

講演 1. ディーゼル乗用車の実路走行における 排出ガス性能評価手法の検討

自動車研究部 ※小澤 正弘 山口 恭平 水嶋 教文 鈴木 央一

1. はじめに

自動車の排出ガス規制は、世界的に年々強化されているにもかかわらず、実路走行時の排出ガス量は必ずしも規制の強化に応じて低減されているわけではないことが報告されている¹⁾。これは、近年の排出ガス低減技術により認証時の排出ガスが大幅に低減されている一方で、システム等が複雑化し環境変化の影響を受けやすくなったためと推測される。このため、実路走行時の排出ガス低減が重要な課題であり、欧米においては実路走行時の排出ガス (RDE: Real Driving Emissions) 規制の導入を前提とした実証試験が始まっている。日本においても、「排出ガス不正事案を受けたディーゼル乗用車等検査方法見直し検討会」の中間取りまとめ²⁾において、PEMS (Portable Emission Measurement System) を用いた路上走行検査を導入することが必要であると述べられており、今後乗用車等の RDE 規制の導入が進んでいくものと考えられる。一方で、近年の技術進化により排出ガス分析計の小型化と精度向上が進み、PEMS を用いた計測自体はおおむね可能となっているものの、得られる結果は道路状況、ドライバの運転特性、ルート設定、気象条件などの様々な因子による影響を受けるため、試験毎に条件が異なり試験結果の評価が難しいという課題がある。

そこで本稿では、欧州における評価方法の一部を紹介しつつ、日本国内に同手法を適用した場合の課題を述べるとともに、当研究所における路上走行試験の評価手法に関する研究について報告する。

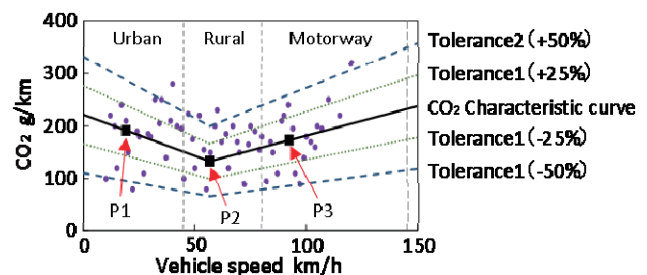
2. 実路走行試験による排出ガス評価法の動向

2. 1. 欧州 RDE 規制動向

欧州では、ディーゼル乗用車の台上試験結果と実路走行時の NO_x 排出量に乖離があることが確認され、2011 年に実路走行試験による RDE 規制の導入を決定した。2016 年には自動車メーカーに対し新型車の実路走行における NO_x 排出ガス量の測定とその結果

の提出を義務付けており、2017 年 9 月に導入される RDE 規制に向けた実証試験が進められている。

評価方法は、Moving Averaging Window (MAW) 法と Power binning 法²⁾の 2 つが検討されているが、今後は前者に一本化される予定である。MAW 法では、乗用車等世界統一試験サイクル (WLTC: World Light-duty Test Cycles) を台の上にて走行したときの CO₂ 総排出重量の 1/2 を各 Window (移動平均処理を行う際の各データの平均区間を定義している) の CO₂ 排出量とし、その排出量に達する 1 秒毎の Window について、平均車速と各排出ガス量を算出する。これらの算出データを図 1 に示すように車両速度と CO₂ 排出率 (単位距離あたりの排出量) の関係で整理し、都心部 (Urban: 0~45km/h)、都市間 (Rural: 45~80km/h)、高速 (Motorway: 80~145km/h) の各車速域に分類する。さらに、車両の加減速について標準的な運転時のデータを抽出するために、WLTC の Low/High/Ex-High の各フェーズにおける CO₂ 排出率に応じて計算される CO₂ Characteristic curve を標準的な運転状態の基準となる CO₂ 排出率とし、その基準の±25%にあたる Tolerance1 内に入るデータはすべて採択し、±50%である Tolerance2 から外れるデータは除外され、その間のデータに関しては重み付けをして採択されている。これらの処理を経て得られた Window 毎の各排出ガス量を車速域毎に平均して排出量を算出する。さらに、各 Urban、Rural、



※ CO₂ Characteristic curve
(P1: Low phase × 1.2, P2: High phase × 1.1, P3: Ex-High phase × 1.05)

Fig.1 Moving Averaging Window method

Motorway に分布するデータ数の比率や Tolerance1 内に入るデータ数の比率が一定の範囲内に入るように規定され、特殊な運転条件により CO₂ の過度な増減を伴うデータの特異点を排除し、各領域の分布を一定値内に規定することで、実路走行におけるデータの差異を少なくする工夫がなされている。この処理後に算出される実路走行試験時の排出ガス値は、シャシダイナモメータ試験 (C/D 試験) 時の NO_x 規制値に一定の係数 (CF : Conformity Factor) 値を乗じた値と比較され、2017 年 9 月以降は CF 値 2.1 倍、2020 年以降は CF 値 1.5 倍までが許容値とされる予定である。

2. 2. 日本における実路走行試験の課題

実路走行試験の評価手法として、欧州で確立している MAW 法などを適用することが、国際基準調和の観点からも望ましいが、欧州と日本では試験法及び道路交通環境の違いがあり、そのまま適用することは難しい。具体的には、日本では WLTC の Ex-High フェーズを採用しないことが決定しており、MAW 法における CO₂ Characteristic curve を描く際には欧州と異なる手法が必要だと考えられる。また、Urban、Rural、Motorway を定義する速度についても国内と欧州では各領域の法定速度が大きく異なるため、国内の交通法規及び実態に合った見直しが必要となる。また、実路走行試験方法については、試験ルート設定、試験装置、試験実施条件などにおいて様々な課題が挙げられる³⁾。当研究所では国土交通省や環境省などと連携し、実路走行検査の実施の際に考えられるこれらの課題解決に取り組んでいる。

3. 実路走行試験結果の評価手法に関する研究

3. 1. 研究のねらい

実路走行試験では、同一ルートを走行した場合でも様々な因子による影響を受け、試験毎の結果に差異が生じ評価が難しいという課題があり、これは欧州における RDE 試験でも同様であると考えられる。そこで、本研究では、走行環境や車両条件等の因子が NO_x 排出量に与える影響及びその要因を明らかにするとともに、各種影響因子による NO_x 排出量の試験毎の変動を除去すること (以下、「正規化」という。) を狙いとして、実路走行の計測データを基にモード走行試験時の NO_x 排出量を推定する手法の検討を行った。

3. 2. 実験装置及び方法

3. 2. 1. 供試車両

実験に使用した車両の諸元を表 1 に示す。本車両は、平成 21 年規制 (ポスト新長期規制) に適合した車両で、直接噴射式ターボディーゼルエンジンを搭載している。排出ガス後処理装置は、ディーゼル酸化触媒 (DOC) とディーゼルパーティキュレートフィルタ (DPF) が装着され、主な NO_x 低減装置には、低压経路と高压経路の 2 系統を有する EGR システムが導入されている一方で、NO_x 浄化後処理装置を持たずに規制適合していることを特徴とする。

Table1 Specification of test vehicle

Vehicle type	Passenger car
Vehicle weight	1130 kg
Engine type	Inline4 DI turbo diesel
Displacement	1498 cm ³
Compression ratio	14.8
Maximum power	77 kW / 4000 rpm
Maximum torque	250 N·m / 1500-2500 rpm
EGR system	HPL and LPL system
After treatment system	DOC, DPF

3. 2. 2. 排出ガス計測装置

実路走行における排出ガス計測は PEMS (OBS-2200 : 堀場製作所製) を使用し、NO_x、CO、CO₂、THC 濃度の計測を行った。また、排出ガス流量の計測にピトー管式流量計を用いた場合、長時間計測による流量計のドリフトや低流量域の計測精度低下などの課題が報告されている⁴⁾ことから、本研究においては、OBD 信号から得られる吸入空気量信号 (熱線式質量流量計による計測) 及びカーボンバランス法に基づく燃料流量を用いて瞬時排出ガス流量を算出した。実験車両への PEMS 搭載状況を図 2 に示す。

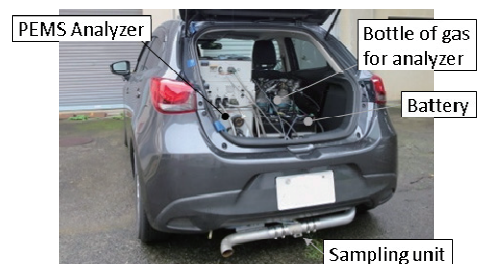


Fig.2 PEMS setup for test vehicle

3. 2. 3. 実験及び解析方法

実路走行における排出ガス計測の際には PEMS を搭載するため車両重量の増加を伴う。本研究における実路走行試験時の各重量は、表 2 に示すように PEMS システム全体の重量として 170kg と大きな重量増加を伴っている。そのため、試験評価において排出ガス性能に対する重量増加の影響は避けられない。また、試験時は計測器の発熱により車室内の温度が上昇す

Table2 Test vehicle weight with PEMS

Vehicle curb weight	1130 kg
PEMS system weight	170 kg
Test crew(1person)	80 kg
Total test weight with PEMS	1380 kg

るため、計測器周辺の温度を許容限度内に保つ必要があり冬期を除きエアコンの使用が必至な状況となる。そこで、本研究では実路走行試験に先立ち、NOx 排出量に対して影響を与えると考えられる重量増加及びエアコン使用によるエンジン負荷増大の影響を C/D 試験にて確認した。

次に、実路走行時においては、環境条件の変化や勾配、カーブなどによる負荷の増減など、屋外特有の因子による排出ガス性能への影響が考えられる。そこで、屋外のテストコースにおいて JC08 モードの速度パターンを走行し、屋外特有の因子が排出ガス性能に及ぼす影響を確認した。

続いて、実路走行試験を実施し、排出ガス量に関する試験毎の差異について要因を分析した。そして、実路走行データを公正に評価する手法を見出すべく、実路走行データから作成した車両の速度と加速度に対する NOx 排出量マップに基づく予測計算を行い、特定のパターンを走行した場合の NOx 排出量について実路走行データを基に予測する手法の検証を行った。

3. 3. 実験結果及び考察

3. 3. 1. 車両重量とエアコン使用による影響

重量増加及びエアコン使用によるエンジン負荷増大に伴う NOx 排出量への影響を把握するために、C/D 試験において各条件を変更した場合の排出ガス比較を行った。表 3 に比較を行った A~C の実験条件を示す。ここで、条件 A の重量は、当該車両の認証試験時の試験車重量とし、また、各試験における走行抵抗については、当該車両に PEMS を搭載した重量 (条件 B) にて取得した実測値を使用した。この際、条件 A の試験時には、条件 B で取得した走行抵抗より、転がり抵抗に関する項のみを重量で補正した値を用いた。また、エアコンの使用条件は、室温と同じ設定温度 25°C のオート設定としている。各条件において JC08 ホットモードを運転し、NOx 排出量と燃料消費量を計測した結果を図 3 に示す。図 3 では次項以降で比較対象とする PEMS で計測した NOx 排出量も併記した。

本結果において重量増加の影響による NOx 排出量の増加は、10% となった。一方、エアコン使用による NOx 排出量の増加が 40.9% と非常に大きな影響を受

けているのに対し、燃料消費量は 10.9% の増加にとどまっている。これは、試験車両の出力重量比が比較的大きい小型車であること、さらに本車両は NOx 低減の後処理装置を持たず、主に EGR で低減しているため、負荷の増大による EGR 率低下の NOx 排出量に及ぼす影響が大きく現れたためと考えられる。

以上より、PEMS 搭載による重量の増加とエアコン使用による負荷の増大により、C/D 試験における認証試験条件に対して約 55% の NOx 増加が確認され、実路走行では、これらの因子により NOx 排出量が一定量増加することが示唆される。

Table3 C/D test vehicle conditions

Conditions	A	B	C
Test set weight	1250 kg	1380 kg	1380 kg
Air conditioner	off	off	on
Number of tests	n=2	n=3	n=3

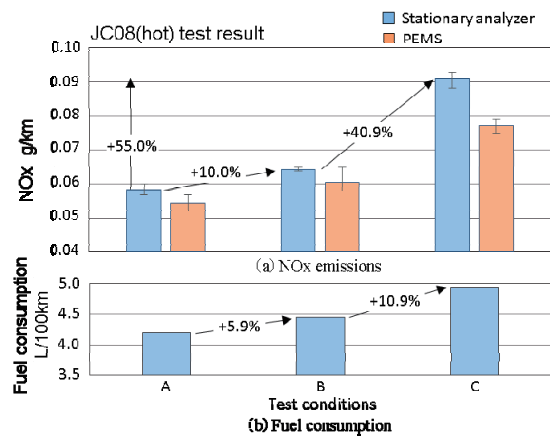


Fig.3 NOx emissions and fuel consumptions

3. 3. 2. テストコースにおけるモード走行試験

屋外走行時の排出ガス性能に影響を及ぼす変動要因の確認を狙いとして、テストコースにて JC08 モードの速度パターンを適用した走行試験を行った。試験条件を表 4 に、テストコース上における JC08 モード走行時と C/D 試験時の PEMS で測定した NOx 及び CO2 排出量の結果を比較して図 4 に示す。

テストコース上において JC08 モードを走行した場合、C/D 試験時と比べて NOx 排出量は 6.5% 高い値を示しているものの、非常に近い排出量を得られることが確認された。増加する要因としては、風やカーブの

Table4 Experimental conditions on track test

Total vehicle weight with crew	1377~1380 kg
Air conditioner	on
Test mode	JC08 (hot)
Warm up condition	60 km/h x 20 min
Ambient temperture	20.5~25.7 °C
Ambient humidity(RH)	26.6~40.2 %
Ambient pressure	101.7~101.8 kPa
Number of test	n=2

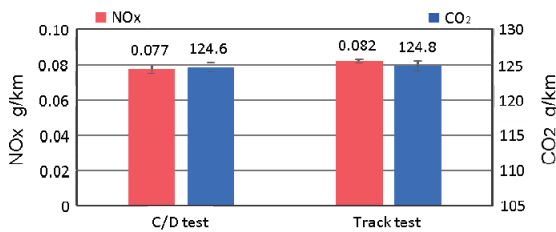


Fig.4 Comparison of emissions characteristics between C/D test and Track test

影響と運転操作の差異などの影響が考えられる。図5に示すNOx排出量の時系列データにおいて、赤色で示した箇所がテストコースのカーブ部分であるが、両試験におけるNOx排出特性は当該部分も含め概ね同等の排出特性を示しており、車両のコーナリング時に特にNOx排出量が増大する様子は見られない。また、テストコース試験時の風速は約1.5m/s程度で、影響が小さい状況であった。このため、当試験における排出量の差は、主に運転操作の差異によるものとみられる。本車両では、C/D試験と屋外の実走行において、同じ速度パターンで走行した場合には、NOxとCO2排出量において大きな差はないものといえる。

以上より本試験を実施した条件の範囲では、屋外特有の風、カーブ、日照などの外乱によるNOx排出への影響は小さく、速度パターンそのものが支配的因子であることがわかった。

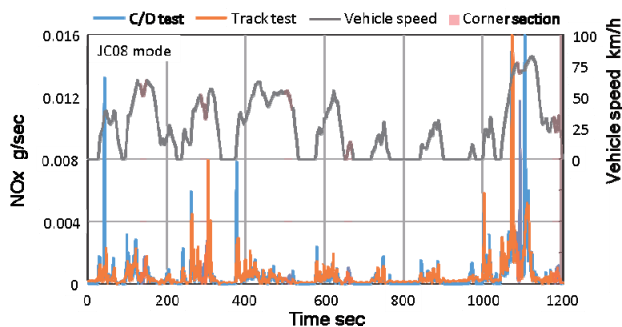


Fig. 5 The result of NOx emissions on C/D and Track test

3. 3. 3. 実路走行時の排出ガス特性

実路走行時における排出ガス特性を把握するために、東京都調布市から埼玉県熊谷市の間で、図6に示す総距離83kmの試験ルートについて往路と復路を走行して試験を実施した。試験ルートは発着点の標高差が約10mであり、道路勾配の影響を大きく受けにくい設定とした。試験条件を表5に示す。車両の条件としてはエアコンを不使用としており、前述C/D試験の条件Bと同等な条件となっている。

実路走行試験で得られた単位走行あたりの平均NOx排出量を図7に示す。同一ルートを往復試験し

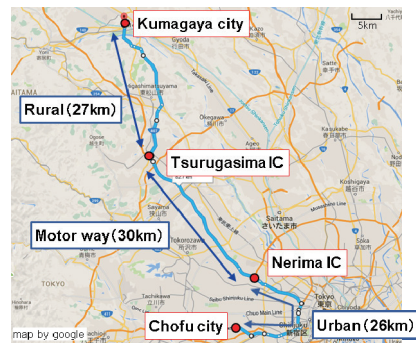


Fig.6 The route of RDE experiment

Table5 Experimental conditions of RDE test

Route	Outward	Backward
Total vehicle weight with crew	1389~1393 kg	1384~1388 kg
Air conditioner	off	off
Ambient temperature	10.4~12.5 °C	11.1~17.3 °C
Ambient humidity(RH)	30.2~47.5 %	37.1~60.0 %
Ambient pressure (average)	102.6 kPa	101.6 kPa

た結果、復路におけるNOx排出量は往路に対して20%以上増大しており、モード試験と比較して排出量の差異が大きいことが示された。そこで、表6に示す実路走行試験時の試験時間などを確認した。復路は往路と比較して試験時間が長く、停止回数も多いことから、交通状況としては若干混雑していたことが考えられるが、両者の差はそれほど大きなものではない。そこで、NOx排出量に差異が生じた要因を確認するために車両の加減速に着目した。実路走行試験の結果を、加速(車両加速度： $\alpha \geq 0.25 \text{ m/s}^2$)、定常($-0.25 \leq \alpha < 0.25 \text{ m/s}^2$)、減速($\alpha < -0.25 \text{ m/s}^2$)の3つの領域に分類し各領域の発生頻度を整理した結果と、NOx排出量の関係を図8に示す。復路は往路と比較して加速条件の発生頻度が2.3%増加しているのに対し、加速条件下におけるNOx排出量は30.4%増加している。一方で、復路における時間頻度は、定常条件は1.6%減少し、減速条件が0.7%減少しているため、復路の方が短時間で減速するとともに加減速の多い走行条件であったことが推察される。

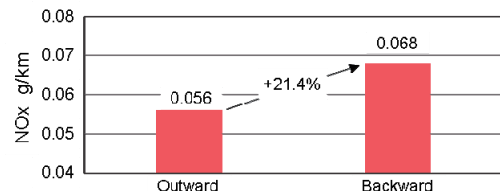


Fig.7 Total NOx emission result of RDE test

Table6 Experimental conditions of RDE test

Route	Outward	Backward
Total test duration(h:mm:ss)	2:18:00	2:21:58
Number of stop	61	64
Stop duration(mm:ss)	28:33	32:46
Average speed	36.1 km/h	35.0 km/h

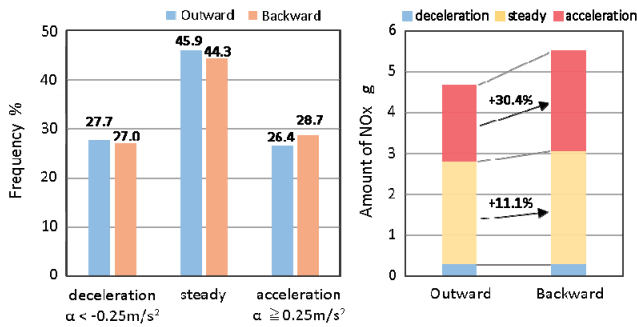


Fig. 8 The frequency and the amount of NOx on each acceleration under the RDE test

実路走行試験においては、交通環境の影響でこの程度の加減速の差は頻繁に発生し、むしろ両試験は同等の走行であったと考えられるが、このようなわずかな運転特性の違いが NOx の排出量に大きく影響してしまうことがあり、実路走行試験の評価を難しいものにしていく。そこで、次項ではこれらの差異を計算により正規化し公正に評価する手法について検討した。

3. 4. 1. NOx 排出量のマップ化

これまでの検討を通じて、供試車両の実路走行における NOx 排出量の差異は車両の速度と加速度の差がその主要因であると推定された。そこで、試験結果の正規化を検討するために、往路と復路のデータについて速度と加速度に対する NOx 排出量をマップ化し、図 9 に示す。マップの作成に際しては、0 から 100 km/h までの車速に対して 5km/h 毎に格子点を取り ± 2.5km/h の範囲で分割するとともに、-2.5 から 2.0m/s² までの加速度に対して 0.5m/s² 毎に格子点を設定して ±0.25m/s² の範囲で分割し、その各格子内に入る全データについて NOx 排出量を平均した。また、車速については、10Hz で OBD 信号より取得したデータを 1 秒間で移動平均処理したものを用いた。

両マップにおいて、特に加速度の高い領域で NOx の排出量に差があるが、これは往路のデータにおいて

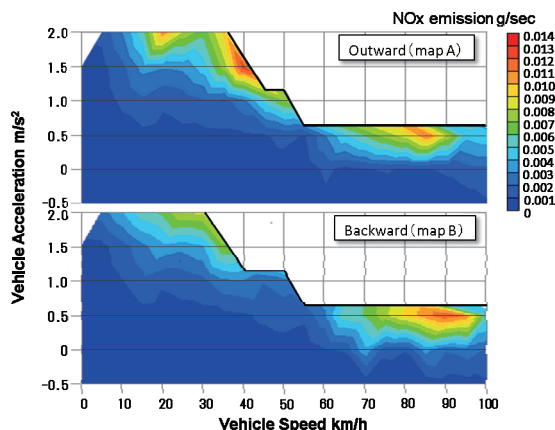


Fig.9 The map of NOx emission based on RDE data

は、加速度 1.5m/s²かつ車速 40km/h の計測点が存在するが、復路ではこの計測点が存在しないなどの差に起因している。また、加速度が 0m/s²かつ車速 70km/h 付近において、復路の NOx 排出量が高くなっている。この点についてマップ作成時のデータを解析したところ、この格子点の発生事象は、1 回だけであった。このようにサンプル数の少ない格子点に関しては、マップ上の NOx 排出量に差が生じやすいことが確認された。しかし全体として、加速度が低い ±0.5m/s² の領域では、良く似た排出傾向を示している。

3. 4. 2. マップによる NOx 排出量予測

実路走行試験の往路と復路のデータより作成した図 9 の NOx 瞬時排出量マップ A と B を用い、JC08 モード走行時の NOx 排出量についてそれぞれ予測計算を行った。計算では、JC08 モード走行時の車両速度データより速度と加速度を 10Hz で演算し、その際の瞬時 NOx 排出量をマップから読み取り、積算して総排出量を算出した。JC08 モードの比較対象は、エアコンを使用しない条件として、前述の C/D 試験における条件 B のデータとし、NOx 排出量は PEMS にて計測したものをを用いた。各マップより推定した NOx 排出量と C/D 試験結果を比較し図 10 に示す。

図 10 よりマップ A で計算した NOx 排出量は非常に近い値を示しているのに対し、マップ B で計算した結果は、C/D 試験の実測値を基準とした場合、排出量が 10.3%多く見積もられた。その要因を分析するために、NOx の瞬時排出特性を図 11 に示す。

図 11 の上段において、予測計算された NOx の瞬時排出量は C/D 試験時の排出挙動を良く再現しているように見受けられる。しかし、下段に示すように JC08 モード後半の高速走行において、1080 秒付近と 1100 秒前後に両者の乖離が大きくなっていることがわかる。この時の車両速度に注目するとどちらの領域も 70km/h 付近でマップ B による NOx 予測値が多くなっており、これは前述のマップ作成の際にサンプル数が少なかった領域と合致することがわかった。

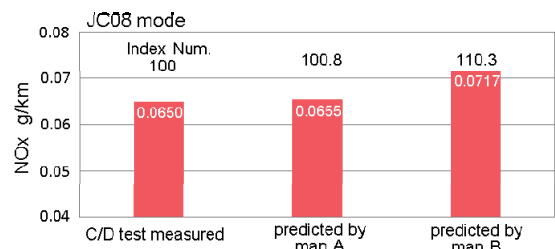


Fig. 10 Predicted NOx emission under JC08 mode

マップより予測された JC08 モード全体の NO_x 瞬時排出量と C/D 試験で計測された排出量について、相関関係を図 12 に示す。いずれのマップにおいても決定係数は 0.7 以上の値が得られており、マップから予測した NO_x 排出量は、異なる走行条件における NO_x 排出量を推定できるレベルにあることが確認された。

以上より、実路走行試験で NO_x 排出量に 2 割以上の差異が現れた両試験に対して、NO_x 排出量マップを用いて同一車速パターンへの正規化を行った結果、試験毎のばらつきを低減できることが示された。しかし、サンプル数が少なく排出量が多い領域のマップをより高精度に作製する方法が必要である。

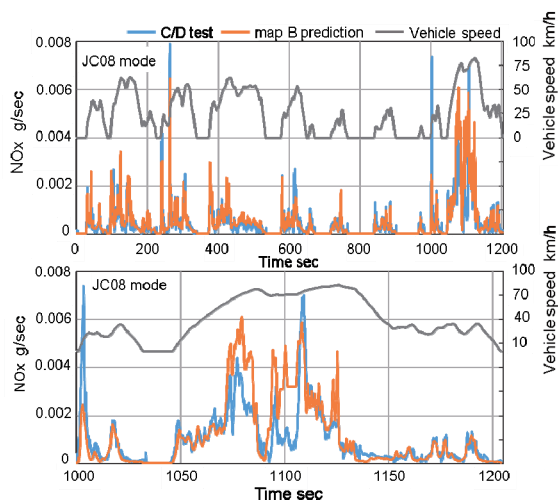


Fig.11 The result of measured and predicted NO_x emission under the JC08 mode

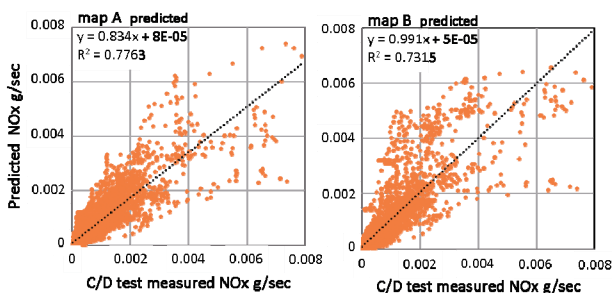


Fig.12 Correlation between the measured and predicted

3. 5. まとめ

ポスト新長期規制に適合したディーゼル乗用車に PEMS を搭載して C/D 試験及び実路走行試験を行い、走行環境や車両条件等の因子が NO_x 排出量に及ぼす影響を調査した結果、以下のことがわかった。

(1) 実路走行試験においては、PEMS 搭載による重量の増加及びエアコン使用による負荷の増大により、NO_x の排出量が増加する。このため、実路走行試験結果を評価する際は、これらの因子を考慮して CF 値などの評価基準を設定する必要がある。

(2) 実路走行試験における往路と復路の NO_x 排出量の差異は約 20%であったのに対し、それら実路走行試験のデータから作成した 2 種類の NO_x 排出量マップを用いて予測した JC08 モード走行時の NO_x 排出量の差は約 10%となり、大きく減少した。このことより、実路走行時のデータを基に特定の車速パターンでの排出量を予測する手法を構築することは、条件が様々な変化する実路走行試験の結果を公正に評価する上で有効な手段であるといえる。

ただし、本研究においては NO_x 浄化後処理装置を搭載していない車両を用いて検討を行っており、NO_x 浄化後処理装置を有している車両については、排出ガス浄化機能の作動条件などを考慮する必要があると考えられる。また、道路勾配や気温、湿度などの環境影響についても変化の少ない安定した条件で試験しており、これらの影響因子を反映する手法を見出すことが今後の課題となる。

4. おわりに

本研究は検討の導入段階にあり、前述のように課題が多く挙げられる。今後、欧州 RDE 規制との基準調和も踏まえつつ、より合理的な試験法を国際調和に提案すべく、研究を進める。

参考文献

- 1) Vicente Franco, Francisco Posada Sánchez, John German, and Peter Mock : REAL-WORLD EXHAUST EMISSIONS FROM MODERN DIESEL CARS, ICCT WHITE PAPER, Oct. 2014
- 2) 国土交通省・環境省 発表資料(平成 28 年 4 月 21 日), 「排出ガス不正事案を受けたディーゼル乗用車等検査方法見直し検討会 中間取りまとめ」
本文 p.4, 参考資料 p.11-16 (参照 2016.09.01)
本文: (<http://www.mlit.go.jp/common/001129369.pdf>)
(https://www.env.go.jp/air/car/conf_diesel/mat01.pdf)
資料: (<http://www.mlit.go.jp/common/001129370.pdf>)
(https://www.env.go.jp/air/car/conf_diesel/ref01.pdf)
- 3) 山口 恭平, 「ディーゼル乗用車の実走行における排出ガス性能評価について」, 交通安全環境研究所講演会 2016, p.65-80
- 4) 山本 敏朗ほか「車載型高機能運行記録装置を用いた重量貨物車の燃費および NO_x 排出量検査」, 自動車技術会論文集, Vol. 46, NO.1, p.194-195