



Title	気液二相流に関する研究
Author(s)	世古口, 言彦
Citation	大阪大学, 1961, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/28327
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

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名・(本籍)	世 古 口 言 彦
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	第 201 号
学位授与の日付	昭 和 36 年 3 月 23 日
学位授与の要件	工学研究科機械工学専攻 学位規則第 5 条第 1 項該当
学位論文題目	気液二相流に関する研究
(主査)	(副査)
論文審査委員	教授 新津 靖 教授 津枝 正介 教授 太田 友弥 教授 植松 時雄 教授 小笠原光信 教授 菊川 真 教授 粟谷 丈夫

論文内容の要旨

気体と液体の混合物の流動すなわち気液二相流の研究は、つぎに述べる理由によって流体力学の重要な研究課題として最近注目されつつある。その第一の理由は、高圧の貫流式ボイラならびに動力用原子炉、特に沸騰水形原子炉の開発において、蒸気と水の二相流動現象がプラントの性能を左右するばかりでなく管の焼損ひいては安全運転の成否につながる重要な役割を占めていることである。すなわち、気水二相流の問題点を解明することは、さらにすぐれた性能のプラントを実現するための大きな前提条件であると一般に認められている。

その第二の理由は、気液二相流の現象が上記の工業分野だけでなく、化学工業における反応装置、冷凍機の絞り用毛細管等の機能に直接関係していることである。

このように、影響する分野が多岐にわたっているため、個々に解決すべき問題も多いが要約すればつぎの四つの項目にわけることができる。

①圧力損失、②相対速度あるいは気体々積率（原子炉工学ではボイドといわれる）、③流動様式、④実物プラントへの応用（貫流式ボイラの蒸発管内の気水二相流、ボイラのブローアン管における自己蒸発を伴う流れなど）。

これらの諸項目については、1940年の初頭から現在にいたるまで数多くの研究が発表してきた。しかし、圧力損失に例をとってみても、これに関係する要因がきわめて多く、まだ確立された理論がない。圧力損失に対する主要因子としては、気体と液体の各流量、各物性値、したがってまた圧力と温度、管の寸法形状、管壁の粗度等があげられる。これらの多数の因子の影響を実験だけで求めるにはほう大な実験が必要となり、事実上不可能に近い。このために、以上の諸因子を関係付ける理論と、その理論を基盤にした実験を並行して推進することが必要で、従来もこの線にそ�て理論的にも実験的にも研究されつつある。このことは上記の他の項目についても同様である。

しかし、従来の理論は本論文で詳しく説明するように多分に現象的で、二相流の本質的な解明にはほど遠いものであった。すなわち圧力損失と気体々積率（相対速度）および流動様式は実験結果によれば互いに密接な関係を持つものであるのに、従来の理論ではこれらが独立に取り扱われ、両者間の関係をも与えるような統一的な理論は従来発表されていない。

著者はかかる統一的な理論を本論文の第Ⅰ編において展開する。一般に流動を扱う理論ではエネルギー式が基礎式の一つとして必要であるが、従来の二相流の理論の基礎となるエネルギー式では、二相流の顕著な特徴たる大巾な静圧変動の原因が全く無視されていて、このために気体々積率と圧力損失の間の関係もつけられないものである。あとに述べるとおり気液二相流では静圧がはげしく変動するが、この原因は同一流量が流れているときでも、気液相互の流動状況が刻々と変化する（たとえば、気ほうの分離あるいは合体がたえまなく繰り返される）ことにある。静圧変動を電気的に記録してみると、変動の大きさが瞬間的には圧力損失よりもはるかに大きくなる場合もあるが、詳しく調べてみるとその変動自体に法則性があり、明らかに成分流量と関係があることがわかった。かかる著しい静圧変動は当然流動現象におけるはげしい乱れを意味するものである。もちろん単相流の場合でも乱流ならば流れは乱れているけれども、管壁に立てた液柱に激烈な振動を起すような乱れではないから、二相流の乱れのはげしさは単相流における乱れとは比較にならぬほどはげしいものであることは明白である。この乱れのためにエネルギー損失が発生し、圧力損失となって現われる。この圧力損失は単相流において摩擦損失として扱われている圧力損失とは全く別の性質によるものであるが、従来の理論ではこの両者が区別されていないのである。著者はこの二相流に特有の乱れによる損失（これを脈動損失と名付ける）を具体的にとりあげたエネルギー式を基礎とすべきことを提示し、かかるエネルギー式を水平管ならびに垂直管に対する空気一水二相流の実験データにもとづいて導入した。他方、気体々積率はこのエネルギー式で表わされる散逸エネルギーを最小にする条件から決定されるものとして、気液の各流量、管直径、管壁の粗度、圧力および温度との関係を求めた。かくてエネルギー式を基礎にして圧力損失と気体々積率とが統一的に結合され、圧力損失と気体々積率に及ぼす主要因子の影響を示す式を決定した。

このようにして導入された理論的関係が、著者の実験結果ならびに最近の文献にみられる実験結果とよく一致すること、さらにこれまで説明できなかった圧力損失、気体々積率と管壁の粗度の関係をも明らかにしうることが立証された。

第Ⅱ編においては、以上の理論を蒸気一水二相流に適用し、従来の実験データとの比較によって理論の妥当性を確かめるとともに、その結果を用いて強制循環ボイラならびに貫流式ボイラの蒸発管における流動計算法を導入した。なお、強制流動ボイラの蒸発管にみられる流動条件は一般に相当複雑で、たとえば蒸発管にそう吸収熱量が一様でなく、しかも分岐合流等がありそのうえ、蒸発管内における圧力降下が大きくなるために、流動に伴う自己蒸発、汽水の各比体積変化等の影響を無視することができないものであるが、従来の計算法には直線管路で一様熱吸収が仮定されたうえ、自己蒸発等の効果を定量的に求める方法がない。本研究ではこれらの影響をも考慮した一般的な解法を導入した。

蒸気一水二相流の中には、ボイラの蒸発管内の流れのように、外部から加熱を受けることによってしだいに蒸気流量が増加していく流れと、ボイラのブロー管にみられるように、外部からの熱吸収がなくとも

自己蒸発のみによって蒸気流量を増加していく流れがある。通常、後者をフラッシュ流 (Flashing Flow) といって前者と区別している。フラッシュ流は流体の運動エネルギーの消長を自己蒸発量と切りはなしえないこと、さらに一つの管路で流体の初期状態が定まっているときには流しうる流量に限界があること（このときの流量を臨界流量と呼ぶ）が特徴である。しかし、従来の研究には、臨界流量に達した点の圧力を実験的に決定する方法に不十分な点がある。第Ⅲ編にはこの欠点を補った方法を示し、フラッシュ流の管内の流動状況と臨界流量に達した状態とを統一して取り扱う計算法について述べ、この計算法にもとづいて圧力 8 ata から大気圧の範囲における フラッシュ流の流動実験値を整理して フラッシュ流の管路設計に有用な実験式と計算図表を求めた。

以上は気液二相流が管内を流動する現象を対象にした議論であるが、第Ⅳ編には絞りを通過する気水二相流の流動特性、いいかえれば、流動様式と絞りの差圧変動過程について述べた。これによって流動現象に関する基礎概念を明らかにし、さらに絞りによる流動抵抗の理論と実験的関係を導入した。また、この結果から絞り差圧の変動特性を利用することによって、気水二相流の成分流量を求める新しい流量測定方法を見出した。

以上を要約するに、本研究は各種の二相流に関して新しい理論をたて、これを実験によって証明したものである。

論文の審査結果の要旨

この研究は、気体と液体の混合物すなわち気液二相流体の流動状態が沸騰水形原子炉、高圧ボイラおよび各種化学装置などにおいて、その効率および安全運転の成否に直接つながる重要な要素の一つであるとして、この現象を熱力学および流体力学的に解明し、著者の提案した理論式の妥当性を多くの実験によって実証した結果を、4編24章にまとめたものである。

第1編では、気液二相流に対する著者の新しいエネルギー理論の展開について述べている。まず第1章では、気液二相流が単相流と異なり、著しい圧力脈動を伴うにもかかわらず、従来はその平均値だけを問題にしていることを指摘し、実験によって脈動圧力の平均値はもちろん、その振幅と気液の各流量との間に法則性のあることを見いだしている。第2章では、この圧力脈動は当然流体内部におけるはげしい乱れの存在を意味するものとし、著者はこの事実から、乱れに起因するエネルギー損失にも法則があり、しかもそれは単相流における流体摩擦とは異質のエネルギー損失であることを推論している。そこで二相流におけるこの特殊のエネルギー損失を脈動損失と定義し、これを含む新しい二相流に対するエネルギー式を導き、第3章では、空気と水を使って、水平管と垂直管に対して行なった実験結果に、前章のエネルギー式を適用し、次元解析を行なって脈動損失を表わす式を決定するとともに、著者のエネルギー式が実験結果と一致することを立証している。さらに脈動損失を含む全エネルギー損失の式を気体体積率について微分したものをゼロとおくことによって得られる関係式が、実験値とよく一致することから、二相流はエネルギー損失が最小になるような相対速度を気液間に生じつつ流れること、および圧力損失と相対速度との間には一定の関係があることを立証している。

第4章は本編の結論を要約して述べたものである。

第Ⅱ編はボイラ蒸発管内の流動に対する第Ⅰ編の理論の適用と実験値との比較、およびボイラ設計に有用な計算図表の作製について述べたものである。

第1章は緒論であって、ボイラ蒸発管内の流動の特質について述べている。

第2章では、第Ⅰ編のエネルギー式を蒸気と水の二相流に適用し、異なる圧力に対する蒸気体積率と圧力損失との関係を与える式を求め、これを用いた計算図表を作製し、従来公表されている実験値と比較して、よく一致することを立証している。

第3章では、以上の結果を実際の強制流動ボイラに適用するため、自己蒸発、分流・合流、不均一加熱などを考慮した計算法および簡易計算法について述べている。

第4章は本編の結論である。

第Ⅲ編は、管内を高速で流動する飽和液とその飽和蒸気の二相流において、流動に伴う圧力損失のために、飽和水が自己蒸発を起こし、加熱を受けなくても流体の比体積は増大してゆくいわゆるフラッシュ流に関する研究結果である。

第1章は緒論であって、管内のフラッシュ流における臨界流量の存在と臨界圧力の測定法について述べている。

第2章では、前編のエネルギー式をフラッシュ流に適するように、相対速度を含まない式に書き改め、それに含まれる基本的な量について理論的に検討している。

第3章は実験装置の説明である。

第4章は実験結果によって理論式中の係数を定め、臨界流量と臨界圧力との関係を明らかにしたものである。

第5章では、以上の結果を運用したフラッシュ流管路の設計法を述べ、これを計算図表としたものを示している。

第6章はフラッシュ流管路内における流体の状態変化について検討したものであって、第7章は本編の結論である。

第Ⅳ編は絞りを通過する気水二相流に関する研究である。従来は絞りの前後に生ずる圧力差の脈動を全く無視して、経験的に流量測定に対する修正係数を定めるにとどまっているのに対し、著者は圧力差の脈動現象を解析することによって圧力差だけを測定して、絞りを通過する気体と液体のそれぞれの流量を見いだす新しい方法について述べている。

第1章は緒論であって、圧力差の平均値と平均比重から流量を求める従来の方法では、物理的意味の薄弱な修正係数にたよらざるをえないことを指摘している。第2章は実験装置の説明であり、第3章は圧力差の特性を実験的に調べたもので、脈動する圧力差のひん度分布は、気体と液体の流量に対応して定まった分布形を持つ性質のあることを見いだしている。

第4章は、以上の知見から出発して、圧力差の振幅および圧力差の平均値と気液の各流量との関係式を理論的に導いたものである。

第5章では、脈動する静圧の最大値および最小値のみを測定する著者考案の装置による測定結果を説明

している。

第6章では、電気的に圧力差の変動を記録した実験結果について述べ、第5章の方法よりもこの方法が精度的にまさるので、この資料によって第4章の理論の妥当性を確かめている。

第7章では、以上の結果をまとめて、圧力差の平均値と振幅によって、気液の各流量を測定する新しい計算図表を提示しており、第8章は本編の結論である。

以上のように、著者は最近急速に関心の高まってきた気液二相流の実態を、熱力学的および流体力学的に究明し、多くの基本的特性を明らかにした。すなわち、気液二相流の特質たる脈動損失をとりいれたエネルギー式の提示、圧力損失と気体体積率との関係の解明、気液各流量の計測法の提案およびこれらの応用研究など、その成果は熱工学および工業上貢献するところが大きい。よってこの論文は博士論文として価値あるものと認める。