

② 尿素SCRシステム搭載貨物車の路上走行時におけるNO_x、NH₃およびN₂Oの排出挙動

環境研究領域
岩田電業株式会社
日本エム・ケー・エス株式会社

※山本 敏朗 堤 玲子
岩田 恒夫 小川 恭弘
加藤 裕

1. まえがき

現在、排出ガス規制の強化に伴い、NO_x低減を目的として、ディーゼル貨物車への尿素SCR（選択的触媒還元）システムの導入が進んでいる。しかしながら、同システムを搭載した車両が、都市内走行時には期待したほどのNO_x低減効果を発揮していないとの報告がある⁽¹⁾。同報告では、都市内走行時に、排出ガス温度が低下して尿素SCRシステムのNO_x浄化率が低下するためであるとしている。これは欧州での報告例であるが、我が国においても同様な状況が考えられる。これを検証するため、本報告では、尿素SCRシステム搭載の小型貨物車に、車載式FTIR分析装置を搭載して、一般幹線道路を走行し、各種の排出ガス成分濃度と排気管出口ガス温度を連続計測した。それらのデータを基に、NO_x、NOおよびN₂O₂の排出状態および尿素SCRシステムのNO_x浄化性能の推移を分析した。さらに、同システムからのNH₃スリップに起因するN₂Oの排出が懸念されることから、路上走行時のNH₃およびN₂Oの排出状態についても分析した。

以上の分析結果を基に、都市内走行時における尿素SCRシステムの機能状態および排出ガス性能について考察した。

2. 実験方法

本試験では、エンジン型式が同一でボディー仕様が異なる2台の車両を用いている。試験車両の主な諸元を表1に示す。車両Aはシャシダイナモメータ（CD）台上試験に、また車両Bは路上走行試験に用いた。両車両ともに、DPFおよび尿素SCRシステムを搭載しているが、尿素SCR触媒の搭載位置が大きく異なる。車両Aは、エンジン側のDPFに近い位置であるのに対し、車両Bは、低床で全長、全幅ともに車両Aより短いことから設置スペースがなくテールパイプ直前となっている。尿素SCRシステムが機能するた

めには、SCR触媒の温度が活性温度以上となる必要があり、路上走行時のNO_x低減効果を確認するには、同システムの機能状態の把握が重要となる。このことから、尿素SCR触媒の温度変化を、排気管出口付近に取り付けた熱電対によりモニターすることとした。NO_x（NO+NO₂）、N₂O、NH₃、CO₂等の分析は、主に新開発の車載式FTIR分析装置（岩田電業製FAST-2200フーリエ変換赤外分析計）を用いて、0.2秒サンプリング（分析部の90%応答；2.8秒）で連続的に行った。別途、排出ガスの質量換算に必須となる瞬時排出ガス流量は、CD台上試験ではCVS法（定容量希釈サンプリング法）、路上走行試験ではピトー管法（堀場製作所製OBS-2200車載式排出ガス分析装置付属）により取得した。

本報告では、CD台上試験により、搭載されている尿素SCRシステムの基本性能を把握し、それを基に、路上走行試験での同システムの機能状態を評価する方法を採った。CD台上試験では、車両Aを用いてJE05モードを運転して、そのときの排出ガスを連続分析した。試験条件としては、3種類のホットスタート試験（半積載、全積載、半積載+勾配2%登り）と3種類のコールドスタート試験（1時間ソーク、2

表1 試験車両の主要諸元

車両コード	A	B
車両カテゴリ	小型貨物車	小型貨物車
年式	2011	2011
車両総重量 (kg)	5,805	4,395
車体形状	ワイドキャブ、高床、バンボディー	標準キャブ、低床、平ボディー
走行距離 (km)	16,575	5,145
エンジン型式	直列4気筒、インタークーラーターボ	直列4気筒、インタークーラーターボ
排気量 (L)	2.99	2.99
最高出力 (kW/rpm)	110/2840~3500	96/3050~3500
最大トルク (Nm/rpm)	370/1350~2840	300/1300~3050
排出ガス対策	EGR、DPF + 尿素SCR	EGR、DPF + 尿素SCR
適合排出ガス規制	平成22年規制	平成22年規制

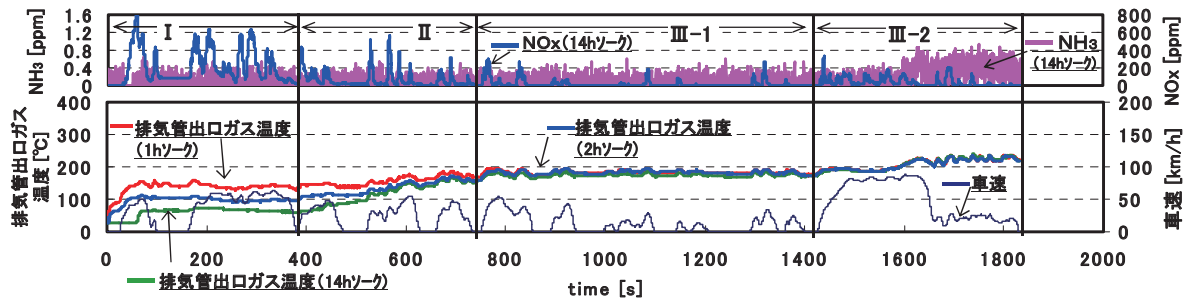


図1 (a) J E O 5モード運転の領域区分：コールドスタート試験におけるSCR触媒の暖機過程別の区分

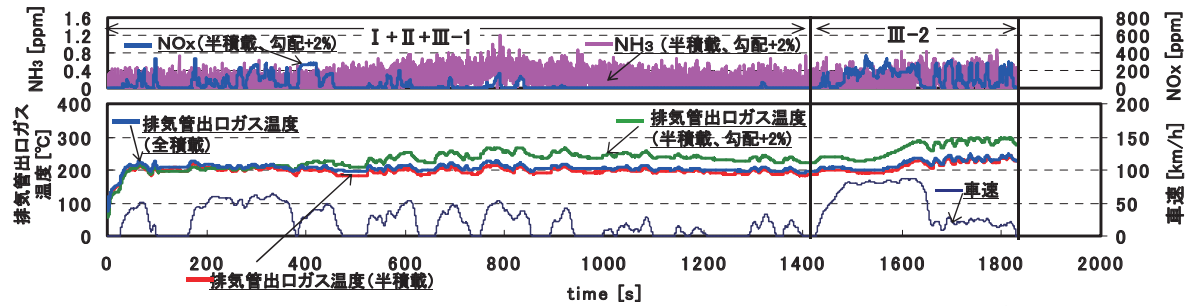


図1 (b) J E O 5モード運転の領域区分：ホットスタート試験における走行条件別の区分

時間ソーク，14時間ソーク）を実施した．路上走行試験では，車両Bを用いて，東京都道14号（東八道路）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アップダウン道路（平均勾配：+1.6%，距離：約8.75 km）を，積載重量約500 kg（分析装置の重量を含む）で往復走行し，各種排出ガス成分の測定を行った．DPFの強制再生は，DPFインジケータランプにより確認した．

3. 実験結果および考察

3.1. CD台上試験による尿素SCRシステムの基本性能の把握

本報告では，尿素SCRシステムの機能状態を表す指標として，欧州で実路走行時の排出ガス評価法として提案されているウィンドウ平均法に従って，テールパイプから排出されるCO₂ 1 kg 当たりのNO_x 排出量（g）を，「NO_x 排出率（g/kg）」と定義して用いることとした．一方，同システムが機能するためには，SCR触媒温度が活性温度以上になる必要があることから，機能の評価はSCR触媒の暖機状態を把握して行う必要がある．このことから，図1（a）に示すように，コールドスタートによるJ E O 5モード走行時におけるSCR触媒の暖機過程を，排気管出口ガス温度の変化から，I（後処理装置熱容量による温度停滞域），II（触媒温度上昇域），III-1（触媒温度安定域）に区分した．また，J E O 5モードは，都市内一般道路走行（I + II + III-1）と都市内高速道

路走行（III-2）から構成されるため，両者を区別することとした．図1（b）は，ホットスタートにより，積載条件あるいは道路勾配条件を変化させてJ E O 5モードを走行したときの排気管出口ガス温度の変化を，I + II + III-1とIII-2に区分して示す．このように，J E O 5モードを5種類の走行領域に分け，各領域での排気管出口ガス温度の平均値とNO_x 排出率をそれぞれプロットした結果を，図2に示す．同図より，排気管出口ガス温度の上昇によってNO_x 排出率が減少し，また都市内一般道走行では，尿素SCRシステムの活性化領域と考えられるIII-1およびI + II + III-1のNO_x 排出率が0.5（g/kg）未満であることから，この値未満であれば尿素SCRシステムが活性化されていると判断できる．なお，都市内高速道路走行領域III-2のNO_x 排出率が高い

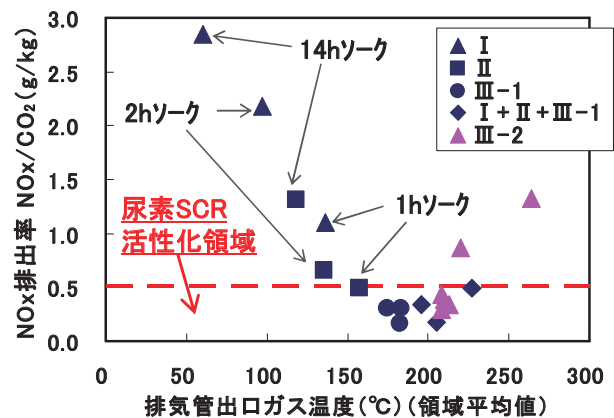


図2 排気管出口ガス温度とNO_x 排出率 NO_x/CO₂（g/kg）の関係

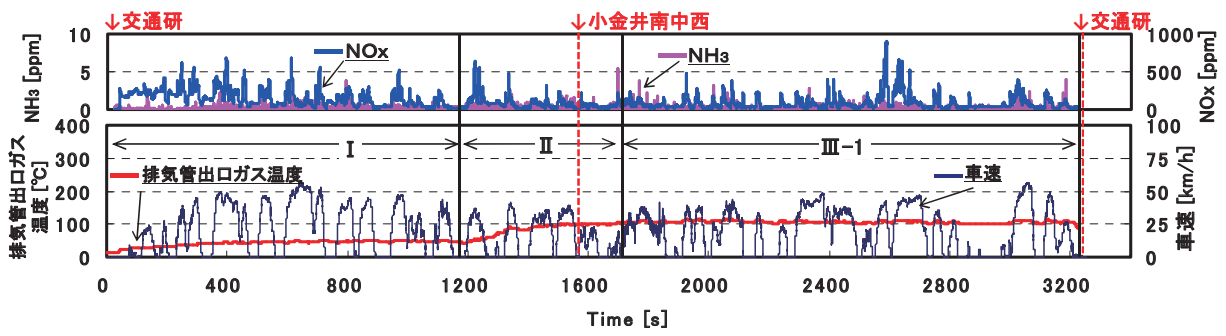


図3 (a) 路上走行時における尿素SCRシステムの分析のための領域区分：路上走行試験1

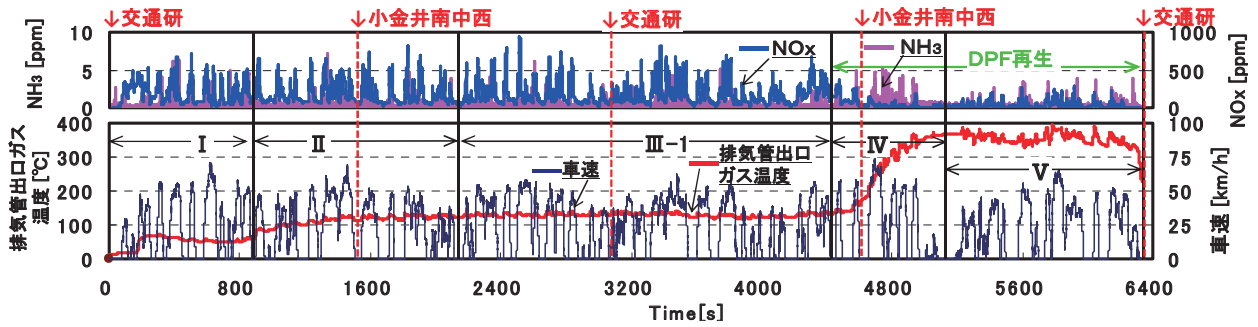


図3 (b) 路上走行時における尿素SCRシステムの分析のための領域区分：路上走行試験2

のは、負荷条件によりNH₃スリップ量の変動することから、尿素噴射量制御の最適化が不十分である可能性がある。

3. 2. 路上走行時における尿素SCRシステムの機能状態の解析

図3 (a), (b)に、2回の路上走行試験の結果を、排気管出口ガス温度の推移を基に、CD台上試験時と同様の考え方でI, II, III-1と区分し、さらに(b)ではDPFの再生運転領域であるIVとVを加えて表示している。ここで、車両AのCD試験のIII-1と車両Bの路上走行試験のIII-1のそれぞれの排気管出口ガス温度を比較すると、車両Bの温度が低い。これは、車両Bの尿素SCR触媒の搭載位置がテールパイプ直前で昇温されにくいこと、また路上走行試験時の大気温が12℃と低いこと等に起因すると考えられる。これら5つの領域において、テールパイプから排出されるCO₂1kg当たりのNO_x排出量(g), NO₂排出量(g), NH₃排出量(g)およびN₂O排

出量(g)を、それぞれ2回の路上走行試験とJE05モードコールドスタート試験(14時間ソーク)と比較して、図4に示す。同図より、路上走行試験を通じて、NO_x排出率が0.5(g/kg)未満となっているのは、路上走行試験2におけるIVおよびVのDPF再生時のみであり、DPFの再生運転によりSCR触媒の温度が上昇して尿素SCRシステムのNO_x低減機能が活性化していることがわかる。暖機後の走行条件であるIII-1のNO_x排出率は、始動直後のIと比べて、ほとんど変化していない。これは、低い大気温やSCR触媒搭載位置がテールパイプ直前であること等に起因して、SCR触媒が活性温度まで昇温されず、III-1では尿素SCRシステムが機能していないことが推察される。

NO₂排出率の変化から、尿素SCRシステムの酸化触媒が活性化されるII(触媒温度上昇域)においてNO₂生成が始まることがわかる。JE05モード試験の結果から、この生成されたNO₂は、III-1にな

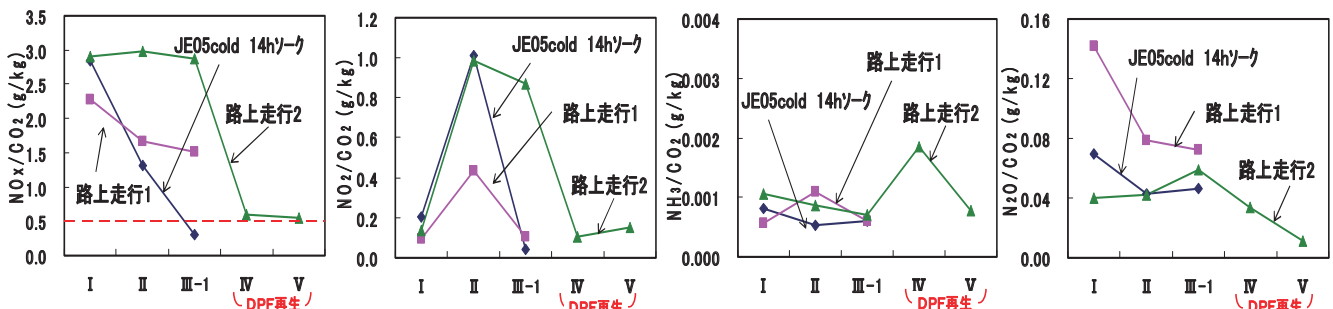


図4 CO₂1kg当たりの排出量(g)を用いた路上走行時の尿素SCRシステムの性能分析

ると尿素SCR触媒が活性化されるため還元反応によって減少している。一方、路上走行試験2では、IIで生成されたNO₂は、III-1で尿素SCRシステムが機能しないため還元されずにそのまま排出されている。NH₃排出率については、通常の走行条件であるI、IIおよびIII-1では極めて小さい。路上走行試験2において、DPFの再生が始まるIVで増加しているが、このとき尿素噴射も始まることから、SCR触媒をスリップしたNH₃が活性不十分な後段酸化触媒をすり抜けている可能性が高い。N₂O排出率については、路上走行試験1のIにおいて大きな値を示す。この領域では、SCR触媒は活性温度に達していないため尿素噴射は行われず、NH₃スリップに起因する排出とは考えられない。また、路上走行試験2では顕著な排出は認められない。このN₂O排出現象については、エンジン停止時にSCR触媒に吸着したNH₃が酸化されて生成する可能性や、コールドスタート時の低温の前段酸化触媒においてN₂Oが生成されるとの報告もあり、今後の検討課題としたい。

3. 3. GHG排出でのN₂Oの寄与率

図5(a)、(b)に、2回の路上走行試験における、I、II、III-1、IVおよびVの領域でのGHG(地球温暖化ガス)中に占めるCO₂、N₂OおよびCH₄の排出割合(CO₂換算による質量比率、%)を示す。ここでCO₂の温室効果を1とした場合、N₂Oは3.1

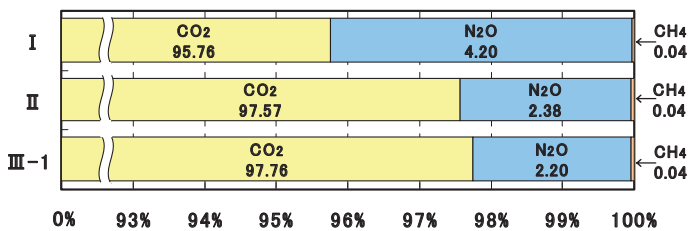


図5(a) 路上走行時のGHG排出におけるN₂O寄与率：路上走行試験1

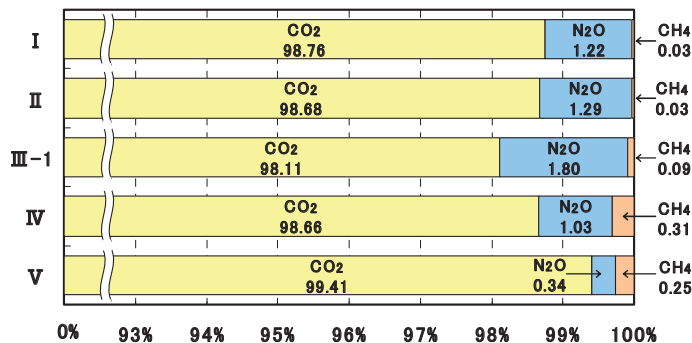


図5(b) 路上走行時のGHG排出におけるN₂O寄与率：路上走行試験2

0倍、CH₄は2.1倍であるとして、GHGの排出量を以下の式で算出した。

$$\text{GHG排出量} = \text{CO}_2\text{排出量} + \text{N}_2\text{O排出量} \times 3.10 + \text{CH}_4\text{排出量} \times 2.1$$

同図より、以下のことがわかる。走行時間中の大半を占めると考えられる暖機後の走行条件であるIII-1において、N₂Oの寄与率は、2回の路上走行試験の平均で2.0%である。これは、尿素SCRシステムがほとんど機能していない条件、即ち、尿素噴射に起因するNH₃スリップが関係しない条件での値である。また、路上走行試験1においては、IでのN₂Oの寄与率が、4.2%と突出して高く、尿素SCRシステム搭載車のN₂O排出では、NH₃スリップ以外に、別のメカニズムが存在する可能性がある。

4. まとめ

尿素SCRシステム搭載の小型貨物車に、車載式FTIR分析装置を搭載して、一般幹線道路を走行し、各種の排出ガス成分濃度と排気管出口ガス温度を連続計測し、都市内走行時における尿素SCRシステムの機能状態および排出ガス性能について考察した。その結果、以下の点が明らかとなった。

- (1) 試験車両(車両B)は、都市内走行時(図3中のIII-1)に、低い大気温やSCR触媒搭載位置がテールパイプ直前であること等に起因してSCR触媒が活性温度まで昇温されないため、NO_x排出率(NO_x/CO₂(g/kg))が低下せず、尿素SCRシステムが十分に機能していないことが確認された。
- (2) 本試験車両では、触媒温度上昇域(図3中のII)において、前段酸化触媒が活性化されNO₂生成が始まった。暖機後の走行条件において尿素SCRシステムが機能しない場合は、このNO₂がそのまま排出されることになり、問題となる可能性がある。
- (3) コールドスタート時の尿素噴射開始以前において、N₂Oの排出が認められる場合(図5(a)中のI)があることから、NH₃スリップ以外に、N₂O生成メカニズムが存在する可能性がある。

参考文献

- (1) Dana Lowell, Fanta Kamakate : Urban off-cycle NO_x emissions from Euro IV/V trucks and buses – Problems and solutions for Europe and developing countries –, <http://www.theicct.org/urban-cycle-nox-emissions-euro-ivv-trucks-and-buses>