

⑧尿素SCR車、ハイブリッド車から排出される 亜酸化窒素およびメタン(温室効果ガス)の FTIR(フーリエ変換赤外分光)分析

環境研究領域 ※山本 敏朗 堤 玲子
岩田電業株式会社 岩田 恒夫 小川 恭弘
日本MK S 加藤 裕

1. まえがき

自動車の燃費改善は、直接的に温室効果ガス(以下、Green House Gas を略して「GHG」と記す)を代表するCO₂の排出を抑制できることから、効果的な地球温暖化対策となる。現在、燃費改善やNO_x低減のために、尿素SCRディーゼルエンジンやハイブリッドシステムの導入が進められている。特に、ハイブリッドシステムについては、環境負荷低減車の普及支援も手伝って、同システム搭載車の登録台数は急激に増加している。

表1 試験車両の主要諸元

(a) 尿素SCRシステム搭載ディーゼル車

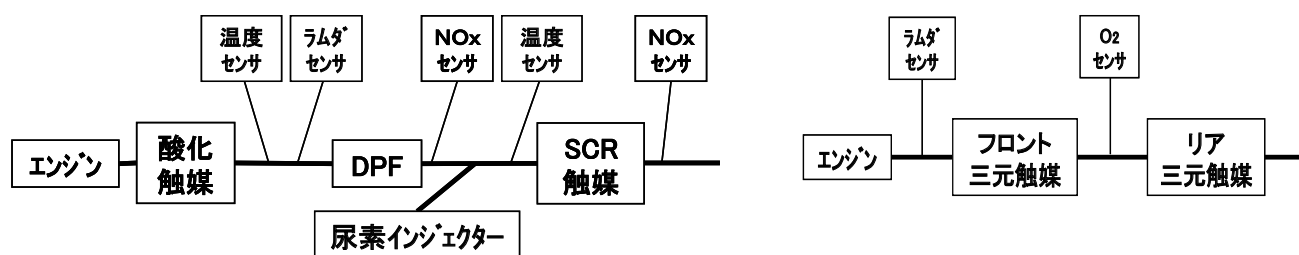
車両コード	車両カテゴリ	エンジン型式	排出ガス対策	変速機	車両重量(kg)	排出ガス規制レベル
A	3.0L ディーゼル普通乗用車	V型6気筒 DOHC	尿素SCRシステム DPF EGR装置	電子制御 7速A/T	1,960	ポスト新長期規制レベル

(b) ハイブリッドガソリン車

車両コード	車両カテゴリ	エンジン型式	排出ガス対策	変速機	車両重量(kg)	排出ガス規制レベル
B	1.8L ハイブリッド普通乗用車	直列4気筒 DOHC	三元触媒 EGR装置	電気式 無段変速	1,310	新長期規制 排出ガス75% 低減レベル

このような情勢の中で、三元触媒において、排出ガス中のNH₃が低温条件で酸化されると微量でも大きな温室効果を示すN₂Oが生成されることが指摘されており^{(1), (2)}、尿素SCRシステム搭載ディーゼル車および三元触媒搭載のガソリン車において、触媒の温度が低下した場合には、N₂Oの排出が予測された。さらに、尿素SCRシステム搭載のディーゼル重量貨物車では、N₂Oの排出によりGHG排出量が触媒未装着の従来車と比べて約20%増加する例が報告されている⁽³⁾。N₂OおよびCH₄の排出により、燃費改善効果が相当程度減じられる可能性があり、路上走行時における両成分の排出実態把握は重要となっている。このことから、前報では、路上走行時において排出ガス中のN₂OおよびCH₄の連続分析を可能とする車載式フーリエ変換赤外分析装置(以下、「車載式FTIR分析装置」と記す)の開発状況を紹介するとともに、その性能評価を行った⁽⁴⁾。

本報では、尿素SCR車およびハイブリッド車の路上走行時における排出実態の把握のため、第1段階として、車載式FTIR分析装置等を用い、シャシダイナモメータ台上において、コールドスタートあるいはホットスタートからJC08モードを運転し、都市内走行時のGHG(自動車では、CO₂、N₂OおよびC



(a) A車(尿素SCRシステム搭載ディーゼル車)

(b) B車(ハイブリッドガソリン車)

図1 試験車両に搭載の排気浄化システムの構成



図2 車載式FTIR分析装置の外観

H₄が対象となる)の基本的な排出特性を把握するとともに、道路勾配や暖機運転後のソーク時間がGHGの排出に及ぼす影響について解析したので報告する。

2. 実験方法

本試験では、シャシダイナモメータ台上に試験車両を設置し、JC08モードを運転して、そのときの排出ガスを連続分析している。試験車両は、最新の尿素SCRシステムの評価を目的に同システムを搭載しているポスト新長期規制適合ディーゼル乗用車のA車を、またハイブリッド車では新長期規制適合乗用車のB車をそれぞれ選定した。試験車両の主な諸元を表1に、また排気浄化システムの構成を図1に示す。N₂O、CH₄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。同装置の外観を図2に示す。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、CVS法(定容量希釈サンプリング法)により取得した。

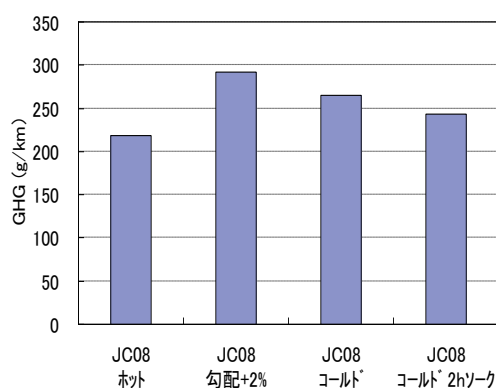
道路勾配の設定(勾配+2%および勾配-2%)は、シャシダイナモメータの制御で、走行抵抗の転がり抵抗分に勾配抵抗分を加算あるいは減算することによって与えた。ホットスタート試験は、車速60km/h、一定で20分間の暖機運転後に実施した。また、コールドスタート試験は、JC08モード運転後に2時間ソークした場合と16時間ソークした場合の2種類の条件で実施した。ここで、道路勾配を±2%としたのは、首都圏幹線道路において、2%を超える道路勾配の区間が10%程度存在することを根拠としている⁽⁵⁾。また、2時間ソーク後の試験は、都市部における出先での駐車時間を想定して決定した。

3. 実験結果および考察

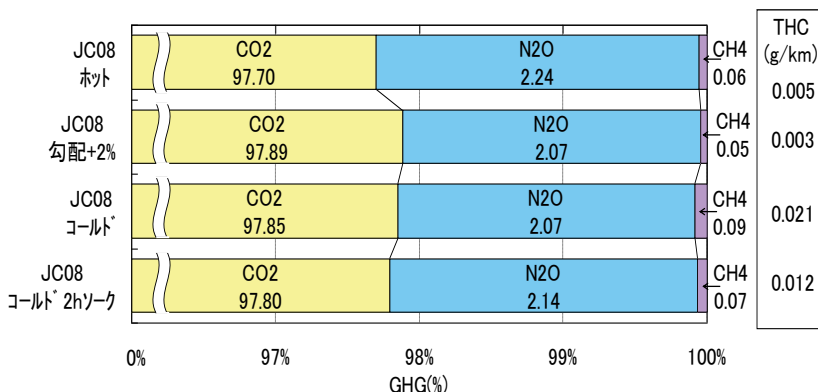
3. 1. 尿素SCRディーゼル車の評価

供試の尿素SCR車(A車)は、DPF(ディーゼルパティキュレートフィルタ)とSCR触媒を組み合わせたシステムとなっている。酸化触媒+DPFを排気系の上流側に、SCR触媒を下流側に置く構成である。ここで問題となるのは、尿素的添加によって生じたNH₃がNO_xの還元に使われずにSCR触媒をスリップして排出される場合である。このNH₃のスリップを防止するには、尿素添加量の適切なコントロールが必要となる。本評価試験では、N₂OおよびCH₄の排出とともに、このアンモニアスリップに着目して解析を進める。

図3に、A車をシャシダイナモメータに設置し、エンジン始動条件あるいは道路勾配条件を変化させて



(a) 温室効果ガスの排出量



(b) 温室効果ガス成分の排出割合

図3 尿素SCR車のJC08モード運転時における温室効果ガスの排出状態

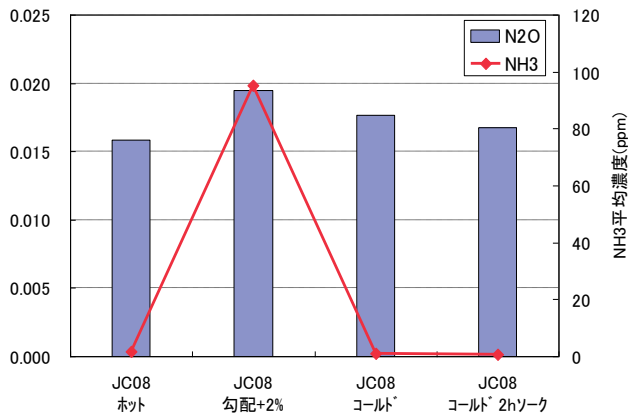


図4 JC08モード運転時におけるN₂O排出とNH₃排出の関係

JC08モード運転を実施したときのGHGの排出量(g/km)とCO₂、N₂OおよびCH₄の排出割合(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310倍、CH₄は21倍であることから、GHGの排出量は以下の式で算出される。

$$\text{GHG排出量} = \text{CO}_2\text{排出量} + \text{N}_2\text{O排出量} \times 310 + \text{CH}_4\text{排出量} \times 21$$

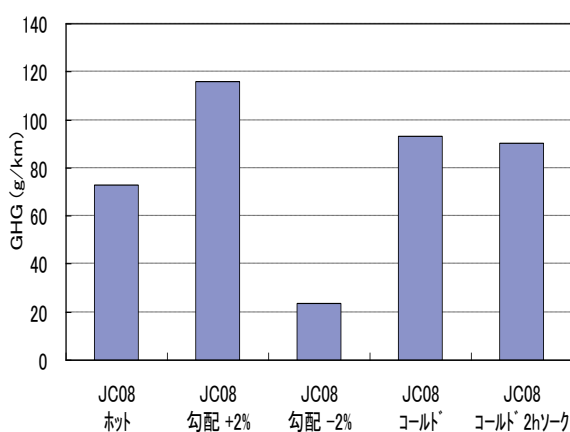
同図より、GHG排出量は、走行抵抗の増加(勾配+2%の条件)とコールドスタート時(2時間ソーク後の条件を含む)における燃料増量および触媒温度の低下に起因するN₂O排出^{(1), (2), (4)}によって増加するものと考えられる。また、ホットスタート、コールドスタート、走行抵抗の増加のいずれの走行条件においても、温室効果ガス排出量に占めるCH₄の割合は小さく、一方でN₂Oの寄与率は、温室効果ガス排出量

の2%強であることがわかる。

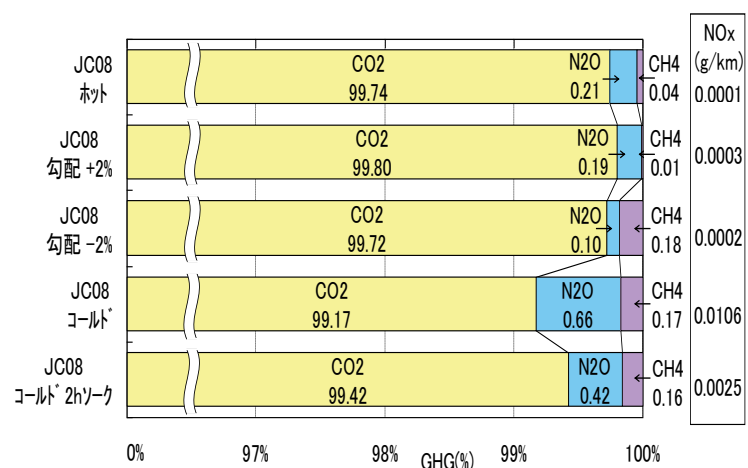
また、これらの走行条件におけるN₂O排出とNH₃排出(モード平均濃度)との関係を、図4に示す。同図より、N₂Oの排出量は、いずれの走行条件においても、0.015~0.020 g/kmの範囲にあり、各条件で同程度の排出であることがわかる。一方、NH₃の排出は、ホットスタート、コールドスタートともに低く抑制されているが、走行抵抗(エンジン負荷)が増加する道路勾配+2%の場合のみモード平均濃度で95 ppm程度まで増加していることがわかる。ここで、当該試験車両では、尿素インジェクターの上流に取り付けられたNO_xセンサによりNO_x排出量を検知し、その還元に適した量の尿素を添加するシステムが採用されているものと推測する。その場合、尿素噴射量制御システムは、走行抵抗の増加によってNO_x排出量が増加すれば、それに合わせて尿素の添加量を増加させる。ここで添加量が多すぎるとNH₃のスリップが発生することとなる。供試車両では、酸化触媒を排気系の上流側に配置しているため、NO_x中に占めるNO₂割合はこの酸化触媒の反応状態によって変化することとなる。このNO₂割合の変化によってNO_xの還元に必要なとなるNH₃量も変化するので、尿素添加量の制御は難しくなる。図4に示すNH₃排出量の増加は、このような事情により発生しているものと考えられる。

3. 2. ハイブリッドガソリン車の評価

供試のハイブリッド車(B車)は、電動機とエンジンの駆動力を組み合わせる動力合成機構をベースとしたハイブリッドシステムを搭載している。加速走行



(a) 温室効果ガスの排出量



(b) 温室効果ガス成分の排出割合

図5 ハイブリッド車のJC08モード運転時における温室効果ガスの排出状態

時、坂路走行時、高速走行時等には、エンジンがスタートして駆動力不足を補う。電動機の駆動力で十分な場合は、エンジンをストップさせて燃料を消費しない。ただし、電動機駆動用の電池の充電量（SOC）が低下した場合には、エンジンによる駆動割合が増加する。このため、本試験では、JC08モード運転スタート時のSOCを、通常充電状態の範囲内（52～57%）であることを確認した上で実施している。

図5に、B車を、エンジン始動条件あるいは道路勾配条件を変化させて、JC08モードを運転したときのGHGの排出量（g/km）とCO₂、N₂OおよびCH₄の排出割合（質量比率、%）を示す。GHGの算出は、図3と同様の方法で行っている。同図より、以下のことがわかる。GHG排出量は、走行抵抗が増加した場合（勾配+2%の条件）とコールドスタート時（2時間ソーク後の条件を含む）における燃料増量および触媒温度の低下に起因して増加しており、尿素SCR車と同様の傾向を示す。ただし、N₂OとCH₄の寄与率は、尿素SCR車と比べて小さく、2時間ソーク後を含むコールドスタート時のN₂O寄与率は増加するものの、0.4～0.7%の範囲にとどまる。

以上より、尿素SCRディーゼル乗用車とハイブリッドガソリン乗用車の都市内走行時におけるGHG（CO₂、N₂OおよびCH₄）の基本的な排出特性を示すことができた。今後は、尿素SCRディーゼル重量貨物車やハイブリッド貨物車についてもN₂OおよびCH₄の排出挙動について調査を展開していく予定である。さらに、実路走行時のN₂OおよびCH₄の排出挙動を把握するため、車載式FTIR分析装置を用いた路上走行試験を計画している。

4. まとめ

尿素SCRシステム搭載ディーゼル車およびハイブリッドガソリン車を、順次、シャシダイナモメータ台上に設置してJC08モードを運転し、都市内走行時の温室効果ガス（CO₂、N₂OおよびCH₄）の基本的な排出特性を調査した。その結果、以下の点が明らかとなった。

（1）供試の尿素SCR車においては、ホットスタート、コールドスタート、道路勾配+2%のいずれの走行条件においても、温室効果ガス排出量に占めるCH₄の割合は小さかった。一方、N₂Oの寄与率は、上記のいずれの走行条件においても、温室効果ガス排出量の2%強であった。

（2）供試の尿素SCR車において、走行抵抗が増加する条件（勾配+2%の条件）では、NO_xおよびN₂Oの排出は抑制されているものの、NH₃がモード平均濃度で95ppm程度排出される現象（アンモニアスリップ）が観測された。

（3）供試のハイブリッド車では、温室効果ガス排出量に占めるN₂OとCH₄の割合は、尿素SCR車と比べて小さく、2時間ソーク後を含むコールドスタート時におけるN₂Oの寄与率は増加するものの、0.4～0.7%の範囲にとどまった。

参考文献

- （1）小池、鈴木、小高：自動車から排出される亜酸化窒素の排出挙動に関する研究（第3報）—三元触媒車から排出されるアンモニアと亜酸化窒素のFTIR法による解析—、自動車技術会学術講演会講演前刷集、No.956, pp.153-156, 9540237（1995）
- （2）小池、小高：自動車排出ガス中亜酸化窒素測定法の検討、平成4年度（第22回）交通安全公害研究所講演概要、pp.101-104
- （3）鈴木、石井、酒井、藤森：使用過程尿素SCR車の排出ガス性能と実環境改善に向けた課題、交通安全環境研究所フォーラム 2007 講演概要、pp.25-30, 2007
- （4）山本、佐藤、常山（交通研）、岩田、小川（岩田電業）：車載式フーリエ変換赤外分析装置の開発と排出ガス中の亜酸化窒素およびメタン（温室効果ガス）の分析、交通安全環境研究所フォーラム 2009 講演概要、pp.119-122, 2009
- （5）山本、小川、佐藤：車載計測システムを用いた実路走行時の環境負荷量の計測および増大要因の解析（第2報）—排出ガス有害成分の増大要因となるエンジン制御状態に関する考察—、自動車技術会論文集、Vol. 38, No. 6, pp. 229-234, 2007