

## 技術論文

## 2サイクルエンジンオイルの排気煙評価手法の開発

## Evaluation Method of Exhaust Smoke For 2-Stroke Engine oils

矢代善伸\*

Yoshinobu Yashiro

高橋邦男\*\*

Kunio Takahasi

## 要 旨

2サイクルガソリンエンジンは小型、軽量等多くの特長を持っている。しかし、その構造上エンジンオイルは使い捨てとなる。この為に排気煙が発生する場合がある。排気煙低減の為にはエンジンだけでなく、使用するエンジンオイルの改善が不可欠である。しかし、エンジンオイルの排気煙評価に際して決まった方法がなかった。そこで、簡便な評価手法についての検討を行なった。

本報告では、オイル単体評価と実機評価での関係について報告する。この結果以下の二つのが分かった。一つは、エンジン及び運転方法を決定すればどのような実機評価方法でも評価可能である。実機評価方法の中で最も簡単かつ精度よく評価できるのは小型2サイクル発電機を使用した方法である。もう一つは、DSCを使用したオイル単体評価結果と実機評価結果がほぼ一致することである。差の少ないオイルを評価するには実機よりむしろ適していると考えられる。

## Abstract

Two-stroke gasoline engine is light weight, compact and has numerous advantages. However, because of its inherent engine configuration, engine oil is used as once-through system and is discarded, resulting in exhaust smoke in some occasion. In order to reduce the exhaust smoke, it is imperative to make improvement not only in engine itself but also in oil used. No standard method was available to evaluate engine smoke performance. This study was initiated to devise a simple evaluation method.

In two studies reported here, evaluation of oil alone and evaluation of oil performance in actual engines are given. Following two facts were found as a result. The first item is the fact that oil can be evaluated by any actual engine performance evaluation method once the engine used and the method used are specified. The simplest and the most accurate method among the actual engine performance method is the method to use the small two-stroke electric generator. The second item found is the fact that the results between the single oil evaluation tests by use of DSC and the actual engine performance evaluation tests agree very closely. For evaluation of oil whose performance difference is minimal, the single oil evaluation method is suitable over actual engine performance evaluation method.

## 1. ま え が き

2サイクルエンジンの排気煙は昔から話題になっている。今後環境改善の動きに関連して、排気

煙を更に低減していく必要がある。排気煙低減手法概要については以前に報告している。この中でオイルの排気煙性能とオイルの $\Delta H$  (DSC-Differential Scanning Calorimetry) で計測可能の相関について説明している。この結果によれば、オイルの排気煙性能と $\Delta H$ には非常にきれいな相

\*, \*\* モーターサイクル事業部 第4開発部

関関係が認められる。

オイルの排気煙性能評価に対してどの手法が良いかは別にして、エンジンを使用した実機での評価手法の存在が非常に重要である。しかし、現状では非常に多くの種類の実機評価手法がある。言い換えるとオイルの排気煙性能を実機で評価した人の人数分評価手法が存在する。今後、スモークレスオイルの積極的導入に際して共通の評価手法の確立が非常に重要になってくるものと思われる。

本研究で目指したのは、最低限の設備で、精度良く、誰でもオイルの排気煙性能を評価出来る手法の開発である。開発に当たって考慮したのは、実際の車両での評価と相関があることである。

本研究では、各種運転条件下での排気煙の出方の解析及び開発した小型2サイクル発電機を使用した排気煙手法について報告する。この結果、今回開発した簡便な評価手法で2サイクルエンジンオイルの排気煙性能が充分評価できることが分かった。今後、動力計等特殊な設備を必要としない本評価手法の使用により、世界的にスモークレスエンジンオイル開発がスピードアップすることを願う。

## 2. 使用エンジン, オイル, スモークメーター

以下に使用したエンジン, オイル, スモークメーターについて概要を説明する。

### 1) 使用エンジン

表1でエンジンAを除くと全てモーターサイク

表1 使用エンジン

	エンジンA	エンジンB	エンジンC	エンジンD	エンジンE
冷却方法	強制空冷	強制空冷	自然空冷	自然空冷	水冷
B * S (mm)	52 * 50	50 * 42	50 * 49.6	54 * 52	59 * 54
排気量(cc)	106	82	89	119	148
出力 (kW)	1.1	2.2	5.1	9.6	22
製品	発電機	S / C	モーターサイクル		

ルである。排気量は最も一般的な80ccから150ccクラスより選定した。

### 2) 使用オイル

表2 使用オイル

オイル名称	A	B	C	D	E	
反応エネルギー ΔH	280	202	125	100	77	
ベースオイル %wt	鉱油	100	80	50	30	0
	PIB	0	0	30	50	80
	希釈剤	100	20	20	20	20

オイル Dの反応エネルギーを100としている

スモークレスオイルを設計する場合、現在のところポリブテン（以下PIB）の使用が最も経済的である。この為本報告では鉱油とPIBの組み合わせについて報告する。なお、オイルA, Bは東南アジア, C, D, Eは日本での市販オイルである。

### 3) 使用スモークメーター

排気煙濃度を測定する装置としては、司測研(株)製の光透過型スモークメーター (LESM-2) を使用した。測定位置はマフラー後方100mmとした。

## 3. モーターサイクルに於ける排気煙の出方

### 1) 排気煙発生状態の確認

2サイクルエンジンオイルの排気煙性能評価手法開発に際して、実際のエンジンでの排気煙の出方を理解する必要がある。図1にモーターサイクルに於ける測定結果の一例を示す。この例はタウ

ン走行を想定したパターン運転 (アイドル20秒,

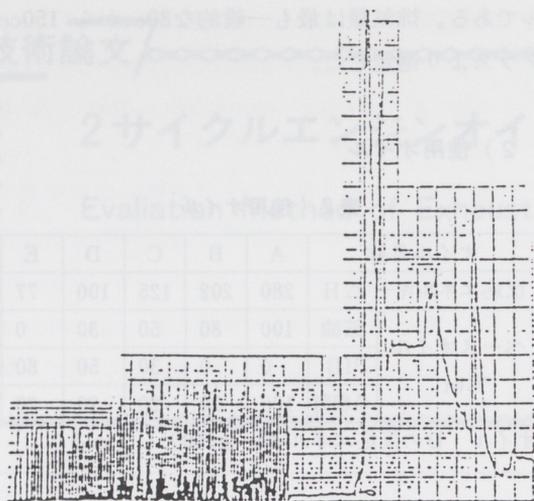


図1 排気煙発生状態

加速20秒の繰り返し)を行ない、休憩後全開加速で高速道路に入ったと想定したときの排気煙測定結果である。パターン運転時の加速は50km/hまでとし、高速への全開加速は90km/hまでで後は常時としている。

この結果を見ると、煙の多いのは加速時である。特に高速走行に移る際の加速時に、より多くの煙が発生している。タウン走行を想定したパターン運転時間を図1の例より長く運転すると、高速への加速時に発生する排気煙は更に増加する。

この煙の出方を見ると加速時に発生している排気煙は、加速前の運転でマフラー内に残留していたオイル量の影響を強く受けると考えて良いだろう。

#### 4. 結果

##### 1) 定常運転時の排気煙調査結果

まず、最も簡単な定常運転時の排気煙の出方を調査した。一般論として、排気煙は高負荷運転時程少ない。そこで、エンジンB, C, D, Eの4機種でシャーシダイナモで排気煙の見えなくなる車速を測定した。表3に測定条件、図2に測定結果を示す。評価にはオイルAを使用した。何故な

ら排気煙の多いオイルの方が結果が分かりやすいためである。

表3 測定条件

負 荷	: 全開
冷 却 風	: 車速比例制御
D y 制 御	: 定速度制御
慣性重量	: 車両重量 (全装備) + 80Kgf
使用オイル	: A

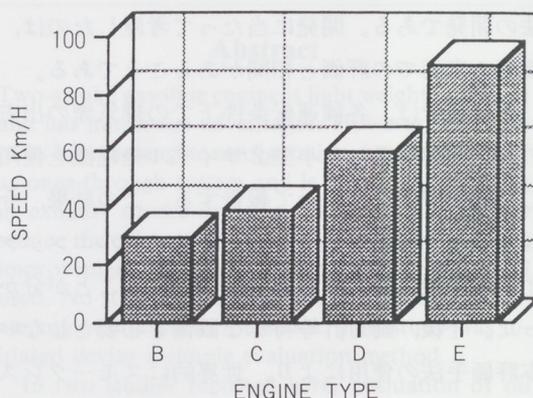


図2 排気煙目視不可能車速

##### 2) オイルの種類及び給油量の影響

オイルの種類により排気煙濃度は大きく異なる。これは2サイクルエンジンの開発を行なった経験のある人達には常識である。また同様にオイル供給量でも排気煙濃度は大きく変わる。このオイル種類と給油量の影響は基本的に一つのファクターで表せないか?と考えた。この為、表4の2つの仮説をたててテストを行なった。

表4 オイル種類、給油量と排気煙に関する仮説

1) オイル種類の影響	オイル固有の $\Delta H$ (Kcal/g) に比例
2) 給油量の影響	給油量 (g/hr) に比例

評価にはエンジンDを使用した。全負荷でシャードダイナモにて車速毎の排気煙濃度を計測した。30km/h～60km/hまで10km/h毎に測定した。使用したオイルはオイルA, B, Cの3種類である。

表4の仮説を一つの式にすると以下のようになる。

$$\Delta H \text{ (Kcal/g)} * \text{給油量 (g/hr)} \\ = T \Delta H \text{ (Kcal/hr)}$$

つまり、単位時間あたりに供給されるオイルの $\Delta H$ になる。オイル種類、給油量の影響を一つの数値で表せる為 $T \Delta H$ 、と呼ぶことにする。 $\Delta H$ はオイルDを100とした相対値である。給油量はエンジンDの標準給油量を100%として、何%供給しているか?で評価した。テストした $T \Delta H$ について表5に示す。

表5 評価した $T \Delta H$ の値

$T \Delta H$	50	100	112	168	202	224	280
オイルA	20		40	60		80	100
オイルB					100		
オイルD		100					

表の中の数値は給油量%  
見方の例： $T \Delta H = 202$ はオイルBを100%供給している。

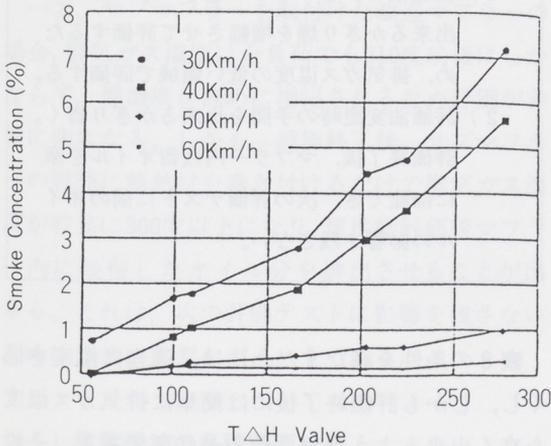


図3  $T \Delta H$ と排気煙

$T \Delta H$ と排気煙の間には非常に良い相関が認められる。車速によって排気煙濃度が大きく違うの

は評価時の排気ガス温度が違うためである。排気ガス温度の違いを考えても、 $T \Delta H$ と排気煙濃度の間には奇麗な相関が認められる。具体的にいうと、 $\Delta H 100$ のオイルを100給油した場合と、 $\Delta H$ が200のオイルを50給油した場合の排気煙濃度は同じである。しかし、給油量を単純に半分にするのは非常に難しい。なぜなら、ピストン焼き付き等の潤滑トラブル及びリング膠着等の清浄性トラブルが発生するためである。

モーターサイクルでのこれまでのテスト結果をまとめてみよう。

排気煙対策のために最も理想的な2サイクルエンジンオイルとはどのようなオイルであろうか?以下の3点を満たしたオイルと考える。

- イ) 排気煙が少ない。
- ロ) 潤滑性が高い(給油量が少なくても良い)
- ハ) 給油量が低下しても清浄性が低下しない。

このような理想的オイルを開発する為には、簡単な排気煙評価手法が不可欠である。潤滑性及び清浄性評価手法に関してはオイル開発の基本である。しかし、排気煙評価手法についてはこれと言った手法がないのが実情である。

### 3) 排気煙評価手法

オイルの排気煙評価手法は各種報告されている。表6に一般的に使用されている評価手法を示す。

表6 2サイクルエンジンオイルの排気煙評価手法

- 特理的分析法—D S C法 ( $\Delta H$ 値測定)
- 実機エンジンテスト法—加速条件
  - イ) 実走テスト——目視
  - ロ) ダイナモテスト—スモークメーター

表6に示すように、排気煙評価手法には大きく分けて2種類ある。

一つはオイル単独の物理特性より評価する手法

である。この方法としてはDSC法がある。筆者は反応エネルギー $\Delta H$ と称している。また、加賀谷はトータルヒートと称している。両方に共通するのは、空気雰囲気中でオイルが液体状態から気体状態になる際に発生するプラスの熱量を計測していることである。

もう一つは、実際のエンジンで計測する手法である。この評価にも2種類ある。一つは目視評価、もう一つはスモークメーターで評価する方法である。しかし、実機を使用する手法には重大な欠点がある。それは動力吸収装置が必ず必要、ということである。

オイルの排気煙評価に際して動力吸収装置が必要かどうかは非常に重要である。なぜなら、動力吸収装置が不要であれば世界中どこでも評価できるからである。この為、我々は小型2サイクルエンジンを使用した発電機を選定した。表7に発電機を排気煙評価試験に使用するメリット、デメリットを示す。

表7 発電機使用メリット、デメリット

○メリット

- 1) 安価、軽量、持ち運び自由
- 2) 動力吸収装置内蔵  
負荷調整は電球の数等で簡単に調整可能
- 3) テスト時特別な場所を必要としない。  
風の当たらない室内が望ましい。
- 4) エンジンの耐久性高く、維持、管理費用がかからない。

×デメリット

エンジン回転数が発電周波数によって一定である。

このように、排気煙評価に使用するエンジンとしてみると非常に魅力的である。そこで、発電機を使用して、簡便かつ精度の良い評価手法の開発を試みた。開発に際して注意したのはマフラー構

造である。

マフラー構造は排気煙に対して非常に大きな意味を持つ。それはマフラーより排出されるガス温度が排気煙濃度に対して非常に大きな影響を与えるためである。排気煙は、ガス温度が高ければ濃度は低く、ガス温度が低ければ濃度は高くなる。オイルの排気煙性能評価に際してはオイルの差が明確にできるような状態が望ましい。しかし、市販のエンジンそのままではそう旨くはいかない。一般的に市販されているエンジンを使用する限り、どうしても温度は高めになってしまう。排気煙をできるかぎり少なくするように開発されているからである。排気煙性能評価のためには、排気ガス温度を適当な温度範囲に入れる必要がある。

温度も含めて、排気煙評価エンジンテストに要求される条件を考えると表8のようになる。

表8 排気煙評価エンジン試験に要求される条件

絶対条件：簡便かつ再現性、繰り返し性が良い！

上記条件を満たすために以下の条件を考慮した。

- 1) 性能差の少ないオイル差を明確に評価出来るかぎり煙を増幅させて評価するため、排気ガス温度の低い領域で評価する。
- 2) 評価油変更時の手間を出来るかぎり省く。評価終了後、マフラー内残留オイルを楽に掃除でき、次の評価テストに前のオイルの影響を残さない。

表8の条件を満たすためには、適当に温度を低くし、しかも評価終了後には簡単に排気ガス温度を高く出来るようなマフラーが必要である。一般的には、排気ガス温度が100度以下では水蒸気の影響が出てしまう。また、300度以上では排気煙濃度が低すぎて評価が非常に困難になってしまう。つまり、排気煙性能比較のためには100~300度の範

囲がよい。筆者は200度前後を推奨する。そこでエンジンAのマフラーを図4の様に改造し、評価試験に使用した。

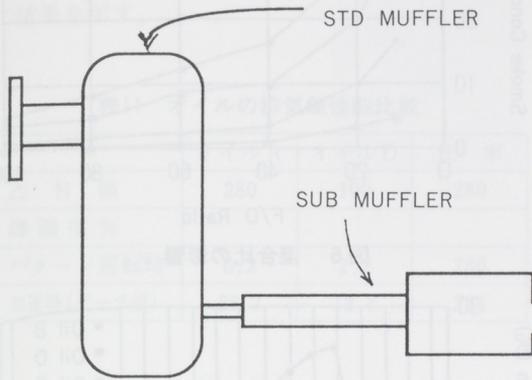


図4 排気煙評価用改造マフラー

図4の改造マフラーについての考え方を説明する。Stdマフラーの後部に取付けたサブマフラーは煙を増幅させる役割を持つ。Stdマフラーだけでは全負荷の場合排気ガス温度は300度を大幅に越えてしまい、この状態ではマフラー内にオイル分は残留しない。つまり排気煙濃度が著しく低く評価は困難である。

一方、サブマフラーを取付けた改造マフラーの場合、排気ガス温度は全負荷でも210度前後にしかならず、煙濃度が高めに増幅されるため評価が非常に楽になる。しかも、評価終了後、サブマフラーの周囲に断熱材を巻き付けるだけで排気ガス温度が容易に300度以上になり、煙性能評価後マフラー内に残留したオイル分を排出させることが出来る。これは、次の評価テストに影響を残さないために非常に重要なポイントである。

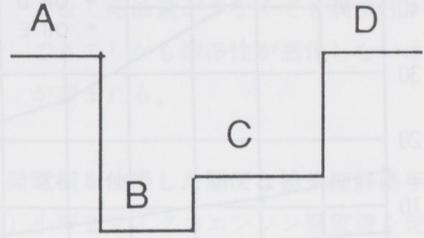
#### 4) 発電機での各種評価結果

評価条件

評価運転条件を表9に示す。

表9 評価運転条件

ステージA	全負荷
ステージB	エンジンストップ（冷却）
ステージC	部分負荷
ステージD	全負荷



運転パターンは大きく分けて4つに分かれている。ステージAはマフラー内に残留しているオイル分を除去するためである。ステージBはマフラーを冷却し、次のステージCでオイルが溜まりやすくする役割を持つ。ステージCは定常運転時の排気煙を評価できる。またここではマフラー内にオイル分を溜める目的もある。従って、運転時間が長いほどマフラー内への残留オイル分は多くなる。

ステージDは急負荷変更時の排気煙を評価できる。ステージAは15～20分程度。ステージBは時間管理よりマフラーテール部での温度管理がよい。本報告では40度まで低下したらステージCに進んでいる。ステージCは長いほど良いが、試験効率上は20～30分程度が良いと考える。ステージDは数分（2～3分）が良い。

#### 5) 運転条件の影響

表9でのステージC部運転時の負荷は、ステージDでの排気煙濃度に大きな影響を持つ。そこでまず最初に、ステージCの負荷を変えてステージDでの排気煙濃度を比較した。混合比は10：1。オイルはB、D、Eを使用した。

図5にテスト結果を示す。この結果よりステー

ジCの負荷は低いほどステージD出の排気煙は増加する。また、オイルの差も負荷が低いほど大きくなって出る。オイルによる差を大きくしてみるなら無負荷が最も良い。

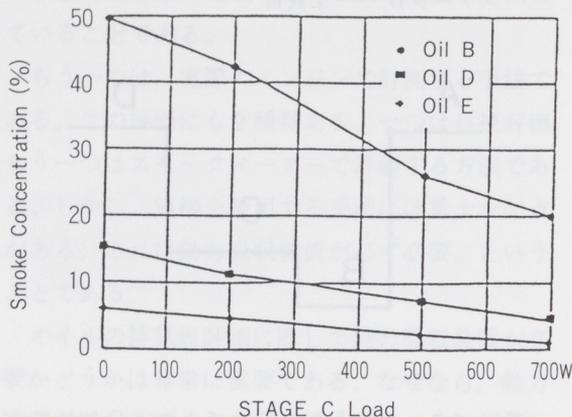


図5 定常運転負荷の影響

次に評価時の混合比の影響を見てみよう。一般的に混合比が濃いほど煙は多くなる。オイルの排気煙性能評価は出来るかぎり濃度が高いところで行ないたい。なぜなら、数値的に大きいほうが差が明確に出るためである。更に、煙に対して悪条件で運転したほうがオイルのマフラー内への溜まりやすさがよく分かる。図6に混合比及びステージC部負荷の影響測定結果を示す。

この調査にはオイルBを使用した。この結果を見ると、混合比は濃いほうが煙濃度は高く出る。筆者は10：1程度が良いと考える。

### 6) オイルB, D, Eでの評価結果

オイルB, D, Eの△HはオイルDを100とした場合、202, 100, 77となる。この△Hの差がはっきり出ればよい。図7に測定結果を示す。横軸は時間である。ここで時間の0は全負荷開始点を示す。マイナス側は500W定常運転である。プラス側は1200W全負荷である。

表10はオイルDを基準の100とした時、それぞれの見方でのオイルの排気煙評価結果の比較である。

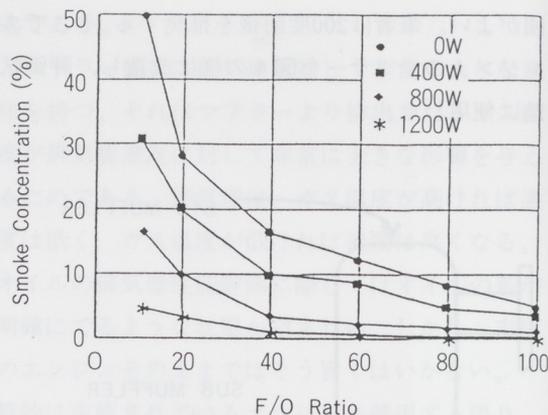


図6 混合比の影響

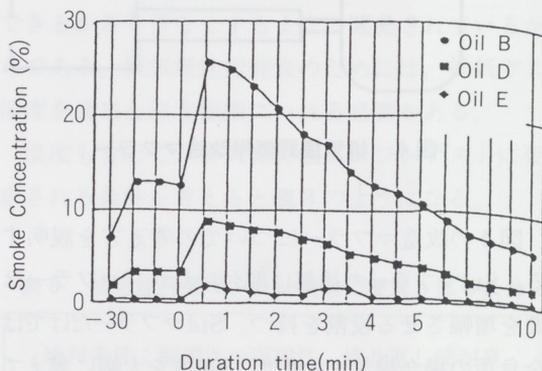


図7 オイルタイプによる煙濃度比較

図7, 表10よりオイルの排気煙性能差が非常に良く分かる。しかも、簡単である。

表10 オイルタイプ別排気煙性能比較

	オイルB	オイルC	オイルE
△ H 値	280	100	70
煙濃度 %			
定常運転時	350	100	35
加速時	310	100	20

### 7) モーターサイクルでの確認結果

図1と同じ方法でオイルの違いを確認した。エンジンはDを使用した。基本的に、この運転は発電機での評価と同様に、マフラー内にオイルを溜めるパターン運転部分と、溜まったオイル分を排気煙として評価する高速までの全開加速部分から

出来ている。比較したオイルは、オイルAとDの2種類である。オイルAの $\Delta H$ はオイルDの2.8倍である。この評価では、マフラー内にオイル分を溜める運転時間を1時間と長くとしている。表11に結果を示す。

表11 オイルの排気煙性能比較

	オイルA	オイルD	比率
$\Delta H$ 値	280	100	280
煙濃度 %			
パターン運転時	6.2	2.2	280
加速時(ピーク値)	28.7	12.8	224

発電機での評価結果と同様にオイルの差は歴然と評価できる。性能差もほぼ奇麗に出ている。この方法は設備の整った所でないと出来ない為、あまり推奨できない。しかし、オイルの評価手法の一つであることは間違いない。

## 5. 結論

以上、モーターサイクル及び発電機を使用した各種調査の結果、以下の結論を得た。

### 1) 排気煙評価のポイント

- イ) 排気煙の多いのは加速時である。
- ロ) その多さは、加速前のマフラー内へのオイルの溜まり方の影響を強く受ける。
- ハ) 加速前の運転状態が非常に重要である。
- ニ) 評価に使用するエンジンの違いは煙濃度の違いだけである。(エンジンは何を使用してもよい)

### 2) オイルの排気煙への影響

- イ) 各オイル固有の $\Delta H$ 値と実際のエンジンでの排気煙の関係が崩れることはほとんど無い。(少なくとも逆転はない)

参考： $\Delta H$ 計測のポイントは必ず発熱反

応部分を計測することである。これを守らないと測定精度が大幅に低下する。

- ロ) オイル種類及び給油量と排気煙の影響は一つのファクター $T\Delta H$ で表せる。
- ハ) 排気煙対策のためには、煙が少ないだけでなく給油量が少なくても潤滑性が確保できてしかも清浄性が悪化しないオイルが望まれる。

### 3) 発電機を使用した簡便な排気煙評価手法

- イ) 小型2サイクルエンジン発電機を使用することでオイルの排気煙性能を充分評価できる。
- ロ) 簡単な設備で良く世界中何処でも評価できる。

排気煙の少ないオイル開発は今後ますます重要になってくると思われる。これまでネックとなっていた評価手法について本研究がオイル開発の一助になれば幸いである。更に進んで、世界的に排気煙の少ないオイルが少しでも早く一般的になることを期待する。

## 6. おわりに

本報告は1991年に横浜で行なわれたSETCで報告したものです。発電機を使用した排気煙評価手法は最新の2サイクルエンジンオイル規格であるJASO規格の中でも使用されている。

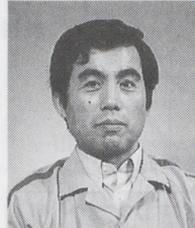
### 〔参考文献〕

- (1) SAE paper 871216
- (2) SAE paper 881619

■ 著 者 ■



矢代善伸



高橋邦男

この場合、エンジンの回転速度が一定の場合、油圧は一定である。しかし、エンジンの回転速度が変動すると、油圧も変動する。オイルの粘度は、エンジンの回転速度が増加すると、粘度も増加する。これは、オイルの分子が、エンジンの回転速度が増加すると、分子間の摩擦が増加するためである。このため、エンジンの回転速度が増加すると、オイルの粘度も増加し、エンジンの回転速度が一定の場合、油圧は一定である。

エンジンが正常に動作している場合、オイルの粘度は一定である。しかし、エンジンが正常に動作していない場合、オイルの粘度は変動する。これは、エンジンが正常に動作していない場合、オイルの分子が、エンジンの回転速度が増加すると、分子間の摩擦が増加するためである。このため、エンジンが正常に動作していない場合、オイルの粘度も増加し、エンジンの回転速度が一定の場合、油圧は一定である。

この結果にはオイルBを使用した。この結果を比較して、オイルAとオイルBの性能を比較する。オイルAは、オイルBを基準とした場合、20%、100、77となる。この場合、オイルAの性能は、オイルBの性能の20%、100、77となる。これは、オイルAの性能が、オイルBの性能の20%、100、77となるためである。この結果を比較して、オイルAとオイルBの性能を比較する。

表10はオイルBを基準とした場合、オイルAの性能を比較する。これは、オイルAの性能が、オイルBの性能の20%、100、77となるためである。この結果を比較して、オイルAとオイルBの性能を比較する。

この場合、エンジンの回転速度が一定の場合、油圧は一定である。しかし、エンジンの回転速度が変動すると、油圧も変動する。これは、エンジンの回転速度が増加すると、オイルの粘度も増加する。これは、オイルの分子が、エンジンの回転速度が増加すると、分子間の摩擦が増加するためである。このため、エンジンの回転速度が増加すると、オイルの粘度も増加し、エンジンの回転速度が一定の場合、油圧は一定である。

図7-オイルタイプによる性能比較。これは、オイルAとオイルBの性能を比較する。これは、オイルAの性能が、オイルBの性能の20%、100、77となるためである。この結果を比較して、オイルAとオイルBの性能を比較する。

図8-オイルタイプによる性能比較。これは、オイルAとオイルBの性能を比較する。これは、オイルAの性能が、オイルBの性能の20%、100、77となるためである。この結果を比較して、オイルAとオイルBの性能を比較する。

項目	オイルA	オイルB
性能	20%	100%
粘度	77%	100%

図9-オイルタイプによる性能比較。これは、オイルAとオイルBの性能を比較する。これは、オイルAの性能が、オイルBの性能の20%、100、77となるためである。この結果を比較して、オイルAとオイルBの性能を比較する。