

現場の潤滑技術

赤岡 純・監修

(社)日本プラントメンテナンス協会
潤滑技術委員会・編

26230

現場の潤滑技術

赤岡 純・監修

(社)日本プラントメンテナンス協会
潤滑技術委員会・編



00335690



200414006



Tribology

●発行・日本プラントメンテナンス協会 ●発刊・日本潤滑協会

昭和 59 年 3 月 20 日 初版発行

現場の潤滑技術

定価 2,900 円

監修者との協

定により検印

を施す

監修者 赤 岡 純

発行者 高 橋 良 樹

発行所 社団法人 日本プラントメンテナンス協会

〒105 東京都港区芝公園3-1-22

電話 03 (433) 0351 (代)

印刷所 社 光 舎 印 刷 株 式 会 社

発売元 社団法人 日 本 能 率 協 会

〒105 東京都港区芝公園3-1-22

電話 03(434)6211 (大代表) 振替東京 2-112450

落丁・乱丁はおとりかえします

ISBN4-88956-002-5C 3053

PRINTED IN JAPAN

本書の内容の一部あるいは全部を無断で複写複製（コピー）することは、法律で認められた場合を除き、著作者および出版者の権利の侵害となりますので、あらかじめ小会にて許諾を求めて下さい。

序 文

1. 本書出版の目的と趣旨

本書は、現場の潤滑技術（トライボロジー）の実務書として編集され、今回出版される運びとなったものである。（社）日本プラントメンテナンス協会が、わが国の工業の飛躍的發展と人類の福祉を願い、そのサービス事業の一環として、本書出版の必要性を痛感した結果、前進的展望に立ち、熱意を傾けて本書の編集・出版に当たったことは、意義深いことである。現在の緊急要望に応える技術書であると同時に、将来の向上にも大きく寄与するものと思う。

以上のことからして、本書は、固有技術を習得・練磨しようとする現場の実務家を養成するための最適の実務書となることをも目的としている。

（1）潤滑技術（トライボロジー）の必要性

潤滑技術とトライボロジーは概略同義語であり、国際的には近年、トライボロジーという用語が普遍的に用いられるようになりつつあるが、要は摩擦面（接触して相對運動をする面）の信頼性・耐久性を維持向上させるための技術であり、摩擦、摩耗、潤滑剤（油・グリース・固体潤滑剤その他）、潤滑法、潤滑装置、汚染管理、密封装置（シール）、油空圧系の潤滑、加工（切削・研削・塑性加工その他）の潤滑等を対象とする。

以上のように摩擦面の信頼性・耐久性を維持向上させるもの技術であるから、当然、省資源、省エネルギーおよび機械性能の保証 一 かなめとなる。それゆえ高度成長期にはその重要度は二義的であったが、低成長期には死活的重要性をもつ。現場の設計、製造、設備管理の各部門における潤滑技術（トライボロジー）の必要性が今日ほど高まっていることはない。そしてこのことは今後とも変わることはないであろう。

ii 現場の潤滑技術

(2) 潤滑(トライボロジー)関係の既刊図書と本書出版の目的および趣旨

潤滑(トライボロジー)の分野では、国内、国外とも、近年良書がいろいろ出ており、それぞれに有益である。ハンドブック類でも、日本機械学会の「機械工学便覧」および「機械実用便覧」、日本潤滑学会の「潤滑ハンドブック」その他がある。

以上の図書や便覧などは、しっかりした良い本であるが、その本来の性格上、潤滑技術者を養成する場合に、参考文献としては使用できても、実務書としては便えない。したがって現在の固有技術を習得し、実務家を養成するための実務書となるものがどうしても必要である。本書の企画・出版は、この目的と趣旨のもとになされたものである。

2. 本書の内容と特色

本書は、前記の目的と趣旨のもとに、(社)日本プラントメンテナンス協会潤滑技術委員会において徹底的に内容を討議したものであり、現場の固有技術を習得し、実務家を養成する際の実務書として役立つように作られている。内容は潤滑(トライボロジー)技術全般にわたり、現場の設計、製造および設備管理の各分野で実用書として役立つ。実務上必要な基礎と即戦的な実地応用について記述されており、とくに応用面は、経験豊富な第一級の現場技術者が著者となって執筆に当たったものである。

したがって本書の特色は、現場の体験と苦労を踏まえ、それをベースにし、問題を整理して作られている点にある。すなわち油と汗の滲んだ労作である。

3. 本書の活用について

本書の目的と趣旨、内容と特色は以上のとおりである。したがって現場の固有技術を習得し、実務家を養成するときの実務書として活用されることを希望するが、以上のことからいって本書だけですべてがまかなえるわけではないので、必要に応じて他の専門書やハンドブック類も参照されたい。

なお本書は潤滑(トライボロジー)技術の性格上、各章孤立しているもので

はないから、全体を通覧・再読すれば、実態がさらにいっそうよく理解できる
と思う、

1984 年 2 月末日

社団法人日本プラントメンテナンス協会
潤滑技術委員会 委員長

、 赤 岡 純

目 次

第1章 トライボロジーの基礎

1.1 トライボロジー	1
1.1.1 トライボロジーの定義と生い立ち	3
1.1.2 トライボロジー推進の意義	6
1.2 最近の潤滑油剤および潤滑技術	7
1.2.1 潤滑剤	7
1.2.2 潤滑技術	12
1.3 固体潤滑剤	13
1.3.1 固体潤滑法の発展と固体潤滑剤の選出	13
1.3.2 固体潤滑剤の概要	14
1.4 摩擦および摩耗	22
1.4.1 摩耗とその対策	22
1.4.2 潤滑膜の役割	29
1.4.3 摩擦面および潤滑膜	29

第2章 機械要素のトライボロジー

2.1 すべり軸受	33
2.2 転がり軸受	38
2.3 歯車	45
2.3.1 歯車のトライボロジー	45
2.3.2 歯車の潤滑	46

2・4 油 圧 装 置	52
2・5 摺 動 面	53
2・6 そ の 他	55

第3章 シール技術

3・1 シール	57
3・2 シールの分類	57
3・3 ガスケット	59
3・3・1 使用材料から分類したガスケットの種類と適用	59
3・3・2 ガスケットの締付けに必要な力	69
3・4 パッキン	69
3・4・1 成形パッキン	69
3・4・2 グランドパッキン	79
3・4・3 オイルシール	84
3・4・4 メカニカルシール	85
3・4・5 その他（ワイパ、スクレーパ、ペローフラム、ダイヤフラム）	89
3・4・6 ラビリンスシール	90
3・4・7 その他（エアシャワー、雰囲気シール）	90
3・5 シール材料の特性例	90

第4章 給油法および給油装置

4・1 潤 滑 法	93
4・1・1 潤滑の目的	93
4・1・2 給油方法の分類	94
4・1・3 給油方法の選定	95
4・1・4 潤滑油の更油周期	97
4・2 給 油 装 置	98
4・2・1 潤 滑 油	98

4・2・2 グリース	110
4・2・3 ファーバル集中給油装置	113

第5章 潤滑剤の選定と取扱い方

5・1 潤滑剤の機能と種類	127
5・1・1 潤滑剤の機能	127
5・1・2 潤滑剤の種類と特徴	128
5・2 潤滑油添加剤の種類と作用効果	130
5・2・1 添加剤の定義	130
5・2・2 添加剤の種類と作用効果	130
5・3 潤滑剤の選定と正しい使い方	135
5・3・1 適油の選定	135
5・3・2 潤滑剤の正しい使い方	144
5・4 潤滑剤選定の成功例、失敗例	145
5・5 潤滑剤の保安と防災	151
5・5・1 潤滑油の危険物としての分類	151
5・5・2 貯蔵所および取扱い場所の定義	153
5・5・3 貯蔵所等の位置および設備基準	153
5・5・4 貯蔵所等の消火設備設置義務	155

第6章 潤滑油および作動油の汚染管理

6・1 汚染管理の内容	156
6・2 汚染度の測定	157
6・2・1 汚染物質の種類と混入経路	157
6・2・2 汚染度測定法の種類と規格	158
6・2・3 作動油固形物の測定法	159
6・3 汚染度の等級表示	160

6・4 汚染の影響	182
6・4・1 機器の運動部のクリアランス	182
6・4・2 固形微粒子の影響	182
6・4・3 水分の影響	184
6・4・4 気泡の影響	184
6・4・5 酸化生成分の影響	185
6・5 使用油の浄化	185
6・5・1 浄化法の種類	185
6・5・2 フILTERの選定の分類と特性	187
6・5・3 浄化装置の選定の留意点	174
6・6 オイルフラッシング	175
6・6・1 オイルフラッシングの目的	175
6・6・2 オイルフラッシング作業の前処理	175
6・6・3 オイルフラッシングの方法	176
6・6・4 代表的な設備機械のオイルフラッシング例	180
参 照 資 料	
1. 自動車工場における油種一覧表	181
2. 自動車メーカー汚染管理手法例	182
3. 汚染管理活動による効果例	187

第7章 油圧装置の保守管理

7・1 油圧装置について	188
7・1・1 油圧装置の概要と特徴	188
7・1・2 油圧の原理	190
7・1・3 油圧装置の構成	191
7・2 油圧装置の基本計算	193
7・2・1 ポンプの流量と速度	193
7・2・2 サブの流量	194
7・2・3 システムリーク	195
7・2・4 油圧装置の圧力	198

7・2・5 配管系の圧力損失	200
7・3 作動液の種類と特性	201
7・3・1 作動液の分類	203
7・3・2 作動液に要求される性質	203
7・3・3 作動液が油圧装置に与える影響	204
7・3・4 作動液の特性	205
7・3・5 作動液の選定	206
7・4 油圧装置設計上注意すべき事項	210
7・4・1 タンクの構造	210
7・4・2 ポンプの吐出し	212
7・4・3 配 管	213
7・4・4 油圧ホース	218
7・4・5 浄油回路	221
7・5 油圧装置の管理	222
7・5・1 点 検	222
7・5・2 作動液の取扱い	227
索 引	231

第1章

トライボロジーの基礎

1.1 トライボロジー

TPM に関しては、第一次石油危機および第二次石油危機を経て、血のにしむような努力が結実し、1980年頃から眼をみはるような成果と業績が達成され、日本の TPM のレベルは、国際的にも一頭地を抜くものとなってきている。

ただし、管理システムの分野と、全員参加の自主管理の面とでは、すばらしい躍進が見られるのに対し、固有技術の面ではいまだ不十分な点が多く、その遅れが目立っている。

管理システムを生かして真に実効を発揮するための固有技術では、現場における管理実務、たとえばデータをとるときの着眼点やポイント、データのとり方や活用法などの実務的固有技術が十分に身についておらず、ハイレベルに到達しているとはいえない。

一方、製造現場でのテクノロジーに関する固有技術も、機械設備の性能の解析、性能を維持向上するための諸技術、検査測定技術、設備診断技術、治療（機械設備の）技術、人間工学的検討などを初めとし、実務的固有技術がきわめて未熟である。

以上の固有技術の問題は、医療における防疫、予防、検査、診断、処置、治療、リハビリテーションおよび日常の健康管理の問題と同じであって、分子生物学、生化学、病理学や専門的手術、治療技術がいかに進歩向上しても、必要十分な固有技術が伴わなければ、最終的な詰めを欠くこととなり、絵に描いた餅に終わってしまう。ほんとうの意味で実効をあげることができるかどうかは、

固有技術にかかっているといっても過言ではない。機械設備といえども、学術・技術の開発と同時に、防疫、予防、検査、診断、治療、リハビリテーションおよび日常の健康管理についての固有技術が完備されることが、健康と長寿のかなめとなる。そして、これらに関する固有技術のうち、設計担当者、技術開発担当者、品質保証担当者、保全担当者、オペレータ等々の人々が、それぞれの範囲の固有技術をどの程度まで身につけるべきかは、業種や規模、事業場、担当部署等によって変わる。防疫・予防や健康管理にしても、管理者や専門家がやるべき部分と、各人がそれぞれやらなければならない部分がある。固有技術は苦手だから全部いっさい他人まかせ、専門家頼りということでは、健康維持も長寿も望めない。

TPM におけるトライボロジー技術に関しても、固有技術の面は非常に弱体であり、固有技術の習得と練磨、およびその活用という点でまことに不満足な状況にあり、成果があがっていない。どの担当者はどの範囲の固有技術が必要であり、どの範囲はどの専門家に依頼すべきかということすらわかっていない。

固有技術としてのトライボロジーは、摩擦、摩耗、潤滑、密封(シール)、ろ過、淨油、フラッシング、防錆等のすべてについて、現場の個々の機械設備ごとに、また個々の設計ごとに、一つ一つ詰めていかなければならないので、その習得練磨は容易なことではない。ある意味で限りなく広範なものといえる。したがって、それを身につけるには、基礎および応用の実務を繰返し学習するしかない。それゆえその教育・訓練・養成の場合も、1冊の本で片づけられるようなものでは決してない。

固有技術といっものは、つまりはゆまず、時間をかけて向上をはかるべきものである。一つの企業あるいは一つの事業場の全体を、短時間でレベルアップできるものではない。時間をかけてじっくり組む覚悟をし、まず、技になる技術者を養成することが大切である。いかにその人達が中心となって、各企業ごとにあるいは各事業場ごとに、それぞれに必要な教育・訓練・養成を行い、これによって末端までの浸透と全体的なレベルアップをはかることとなる。

本書でも、以上の立場から、まずはじめにトライボロジー技術者の養成を

第一の目的とする。ただしここでトライボロジー技術者というのは、高度の専門家を意味するのではなく、トライボロジーの素養を身につけた技術者。すなわちトライボロジーの基本を理解、習得し、現場の固有技術とまかなうことができ、併せて必要な教育・訓練を担当できるような実務家をいう。高度の専門技術に関しては、専門家に適切な相談を行い、その結果とよく判断し、有効に活用できる能力があれば、それで十分であり、自分が専門家である必要はない。固有技術に関し、総合的に全体の技術力を高め、必要な措置を行い、専門家を活用して成果をあげてゆく能力をもつことが根幹であり、それだけで十分である。

以上述べたことは基本的に重要なことであり、トライボロジーに関する固有技術を、どのような立場からとらえ、どのように考え、どのように取り扱ってゆくかという、根源的な立脚点にかかわるものである。トライボロジーの専門技術者を養成する場合やトライボロジーの研究開発技術者を養成する場合など（たとえばある研究室で2～3年の期間で養成を委託される等）とは、この立脚点が異なるし、トライボロジーの専門家あるいはそれに準ずる人を対象にして専門的な講演や討論を行う場合とも全く異なる。

事例研究にしても、直接ただちに現場に役立ち、現場の問題をいま解決するための具体的事例発表という立場よりは、トライボロジーの固有技術を理解習得するための実地応用事例という点に主眼をおく。

以下、このような立場で概要を解説する。

1.1.1 トライボロジーの定義と生い立ち

トライボロジー (tribology) という用語は、現在世界的に広く用いられるようになってきたが、内容は潤滑工学 (Lubrication Engineering) とほぼ同じであり、ただし、完全な同義語ではなく、潤滑のいっさいをトライボロジーに置き換え、潤滑という用語なしですますということとはできず、トライボロジーと潤滑のいずれもが用語として用いられることとなる。

単刀直入のいい方をするならば、学問的には必要に応じ、トライボロジーと潤滑とを、時と場合によりそれぞれ適切に使い分けるが、実地応用や現場技

術の場合は、極力、潤滑という用語をやめてトライボロジーという用語を用いてほしいということが本旨である。潤滑剤、潤滑油、潤滑グリースなどというときに、潤滑という言葉を用いるのは、技術的に正当な使い方であり、現場でもそれでよいのであるが、潤滑技術、潤滑事例などというときには、必ずしも正当な使い方といえない場合が少なくないので、現場ではそういう用語は用いないようにし、トライボロジー技術、トライボロジー事例というようにということが大きな目的となっている。

このことは、じつはトライボロジーの本質にかかわることなので、以下に簡単に説明しておきたい。

トライボロジーの定義は、「相対運動下で干渉しあう面および関連する諸問題と、その実地応用を対象とする学問・技術」となっている。わかりやすくいえば、「摩擦面（関連諸問題を含む）に関する学問・技術（実地応用を含む）」である。tribo も logy も新語ではなく古くから用いられているが、両者を結合した tribology は、戦後に登場した新造語であり、「摩擦学」を意味する。

しかし、上記の定義はわれわれが従来から考えていた潤滑と概略同じであり、わざわざトライボロジーというような新造語を用いなくとも、潤滑といえはむことであり、潤滑という従来の用語で十分事足りる。しかも単に間に合っているとか必要ないとかいうことだけではなく、ほぼ同じ内容をもつ用語が二つできるということは、混乱のもととなり、技術用語としては好ましくないことである。微妙なニュアンスで使い分けをする文学の場合はそれも有意義であるが、学問・技術上の用語は、正確に定義されたものを用い、用語と内容とを“一対一”に対応させるようにし、極力、あいまいさを避けるようにするのが大道である。

それゆえ、このトライボロジーという新造語の登場は、はなはだ奇異であり、西欧が強力にこれを主張したとき、日本とアメリカは、当初は賛成を渋ったのである。戦後すぐ、イギリスを中心に西欧がキャンペーンを開始し、情熱的に忍耐強く、この新造語の認知・採用に努力を傾注し、その普及運動を推進した。なぜそういう必要があったのか。潤滑では不可あるいは不足なのか。潤滑をや

9-7-37A 1

めてトライボロジーに統一するならともかく、両方が用いられるのはなぜか。

その理由は後にわれわれにもよく理解できたが、いろいろの問題があったため、トライボロジーという用語が普及し、広く用いられるようになるまでには、西欧がキャンペーンを開始してから20年を要したのである。当時、西欧側は日本とアメリカは遅れていると、非難したりもした。

西欧がトライボロジーという新造語を必要とした理由は、じつは日米よりも技術の歴史はるかに古く、そのため、日米では潤滑というと最初からトライボロジーとほぼ同じ内容を意味したのに対し、西欧では潤滑というと油やグリースに関連する技術を意味するという通念が浸透していた点にあったのである。技術の歴史が古い西欧の場合、潤滑という用語は、摩擦面、摩擦挙動、摩擦などを意味する前に、まず油やグリースと結びつく。

潤滑というと、油やグリースが主役となり、摩擦面、摩擦挙動、摩擦などは脇役に追いやられてしまう。もちろん、これは致命的な誤りである。摩擦面という主役があって、油やグリースはこの主役が利用する手段の一つにすぎないことはいうまでもない。潤滑上から見て油やグリースが適しているなら油やグリースを用いるし、油やグリースが適さず、他の潤滑方式——たとえば潤滑油剤なしの乾性摩擦が適しているならそれによるし、固体潤滑剤が必要ならそれによる。気体軸受なら圧力气体によって潤滑がなされるし、洗濯機のメカニカルシールなら石けん水により潤滑される。

いずれにしても、潤滑と油・グリースとは直接関係はなく、油・グリースは潤滑上必要を生じた場合に限り補助的に利用されるものにすぎない。潤滑というときに、以上のように、手段の一つにすぎない油やグリースが主体となり、かんじんな摩擦面の特性や摩擦挙動の解析が無視されるようでは、本末転倒もはなはだしい。しかし、現実には西欧においては、潤滑という用語は油やグリースと結びつくという一般通念が抜き難く、本末転倒がまかり通っていたのである。

これを正道に戻すことはすべてに優先するが、軌道修正は決して容易ではない。摩擦面という主役があって、その信頼性・耐久性を維持向上させるため、

最適の方法を考究するのが潤滑であり、研究も技術開発も実用もすべてこの線に沿って進められなければならないが、それがわかっている、長年しみついたイメージというものは広く深く流通しているために、潤滑という用語を用いている限りどうにもならない。潤滑とはかくかくしかじかのものであり、油やグリースとは直接関係はないものであるといっても、西欧では現場で理解してもらえない。

それゆえ、誤まった社会通念を正し、本来のあるべき姿を明確にするためには、産業向け・実用向けにトライボロジーという新造語を掲げ、これを普及させ、潤滑という用語の使用を最小限にとどめることかぜひ必要であった。学問的には、トライボロジーと潤滑とが、用語として使い分けられることとなるが、現場では万やむをえない場合以外、原則として潤滑という用語は使わないという精神である。学界におけるアカデミックな研究は別として、実地面においては、研究も技術開発も、上述の点を正さなければ真の発展はありえない。

1.1.2 トライボロジー推進の意義

1966年に公表されたイギリスのJost報告〔赤岡：プラントエンジニア、'70-No. 5, p. 51 参照〕は、トライボロジー活動を推進することにより、イギリス一国だけで、当時の貨幣価値で年間約5000億円の利益（損失の救済）が達成できるという実態調査結果を示した。工業規模でイギリスに数倍する日本で、現在の貨幣価値に換算すれば、年間10兆円を超えると考えられる。

以上のことから、トライボロジー推進の意義として、「トライボロジーは、（1）省資源、（2）省エネルギー、（3）機械性能の保証と向上のかなめである」という旗が高く掲げられたことは、今よくかえってみると、歴史的な重要性をもつと思う。当時は第一次石油危機の数年前で、高度成長の真っ盛りであり、増産に次ぐ増産をめざし、品質管理・生産効率・納期がとくに重視され、機械設備は償却期間を短くして大規模化・新鋭化を進めることに血道をあげていた時代である。

ブレークダウン、ラインストップにより納期遅れに結びつくようなトライボロジー問題には熱心に関心を示しても、省資源、省エネルギー、機械性能の保