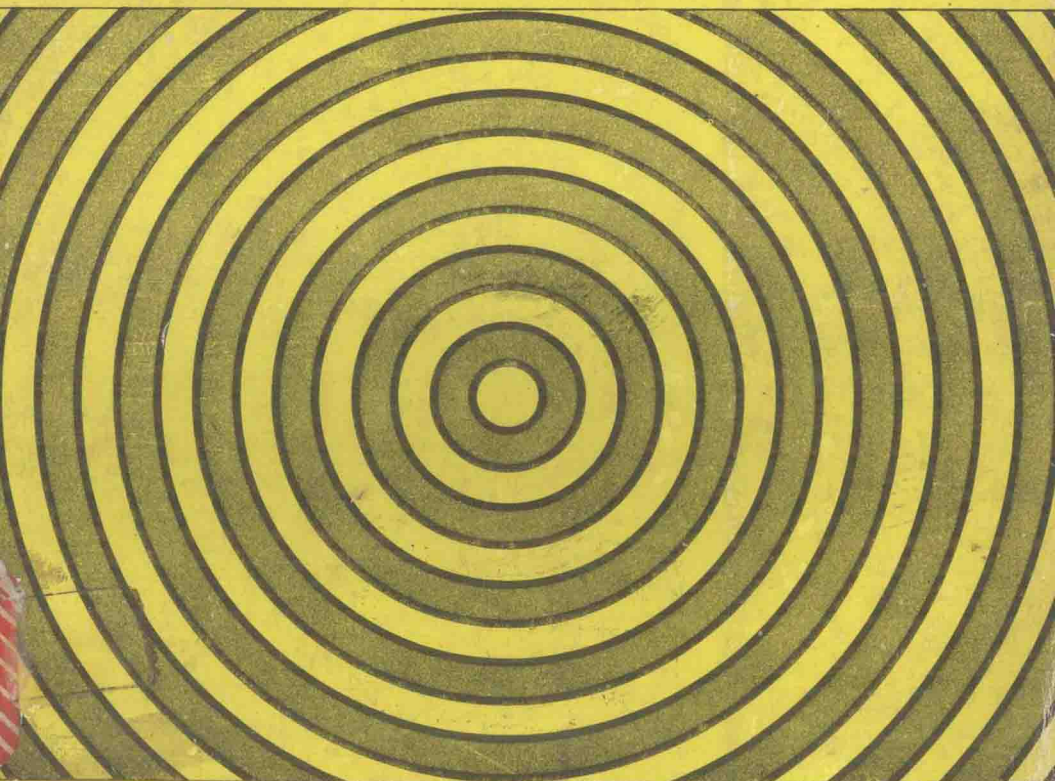


精密科技

含油軸承實務

川崎景民著
賴耿陽譯著

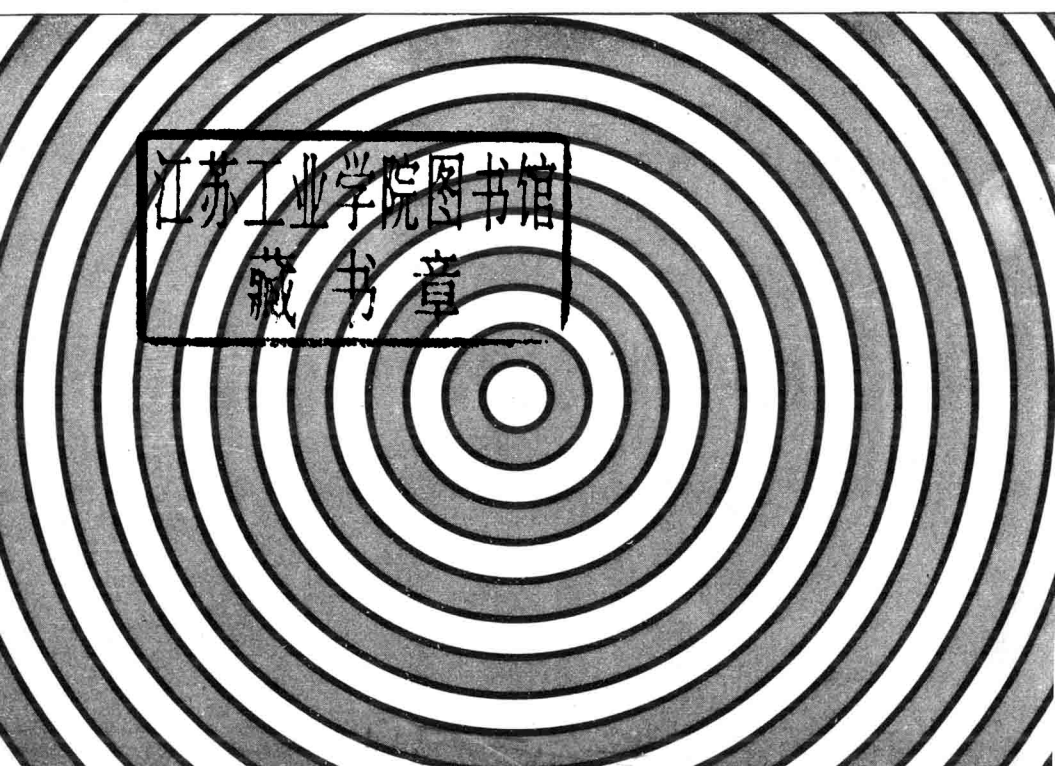


復漢出版社印行

精密科技

含油軸承實務

川崎景民著
賴耿陽譯著



江苏工业学院图书馆
藏书章

復漢出版社印行

中華民國七十一年一月出版

含油軸承實務

原著者：川崎景民

譯著者：賴耿陽

出版者：復漢出版社

地址：台南市德光街六五一號
郵政劃撥三一五九一號

發行人：沈岳林

印刷者：國發印刷廠

打字者：克林照相植字排版打字行

版權所有
翻印必究

平裝 二七〇元
精裝 三〇〇元

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

序

在今天的電腦時代，機械文明一語似已陳腐，但現代文化離開機械就無所依托，人類福祉的展望仍大仰賴於機械，所以機械及構造物的種類不勝枚舉，而且日新月異。機械、構造物不可缺少的軸承、滑動而有很多形式，依各設備所須發揮的機能適才適用。

軸承材料要求的事項因機械設備的種類及適用處而異，諸如“不必供給潤滑劑”“不用油脂，而且固體接觸移動面的摩擦極少”“在無法用油脂的高溫、低溫，也需要安全作動的軸承材料”。

符合這些要求的只有 Oilless bearing，依目前的狀況，Oilless 的 less 似有兩種意義：「少」的意思，含油軸承屬此。另一是「無」的意思，自潤滑性軸承屬此。一般以「無給油軸承」函蓋兩者。但是無給油軸承的用途包羅萬象，無給油材料也常用於軸承以外的耐壓滑動面，諸如建設構造物的支承，汽車車體用、操縱用零件及其他相對移動要求減摩作用的所有分野。

日本 Oilless 工業株式會社創辦人川崎宗造將此種材料命名“要滑部材”（要滑零件材），似很恰當。

美國克萊斯勒公司 1930 年發表“Oilite”燒結含油軸承合金，1940 年頃日本也研究銅、鐵系燒結含油合金，目前廣用於電機、纖維機械、食品機械、車輛、建設構造物等。

日本 Oilless 工業株式會社專業研製無給油軸承，陸續開發木質含油軸承、熱硬化性合成樹脂含油軸承、成長鑄鐵含油軸承、固體潤滑劑軸承，都已實用化、商品化，曾以大量生產的業績榮獲日本極具權威的大河內紀念技術賞。

本書即由該會現任社長川崎景民工學博士執筆，就無給油軸承及要滑零件材，詳述歷史、原理、材料、設計、應用、處置。本書有助於工業技術的升級發展。誠為業界及讀者之福。

・鉄系の焼結含油合金が研究の域を出て実用化に進み、その後発展的に用途が拡がり、現在は電気機械・繊維機械・食品機械・車両・建設構造物などに広く用いられている。

しかし、オイレス工業株式会社の現会長川崎宗造氏は焼結合金とは別に、独自の視点から無給油軸受を研究され、木質含油軸受にはじまって熱硬化性合成樹脂含油軸受、成長鋳鉄含油軸受、固体潤滑剤軸受と開発を続け、いずれも実用化・商品化に結びつけられた。私は先覚者川崎宗造氏のこの業績に対し深い敬意を懷いているものであるが、オイレス工業はその後めざましい発展を重ね、現社長川崎景民氏の代となって、熱可塑性合成樹脂含油軸受が開発され、その優れた自己潤滑性は要滑部材に新分野を開いたものとして注目される。

またこれと時期を同じくして、軸受関係以外の建設構造物用および自動車部品用その他の用途で、要滑部品の生産が著しく伸びたことも事実であり、なおその間にアセタール樹脂系のハイ・オイレスレジン、成長鋳鉄含油軸受材料および固体潤滑剤充填要滑部材について、異例の技術輸出がなされたことも世の知るところである。

さらに特筆すべきことは、オイレス工業株式会社が、“含油プラスチック軸受の量産化”の業績により、学界および産業界において権威の極めて高いものとされている大河内記念技術賞（大河内記念会の第19回昭和47年度分、昭和48年3月13日表彰）を受けられたことで、この事実は、明らかにオイレス工業株式会社の生産技術のレベルの高さを物語るものであろう。

さて無給油軸受が今日の発展を見るまでには、過去から現在にかけ、世界を通じて実に多くの研究がなされており、それら研究報告の数は膨大なものとなっている。また軸受・潤滑に関する著書の一章としての記述および工業雑誌に掲載された解説的記事は枚挙にいとまないくらいである。しかるに無給油軸受のみについて詳述した単行本は非常に少ない。川崎宗造氏が昭和28年に刊行された“オイルレスベアリング”なる著書は、わが国として嚆矢に属するものであるかと思うが、このたび、オイレス工業株式会社創立20周年記念として新版“オイルレスベアリング”が発行され、現時点に立脚した無給油軸受および要滑部材の全貌を、歴史、原理、材料、設計、応用、取扱いにわたって詳細に著述されたことは、時宜に即した出版であり、わが国工業技術の向上発展に大きく寄与するものとして高く評価する次第である。

序 文

人類が四つ足から二本足で立ち、知的活動をはじめたときから、摩擦と摩耗という自然現象は、人類にとってなくてはならない進化の脇役者となった。まさに天の恵物であった。二つの固体を摩擦させることにより、摩耗することを知り、石器をつくりだした。二つの固体を摩擦させることにより、熱が生ずることを知り、火をつくりだした。

しかし一方、摩擦と摩耗は人類の知的活動の場における困難な障害として人類の進化の前に立ちはだかった。重い自然物を地面をひきずって移動させようという欲望が生まれたとき、摩擦という見えざる巨人とたたかわなければならなかった。このときから人類と摩擦との絶えまないたたかいはがはじまった。そこで人類はコロを発明し、動物の油脂の潤滑性を見つけだし、そうして荷車まがいのものをつくりだしていった。

摩擦と摩耗という自然現象を天の恵物として役立てる一方、摩擦と摩耗との絶えまないたたかいにおいて、荷車というもっとも原始的なからくりを発明するにいたったということを思うとき、人類の進化にとって摩擦、摩耗はなくてはならぬ脇役的存在であったという感を深くする。

人類は荷車まがいのからくりから、少しずつ知的生活の場を広げ、人手、人力にかわる道具として次から次へと新しいからくりを発明していった。その過程において、摩擦と摩耗とのたたかいは間断なく繰返えされ、多くの体験の中から、そこに軸と軸受、さらに潤滑という概念を形づくっていった。そうして18世紀末期から起こった産業革命を経て、さらに今世紀中期にかけての技術革新を契機として飛躍的に今日の高度な機械文明を築くにいたった。その間機械文明の進歩にひかれて摩擦、摩耗、潤滑の面での急速な進歩があったことは見のがせないが、同時にはなやかな機械文明の進歩の蔭にかくれて、表面にはでなかった蔭の力として摩擦、摩耗、潤滑の面での進歩があつてはじめて、このような高度な機械文明が可能になったといっても決して過言ではない。

人類の進化進歩の歴史は、摩擦、摩耗との共存の歴史であり、同時に摩擦、摩耗との絶えまざるたたかいにおける地道な人類の英知の勝利の歴史として綴られなければならない。

オイルレスベアリングが生まれたのもこうした人類の摩擦、摩耗との

たたかひの道程における必然性にもとづいてのことであつた。

できるだけ少量の油で経済的に潤滑したい、油の飛散による製品の汚損を防ぎたい、潤滑の面での機械の保守保全から手をはぶきたいという人類の素朴な願望がオイルレスベアリングを生んだ。そして、材料革命はつぎつぎに、木質から金属へ、金属からプラスチックへ、プラスチックから無機材料へ、またその複合材料へと新しいオイルレスベアリングを生みだした。機械文明の縁の下での力持ちとしての役割をはたしながら、同時に機械文明の進歩が新しいオイルレスベアリングの誕生を促してきた。

しかし高度な機械文明の繁栄の裏には、公害と天然資源の枯渇という人類破滅につながる二つの大きな危機に直面している。いまや人類は限られた地球上の共通財産である天然資源をいかに守り、これをいかに有効に使うべきか、人類がまき散らした公害をいかに処理していくべきかという次の世代からの命題をたくされており、これらと真剣に取りくんでいかなければならない。

ここにオイルレスベアリングの新しい役割りが生まれつつあることを考えないわけにはいかない。それは摩擦、摩耗、潤滑という面での天然資源の有効利用という課題であり、潤滑油による水質汚濁の面、無公害エンジンの開発関連における耐高温、耐食という面での油潤滑に代わる新しい摩擦、摩耗、潤滑という課題でもある。さらには宇宙開発での高真空中、海洋開発での高水圧下での新しい摩擦、摩耗、潤滑へのオイルレスベアリングとしての挑戦ということになる。オイルレスベアリングすなわち含油軸受という既成の範囲をこえて、オイルレスベアリングが真に意味するオイルレスベアリングの時代を迎えたということになるのではないだろうか。

人類の進化進歩に欠くことのできなかった摩擦、摩耗という問題を、人類の広い意味での福祉の増進という面でとらえ、人類のためになる科学技術の哲理という枠組みの中で、もう一度オイルレスベアリングの新しい役割を考えていかなければならない。そのような意図でこの書の発刊を企画するにいたつた。不幸にしてオイルレスベアリングについての研究はきわめて少なく、また図書も昭和28年刊行の川崎宗造著「オイルレスベアリング」ただ1冊にとどまるにすぎない。

ここにオイルレスベアリングについての最新の知識、データを収録して発刊の運びになった。発刊にあたりおことばをいただいた京都大学名

誉教授佐々木外喜雄先生をはじめ、出版についてご尽力をおねがいしたアグネ社の方々に深謝の意を表すると同時に、この書をあらわすにあたり、絶大な協力を得たオイレス工業株式会社の村越新一、高田弥太郎、山下一郎、瀬川赴夫、笠原又一、安倍 亘の諸氏に衷心から感謝を申し上げる。

なおこの書はオイルレスベアリング業界そのものの技術的歴史と展望であり、またオイレス工業株式会社自体の技術の過去、現在、将来でもある。この機会にオイルレスベアリングを時代の要求の商品として育てはぐまれた、諸先生、諸先輩、多くの協力者の方々に心からお礼を申し上げます。

新しい時代におけるオイルレスベアリングの果たすべき新しい役割への挑戦はこれから始まるわけで、今後とも各界の先輩諸氏のご指導を賜わるようお願いするとともに、この書の内容が広範囲にわたり、いろいろな領域にまたがるものであったため、浅学菲才の著者には荷のかちすぎたテーマであり十分にその責めをはたすことができなかったことをお許し願いたい。

かわ さき けい じん
川 崎 景 民 略歴

昭和7年3月3日	生れ
昭和30年3月	東京大学工学部機械工学科卒業
昭和36年3月	同上 大学院博士課程修了 工学博士
昭和42年2月	オイレス工業(株) 代表取締役社長
昭和46年11月	(株)学際研究所 代表取締役社長
昭和47年6月	(株)マミフラワーデザイン 代表取締役社長
昭和48年5月	日本潤滑学会 運営委員会委員
現 住 所	東京都大田区山王2-8-7



目 次

第 1 章 含油軸承的歷史與展望..... 1

- 1-1 古代的軸承..... 1 狀態使用的含
- 1-2 含油軸承的成長..... 7 油軸承..... 15
- 1-2-1 木質系含油軸承 8 1-3 含油軸承的展望... 16
- 1-2-2 橡膠系含油軸承 9 1-3-1 油潤滑式含油
- 1-2-3 金屬系含油軸承 9 軸承..... 16
- 1-2-4 塑膠系含油軸承 1-3-2 固體潤滑式含
- 12 油軸承..... 19
- 1-2-5 主要以乾燥摩擦

第 2 章 摩擦與摩擦耗及潤滑..... 21

- 2-1 摩擦與摩擦耗..... 21 2-2-1 流體潤滑..... 40
- 2-1-1 金屬的摩擦與 2-2-2 邊界潤滑..... 45
- 摩擦耗..... 21 2-2-3 固體潤滑..... 54
- 2-1-2 塑膠的摩擦與 2-2-4 多孔質軸承的
- 摩擦耗..... 30 流體潤滑..... 64
- 2-2 潤滑理論..... 40 2-2-5 塑膠的潤滑... 69

第 3 章 含油軸承各論..... 73

- 3-1 含油軸承的分類與 油軸承..... 85
- 特色..... 73 3-2-3 成長鑄鐵含油
- 3-2 金屬系含油軸承... 75 軸承..... 88
- 3-2-1 粉末燒結含油 3-2-4 特殊的金屬軸
- 軸承..... 75 承..... 99
- 3-2-2 鑄成銅合金含 3-3 固體潤滑劑軸承... 102

3-3-1 覆膜軸承.....102	多層軸承) ...151
3-3-2 固體潤滑劑複 合軸承.....106	3- 5 木質及橡膠軸承...155
3- 4 塑膠系軸承.....114	3-5-1 木質軸承.....155
3-4-1 塑膠軸承的特 色.....114	3-5-2 橡膠軸承.....157
3-4-2 塑膠軸承的構 成.....115	3- 6 支承(bridge bearing).....158
3-4-3 塑膠軸承的種 類.....117	3-6-1 滑動支承.....159
3-4-4 複合形軸承(	3-6-2 滾動支承.....171
	3-6-3 特殊用途用支 承.....175

第4章 軸承設計法181

4- 1 設計規範.....181	4-4-2 表面粗糙度...201
4- 2 負荷條件.....182	4-4-3 硬度.....203
4-2-1 P V 值.....182	4-4-4 表面處理.....204
4-2-2 軸承荷重.....184	4- 5 形狀及尺寸.....205
4-2-3 滑動速度與轉 速.....191	4-5-1 軸承內徑與軸 承長度.....205
4-2-4 運轉的間隔與 滑動方向.....192	4-5-2 軸承厚度.....206
4- 3 環境條件.....194	4-5-3 軸承間隙.....207
4-3-1 溫度條件.....194	4-5-4 緊度.....209
4-3-2 水中及其他液 中.....195	4-5-5 油孔及油溝...209
4-3-3 塵埃等異物的 影響.....197	4-5-6 特殊的設計條 件.....213
4-3-4 其他環境條件198	4- 6 潤滑油的選定.....216
4- 4 對象材料.....198	4-6-1 潤滑油.....216
4-4-1 軸材質.....198	4-6-2 滑脂.....221
	4- 7 軸承的壽命.....222

第5章 使用方法	229
5-1 裝配	229
5-2 適應運轉	229
5-3 加工方法	229
5-4 含油處理	231
5-5 保管	231
第6章 實用設計例	233
6-1 一般設計例	233
6-2 高速條件設計例	238
6-3 搖動條件的設計例	239
6-4 往復動條件的設計例	246
6-5 大形及高荷重條件的設計例	250
6-6 高溫條件的設計例	259
6-7 水中、液中的設計例	262
6-8 設計條件的設計例	267
6-9 控制纜等的設計例	268
6-10 大形構造物用支承的設計例	271
第7章 軸承試驗與試驗機	283
第8章 相關零件	291
8-1 供油零件	291
8-2 密封	292
附錄	297

1. 含油軸承的歷史與展望

1.1 古代的軸承

含油軸承已無從稽考從何一時代開始使用，可能已相當古老，例如產業革命前期英國的 J. 哈里松欲將船用時鐘的樞軸軸承無給油化，採用癒瘡木，留下記錄。

含油軸承確立機械要件之有用性，而以商業性處置的是 19 世紀後半到 20 世紀初期的事。

軸承隨機械的發達而進步，但若無軸承的進步，機械也不會有今天的發展。在此爲了充分瞭解含油軸承，包括一般的滑動軸承，簡單回顧其發展的歷史。

比哈里松的樞軸軸承早 250 年的文藝復興初期，義大利有名的達芬奇（1452～1519 年）記錄二物體間的摩擦現象，但當時未獲重視，因而也無實際應用。

當時灌溉用或磨粉用動力已普遍使用風車、水車，又因卷揚機、車輻、織機、搬運機等很發達，理應使用不少軸承，但那只是支持軸的“一部份”，未確立目前當成機械要件的地位。

與達芬奇大致同時代的 G. 阿古里可拉（1494～1555 年）在其著作中收錄描畫當時冶金、礦山機械模樣的多件木版畫，吾人可知當時軸承的模樣，圖 1-1-1 爲人力揚水泵浦，圖 1-1-2 爲用水力的揚水泵浦。

前者用金屬帶固定軸位置，軸直接在木架上旋轉。

後者水車軸的軸頸部只置於簡單的軸承台（pillow）上。

圖 1-1-3 是用人力踩輪，經齒輪變速的揚水泵浦。

軸承部有 3 處，以釘將金屬薄板固定於木架上。

該書其他機械的軸承部也大都只在木質機架上設 U 字形凹部。

圖 1-1-4 是比阿古里可拉早數百年的中世紀初期貨車木製車軸的



圖1-1-1 阿古里可拉的記錄

軸頸部，軸固定，車輪在軸周圍旋轉。

座鐵（clout）以釘固定於軸的下側，端部上面及承受推力的軸肩部，此形式與阿古里可拉插畫的使用法完全相同。

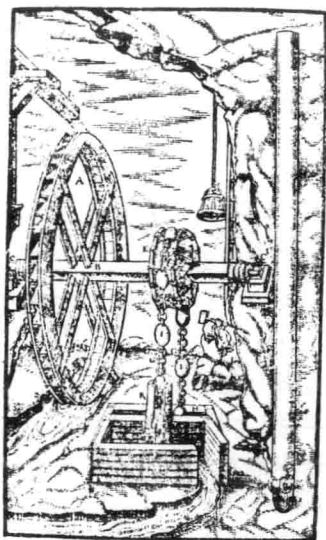


圖1-1-2 阿古里可拉的記錄

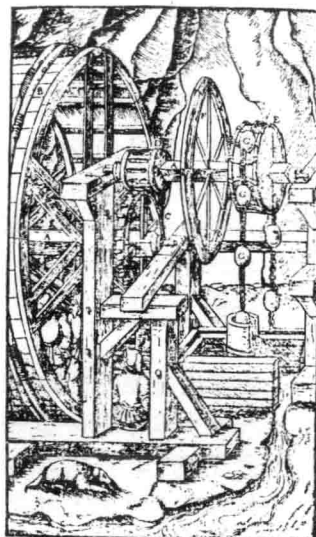


圖1-1-3 阿古里可拉的記錄

更驚人的是此種車軸在比當時早 2000 年的紀元前 1500 年頃，可能已用於戰車（chariot）或特殊貨車的軸承部。

使用金屬軸承部是後來的事，不過紀元前 750 年已在木製車軸端部包覆薄銅板。

亞述首都 Nineveh 大浮雕的大石塊搬運圖（BC 650 年頃）或更早數百年的 Hittite 人石浮雕獵鹿圖（圖 1-1-5）也畫有具備輻（spoke）的進步車輪式二輪車。

Hittite 人（居位東歐草原地帶的 Arian 系人種）在 BC 1500 年已開始使用鐵器，雖無確證，但可能在古代以東方人使用的軸承部較進步。

推進到希臘、羅馬時代，各種學問已很發達，在幾何學、力學及其應用分野都有成就的著述家 Heron（BC 100 年頃）列舉輪軸、槓桿、滑輪、楔、螺旋齒座為能以一定力驅動一定重量物的五種單一機械。

它們全是現在所謂的機械要件。

螺旋齒座可視為以齒輪啮合的無限螺旋，目前機械三大要件的軸承、齒輪、螺紋之中，除了軸承之外，都已是當時學問考察的對象。

遺憾的是，本身不動而發揮機能的軸承未被討論，從太古經希臘、羅馬時代及漫長的中世紀，到達文藝復興，數千年間，並無資料可推測軸承部有超出座鐵以上的進步，可說幾無進步。

阿古里可拉插畫中，以釘固定金屬薄部的軸承部等比起紀元前時代，有何進步？

機械、裝置等單純，負荷輕又不大要求速度的時代，在木製機架開孔或凹部，直接安裝軸，或為了保護機架或軸頸部，兼慮若干摩擦或摩擦，嵌入或張貼銅或鐵的薄板即夠用。

從中世紀到文藝復興時代的機械，組合各種機械要件，運動的變換內容或機構的複雜性是比古代進步得多，但軸承部的進步却很“懷古”。

當時的技術者或工人以職業上的經驗處理摩擦或潤滑的問題。

從文藝復興到產業革命時代，各種機械急速進步後，才刺激軸承進步。

從文藝復興進入產業革命時代後，軸承部只為支持軸等的一部份之觀念已落伍。

跳到 17 世紀後，摩擦理論方面出現牛頓（1642～1727 年）、乾燥摩擦定律的阿蒙通（1663～1705 年）、18 世紀凹凸說的庫侖（1736～1806 年）。

實用方面，虎克（1684 年）就揚帆車向英國皇家協會（1662 年設立）提出報告：

圖1-1-4 木製車軸
安裝部與軸頸部座
鐵（clout）以釘
固定

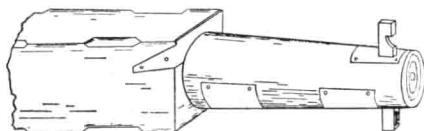


圖1-1-5 Hittite人的
石浮雕（獵座圖），左
下為有輻的車輪



「軸愈圓滑時，滾轉效果愈大。銅軸與鏡銅（Cu, Sn, As, Zn 等組成的合金，用於鏡）的承受口（軸承）優於木材穿鐵鞋或設勒緊件者。鏡銅的承受口中容納淬硬鋼軸頸滾轉時，若防止砂土或塵污介入，不斷注油，使金屬間不相咬合的話，效果更好……」。

當時，歐洲各地的風車已相當發達。

風車的建設為風車木匠的工作，包辦翼等的修理或更換、更換新軸承、調整石臼。

時鏡使用相當精密的特殊軸承。

寶石軸承的專利是 1704 年英國授予瑞士人 N. 法希沃·得·鳩葉（1664～1753 年），他用天然紅寶石、藍寶石等。

此外，英國的 J. 哈里松（1693～1776 年）對船用時鐘的樞軸軸承使用瘡瘡木。

他們的主要目的在減少摩擦，以便可不用油。可說是含油軸承的前驅。

為了進一步減少摩擦，如圖 1-1-6 所示，對齒輪設計瘡瘡木在小黃銅銷上旋轉。

1784年英國的H.柯林發明輥軋機，爲了不使軸承破損，使用周圍卷金屬帶補強的木質軸承，供給水或油而使用。當時的木質軸承有配合軸穿孔的軸襯（bush）或裝木片成桶狀。

18世紀的馬車顯著發達，屢試改良車用軸承，1784年第一輛郵務馬車行駛於倫敦。

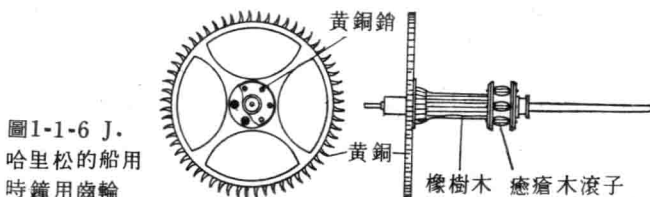


圖1-1-6 J. 哈里松的船用時鐘用齒輪

圖1-1-8是稱爲郵務車軸（mail axle）的軸箱，爲英國J. 貝山特在1786年的專利。

軸頸部設供油裝置D，經軸G上部的軸線方向溝H供油。

圖1-1-9爲英國J. 柯林吉的馬車軸箱，爲1787年的專利。

圖1-1-10爲主要部份的分解圖，柯林吉發明品的顯著特色是只在長軸環B的兩端設軸承C，車軸A上有套筒D嵌着，防止車軸磨耗。

他也提案用圖1-1-11所示的分件型套筒 D_1D_2 ，這樣的話， D_1 與 D_2 之間分別可旋轉，有助於減少摩擦。

軸承及套筒的材質有鑄鐵、鍛鐵、黃銅（mill brass）等，在軸環B與套筒D形成的空處充填油或滑脂。

從現在滑動軸承的技術水準看來，柯林吉的發明亦屬高水準，諸如①軸承在長軸環中央部離隙，只兩端密觸，②用套筒保護軸，③以密閉的中央離隙部貯油，④採用組合滑動零件 D_2 的套筒 D_1 。

19世紀後，I. Babbitt發明巴氏合金軸承（將白合金表襯於基材）（1839年）、C. Goodyear（固特異）發見加硫法（1838年）奠定今天橡膠工業的基礎、J.W. 海雅特（1837～1920年）發明賽璐路（1868年）踏出今天塑膠產業的第一步、S.古茵發明無給油粉末金屬軸承（1870年）——燒結含油軸承始自美國的E.G. 奇爾松（1916

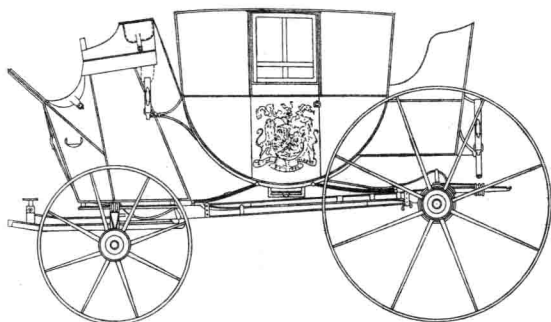
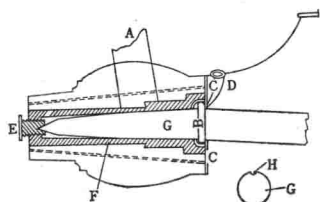
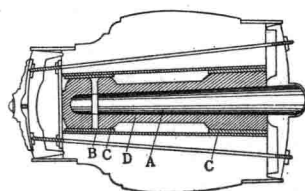


圖1-1-7 J. 貝山特的郵務車(1786年英國專利明細書)



A : 輻 B : 凸緣 C : 固定板
D : 給油管 E : 螺絲
F : 軸環(軸承) G : 軸
H : 給油溝

圖1-1-8 J. 貝山特郵務車
的軸箱部



A : 車軸 B : 長軸環
C : 軸承 D : 套筒

圖1-1-9 J. 柯林吉的馬車軸
箱部

年)——、19世紀後半50年興起石油工業、1883年霍爾貝斯將石墨用於導電刷子(此前用純銅)、E.G.阿替松完成石墨化(1896年), 關連軸承的技術及產業顯著進展。在學術方面, 美國柯尼爾大學教授R.H. 沙斯通研究摩擦潤滑(1879年)、蘇俄聖彼得堡大學教授(後成鐵路技師)N.P. 佩特洛夫(1836~1920年)研究潤滑油及流體摩擦(1883年)、英國的B. 塔瓦(1845~1904年)實驗流體潤滑(發見油膜壓力)(1883~1891年報告)、英國曼徹斯特大學教授O. Reynold 用流體力學解明油膜壓力(收歛膜的原理)等。

如此異於天才達芬奇的時代, 發達的產業界技術由學術界佐證, 進而啟示方向, 兩者結成一體, 大獲進步, 不久造成20世紀的飛躍發展。