

# 審査結果の要旨

論文題目：「固気液混相流解析法を応用した

自動車エンジン内ピストンリングまわりの流体挙動予測」

学位申請者 川本 裕樹

本論文は自動車エンジンの摩擦損失低減の排反事象とされるオイル消費に関するメカニズムの把握のため、数値流体力学を用いたピストンリング周辺の流体挙動予測について論じたものである。ピストンリングは主にエンジンのシリンダ内部において燃焼ガスのシールや潤滑を担う部品であり、自動車の摩擦損失に対して一定の寄与率を有する。近年は二酸化炭素排出量削減への取り組みとして低張力リングや低粘度オイルが使用されるが、これに伴い燃焼室へオイルの輸送が生じ消費される問題を誘発することが知られている。オイルの輸送経路としてはリング摺動面、側背面、合口隙間の三者が挙げられるが、本研究では実験における観察が困難である側背面による輸送について混相流解析を用いたメカニズムの明確化を目的としている。

ピストンリング周辺の流体挙動の予測には複雑形状を有する移動物体周辺において空気とオイルの界面を鮮明に解像する固気液混相流解析が有効である。混相流解析手法としては界面近傍の物理量を拡散的に取り扱うDiffuse interface modelが広く用いられてきたが、本研究では界面近傍の物理量の明確な定義が可能であるSharp interface modelが適用された。気液界面は符号付き距離関数を用いるLevel set法により定義され、各相を個別に取り扱い界面近傍に任意の境界条件を与えるGhost fluid法が適用された。また物体境界に対してはGhost cell法が用いられ、明確な境界の定義と安定な計算の両立が可能となった。検証解析においては表面張力による液滴内部の圧力上昇に関して理論値との一致が示され、重力による気液界面の時間変化についても先行研究との比較により解析手法の妥当性が確認された。

本研究ではオイルの輸送に対して重要な役割を担うオイルリングを対象とした解析が実施された。2ピースオイルリングまわりの解析においてはリング溝内に形成される油膜の挙動について実験と同様の傾向が確認された。またピストン下部からのオイルの供給を考慮した解析では背面を通じたオイルの輸送が生じ、クランク回転数とオイル輸送量の関係について先行研究の実験結果と同様の傾向が示された。またリング溝下部の圧力およびランド部に滞留するオイルの傾向についても実験結果との対応が確認された。このことから本解析手法がピストンリング周辺に適用可能であることに加え、従来の解析手法では困難であったオイル消費に関連する輸送現象に対してオイル挙動の定量的な評価が可能であることが示された。

3ピースオイルリングを対象とした解析ではスカート部から供給される油膜厚さやクランク回転数等の諸条件の影響に関する検討が行われた。リング下部の流量に関してはスカート部の圧力との対応が確認され、ピストンに設けられたドレン穴の作用によりオイル溝内部の油量が一定に収束する傾向が見られた。また溝内部の油量の増加や壁面に形成される油膜厚さの増大に伴い溝内部におけるオイルの移動速度が増加し、オイル消費に寄与する輸送への寄与が示された。また複数のリングを考慮した三次元解析では合口隙間によるオイルの輸送が確認され、各リングの合口の位置関係に応じてランド部にオイルが滞留する傾向が示された。

本研究を通してSharp interface modelを用いた固気液混相流解析法により鮮明なオイル挙動の

予測が可能となり、主にリング側背面による輸送のメカニズムが示された。リング下部については供給されるオイルによる圧力上昇が支配的であり、溝内部への輸送の要因であることが確認された。本研究の計算条件においてはリング形状の影響は少なく、回転数の増加や油膜厚さの増大がよどみ点圧力の上昇に寄与し輸送量の増加に繋がった。リング上部へのオイルの輸送はランド部と溝内部との圧力差に起因し、そのタイミングについてリング挙動が支配的であることが示された。本解析手法および本研究で得られたリング背面のオイル挙動に関する知見は既存の予測モデルに対し応用可能であり、新たな設計ツールへの貢献が見込まれる。また本研究は任意形状を有する移動物体まわりの自由表面流れに関して計算力学の観点において有用な知見が得られており、工学分野における諸問題に対する幅広い応用が期待される。

以上の結果、本論文は学位論文として十分な内容を有するものと審査委員全員の一致で判定された。

したがって申請者 川本 裕樹 は東海大学博士（工学）の学位を授与されるに値すると判断した。

#### 論文審査委員

主査	博士（工学）	森山 裕幸	工学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	工学博士	畔津 昭彦	東海大学総合科学技術研究所特任教授	
委員	博士（工学）	落合 成行	工学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（工学）	高橋 俊	工学部准教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	工学博士	三田 修三	東京都市大学教授	