小形ディーゼル機関のピストンリングからのガス漏れ*

古 浜 庄 一**

Gas Leakage from Piston-Ring of Small Out-put Diesel Engine

by Shōichi FURUHAMA

A small out-put industrial diesel engine was used and the conditions of its piston-rings were changed, for the study of phenomena on the piston-ring leakage. And the following conclusions were obtained mainly: (1) Leakage occurs at three passages which are the clearance spaces at the lower, outer side and gap of the ring. And the rates of leakage through each passage are nearly equal when these passages are of the similar shape and size. (2) Angle and step joint cannot reduce the increase of the leakage as same as straight joint when the gap is enlarged. (3) When rings of the good and bad tightness are used together, the good ring only makes the gas-tight. (4) the greater part of the gas that leaks out is air, and it is believed that the harmfully incomplete combustion products are caused by combustion of the oils on the gas passages. (5) For reducing the specific fuel consumption, a smaller number of rings of good-tightness must be used.

1. ま え が き

内燃機関のピストンリングとシリンダの間げきを通じてクランク室へのガス漏れは機関の出力を低下せしめることはもちろんであるが、更にリングおよびシリンダ摩耗の直接の原因となり、クランク室内の潤滑油を劣化、混濁せしめて種々なトラブルの基となる。最近では特に後者の問題が重要視され、ガス漏れの低減がいっそう重要課題となっている。

一方ピストンリングからのガス漏れの研究は従来数多くあり、その現象はかなり明確にされているにもかかわらず実際の設計、製作および使用の現状は誤解に基いているものが多い。本報告は小形ディーゼル機関の運転状態における漏れガス量およびその組成を各種のリング状態で測定し、漏れガスの通路、リングの気密性、ガスの組成および燃料消費率への影響を究明したものである。なおピストンリングの気密作用においてディーゼル機関が気化器式機関と異なる点は時間対圧力線図が出力に大きく影響されず低負荷でも大きい圧力がリングに作用していることで、このことを考慮すれば本報告結果は他の内燃機関の場合にも応用出来ると思われる。

2. 実験装置と測定法

(1) 使用機関と運転 山岡内燃機会社製はん用

* 昭和 27 年 10 月 18 日 広島地方講演会、昭和 27 年 12 月 13 日 内燃機関総合講演会および昭和 28 年 4 月 3 日 第 30 期定時総会講演会において講演、原稿受付 昭和 31 年 7 月 7 日。

** 正員、武蔵工業大学。

2 馬力、800 rpm 定速、予燃焼室式ディーゼル機関、圧縮比 23:1、シリンダ直径 76.2 mm、行程 120 mm、行程容積 0.545 l、ピストンリングとその付近の寸法を第 1 図に示す。燃料は A 重油 2:軽油 1 の混合、噴射調整圧力 130 kg/cm²、シリンダ潤滑油は独立の

日本ピストンリング会社製

第 1 図

ポンプでシリンダ壁より押込む構造で No. 30 モビル油を毎分 0.4 cc 一定量供給, 回転数毎分 800, 冷却水沸騰, 排気無色の運転状態を保ち排気温度の測定より運転状態を推定した。本機関の無, 1/2, 全負荷の指圧線図を和田式三型インジケータで位相を 90° ずらしてとり, クランク角対圧力に書き替えたものを第 2 図に示す。リングは十分すり合わせ運転後 (正常なる

第 2 図

リングでは約 1 時間でガス漏れ量が一定となる) 測定を始め, リングを取りはずした みぞ へは張りのない二つ割リングをはめ, 回り止めを各リングの上側につけた。

(2) 測定装置 測定装置の概要を第 3 図に示す。クランク室を水柱 200 mm の気密に保つよう密閉し, クランク室へ漏れたガスは緩衝タンクを経て測定タンクへ入る。測定タンク内のガス圧をいつも外気と平衡させつつタンク内の水を放出せしめる, いわゆる置換方式である。漏れガス中の CO_2 がタンク内の水に吸収されることによって起る誤差は無視出来る値であることはクランク室とタンク内のガス成分を分

第 3 図

析, 比較することによって確かめた。漏れガス分析試料の採取は漏れガスが十分クランク室, 緩衝タンク, 測定タンク内を独占するだけ運転した後 (約 300 l 漏れた後) 行う。その際外気の流入を防ぐために放出口, 採取口へは逆止め弁をつけた。出力はプロニブレーキで, 燃料消費量はメスシリンダによって測定した。

3. 実験結果とその考案

(1) 運転条件の影響 第 4 図は切目間げき $g=0.5$ および 2.0 mm のリングでリング数, 出力を変化せしめたときのガス漏れ量の変化を示すもので, 第 2 図のインジケータ線図に示すごとく出力によって大きい圧力の変化がないのでガス漏れ量への出力の影響も比較的少ないことがわかる (気化器式機関と

第 4 図 リング数の影響

非常に異なる)。またリング数が増せばそれによる漏れ減少の割合は次第に少くなる。次に潤滑油供給量を正常より増減したときの結果を第 1 表 (a) に示す。0.2 cc/mm はリング帯に給油不足が見られる量である。給油量の影響は大きくないが, その後の運転では 0.4 cc/mm を厳守した。またリング切目を組立のとき一直線に置いたときと互い違いに置いたときの違いを第 1 表 (b) に示す。両者の差は少ないが以後の実験は回り止めをした。

第 1 表

(a) 潤滑油量とガス漏れ量 (1/2 負荷)

潤滑油 cc/mn	ガス漏れ (l/m)	
	リング 4 本	リング 3 本
0.2	3.20	9.34
0.4	2.94	9.07
0.7	2.89	〃

(b) リング切目が重なり合う場合

(i) 一直線に配置した時.

(ii) 互い違いに 180° ずらす.

リング数	出力	(i)	(ii)
ガス漏れ l/m			
2	1/2 負荷	3.94	3.72
3	全 〃	3.11	3.03
4	〃 〃	2.54	2.30

(2) 切目間けきからの漏れ

リングやシリンダの摩耗等による切目間けきの増大に対応するために段付切口リングの下側(燃焼室と反対側)の間けき g を 0.4 mm から約 3 mm (常温で) まで順次削り落したときの漏れ量の変化は第 5 図のごとく g に比例して漏れ量が増加することがわかる. 次に現在多く使用されている切口の 3 通りのものについて, その気密効果を比較したものが第 6 図でこれわかることは切目間け

第 5 図 切目間すきまガス漏れ

第 6 図 切目形状の影響

きが增加したときの漏れ増加の防止に対して傾斜および段付切口の効果は全くなく最も簡単な形である直角切口と同一の気密効果に過ぎない(各切目間けき g の表わし方に注意).

前述のごとく切目を通るガス漏れは重要であるので, この部分からのガス漏れ通路を検討する. 第 7 図は段付切口を有するリングの切目から漏れるガスの通路を示す図で, 高圧ガスはピストンの周囲の間けき ①より側けき ②を通過してリングの背面 ③に至り切口の下半分の空間 ④より最小面積 $c \times g$ ⑤を通過してスカート方向へ抜ける. これら各部の通路面積を計算すれば同図下方のようになる. これはピストン間けき $c=0.17$, 背けき 0.2, 切目間けき $g=1.0$ mm の計算例であり, ⑤の部の通路面積が他に比して非常に小であり, 漏れ量を左右する個所であることがわかり第 5 図の実験結果が当然であることもわかる. また直角および傾斜切口の場合の違いは ④の通路が広がるだけであり, 第 6 図の結果も当然と思われる. 次に第 7 図でわかるように側けき部の通路は ⑤に比して非常に大きいのでリングが みぞ から離れない限り側けきの影響は少いことが想像され, 側けき 0.03 と 0.15 mm の場合について g を 0.4 から 3.0 mm まで増加したときの漏れの違いを測定結果は側けきの影響はなかった. 逆に持上りが起ればガス漏れが非常に大きくなり, そのときの漏れ量は側けきに影響されることがうなずける⁽¹⁾. 本機関では側けきに対する影響は認められず, 持上りは起っていないと推定される. 上記のごとく ⑤の面積が非常に小であることより ①部

は漏れには影響はないが、今仮に同様な回り止めを下側につければ回り止めの幅が g に相当することになり、ガス漏れが増加することが考えられる。このことを実測によって比較した結果が第2表で、下側では非

第2表 リング回り止めの影響 (4本リング)

	廻止上	廻止下
全負荷ガス漏れ l/m	3.20	12.00
$\frac{1}{2}$ " "	2.60	10.85
無 " "	2.15	9.50
全負荷燃料消費率 $\%$	230	256
$\frac{1}{2}$ " "	290	315
無負荷燃料消費率 $\%$	135	158

常に漏れ量が大きくなることがわかる。なおこの回り止め下側のときの漏れ量を第5図で、回り止めの幅 3.7 mm を $g=3.7$ の点にとったものが同図の二重丸の点で上記推論の正しいことがわかる。そこで回り止めを施すときは必ずリングの上側にすべきである。

(4) リング張力の影響 第9図はリングの張力が約 1.5 , 0.8 および 0.5 kg/cm^2 の3種のものを1本および2本使ったときの切目間げきとガス漏れ量の測定結果との関係を示すもので、この範囲の張力の違いではガス漏れにほとんど影響を与えないことがわかり、このことはリング張力に比しリング背圧に基づくシリンダへの接触圧力が大きいことにその一因があると思われる。

第9図 リング張力の影響 (全負荷)

(5) 気密効果の異なるリングを同時に使ったときの漏れ量 前述の諸実験では、リングを2本以上使用したときは各リングは出来るだけ同一状態のものに

して使用したが、一般に第1リングに近いリングほど摩耗が大きく、実際使用中の各リングの気密効果は異なってくる。かかる場合の漏れ量を求めるために第2と第3リングを使い、各1本のみを使ったときの漏れ量をあらかじめ測定しておき、その2本を同時に使った時の漏れ量を測定した。かくのごとき組合せを数多く行った結果を第10図に示す。同図の各点の座標は

第10図 気密効果の異なるリングを同時に使用した場合

第2および第3リングを単独に使ったときの1分間の漏れ体積で、測定点の側の数字は2本使ったときの漏れ体積を示す。これら多くの測定点より等漏れ曲線群を描いた。これによれば、たとえば1本のみで漏れ量 5 l/m の同じリングを2本使ったときの漏れは約 2.8 l/m であるのに対して、一方に 10 l/m のリングを使用すれば約 4.5 l/m となり、1本のみの場合とほとんど同じになり、結局ある程度気密効果の悪いリングがいっしょに使われているときは、そのリングはほとんど気密の役めをしていないことがわかる。

(6) 漏れガスの組成 クランク室より採集した漏れガスとそのときの排気を分析して比較した結果を第3表に示す。これでわかることは漏れガス中には完全燃焼ガス成分である CO_2 が少く、不完全燃焼成分はかえって多いことである。Williams 氏らの行ったガソリン機関のリング持上りの実験⁽¹⁾においてもこれと同様な結果が現われており、氏はこの現象を、リング持上りは上死点付近で起るので、そのときは混合気が燃焼途中にあるからであると説明し、逆にこのことをリング持上り現象の確認の一つの資料としている。しかし本機関では前述のごとく持上りは起っていないと考えられるので、かかるガス成分の説明はむしろ次

第 3 表 排気と漏れガスの成分比較 (全負荷)

漏れ %	分 析 法	かせい	発 煙	没 食	塩 化	酸化銅
		カリ	硫酸	子	第一銅	酸 燃 焼
		吸 収	吸 収	吸 収	吸 収	
		CO ₂	C _n H _m	O ₂	CO	H ₂
4.05	排 気 漏れガス	7.7 0.2	0.2 0.2	9.3 20.2	0.2 0.2	0.6 1.2
2.85	排 気 漏れガス	8.0 1.1	0.3 0.3	10.1 18.4	0 0.5	1.0 1.0
5.50	排 気 漏れガス	7.9 1.1	0.4 0.5	9.5 17.9	0 1.1	0.4 0.3
6.03	排 気 漏れガス	7.9 0.6	0.1 0.2	9.6 19.3	0.2 0.6	0.5 0.8

* 毎分の漏れ
シリンダ容積×n/2

のごとくなすべきであると思われる。すなわち、まず CO₂ が少くて O₂ が空気に近いほど多い理由は、ピストンが上死点にあるときの燃焼室の体積は約 23 cc であるのに対し、リングのある部分の間げき体積 (第 1 図の v) は約 1.4 cc で約 6% に当る。それゆえ圧縮行程においてリング部に押込まれた空気が全部漏れれば吸気量の 6% に達することになり、この部分の空気は燃焼にあずからないので CO₂ は少いと考えられる。次に不完全燃焼成分が比較的多いのは漏れガスが吹抜ける通路であるリング、ピストン、シリンダに付着せる潤滑油や燃料が吹抜けガスと接触して不完全燃焼を起し、それがクランク室へ持ち込まれるものと思われる。この推論に基づけば漏れガスが持ち込んで来る

カーボンなどの有害物は燃焼室から来るのではないので、クランク室内の汚染は機関の燃焼の良否には関係がなく、むしろ漏れガス量の大小によることになる。

(7) 漏れが燃料消費率に与える影響 切目間げき g を変えて漏れ量を変化させたときの燃料消費率を、リング数 1 から 4 および出力を 0, 1/2, 全負荷にして測定した結果を第 11 図に示す。これによればリング数が同じときは燃料消費率は大約ガス漏れ量に比例して増加し、長尾氏らの理論計算結果の傾向⁽³⁾と合う。ただし図でわかるようにリング数が増すことによる燃料消費率の増加も大きい。これは本使用機関が小出力で摩擦損失の割合が大きいため特に顕著に表われたものであろう。これらのことより燃料消費率の点から考えればリング数を増して漏れを減少させることは良策でなく、結局気密効果の良いリングを小数使用することが良い。もちろん第 1 リングの摩耗が大きくなった場合などを考慮すれば何本が最良であると簡単に断定することは出来ない。

4. 結 論

以上の諸実験結果とその考察とにより、次のことがわかった。(1) 切目間げきとピストン間げきの積、リング下面とみぞとのすきまおよびリング外面とシリンダのすきまの三つの漏れガス通路からの漏れ量は、その形と面積が同じであればだいたい同一値を示し、その結果漏れ防止策としては切目間げきを大きくしないこと、切口のかどを取らないこと、リングおよびみぞの下面は平面に仕上げること、回り止めは必ずリング上側につけること。(2) 段付および傾斜切口の効果は無い。(3) リング張力が 0.5~1.5 kg/cm² の範囲では漏れに対する影響はない。(4) 気密効果の悪いリングをいっしょに使用するときには良いリングのみがほとんど気密の役めを果す。(5) 漏れガスの組成はほとんど空気、有害な不完全燃焼成分は漏れガスイ路上の潤滑油などの燃焼によるものと思われる。

(4) 燃料消費率低減のためには気密効果のすぐれたリングを小数使用すべきである。

本研究は東京工業大学内燃実験室において原正健助教授の御指導により行われたものであり、同学昭和 26 年度および 27 年度卒業生曾我公一、高島成一、佐藤健、関 宏康の諸氏の協力を得た。以上の諸氏に対し深甚なる感謝を表す。

文 献

- (1) C. G. Williams and H. A. Young, *Engg.*, Vol. 147, (1939), p. 693.
- (2) M. Eweis, *Forschungsheft*, 371 (1935).
- (3) 長尾・平子・山田, 機械学会論文集, 21 巻 109 号, 673 ページ (昭 30).

第 11 図 ガス漏れと燃料消費量