小形2サイクルメタノール火花点火エンジンのトライボロジ*

藤田 尚毅^{*1}, 小野寺 英輝^{*1}
辻 正一^{*1}, 伊藤 光博^{*1}Tribology for Small 2 Stroke Cycle Spark Ignition Engine Fueled
by MethanolNaotake FUJITA, Hideki ONODERA,
Syouichi TSUJI and Mitsuhiro ITO

This study is on tribology for small two stroke cycle spark ignition engines fueled by M85 (gasoline 15%+methanol 85%) and M0 (gasoline 100%). Separation occurs when lubrication oil is added to the gasoline-methanol blended fuel. Therefore, lubrication oil is supplied to the intake manifold separately from the fuels, and the oil-to-fuel ratio is about 1:30 for M0 and 1:60 for M85. Wear data for M85 under constant speed and WOT (wide-open throttle), is compared with data of a M0 counterpart. The sludge formed during engine operation was found to affect the cylinder wear performance.

Key Words: Tribology, Two Stroke Cycle Engine, Methanol, Cylinder Wear, Separated Lubrication, Sludge

1. 緒 言

近年、代替燃料や環境問題に対する関心の高まりからメタノール燃料を用いたエンジンの研究が盛んに行われるようになってきている⁽¹⁾。また2サイクルエンジンに対してもエンジンの再評価⁽²⁾とともに再び活発な研究が行われるようになってきた。火花点火エンジンにメタノール燃料を用いた場合、燃料の違いによる運転性能のほか潤滑性能についても種々の問題点が出てくる。メタノールを用いた2サイクル火花点火エンジンについての研究は増えてきてはいるものの、その多くは機関性能や排ガス特性などに関するもの⁽³⁾⁽⁴⁾が主流でありトライボロジ的な取り扱いをした研究は非常に少ない⁽⁵⁾。

4サイクルエンジンではメタノール燃料を用いた場合、ブローバイした未燃燃料や燃焼によって生じた水分などがオイルパンの潤滑油に混合し、潤滑油がエマルジョン化して粘性が低下してしまう。また、特に低温始動のときに生じるギ酸などの燃焼生成物がシリンダの腐食摩耗を促進させるなどして、ガソリン燃料よりも潤滑的には不利になるとの報告が多い^{(6)~(9)}。これ

に対し2サイクルエンジンでは潤滑油は燃料とともに混合気としてシリンダ内に吸入され、潤滑し、燃料とともに燃焼し排出される。すなわち、新しい潤滑油が常に供給されるので、4サイクルエンジンのようなメタノールによる潤滑油の性能低下を考慮する必要は少ない。その代わりに、メタノールとガソリンは任意の割合で混合するが、これに水分⁽¹⁰⁾や潤滑油が入ると分離するので、はん用2サイクルエンジンに用いられているような混合潤滑法の使用は不利である。混合潤滑で運転を行う場合、ガソリンとメタノールに双溶性のあるひまし油を潤滑油として用いている例が多い⁽⁹⁾⁽¹¹⁾。しかし、ひまし油はワニス状のスラッジを大量に発生しやすく、実用的には問題がある。

そこで本研究では、はん用小形2サイクルエンジンにメタノール燃料とガソリン燃料を用いて分離潤滑法で運転を行った。低温始動時と暖機時でシリンダの摩耗形態が異なることが考えられるので、今回は暖機後のエンジンについて、両者の燃料によるそれぞれのシリンダ上部の摩耗量を比較することにより、小形2サイクルエンジンの摩耗特性について研究を行った。

2. 実験装置および方法

供試エンジンは空冷2サイクル立形ピストンバルブ

* 原稿受付 平成5年9月13日。

^{*1} 正員、岩手大学工学部 (〒020 盛岡市上田4-3-5)。

式エンジンで、単気筒、排気量 175 cc, 実圧縮比 5.4 である。エンジン主要諸元を表 1 に示す。使用燃料は M 85(メタノール 85%+ガソリン 15%)と M 0(ガソリン 100%)で、それぞれ新品のシリンダとピストン・ピストンリングの組合せから使用した。スロットル全開(WOT)で理論空燃比とし負荷調整により回転数は 2300 min^{-1} 一定の条件で運転を行った。用いた潤滑油は市販の 2 サイクル分離潤滑および混合潤滑両用オイルである。潤滑油の一般性状を表 2 に示す。これは 2 サイクルガソリン機関潤滑油の潤滑性試験方法で規定されている比較標準油⁽¹²⁾に類似の粘度および粘度指数を有している。エンジンの回転数に対して潤滑油供給量を一定とし、気化器とシリンダ間の吸入管にオイルポンプを用いて滴下する。その供給量は約 0.9 ml/min であり、ガソリンの場合には燃料：潤滑油=30：1 の混合割合に相当する。

シリンダ表面形状の変化を知るために三次元粗さ測定器(小坂 SE-3 AK)を使用し、図 1 (a), (b) に示すライン L1~L8 に沿った 8 箇所について時間的経過を追って測定した。L1~L4 は各ポート間の位置で上死点のトップリングから下死点のセカンドリングまでの間を、L5~L8 は各ポート上で上死点のトップリングから各ポート上端部までを測定した。測定時間間隔

は 100 時間までは 10 時間ごと、その後は 20 時間ごとにエンジンを停止して測定した。エンジン運転開始時には、約 30 分間ガソリンで暖機運転を行い、その後各燃料に切換えて連続運転を行った。

3. 実験結果および考察

新品状態のシリンダ内壁表面形状について、図 2 に測定ライン L1 を例にとって周方向に 0.05 mm 間隔で 20 本測定した場合を三次元的に示す。加工仕上げ後の微細な粗さがみられるものの全体的に滑らかで、わずかに上下方向にうねりがみられる。

図 3 に、M 85 で約 100 時間運転した後の、シリンダ内表面を同じく L1 について測定した結果を示す。上死点でのトップリングとセカンドリング位置、下死点でのトップリングとセカンドリング位置に大きな摩耗変形が生じているのがわかる。また上下死点トップリング位置の 3~4 mm 上方にもわずかな摩耗部分がみられるが、これはピストンクラウンのエッジ部が当たっている部分である。上下死点の中間あたりに不規則に削れている部分が散見されるが、これはシリンダ縦方向にできた傷をひろっているとみなされる。シリンダ上部の大きな粗面はシリンダ表面に付着したスラッ

表 1 供試エンジン主要諸元

Form	Air cooled 2 stroke
Scavenge Type	Piston Valve Type
Bore × Stroke	62mm × 58mm
Displacement	175 cm ³
Compression Ratio	7.1(Real 5.4)
Rating Power	3.68kW/4000min ⁻¹
Ignition Type	Magnet Coil
Ignition Timing	Contact Point BTDC 22°CA

表 2 供試 2 サイクルエンジンオイルの一般性状

Specific Gravity	0.877(15/4℃)
Flash Point	90 (℃)
Pour Point	-32.5 (℃)
Viscosity Index	118
Kinematic Viscosity	58.2 (@40℃)
	(cSt) 8.5 (@100℃)
Color Phase(ASTM)	RED
Total Base Number	1.5 (mgKOH/g)
Sulfated Ash	0.20(wt%)

図 1 シリンダ表面形状測定位置

図2 シリンダ表面形状三次元表示(新品, L1)

図3 シリンダ表面形状三次元表示
(120時間運転後, M85, L1)

ジである。4サイクルメタノールエンジンの場合、最大摩耗はトップリングの上死点位置に現れ⁽⁶⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾、下死点のリング位置ではほとんど目立った摩耗が現れない。これは、4サイクルエンジンは一般にクラウン室底部にオイルパンを有し、ピストン下側から強制的に潤滑油を送り込み、シリンダ下方では潤滑油膜が厚く保持されるからである。これに対し、2サイクルエンジンでは、熱的に上死点のほうが厳しいものの、潤滑油は燃料の流れに伴ってシリンダに供給されるために、シリンダの上死点と下死点では潤滑油の到達する条件が同じになり、類似の潤滑状態になるためと考えられる。

シリンダ内壁の時間的変形形状変化の例を図4に示す。この図4はM0燃料における吸気孔と掃気孔の間の測定ライン(L1)で、40時間ごとの表面形状について示したものである。表面粗さは零時間時(運転前)から時間の経過とともに減少しており、いわゆる慣らし運転が行われている状況が観察される。そしてシリンダ上端から約7mm、12mmの位置と65mm、70mm

図4 シリンダ表面形状の時間的変化(M0, L1)

図5 各測定ラインの表面形状(M0, 200時間運転)

の位置では時間の経過とともに表面形状が変化しており、図3で示したような形に摩耗変形が進行しているようすがわかる。この進行状況は他の測定ラインでも、またM85燃料でも同様な経過であった。

図5はM0で運転したシリンダの200時間運転後の内面形状を各測定ラインについて示す。L1～L8で上死点ピストンリング位置におけるシリンダ周囲の摩

耗の状態が確認できる。L5～L8の位置には各ポートがあるために下死点位置までは測定できないが、L1～L4ラインの測定結果から、下死点のリング位置でもセカンドリングの部分に全周にわたって摩耗変形していることがわかる。この図から、上死点のセカンドリング位置が最も摩耗変形が大きいので、図6に示すような上死点のセカンドリング位置の拡大図を描き、シリンダ上部から11～15mmの位置に注目して、零時間の表面形状と各時間の表面形状との差の面積を摩耗量として算出した。200時間まで運転した時間ごとの摩耗量変化の測定結果を図7(M0燃料)および8(M85燃料)に示す。100時間までに10時間ごとに、その後200時間までは20時間ごとに測定した。最初の10時間で大きく摩耗が進展(初期摩耗)し、時間進行に伴ってこう配がゆるやかになり、一定速度の摩耗進行(定常摩耗)に移行していることがわかる。局所摩耗の進行のばらつきはM0のほうがM85よりも大きく、特に50時間以降にその差が大きくなる傾向を示している。これは後述するように、ピストンクラウンやシリンダヘッドに堆積したスラッジがある程度の厚さ以上になると、脱落して摩耗の進行に関与するためとみなせる。それに対し、M85のほうがスラッジの堆積が少ないので、摩耗の進行度合いに局所的に大きな差が生じないものと思われる。最も摩耗の進行が大きいのがM0の掃気片側(L7)と排気側(L8)で、進行が少ないのが掃気-吸気間(L1, L2)および掃気片側(L3)である。

ディーゼルエンジン⁽¹⁵⁾やガソリンエンジン⁽¹⁶⁾ではシリンダのスラッジとシリンダボア摩耗との間に相関関係があると報告されている。この硬質のスラッジはシリンダとピストンリングの摩擦面に入り込み、アブレッシブ摩耗を生じさせる。この観点から再び図5に戻って、トップリング上死点位置よりも上部のシリンダ表面をみると、表面に付着しているスラッジの量が、各測定ラインで異なっている。この付着量が多いほう

図6 摩耗量測定概念

が図7での摩耗の進行が比較的多いように思われる。例えば、各ポート上にあるL4～L8が比較的多く、図7で摩耗進行が少なかったL2～L3などは少ない付着量である。

図7と8の各ラインの摩耗量を平均して示したのが図9である。メタノール100%の場合、シリンダ上部のボア摩耗やトップリングの摩耗がガソリン(4サイクル)使用よりも著しく大きいという報告⁽¹³⁾もあるが、

図7 各ラインにおける摩耗の進行(M0)

図8 各ラインにおける摩耗の進行(M85)

図9 各燃料での平均摩耗

これらは低温始動時のメタノールからの燃焼生成物や、水分による腐食摩耗が大きい原因としている。これに対し本実験では、ガソリンによる暖機運転の後にメタノール燃料による運転をしているので、前述の腐食摩耗によるものは少ないと考えてよい。そしてこの図からは逆にM0のほうがM85よりも平均的にも大きい摩耗特性を示していることがわかる。

小松ら⁽¹⁷⁾は、小形2サイクルガソリンエンジンのピストンクラウンへの堆積物量の時間的変化を調べている。これによると潤滑油の添加剤の種類にもよるが、一般に最初は急激に堆積物が増加していき、ある程度の連続運転経過後には急激な上昇は止まり、以後緩やかな上昇傾向となり、堆積物ははく離と堆積を繰り返すようになり平衡に達することを見出している。そこで、図10(a)、(b)にそれぞれM0とM85で10時間連続運転した後のピストンクラウン部のスラッジ付着状態を観察した結果を示した。また図11は、掃気の流れ方向を示唆するために、掃気孔と排気孔の位置をシリンダヘッド側から表した図である。M0のほうでは、スラッジの付着パターンは吸排気孔を結んだ軸に対して比較的対称になっており、掃気孔からの混合気の流

れに沿ったような形を呈しており、スラッジが固く付着した部分と、ピストンクラウンの地肌面が完全に露出している部分とに分かれている。これに対しM85では、運転6時間位まではほとんどスラッジの付着がみられず、10時間の運転でようやく図にみられるようにわずかの付着が観察された程度である。ガソリン中のメタノールはピストンの堆積物を増加させるとした報告⁽⁶⁾もあるが、一般にエンジン清浄性はガソリンを燃料とした場合に比べよくなるとの報告が多く⁽¹⁴⁾、本実験でもメタノールのほうがスラッジの堆積はガソリンに比べて非常に少なかった。

このピストンクラウン部に付着したスラッジ量を定量的に比較するために、スラッジの厚さについて調べた。割出し盤にピストンを取付け、ピストン軸を中心に回転させ、ピストン上面部の周辺から5mm内側をダイヤルゲージで15度ごとに測定した結果を図12に示す。吸気孔の位置を0度とし、各測定ライン位置を図中上側横軸に併せて示した。新品のピストン表面は鑄肌のままで仕上げ加工が施されていないので、測定

(a) M85

(b) M0

図10 ピストンクラウン面のスラッジ付着状況
(10時間運動後)

図11 シリンダの掃気孔・排気孔の位置関係

図12 ピストンクラウン面のスラッジ厚さ

位置の微妙なずれによって測定結果にいくらかの凹凸を生じる。しかし10時間運転後の表面形状は鋳肌面の凹凸に比べて明らかに大きく、スラッジの付着状況をはっきりと認識できる。M85では掃気孔と吸気孔の間のラインである45°および315°の2箇所の狭い位置に0.25 mm程度の堆積がみられるが、M0ではM85でスラッジが付着していた45°と315°を含む広い領域のほかに、180°の排気孔の位置にも0.15 mm程度の厚さで広く付着している。ピストンクラウン上面に付着したスラッジの厚さと、クラウンランド部に付着したスラッジの厚さは、ピストンとシリンダの当たり具合の違いや、シリンダ内の燃焼ガスの流れにより必ずしも相関がないものと思われ、図12のスラッジ付着部と図7の摩耗進行が大きい位置との関係は見出せなかった。

4. 結 言

小形2 サイクルエンジンにメタノール燃料としてM85を用い、分離潤滑法で運転し、シリンダの摩耗状況をガソリン燃料の場合と比較検討した結果、以下のような結果が得られた。

(1) 小形2 サイクルエンジンに分離潤滑を用いた場合、シリンダ上部の摩耗を比較すると、ガソリン燃料を用いたシリンダよりも、メタノール燃料を用いたシリンダのほうが摩耗量が少ない。したがって、このエンジンにメタノール燃料を分離潤滑で使用してもシリンダの摩耗に関しては問題がない。

(2) 小形2 サイクルエンジンのシリンダ上部の摩耗の要因としてスラッジによるアブレッシブ摩耗が関係し、スラッジが多く発生する分ガリソン燃料を用いたときのほうが摩耗が多い。また、ピストンクラウンランド部に付着したスラッジ量と局所摩耗進行の間に相関関係がある。

最後に本研究の遂行に際し岩手大学修論生渡辺修君の協力を得、また日本機械学会RC120研究分科会(主査: 染谷常雄)より一部ご援助いただいたことを記して謝意を表する。

文 献

- (1) 岩井, 日本エネルギー学会誌, **71** (1992) 154.
- (2) 古浜, 内燃機関, **29**-366(1990-4), 9.
- (3) 藤田・ほか3名, 機論, **55**-510, B(1989), 535.
- (4) 澤・ほか3名, 機論, **56**-530, B(1990), 3187.
- (5) Gupta, M., *Nat. Conf. I. C. Eng. & Combust. 9th*, (1985), E-2.
- (6) Buck, W. H., *SAE Paper*, No. 892156 (1989).
- (7) Nautiyal, P. C., *SAE Paper*, No. 850215 (1985).
- (8) 細野・小田・相原, トライボロジスト, **36**-11(1991), 45.
- (9) Owens, C.(編), *Proc. Automot. Technol. Dev. Contr. Coord. Meet. 22nd.*, (1984), 3.
- (10) Nakayama, M., *SAE Paper*, No. 852200 (1985).
- (11) Maji, S., Pundir, B. P., and Radzimirski S., *Rep. 6th Int. Symp. Alcohol Fuel Tech.*, (1986), 358.
- (12) 自動車規格, JASO M **340**-92(1992), 6.
- (13) Marbach, H. W., Jr., Frame, E. A., Owens, E. C. and Naegeli, D. W., *SAE Paper*, No. 811199.
- (14) 石川, 日石レビュー, **27**-5(1985), 278.
- (15) 中垣・石附, 潤滑, **27**-5(1981), 321.
- (16) Lewis, E. J., 高川, トライボロジスト, **34**-12(1988), 866.
- (17) 小松・泥谷, 潤滑, **15**-12(1970), 825.