

ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 7 No. 5 2017

JSAE エンジンレビュー

特集：「Real Driving Emission (RDE)」

- ・「Real Driving Emission (RDE)」特集号について
- ・欧州における RDE-LDV 規制導入の背景と国際動向
- ・日本の大気環境の実態と自動車寄与に関する研究動向
- ・排出ガス不正事案を受けた国内における検証試験結果と今後の方向性



公益社団法人 **自動車技術会**

コラム: ● EV シフトは理工系学生から:	1
EV shift starts from students	
飯島 晃良 (日本大学 理工学部)	
Akira IJIMA (College of Science and Technology, Nihon University)	
特集: 「Real Driving Emission (RDE)」	3
・「Real Driving Emission (RDE)」特集号について	
A Special number featuring article on Real Driving Emission (RDE)	
下田 正敏 (日野自動車株式会社 技術研究所)	
Masatoshi SHIMODA (Hino Motors, Ltd. Technical Research Center)	
・欧州における RDE-LDV 規制導入の背景と国際動向	4
Background of Real Driving Emission Regulation in Europe and International Trend	
細貝 誠一 (株式会社本田技術研究所 四輪 R&D センター)	
Seiichi HOSOGAI (Honda R&D Automobile R&D Center)	
・日本の大気環境の実態と自動車寄与に関する研究動向	11
Japanese Ambient Air Quality and Vehicle Contribution Study Trend	
柴田 芳昭 (一般社団法人日本自動車工業会 地域環境部会 / トヨタ自動車株式会社)	
Yoshiaki SHIBATA (JAPAN AUTOMOBILE MANUFACTURERS ASSOCIATION ENVIRONMENTAL ISSUES SUBCOMMITTEE / TOTOTA MOTOR CORPORATION)	
・排出ガス不正事案を受けた国内における検証試験結果と今後の方向性	17
Test Results and Future Direction in Japan responding to VW Defeat Device Issue	
山口 恭平, 小澤 正弘, 河合 英直 (独立行政法人自動車技術総合機構 交通安全環境研究所)	
Kyohei YAMAGUCHI, Masahiro OZAWA, Terunao KAWAI (National Agency for Automobile and Land Transport Technology National Traffic Safety and Environment Laboratory)	

■ JSAE エンジンレビュー編集委員会

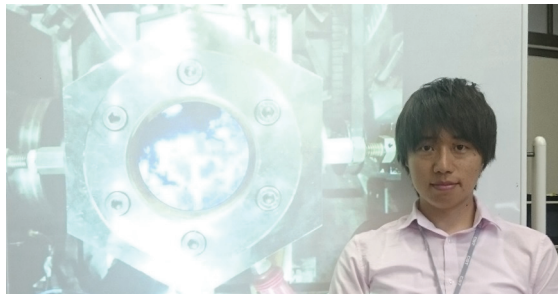
委員長: 飯田 訓正 (慶應義塾大学)
副委員長: 村中 重夫 (元日産自動車)
幹事: 飯島 晃良 (日本大学)
委員: 遠藤 浩之 (三菱重工業エンジン&ターボチャージャ)
大西 浩二 (日立オートモティブシステムズ)
金子 タカシ (JXTG エネルギー)
菊池 勉 (日産自動車)
小池 誠 (豊田中央研究所)
小酒 英範 (東京工業大学)
清水 健一 (元産業技術総合研究所)
下田 正敏 (日野自動車)
西川 雅浩 (堀場製作所)
野口 勝三 (本田技術研究所)
平井 洋 (日本自動車研究所)
山口 恭平 (自動車技術総合機構)
山崎 敏司 (編集)

発行所: 公益社団法人 自動車技術会
発行日: 2017年9月25日
発行人: 石山 拓二 (京都大学)
〒102-0076 東京都千代田区五番町 10-2
電話: 03-3262-8211

ENGINE REVIEW
SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN
Vol. 7 No. 5 2017

●コラム

EV シフトは理工系学生から

EV shift starts from students

飯島 晃良

Akira IIJIMA

日本大学
理工学部機械工学科
准教授

Department of Mechanical Engineering
College of Science and Technology
Nihon University

最近、フランス、英国、ドイツなどによるエンジン車販売禁止法案の発表によって、電気自動車(EV)シフトの空気が漂っている。最大市場の中国においても、エンジン車販売禁止法案の検討に関するニュースが発信されたことも、より大きなインパクトをもたらしているものといえる。これらの報道記事を見出しや要約のみで判断すると、一般の方々の中には、2040年以降はガソリンエンジンやディーゼルエンジン車を姿を消していくように受け止める方も居るものと思われる。

実際には、内燃機関車(ICV)もEVも、以下のようにそれぞれ乗り越えなければならない課題が複数存在する。

これらの課題を眺めると、技術的にICVがEVに容易に淘汰されるとは思えず、エンジン車禁止の具体的な道筋や実現可能性は不明な状況だと思われる。

EVと比較したICVの課題	ICVと比較したEVの課題
(1) 温室効果ガス排出	(1) エネルギー密度の低さ
(2) 化石燃料依存	(2) リアルワールド走行での航続距離
(3) 地域環境汚染(有害排出ガス)	(3) コスト
	(4) 電池寿命
	(5) 充電インフラ
	(6) 充電時間
	(7) 環境温度で大きく変わる電池性能
	(8) 電池の安全性
	(9) 製造時環境負荷とリサイクル
	(10) 温室効果ガス排出(発電電源構成依存)

上記の事実は、自動車の研究、開発、製造を行っている当事者からすると常識であろう。つまり、自動車メーカーなどの当事者は、エンジンの役割や重要性を熟知した上で、国際的な様々な事情も勘案してEV対応を行っている。よって、自動車メーカー内において、エンジンの高性能化は今後も継続的に推進されると思われる。

では、より強くEVシフトを意識するのは誰か？それは、当事者から離れた立場にいる人ではないだろうか。例えば一般の方々である。なぜなら、表面的な情報が多く入りやすいからである。この一般の方々の中には、多くの理工系学生やその候補も含まれるのではないだろうか？学生にとって、自分の生涯の多くを費やす「仕事の分野」選択は「将来性がある(食いはぐれない)」ことが非常に重要になることは容易に理解できる。『近い将来無くなるのではないか？』と考える分野は、専攻する選択肢から外れてしまう。昨今のEVシフトに関するニュースを見た中高生や理工系学生がエンジンにつながる道を選択しなくなると、人材確保の面で支障が出る恐れがあるのではないか。つまり、EVシフト(エンジン離れ)はメーカーからではなく学生から進むと思われる。

これらの問題は、一般の国民に対する情報不足や情報の偏りによって生じているものである。よって、大学でのエンジン研究者は、その誤解を解く役割を担うことも重要だと思われる。オープンキャンパスなどの高校生向けイベントでのPR、入学後は日頃の講義(熱力学、エネルギー変換、内燃機関など)を通じたエンジンの重要性の説明などを通じて、エンジンの卒業研究を選ぶ学生や、エンジンに興味をもつ学生を徐々に増やしていくことで、意欲ある学生をエンジンの道に導

く必要がある。

これらの活動を力強く後方支援するのは、エンジン業界から発信される情報や、活動の活発さだと思われる。インパクトのある新しいエンジンの登場は、エンジンを目指す学生の意欲を掻き立てる。SIP や AICE の継続的な活動は、学生を巻き込んだ若手の活性化に大きな力を発揮していると思われる(各大学の意欲ある学生がエンジン分野に進む)。

熱(原子や分子の乱雑な運動)を仕事(原子や分子の規則正しい運動)に変換するという、自然の変化とは逆方向にエネルギーを変化させる「熱機関」。世の中にはいろいろな効率があるが、“熱”効率を高めるといのは極めてチャレンジな分野であり、面白くてやることが多いに違いない。このことを多くの学生に説いて、エンジン開発を志す学生が増えることで、「エンジンの逆襲は理工系学生から」になることを願っている。

「Real Driving Emission (RDE)」特集号について

A Special number featuring article on Real Driving Emission (RDE)

下田 正敏

Masatoshi SHIMODA

日野自動車(株) 技術研究所

Hino Motors, Ltd. Technical Research Center

2015年9月にVWのディーゼル乗用車において不正ソフトの使用が発覚したが、その問題に留まらず、欧州においては排出ガス規制強化にもかかわらず都市部の大気環境改善が進まないこと自体が重大な問題として取り上げられた。その原因の一つとして、排出ガス認証値とReal Driving Emission値の乖離が従来から問題視されていたため、欧州規制当局はRDE-LDV規制の導入を決定した。自動車業界としては、これらの情報を公にして共有化を図るとともに、様々な領域の技術を動員して認証値とRDE値の乖離を最小にする努力が必要であると考え、RDEに関する特集を組み、3名の専門家に解説記事を執筆頂いた。

JAMA 将来エミッション評価分科会、細貝誠一氏(本田技術研究所)には、欧州におけるRDE-LDV規制導入の背景、欧州の大気動態、RDE-LDV規制の国際動向などを解説していただいた。一方、JAMA、地域環境部会、柴田芳昭氏(トヨタ)には日本の大気動態の現状と自動車寄与に関する研究動向について解説いただいた。また、交通安全環境研究所、山口恭平氏には排出ガス不正事案を受けた国内における検証試験結果と今後の方向性の考え方について解説していただいた。

執筆者の方々には、ご多忙中にもかかわらず、本特集号のために貴重な時間を割いて執筆頂き心より感謝を申し上げます。

RDE問題は、1998年に米国のHeavy Duty Dieselにおいて一度経験されている。燃料噴射システムの電子制御化に伴い、排出ガスのテストサイクルと実走行で異なる制御を行い、実走行では燃費を優先した。これを米国EPAは大気清浄法違反として米国メーカー5社、欧州メーカー2社を提訴した。いわゆるConsent Decrees事件であるが、これを防止するためにEPAは、Dual Mapの禁止とエンジン作動域の大部分をNTE(Not To Exceed Zone)として、排出ガス規制値の1.5倍までと定めた。この結論が出る前は各種の意見があり、米国の幾つかの会社のチーフエンジニアクラスと意見交換をした際の本音は、米国では高速道路の脇には住んでいないので燃費優先は当然であるというものであったが、この事件以来、「これは違法である」と意識は

完全に変わったように思う。

欧州におけるRDE規制の影響は、既に欧州のディーゼル乗用車の販売シェアの低下やハイブリット車両、EV車両の開発に出始めている。同時に、国内においてもテストサイクル、PEMSによる測定法の確立も急がれる。しかし、自動車業界として何よりも大事なことは、様々な領域の技術を動員して認証値とRDE値の乖離を最小にする事であり、本特集がそれを考える一助となれば幸いである。

欧州における RDE-LDV 規制導入の背景と国際動向

Background of Real Driving Emission Regulation in Europe and International Trend

細貝 誠一

Seiichi HOSOGAI

(株)本田技術研究所 四輪 R&D センター

Honda R&D Automobile R&D Center

Although emission gas from LDV (passenger vehicle) is improving gradually.

In recent years, air pollution in Europe is serious situation. Metropolises, such as China/Beijing, India/New Delhi, also have again especially air pollution in serious level. From such a background EU regulation authority newly determined additional implementation of RDE regulation for LDV from September, 2017 as an exhaust emission standard in real-world. Introduce background and international trend which introduced RDE regulation in Europe in this paper.

1. はじめに

近年、自動車の排出ガス規制は、段階的に強化されてきているにも関わらず、先進諸国の大気環境は、依然として改善の兆しを見せてこない中、欧州をはじめ中国/北京、インド/ニューデリー等の大都市圏では、大気汚染が深刻な状況になってきている。そのような背景を受け欧州規制当局は、リアルワールドにおける排出ガスの低減を目的に 2017 年 9 月から Light Duty Vehicles(軽量乗用車;以下 LDV)を対象に新たな排出ガス規制の追加として実路で排ガスを計測する Real Driving Emission(以下 RDE)規制を導入することを決定し、その試験法の制定が着々と進められてきている。現行の排出ガス認証試験は、試験の公平性を確保する為に管理された環境条件の下で実施されてきているが、2015 年のフォルクスワーゲンによるディーゼル車の排出ガス不正スキャンダルが発端となり各国の規制当局は、リアルワールドでの実際の車の使われ方を対象に排出ガスの実態を計測する Portable Emissions Measurement System(以下 PEMS) (図 1)を用いた RDE 規制を導入する機運が俄かに高まりつつある。そこで本稿では、欧州が RDE 規制を導入するに至った背景と RDE/PEMS 試験法に関する法規動向を中心に国内外における各国規制当局の RDE 規制導入に関する検討状況及び PEMS の精度的な課題について解説する。

2. 世界的規模で拡大する大気汚染と欧州の大気状況

2.1 世界の大気状況

2014 年に米国 NASA が公表した 2005 年から 2014 年の 10 年間の

大気中に含まれる NO_x の平均濃度の変遷を調査した世界の大気汚染マップ²⁾によると欧州、中国、韓国、インド、等の比較的大都市圏では、この 10 年間で大気中の NO_x 濃度が著しく増加してきていることが伺える (図 2)。

2.2 世界の大気状況

欧州における大気質も、ここ数年 PM_{2.5} 及び NO₂ 共に欧州並びに WHO(世界保健機関)が定めた大気環境基準の未達状態が続いてきている。図 3 は、EEA (European Environment Agency:欧州環境局)が 2014 年に公表した欧州における NO₂ の大気環境基準の達成状況である³⁾。大都市圏では軒並み大気汚染が深刻な状況になっていることが伺える。その大気汚染に伴う損害額は、昨年時点で 1890 億ユーロに達するとも言われている。そこで規制当局は、自動車の排出ガス規制を強化してきているにも関わらず大気質が一向に改善してこないのは、認可試験の排出ガスレベルとリアルワールドでの排出ガスレベルの乖離が大きいためであると結論付けたのである。



Figure 1 PEMS の車載例¹⁾

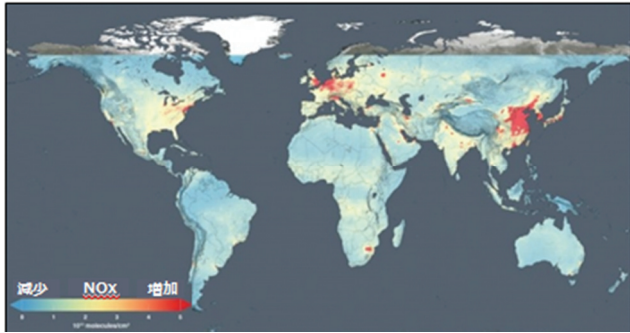


Figure 2 世界の大気汚染地図

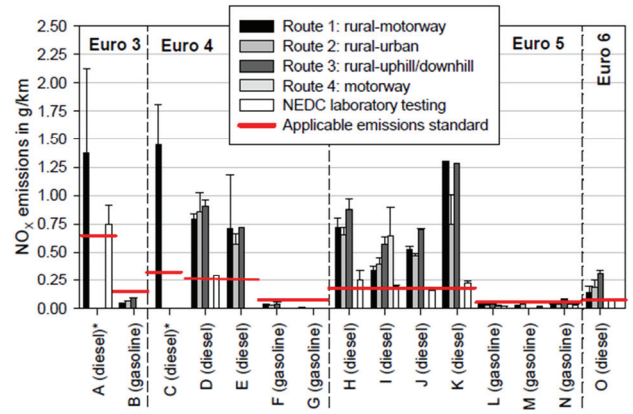
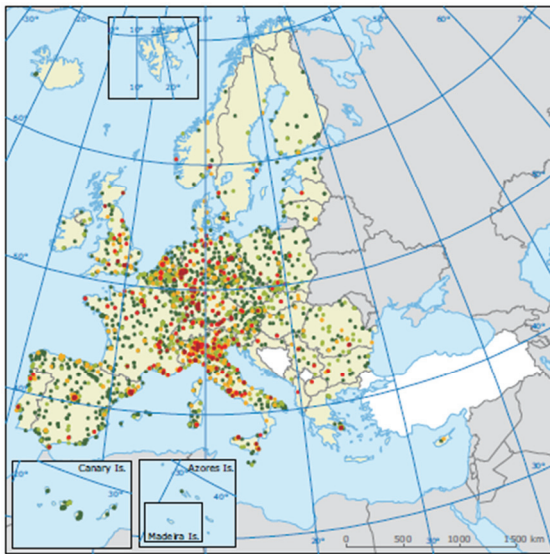


Figure 4 NOx の排出実態調査



● ●:基準値未達地域

Figure 3 欧州における大気環境基準達成状況

3. RDE 規制の目的と背景

図 4 は、EU(European Union:欧州連合)の諮問研究機関である JRC(Joint Research Center)が市場の LDV ディーゼル車及びガソリン車の Euro3~Euro6 の排出ガス認可適合車について、様々なリアルワールドでの走行状態をシャーシダイナモ上にオフサイクルモードとして再現し、認可試験モード(NEDC; New European Driving Cycle)と NOx の排出量を比較調査した結果である⁴⁾。NEDC モードでは、認可規制値以下にある車両においてもオフサイクルモードでは、特にディーゼル車の NOx が認可規制値よりも大幅に高い傾向にあることが判明し、当局にディフィートデバイスの疑念性と従来の排出ガス認証試験の不信感を抱かれたことが RDE 規制の PEMS 試験法を導入するに至った背景である。よって、RDE 規制とは、車両のオフサイクルでのディフィートデバイスを抑制・禁止することを最大の目的としているのである。

4. 欧州の排ガス規制

RDE 規制は、2017 年 9 月から Euro6d の排ガスカテゴリーとして導入が決定しており、排出ガスの型式認証及び ISC(In-Service Conformity:市場フィールドサーベイ)の双方に適用される。既に、2016 年 5 月より型式認可条件として、Gas-PEMS(NOx,CO,CO₂)による計測結果のモニタリングデータの提出が義務付けられているが、ISC への適用については、詳細規定の制定が必要であることから 2018 年以降になる見通しである。又、PN 規制については、当初 PN-PEMS 計測システムの開発遅れにより、導入が遅延されると予想されていたが、昨年、要求性能要件を満足する計測精度に至ったと判断されたことから、Gas/PN-PEMS の双方が RDE の試験法として同時に導入されることになった(図 5)。主な規制対象成分としては、LDV ディーゼル車= NOx , 直噴ガソリン車(Spark Ignition Direct Injection ;SIDI) = PN が規制対象とされており、CO,THC は規制対象外とされている。

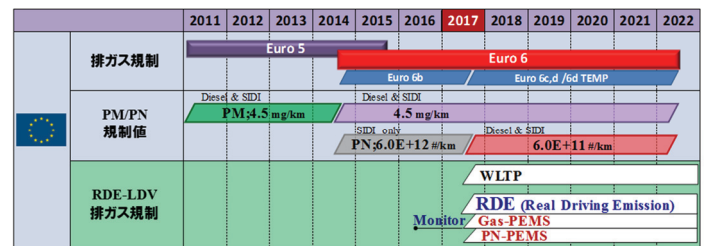


Figure 5 欧州の排出ガス規制

5. PEMS 試験法の概要

PEMS の試験フィールドは、原則として欧州圏内の任意の実路が対象とされ、走行区分として欧州の環境境界条件(Boundary Condition)の 95%をカバーする Moderate(ノーマル条件)と 98%をカバーする Extended(拡張広範囲条件)の 2 区分で構成されており、走行路の標

高や外気温度等の環境条件の厳しさに応じて計測データの処理方法が異なっている。実路走行での排出ガス濃度は、瞬時排出ガス濃度と排出ガス流量及び GPS から得られる各パラメータ(車速, 標高, 外気温度)から、リアルタイムに排出ガス濃度をモデルマシ演算し、排出ガスを算出する。外気温度条件は、欧州の通年を通した平均外気温度を2段階に反映し、2020年以降には更に低温側に拡張されることになる(図6)。

走行区分条件	Boundary Condition / 境界条件				標高 (m)	最高速度 (km/h)
	外気温度 (°C)					
Moderate	-5	0	3	30	≤ 700	≤ 145
Extended	-7	-2	0	35	≤ 1300	

2020 ← 2017

Figure 6 試験境界条件

車両のエンジン水温状態は、冷機状態 (Cold)と暖機状態 (Hot)双方の試験が義務付けられている。又、走行路の構成比率は、Urban(市街路)=34%,Rural(郊外路)=33%,Motorway(高速路)=33%の同比率とすることが求められており、全工程の試験時間は、約 90~120 分以内と規定されている。

5.1 PEMS の試験境界条件^{5) 6)}

5.1.1 静的境界条件

試験の外気温度と標高の静的境界条件の関係を図7に示す。走行区分条件の Moderate と Extended の試験条件が混在するような試験路の場合は、Extended 区間の排出ガスデータを 1.6 で除算補正し、Moderate 区間のデータと合算して演算処理することになる。外気温度条件については、屋外駐車(Soak)状態のエンジン始動から計測が開始される Cold Start 条件とエンジンの完全暖機状態から計測される Hot Start 条件の双方がある。Hot Start の条件は、エンジン水温 ≥ 70°C 又は、始動後 5 分間のどちらか早い方と規定されている。標高差は、走行スタート地点から走行終了地点の標高差 < Δ 100m とされ、走行距離 100km 以内の累積標高差 < Δ 1200m としなければならない。

5.1.2 動的境界条件

PEMS による実路走行試験は、試験室での予め定められた排出ガス試験モードを運転する場合は異なり、試験路の天候や外気温度、交通事情やドライバーのアクセル操作等によって計測結果が大きく異なることから、運転状況に伴う影響を平滑化する動的境界条件が

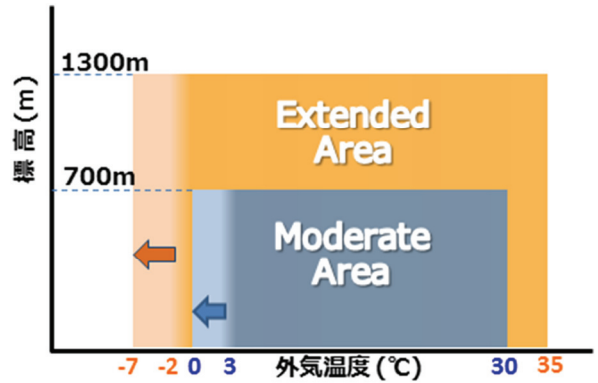
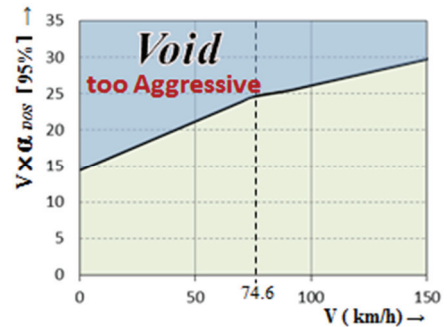


Figure 7 静的境界条件

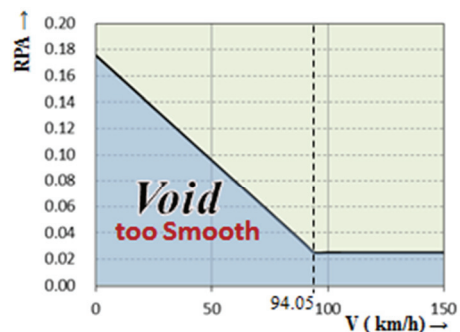
規定されている。車両の走行状態を GPS から得られるパラメータから加速度($V \times \alpha$)と試験全体の相対加速度(RPA: Relative Positive Acceleration)等を指標とする上下限境界を設定し、極端に緩すぎる運転や極端にアグレッシブな運転をした場合には、試験全体が無効化(Void)され再試験となる(図8)。その他の条件として、車両のエアコンは通常の使用状態、試験燃料は、市場燃料を使用することになっており、市場における一般の車両の使われ方に準じた試験法が規定されている。

又、試験の実施機関は、試験の中立性を確保するという観点から、第三者試験機関で常に 50%以上の試験実施比率とすることが要求されている。



V:車速(km/h)

$\alpha_{pos}[95\%]$:0.1m/s²以上の正味加速度の95%タイル値



$$RPA = \sum_j (\Delta t \cdot (V \cdot \alpha_{pos})_{jk}) / \sum_i d_{ik}$$

Figure 8 動的境界条件

5.2 RDE の規制値

RDE の排出ガス規制値 NTE(Not to Exceed)は、C.F.(Conformity Factor)という固定サイクルモード規制値の倍数で表す指標で規定されている。

$$NTE(規制値) = \text{Euro6 規制値} \times C.F. \times T.F.$$

C.F. (Conformity Factor) : 適合係数

T.F. (Transfer Function) : 調整係数

2017年9月の規制開始時は、NOx, PN 共に C.F.=1.5(Euro6d)が適用されるが、NOx に関しては 2020年1月までは CF=2.1(Euro6d-TEMP) ※ を暫定適用できることになっている。2020年1月以降は、NOx も C.F.=1.5 が適用されることになるが、この C.F. は、固定値ではなく、2017年以降、毎年見直され、2023年までに NOx, PN 共に C.F.=1.0 を目指すことになっている。

又、C.F. は、Urban モードと Total Trip (Urban + Rural + Motorway)の双方に適用されるダブルスタンダード要件になっている (図 9)。

T.F. は、PEMS の計測バラツキや車両の特異性等を考慮した C.F. の調整値とされているが、具体的な検討はまだ進んでいない。

Category	NOx CF	PN CF
Euro 6d	1.5	1.5
Euro 6d TEMP	2.1※	1.5

規制値:C.F. カテゴリー

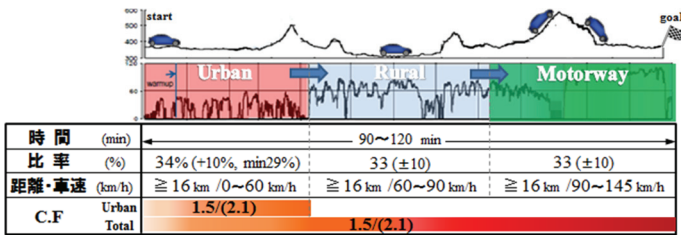


Figure 9 走行路構成比率と C.F. 適用区分

6. RDE 規制導入の国際動向

世界各国の PM/PN 規制強化は、2017~2020年に集中する傾向があり、欧州における PN 規制強化と LDV への RDE 規制適用をトリガーに、中国、インド、オーストラリア、台湾が PN 規制導入の検討を開始、RDE 規制に関しては、中国、インド、韓国、日本が既に具体的な検討段階に入っている。今後 ASEAN 諸国(Association of Southeast Asian Nation:東南アジア諸国連合)等も追従する兆しを見せ始めている (図 10)。又、PEMS による実路試験も 2015 年以降、各国で実施され、俄かに RDE 規制導入への動きが活発化してきている。従来、排

出ガス適合性検証は試験室のみで実施されていたが、今後は試験室と実路フィールド双方を併用した検証に移りつつある。特に、中国、インドは、既に次期排ガス規制強化に向けて RDE 規制の導入を表明しており、日本においてもディーゼル乗用車を対象に規制導入の具体的な検討が開始されている。米国においては、RDE 規制値導入には言及していないものの、認証試験及び市場サーベイの一環として必要に応じて、RDE 試験が実施されている。

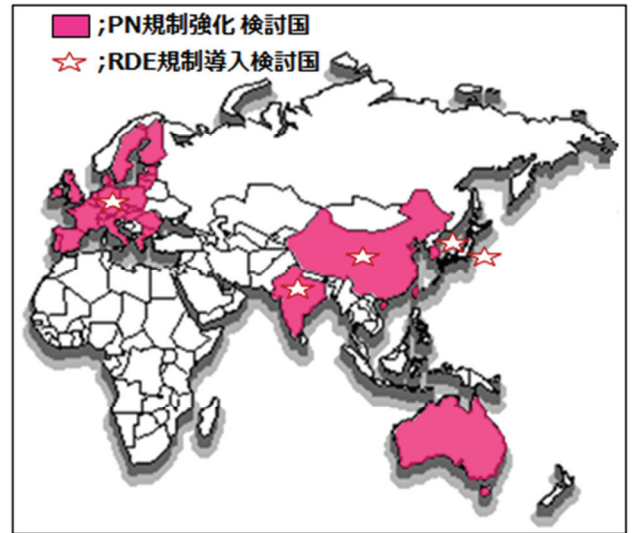


Figure 10 PN & RDE 規制導入検討国

6.1 各国の RDE 規制導入検討状況

RDE 規制の導入を検討している各国は、欧州の PEMS 試験法規をベースに、各国の環境条件や交通事情に合わせて試験法の検討を行ってきている。図 11 は、ここ数年で RDE 規制の検討を開始している国/機関及び PEMS による実路試験による検証を実施している各国の状況を示している⁶⁾。

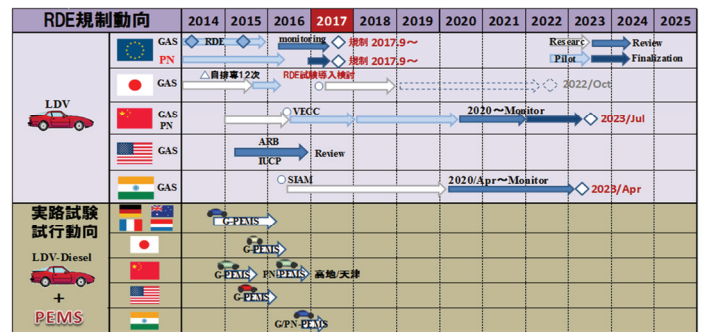


Figure 11 RDE 規制導入検討状況

6.1.1 中国

中国 MEP(Ministry Environment Protection:中国環境保護局)及び VECC(Vehicle Emission Control Center:自動車管理部)は、2020 年の国 6 規制導入に追加する形で 2023 年から RDE 規制導入を表明し、試験条件の策定に入っている。

6.1.2 インド

インド MoRTH (Ministry of Road Transport & Highway:道路交通局)は、2020 年から施行予定の次期排ガス規制 BS6 に向け RDE 規制導入の検討を開始、2023 年の規制値導入を目指し、具体的な試験条件の策定を開始している。

6.1.3 日本

国交省は、RDE 規制を導入する方向で既存の国内法との関連性を踏まえ試験法、条件等の検討を既に開始、2022 年の規制値導入 (LDV-Diesel のみ)を目指し展開されている。

6.1.4 米国

米国 EPA(Environmental Protection Agency:米国連邦環境保護局)及び CARB(California Air Resources Board:カリフォルニア州大気資源局)は、RDE 規制の導入は表明していないが、In-use サーベランス及び型式認可試験にて必要に応じてディフィートデバイス検証を目的に RDE/PEMS 試験の実施を示唆している。

6.2 PEMS 試験条件の検討状況

各国は、RDE の試験法として、欧州同様に PEMS を採用しており、その基本となる試験法及び関連法規は欧州の RDE 規制法規に準拠しているが、それぞれの国/地域特有の環境条件や道路、交通事情に応じて試験条件を適宜変更してきている。

主な項目として、インド及び日本は、欧州の環境条件に対して外気温度上限の拡大、及び低車速化を図り、中国は高地が多く存在することから、標高上限の拡大が提案されている。今後、試験条件の制定向けて更に検討されていくものと思われる (表 1)。

7. PEMS 計測の技術的課題

7.1 PEMS の搭載性

PEMS 計測機器は、2007 年頃米国において HDT(Heavy Duty Truck)ディーゼル車や NRMM(Non Road Mobile Machinery:建設用産業機械車両)等の排出ガス検証用として開発され、HDV(Heavy Duty Vehicle:重量車)においては米国をはじめとして欧州、韓国、中

Table 1 RDE 試験条件比較

区分	項目	EU	中国	インド	日本	
Category	Regulation(R) or Proposal(P)	R (EC)	P (MEP)	P (SIAM)	P (国交省)	
	EM Category	Euro 6d	国6	BS6	—	
RDE Scope	Application	2017/Sep~	2023/Jul~	2023/Apr~	2022/Oct~	
	Petrol	SIDI	ALL Petrol	SIDI	—	
Boundary Condition	Diesel	ALL Diesel	ALL Diesel	ALL Diesel	ALL Diesel	
	外気温度 (°C)	Moderate 0~30 Extended 30~35	←	15~40 40~45	0~35 35~38	
Driving Condition	標高 (m)	Moderate ≤700 Extended ≤1300	←	≤900	≤1000	
	標高差 (Δm)	Δ100m	←	≤2400	←	
Fuel	Cold start 要件	Cold & Hot	始動5min or 水温≥70°C	←	(Cold & Hot)	
	車速/比率 (km/h), (90, %)	Urban	0~60/34±10% ≥16km	←	0~40/←	0~40/20~35%
		Rural	60~90/33±10% ≥16km	←	40~60/←	40~60/30±10
		Motorway	90~145/33±10% ≥16km	←	60~90/←	60~45±10%
計測時間 (min)	90~120	←	←	←		
使用燃料	市場燃料	市場燃料 (認証燃料可)	(市場燃料)	(市場燃料)		

国が既に市場の排出ガス実態調査(サーベイ)用として用いられているが、HDV 用の PEMS を LDV に適用させる為には更なる改良を要することから、各計測器メーカーは、数年で小型軽量化を図り、かつ、搭載性や安全性を向上させた現在の PEMS を製品化した。しかしながら、今なおポータブル排出ガス分析計の呼称とは程遠い大きさであることは否めない。今後、軽自動車や 2 シータースポーツカー等に車載することを考慮した更なる小型軽量化が望まれる。

7.2 PEMS の計測精度

LDV の公定法における排出ガス計測法は、CVS(Constant Volume Sampler)を用いる排気希釈法(以下 CVS 法)を基準としているが、PEMS の排出ガス計測法は、排気ガス直接サンプル法(Direct Modal Mass 法 以下 DMM 法)を用いて、以下の演算式で瞬時の排気ガス質量をリアルタイムにモダルマス演算する手法を用いている (図 12)。

Direct Modal Mass 法 ↔ CVS 法

$$\text{排出ガス質量} = \text{瞬時排出ガス濃度} \times \text{排出ガス流量} \times \text{密度} \times (\text{湿度補正})$$

- ① ヒート管式排気流量計 or
- ② Intake Air Mass 信号 (ECU)

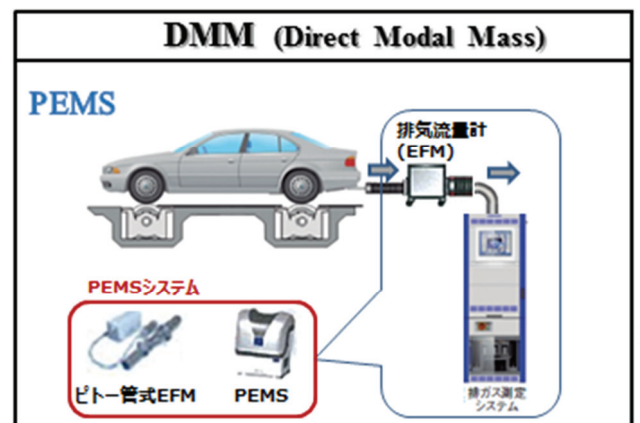


Figure 12 Direct Modal Mass 排ガス計測システム

排出ガス質量を演算する上で、計測精度に大きく影響する因子としては、PEMS 計測システムで用いているピトー管式排気ガス流量計 (EFM: Exhaust Flow Meter) (図 13)の計測精度、及び排気ガス分析計の応答性がある。



Figure 13 ピトー管式排気流量計⁷⁾

7.2.1 排気ガス流量計の精度

ピトー管式排気流量計(以下 EFM)は、動圧と静圧の差圧計測の原理に基づく方式であり、構造がシンプルで安価である一方、応答性や低流量域の計測精度に課題がある。特に、アイドリング等の極低流量域では、エンジンの吸入空気流量に対して EFM の排気流量は、排気脈動等の影響によりバラツキが大きくなる傾向がある為、各計測器メーカーは圧力センシングを最適化し、低流量から高流量まで精度を確保している。

図 14 は、WLTC モード(Hot)における車両側 ECU の吸入空気流量を基準として、EFM でセンシングした排気ガス流量を比較した結果である⁸⁾。EFM のフルスケール流量(10m³/min)の10%以下の極低流量域では、排気脈動や逆流の影響を受け、バラツキが大きいのが判る。現状、各社の EFM は精度的に満足できるレベルまでには至っていないが低流量域の精度向上や、Cold 始動時の水分影響等をハード及びソフト側で改善を図ると共に、脈動や逆流等の微差圧の検出精度を向上する等、更なる開発が進められている。

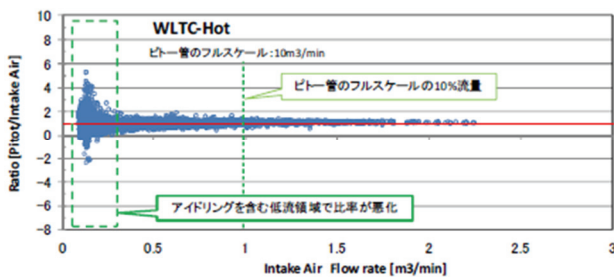


Figure 14 吸入空気量に対する EFM 排気流量比率

7.2.2 Gas-PEMS の応答性

Gas-PEMS に搭載している排ガス分析計は、CO,CO₂ の分析に NDIR 方式(None-Dispersive Infrared Analyzer:非分散型赤外吸収分

光法)NO_x の分析には NDUV 方式(None Dispersive Ultra Violet Adsorption: 非分散型紫外線吸収法)又は、HCLD 方式(Hot ChemiLuminescence Detector:加熱型化学発光法)であり何れも公定法に用いられている分析計と同様の分析方式である。図 15 は、公定法の据置型ダイレクト分析計(Stationary)とGas-PEMS のNO_x 濃度を同時サンプリング計測で応答性を比較した結果である⁸⁾。Gas-PEMS の濃度は概ね据置型と同等であるが、加速等の瞬時的に大きい濃度変化となる条件では、全体的にGas-PEMS の濃度の方が据置型よりも高くなる傾向がみられた。

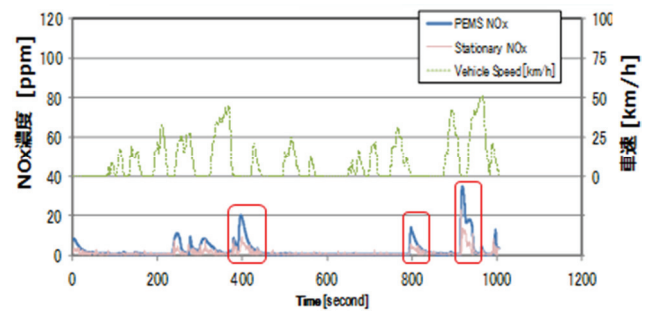


Figure 15 NO_x 分析計の応答性比較(CVS 法 vs PEMS)

7.2.3 Gas-PEMS の計測精度

PEMS の計測精度の課題は、比較的 average 車速が低く、かつ加速頻度が多い様な渋滞路等においては、排気流量計のセンシング及び分析計の応答性等の影響により、計測誤差やバラツキが大きくなることがある。図 16 は、国内 JC08 モード、欧州 WLTC モード、及び渋滞路等を想定した様々な試験モードを平均車速を横軸とし、CVS 法、PEMS+ピトー管式排気流量計による演算、及び PEMS+ECU 吸入空気量演算の NO_x 値をシャーシダイナモにて同時計測し、比較した結果である⁸⁾。低車速では、何れも PEMS 演算値の方が CVS 値よりも高くなる傾向があり、高車速になるに従い CVS 値との差が縮小し、40km/h 以上の領域でほぼ同等になっていくのが判る。

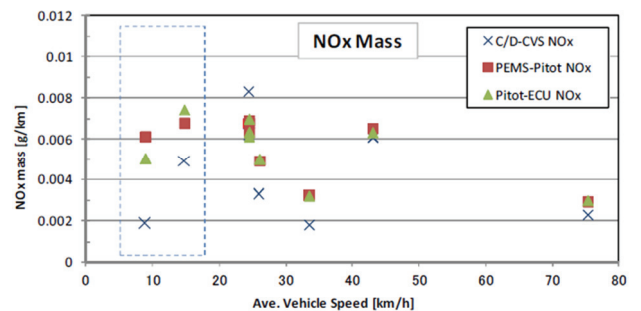


Figure 16 モード平均車速と NO_x 排出量比較

7.2.4 PN-PEMS の計測精度

PN-PEMS の計測原理は、公定法と同様の CPC 方式(Condensation Particle Counter)を用いる PMP 法(Particle Measurement Program method)と DC センサー方式(Diffusion Charging:拡散電荷)を用いる 2 タイプがある。図 17 は、シャーシダイナモにて公定法の PMP 法と欧州の評価試験で供試された計測器メーカー 4 機種種の PN-PEMS(プロトタイプ:2,製品版:2,DC 方式:3,CPC 方式:1)を様々な試験モードで同時に計測し、平均車速に対する PN 計測値を公定法の PMP 法基準でその差異比率を比較した結果である⁸⁾。現在、欧州法規で定められている PN-PEMS の精度規定幅は、公定法(PMP 法)に対して $\pm 50\%$ を許容しているが、低車速域ではバラツキも大きく許容幅を超過する。高車速になるに従いバラツキも縮小化し、許容幅に概ね収まってくるものの、計測器の種類や走行モード等によっては、許容幅を超えるものもあり、更なる改善が必要である。

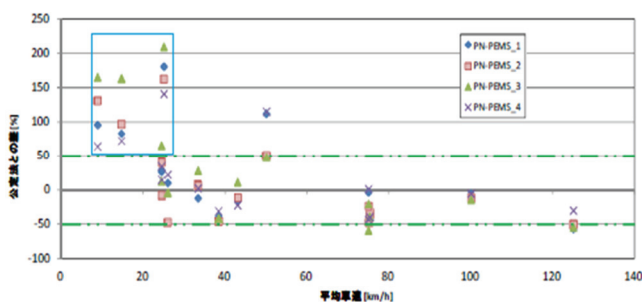


Figure 17 モード平均車速と各 PN-PEMS 精度比較

7.2.5 PN-PEMS の計測精度

以上、述べてきた通り、現状の各 PEMS の計測精度は、低車速度領域において Gas/PN-PEMS 共に課題を抱えており、一層の改善が求められている。欧州で設定されている C.F は、公定法と PEMS との計測精度マージンを 0.5(50%)として定めているが、現状はそれを満たしていない。『5.2 RDE の規制値』の項でも述べさせて頂いた通り、当局は、RDE 規制開始後の 2017 年以降 C.F を毎年見直し、2023 年までに C.F=1.0 を目指すとしており、既にその議論も開始されようとしている。しかしながら、公定法である CVS 法と PEMS の DMM 法は排ガスの計測法や演算法が異なっており、双方が等価になることは技術的に難しいものがある。今後、その精度確保に向けた検証を十分に行った後、技術的な判断を基に C.F 変更の議論をして頂けることを期待したい。

8. おわりに

ここ数年、欧州で検討が進められてきた RDE 規制が注目されはじめ、世界的な潮流として押し寄せてきそうな情勢になりつつある。一方、国内の大気汚染は、以前ほど酷くは無いものの、地球環境規模で捉えた場合、各国の大都市圏を中心に大気汚染がかなり深刻な状況になってきている。そこで、規制当局が、その対応策として打ち出してきたのがこの RDE 規制ということである。よって、RDE 規制自体が非常に政治色の強い規制であるということを常に考慮しておく必要がある。PEMS 試験法については、精度的に改善すべき技術課題も多く、まだ開発途上の計測器であると言っても過言では無い。欧州で C.F を下げる議論が開始されようとしているが、技術的な見地に立てば PEMS の計測精度が CVS 法と等価であるということが大前提であり、今後、議論の行方が注目される。一方、PEMS は既に各国の規制当局によって実路試験が実施されてきていることもあり、今後、計測精度の課題を改善しつつ PEMS を如何に使っていくのかということも真剣に考えておかなければならない段階にきている。近い将来、排出ガス検証試験が試験室から実路フィールドに移行し、世界中の実路で排出ガスの適合性検証が求められる日が訪れるのは、そう遠くは無さそうである。

本稿執筆にあたり(一社)日本自動車工業会並びに(一財)日本自動車研究所のご協力及びデータ提供に感謝申し上げる次第である。又、本稿が関連、他分野を問わず、少しでも参考になれば幸いである。

【参考文献】

- 1) Sensors SEMTECH <http://www.sensors-inc.com>
- 2) <http://www.nasa.gov/press-release/new-nas>
- 3) Air quality in Europe 2014 <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2014>
- 4) Martin W.et al :JRC SCIENTIFIC AND POLICY REPORTS Report EUR 25572EN
- 5) COMMISSION REGULATION (EU)2016/646
- 6) 細貝,「RDE-LDV/PEMS 規制に関する国際動向」,自動車技術会 2017 フォーラム
- 7) <http://www.avl.co.jp>
- 8) 相馬,「PEMS 試験の実際と課題」,自動車技術会 2017 フォーラム

日本の大気環境の実態と自動車寄与に関する研究動向

Japanese Ambient Air Quality and Vehicle Contribution Study Trend

柴田 芳昭

Yoshiaki SHIBATA

一般社団法人日本自動車工業会 地域環境部会 / トヨタ自動車株

JAPAN AUTOMOBILE MANUFACTURERS ASSOCIATION ENVIRONMENTAL ISSUES SUBCOMMITTEE / TOTOTA MOTOR CORPORATION

The ambient air monitoring station to measure air pollutants for 24 hours is placed in the whole country in Japan. Approximately 1,250 stations for General Air Quality monitoring, and approximately 400 stations for roadside monitoring are placed. Air pollutants are defined as CO, NO₂, SO₂, SPM, PM_{2.5} and OX. For NO₂, SO₂ and SPM, which were the conventional air pollutants for major cities, their concentrations are reduced and come to be almost accomplished by the emission control regulation from both of stationary and mobile sources in recent year. The remaining concerns are photochemical oxidants and PM_{2.5} which are the factor that an atmospheric chemical reaction (the secondary formation) is important.

The mobile source contribution on ambient air in Japan are greatly decreasing by the vehicle emission control regulations, however the attention is gathering for real world emission from mobile sources and mobile source contribution due to the defeat device problems of the European vehicle manufacturer in 2014. This report introduces the latest situation of the ambient air in Japan and the latest trend of the study on vehicle contribution to ambient air.

1. はじめに

わが国では大気汚染状況を24時間監視する大気汚染常時監視測定局(以下;常監局)が全国に配置されている。一般環境大気測定局(一般局)が約1250局、自動車排出ガス測定局(自排局)が約400局である。近年は自動車排気規制や固定発生源等の対策により大気環境中の濃度は低減してきている。

しかし、2014年の欧州自動車メーカーの排出ガス不正事件を契機にリアルワールドにおける排出ガスや自動車寄与に注目が集まっている。本稿では、日本の大気環境の実態と自動車寄与に関する研究の最新動向を紹介する。

2. 大気環境の現状と環境基本計画

大気測定局の観測結果を踏まえ、環境省が作成した環境基本計画(2012年度)では大気環境及び今後の課題を表1のように示している。

Table 1 日本の大気環境の現状－環境基本計画より抜粋－

	これまでの取り組み、現状	今後の課題
①大都市 NO ₂ 、SPM	自動車単体規制、自動車NOx-PM法、低公害車の普及により、一部の測定局を残し、環境基準をおおむね達成。	すべての測定局、すべての地点での継続的な環境基準の達成
②光化学 オキシダント	固定発生源に係る規制と自主的取組みにより、VOCをH12年比30%以上の削減見込みであるが、環境基準達成は1%未満。	実態解明のために、広域大気シミュレーションを活用し、汚染物質濃度の把握や二次生成地の把握を行うとともに、排出イベントの把握・改善、常時監視の体制整備および精度向上などを図る。
③PM _{2.5}	環境基準が設定され、常時監視体制が構築されつつあるが、測定データから全国的に環境基準を超える可能性が示唆される。	
④広域大気 汚染	東アジア地域において、急速な経済発展に伴う大気汚染物質の排出利用が増加することで大気汚染が深刻化、日本に飛来する農薬に付着した有害物質の影響懸念。	広域大気汚染対策は、全体的な取り組みとして都道府県、国を超えた広域的な取り組みが必要。

出典：環境基本計画(2012年度)

図1に主な大気汚染物質であるCO、NO₂、SO₂、SPM、PM_{2.5}、Oxの大気濃度の変化を示してある。80年代の公害問題を契機に様々な対策が施行され、大気濃度は低減して来ているが、Oxだけは徐々に増加傾向であることが分かる。表2は2016年度の常監局の観測結果の速報値より求めた大気環境基準の達成率を示す。

1980年代から課題とされてきたNO₂やSPMはほぼ達成され、今後の課題は大気中の化学反応(二次生成)が主な要因である光化学オキシダントとPM_{2.5}となっている。

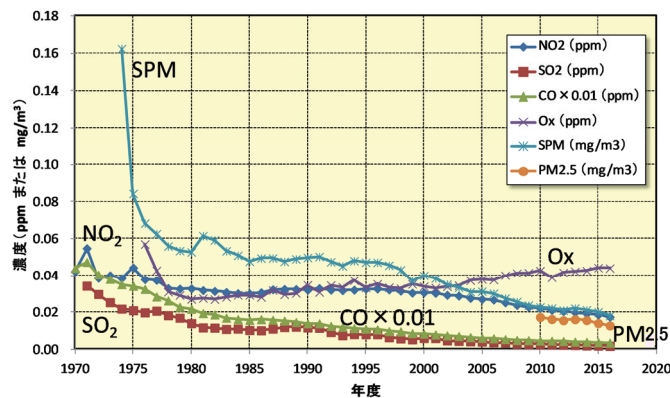


Figure 1 主な大気汚染物質濃度の経年推移

Table 2 2016年度の環境基準達成率(速報値)

一般局(2016年度)			
	(A)有効測定局	(B)基準達成局	達成率(B÷A)
PM2.5	751	667	88.8%
Ox	1113	0	0.0%
NO ₂	1146	1146	100.0%
SPM	1188	1183	99.6%
SO ₂	854	854	100.0%
CO	49	49	100.0%

自排局(2016年度)			
	(A)有効測定局	(B)基準達成局	達成率(B÷A)
PM2.5	205	178	86.8%
Ox	28	0	0.0%
NO ₂	373	372	99.7%
SPM	368	366	99.5%
SO ₂	46	46	100.0%
CO	218	218	100.0%

PM2.5 微小粒子状物質
Ox 光化学オキシダント
NO₂ 二酸化窒素
SPM 浮遊粒子状物質
SO₂ 二酸化硫黄
CO 一酸化炭素

※速報値 2017年3月31日現在 出典:環境省観測結果より作成

2009年に大気環境基準が設定されたPM2.5は現在常監局が整備されつつあり、17年3月末の時点では一般局755局、自排局208局で観測が行われている。図2に年平均濃度の変化を示す。大気中のPM2.5濃度は2001年の測定開始以来、経年的に低減してきており、特に2015年以降では年平均濃度が一般局と自排局の差が殆どなくなっていることが分かる。一般局と自排局の差が殆どないことから、PM2.5は局所的な大気環境の問題ではなく、広域大気環境の問題となっている。図3にPM2.5の大気測定局の位置と局数を示している。

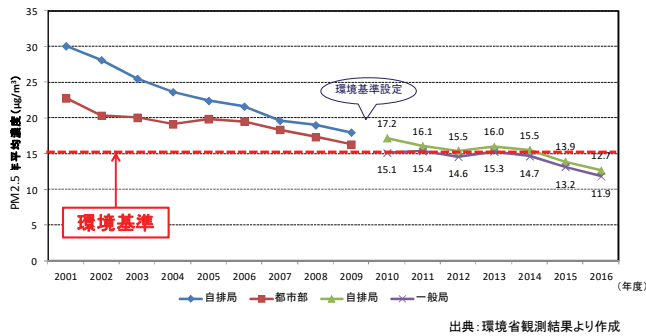


Figure 2 PM2.5年平均値の経年推移

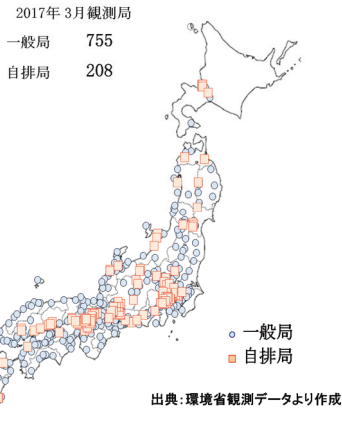


Figure 3 PM2.5の大気測定局の位置と局数(2017年3月現在)

図4は2010年以降の測定局数と大気基準達成率の推移を示している。2015年、2016年の達成率は大きく改善されている。これから環境省でも解析されていくと思われるが、夏の気温が比較的良かったことや偏西風が北よりになったことなどの気象条件が影響していると考えられている。PM2.5の大気環境を見極めるには、測定局の一層の充実と気象条件の影響度の見極めが必要と考えられている。

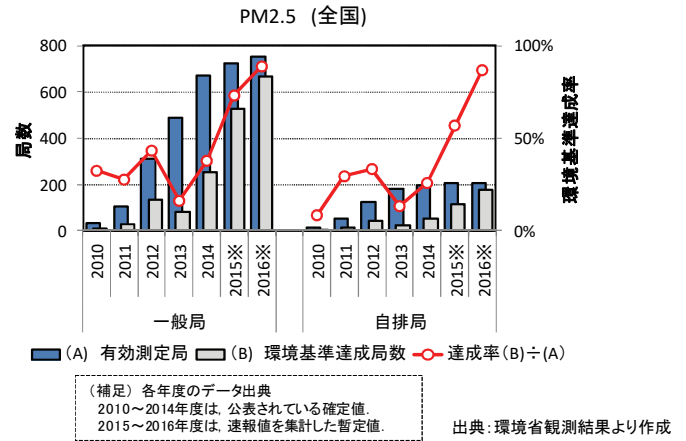


Figure 4 PM2.5の測定局数と基準達成率の推移

3. 自動車寄与度の研究動向

この章では、大気汚染物質における自動車寄与(自動車排気を対象)を解析した研究結果を紹介する。

3.1 CMB(Cheical Mass Balance)法による解析

日本自動車工業会(自工会)では東京都世田谷区の環八通り沿道に独自の大気測定局を設置して大気汚染物質の濃度を継続的に観測し、その結果を用いてCMB法による自動車寄与を解析している。

対象発生源は環境省の組成プロフィールが揃っている7つの発生源とした。(土壌粒子/海塩粒子/鉄鋼工業/石油燃焼/廃棄物焼却/ブレーキ粉塵/自動車排気)

これらの発生源の中で、自動車排気は2013年度に測定した組成プロフィールを2014年度以降使用している。図5は夏冬、各2週間の観測結果を用いてCMB解析した結果の平均を示している。測定を開始した2002年に比べ、自動車寄与は排気ガス濃度レベルの低下により大幅に低減しており、2016年では約6%であった。なお、CMB法で得られる寄与は1次粒子の寄与分であり、2次粒子は含まれていない。

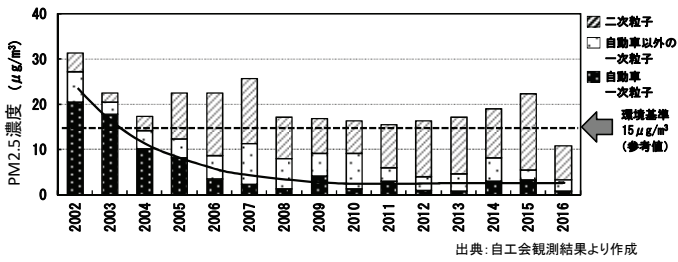
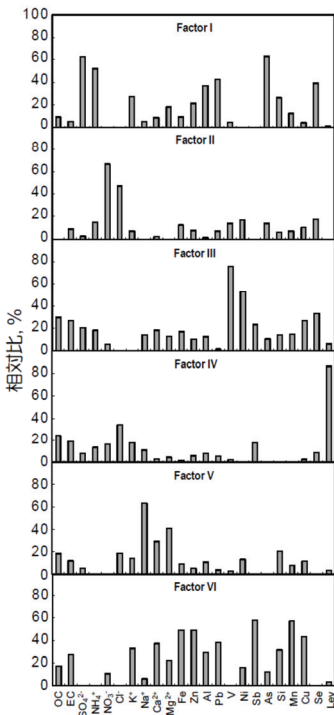


Figure 5 CMB 法による PM2.5 の自動車寄与度の推移

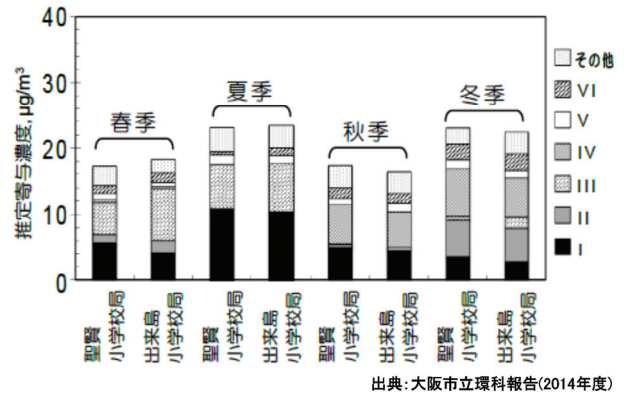
3.2 PMF(Positive Matrix Factorization)法による解析

PMF 法は、PM2.5 の多数の成分別観測結果からいくつかのパターン(因子)を抽出する統計モデルで、抽出された因子の組成成分構成に注目することで、その因子の由来を推計するものである。図 6, 7 は大阪市内で観測された PM2.5 の成分データを PMF 解析した例である¹⁾。Factor I ~ VI として抽出された因子をその組成から、それぞれ二次生成サルフェート、二次生成ナイトレート、船舶を含む重油燃焼由来、バイオマス燃焼由来、海塩粒子や土壌も含む自然発生由来、工業系/自動車排ガス/道路粉塵/焼却由来の粒子と推計して、発生源寄与を求めたものである。PMF 法では抽出した因子と発生源を直接結び付けることが難しいため、因子と発生源の割付が解析者の経験に依存し、解析結果に影響を与えることが課題である。



出典: 大阪市立環科報告(2014年度)

Figure 6 PMF 法で得られた因子と組成プロフィール

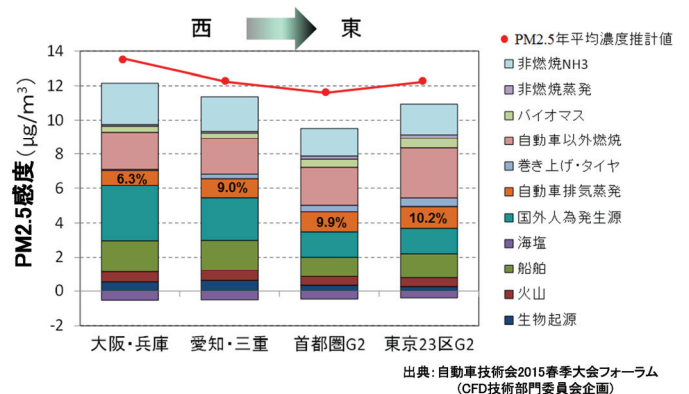


出典: 大阪市立環科報告(2014年度)

Figure 7 PMF 法による PM2.5 の発生源寄与(大阪市内)

3.3 3次元大気モデルによる解析

広域移流拡散モデル(CMAQ; Community Multi-scale Air Quality)と気象モデル(WRF; Weather Research and Forecasting), インベントリ推計モデル(排出量推計)を用いて大気汚染物質濃度を計算する手法が近年盛んになって来ている。これは発生源からの一次排出物だけでなく、大気中の反応による二次生成も考慮した寄与を推計できる特徴がある。自工会では石油業界との共同研究(JCAP; Japan Clean Air Program/JATOP; Japan AuTo Oil Program)において、3次元大気モデルによる日本の大気濃度を推計する研究を実施している。図 8 は JATOP 大気モデルを使って推計した結果²⁾を示している。この結果では、自動車寄与は約 10%(東京 23 区)であった。



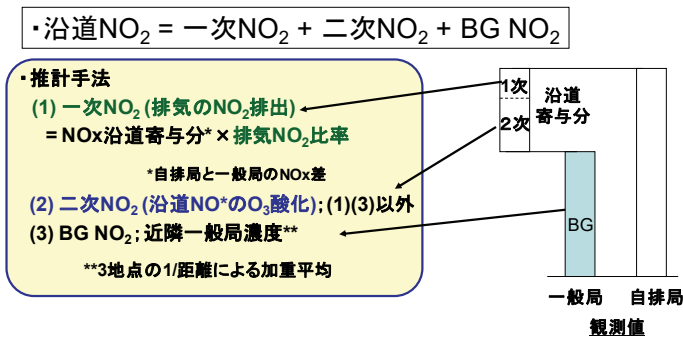
出典: 自動車技術会2015春季大会フォーラム (GFD技術部門委員会企画)

Figure 8 大気モデルによる発生源寄与の推計結果

3.4 大気観測結果からの解析

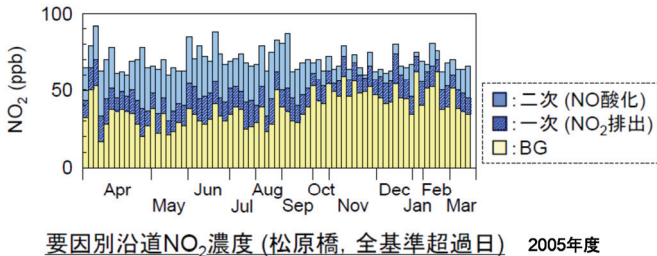
沿道局とその直近の一般局の観測値との濃度差は沿道局近傍の道路上の自動車排出寄与と考えて解析する手法がある。図 9, 10 に沿道 NO₂ を自排局と直近の一般局の濃度差を自動車寄与分として、

排気中の一次 NO₂ と NO から酸化反応による二次 NO₂ に分けて解析した JATOP I の研究結果を示す³⁾。一次 NO₂ は自排局と直近の一般局の NOx 濃度差と自動車排気の NO₂/NOx 比より推計できる。二次 NO₂ は自排局と直近の一般局の NO₂ 濃度差から一次 NO₂ を引いて推計したものである。季節によって寄与度は変わるが、沿道における自動車寄与分は 20% から 50% 程度あることが分かる。また、夏季は大気中の反応により生成した二次 NO₂ の寄与が大きく、冬は BG の寄与が多い(約 80%)ことが分かった。



出典: 第1回JATOP2成果報告会資料

Figure 9 NO₂の解析手法



出典: 第1回JATOP2成果報告会資料

Figure 10 沿道における1次 NO₂, 2次 NO₂の寄与度

4. 自動車からの排出量推計

この章では、大気モデルに入力する自動車からの排出量をどのように推計するかについての研究について解説する。JATOP 大気研究では、3次元大気シミュレーションの入力データとしてエミッションインベントリ⁴⁾を整備してきた。このエミッションインベントリは、自動車排出量と自動車以外排出量、自然起源の排出量をそれぞれ整備してある。日本で直ぐ使えるインベントリとして環境省の PM2.5 エミッションインベントリ策定検討会にベースインベントリとして 2015 年に提供した。ここでは、自動車排出量の推計手法について説明する⁴⁾。

4.1 自動車排出量の推計手法の概要

図 11 は自動車排出量の基本的な推計手法を示している⁵⁾。排気規制対応車別の排出係数と交通量の積として推計するものである。排出係数には速度補正/劣化補正/温湿度補正などの各種の補正係数が設定されており、よりリアルワールドの実態を反映できるように構成されている。

図 12 は交通量を含めた全体のアプローチの概念図を示している⁶⁾。燃料別排気規制別の排出係数に応じた車両の交通量を道路交通センサスを用いて幹線道路リンク(2~10km 区分)毎に通過交通量、走行速度、車種構成比率などを推計して、排出係数の積で排出量を算出している。図 13 に排出係数の例を示す⁵⁾。これを全国に渡り推計して自動車排出量を算定している。更に季節毎の気温補正や自動車の積算走行距離に応じた劣化補正、駐車時間に応じたソーク時間補正などの各種補正を使い、リアルワールドの実態に合わせるような工夫も行っている。

自動車排出量 = 排出係数(g/km) × 交通量(km)

交通量: 幹線道路 (出典: H22年度道路交通センサス)

細街路 (出典: 全国輸送統計年報)

走行時(RE)基本排出係数: 環境省自動車排出原単位

走行時(RE)補正係数: 速度補正係数、劣化係数、温湿度補正係数
HE補正係数、D車強制再生悪化率

始動時(SE)基本排出係数: 計測結果より算出

始動時(SE)補正係数: ソーク時間、劣化係数、温湿度補正係数

考慮している排気規制一覧

区分	1990年	1995年	2000年	2005年	2010年
ガソリン	乗用車	S53年規制		新短期	新長期
	軽貨物車	S57年規制	H2年規制	H10年規制	新長期
	軽乗用車	S63年規制		新短期	新長期
	中量車	H1元年規制	H6年規制	H10年規制	新長期
LPG	乗用車	H1元年規制	H4年規制	新短期	新長期
	軽貨物車	S53年規制		新短期	新長期
	軽乗用車	H2年規制	短期	長期	新長期
	中量車	S63年規制	短期	長期	新長期
ディーゼル	乗用車	H1元年規制	短期	長期	新長期
	軽貨物車	H1元年規制	短期	長期	新長期
	中量車	H1元年規制	短期	長期	新長期
	重量車	H1元年規制	短期	長期	新長期
二輪車	原付/軽/小型	深規制	H10年規制	新長期	H18年規制

出典: 2013年JPEC成果報告会資料

Figure 11 自動車排出量の基本的な推計手法

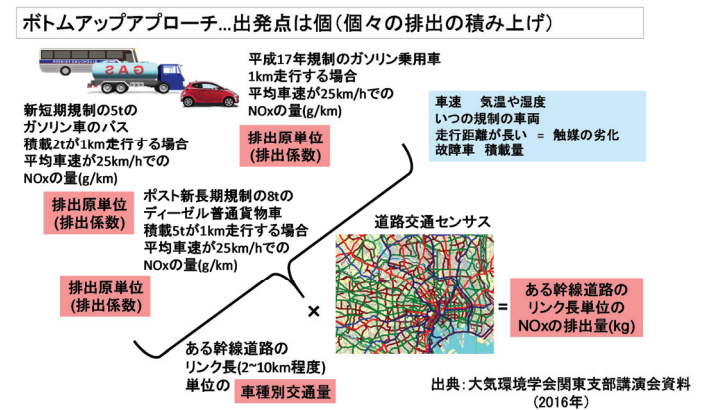


Figure 12 排出量推計全体のアプローチの概念図

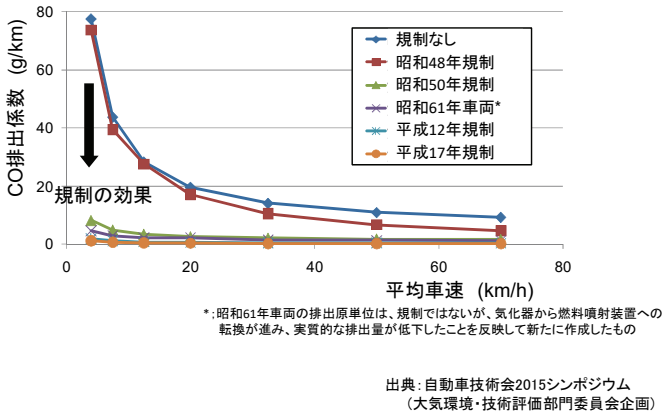


Figure 13 排出係数

4.2 自動車排出量推計結果

上記のようにして算定した自動車排出量を含めた全ての発生源からの排出量を図 14 に示す⁷⁾。自動車の排気から放出される一次排出物質の寄与は自動車排気規制対応車の普及の効果で低減していることが分かる。PM2.5 の自動車寄与は 15%、NOx は 35%(2010 年度)であった。2010 年以降も新車代替により一次排出量は低減しており、環境省の自動車排出原単位検討会では NOx の自動車排出量は 2030 年までに約 75%、PM2.5 は 97%程度低減すると推計している。自動車排気の寄与は今後も更に低下すると予測している。

走行距離に応じて排出量を補正している⁷⁾。車両の走行距離は車両保有台数と経年車の保有率から車齢構成を都道府県毎に推計して、車種毎の年間走行距離と車齢より求めている。

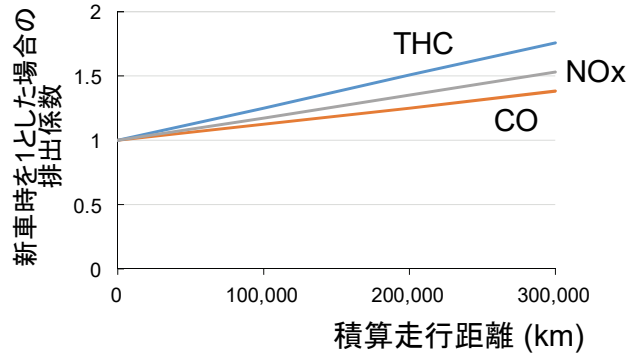


Figure 15 劣化補正係数

4.4 温度補正

排出係数は、環境温度 25°Cにおいて測定された排出ガス量から求めたものである。環境温度が変化すると排出ガス量も変化するので、図 16 に示す温度補正係数により補正する⁷⁾。補正係数は始動時と走行時のそれぞれの排出係数に対応するものとして設定されている。

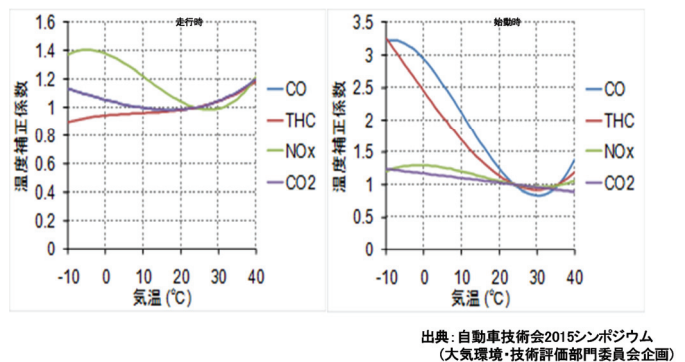


Figure 16 温度補正係数(走行時・始動時)

4.5 ソーク時間補正

ガソリン車のように排気の触媒などの後処理装置を使う場合には、車両の駐車時間(ソーク時間)により排出ガス量に変化する特性がある。前述の排出係数は排気ガス試験法に沿った 12 時間ソーク後の排出ガス量から求めているので、それより短い時間のソークの場合の排出ガス量を図 18 の補正係数を使って求めている⁷⁾。

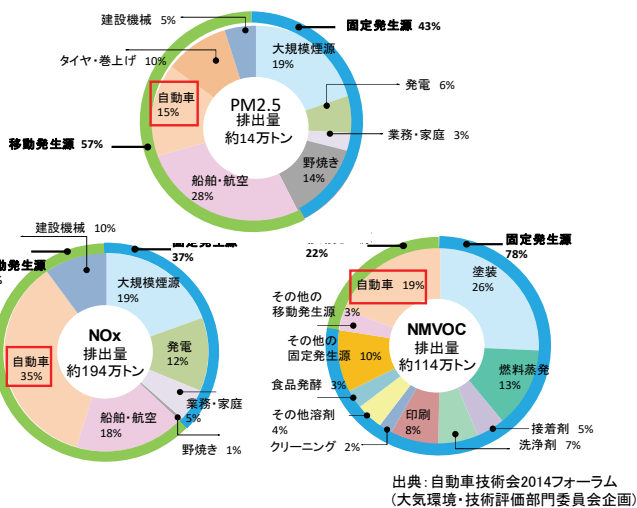


Figure 14 全国排出量推計結果(2010 年度)

ここからは排出係数の補正について解説する。

4.3 劣化補正

ガソリン車のように排気の触媒などの後処理装置を使う場合には、使用経過年数に応じて排出量が増える傾向が見られる。図 15 のような規制物質毎(CO/THC/NOx)に劣化補正係数を設定して、車両の

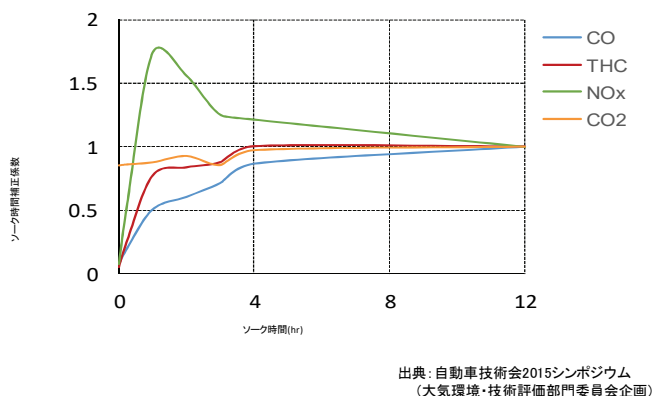


Figure 17 ソーク時間補正係数

4.6 ハイエミッター補正

図 18 はリモートセンシング(RSD, レーザー光を使って路上で自動車からの排出ガスを計測する装置)を使って神奈川県で測定した結果を解析したものである³⁾。昭和 53 年規制車の例を示す。使用期間の長い車両群ほど高濃度の排気を示す車の頻度が増えていることが分かる⁵⁾。極端な走行条件(急加速等)や整備状態の良くない車両などにより排出量の高い車が一定頻度で存在することが示されている。JATOP 自動車排出量推計ではこのような車からの排出量をハイエミッター率として補正して、よりリアルワールドの実態に近づける工夫を行っている。

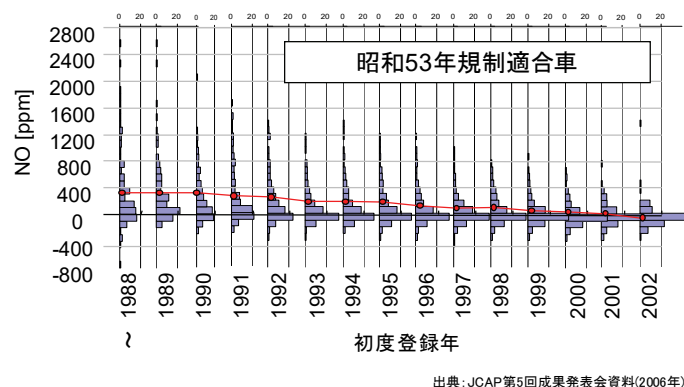


Figure 18 経年車の排出ガス濃度の分布(昭和 53 年規制車, NO)

5. あとがき

上述のように、自動車寄与研究は大気の実態観測から解析するものやリアルワールドの排出実態により合わせられるように平均速度や環境温度、駐車時間、ハイエミッターなどを補正するように工夫された自動車排出量推計を使用して解析したものである。これらの結果は、本特集のテーマである Real Driving Emission を想定した自動車排出量により近いものとなっている。今後も、更にリアルワールドの

排出実態に近づくよう改良を進めていくことが重要である。

【参考文献】

- 1) 船坂邦弘 他, “PMF 法による大阪市内における PM2.5 発生源因子の解析”, 大阪市立環科報告 平成 26 年度 第 77 集
- 2) 木村 真, 自動車技術会 2015 春季大会フォーラム-CFD 技術を使った未来予想図- 2015 年
- 3) JCAP 第 5 回成果発表会資料, 2006 年
- 4) 森川多津子 他, JATOP 技術報告書 大気改善研究 自動車排出量推計 平成 24 年 JPEC-2011AQ-06
- 5) 森川多津子, 自動車技術会 自動車と大気環境を考えるシンポジウム 2015 年 20154647
- 6) 森川多津子, 大気環境学会関東支部講演会, 2016 年
- 7) 柴田慶子, 自動車技術会 PM2.5 の大気環境影響を考えるシンポジウム 2014 年 20144429

排出ガス不正事案を受けた国内における検証試験結果と今後の方向性

Test Results and Future Direction in Japan responding to VW Defeat Device Issue

山口 恭平, 小澤 正弘, 河合 英直

Kyohei YAMAGUCHI, Masahiro OZAWA, Terunao KAWAI

独立行政法人自動車技術総合機構 交通安全環境研究所

National Agency for Automobile and Land Transport Technology National Traffic Safety and Environment Laboratory

1. はじめに

2015年9月、米国環境保護庁(EPA)はフォルクスワーゲン社が米国で販売しているディーゼル乗用車等において、排出ガス検査時のみ排出ガス低減装置を作動させる不正ソフトが搭載されていたことを発表した(以下、「排出ガス不正事案」という。)。この排出ガス不正事案を受けて、国内では国土交通省と環境省が合同で「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」(以下、「検討会」という。)を設置し、車両総重量 3.5t 以下のディーゼル乗用車及びディーゼル貨物車を対象に検査方法等の見直しが検討され、2017年4月に最終とりまとめが公表された¹⁾。本稿では、検討会における議論の中から、不正ソフトの有無を検証するために実施した台上走行と路上走行による排出ガス測定結果や検査方法等に関する今後の方向性に焦点を当て、概要を紹介する。

2. 検証試験結果について

不正ソフトの検証は図1に示すフローに沿って実施された。

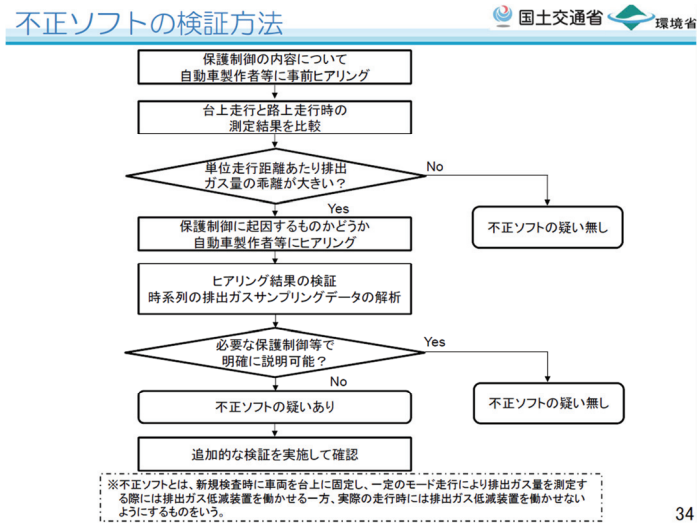


Figure 1 不正ソフトの検証方法¹⁾

験と同様にシヤシダイナモメータ上で JC08 モードを走行した際の排出ガス量を測定した。なお、JC08 モードの排出ガス評価は現行試験法(道路運送車両の保安基準の細目を定める告示(平成 14 年国土交通省告示第 619 号)別添 42 軽・中量車排出ガスの測定方法)に則り、コールド(エンジン冷機状態)スタートとホット(エンジン暖機状態)スタートでの測定を行い、それぞれの排出ガス量に対して重み係数(コールド:0.25, ホット:0.75)を用いてコンバインした値で評価した。また、台上走行は JC08 モード(図2)以外に、2018 年から国内で適合が義務付けられる世界統一試験サイクル WLTC (Worldwide Light-duty Test Cycles, 図3)を含む複数の走行モードにおいても測定を行い、排出ガス低減装置の作動確認が行われた。

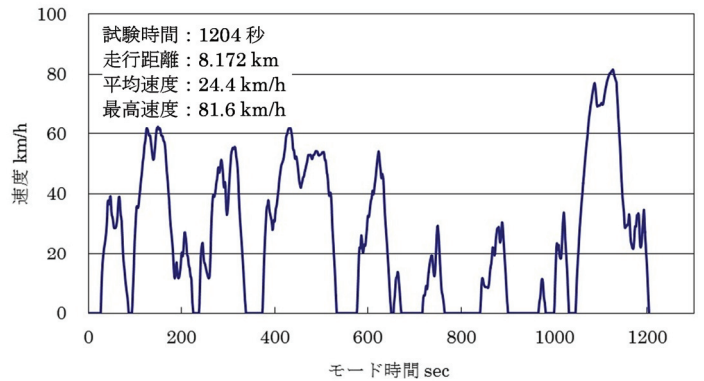


Figure 2 JC08 モード速度パターン

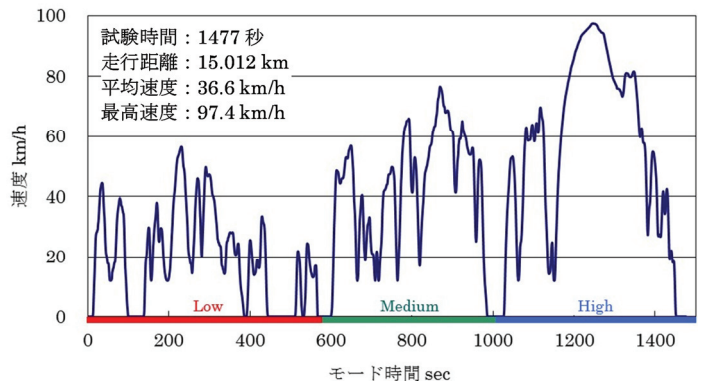


Figure 3 WLTC モード速度パターン

検証試験は台上走行と路上走行で構成され、台上走行では認証試

ここで、台上走行試験設備の概要を図 4 に、台上走行試験の様子を図 5 に示す。

台上調査：試験設備概要

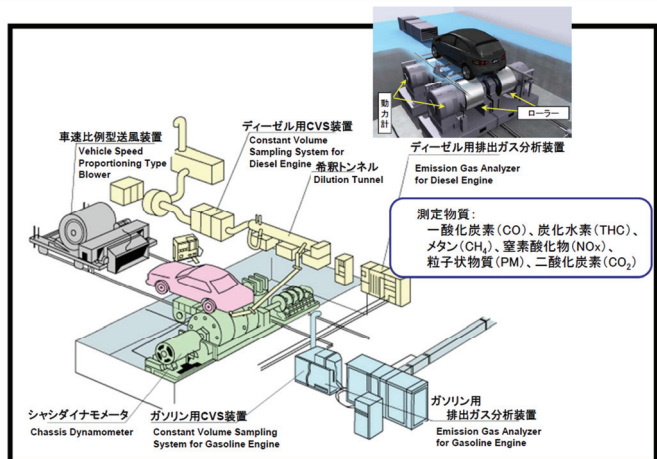


Figure 4 台上走行試験設備概要¹⁾



Figure 6 据置型排出ガス分析計



Figure 5 台上走行試験の様子



Figure 7 車載式排出ガス測定システム (PEMS)

認証試験をはじめとする台上走行の排出ガス測定では据置型の排出ガス分析計(図 6)を使用するが、今回の台上走行試験においては据置型排出ガス分析計に加えて、車載式排出ガス測定システム (Portable Emissions Measurement System: PEMS 以下、「PEMS」という。図 7)も使用して同時に測定することで PEMS の精度についても確認を行っている。

一方、路上走行では PEMS を車両に搭載した上で、一般道路と高速道路を組み合わせたルートを行き、排出ガス測定を行った(図 8)。

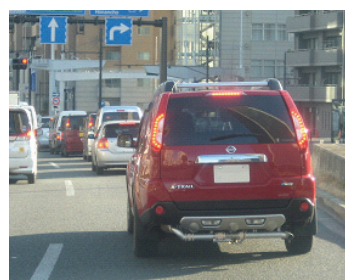


Figure 8 路上走行試験の様子

走行ルートは東京都調布市の交通安全環境研究所と埼玉県熊谷市の熊谷運動公園を結ぶ総走行距離 83.3km のルートであり、都市内一般路、都市間一般路、高速道路の各区分における走行距離が概ね等しく設定されている(図 9)。

走行調査ルート

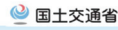


Figure 9 路上走行試験ルート²⁾

16

今回の路上走行試験はホットスタートで測定を開始し、エアコン等の補機は使用せずに試験を実施した。また、台上走行試験と異なる条件の一つとして試験自動車重量が挙げられる。台上走行で排出ガス評価を行う現行試験法において、試験自動車重量は車両重量(空車重量)に110kgを加えた値と定義されているが、今回の路上走行試験では乗員2名とPEMSの重量が合計で約200kgであったことから、台上走行試験に比べて重量が増加した条件下での走行となった。そして、運転方法に関しては、制限速度を遵守した上で、周囲の交通状況に沿って運転し、なおかつ過度な加減速をしないように留意した。なお、PEMSを用いた路上走行試験を行うにあたり、PEMSの車両への搭載は道路運送車両法及び道路交通法の規定に抵触しないように実施した(図10)。



Figure 10 PEMS 搭載状況

ここで、検証試験に用いられた合計8車種の一覧を表1に示す。車種の選定にあたっては現行の排出ガス規制(ポスト新長期規制)に適合したディーゼル乗用車の中から、原則として自動車製作者毎に販売台数の多い車種を1車種以上選定した。また、貨物自動車においては、販売台数の多い1車種を選定した。

Table 1 調査対象車種一覧²⁾

車名	マツダ	マツダ	日産	三菱
通称名	CX-5	デミオ	エクストレイル	デリカD:5
排出ガス対策装置*	EGR+DOC+DPF	EGR+DOC+DPF	EGR+DOC+LNT+DPF	EGR+DOC+DPF+LNT
生産又は販売時期	2011年12月～	2014年8月～	2008年8月～2015年5月 (生産は7)	2013年1月～
販売台数 (2014年9月現在)	96,993台	47,452台	27,568台	22,618台
写真				
車名	トヨタ	トヨタ	BMW	メルセデス・ベンツ
通称名	ランドクルーザープラド	ハイエース (貨物自動車)	320d	ML 350 BlueTEC
排出ガス対策装置*	EGR+DOC+DPF+SCR	EGR+DOC+DPF	EGR+DOC+DPF+LNT	EGR+DOC+DPF+SCR
生産又は販売時期	2015年6月～	2010年7月～	2012年8月～	2010年4月～
販売台数 (2014年9月現在)	3,923台	169,982台	20,518台	3,622台
写真				

*凡例 EGR: 排気ガス再循環装置 DOC: ディーゼル酸化触媒 DPF: ディーゼル微粒子除去装置
LNT: 吸着型窒素酸化物還元触媒 SCR: 選択還元型触媒

まずは、PEMSの精度を確認した結果について取り上げる。台上走行試験において、据置型排出ガス分析計とPEMSを使用して同時に測定したNO_x排出量を比較して図11に示す。据置型排出ガス分析計とPEMSの排出量が1:1となる直線の近傍に多くのデータがプロットされており、高い相関性を有していることが分かる。詳細にデータを解析したところ、アイドリング等の排出ガス流量が少ない条件で精度の低下が見られたが、アイドリング以外にも様々な走行状況が含まれるJC08モードやWLTCでは据置型排出ガス分析計の結果と概ね一致した。したがって、PEMSはNO_x排出量の傾向を把握するために必要な精度が十分確保されており、不正ソフトの有無を確認する目的においては有効な計測手段であることが確認された。

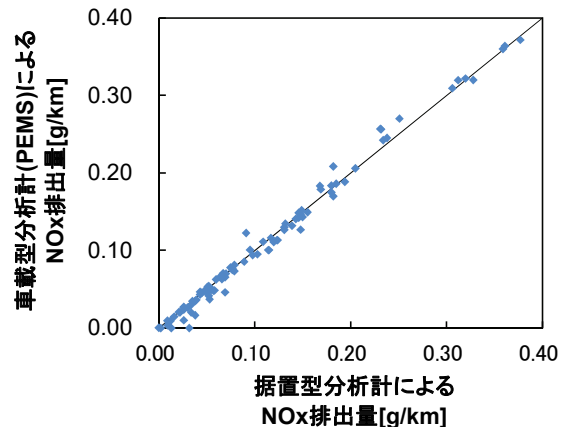


Figure 11 据置型排出ガス分析計とPEMSで測定したNO_x排出量の相関¹⁾

次に、路上走行試験の結果を説明する。台上走行試験及び路上走行試験におけるNO_x排出量を抜粋して、表2に示す。また、表3にはNO_x排出量に関する現行規制値を参考までに示した。なお、現行規制値は台上走行で測定した排出ガス量に対する規制値であることに留意する必要がある。

Table 2 NOx 排出量の測定結果¹⁾

<試験結果> ※NOxの結果のみ抜粋 (CO等は規制値超過無し) 単位: g/km

自動車 製作者	車種	台上試験 JC08 Combined	路上走行試験 ^{※1}					
			都市内		都市間		高速	
			往路	復路	往路	復路	往路	復路
マツダ	CX-5	0.06	0.079	0.05	0.052	0.04	0.095	0.101
	デミオ	0.062	0.103	0.064	0.064	0.057	0.081	0.051
日産	エクストレイル	0.144 ^{※1}	0.301	0.143	0.757	0.229	0.937	0.44
三菱	デリカD5	0.104 ^{※1}	0.331	0.33	0.223	0.292	0.194	0.351
トヨタ	ランドクルーザープラド	0.06	0.336	0.325	0.328	1.017	0.363	0.228
	ハイエース(貨物)	0.11	1.422	1.664	1.394	1.48	0.241	0.254
BMW	320d	0.063	— ^{※3}	0.077	— ^{※3}	0.146	— ^{※3}	0.031
メルセデス・ベンツ	ML350	0.105	0.311	0.110	0.253	0.168	0.148	0.072

※1 ドライバーを変更した結果、台上での規制値以下となったため、車両に問題なし
 ※2 測定日、気温・湿度、交通状況等異なる
 ※3 測定装置の不具合により、復路のみ検証

Table 3 台上での排出ガス規制値(平均値規制値)

	NOx(g/km)	
	ディーゼル乗用車	ディーゼル中量貨物車
現行規制値	0.08	0.15

表 2 より、路上走行試験の NOx 排出量は車種によって大きく異なり、現行規制値(台上規制値)以下の排出量を示す車種もあれば、現行規制値(台上規制値)を大きく超過する車種もあることが分かる。ここで、路上走行試験の NOx 排出量を対象に、現行規制値(台上規制値)に対する比率を算出し、まとめて図 12 に示す。

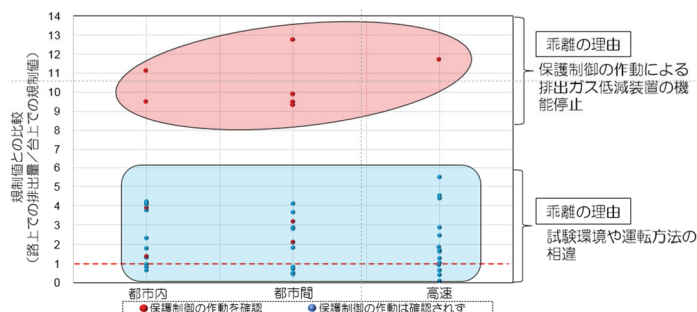


Figure 12 路上走行試験における NOx 排出量と現行規制値(台上規制値)の比較²⁾

路上走行試験の NOx 排出量は一部車種を除き、現行規制値(台上規制値)の 2~5 倍程度から最大 10 倍程度を示しており、台上走行試験と路上走行試験の NOx 排出量に乖離があることが確認された。この主たる要因として、試験環境(気象、路面、試験自動車重量、渋滞等)や運転方法(アクセルワーク等)が挙げられ、大幅な乖離については外気温が低い場合等に作動する保護制御によって排出ガス低減装置の機能が停止したためと考察された。ただし、大幅な乖離を示した結果に関しても、各自動車製作者から事前に報告された保護制御の範囲内で推移する NOx 排出量であったことから、試験を行った 8 車種において、不正ソフトの搭載は確認されなかったと報告している。

なお、各車種における試験結果の詳細な解説は国土交通省のホームページで公表されている検討会の資料¹⁾を参照されたい。

3. 検査方法等に関する今後の方向性

2 章で取り上げた検証試験の結果を受けて、検討会では、PEMS を用いた路上走行検査の導入及び原動機等に関する保護制御の適用範囲を定めたガイドラインの整備が必要であるといった内容の中間とりまとめを 2016 年 4 月に公表した。これに従って、路上走行検査の実施方法(実施条件、測定結果の評価方法)や原動機等の保護制御の適用範囲に関する検討が進められ、2017 年 4 月の最終とりまとめでは、路上走行検査及び保護制御ガイドラインの内容とともに適用時期についても 2022 年とすることが公表された¹⁾。3 章では、路上走行検査と保護制御ガイドラインに関する導入の経緯と概要について説明する。

検証試験で見られた路上走行における NOx 排出量の増加は、大きく分けて 2 つの要因によるものと考察された。要因の一つは試験環境や運転方法の相違であり、もう一方は一定の条件下において排出ガス低減装置の機能を低下又は停止させる保護制御の作動である。2 章の図 12 で示したように、保護制御が作動した場合には NOx 排出量が著しく増加するケースが多い。また、保護制御に関する自動車製作者へのヒアリングを通じて、保護制御の作動条件が各社で異なることが明らかとなり、保護制御の適用範囲を定めたガイドラインの整備が必要とされた。そこで、検討会においてはディーゼル乗用車等(車両総重量 3.5t 以下のディーゼル乗用車及び貨物車)を対象とした保護制御ガイドラインの検討を行い、保護制御の適用範囲が定められた(図 13)。

保護制御ガイドライン



3. 2 原動機等の損傷を防止し、安全な運転を確保するための保護制御の条件について以下の①~⑤の条件範囲以外では、保護制御の作動を許容しないこととする。
 なお、自動車メーカーは、保護制御の作動条件をより限定し、条件の範囲内における排出ガスの増大が最小限となるよう努めるものとする。

- ① 低回転連続運転時(アイドリング運転を含む。)
車速 20km/h 以下での連続運転 20 分以上
- ② 高負荷又は高回転時
車両最高速度(型式認証における申請値) × 0.8 の速度以上
又は
最高出力時エンジン回転速度以上
- ③ 冷却水高温時
冷却水系統のエンジン出口付近における水温が沸点 -15°C (100°C 未満となる場合は 100°C) 以上
- ④ 特異な環境条件
大気圧 90kPa 以下(標高 1000m 以上相当)
外気温 -2°C 以下 又は 38°C 以上
- ⑤ 異常発生時
OBD システムによるエンジン又は排出ガス低減装置の故障検知による警報時

Figure 13 保護制御の適用範囲¹⁾

保護制御の適用範囲については、大気環境保全の観点から、国内における保護制御の出現頻度及び自動車環境対策の技術レベルを

考慮した上で、通常出現しない運転条件として最小限に設定したものであり、実走行環境における保護制御の作動は従来と比較して大きく限定される。検証試験では複数のケースにおいて保護制御の作動が確認されたが、保護制御ガイドラインの適用により、検証試験で作動した保護制御の多くは認められないことになる。

検証試験の路上走行では保護制御が作動していない場合であっても、NOx 排出量は現行規制値(台上規制値)の2~5倍程度を示す車種が多いことが2章の図12より見て取れる。路上走行と台上走行の排出ガス量に大きな乖離が生じると、当初想定された排出ガス規制の効果は不十分になることが懸念され、大気環境保全の観点より、路上走行においても台上走行と同様に排出ガス量の低減が図られることが必要不可欠と言える。そのような背景から、不正ソフトの有無の検証に加え、実走行環境下における排出ガス低減を確実にすることを目的として、PEMSを用いた路上走行検査の導入に向けた検討が進められた。検査方法については、先行して検討が進められている欧州の路上走行試験法を参考に、同試験法の評価手法であるMoving Averaging Window法(図14)を採用しつつ、日本と欧州の走行環境やWLTCの適用フェイズの違いを考慮した検査方法になっている(図15)。また、規制対象となる排出ガス成分は当面、NOxのみとし、その基準値はCF(Conformity Factor)値(台上規制値に対する倍数)として定め、2.0倍が適当とされた。検証試験では台上規制値の2倍を超えるNOx排出量を示すケースが複数見られたが、路上走行検査の導入により、自動車製作者にはCF値を満たすNOx排出量に抑制することが求められる。

2015年10月より検討会において、保護制御ガイドラインや路上走行検査等に関する検討が行われてきた。今後も引き続き、国土交通省と環境省が主体となり、保護制御ガイドラインについては、国内の走行環境における保護制御の出現頻度や技術開発動向に応じた見直しを検討するとともに、路上走行検査についても、測定を進めている国内の路上走行データを踏まえつつ、技術開発動向や国際動向に応じて、CF値や検査対象物質も含めた検査方法等の見直しを検討する予定である。

4. おわりに

排出ガス不正事案を発端に、欧米をはじめ全世界で実走行時の排出ガス性能が注目され、国内においても、路上走行検査の検討が行われてきた。大気環境の保全を実現するためには路上走行においても台上走行と同様に排出ガス量の低減が図られることが必要不可欠であり、路上走行検査の導入は一つの有効な手段である。交通安全環境研究所では今後も国土交通省・環境省と連携して、大気環境の

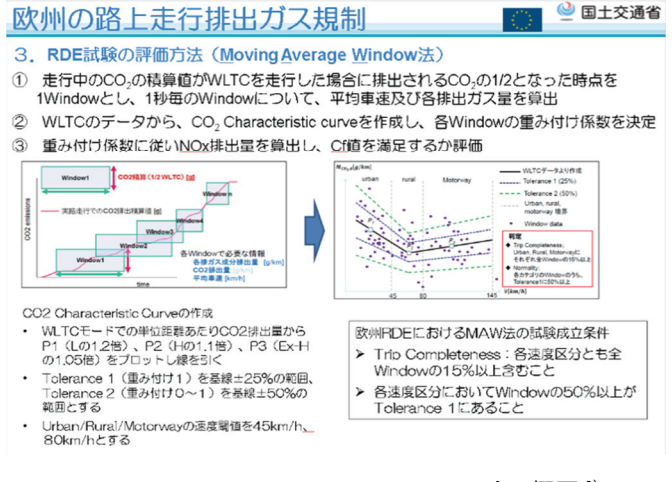


Figure 14 Moving Averaging Window 法の概要²⁾

路上走行試験方法(その他の主な試験条件) 国土交通省

項目	日本の試験法	(参考) 欧州試験法
評価測定物質	NOx、CO2	NOx、PN、CO2
走行順序	一般道路→高速道路	都市内→都市間→高速道路
停止時間・低速走行条件	<ul style="list-style-type: none"> 20km/h以下で20分以上の連続運行がないこと 10秒以上の複数回の停止があり、停止時間の合計は低速走行時間の7~36% 1回あたりの停止時間上限300秒 	<ul style="list-style-type: none"> 低速走行平均車速15~40km/h 10秒以上の複数回の停止があり、停止時間の合計は低速走行時間の6~30% 1回あたりの停止時間上限300秒
高速走行条件	高速走行時間のうち80km/h超が20%以上	<ul style="list-style-type: none"> 145km/hを超えないこと 100km/h超で5分以上走行
試験時間	→	90~120分
高度	1000m以下(高度700m以上での排出については1.6を除し評価)	1300m以下(高度700m以上での排出については1.6を除し評価)
勾配	→	<ul style="list-style-type: none"> 始点と終点の高度差100m以内 登り累積高度1200m/100km
試験時重量	→	上限Paymass90%
気温	-2~38℃(-2~0℃、35~38℃での排出については1.6を除し評価)	-7~35℃(-7~0℃、30~35℃での排出については1.6を除し評価)

Figure 15 欧州における路上走行試験方法との違い²⁾

保全につながる試験法の策定に尽力していきたい。

【参考文献】

- 1) 国土交通省、環境省: 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資料, http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_tk10_000035.html, http://www.env.go.jp/air/car/conf_diesel/post_9.html, (参照 2017.06.01)
- 2) 高井誠治(国土交通省): 国土交通省におけるPEMSを活用した新たな排出ガス低減対策の検討, 2017年自動車技術会春季大会フォーラムテキスト