

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-21002  
(P2017-21002A)

(43) 公開日 平成29年1月26日(2017.1.26)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)  
 GO 1 N 3/56 (2006.01) GO 1 N 3/56  
 GO 1 N 19/02 (2006.01) GO 1 N 19/02 Z

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2016-46979 (P2016-46979)  
 (22) 出願日 平成28年3月10日 (2016. 3. 10)  
 (31) 優先権主張番号 特願2015-137710 (P2015-137710)  
 (32) 優先日 平成27年7月9日 (2015. 7. 9)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

特許法第30条第2項適用申請有り 平成27年9月12日、日本機械学会 2015年度年次大会講演論文集 (DVD大会プログラム) において発表 平成27年9月15日、北海道大学 工学部で開催された日本機械学会 2015年度年次大会において発表

(71) 出願人 000000099  
 株式会社 I H I  
 東京都江東区豊洲三丁目1番1号  
 (74) 代理人 100083806  
 弁理士 三好 秀和  
 (74) 代理人 100101247  
 弁理士 高橋 俊一  
 (74) 代理人 100095500  
 弁理士 伊藤 正和  
 (74) 代理人 100098327  
 弁理士 高松 俊雄  
 (72) 発明者 山▲崎▼ 崇広  
 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会社 I H I 内

最終頁に続く

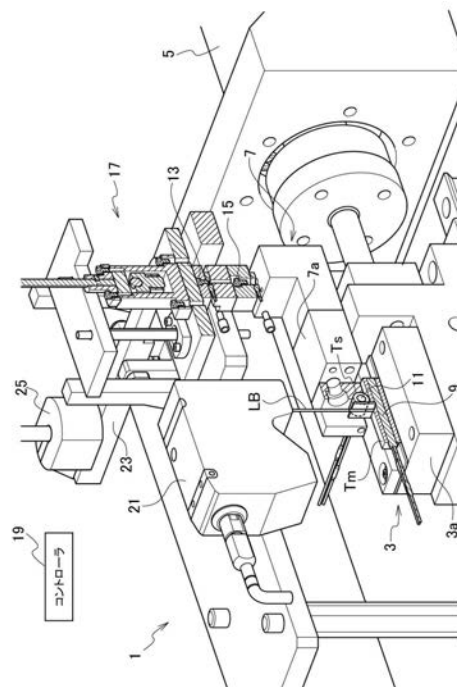
(54) 【発明の名称】 摩耗状態評価方法

(57) 【要約】

【課題】 繰り返し摺動摩擦を加えた試験片の摺動面の摩耗状態をその原因と共に詳細に評価する。

【解決手段】 移動側試験片 T m が移動方向 X に一往復移動する度に、コントローラ 19 が、移動側試験片 T m の移動方向 X への各移動ストロークにおける、固定側試験片 T s 及び移動側試験片 T m 間の摩擦力を算出する。また、レーザ走査光 L B で走査した摺動面 S の形状を、コントローラ 19 により、移動側試験片 T m の移動方向 X への各移動ストロークに対応付けて、摩擦力と同じサイクル分 (例えば 100 サイクル分) 測定する。そして、算出した摩擦力や測定した摺動面 S の形状について、時間微分や空間微分を行って、その結果から、摩擦力の変化の原因等を評価する。

【選択図】 図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

コンピュータが、摺動摩擦が繰り返し加えられる試験片にかかる摩擦力を、前記試験片の摺動面の前記摺動摩擦が加わる摺動位置と関連付けて、前記摺動摩擦の繰り返し周期毎にセンサにより取得する摩擦力取得ステップと、

前記コンピュータが、前記摺動面の形状を非接触測定センサにより、前記摺動摩擦の繰り返し周期毎に取得する形状取得ステップと、

前記コンピュータが、前記摩擦力取得ステップで取得した各周期の摩擦力と前記形状取得ステップで取得した前記摺動面の形状とのうち少なくとも一方の、時間及び空間のうち少なくとも一方における変化の解析処理結果から、前記摺動面の特定の摺動位置における摩耗状態を評価する評価ステップと、

を含む摩耗状態評価方法。

10

## 【請求項 2】

前記コンピュータは、前記評価ステップにおいて、前記摩擦力取得ステップで取得した各周期の摩擦力と前記形状取得ステップで取得した前記摺動面の形状とのうち少なくとも一方の、時間微分及び空間微分のうち少なくとも一方の結果から、前記特定の摺動位置における摩耗状態を評価する請求項 1 記載の摩耗状態評価方法。

## 【請求項 3】

前記コンピュータが、前記摩擦力取得ステップで取得した各周期の摩擦力から、前記特定の摺動位置における摩耗状態の評価に用いる摩擦力の周期を複数決定する評価周期決定ステップをさらに含み、

20

前記コンピュータは、前記評価ステップにおいて、前記評価周期決定ステップで決定した各周期の前記形状取得ステップで取得した前記摺動面の形状の変化から、前記特定の摺動位置における摩耗状態を評価する、

請求項 1 記載の摩耗状態評価方法。

## 【請求項 4】

前記形状取得ステップでは、前記摺動摩擦と同期して前記摺動面を繰り返し走査する走査信号により前記摺動面の形状を取得する請求項 1、2 又は 3 記載の摩耗状態評価方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

30

## 【0001】

本発明は、試験片に繰り返し摺動摩擦を加えて試験片の摺動面の摩耗状態を評価する摩耗状態評価方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

滑り軸受やシリンダ、カム機構等の繰り返し摺動を伴う機械要素の摩耗状態を評価する方法として、例えば、固定側試験片上を繰り返し摺動する移動側試験片の摺動位置と両試験片間にかかる摩擦力をそれぞれ測定し、両者を関連付けて記録する方法が知られている。この評価方法によれば、特定の摺動位置における摩擦力の時間変化から、摺動面の摩耗の状態を評価することができる（特許文献 1，2）。

40

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0003】

【特許文献 1】特開平 6 - 5 8 8 6 7 号公報

【特許文献 2】特開平 6 - 3 0 8 0 1 7 号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

ところで、固定側試験片と移動側試験片との摺動面は一定の面積を有しており、上述した両試験片間にかかる摩擦力は、両試験片の摺動面で起こる全ての摩擦の情報を含んでい

50

る。したがって、両試験片間にかかる摩擦力の時間変化を評価するだけでは、両試験片の摺動面における摩耗の状態を詳細に評価することができない。

【0005】

また、両試験片間に摩擦力がかかる原因としては、摺動面に発生する凝着による突起やアプレシブ摩耗による掘り起こし、あるいは、摺動面上で転動する摩耗粉等が挙げられるが、このような原因を、上述した摩擦力の時間変化による摩耗状態の評価では特定することができない。

【0006】

本発明は前記事情に鑑みなされたもので、本発明の目的は、繰り返し摺動摩擦を加えた試験片の摺動面の摩耗状態をその原因と共に詳細に評価することができる摩耗状態評価方法を提供することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するため、本発明の第1の態様による摩耗状態評価方法は、コンピュータが、摺動摩擦が繰り返し加えられる試験片にかかる摩擦力を、前記試験片の摺動面の前記摺動摩擦が加わる摺動位置と関連付けて、前記摺動摩擦の繰り返し周期毎にセンサにより取得する摩擦力取得ステップと、

前記コンピュータが、前記摺動面の形状を非接触測定センサにより、前記摺動摩擦の繰り返し周期毎に取得する形状取得ステップと、

前記コンピュータが、前記摩擦力取得ステップで取得した各周期の摩擦力と前記形状取得ステップで取得した前記摺動面の形状とのうち少なくとも一方の、時間及び空間のうち少なくとも一方における変化の解析処理結果から、前記摺動面の特定の摺動位置における摩耗状態を評価する評価ステップと、

20

を含んでいる。

【0008】

本発明の第1の態様による摩耗状態評価方法によれば、試験片の摺動摩擦が加えられる部分は一定の面積を有しており、摩擦力取得ステップにより取得される各摺動位置の摩擦力は、摺動摩擦が同時に加えられる部分で起こる全ての摩擦の情報を含んでいる。一方、形状取得ステップにより非接触測定で取得される摺動面の形状は、試験片の摺動摩擦が加えられる部分の具体的形状を含んでいる。

30

【0009】

このため、摩擦力取得ステップで取得した各周期の摩擦力と形状取得ステップで取得した摺動面の形状とのうち少なくとも一方について、時間上の変化や空間上の変化を解析することで、一定の面積を有する特定の摺動位置においてどのような形状変化が生じたかを具体的に把握することができる。

【0010】

よって、繰り返し摺動摩擦を加えた試験片の摺動面の摩耗状態をその原因と共に詳細に評価することができる。

【0011】

なお、本発明の第1の態様による摩耗状態評価方法における前記評価ステップは、本発明の第2の態様による摩擦状態評価方法のように、前記コンピュータが、前記摩擦力取得ステップで取得した各周期の摩擦力と前記形状取得ステップで取得した前記摺動面の形状とのうち少なくとも一方の、時間微分及び空間微分のうち少なくとも一方の結果から、前記特定の摺動位置における摩耗状態を評価するものとすることができる。

40

【0012】

また、本発明の第3の態様による摩擦状態評価方法は、本発明の第1の態様による摩耗状態評価方法において、

前記コンピュータが、前記摩擦力取得ステップで取得した各周期の摩擦力から、前記特定の摺動位置における摩耗状態の評価に用いる摩擦力の周期を複数決定する評価周期決定ステップをさらに含み、

50

前記コンピュータは、前記評価ステップにおいて、前記評価周期決定ステップで決定した各周期の前記形状取得ステップで取得した前記摺動面の形状の変化から、前記特定の摺動位置における摩耗状態を評価する。

【0013】

本発明の第3の態様による摩擦状態評価方法によれば、本発明の第1の態様による摩耗状態評価方法において、評価周期決定ステップにおいて決定される特定の摺動位置における摩耗状態の評価に用いる摩擦力の複数の周期について、形状取得ステップで取得した摺動面の特定の摺動位置の形状を比較してその変化を解析することで、一定の面積を有する特定の摺動位置においてどのような形状変化が生じたかを具体的に把握することができる。

10

【0014】

よって、繰り返し摺動摩擦を加えた試験片の摺動面の摩耗状態をその原因と共に詳細に評価することができる。

【0015】

また、本発明の第4の態様による摩耗状態評価方法は、本発明の第1、第2又は第3の態様による摩耗状態評価方法において、前記形状取得ステップでは、前記摺動摩擦と同期して前記摺動面を繰り返し走査する走査信号により前記摺動面の形状を取得する。

【0016】

本発明の第4の態様による摩耗状態評価方法によれば、本発明の第1、第2又は第3の態様による摩耗状態評価方法において、摺動摩擦と同期した走査信号による走査により摺動面の形状が取得されるので、試験片にかかる摩擦力が取得される各摺動位置について試験片の摺動面の形状を容易に取得することができる。

20

【発明の効果】

【0017】

本発明の摩耗状態評価方法によれば、繰り返し摺動摩擦を加えた試験片の摺動面の摩耗状態をその原因と共に詳細に評価することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の一実施形態に係る摩耗状態評価方法を実行するのに用いられる往復摩擦試験装置の概略構成を示す説明図である。

30

【図2】図1の往復摩擦試験装置により摺動摩擦が加えられる試験片を示す説明図である。

【図3】図1のコントローラが常温において算出した図2の試験片にかかる摩擦力を往復摩擦の100サイクル分並べた摩擦力像の画像を示す説明図である。

【図4】図3の摩擦力像を特定のサイクル部分について図1のコントローラが測定した図2の試験片の表面形状画像を示す説明図である。

【図5】図1のコントローラが700°Cにおいて算出した図2の試験片にかかる摩擦力を往復摩擦の100サイクル分並べた摩擦力像の画像と、特定のストローク部分について図1のコントローラが測定した図2の試験片の表面形状画像とを示す説明図である。

【図6】(a)は常温における摩擦力像の特定のサイクル部分に特徴的な縞模様が現れている状態を拡大して示す説明図、(b)は(a)のサイクルにおいて現れる摩擦力のパターンから特定されるアプレシブ摩擦を模式的に示す説明図である。

40

【図7】(a)は図5の700°Cにおける摩擦力像の特定のストローク部分に特徴的な縞模様が現れている状態を拡大して示す説明図、(b)は(a)のストローク部分において現れる摩擦力のパターンから特定される凝着摩耗を模式的に示す説明図である。

【図8】図1のコントローラが測定した図2の試験片のあるストローク箇所のあるサイクルにおける表面形状を示す説明図である。

【図9】(a)は図2の試験片における表面形状の変化のパターンを模式的に示す説明図、(b)は図2の試験片に(a)のパターンの変化が生じた場合の表面形状の時間微分変化のパターンを模式的に示す説明図、(c)は図2の試験片に(a)のパターンの変化が

50

生じた場合の表面形状の空間微分変化のパターンを模式的に示す説明図である。

【図 1 0】図 1 の往復摩擦試験装置を用いて行う本発明の一実施形態に係る摩耗状態評価方法の手順を示すフローチャートである。

【図 1 1】図 1 0 の評価ステップの具体的な手順を示すフローチャートである。

【図 1 2】図 1 1 の摩耗種別特定ステップの具体的な手順を示すフローチャートである。

【図 1 3】図 1 1 のアプレシブ摩耗評価ステップの具体的な手順を示すフローチャートである。

【図 1 4】( a ) は図 1 のコントローラが測定した図 2 の試験片における表面形状の空間微分により算出される凸部の体積のサイクルによる変化パターンを示すグラフ、( b ) は図 1 のコントローラが測定した図 2 の試験片における表面形状の空間微分により算出される凸部のエッジの面積のサイクルによる変化パターンを示すグラフである。

【図 1 5】図 1 1 の凝着摩耗評価ステップの具体的な手順を示すフローチャートである。

【図 1 6】( a ) は図 1 のコントローラが算出した図 2 の試験片にかかる摩擦力を往復摩擦の 1 0 0 サイクル分並べた摩擦力像から抽出した摩擦力のストローク方向における変化点と変化量とをエッジ及びコントラストで表したエッジ抽出画像の説明図、( b ) は図 1 のコントローラが算出した図 2 の試験片にかかる摩擦力を往復摩擦の 1 0 0 サイクル分並べた摩擦力像の画像を示す説明図である。

【図 1 7】図 1 のコントローラが図 1 6 ( b ) の摩擦力像の画像をサイクル方向及びストローク方向のそれぞれについて空間微分して算出した凸部のエッジを示す説明図である。

【図 1 8】図 1 の往復摩擦試験装置を用いて行う本発明の他の実施形態に係る摩耗状態評価方法の手順を示すフローチャートである。

【図 1 9】図 1 8 の評価周期決定ステップにおいて図 1 のコントローラが摩擦力像から評価周期を決定する手順を示す説明図である。

【図 2 0】図 2 の試験片の摩耗状態の評価に図 1 9 の 1 5、5 5 及び 8 7 サイクルの摩擦力を用いる場合の各サイクルにおいて測定した試験片の摺動面の形状を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 9】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。図 1 は、本発明の一実施形態に係る摩耗状態評価方法を実行するのに用いられる往復摩擦試験装置の概略構成を示す説明図である。

【0 0 2 0】

図 1 中引用符号 1 で示す本実施形態の往復摩擦試験装置は、円柱状の固定側試験片  $T_s$  に対して平板状の移動側試験片  $T_m$  を繰り返し往復摺動させて、両試験片  $T_s$ 、 $T_m$  間にかかる摩擦力と、固定側試験片  $T_s$  に摺接する移動側試験片  $T_m$  の摺動面の形状とを測定するものである。なお、固定側試験片  $T_s$  及び移動側試験片  $T_m$  は、摩耗状態を評価する対象の繰り返し摺動を伴う機械要素（図示せず）に用いられる金属材料で形成される。

【0 0 2 1】

そして、往復摩擦試験装置 1 は、移動側試験片  $T_m$  を保持する移動側保持部 3 と、移動側保持部 3 を水平方向に往復直線移動させるアクチュエータ 5 と、固定側試験片  $T_s$  を保持する固定側保持部 7 とを有している。

【0 0 2 2】

アクチュエータ 5 は、例えば、モータ等の回転駆動源と、モータの回転運動を移動側試験片  $T_m$  の直線運動に変換する送りねじ機構等によって構成することができる。固定側保持部 7 は、固定側試験片  $T_s$  の周面が、移動側保持部 3 に保持された移動側試験片  $T_m$  の上面に、固定側試験片  $T_s$  の中心軸と平行な直線上で当接するように、固定側試験片  $T_s$  を保持する。

【0 0 2 3】

したがって、アクチュエータ 5 が固定側保持部 7 に対して移動側保持部 3 を往復移動させると、図 2 の説明図に示すように、固定側試験片  $T_s$  に対して移動側試験片  $T_m$  が図中

10

20

30

40

50

の方向 X に往復移動する。これにより、移動側試験片 T<sub>m</sub> の上面の摺動面 S に摺動摩擦が繰り返し加えられる。なお、図 2 中では図面の簡略化のため固定側試験片 T<sub>s</sub> の形状を円柱状でなくブロック状で示している。

【0024】

なお、図 1 に示すように、各試験片 T<sub>m</sub> , T<sub>s</sub> の内部には、加熱用のヒータと温度センサを一体化した加熱測温ユニット 9 , 11 がそれぞれ装着されている。この加熱測温ユニット 9 , 11 を往復摩擦試験装置 1 が有することで、固定側試験片 T<sub>s</sub> 及び移動側試験片 T<sub>m</sub> の温度を温度センサにより確認し、必要に応じてヒータにより固定側試験片 T<sub>s</sub> 及び移動側試験片 T<sub>m</sub> を所望の温度に加熱することができる。

【0025】

このため、常温（室温）の状態だけでなく、常温よりも高い任意の温度に加熱した状態についても、固定側試験片 T<sub>s</sub> 及び移動側試験片 T<sub>m</sub> の摺動面の摩耗状態を評価することができる。

【0026】

また、各保持部 3 , 7 は、保持対象の各試験片 T<sub>m</sub> , T<sub>s</sub> を往復摩擦試験装置 1 側の熱から遮断する断熱材 3 a , 7 a を有している。また、図 2 に示す移動方向 X への移動側試験片 T<sub>m</sub> の移動ストロークは、移動方向 X における移動側試験片 T<sub>m</sub> の位置を検出する不図示の位置検出センサの出力信号を用いてコントローラ 19（請求項中のコンピュータに相当）により算出される。

【0027】

本実施形態の往復摩擦試験装置 1 は、さらに、固定側試験片 T<sub>s</sub> から移動側試験片 T<sub>m</sub> に加わる荷重を測定する負荷検出用圧電センサ 13 と、両試験片 T<sub>s</sub> , T<sub>m</sub> 間にかかるせん断力を測定するせん断力検出用圧電センサ 15 とを、固定側保持部 7 の支持機構 17 中に有している。

【0028】

これらの圧電センサ 13 , 15 は、上述した加熱測温ユニット 9 , 11 と共に、コントローラ 19 に接続されている。このコントローラ 19 は、両加熱測温ユニット 9 , 11 の温度センサの出力により温度を確認しつつ、必要に応じて、両加熱測温ユニット 9 , 11 のヒータを用いて固定側試験片 T<sub>s</sub> 及び移動側試験片 T<sub>m</sub> を所望の温度に加熱する。これと共に、コントローラ 19 は、各圧電センサ 13 , 15 の出力を用いて、両試験片 T<sub>s</sub> , T<sub>m</sub> 間にかかる摩擦力を算出する。

【0029】

加えて、本実施形態の往復摩擦試験装置 1 はレーザセンサ 21 を有している。このレーザセンサ 21 は支持機構 17 に固定されている。レーザセンサ 21 は、図 2 に示す、固定側試験片 T<sub>s</sub> が摺接する移動側試験片 T<sub>m</sub> の摺動面 S に、測距用のレーザ走査光 L B を照射する。このレーザ走査光 L B は、移動側試験片 T<sub>m</sub> の移動方向 X と直交する幅方向 Y において、摺動面 S の全体を直線状に走査する光である。

【0030】

移動側試験片 T<sub>m</sub> からのレーザ走査光 L B の反射光は、図 1 に示すように、レーザセンサ 21 で受光され、その受光量に応じた測距信号がレーザセンサ 21 からコントローラ 19 に出力される。コントローラ 19 は、レーザセンサ 21 からの測距信号に基づいて、移動側試験片 T<sub>m</sub> の摺動面 S の形状を測定する。

【0031】

なお、図 2 に示す移動側試験片 T<sub>m</sub> の摺動面 S は、固定側試験片 T<sub>s</sub> によって常に一部が覆われる。このため、移動側試験片 T<sub>m</sub> の移動方向 X への往復移動に伴ってレーザ走査光 L B は、固定側試験片 T<sub>s</sub> の 1 つ分だけ摺動面 S よりも小さい範囲を、移動方向 X に繰り返し走査する。よって、図 1 のコントローラ 19 がレーザセンサ 21 からの測距信号に基づいて測定する摺動面 S の形状も、固定側試験片 T<sub>s</sub> の 1 つ分だけ摺動面 S よりも小さい範囲の形状となる。

【0032】

10

20

30

40

50

また、支持機構 17 には、中間部が不図示の支点で支持されたフレーム 23 の一端が連結されており、フレーム 23 の他端にはバランスウエイト 25 が取り付けられている。このフレーム 23 及びバランスウエイト 25 により、支持機構 17 の重量が固定側保持部 7 を介して固定側試験片 T<sub>s</sub> から移動側試験片 T<sub>m</sub> に荷重となって加わらないようにしている。

【0033】

次に、コントローラ 19 が各圧電センサ 13, 15 の出力を用いて算出する両試験片 T<sub>s</sub>, T<sub>m</sub> 間にかかる摩擦から把握できる情報について、図 3 乃至図 7 を参照して説明する。

【0034】

まず、図 3 は、コントローラ 19 が常温において算出した両試験片 T<sub>s</sub>, T<sub>m</sub> 間にかかる摩擦を往復摩擦の 100 サイクル分並べた摩擦力の画像を示す説明図である。この摩擦力像では、縦軸に移動側試験片 T<sub>m</sub> の往復移動のサイクル（周期）を取り、横軸に移動側試験片 T<sub>m</sub> の移動方向 X への移動ストロークを示している。なお、移動ストローク = 0 は、移動方向 X における摺動面 S の中間点である。

【0035】

図 3 の摩擦力像では、コントラストが低い部分ほど摩擦力が大きいことを示している。そして、この摩擦力像では、摩擦力の変化により周辺の摩擦力像との間に顕著なコントラスト差が生じた特徴的な縞模様が、横方向（ストローク方向）に出現している。

【0036】

そこで、この特徴的な縞模様が横方向（ストローク方向）に出現しているサイクルについて、コントローラ 19 が常温において測定した移動側試験片 T<sub>m</sub> の摺動面 S の形状を見ると、図 4 の表面形状画像の説明図に示すように、図 3 の摩擦力像で横方向に特徴的な縞模様が出現したストローク箇所に、アプレシブ摩擦が観察された。

【0037】

次に、図 5 の左半部は、コントローラ 19 が 700 °C において算出した両試験片 T<sub>s</sub>, T<sub>m</sub> 間にかかる摩擦を往復摩擦の 100 サイクル分並べた摩擦力の画像を示す説明図である。この摩擦力像でも、コントラストが低い部分ほど摩擦力が大きいことを示している。そして、この摩擦力像では、摩擦力の変化によるコントラスト差で縦方向（サイクル方向）に特徴的な縞模様が出現している。

【0038】

そこで、この特徴的な縞模様が縦方向（サイクル方向）に出現しているストロークについて、コントローラ 19 が 700 °C において測定した移動側試験片 T<sub>m</sub> の摺動面 S の形状を見ると、摩擦力像において縦方向に特徴的な縞模様が出現したストローク箇所に、最も早いサイクルにおいて、図 5 の右半部の下側に示す説明図のように、凝着摩耗が生じていた。

【0039】

そして、その後のサイクルにおいてコントローラ 19 が測定した移動側試験片 T<sub>m</sub> の摺動面 S の同じストローク箇所における形状を見ると、図 5 の右半部の上側に示す説明図のように、凝着摩耗の成長が認められた。

【0040】

ここで、図 6 (a) の説明図に示すような、常温における摩擦力像の特定のサイクル部分に横方向の特徴的な縞模様が出現する理由は、図 6 (b) の説明図に模式的に示すように、固定側試験片 T<sub>s</sub> が移動側試験片 T<sub>m</sub> に対する相対移動によって摺動面 S の表層を掘り起こしながら進むことで、アプレシブ摩耗が発生しているためであると考えられる。

【0041】

また、アプレシブ摩擦は次以降のサイクルで発生しないことが多く、特徴的な縞模様が摩擦力像の縦方向（サイクル方向）に連続しないので、摩擦力像の横方向（ストローク方向）に特徴的な縞模様が出現するものと思われる。

【0042】

10

20

30

40

50

一方、図7(a)の説明図に示すような、700°Cにおける摩擦力像の特定のサイクル部分に縦方向の特徴的な縞模様が出現する理由は、図7(b)の説明図に模式的に示すように、固定側試験片Tsが移動側試験片Tmに対する相対移動によって摺動面Sの凝着箇所Adを繰り返して通過することで、同じストローク部分で摩擦力が連続したサイクルに亘って上昇するためであると考えられる。

【0043】

続いて、コントローラ19がレーザセンサ21からの測距信号に基づいて測定する移動側試験片Tmの摺動面Sの形状から把握できる情報について、図8及び図9を参照して説明する。

【0044】

まず、図8は、コントローラ19が測定した移動側試験片Tmの摺動面Sのあるストローク箇所のあるサイクルにおける表面形状を示す説明図である。この表面形状の画像から画像処理により抽出した凸部が、サイクルを重ねるうちに、例えば、図9(a)に示すパターンで変化した場合を想定する。

【0045】

即ち、図9(a)に示すパターンでは、当初は摺動面Sの表面形状画像を高さ方向に画像処理しても凸部が抽出されないが、あるサイクルにおいて3つの凸部A1~A3が抽出されるようになり、さらにその後のサイクルで2つの凸部A1, A2が抽出されなくなる。

【0046】

ここで、図9(a)に示すパターンで変遷した凸部の抽出画像から各凸部A1~A3のエッジを抽出し、さらに、そのエッジ抽出画像を時間微分して、直前のサイクルにおける抽出画像との差分を抽出する。

【0047】

すると、図9(b)に示すように、当初は差分が発生した画素が存在しないのが、3つの凸部A1~A3が抽出されたタイミングでそれらの凸部A1~A3のエッジ部分の画素に差分が生じ、さらに、2つの凸部A1, A2が抽出されなくなった時点で、それら凸部A1, A2のエッジ部分の画素に再び差分が生じる。

【0048】

即ち、図9(b)に示す時間微分では、凸部A1~A3の発生と消滅とを把握することができる。図9(b)では例示していないが、凸部A1~A3の形状変化も時間微分により把握することができる。そして、発生した後に消滅した凸部A1, A2は、凝着により摺動面S上に定着したのではなく、例えばアブレシブ摩耗により生じた摩耗粉であると推定することができる。

【0049】

但し、凸部A1, A2が発生した後に消滅するまでの間に、凸部A1, A2の形状に変化が確認できた場合は、凸部A1, A2はアブレシブ摩耗により生じた摩耗粉ではなく、むしろ、凝着により摺動面S上に一旦定着し、その後に摺動面S上から剥離したものと推定することができる。

【0050】

また、発生してそのまま残った凸部A3は、凝着により摺動面S上に定着したものと推定することができる。

【0051】

続いて、図9(a)に示すパターンで変遷した凸部の抽出画像から各凸部A1~A3のエッジを抽出し、さらに、そのエッジ抽出画像を空間微分して、各サイクルにおける摺動面S上の凸部A1~A3の有無を抽出する。

【0052】

すると、図9(c)に示すように、当初は凸部が存在しないのが、3つの凸部A1~A3が抽出されたタイミングでそれらの凸部A1~A3のエッジ部分が抽出され、さらに、2つの凸部A1, A2が抽出されなくなった時点で、それら凸部A1, A2のエッジが抽

10

20

30

40

50



出されなくなる。

【0053】

即ち、図9(c)に示す空間微分では、凸部A1～A3が存在するサイクルではそれらのエッジが抽出されるので、凸部A1～A3の形状変化を把握することができる。但し、凸部A1～A3のエッジは、それが凝着でも、アブレシブ摩耗等により生じた摩耗粉でも、同じように抽出される。

【0054】

そこで、図9(c)に示す空間微分を、凸部A1～A3の高さに対応するエッジ抽出画像のコントラストの変化についても行ってよい。これにより、凸部A1～A3の高さの変化をさらに把握して、その有無から凝着(成長による高さ変化あり)と摩耗粉(高さ変化なし)との区別を推定することができる。

10

【0055】

次に、上述したように構成された往復摩擦試験装置1を用いて行う本発明の一実施形態に係る摩耗状態評価方法の手順を、図10のフローチャートを参照して説明する。

【0056】

図10に示すように、本実施形態の摩耗状態評価方法では、摩擦力取得ステップ(ステップS1)、形状取得ステップ(ステップS3)及び評価ステップ(ステップS5)を順次行う。

【0057】

そして、ステップS1の摩擦力取得ステップでは、摺動面Sに摺動摩擦が繰り返し加えられる移動側試験片Tmと固定側試験片Tsとの間にかかる摩擦力を、摺動面Sの固定側試験片Tsが摺動する位置と関連付けて、摺動摩擦の繰り返し周期毎に取得する。

20

【0058】

具体的には、移動側試験片Tmが移動方向Xに一往復移動する度に、コントローラ19が、移動側試験片Tmの移動方向Xへの各移動ストロークにおける、固定側試験片Ts及び移動側試験片Tm間の摩擦力を算出する。これにより、図3に示す摩擦力像が得られる。

【0059】

また、ステップS3の形状取得ステップでは、摺動面Sに摺動摩擦が繰り返し加わる周期に同期して、摺動面Sの形状を非接触測定により繰り返し周期毎に取得する。

30

【0060】

具体的には、固定側試験片Tsによって覆われてレーザ走査光LBで走査できない、固定側試験片Tsの1つ分だけ摺動面Sよりも小さい範囲を、移動方向Xに繰り返しレーザ走査光LBで走査する。そして、コントローラ19により固定側試験片Tsの1つ分だけ摺動面Sよりも小さい範囲の形状を、移動側試験片Tmの移動方向Xへの各移動ストロークに対応付けて、摩擦力と同じサイクル分(例えば100サイクル分)取得する。これにより、図8に示す、摺動面Sよりも小さい範囲の表面形状が、各サイクルの各ストローク部分について得られる。

【0061】

さらに、ステップS5の評価ステップでは、ステップS1の摩擦力取得ステップで取得した、図3に示す固定側試験片Ts及び移動側試験片Tm間の摩擦力像と、ステップS3の形状取得ステップで取得した、図8に示す摺動面Sよりも小さい範囲の表面形状とを用いて、摺動面Sに生じた摩耗状態を評価する。

40

【0062】

具体的には、図11のフローチャートに示すように、摩耗種別特定ステップ(ステップS51)、アブレシブ摩耗評価ステップ(ステップS53)及び凝着摩耗評価ステップ(ステップS55)を行う。

【0063】

ステップS51の摩耗種別特定ステップでは、図12のフローチャートに示すように、図10のステップS3において取得した各サイクルの各ストローク部分についての摺動面

50

Sよりも小さい範囲の表面形状の画像から画像処理によりエッジを抽出し（ステップS 5 1 1）、エッジの抽出画像をさらに画像処理して、エッジを凸部単位でグループ化する処理を行う（ステップS 5 1 3）。

【0064】

そして、凸部単位にグループ化したエッジ抽出画像を時間微分して、図9（b）の説明図を参照して説明したような、凸部の発生や消滅、形状変化から凸部が凝着であるかアブレシブ摩耗等により生じた摩耗粉であるか等の種別を特定する処理を行って（ステップS 5 1 7）、ステップS 5 1の摩耗種別特定ステップを終了する。

【0065】

また、図11のステップS 5 3のアブレシブ摩耗評価ステップでは、図13のフローチャートに示すエッジ抽出面積取得処理（ステップS 5 3 1）及びアブレシブ摩耗評価処理（ステップS 5 3 3）を行う。

【0066】

ここで、アブレシブ摩耗等による摩耗粉が発生すると、摺動面S上の凸部が数及び体積において増加する。しかし、図10のステップS 3において取得した表面形状の画像からエッジ抽出される凸部の体積（例えば、図9（c）に示す空間微分をエッジ抽出画像のコントラスト変化についても行って凸部の形状及び高さの変化を把握することで計測可能）を監視しても、図14（a）のグラフに示すように、摩耗粉の発生を示唆するような特徴的な体積変動は現れない。

【0067】

一方、図12のステップS 5 1 1で抽出してステップS 5 1 3でグループ化した凸部毎のエッジで囲まれる部分の面積を監視すると、図14（b）のグラフに示すように、面積変動が無い状態から急激に面積が増加する特徴的な変化が現れる。このような凸部の面積の急激な増加は、凝着の発生や成長では起こりにくく、むしろ、アブレシブ摩耗等により新たな摩耗粉が発生したことで起こったものと推定することができる。

【0068】

そこで、図13のステップS 5 3 1のエッジ抽出面積取得処理では、図12のステップS 5 1 3でグループ化した凸部毎のエッジで囲まれる部分の面積を算出し、ステップS 5 3 3のアブレシブ摩耗評価処理では、凸部毎のエッジで囲まれる部分の面積に大きな変化が生じているか否かによって、アブレシブ摩耗による摩耗粉が発生したかどうかを評価する。そして、アブレシブ摩耗評価ステップを終了する。

【0069】

さらに、図11のステップS 5 5の凝着摩耗評価ステップでは、図15のフローチャートに示す空間微分処理（ステップS 5 5 1）及び凝着摩耗評価処理（ステップS 5 5 3）を行う。

【0070】

ここで、図10のステップS 1において取得した固定側試験片Ts及び移動側試験片Tm間の摩擦力像から抽出した摩擦力のストローク方向における変化点と変化量とをエッジ及びコントラストで表した、図16（a）のエッジ抽出画像を、サイクル方向において空間微分すると、凝着により発生した凸部の起点を推定することができる。

【0071】

そして、起点を推定した凝着により発生した凸部について、図10のステップS 1において取得した、図16（b）の固定側試験片Ts及び移動側試験片Tm間の摩擦力像を、ストローク方向において空間微分すると、図9（c）の説明図を参照して説明したように、凝着による凸部の大きさを推定することができる。

【0072】

そこで、ステップS 5 5 1の空間微分処理では、図16（a）、（b）を参照して説明したような空間微分処理を行い、ステップS 5 5 3の凝着摩耗評価処理では、ステップS 5 5 1の処理によって凝着により発生したものと特定した凸部の形状変化から、凝着の進行等について評価する。そして、凝着摩耗評価ステップを終了する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 3 】

なお、図 1 2 のステップ S 5 1 3 でグループ化した凸部毎のエッジの抽出画像をサイクル及びストロークの両方向について空間微分すると、凸部のエッジ部分の高さの傾きが分かる。

## 【 0 0 7 4 】

例えばこれを、図 1 0 のステップ S 1 において取得した固定側試験片 T s 及び移動側試験片 T m 間の摩擦力像から抽出した、対応するサイクルにおける凸部のエッジ部分の摩擦力と対応付けると、凝着による凸部を固定側試験片 T s が乗り越えるときの凸部の高さ固定側試験片 T s 及び移動側試験片 T m 間の摩擦力との相関を推定できる可能性がある。

## 【 0 0 7 5 】

そこで、このような処理を、ステップ S 5 5 1 の空間微分処理とステップ S 5 5 3 の凝着摩耗評価処理とで行うようにしてもよい。

## 【 0 0 7 6 】

以上に説明した本実施形態の摩耗状態評価方法によれば、各サイクルの摩擦力では評価できない移動側試験片 T m の幅方向 Y における摩耗状態についても、詳細に評価することができる。また、摺動面 S の摩耗状態の変化が凝着の進行によるものか摩耗粉の摺動面 S 上での転動によるものか等、摩耗状態の変化の理由を、摺動面 S の形状の変化から詳細に特定することができる。

## 【 0 0 7 7 】

特に、固定側試験片 T s 及び移動側試験片 T m 間の摩擦力像や、各サイクルの各ストローク部分についての摺動面 S よりも小さい範囲の表面形状の画像、あるいは、その表面形状画像から画像処理により抽出した凸部のエッジ抽出画像を、時間微分したり空間微分することで、凸部の種類が凝着であるか摩耗粉であるかの判別や、凝着の成長の評価等を、詳細に行うことができる。

## 【 0 0 7 8 】

次に、上述したように構成された往復摩擦試験装置 1 を用いて行う本発明の他の実施形態に係る摩耗状態評価方法の手順を、図 1 8 のフローチャートを参照して説明する。

## 【 0 0 7 9 】

なお、図 1 8 に示す本実施形態の摩耗状態評価方法では、図 1 0 のフローチャートにおける摩擦力取得ステップ（ステップ S 1）及び形状取得ステップ（ステップ S 3）を行った後、評価周期決定ステップ（ステップ S 4）を行って、その後、評価ステップ（ステップ S 5 A）を行う。

## 【 0 0 8 0 】

そして、ステップ S 4 の評価周期決定ステップでは、ステップ S 1 の摩擦力取得ステップで取得した各サイクル（周期）の摩擦力から、特定の移動ストロークにおける摩擦力の変化に注目すべき傾向が認められる複数のサイクルを、摺動面 S の摩耗状態の評価に利用する摩擦力のサイクルとして決定する。

## 【 0 0 8 1 】

図 1 9 の説明図では、左半部の枠で囲んだ移動ストローク部分が、ステップ S 3 の形状取得ステップにおいて、レーザセンサ 2 1 からのレーザ走査光 L B を用いて摺動面 S の形状を取得できる移動ストロークの範囲を示している。そこで、本実施形態では、図 1 9 の説明図における枠で囲んだ左半部の移動ストローク部分において、特定の移動ストローク部分における摩擦力の変化に、注目すべき傾向が認められるサイクルを抽出する。

## 【 0 0 8 2 】

本実施形態では、或る移動ストローク部分に摩擦力が発生して増加する傾向を示す 1 5 サイクル、5 5 サイクル及び 8 7 サイクルの摩擦力を、摺動面 S の摩耗状態の評価に利用する摩擦力のサイクルとして決定するものとする。

## 【 0 0 8 3 】

さらに、ステップ S 5 A の評価ステップでは、ステップ S 4 の評価周期決定ステップで決定した 1 5 サイクル、5 5 サイクル及び 8 7 サイクルにおいて、レーザセンサ 2 1 から

10

20

30

40

50

のレーザ走査光 L B を用いてコントローラ 19 で取得した、特定の移動ストローク部分における摺動面 S の形状の変化から、その移動ストローク部分における摩耗状態を評価する。

【0084】

図 20 は、15 サイクル、55 サイクル及び 87 サイクルにおいてそれぞれ取得した、摺動面 S のレーザ走査光 L B により走査可能な範囲の形状を示す説明図である。図 20 に示す 15 サイクル目における摺動面 S の形状には、一点鎖線で囲んだ部分に、横に拡大して示すように、凝着によるわずかな凹凸が認められる。これが、摺動摩擦の 55 サイクル目では、摩耗粉による周辺部分の損傷により凝着の範囲が広がっており、87 サイクル目では、その拡大がほぼ収束している。

10

【0085】

したがって、これらのサイクルにおいてレーザ走査光 L B により非接触測定した摺動面 S の形状を用いることで、各サイクルの摩擦力では評価できない移動側試験片 T m の幅方向 Y における摩耗状態についても、詳細に評価することができる。また、摺動面 S の摩耗状態の変化が凝着の進行によるものか摩耗粉の摺動面 S 上での転動によるものか等、摩耗状態の変化の理由を、摺動面 S の形状の変化から詳細に特定することができる。

【0086】

また、往復摺動摩擦のサイクル間での摩擦力の変化から、摺動面 S の形状の変化に注目すべきサイクルを特定することができ、また、特定したサイクルで測定された摺動面 S の形状から、摩擦力に変化が生じた原因を特定することができる。

20

【0087】

なお、以上に説明した各実施形態では、レーザセンサ 21 を支持機構 17 に固定して、固定側試験片 T s による移動側試験片 T m の摺動面 S の摺動箇所の近傍を、摺動面 S の摺動摩擦と同期してレーザセンサ 21 からのレーザ走査光 L B が走査するようにした。しかし、固定側試験片 T s による移動側試験片 T m の摺動面 S の摺動摩擦と同期させずに、レーザセンサ 21 からのレーザ走査光 L B で摺動面 S を走査するようにしてもよい。

【0088】

また、レーザセンサ 21 に代えて、光干渉法を利用した測定法やステレオカメラを利用した測定法によって、摺動面 S の形状を非接触測定するようにしてもよい。

30

【0089】

そして、本発明の摩耗状態評価方法を実行する際に、本実施形態で説明した往復摩擦試験装置 1 以外の装置を用いてもよいことは、無論のことである。例えば、本実施形態では、往復摩擦試験装置 1 が加熱測温ユニット 9, 11 を有しており、固定側試験片 T s 及び移動側試験片 T m の温度を温度センサにより測定したりヒータにより加熱できるものとした。しかし、それらを省略した往復摩擦試験装置を、本発明の摩耗状態評価方法を実行する際に用いてもよい。

【符号の説明】

【0090】

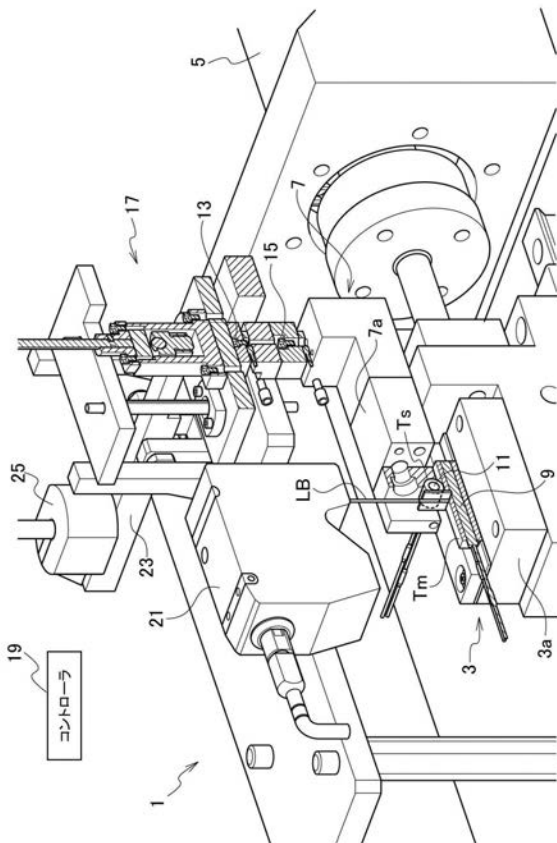
- 1 往復摩擦試験装置
- 3 移動側保持部
- 3 a, 7 a 断熱材
- 5 アクチュエータ
- 7 固定側保持部
- 9, 11 加熱測温ユニット
- 13 負荷検出用圧電センサ
- 15 せん断力検出用圧電センサ
- 17 支持機構
- 19 コントローラ
- 21 レーザセンサ
- 23 フレーム

40

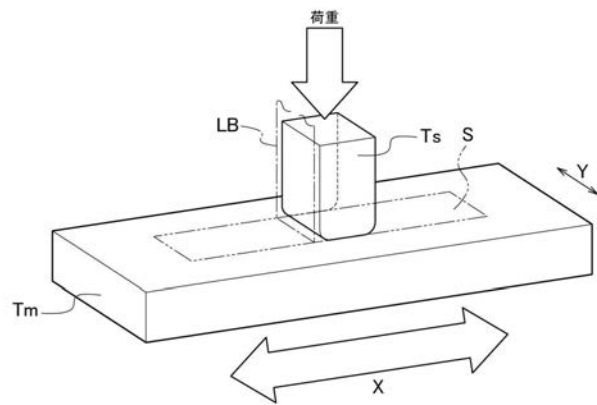
50

- 25 バランスウエイト
- LB レーザ走査光
- S 摺動面
- Tm 移動側試験片
- Ts 固定側試験片
- X 移動方向
- Y 幅方向

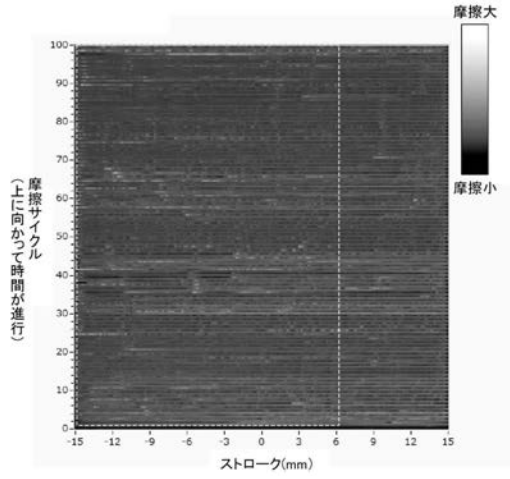
【図1】



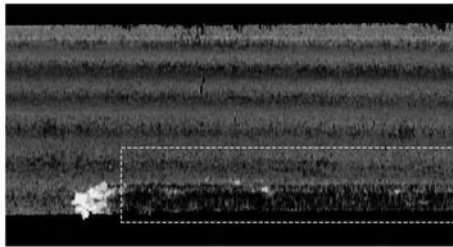
【図2】



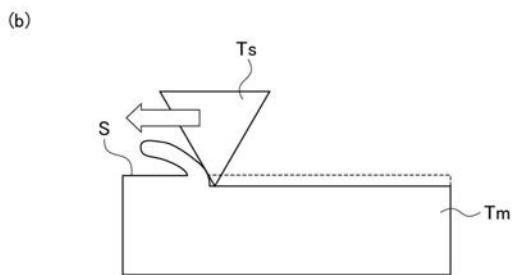
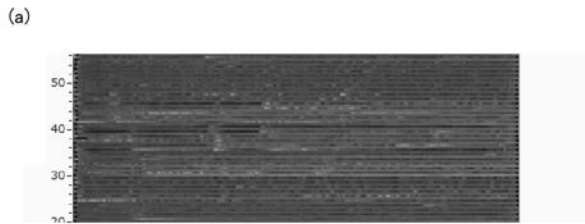
【 図 3 】



【 図 4 】

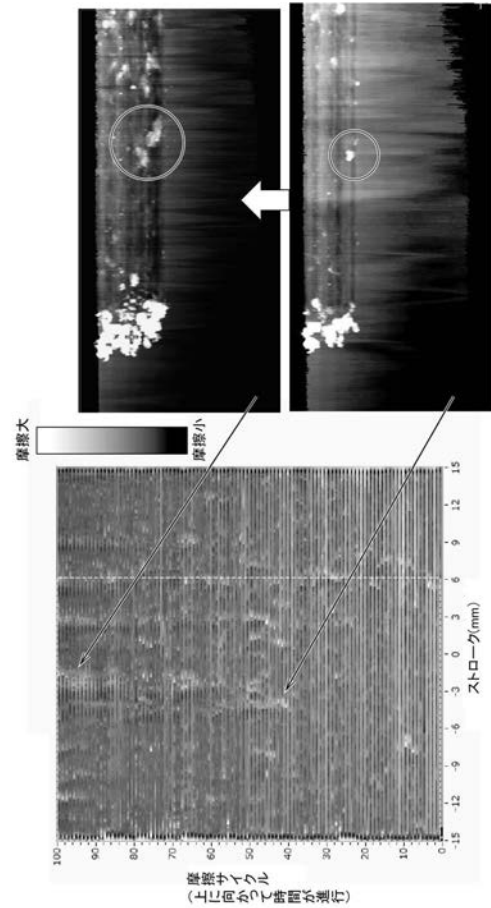


【 図 6 】

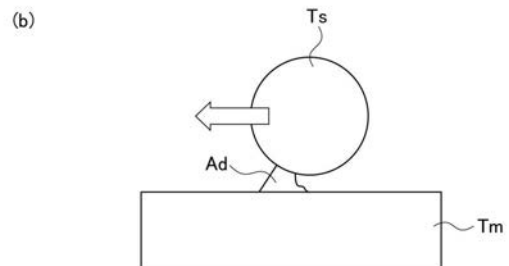
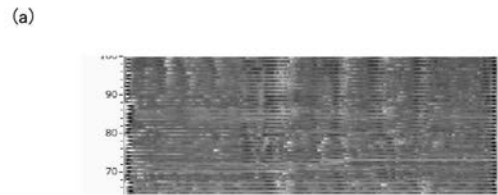


掘り起こしながら進んでいくため  
横方向に直線的なパターンが表れる  
(ストロークごとに摩擦力の強弱が発生)

【 図 5 】

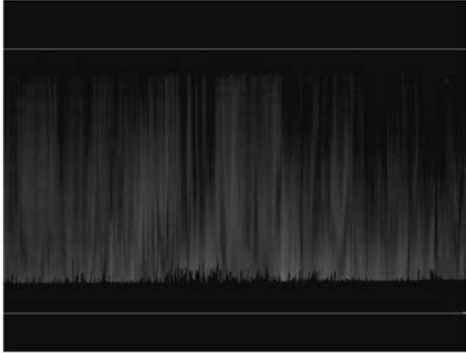


【 図 7 】

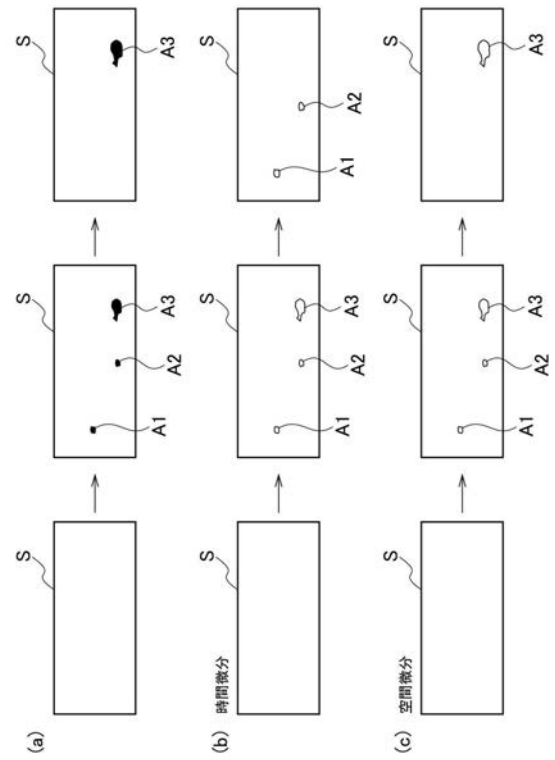


凝着箇所を通過するときだけ摩擦が  
高くなるため縦方向のパターンが表れる  
(同じ位置で常に高い摩擦力が発生)

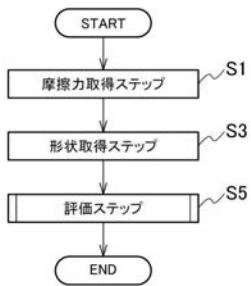
【 図 8 】



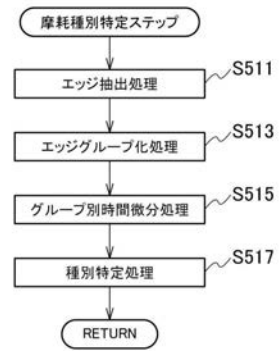
【 図 9 】



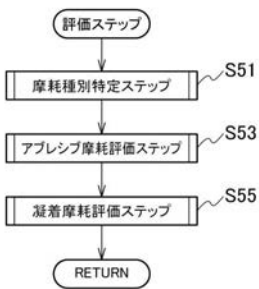
【 図 1 0 】



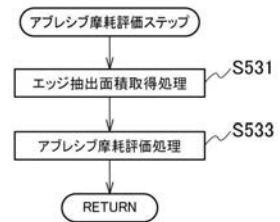
【 図 1 2 】



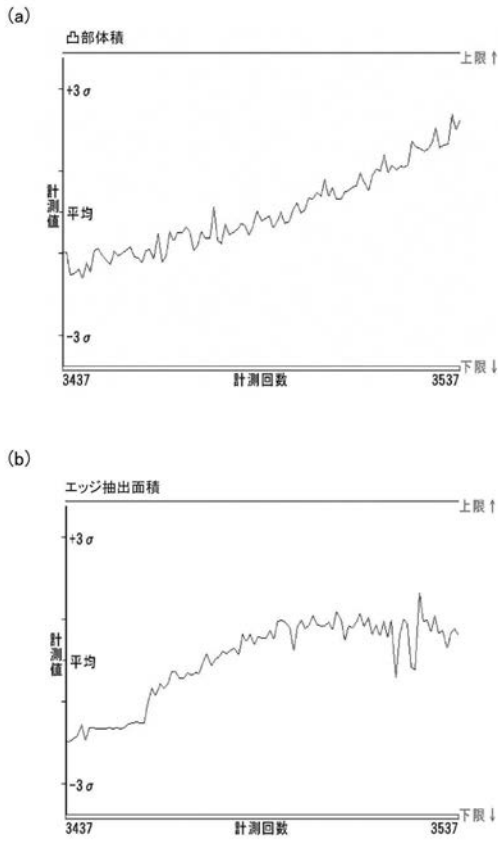
【 図 1 1 】



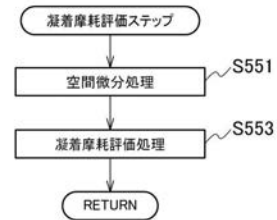
【 図 1 3 】



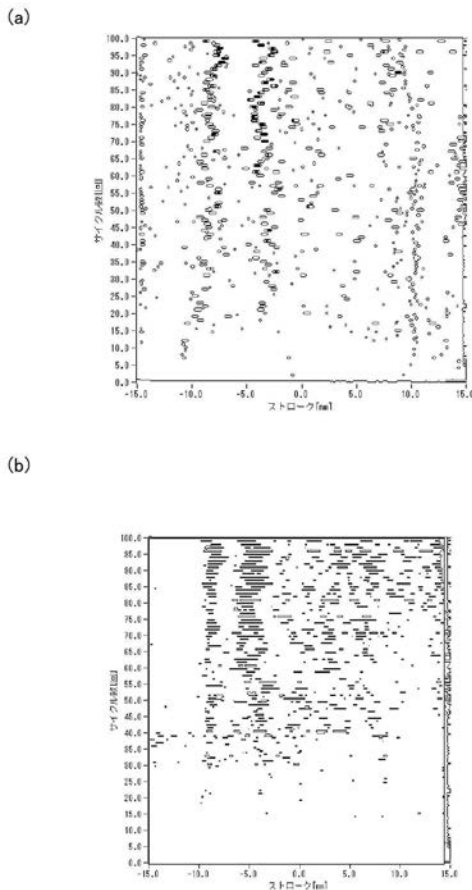
【 図 1 4 】



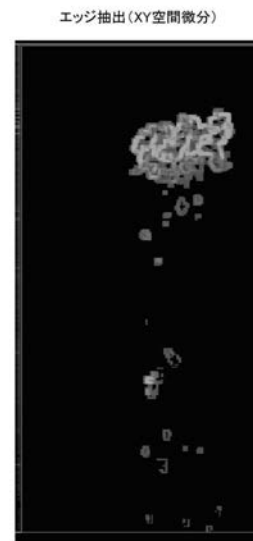
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

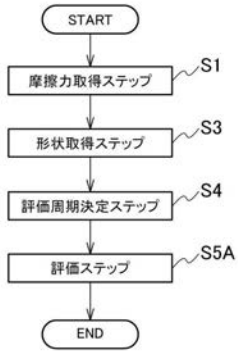


【 図 1 7 】

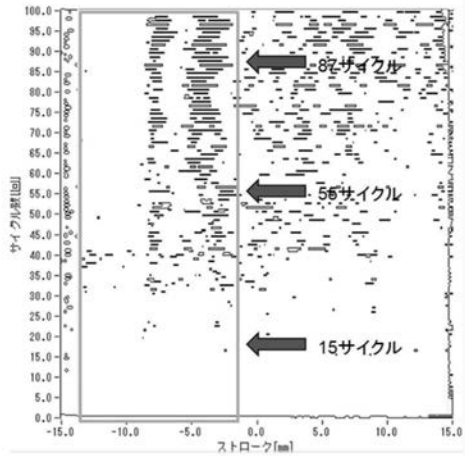




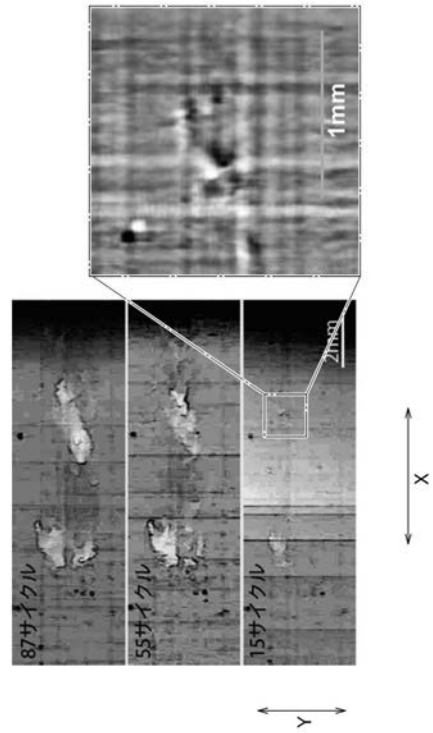
【 図 1 8 】



【 図 1 9 】



【 図 2 0 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 義久 順一  
東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会社IHI内
- (72)発明者 尾形 秀樹  
東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会社IHI内