

氏 名 淵本 哲矢

授与した学位 博士

専攻分野の名称 工学

学位授与番号 博甲第3890号

学位授与の日付 平成21年 3月25日

学位授与の要件 自然科学研究科 産業創成工学専攻

(学位規則第5条第1項該当)

学位論文の題目 噴霧流動場に形成される渦構造の可視化と噴霧の先端到達距離に関する研究

論文審査委員 教授 柳瀬眞一郎 教授 富田 栄二 准教授 堀部 明彦

学位論文内容の要旨

Wakuri らによる中実噴霧の運動量理論と Hiroyasu らによる中実噴霧の先端到達距離の一般式に液滴と気体の運動量交換の一次の時間遅れの概念を導入し, Hiroyasu らが時間依存性を 2 形態に分類するのに対し, 時間遅れを考慮すると, 後述する形態 1 と 2 を追加して 4 形態に分類する必要があることをシミュレーションによって明らかにした. とくに, ガソリン噴霧のような低圧噴霧においては, 噴霧液滴の粒径がディーゼル噴霧に比べて大きく, 噴射開始直後の運動量交換の時定数が少なくとも 0.01ms のオーダーになり無視できないため, 時間遅れの概念を導入することの意義は大きい. 本研究による中空噴霧を対象に分類すると, 形態 1 と 2 の噴霧初期は中空噴霧になるため, Wakuri の運動量理論を適用できないが, Hiroyasu らの一般式は適用できること, 形態 3 と 4 の噴霧後期は実質的に中実噴霧になるため, Wakuri の運動量理論を適用できることを示した. また, Hiroyasu らの経験式から求めた分裂時間と定量的に一致することを示した. その上で, ディーゼル噴霧のような 200MPa までの高圧噴霧では, 液滴粒径が $10\mu\text{m}$ 以下で運動量交換の時定数をほとんど無視できるため, 従来の形態 3 と 4 の時間依存性しか観測されにくいこと, ガソリン噴霧のような 20MPa までの低圧噴霧においても実用的な噴射期間を 1ms とすれば形態 1 と 2 の分類として問題ないことを明らかにした.

[形態 1] 噴射開始直後の気液未混合の形態である. 噴射直後の液滴は, 気体と液滴の運動量交換の時定数 (以下, 交換時定数) まで噴射速度にほぼ比例して運動する. ここで, 先端到達距離は時間に比例する形態であるが, Hiroyasu らの分裂時間 (以下, 分裂時間) の概念とは異なることを指摘しておく. そのため, 二次分裂した液滴を除いて粒径の大きな液滴ほど運動量交換の時定数が大きく, 先端到達距離が大きくなる. 噴射方向に形成される気流を副流とし, ノズル軸方向に形成される気流を主流とすると, 副流の形成とともにせん断面には複数の渦輪が発生している.

[形態 2] 交換時定数以降の主流形成段階における気液未混合の形態である. $30\mu\text{m}$ 程度の液滴は副流に追従しており, 先端到達距離は Hiroyasu らの一般式に基づいて時間の 0.5 乗に比例している. それに対して, $40\mu\text{m}$ 以上の大きな液滴は副流には追従せず, 静止流体中の運動方程式に基づいて運動している. せん断面に形成された複数の渦輪は一つに合体し, 副流の発達抑制されるとともに中空噴霧内への空気導入によって主流の発達が促進される. この渦輪は中空噴霧特有の流動場による噴霧外に形成された渦構造であり, 噴霧内を一様に空気導入する中実噴霧では形成されにくい. $20\mu\text{m}$ 以下の液滴はノズル軸方向に分布しており, そのほとんどが主流に追従している.

[形態 3] 分裂時間以前の主流発達段階における気液混合の形態である. $20\mu\text{m}$ 以下の小さな液滴は主流の発達に伴って, 主流に追従しない $30\mu\text{m}$ 以上の大きな液滴を追い越していく. この先端到達距離は分裂時間まで時間に比例している. これによって, 主流の発達を担っていた渦輪は崩壊し, 噴霧先端に渦構造が移動して実質的に中実噴霧の状態に遷移している.

[形態 4] 分裂時間以降の準定常状態における気液混合の形態である. 噴霧先端は $20\mu\text{m}$ 以下の小さな液滴で混合気を形成しており, 先端到達距離は Wakuri の運動量理論に基づいて時間の 0.5 乗に比例している. また, 時間とともに $30\mu\text{m}$ 以上の液滴も主流に追従しはじめる. 噴霧先端の渦構造は微細化し気液は十分に混合されている.

論文審査結果の要旨

本論分は、スワールインジェクターからの噴霧流から形成される渦構造を主に数値的に研究したものである。スワールインジェクターは燃料液滴の微粒化が容易であることから主にガソリンエンジンで用いられている。従って、その研究も多くなされているが、流体力学的な観点、特に渦構造に注目した研究はこれまでにあまり行われていない。

本論文では最初に自ら実施した実験結果と計算結果の比較から計算コードの検定を行い、良好な結果を得ている。続いて液滴の噴霧到達距離の時間相似側を求めた。目覚しい結果は、初期時刻では噴霧到達距離は時間述べ規則に従うのに対して、時間の経過と共に、時間の対数則に従う点である。この変化は渦構造の変化と深く結びついていて、時間述べ規則の期間は渦輪がノズルから連続的に放出されるが、対数側の期間になるとたった一つの渦輪が卓越するようになる。これは世界で始めて指摘した点である。続いて、最後に残る渦輪の運動を調べた。渦輪の移動速度は多くの理論で調べられているが、それらは単相流かつ高レイノルズ数または低レイノルズ数に限定されている。本研究のような気液混相流での渦運動が時間の対数則に従うことは世界で始めて得られた知見である。さらに渦の振動に伴う高波数と低波数間のエネルギーの移送メカニズムも研究している。

以上の点から本論文は博士（工学）に相応しいものであると考える