

空冷小型発動機における潤滑油の劣化に 関する研究

中 馬 豊・小 島 新

I 緒 言

空冷発動機は苛酷な条件下で運転される機会が多いので潤滑油の著しい変質が予想される。著者等は発動機潤滑油変質の主な原因と考えられる (i) 塵砂, 金属摩耗粉の混入 (ii) 主燃料による稀釈, (iii) 炭化, (iv) 酸化等の影響に関する事項を調査し潤滑油の適期交換並に補給の適正な資料を得んとした。

II 試 験 の 方 法

(1) 供試機関：メイキ NE23 型空冷発動機でその関係諸元は第 1 表に示された通りである。

第 1 表

機 種	メイキ NE23 型空冷発動機	
諸 元		
性 能	公 称	2.0Hp
最 大	1,500rpm	2.5 "
燃 料 消 費 量	全 負 荷	370g/Hph
(灯 油)	3/4 "	400 "
	2/4 "	530 "
	1/4 "	570 "
潤 滑 方 式	飛 沫 式	
滑 油 槽 容 量	630cc (別に減速室 90cc)	
冷 却 方 式	強 制 空 冷	
プ ラ グ	A C K 14mm	
	発動機は新品を拵合せ使用	

(2) 供試期間：自昭和26年6月至同年10月、室温は可及的 25~30°C において行つた。

(3) 負荷：0 → 4/4 負荷の間を逐次反復しその 1 周期を約 2.5 時間とした。負荷調節には直流発電機にニクロム (700, 500, 300 W) 並に電球 (100, 60, 20 W) 抵抗を用いた。4/4 負荷時には或程度のノックを免れなかつた。潤滑油温は 1/2 負荷で 70~77°C, 3/4 負荷で 72~86°C, 4/4 負荷で 77~89°C, ノック時の最高は 93~95°C を示した。第 1 図にこれ等の試験装置を示す。

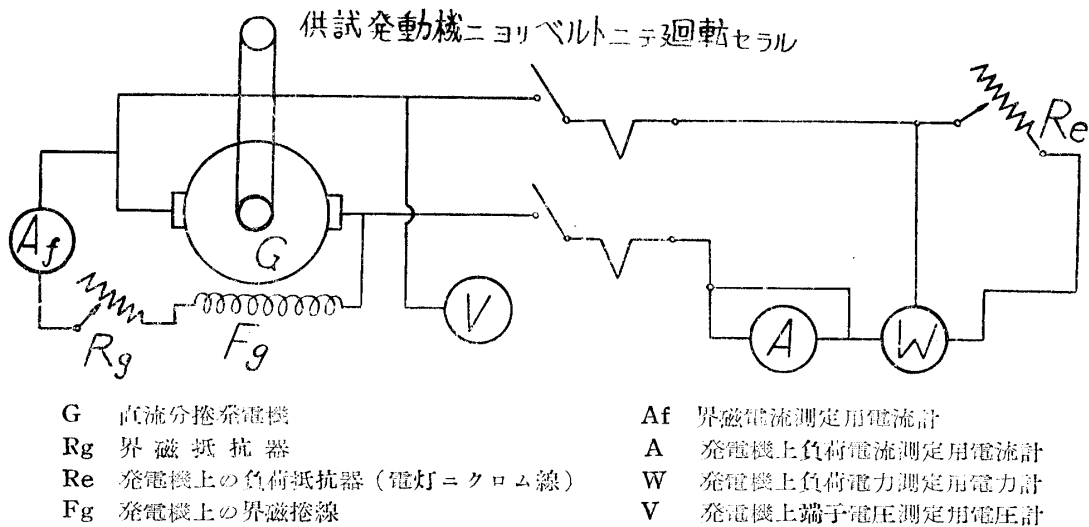
(4) 使 用 油

イ) 主燃料：スタンダードバキューム白灯油 (反応：中性, 引火点：30°C 以上, 95% 溜出温度：280°C 以下, 硫黄分：0.1% 以下, 点灯試験：良)

ロ) 潤滑油：スタンダードバキュームモビール 30 番 (反応：中性, 引火点：185°C 以上, 粘度：50°C—280±20, 100°C—50 以上, 凝固点：-5°C 以下, 残溜炭素 0.4% 以下, 腐蝕試験：合格, 色相：ユニオン 5 以下)

(5) 供試油の採取：JES 174 石油製品試験方法規格第 2 条を準用したが本試験は特に発動機運転 5 時間毎に資料約 80 c.c. を採取し、同時に減量分を新規補給した。調査済み液は支障の無い限りエンジンに還元使用した。

第 1 図 負荷装における配線図



(6) 試験項目

- イ) 比重：ゲールサック比重瓶で D_{15}^{15} に換算。
- ロ) 蒸発減量：試料油 15 g を内径 17 mm の試験管に入れ、 100°C で 3 時間恒温乾燥器で加熱後、デシケーターで冷却し減量を % で示した。
- ハ) 粘度：セイボルト粘度計によつたが必要に応じレッドウッドに換算した。
- ニ) 引火点 (Flash Point) 燃焼点 (Fire Point)：ペンスキーマルテンス試験器によつた。
- ホ) 腐蝕試験： 25mm^2 の磨いた電解銅板を半円筒形として試験管に入れ、試料油約 15 g と共に 110°C で 3 時間加熱秤量し、減量を % で示した。
- ヘ) 比色：試料 0.5 g を採りベンゾールで 100 倍に稀釈し、これと等しい濃度の重クロム酸加里液の稀釈度 (重量 %) で表した。濃度比較はデユボスク比色計を用いた。
- ト) 機械的不純物試験：試料 5 g をベンゾール 100 cc に溶解し、1 晝夜放置後予め恒量を得る迄 105°C で乾燥し秤量した濾紙 (東洋濾紙 131) で濾過し、残渣をベンゾールで十分に洗滌し、 105°C で乾燥後秤量して不溶性夾雑物の重量を求め、資料に対する % で示した。
- チ) 酸化：JES 174 石油製品試験方法規格第 4 条を参照した。
- リ) 残留炭素試験：コンラドソン試験器に似た自製品で JES 174 第 12 条を参照した。

III 試験成績

第 2 表は供試潤滑油の運転時間数に応ずる各種の経過を取括めたものである。

- (1) 比重：一般に原油との間に大なる差を示さないが 30 時間迄は低下し爾後上昇する傾向がある。
- (2) 蒸発減量：最初の 5 時間で急激に増加し、爾後僅かに増加するが 30 時間後は比較的大きく不規則に変動する。

第 2 表 供試潤滑油の運転時間数と諸性質の変化

試験 運転 時間	I	II	III		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
	15/4 比 重	蒸発減量 %	粘度(レッドウッド)		引火点 °C	燃焼点 °C	腐 蝕 試 験	比 色	機械的 不純物	酸化	残 留 炭 素
			50°C	100°C							
0	0.9129	0.0451	204.0	41.1	215	247	0.0736	0.00821	1.9	0.42	0.166
0~5	0.9111	0.0967	140.9	38.2	126	218	0.0706	0.0154	4.1	0.48	0.532
0~10	0.9089	0.0960	135.7	36.3	113	187	0.0655	0.0174	4.5	0.53	0.702
0~15	0.9069	0.0990	130.7	36.1	117	170	0.0801	0.0200	4.8	0.64	0.801
0~20	0.9046	0.1009	122.6	35.8	111	166	0.0614	0.0204	5.6	0.65	0.904
0~25	0.9033	0.0980	103.3	34.9	115	151	0.0612	0.0290	5.8	0.69	1.140
0~30	0.9029	0.1360	108.0	35.0	108	146	0.0754	0.0250	6.0	0.86	1.180
0~35	0.9032	0.1640	120.1	35.6	118	154	0.0803	0.0208	6.2	0.82	0.950
0~40	0.9042	0.0740	126.3	36.5	120	156	0.0674	0.0248	6.0	0.94	0.980
0~45	0.9039	0.1210	112.5	33.9	113	161	0.0745	—	6.2	0.96	1.200

第 3 表 供試潤滑油の運転時間数と粘度の変化

測定温度 使用時間	37.8°C (100°F)		50°C		54.4°C (130°F)		80°C		98.9°C (210°F)		100°C		120°C		150°C	
	粘度		S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R
	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R
原 油	493.5	412.6	240.9	204.0	185.7	157.5	71.7	61.7	48.2	42.1	47.0	41.1	36.7	32.5	32.0	30.1
5	330.2	279.6	166.0	141.0	135.2	123.6	59.0	51.1	43.7	38.3	43.6	38.2	35.2	31.3	31.0	29.3
10	316.4	268.0	160.0	135.7	133.5	113.6	55.4	48.0	42.5	37.4	41.2	36.3	36.1	32.0	31.0	29.3
15	293.0	248.2	154.0	130.7	123.6	105.3	53.5	46.5	41.8	36.7	41.0	36.1	35.2	31.3	30.5	29.0
20	273.5	231.7	143.2	122.6	121.4	103.4	52.7	45.8	41.1	36.2	40.6	35.8	34.5	30.7	30.0	28.5
25	218.0	185.0	121.2	103.3	107.0	91.3	51.0	44.4	40.6	35.8	39.6	35.0	33.6	29.9	27.8	26.4
30	236.5	200.6	126.8	108.0	110.4	94.2	51.9	45.2	40.2	35.5	39.7	35.0	34.2	30.4	29.5	28.0
35	263.5	223.2	141.3	120.1	117.6	100.2	52.8	46.0	41.1	36.1	40.4	35.6	34.3	30.5	30.0	28.5
40	269.8	228.5	148.6	126.3	124.3	105.0	54.1	47.0	42.2	37.1	41.5	36.5	34.8	30.9	29.2	27.7
45	261.0	221.1	132.2	112.5	110.8	94.5	52.2	45.5	39.6	35.0	38.4	34.0	33.7	30.0	28.0	26.6

備 考 Sはセイボルト値, Rはレッドウッドへの換算値を示す。

(3) 粘度：既に第2表に掲げた以外の温度における粘度測定値も併せ第3表に示す。

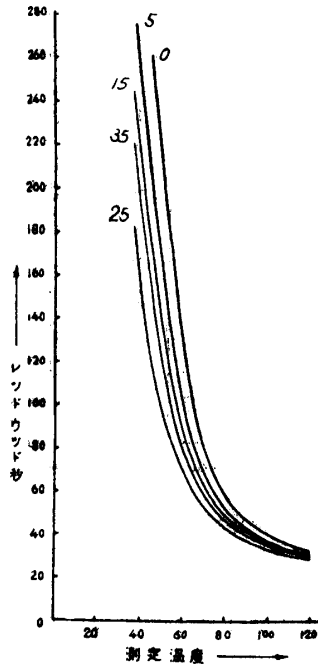
第3表に依れば最初の5時間使用で粘度は急激に低下しその後漸減するが略々30時間後再び増大する。これらの関係を図示したものが第2図である。即ち高温部では使用時間数に関せず粘度値は接近するが低温部では比較的大きな差がある。

(4) 粘度指数¹⁾：実測による粘度のグラフ(第2図)より粘度指数を算出しこれを示したものが夫々第4表及第3図である。これに依ると粘度指数は使用時間に従つて最初の10時間急低下して最低を示し、次に漸増して40時間に及び爾後再び急低下する。(途中25時間で極端に上昇しているのは測定誤差と思われる)

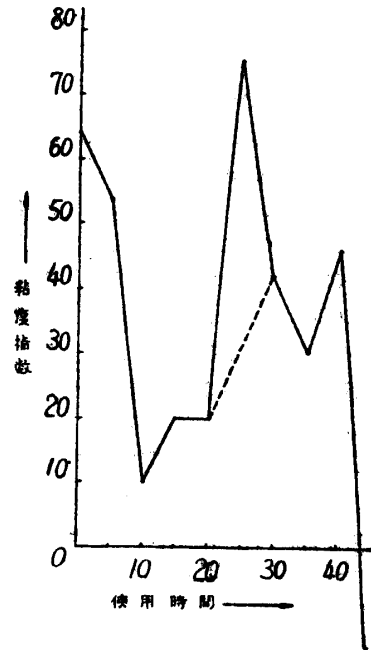
(5) 運転粘度：本邦産一般鉱油の平均値と本供試油について、軸受温度80°C、ピストン温度150°Cとして運転粘度を比較すれば第5表の如くである。

1) 山口文之助(1948) 潤滑剤及潤滑油 P. 52, 310.

第 2 図 温度粘度曲線
(曲線上の数字は使用時間数)



第 3 図 粘度指数の使用時間に
應ずる変化



第 4 表 粘度指数の使用時間に応ずる変化

使用時間	原油	5	10	15	20	25	30	35	40	45
運転粘度 (cs)	100°F	106.9	71.5	68.5	63.5	58.5	47.0	51.1	56.9	58.4
	200°F	11.1	8.4	7.4	7.3	7.0	7.0	6.7	7.0	6.0
粘度指数	64	53.5	10	20	20	75	42	30	46	-15

第 5 表 使用時間数に応ずる運転粘度の変化

運転時間	運転粘度 50°C レンドウウツド 秒	80 °C				150 °C			
		M	S	M-S	%	M	S	M-S	%
原油	204	65	61.7	3.3	5.09	33	32	1	3.03
5	141	54	51.1	2.9	5.37	32	31.5	0.5	1.56
10	136	53.5	48.0	5.5	10.03	32	31	1	3.12
15	131	52.5	46.5	6.0	11.43	31.9	30.5	1.4	4.38
20	123	52	45.8	6.8	11.92	32	30	2	6.25
25	103	48	44.4	3.6	7.5	31	27.8	3.2	10.32
30	108	49	45.2	3.2	7.75	31.3	29.5	1.8	6.10
35	120	50	45.9	4.1	8.2	31.5	30	1.5	4.76
40	126	50	47.0	3.0	6.0	31.5	30.7	0.8	2.84
45	113	49.5	45.5	4.0	8.08	31.4	28	3.4	10.82

- 備考 1) 表中のMは本邦産鉱油の平均的標準粘度。D)
 2) 50°C に於けるMとSとの粘度は略々同じ値のものを採用。
 3) Sの 150°C の粘度値は第2図より推算した。
 4) %とは (M-S)/M×100 の値である。

本表によればSはMに比べ80°Cにおいては20時間、150°Cにおいては25時間で夫々最も低下しその後不安定且僅少な変異を示す。

(6) 転位温度、転位粘度¹⁾：第6表は供試油の5時間運転毎における粘度と、50°Cにおいて略々同値を示す本邦産標準鉱油（新油）とについて、これら両者間の転位温度、転位粘度の比較である。

第6表 供試油の転位点の時間的变化と本邦産標準油の転位点との比較

使用時間	50°Cのレッドウッド秒		転位温度(°C)			転位粘度(レッドウッド秒)		
	S	M	S	M	(A) S-M	S	M	(B) S-M
0	204.0	204	83.0	86.4	-3.4	53.5	56.0	-2.5
5	140.9	141	79.8	80.1	-0.3	51.0	54.0	-3.0
10	135.7	136	79.5	79.3	+0.2	48.6	54.0	-5.4
15	130.7	131	80.0	78.6	+1.4	46.8	54.0	-7.2
20	122.6	123	79.8	77.5	+2.3	46.0	53.6	-7.6
25	103.3	103	79.8	73.3	+6.5	45.5	53.5	-8.0
30	103.0	108	78.0	74.5	+3.5	47.0	53.5	-7.3
35	20.11	120	75.0	77.0	-2.0	50.0	53.5	-3.5
40	126.3	126	77.0	77.9	-2.9	50.0	53.8	-3.8
45	112.5	113	79.5	75.6	+3.9	46.0	53.5	-7.8

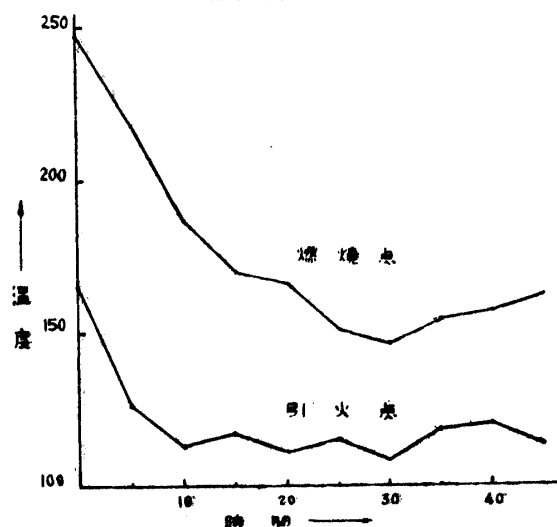
備 考

(1) S：供試油の測定値M：供試油の各使用時間に於ける粘度とほぼ等しい粘度を有する本邦産標準鉱油の値何れも新油の値で黒沢氏原図から比例配分で求めた。

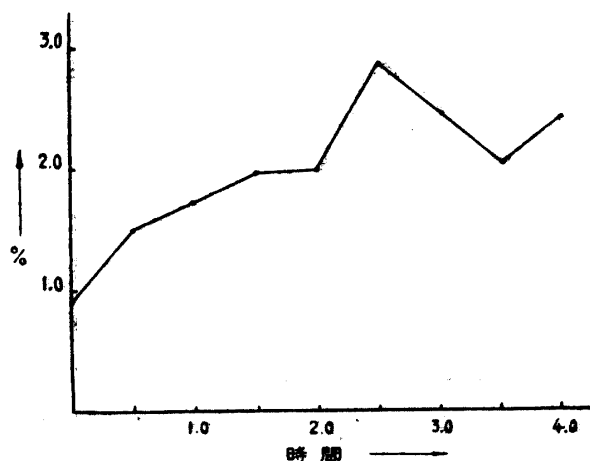
(2) レッドウッド秒はセイボルト秒をクロス換算表より換算。

(10) 腐蝕試験：第2表の如く一定の傾向を見せるまでに到らなかつた。

第4図 使用時間に伴う引火点、燃焼点の変化



第5図 使用時間に伴う色相の変化



1) 黒沢武雄 前出。

Ⅳ 考 察

本試験に用いた運転条件は最も激しい農作業運転に匹敵すると思われるので、数字の或るものは使用可能限界の上限度を示すものと考えて大過ないであろう。

A 使用時間に応ずる潤滑油の2つの変化段階について

(1) 以上の試験成績を通覧するに全般的に共通事項として、先ず25時間前後までは主燃料による稀釈の影響が大きく表われ、又粘度特性の変化が顕著である。筆者はこれまでを第1段階の変化、爾後を第2段階の変化と考える。

第2段階においては酸化、炭化、機械的不純物等による変化が強くと表われ、第1段階の諸性質の変化の傾向は一時逆行を示すがやがて40~45時間において不規則となり急激に低下するに到る。かかる傾向をよく示すものは比重、粘度、粘度指数、運転粘度、転位粘度、燃焼点、色相である。

(2) 潤滑油は或る程度使用済みのもの所謂「なじませた」時の方が油性能力面から新品よりも好ましいとの説も見られるが、この「なじみ」とは主として上述の第2段階の悪変の原因たる酸化、炭化が微量なる期間においてはむしろ好影響を及ぼしたものと考える。従つて第1段階の劣化は主として主燃料による稀釈(dilution)によるものと考えられる。

(3) 潤滑油の主燃料による稀釈に関して「主燃料にガソリンを用いた場合夏は25%、冬は40%に及ぶことがあり又、アルコール混合の場合蒸発熱をシリンダー壁から奪取するので吸入燃料の露滴を増しクランクに漏入され易い」と言われている¹⁾。然し亦主燃料が空気との混合不良で完全気化しない場合も考えられるのであつて稀釈の問題は、主燃料の品質、運転調整、シリンダーピストン等の摩耗等広汎な内容を含むものと考えられる。

(4) 稀釈の影響が或る段階に達した頃、酸化、炭化に基く膠状物質の発生、機械的生成物、外部混入物による第2段階の影響が表われる。この時期到来の早晩は負荷状況、回転数、燃費率、フッキングの状態等により大に左右されることは予想に難くない。この時期においては粘度を増し汚泥状物質増加の影響を受けて第1段階のカーブを逆行し、一見油質の向上を示すかの如く思われるが、本質的には既に劣化因子の蓄積がなされつゝあるのであつて、その結果40~45時間後に急激な悪変に陥るものと解釈するのである。

B 粘度諸特性について

(1) 一般に考えられる如く過少粘度油を使用すれば高温時に粘度が著しく低下しクランク側から燃焼室側への潤滑油の漏入機会を増し消費量の増大、カーボン堆積の因となり、或は油膜切断のため摩耗を大にする。逆に粘度過大なれば摩擦抵抗を増加して燃料消費量も増し又は低温で熱分解を起しカーボンを生じ易い。従つて始動低温時に粘度過大ならずスタートが容易であり、高速高温時においても粘度過少とならず十分に潤滑能力を発揮し得るが如き高粘度指数の油、換言すれば dv/dt (v : 粘度, t : 温度) の変化の少い潤滑油が望ましい。これは殊に高速高温²⁾の空冷発動

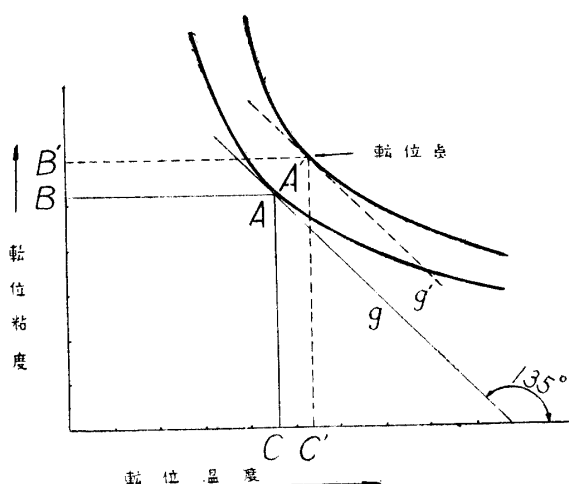
1) 山口文之助(1948) 潤滑剤及び潤滑油 p. 186

2) 中馬豊:(1951)空冷発動機の筒温変化に関する研究 農業機械学会誌 13巻 1~2号

機においては強調されなければならない。既に第3図に示した如く粘度指数の第2段階に相当する上昇カーブは使用時間10時間から始まるのであるがこれは通常25時間後に現れるべき酸化、炭化及混入物の影響が速に現れた結果と思われる。要は相当時間使用した油は低温では例え減摩能力はあつても、高温ではその能力が不足し危険状態に陥る機会が多いことに留意すべきであろう。これを裏書する事実として著者等は本実験中運転35時間内外でピストンリングの膠着、焼付現象を数回経験した。

(2) 運転粘度は第5表に示した如く20~25時間の使用で標準よりも著しく低下している。一般に運転粘度はピストンリング附近の安全を考え、セイボルト35秒(レッドウッドでは31.08秒)を一応の限界と考えられる様であるが、この試験によれば10時間において既にこの限度に達するが如き極端な数値を示し、空冷高速発動機における苛酷な運転状況を呈示するものである。

第6図 転位粘度図



- 1) g 並 g' 線は水平軸に 135° の傾斜、 A 及 A' は曲線との接点
- 2) 水平並垂直軸の一目盛巾は同大にとる
- 3) 本邦産鉱油の転位粘度は50~60秒
 転位温度は20~145°C
 但、 $V_{50}35\sim3000$ の場合

るが5~10時即ち概ね7時間後(第6表)に標準値の50秒を割ることになる。これ等の転位粘度の推移は、境界摩擦(Boundary Friction)を保持するに必要な最低限度の粘度に接近しつつあるもので、機関の保全上有害と考えられる。

C 引火点, 燃焼点

杉谷氏²⁾によれば引火点に及ぼす影響は炭素が最大であり次で塵埃, 燃料油混入の順序であるが、本試験において引火点が最初の5時間で急激に降下し、その後炭素の漸増にも拘らず低下しない点から考察すれば、著者は寧ろ主燃料による影響が第1であると考え。引火点の低下は当然潤

(3) 転位粘度¹⁾: 正規運転粘度の数値が第6図における転位粘度Bよりも大なる場合、僅かの温度低下に対応する粘度の増加が大となることは、転位粘度の定義より明である。これは即ち僅かの温度低下に対し摩擦抵抗を増し効率を低下することである。然るに又運転粘度がBよりも少なることは、温度変化に対応する粘度変化値が少なることである。

従つて転位粘度B自体が高くなると言うことは、温度変化に対応する粘度変化値の少なる範囲の広い事で効率の保持上有利なことであり、逆に転位粘度自体の低下は不利な性質と考えられる。本邦産鉱油の転位粘度は黒沢氏によれば $V_{50}35\sim3,000$ のもので50~60秒の間に存する
 1) 本供試油の原油は53.5秒でこの範囲内にあ

1) 黒沢武雄 前出

2) 杉谷宗一(1945) 発動機用潤滑油の実用的研究

滑油の熱分解又は燃焼の増加を来し、延いては炭煤附着量の増加、リングの膠着、ノッキング等への誘引ともなるから潤滑油良否の重要な指標とされるべきである。

引火点、及び燃焼点はフランクケース内の潤滑油が少量の場合は驚くべき低下を示す。即ち規定量の半量減で運転した場合、5時間使用において引火点は第1例においては夫々100°C及び145°C第2例においては夫々111°C及び165°Cを示した。このことは潤滑油が少量であるほど、主燃料及び混入物による影響が大なることに起因するものと考えられる。

D 機械的不純物の混入は使用時間と共に漸増しているが次に機械的不純物、潤滑油消費量及び使用時間との相互関係について考察を試みる。

Q_1 : 最初の正規潤滑油量

a : 1日の運転中に混入する不純物量で茲では一定とする。

$(Q_1 + a)/n$: 1日の終りに、消費量を差引いた残油容積

a/n : 1日終了時不純物の混入量

$(Q_1 + a)/n + Q_2 = (Q_1)$: 2日目の運転前に、前日の残油量に新しく Q_2 を補給して Q_1 に等しくした。

$\frac{1}{n} \left(\frac{Q_1 + a}{n} + Q_2 + a \right)$: 2日終了時の残油量

$\frac{a}{n} + \frac{a}{n^2}$: 2日終了時の不純物の混入量

$\frac{1}{n} \left(\frac{Q_1 + a}{n} + Q_2 + a \right) + Q_3 = (Q_1)$: 3日目の運転開始前に Q_3 を補給し Q_1 に等量にする

$\frac{1}{n} \left[\frac{1}{n} \left(\frac{Q_1 + a}{n} + Q_2 + a \right) + Q_3 + a \right]$: 3日目終了時の残油量

$\frac{a}{n} + \frac{a}{n^2} + \frac{a}{n^3}$: 3日終了時の不純物の混入量

即ち m 日運転後の不純物総量は

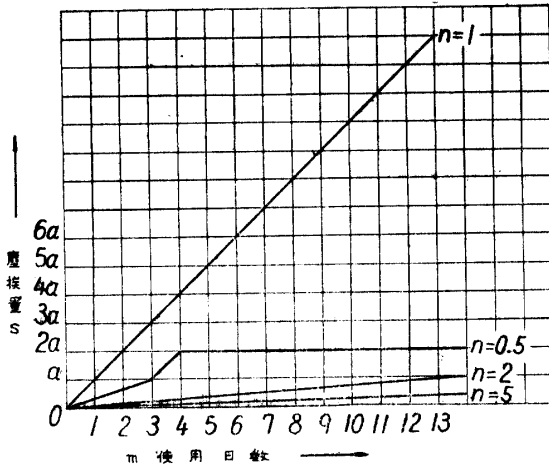
$$\frac{a}{n} + \frac{a}{n^2} + \frac{a}{n^3} + \dots + \frac{a}{n^m}$$

依つて総量は

$$S = \frac{\frac{a}{n} \left(1 - \frac{1}{n^m} \right)}{1 - \frac{1}{n}}$$

n , m に適値を与えれば第7図の如くなる。これにより考察するに潤滑油中の不純物量は n が1に接近するにつれて（一般に1日の消費量が潤滑油の容量に比し少なる場合）、潤滑油を交換せずに唯単に消費量のみを毎日補給する場合には、使用日数 m の増大につれて増大する。従つて1日の潤滑油消費量が少くて且 n が1に近い場合及び1日の混入物量 a が大となる場合には潤滑油の交換時期を早めなければならない。潤滑油の消費量大即ち n が大となれば S は漸減し、特に n が2以上においては S は a 以上にはならないから、比較的交換を急がなくてもよいことになる。然し特に塵埃の多い作業では a 自身が大であるから n の値如何に関せず早目に交換を要することは云うまでも

第 7 図 使用日数と塵埃の混入量



ない。潤滑油が半減すれば既述の如く引火点及び燃焼点の低下を来す以外に塵埃、不純物の混合濃度の増大が急速となるので常に潤滑油を満量ならしめることが大切である。

V 摘 要

空冷発動機の農作業用としての耐用度増進上特に大切な、潤滑油の適期交換並補給に関する基礎資料を得る為に、潤滑油の使用時間数に応ずる諸性質の変化を探究し、次の如き成績と結論を得た。

(a) 第1段階（運転時間 25~30 時間迄）の変化においては主燃料の稀釈の影響が著しく表われ各種粘度特性，比重，燃焼点，色相の変化が顕著である。

(b) 第2段階の変化（30時間後）は酸化，炭化，機械的混入物等による徴候が著しく表われる。

(c) 40 時間附近ではこれ等の変化が不規則に攪乱しつゝ急速な悪化に傾く。ピストンリングの膠着が 35 時間後で屢々起つた。

(d) 実験の結論として潤滑油は、本試験程度の苛酷運転条件下においては最少限 30 時間，長くとも 40 時間を以て交換するのが安全であり，消費分量に対する補給方法は，一度に取まとめて大量を行うよりもむしろ回数を多くし，理想的には時々刻々，常に潤滑油槽を満量ならしめる如く行うべきである。

本研究は文部省科学研究費の援助によつた。御指導を賜つた恩師九州大学森周六教授，御明言を頂いた本学水産学部黒木敏郎助教授，並に諸測定実施に際し献身的協力を惜しまなかつた当教室の大迫貞雄氏に深甚の謝意を表す。

Résumé**On the Declination of Various Properties of the Lubricant of
the Farm-Aircooled-Engine to the Farm Employment**

Yutaka CHUMA and Shin KOJIMA

In order to obtain the fundamental data on the timely alternating or supplying lubricant so as to endure the durability of the farm-aircooled-engine, the authors investigated the declination of various properties of the oil corresponding to the different driving hours. The results obtained may be summarized as follows:

(1) During the first stage—up to 25–30 hour driving—the lubricant was remarkably diluted by the fuel, resulting in the conspicuous depreciation of such viscous characters as viscosity, transition point and so on.

(2) During the second stage—about 10–15 hours following the first stage—the advanced declination owing to oxidation, carbonization and mechanical contamination took place.

(3) When nearly 40 hours passed, all these variations became unevenly confused and then took a sudden, bad turn.

It was frequently noticed that after the driving for about 35 hours occurred the adherence of the piston ring.

(4) It may be stated that the period in which the lubricant can be safely used is about 30 hours in minimum and about 40 hours in maximum so far as the severe conditions are concerned, and the oil should be supplied not at a time but at short intervals to keep the oil tank full.