

ディーゼル機関排出ガス後処理用触媒の加熱用電気ヒータ

日大生産工(院) ○大塚 要太
日大生産工 菅沼 祐介

日大生産工 野村 浩司
日大生産工 齋藤 郁

1. まえがき

ディーゼル機関は、燃料である軽油を高温高压空気の流動場に高压で噴射して自発点火させている。ガソリン機関と比較すると熱効率が高く、CO₂の排出が抑えられるという利点があり、広い分野で利用されている。しかしながら欠点として混合気形成が難しく、窒素酸化物(NO_x)、粒子状物質(PM)の排出量抑制が難しい。PM排出量抑制については、燃焼改善とディーゼル粒子状物質フィルタ(DPF)により対応がなされている。NO_x排出量抑制につい

ては、EGRシステムやコモンレール式噴射システムによるプレ噴射などの燃焼改善や、尿素SCRなどの後処理技術の進化によって大幅なNO_x低減が実現されてきた。しかしながら、自動車の排出ガスの規制は年々厳しくなっている⁽¹⁾ため、今後も、さらなるPMとNO_xの低減が求められている。

本研究では、NO_xの後処理方法として知られているHC-SCR触媒の高効率な急速昇温装置の開発をおこなってきた。HC-SCR触媒は触媒活性温度域が350℃付近であり、低温の場合、被毒の影響によりNO_x低減率が悪化することがわかっている⁽²⁾。本報では、断熱性を高めた流路に電気ヒータを組み込み、主流空気流量が電気ヒータの空気加熱効率におよぼす影響を調べた結果を報告する。

2. 実験装置および方法

実験装置の概略を図1に示す。実験装置は主にブロア、流量調節弁、電気ヒータ、空気流量を計測する計測装置、熱電対、燃焼室から構成される。ブロアから供給される主流空気は流量調節弁を用いて、流量を調節する。実験に使用した電気ヒータおよび電気ヒータの仕様をそれぞれ、図2と表1に示す。電気ヒータはシート状の発熱体が渦巻き状に巻かれており、空気を通わせることによりその急速な加熱が可能である。実験ではこれまでに用いていた電気ヒータを、目の粗いものから順にEH-1~EH-4とし、また、フランジの肉厚等を変更して大幅に軽量化を施した電気ヒータをEH-4Lとした。また、EH-4Lにはヒータ内壁にも断熱処理を施した。主流温度計測用熱電対には、シース外径1.6 mm (非接地) のK熱電対を使用した。

表 1 電気ヒータの仕様

	粗さ	ヒータ幅×長さ [mm]	定格出力 [kW]	質量 [kg]	フランジ部厚さ [mm]	抵抗値 [Ω]
EH-1	粗い	30×300	2	4.0	11	2.1
EH-2		10×300				4.5
EH-3		20×300				4.2
EH-4	細かい	30×300		1.5	5	3.9
EH-4 L	EH-4と同等	30×300				3.6

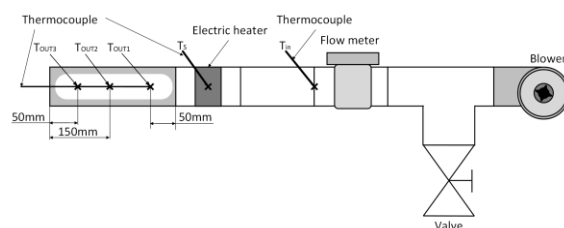


図 1 実験装置概略

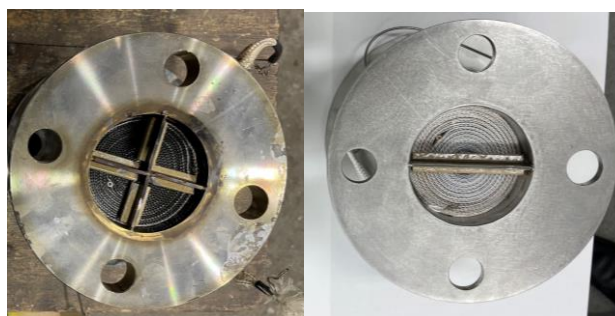


図 2 実験に使用した電気ヒータ
(左：EH-3, 右：EH-4L)

図2中の×印は、温度計測点を示している。温度計測は、燃焼室内の中心軸上で行った。計測点の位置は、燃焼室入り口のフランジ端面からの距離で示されている。

次に、実験手順を記述する。まず、ブロアを起動し、バルブにより主流空気流量を調節する。次にボルトスライダを操作し、電気ヒータの電圧と電流を測定し、ヒータ出力を求める。温度が安定したら再度空気流量を確認・調整し、熱電対を使用し、ヒータ上流側温度 T_{in} 、ヒータ表面温度 T_s 、通過後温度 T_{out} を測定し、PCリンク

型高性能レコーダで3分間記録を取る。バルブを操作し主流空気流量を下げながら実験をおこなった。

3. 実験結果および考察

電気ヒータ EH-3 と EH-4 L を用いて加熱実験を行うことにより、加熱部（電気ヒータ設置区間）からの熱損失が温度上昇幅に及ぼす影響を調べた。温度 T_{out1} の S 測定結果を図 3 に示す。電気ヒータ EH-4 L、出力 0.4 kW の条件では、ヒータ表面温度が高熱となり、ヒータ溶損の恐れがあったため主流空気流量 0.6 NL/s 以下の実験を行わなかった。実験結果より、電気ヒータ設置区間および取付フランジの熱容量を減少させ、流路内壁に断熱材を設置することにより流れの断熱性を高めた電気ヒータ EH-4 L を用いた場合、EH-3 を用いた場合に比較して、大きな温度上昇幅を示した。電気ヒータから主流空気への熱伝達量は流速の増大に伴って増大するが、流量の増大に伴って温度上昇幅は減少する。後者の影響のみであれば温度上昇幅は流量の逆数に比例することになるが、前者の影響があり、温度上昇幅は流量の⁻¹乗ほど減少はしていない。EH-3 においては、熱損失が大きいため流れの温度の不均一性が高いことが原因で単調な減少にならなかったと考えられる。EH-4 L では主流空気流量に対して温度上昇幅は単調に減少した。

電気ヒータ EH-4 L を用いて、ヒータ出力が主流空気流量と温度上昇幅の関係に及ぼす影響を調べた。結果を図 4 に示す。主流空気流量の増大に伴い、温度上昇幅は両ヒータ出力においても緩やかに減少した。主流空気流量全範囲において、ヒータ出力が大きい条件の方が温度上昇幅が大きかった。ただし、ヒータ出力が 2 倍になっても、温度上昇幅は 2 倍にはならなかった。ヒータ出力の増大に伴ってヒータ表面温度と主流空気温度の差が増大して電気ヒータから主流空気への熱伝達量は増大するが、同時に電気ヒータ部から外部への熱損失が急激に増大したことが原因と考えられる。

4. おわりに

従来使用していた電気ヒータと断熱処置を施した新型電気ヒータの比較実験をおこない、加熱部からの熱損失が空気の温度上昇幅に与える影響について調べる実験を行った。得られた知見を以下にまとめる。

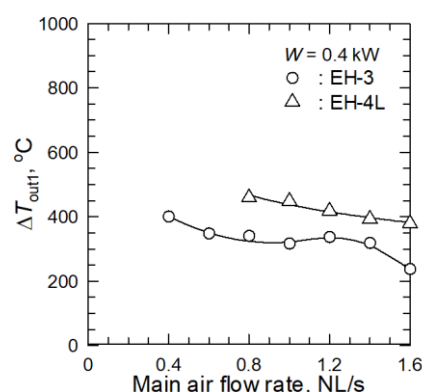


図 3 熱損失が温度上昇幅におよぼす影響

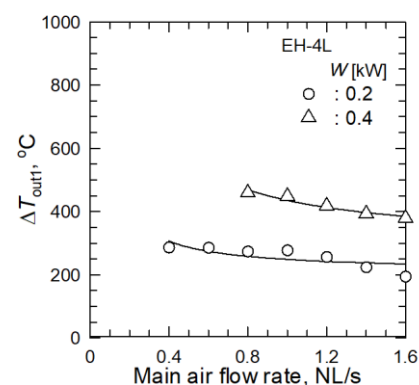


図 4 電気ヒータ出力が温度上昇幅におよ

- 1) 従来の電気ヒータと断熱処置を施した新型電気ヒータを比較した結果、新型電気ヒータの方が実験をおこなった全ての条件で温度上昇幅が大きくなった。電気ヒータ表面および空気流から流路壁への熱損失が抑制されたためだと考えられる。
- 2) 新型電気ヒータを用い、出力 0.2 と 0.4 kW の実験をおこなった。その結果、ヒータ出力が大きい条件の方が温度上昇幅は実験を行った全ての空気流量で大きかったが、2 倍以下の温度上昇幅だった。これは、ヒータ出力が増大すると熱損失量が急激に増大するためだと考えられる。

参考文献

- 1) 石井素, 自動車の排出ガス規制等の動向, マリンエンジニアリング, 47 巻 6 号 (2012) pp. 829-834.
- 2) 佐野穂高, 低温酸化反応を利用したディーゼル機関 NOx 後処理技術, 日本大学大学院生産工学研究科 2022 年度修士論文