

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06186

研究課題名(和文) アルコール系燃料に対する静電微粒化とマルチノズル適用の可能性と実機実証

研究課題名(英文) Feasibility of Electrostatic Application and Multiplication of Nozzles in Alcoholic Fuel Atomization

研究代表者

志賀 聖一 (Shiga, Seiichi)

群馬大学・大学院理工学府・教授

研究者番号：00154188

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)： 静電微粒化は、重要なバイオ燃料でありかつ電気伝導度の高いエタノールに、噴霧群の速度増加なしの微粒化が期待できる。唯一の問題である流量と粒径のトレードオフ解決のためのノズル多重化の可能性を明らかにした。内径0.2 mmのノズルを、最大19本までの多重化を行った結果、7本のクラスター配置が最適で、0.4 mL/minでSMD=11micro-mの粒径が実現できること、最適化には電界強度の観点が重要であること、さらにこれを実際の火花点火機関に実装するためには、帯電量の計測が不可欠で、噴霧受け止め板と0.47 micro-Fのコンデンサで計測が可能であることを示した。噴霧群制御への発展が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

バイオエタノール混合割合の増大に伴う技術的課題解決の一手法を提案することができた。学術的には、噴霧粒径の流量依存性が、従来よりも小粒径側にあることを明らかにし、ノズルパラメータ最適化の効果を示した。そして、その鍵が、電界強度であることを、3次元シミュレーションの手法を用いて明示することができ、これからの静電微粒化技術の有効なツールを提示できた。生成した噴霧群を、電場によって制御する段階において重要になると考えられる、噴霧の帯電量についても、噴霧受け止め板とコンデンサを用いた方式が有効であることを示した。このように、火花点火機関への応用という社会的意義に発展する準備を整えることができた。

研究成果の概要(英文)： Electrostatic atomization technology must fit for ethanol, since it has higher electric conductivity and is the most promising bio fuel for spark-ignition engines and is expected to form very fine spray droplets without any increase of spray velocity. To solve the problem of trade-off between the droplet size and the flow rate, the possibility of nozzle multiplexing was revealed experimentally. A base nozzle with its inside diameter of 0.2 mm was occupied and multiplied to 19 at most. 7 nozzles with cluster arrangement was found to be the best and produced 11 micro-m of SMD without little increase in the droplet velocity. In the procedure of optimization, the electric field intensity was shown to be the key by the 3-dimensional simulation. As for the development to an actual spark-ignition engine, the charge measurement must be necessary, and it was realized by a spray collecting plate and a capacitor of 0.47 micro-F. Thus further development of spray control is fairly expected.

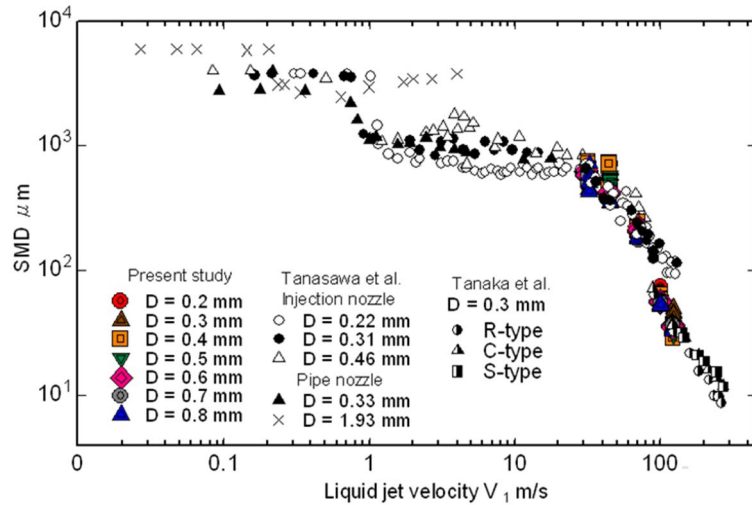
研究分野：熱工学

キーワード：静電微粒化 噴霧 エタノール 火花点火機関 流量 電界強度

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

- (1) 液体微粒化の限界
液体微粒化の本質を端的に示す、申請者らがかつて行った研究の一部を図1に示す。液体の持つ圧力をエネルギー源とする圧力噴射では、噴流速度 35 m/s 以上では速度の1乗に比例して粒径(ここではザウター平均粒径 SMD)が小さくなり、流速 300 m/s(噴射圧力 50 MPa)ほどで 10 μm 以下



- 下になることがわかる。
(2) 静電微粒化の現状 需要の増大が予想されるアルコール系燃料に対して効果的な静電微粒化と実機関への適用効果を明らかにすることの意義は高い。寒川らは、正へプタン・エタノール混合液に静電微粒化を適用し、図2の結果を得た。エタノール 100%(H0)で最小 SMD=15μm 程度となっており小粒径と言える。しかし、生成流量は 0.017 ml/min と、機関への始動用途のほぼ 1/100 とかけ離れたレベルである。

図1 圧力噴霧の平均粒径(SMD)と噴射速度の関係

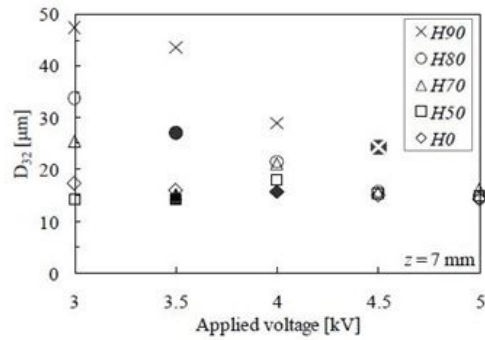


図2 静電微粒化効果 0.017 ml/min

このように、微粒化を促進するためには、噴霧の速度を増大することが圧力微粒化の絶対条件であり、バイオエタノール混合ガソリン機関への応用を考えた場合、噴霧運動量の増大を意味し、壁面衝突を促進する。それに対して、静電微粒化は飛躍的な微小粒径を各段に低い速度で達成することができるが、流量増大が問題である。この流量増大の問題が解決できれば、壁面衝突を最小化でき、供給燃料の蒸発潜熱は吸入空気からほぼすべて吸収することができ、計算上 100 ほどの空気温度低下が可能となって、ポート噴射でありながら、直接噴射の利点をそのまま得ることができると想定される。

2. 研究の目的

平均粒径 10 μm 程度の微粒化をアルコール系燃料に対する静電気印加で、バイオエタノール対応の実機関が必要とする流量のオーダーで実現できる可能性を明らかにし、

静電微粒化の物理現象の理解を深める。さらに、第三の電極が帯電した噴霧の運動を制御する可能性を明らかにする。これらの結果として、実機関に適用し、静電気による微細な噴霧の生成、運動の制御によって、冷始動性の飛躍的改善と蒸発潜熱を空気から奪うことによる吸気温度低下の効果を明らかにする。

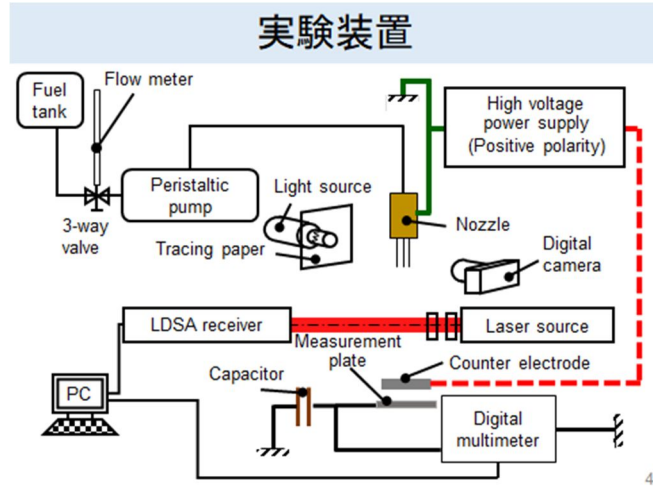


図3 実験装置概略

3. 研究の方法

実験装置概略を図3に、帯電量計測の方法を図4に示す。エタノールは、タンクから定量送液ポンプを用いてノズルへ供給する。

ノズルは、六角形の快削黄銅製ベースにSUS304製パイプ(外径0.4mm、内径0.22mm)を千鳥配置で等間隔2mmで植えた7-nozzle(以降7-Cluster-2と呼ぶ)、千鳥配置で等間隔8mmで植えた7-nozzle(以降7-Cluster-8と呼ぶ)、直線配置で等間隔2mmで植えた7-nozzle(以降7-Linear-2と呼ぶ)の3種類を製作し、いずれにおいてもノズルの突き出し量は20mmとした。これらのノズルは、すべての条件で接地電極とした誘導帯電電極には線径0.4mm、4 mesh/inchのステンレス鋼製メッシュを使用した。メッシュ電極は、ノズル先端から20mm下方に設置した。電源装置は、松定プレシジョン製高圧電源HAR-10P10(最大電圧10kV、最大電流10mA)である。

噴霧は、短時間露光バックライト法による影写真によって観察した。光源には、公称発光時間180nsの菅原研究所製ナノパルスライトNP-1Aを用いた。光は、トレース紙を介して一様光とした後に噴霧へ照射し、発光と同期したNikon製デジタル一眼レフカメラD7000(レンズ:AF Nikkor 180mm 1:2.8D)で撮影した。粒径計測は、日機装製Microtrac LDSA(Laser Diffraction Spray Analyzer)-SPR1500A(以降LDSAと称す)を用いて行った。計測位置は、ノズルベース中心軸上、ノズル先端から10mm下方とし、測定領域は直径8mmのレーザ光路内であり、液滴径は、SMDで評価した。

帯電量計測方法を図4に示す。噴霧を100x150mm、t=0.5mmの鋼板で受け止め、図のようにコンデンサで受けて、電圧から求めた。

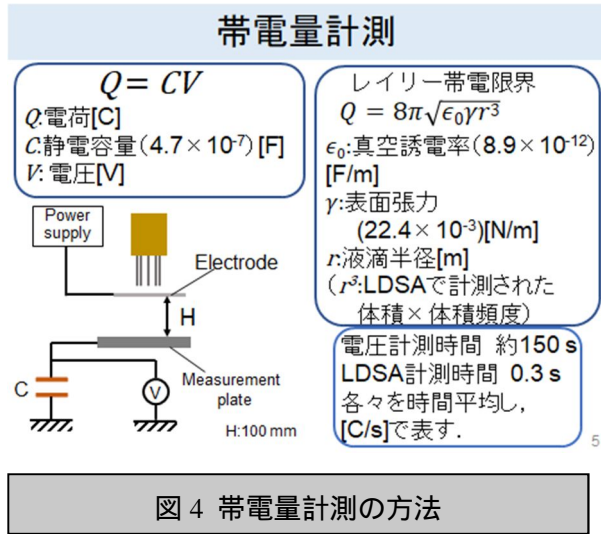


図4 帯電量計測の方法

4. 研究成果

多重ノズルにおいては、ノズル本数、配置といった基本的なパラメータについて明らかにしなければならない。その結果、中心のノズルのまわりに6本の環状配置とした、Clusterと称する配置が最適であることを見出した。また、ノズル間隔についても検討を行い、その結果を図5に示す。小流量では、7-Cluster-2、および7-Cluster-8のSMDの変化は、印加電圧の増加に従って単調に減少している。印加電圧6kVにおいて、7-Cluster-8が、7-Cluster-2よりもSMDは約10μm大きくなったが、それ以外では絶対値もほぼ一致しており、小流量ではノズル間隔の影響は

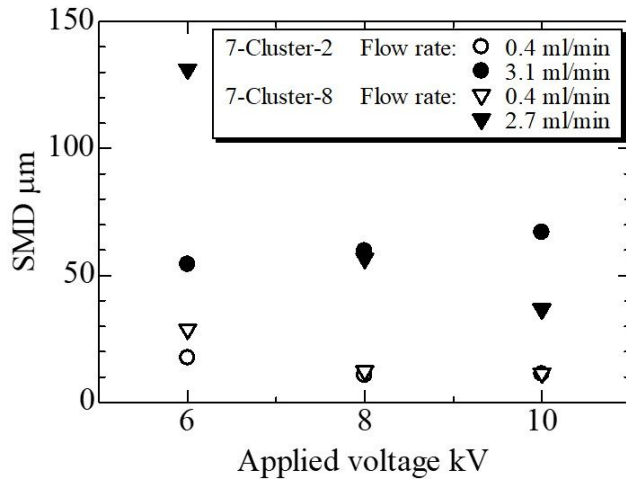


図5 Cluster ノズル間隔がSMDに及ぼす影響

ほぼないと言える。小流量(0.4 ml/min)、印加電圧8kV以上では、SMDが11μmとなり、圧力微粒化では相当な高速でないとは実現できない微粒化程度が可能であった。

大流量では、7-Cluster-2、及び7-Cluster-8のSMDの変化は、逆転している。これは、ノズル間隔が2mmから8mmへ増加したことにより、中心ノズルの電界強度低下が少なくなったことに関係しているが、後述する写真観察で考察する。いずれにせよ、微粒化の観点からは、ノズル間隔は、大きい方が望ましいと言える。大流量(2.7 ml/min)、印加電圧10kVの条件で7-Cluster-8は、SMD 37μmとなった。

つぎに、ノズル間隔の違いが微粒化過程に及ぼす影響を可視化写真から考察する。図5に印加電圧の変化に伴う7-Cluster-2と7-Cluster-8の微粒化過程の可視化写真を示す。図中の矢印は、中心ノズルを示す。ノズル間隔の小さい条件は、中心ノズルで顕著であるが、ノズル外径の数倍にも達する液体のかたまりを生成しており、粗大液滴の原因となっている。これに対して、ノズル間隔の大きい7-Cluster-8では、ずっと微細な液滴を生成していることがわかる。しかも間隔の狭い場合と対照的に、印加電圧が増加するに従って、中心ノズルの比較的粗大であった液滴は小さくなっている。そして、外側ノズルと中心ノズルとで噴霧形状に大きな違いが見られなくなっている。このようなことのために、7-Cluster-8では、印加電圧の増加に

従って SMD が大きく減少したと考えられる。

したがって、ノズル間隔を大きくすることで、中心ノズルと外側ノズルとの電界強度が近づき、印加電圧の増大とともに微粒化が促進されることが明らかとなった。このように、ノズル間隔は、大きい方が静電微粒化には好ましいと言える。

静電微粒化の現象では、粒径と流量にある関係をいかに小粒径にするかが重要である。ここでは、ノズル配置の違いが、粒径の流量による変化に及ぼす影響を考察する。

静電微粒化では、粒径と流量にベキ関数的な関係があることが分かっている⁽¹⁾。本研究において、計測条件な

どが良好でない条件を除くと、おおむね以下の式で表される。

$$SMD = 78.2Q^{0.59} \quad (1)$$

ここで、 Q : ノズル1本あたりの流量 [ml/min], SMD [μm]である。

図7に他の研究における粒径の流量による変化をあわせて示す。他の研究では、ノズル本数, 電極形状, 印加電圧等はさまざまであり, 粒径についても SMD で評価しているものは多くない。 SMD が算術平均粒径の2倍ほどであることを考慮すると, 本研究の平均粒径はほかの研究に比較して, 過大となる傾向にあるべきである。いずれにしても, 粒径と流量の間には一定の関係があると見ることができる。ほかの研究については, おおむね3つの傾向線に分かれるように見える。低流量で大粒径の2点, そして中程度で本研究の一部も含まれる次式で表された4点, そして(1)式で表される, 最も粒径の小さい破線である。

$$SMD = 81.4Q^{0.42} \quad (2)$$

ここで、 Q : ノズル当たりの流量 [ml/min], SMD : [μm]である。

今回比較した他の論文は、ノズル本数, 電極形状, 印加電圧等異なっているにもかかわらず, このような3種類の傾向が確認できた。しかも本研究の SMD はほかの研究よりも過大に評価している可能性が高いにもかかわらず, 最も粒径の低い傾向にあることが明らかとなった。このように, 本研究での最適化はこれまでの研究に比較してより微粒化を促進する方向にあることがわかった。すでに, 電界強度の評価や帯電量の計測も実施し, これらの最適化の理論的裏付けをとり, さらに噴霧制御への可能性を明らかにし, その成果を公表する準備を整えているところである。

<引用文献>

T. KARASAWA, et al, Effect of Nozzle-Configuration on the Atomization of a Steady-Spray, Atomization and Sprays, 2-4, p. 411- 426, (1992).

寒川博司, Lilis YULIATI, 瀬尾健彦, 三上真人: エタノール/ヘプタン混合割合が静電微粒化の噴霧特性に及ぼす影響, 日本機械学会論文集(B編), 77巻, 773号, (2011), 129 - 137

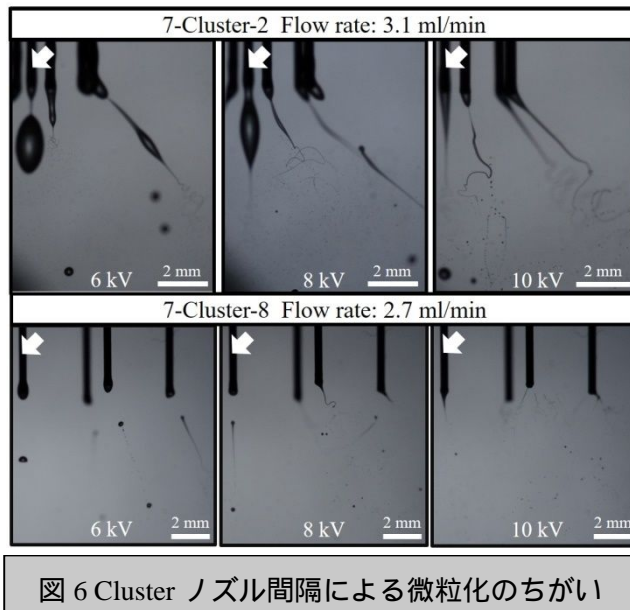


図6 Cluster ノズル間隔による微粒化のちがい

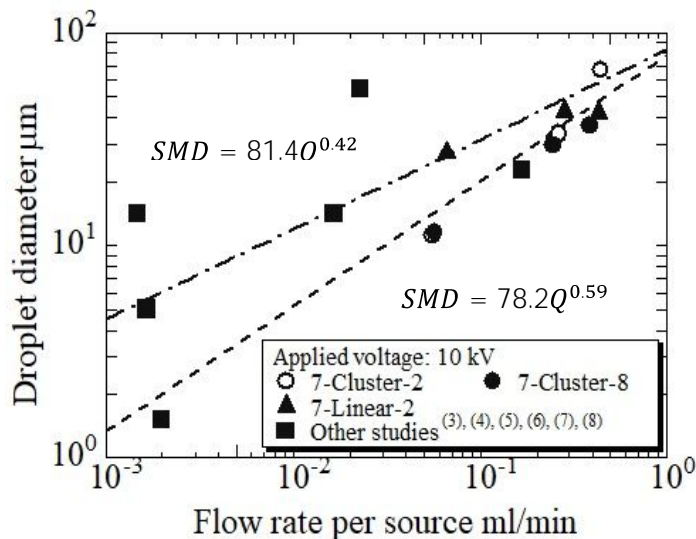


図7 本研究と他研究との比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 矢嶋智朗, 小野里亮人, Juan C. GONZALEZ PALENCIA, 荒木幹也, 志賀聖一
2. 発表標題 静電微粒化におけるノズル配置が流量と粒径に与える影響
3. 学会等名 第26回微粒化シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高柳大裕, 小林賢人, Juan C. GONZALEZ PALENCIA, 荒木幹也, 志賀聖一
2. 発表標題 静電微粒化におけるマルチノズルのノズル配置が噴霧生成に及ぼす影響
3. 学会等名 第28回微粒化シンポジウム
4. 発表年 2019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
研究分担者	GONZALEZ・P・JUAN (GONZALEZ PALENCIA JUAN C.) (30720362)	群馬大学・大学院理工学府・助教 (12301)	
研究分担者	荒木 幹也 (Araki Mikiya) (70344926)	群馬大学・大学院理工学府・准教授 (12301)	