

## [Regular Paper]

## Effect of Fuel Additives on Reduction of Smoke and Particulate Matter, and Stabilization of Cycle-to-cycle Variation

Kazuhiko SUZUKI\*, Kenichi YUGE, Kei UCHIKAWA, and Kazuo KAKUGAWA

Central Research Laboratories, Idemitsu Kosan Co., Ltd., 1280 Kami-izumi, Sodegaura, Chiba 299-0293, JAPAN

(Received October 25, 2004)

Non-metallic additives are useful countermeasures to reduce smoke and particulate matter from diesel engine emissions. Non-metallic additives include nitro- and oxygenates, oxygenates and nitrogenates. Nitrites and nitrates can reduce smoke and particulate matter in the direct fuel injection engine under constant conditions of 2100 rpm and 80% load. In particular, *n*-hexylnitrite added to gas oil improved particulate matter and NO<sub>x</sub> reduction, and fuel consumption efficiency in the indirect fuel injection engine under Japanese 10·15 mode operation. These additives also reduced the cycle-to-cycle variation of maximum pressures in the cylinder. Smoke concentration decreased with increasing oxygenate concentration. However, oxygenates increased fuel consumption and did not stabilize cycle-to-cycle variation.

**Keywords**

Gas oil, Fuel additive, Particulate matter reduction, Cycle-to-cycle variation, Nitrite, Nitrate

**1. 緒 言**

大気質改善に向けた近年の新短期規制、新長期規制等の自動車排気ガス規制強化に伴い、特にディーゼル自動車から排出される粒子状物質 (PM) 低減が求められている。自動車燃料油側からの黒煙やPM低減対策としては、金属系添加剤を用いる研究が古くから行われている。特に、CaやK等のアルカリ土類金属に関する研究は古く、最近ではCeやFeを用いた燃料油添加剤が欧州等では市場で使われている。ただし、金属系添加剤を用いることは、最近の排出ガス浄化対策として装着された後処理装置に付着して後処理装置寿命低下や背圧増加に伴う燃費低下を引き起こす可能性がある。そこで、これらの悪影響を引き起こさない無灰系添加剤に関する検討を行った。

無灰系添加剤についても含酸素化合物や硝酸エステル等を中心に、黒煙・PM・NO<sub>x</sub>の低減を目的とした排出ガス浄化研究が報告されている。そこで、本研究では既往の添加剤を含めて、添加剤を含窒素・酸素化合物、含酸素化合物、含窒素化合物に分類して排ガス浄化の検討に加えて、すすやPMの粒子径ならびにエンジン筒内圧の検討を行った。

直噴式ディーゼルエンジンを用いたエンジン回転数2100 rpm、負荷80%の定常運転で無灰系添加剤を評価した結果、亜硝酸エステルや硝酸エステルでは黒煙・PM低減効果が認められた。エンジン負荷が増加して筒内の酸素濃度が低下するほど、黒煙・PM低減効果は大きくなった。これは、亜硝酸エステル等から副生するNOと酸素の競争反応に起因して、低酸素

濃度域で黒煙・PM低減効果が発現すると考えられる。このことは、含酸素化合物を添加して筒内酸素濃度を増加させると黒煙・PM低減効果が低下することからも確認できる。また、亜硝酸*n*-ヘキシルについては、副室式エンジンを用いてディーゼル自動車10・15モード試験を実施した所、燃費低減とともにPMやNO<sub>x</sub>低減傾向も見られた。

さらに、筒内の燃焼圧のサイクル変動について検討した。サイクル変動を抑制することは、将来技術として注目されている予混合圧縮自己着火 (HCCI) エンジンでの自己着火時期の安定等を図る有効な手段の一つと考えられる。直噴エンジンを用いて亜硝酸エステルの添加効果について評価した結果、筒内圧力最大値や筒内圧力上昇率最大値の変動を安定させる効果があった。ただし、黒煙やPM低減効果の大きい含酸素化合物ではサイクル変動を安定化させる効果は見られなかった。

本論文では、排ガス浄化効果と燃費向上効果に優れていた亜硝酸エステル、中でも亜硝酸*n*-ヘキシルを中心に、黒煙・PM低減、粒子径分布ならびにサイクル変動抑制の効果について記述する。

**2. 実 験**

エンジン試験は、エンジン回転数と負荷を一定にした定常運転で、排ガス浄化につながる添加剤の選定を行った。次に、10・15モードの認定試験条件で選定した添加剤の性能を把握した。

**2.1. 定常運転ケース**

評価に用いたエンジンは直噴4気筒エンジン (いすゞ自動車 (株)製, 4BE1) であり、Table 1に主な仕様を示す。評価条件は、エンジン回転数2100 rpmで、負荷が40, 60, 80%の各運


\* To whom correspondence should be addressed.

\* E-mail: kazuhiko.suzuki@si.idemitsu.co.jp

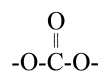
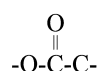
Table 1 Engine Specifications

Items	Steady operation	10・15 mode operation
Engine type	4-stroke, 4-cylinder	4-stroke, 4-cylinder
Fuel supply	Direct injection	Indirect injection
Displacement volume [cc]	3636	2982
Maximum torque [kg-m/rpm]	25.0/2000	34.0/2000
Compression ratio	17.5	21.2
Fuel	Low sulfur diesel JIS (#2)	Low sulfur diesel JIS (#2)

### 1. Nitro- and Oxygenates

	n,n-Dimethylacetamide
-C=N-O-	2-Butanone oxime (2BuOx)
-C-O-NO <sub>2</sub>	Isopentyl nitrate, 2-Ethyl hexyl nitrate, n-Hexyl nitrate
-C-O-NO	Isopentyl nitrite, n-Hexyl nitrite

### 2. Oxygenates

	DMC
-C-O-C-	DEGDME, PA, EGBE
	PGMOAE, PGDOAE

### 3. Nitrogenates



-C-N-	Diisopropylamine (DiPA)、 Diisobutylamine (DiBA)、 Isopentylamine、 Dodecylamine
-C-N=N-	2,2'-Azobis(2,4-dimethylvaleronitrile)
	Piperidine
	Pyrrolidine

Fig. 1 List of Additives

転条件について計測を行った。燃料油は硫黄濃度 50 ppm 以下の JIS2 号軽油を用い、探索した添加剤は主要構造式とともに Fig. 1 に示す。構造式中に窒素、酸素原子が含まれるか否かにより、含窒素・酸素化合物 (Nitro- and Oxygenates)、含酸素化合物 (Oxygenates)、含窒素化合物 (Nitrogenates) の 3 種類に分類した。

また、黒煙、すす濃度、NO<sub>x</sub>濃度については排ガスラインから直接採取して分析した。黒煙濃度は(株)司測研製の低濃度型黒煙測定装置 MODEL GSH-10 で、すす濃度は Artium 製の LII (Laser Induced Incandescence)<sup>2)</sup> で、NO<sub>x</sub>濃度はホダカ(株)製の燃焼排ガス分析装置 HT-200 で計測した。また、PM については(有)エフテクノ製 μトンネル MIT-2000 を用いて 10 倍希釈した後に測定した。フィルターに捕集した PM を空調室に一昼夜保管した後に、ザルトリウス(株)製電子はかり C50 で重量計測を行った。

エンジン筒内の燃焼圧については、キスラー製圧力計 6055B 型にて計測するとともに、クランク角を(株)小野測器製 CP-5200 型にて計測して、両データを(株)小野測器製 DS9100 に取り込み、クランク角に対応した筒内圧力を計測した。計測は 0.1 deg クランク角の間隔で 280 サイクル分のデータを採取した。

### 2.2. 10・15モード運転ケース

評価に用いたエンジンは副室式 4 気筒エンジン (トヨタ自動車(株)製, 1KZ) で、主な仕様を Table 1 に示す。

排ガス中の PM 質量は、(有)エフテクノ製 MIT-3000 型 μトンネルを用いて 50 倍希釈した後に測定を行った。さらに、PM 粒子径は希釈ガスの一部を Combustion Ltd. 製 DMS500<sup>3)</sup> で計測した。排ガス中の NO<sub>x</sub> は(株)堀場製作所製 MEXA-7100D にて計測した。

## 3. 結果と考察

### 3.1. 定常運転ケース

#### 3.1.1. 添加剤による黒煙・PM 低減率の評価

(1) 含窒素・酸素化合物と含窒素化合物の評価

エンジン回転数 2100 rpm、負荷 80% の定常運転条件で、Fig. 1 に示す添加剤を評価した結果を Figs. 2, 3 に示す。なお、測定日の違いによる添加剤効果の差を低減するために、各測定日毎に添加剤配合燃料油を 4 回評価する前後で燃料油単独の評価を各 3 回実施した。そして、添加剤による黒煙・PM 低減率を以下のように定めた。

燃料油単独の排ガス平均値 =

前後 3 回、合計 6 回の平均黒煙または PM 量測定値 (1)

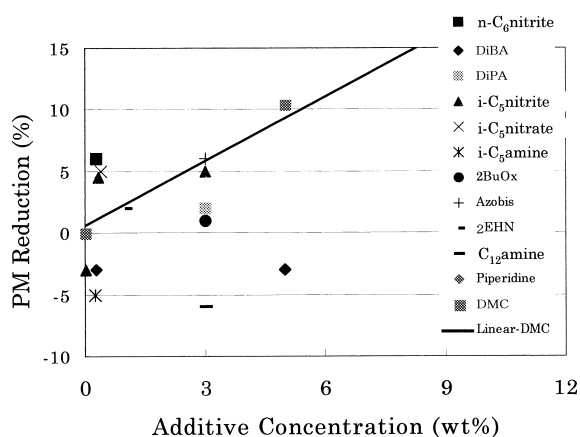
添加剤配合燃料油の排ガス平均値＝

4回の平均黒煙またはPM量測定値 (2)

添加剤による黒煙またはPM低減率＝

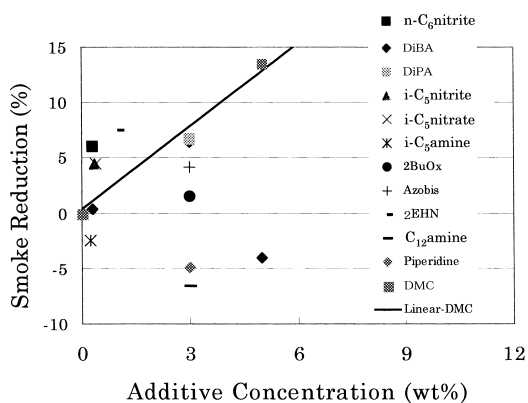
(燃料油単独の排ガス平均値－添加剤配合燃料油の排ガス平均値) / (燃料油単独の排ガス平均値) × 100 (3)

添加剤は、窒素原子、酸素原子の含有有無により、含窒素・酸素化合物、含酸素化合物、含窒素化合物に分類して評価した。



Conditions: direct fuel injection, 2100 rpm, 80% load.

Fig. 2 Effect of Additive Concentration on Particulate Matter Reduction



Conditions: direct fuel injection, 2100 rpm, 80% load.

Fig. 3 Effect of Additive Concentration on Smoke Reduction

含酸素化合物であるジメチルカーボネート (DMC) については、添加量の増加とともにPMや黒煙の低下が知られているので、DMCと同一添加量で黒煙ならびにPMの低減効果の優れた含窒素・酸素化合物と含窒素化合物を評価した。含窒素・酸素化合物の中でも、亜硝酸*n*-ヘキシル、亜硝酸イソペンチル、硝酸イソペンチルや2エチルヘキシルナイトレート等のNOもしくはNO<sub>2</sub>結合を有する亜硝酸エステルや硝酸エステルが、含酸素化合物であるDMCと同一濃度添加でも黒煙・PMの低減効果が大きい領域、主に添加剤濃度3 wt%以下の領域がある。

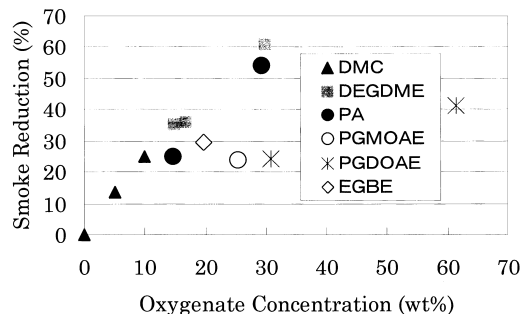
ただ、亜硝酸イソペンチルに見られるように、添加量を増加させても黒煙やPM低減効果には限界が見られる。

### (2) 含酸素化合物の評価

添加剤の中でTable 2に示す含酸素化合物に注目して、黒煙低減率をエンジン回転数2100 rpm、負荷80%の定常運転条件で評価した。Fig. 4に示すように含酸素化合物の添加濃度基準でPM低減効果を評価すると、良い相関性が得られない。そこで、宮本ら<sup>4)</sup>の低級含酸素化合物に関する知見を基に、含酸素化合物中の酸素濃度を基準にして黒煙低減効果を評価すると、Fig. 5に示すように燃料油中の含酸素濃度増加に伴い黒煙の低減率が増加している。これらの含酸素化合物の中で、ジエチレングリコールジメチルエーテル (DEGDME) は、同一燃料油中の酸素濃度で評価すると若干黒煙低減率が大きい。たとえば、DEGDMEを16.8 wt% (燃料油中の酸素濃度6 wt%) を添加すると、黒煙低減率は36%に達した。そこで、以下の検討ではDEGDMEで含酸素化合物系添加剤の評価を行った。

### (3) 含窒素・酸素化合物と含酸素化合物の組合せ評価

亜硝酸*n*-ヘキシルとDEGDMEを組み合わせ、エンジン回



Conditions: direct fuel injection, 2100 rpm, 80% load.

Fig. 4 Effect of Oxygenate Concentration on Smoke Reduction

Table 2 Oxygenate Characteristics

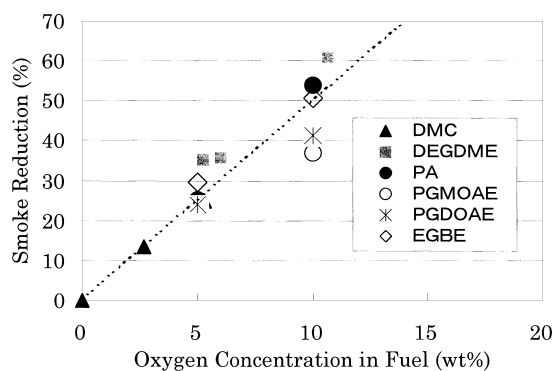
Brand	Component	MW	O <sub>2</sub> content [wt%]
DMC	Dimethyl carbonate	214.2	53.3
DEGDME	Diethylene glycol dimethyl ether	134.2	35.8
PA	Paraldehyde	132.2	36.4
EGBE	Ethylene glycol mono <i>n</i> -butyl ether	118.2	27.1
PGMOAE	Polyethylene glycol mono oleic acid ester	458.0	21.0
PGDOAE	Polyethylene glycol di oleic acid ester	738.0	17.3

転数2100 rpm, 負荷40%と80%の定常運転条件で黒煙の低減効果を検討した。その結果, **Table 3**に示す通り16.8 wt%のDEGDMEが添加されている状態では亜硝酸*n*-ヘキシル添加による改善効果が見られなかった。

亜硝酸エステル(RONO)を分解するとNOが発生する。NOについては, Faravelli<sup>5)</sup>が低温燃焼反応でプロパンの分解反応を促進すると報告している。ただし, エンジン内燃焼を想定した高温燃焼反応での実験例は見あたらない。そこで, Horiら<sup>6)</sup>のNO-NO<sub>2</sub>による炭化水素の転化率促進効果に関する研究結果から得られたCH<sub>3</sub>と各ラジカルとの反応速度定数を**Fig. 6**に示す。NOの反応速度がそれほど速くないために含酸素化合物から生成するOやOHラジカル等の濃度が濃い領域では, 亜硝酸エステルから生成するNOラジカル添加効果が見られないものと考えられる。

#### (4) エンジン負荷に伴う黒煙低減率

エンジン負荷や含酸素化合物の添加量に応じて排気中の酸素濃度が変化する。出口酸素濃度は間接的に筒内酸素濃度に関連するので, エンジン出口での排ガス中酸素濃度を基準として黒煙低減率を評価した。燃料油としては, 軽油と*n*-ヘプタン(*n*-C<sub>7</sub>)を用いて, 含酸素・酸素化合物として亜硝酸*n*-ヘキシル, 亜硝酸*i*-ペンチル, 硝酸*n*-ヘキシルと2-エチルヘキシルナイトレート(2EHN)のいずれかを0.3 wt%, また含酸素化合物としてDEGDMEを16.8 wt%加えた場合について, 排ガス中の酸素濃度と黒煙低減率の関係を**Fig. 7**に示す。80%や60%負荷の同一負荷の場合には, 燃料油中の含酸素濃度が増加するに従って黒煙濃度低減率は大きくなるが, 含酸素・酸素化合物系



Conditions: direct fuel injection, 2100 rpm, 80% load.

Fig. 5 Effect of Oxygen Concentration in Fuel on Smoke Reduction

添加剤が追加された黒煙濃度低減効果は見られなかった。また, 燃料油中の含酸素濃度が同一の場合にはエンジン負荷が低下して排ガス中の酸素濃度が増加するに従い, 黒煙低減率が低下する。この点も, 前項と同様に負荷が低下するに従って, 燃焼ガス中のOとOHラジカル濃度が増加するために含酸素化合物の添加効果が現れ難いと考えられる。

#### 3.1.2. すず粒子径ならびにすず粒子濃度

0.3 wt% 亜硝酸*n*-ヘキシルと16.8 wt% DEGDMEを添加した

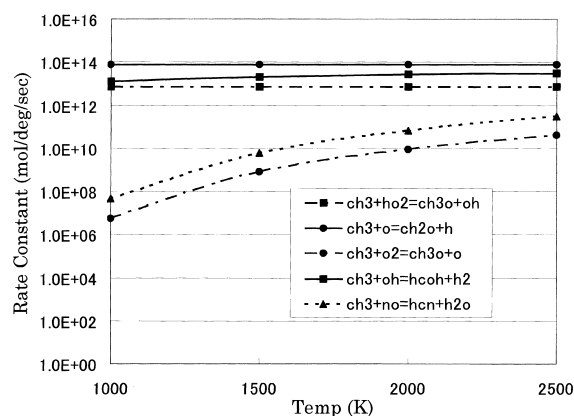
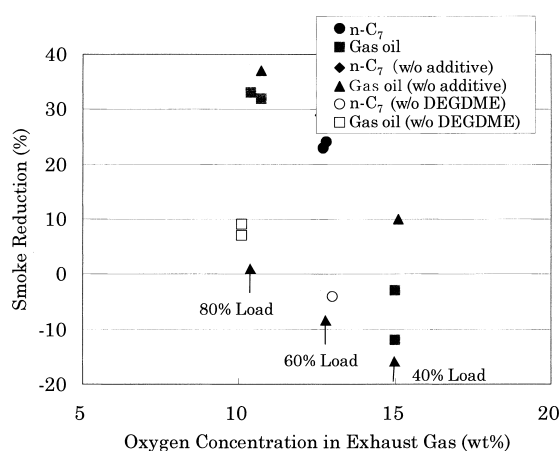


Fig. 6 Comparison of Combustion Rates for Methyl Radical

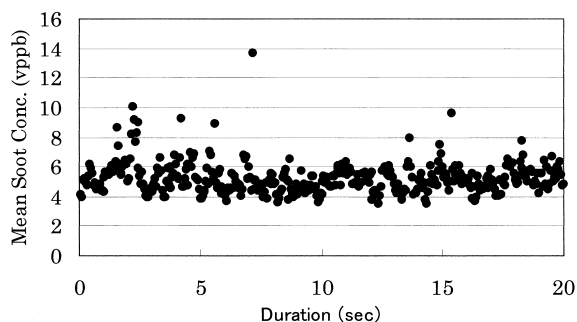


Conditions: direct fuel injection, 2100 rpm, 80-40% load.

Fig. 7 Effect of Oxygen Content in Exhaust Gas on Smoke Reduction

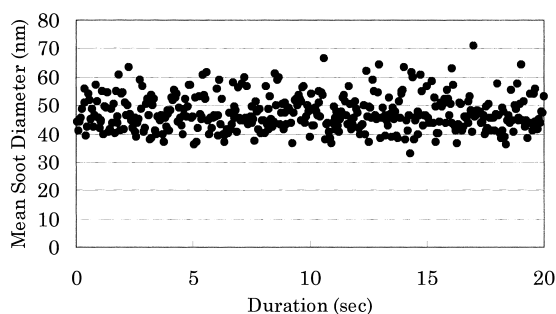
Table 3 Effect of Additives on Engine Emissions

Additives	Load [%]	Reduction ratio [%]		
		PM	Smoke	Soot
0.3 wt% <i>n</i> -C <sub>6</sub> nitrite + 16.8 wt% DEGDME	40	11.2	-2.6	0.0
	80	27.7	31.9	40.5
Ref. 16.8 wt% DEGDME	40	12.0	10.2	—
	80	29.6	35.8	—



Conditions: direct fuel injection, 2100 rpm, 80% load, gas oil + 0.3 wt% *n*-C<sub>6</sub> nitrite + 16.8 wt% DEGDMC.

Fig. 8 Trend of Mean Soot Concentration Measured with LII



Conditions: direct fuel injection, 2100 rpm, 80% load, gas oil + 0.3 wt% *n*-C<sub>6</sub> nitrite + 16.8 wt% DEGDMC.

Fig. 9 Trend of Mean Soot Diameters Measured with LII

軽油を、エンジン回転数2100 rpm、負荷80%の定常運転条件で評価した。その際に黒煙の粒子径ならびに粒子濃度をArtium製LIIで測定し、1回の測定結果をFigs. 8, 9に示す。同図から分かるように、平均粒子径には時間変動が認められる。そこで、下記式からすすり濃度毎の出現頻度を基に粒子径分布を定めた。さらに、添加剤によるすすり濃度低減効果も考慮して軽油のすすり濃度を基準とした粒子径分布をFig. 10に示す。

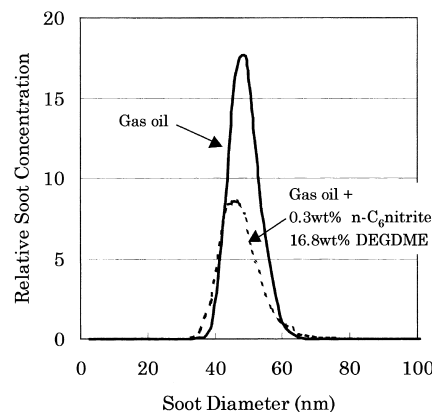
任意の粒径での粒子数補正式

$$\text{軽油の粒子数割合} = \frac{(\text{任意の粒径での粒子数頻度}) \times 100}{(20\text{秒間で計測された全すすり濃度頻度})} \quad (4)$$

$$\text{添加剤配合軽油の粒子数割合} = \frac{(\text{任意の粒径での粒子数頻度}) \times 100}{(20\text{秒間で計測された全すすり濃度頻度})} \times \frac{(\text{添加剤配合軽油時の平均すすり濃度})}{(\text{軽油単独時の平均すすり濃度})} \quad (5)$$

本図は、軽油の全すすり濃度を100とした時のすすり濃度分布を示すとともに、添加剤配合軽油については軽油単独時の全すすり濃度を基準にして添加剤によるすすり濃度低減効果を組み入れたすすり濃度分布としている。

軽油単独ならびに組合せ添加剤(0.3 wt% 亜硝酸*n*-ヘキシル + 16.8 wt% DEGDMC)配合軽油の場合には、すすり濃度は各々9.49 ppb, 5.65 ppbである。組合せ添加剤により、すすり濃度が40%低減している。また、すすり濃度分布は軽油単独の



Conditions: direct fuel injection, 2100 rpm, 80% load.

Fig. 10 Soot Diameter Distribution

場合と比較して、組合せ添加剤を用いると49.2 nmから48.4 nmへと若干小粒子径側に移る。これらは、組合せ添加剤により燃焼が促進されたために、すすり濃度の減少とすすり濃度の低下が生じたと考えられる。

### 3.1.3. サイクル変動

エンジン回転数2100 rpm、負荷80%の定常運転を行った際に、亜硝酸*n*-ヘキシル単独、2-エチルヘキシルナイトレート(2EHN)単独、DEGDMC単独ならびに亜硝酸*n*-ヘキシルとDEGDMCを組み合わせた添加剤による筒内圧力最大値と筒内圧力上昇率最大値に関するサイクル変動抑制効果を評価した。測定日毎の変動差を取り除くために、各添加剤を測定した日での軽油単独のサイクル変動値も併せてTable 4に示す。添加剤による抑制効果を示すために、Eq. (6)で定義する安定化率も併記している。

安定化率 =

$$\frac{((\text{燃料油単独での標準偏差値}/\text{最大筒内圧}) - (\text{燃料油} + \text{添加剤での標準偏差値}/\text{最大筒内圧})) \times 100}{(\text{燃料油単独での標準偏差値}/\text{最大筒内圧})} \quad (6)$$

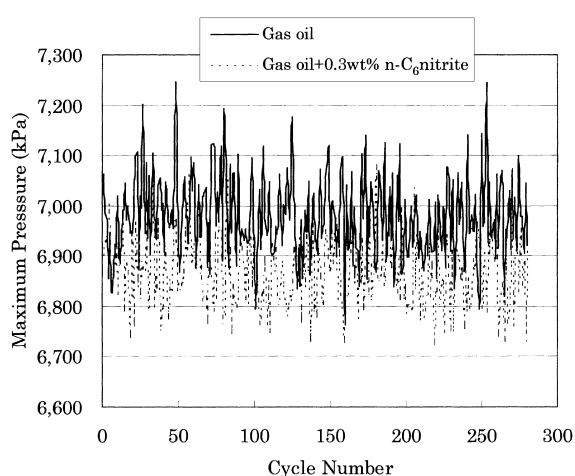
また、Figs. 11, 12には、例として軽油単独と亜硝酸*n*-ヘキシル配合軽油について、筒内圧力最大値と筒内圧力上昇率最大値280回分のサイクル変動を示す。亜硝酸*n*-ヘキシル単独、2EHN単独、また亜硝酸*n*-ヘキシルとDEGDMC組合せの添加剤を用いた場合には、Table 4に示すように標準偏差値が減少してサイクル変動が抑制されているのが分かる。一方、DEGDMCを用いた場合には、サイクル変動の標準偏差値には差がなく、サイクル変動を抑制する効果が見られない。

また、亜硝酸*n*-ヘキシルを軽油に添加した場合について、280サイクル分の平均筒内圧と熱発生率をFigs. 13, 14に示す。添加剤を加えると筒内圧的には若干着火時期の早期化が観測されるが、添加剤の有無では平均圧的に大きな変化はない。一方、熱発生率は、硝酸*n*-ヘキシルの添加により、熱発生パターンが平準化している傾向が見られる。

以上の結果から、含酸素化合物であるDEGDMCにはサイクル変動を抑制する効果は小さいが、含窒素・酸素化合物である亜硝酸*n*-ヘキシルや2EHNにはサイクル変動を抑制する効果が

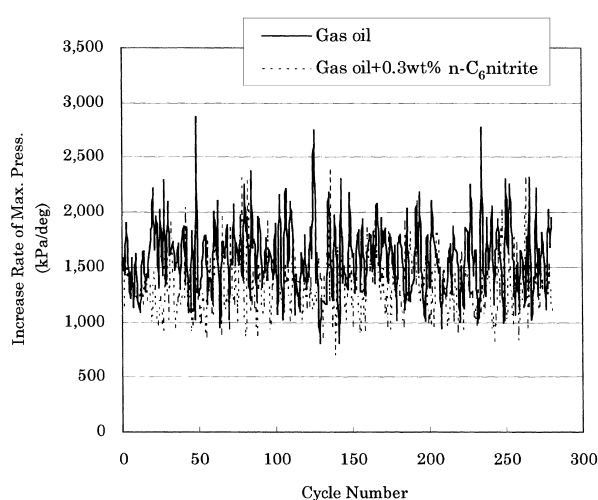
Table 4 Effect of Additives on Cycle-to-cycle Variation

No.	Fuel	Mean	Standard deviation		Stabilization ratio	
		Max. press. [kPa]	Max. press. [kPa]	Increase rate of max. press. [kPa/deg]	Max. press. [%]	Increase rate of max. press. [%]
1	Gas oil	6977	81.5	348	11.5	16.3
	Gas oil+0.3 wt% <i>n</i> -C <sub>6</sub> nitrite	6867	71.0	287		
2	Gas oil	6977	81.5	348	17.7	24.1
	Gas oil+0.3 wt% 2EHN	6830	65.7	259		
3	Gas oil	7132	86.7	347	3.8	-0.2
	Gas oil+16.8 wt% DEGDME	7111	83.2	347		
4	Gas oil	7121	85.6	352	23.6	23.2
	Gas oil+0.3 wt% <i>n</i> -C <sub>6</sub> nitrite +16.8 wt% DEGDME	6936	63.7	263		



Conditions: direct fuel injection, 2100 rpm, 80% load.

Fig. 11 Cycle-to-cycle Variation of Maximum Pressure in Cylinder



Conditions: direct fuel injection, 2100 rpm, 80% load.

Fig. 12 Cycle-to-cycle Variation of Increase Rate of Maximum Pressure in Cylinder

見られる。

### 3.2. モード実験

エンジンは副室式のトヨタ製1KZを使用し、ディーゼル自動車10・15モード排出ガス測定法で亜硝酸*n*-ヘキシルやDEGDMEの添加剤効果を確認した。添加剤の効果をTable 5に示す。

定常運転ケースと同様に亜硝酸*n*-ヘキシル単独の添加では、燃費が0.2% 向上し、PM低減率が8.6% になった。さらに、0.3 wt% 亜硝酸*n*-ヘキシルを添加しても、排ガス中のNO<sub>x</sub>濃度が若干低下する。これは、NO<sub>x</sub>生成要因としてフューエルNO<sub>x</sub>よりもサーマルNO<sub>x</sub>が支配的であるために、添加剤に含まれる窒素分が排ガス中のNO<sub>x</sub>分の増加につながらないと考えられる。このように、亜硝酸*n*-ヘキシルを用いると、効果は大きいが、燃費向上とともにPM低減、NO<sub>x</sub>低減を図ることができた。ただし、Leonard<sup>7)</sup>はYAMAHA ME200Fエンジンを用いて、各種の含酸素化合物と2EHNの軽油への添加効果を評価した。その総括として、2EHNについてはNO<sub>x</sub>低減効果があり、黒煙については定回転数では改善する条件もあるが全体的には

悪化するとしている。亜硝酸*n*-ヘキシルや2EHNのPMや黒煙低減効果はさほど大きくはないので、エンジン種や運転条件の比較検討が今後必要と考えられる。

また、亜硝酸*n*-ヘキシルとDEGDMEを加えると、PM低減率は7.6% になるが、逆に出力時間あたりに消費した燃料重量で定義した燃費は1.7% 悪化した。

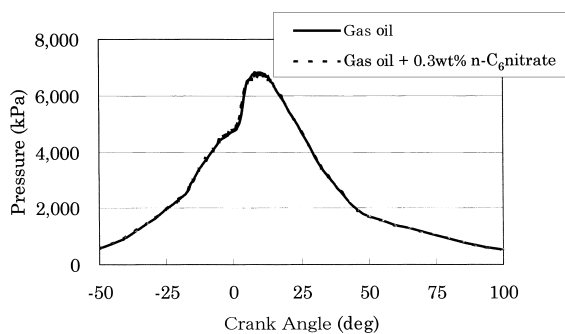
次に、Combustion Ltd.製DMS500にて、10・15モードの第13ステップでPM粒子濃度分布を計測した結果をFig. 15に示す。亜硝酸*n*-ヘキシルの添加により燃焼が促進されたために、PM粒子径が減少した。

このように、亜硝酸*n*-ヘキシルは定常運転のみならず、10・15モード運転においても、エンジン内燃焼を促進して排ガスを浄化する効果があることが認められた。

## 4. 結 論

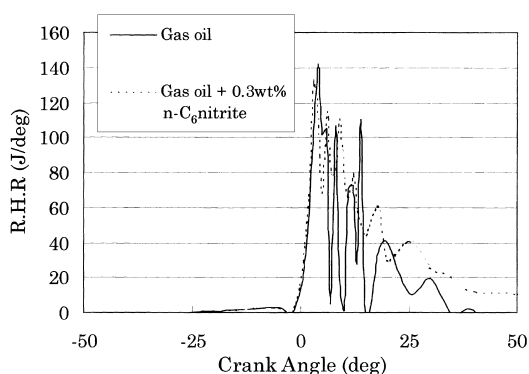
ディーゼル自動車の排ガス浄化を無灰型燃料油添加剤で検討し、以下の結果を得た。





Conditions: direct fuel injection, 2100 rpm, 80% load.

Fig. 13 Effect of Additive on Mean In-cylinder Pressure Distribution



Conditions: direct fuel injection, 2100 rpm, 80% load.

Fig. 14 Effect of Additive on Rate of Heat Release

(1) 亜硝酸エステルや硝酸エステル等の構造式中に、NOやNO<sub>2</sub>が含まれる化合物は黒煙やPM低減に効果がある。ただし、低減効果は必ずしも添加量とともに増加せずに上限がある。また、燃焼場での酸素濃度が低いほど、黒煙やPMの低減効果が現れ易い。

(2) 含酸素化合物は添加量の増加とともに、黒煙やPMの低減効果が増加する。黒煙低減率については、燃料油中の酸素濃度と相関性が良い。

(3) 添加剤により燃焼性を向上させると、すすやPMの粒子径が減少する。

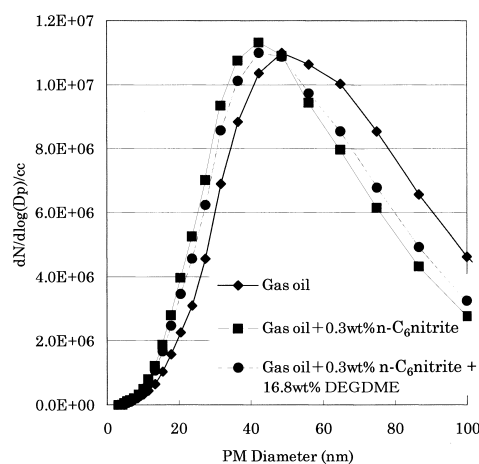
(4) 亜硝酸エステルや硝酸エステルにはサイクル変動を抑制する効果がある。ただし、含酸素化合物には抑制効果が見られない。

## 謝辞

本研究は、(財)石油産業活性化センターの石油精製・利用技

Table 5 Effect of Additives on Engine Emissions and Fuel Consumption under Japanese 10·15 Mode

Fuel	Reduction ratio [%]		
	Fuel consumption	PM	NO <sub>x</sub>
Gas oil	base	base	base
Gas oil + 0.3 wt% <i>n</i> -C <sub>6</sub> nitrite	0.2	8.6	0.7
Gas oil + 0.3 wt% <i>n</i> -C <sub>6</sub> nitrite + 16.8 wt% DEGDME	-1.7	7.6	2.7



Conditions: indirect fuel injection, 13th step of Japanese 10·15 mode.

Fig. 15 Effect of Additives on Particulate Matter Diameter Distribution

術国際共同研究事業として行われたものである。

## References

- 1) Infinium U. S. A. Ltd. Partnership, Jpn. Kohyo Tokkyo Koho JP2001-510230 (2001).
- 2) Bachalo, W. D., Sanker, S. V., Smallwood, G. J., Snelling, D. R., 11th International Symposium on Application of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Libon, July 8-11, 2002.
- 3) Yufune, T., Yanagihara, S., 10th Keisoku·Shindann Inkai, The Society of Automotive Engineers of Japan (JASE) (2003).
- 4) Miyamoto, N., Ogawa, H., Arima, T., Obata, K., Cao, G.-H., The Society of Automotive Engineers of Japan (JASE) paper 9830497 (1998).
- 5) Faravellia, T., Frassoldatia, A., Ranzi, E., *Combustion and Flame*, **132**, 188 (2003).
- 6) Hori, M., Matsunaga, N., Marinov, N., Pitz, W., Westbrook, C., *Proceedings of the Combustion Institute*, **27**, 389 (1998).
- 7) Shih, L. K.-L., SAE paper 982573 (1998).

## 要 旨

## 燃料油添加剤による黒煙および粒子状物質の排出量低減とサイクル変動抑制効果

鈴木 和彦, 弓削 兼一, 内川 啓, 角川 一夫

出光興産(株)中央研究所, 299-0293 千葉県袖ヶ浦市上泉 1280

ディーゼル自動車から排出される黒煙, 粒子状物質 (PM) 低減に向けて金属を含まない無灰系添加剤の検討を行った。その結果, 亜硝酸エステルや硝酸エステル系添加剤を軽油に添加すると, 直噴エンジンで回転数2100 rpm, 負荷80% の定常運転では黒煙やPMの低減が認められた。特に, 黒煙低減効果は筒内の酸素濃度が低いほど大きくなった。また, 筒内燃焼圧のサイクル変動を抑制する効果も認められた。

含酸素化合物については, 燃料油中の酸素濃度を増加させるほど黒煙低減率も増加した。ただし, サイクル変動については抑制効果が認められなかった。

次に, 副室式エンジンを用いて, ディーゼル自動車10・15モード排出ガス測定法に基づいた試験を行った結果, 軽油に亜硝酸 *n*-ヘキシルを添加した所, 燃費向上と同時にPM低減, NO<sub>x</sub>低減が認められた。