

氏 名	い とう やす まさ 伊 藤 靖 仁
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3941 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Promotion of Fluid Mixing and Chemical Reaction in Non-Premixed Liquid Flows (予混合のない液相流中における流体混合および化学反応の促進)
論文調査委員	(主 査) 教 授 小 森 悟 教 授 吉 田 英 生 教 授 中 部 主 敬

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は予混合がない状態で供給された液相流中における流体混合および化学反応の促進技術の開発に関する基礎研究であり、全6章からなっている。

第1章は緒言として本研究の背景および目的を述べており、流体の混合反応に関する既往研究やその重要性について説明している。

第2章では、液相流の流体混合および化学反応を促進させるアクティブな(外力を付加する)手段として振動周波数が1MHzの高周波の超音波を照射する方法を提案した。2種類の物質が予混合のない状態で供給された等方性乱流場に対して高周波の超音波を照射する実験を行い、流体の瞬間速度と瞬間濃度を同時計測することにより、超音波照射下における乱流混合反応機構を解明した。その結果、超音波照射により乱流渦運動が増幅され、乱流場における流体混合および化学反応が著しく促進されることを明らかにした。また、超音波を照射した場合に得られた反応生成物量と、超音波を照射した場合と物質拡散量が同程度であるせん断乱流中で得られた反応生成物量とを比較することにより、超音波による反応促進効果の有効性を評価した。その結果、高周波の超音波の効果は、従来から用いられてきたせん断応力による効果よりも大きくなることを示した。これは、せん断応力を用いた場合にはおもに大スケールの物質拡散が促進され小スケールでの物質拡散はあまり促進されないのに対して、超音波を照射した場合には、小スケールを含めた全スケールでの物質拡散が促進されるためであることを明らかにした。

第3章では、液相流の混合反応を促進させるパッシブな(外力を付加しない)手法として、流路に乱流格子およびトリップワイヤを設置する方法を提案し、せん断混合層流の発達および混合反応に及ぼすそれらの影響を解明した。第2章と同様の方法で実験を行った結果、何も取り付けなかった場合には流体運動が大スケールの渦運動のみからなるのに対して、乱流格子やトリップワイヤを取り付けた場合には混合層の発達が促進され流れが乱流化するため、流体混合および化学反応が促進されることを明らかにした。一方、トリップワイヤを取り付けた場合と乱流格子を取り付けた場合を比較すると、乱流格子を取り付けた場合の方が化学反応がより促進されること、またこれは、両場合の乱流レベルはほぼ等しいものの、乱流格子を取り付けた場合の方が鉛直方向への物質拡散が促進され反応生成物が中心付近に滞留しないためであることを示した。また、乱流格子を用いて強制的に混合層流を発達させた場合にも、乱流統計量が主流方向に対して自己相似性を有する理想的な混合層流が形成されていることを明らかにした。

第4章では、従来あまり着目されてこなかった遷移中のせん断混合層流における運動量およびスカラの輸送機構を解明し、発達した乱流混合層流におけるそれらの輸送機構との相違を解明した。その結果、未発達のせん断混合層流においては、物質が、特に主流方向に対して、ロールアップ周波数以下のスケールで逆こう配方向に輸送される場合があることを示した。また、混合層流の発達が進むと小スケールの渦運動から乱流化し、大スケールおよび小スケールの渦運動による物質輸送は順こう配方向におきするため、その中間のスケールでのみ物質が逆こう配方向に輸送される傾向を示すことを明らかにした。一方、鉛直方向に対する運動量輸送も上記と同様の挙動を示すため、発達した乱流混合層流においては生成項とレイノルズ

応力の間には強い相関関係があるのに対して、未発達の混合層流においては必ずしもそれらの間に相関関係があるとは限らないことを明らかにした。これらの結果から、発達した乱流場に対して開発された二次相関項に関する乱流モデルを低レイノルズ数流れや遷移中の流れに適用した場合、大きな誤差を生む可能性を示した。

第5章では、マイクロ流路内における混合反応促進技術として、従来のように流路形状を複雑化させ層流状態で物質の分子拡散のための時間を稼ぐことにより流体混合反応を促進させるパッシブな方法ではなく、シンプルな流路内で外力を用いて強制的に流体混合反応を促進させる方法を開発した。この方法は、流体を流路に流入させるためのチューブを小型振動モータを用いて振動させることにより流体に速度変動を誘起させるものであり、その促進技術の有効性をマイクロ PIV と LIF による瞬間速度・瞬間濃度計測から定量的に示した。実験の結果、本技術によりマイクロ流路内の混合反応が著しく促進され、ほぼ完全な混合反応が達成されることを示すとともに、流体の速度変動強度と混合率の間には良好な相関関係があることを明らかにした。また、チューブの振動周波数が低い場合（17～21 Hz）には、チューブの振動運動が遅いため流体運動にほとんど変化が起きず混合反応は促進されないが、振動数が高い場合（75～92 Hz）には流体の接触界面が激しく変形するため混合反応が著しく促進されることを明らかにした。さらに、本技術が二液の流量比が大きく異なる場合に対して有効であることを示した。

第6章は本研究の総括であり、得られた知見をまとめるとともに研究の今後の展望について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は予混合がない状態で供給された液相流中における流体混合および化学反応の促進技術の開発に関する基礎研究であり、得られたおもな知見は以下の通りである。

1. 高周波超音波の照射は、乱流場における流体混合および化学反応の促進手法として極めて有効であり、その促進効果は、従来から用いられてきたせん断応力による促進効果より大きくなることを明らかにした。またこの理由は、せん断応力を用いた場合にはおもに大スケールでの物質拡散が促進されるのに対して、超音波を照射した場合には、化学反応の進行に重要な小スケールを含めた全スケールでの渦運動が促進されるためであることを明らかにした。

2. せん断混合層流中に乱流格子およびトリップワイヤを設置すると、混合層流の発達が進行し流れが乱流化するため、流体混合および化学反応が促進されることを明らかにした。また、発達過程におけるせん断混合層流中では、運動量および物質がおもに小スケールで逆こう配方向に拡散する場合があることを、速度と濃度のクロススペクトル解析を行うことにより示した。

3. マイクロ流路内における液相混合反応を強制的に促進させる方法として、小型振動モータを用いて流速変動を誘起させる技術を開発するとともに、その促進技術の有効性をマイクロ流路内での混合反応実験により実証した。また、マイクロ流路内の流体の速度変動強度と混合率の間には良好な相関関係があるのに対して、チューブの振動速度変動強度と混合率の間には相関性がないことを明らかにした。

本論文は、液相流中の混合反応機構の解明および混合反応促進技術の開発に関するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年1月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。