

Title	上下振動円板翼により誘起される渦流れ内の流体混合現象
Author(s)	菰田, 悦之
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/43546
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、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 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

氏 名	こも だ よし ゆき 菰 田 悦 之
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 6 4 5 5 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 13 年 6 月 21 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科化学系専攻
学 位 論 文 名	上下振動円板翼により誘起される渦流れ内の流体混合現象
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 平 田 雄 志 (副査) 教 授 新 田 友 茂 教 授 上 山 惟 一 教 授 辻 本 良 信 助教授 井 上 義 朗

論 文 内 容 の 要 旨

非定常攪拌は定常操作である回転翼とは異なる混合機構により優れた性能を実現できる可能性がある。本研究では振動円板が作り出す渦流れを用いた流体混合現象の解明を目的とした。

エネルギー効率を議論するために翼に働く力を測定し、力の変化や動力線図から動力特性を調べた。レイノルズ数 Re の増加とともに翼に働く力と翼位置の間には位相差が現れる。動力数は $Re < 20$ ではレイノルズ数に反比例し、 $Re > 200$ ではほぼ一定となる。

流速測定から $Re < 200$ では変動成分が小さく層流で、それ以上では急増し $Re > 400$ で完全発達乱流となる。 $Re < 20$ では渦なしクリープ流れ、 $20 < Re < 200$ では渦発生を伴う層流となり、層流の速度場は CFD による数値計算によって良好に再現できた。乱流では流動状態が3次元性を示し、翼から離れた領域での2次の循環流や軸方向に発達した循環流によって全域が流動する。また乱流エネルギーは翼の最大運動エネルギー以上の非常に大きな値となる。

脱色反応を用いた混合過程の可視化から、翼まわりのひだ ($Re < 20$) や翼背後の渦 ($Re > 20$) により流体が引き伸ばし折り畳みを受け混合が進行する。 $Re < 20$ では槽底に混合不良域が形成され、それ以上では渦により混合不良は解消される。無次元混合時間は完全脱色および混合不良域形成の各条件でレイノルズ数と反比例の関係を示した。同一所要動力下では、渦発生を伴う流動状態において上下振動翼は一般的な回転翼より優れた混合性能を示した。

CFD 解析結果を用いた流体粒子の移動から混合状態の変化を調べた。混合速度は異なるが渦発生の有無には関わらず混合の進行過程は同じである。流体ネットワークの変形により混合過程を可視化した。流体は振動中心に近づくとひだや渦に巻き込まれ、その長さが指数的に増加する。伸長速度は槽内全域でほぼ一定であり、レイノルズ数の0.6乗で相関できた。流体線長さの増加によって流体塊が薄層化され混合が進むことから、レイノルズ数の増加とともに混合完了までの振動回数は短縮される。

以上より、本研究では振動操作によって作り出される渦流れが流体の変形と位置入れ替えを系統的に行うことができる構造をもち、さらに円周方向流れが存在する乱流においては大きな変動成分が加わることによって優れた混合性能を実現できることを明らかにした。

論文審査の結果の要旨

本論文は、円筒槽内で円板を振動させて生成する流れ系の非定常流体混合現象に関する研究成果をまとめたものである。

第1章では、非定常流体混合操作に関する過去の研究をまとめ、本論文の目的を述べている。第2章では、振動円板翼まわりの流れ現象を記述するために、翼に対する流体の相対速度を代表速度、翼端と槽壁の間隙距離を代表長さとする振動レイノルズ数 Re を定義し、翼に働く力の1周期内の変化と動力特性を検討した。レイノルズ数の増加とともに翼位置に対する翼に働く力の位相遅れが大きくなること、翼に働く最大の力ならびに動力数が $Re < 20$ では Re に反比例し、 $Re > 200$ ではほぼ一定となることを示した。第3、4章では、レーザードップラー流速計を用いて詳細な速度測定を行い、瞬時速度のアンサンブル平均から求めた1周期内の3次元速度成分、乱流変動量などの流動特性を層流と乱流に分けてそれぞれの章で述べている。 $Re < 200$ では変動成分が小さく流れは層流であること、数値流体解析結果との比較から層流の流動状態は渦なしクリープ流れ ($Re < 20$) と渦発生を伴う層流 ($20 < Re < 200$) に分けられること、また、 $Re > 200$ で渦発生を伴う乱流への遷移が始まり、 $Re > 400$ では翼背後の強い循環流によって槽内全域が流動し、変動速度の最大値が翼最高速度を超える激しい3次元乱流となることを明らかにした。

第5章では、脱色反応を用いた可視化混合実験結果から、 $Re < 20$ では翼周りのひだによって、また、 $Re > 20$ では翼背後の渦によって流体塊の折り畳み引き伸ばしが進行することを明らかにした。無次元混合時間は Re に逆比例し、特に乱流領域では上下振動混合操作が一般的な回転混合操作に比べてエネルギー的に優れた混合性能をもつことを示した。さらに詳細な混合機構を明らかにするために、第6章では、層流の数値流体解析結果を用いて流体粒子の分散混合過程を調べた。また、格子状の流体ネットワークの変形過程を計算して可視化し、流体塊が翼背後の領域に侵入して翼近くで形成されるひだや渦に巻き込まれると、その界面長さが指数的に伸び、流体混合が格段に促進されることを明らかにした。

以上のように本論文は、振動流れ系における流体混合機構の詳細な解明を行っただけでなく工学的な応用についても有用な知見を与えたものであり、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。