39 ガラスシリンダエンジンによるオイル挙動観察

日本自動車部品総合研究所 斎藤 公孝^{*}、猪頭 敏彦、松本 龍快
トヨタ自動車 中田 雅彦

ANALYSIS OF OIL CONSUMPTION BY OBSERVING OIL BEHAVIOR AROUND PISTON RING USING A GLASS CYLINDER ENGINE

Kimitaka Saito^{*}, Toshihiko Igashira^{*}, Tatuyoshi Matumoto^{*}, Masahiko Nakada^{**}

In this study, to clarify the oil loss mechanism via piston rings, a transparent glass cylinder engine was used. For photographic observation, a high speed camera, a still camera, and a new system by using TV camera with a synchro-flash and a synchro-memory was applied. Moreover, a unique trace method was developed.

Results obtained for this visualization indicated that oil was mainly drawn into the combustion chamber through the gap areas in compression ring joints by high vacuum at engine braking condition and the oil passing over the peripheral surface of the oil control ring was more apparent when the piston rotational movements were greater.

1. はじめに

ガソリンエンジンのオイル消費は、シリンダとピストンの間を通過して排出されるオイル上がり、バルブガイドすき間から排出されるオイル下がりによって生ずるが、特に問題となるのは、その9割を占めるといわれるオイル上がりである⁽¹⁾。

このオイル上がりのメカニズムについては、従来から着色オイルを使用したピストン油膜の高速度撮影結果や、スチール撮影結果^{(2)~(4)}が報告されているが、まだ明解な解答が得られていない為、有効な消費低減対策が見つかっていない。

そこで、新たにTVカメラによる撮影法と、ピストン表面各部位から着色トレーサオイルを噴射し追跡する、新しい可視手法を開発し、オイル上がりのメカニズムを解明した。

2. 実験装置

図1に油膜可視化観察に使用したガラスシリンダエンジンの構造図を示す。小型空冷式単筒ガソリンエンジンのシリンダを、石英ガラスに置き換えた。エンジンブロックのスラスト側は、ピストン側面の潤滑油膜が観察できる様切り抜いた。ガラスシリンダ内径は、ピストンとの直径隙間が0.11mmとなる設計とした。組み付けや、運転中にガラスに集中応力が働き破損しないよう、ガラスシリンダーとブロックとの直接接触は避け、ガスケットによりサポートして固定した。潤滑油は10W-30を使用、実験中は油温80℃に制御した。潤滑油の着色には、Oil

Fig.1 Transparent glass liner engine.

^{*} Nippon Soken, Inc. 14-Iwaya, Shimohasumi-cho, Nishio-shi, Aichi-ken, 445 JAPAN

^{**} Toyota Motor Corp. 1-Toyota-cho, Toyota-shi, Aichi-ken, 471 JAPAN

Red ($C_{24}H_{20}N_4O_4$) を用いた。

ピストン及びピストンリングは1・5リッター、4気筒ガソリンエンジンの物を使用した。図2にピストンリングの構成を示す。トップリングにバレル、セカンドリングにテーパー、オイルリングに3ピース型が使用されている。観察中にリング合口部が移動しない様、リングの廻り止めを行った。

Fig.2 Ring combination.

3. 潤滑油膜挙動観察結果

最初にオイル上がりがいっどこで発生するのか明らかにする為、機関運転定常時と過渡時の油膜挙動を撮影した。

3・1 定常状態

定常時の油膜挙動観察には、35mm1眼レフを使用し、シャッター開放、所定クランク角ストロボ発光により撮影した。ストロボ放電管は、単発発光エネルギー8ジュール、閃光時間 $25\mu sec$ のキセノン型を、フィルムはASA100を使用した。

図3、4にエンジン回転数900rpm、スロットル全開時及び全閉時の吸気下死点でのトップリング合口部、セカンドリング合口部のオイル挙動撮影結果を示す。スロットル全開時には、サードランドには、オイルが薄く存在するものの、セカンドランド、トップランドにはオイルはほとんど存在していない。

一方、スロットル全閉時には、セカンドランド、サードランドにオイルが多量に存在している。また、オイルリング溝にはオイルが充満していて、オイルの凹凸から、激しい流動が起こっていることが推定できる。トップリング合口、セカンドリング合口からは吸気行程時の筒内高負圧によりオイルの吸い上げ現象が発生している。

前田⁽⁵⁾、F. Warric⁽⁶⁾らは、オイル上がりによるオイル消費メカニズムについて、オイル消費量の計測値から、エンジンブレーキ時などの軽負荷時に燃焼室に吸い上げられたオイルは燃えずに燃焼室に付着し、高負荷運転時に燃えて排出されると推定したが、本観察により、エンジンブレーキ時のオイル吸い上げが実証された。

JOINT GAP OF TOP RING JOINT GAP OF 2ND RING

Fig.3 Oil behavior with wide open throttle.

JOINT GAP OF TOP RING JOINT GAP OF 2ND RING

Fig.4 Oil behavior with closed throttle.

3・2 過渡状態

次に、過渡時のオイル挙動について調査した。過渡時オイル挙動は定常に移行する時間が長い為、長時間連続撮影可能なTVカメラを用いた。

図5に今回採用したTVカメラ撮影の構成図を示す。撮影はストロボを所定クランク角に同期発光させ、往復運動するピストンを見掛け上停止させる手法を採用した。通常のTVカメラで、ストロボ発光撮影を行うと画像にちらつきが生じ、非常に見づらくなる欠点がある為、画像読み出し時期をストロボ発光と同期させ、発光と発光の間は前画像をメモリーによりホールドする様にした。TVカメラは、画像分解能510（水平）X490（垂直）2/3インチCCD、画像メモリーの大きさは144KX8bitを用いた。可視化映像はビデオレコーダにより記録した。この撮影法により撮影された影像は、ストロボ発光によるちらつきが全くなり、運動体であるピストンは完全に停止させて見ることができる。また、高倍率レンズを用いた局所的撮影を行っても鮮明な映像が得られ、ミクロな解析も可能である。本撮影手法は、ガラスシリンダを用いた油膜観察に非常に効果的である。

図6はスロットル全開→全閉時の過渡時状態の油膜挙動を、本手法により観察した時のTVモニターの映像である。スロットル全閉後、トップリング合口部のオイル吸い上げ現象が発生するまで数秒～数十秒要している。この時、トップリング合口とセカンドリング合口を接近させた場合や、エンジン回転数が高くなるとオイル吸い上げは早くなる。

この様にオイル吸い上げ発生に時間を要するのは、スロットル全閉直後吸い上げ通路にオイルが充満するまで間は、オイルよりガスが多く吸い上げられるが、時間の経過により通路にオイルが充満すると、ポンピング作用が最大となり、激しい吸い上げが発生する為である。可視化映像からの油膜厚さや、吸い上げ量の定量的測定は非常に困難であるが、時間の測定なら容易にできる。そこで、このスロットルを全閉にしてからオイル吸い上げが発生するまでの時間（T:OIL SPOUT START TIME）を、オイル吸い上げの定量的評価値とした。

この様にオイル吸い上げ発生に時間を要するのは、スロットル全閉直後吸い上げ通路にオイルが充満するまで間は、オイルよりガスが多く吸い上げられるが、時間の経過により通路にオイルが充満すると、ポンピング作用が最大となり、激しい吸い上げが発生する為である。可視化映像からの油膜厚さや、吸い上げ量の定量的測定は非常に困難であるが、時間の測定なら容易にできる。そこで、このスロットルを全閉にしてからオイル吸い上げが発生するまでの時間（T:OIL SPOUT START TIME）を、オイル吸い上げの定量的評価値とした。

この様にオイル吸い上げ発生に時間を要するのは、スロットル全閉直後吸い上げ通路にオイルが充満するまで間は、オイルよりガスが多く吸い上げられるが、時間の経過により通路にオイルが充満すると、ポンピング作用が最大となり、激しい吸い上げが発生する為である。可視化映像からの油膜厚さや、吸い上げ量の定量的測定は非常に困難であるが、時間の測定なら容易にできる。そこで、このスロットルを全閉にしてからオイル吸い上げが発生するまでの時間（T:OIL SPOUT START TIME）を、オイル吸い上げの定量的評価値とした。

Fig.5 TV photographic system.

Fig.6 Oil behaviors during the transient condition.

4. ピストン揺動の影響

Oguriらは⁽⁷⁾、ピストン揺動がオイル消費量と関係のあることを示している。図7にピストン揺動とオイル上がり量との関係を可視化観察した結果を示す。ピストン揺動の最も小さいピストンは吸い上げ発生がもっとも遅く、逆に揺動の最も大きいピストンは吸い上げ発生が最も早い。ピストン揺動が激しくなると、燃焼室へのオイル上がりも激しくなる傾向にある。

Fig.7 Oil spout start time.

5. トレーサ法によるオイル流動観察

ピストン揺動がオイル流動に与える影響を解明する為開発した、トレーサ法ピストンの構造を図8に示す。オイルレッドで着色したオイルをトレーサオイルとしてピストン・シリンダ間に注入、その流動をTVカメラ撮影により追跡した。

Fig.8 Piston with trace method.

図9はトレーサオイルをピストンスカート部から注入した結果で、ピストン揺動の小さい諸元のピストンを使用した。スカート部から注入されたオイルは、オイルリングのオイルコントロールにより、サードランドに侵入することはない。一方、ピストン揺動の大きい諸元のピストンを使用して同様の観察を行うと、図10の様にスカート部から注入されたオイルはオイルリング摺動面を乗り越えサードランドに侵入し、燃焼室に吸い上げられる様子が観察された。ピストン揺動がオイルリングレールのシリンダ離れを引き起こし、オイルコントロール機能を低下させることが、確認できた。

Fig.9 Behavior of the tracer oil.

6. まとめ

ガラスシリンダエンジンを用いた新オイル挙動観察手法により次のことを明らかにすることが出来た。

- (1) スロットル全閉時、圧縮リング合口を主通路として燃焼室へのオイルの吸い上げが発生する。
- (2) ピストン揺動が激しくなると、オイルリングレールのシリンダ離れが発生し、オイル上がり増加する。

Fig.10 Behavior of the tracer oil.

＜参考文献＞

- (1) M.Hanaoka et al., SAE paper 790936 (2) 高尾ほか 内燃機関 Vol.12 No.140('73-7) (3) 鈴木ほか 第6回 内燃機関合同シンポジウム 講演論文集(229) (1987-1) (4) 和栗他 日本機械学会講演論文集No.217('69-10)
- (5) Y.Maeda et al., SAE paper 88054 (6) F.Warric et al., SAE paper 810754 (7) A.Oguri et al., SAE paper 88503