

氏名	澤田達郎 さわだ たつろう
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第312号
学位授与の日付	昭和44年11月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	攪拌槽内の流動および反応プロセスのモデル化に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 高松武一郎 教授 江口 弥 教授 合田 健

論文内容の要旨

本論文は攪拌槽内の流動および反応プロセスのモデル化に関する研究であって序論、2編、付録よりなっている。

序論では攪拌槽の混合、とくにモデル化についての従来の研究を概説し、本論文の意義を明らかにしている。すなわち、攪拌レイノルズ数の低いところから高いところにわたっての全域を表現しうるモデルを考えたこと、およびモデルというものはそのモデルを用いて得られた設計あるいは操作上の問題の解が十分目的を達したかどうかを検討するまではその是非を論じられないという立場を強調している。

第1編、第1章では攪拌槽内の流動状態を考慮して槽の中心に混合作用の非常に激しい領域を有すると考えたモデル、すなわち完全混合、押し出し流れ、死空間、固体的回転部、短絡の組み合わせから成るモデルを提出し、比較のためにこのモデルと、van de Vusse によって提出された槽の中心に混合作用の非常に激しい容積の無限小なる混合点を仮定したモデルとの両者について、混合過程を伝達関数によって表示して、滞留時間分布、ボード線図、モーメントなどの特性の数式表示を与えている。

第2章はモデルを解析するのに必要な未知の混合特性の値、例えば混合領域の大きさ、循環流量などを回分操作によって実測した結果をまとめたもので、これらの値を攪拌レイノルズ数に対して表示している。

第3章は攪拌槽の連続操作においてインパルス応答およびパルス応答の実験を行なう場合の実験装置および実験方法について述べ、ついで筆者の提出したモデルと van de Vusse の二つのモデルに関して滞留時間分布、ボード線図および平均滞留時間を基準としたモーメントについて計算し、パルス応答による実験値と対比することによってモデルの混合度表示に関する妥当性を検証している。混合領域を有するモデルと混合点を有すると仮定した van de Vusse のモデルとはともに実験値をかなりよく表示するが、後者のモデルは低攪拌レイノルズ数域よりも高攪拌レイノルズ数域を比較的良好に表示するモデルであることを認めている。

第2編、第4章ではモデルを等温の1次反応系に適用した結果について述べている。過剰量の水あるい

は粘性水溶液と無水酢酸との加水分解による凝1次反応を用いて過渡応答の実験を行ないモデルによる計算値と実験値とを対比させることによって広範囲の攪拌レイノルズ数についてモデルの妥当性の検証を行ない、提案したモデルが十分な精度で反応を表現することを認めている。

第5章では等温の非線形反応に関する場合についてモデルを種々の反応次数をもつ場合に適用して計算を行ない、完全分離の概念にしたがった計算値と最大混合の概念にしたがった計算値とが全く一致する1次反応を基準として、反応次数が大きい場合には完全分離よりも最大混合の反応率が大きくなり、1次反応よりも小さな反応数の場合は、逆に最大混合よりも完全分離の方が反応率が大きくなることを示している。2次反応系について、2枚パドル、6枚タービン羽根、6枚パドルを用いて実験を行ない、実験値と計算値とを対比させて検討している。2次反応系の実験としては苛性ソーダと酢酸エチルのケン化反応を用い、反応物質をステップ状に流入させて過渡応答を求め、 $N_{Re}=20\sim 10^3$ についてモデルの計算値と実験値を対比し、実験値は低レイノルズ数域では完全分離モデルに、高レイノルズ数域では最大混合モデルに近いことを見出している。

第6章はモデルを非等温反応に適用させた結果をまとめたものである。断熱発熱反応の $\frac{1}{2}$ 次反応、1次反応、2次反応について、2枚パドルを例にとりて過渡応答の数値計算を行ない、最大混合と完全分離とでは動特性が大きく異なることを示している。また断熱反応の一例としてチオ硫酸ナトリウムと過酸化水素の2次反応の実験を行ない、モデルによる計算値と対比させている。本実験では短時間ごとにサンプリングした試料の温度上昇から試料の濃度を推算する熱量法を考案して測定に利用している。2枚パドルの $N_{Re}=10^3$ を例にとり、過渡応答あるいは流出溶液と濃度と温度の位相線図からモデルの検証を行なっている。さらに非等温反応における安定性、感度の問題を各攪拌レイノルズ数について考察し、最後に最適設計にもふれている。

第7章ではマイクロ混合が影響する場合の定常反応率およびその過渡応答を表示するモデルに関する考察をまとめている。完全分離と最大混合の中間の度合を1個のパラメータ値で表現するモデルを三つ提出し、等温2次反応を例にとりて、第5章の2次反応の実験値に一致するようにモデルのパラメータの値を求め、これをレイノルズ数に対してまとめている。

著者は微視的な混合の表現は絶対的なものではなく、どの程度まで微視的な混合を表現すれば攪拌槽で行なわれる反応の表示が可能であるかが問題であるとして、第1章で提案した滞留時間分布を表現するモデルの混合点、分流点および完全混合領域での混合の度合を混合しない場合と混合する場合（完全混合領域については最大混合）のいずれかの組みあわせで表現することを提案し、非線形の反応系の実験結果を合理的に説明しうることを示している。

付録では非等温反応系の分析値を熱量法によって測定する方法とその実験結果について示している。

論文審査の結果の要旨

近年、反応操作における定常反応率をより正確に予知したり、反応操作のより合理的な制御系の設計に資するため、反応操作の数式モデルの作成にあたって、装置内の流体混合を定量的に表現する試みが種々行なわれている。攪拌槽は反応操作その他の単位操作に広く用いられているが、そのなかの液体は3次元

空間を複雑に運動するため、流体の混合の度合を一般的に表現することはそれほど容易なことでない。

従来より、攪拌槽内の流体混合のパターンを参考にして、混合の様子をモデル化して表現しようとする研究が比較の数多く行なわれてきているが、それらの殆んどがモデルの提案とモデルによる種々の挙動の説明にとどまり、どの程度正確に攪拌槽内の速度過程を表現するかについての実験的検証が広範囲について行なわれたものはみあたらない。本論文は攪拌槽内を完全混合領域、押し出し流れ領域、死空間領域、固体的回転部にわけ、これらの領域と短路との組み合わせで混合を表示するモデルを提案し、数多くの実験からこのモデルのなかに含まれる二、三の未知のパラメータを求め、攪拌軸が槽中心部にある円筒型の攪拌槽を用いて極めて広範囲の攪拌条件および反応操作に対して利用可能なモデルを作成したものである。

主なる成果を要約すると次のごとくである。

1) 流れの極限状態と考えられる完全混合流、押し出し流れ、死空間、固体的回転部などの組み合わせにより、広い操作範囲にわたっての攪拌槽内の流体混合を表現するモデルを提案し、回分式混合操作の定性的実験からこのモデルの妥当性を示した。

2) モデルのなかに含まれる各混合領域の大きさ、循環流量などのパラメータの値を、回転数、液の粘性などを広範囲にかえた数多くの実験から求め、攪拌レイノルズ数に対して表示し、槽の設計条件、操作条件が与えられれば(円筒型攪拌槽で中心に翼のある場合)モデルが求められるようになった。

3) 過剰の水と無水酢酸との加水分解による擬1次反応系を用いてモデルの妥当性を検証すると同時に、苛性ソーダと酢酸エチルとの2次反応系についての過渡応答実験を行ない、実験結果は完全混合域が完全分離の場合と最大混合の場合の中間に位置し、しかも攪拌レイノルズ数が大きいほど最大混合に近づくことを認めた。

4) 断熱非等温反応の過渡応答についてはその動特性が最大混合と完全分離とで非常に異なることがモデルによる計算結果から認められたが、これをチオ硫酸ナトリウムと過酸化水素との反応によって実験的に検証した。

5) 最大混合と完全分離の中間の状態を表現するモデルを作成することが実際には要求される。著者は最大混合と完全分離との割合を表現するパラメータを導入して、非線型の反応系の実験結果に一致するようにこのパラメータの値を求めたが、既に提案しているモデルの各領域をつなぐ混合点、分流点での流体の混合の有無によっても微視的混合の状態を表現することが出来ることを見出した。

以上の成果は攪拌槽による反応操作の静特性、動特性の把握に貢献するところが大きく、学術上、工業上寄与するところが少なくない。よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。