

グリースの実用試験方法に関する提言

山崎 忠司

1 まえがき

新油の試験法については色々な規格があります。例えばJIS法に準拠してやるもの、ASTMを主体としてやるもの、その他ではFederal試験法、Ip試験法等だいたい必要な試験項目を網羅した規格があって厳重にテストされてはいます。しかし誠に残念なことです。グリースの実用上の相関性という点で満足されない場合が少なくないということについて、筆者は自衛隊の給油基準を制定するための実用試験、部隊実験を行って痛切に経験しましたので、ここにその一端を披露して、この種の走行試験をやられる人達に一つの指針として呈示するわけであります。

この走行試験に関係した主な会社ではいすゞ自動車・三菱東京製作所等、走行試験は北部方面隊から西部方面隊に到る全陸上自衛隊、供試グリースは汎用グリースとし鈴木・丸善・協同石油、研究所関係では防衛庁技術研究所は勿論のことプリンス自動車の磯田主査・シェル石油の久武取締役・鉄道技術研究所の河野博士等から貴重な示唆、研究資料の提供を賜りました。

2 現行の劣化に関連する試験法

グリースは従来ともすれば単に“固められた油”という概念のもとに定義づけられてきましたが、その本質が次第に明らかにされるに従いましてグリース自身の持つその独特な構造や流動特性、潤滑性、物理的および化学的性質が極めてユニークであることに気が付いてグリースの発展と共に定義も当然変わってきました。近年における光学的又はその他の測定機器や試験機器の発達によって、これらの性質が明確になってきたものとはいえ新油の試験の場合とは違って、実用上は現象がさらに複雑であるため使用過程中的グリースの劣化を判定するにはこれという決め手がなく問題点が今でも残っています。

(1) 一応グリースの劣化に対する抵抗力を試験する方法として、現行の規格から最も代表的なものを選定しますと、次の試験方法があることはあります。

- | | |
|------------------|----------------------------------|
| ① 耐酸化性 | ASTM D 942-50 |
| ② 油分離量 | ASTM D1742-60 T |
| ③ セン断安定性 | ASTM D1831-61 T |
| ④ 蒸発量 | ASTM D 972-56 |
| ⑤ 性能あるいは
寿命試験 | ASTM D1263-61
ASTM D1741-60 T |

①～④では物理化学的な方法です。⑤は実際に似せた条件でベアリングにグリースを充てんして廻転させる機械的な方法ですが実用性との相関という点では、試験法が違えば異なる結果が生じることがありますので実用上のことについては問題があります。

(2) 劣化の研究で最近の進歩ともいべきトピックスとして取上げられた鉄道技術研究所の河野通郎博士の赤外線吸収スペクトルの応用で新幹線等のジャーナル・グリースの劣化を解析し技術界で注目をあびたものがあります。図1に示すものがそれです。

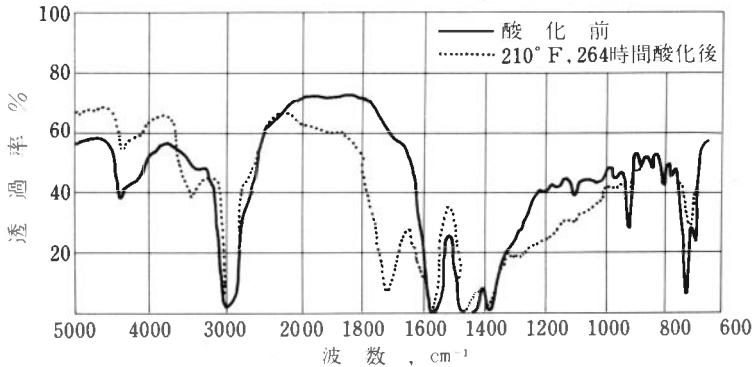


図1 酸化前後のグリースの赤外線吸収スペクトル

必要とする試料が少なくすむということが大きな特長です。つまりベアリングの内部から取り出した少量の試料によって劣化を判定するのに、きわめて好都合なのです。図1によると酸化後のグリースは $1710\sim 1740\text{cm}^{-1}$ に新しい吸収が現われています。この波数の範囲は酸、アルデヒド、エステルなど分子内に $\text{C}=\text{O}$ の結合を持つものの特性吸収帯であることから酸化されてカルボニル基が生成したことを示しています。また 3500cm^{-1} の吸収は OH によるものですから、酸化によって生じた水か酸の OH 基であると考えられます。また酸化後の試料の基油を分離させると $\text{C}=\text{O}$ の特性吸収が基油に伴ってくることから、酸化されるのはこの場合基油であろうと推定されるということでもあります。

自動車用オイル・ベアリングとしては、軸受の潤滑条件である速度、負荷、温度条件等の諸要素が新幹線とは比較にならないし又走行距離も伸びません。それよりも後述しますが、グリースの劣化の問題よりも先に汚損の問題に悩まされたので成分の分析に特にすぐれているこの赤外線吸収スペクトルの試験法によりたかったのですが、それ以前の問題（「グリースは劣化していないのにベアリングに異徴を生じた」）を発見したので只グリースの成分の変化を知る必要を生じた時のみにしか活用できませんでした。

(3) HORGERは電子顕微鏡を用いました。春木氏は「自動車技術」16-412で自動車のホイール・ベアリングにリチウムグリースを用い、走行に伴うグリース構造の変化を電子顕微鏡で検討しました。

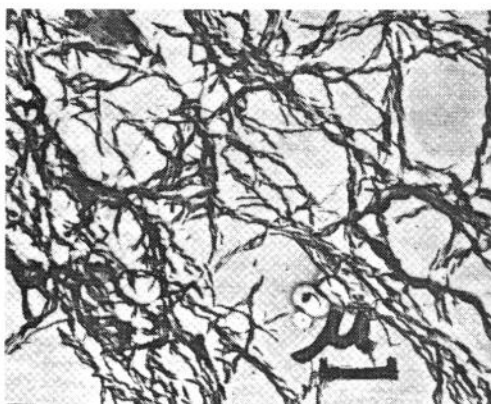


図2 石ケン繊維構造電子顕微鏡写真
(リチウム石ケングリース)

図2は石ケンミセルを形成している状況を電子顕微鏡で観察したものです。細長い石ケン繊維は潤滑油中において互にからまり合い網目状の骨格を作っています。潤滑油(基油)は吸着力により石ケン繊維をとりまき毛管力により網目状骨格内に保持されているわけです。

実際に運転されている軸受内におけるグリースの流動性は図3のように変化するユニークな特性をもっていますところを捉へてグリースの劣化の判定としたわけです。

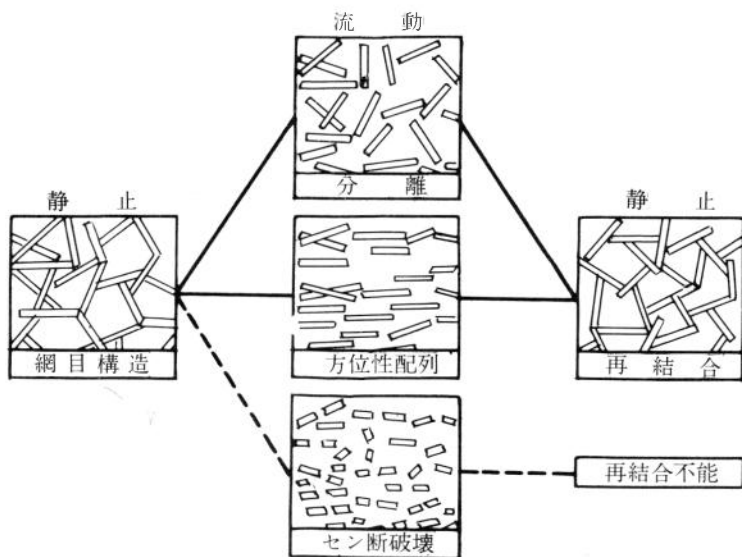


図3 グリースのチキソトロピーと構造模型図

このようなグリースの流動特性は、総合的にチキソトロピー (Thixotropy) と呼ばれます。グリースがあまりに大きなセン断を受けた場合には再結合性が失われグリースの寿命だと云うわけであります。青木氏の研究発表によると細分化の程度はシエルロールで614時間セン断した場合、またはASTM混和器で87万回混和した場合よりも激しく、実際のベアリング内でのセン断が強力であることを示しました。またノルマホフマン法による構造の破壊を検討し、5%添加した金属粉の影響をみたところアルミニウム粉はほとんど影響がないが銅粉は著しく細分化を促進することも発表されました。(これは後述のダクトの関係の証明にもなります)

VINOGRADOV、SINITSYNは最近の学説で、この方法だけがグリース構造を解明する唯一の研究手段であると強調したのですが、BYRNEはこれらの写真から算出した繊維の長さとの比

(L/W)の変化と稠度の変化が平行していないと発表し稠度は単に繊維の大きさだけでなく、繊維の相互作用が重要であると指摘しました。

結局グリースの機械的安定性としてグリースの機能の面から判定するものもありますが、増稠剤と基油の集合状態が関係している性質など成分の変化、有機酸の生成による滴点の低下等にも注意しなければならないので、この方法だけでグリースの劣化を判定するには問題が残ります。

図4は防衛庁技術研究所の力を借りて、陸上自衛隊が実用試験中に電子顕微鏡で撮影したのですが、約50枚ほど撮影してやっと得られたものである位ですから、研究用としては極めて貴重なものですが、実用上のものとしては我々現場技術者にとって採取油を全部撮影するという期待は望めませんでした。

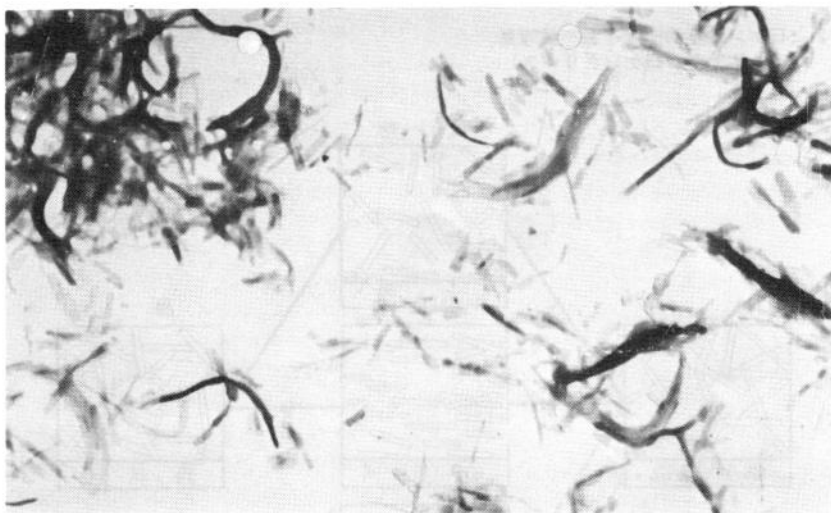


図4 ×40000

以上のとおり、劣化に関連する試験法については実にすばらしい方法があるのですが実用試験においては、単に油脂の劣化に留まらない要素があって油脂だけに偏重すると大変な結論となり実用上の答とはなりませんので、以下本論として体験をもとに提言致します。

3 実用上の判定要素

実用試験の当初の計画では、グリースの劣化の程度を究明すれば数値的に自動的に給脂基準が決定できるものと考えていましたが、(エンジン・オイルの給油基準の場合はこれで明確な答は出た)、液体潤滑油とは異なるグリースの持つ独特な流動性、潤滑性の解明のほか、グリースは劣化していないのに走行試験の途中において脱落試験車の報告が入ってきて、走行料数にはかわりない是正処置の必要が生じました。走行試験に入る前には全国の師団から車両係幹部を武器学校に集めて徹底した集合教育を実施しての上なので走行試験の要領については手落ちない筈だったのですが、事実上、走行試験を中止せざるを得ない車両が、当初のチェックポイントであった3,000料において $\frac{1}{4}$ tジープが10両、 $2\frac{1}{2}$ tトラック等において3両、戦車等は幸に0でしたが、急拠

その現地部隊に行って調査したところ次のような事実が判明しました。

- (1) グリースそのものは比較的良好であっても、ベアリングに油膜が切れて焼付群のようなスメアリングを生じている車両があること。
 - (2) ホイル、ベアリングの締付時のプレロードの掛け過ぎと思われる異常光沢を生じている車両があること。
 - (3) ダスト混入によるキズ等が多数あって、丁度サンドペーパーで磨いたようなアブレーションを起している車両があること。
 - (4) オイル・シールの不具合、ベアリングのはめ合の不適合等によるグリースの流出が認められた車両があること。
 - (5) ベアリングがクリープしている車両（特に4t ジープのフロント）があること。
- 等が散見された。

従って、グリースの要交換時期の判定要素として、使用上の条件、整備上の条件がグリースの劣化条件よりも先行するということであります。

すなわち、給脂基準の判定には次の3要素を関連させ総合的に考える必要があるということになります。

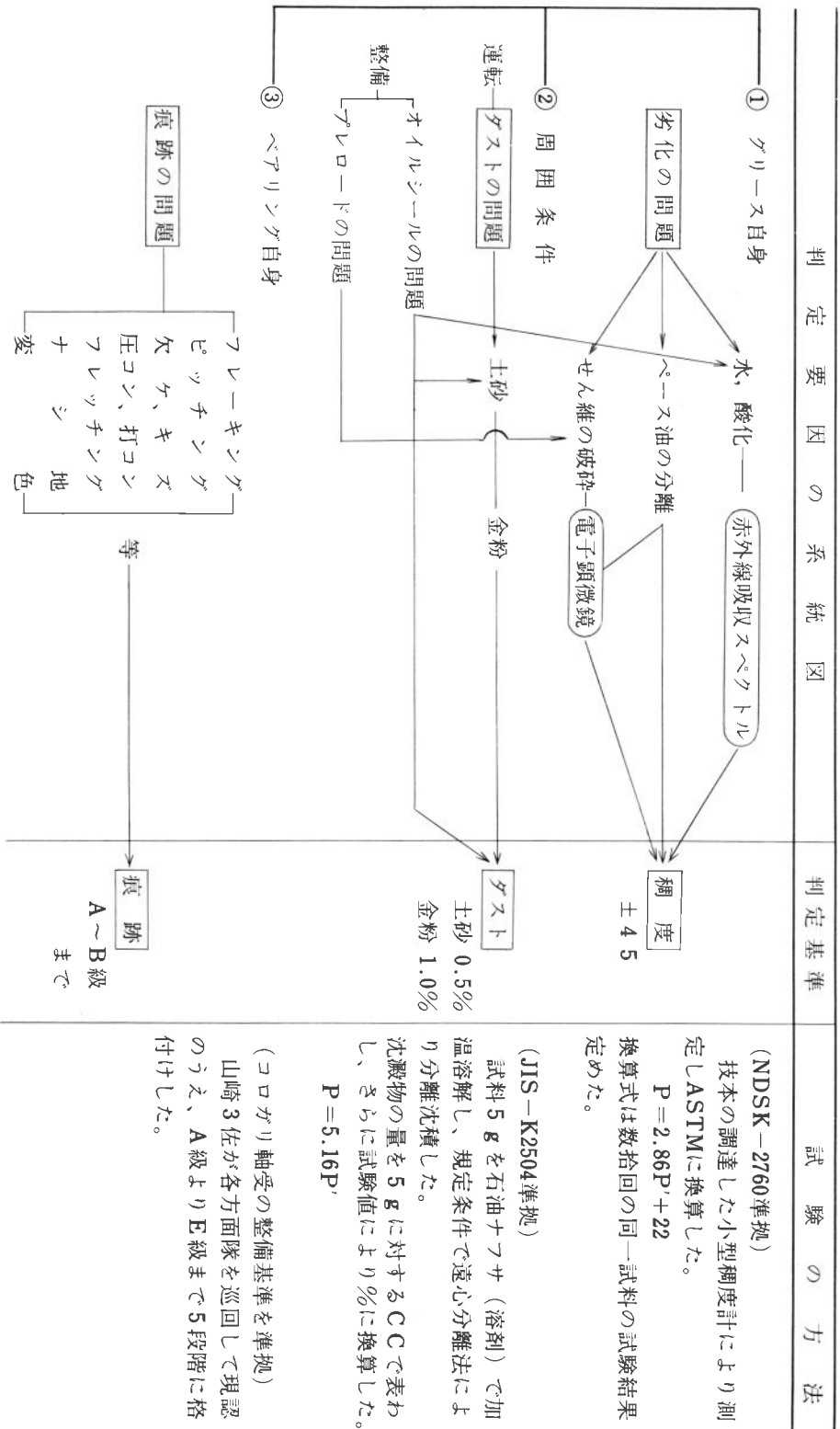
- ① グリース自身の劣化の問題
- ② ダスト・シールの有効性の問題
- ③ それによって生起するベアリング転走面の異徴の問題

グリースの劣化を判定基準の主要因として評価しているのは鉄道技術研究所であり鉄道車両としては当然だと思います。プリンス自動車、研究所の磯田主査あたりは5万料無給脂説を出し、昭38年頃にプリンスは無給脂車ということで当時の話題となったわけですが、実験の結果現在市販されている程度のグリースであれば水、ダストさへ完全にシールできれば自動車用としては劣化はさして考慮する必要はなり、むしろ台上試験では上記5万料以上余想もしない換算走行料の答を出したというのです。要するに自動車用ホイル、ベアリングにおいては劣化よりも汚損の理由でグリースを交換しなければならなくなるものだという結論でした。従ってベアリングを完全に密閉する構造にすればグリースの交換時期は論外というわけであります。

そして、グリースの検討が車自体の設計変更の原点にまでさかのぼって終わったわけですが、自衛隊車両は軍用車として演習地等の路外機動をやりますのでこのダスト・シールの問題は現行では外すことが出来ない要素でありますし最も重要な原因となったわけであります。

4 判定要素と判定基準値

使用過程中のグリースの判定要素は上記の3要素をもって総合的に判断しないと実用試験に真に求めたい答が得られないということを警告するわけですが、しからば夫々の判定基準値をどの



グリースの適正給脂基準・判定のための要因系統図と判定基準値

ように決定したかということについて説明しておきます。

(1) 稠 度

稠度測定によって、グリースの成分を判定することはできないがこの狙いは要因図に示すような各種項目の影響によって変化した結果としての稠度によって先づ多数の試料をふるいにかけてみます。

グリースの特性である揺変性に関する石ケン繊維のL/W率も稠度変化として現われてきますので石ケン繊維の剪断破壊の程度が推定できます。BYRNEの説のようにあやしいと思われるものは電子顕微鏡で検査しました。なお乳化、変質のあやしいものは赤外線吸収スペクトルを活用して確認するわけでありませう。

稠度の判定基準は

NLGI 番 号	A S T M	
	混 和 稠 度 / 25℃	
0	3 5 5 ~ 3 8 5	きわめて軟かい
1	3 1 0 ~ 3 4 0	軟い
2	2 6 5 ~ 2 9 5	やや軟い
3	2 2 0 ~ 2 5 0	普通の硬さ
4	1 7 5 ~ 2 0 5	やや硬い
5	1 3 0 ~ 1 6 0	かなり硬い
6	8 6 ~ 1 1 5	きわめて硬い

供試油の製品検査が265~295であるので夫々上限No.1 ~No.3 下限の範囲に属させるため±45を劣化の判定基準としました。

(参考：プリンス自動車の磯田主査も±45以下をとっています。戦車の場合に硬化がありますので±45としてあります。この数字はまた陸自仕様の作動安定度、水安定度の合格範囲内とも符合しました。)

(2) ダスト

オイルシール、プレロード等の整備上の精粗なやり方に大いに関係があります。まず砂粒(SiO₂)が混入して軸受の転走面の摩耗を促進します。摩耗は金粉(Fe₂O₃)として光るのでグリースの中に混入し目で見ても分るようになってきます。この軸受の摩耗はある限度をこえると軸受スキマが増大して振動荷重となり衝撃的になってくるので軸受の唸り、振動、そして軸受寿命をいちじるしく悪化することとなります。

ダストによる軸受摩耗が促進する変位点を求めて、使用限界としてこの項目の判定基準としたわけでありませう。

次のようなダストを作為的に混入して軸受摩耗を測定します。

供試ダストの成分

成 分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
SAE ダスト	67 ~ 69	15 ~ 17	3 ~ 5	2 ~ 3	0.5~1.5

		供試ダストの大きさ				
大 き さ		0 ~ 15	5 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 80
JIS	7種	39 ± 2	18 ± 3	16 ± 3	18 ± 3	9 ± 3
JIS	8種	12 ± 2	12 ± 3	14 ± 3	23 ± 3	30 ± 3

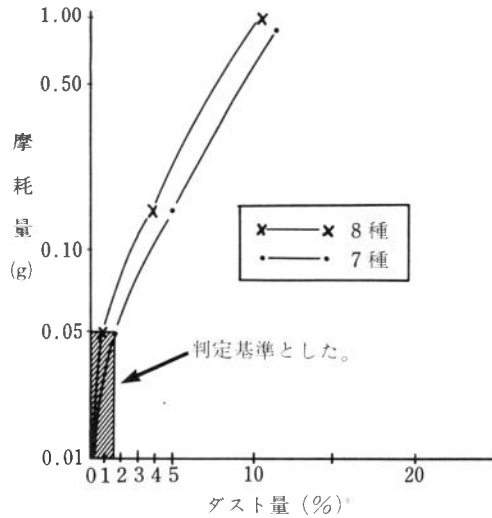


図 5

1.5%に変位点がありますので、 SiO_2 はmax0.5%、 Fe_2O_3 はmax1.0%を使用限度と考えて合計で1.5%までを判定基準として夫々の規定走行料に達した時に定量分析しました。

(3) 痕 跡

ベアリングの転走面およびコロの転動面に異徴が出てないかを分解検査するため、指定された走行試験車を各部隊巡回して現地で調査しました。筆者はこの項目が非常に大事だと思います。実用上の試験ですから総合的に此処に集約される筈です。今までにグリースの劣化に関する試験は随分やられてきた筈ですが、油脂畑の人はどうしても自分の分野から油脂を主体にして追究して行

痕 跡	転 走 面 お よ び 転 動 面												保 持 器								
	ピッチング			キ ズ			打 コ ン			フレッチング			梨 地			スメアリング			キ ズ		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
円筒コロ軸受				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
球面コロ軸受				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

判定基準 (許容範囲■)

きますが、それでは偏重した独善的な試験だと思えます。筆者は(2)項の整備畑及びユーザーとしての運転畑(走行条件)と(3)項のこの軸受製作畑の追究と、三者連合してやるところに実用試験の価値があると感じます。

軸受に出ている欠陥の程度によってA・B・C・D・Eの5段階に分け、それぞれの項目についての許容できる範囲を上表のようにまとめ、これを判定基準としました。

ア) ピッチング

転走面に微孔を生じる原因としては、異物のかみこみ、腐蝕又は表面の疲れ等であるが、これが出てくるとコロの接触応力が大きいので急速にフレーキングに進展し成長も速い場合が多いので一応全部ダメとしました。

イ) キズ

組込みのとき不注意に衝撃を与えること、異物をかみ込んだこと等によって転走面に引っかいたキズを生じます。深さが浅く表面をかすったようなキズはあまり影響がないが、キズの端がもり上ったようなものはコロの運動を妨げ摩擦トルクの増大、温度上昇の原因ともなるので、その程度によりA・Bまでを許容することにしました。

ウ) 圧コン・打コン

軸受の取付け取外しの場合、その他取扱い上の不注意、異物のかみ込み、静止時あるいは低速回転時に強い衝撃荷重がかかった場合などに転走面の接触部分に塑性変形を生じます。圧コン・打コンの大きいものは、その周囲が隆起しているので前項同様に回転調子をみて、その程度によりA・Bまでを許容することとしました。

エ) フレッチング

転動体と転動輪とが静止した状態で振動を受けるとき、または振巾の小さい揺動を行うと圧コン状の凹ミを生ずる。危険度は圧コンと同じと考えA・Bまでを許容することとしました。

オ) 梨地

圧コン・打コンよりも微細なキズが無数について転走面の荒れた場合、又は微細な異物をかみ込んでラッピングされた状態の場合、コロ軸受は玉軸受よりも接触面積が大きく、面の荒れの影響が比較的少ないから、やや荒れの程度の悪いものまで許容することとしたが玉軸受はAまでとしました。

カ) スメアリング

スピンを起し油膜が切れて焼付部分が群がっている場合コロが正常に回転せず軌道面とスベリを起し油膜が切れて焼付を起している場合は、小さな点状模様のほか硬度も、かなりの低下が推定されますので軽視はできない。一般に運転条件が苛酷になってきている今日において事故の事前防止を重視してAまでを許容範囲となすべきであると思ひそうしました。以上グリースの性能と直接結びつくものと、ダストによるものがありますが、一見グリース

と関係のない圧コン・打コン又はフレッチング等は運転条件、整備の精粗等に影響されるものであるといえますが、実は異物のかみ込み、境界潤滑の破れにも遠因があるので、その状況によりケース、バイ、ケースで取捨すべきであるとも思います。

しかし台上試験の場合とは違い実用試験の場合には無視できない重要な要因であることには変わりないものです。

5 試験結果の評価

給油基準を決定するための実用試験であるときは、その試験結果の成績を評価して、要交換時期の走行料を求めなければなりません。この方法として平均寿命としての確率を求めるわけですが、最近の技法として、Weibull分布を確率紙で求める方法がありますので、これを紹介します。

$F = (ti) = \frac{\sum_{i=1}^i ni}{N}$			$MTBF = \mu = to \Gamma(1 + \frac{1}{m})$
3,000km	6,000km	9,000km	$(to^{\frac{1}{m}} \times \frac{\mu}{\eta})$
例 $\frac{2}{58}$	3 $\frac{16}{58}$	28 $\frac{24}{58}$	41 $11,000 \times 0.885 = 9,700\text{km}$
<p>58は走行試験をやった試験車の台数、2とか16は判定基準に不合格となった車両数です。</p>			<p>確率紙に傾斜線を入れると $to^{\frac{1}{m}}$ が求められます。 確率紙上で原点に傾斜線を移行すると μ/η が求められます</p>

累積分布および平均寿命の求め方

Weibull確率紙は生産性本部の会員でないと入手できないのではないかと思います。この確率紙を使うとむずかしい理論にかかわらず簡単にMTBFを求めることが可能です。

ただし確率紙にプロットして傾斜線を入れるときには充分慎重に引かねばなりません。今度の実用試験では結果が対数正規分布しているの直線に近い線を入れたが、特定の走行距離を境いとして故障率が変化する場合は2本の折線として現われる場合もありますのでこの点にも留意しなければなりません。

実例を示したいのですが、自衛隊としてこれが実用試験の答となりますので、色々の点で差し障りを生じますのではぶきます。

6 結 び

実用試験の成果として試験成績を示すべきであります。前記文中のような理由で遠慮しなければなりませんし、ここでは実用試験のやり方として、ひとつの指針を示すことを目的としたものでありますのでご了承願います。

あわせて次のようなことは参考になるとと思いますので紹介して結びとします。

(1) 差異検定で次の結果が出た。

- a . 地域差はある。 (グリースの劣化の差は少なかったが、ダストの侵入について非常な差があった。)
- b . 車令差はある。 (グリースの変化は少ないが、ダストの侵入は車令によって漸増し、特にダンプ車は使用限界を示した。)
- c . 品種差は少ない。 (実用試験の最終距離まで達する確率において差は少なかった。)
- d . 貯蔵年度差も少ない。 (ただし某社のものに流出故障の多いものがあった。)

(2) 混用検定で次のことを痛感した。

グリースをつめかえる時、グリースを補充する時、前と同一グリースを使用すれば異種異形グリースの適合性は問題とはならないが、混用すると適合性について大いに問題があった。

- a . Na石ケン基グリースにCa石ケン基グリース又はLi石ケン基グリース或いはBa石ケン基グリースを混用すると、混合量10%程度ではあまり影響がないが、20%程度を超えると大きな影響があり、機械的安定性が悪く漏洩する。
- b . Ba石ケン基グリースにNa又はLi石ケン基グリースを混用すると少量でも悪影響がある。
- c . Li石ケン基グリースにCa石ケン基グリースを混用すると影響はa、程はないが、いずれもグリースの混用は整備士として厳に慎まなければならない。