

ディーゼル排出ガス昇温を目的とした予蒸発予混合軽油二段燃焼バーナの開発

日大生産工(院) ○ 勝田 桂輔 日大生産工 野村 浩司 日大生産工 菅沼 祐介
日野自動車(株) 齋藤 郁 日野自動車(株) 津曲 一郎

1. 緒言

ディーゼルエンジンの粒子状浮遊物質 (PM) 対策には、Diesel Particulate Filter (DPF) の搭載が一般的である。DPFを使用する場合、DPFに蓄積したPMの除去が必要であるが、貴金属を多量に含む酸化触媒が使用されるため、高初期コストや燃料付加による燃料消費率の悪化が課題となっている。

本研究では、軽油バーナによって排出ガスを加熱し、PMをDPF内で酸化除去する方式に着目した。PMの酸化温度である600°C以上に排出ガスを加熱することで、PMを除去することが可能となる。これにより、酸化触媒に担持させる貴金属の量を減らすことができ、初期コストを低減することが可能になると考える。再生加熱蒸発方式および予蒸発予混合方式を組み合わせた実験室規模のバーナの試作を行った。再生加熱蒸発方式は、燃料を燃焼熱によって気化させる方式である、霧化装置が不要となり、安価かつ小型化が期待できる。予蒸発予混合方式は、気化した燃料と空気の予混合気を生成し、燃焼させる方式であり、バーナの小型化に貢献する。また、一段目は高当量比で燃焼させ、二段目では余剰燃料の希薄燃焼を行い、総合的に希薄燃焼を行う二段燃焼方式を採用し、量論当量比付近での燃焼を避けることで低NO_x化を試みる¹⁾。

本報では、模擬機関排出ガスである二次空気の流量とその温度の関係を調べた。また、燃焼ガス温度を600°Cに保つ燃料流量と二次空気流量の関係を調べることで、今後の自動運転に必要な基礎データを収集した。

2. 実験装置および方法

図1にバーナ概略を示す。バーナは、燃焼室、ノズル、燃料蒸発器などから構成される。材料には切削性や融点、耐酸化性を考慮してSUS303を用いた。一次空気および燃料蒸気は巡回しながら燃料蒸発器内で混合し、燃焼室で燃焼する。燃焼室容積は約75ccである。ディーゼル機関の排気を模擬した二次空気の供給方法は、バーナ下部からスワラを用いて一次空気の巡回と逆巡回になるように供給した。周囲の空気が燃焼に及ぼす影響を避けるため、バーナノズル出口に高さ350mmの観察窓付き外筒

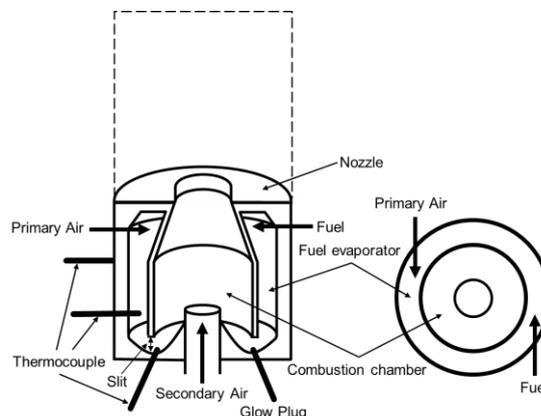


Fig.1 Small light oil burner.

を設置した。燃焼ガス温度計測および燃焼ガス採取はノズル出口から200mmの位置で行った。計測装置は、燃焼ガス温度、蒸発器温度、バーナ下部温度およびバーナ外壁温度測定用のK種熱電対、およびポータブル燃焼ガス分析計 (testo社製 testo350XL) などから構成される。以下に実験方法を記述する。バーナの暖機を行い、蒸発器温度が軽油の蒸留曲線の終点である347°Cになった時点で燃料流量および一次・二次空気流量を実験条件に設定し、実験を開始した。実験開始後、10分間保炎の状態を観察した。また、燃焼ガス分析は実験開始後9分から1分間行った。バーナの溶損を避けるため、実験中に蒸発器温度が600°C、外筒外壁温度が400°C、または燃焼ガス温度が900°Cを超えた場合は実験を停止した。燃料には市販の軽油を使用し、酸化剤にはコンプレッサからの圧縮空気をを用いた。実験は各条件について3回行い、結果は3回の平均値とした。データのばらつきを示すため、エラーバーでデータの最大・最小値を示した。

以下に実験条件を記述する。一次燃焼の当量比は1.8で一定とし、燃料流量と二次空気流量を変化させた。燃料流量は2.0から8.0 g/minまで変化させ、二次空気流量は12.8から166.4 g/minまで変化させた。すなわち、一次空気流量と二次空気流量の和と燃料流量から計算した総合当量比は0.5から1.0の範囲で変化させた。また、燃焼ガス温度が600°Cとなる条件を調べる実験では、燃料流量を2.0から4.5 g/minまで変化させた。

Development of a Pre vaporized and Premixed Light-Oil Burner to Heat Exhaust Gas of a Diesel Engine

Keisuke KATUTA, Hiroshi NOMURA, Yusuke SUGANUMA, Iku SAITO and Ichiro TSUMAGARI

3. 実験結果

図2に、二次燃焼後の燃焼ガス温度に及ぼす二次空気流量 Q_{a2} の影響を示す。図中に燃焼ガス中の NOx 濃度を等濃度グレースケールマップで示す。燃焼ガス温度の目標値である 600°C を直線で示した。実験を行った二次空気流量範囲において、燃焼ガス温度が 600°C 以上になる燃料流量が広く存在することがわかった。燃焼ガス温度の上昇により NOx 濃度も増加することがわかる。DPFの連続的な再生が可能なる 600°C に燃焼ガス温度を維持した場合、NOx 濃度は 20 ppm 以下であることがわかった。

燃焼ガス温度を 600°C に固定した場合の燃料流量と二次空気流量の関係を調べた。また、燃料の燃焼熱に対する二次空気に与えられた熱エネルギーの比率であるエネルギー効率 η を求めた。エネルギー効率は以下の式で計算した。

$$\eta = \frac{Q_{a2} (h_{a,600^{\circ}\text{C}} - h_{a,25^{\circ}\text{C}})}{Q_f \Delta h_{\text{Fuel}}} \quad (1)$$

ただし、 Δh_{Fuel} は軽油の低発熱量、 h_a は空気の比エンタルピーである。図3に結果を示す。横軸は二次空気流量であり、左縦軸は燃料流量、右縦軸はエネルギー効率である。一次燃焼の当量比を 1.8 に固定した場合、二次空気流量が 14.5 から 91.6 g/min の範囲で排出ガス温度を 600°C に維持することができた。一次燃焼の当量比を下げることでさらに大きな二次空気流量でも排出ガス温度を 600°C に維持することができると考えられるが、その場合は燃焼室の熱負荷増大に注意しなければならない。本報では二次燃焼に室温の空気を使用した。二次空気をディーゼル機関の排出ガスに代えた場合、その温度と酸素濃度は主機関の運転状態に依存する。主機関の運転状態に応じて燃料流量と一次空気流量を制御し、排出ガス温度を 600°C に保つ自動運転を行えるようにすることが今後の課題である。エネルギー効率は、二次空気流量の増大に伴って増大することがわかった。これは、バーナから大気への熱損失が、二次空気に有効に加えられた熱に対して相対的に減少したためであると考えられる。よって、バーナを実機に向けて大型化することで、エネルギー効率を向上させることができると考えられる。

4. 結言

予蒸発予混合小型軽油バーナの試作を行い、燃料流量と二次空気流量が排出ガス温度に及ぼす影響を調べた、以下に得られた知見を示す。

1. 二段燃焼実験において、DPFの連続的な再生が可能燃焼ガス温度である 600°C 以上にする燃料流量が広く存在することがわかった。

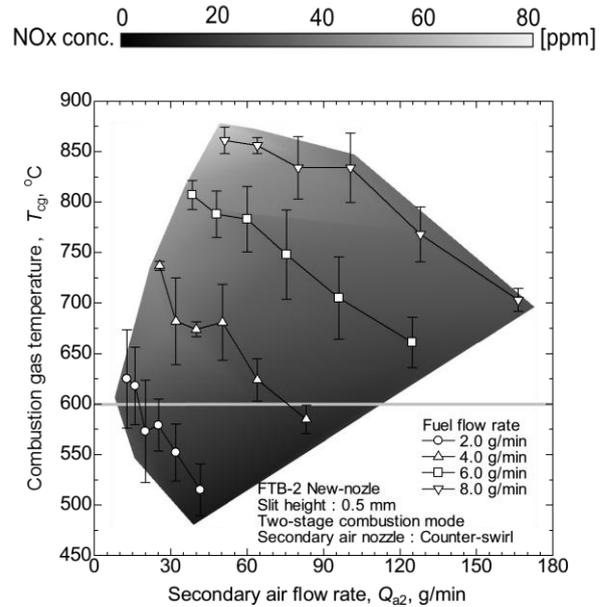


Fig.2 Effect of fuel and secondary air flow rate on combustion gas temperature and NOx concentration.

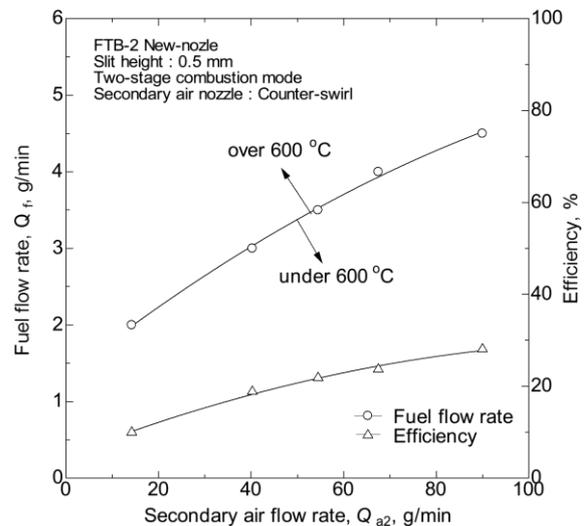


Fig.3 Fuel flow rate and energy efficiency as a function of secondary air flow rate when combustion gas temperature was fixed at 600°C .

2. 一次燃焼の当量比を 1.8 に固定した場合、二次空気流量が 14.5 から 91.6 g/min の範囲で排出ガス温度を 600°C に維持することができた。また、排出ガス中の NOx 濃度は 21.0 ppm 以下であることがわかった。

「参考文献」

- 1) 新岡崇 他 2 名共著, 燃焼現象の基礎 (2001), p.264