

⑤ 車載計測システムによる環境負荷量の計測とその増大要因の解析

—NO_x排出量の増大要因に関する考察—

環境研究領域 ※山本 敏朗 小川 恭弘 佐藤 進 常山 順子 袋 宣子

1. まえがき

ガソリン自動車では、規制排出ガス成分のCO、HCおよびNO_xの排出量は、主に三元触媒システムによって抑制されている。このシステムでは、通常、エンジンの空燃比（以下、A/Fと記す）は、O₂センサを用いたフィードバック制御によって14.7の理論値近傍に制御される。これにより、三元触媒層内では酸化反応と還元反応が同時に進行し、規制3成分に対して高い浄化性能が保持される。しかしながら、中速域以上の車速からの減速時等（アクセルペダルから足を離す操作のとき）には、エンジン制御が、「理論空燃比（以下、ストイキと記す）制御」から「燃料カット制御」に切り替わってエンジンへの燃料供給が遮断されるため、A/Fが限りなくリーン側に移行する。このことから、燃料カット制御は三元触媒層内を一時的に酸化雰囲気に変えてしまう。このような触媒状態のときに、続けて加速運転に移って大量のNO_xが三元触媒層内に流入すると、NO_xの浄化は十分に行われずNO_xの大量排出を招く可能性が考えられる。特に最新型のガソリン車では、燃費性能を重視することから減速時等での燃料カット制御が増える傾向にあり、この制御に起因するNO_x排出について検証することは極めて重要である。このことから、本報では、路上走行時におけるNO_x排出量増大現象の主要因として、この燃料カット制御に着目し、車載計測システムによる路上走行試験を行った。この試験の車速、A/F、道路勾配、NO_x排出量等のデータから、燃料カット制御に起因するNO_x排出量増大現象の発現条件を解析し、この発現条件を盛り込んだシャシダイナモメータ台上試験用「NO_x排出状態評価用試験モード」を作成した。次に、この試験モードパターンを運転し、そのときのNO_x排出量増大現象の発現メカニズムを検証した。さらに、同試験モードを用いた

シャシダイナモメータ台上試験は、各種車両のNO_x排出量低減策を評価する手法として有効であることを示した。

2. 実験方法

路上走行時のNO_x排出現象を捉えるために、試験車両に各種の車載装置を搭載して路上走行試験を実施した。排出ガス中のNO_x濃度は、触媒装置の前に直挿型NO_xセンサ（日本ガイシ製）を、また触媒装置の後に車載式排出ガス分析装置（堀場製作所製OBS2100）を取り付けて連続的に計測した。直挿型NO_xセンサの33%から66%応答は340m秒、また車載式排出ガス分析装置（CLD方式）の90%応答は2.75秒である。走行状態に大きな影響を及ぼす道路勾配は、ジャイロスコープ等の車載装置を使って計測した。排出ガスの質量換算に必須となる排出ガス流量の取得には、流量補正マップにより求めた吸入空気量とA/Fを用いて算出する方法（マップ法）¹⁾及びテールパイプに取り付けたピトー管による流量計測方法の両者を併用した。

調査試験には、3つの走行ルートを用いた。ルート1（国道1号線：白金高輪駅付近～馬込中前付近）は都市内一般道走行の代表として、またルート2（首都高速4号線：神田橋IC～高井戸IC）は首都高速道路走行の代表として、さらにルート3（東名高速道路：東京IC～厚木IC）は高速道路速走行の代表として選定した。

NO_x排出量増大現象の発現メカニズムを検証するために、中速域（50km/h及び60km/h）からの減速運転とその後続く加速運転（常用加速度）を1サイクルとして、それを連続的に15サイクル繰り返す「NO_x排出状態評価用試験モード」を作成し、この試験モードを用いたシャシダイナモメータ台上試験を実施した。試験車両は、普通乗用車が2台、軽乗

Table 1 Specifications of test vehicles

Vehicle Code	Vehicle Class		Engine type	Catalytic Converter	Weight of vehicle (kg)	Vehicle total weight (kg)	Vehicle weight at road test (kg)	☆Emission gas qualification level
A	2.0L	Passenger car	Straight four DOHC	TWC	1,500	1,885	1,855	New long-term ☆☆☆
B	2.0L	Passenger car	Straight four DOHC	TWC	1,550	1,990	1,953	New long-term ☆☆☆
C	0.66L	Light car	Straight four DOHC	TWC	970	1,025	1,070	New long-term ☆☆☆
D	0.66L	Light-truck	Straight three DOHC	TWC	910	1,370	1,274	New long-term ☆☆☆

用車及び軽貨物車が各1台の計4台である。表1に、各車両の主要諸元を示す。シャシダイナモメータ台上試験時の走行抵抗値は、貨物車は「車両重量+半積載状態（車載装置一式の重量約170kgを含む）+乗員重量」の値を、乗用車は「車両重量+車載装置一式の重量約170kg+乗員重量」の値を用いることとし、公定試験法（道路運送車両の保安基準）に則り、それぞれ惰行試験を実施して算出した。

3. 実験結果及び考察

3. 1. 燃料カット制御に起因するNOx排出メカニズム

図1に、A車の路上走行試験時において、A/F変動パターンA、B及びC（図中の破線で囲まれた部分）が生じたときの触媒装置前後でのNOx濃度変化および車速変化をそれぞれ示す。パターンAでは、減速域において燃料カット制御によるリーン変動が生じ、その後のストイキ復帰途上において短期的なリーンシフトが発生したときにNOxが大量に排出されている。この現象は、燃料カット制御により大量のO₂が触媒に導入され、三元触媒層内が酸化雰囲気になってNOx浄化性能が一時的に失われたことに起因しているものとする^{2), 3)}。次に、パターンBでのNOx排出現象は、図1より減速域での燃料カット制御の段階において既にNOx排出が始まっていることがわかる。これは燃料カット制御によって大量のO₂が触媒層内に流入するため、触媒層に吸着していた大

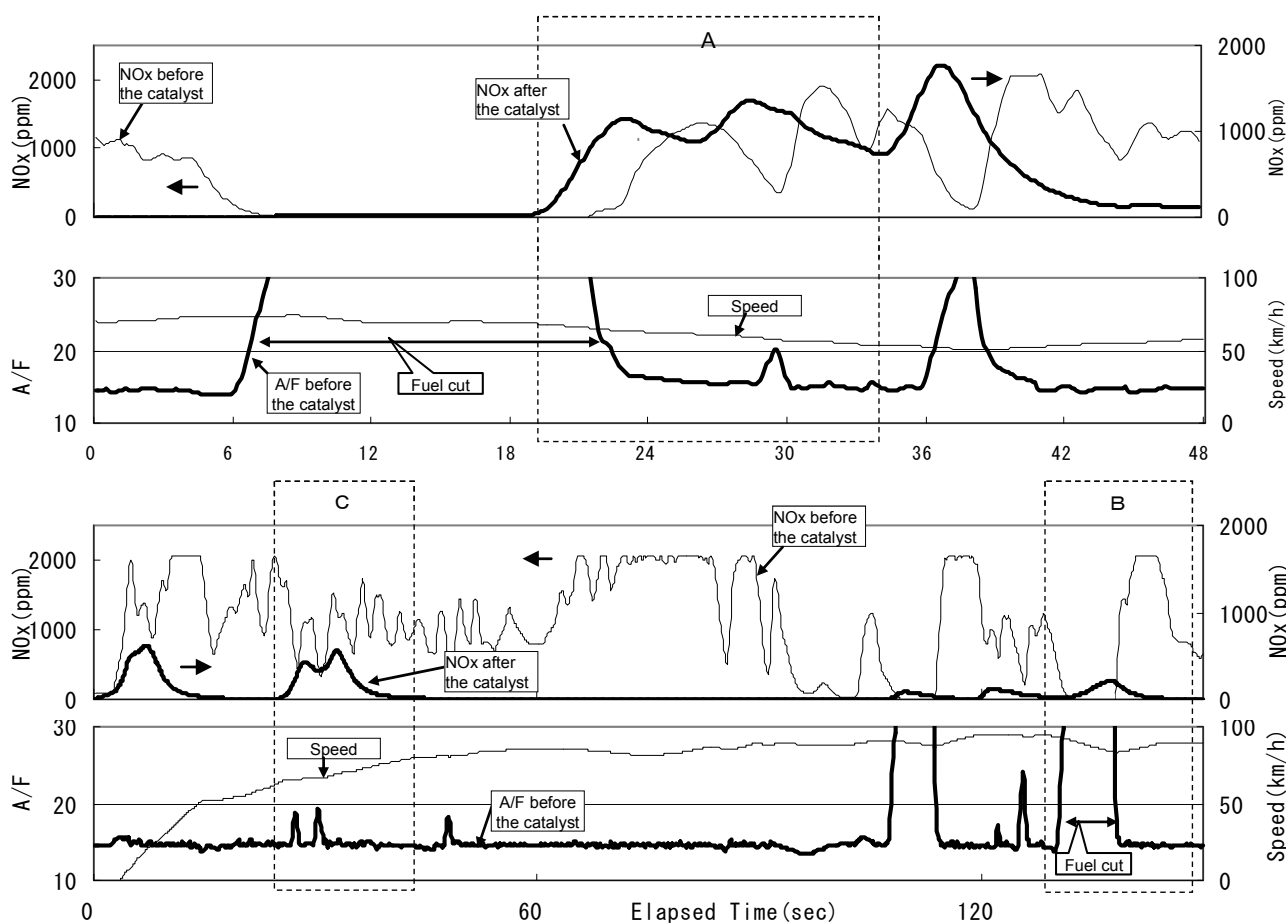


Fig. 1 Change of NOx emissions before and after the TWC under A/F patterns of A, B and C.

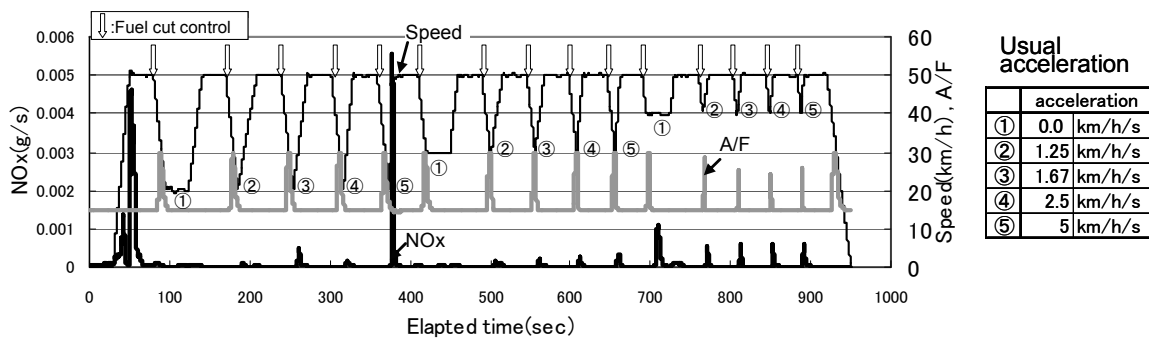


Fig. 2 Certification of the NOx emission mechanism by the chassis dynamometer test

量のNO_xが流入してきたO₂と置換することによりNO_xの触媒層からの脱離が進行したためであると考えられる。さらに、パターンCについては、加速運転時のアクセル操作によってA/Fの短期的なリーン変動が生じ、それによって一時的にNO_xの浄化率が低下するためNO_x排出量が増大したものと考える。ここで、図1の3つのA/F変動パターンにおけるNO_x排出量の大きさを比較すると、A>C>Bとなる。特に、パターンAの変動では、燃料カット制御により触媒のNO_x浄化性能が一時的に失われるため、エンジンアウトのNO_xがそのまま排出されることになり、結果として大量のNO_x排出に繋がることになる。以上のようにNO_x排出のメカニズムを推測することができ、燃料カット制御は、路上走行時のNO_x排出現象の一因であると考えられる。

次に、燃料カット制御に起因して発生するNO_x排出現象の発現メカニズムを、シャシダイナモメータ台上試験によって確認した。その結果の一例を、図2に示す。図中の車速パターンは、中速域(50km/h)からの減速運転とその後に続く加速運転(図中の5種類の加速度による運転を繰り返す)を1サイクルとして、それを連続的に15サイクル繰り返す「NO_x排出状態評価用試験モード」を示している。同図に示すように、減速時のA/Fがリーン側へ変動していることから、減速時において燃料カット制御が発現していることがわかる。また、減速運転の後に続く加速運転時に、多くの場合においてNO_x排出が認められる。この試験からも、燃料カット制御に起因するNO_x排出のメカニズムは、三元触媒層内が一時的に酸化雰囲気によってNO_x浄化性能が失われることに起因するものと考えられる。

3. 2. 燃料カット制御に起因するNO_x排出現象に対するNO_x抑止策の評価

最新型のガソリン車では、燃費性能を重視することから、減速時等での燃料カット制御の発現頻度が増加する傾向にある。これに伴って、この制御とその直後の加速運転等との組み合わせによって生じるNO_x排出現象も増えることが推測される。このことから、本研究では、燃料カット制御に起因するNO_x排出現象を、シャシダイナモメータ台上で再現し、試験車両のNO_x排出状態の確認および同車両が内蔵するNO_x抑止策を評価する方法について検討した。図2で示したように、路上走行時において燃料カット制御が発現する条件をシャシダイナモメータ台上試験で再現することができれば、燃料カット制御に起因するNO_x排出現象に対するNO_x抑止策の評価が可能となる。

図3及び図4に、本研究で考案したNO_x排出状態評価用試験モードとそのモード試験結果の一例を示す。燃料カット制御を発現させる走行条件として、図3は図2で示した減速運転を、また図4は下り勾配のもとでの60km/h定常運転を設定している。また、これらの走行条件によって、図3では最大で15秒程度の、図4では30秒の燃料カット制御が発現している。さらに、図4の燃料カット制御では、制御中においてエンジン回転数が高い状態に保持されるため、大量の空気が触媒層内に導入される特徴を持つ。B車、C車ともに、燃料カット制御によって生じた触媒装置の酸化雰囲気状態を、その後のA/Fの過濃化によって解消しようとしていることがわかる。また、B車及びC車に対して、図3の試験と図4の試験のNO_x排出量(g/km)を比較すると、B車では両者に大きな違いは認められないが、C車では図4の試験において図3の試験の約2.0倍のNO_x排出量となり、両者に大きな違いが生じている。これはB車及びC車に装着されている三元触媒装置のO₂ストレージ

①～⑤ : Refer to "Usual acceleration" in Fig.2

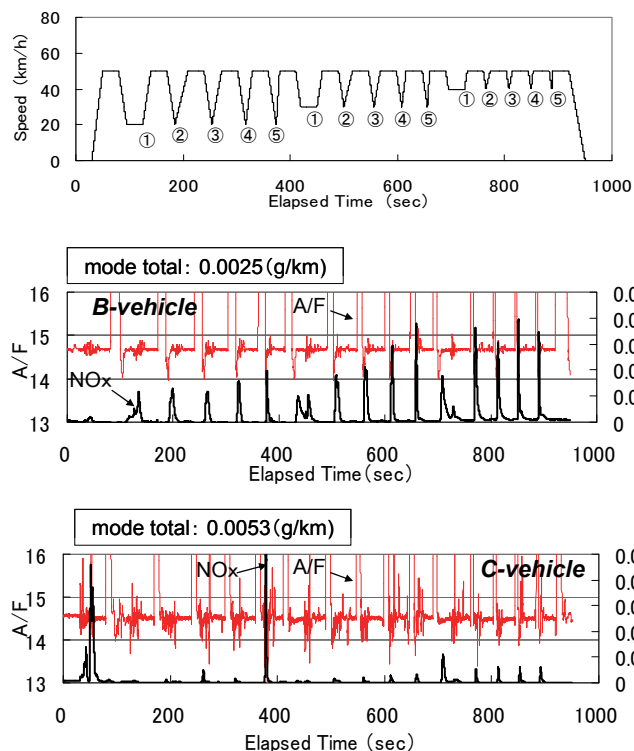


Fig.3 Test mode No.1 for analysis of NOx emission causing fuel cut control

量⁴⁾の差に依存するものと推測する。三元触媒では、一般的にA/F変動を生じやすい過渡運転時の酸化性能を高めるためにO₂ストレージ能を増強する。しかしながら、これが燃料カット制御時に大量のO₂吸蔵状態を発生させてしまい、その後のNO_x排出現象の発現の一因になっている可能性がある。⁵⁾以上のように、NO_x排出状態評価用試験モードを用いたシャシダイナモメータ台上試験は、燃料カット制御に起因するNO_x排出現象に対するNO_x抑止策の評価方法として有効である。

4. まとめ

車載計測システムを用いた路上走行試験およびシャシダイナモメータ台上試験により、燃料カット制御に起因するNO_x排出現象を調査した。これらの試験結果より、以下の結論を得た。

(1) 減速運転時等における燃料カット制御により空燃比のリーンシフトが生じ、その後の加速運転等によって短期的なリーン変動が発生したときに大量のNO_xが排出される現象がみられた。これは燃料カット制御により大量のO₂が触媒に導入され、三元触媒層

Simulation of road slope change near Gaien IC in Metropolitan Expressway

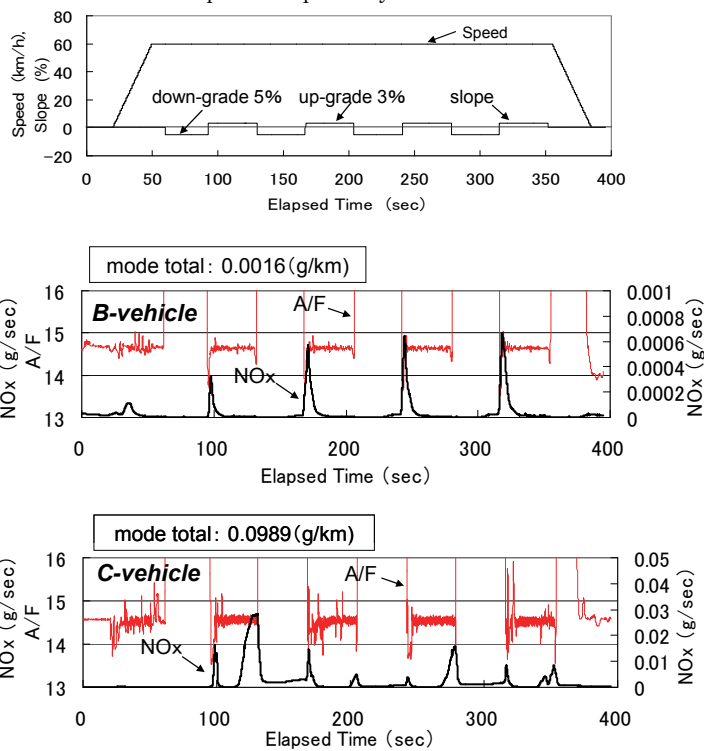


Fig.4 Test mode No.2 for analysis of NOx emission causing fuel cut control

内が酸化雰囲気になってNO_x浄化性能が一時的に失われることに起因しているものと考える。

(2) 燃料カット制御に起因するNO_x排出現象をシャシダイナモメータ台上で再現して、試験車両のNO_x排出状態の確認および同車両が内蔵するNO_x抑止策を評価する方法、すなわち、「NO_x排出状態評価用試験モード」を提案した。本モードによる試験を、各種の車両で実施して、評価試験モードとしての有効性を確認した。

参考文献

- (1)佐藤進 ほか:車載計測システムを用いた実路走行時の環境負荷量の計測および増大要因の解析,自動車技術会論文集, Vol. 38, No. 6, pp. 223-228
- (2)山本 ほか:自動車技術会春季学術講演会前刷集, 1992
- (3)山本 ほか:交通安全公害研究所報告第19号, 1994
- (4)中川 ほか:自動車技術 Vol.32, No.11, 1978
- (5)Kensuke Kamichi et al., Hybrid System Development for a High-Performance Rear Drive Vehicle, SAE 2006-01-1338