

氏名	Kim 金	Young 永	Soo 洙
授与学位	博士（工学）		
学位授与年月日	平成6年3月25日		
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第1項		
研究科, 専攻の名称	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	二流体微粒化機構と噴霧流動		
指導教官	東北大学教授 永井 伸樹		
論文審査委員	東北大学教授 永井 伸樹	東北大学教授 箱守京次郎	
	東北大学教授 小林 陵二	東北大学教授 橋本 弘之	
	東北大学助教授 稲村 隆夫		

論文内容要旨

第1章 緒論

二流体微粒化は比較的低い供給圧力でも良好な微粒化ができることや、多様な噴射弁の構造設計が可能であることの利点を持ち、各種燃焼装置や粉体製造など広い範囲で使用されている。微粒化現象は、一般に非常に複雑で非定常性の高いものであり、微粒化に関与するパラメータが数多くあることなどから、基礎的な研究はほとんどが低速気流中などの限られた条件で行われており、実用条件となる高速気流による分裂機構に関しては、ノズル極く近傍での高速分裂が下流の噴霧特性に、どのような影響を与えているかは明確に解明されていない。

一方、近年噴霧流動及び噴霧燃焼の数値シミュレーションが活発に行われているが、入力条件として与える噴霧の初期条件を従来では、噴霧下流における噴霧特性の測定結果から推定して与えていた。最近、ディーゼル噴霧について、分裂機構のモデルが提案され、噴霧流動の数値シミュレーションに利用されているが、本研究で用いるような気流噴射弁については、まだ確かな数学モデルは提案されていない。

そこで本研究では高速二流体微粒化における微粒化機構、噴霧特性及び噴霧流動を明らかにすることを目的とし、同軸気流噴射弁を取り上げ、各種測定法により噴霧特性を測定し、噴射弁近傍の測定結果を用いて噴霧流動の数値シミュレーションを行う。さらに、二流体微粒化に及ぼす種々のパラメータを取り上げ、それらの影響について考察する。

第2章 同軸気流による液体の分裂機構及び分裂特性

気流がある程度高速で、なおかつコア状液流が存在する噴射条件に主眼を置いて、特に噴射弁口近傍に着目し、各種測定法を用いて噴口近傍の噴霧特性を測定し、液体の分裂機構について考察した。

噴射弁から生成される液滴の平均粒径については、抜山・棚山の式を始めとして多くの実験式が提案されているが、それらは液滴の再分裂や合体を含んでおり、液柱から分離したときの液滴径とは異なると考えられる。図1に平均粒径及び最大粒径の軸方向変化を示す。平均粒径と最大粒径は両方とも下流に行くほど減少しており、液滴の再分裂が進行していることがわかる。しかし、コア表面付近の粒度分布の測定結果によると、下流にいくほど小さな液滴が増えていく傾向にあるが、最大粒径はあまり変わらないことから、コア表面の発生位置による液滴の軸方向の粒径変化はあまりないと考えられる。図2に各下流位置における液滴軸方向速度の半径方向分布を示す。液滴の速度は外側や下流にいくほど加速されていることが分かるが、コア表面近傍をコア形状に沿った領域に分けて測定した液滴の軸方向速度分布によれば、液滴速度は各領域における速度変化の傾向は類似であり、ほぼ平行移動した形を示すことから、液滴生成時のコア表面に沿った速度分布形状を保ったまま、加速されているものと思われる。

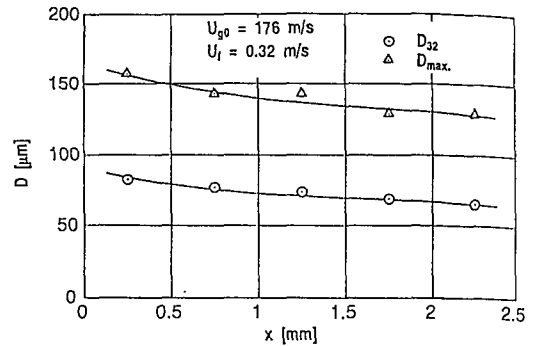


図1 平均粒径および最大粒径の変化

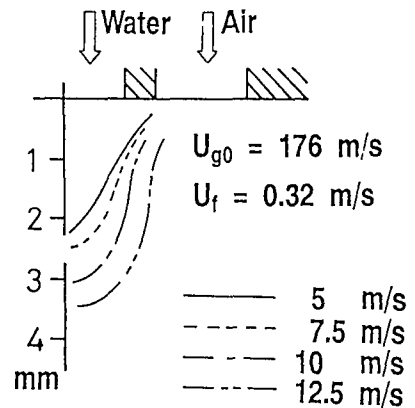


図2 軸方向速度分布

第3章 同軸気流による局所噴霧特性及び噴霧流動特性

噴霧粒子の粒径と速度を局所滴かつ同時滴に測定することが可能な、粒子解析装置 (PDA) を用いて、2章で用いた同軸気流噴射弁を取り上げ、液滴の粒径と速度の局所的・同時測定を行い、さらに噴射方式の異なる圧力噴霧との比較によって二流体噴霧の噴霧特性及び流動特性を明らかにする。まず装置の設定条件を変えながら測定を行い、設定条件による測定結果への影響を検討し、決定した設計条件の検定や他方法による測定結果との比較によって本解析装置の測定誤差について検討した。その結果、PMに印加される (HV) など装置の設定パラメータは測定結果に大きな影響を与えており、各種システムの設定には慎重を期する必要がある。またPDAと液浸法により測定した粒度分布の比較によると、液浸法の空間分解能や液滴の蒸発などによる誤差はあるものの、

その分布は一致していることがわかった。

また、圧力噴射弁と二流体噴射弁の噴霧特性を比較した結果、二流体噴霧では、微粒化用空気流による強い乱流拡散作用に支配される傾向にあることがわかった。

第4章 噴霧生成及び噴霧流動の数値シミュレーション

まず噴霧下流位置において測定した噴霧特性を入力条件として用いて、数値シミュレーションを行い、本研究で採用した数値シミュレーション手法の妥当性について検討した。次に2章で測定した噴射弁近傍の噴霧特性を用いて、簡単な液柱の分裂モデルを作成し、これを用いて噴霧流動の数値シミュレーションを行い、噴射弁下流の噴霧特性の測定結果との比較により、入口条件として用いたモデルの妥当性や二流体噴霧の流動特性について検討した。

図3に液滴平均粒径の半径方向分布の測定値と計算値の比較を示す。計算値の方が測定値よりやや大きい。これは本計算では液滴は2個に分裂すると仮定したが、実際には分裂するとき微小液滴も数多く生成されると思われる、この仮定の不備が誤差の原因の一つに挙げられる。また噴霧外縁の半径位置が測定値に比べ計算値がかなり小さいのは、計算に用いた液滴数が少ないこと及び液滴の拡散を過小評価しているためと思われる。図4に液滴速度の半径方向分布の測定値と計算値の比較を示す。外側にいくにしたがい液滴速度が小さくなる傾向は計算値と測定値両方とも一致しているが、絶対値は計算値の方がいずれの液滴についてもやや大きくなっている。また液滴径 $d = 10 \mu\text{m}$ の粒子は $d = 60 \mu\text{m}$ の粒子に比べ速度のばらつきも大きく、下流で小さな液滴ほど乱流渦の影響を受けていることを示している。

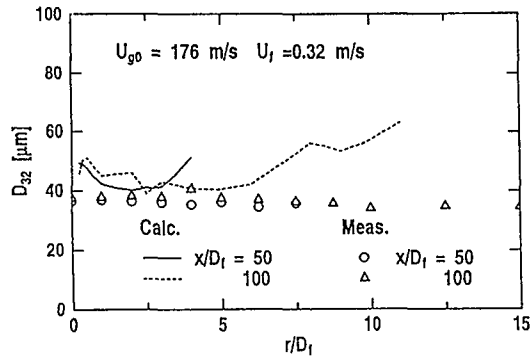


図3 平均粒径分布の比較

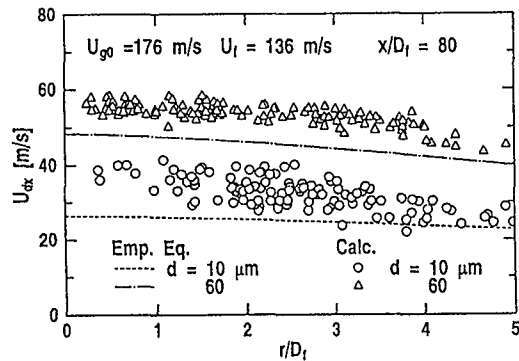


図4 液滴速度分布の比較

第5章 液柱の二流体微粒化機構に関与する各種パラメータの影響

以上の実験では、微粒化用空気は通路断面積が小さい同軸ノズルから噴射されたため、噴射後は周囲空気との運動量交換によって下流では急速に減速し、それが噴霧生成や噴霧の分散に影響を及

ぼしていることが分かった。実用噴射弁の微粒化はこのような流れ場で行われるものであるが、気流による液柱及び液柱表面の変動を基本的に理解するため、実験条件をさらに単純化し円形風胴内に設置された同軸気流噴射弁を取り上げ、液滴生成過程を支配する各種パラメータのうち、特に気流や液流の乱れに着目し、これらが液柱の分裂、液滴の生成機構に及ぼす影響について、各種測定方法を用いて噴射弁近傍の液柱分裂特性の測定を行い実験的に調べた。さらに、液流内の乱れによる影響については液柱表面変動の数値計算を行い、その影響について考察した。

図5に気流の乱れ強さによる各下流位置における噴霧の広がりを示す。噴霧の広がりには乱れ強さが大きいほど大きくなっており、気流の乱れ強さが大きいほど液滴の乱流拡散が活発であることを示している。しかし下流位置 $x/D_f = 25$ 付近では、その広がりには各乱れ強さにおいてほぼ一致しており、液滴の拡散に及ぼす気流の乱れの寄与は、比較的上流において有効であることを表している。

第6章 結 論

1. 液柱の分裂形態は、本実験範囲において、液膜あるいはリガメントの発生及び分裂への寄与により、分裂機構は、液柱振動分裂、液膜分裂、リガメント分裂の三つに大別され、実用的条件下ではリガメント分裂機構で微粒化が行われている。
2. 液滴粒径、液滴速度の空間特性および液滴粒径と速度の相関は、ノズル近傍においては液柱の分裂機構に支配されるが、下流では微粒化用空気流の強い乱流拡散効果に支配される傾向にある。
3. 噴霧流動の数値計算結果と測定結果の比較では、その傾向はほぼ一致しているものの、噴射弁近傍の流れが十分に予測されていないため、噴射弁出口近傍の噴霧特性のより正確な測定や液体分裂機構の正確なモデルが必要である。
4. ほぼ様な高速空気流中に液体ジェットを噴射した場合について、噴射弁近傍では、気流の乱れが液柱の分裂、液滴の生成機構に及ぼす影響は明らかであるが、下流に行くほどその影響は小さくなる。また液流の乱れあるいは液流ノズル内部の形状の影響は気液界面の挙動計算によれば、液流内の乱れが大きいほど、その乱れが界面まで伝わり界面の変動が大きくなる。

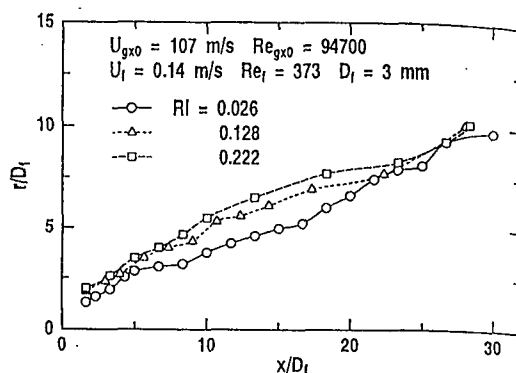


図5 気流の乱れ強さによる噴霧外縁位置の比較

審 査 結 果 の 要 旨

噴霧燃焼装置や粉体製造などの噴霧生成法として広く利用されている二流体微粒化では、複雑で非定常性が高い液体の分裂現象と微粒化特性との関連を解明することが重要な基礎課題となっている。本論文は、高速気流による液体の分裂過程と噴霧特性を詳細に調べて関与するパラメータの影響を明らかにするとともに、液体分裂モデルを提案し、数値シミュレーションを併用して噴霧の運動を解明した成果をまとめたもので、全編6章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、同軸型気流噴射弁の微粒化について、液体ジェットおよび気液界面の変動状態や分裂形態、噴霧特性などを調べ、特に従来計測が困難だったノズル近傍の液体分裂と生成液滴の運動を各種計測法を用いて詳細に解明して、液滴生成の平均像を提示しており、重要な成果である。

第3章では、噴射弁下流における局所噴霧特性を測定して噴霧の流動や分散について論じ、ノズル近傍では液滴の再分裂が中心部よりも周縁部で効果的に進行しながら噴霧が生成されるが、下流では微粒化用空気の強い乱流拡散作用によって噴霧粒の運動が支配されるので、噴霧特性は局所滴に異なってくることを明らかにしている。これは噴霧構造の特徴を示す重要な知見である。

第4章では、第2章で測定した噴射弁近傍の噴霧特性をもとに液柱の分裂を仮定したモデルを用いて、噴霧流動の数値シミュレーションを行い、前章の実験結果と比較して本モデルの入口条件の妥当性を検討している。

第5章では、噴霧生成と運動に対する周囲気体の影響を無視できる条件を設定するため、風洞型の実験装置を試作して一様気流中の液体分裂を行い、液体ノズル近傍の液柱分裂機構、気流乱れによる液滴速度の変動や噴霧の分散、液体内部乱れが噴霧の平均粒径に及ぼす影響などを調べ、また液体内部の乱れの成長と気液界面の変動を数値計算している。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、高速気流による液体の微粒化に関して、液体分裂機構、微粒化特性および噴霧の運動特性を実験と数値計算によって詳細に解明し、多くの知見と基礎資料を提供したものであり、微粒化工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。