

(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2011-163811
(P2011-163811A)

(43) 公開日 平成23年8月25日(2011.8.25)

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

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2010-24353 (P2010-24353)
 (22) 出願日 平成22年2月5日 (2010.2.5)
 特許法第30条第1項適用申請有り 発行所 日本大学
 工学部工学研究所 刊行物名 平成21年度 第52回
 日本大学工学部 学術研究報告会 講演要旨集 機械工
 学部会 発行年月日 平成21年12月5日

(71) 出願人 899000057
 学校法人日本大学
 東京都千代田区九段南四丁目8番24号
 (74) 代理人 100075258
 弁理士 吉田 研二
 (74) 代理人 100096976
 弁理士 石田 純
 (72) 発明者 横田 理
 東京都千代田区九段南四丁目8番24号
 学校法人 日本大学内

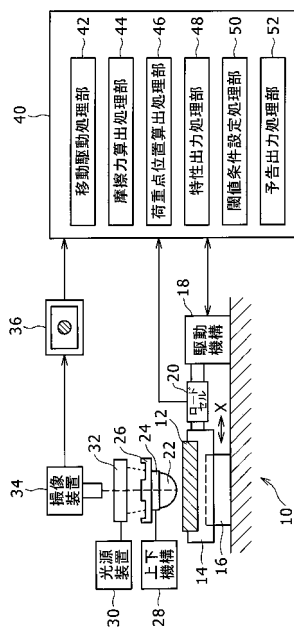
(54) 【発明の名称】 固着すべり状態評価システム及び固着すべり状態可視化システム

(57) 【要約】

【課題】 物体同士が接触し相対的に移動する際に、固着からすべりにどのように推移するかを評価できるようにすることである。

【解決手段】 固着すべり状態評価システム10は、対象物12を保持する保持テーブル14と、保持テーブル14を移動駆動する駆動機構18と、駆動力を検出するロードセル20と、対象物12に接触する半球状弾性体の透明レンズ22と、透明レンズ22に負荷荷重を印加する重り26と、対象物12と透明レンズ22との間の接触状態を撮像する撮像装置34と、解析装置40とを含んで構成される。解析装置40は、撮像装置34の撮像データに基づいて透明レンズ22の荷重点位置を算出する荷重点位置算出処理部46と、荷重点位置が予め定めた閾値条件に達したときにすべり予告信号を出力する予告出力処理部52とを含んで構成される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

対象物に接触する接触側が球面形状を有し、接触側と反対側が平坦面である半球状弾性体の透明レンズと、

対象物を保持し、予め定められた案内方向に移動可能な保持テーブルと、

透明レンズに予め定めた負荷荷重を印加して対象物に接触させた状態で、保持テーブルを移動駆動する駆動機構と、

透明レンズの平坦面の側から照明光を供給しながら、半球状の内面で反射する反射光を用い、負荷荷重が印加された透明レンズを対象物に接触させた状態における透明レンズの接触変形状態を撮像して取得する撮像装置と、

撮像装置によって取得された接触変形状態のデータから、透明レンズの負荷荷重が対象物に印加される重心位置である荷重点位置を算出する荷重点位置算出処理部と、

保持テーブルの移動位置に対応付けて、荷重点位置の変化特性を出力する特性出力処理部と、

荷重点位置が予め定めた閾値条件に達したときに、固着状態からすべり状態に移行するものとしてすべり予告信号を出力する予告出力処理部と、

を備えることを特徴とする固着すべり状態評価システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の固着すべり状態評価システムにおいて、

負荷荷重が印加された透明レンズを対象物に接触させた状態で保持テーブルを移動したときの保持テーブルの案内方向の駆動力を、透明レンズと対象物との間の摩擦力として算出する摩擦力算出処理部を備え、

特性出力処理部は、荷重点位置の変化特性と共に摩擦力の変化特性とを出力し、

予告出力処理部は、

特性出力処理部から出力される荷重点位置の変化特性と摩擦力の変化特性との比較から、固着状態からすべり状態に移行するタイミングを評価して閾値条件を設定することを特徴とする固着すべり評価システム。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の固着すべり状態評価システムにおいて、

予告出力処理部は、

透明レンズの硬さに応じて閾値条件を設定することを特徴とする固着すべり状態評価システム。

【請求項 4】

対象物に接触する接触側が球面形状を有し、接触側と反対側が平坦面である半球状弾性体の透明レンズと、

対象物を保持し、予め定められた案内方向に移動可能な保持テーブルと、

透明レンズに予め定めた負荷荷重を印加して対象物に接触させた状態で、保持テーブルを移動駆動する駆動機構と、

透明レンズの平坦面の側から照明光を供給しながら、半球状の内面で反射する反射光を用い、照明光を負荷荷重が印加された透明レンズを対象物に接触させた状態における透明レンズの接触変形状態を撮像して取得する撮像装置と、

駆動機構によって保持テーブルを移動させながら、撮像装置が撮像したデータを画像化処理して表示する表示装置と、

を備えることを特徴とする固着すべり状態可視化システム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、固着すべり状態評価システム及び固着すべり状態可視化システムに係り、特に、物体同士が接触し相対的に移動する際の固着すべり状態であるスティックスリップ状態を評価するシステム及びスティックスリップ状態を可視化することができる固着すべり

10

20

30

40

50

状態可視化システムに関する。

【背景技術】

【0002】

物体同士が接触し相対的に移動する際の状態は、移動力が小さい間は物体同士が固着しているスティック状態であり、移動力が大きくなると物体同士が相対的にすべり始めるスリップ状態となることが知られている。このようなスティックスリップ状態は、例えば、プリンタのクリーニングブレードと感光体との間の接触状態、磁気ヘッドと媒体との間の接触状態、車両のワイパとガラスとの間の接触状態等に見られ、それぞれ駆動装置の設計にとって重要な要素となっている。

【0003】

例えば、特許文献1には、スティックスリップの試験方法として、エラストマーの試験片と相手材とを所定荷重で接触させて相対的に回転させ、回転を始めようとする際の最大静止摩擦力と、回転が始まって摩擦力が一定に落ち着いた際の動摩擦力を比較してスティックスリップのしやすさを評価することが述べられている。

【0004】

また、非特許文献1には、球面を持つ弾性体と剛体平板の接触状態の解析装置として、弾性体として株式会社エクシールコーポレーション製の「人肌のゲル」の硬度15を使用し、剛体平板として透明なアクリルを用い、弾性体上部からLEDを照射し、接触面は45°に設置された鏡に反射されて下部のカメラによって画像を取得し、接触面に働く力を6軸力センサで計測し、物体の滑り状態の指標を、 $\mu = f_x / \mu f_y$ として求める構成が述べられている。ここで、 f_x は、物体にかかる接線方向の力、 f_y は物体にかかる垂直方向の力、 μ は摩擦係数である。

【0005】

物体のすべり状態の指標とはこの文献で定義されるもので、すべり余裕 w を計算するために用いられている。すべり余裕 w とは、 $w = 1$ において完全固着状態、 $w = 0$ において完全滑り状態として、 $w = 1 - \mu$ とするものである。ここでは、接触面の変形が微小の場合は、画像情報から計算される接触面の偏心率が微小変位量と近似的に比例関係にあることを利用し、偏心率と負荷力と接触面半径とを用いて μ を近似的に計算することが述べられている。上記解析装置を用いた実験によれば、弾性体に印加される重りを増加すると、 μ が増加し、 w が小さくなって滑りが抑制され固着状態に近くなると述べられている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2005-17064号公報

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】池田，小笠原他，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集，No. 04-4，2004年6月18日から20日，1A1-H-35(1) - (2)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

従来技術においては、スティックスリップのしやすさ、固着あるいはすべりに対する負荷荷重の影響が述べられている。例えば、ロボットハンド等で対象物を最小の把持力で把持したいときに、固着からすべりにどのように推移するかを知りたいことがある。

【0009】

本発明の目的は、固着からすべりにどのように推移するかを評価できる固着すべり状態評価システムを提供することである。他の目的は、スティックスリップ状態を可視化することができる固着すべり状態可視化システムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

10

20

30

40

50

【0010】

本発明に係る固着すべり状態評価システムは、対象物に接触する接触側が球面形状を有し、接触側と反対側が平坦面である半球状弾性体の透明レンズと、対象物を保持し、予め定められた案内方向に移動可能な保持テーブルと、透明レンズに予め定めた負荷荷重を印加して対象物に接触させた状態で、保持テーブルを移動駆動する駆動機構と、透明レンズの平坦面の側から照明光を供給しながら、半球状の内面で反射する反射光を用い、負荷荷重が印加された透明レンズを対象物に接触させた状態における透明レンズの接触変形状態を撮像して取得する撮像装置と、撮像装置によって取得された接触変形状態のデータから、透明レンズの負荷荷重が対象物に印加される重心位置である荷重点位置を算出する荷重点位置算出処理部と、保持テーブルの移動位置に対応付けて、荷重点位置の変化特性を出力する特性出力処理部と、荷重点位置が予め定めた閾値条件に達したときに、固着状態からすべり状態に移行するものとしてすべり予告信号を出力する予告出力処理部と、を備えることを特徴とする。

10

【0011】

また、本発明に係る固着すべり状態評価システムにおいて、負荷荷重が印加された透明レンズを対象物に接触させた状態で保持テーブルを移動したときの保持テーブルの案内方向の駆動力を、透明レンズと対象物との間の摩擦力として算出する摩擦力算出処理部を備え、特性出力処理部は、荷重点位置の変化特性と共に摩擦力の変化特性とを出力し、予告出力処理部は、特性出力処理部から出力される荷重点位置の変化特性と摩擦力の変化特性との比較から、固着状態からすべり状態に移行するタイミングを評価して閾値条件を設定することが好ましい。

20

【0012】

また、本発明に係る固着すべり状態評価システムにおいて、予告出力処理部は、透明レンズの硬さに応じて閾値条件を設定することが好ましい。

【0013】

また、本発明に係る固着すべり状態可視化システムは、対象物に接触する接触側が球面形状を有し、接触側と反対側が平坦面である半球状弾性体の透明レンズと、対象物を保持し、予め定められた案内方向に移動可能な保持テーブルと、透明レンズに予め定めた負荷荷重を印加して対象物に接触させた状態で、保持テーブルを移動駆動する駆動機構と、透明レンズの平坦面の側から照明光を供給しながら、半球状の内面で反射する反射光を用い、照明光を負荷荷重が印加された透明レンズを対象物に接触させた状態における透明レンズの接触変形状態を撮像して取得する撮像装置と、駆動機構によって保持テーブルを移動させながら、撮像装置が撮像したデータを画像化処理して表示する表示装置と、を備えることを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0014】

上記構成の少なくとも1つにより、固着すべり状態評価システムは、半球状弾性体の透明レンズに予め定めた負荷荷重を印加して対象物に接触させ、透明レンズの平坦面の側から照明光を供給しながら、保持テーブルを移動駆動し、透明レンズの接触変形状態を撮像し、その接触変形状態のデータから、透明レンズの負荷荷重が対象物に印加される重心位置である荷重点位置を算出する。そして、荷重点位置が予め定めた閾値条件に達したときに、固着状態からすべり状態に移行するものとしてすべり予告信号を出力する。

40

【0015】

弾性体の透明レンズと対象物が固着状態にあるときは、対象物が移動駆動されるに応じて透明レンズは対象物に固着しながら移動方向の弾性変形が増加する。さらに移動駆動が進むと、透明レンズと対象物の間にすべりが生じる。このことから、透明レンズの弾性変形がある程度の大きさになると、対象物との間のすべりが始まると考えられる。したがって、透明レンズの弾性変形の大きさを荷重点位置の変化で検出し、荷重点位置が予め定めた閾値条件に達したら、すべりが始まるものとして予告信号を出すことができる。このようにして、固着からすべりにどのように推移するかを評価できる。

50

【0016】

また、固着すべり状態評価システムにおいて、透明レンズと対象物との間の摩擦力の变化特性と、荷重点位置の変化特性との比較から、固着状態からすべり状態に移行するタイミングを評価して閾値条件を設定する。すべり状態に移行するときは、摩擦力が発生するので、摩擦力発生タイミングを参考にして、荷重点位置に関する閾値条件を定めれば、より正確に、固着からすべりにどのように推移するかを評価できる。

【0017】

また、固着すべり状態評価システムにおいて、予告出力処理部は、透明レンズの硬さに応じて閾値条件を設定する。透明レンズの硬さは透明レンズの弾性変形のしやすさに関連するので、固着からすべりに推移する閾値条件に関係がある。したがって、透明レンズの硬さに応じて閾値条件を定めることができ、これによって、透明レンズの硬さに関して、固着からすべりにどのように推移するかを評価できる。

10

【0018】

また、上記構成の少なくとも1つにより、固着すべり状態可視化システムは、半球状弾性体の透明レンズに予め定めた負荷荷重を印加して対象物に接触させ、透明レンズの平坦面の側から照明光を供給しながら、半球状の内面で反射する反射光を用い、保持テーブルを移動駆動し、透明レンズの接触変形状態を撮像し、その撮像データを画像化処理して表示する。これにより、スティックスリップ状態をリアルタイムで表示することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明に係る実施の形態における固着すべり状態評価システムの構成を説明する図である。

20

【図2】本発明に係る実施の形態において、透明レンズと対象物との間の固着とすべりのときについて、透明レンズの変形の様子を説明する図である。

【図3】本発明に係る実施の形態において、荷重点位置の変化と摩擦係数の変化との関係の一例目を示す図である。

【図4】図3の例において、透明レンズの変形の様子を示す図である。

【図5】本発明に係る実施の形態において、荷重点位置の変化と摩擦係数の変化との関係の二例目を示す図である。

30

【図6】図5の例において、透明レンズの変形の様子を示す図である。

【図7】図3、図5の結果について、接線方向係数の様子説明する図である。

【図8】本発明に係る実施の形態において、荷重点位置の変化と摩擦係数の変化との関係の三例目を示す図である。

【図9】本発明に係る実施の形態において、荷重点位置の変化と摩擦係数の変化との関係の四例目を示す図である。

【図10】本発明に係る実施の形態において、透明レンズと対象物との間の接触面積について、固着領域面積とすべり領域面積とを説明する図である。

【図11】本発明に係る実施の形態において、透明レンズと対象物との間の接触面積について、固着領域面積とすべり領域面積とを求めた結果をまとめて示す図である。

【図12】本発明に係る実施の形態の固着すべり可視化システムにおいて、スティックスリップ現象が可視化できる原理を説明するための模式図の1つで、初期状態を示す図である。

40

【図13】図12の場合に、さらに対象物が移動するときに摩擦力による水平方向の偶力が働く様子説明する図である。

【図14】図13の場合に、摩擦力の反力が生じる結果として、垂直方向の偶力も働き、弾性体の内部で応力分布の違いが出てくる様子説明する図である。

【図15】図14の場合に、摩擦力、その反力が大きくなると、弾性体の内部における応力の分布の違いが大きくなり、弾性体の変形する様子説明する図である。

【図16】図15の場合からさらに摩擦力、その反力が大きくなり、弾性体の変形も大きくなり、すべりが開始する様子説明する図である。

50

【発明を実施するための形態】**【0020】**

以下に図面を用いて本発明に係る実施の形態につき、詳細に説明する。以下では、半球状弾性体の透明レンズとして、2種類の硬さの材料のものを説明するが、これは、人の指先のような生体組織に近いものと、ロボットハンドのような金属に近いものとを代表させる観点から選んだものであって、勿論、これ以外の硬さの材料を用いるものとする。

【0021】

また、以下で説明する寸法、形状、材質、荷重等は説明のための例示であって、固着すべり状態評価の状況に応じて、適宜変更が可能である。

【0022】

以下では、全ての図面において同様の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。また、本文中の説明においては、必要に応じそれ以前に述べた符号を用いるものとする。

【0023】

図1は、固着すべり状態評価システム10の構成を説明する図である。固着すべり状態評価システム10は、物体同士が接触し相対的に移動する際に、固着からすべりにどのように推移するかを評価できる機能を有する評価システムである。ここでは、特に、すべりが始まることを予告する予告信号を出力する機能を有する。

【0024】

固着すべり状態評価システム10は、やわらかい指先で対象物を把持するロボットハンド等のモデルを想定して、対象物を硬い固体とし、柔らかい指先の弾性変化を可視化して観察できるように、弾性体の半球状の透明レンズとした評価システムである。この評価システムでは、この透明レンズと弾性体との間に把持力に対応する負荷荷重を印加し、透明レンズに対し弾性体を移動させ、そのときの透明レンズの弾性変形を観察し、透明レンズと対象物との間の接触について、固着からすべりへどのように推移するかを評価する。

【0025】

図1に示されるように、固着すべり状態評価システム10は、対象物12を保持する保持テーブル14と、保持テーブル14を案内16に沿って移動駆動する駆動機構18と、保持テーブル14と駆動機構18との間に設けられ駆動力を検出するロードセル20と、対象物12に接触する半球状弾性体の透明レンズ22と、透明レンズ22を保持するレンズ台24と、レンズ台24を介して透明レンズ22に負荷荷重を印加する重り26と、レンズ台24を上下する上下機構28と、光源装置30によって駆動される照明装置32と、対象物12と透明レンズ22との間の接触状態を撮像する撮像装置34と、撮像状態を表示する表示装置36と、駆動機構18とロードセル20と表示装置36に接続される解析装置40とを含んで構成される。

【0026】

対象物12は、平板状の試験片で、ここでは、透明レンズ22を通る観察用の光を反射も透過もしない材料の平板が選ばれている。具体的には、平坦な表面を有するポリアセタール平板、平坦な表面を有するベークライト紙製の平板が用いられる。これらは、黒色あるいは暗褐色の材料色を有し、表面で乱反射することなく、透明レンズ22を通る観察用の光を吸収する。

【0027】

保持テーブル14は、対象物12を保持し、駆動機構18によって直線状に移動駆動されることが可能な移動テーブルである。対象物12の保持には、機械的なクランプ機構を用いることができる。あるいは、十分な吸着力を発揮できれば、真空吸着を用いてもよい。

【0028】

案内16は、保持テーブル14の移動について、直線状に案内する機能を有する案内機構である。案内機構は、保持テーブル14と協働してその機能が発揮できるもので、例えば、ガイドレールと案内溝の組み合わせ機構を用いて、案内溝を保持テーブル14に設

10

20

30

40

50

け、この案内溝に対応するガイドレールを案内部 1 6 とすることができる。勿論、ガイドレールを保持テーブル 1 4 に取り付け、これに対応する案内溝を有する部材を案内部 1 6 としてもよい。

【 0 0 2 9 】

駆動機構 1 8 は、上記のように、保持テーブル 1 4 を案内部 1 6 に沿って直線状に移動駆動するアクチュエータである。図 1 では、移動駆動される方向を X 方向として示されている。保持テーブル 1 4 の移動駆動は、予め定めた一定速度で行うことが好ましい。ここでは、気体圧アクチュエータを用い、高圧の気体圧が供給されるときは、保持テーブル 1 4 を一定速度で、直線状に移動させ、供給される気体を大気へ開放することで保持テーブル 1 4 の移動を停止するものを用いることができる。気体圧アクチュエータの他に、一定速度で回転可能な小型モータと回転・直進変換機構との組み合わせ、一定速度で進退可能なプランジャ等を用いることができる。

10

【 0 0 3 0 】

駆動機構 1 8 は解析装置 4 0 に接続され、解析装置 4 0 の制御の下で、保持テーブル 1 4 の送り条件が設定され、また、実際の送り状態データが解析装置 4 0 に伝送される。なお、以下では、固着すべり状態評価の標準条件として、保持テーブル 1 4 の送り速度を 5 mm / s、送り距離を 4 5 mm とした。

【 0 0 3 1 】

すなわち、固着すべり状態の評価を行うときは、解析装置 4 0 は、この標準条件で駆動機構 1 8 に駆動指示を与える。そして、この標準条件で保持テーブル 1 4 が移動するものとして、適当なサンプリング間隔で、ロードセル 2 0 の検出データと、撮像装置 3 4 の撮像データが取得され、これらのデータに基づいて、固着すべり状態の時系列変化が解析される。

20

【 0 0 3 2 】

ロードセル 2 0 は、保持テーブル 1 4 を駆動機構 1 8 によって移動駆動したときに、保持テーブル 1 4 に与える駆動力である推力を検出する推力検出手段である。例えば、透明レンズ 2 2 と対象物 1 2 とが相対的にすべる状態においては、ロードセル 2 0 が検出する推力は、透明レンズ 2 2 と対象物 1 2 との間の摩擦力となる。これに対し、透明レンズ 2 2 と対象物 1 2 とが固着している状態のときは、摩擦力は発生していないので、ロードセル 2 0 は保持テーブル 1 4 に対する推力としては何も検出しないことになる。その意味で、ロードセル 2 0 は、透明レンズ 2 2 と対象物 1 2 との間の摩擦力検出手段である。

30

【 0 0 3 3 】

ロードセル 2 0 の検出した摩擦力のデータは、適当な信号線を介して解析装置 4 0 に電送され、摩擦力の算出に利用される。

【 0 0 3 4 】

透明レンズ 2 2 は、上記のように、やわらかい指先をモデル化した弾性体で、その弾性変形を可視化するために、透明材料で構成される部材である。また、透明レンズ 2 2 は、接触面の状態を上面から光学的に観察できるように、対象物に接触する接触側が球面形状を有し、接触側と反対側が平坦面である半球状のレンズ形状を有する。

40

【 0 0 3 5 】

ここでは、透明レンズ 2 2 は、重力方向を上下方向として、対象物 1 2 の上方に透明レンズ 2 2 を配置するものとするので、半球状形状が下向きに凸となるように配置される。このように配置するとき、透明レンズ 2 2 の上面側の平坦面から光を下方の半球状部分に供給すると供給された光が半球状の内面側で全反射され、再び上面側の平坦面に向かって戻される。そこで、この戻された光を透明レンズ 2 2 の上方側に配置される撮像装置 3 4 で検出することで、半球状部分の形状を観察することができる。このようにして、透明レンズ 2 2 の半球状の部分の弾性変形の様子を撮像装置 3 4 で観察することができる。かかる透明レンズ 2 2 としては、透明シリコンゴムを所定の形状に成形したものをを用いることができる。

【 0 0 3 6 】

50

具体的には、透明レンズ 2 2 として、2 種類のもが選ばれている。1 つは、人間の指先の柔軟性をモデル化した柔らかい硬度を有するもので、もう 1 つは、金属製のロボットハンドをモデル化した硬質の硬度を有するものである。ここでは、信越化学社製の製品名 KE - 1 0 9 と KE - 1 0 6 とを用いた。KE - 1 0 9 のデュロ硬度は 2 5、ヤング率は 0 . 9 6 M P a で、KE - 1 0 6 のデュロ硬度は 5 6、ヤング率は 3 . 2 3 M P a である。KE - 1 0 9 が柔らかい硬度のモデルに対応し、KE - 1 0 6 が硬質の硬度のモデルに対応する。なお、透明レンズ 2 2 の半球部分の半径は 3 0 m m とした。

【 0 0 3 7 】

レンズ台 2 4 は、透明レンズ 2 2 を保持する部材で、上下機構 2 8 に接続し、透明レンズ 2 2 を対象物 1 2 に対し接触あるいは離間させるための上下部材の機能を有する。また、レンズ台 2 4 は、透明レンズ 2 2 が対象物 1 2 に対し、負荷荷重を印加させるための重り搭載台としての機能も有する。かかるレンズ台 2 4 は、透明レンズ 2 2 の平坦部分の外周に取り付けられる円環状の部材とすることができる。あるいは透明な材質で構成される円板を用い、これを透明レンズ 2 2 の平坦部分と一体化するものとしてもよい。

10

【 0 0 3 8 】

重り 2 6 は、レンズ台 2 4 の上に配置されて、その質量によって、透明レンズ 2 2 の重力方向の荷重として、対象物 1 2 に対する透明レンズの負荷荷重とするものである。例えば、1 k g の質量の板材を重り 2 6 としてレンズ台 2 4 の上に搭載配置することで、透明レンズ 2 2 が対象物 1 2 に接触したときに 9 . 8 N の負荷荷重を印加させることができる。以下では、標準の負荷荷重として 4 . 2 5 N を用いることとした。

20

【 0 0 3 9 】

上下機構 2 8 は、レンズ台 2 4 を上下する機構である。ここでは、レンズ台を下降したときに、透明レンズ 2 2 が対象物 1 2 に接触した以後は、重り 2 6 が負荷荷重として対象物 1 2 に印加されるように、自由下降する機構を用いた。したがって、上下機構 2 8 は、透明レンズ 2 2 を接触状態まで下降させ、それ以降は、透明レンズ 2 2 を X 方向への移動は規制しながらも上下方向には自由に移動可能として支持する機構である。

【 0 0 4 0 】

光源装置 3 0 は、照明装置 3 2 を駆動する駆動回路とその駆動回路に電力を供給する電源回路を含む照明駆動装置である。

【 0 0 4 1 】

照明装置 3 2 は、透明レンズ 2 2 の上面側の平坦面から下方の半球状部分に向かって光を供給する光落射装置である。照明装置 3 2 としては、円環状に配置された発光素子を用いることができる。

30

【 0 0 4 2 】

撮像装置 3 4 は、照明装置 3 2 によって透明レンズ 2 2 の上面側の平坦面から下方の半球状部分に供給された光が、半球状の内面側で全反射されて再び上面側の平坦面に向かって戻されるものを撮像する機能を有する撮像カメラである。かかる撮像装置 3 4 としては、適当な分解能を有する CCD カメラを用いることができる。

【 0 0 4 3 】

表示装置 3 6 は、撮像装置 3 4 に接続されて、撮像装置 3 4 によって撮像されたデータの信号を画像化処理して表示するディスプレイである。表示装置 3 6 に伝送された撮像データは、同時に適当な信号線を介して解析装置 4 0 に伝送され、透明レンズ 2 2 の弾性変形の様子を解析のために提供される。

40

【 0 0 4 4 】

解析装置 4 0 は、透明レンズ 2 2 と対象物 1 2 が接触し相対的に移動する際に、撮像装置 3 4 の撮像データと、ロードセル 2 0 の検出データと、駆動機構 1 8 の移動駆動状態とに基づいて、透明レンズ 2 2 と対象物 1 2 との間の固着すべり状態であるスティックスリップ状態を解析し評価する装置である。かかる解析装置 4 0 としては、適当なコンピュータを用いることができる。

【 0 0 4 5 】

50

解析装置 40 は、駆動機構 18 を移動駆動させる移動駆動処理部 42 と、ロードセル 20 の検出データに基づいて摩擦力を算出する摩擦力算出処理部 44 と、撮像装置 34 の撮像データに基づいて透明レンズ 22 の負荷荷重が対象物 12 に印加される重心位置である荷重点位置を算出する荷重点位置算出処理部 46 と、保持テーブル 14 の移動位置に対応付けて、摩擦力の変化特性と荷重点位置の変化特性を出力する特性出力処理部 48 と、摩擦力の変化特性と荷重点位置の変化特性等に基づいて荷重点位置の変化においてすべり状態が開始する閾値条件を設定する閾値条件設定処理部 50 と、荷重点位置が予め定めた閾値条件に達したときに、固着状態からすべり状態に移行するものとしてすべり予告信号を出力する予告出力処理部 52 とを含んで構成される。

【0046】

これらの機能は、ソフトウェアを実行することで実現でき、具体的には、コンピュータである解析装置 40 に固着すべり解析プログラムを実行させることで実現できる。

【0047】

図 2 は、透明レンズ 22 と対象物 12 との間の接触状態における固着とすべりのときについて、透明レンズ 22 の変形の様子を説明する模式図である。ここでは、図 2 の左側から右側に向かって、接触が開始する初期状態、固着状態、すべり状態とがそれぞれ示されている。なお、これらの各状態について、透明レンズ 22 と対象物 12 の接触状態を側面から見た図と、透明レンズ 22 を上面から撮像装置 34 によって撮像される図とが示されている。

【0048】

初期状態とは、上下機構 28 の作用によって、透明レンズ 22 が上方から下方に向かって下降し、ちょうど対象物 12 に接触した状態である。このとき、透明レンズ 22 から対象物 12 に対し、垂直方向の負荷荷重 W が印加されるが、駆動機構 18 はまだ動作していない。

【0049】

図 1 で説明したように、保持テーブル 14 の移動方向を X 方向として、保持テーブル 14 に保持される対象物 12 の上面平面を XY 平面とすると、撮像装置 34 によって検出される透明レンズ 22 の上方からの様子は、 XY 平面上で半径 a の円形である。実際には、透明レンズ 22 の弾性によって、負荷荷重 W の大きさに対応して透明レンズ 22 の対象物 12 に接触する部分は平坦化されることになるが、図 2 ではその様子の図示が省略されている。いずれにせよ、初期状態では、透明レンズ 22 において負荷荷重 W がかけられる位置である荷重点位置は、半径 a の円形の中心位置と考えることができる。

【0050】

固着状態とは、初期状態から駆動機構 18 が作動を開始して、保持テーブル 14 を $+X$ 方向に移動駆動したときに、対象物 12 に透明レンズ 22 が固着したまま、弾性変形する状態である。図 2 では、この移動量を X_1 として示してある。このとき、透明レンズ 22 は、対象物 12 が $+X$ 方向に X_1 だけ移動するのに引きづられ、接触部分が初期状態に比べて $+X$ 方向に X_1 だけ移動するように弾性変形する。すなわち、透明レンズ 22 は、撮像装置 34 で撮像される XY 平面で見ると、 $+X$ 方向に前倒しされたような形状に弾性変形する。

【0051】

この XY 平面上での形状は、 X 軸について対称形で、 Y 軸に対しては $+X$ 方向に伸び、 $-X$ 方向に縮んだ非対称形である。したがって、この非対称図形の重心位置は、初期状態の半径 a 円形の重心位置よりも $+X$ 方向に移動していることになる。ここで、透明レンズ 22 に印加される負荷荷重 W は透明レンズ 22 の XY 平面上の重心位置にかけられるものと考え、この重心位置が固着状態における荷重点位置となる。すなわち、固着状態では、対象物 12 が $+X$ 方向に移動すると、透明レンズ 22 もこれに引きづられ、その荷重点位置が $+X$ 方向に移動する。

【0052】

図 2 では、荷重点位置の変化量を L として示されている。そして、移動した荷重点位

10

20

30

40

50

置から + X 方向に沿った透明レンズ 2 2 の前方側の寸法は、初期状態の半径 a よりも短くなるが、図 2 ではこれを b として示されている。すなわち $b < a$ である。

【 0 0 5 3 】

すべり状態とは、固着状態からさらに対象物 1 2 を + X 方向に移動させたときに、透明レンズ 2 2 に対し対象物 1 2 が相対的に移動する状態のことである。図 2 では、対象物 1 2 の移動量が $X_1 + X_2$ のときにすべりが生じている様子が示されている。

【 0 0 5 4 】

このとき、対象物 1 2 を移動させるには、負荷荷重 W に摩擦係数 μ を乗じた摩擦力 $F = \mu W$ が必要である。したがって、すべり状態では、ロードセル 2 0 において、摩擦力 $F = \mu W$ が検出される。透明レンズ 2 2 は、レンズ台 2 4 によって X 方向への移動は規制されているので、固着状態で説明したような荷重点位置が L だけ変化した弾性変形の状態で、対象物 1 2 の表面を滑っている状態となる。

10

【 0 0 5 5 】

このように、透明レンズ 2 2 と対象物 1 2 において、負荷荷重 W が透明レンズ 2 2 から対象物 1 2 に印加された状態で、対象物 1 2 が透明レンズ 2 2 に対し相対的に移動させようとする、最初は、対象物 1 2 の移動に透明レンズ 2 2 が弾性変形しながら追従する固着状態となり、さらに移動が進むと、透明レンズ 2 2 に対し対象物 1 2 が相対的に移動し、そのときに摩擦力 $F = \mu W$ が発生することになる。ここで、透明レンズ 2 2 の弾性変形の程度は、荷重点位置の変化で観察することができ、摩擦力の程度は、摩擦係数 μ の変化で観察することができる。

20

【 0 0 5 6 】

以下に、荷重点位置の変化の特性と、摩擦係数 μ の変化の特性について、透明レンズ 2 2 の材質、対象物 1 2 の材質を変えて評価したいいくつかの例を説明する。図 3 から図 7 は、対象物 1 2 をポリアセタールとし、透明レンズ 2 2 の材質を硬質の KE - 1 0 6 または軟質の KE - 1 0 6 としたときの様子を説明する図である。図 9 と図 1 0 は、対象物をベークライト紙とし、透明レンズ 2 2 の材質を KE - 1 0 6 または KE - 1 0 9 としたときの様子を示す図である。図 1 1 は、接触面積における固着領域面積とすべり領域面積の関係をまとめた図である。

【 0 0 5 7 】

図 3 は、対象物 1 2 をポリアセタール、透明レンズ 2 2 を硬質の KE - 1 0 6、負荷荷重 W を 4 . 2 5 N の条件の下で、対象物 1 2 の移動に応じて荷重点位置の特性と摩擦係数の特性がどのように変化するかを示す図である。ここでは、対象物 1 2 の移動量に対応するものとして、横軸に時間がとられている。上記のように、対象物 1 2 を保持する保持テーブル 1 4 は 5 mm / s で X 方向に移動駆動されるので、時間 1 s は、対象物 1 2 が X 方向に 5 mm 移動した状態を示すことになる。縦軸は、摩擦係数 μ と、荷重点位置の変化量 L (mm) がとられている。上記のように、透明レンズ 2 2 の半径が 3 0 mm であるので、L = 0 . 3 mm は、半径方向に荷重点位置に換算して 1 % 変形したことを示している。

30

【 0 0 5 8 】

図 3 の結果によれば、時間 A において透明レンズ 2 2 の弾性変形が開始し、時間 B において摩擦係数がゼロから立上る。すなわち、時間 A から時間 B の間は、透明レンズ 2 2 が弾性変形をするが、対象物 1 2 に対し、透明レンズ 2 2 はまだすべっていない固着状態である。時間 B において、透明レンズ 2 2 に対して対象物 1 2 が相対的にすべり始める。つまり、時間 B 以降がすべり状態である。

40

【 0 0 5 9 】

また、時間 C において、荷重点位置の変化量 L は最大値となる。時間 C 以降において、荷重点位置の変化量 L は、ある程度の増減幅を有しながら、その値が全体としては減少し、次第にその平均値が一定値に落ち着いてゆく。この時間 C は、すべりが開始する時間 B とほとんど同じ時間である。4 9 9 回の繰り返し実験によれば、時間 B の平均は約 0 . 3 2 s、時間 C の平均は、0 . 3 4 s であった。

50

【 0 0 6 0 】

一方、摩擦係数 μ は、時間 B で立上った後、増加し、最大値に達した後、ほぼ一定値に落ち着く。摩擦係数 μ が最大値になる時間は、499回の繰り返し実験によれば、0.78 s であり、荷重点位置の変化量 L が最大となる時間 C よりも遅れる。

【 0 0 6 1 】

図 4 は、撮像装置 3 4 から観察される透明レンズ 2 2 の形状の様子を示す図である。ここで、時間 D は、荷重点位置の変化量 L が最大値を示した後、落ち着いてきた状態を代表的に示す時間である。図 4 に示されるように、透明レンズ 2 2 の形状の変化量はあまり大きくなく、ほぼ正円形となっている。

【 0 0 6 2 】

図 5 は、透明レンズ 2 2 を軟質の KE - 1 0 9 とした以外は、図 3、図 4 と同じ条件で、対象物 1 2 の移動に応じて荷重点位置の特性と摩擦係数の特性がどのように変化するかを示す図である。

【 0 0 6 3 】

図 5 の結果によれば、時間 A において透明レンズ 2 2 の弾性変形が開始し、時間 B において摩擦係数がゼロから立上る。すなわち、時間 A から時間 B の間は、透明レンズ 2 2 が弾性変形をするが、対象物 1 2 に対し、透明レンズ 2 2 はまだすべっていない固着状態である。時間 B において、透明レンズ 2 2 に対して対象物 1 2 が相対的にすべり始める。つまり、時間 B 以降がすべり状態である。

【 0 0 6 4 】

また、時間 D において、荷重点位置の変化量 L は最大値となる。時間 D 以降において、荷重点位置の変化量 L は、その値を減少させ、次第にその平均値が一定値に落ち着いてゆく。この時間 D は、すべりが開始する時間 B より遅い時間である。すべりが開始する時間 B において、荷重点位置の変化量 L は、最大値の約半分である。図 5 では、時間 B に対応する L 特性の位置を C で示してある。

【 0 0 6 5 】

一方、摩擦係数 μ は、時間 B で立上った後、増加し、最大値に達した後、ほぼ一定値に落ち着く。摩擦係数 μ が最大値になる時間は、荷重点位置の変化量 L が最大となる時間 D よりも遅れる。

【 0 0 6 6 】

図 6 は、撮像装置 3 4 から観察される透明レンズ 2 2 の形状の様子を示す図である。図 4 に示されるように、透明レンズ 2 2 の形状は、時間 C、D と進むにつれて変形が大きくなり、荷重点位置の変化量 L が増大することに対応している。

【 0 0 6 7 】

このように、透明レンズ 2 2 の材質の相違にかかわらず、透明レンズ 2 2 の荷重点位置の変化量 L が増加してから後に、摩擦係数 μ がゼロから立上る。すなわち、固着状態がある程度継続した後にはじめてすべり状態となることが分かる。

【 0 0 6 8 】

そして、透明レンズ 2 2 の材質が硬質の場合は、透明レンズ 2 2 の荷重点位置の変化量 L が最大値となるのとほぼ同じ時期からすべりが開始する。これに対し、透明レンズ 2 2 の材質が軟質の場合は、透明レンズ 2 2 の荷重点位置の変化量 L が最大値となる前に、すべりが開始する。図 5 の例では、 L が最大値のおよそ半分に達したときにすべりが開始する。このように、透明レンズ 2 2 の材質によって、すべりが開始するときの荷重点位置の変化量 L が相違してくる。図 3、図 5 の結果からは、 L について予め定めた閾値条件を設定して、 L がその閾値条件に達すれば、すべりが開始するものとできることが分かる。

【 0 0 6 9 】

これらのことから、解析装置 4 0 は、透明レンズ 2 2 と対象物 1 2 が接触し相対的に移動する際に、撮像装置 3 4 の撮像データと、ロードセル 2 0 の検出データと、駆動機構 1 8 の移動駆動状態とに基づいて、透明レンズ 2 2 と対象物 1 2 との間の接触状態において、

10

20

30

40

50

固着状態からすべり状態に移行するときを予告することができる。

【0070】

具体的な手順は以下の通りである。なお、各手順は、解析装置40において実行される固着すべり解析プログラムの各処理手順にそれぞれ対応する。まず、上下機構28に指示を出して、透明レンズ22を対象物12に接触させ、所定の負荷荷重Wを印加させる（接触指示工程）。そして、駆動機構18に指示を出して、所定の送り速度で保持テーブル14を移動駆動させる（移動駆動処理工程）。この工程は、解析装置40の移動駆動処理部42の機能によって実行される。

【0071】

そして、そのときのロードセル20の検出データに基づいて摩擦力Fを算出し、 $F = \mu W$ から摩擦係数 μ を求める（摩擦力算出処理工程）。この工程は、解析装置40の摩擦力算出処理部44の機能によって実行される。また、そのときの透明レンズ22の接触変形状態を撮像装置34によって撮像し、その撮像データに基づいて透明レンズ22の荷重点位置を算出する（荷重点位置算出処理工程）。この工程は、解析装置40の荷重点位置算出処理部46の機能によって実行される。

10

【0072】

この摩擦力算出と荷重点位置の算出を移動駆動の各時間において行い、その結果をそれぞれ時系列データとして出力する（特性出力処理工程）。この工程は、解析装置40の特性出力処理部48の機能によって実行される。このようにして出力されたデータが、摩擦力の変化特性と荷重点位置の変化特性であり、図3と図5で説明したものである。

20

【0073】

そして、摩擦力の変化特性と荷重点位置の変化特性等に基づいて荷重点位置の変化においてすべり状態が開始する閾値条件が設定される（閾値条件設定処理工程）。この工程は、解析装置40の閾値条件設定処理部50の機能によって実行される。具体的には、上記のように、摩擦係数 μ が立上るタイミングにおけるLの値を閾値条件に設定することができる。図3の例では、Lの最大値である $L = 0.38 \text{ mm}$ 等を、閾値条件とすることができる。図5の例では、Lの最大値の約1/2の値である $L = 0.8 \text{ mm}$ を閾値条件とすることができる。

【0074】

閾値条件は、図3、図5の例のように、透明レンズ22の材質によって閾値条件を定めることができるが、この他に、負荷荷重Wに応じて閾値条件を設定することができ、また、対象物12の材質あるいは表面状態、硬さ等の条件に応じて閾値条件を設定することができる。いずれにせよ、接触のための諸条件の下で、摩擦係数 μ に関する特性と、荷重点位置の変化量Lに関する特性を予め求め、摩擦係数 μ が立上るタイミングに対応するLのデータに基づいて、閾値条件を設定することが好ましい。このように、接触のための諸条件の下での閾値条件をデータベースとすることで、実際のロボットハンドの把持状態における閾値条件を容易に設定することが可能となる。

30

【0075】

そして、評価したい接触条件の下で、荷重点位置の変化量Lの時系列データを取得する（評価処理工程）。この工程は、上記の移動駆動処理工程、荷重点位置算出処理工程を行なうことで実行できる。このときに、閾値条件を予め設定することで、荷重点位置の変化量Lが設定された閾値条件に達したときに、固着状態からすべり状態に移行するものとして、すべり予告信号を出力する（予告出力処理工程）。この工程は、解析装置40の予告出力処理部52の機能によって実行される。

40

【0076】

このようにして、実際にすべり状態が始まる直前に、その状態になることを予告できる。したがって、例えば、ロボットハンド等の制御において、この信号を用いて、すべりが実際に発生しないように把持条件を最適に変更することが可能になる。

【0077】

ここで、図3と図5を比較すると、透明レンズ22の荷重点位置の変化量Lが、すべ

50

り状態領域において様子が異なることが分かる。すなわち、透明レンズ22の材質をKE-106とする図3の方が、KE-109とする図5に比べて、 L の上下変動が大きい。このすべり領域の L の上下変動は、すべり状態が始まった後に、固着状態とすべり状態とを繰り返しながら、透明レンズ22に対し対象物12が移動することから生じるものと考えられる。図3と図5の結果からは、硬質の材質の透明レンズ22の方が、この上下変動が大きい。したがって、硬質の材質の透明レンズ22については、固着状態とすべり状態が頻繁に繰り返されながら対象物12が移動しているのに対し、軟質の材質の透明レンズ22については、その繰り返しがあまり頻繁でないことが分かる。

【0078】

この相違を、非特許文献1で触れられている物体の滑り状態の指標 μ を用いて説明することができる。上記のように、非特許文献1では、この指標 μ について偏心度と負荷力と接触面半径とを用いて μ を近似的に計算しているが、図1の構成による固着すべり状態評価システム10においては、透明レンズ22の荷重点位置の変化量 L を実測できるので、この指標 μ を以下のように求めることができる。

【0079】

非特許文献1によれば、指標 μ は、 $\mu = (\text{接線方向の力}) / \{ (\text{摩擦係数}) \times (\text{垂直方向の力}) \}$ であるので、図1の構成では、 $\mu = F / \mu W$ である。この μ は、摩擦力 μW に対する接線方向の力 F の寄与を示しているので、接線方向係数 μ と呼ぶことができる。接線方向係数 μ は、 $\mu = 1$ のときが完全すべり状態で、 $\mu = 0$ が完全固着状態である。

【0080】

一方、荷重点位置の変化量 L は、透明レンズ22の弾性変形による変位量であるので、非特許文献1にも述べられているように、ヘルツの接触式を用いて次の式で与えられる。すなわち、 $L = \{ 3 \mu W / 16 a \} \{ (2 - \nu) / G \} \{ 1 - (1 - \nu)^{2/3} \}$ である。ここで、 a は、透明レンズ22の半球状部分の半径、 ν は透明レンズ22のポアソン比、 G は透明レンズ22の横弾性係数で、ヤング率 E を用いると、 $G = E \{ 2 (1 + \nu) \}$ である。

【0081】

この式を変形することで、近似計算でなく、 L の実測値に基づいて、接線方向係数 μ を計算で求めることができる。すなわち、接線方向係数 μ は、 $\mu = 1 - \{ 1 - (16 a G \times L) / \{ 3 \mu W (2 - \nu) \} \}$ で表される。

【0082】

図3、図5において、すべり状態における L の最大値と最小値についてそれぞれ接線方向係数 μ を求めた結果をまとめたものが図7である。接線方向係数 μ は、上記のように L の関数であるので、 L の最大値と最小値の差が大きいほど、接線方向係数 μ の差が大きくなる。図7に示されるように、透明レンズ22の材質にKE-106を用いる方が、KE-109を用いる場合に比べ、接線方向係数 μ の変動が大きい。このことから、軟質の材料を用いるのに比べ、硬質の材料を用いる透明レンズ22の方が、固着状態とすべり状態との間を頻繁に繰り返しながら、対象物12が移動していることが分かる。

【0083】

図3、図5では、対象物12の材料をポリアセタールとしたが、図8、図9は、対象物12の材料をベークライト紙としたときの様子を示す図である。図8は、透明レンズ22の材質がKE-016、図9は、透明レンズ22の材質がKE-109の場合である。固着すべり評価のための条件は、対象物12の材質を除き、図3、図5と同様である。

【0084】

図8、図9の結果は、図3、図5とほぼ同じである。すなわち、透明レンズ22の材質の相違にかかわらず、透明レンズ22の荷重点位置の変化量 L が増加してから後に、摩擦係数 μ がゼロから立上る。すなわち、固着状態がある程度継続した後はじめてすべり状態となることが分かる。

【0085】

そして、透明レンズ22の材質が硬質の場合は、透明レンズ22の荷重点位置の変化量

10

20

30

40

50

Lが最大値となるのとほぼ同じ時期からすべりが開始する。これに対し、透明レンズ22の材質が軟質の場合は、透明レンズ22の荷重点位置の変化量Lが最大値となる前に、すべりが開始する。図5の例では、Lが最大値のおよそ半分に達したときにすべりが開始する。

【0086】

また、図示を省略するが、撮像装置34から観察される透明レンズ22の形状の様子も、図4、図6と同様であった。すなわち、KE-106の場合は、透明レンズ22の形状はあまり変形せず、KE-109の場合に、透明レンズ22の形状は、荷重点位置の変化が大きくなるにつれて変形が大きくなる。

【0087】

次に、透明レンズ22が対象物12と接触しているときの固着領域とすべり領域について説明する。図10は、透明レンズ22と対象物12との間の接触面積について、固着領域面積とすべり領域面積との関係を説明する図である。撮像装置34から観察される透明レンズ22の形状の様子は、中心部分が対象物12に固着している部分で、その外側に対象物12に対し滑っている部分となっている。その相違は、撮像装置34が検出する撮像データにおけるコントラストの相違等で区別することができる。

【0088】

図10では、固着領域とすべり領域との境界位置が半径cの位置で、すべり領域の最外側位置が半径aの位置であるとして示されている。したがって、撮像装置34が検出する撮像データにおいて、半径cと半径aを求めれば、透明レンズ22が対象物12と接触しているときの接触面積における固着領域面積とすべり領域面積の割合を求めることができる。

【0089】

図11は、透明レンズ22と対象物12との間の接触面積について、固着領域面積とすべり領域面積とを求めた結果をまとめて示す図である。これらの計算は、すべり領域における荷重点位置の変化量Lの変動の最大の状態である L_{MAX} と、Lの変動の最小の状態である L_{MIN} のそれぞれについて行った。

【0090】

図11の結果から、すべり状態においてLが変動しても接触面積そのものの変動は生じないが、Lが変動すると、固着領域面積とすべり領域面積の間の比率が変動することが分かる。そして、ここでも、透明レンズ22の材質を硬質としたときの方が、軟質の材質を用いる場合に比べ、例えば、固着領域面積率の変動が大きいことが分かる。

【0091】

上記の固着すべり状態評価システム10は、表示装置36を有しているので、この表示装置36を用いて、固着すべり状態を例えば検査者が目視によって観察することができる。つまり、固着すべり評価システム10は、その表示装置36を用いることで、固着すべり可視化システムとして利用できる。

【0092】

図12から図16は、固着すべり状態が可視化できる原理を説明する模式図である。上記の固着すべり状態評価システム10では対象物12とレンズ台24との間に半球状弾性体の透明レンズ22が配置されている。透明レンズ22が半球状としているのは、透明レンズ22の平坦面の側から照明光を供給しながら、半球状の内面で光を全反射させ、これによって半球状の形状の変化を光の経路変化に変換し、これを光学的な撮像装置34で取得するためである。半球状弾性体の透明レンズ22は、対象物12と接触するところでは平坦面となっているので、この変形の様子は、円柱状の弾性体の挙動でモデル化できる。

【0093】

図12から図16は、剛体である対象物12と剛体であるレンズ台24の間に円柱状の弾性体23が配置されたモデルを用いて、弾性体23に働く力とその力に起因する弾性体の変形と、スティックスリップが生じる様子を説明する図である。各図において、左側には、モデルの側面図がXZ面として示され、右側には弾性体23が対象物12に接触して

10

20

30

40

50

いる面の様子が平面図でXY面として示されている。なお、各図においてOと示されているのは、初期状態の弾性体23の中心位置である。また、弾性体23の直径が $2a$ 、高さが h として示されている。

【0094】

図12は、初期状態を示す図で、対象物12とレンズ台24との間に弾性体23が配置される様子が示されている。このとき、剛体であるレンズ台24には、質量 W があり、重力によるその重さは、剛体である対象物12の上にある弾性体23によって支えられている。

【0095】

図13は、図12の場合から対象物12が移動するときの様子を示す図である。ここでは、対象物12がレンズ台24に対し速度 V で+X方向に移動するものとして示されている。このとき、対象物12と弾性体23との接触面には摩擦力 f が現れる。そして、中心位置Oを中心に、この摩擦力 f に釣り合う力 f も現れ、これらが中心位置Oを中心とする水平方向の偶力となる。

10

【0096】

図14は、図13のように摩擦力 f が現れると、弾性体23には作用反作用の法則により、反力 f' が現れる。この反力は、中心位置Oに対し対称に対として現れる。つまり、反力 f' は中心位置Oを中心として垂直方向の偶力となる。この f' による偶力の方向は、摩擦力 f による偶力とその方向が反対方向で、偶力同士が釣り合うことになる。つまり、 $(f'/f) = (h/2a)$ である。

20

【0097】

このようにして現れる偶力の様子を見ると、弾性体23と対象物12との間の接触面、弾性体23とレンズ台24との間の接触面において、応力分布に相違が出ることが分かる。すなわち、図14に示すように、弾性体23の-X方向のレンズ台24側の端部Aには圧縮力、弾性体23の-X方向の対象物12側の端部Bには引張力、弾性体23の+X方向の対象物12側の端部Cには圧縮力、弾性体23の+X方向のレンズ台24側の端部Dには引張力がそれぞれ働いている。

【0098】

このように、弾性体23の下面である対象物12との間の接触面においては、-X方向の端部では引張力が働き、+X方向の端部では圧縮力が働き、また、弾性体23の上面であるレンズ台24との間の接触面においては、-X方向の端部では圧縮力が働き、+X方向の端部では引張力が働くので、弾性体23としては、下面において+X方向に押し、上面において-X方向に押されるような変形を起こす応力を受けていることになる。

30

【0099】

したがって、弾性体23が対象物12と接触している面の形状は図12では円形であったのが、摩擦力 f 、その反力 f' が大きくなるにつれて、Y方向を長径、X方向を短径とする楕円形となってくる。その様子が図15に示されている。ここで、対象物12の移動方向をX方向としたので、Y方向には弾性体23に上記のような応力分布の相違が現れない。したがって、図15に示されるY方向の長径は、図12の円形の直径と同じである。 $(f'/f) = (h/2a)$ が大きいほど、 $2a$ と短径との差が大きくなり、楕円化が進む。すなわち、 $(f'/f) = (h/2a)$ が大きいほど、スティックスリップが生じやすくなる。

40

【0100】

図16は、弾性体23が変形することで、質量 W に対する回転モーメントが中心位置Oに現れ、さらに摩擦力 f 、その反力 f' が大きくなり、弾性体の変形も大きくなり、すべりが開始する様子が示されている。すべりが開始すると、弾性体23が変形することで蓄えられている変形エネルギーが解放され、これによって摩擦力 f 、その反力 f' が小さくなる。このようにして、スティックスリップ現象が生じる。

【0101】

50

すべりが開始する程度に摩擦力 f 、反力 f' が大きくなると、弾性体 23 と対象物 12 との間の接触面の形状も対称形の楕円から非対称形の楕円となってくる。図 16 では、中心位置 O から $-X$ 方向、すなわち移動方向とは反対側の方向が引張力の領域ですべり領域であり、中心位置 O から $+X$ 方向、すなわち移動方向が圧縮力の領域で固着領域である。すべり領域は力が解放されて対象物 12 から離れる方向であるので、すべり領域の広さを示す短径は、固着領域の広さを示す短径よりも短くなる傾向となるが、図 16 にはその様子が示されている。

【0102】

すなわち、スティックスリップ現象は、弾性体 23 の変形、特に、弾性体 23 と対象物 12 との間の接触面の形状が円形から楕円形に変化する様子を観察することで把握できる。図 1 の構成は、弾性体 23 を半球状弾性体の透明レンズ 22 として、この半球状弾性体と対象物 12 との間の接触面の变化を撮像装置 34 で撮像可能としたものである。したがって、図 1 の構成は、固着すべり状態可視化システムの機能を有するものである。

10

【産業上の利用可能性】

【0103】

本発明に係る固着すべり状態評価システムは、ロボットの把持アームにおける対象物の把持状態、プリンタのクリーニングブレードと感光体との間の接触状態、磁気ヘッドと媒体との間の接触状態、車両のワイパとガラスとの間の接触状態等のように、物体同士が接触し相対的に移動することが生じ得る際の接触状態の評価およびその可視化に利用することができる。

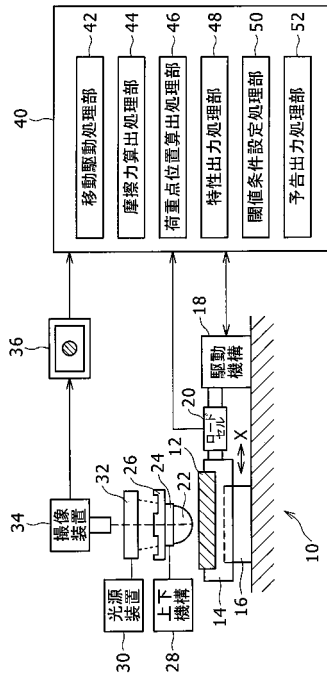
20

【符号の説明】

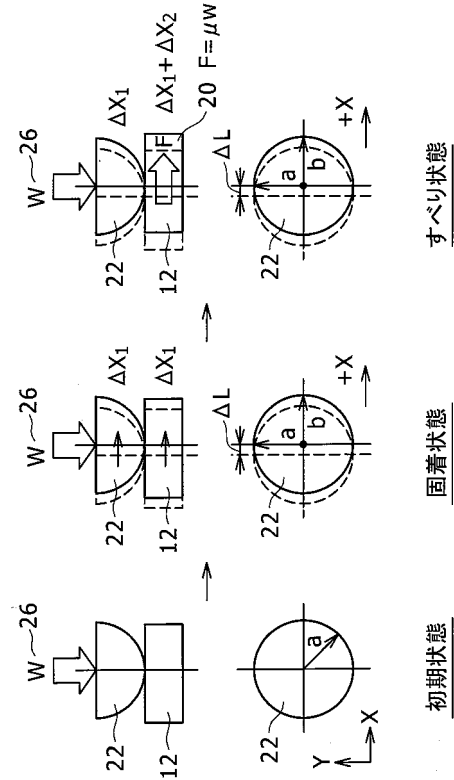
【0104】

10 固着すべり状態評価システム、12 対象物、14 保持テーブル、16 案内部、18 駆動機構、20 ロードセル、22 透明レンズ、23 弾性体、24 レンズ台、26 重り、28 上下機構、30 光源装置、32 照明装置、34 撮像装置、36 表示装置、40 解析装置、42 移動駆動処理部、44 摩擦力算出処理部、46 荷重点位置算出処理部、48 特性出力処理部、50 閾値条件設定処理部、52 予告出力処理部。

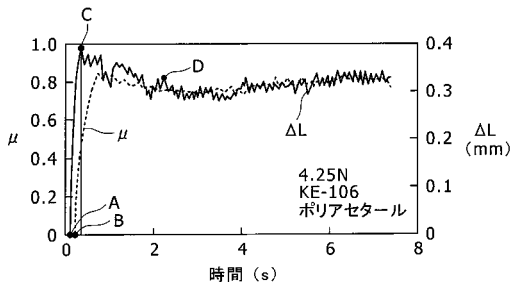
【 図 1 】



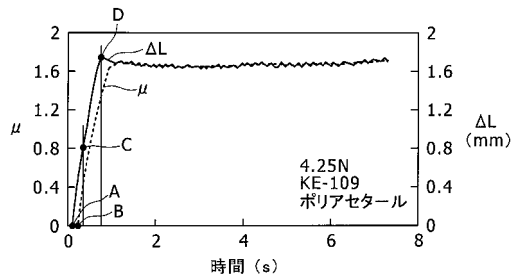
【 図 2 】



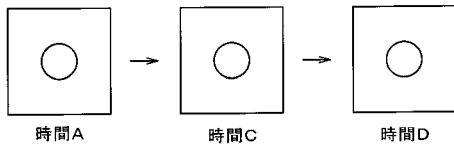
【 図 3 】



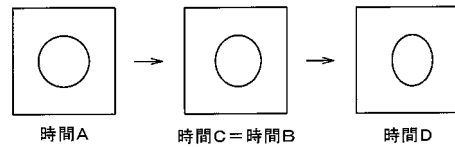
【 図 5 】



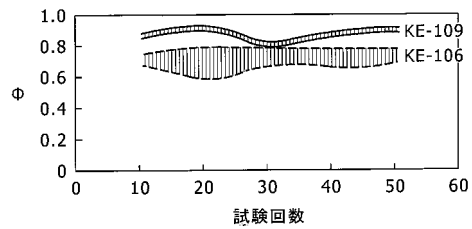
【 図 4 】



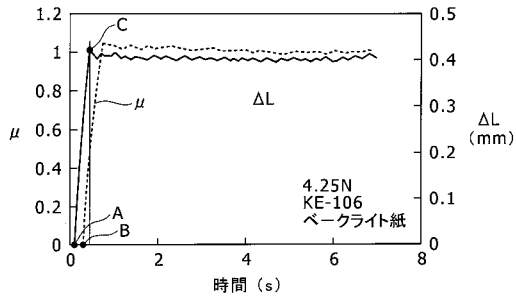
【 図 6 】



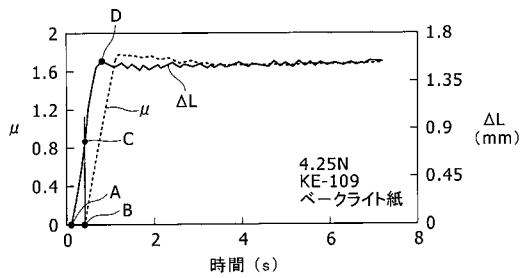
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

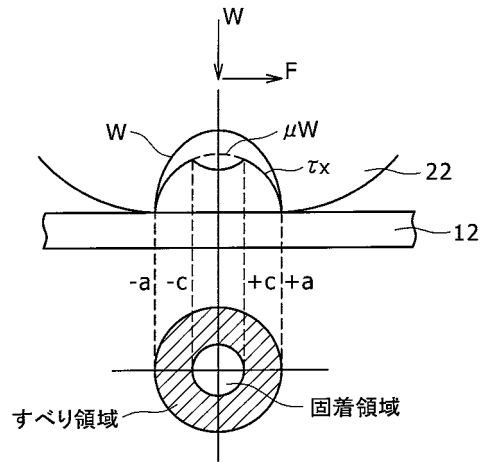


【 図 1 1 】

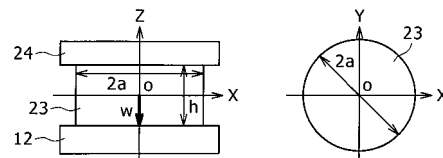
	接触面積 (mm ²)		固着領域面積 (mm ²)		すべり領域面積 (mm ²)		固着領域面積率 (%)	
	ΔL _{MAX}	ΔL _{MIN}	ΔL _{MAX}	ΔL _{MIN}	ΔL _{MAX}	ΔL _{MIN}	ΔL _{MAX}	ΔL _{MIN}
ポリアセタール	KE-106	21.24	8.04	13.20	37.9			
	KE-109	21.24	9.95	11.29	46.9			
ペークライト紙	KE-106	42.55	18.56	24.00	43.6			
	KE-109	42.55	19.79	22.76	46.5			
	KE-106	19.61	8.76	10.88	44.7			
	KE-109	19.61	10.41	9.23	53.1			
	KE-106	43.71	16.33	27.38	37.6			
	KE-109	43.71	18.10	25.61	41.4			

KE-106 (硬質) デュロ硬度 56 ヤング率 3.23MPa
 KE-109 (軟質) デュロ硬度 25 ヤング率 0.96MPa

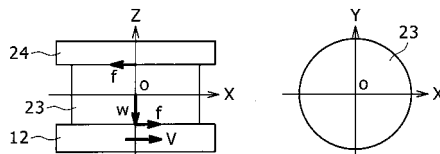
【 図 1 0 】



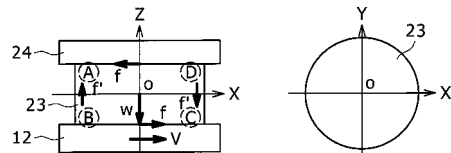
【 図 1 2 】



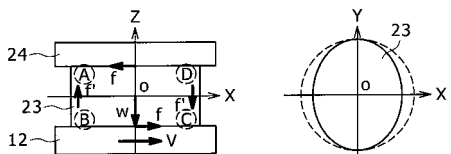
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 図 16 】

