

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2022

課題番号：19K23489

研究課題名（和文）革新的ガスタービン実現に向けた燃料液膜流の微粒化機構解明

研究課題名（英文）Clarification of a liquid film atomization mechanism for the realization of innovative gas turbines

研究代表者

大島 逸平（Oshima, Ippei）

東北大学・流体科学研究所・助教

研究者番号：40851845

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、液膜微粒化現象のうち液膜の横方向振動現象を、数値実験、可視化実験、光学計測を駆使して調べた。気液の流速、物性値、さらには燃料噴射弁の幾何形状を変化させて系統的調査を行い、横方向振動現象のモデル化を進めた。また、そのモデルを用いて機構論的噴霧粒径モデルを構築し、その妥当性について明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

微粒化の素過程と素過程同士の相互作用に着目して研究を行った。微粒化過程の各素過程を明らかにし、素過程同士の相互作用のメカニズムが明らかにすることで、汎用性の高い微粒化モデルの構築を行った。本フレームワークを改良することで、より高精度な微粒化特性の予測を実現し、革新的なクリーンガスタービンの開発に貢献すると期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, transversal oscillation phenomena of an air-blasted liquid sheet were investigated by numerical simulations, visualization experiments, and optical measurements. Systematic investigations were conducted by varying the gas and liquid velocities, physical properties, and geometries of the air-blast atomizer to make a mechanistic model for the transversal oscillation of the liquid film. A mechanistic model for the droplet diameter based on the air-blasted liquid film atomization process using the model was developed, and various experiments confirmed its validity.

研究分野：流体工学

キーワード：微粒化 レイリー・テイラーの不安定性 ガスタービン 液膜微粒化 横波長 数値解析 可視化実験 光学計測

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

ガスタービンで用いられている燃料噴射弁から噴射された燃料液膜 (図1)は、並行に噴射された気流によって微粒化される。その微粒化過程は一次微粒化と二次微粒化に大別できる。噴射弁近傍で生じる一次微粒化過程では、液膜と周囲気流との相互作用により液膜が変形し、その後液糸、液滴へとなる。この過程で、液膜の加速運動に誘起されたレイリー・テイラー (RT)の不安定性により、液膜界面で周期的な不安定波長が形成すると考えられている。この不安定波長をここでは横波長と呼ぶ。この横波長形成が本当に RT の不安定性によるものなのか、そうであるならばどの加速運動が横波長形成に重要であるのかが明らかになっていない。

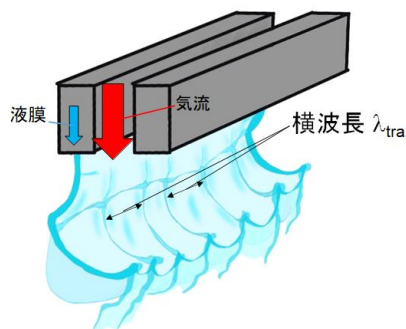


図1 液膜の微粒化過程と横波長

2. 研究の目的

本研究では、可視化実験、数値計算をはじめとした複数のアプローチを用いて、液膜の横方向振動現象を明らかにし、機構論に基づく横波長の予測モデルを構築することを目的とする。そのうえで、本研究で検討を進める横波長予測モデルを用いた機構論的噴霧粒径モデルを構築し、長期的には横波長と噴霧粒径の高精度予測の実現を目指す。

3. 研究の方法

加速運動に起因する RT の不安定性が液膜挙動に及ぼす影響を実験的研究によって明らかにすることは難しい。そこで、RT の不安定性が液膜流の挙動に及ぼす影響を明らかにするため、VOF (Volume of Fluid)法を用いた数値実験を行う。また、気液物性値が横波長形成過程に及ぼす影響を明らかにするため、水温を変化させることで液相の粘度を変化させて液膜微粒化可視化実験を行う。つまり、液相の粘性係数が横波長形成に及ぼす影響を実験的にも確認する。最後に、PDPA (位相ドップラー法)を用いて噴霧粒径の計測試験を行い、噴霧粒径モデルの妥当性検証を行う。

4. 研究成果

初期液膜厚さ $D_L=20, 2 \text{ mm}$ における液膜変形の崩壊過程の数値解析結果を図2に示す。各図の左半分が $D_L=20 \text{ mm}$ 、右半分が $D_L=2 \text{ mm}$ の結果である。薄液膜に RT 不安定性が働くと、気液二層の RT 不安定性と同様にスパイク部 (液膜下面、腹)は顕著に下降し、バブル部 (節)は上昇することが確認できた。なお、薄液膜の場合は、スパイクの下降に伴いヘッド部 (腹、液膜上面)が下降を始めるが、やがて液膜の一部が薄くなってネック部が形成され、最終的に破断することがわかった。なお、初期液膜厚さ D_L によらずスパイクの成長率はほぼ一定であるが、 D_L が薄いとバブル成長率は小さい。このような液膜変形現象を対象に、液膜厚さ、界面振動の波長、加速度などの各パラメータが液膜崩壊現象に及ぼす影響について調べた。本解析で得られた成果をもとに考察を行い、論文投稿の準備を行っている。

気流を用いた微粒化実験では、気流流速がおおきいため、気相レイノルズ数は本実験体系では、気相レイノルズ数は 3000 から 15000 程度である。一方、液相流速は低速であり液相レイノルズ数も小さい。このような条件下で、液相物性値が横波長形成に及ぼす影響を示すため、水温を変化させて液相粘性係数を変化させて行った実験結果を図3に示す。水温を 283 K から 323K まで変化させることで、粘性係数はおよそ半分になる。液相レイノルズ数もまた倍程度大きくなるものの、横波長に及ぼす影響が極めて小さいことが明らかになった。本研究では、横波長の予測モデルを RT 不安定性理論に基づき提案し、気液物性値、燃料噴射弁の幾何形状、気液流速を変えた実験結果をもとにその妥当性について明らかにした。

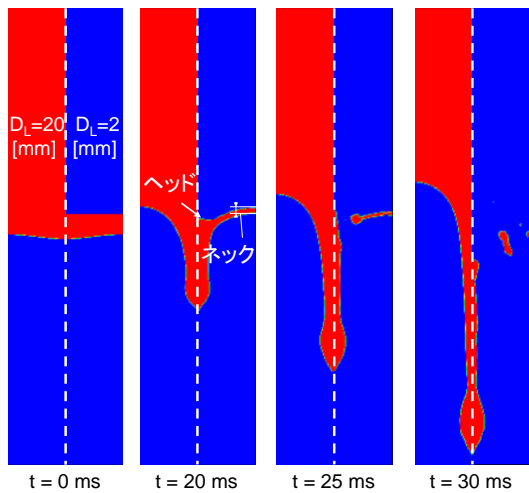


図2 液膜のRT不安定性

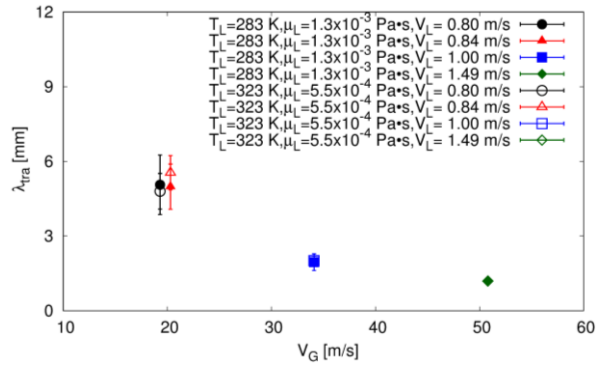
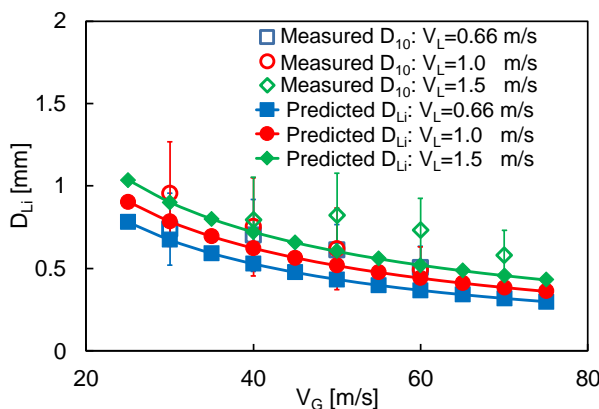
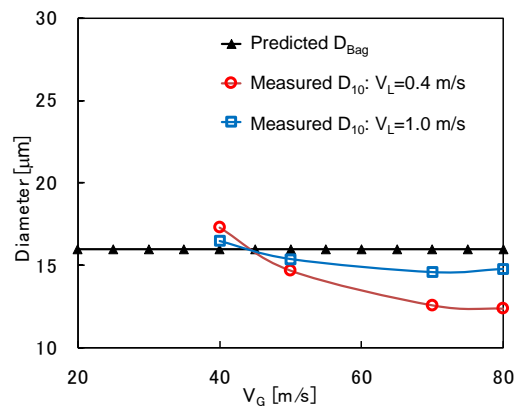


図3 液相粘性係数が横波長に及ぼす影響 [1]

気液の不安定性理論、各種条件での可視化計測を通じ、機構論的噴霧粒径の予測モデルを構築した。予測モデルを用いて予測した液滴径および可視化計測と光学計測により得た液滴径を図4に示す。液膜微粒化過程では、バッグとリガメントが分裂してできるスケールが異なる液滴群ができる。図4(a)ではリガメント分裂によってできた液滴の液滴径を、図4(b)ではバッグ分裂によってできた液滴の液滴径を示している。図4(a)によると、モデルによる予測結果は airflow 流速 V_G が上昇、ないしは液膜流速 V_L が減少するにつれてリガメント由来の液滴径が小さくなる傾向を示している。計測した平均液滴径についても同様の傾向を示している。一部の条件で実験値が予測値よりも大きいものの全体的に良好な予測ができています。図4(b)によると予測結果は $16 \mu\text{m}$ 程度であった。計測結果は V_G の上昇につれてやや小さくなるものもおおよそ $15 \mu\text{m}$ 程度となっており、予測結果と計測結果は定量的に一致している。これまでの研究を通じ、液膜微粒化過程を素過程に分類し、各過程を機構ベースでモデル化することで、バッグやリガメントが分裂してできる液滴径を定量的に予測できることがわかった。



(a) リガメントの分裂



(b) バッグの分裂

図4 予測モデルで予測した分裂様態毎の液滴径 [2]

本研究を通じて得られた成果は、学会での発表を通じて議論を行い、査読付き論文として投稿している。未だ論文化できていない未公表データについては、追ってデータを整理し、論文投稿を進めていく予定である。

[1] I.Oshima, A. Sou, Transversal Oscillation of a Planar Liquid Sheet Induced by Co - Current Airflows, *Multiphase Science and Technology*, 33 (2), 2021

[2] 大島逸平, 宋明良, 並行気流による平面液膜流の微粒化過程 (液膜流の微粒化過程の可視化および機構論的噴霧粒径モデルの構築), *微粒化*, 29 (97), 2020

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Oshima Ippei, Sou Akira	4. 巻 33
2. 論文標題 TRANSVERSAL OSCILLATION OF A PLANAR LIQUID SHEET INDUCED BY CO-CURRENT AIRFLOWS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Multiphase Science and Technology	6. 最初と最後の頁 53 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1615/multsciotechn.2021038042	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大島逸平, 宋明良	4. 巻 29
2. 論文標題 並行気流による平面液膜流の微粒化過程 (液膜流の微粒化過程の可視化および機構論的噴霧粒径モデルの構築)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 微粒化	6. 最初と最後の頁 64-73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Ippei Oshima, Akira Sou
2. 発表標題 Prediction model for liquid sheet transversal oscillation
3. 学会等名 The 18th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野尻 智輝, 金月 翔哉, 大島 逸平, 宋 明良
2. 発表標題 平行気流による平面液膜の変形と微粒化
3. 学会等名 第30回微粒化シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金月 翔哉, 野尻 智輝, 宋 明良, 大島 逸平
2. 発表標題 バッグ破断後のリムにおけるサブリガメントの形成と分裂過程の高速度画像解析
3. 学会等名 第30回微粒化シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大島逸平, 宋明良
2. 発表標題 並行気流による平面液膜の微粒化過程 (現象の可視化と噴霧粒径モデル)
3. 学会等名 第 28 回 微粒化シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今井 智貴, 大石 一稀, 西山 真悟, 大島 逸平, 宋 明良
2. 発表標題 並行気流による平面液膜の微粒化過程 (バッグ破断後の液系の形成と分裂過程)
3. 学会等名 第 28 回 微粒化シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki OISHI, Tomoki IMAI, Shingo NISHIYAMA, Ippei Oshima, Akira SOU
2. 発表標題 Bag Formation and Breakup of Planar Liquid Sheet by Cocurrent Air Flows
3. 学会等名 20th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems - Asia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金月 翔哉, 宋 明良, 大島 逸平
2. 発表標題 並行気流による平面液膜のバッグ破断後における縦しわの形成と微粒化過程
3. 学会等名 第31回微粒化シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大島逸平, 宋明良
2. 発表標題 加速運動による液膜変形過程の数値計算
3. 学会等名 混相流シンポジウム2021
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------