

電子部品実装設備用グリースの開発

Development of Grease for Electronic Component Mounting Equipment

大野 英明 城戸 一夫 小坂 和明
 Hideaki Ohno Kazuo Kido Kazuaki Kosaka

猪俣 彰男 前畑 健吾
 Akio Inomata Kengo Maehata

要 旨

電子部品実装設備は、生産性向上に対応して小型化・高速化している。使用されるグリースの性状は一般的にちょう度（硬さ）のみ表示され、転がり要素の寿命に必要な使用温度での基油粘度が明記されたものがない。本稿では、実装設備用グリースを開発するにあたり、直動ガイド走行中の油膜形成状態を電気導通にて計測し、最適な基油粘度を決定した。併せて、従来のグリースで発生していた飛散・垂れ落ちを防ぎ、さらに異種グリースとの混合でも性状変化が少ないリチウムコンプレックス系増ちょう剤の採用と、高湿度クリーンルームでの使用も想定し防錆（ほうせい）性、低発塵性も向上させた実装設備専用のグリースを開発した。

Abstract

We have developed a grease exclusively for electronic component mounting equipment. This equipment is required to be smaller and to run faster to improve its productivity. Generally, grease is characterized by its penetration, but the base oil viscosity at the operation temperature is more significant for this equipment because it decides the lifetime of the rolling elements in this equipment. In this report, we optimize the base oil viscosity by measuring the electrical conductivity of oil films on a linear motion guideway. We also adopt a lithium complex soap grease, which scatters less and drips less than conventional grease, and changes little when mixed with other greases. The developed grease also improves rust prevention and dust generation properties for the use in high-humidity clean rooms.

1. はじめに

近年、電子機器の高性能化、多機能化が進み、それを生産する電子部品実装設備においても高精度化、高品質化、さらに設備の面積生産性向上が求められている。単位面積当たりの生産性を向上させることは設備を小型化し、かつ速度を上昇させることであり、それは設備内の温度を上昇させることに直結するものである。

回転ベアリング、直線運動ガイド（以下、直動ガイドと記す）、ボールねじなどの転がり要素やすべり摺動（しゅうどう）部に使用される潤滑剤は温度上昇により急激な寿命低下を招くことが知られている。また、温度上昇によるグリースのちょう度（グリースの硬さ）軟化による飛散、油分の流出などの問題も懸念される。さらに、クリーン対応、高湿度（チップ部品の静電気破壊防止のため）対応などグリースへの要求項目も増えている。

本稿では、直動ガイドを対象として走行中の油膜形成状態を計測し最適な基油粘度を設定した。併せて電子部品実装設備で新たに要求される性能（高防錆性・低発塵・混合安定性）も付加し、転がり要素の長寿命化を実現できるグリースの開発に取り組んだ。

2. 直動ガイドのトライボロジー

直動ガイドは工作機械や生産設備の直線運動を支えるためになくてはならない存在である[1]。また、寿命[2][3]や定格荷重[4]に関する研究報告、設計データなどが完備され、直動ガイドメーカーにおけるベンチテストやユーザーでの加速耐久試験では（1）式に示す定格寿命 L をほぼ確保できることが確認されている。

$$L = (C/P)^3 URL \dots \dots \dots (1)$$

L : 定格寿命, C : 基本定格荷重, P : 負荷荷重
 URL : Unit Running Life (=50 km)

しかし、実際の設備においては定格寿命に到達せず破損するものもある。給脂など保守整備の有無が寿命に影響することを経験しているが（1）式には潤滑に関する項がなく、寿命の差異は潤滑の状態にあると考える。

EHL理論（EHL: Elasto-Hydrodynamic Lubrication, 弾性流体潤滑）によれば、転がり要素において転がり接触面では停止時は金属接触しているが、走行中は極めて薄い油膜が形成される。この油膜厚さ（最小油膜厚さ H_{min} ）と（3）式により求められる転がり接触する2面の表面粗さの合成値 h の比が潤滑状態を表す油膜パラメータ A で（2）式により求められる。

$$\Lambda = H_{min}/h \cdots \cdots \cdots (2)$$

$$h = \sqrt{h_1^2 + h_2^2} \cdots \cdots \cdots (3)$$

h_1, h_2 : 2面の表面粗さ

油膜パラメータ Λ が大きいくほど油膜が厚く金属接触を防ぐことができ、小さいほど表面接触による破損が増える。

3. グリースによる潤滑

実装設備をはじめ、多くの機械要素で使用されるグリースの構造、潤滑機構について簡単に説明する。

3.1 グリースの構造・潤滑機構

グリースは基油と添加剤からなる油分を増ちょう剤を分散させたもので、増ちょう剤の繊維状結晶がつくる網目構造の中に油分を包含して半固体状態を保っている。

せん断を受けると網目構造が変形・破壊し油分がにじみ出して潤滑作用をする。せん断が止まると網目構造が修復され半固体状態に戻る。

増ちょう剤の網目構造は高温や許容を越える強いせん断応力、異種増ちょう剤の混入などにより網目構造を修復できなくなると軟化し、垂れ落ちや飛散を起こす。また、網目の空隙が詰まり固体化するものもある。

グリースの性能向上には要求する性能を担うのが基油、添加剤、増ちょう剤のいずれかを見極め改善することが重要である。

3.2 実装設備の動作

実装設備の直動ガイドは高速移動時3 m/s、低速移動時1 m/s、加減速時の加速度30 m/s²程度で稼働している。また、部品装着時には1秒間に5回程度の高い頻度で起動停止を繰り返した動作となる。一方、ガイドメーカーのベンチテストは(1)式からわかるよう、高負荷で走行距離が稼げる停止回数の少ない動作パターンが一般的であり、実機動作とは異なる。

4. 基油の選定

4.1 基油組成（化学物質への影響）

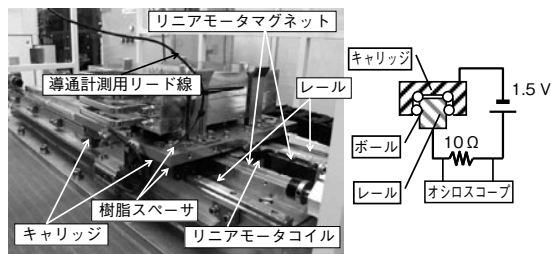
グリース基油は実装設備で使用されるゴムや樹脂に影響しにくいポリ- α -オレフィンとし、さらに低温で粘度が低く、高温で高い粘度を維持するためポリマー系粘度指数向上剤を配合した。また、高温時の重量低下（基油蒸発）を抑え、耐発塵性能向上のため低沸点成分を含まないものを用いた。

4.2 基油粘度の決定

グリース基油粘度は油膜を形成するために重要である。油膜の形成状態の実測と油膜パラメータ Λ の計算結果から基油粘度を決定した。

〔1〕試験機による油膜形成の確認

走行中の油膜形成を確認するため、第1図に示す直動ガイド試験装置、電気回路により導通電圧を測定した[5]。実装設備で使用する直動ガイドは直径約3 mmのボールが直径より5 μ m程度狭い透き間に挿入（予圧）された構造で、停止状態では転がり要素の構成部品は表面が弾性変形し金属接触しており電気伝導がある。ボールが転がり運動を始めるとレールとボール、ボールとキャリッジの透き間に油が入り、金属表面がさらに弾性変形し油膜を保った状態で転がる。

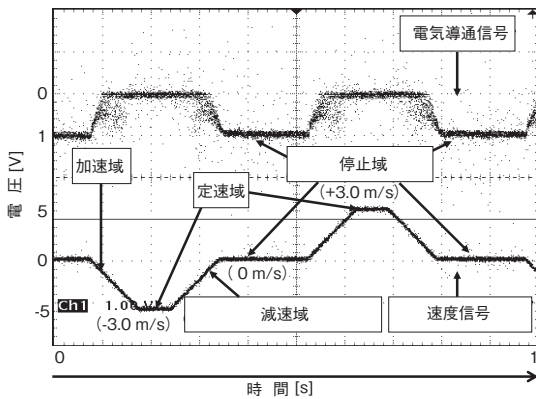


第1図 直動ガイド試験機と導通測定回路

Fig. 1 Linear motion guideway testing equipment and conduction measurement circuit

第2図は、測定データの例である。基油粘度125 mm²/s (@33 $^{\circ}$ C) のグリースを用い、可動テーブルを最高速度3 m/s、加速・減速時の加速度を30 m/s²とし、1往復させたデータである。横軸が時間でフルスケールは1秒である。縦軸が電圧を示し、上が電気導通状態を示す波形であり、下が速度信号である。

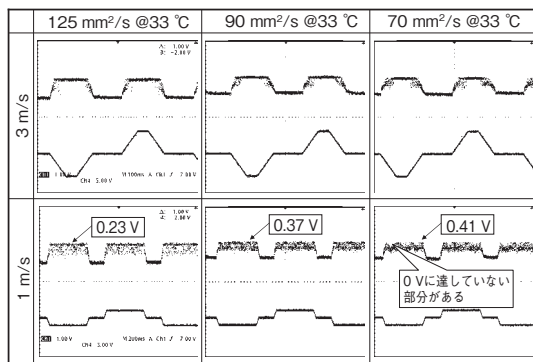
速度信号は可動テーブルの速度に応じて電圧が変化し、加速・減速域においては一定の傾きで上昇・降下する直線となる。設定の3 m/sまで加速し定速状態になると+5.2 V、-5.2 Vの水平な直線となる。停止中の電気導通波形は予圧と垂直荷重により部材が弾性変形し金属接触状態にあるため印加電圧の1 Vを示している。走行中は油膜により絶縁されるため0 Vを示す。



第2図 測定データの例
Fig. 2 Example of measurement data

グリース基油粘度の調整は稼動中の実装設備のレール、並びに実験機のレール表面温度が30℃～35℃であったので33℃を基準とした。第3図は、基油粘度125 mm²/s (@33℃)、90 mm²/s (@33℃)、70 mm²/s (@33℃)での最高速度3 m/sと低速1 m/sでの電気導通状態である。基油粘度70 mm²/sでは速度3 m/sの時、油膜は形成されている。しかし、1 m/sでは油膜形成状態を表す導通電圧が平均で0.41 Vであり、導通波形でも0 Vに到達していない部分が観察されることから金属接触による油膜破壊が起きていると考える。

開発品の基油粘度は実装設備の低速移動速度1 m/sで油膜が形成される125 mm²/s (@33℃)とした。実装設備の低温起動性を考えるとグリース単体の低温起動トルク値 [130 mN・m (-20℃)] から上限の粘度である。



第3図 電気導通の測定結果
Fig. 3 Result of measurement of electric conduction

(2) 計算値との相関

実験結果の考察のため計算値との比較を行った。計算は(4)式Hamrock-Dowsonの式により最小油膜厚さ H_{min} を求め、レールとキャリッジの表面粗さ0.2 μmRaを h_1 、ボール表面粗さの0.02 μmRaを h_2 とし、(3)式から h を求

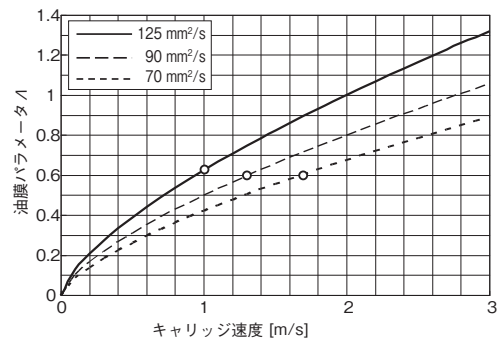
め(2)式より Λ を求めた。基油粘度、キャリッジ速度と油膜パラメータ Λ の関係を、第4図に示す。

$$H_{min} = 3.63G^{0.49}U^{0.68}W^{0.073}(1 - \exp(-0.68k)) \dots (4)$$

G : 材料パラメータ, U : 速度パラメータ

W : 荷重パラメータ, k : 接触楕円比

各基油粘度で油膜破壊が生じる速度の実測値を○で示す。基油粘度の変更に伴い油膜が破壊する速度は変化するが、油膜パラメータ Λ は0.6付近である。本実験から玉式直動ガイドを使用する場合、油膜パラメータ Λ が0.6以上でないと、転動面は金属接触した状態で運動することがわかった。



第4図 基油粘度と油膜パラメータ Λ (計算値)
Fig. 4 Base oil viscosity and Λ (calculated value)

5. 増ちょう剤の選定

耐熱性、混合安定性、せん断安定性、低発塵性を考慮して増ちょう剤はリチウムコンプレックス系を採用し、ちょう度をJIS 3号とした。これにより滴点(垂れ落ちる温度) 260℃以上、ASTM (American Society for Testing and Materials: 米国材料試験協会) ロール安定度試験(80℃×20 h後)のちょう度変化が100以下となった。この結果、実装設備での流出、適正使用における飛散発生は無くなった。

さらに、市場で流通する異種増ちょう剤グリースとの混合による性状変化を防ぐことができた。通常、市販グリースでは異種増ちょう剤の混合を禁止しているが(開発品においても好ましくはない)不注意による混入事故は発生している。開発品では強固な網目構造により、一般的な異種増ちょう剤グリースとの混合により軟化しないことを確認している。

6. 添加剤の選定

グリースは耐酸化性、防錆性、耐荷重性能向上などの目的で各種添加剤を配合しており、本稿では「防錆添加剤」と「耐荷重添加剤」の検討について記載する。また、添加剤の種類が発塵性に影響を及ぼす[6]ため発塵性の確認も実施している。

6.1 防錆性向上

チップ部品の静電気破壊対策として作業雰囲気湿度を60% RH程度に保つことが増え、防錆性能が不十分となることがある。

防錆添加剤は下記の耐荷重性能向上剤と同様、金属表面で効果を発現する。市販品では耐荷重性能に偏重し、防錆性能が低いものも多い。また、従来使用していたBa系防錆添加剤は欧米を中心に削減・廃止方向にある。開発品ではCa系添加剤で耐荷重性能向上剤とも競合しないものを選定したことで、環境負荷物質を用いず防錆性能を向上することができた（塩水噴霧試験でA級を達成している。なお、現在のJIS規格にはグリースの塩水噴霧試験はない）。

6.2 耐荷重性能向上

実装設備において重要な要素は、移動-停止を繰り返すことである。直動ガイドの破損箇所は停止を繰り返す位置近傍が多い。

油膜が形成できない状態での焼付きを防ぐため耐荷重性能向上剤のZnDTP（Zinc Dialkyldithiophosphate: ジアルキルジチオリン酸亜鉛）を従来から使用していた。しかし、耐熱温度が十分でないため厳しい運転条件では使用中に熱劣化物が生成し、転がり寿命に影響する[7]ことがある。開発品では耐熱性が高く、かつ発塵性が少ないZn系を選定することで転がり疲労にも強いグリースを実現することができた。

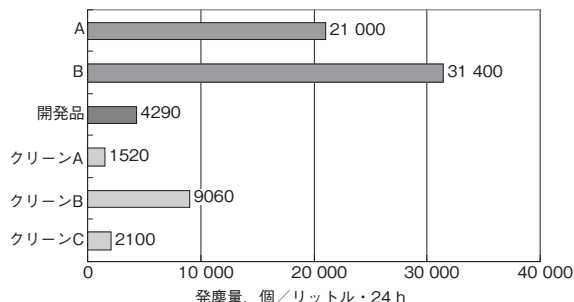
6.3 耐発塵性の確認

第5図は、ボールねじを用いた発塵試験結果である。A、Bは市販転がり軸受用グリース、クリーンA、B、Cは市販クリーニンググリースで、同条件での試験結果である。開発品は市販クリーニンググリースと同等の発塵性能であることが確認できた。

7. 寿命評価

グリースの転がり寿命評価として「スラスト軸受式疲労試験機」とガイドメーカーの「直動耐久試験機」での

評価を実施した。併せて実装設備で6000時間相当の耐久性評価も実施し流出や飛散、直動ガイドの破損がないことを確認している。

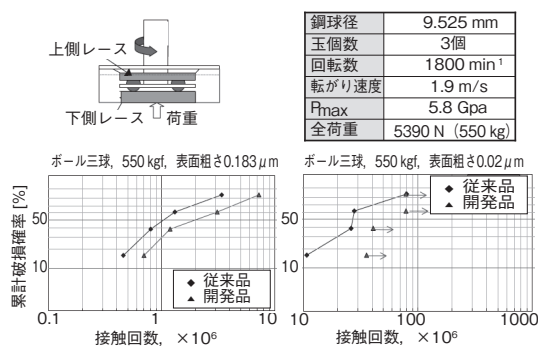


第5図 発塵量の比較

Fig. 5 Comparison of quantity of particle

7.1 スラスト軸受式疲労試験

スラスト軸受式疲労試験は、単式スラスト玉軸受を用いて破損するまでの（転がり）接触回数を評価するJISにはない試験である。第6図左上に、試験略図を示す。また、右上に試験条件を示す。下のグラフは試験結果で縦軸は累計破損確率を示し、横軸が接触回数である。左は転動部表面粗さ0.183 μmRaの試験結果で、開発品の転がり疲労寿命は従来品と比較して1.5倍以上長い。同様に右の表面粗さ0.002 μmRaの試験では開発品は従来品の4倍以上の寿命が長い（破損に至らず試験を中止した）。



第6図 転動疲労試験条件と結果

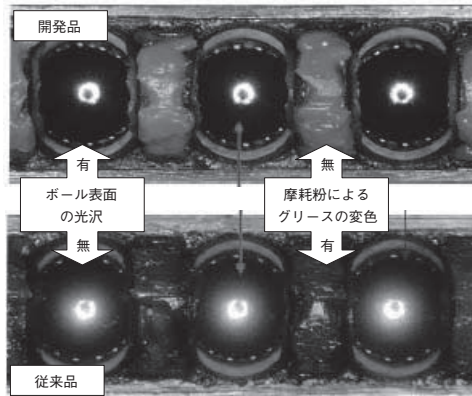
Fig. 6 Rolling fatigue test condition and result

7.2 直動ガイド耐久試験

第7図は、直動ガイドメーカーにて実施した耐久試験後のキャリッジ内部の写真である。試験条件は負荷20 kN（動定格荷重の37%）、走行距離1000 kmである（定格寿命相当）。最高速度2 m/sで加速・減速時の加速度は30 m/s²である。上は開発品でボールに光沢があり、グリースは白い状態（初期同様）である。下は従来品でボー

ルの光沢がなく青色を呈しており、グリースも摩耗粉の混入により黒く変色している。この結果からも開発品の潤滑性、耐摩耗性が優れていることがわかる。

第1表に、開発品（名称：LCG100グリース）の標準仕様を示す。



第7図 定格寿命試験後のキャリッジ内部の写真
Fig. 7 Photograph in carriage after rating life examination

第1表 標準仕様

Table 1 Standard specifications

項目 Item	仕様 Specifications	条件 Conditions
色 Color	白 White	目視 Visual
混和ちょう度 Worked penetration	245	JIS K2220 (25 °C 60 W)
滴点 Dropping point	> 260 °C	JIS K2220
離油度 Oil separation	0.3 %	JIS K2220 (100 °C×24 h)
シェルEP Shell extreme pressure	LNL 981 N WL 2452 N LWI 464 N	ASTM D2596
塩水噴霧試験 Salt spray test	A級	JIS K2246
低温起動性 Cold starting	130 mN・m	JIS K2220 (-20 °C)
保存性 Storability	12 months/under 25 °C	製造後 following manufacture

8. まとめ

電子部品実装設備用グリースの開発に際し、実設備での走行条件下で直動ガイドの油膜形成状態を確認し、基油粘度を最適化した。直動ガイドの運転において、油膜パラメータ $\Lambda > 0.6$ の確保が重要である。今までグリース選定の参考としていたトライボロジーハンドブック[8]や潤滑剤銘柄便覧[9]、メーカーカタログなどには、グリースの基油粘度に関する記述がなく油膜パラメータ Λ は求められないため有用ではない。

また、市場で度々発生する異種グリースとの混合による性状変化や飛散・垂れ落ちもリチウムコンプレックス系増ちょう剤を使用することで回避できた。加えて高防錆性、低発塵性も付加できた。

現在販売中の電子部品実装システムNPMシリーズは、高速-高精度を徹底して追求したものである。開発品はNPMの仕様、また今後さらに厳しくなるとされる要求も考慮し、対応したものである。

開発品は、一定の条件下で優れた潤滑性、耐摩耗性をもつことから、メンテナンスサイクル延長が可能と考えられる。今後はメンテナンスフリー化を目指し技術開発を進めていきたい。

参考文献

- [1] 白井武樹 他, “直動案内装置の動向,” トライボロジスト, vol.44, no.11, pp.845-850, 1999.
- [2] 清水茂夫 他, “リニア軸受の転がり疲れと最近の研究動向,” トライボロジスト, vol.54, no.3, pp.173-179, 2009.
- [3] 石川義雄 他, “直動玉軸受の疲れき裂の発生および進展について,” 潤滑, vol.27, no.9, pp.671-676, 1982.
- [4] 清水茂夫, “直動ベアリングの動定格荷重について,” トライボロジスト, vol.44, no.11, pp.851-856, 1999.
- [5] 大野英明 他, “転動体に玉を用いたリニア軸受の潤滑状態に及ぼすグリース基油粘度の影響,” トライボロジスト, vol.56, no.6, pp.371-377, 2011.
- [6] 藤浪行敏 他, “グリースの発塵特性に及ぼす添加剤の影響,” トライボロジー会議予稿集, 東京2008-5, pp.191-192, 2008.
- [7] 山田寿夫 他, “歯面の摩耗およびピッチングに及ぼす潤滑油の影響,” トライボロジスト, vol.43, no.4, pp.317-324, 1998.
- [8] トライボロジーハンドブック, 第1版, 日本トライボロジー学会編, p.175, 養賢堂, 東京, 2001.
- [9] 潤滑剤銘柄便覧, 2011年版, pp.479-531, 潤滑通信社, 東京, 2010.

著者紹介



大野英明 Hideaki Ohno
パナソニック ファクトリーソリューションズ
(株) R&Dセンター
R&D Center, Panasonic Factory Solutions Co.,
Ltd.



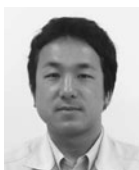
城戸一夫 Kazuo Kido
パナソニック ファクトリーソリューションズ
(株) R&Dセンター
R&D Center, Panasonic Factory Solutions Co.,
Ltd.



小坂和明 Kazuaki Kosaka
パナソニック ファクトリーソリューションズ
(株) 開発センター
Development Center, Panasonic Factory
Solutions Co., Ltd.



猪俣彰男 Akio Inomata
パナソニック ファクトリーソリューションズ
(株) 開発センター
Development Center, Panasonic Factory
Solutions Co., Ltd.



前畑健吾 Kengo Maehata
パナソニック ファクトリーソリューションズ
(株) 開発センター
Development Center, Panasonic Factory
Solutions Co., Ltd.