

氏名(本籍)	大 矢 信 道 (島根県)
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 2 1 5 号
学位授与年月日	昭和 4 5 年 3 月 2 5 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 精密工学専攻
学位論文題目	流体の微細化機構に関する研究

(主査)

論文審査委員	教 授 棚 沢 泰 教 授 酒 井 高 男
	教 授 武 山 斌 郎 助 教 授 永 井 伸 樹

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 論

熱機関や噴霧燃焼器と燃料の微細化とは、燃焼性の向上に関連して、不可分の関係にある。一方、乳濁液を作る場合や、化学反応に応用する場合など、液体中の気体や、液体中の液体の微細化を要求される分野は多いが、これに対する研究は少ない。

一般に流体は、ひも状ないし膜状の形態をとるときがもっとも不安定である。したがって微細化すべき流体を形状的に不安定な姿にして、自らが不安定性のために崩壊してゆくようにしむけるという方法が考えられる。このような場合には場 (field) を形成して微細化を行なう方法が、普通に考えられる方法である。場を形成するという事は、微細化させるべき流体に、変形ないし分裂を起こさせるべく、そのもとになる周囲流体をして、流体力学的に力をもつような流れとすることである。この場合、微細化に有効な場としては、加速場、減速場、せん断場などの単純場のほかに、

これらが組み合った場として、たとえば物体をよぎる流れの場など、種々の場が考えられる。

本研究は、微細化機構解明の一環として、場による微細化をとりあげ、液体のうち水を用いて場を形成し、気体の一例として空気を、また補足的に、水に不溶性の液体の一例として灯油を選び、水で形成されたこれらの考えられる種々の場の中に、これらの流体を流していき、その微細化機構を、瞬間撮影により実験的に解明しようとするものであり、とくに見かけに相違して微細化が困難で、微細化方法が確立されていない気泡の微細化については、実用性を考え、くわしく吟味するものである。

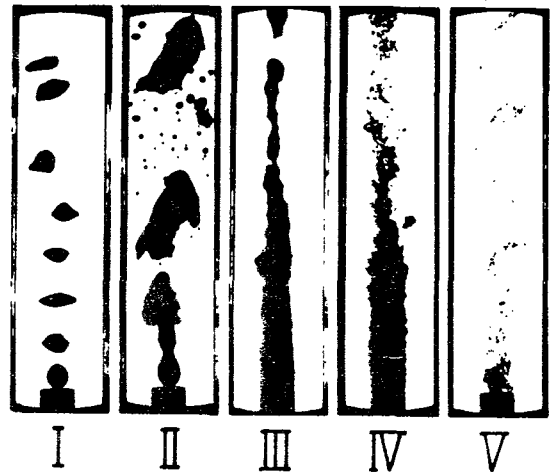
## 第2章 平行流中における管ノズルからの流れ

自然うずによって生ずる半径方向の圧力勾配を利用して、気泡をうずの中心に集めて抜き去る構造の気泡分離器を用いた閉水系において、十分に整流された水を、 $2.5 \times 2.5 \text{ mm}$ の正方形断面の平行流路に導き、水の速度を $0 \sim 7 \text{ m/S}$ までかえ、流路の中央に流れに平行に置かれた管ノズルから空気を流し、体積流量で $0.5 \sim 4.0 \text{ cm}^3/\text{S}$ まで変化させた。ノズルは薄肉のものについては外径 $1 \sim 1.0 \text{ mm}$ までとし、厚肉のものとしては外径 $1.0 \phi$ のものについて代表的を選び、内径を $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ にかえた。この流れを瞬間撮影あるいは高速度連続撮影して吟味した。

その結果、流れの型は

- I 気泡流
- II 気泡合体流
- III 気柱流
- IV 不安定気柱流
- V 後流うずによる分散流

の5つに分類できることを示し、その特徴を調べた。ほかに、空気の補給なしで起こる現象、ノズルの外径による流れの変化、流路の大きさの影響、得られる気泡の概略の大きさ、気柱の長さの変化、水流の乱れの強弱による違いなどについても吟味した。



さらに各ノズルについて流れの型の分布を求め、分散流への変化は遷移的であることを示した。本研究で重点的に求める微細化流はVである。次元解析により現象を支配する無次元数を求め、実験結果と対照して、水の流れに対しては、ノズルの外径を代表寸法としたレイノルズ数を、空気の

流れに対してはウエーバー数を用いれば結果が一般化されることを示した。これより分散流への遷移点を示す実験式を求め、良好な微細化流とするには、実用的には

$$\sqrt{(W_e)_a} < 0.93 (R_e)_w^2 \times 10^{-6}, U \geq 3 \text{ m/s}$$

とすればよいという一般的な条件を求めた。

空気にかえて灯油を用いた実験から、空気の場合にみられる流れの型に加えて、場により変化されない段階で、液柱流や噴霧流となり、大気中に液体を噴出させた場合とほぼ同じような流れの型をもつことを示し、流れの型の分布を求めた。

### 第3章 加速場における微細化

絞り流路は加速場となる。厚さ2.5mmの流路において、1/4円弧の丸みをもった平行材により幅を5.0mmから1.5mmに絞った流路に水を流しておき、ノズルから気泡を流した実験から、気泡は加速によるというよりはむしろ圧力の急降下による爆発的な膨張により、不安定化して破壊されることを明らかにし、空気のような圧縮性流体の微細化には、圧力の急変化を与えることの有用性を示し、圧力による効果を高めるための条件を求めた。

空気にかえて非圧縮性流体の灯油を流した場合は、加速による効果を受けて、多くは液柱が形成され、液柱はあたかも引張りを受けたかのように細長く伸ばされて、不安定性のためにぶつぶつに切れるような微細化を示した。

### 第4章 せん断場における微細化

速度勾配のある流れではせん断力が作用する。偏平な円筒形の容器の外周上に接線孔をもうけ、容器の底面中央に円形の出口をつけ、接線孔から水を導入させると、接線速度を $u$ 、半径距離を $r$ とするとき、

$$ur = \text{const.}$$

で示される自然うずとなる。内径7.0mm、高さ1.5mmのうず巻き室を用いて、出口オリフィス径を大小変化させ、接線孔での流入速度を種々かえて、このうずに気泡を導入した場合は、空気の比重量が非常に小さいため気泡は十分に旋回せず、したがってせん断力によって幾分変形はされるが、微細化にまでは到らないことを示した。

灯油を流した実験では、水の入口接線速度が大きいほど、また出口オリフィス径が小さいほど良好に微細化されることを示した。また、速度分布からせん断力の大きさを評価し、既微細化粒の再混合現象に着目し、さらには赤インキが流線を示さずに散ってしまうことから、強い乱流混合が行なわれているとの解釈を示した。

## 第5章 物体をよぎる流れによる気泡の微細化

第2章における結果から、一たび球形となった安定な気泡でも、後流うずでよく破壊されることが予想される。そこで流れの中に標準となる形状の、平板および円柱を置き、後流うずを発生させておき、気泡を導いて微細化を試みた。その結果、非常に優秀な微細化が得られた。物体の前方および側方では速度の変化があり、したがって気泡は減速、せん断、加速の効果により、変形ないし分断を受け、後方に到ってはうずによりこなごなに碎かれてしまう。Kármán うず列の発生 の挙動から推察されるように、うずとうずとの境界あるいは、うずと周囲流との境界には、強い加速あるいはせん断力が作用していて、物体の前方やこの境界領域には、細長い糸状の気泡が発生するという、新しい事象を示した。

平板の姿勢を種々かえ、物体の寸法、水の流速、空気の流量などによる微細化の良否についても検討した。そして、気泡の集積する欠陥の少ない円柱を用いる方が、実用的には優れていることを示した。

## 第6章 結 論

以上本研究は、層流せん断場を除いては、これまでほとんど行なわれていなかった、場による微細化について、平行流路を用いて平行流れの場；絞り流路を用いて加速場；自然うずを用いて乱流せん断場；物体をよぎる流れを用いて後流うずを中心とするこれらの総合場を形成し、空気および灯油を流して体系的に広範に実験し、それらの場における流れおよび微細化流となる条件を明らかにし、微細化の場としての後流うずの優秀性を示した。

これにより、気泡に関してはその挙動の概要が明らかとなり、実用的な微細化法が確立されたといえる。

## 謝 辞

本研究は、棚沢 泰教授によって与えられたものであり、終始懇切な指導を賜った同教授に対し、深甚の謝意を表す。また実験に協力を得た、関口 聡、富田 務の両氏にもあわせて感謝の意を表す。

## 審査結果の要旨

液体中の気泡を直径数ミクロン程度の微粒群とすることは工業上必要な操作であるにもかかわらず簡単で有効な方法はまだ見出されていない。

本研究はこの問題を解決することを目標として、ある液体の流れ場内で他の流体が微細化する機構を追究したものである。

論文は6章から構成されており、第1章は緒論で、流体を微細化する機構は種々の観点から論ぜられるが、本論文は流れ場による微細化現象に限定することを述べている。

第2章は遠心気泡分離器を備えた高速水流回路を製作して、平行水流中におかれた管端から空気を噴出させた場合の気泡の発生状態を瞬間撮影したものである。

多数の写真を基にして、平行流の流速、空気流量、および管の内、外径の異なることにより、気泡流領域、合体流領域、気柱流領域、不安定気柱流領域、および後流渦による分散流領域に分類されることを見出した。

これらの領域はレイノルズ数およびウエーバー数によって整理され、分散流領域では、気泡は螺旋状の後流渦によって粉碎されて微粒となることを示した。

なお空気の代りに灯油を管から供給して微細化状態を撮影し、灯油流の保持する運動エネルギーによって領域の大きさが変わり、灯油の噴流領域と分散流の領域が広がることを見出した。

第3章は水の加速流れ場内での気泡および灯油流の微細化状態を追究したもので、灯油の場合には加速流によって油流が引伸ばされて微細化し、気泡の場合には、これに場の圧力降下による膨張が加わって微細化を助長することを明らかにした。

第4章は速度勾配を持つせん断流による微細化現象を取り扱ったものである。

単純せん断場を作るため切線方向から水流を供給し、中心部から軸方向に排出させる渦巻室を製作し、その中で気泡および灯油流の微細化状態を撮影した。その結果中心部に近い乱流せん断場で灯油流はたちまち粉碎されることを認めた。

第5章は気泡を微細化する有効な手段として水流中に障がい物をおいた場合を取り扱ったものである。

すなわち障がい物によって流れ内には加速場、減速場、および後流渦によるせん断場が発生し、これらの場によって気泡は有効に微細化されることを示した。また障がい物の形状による微細化状態のちがいを明らかにした。

以上本論文は従来ほとんど系統的な研究が行なわれていなかった流れ場による流体の微細化機構を追究して、加速流、減速流、およびせん断流の効果を明らかにし、気泡などを微細化するための有効な手段を見出したもので、流体力学上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。