

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 3 日現在

機関番号: 11201
 研究種目: 基盤研究(C)
 研究期間: 2010~2012
 課題番号: 22560133
 研究課題名(和文) 小型2ストロークアルコール機関のデポジット生成に関する
 バイオ系潤滑油の挙動
 研究課題名(英文) Effects of bio-lubrication oil on combustion chamber deposit formation in
 a small two-stroke cycle engine with alcohol fuel.

研究代表者
 藤田 尚毅(FUJITA NAOTAKE)
 岩手大学・工学部・教授
 研究者番号: 40048830

研究成果の概要（和文）： 小型2ストローク機関の燃焼室内で生成するデポジットがピストン上面の堆積におよぼす潤滑油の影響について実験的に調べた。潤滑油をトラップする多数の小穴を設けたピストンを用いて潤滑油の流れとデポジットの堆積傾向を示した。また、メタノールとガソリンで機関運転をし、デポジットの堆積傾向の差を求めた。生分解性潤滑油の構成成分について、それに熱履歴を与え、デポジットへの転化特性を調べ、また潤滑油の種類が摩耗量に及ぼす影響を調べた。

研究成果の概要（英文）：

This is a study to investigate effects of bio-lubrication oil on combustion chamber deposit (CCD) formation in small two-stroke cycle engines. A separation piston divided a crown and a body, which was used to measure the weight of the accumulated CCD on the crown. There had a lot of fine pin holes on the surface of the piston crown. It was observed that the lubrication oil oriented CCD streaks were formed out from the holes downstream. The formed CCD from the operation by gasoline and methanol fuel were observed. The conversion characteristic by heating of bio-lubricating oil to deposit was investigated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野： 工 学

科研費の分科・細目：機械工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：機械要素、トライボロジー、内燃機関、代替燃料、2ストローク、デポジット
 燃焼室堆積物、潤滑油

1. 研究開始当初の背景

本研究課題では、小型2ストローク機関に今後使用量が増加すると思われるアルコール・ガソリン混合燃料を用い、使用する潤滑油については環境負荷の小さい生分解性のある植物系油脂を精製して用いて運転を行い、デポジット生成特性および排気煙特性を明らかにすることを目的とする。

小型2ストローク(2ST)機関は、弁機構を有しないために、吹き抜けによるHC排出が多く、近年の排気規制をクリアしているものはほとんどが触媒装着機関になっている。しかし2ST機関では潤滑油が燃料と共に燃焼室に供給されて燃焼するために、燃焼室デポジット(CCD)と排気煙が4ストローク機関と比べて非常に多いという特質を有し、これらが排気組成を悪化させたり、また触媒に付着し、その効果を低減させ寿命の短縮をもたらす。したがって、小型2ST機関におけるデポジット生成特性の解明は喫緊の課題として重要であるにもかかわらず、研究報告例が非常に少ないのが実情である。

また、これとは別に内燃機関の燃料として資源枯渇問題や地球温暖化問題から石油代替燃料の研究が活発化しており、その候補の一つとしてメタノールやエタノールなどのアルコール系燃料が注目されている。しかし、これらの燃料を2ST機関の燃料とする場合には、潤滑油との相溶性を考慮しなければならない現状にある。

2. 研究の目的

研究者らは4ストローク機関に比べて、燃焼室内デポジット(CCD)の堆積が多い2ストローク機関(2ST)に対して、この CCD 堆積特性に与える機関運転条件の影響を調べ、特に温度およびその分布が著しい影響を及ぼすことを以前に実験的に示した。CCDの分布パターンは運転条件によって独特の形態を示しており、温度の他に潤滑油の構成成分、ピストン上面を流れる方向、量、

速度および滞留時間(熱負荷を受ける時間)に影響されることが独特の CCD 堆積パターンから推察された。

(1)そこで本研究課題では潤滑油の流れによる CCD 堆積から CCD 堆積機構を研究することを目的とした。

(2)また、潤滑油の構成成分が CCD 生成に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、ガソリンとメタノールを燃料とした場合の比較実験を行った。

(3)生分解性潤滑油(バイオ系)については、市販のパラフィン系潤滑油と比較する形で粘度と揮発性に及ぼす熱的影響を調べて、潤滑性能との関係を考察した。

3. 研究の方法

(1)ピストン上面(クラウン)に形成される CCD の堆積機構を調べるために、ピストンクラウン部とスカート部(ボディ)に分離できる分割ピストンを作製して用いた。このことにより、CCDの観察や堆積量の測定・除去を簡便に繰り返して行える。クラウン上面に潤滑油を滞留させるための小穴を多数設け、潤滑油の流れに沿った CCD 堆積を意図的に生成させるという新しい方法で、簡便にピストン上面の潤滑油の流れを可視化する。供試機関は、反転掃気方式空冷単気筒 2ST 機関(排気量 175cc)である。

図1に中負荷運転(回転数 2400rpm、給気比 0.3、空気過剰率 1.0)を1時間後の、クラウン上面の CCD 堆積状況を示す。温度が低いところでは、潤滑油の酸化、縮合重合が進まずにデポジット化が進まず、高温においては生成したデポジットが熱分解して減少する。図の両側が掃気ポートになっていて、ここから、混合気が流入するために比較的低温になっているのでデポジットの付着は少ない。また、クラウン中心部においてもデポジットの付着が少なくなってい



図1 デポジット堆積パターン例

るが、ここはシリンダヘッド側に点火プラグがある位置で、燃焼ガスの強い流れにより潤滑油の存在が少なく、また高温になっているために熱分解がより進行しているものと見なすことができる。クラウン上面に設けた多数の小穴からは、CCDの流脈模様 (CCD streaks : CCDS) が観察される。シリンダ内の掃気あるいは燃焼ガスの流れは、ピストンの上下運動と掃気・燃焼・排気行程によって激しく変動しているが、壁面上の潤滑油はその粘性のために、境界層近傍の平均的流れ方向を示しているものと推察できる。

図2に、潤滑油の構成成分である鉱油、ポリブテン、無灰型分散剤、金属系清浄剤の熱重量分析結果を示す。合わせて実機機関から採取した CCD も示す。実機機関での“Oil A”は、市販の潤滑油で、前述の各構成成分からなっている。RunH が高負荷運転、RunM が中負荷運転である。構成成分は金属系清浄剤を除いて、ほぼ 500℃で全て熱分解する。これに対し実機機関からの CCD は熱分解しない成分が多く残っており、中負荷運転の方に多く残存していることが分かる。ピストン表面温度は 200℃～350℃の温度分布をしているが、低温側に生成されるデポジットには炭素分が多く含まれ黒色を呈し、高温側に生成される茶白色のデポジットには金属系成分が多く含まれるということが、赤外分光分析および E PMA の分

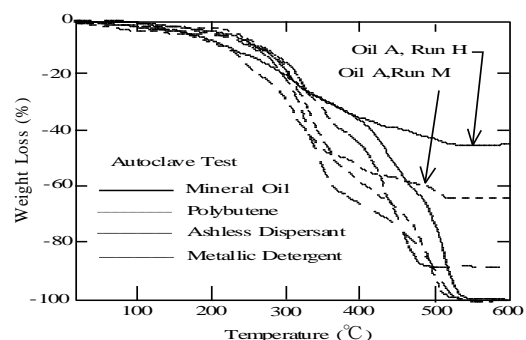


図2 デポジットの熱重量分析

析結果と合わせて推察することができる。

(2) メタノール燃料の CCD 生成特性について。

図3にメタノールおよびガソリンを燃料として運転したときの CCD 堆積特性に及ぼす空気過剰率の影響を示す。このときの潤滑油は“Oil A”である。CCD 堆積重量は理論混合比から希薄側になるにつれて増加を示すが、ガソリンの方が 20%ほど多い傾向を示している。ガソリンの場合は空気過剰率が 1.3 付近で CCD 堆積が最大を示し、それより希薄側では急激な減少を示しているのに対し、メタノールの場合は 1.6 付近まで CCD 堆積が観察される。これは、それぞれの燃料における可燃限界の差が現れているためである。メタノールは飽和炭化水素

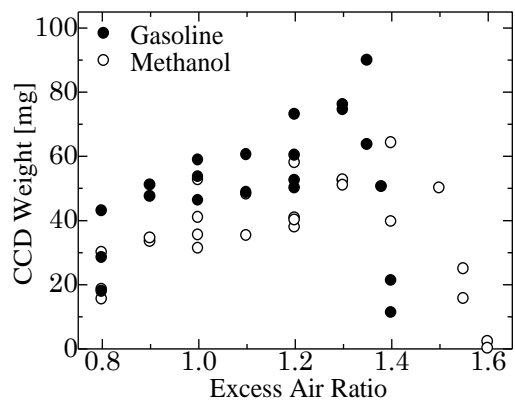


図3 CCD 堆積に及ぼす空気過剰率の影響

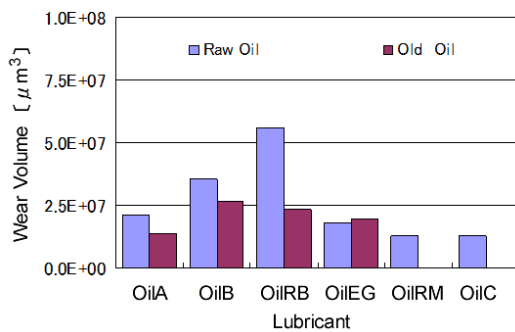


図4 往復摺動試験結果の例(荷重 5N)

系アルコール燃料なので、デポジットを生成せず、堆積した CCD は全て潤滑油に起因している。ガソリンの場合は潤滑油に加えて燃料も堆積に寄与する。また、メタノールは極性基を有するために潤滑油との相溶性が低く、その分燃料によって希釈されずに壁面上での清浄分散性状が多く保持されているものと考えられる。潤滑油に添加されている清浄分散剤が高温においてはデポジット化した後に熱分解されにくい性質を持っているので、メタノールを燃料とした場合に生成される CCD 堆積は、茶白色をした積層状に堆積されることが多い。

(3) 2 ストローク (2ST) 機関では供給潤滑油全廃方式なので、環境負荷の観点からも再生可能、生分解性が要求とされ、さらにアルコールを燃料とする場合は、燃料との相溶性 (混和性) やデポジットの生成が少ない性質が要求される。従来は上記要求に沿ったものとしてひまし油が用いられていたが、加熱によるデポジットが多く発生することが難点となっていた。近年、生分解性潤滑油 (バイオ系) として何種類か市販されているが、デポジット生成に関連する報告は知見しない。

ここでは植物油から合成可能なものをいくつか選び、往復摺動試験機にて、シリンダー素材を用いた摩耗試験を行った。摺動装置は、下部試験片として機関シリンダー材 (FC25) を切り出して設置し、その上にピ

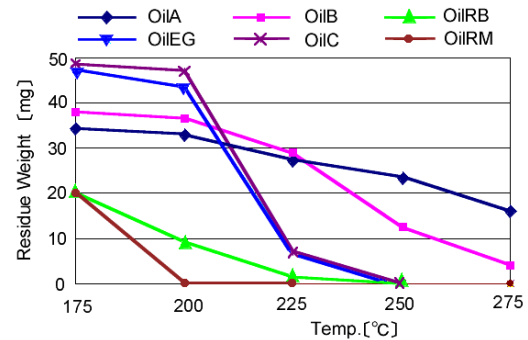


図5 潤滑油の温度揮発特性(加熱 30 分)

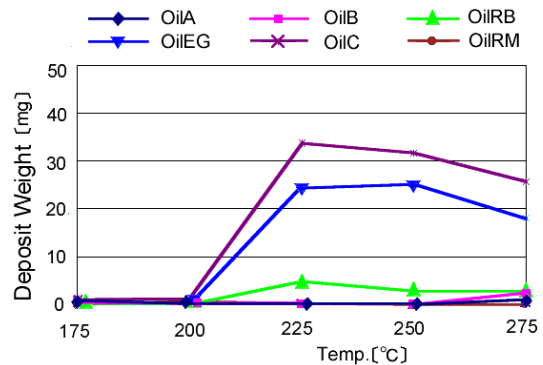


図6 オイルの残留デポジット

ストンリングから切り出した上部試験片を押し当て 1 cm のストロークで往復摺動させた。として図 4 に、摺動試験機での摩耗量の結果例を示す。摩耗量は下部試験片に生じた摩耗痕中心において幅 2mm、長さ 10mm の範囲について表面粗さ計を用いて測定し、削られた体積 (μm^3) によって表した。用いた潤滑油は市販の 2ST 機関用潤滑油 (OilA)、生分解性 2ST 用潤滑油 (OilB)、ひまし油 (OilC)、ひまし油脂肪酸であるリシノール酸とブタノールとのエステルであるリシノール酸ブチル (OilRB)、エチレングリコールとのエステルであるエチレングリコールモノシレート (OilEG) 及びリシノール酸メチル (OilRM) である。これらの潤滑油について新油 (Raw Oil) と実機試験時での使用状況を模擬するために、200°C で 2 時間保持して熱履歴を与え低沸点成分を揮発させたものを劣化油 (Old Oil) とし、摺動試験機にかけて 60 分間の摩耗試験を行った

ものである。

図5には容器に潤滑油を50mgとって、電気炉内で各温度で30分加熱したときの可溶成分の残存量についてその変化を示したものである。また不溶解成分がデポジットであるが、その生成量を図6に示す。これらから、潤滑油としての理想的な挙動は、市販オイルである0i1Aや0i1Bのように、摺動面の温度である200℃前後では残油量が多く、ピストンヘッド温度である250℃以上では揮発してデポジットに転化しないことが望ましいといえる。0i1RMでは摩耗量は少なかったが、200℃で直ぐに揮発するために潤滑油としての役割を果たさない。しかし、0i1RBは200℃でも残油量が確認できるために、潤滑油としての役割は果たすと考えられ、市販オイルに含有されているような灯油溜分に代わるキャリアオイルとして期待できる。これらのオイルは単独での使用よりも、それぞれの特徴を生かした混合での使用を今後検討すべきである。

4. 研究成果

小型2ストローク機関にアルコール燃料を用いた場合の、デポジット生成に及ぼす潤滑油の影響について調べることが目的に、実験的研究を行い以下の知見を得た。

(1)ピストンクラウン面に堆積するCCDを調べるための分離ピストンを用いた実験からは

①堆積量は運転条件によって影響を受け、低負荷や高負荷運転よりも中負荷での運転で最も多く生成・堆積する。

②デポジットの堆積は潤滑油に含有されている添加剤に起因するものが多く、特に高温では金属系分散剤から生じた茶白色のデポジットが多く残留する。低温側では炭素分の多い黒色デポジットが多い。

(2)アルコール燃料としてメタノールを用いた実験においては、堆積するデポジット

の量はガソリンで運転した場合よりも少なくなる。市販潤滑油から添加剤を除いた潤滑油では、CCDに関しては減少させることができる。添加剤はシリンダとピストンとの潤滑に効果があるので、CCD生成には現在はやむ無しとして使われている。これを解決する潤滑油設計が今後望まれる。

(3)生分解性を有するバイオ系潤滑油成分について摺動実験と熱負荷を与える試験を行った結果、

①同じリシノール酸モノエステルで、分子構造や分子量も近い物でも、エステル化したアルコールのヒドロキシル基の和により、デポジットが多量に発生するものと少ない物がある。

②リシノール酸ブチルやエチレングリコールエステルは、アルコール対応の植物性オイルとして期待できるので、これらを混合するような潤滑油設計が必要となる。また、リシノール酸ブチルは灯油溜分に代わるキャリアオイルとして期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計5件)

①三浦雄大、鐘賽君、藤田尚毅、小型2ストローク機関のシリンダ粗さ及び温度がスカuffing特性に与える影響、No2013-1、168、pp. 133-134、2013. 3. 15、東北大学工学部 (宮城県)

②蓬田嘉之、三浦雄大、鐘賽君、藤田尚毅、モーターリング法による小型2ストローク機関のピストンスラップ現象に関する研究、日本機械学会東北支部第48期秋季講演会 No2012-2、601、pp. 186-187、2012. 9. 22、八戸工業高等専門学校 (青森県)

③三上直人、藤田尚毅、アルコール混合燃料を用いた2ストロークエンジンにおける機関特性、日本機械学会東北支部第47期総

会・講演会 No2012-1、223、
pp. 252-253, 2012. 3. 13、東北大学工学部(宮
城県)

④佐藤洋太、三浦雄大、衛飛、藤田尚毅、
2ストロークエンジンにおける面機能とス
カッフイングの関係、日本機械学会東北支
部第 47 期総会・講演会 No2012-1、221、
pp. 248-249, 2012. 3. 13、東北大学工学部(宮
城県)

⑤佐藤慎司、藤田尚毅、衛飛、廣瀬宏一、
今洋、小型 2ストローク機関の運転条件が
燃焼室デポジット生成に与える影響、第 22
回内燃機関シンポジウム、34、2011. 11. 29、
東京工業大学（東京）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤田 尚毅 (FUJITA NAOTAKE)
岩手大学・工学部・教授
研究者番号：40048830