

## 機関排気中 NO<sub>x</sub> 処理技術検討のための 低温酸化反応バーナの開発

日大生産工 (院) ○三阪 遥 日大生産工 野村 浩司 日大生産工 菅沼 祐介

### 1. 緒言

商用車などに搭載されているディーゼル機関は、燃料消費量や二酸化炭素の排出量がガソリン機関に比べて少ないという利点がある一方で、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) や粒子状物質 (PM) の排出量が多いのが欠点である。コモンレールシステムやEGR (Exhaust Gas Recirculation) システムなどディーゼル機関の改良によりその排出量を抑えることに成功している。しかしながら、さらなる環境負荷低減を社会から求められているのが現状である。この問題を解決するために排気後処理技術が必要となっている。NO<sub>x</sub> 低減技術として尿素SCR (Selective Catalytic Reduction) があるが、尿素タンクの大規模化や尿素的インフラ整備不足などの問題を抱えている。そこで我々はバーナで排出ガスを加熱し、PMを除去する方法や、HC-SCR (Hydrocarbon Selective Catalytic Reduction) のような軽油を使用したdeNO<sub>x</sub>技術に着目し、ディーゼル機関後処理システムの低コスト化およびメンテナンスフリー化を図るため、排気後処理用バーナについて研究を行ってきた。今回は、冷炎を連続的に発生させることが可能な冷炎バーナの開発を行い、低温酸化反応を利用したdeNO<sub>x</sub>の可能性を検討した。低温酸化反応で発生したガスの成分を分析した結果を本報で報告する。バーナで発生させたガスの成分分析を行った理由は、ガスの成分分析を行うことでバーナにおける低温酸化反応の状態を知ると共に、素反応計算の結果と比較を行うことで計測が困難な成分の濃度予測に役立つためである。

### 2. 実験装置および方法

図1に冷炎バーナの概略構造を示す。冷炎バーナは空気加熱室、燃料蒸発室、燃焼室の3つの空間により構成されている。空気加熱室は、酸化剤である空気の加熱を行う部分であり、空気とバーナとの設置面積を多くするために、溝

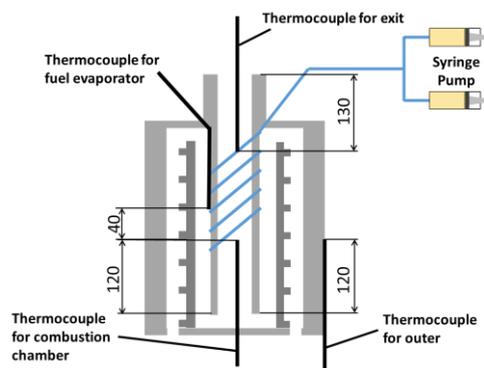


Fig.1 Schematic of cool flame burner

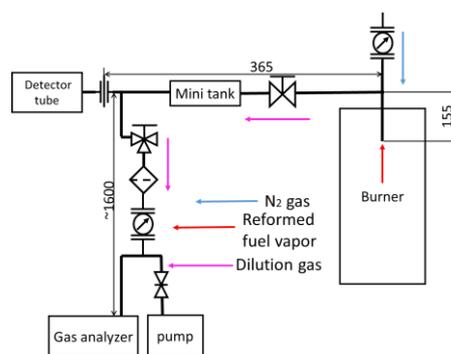


Fig.2 Piping diagram of the experimental apparatus.

が彫られている。燃料蒸発室は液体の状態でも供給される燃料を蒸発させ、空気との混合気を生成する部分である。燃料管は内側壁面に巻き付けてあり、ヒータからの熱だけではなく燃焼室で発生した冷炎の熱も蒸発に利用することができる。燃焼室は、低温酸化反応により燃料蒸気を改質させる空間である。

図2に実験で使用した実験装置の配管図を記す。バーナとミニタンクおよび計測機器間の配管は、流路における改質燃料の反応を防ぐため、可能な限り最短となるように作成し、水と燃料の液化を防止するために改質燃料採取管からミニタンクまでを約200℃に保温した。バーナ生成ガスの成分分析には、ガス検知管(ガス

Development of a low-temperature oxidation reaction burner to study on  
NO<sub>x</sub> post-treatment technology for engine exhaust gas

Haruka MISAKA, Hiroshi NOMURA and Yusuke SUGANUMA

テック社製91M, 92) とガス分析装置 (堀場社製PS300) を使用した. 計測装置の計測レンジと汚損を考慮し, バーナから導いた改質ガスを窒素で10倍に希釈した. 図3に改質燃料採取管の詳細を示す. バーナの出口の中心に1/4 インチの改質燃料採取管を設け, その中に1/8 インチのステンレス管を通した. ここに希釈用の窒素を供給し, 希釈を行った. この希釈用の窒素は室温で供給しており, 改質ガスの温度と濃度を急速に下げ, 反応の進行を抑制する役割も担っている.

燃料には, 素反応計算結果との比較を容易にするため, 正ヘキサデカンを用いた. 実験装置を立ち上げ, バーナに空気を流し, 暖機を行う. バーナに供給する燃料流量と空気流量から計算される当量比 (熱炎反応式で算出) を0.1, 0.2および0.3と変化させた. 配管の健全性確認のため, ポンプ流量に対して多めの窒素を配管内に流し, 酸素濃度の計測を行う. 0 vol%付近であれば漏れがないと判断し, 希釈倍率が10倍になるように窒素流量を調節する. バーナの各部温度の記録を開始する. バーナに燃料を投入し, 実験温度なるまで暖機を行う. バーナ燃焼室温度を計測する熱電対が実験温度を示して安定した後, ガス分析装置に希釈改質ガスを導き, ホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの濃度計測を行った. その後, 検知管での計測を行う場合は, 検知管用気体採取器を配管に接続し, デットスペースを希釈改質ガスで満たし, ガス分析装置の計測数値が安定したら配管中の2つの弁を閉じてミニタンク内に希釈改質ガスを封入した. 希釈窒素を止め, 検知管を用いてミニタンクに封入した希釈改質ガスのホルムアルデヒド濃度計測を行った. 各当量比について, バーナ出口温度を350~450°Cの範囲で変化させながら, 上記手順を10回繰り返し, データを取得した.

### 3. 実験結果

図4に, バーナ燃焼室温度が生成物質濃度に及ぼす影響を調べた結果をCHEMKINによる素反応計算結果と比較して示す. 当量比は0.1に固定している. 空気および燃料流量とバーナ燃焼室温度から計算される燃料蒸気の燃焼室内対流時間はおおよそ0.5 sである. 素反応値計算結果は反応開始から0.5 s後の値を示している. 図4(a) にホルムアルデヒド濃度, (b) にアセトアルデヒド濃度, (c) に一酸化炭素濃度を示している. ホルムアルデヒドおよびアセトアルデヒド濃度は検知管で, 一酸化炭素濃度はガス

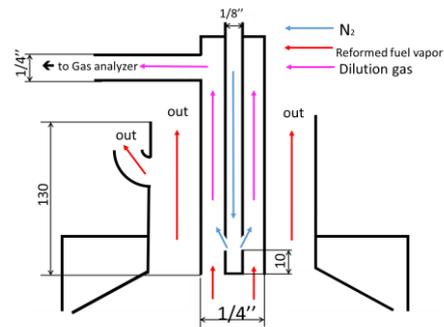
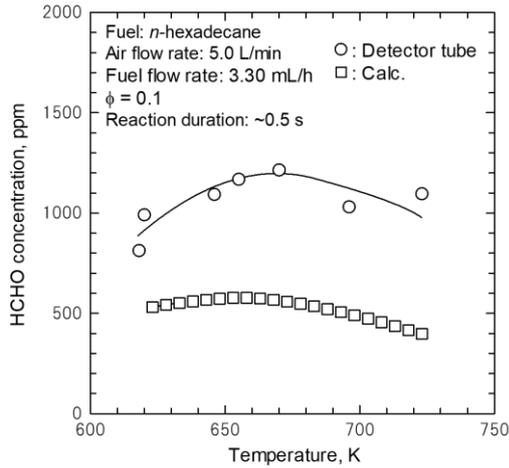


Fig.3 Details of a gas sampling pipe at the burner exit.

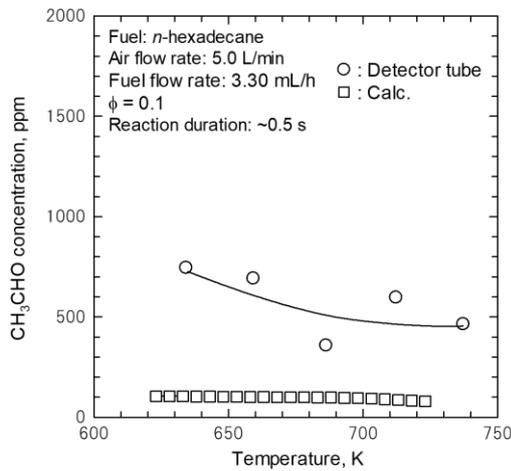
分析装置で計測した. 図4 (a) のホルムアルデヒド濃度については, 計測結果と計算結果がともに673 K付近でピークを示し, 反応場温度とホルムアルデヒド濃度の関係が同じ傾向を示していることかわかる. 検知管での濃度計測結果が計算結果より大きくなったのは, 干渉ガスの影響だと考えられる. ホルムアルデヒドを測定するための検知管の干渉ガスとしてアセトアルデヒドやアクロレインなどのアルデヒド類が挙げられる. これはホルムアルデヒドの濃度の1/6倍以上の濃度が共存していた場合, 検知管が反応し, 本来よりも大きい値での計測結果が表示されてしまう. 図5 (b)を見ると, 同温度条件におけるアセトアルデヒドの濃度はホルムアルデヒドの濃度の1/6倍以上の濃度を示している. よって, 実際のホルムアルデヒド濃度は測定結果よりも低い値であると考えられる. しかしながら, 今回の測定において干渉ガスとなっているものの多くは $deNO_x$ 効果が期待されている物質であるとされている. そのため, 燃料改質ガスに含まれている $deNO_x$ 効果を示す物質の濃度に及ぼす反応場温度の影響は, 定性的に得られたと考えている.

図4 (b)のアセトアルデヒド濃度の計測結果より, 計測結果が素反応計算結果を大きく上回っていることがわかる. バーナ燃焼室温度の上昇に対して, 計算結果はほぼ一定の値を示しているが, 計測結果は減少する傾向を示している. 検知管による計測結果が計算結果より大きくなっている理由は, ホルムアルデヒド濃度の場合と同様であると考えられる.

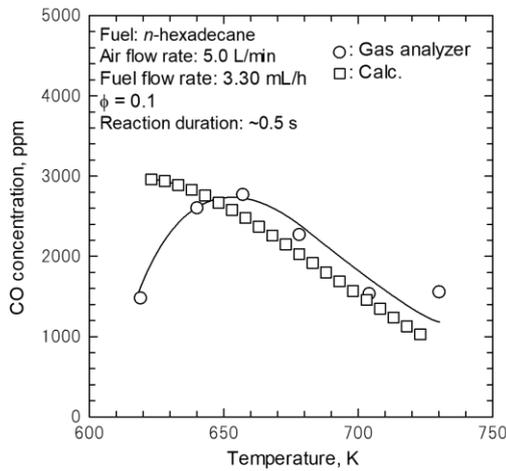
図4 (c)の一酸化炭素濃度の計測結果より, 素反応計算結果とガス分析装置による計測結果は低温側を除いて, 定量的にほぼ一致していることがわかる. 低温側の値が計算結果よりも低い値を示しているのは, 低温酸化反応が起こる限界温度付近であることが原因と考えられる. バーナ燃焼室内には温度分布が存在してい



(a)



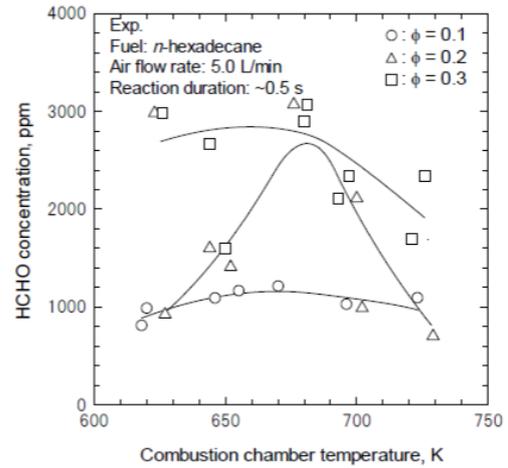
(b)



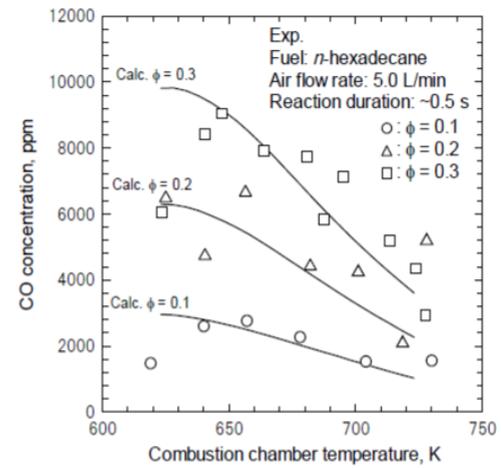
(c)

Fig.4 Effect of combustion chamber temperature on concentrations of (a) HCHO, (b) CH<sub>3</sub>CHO, and (c) CO in reformed fuel vapors.

る。バーナ燃焼室代表温度として、燃焼室入り口から下流120 mmの位置(図1参照)の温度を用いている。温度計測点より上流は温度計測点



(a)



(b)

Fig.5 Effect of equivalence ratio on the relationship of combustion chamber temperature and concentrations of (a) HCHO and (b) CO in reformed fuel vapor

温度より低いことがわかっているので、燃焼室入り口付近では低温酸化反応が進行せず、一酸化炭素濃度が計算結果より小さくなったと考えられる。

当量比がバーナ燃焼室温度と生成物質濃度の関係に及ぼす影響を調べた結果を図5に示す。当量比を副変数にしている。図5(a)に検知管で計測したホルムアルデヒド濃度、(b)にガス分析装置を用いて計測した一酸化炭素濃度と素反応計算結果を示している。両グラフにおいて、当量比0.2の条件の濃度測定結果は、大きくばらついていることがわかる。原因は今のところ不明であるが、バーナ燃焼室内の温度分布か流速分布が当量比0.2の発熱量に対して不安定である可能性を考えている。今後、燃焼室内の温度分布を時系列的に計測する予定である。

図5(a) のホルムアルデヒド濃度計測結果より、当量比0.1, 0.3において、673K付近での生成物質濃度が最大を示していることから、低温酸化反応がその温度において活発に行われていることがわかる。当量比0.3の条件における最大ホルムアルデヒド濃度は、当量比0.1の条件のそれに比べて3倍を下回っている。よって、燃料がホルムアルデヒドに変換される割合は、当量比0.1の条件の方が高いことがわかる。

図5(b) の一酸化炭素濃度計測結果より、当量比0.1, 0.3では低温側において生成濃度が素反応計算結果に比べて低い値を示しているが、素反応計算結果と濃度測定結果が概ね良い一致を示していることがわかる。素反応計算は、反応場の温度・成分濃度が均一でかつ温度は一定である条件で行った。しかしながら、実験で使用しているバーナの反応場には温度分布および濃度分布が存在しており、流れもあるので、混合気の温度は時間と伴に変化する。バーナ内で起こっている低温酸化反応を均一場の素反応計算で模擬できているかどうかの判断は、一酸化炭素濃度の測定結果を計算結果と比較することで可能であると考えられる。

#### 4. 結言

低温酸化反応を連続的に発生させるバーナの製作を行い、正ヘキサデカンの低温酸化反応で発生した改質燃料ガスの成分濃度を計測した。以下に得られた知見を列挙する。

- (1) 当量比の増大に伴って生成物質濃度が高くなった。
- (2) 当量比0.2において濃度の変化が激しく、ばらつきがあった。これにより本バーナにおいて当量比0.2では安定した運転ができないことがわかった。
- (3) 当量比0.1の条件についてホルムアルデヒド濃度について素反応計算結果と検知管計測結果の比較を行った結果、計測結果は計算結果よりも値が大きかったが、定性的な一致は観られた。当量比0.1の条件と当量比0.3の条件の計測結果を比較すると、正ヘキサデカンのホルムアルデヒドへの変換率は当量比0.1の条件の方が大きかった。
- (4) 当量比0.1の条件についてアセトアルデヒド濃度について素反応計算結果と検知管計測結果の比較を行った結果、計測結果が素反応計算結果を大きく上回ることがわかった。バーナ燃焼室温度の上昇に対して、

計算結果はほぼ一定の値を示したが、計測結果は減少する傾向を示した。

- (5) 一酸化炭素濃度計測結果を素反応計算結果と比較した結果、燃焼室温度が640℃以上の条件で概ね定量的に良い一致が見られた。

#### 参考文献

- 1) 古野志健男 古田晃利, ディーゼルエンジン燃焼の課題と今後, 日本燃焼学会誌 第51巻 155号(2009) pp23-30
- 2) 村田豊 得意貞仁他 5名共著, 尿素 SCR システムの NO<sub>x</sub> 浄化率向上に関する研究 (第1報)-NH<sub>3</sub> 吸着量制御のコンセプトと過渡運転への適用-, 自動車技術会論文集, 第39巻, 第5号, (2008)
- 3) ガステック株式会社 ガス成分検知管 ホルムアルデヒド No 91M 取扱説明書
- 4) ガステック株式会社 ガス成分検知管 アセトアルデヒド No 92 取扱説明書