

補助事業番号 2024M-440
補助事業名 2024年度 ディーゼルエンジン燃料噴射ノズル内でのキャビテーション発生
機構の気泡力学に基づく解明 補助事業
補助事業者名 藤川 俊秀

1 研究の概要

液体が高速で流れる場合に発生するキャビテーションは、液体圧力がその温度での飽和蒸気圧よりも低くなったときに発生すると一般に云われているが、流れにより誘起される弱い張力で発生するキャビテーションもこの場合に含まれる(Franc & Michel, 2004). 例えば、ディーゼルエンジンの燃料噴射ノズル内では燃料内に10 MPa程度の張力(負圧)により発生するキャビテーションを利用して液体燃料の霧化促進が行われている(Sun et al., 2021). この場合のキャビテーションは液体の破壊あるいは核生成が起こるほどの強い張力ではないため(Young, 1999), 気泡核が無い状態から発生するキャビテーションではなく、目に見えない微細な気泡核が存在すると考えられる. 事実、燃料の霧化促進では様々な大きさの気泡核を仮定してシミュレーションが行われている. Giannadakisら(2008)は気泡核の並進運動を考慮した気泡力学解析と計算流体力学解析を組み合わせ、燃料噴射ノズル内で発生する気泡核の役割について有用な知見を報告している. しかしながら、成長した気泡核の到達半径が初期半径に依存しないという理論的根拠は明らかにされていない.

申請者らはこれまでに、ディーゼルエンジンの燃料霧化にかかわるキャビテーションに特化して高粘度液体中の気泡核が有限時間強い張力にさらされた場合にキャビテーションに至る動的閾値を気泡力学に基づいて研究し、上述のGiannadakisら(2008)が残した課題を明らかにした(Fujikawa et al., 2022). 本研究の目的は実験・計算流体力学・気泡力学を融合し、液体燃料の霧化促進に係るキャビテーション気泡核の成長機構と、気泡核成長の信頼できる一般的な動的閾値を解明し、燃料噴射ノズルによる効率的な燃料霧化法を提示する. 具体的には:

- (1) 実験では2次元流路内のエッジ部近傍の境界層内外で局所的な張力により気泡核を成長させ、境界層内外での気泡核の爆発的成長を高速度カメラで観察する.
- (2) 3次元計算流体力学解析による乱流場で単一気泡核の並進運動をラグランジュ的に追跡すると共に、気泡壁での非平衡蒸発、熱伝導、並進減圧(気泡の移動による気泡壁圧力低下)を考慮した気泡力学解析により気泡核の爆発的成長機構を理論的に解明する.
- (3) 液体燃料噴射ノズルによる効率的な燃料霧化法を提示する.

2 研究の目的と背景

ディーゼルエンジンの燃料霧化促進技術ではキャビテーションが利用されているが、液体燃料中のキャビテーション発生の予測法は未解明である. この現実を踏まえて、本研究は「キャビテーションを利用した液体燃料の霧化促進技術」に係る以下の3項目を直接的な目的に設定する:① キャビテーション発生における気泡核の役割を解明する(気泡核のシーディングも考慮), ② 申請

者らが既に提示した気泡核の爆発的成長条件(動的閾値)を計算流体力学・気泡力学で一般化し、実験で検証する、③ 効率的なキャビテーション促進法を提示する。

3 研究内容

- (1) ディーゼルエンジンの燃料噴射ノズルを模擬した2次元流路内のエッジ部近傍で生じる局所的張力場で、制御された圧力、流速、温度の下で境界層内外の気泡核の爆発的成長機構を実験で解明する。
- (2) 申請者がすでに提示した「動的閾値」概念を任意の流れ場に対して一般化する。具体的には上記の2次元流路内における実験条件の下での観測部の流れ場を3次元計算流体力学(流路内流れは乱れのために3次元になる)により解析し、この流れ場で非平衡蒸発、熱伝導、並進減圧を考慮して気泡核の並進運動と爆発的成長機構を気泡力学で扱える一般的な「動的閾値」を提示する。
- (3) 液体燃料噴射ノズルによる効率的な燃料霧化法を提示する。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究が達成できれば液単相の燃料中で安定に存在する微細気泡核が爆発的に成長する一般的な条件を提示できる。これまでの本申請者らの研究により、この条件は気泡核の大きさ及び張力の強さと持続時間に関係しており、申請者らはこれを「動的閾値」として提示した(藤川ら、2019)。この条件を時間的に複雑に変化する張力場で爆発的に成長する気泡核に適用できるように計算流体力学と気泡力学を組み合わせで一般化し、実験で検証して、現実の液体燃料噴射ノズルの信頼できる設計法を提示することができる。また、液体燃料の霧化促進のみならず、キャビテーションを利用した水処理やウォータージェットに係る気泡核の成長を予測できる簡潔な動的キャビテーション閾値理論を提示できる。これは本研究の他分野への波及効果である。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究は、EFD・CFD・気泡力学の融合に基づき、高速乱流、張力、マイクロな気泡核生成に着目して「初生の機構と条件」を解明する世界初の研究である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- (1) 日本実験力学学会2024 年度年次講演会(米沢市)にて発表
- (2) 日本実験力学学会誌2025年25巻3号特集号に投稿予定(2025年4月頃)

7 補助事業に係る成果物

- (1) 補助事業により作成したもの
二次元可視化ノズルの製作
(液体燃料の流れを水の流れで理解できるように実験装置の寸法を決めて製作)

(2)(1)以外で当事業において作成したもの
特になし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 都城工業高等専門学校（ミヤコノジョウコウギョウコウトウセンモンガッコウ）

住 所： 〒 885-8567

宮崎県都城市吉尾町473番地の1

担 当 者： 中武 咲江（ナカタケ サエ）

担 当 部 署： 総務企画係（ソウムキカクカカリ）

E - m a i l: kikaku@jim.miyakonojo-nct.ac.jp

U R L: 所属機関のURL

<https://www.miyazaki-u.ac.jp/>

<https://www.miyazaki-u.ac.jp/mech/mprogram/kyouin.html>

研究室のURL

<https://sites.google.com/view/fluid-laboratory-miyazaki-u/home>