

4. 高度化したデジタコを用いた重量貨物車の使用過程での燃費およびNO_x排出量検査方法に関する研究

－NO_xセンサによる燃費およびNO_x排出量測定－

環境研究領域

※山本 敏朗

堤 玲子

水嶋 教文

1. 研究の背景

今世紀に入り、我が国においては、新型自動車に対する排出ガス規制が次々と強化されてきた。それに伴ってディーゼル車には、ディーゼル微粒子捕集フィルター（DPF）や尿素SCRシステム等の排気後処理装置や高度な電子制御装置が搭載された^{(1)、(2)}。これらの装置は、車両の運転条件や気温等の環境条件によって、その作動状態が大きく影響されるため、認証時の室内試験での排出ガス状態と実路走行時の排出ガス状態との乖離が顕在化することとなった。この状況は欧米においても同様であり、室内試験法による排出ガス規制の強化によって大気質の改善を図ってきたが、近年、その改善効果が頭打ちとなってきた。これは前述したように室内試験と実路走行時で排出ガス状態が異なること（公定試験モードを外れた走行状態（オフサイクル）での高いNO_x排出、コールドスタート時の排出量増加等）や、使用過程での排出ガス低減装置の劣化等に伴う排出量の増加に起因するものと考えられた⁽³⁾。そこで、WHTC（重量車世界統一試験サイクル）の適用による試験法の改善やディフューストストラテジー（排出ガスを悪化させるエンジン制御）の使用禁止、さらにWWH-OBD（高度な車載式故障診断システム）の導入と共に、使用過程の重量貨物車に対して実路走行時の排出ガスを車載型排ガス計測器（PEMS：Portable Emission Measurement System）で測定する排出ガス試験法⁽⁴⁾、⁽⁵⁾の導入が検討された。

一方、我が国においても、オフサイクル対策としてディフューストストラテジーの使用禁止を定める⁽⁶⁾とともに、排気後処理装置に関する耐久試験法の見直しについても検討することとなった。また、現在、使用過程車の排出ガス性能維持方策としては、継続検査、街頭検査、OBD（乗用車には適用済み、重量貨物車にも適用予定）およびサーベイランス（公的機関によ

る使用過程車の抜き取り検査、検討段階）が実施あるいは検討されている。本研究では、特に、総走行距離が平均で60万kmを超える重量貨物車の使用過程での継続検査に注目した。本検査では、オパシメータ等を用いた粒子状物質の検査は実行されているものの、排ガス検査については有効な検査方法がないことから実行されていないのが現状である。そこで、この排ガス検査を欧米で検討されているPEMSによって行うことを考えた。ただし、既存のPEMSは、定置型排ガス分析計と比べればコンパクトではあるが、本体とバッテリーを合わせると100kg程の重量であり、設置場所が問題となる。ここで、我が国と欧米では、使用されることの多い貨物自動車の形態が異なる。即ち、我が国では箱車が多いのに対して、欧米では運転席と荷台が分離できる構造のトレーラー式車両が多い。このことから、試験実施時に、欧米ではPEMSの取り付けが容易な覆い等のない荷台の選択が可能なのに対して、我が国ではサンプリングプローブ等を通すために荷台に穴を開ける等の加工が必要となる。このことは我が国にPEMS試験法を導入するに当たっての課題となる。また、本試験を実行するには、PEMSの取り付けおよび操作を専門の技術者が行うこととなるため、試験対象の商用車を一定期間借用する必要がある。これに伴って事業者は経済的な不利益を被ることになるため、PEMS試験の導入においては何らかの対策が必要と考える。

2. 研究の目的

以上のような事情を踏まえた上で、打開策として、本研究では、運送事業用貨物車への導入が進むデジタル式の運行記録計（デジタコ）にNO_xセンサ信号や吸入空気量、燃料噴射量等のCAN（Controller Area Network）信号等を取り込むことにより、新たに燃費・NO_x計測機能付きデジタコを構成し、これを簡易型PEMSとして用いて実走行時に燃費およびNO_x

排出量の測定を行って重量貨物車の使用過程での継続検査を実施する「簡易式PEMS検査」を提案する。ここで、運行記録計の装着義務は「車両総重量8 t以上または最大積載量5 t以上」のトラックに限られているが、現在、対象車両の拡大が検討されている⁽⁷⁾。また、近年の排出ガス規制の強化に伴うディーゼル車および排出ガス低減技術の高度化により、COおよびNMHC（非メタン炭化水素）の排出についてはほとんど考慮する必要はなく、NO_x排出のみに注力すればよいと考えられる。さらに、省エネ法の改正⁽⁸⁾に伴って、一定規模以上の輸送事業者および荷主に対して省エネ計画の作成、エネルギー使用量等の定期報告等が義務付けられていることから、燃費測定および燃費検査を検討することとした。

本研究で簡易型PEMSとして提案する燃費・NO_x計測機能付きデジタコの特長を以下に記す。①装置は排気管直挿型NO_xセンサとデジタコで構成され、サイズはNO_xセンサが空燃比センサ程度、またデジタコがカーオーディオ程度とコンパクトである。②装置重量は、NO_xセンサとデジタコを合わせて1 kg程度であり、100 kg超の計測器の搭載が不要となる。③水素、空気およびスパンガス（5成分混合）から成る3本のガスボンベの搭載が不要となる。④消費電力の大幅低減により大型バッテリーの搭載が不要となる。⑤NO_xセンサは排気管に取り付け、またデジタコは運転席のダッシュボードに設置するため、従来型PEMSのように荷台に設置スペースを設ける必要がない。従って、荷台等への加工は一切不要となる。⑥NO_xセンサは、尿素SCRシステム使用のセンサで代用できる。また、今後、NO_xセンサがOBDに使用される場合は、これとの併用も可能である。

本報告では、燃費・NO_x計測機能付きデジタコを構成する前段階として、NO_xセンサ信号や吸入空気量等のCAN信号を測定してデータロガーに記録し、それらを基に算出した燃費およびNO_x排出量と、公定試験法による測定値あるいは従来型PEMSでの測定値との比較を行い、測定の正確さや相関性を検討した。さらに、従来型PEMS試験の課題の1つである商用車を一定期間占有することによる運送事業者への負担を解消するため、デジタコ内蔵の通信モジュールを使い、NO_xセンサ信号をクラウドサーバー上に記録し、そのデータを基に遠隔地でNO_x排出および燃費の検査を行うことを考え

た。第一段階として、クラウドサーバー上に送信したNO_x濃度データとPEMSで収録したNO_x濃度データを比較して通信データの信頼性を検証した。

3. 実験方法

本試験では、試験車両のCANに接続して、車速、エンジン回転速度、吸入空気量および燃料噴射量の各信号を取得した。試験車両の主な諸元を表1に示す。同表より、試験車両のNO_x低減対策がEGR（排気ガス再循環）であることから、NH₃の排出がないことがわかる。NO_xセンサは、NH₃をNO_xとして誤って検出してしまうNH₃干渉の問題⁽⁹⁾があるが、本試験車両では、このNH₃干渉を考慮する必要がない。今後、尿素SCRシステム搭載車両のようにNH₃排出の可能性がある場合は、NH₃干渉分も含めて「NO_x排出量+NH₃排出量」として評価するなどの工夫が必要であると考えられる。試験車両の荷台には、計測データの比較に用いる従来型PEMS（堀場製作所製OBS-2200車載式排出ガス分析装置）を搭載し、同装置付属のピトー管式排ガス流量計により瞬時排出ガス流量を計測した。NO_x濃度および空燃比（A/F）の計測に用いたNO_xセンサの外観を、図1に示す。同センサは、ネジ部より先にあるZrO₂素子を排気管内に挿入して用い、NO

表1. 供試車両の主要諸元

車両カテゴリ	小型貨物車
年式	2012
車両総重量 (kg)	6,585
最大積載量 (kg)	3,000
車体形状	バンボディー
走行距離 (km)	8,725
エンジン型式	直列4気筒、インタークーラーターボ
エンジン排気量 (L)	3
エンジン最高出力 (kW/rpm)	110/2800
エンジン最大トルク (Nm/rpm)	375/1400~2800
排出ガス対策	EGR, DOC+DPF
適合排出ガス規制	平成22年規制



図1. NO_xセンサの外観

表2. 供試NO_xセンサの主要諸元

測定原理	ZrO ₂ 素子のO ₂ ポンプ機能を利用
NO _x 出力レンジ	NO: 0~1000ppm 出力: 0.31~4.8V 応答性: <400 m sec
A/F出力レンジ	A/F=13.2~17.2 出力: 2.16~2.81V O ₂ =0~18% 出力: 2.5~4.5V 応答性: <200 m sec

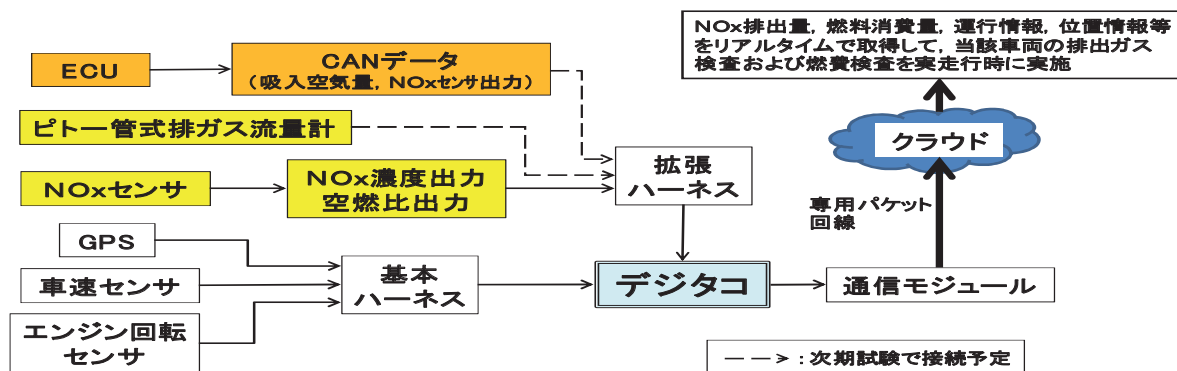


図2. 試験用デジタコの信号の入出力関係

x濃度およびA/Fに対応した電圧を出力する。供試NOxセンサの主な諸元を表2に示す。同センサで測定可能なNOx濃度の上限は、1,000ppmである。NOxセンサによるA/F値の算出には、走行試験データを基に作成した検量線を用いた。

試験に用いたデジタコ（トランストロン製DTS-C1）は、車速、エンジン回転速度およびGPSの入力に用いる基本ハーネスのみならず、入力信号の追加ができる拡張ハーネスを有する。図2に、試験用デジタコの信号の入・出力関係を示す。今回の試験では、一部の路上走行試験において、NOxセンサからのNOx濃度出力信号とA/F出力信号を拡張ハーネスを通じてデジタコに入力した。今後、CANデータの吸入空気量信号やピトー管式排ガス流量信号についても、拡張ハーネスからの入力を検討していく予定である。

本試験用デジタコには、通信モジュールが内蔵されていることから、図2に示すように拡張ハーネスへの信号入力が全てできるようになれば、試験車両とは別の場所において、実路走行時のNOx排出量および燃費データを運行情報や位置情報等とリンクさせてリアルタイムに取得できる。本試験では、遠隔地でのデータの取得とNOx排出量検査の可能性を

検討するため、実路走行時に、NOxセンサのNOx濃度出力信号をクラウドサーバーに送信してサーバー上にデータを記録した。

上記の試験装置を車載した状態を、図3に示す。この試験車両を用いたシャシダイナモメータ（CD）台上試験では、NOxセンサのNOx濃度およびA/F出力の正確さやPEMS測定値との相関を検証するため、JEO5モードあるいはECEモードを運転して各種データを測定した。また、実路走行時のNOxセンサ性能を検証するため、路上走行試験を実施した。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8.75km）を、積載重量約1,500kg（分析装置の重量を含む）で往復走行し、各種データの測定を行った。

4. 実験結果および考察

4. 1. NOxセンサを用いたNOx排出量および燃費の算出における正確さ

本研究で提案する燃費・NOx計測機能付きデジタコによる「簡易式PEMS検査」において、その要

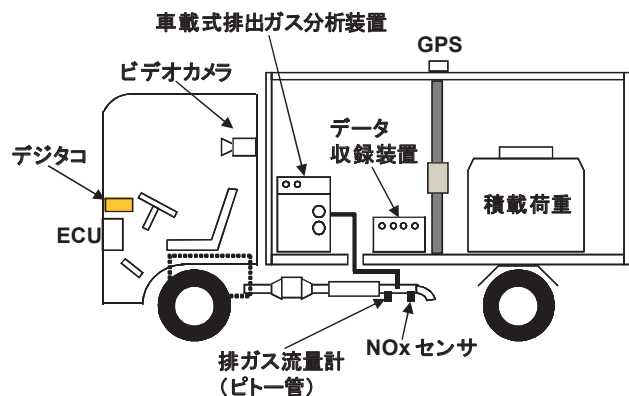


図3. 車載実験装置

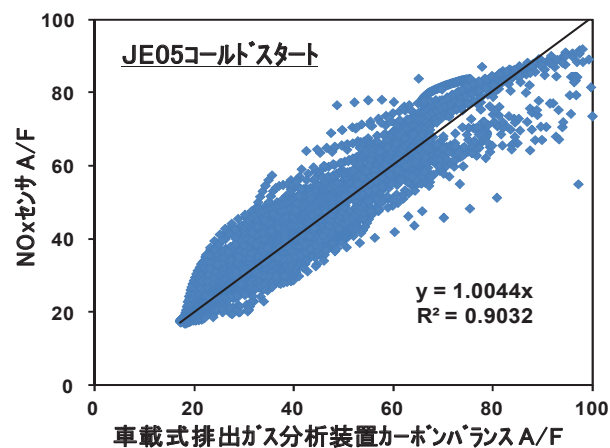


図4. NOxセンサによるA/F測定値とPEMSによるカーボンバランスA/Fの相関

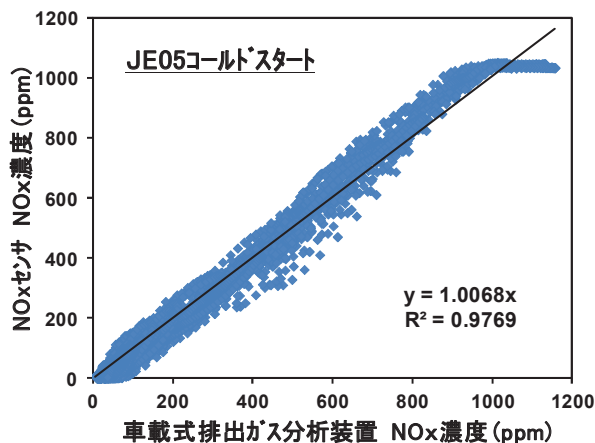
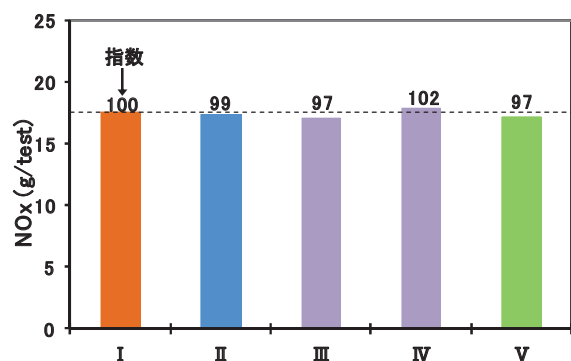


図5. NOx センサによるNOx 濃度測定値とPEMS によるNOx 濃度測定値の相関

となるのはNOx センサを用いたNOx 濃度およびA/Fの計測の正確さであり、さらにNOx 排出量および燃費の算出に必要となる排出ガス流量あるいは吸入空気量の計測の正確さである。

図4に、NOx センサのA/F測定値とPEMSによるカーボンバランスA/Fの相関を示す。ここでは、モード運転時のA/F変動下での結果であることから、加減速条件などでは排ガス分析の応答時間に依存するカーボンバランスA/Fの応答性がNOx センサに比べて劣る。このことから、図中のプロットにばらつきが見られるが、両者には強い相関性が認められる。一方、NOx センサのNOx 濃度測定値とPEMSによるNOx 濃度測定値の相関を、図5に示す。モード運転時の瞬時値をプロットしているにもかかわらずばらつきも少なく、両者には極めて強い相関性が認められる。以上の結果から、NOx センサのA/F



	NOx排出量(g/test)算出方法
I	定置式排出ガス分析装置によるCVS法Bag分析
II	NOxセンサ+吸入空気量(CAN)
III	NOxセンサ+ピトー管排出ガス流量
IV	PEMS+吸入空気量(CAN)
V	PEMS+ピトー管排出ガス流量

図7. JE05 モードコールドスタート試験における各種方法によるNOx 排出量の算出

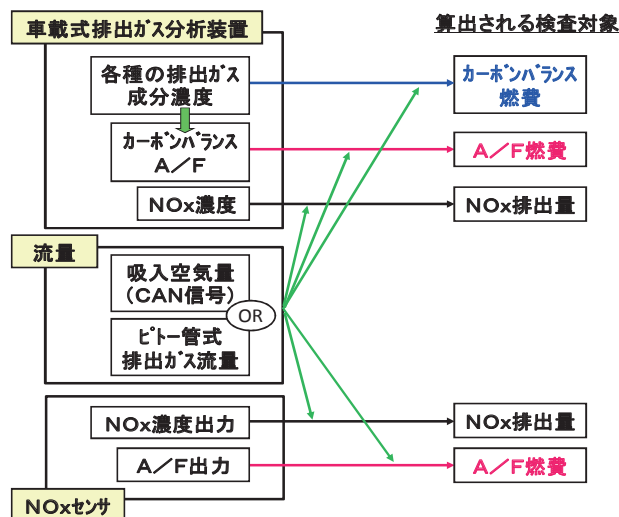
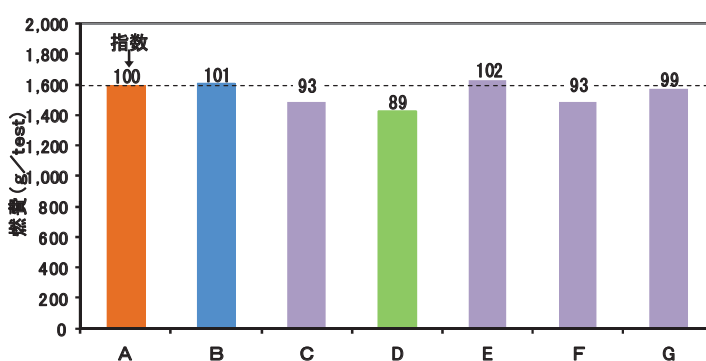


図6. NOx センサあるいはPEMSによる測定値から算出されるNOx 排出量および燃費

F測定およびNOx 濃度測定の正確さは、試験用PEMSと同等であると考えられる。

次に、供試NOx センサにより算出される燃費およびNOx 排出量の正確さの評価を他の手法による算出値と比較することによって行った。ここで、燃費は吸入空気量をA/Fで除算して得られることから、本報告では、「A/F燃費」と呼ぶこととする。従来のPEMS測定では、排出ガス中の炭素含有成分の排出量から算出される「カーボンバランス燃費」を用いていることから、両燃費値に隔たりがあるか確認する必要がある。図6に、従来のPEMS測定で得られる結果とNOx センサを用いた測定で得られる結果を整理して示す。同図に示すように、NOx 排出量および燃費は、ピトー管式流量計による排出ガス



	燃費(g/test)算出方法
A	定置式排出ガス分析装置によるCVS法Bag分析におけるカーボンバランス燃費
B	吸入空気量(CAN)/NOxセンサA/F
C	(ピトー管排出ガス流量×排出ガス密度)/(1+NOxセンサA/F)
D	PEMS分析によるカーボンバランス燃費(ピトー管排出ガス流量を使用)
E	PEMS分析によるカーボンバランス燃費(カーボンバランスA/Fと吸入空気量(CAN)により排出ガス流量算出)
F	吸入空気量(CAN)/PEMS分析によるカーボンバランスA/F
G	燃料噴射量信号より算出した燃費

※排出ガス密度: 1.20kg/m³ (λ>1, 標準状態: 20°C, 1気圧)

図8. JE05 モードコールドスタート試験における各種方法による燃費の算出

流量あるいはCANから取得した吸入空気量のいずれかを用いて算出し、それぞれを比較して評価を行った。図7に、CD台上において、J E O 5モードコールドスタート試験を実施したときのNO_x排出量(g/test)を、I～Vの方法で算出し、それらをIの値を100とする指数で表し比較して示す。ここで、Iの方法(定置式排出ガス分析装置によるCVS法バッグ分析)は公定試験法で定められた方法であることから、Iの値を真値近傍の目標値と考えると、本研究で提案する「NO_xセンサ+CAN取得の吸入空気量」のIIの方法による算出値は、目標値と極めてよく一致していることがわかる。これに対して、従来のPEMS測定による算出値であるVの値は、Iの値を3%程下回っていることがわかる。この乖離の原因は、IVの「PEMS+CAN取得の吸入空気量」の値がIの値に近づくことから、ピトー管式流量計の測定の正確さが不十分であることに起因すると推察する。

図8は、J E O 5モードコールドスタート運転での燃料消費量(g/test)をA～Gの方法で算出し、それらをAの値を100とする指数で表し比較した結果である。本報告では、燃料消費量(g/test)を燃費(km/L)に換算する段階で用いる燃料密度(g/L)および走行距離(km/test)に含まれる誤差の影響を避けるため、燃料消費量(g/test)を燃費の評価に用いた。ここで、図中のAは、公定試験法で定められた方法(カーボンバランス法)による算出値であることから目標値であると考え、Bの「CAN取得の吸入空気量をNO_xセンサによるA/Fで除算して求めたA/F燃費」は、この値と極めてよく一致していることがわかる。一

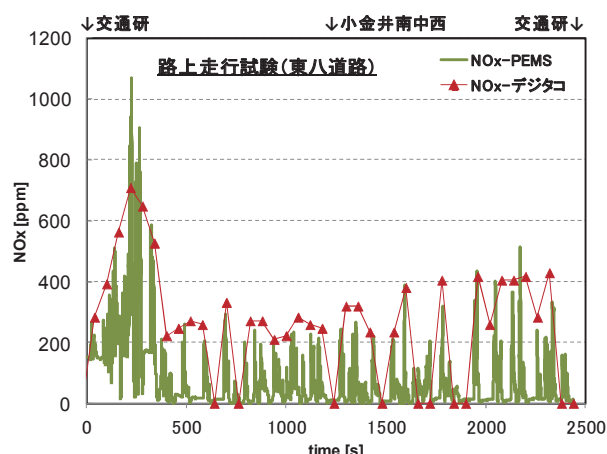


図9. NO_x センサのNO_x 濃度出力信号のクラウドサーバーへの送信試験の結果

方、Gは「CAN取得の燃料噴射量信号より算出した燃費」であり、燃料供給側からの算出値もAおよびBの値とよく一致していることがわかる。これに対して、従来のPEMS測定による算出値であるDの値は、Aの値を下回っていることがわかる。これもNO_x排出量の場合と同様に、ピトー管式流量計の測定の正確さに起因するものと考えられる。

以上より、本試験では、NO_x排出量および燃費の算出において、「NO_xセンサ+CAN取得の吸入空気量」の方法が公定試験法と同等の結果となったことから、燃費・NO_x計測機能付きデジタコの有効性を示すことができたと考える。

4. 2. NO_xセンサ信号のクラウドサーバー送信による走行業務中における遠隔地検査の可能性

従来のPEMS検査では、検査のために商用車を一定期間占有するため、運送事業者には負担がかかるという問題があった。この問題を解決するため、図2で示したデジタコ内蔵の通信モジュールを使い、NO_xセンサ信号をクラウドサーバー上に記録し、そのデータを基に遠隔地でNO_x排出および燃費の検査を行うことを考えた。本試験では、第一段階として、クラウドサーバー上に送信したNO_x濃度データとPEMSで収録したNO_x濃度データを比較して通信データの信頼性を検証した。その結果を、図9に示す。試験は、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を、半積載で往復走行した。図中のデジタコの送信データは、現状の通信プログラムの制約から、1分間に排出されたNO_x濃度の最大値を1分間隔でクラウドサーバーに送信した結果を示している。デジタコデータとPEMSデータを比較すると、排出傾向が概ね一致していることから、送信間隔の短縮や信号処理の工夫により遠隔地でのNO_x排出量の評価が可能であると考えられる。

5. 今後の課題

本報告において、燃費・NO_x計測機能付きデジタコの導入により、重量貨物車の使用過程における排ガス検査の可能性を示すことができた。ただし、CAN取得の吸入空気量信号を用いることが前提となる。現在、我が国において、自動車のCAN信号の取り込みについては標準化されておらず、メーカー独自の仕様となっている。今後、CAN信号取得に関しての情報

開示や仕様の標準化等について検討していくことが重要である。

6. まとめ

デジタル式の運行記録計（デジタコ）にNO_xセンサ信号や吸入空気量等のCAN信号等を取り込むことにより、実走行時に燃費およびNO_x排出量の測定を行い、重量貨物車の使用過程での継続検査を実施する「燃費・NO_x計測機能付きデジタコによる簡易式PEMS検査」を提案した。本報告では、上記の高度化デジタコを構成する前段階として、NO_xセンサ信号や吸入空気量等のCAN信号等を測定してデータロガーに記録し、それらを基に算出した燃費およびNO_x排出量から上記のコンセプトを検証し、以下の点を明らかにした。

(1) NO_xセンサ信号や吸入空気量等のCAN信号を用いて計測および算出した燃費およびNO_x排出量と、公定試験法による測定値あるいは従来型PEMSでの測定値との比較を行った。その結果、NO_x排出量および燃費の算出において、「NO_xセンサ+CAN取得の吸入空気量」の方法が公定試験法と同等の結果を示し、燃費・NO_x計測機能付きデジタコの有効性を実証することができた。

(2) 従来型PEMS試験の課題の1つである商用車を一定期間占有することによる運送事業者への負担の問題を解消するため、デジタコ内蔵の通信モジュールを使い、NO_xセンサ信号をクラウドサーバー上に記録し、そのデータを基に遠隔地でNO_x排出および燃費の検査を行うことを考えた。第一段階として、クラウドサーバー上に送信したNO_x濃度データとPEMSで収録したNO_x濃度データを比較して通信データの信頼性を検証した結果、両者の排出傾向が概ね一致したことから、今後、送信間隔の短縮や信号処理の工夫等により遠隔地でのNO_x排出量の評価が可能であると考えられた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、試験用デジタコのデータ収録プログラムの改造およびセッティング等において株式会社トランストロンの倉地晶氏、桂剛氏、塚本恒久氏および村瀬勇樹氏、試験車の運転において株式会社プラウドの宮本文昭氏、シャシダイナモメータ台上試験装置の運転等に交通安全環境研究所環境研究領域の渡辺敬太郎氏にご尽力いただいた。ここに謝辞を表す。

参考文献

- (1) 大聖泰弘：最近の自動車の排気浄化と燃焼改善に関する技術開発動向，デンソーテクニカルレビュー，Vol. 11 No. 1 (2006)
http://www.denso.co.jp/ja/aboutdenso/technology/dtr/v11_1/files/dissertation01itp6.pdf
- (2) 大聖泰弘：ディーゼル自動車の排出ガス対策技術の最新動向，平成25年度交通安全環境研究所講演会講演概要，pp. 41-62 (2013)
https://www.ntsel.go.jp/kouenkai/h25/3_daisho.pdf
- (3) Daniel Rutherford：欧米、アジア等におけるディーゼル自動車の排出ガス対策技術とその現状，平成25年度交通安全環境研究所講演会講演概要，pp. 63-74 (2013)
https://www.ntsel.go.jp/kouenkai/h25/4_rutherford.pdf
- (4) 相馬誠一，南利貴：重量車の車載型排ガス計測器に関する検討（第1報）－計測法の検討－，JARI Research Journal，第32巻 第12号 (2010. 12)
- (5) 相馬誠一，南利貴：重量車の車載型排ガス計測器に関する検討（第2報）－実路試験評価法の検討－，JARI Research Journal，(2012. 2)
http://www.jari.or.jp/resource/pdf/JRJ/JRJ20120201_q.pdf
- (6) 国土交通省：オフサイクルにおける排出ガス低減対策検討会 最終とりまとめ発表資料，(2012. 3. 30)
<http://www.mlit.go.jp/common/000206838.pdf>
- (7) 国土交通省：第3回「トラックにおける運行記録計の装着義務付け対象の拡大のための検討会」会議資料，(2012. 8. 9)
<http://www.mlit.go.jp/common/000221050.pdf>
- (8) 国土交通省：改正省エネ法（輸送分野）の施行に係る周知パンフレット，(2006)
<http://www.mlit.go.jp/common/000012386.pdf>
- (9) 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)