

電動機用グリースの検討 (第1報)

— 一般性状について —

Studies on Greases for Electric Motors (Part 1)

— General Characteristics —

茂庭喜弘*
Yoshihiro Moniwa

友部友綱*
Tomotsuna Tomobe

高橋治男**
Haruo Takahashi

内 容 梗 概

内外市販の各種電動機用グリースを集め、アメリカ Federal 法、ASTM 法およびイギリス IP 法、そのほかを参しゃくして各種性状試験を実施し比較検討した。一般性状試験の結果のみでグリースの性能良否を断定すべきではないが、本報の結果より添加剤入り高性能ベアリンググリースについても最近の国産品は外国品に比肩しうるものが出現しており、全般的に改良進歩しつつあることが指摘できる。

1. 緒 言

潤滑剤は単に所期の目的たる潤滑を十分に行うだけでなく、その潤滑性能を長く保持する安定性が必要である。潤滑剤の安定性は精油技術、添加剤の発達にともなって最近急速に向上した。従来潤滑剤は消耗品であってひんぱんに取換えるようなことはあたりまえとされ、安価に入手できることのほうが重視されがちであったが、油の安定性が著しく向上してきたことと、機械の広汎な普及による取扱者層の拡大にしたがい、安定性が高く、長期間取換え不要の潤滑剤が、高級な機械にとどまらず汎用機械にも急速に普及しつつある。

グリースにおいてもこの傾向があり、汎用グリースとしてのカップ、ファイバグリースにかわり、添加剤入り高性能グリース、特殊グリースに対する要求が強くなりつつある。しかしわが国におけるグリースは新しい方向に動きはじめてからまだ日浅く、高性能グリースに関する試験、研究例は必ずしも多くなく、現国産品の水準および外国品との優劣などは明らかでない。これがためその採用にあたって選択に迷うことが多く、一般に国産品よりも外国品に依存する傾向が強い。かかる情勢下に高性能グリースに関する適切な試験法、性能規格の確立を要望する声が強くなり、昭和34年春以降工業技術院標準調査会化学部会においてベアリング用グリースをとりあげるに至ったが、試験項目その他で種々議論が多い。

筆者らは従来から内外各種グリースにつき、その物理化学的一般性状、寿命関連因子、潤滑性能その他について使用者の立場から一連の検討を行っており、これらの諸結果を総合して個々の潤滑条件に適應するグリースの選択につとめているが、最近電動機の普及拡大にともないベアリング用グリースに対する関心が高まり、かつこれが JIS 化も検討されつつあるので、現在までの研究結果を発表することは少なからぬ意義があると考えられる。すなわち本稿以下に汎用電動機のベアリング用グリースをとりあげ、各種の吟味結果を報告することとした。これがグリース潤滑を必要とする電動機、そのほか一般機器用ベアリングの潤滑管理、保守に資し、かつ、よりすぐれた規格の制定、グリースの改良進歩などに多少とも寄与しうれば幸いである。もとより検討を要することは多く、試験法にも問題点が少なくないので、これらを簡単にまとめることは不可能であり、順を追って逐次報告することとする。本報には、まずグリースの一般性状について、その試験法に関する問題点に触れつつ内外グリースの代表的品種を比較検討した。

2. グリースの組成について

グリースの性能評価に際しては、その組成に十分留意を要するので、試験各論に入るに先だちこの点に若干触れておかねばならない。

グリースは半固体状で中に多量の油を保持している。油が簡単に流失するのを防止し、所望の潤滑を期するため、油をスポンジ状構造物に保持させ、かつこのスポンジ構造が多少こわれても潤滑の邪魔にならぬものとして石けんが選ばれ、これと油とでグリースが作られたが、スポンジ基剤は必ずしも石けんであることを要しない。すなわちシリカゲル、ベントナイト、アセチレンブラックのごとき無機物、銅フタロシアニン、テレフタル酸アミド金属塩、アリル尿素、アクリル酸系化合物などの有機化合物も使用される^{(2)~(5)}。しかし後者らによるものはまだきわめて少なく、主として石けんが用いられている⁽⁶⁾。これらのスポンジ構造物の性能と、この中に入る油の性能とによってグリースとしての性能がきまってくる。

油は潤滑の主役を演ずるものであり潤滑油として良好なものが必要である。油としては一般に鉱油が用いられるが、シリコン油、ジ・エステル、ポリグリコール、クロロフルオロカーボンなどの合成油も用いられる^{(7)~(9)}。

さらにグリースの性能向上のため各種の添加剤が必要に応じて加えられる⁽¹⁰⁾。たとえば酸化防止剤、さび止め剤、極圧剤、離漿防止剤などである。

これらよりグリースの性能評価にあたっては、スポンジ構造物に対する試験と油に対する試験および両者の相互作用についての試験を行わねばならない。

さらにグリース中に黒鉛や二硫化モリブデン、酸化亜鉛などを添加剤の形で少量加える場合と、これらを潤滑の主役とさせる目的で多量に加える場合がある。後者は普通のグリースとは異なり、黒鉛や二硫化モリブデンのような固体潤滑剤の性能を利用するため、グリースをこれらの固体粉末のキャリアーとして用いている。また最近耐放射線性をもたせるためシリカゲルまたはベントナイトとアルキルベンゼン油より成るグリースも出現しつつある^{(11)~(13)}。かかる特殊の使用目的で作られたグリースに対しては、一般のグリースに対する試験とともに、さらにそれぞれに適應する特殊試験を行う必要がある。

なおグリースのスポンジ構造はその基剤が互につながりあい、からみあってある構造を作っており、その間に油が含まれている^{(14)~(16)}。かかる構造の発達にはスポンジ基剤の種類、生長条件(製造条件)などに支配される。したがってグリースでは製造ロットに

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所日立研究所 理博

よる差が油のみにおけるよりも大きい傾向にあり、一、二のサンプルで良否の断定はむずかしいことを念頭におくべきである。

3. グリースの一般性状試験方法

実施した試験は、滴点、ちょう度、せん断安定性、酸化安定度、離油度、蒸発量、銅腐食試験、耐水性、固形介在物およびグリースの基油粘度および粘度指数などであり、本報はそのほかの特殊試験には触れない。

グリースの一般性状に対する標準試験方法は、わが国では臨 JES 第 27 号に規定されていたが、昭和 34 年に至り JIS に改訂をみた。しかし JIS は一般グリース類(カップ、ファイバグリースそのほかの一般品)に対する試験法を規定したにとどまり、高性能グリースに関しては前記したように未制定である。したがって国内規格のみでは評価できない現状にあるため、アメリカ Federal 法、ASTM 法、イギリス IP 法、あるいは米軍規格 (U. S. MIL Spec.) などを参考として以下の各種試験を行った。本報にとりあげた各種試験の方法、試験の意義と問題点などは結果を吟味する上に必要であり、それらの概要を以下に記す。

3.1 滴 点⁽¹⁷⁾

半固形のグリースが熱により流動化する際の温度を滴点といい、グリースのスポンジ構造の熱安定性に対する指標となるものである。すなわち滴点は主としてスポンジ基剤の融点に左右される。

試験⁽¹⁷⁾ は底部に孔のある規定カップに試料をつめ、試験管内に納めて加熱し、グリースが流動化し孔から滴下するときの温度を求める。

3.2 ちょう 度

グリースはスポンジ基剤と油との配合比、製造時の加熱冷却速度などにより種々のかたさに作られる。この硬軟の度合いを示す値がちょう度であり数値が大きいほどやわらかいグリースである。なおちょう度の大小によるグリースの分類は一般に NLGI (National Lubricating Grease Institute) の分類法を基準としている(第 1 表参照)。

ちょう度の測定⁽¹⁸⁾には規定のペネトロメータ(針入度計)を用い、25°Cにおいてグリースの表面に接してつり下げた貫入用円錐が5秒間にグリース内部に貫入する深さ(mm)を求め、これを10倍した値をとる。この場合混和(Worked)ちょう度、不混和(Unworked)ちょう度の区別がなされる。規定の混和機で60回混和後に測ったのが混和ちょう度、試料採取しそのまま測ったのが不混和ちょう度であるが、後者はグリースの扱い方によって変化することがあり、一般のグリースには必ずしも有意義ではないと考える。

ちょう度測定法の最も普遍的標準法は ASTM 法であり、JIS でもこれを採用している。本報でもこれによった。

3.3 せん断安定性

グリースに機械的せん断作用が与えられるとスポンジ構造が漸次破壊しつつ流動化するに至るものもある。かかるせん断破壊に対する抵抗性の大きさをせん断安定性という。別に作動安定性(Worked Stability)、機械的安定性(Mechanical Stability)、ねり安定度など

ともいわれ呼称は一定していない。この特性はグリースの実用上重視されるものではあるが、試験方法には種々問題があるようである。目下標準法として一般に行われるのは ASTM 法⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾であり、グリースを規定の混和機に充てんしグリース中で多孔板を上下に強制的に動かしてせん断作用を与える方法である。本報でも一応これによることとした。

類似試験法として Federal 法⁽¹⁹⁾あるいは Shell Roll 法⁽²⁰⁾⁽²¹⁾がある。また G. E. Co. の Booser ら⁽²²⁾はかかる試験法はグリースが実際にベアリングに充てんされ、かきまわされる状態と異なることを指摘し、実用のベアリングによる試験を試みているが、筆者らも別にせん断安定性試験に対する温度効果、実用寿命との関連性などを吟味した結果、ASTM 法は一応の参考試験にとどむべきものと考えているが、これらの詳細は別の機会にゆずり本報には触れない。

3.4 酸化安定度

酸化による劣化、すなわち化学的劣化に対する抵抗性の大きさを酸化安定度という。劣化しにくいグリースは使用寿命も長い理であり高性能グリースには重要な性能の一つである。

この試験⁽²³⁾は圧力計を有する規定の試験容器(酸化ポンプ)に試料を納めたのち、酸素を圧入して 7.73 kg/cm²(110 psi)とし 99°C(210°F)の浴中で加熱し、酸化劣化による酸素の消費状況をみる。すなわちグリースと酸素との反応によって酸化劣化すればポンプ内の酸素圧力が低下する。この圧力低下状況と試験時間との関係を求め酸化安定度を評価する。

3.5 離 油 度

グリースを貯蔵放置すると長期間中には油分が分離し表面にたまることがある。この現象は温度、圧力の作用によるもので、スポンジ構造、基油の粘度、油質とスポンジ基剤の関係などが影響すると考えられている。離油度は実用面からみると、潤滑面に対する給油との関連有無が問題である。離油度試験法としては加圧法あるいは加熱放置による方法などを考えることができる⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾。本報では Federal 法⁽²⁴⁾によることとし、網目 60 メッシュのニッケルメッキ金網製円錐容器に試料 10 g を入れ、ピーカ中につり下げて 100°C に所定時間静置後、金網を通過してピーカに分離した油量を秤量しその原試料に対する百分率をもって離油度とした。

3.6 蒸 発 量

グリース中の基油粘度の大小により、ベアリングの温度上昇による油分の蒸発損失が異なる。油分以外にスポンジ構造物として用いた石けん繊維中の水分も若干失われる。蒸発量試験はこれら両者を含めた形で行われる。蒸発量の大小は看過されがちであるが、ベアリング内の温度はかなり高温となりうるのであり注目を要すると考える。

測定方法は最近 JIS⁽²⁶⁾に決定をみたとおりに 2 種あるが、本報では JIS (B) 法、すなわち規定容器に試料を納め、99°C(210°F)の浴中で試料表面に予熱空気を 2 l/min に送りつつ、22 時間加熱する方法によった。ASTM⁽²⁷⁾、Federal⁽²⁸⁾にもこれと同じ試験法が規格化されている。

3.7 銅 腐 食 試 験

グリースに腐食性があればベアリングの油じみ(油付着部が変色する現象)やさびを発生させ、使用時において運転温度のためこれらが触媒的に作用してグリースの分解を促し、グリースおよびベアリングの寿命を短縮させるおそれがある。

グリースには組織固定剤、すなわちスポンジ構造と油分との親和性を良好にし、グリースとしての形態を安定に保つための添加剤として故意にグリセライド、脂肪酸、アルコール類そのほか加えられる場合がある。これらが不適當であると腐食の原因になりやすいので警戒を要する。この腐食性はベアリング材に対するものであ

第 1 表 NLGI によるグリースのちょう度分類

NLGI 分類番号*	ASTM ちょう度 (25°C)
No. 0	355~385
No. 1	310~340
No. 2	265~295
No. 3	220~250
No. 4	175~205
No. 5	130~160
No. 6	85~115

* NLGI...National Lubricating Grease Institute.

第2表 試料

No.	試料記号*	外観	色調	試料説明**	
1	内(Ca)-A-0	バター状	黄色	一般機械のボール, ローラベアリング用 グリースカップを用いる回転軸用 常温下, 水分, 水蒸気の存在する場合にも使用される	
2	内(Ca)-B ₀ -0	バター状	黄色		
3	内(Ca)-B ₁ -0	バター状	橙黄色		
4	内(Na)-A-0	短繊維状	赤桃色	汎用電動機の小, 中形ベアリング用 — 一般機械の比較的高温, 高荷重ベアリング用 各種軸受用耐熱グリース— —中速用 —高速用 —低速用 水分, 水蒸気の存在しないところに用う	
5	内(Na)-B ₀ -0	長繊維状	赤色		
6	内(Na)-B ₁ -0	長繊維状	黄色		
7	内(Na)-B ₂ -0	長繊維状	赤色		
8	内(Na)-B ₃ -0	長繊維状	赤褐色		
9	内(Na)-B ₄ -0	長繊維状	褐色		
10	内(Na)-B ₅ -1	バター状	黄色		高速軸受に適する高性能耐熱グリース 電動機のベアリング用高性能グリース 電動機のベアリング用高性能グリース, 低温高温兼用 水分, 水蒸気の存在しないところに用う
11	内(Na)-D ₀ -1	バター状	黄褐色		
12	内(Na)-D ₁ -1	バター状	黄褐色		
13	外(Na)-A-0	短繊維状	褐色	比較的高温のボール, ローラベアリング用 — 水分, 水蒸気の存在しないところに用う	
14	外(Na)-B-0	長繊維状	褐色		
15	外(Na)-C-1	バター状	黒褐色	-6.7°C~+149°C使用可能, 耐熱, 耐腐食, 耐酸化性, 電動機その他のボール, ローラベアリング用 4.4°C~+121°C使用可能, 耐酸化, 耐分離性, 電動のボール, ローラベアリング用	
16	外(Na)-D-1	短繊維状	淡こはく色		
17	外(Na-Ca)-D-1	バター状	淡褐色	-18°C~+95°C使用可能, 耐水, 耐酸化性の汎用ボール, ローラベアリング用	
18	内(Li)-A-1	バター状	褐色	耐水, 耐酸化性, 低速高速兼用, 低温より比較的高温の小, 中形ベアリング用 耐寒, 耐熱, 耐水性, 万能高性能グリース 鉱油と合成油を基油とする万能超高性能グリース 耐寒, 耐熱, 耐水, 耐酸化性, 万能グリース	
19	内(Li)-B ₀ -1	バター状	こはく色		
20	内(Li)-B ₁ -1	バター状	白色		
21	内(Li)-C ₀ -1	バター状	こはく色		
22	内(Li)-C ₁ -1	バター状	白色		
23	内(Li)-C ₂ -1	バター状	こはく色		
24	外(Li)-A-1	バター状	白色	万能高性能グリース, 比較的条件きびしく高温のボール, ローラベアリングに使用可 耐酸化性大, 合成油を基油とする低温高温兼用グリース (-73°C~+121°C), おもに航空用 耐水, 耐熱, 耐腐食, 耐酸化性, 蒸発小, 低温高温兼用グリース (-63°C~+149°C) 耐水, 耐熱, 耐寒, 耐腐食, 耐酸化性, 低温高温兼用万能グリース (-30°C~+120°C)	
25	外(Li)-C ₀ -1	バター状	淡紫色		
26	外(Li)-C ₁ -1	バター状	淡紅色		
27	外(Li)-D-1	バター状	こはく色		

* 内…国産品, 外…外国産品, ()内は石けん基の種類, アルファベット…製造会社, 0…酸化防止剤含まず, 1…酸化防止剤入り
** 商社の型録による説明

て, 一般によく行われる銅腐食試験は必ずしも妥当ではないであろう。しかし Federal または最近の JIS においても銅腐食試験を規定している⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾。前者では酸化安定度試験に用いるポンプにより同様に酸素を充てんし 99°C(210°F) に20時間加熱後の酸素圧力低下およびグリース中に埋めた銅片の変色有無を検する方法と, 銅片にグリースを塗布し室温に放置後の変色有無を調べる方法とが規定されている。他方 JIS では後者の室温試験のみを規定している。カップ, ファイバグリースのごとき一般品に対しては常温試験でもよいが, 高性能グリースとしてのナトリウムまたはリチウム石けん基系グリースは比較的高温の使用と長寿命を期して作られたものであり, 実用面でもかかる性能に着目する以上 Federal の高温試験⁽²⁹⁾(99°C, ポンプ銅腐食試験)によるべきであろう。もちろんこれでは黄銅系メタル類に対する腐食性有無の推定にとどまるが, 本報では規格試験として一応これを取りあげることにした。

3.8 固形介在物

ベアリングの騒音, 摩擦に対しグリース中の固形介在物がしばしば問題になる。固形介在物の測定に際してはその介在量, 大きさ, 質などを明らかにすべきであるが, まだ満足すべき方法がない。Federal⁽³¹⁾, IP⁽³²⁾などに規格化されているのは顕微鏡観察法であるが介在物の大きさと数を測定しえても, その質的吟味ができない。ASTM⁽³³⁾にはプラスチック板の傷あとを見る方法が規定されているが, グリースをプラスチック板にはさみ加圧下にしゅう動する方法で硬質介在物の有無を定性的に比較するにとどまる。

筆者らも目下格別の良法を見出せぬので, Federal による顕微鏡観察(グリース厚さ 0.1 mm, 面積 10×10 mm², 倍率 60X)により単位体積中の数と大きさを求める一方, 溶剤抽出法により, 固形粒子を濾紙上に分離して定量し, かつこの分離物の顕微鏡観察を行っている。溶剤抽出法では試料 10~15 g, 溶剤としてアルコール+ベンゼンを用い, ソックスレー形抽出器によっている。

3.9 耐水試験

Federal⁽³⁴⁾, ASTM⁽³⁵⁾などにはベアリングにグリースを充てん

し, これを回転せしめつつ規定温度の水を噴射し, 所定時間後にグリースの流失量を求める方法が規格化されている。これは水による洗い出し試験(Water Wash Out Test)であり相当過酷なものである。実用上はかかる試験も必要な場合があるが, さらに水を含むグリースがベアリングに充てんされているとき, ベアリングがさびるか否かの試験も必要と思われる。

本報では水洗い試験と水による乳化試験を行った。グリースのさび止め能力は耐水性と別個に吟味中であり, ここには触れない。水洗い試験は #6204 ベアリングを用い, これにグリース 2 g を充てんし, 所定温度(ここでは 30°C, 80°C)の蒸留水を 5 cc/s に噴射しつつ 660 rpm に1時間運転後, ベアリングよりの流失グリース%, ベアリング内に残留したグリースにつき水分含有比を求めた。乳化試験とは湯浴上に加熱しつつある蒸留水 100cc 中にグリース 5 g を入れ, 乳化分散傾向を観察する試験である。

以上に述べた各種の試験以外に, グリースを作るに用いた基油粘度も重要と考えられ, 分離油について粘度および粘度指数を求めた。そのほか含有水分, 灰分, 遊離アルカリ, 遊離酸などの試験も考えられるが, これらの影響は上記各試験中のいずれかにあらわれるか, 実際上高性能グリースにはさして重要でないことなどより本報には省略することとした。

4. 試料

第2表に示す。いずれも昭和30年以降に各製造者から電動機のボール, ローラベアリング用グリースとして提供をうけたものである。試料記号の意味は第2表欄外に説明してあるが, たとえば内(Ca)-A-0は国産A社のカルシウム石けん基グリースで酸化防止剤を含まぬものであることを示す。これらの試料以外にスポンジ基剤として石けん以外のものを用いた非石けん基グリース(None Soap Grease), 二硫化モリブデン入りグリースその他があり, これらも検討しているが, 特殊品でありそれぞれ特別の吟味を要し第2表のものとは同日に論じがたいので本報には割愛した。

第3表 一般性状試験結果一覧

No.	試料	滴点 (°C)	ちょう度 (混和60回)	せん断安定性 (混和100,000回)	基油の粘度 at 37.8°C		基油の 粘度指 数	ポンプ酸化安定度 500時間		離油度 50時間 (%)	蒸発量 22時間 (%)	ポンプ銅腐食試験 20時間		耐水性	
					(CS)	(SUS)		(圧力低下 kg/cm ²)	(圧力低下 率%)			(圧力低 下率%)	(銅板変色)	30°C耐水 洗損失%	乳化試験
1	内(Ca)-A-0	97.5	240	273	—	—	—	6.5 (50h)	84.6(50h)	—	11.16	32.7	緑青	—	—
2	内(Ca)-B ₀ -0	97.7	248	296	—	—	—	6.0 (30h)	77.2(30h)	—	13.53	30.4	緑青	—	—
3	内(Ca)-B ₁ -0	101.5	233	280	—	—	—	6.1 (80h)	78.6(80h)	—	4.98	19.5	黒色	—	—
4	内(Na)-A-0	151	275	324	58.8	273	37	3.7(100h)	47.3(100h)	2.95	2.45	3.18	緑青	99.0	乳化
5	内(Na)-B ₀ -0	166	298	流動化	40.9	190	41	4.9(100h)	63.6(100h)	4.72	4.00	10.4	緑青	51.5	乳化
6	内(Na)-B ₁ -0	148	225	391	11.6	65	51	5.9 (30h)	76.3(30h)	4.47	11.82	29.1	緑青	17.3	乳化
7	内(Na)-B ₂ -0	142	305	—	51.5	239	37	4.5 (76h)	57.7(76h)	6.85	4.00	10.9	緑青	—	乳化
8	内(Na)-B ₃ -0	153.3	302	—	41.7	194	51	5.1 (76h)	65.9(76h)	10.1(20h)	5.13	16.3	緑青	—	乳化
9	内(Na)-B ₄ -0	169.5	285	流動化	114.0	528	46	3.7 (76h)	47.9(76h)	12.55	0.99	8.64	灰色	—	乳化
10	内(Na)-B ₅ -1	191	282	374	51.8	240	72	0.7	9.1	3.82	0.86	—	—	12.0	—
11	内(Na)-D ₀ -1	168.5	317	流動化	—	—	—	0.7(100h)	8.4(100h)	16.4(10h)	2.53	0.91	緑青	—	乳化
12	内(Na)-D ₁ -1	183	260	315	36.6	171	31	2.8	36.4	2.70	1.72	—	—	—	—
13	外(Na)-A-0	171.5	233	343	111.2	515	2.5	5.4	70.0	0.93	0.98	9.08	緑青	—	乳化
14	外(Na)-B-0	171	312	流動化	107.2	497	8.7	5.4(100h)	70.0(100h)	26.05	1.29	0.91	緑青	—	乳化
15	外(Na)-C-1	202	290	366	300	1,350	97	1.3	17.3	3.83	0.22	0.91	藍色	—	乳化
16	外(Na)-D-1	167.7	251	335	32.5	152	70	0.15	1.9	2.54	2.88	0.91	なし	—	乳化
17	外(Na-Ca)-C-1	192	308	370	—	500	—	1.16	15.0	5.61	0.71	6.82	なし	6.7	乳化
18	内(Li)-A-1	193.3	247	324	24.8	118	—	3.45	44.6	6.83	4.37	0.45	なし	—	軟化,油浮遊
19	内(Li)-B ₀ -1	199.2	282	344	83.3	387	42	1.16	15.0	3.49	0.69	0.91	なし	2.1	軟化,油浮遊
20	内(Li)-B ₁ -1	173	323	—	—	—	—	0.56	7.3	4.41	0.22	—	—	—	—
21	内(Li)-C ₀ -1	205.6	244	329	103.2	478	100	0.53	6.8	10.35	0.75	0	なし	—	乳化せず
22	内(Li)-C ₁ -1	199.1	277	379	32.5	152	97	0.67	8.6	9.79	1.04	0	微茶変	—	乳化せず
23	内(Li)-C ₂ -1	205.7	237	335	103.0	478	100	0.56	7.3	5.48	0.61	0	なし	6.4	乳化せず
24	外(Li)-A-1	195	267	276	100.1	464	69	0.74	9.6	4.11	0.63	0	なし	2.9	乳化せず
25	外(Li)-C ₀ -1	185.7	315	335	13.02	70	—	0.49	6.4	5.79	14.03	0.45	微茶変	14.0	乳化せず
26	外(Li)-C ₁ -1	185.9	294	317	—	—	—	0.14	1.8	2.70	0.74	0.45	なし	1.8	乳化せず
27	外(Li)-D-1	168	260	323	107.9	500	—	0.70	9.1	5.08	0.31	—	—	6.0	—

なお参考のため各試料につき製造者が提示した性能,用途などを簡単に付記してある。

5. 試験結果とその検討

一覧の便宜上第3表に結果をとりまとめた。ただし固形介在物については後に改めて記す。第3表の個々の試験結果について以下にやや詳細に述べ、二、三の考察を加える。

5.1 滴点試験結果

滴点測定法には従来 ASTM 法, ウッペローデ法などがあり, 臨 JES 第27号ではウッペローデ法, 最近の JIS では ASTM 法を採用している⁽¹⁷⁾。第3表は ASTM 法による結果であるが, 別にウッペローデ法についても吟味し両者を比較した結果, カルシウム石けん基グリースのように低滴点のものでは両者の差は小さいが, 滴点が増加するにしたがい差が大きくなり, リチウム石けん基グリースでは約60~70°Cの大差となり ASTM 法による場合が高い滴点値を示した。またウッペローデ法では結果の再現性が悪い。この原因は試験機の構造にあり, ウッペローデ法は密封形の試験容器(滴下カップ)を使用するため, グリース中にとり込まれていた気泡が加熱により膨脹しグリースを外部に押し出すことになる。ASTM 法では開放形滴下カップであるためかかる現象はない。前者は原理的に滴点試験器として適当でない。

滴点の高低はスポンジ基剤の融点と関係があり, グリース構造の熱安定性に対する指標となるが, 滴点までの温度に使用できるとは限らない。一般にグリースの使用温度上限は滴点値の60~80%といわれるが, さらにグリース中の基油粘度およびその蒸発損失, 離油特性などをも考慮すべきであり, 滴点値のみで判断を下すのは危険と考える。滴点値のみからはナトリウムおよびリチウム石けん基グリースが高温に安定であり, カルシウム石けん基グリースは高温に用いられない。

5.2 ちょう度測定結果

第3表に示したちょう度は ASTM 法により混和60回後の値で, 試料は NLGI のちょう度分類(前出)にしたがえば No. 1~No. 3(ちょう度値として205~345)の範囲にある。また No. 2に該当するものが多い。汎用電動機のボール, ローラベアリングにいかなるちょう度のグリースが適切かは, それぞれの軸受形式, すべり速度, 荷重, 温度などの条件により検討を要し一概には割りきれない。

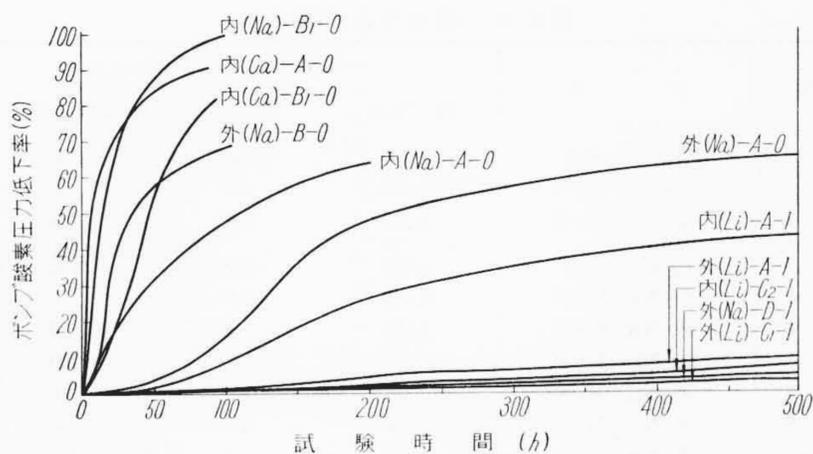
なおちょう度はベアリング内におけるグリースの状態, 回転摩擦トルク, 起動トルク, 集中給油方式における配管抵抗, 離油特性などとの関連において今後さらに検討を要することが多いようである。すなわちかかる実用的動特性とちょう度との関連性についてはまだ必ずしも判然としないことが多い。

5.3 せん断安定性試験結果

せん断安定性に対する目安としてここでは ASTM 混和機により常温で 100,000 ストローク後のちょう度測定値を示した。長繊維状のナトリウム石けん基グリースは一般に流動化しやすく, 短繊維状のナトリウム石けん基系は流動化しにくい傾向にある。しかし内(Na)-D₀-1のようにバター状で石けん繊維の微細化をはかったものでも流動化した例があるので, 短繊維であるからといって常に安定とは限らない。カルシウムおよびリチウム石けん基グリースはナトリウム石けん基系より一般にせん断安定性にすぐれている。混和によるちょう度増加比を検討するに, 万能グリースとして注目されているリチウム石けん基系の場合, 国産品は1.22~1.41, 外国品は1.03~1.24となる。この増加比をもってただちにせん断安定性の良否を論ずるには問題があるにしても, この点で外国品に一日の長があるといえよう。

5.4 基油粘度および粘度指数について

第3表の測定結果が示すようにグリースの銘柄により大幅に違っている。粘度は潤滑における一要素として常に重視されるが, グリ



第1図 ASTM ポンプ酸化安定度試験結果

第4表 グリースの酸化誘導期間と寿命⁽³⁷⁾
(ABEC-NLGI Cooperative Committee による)

誘導期間 (h)	寿命 (年)
50	1 以下
150	2 ~ 3
500	4 以上

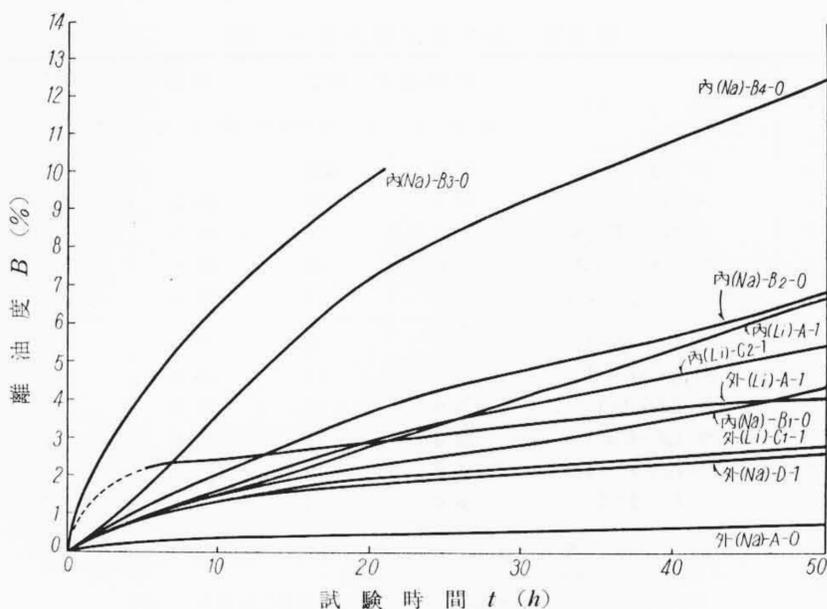
ースの場合はスポンジ構造物と油との配合比が種々であり、それによって硬軟の度合が異なるので潤滑性能そのものとしては一般の潤滑油における粘度ほど大きな意味はないとの説がある⁽³⁶⁾。しかし潤滑部分への油の補給能、回転摩擦トルク、起動特性、蒸発損失などに対し、基油が決定的役割を果すとはいえないにしても、かなり密接な関係があることは別に行った実験結果から明らかになっている。また実際上も高温、高荷重用には高粘度油、低温、高速用には低粘度油を基油としたグリースが用いられる。すなわちグリースの基油粘度の大小は軽視できない。粘度指数は周知のとおり粘度の温度による変化率を知る上の尺度として用いられるが、グリースにおいては低温起動性などに関連し留意を要する。

5.5 酸化安定度について

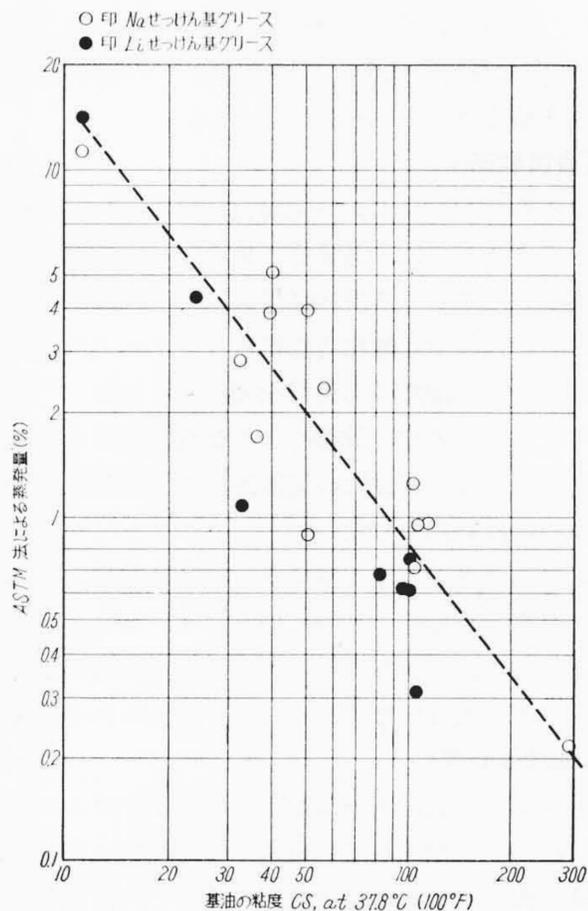
第3表に試験結果をまとめたが、この試験における酸素圧力低下曲線の一例を示せば第1図のとおりである。酸化の誘導期間 (第1図において曲線の急上昇が起るまでの時間) と貯蔵寿命との関係は第4表のようになるといわれている⁽³⁷⁾。酸化防止剤入り高性能グリースは酸化の誘導期間が多くは500時間以上であるが、内(Na)-D1-1, 内(Li)-A-1 などはまだこの域に達していない。現在市販の酸化防止剤入りグリースに対し酸化安定度をいかに規定すべきかは、さらにほかの添加剤たとえば極圧剤が共存する場合を考慮すべきであるが、汎用のボール、ローラベアリング用グリースに関してはポンプ酸化安定度試験において、試験時間500時間で酸化の誘導期に達しないことを要求するのは少しも無理でなく、かつこの程度の酸化安定度は実用上からも必要である。

5.6 離油度について

Federal 法, 100°C, 50時間の試験結果は第3表にまとめてある。試験時間に対応する離油度の累積曲線を第2図に例示する。離油速度 dB/dt は時間の経過とともに減少する。この傾向が実際のベアリングにおける離油現象といかに関連するかはさらにほかの実験を必要とし、ここには詳細を論じられないが、別に行ったモデル実用寿命試験結果によれば初期離油速度の異常に大きなもの、または本報の実験における50時間後の累積離油値の異常に大きいものは警戒を要する。G. E. Co. の Wilcock & Anderson からも dB/dt に留意すべきことを指摘している⁽³⁸⁾。また Booser & Wilcock の研究⁽³⁹⁾⁻⁽⁴¹⁾ により明らかにされたように小形、中形ボールベアリングの潤滑に必要な油量は、ベアリングの形、荷重、速度などによって異なるが、たとえば #306 ベアリング, 3,600 rpm ラジアル荷重



第2図 離油度試験結果



第3図 グリースの基油粘度と蒸発量

80kg において粘度 482 SUS (104 cs at 37.8°C) の油の場合 0.5mg/h 程度にすぎない。これよりグリースの離油度はかなり小さくてよいことが推定される。ただしこの離油度はベアリングの運転時間と無関係に一定であることが必要である。しかし実用のベアリングでは各種の条件がからみ合っており、初期離油の大きいほうが有利な場合さえもあり、単純には割りきれない。全般的にみると国産グリースは外国グリースに比べ離油度が大きい傾向にあり、検討を要すると思われる。第3表および第2図より明らかなように離油度は基油粘度の大小、石けん基の種類などとは密接な相関がなく、また基油がパラフィン系かナフテン系にかかわらない。スポンジ構造の生長条件、油とこれとの親和力を助長する添加剤など製造方法に関する問題と思われる。

5.7 蒸発量の大小

第3表の結果から第3図をうる。グリースの蒸発損失分は主として油であり、油の粘度大小に支配される傾向がある。リチウム石けん基グリースのうち内(Li)-A-1, 外(Li)-C0-1 の蒸発量は例外的に大きい。特に低粘度油で作られており低温専用を目的としたものであろう。ゆえに、これらが低温高温兼用であるとする説 (第2表参照) は妥当といえない。蒸発損失はグリースの使用寿命と関連し

第5表 耐水洗試験結果の一例

No.	試料	試験温度 30°C		試験温度 80°C	
		流失%	水分含有比*	流失%	水分含有比*
4	内(Na)-A-0	99.0	633	—	—
5	内(Na)-B ₀ -0	51.5	59	98.5	297
6	内(Na)-B ₁ -0	17.3	37	97.5	40
10	内(Na)-B ₅ -1	12.0	30	98.0	254
17	外(Na-Ca)-D-1	6.7	13	90.0	100
19	内(Li)-B ₀ -1	2.1	0	2.5	7
23	内(Li)-C ₂ -1	6.4	14	5.0	11
24	外(Li)-A-1	2.9	2	5.0	8
25	外(Li)-C ₀ -1	14.0	31	8.8	13
26	外(Li)-C ₁ -1	1.8	18	1.8	18
27	外(Li)-D-1	6.0	4	1.5	2

* 水分含有比 = $\frac{\omega}{G} \times 100$

ω : ベアリング中に残留したグリースに含まれる水分 (g)
 G : ベアリング中に残留したグリース分 (g)

重視すべきことは別に行った実験より指摘できるが、Jackson & Booser にも同様な見解を表明している⁽⁴³⁾。すなわち運転性能を害しない限り高粘度基油グリースが望ましい。

5.8 銅腐食試験結果

第3表にまとめたとおりポンプ銅腐食試験によれば、酸化防止剤を含めぬ旧来のグリースは、試験終了後の銅片に緑青色または黒色の変色をひき起し、グリース自体は黒褐色に変色硬化するか、分解液化していた。これに対し酸化防止剤入りグリースは、大部分のものが外観上変化なく、銅片にも異常を認めなかった。

前者らはグリースの劣化、分解により腐食性物質を生成したものであるか、あるいは元来腐食性の遊離酸、腐食性硫黄その他を含んでいたためなのかは判然としない。

ナトリウム、リチウム石けん基グリースは高温用、耐熱グリースとして作られ実際にかんがりの高温に使われる。したがって本報において行ったような試験で腐食性を示すグリースは高温条件はもとより長期運転を期する場合に好ましくないと考えられる。

5.9 耐水性試験結果

第3表に示すように乳化試験において、ナトリウム石けん基グリースはすべて湯浴上で加熱している水中に入れるとただちに乳化が起り、10~20分後にほとんど完全乳化する。これに反しリチウム石けん基グリースは50時間後も乳化しない。ただし国産品では油分を若干分離するものがある。

水洗い試験(Water Wash Out Test)の結果は、水温30°Cと80°Cとではかなり相違する(第5表参照)。ナトリウム石けん基グリースでも水温30°Cでは耐水性が必ずしも悪くないものがある。Na-Ca(ナトリウム-カルシウム)混合石けん基グリースの耐水性はリチウム石けん基グリースに匹敵する。しかし水温80°Cではナトリウム石けん基系はすべて耐水性不良でありベアリングからほとんど流出してしまう。これに比較しリチウム石けん基グリースは、水温30°C、80°Cの両者で差異がなく、ベアリングからの流出損失は約10%以下である。なおベアリング内に残留するグリースに含まれる水分は、ナトリウム石けん基系では非常に多量であるが、リチウム石けん基系では少ない。このベアリング内残留グリースの水分含有はベアリングのさび発生の有無と関連し注目を要するが、いわゆるグリースのさび止め能力については別に米軍さび止め油規格試験法そのほかにより検討中である。Jackson & Booser⁽⁴³⁾らはナトリウム石けん基系グリースは水に可溶でさび止め剤(Rust Inhibitor)として作用しうるのに対し、水不溶のグリースはかかる作用を有しない傾向にあると指摘しているが、筆者らのこれまで行ってきたさび止め能力試験結果からは、ナトリウム石けん基系が必ずしもさび止め能力にすぐれているとはいえないようである。

第6表 固形介在物測定例

No.	試料	固形介在物の数/cm ³		
		25~75 μ	76~125 μ	126 μ 以上
1	内(Ca)-A-0	9,200	800	100
2	内(Ca)-B ₀ -0	10,500	800	0
3	内(Ca)-B ₁ -0	4,300	300	200
4	内(Na)-A-0	1,500	100	100
5	内(Na)-B ₀ -0	1,400	100	0
6	内(Na)-B ₁ -0	1,400	0	0
7	内(Na)-B ₂ -0	2,300	0	100
8	内(Na)-B ₃ -0	300	100	0
9	内(Na)-B ₄ -0	600	100	100
12	内(Na)-D ₁ -1	2,700	0	0
13	外(Na)-A-0	200	0	0
14	外(Na)-B-0	0	0	0
15	外(Na)-C-1	1,500	100	200
16	外(Na)-D-1	1,200	100	0
17	外(Na-Ca)-D-1	4,800	0	100
18	内(Li)-A-1	700	400	300
19	内(Li)-B ₀ -1	1,700	0	100
21	内(Li)-C ₀ -1	4,800	100	0
22	内(Li)-C ₁ -1	1,600	0	100
23	内(Li)-C ₂ -1	1,000	100	0
24	外(Li)-A-1	900	0	100
25	外(Li)-C ₀ -1	1,400	0	0
26	外(Li)-C ₁ -1	700	0	0

第7表 固形介在物測定例
(測定再現性: 同一ロット, 同一顕微鏡観察サンプル)

No.	試料	固形介在物の数/cm ³			
		25 μ 以下	26~75 μ	76~125 μ	126 μ 以上
5	内(Na)-B ₀ -0	19,000	1,900	0	0
		14,500	1,600	0	0
		14,000	2,100	0	0
		19,000	1,300	0	0
		13,000	1,600	0	0
		平均15,900 S=2,570	平均 1,700 S=280		
12	内(Na)-D ₁ -1	13,400	2,700	0	0
		8,800	2,400	0	100
		11,300	1,700	0	100
		9,800	1,400	0	0
		13,500	2,500	0	0
		平均11,360 S=1,880	平均 2,140 S=500		
19	内(Li)-B ₀ -1	5,300	1,600	0	0
		5,300	1,700	0	100
		6,000	1,800	0	100
		4,500	1,200	0	0
		7,500	1,700	0	0
		平均 5,720 S=1,000	平均 1,600 S=200		
24	外(Li)-A-1	500	800	0	0
		600	500	0	0
		200	400	0	0
		600	200	0	0
		500	200	0	0
		平均 460 S=150	平均 420 S=220		

S: 標準偏差

5.10 固形介在物の測定結果と許容限界について

顕微鏡観察(Federal法)による固形介在物の数および大きさの測定例を第6表に示す。同表の全試料について各粒子大きさにつき介在数の算術平均を求めると

- 25~75 μ.....87%
- 76~125 μ..... 8%
- 126 μ 以上..... 5%

第8表 固形介在物の数と大きさに対する規格例 (MIL-L-15719 A)

固形介在物粒子大きさ μ	許容数/cm ³
25~75	7,500 以下
75~125	1,600 以下
125 以上	0

(MIL-G-15793)

固形介在物粒子大きさ μ	許容数/cm ³
10~25	10,000 以下
25~50	2,000 以下
50~125	100 以下
125 以上	0

(ABMA)*

固形介在物粒子大きさ μ	許容数/cm ³
5~20	5,000 以下
20~50	2,000 以下
50~75	50 以下
75 以上	0

* ABMA...Antifriction Bearing Manufacturers Association

となり、75 μ 以下の粒子が大部分である。さらに25 μ 以下の微粒子についても測定を試みると第7表のようになり、国産グリースには圧倒的に介在物が多い傾向にある。別に比較的多量のグリース試料につき固形介在物を抽出分離して定量を試み、粒子の形状、定性的かたさなどから無機固体粒子、有機質粒子(コロイド集落)に分類をはかっているが、介在粒子の質的分離は困難である。しかし溶剤抽出実験は顕微鏡観察による場合には有機質粒子も含まれることを示し、さらに顕微鏡法では認めにくかった金属片、わらくず、木片くずなどを検出し、しかもこれらには120~300 μ に及ぶ大きなものも見出されている。かかる大きな介在物はおそらくグリースの製造原料中に存在したものではなく、製造工程中または出荷時詰替作業中に混入したものと思われる。これらはグリース中に均一に分散しているものではなく、顕微鏡法では試料微量のため採りもらず公算が大きいといえることができる。

以上の結果よりグリース中の固形介在物を試験する方法にまだ満足すべきものはないにしても、現市販品には予想外に多くの固形介在物があることは明らかである。また国産品は外国品よりもこの点で劣るので、製造管理面に改善が望まれる。またカルシウム石けん基系グリースは優良品でもナトリウムまたはリチウム石けん基系に比し介在物が多く、特にいわゆるカップグリースに多い。その粒子大きさの分布状況より製造原料と関係があろう。

実用上問題なのは固形介在物の実害いかんとその許容限界である。一般に軸はめ合わせにおいてころがり軸受に必要なすきまは内径18~50mm, m_1 静合のとき20 μ 以下、内径50~180mm, n_1 静合のとき23~42 μ といわれる⁽⁴⁴⁾。また平野、山本氏などの油中固形介在物4~70 μ について行った摩耗研究例⁽⁴⁵⁾ではこの程度の粒子大きさでも4球式油性試験機、チムケン摩擦試験機などによる摩耗は増大している。そのほかたとえばA. E. Roachのジャーナルベアリングについて6~140 μ の固形介在物の影響を吟味した例⁽⁴⁶⁾でも摩擦、摩耗の増加、軸受温度上昇などが認められている。しかし汎用のころがり軸受に関しては固形介在物の実害は必ずしも判然としていない。筆者らは#6204ベアリング、100°C、10,000rpm (DN=200,000)、ラジアル荷重2.3kgの条件で寿命試験を行ったが、第6、7表における固形介在物測定結果と寿命との間には明確な関連性を見出しにくかった。しかし実際上にベアリングの騒音がしばしば問題になり、グリースの交換により問題を解消した例は多い。これらよりころがり軸受においてグリース中の固形介在物に関し許容限界をいかにすべきかは判然としないが、皆無であることが望ましいことはいうまでもない。実測結果より固形介在物の皆無を期待するの

は無理であるが、ある限界以下におさえることは可能である。

米軍規格⁽⁴⁷⁾またはABMA(Antifriction Bearing Manufacturers Association)では第8表のように規定している。ABMAのほうが米軍規格よりもきびしいが、ベアリングのすきまから考えればABMAの規定でもまだ甘い。現実に入手しうるグリースの実情よりベアリングの使用面から一方的に規定することはできないが、第6、7表の測定例より、グリースの製造原料、製造工程上の管理くふうによって少なくとも75 μ 以上の粒子は除きうるはずである。

すなわち筆者らは米軍規格 MIL-L-15719 A の規定は採らず、これよりきびしく制限してもよいと考える。最近わが国の製造者も防じん室で製造する傾向にあり、酸化防止剤入り高性能グリースに関しては、第6、7表の測定結果よりもかなり改善されてきたようであり、今後外国品に劣らぬものも市販されることを期待する。

6. 結 言

本報では ASTM, IP, Federal および U. S. MIL 規格などによる規格試験結果を扱ったにすぎず、グリースの実用上に問題となる特殊試験には触れなかったため、これをもってグリースの性能良否を断定すべきものではないが、一般に必要とされる試験は一応包含しており、グリースの特性をかなり明らかにしえたと考える。また試験法に対する考え方にも多少言及したので、これを考慮におき各種グリースを比較検討することによって、優劣をある程度区別できるはずである。

筆者らが特に問題としている高性能ベアリング用グリースについては、最近の国産品は著しく改良進歩しつつあるが、まだ各種性状の全般にわたってすぐれたものは少数である。しかし外国品といえどもそのすべてがすぐれたものではなく、またグリースの組成によってその用途を誤らぬことが大切である。

終りに本研究の遂行にあたりご激励を賜った日立研究所三浦所長ならびに種々ご援助をいただいた日立製作所亀戸工場森泉工場長、多賀工場上野工場長、島田課長その他関係各位に深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) JIS 一般グリース類専門委員会資料 (昭34-5-8)
- (2) Boner: Manufacture and Application of Lubricating Grease 677 (1954)
- (3) J. L. Dreher, B. W. Hatten, C. F. Carter: NLGI Spokesman 21, 10 (Feb. 1957)
- (4) Finlayson, C. M. McLanthly: NLGI Spokesman 14, 13 (May 1950)
- (5) A. L. McClellan, J. Cortes: NLGI Spokesman 20, No. 6, 12 (1956)
- (6) E. R. Booser: Scientific Lubrication Conference Issue 43 (1957)
- (7) R. L. Merker, W. A. Zisman: I. E. C. 41, 2546 (1949)
- (8) J. E. Brophy, J. Larson, W. A. Zisman: NLGI Spokesman 17, 8 (1953)
- (9) SAE Journal, 28 (Apr. 1958)
- (10) E. E. Smith: NLGI Spokesman, 20, 20 (Dec. 1956)
- (11) R. O. Bolt, J. G. Carroll: I. E. C. 50, No. 2, 221 (1958)
- (12) B. W. Hatten, J. G. Carroll: Ibid 50, No. 2, 217 (1958)
- (13) L. R. Rice: Nucleonics 16, No. 10, 112 (1958)
- (14) B. B. Farrington, W. N. Davis: I. E. C. 28, 414 (1936)
- (15) A. S. C. Lawrence: Trans. Farad. Soc., 34, 660 (1938)
- (16) 檀: 丸善技報 1, 66 (1954)
- (17) Federal Spec. VV-L 791 e, 1421.1, ASTM D 566-42, JIS K 2516
- (18) Federal Spec. VV-L 791 e, 311.5, ASTM D 217-52T, JIS K 2560
- (19) Federal Spec. VV-L 791 e, 313.1
- (20) Shell Test Method Series No. 479/48

- (21) J. D. Smith: NLGI Spokesman, 19, 8 (Nov. 1955)
- (22) E. G. Jackson, E. R. Booser: ibid. 18, 8 (Mar. 1954)
- (23) Federal Spec. VV-L 791 e, 3453.1, ASTM D 942-50
- (24) Federal Spec. VV-L 791 e, 321.1
- (25) B. B. Farrington, R. I. Humphries: I. E. C. 31, 330 (1939)
- (26) JIS K 2565
- (27) ASTM D 972-51 T
- (28) Federal Spec. VV-L 791 e 351.1
- (29) Federal Spec. VV-L 791 e, 5314, ASTM D 1261-53 T
- (30) Federal Spec. VV-L 791 e, 5309.1, JIS K 2566
- (31) Federal Spec. VV-L 791 e, 3005.1
- (32) IP 134/56
- (33) ASTM D 1404-56 T
- (34) Federal Spec, VV-L 791 e, 3252.1
- (35) ASTM D 1246-53 T
- (36) 遠山: 潤滑剤および潤滑技術 125 (昭32)
- (37) S. J. Auld, H. M. Davis, E. G. Ellis: Third World Petroleum Congress, the Hague, Part VII 356 (1951)
- (38) D. F. Wilcock, Anderson: ASTM Special Technical Pub. No. 84
- (39) E. R. Booser. D. F. Wilcock: Lubrication Eng. 7, 140 (1953)
- (40) D. F. Wilcock, E. R. Booser: Bearing Design and Application (1957)
- (41) A. E. Baker, E. G. Jackson, E. R. Booser: Lubrication Eng. 7, 249 (Oct. 1953)
- (42) A. E. Baker: NLGI Spokesman 22, 271 (Sept. 1958)
- (43) E. G. Jackson, E. R. Booser: NLGI Spokesman, 18, 8 (Mar. 1954)
- (44) 三井: 日本機械学会, ころがり軸受取扱講習第56回教材 43 (昭28)
- (45) 平野, 山本, 阿部: 日本機械学会誌 62. No. 482, 425 (1959)
- (46) A. E. Roach: ASME 73, 677 (1951)
- (47) MIL-L-15719 A, MIL-G-15793.



特許と新案



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その4)

(第30頁より続く)

種別	登録番号	名称	工場別	氏名	登録年月日
特許	258407	空選択の全話中の場合における直前に復旧指示した回線に割込む回路装置	戸塚工場	高安井立吉渡	35. 1. 8
"	258587	空 選 択 回 路 装 置	戸塚工場	高安井立吉渡	35. 1. 13
"	258408	放射性物質を用いたガンマ線照射装置	亀戸工場	和田小馬	35. 1. 8
"	258409	直 流 交 流 変 換 器	多賀工場	阿永後	"
"	258509	電子管陰極スリーブ固定方法	茂原工場	前川	35. 1. 12
"	258508	複数電動機の負荷平衡装置	日立研究所	松本	35. 1. 12
"	259552	原子炉燃料保持装置	日立工場	池田	25. 2. 20
"	259555	金属整流器エレメント故障対応装置	国分工場	池田	"
"	259556	金属整流器エレメントの保護装置	国分工場	池田	"
"	259568	切替式遠方測定装置	国分工場	池田	35. 2. 24
"	259575	1~3階床直列エスカレータ	国分工場	原	"
"	259579	エスカレータ衝突防止装置	国分工場	原	"
"	259557	鉄道台車軸箱支持装置	笠戸工場	桑渡	35. 2. 20
"	259561	空気ブレーキ用制御弁	笠戸工場	佐々木	"
"	259580	弾 性 支 持 装 置	笠戸工場	坂上	35. 2. 24
"	259553	ゲージ内ストッパ操作装置	亀有工場	田中	35. 2. 20
"	259554	ポンプ水車兼用機	亀有工場	寺橋	"
"	259558	無衝撃流体変速機	亀有工場	橋渡	"
"	259574	縦坑における中段水平坑道の自動開閉とびら装置	亀有工場	秋武	35. 2. 24
"	259576	スクレーパホイストの制動装置	亀有工場	小塩	"
"	259577	流水管路による粉碎固体の輸送方法	亀有工場	寺田	"
"	259578	ロープ駆動によるベルトコンベヤ	亀有工場	井	"
特許	259562	単位制御交換装置における中継方式	戸塚工場	野上	35. 2. 20

(第48頁へ続く)