119 エンジンのライナ壁面におけるオイル蒸発に関する研究 - 燃焼室内熱伝達率の影響 -

Study on Lubricating Oil Evaporation on Cylinder Liner Wall Surface of an Engine — Effect of Heat Transfer Coefficient in Combustion Chamber —

鈴木 研二 (宇都宮大(院)) Kenji SUZUKI, Utsunomiya University

○正 針谷 安男 (宇都宮大) Yasuo HARIGAYA, Utsunomiya University 糀谷 隆雄(星が丘中) Takao KOUJIYA, Hoshigaoka Junior High School

正 杉山 均(宇都宮大) Hitoshi SUGIYAMA, Utsunomiya University

Key Words: Oil Evaporation, Oil Consumption, Liner, Heat Transfer Coefficient, SI Engine

1. まえがき

地球環境・エネルギの対策として、動力源としてのエンジンにおいては、摩擦損失の低減があり、その手法は、リングの薄幅化によるリング張力の低減や低粘度マルチグレードオイルの使用等である。その結果、省エネルギとして有効であるが、オイル消費量(OC)、ブローバイガスの増大を招き、その原因究明と解決法が求められている.

OC のメカニズムに関する研究は従来から多くの研究が行われ、そのうちオイルが燃焼室壁面に付着して燃焼ガス等に接し、蒸発するオイル消費に関しても、実験及び解析の両面から研究⁽¹⁻⁵⁾が行われている.

一方著者らは、これまでにオイル消費量に及ぼすエンジン シリンダ壁面に付着したオイル蒸発に影響を与える諸因子 を明らかにし、省エネルギ、環境改善の指針を示すことを目 的とし、エンジンのシリンダライナ壁面に付着したオイルの 蒸発を予測できるモデルを構築し、ライナ壁温度などが蒸発 量に及ぼす影響やガソリンエンジンで測定されたOCの値と の関係を示した^(6.7).

本報では、オイル蒸発の予測モデルで重要な因子の一つで ある燃焼室内熱伝達率の影響について検討した結果を述べ る.

2. オイル蒸発の解析

ピストンの下降に伴いライナ表面に付着したオイルが蒸 発するモデル⁽⁸⁾を図1に示す.オイル表面におけるエネルギ バランスは

*q*₁-*q*₂ = *q*₃ + *q*₄ (1) で表せる.ここで,*q*₁: 燃焼ガスから対流による熱流束, *q*₂:オイルの蒸発熱流束,*q*₃:オイル内部エネルギの変化, *q*₄: ライナ壁に移動する熱流束である.

蒸発に直接影響を与えるライナ表面に付着したオイル温 度Tは、燃焼ガスから油膜、ライナ壁を経て冷却水の熱移動 を考え、非定常一次元熱伝導式を用いて解析する.

燃焼ガスから対流によりオイルに流入する熱流束 q₁ を式

(2)に示す.

$$q_1 = h_g \left(T_g - T_{x=X_0} \right)$$
 (2)

また,オイル表面から蒸発する熱流束 q₂は式(3)に示す蒸 発熱 Lv とオイルの蒸発速度 dm/dt の積から算出する.

$$q_2 = Lv \, dm/dt \tag{3}$$

蒸発熱Lvはオイル表面温度やオイルの臨界温度の関数で 表される.ここで、燃焼室内のライナ壁面上のオイルを対象 とすると、燃焼室ガスと壁面間の流動状態は一般に乱流であ り、境界層外縁における燃焼室内のオイル成分の質量分率を Y_m=0と仮定すると、蒸発速度 dm/dt は

$$dm/dt = \frac{h_g}{C_p} \ln\left(1 - \frac{Y_s}{Y_s - 1}\right) \tag{4}$$

$$Y_s = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{p_g}{p_{ls}}\right) \frac{W_{gas}}{W_{ls}}}$$
(5)

となる.ここで、 h_g :熱伝達率、 C_p :雰囲気ガスの比熱、 Y_s :オイル表面における質量分率、 P_g :雰囲気ガス圧力、 P_{ls} : オイルの飽和蒸気圧、 W_{gas} :雰囲気ガスの分子量、 W_{ls} :オイルの分子量である.

本報では、火花点火エンジン(内径×行程=89×80.3 mm)⁽⁶⁾ を対象に、オイル粘度グレード 10W30 を用いた. 運転条件 は回転数 3000rpm、全負荷であり、測定された燃焼室圧力、 ライナ温度を採用した. また、熱伝達率 h_g は Woschni が提案 している式(6)を用いて算出した.

$$h_g = 0.456 D_i^{(-0.2)} P_g^{0.8} W^{0.8} T_g^{(-0.53)}$$
(6)

ここで, *D_i*はシリンダ径, *W*は燃焼室内ガス流動の効果を示す.



Fig. 1 Evaporation model of oil film on the liner wall

日本機械学会関東支部 ブロック合同講演会―2011 宇都宮―講演論文集〔2011-9.16, 宇都宮〕

計算は吸入開始時に油膜がライナ壁の上部に付着してい る状態から開始し、1 サイクルのみ行った.

3. 解析結果と考察

3.1 蒸発速度に及ぼす諸因子

まず,オイル蒸発速度に関係する燃焼室圧力 P_g ,燃焼室内 ガス温度 T_g ,熱伝達率 h_g ,燃焼室ガス比熱 C_p のサイクル変 化を求めた. P_g は測定値を用い, T_g は状態方程式から算出し た.

 P_g はサイクル中, 0.1から 4.5 MPa. T_g は 100から 2500 ℃ と変化する.また、 h_g は 100から 1600 W/(m²·K)と、比熱は 1000から 1300 W/(kg·m²·K)と変化する.また、熱伝達率と 比熱の比 h_g/C_p は吸入行程では 0.1~0.15 kg/(m²·s)、圧縮行程 では 0.1~0.7 kg/(m²·s)、膨張行程では 0.2~1.6 kg/(m²·s)、排 気行程では 0.1~0.3 kg/(m²·s)と変化する.

これらの値を参考に、熱伝達率と比熱との比 h_g/C_p をパラ メータにした蒸発速度 dm/dtと雰囲気圧力 P_g (P_{ls} = 100 Pa, オイル 10W30 の場合,油温 120℃相当)との関係を図2示す. 雰囲気圧力が増すに従い,dm/dt は低下傾向を示し, h_g/C_p が増 すほど増加する.



Fig. 2 Relationship between dm/dt and P_g (Effect of h_g/C_p)

3.2 蒸発に及ぼす熱伝達率の影響

燃焼室内熱伝達率 h_g は図3に示すようにサイクル中大き く変化する.ここでは h_g の式(6)の係数を0.5,1,2,3倍と することでその影響を調べた.計算条件は3000rpm,全負荷 である. h_g は50から5000 $\mathbb{W}/(m^2\cdot K)$ と変化する.オイル表面 温度 T_s (図4)は熱伝達率が増すに従い大きく変化する.特に 圧縮行程後半から膨張行程前半において,熱伝達率の増加に 従い表面温度が111℃から121℃と上昇する.

図5に熱伝達率の変化が蒸発速度への影響を示したもの である.サイクル中変化する蒸発速度はこれまでの傾向と同 様であり,吸入行程はほぼ一定で,圧縮行程はクランク角が 進むに従い減少傾向を示す.燃焼時に蒸発速度は若干上昇す るが,膨張行程後半では低い値である.排気行程では,膨張 行程後半の値より上昇するが,吸入行程中の値の約50%でほ ぼ一定である.熱伝達率の係数が0.5,1,2,3と増すにす るに従い,蒸発速度が全体的に上昇する方向にシフトする. 圧縮行程後半から膨張行程前半の期間に表面温度変化が上 昇する影響は,膨張行程初期にわずかに見られるだけで,サ イクル中全体への影響は少ないことがわかる.

4. まとめ

- (1) 燃焼室内熱伝達率はサイクル中大きく変化し、オイル蒸発速度に大きく影響を与える.
- (2) 燃焼室内熱伝達率の係数を変化は、オイル蒸発速度のサイクル全般に渡り影響を与える. 圧縮行程後半から膨張行程前半ではオイル表面温度への影響も見られ、その結



Fig. 5 Mass flux of oil evaporation

果,蒸発速度も影響を受けるが,オイル蒸発量への関与 は少ない.

参考文献

- (1) 川本淳一, ほか, 潤滑, 22-11, pp.705-712 (1977)
- (2) Petris, C.D., ほか, SAE Paper 972920, pp. 1-9 (1997)
- (3) 稲垣英人, ほか, 日本機械学会論文集(B編), 70-700, pp. 3251-3256 (2004)
- (4) 伊東明美, ほか, 自動車技術会論文集, 36-3, pp. 63-68 (2005)
- (5) Soejima, M., ほか, SAE Fuel and Lubrication Meeting, JSAE 2007716,SAE 2007-01-1973, pp. 1610-1617 (2007)
- (6) 古平 真一郎, ほか, 日本機械学会 2008 年次大会講演
 論文集(3), pp. 71-72, (2008)
- (7) 飯島直樹, ほか, 自動車技術会論文集, Vol. 40, No.5, pp. 1217-1222 (2009)
- (8) 針谷安男, ほか, 自動車技術会論文集, Vol. 41, No. 5, pp. 1055-1062 (2010)