

排出ガス後処理装置検討会
最終報告

平成26年3月28日

排出ガス後処理装置検討会

排出ガス後処理装置検討会最終報告

目 次

1. はじめに	1
(1) ディーゼル重量車の排出ガス規制について	1
(2) 本検討会の設置及び検討の経緯	1
2. 新長期規制適合車に係る検討結果	4
(1) 新長期規制適合車に係る検討の経緯	4
(2) 大気環境への影響	4
(3) SCR 触媒の HC 被毒対策	5
(4) 前段酸化触媒の硫黄被毒	7
(5) 今後の取組の方向性	10
3. ポスト新長期規制適合車に係る検討結果	11
(1) ポスト新長期規制適合車に係る検討の経緯	11
(2) 大気環境への影響	13
(3) 一部車種についての詳細検討	14
(4) 今後の取組の方向性	17
4. 排出ガス試験法の見直しに係る検討	18
(1) 排出ガス試験法の見直しに係る検討の経緯	18
(2) 排出ガス後処理装置の耐久性に係る検討	18
(3) 排出ガス後処理装置のレイアウトに係る検討	18
(4) 今後の取組の方向性	19
5. 今後の取組の方向性	20
(1) 次期規制における取組	20
(2) 新長期規制適合車及びポスト新長期規制適合車に係る取組	20
6. その他	22
(1) 引き続き検討すべき課題	22
(2) 自動車メーカーに期待される取組	22
(3) 自動車ユーザーに期待される取組	22

資料目次

資料 1 : 新長期規制適合尿素 SCR システム搭載車における昇温作業実施状況等 . . .	2 3
資料 2 : 新長期規制適合尿素 SCR システム搭載車の前段酸化触媒の性能低下原因の究明について	2 7
資料 3 : 交通研によるポスト新長期規制適合尿素 SCR システム装着車の排出ガス試験結果	3 7
資料 4 : 認証時排出ガス試験法見直し WG の検討結果	4 1
資料 5 : ディーゼル重量車 OBD システムの概要	4 5
参考資料 1 : ディーゼル重量車の排出ガス規制の概要	4 9
参考資料 2 : 排出ガス後処理装置の概要	5 1
参考資料 3 : 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」(抜粋)	5 3
参考資料 4 : 尿素 SCR システムに使用する銅触媒からの銅排出に係る取扱い 通達	5 9
検討会委員名簿	6 3
検討経緯	6 4

1. はじめに

(1) ディーゼル重量車の排出ガス規制について

大気汚染防止法及び道路運送車両法に基づく自動車排出ガス規制については、中央環境審議会（中環審）の答申「今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について」に基づき、これまで累次にわたり規制強化を行っているところである。ディーゼル重量車（車両総重量 3.5 トン超のトラック・バスをいう。以下同じ。）については、近年、平成 15 年規制（新短期規制）、平成 17 年規制（新長期規制）、平成 21 年規制（ポスト新長期規制）と段階的に規制を強化し、また平成 28 年末までに次期規制の適用を予定している。これにより、ディーゼル重量車から排出される窒素酸化物（NOx）の規制値（新車の型式認証の際に満たすべき型式ごとの平均値）は、新短期規制では 3.38g/kWh、新長期規制では 2.0g/kWh、ポスト新長期規制では 0.7g/kWh と低減され、平成 28 年の次期規制¹では 0.4g/kWh とすることが予定されている（参考資料 1）。

これらの規制強化に際しては、中環審大気環境部会（現 大気・騒音振動部会）の自動車排出ガス専門委員会（自排専）において排出ガス低減技術の開発動向の評価及び将来予測を行い、それに基づき中環審答申において先進的な排出ガス低減目標を設定し、自動車メーカー等による技術開発の進展を促すことにより、目標を達成してきた。これにより、我が国の自動車排出ガス規制及び自動車排出ガス低減技術は、世界でも最高水準のものとなっており、大気環境の改善に貢献している。

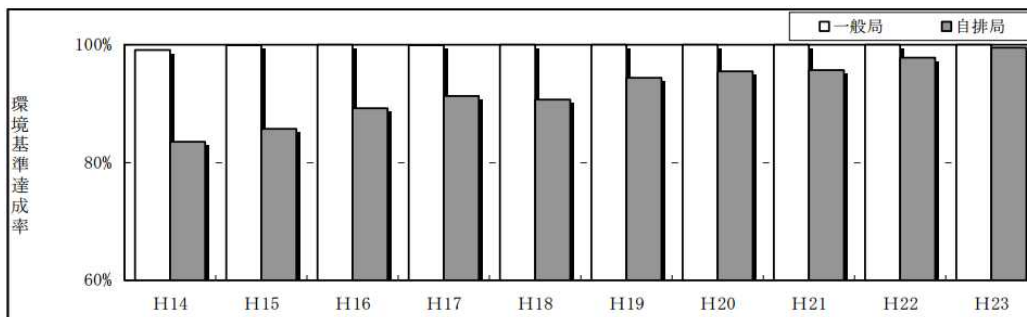


図 1 - 1 NO₂環境基準達成率の推移

平成 23 年度の二酸化窒素（NO₂）の環境基準の達成状況は、道路沿道で 99.5%（自動車排出ガス測定局（自排局）411 局中 409 局で達成）。一般環境では、平成 18 年度より 100%達成を継続中（23 年度は一般環境測定局（一般局）1308 局全局で達成）。また、NO₂濃度の年平均値についても、自排局、一般局とも近年ゆるやかな低下傾向が見られる。

(2) 本検討会の設置及び検討の経緯

ディーゼル重量車の排出ガス低減技術としては、新長期規制適合車から尿素 SCR システム（参考資料 2）が一部の車種に初めて採用され、ポスト新長期規制適合車では尿素

¹ 次期規制：次期規制より排出ガス試験モードが JE05 モードから WHDC に変更される。試験モードについては参考資料 1 を、試験モードの変更に伴うポスト新長期規制と次期規制の規制値の比較については参考資料 3 のうち第十次報告を参照。

SCR システムが主流となっている。尿素 SCR システムとは、車両に搭載した尿素水の加水分解により生じるアンモニア (NH₃) を還元剤として、排出ガス中の NO_x を窒素 (N₂) と水 (H₂O) に還元する選択式還元触媒 (SCR 触媒) を中心とする触媒システムである。新長期規制適合車の尿素 SCR システムは、排出ガス中の炭化水素 (HC)、一酸化炭素 (CO) 及び一酸化窒素 (NO) を酸化する前段酸化触媒、尿素水添加により NO と NO₂ を還元する SCR 触媒、余剰の NH₃ を酸化除去する後段酸化触媒により構成されている。SCR 触媒では、NO と NO₂ が適当な比率であるときに還元反応が最も効率よく行われる。ポスト新長期規制適合車の尿素 SCR システムでは、前段酸化触媒と SCR 触媒の間に粒子状物質 (PM) を捕集し燃焼除去するディーゼル微粒子除去装置 (DPF) が新たに追加されている。

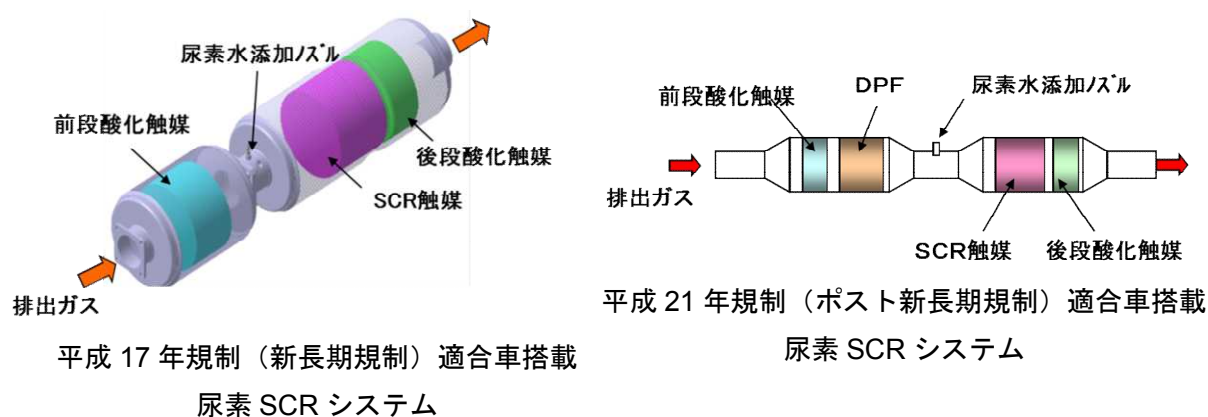


図 1-2 尿素 SCR システムの概要

平成 22 年度及び 23 年度の環境省の調査において、新長期規制に適合したディーゼル重量車のうち尿素 SCR システムを搭載した使用過程車について NO_x 排出量を計測したところ、耐久走行距離²を下回る走行距離において、新車に適用される規制値 (新車の型式認証の際に満たすべき型式ごとの平均値) を大幅に超過する事例が確認され、平成 24 年 3 月の自排専において、未燃 HC 等による触媒の被毒又は触媒の性能低下が原因として考えられると報告された。これを受け、同月、環境省は、自動車メーカーに対し使用過程の尿素 SCR システム搭載の新長期規制適合車での HC 被毒対策の検討を要請した。

また、平成 23 年度に国土交通省及び環境省が設置した「オフサイクルにおける排出ガス低減対策検討会」において、シャシダイナモ試験³で同一エンジンでも後処理装置のレイアウト位置によって温度条件が変わり、排出ガス量が大きく異なることが判明した。

これらを踏まえ、平成 24 年 8 月の中環審「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)」及び同答申別添の自排専報告は、今後の検討課題として以下を挙げている (参考資料 3)。

² 耐久走行距離： 参考資料 3 第三次答申参照

³ シャシダイナモ試験： 車両にエンジンが装備された状態で実施する排出ガス等の測定試験。軽量車、中量車について実施。

- 触媒の HC 被毒を解消するため、使用過程車において尿素 SCR システムを定期的に昇温することなどによる対策の実施を検討すること。
- 前段酸化触媒については、HC 被毒以外の原因によっても性能が低下していると考えられるものの、その原因は特定できていないため、原因について引き続き調査を行った上で、前段酸化触媒の性能低下への対策を検討すること。
- 耐久走行距離を下回る車両走行距離で尿素 SCR システムの性能低下が確認されたため、走行実態の中でも尿素 SCR システムにとって厳しい走行条件を考慮した耐久走行試験法への見直しを行うべきこと。
- 同一エンジンでも後処理装置のレイアウト位置による温度条件の変化により排出ガス量が大きく異なることから、認証時のエンジンベンチ試験⁴の条件を、後処理装置にとって、使用実態の中でもより厳しい条件に変更すること。

同答申を受けて、環境省及び国土交通省は平成 24 年 10 月に本検討会を合同で設置して検討を開始し、平成 25 年 3 月に中間報告を取りまとめ、自排専に報告・公表した。中間報告では、(i) SCR 触媒の HC 被毒メカニズムの究明結果及び対策の方向性並びに(ii) 前段酸化触媒の劣化原因の究明状況（中間報告）を取りまとめるとともに、今後の検討課題として以下を挙げている。

- 新長期規制適合車について、前段酸化触媒の劣化原因の究明と対策の検討。メーカーが SCR 触媒の HC 被毒解消のため実施する昇温の取組の有効性に係る調査
- ポスト新長期規制適合車について、尿素 SCR システムの性能低下の有無の調査
- 排出ガス試験法の見直しに係る検討

中間報告を踏まえ、本検討会は平成 25 年度に 6 回の会合を開催し、自動車メーカーからのヒアリング、独立行政法人交通安全環境研究所（交通研）による実測調査、ワーキンググループによる作業等により検討を進め、本最終報告を取りまとめた。

⁴ エンジンベンチ試験： エンジン単体で実施する排出ガス等の測定試験。重量車については、排出ガスの認証試験として世界中でエンジンベンチ試験が採用されている。

2. 新長期規制適合車に係る検討結果

(1) 新長期規制適合車に係る検討の経緯

平成 22 年度及び 23 年度の環境省調査において、使用過程にある尿素 SCR システム搭載の新長期規制適合車の NOx 排出量について、エンジンベンチ試験及び一部車両についてシャシダイナモ試験を実施したところ、いずれの場合も、NOx 排出量が新長期規制の規制値 2.0g/kWh（新車の型式認証の際に満たすべき型式ごとの平均値）を大きく上回っていた。平成 24 年 8 月の中環審第十一次答申別添の自排専報告では、その原因として、尿素 SCR システムの前段酸化触媒、SCR 触媒、後段酸化触媒の未燃燃料由来の HC、硫黄、リン、その他金属による被毒等による触媒の性能低下が示唆された。

これを受けて、本検討会で原因究明を進めたところ、未燃 HC が SCR 触媒の表面に付着する HC 被毒が尿素 SCR システムの性能低下の原因の一つであると特定するとともに、HC 被毒により性能が低下した SCR 触媒であっても、付着した HC を昇温によって除去すれば被毒が解消し、性能に一定の回復が見られることを確認した。このことから、本検討会は、自動車メーカーにおいて具体的な昇温条件、昇温方法等を検討の上、使用過程にある尿素 SCR システム搭載の新長期規制適合車を対象に定期的に昇温を行い、HC 被毒の解消を図ることが望ましいとの判断を中間報告で示した。これを受け、関係自動車メーカーは自主的な昇温作業を平成 25 年 8 月より開始している（2.（3）に後述）。

SCR 触媒での NOx 浄化率⁵を確保するためには、上流に配置された前段酸化触媒での酸化反応により排出ガス中の NO と NO₂ の比率を適切なものとする必要があるが、中間報告では、この前段酸化触媒については硫黄被毒等による永久的な劣化が生じている可能性が高いと指摘された。なお、中間報告では、SCR 触媒には、硫黄、リンその他金属による被毒や、熱劣化（排出ガス等の熱による触媒の構造変化）は、ほぼ起きていないものと判断された。

このため、今年度は、前段酸化触媒について詳細な調査を行ったところ、硫黄被毒による永久的な性能低下が生じていることを確認した（2.（4）に後述）。

(2) 大気環境への影響

新長期規制では、国内の大型自動車メーカーのうち 2 社のディーゼル重量車に尿素 SCR システムが採用されており、平成 26 年 2 月時点で約 5.9 万台が使用されている。これらについて、ワーストケースの性能低下⁶を仮定し、新長期規制適合車の規制値（新車の型式認証の際に満たすべき型式ごとの平均値）等を元に環境省で推計した NOx 排出量と比較した場合、NOx 排出量は全国で年間約 1 万トン増加することとなる。この数値は、限られたデータに基づくものであり、また性能低下の度合いも車両の使用形態等により異なる等、精度に限界があることに留意する必要があるが、平成 24 年度の全国の自動車からの排出

⁵ NOx 浄化率： 排出ガス中の NOx のうち N₂、H₂O 等無害な成分に浄化されるものの割合。

⁶ ワーストケースの性能低下： 現在使用されている約 5.9 万台の NOx 排出量が、JE05 モードによる実測データが得られた車両のうち NOx 排出量が最も増大したものと同率で増大すると仮定した。

総量 54.5 万トン（環境省推計）の約 1.9%に相当する。

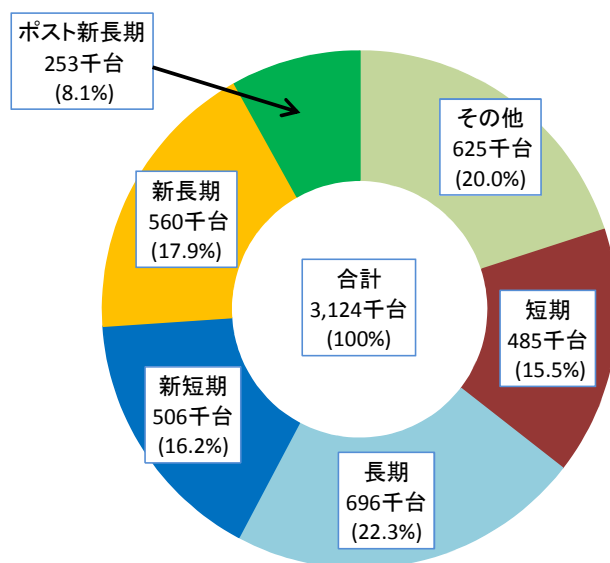


図 2-1 ディーゼル普通貨物・バスの登録台数割合（平成 24 年度末時点）

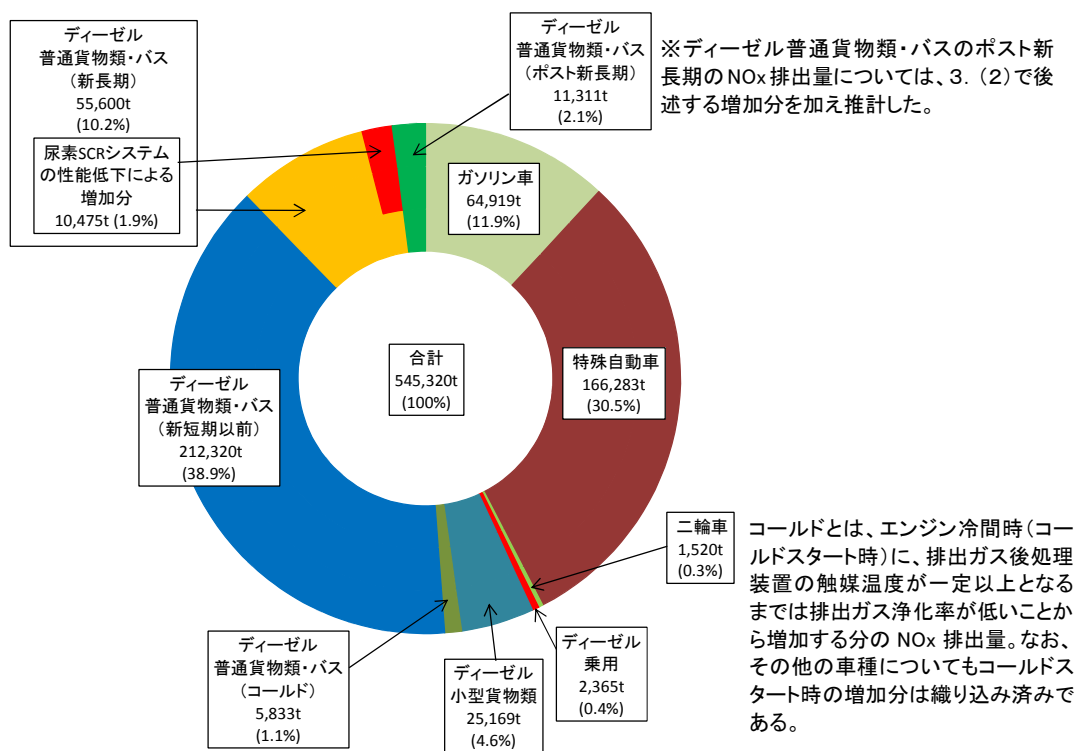


図 2-2 自動車からの車種別 NOx 排出量の推計（平成 24 年度末時点）

（3）SCR 触媒の HC 被毒対策

中間報告では、HC 被毒が尿素 SCR システムの性能低下の原因の一つであることを特定するとともに、HC 被毒により性能が低下した SCR 触媒であっても、付着した HC を昇温

によって除去すれば被毒が解消し、性能に一定の回復が見られることを確認した。また、中間報告では、(i) 新長期規制適合車に搭載されている尿素 SCR システムの HC 被毒について、400～500℃、40 分間程度の昇温を定期的に行うことにより、被毒の解消を図ることが望ましいとの判断を示すとともに、(ii) 尿素 SCR システムに付着する HC の種類・成分や量は車両の種類や使用形態により異なると予想されることから、具体的な昇温条件（温度、時間、頻度）、昇温方法等については、自動車メーカーにおいて検討することが適当であり、本検討会でその有効性を検証する、としている。

中間報告を受けて、関係する自動車メーカーは具体的な実施方法等を検討の上、新長期規制適合車に搭載されている尿素 SCR システムの HC 被毒を解消するための昇温作業を平成 25 年 8 月から自主的に実施している。実施状況等について報告を求めたところ、以下の報告があった（資料 1）。

- ユーザーへのダイレクトメールの送付等により周知の上、平成 25 年 8 月から平成 26 年 2 月までに、主に継続検査の機会等を利用して 3,044 台について作業を実施した。これは、現在登録されている対象車両 59,445 台のうち約 5.1%に相当する（平成 26 年 2 月末時点）。
- 昇温作業の方法としては、自車方式（排気シャッター等により排気を絞った上で SCR 触媒を含む後処理装置を昇温する方式）と他車方式（SCR 触媒を含む後処理装置を取り外し、別に用意した DPF 搭載車両の DPF を再生する際の熱で昇温する方式）の 2 通りがある。
- 昇温の効果は車両により異なるが、昇温作業の前後で比較すると、1 台あたりの NOx 排出量は平均で約 3 割減少する。

以上を踏まえれば、これまでのペースで昇温作業を実施すれば、実施台数は年間で約 5,200 台（対象車両のうち約 8.8%）となり、尿素 SCR システムの性能低下に伴う NOx 排出量の増加分のうち年間 415 トンが削減されるものと推計される。これは、前述のワーストケースの性能低下を仮定した場合の全国の NOx 排出量の増加分である年間約 1 万トンの 4.0%に相当する。

昇温作業の実施には、ユーザーの協力が必要である等、様々な制約があるものの、仮に対象車両全ての約 5.9 万台に対して作業を実施すると仮定した場合には、上記の年間約 1 万トンの増加分のうち 4,729 トンを削減できると試算されることから、昇温作業は尿素 SCR システムの性能低下対策として十分な効果があるものであり、今後、実施率を一層向上させていくことが必要と考えられる。

このため、関係する自動車メーカーにおいては、昇温作業の実施率を更に向上させていくためユーザーへの周知を徹底するとともに、ユーザーが継続検査等のために整備工場に車両を持ち込んだ機会等を利用し、引き続き定期的な昇温作業を行い、HC 被毒の解消を図ることが適当である。

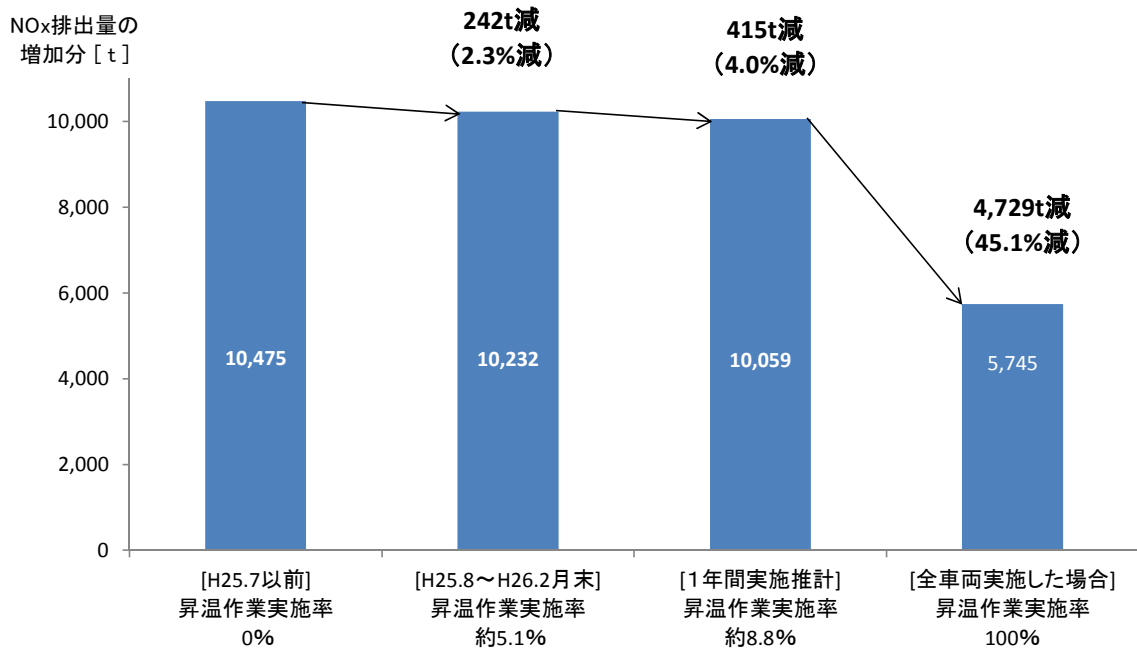


図 2-3 新長期規制適合車における尿素 SCR システムの性能低下に伴う年間 NOx 排出量の増加分

新長期規制適合車の尿素 SCR システムにワーストケースの性能低下を仮定した場合、全国の年間 NOx 排出量は 10,475 トン増加する。

平成 25 年 8 月から平成 26 年 2 月末までの昇温作業（3,044 台（全体の約 5.1%）が対象）により、全国の年間 NOx 排出量は 242 トン削減される。これと同じペースで昇温作業を 1 年間行った場合（約 5,200 台（全体の約 8.8%）が対象）、全国の年間 NOx 排出量は 415 トン削減される。

現在登録されている全ての対象車両（59,455 台）について昇温作業を行った場合、全国の年間 NOx 排出量は 4,729 トン削減され、新長期規制適合車の尿素 SCR システムの性能低下による全国の年間 NOx 排出量の増加は 5,745 トンとなる。

（4）前段酸化触媒の硫黄被毒

2.（1）で述べたとおり、中間報告では、(i) SCR 触媒の HC 被毒が尿素 SCR システムの性能低下の原因の一つであると特定するとともに、(ii) SCR 触媒での NOx 浄化率を確保するためには前段酸化触媒での酸化反応により排出ガス中の NO と NO₂ の比率を適切なものとする必要があるが、この前段酸化触媒についても硫黄被毒等による永久的な劣化が生じている可能性が高いと指摘した。

中間報告を受けて、平成 25 年度は、東京工業大学資源化学研究所有機資源部門（東工大）、交通研、関係する自動車メーカー・触媒メーカーから構成されるワーキンググループが、新長期規制適合車の前段酸化触媒の性能低下に係る原因究明のための検討を実施した。

なお、本検討の対象とした前段酸化触媒では、アルミナ（Al₂O₃）を担体に白金（Pt）を担持し、排出ガス中の NO と NO₂ の比率を適切なものとする機能を有している。

前段酸化触媒の性能低下の要因としては、HC 被毒、硫黄被毒、リン被毒、熱劣化等が考えられるが、使用過程車から回収した前段酸化触媒について、電子顕微鏡による観察及び付着物の分析を行ったところ、硫黄が主な要因であると推定された。このため、硫黄が前段酸化触媒に与える影響を評価すべく、前段酸化触媒のテストピース（以下「触媒サンプル」という。）を高濃度の二酸化硫黄（SO₂）を含む模擬ガスに暴露させる試験や触媒性能⁷を評価する試験（これらを総称して、以下「リグ試験」という。）を実施した。その結果、以下の知見が得られた（資料2）。

- 高濃度の SO₂ に暴露させた触媒サンプルを水処理し、その水溶成分を抽出して分析した結果、硫酸イオン（SO₄²⁻）が検出されると同時にアルミニウムイオン（Al³⁺）が検出された。また、電子顕微鏡を用いて触媒サンプルを観察したところ、触媒表面からアルミニウム（Al）と硫黄の元素が検出され、それらは同一の場所に存在することが確認された。以上から、触媒サンプルには硫黄化合物が付着していたこと、その硫黄化合物は硫酸アルミニウム（Al₂(SO₄)₃）であることが推定された。この Al₂(SO₄)₃ は、排出ガス中に含まれる SO₂ が、前段酸化触媒で反応して三酸化硫黄（SO₃）となり、さらに H₂O と反応して硫酸（H₂SO₄）となり、それらが触媒サンプル上で、担体として使用されている Al₂O₃ と反応することにより生成した可能性が高いと考えられる（図2-4）。

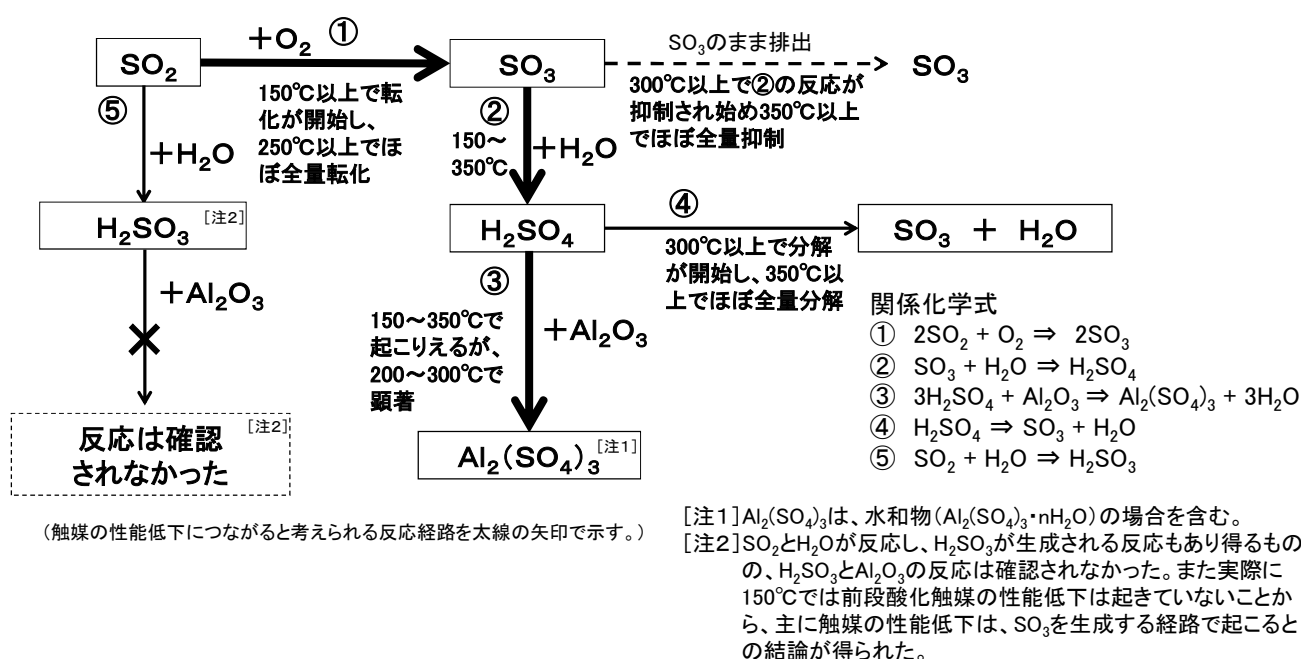


図2-4 前段酸化触媒の性能低下につながると推定される硫黄化合物の生成に至る主な反応経路

⁷ 触媒性能： 本検討会及びワーキンググループでは、前段酸化触媒の評価を行う際、以下で定義する「NO₂ 転化率」及び「HC 浄化率」を指標とした。

- ・ NO₂ 転化率…排出ガス中の NO のうち、NO₂ に酸化されるものの割合
- ・ HC 浄化率…排出ガス中の HC のうち、CO₂、H₂O 等の無害な成分に浄化されるものの割合

- 触媒への硫黄化合物の付着量や性能低下の度合いと、排出ガスの温度の関係を確認するため、触媒サンプルへの硫黄化合物の付着量の温度特性を 150-425℃の範囲で調査したところ、150℃以上の温度条件で高濃度の SO₂ に暴露させたものについては硫黄が検出され、特に 200-300℃で高濃度の SO₂ に暴露させたものについては硫黄の検出量が増加した（図 2-5）。

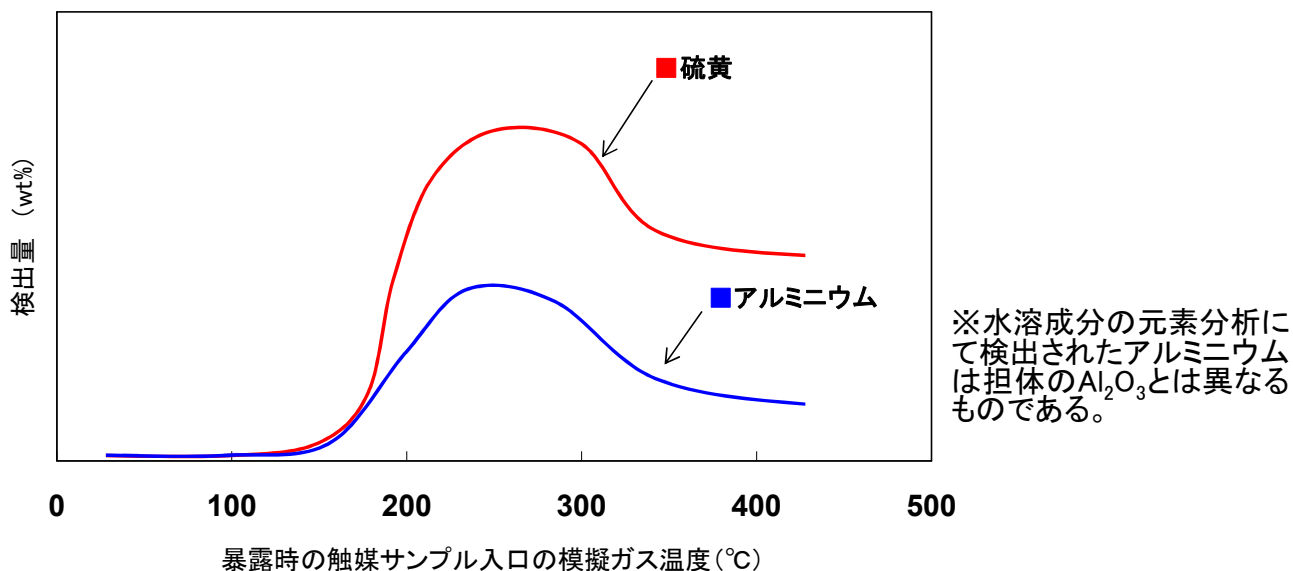


図 2-5 高濃度の SO₂ に暴露させた時の模擬ガス温度に対する触媒上の硫黄及びアルミニウム付着量

- 200-300℃の温度条件で高濃度の SO₂ に暴露させた触媒サンプルは、その他の温度条件で暴露させた触媒サンプルに比べ、NO₂ 転化率及び HC 浄化率が低く、性能が低下していることが確認された（図 2-6）。

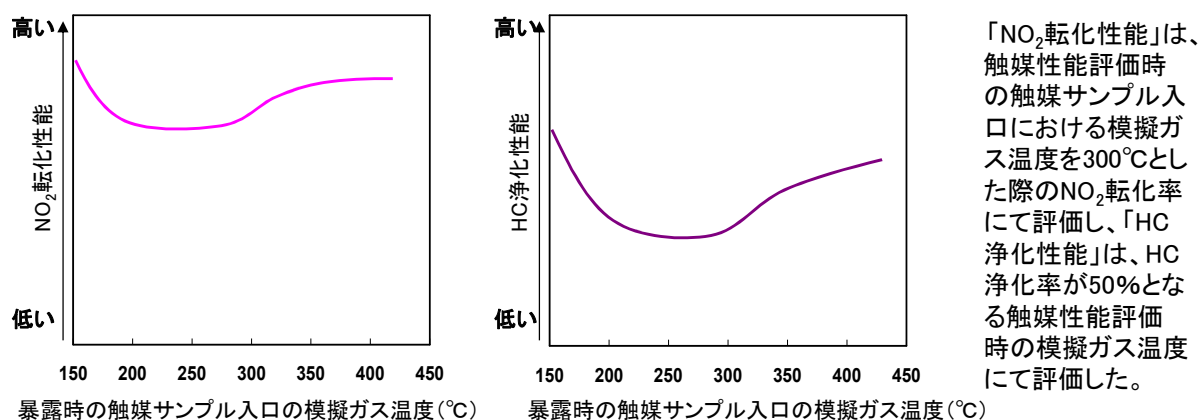


図 2-6 高濃度の SO₂ に暴露させた時の模擬ガス温度に対する触媒性能の変化

以上のリグ試験の結果から、実際の車両の使用過程でも、排気中に含まれる SO₂ が前段酸化触媒の担体として使用されている Al₂O₃ と反応して Al₂(SO₄)₃ を生成することにより、前段酸化触媒の性能低下を起こす可能性があることが確認された。ただし、高濃度の SO₂ に暴露させるリグ試験と実際の車両の使用環境では、排出ガス中の SO₂ の濃度等、様々な条件が異なることに留意が必要である。

なお、Pt 上に硫黄化合物（硫黄酸化物、硫酸イオン等を含む。）が付着しても、NO₂ 転化率はほとんど変化しないことが知られていることから、前段酸化触媒の永久的な性能低下は、Pt 自体が持つ性能が硫黄化合物によって低下したためではないと考えられる。

硫黄被毒による前段酸化触媒の性能低下のメカニズムについては、化学反応の詳細や、高濃度の SO₂ に暴露させるリグ試験での触媒サンプルの性能低下が実環境での現象をどの程度再現しているか等、現時点では未解明の点が多い。例えば、Al₂(SO₄)₃ が具体的にどのようなメカニズムで触媒の性能低下を引き起こしているのかは明らかでない。また、高濃度の SO₂ に暴露させた触媒サンプルを室温程度の大気中に放置すると、更に触媒が性能低下する現象も見られたが、それが実車両における触媒の性能低下とどのように関係しているかについても明らかでない。これらも含め、硫黄被毒による前段酸化触媒の性能低下のメカニズムについて、引き続き中長期的に調査研究を進めることが必要である。

（５）今後の取組の方向性

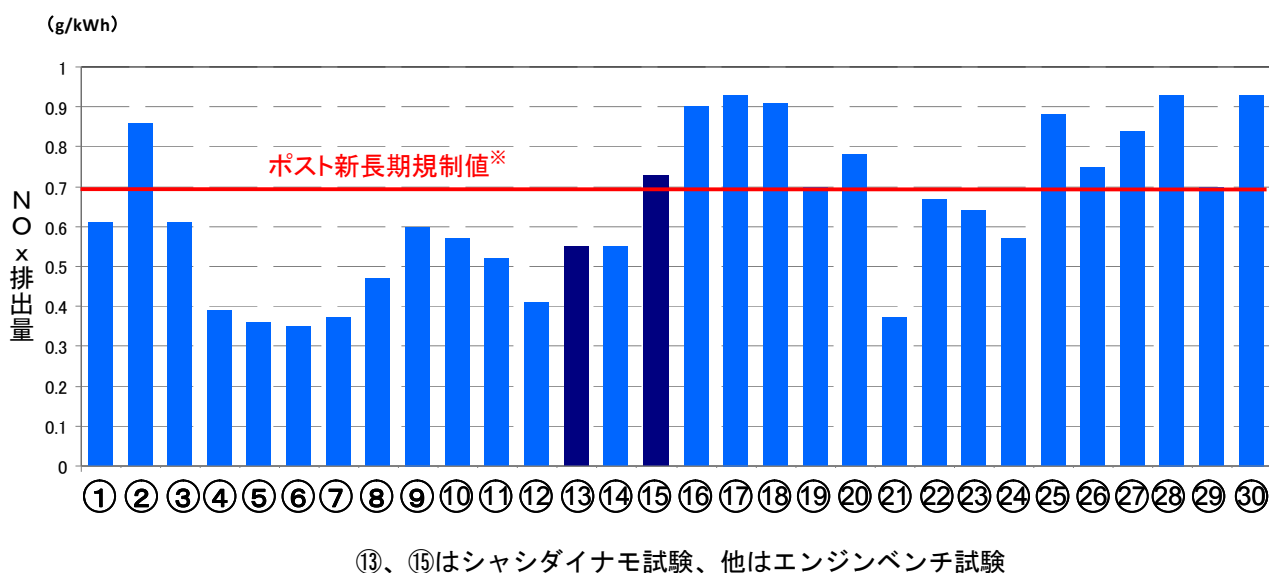
尿素 SCR システムを採用する新長期規制適合車は、平成 26 年 2 月末時点で約 5.9 万台が使用されており、今後、徐々に最新規制適合車に代替されていくものと予想されるが、使用過程にあるものについては、関係する自動車メーカーにおいて定期的な昇温作業を行い、HC 被毒の解消を図ることが適当である。関係メーカーには、ユーザーへの周知徹底による昇温作業の実施率の向上等の積極的な取組と、環境省及び国土交通省への実施状況の定期的な報告を求めるとしたい。

硫黄被毒による前段酸化触媒の性能低下のメカニズム等については、未解明の事項が多いことから、環境省及び関係する自動車メーカー・触媒メーカー等が協力して、引き続き中長期的に調査研究を進めることが必要である。

3. ポスト新長期規制適合車に係る検討結果

(1) ポスト新長期規制適合車に係る検討の経緯

中間報告では、(i) ポスト新長期規制適合車の SCR 触媒については、現在国内で導入されている全ての型式に DPF が導入されており、DPF での PM の燃焼処理（以下「再生」という。）の際の排気の昇温制御により SCR 触媒等が加熱されて HC 被毒が解消されており、(ii) 前段酸化触媒についても、DPF の再生時に被毒が抑えられ、触媒の劣化は生じていない、と予想した。この旨を検証すべく、使用過程の尿素 SCR システム搭載のポスト新長期規制適合車の NOx 排出量について、国内の大型自動車メーカー全社に市場から回収した尿素 SCR システムを用いたエンジンベンチ試験結果の提出を求めるとともに、交通研で使用過程車についてシャシダイナモ試験を実施したところ、図3-1の測定結果が得られた。調査対象車両の概要は表1に示す。



※ポスト新長期規制値：新車の型式認証の際に満たすべき型式ごとの平均値

図3-1 ポスト新長期規制適合車の NOx 排出量の測定結果 (車両別)

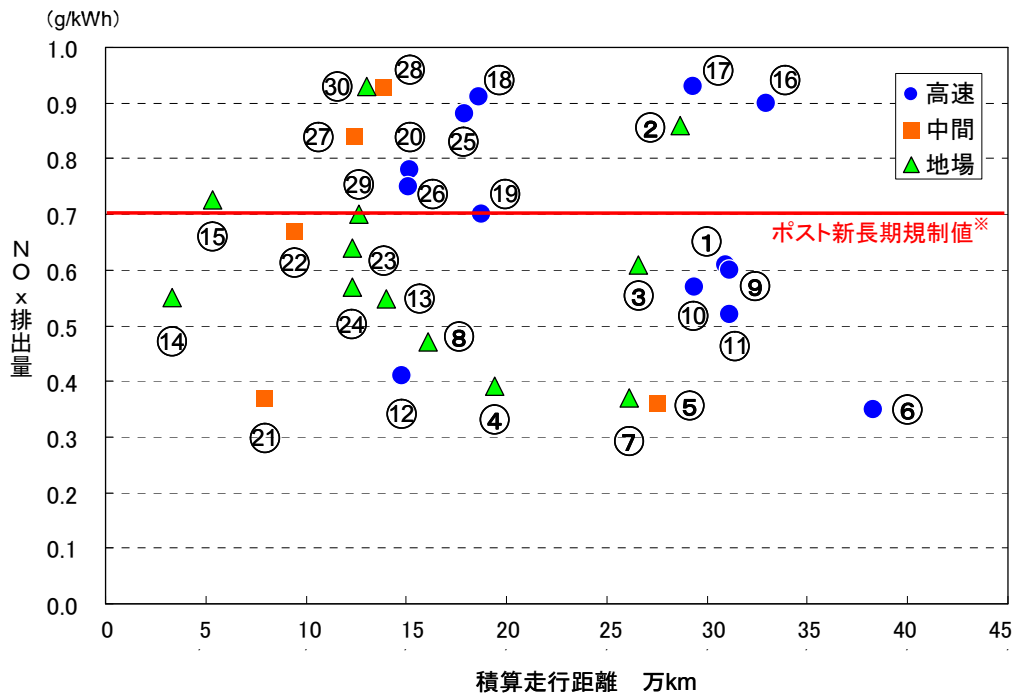
表 1 調査対象車両の概要

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
種別	貨物	貨物・トラック	貨物	貨物・トラック	貨物	貨物	貨物	貨物・トラック	貨物	貨物
車両総重量(kg)	24,980	39,795	13,645	34,000	24,900	24,900	24,900	44,000	23,460	23,450
走行距離(km)	309,584	286,700	265,670	194,000	275,000	383,000	261,000	161,000	311,046	293,464
使用形態	高速	地場	地場	地場	中間	高速	地場	地場	高速	高速

	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳
種別	貨物	貨物	路線バス	貨物	貨物	貨物	貨物	貨物	貨物	貨物
車両総重量(kg)	23,450	7,980	14,575	4,950	5,885	22,190	24,860	20,900	22,190	24,900
走行距離(km)	311,190	147,768	140,200	33,521	53,200	329,443	292,928	186,509	187,401	151,941
使用形態	高速	高速	地場	地場	地場	高速	高速	高速	高速	高速

	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖	㉗	㉘	㉙	㉚
種別	貨物	貨物	貨物	貨物	貨物	貨物	貨物	貨物	貨物	貨物
車両総重量(kg)	24,860	24,900	24,900	24,860	7,950	7,950	7,950	7,950	7,950	7,950
走行距離(km)	78,952	94,023	122,872	122,866	179,342	150,808	123,740	137,978	126,319	130,501
使用形態	中間	中間	地場	地場	高速	高速	中間	中間	地場	地場

図 3-1 の測定結果について、車両の走行距離及び使用形態（都市間輸送等の高速走行主体のもの、短距離・中低速の地場での走行が主体のもの、その中間のもの）で整理すると、図 3-2 のとおりとなる。



※ポスト新長期規制値：新車の型式認証の際に満たすべき型式ごとの平均値

図 3-2 ポスト新長期規制適合車の NOx 排出量の測定結果（走行距離、使用形態別）

以上の測定結果については、(i) データ数が限られていることや、(ii) 車両の生産時のばらつき、使用状況・点検整備の実施状況の違い、計測時の測定誤差等が個々のデータに影響している可能性があることに留意する必要がある。

これらの測定結果をポスト新長期規制の規制値 0.7g/kWh(新車の型式認証の際に満たすべき型式ごとの平均値)と比較したところ、一部の車種については NOx の排出量に若干の増加が見られたものの、ポスト新長期規制適合車の排出ガス後処理装置の性能は使用過程においても概ね適切に維持されていると判断される。

(2) 大気環境への影響

ポスト新長期規制については、国内の大型自動車メーカー全社がディーゼル重量車のうち大型のものを中心に尿素 SCR システムが採用しており、同システムを搭載した車両は平成 26 年 1 月時点で約 17.1 万台使用されている。そのうち使用過程において NOx 排出量に若干の増加が見られる一部の車種(約 2.7 万台)について、ワーストケースの性能低下を仮定(2.(2)に同じ)した場合、NOx 排出量は全国で年間約 0.03 万トン増加することになる。この数値は、限られたデータに基づくものであり、また性能低下の度合いも車両の使用状況・点検整備の実施状況により異なる可能性がある等、精度に限界があることに留意する必要があるが、平成 24 年度の全国の自動車からの排出総量 54.5 万トン(環境省推計)の約 0.05%に相当する。

現行規制であるポスト新長期規制適合車については、次期規制の適用まで今後も継続して生産・販売されることから、現在の年間販売台数と車種別のシェアが継続するものと仮定し、また次期規制適合車の将来の普及も見込んだ上で平成 33 年度時点の将来予測を行った。その結果、ポスト新長期規制適合車のうち一部の車種の尿素 SCR システムの性能低下に伴い、NOx 排出量は全国で年間約 0.08 万トン増加すると推計される。これは、平成 33 年度の全国の自動車からの総排出量約 28 万トンの約 0.3%に相当する。

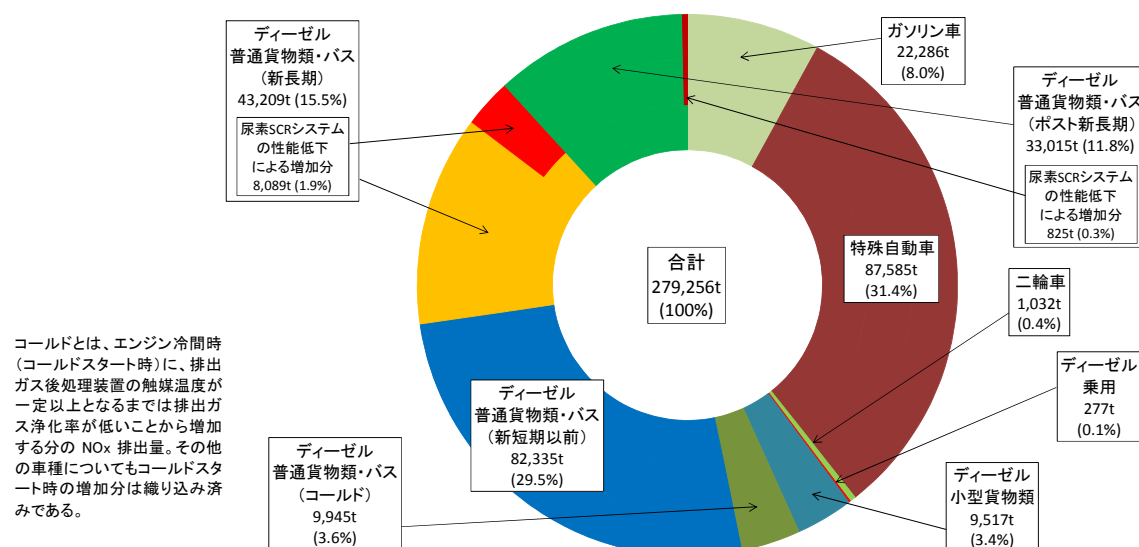


図 3-3 自動車からの車種別 NOx 排出量の推計 (平成 33 年度末)

(3) 一部車種についての詳細検討

前述の通り、ポスト新長期規制適合車では、使用過程においても尿素 SCR システムの性能は概ね適切に維持されていると考えられるものの、一部の車種については使用過程で NOx 排出量に若干の増加が見られたことから、国内の大型自動車メーカー全社に、(i) 尿素 SCR システムの仕様等の詳細、(ii) 使用過程車への酸化触媒・SCR 触媒等の各パーツへの付着物の分析結果、(iii) 同一車種で認証時又は新車時点と使用過程車の NOx 等の排出量の比較等、詳細データの提出を求め、詳細な解析を行った。

その結果、使用過程で NOx 排出量に若干の増加が見られた一部の車種については、前段酸化触媒及び SCR 触媒に軽微な被毒が生じることにより NOx 排出量が若干増加していると判断された。

尿素 SCR システムの性能が使用過程で概ね適切に維持されていると見られる車種と、使用過程で触媒に軽微な被毒が生じて NOx 排出量が若干増加していると思われる車種を比較したところ、尿素 SCR システムに以下の技術的な相違が見られた。

○ NOx 低減対策における後処理装置への依存度

ディーゼルエンジンからの排出ガスでは NOx と PM の量にトレードオフの関係がある。また、一般に、燃費対策の観点からエンジンの熱効率を上げた場合、エンジンから排出される NOx 濃度が増加する傾向にある。ポスト新長期規制では、エンジンでの NOx 低減対策と後処理装置での NOx 低減対策において、相対的に SCR 触媒への依存度が小さい車種と大きい車種がある。

これらを比較した場合、前者においては使用過程でも概ね性能が適切に維持されていると見られるが、後者においては使用過程での NOx 排出量に若干の増加が見られた。

これは、尿素 SCR システムに性能低下が生じた場合の NOx 排出量への影響が、後者において相対的に大きくなるためと推測される。

○ DPF の再生方式

前述のとおり、ポスト新長期規制適合車の尿素 SCR システムでは、前段酸化触媒と SCR 触媒の間に DPF が新たに追加されている。DPF の再生の頻度や再生時の最高温度等を車種別に比較したところ、(i) 頻繁に DPF の再生を行い、また再生時の最高温度も高い車種と、(ii) DPF の再生頻度が少なく、また再生時の最高温度が低い車種では、前者においては使用過程でも概ね性能が適切に維持されていると見られるが、後者においては使用過程での NOx 排出量に若干の増加が見られた。また、使用過程車の尿素 SCR システムへの付着物を調査したところ、図 3-4 のとおり、DPF よりも上流（エンジン側）に配置される前段酸化触媒ではいずれにも付着物が見られるが、DPF の下流（排気管の開口部の側）に配置される SCR 触媒では、後者に硫黄化合物が多く付着している。

これは、ポスト新長期規制適合車では DPF の再生時の昇温により HC・硫黄等による

前段酸化触媒や SCR 触媒等の被毒が概ね解消していると考えられるものの、車種によっては DPF の再生による昇温の頻度・最高温度が、被毒解消の観点からは不十分であるためと推測される。

表 2 DPF の再生方式の比較

使用過程での尿素 SCR システムの性能	再生時の DPF 温度 ^{※3}		DPF が 600℃以上となる再生頻度 ^{※3}
	自動再生 ^{※1}	手動再生 ^{※2}	
性能が概ね適切に維持されると見られる車種	600℃以上	600℃以上	使用形態により、数百～数千 km 走行ごと
触媒に軽微な被毒が生じて NOx 排出量が若干増加していると見られる車種	400℃以下	約 500℃	600℃以上の再生は行われず。手動再生（約 500℃）は、使用形態により数千 km 又はそれ以上の走行ごと

※1：自動再生：車両の走行中に自動的に PM を燃焼させるもの。

※2：手動再生：停車時に運転者が操作して PM を燃焼させるもの。

※3：再生時の DPF 温度・再生頻度（DPF の再生から次の再生までの平均的な走行距離）の詳細は、企業秘密の保護のため非公開である。また、再生時の DPF 温度の具体的な測定方法は、メーカーにより異なることに留意が必要である。

<再生時の DPF 温度を 400℃/500℃/600℃の幅で示した理由>

一般的に、DPF の再生時に PM が燃焼（酸化）する際の温度は、PM が酸素（O₂）と反応する場合は約 600℃以上だが、NO₂とは 400℃以下でも反応することが知られている。

また、中間報告では、新長期規制適合車の尿素 SCR システムについて、①SCR 触媒の HC 被毒対策として 400～500℃の昇温を求めるとともに、②使用過程の SCR 触媒及び前段酸化触媒のテストピースを加熱すると、付着した硫黄化合物が 600℃前後から脱離することを確認している。

このため、この表で再生時の DPF 温度を表記する際の仮の整理として 400℃/500℃/600℃で温度を区分して表記した。なお、「600℃以上」と表記していても、実際の温度は更に高い場合もある。また、この表は、性能低下の防止には 600℃以上の昇温を行えば十分ということ直ちに意味するものではない。例えば、車両⑮については、使用形態によっては DPF の再生頻度が低くなり、軽微な HC 被毒が生じて一時的に NOx の排出量が増大している可能性が指摘されている（資料 3）。このような HC 被毒は、実走行の過程で起こる DPF 再生により適宜解消するものと予想される。

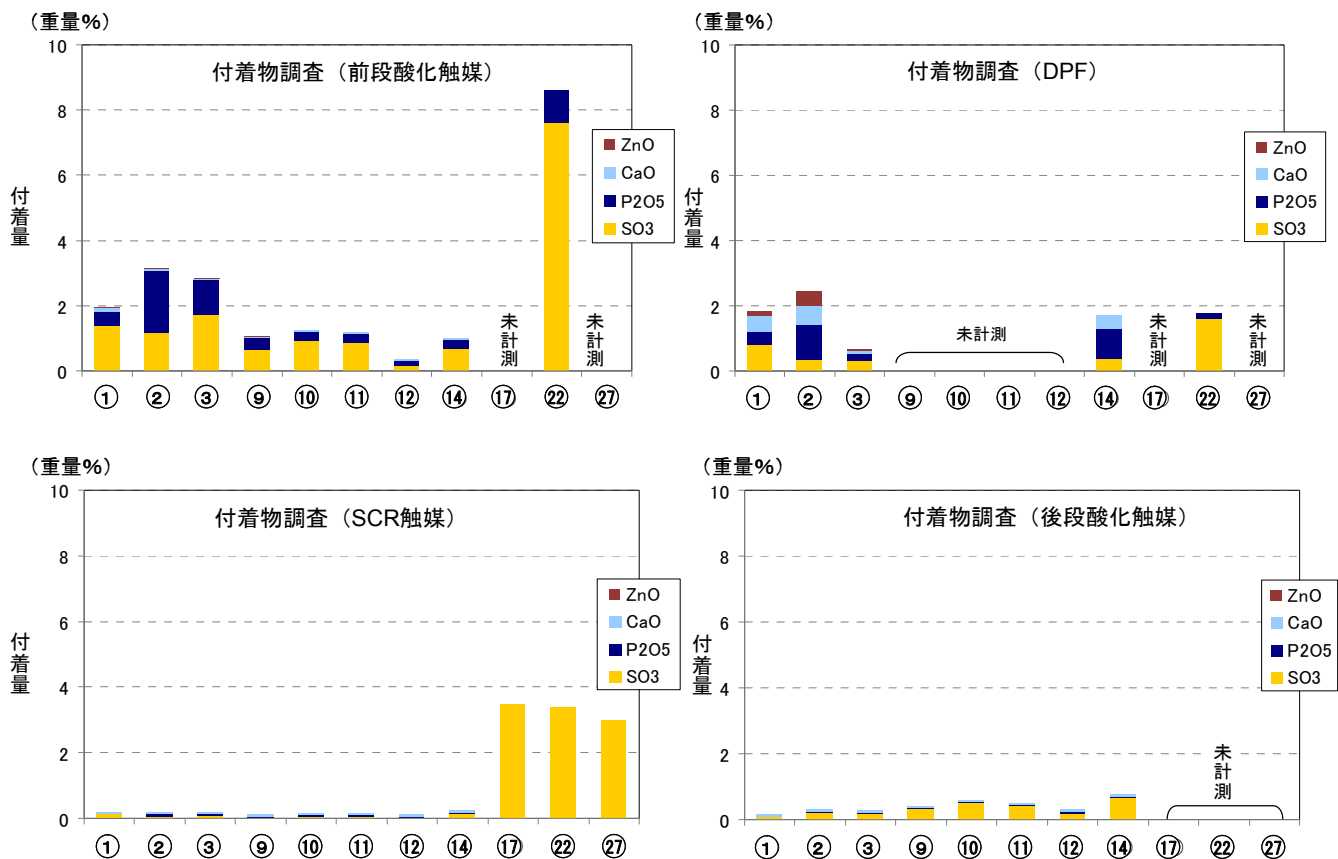


図3-4 使用過程におけるポスト新長期規制適合の尿素SCRシステムへの付着物（調査例）

ポスト新長期規制適合車の尿素SCRシステムは、エンジンから見て順番に、前段酸化触媒、DPF、SCR触媒、後段酸化触媒から構成される。このうち上流に配置される前段酸化触媒及びDPFには、組成や量の違いはあるものの、いずれの車種にも付着物が見られる。一方、DPFの下流に配置されるSCR触媒は、尿素SCRシステムの性能が概ね適切に維持されていると見られる車種と比較して、触媒に軽微な被毒が生じてNOx排出量が若干増加していると見られる車種に硫黄化合物が多く付着している。これは、DPFの再生の際に下流のSCR触媒及び後段酸化触媒の付着物は脱離しているが、その再生の頻度・温度が両車種で大きく異なるためと推測される。ただし、付着物については、データ数が少ないこと、測定対象とした車両の使用状況・点検整備の状況が異なること、車種により測定方法が異なること、また触媒での付着物の挙動には未解明の事項が多いことに留意が必要である。

○ SCR触媒のゼオライトの種類

使用過程で尿素SCRシステムの性能が概ね適切に維持されていると見られる車種と、触媒に軽微な被毒が生じてNOx排出量が若干増加していると見られる車種では、SCR触媒のゼオライトの構成成分が異なる。ゼオライトの構成成分により排出ガス中の各種物質の触媒上での挙動や反応等が異なり、SCR触媒の耐久性に相違が生じている可能性があるが、現時点では得られている知見が少なく、詳細は不明である。

尿素 SCR システムの性能が使用過程で概ね適切に維持されていると見られる車種と触媒に軽微な被毒が生じて NOx 排出量が若干増加していると思われる車種の間には、上記の 3 点の技術的な相違があるものの、いずれが NOx 排出量の増加の原因であるかの見極めや、複数が原因である場合の寄与度の判断には、更なる知見の収集が必要である。また、上記以外の要因が NOx 排出量の増加に影響している可能性も排除できない。

なお、図 3-2 で示したとおり、NOx 排出量を車両の走行距離別及び車両の使用形態別に比較したところ、いずれの場合も、現時点では特定の傾向は見いだせなかった。また、尿素 SCR システムの構成要素のうち、NOx センサー等の各種センサー、尿素水のインジェクター等については、現時点では、これらが使用過程での NOx の排出量の変化に影響を及ぼしているとの知見は得られていない。

以上の考察については、(i) データ数が限られていることや、(ii) 車両の生産時のばらつき、使用状況・点検整備の実施状況の違い、計測時の測定誤差等が個々のデータに影響している可能性があることに留意する必要がある、今後、引き続きデータの収集に努める必要がある。

(4) 今後の取組の方向性

ポスト新長期規制適合車については、一部の車種で NOx の排出量に若干の増加が見られるものの、これらも含め、ポスト新長期規制適合車の全体について、(i) DPF の再生の際に HC・硫黄等による触媒の被毒が解消又は緩和され、著しい被毒は生じないと予想されること、(ii) 現時点では走行距離と NOx 排出量の間には明確な関係が見いだされていないことから、ポスト新長期規制適合車の使用過程において尿素 SCR システムに顕著な性能の低下は生じないものと考えられる。しかしながら、使用過程での性能維持の観点から、今後の使用過程で走行距離が伸びた場合の排出ガス性能について、使用過程車についての実測調査を環境省、国土交通省及び関係する自動車メーカーが連携して継続的に行い、また当該メーカーが環境省及び国土交通省に調査結果を定期的に報告することにより、今後の推移を把握することが適当である。

また、自動車メーカーにおいては、5.(1) で述べるとおり、本報告を踏まえて次期規制に向けた技術開発を行うことが必要である。

4. 排出ガス試験法の見直しに係る検討

(1) 排出ガス試験法の見直しに係る検討の経緯

中環審第十一次答申を踏まえつつ、本検討会の中間報告では、排出ガス試験法の見直しの方針として、以下を挙げている。

- 排出ガス後処理装置の耐久性について、劣化原因の究明結果を踏まえ、新型車の認証時における評価手法の見直しを進める。
- 認証時のエンジンベンチ試験における排出ガス後処理装置のレイアウトの扱いについて、引き続き検討を進める。
- 低速走行時の排出ガス後処理装置の作動状況について、環境省が作成した路線バス、宅配便車、塵芥車用の走行モードを活用して調査を進める。また、銅ゼオライトについては、環境中に銅が排出されないことの確認方法を検討し、自動車メーカーにおける開発・実用化の基盤を整備することが望ましい。

以上を踏まえて検討を進めたところ、これまでに得た結果は以下のとおりである。

(2) 排出ガス後処理装置の耐久性に係る検討

排出ガス後処理装置の耐久性、特に尿素 SCR システムの耐久性については、前述のとおり、新長期規制適合車の性能低下の原因究明が進んだものの、現時点では未解明の事項が多い。また、ポスト新長期規制適合車の尿素 SCR システムの使用過程での性能は概ね維持されているものの、一部の車種では性能が若干低下傾向にあるものもあり、排出ガス後処理装置の耐久性、特に触媒の被毒による性能低下のメカニズムの詳細について、中長期的な調査研究が必要であることが判明した。このため、環境省を中心に実施予定の今後の調査研究の進展を待つ必要がある。

(3) 排出ガス後処理装置のレイアウトに係る検討

エンジンベンチ試験における排出ガス後処理装置のレイアウトの扱いについては、交通研、一般社団法人日本自動車工業会、国土交通省、環境省（オブザーバ）から構成されるワーキンググループで検討を行った（資料4）。

我が国の現行の認証時のエンジンベンチ試験では、構造が同一のエンジン別に試験を行っているが、当該エンジンが搭載された車両であっても、車両の構造の違いによりエンジンから排出ガス後処理装置までの排気管の長さ等のレイアウトが異なることがある。排出ガス後処理装置、特に触媒の浄化性能は排気温度の影響を受け、構造が同一のエンジンであっても排気管の長さによって排気温度が異なることが判明したことから、認証試験においては排気温度にとって最も厳しい条件を考慮したレイアウトでの試験が必要と考えられる。

かかる観点から、我が国の認証時におけるエンジンベンチ試験の際の排出ガス後処理装置のレイアウトについては、国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム

(WP29) で策定されたディーゼル重量車排出ガス世界統一試験法 (WHDC) の規定⁸に整合させて、(i) 排気管の長さを、構造が同一のエンジンが搭載される車両の中で最長のものに合わせるとともに、(ii) 排気圧力を(i)の車両の条件に合わせることが適当である。

なお、走行風が排気温度に与える影響の有無については、同一のエンジンについて走行風の影響を考慮しないエンジンベンチ試験と走行風の影響を考慮したシャシダイナモ試験を行い、両者の排気温度を比較したところ、ほぼ一致した結果が得られた。

(4) 今後の取組の方向性

低速走行時の排出ガス後処理装置の作動状況については、引き続き、環境省が作成した路線バス、宅配便車、塵芥車用の走行モードを活用して調査を進めることが適当である。

また、触媒に低温活性の良好な銅ゼオライトを使用する際に環境中に銅が排出されないことの確認方法については、中間報告を踏まえ、国土交通省が平成 25 年 6 月に取扱い通達を取りまとめて発出したところであり (参考資料 4)、今後は、これを踏まえて自動車メーカーによる開発・実用化が進むことが期待される。

⁸ WHDC の規定： 排気マニフォールド出口 (ターボチャージャー付きのエンジンではターボチャージャー出口) から、排気後処理装置までの距離は、実車の構成と同じ又はメーカーの仕様の範囲内で同じになるものとする。また、排気マニフォールド出口 (あるいはターボチャージャー出口) の排気圧力を実車に合わせるものとする。資料 4 参照。

5. 今後の取組の方向性

(1) 次期規制における取組

平成 22 年の中環審第十次答申では、平成 28 年（2016 年）からディーゼル重量車の次期規制を実施すべきことを提言している。次期規制への対応技術において、尿素 SCR システムの採用の見込みや、どのような後処理装置が想定されるか、国内自動車メーカーからヒアリングを行ったところ、前段酸化触媒、DPF、SCR 触媒及び後段酸化触媒の組合せから構成される尿素 SCR システムが主流となる見込みであることが判明した。その場合は、DPF の再生時の昇温により、HC・硫黄等による著しい触媒の被毒やそれによる尿素 SCR システムの性能低下は生じないものと予想される。

以上の技術動向に鑑み、次期規制に向けて、自動車メーカー及び触媒メーカーにおいては、本報告を参考に、内外の技術動向の進展を踏まえつつ、今後の技術開発において排出ガス後処理装置の耐久性の一層の確保を図ることが求められる。具体的には、排出ガス後処理装置を構成する触媒等の個別の要素技術の耐久性の確保や、DPF 再生時の昇温による硫黄・HC 等の被毒の解消の効果等に留意しながら、要素技術の開発及び制御方法を含めたシステム全体の開発を行うことが必要である。

使用過程での性能維持方策としては、実使用環境において排出ガスの低減を確保するため、断線等による排出ガス低減装置の機能不良を監視する車載式故障診断（On-Board Diagnostic: OBD）システムの導入が平成 10 年の中環審第三次答申で提言され、平成 15 年（2003 年）の新短期排出ガス規制から装備が義務付けられている。平成 22 年の中環審第十次答申では、各種センサー等により排出ガス低減装置の性能低下等を検出する、より高度な OBD システム（資料 5）の導入を平成 28 年（2016 年）の次期排出ガス規制開始から概ね 3 年以内に義務付けることを提言している。より高度な OBD の導入は尿素 SCR システムの機能維持にも資すると考えられることから、その導入時期を前倒しし、次期規制開始から 2 年以内、すなわち平成 30 年（2018 年）より義務付けることが適当である。

認証時のエンジンベンチ試験における排出ガス後処理装置のレイアウトについては、次期規制より WHDC と整合の上、(i) 排気管の長さを構造が同一のエンジンが搭載された車両の中で最長のものに合わせるとともに、(ii) 排気圧力を(i)の車両の条件に合わせることが適当である。

(2) 新長期規制適合車及びポスト新長期規制適合車に係る取組

新長期規制適合車については、今後、徐々に最新規制適合車に代替されていくものと予想されるが、使用過程にあるものについては、関係する自動車メーカーにおいて定期的な昇温作業を行い、HC 被毒の解消を図ることが適当である。当該メーカーには、ユーザーへの周知徹底による昇温作業の実施率の向上等の積極的な取組と、環境省及び国土交通省への実施状況の定期的な報告を求めたい。

ポスト新長期規制適合車については、(i) DPF の再生時の昇温により触媒の被毒が解消又

は緩和され著しい被毒は生じないと期待されること、(ii) 現時点では走行距離と NOx 排出量の間には明確な関係が見いだされていないことから、使用過程において顕著な性能の低下は生じないものと考えられるが、今後の使用過程で走行距離が伸びた場合の排出ガス性能について、使用過程車についての実測調査を環境省、国土交通省及び関係する自動車メーカーが連携して継続的に行い、また当該メーカーは環境省及び国土交通省に調査結果を定期的に報告することにより、今後の推移を把握することが適当である。

新長期規制適合車の前段酸化触媒及びポスト新長期規制適合車の触媒の被毒等による性能低下のメカニズムについては、未解明の事項が多いことから、環境省及び関係する自動車メーカー・触媒メーカー等が協力して、引き続き中長期的に調査研究を進め、必要に応じ対策を検討するとともに、得られる知見を将来の技術開発に適宜活用することが必要である。

6. その他

(1) 引き続き検討すべき課題

前述の通り、HC や硫黄等による触媒の被毒や性能低下のメカニズム等については未解明の事項が多いことから、環境省、自動車メーカー、触媒メーカー等が連携しつつ、引き続き中長期的に調査研究を進めることが必要である。

低速走行時の排出ガス後処理装置の作動状況については、環境省が作成した路線バス等の走行モードを活用して調査を進めることが必要である。

使用過程での性能維持方策としては、欧米で導入が進んでいる車載式排出ガス測定システム（PEMS）について、平成24年の中環審第十一次答申別添の自排専報告において我が国でも検討が望ましいと提言されているところである。欧米と我が国では自動車の走行実態が異なり、また、PEMSによる試験法や測定誤差・校正等の同報告で指摘されている課題はあるものの、環境省、国交省及び関係業界・メーカー等が連携し、我が国の実態を踏まえたPEMSの活用方策について、可能性も含め検討を進めることが適当である。

また、ディーゼル重量車の排出ガス規制については、国連欧州経済委員会WP29で国際基準調和の取組が進むとともに、米国では2010年（US10）、欧州では2013年（EURO VI）からそれぞれ最新規制が施行されている。これらの海外の規制動向及び技術動向を踏まえつつ、我が国の排出ガス規制を検討・実施し、また関係メーカー等における技術開発を進めることが必要である。

(2) 自動車メーカーに期待される取組

平成 10 年の中環審第三次答申にあるとおり、自動車メーカーにあっては、生産段階において、耐久走行距離の走行後においても良好な排出ガス性能の確保を図ることが求められる。本検討会の検討結果を踏まえ、また、技術動向の進展を踏まえつつ、今後の技術開発において、排出ガス後処理装置の耐久性の一層の確保を図ることが求められる。

中間報告で指摘したとおり、尿素 SCR システムの性能が低下した新長期規制適合車では、温室効果ガスである亜酸化窒素（ N_2O ）の排出量が増大する事例が見られた。自動車メーカーにあっては、今後の自動車排出ガス低減対策に際して、 N_2O 等の排出抑制の配慮、必要な知見の収集を進める必要がある。

(3) 自動車ユーザーに期待される取組

自動車ユーザーにおいては、排出ガス後処理装置、特に尿素 SCR システムの適切な稼働には、適切な品質の燃料、エンジンオイル、尿素水等の使用と、自動車ユーザーが責任を持って適切に点検整備を行うことが必要不可欠であることに留意する必要がある。

新長期規制適合尿素SCRシステム搭載車における昇温作業の実施状況等

1. 背景

- 中間報告では、①新長期規制適合の尿素SCRシステム搭載車における性能低下の主原因であるHC被毒については、尿素SCRシステムについて400～500℃、40分程度の昇温を定期的に行うことにより、被毒の解消を図ることが望ましいとの判断を示すとともに、②具体的な昇温条件(温度、時間、頻度)、昇温方法等については、自動車メーカーにおいて検討することが適当であり、本検討会でその有効性を検証する、としている(中間報告2. 2. 3)。
- 中間報告を踏まえ、関係する自動車メーカー(以下「関係メーカー」という。)においては、尿素SCRシステムを搭載した使用過程の新長期規制適合車に対して、上記水準の昇温作業を平成25年8月より自主的に実施している。
- 昇温作業が必要な尿素SCRシステムを採用する新長期規制適合車は、平成26年2月末時点で59,445台が登録されている。
- 本資料では、平成25年8月以降の昇温作業の実施状況を平成26年2月末時点でまとめるとともに、昇温作業の改善効果に関して、関係メーカーから報告された結果と、交通研にて測定調査した結果について比較した。

2. 関係メーカーによる実施内容

(1)関係メーカーからユーザーへの周知方法

- 最寄りの販売会社に入庫して昇温作業を行うよう案内文(ダイレクトメール)を送付、継続検査時に案内、ユーザ訪問時に案内 等

(2)実施の機会・場所

- ユーザー負担を考慮して、主に継続検査の機会等を利用
- 昇温場所は、近隣への騒音を考慮して、主に昼間の時間において、主に販売会社の車庫内で実施。又はユーザーからの要望に応じて、ユーザーの車庫内で実施。

(3)昇温作業の手法としては、以下の2通りが行われている。(次ページ参照)

- ① 自車方式・・・排気シャッター等により排気を絞った上で、SCR触媒を含む後処理装置を40分間程度、400℃以上に上昇させる。
- ② 他車方式・・・SCR触媒を含む後処理装置を取り外し、当該後処理装置を別に用意したDPF搭載車のテールパイプ出口に取り付け、当該DPF搭載車のDPFを再生する際の熱を使って、当該後処理装置を40分間程度、400℃以上に昇温させる。

(4)その他(関係メーカーが抱える懸念点)

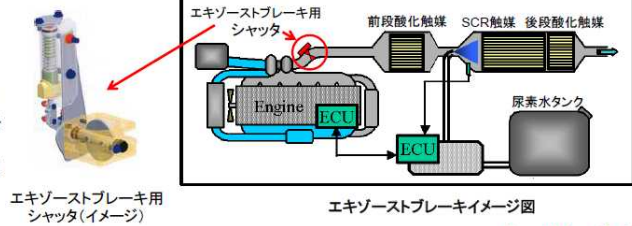
昇温作業を含め、全体作業時間は2～4時間程度となるが、ユーザーの仕事の都合で昇温作業に必要な時間をもらえないことが多い 等

(参考)昇温作業の手法例(自車方式、他車方式)

①自車方式

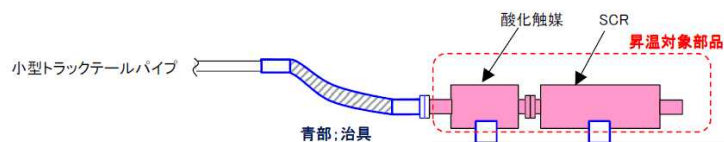
排気シャッター(エキゾーストブレーキ用シャッター)等により排気を絞った上でハイアイドル(比較的高回転のアイドリング)を行い、SCR触媒を含む後処理装置を40分間程度、400℃以上に上昇させる。

エンジン排気系(ターボチャージャー後流)にあるエキゾーストブレーキシャッターを強制的に'閉'とする。シャッターの開度を最適にするために一部車型ではストップバの位置を調整する。



②他車方式

SCR触媒を含む後処理装置を取り外し、当該後処理装置を別に用意したDPF搭載車のテールパイプ出口に取り付け、当該DPF搭載車のDPFを再生する際の熱を使って、当該後処理装置を40分間程度、400℃以上に昇温させる。



3. 関係メーカーによる昇温作業の実施結果(実施台数及び実施率)

実施車両数[台]							合計台数	登録台数 [台]	実施率 [%]
平成25年					平成26年				
8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月			
233	781	646	480	366	270	268	3,044	59,445	約5.1%

※平成26年2月末時点

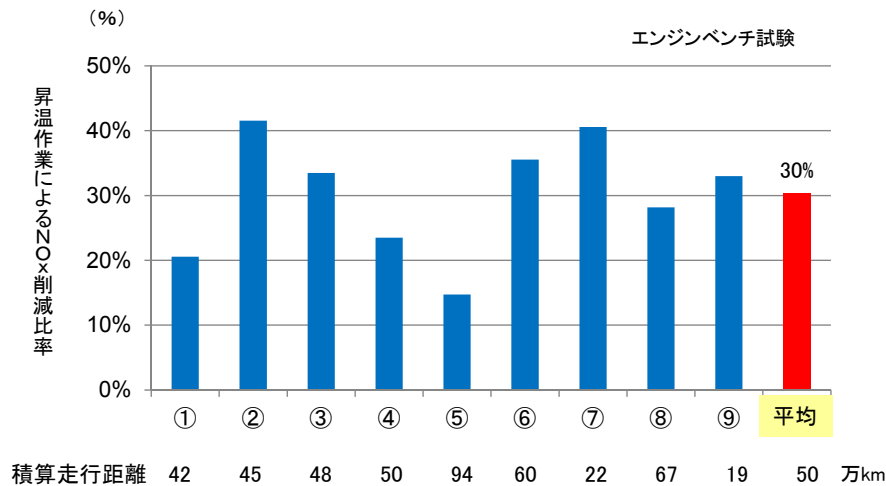
※ 1年間を通して、上記と同様のペースで昇温作業を実施すれば、実施台数は年間で約5,200台(実施率約8.8%)に相当する。

4. 昇温作業実施によるNO_x排出性能の改善効果

(1) 関係メーカーで実施した測定試験結果

尿素SCRシステムのHC被毒の解消を図るための昇温作業の有効性を確認するため、関係メーカーにおいては、新長期規制適合の尿素SCRシステム搭載した使用過程車計9台(①～⑨)について、SCR触媒を含む後処理装置の昇温作業を行うとともに、昇温作業前後のNO_x排出量について測定調査を行った。

その結果、下図に示すとおり、昇温の効果は車両により異なるが、昇温作業の前後で比較すると、1台あたりのNO_x排出量は平均で約3割減少する。



(2) 交通研で実施した測定試験結果

① 調査内容

- 尿素SCRシステム搭載の新長期規制適合車である2台を対象に、関係メーカーが自主的に実施する昇温作業の効果を検証するため、昇温作業前後の排出ガス性能の測定試験を実施した。
- 交通研の過去の試験結果で、10万キロ走行を超えるものでは尿素SCRシステムのHC被毒による尿素SCRシステムの性能低下がみられたことから、試験車はそれ以上走行しているものとした。

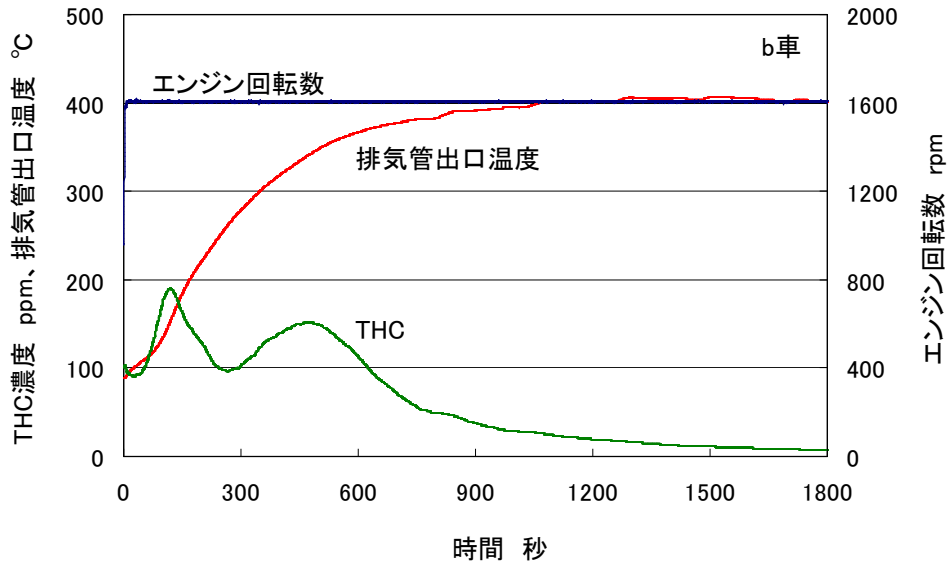
② 試験車両諸元

- 2台の試験車両の諸元については以下の通りである。

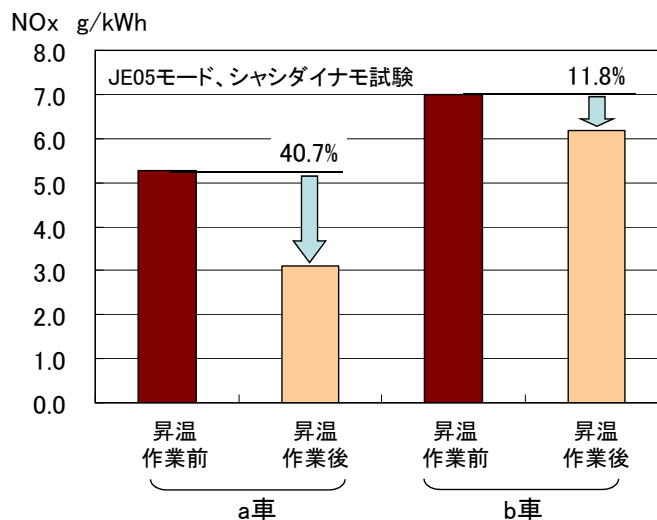
試験車両	車両重量	積算走行距離	車体の形状
a車	24,990kg	140,600km	平ボディトラック(クレーン付き)
b車	24,980kg	396,600km	セルフローダー

③ 試験内容

- 昇温作業時には、排気管を絞って40分間ハイアイドルを実施した。
- そのうち開始から30分間におけるエンジン回転数と排気管出口温度(SCR触媒はそれより上流にあり、より高温である可能性が高い)、全炭化水素(THC)排出濃度について測定した。結果を下図に示す。
- 排気管出口温度が上昇するとともに触媒に付着していたTHCが排出されて、THC排出濃度が上昇する。
- 500秒程度以降では、触媒上のHCはTHCとして放出されるか、高温になり酸化してCO₂とH₂Oになるか、いずれにせよ除去されるためTHC濃度は低下していく。



④ NO_x排出量測定結果



- a車では、昇温作業を実施することで40%を超えるNO_x排出量の改善がみられた一方で、b車では小幅な改善に止まった。
- b車における改善効果が小さかった原因の一つとして、b車が同型車中最も触媒がエンジンから離れた位置に設置されるNO_x浄化に不利なレイアウトが考えられた。(※レイアウトに係る検討等については資料4参照)
- データの数は限られているが、これらの結果から、昇温作業の前後で比較すると1台あたりのNO_x排出量は平均で約26%減少し、関係メーカーで実施した試験結果と概ね同等と考えられ、関係メーカーによる昇温作業の改善効果を支持する結果であった。

新長期規制適合尿素SCRシステム搭載車の前段酸化触媒の性能低下原因の究明について

1. 背景

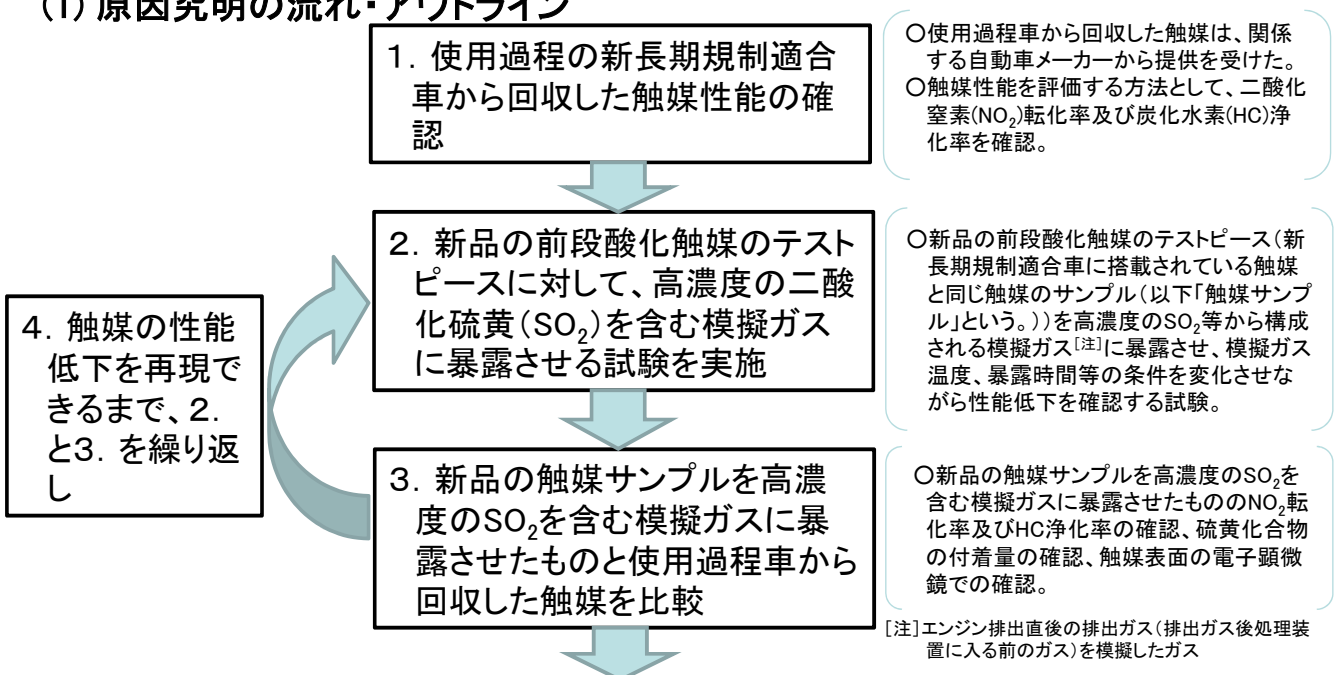
中間報告で示された課題のうち、前段酸化触媒の劣化原因の究明と対策の検討に着手するにあたり、劣化の原因や劣化に至るプロセスの解明のため、触媒分析に係る知見・設備・試料の面で、東京工業大学資源化学研究所有機資源部門・独立行政法人交通安全環境研究所・関係する自動車メーカー・触媒メーカーのお互いの協力が不可欠であることから、平成25年4月に「触媒分析検討ワーキンググループ」が設置された。

2. 目的

本ワーキンググループでは平成17年規制(新長期規制)適合車の尿素SCRシステムの前段酸化触媒の性能低下に関する原因究明を行うことを目的とした。なお、企業機密情報の保護の観点から、情報の公開の範囲は同ワーキンググループで合意したものに限ることとした。

3. 実施方針

(1) 原因究明の流れ・アウトライン



<期待されるアウトプット>

新長期規制適合車の前段酸化触媒の性能低下原因として、予想される以下のパラメータを整理する

- ◆ SO₂濃度
- ◆ 暴露時の模擬ガス温度
- ◆ 暴露時間
- 等

(2) 手法及び考え方の整理

①硫黄被毒の模擬に焦点をあてた理由

前記3. (1)のとおり、本ワーキンググループは、新品の触媒サンプルについて、「NO₂転化率」及び「HC浄化率」を指標とし、それらを使用過程車から回収した前段酸化触媒と同レベルになるまで、様々な実験条件下で加速的に性能低下させるという実験を行うこととした。

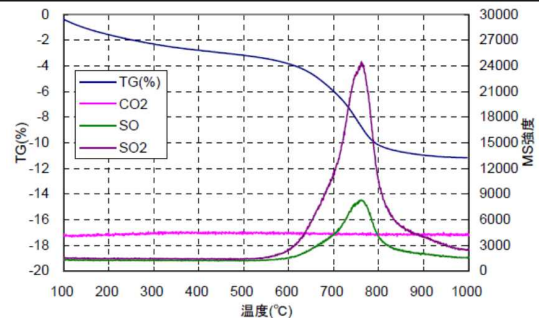
硫黄被毒の模擬に焦点をあてた理由は下記の通り。

- 使用過程車から回収した前段酸化触媒について、熱処理によりHC成分を酸化除去して活性を戻す処理を行ったが性能回復しなかったことから、HC被毒以外の原因による性能低下が疑われた。
- TG/MS分析^[注]の結果、600°C超で硫黄分の離脱が確認されたこと(下図参照)や下記<参考情報>を踏まえ、硫黄被毒の可能性が指摘された。

[注]①熱重量測定(thermogravimetry: TG)により、試料の温度を一定のプログラムによって変化又は保持させながら、その試料の質量を温度又は時間の関数として測定した後、②試料から脱離又は生成した気体を質量分析装置(mass spectrometry : MS)に導入して、気体成分を同定する方法。[出典 JIS K 0129:2005]

<参考情報>

- 触媒メーカーにおいて、ディーゼル重量車の最高排気温度を十分考慮した温度での熱耐久が設計性能として用いられているので、熱劣化の可能性は低いと考えられる。
- エンジンオイルには約0.1wt%のリンが含まれるが、触媒に流入するリンは硫黄の1/10以下であり、リンによる触媒の性能低下の可能性も低いと考えられる。



前段酸化触媒のTG/MS分析結果の一例(600°C超でSO、SO₂のピークが始まる。)

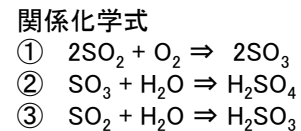
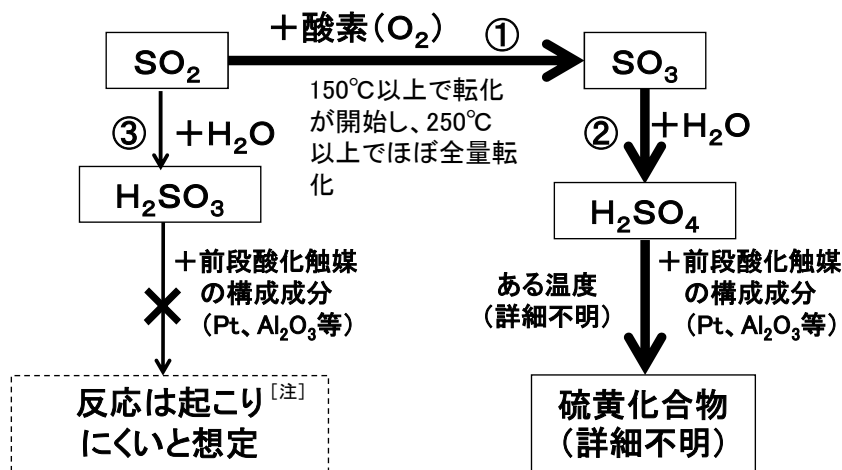
②SO₂の触媒の性能低下への寄与に関する仮説

また、前記3. (2)②のとおり、前段酸化触媒には硫黄被毒の可能性が考えられた。そのため、排出ガスに多く含まれると推定されるSO₂による影響に関して、以下の仮説を置いた。なお、検討の対象とした前段酸化触媒では、アルミナ(Al₂O₃)を担体に白金(Pt)を担持し、排出ガス中の一酸化窒素(NO)とNO₂の比率を酸化反応により適切なものとする機能を有している。

(SO₂の触媒の性能低下への寄与に関する仮説)

- 触媒への硫黄化合物の付着量や性能低下の度合いには、排出ガスの温度と関係がある。
 - ※ 関係する自動車メーカーの調査より、酸化触媒上におけるSO₂からSO₃の転化は150°Cより開始し、250°C以上でほぼ全量転化することが示されている。
- 前段酸化触媒の表面で、SO₂が酸化され三酸化硫黄(SO₃)となり、水(H₂O)と反応して硫酸(H₂SO₄)となり、H₂SO₄が前段酸化触媒の表面で何らかの物質と反応し、硫黄化合物が形成され、性能が低下する。
 - ※ SO₂とH₂Oが反応し、亜硫酸(H₂SO₃)が生成される反応もあり得るものの、H₂SO₃と前段酸化触媒の構成成分(Pt、Al₂O₃等)の反応は起こりにくいと考えられることから、主に触媒の性能低下は、SO₃を生成する経路で起こると想定。
- Pt上に硫黄化合物(硫黄酸化物、硫酸イオン等を含む)が付着しても、NO₂転化率はほとんど変化しないことが知られていることから、前段酸化触媒の永久的な性能低下は、Pt自体が持つ性能が、硫黄化合物によって低下したためではないと考えた。

【参考】前段酸化触媒の性能低下につながると思われる硫黄化合物の生成に至る主な反応経路(仮説)



(触媒の性能低下につながると思われる反応経路を太線の矢印で示す。)

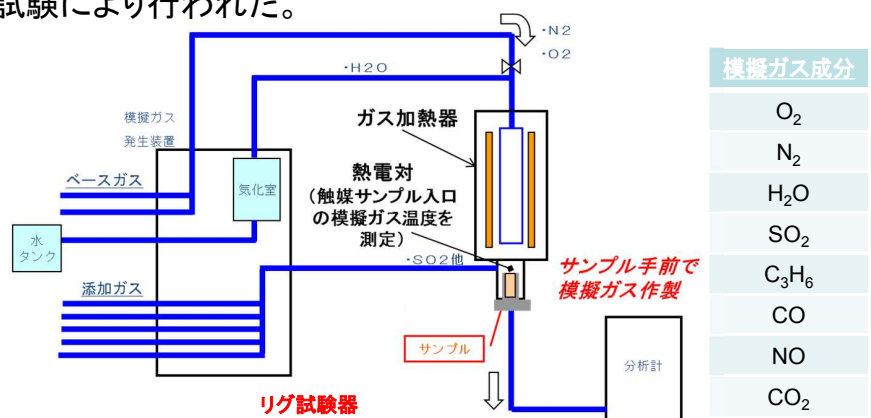
[注]SO₂とH₂Oが反応し、亜硫酸(H₂SO₃)が生成される反応もあり得るものの、H₂SO₃は前段酸化触媒と構成成分(Pt、Al₂O₃等)の反応は起こりにくいと考えられることから、主に触媒の性能低下は、SO₃を生成する経路で起こると想定

4. 触媒の性能低下状態の再現及びその確認手順・方法

触媒の性能低下状態の再現及びその確認は、(1) 硫黄被毒をさせた触媒(硫黄被毒触媒)の作成、(2) 触媒性能評価試験、(3) 元素分析・顕微鏡観察による硫黄被毒状況の分析の3段階により行われた。なお、(1)及び(2)は、「リグ試験」と呼ばれる下図の機器(リグ試験器)を用いて、新品の触媒サンプルを高濃度のSO₂を含む模擬ガスに暴露させる試験及び触媒性能の評価をする試験により行われた。

(1) 硫黄被毒触媒の作成

新品の触媒サンプルを高濃度のSO₂等から構成される模擬ガス[注1](右表)に暴露させた。模擬ガス温度の条件を変化させ(150-425°C)、8種類の硫黄被毒触媒を作成した。この時、模擬ガスは、濃度40ppmのSO₂が12時間通過するよう調節した(簡易的な試算では、約15万キロ走行した時に通過する触媒単位体積当たりのSO₂量に相当[注2])。



[注1]模擬ガスとは、エンジン排出直後の排出ガス(排出ガス後処理装置に入る前のガス)を模擬したガス

[注2]触媒を用いた尿素SCRシステムを搭載する代表的な車両が、燃料消費率(4km/L)で15万km走行する場合、燃料消費量は3.75万L(=31.2トン)であり、軽油中の硫黄含有量(10wtppmとした場合)は312gとなる。触媒サンプルのサイズを320分の1のサイズに設定したことから、約0.98gの硫黄(SO₂とした場合約1.94g)が触媒サンプルを通過する条件である。

【参考】硫黄被毒触媒の作成方法には、上記リグ試験の他にも、エンジン排出ガスを使用する実機を用いた試験や、触媒を硫酸に浸け、硫黄化合物を簡便に付着させる硫酸含浸被毒試験があるが、温度やSO₂濃度といった実験条件の制御しやすさや、触媒の性能低下メカニズムの調査の上で実際の条件に近いといった点を考慮しリグ試験を採用した。

(2) 触媒性能評価試験

(1)で作成した高濃度のSO₂に暴露させた触媒サンプルに対して、その触媒性能評価試験を行った。触媒性能の評価は、触媒サンプル入口の模擬ガス温度(°C)が300°Cの際のNO₂転化率(%)と、HC浄化率(%)が50%となる際の触媒サンプル入口の模擬ガス温度(°C)で評価することとした。

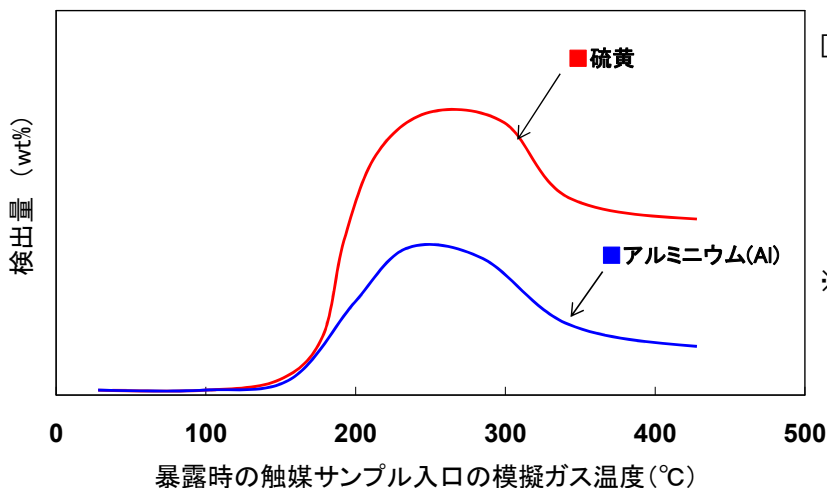
(3) 元素分析・顕微鏡観察による硫黄被毒状況の分析

(2)において触媒性能評価を行った触媒サンプルを水処理し、その水溶成分をイオンクロマトグラフィー(水溶液中の硫酸イオン等のイオンを高感度で定量分析できる機器)を用いて元素分析を行った。また、触媒表面の顕微鏡観察を行った。

5. 試験結果

(1) 高濃度のSO₂に暴露させた時の触媒サンプルへの硫黄化合物の付着量の温度依存性

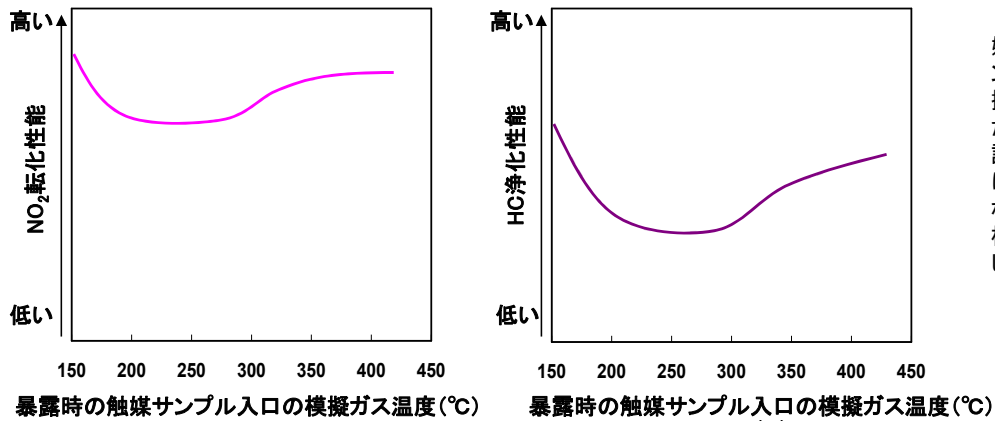
触媒への硫黄化合物の付着量や性能低下の度合いと、排出ガス温度の関係を確認するため、新品の触媒サンプルを150–425°Cの範囲の温度条件で高濃度のSO₂に暴露させたものについて、水溶成分の元素分析を行ったところ、150°C以上の温度条件で高濃度のSO₂に暴露させたものについては硫黄が検出され、特に200–300°Cで高濃度のSO₂に暴露させたものについては硫黄の検出量が増加した。



[注]各種の硫黄化合物の付着量は、SO₃換算あるいは元素量換算で統一の上、合計した。

※水溶成分の元素分析にて検出されたアルミニウムは担体のAl₂O₃とは異なるものである。

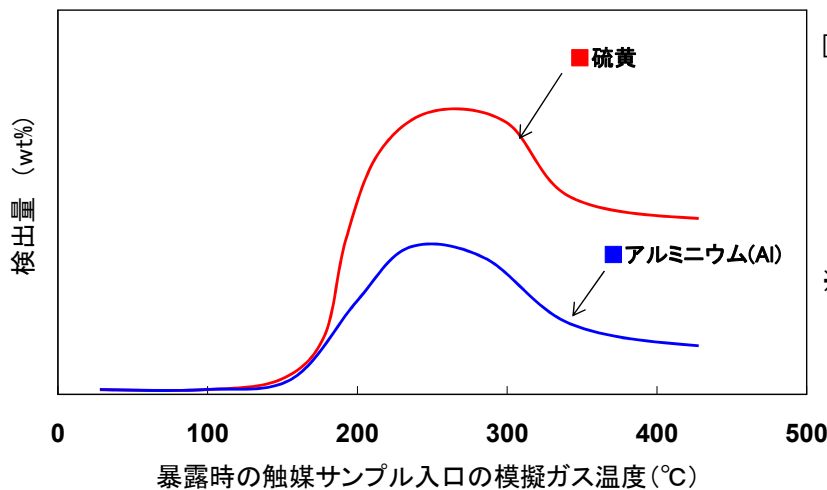
(2) 高濃度のSO₂に暴露させた時の模擬ガス温度の触媒性能の変化(触媒性能評価試験結果)



新品の触媒サンプルについて、暴露させる模擬ガス温度を150–425°Cの範囲で変化させた時の触媒性能への影響を調査したところ、200–300°Cの温度条件で高濃度のSO₂に暴露させた触媒サンプルは、その他の温度条件で暴露させた触媒サンプルに比べNO₂転化性能及びHC浄化性能が低下していることが確認された。

(3) 触媒上の硫黄及びアルミニウム(Al)付着量

(元素分析・顕微鏡観察による硫黄被毒状況の分析の結果【再掲】)



[注]各種の硫黄化合物の付着量は、SO₃換算あるいは元素量換算で統一の上、合計した。

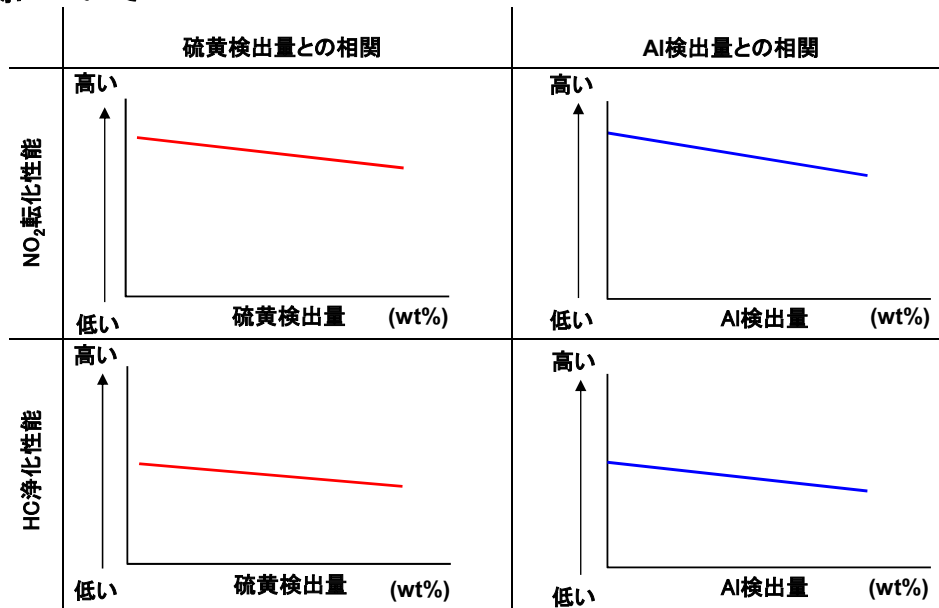
※水溶成分の元素分析にて検出されたアルミニウムは担体のAl₂O₃とは異なるものである。

新品の触媒サンプルを150–425°Cの範囲の温度条件で高濃度のSO₂に暴露させたものについて、水溶成分の元素分析及び触媒表面の顕微鏡観察を行った。

その結果、水溶成分の元素分析では、硫黄に加えAl(水溶成分の分析であるため、担体のAl₂O₃とは異なる)が検出された。また、触媒表面の顕微鏡観察から、同一の場所で硫黄とAlが検出された。

これらの結果から、硫黄元素は硫酸アルミニウム(Al₂(SO₄)₃)の形で存在する可能性が非常に高いと考えられたことから、本ワーキンググループでは、前記3. (2)②の『SO₂の触媒の性能低下への寄与に関する仮説』にて想定した硫黄化合物は、Al₂(SO₄)₃であると判断した。

(4)「触媒性能評価試験結果」と「元素分析・顕微鏡観察による硫黄被毒状況の分析結果」の相関について



前記5. (3)のとおり、触媒の性能低下に寄与している硫黄化合物は、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ と考えられたため、触媒性能(指標: NO_2 転化性能及びHC浄化性能)と $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 生成量(指標: 硫黄及びAlの検出量(wt%))の関係性を見たところ、それらは相関していた。その結果、性能低下は主に $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ の生成によって引き起こされると考えられ、当初想定した『 SO_2 の触媒の性能低下への寄与に関する仮説』を支持する結果が得られた。

6. 得られた知見(成果)

(1) 硫黄化合物($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)の付着の確認

- 高濃度の SO_2 に暴露させた触媒サンプルを水処理し、その水溶成分を抽出して分析した結果、硫酸イオン(SO_4^{2-})が検出されると同時にアルミニウムイオン(Al^{3+})が検出された。
- また、電子顕微鏡を用いて高濃度の SO_2 に暴露させた触媒サンプルを観察したところ、触媒表面に硫黄とAlが検出され、それらは同一の場所に存在することが確認された。
- 以上から、高濃度の SO_2 に暴露させた触媒サンプルには硫黄化合物が付着していたこと、その硫黄化合物は $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ であることが推定された。
- この $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ は、排出ガス中に含まれる SO_2 から次に示すメカニズムにより生成し、触媒の性能低下に寄与した可能性が高いと考えられる。

(2) SO₂が触媒の性能低下に寄与するメカニズム

SO₂による触媒の性能低下は、以下のAl₂(SO₄)₃の生成等のメカニズムが寄与していると考えられる。(以下の下線部が当初想定した『SO₂の触媒の性能低下への寄与に関する仮説』から進展した内容)

なお、検討の対象とした前段酸化触媒では、Al₂O₃を担体にPtを担持し、排出ガス中のNOとNO₂の比率を酸化反応により適切なものとする機能を有している。

① Al₂(SO₄)₃の生成

- 前段酸化触媒の表面で、SO₂が酸化されSO₃となり、H₂Oと反応してH₂SO₄となり、H₂SO₄が担体で使用されているAl₂O₃と反応することで、Al₂(SO₄)₃が形成され、性能が低下する。
- ※ SO₂とH₂Oが反応し、H₂SO₃が生成される反応もあり得るものの、H₂SO₃とAl₂O₃の反応は確認されなかった。また実際に150℃では前段酸化触媒の性能低下は起きていないことから、主に触媒の性能低下は、SO₃を生成する経路で起こるとの結論が得られた。

② 硫黄化合物の付着量や性能低下の度合いと、温度の関係

- 触媒への硫黄化合物の付着量や性能低下の度合いには、排出ガスの温度と関係がある。具体的には、150℃以上の温度条件で高濃度のSO₂に暴露させた触媒サンプルについては、硫黄が検出され、特に200-300℃で高濃度のSO₂に暴露させた触媒サンプルについては、硫黄の検出量が増加する。また、200-300℃の温度条件で高濃度のSO₂に暴露させた触媒サンプルは、その他の温度条件で暴露させた触媒サンプルに比べNO₂転化率及びHC浄化率が低く、性能低下している。
- ※ 関係する自動車メーカーの調査より、酸化触媒上におけるSO₂からSO₃の転化は150℃より開始し、250℃以上でほぼ全量転化することが示されている。
- ※ H₂SO₄は300℃以上でSO₃とH₂Oへの分解が開始し、350℃以上でほぼ全量分解するとされている。

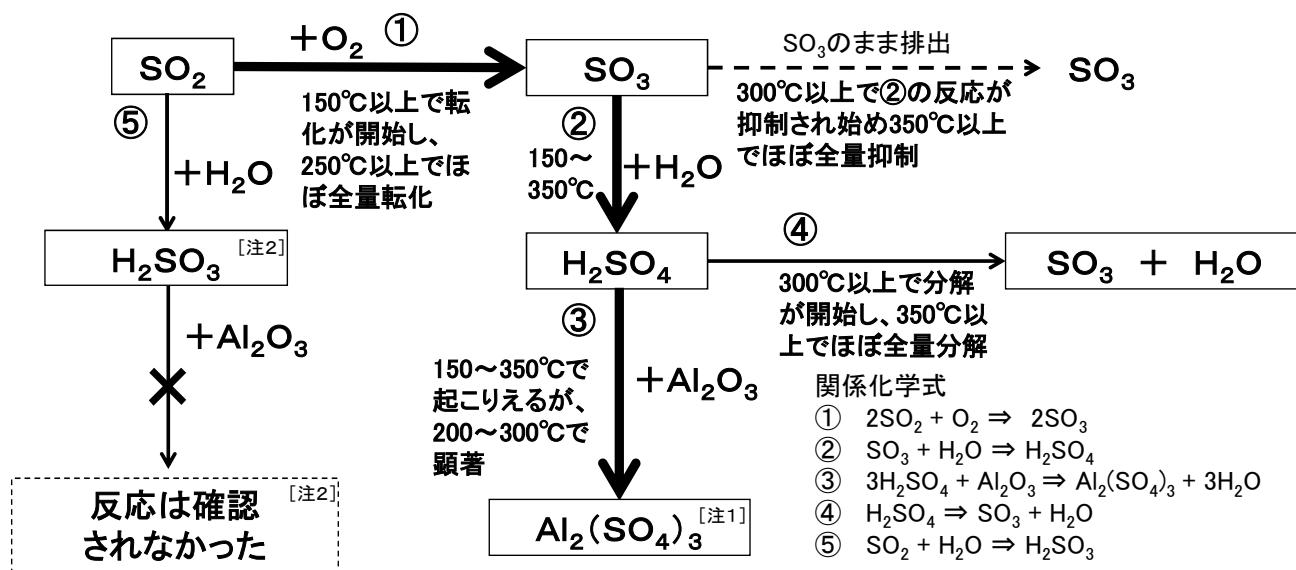
③補足

Pt上に硫黄化合物(硫黄酸化物、硫酸イオン等を含む)が付着しても、NO₂転化率はほとんど変化しないことが知られていることから、前段酸化触媒の永久的な性能低下は、Pt自体が持つ性能が、硫黄化合物によって低下したためではないと考えた。(再掲)

また、本メカニズムは、従来報告されているシタリング(Pt粒子が寄り集まって、大きな粒子になることにより、Pt粒子が排出ガスに触れる比表面積が小さくなるために、触媒全体としての性能が低下する現象)と呼ばれる触媒の性能低下メカニズムとは全く異なるものであった。

以上のリグ試験の結果から、実際の車両の使用過程でも、排出ガス中に含まれるSO₂が前段酸化触媒の担体として使用されているAl₂O₃と反応してAl₂(SO₄)₃を生成することにより、前段酸化触媒の性能低下を起こす可能性があることが確認された。ただし、高濃度のSO₂に暴露させるリグ試験と実際の車両の使用環境では、排出ガス中のSO₂の濃度等、様々な条件が異なることに留意が必要である。

前段酸化触媒の性能低下につながると推定される硫黄化合物の生成に至る主な反応経路



(触媒の性能低下につながると考えられる反応経路を太線の矢印で示す。)

[注1] Al₂(SO₄)₃は、水和物 (Al₂(SO₄)₃·nH₂O) の場合を含む。

[注2] SO₂とH₂Oが反応し、H₂SO₃が生成される反応もあり得るものの、H₂SO₃とAl₂O₃の反応は確認されなかった。また実際に150℃では前段酸化触媒の性能低下は起きていないことから、主に触媒の性能低下は、SO₃を生成する経路で起こるとの結論が得られた。

7. 今後の課題

- 化学反応の詳細や、高濃度のSO₂に暴露させるリグ試験での触媒サンプルの性能低下が実環境での現象をどの程度再現しているのか。

(例) Al₂(SO₄)₃は、具体的にどのようなメカニズムで触媒の性能低下を引き起こしているのか。

(例) 今回のリグ試験では、SO₂が40ppmの濃度で触媒サンプルの暴露を行ったが、SO₂が40ppm以下の濃度でリグ試験を行った場合には、SO₂の濃度の違いによる触媒の性能低下の度合いが線形性を有するかどうか。

- 高濃度のSO₂に暴露させた触媒サンプルを室温程度の大気中に放置することにより触媒の性能(NO₂転化率及びHC浄化率)が低下する現象が認められたが、それが実車両における触媒の性能低下とどのように関係しているか。

交通研によるポスト新長期規制適合尿素SCRシステム装着車の排出ガス試験結果

1. 調査内容

- 独立行政法人交通安全環境研究所(交通研)において、使用過程にあるポスト新長期規制適合の尿素SCRシステム搭載車における排出ガス性に関する調査の一環として、都市内を走行する路線バスおよび3t積載トラックの合計2台について、排出ガス性能の調査を実施した。
- 新長期規制適合の尿素SCRシステム搭載車でみられた、尿素SCRシステムのHC被毒等による性能低下の有無を明らかにするため、昇温運転前後の比較も含めた試験とした。
- 尿素SCRにおけるNOx浄化性能は触媒温度の影響を強く受ける。同一のエンジンであっても、車両の重量や寸法等(諸元)が異なれば排気温度が異なることにより触媒温度は変化し、NOx排出量に変化する可能性がある。そこで3t積載トラックについては、諸元の違いによる影響なども調査する目的で、当該車両を用いつつ排出ガス測定時の設定を他の車両の諸元に変更した場合についても測定試験を実施した。

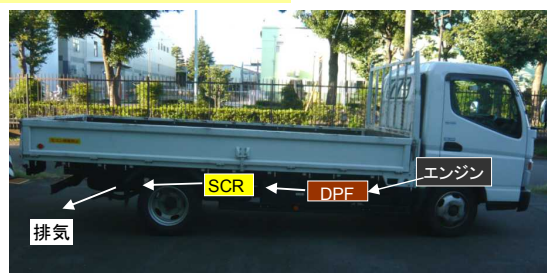
2. 試験車両諸元

	路線バス	3t積載トラック				
	車両A	車両B	車両c	車両d		
試験年度	H25	H25	H24	H23		
シリンダ配置	L6	L4				
吸気系統	TCI+EGR	TCI+EGR				
排気量 L	7.5	3.0				
最高出力 kW/rpm	199/2500	110/2840-3500	左記の車両Bにて、設定値のみを変更することにより、重量や寸法等(諸元)が異なる場合の排出ガス性能を比較			
最大トルク Nm/rpm	785/1100-2400	370/1350-2840				
燃料噴射システム	Common rail	Common rail				
後処理装置	尿素SCR+DPF	尿素SCR+DPF				
適合規制	ポスト新長期	ポスト新長期				
初度登録	H22.10	H23.10				
積算走行距離	140200	53200				
使用状況など	路線バスであり、点検時を除く毎日運行	レンタカー:様々な状況下で使用				
車両重量 t	10.56	2.72			3.64	2.18
最大積載量 t(人)	73(人)	3.0			2.0	2.0
試験時重量 t	12.595	4.275	4.695	3.245		
車両形状等の特徴	大型の路線バス	ワイドキャブ平ボディ	ワイドキャブ、バン架装相当	標準キャブ平ボディ(4ナンバー)相当		

測定試験は全てシャシダイナモ試験にて実施

※ 車両A、車両Bは、最終報告中の「図3-1」、「図3-2」、「図3-4」及び「表1」の車両⑬、⑮にそれぞれ該当。

車両Bにおける後処理装置レイアウト



3. 実施した試験等について

(1) 試験方法

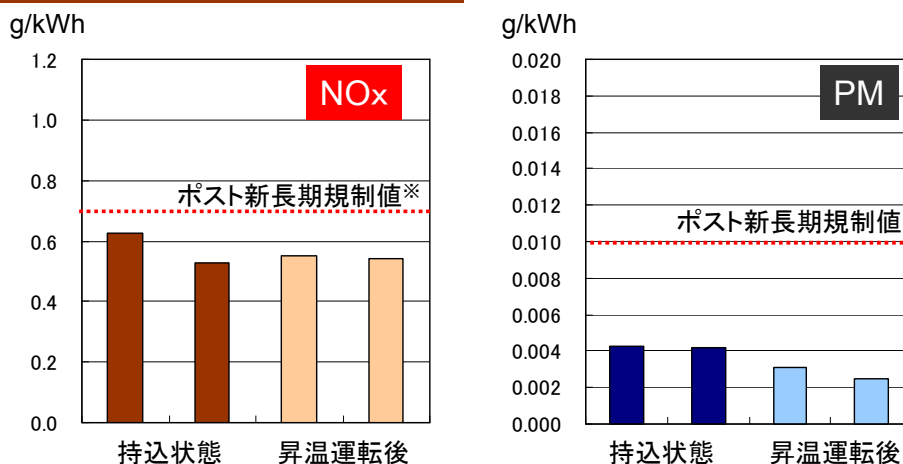
- 試験車両をシャシダイナモに設置して排出ガス測定試験を実施。
- 排出ガス測定装置は排出ガスの認証試験に準拠したものを使用。
- JE05モードにおけるNO_x等排出量は、「シャシダイナモメータによるJE05モード排出ガス測定方法(国自環第280号平成19年3月16日付)」に準拠した手順や評価方法により得られたものである。

(2) 試験条件など

- 車両を試験室に設置した後JE05モードによる測定を実施(以下「持込状態」という。)。これは当該車両が実際に運用されている状態での排出ガス性能に近いと考えられる。
- 車両Bについては、車両c、dの設定に変更した状態についてもJE05モードによる測定を実施。
- 最大トルクの約80%に相当する高負荷運転を30分間実施し、触媒を昇温(約400°C)させて、HC被毒等を解消させる(以下「昇温運転」という。)
- 昇温運転の後、再度JE05モードによる測定を実施。この状態におけるNO_x排出量が減少する場合、持込状態ではHC被毒が起こっていた可能性がある。

4. 試験結果

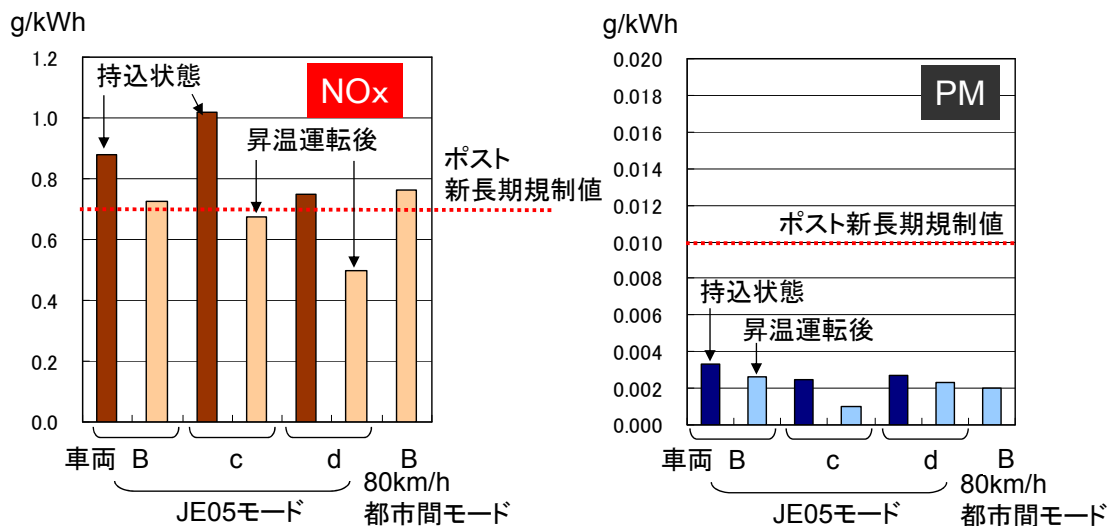
(1) JE05モード試験結果(車両A)



※ポスト新長期規制値:新車の型式認証の際に満たすべき型式ごとの平均値

- 昇温運転の前後いずれも新車時の規制値よりも低い水準。
- 新長期規制適合車では性能低下がみられたケースの多かった14万キロ走行後においても、新車時の規制値以下のレベルが維持されている結果である。

(2) JE05モード試験結果(車両B、c、d)



- 昇温運転前後でNOx排出量はやや低減した。車両により低減の度合いに違いがみられた。
- 本車両ではDPF再生頻度が極端に低く、試験前の直近のDPF再生から相当程度(例えば3000km)走行していたと見込まれ、軽微なHC被毒状態にあった可能性もあるが、これは実走行の過程で起こるDPF再生により適宜改善されうるものである。
- したがって、車両の違いによる影響も含めて、後処理装置の性能は使用過程においても概ね適切に維持されていると判断される。

試験結果(まとめ)

今回試験を実施した2台の試験車両の範囲では、尿素SCRシステムに顕著な性能の低下は観察されなかった。

NOx排出量については新車時の規制値を前後するケースも一部みられたが、PM排出については全ての条件で新車時の規制値の半分以下の低いレベルであった。

路線バス(車両A)

- 新長期規制適合の尿素SCRシステムを搭載した路線バスでは、積算走行距離10万キロ程度までにHC被毒によるNOx排出量の増加状態に至るが、今回のポスト新長期規制適合尿素SCRシステム搭載車では14万キロ走行段階でもNOx排出量の増加等は観察されなかった。

3t積載トラック等(車両Bほか)

- 顕著な性能低下はみられなかったが、持込状態ではNOx排出量が新車時の規制値をやや上回る水準だった。これは昇温運転により解消した。
- 実車両でのNOx排出量の変化因子として、車両諸元や後処理装置レイアウトなどが考えられたことから、諸元を変更した試験を行ったが、大きな変化はなかった。

認証時排出ガス試験法見直しWGの検討結果

1. 目的

- 排出ガス後処理装置検討会の検討事項のうち、認証時の排出ガス試験法、試験時のレイアウト等の見直しの検討を行うため、平成25年2月27日に以下の関係者からなるWGを設置した。

2. WGメンバー

- (1) 独立行政法人 交通安全環境研究所 自動車審査部
- (2) 一般社団法人 日本自動車工業会
- (3) 国土交通省自動車局審査・リコール課
- (4) 国土交通省自動車局環境政策課(事務局)
- (5) 環境省水・大気環境局総務課環境管理技術室(オブザーバ)

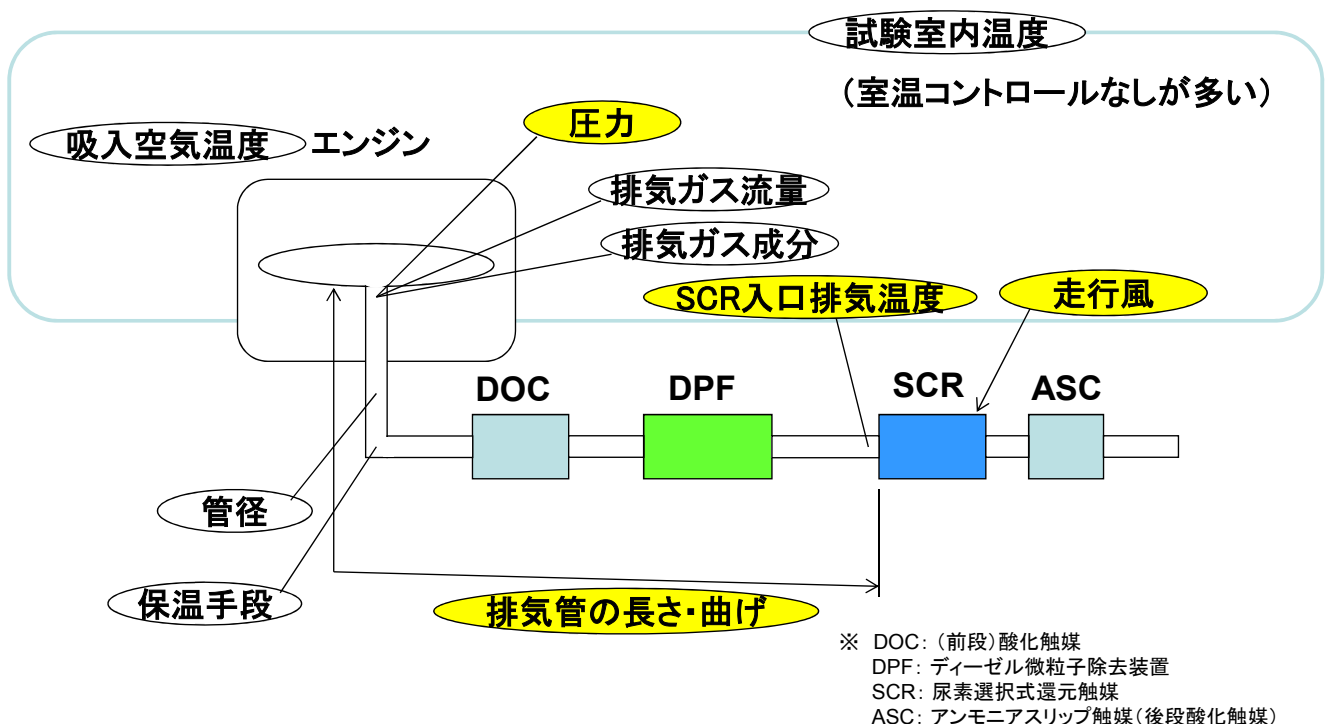
3. WGのアウトプット

- 認証時の排出ガス試験法等について、改正案を検討する。

4. エンジンベンチ試験における後処理装置のレイアウトの検討

(1) 排出ガスに影響する要因の検討

エンジンベンチ試験における後処理装置の性能への影響因子

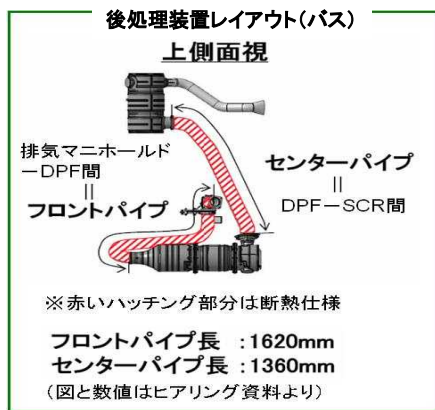
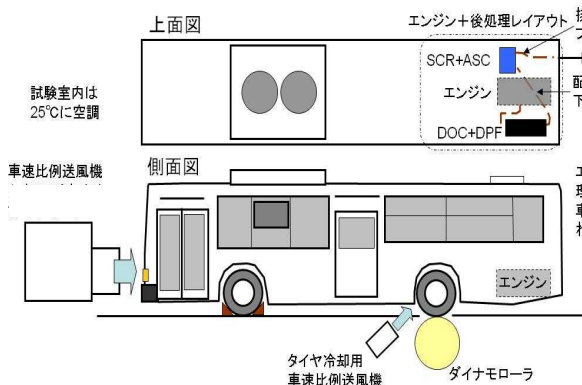


(2) 排気管の長さによる温度への影響

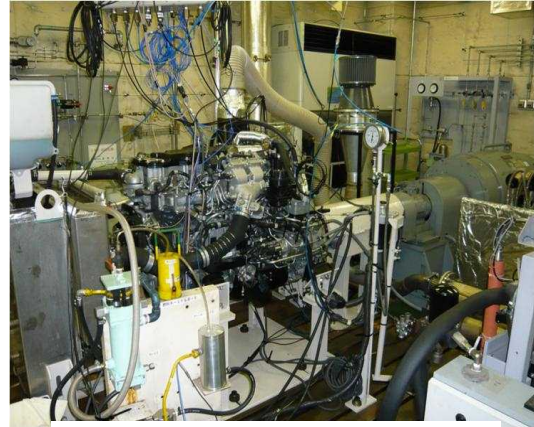
エンジンベンチ試験とシャシダイナモ試験での温度影響

① シャシダイナモ試験

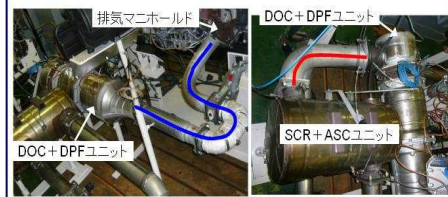
車両試験状況



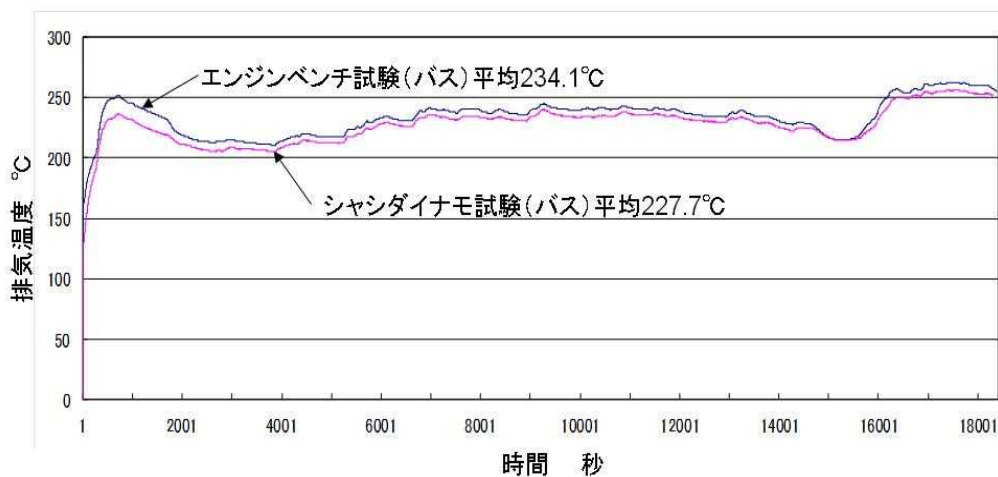
② エンジンベンチ試験



後処理装置レイアウト(エンジン)



実車のフロントパイプ相当箇所(上左図:青線部)
約1400mm
センターパイプ相当箇所(上右図:赤線部)
約600mm



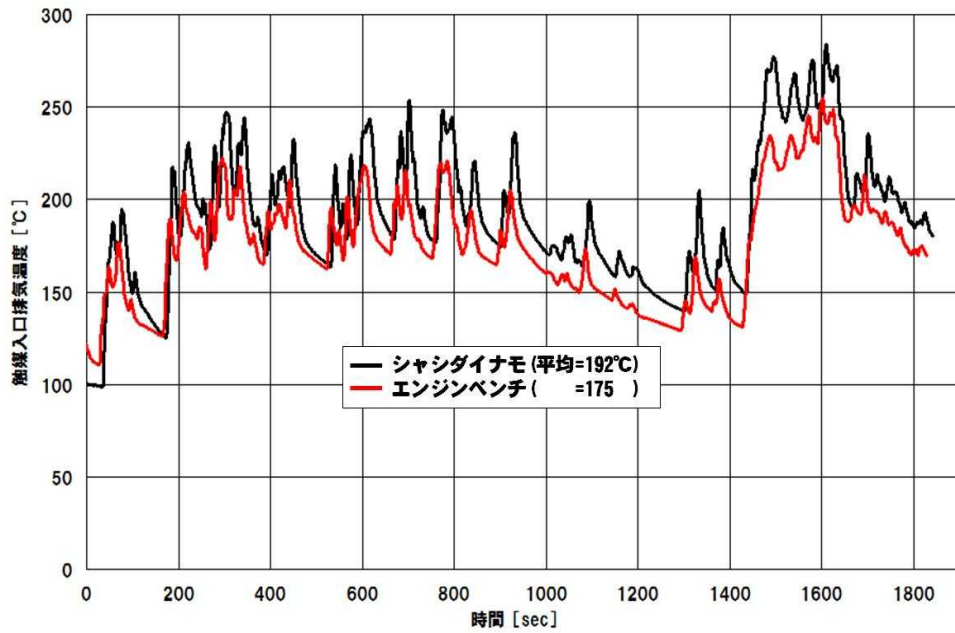
- 運転条件をシャシダイナモ試験と合わせたエンジンベンチ試験では、シャシダイナモ試験の場合と排気温度の時間変化のリアルタイムの傾向もよく一致し、エンジンベンチで実車を再現できている。また、シャシダイナモ試験とエンジンベンチ試験における平均排気温度は、エンジンベンチ試験の方が6.4°C高い結果であった。
- 平均排気温度が、エンジンベンチ試験の方が高くなった原因としては、シャシダイナモ試験のバスよりエンジンベンチ試験の排気管レイアウト(長さ)がセンターパイプ部で約76cm短く、(後処理後の)排気温度上昇につながったことが示唆される。

結論

- 排気管レイアウト(長さ)の違いにより、排気温度に影響を与えたものであり、排気管の長さを考慮した試験が必要と考えられる。

(3) 走行風による排出ガスへの影響

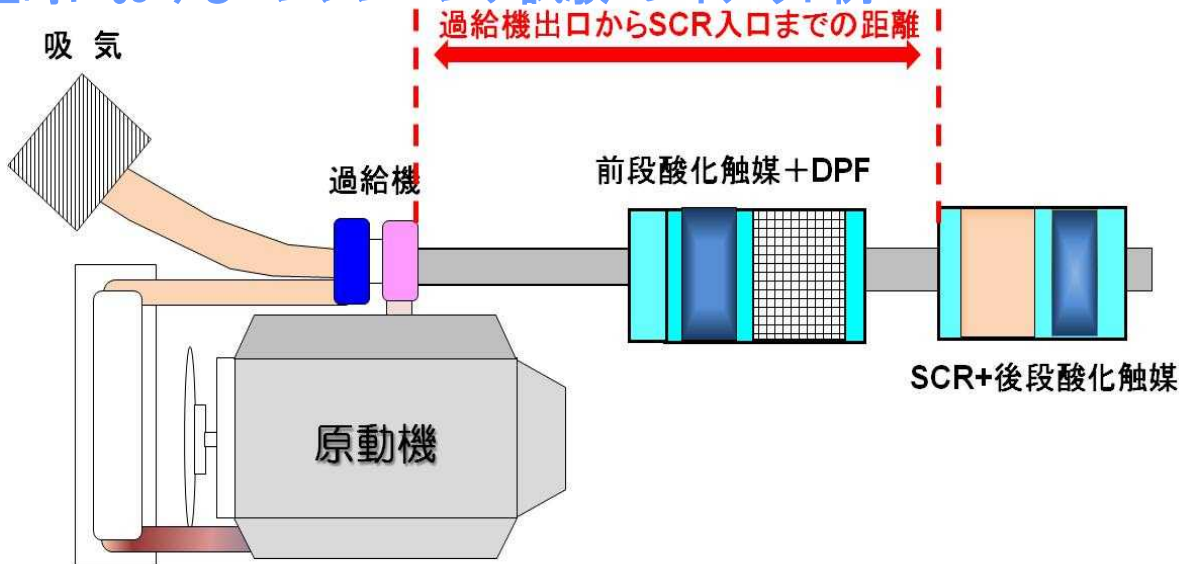
JE05モード エンジンベンチ試験とシャシダイナモ試験の排気温度比較(中型トラック)



結論

- 走行風の無いエンジンベンチ試験と走行風のあるシャシダイナモ試験では触媒入口排気温度を比較したところほぼ一致していた。
- よって、エンジンベンチ試験において走行風の影響を考慮する必要はないと考えられる。

認証時におけるエンジンベンチ試験 レイアウト例



結論

- 排気マニホール出口(ターボチャージャー付きのエンジンではターボチャージャー出口)から、排気後処理装置入口(SCR付きの場合はSCR入口)までの排気管の長さを実車の最長(ワーストケース)のものに合せるものとする。また、排気マニホール出口(あるいはターボチャージャー出口)の排気圧力を実車に合せるものとする。

【参考】世界技術規則 (UN Global Technical Regulation(UNGTR))

NO.	項目	
1	Door locks	ドアラッチ及びヒンジ
2	WMTC	二輪車排出ガス試験サイクル
3	Motorcycle brakes	二輪車ブレーキ
4	WHDC	大型車排出ガス認証手続き
5	WWH-OBD	大型車車載診断システム
6	Safety glazing	安全ガラス
7	Head restraints	ヘッドレスト
8	Electronic stability control systems	横滑り防止装置
9	Pedestrian safety	歩行者保護
10	OCE	オフサイクル・エミッション
11	Test procedure for compression-ignition engines to be installed in agricultural and forestry tractors and in non-road mobile machinery with regard to the emissions of pollutants by the engine	特殊自動車排出ガス試験モード
12	Motorcycle controls, tell-tales and indicators	二輪車用コントロール・テルテール
13	HFCV	水素燃料電池自動車
14	Pole side impact	ポールサイドインパクト

【参考】WHDC(World-wide harmonized heavy-duty certification)

本文	項目	
1	PURPOSE	目的
2	SCOPE	適用範囲
3	DEFINITION, SYMBOLS AND ABBREVIATIONS	定義と記号および略語
4	GENERAL REQUIREMENTS	一般要件
5	PERFORMANCE REQUIREMENTS	性能要件
6	TEST CONDITIONS	試験条件
7	TEST PROCEDURES	試験手順
8	EMISSION MEASUREMENT AND CALCULATION	排出ガス測定と計算
9	EQUIPMENT SPECIFICATION AND VERIFICATION	装置の仕様と校正

6.6. Engine with exhaust after-treatment system

If the engine is equipped with an exhaust after-treatment system, the exhaust pipe shall have **the same diameter** as found **in-use**, or **as specified by the manufacturer**, for at least four pipe diameters upstream of the expansion section containing the after-treatment device. **The distance from the exhaust manifold flange or turbocharger outlet to the exhaust after-treatment system shall be the same as in the vehicle configuration or within the distance specifications of the manufacturer.** The exhaust backpressure or restriction shall follow the same criteria as above, and may be set with a valve. For variable-restriction aftertreatment devices, the maximum exhaust restriction is defined at the aftertreatment condition (degreening/aging and regeneration/loading level) specified by the manufacturer. If the maximum restriction is 5 kPa or less, the set point shall be no less than 1.0 kPa from the maximum. The after-treatment container may be removed during dummy tests and during engine mapping, and replaced with an equivalent container having an inactive catalyst support.

【仮訳】

6.6 排気後処理装置付きのエンジン

エンジンに排気後処理装置が装備されている場合、排気管は、当該後処理装置を含む延長部分の上流に少なくとも管の直径4個の距離にわたって、使用されている管、もしくはメーカーが指定した管と同じ直径を有するものとする。排気マニホールドのフランジまたはターボチャージャーの出口から排気後処理装置までの距離は、車両構成またはメーカーの距離仕様の範囲内で同じになるものとする。排気圧力または制限は、上記と同じ規準に従うものとし、バルブで設定してもよい。可変制限後処理装置については、メーカーが指定した後処理条件(デグリーニング/慣らしおよび再生/負荷レベル)において最大排気制限を定める。最大制限が5 kPa 以下の場合、設定点は当該最大値から1.0 kPa 以上とする。後処理容器は、ダミーテスト中およびエンジンのマッピング中では取り外して、不活性な触媒担体を持つ同等の容器に取り替えてもよい。

ディーゼル重量車OBDシステムの概要

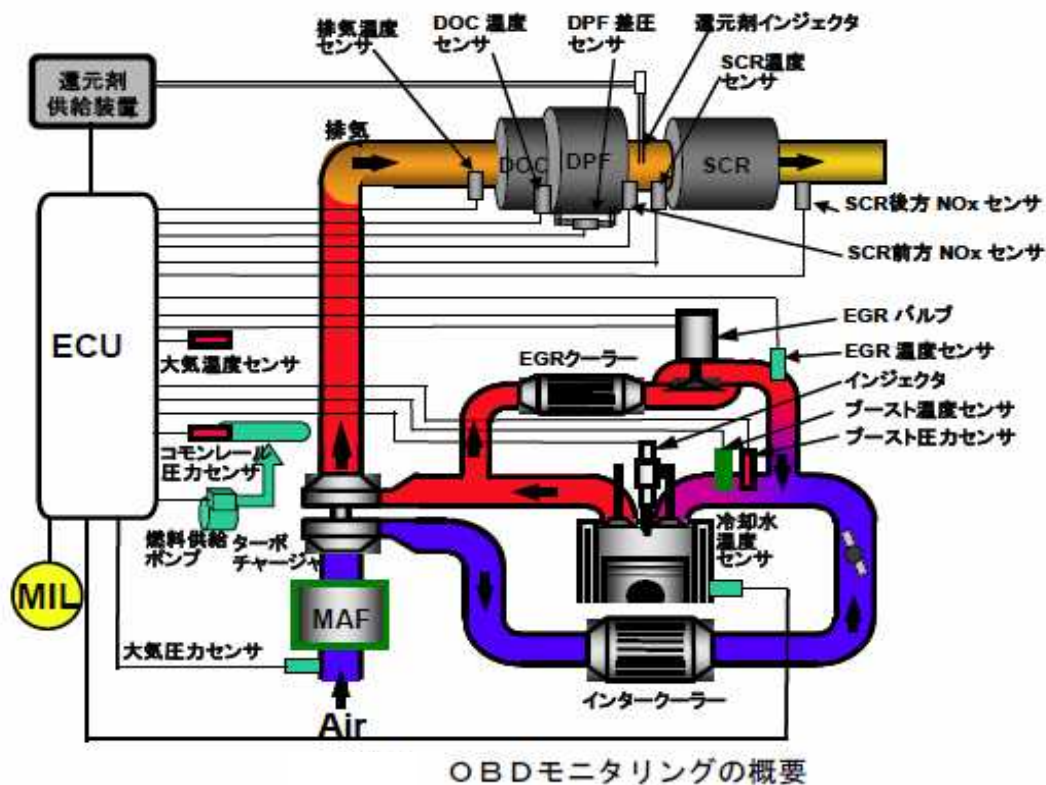
1. 車載式故障診断(On-Board Diagnostic: OBD)システムとは

- 排出ガス低減装置は、使用に伴う触媒の熱劣化、被毒劣化等により性能低下、突発的な故障が想定されることから、使用過程における排出ガス低減装置の性能維持が不可欠である。
- このため、使用過程における性能維持方策として、平成10年の中環審第三次答申では、自動車製作者に対して、断線等部品故障による排出ガス過大車両(ハイミッター車)について、排出ガス低減装置の機能不良を監視する車載式故障診断(On-Board Diagnostic: OBD)システムを装備することを求めるとともに、使用者に対しても、排出ガス低減装置の適正な稼働を常時確認して、必要に応じ点検・整備を行うことを求めている。
- 同答申に基づき、ディーゼル重量車には、平成15年(2003年)10月からの新短期排出ガス規制より、OBDシステムの装備を義務付けしている。

2. ディーゼル重量車に導入される高度なOBDシステム

- 平成28年(2016年)からの次期排出ガス規制の目標値は非常に低いレベルであり、それを達成するためには、エンジン及び後処理装置について、高度な技術が開発、導入されることとなる。このため、平成22年の中環審第十次答申において、使用過程時においても、個々の自動車の排出ガス低減性能を確保するために、各種センサー等により後処理装置の排出ガス低減装置の性能低下等を検出する、より高度なOBDシステムを導入することを求めている。
- ただし、高度なOBDシステムを導入するためには、検出項目、検出閾値、評価手法を定める必要があり、その内容によっては導入可能時期が変わってくる。したがって、同答申では、今後の検出項目等の検討に着手し、次期排出ガス規制から概ね3年以内の可能な限り早期に高度なOBDシステムを導入することが適当であるとされている。

【参考】OBDモニタリングの概要



3. WWH-OBDの導入について

- 中環審第十次答申を受け、国土交通省が設置した「排出ガスに関する世界統一基準国内導入検討会」において、国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム(WP29)で制定された世界統一基準(UNGTR)NO.5(Technical Requirements for On-board Diagnostic Systems(OBD) for Road Vehicles)に沿って、OBDの検出項目、検出閾値、評価手法並びに導入時期を検討した。
- 検討の結果、①次ページをモニタ項目として閾値等を定めるとともに、②中環審答申の期限より1年早い時期、すなわち、次期排出ガス規制の適用開始から2年後(2018年)に導入することが適当であるとの結論を得た。

4. 我が国におけるOBDモニタ項目一覧

区分	モニタ項目	区分	モニタ項目	区分	モニタ項目
電気/電子部品	排ガス制御用部品 (センサー・アクチュエーター類)	NOx 吸蔵 還元 触媒 (LNT)	NOx吸蔵/浄化性能	吸気 過給	VGT応答性
	フィードバック制御異常		還元剤供給システム		高ブースト/低ブースト
DPF	担体の存在	酸化 触媒 (DOC)	後処理上流DOC -HC低減率	VVT	目標誤差
	詰まり		後処理下流DOC -HC低減率		低応答性
	捕集・再生プロセス	EGR	アクチュエーター低応答性	インジェン 冷却 システム	冷却水温度(サーモスタット)
	捕集性能		クレー性能		排ガス センサ
	再生頻度過多		高流量/低流量	クレー性能	
SCR システム (HC- SCRを含む)	還元剤供給システム	燃料 システム	燃料圧力制御		
	還元剤消費量		燃料噴射タイミング		
	還元剤品質				
	SCR触媒浄化率				

ディーゼル重量車の排出ガス規制の概要

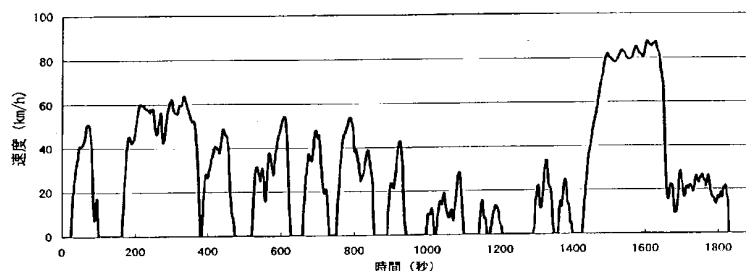
1. 規制値一覧(新長期規制以降)

成分	規制年 試験モード	H17 (2005)		H21 (2009)		H22 (2010)		H28 (2016)			H29 (2017)			H30 (2018)				
				12t<GVW		3.5t<GVW≤12t		7.5t<GVW			トラクタ			3.5t<GVW≤7.5t				
		認証基準	その他	認証基準	その他	認証基準	その他	試験モード	認証基準	その他	試験モード	認証基準	その他	試験モード	認証基準	その他		
CO	JE05モード (g/kWh)	2.22	2.95	2.22	2.95	2.22	2.95	WHDC (g/kWh)	2.22	2.95	WHDC (g/kWh)	2.22	2.95	WHDC (g/kWh)	2.22	2.95		
NMHC		0.17	0.23	0.17	0.23	0.17	0.23		0.17	0.23		0.17	0.23		0.17	0.23	0.17	0.23
NOx		2.0	2.7	0.7	0.9	0.7	0.9		0.4	検討中		0.4	検討中		0.4	検討中	0.4	検討中
PM		0.027	0.036	0.010	0.013	0.010	0.013		0.010	0.013		0.010	0.013		0.010	0.013	0.010	0.013
黒煙等	4モード(%)	←	←	オバシ 0.5m ⁻¹	←	←	←	オバシ	検討中	検討中	オバシ	検討中	検討中	オバシ	検討中	検討中		
	FA(%)又は オバシ(m ⁻¹) ※2	25	←		←	←	←		←	←		←	←		←	←	←	←
適用開始 時期	新型車	H17.10.1		H21.10.1		H22.10.1		H28			H29			H30				
	継続生産車							検討中			検討中			検討中				
	輸入車	H19.9.1		H22.9.1		H23.10.1												
備考		新長期規制		ポスト新長期規制				次期規制										

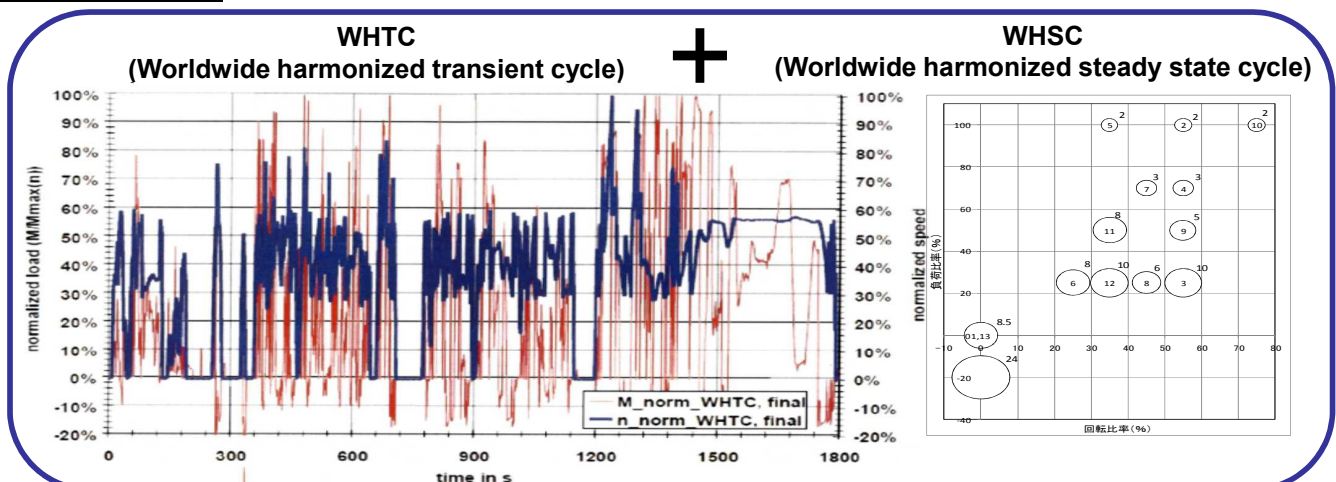
- ※ CO: 一酸化炭素
- NMHC: 非メタン炭化水素
- NOx: 窒素酸化物
- PM: 粒子状物質
- WHDC: UN-ECE/WP29において策定されたディーゼル重量車排出ガスの世界統一試験方法

2. 試験モード(新長期規制以降)

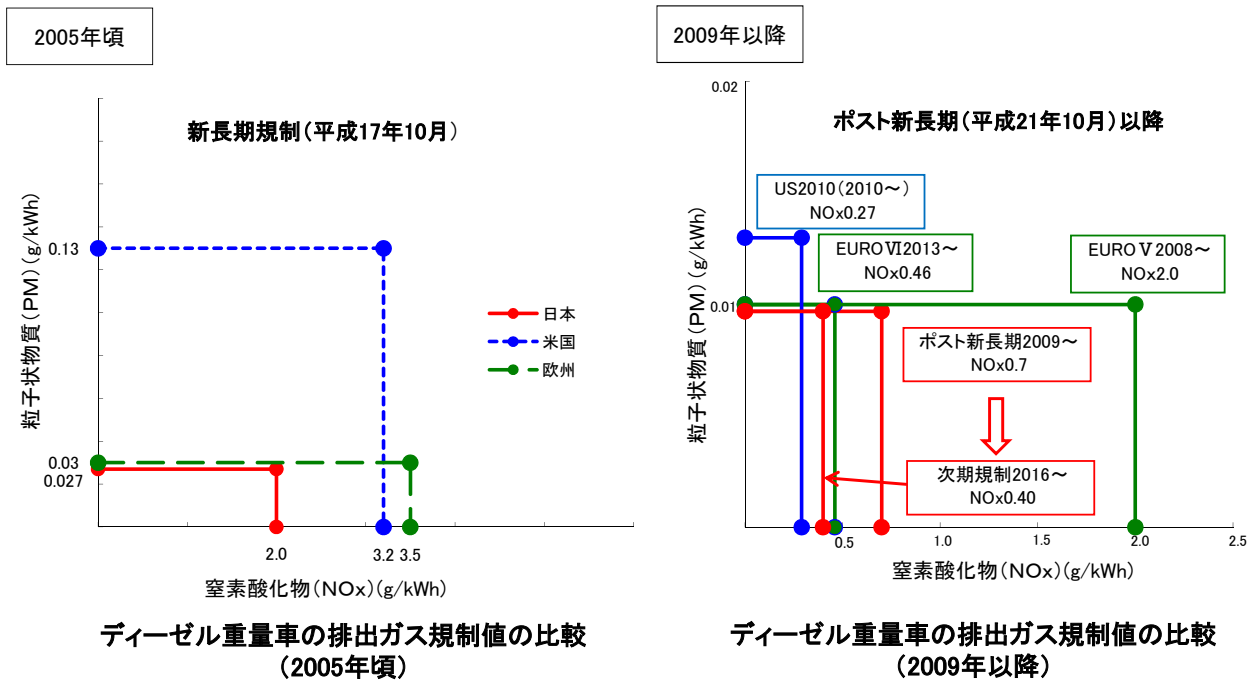
(1) JE05モード



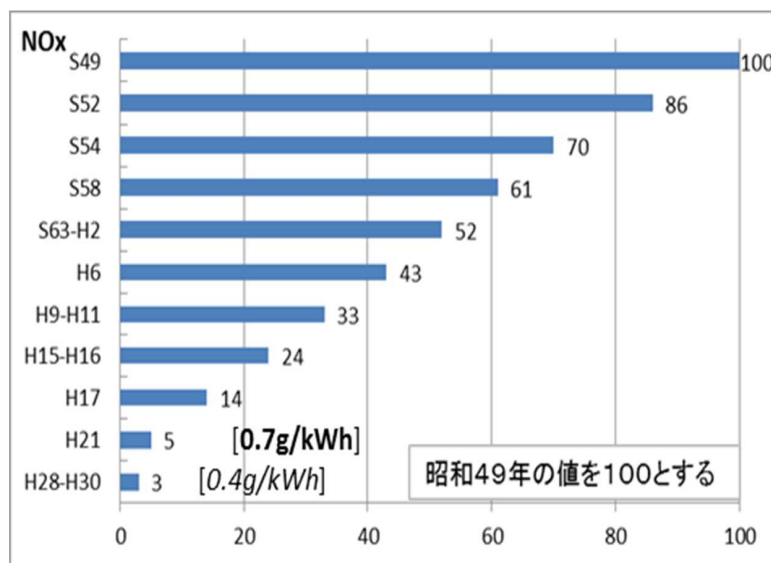
(2) WHDC



3. ディーゼル重量車の排出ガス規制値の日米欧比較



4. ディーゼル重量車の排出ガス規制(窒素酸化物)の推移

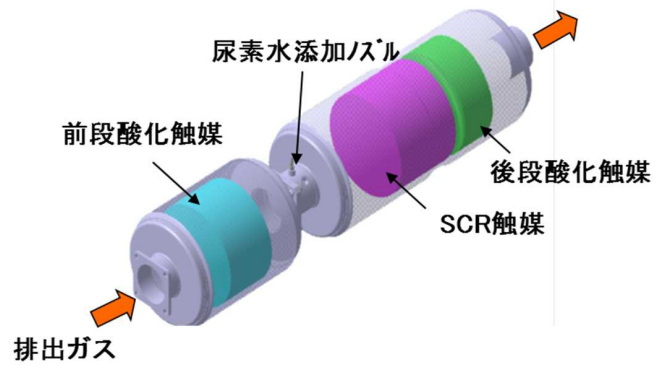


規制開始から累次の強化により、現在まで95%低減してきており、さらに次期規制により97%低減することとしている。

排出ガス後処理装置の概要

1. 尿素SCRシステムの概要

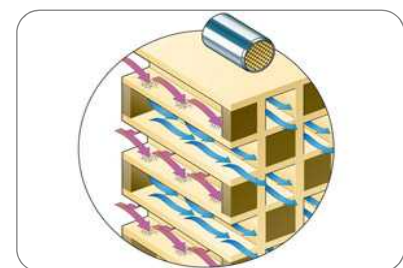
- 車両に搭載した尿素水の加水分解により生じるアンモニア(NH₃)を還元剤として、排出ガス中の窒素酸化物(NO_x)を窒素(N₂)と水(H₂O)に還元する選択式還元触媒(Selective Catalytic Reduction)を中心とする触媒システム。
- 新長期規制適合車に初めて採用され、ポスト新長期規制適合車では尿素SCRシステムを導入している車種が主流となり、大型車を中心に採用。
- 新長期規制適合車の尿素SCRシステムは上流側(エンジン側)より、①排出ガス中の炭化水素(HC)、一酸化炭素(CO)及び一酸化窒素(NO)を酸化する前段酸化触媒、②尿素水添加系(ノズル等)を経て、③尿素水から生成されるNH₃によりNOとNO₂を還元するSCR触媒、④余剰のNH₃を酸化除去する後段酸化触媒により構成される。前段酸化触媒でNOを酸化するのは、NOの一部をNO₂に酸化することで、両者の比率を適当なものとして、還元反応を効率良く行なうためである。



平成17年規制適合車
搭載尿素SCRシステム図

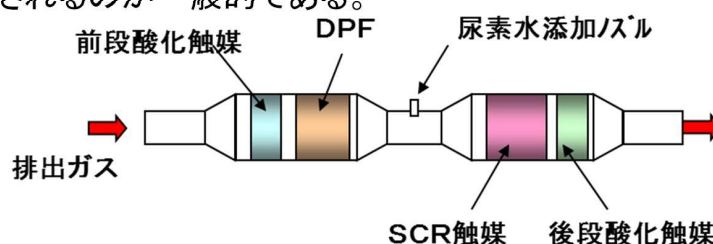
- ポスト新長期規制適合車においては、全ての尿素SCRシステムにDPFが追加されている。
- DPFでは、PMを捕集して排出ガス浄化を行うが、捕集し蓄積したPMを除去するため、高温にしてPMを酸化させる再生(リジェネレーション)が必要となる。その技術は2000年代初頭にほぼ確立し、DPFを採用した車両(尿素SCRを伴わないもの)は、新短期規制適合車から市販されている。

- 再生時に排気中に含まれるHC等を酸化することでDPFの温度を上昇させるため(600°C以上)、DPFの前段(エンジン側)には酸化触媒が搭載される。またDPFの前段の酸化触媒でNOがNO₂に酸化されるとPMの酸化は400°C程度でも進行することから、高速走行等では通常の走行のまま再生が可能なケースもある。



DPFの構造(出典: Johnson Matthey)

- ポスト新長期規制適合車では、新長期規制適合車の尿素SCRシステムに対しDPFが追加されているが、PMの再生効率を高めるため、前段酸化触媒とSCR触媒の間、つまりSCR触媒の前にDPFが搭載されるのが一般的である。

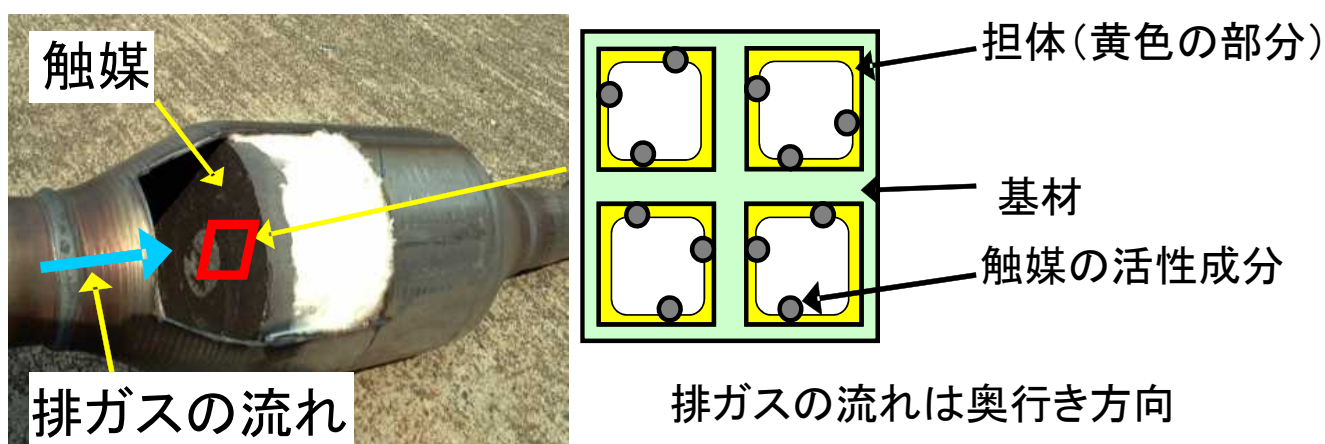


平成21年規制適合車の尿素SCRシステム図

尿素SCRシステム(DPFを含む)での化学反応

後処理装置構成	重要な役割	化学反応
前段酸化触媒	- NO酸化 - HC酸化	- $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$ - $CH_m + (1+m/4)O_2 \rightarrow CO_2 + m/2H_2O$
DPF	通常時 - PM捕集 再生時 - PM酸化	- $C + O_2 \rightarrow 2CO_2$ - $C + 2NO_2 \rightarrow CO_2 + 2NO$ - $CH_m + (1+m/4)O_2 \rightarrow CO_2 + m/2H_2O$
SCR触媒	- 尿素熱分解 - HNCO加水分解 - NH ₃ 吸着 - 3 SCR反応: 標準, 急速, NO ₂ -SCR (低速) - 2 NH ₃ 酸化反応 (NO & N ₂ 生成)	- $H_4N_2CO \rightarrow NH_3 + HNCO$ - $HNCO + H_2O \rightarrow NH_3 + CO_2$ - $4NH_3 + 4NO + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$ (標準SCR反応) - $2NH_3 + NO + NO_2 \rightarrow 2N_2 + 3H_2O$ (急速SCR反応) - $8NH_3 + 6NO_2 \rightarrow 7N_2 + 12H_2O$ (低速SCR反応) - $4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O$ - $4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O$
後段酸化触媒	- NH ₃ 吸着 - NO吸着 - 選択NH ₃ 酸化 - NO & N ₂ O生成 - NO消費	- $4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O$ - $4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O$ - $4NH_3 + 4NO + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$ - $4NH_3 + 4NO + 3O_2 \rightarrow 4N_2O + 3H_2O$

2. 一般的な自動車用触媒の模式図



担体: 表面に触媒の活性成分(例:白金(Pt))を付着させ、支持するための物質
 基材: 担体を塗付する材料
 ※ 自動車技術会「新日英中自動車用語辞典」(2011年)を参考に作成。

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」(抜粋)

○ 今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第三次答申)【抜粋】 (平成10年12月14日中央環境審議会)

1. ディーゼル自動車の排出ガス低減対策

(1) 当面の排出ガス低減目標及び達成時期

① (略)

② 使用過程における排出ガス低減装置の性能維持方策

新短期目標の達成に当たっては、耐久走行距離を大幅に延長することとし、自動車製作者にあっては、生産段階において別表2に示す距離の耐久走行後においても良好な排出ガス性能の確保を図ることが適当である。

さらに、自動車制作者にあっては、断線等による排出ガス低減装置の機能不良を監視する車載診断システム (On-Board Diagnostic System: OBD) システムを生産段階において装備することとし、使用者にあっては、OBDシステムを用いて排出ガス低減装置の適正な稼働を常時確認して、必要に応じ点検・整備を行うことが適当である。

OBDシステムの装備は、新短期目標の達成と同時期とすることが適当である。

(略)

別表2 ディーゼル自動車耐久走行距離(重量車のみ抜粋)

自動車の種別	耐久走行距離
軽油を燃料とする普通自動車及び小型自動車であって、車両総重量が3,500kgを超え8,000kg以下のもの(専ら乗用の用に供する乗車定員10人以下のもの及び二輪自動車を除く。)	250,000km
軽油を燃料とする普通自動車及び小型自動車であって、車両総重量が8,000kgを超え12,000kg以下のもの(専ら乗用の用に供する乗車定員10人以下のもの及び二輪自動車を除く。)	450,000km
軽油を燃料とする普通自動車及び小型自動車であって、車両総重量が12,000kgを超えるもの((専ら乗用の用に供する乗車定員10人以下のもの及び二輪自動車を除く。)	650,000km

○今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第十次答申)【抜粋】
(平成22年7月28日中央環境審議会)

1. 2 実使用環境において排出ガスの低減を確保するための追加的対策
(略)

- ② 使用過程時において個々の自動車の排出ガス後処理装置等の排出ガス低減装置の性能劣化等を各種センサー等により検出する、より高度な車載式故障診断(On-Board Diagnostics)システムについて、今後検出項目、検出閾値及び評価方法の検討に着手し、次期排出ガス規制の適用開始から概ね3年以内の可能な限り早期に導入する。

○今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第十次報告)【抜粋】
(平成22年7月28日中央環境審議会大気環境部会自動車排出ガス専門委員会)

1. 今後のディーゼル重量車の排出ガス低減対策

2. 5. 2 第八次答申における挑戦目標値との比較

第八次答申においては、ディーゼル重量車のNO_x排出量を09年規制(0.7g/kWh)の1/3程度とする挑戦目標値を提示した。これは、JE05モードに基づくホットスタート時の排出量を前提とした数値である。次期排出ガス規制では、ホットスタート時よりも排出量が増加するコールドスタート時の排出ガス試験を導入することとした。したがって、第八次答申における挑戦目標値と次期目標値(0.4g/kWh)を単純に比較することはできない。

このような状況ではあるが、09年規制向けの研究開発用のエンジンのデータをもとに、次期目標値をJE05モードに基づくホットスタート時の排出量に換算してみたところ、十分なデータ数ではないため、あくまで目安としてとらえるべきものであるが、0.26g/kWhとなった(ただし、入手できたデータの内、09年規制のNO_x規制値0.7g/kWhを上回っているものは除外している。除外しなかった場合は、0.31g/kWh)。さらに、オフサイクル対策、高度なOBDシステムの導入、第八次答申当時には策定されていなかった平成27年度重量車燃費基準にも対応することも考慮すれば、次期目標値は、第八次答申における挑戦目標値のレベルに達していると考えられる。

○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)【抜粋】
(平成24年8月10日中央環境審議会)

2. ディーゼル重量車の排出ガス低減対策

2. 1 NO_x後処理装置の耐久性・信頼性確保のための措置

使用過程の尿素SCR(Selective Catalytic Reduction)システム搭載新長期規制適合車において、NO_x排出量が規制値を超過していることが確認された。尿素SCRシステムは前段酸化触媒、SCR触媒及び後段酸化触媒で構成されており、尿素SCRシステムの触媒における未燃燃料由来のHCや硫黄、リン、その他金属による被毒又は触媒の性能低下が原因として考えられる。

このうち、触媒のHC被毒を解消するには、使用過程車において尿素SCRシステムを定期的に昇温することなどによる対策の実施を検討することが望ましい。

前段酸化触媒においては、HC被毒以外の原因によっても酸化能力が低下していると考えられるものの、その原因は特定できていない。このため、性能低下に影響する走行パターン等、前段酸化触媒の性能低下の原因について引き続き調査を行った上で、前段酸化触媒の性能低下への対策を検討すべきである。

また、耐久走行距離を下回る車両走行距離で尿素SCRシステムの性能低下が確認されたため、走行実態の中でも尿素SCRシステムにとって厳しい走行条件を考慮した耐久走行試験法への見直しを行うべきである。

○今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について(第十一次報告)【抜粋】
(平成24年8月10日中央環境審議会大気環境部会自動車排出ガス専門委員会)

3. ディーゼル重量車の排出ガス低減対策

3. 1 NO_x後処理装置の耐久性・信頼性確保のための措置

3. 1. 1 検討の背景

NO_xに係る排出ガス規制の強化に伴い、ディーゼル重量車では新長期規制適合車の一部の車種において初めて尿素SCR(Selective Catalytic Reduction)システムが採用され、ポスト新長期規制適合車ではNO_x低減対策として本格的に導入されている。尿素SCRシステムは、排出ガス中のHC、CO及び一酸化窒素(以下「NO」という。)を酸化する前段酸化触媒、アンモニア(以下「NH₃」という。)によりNOとNO₂を還元するSCR触媒、余剰のNH₃を酸化する後段酸化触媒により構成される。SCR触媒では、NOとNO₂が1:1である時に還元反応が最も効率良く行われる。

一方、環境省が実施している排出ガスインベントリ作成のための調査の中で、使用過程の尿素SCRシステム搭載新長期規制適合車において、新車の許容限度目標値に対しNO_x排出量が大幅に超過していることが判明した。そのため、新品の尿素SCRシステム搭載時のNO_x排出量と比較したところ、大幅に増大していることが確認された。

本専門委員会では、耐久走行距離に至るまでの間は新車時の排出ガスレベルが維持されることを前提として排出ガス総量を推定し、それを基に排出ガス低減対策を検討している。特に、新長期規制以降NO_x低減対策として導入された尿素SCRシステムについて、使用過程での排出ガス増大による大気環境への影響は大きいことから、尿素SCRシステムに係る耐久性・信頼性確保のための措置を検討した。

3. ディーゼル重量車の排出ガス低減対策

3. 1. 2 使用過程の尿素SCRシステム搭載新長期規制適合車における排出ガスの実態

環境省において、使用過程の尿素SCRシステム搭載新長期規制適合車を対象に、JE05モードによるシャシダイナモ試験により、排出ガスを計測した。その結果、NO_x排出量が規制値を超過しており、温室効果ガスである亜酸化窒素(以下「N₂O」という。)及びNH₃も、新品の尿素SCRシステム搭載時に比べて大幅に増大していることが確認された。その原因としては、尿素SCRシステムの前段酸化触媒、SCR触媒、後段酸化触媒の未燃燃料由来のHCや硫黄、リン、その他金属による被毒又は触媒の性能劣化が考えられる。

このうち、触媒のHCによる被毒の解消を図るため、シャシダイナモ上で高速高負荷による一定時間の運転により尿素SCRシステムを昇温した後に、再度排出ガスを計測した。その結果、NO_x排出量はやや低減するものの、依然として規制値を超過し、NH₃排出量は低減する一方、N₂O排出量は増大した。

3. 1. 3 使用過程の尿素SCRシステム搭載新長期規制適合車における排出ガス低減対策

(1)HC被毒等への対策

新長期規制適合車において、排気ガス温度が高温とまらない場合には、触媒のHC被毒等により、尿素SCRシステムでの酸化還元反応に対し以下の影響を及ぼす。

- 前段酸化触媒において、エンジン出口のNOが十分に酸化されず、NO₂が生成されない。
- SCR触媒において、NOに比べNO₂が少ないこと及びHC被毒により、NH₃によるNO、NO₂の還元反応が十分に行われぬ。
- 後段酸化触媒において、NH₃が十分に酸化されずスリップしたり、N₂Oが生成されることがある。

このうち、触媒のHC被毒を解消するには、使用過程車において尿素SCRシステムを定期的に昇温すること等による対策の実施が検討されることが望ましい。

一方、ポスト新長期規制適合車では、PM規制値強化への対策として、DPF(Diesel Particulate Filter)※¹⁴が導入されている。DPFはPMの燃焼により再生するため、その際の発熱により尿素SCRシステムの各触媒におけるHC被毒等が解消されると考えられる。したがって、ポスト新長期規制適合車に対しては、現時点で対策の検討を行わないものの、同様の事例がないか、引き続き実態の把握に努めることとする。

(2)前段酸化触媒の性能低下への対策

触媒のHC被毒解消を目的とした尿素SCRシステムの昇温後でのシャシダイナモ試験において、定常走行状態での前段酸化触媒後のNO₂/NO_x比が、新品のNO₂/NO_x比に比べ低い傾向であることが確認された。また、NH₃排出量は大幅に低減する一方、N₂O排出量が増大していることも確認された。これは、SCR触媒において、NOに比べNO₂が少ないことにより、NH₃によるNO、NO₂の還元反応が十分に行われず、余剰のNH₃が後段酸化触媒で酸化されていることが原因と考えられる。

このことから、前段酸化触媒においてHC被毒以外の原因により、酸化能力が低下していると考えられるものの、その原因は特定できていない。このため、性能劣化に起因する走行パターン等、前段酸化触媒の性能劣化の原因について引き続き調査を行った上で、前段酸化触媒の性能低下への対策を検討することが適当である。

尿素SCRシステムは、平成28年規制においても引き続きNO_x低減対策の主流となることが見込まれる。このため、原因究明に加えて性能劣化しない触媒の研究開発が促進されるよう、産学官により情報共有することが必要である。

3. 1. 4 耐久走行試験法

使用過程における排出ガス低減装置の性能維持のため、耐久走行後においても良好な排出ガス性能を確保することが求められている。認証時の耐久走行試験は、高速高負荷領域を中心としたエンジン回転モードで一定時間運転し、新車時からの排出ガス量の変化を外挿することにより耐久走行距離での排出ガス量を評価するものとなっている。

今回、尿素SCRシステムの性能低下が確認された事例は、いずれも車両走行距離が耐久走行距離を下回っていた。高速高負荷領域においては排気温度も高温であり、HC等により触媒が被毒することはほぼないと考えられるが、実際の車両では低速低負荷での市街地走行を中心とする用途のものも存在する。このため、3. 1. 3による尿素SCRシステムの性能低下の原因を解明するとともに、走行実態の中でも尿素SCRシステムにとって厳しい走行条件を考慮した耐久走行試験法の見直しを行うことが適当である。

(略)

3. 2. 4 オフサイクルにおける排出ガス低減対策に関する今後の検討課題

ポスト新長期規制適合車においてNO_x 低減対策として本格的に導入されている尿素SCRシステムは、触媒温度により活性状態が敏感に変化する。また、SCR触媒が一定温度以下ではNO_xの浄化性能が低いことや尿素水の結晶化による触媒損傷を防止する等の理由により、尿素水の噴射を停止する制御を行っている。更に、シャシダイナモでの排出ガス試験の結果から、同一エンジンでも後処理装置のレイアウト位置により温度条件が変わり、排出ガス量が大きく異なることが確認された。このため、エンジンベンチ認証試験条件を後処理装置にとって使用実態の中でもより厳しい条件に変更することが望ましい。

また、実走行において新車認証時の排出ガスレベルが維持されていることを確認する手法として、車載式排出ガス測定システム(以下「PEMS」という。)が考えられる。

最近、欧州でも排出ガス規制強化にもかかわらず、実走行では排出ガスが低減していない事例が確認されており、その対策として2013年より適用される重量車次期排出ガス規制のEURO VIにおいて、PEMSを導入する予定である。PEMSによる試験法や許容限度目標値の設定、システムの測定誤差や校正等の課題はあるものの、我が国においてもPEMSを導入することについて検討することが望ましい。

尿素 SCR システムに使用する銅触媒からの 銅排出に係る取扱い通達

国自環第38号
平成25年6月19日

一般社団法人 日本自動車工業会会長 殿
日本自動車輸入組合理事長 殿

国土交通省自動車局環境政策課長

「尿素選択還元型触媒システムの技術指針について」（平成23年6月30日、国自環第70号）3.（5）の取扱いについて

尿素選択還元型触媒システム（以下「尿素SCR」という。）の触媒については、同指針3.（5）において規定する6金属を用いる場合「尿素SCR自動車の使用期間中、当該金属を大気中に放出しないものであること。」とされている。このため、規定されている金属を使用する場合には、型式指定等の申請に際して、各自動車メーカーにおいて、自ら試験方法等を検討した上で大気中に放出しないものであることを検証してきたところである。

一方、環境省と国土交通省において設置した「排出ガス後処理装置検討会」の中間報告（平成25年3月14日）において、「低温で活性を有する銅ゼオライトの採用により、低速走行時の排出ガス低減性能も向上することで実環境での排出ガス低減に寄与すると考えられる。」ことから、「環境中に銅が排出されないことの確認方法を検討し、自動車メーカーにおける開発・実用化の基盤を整備することが望ましい。」と提言されている。

このような状況に鑑み、今般、6金属のうち「銅」を使用する場合について、同指針3.（5）に規定する金属の大気中に放出しないものであることを検証する際の試験方法として、別紙試験方法を例示することとしたので、尿素SCRの触媒に銅を使用する車両について、型式指定等の申請を行う際の参考とされたい。

尿素選択還元型触媒システムからの銅排出の可能性を検証するための試験方法について

1. 目的

「尿素選択還元型触媒システムの技術指針(平成23年6月30日、国自環第70号)」に規定された「触媒に用いる場合に大気中に放出しないことが要求された金属」のうち銅ゼオライトを使用される際について、放出しないことを証明する具体的な試験法の考え方を示すものとする。

2. 適用範囲

軽油を燃料とする普通自動車及び小型自動車であって、触媒部分に銅ゼオライトを使用し、かつ、ディーゼル微粒子除去装置(以下、「DPF」という。)を備えた尿素選択還元型触媒システム(以下「尿素SCR」という。)を搭載したものに適用する。

3. 試験の種類と目的・対象範囲

以下の2種類の試験を実施するものとする。

① 触媒単体による高温水熱耐久試験

- ・ゼオライトの水熱反応による脱アルミに伴う銅の溶出の可能性を検証することを目的とする。
- ・「触媒メーカー」×「触媒の基本構造(ゼオライト構造、他)」×「触媒の主要成分」の組み合わせ毎に実施する。

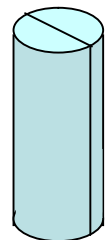
② 実機による熱サイクル耐久試験

- ・熱サイクルに伴うゼオライトの剥がれ等による銅の排出の可能性を検証することを目的とする。
- ・「自動車型式認証実施要領(平成10年11月12日、国自審第1252号)」に従い実施する。但し、触媒に変更が無い場合は省略可能とする。複数のエンジン、車両、容量の触媒がある場合には、DPF再生温度及び熱サイクルの繰り返し回数がワーストのケースで代表することが出来るものとする。

4. 触媒単体による高温水熱耐久試験

触媒単体をセル方向に2分割し、内、一つは新品の参照品とし、残りを以下の温度条件でエージング処理を実施する。
空気/水の混合流体を流しながらエージングを行う。

- ・温度：実車での耐久走行時の尿素SCR入口ガスの最高温度以上
- ・試験時間：耐久走行距離に対応するDPFのトータル再生時間以上



5. 実機による熱サイクル耐久試験

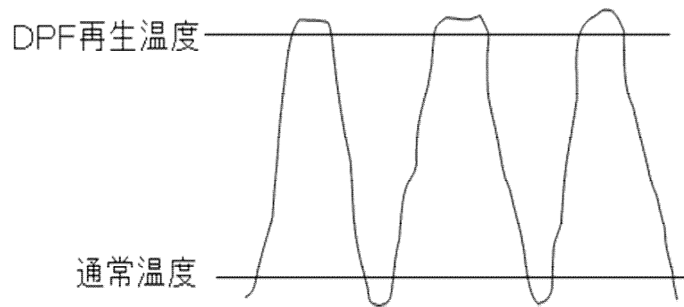
以下の熱サイクル運転を繰り返すものとする。

① 通常運転状態(低温)

② DPF再生運転状態(高温)

- ・それぞれ運転条件・時間は特に規定しないが、尿素SCR入口ガス温度は、①は通常の運転状態の温度(例：JEO5モードの平均温度)以下まで十分に低下する

ものであること、②はDPF再生運転時の最高温度以上に達するものであること。



【参考：熱サイクル運転状態イメージ図】

- ・ 繰り返し回数は、J E 0 5モード或いはWHDCモード（軽中量車の場合にはJ C 0 8モード）で耐久走行距離を走行したと想定した場合のDPF再生運転の頻度に対応する回数以上とする。
- ・ 比較対象の新品は同一ロット品とする。複数個を用いても良いものとする。（4.又は5.で同一ロット品を用いる場合は、4.の参照品のデータを本検証に利用してもよい。）

6. 銅の分析方法

耐久品、新品の参照品ともに、触媒全体を十分に粉碎・混合した後に、ランダムに10以上のサンプルを採取し、銅含有率を分析する。

【分析の流れのイメージ】

ステップ	作業	
1	全ての粉末を混合	
2	粉末全体からサンプリング	
3	各サンプルを分析	

銅の含有率の測定法は、下表より選択し、必要に応じた前処理を実施した上、濃度分析を実施する。

【測定法一覧】

方式	試料形態	前処理	注意点	備考
XRF X-ray Fluorescence Analysis (蛍光X線分析)	固体, 粉末, 液体	一部必要	干渉影響 試料の均質化 表面層のみの測定 (金属の場合数 μm まで) スクリーニング用	非破壊 干渉影響少ないのは、波 長分散型 高感度計測には、三次元 偏光光学系蛍光X線(エ ネルギー分散型)が良い
ICP-AES Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (誘導結合プラズマ発光分光分析)	液体	強酸処理	酸溶解前の試料の均質化 干渉影響	
ICP-MS Inductively coupled plasma mass spectrometry (誘導結合プラズマ質量分析)	液体	強酸処理	↑	
AAS Atomic Absorption Spectrometer (原子吸光分析)	液体	強酸処理	↑	AASのスペクトル幅はきわ めて狭いため、光源として は目的元素毎に特化した ホロカソードランプが必要
PIXE Particle induced X ray emission spectrometry (粒子線励起X線分析)	固体, (粉末), (液体)	一部必要	干渉影響 試料の均質化 微粉体粒度は $3\mu\text{m}$ 以下 試料厚さは $10\mu\text{m}$ 以下	非破壊 加速装置が必要 (設備が限定)

7. 銅排出の有無の判定方法

新品と耐久品の銅含有率に差があるかどうかを統計的に判定し、有意な差が認められない場合には、技術指針の要件を満足するものと判断する。

具体的には、JIS Z 9041-2に規定されている「二つの対応のない測定値の平均の比較(分散未知。ただし二つの分散を等しいと仮定してよい場合)」の手法を用いることとする。新品と耐久品に差がないという帰無仮説に対して、有意水準5%で棄却されなかった(有意な差が検出されなかった)場合に、要件を満足する判定とする。

【判定方法】

新品のサンプルの平均値 $=x_1$ 、 分散 $=s_1^2$ 、 サンプル数 $=n_1$
 耐久品のサンプルの平均値 $=x_2$ 、 分散 $=s_2^2$ 、 サンプル数 $=n_2$

→ 自由度 $\nu = n_1 + n_2 - 2$

$$D = x_1 - x_2$$

$$Q = (n_1 - 1) s_1^2 + (n_2 - 1) s_2^2$$

$$S_D = \sqrt{((n_1 + n_2)Q / (n_1 n_2 \nu))}$$

$$B = t_{1-\alpha/2}(\nu) S_D \quad \leftarrow t_{1-\alpha/2}(\nu) \text{は有意水準5\%の値を用いる}$$

→ $|D| < B$ のとき、「有意水準5%で有意な差が検出されなかった」と判定

<平成25年度 排出ガス後処理装置検討会委員名簿>

○検討会委員

- 塩路 昌宏 京都大学大学院エネルギー科学研究科 教授(座長)
飯田 訓正 慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科 教授
岩本 正和 東京工業大学資源化学研究所 教授
小淵 存 (独)産業技術総合研究所 新燃料自動車技術研究センター
省エネルギーシステムチーム長
後藤 雄一 (独)交通安全環境研究所 環境研究領域長
佐竹 克也 (独)交通安全環境研究所 自動車審査部長
大聖 泰弘 早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科 教授
津江 光洋 東京大学大学院工学系研究科 教授
土屋 賢次 (一財)日本自動車研究所 エネルギー・環境研究部長

○事務局

- 国土交通省自動車局環境政策課
環境省水・大気環境局総務課環境管理技術室

<平成25年度 排出ガス後処理装置検討会検討経緯>

第1回(平成25年8月2日)

- ・今年度の排出ガス後処理装置検討会の進め方について(案)
- ・自動車メーカーの自主対応について
- ・触媒分析検討グループの検討状況報告
- ・その他

第2回(平成25年11月11日)

- ・触媒分析検討ワーキンググループの中間報告
- ・認証時の排出ガス試験法見直しワーキンググループの検討状況について
- ・大型車自動車メーカー4社のヒアリング
- ・その他意見交換

第3回(平成25年12月9日)

- ・触媒分析検討ワーキンググループの報告
- ・ポスト新長期適合車の状況等について
- ・とりまとめに向けて

第4回(平成26年1月16日)

- ・認証時排出ガス試験法見直しワーキンググループの報告
- ・ポスト新長期適合車について
- ・海外の関連動向について
- ・最終報告案(骨子案)について

第5回(平成26年2月24日)

- ・触媒分析検討ワーキンググループの報告
- ・大型自動車メーカーからの追加報告
- ・最終報告(案)について

第6回(平成26年3月17日)

- ・最終報告(案)について 等
- ・その他

※ 企業機密情報の保護の観点から、検討会は非公開で開催