

エンジン始動時のNO_x排出量、燃料消費量に関する基礎的検討

横田 久司 舟島 正直
田原 茂樹 佐野 藤治

要 旨

アイドリングストップの環境への効果を明らかにするため、エンジン始動時の排出ガス等の排出状況や、バッテリー電力の消費状況等に関する基礎的な調査を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- ① 始動時のNO_xの増加量は、ガソリン車では0.0～3.0mg/回、ディーゼル車では4.6～23.4mg/回であった。
- ② 始動時の燃料の増加量は、ガソリン車0.074～2.0ml/回、ディーゼル車0.015～0.98ml/回の範囲にあった。
- ③ ディーゼル車のNO_x排出量と燃料消費量及びガソリン車の燃料消費量については、3～5秒程度の停止時間を超えれば、エンジンの停止時間に比例してアイドリングストップの効果がある。しかし、ガソリン車のNO_x排出量については、アイドリングストップの効果はなかった。
- ④ 始動時のバッテリー電力消費量は、ガソリン車では平均0.23Wh、ディーゼル小型車では0.10Wh、同大型車では0.21Wh程度であった。
- ⑤ 一部のガソリン車では、エンジン停止が10～15分間に達すると、10・15モード排出量に匹敵する始動時のNO_x排出量増加が観測された。未把握の排出源として、自動車の使用形態全体での実態調査が必要と考えられた。

キーワード：アイドリング、NO_x、燃料消費量、バッテリー

Fundamental Study on NO_x Emissions and Fuel Consumption at Vehicle Engine Starting

Hisashi Yjokota, Masanao Funeshima, Sigeki Tahara and Fujiharu Sano

Summary

Environmental impacts of gasoline engine and diesel engine startup were examined by measuring exhaust gas, fuel consumption and electric power of the battery. The results are as follows:

- (1) The amount of increase in NO_x generated at engine startup was 0.0 - 3.0 mg for the gasoline vehicles and 4.6 - 23.4 mg for the diesel vehicles.
- (2) Extra amount of fuel consumption at startup was 0.074 - 2.0 ml for the gasoline vehicles and 5 - 0.98 ml for the diesel vehicles.
- (3) The amount of electrical discharge at startup was 0.23 Wh for the gasoline vehicles. Similarly, it was 0.10 Wh for the light-duty diesel vehicles and 0.21 Wh for the heavy-duty diesel vehicles.

Keywords : idling stop, NO_x, fuel consumption, battery

1 はじめに

アイドリングストップ運動¹⁾が進展し、自動車の日常的な使用場面においてもエンジン停止が提唱されている。東京都では、平成9年度に中央区銀座等の都内5ヶ所において、駐・停車時におけるアイドリングの実態調査²⁾を行った。その結果によれば、いまだに不要なアイドリングを継続している例が多く、営業用大型貨物の場合には、60分以上のアイドリングが18%に達している。

アイドリングストップ運動をより進めるためには、環境への効果を定量的に明らかにすることが必要である。そのため、筆者らは、大型ディーゼル車に関するエンジン停止の効果³⁾、交差点におけるアイドリングストップの効果⁴⁾等について報告してきた。これらの調査に当たっては、一定の走行時間、走行区間におけるアイドリングストップの効果を算定している。

一方、エンジンの始動時には、通常のアイドリング時より多い燃料が必要とされる。そのため、頻繁にエンジンの停止・始動を繰り返す場合には、逆に、排出ガスや燃料消費量が増加する可能性⁵⁾や、スターターの使用回数の増加により、バッテリーの消耗を早めるとの指摘もされている。

エンジン始動時の排出ガス等の排出状況や、バッテリー電力の消費状況等に関する基礎的な情報は少ない。ここでは、各種自動車について、アイドリングストップの基礎的な情報の蓄積を図ることを目的に調査を行った。

2 実験

(1) 車両諸元

実験に使用した自動車の諸元を表1に示す。ガソリン乗用車3台(G①~③)、小型ディーゼル車3台(D⑥~⑧)は自動変速装置付き(以下、「A/T」と記す。)である。

表1には、法定モード及び東京都実走行パターンNo.5によるNOxの測定結果も示した。いずれの車両も排出ガス規制値に適合している。

(2) 実験施設

排出ガス等の測定は、大型自動車用排出ガス実験システム(以下、「大型C/D」と記す。)及び小型自動車用排出ガス実験システム(以下、「小型C/D」と記す。)を用いて行った。大型C/D及び小型C/Dは、シャシーダイナモメータ及び排出ガス計測システムで構成され

表1 自動車の諸元

使用燃料	型 式	記号	年式	用途	エンジン 型式	形状	対策	総排気量 (cc)	変速	D13	10・15	No.5
										(g/kWh)	(g/km)	(g/km)
ガソリン	E-JZS160	G①	9年	乗用	2JZ-GE	3T		2,997	A/T	-	0.12	0.32
	E-ALES00	G②	9年	乗用	4G33	3T		3,274	A/T	-	0.04	0.08
	GP-EA1A	G③	10年	乗用	4993	箱内 吸塵機減 速 ³⁾		1,834	A/T	-	0.01	0.01
軽油	KC-FR33K4	D④	6年	貨物	6H4	直噴	EM	8,226	M/T	7.0	-	3.92
	KC-CYL50VZ	D⑤	6年	貨物	6F41	直噴	TC・I・C	12,060	M/T	5.2	-	11.94
	KC-FBS8EAT	D⑥	6年	貨物	15B	直噴	EM	4,104	M/T	8.8	-	2.95
	KC-RAS312RM	D⑦	6年	貨物	RS8	直噴	EM	17,990	M/T	5.7	-	6.05
	KC-FR1KZDA	D⑧	6年	貨物	K13C	直噴	TC・I・C	12,880	M/T	5.5	-	8.30
軽油	KH-YNU30	D⑨	10年	乗用	YD26	直噴	酸化窒素 SCR	2,488	A/T	-	0.37	0.44
	KH-YMG24	D⑩	9年	貨物	QD2	直噴	SCR	3,153	A/T	-	-	1.44
	KD-KZ1120G	D⑪	10年	乗用	1FZ-TE	直噴	EM	2,982	A/T	-	0.80	0.56

注)D13モード、10・15モード及びNo.5は、NOxの測定結果を示す。

ている。排出ガスは、CVS装置を用いた希釈排出ガスのサンプリングを行った。なお、実験は25±5℃の条件で行った。

(3) 実験方法

ア 試験車の運転

測定条件を均一にするため、各測定の前に試験車を速度50km/hで、20分間の暖機運転を行った後、アイドリング状態にした。

A/T車の場合、シフト位置をドライブ(以下、「Dレンジ」と記す。)とし、ブレーキペダルを踏んだ状態と、シフト位置を中立(以下、「Nレンジ」と記す。)とした状態での二つのアイドリングを測定した。

アイドリングストップする場合は、所定のエンジン停止時間を経た後、エンジンを始動し、アイドリング運転を継続した。停止時間による影響を観測するため、エンジン停止時間は、基本的に10s、30s、60s、120s、180s、360s、600s、900sの8段階として、それぞれ1回の測定を行った。

イ 変速機の位置

A/T車(G①~③、D⑥~⑧)の場合、短時間のアイドリング時のシフト位置はDレンジを維持するものとした。

エンジンを停止した場合は、停止時間を経過した後、シフト位置をNレンジとして始動し、直ちにDレンジに変更し、ブレーキペダルを踏んだ状態でアイドリングを継続した。

手動変速の車両(D④~⑤)は、Nレンジを維持するものとした。

ウ 排出ガスの測定

方法1: バッグサンプリング法(バッグ法)

アイドリングストップの場合、エンジン始動の10秒前

からサンプリングを開始し、希釈排出ガスを約10 l/minの一定流量で6分間、バッグに採取した。このバッグによる排出ガスの測定結果から、6分間の排出ガス等の全量を算出した。この結果には、350秒間のアイドリング排出量と始動時の増加分の排出量が含まれることになる。

別に行った通常のアイドリング6分間のデータから、350秒分の排出量等を算出し、エンジンを停止した場合と比較することにより、始動1回当たりの排出量等の変化量を算出した。

方法2：希釈排出ガス濃度積算法（積算法）

バッグ法では、エンジン始動後の350秒間のアイドリング排出量の変動の影響が大きいことが判明した。そのため、希釈排出ガスの濃度変化から、次のような方法により排出量等の変化量を算出する方法を検討した。

CVS装置を用いるサンプリング方法では、希釈排出ガスの濃度は試験車から排出される排出ガスの量に原理的に比例する。希釈空気中のバックグラウンド排出ガスの濃度をCd、排出ガスの希釈率をDf、希釈排出ガスの実測濃度をCeとすると、正味の希釈排出ガス濃度Cconclは次式で求められる。

$$Cconcl = Ce - Cd (1 - 1/Df) \dots \dots (1)$$

アイドリングの場合、Df>100であるため、次式に簡略化できる。

$$Cconcl = Ce - Cd \dots \dots (2)$$

したがって、希釈排出ガス（Cconcl）の濃度変化を観測することにより、始動時の排出ガスの増加分は求めることが可能である。ここでは、燃費はCO₂により換算して求めた。

ガソリン車G①における希釈排出ガスの濃度変化例を図1に示した。エンジン停止は60秒の場合である。斜線部が始動時の増加分（ΔQ）を表す。バックグラウンド濃度と始動後の安定したアイドリング濃度の差が、単位時間あたりのアイドリング時排出ガス量（E）に相当する。増加分のアイドリング相当時間（Ti）は次式により求められる。

$$Ti = \Delta Q / E \dots \dots (3)$$

Tiに相当するアイドリング時の排出量等から、増加分の排出量等を求めた。図1の場合は、CO₂の増加はなく、NOxはアイドリング換算で約26秒に相当する増加となっている。

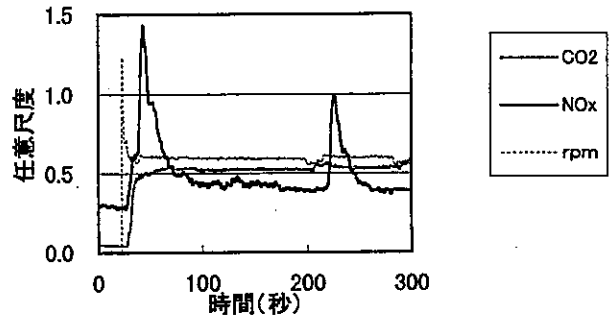


図1 始動時のCO₂、NOx及びエンジン回転数の変化例（ガソリン車（G①）で1分間エンジンを停止した場合）

エ バッテリー消費電力の測定

クランプ式電流計により、始動時の電流を測定した。

3 結果及び考察

(1) 排出ガス等の基礎的排出実態

総排気量と単位時間あたりのNOx排出量及び燃料消費量との関係を図2に示した。図2には、アイドリング時（A/T車は、Nレンジ）と東京都実走行パターンNo5のデータを対比して示した。

アイドリング時のNOx排出量は、ガソリン車3台については、Nレンジ0.000~0.001 g/min、Dレンジ0.000~0.011 g/minと非常に少ない。希釈排出ガス分析計の最低レンジは20ppmであり、前述の希釈排出ガス濃度（Cconcl）が0.1ppm程度しかなく、検出限界以下の場合もあった。

またディーゼル車では総排気量にはほぼ比例して増加する傾向にあり、0.08~0.52 g/minの範囲にあった。東京都実走行パターンNo5では、アイドリング時の約4.6倍程度の排出率である。

燃料消費量については、アイドリング時にはガソリン車とディーゼル車の差はなく、ガソリン車で10~23 ml/min、ディーゼル車で9~27 ml/minの範囲であった。また、ディーゼル車については総排気量に比例する傾向がある。東京都実走行パターンNo5では、アイドリングの約3.7倍の消費率である。NOxに比べて、アイドリング時の燃料消費が大きいといえる。

この結果からは、ガソリン車のNOxについてのアイドリングストップはあまり効果がないといえる。

(2) A/T車におけるDレンジとNレンジの排出量等の違い

Dレンジに対するNレンジの、エンジン回転数及び排

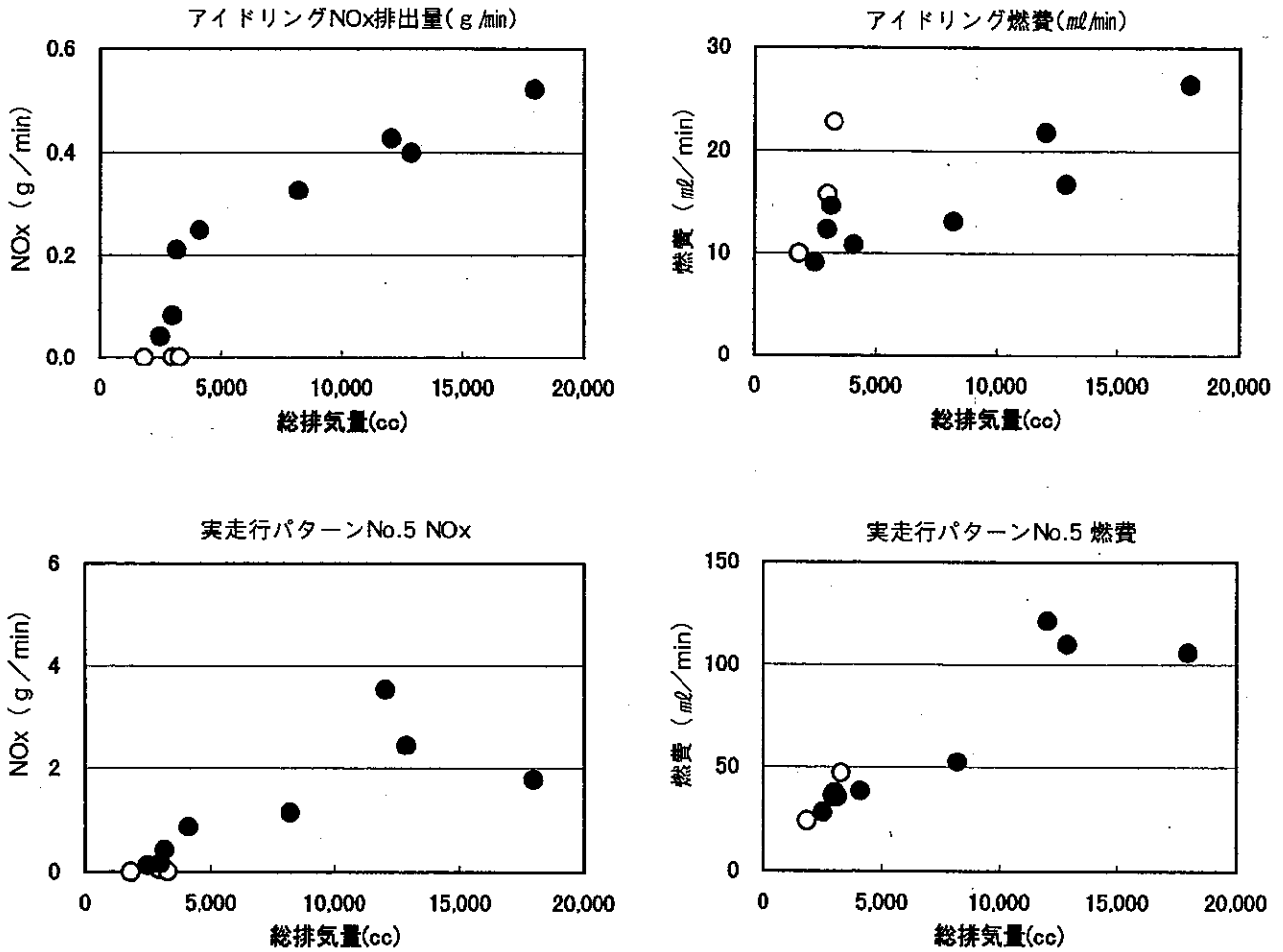


図2 単位時間当たりNOx排出量及び燃費

出ガス排出量等の比率を、表2に示す。エンジン回転数は、ガソリン車、ディーゼル車ともにDレンジが10%程度低く、逆に排出ガス及び燃費については、Dレンジが高くなっている。NOxについては、ガソリン車が1.23倍、ディーゼル車が1.08倍程度、燃費については、ガソリン車が1.11倍、ディーゼル車が1.36倍程度、いずれもDレンジが高い。これは、エンジン以外の補機を作動させているためと考えられる。特に短時間の駐停車時における排出実態の把握が必要とされる場合には、シフト位置について注意が必要である。

表2 アイドリング位置による排出ガス等の変化率

	エンジン 回転数	NOx	HC	CO	CO2	燃料消費 量
ガソリン車	0.89	1.23	1.48	1.38	1.11	1.11
ディーゼル	0.87	1.08	1.36	1.17	1.36	1.36

注) 1: Dレンジ/Nレンジの比率

注) 2: ガソリン車はG①~③、ディーゼル車はD④~⑤の平均

交差点における信号待ち等の比較的短時間の停車の場

合には、Dレンジのまま発進を待つ状況が想定される。そのため、アイドリングストップとの比較は、Dレンジを基準として行った。

(3) 始動時の排出状況

ア バッグ法

バッグ法により求めた始動1回当たりのNOx排出量(g)、燃料消費量(ml)とエンジン停止時間(対数目盛)との関係を図3、4に示した。

NOx、燃料ともに始動時の増加は少なかったが、逆に、通常のアイドリングより減少している例がある。この原因として、次のことが考えられた。

①A/T車においては、変速位置Dレンジを基準として比較したこと

②大型ディーゼル車(D①~⑤)については、始動時のNOx濃度の立ち上がりが一様でなく、一旦低下して通常のアイドリングレベルに到達する場合があったこと(図5参照)。図5の斜線部分は、減少分として算定される。

③基準としたアイドリングレベルと、エンジン停止を行ったアイドリングレベルに変動があったこと等が考えられた。図3、4には、減少分として観測された値をそのまま示した。

イ 積算法

積算法により求めた始動時の増加量の平均を、表3に示した。表には、図5に示したような減少分のデータは示していない。

㍑ ガソリン車

NOxについては、5分以内の平均で見ると始動時の増加は0.0~3.0mg/回と少なかった。これは、アイドリング時間に換算すると長い時間に相当するが、量的に非常に小さいことからこのような比較は意味がない。

G①、②では、エンジン停止が10~15分以上になると、増加分のNOx排出量が急増した(図3参照)。1回当たりの増加分が10・15モード排出量に匹敵している。これ

は、エンジン始動時の排出ガスの増加ではなく、触媒の温度低下により排出ガス浄化機能が発揮されていないためと考えられる。エンジンが冷えた状態で始動する際の「コールドスタート対策」を改善する必要がある。

燃料消費量については、0.074~2.0ml/回であった。

(イ) 小型ディーゼル車(D⑥~⑧)

NOxについては、D⑥のみ29mg/回であったが、他は計測されなかった。また、燃料消費量は、0.015~0.11mlと非常に少なかった。積算法による燃料消費量は、CO₂濃度から換算により求めている。図5に示したような現象はCO₂濃度についても観測されており、燃料が着火しないまま消費されている分が計測されていない可能性がある。

(㍑) 大型ディーゼル車(D①~⑤)

NOxについては、4.6~23.4mg/回で、これはアイドリング相当時間では1.1~3.3秒に相当した。また、燃料消

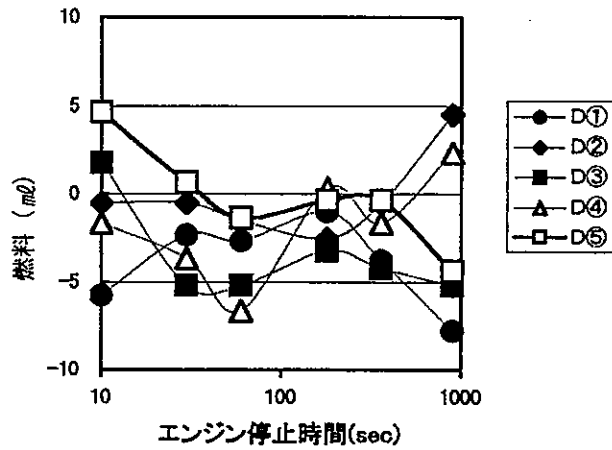
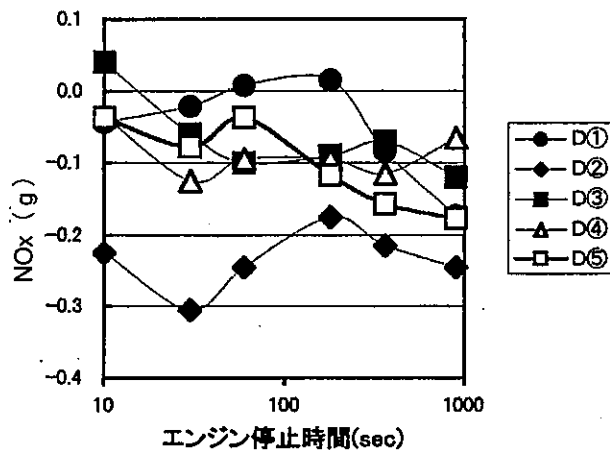
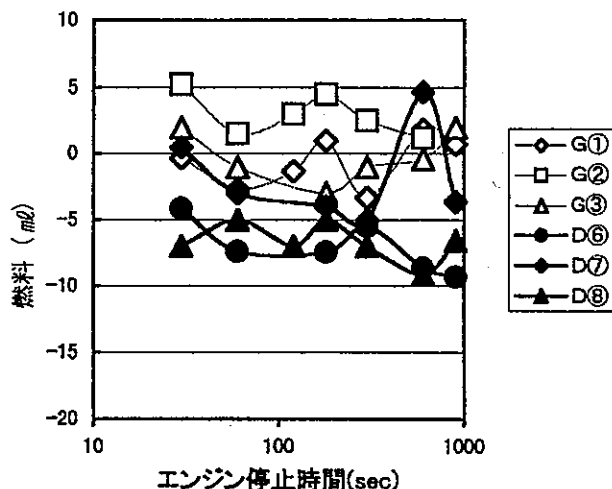
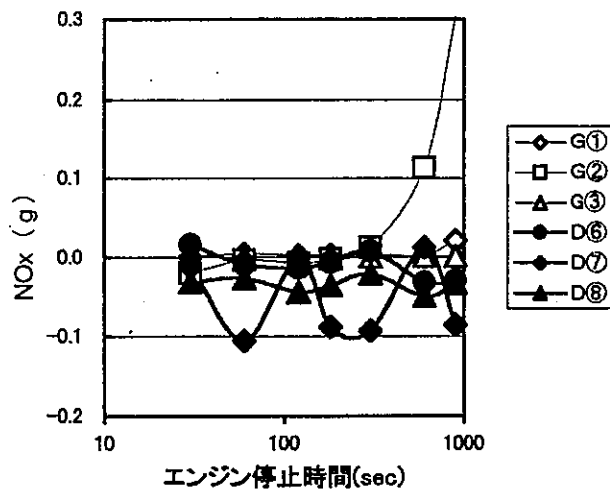


図3 バッグサンプリングによるNOxの増減量

図4 バッグサンプリングによる燃料消費量の増減量

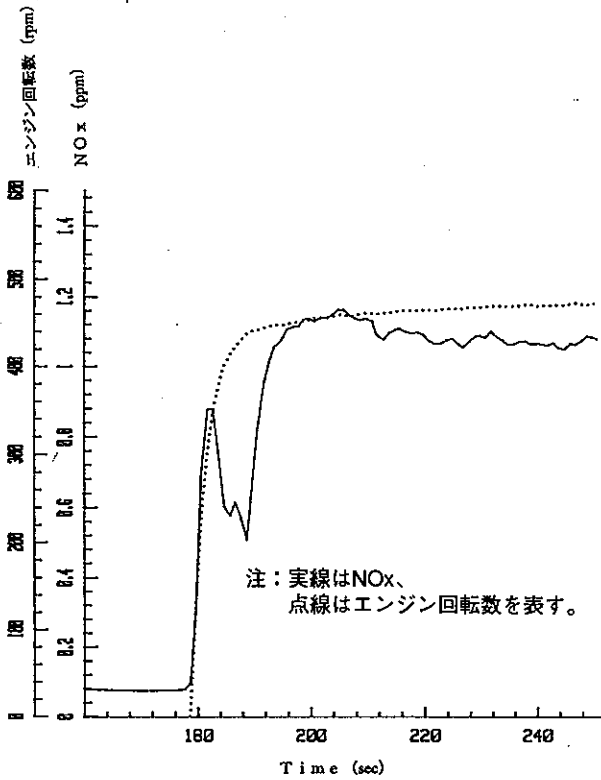


図5 始動時の希釈排出ガス中のNOx濃度の変化例 (D①のエンジン停止180秒の場合)

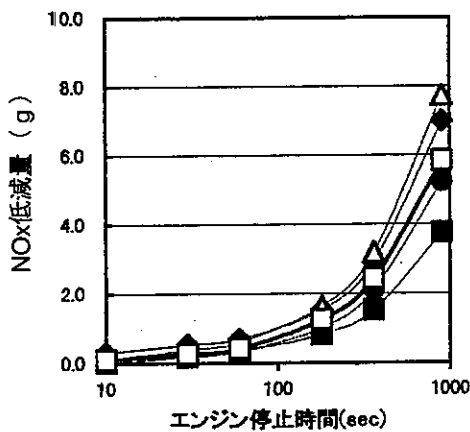
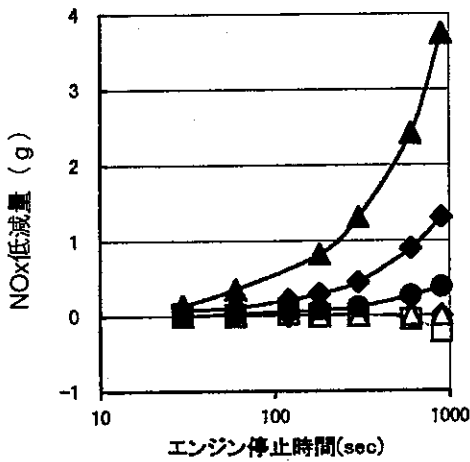


図6 アイドリングストップによるNOxの低減量

表3 積算法による燃費、NOx増加量

車種	G①	G②	G③	D①	D②	D③	D④	D⑤	D⑥	D⑦	D⑧
ID相当時間(sec)	0.3	5.4	2.9	0.4	2.7	1.8	1.9	ND	0.7	0.1	1.5
燃費増加量 (mL)	0.074	2.0	0.48	0.091	0.98	0.29	0.85	ND	0.11	0.015	0.31
NOx ID相当時間(sec)	27.8	182.5	1.8	1.1	3.3	1.1	0.5	1.5	41.7	0.0	0.0
NOx増加量 (mg)	0.5	3.0	0.0	5.9	23.4	4.6	4.6	9.8	29.2	0.0	0.0

費量は、0.091~0.98 mL/回で、同じく0.4~2.7秒に相当した。小型ディーゼル車同様に未燃分の燃料を計測していない可能性がある。

(4) アイドリングストップの効果

始動時の増加分を含めた、アイドリングストップによるNOx及び燃料消費量の低減効果と停止時間(対数目盛)との関係を図6, 7に示した。

ディーゼル車では、(3)で示したように、1台を除いて3秒程度の停止時間を超えれば、エンジンの停止時間に比例してNOx、燃料消費量が低減することになる。ガソリン車でも、燃料消費量については、ディーゼル車と同等な燃料の低減効果がある。

しかし、NOxについては、アイドリング時のNOx排出

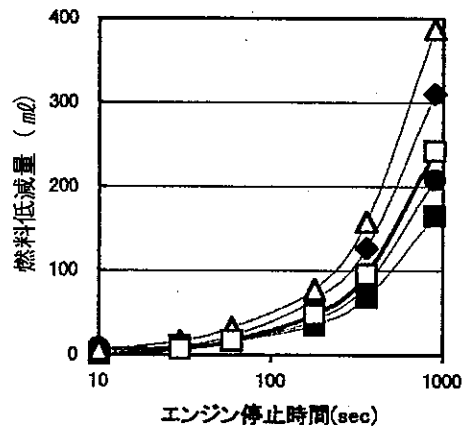
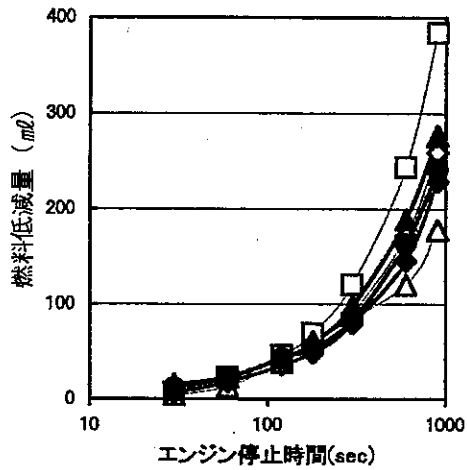


図7 アイドリングストップによる燃費の低減量

量が元々少ないため、アイドリングストップの効果はなく、前述したように、長時間アイドリングを継続すると触媒の冷却により逆に増加する場合があった。

(5) バッテリー電力の消費

始動時のバッテリー電力の消費量を測定した結果を表4に示した。表には、車載のバッテリー電圧、始動時の放電量 (Wh)、直後に充電される充電量 (Wh) とその割合 (回復率)、始動時の最大ピーク電流 (A) 及びアイドリング時の通常電流 (A) を示した。

表4 始動時のバッテリー電力の消費

	バッテリー電圧	放電量 (Wh)	充電量 (Wh)	回復率*	最大ピーク電流 (A)	アイドリング時の通常電流(A)
G②	12	0.193	0.149	77%	315	-3.8
G③	12	0.264	0.225	85%	278	-5.3
平均		0.228	0.187	81%	297	-4.6
D⑥	12	0.032	0.026	83%	169	-1.6
D⑦	12	0.208	0.186	91%	231	-5.0
D⑧	12	0.062	0.047	76%	137	-5.0
平均		0.100	0.086	83%	179	-3.9
D②	24	0.240	0.083	35%	386	-5.0
D③	24	0.123	0.101	82%	296	-6.2
D④	24	0.248	0.205	83%	546	-10.7
D⑤	24	0.218	-	-	574	-10.0
平均		0.207	0.130	67%	451	-8.0

注1) 回復率は、始動後10~30秒以内に充電された比率を示した。

ガソリン車では、始動時の放電量は小型ディーゼル車に比較して大きく、平均0.23Wh程度の電力が消費された。ディーゼル小型車では、0.10Wh、同大型車では0.21Wh程度の電力が消費された。始動後10~30秒以内に、この消費量の80~90%が充電されている。ピーク電流は、ガソリン車297A、小型ディーゼル車179A、大型ディーゼル車451Aであった。

4 まとめ

エンジン始動時の排出ガス等の排出状況や、バッテリー電力の消費状況等に関する基礎的な調査を行った結果、以下のことが明らかになった。

(1) アイドリング時の基礎的な排出レベル

①ガソリン車のアイドリング時のNOx排出量は、0.000~0.011 g/minと非常に少ない。ディーゼル車では総排気量にほぼ比例して増加する傾向にあり、0.08~0.52 g/minの範囲にあった。

②燃料消費量については、ガソリン車とディーゼル車の差は少なく、ガソリン車で10~23ml/min、ディーゼル車で9~27ml/minの範囲であった。

③A/T車では、Dレンジの排出量等がNレンジより高く、NOxでガソリン車が1.23倍、ディーゼル車が1.08倍程度、燃費については、ガソリン車が1.11倍、ディーゼル車が1.36倍程度となっている。

(2) 始動時における排出量等の増加

④積算法により求めた始動時のNOxの増加量は、ガソリン車では5分以内の平均で0.0~3.0mg/回、ディーゼル車では、4.6~23.4mg/回であった。

⑤同じく、燃料消費量については、ガソリン車0.074~2.0ml/回、ディーゼル車0.015~0.98ml/回の範囲にあった。積算法により燃料消費量を換算する場合、未燃の燃料のまま消費されている分が計測されていない可能性がある。

⑥ガソリン車の一部では、エンジン停止が10~15分間に達すると、10・15モード排出量に匹敵する始動時のNOx排出量増加が観測された。現在、地域からの排出量算出に当たって考慮されていない未把握の排出源として、自動車の使用形態全体での実態調査が必要と考えられる。

(3) アイドリングストップの効果

⑦ディーゼル車のNOx、燃料消費量及びガソリン車の燃料消費量については、3~5秒以上のアイドリング時間を超えれば、エンジンの停止時間に比例したアイドリングストップの効果があること確認された。

⑧ガソリン車のNOxについては、アイドリングストップの効果はなかった。

(4) バッテリー電力の消費量

⑨始動時の放電量は、ガソリン車では平均0.23Wh、ディーゼル小型車では0.10Wh、同大型車では0.21Wh程度であった。始動後10~30秒以内に、この消費量の80~90%が充電されている。電力消費量の意味については、今後の検討課題としたい。

以上、現時点での調査結果をまとめた。始動時の排出ガス等の増加分測定については、誤差も大きいため、測定方法について今後検討を加える予定である。また、多様な車種について、基礎的な情報を整備することが必要である。

引用文献

- 1) アイドリング・ストップ運動の実施について、平成8年5月16日、環境庁大気保全局
- 2) 平成9年度アイドリング状況調査委託報告書(東京

都委託業務)、平成10年3月、帝人エコ・サイエンス株式会社

- 3) 横田ら、アイドリング時エンジン停止のNO_x低減効果、東京都環境科学研究所年報1993
- 4) 横田ら、交差点におけるアイドリング・ストップ・シミュレーション、東京都環境科学研究所年報1997
- 5) アイドリング・ストップに関する調査研究、平成11年4月、アイドリングの停止の在り方に関する調査研究会(科学警察研究所)