

機械潤滑法及潤滑劑

(訂正版)

元長岡工業專門學校教授

幸林良作著

再 版 の 序

本書は舊著「潤滑工學」を改名してわかり易い名稱に變更訂正増補したものである。すなはち潤滑法及潤滑劑に関しては最近大いに進歩したので、特に著しい事項をまとめて一つの章として第 13 章を追加するとともに、日本工業規格の制定されたものは殆んどこれに訂正した。

現今使用されてゐる機械の種類は頗る多いが、その機械に夫々適應した潤滑劑（即ち減摩劑）を用い、適應した潤滑法（即ち減摩法）を行ふことが極めて肝要である。

若し機械に對する潤滑劑が不適當であつたり、或は潤滑法を誤つたりすると、折角の機械も充分能率を發揮することができないばかりでなく、甚だしい磨耗損傷を起し、機械の生命は急速に短縮されるやうになり、時には突然焼付とか發火を起す危険がある。

潤滑に關する知識は機械の製作或は運轉に従事する人々に必要であるばかりでなく、潤滑劑の製造或は販賣の方面に關係する人々にも必要である。本書はそれらの人々に對し參考に資する目的を以て記述したものである。

終戦後の新獨立日本を再建するには産業の興隆が何より必要であるが、遺憾乍ら限られた機械力によつてそれを達成せねばならぬ現状であるから、各種機械の最高能率を發揮させるために、機械潤滑法及潤滑劑の知識が極めて重要であることが特に痛感されるのである。

本書の出版に當つては各方面より種々の御指導を受けた。それらの人々に對して衷心より敬意を表し、感謝する次第である。

本書により潤滑に關する知識を普及することができるならば著者の最も欣幸とするところである。

昭和 32 年 5 月

著 者 識 す

目 次

第1章 緒 言

第2章 摩擦と潤滑

2. 1 摩擦の種類	2
〔1〕 乾燥面摩擦	3
〔2〕 轉り摩擦	5
〔3〕 境界摩擦	5
〔4〕 液狀摩擦	6
2. 2 機械の効率と摩擦との關係	7
2. 3 摩擦による損失仕事量	7
2. 4 摩擦による發生熱量	8
2. 5 磨耗と摩耗係數	8
2. 6 不完全潤滑と完全潤滑	9
〔1〕 不完全潤滑および完全潤滑と摩擦係數の最低値	9
〔2〕 完全潤滑と潤滑油の粘着および油活性	13
〔3〕 完全潤滑に於ける壓力分布	13
〔4〕 完全潤滑状態を作るときの軸壓力と速度	14
〔5〕 完全潤滑のときの摩擦係數	14
〔6〕 完全潤滑とのときの摩擦係數と溫度	17
〔7〕 潤滑状態と潤滑剤供給法	17
〔8〕 潤滑状態と遊隙	17
〔9〕 潤滑状態と摩擦面材料	18
2. 7 摩擦面に對する潤滑剤供給法	18
〔1〕 給油法	18
〔2〕 グリース供給法	29
〔3〕 固體潤滑剤供給法	30

〔4〕 液同體混合潤滑剤供給法	30
-----------------	----

第3章 機械の摩擦面およびその潤滑

3. 1 機械の摩擦面潤滑總説	32
〔1〕 並行滑り面の潤滑	32
〔2〕 傾斜滑り面の潤滑	32
〔3〕 圓筒形滑り面の潤滑	33
3. 2 軸受およびその潤滑	33
〔1〕 滑り横軸受	34
〔2〕 滑り推力軸受	41
〔3〕 特殊滑り推力軸受	43
〔4〕 轉り軸受	44
3. 3 並行滑り面およびその潤滑	48
3. 4 齒車およびその潤滑	48
〔1〕 齒車の種類	48
〔2〕 齒車の摩擦係數および潤滑	48

第4章 各種機械の潤滑法

4. 1 自動車の潤滑法	50
〔1〕 自動車エンジンの潤滑法	50
〔2〕 自動車の車體部潤滑法	52
4. 2 航空機關の潤滑法	52
4. 3 ディーゼル機關の潤滑法	54
〔1〕 ピストンおよび軸受の潤滑法	54
〔2〕 空氣壓縮機の潤滑法	56
4. 4 蒸氣タービンの潤滑法	56
〔1〕 蒸氣タービン軸受の給油法	57
〔2〕 蒸氣タービン軸受用潤滑油	57
4. 5 蒸氣機關の潤滑法	58

〔1〕 蒸気釜の潤滑法	58
〔2〕 蒸気機関軸受潤滑法	61
4. 6 電動機および発電機の潤滑法	62
4. 7 空気圧縮機の潤滑法	62
4. 8 製氷機の潤滑法	64
4. 9 工作機械潤滑法	65
〔1〕 滑輪の潤滑法	65
〔2〕 刃部の潤滑法	65
4. 10 車軸の潤滑法	67
〔1〕 汽車々軸の潤滑法	67
〔2〕 電車々軸の潤滑法	68
〔3〕 運炭車々軸の潤滑法	69
4. 11 紡績用機械の潤滑法	69
4. 12 時計その他の精密機械の潤滑法	70
4. 13 自轉車の潤滑法	70
4. 14 雑機械潤滑法	71

第5章 液體潤滑劑の種類およびその重要性質

5. 1 液體潤滑劑の種類	73
5. 2 液體潤滑劑の重要性質	73
〔1〕 油活性(油膜構成力)	74
〔2〕 粘 度	76
〔3〕 抗引火性	82
〔4〕 耐 寒 性	82
〔5〕 抗酸化性	84
〔6〕 炭素沈着抑制性	85
〔7〕 潤滑油の安定性	85
〔8〕 潤滑油の性質向上添加劑	85

第6章 礦物性潤滑油

6. 1	石油原油	87
6. 2	石油製品製法の概要	90
6. 3	石油系潤滑油の製法	99
6. 4	石油系潤滑油各論	106
	〔1〕 釜残油を原料とする潤滑油	106
	〔2〕 溜出油を原料とする潤滑油	109
6. 5	頁岩油系潤滑油	118
	〔1〕 頁岩油の製法概略	118
	〔2〕 頁岩油系潤滑油	119
6. 6	調合礦物性潤滑油	120
	〔1〕 調合用礦物性潤滑油	120
	〔2〕 調合礦物性潤滑油の粘度	121
	〔3〕 調合礦物性潤滑油の引火點	124

第7章 動植物性潤滑油

7. 1	油脂および蠟の化學的組成	125
7. 2	動植物性油の種類	126
7. 3	油脂の一般的性質	126
7. 4	油脂の採取法	127
7. 5	油脂の精製法	129
7. 6	動植物性潤滑油	131
	〔1〕 植物性潤滑油	131
	〔2〕 動物性潤滑油	135
7. 7	潤滑用液體蠟	137

第8章 混成潤滑油, 人造潤滑油, 特殊液體潤滑劑

8. 1	混成潤滑油	139
8. 2	人造潤滑油	141

8. 3 特殊液體潤滑劑	145
〔1〕 特高壓用潤滑油	145
〔2〕 特低蒸氣壓潤滑油	147
〔3〕 水溶性潤滑油	147
〔4〕 時計油および精密機械油	148
〔5〕 その他の特殊液體潤滑剤	156

第9章 潤滑油の劣化防止法、廢潤滑油の再生法

9. 1 潤滑油の劣化	158
9. 2 潤滑油の劣化防止法	158
9. 3 廢潤滑油の再生法	159
〔1〕 廢潤滑油より水および固形物の分離再生法	160
〔2〕 廢水蒸氣より潤滑油の分離再生法	162

第10章 半固體潤滑劑

10.1 半固體潤滑劑の種類およびその重要性質	164
10.2 グリース	164
〔1〕 グリースの成分	164
〔2〕 グリースの一般的製法	165
〔3〕 グリースの種類	165
10.3 ペトロラタム	170
10.4 動植物性脂肪および蠟	171
10.5 超高性能特殊合成樹脂系珪素グリース	171

第11章 固體潤滑劑および液固體混合潤滑劑

11.1 固體潤滑劑の種類およびその重要性質	172
11.2 黒鉛	173
11.3 液固體混合潤滑劑の種類およびその重要性質	174
11.4 アクアダック	175
11.5 オイルダック	175
11.6 グリーダック	178

第12章 各種潤滑劑試驗法

12.1 礦物性潤滑油試驗法	177
I 礦物性潤滑油物理的試驗法	177
〔1〕 外 觀	177
〔2〕 比 重	178
〔3〕 粘 度	183
〔4〕 色 度	193
〔5〕 引 火 點	194
〔6〕 發 火 點	195
〔7〕 蒸 發 量	196
〔8〕 冷却試驗	196
〔9〕 機械的試驗	198
〔10〕 油活性試驗	199
〔11〕 耐荷重能試驗	200
II 礦物性潤滑油化學的試驗法	202
〔1〕 遊離酸および遊離アルカリ	202
〔2〕 水 分	203
〔3〕 腐蝕試驗	205
〔4〕 硫黃および有機性硫黃化合物	205
〔5〕 酸化試験	207
〔6〕 樹脂油分	209
〔7〕 樹 脂 分	210
〔8〕 加熱試験	210
〔9〕 灰 分	211
〔10〕 石 鹼 分	212
〔11〕 動植物性油分（脂肪油分）	213
〔12〕 機械的不純物	215

〔13〕	アスファルト分	215
〔14〕	パラフィン燐分(石燐分)	217
〔15〕	蒸溜試験	218
〔16〕	抗乳化試験	218
〔17〕	乳化分試験	220
12.2	動植物性潤滑油試験法	221
〔1〕	夾雜物	221
〔2〕	酸 價	222
〔3〕	鹼 化 價	222
〔4〕	沃 素 價	223
〔5〕	アセチル價	225
〔6〕	不鹼化物	226
12.3	半固體潤滑劑試験法	227
〔1〕	外 觀	228
〔2〕	滴 點	228
〔3〕	稠 度	229
〔4〕	耐荷重能試験	229
〔5〕	化學的試験	230
12.4	固體潤滑劑試験法	231
12.5	液固體混合潤滑劑試験法	232
第13章 潤滑法及潤滑劑の最近の進歩		
13.1	熱機關の潤滑法及潤滑劑の進歩	235
〔1〕	熱機關潤滑法の進歩	235
〔2〕	熱機關潤滑劑の進歩	236
13.2	合成潤滑劑の進歩	237
〔1〕	合成樹脂系珪素油	238
〔2〕	合成樹脂系珪素グリース	238

〔3〕	ダイエスター油	238
〔4〕	ターボ・ジェット用合成潤滑油	238
13.3	潤滑油に関する最近の日本工業規格	238
〔1〕	石油系潤滑油性状の JIS の制定	239
〔2〕	石油系潤滑油試験法の JIS の制定	240
索 引		313

第1章 緒 言

滑動する二面の間に摩擦を減ずる目的を以て人類が潤滑剤（即ち減摩剤）を使用した歴史は古く西暦紀元前 1400 年頃車軸の潤滑に牛脂又は豚脂を使用したことが知られてゐる。しかし潤滑作用や潤滑剤に関する知識の發達したのは全く近世のことであつて、各種産業に機械を使用することが多くなつてからのことである。

機械に於て如何にそれを構成する部分品は良質であつても、その各部分の關係的運動をなす摩擦部例へばピストン、軸受等の潤滑が適當でないならば、その機械の能率を發揮することができないばかりでなく、運轉不能の大なる故障を起すに至るものである。最近各種工業、交通機關殊に航空機の急激な發達に従ひ、潤滑作用並に潤滑剤に関する知識の重要性が大いに認められるやうになつたのである。航空機の故障の大部分は潤滑油の炭化等による潤滑系統の故障によることが明かになつたのである。

(1) 潤滑をなすに當つては摩擦に関する知識が極めて必要であるから、第2章に於ては先づこの摩擦に関することを述べ、次に各場合の潤滑について一般的に述べる。第3章に於ては軸受その他の機械の摩擦面の潤滑について記し、第4章では各種機械の潤滑法について述べる。

(2) 潤滑剤（即ち減摩剤）としては昔は主として動植物性油脂を用ひてゐたが、最近石油工業發展のために石油より製造せられた礦物性潤滑油には種類が多く、多重多様の機械の潤滑に利用することができるので非常に重要なものとなつた。第5章より第11章迄に於ては潤滑剤の種類およびその重要性質について記し、又最近の發明による潤滑油の性質を向上するための添加剤のことを述べ、尙廢潤滑油の再生問題について記し、第12章に於ては各種潤滑剤の試験法を述べる。

第2章 摩擦と潤滑

機械を取扱ふに當つては常に摩擦と潤滑とを關聯して考へることが肝要である。本章に於ては一般的にそれらに關係深い事項について述べよう。

2.1 摩擦の種類

一つの固體の表面に他の固體の表面を接觸せしめて置いて、その表面に沿ふて滑らせるには常に或る力を要する。これはその運動に對する抵抗があるためで、このやうに運動に抵抗する力を**摩擦の抵抗力**又は**摩擦力**といふ。

固體の表面間に於ける摩擦力は從來は接觸してゐる表面にある小さな凹凸がかみ合ふために生ずるものと思はれてゐたが、今日では一般に接觸面してゐる二つの表面に存在する無數の小さい凸部の分子が互に引き合ふ力即ち二物體を一物體に結合せしめんとする**分子力**によることが認められてゐる。(しかし二つの表面が明かに凹凸の見えるやうな場合は、その凹凸のかみ合ふための抵抗力が大で二面間の分子力は小であるが、一般の軸受の表面のやうに精度の高い仕上をした極めて平滑な面の摩擦力は全く分子力によると見なされるのである。)

摩擦面が非常に清潔で極めて滑かなもの程摩擦力が却つて大きくなるものであつて、このやうな二面間では直接の接觸點の數が増加し、そのため分子引力は全體として増すからである。極めて完全に磨かれた金屬の二面を壓着して置いて少し熱すると強く結合することが認められてゐるが、軸受等に於てその摩擦面に發生した熱のために焼付の現象の起るのもこのやうな原因に基くものと考へられてゐる。従つてこの分子力を減ずる働きをなす物質が二面間に存在すると摩擦力を低下させることができる譯で、**潤滑剤**はこの働きをなさしめるために使用される物質である。

摩擦力は種々の關係によつて變化するもので、摩擦力に關係を及ぼす事項を示すと、

- (1) 摩擦面の材料、表面の精粗程度、
- (2) 表面の乾燥又は潤滑狀態、
- (3) 起

動、終動又は運動状態、(4) 摩擦面にかかる壓力(荷重)の大きさ、(5) 摩擦面の速度、(6) 潤滑剤の性質、(7) 潤滑油および潤滑面の温度、(8) 油膜の厚さ(遊隙の大小)等である。

機械はそれを組立てゐる各運動部の動作が定つた面によつて限定されることにより定つた仕事をなすことができる。例へば車軸は軸受に支へられて迴轉運動をなし、蒸氣機關のクロスヘッドはその滑り路によつて往復直線運動をなすのである。何れの場合でも定つた面が運動部の働を限定する場合必らず摩擦によつて幾分の動力が消費されるのであつて、その消費量には大小の差はあるけれども全くこれを無くすることは不可能である。機械に於ては摩擦を利用する特別の場合の他はその摩擦による損失をできるだけ少くするやう工夫するのである。

摩擦は固体のときに限らず液体および氣體に於てもあらはれ、互に接觸し乍ら或る力の影響の下に運動をなすときにあらはれるのである。

摩擦にはいろいろの種類がある。これを大別すると、乾燥面摩擦、轉り摩擦、境界摩擦、液狀摩擦の4種となる。

(1) 乾燥面摩擦 乾燥面摩擦(Dry friction)は又固体摩擦(Solid friction)ともいはれ、潤滑剤を使用せぬ場合の、完全に乾燥した清浄な固体面の間の滑り摩擦である。

この乾燥面摩擦は機械に於ては實際に起ることは稀であるが、しかし非常に不注意に取扱ひ、潤滑剤の補給を怠つて長時間運轉するとき、この乾燥面摩擦となり、接觸面に於て異常に熱を發生し速に摩耗を起し、時によつてはその發熱のために燒付の現象を起すことがあるのである。

滑り現象のときの摩擦について一般的に述べると、摩擦力を F 、接觸面に垂直に働く力を P とすれば、次の關係が成立する。

$$\mu = \frac{F}{P}$$

この μ を摩擦係數と名づける。

今第2・1圖のやうに平面 AB と平面 AC とが α の角となす状態となつたと

き AB 上の物体が滑り始めたとする、その物体の重力 (W)、その物体の AB に垂直に壓する力 (P)、摩擦力 (F) との間には次の関係が成り立つのである。

$$F = \mu P, \quad \mu = \frac{F}{P} = \tan \alpha$$

この式の α を摩擦角と名づける。

この場合には静止してゐた物体が滑り始めた瞬間の摩擦現象であるけれども、滑り始めてからは α より少し小さい角 α_1 としても尚滑動を続けるのであつて、この時の摩擦係数を μ_1 とすると



第3・1圖

$$\mu_1 = \tan \alpha_1$$

の関係がある。

μ を静止 (又は起動) 摩擦係数、 μ_1 を運動摩擦係数と名づける。

前者は常に後者よりも大であるから、物体を滑動し始めさせるのに割合に大きな力を必要とするが、滑り始めた後その物体の運動を続けさせるのにば割合小なる力で足りるのである。

乾燥面摩擦に関する法則としては (1) 摩擦力は略直壓力に比例する。(2) 摩擦力は甚だ低速度の場合の他は速度の増すと共に減する。(3) 摩擦力は略接觸面の廣狹に關係しない。これらの法則は極めて僅かに潤滑剤を施した場合にも適用することができる。

摩擦は周圍の狀況の變化によつて著しく變るものであるが、潤滑剤なき場合又は僅少の潤滑剤を施した面の摩擦係数を示すと次のやうである。

物 質	接觸面の狀態	静止摩擦係數	運動摩擦係數
鑄 鐵 と 鑄 鐵	乾 燥	—	0.21
同 上	油 脂 少 量	0.16	0.15
鑄 鐵 と 鍛 鐵	乾 燥	0.19	0.18
鑄 鐵 と 青 銅	乾 燥	—	0.22

〔2〕 轉り摩擦 轉り摩擦 (Rolling friction) はやはり潤滑剤を使用せぬ場合の固體間の摩擦であるが、球又はコロ (轉子) を使用した際の轉動のときの摩擦である。従つて摩擦の起る接觸部は理論的にいうと、點又は線であることが前述の乾燥面摩擦と大いに異つてゐる。

球 (又はコロ) が他の平面又は球 (或はコロ) の面を轉るとき、これを轉がらせぬやうになさんとする反抗力を生ずる。この反抗の現象を轉り摩擦といふ。

荷重 P 、轉がる物體の半径を r 、その圓體を軸上に於て等速度を以て轉がらせるために水平に加ふべき力を F とせば、

$$F = \mu \frac{P}{r}$$

の關係がある。

μ は實驗上より求め得る係數で、これを通常轉り摩擦係數と名づける。

轉り摩擦の場合は滑り摩擦の場合に比して摩擦抵抗は頗る小さい特長がある。従つて近時機械の進歩と共にこの轉り摩擦となすやうに工夫されることが多いのである。

この場合は理想に近い球を使用したときには潤滑剤なしでも運轉はできるが、實際は製作法および材料の不完全等のために平面接觸をなすから一般に潤滑剤を使用してゐる。

〔3〕 境界摩擦 (Boundary friction) は界面摩擦とも名づけ、固體の表面が互に極めてうすい潤滑剤の膜で分離せられてゐるときの摩擦である (その潤滑剤の膜は極めて薄いから固體の表面の分離は不完全である)。

境界摩擦は機械の起動又は休止のときに必らず起る摩擦である。又潤滑剤の供給の不十分なきにも起る。尙軸受壓力が甚だ大で衝撃的壓力を受けるときにも起る。この境界摩擦のときには著しく發熱し、そしてその極めて薄い潤滑剤の膜が破れると、前述の乾燥面摩擦の狀態となり、非常な故障を起すものである。その害を除くために潤滑剤としては油活性の適當なものを選ぶこと等の

注意が肝要である。

乾燥面摩擦および境界摩擦は不完全潤滑 (Incomplete lubrication) のときに起るのであつて、乾燥面摩擦は潤滑法を注意することによつて殆んど全く防止することができるが、境界潤滑は機械の起動および休止のときに必らず起るもので、機械の運転中は摩擦面を潤滑してゐた油が壓迫されるために次第に壓出され摩擦面の大部分は極めて薄い油膜(油活性による油膜)を隔てゝ接觸するやうになるからである。そのため再び運転を開始するとき非常に大なる摩擦力を呈する。壓力の大なる摩擦面程潤滑油が壓出され易いから、その材料としては摩擦の少い耐磨耗性のものを用ひ、又油溝を適當に作り、油孔は最も壓力の多く受けるところに最も多く流れ込むやうに工夫されねばならぬのである。

不完全潤滑の時の静止摩擦係数をあげると次表のやうである。

潤滑油の種類	軟鋼軸頸と鑄鐵軸受の場合	軟鋼軸頸と青銅軸受の場合
菜種油(植物性油)	0.119	0.136
蓖麻子油(植物性油)	0.183	0.195
スピンドル油(礦物性油)	0.183	0.262
シリンド油(礦物性油)	0.193	0.236

〔4〕液狀摩擦 液狀摩擦 (Fluid friction) というのは固體の表面が潤滑剤の層を以て完全に分離せられてゐるときの摩擦で、このときの摩擦は潤滑剤の層自身の内部抵抗力である (即ち潤滑剤の分子が互に滑るときの相互抵抗による摩擦である)。

この液狀摩擦は境界摩擦のときに比べると固體の表面間には相當に多く潤滑剤が入つて完全に兩面を分離してゐるから、摩擦によるエネルギーの損失は乾燥面摩擦および境界摩擦に比して著しく少い。この状態を完全潤滑 (Complete lubrication) という。

機械に於ては完全潤滑の状態となすやうに常に注意することが肝要である。この完全潤滑の状態に保つためには、潤滑剤の粘度の適當なものを選定し、潤滑剤供給法等に注意せねばならぬ(潤滑剤については第5章より第11章迄を、

又潤滑剤供給については 2.7 節を参照のこと)。荷液状摩擦の状態即ち完全潤滑に関しては 2.6 節に述べることにする。

2.2 機械の効率と摩擦との関係

機械に加へた全仕事と、その機械のなした仕事量の比をその機械の効率と名づけ、次式により示される。機械の運轉の際は摩擦力のため仕事が消費されるから機械の効率は必らず 100% 以下である。

機械に加へた仕事を W 、機械のなした仕事を w 、摩擦力を F とすると

$$W = w + F$$

$$\text{効率}(E) = \frac{w}{w + F} \times 100$$

この式によつて明かに、摩擦力即ち F の小さい程効率の大となることがわかるのである。

2.3 摩擦による損失仕事量

機械の摩擦面に於ては、その摩擦力に相當するだけの仕事量が消費される譯である。

摩擦力 $F = \mu P$ であるから、この力を受けつつ V なる速度で運動するとすればこの時摩擦による損失仕事量 (W) は次式で示される。

$$W = FV = \mu PV$$

この式は摩擦による損失となる仕事量の基本式であるが、實際の場合に直接利用することは困難である。その次は實際に於ては μ , P 及び V は一定ではなくて瞬間的に變化する場合が多いからである。しかし機械の或る一定の部分に於ては、それらの平均値を求めて損失仕事量を計算することができる譯である。

例へば圓筒軸受に於て、軸の直径 (cm) を d 、軸受にかゝる荷重 (kg) を P 、軸の毎分の廻轉數を n 、軸受の摩擦係數を μ 、軸頸、軸受兩面の滑動速度 (m/sec) を v 、摩擦損失仕事量 (kg-m/sec) を W とすれば

$$v = \frac{\pi d n}{100 \times 60} = 0.00524 d n$$