

## 講演 4. 重量車における新たな評価方法についての動向

環境研究領域 ※鈴木 央一 川野 大輔 奥井 伸宜 山本 敏朗 山口 恭平

### 1. はじめに

自動車排出ガス試験法などの国際統一基準化の流れを受けて、日本でも 2016～18 年にかけて重量車の国際統一試験法 WHDC (Worldwide harmonized Heavy Duty Certification procedure) およびオフサイクル試験法 OCE (Off-Cycle Emission) が採用される。これら試験法の紹介や、それによる排出ガス性能への影響等については昨年(2014)のフォーラムにて発表している<sup>(1)</sup>。

一方、世界的にはそれにとどまらない変化がみられる。とりわけ、近年進化が著しい高度な排出ガス低減技術が導入された車両においては、それが有効に働くときとそうでないときの性能差が拡大する傾向にあり、実際に道路を走行しているときの排出ガス性能 (RDE: Real-world Driving Emission) を重要視する流れがある。それを評価する代表的なものとして、車載式排出ガス分析計 (PEMS: Portable Emission Measurement System) を用いて実際に道路を運行する車両における排出ガス測定を行う手法が挙げられる。これについては、欧米ではすでに導入あるいはそれを前提とした実証試験が始まっており、日本国内においても、環境省中央環境審議会「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について (第十二次答申、平成 27 年 2 月)」で、今後導入の可能性も含めた検討が必要であるとされている。

これら排出ガス評価法に対して、燃費評価法については、日本で 2006 年 (平成 18 年) に世界初の重量車燃費試験法が策定されたが、その後、欧米いずれも独自のものを開発し、採用 (欧州は予定) している。

本稿では、それら重量車の環境性能に関する国際統一基準化と、その枠にとどまらない各国の状況などを紹介する。なお、重量ハイブリッド車への WHDC 適用 (現状では排出ガス試験のみ) に関しては、別途検討が進められている<sup>(2)</sup>。

### 2. WHDC 導入について

2016 年より導入される排出ガス規制においては、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) 排出規制値が強化 (0.7→0.4g/kWh) されるほか、試験サイクルが WHDC に基づく過渡試験サイクル WHTC (Worldwide Harmonized Transient Cycle) および定常試験サイクル WHSC (Worldwide Harmonized Steady-state Cycle) となる。それを国内の試験法とするための基準策定 (保安基準の細目告示別添 41 の更新) が国土交通省により行われている。現在は基準適合に向けてメーカー等が各種技術開発を進めている段階である。

一方、日本独自の制度として並行輸入車の取扱いがある。少数輸入される車両を想定したものであるが、それらでも排出ガス試験が実施される。重量車の型式指定の審査においては、エンジン単体で排出ガス試験が行われ、規制に適合したエンジンが各車種へ搭載される。しかしながら完成車として少数が輸入される並行輸入車でエンジン単体試験を行うのは現実的でないため、当該車両を直接使用したシャシダイナモ試験が行われる。従来の D-13 モード、JE05 モードはシャシダイナモ上でエンジンベンチにて行われる試験と等価な試験を行うことができたが、WHTC ではそれが不可能であり、新たな手法が必要となっている。その手法について、交通研では国土交通省より受託して検討を進めている。車両で試験を行うにあたっては、WHTC の元となった速度パターン WHVC (Worldwide Harmonized Vehicle Cycle) をシャシダイナモ上で走行することをベースに検討することになる。しかし WHVC は、多種の車両で道路勾配の変化も含めた走行がベースとなっており、1 台の車両で基準車速を WHVC とした走行をしても、エンジン回転数やトルクは WHTC と等価にはならない。そして JE05 モードと同様に半積載で道路勾配なしの設定で WHVC を走行した場合、サイクル全体の仕事量が試験法に準拠したエンジンベンチ試験よりも概ね少な

くなる。仕事量が少ないと排気温度が下がる方向になり、エンジンベンチ試験と同等の条件とはいいがたい。そこで最低限の同等性を確保するため仕事量を合わせるとすると、JE05 モードの設定から仕事量を増加させる処置が必要となる。そこで2つの候補を挙げて比較試験を実施した。

- ・半積載設定で実施する JE05 モードに対して全積載設定とする。

- ・半積載設定のまま、全体の仕事量をエンジン試験時に近づけるように道路勾配設定（仕事量を増やす場合には登坂）を行う。

その結果、勾配設定をした場合、仕事量をエンジン試験と同等にする点については優れているものの、瞬時的な仕事率ではむしろ乖離が大きくなった。また、AT車ではエンジン試験時の仕事量を計算する前提となる全負荷試験ができないといった欠点があり、それらの問題のない全積載設定とすることで検討を進めている。そこで、エンジンベンチにおける WHTC 試験とシャシダイナモにおける WHVC 走行を、同一エンジンで実施した結果から仕事量を比較したものを図1に示す。両試験の仕事量は概ね合うものの、図に見られるように、同等エンジンで架装や積載量が異なる場合には上下する場合もある。それらも含めた9台の重量車について、シャシダイナモ試験で JE05 モードと WHTC（ホットスタートのみ）を実施した時の NO<sub>x</sub> 排出量に関する相関を図2に示す。NO<sub>x</sub> 後処理装置を持たない1台で WHTC 試験にて大幅に高い排出となったほかは、概ね同等で、過半のエンジンでは WHTC でわずかに減少する。これは3機種 of エンジンで両モードを試験法に則って試験をした結果、2機種で WHTC での NO<sub>x</sub> 排出が JE05 モードよりも減少した昨年度の報告内容をほぼ踏襲するものといえる。よって、エンジンの詳細データ等を持たない外部機関等が実施できることを前提としつつも、ある程度の妥当性を確保したものといえる。

### 3. PEMS を用いた排出ガス評価

#### 3. 1. 欧米における導入の状況

米国では1990年代に、ある大型車で長距離走行を行うと認証試験サイクルで機能する排出ガス低減デバイスが無効化される制御（デフィートストラテジー）を行った事例が発覚したことを受けて、実走行時の排出ガス性能をチェックしなくてはならない、とい

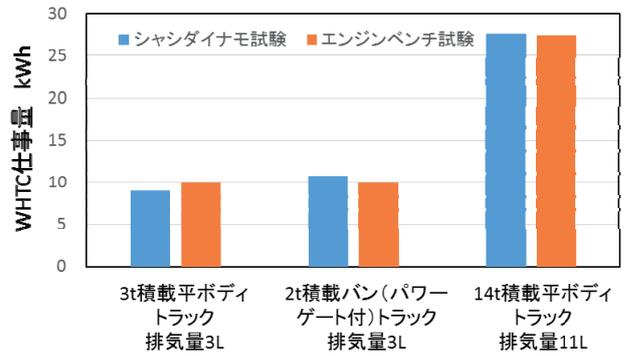


図1 シャシダイナモ試験とエンジンベンチ試験における WHTC 仕事量の比較

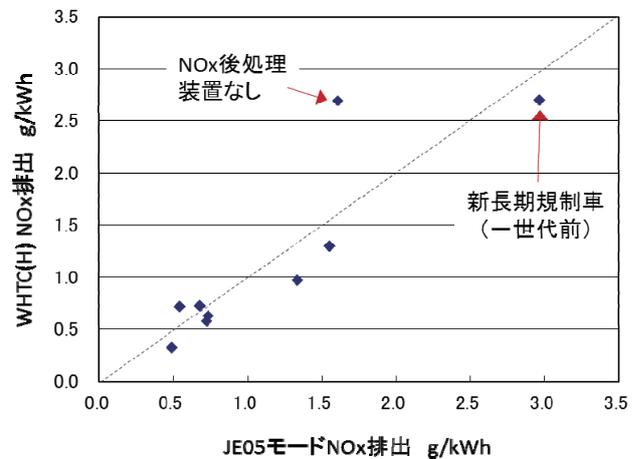


図2 シャシダイナモ試験による JE05 モードと WHTC（ホット）との NO<sub>x</sub> 排出量比較

う意識が早くから持たれていた。そしてその主対象は、上記の経緯から長距離輸送にたずさわる重量車における、連続した高速走行における排出ガス性能であった。米国ではすでに規制が開始されているだけでなく、この視点は国際統一規則（Global Technical Regulation: GTR）の中にも反映されている。すなわち、OCE（GTR No.10）では、実際の車両を走行させることも考慮しつつ、中速エンジン回転以上の高負荷を対象とした NTE（Not To Exceed）領域における連続的な運転中における排出ガス性能を評価することになっている。

一方の欧州においては、排出ガス規制が強化されているにもかかわらず、都市部を中心とした大気中 NO<sub>2</sub> 濃度等が必ずしもそれに見合った改善となっていない<sup>(3)</sup>。これを受けて、比較的最近になって「実際に走行している状態での排出ガス性能」が注目されるよ

うになり、その対策のいわば切り札として PEMS による評価試験が考えられている。

欧州の重量ディーゼル車では NOx 後処理装置として尿素 SCR (Selective Catalytic Reduction : 選択還元触媒) が採用されているが、尿素 SCR を持つ車両では、多くで EGR (Exhaust Gas Recirculation : 排気再循環) が廃止される (図 3) など、国内のものに比べて後処理装置への依存度が高い。従来の欧州における重量ディーゼルエンジンの排出ガス評価試験サイクル ETC (European Transient Cycle) は、JE05 モードと比較して平均仕事率が相当に大きく、当然ながら排気温度も高くなることから尿素 SCR による NOx 低減をより積極的に行うことが可能であった。しかしながら、尿素 SCR の触媒活性温度は日欧に違いはなく、一般に都市内で低速走行が継続される状況では、排気温度は触媒活性温度以下になり、尿素 SCR による大幅な NOx 低減は困難である。日本の重量車

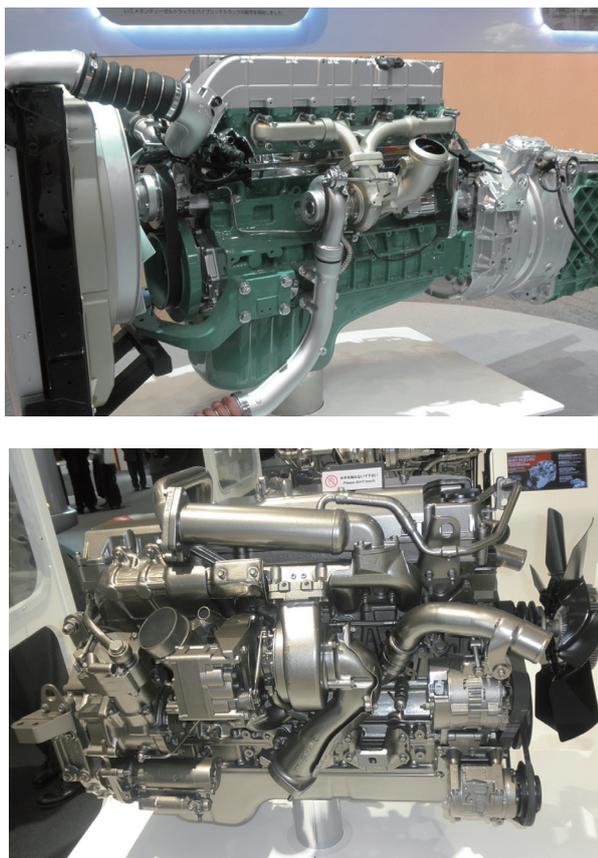


図 3 東京モーターショー2011 で展示された欧州メーカーの重量車用ディーゼルエンジン (上: EGR ラインがなく排気系がすっきりしている) と同クラスの国産エンジン (下: 排気マニホールド上にはクーラーを含む EGR ラインが存在。いずれも著者撮影)

では認証試験サイクルが都市内走行を重視した JE05 モードであることもあり、すべての車両で EGR が採用され、低負荷エンジン領域での NOx 低減に寄与しており、尿素 SCR の効率が多少減じても NOx 排出増加は相対的に少ない。それに対して尿素 SCR への依存度の高い欧州車で低速の都市内走行が継続すると、旧世代の車両以上の NOx 排出となることは PEMS の測定結果をみるまでもなく、容易に想定される。

現在欧州では規制に向けたデータ取得等が行われているが、走行中低負荷が多く平均出力の低いデータは、排出ばらつきが大きいとして評価対象から排除される形で議論が進んでおり、本来的には実走行時の排出ガス性能評価に絶対のポテンシャルを持つ PEMS を用いた評価だが、そもそもの導入に至る原因の解消をもたらす試験法に仕上がるかは予断を許さないといえる。

### 3. 2. 日本における PEMS をとりまく状況

国内でも、欧米で導入が進められている状況を受けて PEMS に関する調査は精力的に行われている<sup>(4)</sup>が、現時点で具体的に導入のスケジュールなどは決められていない。主な課題としては、定量化にあたって排出ガス流量の測定精度が十分とはいえないこと、仕事量あたりの排出量 (g/kWh) で評価される規制値と等価な評価を安定して行うための試験法が確立していないこと、そして搭載性の問題の 3 点といえる。それらの課題は欧米でも同様だが、日本では欧米よりも都市内走行頻度が高く、欧米の評価法では対象外となる走行状態が多いこと、車両の寸法的制約が顕著なことなど導入に向けて困難な点が多い。

欧米で PEMS 導入の動機となった、デフィートストラテジーや実走行での NOx 排出などについて、日本国内でも同様の排出ガス性能に関する問題が顕在化したケースはある。主なものとして、「新長期規制適合尿素 SCR 車における NOx 浄化性能劣化」の問題と「ポスト新長期規制適合車におけるデフィートストラテジー」の問題が挙げられる。しかしこれらは、いずれも車両が登場してから 2 年程度のうちに公的研究機関の調査により、原因の主たる部分とともに明らかにされている<sup>(5), (6)</sup>。つまり、問題が拡大して、例えば環境基準達成率が低下するような深刻な状況に至る前の段階で問題が発覚し、原因究明や対策が議

論され、それに応じた対処が講じられてきた（図4）。

それを可能にしたのは、シャシダイナモ試験による排出ガス評価が一般化していることと、その結果を認証状態と容易に比較することができるJE05モードの存在が挙げられる。ただし、後者については今後WHDCが導入されると従来通りにはいかななくなる恐れがあり、今後は国際的な流れであるPEMS導入という選択肢が有力になりうる。交通研では国土交通省や環境省などと連携しつつ、2章で示したシャシダイナモを用いた試験方法による評価と、PEMS試験法に関する調査を並行して進めることで、認証試験時と同等の環境性能維持、確保に努めていきたい。



図4 デフィートストラテジー問題を受けてオフサイクル時の排出ガス制御等に関する調査を実施（H23年度）

## 4. 燃費試験法

### 4. 1. 日欧米における導入の概況

日本では2007年に世界に先駆けて重量車燃費試験法と燃費基準が制定された。2002年平均燃費値から12.2%改善という2015年度基準値も2011年度に達成され、基準策定が燃費改善を強く促し、運輸分野のCO<sub>2</sub>低減傾向に寄与したといえる。重量車の燃費評価を行うにあたっては、型式ごとにシャシダイナモ試験による測定を行う軽・中量車に対して、型式や細かいオプション違い等が無数にある重量車に対応した評価方法として、エンジンの定常燃費マップとシミュレーションを用いた手法としており、この考え方は世界的にもスタンダードになった。しかし、重量車では小型車以上に各国の事情等が大きく異なり、各地でそれぞれ別個の手法による評価法が導入あるいは計画されているのが現状である。

米国では、GEM（GHG Emissions Model）を用いた燃費評価が2014年より開始されている。その概要については既報<sup>(7)</sup>にて紹介している。日本と大きく異なる点として、日本における燃費基準は自動車メーカーを対象に車両燃費として課せられるのに対して、GEMではエンジン、タイヤ転がり抵抗係数や空気抵抗低減技術（空気抵抗関連はトレーラーのみ）など個別に入力することで成り立っており、サプライヤーやOEMなど個別の立場で改善効果をアピールできるしくみになっている。このような手法とした場合、個々の技術やその組み合わせによる改善効果の詳細を詰めるよりも、多くの技術を早期に導入することを目指すものと推測されるが、個々の技術の改善効果に関する精度向上を目指したものとして、「フェーズ2」の導入が進められており、その詳細が2015年6月に公表されている<sup>(8)</sup>。

欧州では既報<sup>(7)</sup>で紹介した評価法がVECTO（Vehicle Energy Consumption Calculation Tool）と名付けられた計算手法などを中心にまとめられ、2018年頃の運用を目指して実証試験が進められている。欧州の評価法を一言でいうと、単純化や簡素化といったことをあまり考慮せず、より現実を反映することに主眼が置かれたものといえる。例えば評価試験サイクルは当該車両クラスで実際に走行したものが前提とされる。つまりカテゴリー等の数に匹敵する試験サイクルを策定することが想定されており、都市内（JE05モード）と都市間（80km/h定速勾配ありの都市間モード）走行の比率の変更で、カテゴリーごとの使用実態の違いを反映させようという日本の考え方（ちなみにその部分について米国も日本に近い）とは大きく異なる。なお、欧州で行われている実証試験の状況などについてはweb上で公開されている<sup>(9)</sup>。

国内では2015年度燃費基準が目標年を迎え、次期基準の議論が近く始まると予想される。その際の評価に用いる燃費試験法について、交通研では国土交通省より「重量車燃費試験法に関する調査」を受託し、調査を進めている。本稿では現状の試験法における課題となりうる点について紹介する。

### 4. 2. 次期試験法に向けた検討事項など

燃費向上を図る際に、走行抵抗の多くを占める転がり抵抗と空気抵抗の低減は大きな要素であるが、現在重量車の燃費試験法では、いくつかの諸元値を入れて

算出する一定値となっている。大型車では測定が容易でないことに加え架装やオプションが様々で、公平かつ現実的な測定法の策定には障害が多いためである。しかし重要な要素として「総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会重量車判断基準小委員会・重量車燃費基準検討会最終取りまとめ<sup>(10)</sup>」の中で「今後、適切に評価できる手法の確立の可能性について引き続き検討を行うこと。」とされている。一方で、欧米の試験法がそれらをカバーし、改善を促す仕組みを導入するに至り、国内でも実測値を用いる何らかの手法の導入が今後検討される予定である。それらの試験法への反映のさせ方は各国で事情が異なり、調和は容易でないが、走行抵抗等の試験方法そのものは欧米と最大限調和させる方向で検討が進められる見込みである。

次に挙げられるのは、加速時等エンジン運転条件が大きく変動する過渡運転時の燃費についてである。

前記最終とりまとめには、過渡運転の実測と定常燃費マップに基づくシミュレーションとの整合を示すデータ（乖離は0.3%にとどまる）が示されているが、長期（'98-99）規制適合エンジンを対象に実施されたもので、半分が自然吸気式のものであった。それに対して、燃費基準の対象となる新長期（'05）規制以降のエンジンではすべてに過給機が装備されている。過給機は排気エネルギーを使って吸気を加圧するが、加速時など急激に回転や負荷が上昇する場合には、当該負荷であるべき過給圧が得られるまでに一定時間を要する「遅れ（ターボラグ）」が存在する。加速時にターボラグにより本来の過給圧力が得られない場合には、シリンダ内へ導入できる空気量が減少し、そのままでは性能低下をもたらすため、それを抑止する手段として、NO<sub>x</sub> 低減のために行っている EGR を減少あるいは停止させることが行われる。その状況を解析するため、NO<sub>x</sub> 後処理装置を持たない排気量 6.4L の新長期規制適合エンジンを搭載した 4t 積載トラックにおいて、定常運転による NO<sub>x</sub> 排出マップを作成し、実走行時の NO<sub>x</sub> 排出を燃費と同様のシミュレーションにより算出できるようにした。

図 5 は、上記車両による JE05 モード試験から、最終部分における実測の NO<sub>x</sub> 排出量とシミュレーションにより求めた NO<sub>x</sub> 排出量の時間履歴を比較したものである。1500～1600 秒あたりの高速走行を継続する状況では両者はおおむね一致する。これは定常走行

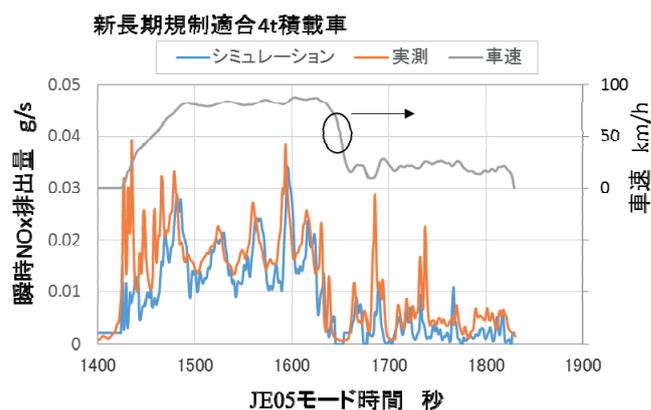


図 5 JE05 モード最終部分（1400 秒以降）における瞬時 NO<sub>x</sub> 排出量について実測結果とシミュレーションにより求めた値との比較

に近い状態ではシミュレーションにより NO<sub>x</sub> 排出量を試算できることを意味する。しかしながら加速によりエンジン回転数やトルクが大きく変動する 1420～1460 秒、1700 秒付近においては、実測値は計算値を大幅に上回り、概ね 3 倍程度に至る。定常運転では現れない NO<sub>x</sub> 増加は、前述のターボラグをカバーするための EGR 率減少によるところが大きいとみられる。この結果は、加速時には定常運転時とエンジンの運転状態が大きく異なることを示す。これらの知見から、交通研では過渡運転時の燃費特性について着目し、評価方法等について研究を実施してきた。その試験結果の一部をフォーラム 2014 で発表している<sup>(11)</sup>が、排気量 3L の過給ディーゼルエンジンにおいて、車両諸元によっては最大 4% 程度計算と実測の燃費値に差が生ずる結果が得られた。これを受けて、その補正方法を合わせて提案している。なお、欧州で検討されている試験法では、当然ながら過渡運転時の燃費を得るための補正係数が取り上げられている。そこでは過渡運転による燃費のずれは確認した上で、同一カテゴリーの車両間の差は比較的小さく、エンジンごとに補正係数を求めることはせず、一律の値とすることが提案されている。

国内の次期燃費試験法で最終的に過渡運転の違いをどこまで基準に取り込むかは、燃費全体にどれほどの影響を及ぼすのか、適切に評価することが可能か、そしてその導入により全体の改善を促すことにつながるのか、といった点を考慮していく必要がある。交通研がこれまで実施してきた研究成果を活用しつつ、有識者や業界等と議論を重ねて最適解を求めていき

たい。

## 5. ま と め

重量ディーゼル車（エンジン）の国内外の基準に関する動向について以下にまとめる。

○WHDC 導入についてはすでに国内基準化が行われており、現在は並行輸入車などを対象としたシャシダイナモを用いた試験方法の検討を進めている。JE05 モードのシャシダイナモ試験法をベースに積載を全積載として、WHVC を走行することとする方向で検討中である。

○欧米では実際の走行しているときの排出ガス性能についての意識が高まっており、車載排出ガス分析計（PEMS）を用いた評価試験が米国ではすでに実施され、欧州では実施に向けたデータ取得が行われている。その背景の一つとして、欧州で都市部の NO<sub>2</sub> 濃度が排出ガス規制の強化に見合っていないことがあるが、欧州車では尿素 SCR 導入により EGR を廃止するケースが多く、都市内走行では従来以上の NO<sub>x</sub> 排出になりうる事が予想される。

○国内における実走行時の排出ガス性能維持について、デフィートストラテジーや触媒劣化の存在が、これまでは比較的早期に各種試験調査より明らかにされている。一方で、国際調和の視点から PEMS を用いた評価法の導入についても引き続き検討を進める。

○燃費評価法について、日本が世界に先駆けて導入した後米国が続き、欧州でも導入に向けた調査が進められている。欧米では日本のシミュレーション法をベースとしつつも走行抵抗に実測値を用いるなどより実際を反映するものとなっている。

○上記に加え、国内の燃費基準が 2015 年度に目標年を迎えることから、新たな試験法策定に向けた調査を国土交通省から受託して進めており、走行抵抗（転がり抵抗、空気抵抗）測定方法や過渡運転時の燃費補正方法などについて、より適した方法を検討していく。

## 参考文献

- (1)鈴木央一ほか、「重量車における燃料消費率試験法のさらなる高度化に向けて」交通安全環境研究所フォーラム 2014
- (2)奥井伸宜ほか、「ハイブリッド重量車の排出ガス試験法に関する国際調和活動」交通安全環境研究所フォーラム 2014
- (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とその現状」交通安全環境研究所講演会 2013、p.63-p.74
- (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2報）」自動車技術会 2011 年秋季学術講演会前刷集 No.125-11、20115578
- (5)鈴木央一ほか、「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
- (6)東京都報道資料 2011 年 6 月 : <http://www.metro.tokyo.jp/INET/OSHIRASE/2011/06/20163600.htm>
- (7)水嶋教文ほか、「重量車における燃料消費率試験法のさらなる高度化に向けて」交通安全環境研究所フォーラム 2013
- (8)EPA ホームページ : <http://www.epa.gov/otaq/climate/gem.htm>
- (9)欧州委員会ホームページ : [http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy/docs/hdv\\_co2\\_certification\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy/docs/hdv_co2_certification_en.pdf)
- (10)国土交通省ホームページ : [http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/09/091110\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/09/091110_.html)
- (11)水嶋教文ほか、「重量車における燃料消費率試験法のさらなる高度化に向けて（第2報）」交通安全環境研究所フォーラム 2014