

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名

島田正仁

近年、ディーゼルエンジンの排出ガスに関する規制が厳しくなっている。この規制に対して、現在多くの対策が検討されており、その1つに燃料噴射の高圧化がある。これは燃料を高圧で噴射させることにより、燃料の微粒化を行うことがねらいである。しかしながら燃料噴射の高圧化に伴い、燃料噴射ポンプにおいてキャビテーションの発生が多くなってきており、壊食（キャビテーション・エロージョン）等の問題を引き起こしている。この問題を研究するためには噴射ポンプ内におけるキャビテーションの発生から崩壊までの現象を把握することが重要である。特にキャビテーション崩壊現象に関して、エロージョンを引き起こすような衝撃力がどのようにして発生するのかを理解する必要がある。

燃料噴射ポンプを含め、流体機器内に発生するキャビテーションはほとんどの場合、単一ではなく気泡雲（キャビテーションクラウド）の状態で存在する。従って、崩壊現象を考えた場合に単一気泡ではなく、キャビテーションクラウドの崩壊として扱う必要がある。クラウド崩壊に関してこれまでいくつかの研究が行われてきており、そのほとんどが数値シミュレーションによる解析であるが、これまで行われてきた研究では気泡内部の現象をポリトロープ変化として扱っており、気泡界面における蒸発や凝縮等の詳細な気泡内部現象が考慮された研究は行われていない。また、液体を非圧縮としているため、クラウド内部現象に関しても十分に解析されているとは言えない。

以上のような背景から、本研究では燃料噴射ポンプ内におけるキャビテーションクラウド崩壊現象を対象とし、噴射ポンプ内におけるクラウドの形成から崩壊までの現象を可視化実験および数値シミュレーションによる解析により理解することを目的とする。また、気液界面における蒸発・凝縮等の気泡内部現象、さらに液体の圧縮性を考慮に入れた数値解析を行い、崩壊時におけるクラウド内部の現象および気泡の挙動について調査することを目的とする。

本論文では全6章並びに付録から構成されている。

第1章「序論」では研究の背景と目的、従来の研究、燃料噴射ポンプ内のキャビテーションと本論文の概要が記されている。

第2章「軽油中に含まれる気泡核の計測」では、ディーゼル燃料（JIS 2号軽油）中に含まれる気泡核の測定するの実験装置及び計測結果について記されており、軽油における気泡核の存在が確認されたこと、軽油の気泡核分布は水の場合とほぼ同様の傾向があることなどが示されている。

第3章「燃料噴射ポンプ内キャビテーション流れの数値解析」では、噴射ポンプ内のキャビテーション流れを解析するための支配方程式、解析手法などを記し、第2章で示した気泡核分布を用いた噴射ポンプ内のキャビテーション流れの数値解析について述べられている。数値解析結果より、キャビテーションジェット上方及びバレル側面に渦が発生し、その渦にキャビテーションが集積することにより気泡クラウドが形成されることが示されている。

第4章「拡大モデルを用いたキャビテーションの可視化実験」では第3章で記した数値解析結果を検証するために行った可視化実験について記す。本研究では、噴射ポンプ内のキャビテーション流れを詳細に観察するため、実機の5倍の拡大模型を用いてその内部のキャビテーション流れをCCDカメラにより瞬間撮影し、さらにPIV解析を行って速度ベクトルを算出した。また、数値解析結果と可視化実験結果を比較し、気泡クラウドの形成など両者は良く一致することが示されている。

第5章「クラウドキャビテーション崩壊の数値解析」では、クラウドを1次元球対象と仮定し、気泡内部現象及び液体の圧縮性を考慮してクラウド崩壊現象を解くための支配方程式、その支配方程式を誘導するために用いた仮定、および数値解析法等が述べられている。クラウド崩壊時には中心部に向けて衝撃波が伝播、収束し、中心部では高い圧力が発生するため、中心部の気泡は激しく崩壊し、1GPaに近い崩壊圧を発生すること、崩壊前後、クラウド中心では液体圧力は負圧を含む高周波の圧力変動が生じること等が示されている。また、クラウド内部における気泡核分布を考慮した数値解析を行い、気泡の大きさに分布を持つ場合、様々な大きさの気泡運動が相互に干渉することにより、均一な大きさの気泡からなる気泡クラウドに比べて、その内部の圧力変動は小さくなること、クラウド内の気泡の大きさの種類が多いほど、大きさの異なる気泡の崩壊挙動の干渉により、個々の気泡から高い衝撃圧が発生する範囲が広くなること、クラウド崩壊時において中心部で気泡から高い衝撃圧が発生してから、クラウド内の気泡が完全に小さくなり初期状態に戻るまでに相当の時間遅れがあること等が示されている。さらに燃料噴射ポンプ内部のように、クラウド周囲圧力が比較的ゆっくりと変化する場合でもクラウド中心において、極めて高い崩壊圧が発生することが示されている。

第6章「結論」において、本論文の成果がまとめられている。

最後に、付録「キャビテーションエロージョン発生の解析」ではクラウドキャビテーションの崩壊とキャビテーションエロージョン発生の関係を数値的に解析するための解析モデルと計算結果が記されている。

以上を要するに本論文の著者は、ディーゼルエンジン用燃料噴射ポンプにおけるキャビテーション流れの挙動及びキャビテーションの崩壊に関して、数値解析並びに可視化実験により、現象の解明を行っている。キャビテーション流れの数値計算及び拡大モデルを使用した可視化実験により、燃料噴射ポンプ内部における気泡分布形状並びにクラウドキャビテーション形成が明らかにされている。また、クラウドキャビテーション崩壊については、気泡内部現象及び液体の圧縮性を考慮した数値解析を行い、崩壊時における気泡クラウド内部の圧力波の詳細な挙動やキャビテーションエロージョン発生との関係を示している。これらの点において、著者の研究は工学上寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。