノルズ数が 10 よりも小さい領域では摩擦係数がレイノルズ数に逆比例すること、また、ミキサー内での流体回転によって滞留時間分布が直線状チャンネルに比べるとプラグ流れに近くなることを明らかにしている。

以上述べたように、三次元屈曲チャンネルの流動特性と流体界面の回転則、それを応用したマイクロミキサーの設計法ならびに試作ミキサーの性能解析法と解析結果は、現在工業化研究が開始されたマイクロ化学プラント装置設計操作の基礎となる内容を多く含んでおり、本論文は工学的価値があるものと認める。