

二輪車用密封式クランクケースシステムの開発

Development of Closed Crankcase System Engine for Motorcycles

工 藤 修* 志 村 康 雄*
Osamu KUDO Yasuo SHIMURA
寺 田 幸 司* 犬 丸 信 明*
Koji TERADA Nobuaki INUMARU

要 旨

小型で軽量の単気筒エンジンが要求されるオフロード二輪車 XR650R 用としてクランク室を密封したエンジンを開発した。これは単気筒大排気量エンジンの課題であるクランクケース内の圧力変動に起因するブリーザからのオイル吐出防止性能の低下を解決するものである。従来は一室で構成されていたクランク室とトランスミッション室を隔壁で分離し、ピストンの上下動により発生するクランク室の圧力を利用してエンジンオイルをトランスミッション室へ排出するエンジンを開発した。その結果、トランスミッション室の圧力変動を低減できることによりブローバイガスの排出量が低減され、ブリーザ室を従来のエンジンの 1/5 にすることが可能となった。またエンジンの小型軽量化、フリクションロス低減の効果をj得ることができた。

ABSTRACT

A compact and light single cylinder engine was developed for the off-road motorcycle, XR650R. The engine has a feature of which a transmission chamber is divided off from a crank chamber by a bulkhead. The engine oil is discharged from the crank chamber to the transmission chamber by using a pressure generated by reciprocating motion of a piston. As a result, the pressure fluctuation in the transmission chamber was reduced, and a discharging of blow-by gas was reduced. A breather chamber volume became possible to downsize to 1/5 compared to a conventional engine. Moreover, the effects of reducing the engine weight and the friction loss were obtained.

1. ま え が き

オフロードスポーツ用モーターサイクルの XR シリーズでは軽量でコンパクトなエンジンが強く要求されるため、排気量 50cm³ から 600cm³ まですべてのクラスにおいて単気筒エンジンが搭載されている。

単気筒エンジンは、クランクケース内の圧力変動が大きくなり、ブリーザからのオイル吐出を回避するために大きな容積のブリーザ室を必要とする。またエンジン内の油面変動が大きくなることからオイルかくはんロスが増加する。

一般に、4ストロークエンジンではオイルかくはんロスを低減するためにクランクシャフト下側に深いオイルパンを設け、クランクシャフトをオイルの中に漬けないように油面を下げるが、大排気量のオフロード用エンジンでは最低地上高を大きくとる必要からエンジンの全高を低くする

要求があるのでオイルパンを深くできない。これもオイルかくはんロスが増加する要因となっている。

これらの課題を解決するために、シリーズ最大排気量である XR600R のフルモデルチェンジにあたり、クランク室とトランスミッション室を隔壁で分離することにより、ピストン上下運動に伴う圧力変動をクランク室内に封じこめ、トランスミッション室へ伝えない構造の新型エンジンを開発し、XR650Rに適用した。この構造を密封クランクケースシステムと名付けた。

2. エンジンの概要

XR650R の開発にあたり、
・低速域の粘り強いトルク特性と高速域の高出力特性の両立

・エンジン重量の大幅軽減

が要求された。この対応として、低速域のトルク特性向上のために排気量を50cm³拡大し、さらに冷却方式を水冷に変更して圧縮比を上げることにより出力性能を向上させた。排気量拡大の課題としてブリーザ性能の低下があるが、この改善のために密封クランクケースシステムを採用した。エンジン重量の低減に対しては、アルミニウム合金で一体構造のクローズドデッキ型ニカジルメッキシリンダの採用をはじめとする各部品形状および材料の見直しを行った。その結果、最高出力で約30%、低速トルクで約13%の向上と、エンジン単体乾燥重量で約5kg、水冷化によるラジエータなどの付加部品を含めて約1kgの軽量化を達成した。Table 1 に主要諸元を、Fig.1 に出力特性を示す。

Table 1 Engine specifications

Model	XR650R	XR600R
Engine stroke	4-stroke	4-stroke
Number of cylinder	1	1
Cooling system	Liquid-cooled	Air-cooled
Lubricating system	Dry sump	Dry sump
Bore × Stroke (mm)	100 × 82.6	97 × 80
Displacement (cm ³)	649	591
Compression ratio	10.0	9.0
Maximum engine output (kW/ r/min)	41/6 750	31/6 500
Maximum torque (Nm/ r/min)	64/5 500	52/5 000
Valve train	SOHC 4-valve	SOHC 4-valveRFVC
Fuel supply system	Carburetor	Carburetor
Engine dry weight (kg)	40	45
Crank case	Closed	Conventional

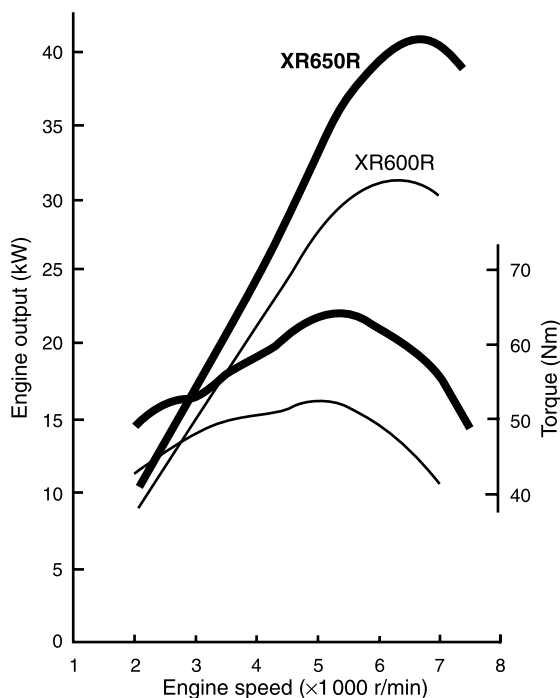


Fig.1 Engine performance curve

3. ブリーザ性能の改善手法

単気筒エンジンの場合、ブリーザのオイル吐出防止性能(ブリーザ性能)の改善手法には、ブリーザ室の拡大やクランクケース容積の拡大があるが、エンジンへの要求である重量低減すなわち小型化に逆行する。クランク室とトランスミッション室を隔離するという手法はクランク室内を潤滑したオイルの処理と、密封されたクランク室内の圧力が出力損失に与える影響などの課題はあるが、エンジン全体を小型化するためには有利である。また、吸気弁と排気弁を閉じた状態で作動を止める方式の可変気筒数エンジンにおける休止気筒のポンピングロスが微少である⁽¹⁾ことから、密封されたクランク室に発生するポンピングロスも同様に少ないと考え、課題となる下記の項目を比較検討した。

(1)機能確認及び設定

- ・オイル排出機能
- ・ポンピングロス
- ・トランスミッション室圧力
- ・クランク室への給油量

(2)効果確認

- ・ブリーザ性能
- ・スカベンジング性能
- ・フリクションロス

4. 密封クランクケースシステムの構造と作用

4.1. 構造

一般的な二輪車用エンジンは、クランクシャフトとトランスミッションを一つのクランクケースに収納し、同じオイルで潤滑している。密封クランクケースシステム(以下密封型という)は Fig.2 に示すようにクランク室とトランスミッション室を隔壁で分離し、相互間の気密を保持できるように構成したことが特徴である。クランク室の中にクランクシャフトと1次バランサを配置し、クランクウェイトの外周にトランスミッション室と分離するための隔壁を設けた。クランクシャフト軸受部外側にオイルシールを設け、クランク室内の気密を保っている。

コネクティングロッド大端部およびクランクシャフト軸受には強制給油を行っている。また、ピストン裏側にオイルを噴射して冷却を行っている。これらクランク室に流入するオイルはリードバルブ式の逆止弁を通して隔壁の下部に設けた排出口からトランスミッション室へ排出される。トランスミッション室の上方にブリーザ室を設けてオイルを分離した後、ブローバイガスをエアクリーナ内に還元する。

4.2. オイル排出機能

オイル排出機能の模式図を Fig.3 に示す。(A)に示すピストン上昇時はクランク室内に負圧が発生しリードバルブ

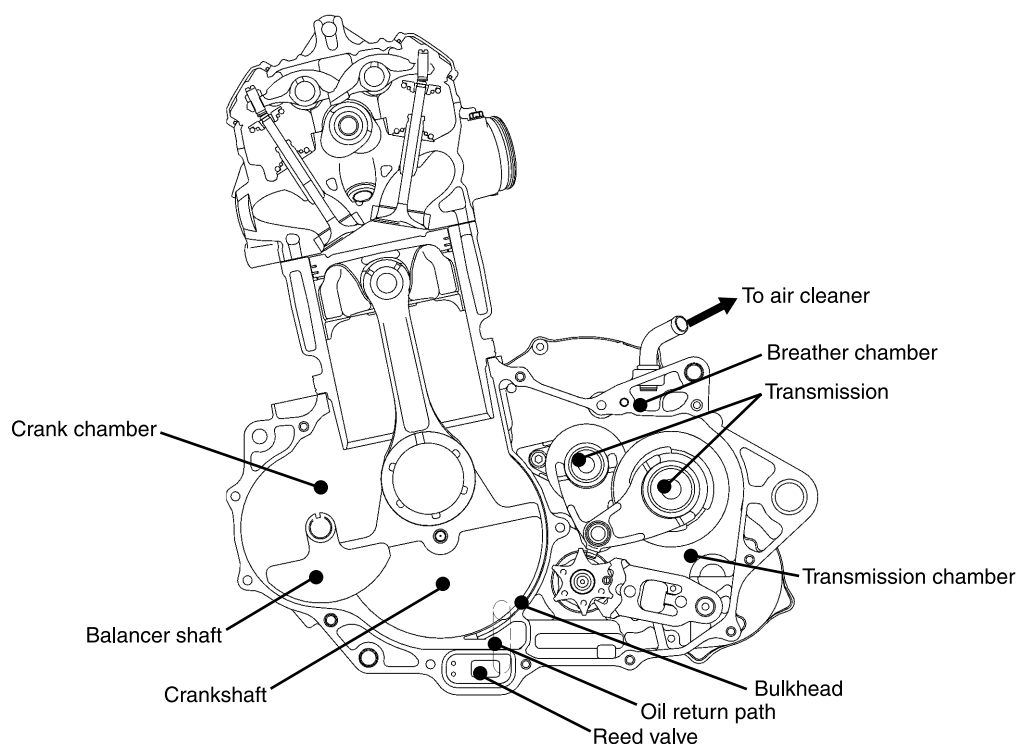


Fig.2 Section of closed crankcase

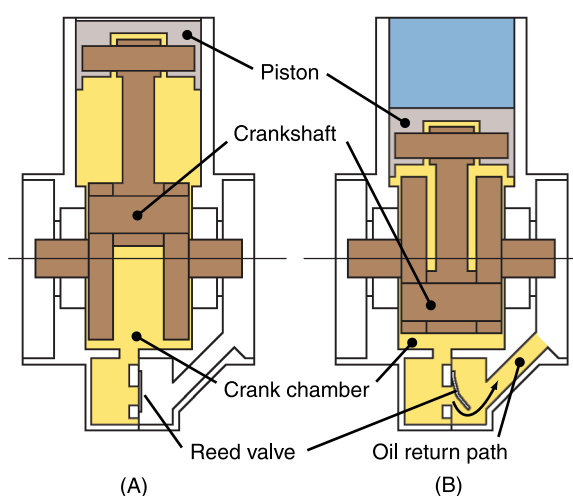


Fig.3 Schematic drawing of oil return action

は閉じ、トランスミッション室からのオイルと空気の逆流を防ぐ。(B)に示すピストン下降時にはクランク室容積が減少し圧力が高まる。この圧力によりリードバルブが開き、クランク室内に流入したオイルはトランスミッション室へ排出される。

4.3. ポンピングロスの検証

クランク室が密封されているとはいえ、クランク室内に供給されたオイルはトランスミッション室に排出する必要があるため、この影響を検証する。エンジン運転時におけるクランク室とトランスミッション室の圧力及びリードバルブの開閉状況を Fig.4 に示す。

クランク角 $95^{\circ} \sim 265^{\circ}$ (A~B)の間でクランク室圧力がトランスミッション室圧力を上回っている。この圧力差がクランク室内のオイルをトランスミッション室へ排出する力として作用する。しかし、リードバルブは圧力変化に対し時間遅れを伴って開閉している(A~C, B~D)。その原因としてオイルの粘性や慣性による遅れが考えられる。このためクランク室圧力よりトランスミッション室圧力が高く、かつリードバルブが開いているクランク角 $265^{\circ} \sim 320^{\circ}$ (B~D)の間では、クランク室へのオイルと空気の逆流が懸念される。

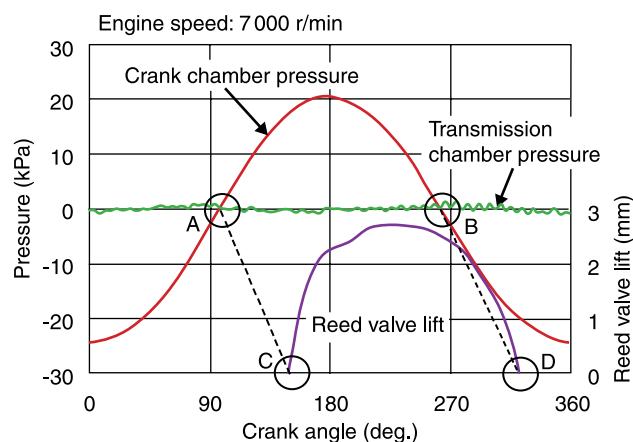


Fig.4 Pressure in crank chamber and reed valve lift

逆流の影響を確認するために、クランク室に発生するポンピングロスについて考察する。クランク室には、供給潤滑油とピストンリングから漏れるブローバイガスが流入す

る。その量は合わせて、クランクシャフト1回転あたり数 cm^3 と行程容積に対し非常に少ない。すなわちサイクルごとに流入した体積分を排出するだけであれば、クランク室のオイル量と空気量の変化はほとんど無く、ポンピングロス是非常に少なくなる。しかし、逆流の程度が大きければ、余分な体積移動を生じることになりポンピングロスが増加すると考えられる。Fig.5にクランク室圧力について、横軸を体積として表示したP-V線図を示す。比較のためにクランク室とトランスミッション室の隔壁がないエンジン(以下、従来型という)を製作し、同じ計測を行った。

クランク室のポンピングロスは、圧縮行程と膨張行程の圧力により囲まれた面積であらわされる。従来型は圧縮行程と膨張行程に圧力差が生じるのに対し、密封型にはこれが無い。従来型ではピストン上昇時にエンジン外から大気を吸入し、ピストン下降時にブローバイガスとともに排出するサイクルが生じてポンピングロスとなる。これに対して密封型では懸念されたオイル排出口からの逆流はほとんど無く、クランク室からトランスミッション室間の気液を合わせた体積移動が少ないためにポンピングロスが少ないことが確認できた。

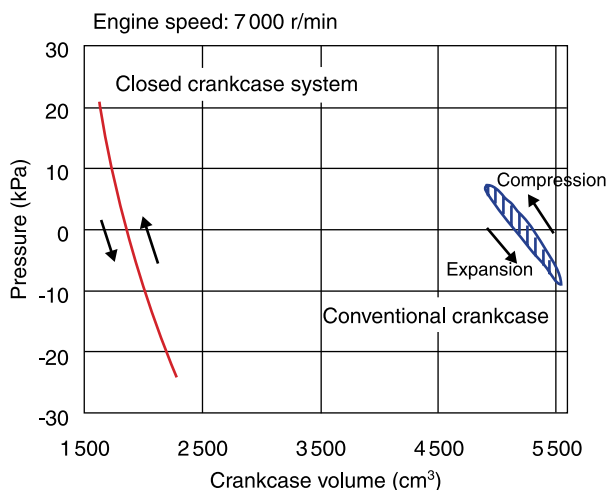


Fig.5 P-V diagram in crankcase

4.4. トランスミッション室内の圧力変動低減の検証

クランク室とトランスミッション室間の体積移動が少ない効果として、密封型は従来型に対しトランスミッション室の圧力変動を低減することができた。その結果を Fig.6 に示す。このように、ピストン上下動により発生する単気筒エンジン特有のクランクケース内の圧力変動をクランク室内のみにとどめ、ブローバイガス排出口のあるトランスミッション室へ伝えない効果を確認した。

エンジンの運転状態が圧力変動に与える影響を確認した結果、吸入～圧縮行程と膨張～排気行程での違いや、エンジン負荷の大小による差異は無かった。また、着火運転時と駆動運転時の差も無いことを検証した。

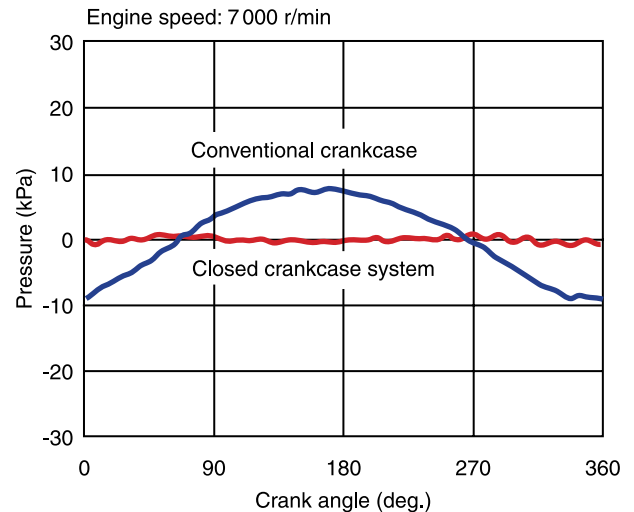


Fig.6 Comparison of transmission chamber pressure

4.5. 給油量の設定

クランク室への総給油量が多いほどクランクシャフトによるオイルかくはんロスが増加する傾向にあったため、最適給油量の検討を行った。

従来の潤滑系統では、コネクティングロッド大端に強制給油を行い、ここからの飛まつでピストン冷却を行っていたため、それぞれに必要な以上の油量を与えている可能性があった。そこでピストンクーリングジェットを新設し、コネクティングロッド大端、ピストン冷却それぞれの必要最小限の油量を与えることを目標に潤滑系を見直した。クランクピンとピストン温度を従来並にするようにクランク室への総給油量を決定した結果、Fig.7に示すように、総給油量を52%低減できた。

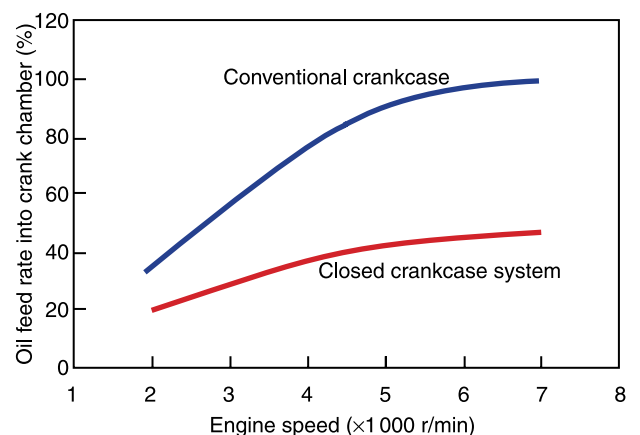


Fig.7 Oil feed rate into crank chamber

5. 密封クランクケースシステムの効果

密封クランクケースシステムによる効果を定量化するため、圧力比較と同様にクランク室とトランスミッション室の隔壁がないエンジン(従来型)を用いて各効果の検証を行った。

5.1. プリーザ性能向上

密封型はトランスミッション室の圧力変動を小さくすることができるため、トランスミッション室に配置したプリーザ室は 60cm^3 程度の少ない容積で十分機能を満足できる。比較試験において、従来型はプリージング回路が閉鎖することによるオイルの吐出が発生した。ゆえに、従来型ではより大きなプリーザ室が必要である。また、従来型構造である前モデルの XR600R のプリーザ室容積は 330cm^3 であり、密封型の XR650R に対し約 5 倍の容積を必要としていた。このことから密封型はクランクケースの小型化に寄与することがわかる。プリーザ室の比較を Fig.8 に示す。

5.2. ドライサンプのスキャベンジング性能向上

XR650R はドライサンプ潤滑方式を採用している。トランスミッション室下部にオイルの汲み上げ口を設け、スキャベンジングポンプを通してメインフレーム内に設けられた外部オイルタンクへ排出している。

トランスミッション室の圧力変動低減、安定化はスキャベンジング性能にも影響を与える。ドライサンプ潤滑方式は外部タンクからオイルポンプでエンジン各部にオイルを圧送するためにタンク内の油面を安定させる必要がある。密封型はトランスミッション室の圧力変動が小さいために運転中においても吸い込み側の油面が安定し、従来型に対し外部タンクに汲み上げる油量が増加する。その結果、搭載オイル量が 300cm^3 減少し、車両重量の軽減に貢献した。総オイル量 2000cm^3 におけるエンジン運転時の外部タンク内オイル量を Fig.9 に示す。

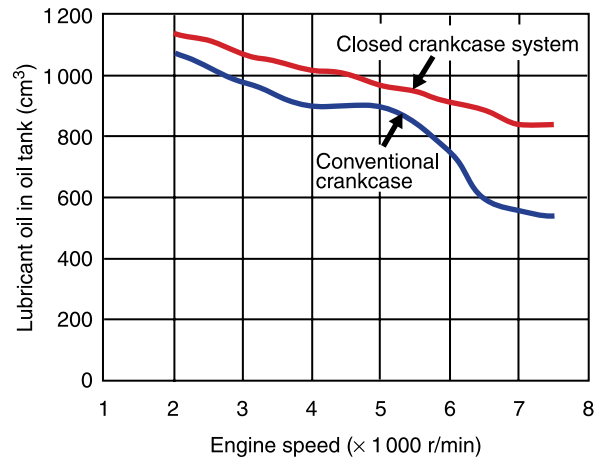


Fig.9 Lubricant oil in oil tank

5.3. フリクションロス低減

Fig.10 にフリクションロスの比較を示す。縦軸は摩擦損失平均有効圧力(Pmf)で表現する。クランク室のポンピングロスも平均有効圧力に換算(PmfP* と定義する)し、あわせて示した。

密封型によるフリクションロスの低減理由には二つの要因があげられる。既に述べたクランク室のポンピングロス低減と、オイルかくはんロスの低減である。

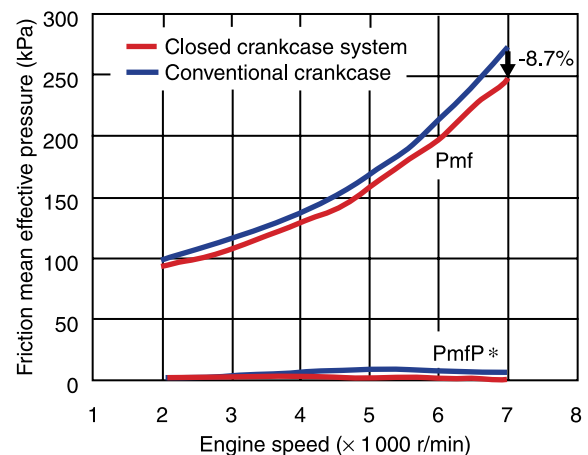


Fig.10 Friction mean effective pressure

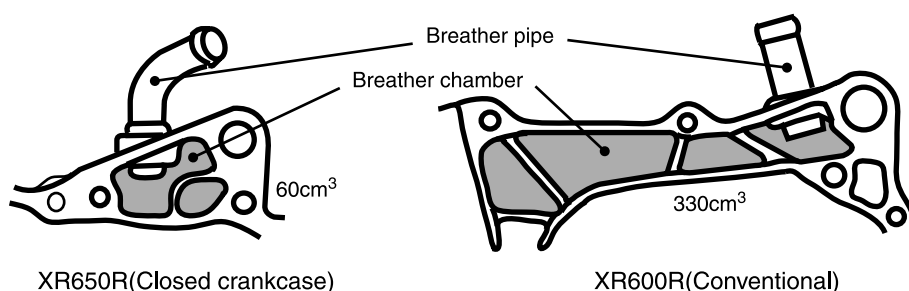


Fig.8 Comparison of breather chamber volume

従来型では、ピストンの上下動に伴いブローバイ排出口で空気の出入りが多量に生ずるために PmfP* が大きい。密封型ではクランク室からオイルを排出する際に逆流を伴わないことにより PmfP* が小さい。

また、従来型はドライサンプのスカベンジング性能が劣りエンジン内のオイルレベルが上昇する。くわえて圧力変動が大きく、油面が波打つためにオイルかくはんロスが大きい。密封型は給油量の最適化に加え、オイル回収部には、Fig.11 に示すようにクランクウェイトに沿ってクランクケース上に突き出した長いかき取り部を設けた。また、クランクウェイトとのすきまを最適化したのち後方の油だめにオイルを一時的に蓄積するなどの形状的な工夫を行ない、オイルかくはんロスを低減した。

その結果、エンジン回転速度7000r/minにてフリクションロスが 8.7%減少した。内訳はポンピングロスが 2.0%、かくはんロスが 6.7%であった。

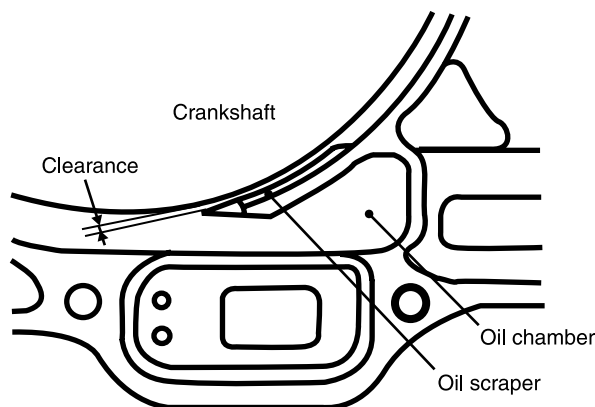


Fig.11 Detail drawing of sump part

5. 結論

オフロード二輪車用 650cm³ 単気筒エンジンに、クランク室とトランスミッション室を隔てる密封クランクケースシステムを採用することにより、単気筒特有のクランクケース圧力変動をクランク室から外へ伝えない構造を実現し、以下の利点を得ることができた。

- (1) トランスミッション室の圧力変動が小さくなるため、ブリーザ性能及びドライサンプ潤滑方式を適用したときのスカベンジング性能が向上した。その結果、ブリーザ室容積を旧モデルに対し、80%減少させることを可能とし、オイル搭載量を 300cm³ 減少させてエンジンの小型軽量化に貢献した。
- (2) 潤滑給油量とオイル回収部形状の最適化、及びエンジン内の油面安定によりオイルかくはんロスが低減した。また、クランク室からオイルを排出する際のポンピングロスがブローバイガス排出口で空気の出入りがある

従来型より減少した。これらを合わせてエンジン回転速度 7000r/min においてフリクションロスは 8.7%減少した。

参考文献

- (1) 波多野清, 飯田和正, 東博文, 村田真一: 休筒機構付可変バルブタイミングエンジンの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集 No.924, Vol.1, p.37-40 (1992)

■ 著 者 ■



工藤 修



志村 康雄



寺田 幸司



犬丸 信明