

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年9月7日(07.09.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/159688 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 11/14 (2006.01) G01N 19/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/007538
- (22) 国際出願日: 2018年2月28日(28.02.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2017-039905 2017年3月2日(02.03.2017) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人東京大学 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 酒井 啓司(SAKAI Keiji); 〒1138654 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 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 棚井 澄雄, 外 (TANAI Sumio et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,

(54) Title: VISCOSITY AND ELASTICITY MEASURING DEVICE, AND VISCOSITY AND ELASTICITY MEASURING METHOD

(54) 発明の名称: 粘性・弾性測定装置及び粘性・弾性測定方法

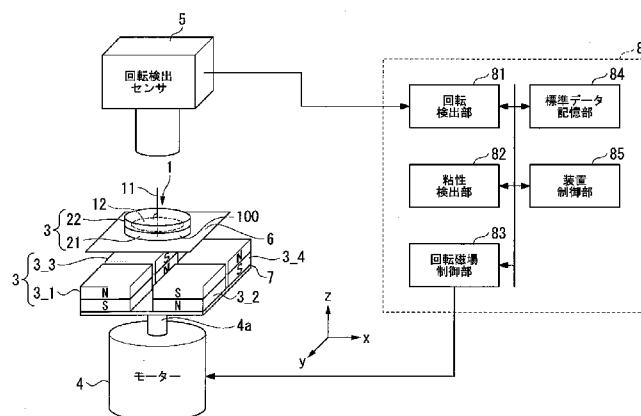


FIG. 1:

- 4 Motor
5 Rotation detecting sensor
81 Rotation detecting unit
82 Viscosity detecting unit
83 Rotating magnetic field control unit
84 Reference data storage unit
85 Device control unit

(57) Abstract: This viscosity and elasticity measuring device comprises: a rotor of which part or all is configured from an electrically conductive material, and which includes, at the center of rotation in a lower portion thereof, a protruding protuberance; a sample container into which a substance of detection, of which the viscosity is to be detected, is introduced, and in which the rotor is disposed in a state in which, while in contact with the substance of detection, the protuberance is in contact with an inner surface bottom portion of the sample container; a rotation control unit which applies a magnetic field to the rotor to induce an induced current, and which causes the rotor to rotate by means of a rotational torque resulting from a Lorentz interaction between the induced current and the magnetic field being applied to the rotor; a rotation detecting unit which detects the rotational speed of the rotor; and a viscosity and elasticity detecting unit which, by means of the rotational speed, detects the viscosity and the elasticity of the substance of detection in contact with the rotor. The position of the center of gravity of the rotor is closer to the protuberance than is the position of a center of buoyancy resulting from buoyancy that arises in correspondence with a part of the rotor that is submerged in the substance of detection.



NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約：本発明の粘性・弾性測定装置は、一部あるいは全体が導電性を有する材料で構成され、その下部における回転中心に突状の突起を有する回転子と、粘性を検出する対象の検出対象物質が入れられ、検出対象物質に接触して突起が自身の内面底部に接触した状態で回転子が配置された試料容器と、回転子に磁場を印加して誘導電流を誘起し、誘導電流と回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用による回転トルクで回転子を回転させる回転制御部と、回転子の回転速度を検出する回転検出部と、回転速度により、回転子に接する検出対象物質の粘性及び弾性を検出する粘性弾性検出部とを有し、回転子の検出対象物質に没した部分に対応して生じる浮力による浮心位置より、回転子の重心位置が突起に近い。

明 細 書

発明の名称：粘性・弾性測定装置及び粘性・弾性測定方法

技術分野

[0001] 本発明は、物質の力学物性である粘性・弾性を測定するための粘性・弾性測定装置及び粘性・弾性測定方法に関する。

本願は、2017年3月2日に、日本国へ出願された特願2017-039905号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 従来より、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（例えば、特許文献1参照）。

粘性・弾性測定は、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、研究開発に必要不可欠な測定技術である。

従来から知られている粘性測定法においては、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ある（例えば、特許文献1、特許文献2、特許文献3参照）。

[0003] 特許文献1は、回転子として、導電性の小球を試料内に沈め、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に測定している。

特許文献2は、浮力及び表面張力のいずれか、または双方を用いて、円盤状の回転子を試料表面に浮かべ、所定のトルクを非接触で印加し、その回転子の回転速度から、試料の粘性を非接触に測定している。

特許文献3は、回転子の下部の回転中心の先端が凸形状に形成されており、その先端が試料を収容する容器の内部底部と接触し、回転子の上部に回転

軸が設けられており、この回転軸を回転自在な機構により保持し、回転軸の方向を固定している。そして、回転子に対して所定のトルクを非接触で印加し、その回転子の回転速度から、試料の粘性を非接触に測定している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2009-264982号公報

特許文献2：特開2012-242137号公報

特許文献3：特開2016-031352号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、上述した特許文献1は、小球の周囲の試料の流動速度が非ニュートン性の液体については既知ではなく、粘性を与えるずり速度を一意に決定できず、純水などの低い粘性の測定精度が得られない。

特許文献2は、粘性を測定する際に、回転子と容器の底部との距離（浮上高さ）を正確に測定する必要があるが、容器に收容される試料の量により変化するため、測定毎に上記距離を測定するためには、精度の高い測定器が必要となる。また、浮上高さは、試料の蒸発や、温度の変化に伴う試料の比重の変化、あるいは回転子と試料とのぬれ性の変化により変動する。このため、周囲環境により、試料の粘性の測定精度が変化してしまう場合がある。

[0006] 特許文献3は、回転子の上部に設けられた回転軸と、この回転軸を保持する機構との間の摩擦により、純粋などの粘性の低い試料に対する測定精度が低下してしまう。精度を上げる場合、毎秒一回転以上の高速の回転を与える必要があり、低ずり速度域における粘性計測の精度を向上することができない。また、回転軸とこの回転軸を保持する機構との間に、容器内において蒸発した試料が結露すると、その結露した試料の表面張力により、回転子の回転速度が影響を受け、測定精度が低下する場合がある。

[0007] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、検出対象の物質を入

れる試料容器を安価なものとして使い捨てを可能とし、かつ低粘度から高粘度までの広い領域にわたる試料物質の粘性を、従来に比較して簡易にかつ高い精度により測定することができる粘性・弾性測定装置及び粘性・弾性測定方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0008] 上述した課題を解決するために、本発明の粘性・弾性測定装置は、一部あるいは全体が導電性を有する材料で構成され、その下部における回転中心に突状の突起を有する回転子と、粘性を検出する対象の検出対象物質が入れられ、該検出対象物質に接触して前記突起が自身の内面底部に接触した状態で前記回転子が配置された試料容器と、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、該誘導電流と該回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用により、該回転子に回転トルクを与えて回転させる回転制御部と、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数により、該回転子に接する前記検出対象物質の粘性及び弾性を検出する粘性弾性検出部とを有し、前記回転子の前記検出対象物質に没した部分に対応して生じる浮力による浮心位置より、前記回転子の重心位置が前記突起に近いことを特徴とする。
- [0009] 本発明の粘性・弾性測定装置は、前記回転子の半径が以下の（１４）式により決定されることを特徴とする。
- [0010] 本発明の粘性・弾性測定装置は、前記重心位置と浮心位置との距離が、前記回転子の回転における回転軸を鉛直方向に保持する復元力を有する距離以上に設定されていることを特徴とする。
- [0011] 本発明の粘性・弾性測定装置は、粘性が既知である複数の物質内における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予め測定した標準データを記憶する記憶部をさらに有し、前記粘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、前記標準データを比較することにより、前記検出対象物質の粘性・弾性を求めることを特徴とする。
- [0012] 本発明の粘性・弾性測定装置は、前記回転子の面にマークが付されており

、前記回転検出部が前記マークの回転を検出することにより、前記回転子の回転数を検出することを特徴とする。

[0013] 本発明の粘性・弾性測定装置は、前記回転子の前記回転子に対してレーザを照射し、その反射光あるいは干渉パターンの変化を光学的に測定することにより、前記回転子の回転数を検出することを特徴とする。

[0014] 本発明の粘性・弾性測定装置は、前記回転子の直径方向に対し、当該回転子が前記回転軸からの距離に比例して薄くなるように形成されていることを特徴とする。

[0015] 本発明の粘性・弾性測定装置は、前記回転子底板の直径方向に対し、当該回転子底板が前記回転軸からの距離に比例して薄くなるように形成されていることを特徴とする。

[0016] 本発明の粘性・弾性測定方法は、試料容器に粘性及び弾性を検出する対象の検出対象物質を収容し、一部あるいは全体が導電性を有する材料で構成され、その下部における回転中心に突状の突起を有する回転子を、前記検出対象物質に接触して前記突起が自身の内面底部に接触した状態で配置する過程と、前記回転子に時間変動する磁場を印加し、前記回転子の前記回転子内に誘導電流を誘起し、該誘導電流と該回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用により、該回転子に回転トルクを与えて回転させる過程と、前記回転子の回転数を検出する過程と、前記回転数により、前記回転子に接する検出対象物質の粘性・弾性を検出する粘性検出過程とを含み前記回転子の前記検出対象物質に没した部分に対応して生じる浮力による浮心位置より、前記回転子の重心位置が前記突起に近いことを特徴とする。

発明の効果

[0017] 以上説明したように、本発明によれば、検出対象の物質を入れる試料容器を安価なものとして使い捨てを可能とし、かつ低粘度から高粘度までの広い領域にわたる試料物質の粘性を、従来に比較して簡易にかつ高い精度により測定することができる粘性・弾性測定装置及び粘性・弾性測定方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本発明の一実施形態による粘性・弾性測定装置の構成例を示す概略構成図である。

[図2]図1に示す粘性・弾性測定装置における試料容器及び回転子の構成例を示す図である。

[図3A]試料容器2に收容された試料100における回転子1の配置を説明するために試料容器2を側面から見た概念図である。

[図3B]試料容器2に收容された試料100における回転子1の配置を説明するために試料容器2を側面から見た概念図である。

[図4A]試料容器2に收容された試料100における回転子1の他の配置を説明するために試料容器2を側面から見た概念図である。

[図4B]試料容器2に收容された試料100における回転子1の他の配置を説明するために試料容器2を側面から見た概念図である。

[図5A]磁石固定台7における回転磁界発生するために設けられた磁石の固定状態を示す平面図である。

[図5B]磁石固定台7における回転磁界発生するために設けられた磁石の固定状態を示す平面図である。

[図6]複数の異なる粘性 η を有する標準試料における、モーター4の回転数 Ω_M と対応する標準試料での回転子1の回転数 Ω_D 各々との関係を示す図である。

[図7]図6に示す関係図から求められた各試料（試料A及び試料B）のずり速度依存性を示す図である。

[図8]ヨーク10と、このヨーク10から突出したティース10a、10b、10c及び10dとが基準2次元平面上に配置された電磁石を示す図である。

[図9]回転子1における回転子底板の形状の他の構成例を表す模式図である。

[図10]モーター4の回転速度 Ω_M （すなわち、回転トルク）と、回転子1が停止する回転角度 θ との関係を示す図である。

[図11]弾性と、回転速度及び回転角度の比例係数との関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、本発明の一実施形態による粘性・弾性測定装置を図面を参照して説明する。図1及び図2は本発明の一実施形態による粘性・弾性測定装置の構成例を示す概略構成図である。図1は、粘性・弾性測定装置の全体構成を示している。図2は、図1に示す粘性・弾性測定装置における試料容器及び回転子の構成例を示す図である。

この図1において、本実施形態における粘性・弾性測定装置は、回転子1、試料容器2、第1磁石3__1、第2磁石3__2、第3磁石3__3、第4磁石3__4、モーター4、回転検出センサ5、試料台6、磁石固定台7、粘性測定部8を備えている。

[0020] 図2に示すように、回転子1は、回転子底板1Aと浮き部1Bとで形成されている。回転子底板1Aは、円盤形状の部材、例えば金属材料で形成されており、その一部または全部（全体）が導体（例えば、金属材料）にて構成されている。回転子底板1Aは、例えば一部分のみがアルミニウムなどの導電体を用いており、他の部分はプラスチックやビニールなどの素材で構成することができる。すなわち、回転子底板1Aは、プラスチック製の円板の上面に市販のアルミ箔などを貼着させて作成しても良い。これにより、市販のプラスチックの円板と市販のアルミ箔とから容易に安価な回転子底板1Aを形成することができる。

[0021] 浮き部1Bは、回転子底板1Aと同軸の円筒（直円柱）形状の浮体であり、上面からの平面視において、外周が回転子底板1Aの外周と重なっている。すなわち、浮き部1Bの中心軸に対して垂直が断面と、回転子底板1Aとは平面視で重なっている。また、浮き部1Bは、回転子底板1Aに比較して大きな浮力を有する構成として形成されている。これにより、回転子1は、回転子底板1Aの中心軸（浮き部1Bの中心軸）に対し、回転対称な形状をしており、中心軸を中心に回転するため、回転軸11が回転子底板1Aの面に対して鉛直（垂直）方向を向いている。

また、回転子底板 1 A 及び浮き部 1 B のいずれか一方には、回転検出を行う（後述）ため、そのいずれかの表面（本実施形態においては回転子底板 1 A）に撮像素子などで検出可能な大きさのマークが設けられている。

[0022] 試料容器 2 は、試料容器本体 2 1 と試料容器蓋 2 2 とから構成されている。また、試料容器 2 は、力学的物性としての粘性（すなわち、粘性係数） η を測定する対象の検出対象物（以下、試料と称す）を収容する。試料容器本体 2 1 及び試料容器蓋 2 2 の各々は、例えば、ガラスあるいはプラスチックなどの材料で製造されている。試料容器本体 2 1 は、例えば小型のシャーレなどの円筒形状の試料容器である。この試料容器本体 2 1 の内径は、回転子 1 における回転子底板 1 A（及び浮き部 1 B）の直径よりわずかに大きければよい。

[0023] 試料容器蓋 2 2 は、試料容器本体 2 1 に収容する試料 1 0 0 の蒸発や異物の混入などを防止するため、外部環境（外気など）から完全に試料 1 0 0 を遮断するために用いるものであり、必要が無い場合には備える必要はない。この試料容器 2 において、回転子 1 は、回転子底板 1 A 及び浮き部 1 B 検出対象物である試料 1 0 0 に接するように、すなわち、一部または全部がこの検出対象物に没するように配置されている。試料容器 2 は、試料容器本体 2 1 及び試料容器蓋 2 2 の双方ともに、ガラスあるいはプラスチックを素材とした市販のシャーレなどを使用することができる。このため、試料容器 2 には、ディスポーザルな市販の試料容器を試料容器とすることができ、安価に準備することができる。

[0024] 上述したように、本実施形態は、回転子 1 及び試料容器 2 が安価とすることができる。このため、生体材料などが試料 1 0 0 となった場合、その廃棄に特段の注意を要する物質を測定対象としても、回転子 1 及び試料容器 2 を容易に廃棄することができる。

この結果、焼却及び滅菌などの後処理の問題と同様に、他の医療器具の廃棄と同様に容易に行うことができる。

[0025] 図 3 A 及び図 3 B は、試料容器 2 に収容された試料 1 0 0 における回転子

1の配置を説明するために試料容器2を側面から見た概念図である。図3A及び図3Bにおいて、浮き部1Bは、回転子底板1Aの上面に配置され、上部が開放された外周面のみの筒形状をしており、内部200が空間となっている。この内部200の空間により、回転子1に対して、試料100の比重に対応した浮力が発生する。この浮き部1Bの外周面は、樹脂製などの板を筒状にしたもの、あるいは樹脂製のパイプを中心軸に対して垂直に切断して、切断されたパイプの外周壁による円筒などを用いることができる。また、浮き部1Bは、内部空間が密閉された円筒、あるいは内部200が他の部材で満たされた円筒、または内部空間がない円柱を用いても良い。また、内部空間がない円柱を浮き部1Bとして用いた場合、浮き部1Bの底面の一部あるいは全部を金属などで形成し、浮き部1B自体を回転子1として用いても良い。この場合においても、以下に説明する浮心と重心との関係は満足させる必要がある。

[0026] 浮き部1Bの側壁の上面にマーク30が配置されている。このマーク30は、回転子底板1Aの上面における撮像装置により読取り可能な位置に配置されていても良い。このマーク30位置の変化をセンサあるいは撮像装置などにより光学的に読取り、回転子1の回転数を求めて、回転子1の回転速度を算出する。本実施形態において、回転子底板1Aは、金属の円板で形成されている。

また、回転子底板1Aの下面には、試料容器本体21の内面底部に接触させる金属製の突状の突起部1Cが設けられている。この突起部1Cは、試料容器本体21の内面底部に設けられた溝部21C底面に接触している。溝部21Cに対して突起部1Cが挿入された状態で、回転子1が回転する。このため、回転子底板1Aの下面と試料容器本体21の内部の底面との間隔が、精度良く一定に保たれ、試料100中における回転子底板1Aのずり速度を安定して保つことができ、試料100の粘性測定の精度が向上する。

[0027] 本実施形態において、回転子1の重量の約60%は回転子底板1Aを構成する部材の質量であり、回転子1の重量の残りの約40%は浮き部1Bを構

成する部材の質量である。また、回転子 1 の重量が約 1.3 g (グラム) の場合、この回転子 1 に加わる重力の大きさは 1.3 グラム重である。ここで、回転子 1 内部の空洞部分の体積は約 0.8 cm^3 であり、試料の比重が 1.0 g/cm^3 である場合、回転子 1 に加わる浮力は最大で 0.8 グラム重である。このため、回転子 1 は、試料容器 2 に収容された試料 100 において、全体が完全に浮くことは無く、所定の体積分の部分が図 3 A 及び図 3 B の各々に示すように沈んだ状態となる。

[0028] 図 3 A は、回転子 1 が試料容器 2 に収容された試料 100 において、安定状態で自立している状態を示している。試料中で自立している回転子 1 において、浮心 202 の位置が重心 201 の位置に比較して、より突起部 1 C から遠い位置となるように、浮き部 1 B により、回転子 1 に印加される浮力を調整している。浮心 202 にかかる浮力（回転子 1 の比重と試料との比重に基づく浮力）のベクトル 202 B は、試料 100 の液面に対して垂直な上部方向に、この液面から離れる方向を向いている。一方、重心 201 にかかる重力（回転子 1 の質量）によるベクトル 201 は、試料 100 の液面に対して垂直な下部方向に、この液面から離れる方向を向いている。上記ベクトル 201 B 及びベクトル 202 B の各々が、試料 100 の液面に対して垂直な同一直線 150 上にある場合、すなわち重心 201 を通る試料 100 の液面に垂直な直線 150 上において当該直線 150 と平行にある場合、試料 100 に対して安定状態で自立している。すなわち、本実施形態においては、回転子 1 における浮心 202 の位置が重心 201 の位置に比較して、より突起部 1 C から遠い位置となるよう構成しているため、回転子 1 の回転軸を鉛直方向に保持することで、回転子 1 が試料 100 中で自立する。

[0029] 図 3 B は、回転子 1 が試料容器 2 に収容された試料 100 において、何らかの揺動（何らかの力が印加）により傾いた状態を示している。図 3 B においては、回転子 1 に対して何らかの力が印加され、試料 100 の液面に垂直な直線 150 方向と、回転子底板 1 A の上面に垂直な直線 160 の方向とが角度 θ 異なっている。このとき、上記ベクトル 201 B 及びベクトル 202

Bの各々が、試料100の液面に対して垂直な同一直線150上に存在していない。すなわち、ベクトル201B及びベクトル202Bの各々が、試料100の液面に対して垂直な同一直線150上に無い。回転子1の水中に没した部分が排除した試料100の体積分の試料100の重力に等しい浮力を得るため、図に示すように傾いて、より試料100に沈んだ部分の体積の大きい方に浮心202の位置が移動する。すなわち、本実施形態においては、浮心202の位置が重心201の位置に比較して、より突起部1Cから遠い位置となるよう構成しているため、回転子1の回転軸を鉛直方向に復元させる復元力を、回転子1自身が有している。

[0030] 上述した場合、ベクトル201B及びベクトル202Bの各々が試料100の液面に対して垂直な同一直線150上に戻り、回転子1が安定状態となるように、回転モーメント（トルク）が回転子1にかかる。この回転モーメントは、回転子1を中心軸に対して回転させるトルクが印加され、回転子1が回転している状態においても同様に、回転子1に対して印加される。これにより、回転軸11が直線150と同一の直線上に位置する状態となり、試料100の液面と回転子底板1Aの上面とが平行となり、精度の高い試料100の粘性を求めるための回転子1の回転速度を求めることができる。そして、試料容器2に収容された試料100内に配置された回転子1の回転に伴い、回転子底板12と試料100との間に挟まれた試料100において、所定のずり速度を有するずり流動が生じ、このずり流動に基づくずり応力により回転子1の回転に対して粘性トルクが生じる（後述）。

[0031] 図4A及び図4Bは、試料容器2に収容された試料100における回転子1の他の配置を説明するために試料容器2を側面から見た概念図である。図4A及び図4Bにおいて、浮き部1Bは、回転子底板1Aの上面に配置され、上部が蓋1Dにより密閉された外周面のみの筒形状をしており、内部300が空間となっている。蓋1Dは樹脂の厚さの薄い円板である。この内部300の空間により、回転子1に対して、試料100の比重に対応した浮力が発生する。この浮き部1Bの外周面は、樹脂製などの板を筒状にしたもの、

あるいは樹脂製のパイプを中心軸に対して垂直に切断して、切断されたパイプの外周壁による円筒などを用いることができる。

[0032] また、浮き部 1 B は、内部 3 0 0 が他の部材で満たされた円筒、または内部空間がない円柱を用いても良い。この場合には、浮き部 1 B に対して蓋 1 D を設ける必要はない。

図 4 A 及び図 4 B のように回転子 1 を完全に試料 1 0 0 内に沈ませた状態で粘性測定を行なう場合、試料 1 0 0 が上記蓋 1 D の下面全面と試料容器蓋 2 1 下面全面とに接触するように、すなわち、試料容器 2 の内部に試料 1 0 0 を充填させる。試料容器 2 において、試料 1 0 0 が試料容器本体 2 1 と試料容器蓋 2 2 と挟まれた空間に充填される。これにより、試料容器 2 に収容された試料 1 0 0 内に配置された回転子 1 の回転に伴い、回転子底板 1 2 及び蓋 1 D と試料 1 0 0 との間に挟まれた試料 1 0 0 にずり流動が生じ、回転子 1 の回転に対して粘性トルクが生じる（後述）。

このとき、試料 1 0 0 の粘性の測定精度を上げるためには、回転子底板 1 A の下面及び試料容器本体 2 1 の内部底面の対向する距離と、蓋 1 D の上面及び試料容器蓋 2 1 の下面の対向する距離とを同様とする。

[0033] 本実施形態において、回転子 1 の重量の約 6 0 % は回転子底板 1 A を構成する部材の質量であり、回転子 1 の重量の残りの約 4 0 % は浮き部 1 B を構成する部材の質量である。また、回転子 1 の重量が約 1. 3 g（グラム）の場合、この回転子 1 に加わる重力の大きさは 1. 3 グラム重である。ここで、回転子 1 内部の空洞部分の体積は約 0. 8 c m³であり、試料の比重が 1. 0 g / c m³である場合、回転子 1 に加わる浮力は最大で 0. 8 グラム重である。このため、回転子 1 は、試料容器 2 に収容された試料 1 0 0 において、完全に浮くことは無く、図 4 A 及び図 4 B の各々に示すように試料 2 0 0 の中において、全てが完全に沈んだ状態となる。

[0034] 図 4 A は、回転子 1 が試料容器 2 に収容された試料 1 0 0 において、安定状態で沈んでいる状態を示している。試料に浮いている回転子 1 において、浮心 2 0 2 の位置が重心 2 0 1 の位置に比較して、より突起部 1 C に近い位

置となるように、浮き部 1 B により、回転子 1 に印加される浮力を調整している。浮心 202 にかかる浮力（回転子 1 の比重と試料との比重に基づく浮力）のベクトル 202 B は、試料 100 の液面に対して垂直な上部方向に、この液面から離れる方向を向いている。一方、重心 201 にかかる重力（回転子 1 の質量）によるベクトル 201 は、試料 100 の液面に対して垂直な下部方向に、この液面から離れる方向を向いている。上記ベクトル 201 B 及びベクトル 202 B の各々が、試料 100 の液面に対して垂直な同一直線 150 上にある場合、すなわち重心 201 を通る試料 100 の液面に垂直な直線 150 上において当該直線 150 と平行にある場合、試料 100 内において対して安定状態で浮いている。

[0035] 図 4 B は、回転子 1 が試料容器 2 に収容された試料 100 において、不安定状態で浮いている状態を示している。図 4 B においては、回転子 1 に対して何らかの力が印加され、試料 100 の液面に垂直な直線 150 方向と、回転子底板 1 A の上面に垂直な直線 160 の方向とが角度 θ 異なっている。このとき、図 3 B の場合と同様に、上記ベクトル 201 B 及びベクトル 202 B の各々が、試料 100 の液面に対して垂直な同一直線 150 上に存在していない。

[0036] すなわち、ベクトル 201 B 及びベクトル 202 B の各々が試料 100 の液面に対して垂直な同一直線 150 上に戻り、回転子 1 が安定状態となるように、回転モーメント（トルク）が回転子 1 にかかる。この回転モーメントは、回転子 1 を中心軸に対して回転させるトルクが印加され、回転子 1 が回転している状態においても同様に、回転子 1 に対して印加される。これにより、回転軸 11 が直線 150 と同一の直線上に位置する状態となり、試料 100 の液面と回転子底板 1 A の上面とが平行となり、精度の高い試料 100 の粘性を求めるための回転子 1 の回転速度を求めることができる。

[0037] 図 1 において、試料台 6 の上面に、試料 100 が充填された試料容器 2 が設けられている。この試料台 6 の下部には、モーター 4 のモーター軸 4 a が接続された磁石固定台 7 が試料台 6 と平行に設けられている。モーター 4 の

モーター軸 4 a を回転させることにより、磁石固定台 7 が回転することになる。この磁石固定台 7 の上面には、第 1 磁石 3__1（第 3 磁石 3__3）、第 2 磁石 3__2（第 4 磁石 3__4）が設けられている。

[0038] 磁石固定台 7 は、回転磁場を発生させる磁石を固定する平板状の板部材である。例えば、磁石固定台 7 の上面には、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石 3__4 の各々が固定して設けられている。この磁石固定台 7 は、回転子底板 1 A と平行となるように配置されている。第 1 磁石 3__1 及び第 2 磁石 3__3 の各々は、磁石固定台 7 の上面側に S 極が接し、N 極が回転子底板 1 A と対向するように設けられている。第 2 磁石 3__2 及び第 4 磁石 3__4 の各々は、磁石固定台 7 の上面側に N 極が接し、S 極が回転子底板 1 A と対向するように設けられている。

[0039] したがって、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石の各々は、隣接する磁石と互いに異なる極性の磁極が試料容器 2 の下面と対向する配置となっている。また、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石の各々は、それぞれ直方体であり、上面の高さが同様となるように、上面が互いに平行に配置されている。

[0040] 図 5 A 及び図 5 B は、磁石固定台 7 における回転磁界発生するために設けられた磁石の固定状態を示す平面図である。図 5 A は、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石の各々の配置を示している。第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石 3__4 の各々は、磁石固定台 7 の回転軸に対して交互に対称に配置されている。一方、図 5 B は、第 5 磁石 3__5 及び第 6 磁石 3__6 の各々の配置を示している。

[0041] 本実施形態においては、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石を用いているが、回転磁界を生成できれば、磁石はいくつでも構わない。すなわち、図示はしないが、複数個（N 個、 $N = 2n$ 、 n は $n \geq 1$ の整数）の小型の磁石を試料容器 2 における回転子 1 の回転子底板 1 A の回転方向に沿って、磁石の上面の磁極が N 極と S 極とが交互になるように配置しても良い。また、磁石固定台 7 は、永久磁石の上面が水平面となるよ

うに、試料容器 2 に充填された試料 100 の液面と対向するように、試料容器 2 の上部に配置する構成としても良い。

[0042] 図 1 に戻り、試料台 6 は、試料 100 が充填された試料容器 2 を固定する平板状の板部材であり、上面が磁石固定台 7 の上面と平行となるように配置されている。

これにより、回転子 1 は、試料容器 2 内部の試料 100 中において、回転子底板 1 A と、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石の各々が回転した際における、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石それぞれの上面が形成する平面と平行となる。

上述した試料台 6、磁石固定台 7、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石の各々の配置から、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石それぞれにより、試料容器 2 における回転子 1 に対して垂直方向の磁場（垂直となる磁場成分でも良い）を発生させることができる。

[0043] モーター 4 は、磁石固定台 7 を、磁石固定台 7 の表面に垂直なモーター軸 4 a 方向で回転させる駆動機構であり、モーター軸 4 a が磁石固定台 7 の上面に対して垂直となるように固定されている。

また、平面視において、回転子 1 の回転子底板 1 A が試料容器 2 の内壁に接触せず、かつ試料 100 に接して回転する位置に、回転子 1 の回転軸 1 1 が配設されるように、試料容器 2 とモーター 4 とが配置されている。

すなわち、平面視において、試料容器 2 の底面の中心と、モーター 4 のモーター軸 4 a の軸方向とが重なる位置に、試料容器 2 とモーター 4 とが配置されている。

[0044] また、試料容器 2 内に充填された試料 100 中における回転子 1 の回転子底板 1 A に対して回転磁場を与え、回転軸 1 1 を回転中心として回転させる際、磁石固定台 7 をモーター 4 により回転させる。これにより、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石の各々が回転し、回転子底板 1 A に対して回転磁界が与えられる。このとき、回転子底板 1 A に対

する回転磁場の印加状態により、回転子 1 の回転軸 11 が試料容器 2 の底面の中心からずれる場合がある。

ここで、平面視において、回転子 1 の回転子底板 1A の面積に比較し、試料容器 2 の内部の底部の面積を大きく作製する。これにより、回転子 1 の回転軸 11 が試料容器 2 の底面の中心からずれても、試料容器 2 の内部の側壁に接触することはない。しかしながら、試料容器 2 を大きく作製するため、粘性 η の測定に必要な試料容器 2 内に充填する試料 100 の量が多くなる。

[0045] このため、図 3A、図 3B、図 4A 及び図 4B の各々に示したように、本実施形態においては、試料容器本体 21 の内部底面の一部に滑らかな溝部（凹部）21C を設けている。この溝部 21C を設けることにより、回転子 1 の回転時において、回転子 1 の回転子底板 1A の突起部 1C（回転軸 11 の下部部分である凸部）が溝部 21C に中心を一致して接触するように、重力により配設される。溝部 21C に対して回転子底板 1A の突起部 1C が挿入された状態で、回転子 1 が回転する。このため、回転子底板 1A の下面と試料容器本体 21 の内部の底面との間隔が、精度良く一定に保たれ、試料 100 中における回転子底板 1A のずり速度を安定して保つことができ、試料 100 の粘性測定の精度が向上する。

[0046] 図 6 は、複数の異なる粘性 η を有する標準試料における、モーター 4 の回転数 Ω_M （rpm: revolutions per minute）と対応する標準試料での回転子 1 の回転数 Ω_D 各々との関係を示す図である。図 6 において、横軸は回転数 Ω_M と回転数 Ω_D との回転差 Ω_{MD} （回転数 Ω_M - 回転数 Ω_D ）を示し、縦軸は回転子 1 の回転数 Ω_D を示している。ここで使用した各標準試料の粘性 η は、例えば、それぞれ異なり、試料 A が 0.5（mPa・s）、試料 B が 1.0（mPa・s）である。そして、この図 6 から粘性 η の異なる標準試料毎の回転差 Ω_{MD} と回転数 Ω_D との関係、すなわち傾き Ω_D / Ω_{MD} の対応を示す曲線を最低二乗法などにより求める。この傾き Ω_{MD} / Ω_D は、各標準試料の粘性 η と比例するものである。

[0047] 図 1 に戻り、回転検出センサ 5 は、試料容器 2 の試料 100 中の回転子 1

の検出可能な位置に設けられたマークが検出できる位置として、試料容器 2 の上部方向の位置に配置され、この回転子 1 に付加されたマーク（図 3 A、図 3 B、図 4 A 及び図 4 B の各々の浮き部 1 B の側壁の上面に設けられたマーク 3 0）の回転における位置を光学的に検出する。すなわち、回転検出センサ 5 は、光照射部からレーザ光を出射し、回転子 1 のマーク 3 0 からの反射光を受光部で入射し、入射光の強度に対応した検出電気信号を出力する。

[0048] また、回転検出センサ 5 の代わりに、レンズと C C D (Charge Coupled Device) などの撮像素子を顕微鏡に付加した撮像装置を設け、回転子 1 に付加されたマークの、この回転子 1 の回転における移動状態を拡大して撮像した撮像画像を出力し、画像処理から回転数（すなわち、回転子 1 のマークの周回数、マーク（図 3 A、図 3 B、図 4 A 及び図 4 B の各々の浮き部 1 B の側壁の上面に設けられたマーク 3 0）が一回転した場合に周回数は 1）を検出するようにしても良い。また、回転子 1 において、回転子底板 1 A の上面における、上記検出可能な位置に上記マークを付加（配置）し、上述した回転子 1 の回転数を上記撮像装置により計測するようにしても良い。

[0049] また、回転子 1 の回転子底板 1 A の内面、あるいは浮き部 1 B の側壁の外周面、または突起部 1 C に対して、レーザを照射し、回転による反射及び干渉パターンの変化を光学的に測定し、回転子 1 の回転数を検出する構成としても良い。

また、回転子 1 における回転子底板 1 A または浮き部 1 B の一部を誘電体で置き換え、測定電極間に回転子底板 1 A または浮き部 1 B が挟まれる電極対を、図 1 などの磁石固定台 7 の回転の邪魔にならない位置に配置し、コンデンサを構成する。そして、回転検出センサ 5 は、回転を検出するためのマークとしての誘電体（例えば、図 3 A、図 3 B、図 4 A 及び図 4 B の各々の浮き部 1 B の側壁の上面に設けられたマーク 3 0）が、配置した電極間を通過する際、検出電気信号を出力する。すなわち、回転検出部 8 1 は、マークとしての誘電体が電極間を通過する際、電極で構成したコンデンサの容量変化を検出し、所定の期間（たとえば、1 秒）におけるこの容量変化の回数を

検出し、回転子 110 の回転数を検出するように構成しても良い。

[0050] ここで、モーター 4 で磁石固定台 7 を回転させることにより、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石 3__4 の各々が回転し、時間的に変動する磁場として回転磁場が磁石固定台 7 の上面に空間に形成される。

この回転磁場により、回転子 1 の回転子底板 1A に対してトルクを与えて、試料容器 2 における試料 100 中において回転子 1 を回転させ等速回転運動をさせる。そして、回転子 1 の試料 100 内における回転速度から試料 100 の粘性 η を計測する方法について、以下に説明する。

[0051] 粘性測定部 8 は、回転検出部 81、粘性検出部 82、回転磁場制御部 83、標準データ記憶部 84 及び装置制御部 85 を有している。

回転検出部 81 は、回転検出センサ 5 から供給される検出電気信号により、回転子 1 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（rpm: revolutions per minute）として、回転数 ΩD を求めて出力する。また、回転検出部 81 は、回転子 1 の回転数の検出において、回転検出センサ 5 の検出電気信号を用いるのではなく、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、回転子 1 に付加したマークを画像処理により検出し、単位時間当たりの回転数 ΩD を求めるようにしても良い。また、コンデンサの構成を用いた場合、回転検出部 81 は、検出電気信号により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（たとえば、1 秒）におけるこの容量変化の回数を検出し、回転子 1 の回転数 ΩD を検出するように構成しても良い。

[0052] 粘性検出部 82 は、上述した標準試料の場合と同様に、試料 100 における傾き $\Omega D / \Omega MD$ ($= \Omega M - \Omega D$) を求め、この傾きの逆数 $\Omega MD / \Omega D$ を求める。このとき、粘性検出部 82 は、回転磁場制御部 83（後述）に対して、異なる複数の回転速度 ΩM でモーター 4 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 81 へ出力する。回転検出部 81 は、粘性検出部 82 から制御信号が供給される毎に、回転速度 ΩM において試料容器 2 に

入れた試料 100 中の回転子 1 の回転速度 ΩD を回転検出センサ 5 から入力する。そして、回転検出部 81 は、検出した回転速度 ΩD を、制御信号に対応して粘性検出部 82 へ出力する。

[0053] そして、粘性検出部 82 は、標準データ記憶部 84（後述）に記憶されている粘性検出テーブルから、試料 100 の逆数 $\Omega MD / \Omega D$ に対応する粘性 η （ $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ）を読み出し、これを試料 100 の粘性 η （ $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ）として出力する。ここで、標準データ記憶部 84 に実験式が記憶されている場合、粘性検出部 82 は、標準データ記憶部 84 から上記実験式を読み出し、この実験式に対して傾きの逆数 $\Omega MD / \Omega D$ を代入し、試料 100 の粘性 η （ $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ）を算出して求める構成としても良い。

[0054] 回転磁場制御部 83 は、設定された回転数でモーター 4 が回転するように、モーター 4 に対する回転制御を行う。これにより、モーター軸 4a を介して磁石固定台 7 が回転することになり、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石 3__4 の各々により発生する磁場が回転し、回転子 1 を試料 100 中において等速回転させる回転磁場を発生させる。

[0055] 標準データ記憶部 84 は、図 6 の関係図から求めた粘性 η （ $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ）と、傾きの逆数 $\Omega MD / \Omega D$ との対応を示す粘性検出テーブルが記憶されている。

この粘性検出テーブルは、以下の様に作成されている。図 6 において説明したように、本実施形態の粘性測定装置において、粘度が予め判っている標準試料を試料容器 2 に入れ（充填し）、標準試料中に回転子 1 を入れ、予め設定した複数の回転数 ΩM によりモーター 4 を回転させた場合に、各モーター 4 の回転数 ΩM に対応した回転子 1 の回転数 ΩD を、上述した回転検出部 81 により測定する。この標準試料に対する回転数 ΩD の測定を、複数の異なる粘性 η を有する標準試料（予め粘性 η の判っている試料）に対して行う。

また、粘性検出テーブルではなく、粘性 η （ $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ）と、傾きの逆数 $\Omega MD / \Omega D$ との対応を示す実験式が記憶されていても良い。

装置制御部 85 は、粘性測定部 8 内の各部の動作の制御を行う。

[0056] 図 7 は、図 6 に示す関係図から求められた各試料（試料 A 及び試料 B）の

ずり速度依存性を示す図である。図 7 において、横軸はずり速度 (Shear rate、 $1/s$) を示し、縦軸は試料の粘性 (viscosity、 $mPa \cdot s$) を示している。

この図において、各試料の粘性がずり速度に依存した関係にあることが示されているが、粘性の変化は試料の慣性の影響によるものであり、標準とする粘性を示す標準試料である粘度標準試料を用いて補正することができる。

純粋の粘性 (粘度) が室温において、 $0.9 (mPa \cdot s)$ である。このことから、純粋よりも低い粘性を有する試料 A などに対しても、本実施形態により粘性の差を高い精度で検出できることが判る。

[0057] 次に、回転子 1 の回転子底板 1 A に対して回転トルクを与える方法について説明する。図 1 において、第 1 磁石 3__1 の N 極及び第 4 磁石 3__4 と、第 2 磁石 3__2 及び第 4 磁石 3__3 の S 極とにより、ある基準面 (回転子底板 1 A を含む平面) に対して垂直な磁場が発生する。この基準面を、 x 軸及び y 軸からなる基準 2 次元平面とし、この 2 次元平面において回転する回転子 1 の回転子底板 1 A の回転軸 1 1 の軸方向を z 軸とする。

以降、基準 2 次元平面あるいはその近傍の点 (x, y, z) における磁場の z 軸成分を $B_z (x, y)$ として示す。

[0058] すでに述べたように、磁場は、基準 2 次元平面に対して垂直であるため、 z 軸に依存しないと仮定しているが、 z 軸に依存しても以下の説明に支障はない。また、基準 2 次元平面に対して垂直な磁場の成分があれば、他に基準 2 次元平面に対して垂直でない磁場の成分が存在しても、回転子 1 の回転子底板 1 A に対して回転トルクを与えることに支障とならない。

以下の説明において、回転子底板 1 A を金属で形成し、この回転子底板 1 A に加わる回転トルクを計算する。また、便宜的に最初は直交座標を採用し、回転子底板 1 A の鉛直上方を $+z$ 方向とし、回転子底板 1 A を $x-y$ 平面に起き、回転子底板 1 A の中心 (回転軸 1 1 と回転子底板 1 A との交点) を原点とする。さらに、磁石固定台 7 が回転することにより、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石 3__4 の生成する回転磁界を

以下の（１）式により表す。

[0059] [数1]

$$B_z = B(r) \exp\{i(\omega t - n\theta)\}, \quad (n=1,2,3\cdots) \quad \cdots(1)$$

$$r = (x^2 + y^2)^{1/2}$$

[0060] 上記（１）式において、 r は回転軸からの距離を示し、 B_z は z 軸方向の磁界を示し、 $B(r)$ は回転半径方向の磁界を示し、 ω は回転角速度を示し、 t は時間を示し、 n は磁石の組の数を示し、 θ は磁石固定台 7 の回転角度を示している。図 1 に示す本実施形態の場合、試料台 6 に対向する磁極が N 極及び S 極との磁石の組が 2 組であるため、 n は 2 である。

また、時間変動する磁場 B によって生じる（誘起される）電場 E は以下の（２）式で与えられる。磁場 B 及び電場 E はベクトルである。

[0061] [数2]

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \cdots(2)$$

[0062] この（２）式において、磁場 B は z 方向成分のみの磁場 B_z を有すると仮定するが、 z 軸方向以外の成分があっても以下の議論は成り立つ。

回転子 1 における導電性のディスク状の回転子底板 1 A 内を流れる電流ベクトル i （誘導される誘導電流の電流ベクトル）は $i = \sigma E$ であり、ここで、 σ は導電率である。 i 及び E はベクトルである。電流ベクトル i に対して発散は「0」なので、 $\text{div } i = 0$ である。したがって、電場 E について、以下の（３）式を満たす渦ポテンシャル（vortex potential） ϕ が存在する。

[0063] [数3]

$$E_x = -\frac{\partial \phi}{\partial y}, \quad E_y = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad \cdots(3)$$

[0064] 上記（３）式において、 E_x は 2 次元座標系における x 軸方向の電場を示し、 E_y は 2 次元座標系における y 軸方向の電場を示している。

上記（３）式を（２）式に代入し、以下の（４）式を得る。

[0065] [数4]

$$(\nabla \times \mathbf{E})_z = \Delta \varphi \quad \dots(4)$$

[0066] （２）式と（４）式とにより、以下の（５）式が得られる。

[0067] [数5]

$$\Delta \varphi = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \dots(5)$$

[0068] （５）式を磁場の具体的な表式で表現すると、以下の（６）式として表される。

[0069] [数6]

$$\Delta \varphi = -i\omega B(r) \exp\{i(\omega t - n\theta)\} \quad \dots(6)$$

[0070] 上記（６）式において、 $B(r)$ は回転半径方向の磁界を示し、 ω は回転角速度を示し、 t は時間を示し、 n は磁石の組の数を示し、 θ は磁石固定台 7 の回転角度を示し、 φ は渦ポテンシャルを示している。

[0071] 上記（６）式から以下の（７）式が得られる。

[0072] [数7]

$$\varphi(r, \theta, t) = -e^{i(\omega t - n\theta)} \int_0^\infty \frac{i\omega A(k)}{k} J_n(kr) dk \quad \dots(7)$$

[0073] 上記（７）式において、 $J_n(kr)$ は第１種ベッセル関数を示し、 k は式（７）の積分を実行する際の積分変数を示し、 r は回転半径を示し、 ω は回転角速度を示し、 t は時間を示し、 θ は磁石固定台 7 の回転角度を示している。

また、上記（７）式において、係数 $A(k)$ は $B(r)$ のHankel変換係数であり、以下の（８）式で表される。

[0074]

[数8]

$$A(k) = \int_0^{\infty} B(r) J_n(kr) r dk \quad \dots(8)$$

[0075] 以下の説明は、3次元座標系から円筒座標系に移行する。(3)式で得られる電場 E_x 及び電場 E_y の各々から、半径方向における電場 E_r 及び動径方向における電場 E_θ をそれぞれ求めると、以下の(9)式のように表せる。(9)式において、 θ は磁石固定台7の回転角度を示し、 r は回転半径を示している。

[0076] [数9]

$$E_r = -\frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta}, \quad E_\theta = \frac{\partial \phi}{\partial r} \quad \dots(9)$$

[0077] 上記(9)式において、電場(上記誘導電流に基づく電場)と磁場とのローレンツ相互作用を考えると、ローレンツ力の半径方向の成分の全積分は対称性により自明に0となる。

また、動径方向の成分は、 $F_\theta = \sigma E_r B_z$ で与えられる。この動径方向の成分は、(7)式及び(9)式により、以下の(10)式で表される。(10)式において、 ω は回転角速度を示し、 θ は磁石固定台7の回転角度を示し、 n は磁石の組の数を示し、係数 $A(k)$ は $B(r)$ のHankel変換係数を示し、 $J_n(kr)$ は第1種ベッセル関数を示し、 k は式(7)の積分を実行する際の積分変数を示し、 r は回転半径を示している。

[0078] [数10]

$$F_\theta = \frac{n\omega B(r)}{2r} \int_0^{\infty} \frac{A(k)}{k} J_n(kr) dk \quad \dots(10)$$

[0079] 上記(10)式において、簡単のために磁場の動径方向の分布がBessel関数で近似できるものとする。すなわち、 $B(r) = B_0 J_n(kr)$ のとき、回転磁場が回転子底板1Aに与えるトルク T は、以下の(11)式で求めることがで

きる。ここで、 B_0 は磁場の強度を示している。(11)式において、 n は磁石の組の数を示し、 ω は回転角速度を示し、 B_0 は式(7)の積分を実行する際の積分変数を示し、 $J_n(kr)$ は第1種ベッセル関数を示している。

[0080] [数11]

$$T = \frac{\pi n \omega B_0^2}{k^2} \int_0^R J_n(kr)^2 dk \quad \dots(11)$$

[0081] 上述したように、回転する磁場により回転子1の回転子底板1AにトルクTが働くことが判った。実際の粘性・弾性測定装置においては、回転子底板1Aに対して働くトルクTにより、回転子1が試料100中を回転するため、上記における回転磁場の回転数 Ω_M は、磁場の回転数 Ω_M と回転子1の回転子底板1Aの回転数との差である回転数差 $\Omega_M - \Omega_D$ で置き換える。

この結果、回転子1の回転子底板1Aの導電体に発生する渦電流が回転トルク(トルクT)を受けることにより、回転子1の回転子底板1Aに対して回転トルクTが印加されることになる。回転子1の回転子底板1Aに対して回転トルクが印加された結果、回転子1は、試料100中において回転トルクTの印加される方向に回転することになる。

[0082] また、回転子底板1Aの回転に伴い試料100の粘性 η に対応したずり流動による粘性抵抗トルクが、回転子底板1A及び浮き部1Bに対して印加される。この粘性抵抗トルクのため、回転子1の回転数 Ω_D は、粘性抵抗トルクに比例した分、磁場の回転数 Ω_M には達しない。

したがって、回転子1の回転子底板1Aに印加される回転トルクTの大きさは、回転磁場の回転数 Ω_M (モーター4の回転数と同様)と、回転子1の回転数 Ω_D との差に比例することになる。すなわち、回転子1の回転数 Ω_D が一定となった場合、この一定となった回転数 Ω_D は、試料100の粘性 η に反比例の関係を有している。

[0083] 上述したように、回転子1の回転子底板1Aに印加される回転トルクTと、試料100中において回転する回転子1の回転数 Ω_D と、回転子1の半径(

すなわち、回転子底板 1 A の半径) r と、回転子底板 1 A と試料容器本体 2 1 の内面の底との間の厚み (距離)、および浮き部 1 B の蓋 1 D と試料容器蓋 2 2 との間の厚み (距離) とにより、試料 1 0 0 の粘性 η を求められることが判る。

ここで、試料 1 0 0 の粘性 η の測定において、回転子 1 の回転子底板 1 A に印加される回転トルク T は、予め粘性 η の判っている標準試料を用いて、すでに説明した図 6 に示したように、回転磁界の回転数 ΩM と回転子 1 の回転数 ΩD との回転数差 ΩMD の関数として求めておく。

[0084] また、試料 1 0 0 を回転子底板 1 A から下部の空間にのみ充填する場合、すなわち試料 1 0 0 が試料容器本体 2 1 の内面の底と回転子底板 1 A の下面との間のみに充填される場合、試料 1 0 0 が回転子底板 1 A の下面のみと接する。このため、図 6 に示す粘性検出テーブルを作成する際、同様の条件にて標準試料の測定を行う必要がある。

また、予め粘性 η を測定する試料 1 0 0 の密度が判っていれば、この試料 1 0 0 の密度に対応して、共通サイズの試料容器 2 に試料 1 0 0 を挿入した場合、均一の深さとなる適当な試料 1 0 0 の量を、秤により秤量する。この処理により、密度の異なる試料 1 0 0 毎に、試料容器 2 に測定時に入れる試料 1 0 0 の深さを均一にすることができる。

[0085] ここで、本実施形態の粘性・弾性測定装置における粘性測定の精度について述べる。本実施形態の粘性・弾性測定装置では、時間変動する磁場 (回転数 ΩM の回転磁界) により回転子 1 の回転子底板 1 A に対して、遠隔に既知のトルク T を印加し、その回転数 ΩD を検出することで対象物質である試料 1 0 0 の粘性 η を測定する。

回転子 1 の回転子底板 1 A に印加するトルク T については、与えられる磁場の大きさから上記 (1 1) 式により求めてもよい。また、既知の粘性 η を持つ標準試料を用いた測定をあらかじめ行って決定してもよい。ここから求まるトルク T の大きさの決定精度は、原理的には任意に向上させることができ、実際には 0. 1 % 以上の精度で決定することが可能である。

[0086] 一方、回転子 1 の回転数 ΩD を決定する要因には、検出対象の試料 100 の粘性 η 以外にも、回転子 1 の回転子底板 1 A の突起部 1 C と、試料容器本体 21 の内部の溝部 21 C 底面との接触部における機械的な摩擦による回転トルク T_f が挙げられる。この回転トルク T_f は、以下の (12) 式により示される程度であることが、理論的な計算及び実験的にも検証されている。

[0087] [数12]

$$T_f = (M - \rho V) g \mu R_C \quad \dots(12)$$

[0088] 上記 (12) 式において、 M は回転子 1 の重量を示し、 ρ は試料 100 の比重を示し、 V は回転子 1 の試料 100 に没する部分の体積を示し、 g は重力加速度を示し、 μ は回転子底板 1 A の突起部 1 C と試料容器本体 21 の内部の溝部 21 C 底面との動摩擦係数を示し、 R_c は回転子 1 の回転軸 11 の下部 11 e と試料容器本体 21 の底面 21 s との接触部分の接触半径を示している。

[0089] また、回転子 1 における半径 R の円板型の回転子底板 1 A により、厚み（深さ）が d の試料 100 に対し、上面（回転子底板 1 A の下面と接する面）での回転角度 ω 、下面（試料容器本体 21 の内部底面と接する面）での回転角速度 0 となるひずみを加えるのに必要なトルク T_{vis} は、以下の (13) 式により計算される。

[0090] [数13]

$$T_{vis} = \frac{\pi \eta \omega R^4}{2d} \quad \dots(13)$$

[0091] 上記 (13) 式において、 R は回転子 1 の回転半径を示し、 η は検出対象物質である試料 100 の粘性を示し、 μ は回転子 1 の回転子底板 1 A の突起部 1 C と試料容器本体 21 の内部の溝部 21 C 底面との動摩擦係数を示し、 d は回転子 1 の回転子底板 1 A と試料容器本体 21 の内部底面とが対向する領域に挟まれた試料 100 の厚みを示している。

[0092] また、(13) 式における係数 α は、要求される粘性・弾性の測定精度と

する。例えば、要求される測定精度 α が1%のとき、 $\alpha = 0.01$ である。

(12)式から得られる回転トルク T_f が、(13)式から得られるトルク T_{vis} の α 倍よりも小さければ、すなわち、以下の(14)式が成り立てば要求される測定精度 α を得ることができる。試料100の粘性によるトルク T_{vis} は、回転子1と試料容器本体21の底面21sとの接触による機械的摩擦のトルク T_f を $1/\alpha$ 倍以上の大きさで優越し、これによって精度 α での粘性計測が可能になる。また、回転子1を安定して試料100において回転させるため、回転子1を試料100中に沈ませ、回転子1の回転子底板1Aの突起部1Cと、試料容器本体21の内部の溝部21C底面との接触させる必要がある。このため、(14)式における回転子1に印加される重力と浮力との関係は、 $M - \rho V > 0$ となる。

[0093] [数14]

$$\frac{\pi \eta \omega \alpha R^4}{2d} > (M - \rho V) g \mu R_C > 0 \quad \dots(14)$$

R_C : 回転子下部の容器底との接触部分の接触半径

M : 回転子の重量

V : 回転子の試料に没する部分の体積

ρ : 試料の比重

g : 重力加速度

R : 回転子の回転半径

η : 検出対象物質の粘性

μ : 回転子下部と容器底との動摩擦係数

d : 回転子と試料容器に挟まれた試料の厚み

α : 要求される粘性・弾性の測定精度

[0094] この測定精度 α は従来の手法においては10%程度であるが、より望ましくは1%程度が必要である。さらに、従来の手法では困難な精度である0.1%程度が得られることが望まれている。

上述したように、本実施形態によれば、検出対象の物質である試料100の量を、従来の測定に比較して少なくすることができる。

また、本実施形態によれば、回転磁界を生成する第1磁石3__1、第2磁石3__2、第3磁石3__3及び第4磁石3__4の各々を、試料容器2を配設

する試料台 6 の下部方向に配置することができ、粘性・弾性測定装置を従来に比較して小型化することが可能である。

[0095] また、回転磁場を生成する磁石は、図 1 においては、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石 3__4 の 2 つの組み合わせを用いている。この場合、平面視において、2 個の N 極と 2 個の S 極とが互い違いに配設された 2 組の組み合わせで、回転磁場を発生している。これに対して、(11) 式によれば、回転子 1 の回転子底板 1A にトルクを与える磁石の組の数は 1 組以上の任意でよく、たとえば平面視して正方形の磁石 2 個を、S 極と N 極が互い違いになるように配置しても構わない。

[0096] また、上述した磁石固定台 7 を回転させ、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石 3__4 により回転磁場を生成するのではなく、電磁石を用いて回転磁界を生成する構成としても良い。

図 8 は、ヨーク 10 と、このヨーク 10 から突出したティース 10a、10b、10c 及び 10d とが基準 2 次元平面上に配置された電磁石を示す図である。ティース 10a と 10c とには各々異なる巻方向に巻線 CL1 が巻かれ、同様に、ティース 10b と 10d とには各々異なる巻方向に巻線 CL2 が巻かれて、電磁石を構成している。

図 1 におけるモーター 4 で磁石固定台 7 を回転させ、永久磁石である第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石 3__4 の放射する磁場から回転磁場を生成する替わりに、上述した図 8 に示す電磁石の構成を用いて回転磁場を生成しても良い。

[0097] すなわち、巻線 CL1 及び巻線 CL2 に電流を流し、基準 2 次元平面に対して垂直な磁場を生成し、流す電流の向きを周期的に変化させ、基準 2 次元平面に対して垂直な磁場を回転させて回転磁場を形成しても良い。すなわち、円周上に配列された電磁石各々が隣接する他の電磁石と異なる極性となるように、それぞれの電磁石を駆動する。この電磁石を駆動させる際、時間的に各電磁石の極性を変化させることで、回転磁場を生成するように構成しても良い。

この場合、回転磁場制御部 83 が図 7 の電磁石における巻線 CL1 及び CL2 に対して電流を流し、この流す電流の向きを周期的に変えて、回転磁場を生成させる処理を行う。

この回転磁場により、すでに磁石を用いた場合と同様に、回転子 1 の回転子底板 1A に対してトルクを印加し、回転軸 11 を回転中心として回転子底板 1A の回転運動を、試料 100 内で行わせて、試料 100 の粘性 η を求める。

[0098] また、回転磁場制御部 83 は、回転子 1 の回転子底板 1A に対し、印加する回転磁場の回転周期、および回転方向を任意に変化させるようにしても良い。

例えば、回転磁場の回転方向と、回転速度とを周期的に掃引することにより、回転子 1 に対して、周期的に変化する回転トルクを与えることができる。

[0099] 図 9 は、回転子 1 における回転子底板の形状の他の構成例を表す模式図である。この図 9 の形態によれば、試料容器本体 21 及び試料容器蓋 22 の各々については、すでに述べた形態と同様であるが、回転子 1 を構成する回転子底板 1A' の断面が三角形の形状になっている。すなわち、回転子底板 1A' の断面は、中心部から半径方向において外周部に向かうにつれ、回転子底板 1A' の下面と試料容器本体 21 の内部底面との対向する距離が大きくなるように、厚さが徐々に薄くなるように形成されている。

これにより、回転子底板 1A' の下面と、試料容器本体 201 の内部底面との間に挟まれる試料 100 の厚みは、回転子 1 の回転軸 11 からの距離に比例して増加する。これにより、試料容器本体 21 に収容されている試料 100 内のいたるところで、一様なずり速度の変形を実現することができる。したがって、この回転子底面 1A' の形態は、ずり速度によって粘性の値が変化する非ニュートン流体の粘性及び弾性の測定に有効である。

[0100] 次に、本実施形態による粘性・弾性測定装置を用いた弾性の測定について説明する。図 1 及び図 3A 及び図 3B（あるいは図 4A、図 4B）の構成の

粘性・弾性測定装置により説明する。

本実施形態によれば、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率を有する物質、あるいは粘性の緩和により弾性率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り、粘性率及び弾性率を同時に測定することが可能である。

[0101] ここで、弾性率は、いわばバネ定数であり、試料 100 の回転変形に比例した復元力に対応している。

したがって、粘性に加えて弾性がある場合、弾性率による復元力は、歪の程度に比例して大きくなる。このため、回転子 1 は、回転開始してから、試料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が釣り合った回転角度 θ で回転を停止することになる。磁石固定台 7 が反時計回りに回転することにより、すでに述べたように、反時計回りの回転トルクが試料 100 中の回転子 1 に印加される。

[0102] そして、回転子 1 に対して印加される回転トルクと弾性による反発力が釣り合う回転角度 θ の位置で、浮き回転子 1 の回転が停止する。

ここで、回転検出部 81 は、モーター 4 が回転しておらず、磁石固定台 7 が停止状態における回転子 1 の回転翼のマーク 30 の位置と、所定の回転数 ΩM でモーター 4 が回転した後、回転が停止した際のマーク 30 の位置との各々の撮像画像から回転角度 θ を求める。この角度 θ から弾性を求めることができる。

[0103] 図 10 は、モーター 4 の回転速度 ΩM （すなわち、回転トルク）と、回転子 1 が停止する回転角度 θ との関係を示す図である。図 10 おいて、横軸がモーター 4 の回転数 ΩM を示し、縦軸が回転子 1 の停止する回転角度 θ を示している。

すなわち、図 1、図 3 A 及び図 3 B に示す粘性・弾性測定装置の場合、磁石固定台 7 がモーター 4 により回転することにより、この磁石固定台 7 に配置されている第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁

石 3__4 の各々の磁石が、モーター 4 の回転速度に対応した回転磁場を生成する。

[0104] そして、回転磁場制御部 8 3 は、予め設定されたステップに従い、モーター 4 の回転速度を変化させ、回転速度毎の回転角度 θ を求めて、回転数 ΩM と回転角度 θ との関係を求めて図 1 0 に示すグラフを作成する。ここで、予め弾性が判っている複数の標準試料に対して、粘性と同様に、弾性が未知の試料 1 0 0 の弾性測定に用いる標準データ作成するため、上述した処理を行う。粘性の標準データの作成時と同様に、標準試料を試料容器 2 に入れて、上述した回転角度 θ の測定を行う。

[0105] 図 1 1 は、弾性と、回転速度及び回転角度の比例係数との関係を示す図である。図 1 1 において横軸が弾性（弾性率：P a）を示し、縦軸が回転速度 ΩM と回転角度 θ との比例係数を示している。ここで、粘性と回転角度 θ とは逆比例する。

この図 1 1 は、図 1 0 における各標準試料の傾き（回転速度 ΩM と回転角度 θ との比）と、対応する標準試料の粘性とを対応付けて作成した、弾性測定に用いる弾性の標準データである。

実際の未知の弾性の試料 1 0 0 の測定において、この測定対象の試料 1 0 0 を試料容器 2 に入れ、標準試料の場合と同様に、回転磁場制御部 8 3 がモーター 4 を予め設定した回転速度で回転させる。

[0106] そして、回転検出部 8 1 は、回転速度毎の回転角度 θ を求めて、粘性検出部 8 2 に対して出力する。

粘性検出部 8 2 は、回転検出部 8 1 から供給される回転速度 ΩM と回転角度 θ との比例係数を求め、この比例係数に対応する弾性のデータを、標準データ記憶部 8 4 の標準データから読み出し、読み出したデータを試料 1 0 0 の弾性として出力する。

[0107] また、回転子 1 の回転子底板 1 A に加える回転トルクを時間的に変化させることにより、弾性と粘性とを同時に測定することも可能である。この場合、回転磁場を生成する磁石を、図 7 に示す電磁石で構成する。

例えば、電磁石に対して励磁電流を印加し、回転子 1 の回転子底板 1 A に対して所定の回転トルクを印加した後、この励磁電流の印加を停止し、停止した後の回転子 1 の回転状態を観察する。

[0108] このとき、回転子 1 は、自身が接している試料 100 の弾性に応じて回転振動を起こすことになる。ここで、弾性に対して回転振動の周期及び振動時間が比例し、粘性に対して回転振動の振幅の減衰率が比例している。

したがって、予め粘性及び弾性の判っている複数の標準試料毎に、その回転振動の振幅の減衰率と、周期及び振動時間とを、回転子 1 の回転子底板 1 A に対して回転磁界を印加することにより測定し、標準データを作成して標準データ記憶部 84 に予め記憶させておく。

[0109] 次に、実際の未知の粘性及び弾性を有する測定対象の物質を測定する際、粘性検出部 82 は、測定対象の物質である試料 100 の振幅の減衰率と、周期及び振動時間とを回転子 1 により測定し、この測定した振幅の減衰率に対応する粘性と、周期及び振動時間とに対応する弾性とを、それぞれ標準データ記憶部 84 の標準データから読み出す。

そして、粘性検出部 82 は、標準データから読み取った粘性及び弾性を、測定対象の試料 100 の粘性及び弾性として出力する。

上述したように、本実施形態によれば、試料 100 の粘性及び弾性を一括して同時に測定することが可能となる。

[0110] また、回転子 1 の回転子底板 1 A に印加する回転磁場の回転方向と、回転トルク（モーター 4 の回転数 ΩM ）とを周期的に掃引することにより、回転子 1 の回転子底板 1 A には周期的な回転トルクを印加することができる。

そして、この回転方向と回転トルクとを掃引する周期を変化させつつ、回転子 1 の回転振動の振幅と位相とを、回転子 1 のマーク 30 を撮像した撮像画像から観察することにより、粘性と弾性とを独立して測定であることが可能となる。

すなわち、この回転振動の観察は、すでに述べた、磁場を消去した後の減衰振動を、周波数スペクトルとして検出するものであり、磁場を消去した後

の粘性及び弾性の測定と原理的に同様である。

[0111] 次に、図 1 に示す粘性・弾性測定装置（力学物性測定装置）における具体的な応用例について説明する。

試料容器本体 21 は、内径が 40 mm であり、内部の側壁の高さ 10 mm のガラス製シャーレを用いた。そして、試料容器本体 21 に測定対象の物質である試料 100 を 5 mL 入れた後、試料容器本体 21 を試料容器蓋 22 により封止した。ここで、例えば、試料 100 の温度は 20℃とした。

予め粘性の判っている標準試料としては、図 6 に示すように、0.5 (mPa・s)、1.0 (mPa・s) の 2 種類を用いた。

[0112] そして、この標準試料の表面で回転子 1 の回転子底板 1A に回転トルクを印加して、回転子 1 を回転させた。この場合、回転子底板 1A の下面が試料 100 と接している。ここで、回転子底板 1A は、直径 20 mm、厚さ 1 mm のアルミニウム板の円板であり、この円板の回転中心における底面に対して突起部 1C として直径 2 mm のアルミ球を取り付けた。浮き部 1B には、外形 20 mm、内径 16 mm、長さ（側壁としての高さ）4 mm のガラス管用いた。

[0113] 次に、回転磁場制御部 83 は、モーター 4 を駆動して、磁石固定台 7 を回転させる。

この結果、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石 3__4 が生成する回転子 1 の回転子底板 1A に垂直な磁場を、第 1 磁石 3__1、第 2 磁石 3__2、第 3 磁石 3__3 及び第 4 磁石 3__4 を回転させることにより、回転子 1 の回転子底板 1A に対して回転磁場を印加する。この回転磁場により、回転子 1 の回転子底板 1A は、回転トルクが印加され、印加された回転磁界の回転方向と同一方向に回転を行う。

そして、回転検出部 81 は、例えば、回転検出センサ（撮像素子）が撮像する、回転子 1 の回転子底板 1A のマーク 30 の回転する動画像を撮像画像として自身内部の記憶部に記憶し、画像処理によりマーク 30 の回転周期を求め、このマークの回転周期から回転子 1 の回転数を求める。

[0114] モーター4の回転数 ΩM を変える毎に、対応する回転子1の回転数 ΩD を求め、図6に示すように、粘性の異なる標準試料毎に、回転子1の回転数 ΩD と、回転数 ΩM 及び ΩM の差分との対応関係を求める。

図6において、各標準試料の回転子1の回転数 ΩD と、回転数 ΩM 及び ΩM の差分との関係を示す関係は、直線となっている。このため、図6は、回転子1の回転数と、回転子1に印加される回転トルクの関係のみから粘性を求めることが可能であることを示している。

この結果、標準データを用いることにより粘性を正確に測定できることが分かる。

[0115] なお、本発明における図1の粘性・弾性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、実行することにより試料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。また、「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や電話回線等の通信回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。

[0116] また、上記プログラムは、この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り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（通信網）や電

話回線等の通信回線（通信線）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、上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであっても良い。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）であっても良い。

符号の説明

- [0117] 1 …回転子
- 1 A …回転子底板 1 A
- 1 B …浮き部
- 1 C …突起部
- 2 …試料容器
- 4 …モーター
- 5 …回転検出センサ
- 6 …試料台
- 7 …磁石固定台
- 8 …粘性測定部
- 1 1 …回転軸
- 2 1 …試料容器本体
- 2 1 C …溝部
- 2 2 …試料容器蓋
- 3 0 …マーク
- 3 __ 1 …第 1 電磁石
- 3 __ 2 …第 2 電磁石
- 3 __ 3 …第 3 電磁石
- 3 __ 4 …第 4 電磁石
- 8 1 …回転検出部
- 8 2 …粘性検出部
- 8 3 …回転磁場制御部

8 4 …標準データ記憶部

8 5 …装置制御部

請求の範囲

- [請求項1] 一部あるいは全体が導電性を有する材料で構成され、その下部における回転中心に突状の突起を有する回転子と、
- 粘性を検出する対象の検出対象物質が入れられ、該検出対象物質に接触して前記突起が自身の内面底部に接触した状態で前記回転子が配置された試料容器と、
- 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、該誘導電流と該回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用により、該回転子に回転トルクを与えて回転させる回転制御部と、
- 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数により、該回転子に接する前記検出対象物質の粘性及び弾性を検出する粘性弾性検出部と
- を有し、
- 前記回転子の前記検出対象物質に没した部分に対応して生じる浮力による浮心位置より、前記回転子の重心位置が前記突起に近いことを特徴とする粘性・弾性測定装置。
- [請求項2] 前記回転子の半径が以下の式により決定されることを特徴とする請求項1に記載の粘性・弾性測定装置。
- [数1]

$$\frac{\pi\eta\omega\alpha R^4}{2d} > (M - \rho V)g\mu R_C > 0$$

Rc：回転子下部の容器底との接触部分の接触半径

M：回転子の重量

V：回転子の試料に没する部分の体積

ρ ：試料の比重

g：重力加速度

R：回転子の回転半径

η ：検出対象物質の粘性

μ ：回転子下部と容器底との動摩擦係数

d：回転子と試料容器に挟まれた試料の厚み

α ：要求される粘性・弾性の測定精度

- [請求項3] 前記重心位置と浮心位置との距離が、前記回転子の回転における回転軸を鉛直方向に保持する復元力を有する距離以上に設定されていることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の粘性・弾性測定装置。
- [請求項4] 粘性が既知である複数の物質内における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予め測定した標準データを記憶する記憶部をさらに有し、
前記粘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、前記標準データを比較することにより、前記検出対象物質の粘性・弾性を求める
ことを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか一項に記載の粘性・弾性測定装置。
- [請求項5] 前記回転子の面にマークが付されており、
前記回転検出部が前記マークの回転を検出することにより、前記回転子の回転数を検出する
ことを特徴とする請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の粘性・弾性測定装置。
- [請求項6] 前記回転子の前記回転子に対してレーザを照射し、その反射光あるいは干渉パターンの変化を光学的に測定することにより、前記回転子の回転数を検出する
ことを特徴とする請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の粘性・弾性測定装置。
- [請求項7] 前記回転子と接する前記試料容器の内面の底部が滑らかな平面あるいは滑らかな曲面の凹形状に形成されている
ことを特徴とする請求項1から請求項6のいずれか一項に記載の粘性・弾性測定装置。
- [請求項8] 前記回転子の直径方向に対し、当該回転子が前記回転軸からの距離に比例して薄くなるように形成されている

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載の粘性・弾性測定装置。

[請求項9]

試料容器に粘性及び弾性を検出する対象の検出対象物質を収容し、一部あるいは全体が導電性を有する材料で構成され、その下部における回転中心に突状の突起を有する回転子を、前記検出対象物質に接触して前記突起が自身の内面底部に接触した状態で配置する過程と、

前記回転子に時間変動する磁場を印加し、前記回転子の前記回転子内に誘導電流を誘起し、該誘導電流と該回転子に印加される磁場とのローレンツ相互作用により、該回転子に回転トルクを与えて回転させる過程と、

前記回転子の回転数を検出する過程と、

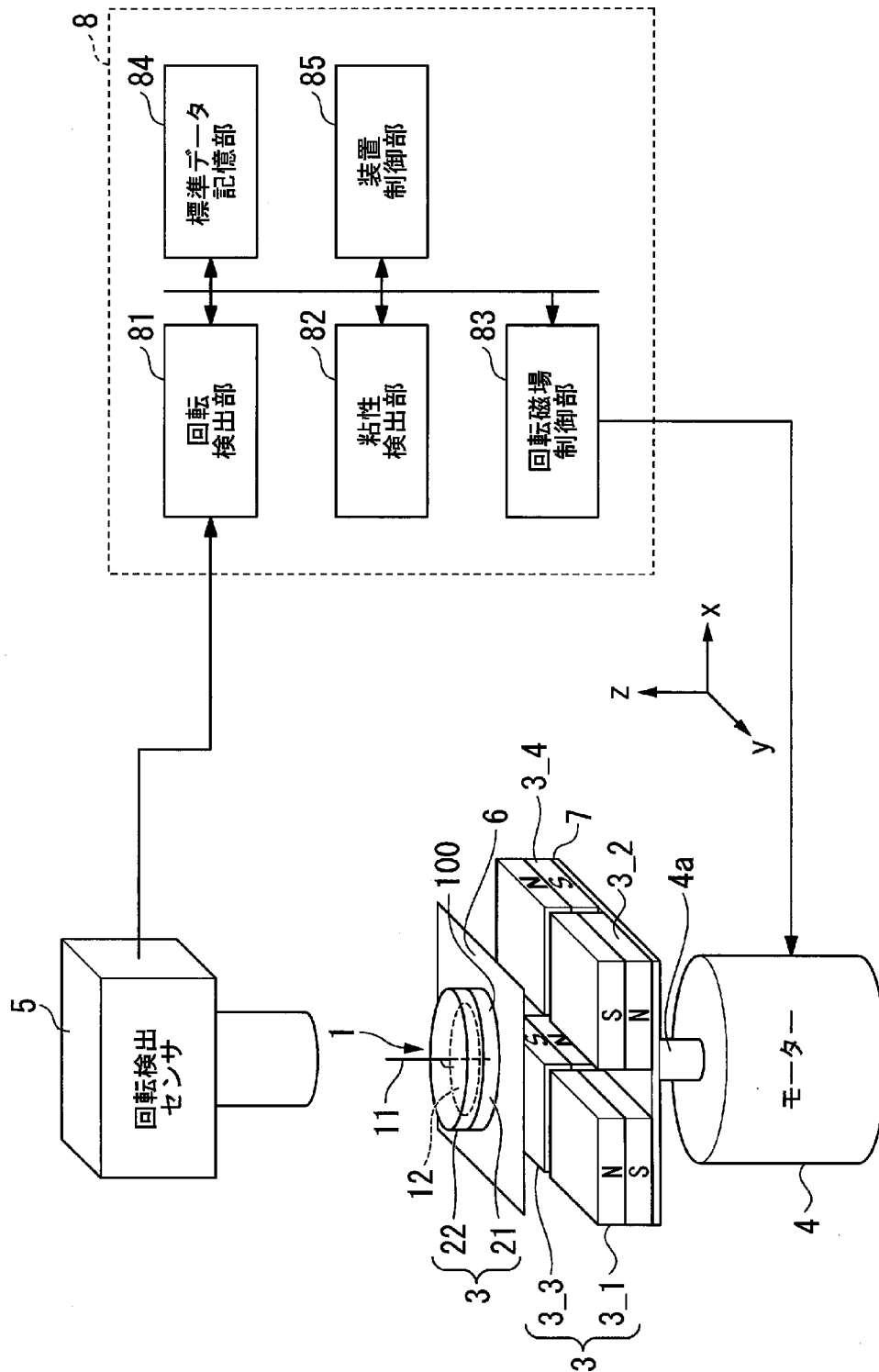
前記回転数により、前記回転子に接する検出対象物質の粘性・弾性を検出する粘性検出過程と

を含み

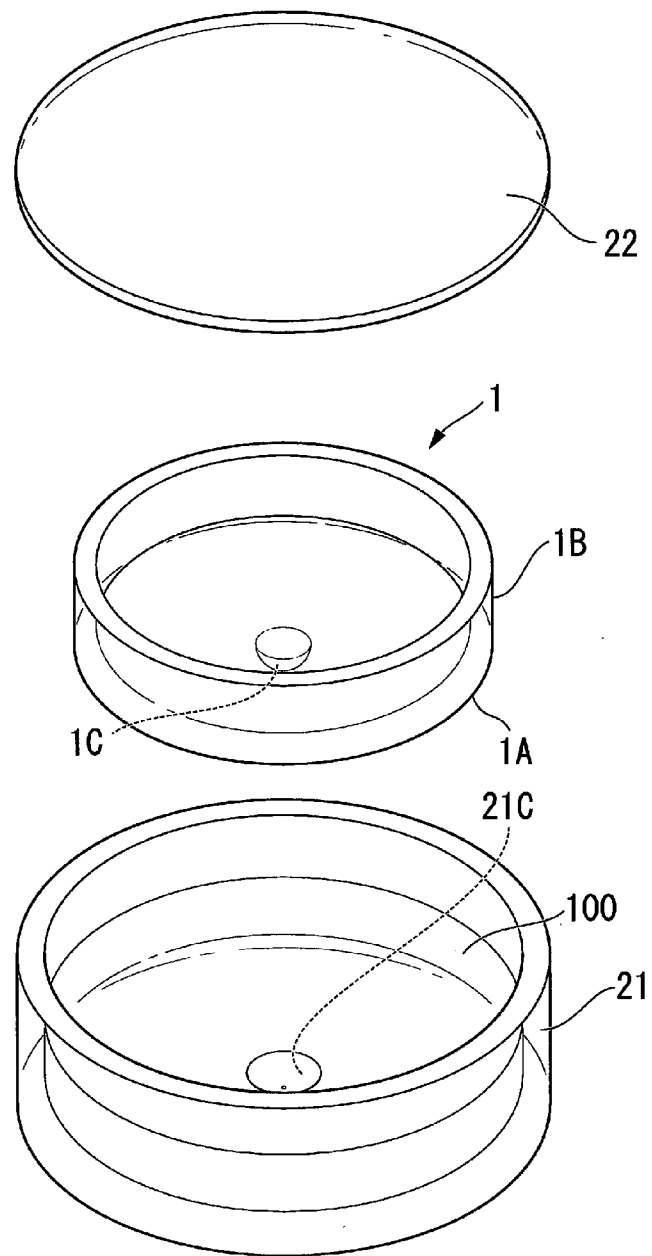
前記回転子の前記検出対象物質に没した部分に対応して生じる浮力による浮心位置より、前記回転子の重心位置が前記突起に近い

ことを特徴とする粘性・弾性測定方法。

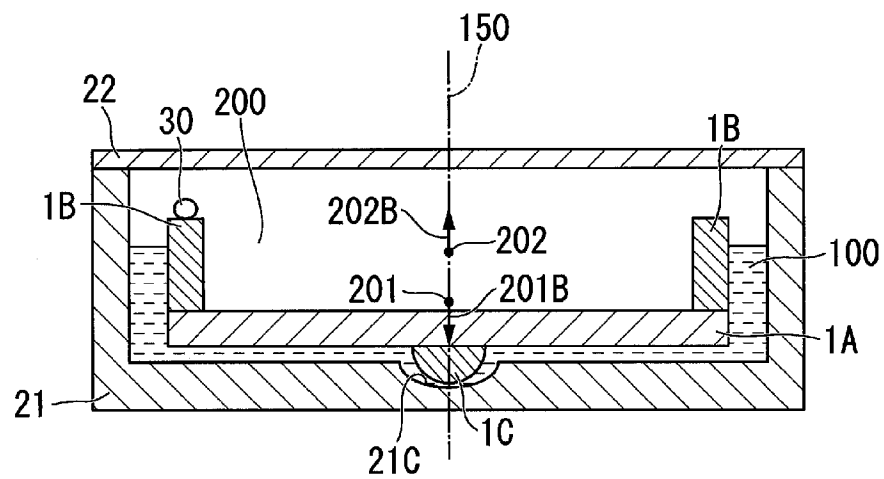
[図1]



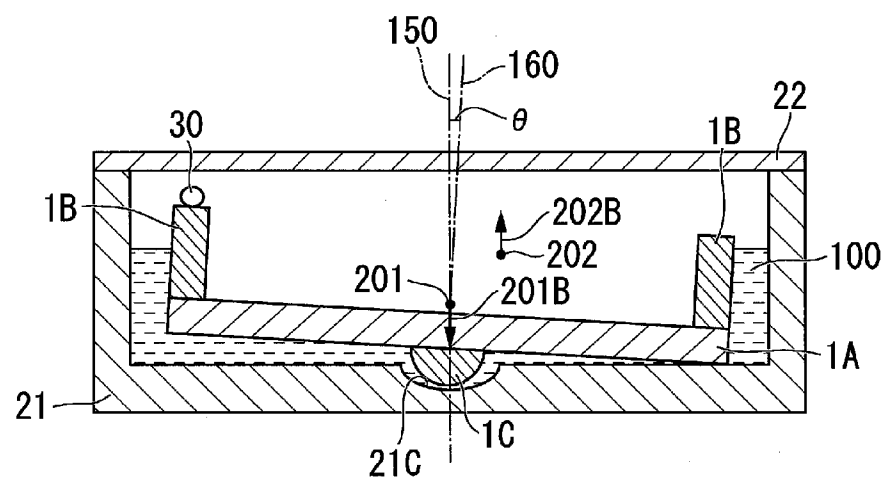
[図2]



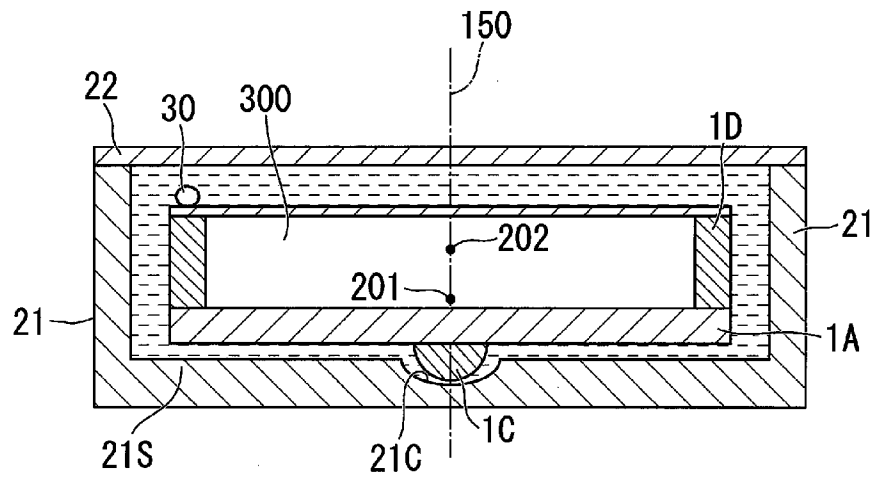
[図3A]



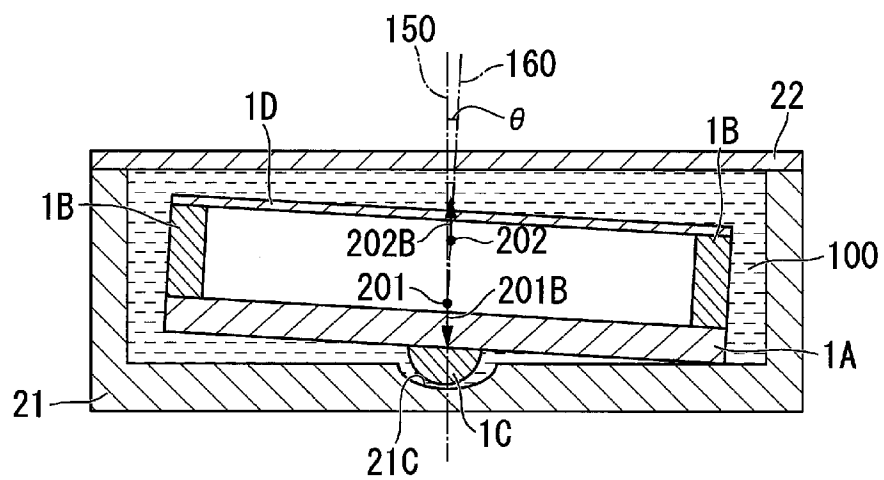
[図3B]



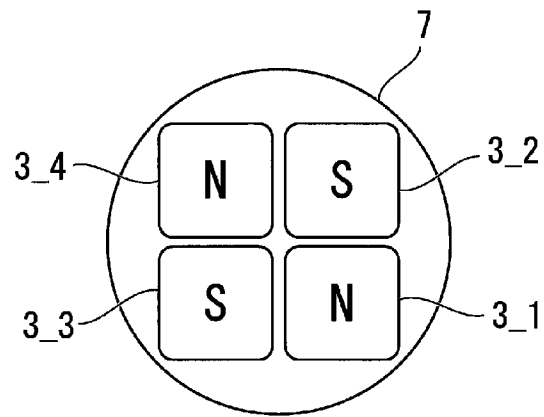
[図4A]



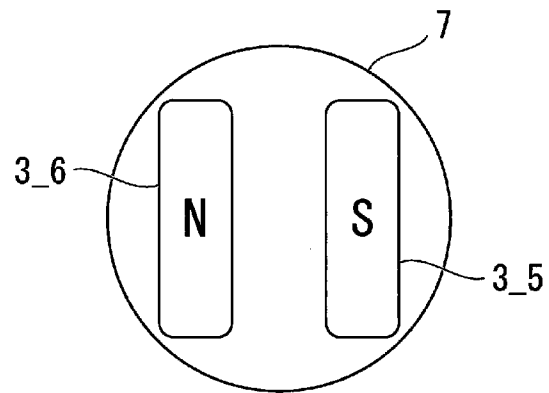
[図4B]



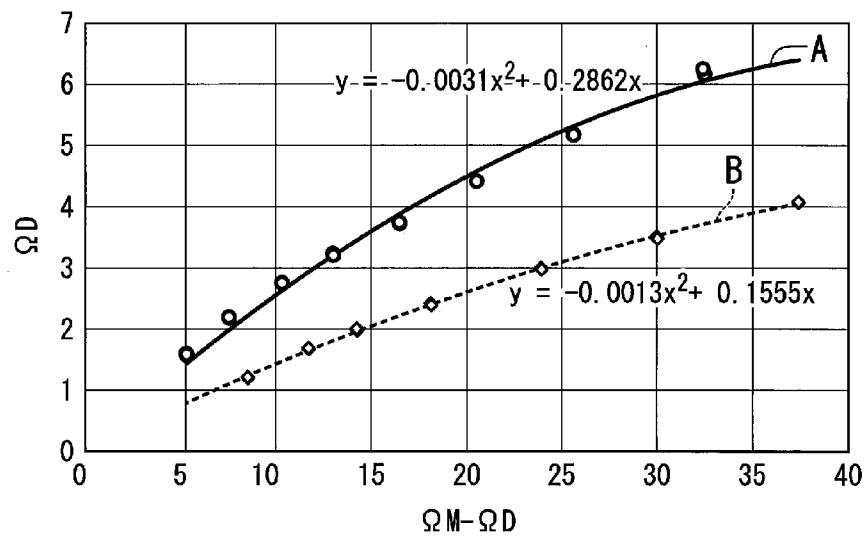
[図5A]



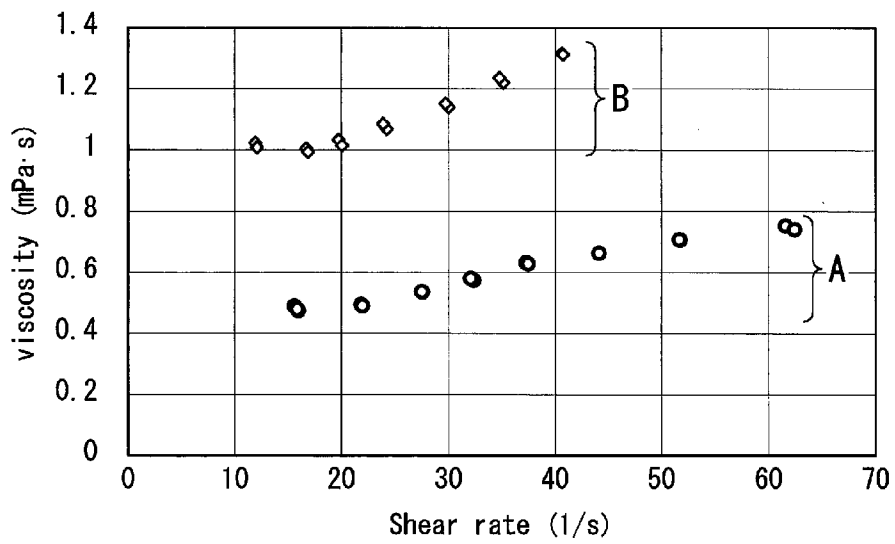
[図5B]



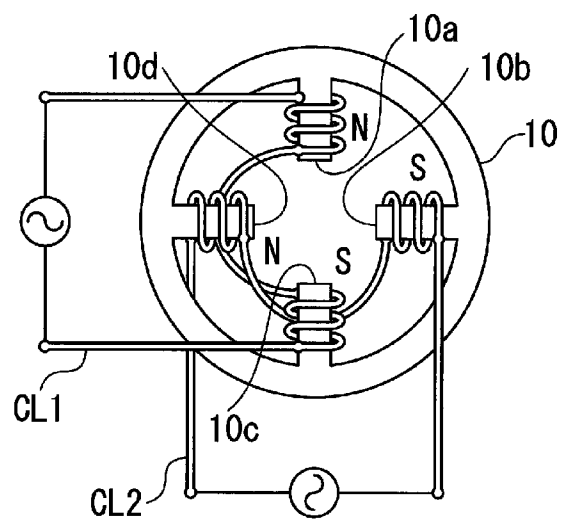
[図6]



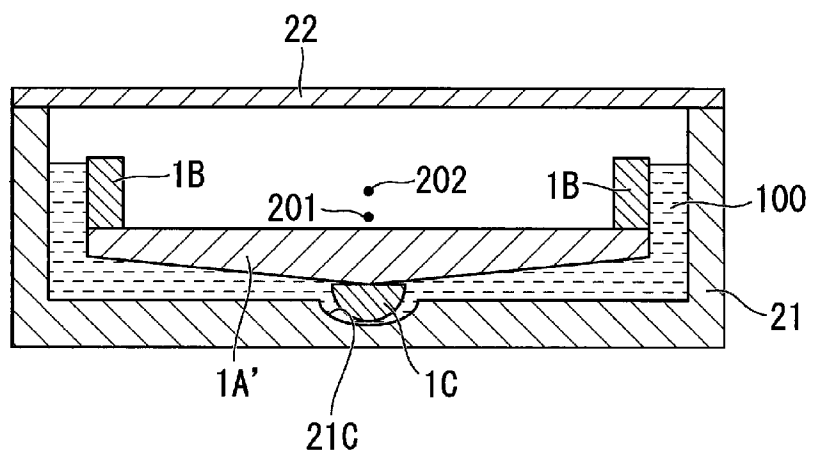
[図7]



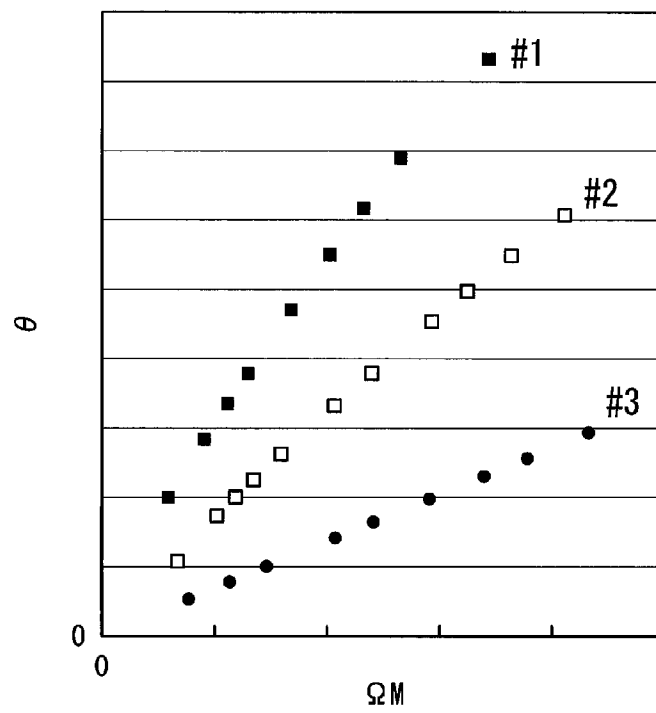
[図8]



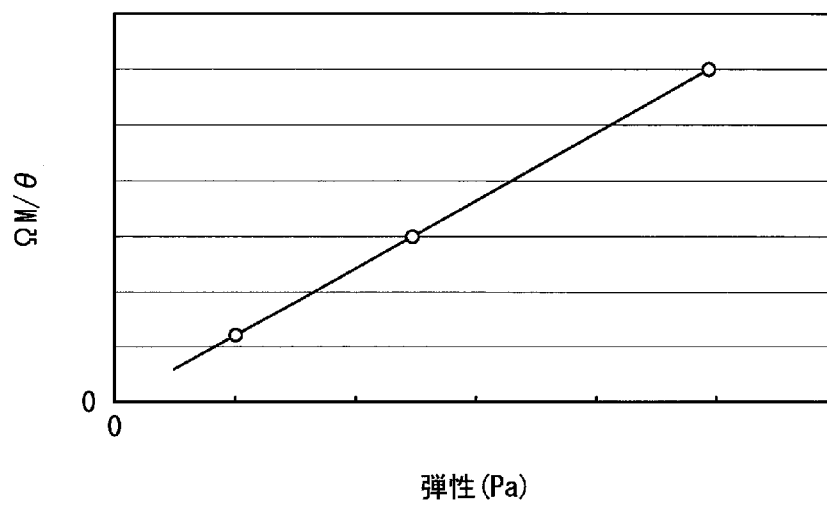
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/007538

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01N11/14 (2006.01)i, G01N19/00 (2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G01N11/14, G01N19/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2016-31352 A (THE FOUNDATION FOR THE PROMOTION OF INDUSTRIAL SCIENCE) 07 March 2016, claims 1-9, paragraphs [0098]-[0100], fig. 1, 8 (Family: none)	1-9
Y	JP 2003-26089 A (MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO., LTD.) 29 January 2003, paragraphs [0059]-[0062], fig. 5 (Family: none)	1-9
Y	WO 2009/154006 A1 (KITAKYUSHU FOUNDATION FOR THE ADVANCEMENT OF INDUSTRY, SCIENCE AND TECHNOLOGY) 23 December 2009, paragraph [0031] & US 2011/0094433 A1, paragraphs [0102]-[0114] & EP 2301837 A1 & CN 102066191 A	1-9
Y A	JP 7-43287 A (TOKI SANGYO CO., LTD.) 14 February 1995, paragraphs [0002]-[0022], fig. 2 (Family: none)	8 1-7, 9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 May 2018 (07.05.2018)

Date of mailing of the international search report
15 May 2018 (15.05.2018)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N11/14(2006.01)i, G01N19/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N11/14, G01N19/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2016-31352 A（一般財団法人生産技術研究奨励会）2016.03.07, [請求項1] - [請求項9], 段落 [0098] - [0100], [図1], [図8] (ファミリーなし)	1-9
Y	JP 2003-26089 A（三井造船株式会社）2003.01.29, 段落 [0059] - [0062], [図5] (ファミリーなし)	1-9

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07.05.2018

国際調査報告の発送日

15.05.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

素川 慎司

2 J

4844

電話番号 03-3581-1101 内線 3252

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2009/154006 A1 (財団法人北九州産業学術推進機構) 2009. 12. 23, 段落 [0031] & US 2011/0094433 A1, 段落 [0102] - [0114] & EP 2301837 A1 & CN 102066191 A	1-9
Y A	JP 7-43287 A (東機産業株式会社) 1995. 02. 14, 段落 [0002] - [0022] , [図 2] (ファミリーなし)	8 1-7, 9