

審査の結果の要旨

氏名 関根 章裕

本研究は、MPS法における自動車エンジンの燃料挙動解析のためのキャビテーションモデルの研究で、7章より構成されている。

第1章は序論であり、研究の背景、研究の目的、及び本論文の構成がまとめられている。キャビテーションは沸騰と同様に、液体が気体へ相変化する現象である。ただし、キャビテーションは流速の増加に伴う流れ場の圧力低下によって生じる。ガソリンエンジンの燃料インジェクタとして、燃費をより向上させることが可能となる直噴方式が広く使用されるようになってきている。そのノズル噴孔内に発生するキャビテーションは、ノズル流量及び噴霧形状に関係があり、燃費性能に加えて排ガスのクリーン性能に対して影響を与える。しかし、実験的研究は時間やコストがかかるだけでなく、非常に短時間で微小な領域での現象であるため得られる情報が限られる。そこで、キャビテーションの発生によるノズル流量および噴霧特性への影響を数値解析によって把握することができれば、効率的な設計を低コストで行うことが可能になると考える。本研究では、粒子法的一种であるMPS (Moving Particle Semi-implicit) 法を用いてノズル内のキャビテーションを伴う流動解析のための計算モデルの開発を行った。

第2章では、キャビテーション流れの解析モデル及びMPS法を用いた気液二相流解析に関する先行研究がまとめられている。キャビテーション流れの解析モデルは、格子法に用いられている均質媒体モデルが代表的である。気泡の成長にはRayleigh-Plesset方程式を用いる。MPS法を用いた気液二相流解析は4種類に分類され、その中の手法Dは液相粒子が気相情報を持つモデルであり、これまでの山川ら(2012)のキャビテーションモデルがここに含まれる。

第3章では、本研究で用いられるMPS法について説明されている。粒子間相互作用モデル、半陰的アルゴリズム、自由表面判定法、及び陽的アルゴリズムについて述べられている。本研究では半陰的アルゴリズムを用いたMPS法を採用し、空間の離散化には鈴木スキーム、圧力のポアソン方程式のソース項にはTamai-Koshizukaの方法、自由表面判定にはTanaka-Nasunagaの方法を用いる。

第4章では、本研究で提案するキャビテーションモデルが述べられている。まず、これまでの山川らのモデルの改良が試みられている。山川らのモデルでは、キャビテーション発生に伴う気泡の成長と崩壊をRayleigh-Plesset方程式で計算し、気泡の変化に伴って流体粒子を膨張・収縮させることによって表現している。しかし、近傍粒子間で粒

粒子径が異なることで計算が不安定になりやすい。そこで、粒子径を均一に保つ改良モデルを提案した。しかしながら、気泡の成長速度の計算において数値的に不安定になる場合が見られた。そこで、Rayleigh-Plesset方程式を使用せずに、ノズル内の気相領域に対しては一律な物性であると近似して粒子を配置せず、液相領域にのみ粒子を配置するキャビテーションモデルを新たに提案した。

第5章では、シュミットノズル内流れの実験に本提案モデルを適用した解析の妥当性確認について述べられている。提案モデルのノズル前後差圧に対するノズル内の質量流量の結果は実験結果によく一致し、提案モデルによってノズル流量の閉塞状態を再現できることが示されている。提案モデルによるノズル流量の閉塞状態は、ノズル内に空洞が発生して液相粒子の数が減少することによって表現され、発生する空洞はキャビテーション領域を表すことから、キャビテーションの発生がノズル流量に影響を及ぼしていることが計算されている。

第6章では、ノズル出口からの液体噴流に関する妥当性確認について述べられている。勾配モデルにおける影響半径の大きさを変えて解析を行ったところ、影響半径の大きさがノズル内に発生するキャビテーションの様相に大きな影響を及ぼすことが分かり、影響半径に対して結果が収束する解を得た。その結果、キャビテーション長さや噴霧半角に対する実験結果との比較において、解析結果は実験結果に概ね一致した。ただし、その一方で、左右一方のみの側壁に沿ってキャビテーション領域が伸びるHydraulic Flipの再現ができていないことなど、今後の課題も残された。

第7章は結論と今後の課題がまとめられている。

以上を要するに、自動車エンジンに用いられる直噴インジェクタ内で発生するキャビテーションを計算するための計算モデルを新たに開発し、過去の実験との比較によりノズル流量および噴霧形状が定量的に計算できることが示された。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。