

## 小型二ストローク機関における燃焼室堆積物生成に関する研究\* (シリンダ内潤滑油の流れと堆積パターンの関係)

今 洋\*<sup>1</sup>, 藤田 尚 毅\*<sup>2</sup>  
廣 瀬 宏 一\*<sup>2</sup>, 伊斯拉海提 阿不力孜\*<sup>3</sup>

### A Study on Combustion Chamber Deposit Formation on a Piston Crown of a Small Two-Stroke Cycle Engine (Relation between a Lubricant Oil Flow and CCD Formation Pattern in a Cylinder)

Hiroshi KON, Naotake FUJITA\*<sup>4</sup>,  
Kouichi HIROSE and Yisilahaiti ABULIZI

\*<sup>4</sup> Department of Mechanical Engineering, Iwate University,  
4-3-5 Ueda, Morioka-shi, Iwate, 020-8551 Japan

We made a study on the combustion chamber deposit (CCD) formation pattern on a piston crown surface in a small two-stroke spark ignition engine. Generation of the CCD is influenced by the temperature, pressure, gas flow conditions or retention period of the lubrication oil in the cylinder. Lubrication oil flows were observed by generating CCD streaks (CCDS) from many small drilled holes on the piston crown. To understand the temperature influence on the heat degradation of the lubricant oil, the oil on the conical cavity was heated statically in an electric furnace, and the oil was also dropped on the heated incline plate. Using separated a piston crown and a cylinder head, the characteristic properties of deposited sediments in the combustion chamber were surveyed and analyzed in a such operation load. In the results, (1) the oil flow-pattern of a piston surface flow is the average direction of gas flow there, (2) Most of CCD is formatted at about 275°C, (3) CCDS formed on the heated plate along the oil flow line is a distant every angle, (4) CCD on higher-heating area is formed heat-proof in a higher-boiling point-composition concentrated by a metallic detergent, and (5) CCD is many on lower-middle operation load and less on higher operation load.

**Key Words:** Two Stroke Cycle Engine, Combustion Chamber Deposit, Lubricant Oil Flow, Vanish and Sludge

#### 1. 緒 言

小型二ストローク機関は、簡便性にすぐれ比出力が大きいことから、小形船舶の船外機や農業用あるいは汎用原動機として広く用いられている。この機関は構造上、燃料と潤滑油を混合してシリンダ内で燃焼させるために、燃焼室デポジット(CCD: Combustion Chamber Deposit)が四ストローク機関に比べて非常に多く生成され、また、機関から排出される潤滑油成分や微粒子も多い<sup>(1)(2)</sup>。二ストローク機関用潤滑油には、シリンダとピストンのしゅう動面を清浄に保つために清浄剤や分散剤が添加剤として加えられており、ピストンリングの汚損やこう着を抑えるはたらきをしている。しかし、これらが燃焼室面で燃焼ガスにさら

されることにより四ストローク機関に比べて多量の CCD を生成する要因の一つにもなっている。また、機関にとってはリングこう着による焼付きの方が決定的なダメージとなるために、ピストンリング周りの清浄性を優先させ、CCD の堆積はやむを得ないものとして妥協していたのが最近までの状況である。ここで、CCD の過剰な堆積は、要求オクタン価の増加<sup>(3)</sup>や排ガス中の NO<sub>x</sub> 増大を招いたり、あるいは、スキップシュエリアへの堆積によりピストンとシリンダヘッドの干渉を起こすなど、運転性・機関機能・排気ガスへの悪影響をきたすことが知られている。また、排気規制が小排気量機関にも適用され、強化されてきている中で、小型二ストローク機関の排気煙や微粒子排出も早急に解決されなければならない問題となっている。

実際の機関内では CCD 生成現象は非常に複雑なため、オートクレーブを用いて高温・高圧場における現象を単純化して再現し、この静的状態でのデポジットの模擬的生成を通じて、CCD 生成機構解明の一つとして、CCD は高温度の環境下において潤滑油の酸化

\* 原稿受付 2010年6月17日。

\*<sup>1</sup> 正員, 岩手大学大学院工学研究科(☎020-8551 盛岡市上田4-3-5)。

\*<sup>2</sup> 正員, 岩手大学工学部。

\*<sup>3</sup> 新疆農大(中華人民共和国)。

E-mail: nfujita@iwate-u.ac.jp

や縮合・重合によって生成されるなどの基礎的な研究<sup>(4)~(7)</sup>も行われている。著者らも実機において運転条件の CCD 生成に及ぼす影響<sup>(8)</sup>や、オートクレーブを用いて潤滑油の熱的環境下におけるデポジットへの静的転化特性<sup>(9)</sup>について調べてきた。また、デポジットが生成しやすい温度範囲があり、ピストンクラウン面(以下、クラウン面)の温度分布と CCD 堆積が開始する位置との関係<sup>(10)</sup>についてもある程度明らかにした。しかし、CCD 生成に及ぼす影響や温度や圧力のみならず、潤滑油の組成、流量、履歴時間などの因子が非常に複雑に影響し合っており、総合的な把握が必要とされている。

本研究では、実機による CCD 堆積運転と潤滑油を静的に加熱(流動)させる実験を行った。実機運転では、クラウン面の温度分布とクラウン面に設けた多数の小穴(ディンプル)から CCD 流脈模様(CCDS: CCD Streaks)の形成を通じて潤滑油流れを推定し、潤滑油の温度劣化特性との関連から CCD 付着状況に係る付着量や付着のパターンの特徴を調べた。次に、これとは別に潤滑油を静的に加熱劣化させる実験を二通り行った。その一つとして、潤滑油を円錐キャビティ上に保持した一定温度・時間で加熱する実験を行い、また、もう一つは一定温度に加熱した傾斜平板上に潤滑油を滴下流動させて CCDS を模擬的に生成させる実験を行った。さらに、実機運転では、クラウン面に加えて、シリンダヘッド内面に堆積する CCD を回収できることに着目し、この両面の CCD 堆積重量や堆積エリアを調べ、回収した CCD を物性分析し、CCD 生成因子を検討した。

## 2. 実機運転による CCDS の生成と CCD 堆積特性

**2.1 実験装置および方法** 供試機関は、反転掃気式強制空冷単気筒二ストローク機関(ボア×ストローク 62 mm×58 mm, 排気量 175 cm<sup>3</sup>)<sup>(8)</sup>である。潤滑油は吸気ポート直前に滴下する分離給油方式とし、その供給量は 0.5~2.0 cm<sup>3</sup>/min で任意に設定できる機構とした。また、供試潤滑油は、市販の二ストローク機関用の潤滑油<sup>(8)(9)</sup>を用いた。この組成はおおむね 鉱物油:25%, 灯油:27%, 合成油:41%, 添加剤:7%となっている。

クラウン面の CCD 付着状況とそのパターンの特徴から潤滑油の挙動(潤滑油流れ)を調べるために、クラウン上面にディンプルを設け(以下、ディンプルクラウン(DC)), CCD の観察や除去を繰り返し行えるようにするために、クラウン部とボディ部を分けた分割ピストンを製作した。図 1 に分割ピストンを示す。供

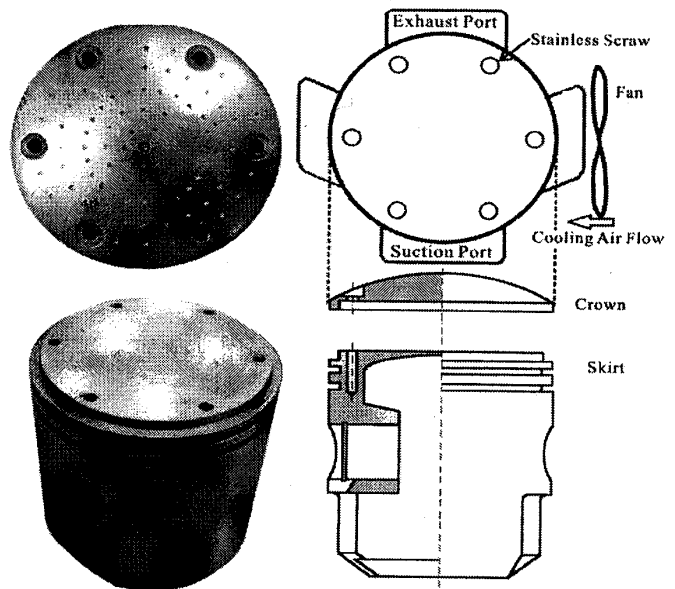


Fig. 1 Dimple crown and separate piston

試機関による実機運転で DC に CCD を付着させ、ディンプル周辺に生成された CCDS の観察を通じて、潤滑油流れを推定する方法を採用した。ディンプルは、孔径  $\phi$  1.1 mm, 深さ 1.0 mm のドリル穴で、図 1 左上に示すような配列で 5 mm ピッチの同心円上に放射状に 84 個配置した。 $\phi$  は他に 0.6, 1.5 mm および 2.0 mm の計四種類を用いた。機関の運転条件は、回転速度  $n$  を 2 200~3 000 rpm, 給気比  $DR$  (Delivery Ratio) を 0.3~0.5, 空気過剰率  $EAR$  (Excess Air Ratio) は 1.0~1.2 の間で一定に固定して行った。機関への負荷は渦電流式電気動力計で与えた。

また、燃焼室内の CCD 堆積特性を総合的に把握するために、クラウン面とシリンダヘッド内面の両面に堆積する CCD を回収するための実験装置として、上記の CCDS の潤滑油流れの推定と同様に分割ピストンを製作した。クラウン部は精密天秤で重量を計測するために、100 g 以下になるようにした。実機運転後にクラウン面をガソリンで洗浄し、さらにアセトンでガソリン分を洗浄した後に十分乾燥させ秤量した。ここではガソリン洗浄による可溶成分を残渣物(ワニススラッジ)、不溶成分として残存したものを CCD と定義する。

なお、以下に示すこれらの実験で得られたクラウン面の観察結果の図や写真について、いずれも紙面上方が排気ポート、下方が給気ポート、左右が掃気ポート方向を指すものとする。

## 2.2 実験結果および考察

### 2.2.1 温度分布と潤滑油流れの推定について

図 2 に、以前に著者らが行った融点が既知のフィー

ジブプラグをクラウン面に埋め込んでその溶融状態から温度を推定するために運転し、この実験結果より推定された温度分布の例を示す<sup>(10)</sup>。運転開始から回転速度と負荷を徐々に増加させ、暖機運転と定常運転を含め、総運転時間  $R_t$  を1時間として行った。この例では点火プラグはシリンダヘッド側中心にあるために、ピストン側でも中心部が最も高温になっていた。その次の高温域は中心部から排気ポート方向に分布していた。中心部から給気ポート側および両側の掃気ポ

ート部に向かって温度が低下しているが、これはピストンが下死点付近において低温の給気や掃気と接する影響が出ているためとみなした。

これらの実験から、多くの CCD 堆積写真においても見られるように、クラウン面では中心部から給気ポートの方に向かって約 280~300°C の温度になっており、掃気ポート付近の温度の低い箇所(約 270~280°C)と、燃焼室中心部の高温を示す箇所(約 330°C)では、CCD の堆積が少ない。なお、詳細は 3・2 節で後述するが、加熱試験からは 275°C 前後の温度が最もデポジットが生成し易いことが得られている。

図 3(a) に、DC(ディンプルクラウン)を用いて運転したときの表面に付着した潤滑油の CCDS(CCD 流脈模様)の例を示す。図 3(b) に、CCD の付着パターンから読み取った CCDS の方向を示す。シリンダ内ガス流は掃気、燃焼、排気の各々の流れによって高速に変化しているが、クラウン面上に存在する潤滑油はその粘性によって瞬間的な各々のガス流に追従することなく、これらを時間的に重ね合わせた平均的なガス流の方向に移動している様相を示している。

図 4 に、掃気ポート付近(図 4(a))とクラウン中心部(図 4(b))を拡大し CCDS の付着状況を示す。図 4(a)の掃気ポート付近で生成する CCDS はディンプルから出て、中心線上に黒くなっており、図 4(b)の中心部から放射状に出ている CCDS は中心線部が白く抜けているのが特徴的である。

図 5 に、クラウン面同心円上にある CCDS の方向を示した発散度(DL: Divergence Level)として中心から放射状の成分の度合いを表す図を示す。ここでは、クラウン中心から放射状に広がる潤滑油流れの強さを発散度と定義し、ピストン中心における潤滑油の放射状に広がる到達距離を求めたものである。外向き放射状の場合が  $DL=100$ 、CCDS が周方向になっている

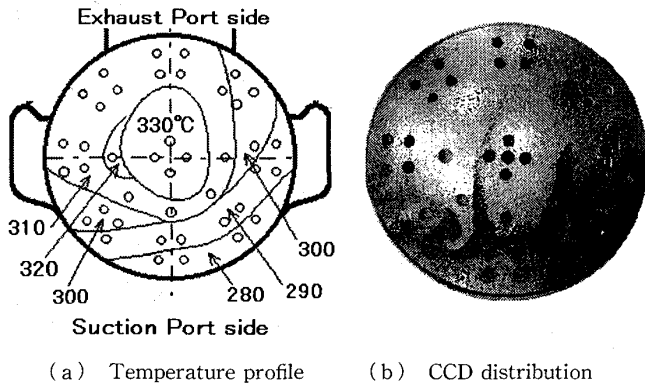


Fig. 2 Estimation for temperature profile of piston crown using fusible plugs<sup>(10)</sup> ( $n$ : 2 200 rpm,  $DR$ : 0.4,  $EAR$ : 1.0,  $R_t$ : 1h)

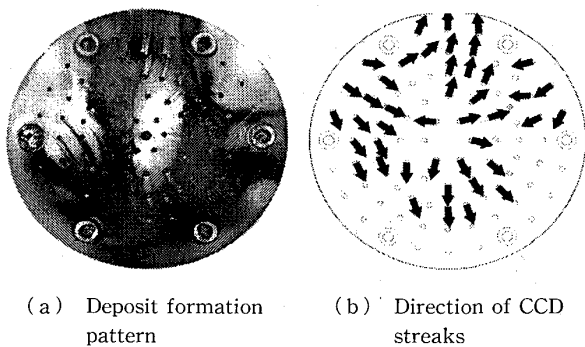


Fig. 3 Deposit formation pattern and direction of CCD streaks ( $n$ : 3 000 rpm,  $DR$ : 0.5,  $EAR$ : 1.2,  $R_t$ : 20 min)

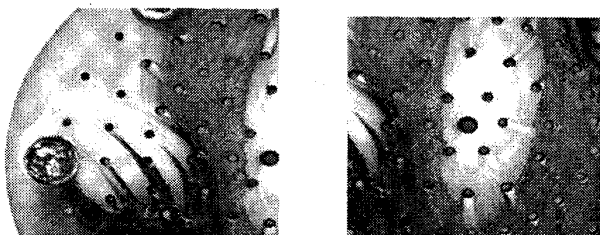


Fig. 4 Close-up of piston crown ( $DR$ : 0.5)

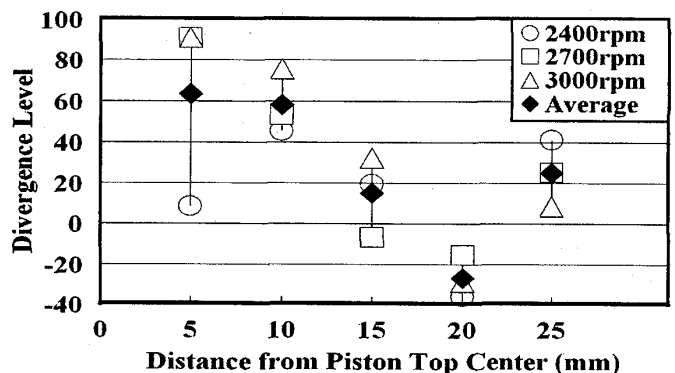


Fig. 5 Divergence level about CCDS direction ( $DR$ : 0.5)

場合が  $DL=0$ , 中心に向いている成分の場合が  $DL < 0$  となる。中心部では CCDS が強く膨張する形で放射状になっている。中心から 20 mm の位置では、掃気流の影響で内向きの成分が多い。

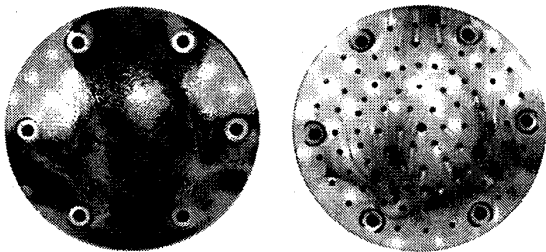
2.2.2 実機運転の CCD 堆積状況について

図 6 に、分離ピストンを用いて運転したときにクラウン面上に付着した CCD の形成状況を示す。

図 6(a) に、運転条件を  $n$ (回転速度) = 2400 rpm,  $EAR$ (空気過剰率) = 1.0,  $DR$ (給気比) = 0.3 で 150 分間運転した後の堆積状況を示す。CCD の堆積は左右の掃気ポート付近と中心部に少なく、排気ポート方向と下側半分に厚く付着している様子が観察される。

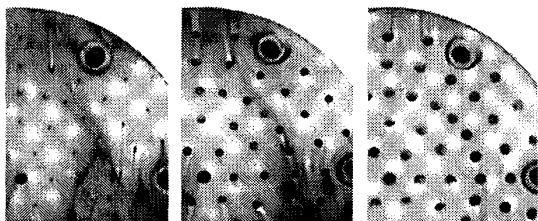
図 6(b) に、クラウン面上に  $\phi$ (孔径) = 1.5 mm のディンプルを設けた場合に図 6(a) の運転条件で 30 分間運転した後の CCD 付着状況を示す。CCD がクラウン面上に付着し始める最初の状況が観察されている。また、この図 6(b) からは、クラウン面上の場所によって濃淡の差異はあるものの、各ディンプルから流れ出ているような CCD の流脈状の筋模様(CCDS)が観察される。

図 7 では、 $\phi$  が (a) 0.6 mm, (b) 1.5 mm, (c) 2.0 mm の各場合におけるクラウン面右上 1/4 の CCD 付着状況を拡大して示している。同じ運転条件である



(a) After operation for 150 min. (b) For 30 min.

Fig. 6 Top view of separation piston with or without dimples (Running condition:  $n=2400$  rpm,  $EAR: 1.0$ ,  $DR: 0.3$ )



(a)  $\phi=0.6$  mm (b)  $\phi=1.5$  mm (c)  $\phi=2.0$  mm

Fig. 7 Close-up view of piston top with dimple holes (Running condition: the same as Fig. 6(b))

が、CCDS の現れ方が異なっており、 $\phi$  の大きい方が CCD の堆積も少なく、 $\phi$  に影響を受けている。

図 8 に、シリンダ壁面に直径 2.1 mm の穴を設け、そこから運転中に真空ポンプで抽出した潤滑油について熱重量分析(TGA,  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ )を行った結果を示す。ここでは、未使用潤滑油と潤滑油混合比を変化させて運転した場合の潤滑油(潤滑油混合比が 25:1 の場合と 50:1 の場合)について示している。潤滑油混合比の変化にもかかわらず壁面から抽出した潤滑油には、未使用潤滑油に含まれる  $150\sim 250^\circ\text{C}$  の蒸発成分が失われ、高沸点成分がほとんどであることがわかる。クラウン面に存在する潤滑油も、壁面上の潤滑油構成成分と類似していると見なせる。

図 9 に、30 時間運転における単位面積当たりの CCD 累積堆積量と、5 時間毎に計測したワニススラッジ生成量を示す。この量は図 9 中、クラウン面を P-30.0 hrV/S のように(P:ピストン上面(即ちクラウン面), V/S:ワニススラッジ), また、シリンダヘッド内面を CH-30.0 hrV/S のように(CH:シリンダヘ

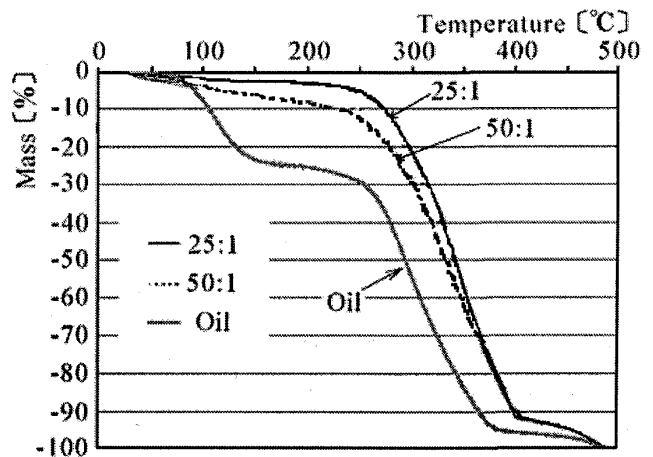


Fig. 8 Thermogravimetric chart about lubrication oil from the cylinder wall and virgin oil

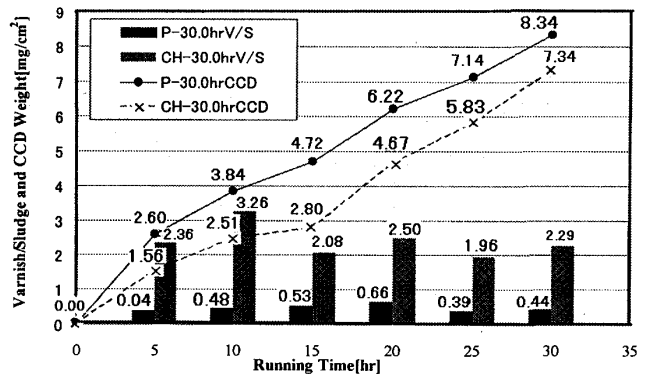


Fig. 9 Weight of varnish/sludge and CCD

ッド内面)示す。クラウン面の CCD 堆積量はシリンダヘッド内面のものを上回る結果となったが、15 時間以降はシリンダヘッド内面においてもクラウン面と同等以上の堆積率を示している。また、シリンダヘッド内面のワニススラッジ生成量は、クラウン面と比較して約 5 倍の生成量を示す。CCD 堆積量やワニススラッジ生成量を左右する因子の一つに壁面温度がある。クラウン面温度は 2・2・1 項で前述したように 300°C 前後と推定することができ、シリンダヘッド壁内面に熱電対を挿入した温度計測によれば、その内部温度は 180°C 以下を示していたが、温度勾配を考慮すると、CCD 生成温度の 200°C 以上には達しており、シリンダヘッド内面も、CCD 生成環境にあると推定される。CCD 生成温度範囲 (200~350°C) や CCD 生成量が最大を示す温度 (275°C) を考慮すると、図 9 では、シリンダヘッド内面の方に多くのワニススラッジが付着しているにも係わらず、最初はクラウン面の方に CCD の成分が多いのはクラウン面の方が CCD 化しやすい温度になっているためである。その後、シリンダヘッド内面にも CCD が付着すると、CCD の低い熱伝導率のために表面が高温度になり、クラウン面に生成する CCD と同様の生成速度を示すようになる。

図 10 および図 11 に、クラウン面とシリンダヘッド内面の CCD 堆積状況を示す。5 時間運転後には、クラウン面では掃気ポートと中心付近を除く部分に厚く

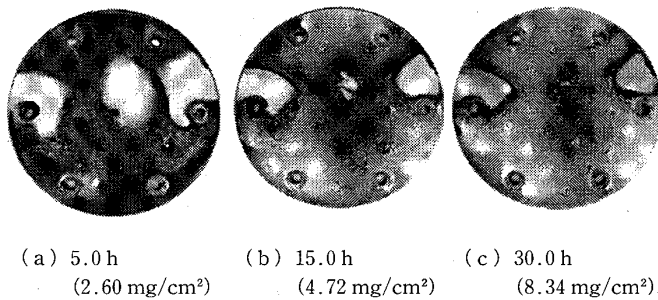


Fig. 10 The appearance of CCD on piston top face

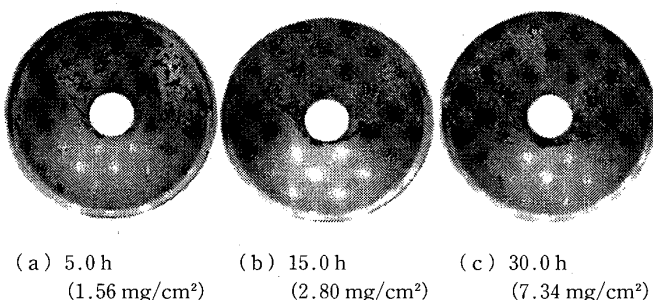


Fig. 11 The appearance of CCD on cylinder head inside face

堆積している様子が観察される。シリンダヘッド内面では掃気ポート及び給気ポートを除く部分において局部的に堆積が始まり、凹凸のある CCD の堆積が目立つ。また、洗浄の際には脱落する CCD が多数確認されており、壁面にしっかりと固着しきれていないことが観察される。

### 3. 静的加熱(流動)による潤滑油からデポジットへの転化

**3・1 実験装置および方法** 次に、加熱温度とデポジット生成の関係を明らかにするために、前述の図 4 で示したように CCDS が各ディンプルの後流として付着していたことからこれを部分的に模擬し、潤滑油を静的に加熱(流動)させて、潤滑油が CCD に転化していく状況を調べた。その 1 つとして、潤滑油が加熱劣化してデポジットへ転化していく様子を潤滑油の熱分解の観点で調べるために、真鍮製円錐キャビティ上に一定量 (50 mg) の潤滑油を滴量し、電気炉内で任意の一定時間加熱し、潤滑油が熱によって劣化していく状況を観察した。加熱した後に、アセトンとガソリンで洗浄すると、図 12 右に示すように、潤滑油深さの浅い部分にリング状のデポジットが残る。

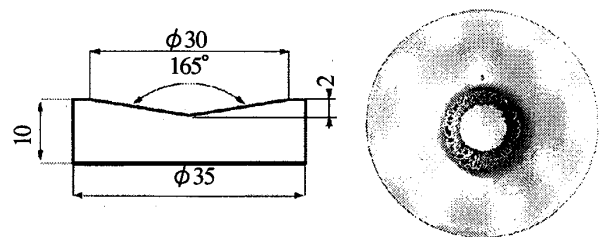


Fig. 12 Conical cavity for static heating of lubrication oil

さらに、もう一つは、上記のデポジット転化を潤滑油流れがある場合に付着する観点で調べるために、潤滑油に流動を与えたものとして、加熱傾斜平板上に潤滑油を一定速度で滴下し、それが流下するにつれて熱的変性を受けてデポジット化していく状況を観察した。

### 3・2 実験結果および考察

**3・2・1 静的加熱について** 図 13 に、炉温  $T_f = 275^\circ\text{C}$  で加熱したときの、加熱時間とデポジット生成量 (Formed Deposit) や残留スラッジ量 (Residual Sludge) との関係を示す。初期の潤滑油量を 50 mg とし 275°C まで昇温すると約 50% が蒸発する。一定温度での加熱時間を長くすると蒸発量が増加し、キャビティ上に残った潤滑油は空気に触れている部分で酸化劣化して、周辺潤滑油の薄い部分からデポジット化し

てキャビティ上にリング状に付着する。

図14に、円錐キャビティ上の潤滑油50mgを炉内で一定温度に加熱し、1時間保持した時に生成する残渣物およびデポジットの重量を各温度について示す。ここで、 $R_{es}$ は加熱後キャビティ上のワニススラッジ重量、 $E_v$ は蒸発量、ワニススラッジをアセトンとガソリンで洗浄した後の不溶成分の生成デポジット量  $D_{ep}$  を各々表す。前述の図8で示したように潤滑油のTGAでは200°Cで約25%の重量減少であったのに対し、炉内加熱1時間では30%の減少を示しており、加熱時間の長さが重量減少にも影響を与えていることがわかる。保持温度が上昇するにつれてデポジット生成の増加が見られ、275°Cで最大になって、その後は減少傾向を示す。これは温度上昇に伴って、潤滑油の低沸点成分の蒸発、デポジット前駆物質の酸化、縮合・重合が進行し、更なる温度上昇では生成デポジットの熱分解が進むために、デポジット生成がピークを示す温度が存在することが示されている。

そして、このことから一連の実験で用いた潤滑油は静的加熱実験から275°C前後の温度が最もデポジット

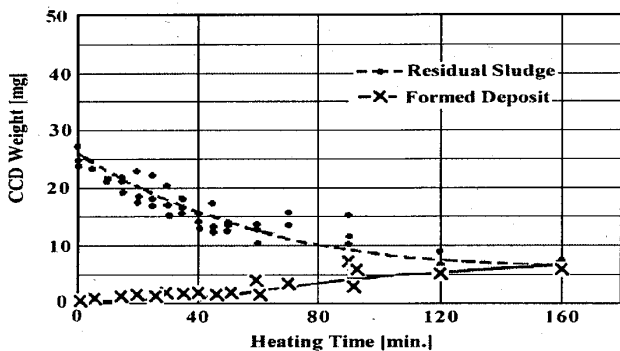


Fig. 13 Relation between deposit weight and heating time ( $T_r=275^\circ\text{C}$ )

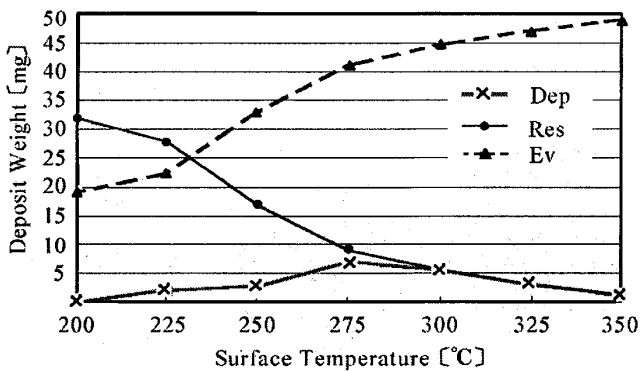


Fig. 14 Influence of cavity surface temperature on the deposit formation from lubrication oil (heating duration=1 h)

が生成し易いことがわかった。

**3・2・2 流動加熱について** 2章で前述した実機で堆積される CCD や CCDS との関係を調べるために、図15に、加熱傾斜平板上に潤滑油を滴下して流下軌跡上にデポジットが生成されていく様子を観察した結果を示す。平板温度を275°Cとし、滴下流量を0.01~0.03 cm<sup>3</sup>/minとした。滴下から流下するにつれて加熱された潤滑油は低沸点成分が失われ、粘性が増加して流れ難くなる。流れの両側は速度が遅くデポジットが生成されやすい。中心部に潤滑油の厚さがあるうちは、その清浄・分散作用が有効でデポジットの生成が抑制される。水平からの傾斜角度が大きいほど流下速度も増加し到達距離も伸びてくる。加熱流下に伴い低沸点成分が逸失し流れ難くなると流れの中心部にもデポジットが形成され始め、連続した1本のデポジット軌跡となる。滴下流量が多い場合は両側のデポジットがつながることなく、途中で狭くなる節を作りながらも平板下端まで到達する。

図16に、平板傾斜角度と流量を0.01 cm<sup>3</sup>/minとしたときのデポジットの先端到達距離  $E_p$  点、デポジット両側が合流した位置  $C_p$  点および流量が0.03 cm<sup>3</sup>/

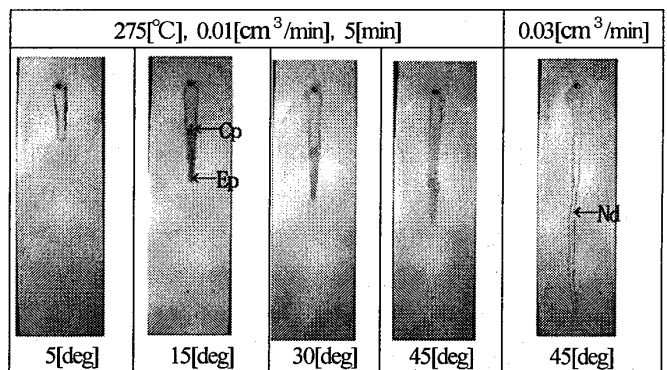


Fig. 15 Surface view of the inclined hot plates (Oil supply rate, 0.01 and 0.03 cm<sup>3</sup>/min)

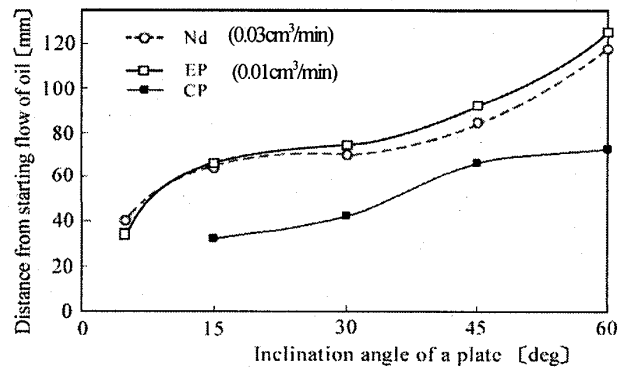


Fig. 16 Location of CCDS nodes of oil flow

min としたときの節の位置  $N_d$  点について示す。流量の変化にもかかわらず、 $E_p$  と  $N_d$  の角度に対する変化は同じ傾向を示している。

このことから、傾斜加熱平板上での潤滑油の流れは、特定の位置に節を作りながら流れていく傾向がわかり、節のできる特性に規則性があると思われる。これは、ピストン上でも CCD の堆積パターンは潤滑油流れがある場合、運転条件によって一定の関係があると考えられる。

4. 熱重量-示差熱分析や電子プローブ X 線マイクロアナライザを用いた熱的物性分析及び運転条件による CCD 堆積特性

4.1 熱重量-示差熱分析(以下 TG-DAT)や電子プローブ X 線マイクロアナライザ(以下 EPMA)による評価 さらに、CCD を物性分析し、CCD 生成因子を調べるために運転条件を、 $n$ (回転速度)=2400 rpm,  $DR$ (給気比)=0.2, 0.3, 0.4 とし、潤滑油混合比を 25:1, 運転時間を 5~30 時間とした。この運転後にクラウンの表面をガソリン洗浄して回収した CCD について、TG-DAT ( $10^{\circ}\text{C}/\text{min}^{-1}$ ,  $\sim 600^{\circ}\text{C}$ ) と EPMA による定量分析を行った。

図 17 に、CCD の熱重量分析及び示差熱分析の結果を示す。昇温速度は  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  である。 $300^{\circ}\text{C}$  付近まではピストン CCD の減少量がシリンダヘッド CCD のものを 1~2% 上回る。これはピストン CCD に、濃縮あるいは部分酸化した燃料や潤滑油を主体とした低沸点成分が幾分か多く含まれていることを示しており、常に新しい燃料や潤滑油が供給されるピストン上面の環境に起因すると考えられる。その後いずれの試料も  $300\sim 500^{\circ}\text{C}$  にかけて顕著な重量減少を示している。したがって、同時間(温度)帯において高分子の炭化水素のうち熱的に耐性の弱い成分が順に蒸発(この場合は、低沸点成分から順に蒸発)あるいは熱分解により消失しているものと推察できる。この結果は、長時間の運転を経ると CCD の中では金属など熱的に耐性の強い

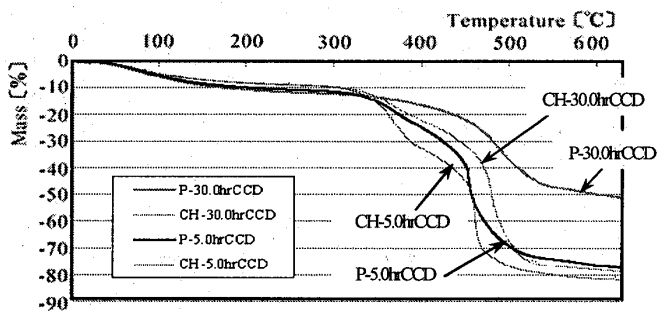


Fig. 17 Thermo gravimetry analysis of CCD

成分の割合が高まることを意味する。最終的に残存する灰分量は、より長時間運転下にて生成した CCD や、クラウン面において生成した CCD の方が増加する傾向があり、P-30.0 hrCCD の残存物は 48 Mass% に達した。

図 18 に、EPMA(電子プローブ X 線マイクロアナライザ)による定量分析の結果を示す。カルシウム(Ca)や硫黄(S)は潤滑油に含まれる金属系清浄剤に起因する元素である。炭素(C)は運転時間に伴って含有量が減少しており、対照的に酸素(O)やカルシウム、硫黄は増加する。この結果は CCD が熱履歴を受け続けると、高分子の炭化水素のうち熱的に耐性の弱い成分の結合が分解して、熱的に安定な添加剤成分が濃縮されていくことを示している、クラウン面の CCD の方でより顕著な傾向が現れている。

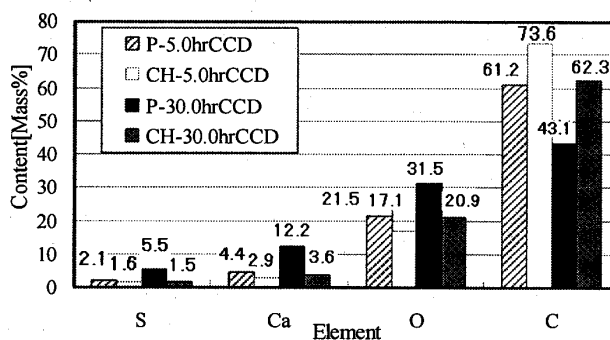


Fig. 18 Quantitative analysis of CCD using EPMA

4.2 運転条件による CCD 堆積特性 最後に、運転条件による CCD の堆積特性を調べた。図 19 では低負荷から高負荷での CCD 堆積状況を示す。ここでは DC(ディンプルクラウン)を用いることで潤滑油の流れを観察するとともに、負荷が CCD 堆積にどのような影響を与えるのかを調べた。潤滑油は掃気ポートから給気ポート側に流入し、熱履歴を受け CCD として堆積している。低負荷では炭素分を多く含んでいる黒味を呈した CCD がクラウン全体にわたって堆積し、高負荷になるに伴い、炭素系堆積物は熱分解して熱耐

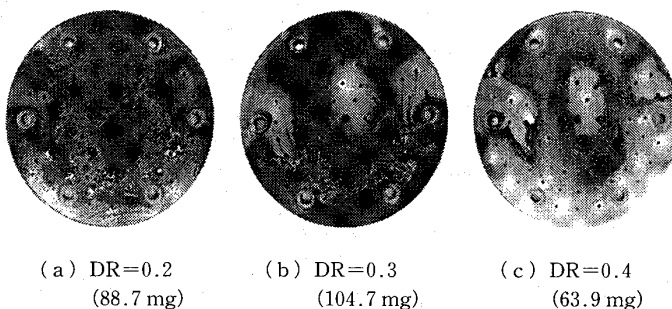


Fig. 19 The appearance of CCD on dimple crown face

性のあるCa等が多く含まれた白色のCCDが多く堆積している。これらは高負荷になるにつれて燃焼室内温度が上昇したことによるものと見なすことができる。

図20に運転負荷をパラメータとし運転時間経過に伴うCCD堆積重量の変化を示す。低負荷(DR(給気比)=0.2)、中負荷(DR=0.3)の条件下では凹凸のあるCCDの堆積が目立つのに対し、高負荷(DR=0.4)では薄いCCDが堆積している。そのためCCD重量は低、中負荷の条件下での実験のほうが多くなった。また、低負荷において初期重量が少ないのは燃焼室温度が他の条件よりも低いことが要因の一つだと考えられる。さらに、初期の堆積で熱伝導率の小さいCCDが付着すると、その表面温度が上昇し中負荷と同様の堆積速度を示しているのがわかる。

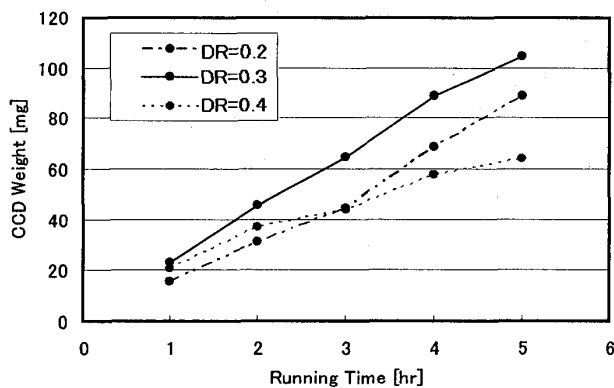


Fig. 20 Weight of CCD

## 5. 結 言

小型二ストローク機関の燃焼室デポジット堆積特性を調べる目的で、実機によるCCD堆積運転と潤滑油の静的加熱実験を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) シリンダ内ガス流は掃気、燃焼、排気の各々の流れによって高速に変化しているにもかかわらず、クラウン面に存在する潤滑油は各々のガス流に追従することなく、時間的に重ね合わせた平均的なガス流の方向に移動している。
- (2) 潤滑油が熱的影響を受けてデポジット化するには転化率がピークとなる温度がある。本研究での潤滑油の場合は275°C前後であった。
- (3) 傾斜加熱平板のように潤滑油に流れ(流下)がある場合、潤滑油は流脈状デポジットを形成し、傾斜角度(流下速度)に応じて一定の到達距離を示す。
- (4) クラウン面では高い熱履歴を受けるので、こ

の部分で生成されるCCDは、金属系清浄剤に起因する高沸点成分が濃縮された耐熱性のあるCCDが生成される。

- (5) 低負荷から中負荷では凹凸のあるCCD堆積が多く、CCD堆積量の増加率も上昇する。高負荷ではCCD堆積量は少なくなりCCD堆積量の増加率も減少する。

最後に本研究を行うにあたり岩手大学名誉教授・北野三千雄氏および芝浦工大名誉教授・佐藤運男氏からのご助力を賜り、また、富士ロビン(株)および出光興産(株)より試料のご提供を受けた。ここに付記し感謝の意を表す。

## 文 献

- (1) Patschull, J. and Roth, P., Measurement and Reduction of Particles Emitted from a Two-Stroke Engine, *SAE Transactions*, 941683 (1994), pp. 1688-1696.
- (2) Sato, K., Soot Formation and Soot Exhaust of a Two-Stroke Cycle Engine, *Journal of LEMA*, No. 465 (2001), pp. 17-29.
- (3) Price, R. J., Beck, C. M. and Morley, C., Some Evidence for Chemical Effects on Octane Requirement Increase from Deposits in Spark Ignition Engines, *SAE Transactions*, 971668 (1997), pp. 612-624.
- (4) Cheng, S. S., A Physical Mechanism for Deposit Formation in a Combustion Chamber, *SAE Transactions*, 941892 (1994), pp. 944-953.
- (5) Uehara, T., Takei, Y., Hoshi, H., Shiratani, K. and Okata, M., Study on Combustion Chamber Deposit Formation Mechanism-Influence of Fuel Components and Gasoline Detergents, *SAE Transactions*, 971722 (1997), pp. 741-759.
- (6) Price, R. J., Spink, C. D. and Morley, C., Prediction of Combustion Chamber Deposit Growth in SI Engines, *SAE Transactions*, 972835 (1997), pp. 846-862.
- (7) Kelemen, S. R., Sinskin, M., Homan, H. S., Pugmire, R. J. and Solum, M. S., Fuel, Lubricant and Additive Effects on Combustion Chamber Deposits, *SAE Transactions*, 982715 (1998), pp. 1-22.
- (8) Sato, T., Iwabuchi, R., Fukui, M., Fujita, N. and Kitano, M., Combustion Chamber Deposit Formation in the Lean Burn for a Two-Stroke Cycle Engine (1st Report, Contribution of Fuel and Lubricant Oil), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol. 67, No. 658 (2001), pp. 1578-1582.
- (9) Fukui, M., Sato, T., Fujita, N. and Kitano, M., Examination of lubricant Oil Components Affecting the Formation of Combustion Chamber Deposit in a Two-Stroke Engine, *JSAE Review*, Vol. 22 (2001), pp. 281-285.
- (10) Abliz, I., Fujita, N., Kitano, M. and Yoshida, H., The Combustion Chamber Deposit Formation on a Piston Crown of Small Two-Stroke Cycle Engine, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol. 71, No. 702 (2005), pp. 717-723.