

令和元年6月17日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06914

研究課題名(和文) 2段階燃焼方式を用いた船用ディーゼル機関の低環境負荷燃焼法

研究課題名(英文) Low Environmental Impact Combustion Method for Marine Diesel Engine Using Two Stage Combustion

研究代表者

畔津 昭彦 (AZETSU, AKIHIKO)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：80184175

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：予混合圧縮着火により低酸素濃度雰囲気を作り、その場で噴霧燃焼させるという2段階燃焼法を実現させるために必要な基礎データの取得を進めた。2色法画像計測システムを用いた火炎中のすす分布計測実験を中心として実施した。非定常噴霧火炎は先端渦部と後続のコーン状の火炎部に分類でき、後続部の火炎におけるすす分布は定常火炎の場合と良く一致すること、また火炎の最大先端到達距離は、長期間噴射の準定常的火炎の長さに対応することを明らかにした。また和栗の準定常理論で火炎内の空気過剰率を推定すると、雰囲気条件や噴射条件によらずに、先端位置は空気過剰率約1.5、最大すす位置は空気過剰率約1の位置となることを見いだした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ディーゼル燃焼の基本形態である非定常噴霧燃焼において、火炎の先端到達距離と火炎内のすす分布最大位置を、準定常理論による推定空気過剰率で統一的に予測できる可能性が得られたことは、学術的・技術的に大きな成果と考えている。隣接火炎との衝突あるいは壁面との衝突を、すす分布最大位置以降に配置することが、燃焼の悪化、すす排出の低減に重要であることを本研究の中の小型容器を用いた実験で明らかにしているが、その位置を高温低酸素場でも予測できれば2段階燃焼法の燃焼室設計に有用な指標になりうるものと考えている。

研究成果の概要(英文)：In order to realize two stage clean diesel combustion utilizing high temperature and low oxygen concentration ambient produced by HCCI combustion, this study was aimed to obtain the fundamental data experimentally. The experiments were mainly conducted to measure the soot distributions in the spray flame by using the two color method. It is confirmed that the soot distribution in flame can be subdivided into two regions, i.e., the head vortex region and the cone shaped flame region. The soot formation and oxidation in the cone shaped flame region can be treated as quasi-steady, i.e., those of steady jet flame. 1D integrated KL factor distribution and the estimated excess air ratio will be very useful tools for the study of soot formation and oxidation inside the spray flame.

研究分野：工学

キーワード：船用機関・燃料 ディーゼル燃焼 噴霧燃焼

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年の環境問題からディーゼル機関の低公害化が強く要求され、窒素酸化物 (NO_x)、すすなどの微粒子 (PM) の大幅な削減が必要とされている。これに対して、船用ディーゼル機関に対する規制値はまだ甘く遅れていたが、NO_x だけではあるものの従来の規制値から約 2 割削減することを要求する第 2 次規制が 2011 年度から発効し、2016 年度からは指定海域 (ECA) に限られるものの 80% 削減することを要求する第 3 次規制が予定されている。このような社会的要求を踏まえ、船用ディーゼル機関に対する NO_x 低減技術が精力的に研究開発されている。具体的には、まず電子制御燃料噴射の採用による燃焼の最適化を中心とした技術により 2 次規制の対応が行われた。一方 3 次規制に向けては、後処理装置として選択還元型の脱硝触媒 (SCR) の開発が進められ、3 次規制をクリアできる一定の成果が得られている。さらにはエンジン側の対策としてエマルジョン燃料、水噴射や給気加湿などの水の有効利用も検討が進められているが、これらの 3 次規制対策に共通した問題点は、熱効率や燃費に一定の悪化を伴う点であり、また SCR は船内の設置場所やコストなども大きな問題である。

2. 研究の目的

本研究で検討しようとしている燃焼方式は、予混合圧縮着火 (Homogeneous Charge Compression Ignition; HCCI) 燃焼方式と低酸素濃度場の直噴燃焼方式を組み合わせると言うものである。低負荷で高効率・低公害であるが高負荷運転が不可能であった HCCI 燃焼方式を、高負荷側に運転領域を拡張しようとするものであり、熱効率や燃費の悪化を伴わずに、有害排気を大幅に削減できる可能性があると考えている。

本研究では、この 2 段階燃焼方式を実現するために有用な基礎データを実験的に収集することを目的として研究を進めた。定容燃焼容器を用いた系統的な基礎実験を通じて、雰囲気組成、雰囲気温度・圧力・密度などの雰囲気条件や、ノズル噴口径、噴射期間などの噴射条件の影響を明確にすることを試みた。

3. 研究の方法

燃焼実験は、エンジンシリンダ内と同等な雰囲気条件を実現できる高温高压容器内の単純化した場において実施することとし、燃焼系、可視化系、計測系の同期システムを整備した。実験には可視化窓を備えた大型の高温高压容器と、実機と同等の総括空気過剰率条件で実験が可能な、小型の可視化高温高压容器の 2 種類を使用し、それぞれにおいて可視化燃焼実験を行った。

大型の可視化燃焼実験装置の概要を図 1 に示す。噴射システムは、燃料をあらかじめ一定圧力に蓄圧し、ノズル針弁のリフト量をピエゾアクチュエータで直接制御する形式になっている。この圧力容器内で希薄水素予混合気を燃焼させ、実際のディーゼルエンジンの燃焼室と同等の雰囲気条件を実現させた。予混合気は、水素、酸素、窒素からなり、初期混合比は、水素燃焼後の酸素の量が所定の体積分率になるように設定した。スパーク点火により水素燃焼させた後、目標の雰囲気圧力に達する時刻に容器上面の噴射装置から燃料を鉛直下方に噴射し、自由噴霧燃焼させた。容器には光学的計測と画像二色法のため、直径 80mm の可視化用窓ガラスが設置されている。燃焼時には火炎をカラーハイスピードビデオカメラで撮影し、二色法を用いて火炎の温度とすす発生の分布状況を解析した。一方、小型の可視化実験装置も同様の原理で高温高压場を実現するものであるが、容器サイズを実エンジンの燃焼室と同等とし、また実エンジンと同じマルチホールノズルを用いることにより、同等の総括空気過剰率の雰囲気中で、壁の影響などを検討できるようにしたものである。詳細については省略させていただく。

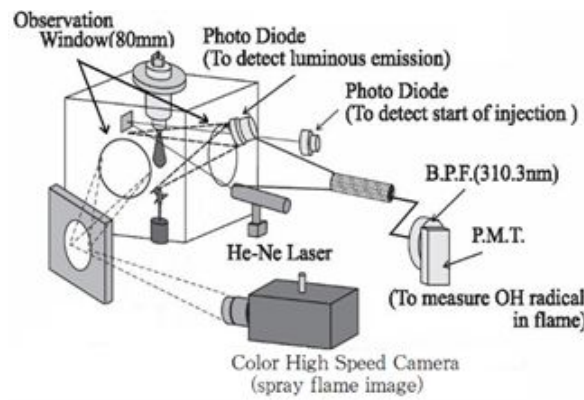


図 1 高温高压容器可視化実験システム

4. 研究成果

この実験システムを用いて、軽油を燃料とし、雰囲気温度、雰囲気密度、雰囲気 O₂ 濃度などの雰囲気条件を大幅に変化させると共に、燃料噴射期間、燃料噴射圧力、噴射ノズルの噴口径などを变化させた実験を行い、主に火炎中のすすの生成・酸化状況について検討した。その結果明らかになったことの中で、主たるものは以下の通りである。

(1) 火炎中のすす分布は、先端渦部と後続のコーン状の火炎部に分けることができる。コーン状の火炎部においては、噴射期間によらず噴射期間中のすす分布は長期間噴射の準定常状態の分布と一致する。

図2は噴射期間を变化させた際の、火炎中のすす分布に対応する2次元 KL 値分布の時間的变化を示したものである。先端渦部の濃すす塊と、後続のコーン状の火炎が観察される。噴射期間によりコーン状火炎部の長さが变化していることがわかる。一方図3は、分布を定量的に示すために KL 値を火炎幅方向に積分して1次元分布として示したものである。コーン状の火炎部における値は、ノズルからの距離が同一であれば噴射開始からの時刻によらずに同じ値を示していること、また長期間噴射における準定常状態の分布と良く一致していることが確認される。なお図は省略しているが、噴射期間によらず、また他の実験条件においても同様の結果が得られた。この結果は、準定常火炎のすす分布の解析が重要であることを示唆している。

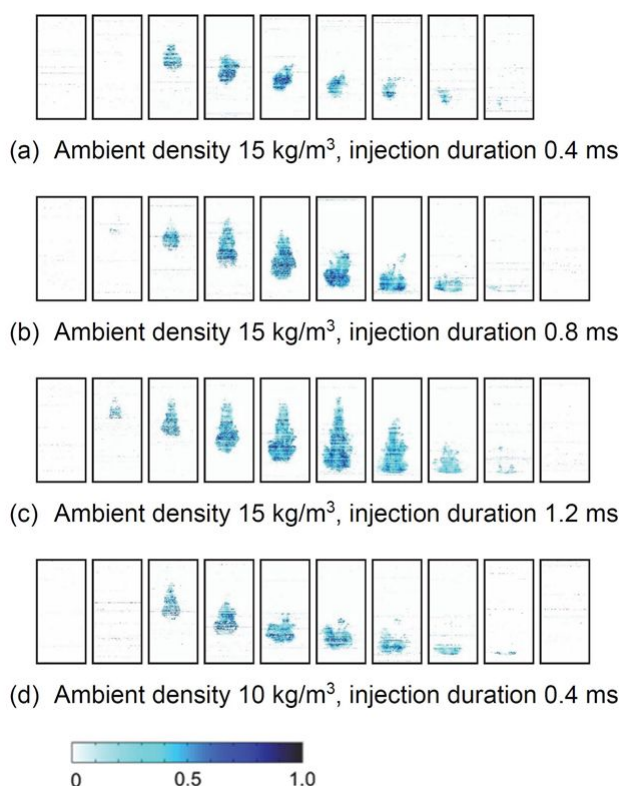


図2 2次元 KL 値分布の時間的变化 (ノズル径 0.16mm)

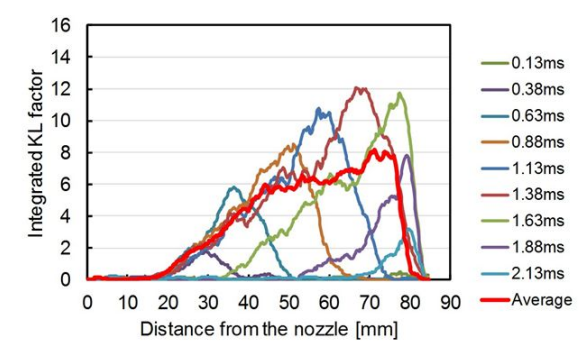


図3 1次元 KL 値分布 (雰囲気密度 15kg/m³, 噴射期間 1.2ms)

(2) 噴霧火炎内の空気過剰率分布を和栗の準定常理論を援用して推定すると、火炎の先端位置は空気過剰率で約 1.5、最大すす位置は空気過剰率約 1 の位置になることを見出した。これは検討した範囲内で、雰囲気条件、燃料噴射条件によらないことを確認した。

図4は準定常状態の1次元KL値分布に及ぼす雰囲気密度の影響を示したものである。一方図5は、横軸を推定空気過剰率に変換したものである。火炎が視野内に収まらないために先端は確認できないが、すす分布の最大位置、すなわちすすの生成が主体的な領域から酸化が主体的な領域に切り替わる位置は、空気過剰率で約1となっている。一方、火炎の先端が視野内に収まる様に、噴口径を小さくして実験した結果を図6、7に示す。横軸をノズルからの距離にした場合は、噴口径が大きくなるほど火炎長が伸び、すす最大位置も遠方になることが確認されるが、横軸を空気過剰率とすると、ほぼ一致することが確認できる。

なお非定常火炎の最大先端到達距離は準定常火炎の火炎長とほぼ一致することも確認した。これらの知見は、2段階燃焼の燃焼室サイズだけでなく、一般のディーゼル機関の燃焼室サイズを、火炎中のすすの生成酸化状況を踏まえて決定する際に有用な知見となる。

一方、小型の燃焼容器を用いた実験からは、火炎が壁面衝突後に隣接噴口の火炎と衝突・合体する現象が観察されたが、この合体がすすの生成が主体な段階で発生すると、その後の燃焼やすすの生成酸化が大幅に悪化することが確認でき、(2)の知見が有用であることが確認されたものと考えている。

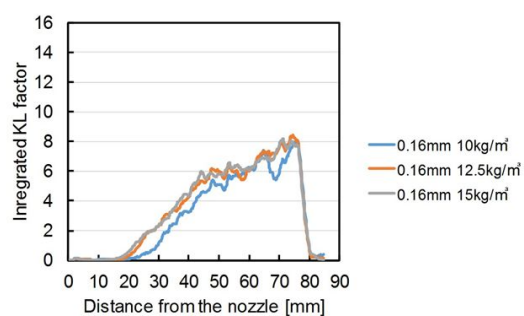


図4 1次元KL値 vs 距離

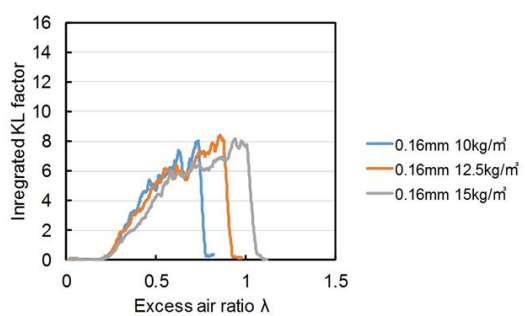


図5 1次元KL値 vs 推定空気過剰率

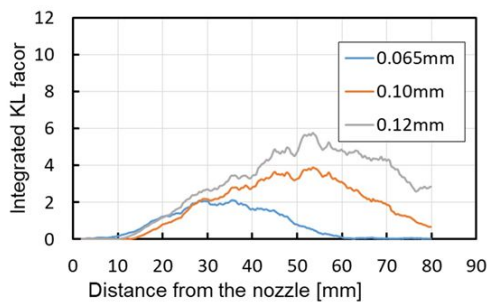


図6 1次元KL値 vs 距離

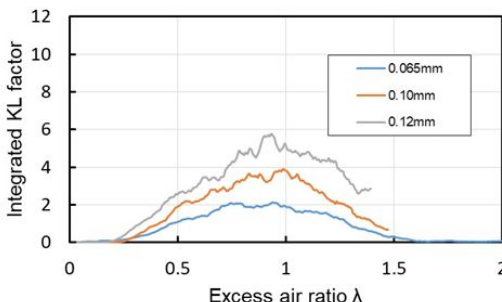


図7 1次元KL値 vs 推定空気過剰率

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 6 件)

A study on soot formation and oxidation characteristics of diesel jet flame and the dominant factor affecting the length of diesel jet flame, Akihiko AZETSU and Tatsuya OCHIAI, 29th CIMAC World Congress 2019 in Vancouver, Canada, June 2019.

雰囲気酸素濃度と燃料噴射期間が小型定容燃焼容器中の噴霧火炎におよぼす影響, 齋藤湧太, 畔津昭彦, 第29回内燃機関シンポジウム講演論文集, Paper 35, 2018年11月, pp.1-7, CD-ROM.

燃料噴射圧力と雰囲気条件が小型定容燃焼容器中の噴霧火炎に与える影響, 齋藤湧太, 畔津昭彦, 第28回内燃機関シンポジウム講演論文集, 2017年12月, pp.1-6, CD-ROM.

Effect of Fuel Injection Duration and Ambient Condition on Combustion Characteristics and Soot Formation in Diesel Spray, Tatsuya Ochiai, Yuho Nishiyama, Akihiko Azetsu, Takahiro Sako, Proceedings of the International Symposium on Marine Engineering (ISME), October, 2017, Tokyo, Japan, pp.1-5.

A Visualization Study of Soot Production and Oxidation Characteristics under Diesel Engine like Conditions, Huynh Thanh Cong, Takahiro Kashima, Daisuke Komasaki, Yuta Saito, Akihiko Azetsu, Proceedings of Small Engine Technology Conference 2017 (SETC 2017), Jakarta, Indonesia, Nov., 2017, Paper JSAE 20179126/SAE2017-32-0126,

pp.1-7.

雰囲気酸素濃度と雰囲気密度が小型定容燃焼容器中の噴霧火炎に与える影響，齋藤湧太，鹿島隆寛，駒崎大将，畔津昭彦，日本機械学会講演論文集，No.17-1，G G0600103，2017年9月，pp.1-5，CD-ROM。

6．研究組織

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、研究者個人に帰属されます。