UT-AE 併用による潤滑状態の評価

高知工科大学 知能機械システム工学科 西森 正

指導教員 竹内 彰敏

Monday, February 26, 2001

目次

| 第1章 | 緒言 | |
|-------|----------------------|-------|
| 1 - 1 | 研究背景 | 3 ~ 4 |
| 1 - 2 | UT-AEの診断法 | 5 ~ 6 |
| 第2章 | 実験装置概要ならびに実験方法 | |
| 2 - 1 | 実験装置概要 | 7 ~ 8 |
| 2 | - 1 - 1 バンドパスフィルタ | 9 |
| 2 | - 1 - 2 ログアンプ | 9 |
| 2 | - 1 - 3 ディスクリミネータ | 9 |
| 2 - 2 | 回転速度の求め方 | 9 |
| 2 - 3 | 荷重Wの算出 | 1 0 |
| 2 - 4 | 摩擦係数の測定方法 | 10~11 |
| 2 - 5 | AEイベント数の測定方法荷重Wの算出 | 12~13 |
| 2 - 6 | 試験片について | |
| 2 | - 6 - 1 セラミックスの基本特性 | 14 |
| 2 | - 6 - 2 試験片 | 14 |
| 2 - 7 | 実験条件 | 16~17 |
| 第3章 | 実験結果および考察 | |
| 3 - 1 | SiC 稠密×SiC 稠密 | 18~24 |
| 3 - 2 | SiC 稠密 × SiC Sin 波状 | 25~27 |
| 3 - 3 | SiC 稠密×SiC 多孔質 | 28~31 |
| 3 - 4 | SiC 稠密×W c | 32~33 |
| 3 - 5 | SiC 稠密×黄銅 | 34~35 |
| 3 - 6 | 摩擦係数とAEイベント数の関係 | 36~42 |
| 第4章 | 結言 | |
| 4 - 1 | 実験結果のまとめ | 4 3 |
| 4 - 2 | 本研究の結言 | 4 3 |
| 4 - 3 | 今後の課題 | 4 3 |
| 4 - 4 | 参考論文 | 44 |
| 第5章 付 | 録 | |
| 5 - 1 | 摩擦係数・A E イベント数変化量の関係 | 45~58 |
| 5 - 2 | AEイベント数しきい値補正 | 59~66 |
| 5 - 3 | 本実験で摩擦係数を表示させたプログラム | 67~79 |
| UT-AE | 併用による潤滑状態の評価 発表用前刷り | 8 0 |

第1章 緒言

1-1 研究背景

機械の潤滑部が損傷を起こす原因として、コンタミナント(油中異物)の侵 入や油膜切れなどのストレスがあり、潤滑部が境界潤滑となり、摩耗紛量の増 加等の現象が兆候として現れる。

これらの兆候を高感度に検出して損傷の把握や予測を行い、機器の健康状態 の診断を行う技術を潤滑診断技術という。

現在実用されている潤滑診断法としては、温度法・振動法・AE法・電気抵 抗法・SOAP 法・フェログラフィー法などの潤滑診断のほか、潤滑油の性状 分析法などがある。各診断法の長所、短所を表1・1に示した。

| 衣 . | 周月砂町広りて川、垣川 |
|---------------------------------|--|
| 診断法 | 長所 |
| フェログラフィ法 | 潤滑異常の識別能力が高い。 |
| | 取り扱いが容易 |
| | 同一軸では1箇所で監視可能。 |
| AE法 | 異常の早期発見が可能 |
| | |
| | |
| 診断法 | 短所 |
| <u>診断法</u> フェログラフィ法 | 短所 非鉄粒子付着量が少ない |
| <u>診断法</u> フェログラフィ法 | 短所 非鉄粒子付着量が少ない 循環給油では部位同定が不可能 |
| <u>診断法</u> フェログラフィ法 電気抵抗法 | 短所 非鉄粒子付着量が少ない 循環給油では部位同定が不可能 軸とメタル間の電気的絶縁が必要 |
| <u>診断法</u> フェログラフィ法 電気抵抗法 | 短所 非鉄粒子付着量が少ない 循環給油では部位同定が不可能 軸とメタル間の電気的絶縁が必要 金属同士以外は不可 |
| <u>診断法</u> フェログラフィ法 電気抵抗法 | 短所 非鉄粒子付着量が少ない 循環給油では部位同定が不可能 軸とメタル間の電気的絶縁が必要 金属同士以外は不可 同一軸、複数軸受中の同定が不可 |

表1.1 潤滑診断法の長所、短所

表1.1の潤滑診断法のなかで、比較的簡便で、安価に潤滑診断が行える手 段として電気抵抗法が挙げられる。その長所として、油膜形成状況の検出能が 大きいことや、取り扱いが容易である事などが挙げられる。

しかしこの診断法を用いる場合、とくに油膜が薄い場合には潤滑油中のコン タミナント(油中異物、摩耗紛など)を通して通電状態ができるので、多量の コンタミナントが含まれるときは正確な診断が行えない。

また軸受が金属以外、例えば高分子やセラミックスのような材質では使用す

ることができない。しかも、軸と金属間の電気的絶縁が必要になるなどその診 断可能な環境が限定される。

また、オイルサンプルから潤滑状態を診断するフェログラフィ法や SOAP 法なども、摩耗程度や損傷原因を的確に診断し、潤滑油の評価には有効である が、評価基準の作成などでかなりの時間と経験が必要である。

つまり、比較的簡易な診断法で、機械を停止させずに診断でき、しかも広範 囲の環境で診断が行える技術が確立されれば、損傷や潤滑異常を予測または早 期発見につながり、機械寿命を延ばしその信頼性を向上させることができる。

そのためには潤滑状態をリアルタイムで診断し、評価基準も簡単で、さらに その評価精度も高い潤滑診断システムの構築が必要となる。

そこで現在実用されている潤滑診断法に、リアルタイムに診断が可能で、その評価基準も比較的簡便なAE法がある。

AE 法は、代表的な表面検査法である磁粉探傷(MT) 渦電流探傷(ECT) や体積検査法である超音波探傷(UT)と検出原理が異なる。

他の非破壊検査方法では、欠陥の位置、寸法、形状を直接検出するのに対し て、AE 法では、欠陥そのものの検出ではなく、欠陥からの割れの進展,欠陥 の存在により生じる微視的な2面の摩擦等により生じる弾性波を検出すること で、表面及び内部欠陥を検出する手法である。

そのため AE 法は、異常の発生を即時に検出可能であり、広い範囲を同時に モニタが可能となり、対象機機の稼働中に適用可能という、他の非破壊検査法 にない特徴を有している。

しかし、AE波はとても微弱な弾性波であり、非常に減衰しやすいために微弱なAE波とノイズとの区別が難しいという欠点がある。そのためAE法は、 接触面の頻繁な接触による損傷や、潤滑状態の良否を明瞭にとらえることは難 しい。

ところで、これまでに構造物の非破壊検査手法で用いられてきた超音波探傷法(Ultrasonic Testing : UT)は、振動子から発信される弾性波を用いて被 検査体中のきずを探索する検査手法であり、現在製品検査、保守検査等に広く 用いられてきた。

UT法は主に固体内部の損傷を検査するが、表面、例えば2面の摩擦面に対してもUT法の適応は可能である。しかし潤滑状態の変化をUT法単体でとらえ、正確な評価をすることは難しい。

1-2 UT-AE法の診断法

そこで本研究では、UT法とAE法を併用する方法で、摩擦面の潤滑状態を 評価する診断法を提案する。その仕組みは既存の方法である電気抵抗法と類似 しているので、UT-AE法と電気抵抗法とを比較し、UT-AE法の特徴を 述べる。



図1.2 電気抵抗法とUT-AE法

図1.2に電気抵抗法とUT-AE併用による診断法の仕組みと特徴を簡易 に示した。

電気抵抗法は、1 V 程度の微小電圧を回転する軸と固定する軸との間にかけ、 油膜間の通電状態を計測することにより油膜形成の程度を診断する方法である。

UT-AE法は、超音波探傷器から入射する一定音圧の超音波が、潤滑面を 介して相手面に伝わる場合の伝播具合をAE法で計測し、評価する。

また、電気抵抗法の短所として金属以外の材質には診断ができず、潤滑状態

が境界潤滑のように金属と金属が常時接触していては診断ができない。

それに対し、UT - AE法では、金属はもちろん、セラミックスや高分子の ような音波の減衰しやすい材質でも診断できる。

また、超音波の伝播具合は潤滑面の膜厚により変化するが、一定の超音波を 入射し、AE法で計測することで2面間に潤滑剤が十分存在する状態から、固 体と固体が接触している状態まで広範囲の潤滑域にわたり診断が可能である。

1-3 研究目的

本研究では、超音波とAE法を併用する方法で摩擦面の潤滑状態を評価する 新たな診断技術、UT-AE併用型潤滑診断システムの提案、その構築を最終 目標とする。

ここでは、その基礎実験としてしゅう動している潤滑面の摩擦力と、2面の 潤滑状況を示すAEイベント数の関係について考察を行い、本測定法による潤 滑状態評価の可能性について検討する。

第2章 実験装置ならびに試験片

2-1 実験装置概要



図2.1 UT-AE 併用による潤滑状態評価装置

図2.1は、UT-AE併用により検出する2面間の接触状況を示すAEイベント数と、2面間の摩擦力の大きさを表す摩擦係数を測定し、潤滑状態を把握する実験装置である。この装置は回転盤の回転速度と26N~114Nまで荷重の組み合わせにより、2面の接触状態を変化させる事ができる。

摩擦係数は、回転試験片の回転の影響を受ける固定試験片のトルクをロード セルで計測し、アンプを介してパソコンに出力する。

荷重は、荷重器上部のネジを回して円柱内のばねを縮め、そのバネの弾性力 により固定試験片の上部に荷重を加える。また、固定試験片の上面にベアリン グを設置し、そのベアリングのみに荷重器の先端が触れることによって、固体 試験片のトルクへ影響のないようにした。

次にこの実験装置の構成を図2.2に示し、AEイベント数と摩擦係数の求 め方について説明する。



図2.2 UT-AE 併用による潤滑状態評価装置概要

上で述べたように、摩擦係数は固定試験片のトルクをロードセルで計測し、 アンプで電気信号を増幅した後、A/Dコンバータを介してパソコン上に出力す る。

AEセンサで計測したAE波(超音波)は、まずその信号をプリアンプで増幅してAE解析ユニットに入力、内部で解析処理される。

入力されたAE信号は、AE解析ユニット内部のバンドパスフィルタを通り、 微小なノイズを除去して更にログアンプで増幅され、その信号がディスクリミ ネータに加えられ、ディスクリレベル(しきい値の設定方法については、「2 -3 AEイベント数の測定方法」で詳しく述べる。)を超えるとAEイベン トとしてカウントする。

解析された信号はデジタルオシロスコープへ送られ、AE波形とAEイベント数を表示する。

次にAE解析ユニット解析の説明補足を示す。

一般にAE信号の周波数成分は100kHz以上とされており、この範囲外の 不要な周波数成分を除去したい場合がある。

A E 解析ユニット内ではハイパスフィルタ(HPF:100kHz)とローパ スフィルタ(LPF:500kHz)を組み合わせることでバンドパスフィルタ が形成し、不要なものを除去する。

2-1-2 ログアンプ

ログアンプの周波数特性は 100H z ~ 1MH z の範囲で+1d B、 - 3d B 以内 で、変換率 40m V/d B で増幅される。

2-1-3 ディスクリミネータ

ログアンプの出力は、ディスクリミネータ(振幅弁別器)に加えられ、しき い値と比較される。AEイベントは、入力信号が最初にしきい値を超えた時に 始まり、最後にしきい値をこえてからリゾリューションタイム(800 µ m)後 に終わる。つまり、実際のAEより800 µ m遅く計測される。

次に本実験装置、測定の方法を説明する。

2-2 回転速度の求め方

回転速度は

回転速度 =(回転数:rpm) × × (回転盤直径:m)/60 で求めた。

2-3 荷重Wの算出

図2・1内に図示した荷重器内に使用したバネのバネ係数は11N/mm であり、 荷重器の円錐突起形状の自重が355g(=4.283N)であることから、ねじをX mmまわすことで接触面に与えられる荷重W(N)は

 $W(N) = 11(N/mm) \times X(mm) + 4.283(N) = 11 X(N) + 4.283(N)$

と求められる。なお、今回の実験では小数点以下の表記を省略して荷重の表示 している。

2-4 摩擦係数の測定方法

潤滑形態は大きく分けて4つの体系に分類される。2面の間に潤滑剤が無い 状態を乾燥摩擦、潤滑剤が二面間に侵入し、十分な厚さの油膜ができて二面が 十分にはなされた状態のものを流体潤滑、2面間に分子程度の厚さの油膜が存 在する状態を境界潤滑、その2つが混合した状態のものを混合潤滑という。

摩擦係数は流体潤滑から混合潤滑へ向かう過程で減少し、混合潤滑から境界 潤滑へ向かう過程で急激に増加するため、摩擦の大小を論じるのに良く使われ る。

摩擦係数 µ は次の式で定義されている。

$$\mu = \mathbf{F} / \mathbf{W}$$



W:接触面に垂直な荷重F:摩擦力

今回は、F を摩擦面から離れた場所でロードセルにより測定する。そのため 摩擦力 F は

 $\mathbf{F} = \mathbf{L} = \mathbf{V}$

- :試験片中心から摩擦する箇所(後述)と試験片中心から ロードセルまでの距離の比率
- V: ロードセルで測定する数値がパソコンに入力された値

として求める。

を求めるにあたり、摩擦する箇所は試験片中心より 7.5mm離れた地点と する。

摩擦箇所は基本的に接触面全面である。その摩擦する箇所の平均として一点 を挙げると半径の中点と考えられるが、今回使用する SiC Sin 波状、W c 試験 片では、接触面の中点が中心より 7.5mm地点となるため全体を統一して上述 値とした。(試験片直径 20mm、試験片形状については図2.7参照)

また、 は次のようにして定めた。まずアンプを表2.3の設定にする。次 に250gから1250gまで250gおきにロードセルに垂直荷重を与え、パソコン 上に表示される電圧値を記録していく。次にロードセルに与えた荷重(N)を 表示された電圧(V)で除し、その値の平均値を とした。

表2.3 アンプの設定

| DC AMPLIFIER SA-56/57 | | | |
|-----------------------|------------|-------|--|
| | | | |
| CAL | 較正電圧極性スイッチ | OFF | |
| DC | DC-ACセレクター | DC | |
| FINE GAIN | 利得微調整 | 右回しきり | |
| GAIN | 利得設定 | 2500 | |
| CAL(mV) | 較正電圧セレクタ | 100mV | |
| FILTER(Hz) | ローパスフィルター | 1Hz | |

摩擦係数を求める時に使用したA/Dコンバータの設定を表2・4示す。

表2.4A/Dコンバータ仕様A/Dコンバータの設定値アナログ入力入力方式シングルエンド入力入力レンジバイポーラ -10V~10Vアナログ出力出力レンジバイポーラ -10V~10V

2 - 5 AE イベント数の測定方法

右の図2.5は、AE 法の通常波形で縦軸は 電圧、横軸は時間をと る。微量の振幅はノイ ズによるものである。



UT-AE併用による計測法は、一定の超音波(図2.6の左図)が潤滑面を介し相手面に伝播したものを AE 法で計測する。するとオシロスコープには右図のように一定間隔で超音波の振幅が現れる。この振幅は、2 面間の接触状態が良い程音波の伝播がよくなるため振幅が大きくなり、逆に悪くなるほど振幅が小さくなる。

次にしきい値を設定する。伝播してくる超音波は条件毎に大きく変化するの で、しきい値は毎回設定し直す必要がある。しきい値はノイズレベルの少し上 に設定する。

まずしきい値を高い値に設定しておく。それからAEセンサを実験装置に設置したあと、AEイベントが計測されるまでしきい値を下げていく。そしてちょうど計測され始めた時が、その条件時のしきい値とする。

計測された AE カウント数は、オシロスコープ上に図2.6下図のように表示される。



時間 t, s

図2.6 AE イベントカウントの仕組み

2-6 試験片について

2-6-1 セラミックスの基本特性

今回の実験で使用する試験片材質は、炭化物系セラミックスである SiC, セ ラミックス溶射材料として利用される WC, 黄銅である。また、今回の実験で は UT-AE 併用による潤滑診断に加え、セラミックスの水潤滑に適する表面形 状についても考察を行う。

2-6-2 試験片

それぞれの試験片について次に示す

- 1) SiC (炭化けい素) 試験片
 - ・稠密試験片(直径20mm,高さ10mm)
 - ・Sin波状試験片(外径20mm,内径10mm,高さ10mm)
 - ・多孔質試験片 (直径 20mm,高さ 10mm)

SiC は、硬度が極めて高く、耐摩耗性、耐熱性等に優れた物質として多くの 分野で用いられている人工物質である。

今回の実験では、SiC 稠密軸受と SiC 軸受面に Sin 波状の凹凸を作成したもの(図2.7)、SiC 多孔質軸受を用意した。

稠密試験片と Sin 波状試験片で使用する SiC は、SiC の含有率 99.1%と不純物が少ない純度の高い SiC を用いた。

水潤滑による過酷な潤滑条件下で表面形状、材質の違いによる摩擦係数の違いを考察する。

Sin 波状表面形状はしゅう動している2面間で、潤滑剤がこの表面に沿って 流れてSin 頂部に潤滑剤を送り、接触面積であるSin 波頂部の潤滑を促進させ る効果の有無を調べる目的がある。



図2.7 SiC Sin 波状軸受面形状

SiC 多孔質は硬度などは劣るが、吸水性にがよいので潤滑剤を内在させなが ら摩擦を行うことができる。

2) WC (タングステンカーバイト) 試験片

材料の耐摩耗や耐熱性を付加するのに表面にセラミックを溶射する方法があ り、耐摩耗用途のセラミック溶射材料にWCがよく使われる。またWCは超硬 合金と呼ばれその硬度は非常に高く、セラミック溶射材料は硬いほど良好な耐 摩耗性を示すことから、WCは耐摩耗に優れた材料であることが言える。

今回WCは、直径 20mm,高さ 10mm, 表面形状は Sin 波状(図2.7)と 同じ加工を施して、表面形状の効果について SiC Sin 波状との比較も行う。

3) 黄銅試験片

直径 20mm,高さ 10mm の黄銅軸受には、表面形状に図 2 . 8 のような溝を 加工した。



2-7 実験条件

今回の実験で使用する超音波探傷器の主な設定を表2.9に示す。

| ULTRASONIC FLAW | | | | |
|-----------------|---------|-----|----------|------------|
| DETECTOR | | | | |
| (デジタル超音波探傷器) | | | | |
| RANGE | レンジ | | 50mm | 測定範囲 |
| VEL | 音速 | | 8500m/ s | |
| GAN | ゲイン | | 48.5 dB | 感度 |
| P.POS | パルスポジシ | ション | 0.0 nm | |
| GATE | GS | S | 27.9mm | ゲート起点 |
| | | W | 8.7mm | ゲート幅 |
| | | L | 59% | ゲートレベル |
| PRF | 繰り返し周辺 | 皮数 | 200 H z | |
| DAMP | ダンピング打 | 氐抗 | 1 K | |
| TRIG | トリガ入力 | | NT | 内部トリガを使用 |
| P.WID | 送信パルス | 畐 | 410 ns | |
| FREQ | 周波数帯域 | | F :5 | BPF 5[MHz] |
| DET | 検波モード | | +/- | 全波検波 |
| REJ | リジェクション | ン値 | 0% | |

表2.9 超音波探傷器の設定

超音波探傷器が表2.9の設定で、超音波探触子から潤滑面に入射し、 次のAからEの試験片の組み合わせによるAEイベント数と摩擦係数の計測を 行う。

また、試験片の各組み合わせは

- ・回転速度0.1m/sの時、荷重26N~114Nまで22Nステップ
- ・回転速度0.05m/sの時、荷重70N~103Nまで11Nステップ

で計測を行なう。

| | 4 | Α |
|--------|---------------------|---|
| 回転試験片 | SiC稠密 | |
| 固定試験片 | SiC稠密 | |
| 計測時間 | 5分 | |
| 回転速度 | 0.1m/s | |
| 荷重 W,N | 26, 48, 70, 92, 114 | |

| 回転試験片 | SiC稠密 | SiC稠密 |
|--------|-----------|---------|
| 固定試験片 | SiC稠密 | SiC稠密 |
| 計測時間 | 5分 | 5分 |
| 回転速度 | 0.05m/s | 0.05m/s |
| 荷重 W,N | 70,92,103 | 81 |

в

| 回転試験片 | SiC稠密 |
|--------|---------------------|
| 固定試験片 | SiC Sin波状 |
| 計測時間 | 5分 |
| 回転速度 | 0.1m/s |
| 荷重 W,N | 26, 48, 70, 92, 114 |

С

| 回転試験片 | SiC稠密 |
|--------|---------------------|
| 固定試験片 | SiC多孔質 |
| 計測時間 | 5分 |
| 回転速度 | 0.1m/s |
| 荷重 W,N | 26, 48, 70, 92, 114 |

D

| 回転試験片 | SiC稠密 |
|--------|---------------------|
| 固定試験片 | Wc |
| 計測時間 | 5分 |
| 回転速度 | 0.1m/s |
| 荷重 W,N | 26, 48, 70, 92, 114 |

Е

| 回転試験片 | SiC稠密 |
|--------|---------------------|
| 固定試験片 | 黄銅 |
| 計測時間 | 5分 |
| 回転速度 | 0.1m/s |
| 荷重 W,N | 26, 48, 70, 92, 114 |

| 回転試験片 | SiC稠密 | SiC稠密 |
|--------|------------|----------|
| 固定試験片 | SiC Sin波 | SiC Sin波 |
| 計測時間 | 5分 | 5分 |
| 回転速度 | 0.05m/s | 0.05m/s |
| 荷重 W,N | 70, 81, 92 | 103 |

第3章 実験結果および考察

3-1 条件A SiC 平滑面









図3.2.a SiC 平滑面試験片 荷重 70,92N 計測結果







図3.3.a SiC 平滑面試験片 荷重 70,114N 計測結果



図3.3.b SiC 平滑面試験片 荷重 70N 相関図



図3.3.c SiC 平滑面試験片 荷重 114N 相関図



図3.4.a SiC 平滑面試験片 荷重 81,92N 計測結果



図3.4.b SiC 平滑面試験片 荷重 81N 相関図



図 3 . 4 . c SiC 平滑面試験片 荷重 92N 相関図



図3.5.a SiC 平滑面試験片 荷重 103N 計測結果









図 3 . 8 SiC SIN 波状試験片

- 荷重 92,114N 計測結果







3-3 条件 C SiC 多孔質試験片計測結果





図3.11.c SiC 多孔質試験片 荷重 48N 相関図

図3.12.a SiC 多孔質試験片 荷重 70,92N 計測結果



図3.12.b SiC 多孔質試験片 荷重 70N 相関図













3-5 条件 E 黄銅試験片計測結果



次にデータの解析を行う。

今回主に評価対象とするデータは、同条件での比較を行えるようにするため、 実験条件のうち回転速度 0.1 m/s,荷重 26,48,70,92,114Nのものを限定してま とめる。

3-6 摩擦係数とAEイベント数の関係

図3.19から図3.23までは、aに軸受特性曲線(:潤滑剤粘度、p m:平均面圧、N:毎秒回転数)とAEイベント数を併記したグラフと、bに 摩擦係数・AEイベント数の関係を示したグラフである。


図3.19は稠密試験片同士の結果である。

荷重 48N時に摩擦係数、AEイベント数ともに減少していることから、なじ みに伴う摩擦の低下過程では、頻繁な摩耗紛の介入により、潤滑状態は一時的 に悪化しているものと考えられる。

また、AEイベント数が減少し始める 70N付近は、潤滑面が十分になじみ、 2 面間に潤滑膜が均等に形成されるようになった潤滑上良好な状態であると推 測される。

さらに荷重を加えた場合AEイベント数が減少し、摩擦係数が急激に増加す ることから、この2面の潤滑状態は、面荒れを伴うような危険な状態へ移行し ていると分かる。

このような潤滑状態の悪化は、摩擦係数とAEイベント数の関係(図3.1 9.b)に良く表れている。

SiC 稠密同士の場合、グラフ中の A の軽荷重時にはグラフの傾きが左下がり になり、B付近で左上がりに変わり、C付近は右下がりに下っている。これを 上述の状態と対応させて推測すれば、左下がり時は2面のなじみにおける過程、 左上がり時は2面が良好な潤滑状態になっている過程、右下がり時は2面が境 界摩擦へ向かう危険な状態に至る過程であると推測できる。

つまり、この材質の組み合わせでは同曲線の折り返しが起こるA地点より小 さな荷重での運転が望ましいと判断ができる。



図3.20はSiC稠密面とSiC Sin波状面との結果である。

SiC稠密面同士と比べ、Sin波状軸受では軽負荷から混合・境界潤滑となり高 い摩擦を示している。

図3.20.aのAEイベント数のグラフをみると、摩擦係数が急激に増加 し始める荷重でAEイベント数が減少している。これは、2面に摩耗紛のかみ こみにより潤滑状態が一時的に悪化していることが考えられる。

それから更に荷重を加えるとAEイベント数は増加し、摩擦係数が減少して いることから、2面の潤滑状態が悪化した後、Sin 波状頂部と相手面のなじみ が進んで徐々に改善されていく過程にある。

実験後のSin波状の摩擦面を調べると、Sin波の頂部が激しく摩耗しているの

が分かった。このことから実験中、荷重の支持は全てSin波の頂部でなされる ため、そのSin波頂部3点とSiC稠密との接触面圧の増大が、軽負荷から混合・ 境界潤滑となる理由と考えられる。

また SiC Sin 波状の潤滑面は、SiC 稠密同士の場合と比べ、2面間の距離が 大きく潤滑剤が多く混在している状態である。その影響でしきい値は SiC 稠密 の場合と比べて高いが、UT AE法では問題無く潤滑診断が行えたことで、 本測定法の材質の表面形状に潤滑診断が左右されない特徴を示した。



図3.21はSiC 稠密とSiC 多孔質との実験結果である。

SiC 多孔質(実際の気孔率は、研磨やなじみの影響を受けるので不明)軸受の摩擦係数は、広い軸受特性数に渡ってほぼ 0.04 と低く安定しており, UT - A E での観測でも,安定した接触が確認できた。摩擦係数とA E イベント数 との関係は SiC 稠密同士のものと特徴がよく類似しているので、更に荷重を与 えた場合には摩擦係数の増加とAEイベント数が減少することが予測される。

しかし SiC 稠密軸受より SiC 多孔質軸受の方がかなり低い摩擦力であり、大きな荷重にも耐えられ比較的安全な接触を行える、潤滑上適した材質であると言える。



図3.22.b WC 摩擦係数・A E イベント数の関係 図3.22は SiC 稠密とWCとの結果である。

WCの表面には、SiC Sin 波状軸受と同様の加工がされている。しかし、実 験結果でSiCのSin 波状のものと異なるのは、なじみにおける摩擦係数の低下 過程で、70N時で一時的に増大した摩擦係数に反応するように、AEイベント 数も増大している点である。

その後荷重を加え、92N時に摩擦係数とAEイベント数がともに減少し 114 N時にAEイベント数が増加することから、114N時に 2 面に均等な膜厚が形 成された潤滑上良好な状態に移行していることが推測できる。

図3.22.bをみると、潤滑状態の変化がよく分かる。

グラフが右上がりになる 70N時では、Sin 波状頂部と相手面の接触面が摩耗 し、摩擦係数が増加する過程で一時的に均等な潤滑膜が形成されたため、超音 波の伝播がよくなりAEイベント数が増加したと推測できる。



図3.23は、SiC 稠密と黄銅との結果である。 この組み合わせは、摩擦係数、AEイベント数ともに値の推移で軽荷重時から 混合・潤滑状態にあることが示されている。図3.23.bに現れている、常 に右下がりの曲線であることからも判断ができる。

黄銅は、AEイベント数を計測する際のしきい値は 90dB前後と今回の実験

で最も高かった。その理由として黄銅は音波伝播が良い特性があると推測できる。

図3.23.aをみると、SiC 稠密と黄銅の組み合わせでは荷重を加えてい くと摩擦係数は増加、AEイベント数は減少していく曲線を示した。が、その 過程で摩擦係数が70Nと92Nでほとんど変化しなかった。

そこで図3.23.bをみると 70Nから 92N時、摩擦係数の変化がなくと もAEイベント数が減少しているため、グラフが垂直に下がり、114N時に急 激に摩擦係数が増加していることがわかる。

このことから、摩擦係数の変化が無くとも潤滑面では潤滑状態の悪化が進行 している事がわかる。そのことが更に荷重を加えた時に、急激な摩擦係数増加 を引き起こす1つの要因になったと考えられる。

第4章 結言

4 - 1 実験結果のまとめ

以上の結果から、分かったことをまとめる。

UT-AE併用法は、セラミックスなどの音波が減衰しやすい材質のもので も潤滑診断が行える。

UT-AE併用法で診断することで、摩擦係数に変化が現れなくても、潤滑 状態の変化を詳細にとらえることが可能である。

摩擦係数の変化とUT-AE併用法で計測するAEイベント数との関係から、 荷重やすべり速度の変化により、どのような潤滑状態へ移行しているのか、あ る程度判断することができる。

水潤滑の場合、セラミックス材質の表面に形状を付加する事で特別潤滑を促 進させることはできず、逆に潤滑を悪くする可能性がある事がわかった。

また、今回使用した SiC 3 種類の試験片のうち、最も摩擦係数が低かったの は多孔質のもので、広い軸受特性数に渡って 0.04 前後であった。

4-2 本研究の結言

本研究で提案するUT-AE併用による潤滑診断法は、潤滑面の摩擦係数の 変化だけでは分からなかった、2面間の潤滑状態の詳細な変化を、材質を問わ ず、広範囲の潤滑域にわたり、容易に把握して評価できる可能性があることが 明らかになった。

反省点として、摩擦係数と AE イベント数に増減関係に、定量的な評価を与 えることができなかった。これを与えることで、UT-AE 法の評価基準が明確に 表すことができる。

4-3 今後の課題

2面の潤滑状態と AE イベント数の定量的な関係を求めてゆく必要がある.

最後に使用した実験装置の一覧を下に記述する。

| 実験装置一覧 |
|--|
| AEセンサー(AE-900M,TYPE1、株式会社エヌエフ回路設計ブロック) |
| デジタル超音波探傷器(SM-350、株式会社トキメック) |
| プリアンプ(AE用ローノイズプリアンプ9913、エヌエフ回路ブロック) |
| A E 解析装置(U-PLOT 9 5 0 2、エフエヌ回路ブロック) |
| バンドパスフィルタ (VOLTAGE TUNBLE FILTER 3 3 3 4、エフエヌ回路) |
| A/D コンバータ (A D 12 - 16 (P C I) E、CONTEC) |
| アンプ(SA‐56/57 DCAMPLIFIER、TEAC) |
| デジタルオシロスコープ(DL 1540L、横河電機株式会) |

参考文献

- "トライボロジスト"第37巻第8号 660-666
 AEによる摩擦損傷監視システムの基礎的研究 久 門 輝 正 等
- "トライボロジスト"第39巻第8号 685-690
 AEと振動の観測による転がり疲れ過程の解明 吉 岡 武 雄
- "トライボロジスト"第43巻第12号 1042-1048
 高分子材料と摩擦速度特性と摩擦振動の関係 劉 叢 民 等

日本機械学会論文集(C編)第64巻 第627号 4453-4458 AE信号を利用した砥石摩耗に基づく工作物形状誤差の間接測定とその補正 和泉 真澄 等

「横断的メンテナンス技術の研究開発」
 A E 法による転がり軸受の異常診断 吉 岡 武 雄 等
 最近の技術動向 トライボロジー PART3 木 村 好 次

SiC,TiN 及び TiC の摩擦摩耗特性み及ぼす雰囲気と組合せの影響 楊林 他

5 付録

5-1 参考データ解析

摩擦係数とAEイベント数の時間変化量は一定なのだろうか?そこで次は、 データの変化量に着目してデータ解析を行う。

変化量の解析方法は下の通りである。



図5・1 データの10区分分割

まず図5・1のように摩擦係数とAEイベント数のデータを10区分に等分し、区分の平均値をもとめる。次にそれぞれの平均点と点から点への変化量をとり、変化量が+ならば1を、-ならば-1をつけていき、1組のデータにつき例5・2のような表を作成する。

例5・2 変化量推移表

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | AEイベント数平均 変化量 | |
|---|--------------|-------------|--------------------------|----|
| А | 0.18242 | | 3.32E+01 | |
| В | 0.18232 B-A | -1.00E-04 - | -1 3.25E+01 B-A -0.7635 | -1 |
| С | 0.182103 C-B | -2.17E-04 - | -1 3.17E+01 C-B -0.81491 | -1 |
| D | 0.181952 D-C | -1.50E-04 - | -1 3.18E+01 D-C 0.125964 | 1 |
| Е | 0.181434 E-D | -5.18E-04 - | -1 3.14E+01 E-D -0.37275 | -1 |
| F | 0.181217 F-E | -2.17E-04 - | -1 2.98E+01 F-E -1.63111 | -1 |
| G | 0.180749 G-F | -4.68E-04 - | -1 2.86E+01 G-F -1.1928 | -1 |
| Н | 0.180883 H-G | 1.34E-04 | 1 2.88E+01 H-G 0.214653 | 1 |
| Ι | 0.180666 I-H | -2.17E-04 - | -1 2.81E+01 I-H -0.67095 | -1 |
| J | 0.17849 J-I | -2.18E-03 - | -1 2.78E+01 J-I -0.36247 | -1 |

例5・2 で摩擦係数の変化量と、AEイベント数の変化量とで1と-1の関係が得られるものだけをピックアップする。(赤線)

ピックアップしたデータの摩擦係数、AEイベント数変化量の関係をグラフ

に sic 病密 荷重 26 N

| | 摩擦係数平均 | 変量 | | AEイベント数型 | 平変化量 | |
|---|--------------|-------------|----|--------------|-----------|----|
| | | | | 均 | | |
| А | 0.120581 | | | 2.59E+01 | | |
| В | 1.23E-01 B-A | 2.28E-03 | 1 | 2.61E+01 B-A | 0.174925 | 1 |
| С | 0.127085 C-B | 4.22E-03 | 1 | 2.62E+01 C-B | 0.087761 | 1 |
| D | 0.129432 D-C | 2.35E-03 | 1 | 2.63E+01 D-C | 0.136716 | 1 |
| Е | 1.31E-01 E-D | 1.59E-03 | 1 | 2.61E+01 E-D | -2.30E-01 | -1 |
| F | 1.32E-01 F-E | 1.36E-03 | 1 | 2.64E+01 F-E | 3.77E-01 | 1 |
| G | 1.33E-01 G-F | 4.12E-04 | 1 | 2.64E+01 G-F | -1.01E-02 | -1 |
| Н | 1.33E-01 H-G | -2.22E-04 - | -1 | 2.62E+01 H-G | -2.61E-01 | -1 |
| I | 1.33E-01 I-H | 5.71E-04 | 1 | 2.63E+01 I-H | 0.088086 | 1 |
| J | 1.32E-01 J-I | -1.30E-03 - | -1 | 2.63E+01 J-I | 2.62E+01 | 1 |

SiC 稠密 荷重 48 N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平 | 変化量 | |
|---|--------------|-------------|----|--------------|----------|-----|
| | | | | 均 | | |
| А | 0.082933 | | | 2.95E+01 | | |
| В | 9.15E-02 B-A | 8.58E-03 | 1 | 2.73E+01 B-A | -2.18868 | -1 |
| С | 0.093433 C-B | 1.92E-03 | 1 | 2.15E+01 C-B | -5.81486 | -1 |
| D | 0.096164 D-C | 2.73E-03 | 1 | 1.64E+01 D-C | -5.09236 | -1 |
| Е | 9.56E-02 E-D | -5.43E-04 - | -1 | 4.30E+00 E-D | -12.1327 | -1 |
| F | 9.65E-02 F-E | 9.16E-04 | 1 | 7.68E+00 F-E | 3.381745 | 1 |
| G | 9.32E-02 G-F | -3.31E-03 - | -1 | 3.94E+00 G-F | -3.73526 | -1 |
| Н | 8.59E-02 H-G | -7.35E-03 - | -1 | 3.95E+00 H-G | 0.00561 | 1 |
| L | 7.81E-02 I-H | -7.77E-03 - | -1 | 3.95E+00 I-H | 0 | - 1 |
| J | 7.52E-02 J-I | -2.89E-03 - | -1 | 4.80E+00 J-I | 0.855904 | 1 |

SiC 稠密 荷重 70 N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|---|--------------|-----------|----|--------------|----------|----|
| А | 0.063574 | | | 3.40E+01 | | |
| В | 6.37E-02 B-A | 1.21E-04 | 1 | 3.41E+01 B-A | 0.02013 | 1 |
| С | 0.064505 C-B | 8.10E-04 | 1 | 3.37E+01 C-B | -0.38896 | -1 |
| D | 0.063892 D-C | -6.14E-04 | -1 | 3.34E+01 D-C | -0.24805 | -1 |
| Е | 6.39E-02 E-D | 2.32E-05 | 1 | 3.37E+01 E-D | 0.316256 | 1 |
| F | 6.40E-02 F-E | 1.04E-04 | 1 | 3.34E+01 F-E | -0.33989 | -1 |
| G | 6.43E-02 G-F | 2.78E-04 | 1 | 3.31E+01 G-F | -0.32247 | -1 |
| Н | 6.43E-02 H-G | -1.16E-05 | -1 | 3.22E+01 H-G | -0.88571 | -1 |
| T | 6.52E-02 I-H | 9.15E-04 | 1 | 3.15E+01 I-H | -0.68442 | -1 |
| J | 6.59E-02 J-I | 6.87E-04 | 1 | 3.16E+01 J-I | 0.086612 | 1 |

SiC 稠密 荷重 92 N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|---|--------------|-----------|----|--------------|----------|----|
| А | 0.069019 | | | 3.06E+01 | | |
| В | 6.85E-02 B-A | -5.27E-04 | -1 | 3.14E+01 B-A | 0.855959 | 1 |
| С | 0.069739 C-B | 1.25E-03 | 1 | 3.15E+01 C-B | 0.053886 | 1 |
| D | 0.069634 D-C | -1.05E-04 | -1 | 3.09E+01 D-C | -0.59896 | -1 |
| Е | 7.03E-02 E-D | 6.24E-04 | 1 | 3.10E+01 E-D | 0.078756 | 1 |
| F | 7.11E-02 F-E | 8.79E-04 | 1 | 3.02E+01 F-E | -0.78446 | -1 |
| G | 7.14E-02 G-F | 2.90E-04 | 1 | 2.99E+01 G-F | -0.32332 | -1 |
| Н | 7.18E-02 H-G | 3.51E-04 | 1 | 3.61E+01 H-G | 6.254922 | 1 |
| Ι | 7.20E-02 I-H | 2.28E-04 | 1 | 3.67E+01 I-H | 0.532642 | 1 |
| J | 7.38E-02 J-I | 1.79E-03 | 1 | 3.66E+01 J-I | -0.0039 | -1 |

SiC 稠密 荷重 114N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|----|--------------|----------|---|--------------|----------|----|
| А | 0.075908 | | | 2.38E+01 | | |
| В | 7.84E-02 B-A | 2.50E-03 | 1 | 2.35E+01 B-A | -0.26562 | -1 |
| С | 0.081734 C-B | 3.32E-03 | 1 | 2.27E+01 C-B | -0.79108 | -1 |
| D | 0.082697 D-C | 9.63E-04 | 1 | 2.13E+01 D-C | -1.38583 | -1 |
| Е | 8.38E-02 E-D | 1.14E-03 | 1 | 2.18E+01 E-D | 0.495013 | 1 |
| F | 8.54E-02 F-E | 1.59E-03 | 1 | 1.99E+01 F-E | -1.99003 | -1 |
| G | 8.65E-02 G-F | 1.04E-03 | 1 | 1.95E+01 G-F | -0.33701 | -1 |
| Н | 8.73E-02 H-G | 8.35E-04 | 1 | 1.88E+01 H-G | -0.68924 | -1 |
| I. | 8.82E-02 I-H | 9.06E-04 | 1 | 1.77E+01 I-H | -1.07927 | -1 |
| J | 8.89E-02 J-I | 6.53E-04 | 1 | 1.79E+01 J-I | 0.16273 | 1 |

SiC 稠密



SiC Sin 波状 荷重 48 N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|----|--------------|-----------|----|--------------|----------|----|
| А | 0.153083 | | | 44.28409 | | |
| В | 0.153482 B-A | 3.99E-04 | 1 | 43.15584 B-A | -1.12825 | -1 |
| С | 0.153788 C-B | 3.05E-04 | 1 | 42.88149 C-B | -0.27435 | -1 |
| D | 0.153177 D-C | -6.11E-04 | -1 | 46.56006 D-C | 3.678571 | 1 |
| Е | 0.153211 E-D | 3.39E-05 | 1 | 41.35065 E-D | -5.20942 | -1 |
| F | 0.153957 F-E | 7.46E-04 | 1 | 40.56981 F-E | -0.78084 | -1 |
| G | 0.154755 G-F | 7.97E-04 | 1 | 39.53409 G-F | -1.03571 | -1 |
| Н | 0.154314 H-G | -4.41E-04 | -1 | 50.18182 H-G | 10.64773 | 1 |
| I. | 0.154314 I-H | -1.98E-09 | -1 | 50.30519 I-H | 0.123377 | 1 |
| J | 0.155291 J-I | 9.78E-04 | 1 | 50.36039 J-I | 0.055195 | 1 |
| | | | | | | |

SiC Sin 波状 荷重 70 N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|---|--------------|-----------|----|--------------|----------|-----|
| А | 0.158231 | | | 37.45079 | | |
| В | 0.158265 B-A | 3.38E-05 | 1 | 37.68701 B-A | 0.23622 | 1 |
| С | 0.157698 C-B | -5.67E-04 | -1 | 38.27756 C-B | 0.590551 | 1 |
| D | 0.157883 D-C | 1.85E-04 | 1 | 37.89862 D-C | -0.37894 | -1 |
| Е | 0.157929 E-D | 4.63E-05 | 1 | 37.72146 E-D | -0.17717 | -1 |
| F | 0.158821 F-E | 8.91E-04 | 1 | 36.73228 F-E | -0.98917 | -1 |
| G | 0.159017 G-F | 1.97E-04 | 1 | 37.70341 G-F | 0.971129 | 1 |
| Н | 0.158751 H-G | -2.66E-04 | -1 | 36.88812 H-G | -0.81529 | - 1 |
| I | 0.159017 I-H | 2.66E-04 | 1 | 37.42126 I-H | 0.533136 | 1 |
| J | 0.15855 J-I | -4.68E-04 | -1 | 36.26148 J-I | -1.15978 | -1 |

SiC Sin 波状 荷重 92 N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|---|--------------|-----------|----|--------------|----------|----|
| А | 0.160909 | | | 24.3685 | | |
| В | 0.16047 B-A | -4.39E-04 | -1 | 24.85984 B-A | 0.491339 | 1 |
| С | 0.1596 C-B | -8.70E-04 | -1 | 24.85984 C-B | 3.2E-14 | 1 |
| D | 0.158686 D-C | -9.14E-04 | -1 | 23.90341 D-C | -0.95643 | -1 |
| Е | 0.157605 E-D | -1.08E-03 | -1 | 22.03255 E-D | -1.87087 | -1 |
| F | 0.156867 F-E | -7.38E-04 | -1 | 20.42205 F-E | -1.6105 | -1 |
| G | 0.156173 G-F | -6.94E-04 | -1 | 18.40735 G-F | -2.0147 | -1 |
| Н | 0.155769 H-G | -4.04E-04 | -1 | 20.21732 H-G | 1.809974 | 1 |
| I | 0.234682 I-H | 7.89E-02 | 1 | 20.49659 I-H | 0.279265 | 1 |
| J | 0.190605 J-I | -4.41E-02 | -1 | 18.69501 J-I | -1.80157 | -1 |

SiC Sin 波状 荷重 114N

| | 摩擦係数亚均 | 亦 化 昰 | | △ Fイベント数亚内 | 恋化量 | |
|---|-----------------|--------------|----|--------------|----------|-----|
| | /手」示 // 文入 25 | 父心里 | | | 父心里 | |
| А | 0.168998 | | | 28.31391 | | |
| В | 0.166208 B-A | -2.79E-03 | -1 | 29.28819 B-A | 0.974278 | 1 |
| С | 0.166895 C-B | 6.87E-04 | 1 | 30.30236 C-B | 1.014173 | 1 |
| D | 0.166668 D-C | -2.27E-04 | -1 | 29.78478 D-C | -0.51759 | - 1 |
| Е | 0.163879 E-D | -2.79E-03 | -1 | 28.48609 E-D | -1.29869 | - 1 |
| F | 0.160728 F-E | -3.15E-03 | -1 | 29.98215 F-E | 1.496063 | 1 |
| G | 0.157945 G-F | -2.78E-03 | -1 | 32.46719 G-F | 2.485039 | 1 |
| Н | 0.155503 H-G | -2.44E-03 | -1 | 31.38373 H-G | -1.08346 | -1 |
| L | 0.152451 I-H | -3.05E-03 | -1 | 31.56325 I-H | 0.179528 | 1 |
| J | 0.150235 J-I | -2.22E-03 | -1 | 31.24724 J-I | -0.31601 | -1 |

注 SiC Sin 波状 26Nデータは 5dB のしきい値補正を行うと予測値と計測 値とのずれが大幅なものになってしまうため除外した。





SiC 多孔質 26N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|---|--------------|-----------|----|--------------|-----------|-----|
| А | 0.041553 | | | 28.54383 | | |
| В | 0.042016 B-A | 4.63E-04 | 1 | 28.56483 B-A | 2.10E-02 | 1 |
| С | 0.041492 C-B | -5.24E-04 | -1 | 28.64147 C-B | 7.66E-02 | 1 |
| D | 0.041646 D-C | 1.54E-04 | 1 | 28.76115 D-C | 1.20E-01 | 1 |
| E | 0.041954 E-D | 3.08E-04 | 1 | 28.05774 E-D | -7.03E-01 | -1 |
| F | 0.041769 F-E | -1.85E-04 | -1 | 27.86037 F-E | -1.97E-01 | - 1 |
| G | 0.041646 G-F | -1.23E-04 | -1 | 27.88766 G-F | 2.73E-02 | 1 |
| Н | 0.041368 H-G | -2.78E-04 | -1 | 27.05722 H-G | -8.30E-01 | -1 |
| T | 0.041831 I-H | 4.63E-04 | 1 | 26.90079 I-H | -1.56E-01 | -1 |
| J | 0.041252 J-I | -5.79E-04 | -1 | 27.02047 J-I | 1.20E-01 | 1 |

SiC 多孔質 48N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|----|--------------|--------------|--------------|----------|----|
| А | 0.040017 | | 28.54383 | | |
| В | 0.039769 B-A | -2.48E-04 -1 | 28.56483 B-A | 0.020997 | 1 |
| С | 0.039686 C-B | -8.35E-05 -1 | 28.64147 C-B | 0.07664 | 1 |
| D | 0.039468 D-C | -2.17E-04 -1 | 28.76115 D-C | 0.119685 | 1 |
| Е | 0.039351 E-D | -1.17E-04 -1 | 28.05774 E-D | -0.70341 | -1 |
| F | 0.039268 F-E | -8.35E-05 -1 | 27.86037 F-E | -0.19738 | -1 |
| G | 0.039251 G-F | -1.67E-05 -1 | 27.88766 G-F | 0.027297 | 1 |
| Н | 0.039034 H-G | -2.17E-04 -1 | 27.05722 H-G | -0.83045 | -1 |
| I. | 0.039134 I-H | 1.00E-04 1 | 26.90079 I-H | -0.15643 | -1 |
| J | 0.039121 J-I | -1.37E-05 -1 | 27.02047 J-I | 0.119685 | 1 |

SiC 多孔質 70N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|---|--------------|--------------|--------------|-----------|-----|
| А | 0.035337 | | 24.97638 | | |
| В | 0.034787 B-A | -5.50E-04 -1 | 24.379 B-A | -5.97E-01 | - 1 |
| С | 0.03434 C-B | -4.47E-04 -1 | 25.11706 C-B | 7.38E-01 | 1 |
| D | 0.03395 D-C | -3.90E-04 -1 | 25.51181 D-C | 3.95E-01 | 1 |
| Е | 0.03379 E-D | -1.60E-04 -1 | 26.02415 E-D | 5.12E-01 | 1 |
| F | 0.033664 F-E | -1.26E-04 -1 | 26.26142 F-E | 2.37E-01 | 1 |
| G | 0.033824 G-F | 1.60E-04 1 | 25.46667 G-F | -7.95E-01 | -1 |
| Н | 0.03387 H-G | 4.58E-05 1 | 26.13438 H-G | 6.68E-01 | 1 |
| Ι | 0.03363 I-H | -2.41E-04 -1 | 25.94646 I-H | -1.88E-01 | - 1 |
| J | 0.033306 J-I | -3.23E-04 -1 | 26.16168 J-I | 2.15E-01 | 1 |

SiC 多孔質 92N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|---|--------------|-----------|----|--------------|-----------|----|
| А | 0.033706 | | | 26.7643 | | |
| В | 0.03305 B-A | -6.55E-04 | -1 | 26.12703 B-A | -6.37E-01 | -1 |
| С | 0.032745 C-B | -3.05E-04 | -1 | 25.98215 C-B | -1.45E-01 | -1 |
| D | 0.03237 D-C | -3.75E-04 | -1 | 26.12493 D-C | 1.43E-01 | 1 |
| Е | 0.032414 E-D | 4.36E-05 | 1 | 26.61837 E-D | 4.93E-01 | 1 |
| F | 0.032824 F-E | 4.10E-04 | 1 | 26.38425 F-E | -2.34E-01 | -1 |
| G | 0.032728 G-F | -9.59E-05 | -1 | 26.19213 G-F | -1.92E-01 | -1 |
| Н | 0.032362 H-G | -3.66E-04 | -1 | 26.72126 H-G | 5.29E-01 | 1 |
| 1 | 0.032397 I-H | 3.49E-05 | 1 | 26.46614 I-H | -2.55E-01 | -1 |
| J | 0.032307 J-I | -8.99E-05 | -1 | 27.06457 J-I | 5.98E-01 | 1 |

SiC 多孔質 114N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|---|--------------|--------------|--------------|-----------|-----|
| А | 0.03399 | | 2.86E+01 | | |
| В | 0.033398 B-A | -5.92E-04 -1 | 2.93E+01 B-A | 6.83E-01 | 1 |
| С | 0.032934 C-B | -4.64E-04 -1 | 2.96E+01 C-B | 2.80E-01 | 1 |
| D | 0.032751 D-C | -1.83E-04 -1 | 2.98E+01 D-C | 1.55E-01 | 1 |
| Е | 0.03247 E-D | -2.81E-04 -1 | 2.99E+01 E-D | 1.69E-01 | 1 |
| F | 0.032266 F-E | -2.04E-04 -1 | 2.98E+01 F-E | -7.87E-02 | - 1 |
| G | 0.032132 G-F | -1.34E-04 -1 | 3.00E+01 G-F | 1.51E-01 | 1 |
| Н | 0.031942 H-G | -1.90E-04 -1 | 3.02E+01 H-G | 1.57E-01 | 1 |
| I | 0.031766 I-H | -1.76E-04 -1 | 2.97E+01 I-H | -4.40E-01 | - 1 |
| J | 0.031984 J-I | 2.18E-04 1 | 3.00E+01 J-I | 2.71E-01 | 1 |

SiC 多孔質



Wc 荷重 26 N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | AEイベント数平均 | 変化量 |
|---|--------------|--------------|--------------|-------------|
| А | 0.250399 | | 3.18E+01 | |
| В | 0.246944 B-A | -3.46E-03 -1 | 3.17E+01 B-A | -0.01818 -1 |
| С | 0.244353 C-B | -2.59E-03 -1 | 3.19E+01 C-B | 0.122078 1 |
| D | 0.242533 D-C | -1.82E-03 -1 | 3.14E+01 D-C | -0.46364 -1 |
| Е | 0.242502 E-D | -3.09E-05 -1 | 3.21E+01 E-D | 0.654397 1 |
| F | 0.239448 F-E | -3.05E-03 -1 | 3.33E+01 F-E | 1.238578 1 |
| G | 0.237721 G-F | -1.73E-03 -1 | 3.27E+01 G-F | -0.63973 -1 |
| Н | 0.237566 H-G | -1.54E-04 -1 | 3.19E+01 H-G | -0.72987 -1 |
| I | 0.237443 I-H | -1.23E-04 -1 | 3.25E+01 I-H | 0.606494 1 |
| J | 0.235175 J-I | -2.27E-03 -1 | 3.21E+01 J-I | -0.40617 -1 |

Wc 荷重 48 N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|---|--------------|-----------|----|--------------|----------|----|
| А | 0.227511 | | | 24.72312 | | |
| В | 0.220084 B-A | -7.43E-03 | -1 | 25.26442 B-A | 0.541299 | 1 |
| С | 0.216876 C-B | -3.21E-03 | -1 | 24.25455 C-B | -1.00987 | -1 |
| D | 0.216207 D-C | -6.68E-04 | -1 | 24.31273 D-C | 0.058182 | 1 |
| Е | 0.215288 E-D | -9.19E-04 | -1 | 25.07772 E-D | 0.764993 | 1 |
| F | 0.214938 F-E | -3.51E-04 | -1 | 24.54583 F-E | -0.53189 | -1 |
| G | 0.214386 G-F | -5.51E-04 | -1 | 23.27896 G-F | -1.26687 | -1 |
| Н | 0.213333 H-G | -1.05E-03 | -1 | 22.9839 H-G | -0.29506 | -1 |
| 1 | 0.212464 I-H | -8.69E-04 | -1 | 22.42078 I-H | -0.56312 | -1 |
| J | 0.210454 J-I | -2.01E-03 | -1 | 22.18229 J-I | -0.23849 | -1 |

Wc 荷重 70 N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|---|--------------|-----------|----|--------------|----------|----|
| А | 0.233807 | | | 3.54E+01 | | |
| В | 0.228887 B-A | -4.92E-03 | -1 | 3.51E+01 B-A | -0.31169 | -1 |
| С | 0.227501 C-B | -1.39E-03 | -1 | 3.47E+01 C-B | -0.43247 | -1 |
| D | 0.225152 D-C | -2.35E-03 | -1 | 3.56E+01 D-C | 0.912987 | 1 |
| Е | 0.22176 E-D | -3.39E-03 | -1 | 3.50E+01 E-D | -0.5858 | -1 |
| F | 0.217876 F-E | -3.88E-03 | -1 | 3.57E+01 F-E | 0.688971 | 1 |
| G | 0.216157 G-F | -1.72E-03 | -1 | 3.56E+01 G-F | -0.10707 | -1 |
| Н | 0.216089 H-G | -6.87E-05 | -1 | 3.61E+01 H-G | 0.462338 | 1 |
| I | 0.214301 I-H | -1.79E-03 | -1 | 3.59E+01 I-H | -0.18961 | -1 |
| J | 0.213701 J-I | -6.00E-04 | -1 | 3.51E+01 J-I | -0.82321 | -1 |

Wc 荷重 92 N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|---|--------------|-------------|----|--------------|----------|-----|
| А | 0.227382 | | | 25.87792 | | |
| В | 0.221039 B-A | -6.34E-03 · | -1 | 27.24805 B-A | 1.37013 | 1 |
| С | 0.216933 C-B | -4.11E-03 · | -1 | 30.24545 C-B | 2.997403 | 1 |
| D | 0.213812 D-C | -3.12E-03 · | -1 | 19.73636 D-C | -10.5091 | - 1 |
| Е | 0.211824 E-D | -1.99E-03 · | -1 | 14.25648 E-D | -5.47989 | - 1 |
| F | 0.20818 F-E | -3.64E-03 · | -1 | 14.88802 F-E | 0.631544 | 1 |
| G | 0.206131 G-F | -2.05E-03 · | -1 | 22.44026 G-F | 7.552239 | 1 |
| Н | 0.2039 H-G | -2.23E-03 · | -1 | 22.09091 H-G | -0.34935 | - 1 |
| Ι | 0.201816 I-H | -2.08E-03 · | -1 | 25.32857 I-H | 3.237662 | 1 |
| J | 0.19922 J-I | -2.60E-03 · | -1 | 24.90885 J-I | -0.41972 | - 1 |

Wc 荷重 114 N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|-----|--------------|-------------|----|--------------|----------|-----|
| А | 0.200204 | | | 2.82E+01 | | |
| В | 0.198751 B-A | -1.45E-03 · | -1 | 2.88E+01 B-A | 0.607792 | 1 |
| С | 0.196908 C-B | -1.84E-03 · | -1 | 2.88E+01 C-B | 0.044675 | 1 |
| D | 0.196809 D-C | -9.85E-05 · | -1 | 2.70E+01 D-C | -1.78701 | - 1 |
| Е | 0.195163 E-D | -1.65E-03 · | -1 | 2.59E+01 E-D | -1.17053 | - 1 |
| F | 0.193798 F-E | -1.36E-03 · | -1 | 2.49E+01 F-E | -0.93409 | - 1 |
| G | 0.193474 G-F | -3.24E-04 · | -1 | 1.92E+01 G-F | -5.70837 | - 1 |
| Н | 0.192039 H-G | -1.44E-03 · | -1 | 2.02E+01 H-G | 0.96 | 1 |
| I – | 0.191575 I-H | -4.64E-04 · | -1 | 2.16E+01 I-H | 1.399481 | 1 |
| J | 0.189923 J-I | -1.65E-03 · | -1 | 2.23E+01 J-I | 0.762427 | 1 |



Wc

| 黄銅 | 荷重 26 N |
|-------|---------|
| 요구 제기 | 何主 ~011 |

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 |
|---|--------------|-----------|----|--------------|-------------|
| А | 0.184414 | | | 3.93E+01 | |
| В | 0.186388 B-A | 1.97E-03 | 1 | 3.89E+01 B-A | -0.42738 -1 |
| С | 0.188393 C-B | 2.01E-03 | 1 | 3.82E+01 C-B | -0.75353 -1 |
| D | 0.190059 D-C | 1.67E-03 | 1 | 3.62E+01 D-C | -1.95694 -1 |
| Ε | 0.191139 E-D | 1.08E-03 | 1 | 3.54E+01 E-D | -0.76639 -1 |
| F | 0.193483 F-E | 2.34E-03 | 1 | 3.58E+01 F-E | 0.409704 1 |
| G | 0.194841 G-F | 1.36E-03 | 1 | 3.45E+01 G-F | -1.33515 -1 |
| Н | 0.196075 H-G | 1.23E-03 | 1 | 2.84E+01 H-G | -6.14235 -1 |
| I | 0.197278 I-H | 1.20E-03 | 1 | 3.05E+01 I-H | 2.14171 1 |
| J | 0.196478 J-I | -8.00E-04 | -1 | 2.97E+01 J-I | -0.84512 -1 |

黄銅 荷重 48 N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | AEイベント数平均 | 変化量 |
|---|--------------|-------------|----------------|-------------|
| А | 0.18242 | | 3.32E+01 | |
| В | 0.18232 B-A | -1.00E-04 - | 1 3.25E+01 B-A | -0.7635 -1 |
| С | 0.182103 C-B | -2.17E-04 - | 1 3.17E+01 C-B | -0.81491 -1 |
| D | 0.181952 D-C | -1.50E-04 - | 1 3.18E+01 D-C | 0.125964 1 |
| Е | 0.181434 E-D | -5.18E-04 - | 1 3.14E+01 E-D | -0.37275 -1 |
| F | 0.181217 F-E | -2.17E-04 - | 1 2.98E+01 F-E | -1.63111 -1 |
| G | 0.180749 G-F | -4.68E-04 - | 1 2.86E+01 G-F | -1.1928 -1 |
| Н | 0.180883 H-G | 1.34E-04 | 1 2.88E+01 H-G | 0.214653 1 |
| I | 0.180666 I-H | -2.17E-04 - | 1 2.81E+01 I-H | -0.67095 -1 |
| J | 0.17849 J-I | -2.18E-03 - | 1 2.78E+01 J-I | -0.36247 -1 |

| 苗銅 | 荷重 70 N |
|----|------------|
| 只当 | 19 里 / 011 |

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|---|--------------|-------------|----|--------------|----------|----|
| А | 0.174037 | | | 3.41E+01 | | |
| В | 0.173636 B-A | -4.01E-04 - | -1 | 3.43E+01 B-A | 0.269923 | 1 |
| С | 0.173361 C-B | -2.75E-04 - | -1 | 3.48E+01 C-B | 0.493573 | 1 |
| D | 0.173018 D-C | -3.44E-04 - | -1 | 3.17E+01 D-C | -3.16195 | -1 |
| Е | 0.173533 E-D | 5.16E-04 | 1 | 2.93E+01 E-D | -2.40488 | -1 |
| F | 0.173774 F-E | 2.41E-04 | 1 | 2.96E+01 F-E | 0.352185 | 1 |
| G | 0.174301 G-F | 5.27E-04 | 1 | 2.99E+01 G-F | 0.269923 | 1 |
| Н | 0.174335 H-G | 3.44E-05 | 1 | 2.85E+01 H-G | -1.36761 | -1 |
| I | 0.175114 I-H | 7.79E-04 | 1 | 2.74E+01 I-H | -1.06941 | -1 |
| J | 0.173961 J-I | -1.15E-03 - | -1 | 2.70E+01 J-I | -0.42931 | -1 |
| | | | | | | |

| 苦銅 | 荷重 92 N |
|-----|---------|
| 노피민 | |

| 1 | | | | | | | |
|---|---|--------------|-----------|-----|--------------|----------|----|
| | | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
| | А | 0.178809 | | | 27.91774 | | |
| | В | 0.179576 B-A | 7.67E-04 | 1 | 27.13111 B-A | -0.78663 | -1 |
| | С | 0.181067 C-B | 1.49E-03 | 1 | 26.27455 C-B | -0.85656 | -1 |
| | D | 0.182662 D-C | 1.60E-03 | 1 | 24.3455 D-C | -1.92905 | -1 |
| | Е | 0.18356 E-D | 8.98E-04 | 1 | 22.93573 E-D | -1.40977 | -1 |
| | F | 0.182026 F-E | -1.53E-03 | -1 | 22.14293 F-E | -0.7928 | -1 |
| | G | 0.181206 G-F | -8.19E-04 | -1 | 22.33316 G-F | 0.190231 | 1 |
| | Н | 0.180962 H-G | -2.44E-04 | - 1 | 21.66581 H-G | -0.66735 | -1 |
| | I | 0.180892 I-H | -6.97E-05 | -1 | 21.96504 I-H | 0.299229 | 1 |
| | J | 0.17814 J-I | -2.75E-03 | -1 | 20.53265 J-I | -1.43239 | -1 |
| | | | | | | | |

黄銅 荷重 114 N

| | 摩擦係数平均 | 変化量 | | AEイベント数平均 | 変化量 | |
|---|--------------|-----------|----|--------------|----------|----|
| А | 0.174422 | | | 2.76E+01 | | |
| В | 0.174703 B-A | 2.81E-04 | 1 | 2.49E+01 B-A | -2.68278 | -1 |
| С | 0.172663 C-B | -2.04E-03 | -1 | 2.45E+01 C-B | -0.42674 | -1 |
| D | 0.172916 D-C | 2.53E-04 | 1 | 2.37E+01 D-C | -0.77429 | -1 |
| Е | 0.172944 E-D | 2.81E-05 | 1 | 2.26E+01 E-D | -1.14961 | -1 |
| F | 0.173964 F-E | 1.02E-03 | 1 | 2.21E+01 F-E | -0.42571 | -1 |
| G | 0.173387 G-F | -5.77E-04 | -1 | 2.38E+01 G-F | 1.643188 | 1 |
| Н | 0.173901 H-G | 5.14E-04 | 1 | 2.46E+01 H-G | 0.876093 | 1 |
| I | 0.173542 I-H | -3.59E-04 | -1 | 2.62E+01 I-H | 1.567095 | 1 |
| J | 0.172108 J-I | -1.43E-03 | -1 | 2.59E+01 J-I | -0.29409 | -1 |



5-2 AEイベント数 しきい値補正

下は各実験時に設定したしきい値をまとめたものである。

A)

| 回転試験片 | SiC稠密 | SiC稠密 | SiC稠密 |
|--------|---------------------|-------------|---------|
| 固定試験片 | SiC稠密 | SiC稠密 | SiC稠密 |
| 計測時間 | 5分 | 5分 | 5分 |
| 回転速度 | 0.1m/s | 0.05m/s | 0.05m/s |
| しきい値 | 59dB | 59dB | 58dB |
| 荷重 W,N | 26, 48, 70, 92, 114 | 70, 92, 103 | 81 |

| B) | 回転試験 片 | SiC稠密 | SiC稠密 | SiC稠密 | SiC稠密 | SiC稠密 |
|-----|-----------|-----------|----------|----------|------------|----------|
| | 固定試験 | SiC Sin波状 | SiC Sin波 | SiC Sin波 | SiC Sin波状 | SiC Sin波 |
| | 片 | | 状 | 状 | | 状 |
| | 計測時間 | 5分 | 5分 | 5分 | 5分 | 5分 |
| | 回転速度 | 0.1m/s | 0.1m/s | 0.1m/s | 0.05m/s | 0.05m/s |
| | しきい値 | 85dB | 82dB | 80dB | 82dB | 81dB |
| | 荷重 W,N | 26 | 48, 70 | 92, 114 | 70, 81, 92 | 103 |

C)

| 回転試験片 | SiC稠密 |
|--------|---------------------|
| 固定試験片 | SiC多孔質 |
| 計測時間 | 5分 |
| 回転速度 | 0.1m/s |
| しきい値 | 69dB |
| 荷重 W,N | 26, 48, 70, 92, 114 |

D)

| 回転試験 片 | SiC稠密 | SiC稠密 |
|-----------|------------|---------|
| 固定試験 片 | Wc | Wc |
| 計測時間 | 5分 | 5分 |
| 回転速度 | 0.1m/s | 0.1m/s |
| しきい値 | 78dB | 77dB |
| 荷重 W,N | 26, 48, 92 | 70, 114 |

Ε)

| 回転試験 片 | SiC稠密 | SiC稠密 | SiC稠密 |
|-----------|--------|--------|---------|
| 固定試験 片 | 黄銅 | 黄銅 | 黄銅 |
| 計測時間 | 5分 | 5分 | 5分 |
| 回転速度 | 0.1m/s | 0.1m/s | 0.1m/s |
| しきい値 | 92dB | 91dB | 90dB |
| 荷重 W,N | 26 | 48, 70 | 92, 114 |

これらAからEの測定結果から、同条件のA内でもしきい値の変更が行われている。kpれは試験片が同じものを使用していても、荷重の大きさによってしきい値を変更しなければAEイベント数がほとんど計測されなかったためである。

しかし、しきい値が変わればAEイベント数も増加、もしくは減少するので このままでは正確な評価が難しい。

そこで、しきい値を1dB 下げるとAEイベント数がどれほど増加するのか 計測してみた。

図4 - 20は本実験装置を使いSiC 稠密試験片同士で荷重22N 回転速度0.1 m/s、時間とともにしきい値を50d Bから54d Bまで変更しながら、AEイ ベント数の測定を行なった波形である



図4・20 しきい値変化によるAEイベント数推移

次に、図 の各しきい値毎にAEイベント数の平均を計算する。54 d B時の平均はその最大値(図 中赤線)付近の値で平均した。次に各しき い値の平均値を示す。

| 表4・21 しき | 11 | 値秿止 | 曲線 |
|----------|----|-----|----|
|----------|----|-----|----|

| а | 50dB | 3.59E+01 | a/b | 1.11E+00 |
|---|------|----------|---------|----------|
| b | 51dB | 3.24E+01 | b/c | 1.18E+00 |
| С | 52dB | 2.73E+01 | c/d | 1.27E+00 |
| d | 53dB | 2.15E+01 | d/e | 1.43E+00 |
| е | 54dB | 1.50E+01 | average | 1.25E+00 |

しきい値の平均値の変化量を求めると、しきい値を上げる毎にその変化量も 増加しているのがみてとれる。これは荷重 92Nの場合でも同様の数値が得られ た。

今回はそれほど大きな補正は行わないためこの増加量については無視し、変

化量の平均をとる。以上よりしきい値を1dB下げるとAEイベント数は約1.25 倍増加すると推測され、これを補正値とする。

次に、上で求めた補正値を各条件の測定結果に加えて、しきい値の統一を行 う。今回主に評価対象とするデータは、同条件での比較を行えるようにするた め、回転速度 0.1m/s,荷重 26,48,70,92,114Nとする。

その対象データを、次に示すしきい値に補正をかけたものが次のデータであ

る。

|) 補正しきい値 必要なし | 回転試験片 | SiC稠密 |
|---------------------|--------|---------------------|
| | 固定試験片 | SiC稠密 |
| | 計測時間 | 5分 |
| | 回転速度 | 0.1m/s |
| | しきい値 | 59dB |
| | 荷重 W,N | 26, 48, 70, 92, 114 |

Β)

A)

補正しきい値 80dB

| 回転試験片 | SiC稠密 | SiC稠密 | SiC稠密 |
|--------|------------|------------|------------|
| 固定試験片 | SiC Sin 波状 | SiC Sin 波状 | SiC Sin 波状 |
| 計測時間 | 5分 | 5分 | 5分 |
| 回転速度 | 0.1m/s | 0.1m/s | 0.1m/s |
| しきい値 | 85dB | 82dB | 80dB |
| 荷重 W,N | 26 | 48, 70 | 92, 114 |

C)

補正しきい値 必要なし

| 回転試験片 | SiC稠密 | |
|--------|---------------------|--|
| 固定試験片 | SiC多孔質 | |
| 計測時間 | 5分 | |
| 回転速度 | 0.1m/s | |
| しきい値 | 69dB | |
| 荷重 W,N | 26, 48, 70, 92, 114 | |

| |) |
|---|---|
| υ |) |

補正しきい値 90dB

| 回転試験片 | SiC稠密 | SiC稠密 |
|--------|------------|---------|
| 固定試験片 | Wc | Wc |
| 計測時間 | 5分 | 5分 |
| 回転速度 | 0.1m/s | 0.1m/s |
| しきい値 | 78dB | 77dB |
| 荷重 W,N | 26, 48, 92 | 70, 114 |

| | 回転試験片 | SiC稠密 | SiC稠密 | SiC稠密 |
|-------------------|---------|--------|--------|---------|
| Ε) | 固定試験片 | 黄銅 | 黄銅 | 黄銅 |
| 補正しきい値 | 計測時間 | 5分 | 5分 | 5分 |
| 77dB | 回転速度 | 0.1m/s | 0.1m/s | 0.1m/s |
| TTUD | しきい値 | 92dB | 91dB | 90dB |
| | 荷重 W,N | 26 | 48, 70 | 92, 114 |
| リー ヘ c イベヽ k 粉 !ー | は てんかけつ | 7 麻婉 (| との閉係た | ゲミラルオス |

次にAEイベント数に補正をかけて、摩擦係数との関係をグラフ化する。









補正後 SiC 多孔質試験片













5-3 摩擦係数を求める際に使用したプログラム

フォントが赤の箇所は既存のプログラムを改良した箇所である。 **Option Explicit** Dim DataTable(2000) As Single Dim Databox(2000) As Single Dim heikin(2000) As Single Dim wheight(2000) As Single Dim a As Single Dim b As Single Dim c As Single Dim i As Integer Dim j As Integer Dim m As Integer Dim n As Integer Dim p As Integer Dim o As Integer **Dim vv As Integer** Dim Q As Integer **Dim X As Integer Dim W As Single** Dim KAJUU As Single Dim masa As Single Dim masaturyoku As Single **Dim REV As Integer** Dim Ret As Integer Dim ave1 As Single Dim ave2 As Single **Dim ave3 As Single** Dim GrpXPos As Long 'X 軸の現在位置を保存 データ保存用 Dim Buffer(3) As Single **Dim buf As Single** Dim LastVoltRange As Integer '16 進表示を戻すときのレンジを保存

'タイマイベント

A/D 変換をします

1

Private Sub AcxAio1_Timer()

| lblData.Caption = "" | 表示を消去します。 |
|-----------------------------------|------------|
| masatu.Caption = "" | 表示を消去します。 |
| kaunto.Caption = "" | 表示を消去します。 |
| avedata.Caption = "" | 表示を消去します。 |
| command2.Caption = "" | 表示を消去します |
| Ret = AcxAio1.AcquireData(Buffer) | データ取得 |
| If $REV = 1$ Then | |
| Ret = 1 | 'Ret=1 で停止 |
| End If | |

If Ret = 0 Then If i <= AcxXY1.XMaximumRange Then

> KAJUU = 11 * W + 4 W[荷重]=11[N/mm]*X[mm] masa = Buffer(0) * 1.574062186 'Load の値 masaturyoku = masa * 10.54 buf = masaturyoku / KAJUU 'Buffer(0)の値を摩擦係数に変

換

. 1 1

.

| | AcxXY1.DisplayDataY GrpXPos, buf, | 1 グラフ表示1 |
|---|-----------------------------------|-------------|
| 1 | If $vv = 1$ Then | 'vv=1 で記録開始 |
| | If Q <= AcxXY1.XMaximumRang | e Then |
| • | Q = Q + 1 | |
| 1 | DataTable(Q) = Buffer(0) | |
| | | |

```
masatu.Caption = masatu.Caption & '摩擦力" & Q & " = " &
Format(DataTable(Q), "0.0000") & Chr(13)
```

End If

1 End If

```
m = m + 1
  If m \ge AcxXY1.XMaximumRange Then REV = 1
      End If
GrpXPos = GrpXPos + 1
                                 グラフ位置更新
If Optcnt(0).Value = True Then
                              'XPOS レンジ長さ設定
   AcxXY1.XMaximumRange = 50
Else
   If Optcnt(1).Value = True Then
      AcxXY1.XMaximumRange = 100
   Else
      If Optcnt(2).Value = True Then
         AcxXY1.XMaximumRange = 250
      Else
        If Optcnt(3).Value = True Then
           AcxXY1.XMaximumRange = 1000
        End If
      End If
   End If
End If
If Combo1.ListIndex = 0 Then
                             'YPOS レンジ長さ設定
    AcxXY1.YMaximumRange = 20
    AcxXY1.YMinimumRange = 0
Else
  If Combo1.ListIndex = 1 Then
       AcxXY1.YMaximumRange = 10
       AcxXY1.YMinimumRange = 0
   Else
     If Combo1.ListIndex = 2 Then
          AcxXY1.YMaximumRange = 0.5
          AcxXY1.YMinimumRange = -0.1
      Else
       If Combo1.ListIndex = 3 Then
            AcxXY1.YMaximumRange = 0.3
            AcxXY1.YMinimumRange = -0.1
         Else
          If Combo1.ListIndex = 4 Then
```

```
AcxXY1.YMaximumRange = 0.2
                          AcxXY1.YMinimumRange = -0.1
                      Else
                        If Combo1.ListIndex = 5 Then
                             AcxXY1.YMaximumRange = 0.1
                             AcxXY1.YMinimumRange = -0.1
                        End If
                      End If
                   End If
                End If
             End If
          End If
          If REV = 0 Then
              If GrpXPos >= AcxXY1.XMaximumRange Then グラフの端まで来
                 GrpXPos = 0
                 AcxXY1.ClearData
              End If
          End If
       'ラベル表示
         If Q <= AcxXY1.XMaximumRange - 1 Then
              \mathbf{Q} = \mathbf{Q} + \mathbf{1}
               heikin(Q) = masaturyoku
               Databox(Q) = masa
               DataTable(Q) = buf
               wheight(Q) = KAJUU
              kaunto.Caption = kaunto.Caption & "摩擦力" & Q & " = " &
Format(heikin(Q), "0.000") & Chr(13)
              masatu.Caption = masatu.Caption & "Load 力" & Q & " = " &
Format(Databox(Q), "0.000") & Chr(13)
              avedata.Caption = avedata.Caption & "摩擦係数" & Q & " = " &
Format(DataTable(Q), "0.000") & Chr(13)
                command2.Caption = command2.Caption & "荷重" & " = " &
Format(wheight(Q), "0.000") & "N" & Chr(13)
```

Else Q = 0End If For i = 0 To AcxAio1.ChannelNumber - 1 "No.* = 0.00000000"形式で表示 (Chr(13)は改行) If AcxAio1.InputRange >= 2 Then '電圧表示 lblData.Caption = lblData.Caption & "Buffer." & i & " = " & Format(Buffer(0), "0.00000000") & Chr(13) Else バイナリ表示 If chkHex.Value = 1 Then '16 進表示 lblData.Caption = lblData.Caption & "No." & i & " = " & Hex(Buffer(0)) & "h" & Chr(13) '10 進表示 Else lblData.Caption = lblData.Caption & "No." & i & " = " & Format(Buffer(0), "0") & Chr(13) End If End If Next i End If End Sub Private Sub Com_Click(Index As Integer) REV = 1lblData.Caption = lblData.Caption & "Buffer." & i & Buffer(0) masatu.Caption = masatu.Caption & "摩擦係数" & Q & " = " & Format(DataTable(Q), "0.0000") & Chr(13) kaunto.Caption = kaunto.Caption & '摩擦力" & Q & " = " & Format(heikin(Q), "0.0000") & Chr(13) End Sub Private Sub Comm_Click(Index As Integer) REV = 0

```
lblData.Caption = "" 表示を消去します。
```

```
masatu.Caption = ""表示を消去します。kaunto.Caption = ""表示を消去します。End Sub
```

'記録開始

Private Sub Command1_Click()

```
m = 0
             a = 0
             \mathbf{b} = \mathbf{0}
            c = 0
            \mathbf{p} = \mathbf{0}
             Q = 0
            n = 0
             vv = 1
             GrpXPos = 0
             REV = 0
             AcxXY1.ClearData
              lblData.Caption = ""
              masatu.Caption = ""
             Call Teisi
End Sub
Private Sub Teisi()
     \mathbf{m} = \mathbf{m} + \mathbf{1}
     If m >= AcxXY1.XMaximumRange Then
```

REV = 1

End If End Sub

Private Sub Dir1_Change() File1.Path = Dir1.Path End Sub Private Sub Drive1_Change() Dir1.Path = Drive1.Drive End Sub Private Sub File1_Click() Text1 = File1.FileName
End Sub

```
!_____
'フォームロード時の処理
Private Sub Form_Load()
  'フォームの位置を中央に
  Left = (Screen.Width - Width) \ge 2
  Top = (Screen.Height - Height) ¥ 2
  AcxXY1.XMaximumRange = 100
   '設定ファイルの読み込み
  Ret = AcxAio1.LoadProperty("ACXAIO.INI")
   '自動検出
  If Ret <> 0 Then
                     設定ファイルがなければ検出/登録を試みる
     Ret = AcxAio1.AutoDetect("AIO00")
     If (Ret = 0) Then
         AcxAio1.DeviceName = "AIO00" デバイス名 AIO00 のボードを選択
     End If
  End If
   '初期化
   fncOpen
End Sub
1_____
'フォームアンロード時の処理
Private Sub Form_QueryUnload(Cancel As Integer, UnloadMode As Integer)
   cmdEnd Click
End Sub
۱<u>_____</u>
'初期化処理
Sub fncOpen()
  \mathbf{p} = \mathbf{0}
  \mathbf{0} = \mathbf{0}
 \mathbf{m} = \mathbf{0}
```

```
n = 0
vv = 0
\mathbf{Q} = \mathbf{0}
REV = 0
AcxXY1.XMaximumRange = 100 グラフ1のX軸の幅(点数)
W = 0
Combo1.ListIndex = 4
Optcnt(1) = True
Dim StrCaption As String
AcxAio1.TimEnabled = False
Ret = AcxAio1.Open
If Ret = 0 Then
                      プロパティの設定を表示
    fncDispProperty
    StrCaption = "簡易アナログ入力: " & AcxAio1.BoardName
    frmAcqData.Caption = StrCaption
    AcxAio1.TimEnabled = True
    GrpXPos = 0
    AcxXY1.ClearData
 Else
    MsgBox 物期化できませんでした。[プロパティ]ボタンを押してボードを登録し
```

```
た後" & Chr(13) & _
```

"[初期化]ボタンを押してください"

End If

End Sub

```
'_____
```

'終了処理

Private Sub cmdEnd_Click() '現在の状態を保存

Ret = MsgBox("現在の状態を保存しますか?", vbYesNo)

If Ret = vbYes Then

AcxAio1.SaveProperty ("ACXAIO.INI")

End If

AcxAio1.Close

```
End
```

End Sub

```
_____
'プロパティページの表示
Private Sub cmdShowProperty_Click()
  Dim tmpBoardName As String
      tmpBoardName = AcxAio1.BoardName
      AcxAio1.ShowProperty
   'プロパティページでボードが変更された?
   If tmpBoardName <> AcxAio1.BoardName Then
      DoEvents
      MsgBox "ボードが" & tmpBoardName & "から" & AcxAio1.BoardName & "に変
更されました。" & Chr(13) & _
            "初期化しなおします。"
      fncOpen
                   初期化時の処理
   Else
      fncDispProperty '設定表示を更新
   End If
End Sub
۱____
'プロパティの設定状態を表示
Sub fncDispProperty()
  Dim MaxRange As Single
  Dim MinRange As Single
  Dim ChkFlag As Integer
   DoEvents
   lblDisp.Caption = ば - ド 名: " & AcxAio1.BoardName & Chr(13) & _
                 "I/O アドレス : " & Hex(AcxAio1.IoAddress) & " h" & Chr(13) & _
                 "割込み:" & AcxAio1.IrqLevel & Chr(13) & _
                 "レンシ゛: " & AcxAio1.GetSupportedRange(0,
AcxAio1.InputRange, ChkFlag)
   AcxAio1.GetInputRange MinRange, MaxRange グラフの Y 軸用にレンジ取得
  AcxXY1.YMaximumRange = MaxRange
  AcxXY1.YMinimumRange = MinRange
   txtTimInterval.Text = AcxAio1.TimInterval タイマ周期更新
```

```
If AcxAio1.ChannelNumber > 32 Then にのサンプルは 32ch までです
MsgBox "同時に表示できるチャネル数は 32 です。", vbExclamation
AcxAio1.ChannelString = "0-31"
End If
'ReDim Buffer(AcxAio1.ChannelNumber) チャネル分の配列を定義
AcxXY1.ArrayNumber = AcxAio1.ChannelNumber ヴラフのライン数 = チャネル
```

数

lblChannelString.Caption = AcxAio1.ChannelString End Sub

```
Private Sub mnuOpen_Click()
```

'開く

Dim FileName As String

```
'REV = 1
```

```
AcxXY1.ClearData
```

```
AcxXY2.ClearData
```

```
i = 0
```

```
If Right(Dir1.Path, 1) = "X" Then
```

```
FileName = Dir1.Path & Text1
```

```
Else
```

FileName = Dir1.Path & " \mathbf{Y} " & Text1

```
End If
```

Open FileName For Input As #1

For i = 1 To 100 Input #1, DataTable(i) Next i

```
' For i = 1 To 20
' Input #1, Databox(i)
' Next i
```

```
Close #1
```

GrpXPos = 0

```
For i = 1 To 100
```

```
AcxXY1.DisplayDataY GrpXPos, DataTable(i),
AcxAio1.ChannelNumber ' グラフ表示 1
GrpXPos = GrpXPos + 1 'グラフ位置更新 1
Next i
```

```
' For i = 1 To 20
' AcxXY2.DisplayDataY GrpXPos, Databox(i),
AcxAio1.ChannelNumber 'グラフ表示 2
' GrpXPos = GrpXPos + 5 'グラフ位置更新 2
' Next i
```

End Sub

Private Sub mnuSaveAs_Click() '保存

Dim FileName As String Ret = MsgBox("["& Text1 & "] で保存しますか?", vbYesNo)

If Right(Dir1.Path, 1) = "¥" Then FileName = Dir1.Path & Text1 Else FileName = Dir1.Path & "¥" & Text1

End If

Open FileName For Output As #1 Write #1, "荷重" Write #1, KAJUU & "N" & Chr(13) Write #1, "摩擦係数"

For i = 1 To 2000

Write #1, DataTable(i) Next i Close #1

End Sub

Private Sub txtKajuu_Change() W = Val(txtKajuu.Text)

End Sub

```
'アナログ出力更新
```

Eシリーズボードなどで自己ループでテストするのに使用します
 フォームの下の方に隠れています

Private Sub txtSingleAO_Click()

AcxAio1.SingleAO 0, Val(txtDAData.Text), 1

End Sub

```
'タイマ周期の変更
```

Private Sub txtTimInterval_Change()

AcxAio1.TimInterval = Val(txtTimInterval.Text)

End Sub

'グラフクリア

Private Sub cmdClearData_Click()

GrpXPos = 0

AcxXY1.ClearData

End Sub

'16 進表示

```
Private Sub chkHex_Click()

If chkHex.Value = 1 Then '16 進表示

LastVoltRange = AcxAio1.InputRange

AcxAio1.InputRange = 0 オフセットバイナリにします

Else '10 進表示

AcxAio1.InputRange = LastVoltRange '16 進表示にする前のレンジに戻します

End If

cmdClearData_Click
```

fncDispProperty End Sub

Private Sub VScroll1_Change()

End Sub

1010187 西森 正

1. 緒言

潤滑診断技術は、機械の潤滑性の評価、機械内部の摩耗 の進行を監視するのに必要不可欠な技術である。その潤滑 診断法にAE法がある。AE法は、材料の破壊や摩耗時に 発生するAE波を検出するために異常の早期発見が可能と 言われているが、著しい摩耗の発生がない摩擦面間での潤 滑状態の良否を評価することは難しい。

そこで本研究では、超音波探触子(UT 法)から入射した-定の音波が、潤滑界面を通じて相手面に伝わる場合の伝播 具合を AE 測定装置で評価する、新しい潤滑状態診断シス テムの構築を考える。ここではその基礎実験として、摩擦 と AE イベント数の関係を調べ、本測定法による潤滑状態 評価の可能性を検討した。





図1:実験装置概要

図1は、UT-AE併用により2面の接触状況を示すAEイベント数(AE数)と、摩擦係数を測定し、潤滑状態を把握するための実験装置である。使用する2つの試験片は、直径20mm高さ10mmのSiC平滑面であり、潤滑剤に水道水を用いて表1の条件で実験を行った。

摩擦力は、ロードセルで計測し、A/D コンバータで電圧 変換してパソコンに取り込み、荷重 W で除して摩擦係数を 求めている。AE センサは、回転試験片を伝播してきた超音 波を検知し、設定したしきい値を超える音波を AE イベン ト数としてカウントする。潤滑面の接触状態が良い程超音 波が伝播しやすく、カウント数が増加する仕組みになって いる。

| - 売 1 | • | 測完条件 |
|-------|---|------|
| -1X | | 观迟不下 |

| 荷重 W, N | 回転速度 | 計測時間 | AE しきい値 |
|-------------------|---------|----------------|---------|
| W=26,48,70,92,114 | 0.1 m/s | ₅ 分 | 59dB |

3. 実験結果および考察

図2は W=48N、114N 時の摩擦係数、AE 数の波形の測 定例である。これらの図に代表されるように、一般的に摩 擦係数が増加した場合に AE 数が減少するという傾向が得 られた。これは、接触状態が悪くなり、超音波が接触面を 伝播しにくい潤滑状態に移行することにより、摩擦が増加



図3は、軸受特性曲線(:潤滑剤粘度,N:毎秒回転数,pm: 平均面圧)、図4には摩擦係数とAE数の関係を示した。図 3の48N時に摩擦係数・AE数が共に減少している事から、 なじみに伴う摩擦の低下過程では、頻繁な摩耗紛の介入に より、潤滑状態は一時的に悪化しているものと考えられる。

また、AE数が増加し始める70N付近は、潤滑面が十分になじみ、2面間に潤滑膜が均等に形成されるようになった潤滑上良好な状態であると推測できる。更に荷重を加えた場合 AE 数が減少し、摩擦係数が増加することから、この2面の潤滑状態は、面荒れを伴う危険な状態へ移行している事が分かる。

このような潤滑状態の悪化は、摩擦係数とAE数の関係(図 4)によく現れており、同曲線の折り返しが起こるA点より 小さな荷重での運転(なじみを含む)が望ましいと判断できる。



以上述べたように、UT-AE 併用型の潤滑診断により、従 来の摩擦係数の変化だけでは分からなかった 2 面の潤滑状 態の詳細を、容易に把握して評価できる可能性があること が明らかになった。

参考文献

トライボロジスト第37巻、第8号、660-666