

ディーゼル機関用小型再生加熱式軽油バーナの開発

日大生産工(院) ○横田 朋宏 日大生産工 野村 浩司
日野自動車 津曲 一郎

1. 緒言

ディーゼル機関の連続再生式 DPF(Diesel Particulate Filter)には、排出ガス温度が低い運転条件においても PM(Particulate Matter)を除去するために高価な酸化触媒が用いられるのが一般的である⁽¹⁾。本研究では、後処理システムのコスト低減を図るため、軽油バーナを用いて排出ガスを加熱する方法に着目した。バーナによって排出ガスを加熱することで、酸化触媒へのレアメタルの添加量を減らすことができ、低コスト化が可能となる。軽油バーナの小型化・低コスト化を図るため、バーナで発生する燃焼熱で燃料を蒸発させ、軽油蒸気/空気予混合気を生成する再生加熱蒸発方式を軽油バーナに採用した。液体燃料を霧化する装置が無くても良いため、バーナの小型化・低コスト化が可能となる。霧化装置を使用していない再生加熱方式は、石油ランプなどにも採用されている⁽²⁾。バーナ内部での燃焼は供給される燃料の気化熱を賄える程度の燃焼とし、余剰の燃料蒸気はバーナ出口に保炎される二次燃焼火炎で燃焼させる二段燃焼方式で動作させることを試みる。本報では、実用レベルのバーナを設計するにあたっての基礎データの収集を目的に、実験室規模の再生加熱式軽油バーナを製作した。空気および燃料流量を変化させ、保炎が可能な作動条件をマッピングした。その後、最大燃料流量増大を目的として蒸発器の改良を行ったバーナについて、同様の性能試験を行った。最後に、二次燃焼の促進を目的に設けた二次空気ノズルの効果を調べるため、二次空気流量を変化させて二次燃焼火炎の観察を行った。

2. 実験方法および測定方法

小型軽油バーナ概略を図1に示す。小型軽油バーナは、燃料蒸発器および燃焼室、始動用電気ヒータ、ノズル、および二次空気ノズルから

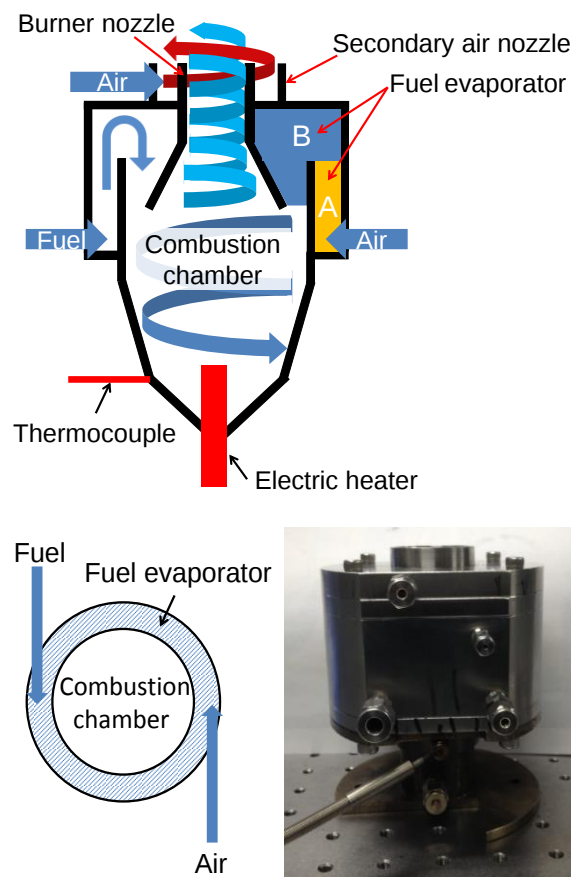


Fig.1 Small light-oil burner.

構成される。バーナ材料には SUS303 を使用した。バーナ内部の燃焼室で発生した燃焼熱によって加熱された燃焼室壁およびノズル壁裏側に、液体燃料を沿わせて供給することにより、液体燃料を蒸発させる再生加熱蒸発方式バーナである。液体燃料と共に一次燃焼用空気も蒸発器に供給することで、蒸発器内で予混合気を生成し、燃焼室に供給する。燃料蒸発器は図2のA部(溝部)およびB部(折返し部)から成る。燃焼室の最大直径は42 mm、高さは57 mmである。燃料蒸発器溝部幅は5 mmとし、

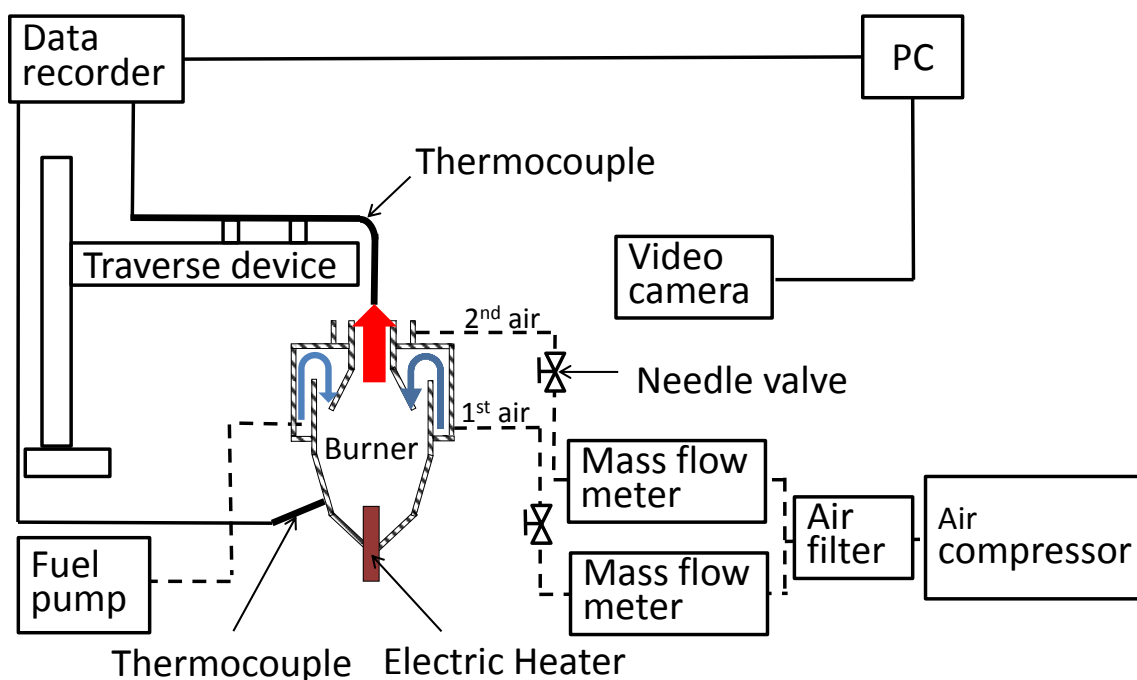


Fig.2 Experimental apparatus.

深さは13 mm, 折返し部高さは12mmとした。空気および燃料は溝に対して接線方向に投入することで回転させている。始動用電気ヒータを燃焼室下部に取付け、バーナ始動時に使用した。二次空気ノズルは二次燃焼の促進を目的に設置し、バーナ出口の外側を取り囲む同軸型の旋回ノズルとした。上記のバーナを基本形バーナと呼ぶことにする。また、最大燃料流量増大を目的に二つのバーナを製作した。一つは蒸発器溝部深さ(A部)を30 mmに増大させたもので、改良型蒸発器バーナと呼ぶことにする。もう一つは折返し部高さ(B部)を20mmに増大させたバーナで、改良型ノズルバーナと呼ぶことにする。

実験装置概略を図2に示す。実験装置は主に小型軽油バーナ、計測装置、および制御装置から構成される。計測装置は、R種およびK種熱電対、温度レコーダ、トラバース装置、およびCCDビデオカメラである。

以下に実験方法を記述する。電気ヒータでバーナを実験開始温度まで加熱した。燃焼室下部のK種熱電対で計測される燃焼室下部温度が軽油の沸点である280℃に達した時点で、実験を開始した。空気と燃料をバーナに供給し、ボタン火炎を用いて強制点火した。その後5分間保炎が可能だった場合、バーナ出口において一次燃焼ガス温度をR種熱電対で計測し、火炎の様子

をデジタルビデオカメラで撮影・記録した。また、バーナ保護のため、実験中に燃焼室下部温度が600℃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供給される圧縮空気を用いた。当量比 ϕ は、液体燃料流量 Q_f と空気流量 Q_a より算出した。

3. 実験結果および検討

3.1 基本形バーナの燃焼室内で保炎が可能な作動条件

基本形バーナの燃焼室内において保炎が可能な空気流量および燃料流量を図3のマップに示す。縦軸は燃料流量、横軸は空気流量である。10分間以上保炎でき、バーナが持続的に運転可能な条件を保炎成功と定義して白丸で示した。燃焼室下部温度が600℃あるいはバーナ出口温度が1300℃を超える条件を黒丸で示した。10分間保炎できたが、燃焼室下部温度が低下傾向を示した条件を黒三角で示した。そして、10分間の保炎ができなかった条件を保炎失敗とし、×印で示した。結果より、当量比0.8から2.0の範囲で保炎が可能であり、空気流量が70 L/min以上で当量比が0.8~1.4の範囲の場合、燃焼室下部温度が600℃を超えるか吹き飛びを起こすことがわかった。また、当量比を2.0まで増大させると、燃焼中に燃焼室下部温度が低下し、やがて消炎してしまうことがわかった。

これは、燃料を蒸発させるための燃焼熱のフィードバックが不足したことが原因と考えられる。また、当量比が 0.8 を下回ると、吹き飛びが起こり、保炎させることができなかった。等当量比線に沿って燃料流量および空気流量を増大させた場合も、吹き飛びによって消炎が起こった。保炎可能な最大燃料流量は、15mL/min であった。

3.2 アクリル製バーナ模型による蒸発器溝部内の液体流動の観察

蒸発器溝部内の液体燃料の流動を可視化するため、アクリルで小型軽油バーナを製作した。アクリル製バーナの各寸法は燃焼用の基本形バーナと同じである。また軽油を模擬する液体として水を用いた。水流量 11 mL/min、空気流量 72.5 L/min の条件において撮影された蒸発器の内部の様子を図 4 に示す。アクリル製バーナの加熱は行っていない。蒸発器溝部内部は、図中の太線で囲った部分に見て取れる。太線枠左下から溝部外壁に沿うように、図の左から右に向かって空気が供給されている。細かい水滴が線状に連なり、溝部外壁に沿って左下から右上に向かって螺旋を描くように上昇していることがわかる。図 4 の条件では、約 1/4 周で液体が溝部を出てしまっていることがわかった。この結果より、燃料を蒸発させるための燃焼熱のフィードバック量を増大させるためには、液体燃料および空気の蒸発器内での旋回回数を増大させ、蒸発器内滞在時間を増大させるのが有効であると考えられる。

3.3 改良型蒸発器バーナの燃焼室内で保炎が可能な作動条件

改良型バーナの燃焼室内において保炎が可能な空気流量および燃料流量を図 5 のマップに示す。縦軸、横軸および凡例は図 3 と同じである。基本形バーナと同様に当量比 0.8 から 2.0 の範囲で保炎が可能だった。溝部深さを増大させ、燃料の蒸発器内滞在時間の増大を図ったことにより、低流量領域 ($Q_f < 10$ mL/min) の当量比 2.0 の条件において保炎性能の改善が見られたが、当量比 0.8~1.4 の条件においては、保炎ができなくなってしまった条件が多かった。この現象に関しては、改良型蒸発器バーナについても蒸発器内の液体の流動を観察し、原因を解明する予定である。各等当量比線上において、保炎が可能な燃料および空気流量は増大した。これは、溝深さを増大させたことにより、燃料

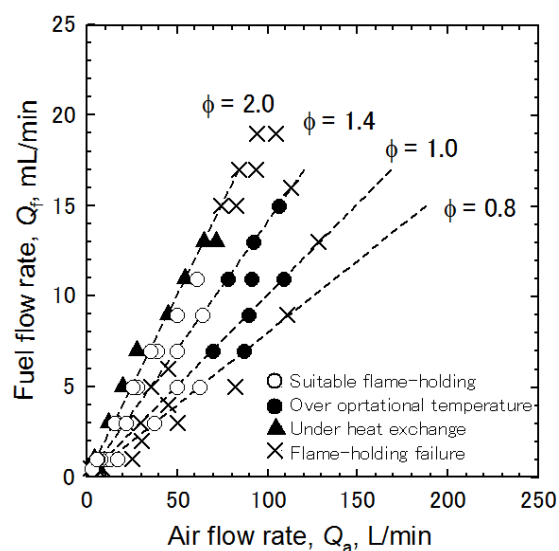


Fig.3 Flame-holding condition map of the basic burner.

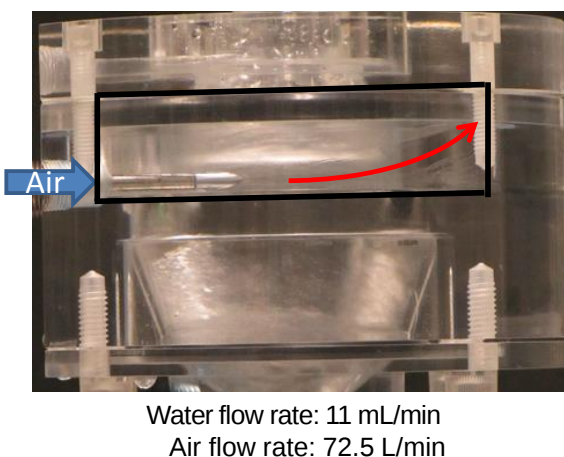


Fig.4 Observation of fluid flow in the evaporator.

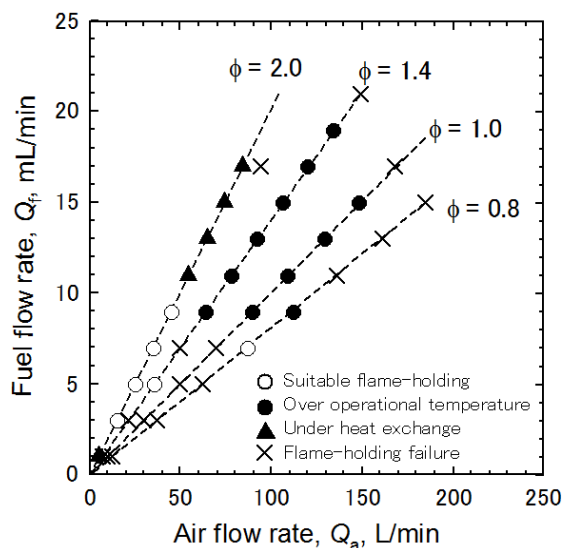


Fig.5 Flame-holding condition map of the improved-evaporator burner.

および空気の蒸発器内滞在時間が増大し、燃焼室内に供給される予混合気温度が上昇したためと考えられる。改良型バーナの最大燃料流量は 19 mL/min であった。

3.4 改良型ノズルバーナの燃焼室内で保炎が可能な作動条件

改良型ノズルバーナの燃焼室内において保炎が可能な空気流量および燃料流量を図 6 のマップに示す。縦軸、横軸および凡例は図 3 と同じである。基本形バーナと同様に当量比 0.8 から 2.0 の範囲で保炎が可能だった。しかしながら、低流量領域 ($Q_f < 10$ mL/min) では改良型蒸発器バーナよりも保炎性能が悪化してしまった。改良型ノズルバーナの最大燃料流量は 17 mL/min であった。改良型ノズルバーナにおいて保炎可能な最大燃料流量が向上した理由としては、バーナ運転中特に高温となる折返し部(B 部)の表面積が大きくなったことで、燃料への熱流量が増大したためと考えられる。しかしながら、基本形バーナに比べて燃料流量は 2 mL/min しか増大せず、さらなる形状の工夫が必要である。そのため、改良型ノズルの保炎性能低下も含め、アクリル製バーナにて液体の流動を観察し、最適形状を検討していく予定である。

3.5 二次燃焼火炎

基本形バーナのバーナ出口に保炎された二次燃焼火炎を図 6 に示す。一次燃焼時の当量比は 1.4 である。二次空気を燃焼室内の旋回と同方向に旋回させて供給することにより、火炎高さが減少することがわかる。二次空気を供給していない場合、火炎高さは 30 mm だった。二次空気流量が 40 L/min 場合、火炎高さは約 10 mm だった。同方向旋回流により二次燃焼が促進され、一次燃焼において未燃の燃料が二次燃焼で完全に燃焼したかどうかは現時点では不明であるが、二次燃焼後の排ガス温度計測や成分分析を行い、明らかにする計画である。

4. 結言

ディーゼル機関用小型再生加熱式軽油バーナの開発を目的に、バーナの設計・製作および燃焼実験を行った。得られた結果を次に示す。

- (1) 基本形バーナにおいて当量比 0.8 から 2.0 の範囲の範囲で継続的保炎が可能であった。また、最大燃料流量は 15 mL/min

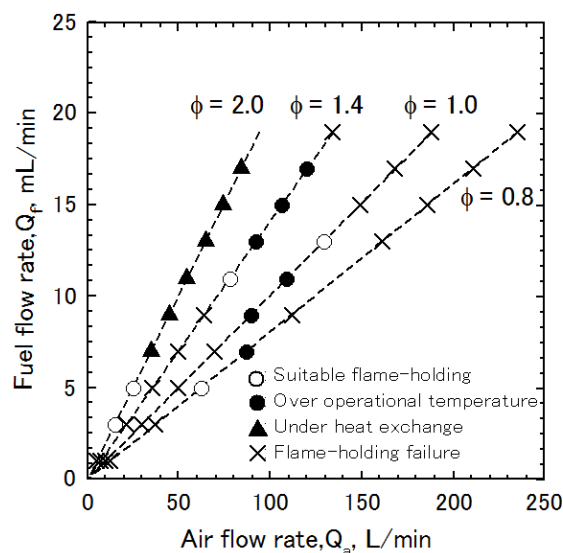


Fig.6 Flame-holding condition map of the improved-nozzle burner.



Secondary air flow rate : 0 L/min 20 L/min 40 L/min

Fig.7 Flame stabilized at the outlet of the basic burner.
Equivalence rate of the primary combustion: 1.4, primary air flow ratio: 49.5 L/min, fuel flow rate: 7 mL/min.

であった。

- (2) 燃料蒸発器溝深さを増大させることで、継続的保炎が可能な最大燃料流量が 19 mL/min に増大した。
- (3) 折返し部高さを増大させることで継続的保炎可能な最大燃料流量が 17 mL/min に増大した。
- (4) 二次空気の供給に同軸旋回ノズルを用いることで、二次燃焼火炎の高さが減少した。

参考文献

1. 鈴木孝 他 36 名共著, クリーンディーゼル開発の要素技術動向, pp.129-130, 株式会社エヌ・ディー・エス (2008) .
2. 小西誠一, 燃料工学概論, p.17, 裳華房 (1991) .