

## ⑨ NO<sub>x</sub> センサベースの車載計測器を用いた重量貨物車の排出ガス診断方法の検討

環境研究領域 ※山本 敏朗 鈴木 央一 水嶋 教文

### 1. まえがき

ディーゼル重量車のNO<sub>x</sub>低減技術として、尿素SCR (Selective Catalytic Reduction: 選択的触媒還元) システムは、新長期規制適合車から一部の車種に導入され、ポスト新長期規制適合車では同システムが主流となっている。このような状況の中、平成22年度および23年度の環境省の調査において、新長期規制適合の尿素SCRシステム搭載車のNO<sub>x</sub>排出量が、耐久走行距離未満であっても、新車の型式認証時に適用される規制値を大幅に超過する事例が確認され、平成24年3月の環境省自動車排出ガス専門委員会において、未燃HC等による触媒の被毒または触媒の性能低下が原因として考えられると報告された<sup>1)</sup>。このことから、現在、排出ガス低減装置の使用過程での性能維持が重要課題となっている。

ディーゼル重量車の使用過程での性能維持方策としては、断線等による排出ガス低減装置の機能不良を監視する車載式故障診断 (On-Board Diagnostic: OBD) システムの導入が平成10年の環境省中央環境審議会第三次答申で提言され、平成15年の新短期排出ガス規制から装備が義務付けられている。平成22年の中央環境審議会第十次答申では、各種センサ等により排出ガス低減装置の性能低下等を検出する、より高度なOBDシステムの装備が求められており、平成30年からの導入が見込まれている。

本研究では、この高度なOBDシステムを検討するに当たり、従来のOBDとは異なる考え方を導入することとした。従来のOBDの診断対象は個々の排出ガス低減装置であるが、本研究のOBDでは、テールパイプの排出ガスを診断の対象とした。環境条件、走行条件等が変化する路上走行時に、適切に排出ガス状態を診断しその悪化を検知して対策できれば、エミッションの増加を抑制できると考える。また、従来のOBDでは対象としなかったいくつかの排出ガス低減装置の故障

が重なることによりハイエミッションとなる複合的な故障にも対応可能となり、さらにエミッションの増加を測定によって直接捉えることからより正確なOBDシステムを構築できる可能性がある。本報では、第1段階として、NO<sub>x</sub>センサベースの車載計測器 (Sensor-based Emission Measurement System: SEMS) をテールパイプに接続してNO<sub>x</sub>およびCO<sub>2</sub>排出量を算出し、CO<sub>2</sub>1kg当たりのNO<sub>x</sub>排出量 (g) を、「NO<sub>x</sub>排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>)」と定義して求め、これを用いて路上走行時のNO<sub>x</sub>浄化性能を診断する方法を検討した。

### 2. 研究方法

テールパイプに接続したNO<sub>x</sub>センサベースのSEMSによって、走行時のNO<sub>x</sub>浄化性能をモニターできるかどうかを検討するため、中型貨物車に上記のSEMSを装着して、シャシダイナモメータによるJE05モードおよびECE改変モード (欧州試験モードを基にEUDCの最高速度を90km/hに変更したモード) 試験、さらに都内一般道路における路上走行試験を実施した。試験に用いたSEMSは、瞬時排出ガス流量を計測するためのピトー管式排出ガス流量計とジルコニア (ZrO<sub>2</sub>) 式NO<sub>x</sub>センサ (日本ガイシ製) から構成され、同センサによりNO<sub>x</sub>濃度、O<sub>2</sub>濃度および空燃比を計測した。また、CO<sub>2</sub>濃度は、前報<sup>2)</sup>で報告したように、NO<sub>x</sub>センサから出力されるO<sub>2</sub>濃度を用いて算出した。

テールパイプでのNO<sub>x</sub>排出状態を用いて診断するNO<sub>x</sub>浄化性能の診断方法は、NO<sub>x</sub>低減装置の故障時を含めた考察が必要なことから、使用過程において尿素SCRシステムに不具合が認められた大型貨物車のJE05モードに関する試験データの解析により検討した。同データ取得のための試験は、「シャシダイナモメータによるJE05モード排出ガス測定方法 (国自環第280号)」に準拠して実施され、排出ガスの規制成分は定置式排出ガス分析計 (堀場製作所MEXA7000) で測定している。なお、対象とした尿素SCRシステムは、排気

系上流より順に、前段酸化触媒 (Diesel Oxidation Catalyst :DOC)、尿素水添加装置、SCR 触媒、後段 DOC で構成されている。

### 3. 実験結果および考察

#### 3. 1. テールパイプでの排出ガス温度および NOx 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) を用いた NOx 浄化性能のモニター

ディーゼル車に搭載される EGR (Exhaust Gas Recirculation : 排気ガス再循環) 装置や尿素 SCR システムの NOx 浄化性能は、エンジン冷却水温度、排出ガス温度等に影響される。路上走行時において大気温度や湿度の不規則な変化は、エンジンの燃焼温度等を変動させ、エンジン冷却水温度や排出ガス温度等にも影響を及ぼすことが考えられる。また、渋滞時の低負荷運転状態では、排出ガス温度が低下して SCR 触媒温度が活性温度以下となり、NOx 浄化性能が不安定になることが予測される。これらのことから、路上走行時の NOx 排出性能を評価するには、エンジン冷却水温度、排出ガス温度、触媒温度等によって、排出ガス低減装置の浄化性能をモニターして、同装置の機能状態を把握することが重要であると考えられる。NOx 浄化性能モニターの一例として、図 1 に、SEMS のピトー管式排出ガス流量計の流量補正用温度センサによって測定したテールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) の関係を示す。NOx 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) は、排気管から排出される CO<sub>2</sub> 1 kg 当たりの NOx 排出量 (g) として定義される NOx 排出量の評価指標である。路上走行試験では、排出量の算出に必要な瞬時排出ガス流量を高精度に測定することは困難であるが、上記の指標では、同一の瞬時排出ガス流量で分母と分子を算出するため、瞬時排出ガス流量の測定誤差が相殺されて、排出ガス流量の測定精度の影響を受けにくい利点がある。

図 1 は、車両総重量 6.6t の中型貨物車 (ポスト新長期規制適合、NOx 対策 : EGR 装置) に関する JE05 モードコールドスタート (JE05C) 試験および ECE 改変モードホットスタート試験 (ECE-H)、さらに SEMS を用いた路上走行試験 (東京都道 14 号の交通安全環境研究所付近から小金井南中西交差点付近までの往復走行) のデータを用いて、0.1 秒間隔で 60 秒間の移動平均値を算出してプロットした結果である。JE05C 試験では、NOx 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) がテールパイプでの排出ガス温度 120°C 近傍で急激に減少していることから、この温度域から EGR 装置が機能していることが推

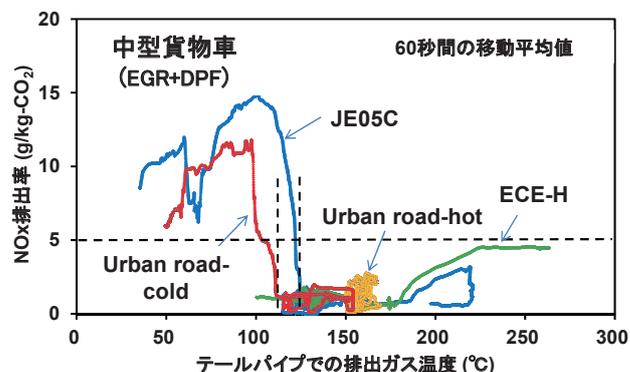


図 1. テールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) の関係

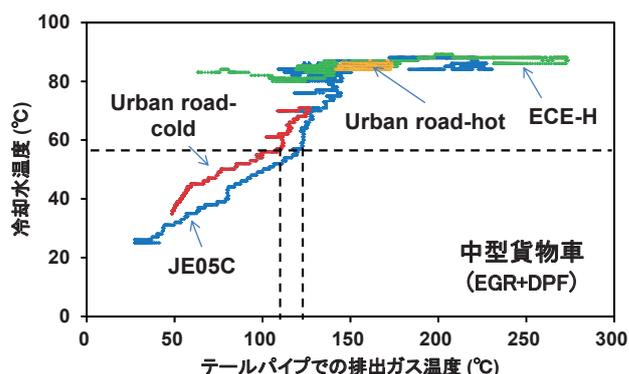


図 2. テールパイプでの排出ガス温度と冷却水温度の関係

測される。また、路上走行でも暖機状態であれば NOx 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) は JE05 走行時程度に低く抑えられて NOx 浄化性能が十分に発揮されていることがわかる。一方、コールドスタートの路上走行 (Urban road-cold) では、NOx 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) が激減する排出ガス温度が 110°C 近傍と JE05C よりも 10°C ほど低温側にシフトしている。この理由を考察するため、図 2 にテールパイプでの排出ガス温度とエンジン冷却水温度の関係を示す。同図より、JE05C、Urban road-cold とともに、図 1 で NOx 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) が激減するとき、即ち、EGR 装置が機能するときのエンジン冷却水温度は 57°C 近傍で同一であることがわかる。また、両者のエンジン冷却水温度の昇温速度は異なり、路上走行時の方が速いことがわかる。これが原因となって、NOx 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) が激減する、即ち、EGR 装置が機能するときの両者のテールパイプでの排出ガス温度に違いが生じたものと考えられる。

以上より、予め、JE05C 等の走行モードにおけるテールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) の関係を把握しておくことにより、路上走行時のテールパイプでの排出ガス温度の変化等から EGR 装置等の NOx 浄化性能のモニターが可能であると考えられる。

### 3. 2. 排出ガス温度と NOx 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) の関係を用いた尿素 SCR システムの劣化診断

テールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) の関係から走行時の NOx 浄化性能をモニターすることにより、尿素 SCR システムの劣化診断が可能かどうかを明らかにするために、実際に尿素 SCR システムが劣化した大型貨物車のシャシダイナモメータ試験のデータを用いて検証した。診断対象の車両は、車両総重量 25t の大型貨物車 (新長期規制適合、NOx 対策：尿素 SCR) であり、21 万 km 走行時に排出ガス性能試験を実施して、NOx 排出量の増加が確認された。この原因として、SCR 触媒の HC 被毒による劣化<sup>3)</sup> が推測されたことから、SCR 触媒に付着した HC を除去する目的で、触媒出口ガス温度が 430℃程度となる定常高負荷運転 (定格の 80%回転数、80%負荷率) を実施 (以下、「触媒焼き出し」という) して NOx 浄化性能の回復を図った。この触媒焼き出し後、さらに、前段 DOC のみを新品に交換した場合および全ての触媒を新品に交換した場合において、排出ガス性能試験を実施した。これら一連の試験データは、尿素 SCR システムの種々の劣化状態における NOx 排出量を示すものであることから、本報で提案する尿素 SCR システムの劣化診断方法の検討に用いることとした。

上記の劣化状態、触媒焼き出し状態、焼き出し後に

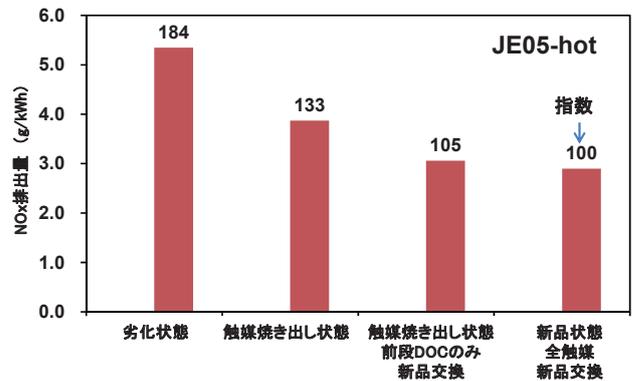


図 3. 尿素 SCR システムの種々の劣化状態における NOx 排出量

前段 DOC のみ新品に交換した場合、および全ての触媒を新品に交換した場合における、JE05 モードホットスタート試験での NOx 排出量を図 3 に示す。同図より、尿素 SCR システムの劣化によって新品状態の 1.8 倍の NOx 排出量となっていることがわかる。また、触媒の焼き出しによって NOx 浄化性能はある程度回復するが十分ではなく、その要因が前段 DOC の劣化であることが推察される。触媒の焼き出しによって SCR 触媒は回復するものの、前段 DOC の回復は十分でないことがわかる。

次に、この使用過程の大型貨物車の一連のデータを使って、尿素 SCR システムの種々の劣化状態がテールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) の

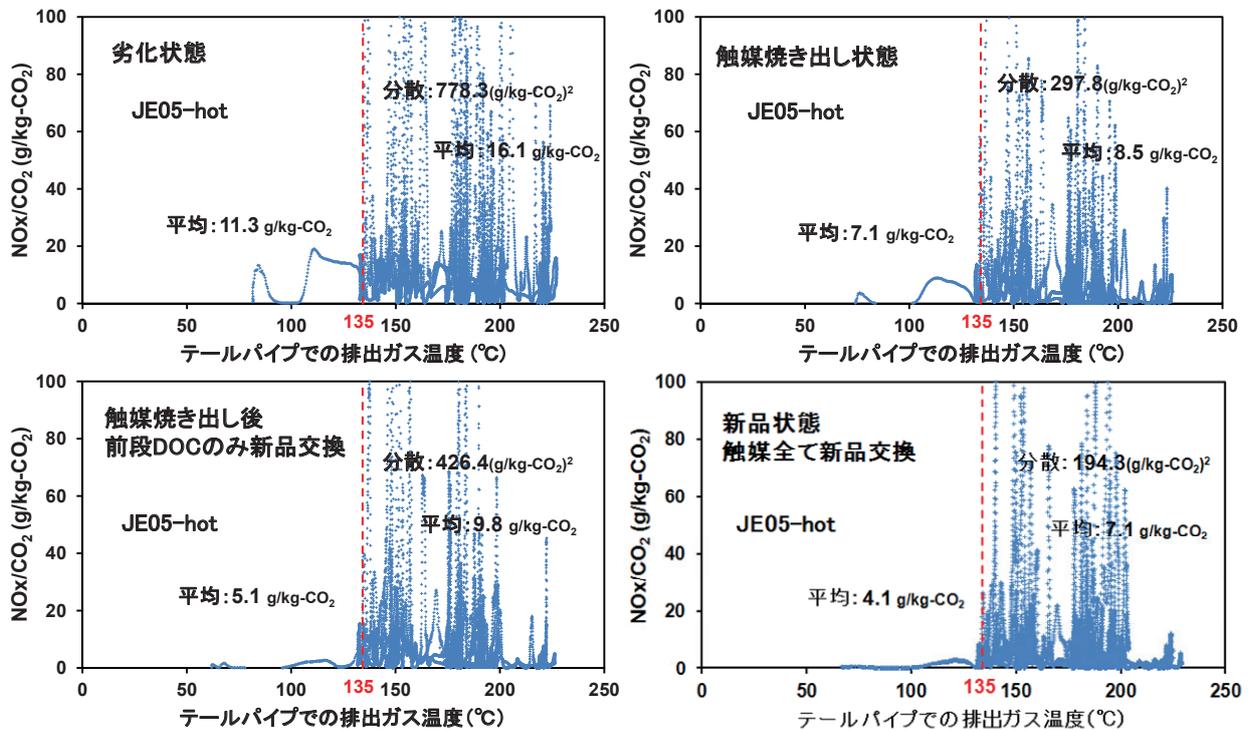


図 4. 尿素 SCR システムの種々の劣化状態がテールパイプでの排出ガス温度と NOx 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) の関係に及ぼす影響

関係に及ぼす影響について解析した。各データは、暖機状態での JE05 モード試験によって取得した。テールパイプでの排出ガス温度は、テールパイプ直後に取り付けた熱電対による計測データを用いた。また、NO<sub>x</sub> 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) は、定置式排出ガス分析計と希釈ガスサンプリング装置によって NO<sub>x</sub> 排出量と CO<sub>2</sub> 排出量を算出し、前者を後者で除算して求めた。これらの結果を、図 4 に示す。同図は、劣化状態、触媒焼き出し状態、触媒焼き出し後に前段 DOC のみ新品に交換した場合、および全ての触媒を新品に交換した場合のそれぞれについて、テールパイプでの排出ガス温度と NO<sub>x</sub> 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) の関係を示している。いずれにおいても、排出ガス温度 135°C 近傍を境に NO<sub>x</sub> 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) が急変していることがわかる。このことから、135°C 未満と以上に分けて平均値あるいは分散値を算出して図中に記した。135°C 未満の NO<sub>x</sub> 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) に着目すると、触媒の焼き出しでは新品状態と同等にはならないが、前段 DOC のみ新品と交換することによって同等となる (平均値が、新品状態 4.1g/kg-CO<sub>2</sub> に対して、触媒焼き出し 7.1g/kg-CO<sub>2</sub>、触媒焼き出し後前段 DOC のみ交換 5.1g/kg-CO<sub>2</sub>)。このことから、この温度領域では前段 DOC による NO<sub>2</sub> の生成が NO<sub>x</sub> 浄化性能に大きく影響していることがわかる。即ち、135°C 未満のような低温度領域の NO<sub>x</sub> 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) を観測することによって前段 DOC の劣化診断ができる可能性がある。また、排出ガス温度 135°C 以上の領域に着目すると、尿素 SCR システムの劣化によって増加した NO<sub>x</sub> 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) は、触媒の焼き出しによって新品状態のレベルまで減少し、NO<sub>x</sub> 浄化性能が回復していることが読み取れる (平均値が、新品状態 7.1g/kg-CO<sub>2</sub> に対して、劣化状態 16.1g/kg-CO<sub>2</sub>、触媒焼き出し状態 8.5g/kg-CO<sub>2</sub>)。即ち、135°C 以上のような中温度領域以上の NO<sub>x</sub> 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) を観測することによって、尿素 SCR システムの劣化診断が可能であると考えられる。

#### 4. 今後の展開

本報では、NO<sub>x</sub> センサベースの SEMS を用いて簡便に取得できるテールパイプでの排出ガス温度と NO<sub>x</sub> 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) の関係を、NO<sub>x</sub> 浄化性能の診断に応用できることを示した。ただし、尿素 SCR システムの故障時あるいは劣化時に懸念される NH<sub>3</sub> スリップ量の増加に関して触れていない。供試の ZrO<sub>2</sub> 式 NO<sub>x</sub> センサは、NO<sub>x</sub> のみならず NH<sub>3</sub> も検出できることから、今後、こ

の特性を生かした尿素 SCR システムの劣化診断について検討する予定である。

#### 5. まとめ

NO<sub>x</sub> センサベースの車載計測器 (SEMS : Sensor-based Emission Measurement System) をテールパイプに接続して NO<sub>x</sub> および CO<sub>2</sub> 排出量を算出し、CO<sub>2</sub>1kg 当たりの NO<sub>x</sub> 排出量 (g) を、「NO<sub>x</sub> 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>)」と定義して求め、これを用いて路上走行時の NO<sub>x</sub> 浄化性能を診断する方法を検討した。その結果、以下の点が明らかとなった。

(1) 予め、JE05 等のモード走行時におけるテールパイプでの排出ガス温度と NO<sub>x</sub> 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) の関係を把握しておき、その情報に路上走行時のテールパイプでの排出ガス温度等の測定値をあてはめることにより、路上走行時において EGR 装置等の NO<sub>x</sub> 浄化性能をモニターする方法を示した。

(2) テールパイプでの排出ガス温度と NO<sub>x</sub> 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) の関係をモニターすることにより、尿素 SCR システムの劣化診断が可能かどうかについて、実際に同システムが劣化した大型貨物車のシャシダイナモメータ試験のデータを用いて検証したところ、テールパイプでの排出ガス温度が低温度領域 (例えば、135°C 未満) の NO<sub>x</sub> 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) を観測することにより、前段 DOC の劣化診断が可能であるとともに、テールパイプでの排出ガス温度が中温度領域以上 (例えば、135°C 以上) の NO<sub>x</sub> 排出率 (g/kg-CO<sub>2</sub>) を観測することにより、尿素 SCR システムの劣化診断が可能であるとの見通しを得た。

#### 参考文献

- 1) 環境省：中央環境審議会大気環境部会自動車排出ガス専門委員会 (第 49 回) 資料 49-4 NO<sub>x</sub> 後処理装置の耐久性・信頼性確保のための措置，(2012. 3. 14)  
<http://www.env.go.jp/council/former2013/07air/y071-49/mat04.pdf>，(参照 2015. 8. 5)
- 2) 山本敏朗，水嶋教文，渡辺敬太郎：NO<sub>x</sub> センサベースの車載計測器による路上走行時における重量貨物車の NO<sub>x</sub> 排出量評価，平成 26 年度交通安全環境研究所フォーラム 2014 講演概要，pp. 85-88 (2014)
- 3) 鈴木央一ほか：尿素 SCR 車の規制および未規制成分の排出特性解析，自動車技術会論文集 Vol. 39, No. 6, pp. 161-166 (2008)