

熱伝導性グリースの信頼性評価技術

柳浦 聡*
廣井 治*

Reliability Evaluation Technology of Thermally-conductive Grease

Satoshi Yanaura, Osamu Hiroi

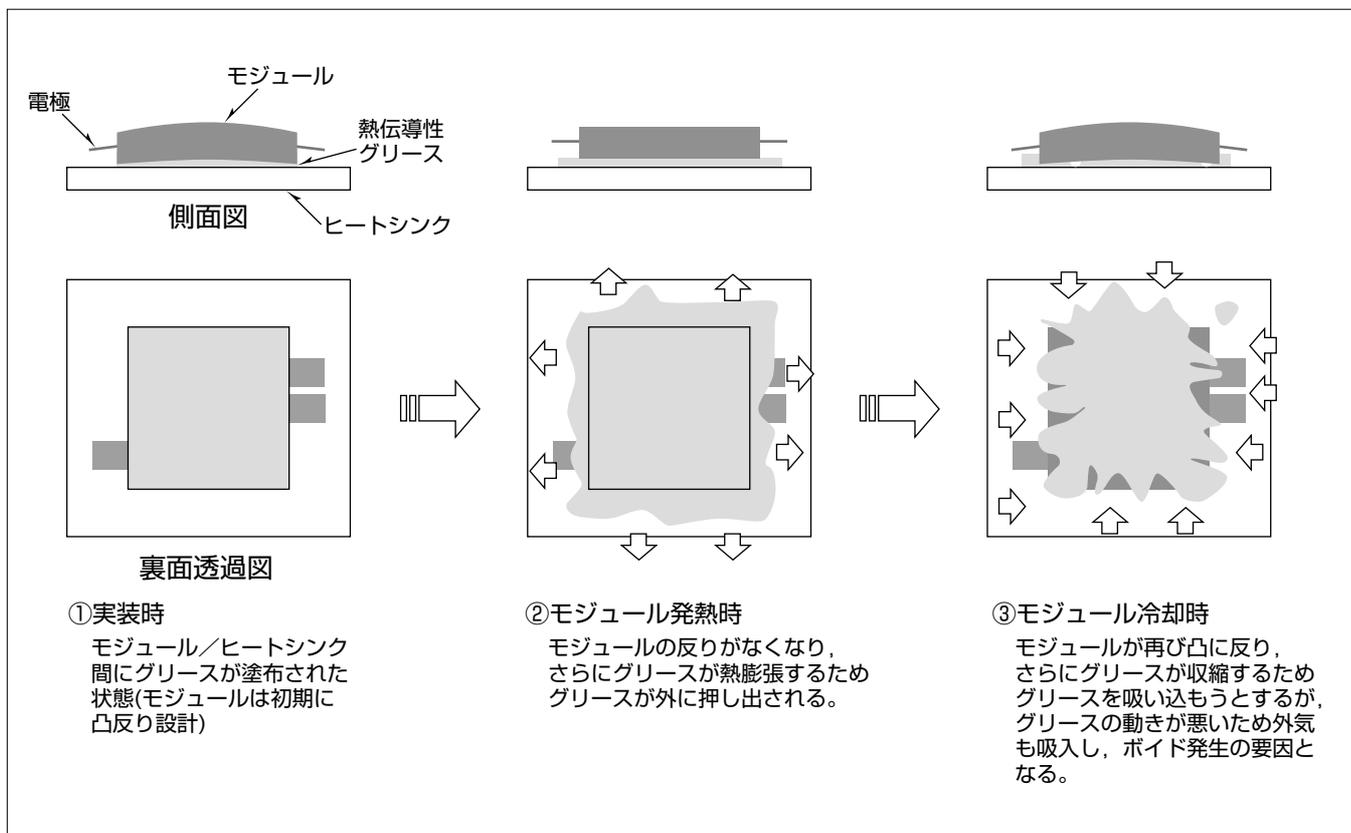
要 旨

車載機器におけるサーマルマネジメントの重要性はますます高まっている。動作に発熱を伴うモジュールの実装には熱伝導性のグリースを用いることが多いが、そのグリースに関する信頼性評価を十分行わないと、ポンプアウトや固化等によって熱抵抗が上昇し、モジュールに動作不良を引き起こす場合がある。三菱電機では放熱性劣化による製品の故障防止のため、熱伝導性グリースの信頼性評価に力を入れており、ここではその内容について述べる。

熱伝導性グリースに係る熱抵抗増加現象として“ポンプアウト”“基油抜け”“固化”“たれ落ち”等が挙げられ、ヒートサイクルと高温が大きく関与している。“ポンプアウト”

はグリースを基材に挟んだ状態でのヒートサイクル試験で評価した。“基油抜け”は磨(す)りガラスを用いたブリード試験で評価した。“固化”に関する耐熱評価は、温度加速試験結果から、アレニウス法を用いて寿命予測を行った。実装面を立てた状態で使用する場合に発生する“たれ落ち”は、ヒートサイクル下におけるたれ落ち長さを計測し、サイクル数に対しプロットすることで評価した。

当社ではこれらの評価に加え、モジュールの反りを模擬したメカニカル評価、熱抵抗信頼性評価を実施し、熱伝導性グリースの適材適所を図っている。



グリースのポンプアウトメカニズム

①実装初期のモジュールは室温で凸に反っており、モジュール中心部のグリース膜厚が厚い。②モジュールが発熱すると反りがなくなり、グリースが熱膨張するためグリースが外に押し出される。③モジュールが冷却されると、再び凸に反り、グリースが収縮するため、グリースを初期状態に戻そうと吸引するが、外気も一緒に吸入し、ボイドを形成する。②と③は繰り返され、更にボイドが増加する。

1. ま え が き

車の電子化によって動作に発熱を伴う電子部品が多用されるようになり、サーマルマネジメントの重要性が一層増してきている。その結果グリース、シート、ポッティング材等にも熱伝導性が要求される。熱伝導性グリースはその熱抵抗の低さ、形状への追従性から広く実装に用いられてきたが、近年ポンプアウト、基油抜け、固化、たれ落ち等の現象によって熱抵抗が上昇する現象が問題視されている。電子機器の長期信頼性を確保するためにこれらの現象の発現を長期にわたり防止する必要がある。

本稿では熱伝導性グリースの長期信頼性評価技術に関して検討した結果を述べる。

2. 熱伝導性グリースの劣化

熱伝導性グリースの劣化としては、次に挙げる現象／原因が考えられる。ここではグリース成分の化学的劣化だけでなく、形状変化などの機械的変化も含めている。

(1) ポンプアウト(ポンピングアウト)／ヒートサイクル

高温で熱膨張によってはみ出たグリースが低温収縮時に元の形状に戻れなくなるため、空気を取り込み、取り込んだ空気(ボイド)の熱膨張収縮によって、さらに、その現象が加速される現象である。発熱部品がヒートサイクルで反りを発生する場合はダイアフラム効果で更にその現象が加速される。

(2) 基油抜け／高温

熱伝導性グリースの主成分は熱伝導性フィラーとオイル成分であるが、基材面へのオイルの濡れ性が、フィラー表面に対する濡れ性より良い場合は、オイルはフィラー表面から基材表面に濡れ広がり(ブリード)、フィラーだけが取り残される状態(基油抜け)となる。

JIS K2220で離油度という試験法があるが、これは潤滑用グリース評価のためのものであり、熱伝導性グリースのように離油度を抑える設計になっているものは、ほとんどが離油度0%となるため、もっと厳しい評価法が必要である。

(3) 固化／高温

固化はオイル成分の揮発とオイル成分の架橋によって発生する。オイル成分が固化した場合、グリースが固体となるため、グリースがヒートサイクルで基材からの剥離、クラックを発生する可能性がある。一般的にシリコン系グリースは石油系グリースと比較して固化し難いため、耐熱性が必要な用途に多用される。

(4) たれ落ち／ヒートサイクル

たれ落ちはグリースを基材でサンドイッチし、立てた状態で使用する際に、グリースが塗布面からずり落ちる挙動のことを言う。

3. 熱伝導性グリースの評価方法

3.1 ポンプアウト

ガラスにグリースを印刷し、それをアルミ材に押しつけた状態でヒートサイクルをかけた(図1)。

3.2 基油抜け

基油抜けの主要因として、フィラーによって保持されていた基油の基材への染み出し(ブリード)がある。またブリードは“ポンプアウト”“たれ落ち”の要因の一つとしても重要である。このブリード現象の評価を次のように実施した。

ガラス中央に、ステンシルを用いて円形印刷し、その上から同サイズの磨りガラスを磨り面がグリースに接触するようにのせる。両ガラスは接触しないようにスペーサを挟んでクリップで止める。磨りガラス面を下向きにして一定温度下で放置し、磨りガラスの変色でブリード距離を測定した。

3.3 固 化

TGA(ThermoGravimetric Analysis)を用い質量減少とその時のグリースの状態を評価した。

3.4 たれ落ち

グリース実装面を立てた場合のたれ落ちのパラメータは、剪断(せん断)速度を変えて粘度を測定し、Casson式で降伏値を求める方法が考えられるが、実際は基材で挟み込まれたグリースは降伏によるたれ落ちの他に基材界面との滑りも考慮する必要がある。またフィラーサイズとグリース膜厚に依存したフィラーの引っかかりを考慮する必要があるため、実際の実装形状に近い形での評価が必要になる。

ガラス板にステンシルを用いてφ15mmの形状に印刷し、膜厚調整用のスペーサを挟んでアルミ板に固定し、ヒートサイクル後のたれ落ち距離を計測した。

4. 評価結果

4.1 ポンプアウト評価

2種類のグリースに対するヒートサイクル(-40℃⇔125℃)後のポンプアウト評価結果を図2に示す。

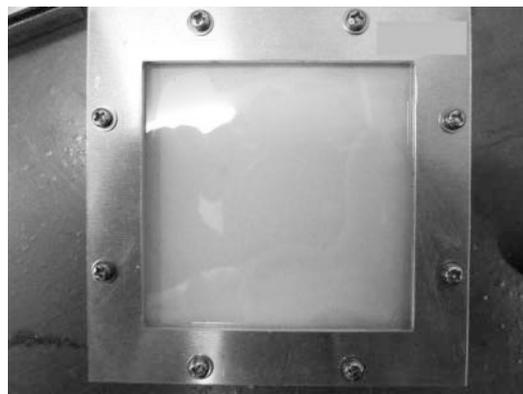
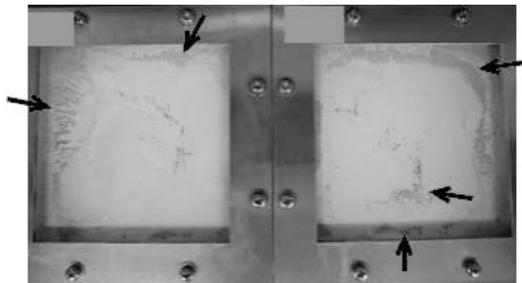


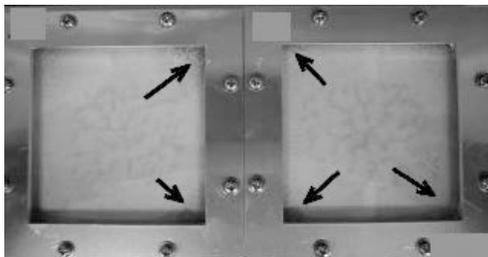
図1. ポンプアウト試験器具

図2で、ヒートサイクル後にグリースのない部分(隙間, ボイド等)は熱抵抗が高くなり, 伝熱特性に支障をきたす要因となる。グリースがなく, 基材が見える部分を図中, 矢印で示した。

グリースAではグリースのない空隙部分が多く見られるが(図2(a)), グリースBはコーナー部に微細な空隙が見られるに留まった(図2(b))。

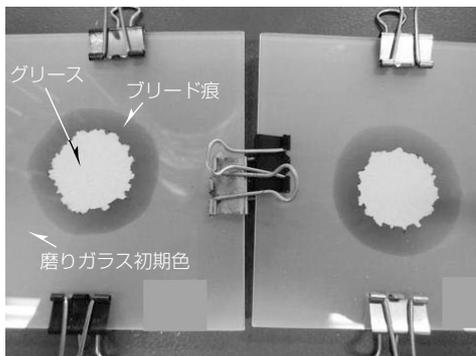


(a) グリースA

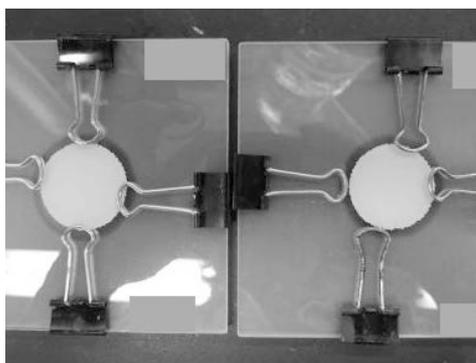


(b) グリースB

図2. ヒートサイクル後のポンプアウト評価結果



(a) グリースA



(b) グリースB

図3. ブリードの評価結果

4.2 基油抜け評価

2種類のグリースに対する基油抜けの主要因であるブリードの評価結果を図3に示す。

磨りガラスにオイル成分がブリードすると色が変わるため, その距離がブリードのしやすさの目安となる。グリースA(図3(a))のブリード量は, グリースB(図3(b))より多い。

4.3 固化(耐熱)評価

グリースの固化現象は2つのメカニズムが考えられる。1つは成分の揮発によるもの, もう1つはラジカルの発生に伴う架橋によるものである。ラジカルの発生は活性化エネルギーが高いが, 固化に対する影響力が高いため, 高温での加速試験は実使用より厳しい試験となる。ここでは耐熱性予測の一例について述べる。

TGAでの昇温速度から求めた反応速度に関するファクタと温度の逆数で, 質量保持率が異なるグリースA, グリースB, グリースCの測定値をプロットした結果を図4に示す。グリースが固化したときの質量減少率をあらかじめ求めておくことで耐熱寿命予測が可能となる。

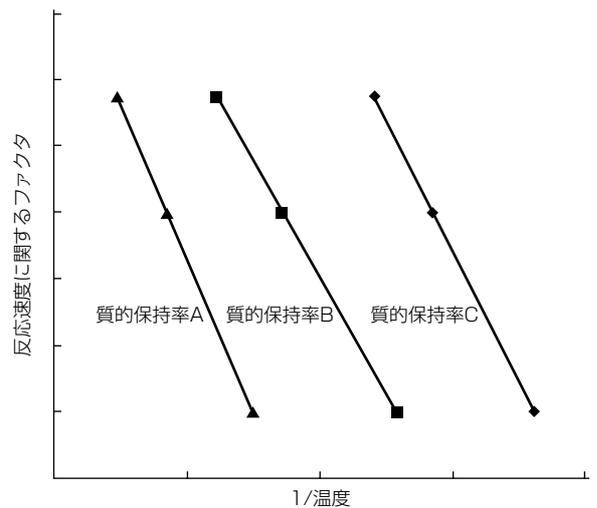


図4. TGA昇温速度と質量減少温度

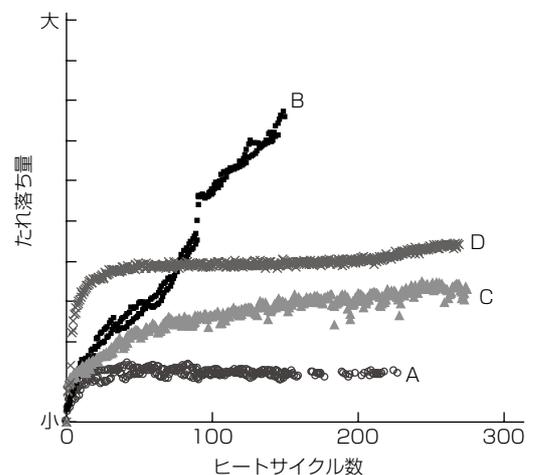


図5. たれ落ち量の測定結果

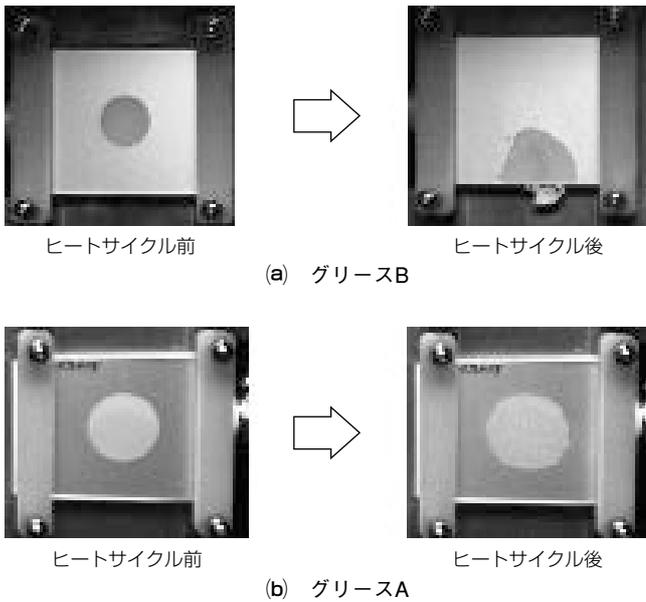


図6. ヒートサイクル前後のたれ落ち

4.4 たれ落ち評価

当社規定方法による4種類のグリースに対するたれ落ち量の測定結果を図5に示す。

図5から、たれ落ち量は、グリースB>グリースD>グ

リースC>グリースAの順で大きい結果が得られた。モジュールを水平以外で使用する場合はたれ落ち量の大きなグリースを用いるべきではない。図6(a)に見られるように、グリースBの場合は印刷形状を維持したままずり落ちており、グリースA(図6(b))の場合はたれ落ちが少なく、良好な結果が得られた。

5. むすび

当社で用いている熱伝導性グリースの評価方法について述べた。今回はポンプアウトの発生予測にはグリースにかかる温度、傾斜に主眼を置き、原因として熱膨張・収縮、ブリードを想定した評価を実施し、次の結論を得た。

- (1) 水平で実施したポンプアウト試験からポンプアウト耐性が評価可能である。
- (2) 磨りガラスを用いる方法でブリード評価が可能である。
- (3) グリースの耐熱性はTGAを用いて加速評価可能である。
- (4) ガラス板に塗布し、実装面を立てた試料で、たれ落ち量が評価可能である。

当社では、モジュールの反りの影響を模擬したメカニカルな評価も実施しており、その結果も合わせてグリース選択を実施している。