

# 極圧添加剤について

松 永 正 久

潤滑油添加剤のうち最も性質の分からないものは極圧添加剤であるといわれている。しかしこの方面の研究は最近世界各国において盛んに行なわれており、次第にいろいろなことが明らかになってきた。この解説は最近の研究のうち、極圧添加剤の組成と効果との関係、静的ならびに動的試験法などについて解説し、生研におけるこの方面の研究の一部について述べたものである。

## 1. 緒言

近時における機械工業の発展にともない、機械部品の相対速度の高速化、負荷荷重の上昇などが要求されている。また加工の面においても、切削や研削作業の高速化にともない、高性能の潤滑剤が必要になってきた。極圧添加剤はこのような場合に潤滑剤に添加して、局部的な高圧部分における摩擦の軽減と焼付きの防止をはかるものである。このような目的のために現在よく用いられている元素は Cl, S, P, Zn, As, Se などであり、とくに前三者が重要であって、市販の極圧添加剤の多くはこの三者のいずれか、またはそのうちの二三を含む有機化合物である。

極圧添加剤の作用は高圧摩擦によって生ずる高温のために分解をおこし、活性な元素が金属と化合して前記の作用を起こすものであって、この意味では極温添加剤と称する方が妥当である。

極圧添加剤として具備すべき条件は (a) 適当に不安定である温度で分解すること、(b) 摩擦面金属とこれらの元素との化合物や合金の被膜の摩擦が低いこと、(c) これらの被膜がやわらかく、融点も低いこと、(d) 被膜と潤滑剤との組み合わせ潤滑効果が良好であること、(e) 腐食、酸化、発泡、その他潤滑上有害な作用の少ないこと、などであると考えられている<sup>1)</sup>。

極圧添加剤の組成や作用については、現在でもなお不明の点が多くある。潤滑剤の作用のうちで最も分からないものが極圧添加剤であるとさえいわれている<sup>2)</sup>。たとえば市販のものについて活性元素を何%含むかは分かっていても、いかなる形でこれらの元素が入っているかはメーカーでも不明の場合が多くあり、製造条件によって性質を規正しているのが現状のようである。

筆者は金属表面、とくに加工面・摩擦面に生成する変質層の研究をおこなってきたが、このような極圧添加剤の作用に興味をもち、少し実験を始めたので、得られた結果の二三と共に、最近この方面における進歩とを解説してみよう。ただこの研究はまだ始めたばかりであり、いろいろと不備の点もあると考えるので、読者の叱正を

まちたいと思う。

## 2. 極圧添加剤の試験方法

極圧添加剤の作用を試験する方法は動的試験と静的試験とに分けられる<sup>3)</sup>。

前者は純実用状態において、また一定の試験機を用いて、摩擦係数および焼付き荷重を求める方法であって、時間を要するけれども実用性のある試験ができる。

後者は添加剤の作用を基礎的に研究するものであって、とくに反応生成物の検査に利用することができる。

静的試験の例としては

- (1) 摩擦金属面の電子線回折、X線回折などによる方法
- (2) 放射性同位元素を利用する方法
- (3) 金属との反応量を測定する方法

などがあげられる。

(1) は定量的ではないが、生成物の結晶構造が明確になる例は多く知られている。しかし高圧高温下で摩擦した場合には金属の表面にはいわゆるペイルビ層が生じ、無定形の化合物を生成する 경우가多く、回折像が明瞭性を欠いてくる場合が多い。しかも再結晶させるために加熱などの方法を採用すると酸化物の像が優先して生じ、いかなる場合にも結晶構造が明確になるとはいわれない。

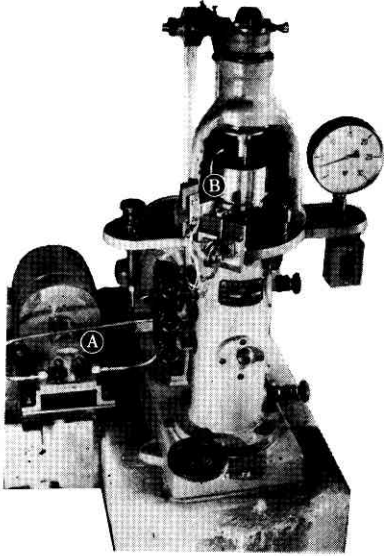
(2) は良く用いられる方法であって、金属面上に吸着または化合した放射線同位元素の量をオートラジオグラフまたは GM 計数管などによって測定して、活性元素の量を求める方法である。

(3) は高温にした潤滑剤の中に試験片を浸漬して、反応によって失われた金属の量を定量する方法である。この方法は液全体の温度を非常に高くする必要があるの、高温における反応を求めにくい欠点がある。

最近 Barcroft はこの欠点をさけるために簡単ではあるが巧妙な方法を考案している<sup>3)</sup>。

## 3. 極圧添加剤が摩擦試験に及ぼす影響

摩擦試験において、極圧添加剤の作用がどのように現



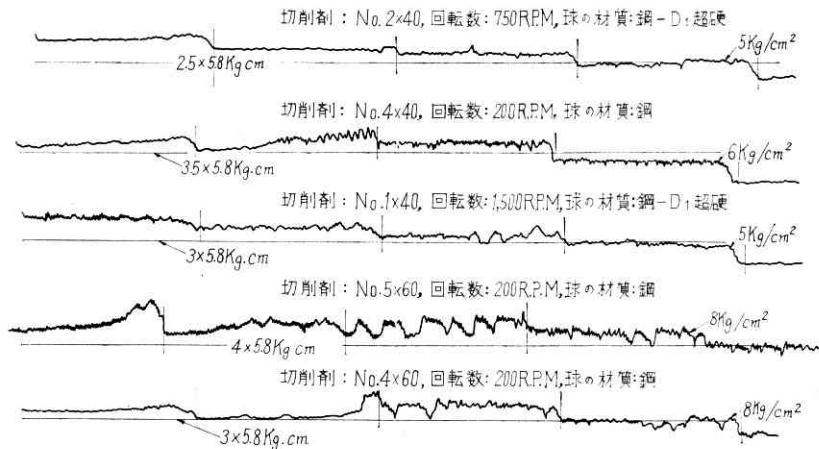
第1図 改良型四球試験機改造箇所

- ① 油圧ポンプの分離
- ② 抵抗線歪計によるトルクの自記装置

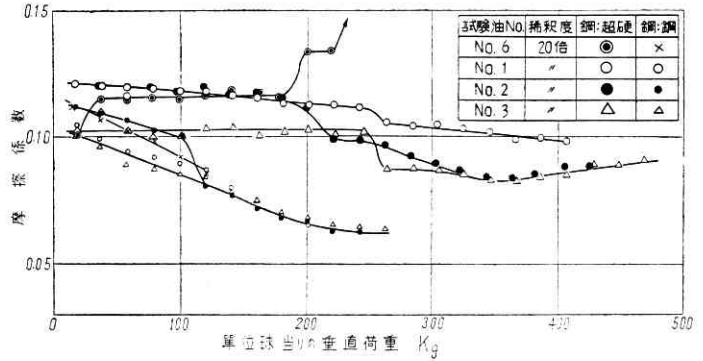
われるかは興味のあることである。筆者らは四球試験機を用いて切削剤の極圧効果に及ぼす添加剤の作用を検討した。装置の写真は第1図に示すとおりであり、圧力をかける便宜上油圧ポンプのモータは別箇のものとしてある。この場合の摩擦力は抵抗線歪ミ計によって自記させて、摩擦力の変動の様相を明らかにできるようにし

第1表 試験油の組成および物理的性質

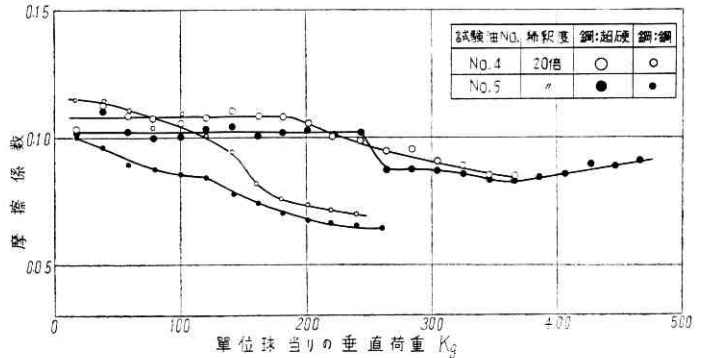
番号	Cl 含有量%	S 含有量%	20倍水溶液における表面張力 dyne/cm
No. 1	2	0	34.1
No. 2	4	0	33.7
No. 3	6	0	33.3
No. 4	4	0.5	34.3
No. 5	4	1.0	34.3
No. 6	0	0	35.2



第2図 摩擦力の変動に及ぼす極圧添加剤の作用



第3図 塩素の影響



第4図 塩素およびイオウの影響

た。使用した切削剤は第1表に示すように、基油に塩素、または塩素およびイオウを添加したものである。使用した四球試験機は市販のもので、試験球は鋼対鋼、および鋼対超硬 (D1) であり、直径 19 mm のものを用いている。回転数は標準回転数 200 rpm および 750 rpm, 1,500 rpm であって、200 rpm のときの摩擦速度は 6.9 m/min である。

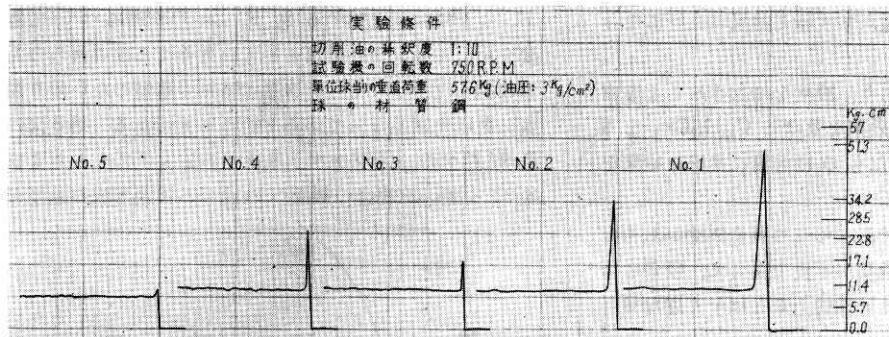
結果の一例は第2図に示すとおりである。図は右より接触圧力を次第に上昇させた場合のトルク曲線を示したもので、圧力の低いときにおいて非常に不安定な摩擦模様を示すものが、ある程度以上圧力が大きくなると、極

圧添加剤の作用が現われて、トルクの変動が小さくなることがわかる。

圧力をあげていったときの摩擦係数の変化は第3図および第4図に示すとおりである。第3図は塩化油の作用を示したものであって、基油は鋼対鋼の場合には 100 kg, 鋼対超硬球の場合には 200 kg 付近で焼付きを起こすのに反し、極圧添加剤はそれ以上の圧力において、顕著な減摩作用を及ぼす。そして塩素の量

のふえるほど、耐圧力は大きくなっている。この際注意すべきことは、塩素の量の多いものは低圧においても摩擦係数を低下させており、油性向上剤としての作用もあることを示している。

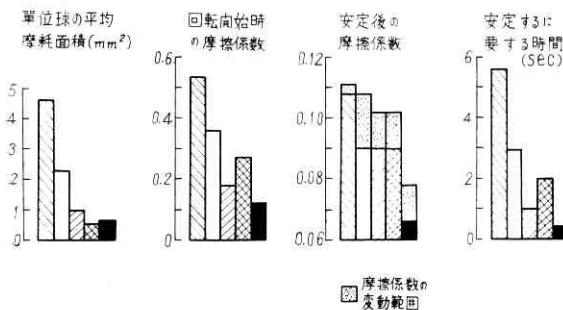
塩素およびイオウを添加した場合は第 4 図に示すとおりであり、この場合イオウの効果はあまり顕著ではなく、塩素 4% のみの場合とあまり大差ない結果となった。



第 5 図 初期摩擦の記録

四球試験機による極圧添加剤の作用は、このように複雑な実験を行わなくても、もっと簡単にできそうであることがわかった。その方法は、まず接触圧力を一定に決めておいて、試験を行なうと、第 5 図に示すような摩擦曲線ができる。この場合の初期摩擦係数・摩擦係数の安定するまでの時間・安定摩擦係数・一定時間摩擦した後の摩耗痕の大きさなどを求めるものである。得られた結果は第 6 図に示すとおりであり、多少の不同はあるけれども、添加剤の効果が良くわかるであろう。

試験機の回転数：750 R.P.M.  
 球の材質：鋼  
 切削剤の稀釈度：1:10  
 油 圧：3 Kg/cm<sup>2</sup>  
 回転時間：10 min



第 6 図 結果の総括

4. 極圧添加剤の組成とその効果(ソ連における研究)

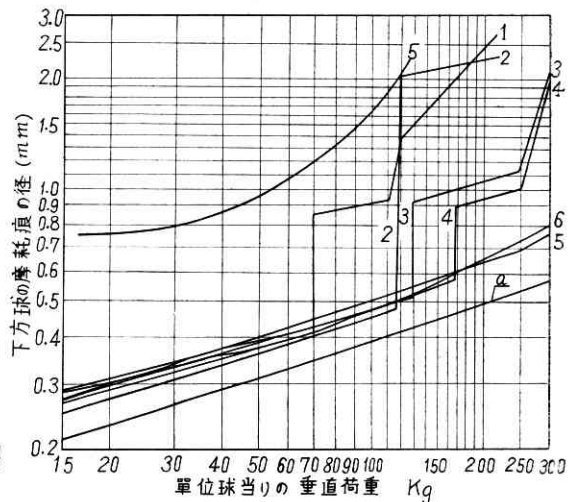
極圧添加剤としてはどのようなものが最も適しているかについてソ連において Sanin ら<sup>4)</sup> の詳細な研究が発

表されており、非常に面白い結論がでているのでここに紹介しておく。この研究はやはり四球試験機を用いたものであり、鋼球の直径は 12.7 mm、摩擦速度は 0.25 m/sec、立軸の回転数は 600 rpm である。

試験に使用した基油は精製油であって、その粘度は 50°C において 20.8 cst、混合率はとくにことわりのない限り 100 g の基油に対し 6 mmoles を採用している。結果の一例は第 7 図に示すように縦軸に平均摩耗痕径 mm、

横軸に単位球に加わる垂直荷重 kg をとってある。装置は垂直荷重 300 kg まで測定でき、摩耗量最小の場合における比荷重は 30,000 kg/cm<sup>2</sup> である。この方法によって次の値が測定可能である。(1) 限界荷重に達するまでの摩耗量の上昇、(2)

表面にカジリを生じ摩耗の急増する荷重(限界荷重 P<sub>h</sub>)、(3) 限界荷重以上の荷重を加えたときの摩耗特性、これは極圧添加剤のきき方を示すものである。



第 7 図 極圧添加剤の作用、荷重対摩耗量曲線、添加量 6 mmoles/100 g 油

δ 乾燥摩擦

- 1. 基油 2. 基油 + (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>O)<sub>3</sub>P 3. 基油 + (ClCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O)<sub>3</sub>P
  - 4. 基油 + (CCl<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>O)<sub>3</sub>P(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>
  - 5. 基油 + (CCl<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>O)<sub>3</sub>P 6. 基油 + [(CCl<sub>3</sub>C(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub>O]<sub>3</sub>P
- a 弾性変形と考えた場合 (Sanin ら<sup>4)</sup> の文献による)

Sanin らの結果より (2) の限界荷重と (3) に関連して垂直荷重 200 kg の場合の摩耗量とを一括して示せば第 2 表のとおりである。この表は同報告はグラフで示してあるものより数字として読みとったものである。多少の誤差はまぬがれない。もちろん限界荷重は大きいほど極圧添加剤の作用が良好であり、摩耗痕の径は

小さいほど良い。

IIのグループは脂肪酸およびそのエステルおよび有機塩素化合物であって、前二者はほとんど効果がなく、塩素が入ると比較的效果が良好であることを示している。

IIIは濃度をかえた場合であり、このようないわゆる油性向上剤に属するグループでは濃度を増してもそれほど効果が無いことを示している。

IVは塩化パラフィンであって、かなり良好な結果を示し、大体において塩素の量が増すほど結果は良好になっている。

Vは濃度による変化であり、濃度を増加させると塩素の量が増加したのと同じ効果を及ぼし  $C_{25}H_{40}Cl_{12}$  を 9 mmol/100 g の濃度にしたものは非常に良好な結果を与える。

VIは有機チオリン化合物であってこの場合興味があるのはCの長いものほど極圧効果が不良であって、吸着によって摩擦特性を向上させる油性向上剤とは全く逆の傾向があることである。

上の結果では、はたしてSがきくのかPがきくのか、はっきりしない。それゆえにリン酸系のブチルエステルについてSの数が1から4まで種々のものを作った。これがVIIのグループである。これらのエステルは良好な極圧性を示すが、Sの量がふえると限界荷重はかえって減少する。ところが限界荷重以上の摩擦特性は逆にだんだんに良くなり、摩擦量は小さくなる。

摩擦に及ぼすイオウの作用はリウ化物または二リウ化物のようなイオウ化合物によって直接にテストすることができる。VIIIのグループがこれであって、油の限界荷重を低下させることがわかる。しかしイオウの量がふえると限界荷重以上における摩擦を減少させる効果がある。

有機塩素化合物中の塩素は有機チオ亜リン酸化合物中のイオウ以上に高荷重における摩擦を減少させるので、リンと塩素とを含む化合物について検討している。IXのグループがこれであって、化合物中に一個の塩素原子が入っても、 $P_h$ の値はそれほど上昇させないが、限界荷重以上の摩擦を減少させる効果がある。とくに  $CCl_3$  基を含むものが  $P_h$  と摩擦特性双方に良い影響を及ぼしていることがわかる。

このような見地から  $CCl_3$  基を含む脂肪族炭化水素と  $CH_2Cl$  基を含むものとを比較したものがXであって、後者は濃度を4倍にしてもそれほど効果がないのに対し、前者は効果が顕著なことを示している。

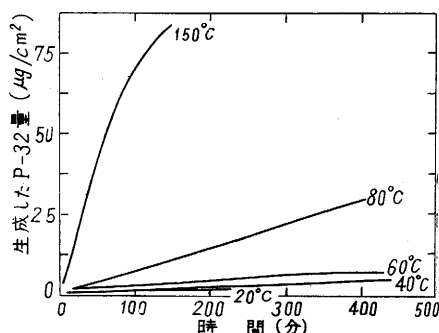
$CCl_3$  基とともにPを含むものはさらに効果があり、このグループがXIである。

XIIのグループは  $CCl_3$  の効果を示すものであって、たとえ一分子中のCl原子の数が同じであっても、 $CCl_3$  の形で含まれていないものは効果が少ないことを示している。さらに結論として最も極圧性を与えるものは  $CCl_3$ 、

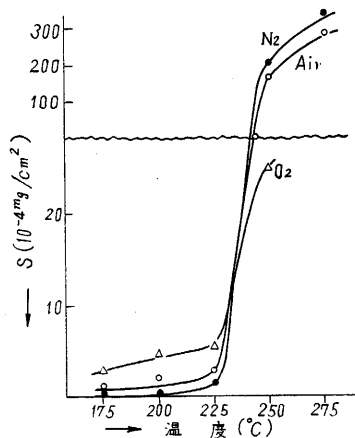
基を多数含むリン化合物であるということが出来る。

## 5. 放射性同位元素による測定

極圧添加剤と金属とがどのような反応をするかを最も適確に知るには放射性同位元素を用いると良いことは明らかであろう。事実この方面の研究は放射性同位元素を用いることによって初めて明らかになったことが多い。またこの分野に関しては高橋<sup>9)</sup>のすぐれた解説があるが、ここには鋼に関するS, P, Znの作用について概要を記してみよう。結論としていえることはこれらの元素は鋼と化合し、その化合量は特別の事情のない限り温度と共に大きくなっているということである。第8図はP-35を含むトリブチルトリチオフォスフェイトおよびS-35を用いた場合の鋼面へのP-32被膜形成の速度を



第8図 鋼面へのP-32被膜の生成速度 (Vinogradof<sup>8)</sup>)



第9図 種々の雰囲気における鋼面とジベンジルジサルファイドよりのイオウとの反応 (豊口<sup>9)</sup>)

示したものであって、Vinogradofの与えたものである<sup>8)</sup>。豊口<sup>9)</sup>はS-32を含むジベンジルジサルファイドと鉄面との反応を種々の雰囲気と種々の温度のものとして研究している。その結果は第9図に示すとおりであって225°C以上ではイオウ化

化合物の吸着量が急激に増加しリウ化鉄被膜を作ることを実証している。しかもチッ素雰囲気中の硫化鉄生成量が最も多く、酸素の存在によって鉄面の活性が失われることを示している。

これらの元素は個別に作用するのではなく、Elliotらの実験によれば<sup>7)</sup>、相互に影響しあっており、イオウと塩

第 2 表

番号	グループ	分子式	添加量 (100g の基油 中の mmoles)	限界荷重 kg	200kg におけ る摩耗痕の径 mm	備考
I		基 油		69	2.5	
II	脂肪酸そのエ ステルおよび 有機塩素化合 物	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}:\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	6	65	2.7	
		$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{CH}_2\text{COOH}$	6	60	2.7	
		$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{CH}_2\text{COOCH}_3$	6	73	2.1	
		$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{CHCl COOCH}_3$	6	100	1.9	
		$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{CCl}_2\text{COOCH}_3$	6	126	1.65	
		$\text{C}_{10}\text{H}_8\text{Cl}_4$	6	126	0.6	
III	脂肪酸エステ ルの濃度によ る変化	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{CH}_2\text{COOCH}_3$	1	70	2.5 (140kg)	
			3	70	2.5	
			6	73	2.5	
			9	75	2.3	
IV	塩化パラフィン	パラフィンワックス	6	70	2.1	
		塩化パラフィン	6	130	0.92	Cl 40.0%
		$\text{C}_{25}\text{H}_{51}\text{Cl}$	6	80	1.7	" 9.79%
		$\text{C}_{25}\text{H}_{50}\text{Cl}_2$	6	100	1.4	" 18.64%
		$\text{C}_{25}\text{H}_{48}\text{Cl}_3$	6	110	1.0	" 22.93%
		$\text{C}_{25}\text{H}_{46}\text{Cl}_6$	6	120	0.9	" 37.84%
V	同 上 濃度による変化	$\text{C}_{25}\text{H}_{46}\text{Cl}_{12}$	1	120	1.0	
			3	100	0.82	
			6	100	0.82	
			9	100	0.78	
VI	有機チオリン化物	$(\text{C}_2\text{H}_7\text{S})_3\text{P}$	6	115	1.6	
		$(\text{C}_4\text{H}_9\text{S})_3\text{P}$	6	95	1.4	
		(iso $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{S}$ ) <sub>3</sub> P	6	90	1.6	
		$(\text{C}_9\text{H}_{19}\text{S})_3\text{P}$	6	70	1.8	
		$(\text{C}_{18}\text{H}_{37}\text{S})_3\text{P}$	6	—	—	
		$(\text{C}_4\text{H}_9\text{O})_3\text{PS}$	6	82	1.9	
		(iso $\text{C}_4\text{H}_9\text{O}$ ) <sub>3</sub> PS	6	82	2.2	
		(iso $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}$ ) <sub>3</sub> PS	6	84	2.0	
		$(\text{C}_9\text{H}_{19}\text{O})_3\text{PS}$	6	94	2.3	
VII	リン酸系のブ チルエステル	$(\text{C}_4\text{H}_9\text{O})_3\text{P}$	6	90	2.2	
		$(\text{C}_4\text{H}_9\text{S})_2\text{P}(\text{OC}_4\text{H}_9)$	6	110	1.9	
		$(\text{C}_4\text{H}_9\text{S})_3\text{P}$	6	93	1.7	
		$(\text{C}_4\text{H}_9\text{O})_3\text{PO}$	6	102	2.1	
		$(\text{C}_4\text{H}_9\text{O})_3\text{PS}$	6	82	1.9	
		$(\text{C}_4\text{H}_9\text{S})\text{PS}(\text{OC}_4\text{H}_9)_2$	6	78	1.9	
		$(\text{C}_4\text{H}_9\text{S})_2\text{PS}(\text{OC}_4\text{H}_9)$	6	72	1.4	
		$(\text{C}_4\text{H}_9\text{S})_3\text{PS}$	6	68	1.15	
VIII	リウ化物と二 リウ化物との 比較	$\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{SC}_{16}\text{H}_{33}$	6	54	2.2	
		$\text{C}_8\text{H}_5\text{CH}_2\text{SCH}_2\text{C}_8\text{H}_5$	6	70	2.2	
		$\text{C}_8\text{H}_5\text{CH}_2\text{SSCH}_2\text{C}_8\text{H}_5$	6	59	1.15	
IX	クロロメチル およびクロロ エチルリン酸 のエステル	$\text{CH}_3\text{PO}(\text{OC}_4\text{H}_9)_2$	6	109	2.0 (140kg)	
		$\text{C}_4\text{H}_9\text{PO}(\text{OC}_4\text{H}_9)_2$	6	137	1.8	
		$\text{ClCH}_2\text{PO}(\text{OC}_4\text{H}_9)_2$	6	110	2.1	
		$\text{ClCH}_2\text{PO}(\text{SC}_4\text{H}_9)_2$	6	102	1.3	
		$\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{PO}(\text{OC}_4\text{H}_9)_2$	6	100	2.0	
		$\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{PO}(\text{SC}_4\text{H}_9)_2$	6	95	1.6	
		$\text{ClCH}_2\text{PO}(\text{OC}_5\text{H}_{11}\text{-iso})_2$	6	114	2.1	
		$\text{ClCH}_2\text{PO}(\text{SC}_5\text{H}_{11}\text{-iso})_2$	6	130	1.2	
		$\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{PO}(\text{OC}_5\text{H}_{11}\text{-iso})_2$	3	100	2.0	
		$\text{CCl}_3\text{PO}(\text{OC}_2\text{H}_5)_2$	6	140	0.9	
		$\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{PO}(\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{Cl})_2$	6	150	1.3	
		$\text{ClCH}_2\text{PO}(\text{OCH}_2\text{CH}=\text{CH}_2)_2$	6	127	2.1	
		$\text{CCl}_3\text{CHOHPO}(\text{OC}_5\text{H}_{11}\text{-iso})_2$	6	250	0.64	

X	CCl <sub>3</sub> 基を含む脂肪族炭化水素	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> Cl	6	83	2.0 (160kg)
		"	24	83	2.0 (165kg)
		CCl <sub>4</sub>	6	112	1.65
		CCl <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Cl	6	135	1.2
		CCl <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Cl	6	110	1.8
		CCl <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Cl	6	112	1.7
XI	CCl <sub>3</sub> 基を含む有機リン化合物	CH <sub>3</sub> PO(OC <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>2</sub>	6	110	3.0 (170kg)
		ClCH <sub>2</sub> PO(OC <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>2</sub>	6	112	2.2
		CCl <sub>3</sub> PO(OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	6	180	0.8
		CCl <sub>3</sub> PO(OC <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>2</sub>	6	167	0.9
		CCl <sub>3</sub> PO(OC <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	6	100	1.0
		CCl <sub>3</sub> PO [N(CH <sub>3</sub> )C <sub>18</sub> H <sub>37</sub> ] <sub>2</sub>	6	130	1.7
XII	CH <sub>2</sub> ClおよびCCl <sub>3</sub> 基を含む有機リン化合物	(CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> P	6	118	2.3
		(ClCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> P	6	130	1.15
		CCl <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OP(OCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	6	169	0.95
		(CCl <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> P	6	300 以上	0.65
		[CCl <sub>3</sub> C(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> O] <sub>2</sub> P	6	300 以上	0.65

化パラフィンを含む場合には P-32 の被膜はリン単独の場合よりはるかに多いが、S-35 の場合には逆になることなどが示されている。

現在実用されている極圧添加剤には亜鉛を含むものがあるが、これはジアルキルジチオン酸亜鉛と考えられている<sup>2)</sup>。Furey と Kunc<sup>8)</sup> は放射性の Zn-65 を含むこの種の添加剤を用い、Zn の沈着量を測定している。その

第3表 鋼面への亜鉛の付着に対する時間、濃度および温度の影響 (Furey ら<sup>8)</sup>)

	付着亜鉛量の相対値			
	0.01	0.1	1.0	
ホワイトオイル中のジアルキルジチオン酸亜鉛の濃度(重量%)				
温度 °F	70	70	70	300
浸漬時間 (時間)				
1	1	3	20	334
24	5	16	62	807

結果の一例は第3表に示すとおりであり、鋼面に付着している亜鉛量が時間、濃度、温度と共に増していることがわかる。さらに鋼面に対する亜鉛の付着量が他種添加剤との組み合わせで影響を受けることを報告し、静的条

件で鋼面に亜鉛が最も付着しやすい添加剤組み合わせのものが、実用上の摩耗防止能に対して最も有効とは限らないことを見出している。

この解説に関する実験のうち、生研において行なったものは竹中研究室との共同実験によるものであり、同教授ならびに鳴沢助手に対して深甚なる謝意を表する。また試料を提供されたユシロ化学(株)に感謝する。

(1961年6月16日受理)

文 献

- 1) 曾田範宗, 摩擦と潤滑, 岩波 1954, p. 217.
- 2) 高橋幹雄, 摩擦の基礎に関する講習会教材, 日本機械学会, 1961, p. 39
- 3) F. T. Barcroft, Wear 3 (1960) 440.
- 4) P. I. Sanin, E. S. Shepeleva, A. V. Ulyanova and B. V. Kleimenov, Wear 3 (1960) 200.
- 5) E. H. Loeser and S. B. Twiss, Lub. Engg. 14 (1958) 343
- 6) M. Toyoguchi, Y. Takai and M. Kato, Bulletin of the Japan Petroleum Inst. 2 (1960) 50,
- 7) J. S. Elliot, N. E. F. Hitchcock and E. D. Edwards, J. Inst. Petroleum. 45 (1959) 219.
- 8) M. J. Furey and J. F. Kunc Jr, Lub. Engg. 14 (1958) 302.

次 号 予 告 (9月号)

研究解説

超高速カメラの研究 ..... 植村 恒 義  
 超音波の作用とその工業的応用 ..... 鳥 飼 安 生

海外事情

題 未 定 ..... 浅 原 照 三

研究速報

斜流ポンプの性能に及ぼす羽根表面あらさの影響 ..... 井 田 富 夫