

# エンジンのオイルリング下の油圧発生メカニズム およびその低減方法に関する研究

長谷川 弘樹<sup>1)</sup> 菊原 浩司<sup>2)</sup> 西島 駿輔<sup>1)</sup> 鈴木 秀和<sup>1)</sup> 伊東 明美<sup>1)</sup> 関谷 弘志<sup>2)</sup> 赤松 洋孝<sup>3)</sup>

## A study on the mechanism of oil pressure generating under the oil ring in an engine and design for reducing the pressure

Hiroki Hasegawa Koji Kikuhara Shunsuke Nishijima Hidekazu Suzuki Akemi Ito Hiroshi Sekiya Hirotaka Akamatsu

Engine oil consumption should be reduced for lowering particulate matter. The target of this study was clarifying oil behavior under the oil control ring, which assumed to affect oil supply volume for piston rings. Distribution of oil pressure in the circumferential direction under the oil control ring was measured. An increase in oil pressure was found in the piston down-strokes. Oil drain holes under the oil control ring were effective for reducing oil pressure under the oil control ring.

**KEY WORDS:** Heat Engine, Lubricating Oil/Engine Oil, IC Engine, Oil Pressure Measurement, Oil Consumption, Oil Control Ring (A1)

### 1. 緒 論

近年、地球環境負荷低減のため、自動車エンジンには一層の燃費向上が求められている。比較的容易に燃費改善効果が得られる方策として、ピストン周りの摩擦損失の低減が挙げられるが、この燃費改善策はしばしばオイル消費の増加を招く<sup>(1)(2)</sup>ことが知られている。一方でオイル消費は粒子状物質 (Particulate matter) の要因となるほか排気後処理装置の触媒の被毒を招くため、これも環境に負荷を与える。これらのことから、オイル消費量低減はますます重要な課題となっている。

オイル消費はエンジンの燃焼や各部の温度、部品の形状などの影響を強く受けるため、その評価は開発の最終段階における実験評価に頼っているのが実情である。このため、エンジンの設計段階においてオイル消費を実用上十分な精度で机上評価できる手法の確立およびオイル消費低減のための設計案が求められている。

オイル消費とは、潤滑油がエンジン各部を潤滑した後、燃焼室に流入し、排気と共にエンジン外部へ排出される現象をいう。ここで、クランクシャフトの跳ねかけ等によりシリンダライナーに供給されたオイルが、ピストンスカートおよびピストンリングを通過して燃焼室に流入する現象をオイル上がりといい、オイル消費の主たる要因となっている。

オイル上がりのメカニズムについては、数多くの研究がされており、古濱はオイル上がりの経路がリングの摺動面、合

口および側背面であることを明らかにした<sup>(3)</sup>。また、Hoult は、油膜の可視化により求めた 2nd ランドの油膜厚さを入力データに用いて、オイル消費の高精度な予測を行った<sup>(4)</sup>。このことはオイル消費の机上予測には、コンプレッションリングに供給される油量の理論的な定量化が必要であることを示している。コンプレッションリングへの供給油量を求めるためには、まず、オイル上がりの入口であるピストンスカートおよびオイルリングにおけるオイル上がりメカニズムを解明する必要がある。中村ら<sup>(5)~(9)</sup>は、オイルリングに供給されるオイルに着目し、ピストンスカート上の油膜生成メカニズムを理論解析した一方、ピストンスカート長さやオイルリング溝周辺の油穴がオイルリング下面の油圧に影響していること、さらにはこの油圧がオイル消費と相関があることを示した。

著者らは、既報<sup>(10)</sup>において、ピストンスカート上端の面取り部の詳細な圧力測定を実施し、オイルリング下のオイル挙動を明らかにするとともに、油圧発生メカニズムを検討した。

本報では、ピストンの設計に資することを目的とし、オイルリング溝周辺に設けられる油穴の位置および数がオイルリング下に発生する油圧に及ぼす影響を調べた。これにより、オイルリング下油圧低減のための最適な油穴位置について検討した。

### 2. 実験方法

オイルリング下に発生する油圧の測定のため、ピストンスカート上端部に受圧部にダイヤフラムを有する光ファイバー式圧力センサーを設置し、当該部圧力の測定を行った。図 1 に圧力センサーを搭載したピストンを示す。センサーはスラスト側中央(P<sub>0</sub>)、そこからフロント側に 15° (P<sub>15</sub>)および 30°

- 1) 東京都市大学 (158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)
- 2) 早稲田大学大学院 (367-0035 埼玉県本庄市西富田 1011)
- 3) 日産自動車株式会社 (243-0192 神奈川県厚木市岡津古久 560-2)

( $P_{30}$ )回転させた点の計 3 点に取り付けた。本センサーは受圧部直径が  $\phi 0.8\text{mm}$  と小さいため測定面に対して同一面上に設置が可能である。

また、センサーからの光ファイバーをエンジン外部に導出するためには、図 2 に示す光ファイバー用のリンク装置を用いた。

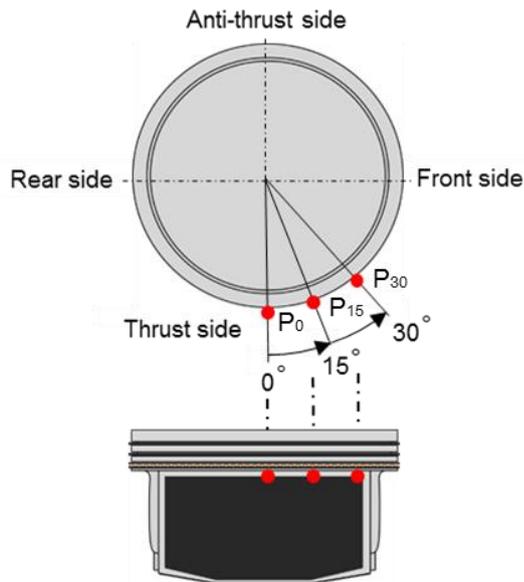


Fig. 1 Measurement position for oil pressure

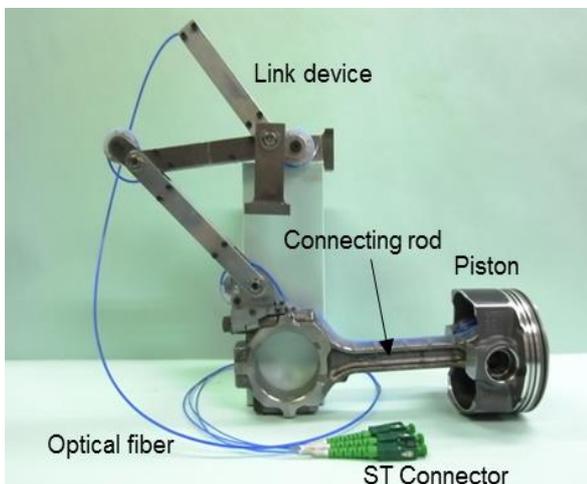


Fig. 2 Link device leading the optical fiber from piston to outside of engine

本研究では、過去の研究によりオイル消費に対する影響が確認されている<sup>(9)</sup>オイルリング溝周辺に油穴を設けた。具体的には図 3 に示す通り、スカート上端部に 4 点、オイルリング溝底に 4 点の計 8 点の油穴を設けた。図 3 に光ファイバー式圧力センサーおよび油穴を設けたピストンを示す。

試験水準として、以下の 5 つの水準から得られる各々の実

験結果を比較してオイルリング溝周辺に設ける最適な油穴位置を検討した。

- a) 油穴を設けない場合
- b) スカート上端部に 4 点設けた場合
- c) 図 3 の①で示したスカート上端部フロントおよびリヤ寄りに 2 点設けた場合
- d) 図 3 の②で示したスカート上端部中央付近に 2 点設けた場合
- e) オイルリング溝底に 4 点設けた場合

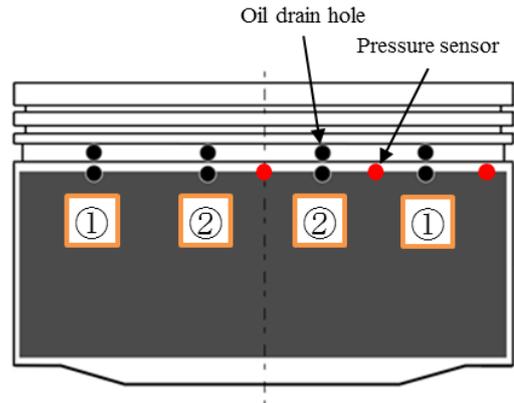


Fig. 3 Oil drain hole position

測定には単気筒ガソリンエンジンを用いた。その主要諸元を表 1 に示す。本エンジンはピストン冷却のためのオイルジェットを有している。また、運転条件を表 2 に示す。エンジン回転数は 750, 1500 rpm の 2 水準とし、スロットル全閉(FCT)におけるモータリングおよび IMEP (Indicated Mean Effective Pressure : 図示平均有効圧)を 300, 700 kPa としたファイアリングにて測定を行った。また、供給油圧は回転数によらず 0.8 MPa で一定とした。

Table 1 Engine specification

Engine type	Single cylinder 4 stroke gasoline engine
Displacement liter	0.499
Bore × Stroke mm	86 × 86
Compression ratio	9.5
Number of piston rings	3
Piston cooling	Oil jet

Table 2 Operating conditions

Engine speed rpm	750, 1500
Load	1/4 (300 kPa IMEP)
	3/4 (700 kPa IMEP) motoring (FCT)
Oil temperature deg C	30, 50, 80
Supply oil pressure MPa	0.8

### 3. 実験結果

図4のグラフにピストンに油穴を設けない場合におけるオイルリング下の $P_0$ 、 $P_{15}$  および  $P_{30}$ の位置における圧力の代表測定例を示す。本結果は、1500rpm、油温50°C、スロットル全閉における測定結果である。測定結果は同時に測定を行ったクランクケース内圧とあわせて示されている。図4より、油穴を設けない場合には、ピストン下降行程後半にクランクケース内圧には見られない大きな圧力上昇が観察される。これは、ピストン下降行程前半でピストン下のシリンダー面に潤沢にたまっているオイルが、ピストンが下降することで図5の(a)に示すようにピストンスカートを通りオイルリング下に供給され、オイルリング下がオイルで満たされる。下降行程後半では、ピストンが下降することで、図5の(b)に示すようにオイルが満たされた状態のオイルリング下にさらにオイルを供給することになり、圧力上昇が生じたと考えられる。さらに下死点直後、ピストンが上昇行程に転ずると負圧が発生している。この負圧により油膜破断が生ずるためと考えられるが、上昇行程後半では、圧力はクランクケース内圧と同等の値を示している。

また、下降行程の圧力上昇に対し油温が及ぼす影響を図6に示す。エンジン回転数750rpm、スロットル全閉の条件で、油温を30°C、50°Cおよび80°Cと変化させて圧力の測定を行った。図にはスラスト側中央の測定結果のみを示す。測定結果より、油温が低いほど油圧の最大値は大きくなることがわかる。これは油温が低いときはオイル粘度が高いため、オイルリング下に流入したオイルがピストンピン方向に排出されにくいことによると思われる。次に、図中に矢印で示される下降行程の圧力上昇が始まる時期に着目すると、油温が高くなるほど早い時期から圧力上昇が始まる。これはオイル粘度が低いため、オイルリング下にオイルが流入しやすいためと推測される。

図7にはエンジンの負荷がオイルリング下圧力に及ぼす影響を示す。スロットル全閉、低負荷時(300 kPa IMEP)および高負荷時(700 kPa IMEP)の圧力測定結果をそれぞれ図7(a)、(b)および(c)に示す。ピストン下降行程の圧力上昇に着目すると、負荷が高くなるほど圧力上昇は小さくなっていることがわかる。これは負荷が高くなるにつれてブローバイガスがオイルを吹き下げる作用が強くなり、オイルリング下に存在する油量が少なくなったためと考えられる。

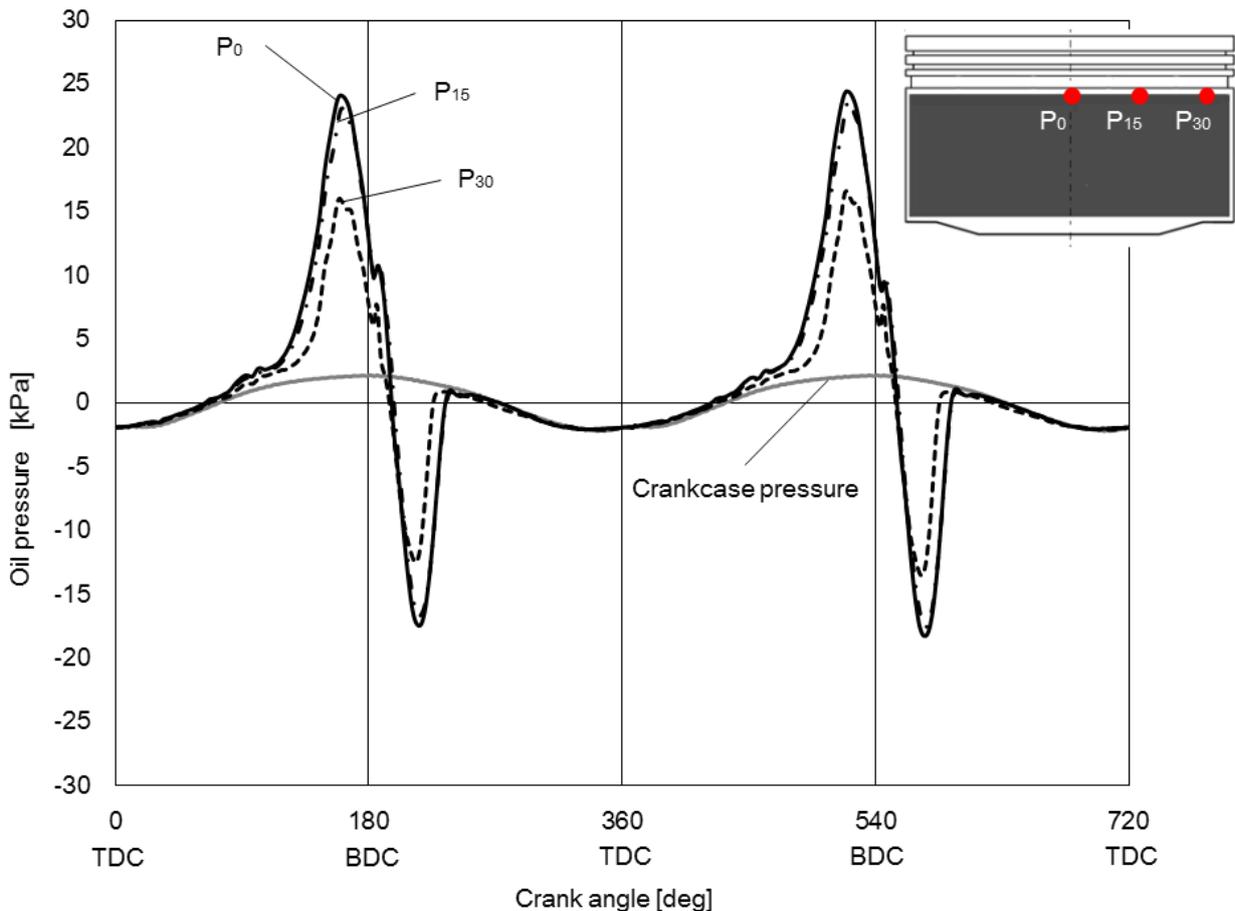


Fig. 4 Typical measurement result of oil pressure under oil control ring  
(Engine speed: 1500 rpm, Oil temp.: 50 deg C, Throttle: Full closed)

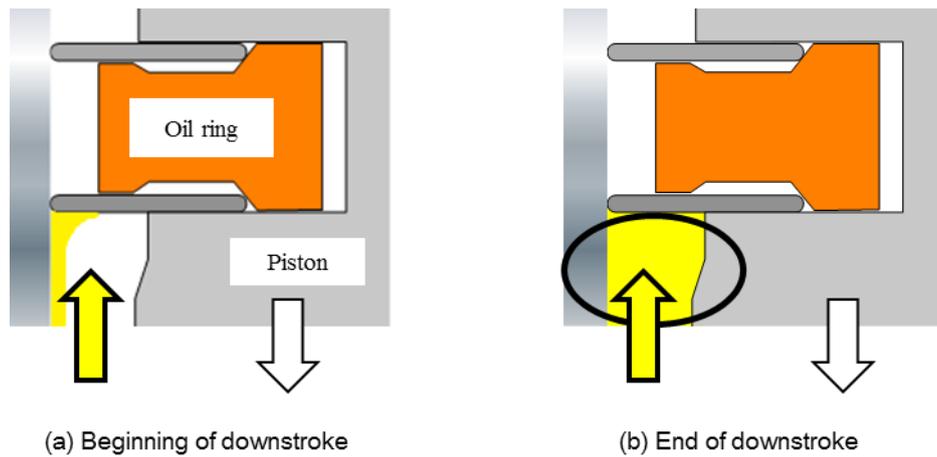


Fig.5 Lubricated condition under the oil control ring during downstroke

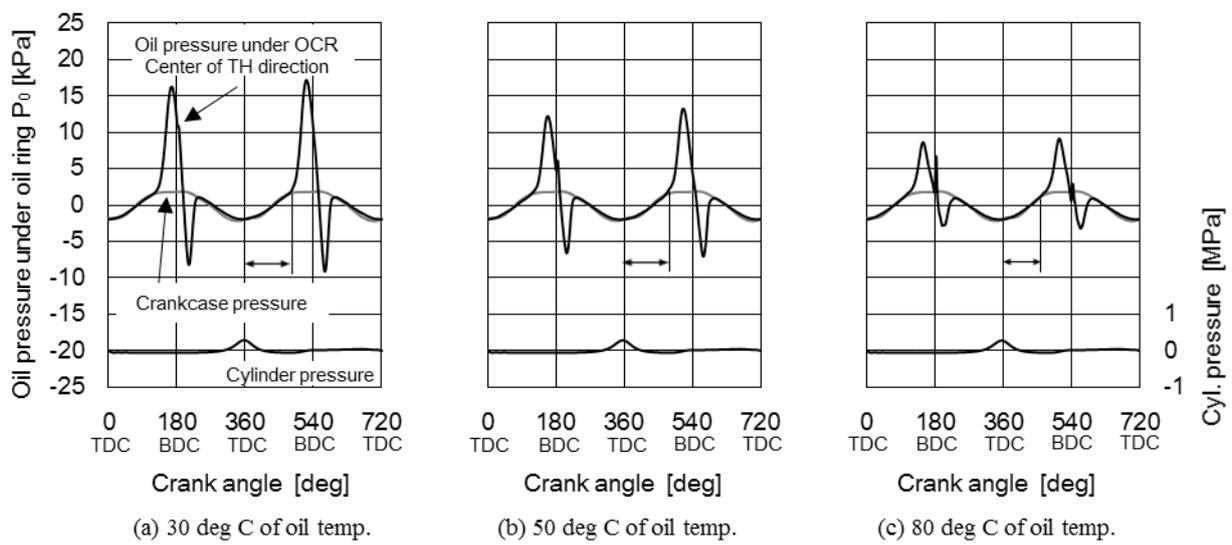


Fig. 6 Effect of oil temperature on oil pressure under the oil control ring  
(750 rpm, motoring, fully closed throttle)

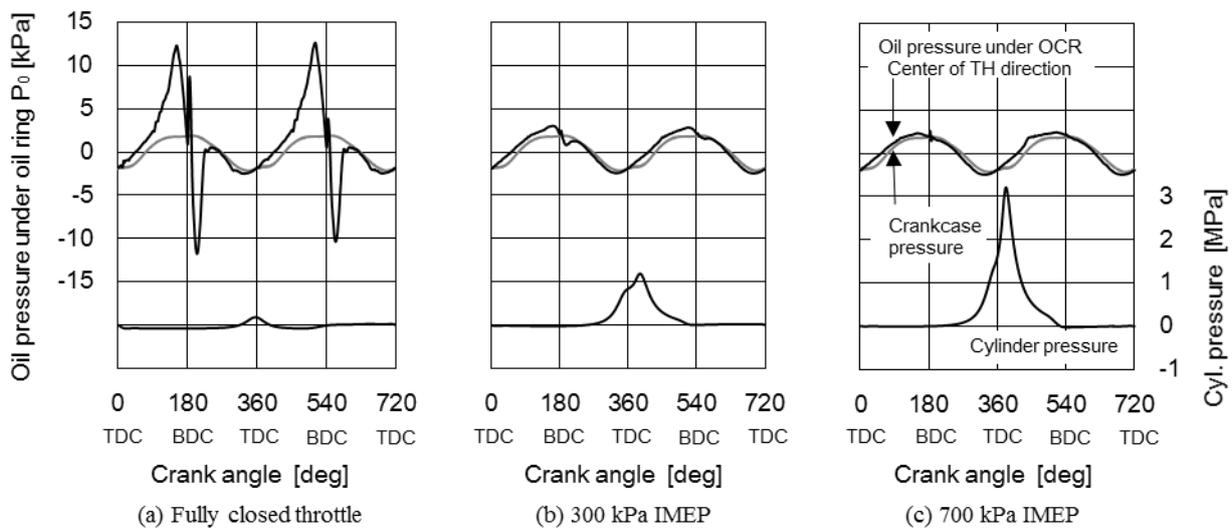
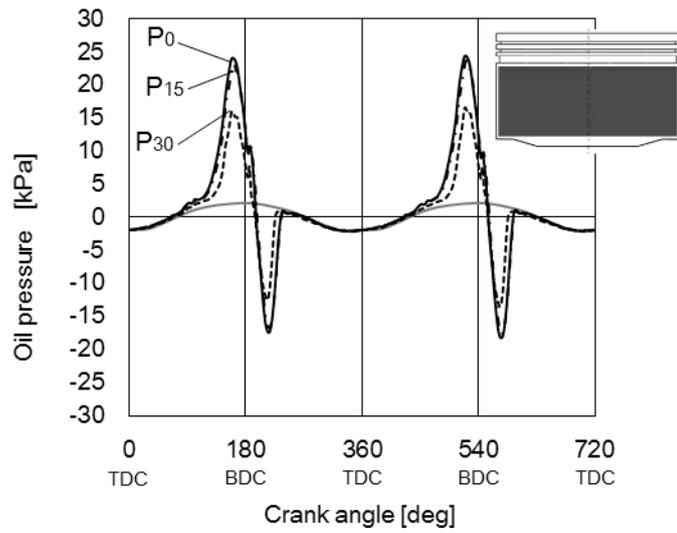
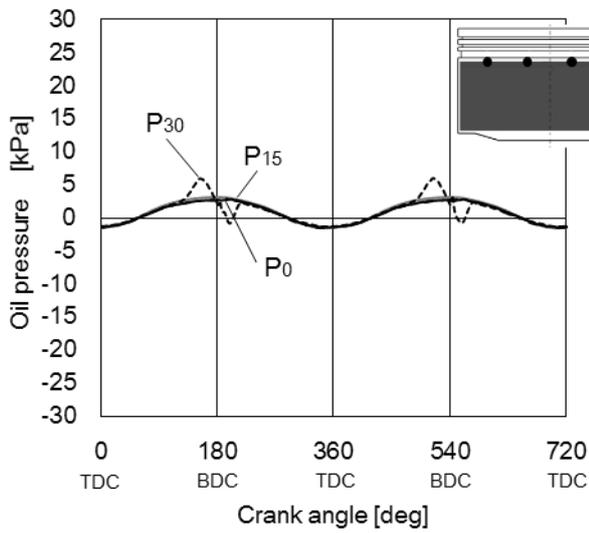


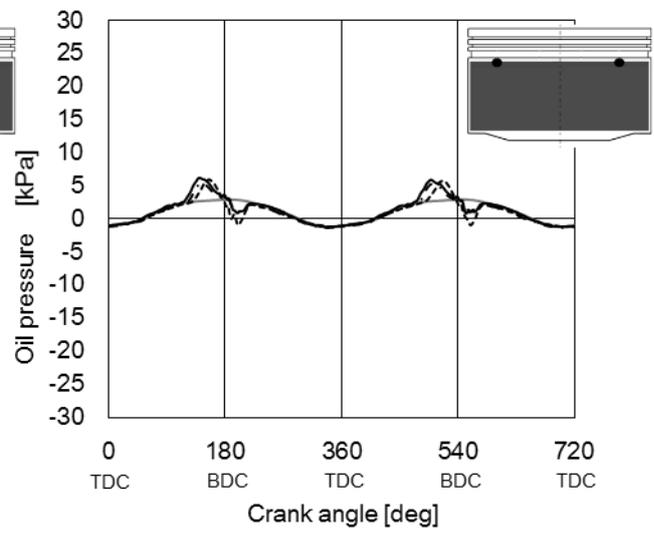
Fig. 7 Effect of engine load on oil pressure under oil control ring  
(1500 rpm, 80 deg C of oil temp.)



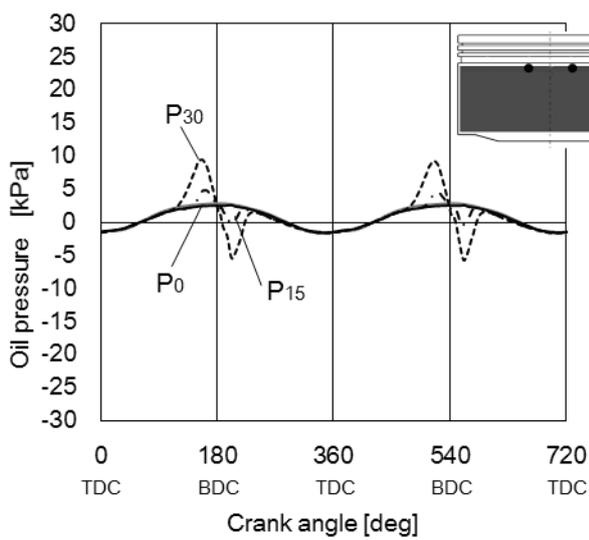
(a) No oil drain holes



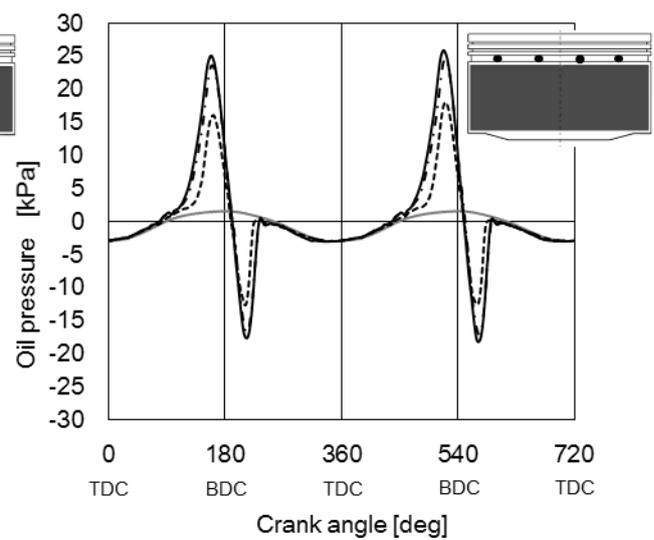
(b) 4 oil drain holes at skirt upper end



(c) 2 oil drain holes nearby piston pin at skirt upper end



(d) 2 oil drain holes near the center line at skirt upper end



(e) 4 oil drain holes in the oil control ring groove

Fig. 8 Typical measurement result of oil pressure under oil control ring  
(Engine speed: 1500 rpm, Oil temp.: 50 deg C, Throttle: Full closed)

次に図 8 に、油穴がオイルリング下の油圧に及ぼす影響を示す。本結果は、1500rpm、油温 50°C、スロットル全閉における測定結果である。測定結果は同時に測定を行ったクランクケース内圧とあわせて示されている。ただし、(a)は図 4 の再掲である。(a)の油穴を設けない場合の圧力と比較して、(b)~(d)のオイルリング下に油穴を設けた場合の圧力は、油穴の位置にかかわらず低減していることがわかる。このことから、オイルリング下油圧低減手法として、オイルリング下に油穴を設けることが有効であることがわかる。まず、(b)のスカート上端部に 4 点設けた場合はスカート上端部のフロント寄りの位置  $P_{30}$  に下降行程後半にわずかな圧力上昇が観察された以外は、全体的にクランクケース内圧と同等の圧力であることがわかる。次に、(c)のスカート上端部フロントおよびリヤ寄りに 2 点設けた場合は、油圧測定位置によらず、下降行程後半でわずかな圧力上昇が観察された。また、(d)のスカート上端部中央付近に 2 点設けた場合は、中央付近の油圧  $P_0, P_{15}$  はクランクケース内圧と同等の圧力を示したが、フロント寄りの位置  $P_{30}$  では高い圧力が観察された。今後は、オイルリング下の圧力分布がオイル消費に及ぼす影響について調査を行う必要がある。次に、オイルリング溝底に設けた油穴がオイルリング下の圧力に及ぼす影響について検討する。(e)のオイルリング溝底に 4 点設けた場合の圧力は、(a)の油穴を設けない場合の圧力と比較して、同等の圧力であることがわかる。これにより、オイルリング溝底に設けた油穴はオイルリング下油圧低減に対し効果がないことがわかる。ただし、この位置の油穴はオイルリングのレール間のオイル排出性やサードランド圧に影響を及ぼしている可能性がある。そのため、溝底に設ける油穴に関しても今後、オイル消費に及ぼす影響を調べる必要がある。

#### 4. 結論

1. オイルリング下に設けた油穴は、当該部の油圧低減に対し大きな効果を示した。油穴位置違いにより、以下の特徴があることがわかった。

- 1) スカート上端部に 4 点設けた場合、スカート上端部のフロント寄りの位置に下降行程後半でわずかな圧力上昇が観察された以外は、概ね全体でクランクケース内圧と同等の圧力となった。
- 2) スカート上端部のフロントおよびリヤ寄りに 2 点設けた場合、圧力測定位置によらず、下降行程後半でわずかな圧力上昇が観察された。
- 3) スカート上端部中央付近に 2 点設けた場合、中央付近の油圧はクランクケース内圧と同等の圧力を示したが、フロント寄りの位置では高い圧力が観察された。

今後はオイルリング下の油圧の分布がオイル消費に及ぼす影響について調査を行う。

2. オイルリング溝底に設けた油穴はオイルリング下油圧低減に対し効果がないことがわかった。ただし、この油穴はオイルリングのレール間のオイル排出性やサードランド圧に影響を及ぼしている可能性がある。そのため、溝底に設ける油穴に関しても今後、オイル消費に及ぼす影響を調べる。

#### 参考文献

- (1)伊東明美, 白川晴久, 中村正明, 吉田和義, 秋山久: ディーゼルエンジンのオイル消費メカニズムに関する研究(第1報)-ピストンスカート部長さがリング部へのオイル供給に及ぼす影響-, 自動車技術会論文集, Vol. 36, No. 3, pp. 63-68(2005)
- (2)飯島直樹, 青木秀馬, 今村淳一, 瀧口雅章: 低張力リングのピストン摩擦力とオイル消費への影響について, 自動車技術会論文集, Vol. 40, No. 6, pp. 1477-1482(2009)
- (3)古浜庄一: 潤滑油消費量(oil consumption): 自動車エンジンのトライボロジ, 東京, ナツメ社, 1972年, p. 133-149
- (4)Hoult, David P., The Puddle Theory of Oil Consumption, Tribology Transactions 37, pp. 75-82(1994)
- (5)中村正明, 伊東明美, 林洋次: ディーゼルエンジンのオイル消費メカニズムに関する研究(第2報), 自動車技術会論文集, Vol. 36, No. 4, pp. 99-104(2005)
- (6)中村正明, 伊東明美, 林洋次: ディーゼルエンジンのオイル消費メカニズムに関する研究(第3報), 自動車技術会論文集, Vol. 37, No. 4, pp. 181-186(2006)
- (7)中村正明, 伊東明美, 林洋次: ディーゼルエンジンのオイル消費メカニズムに関する研究(第4報), 自動車技術会論文集, Vol. 38, No. 1, pp. 163-168(2007)
- (8)伊東明美, 土橋敬市, 中村正明: ディーゼルエンジンのオイル消費メカニズムに関する研究(第5報), 自動車技術会論文集, Vol. 38, No. 1, pp. 169-174(2007)
- (9)伊東明美, 土橋敬市, 中村正明: ディーゼルエンジンのオイル消費メカニズムに関する研究(第6報), 自動車技術会論文集, Vol. 38, No. 6, pp. 193-198(2007)
- (10)西島駿輔, 菊原浩司, 長谷川弘樹, 伊東明美, 関谷弘志, 赤松洋孝: オイルリング下の潤滑油挙動に関する研究, 第26回内燃機関シンポジウム講演要旨集, p. 95(2015)