

(198)

(吉本晴一) 減摩作用に就て

減摩作用に就て

吉本晴一

固体と固体或は固体と液体間の接觸面に於て其等の物質が相對的に運動する時靜的或は動的の摩擦が起る事は衆知の事實である。此摩擦の由つて生ずる原因は互の物質間に働らく分子牽引力に歸せられる。扱て減摩作用に關し從來行はれた研究に於て Hardy の所謂相界面(Composite surface)即減摩劑と固体の表面との相接する面には或特種の性質を持つ薄膜が生ずる事は誰しも認めてゐる處である。此相界面をつくる仕事を爲す力を Young や Laplace 等は全く物理的に毛細管説に於ける凝集力なりと考へるのであるが一方これを化學的に考へる人もある。即 Hardy 等は實驗的根據から相界面に於ける薄膜は減摩劑によつて其固体或は液体の表面に於ける力が中和されて其表面エネルギーを幾分減少されたものであると考へるのである。以上の如く減摩作用を物理的に考へる一方又化學的にこれを考へるのも甚だ興味のあるものである。

扱て是迄行はれた諸研究を大略其研究方法より次の5種類に分つ事が出来る。

- I. 靜的^{(1) (2) (3) (4) (5) (6)}最大摩擦の測定
- II. 濕潤熱⁷⁾の測定
- III. 薄膜の厚さ^(8) 9)の測定
- IV. X 光線を用ふる薄膜内の分子整向性⁽¹⁰⁾に關する研究
- V. 緣角(Randwinkel)⁽¹¹⁾の測定

以上の諸研究に就て其研究方法と實驗結果とを約要的に紹介し最

後に減摩作用に關する機構考察の摘要を概括的に記さうと思ふ。

I. 靜的最大摩擦の測定

主として Lord Rayleigh, Hardy 等によつて行はれた方法で最も簡單な方法である。即硝子或は金屬の平面板の上に色々の形の接觸面を有する slider をのせ是等の slider の上には任意の重さの荷重をのせ得る様にしてある。次に其 slider の一端より或特種の糸を以て滑車を通じて皿に連結し皿には種々の分銅をのせる。斯る装置を用ひて種々の減摩劑の存在に於ける其靜的摩擦の大きさ即滑りを起す力の極限值を測定したのである。現今に於ては摩擦測定の器械としてデーリー型摩擦測定器等が出来工業家の常に用ふる處となつてゐる。

Lord Rayleigh は固體として硝子及眞鍮を液體として水、パラフィン、油、オリーブ油を用ひて測定した結果同じ種類の減摩劑に於ては其量の多い程摩擦が大になり又硝子と眞鍮とに於ては眞鍮の方が摩擦を増す事を見たのである。

彼は又減摩劑の介在する二平面間に作用する全力を實驗的に次の式を以て表はし得ると云つてゐる。即

$$\frac{2AT \cos \alpha}{d} + BT \sin \alpha$$

此處に

d :—薄膜の縁に於ける二面間の距離

T :—二面間に作用する毛管張力

α :—二面の接觸角

A :—二面間の薄膜の面積

B :—毛管内に於ける液體の周縁

次に Hardy は別に硝子面上に液體の擴る力を研究し減摩劑の含有する不純物が其擴張力に及ぼす影響の大なる事を發見したのである。

(200)

(吉本晴一) 減摩作用に就て

然し此事は既に 1863 年の以前に於て Tomlinson が油の薄膜の變成の研究に於て其不純物の必要なるを説き Rayleigh も亦化學的に純粹な減摩劑は全く其擴張力を失ふ事を提唱してゐる。後年に至り油酸の如き不飽和の酸が不純物として混在する時は其擴張力を著しく擴大する事を明にされ Southcombe 及 Wells⁽¹⁵⁾ の兩人は此研究に於て特許を得てゐる。

Hardy は又種々の化學構造を有するものにつき其減摩作用に及ぼす影響を見た。其結果を各事項につき列擧すれば次の如くである。此處に面白い事實として特に注意をひくのは環狀體と鎖狀體との間に全く反對の現象を見る事である。

1.

	減摩價値の増減	
	環 狀 體	鎖 狀 體
2 重結合原子を有する時	減	増
OH或はCOOH 團を有する時	激 減	増

2. 環狀體と鎖狀體との添加體である butyl-Xylene の如きものに於ては其二つの根源物質より良好なる結果を與へる。
3. 環狀體に於て色々の原子或は原子團を以て水素原子を置換せる時は次の如き結果を得られる。

	減摩價値の増減
N, :O, COOH を 以て置換する時	減
C ₂ H ₅ , CH ₃ , OH 團 を以て置換する時	C ₂ H ₅ < CH ₃ < OH の順に増す

4. SH 團は OH 團と同様な影響を與へる。

5. 靜的摩擦は減摩劑の分子量の函数である。

更に Hardy は減摩作用系に於ける各表面の張力間の關係を次の式を以て表はした。

$$T = t + T_s - \ell'$$

此處に

T :—相接面に於ける張力

t :—液體の自由表面の張力

ℓ' :—二面間に作用する引力によつて爲される仕事の量

T_s :—固體の表面張力

固體の表面張力については強大なる壓力下に於ける二つの固體の接觸面に於ける翹散の現象等より考へ其存在を認むるに難くない。

今此處に相異りたる二種類の液體を a, b を以て表はす時は前式より

$$T_a - T_b = (t_a - t_b) + (\ell'_b - \ell'_a)$$

然るに $t_a - t_b = 0$ なる條件を満足すべき二種の液體を撰ぶ時は

$$T_a - T_b = \ell'_b - \ell'_a$$

Hardy は上式に於ける $\ell'_b - \ell'_a$ の符號を實驗的に求め [phil. Mag. 38, 49, 199 の方法による] $T_a - T_b$ の符號から T_a, T_b の大小を比較的に求めたのである。即彼は $t_a - t_b = 0$ なる條件を満足すべき二種の液體としてベンゼンとプロピオン酸とを撰びたる結果固體と減摩劑との間に作用する粘着力の大なるもの程減摩劑として良好なる効果を與へる事を證し得たのである。

更に彼は同一の液體について次の四つの狀態に於ける層の厚さが靜的最大摩擦に及ぼす影響を試験したのである。

(1) 薄膜 約 $1\mu\mu$ の厚さにして肉眼視し得す

(202)

(吉本晴一) 減摩作用に就て

- (2) (1)よりも厚く肉眼視し得る程度の薄層
- (3) (2)よりも稍多量につけたもの
- (4) 可及的多量につけたもの

此實驗に於て(1)<(2)<(3)<(4)の順に最大摩擦の大なるものを inactive fluid と名付けこれに属すべきものはエチルアルコール,エチルエーテル,ベンゼン,水,アムモニア等である。是等の inactive fluid に對し反對の性質を有するものを active fluid と名付け次の九種類の物質をあげてゐる。

醋酸, 硫酸, 三エチルアミン, ビュチール酸,
強鹽酸, ヒマシ油, オレイン酸, 三メチルアミンの濃溶液,
パラフィン

II. 濕潤熱の測定

此方法は W. Bachmann によりて行はれた方法で固體と液體との接觸面に作用する力の大きさと濕潤熱との間の關係を求め様としたのである。即彼は細粉にした 20 瓦の銅粉を 200cc の或液體に濕潤せしめ其時生ずる溫度の變化を測定したのである。此實驗は極めて微量の溫度の變化の測定であるから他の熱の影響には深甚の注意を拂ひ總てデュアール瓶中に於て行ひ測定器械としては電氣抵抗溫度計を用ひガルバノメーターにより其感度を大にして $1^\circ/1000$ の變化を記録したのである。次の種類に大別された油についての測定結果は第一表の如くである。

- (I) 良好なる減摩剤
- (II) 不良なる減摩剤
- (III) 石油に油酸 1% を加へたもの

—(紹介)—

第 一 表

	Nr.	ccm		Temp.-Erhöhung/20g Cu C
I	1	200	Rizinusöl + Benzol 2:1.....	0.018
	2	200	" + " 2:1.....	0.019
	3	200	Leinöl + " 2:1.....	0.023
	4	200	" + " 2:1.....	0.021
	5	200	Machinenöl-Destillat + " 2:1.....	0.022
	6	200	" " + " 2:1.....	0.021
	7	200	Machinenöl-Raffinat + " 2:1.....	0.010
	8	200	" " + " 2:1.....	0.009
II	9	200	Paraffinöl + " 2:1.....	0.006
	10	200	" + " 2:1.....	0.006
	11	200	Petroleum.....	0.007
	12	200	"	0.008
	13	200	Benzol	0.003
	14	200	"	0.004
III	15	200	Petroleum + 1Proz. Oelsäure	0.029
	16	200	" + 1 " "	0.027

即減摩剤として良き性質を有するもの程濕潤熱は大である。換言すれば吸着表面に於て游離原子價の存在の爲生ずる表面エネルギーの大なるもの程此濕潤熱は大にして斯る物質の薄膜の安定度は高く減摩作用に良好なる効果を及ぼす事となる。

III. 薄膜の厚さの測定

液体の表面に擴つた油類の薄膜に関する研究は可なり進歩してゐ

(204)

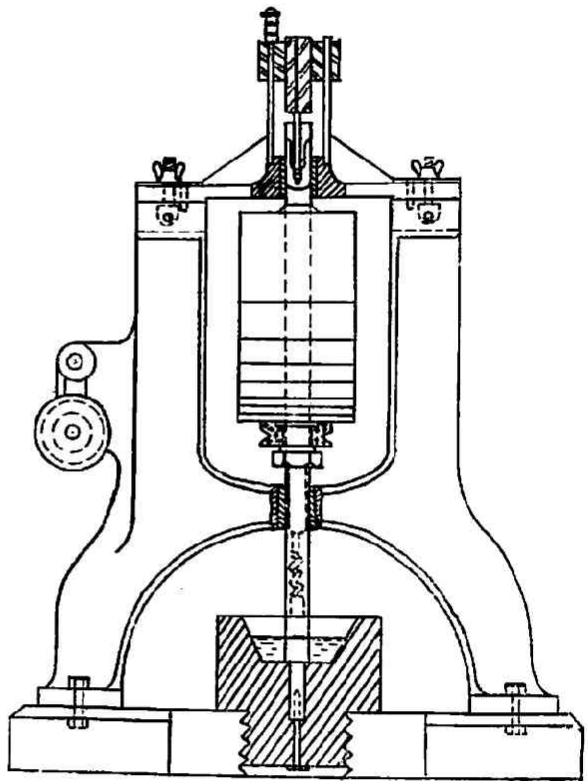
(吉本晴一) 減摩作用に就て

る。尙固体の表面に擴つた薄膜の厚さに關しては吸着の方面からこれを計算され或は又光の干涉電氣的方法等によつても亦求められるのである。此處に著者は實際の減摩作業に於ける薄膜の厚さを電氣的に測定した Becker

第一圖

の仕事を紹介せんとするものである。其用ひた装置は第一圖の如くである。

左圖に於て示す如く二つの金属棒の先端に於て thrust bearing をつくり下部の棒を固定し上部の棒は任意の廻轉數と荷重とを與へる事が出来る様になつてゐる。今此 thrust bearing の間隙に介在する液體によりて形成される蓄電器の容量を測定しそれから其薄膜の厚



さを計算したのである。蓄電器の電氣容量は其二面間の距離に比例する事から次の式を導く事が出来る。

$$t = KA/4\pi C_0$$

此處に

—(紹介)—

t :— 薄膜の厚さ K :— 透電恒数 A :— 有効表面 C_0 :— 薄油層蓄電器の容量

上式に於て C_0 を測定する事により t を計算する事が出来る。

此研究に於て金属として鐵及マグネシウムを用ひ油としては石油及良質の豚脂の二種類を用ひた。

彼は上述の方法により $1/10000$ 吋の位まで測定した結果其厚さは荷重及廻轉速度の對數の函數として直線的曲線を得られ而も是等の曲線は一點に集中する事から次の實驗式を誘導したのである。

$$t = K \left(1 - \frac{\log P}{A} \right) \left(1 - \frac{\log S}{B} \right) \left(1 - \frac{\log \mu}{C} \right)$$

此處に

 t :— 薄膜の厚さ P :— 荷重 S :— 一分間の廻轉數 μ :— 作業溫度に於ける減摩剤の粘度 K, A, B, C :— 表面作用の力に關する諸恒数

上式により計算した t の値と實驗結果の値とは第二表に示す如く略一致するのである。即比重

第 二 表

23.8Be' の石油を用ひ金属としては上部の廻轉棒に鐵を下部の固定棒にマグネシウムを用ひたものについては左表の如くである。

S	P	μ	t (計算値)	t (實測値)
400	3.93	1.841	0.000300	0.000296
186	3.93	1.965	0.000265	0.000255
1721	19.76	1.934	0.000208	0.000197
1395	3.93	0.460	0.000248	0.000266

更に吾人が表面作用の研究を重ね上の実験式中の諸恒數に何等かの修正を加へる事が出来れば一層よく一致した値を得られる事は明なことである。

IV. X 光線による分子整向性に関する研究

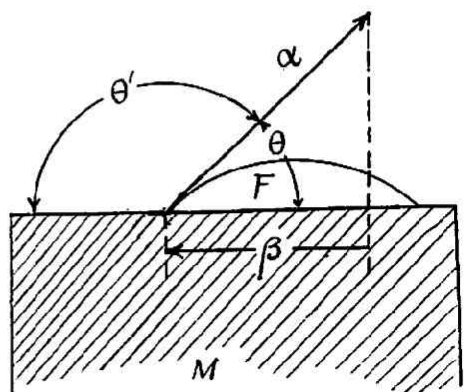
1926 年 Jean-Jacques Trillat の研究である。硝子の二平面にて狭まれたるグリーズの状態を X 光線スペクトログラフにて見たるに二平面を互に摩擦する事により減摩剤の分子整向性を意味する廻折線が現はれる。然るに此減摩剤を一度熔融し自然に凝固するを待ちたる後見たるに前の廻折線が現れずしてこれに數回の摩擦を與へたる後再び見たるに其効果が再現せるを認めたのである。

彼は上述の結果から減摩作用の機作を次の如く考へてゐるのである。即減摩剤の分子が固体との接觸表面に於て齒狀に配列し恰も齒車の如き作用を爲して摩擦を減少するものであると説明してゐる。

V. 縁角の測定

Richard v. Dallwitz-Wegner の研究方法にして液体それ自身の表面張力と流體が固体面に接觸した場合其面に作用する濕潤張力との關係を縁角の餘弦を以て表はさんとし第二圖に於ける角 θ を測定したのである。

右圖に於て α は液体それ自身の表面張力の大きさを示し β は濕潤張力を示す。表面張力 α は毛管現象の方法により普通にこれを求める事が出来る。



第 二 圖

即毛細管の半径を R , 液体の密度を ν , 高さを h_1 にて表はせば

$$2R\pi\alpha = \nu R^2\pi h_1 981$$

$$\text{即 } \alpha = h_1 \nu \left(981 \frac{R}{2} \right) = \nu h_1 C \text{ Dynen/cm}$$

次に濕潤張力 β は第三圖に示す如く二平面間に働く濕潤張力の爲めに生ずる鉛直毛細管中の液の減壓を測定して求められる。

今二平面間の細隙内にある液体の單位表面に於ける表面張力を ΔP にて表し濕潤張力を β とし二平面間の液体の半径を R' , 間隙の厚さを D にて表はせば二平面間に働く濕潤張力と液体の表面張力と、が釣合を保つ事から次の式を與へられる。

$$\Delta P 2R'\pi D = 4R'\pi\beta$$

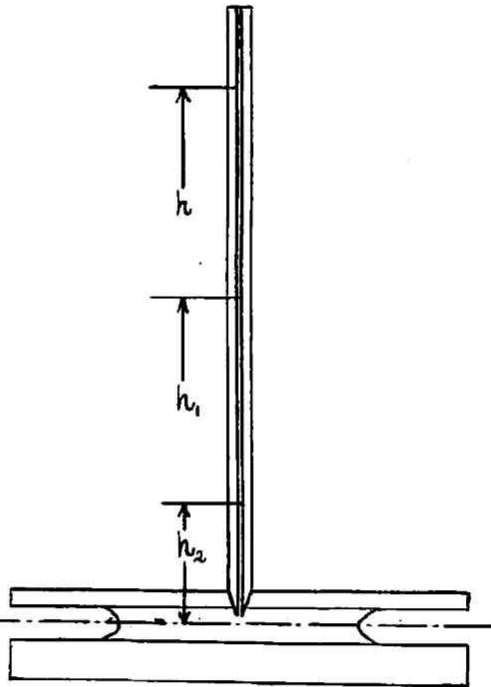
$$\text{即 } \Delta P = 2\beta : D \text{ Dynen/cm}$$

更に又

$$\begin{aligned} \Delta P &= \{ \nu (h_1 - h_2) R^2 \pi 981 \} : R^2 \pi \\ &= \nu (h_1 - h_2) 981 \text{ Dynen/cm} \end{aligned}$$

—(紹 介)—

第 三 圖



(208)

(吉本晴一) 減 摩 作 用 に 就 て

$$= 2\beta : D$$

但し ν は此液體の密度である。

上式から

$$\beta = \nu \frac{981}{2} D(h_1 - h_2) \text{ Dynen/cm}$$

故に

$$\cos \theta = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{490.5 D}{C} \frac{h_1 - h_2}{h_1}$$

此實驗に於て固體表面として鐵と銅とを用ひ流體として各種の油を使用し測定された θ の値を以て減摩劑の効率を表す尺度とせんとしたのである。即測定の結果此 θ の小なるもの程即 β の大なるもの程減摩劑として良好であると云ふ結論を得た。次に彼の用ひた23種の油について其測定結果を示せば第三表の如くである。

尚彼は以上の實驗と全く別に第三表に示す如く油の凝集力 K , 粘着力 K_0 及作用球の半径 λ を計算してゐるのであるが少し面白いと思はれるから次に簡単に紹介しやう。

物質内部の分子壓力は van der Waals の狀態方程式

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

の a を計算する事により求められるのであるが他の計算法として次の如き方法がある。

今瓦斯の場合に於て分子運動説より導かれた其容器壁に及ぼす壓力 P は

$$P = \nu \frac{u^2}{3} \frac{T}{T_0} = T \frac{\nu}{M} \left(\frac{1838.2}{3.273} \right) g/cm$$

を以て表はされる。此處に

—(紹介)—

第 三 表

液	體	γ Kg/Talen	M	γ_1 1000 M	λ_{Dett} 10 mal	α Dy/gm	ρ 0.90	K _{at}	β Dy/gm	$\cos \theta$	θ	K _{at}
Rinder-Kiainenöl.....		0.927	294	3.15	25.4	29.84	0.75	350	29.75	0.997	4°20'	350
Rindöl.....		0.918	209	2.97	29.4	32.67	0.75	340	27.45	0.840	32°50'	285
Knoch. nöf.....		0.919	294	3.12	26.9	31.21	0.75	350	27.22	0.872	26°20'	305
Dolphin-Kimbuckentöl.....		0.909	255	3.57	23.1	30.47	0.75	410	28.18	0.925	22°20'	384
Arachisöl.....		0.926	280	3.31	26.0	31.85	0.75	380	28.01	0.879	28°30'	333
Kobentöl.....		0.930	230	3.32	25.2	31.38	0.75	380	27.81	0.886	27°40'	333
Mingöl.....		0.876				31.50	0.70		29.07	0.930	22°40'	312
Vap. Turbinenöl.....		0.927				31.69	0.70		27.97	0.907	28°0'	
Spindelöl I.....		0.88				30.48	0.70		26.79	0.879	28°30'	
Spindelöl II.....		0.86				29.40	0.70		26.42	0.899	25°50'	
Tuschentrenöl I.....		0.902				31.16	0.70		27.71	0.881	28°10'	
Tuschentrenöl II.....		0.890				31.53	0.70		28.11	0.892	26°50'	
Wandtrenöl I.....		0.903				31.51	0.70		27.99	0.907	26°50'	
Wandtrenöl II.....		0.908				32.25	0.70		27.74	0.888	27°20'	
Heischampöl I.....		0.906				32.38	0.70		27.83	0.859	30°40'	
Heischampöl II.....		0.911				34.18	0.70		28.49	0.814	35°30'	
Teeferöl.....		1.133				43.63	0.70		38.20	0.875	28°55'	
Giesöl.....		0.887	158	5.62	18.8	28.75	0.70	470	23.03	0.897	25°10'	425
Waldfettöl.....		0.913				32.02	0.70		28.55	0.892	26°30'	415
Wasser.....		1.	18	55.6	1.09	72.53	0.70	20328	—	0.945	—	105
Glycerin.....		1.27	92	13.8	10.1	65.24	0.70	1880	6.00	0.692	81°40'	182
Ilonig.....		1.4				61.07	0.70		6.59	0.176	80°	84°
Wasser mit 10 Proz. Soda...		1.04	29	36.	1.	43.84	0.70	13000	—	0.517	—	6721

(210)

(吉本晴一) 減摩作用に就て

 ν : 瓦斯の比重 w : 分子運動の速度 M : 分子量 T_0 : 273° T : 壓力 P の時に於ける瓦斯の絶対温度

今外部より加へられたる壓力を P とし膨脹係數を δ にて表はせば
 液體・固體の場合も瓦斯の場合と同様に考へて

$$K + P = 84.09 \frac{\nu}{M} \left(t + \frac{1}{\delta} \right) = K$$

なる式を誘導する事が出来る。 P は K に比し極めて小なるを以て P を無視し K に等しとおく。上式により數種の金屬につき計算した K の値は下表の如くである。

第 四 表

	鉛	アルミ ニウム	銅	鐵	ニッケル	イリヂ ウム	ダイヤ モンド
$K_{\text{氣壓}}$	53000	119000	246000	320000	332000	465000	6250000

即物質の流動性は凝集力 K と分子引力の作用球の半径 λ の函數であると考へられる。上式により計算した結果によると液體と固體間の K の限界は 3500—45000 氣壓の間にあると云ふ。

次に作用球の半径 λ の計算について述べん。中心から X の距離にある點に於ける壓力を k にて表はせば此物質の凝集力 K との關係は

$$k = K \left(\frac{X}{\lambda} \right)^n \text{ Dyne/cm}$$

となる。此指數 n の説明は追つてする。扱て表面張力 α は X につい

て $0 \rightarrow \lambda$ まで k を積分したものと考へ得るから

$$\alpha = K \int_A^0 \left(\frac{X}{\lambda} \right)^n dX = \frac{K\lambda}{n+1}$$

となる。上式に於て n を適當に決定する事が出来れば λ を計算する事が出来る。此 n の決定法について考へてみる。20°C に於ける水と水銀との α と K の値は次の如くである。

	水	水 銀
α	72.53 Dyne/cm	435.6 Dyne/cm
K	20328 at.	31700 at.

扱て上式の α と K に上の値を入れ n に任意の整数を入れて計算した時の λ の値は次の如くである。

	$n=0$	1	2	3	4	5
水銀	$\lambda=1.41$	2.82	4.23	5.64	7.05	8.4 mal 10^{-8} cm
水	$\lambda=0.36$	0.78	1.09	1.45	1.82	2.18 mal 10^{-8} cm

然るに水の分子の半径は約 $0.8 \cdot 10^{-8}$ cm である事から λ はそれよりも大でなければならぬ事は容易に考へられるのである。即 $n=2$ とおく時は λ は 1.09 となつてニュートンの引力の法則と一致する。然し n の値に何れの數をとるべきかは更に考慮を要する。第三表の λ の値は $n=2$ として計算したものである。

最後に粘着力 K_b の計算について云へば流體自身の凝集力を K_f とせば K_b との関係は前の縁角から

$$K_b = K_f \frac{\beta}{\alpha} = K_f \cos \theta = 84.09 \frac{\nu}{M} \left(t + \frac{1}{\delta} \right) \cos \theta \text{ at}$$

となる。此式により K_b を計算する事が出来る。(第三表 K_b の欄参照)

(212)

(吉本晴一) 減摩作用に就て

扨て以上紹介せる諸研究に於て得たる結果に基き減摩作用の機構について其概様を述べん。

1918 年 Lord Rayleigh は數學的取扱により減摩説に關する要旨を提示し⁽¹⁶⁾近くは D. P. Barnard は journal bearing の減摩作業に於ける摩擦係數に影響する諸因數を下の如く示してゐる。⁽⁶⁾

f (coeff. of friction of a journal bearing)

$$= \text{function of} \left(\frac{zn}{p}, \frac{c}{d}, \frac{l}{d} \text{ S. M. O} \right)$$

此處に

z : 減摩薄膜の温度に於ける減摩劑の粘度

n : 廻轉速度

p : 軸承面に對する法線方向の壓力

c : 滑軸と承軸との間隙の厚さ

d : 滑軸の直径

l : 滑軸の長さ

S: 表面の狀況—金屬の組成—平滑度等

M: 減摩劑供給の方法

O: 減摩劑の油性

即上式に於て見る如く實際作業に於ける摩擦は可なり複雑で簡單にこれを分析する事は容易でない。

今二つの固體面間に働く摩擦が是等の固體自身の凝集力及其間に介在する減摩劑の粘度に原因してゐると考へられる以上良好なる減摩劑としての存在の意義は是等の被減摩物質の表面を完全に蔽ひ而も其摩擦力を減少する性質を持つてゐなければならぬ。即減摩劑にして固體の表面に密着し非常に安定なる薄膜をつくると同時に液體

自身の内部に於ける摩擦の小なるもの即粘度の小なるもの程好結果を與へる事は明な事である。故に其研究の骨子は分子間に働く牽引力にあつて薄膜の安定度の研究により幾分其關係を明にされる事と思ふ。

分子薄膜に関する諸説は Langmuir の一分子薄膜説 Polanyi の多分子薄膜説 Zsigmondy の毛細管説等あれども未だ決定的の説明は與へられてゐない。然し多くの研究者は經驗的に多分子薄膜説を採るものゝ如く思はれる。

更に二液間の面若くは相界面に於ける表面エネルギーの變化は水面上の油の薄膜の研究により其現象にあづかる諸物質の化學的構造によることは既に明にされた事である。これがため分子そのものゝ構造による有極性や分子整向性の分野まで究明の必要があるのである。即酸鹽基、エステルの如き容易に分極する様な分子をもつ物質は其表面エネルギーに著るしき變化を與へる。又二物質が相接する時接觸電位の生ずる事實より分子そのものゝ整向性は容易に肯定されるのである。

減摩作用に関する機構考察の大様は上述の如くであるがこれを膠質化學の方面から解剖的に研究を積み何等かの統一的説明を與へる事が出来れば甚だ興味あり且つ實際問題にも可なり有益な結果をもたらすであらふ。

文 獻

- 1) Rayleigh, Phil. Mag., 35, 157 (1918).
- 2) Hardy, Phil. Mag., 38 (1919).
- 3) Hardy, Phil. Mag., 38, 49 (1919).
- 4) Hardy, Phil. Mag., 40, 201 (1920).

(214)

(吉本晴一) 減摩作用に就て

- 5) Barnard, J. Ind. and Eng. Chem., 14, 683 (1922).
- 6) Barnard, J. Ind. and Eng. Chem., 16, 347 (1924).
- 7) Bachmann, Koll.-Zeitschr., 36, 142 (1925).
- 8) Becker, Ind. and Eng. Chem., 18, 471—77.
- 9) Schering, Erdöl und Teer 2, 602—4, 619, 620 (1926).
- 10) Leuher, J. Chem. Soc., 1785 (1926).
- 11) Mc Haffie, J. Chem. Soc., 127, 1559 (1925)
- 12) Smith, J. Phys. Chem., 31, 897 (1927).
- 13) Trillat, Compt. rend., 182, 843—6 (1926).
- 14) Wegner, Koll.—Zeitschr., 38, 193 (1926).
- 15) Southcombe, J. Soc. Chem. Ind., 39, 51—58 (1920).
- 16) Rayleigh, Phil. Mag., 35, 1, (1918).