

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7287670号
(P7287670)

(45)発行日 令和5年6月6日(2023.6.6)

(24)登録日 令和5年5月29日(2023.5.29)

(51)国際特許分類 F I
 G 0 1 N 11/14 (2006.01) G 0 1 N 11/14 C
 G 0 1 N 19/00 (2006.01) G 0 1 N 19/00 A

請求項の数 11 (全19頁)

(21)出願番号	特願2019-155409(P2019-155409)	(73)特許権者	504137912 国立大学法人 東京大学 東京都文京区本郷七丁目3番1号
(22)出願日	令和1年8月28日(2019.8.28)	(74)代理人	100116207 弁理士 青木 俊明
(65)公開番号	特開2021-32795(P2021-32795A)	(74)代理人	100096426 弁理士 川合 誠
(43)公開日	令和3年3月1日(2021.3.1)	(72)発明者	酒井 啓司 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立 大学法人東京大学内
審査請求日	令和4年6月21日(2022.6.21)	審査官	山口 剛

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 粘性又は弾性の測定装置及び方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

一部又は全部が導電性を有し、かつ、全部が非磁性の材料から成る回転子と、
 粘性又は弾性を測定する対象である測定対象物質、及び、該測定対象物質に接触した状態の前記回転子を収容する試料容器と、
 前記回転子に時間変動する磁場を印加し、前記回転子内に誘導電流を誘起し、該誘導電流と前記回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用によって、前記回転子に回転トルクを与えて回転させる回転子駆動磁石と、
 該回転子駆動磁石から離れて配置され、該回転子駆動磁石と磁氣的に結合した遠隔駆動磁石と、
 該遠隔駆動磁石に回転トルクを与えて回転させ、これにより前記回転子駆動磁石を回転させる回転駆動源と、
 前記回転子の回転速度を検出する回転検出部と、
 前記回転子の回転速度によって、該回転子に接触する測定対象物質の粘性を検出する粘性弾性検出部と
 を有することを特徴とする粘性又は弾性の測定装置。

【請求項2】

一部又は全部が導電性を有し、かつ、全部が非磁性の材料から成る回転子と、
 粘性又は弾性を測定する対象である測定対象物質、及び、該測定対象物質に接触した状態の前記回転子を収容する試料容器と、

前記回転子に時間変動する磁場を印加し、前記回転子内に誘導電流を誘起し、該誘導電流と前記回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用によって、前記回転子に回転トルクを与えて回転させる回転子駆動磁石と、
 該回転子駆動磁石から離れて配置され、該回転子駆動磁石と磁氣的に結合した遠隔駆動磁石と、
 該遠隔駆動磁石に回転トルクを与えて回転させ、これにより前記回転子駆動磁石を回転させる回転駆動源と、
 前記回転子の回転角度を検出する回転検出部と、
 前記回転子の回転角度によって、該回転子に接触する測定対象物質の弾性を検出する粘性弾性検出部と、
 を有することを特徴とする粘性又は弾性の測定装置。

10

【請求項 3】

粘性が既知である複数の物質に接触した状態の前記回転子に加わる回転トルクと、当該回転子の回転数との関係をあらかじめ測定した標準データを記憶する標準データ記憶部を更に有し、

前記粘性弾性検出部が検出した検出対象物質の回転トルクと回転数との関係と、前記標準データとを比較することによって、前記検出対象物質の粘性を求める請求項 1 に記載の粘性又は弾性の測定装置。

【請求項 4】

前記回転子の面にはマークが付され、

前記回転検出部は前記マークの回転を検出することによって、前記回転子の回転数を検出する請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の粘性又は弾性の測定装置。

20

【請求項 5】

前記回転子に対してレーザを照射し、反射光又は干渉パターンの変化を光学的に測定することによって、前記回転子の回転数を検出する請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の粘性又は弾性の測定装置。

【請求項 6】

前記回転子駆動磁石と遠隔駆動磁石との間の距離は、前記回転子と回転子駆動磁石との間の距離よりも長い請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の粘性又は弾性の測定装置。

【請求項 7】

前記遠隔駆動磁石の単位時間当たりの回転数と前記回転子駆動磁石の単位時間当たりの回転数とは同一である請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の粘性又は弾性の測定装置。

30

【請求項 8】

前記試料容器及び回転子駆動磁石は、測定対象収容容器の内部に配置され、前記遠隔駆動磁石は、前記測定対象収容容器の外部に配置されている請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の粘性又は弾性の測定装置。

【請求項 9】

前記回転子駆動磁石は、一对のアンクル形状の永久磁石を含み、各永久磁石は水平部と垂直部とを含み、各永久磁石の水平部は、その帯磁している面が前記遠隔駆動磁石と対面し、各永久磁石の垂直部は、その帯磁している面が互いに対向する請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の粘性又は弾性の測定装置。

40

【請求項 10】

一部又は全部が導電性を有し、かつ、全部が非磁性の材料から成る回転子を、粘性を測定する対象である測定対象物質に接触した状態で、該測定対象物質とともに試料容器に収容する工程と、

遠隔駆動磁石に回転トルクを与えて回転させ、これにより該遠隔駆動磁石から離れて配置され、該遠隔駆動磁石と磁氣的に結合した回転子駆動磁石を回転させる工程と、

該回転子駆動磁石が、前記回転子に時間変動する磁場を印加し、前記回転子内に誘導電流を誘起し、該誘導電流と前記回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用によって、前記回転子に回転トルクを与えて回転させる工程と、

50

前記回転子の回転速度を検出する工程と、
前記回転子の回転速度によって、該回転子に接触する測定対象物質の粘性を検出する工程と

を有することを特徴とする粘性の測定方法。

【請求項 1 1】

一部又は全部が導電性を有し、かつ、全部が非磁性の材料から成る回転子を、弾性を測定する対象である測定対象物質に接触した状態で、該測定対象物質とともに試料容器に収容する工程と、

遠隔駆動磁石に回転トルクを与えて回転させ、これにより該遠隔駆動磁石から離れて配置され、該遠隔駆動磁石と磁氣的に結合した回転子駆動磁石を回転させる工程と、

該回転子駆動磁石が、前記回転子に時間変動する磁場を印加し、前記回転子内に誘導電流を誘起し、該誘導電流と前記回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用によって、前記回転子に回転トルクを与えて回転させる工程と、

前記回転子の回転角度を検出する工程と、

前記回転子の回転角度によって、該回転子に接触する測定対象物質の弾性を検出する工程とを有することを特徴とする弾性の測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、粘性又は弾性の測定装置及び方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、対象とする物質の力学物性を検出するため、粘性（以下の記載において、粘度と示すこともある）や弾性の測定が行われている。粘性や弾性の測定は、医薬品、食品、塗料、インク、化粧品、化学製品、紙、粘着剤、繊維、プラスチック、ビール、洗剤、コンクリート混和剤、シリコン等の製造過程で、品質管理、性能評価、原料管理、研究開発等に必要不可欠な測定技術である。

【0003】

従来の粘性測定装置としては、測定対象試料に接した回転プローブ（回転子）に対し、駆動するためのトルクを非接触に印加し、その回転プローブの回転速度から対象試料の粘性を非接触に測定する装置が存在する（例えば、特許文献1～3参照。）。これらの装置においては、導電性を有する部材で構成された回転子に時間的に変動する磁場を印加し、これによって生じる誘導電流と磁場との相互作用により回転子に遠隔にトルクを印加し、回転子の運動速度から試料の粘性を測定する。

【0004】

特許文献1に記載されている装置においては、回転子として導電性の小球を使用し、該小球を試料内に沈め、小球に所定のトルクを非接触で印加し、小球の回転速度から、試料の粘性を非接触で測定している。

【0005】

特許文献2に記載されている装置においては、浮力若しくは表面張力のいずれか、又は、双方を用いて、円板状の回転子を試料表面に浮かべ、回転子に所定のトルクを非接触で印加し、回転子の回転速度から、試料の粘性を非接触で測定している。

【0006】

特許文献3に記載されている装置においては、回転子として導電性の小球を使用し、該球が試料容器の底に形成された円形の溝部分に着底し、かつ、該溝部分が試料で満たされ、球に印加される回転磁場によって球が円形の溝に沿って転がる円運動が誘起され、該円運動の速度から試料の粘性を測定している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

10

20

30

40

50

【文献】特開 2009 - 264982 号公報

特開 2012 - 242137 号公報

特開 2013 - 242297 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、従来の特許文献 1 に記載されているような装置では、対向する磁石の組を、球状の回転子を挟むように水平方向に離して配置する構成であるため、試料容器自体又はそれを囲む恒温槽などの容器が大型化すると、その外側を周回するように回転する磁石の回転半径も大きくしなければならない。例えば、高圧下での測定を考えると、一般には直径 10 [cm] を超える圧力容器より、磁石の回転半径は大きくなる。そのため、磁石を回転駆動する装置が大型化する必要が生じ、また、強力な磁石を大きな回転半径で高速回転させることは望ましくない。

10

【0009】

また、特許文献 2 に記載されているような装置では、試料容器の下部に垂直方向に磁力線を発する偶数個、多くの場合は 2 個 1 組、の磁石を配置している。このような装置では、磁場の垂直方向成分を用いて試料表面に水平に配置された円板状の回転子に遠隔でトルクを印加するが、垂直方向成分は磁石からの距離の 3 乗に逆比例して減少するため、磁場の強度の 2 乗に比例する印加トルクの大きさは距離の 6 乗に逆比例して急激に減少する。そのため、厚い試料容器の壁を越えて、遠隔にトルクを有効に到達させることができない。実際、3 [cm] × 6 [cm] のサイズの磁石を 2 つ組み合わせた 6 × 6 [cm²] のサイズの磁石の組を用いた場合、磁石の表面から 5 [cm] 程度離れた位置での測定が限界である。

20

【0010】

さらに、特許文献 3 に記載されているような装置では、試料容器の下部に垂直方向に磁力線を発する偶数個の磁石は、N 極と S 極とが交互に並ぶように配置されている。そして、球状の回転子へのトルク印加に磁場の水平成分及び垂直成分の双方を利用し、このトルクによって球状の回転子を円形の溝に沿って転がして公転周回運動をさせる。このとき、磁石の表面から離れた場所では、磁石の垂直成分が小さくなり、球の転がり運動を駆動するトルクを有効に印加することができない。そのため、磁石から離れた場所に回転子を配置することができず、例えば、高温、高圧、低温、低圧等の環境での測定を行う際に、その環境を実現するための容器が大きく、又は、容器の壁が厚い場合には、外部から有効に内部の回転子にトルクを印加することができないので、粘性の測定を行うことができない。また、このような環境を実現する容器には、高い密閉性が要求されるため、磁石にトルクを機械的に伝達するための軸を挿入することができない場合も多い。このことは、パイオハザードのように外部への汚染が問題となる測定でも、同様である。

30

【0011】

本開示は、前記従来の問題点を解決して、外部から隔絶された環境において外部との間の壁が厚い場合や、外部から測定箇所までの距離が大きい場合でも、回転子への非接触かつ遠隔のトルク印加を可能にし、かつ、低粘度から高粘度までの広い領域に亘る測定対象物質の粘性又は弾性を、簡易にかつ高精度に測定することができる粘性又は弾性の測定装置及び方法を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0012】

そのために、粘性又は弾性の測定装置においては、一部又は全部が導電性を有し、かつ、全部が非磁性の材料から成る回転子と、粘性又は弾性を測定する対象である測定対象物質、及び、該測定対象物質に接触した状態の前記回転子を収容する試料容器と、前記回転子に時間変動する磁場を印加し、前記回転子内に誘導電流を誘起し、該誘導電流と前記回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用によって、前記回転子に回転トルクを与えて回転させる回転子駆動磁石と、該回転子駆動磁石から離れて配置され、該回転子駆動磁

50

石と磁氣的に結合した遠隔駆動磁石と、該遠隔駆動磁石に回転トルクを与えて回転させ、これにより前記回転子駆動磁石を回転させる回転駆動源と、前記回転子の回転速度を検出する回転検出部と、前記回転子の回転速度によって、該回転子に接触する測定対象物質の粘性を検出する粘性弾性検出部とを有する。

他の粘性又は弾性の測定装置においては、一部又は全部が導電性を有し、かつ、全部が非磁性の材料から成る回転子と、粘性又は弾性を測定する対象である測定対象物質、及び、該測定対象物質に接触した状態の前記回転子を収容する試料容器と、前記回転子に時間変動する磁場を印加し、前記回転子内に誘導電流を誘起し、該誘導電流と前記回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用によって、前記回転子に回転トルクを与えて回転させる回転子駆動磁石と、該回転子駆動磁石から離れて配置され、該回転子駆動磁石と磁氣的に結合した遠隔駆動磁石と、該遠隔駆動磁石に回転トルクを与えて回転させ、これにより前記回転子駆動磁石を回転させる回転駆動源と、前記回転子の回転角度を検出する回転検出部と、前記回転子の回転角度によって、該回転子に接触する測定対象物質の弾性を検出する粘性弾性検出部とを有する。

10

【0013】

他の粘性又は弾性の測定装置においては、さらに、粘性が既知である複数の物質に接触した状態の前記回転子に加わる回転トルクと、当該回転子の回転数との関係をあらかじめ測定した標準データを記憶する標準データ記憶部を更に有し、前記粘性弾性検出部が検出した検出対象物質の回転トルクと回転数との関係と、前記標準データとを比較することによって、前記検出対象物質の粘性を求める。

20

【0014】

更に他の粘性又は弾性の測定装置においては、さらに、前記回転子の面にはマークが付され、前記回転検出部は前記マークの回転を検出することによって、前記回転子の回転数を検出する。

【0015】

更に他の粘性又は弾性の測定装置においては、さらに、前記回転子に対してレーザを照射し、反射光又は干渉パターンの変化を光学的に測定することによって、前記回転子の回転数を検出する。

【0016】

更に他の粘性又は弾性の測定装置においては、さらに、前記回転子駆動磁石と遠隔駆動磁石との間の距離は、前記回転子と回転子駆動磁石との間の距離よりも長い。

30

【0017】

更に他の粘性又は弾性の測定装置においては、さらに、前記遠隔駆動磁石の単位時間当たりの回転数と前記回転子駆動磁石の単位時間当たりの回転数とは同一である。

【0018】

更に他の粘性又は弾性の測定装置においては、さらに、前記試料容器及び回転子駆動磁石は、測定対象収容容器の内部に配置され、前記遠隔駆動磁石は、前記測定対象収容容器の外部に配置されている。

【0019】

更に他の粘性又は弾性の測定装置においては、さらに、前記回転子駆動磁石は、一対のアンクル形状の永久磁石を含み、各永久磁石は水平部と垂直部とを含み、各永久磁石の水平部は、その帯磁している面が前記遠隔駆動磁石と対面し、各永久磁石の垂直部は、その帯磁している面が互いに対向する。

40

【0020】

粘性の測定方法においては、一部又は全部が導電性を有し、かつ、全部が非磁性の材料から成る回転子を、粘性を測定する対象である測定対象物質に接触した状態で、該測定対象物質とともに試料容器に収容する工程と、遠隔駆動磁石に回転トルクを与えて回転させ、これにより該遠隔駆動磁石から離れて配置され、該遠隔駆動磁石と磁氣的に結合した回転子駆動磁石を回転させる工程と、該回転子駆動磁石が、前記回転子に時間変動する磁場を印加し、前記回転子内に誘導電流を誘起し、該誘導電流と前記回転子に印加される磁場

50

とのローレンツ相互作用によって、前記回転子に回転トルクを与えて回転させる工程と、前記回転子の回転速度を検出する工程と、前記回転子の回転速度によって、該回転子に接触する測定対象物質の粘性を検出する工程とを有する。

弾性の測定方法においては、一部又は全部が導電性を有し、かつ、全部が非磁性の材料から成る回転子を、弾性を測定する対象である測定対象物質に接触した状態で、該測定対象物質とともに試料容器に収容する工程と、遠隔駆動磁石に回転トルクを与えて回転させ、これにより該遠隔駆動磁石から離れて配置され、該遠隔駆動磁石と磁氣的に結合した回転子駆動磁石を回転させる工程と、該回転子駆動磁石が、前記回転子に時間変動する磁場を印加し、前記回転子内に誘導電流を誘起し、該誘導電流と前記回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用によって、前記回転子に回転トルクを与えて回転させる工程と、前記回転子の回転角度を検出する工程と、前記回転子の回転角度によって、該回転子に接触する測定対象物質の弾性を検出する工程とを有する。

10

【発明の効果】

【0021】

本開示によれば、外部から隔絶された環境において外部との間の壁が厚い場合や、外部から測定箇所までの距離が大きい場合でも、回転子への非接触かつ遠隔のトルク印加を可能にし、かつ、低粘度から高粘度までの広い領域に亘る測定対象物質の粘性又は弾性を、簡易にかつ高精度に測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】第1の実施の形態における測定装置の駆動ユニットの構成を示す図である。

【図2】第1の実施の形態における測定装置の全体構成を示す図である。

【図3】第1の実施の形態における回転子駆動磁石の回転速度と回転子の回転速度との差と、回転子の回転速度との関係を表すグラフである。

【図4】第2の実施の形態における測定装置の全体構成を示す図である。

【図5】第3の実施の形態における測定装置の全体構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、本実施の形態について詳細に説明する。

【0024】

図1は第1の実施の形態における測定装置の駆動ユニットの構成を示す図、図2は第1の実施の形態における測定装置の全体構成を示す図、図3は第1の実施の形態における回転子駆動磁石の回転速度と回転子の回転速度との差と、回転子の回転速度との関係を表すグラフである。なお、図1において、(a)は側面図、(b)は遠隔駆動磁石の配置例を示す平面図である。

20

30

【0025】

図2に示されるように、本実施の形態における測定装置は、駆動ユニットの一部である遠隔駆動ユニット10と、駆動ユニットの他の一部である近接駆動ユニット20と、測定対象ユニット30と、測定ユニット40とを備えている。

【0026】

本実施の形態における測定装置は、測定対象ユニット30の試料容器31A内に収容された測定対象物質としての試料32の粘性及び/又は弾性を測定するためのものであり、前記試料32は、例えば、液体、スラリー、又は、ソフトマテリアルである。ここで、ソフトマテリアルとは、高分子、液晶、コロイド、生体分子等の一連の分子性物質群である。なお、コロイドとは、例えば、乳液、乳剤、ゾル等のエマルジョンである。また、生体分子とは、例えば、生体膜、タンパク質、DNA等である。そして、本実施の形態における測定装置は、典型的には、医薬品、食品、塗料、インク、化粧品、化学製品、紙、粘着剤、繊維、プラスチック、ピール、洗剤、コンクリート混和剤、シリコン等の製造過程で、品質管理、性能評価、原料管理、研究開発等において使用されるが、いかなる分野でいかなる目的のために使用されてもよい。

40

50

【 0 0 2 7 】

なお、本実施の形態において、測定装置の各部の構成及び動作を説明するために使用される上、下、左、右、前、後等の方向を示す表現は、絶対的なものでなく相対的なものであり、前記測定装置の各部が図に示される姿勢である場合に適切であるが、その姿勢が変化した場合には姿勢の変化に応じて変更して解釈されるべきものである。

【 0 0 2 8 】

図 1 (a) には、本実施の形態における測定装置における駆動ユニットとしての遠隔駆動ユニット 1 0 及び近接駆動ユニット 2 0 が示されている。そして、前記遠隔駆動ユニット 1 0 は、遠隔駆動磁石 1 1 と、該遠隔駆動磁石 1 1 を下から支える遠隔駆動磁石保持台 1 2 と、該遠隔駆動磁石保持台 1 2 を回転させる回転駆動源としてのモータ 1 3 とを備える。該モータ 1 3 は、回転軸であるモータ回転軸 1 3 a を回転させる。なお、前記遠隔駆動磁石保持台 1 2 は、前記モータ回転軸 1 3 a に接続され、該モータ回転軸 1 3 a を中心に回転する。

10

【 0 0 2 9 】

図に示される例において、遠隔駆動磁石保持台 1 2 は、図 1 (b) に示されるように、平面視において略正方形の平板であり、その中心に前記回転軸 1 3 a の軸端が接続されている。また、前記遠隔駆動磁石 1 1 は、平面視において略長方形の平板状の一对の永久磁石である第 1 遠隔駆動磁石 1 1 a 及び第 2 遠隔駆動磁石 1 1 b を有する。前記第 1 遠隔駆動磁石 1 1 a 及び第 2 遠隔駆動磁石 1 1 b は、互いに、同一の大きさで、かつ、同一の磁力を備え、平面視において、前記モータ回転軸 1 3 a を対称軸として点対称となるように遠隔駆動磁石保持台 1 2 上に載置されている。なお、第 1 遠隔駆動磁石 1 1 a と第 2 遠隔駆動磁石 1 1 b とは、上下方向に関する磁極の向きが互いに反対となるように配設されている。すなわち、図に示される例において、第 1 遠隔駆動磁石 1 1 a は、上側が N 極で下側が S 極となるように配設され、第 2 遠隔駆動磁石 1 1 b は、上側が S 極で下側が N 極となるように配設されている。

20

【 0 0 3 0 】

また、前記近接駆動ユニット 2 0 は、回転子駆動磁石 2 1 と、該回転子駆動磁石 2 1 を下から支える回転子駆動磁石保持台 2 2 と、保持台回転軸 2 3 a を介して前記回転子駆動磁石保持台 2 2 を回転可能に支持する軸受部 2 3 とを備える。前記回転子駆動磁石保持台 2 2 は、前記保持台回転軸 2 3 a に接続され、該保持台回転軸 2 3 a を中心に自由に、かつ、滑らかに回転する。なお、図 2 においては、図示の都合上、回転子駆動磁石保持台 2 2、軸受部 2 3 及び保持台回転軸 2 3 a の描画が省略されていることに留意されたい。また、図 2 に示される例において、前記近接駆動ユニット 2 0 及び測定対象ユニット 3 0 は、測定対象収容容器 3 5 内に収容されているが、該測定対象収容容器 3 5 は、不要であれば、省略することもできる。

30

【 0 0 3 1 】

前記回転子駆動磁石保持台 2 2 は、遠隔駆動磁石保持台 1 2 と同様に、平面視において略正方形の平板であり、その中心に前記保持台回転軸 2 3 a の軸端が接続されている。また、前記回転子駆動磁石 2 1 は、遠隔駆動磁石 1 1 と同様に、平面視において略長方形の平板状の一对の永久磁石である第 1 回転子駆動磁石 2 1 a 及び第 2 回転子駆動磁石 2 1 b を有する。前記第 1 回転子駆動磁石 2 1 a 及び第 2 回転子駆動磁石 2 1 b は、互いに、同一の大きさで、かつ、同一の磁力を備え、平面視において、前記保持台回転軸 2 3 a を対称軸として点対称となるように回転子駆動磁石保持台 2 2 上に載置されている。さらに、第 1 回転子駆動磁石 2 1 a と第 2 回転子駆動磁石 2 1 b とは、上下方向に関する磁極の向きが互いに反対となるように配設されている。すなわち、図に示される例において、第 1 回転子駆動磁石 2 1 a は、上側が N 極で下側が S 極となるように配設され、第 2 回転子駆動磁石 2 1 b は、上側が S 極で下側が N 極となるように配設されている。

40

【 0 0 3 2 】

図に示されるように、前記近接駆動ユニット 2 0 は、遠隔駆動ユニット 1 0 の上方に、間隔を空けて、配設されている。このとき、遠隔駆動磁石 1 1 と回転子駆動磁石 2 1 との

50

間には、図において矢印 A で示される磁力線で表されるような磁場が発生する。そして、モータ 13 を駆動し、遠隔駆動磁石保持台 12 及び遠隔駆動磁石 11 を、モータ回転軸 13a を中心に、回転させると、前記磁力によって、回転子駆動磁石保持台 22 及び回転子駆動磁石 21 は、保持台回転軸 23a を中心に、前記遠隔駆動磁石保持台 12 及び遠隔駆動磁石 11 と同期して、同一の回転速度で回転する。なお、保持台回転軸 23a とモータ回転軸 13a とが、同一軸線上にあるように配設されることが望ましいが、回転子駆動磁石保持台 22 及び回転子駆動磁石 21 は、その位置及び姿勢が外部から拘束されていなければ、前記磁力の作用によって、保持台回転軸 23a がモータ回転軸 13a と同一軸線上にあるように自動的に位置決めされる。また、前記磁力の作用によって、自動的に、上側が N 極で下側が S 極となっている第 1 遠隔駆動磁石 11a の上方には、上側が N 極で下側が S 極となっている第 1 回転子駆動磁石 21a が位置し、上側が S 極で下側が N 極となっている第 2 遠隔駆動磁石 11b の上方には、上側が S 極で下側が N 極となっている第 2 回転子駆動磁石 21b が位置する。

10

【0033】

前記遠隔駆動磁石 11 と回転子駆動磁石 21 との距離は、双方の磁力が強いほど長くすることができる。例えば、第 1 遠隔駆動磁石 11a 及び第 2 遠隔駆動磁石 11b として、それぞれ、幅 3 [cm]、長さ 6 [cm]、厚さ 2 [cm]、表面磁束密度 0.5 [T] のネオジム磁石を用い、第 1 回転子駆動磁石 21a 及び第 2 回転子駆動磁石 21b として、それぞれ、幅 1 [cm]、長さ 2 [cm]、厚さ 0.5 [cm]、表面磁束密度 0.3 [T] のネオジム磁石を用いた場合、遠隔駆動磁石 11 と回転子駆動磁石 21 との間の距離が 10 [cm] であっても、毎秒 10 回転の回転速度で同期して同方向に回転させることは容易であり、軸受部 23 が十分に滑らかであれば、毎秒 20 回転の回転速度で同期して同方向に回転させることも可能である。

20

【0034】

また、回転子駆動磁石 21 の上方には、図 2 において矢印 B で示される磁力線で表されるような磁場が発生する。該磁場は、回転子駆動磁石 21 の回転に伴って回転する。そして、図 2 に示されるように、矢印 B で示される磁力線で表されるような磁場内に測定対象ユニット 30 の試料容器 31A 内に収容された回転子 33 としての浮き回転子 33A があると、磁場の回転によって発生するローレンツ力が前記浮き回転子 33A に作用するので、該浮き回転子 33A は、回転子駆動磁石 21 と同方向に回転する。

30

【0035】

ここで、回転子駆動磁石 21 が回転子 33 に加えることのできるトルクの回転子駆動磁石 21 と回転子 33 との間の距離に対する依存性、及び、遠隔駆動磁石 11 が回転子駆動磁石 21 に加えることのできるトルクの遠隔駆動磁石 11 と回転子駆動磁石 21 との間の距離に対する依存性について説明する。

【0036】

簡略化のために、回転子駆動磁石 21 及び遠隔駆動磁石 11 は、図 1 及び 2 に示されるように、それぞれ、2 個の矩形の磁石の組み合わせであるとする。この場合、近似的に、遠隔駆動磁石 11 は、互いに距離 L だけ離れた大きさ M 及び $-M$ の 2 つの磁極の組み合わせで表され、また、回転子駆動磁石 21 は、互いに距離 l だけ離れた大きさ m 及び $-m$ の 2 つの磁極の組み合わせで表される。このとき、2 個の磁石の組み合わせは、それぞれ、大きさ LM 及び lm の磁気双極子とみなすことができる。

40

【0037】

双極子の向きから垂直に距離 h だけ離れた位置における磁場の大きさは、距離 h が距離 L より大きいとき、近似的に距離 h の 3 乗に逆比例することが知られている。

【0038】

また、回転子駆動磁石 21 が回転子 33 に与えるトルクの大きさは、回転子 33 の位置における磁場の 2 乗に比例する。したがって、回転子駆動磁石 21 が回転子 33 に及ぼすトルクの大きさは、距離の 6 乗に逆比例して減少する。

【0039】

50

一方で、遠隔駆動磁石 1 1 が回転子駆動磁石 2 1 に与えるトルクの大きさは、回転子駆動磁石 2 1 の位置における遠隔駆動磁石 1 1 が作る磁場の大きさと回転子駆動磁石 2 1 の磁気モーメントの大きさとの積に比例するため、距離の 3 乗に逆比例して減少する。

【 0 0 4 0 】

以上の通り、回転子駆動磁石 2 1 が回転子 3 3 に及ぼすトルクと、遠隔駆動磁石 1 1 が回転子駆動磁石 2 1 に及ぼすトルクとの、それぞれの距離に対する依存性を考えれば、回転子 3 3 と回転子駆動磁石 2 1 との間の距離を小さくし、回転子駆動磁石 2 1 と遠隔駆動磁石 1 1 との間の距離を大きくする方が、その和としての遠隔駆動磁石 1 1 と回転子 3 3 との間の距離をより大きくすることができる。

【 0 0 4 1 】

すなわち、遠隔駆動磁石 1 1 と回転子 3 3 との間の距離をより大きくするためには、回転子 3 3 のごく近傍に回転子駆動磁石 2 1 を配置することがより望ましい。

【 0 0 4 2 】

したがって、特許文献 2 に記載されているような回転子駆動磁石を直接モータ等で回転させて、回転子にトルクを与える従来の装置に比べて、本実施の形態における測定装置のように、遠隔駆動磁石 1 1 をモータ 1 3 によって回転させ、前記遠隔駆動磁石 1 1 と磁氣的に結合し、試料容器 3 1 A の近傍に配置された回転子駆動磁石 2 1 を回転させる装置の方が、前記モータ 1 3 と回転子 3 3 である浮き回転子 3 3 A との間の距離をはるかに大きく取ることができる。

【 0 0 4 3 】

従来の装置では、試料が厚さのある隔壁を有する密閉容器、例えば、高圧容器、真空容器等の内部に收容されている場合、回転子駆動磁石と回転子との間の距離を大きくすることができない、という制約から、十分なトルクを回転子に印加することができなかった。また、密閉容器という性質上、トルクを印加するためのシャフト等の動力伝達部材を、密閉容器の隔壁を通過するように配設することは、極めて困難であった。

【 0 0 4 4 】

これに対して、本実施の形態における測定装置では、試料 3 2 が厚さのある隔壁を有する密閉容器の内部に收容されている場合であっても、回転子駆動磁石 2 1 を前記密閉容器の内部の試料容器 3 1 A の近傍に配置するとともに、厚さのある隔壁を挟んで、遠隔駆動磁石 1 1 を前記密閉容器の外部に配置することによって、前記密閉容器の内部に配置された試料容器 3 1 A 内に收容された浮き回転子 3 3 A に有効にトルクを印加して回転させることが可能である。このとき、回転子駆動磁石 2 1 は、そのキュリー点以下であれば永久磁石として動作するため、その材料を適切に選択すれば 1 0 0 0 () 以上の高温環境でも、十分に動作させることができる。

【 0 0 4 5 】

図 2 に示されるように、本実施の形態において、測定対象ユニット 3 0 は、試料容器 3 1 A、該試料容器 3 1 A 内に收容された測定対象としての試料 3 2、及び、該試料 3 2 の表面に浮かぶ回転子 3 3 としての浮き回転子 3 3 A を有する。そして、矢印 B で示される磁力線で表されるような回転子駆動磁石 2 1 の磁場内に、前記試料容器 3 1 A、試料 3 2、及び、浮き回転子 3 3 A が配設されている。また、測定対象ユニット 3 0、及び、回転子駆動磁石 2 1 を含む近接駆動ユニット 2 0 が厚さのある壁を有する密閉容器である測定対象收容容器 3 5 内に收容されている。該測定対象收容容器 3 5 は、例えば、ステンレス鋼、チタン合金等の非磁性の材料から成り、その内部を高温、高圧、低温、低圧等にする機能を備えており、かつ、その内部は外部と遮断されている。なお、前記測定対象收容容器 3 5 は、その天井部に形成された容器窓 3 5 a を有し、該容器窓 3 5 a を通して、試料容器 3 1 A 内に收容された浮き回転子 3 3 A の回転を外部から光学的に観察することができる。

【 0 0 4 6 】

また、測定ユニット 4 0 は、前記浮き回転子 3 3 A の回転速度を検出する回転検出センサ 4 1 と、該回転検出センサ 4 1 が検出した浮き回転子 3 3 A の回転に基づいて試料 3 2

10

20

30

40

50

の粘性又は弾性を測定する粘性弾性測定部 4 2 とを有し、測定対象収容容器 3 5 の外部に配設されている。なお、前記回転検出センサ 4 1 は、試料容器 3 1 A の上方であって容器窓 3 5 a を通して、浮き回転子 3 3 A の回転を光学的に検出可能な位置に配設されている。また、前記粘性弾性測定部 4 2 は回転検出センサ 4 1 と通信可能に接続されている。

【 0 0 4 7 】

前記浮き回転子 3 3 A は、その一部又は全部が導電性を有し、かつ、全部が非磁性の材料によって構成された軽量の部材であり、浮力及びノ又は表面張力によって試料 3 2 の表面に浮かんでいる。そして、前記浮き回転子 3 3 A は、望ましくは、円盤形状を備える部材であって、その一部又は全部（全体）が導体（例えば、アルミニウム、ステンレス鋼等の非磁性で導電性を有する金属材料）によって形成されている。例えば、前記浮き回転子 3 3 A は、市販のプラスチック製の円板の上面に、市販のアルミ箔等を貼着させて作成することもできる。これにより、容易に、かつ、低コストで浮き回転子 3 3 A を作成することができる。なお、浮き回転子 3 3 A の上面には、回転検出センサ 4 1 によって検出可能なマークが付与されている。該マークは、例えば、印刷、テープの貼付、上面を加工することによって形成された凹部又は凸部等である。

【 0 0 4 8 】

前述のように、矢印 B で示される磁力線で表されるような磁場は、回転子駆動磁石 2 1 の回転に伴って回転する。すると、回転する磁場によって、前記浮き回転子 3 3 A の導電性を有する部分、すなわち、導体によって形成されている部分の内部に誘導電流が発生し、該誘導電流と磁場とのローレンツ相互作用によって、前記浮き回転子 3 3 A の導体によって形成されている部分に、磁場の回転に追従する方向の回転トルクが生じる。該回転トルクの大きさは、回転子駆動磁石 2 1 の回転速度と浮き回転子 3 3 A の回転速度との差に比例し、また、試料 3 2 のずり変形速度は浮き回転子 3 3 A の回転速度に比例するため、浮き回転子 3 3 A の回転速度と、回転子駆動磁石 2 1 の回転数とを測定すれば、試料 3 2 の粘性を測定することができる。

【 0 0 4 9 】

図 3 は、試料 3 2 としてそれぞれ異なる既知の粘性 を有する複数の物質である標準試料を使用した場合におけるモータ回転軸 1 3 a の回転速度、すなわち、単位時間（例えば、1 秒）当たりの回転数 M と各標準試料の表面に浮かんでいる浮き回転子 3 3 A の回転速度、すなわち、単位時間（例えば、1 秒）当たりの回転数 D との関係を表すグラフである。図 3 において、横軸は回転数 M と回転数 D との回転差 MD （回転数 M - 回転数 D ）を示し、縦軸は回転数 D を示している。ここで使用した各標準試料の粘性は、それぞれ異なり、例えば、試料 A の粘性 は $0.5 \text{ [m P a } \cdot \text{ s]}$ 、試料 B の粘性 は $1.0 \text{ [m P a } \cdot \text{ s]}$ である。そして、図 3 に示される 2 本の曲線のように、粘性 の異なる標準試料毎の回転差 MD と回転数 D との関係、すなわち、傾き D / MD の対応を示す曲線を最低二乗法等の方法によって求める。前記傾き D / MD は、各標準試料の粘性 と比例するものである。

【 0 0 5 0 】

図 2 に示されるように、前記回転検出センサ 4 1 は、試料容器 3 1 A 内に収容された試料 3 2 の表面に浮かぶ浮き回転子 3 3 A のマークを検出可能な位置としての試料容器 3 1 A の上方の位置に配設され、前記浮き回転子 3 3 A のマークを光学的に検出する。なお、前記回転検出センサ 4 1 は、例えば、図示されない光照射部及び受光部を含み、前記光照射部からレーザ光を出射し、浮き回転子 3 3 A のマークからの反射光が前記受光部に入射し、入射光の強度に対応した検出電気信号を出力するようになっている。また、前記回転検出センサ 4 1 は、前記光照射部及び受光部の代わりに、レンズと CCD（Charge Coupled Device）等の撮像素子とを顕微鏡に付加した撮像装置を有し、浮き回転子 3 3 A のマークの、浮き回転子 3 3 A の回転に伴う移動状態を拡大して撮像した撮像画像を出力し、該撮像画像の画像処理に基づいて、浮き回転子 3 3 A の回転数を検出するようによい。さらに、前記回転検出センサ 4 1 は、浮き回転子 3 3 A に対して、レーザを照射し、回転による反射又は干渉パターンの変化を光学的に測定し、浮き回転子 3 3 A の回転数

を検出するような構成のものであってもよい。

【 0 0 5 1 】

そして、前記回転検出センサ 4 1 に通信可能に接続された粘性弾性測定部 4 2 は、図示されない、回転検出部、粘性弾性検出部、回転制御部、標準データ記憶部及び装置制御部を含んでいる。

【 0 0 5 2 】

前記回転検出部は、回転検出センサ 4 1 から供給される検出電気信号によって、浮き回転子 3 3 A の回転検出を行い、単位時間（例えば、1 秒）当たりの検出回数を、単位時間当たりの回転数（ rps : revolutions per second）として、回転数 D を求めて出力する。また、前記回転検出部は、浮き回転子 3 3 A の回転数の検出において、回転検出センサ 4 1 が撮像装置の撮像画像を用いる場合、撮像装置が撮像して出力する撮像画像から、浮き回転子 3 3 A に付加したマークを画像処理によって検出し、単位時間当たりの回転数 D を求めるようにしてもよい。また、回転検出センサ 4 1 がコンデンサを用いる場合、前記回転検出部は、回転検出センサ 4 1 から供給された検出電気信号によって電極対で構成したコンデンサの容量変化を検出し、所定の期間（例えば、1 秒）における前記容量変化の回数を検出し、浮き回転子 3 3 A の回転数 D を検出するようにしてもよい。

10

【 0 0 5 3 】

前記粘性弾性検出部は、前記標準試料の場合と同様に、試料 3 2 における傾き D / MD ($= M - D$) を求め、この傾きの逆数 MD / D を求める。このとき、前記粘性弾性検出部は、回転制御部に対して、異なる複数の回転速度 M でモータ 1 3 を回転させる制御を行い、回転数を変更する毎に制御信号を回転検出部へ出力する。すると、回転検出部は、粘性弾性検出部から制御信号が供給される毎に、回転速度 M において試料容器 3 1 A 内に収容された試料 3 2 の表面に浮かぶ浮き回転子 3 3 A の回転速度 D を回転検出センサ 4 1 から取得する。そして、回転検出部は、検出した回転速度 D を、制御信号に対応して粘性弾性検出部へ出力する。

20

【 0 0 5 4 】

また、前記粘性弾性検出部は、標準データ記憶部に記憶されている粘性検出テーブルから、試料 3 2 の傾きの逆数 MD / D に対応する粘性 [$mPa \cdot s$] を読み出し、これを試料 3 2 の粘性 [$mPa \cdot s$] として出力する。なお、標準データ記憶部に実験式が記憶されている場合、粘性弾性検出部は、標準データ記憶部から前記実験式を読み出し、該実験式に対して傾きの逆数 MD / D を代入し、試料の粘性 [$mPa \cdot s$] を算出して求めるようにしてもよい。

30

【 0 0 5 5 】

前記回転制御部は、設定された回転数でモータ回転軸 1 3 a が回転するように、モータ 1 3 に対する回転制御を行う。

【 0 0 5 6 】

前記標準データ記憶部には、図 3 に示されるような関係から求めた粘性 [$mPa \cdot s$] と、傾きの逆数 MD / D との対応を示す粘性検出テーブルとが記憶されている。

【 0 0 5 7 】

該粘性検出テーブルは、次のようにして作成されている。前述のように、本実施の形態の測定装置において、粘性があらかじめ判っている標準試料を試料容器 3 1 A 内に入れ（充填し）、標準試料中に浮き回転子 3 3 A を入れ、あらかじめ設定した複数の回転数 M によってモータ 1 3 を回転させた場合に、モータ 1 3 の各回転数 M に対応した浮き回転子 3 3 A の回転数 D を、前記回転検出部が検出する。前記標準試料に対する回転数 D の測定を、複数の異なる粘性を有する標準試料（あらかじめ粘性の判っている試料）に対して行う。

40

【 0 0 5 8 】

なお、前記標準データ記憶部には、粘性検出テーブルではなく、粘性 [$mPa \cdot s$] と、傾きの逆数 MD / D との対応を示す実験式が記憶されていてもよい。

【 0 0 5 9 】

50

前記装置制御部は、粘性弾性測定部 4 2 の各部の動作を制御する。

【 0 0 6 0 】

次に、本実施の形態における弾性の測定について説明する。

【 0 0 6 1 】

本実施の形態によれば、液体のように粘性を求めるのではなく、ゲルやゴムなどのように弾性を有する物質、又は、粘性の緩和によって弾性が生じる高分子溶液のような物質に対し、一定トルクを与えた際の静止位置からの変位によって、粘性（粘性率）及び弾性（弾性率）を同時に測定することが可能である。ここで、弾性率は、いわばバネ定数であり、試料 3 2 の回転変形に比例した復元力に対応している。

【 0 0 6 2 】

したがって、粘性に加えて弾性がある場合、弾性による復元力は、歪の程度に比例して大きくなる。このため、浮き回転子 3 3 A は、回転を開始してから、試料 3 2 のバネ定数に比例した弾性力と、回転磁場による回転トルクとが釣り合った回転角度 で回転を停止することになる。回転子駆動磁石 2 1 が反時計回りに回転することによって、反時計回りの回転トルクが試料 3 2 中の浮き回転子 3 3 A に印加される。そして、該浮き回転子 3 3 A に対して印加される回転トルクと弾性による反発力とが釣り合う回転角度 の位置で、浮き回転子 3 3 A の回転が停止する。

【 0 0 6 3 】

ここで、回転検出部は、モータ 1 3 が回転しておらず、回転子駆動磁石 2 1 及び回転子駆動磁石保持台 2 2 が停止状態にあるときの浮き回転子 3 3 A のマークの位置と、所定の回転数 M でモータ 1 3 が回転した後、回転が停止した際のマークの位置との各々の撮像画像から回転角度 を求める。この角度 から弾性を求めることができる。

【 0 0 6 4 】

次に、本実施の形態における測定装置の具体的な応用例について説明する。

【 0 0 6 5 】

該応用例においては、試料容器 3 1 A の本体として、内径が 4 0 [mm] であり、内部の側壁の高さが 1 0 [mm] のガラス製シャーレを用いた。そして、試料容器 3 1 A の本体に測定対象の物質である試料 3 2 を 0 . 5 [mL] 入れた後、前記本体を試料容器の蓋によって封止した。ここで、試料 3 2 の温度は、例えば、2 0 [] とした。

【 0 0 6 6 】

あらかじめ粘性の判っている標準試料としては、図 3 に示されるように、粘性 が 0 . 5 [m P a ・ s] であるもの、及び、1 . 0 [m P a ・ s] であるものの 2 種類を用いた。

【 0 0 6 7 】

また、第 1 遠隔駆動磁石 1 1 a 及び第 2 遠隔駆動磁石 1 1 b として、帯磁している面の大きさが 3 0 × 6 0 [mm]、厚さが 1 0 [mm] のものをそれぞれ使い、第 1 回転子駆動磁石 2 1 a 及び第 2 回転子駆動磁石 2 1 b として、帯磁している面の大きさが 1 0 × 2 0 [mm]、厚さが 5 [mm] のものをそれぞれ使い、遠隔駆動磁石 1 1 と回転子駆動磁石 2 1 との間の距離が台の回転軸方向に 1 0 0 [mm] となるように、配置した。

【 0 0 6 8 】

そして、遠隔駆動磁石 1 1 を回転させることによって回転子駆動磁石 2 1 を等しい角速度で回転させ、試料 3 2 の表面に浮かぶ浮き回転子 3 3 A に回転トルクを印加して、該浮き回転子 3 3 A を回転させた。この場合、浮き回転子 3 3 A の底板の下面が試料 3 2 と接している。ここで、浮き回転子 3 3 A の底板は、直径 2 0 [mm]、厚さ 0 . 3 [mm] のアルミニウム製の円板であり、該円板の回転中心には、下方に突き出た高さ 0 . 5 [mm] の突起が取り付けられている。

【 0 0 6 9 】

次に、粘性弾性測定部 4 2 の回転制御部は、モータ 1 3 を駆動して、遠隔駆動磁石保持台 1 2 を回転させる。

【 0 0 7 0 】

この結果、遠隔駆動磁石 1 1 と磁氣的に結合した回転子駆動磁石 2 1 が遠隔駆動磁石 1

10

20

30

40

50

1 と等しい角速度で回転する。さらに回転子駆動磁石 2 1 の回転によって浮き回転子 3 3 A に回転する磁場が印加される。この回転する磁場によって、浮き回転子 3 3 A には回転トルクが印加され、浮き回転子 3 3 A は、印加された回転する磁場の回転方向と同一方向に回転を行う。

【 0 0 7 1 】

そして、粘性弾性測定部 4 2 の回転検出部は、例えば、回転検出センサ 4 1 が有する撮像素子が撮像した浮き回転子 3 3 A のマークが回転する動画像を、撮像画像として自身の内部の記憶部に記憶し、画像処理によって前記マークの回転周期を求め、該回転周期から浮き回転子 3 3 A の回転数を求める。

【 0 0 7 2 】

モータ 1 3 の回転数 M を変える毎に、対応する浮き回転子 3 3 A の回転数 D を求め、図 3 に示されるように、粘性の異なる標準試料毎に、浮き回転子 3 3 A の回転数 D と、モータ 1 3 の回転数 M と浮き回転子 3 3 A の回転数 D との差分、すなわち、 $M - D$ 、との対応関係を求める。

【 0 0 7 3 】

図 3 において、各標準試料の浮き回転子 3 3 A の回転数 D と、モータ 1 3 の回転数 M と浮き回転子 3 3 A の回転数 D との差分との関係を示す線は、滑らかな曲線となっている。このため、図 3 は、浮き回転子 3 3 A の回転数 D と、浮き回転子 3 3 A に印加される回転トルクとの関係のみから粘性 η を求めることが可能であることを示している。

【 0 0 7 4 】

この結果、粘性弾性測定部 4 2 の標準データ記憶部に記憶されている図 3 に示されるような関係から求めた粘性 $[\text{mPa} \cdot \text{s}]$ と、傾きの逆数 $M D / D$ との対応を示す粘性検出テーブルとを用いることによって、試料 3 2 の粘性 $[\text{mPa} \cdot \text{s}]$ を正確に測定することが可能であることが分かる。

【 0 0 7 5 】

なお、本実施の形態における測定装置の機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することによって試料 3 2 の粘性を求める処理を行ってもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、OS や周辺機器等のハードウェアを含むものとする。また、「コンピュータシステム」は、ホームページ提供環境（あるいは表示環境）を備えた WWW システムも含むものとする。さらに、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM 等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワーク（通信網）や電話回線等の通信回線（通信線）を介してプログラムが送信された場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリ（RAM）のように、一定時間プログラムを保持しているものも含むものとする。

【 0 0 7 6 】

また、前記プログラムは、該プログラムを記憶装置等に格納したコンピュータシステムから、伝送媒体を介して、あるいは、伝送媒体中の伝送波によって他のコンピュータシステムに伝送されてもよい。ここで、プログラムを伝送する「伝送媒体」は、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線のように情報を伝送する機能を有する媒体のことをいう。また、前記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよい。さらに、前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイル（差分プログラム）であってもよい。

【 0 0 7 7 】

このように、本実施の形態における粘性又は弾性の測定装置は、一部又は全部が導電性を有し、かつ、全部が非磁性の材料から成る浮き回転子 3 3 A と、粘性又は弾性を測定する対象である試料 3 2、及び、試料 3 2 に接触した状態の浮き回転子 3 3 A を収容する試

10

20

30

40

50

料容器 3 1 A と、浮き回転子 3 3 A に時間変動する磁場を印加し、浮き回転子 3 3 A 内に誘導電流を誘起し、誘導電流と浮き回転子 3 3 A に印加される磁場とのローレンツ相互作用によって、浮き回転子 3 3 A に回転トルクを与えて回転させる回転子駆動磁石 2 1 と、回転子駆動磁石 2 1 から離れて配置され、回転子駆動磁石 2 1 と磁氣的に結合した遠隔駆動磁石 1 1 と、遠隔駆動磁石 1 1 に回転トルクを与えて回転させ、これにより回転子駆動磁石 2 1 を回転させるモータ 1 3 と、浮き回転子 3 3 A の回転速度を検出する回転検出部、及び、浮き回転子 3 3 A の回転速度によって、回転子 3 3 に接触する試料 3 2 の粘性又は弾性を検出する粘性弾性検出部を含む粘性弾性測定部 4 2 とを有する。

【 0 0 7 8 】

また、本実施の形態における粘性又は弾性の測定方法は、一部又は全部が導電性を有し、かつ、全部が非磁性の材料から成る浮き回転子 3 3 A を、粘性又は弾性を測定する対象である試料 3 2 に接触した状態で、試料 3 2 とともに試料容器 3 1 A に収容する工程と、遠隔駆動磁石 1 1 に回転トルクを与えて回転させ、これにより遠隔駆動磁石 1 1 から離れて配置され、遠隔駆動磁石 1 1 と磁氣的に結合した回転子駆動磁石 2 1 を回転させる工程と、回転子駆動磁石 2 1 が、浮き回転子 3 3 A に時間変動する磁場を印加し、浮き回転子 3 3 A 内に誘導電流を誘起し、誘導電流と浮き回転子 3 3 A に印加される磁場とのローレンツ相互作用によって、浮き回転子 3 3 A に回転トルクを与えて回転させる工程と、浮き回転子 3 3 A の回転速度を検出する工程と、浮き回転子 3 3 A の回転速度によって、回転子 3 3 に接触する試料 3 2 の粘性又は弾性を検出する工程とを有する。

【 0 0 7 9 】

さらに、粘性弾性測定部 4 2 は、粘性が既知である複数の標準試料に接触した状態の浮き回転子 3 3 A に加わる回転トルクと、浮き回転子 3 3 A の回転数との関係をあらかじめ測定した標準データを記憶する標準データ記憶部を更に含み、粘性弾性検出部が検出した試料 3 2 の回転トルクと回転数との関係と、標準データとを比較することによって、試料 3 2 の粘性又は弾性を求める。さらに、浮き回転子 3 3 A の面にはマークが付され、回転検出部はマークの回転を検出することによって、浮き回転子 3 3 A の回転数を検出する。さらに、浮き回転子 3 3 A に対してレーザを照射し、反射光又は干渉パターンの変化を光学的に測定することによって、浮き回転子 3 3 A の回転数を検出する。さらに、回転子駆動磁石 2 1 と遠隔駆動磁石 1 1 との間の距離は、浮き回転子 3 3 A と回転子駆動磁石 2 1 との間の距離よりも長い。さらに、浮き回転子 3 3 A の単位時間当たりの回転数と回転子駆動磁石 2 1 の単位時間当たりの回転数とは異なり、遠隔駆動磁石 1 1 の単位時間当たりの回転数と回転子駆動磁石 2 1 の単位時間当たりの回転数とは同一である。さらに、試料容器 3 1 A 及び回転子駆動磁石 2 1 は、測定対象収容容器 3 5 の内部に配置され、遠隔駆動磁石 1 1 は、測定対象収容容器 3 5 の外部に配置されている。

【 0 0 8 0 】

これにより、外部から隔絶された環境において外部との間の壁が厚い場合や、外部から測定箇所までの距離が大きい場合でも、浮き回転子 3 3 A への非接触かつ遠隔のトルク印加を可能にし、かつ、低粘度から高粘度までの広い領域に亘る試料 3 2 の粘性又は弾性を、簡易にかつ高精度に測定することができる。

【 0 0 8 1 】

例えば、試料容器 3 1 A から離間した位置に配設されたモータ 1 3 の回転、及び、試料容器 3 1 A から離間した位置に配設された回転検出センサ 4 1 が検出した浮き回転子 3 3 A の回転のみに基づいて、試料 3 2 の粘性又は弾性を測定することができるので、極めて容易に測定を行うことができる。また、試料容器 3 1 A が肉厚の壁を有する測定対象収容容器 3 5 の内部に配置されている場合であっても、測定対象収容容器 3 5 の外部において検出されたモータ 1 3 の回転及び浮き回転子 3 3 A の回転のみに基づいて、試料 3 2 の粘性又は弾性を測定することができる。さらに、遠隔駆動磁石 1 1 において回転子駆動磁石 2 1 に対向する面における磁極の配置 (S 極及び N 極の配置) と、回転子駆動磁石 2 1 において浮き回転子 3 3 A に対向する面における磁極の配置が同一となっているので、モータ 1 3 の回転と浮き回転子 3 3 A の回転との関係は、回転子駆動磁石 2 1 をモータ 1 3 に

10

20

30

40

50

よって直接駆動した場合と、同様になる。したがって、回転子駆動磁石 2 1 をモータ 1 3 によって直接駆動するようにすれば、図 3 に示されるような関係を容易に得ることが可能となる。

【 0 0 8 2 】

次に、第 2 の実施の形態について説明する。なお、第 1 の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによってその説明を省略する。また、前記第 1 の実施の形態と同じ動作及び同じ効果についても、その説明を省略する。

【 0 0 8 3 】

図 4 は第 2 の実施の形態における測定装置の全体構成を示す図である。

【 0 0 8 4 】

前記第 1 の実施の形態においては、測定対象ユニット 3 0 の試料容器 3 1 A は、その底面が平坦な容器であり、試料 3 2 が底面の全面に亘ってほぼ均等な深さとなるように容器内に収容されており、また、回転子は、軽量で、浮力及び / 又は表面張力によって試料 3 2 の表面に浮かんでいる平板状、望ましくは、円盤形状の平坦な浮き回転子 3 3 A である場合について説明したが、本実施の形態においては、回転子は、導体である金属球から成る球回転子 3 3 B であり、試料容器 3 1 B は、平面視において円環状の溝から成る周回経路を有し、試料 3 2 が充満する前記周回経路内に前記球回転子 3 3 B が配設されている。該球回転子 3 3 B は、試料 3 2 内に没している。そして、矢印 B で示される磁力線で表されるような回転子駆動磁石 2 1 の磁場内に、前記試料容器 3 1 B、試料 3 2、及び、球回転子 3 3 B が配設されている。

【 0 0 8 5 】

したがって、回転子駆動磁石 2 1 の回転に伴って磁場が回転すると、導体である球回転子 3 3 B の内部に誘導電流が発生し、該誘導電流と磁場とのローレンツ相互作用によって、前記球回転子 3 3 B には、円環状の周回経路に沿って転がって公転するようなトルクが作用する。このときの試料 3 2 のずり変形速度は、球回転子 3 3 B の公転の角速度に比例するため、球回転子 3 3 B の公転の回転速度と、回転子駆動磁石 2 1 の回転数とを測定すれば、試料 3 2 の粘性を測定することができる。

【 0 0 8 6 】

なお、その他の点の構成及び動作については、前記第 1 の実施の形態と同様であるので、その説明を省略する。また、図 4 においては、図示の都合上、回転子駆動磁石保持台 2 2、軸受部 2 3、保持台回転軸 2 3 a、測定対象収容容器 3 5 及び粘性弾性測定部 4 2 の描画が省略されていることに留意されたい。

【 0 0 8 7 】

次に、第 3 の実施の形態について説明する。なお、第 1 及び第 2 の実施の形態と同じ構造を有するものについては、同じ符号を付与することによってその説明を省略する。また、前記第 1 及び第 2 の実施の形態と同じ動作及び同じ効果についても、その説明を省略する。

【 0 0 8 8 】

図 5 は第 3 の実施の形態における測定装置の全体構成を示す図である。

【 0 0 8 9 】

本実施の形態において、回転子は、前記第 2 の実施の形態と同様に、導体である金属球から成る球回転子 3 3 B であるが、試料容器 3 1 C は、小型の試験管のような形状の部材であり、その底部近傍に試料 3 2 が収容され、前記球回転子 3 3 B は試料 3 2 内に没している。

【 0 0 9 0 】

また、前記第 1 及び第 2 の実施の形態において、回転子駆動磁石 2 1 の一对の永久磁石である第 1 回転子駆動磁石 2 1 a 及び第 2 回転子駆動磁石 2 1 b は、それぞれ、平面視において略長方形の平板状の永久磁石であるが、本実施の形態における第 1 回転子駆動磁石 2 1 a 及び第 2 回転子駆動磁石 2 1 b は、それぞれ、側面視においてアングル形状 (L 字形状) を有し、水平部 2 1 a 1 及び 2 1 b 1 と、垂直部 2 1 a 2 及び 2 1 b 2 とを含んで

10

20

30

40

50

いる。そして、第1回転子駆動磁石21aの垂直部21a2及び第2回転子駆動磁石21bの垂直部21b2の帯磁している面は、垂直方向に延在し、かつ、それぞれ、対向している。そして、前記第1回転子駆動磁石21aの垂直部21a2と第2回転子駆動磁石21bの垂直部21b2との間には、矢印Cで示される磁力線で表されるような磁場が発生する。また、該磁場内に、前記試料容器31C、試料32、及び、球回転子33Bが配設されている。

【0091】

なお、図5においては、図示の都合上、回転子駆動磁石保持台22、軸受部23、保持台回転軸23a、測定対象収容容器35及び粘性弾性測定部42の描画が省略されていることに留意されたい。

【0092】

前記第1回転子駆動磁石21aの水平部21a1及び第2回転子駆動磁石21bの水平部21b1は、前記第1及び第2の実施の形態の第1回転子駆動磁石21a及び第2回転子駆動磁石21bと同様に、遠隔駆動磁石11と磁氣的に結合しているので、遠隔駆動磁石11と等しい角速度で回転する。すると、前記第1回転子駆動磁石21aの垂直部21a2と第2回転子駆動磁石21bの垂直部21b2も同様に回転する。このとき、水平方向に延びる矢印Cで示される磁力線で表されるような磁場がモータ回転軸13aを中心に回転するので、導体である球回転子33Bの内部に誘導電流が発生し、該誘導電流と磁場とのローレンツ相互作用によって、前記球回転子33Bは、試料容器31C内において試料32中で自転する。このときの試料32のずり変形速度は、球回転子33Bの自転の角速度に比例するため、球回転子33Bの自転の回転速度と、回転子駆動磁石21の回転数とを測定すれば、試料32の粘性を測定することができる。

【0093】

このように、本実施の形態において、回転子駆動磁石21は、一对のアンクル形状の永久磁石である第1回転子駆動磁石21a及び第2回転子駆動磁石21bを含み、第1回転子駆動磁石21a及び第2回転子駆動磁石21bは、それぞれ、水平部21a1及び21b1と、垂直部21a2及び21b2とを含み、水平部21a1及び21b1は、その帯磁している面が遠隔駆動磁石11と対面し、垂直部21a2及び21b2は、その帯磁している面が互いに対向している。

【0094】

なお、その他の点の構成及び動作については、前記第1及び第2の実施の形態と同様であるので、その説明を省略する。

【0095】

また、本明細書の開示は、好適で例示的な実施の形態に関する特徴を述べたものである。ここに添付された特許請求の範囲内及びその趣旨内における種々の他の実施の形態、修正及び変形は、当業者であれば、本明細書の開示を総覧することにより、当然に考え付くことである。

【産業上の利用可能性】

【0096】

本開示は、粘性又は弾性の測定装置及び方法に適用することができる。

【符号の説明】

【0097】

- 11 遠隔駆動磁石
- 13 モータ
- 21 回転子駆動磁石
- 21a 第1回転子駆動磁石
- 21a1、21b1 水平部
- 21a2、21b2 垂直部
- 21b 第2回転子駆動磁石
- 31A、31B、31C 試料容器

10

20

30

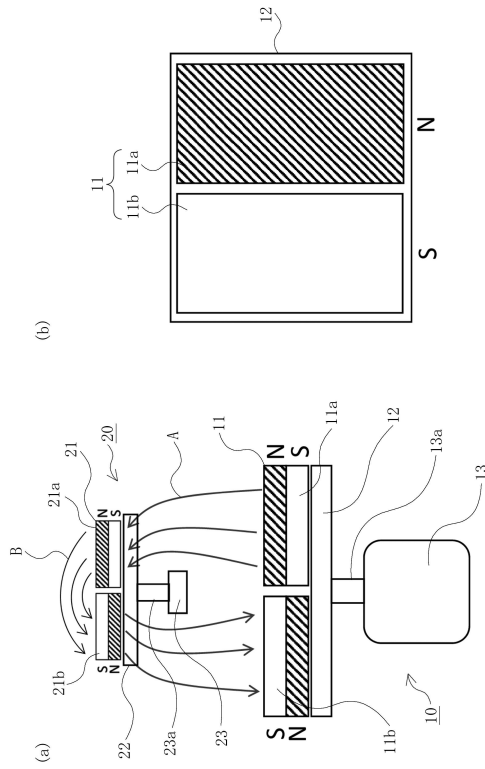
40

50

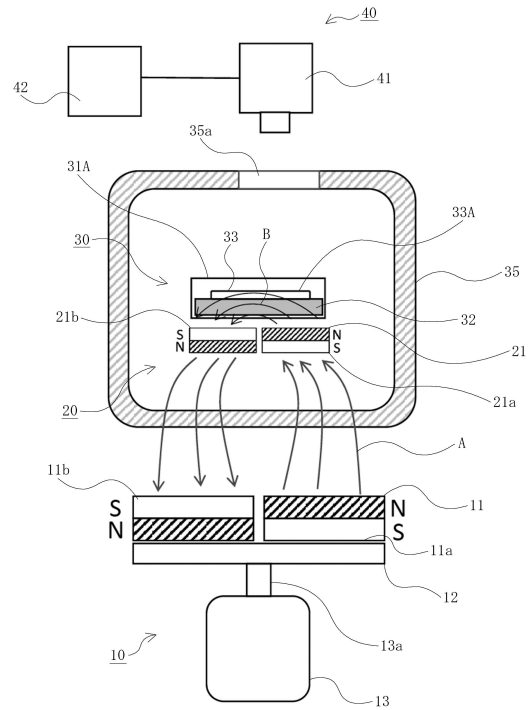
- 3 2 試料
- 3 3 回転子
- 3 3 A 浮き回転子
- 3 3 B 球回転子
- 3 5 測定対象収容容器

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

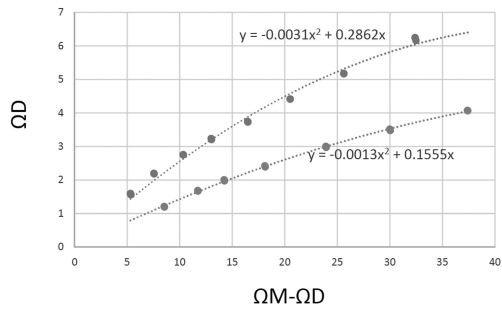
20

30

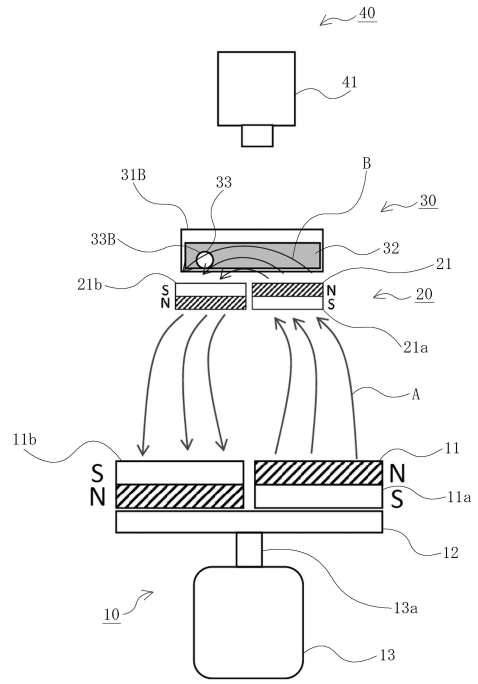
40

50

【 図 3 】



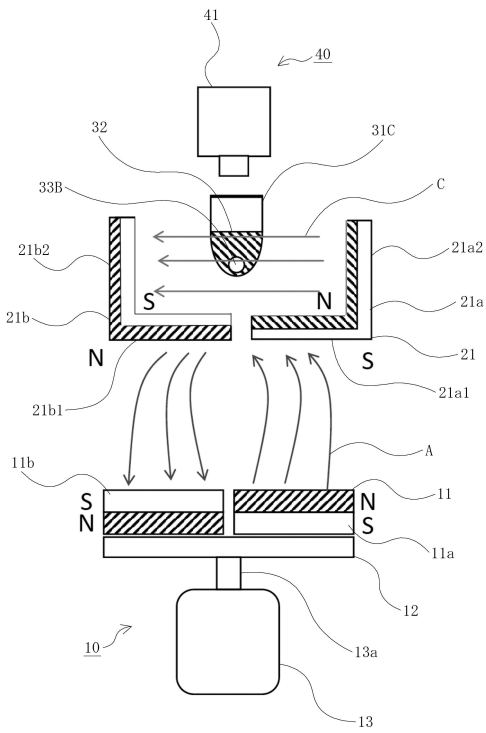
【 図 4 】



10

20

【 図 5 】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2013/015211(WO, A1)
特開2012-242137(JP, A)
特開2013-242297(JP, A)
特開平07-253388(JP, A)
米国特許出願公開第2014/0047904(US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01N 11/00 - 11/16
G01N 19/00