

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420874

研究課題名(和文) 高温低酸素濃度雰囲気を利用し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) Clean Combustion Method for Marine Diesel Engine Utilizing High Temperature and Low Oxygen Concentration Condition

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) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：高温低酸素濃度雰囲気を利用した低環境負荷燃焼法を実現するために、基礎的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。2色法画像計測システムを用いた火炎温度と火炎中のすす量を計測する実験を中心として実施し、火炎温度については雰囲気酸素濃度、雰囲気温度の影響が支配的であり、燃料噴射期間、燃料種類や雰囲気密度の影響は小さいこと、一方、火炎内のすす分布は、先端渦に支配される先端部のすす塊と、後続する準定常部のすす領域に分けて考えることができることを明らかにした。また準定常部のすす量・分布は雰囲気密度によって異なるが、輝炎発生開始位置における推定空気過剰率で整理することができることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In order to realize clean combustion method utilizing high temperature and low oxygen concentration ambient condition, this study was aimed to obtain the fundamental data experimentally. The experiments were mainly conducted to measure the flame temperature and soot concentration distributions in the spray flame by using the two color method. From the experiments, it was explored that the dominant parameters determining the flame temperature are ambient O₂ concentration and ambient temperature. It was also explored that the soot production region can be subdivided into the head vortex region and the following quasi-steady region. Not only the O₂ concentration and ambient temperature but also the ambient density give the strong effect on the soot production of both regions.

研究分野：工学

キーワード：船用機関・燃料 ディーゼル燃焼 排ガス再循環

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ている。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

申請者が提案しようとしている燃焼方式は、予混合圧縮着火(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。HCCI燃焼は当量比0.4程度までの低～中負荷では低公害・高効率燃焼が可能であるが、高負荷化が大きな課題であった。本研究では、軽度なEGRでHCCI燃焼を行わせて低酸素濃度の高温高压場を作り、そこで噴霧燃焼させると言う2段階の燃焼を行うことで、高負荷まで高効率で低公害な燃焼を実現しようと考えたものである。

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体系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、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、および排ガスの計測システムを整備した。実験には可視化窓を備えた高温高压容器と小型の高温高压容器の2種類を使用し、それぞれにおいて可視化燃焼実験と排ガス計測実験を行った。

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分布状況を解析した。

一方排ガス計測燃焼実験装置の概要を図2に示す。小型の高温・高压容器を用いており、容器内体積を小さくすることにより、指圧線図解析から熱発生率を計測できるようにしている。高温高压雰囲気は前と同様に水素を用いた希薄予混合燃焼方式を採用した。燃料噴射装置には、中型トラックに使用されているソレノイド方式のコモンレール噴射系を使用した。燃焼によって生成された排ガスはサンプリングバッグに収集し、 NO 、 CO 等の濃度を測定した。

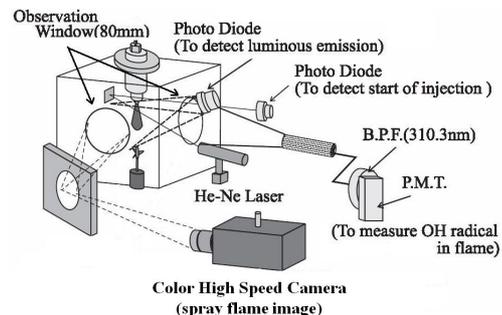


図1 可視化燃焼実験装置

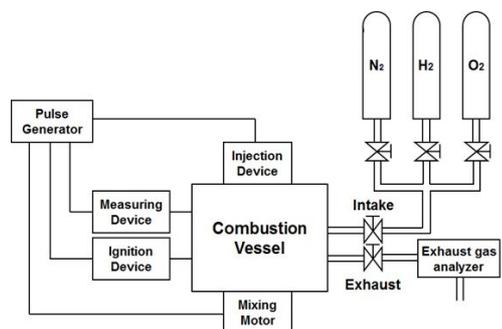


図2 排ガス計測燃焼実験装置

4. 研究成果

この実験システムを用いて、軽油を燃料とし、燃料噴射圧力を一定とした条件で、雰囲気温度、雰囲気密度、雰囲気 O_2 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、噴射ノズルの噴口径などを变化させた実験を行い、NOx、CO などの有害排ガスの排出傾向と、火炎中のすすの生成状況、火炎温度について検討した。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) 火炎温度とその時間的变化は、噴口径、雰囲気密度、燃料噴射期間の影響はほとんど無く、雰囲気温度、雰囲気酸素濃度により支配される。

噴口径 0.16mm において、雰囲気酸素濃度 21%、雰囲気温度 985K の条件で、雰囲気密度を变化させた結果を図 3 に、噴射期間を变化させた結果を図 4 に示すが、影響が小さいことが確認できる。一方、酸素濃度 21%、雰囲気密度 10kg/m³ において、雰囲気温度を变化させた結果を図 5 に示す。着火遅れが大きく変化すると共に、火炎温度も雰囲気温度の低下に伴い低下する様子が現れている。

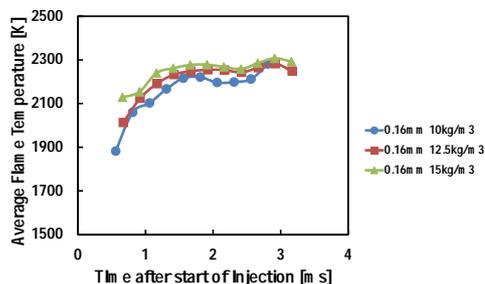


図 3 雰囲気密度が平均火炎温度に及ぼす影響 (噴射期間 2.4ms)

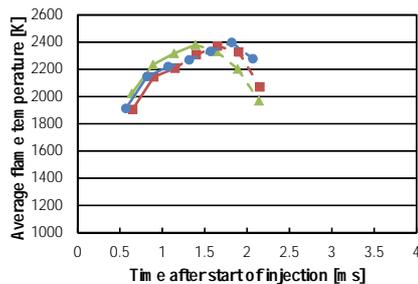


図 4 噴射期間が平均火炎温度に及ぼす影響 (雰囲気密度 10kg/m³)

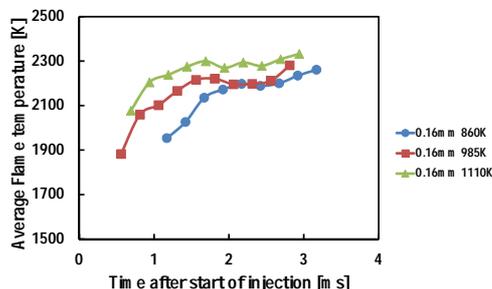
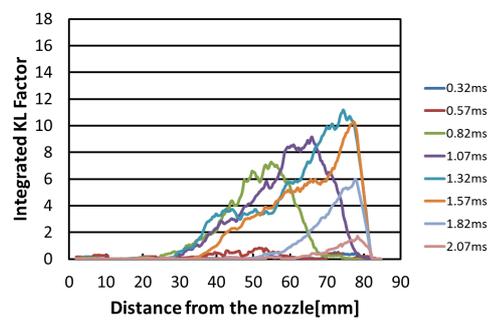


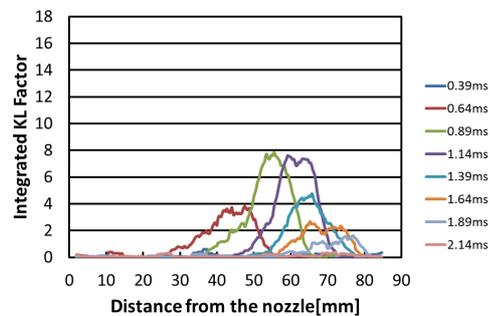
図 5 雰囲気温度が平均火炎温度に及ぼす影響 (雰囲気密度 10kg/m³)

(2) 火炎中のすす分布は、先端渦部と後続の準定常部に分けることができる。先端渦部のすす量は噴射期間の長期化に伴い増加するが、一定噴射期間以上ではほぼ同じとなった。

噴霧火炎の噴射方向各位置における、火炎幅方向の全すす量に対応する値の 1 次元分布を時間的变化と共に示したものが図 6 である。(1)は噴射期間 1.2ms であり、先端渦部に対応するすす量のピークと、後続の準定常部に区分できることが分かる。(2)は噴射期間 0.4ms であり、ピーク高さが低くなっている様子が見えるが、時刻ごとの分布のピークの変化を示した図 7 によると、ピークの成長の仕方は噴射期間によらずに同様であり、一定噴射期間以上の場合は最大値も変化しないことがわかる。



(1) 噴射期間 1.2ms



(2) 噴射期間 0.4ms

図 6 火炎内すす量の 1 次元分布 (雰囲気酸素 21%、温度 985K、密度 10kg/m³)

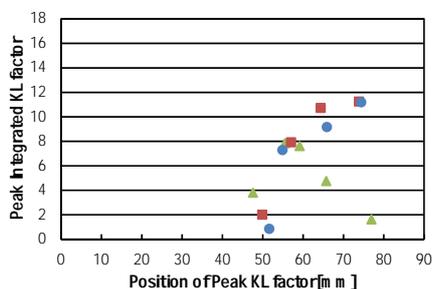
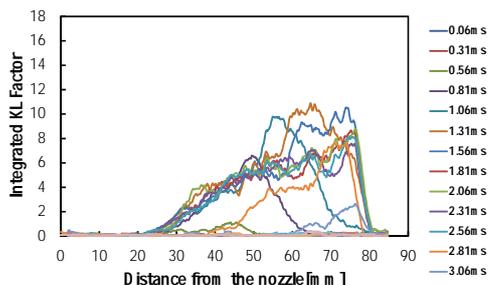


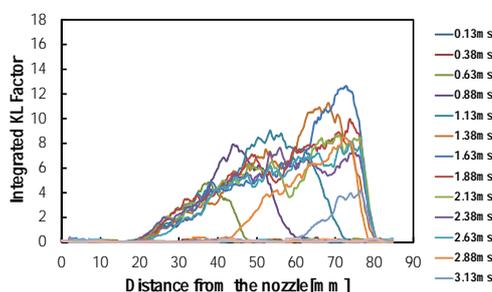
図 7 ピークすす量 vs 位置 (雰囲気酸素 21%、温度 985K、密度 10kg/m³)

(3) 火炎中の準定常部におけるすす量は、雰
 囲気密度、雰囲気温度等により異なるが、輝
 炎発生開始位置の推定空気過剰率で傾向を
 整理できる。

前述のすす量の1次元分布を2種類の雰
 囲気密度について図8に示すが、準定常部のす
 すす量に違いがあることが分かる。雰囲気温度
 の影響も同様であったが、輝炎発生位置にお
 ける推定空気過剰率で、火炎内全体のすす量
 を整理したものが図9である。明確な右下が
 りの傾向があらわれている。



(1) 雰囲気密度 10kg/m³



(2) 雰囲気密度 15kg/m³

図8 火炎内すす量の1次元分布
 (雰囲気酸素 21%, 温度 985K)

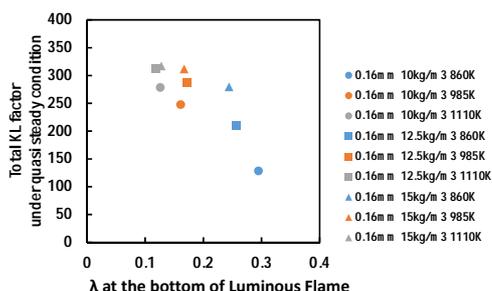


図9 準定常状態のすす量 vs 輝炎開始位
 置の空気過剰率 (雰囲気酸素濃度 21%)

このほかの燃焼特性についての知見も合
 わせると、低公害燃焼への指標も得られてい
 るが、実エンジンでの実現のためには、容器
 内での総括空気過剰率が実エンジンと同等
 な条件での検討が次のステップとして必要
 と考えられ、実験装置の計画を進めた。

5. 主な発表論文等

[学会発表](計 7 件)

Y. Sasaki, Y. Nishiyama, A. Azetsu, H. Tanaka and T. Sako, Effect of Ambient O₂ Concentration and Injection Duration on Combustion Characteristics of Diesel Spray, 13th Triennial International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems (ICLASS 2015), August 2015, Tainan.

Akihiko AZETSU, Yoshinori SASAKI, Yuhu NISHIYAMA and Youhei NAGASHIMA, Effects of Ambient O₂ Concentration and Pressure on Combustion Characteristics of Diesel Spray, JSAE/SAE Powertrains, Fuels and Lubricants International Meeting 2015, September 2015, Kyoto.

佐々木工典, 畔津昭彦, 佐古孝弘, ノズル噴口径と燃料噴射期間が噴霧燃焼に及ぼす影響, 第23回微粒化シンポジウム講演論文集, 2014年12月, 弘前.

Sohei Nagaharu¹, Syouta Kai, Akihiko Azetsu, EFFECT OF AMBIENT TEMPERATURE AND AMBIENT OXYGEN CONCENTRATION ON DIESEL COMBUSTION, Proceedings of the MJIT-JUC Joint International Symposium 2014, November 2014, Kuala Lumpur.

Mohammad Haris Bin Mokhtar, Akihiko Azetsu, A STUDY ON FLAME TEMPERATURE AND SOOT PRODUCTION CHARACTERISTICS OF FAME MIXED DIESEL OIL, Proceedings of the MJIT-JUC Joint International Symposium 2014, November 2014, Kuala Lumpur.

甲斐翔太, 長治蒼平, 畔津昭彦, ディーゼル噴霧の着火, 燃焼, 排気特性に関する研究, 日本機械学会 2014年度年次大会, 2014年9月, 東京.

佐々木工典, 齋藤洸, 畔津昭彦, 低酸素濃度場における噴霧燃焼に関する研究 (燃料噴射期間が火炎温度とすす生成に及ぼす影響), 日本機械学会 2014年度年次大会, 2014年9月, 東京.

[その他]

ホームページ等

http://ns.mech.u-tokai.ac.jp/~azetsu_lab/

6. 研究組織

(1) 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