

講演 6

交通安全環境研究所の取り組み②

—ディーゼル自動車におけるオフサイクル排出ガス実態と今後について—

環境研究領域 上席研究員

鈴木 央一

交通安全環境研究所の取り組み② ーディーゼル自動車におけるオフサイクル 排出ガス実態と今後についてー

環境研究領域
鈴木 央一

講演の流れ

1. オフサイクル問題が起こる背景など
2. その対処法として予定あるいは検討されている事項
3. 実走行で排出ガス劣化が見られた具体例
 - 新短期規制までにみられた事例  排気再循環：排気の一部を吸気に戻して窒素酸化物(NOx)を低減する技術
 - ポスト新長期規制車でみられたEGR制御に関して
 - 尿素SCR車の劣化について
 -  尿素水から生成するアンモニアを用いてNOxをN₂、水などに還元する触媒システム
4. 2.で触れた対処法と過去事例の検出に関する適性比較
5. まとめ
6. 今後予想される課題など

「オフサイクル問題」について

- 認証試験における排出ガス測定評価は、限られた時間内で通常使用される状態を代表する条件にて行われる
- ただし、春夏秋冬、古今東西、様々なユーザーに使用されるあらゆる状況をカバーすることは不可能である
- このような認証試験サイクルでカバーできない状況（オフサイクル）で、排出ガス低減装置が適正に機能しているかが問題

とくに排出ガス低減装置は、コスト、燃費、信頼性などと背反するケースが多いため、「適正に機能しているか」の検証が必要



無効化する制御＝デフィートストラテジー

認証試験の考え方

（当然ながら）認証試験は公平でなければならない

手順に従って実施すれば、いつ、誰が、どこでやっても同じ結果が得られることが求められる

主な変動要素：

- ◆ 気候、天候
- ◆ 試験設備
- ◆ エンジンなどの状態
- ◆ 試験サイクル

そのために、認証試験方法、条件、設備、評価に使用される試験サイクルなどは保安基準の細目告示で定められた一定のものをを用いる

いわば「試験問題がわかっている」状態にある

「オフサイクル」問題が起こる背景①



あくまで「仮」ですが・・・
司法試験の問題が事前に公開されていたら？

試験問題を繰り返し勉強して模範解答を完全丸暗記、
難しかろうが何だろうがこれさえできれば・・・
(他のことは知ったことではない・・・)



勉強のかいあって合格しました
これで法曹界トップの仲間入りだ！

その後、実社会に出て・・・



やった！！

「オフサイクル」問題が起こる背景②

いくらい試験問題だとしても、現実には存在する法規はそれよりもはるかに多い

〇〇××法△△規則第〇条に関する通達・・・
〇■〇×法施行令第〇条〇項の付則・・・

あんた、法律の専門家でしょ？
そんなことも知らないの？

社会的な目

難関をパスしたのだから、当然期待
される知識や能力の水準がある



ギャップ！

受験者の
言い分

試験問題になかったのだから、
そういわれても・・・



人間ならそこから努力できるけど

排出ガス規制などで求めるものが大きくなればなるほど、製造側が意図してい
たかどうかによらず、現実とのギャップが大きくなる危険性をはらんでいる

改善すべきは、試験方法？ 試験問題？ 受験者の意識？

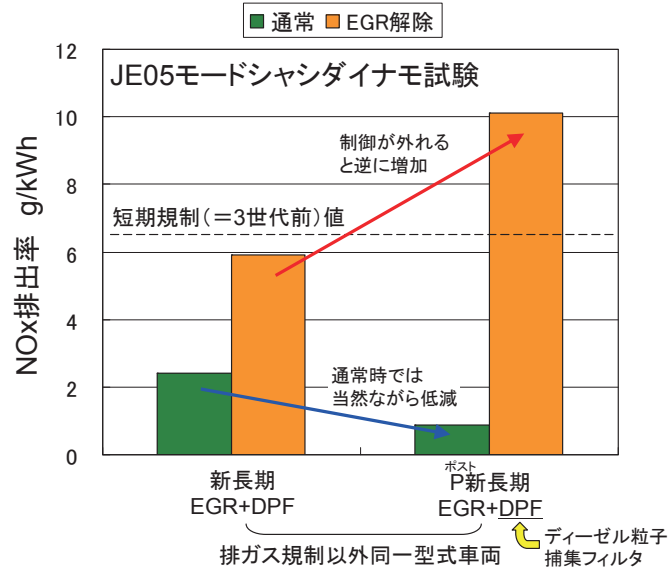
なぜ「今」になってオフサイクル問題が重要か？

近年先進ディーゼルエンジンでは、高過給化や高圧噴射化が進められているが、それら自体はNOxを増加させる方向に働く技術である

それをEGRやNOx後処理装置などにより規制値まで下げているのが現状

つまり、NOx低減技術が機能しないと従来以上にNOx排出が増加する恐れがある

右図は世代の異なるその時点での最新低公害車でEGRを解除した場合のNOxがどれだけ増加するか比較したものである



ポスト新長期規制車ではEGR解除時のNOxが従来車と比較して急増
 ……EGRが効かない領域がリアルワールドであった場合には環境負荷増加が懸念される

「課題克服」に向けて(海外も含めて)実行 あるいは提案されている手法

1. 「オフサイクル」試験

(通常の試験サイクルで使用しない) 広い運転領域での排出ガス性能を、認証試験の一部として取り入れる(=従来の公平性を確保)もので2016年から日本でも導入

課題: カバーできるのは、問題の一部分に限られる

2. ランダム試験サイクル

複数の試験サイクルの中から認証時にいずれか選んだものを実施する

課題: 「運」の要素が入り込み、従来の公平性が確保されない

3. 車載排出ガス分析装置(PEMS)を用いた実車両評価

実際の車両が走行する状態での排出ガス性能を評価することになり、最も現実を反映したものといえることができる

課題: 気温、天候、道路、運転、積載条件その他多くの変動要素があり、「いつ、誰が、どこでも」同じ結果は得られない。分析装置を搭載困難な車両も多い

現在のところ、従来の公平性を揺るがしかねない前記のランダム試験サイクルやPEMSを使用した実車両評価を実際に取り入れるべきかどうかは、環境省中央環境審議会等で現在検討中

実施する必要があるかを判断するためには

- 問題の深刻度
- 期待される効果
- そのために必要なコストや手間

などを考慮して総合的にみていくことが適切といえる

「今後どうしていきべきか」を考えるにあたり、具体事例を紹介

1. 新短期(H15,16年)規制までの車両で実走行時のNOx排出が高くなった問題とそれが解決された経緯
2. ポスト新長期(H21,22年)規制適合車で「不自然な」EGR制御が行われていた車両があった
3. 新長期(H17年)規制適合の尿素SCR搭載車で、事前に想定されない触媒劣化が多く車両で起こっていることがわかった

事例1

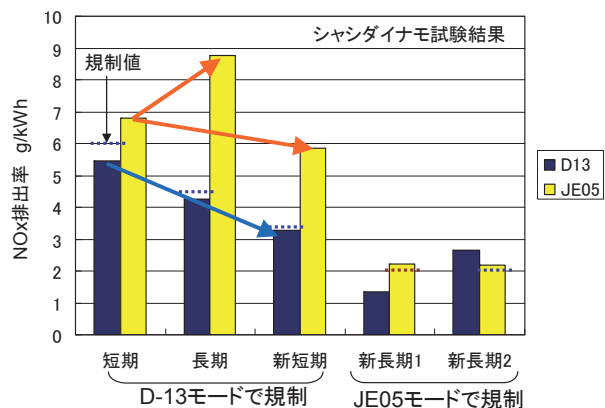
新短期規制までの技術動向とNOx排出変化

新短期規制までは、認証試験サイクルが特定のエンジン回転数と負荷率で定められた12点のみを定常運転で測定するD-13モードでの評価が行われた

一方、短期規制(H6年)ではほとんどなかったコモンレール式燃料噴射系や排気再循環(EGR)の導入が、長期(H10,11年)規制適合車から始まり、飛躍的に制御自由度が拡大した

規制の異なる重量車のNOx排出測定例

D-13モードの結果は、規制強化とともに改善する(青矢印)ものの、実走行を再現するJE05モードでは、規制が強化されてもあまり変わらないか、むしろ増加するケース(橙矢印)もある



なぜそのような結果になったのか？

80%負荷率一定として、エンジン回転数の違いによるNOx排出を比較

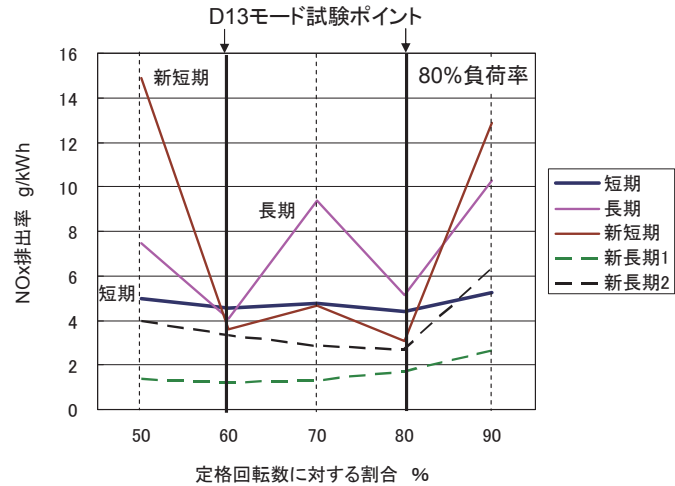
短期規制車では回転数による変化が小さいのに対し、長期、新短期規制車ではその差が大きい……しかも試験ポイントのみで低くなる傾向にある



作為的な制御が行われていた可能性がある……が、新長期規制適合車ではその問題は解消されている



「オフサイクル」に関する基準等を作成する以前に、**認証試験サイクルの変更で問題は解決された**



事例2

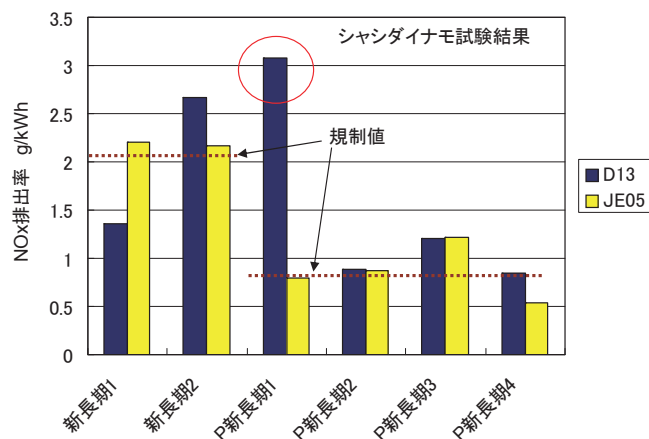
JE05モードになってから起きた課題

規制の異なる重量車のNOx排出測定例②

先ほどの新長期規制適合車の結果に、ポスト新長期規制適合車4台を加えたものを比較

値にばらつきはあるものの、いずれにせよ「P新長期1」でD-13モードにおけるNOx排出が突出して高いのは明らか

なぜ？
(他にD-13モードで特異的に高くなる例はない)



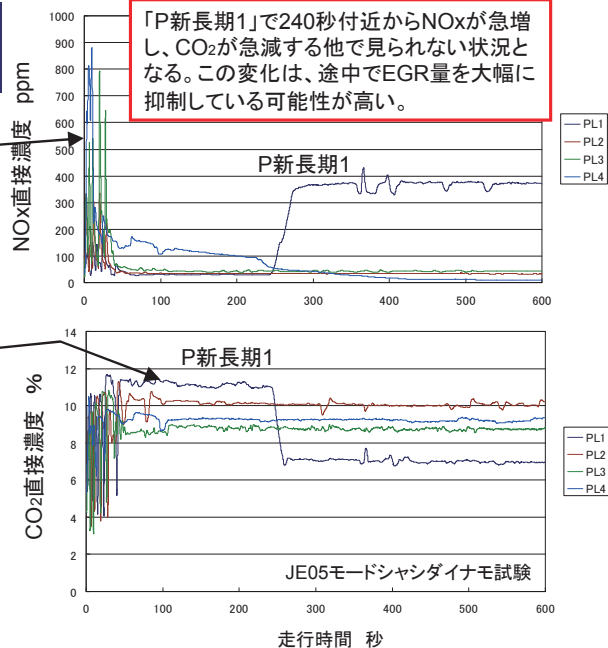
「不自然な」EGR制御が行われていた例

発進、加速した後60km/h定常走行を行った場合のNO_x、CO₂濃度履歴

加速時には瞬時的に600ppm以上の高いNO_x排出が見られる車両もある
その部分のNO_x排出については、P新長期1はむしろ低い方

P新長期1でのCO₂濃度11%超の値は、多量のPM生成が懸念される水準であり、DPFへの負担が高まると予想される

ポテンシャル的に十分といえない状態で安全性等の確保を図る結果、「デフィート（無効化）ストラテジー」と判断せざるを得ない制御が行われた？



デフィートストラテジーと燃費との関係

D13モードの一部モードにおけるNO_x、CO₂排出率を3台で比較

A～Cは以下の3台

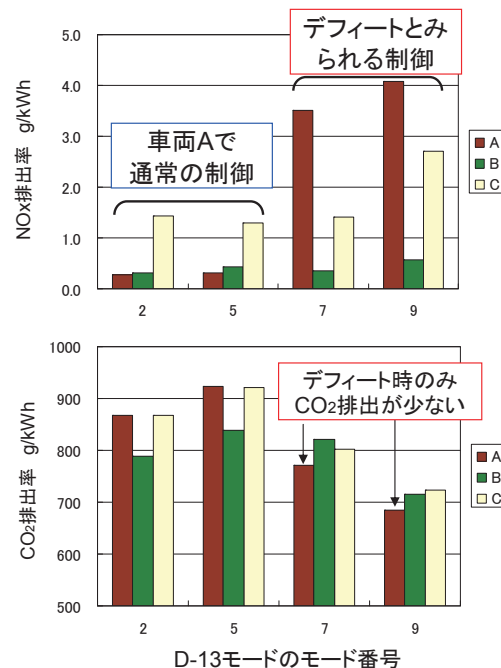
車両A: デフィートストラテジーが問題になったもの
車両B: それに対する改善処置が行われたもの
車両C: 新長期規制適合の同一車種

通常制御の範囲では、CO₂排出率が高い車両Aだが、NO_x排出の高い状態では、比較を行った同一車種よりも低い値が得られた



重量車燃費評価は、定常試験で作成した燃費マップをベースに評価するため、デフィート制御が行われた状態で評価がなされていた

・・・制御の変更は後処理装置を保護する目的だったとしても、それが継続することで公表燃費値を良くする意図があったとみられる



デフィート ストラテジーを防ぐために

排出ガス試験と燃費評価の試験方法や条件などの違いが、デフィートストラテジーを可能とする「隙」を作っていた側面がある

それを防ぐための検証試験

<排出ガス試験>

現状 重量クラス毎に平均的諸元の車両を想定してJE05モードを実施

今後 燃費評価を行う車両の諸元にて同等性能が確保されていることを検証

<燃費評価>

現状 定常運転により燃費マップを作成し、その結果からシミュレーションにて計算

今後 上記排出ガス試験を行う際の燃料消費率も測定し、シミュレーション燃費との同等性が確保されているか検証

課題の本質に切り込んだ世界的にも例のない対策(＝ガラパゴス化?)

事例3

尿素SCR車が登場するにあたって

2004年9月 技術指針が出される

11月 日産ディーゼル工業(現UDトラックス)が尿素SCR車を発表

技術指針が策定される段階で、リアルワールドでの環境性能確保に向けた各種試験調査等を交通研でも実施

SCR触媒については、耐久性などに関する技術的蓄積が少なかったことから、極度に劣化した場合における、「最小限度の性能維持」方策について検討

その結果、アンモニアスリップ防止用の後段酸化触媒の装着が、(アンモニア以外も含めて)有効ということを実験的に検証し、その点は技術指針にも盛り込まれた

また、当然ながらメーカー側は認証時に定められた耐久劣化試験を実施

そこまでやったにも関わらず、実際には想定しない大幅な劣化が起こった

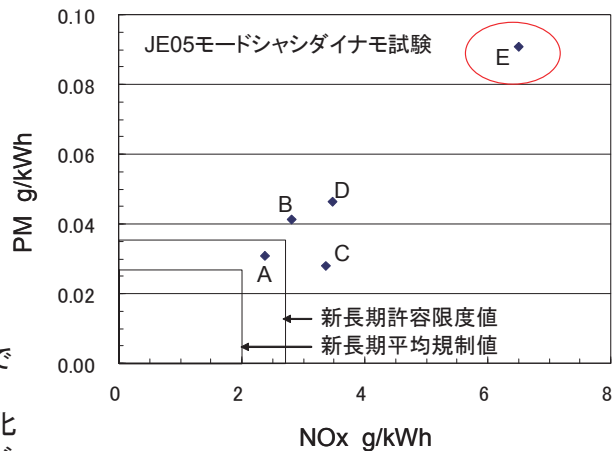
劣化状態にある尿素SCR車の存在を確認

<交通研フォーラム2007より>

走行距離6万キロ程度までの尿素SCR車5台(A~E)について排出ガス測定を実施

うち1台(E)で、SCRが機能していないとみられる大幅なNOx等排出増加が検出された

試験後、触媒を高温状態にすることで性能回復した一方で、他の車両で長時間アイドルを行った場合にNOx浄化性能劣化がみられたことから、原因が「HC被毒」HC:ハイドロカーボンであると判断した



この時点では、5台中1台で特殊な事例と考えられたが、その後走行距離の長いものであると結果がわかってくると、それがむしろ多数派であることがわかってきた

なぜ事前にわからなかったのか？

SCR触媒が極度に劣化した試験

SCR触媒が極度に劣化しても、後段酸化触媒が活性状態にあれば「破綻」は防げるとしていたが...

後段酸化触媒は、アンモニアを吸着させつつ酸化していく構造、つまりSCR触媒と共通性がある構造だったため、HC被毒が避けられなかった

認証時の耐久劣化試験

熱負荷への耐性をみるのが主目的

高温状態と、高温と低温の繰り返すサイクルが基本で、比較的短時間で劣化を模擬する手法がとられている

HC被毒は、むしろ低温状態で起こる現象だったため、従来の耐久劣化試験ではカバーできず

ただし、ポスト新長期規制適合車では、DPFが併設されるため、PM再生時にHC被毒も概ね解消されると見込まれる...規制強化が問題を解決!?

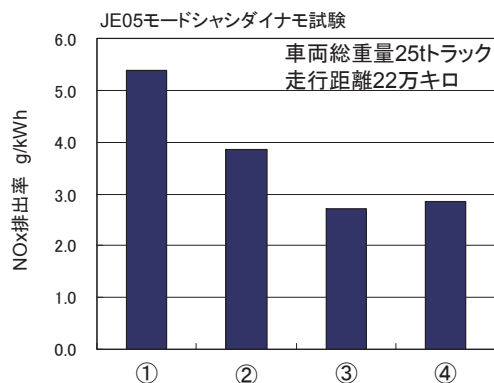
新長期規制適合車については、メーカーが昇温措置をとるなどして性能回復

劣化した車両に様々な対処を行ったときのNOx排出

昇温処置による効果と残る課題

- ①車両が使用されている状態ではNOx排出が本来の性能の2倍レベルの高い水準にある
- ①→②昇温運転を行うことでHC被毒は解消されNOx排出は改善される
ただし、依然として少し高いレベル
- ②→③その状態から前段酸化触媒を交換すると新品触媒④と同等の性能にまで回復
つまり、SCR触媒は昇温することで回復したが、前段酸化触媒は依然としてHC被毒とは異なる劣化状態にある

現在原因を究明中・・・将来はその劣化原因をフォローできる耐久劣化試験法へ



- ①実際に使用されていた状態
- ②420℃30分間の昇温運転実施後
- ③その後、前段酸化触媒のみ交換
- ④すべての触媒を交換

リアルワールドでの排出ガス性能維持を 図るために考えられる手法

- ◆2016年に導入が予定される国際基準調和 (WHDC) モード (オフサイクル試験を含む)
- ◆車上での排出ガス低減デバイスの故障診断 (OBD) 機能の高度化
- ◆ランダム試験サイクル
- ◆車載分析計 (PEMS) を用いた試験

将来の国内
導入が確定

これらについて、事例1～3までを検知できるかどうかを比較

各手法における排出ガス性能悪化検知の可能性①

1. 新短期規制以前の実走行NOx排出の問題

方 法	検出の可能性	理 由
WHDC	○	実走行をベースにした過渡試験サイクルであれば検出可能
OBD	×	OBDは故障や劣化などの検出が目的であり、デフィート防止とは直接的には無関係
ランダムサイクル	○	実走行をベースにした過渡試験サイクルであれば検出可能
PEMS	○	そこまでしなくても・・・

各手法における排出ガス性能悪化検知の可能性②

2. 不適切とみられるEGR制御

方 法	検出の可能性	理 由
WHDC	△	当該事例と同一であれば検知可能だが、抜け道をなくしきれものではない
OBD	×	OBDは故障や劣化などの検出が目的であり、デフィート防止とは直接的には無関係
ランダムサイクル	△	「ランダム」の幅が大きければ可能性があるが、公平性とのトレードオフになる
PEMS	○	検出は可能だが、デフィートとみなす判定値などの設定が容易でない

各手法における排出ガス性能悪化検知の可能性③

3. 尿素SCR車でみられた劣化

方 法	検出の可能性	理 由
WHDC	×	通常の試験サイクルでは検出不可能であり、耐久試験法の見直しなどを推進
OBD	△～○	機構的には可能だが、故障判定の閾値次第で検出されないケースもあり得る
ランダムサイクル	×	検出不可能
PEMS	○	検出は可能だが、対象が劣化である場合、数年オーダーの時間を要するため、認証段階でわかる可能性は低い

各手法における排出ガス悪化検知についてまとめると

方 法	新短期以前の課題	不適切なEGR制御	尿素SCRの劣化	備考
WHDC	○	△	×	将来導入予定
OBD	×	×	△～○	将来導入予定
ランダムサイクル	○	△	×	
PEMS	○	○	○	第11次答申※で検討課題として言及

- ○将来導入予定のWHDCとOBDの2つで、問題の多くは対応できる
 ○究極はPEMSだが、導入にあたって課題が少なくない

※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（第十一次答申）」

以上を受けて交通研として取り組んでいく要素(まとめ)

- ✓ WHDC、WWH-OBD※の日本国内導入については、これまでも活動してきており、それを継続していく。中でもOBDで故障と判定される閾値は、劣化検知等に大きな影響を持つことから、「社会的利益につながる」閾値水準を明らかにするための試験調査等を実施していきたい。
(閾値が緩いと、劣化が検出されにくくなるが、厳しすぎても診断頻度が低下したり、誤診断が増加するなどの懸念があり、返って有効性が損なわれる可能性がある)
- ✓ 耐久試験について、尿素SCR車の劣化を事前に検知できなかったことなどを踏まえ、未解明の酸化触媒の劣化原因も含めて、現実の劣化を評価できる耐久試験方法の提案をしていきたい。(適切な試験法が現実を改善する技術開発を促す)
- ✓ 車載分析計による排出ガス評価も、これまで実施しており、引き続き技術として維持していくとともに、制度面や評価方法等も含め、社会、行政の要望に応じたソリューションを提示できる技術力を蓄えていきたい。

※ WWH-OBD : 国際基準調和活動で定められた高度なOBD

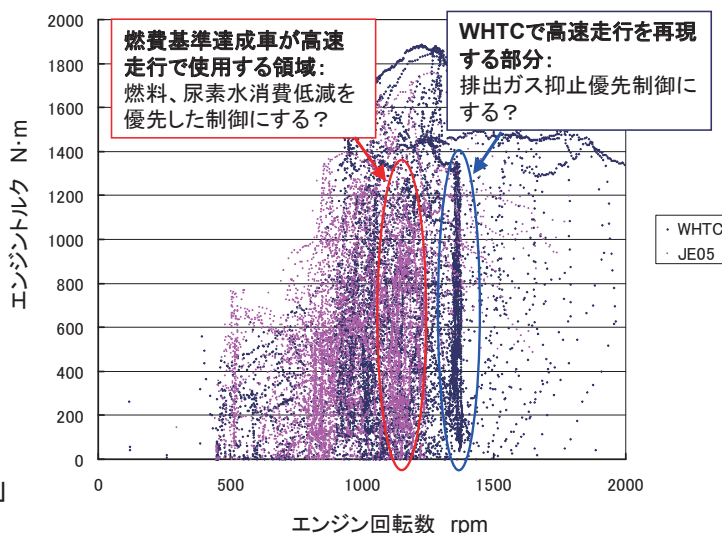
(2016年以降も見据えて) 今後想定される課題

WHTC※導入は、冷始動時の排出ガス評価などが加わり、厳しくなる一方で、日本国内で使用される車両では現実と乖離が生じ、問題がおきやすい状況になる

車両総重量25tクラスを対象とした302kWの大型エンジンにおけるWHTCと、当該エンジンを搭載した燃費基準達成車でJE05モードを実施したときの、エンジン回転数とトルクの使用領域を右図に示す

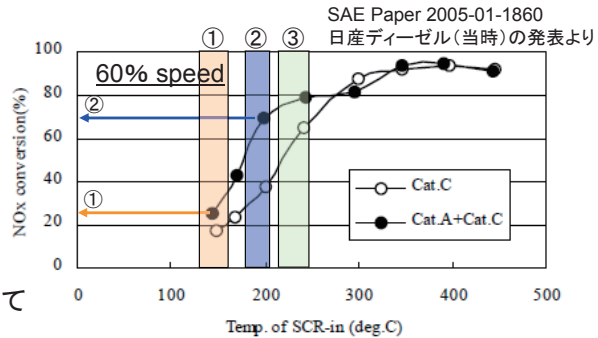
低燃費化が進んでおり、「現実」は、より低速エンジン回転を使用する傾向にある (ただし、この問題の一部はオフサイクル試験等でカバーされる)

※ WHTC : WHDCの中心となる過渡(トランジエント)試験サイクル



「変化」が排出ガス性能に及ぼす影響が拡大

尿素SCRは、認証試験サイクルでは概ね70～80%の浄化率が期待できるが、例えば市街地走行で温度が30～40℃低い、となった場合には浄化率は大きく低減し、NOx排出は大幅に増加することが見込まれる



後処理装置の温度が変化する因子として

- 気温、天候など
- 道路や走行状態
- 積載条件

など多くが挙げられ、デフィート制御や劣化がなくても、動作環境により排出ガス性能が大きく変動する可能性が高まっている

尿素SCRの温度による浄化率の例、

- ① 市街地走行で頻出する温度域
- ② JE05モードにおける平均レベル
- ③ WHTCにおける平均レベル

将来にわたり、現状把握や対策検討等を行っていく

<終わりに>

かつての夢を現実にするために

交通研では、環境(大気汚染)問題が深刻だった平成14年度より、次世代大型車開発・実用化促進プロジェクトを国土交通省より受託し、中核的研究機関として実施してきた

平成14年度に掲げた目標値:

NOx: 0.2g/kWh
PM: 0.01g/kWh
(JE05モード)



当時の排出ガス規制値:

NOx: 4.5g/kWh
PM: 0.25g/kWh
(D-13モード)

プロジェクト目標は、「環境問題を抜本的に解決する夢の水準」だった

2016年の規制強化により、ほぼその水準に到達し、「夢が現実になる」

ただし、ゴールは規制値が満たされることより、むしろそれに見合った環境性能が実社会で発揮され、大気環境の維持、改善に寄与すること

そのために必要な現状把握、原因究明、対策の検討などを、交通研として引き続き関係各位とともに取り組んでいきたい

— 完 —