

## 審査の結果の要旨

氏名 汪 双 鳳

本論文は、「Fluctuation Characteristics of Gas-liquid Two-Phase Flow Splitting at a Vertical T-Junction (垂直T字型分岐管における気液二相流の脈動特性)」と題し、各種熱機器の冷却系やプラントの配管などで工業的に広く用いられ、機器の効率向上やコンパクト化の手段としてマイクロチューブ内の流動や伝熱の問題などと関連して近年研究が盛んなT字型分岐管の気液二相流の流動挙動について実験的研究を行い、FFT (Fast Fourier Transform), PSD (Power Spectral Density) および非線形カオス力学などによる解析により脈動特性およびシステムの複雑性を調べたものであり、論文は全7章よりなっている。

第1章は「Introduction (序論)」であり、従来の研究を概観し、本研究の目的について述べている。すなわち、従来の研究は平均な流れ挙動や偏流現象、圧力損失に興味集中し、また、水平分岐系(水平母管から水平枝管へ分岐)に関する研究がほとんどであって垂直分岐系(垂直母管から水平枝管へ分岐)の研究がきわめて少ないこと、また系の安定性、安全性に関わる脈動特性の研究が皆無であることを指摘し、本研究は、垂直T字分岐系における気液二相流の脈動特性とその原因の解明を目的とすると記している。

第2章は「Experimental Apparatus and Measurement (実験装置と方法)」であり、本実験の装置とデータ測定法について述べている。すなわち、本実験は空気と水を用いた等温系であり、テスト部は気液混合部、T字分岐部、枝管出口の気液分離部を内径15mmの亚克力ルパイプで結ばれた構造となっており、分岐部は亚克力ル板に内径15mmの穴をT字形に開けて製作し、これと気液混合部とを長さ(高さ)1.5mの亚克力ル管(母管)で接続している。母管を上昇する気液二相流はT型管で二つの枝管に分流される。そして、2つの枝管の流量配分は、枝管出口に設けたバルブの開度を調節することによって調整できる。流量は枝管出口の気液分離部で測定しているが、空気流量は熱線流速計で、水の流量は天びんで計量している。脈動の特性は、母管の下流部、T字分岐部をはさむ母管と枝管の連結部および枝管部の3箇所差圧計を設置し、それら差圧の時系列から調べている。また、分岐部及び直管部での流動状態を観察するために、高速ビデオカメラによる撮影を行っている。

第3章は「Fluctuation Characteristics (脈動特性)」であり、実験で明らかとなった気液二相流の脈動特性について記している。すなわち、脈動の起こる原因は、気液二相流がT字管で分岐されるとき、空気は膨張し、水との慣性の違いで枝管を流れやすいのに対し、水は重力の作用のため落下、逆流する。そして、この逆流と母管中の二相流の圧縮性交相互作用により脈動が維持されることを明らかにしている。また、脈動起こる流量の範囲、流動様式による振幅や周波数の違い、母管と枝管の脈動挙動の関係などについて詳細に調べている。

第4章は「Nonlinear Analysis on the Differential Pressure (差圧の非線形解析)」であり、本系で観

察された分岐現象の複雑性について非線形カオス解析を行った結果について記している。すなわち、差圧時系列からアトラクター、相関次元、パワースペクトル、リアプノフ指数などを計算し、差圧変動特性にどのような非線形性が内在しているか、複雑性の程度が如何ほどかを明らかにしている。その結果、複雑性の程度は、母管の流動様式が環状流であるときに一番大きく、次に気泡流、チャン流がそれに続くことを明らかにしている。そして、特に相関次元は系の最小自由度を表すことなどから、ここでのデータ解析の結果は現象をモデル化するとき大変参考になると述べている。

第5章は「Relationship between Extraction Ratio and Fluctuation（抽出率と脈動の関係）」であり、枝管と母管の流量比 $W_3/W_1$ と脈動特性の関係を明らかにしている。T字管の最も重要な役割は、流体を母管から枝管へ分配することにあるが、その流量分配比 $W_3/W_1$ が如何に脈動の強さや周波数に影響を及ぼしているかについて、入口の流動様式を気泡流から環状流まで変えて実験的に調べている。通常は流量増えると脈動は強くなると考えられるが、しかしT字管で二相流が分岐される場合は、相分離と流動様式が脈動に影響を与え、相分離特性について行った実験によると、抽出比0.5の場合は相の分離起こらない。そして、分配率と共に脈動の強さが単純に上昇するものの、均等分配のときは脈動が弱くなるのは、枝管における流動様式の影響であることを明らかにしている。また、各流動様式対応した分岐部と枝管部の脈動の強さを比較して、分岐部での脈動の強さはチャン流の場合が一番大きく、気泡流では小さくて無視でき、枝管の脈動は環状流の場合が一番強く、チャン流の場合がそれに次ぎ、気泡流の場合は環状流の4%程度、チャン流の10%程度にしかならないことなどを明らかにしている。

第6章は「Effect of Phase Separation on Fluctuation（脈動に及ぼす相分離の影響）」であり、実験で得られた相の分離と脈動の関係について記している。相分離とは、分岐部前後の二相流のクオリティが一致しないことであり、流量比 $W_3/W_1=0.5$ の時は均等分配であるが、入口が環状流の場合、運動量の低い液膜はT字分岐部でガスよりも曲がりやすく、このため相の分離が生じる。チャン流の場合も同様の傾向が認められるが、気泡流では相分離は起りにくい。また、脈動曲線と相分配曲線とはよく似ており、相分離は脈動に強い影響を及ぼしている。注目すべきことに、それら2つの曲線は同一の分配率で最大値をとる。そして、この結果を用いると、相分配に関する結果から、脈動がもっとも強く起こる流量比が求まり、さらに相分配のモデルが知られているときは、そのモデルから脈動が最大となる流量比が求まることになり、応用上、有効な予測手段が得られることになる、と述べている。

第7章は「Summaries and Conclusions（まとめと結論）」であり、上記の研究成果を総括し、得られた主要な結果をまとめている。

以上要するに、本論文は、学術的のみならず実用的にも重要な気液二相流のT字分岐特性、特に脈動特性について詳細な実験的研究を行ない、有用な知見を得たものであり、熱流体工学、機械工学の発展に寄与するところ大である。よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。