

④ 重量貨物車のディーゼル微粒子捕集フィルター（DPF）再生時における排出ガス挙動等の把握

環境研究部

※山本 敏朗

鈴木 央一

柴崎 勇一

1. まえがき

ディーゼル車の排出ガス対策において、有害成分のPM（粒子状物質）を捕集して除去するDPF（ディーゼル微粒子捕集フィルター）は、必要不可欠である。DPFの捕集効率は高くPM除去に有効であるが、捕集されたPMはDPF細孔内に堆積するため、目詰まり防止策としてPMを燃やして取り除くDPF再生処理が必要となる。これまでDPF再生時の排出ガス挙動は、頻度が低いと考えられて注目されなかった。しかしながら、路上走行でのDPFの再生頻度については明らかにならず、再生頻度が高い場合はDPF再生時の排出ガス挙動を無視できない可能性がある。また、DPF再生時には、600℃程度の高温条件でPMを燃焼させる場合があり、ポスト新長期規制以降の車両ではDPF後段に尿素SCR（選択的触媒還元）触媒を配置していることから、SCR触媒の熱劣化問題に注意を払う必要がある。

このような状況から、本報では、路上走行時に、自動制御で排出ガス温度を上昇させてPMを燃焼し除去する「DPF自動再生」時における排出ガス挙動等を調査した。尿素SCRシステム搭載車と未搭載車（EGRのみ）で排出ガス挙動が異なることが予測されることから、それぞれの車両について試験を実施した。さらに、NO_xセンサベースの車載計測器（SEMS: Sensor-based Emissions Measurement System）¹⁾を運送事業用貨物車に装着して2か月間の通常運送業務走行を行い、走行中におけるDPF自動再生時のNO_x等の排出ガス挙動、排出ガスの昇温状態、GPS（全地球測位システム）による走行状態および燃料消費量等のエンジン作動状態に関するデータを収集し、走行中におけるDPF自動再生の頻度、DPF自動再生による燃料消費量の増加分について調査した。さらに、DPF自動再生が後段のSCR触媒の熱劣化に及ぼす影響について検討するため、第一段階としてSCR触媒に加わる熱量を概算した。

以下に、これらの調査結果の概要を報告する。

2. 実験方法

DPF再生時における排出ガス挙動の調査には、尿素SCRシステム搭載の小型貨物車A（ポスト新長期規制適合、車両総重量5.8t、EGR装置搭載）と未搭載の小型貨物車B（ポスト新長期規制適合、車両総重量6.6t、EGR装置搭載）を用いた。また、通常運送業務走行での路上走行試験には、尿素SCRシステム搭載の中型貨物車C（ポストポスト新長期規制適合、車両総重量7.8t、EGR装置搭載）を用いた。

これらの車両に、ジルコニア式NO_xセンサをベースとしたSEMSあるいは車載型排出ガス測定システム（PEMS: Portable Emissions Measurement System）を搭載して、一般道、高速道路等を走行して各種の走行データ、排出ガスデータ、燃料消費量データ等を取得した。

通常運送業務走行での路上走行試験は、尿素SCRシステム搭載の中型貨物車CにSEMSを装着して実施した。試験期間は、平成30年12月3日～平成31年2月1日の61日間であり、39日間の運行、22日間の運休で、継続的に実施した。走行試験データは、サンプリングレート0.5秒で収集されて、それらのデータはデジタコ（デジタル式の運行記録計）の通信モジュールにより、1分間隔で遠隔地のデータサーバーに送信された。運送業務終了後にデータサーバーから試験データを取得して、収集データに異常はないか等の試験実施状況の確認を行った。

3. 実験結果および考察

3. 1. DPF自動再生時のNO_x等の排出ガス挙動

DPF再生では、未燃燃料をポスト噴射等により酸化触媒に供給し酸化反応熱で排出ガス温度を上昇させ

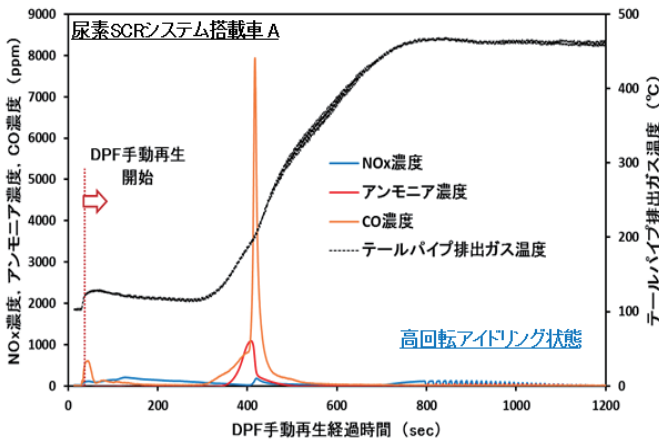


図1 尿素SCRシステム搭載車のDPF 手動再生時の排出ガス挙動

てPMを燃焼し除去する。走行中に自動制御により行われる「DPF自動再生」、停車中にユーザー操作により行われる「DPF手動再生」等がある。DPF自動あるいは手動再生時におけるNOx等の排出ガス挙動を、尿素SCRシステム搭載車Aと未搭載車Bにおいて調査した。

まず、尿素SCRシステム搭載車Aにおける、高回転アイドリング状態でのDPF手動再生時のNOx濃度、CO濃度、アンモニア濃度およびテールパイプ排出ガス温度を、PEMSおよびSEMSを用いて測定した。その結果

を、図1に示す。ここで、アンモニア濃度は、NOxセンサのアンモニア干渉特性（アンモニアをNOxとして検知する特性）を利用して、NOxセンサのNOx濃度出力とPEMSのNOx濃度出力の差分として求めた²⁾。同図より、テールパイプ排出ガス温度が上昇して200℃近傍（DPF手動再生開始後400秒ほど）となった時点で、CO濃度およびアンモニア濃度が急増・急減していることがわかる。その後の温度上昇では、両者の濃度は抑制されていることから、CO濃度の急増はDPFの燃焼温度の上昇を目的としたインジェクターのポスト噴射により供給された未燃燃料の酸化触媒での不完全酸化に、またアンモニア濃度の急増は尿素噴射で生成され一時的にSCR触媒に吸着していたアンモニアが加熱によりSCR触媒を離脱したことに、それぞれ起因するものと考えられる。

また、同車両の路上走行時におけるDPF自動再生時の排出ガス挙動を、SEMSを用いて測定した。その結果を、図2に示す。時刻7:40頃のDPF自動再生初期における排出ガス温度上昇期の200℃近傍において、図1と同様に、主にアンモニアと推測される物質の濃度の増加が一時的に観測され、その後のNOxと推測される物質の排出はDPF自動再生中には抑制されているこ

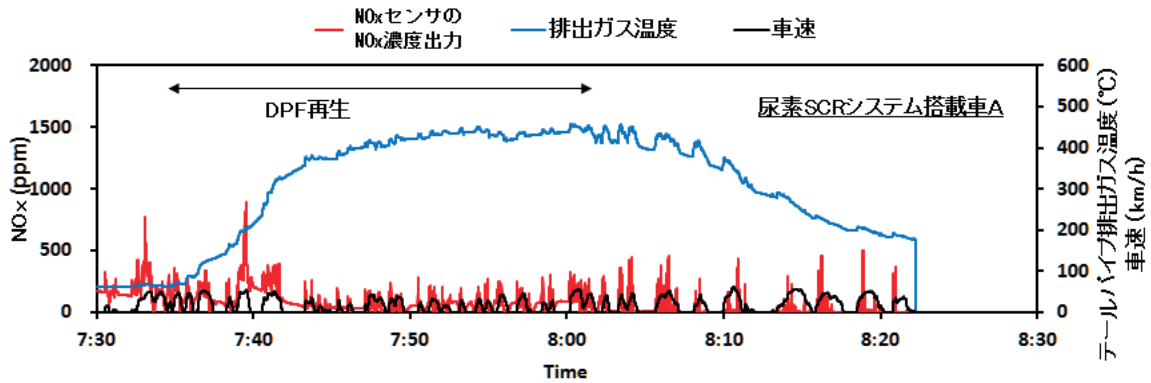


図2 尿素SCRシステム搭載車Aの路上走行時におけるDPF再生時の排出ガス挙動

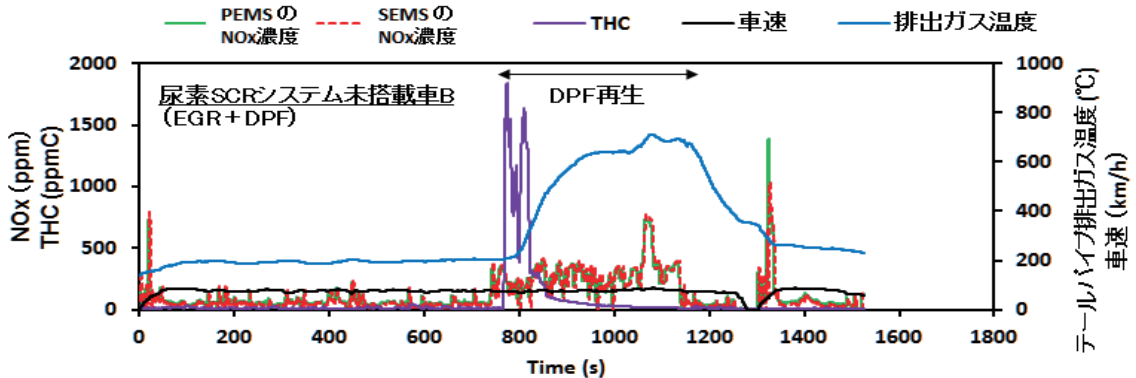


図3 尿素SCRシステム未搭載車B (EGR+DPF) の路上走行時におけるDPF再生時の排出ガス挙動

とがわかる。ここで、DPF 自動再生時は EGR 機能が停止することを確認していることから NOx 排出が増加する可能性があるが、これを尿素 SCR システムが機能して NOx を抑制しているものと考えられる。

一方、図 3 に、尿素 SCR システム未搭載車 B (EGR +DPF) の路上走行時における DPF 自動再生時の排出ガス挙動を、PEMS および SEMS を用いて測定した結果を示す。同図より、経過時間 800 秒ほどで DPF 自動再生が開始され、それと同時に NOx 濃度が同期して増加し、DPF 自動再生が終了するまでその増加状態は継続していることがわかる。この NOx 濃度の増加は、EGR 機能の停止に起因するものと考えられる。

以上より、DPF 自動再生時の排出ガス挙動としては、尿素 SCR システム搭載車では SCR 触媒に吸着しているアンモニアの脱離による一時的な排出が、また尿素 SCR システム未搭載車 (EGR+DPF) では EGR 機能停止に起因する NOx 排出量の増加が確認された。

3. 2. 通常運送業務走行での DPF 自動再生の頻度

実際に運送事業者が運用している車両 (尿素 SCR システム搭載の中型貨物車 C) を用いて、通常運送業務走行での路上走行試験を 39 日間にわたって継続的に実施した。走行ルートは、一般道および首都高速道路等を用いる中距離走行ルートと主に高速道路を用いる長距離走行ルートから成り、一週間サイクルで、ほぼ定まったルートを走行している。この路上走行試験で、19 回の DPF 自動再生が実施された。これらの DPF 自動再生を時系列に並べて、再生と次の再生の間のエンジン作動時間、走行距離およびエンジン仕事を算出し、それらを時系列に並べて、それぞれプロットした結果を、図 4 に示す。図中には、エンジン作動時間、走行距離およびエンジン仕事それぞれの 1 日当たり、2 日当たりおよび 3 日当たりの平均値を記している。エンジン作動時間、走行距離およびエンジン仕事のいずれにしても、1 日の走行では DPF 自動再生は実施されないが、2 日間の走行で 19 回中 11 回の DPF 自動再生が実施され、3 日間の走行では 19 回全ての DPF 自動再生が実施されていることがわかる。このことから、本試験の運送事業走行では、2 日～3 日に 1

回 (走行距離：450km～1050km に 1 回) の頻度で DPF 自動再生が実施されていることがわかる。また、図中に「四角のマーカー」でプロットしたのは、主に高速道路を用いる長距離走行ルートにおいて実施された DPF 自動再生である。比較的、短いエンジン作動時間、短い走行距離および少ないエンジン仕事量で DPF 自動再生が実施されていることがわかる。高速道路走行では、エンジン回転数が高く排出ガス流量が継続的に大きくなり DPF の昇温が容易であることから、DPF 自動再生の必要条件を整え易く、これに起因して再生頻度が高くなっている可能性がある。

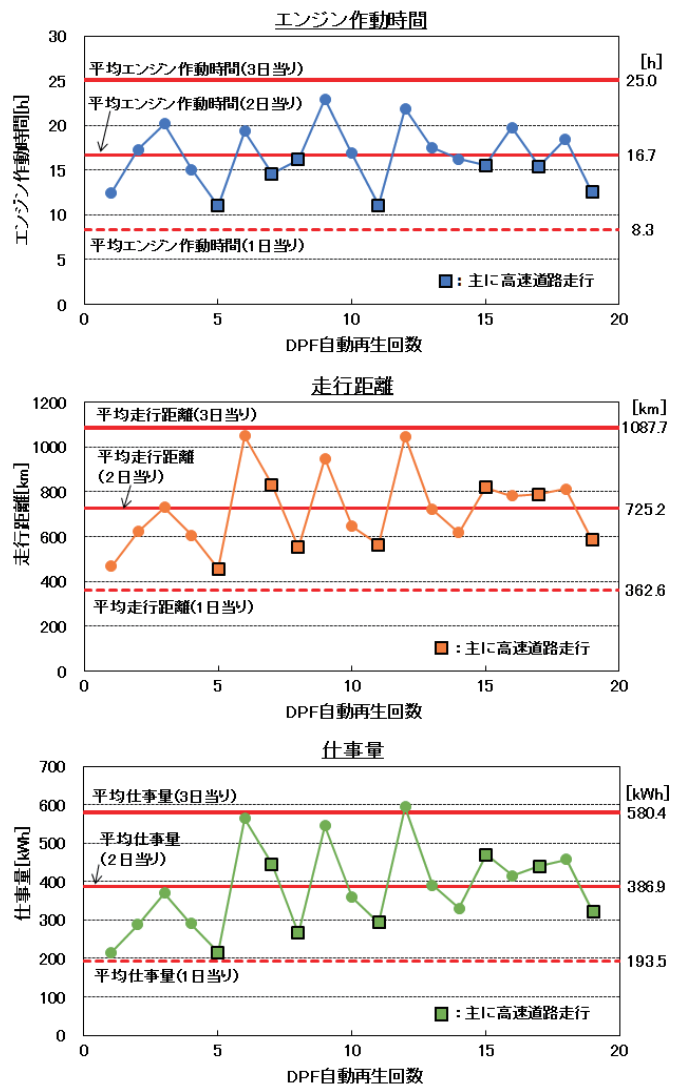


図 4 通常運送業務走行における DPF 自動再生の頻度

表 1 高速道路走行における DPF 自動再生時と通常走行時のエンジンデータ等の比較

	CO ₂ 排出量		吸入空気量	燃料消費量	車速	エンジン回転数	テールパイプ排出ガス温度
	TOTAL [kg]	平均値 [g/s]	平均値 [g/s]	平均値 [g/s]	平均値 [km/h]	平均値 [rpm]	平均値 [°C]
DPF自動再生時 [15分間]	12.324	13.708	90.2	3.902	79.3	1453	466.1
通常走行時 [15分間]	7.931	8.814	66.8	2.743	80.6	1477	240.8

3. 3. DPF 自動再生による燃料消費量の増加および DPF 後段の SCR 触媒に加わる熱量

DPF 自動再生の過程は、先ず、インジェクターのポスト噴射で燃料の未燃分を酸化触媒に送って酸化反応を生じさせる。次に、その反応熱で DPF 内の温度を効率よく上昇させて 600°C 程度の高温状態にし、DPF 内に捕集された PM を燃焼させる。このため、DPF 自動再生時には、通常走行時よりも燃料消費量が増加することになる。この燃料消費量の増加分を概算した。表 1 に、通常運送業務走行において、高速道路走行中に DPF 自動再生が実施されたときのエンジンデータと走行条件が同等の通常走行時のエンジンデータを比較した一例を示す。ここで、15 分間の DPF 自動再生における燃料消費量の差がポスト噴射による燃料消費量と見なせる。よって、軽油密度 (15°C) を 0.8295 g/cm³ とすると、1.26 L の軽油が DPF 自動再生に使用されていることになる。

次に、DPF 自動再生によって、後段の SCR 触媒は熱劣化の影響を受ける可能性があることから、それを検討するための基礎データを取得することとした。現在、中型・大型貨物車では、総走行距離 100 万 km を超える車両が存在している。このことから、NO_x 等の低減を排出ガス後処理装置に依存している現状においては、SCR 触媒等の耐久性能 (劣化状態) の把握が重要となっている。しかしながら、年間 10 万 km を走行する車両においても 100 万 km を走行するには 10 年間を要することから、認証等で耐久性能評価を行うためには、時間短縮を図って性能把握を可能にする「加速劣化試験法」の作成が重要となる。作成に当たっては、路上走行時の排出ガスデータ、エンジンデータ、走行条件データ、劣化に関連する算出データ (SCR 触媒等の加熱条件データ等) 等を基礎において、性能劣化に繋がる要件を検討する必要がある。本報では、基礎データを取得するための第一段階として、DPF の自動再生によって、後段に配置されている SCR 触媒を通過する排出ガスの熱量の増加分を概算した。15 分間の DPF 自動再生時に通過する排出ガス量は、吸入空量に燃料消費量を加算して求められる。ここで、DPF 自動再生時の吸入空気量は、増加していることがわかる。通過熱量は、排出ガス量に排出ガス温度の上昇分および排出ガスの定圧比熱を乗算することにより算出することができる。概算では、排出ガス温度の上昇分はタールパイプ排出ガス温度 (平均値) の上昇分で与え、排

出ガスの定圧比熱は 600 °C の空気の定圧比熱 1.054 J/(g・K) を用いて算出し、約 20 MJ となった。この熱量が加算された排出ガスは、DPF 自動再生により継続的に SCR 触媒を通過して触媒を加熱することになる。この SCR 触媒の加熱条件が、熱劣化要因になるかどうかについては、次段階の検討課題である。

4. まとめ

路上走行試験等により、DPF 自動再生時の排出ガス挙動、走行中における DPF 自動再生の頻度、DPF 自動再生時の燃料消費量の増加および DPF 後段の SCR 触媒に加わる熱量について調査し、以下の点が明らかとなった。

- (1) DPF 自動再生時の排出ガス挙動としては、尿素 SCR システム搭載車では SCR 触媒に吸着しているアンモニアの脱離と考えられる一時的な排出が、また尿素 SCR システム未搭載車 (EGR+DPF) では EGR 機能停止に起因すると考えられる NO_x 排出量の増加が確認された。
- (2) 本試験の運送事業走行において、DPF 自動再生は、2 日～3 日に 1 回 (走行距離: 450km～1050km に 1 回) の頻度で実施されていることがわかった。また、高速道路走行では、DPF 自動再生の頻度が高くなる傾向がみられた。これは、DPF 自動再生の必要条件を整え易いことに起因している可能性がある。
- (3) DPF 自動再生による燃料消費量の増加分および DPF 自動再生によって後段の SCR 触媒を通過する排出ガスの熱量の増加分を試算した。DPF 自動再生により加熱された排出ガスは、継続的に SCR 触媒を通過して触媒を加熱することから、熱劣化の一因となる可能性がある。

参考文献

- 1) 山本敏朗, 鈴木央一, 山口恭平, “NO_x センサベースの車載計測器を用いた重量貨物車の路上走行時における NO_x 排出量の測定と NO_x 抑制装置の機能診断”, 自動車技術会論文集, Vol. 49, No. 3, pp. 642-649 (2018)
- 2) 山本敏朗, 野田明, 阪本高志: 排出ガス対策装置の車載機能診断システム (OBD) に関する性能要件及び機能評価法の研究 (第 1 報) —触媒劣化の検知方法に関する基礎的考察—, 平成 12 年度 (第 30 回) 交通安全公害研究所研究発表会講演概要, pp. 93-96 (2000)