

① ディーゼル貨物車の NOx 浄化装置である尿素 SCR 触媒の使用過程における性能把握に関する研究

環境研究部

※山本 敏朗

1. まえがき

地球温暖化対策として、自動車の電動化が注目されている。しかしながら、大型重量貨物車の電動化においては、現状レベルの積載重量及び輸送距離を維持することが難しいことから、短期間での電動車等への転換は困難であると考えられる。このことから、高効率ディーゼルエンジンの開発は継続され、その際には排出ガス中の窒素酸化物 (NOx) 低減対策が必須となる。現在 NOx 低減技術の主流は尿素水を還元剤とした NOx 選択還元触媒システム (尿素 SCR システム) である。尿素 SCR システムとは、排気管に噴射した尿素水の熱分解及び加水分解により生じるアンモニア (NH₃) を還元剤として、排出ガス中の NOx を還元して窒素 (N₂) と水 (H₂O) に分解する選択式還元触媒 (SCR 触媒) 等により構成される触媒システムである。尿素 SCR 触媒は、数種類存在するが、エンジン始動時の低温活性が高い銅 (Cu) 系ゼオライト触媒が現在の主流である。触媒は、積算走行距離の増加に伴い性能劣化することが避けられないため、長距離走行後の排出ガス浄化性能確保の重要性が増している。現在、重量車の積算走行距離は 100 万 km 超となる場合もあるものの、尿素 SCR 触媒の使用過程での性能変化等に関する知見が少ない。このことから、本研究では、尿素 SCR 触媒の使用過程での NOx 浄化性能の把握を目的として、運送事業用の平成 28 年排出ガス規制適合のディーゼル貨物車に、NOx センサ、NH₃ センサ等の排気管直挿型センサで構成される車載型排出ガス分析装置 (SEMS: Sensor-based Emissions Measurement System)¹⁾等を装着し、同車両搭載の尿素 SCR 触媒 (Cu 系ゼオライト触媒) の NOx 浄化性能の変化を、シャシダイナモメータ試験及び実路走行試験により、6 年間に渡って継続的に調査を行っている。調査に当たっては、シャシダイナモメータ試験により NOx 浄化性能に影響を及ぼす要因について分析し、実路走行試験ではその要因に着目することにより、使用過程において SCR 触媒の NOx 浄化性

能の変化を把握することが可能かどうかを探った。本報では、積算走行距離の増加を伴う使用過程において触媒浄化性能に影響を及ぼす要因について報告する。

2. 実験方法

尿素 SCR 触媒における NOx 浄化性能の調査には、運送事業者所有の中型貨物車 (平成 28 年規制適合、車両総重量 7.8t、EGR 及び尿素 SCR システム搭載、積算走行距離 126,000km~369,000km) を用いた。同車両に、NOx センサ (限界電流型 ZrO₂ センサ)、NH₃ センサ (混成電位型 ZrO₂ センサ)、排気温度センサ等で構成される SEMS を装着し、通常運送業務の中で、NOx 濃度、NH₃ 濃度、排出ガス温度、走行条件等のデータを収集した。尿素 SCR 触媒の NOx 浄化性能の評価には、「NOx 浄化率」、「空間速度」等を用いた。NOx 浄化率は、SCR 触媒の前後の NOx 濃度値あるいは NOx 質量値から、触媒で低減された NOx の割合として求めた。空間速度は SCR 触媒に流入する排出ガス流量を触媒容積で除算し、触媒での反応時間を規定する指標として用いた。なお、SCR 触媒前の NOx 濃度データは、触媒の上流側の排気管に取り付けられた尿素水噴射制御用 NOx センサの信号から取得した。

3. 実験結果及び考察

試験車を用いてシャシダイナモメータ試験を行い WHVC モード及び JE05 モード走行時の排出ガスデータ等を収集し、尿素 SCR 触媒の NOx 浄化性能を解析した。同触媒の NOx 浄化性能を把握するために、濃度ベースと質量ベースの NOx 浄化率を定義して用いた。前者は SCR 触媒に流入する排出ガス中の NOx 濃度 (ppm) と SCR 触媒から流出する排出ガス中の NOx 濃度 (ppm) の差分を SCR 触媒に流入する排出ガス中の NOx 濃度で除算して SCR 触媒で低減する NOx 濃度の比率として算出し、後者は走行時のある指定した区間における SCR 触媒前後での NOx 量 (g) の差分を SCR 触媒に流入す

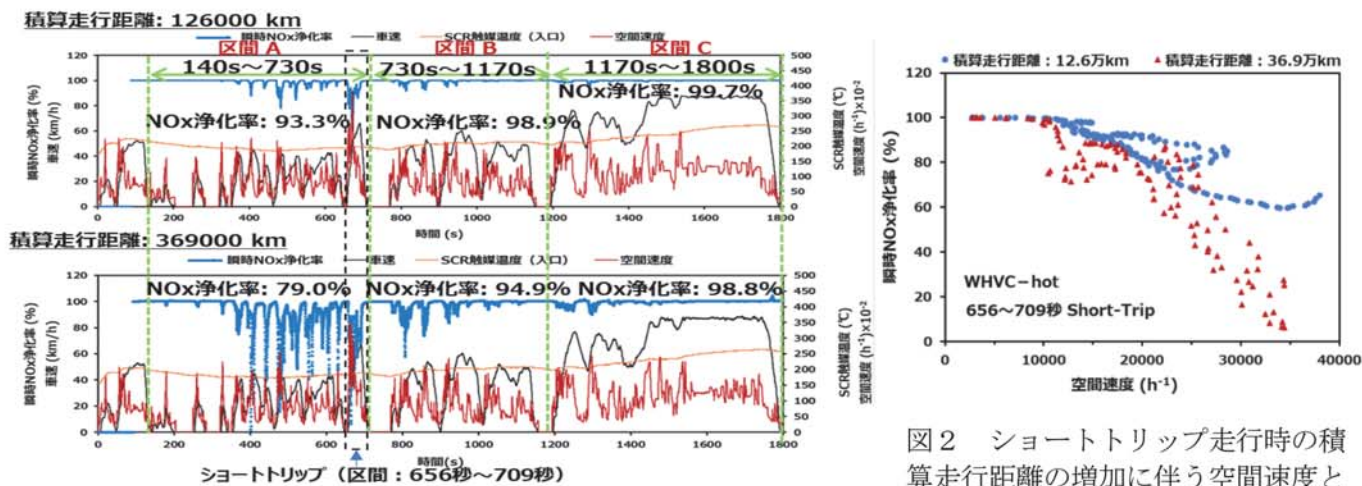


図1 WHVCモードホットスタート時の積算走行距離の増加に伴うNOx浄化率の変化

る排出ガス中のNOx量で除算してNOx低減質量比として算出した。触媒前後のNOx濃度からNOx浄化率を算出する場合、瞬時に排出ガス流量が変化するため、触媒前NOx濃度測定ポイント（尿素水噴射制御用NOxセンサ取付け位置）と触媒後NOx濃度測定ポイント（排出ガス分析計のガスサンプリングポイント）の間のNOx濃度信号の遅れ時間は常に変動している。一般にNOx濃度ベースの浄化率は、濃度がそのまま質量に比例する定常状態のガス流に限定される。しかしながら触媒の劣化等による性能変化は、加速域のような過渡運転条件下で現れる可能性が高いため、本研究では瞬時のNOx浄化性能を把握することが有用であると考えた。そこで、触媒前後での濃度変動の山及び谷を一致させるように補正した上で浄化率を求めることにより、濃度ベースのNOx浄化率を触媒性能解析の指標の1つとして用いることとした。以下、この濃度ベースのNOx浄化率を「瞬時NOx浄化率」と記す。

図1に、試験車が積算走行距離12.6万km及び36.9万km時に、WHVCモードのホットスタート試験で走行したときのNOx浄化率の変化及び空間速度の変化を並べて示す。図中には、SCR触媒前後のNOx濃度から算出した瞬時NOx浄化率と尿素SCR触媒の空間速度をプロットし、さらに、走行モードの指定した区間でのNOx低減質量比として算出した質量ベースのNOx浄化率の値を記している。ここで、走行モードの指定した区間として、区間A：140秒～730秒、区間B：730秒～1170秒、区間C：1170秒～1800秒の3区間を選択した。それぞれの区間の特徴は、区間Aは急加速を含む加減速走行、区間Bは比較的緩やかな加減速走行、区間Cは加減速の少ない高速走行である。同図より、

区間A及び区間Bにおいて、積算走行距離の増加に伴いNOx浄化率が低下していることがわかる。また、区間AでNOx浄化率の低下が著しく、一方、区間CではNOx浄化率の低下が緩やかであることがわかる。さらに、両区間の瞬時NOx浄化率及び空間速度の変化を比較すると、瞬時NOx浄化率の低下は空間速度が急激に増加する加速域で生じていることがわかる。そして、瞬時NOx浄化率は積算走行距離の増加に伴ってより低下し、NOx浄化性能の低下が進行していることが推察される。このことを確認するために、図1の区間Aに在る急加速を含むショートトリップ（区間：656秒～709秒）における瞬時NOx浄化率と空間速度の関係を調べた。その結果を図2に示す。プロットの分布の変化から、空間速度の増加により瞬時NOx浄化率は低下し、そして積算走行距離の増加に伴いその低下傾向はより進行していることがわかる。

図2 ショートトリップ走行時の積算走行距離の増加に伴う空間速度と瞬時NOx浄化率の関係

4. まとめ

調査試験の結果から、積算走行距離の増加に伴う尿素SCR触媒のNOx浄化性能の変化は、濃度ベース及び質量ベースのNOx浄化率、空間速度等の指標を用いて評価できる可能性があり、その性能変化は、空間速度の高い加速域ほど現れやすいことがわかった。

参考文献

- 1) 山本敏朗, 堤 玲子, 水嶋教文, 渡辺敬太郎, “NOx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NOx排出量評価”, 自動車技術会論文集, Vol.46, No.5, pp.975-980 (2015)