

電動機用グリースの検討(第2報)

— 寿命関連因子について —

Studies on Greases for Electric Motors (Part 2)
Some Factors in Performance of Greases

茂庭 喜弘* 友部 友綱*
Yoshihiro Moniwa Tomotsuna Tomobe

内 容 梗 概

#6204ベアリングを用い、10,000 rpm, 100°C, ラジアル荷重 2.3 kg の条件で内外各種電動機用グリースにつき回転試験を行い、グリースの有する物理化学的特性と潤滑寿命との関連性を検討した。寿命要因として注目するものは離油および蒸発特性、酸化安定度などであり、これら諸因子による実験式から概略の寿命を推定できる。またグリースのせん断安定性および滴点とちよう度との貯蔵安定性にも留意を要すると考えられる。

1. 緒 言

第1報⁽¹⁾に Federal, ASTM などの各規格によるグリースの性状試験結果を報告し、これによって一応の選定が行われることを述べた。しかしかかるグリースの物理化学的特性がその使用寿命といかに関連するかについてはまだ不明の点が多い。したがって筆者らは実際にボールベアリングにグリースを充てんして回転試験を行い、その結果をグリースの物理化学的特性との関連有無に注目して吟味し、寿命要因としていかなる特性を重視すべきかについて検討を試みた。

従来寿命を左右する要因としてグリースの有する特性中重視されているのは、せん断安定性、せん断にともなうグリースの飛散、流失および酸化安定度などである。せん断安定性や酸化安定度のみ注目すればこれがすぐれたグリースほど長寿命を期待しうる理であるが、実用結果によればこれらがすぐれたものであっても短寿命に終る例が少なくない。

この事実より上記特性と潤滑寿命との関連性についてはなお検討の余地があると考えられる。また上記特性以外にも寿命要因として重視すべきものがあると考えらるべきであろう。たとえば E. G. Jackson, E. R. Booser⁽²⁾ らもせん断安定性と潤滑寿命との関連性について最近詳細な実験を試みており、せん断安定性の試験方法自体にも問題が少なくないことを示唆している。他方酸化安定度については、これが静的条件で試験されるため実際のベアリングにおける動的寿命とは必ずしも比例的関係を示さず、したがって動的酸化

第1表 曾田式グリース性能試験機と Federal 規格法⁽⁵⁾

試験条件	曾 田 式	Federal 規格法
試 験 温 度	常温~150°C	
試 験 ベ ア リ ン グ 形 式 内 径 外 径	#6204 (NSK) 20 mmφ 47 mmφ	#204(コンラード形) 20 mmφ 47 mmφ
試 験 荷 重 ス ラ ス ト ラ ジ ア ル	3 lb (1.4 kg)* 5 lb (2.3 kg)	5 lb 3 lb
グ リ ー ス 充 て ん 量	5.0±0.1 g	3.0±0.1 g
回 転 速 度	6,000~10,000 rpm	10,000 rpm

* 旧形はラジアル負荷のみによっている

安定度試験方法の開発が必要であるとする見解もある⁽¹⁴⁾。しかしグリースの実用状態よりこれら個々の特性と寿命との関係に着目するほか、グリースの有する諸特性と寿命との関係を総合的に検討することも必要であろう。

ボールベアリング用グリースに対する寿命試験規格として Federal にその一例をみることができ、わが国でも最近これと類似機構の曾田式グリース性能試験機が作られ、比較的良好普及しつつあると聞く。筆者らは寿命要因を検討する方法として上記の曾田式試験機の活用を試みたが、その結果せん断安定性、酸化安定度以外にも重視すべき要因があり、かつこれらは互いに影響しあうもので、グリースの選定にあたってはこれらを総合的に検討しなければならないことを認めた。以下に結果の概要を報告しグリースの選択と使用に資する次第である。

2. 実 験 の 方 法

2.1 曾田式グリース性能試験機と Federal 規格⁽⁵⁾

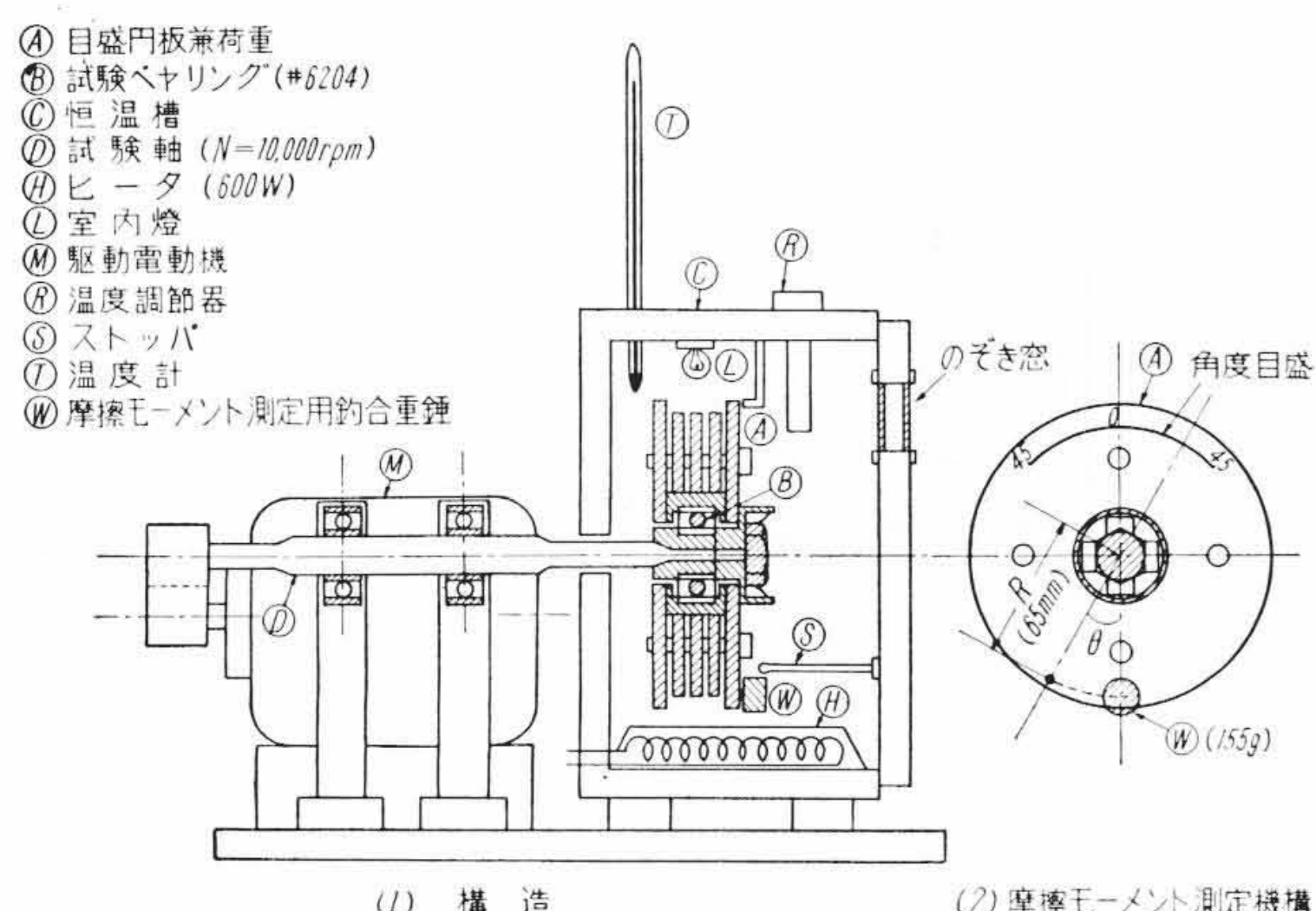
第1図に曾田式試験機の構造を示す。試験機の機構上運転中における摩擦モーメントは次式から求まる。

$$M = W \cdot \sin \theta \cdot R \quad (1)$$

ここに M : 摩擦モーメント, W : 釣合重錘の重量 (155 g)

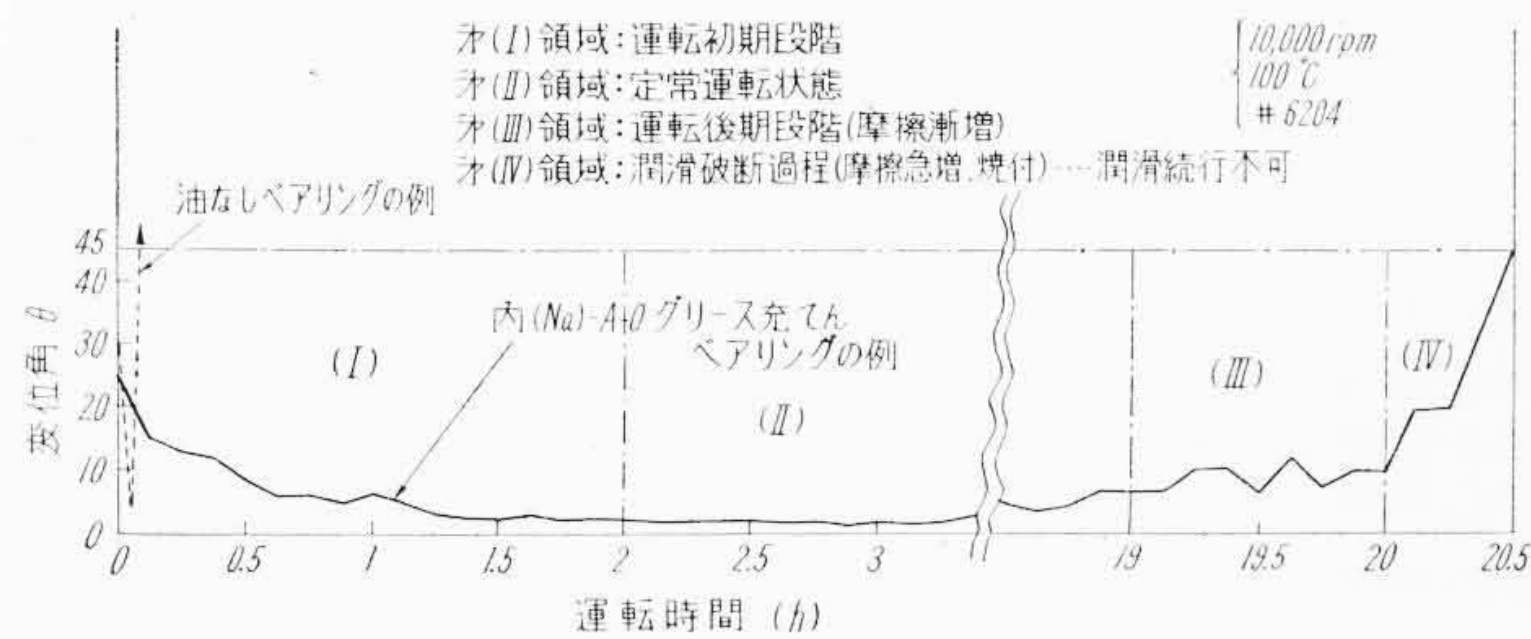
θ : 変位角, R : 荷重片中心より釣合重錘重心までの距離 (65 mm)

Federal 規格における諸元、試験条件と曾田式を比較すれば第1表のとおりであり、両者の仕様はほとんど同様である。ともに軽荷重で比較的高速回転を行い、グリースの潤滑性、劣化状況を実際のボールベアリングによる運転成績から吟味しようとするものである。ごく最近の曾田式試験機では Federal と同様にスラスト荷重を



第1図 曾田式グリース性能試験機構造

* 日立製作所日立研究所



第2図 試験過程における変位角 θ の変化

も与えるように改造されているが、以下の実験では改造前のものを使用したのでラジアル荷重のみを負荷する方式によっている。

2.2 実験条件

本報における実験条件は以下のようにした。

荷重(ラジアル)	2.3 kg
回転速度	10,000 rpm
試験温度	100±1°C
試験ベアリング	#6204(NSK)
グリース充てん量	3.0 g

荷重については實際上軽負荷の場合が多いことと、ここではグリースの劣化に主眼をおくのでこれを大きくとることはあまり意味がないと考え曾田式試験機をそのまま変更せず採用した。グリースの劣化変質上注目すべきことは、機械的かくはん、せん断作用によるグリース構造の破壊、熱的・化学的劣化などであり、これらには回転速度と温度条件が影響し、荷重の大小はあまり関係しない。たとえばベアリングの温度上昇は

$$T \propto CVP^{\left(\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}\right)} \dots\dots\dots (2)$$

なる実験式であらわされるが、ここに

T : 温度上昇 V : 速度
 P : 荷重 C : 定数

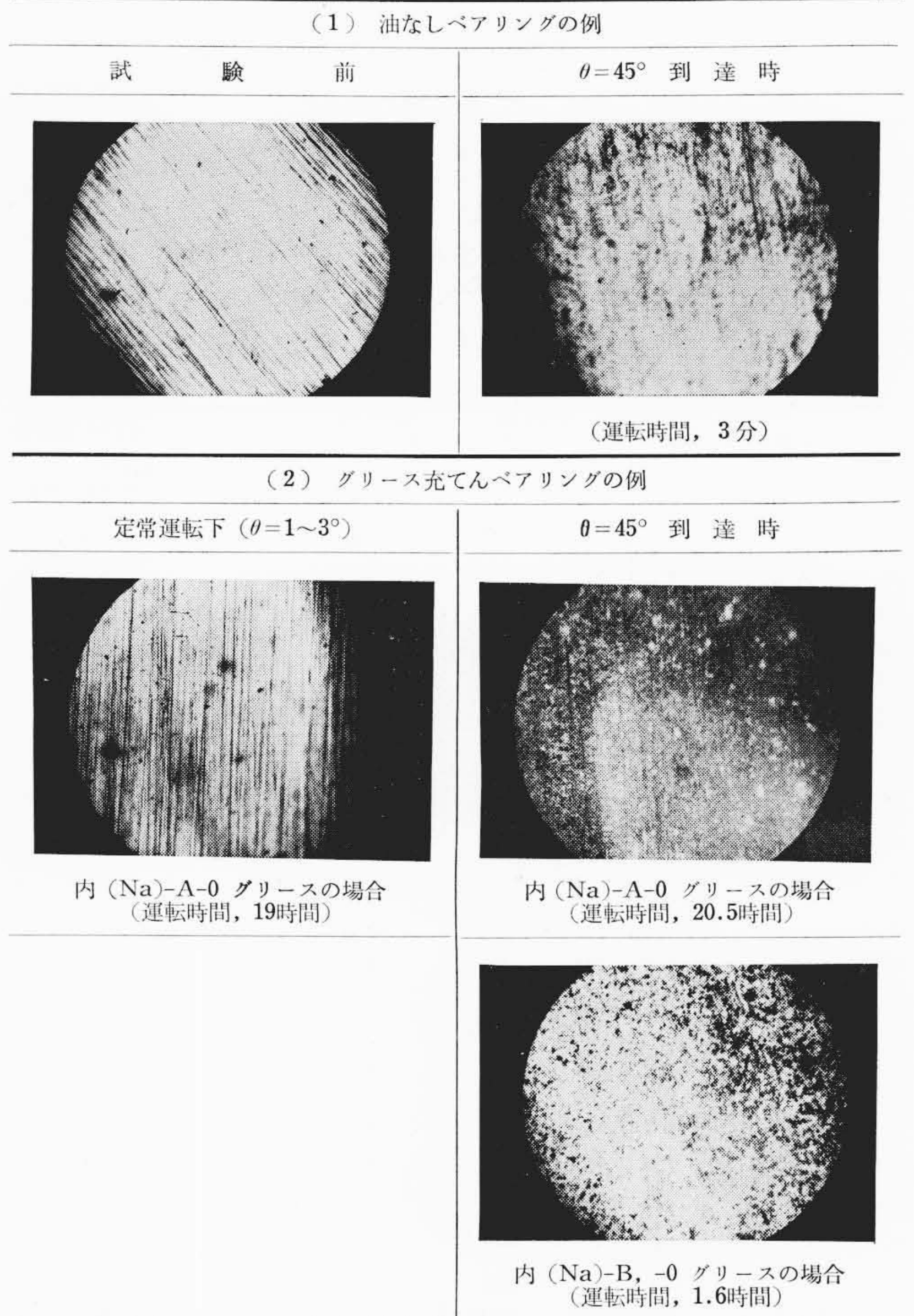
であって速度の影響が大きい。本報ではベアリングの温度上昇を特に問題にするわけではないが、グリースの劣化には荷重よりも速度条件に注意すべきことを指摘したいのである。回転速度はグリースの潤滑性から dN 値 (d : ベアリングの内径 mm, N : 回転速度 rpm) を 200,000 まで採ることは差つかえなく、実用上も 100,000 以上になることがしばしばなので、ここでは 10,000 rpm とした。試験温度は低温用グリースを特殊例として除外すれば、汎用電動機は 0~40°C くらいで使用されるものが多く、そのベアリング・グリースは約 20~80°C になると考えられ、かつ汎用電動機用としてのナトリウムまたはリチウム石けん基グリースの使用温度上限は約 100~120°C と考えられており⁽⁶⁾⁽⁷⁾、これらの滴点が 160~200°C である点より、試験温度を 100°C とすることは必ずしも特に過酷ではない。実際にまた 100°C 付近で使われることもあるので、本報では一般に行われる寿命試験に比しやや高いが試験温度を 100°C にした。試験ベアリングは #6204 (単列深みぞ型ボールベアリング) が汎用としては代表的であり曾田式、Federal とともに同じサイズを採用しているが妥当と考えられる。ベアリングに対するグリース充てん量は曾田式の場合 5g を標準としているが、Federal では 3g である。筆者らは次の理由で 3g を採ることにした。ボールベアリングに対するグリースの適正充てん量は (3) 式で求められるが⁽⁸⁾、本報の #6204 ベアリングに対しては $Q = 1.98 \text{ g}$ となる。

$$Q = d^{2.5}/900 \dots\dots\dots (3)$$

ここに Q : グリースの適正充てん量 (g)

d : ベアリングの内径 (mm)

すなわち 5g は過剰充てんであり実際に回転中ベアリングからの



第3図 ベアリング潤滑面(外輪レース)の顕微鏡写真例 (倍率 50×)

飛散がはなはだしい。実用上過剰充てんは摩擦抵抗を増し温度上昇を大にするとの理由で避けられる。筆者らはわずかに過剰充てんと考えられる 3g が实际的と考える。

2.3 実験手順

試験ベアリング NSK #6204 をベンゼン、次に石油エーテルで十分洗浄したのち、70°C で乾燥し、試験グリース 3.0 g を充てんした。ベアリングを試験軸に装着後試験温度を確認し 100±1°C のもとに運転を開始した。これより試験時間の経過にともなう摩擦モーメントを測定した。摩擦モーメントは (1) 式により算出されるが、実際の試験過程では変位角 θ を記録した。かくしてグリースの飛散、酸化劣化、分解、蒸発乾燥その他により潤滑性が悪化し、摩擦モーメントが急増するところまで連続運転を行い、寿命到達時におけるベアリング中の残留グリース量、外観変化などを吟味した。なお試験のつど新しいベアリングを使用した。

2.4 潤滑寿命判定方法および結果の再現性について

2.4.1 潤滑寿命判定方法

油なしベアリング、グリース充てんベアリングの数例について、試験過程における摩擦モーメントの変化、潤滑面の顕微鏡観察を行った結果は以下のとおりであり、変位角 θ が 45 度に到達するまでの時間をもって、そのグリースの潤滑寿命と判定することにした。

(1) 油なしベアリングによる実験例

第2図点線に例示したように始動時にやや高い摩擦モーメントを示すが、ただちに低下しついでふたたび増大し上昇を続ける。 $\theta = 45^\circ$ 到達時間は約 3 min である。試験前後のベアリング外輪レ

第2表 試験結果の再現性

試験条件: 100°C, 10,000 rpm
グリース充てん量 3g
#6204 ベアリング

試験項目	油なしの場合	内 (Na)-A-O グリース	内 (Li)-A-1 グリース	内 (Li)-C2-1 グリース
試験回数	3	4	4	5
平均潤滑寿命	3.3 min	22.1h	7.5h	284h
標準偏差	1.4	7.1	1.3	75

第3表 試料グリース

試験項目 グリース*	滴点 °C	ASTM ちょう度(25°C)		ASTM 酸化安定度 (210°F =98.9°C)	離油度 (100°C, 50h)	ASTM 蒸発量 (210°F = 98.9°C, 22h)
		混和 60回	混和 100,000回	圧力低下 PSi/100h	%	%
内(Na)-A-0	151	275	324	52	2.95	2.45
内(Na)-B0-0	166	298	液化	70	4.72	4.00
内(Na)-B1-0	148	225	391	110	4.47	11.82
内(Na)-B2-0	142	305	—	65	6.85	4.00
内(Na)-B3-0	153	302	—	76	10.05(20h)	5.13
内(Na)-B4-0	170	283	液化	57	12.55	0.99
内(Na)-D0-1	169	317	液化	9.2	16.43(10h)	2.53
外(Na)-A-0	172	233	343	14.5	0.93	0.98
外(Na)-B-0	171	312	液化	77	26.05	1.29
外(Na)-C-1	202	290	366	5.0	3.83	0.22
外(Na)-D-1	168	251	335	2.1	2.54	2.88
外(Na-Ca)-D-1	192	308	370	3.0	5.61	0.71
内(Li)-A-1	193	247	324	10.0	6.85	4.37
内(Li)-B0-1	200	282	344	3.5	3.94	0.69
内(Li)-C0-1	206	244	329	2.5	10.35	0.75
内(Li)-C1-1	199	277	379	2.6	9.79	1.04
内(Li)-C2-1	206	237	335	1.5	5.48	0.61
外(Li)-A-1	195	267	276	2.5	4.11	0.63
外(Li)-C0-1	186	315	355	2.5	5.79	14.03
外(Li)-C1-1	186	294	317	1.5	2.70	0.74

* 内: 国産品, 外: 外国品, (): 石けん基, アルファベット: 製造元
0: 酸化防止剤なし, 1: 酸化防止剤入り
** 1 psi=0.07031 kg/cm²

ース面は第3図の顕微鏡写真に示すように、 $\theta=45$ 度到達時は試験前に比し、むしろをともなう摩耗が起っている。

(2) グリース充てんベアリングによる実験例

実験結果の一例として内 (Na)-A-0 グリース (試料記号の意味は第1報⁽¹⁾と同じ) に関する摩擦モーメントの変化を第2図の実線に示す。運転初期はやや高い値を示すが次第に低下し、約1〜2時間ではぼ一定の値になり安定する。その後しばらくこの状態を維持し、約19時間経過後徐々に上昇をはじめ、20〜20.5時間で急上昇し θ は20.5時間で45度に到達している。低い摩擦モーメントで安定に運転されている状態を以下に定常運転状態と呼ぶ。定常運転状態におけるベアリングの潤滑面は第3図に示すように試験前のベアリングと同様であり、グリースは完全に潤滑剤としての役割を果たしている。 θ が45度に到達時の潤滑面は第3図に例示したようにむしろをともなう摩耗が起っており、グリースは明らかに潤滑作用を失ったことがわかる。

試験過程における摩擦モーメントの変化は第2図に付記したように(I)〜(IV)の領域に分けることができる。これらの各領域に対する詳細の説明ははぶくが、グリース中の油分の粘度増大、油分の流失や蒸発、石けん分の固化、分離油分の減少などが起り潤滑面に適切な給油が行われにくくなりはじめると、摩擦モーメントは漸増し(第Ⅲ領域)ついには潤滑不良となりかじりや、むしろをともなうようになって、急上昇する(第Ⅳ領域)ものであり、グリースの潤滑寿命は第Ⅲ領域から第Ⅳ領域に移行する臨界点で尽たものとみるべきである。しかし第Ⅳ領域は短かく一般に摩擦モーメントは急上昇するから、 θ が45度に到達したときをもって

第4表 寿命試験結果

項目 グリース	寿命到達時間 (h)	定常運転下の摩擦モーメント (変位角 θ)	グリースの飛散(寿命到達時) (%)	グリースの外観(色調)		試験後ベアリングの手動回転性	ASTM せん断安定性試験* におけるちょう度変化率 (%)
				試験前	試験後		
内(Na)-A-0	22.1	1~2	81	赤桃色	褐色	不良	17.8
内(Na)-B0-0	22	2~3	40	赤	褐	不良	(液化)
内(Na)-B1-0	1.6	2~3	50	黄	褐	不良	73.8
内(Na)-B2-0	11.5	3	65	赤	褐	不良	—
内(Na)-B3-0	10.5	3	83	だいだい	黒	やや良	—
内(Na)-B4-0	41.5	2	77	褐	黒褐	不良	(液化)
内(Na)-D0-1	19	1	93	琥珀	緑褐	良	(液化)
外(Na)-A-0	84.5	2~3	93	黒褐	緑褐	良	47.2
外(Na)-B-0	30	2	93	濃褐	黒褐	良	(液化)
外(Na)-C-1	>343	1	(77)	灰褐	濃褐	良	26.2
外(Na)-D-1	7.5	3	50	淡灰	淡灰	不良	33.5
外(Na-Ca)-D-1	>137	2~3	(70)	こはく	淡褐	良	20.1
内(Li)-A-1	7	5	77	茶褐	褐	不良	31.2
内(Li)-B0-1	210	6	83	こはく	黒(タール状)	不良	22.0
内(Li)-C0-1	>170	2~3	(77)	こはく	黒(樹脂状)	良	34.8
内(Li)-C1-1	146	10	99	白	黒(樹脂状)	良	36.8
内(Li)-C2-1	284	2	87	こはく	褐	良	41.3
外(Li)-A-1	182	2	—	こはく	黄褐	良	3.4
外(Li)-C0-1	6.5	3	99	灰	(乾燥粉状)	不良	12.7
外(Li)-C1-1	257	2~3	57	褐	褐	良	7.8

()は寿命欄の時間で測定した値

* ASTM 混和機による、60回混和ちょう度に対する100,000回混和によるちょう度変化率

寿命判定の基準としても大差ない結果になる。したがって以下の実験では時間計および自動停止装置を配して θ が45度に到達するまでの時間を求め、これをそのグリースの潤滑寿命と判定することにした。

2.4.2 実験結果の再現性について

本機による結果の再現性は必ずしも思わしくないとの説を聞くが、この種の実験においては特に試験軸に対するベアリングのはめ合わせ方の適否が結果に大きく影響することは事実である。しかし同一実験者、同一装置により継続的に実験し、はめ合わせ技術に熟練し円滑に運転を行えば、第2表のような結果が得られる。グリースの組成の均一性、ベアリングに対するグリースの充てん状態および比較的高速高温条件での回転試験であることを考えると、この程度の再現性しか得られないのはやむをえないと思われる。もちろんよりすぐれた再現性があることは望ましいが、本報の実験目的にはこの程度で一応使えると考えるので以下の実験を進めることにした。

3. 試 料

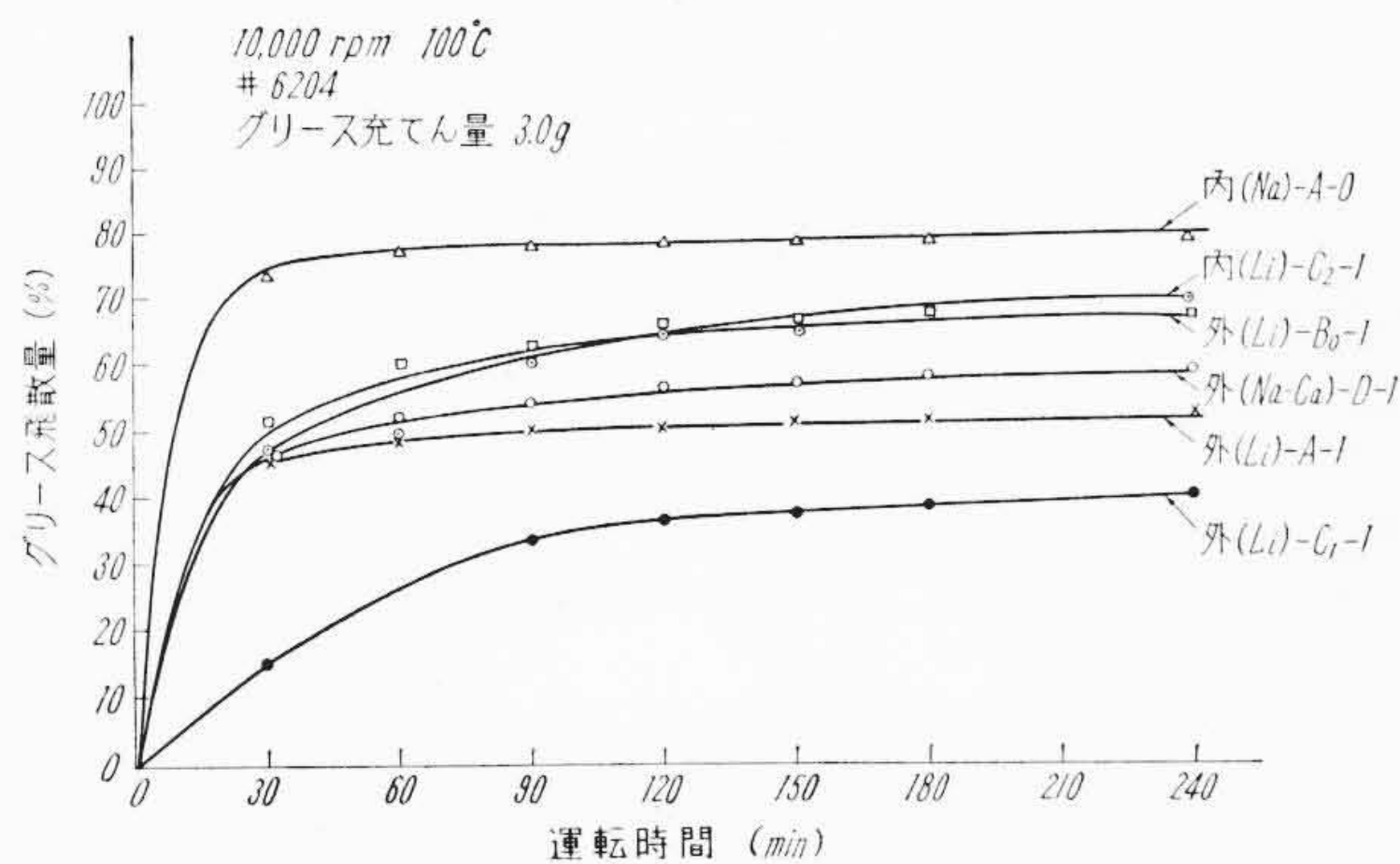
試料銘柄およびその性状を第3表に示す。試料記号は第1報とまったく同じ使い方をしている(第3表下段欄外参照)。第3表にあげた各種性状に関する試験方法については既報⁽¹⁾にゆずる。なお酸化安定度試験結果は、圧力単位としてグリース関係では現在なお広く psi が採用されているので本報でもこれによっておくことにした。

4. 実 験 結 果

第4表にまとめた。同表でグリース飛散量とは寿命到達時のベアリング中残留グリース量と初充てん量との差を求め百分率であらわしたものである。また試験後ベアリングの手動回転性とは、試験後とりはずしたベアリングを手動回転せしめたときの定性的判定で、円滑に回転するものを良として記録してある。

実験結果を要約すると次のとおりである。

(1) 定常運転状態における摩擦モーメントは、変位角 θ で一般



第4図 運転時間とグリース飛散量

に2~3度, すなわち35~53 g-cmでグリース間に大差はない。

(2) 酸化防止剤入りグリースはこれを含まないグリースに比し多くは約10倍以上の長寿命を有するが, 二, 三のものは例外的に短寿命であり酸化防止剤を含まないものにも劣る。

(3) 寿命到達時のグリース飛散量は一般に70~90%であるが, 40~50%にとどまるものもある。

(4) 試験後のグリース外観は, 明らかな劣化, 変色あるいは乾燥粉末状を呈するものがある。一方, 試験前の色調とほとんど変わらないものもある。すなわちグリースが化学的にまだ酸化劣化していなくても潤滑不良となる場合がある。

(5) 試験後ベアリングの手動回転性の良否は, グリースの外観変化状況とは必ずしも関係しない。手動回転性がよくても潤滑寿命に達しているのは100°C, 10,000 rpmの回転条件では手動回転よりもはるかにすべり速度が大であり, 潤滑面に対する油の補給が不十分なためであろう。すなわちグリースは保有する油分のすべてを消耗し尽すまで良好な潤滑を保証するとは限らない。

5. 寿命要因に関する検討

寿命試験結果は前記したように現象的に複雑であり容易に説明できないが, 以下にグリースの物理化学的特性と寿命との関連性を検討した結果若干の知見を得た。

5.1 石けん基の種類と寿命

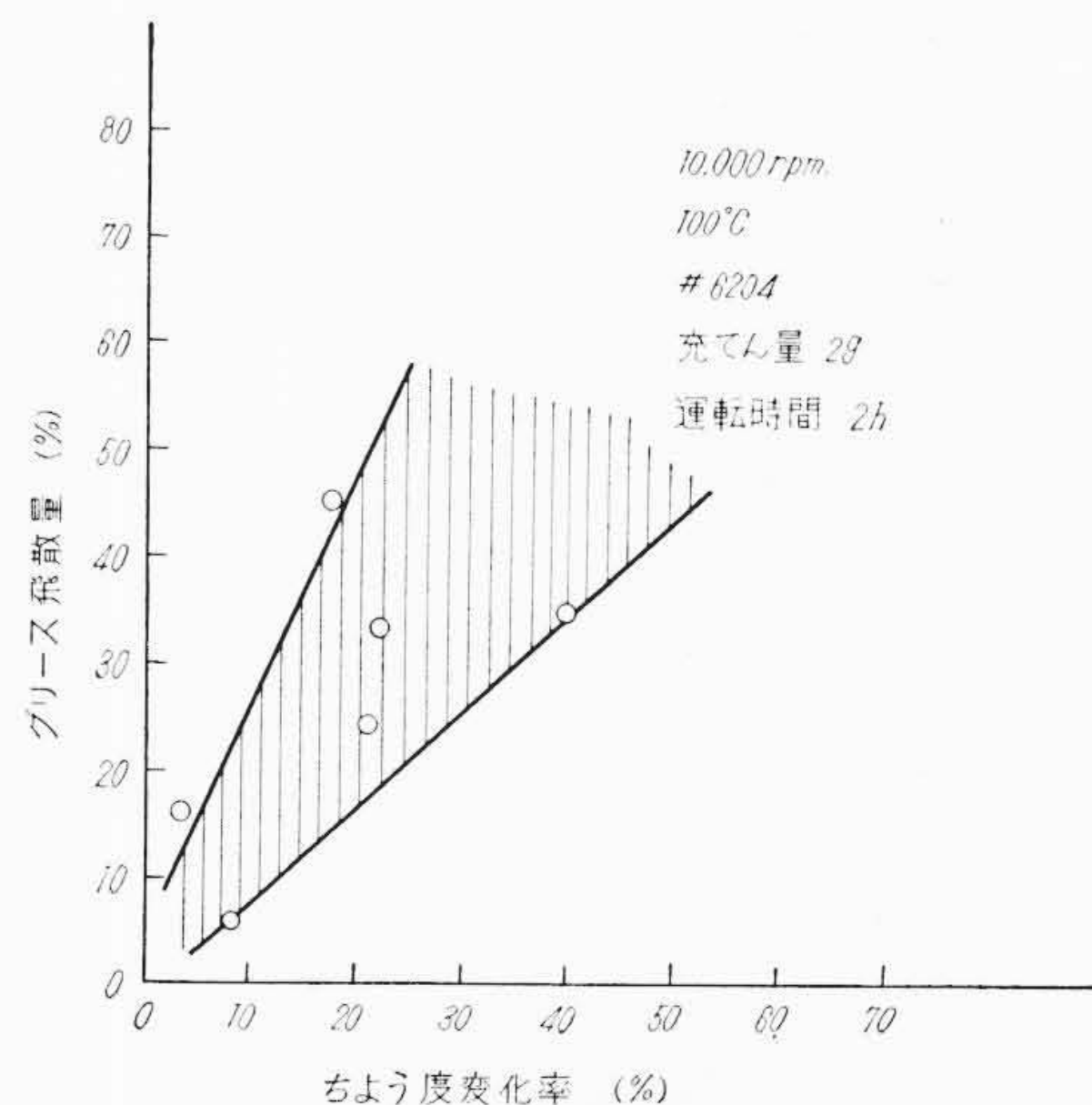
本報の結果では石けん基の種類による差は認めにくい。これについてはE. R. Booser, E. G. Jackson⁽⁴⁾らも同様の結果を出しており, E. M. Higginsによっても支持されている。しかしSKF NJ-312 ロールベアリングを用いたE. F. Koenig⁽¹³⁾の研究ではファイバグリース形のNa石けん基系は温度上昇大きく不利なことを指摘している。一般のボールベアリングでは本報およびE. R. Booserらの結果から石けん基よりもほかの要因の影響が大きいと考えられる。

5.2 滴点とちょう度の影響

本報における試料は滴点142~206°C, ちょう度225~317の間に各種あるが, これらの大小と寿命との関係は不定である。ただし滴点, ちょう度が製造者の保証値に比し異常な場合があり, かかるグリースでは後述する寿命要因としての離油および蒸発特性, 酸化安定度などが良好であっても例外的に短寿命であった。すなわち滴点やちょう度の貯蔵安定性が不良なものは, 貯蔵中の油分離が大きく, 使用せんとするときすでに多少の油分を失っているため, その状態で離油度が適正であってもベアリング中での潤滑面に対する油補給は比較的短時間に尽るものと考えられる。これより滴点, ちょう度は寿命と直接的関係はないにしても, その貯蔵安定性の良否に注意する必要がある。

5.3 機械的せん断安定性と寿命

機械的せん断作用に対して弱いグリースは容易に軟化流動し⁽¹⁾,



第5図 ASTM せん断安定性試験におけるちょう度変化率とグリース飛散量

ベアリングからの飛散, 流失が大きいと考えられているので, これに注目して検討すると以下のようなものである。

5.3.1 飛散傾向とせん断安定性

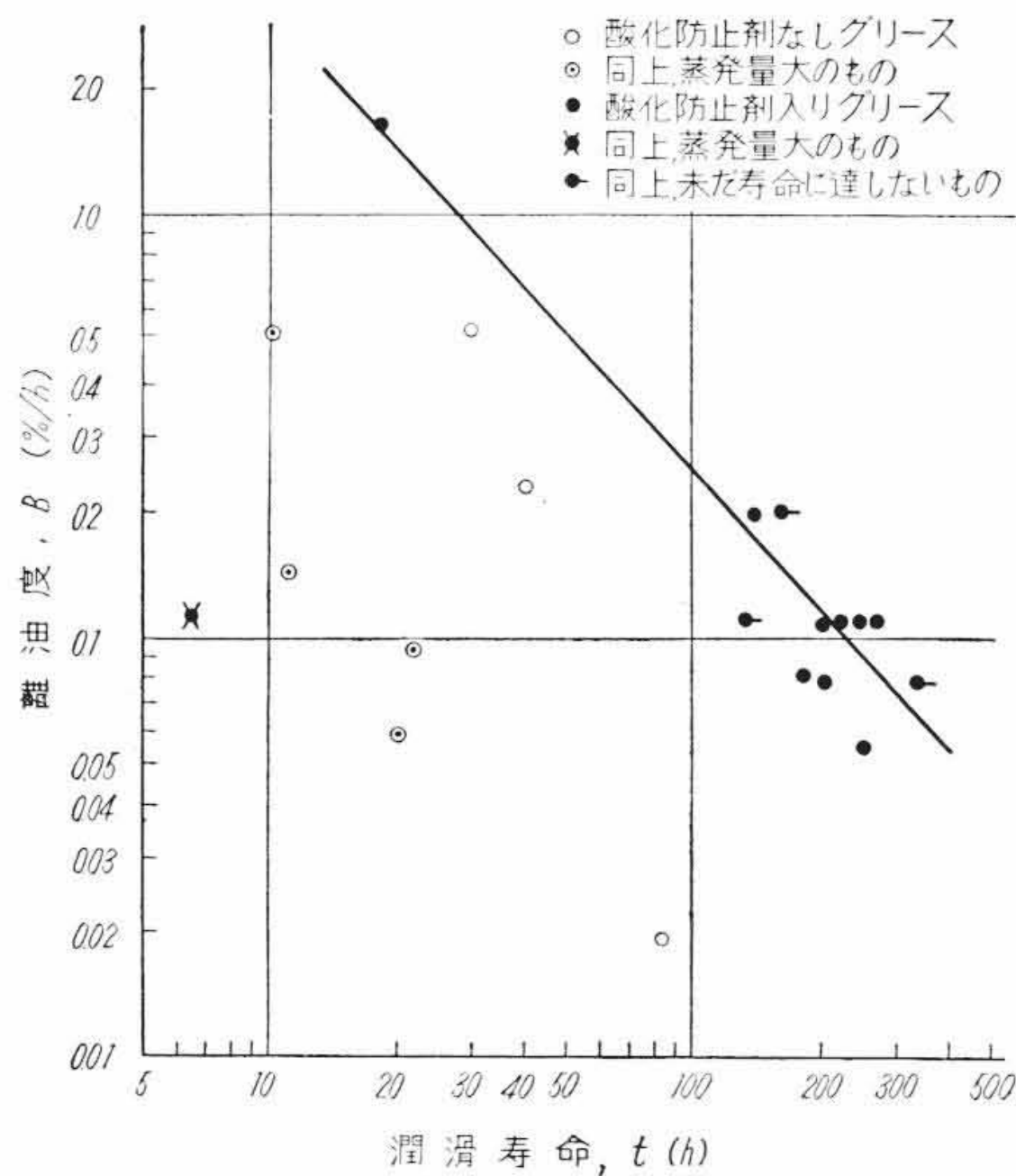
運転時間の経過に伴うグリースの飛散量を調べた結果を第4図に示す。運転初期に意外に大量のグリースがベアリングから飛散し去るが, 運転約1~2時間でほぼ落付き以後の飛散はきわめて少なくなる。この飛散傾向と前記第2図に例示した摩擦モーメントの変化はよく対応している。すなわち飛散しにくくなり定常化の傾向になると摩擦モーメントも低下して安定化し, いわゆる定常運転状態にはいる。この摩擦モーメントの運転初期における低下の過程は単にグリースの飛散過程のみで割りきることはできないが, 初期における大量の飛散はおもに過剰充てん分とみられる。過剰充てん分を除外してASTM せん断安定性試験におけるちょう度変化率と運転2時間後の飛散量との関係を求めると第5図のようになる。これよりせん断安定性の良否は飛散量とある程度関連するものといえよう。

5.3.2 寿命到達時におけるグリース飛散量

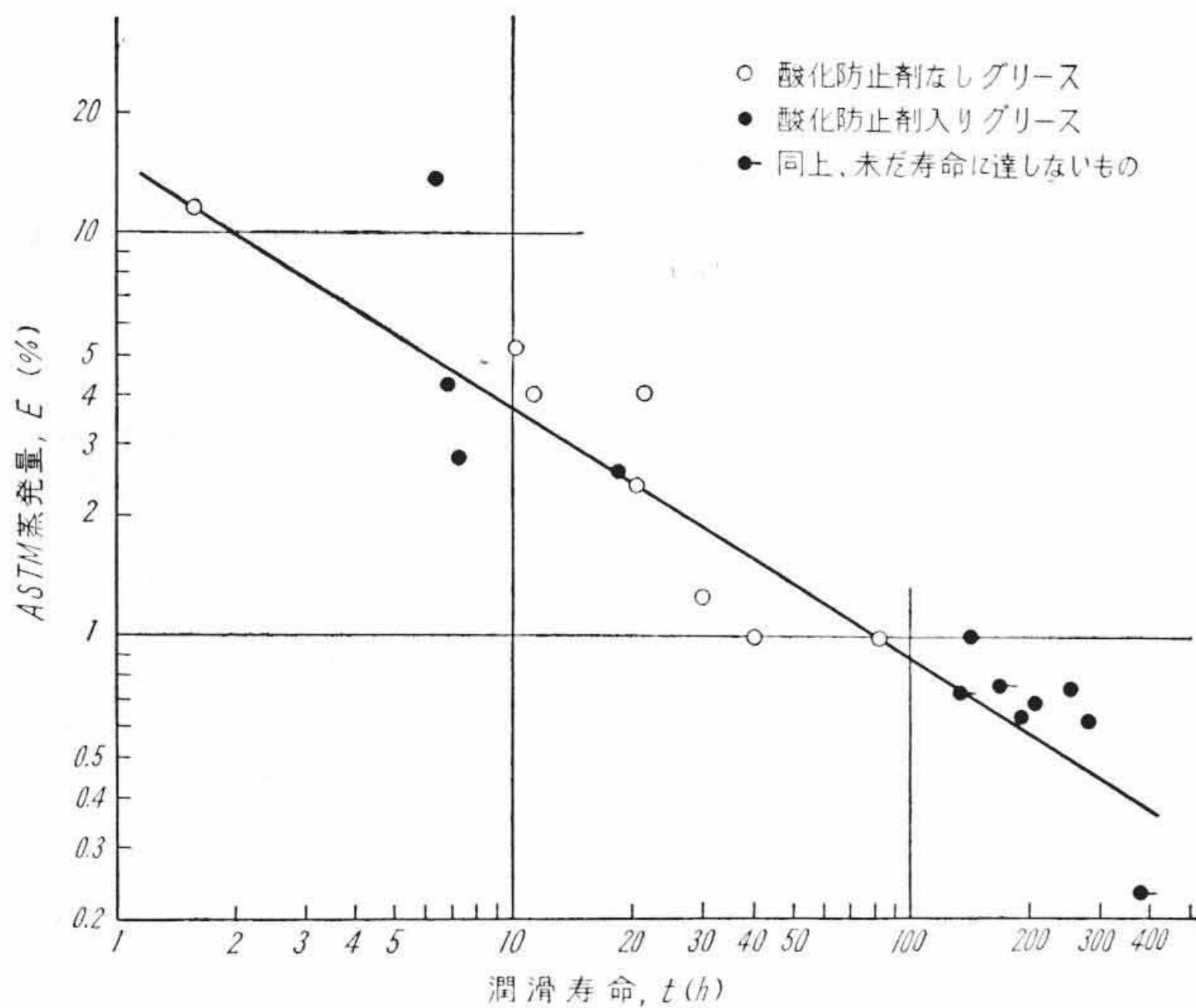
前記第4表に示すとおり, 寿命到達時においてベアリング中に残っているグリースの量は区々としており, ほとんどのグリースを失う場合と, まだかなり残留している場合とがある。前節よりせん断安定性が不良であれば飛散, 損失も多い傾向があるにもかかわらず, せん断安定性不良のものがより早く飛散し寿命がつきるとはいえない。すなわちせん断安定性はグリースの飛散傾向とある程度関係はあるが潤滑寿命に対する支配的要因とはいえない。この結果はE. G. Jackson⁽²⁾らの結果と同様である。しかし前節の結果よりせん断安定性の良否は無視すべきものではないと考える。

5.4 潤滑消耗とグリースの蒸発および離油特性

前出第2, 5図の例より定常運転状態に達する時間は一般に2時間である。2時間までのグリースの消耗は機械的飛散によるものが多く, 2時間以後寿命に達するまでの消耗がいわゆる潤滑消耗といえよう。この潤滑消耗には前節よりせん断による流動, 飛散よりも他の要因にもとづく消耗が大きく寄与しているのではないかと考えられるが, 消耗の原因となるべきほかの因子は, グリースの特性上蒸発と離油以外には考えにくい。グリースに対し離油度試験(Federal法⁽¹⁰⁾), 蒸発量試験(ASTM法⁽¹¹⁾)はともに100°Cで行われ, 本報の寿命試験温度に等しい。いま(離油)+(蒸発)と寿命試験における潤滑消耗とを第5表に示す方法で求めると, 両者は近似した値になる。寿命試験は動的状態, 離油および蒸発試験は静的状態で行われ, か



第 6 図 グリースの離油度と潤滑寿命



第 7 図 グリースの蒸発量と潤滑寿命

つ離油分がただちに失われると仮定するのは機械的にすぎる考え方であるが、グリースの潤滑寿命上蒸発と離油は軽視できないと考えてよいであろう。さらに第 6,7 図に離油度と寿命，蒸発量と寿命との関係をそれぞれ示したように，これらが寿命に影響することはほぼ間違いない。

5.5 酸化安定度と寿命

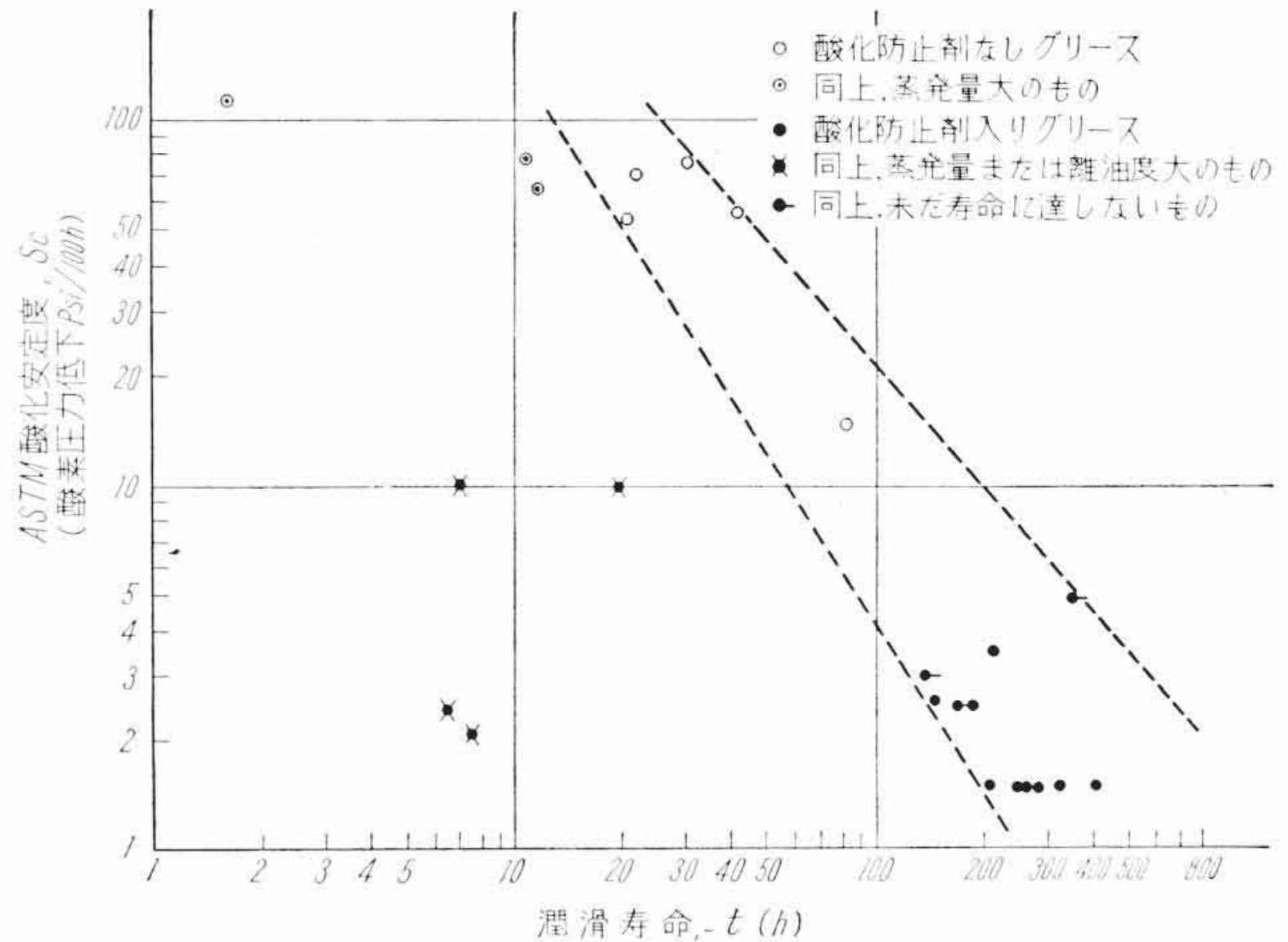
酸化安定度⁽¹²⁾と寿命との関係は第 8 図のようになる。蒸発量，離油度などの異常な場合をのぞけば(図中点線内)酸化安定度と寿命との間には関連性がある。

なお酸化安定度は，既報⁽¹⁾のように酸化の誘導期の長短であらわすのが妥当であるけれども，これを求めるには非常に長時間を要するものがあり，目下はすべての試料については求められないので，ここでは酸化安定度試験 100 時間における酸素圧力の低下量で代表させてある。

5.6 寿命推定実験式

従来ベアリングの潤滑寿命は主として機械的運轉的要因に注目して検討されることが多く，グリースの特性に注目したものは見あたらない。たとえば最近 D. F. Wilcock, E. R. Booser が提出した実験式⁽⁹⁾は(4)式に示すものである。

$$\log t = 4.73 - (T_2 - 63) (0.0058 + 4.7 \cdot 10^{-7} N) - 0.041 \frac{NW^{1.5}}{C^{1.8}} \dots\dots\dots (4)$$



第 8 図 グリースの酸化安定度と潤滑寿命

- ここに t : 平均寿命(h)
 T_2 : 運轉温度(°F)
 N : 回轉速度(rpm)
 W : 荷 重(lb)
 C : 動的比負荷

ただし(4)式は複式シールドベアリングの寿命実験式である。このほかベアリングの内径値をとり入れたものなどいくつかある。しかし以上に吟味した本報の実験結果よりグリース潤滑におけるボールベアリングの潤滑寿命は単に機械的運轉的要因のみならず，グリースの有する特性により大きく左右されることが明らかである。寿命要因として重視すべき特性はグリースの蒸発および離油特性，酸化安定度，せん断安定性などであると考えられる。せん断安定性に関しては寿命と明確な関係を求めにくい，前 3 者については前記第 6,7,8 図に示すとおり，それぞれの場合につき異常例を除外すれば寿命との関係はほぼ直線的とみなされる。多少無理ではあるが $y = ax^b$ 型の実験式を検討すれば次式がえられる。

$$t = 15.6 \sqrt{B^{-1.78} \cdot E^{-1.43} \cdot S_c^{-0.437}} \dots\dots\dots (5)$$

- ここに t : 平均寿命(h)
 B : 離 油 度(%/h)
 E : ASTM 蒸発量(%)
 S_c : ASTM 酸化安定度(psi/100 h)

(5)式による計算値と実測値との比較例を第 9 図に示す。計算寿命と実測値とは満足すべき一致を示さないが，(5)式から概略の推定は可能である。このことは寿命要因としての上記 3 因子がともにすぐれている必要があり，いずれかが不良であるとほかがいかにすぐれていても無意味になることを示す。したがって上記 3 因子に関する特性値を規定するうえに一応の手がかりとなろう。また現在の酸化安定度試験が静的条件で行われているからといって，実際の寿命と関連せしめるため動的酸化安定度試験に改めようとする考えは，ただ酸化劣化にのみ着目する限りあまり有意義とはいえないように思われる。

上記(5)式で問題なのはむしろ離油度試験法にあらう。これを動的方法にし，さらに蒸発と関連してグリースを作るに用いた基油の粘度をとり入れ再検討すると，より複雑な実験式になるが(5)式よりも実際に近似するようであり，目下別に検討中である。

なお(5)式は実験方法より考えて低温用グリース，特殊高温用グリースなどには適用できない。またベアリングの形式，大きさ，運轉条件などを別に考慮する必要があるのはいうまでもない。本報で

第5表 寿命試験過程におけるグリースの飛散消耗傾向

項目 試料	寿命到達時 t (h)	初充てん量 w_0 (g)	運転2hまでの初期飛散量 (g)	2h以後寿命到達時までの潤滑消耗		(離油)+(蒸発) $(w_0' B + w_0' E')$ $\cdot 0.01(\text{g/h})$
				$w_0' - w_1$ (g)	$w_0' - w_1/t - 2$ (g/h)	
内(Na)-A-0	22.1	3.0	2.4	0.03	0.0015	0.0010
内(Li)-B ₀ -1	210	3.0	2.0	0.54	0.0026	0.0012
内(Li)-C ₂ -1	225	3.0	2.0	0.63	0.0028	0.0028
外(Li)-C ₁ -1	257	3.0	1.1	0.66	0.0026	0.0017

注: 適正充てん量 $Q=1.98\text{g}\approx 2\text{g}$ w_0' : 運転2hにおけるベアリング内のグリース存在量 w_1 : 寿命到達時におけるベアリング内のグリース存在量 B : 静的円錐離油度試験(100°C)による離油度, %/h E' : ASTM 蒸発量試験(210°F)による蒸発量, %/h

は#6204 ベアリング, 100°C, 10,000 rpm ラジアル荷重 2.3 kg の条件で実験しており, (5)式の t はこの条件における平均寿命である。ただこれによって特殊用途をのぞく汎用ボールベアリング用グリースについて, その実用寿命上注目を要すべき特性をかなり明らかにしえたといえよう。

6. 結 言

曾田式グリース性能試験機を用いて回転試験を行い, グリース潤滑を行うボールベアリングの潤滑寿命は機械的運轉的要因のみならず, 使用するグリースの性状によっても大きく左右されることを述べた。

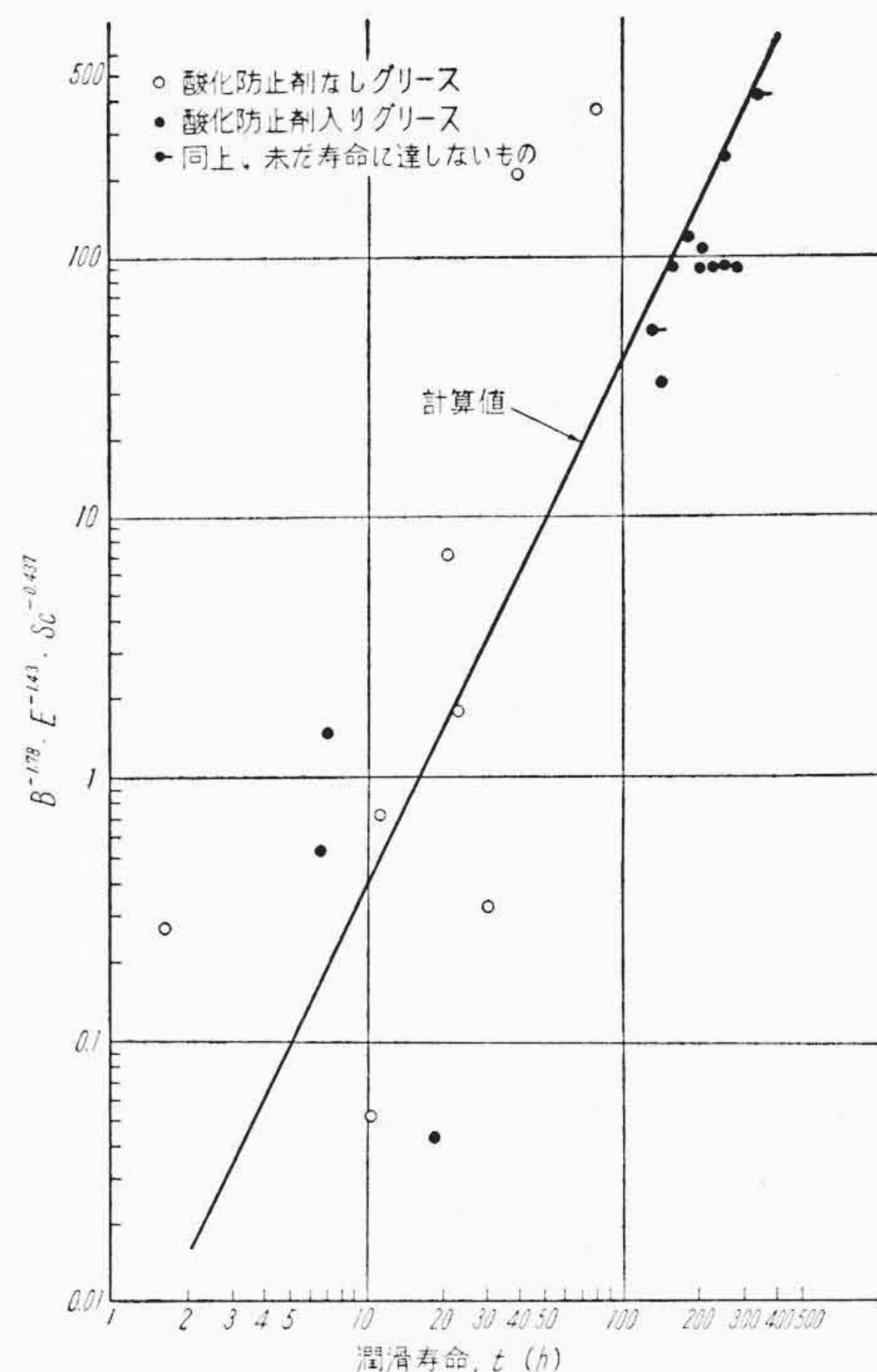
本報の実験結果よりグリースに対して行われる各種の物理化学的特性試験中, 離油度, 蒸発量, 酸化安定度, セン断安定性などは寿命要因として重視すべきものと考えられる。また滴点やちょう度と寿命との関係は不定であるが, その貯蔵安定性の良否は寿命に影響し軽視できない。

従来寿命要因としてセン断安定性, 酸化安定性などが重視されているが, これらがいかにすぐれていてもほかの特性に欠陥があれば長寿命は期待できない。すなわち酸化防止剤のごときもただこれを添加すればよいのではなく, 添加以前にグリースとしての一般的諸特性を十分吟味しておくべきである。

以上より寿命試験ないし実際に潤滑破壊を起したベアリングに見られるグリースの外観変化, 酸化劣化状況, 飛散傾向などの複雑さもある程度理解できる。

グリースの選択にあたっては, 物理化学的特性試験のみでは不安なため, これによって一応の選定をしたのち, さらに実用的寿命試験を行って最終的に決定することが多い。実用的寿命試験例として二, 三の報告⁽³⁾⁽⁴⁾をみることができ, 筆者らも別に実施しているが, 結論を導くには非常に長期間を要し, かつある限られた条件で行われるため得られる結果には必ずしも普遍性がない。寿命試験は単に寿命長短の確認にとどまるならば, 労多くしてうるところは少ない。むしろ寿命要因の探究が大切である。

グリースの実用条件が複雑多岐でありそれらのすべてを包含した試験を行うことは実際上不可能に近い以上, グリースの選定にあたり机上試験に期待しうるものは物理化学的特性試験, 規格試験, および使用目的に応じ適切と考えられる回転寿命要因のは握などであり, これらの結果と過去の実績とによって判断するよりほかはない。またその使用と管理にあたってはグリースの組成と特長とを熟知し, かつグリース以外の機械的諸要素についても十分留意して, グ



第9図 潤滑寿命の計算値と潤滑寿命

リースの性能を生かすようにしなければならない。

汎用電動機用グリースの選定基準については, 本報および既報⁽¹⁾に示した実験結果から一般的特性値についてはおおよそ推定しうると考える。このほか実用特性としての摩擦特性, 低温起動性, さび止め能力およびベアリングの形, 運轉条件などを考慮におく必要があるが, これらについては別の機会に報告したい。

終りに本研究の遂行にあたり多大のご援助を賜った日立製作所亀戸工場森泉工場長, 多賀工場上野工場長その他関係各位, 島田設計課長に対し厚くお礼申し上げ, また終始ご指導ご激励いただいた日立研究所三浦所長, 高橋部長に深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 茂庭, 友部, 高橋: 日立評論 42, 657 (1960)
- (2) E. G. Jackson & E. R. Booser: NLGI Spokesman 20, 8 (Feb. 1956)
- (3) 三井, 須藤: 安川電機 19, 180 (1955)
- (4) E. G. Jackson & E. R. Booser: NLGI Spokesman 18, 8 (Mar 1954)
- (5) Federal Spec: VV-L 791 e Method 331, 1
- (6) SAE. J: 56, 28 (Apr. 1958)
- (7) E. R. Booser: Scientific Lub., Conference Issue 43(1957)
- (8) NTN ベアリングエンジニア 1, 1 (昭 25)
- (9) D. F. Wilcock & E. R. Booser: Beargin Design and App. 1st Ed(1957)
- (10) Federal Spec: VV-L 791 e Method 321, 1
- (11) ASTM: D972
- (12) ASTM: D942
- (13) E. F. Koenig & E. M. Johnson: NLGI Spokesman 19, 14 (Aug. 1955)
- (14) H. A. Mc Conville: Product Eng. 24, 160(Mar. 1953)