

車載式排出ガス分析装置を用いた実路走行時の 環境負荷量の計測及び評価に関する検討（第1報）

—最新排ガス対策車に適応した車載式排出ガス分析装置の基本性能について—

環境研究領域 ※ 山本敏朗 鈴木央一 小川恭弘 米川 誠

1. まえがき

公定試験モード以外の走行条件における排出ガス対策（オフサイクル対策）に関する調査や、シャシ台上試験が困難な車両に対して排出ガスの性能評価を実施する場合などにおいて、実路走行条件での排出ガス性能試験が必要となる。本報では、このような実路走行試験において重要となる環境性能の実用的な評価方法を確立するために、実路走行での排出ガス及び燃費などの環境負荷量を精度良く計測するために必要な車載式排出ガス分析装置について検討した。最

新排ガス対策車に適応できる車載式装置を対象として、シャシ台上および実路走行試験を実施し、同装置の精度や適用性等に関する技術的評価を行った。その結果、供試車載分析装置の改善すべき点が明らかになるとともに、実路走行時における路面状態等の影響に関する新たな知見を得ることができた。

2. 車載式排出ガス分析装置の仕様

本試験に用いた車載式排出ガス分析装置の主な仕様を、表1に示す。同表には、交通安全環境研究所が所有している車載式分析装置Aと、

表1 試験に用いた車載式排出ガス分析装置の主な仕様

測定項目	車載式分析装置A		車載式分析装置B	
	加熱型NDIR(wet測定)	NDIR(dry測定)	加熱型NDIR(wet測定)	NDIR(dry測定)
CO	0-1~0-12 vol%	0-0.5~0-12 vol%	0-1~0-12 vol%	0-0.5~0-12 vol%
測定レンジ	フルスケールの±1.0%以内	フルスケールの±0.4%以下	フルスケールの±1.0%以内	フルスケールの±0.4%以下
直線性	フルスケールの±2.0%以下	ゼロ フルスケール±1.0%以内 スパン 読み値±1.0%以内	フルスケールの±2.0%以下	ゼロ フルスケール±1.0%以内 スパン 読み値±1.0%以内
ノイズ	フルスケールの±1.0%以内	ゼロ フルスケール±2.0%/4h以内 スパン 読み値±2.0%/4h以内	フルスケールの±1.0%以内	ゼロ フルスケール±2.0%/4h以内 スパン 読み値±2.0%/4h以内
再現性	フルスケールの±2.0%/4h以内	Td 5.0秒以内、T90 3.0秒以内	フルスケールの±2.0%/4h以内	Td 5.0秒以内、T90 3.0秒以内
ゼロ・スパンドリフト	Td 4.0秒以内、T90 2.5秒以内		Td 4.0秒以内、T90 2.5秒以内	
サンプルライン				
応答速度				
CO2	0-10~0-25 vol%	0-5~0-20 vol%	0-10~0-25 vol%	0-5~0-20 vol%
測定レンジ	フルスケールの±1.0%以内	フルスケールの±0.4%以下	フルスケールの±1.0%以内	フルスケールの±0.4%以下
直線性	フルスケールの±2.0%以下	ゼロ フルスケール±1.0%以内 スパン 読み値±1.0%以内	フルスケールの±2.0%以下	ゼロ フルスケール±1.0%以内 スパン 読み値±1.0%以内
ノイズ	フルスケールの±1.0%以内	ゼロ フルスケール±2.0%/4h以内 スパン 読み値±2.0%/4h以内	フルスケールの±1.0%以内	ゼロ フルスケール±2.0%/4h以内 スパン 読み値±2.0%/4h以内
再現性	フルスケールの±2.0%/4h以内	Td 5.0秒以内、T90 3.0秒以内	フルスケールの±2.0%/4h以内	Td 5.0秒以内、T90 3.0秒以内
ゼロ・スパンドリフト	Td 4.0秒以内、T90 2.5秒以内		Td 4.0秒以内、T90 2.5秒以内	
サンプルライン				
応答速度				
HC	0-1000~0-5000 ppmC6	0-100~0-10000 ppmC	0-1000~0-5000 ppmC6	0-100~0-10000 ppmC
測定レンジ	フルスケールの±1.0%以内	フルスケールの±0.4%以下	フルスケールの±1.0%以内	フルスケールの±0.4%以下
直線性	フルスケールの±2.0%以下	ゼロ フルスケール±1.0%以内 スパン 読み値±1.0%以内	フルスケールの±2.0%以下	ゼロ フルスケール±1.0%以内 スパン 読み値±1.0%以内
ノイズ	フルスケールの±1.0%以内	ゼロ フルスケール±2.0%/4h以内 スパン 読み値±2.0%/4h以内	フルスケールの±1.0%以内	ゼロ フルスケール±2.0%/4h以内 スパン 読み値±2.0%/4h以内
再現性	フルスケールの±2.0%/4h以内	Td 5.0秒以内、T90 3.0秒以内	フルスケールの±2.0%/4h以内	Td 5.0秒以内、T90 3.0秒以内
ゼロ・スパンドリフト	Td 4.0秒以内、T90 2.5秒以内		Td 4.0秒以内、T90 2.5秒以内	
サンプルライン				
応答速度				
NOx	0-3000 ppm	0-100~0-3000 ppm	0-3000 ppm	0-100~0-3000 ppm
測定レンジ	-	フルスケールの±0.4%以下	-	フルスケールの±0.4%以下
直線性	-	ゼロ フルスケール±1.0%以内 スパン 読み値±1.0%以内	-	ゼロ フルスケール±1.0%以内 スパン 読み値±1.0%以内
ノイズ	-	ゼロ フルスケール±2.0%/4h以内 スパン 読み値±2.0%/4h以内	-	ゼロ フルスケール±2.0%/4h以内 スパン 読み値±2.0%/4h以内
再現性	-	Td 5.0秒以内、T90 3.0秒以内	-	Td 5.0秒以内、T90 3.0秒以内
ゼロ・スパンドリフト	-		-	
サンプルライン	-		-	
応答速度	-		-	
排ガス流量	Pitot管式流量計	改良型Pitot管式流量計	Pitot管式流量計	改良型Pitot管式流量計
測定レンジ	0-6 m ³ /min	0-2.0~0-65 m ³ /min までの8レンジ	0-6 m ³ /min	0-2.0~0-65 m ³ /min までの8レンジ

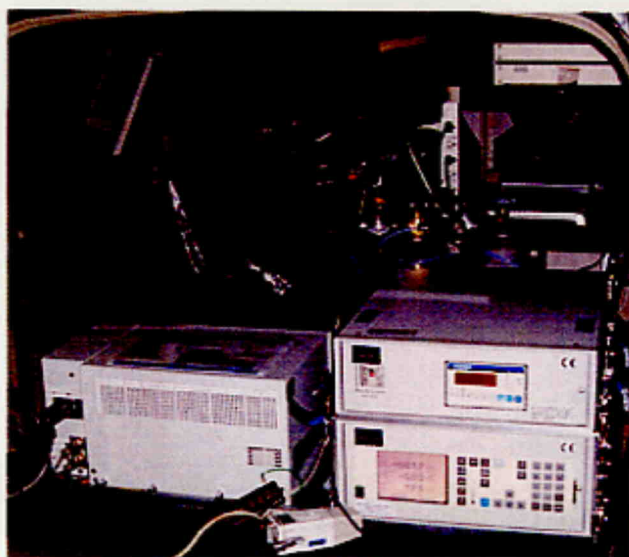


写真1 車載式分析装置Aの外観

それに今回、株式会社堀場製作所から借用した次期車載式排出ガス分析装置として開発中の車載式分析装置Bについて、分析項目CO、CO₂、HC、NO_x及び排出ガス流量に関して、それぞれを比較して示している。車載式分析装置AはNO_xに関しては直捜型ジルコニアセンサを、それ以外の分析項目についてNDIR方式を採用しているのに対して、車載式分析装置BではHCに対してはFID方式を、NO_xに対してはCLD方式を採用して分析精度及び信頼性の改善を図っている。

3. 試験方法

本試験で用いた車載式排出ガス分析装置の外観を、写真1と写真2に示す。写真1は、試験車両（ストイキ制御型ガソリン乗用車）の荷台に車載式分析装置Aを設置した状態を示している。写真の手前側に見える箱状の筐体がNDIR分析部である。その奥にはキャリブレーション用のボンベガスとして、N₂ガスボンベと3種混合ガス（N₂ベースでCO、CO₂及びC₃H₈を混合したガス）ボンベが置かれている。

写真2は、車載式分析装置Bを試験車両に搭載した状態を示す。写真手前の箱状の筐体にNDIR、FID及びCLDの各分析部が内蔵されている。その右側には、手前からキャリブレーション用のボンベガスとして4種混合ガス（N₂ベースでCO、CO₂、C₃H₈及びNOを混合したガス）ボンベ、精製空気（ゼロガス及びFID用助燃空気）ボンベ及びFID用燃料ガス（HeベースのH₂ガス）ボンベが置かれてい

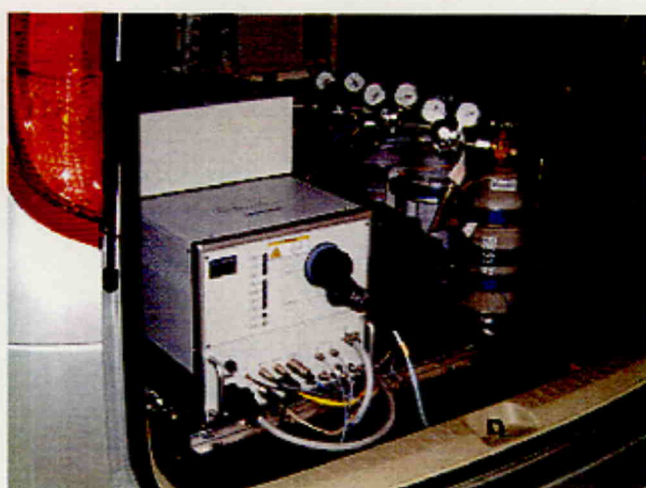


写真2 車載式分析装置Bの外観

る。

それぞれの車載式排出ガス分析装置は、前述の供試車両に設置した上で、シャシ台上試験あるいは実路（当研究所の熊谷走行試験路上、以下「路上」と記す）での走行試験を実施し、排出ガス分析及び排出ガス流量計測に関する性能評価を行った。実路走行時の排出ガス流量計測法の選択肢の一つとして、スピードデンシティ法に基づく「吸入空気量補正マップ法」を評価の対象として加えた。この手法は、予め、シャシ台上で供試車両にラミナー流量計を装着してモード運転等を実施し、そのときのラミナー流量計測値と数式による推定値とを比較することにより吸入空気量補正マップを算出しておく。そして実路走行時には、この補正マップとエンジン回転数及び吸気管圧力を加えて演算することにより、瞬時排出ガス流量を算出する方法である。性能評価に用いた走行モードは、10・15モード、JC08モード、渋滞走行モード及び定加速モードの4パターンである。試験路での走行試験においても、10モード及び定加速モードを車載のドライバーズエイド（運転パターン指示装置）からの指令車速画像を頼りに運転を行った。なお、車載式分析装置Bに関しては、試験路での走行試験を実施していない。

4. 試験結果と考察

4.1. 車載式排出ガス分析装置に関するシャシ台上試験結果

4.1.1 車載式分析装置Aの排出ガス分析性能 シャシ台上においてJC08モードを運転し

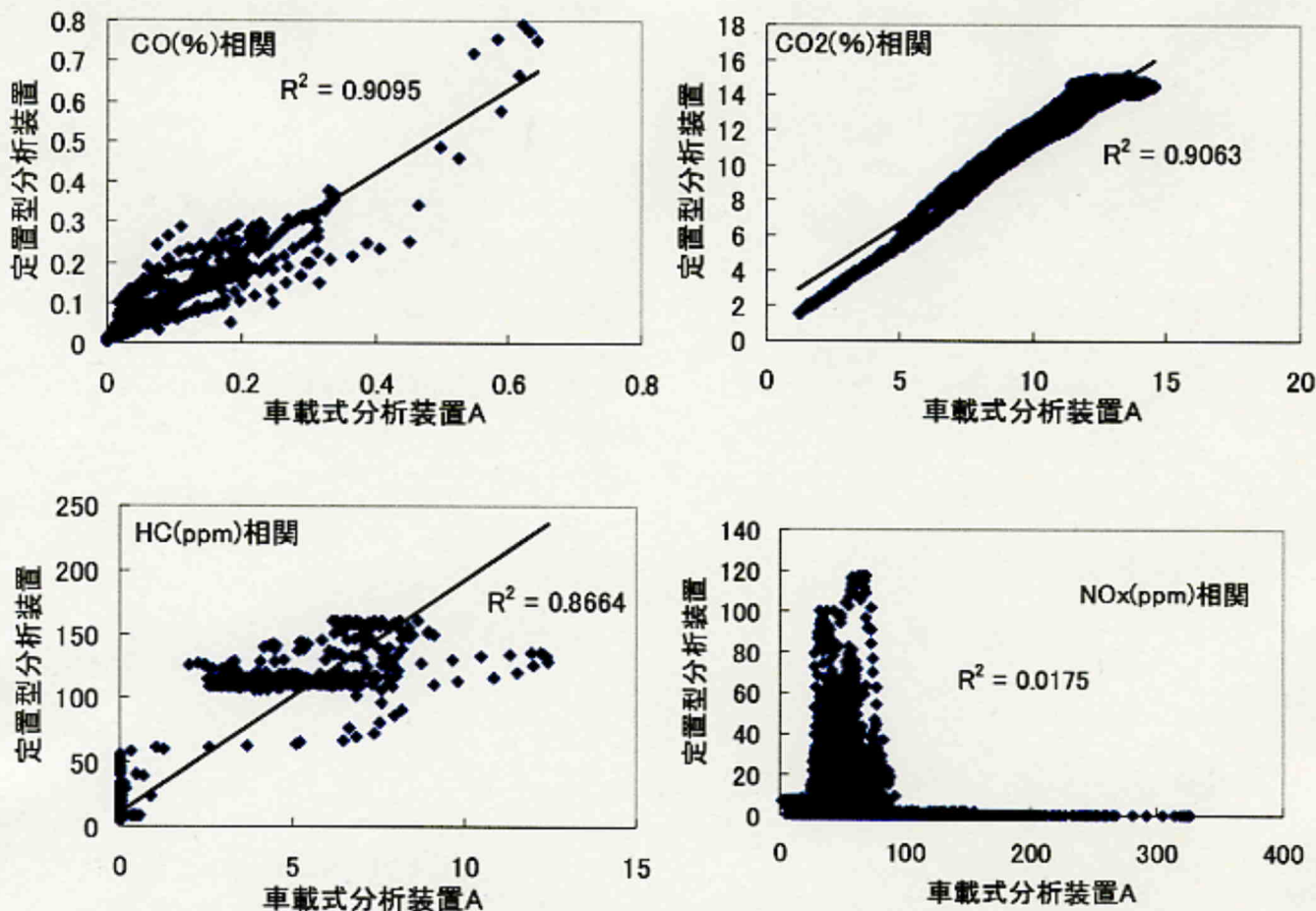


図1 JCO8モード運転時の排出ガスに関する車載式分析装置Aと定置型分析装置の相関
(両分析装置ともに遅れ時間補正後のデータを使用)

たときの車載式分析装置Aと定置型排出ガス分析装置（堀場製作所製MEXA-9400D）のそれぞれの排出ガス分析データを用いて、両装置の分析結果に関する相関性を調べた。その結果を図1に示す。同図より、COとCO₂に関して相関性は認められるが、HCに関しては相関性が弱く、またNO_xに関して相関性は認められないことがわかる。定置型排出ガス分析装置は高精度のガス分析が可能なることから、相関性が認められたCOとCO₂の分析に関しては車載式排出ガス分析装置として使用が可能であると考え。一方、相関性の弱いHCに関しては、車載式分析装置AがNDIR方式を採用しており、測定時の最低レンジが1000ppm（ $n-C_6H_{14}$ 換算）と高いことから十分な分析精度を得られないことが原因であると考え。また、相関性のないNO_x分析に関しては、ジルコニアセンサ方式を採用しており、この方式では排出ガス中のNH₃の干渉影響を大きく受けることから、三元触媒車のように排気中に高濃度のNH₃が存在する場合には、排出ガスの空燃比がリッチ側の低濃度のNO_xしか存在しな

い条件においても高濃度のNO_xが誤検出されてしまい正確なNO_xの分析は期待できない⁽¹⁾。定置型排出ガス分析装置との相関図において、分布が2極化しているのはこのためである。

4.1.2 車載式分析装置Bの排出ガス分析性能

同様に、シャシ台上においてJCO8モードを運転したときの車載式分析装置Bと定置型排出ガス分析装置のそれぞれの排出ガス分析データを用いて、両装置の分析結果に関する相関性を調べた。その結果を図2に示す。同図より、CO、CO₂、HC及びNO_xのいずれに関しても相関性は認められることがわかる。車載式分析装置Bは、COとCO₂の分析にNDIR方式を用いる点で車載式分析装置Aと同様であるが、HC分析においてFID方式を、またNO_x分析においてCLD方式をそれぞれ採用することによって、実路走行時の排出ガス分析に対応できるように改善されていることがわかる。

4.1.3 排出ガス流量の測定

実路走行試験において排出ガス性能を評価するためには、排出ガスの濃度分析と同様に排出ガス流量の測定も重要となる。車載式分析装置

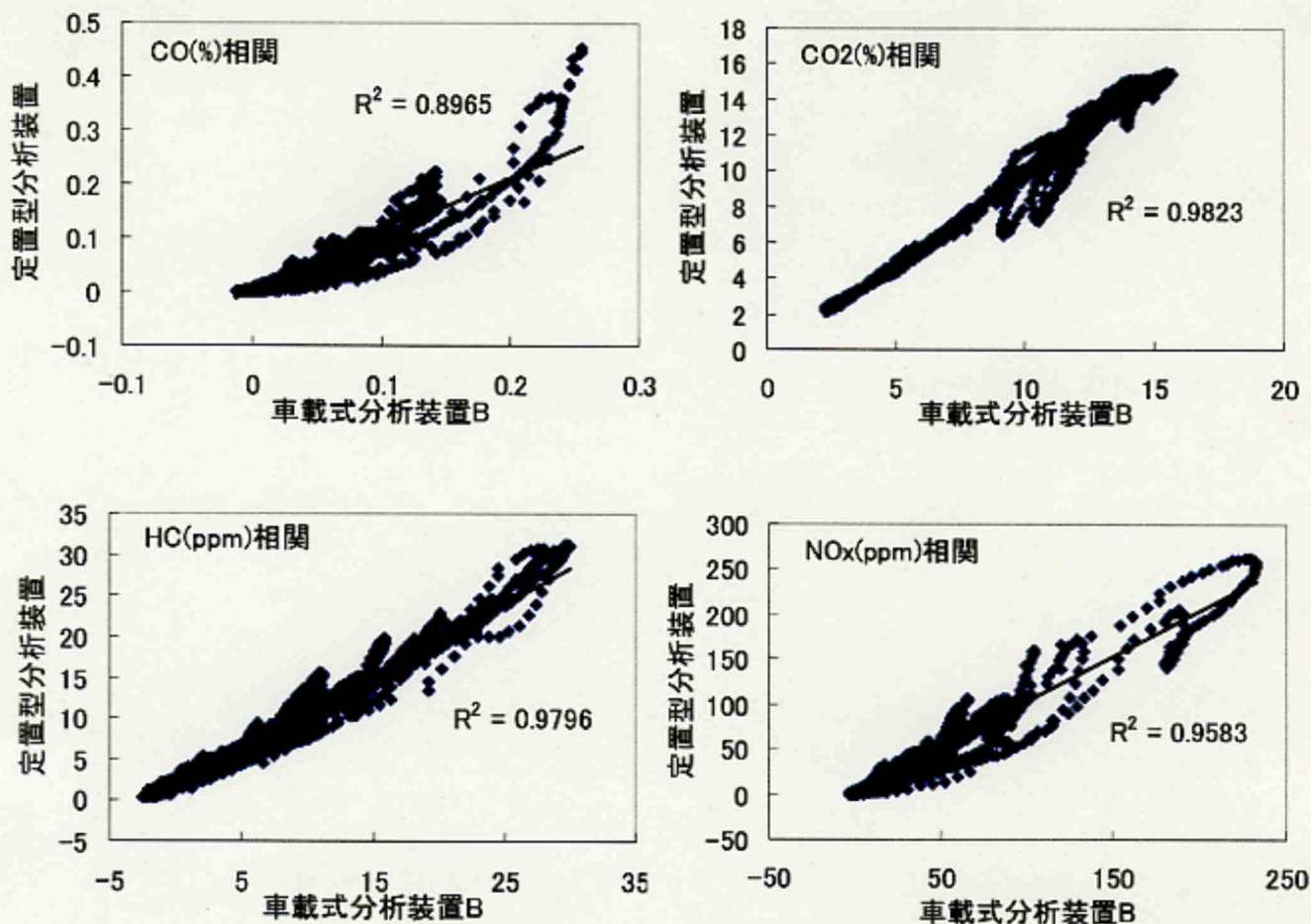


図2 JC08モード運転時の排出ガスに関する車載式分析装置Bと定置型分析装置の相関
(両分析装置ともに遅れ時間補正後のデータを使用)

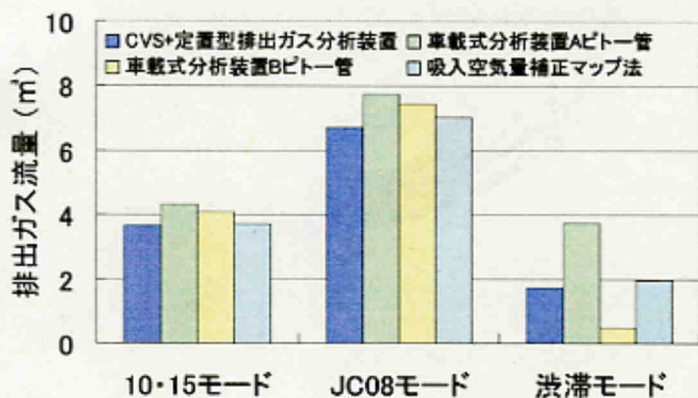


図3 各種の排出ガス流量計測法によるモード運転時計測結果の比較

A及びBでは、排出ガス流量計として「ピトー管式差圧計」が用いられている。これに、実路走行時の排出ガス流量計測法として、前述の「吸入空気量補正マップ法」と、「CVS装置を用いたダイリュート法による方法」を加えて、各種の試験モード運転時における、それぞれの手法による排出ガス流量値を比較して検証した。

その結果を、図3に示す。同図より、10・15モード及びJC08モードでは、各手法ともに概ね流量値が一致しているが、渋滞モードにおいては真値と見なせるCVS装置を用いたダイリュート法による値に対して、ピトー管式差圧計による値は大きく異なっていることがわかる。これは、ピトー管式差圧計の圧力レンジが大流量域でも測定できるように合わせてあるため、低流量域での測定において大きな誤差を含むことが原因であると考えられる。一方、吸入空気量補正マップ法による値は、渋滞モードにおいてもCVS装置を用いたダイリュート法の値とよく一致しており、本手法は車載式排出ガス計測におけるガス流量計測法として有効であることがわかる。

4.2. 車載式排出ガス分析装置の実路走行試験への適用性

実路走行時における環境負荷量の計測は、温・湿度、風向・風速、道路勾配、路面状態等の環境条件により影響を受けることが予測される。これらの環境条件も考慮して車載式分析装

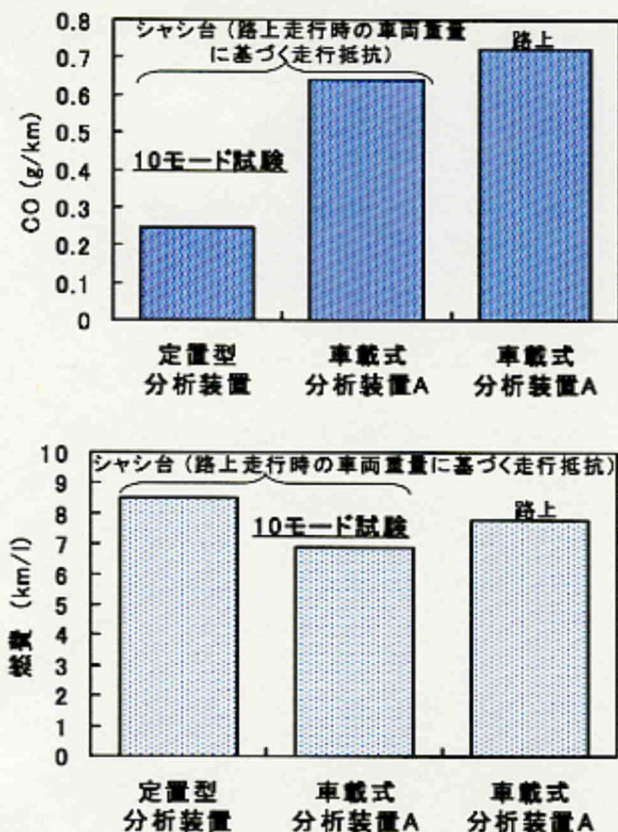


図4 シャシ台上及び路上での10モード運転時におけるCO、燃費計測結果

置の路上試験への適用性について検討した。なお、本報の路上試験は、無風状態のときに道路勾配0%の条件で実施している。

4.2.1 10モード運転時におけるシャシ台上試験と路上試験の比較

車載式分析装置Aを供試車両に設置して、シャシ台上(走行抵抗は分析装置搭載状態の路上試験時と同等の設定)と路上においてそれぞれ10モードを運転し、両試験におけるCO排出量及び燃費値を比較検証した。その結果を、図4に示す。同図より、車載式分析装置Aを用いたCO分析において、シャシ台上試験と路上試験の分析値が同程度であることから、この場合は環境条件の影響は小さくシャシ台上において実路走行状態を概ね再現していることが推測される。次に、シャシ台上試験のCO分析において、車載式分析装置Aの値と定置型分析装置の値とを比べると大きく異なっていることから、車載式分析装置AはCO分析において分析精度に問題があることがわかる。車載式分析装置Aは、固定レンジでの分析となることから、排出濃度の変動幅が大きい場合には測定レンジを大きく設定する必要があり、これが原因となって

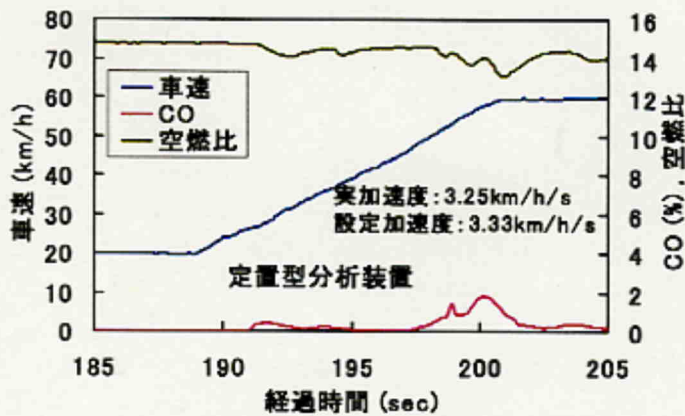
分析精度が低下するものとする。一方、燃費はカーボンバランス法によって算出しており、算出に当たってはCO₂分析の精度が大きく影響する。図4中のシャシ台上試験の定置型排出ガス分析装置を用いて算出した燃費値を真値と見なすと、車載式分析装置Aによる算出値は、シャシ台上試験で約16%、路上試験で約9%の誤差を含みいずれも燃費が悪化する結果となった。路上試験での燃費計測値については、同じ環境条件における多数回の測定値の分散状態を把握した上で、各環境条件の影響度を考慮して評価する必要があると考える。車載式分析装置による燃費計測の実用性については、今後の検討課題としたい。

4.2.2 加速運転時におけるシャシ台上試験と路上試験の比較

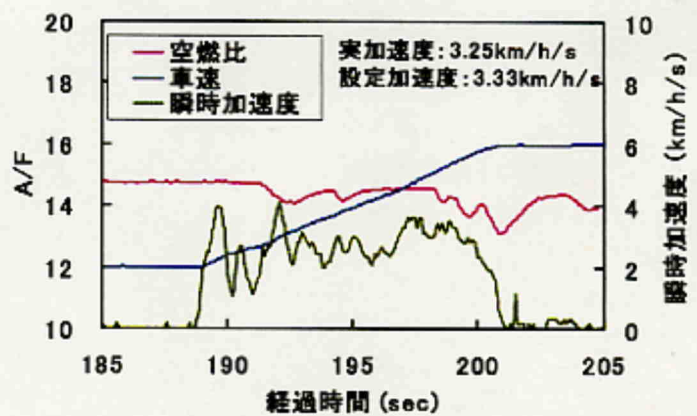
供試車両に車載式分析装置Aを設置して、シャシ台上あるいは路上においてそれぞれ定加速モード運転を実施して、各加速条件での空燃比変動とCO排出濃度の変化を測定した。それらの測定結果の中から、図5は、設定加速度が3.33 km/h/sの加速運転条件でのシャシ台上試験と路上試験における結果を比較して示している。同図より、両試験結果ともに、加速運転時に空燃比がリッチ側に変動してCO排出濃度が増加していることがわかる。さらに、空燃比変動の大きさやCO排出濃度の増加量は路上試験の方が大きいことがわかる。

ここで、加速運転時には、走行抵抗として供試車両の加速度に比例した加速抵抗が加わることになる。図6は、図5の試験条件での瞬時加速度と空燃比変動との関係を示している。同図より、路上試験の方がシャシ台上試験よりも瞬時加速度が大きく変化しており、それに対応するように空燃比のリッチ側への変動が大きくなっていることがわかる。さらに、この空燃比の変動に応じてCO排出濃度が増加していることがわかる。実路走行においては、タイヤと路面との接触状態が車体の上下動や局所的な路面状態の違いに応じて変化することから、加速運転時の瞬時加速度の変動が大きくなり、それに伴って加速抵抗が増大してCO排出量の増加に繋がったのではないかと考える。

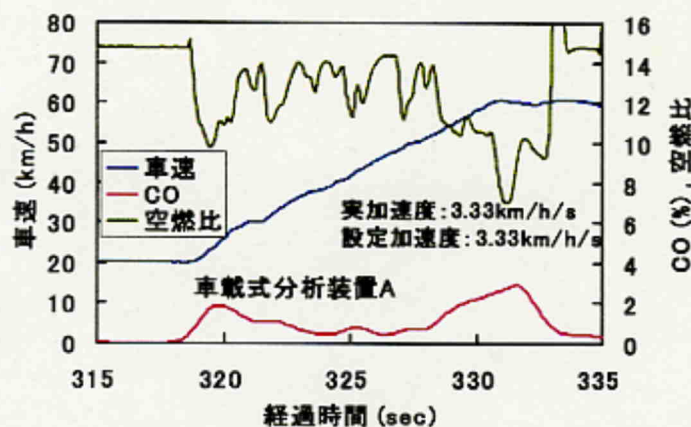
この場合の路上試験においては、CO分析を車載式分析装置Aを用いて行っているが、加速運転時のようにエンジン負荷が変動して排出ガ



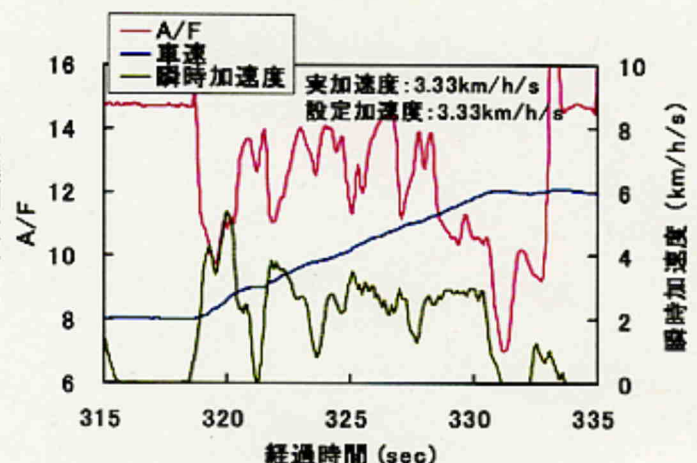
(a) シャシ台上試験
(走行抵抗：熊谷路上設定)



(a) シャシ台上試験
(走行抵抗：熊谷路上設定)



(b) 熊谷路上試験



(b) 熊谷路上試験

図5 シャシ台上及び路上での定加速モード運転時における空燃比変動とCO排出濃度の一例

図6 シャシ台上及び路上での定加速モード運転時における瞬時加速度と空燃比変動

ス濃度の増減も激しい条件、即ち、速い応答性が要求される分析条件においても、同分析装置を使用できることがわかった。

5. まとめ

リアルワールドにおける自動車に係る環境性能の実用的な評価方法の確立を目的とし、実路走行での排出ガス及び燃費などの環境負荷量を精度良く計測するために必要な車載式排出ガス分析装置の実用性や課題等について検討し、以下の結論を得た。

- (1) 車載式排出ガス分析装置として、CO及びCO₂に関する分析はNDIR方式で問題ないと考える。ただし、CO分析に関しては、排出濃度の変動幅が大きいことから、分析精度の低下を防ぐためにも測定時の自動レンジ設定機能(オートレンジ)が必要であると考える。
- (2) 実路走行試験において排出ガス性能を評価するためには、排出ガス流量の測定が重要となる。ピトー管式差圧計による方法では、渋滞時

のような低流量域での測定において誤差が増大した。一方、スピードデンシティ法に基づく「吸入空気量補正マップ法」では、実用運転域全般に渡って高い精度が確保されており、車載計測における排出ガス流量計測法としての有効性を確認した。

(3) 実路走行とシャシ台上走行の違いとして、加速運転時の瞬時加速度の変動が、シャシ台上走行時よりも実路走行時の方が大きくなる現象を確認した。この現象はタイヤと路面との接触状態がローラ面ほど安定していないことに起因するものと考えられ、瞬時加速度の増大に伴って空燃比のリッチ側への変動が大きくなり、さらにこの空燃比の変動に応じてCO排出濃度が増加した。

6. 参考文献

- (1) 山本 他：平成12年度交通研究発表会講演概要，P93
- (2) 景山克三、景山一郎共著：自動車力学、理工図書、1993