

## 学位論文の要旨

氏名	木村 龍二
学位論文題目	マイクロチャンネル内気液二相流の流動現象

本論文は、マイクロチャンネル内気液二相流の流動現象に関して、光ファイバを用いた計測手法及び解析法の確立と、それらを用いて流動現象に影響を与える要因の検討を行い、マイクロチャンネルを利用した機器の最適設計や制御に必要な知見をまとめたものである。

第1章は、背景となったマイクロチャンネルを利用した応用機器と他研究の現状について検討し、本研究の目的について述べた。

第2章は、本研究で用いた実験装置の詳細について示し、気液二相流の流動現象の検討に必要な流動パラメータについて定義した。

第3章は、光ファイバプローブを用いた計測系について、測定原理、時間平均ボイド率及び画像による空間平均ボイド率についての定義を行った。また、光信号解析について得られた光信号波形と流動様式の関係についての検討や従来行われてきた画像処理法と光信号処理による方法との比較を行い、光信号解析による平均ボイド率の算定法や気体及び液体スラグ長さの算定法についての理論を実証した。

第4章は、圧縮性容量が流動現象に与える影響の検討のため、気液混合部に流入する気体側配管において、流量調整弁と差圧管位置を変え、気液混合部上流に圧縮性容量が

ある場合(Case1)と無い場合 (Case2) の2種類の圧縮性容量についての比較を行い、二相流の流動現象、特に平均ボイド率に対する圧縮性容量の影響を検討した。

第5章は、気液二相流の流動現象に及ぼす供試管の長さの影響を解明することを目的として、前述の気液混合部上流に圧縮性容量を設けた場合に管長が短い場合と長い場合の流動現象の比較から平均ボイド率、気体スラグ及び液体スラグの速度と長さの特性がどのように相違し、あるいは類似するかなど、それらの特徴を実験的に検討した。

また、混合部上流だけではなく混合部内部に圧縮性容量をもつ気液混合部であるレデュースを用いて圧縮性容量と供試管の長さとの関係をより詳細に解明し、管長が短い場合と長い場合の流動現象の差異を検討した。

第6章は、二相流の流動現象が下流方向にどのように変遷するかを解明することを目的として、前節で使用した混合部から管出口までの長さが1576mm の供試管を用いて、気液混合部から下流方向の距離 $x$  の位置で平均ボイド率、気体及び液体スラグの速度と長さを計測した。同時に距離 $x$  の位置で流動様式をビデオにて撮影し、ボイド率、スラグ速度、流動様式等の下流方向変化を実験的に検討した。

第7章は、マイクロ・ナノスケールの熱・物質輸送現象を解明する上で重要なテーマである固液界面の濡れ性の影響に関して、同じ管寸法で供試管の内壁がトリメチルシランガスの封入により濡れ性が悪く撥水効果が高いシラン処理管 (Silane-treated) と未処理管(Untreated)の2種類の濡れ性の異なるマイクロチャンネルを用いて二相流の流動現象、ボイド率、スラグ速度と長さ及び二相流の摩擦圧力損失等に及ぼす壁面の濡れ性の影響を検討した。

第8章は、マイクロチャンネル内気液二相流の流動現象に関して、従来の画像解析法に代わる光ファイバプローブによる計測法を確立し、それらを用いて以下の検討を行いマイクロチャンネル特有の流れの解明及びそれらの特徴について検討しマイクロチャンネル内気液二相流の流動現象に影響を与える要因について明らかにした本論文の各章について以下の内容で統括した。

- (1) 第3章では、従来の方法よりより詳細で低コストで非接触の測定が可能である光ファイバプローブを用いた計測手法に関して、測定原理及び解析法の検討を行い光計測としての手法を総合的に確立しそれらについて述べた。
- (2) 第4章及び第5章では、マイクロチャンネル内気液二相流に関して、混合部上流及び混合部内部の圧縮性容量について調査し、ボイド率や速度特性について圧縮性容量が流動現象に与える影響を明らかにした。
- (3) 第6章では、実際のマイクロチャンネルを利用した機器を想定した場合、流路長さが長くなる傾向があることを考慮し、長い流路を持つマイクロチャンネル内での気液二相流の長さ方向変化について検討し、流量の条件等により遷移現象が起こり、ボイド率や速度特性に影響を与えることを明らかにした。
- (4) 第7章では、マイクロチャンネルの管壁の濡れ性が流動現象に与える影響についてボイド率、スラグ速度及びスラグ長さ、圧力損失について検討した。

## 論文審査の要旨

報告番号	理工研 第341号	氏名	木村 龍二
審査委員	主査	井手 英夫	
	副査	門 久義	福原 稔
		木下 英二	

学位論文題目 マイクロチャンネル内気液二相流の流動現象  
(Flow Phenomena of Gas-Liquid Two-Phase Flow in a Microchannel)

## 審査要旨

提出された学位論文及び論文目録を基に学位論文審査を実施した。本論文は、8章より構成される。

第1章は、研究を推進する上で背景となったマイクロチャンネルを利用した応用機器と他研究の現状について検討し、本研究の目的について概説している。

第2章は、本研究で用いた実験装置の詳細について示し、気液二相流の流動現象の検討に必要な流動パラメータについて定義し、説明した。

第3章は、光ファイバプローブを用いた計測系について、測定原理、時間平均ボイド率及び画像による空間平均ボイド率についての定義を行った。また、光信号解析について得られた光信号波形と流動様式の関係についての検討や従来行われてきた画像処理法と光信号処理による方法との比較を行い、光信号解析による平均ボイド率の算定法や気体及び液体スラグ長さの算定法を示した。

第4章は、マイクロ・ナノスケールの熱・物質輸送現象の解明する上で重要な固体壁面での液体の濡れ性の影響及び気液界面の接触角の影響に関して、供試管内壁をトリメチルシラン処理することにより撥水性を持たせ、濡れ性が悪く撥水効果が高いシラン処理管 (Silane-treated channel) と未処理管 (Untreated channel) の2種類の濡れ性の異なるマイクロチャンネルを用いて二相流の流動現象、ボイド率、スラグ速度と長さ及び二相流の摩擦圧力損失等に及ぼす壁面の濡れ性の影響を検討した。

第5章は、気液混合部の上流において、気体側配管の導管内の気体の圧縮性容量が、二相流の流動現象に与える影響を調査するために、気体側配管の流量調整弁などの配管位置と圧縮性容量の関係を検討した。実験結果は、圧縮性容量がある場合 (Case1) と無い場合 (Case2) の2種類の圧縮性容量について、二相流の流動現象及び平均ボイド率に対する圧縮性容量の影響を比較検討した。

第6章は、気液二相流の流動現象と供試管の長さとの関係、及び気体側配管の圧縮性容量と供試管の管長との関係などを解明するために、供試管長が短い場合及び長い場合と流動現象の相違を調査した。これらの管路長さ平均ボイド率、気体及び液体スラグの速度と長さ特性について検討がなされた。

第7章は、長いマイクロチャンネルを二相流が流動する場合、流れが下流方向にどのように遷移し変化するかを定量的に解明することを目的として、全長1676mmの供試管を用いて、気液混合部から下流方向に距離 $x$ の位置でのボイド率、気体及び液体スラグの速度と長さを計測した。同時にこの位置での流動様式を高速度カメラで撮影し、平均ボイド率、気体及び液体スラグの速度と長さ及び流動様式の下流方向変化について、実験的に検討した。

第8章は本研究の結果を総括した。

以上、本論文は、マイクロチャンネル内気液二相流の流動現象に関して、光ファイバを用いた計測手法を開発し、流れの流動現象の解明と流れの解析法を確立した。また、この手法により流動現象に影響を与える気体側配管内の気体の圧縮性の影響や供試管長の相違と流動現象と関係などを解明したものである。これらの結果は、マイクロチャンネルを利用した機器の最適設計や制御に必要な知見を提供している。よって、審査委員会は博士 (工学) の学位論文として合格と判定した。

## 最終試験結果の要旨

報告番号	理工研 第341号	氏名	木村 龍二
審査委員	主査	井手 英夫	
	副査	門 久義	木下 英二
		福原 稔	
<p>平成23年2月14日(月) 工学部共通棟201号室にて、実施された論文発表会において、学位論文の内容について、80分の説明を受け、60分間の質疑応答を行った。以下に主な質疑応答を示す。</p> <p>【質問】：気体側配管長さ（圧縮性容量）の影響を流路長さで改善しているが、具体的に工業的な応用を考えたとき、流路長さを長くする以外に方法はあるものなのか。</p> <p>【回答】：本実験結果を考慮し工業的応用例として、気液混合部の気体側導管で圧縮性の効果が考えられる。その場合、吹き込みの形状を細分化したり可能な限り小さくすることなどの対策を講じることによって圧縮性容量がマイクロ流れに及ぼす影響を小さくできると考える。</p> <p>【質問】：流動様式線図では一つの線で境界を示しているが、流動様式の遷移境界は急には変わらないのではないのか。</p> <p>【回答】：ご指摘通り、図中の線の意味は、流動様式の遷移の境界のおおよその境界を表すもので、ある程度の幅を有するものである。この幅は、実験条件、管路の大きさ、流量範囲、物性値の違い、など多くの要因によって幅は異なる。物理パラメータに因った定量的判別での境界は、実験の場合と比較的一致する。</p> <p>【質問】：撥水処理を行った管の場合はスラグ流の領域が広がっている結果が示されているが、濡れ性はどのような理由で流動様式に影響を与えるのか。</p> <p>【回答】：スラグ流からリング液膜流の遷移は気体流量の増加によって生じるが、濡れ性が悪い管路、この実験例では、撥水処理した管路の場合、気体スラグ周囲の薄い液膜を撥水して液体スラグ側にはじく効果が高いため液体スラグが形成されやすい。一方、濡れ性が良い管の通常の管路では気体流量の増加により液膜の薄膜化が起りやすく、リング液膜流への遷移が起りやすい特徴がある。このため撥水管ではスラグ流の存在範囲が広がると考える。</p> <p>【質問】：本研究ではマイクロチャンネル内の気液二相流について実験的に検討を行っているが、この研究分野で見たとき、数値計算ではどのようなことが行われているのか。</p> <p>【回答】：数値計算からの検討は限定された条件下での例に限られマイクロ流路に関しては少ないが、管内の流れを予測するような例があるが、実験とはあまり一致していない。その他、気液混合部での気体と液体の混合方法等について数値計算例がある。</p> <p>【質問】：長い流路においての下流方向への流動現象の変化について検討をしているが、実際の工業製品への応用を想定した場合、長い流路は必要とされるものであるのか。</p> <p>【回答】：マイクロチャンネルを実際の工業装置への応用例として、小型熱交換器や小型液体クロマトグラフ等への例がある。波形流路や屈曲流路などの長い流路長さを利用して、単位体積あたりの表面積を大きくする事で反応や混合を促進するなどの利点がある。実際の製品への実装は、流路長が長い設計例が多い。従って、流路が長い場合、流れ方向に沿う流動現象の遷移現象を詳細に検討することは有意であると考えている。</p> <p>など、いずれの質問に対しても、明瞭で、適切な回答がなされた。</p> <p>以上の結果から、4名の審査委員は、申請者が大学院博士後期課程の修了者として十分な学力ならびに見識を有するものと認め、博士（工学）の学位を与えるに足る資格を有するものと判定した。</p>			