

小型二輪車用 4 ストロークエンジンの クランクケース強制換気システムの開発

Development of Positive Crankcase Ventilation System of Four-stroke Engine
for Small Motorcycles

森 山 隆 二*
Ryuji MORIYAMA

村 岡 勇 樹*
Yuki MURAOKA

藤 原 一 夫*
Kazuo FUJIHARA

要 旨

一般に、二輪車用エンジンでは、クランクケース内に発生するブローバイガスエミッションを低減するために、エアクリーナを含む吸入系の経路にブローバイガスを導いている。このシステムの場合、走行条件によってはブローバイガス中に含まれる水分及びガソリン成分がエンジンオイル内に混入するため、オイル交換のインターバルが短くなる。それらの混入を低減するために、クランクケース内を強制的に換気するシステムを開発した。このシステムはクランクケース内の圧力変動により新気をクランクケース内に吸入させて、クランクケース内を強制的に換気する構造になっている。このクランクケース強制換気システム(Positive Crankcase Ventilation system: PCV system)により、従来のシステムに対してエンジンオイルに含まれる水分濃度を 73%、ガソリン濃度を 42% 低減することができた。

ABSTRACT

In motorcycle engines, blow-by gas is generally introduced into intake system including air cleaner to decrease blow-by emission inside crankcase. There was concern in the previous system that some running conditions might shorten an interval of oil change. Those phenomena were caused by mixing of water or gasoline in the blow-by gas into engine oil. In order to control the phenomena, a new positive ventilation system of the crankcase was developed. In the new system, fresh air was introduced into the crankcase by pressure fluctuation in the crankcase. The fresh air ventilates the crankcase. Comparing to the previous system, the developed Positive Crankcase Ventilation system has decreased the density of the water and the gasoline contained in the engine oil: water by 73% and gasoline by 42%.

1. はじめに

1999年まで日本で販売されていた排気量 50cm³ スクータのほとんどは 2 ストロークエンジンを搭載していた。Honda は 1999年に低エミッション、燃費向上のために日本で初めて水冷 4 ストロークの排気量 50cm³ のエンジンを搭載したスクータを発売した。このスクータは日常の交通手段として使用されている。その走行条件によっては、ブローバイガス中に含まれる水分及びガソリン成分がエンジンオイル内に混入するためオイル交換インターバルが短くなる⁽¹⁾。

我々は、これらの混入を低減してオイル交換のインターバルを長くするため、小型モータサイクル単気筒エンジン用のクランクケース強制換気システム(Positive Crankcase Ventilation system: PCV system)を開発した。このシステムは従来の PCV システムと異なりワンウェイバルブとソレノイドバルブを持つ。このシステムは 2004 年 2 月に日本で発

売された Smart Dio Z4 に採用された。そのスクータの外観を Fig. 1 に示す。



Fig. 1 External view of Smart Dio Z4

*朝霞研究所

2. エンジン仕様

200年2月に発売したスクータに搭載された4ストローク水冷エンジンの仕様を Table 1 に示す。ラジエータはクランクケースの右側に配置され、クランクシャフトに取り付けられたファンで冷却される。ウォーターポンプはマグネットカップリングを介してカムシャフトから駆動される。オイルセパレータはシリンダヘッドに配置した。燃料供給システムには、このカテゴリ初の燃料噴射(Fuel Injection: FI)システムを採用した。

Table 1 Specifications of test engine

Engine type	4-stroke, 1 cylinder
Valve train	OHC 4-valve
Displacement (cm ³)	49.9
Bore × Stroke (mm)	38.0 × 44.0
Compression ratio	12
Cooling system	Liquid cooled
Lubricating system	Wet sump
Fuel supply system	Fuel injection
Power train	Belt converter

3. エンジンオイルへの水分及びガソリン成分の混入メカニズム

エンジン温度が低いとき、燃焼生成物である水と未燃ガソリンがシリンダ壁面に液体として付着する。これらがシリンダ、ピストンリング、ピストンのすき間を通してクランクケースに侵入するとともに、ブローバイガスに含まれる未燃ガソリンと水分がクランクケース内で冷却されるために凝縮する。このようにしてクランクケース内に生じた液状のガソリン、水がエンジンオイルに溶けこむ。その模式図⁽²⁾を Fig. 2 に示す。

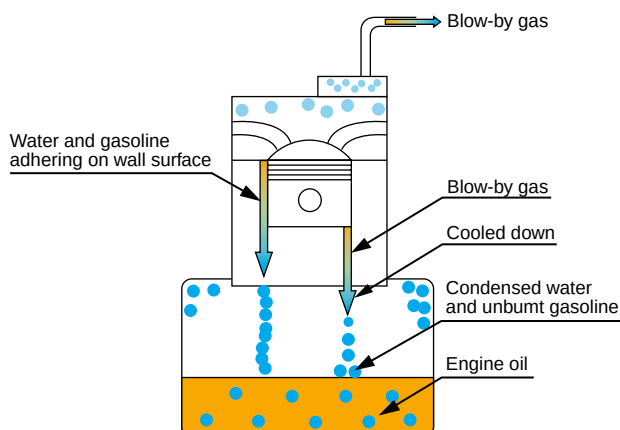


Fig. 2 Generating mechanism of blending into oil

4. PCVシステム

4.1. システム概略

PCV システムはクランクケースに新気を導入するシステムである。導入された新気によってブローバイガス中の水、ガソリンは希釈されるため、その露点が高くなるので凝縮しにくい。かつ、新気は液化したガソリン、水を気化させる作用もある。したがって、このシステムはクランクケース内の水、ガソリンをエンジンの吸入系に排出することができる。四輪車に採用されている当社のPCV システムの概要⁽³⁾を Fig. 3 に示す。インレットマニホールドの負圧がこの新気の流れを作る。スロットル低開度時のアイドル性能安定化のためPCVバルブを装備して流量を制御している。スロットル高開度時のブローバイガスが多く、かつインレットパイプの負圧が小さくなるため、ブローバイガスは新気ラインからも逆流する。したがって、新気ラインの取り付け部及びPCVバルブ取り付け部にオイルセパレータが必要である。ただし、小型二輪車に、従来のシステムを採用することはできない。

以下にその理由を示す。

- (1) アイドル時の吸入空気量は非常に少ないため、PCVバルブでこの空気量を制御してアイドル性能を成り立たせることは困難である。
- (2) 二輪車の多くは1気筒1スロットルボデーのためインレットパイプ負圧が四輪車に比べ小さいので十分な新気が流れない。
- (3) このシステムはクランクケースとシリンダヘッドの両方に気液分離システムを設けなければならず、小型二輪車用のコンパクトなエンジンでは配置が困難である。したがって、我々はブローバイガスをインレットパイプに還元しない方法を考えた。

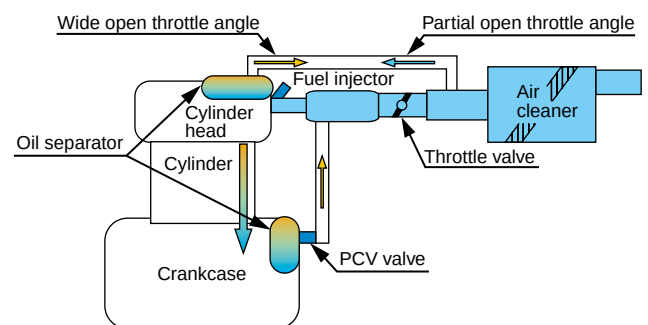


Fig. 3 PCV system for automobiles

4.2. ワンウェイバルブ2個のPCVシステム(仕様1)

通常、二輪車ではブローバイガスによる大気汚染防止のため、そのブローバイガスはエアクリーナに還元される。スクータの場合はレイアウト上の制約からシリンダヘッドに

オイルセパレータを配置しその出口からエアクリーナのクリーンサイドに還元している(Fig. 4)。そのシステムに追加してリードバルブ式ワンウェイバルブを2個用いることによってクランクケース内の圧力変動を利用した往復型ポンプを形成する(Fig. 5)。従来のブローバイガスをエアクリーナに導くチューブにリードバルブ式ワンウェイバルブを取りつける。このワンウェイバルブの向きはシリンダからエアクリーナに流れる方向である。もう一つのワンウェイバルブを新たにエアクリーナからクランクケースに配管したチューブに取りつける。このワンウェイバルブの向きはエアクリーナからクランクケースに流れる方向である。このシステムを取りつけることによって Fig. 6 の流量特性を得た。低速度では全還元ガス流量が多く、特に車速 5 km/h では新気流量はブローバイガス流量の約 6 倍となっている。

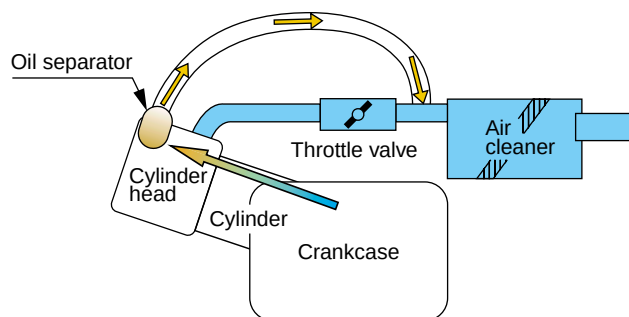


Fig. 4 Conventional blow-by return system

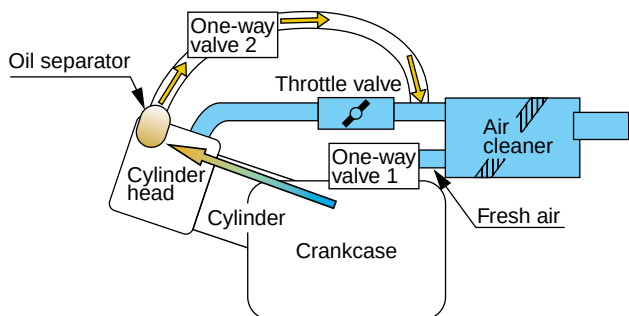


Fig. 5 Spec. 1: PCV system with two one-way valves

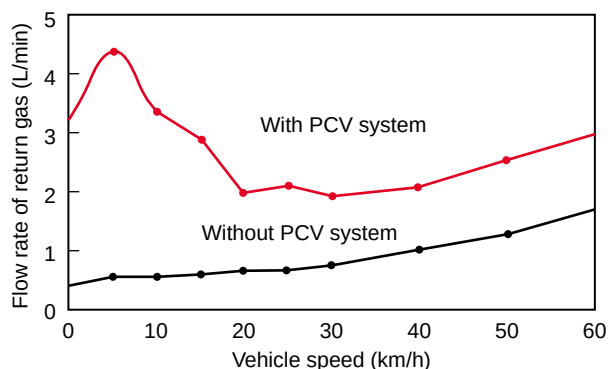


Fig. 6 Return gas characteristics in Spec. 1

- 新気(Fresh Air) :
PCV システムによりエアクリーナからクランクケースに吸入される空気のこと
- 全還元ガス(Return Gas) :
クランクケースからエアクリーナに還元されるガスのこと
- 全還元ガス量(Flow Rate of Return Gas) :
新気流量 + エンジンブローバイガス流量

4.3. ワンウェイバルブ1個のPCVシステム(仕様2)

仕様1には、エアクリーナに向うワンウェイバルブがオイルの劣化、及び水の凍結により閉塞したときクランクケース内の圧力が異常に上昇する懸案がある。そこで、Fig. 5に示すエアクリーナに流れるほうのワンウェイバルブ1を外した。そのワンウェイバルブ1を外すことにより流量が低下する懸案があったが、配管及びワンウェイバルブの特性を見直すことによってほぼ同等の流量を確保することができた(Fig. 7)。Fig. 8 に各部の圧力を示す。

ピストンが下死点から上死点に移動するときクランクケース内の圧力はエアクリーナ内の圧力に対して低くなる(Fig. 8のA)。その圧差によってワンウェイバルブが開いて新気をクランクケースに導く。同時にシリンダヘッドのオイルセパレータ内の圧力もエアクリーナ内圧力に対して低くなるためエアクリーナからオイルセパレータへの流れが発生する(Fig. 8のB)。その後ピストンが上死点から下死

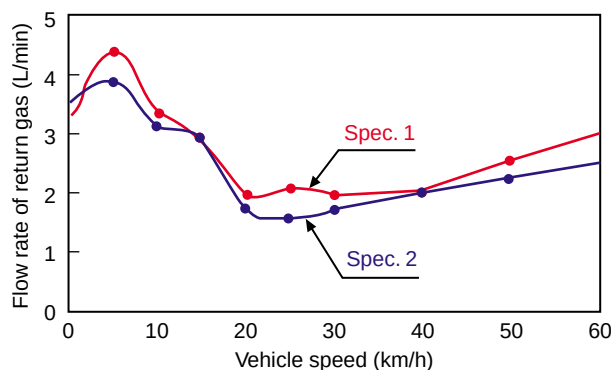


Fig. 7 Flow rate of return gas in Spec. 2

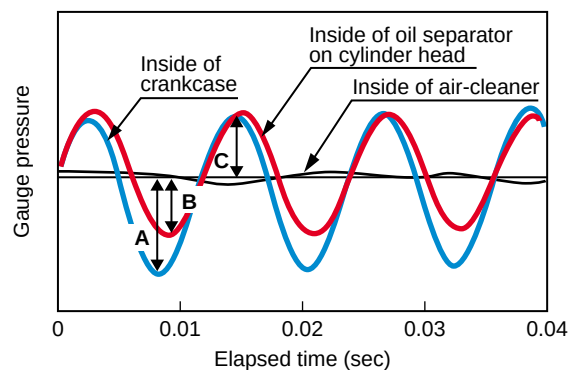


Fig. 8 Pressure fluctuation at 20km/h of vehicle speed

点に移動するときクランクケース内圧はエアクリーナ内圧に対して高くなる(Fig. 8 のC)。その圧力差によってワンウェイバルブが閉まりブローバイガスと新気が混ざり合った全還元ガスがオイルセパレータを通してコネクティングチューブに送り出される。このようにクランクケース内の圧力変動でワンウェイバルブを作動させることによってクランクケース内に新気を導入する。

4.4. ワンウェイバルブ1個とソレノイドバルブ仕様(仕様3)

エンジン高回転領域は全還元ガス中のオイル分離性能向上のために、またアイドル近傍の低回転低負荷領域はアイドル性能向上のため新気を制御する必要がある。そのために仕様3としてソレノイドバルブを仕様2に追加した。このソレノイドバルブはECUによってマップ制御される。制御の基本はエンジンがアイドリング時に PCV システムを OFF、走り出したら ON にする(Fig. 9)。高回転側はオイル分離性能向上のために PCV システムは OFF とした。

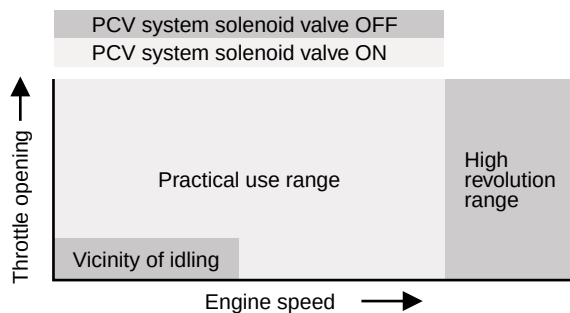


Fig. 9 Solenoid valve control map

5. Smart Dio Z4 のPCVシステム仕様

Smart Dio Z4 に採用した仕様3に基づく PCV システムをFig. 10に示す。PCVシステムのリードバルブ式ワンウェイバルブはクランクケースの上部に、またソレノイドバルブはリードバルブとエアクリーナの間に配置されている。オイル分離性能、及びエンジンオイルの水分含有率とガソリン含有率の低減効果を基に全還元ガス流量を Fig. 11 に示す流量特性に決めた。新気は、最大でブローバイガスの6.5倍ほど流れる。流量特性はリードバルブの板厚、リードバルブのリフト量などによって制御した。このようにエンジンからエアクリーナに導かれる全還元ガス流量はPCVシステムによって大幅に増加するためにオイルセパレータの気液分離機能を向上させる必要があった。そのためシリンダヘッドカバー上部に設けたラビリンス構造にて対応した。また、新気ライン側のリードバルブ取り付け部には新気がエアクリーナから流れてくるためオイルセパレータは必要ないことを確認した。

Fig. 11に示す流量特性によるクルーズ走行での排ガス中

のCO濃度を測定した結果、還元ガス中に含まれるHCの影響でPCVシステム有り仕様の排ガス中のCO濃度はPCVシステム無し仕様に対して若干増える(Fig. 12)。そして、ECE-40モードによるマスエミッションにおいてもCO値が6%ほど多くなる。ただし、この増加分を考慮してセッティングをおこなうことにより増加分をなくすことは可能である。

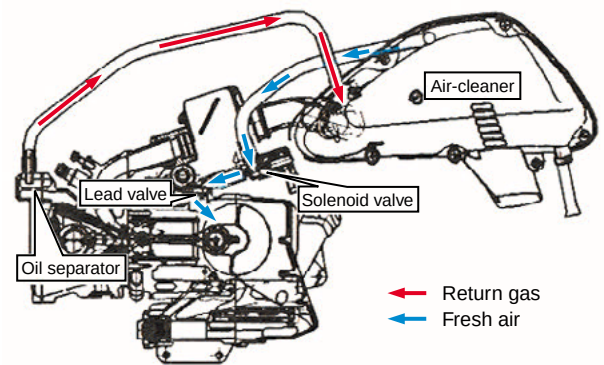


Fig. 10 PCV system for Smart Dio Z4

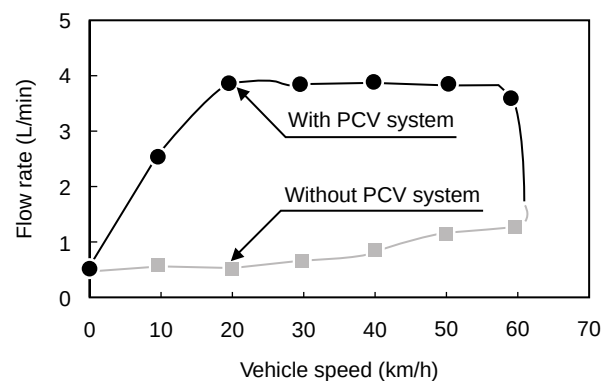


Fig. 11 Flow rate of return gas of Smart Dio Z4

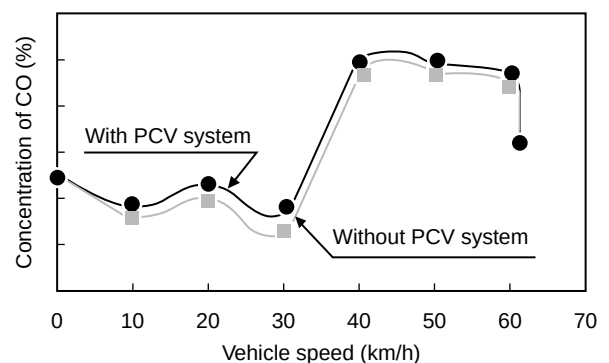


Fig. 12 Concentration of CO in exhaust gas

5.1. 実走テストによる水分含有率とガソリン含有率の低減効果確認

5.1.1. 試験条件

テストモードは低速短距離走行である。1回の走行距離は2kmでそれを40サイクルおこなった。

5.1.2. 気象条件

気温は0-7℃，相対湿度は43-88%の環境である (Fig. 13).

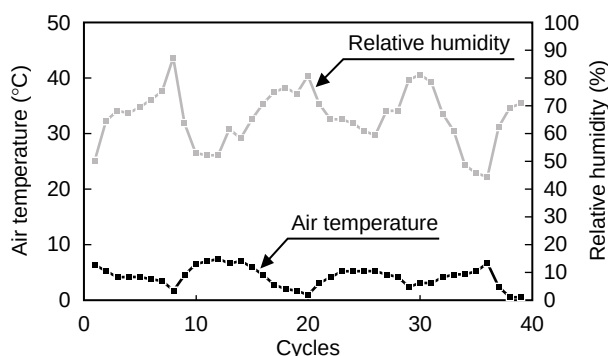


Fig. 13 Climatic conditions for running test

5.2. テスト結果

PCV システム装着車と未装着車を同時に走らせ PCV システムの効果を評価した。その結果，PCV システム未装着車に対してガソリン濃度は42%，水分濃度は73%低減した (Fig. 14)。

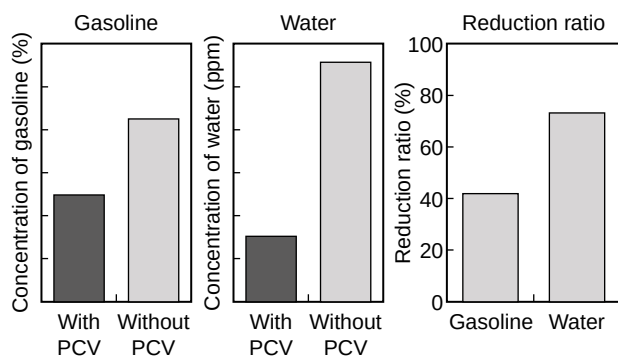


Fig. 14 Test results of running test

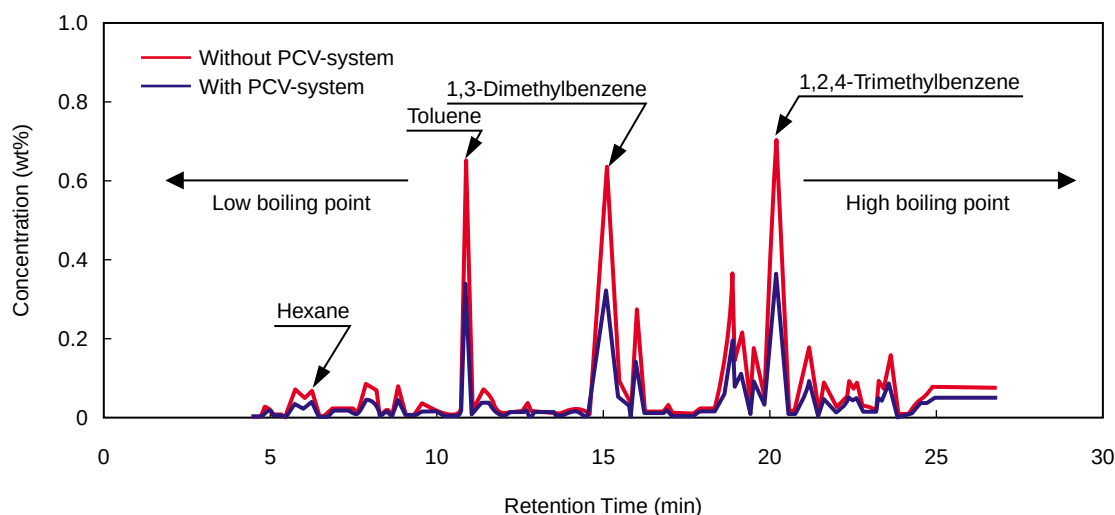


Fig. 15 Gasoline components in engine oil of running test

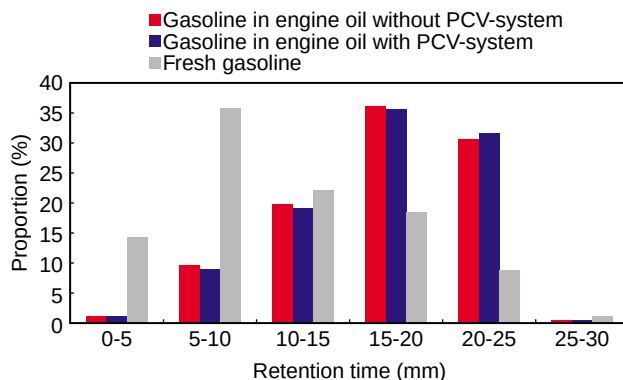


Fig. 16 Proportion of gasoline component after running test

この実走テスト 40 サイクル後のエンジンオイルに含まれるガソリンの成分分析をガスクロマトグラフィー (Gas Chromatography) を用いておこなった。その結果を Fig. 15 に示す。Retention time (RT) が小さい低沸点成分から RT が大きい高沸点成分まで PCV 有りのオイル中のガソリン成分が PCV 無しに対して減少している。それが PCV システムの効果であり，そのガソリン成分の割合を比較したものを Fig. 16 に示す。PCV 有無にかかわらずその構成比はほぼ同じである。また，新ガソリンに対してエンジンオイル中のガソリンは低沸点成分が少なく高沸点成分が多い。低沸点成分は燃焼室内で気化，燃焼しやすく，かつクランクケース内に侵入してもブローバイガスとしてエアクリーナに還元される割合が多いためと推定される。

6. まとめ

- (1) 低温時の短距離走行の繰り返しによってエンジンオイルに水、ガソリンが蓄積される。そのガソリン成分は新ガソリンと比較して低沸点成分が少なく高沸点成分が多い。
- (2) 4ストローク小型水冷 50cm³ エンジンに本 PCV システムを採用することによりエンジンオイル中の水分濃度の低減率 73%，ガソリン濃度の低減率 42%が得られた。

謝 辞

本研究開発を進めるにあたりご協力くださった出光興産(株)の方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 石川学：自動車用機関のブローバイ処理システム，ENGINE TECHNOLOGY, Vol.3, No.6, p.86-91(2001)
- (2) 村上靖宏，相原久元：エンジンオイルへの燃焼生成物混入メカニズムの解析，日本機械学会論文集(B編)，55巻，519号(1989)
- (3) Schwartz, S. E., Smolenski, D.J.: Development of an Automatic Engine Oil-ChangeIndicator System, SAE Paper 870403(1987)

■ 著 者 ■



森山 隆二



村岡 勇樹



藤原 一夫