

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|---|
| 題目(和文) | 邪魔板付流下液膜式マイクロリアクターの物質移動促進効果に関する研究 |
| Title(English) | |
| 著者(和文) | 石河秀明 |
| Author(English) | Hideaki Ishikawa |
| 出典(和文) | 学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11785号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉川 史郎,大川原 真一,関口 秀俊,谷口 泉,森 伸介,青木 才子 |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11785号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,, |
| 学位種別(和文) | 博士論文 |
| Category(English) | Doctoral Thesis |
| 種別(和文) | 審査の要旨 |
| Type(English) | Exam Summary |

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

| 報告番号 | 甲第 | 号 | 学位申請者氏名 | 石河 秀明 | |
|-------------|-----|--------|---------|-------|-----|
| 論文審査 審査員 | | 氏名 | 職名 | 氏名 | 職名 |
| | 主査 | 吉川 史郎 | 准教授 | 森 伸介 | 准教授 |
| | 審査員 | 大川原 真一 | 特任教授 | 青木 才子 | 准教授 |
| | | 関口 秀俊 | 教授 | | |
| 谷口 泉 | | 准教授 | | | |

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「邪魔板付流下液膜式マイクロリアクターの物質移動促進効果に関する研究」と題し、5章から構成されている。

第1章「緒論」では、マイクロリアクターの特徴、適用事例、研究動向の変遷について概観し、その実プロセスへの適用は未だ限定的であるものの、高機能および高付加価値の製品を生み出すための単位操作装置としての研究がなお望まれていることが述べられている。さらに、気液マイクロリアクターの特徴と分類を示し、なかでも流下液膜式マイクロリアクターの利点、既往研究における取り組みを概説し、迅速気液反応系における液側物質移動の促進を残された課題としている。そのうえで、邪魔板を有する微細構造化プレート提案により、気液反応のさらなるプロセス強化を本研究の目的とすることが述べられている。

第2章「邪魔板付プレートにおける流下液膜の流動」では、まず、水平邪魔板付プレート (HB プレート) における二次元流下液膜流れが実験と CFD シミュレーションにより網羅的に検討されている。VOF 法を組み込んだ CFD モデルの妥当性は、開発した手法で実験的に可視化した流下液膜表面の波状形状と、同条件のシミュレーションで予測された波状形状が定性的に一致することにより確認されている。さらに、次元解析により波状流下液膜流れの振幅と平均厚さの無次元予測式が提案されている。また、HB プレートにおける気液界面の波打ちは、(i)高い邪魔板高さ、(ii)大きな流量、(iii)低粘度および低表面張力を有する流体、などの設計および操作によって誘起されると述べている。さらに、傾斜邪魔板付プレート (IB プレート) における三次元流下液膜流れの CFD シミュレーションにより、薄い液膜内であっても旋回流が起り、物質移動の促進が期待されることが明らかにされている。

第3章「邪魔板付プレートにおける流下液膜の物質移動」では、邪魔板付プレートの物質移動促進効果が三次元 CFD シミュレーションにより網羅的に検討されている。系として二酸化炭素の水への物理吸収が選定されている。流下液膜への二酸化炭素物理吸収をシミュレーションするために開発された CFD モデルの妥当性は、二次元解析解との比較により確認されている。HB プレート上では、設計条件によらず、邪魔板のない標準プレートと比較して液側の平均二酸化炭素濃度に基づく物質移動係数 k_L がわずかに小さくなることが明らかにされている。一方、IB プレートの k_L は、標準プレートや HB プレートと比較して大幅に増加することを明らかにしている。IB プレートで相間物質移動が促進されるのは、傾斜邪魔板に誘起される旋回流で気液界面において表面更新が起るためであるとしている。加えて、パラメータスタディにより、とくに邪魔板間隔と邪魔板高さが k_L を高めるための重要な設計パラメータであることが明らかにされている。標準プレートと比較して、邪魔板間隔を短くした条件において 45%、邪魔板高さを高くした条件において 61%、 k_L が増加することを示している。

第4章「邪魔板付プレートにおける流下液膜の反応吸収」では、水酸化ナトリウム水溶液への二酸化炭素反応吸収において、実験および CFD シミュレーションにより邪魔板付流下液膜式マイクロリアクターの挙動が検討されている。化学反応を含む CFD モデルを新たに構築し、実験結果との比較を通してその妥当性を確認している。HB プレートにおける水酸化ナトリウムの反応転化率は、設計に関わらず標準プレートのそれと比較して微減することが明らかにされており、二次元構造の水平邪魔板では反応吸収促進に限界があるとしている。一方、IB プレートにおける反応転化率は、標準プレートのそれよりも大幅に増加し、傾斜邪魔板に反応吸収を促進する効果があるとしている。標準プレートと比較して反応転化率は条件により 35%から 69% にまで増加することが示されている。

第5章「総括的結論」では、本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の課題について言及している。

以上要するに、本論文は、微細な邪魔板で構造化した流下液膜式マイクロリアクターのプレートを新たに考案し、邪魔板の幾何学的条件が、液膜の流動、物質移動、反応転化率に及ぼす影響を実験および CFD シミュレーションにより検討し、交互に傾斜させた邪魔板が極めて薄い流下液膜内でも旋回流を発生させ、表面更新により物質移動と反応を促進させることを明らかにするとともに邪魔板の間隔と高さが旋回流に大きな影響を及ぼす設計変数であることを示すことを通して、気液マイクロリアクターのプロセス強化に資する知見を得たものであり、工学上、工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (工学) の学位論文として十分に価値あるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。