

ピストンリング磨耗の一般性質

大野元明

緒言

内燃機関のピストンリング及び気筒の磨耗の軽減を図るに先立ち先づ磨耗に關與する複雑な條件を分析して出来る丈之を金属磨耗の基本的條件に近付け其の性質を一般化し明確にして置く必要がある。然乍ら金属磨耗の基本的問題に就ての従来の研究は試験條件や運転條件が種々様々で之を総括して一般方式に当嵌めることが困難であるから、リング磨耗も同様の困難な基礎の上に立つて論ぜられる事は免れ難い。従来の研究は主として磨耗軽減手段を目的として材質的方面、潤滑剤、表面処理等に行はれているが、リング自体の磨耗の性質又は状態に關しては総合的に詳しく論ぜられていない様に見受けられる。筆者は数年前よりこの方面に就て若干の調査並に実験を行つたが今回之等資料の一部を選びリング磨耗の性質に關する概略的な所見を述べて見たいと思う。尚ほ紙数の制限からリング諸元、摩擦の條件、材質、表面仕上の四項目に分け説明は成るべく簡單にすることにした。

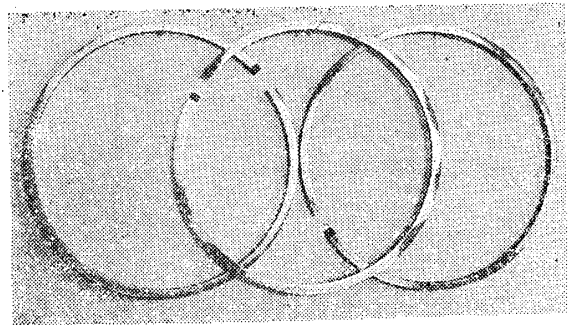
1. ピストンリング諸元

リングの半径方向の磨耗分布はリングの最初の形に支配される。形は閉ぢた状態に於て眞円となる必要があるが其の寿命を長くするためには最初切目を含む直径を之と90°をなす直径に比して僅かに大きくすることが必要である。斯様なリングは運転中不斷の磨耗を受け乍らその有効寿命中に筒壁に及ぼす圧力分布が均一線⁽¹⁾の上下を移動することになる。

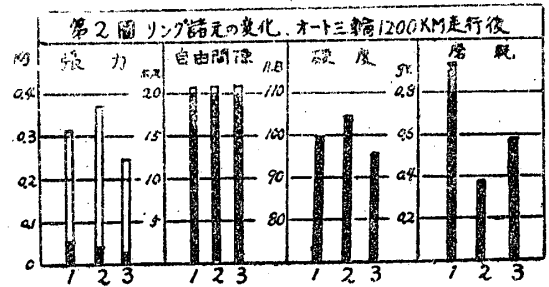
Hanns. Mundorffによればその楕円程度は筒径80~90耗のもので0.4~0.8耗を適当とし、フォード、クライスラーの圧力環では0.45耗及び0.5耗とされている。之等リングの有効寿命後の磨耗状況を調べて見ると平均的に間隙点の対向位置即ちリングの中央にて最も磨耗が大きく、特にクライスラーリングには此点及び間隙点に

ての鏽の破壊しているものが少くない。

従つて之等のものでは楕円度を更に増す事はリングの早期破損を招くことになる。斯様な現象は他の発動機にも屢々見受けられ著しい偏磨耗を呈する。之に反して最初の形が眞円か或は切目を含む直径が短い楕円形の場合は短時間運転後に切目及び其の対向点附近からガス洩れを生じリング寿命が短くなることは言うまでもない。



第1図

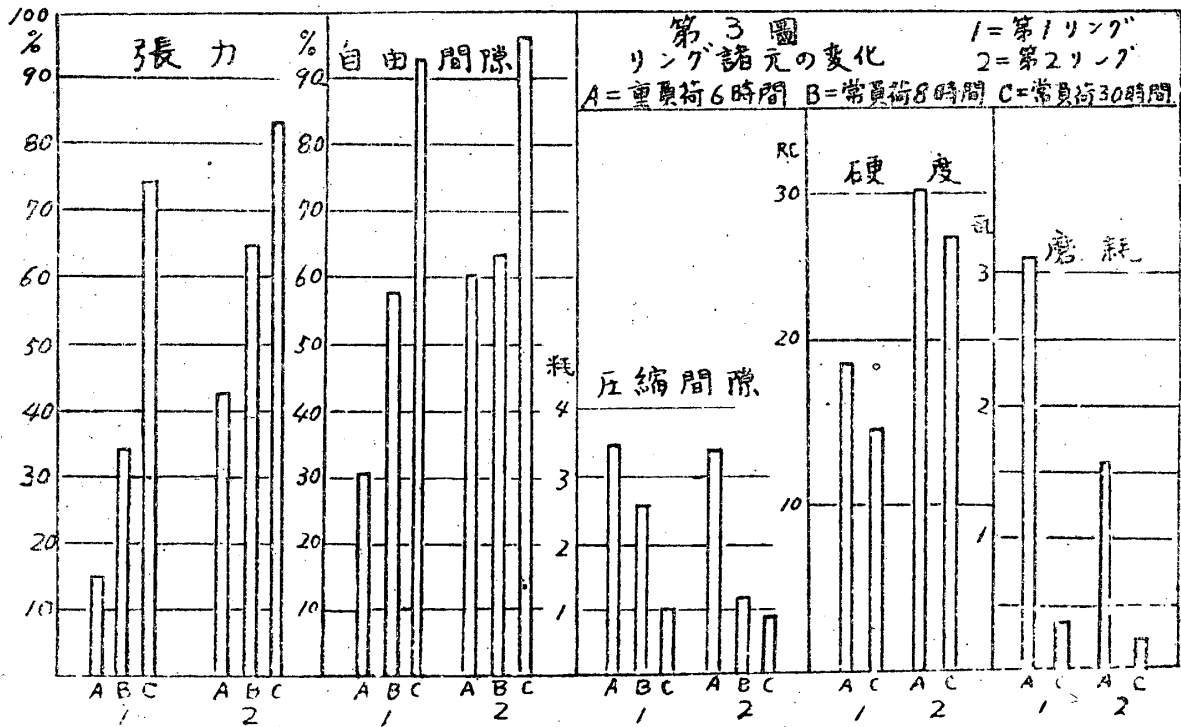


第2図 リング諸元 (下数字はリング番號。白線は使用前)

第1図はオート三輪のガス洩れリングの写真で之は第2図に示す如く1200km走行後の張力の減少が85%となり、原因はガス洩れ過熱にあると判断せられる。元来リング張力は材料の成分組織と其形に基く弾性にて構成され之は熱の影響と磨耗に基く断面減少から運転に伴つて低下し温度の高い程顯著に現れる。

第3図は他の単気筒のガソリン機関にてのアルコール混合燃料運転実測値で重負荷6時間運

(1) Hanns. Mundorff. A. T. Z15II (1939)



第3図 リング諸元変化の例 (注：Bは偏磨耗著し、Cは標準)

転後の張力の減少は85%、常負荷8時間運転後は65%で前者の運転条件の苛酷がすべての諸元の変化に現れている。斯様な関係から張力の減少は圧縮間隙の増大、磨耗と比例する。張力の熱的影響は加熱試験で解かり一定高温にて加熱時間に略直線的比例を有すると考へて差支へなく一方磨耗は初期に著しい事から張力も運転初期に著しい低下を来すことも想像がつく。リングの高さ方向の磨耗は一般に半径方向の磨耗に比して僅少だが重負荷運転では間隙点附近の磨耗が可成り著しい。之は間隙よりのガス洩れのための潤滑剤の拂拭と温度上昇及び間隙の両側のリング部分が溝壁をたたくこと等に基因すると考へられ、著しい段状磨耗を呈する。硬度は材料の高温軟化のため運転中徐々に低下するのが普通で第2図にて重負荷6時間運転の低下率は常負荷30時間のものより小さい事は此場合の温度差よりも時間の相異の影響が大きき、又第

1リングが第2リングより低下率が大なることは其の熱影響を物語るものと考へられる。

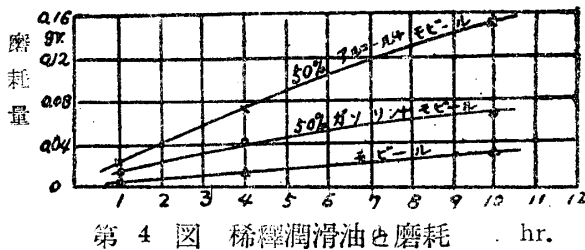
2. 潤滑摩擦の条件と磨耗

リング摩擦に於ける基本的な問題として油の性質、圧力、速度、表面状態等は従来よりの多くの研究について総合的に論ぜられるべきものと思うが此処では極めて簡略な所見と燃料の影響、背面ガス圧力について説明する。

リング、シリンダーの潤滑状況は C. F. Taylor⁽²⁾ や Alex. Taub⁽²⁾ 等の実験より境界潤滑、流体潤滑の範圍を常に移動していると考へ磨耗は B. A. Yates⁽³⁾ や M. Roensch⁽⁴⁾ の言う如くざらつき、肌ずれ、腐蝕の三者に分ける。粘度、油性の問題は C. G. William, W. Sparrow⁽⁵⁾ 等に依つて実験され、パラフィン系ナフテン系油についての C. G. A. Rosen⁽⁷⁾、酸化、炭化に関する M. Richter⁽⁸⁾ の研究、其の他多くの文献を参照し得る。燃料の性質や供給方法が磨耗に影響する原因の

(2) Alex. Taub. Auto. Eng. Ⅲ (1939)
 (3) B. A. Yates. S. A. E. J. Ⅱ (1939)
 (4) M. Roensch. S. A. E. J. Ⅲ (1937).
 (5) C. G. William. Auto. Eng. Ⅶ (1938)
 (6) S. W. Sparrow. S. A. E. J. X (1938)
 (7) G. A. Rosen. S. A. E. J. VI (1937)
 (8) M. Richter. Luftwissen.

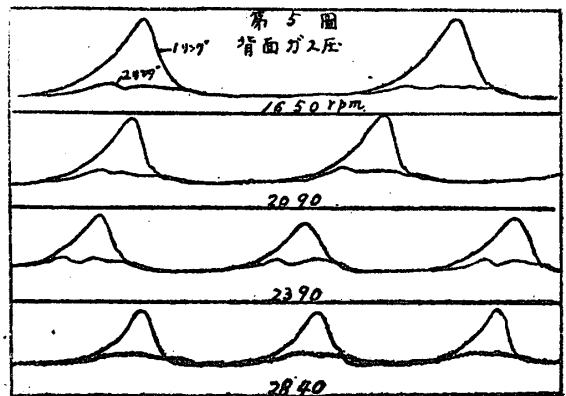
主なるものは シリンダー内に残る液状燃料に依る油膜の稀釈である。従つて燃料の混合比は直に磨耗を支配し始動時、暖機時の磨耗が著しくなる。アルコール混合燃料を使用した磨耗実験によると過剰燃料の影響が著しく例へば50%混合の場合に規定出力を得るための燃料消費にてガソリンの場合の2倍の磨耗を生じた。然し気化性を改良する方法を講ずれば尚ほ幾分減少し得よう。アルコールの斯の如き性質はその気化潜熱の大きい事に基き気筒温度の低下と液状燃料の増加に基く。而してアルコール混有量の多い燃料では油膜の破壊が明らかに生ずると言はれそこでガソリン、アルコール夫々の單獨潤滑性試験と之をモビールに夫々同一割合に混じたものに就て潤滑性の比較実験を行つて見た。第4図は後者の結果である。両実験共アルコールの潤滑性の劣る事を示している。従つてアルコールを使用する際はリング、気筒磨耗に特別な注意を要する。



第4図 稀釋潤滑油と磨耗

リングと気筒面間の作用圧力はリング張力と背面瓦斯圧力より成り之にピストン側圧やフラッターリング等の部分的作用が加わる。背圧に就てはチエー、エングリツシュや横堀氏の研究がある。之等はリング溝、ピストン、気筒相互間の隙間よりの瓦斯流動抵抗を理論的に解析したもので 実験的に之を求めるには特別な工夫を要する。往年横堀氏と提携して筆者の測定した実験結果を第5図に掲げて置く。之は背圧を第1、第2リングに就て夫々測つた指圧オシログラムを重ね合はした写しである。但し、図では第2リング背圧の重ね合はしが右へ偏りすぎている。第1リング背圧は理論的には筒内圧力と等しくなるとされ又廻転数に依る最高圧力の相異は殆んど生じないと考へられる。従つて此線図は圧力誘導細管の抵抗を入れて修正され

ねばならない。然し乍ら第1、第2リングの背圧の最大値や圧力の作用状況の大体的様子を覗ひ得る、即ちリング磨耗の主要因子の一つと見られる背圧は第1リングでは燃焼室内圧力と大差なく第2リングは第1リングの瓦斯遮断のために其の値も前者の数分の一程度に下る、但しこの値はリング、ピストンの間隙等に依て異なる。エングリツシュに依ると第2リングは廻転数の増大に従い線図の裾部が拡がつてくるが之は当然の事柄で更に第1リングの瓦斯逆流遮断に依り瓦斯圧力の幾分の蓄積が加算されるだろう事を考慮すれば、第1、第2リング背圧の夫々の平均は上記の値よりも更に接近する事になる。而して両者の磨耗の著しい相異は主として此の背圧と之に附随して作働温度、潤滑剤供給状況の相異が原因をなすものと見れば、之が實際運転の場合の第1、第2リングの磨耗比の2.0~3.0の数値に近附いて来る。空気のみを供給吐出せしめる電動機駆動運転の際に於ても背面の圧力比は同等な関係にあるものと推定される故此の場合の磨耗の実測値の平均比の2.0の値も上述の関係を與へるものと思われ特に此場合潤滑剤の汚損や燃料の影響が無いから純粹の背圧の磨耗に対する影響が現れているものと考へられる。



クランク回転角(右側より測る。)

第5図 背面圧力

3. リング材の良否

現今使用されているリング材の成分は第1表の如きものでC, Si, Mn, P等の成分元素は直接磨耗に関係を有するもので之は鑄造製作上の種々の問題と關聯して研究されている。耐磨耗性

※1. 甘斯リング、油盤リング平均 ※2. Alex. Taub. ※3. 摩擦試験機による。 ※4. ※5. 筆者の測定、數種の実測値の平均範圍。(9) C. English. A. T. Z. XI (1938)

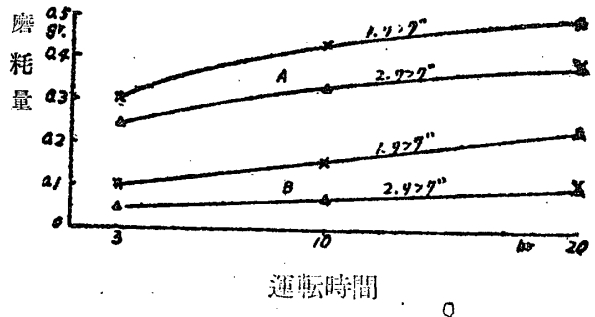
に関しては成分、硬度、組織について分類される必要があり即ちブリネル硬度のみにて耐磨耗性を示し得ない事や黒鉛形状分布が磨耗に影響を及ぼす事等多くの実験に示されている。リング材は所謂黒鉛の5態を基幹として其の分布集合状況より更に細別した等級が附せられる。個々鑄造と筒型鑄造は肉厚の相異等から黒鉛形状に差を生じ後者に於ては細い片状黒鉛を得るに困難が伴ふと言われ従つて耐磨耗性にも幾分の相異が現れる事も豫想される。然し之は製作技術上の問題に關聯するものでその優劣は斷定し難いが黒鉛形状が粗大になると磨耗を増大する傾向を持つ事は筆者の使用経験からも明らかに認められた。一般に黒鉛の大きさは中位のものが最良とされ、其の大きさ、單位容積中に含まれる量と磨耗に關しては Vath⁽¹⁰⁾ の比較的詳細な実験がある。筆者の発動機運転にて試験した一例を第6図に示す。供試リングは第1表の第1種、第2種材で何れも規定の試験規格には合格するものであるが其の顯微鏡組織は前者の場合黒鉛形状が粗大で第7図Aに見るものである。

第6図は單気筒運転の記入時間に於ける集計磨耗量を示すものである。斯様に組織の相異は磨耗に著しい關係を持つ。蝟状塊状黒鉛のものは磨耗も多く且つ往々にして点蝕という特殊な現象を生ずることもある。即ち比較的短時間運転後摺動面に無数の針状孔を發生する、之は化学的な腐蝕現象とも考へ難く又塊状黒鉛の剝落や硬質粒子の抜け落とも斷じ難い種々異論のある現象でピッチング現象とも考へられる種類のものである、然し黒鉛形状の悪い一連のもののみに見られる事即ち同一條件の運転にて組織の良好なものには認められない事から材質に關係する事は明らかである。尚ほ点蝕と成分分析値との關係は不明であるが全炭素黒鉛炭素と珪素

第1表 ピストンリング材料

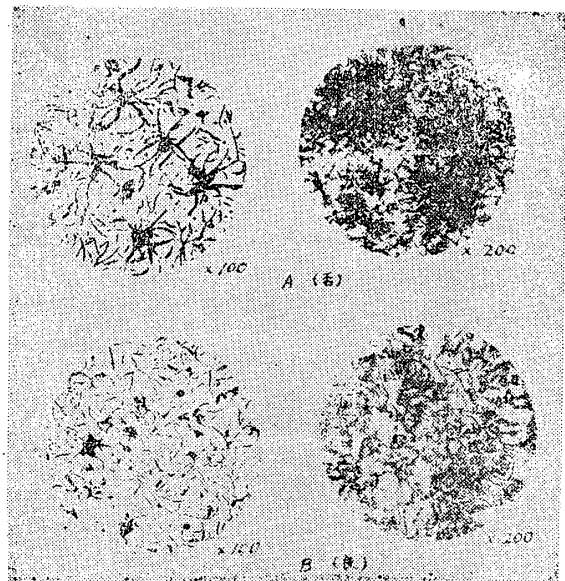
成分別	成分					硬度 RC	彈性率 E	其の他
	T.O	Si	P	Mn	Ni Cr			
1種	3.0	1.5	0.4	0.5	0	26	kg/mm ²	円筒鑄造細組織
	3.3	1.8	0.6	1.0	0.3	31		
2種	3.7	2.7	0.4	0.5	0	22	8×10 ³	個々鑄造粗組織
	3.8	3.5	0.6	0.8	0.3	26		

量に幾分關係がある様に認められた。詳細は省略して今後の研究に委ねる。



第6図 材料の良否に依る磨耗比較

さて斯かるリング材質と耐磨耗性は発動機の運転の場合の諸條件を除外すれば簡単な磨耗試験機に依り比較実験を行うことも出来る。例へば Lane⁽¹¹⁾ の行つた円盤型の磨耗試験機、飯高一郎⁽¹²⁾ 氏の組織と磨耗の実験に用いられたもの等がある。筆者は同型式の試験機で、定速、定荷重、一定給油で各種リングの比較試験を行つて見た、その一例を第8図に示す。之は單に磨耗の時間に対する変化過程の比較に止るが條件を種々変へることに依つて摩擦條件で規定した PV 限界曲線を比較することも可能である。



第7図 顯微鏡組織 (修正倍率50及100)

(10)(11) Paul. S. Lane

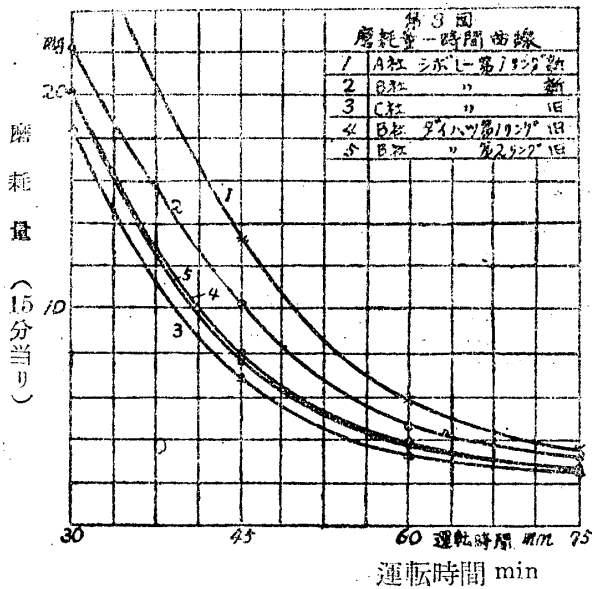
A. S. M. E.

II (1940)

(12) 飯高一郎

機械学会論文集

7 (1941)

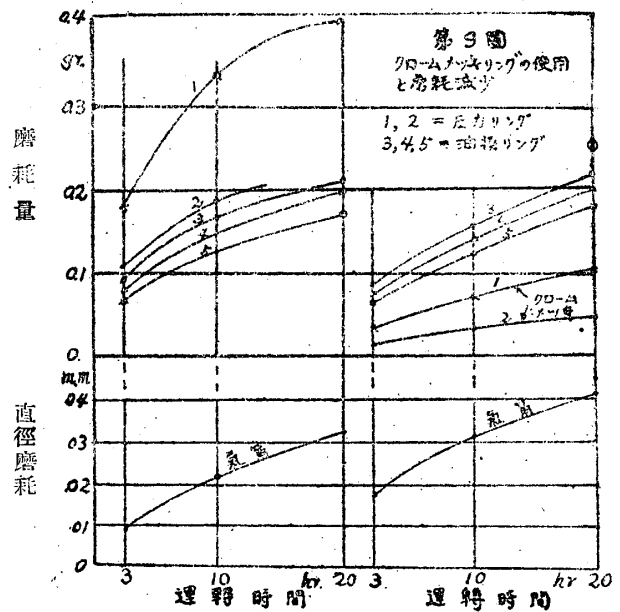


第 8 図

4. 摩擦面の推移と磨耗

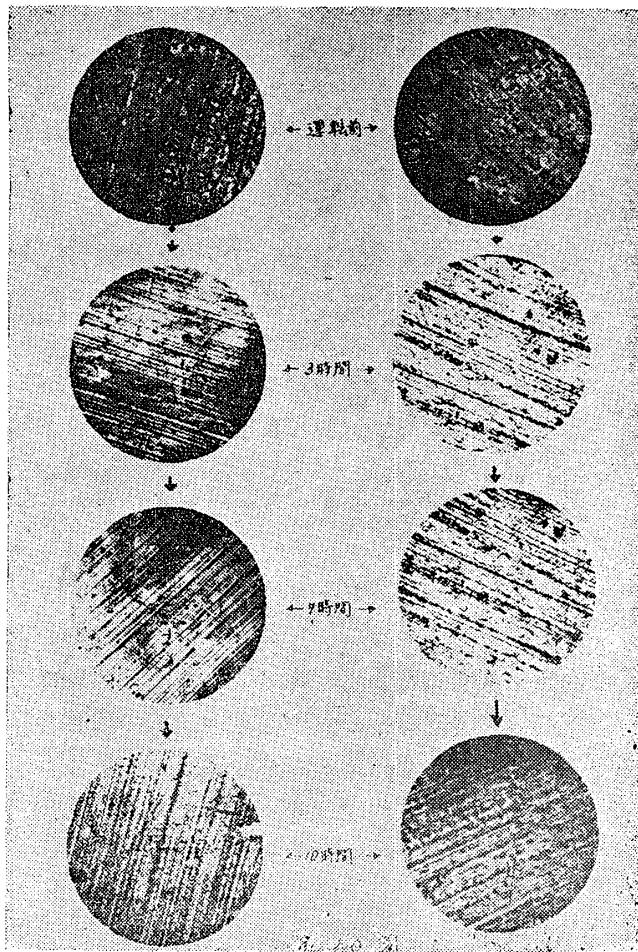
(1) リング表面とシリンダー内面の粗さ変化。
 リング又はシリンダーの摩擦面が運転に伴つて如何なる変化をたどるかは磨耗曲線の形と関係して極めて興味の深い事柄である。筆者はリング摺動面の旋削仕上のものと瓦斯リング2本にクローム鍍金を施した二種類の組を同一研磨仕上のシリンダーに就て夫々同一条件の電動機駆動を行い両者の面粗さの運転に伴う変化状態のスンプ写真及び磨耗量をとつてみた。第10図にシリンダー内面を掲げる。記入時間は運転時間を示す。クローム鍍金を行つたため運転中のシリンダー面の粗さが然らざる場合に比べて細密になつて見られる。斯様な鍍金の効果はリング表面を或程度平滑化し其の被膜がシリンダーの最初の仕上面から出発する運転過程に於て面凸起の鏽効果に依る剝落を緩和し、さらつき磨耗の原因たる金属磨耗粉の量を減少するものと想像せしめる。此実験はガスリングのみに鍍金し油搔リングは鍍金してないが、シリンダー面の荒れないことは当然油搔リングの磨耗も減少せしめられる理で第9図の試験と同時に記録した磨耗線図にて立証されている。クローム鍍金に就てのC. G. Williamの実験に於ても著しい磨耗の減少が示されている。クロームは硬度高く相手の金属面の磨耗を増大せしめることが懸念されるが此場合硬さの影響よりも面の

平滑化に基くさらつき磨耗の減少効果の方が有効に働くものと推定される。第9図の下に示したシリンダー磨耗は軸に直角な二方向の直径磨耗減量の平均で鍍金リング使用のための磨耗の増加は僅少である。此処でシリンダー磨耗に関する詳細を説明する余裕がないがWilliamの報告ではリング、シリンダー磨耗共に減少している事を付け加へて置かう。クローム鍍金の効果は其の低磨耗率よりも寧ろ燃料の影響に支配され難い点にあると言はれ之は面の状態の緻密化のため低粘度の油或は稀釈された潤滑油に対しても比較的潤滑が阻害され難いことを意味するものではないかと推定する。事実実際の発動機運轉にての筆者の記録はクローム鍍金リングにて普通リング使用の場合の1/3の磨耗量を得ている。斯の如くリング表面の処理は摩擦面の変化並に磨耗機構に特有の変化を與へる結果として耐磨耗性に重要な役割を演ずることになる。而して之は單にクローム鍍金に止らず他の表面被覆手段例へばリングの錫鍍金、シリンダーのクローム鍍金、リング表面の化学的被覆等に於ても同様な摩擦面状態に相異を生じて磨耗の軽減が行われるものと考へる。



第 9 図

(13) Auto. Ind. 1/XII (1939) (14) Auto. Eng. No. 376. X (1938)



第10図 シリンダー内面
(左、クローム鍍金リング使用)

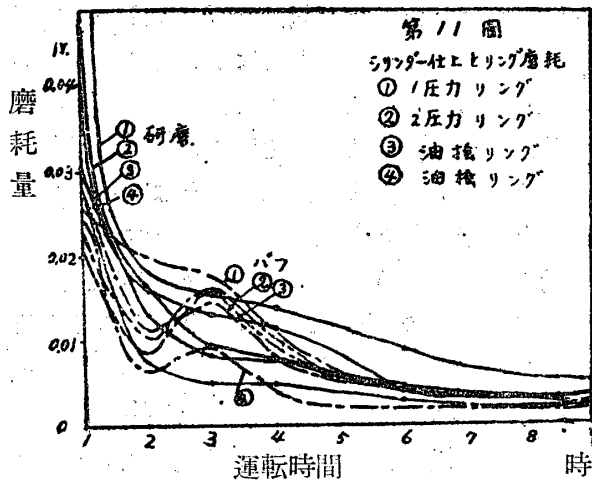
(2) シリンダー内面仕上とリング磨耗

気筒内面仕上は従来の旋削、研磨から現今ホーニング仕上が推奨されるに至った。旋削、研磨は何れも仕上後軸方向に直角な切削目を残し此のための鍍効果に因り磨耗が著しく現れる。研磨目は砥石の粒度に依ても異なるが一般に数時間運轉後にも尚ほ残る程度の粗さを持つている。この理由から気筒内面は更に平滑な仕上を要求し現在機械仕上としてホーニングに進展したのであるが此の仕上は面の緻密な事以外に油の附着性がクローム鍍金面や窒化面に比べて優れていると言われる。

一般に気筒内面仕上の相異は其の要求する油の粘度に広範な相異が認められる様である。筆者はリングの磨耗が之等の仕上面に依て如何様に異なるかを見るために研磨、ラッピング、ホーニング、バフ仕上の4種類に就て同一種のリングを使用して単気筒発動機の電動機運轉を実施してリング磨耗量及び気筒内面粗さの変遷状況

を調べて見た、供試気筒の研磨面は粗い研磨目を残し、ランピング面は研磨面の様な太い表面疵は少いが不規則な砥石疵が残っている。ホーニングは之に比して非常に平滑だが処々に疵が見られる。バフ仕上はホーニング仕上を施した上之にバフ磨きを行つたもので最も平滑である。第12図、第13図参照。

之等の図は運轉前、運轉途上の面粗さを示すもので表面検査器とスンプ写真で検査した。検査器はロツシエル塩振動子を持つ触針式のもので気筒内面を軸方向に一定の速さで引掻き凹凸のために針に生ずる振動を増幅撮影したものである。従つてオスシログラムは表面凹凸の幾何学的形状を表すものでなく其の振幅及び振幅変化が略々粗さに比例して現れる。各面の状況を見ると各仕上面は最初の仕上面から夫々特有の変化をたどつて行き10時間後には大体同じ様な凹凸粗さを呈した。ホーニング、バフ仕上のものは途中面が一旦荒れて再び平滑化されて行く形跡が見られる。之は金属面の組織に依て決定される粒子の剝落したものが面を引掻き最初の仕上面よりも粗い疵を生ぜしめ更に増加される粒子と潤滑油とで研磨されて面が再び平滑になる現象に基づくものと推定される。之はリング磨耗にも直接現れて来る事は第11図の磨耗曲線に依ても大体視られる。即ちこの図のバフ仕上のものが3時間目頃で磨耗量を一旦増加している。磨耗は面の仕上のよいもの程少く出るのが本実験では9時間、10時間後に於ては其の差は明確に測定出来なかつた。尚ほ運轉に伴う發生温度即ち空気圧縮と摩擦發生熱の仕上面に基く相異は計測し得る差が認められず全運轉を通じて一定を示した。表面仕上方法や試験方法の詳細は省略して置くが要するにホーニングやバフ仕上等の如く平滑仕上は気筒内面仕上として磨耗の軽減上から確に要求さるべき性質のものであつて更に磨耗抵抗の大なる細密な気筒材、リング材の組織が必要とされるものと思ふ。



第11図 シリンダー内面仕上とリング磨耗 (1時間当りの磨耗量を示す)

5. 総括

上記四項目の内容は更に深く究明され検討されなければならない。論述した範囲にて総括し要点を挙げれば次の如きものである。

(1)リングの形状は切目を含む直径を長径とする楕円形をなし、この楕円度は半径方向の磨耗分布を支配し2項に述べた如き限度の存在するこ

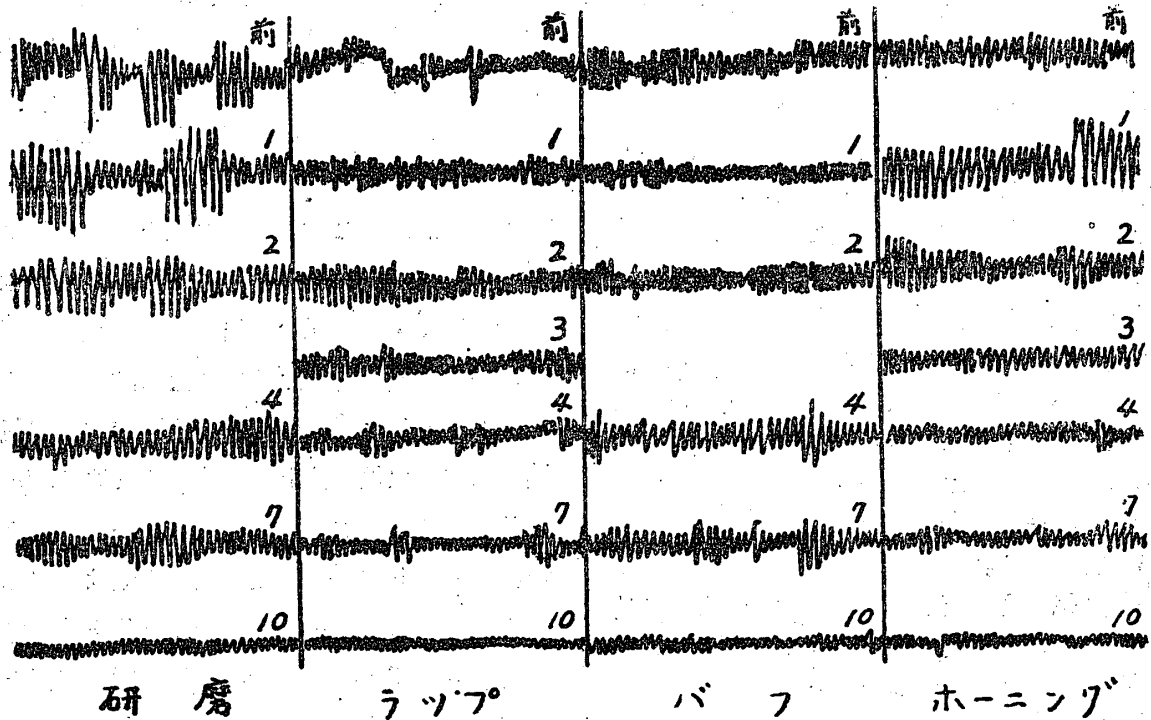
と。軸方向磨耗は一般に僅少だがガス洩れを伴う場合等著しい段状磨耗を呈する。

(2)燃料による潤滑油の稀釈はリング磨耗に多大の影響を與へ特にアルコールを使用する際は適当なる対策を講ずべき事、磨耗は背面ガス圧力に略比例する關係の存在する事。

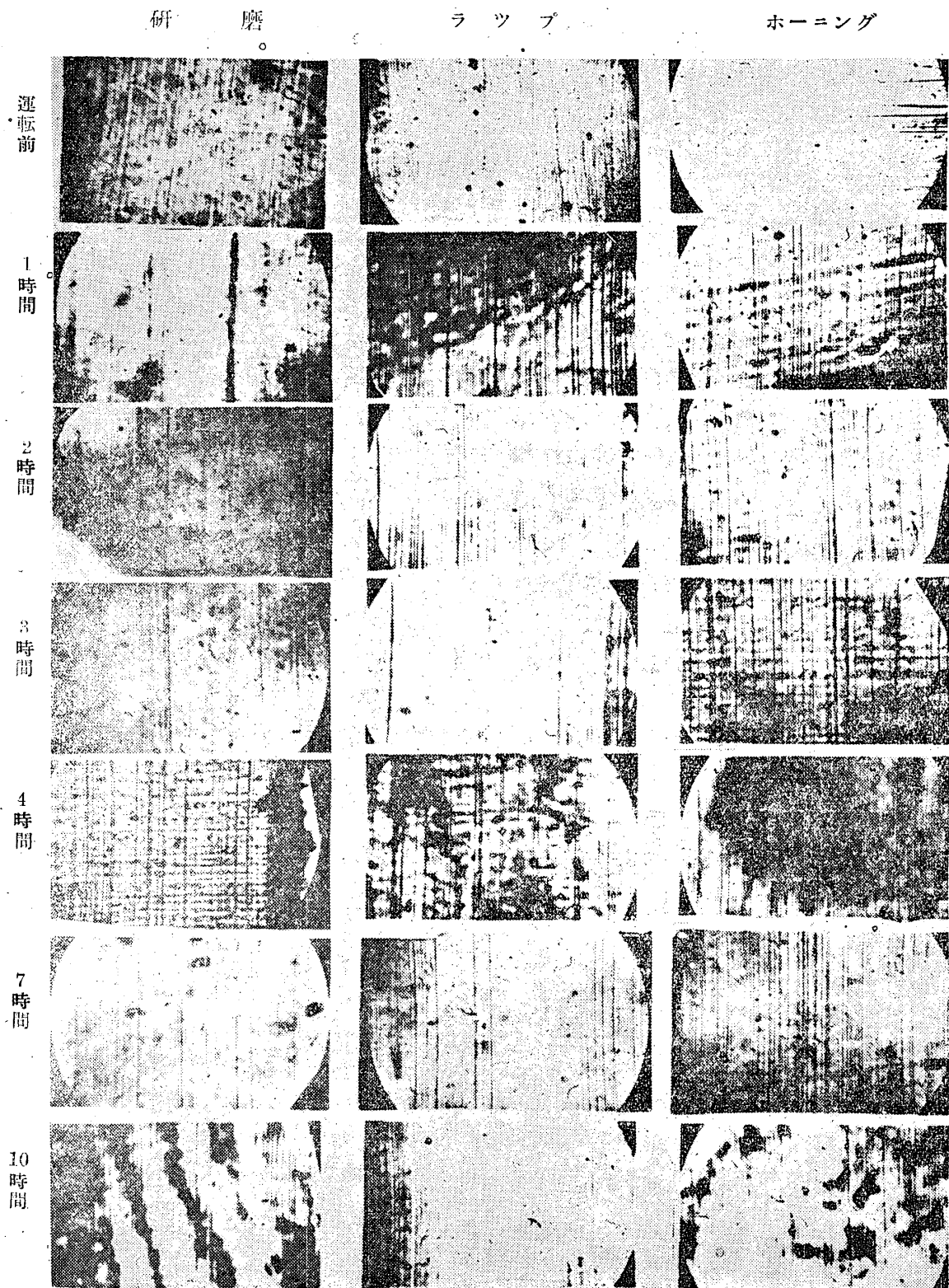
(3)材料の良否判定は主として顕微鏡組織に拠ること、黒鉛形状分布不良は實際運転に於ても磨耗に顯著な増大を示すこと。

(4)仕上面の良否は初期磨耗に著しい相異を示す従つて仕上はホーニング又はそれ以上の精密仕上が推奨される事。

而して實際問題として特に重要な事柄は第1リングは第2リングに比して2~3倍の磨耗及び同様な張力の減少を来す故リング全体の寿命を延長するためには第1リングの設計工作上の改良若しくは潤滑効果、作働温度の改善或いはクローム鍍金其の他の表面被護方法等が講ぜられるべきであらう。又リング材は黒鉛形状分布の良いもの例えば現今研究されつゝある粒状黒鉛のもの等の進歩が期待されるものである。



第12図 シリンダー内面粗さと推移時間 (数字は時間を示す)



第 13 図 シリンダー内面粗さの推移