

氏 名	岡 本 幸 道 おか もと ゆき みち
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 633 号
学位授与の日付	昭 和 54 年 11 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 化 学 工 学 専 攻
学位論文題目	攪拌槽内の流速変動特性に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 橋 本 健 治 教 授 水 科 篤 郎 教 授 佐 田 栄 三

論 文 内 容 の 要 旨

攪拌槽は、各種の単位操作および反応操作の装置として広く用いられている。本論文は、この攪拌槽内の液流速変動をはじめとする乱流諸特性を詳細に測定するとともに従来の測定結果を整理し、その結果に基づいて装置形状と攪拌効果の関連性ならびに装置のスケール・アップ基準について検討を加えたもので、7章より成っている。

第1章では、攪拌槽内の液の乱流運動と攪拌効果に関する従来の研究成果を概観し、それらに含まれる問題点を指摘して、本研究の目的、意義ならびに研究内容の概要を述べている。

第2章では、邪魔板の無い攪拌槽内での液の変動速度を熱フィルム流速計を用いて詳細に測定し、主としてエネルギー・スペクトル関数に基づいて攪拌槽内の乱れを論じている。すなわち、エネルギー・スペクトル関数を規格化することを試み、マクロおよびミクロ規模の乱れの領域では従来の理論に基づく規格化法が有効であったが、中間領域では従来の理論によって精度良く表現できないことを示し、新たに乱流変動速度と消散スケールに基づく規格化法を提出している。ついで乱流変動速度と消散スケールの槽内分布から槽内を翼周辺の吐出流部、準自由渦部および固体的回転部の3つの領域に分けられることを示し、操作条件が乱流変動速度と消散スケールにどのように影響するかを明らかにし、それぞれ相関式を得ている。これらの結果に基づいて各種の実験条件の変化にもかかわらず比較的広い中間の波数領域において、各々のスペクトルが一つの無次元スペクトルで代表できることを示している。

第3章では、邪魔板を挿入した攪拌槽について、第2章と同様に乱流特性値を詳細に測定し、邪魔板が乱流特性にどのような効果をもたらすかを検討している。その結果、翼周辺の吐出流部のマクロな規模の乱れを除いては、乱れはほぼ等方性とみなせること、また乱流変動速度と消散スケールを基準とするエネルギー・スペクトルの規格化法がこの場合にも有効であることを明らかにした。一方、邪魔板を挿入することにより、時間平均流速は減少するが、翼から離れた位置でのミクロな規模の乱れが著しく強化されると同時に、ミクロな規模の乱れが槽内で均一化することを示している。

第4章では、マクロな規模の乱れを反映する乱流拡散係数を、変動速度とエネルギー・スペクトルの測

定結果を用いて算出している。邪魔板を挿入したとき、翼周辺部と邪魔板前方部での乱流拡散係数は邪魔板の無い場合の2～3倍に増大するが、それ以外の領域では大差のないことを明らかにしている。また、幾何学的に相似な攪拌槽の乱流拡散係数は邪魔板の有無に関係なく、レイノルズ数にほぼ比例することを確かめている。

第5章においては、ミクロな規模の乱れの状態を表わすエネルギー消散速度をエネルギー・スペクトルより算出し、翼周辺の吐出流領域とそれ以外の領域（循環領域）でのエネルギー消散速度の値は大きく異なることを明らかにしている。さらに、エネルギー消散速度の分布形状はレイノルズ数によらずほぼ一定になることを示している。上記の測定結果に基づき、流体の単位質量当りの攪拌所要動力を乱れ的作用を代表する数値とする従来の考え方は不十分であることを明らかにしている。そして、槽内を翼周辺の吐出流領域とそれ以外の循環領域に2分割して、それぞれの領域での平均的なエネルギー消散速度を用いて、槽全体のエネルギー消散速度分布を表現する2領域モデルを提出し、各領域のエネルギー消散速度と装置形状との相関式を得ている。

第6章では、固-液物質移動操作および液-液分散操作を取上げて、さきに提出した2領域モデルを用いて攪拌効果とエネルギー消散分布との関連性を具体的に検討している。その結果、攪拌槽での固-液間の物質移動係数は、主として循環領域のエネルギー消散速度によって規定され、物質移動係数に対する翼長変化の依存性は循環領域における平均のエネルギー消散速度から説明できることを明らかにしている。さらに、液-液攪拌における分散液滴径を表わす従来の相関式における翼寸法の影響がエネルギー消散速度分布から説明できることを明らかにしている。

最後に第7章では、特に中間規模の乱れ的作用が支配因子となる攪拌に重点をおき、エネルギー・スペクトルの知見に基づいて、固-液系物質移動ならびに液-液分散についてのスケール・アップ基準を導き、従来の攪拌所要動力基準のスケール・アップ則と比較している。その結果、動力基準のスケール・アップ則は安全側にあるが、本章で提出した相関式の方が従来の動力基準の相関式よりも正確であると述べている。

論文審査の結果の要旨

攪拌槽における固液間物質移動、液滴の分裂と合一などの現象においては、液の乱流運動が攪拌効果を決定する重要な因子になる場合が多いと考えられる。従来の研究では、攪拌液の乱流状態を液単位質量当りの攪拌所要動力によって総括的に表現する方法が用いられているが、この方法の妥当性は実験的に十分裏付けられておらず、その適用には問題がある事例も報告されている。本論文では攪拌槽内の乱流諸特性値を詳細に測定し、その結果をより一般的に表現する方法を見出し、それに基づいて装置形状と攪拌効果の関連を検討するとともに、攪拌装置の新しいスケール・アップ基準を提出している。得られた主な成果は次のように要約できる。

- (1) 邪魔板の有無とは無関係に、攪拌翼周辺のマクロな規模の乱れを除いては、乱れはほぼ等方性とみなせる。
- (2) マクロならびにミクロな規模の乱れの状態は、従来の理論に基づいて統一的に表示できるが、中間

規模の乱れの状態は、慣性小領域仮説によっては精度よく表現できない。

(3) 中間の波数領域では、乱流変動速度と消散スケールを基準にとったエネルギー・スペクトルの規格化法を新しく提案し、その妥当性を立証している。これにより比較的広い波数領域において各スペクトルが一つの無次元スペクトルで代表できる。さらに、槽内での乱流変動速度、消散スケールの測定値と操作条件との相関式を得ている。これらによって、攪拌槽内のエネルギー・スペクトルが定量的にかつ統一的に表示できる。

(4) 邪魔板を挿入した場合、翼周辺部および邪魔板前部における乱流拡散係数の値は、邪魔板の無い場合の2～3倍になる。また、幾何学的に相似な攪拌槽の乱流拡散係数は、邪魔板の有無にかかわらずレイノルズ数にはほぼ比例する。

(5) 攪拌槽内のエネルギー消散速度分布は、攪拌翼周辺の吐出流領域とそれ以外の循環領域の2領域モデルによって表現できる。各領域でのエネルギー消散速度を表わす相関式を得ている。

(6) 攪拌槽での固一液間の物質移動係数は、循環領域のエネルギー消散速度によって規定される。

(7) 固一液間物質移動係数 および 液一液分散系での液滴径と攪拌翼寸法との関係が、それぞれエネルギー消散速度分布モデルを用いて導くことができる。

(8) 固一液間物質移動の粒子径および液一液分散系での液滴径が消散スケールと対比的な場合に $Nd^{0.78}$ =一定 (N : 攪拌速度, d : 翼径) というスケール・アップ則を得ている。一方、動力基準のスケール・アップ則は、物質移動の促進および接触界面積の増大という見地からは安全側に偏る。

以上要するに、本論文は、乱流諸特性値の詳細な測定に基づいて、装置形状と攪拌効果の関連性ならびに装置のスケール・アップ基準について検討を加えたものであって、学術上はもとより工業上にも寄与することが少なくない。

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。