

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420114

研究課題名(和文) エンジン燃焼室内で空気流動を受ける燃料噴霧の微粒化モードと噴霧特性の相関性の解明

研究課題名(英文) Study of correlation between fuel spray characteristics and atomization mode under air cross-flow in an engine cylinder

研究代表者

尾形 陽一 (Ogata, Yoichi)

広島大学・工学研究院・准教授

研究者番号：10323792

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：直噴ガソリンエンジンを模擬した系での燃料噴霧と一様空気流動の相互作用を、風洞内雰囲気圧可変の風洞装置を用いて検証した。横風方向に鉛直な噴霧先端到達距離は雰囲気圧増加で減少する一方、水平方向噴霧先端到達距離は増加し、水平方向速度は横風下流方向にある周期・波長で振動しながら増大、横風速度より速い領域が現れる。また、横風上流側の噴霧曲がり形状の実験式が運動量比をパラメータとして表せることが噴霧輪郭画像から得られ、本実験式と実験結果は全体的に概ね一致し圧縮行程も模擬した様々な雰囲気圧力条件での噴霧の曲がり挙動が予測可能であることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Effects of uniform cross flow and ambient pressure on fuel spray characteristics such as break-up in DISI gasoline engine are investigated. A wind tunnel in which ambient pressure can be changed from atmospheric pressure to high pressure is used to take compression as well as expansion stage into consideration.

It is found that vertical spray tip penetration decreases, while horizontal penetration increases and spray is strongly bent by cross-flow and horizontal velocity increases with fluctuation of a wavelength and a period toward spray downstream, with increasing ambient pressure. An empirical equation of spray distortion is suggested using the liquid to air momentum flux ratio as the key parameter to determine spray distortion. The equation almost agrees with experiments, thus, spray behavior in cross flow can be predicted by the momentum flux ratio.

研究分野：流体工学

キーワード：微粒化 噴霧特性

1. 研究開始当初の背景

自動車のレシプロエンジンや航空機のラム(スクラム)ジェットエンジンは、空気中への燃料液滴噴射による噴霧挙動・微粒化特性・霧困気との混合が噴射後の燃焼特性・エミッション、燃費・出力等に大きく影響を及ぼすことから、燃料噴霧先端到達距離等のマクロ特性、及びザウタ平均粒径(D_{32})分布等のマイクロ特性に関して長きに渡り国内外で研究が進められてきたが、エンジン燃焼室内の実機内の空気流動は非常に複雑な非定常流であり、それを模擬した一様・定常な横風を噴霧・液体ジェットに当てた時の特性は国内外でもこれまでも研究報告例がある(Moon: *Fuel* (2007)).

一方、我々の研究グループ(広島大学: 関連^{*)}を付記)では、高速度カメラを用いて大気圧中での一様横風に噴射された噴霧挙動及び鉛直・水平方向噴霧先端到達距離に対する噴射圧・横風流速依存性、また、噴霧自身をトレーサーとしたPIV(Particle Image Velocimetry)を用い噴霧内の速度分布の詳細研究を進めているが、VCO(Valve Covered Orifice)ノズルから噴射した燃料噴霧は横風を受けると「ノズル近傍の噴霧内に液滴が存在しない空洞領域(図1)、噴霧下流では噴霧が剛体円柱の様なカルマン渦の様な構造」など自由噴霧に対して特徴的な現象が高い再現性で生じることを示し(© Guo et.al: *SAE/KSAE*, ©Kishi et.al: *JSME*(2013)), 新しい知見が徐々に得られ始めている。

混合気形成制御において重要な要素である横風噴霧挙動をより包括的に解明する為には、実機エンジンの負荷・回転数に対応した燃焼室内での複雑な気流を受ける噴霧構造/マクロ・マイクロ挙動の詳細解明、横風噴霧特性の詳細な情報・挙動予測が必要となる。

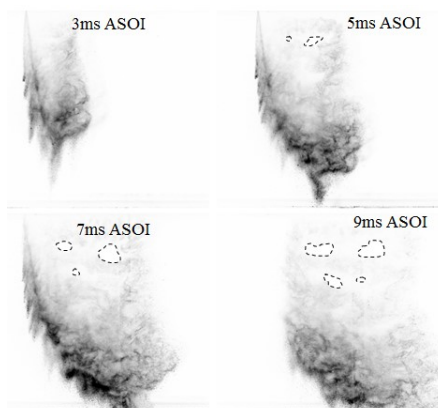


図1 一様横風噴霧の噴霧鉛直断面内高速度カメラ撮影. Guo et.al, *SAE/KSAE Conference* (2013)

2. 研究の目的

自動車・航空機エンジン等の燃料噴射において、燃焼室内に発生する空気流動(横風)は燃料噴霧挙動と共に、成層混合気の空気層/可燃層生成・燃焼特性・霧困気混合にも影響することから横風噴霧挙動の既往研究が多くある中、横風噴霧下流部にはカルマン渦の様な特徴的な構造が見られることが近年我々の既往研究で分かり、噴射系・空気流動のマクロ要因とノズル近傍の液柱1次微粒化等のマイクロ挙動が、噴霧全体の特性に関わる新たな知見が示された。

本研究では横風が噴霧構造と液滴速度・粒径分布との相関に及ぼす効果を明らかにし、「エンジン燃焼室内の気流中における噴霧構造と微粒化モードの相関性の解明 ⇒ 部分・高負荷時の成層・均質混合気形成制御」「燃料液滴・液柱一次微粒化機構の基礎的研究 ⇒ 自動車~航空機エンジンの燃料供給に向けた幅広い応用」を目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、噴霧と横風の相互作用について様々な条件で検証を行う。他機関の既往研究にも報告例は多数あるが、我々グループの既往研究において鉛直・水平面での可視化計測(図2)を詳細に行うことで、横風噴霧内と噴霧下流・ノズル近傍の流体場構造の更なる詳細な検証の必要性が分かったことから、PIV・LDSA等の実験によって得られる噴霧液滴の速度・粒径分布、霧困気流動などのデータを用いて噴霧特性・噴霧発達過程のメカニズムを明らかにする。

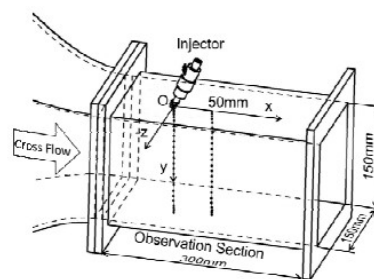


図2: 観察胴・噴射ノズルと座標系 (Proc. of ICLASS2015 (2015))

4. 研究成果

直噴ガソリンエンジンを模擬した系での燃料噴霧と一様空気流動の相互作用を詳細に検証した。噴霧主流部から剥離する後流挙動と円柱後方二次元カルマン渦の類似性を見出し、ノズルからの距離に対して噴霧軸垂直断面内の渦配置の非対称性の変化、カルマン渦から派生する三次元性の様な挙動が確認された(図3)。

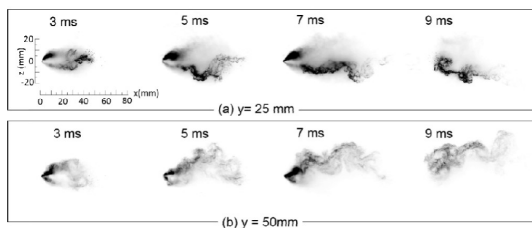


図 3 大気圧中での噴霧下流水平面内構造の時間変化 (Proc. of ICLASS2015 (2015))

圧縮行程噴射も考慮する為、風洞内の雰囲気気圧を変化させることが可能な高圧風洞装置を用いて、雰囲気気圧依存性の比較を行った。横風流速及び噴射圧一定の条件では横風方向に鉛直な噴霧先端到達距離は、雰囲気気圧が大気圧から増加すると噴射直後はあまり差異が無いが、時間が経つと雰囲気気圧の増加に伴い減少する。一方、水平方向噴霧先端到達距離は大気圧下と同様に時間に正比例するが、雰囲気気圧の増加に伴い先端到達距離も増加することが分かった。高雰囲気気圧力では液滴の噴霧軸方向運動量が早く減衰し、横風方向運動量に変わることから噴霧の曲がり始めも早く、横風方向に大きく曲がる(図 4,5)。

横風上流側の噴霧曲がり形状が運動量比をパラメータとして表せることが噴霧輪郭画像から得られ、本実験式と実験結果は噴霧の下方一部を除き全体的に概ね一致し、噴霧の曲がり予測可能である。

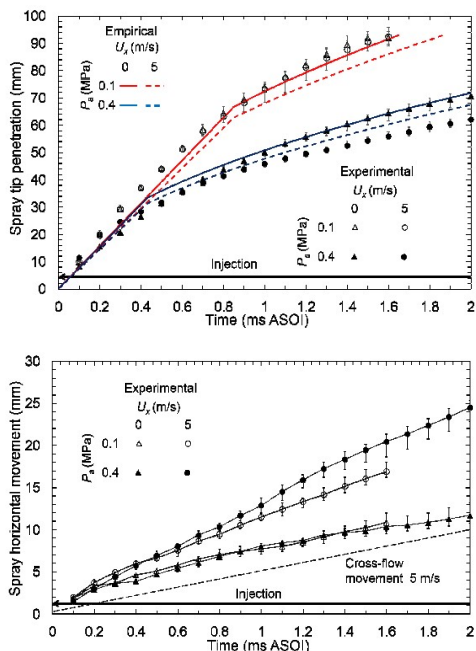


図 4 上: 垂直方向, 下: 水平方向噴霧先端到達距離。雰囲気気圧力= 0.1, 0.4MPa (Proc. of ILASS-Europe (2016))

横風により噴霧表面に生じるせん断力も増加することから、ノズル近傍では中心コア

から剥ぎ取られた小粒径液滴は横風に流され運動量の大きい大粒径液滴が残り、横風が無い場合よりザウタ平均粒径 (SMD) は大きくなるが、ノズル遠方では噴霧軸近傍では横風による液滴衝突・合体に起因すると思われる大 SMD 領域、下流では剥ぎ取られた微小液滴が流され、小 SMD 領域に分かれる分級機構も明らかとなった。

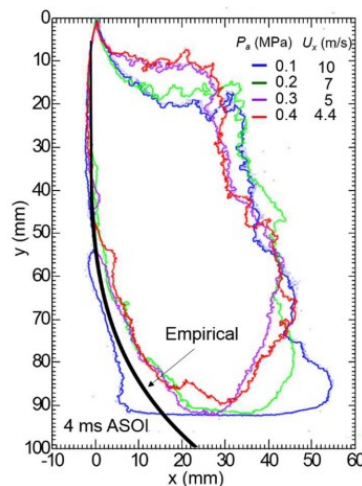


図 5 同一運動量比下での雰囲気気圧力と噴霧形状依存性 (Proc. of ILASS-Europe (2016))

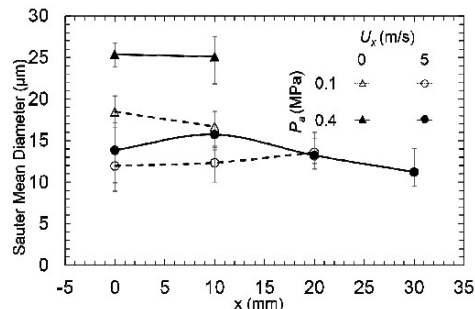


図 6 $y=50\text{mm}$ での粒径(SMD)分布。雰囲気気圧力= 0.1, 0.4MPa (Proc. of ILASS-Europe (2016))

雰囲気気圧増加に伴い噴射初期速度も低下することで微粒化が抑制され SMD は大きくなるが、横風条件下では噴霧全体で SMD が小さくなる傾向が得られ、噴霧縁から小粒径液滴が剥がされ下流方向に向かって噴霧コア付近で最大値を取った後減少する分布が得られた(図 6)。

種々の実験条件及び詳細な計測から、一様な横風と相互作用する燃料噴霧の可視化・粒径分布実験データが得られたことで、実機エンジン状況に応じた現象解明に向けての基礎的知見が得ることが出来、汎用的な CFD モデル構築、及びスワール・タンブル流が在る実機エンジン筒内流動下の噴霧挙動予測への応用が期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

1. Min GUO, Nagisa SHIMASAKI, Keiya NISHIDA, Yoichi OGATA and Yoshitaka WADA, Experimental study on fuel spray characteristics under atmospheric and pressurized cross-flow conditions, Fuel, 査読有, 2016, pp846-855. DOI : 10.1615/j.fuel. 2016.07.083

2. Min GUO, Ryouyuke KISHI, Baolu SHI, Yoichi OGATA and Keiya NISHIDA, EFFECTS OF CROSS-FLOW ON FUEL SPRAY INJECTED BY HOLE-TYPE INJECTION FOR DIRECT INJECTION GASOLINE ENGINE, SECOND REPORT: SPRAY PATTERN, DROPLET SIZE AND VORTEX STRUCTURE, Atomization and Spray, 査読有, 2016, pp53-72. DOI : 10.1615/AtomizSpr. 2015012195

3. Min GUO, Ryouyuke KISHI, Baolu SHI, Yoichi OGATA and Keiya NISHIDA, EFFECTS OF CROSS-FLOW ON FUEL SPRAY INJECTED BY HOLE-TYPE INJECTION FOR DIRECT INJECTION ENGINE, Atomization and Spray, 査読有, 2015, pp81-98. DOI : 10.1615/AtomizSpr. 2014011375

[学会発表] (計 8 件)

1. 嶋崎汀, 司占博, 郭敏, 西田恵哉, 尾形陽一, 和田好隆, 高圧雰囲気で横風を受け壁面に衝突する燃料噴霧の挙動, 第 25 回微粒化シンポジウム, 2016 年 12 月 19 日-20 日, 富山国際会議場

2. Min GUO, Keiya NISHIDA, Nagisa SHIMASAKI and Yoichi OGATA, Characterization of fuel spray injected by hole-type nozzle under high-pressure cross-flow environment, ILASS-Europe, 27th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, 4-7 Sep2016, Brighton, UK.

3. 嶋崎汀, 郭敏, 岸諒輔, 石保禄, 尾形陽一, 西田恵哉, 和田好隆, 雰囲気圧力が横風を受ける燃料噴霧に及ぼす影響, 第 24 回微粒化シンポジウム, 2015 年 12 月 17 日-18 日, 神戸大学

4. Min GUO, Ryouyuke KISHI, Baolu SHI, Yoichi OGATA and Keiya NISHIDA, Effect of Cross-Flow and Ambient Pressure on Fuel Spray Injected by Hole-Type Nozzle for DISI Engine, ICLASS2015 13th Triennial International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, 23-27 Aug2015, Tainan, Taiwan

5. Min GUO, Ryouyuke KISHI, Baolu SHI, Yoichi OGATA and Keiya NISHIDA, Effect of Cross-Flow and Ambient Pressure on Fuel Spray Injected by Hole-Type Nozzle for DISI Engine, ILASS-Americas 27th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, 17-20 May2015, Raleigh, NC, USA

6. 岸諒輔, 郭敏, 石保禄, 尾形陽一, 西田恵哉, 和田好隆, 横風気流中に噴射した燃料噴霧構造の可視化計測, 第 23 回微粒化シンポジウム, 2014 年 12 月 18 日-19 日, 弘前大学

7. Min GUO, Ryouyuke KISHI, Baolu SHI, Yoichi OGATA and Keiya NISHIDA, Effect of Cross Sectional Pattern and Droplet Size/Velocity Distribution of Spray Injected by Hole-Type Nozzle for DISI Engine, ILASS-Asia, 26th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, 26-29 Oct2014, 上海, 中国

8. Ryouyuke KISHI, Min GUO, Baolu SHI, Yoichi OGATA, Keiya NISHIDA and Yoshitaka WADA, Experimental Study on In-Cross-Flow Spray Injected by Hole-Type Nozzle for DISI Engine, ILASS-Europe, 26th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, 8-10 Sep2014, Bremen, Germany

6. 研究組織

(1) 研究代表者

尾形 陽一 (OGATA YOICHI)
広島大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号 : 10323792

(3) 連携研究者

西田 恵哉 (NISHIDA KEIYA)
広島大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号 : 90156076

石 保禄 (SHI BAOLU)
広島大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号 : 30648027