

審査結果の要旨

論文題目：「尿素SCRシステムにおける混相流現象の可視化に関する研究」

学位申請者 杉山 直輝

本論文は、尿素SCRシステムにおける混相流現象を可視化により明らかにし、白色堆積物の発生要因やNO_x浄化性能に及ぼす影響を評価することで、排気後処理性能の向上を目指した研究である。報告されている主な学術的成果は、数値解析のみでは十分に解明されてこなかった排気管内の液滴挙動やライデンフロスト現象の影響を、可視化技術を用いて実験的に検証し、微細構造を用いた制御手法や予測モデル構築の有効性を実証した点にある。

本論文の背景には、脱炭素化社会の実現に向けた持続可能な内燃機関の活用と、排出ガス規制への対応という社会的要請がある。その中でも、白色堆積物の発生や低負荷時におけるNO_x低減といった現実的な課題に着目し、申請者は排気管内における液滴の衝突・蒸発・拡散の現象を、可視化技術と独自に構築した実験装置により検証した。

本論文の構成は以下の通りである。

第1章では、ディーゼル機関の今後の役割と排出ガス規制の強化に対応するため、尿素SCRシステムの重要性を述べ、本研究の目的としてライデンフロスト現象の抑制および低負荷時におけるガス管内での尿素水噴霧挙動の予測手法の確立を掲げている。

第2章では、壁面に微細なディンプル構造を設ける手法を新たに提案し、高速現象である液滴の壁面衝突を可視化することで、ディンプル構造が気泡の暴発現象を通じて微粒化を促進し、ライデンフロスト現象を抑制する効果を有することを明らかにした。微粒化促進に対してディンプルを応用するという着想は非常に独創的であり、その効果とメカニズムを難易度の高い可視化手法により実証した点は、高く評価できる。

第3章では、実機を模擬したSCRシミュレータを構築し、実際の排気温度条件下におけるガス流と液滴の拡散挙動を可視化、PIV (Particle Image Velocimetry) 解析により速度分布を取得し、評価手法の妥当性を確認した。昇温機能を備えた可視化装置の構築は非常に先進的であり、実機に近い環境下での解析が可能となった。一方で、取得した速度分布をDDM (Discrete Droplet Model) に適用するPIV-DDM手法への展開に際しては、PIV解析精度のさらなる向上が必要であることを明らかにし、次章に向けた課題を提示している。

第4章では、前章の課題を受けて反射防止材を用いた可視化精度の向上を実施し、より高精度なPIV解析結果を取得した。また、気液の速度差から求めた抗力値や噴霧後液滴の温度依存性を定量的に評価し、円管内における視認性の改善と解析手法の有効性を示した。特にガス流中に噴射された直後の尿素水速度が温度依存性を持つという現象は本研究の可視化により新たに示されたものであり、今後の尿素SCRシステムの数値解析や設計開発において有用な知見といえる。

第5章では、本研究成果の総括を行い、尿素SCRにおける微粒化制御と予測手法の高度化が、将来的な低排出・高効率ディーゼルエンジンの実現に貢献することを示している。

以上の結果、本論文は博士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により認められた。

したがって、学位申請者 杉山直輝氏は東海大学博士（工学）の学位を授与されるに値すると判断された。

論文審査委員

主査	博士（工学）	工学部准教授	福島 直哉	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（工学）	総合科学技術研究所教授	岩森 暁	
				（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（工学）	工学部教授	山本 建	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（工学）	工学部教授	木村 啓志	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（工学）	工学部教授	落合 成行	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	工学博士	工学部客員教授	畔津 昭彦	