

氏名	ながたこうじ 長田孝二
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	論工博第3545号
学位授与の日付	平成12年11月24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	TURBULENCE STRUCTURE AND TRANSPORT PHENOMENA IN DENSITY STRATIFICATION (密度成層下での乱流構造と輸送現象)
論文調査委員	(主査) 教授 小森 悟 教授 鈴木健二郎 教授 禰津家久

論文内容の要旨

本論文は、密度成層下での乱流構造と其中での熱、物質、運動量の輸送機構を明らかにすることを目的として行った研究の結果をまとめたものであり、9章からなっている。

第1章は序論であり、本研究の目的及びその重要性について述べ、既往研究との関連性についても説明している。

第2章では、安定成層乱流場での瞬間速度、瞬間温度、瞬間濃度の同時測定法について説明を行い、測定分解能と測定誤差の評価を行っている。

第3章では、強い安定温度成層を形成する格子乱流場で瞬間速度と瞬間温度の同時測定を行い、さらにレーザ蛍光法を用いて成層界面の可視化を行うことにより、スカラの逆こう配拡散機構を明らかにしている。その結果、スカラの逆こう配拡散現象を流体が持つ乱流運動エネルギーとポテンシャルエネルギーの大小関係から説明できることを明らかにしている。

第4章では、シュミット数 Sc が600の安定塩水成層乱流場で瞬間速度と瞬間濃度の同時測定を行い、第3章で示した液相の安定温度成層乱流場(プラントル数 $Pr=5$)での測定結果及び既往の気相の安定温度成層乱流場($Pr=0.7$)での測定結果と比較することにより、アクティブスカラの分子拡散がスカラの逆こう配拡散に及ぼす影響を明らかにしている。その結果、アクティブスカラの Pr または Sc が大きい成層乱流場ほど浮力の効果が強くなり、スカラの逆こう配拡散が顕著に起こることを明らかにしている。さらに、液相の場合にはまず初めに小スケールの流体の運動がスカラの逆こう配拡散に寄与するのに対して、アクティブスカラの Pr が小さい気相の場合には小スケールの逆こう配拡散が起こらないことを実験的に指摘している。

第5章では、安定温度成層を形成する液相と気相の格子乱流場に対して三次元直接数値計算(DNS)を実施し、スカラの逆こう配拡散に及ぼすアクティブスカラの分子拡散の効果を明らかにしている。その結果、第4章で実験的に予測した液相と気相の安定成層乱流場における逆こう配拡散機構の違いがアクティブスカラの分子拡散の違い(すなわち、 Pr と Sc の違い)によって引き起こされることを示している。

第6章では、シアアが存在する安定温度及び安定塩水成層乱流場で瞬間速度と瞬間温度または瞬間速度と瞬間濃度の同時測定を行い、安定成層流中でのスカラの逆こう配拡散現象に及ぼすシアアの効果を明らかにしている。その結果、シアアが存在する場合には、スカラの逆こう配拡散が起こりにくくなることを明らかにしている。さらに、運動量の輸送に関しても時間平均流速の低い領域から高い領域へと運動量が輸送される、運動量の逆こう配拡散が起こることを示し、その逆こう配拡散機構がスカラの逆こう配拡散機構と同じであることを示している。

第7章では、安定温度成層乱流場の中をパッシブスカラが乱流拡散する場合について瞬間速度、瞬間温度、瞬間濃度の同時測定およびDNSを行い、アクティブスカラとパッシブスカラの乱流拡散の違いを明らかにしている。その結果、アクティブスカラとパッシブスカラの初期の分布が異なる場合には、浮力によって両者の乱流拡散係数に大きな違いが生じることを明らかにしている。この結果は、温度成層流中にプルーム状に放出されたパッシブスカラである物質の拡散予測を行う際に、アクティブスカラとパッシブスカラの乱流拡散係数を同じとする従来の仮定に基づく乱流モデルを用いて数値計算を行

えば、物質フラックスの予測に対して重大な誤差を生じることを示すものである。

第8章では、不安定温度成層または乱流シアーが存在する格子乱流場で反応物質が乱流混合反応する場合について瞬間速度と瞬間濃度の同時測定を行い、浮力とシアーが混合反応現象に及ぼす効果について考察を行っている。その結果、不安定成層が存在する場合には、浮力対流によって、シアーが存在する場合よりも化学反応が大幅に促進されることを示している。また、シアーが存在する場合には混合界面で強いせん断力が働くのに対して不安定成層が存在する場合にはせん断力がほとんど働かないことから、不安定成層による浮力対流を利用することによって、バイオリクターやポリマー製造プロセスで必要とされる無せん断状態での混合反応促進技術の開発が可能であることを指摘している。

第9章は総括的な結論であり、本研究で得られた結果を要約するとともに、今後の研究課題についても述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、密度成層下での乱流構造と其中での熱、物質、運動量の輸送機構を明らかにすることを目的として行った研究の結果をまとめたものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

1. 強い安定密度成層下では、時間平均した温度、濃度、速度のこう配に逆らって熱、物質、運動量が輸送される逆こう配拡散が起こることを示した。
2. 強い安定密度成層下での熱、物質、運動量の逆こう配拡散現象が、流体がもつ乱流運動エネルギーとポテンシャルエネルギーとの大小関係から説明できることを示した。
3. 初期の安定成層の強さ（密度こう配の大きさ）が等しい乱流場でも、浮力を生み出すスカラであるアクティブスカラのプラントル数 Pr またはシュミット数 Sc が大きくなるほど浮力の効果が強くなり、逆こう配拡散現象が顕著に起こることを見出した。
4. 液相の安定成層乱流場では小スケールのフィンガ状の流体の運動が初期の逆こう配拡散に寄与するのに対して、熱の分子拡散速度が大きな気相の場合には小スケールの運動による逆こう配拡散が起こらないことを見出した。
5. 温度成層下でアクティブスカラである熱と浮力の生成には関与しないパッシブなスカラである物質が同時に乱流拡散する場合、パッシブスカラとアクティブスカラの乱流拡散係数の浮力依存性を同じとする従来の仮定は誤りであり、それらの浮力依存性は互いに大きく異なることを明らかにした。この結果から、温度成層流中にブルーム状に放出されたパッシブスカラである物質の拡散予測を行う際に、従来の仮定に基づく乱流モデルを用いて数値計算を行えば、物質フラックスの予測に対して重大な誤差が生じることを指摘した。
6. 不安定成層が存在する場合には、浮力対流によって混合反応が促進され、同じ乱流強度の条件下ではシアーをかけた場合よりも大幅に反応が促進されることを見出した。また、不安定成層が存在する場合には、シアーが存在する場合のような強いせん断力が働かないことから、浮力対流の利用により、無せん断状態での混合反応促進技術の開発が可能であることを指摘した。

以上、本論文は、安定および不安定成層下での乱流構造と輸送現象を明らかにしたものであり、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12年9月25日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。