

自動車の NOx 排出システム及び排出量予測

大気環境部 ○藤掛敏夫、鈴木正明

1 はじめに

本報告は自動車から排出される NOx について、自動車の走行に応じた排出係数の推定方法を提案している。

現在のところ、NOx 削減計画策定の基礎となる NOx 排出量の推定は 10.15 モ - ドあるいは M15 モ - ド等の排出係数を用いて算出している。しかし、自動車の走行を規定せずに、走り方に応じた排出量が推定できれば、モ - ドから外れた走行はもちろん、交差点近傍など局所的な地域の排出量推定も可能になり、きめ細かな計画策定のためのツールを提供できる。そこで、本研究は NOx 発生要素、NOx 処理要素などから構成される自動車の簡易な NOx 排出システムを作成し^{1,2)}、NOx 排出量に比例する排ガス濃度(定容量サンプリング、化学発光分析)の時刻歴推定を試みた。

2 走行試験

システム同定の一つに、システムに急激な入力を与え、その時の出力を観測する方法がある。この手法を自動車に当てはめると、急激なアクセルオン(入力)に対する NOx 排出濃度の変化(応答)に置き換えられる。そこで、シャシ - ダイナモメータを用いて発進・加速走行試験(以後、走行試験と記述)を行い、そのときの NOx 排出濃度特性の考察から、システム構築を試みることにした。

図 1 に走行試験結果の 1 例を示す。試験に用いた車は 2000cc、車両重量 1370 kg、4 速の手動変速、EGR 装着のガソリン車である。図 1 から、NOx の CVS 濃度(CVS 装置でサンプリングされた排ガスを化学発光法で分析した濃度、以後単に排出濃度と記述)はエンジン回転数にほぼ対応した変化を示すこと、定速走行で NOx 排出濃度が減少すること等が示されている。

また、加速時のエンジン回転数は直線的な変化をすること、エンジン回転数の立ち上がりに対する NOx 排出濃度の立ち上がりは緩やかであること等も示されている。以上の事柄を勘案して、NOx 排出システムを構築する。

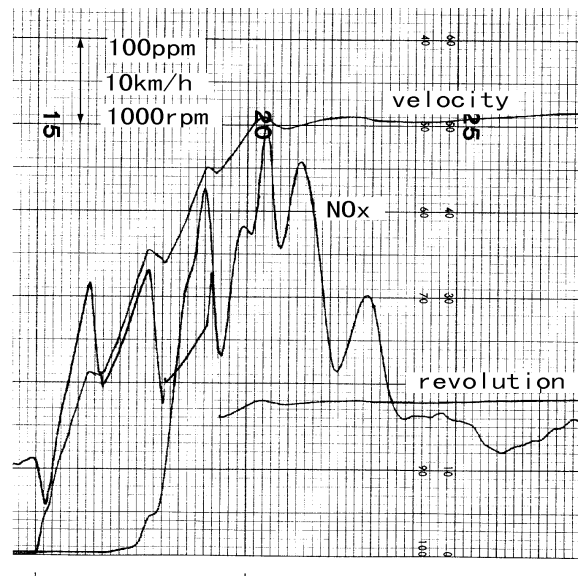


図 - 1 走行試験結果

3 NOx 排出システム

図 2 に NOx 排出システムのブロック線図を示す。

システムは NOx 発生系、NOx 処理系、CVS 装置及び分析系から構成されている。

CVS 装置及び分析系（以後、CVS 分析系と記述）は自動車には含まれないが、我々が観測できる NOx 排出濃度の時刻歴は CVS 分析系を通過し、ペン書きレコ - ダに記録された時刻歴なので、CVS 分析系を加えた。各要素は 1 次遅れ系とし、NOx 発生系への入力変数は各ギア位置のエンジン回転数、NOx 処理系への入力変数は NOx 発生系の出力とした。したがって、テ - ルパイプからの NOx 排出濃度は、NOx 発生系の出力から NOx 処理系の出力を差し引いた特性で与えられる。

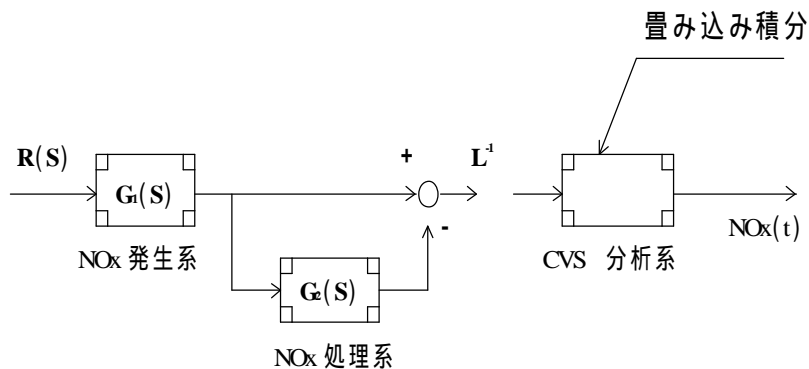


図 2 自動車の NOx 排出システム、 $G_1(s)$; NOx 発生系の伝達関数、 $G_2(s)$; NOx 処理系の伝達関数、 $R(s)$; 入力のラプラス変換、 L^{-1} ; ラプラス逆変換

4 システムパラメ - タの決定

図 1 に示される走行試験に基づいて、システムパラメ - タ（以後、パラメ - タと記述）を決定する手順を以下に示す。決定するパラメ - タは、各要素の係数（NOx 発生系の係数（ギア位置ごと）、処理系の係数）、各要素の時定数、加速開始から処理系が作用するまでの無駄時間である。なお、発生系及び処理系の係数は入出力間のゲイン調整の意味合いしか持ち合わせていない。

- 1 走行試験結果から、各ギア位置での加速時間、加速開始エンジン回転数、加速終了エンジン回転数、ギアシフトに要する時間、定速走行区間のエンジン回転数及び走行時間、アイドリング時のエンジン回転数及び NOx 排出濃度等を読みとり、入力数値として使用する。
- 2 試験車両の諸元表から変速比及び最終減速比を求め、これらの定数を付録、式(9)に代入する。
- 3 排出濃度を近似するように式(9)中のパラメ - タを設定し、式(9)による近似結果を目視で判定する。近似の程度が悪ければ、新たなパラメ - タを設定、再計算し、良好な近似が得られるまで、同様な操作を繰り返す。

5 システムの検証及び適用範囲

5 . 1 システムの検証

前述した手順で決定したパラメ - タを用い、同一車両ではあるがパラメ - タ設定に使用した走行試験とは別の走行条件を与えて、NOx の排出予測を行った結果は図 3

に示す様に、比較的良い近似結果が得られている。また、10 モ - ド走行時の予測排出係数と実測排出係数を比較したところ、予測 2.7g/km、実測値 2.5~2.9g/km と良い近似が得られた。もちろん、計算に用いたシステムパラメ - タは先の走行試験で得られた値を用いている。

5.2 システムの適用範囲

本システムは発生した NOx から処理した分を差し引く構成であり、使用する燃料、排ガス処理装置の種類は限定していない。従って、それぞれの車両ごとにパラメ - タを定めれば、使用する燃料、排ガス処理装置の種類に拘わらず、適用可能と考えられる。そこで、システムの適用範囲を確認するため、数種の燃料、異なる排ガス処理装置を装着した車両に本システムを適用し、NOx 排出係数を求めることにした。

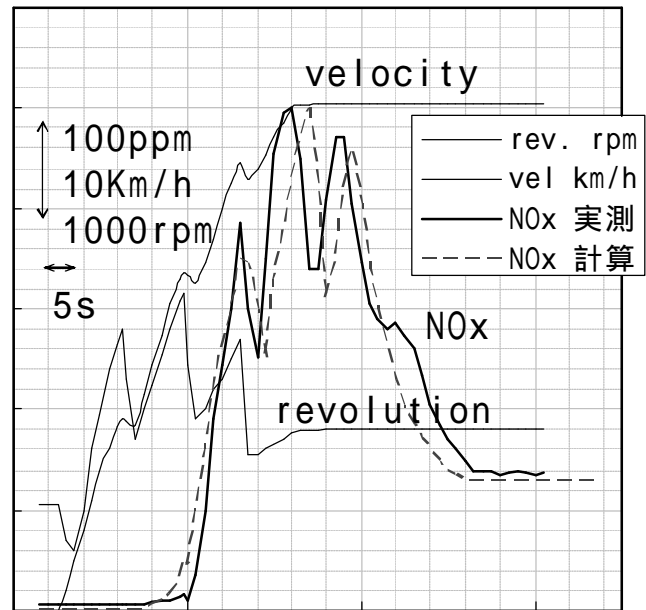


図3 走行試験の近似結果

表1に10モ - ド、M15モ - ド及び10.15モ - ド走行時の予測値と実測値の結果を示す。なお、モ - ド走行は速度で表現されているので、走行速度、タイヤ動半径、ギア比及び最終減速比から算出したエンジン回転数を入力値として用いた。また、ギアシフトに要する時間は1~1.5秒に設定した。各モ - ドとも良い近似値が得られている。

表1 モ - ド走行時の実測値と予測値

車	燃料	10M 又は M15	10.15M
A	GAS(EGR)	2.7 g/km	3.2 g/km
		2.5 ~ 2.9	2.8 ~ 3.2
B	GAS(TWC)	0.036 ~ 0.078	0.033 ~ 0.084
		0.039 ~ 0.043	0.038 ~ 0.039
C	GAS(TWC)	0.25 ~ 0.97	0.21 ~ 0.82
		0.28	0.48
D	DIE(IDI)	1.6	1.3
		1.5	1.3
E	LPG(TWC)	0.076	0.069
		0.074 ~ 0.089	0.13 ~ 0.16

注) 上段計算値、下段実測値、GAS、DIE、LPG はガソリン、軽油、液化プロパンガス、EGR、IDI、TWC は排ガス循環装置、副式燃焼、三元触媒装置を示す。
~で示される範囲は、計算値：高低2種のパラメ - タによる値、実測値；複数回の走行試験の値

5 まとめ

NOx 発生要素及び処理要素をそれぞれ1次遅れ系とした自動車のNOx 排出システムを作成し、排出濃度特性を予測したところ、燃料の種類、排ガス浄化装置の種類にかかわらず、実測特性に近似する結果が得られた。また、得られた時刻歴から排出係数を求め、システムの有効性を確認した。

6 文献

- 1 藤掛、鈴木、第36回大気環境学会講演要旨集、1995.11
- 2 藤掛、鈴木、第38回大気環境学会講演要旨集、1997.9

付 録

アイドリング時の NOx 排出濃度 0 とすれば、テ - ルパイプからの NOx 排出濃度は式 (1) で与えられる。

$$NO_{xi}(S) = G_1(S) \{1 - G_2(S) \exp(-T_L S)\} R_i(S) \quad (1)$$

$R_i(S)$ は入力のラプラス変換を示し、式(2)で与えられる。

$$R_i(S) = R_{ki}/S^2 - R_{ki}/S^2 \exp(-\tau_i S) + R_{di}/S \quad (2)$$

式(1)をラプラス逆変換して式 (3) を得る。

$$NO_{xi}(t) = N1_i(t) - N2_i(t) \quad (3)$$

ここで、

$$N1_i(t) = R_{ki} A_i \{1/\tau_i^2 \{ \exp(-\tau_i t) + \tau_i t - 1 \} - u(t - \tau_i) / \tau_i^2 \{ \exp(-\tau_i(t - \tau_i)) + \tau_i(t - \tau_i) - 1 \} \} + R_{di} A_i / \tau_i \{1 - \exp(-\tau_i t)\} \quad (4)$$

$$N2_i(t) = R_{ki} A_i B / (\tau_i^2 - \tau_2^2) u(\tau_1) \{ \tau_i^2 \exp(-\tau_2 \tau_1) - \tau_2^2 \exp(-\tau_1 \tau_1) \} / (\tau_1 - \tau_2) + \tau_1 \tau_2 \tau_1 - \tau_1 - \tau_2 \} - R_{ki} A_i B / (\tau_i^2 - \tau_2^2) u(\tau_2) \{ \tau_i^2 \exp(-\tau_2 \tau_2) - \tau_2^2 \exp(-\tau_1 \tau_2) \} / (\tau_1 - \tau_2) + \tau_1 \tau_2 \tau_2 - \tau_1 - \tau_2 \} + R_{di} A_i B u(\tau_1) \{1/\tau_1 \tau_2 + (\tau_2 \exp(-\tau_1 \tau_1) - \tau_1 \exp(-\tau_2 \tau_1)) / (\tau_1 \tau_2 (\tau_1 - \tau_2))\} \quad (5)$$

$$\tau_1 = 1/T_1, \quad \tau_2 = 1/T_2, \quad 0 \leq t \leq t_i, \quad \tau_i \leq t_i, \quad \tau_1 = t - T_L, \quad \tau_2 = t - T_L - \tau_i$$

$G_1(S)$; NOx 発生系の伝達関数、 $G_2(S)$; NOx 処理系の伝達関数、 t_i ; 各ギア位置での走行時間 (下付添え字 i はギア位置)、 τ_i ; 各ギア位置での加速時間、 R_{ki} ; エンジン回転数を一次関数で近似したときの直線の傾き、 R_{di} =(加速開始時のエンジン回転数) - (アイドリング時のエンジン回転数)、 A_i ; NOx 発生系の係数、 B ; NOx 処理系の係数、 $u(t)$; 単位ステップ関数、 T_1 ; NOx 発生系の時定数、 T_2 ; NOx 処理系の時定数、 T_L ; NOx 処理系が作用するまでの無駄時間を示す。

ギアシフト間の NOx 排出濃度応答は式(6)で与えられる。

$$NO_{xs}(t) = NO_{xi}(t_i) \cdot \exp(-\tau_i t) \quad (6)$$

自動車のテ - ルパイプから排出される NOx の濃度は式(3)を用いて、式(7)で与えられる。

$$NO_{xe}(t) = \sum_{i=1}^k \{ [u(t) - u(t - t_i)] NO_{xi}(t) + u(t - t_i) NO_{xi}(t - t_i) \} \quad (7)$$

ただし、ギアシフト間の NOx 排出濃度は式(6)を適用する。CVS 分析系を通過した NOx 排出濃度は式(8)で与えられる。

$$NO_x(t) = 1/T_c \int_0^t \exp[-V(t-q)] NO_{xe}(q) dq \quad (8)$$

$= 1/T_c, T_c$; CVS 分析系の時定数

アイドリング時の NOx 排出濃度を N_0 とすれば、式(8)に N_0 を加えて、式(9)を得る。

$$N(t) = NO_x(t) + N_0 \quad (9)$$