



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102016542 B

(45) 授权公告日 2013. 07. 24

(21) 申请号 200980114523. 6

(22) 申请日 2009. 04. 23

(30) 优先权数据

116359/08 2008. 04. 25 JP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 10. 22

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2009/058089 2009. 04. 23

(87) PCT申请的公布数据

W02009/131185 JA 2009. 10. 29

(73) 专利权人 国立大学法人东京大学

地址 日本东京都

(72) 发明人 酒井启司

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 胡金琰

(51) Int. Cl.

G01N 11/14 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 63012936 A, 1988. 01. 20,

JP 1263533 A, 1989. 10. 20,

Mikuláš

Bánó et..A viscosity and density meter with a magnetically suspended rotor.《REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS》. 2003, 第74卷(第11期),

审查员 朱磊

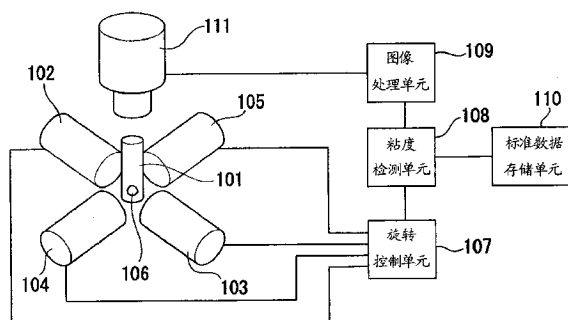
权利要求书3页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

粘性 / 弹性测量装置以及粘性 / 弹性测量方法

(57) 摘要

本发明的粘性 / 弹性测量装置,其特征在于,具有:导电性的转子;容器,被放入检测粘性的对象试料,并在该试料内配置了所述转子;磁铁,配置在该容器的周围,对所述转子施加磁场;旋转控制单元,驱动该磁铁,对所述转子提供旋转磁场,在所述转子内引起感应电流,通过该感应电流和对该转子所施加的磁场之间的洛伦兹相互作用,对该转子提供旋转扭矩而使其旋转;旋转检测单元,检测所述转子的转速;以及力学特性检测单元,通过所述转速,检测与所述转子接触的试料的粘性以及 / 或者弹性。



1. 一种粘性 / 弹性测量装置, 其特征在于, 具有:

导电性的转子;

容器, 容纳试料以及所述转子, 并在该试料内配置了所述转子;

磁铁, 配置在该容器的周围, 对所述转子施加磁场;

旋转控制单元, 驱动该磁铁, 对所述转子提供旋转磁场, 在所述转子内引起感应电流, 通过该感应电流和对该转子所施加的磁场之间的洛伦兹相互作用, 对该转子提供旋转扭矩而使其旋转;

旋转检测单元, 检测所述转子的旋转运动; 以及

力学特性检测单元, 基于所述旋转扭矩和所述旋转运动, 检测与所述转子接触的试料的粘性 / 弹性,

所述转子的底部的至少一部分与所述容器内面的底部接触,

与所述转子接触的所述容器内面的底部是平滑的平面或者平滑的凹面状的曲面,

所述转子的底部是平滑的凸面状的曲面。

2. 如权利要求 1 所述的粘性 / 弹性测量装置, 其特征在于,

所述旋转检测单元检测所述转子的转速, 所述力学特性检测单元基于所述转子的旋转扭矩和转速, 检测所述试料的粘性。

3. 如权利要求 1 所述的粘性 / 弹性测量装置, 其特征在于,

所述旋转检测单元检测从被赋予所述扭矩之前的初始静止位置起至所述转子通过所述旋转扭矩和所述检测对象物质的弹性阻力的均衡而静止的平衡静止位置为止的旋转角度, 所述力学特性检测单元基于所述转子的旋转扭矩和旋转角度, 检测所述试料的弹性。

4. 如权利要求 2 所述的粘性 / 弹性测量装置, 其特征在于, 还具有存储单元, 存储预先测量出的具有已知的粘性的多个物质中的所述转子的旋转扭矩和转速之间的关系的标准数据,

所述力学特性检测单元通过比较测量出的试料中的所述转子的旋转扭矩和转速之间的关系与所述标准数据, 检测所述试料的粘性。

5. 如权利要求 3 所述的粘性 / 弹性测量装置, 其特征在于, 还具有存储单元, 存储预先测量出的具有已知的弹性的多个物质中的所述转子的旋转扭矩和旋转角度之间的关系的标准数据,

所述力学特性检测单元通过比较测量出的试料中的所述转子的旋转扭矩和旋转角度之间的关系与所述标准数据, 检测所述试料的弹性。

6. 如权利要求 1 至 5 任意一项所述的粘性 / 弹性测量装置, 其特征在于,

对所述转子附加标记,

所述旋转检测单元通过检测所述标记的旋转, 检测转子的旋转运动。

7. 如权利要求 1 至 5 任意一项所述的粘性 / 弹性测量装置, 其特征在于, 所述转子的半径通过以下的式子决定,

$$R < \frac{3}{2} \frac{\omega \eta \beta}{\alpha \Delta \rho \mu g}$$

这里, R 是转子的半径, g 是重力加速度, ω 是角速度, η 是粘性系数, $\Delta \rho$ 是转子和试料的密度差, μ 是转子下部和容器底部的摩擦系数, α 是转子下部和容器底部之间的有

效接触面的半径、与转子的半径的比例系数， β 是在转子下部和容器底部接触时转子以角速度 ω 进行旋转所需的扭矩、与在通过试料充满的无限的空间内转予以角速度 ω 进行旋转所需的扭矩的比例系数。

8. 如权利要求 1 至 5 任意一项所述的粘性 / 弹性测量装置，其特征在于，所述转子的一部分或者全部沉入所述试料内。

9. 如权利要求 1 至 5 任意一项所述的粘性 / 弹性测量装置，其特征在于，所述试料是液体或者软材料。

10. 一种粘性 / 弹性测量方法，其特征在于，具有：

在容器中填充检测粘性 / 弹性的对象试料，并在该试料内配置导电性的转子的过程；

通过配置在该容器的周围的磁铁，对所述转子施加磁场的过程；

旋转控制过程，使该磁场时间性地变动，在所述转子内引起感应电流，通过该感应电流和对该转子所施加的磁场之间的洛伦兹相互作用，对该转子提供旋转扭矩而使其旋转；

旋转检测过程，检测所述转子的旋转运动；以及

力学特性检测过程，基于所述旋转扭矩和旋转运动，检测与所述转子接触的试料的粘性 / 弹性，

所述转子的底部的至少一部分与所述容器内面的底部接触，

与所述转子接触的所述容器内面的底部是平滑的平面或者平滑的凹面状的曲面，

所述转子的底部是平滑的凸面状的曲面。

11. 如权利要求 10 所述的粘性 / 弹性测量方法，其特征在于，

在所述旋转控制过程中，使所述转子旋转，

在所述旋转检测过程中检测所述转子的转速，

在所述力学特性检测过程中，基于所述旋转扭矩和所述转速检测所述试料的粘性。

12. 如权利要求 10 所述的粘性 / 弹性测量方法，其特征在于，

在所述旋转控制过程中，使所述转子通过所述旋转扭矩从赋予所述扭矩之前的初始静止位置起旋转至所述转子通过弹性阻力和所述扭矩的均衡而静止的平衡静止位置为止，

在所述旋转检测过程中，检测从所述初始静止位置至所述平衡静止位置为止的旋转角度，

在所述力学特性检测过程中，基于所述旋转扭矩和旋转角度，检测所述试料的弹性。

13. 如权利要求 11 所述的粘性 / 弹性测量方法，其特征在于，还具有预先测量具有已知的粘度的多个物质中的所述转子的旋转扭矩和转速之间的关系，制作标准数据的过程，

通过比较所述试料中的所述转子的旋转扭矩和转速之间的关系与所述标准数据，检测所述试料的粘性。

14. 如权利要求 13 所述的粘性 / 弹性测量方法，其特征在于，还具有预先测量具有已知的弹性的多个物质中的所述转子的旋转扭矩和旋转角度之间的关系，制作标准数据的过程，

通过比较所述试料中的所述转子的旋转扭矩和旋转角度之间的关系与所述标准数据，检测所述试料的弹性。

15. 如权利要求 10 至 14 任意一项所述的粘性 / 弹性测量方法，其特征在于，

在所述旋转控制过程中，进行控制，以使所述磁场成为该磁场的水平方向的朝向随时

间进行旋转的旋转磁场。

16. 如权利要求 10 至 14 任意一项所述的粘性 / 弹性测量方法,其特征在於,
所述转子由具有大于所述试料的比重的比重的材料构成。

粘性 / 弹性测量装置以及粘性 / 弹性测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及用于测量作为物质的力学物理性能的粘性和弹性的粘性 / 弹性测量装置以及粘性 / 弹性测量方法。

[0002] 本申请基于 2008 年 4 月 25 日向日本提出的专利申请 2008-116359 号要求优先权，将其内容援引于此。

背景技术

[0003] 物质的粘性 / 弹性测量是在药品、食品、涂料、墨水、化妆品、化学产品、纸、粘着剂、纤维、塑料、饮料（例如啤酒）、洗涤剂、混凝土混合剂、硅等制造过程中，在质量管理、性能评价、原料管理、研究开发上需要的必不可少的测量技术。因此，以往为了检测作为对象的物质的力学物理性能，进行粘性和弹性的测量（例如参照专利文献 1）。

[0004] 以往已知的粘性测量方法中有如下所示的方法。

[0005] (1) 在粘度管法中，根据流体在细管中流下的速度，测量所述流体的粘度。

[0006] (2) 使振子接触试料（sample），根据振幅的变化来测量粘性的方法。

[0007] (3) 根据表面弹性波的传播特性来测量粘性的方法。

[0008] (4) 使转子在试料中旋转，直接测量由粘性电阻产生的扭矩（torque），从而测量粘性的方法。

[0009] (5) 根据在流体试料中下落的刚体球的下落时间来测量粘性的方法。

[0010] (6) 在动态光散射法中，对布朗运动的粒子照射激光，根据由动态散射的测量求出的扩散系数来求出粘性。

[0011] (7) 在 Zimm 型粘度测量法中，使在试料中浮游的探头旋转，根据该旋转扭矩来测量粘性。

[0012] 现有技术文献

[0013] 专利文献

[0014] 专利文献 1：日本特开 2005-69872 号公报

发明内容

[0015] 发明要解决的课题

[0016] 但是，在上述的粘性测量方法中，关于 (1) ~ (5) 记载的方法，存在粘性的测量中需要数 cc 以上的大量的试料的缺点。

[0017] 另外，在 (2) ~ (5) 记载的方法中，为了高精度地进行粘性的计测，需要试料至少具有 10cP 以上的粘性。因此，在这些方法中，存在不能测量低粘度的材料的粘度的缺点。

[0018] 进而，关于 (6) 的方法，存在测量装置规模大的缺点，并且存在除了透明试料以外不能应用的困难。

[0019] 另外，关于 (7) 记载的方法，存在为了使在表面利用浮力浮起的探头旋转，在试料表面产生细波，不能忽略因此的能量损耗的缺点。并且，在试料表面形成分子吸附膜的情况

下,存在由于该膜具有的表面粘弹性而产生测量误差的缺点。由于探头的旋转依赖于沉入流体试料中的部分的长度,因此存在需要试料物质的密度为已知这样的限制。

[0020] 另外,在(1)~(7)记载的任意一种方法中,试料容器价格高,需要再利用容器。因此,需要洗净测量后的试料容器,如果不完全除去先前的测量试料,残留其影响,存在不能进行高精度的测量的限制。

[0021] 即,在以前通常使用的粘弹性的测量方法中,存在为了获得一定的测量精度,需要某程度以上的量的试料的缺点。

[0022] 对于粘性小于100cP的物质,存在测量精度恶化的缺点。另外,在利用旋转型的粘度计、光散射的计测中,装置规模大,存在不能进行简便的计测的制约。

[0023] 由于以上理由,在基于以往的原理的方法中,关于作为液体、其它软材料的普遍的物理量的粘性/弹性,难以用少量的试料简便地进行测量。另外,对于低粘度的试料,难以高精度地测量粘性/弹性。进而,还存在需要洗净测量容器等测量效率上的限制。

[0024] 本发明基于这种情况而完成,其目的在于提供粘性/弹性测量装置以及粘性/弹性的测量方法,与以往的测量法相比,能够以比较少量的试料测量粘性/弹性,并且是小型简易的测量装置,能够将放入检测对象的物质的容器作为廉价的物品,进行一次性使用。

[0025] 用于解决课题的手段

[0026] 本发明的粘性/弹性测量装置(力学特性测量装置)是如下的粘性/弹性测量装置,即其特征在于,具有:导电性的转子;容器,收纳试料(检测粘性以及/或者弹性的检测对象物质)以及所述转子,并在该试料内配置了所述转子;磁铁,配置在该容器的周围,对所述转子施加磁场;旋转控制单元,驱动该磁铁,对所述转子提供旋转磁场,在所述转子内引起感应电流,通过该感应电流和对该转子所施加的磁场之间的洛伦兹相互作用,对该转子提供旋转扭矩而其旋转;旋转检测单元,检测所述转子的旋转运动;以及力学特性检测单元(粘性/弹性检测单元),基于所述旋转扭矩和所述旋转运动,检测与所述转子接触的试料的粘性/弹性。

[0027] 在上述装置中检测的粘性可以是以试料的粘性系数表示的数据。

[0028] 在上述装置中检测的弹性可以是以弹性率表示的数据。

[0029] 上述粘性/弹性测量装置可以是如下的粘性/弹性测量装置,即所述旋转检测单元检测所述转子的转速,所述力学特性检测单元基于所述转子的旋转扭矩和转速,检测所述试料的粘性。

[0030] 上述粘性/弹性测量装置可以是如下的粘性/弹性测量装置,即所述旋转检测单元检测从被赋予所述扭矩之前的初始静止位置起至所述转子通过所述旋转扭矩和所述试料的弹性阻力的均衡而静止的平衡静止位置为止的旋转角度,所述力学特性检测单元基于所述转子的旋转扭矩和旋转角度,检测所述试料的弹性。

[0031] 上述粘性/弹性测量装置可以是如下的粘性/弹性测量装置,即还具有存储单元,存储预先测量出的具有已知的粘性的多个物质(标准试料)中的所述转子的旋转扭矩和转速之间的关系的标准数据,所述力学特性检测单元通过比较测量出的试料中的所述转子的旋转扭矩和转速之间的关系与所述标准数据,检测所述试料的粘性。

[0032] 上述粘性/弹性测量装置可以是如下的粘性/弹性测量装置,即还具有存储单元,存储预先测量出的具有已知的弹性的多个物质中的所述转子的旋转扭矩和旋转角度之间

的关系的标准数据,所述力学特性检测单元通过比较测量出的试料中的所述转子的旋转扭矩和旋转角度之间的关系与所述标准数据,检测所述试料的弹性。

[0033] 上述粘性/弹性测量装置可以是如下的粘性/弹性测量装置,即对所述转子附加标记,所述旋转检测单元通过检测所述标记的旋转,检测转子的旋转运动。

[0034] 上述粘性/弹性测量装置可以是如下的粘性/弹性测量装置,即所述转子的底部的至少一部分与所述容器内面的底部接触,与所述转子接触的所述容器内面的底部是平滑的平面或者平滑的凹面状的曲面,所述转子的底部是平滑的凸面状的曲面。

[0035] 上述粘性/弹性测量装置可以是如下的粘性/弹性测量装置,即所述转子的半径通过以下的式子决定。

[0036] [数学式 1]

$$[0037] \quad R < \frac{3}{2} \frac{\omega \eta \beta}{\alpha \Delta \rho \mu g}$$

[0038] 这里, R 是转子的半径, g 是重力加速度, ω 是角速度, η 是粘性系数, $\Delta \rho$ 是转子和试料的密度差, μ 是转子下部和容器底部的摩擦系数, α 以及 β 是系数。

[0039] 这里,可以对粘性系数 η 代入与试料类似具有已知的粘性的物质(例如具有与试料实质上相同的化学组分的物质)的粘性系数,求 R 的条件。或者,可以设定稍稍高于(110 ~ 150%程度)与试料类似具有已知的粘性的物质的粘性系数的值作为虚拟的粘性系数,代入上述式子,求 R。

[0040] 上述粘性/弹性测量装置可以是如下的粘性/弹性测量装置,即所述转子的一部分或者全部沉入所述试料内。

[0041] 上述粘性/弹性测量装置可以是如下的粘性/弹性测量装置,即所述试料是液体或者软材料。

[0042] 本发明的粘性/弹性测量方法是如下的粘性/弹性测量方法,即其特征在于,具有:在容器中填充检测粘性/弹性的对象试料(检测对象物质),并在该试料内配置导电性的转子的过程;通过配置在该容器的周围的磁铁,对所述转子施加磁场的过程;旋转控制过程,使该磁场时间性地变动,在所述转子内引起感应电流,通过该感应电流和对该转子所施加的磁场之间的洛伦兹相互作用,对该转子提供旋转扭矩而使其旋转;旋转检测过程,检测所述转子的旋转运动;以及力学特性检测过程,基于所述旋转扭矩和旋转运动,检测与所述转子接触的试料的粘性/弹性。

[0043] 在上述方法中检测的粘性可以是以试料的粘性系数表示的数据。

[0044] 在上述方法中检测的弹性可以是以弹性率表示的数据。

[0045] 上述粘性/弹性测量方法可以是如下的粘性/弹性测量方法,即在所述旋转控制过程中,使所述转子旋转,在所述旋转检测过程中检测所述转子的转速,基于所述旋转扭矩和所述转速检测所述试料的粘性。

[0046] 上述粘性/弹性测量方法可以是如下的粘性/弹性测量方法,即在所述旋转控制过程中,使所述转子通过所述旋转扭矩从赋予所述扭矩之前的初始静止位置起旋转至所述转子通过弹性阻力和所述扭矩的均衡而静止的平衡静止位置为止,在所述旋转检测过程中,检测从所述初始静止位置至所述平衡静止位置为止的旋转角度,在所述力学特性检测过程中,基于所述旋转扭矩和旋转角度,检测接触所述转子的所述试料的弹性。

[0047] 上述粘性 / 弹性测量方法可以是如下的粘性 / 弹性测量方法,即还具有预先测量具有已知的粘度的多个物质(标准试料)中的所述转子的旋转扭矩和转速之间的关系,制作标准数据的过程,通过比较所述试料中的所述转子的旋转扭矩和转速之间的关系与标准数据,检测所述试料的粘性。

[0048] 上述粘性 / 弹性测量方法可以是如下的粘性 / 弹性测量方法,即还具有预先测量具有已知的弹性的多个物质(标准试料)中的所述转子的旋转扭矩和旋转角度之间的关系,制作标准数据的过程,通过比较所述试料中的所述转子的旋转扭矩和旋转角度之间的关系与标准数据,检测所述试料的弹性。可以在上述粘性 / 弹性测量方法的所述旋转控制过程中,进行控制,以使所述磁场成为该磁场的水平方向的朝向(磁场的朝向的水平分量)随时间进行旋转的旋转磁场。

[0049] 在上述粘性 / 弹性测量方法中,所述转子可以是由具有大于所述试料的比重的比重的材料构成的转子。

[0050] 发明效果

[0051] 如以上说明那样,根据本发明,根据施加到与试料接触旋转的转子的旋转扭矩和转子的旋转运动之间的关系,测量粘性以及 / 或者弹性,因此,能够以少量的检测对象物的试料,测量从低粘度至高粘度的宽区域的粘性。另外,通过对转子提供旋转磁场使转子旋转,并测量该转子的转速,根据旋转扭矩和转子的转速之间的关系检测试料的粘性,根据旋转扭矩和转子的旋转角度之间的关系检测试料的弹性,因此,与以往比较,能够通过简便的装置测量粘性 / 弹性。进而,在放入试料的容器方面利用通常的试管等,能够进行一次使用。因此,省去洗净容器的工夫,完全排除之前的测量物质的影响,能够进行高精度的测量。

附图说明

[0052] 图 1 是表示本发明的实施方式中的粘性 / 弹性检测装置的结构例的方框图。

[0053] 图 2 是表示在检测对象物质为水的情况下的旋转磁场的旋转速度以及转子(球)的旋转速度之差、和转子的旋转速度(转速)之间的关系的曲线图。

[0054] 图 3 是表示检测对象物质为蔗糖的情况下的旋转磁场的旋转速度以及转子(球)的旋转速度之差、和转子的旋转速度(转速)之间的关系的曲线图。

具体实施方式

[0055] 以下,参照附图说明本发明的一实施方式的粘性 / 弹性测量装置。图 1 是表示该实施方式的粘性 / 弹性测量装置的结构例的方框图。

[0056] 在该图中,容器 101 是例如小型的试管等。在容器 101 中,收纳测量作为力学的物理性能的粘性(即粘性系数)的对象的检测对象物。容器 101 的内径比在下述说明的转子 106 的直径大一点即可。另外,在测量时,收纳在容器 101 中的试料(检测对象物)的深度可以是转子 106 沉入的程度。因此,能够以极微量的试料进行计测。例如,使用 1mm 的导体球作为转子 106 的情况下,必要的试料的量只要有 100 μ 升就足够。这里,可以是转子 106 的一部分或者全部沉入作为检测对象物质的试料内。

[0057] 转子 106 由导体(例如铝等金属)构成,呈现具有与容器 101 接触的下部具有平滑

的凸状的曲面的形状。例如,转子 106 可以是球状或者半球状(即,与上述容器 101 的内底部(容器内面的底部)接触的部分具有球面的一部分的形状的形状)。另外,转子 106 可以具有旋转椭圆体状的形状。转子 106 在上述容器 101 内被配置为接触检测对象物内。即,转子 106 被配置为一部分或者全部沉入该检测对象物。转子 106 的下部接触的容器 101 的内底部既可以是平滑的平面,也可以具有凹状的平滑的曲面。

[0058] 作为转子 106,可以使用市场上出售的金属球。因此,通过与市场上出售的容器 101 的试管组合使用,能够使与试料接触的部分成为可垃圾处理的结构。因此,即使是将生物材料等、废弃需要特别注意的物质作为测量对象的情况下,也存在能够容易地进行焚毁、杀菌等后处理的优点。

[0059] 根据本发明,能够使用小的转子进行微量的试料的粘性/弹性的测量。例如,转子可以为直径 1cm 以下、或者直径 2mm 以下左右的金属球。根据本发明,即使是容积 100 ~ 500 μ 升左右的试料,也能够进行粘性/弹性的测量。

[0060] 在容器的周围,配置电磁铁 102、103、104、105。

[0061] 电磁铁 102 以及电磁铁 103 的组 A 在与容器 101 的长度方向正交的平面内,将上述容器 101 配置在中间,直排放置。

[0062] 电磁铁 104 以及电磁铁 105 的组 B 在与组 A 相同的平面内,在与组 A 的配置方向正交的方向上,将上述容器 101 配置在中间,直排放置。

[0063] 即,在将容器 101 的长度方向沿着正交坐标系的 z 轴配置的情况下,能够将组 A 沿 x 轴配置,将组 B 沿 y 轴配置。

[0064] 例如,可以沿铅直方向配置容器 106 的长度方向,并将电磁铁的组 A 以及组 B 配置在水平面内。

[0065] 电磁铁 102、103、104、105 与旋转控制单元 107 连接。旋转控制单元 107 交替驱动组 A、组 B 的电磁铁,时间性地交替生成相互正交的两个方向(x 轴方向、y 轴方向)的磁场而使磁场变动。

[0066] 例如,在以旋转控制单元 107 驱动组 A 的电磁铁 102 以及电磁铁 103 时(即,在电磁铁 102 以及电磁铁 103 的线圈中流过电流时),组 B 的电磁铁 104 以及电磁铁 105 不驱动。在组 B 的电磁铁 104 以及电磁铁 105 被驱动时,组 A 的电磁铁 102 以及电磁铁 103 不被驱动。

[0067] 旋转控制单元 107 通过上述电磁铁控制,对转子 106 提供旋转磁场,在转子 106 内引起感应电流。并且,通过该感应电流和施加到转子 106 的磁场之间的洛伦兹(lorentz)相互作用,对转子 106 提供旋转扭矩而使其旋转。

[0068] 力学特性检测单元 108 对旋转控制单元 106 指示该交替驱动的时间周期。

[0069] 在上述的结构中,使用电磁铁,并通过对电磁铁的线圈依次流过电流来驱动,从而对转子 106 提供旋转磁场。也可以代替该结构如下这样构成,即夹着容器 101 直排配置一组永久磁铁,并通过电动机等使该永久磁铁在容器 101 的周围旋转,对转子 106 施加旋转磁场,从而对转子 106 提供旋转扭矩。此时,旋转控制单元 107 对应于力学特性检测单元 108 的指示,控制永久磁铁的组的转速。

[0070] 图像处理单元 109 例如由具有显微镜的摄像元件(CCD)构成。图像处理单元 109 被配置在上述容器 101 的开口部上部。图像处理单元 109 通过检测对转子 106 附加的标记

(mark) 的旋转, 测量转子 106 的转速。因此, 图像处理单元 109 被配置在容器 101 的上方, 使得摄像方向成为能够检测出附加在转子 106 的上部面的标记的位置。

[0071] 在标准数据存储单元 110 中, 存储关于粘度不同的多个标准试料的、表示施加到转子 106 的旋转扭矩和转子 106 的转速的关系的标准数据。

[0072] 能够通过预先将各个标准试料放入容器 101, 使转子 106 旋转, 记录施加到转子 106 的旋转扭矩和转子 106 的转速来获得标准数据。

[0073] 在该各个标准试料的测量中, 使转子 106 的转速变化, 计算各个转速下的旋转扭矩, 求出通过后述的 (8) 式进行近似的一次曲线的斜率所得的结果被设定为标准数据的一部分。

[0074] 力学特性检测单元 108 与图像处理单元 109 以及标准数据存储单元连接。力学特性检测单元 108 取得图像处理单元 109 输出的转子 106 的转速和与该转速对应的旋转扭矩的数据。接着, 对检测对象物质求以后述的 (8) 式表示的一次曲线的斜率, 并求与从标准数据存储单元 110 读出的标准数据的斜率之比。即, 通过检测对象物质的一次曲线的斜率除以标准数据的一次曲线的斜率, 将该斜率之比乘以标准数据的粘度, 从而计算检测对象物质的粘度 η 。

[0075] 此时, 力学特性检测单元 108 也能够基于多个标准数据来决定检测对象物质的粘度。例如, 力学特性检测单元 108 可以读出存储在标准数据存储单元 110 中的多个不同的标准试料的一次曲线的斜率。此时, 能够对每个标准数据, 通过检测对象物质的一次曲线的斜率除以标准数据的一次曲线的斜率, 将该斜率之比乘以对应的标准数据的粘度, 求粘度值, 并将基于多个标准数据求出的粘度值进行平均, 作为检测对象物质的粘度。

[0076] 以下, 通过提供给转子 106 的旋转扭矩和转子 106 的转速说明测量粘度的理论。

[0077] 这里, 由于基于正交坐标系进行说明, 因此将容器的长度方向设为与 z 轴平行的方向, 将组 A 的配置设为与 x 轴平行的方向, 将组 B 的配置设为与 y 轴平行的方向。

[0078] 例如, 在容器 101 的周边, 可以通过组 A 的电磁铁 102 以及 103, 如以 $B = (B_0 \cos \omega t, 0, 0)$ 表示那样, 产生与 x 轴平行的磁场, 并通过组 B 的电磁铁 104 以及 105, 如以 $B = (0, B_0 \sin \omega t, 0)$ 表示那样, 产生与 y 轴平行的磁场。这里, B_0 是磁场强度的最大值, ω 是角速度, t 是时间。

[0079] 在作为导体的转子 106 内部, 通过时间性变化的磁场 B (旋转磁场), 产生满足

[0080] $\text{rot} E = -(\text{dB}/\text{dt})$ 的电场。

[0081] 该电场如以下的 (1) 式这样计算。

[0082] [数学式 2]

$$[0083] \quad E = \frac{\omega B_0}{2} (-z \cos \omega t, -z \sin \omega t, x \cos \omega t + y \sin \omega t) \quad \dots \dots (1)$$

[0084] 由此, 在转子 106 的内部, 将导体的电导率设为 σ , 流过

[0085] $I = \sigma E$ 的电流。通过该电流 I 和磁场 B 的洛伦兹相互作用, 由以下的 (2) 式所示的力 F (洛伦兹力) 在转子 106 上工作。

[0086] [数学式 3]

$$[0087] \quad F = \frac{\omega B_0^2 \sigma}{2} (-x \cos \omega t + y \sin \omega t) \sin \omega t, (x \cos \omega t + y \sin \omega t) \cos \omega t, 0) \quad \dots \dots (2)$$

[0088] 在上述 F 中,与旋转面垂直的转子 106 的中心轴的周围的矢径方向的分量通过随时间变化的一周期进行积分,能够通过以下的 (3) 式进行计算。

[0089] [数学式 4]

$$[0090] \quad F_{\theta} = \frac{\pi \omega \sigma B_0^2}{2} r, r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \dots \dots (3)$$

[0091] 由上述 (3) 式所示的力 F_{θ} , 成为使转子 106 沿球的垂直的中心轴旋转的力。该扭矩 T 由以下的 (4) 式表示。

[0092] [数学式 5]

$$[0093] \quad T = \int_{\text{球内部}} dV F_{\theta} r, r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \dots \dots (4)$$

[0094] 转子 106 利用上述扭矩 T 旋转。但是,在决定该旋转速度的主要因素方面有以下两个。

[0095] 一个是转子 106 和容器 101 的底部之间的摩擦,另一个是转子 106 接触的检测对象物质的粘性阻力。

[0096] 为了根据转子 106 的旋转,高精度地求出与该转子 106 接触的检测对象物质的粘性,需要容器 101 的底部的摩擦力产生的阻力与检测对象物质的粘性阻力相比,实质上为相同程度(即同样的数值)或者小。

[0097] 这里,为了简化式子,将与转子 106 的旋转面垂直的半径设为 R,将转子 106 的下部与容器 101 的底部接触的、转子 106 的下部面积中的有效接触面的半径设为 αR ($\alpha < 1$)。

[0098] 在该有效接触半径内,与转子 106 相关的重力产生的应力设为一定。

[0099] 若将转子 106 的下部、容器 101 的底部之间的摩擦系数设为 μ ,将转子 106 和检测对象物质之间的密度差设为 $\Delta \rho$,将重力加速度设为 g,则为了克服摩擦而使球旋转所需要的扭矩 T_f 能够通过以下的 (5) 式计算。

[0100] [数学式 6]

$$[0101] \quad T_f = \frac{8\pi}{9} \alpha \mu \Delta \rho g R^4 \quad \dots \dots (5)$$

[0102] 另外,在通过检测对象物质充满的无限的空间内,将粘性系数设为 η ,转子 106 以角速度 ω 进行旋转所需要的扭矩 T_r 为以下的 (6) 式表示的程度。

[0103] [数学式 7]

$$[0104] \quad T_r = \frac{4}{3} \pi R^3 \omega \eta \quad \dots \dots (6)$$

[0105] 在转子 106 的下部与容器 101 的平面状乃至曲面状的底部接触的情况下,进一步需要的扭矩 T_r 变大。若将该系数设为 β ,则 β 为 1 数量级 (order),且大于 1。在该 β 中还包含检测对象物质因转子 106 的旋转而旋转时的转子 106 和容器 101 的侧壁之间间接的相互作用的系数。至 (6) 式为止设为 $\beta = 1$ 。

[0106] 由上可知为了粘性阻力强于摩擦力而工作的条件是 $T_r > T_f$ 。扭矩 T_f 与 R 的 4 次方成比例,扭矩 T_r 与 R 的 3 次方成比例。因此,如果选择足够小的 R,能够满足该条件。

[0107] 即,用于测量粘性系数(粘度) η 的液体的粘性的条件由以下的 (7) 式决定。

[0108] [数学式 8]

$$[0109] \quad R < \frac{3}{2} \frac{\omega \eta \beta}{\alpha \Delta \rho \mu g} \quad \dots \dots (7)$$

[0110] 大多数情况下,作为粘性的测量对象的试料是使已知的物质的特性变化的试料。因此,可以将与试料类似的已知的物质(例如具有类似的化学组分的物质)的粘性系数、或者将其 110 ~ 150% 左右的数值作为虚拟粘性系数,代入到上式的 η , 能够求出与 R 相关的条件。

[0111] 例如,将对象物质假定为水而设为 $\eta = 10^{-3} \text{Pas}$, 作为转子 106, 假定铝球而设为 $\Delta \rho \sim 2000 \text{kg/m}^3$, 另外, 设 $\alpha \sim 1/100$ 左右, 设 $\beta \sim 1$ 左右, $\mu \sim 0.1$ 左右, 则如果是每秒 - 旋转程度的角速度 $\omega \sim 10 \text{rad/s}$, 则 $R < 1 \text{mm}$ 成为条件。

[0112] 与铝球相关的扭矩 T_r , 与磁场的旋转速度(依次驱动组 A 和组 B, 使磁场作为 x 方向或者 y 方向变化的速度)和铝球实际进行旋转的旋转速度之差成比例。

[0113] 为此, 如果预先决定磁场的旋转速度, 并计测球的旋转速度, 则能够估计与球相关的旋转扭矩 T。

[0114] 在该旋转扭矩 T 的计算中, 可以采用 (4) 式, 或者可以采用使用粘度已知的标准试料而获得的校正曲线(标准数据存储单元 110 中存储的标准数据的斜率)。

[0115] 这样获得的扭矩 T 由以下所示的 (8) 式表示。

[0116] [数学式 9]

$$[0117] \quad T = \frac{4}{3} \pi \beta R^3 \omega \eta + \frac{8\pi}{9} \alpha \mu \Delta \rho g R^4 \quad \dots \dots (8)$$

[0118] 由此施加的扭矩 T 和角速度 ω 的关系为通过截距的一次曲线。即, 如果将角速度 ω 取为横轴, 将扭矩 T 取为纵轴图示, 则能够将 (8) 式的第 2 项作为截距, 作为通过纵轴上的一点的曲线来图示。从该截距((8) 式的第 2 项) 求出摩擦产生的扭矩, 并且从斜率求出粘性 η ((8) 式的第 1 项)。另外, 能够从测量出的转速求出角速度 ω 。

[0119] 在标准数据存储单元 110 中, 对于粘性已知的标准试料, 存储通过与由该粘性/弹性检测装置测量出的旋转扭矩成比例的量和转子 106 的转速之间的关系表示的式 (8) 的一次曲线的斜率、即旋转扭矩相对于转速的变化的比例。对于粘度不同的多个标准试料, 分别存储这些数据 and 粘度的数值。

[0120] 在转子 106 的旋转运动的观察中, 使用带有图 1 中的显微镜的摄像元件 111, 检测附加到转子 106 的标记的旋转运动, 从而测量转子 106 的转速。

[0121] 转速的测量可以使用其它方法进行。例如, 可以替换为如下方法, 即对转子 106 照射激光, 通过光学方式计测由旋转引起的反射/干涉图案(pattern) 的变化。或者, 可以替换为如下方法, 即用电介质置换转子 106 的一部分, 构成作为在电极间夹着该转子的结构的电容器, 根据伴随转子 106 的旋转的、该电容器的介电常数的周期性变化, 计测转子 106 的转速。

[0122] 另外, 利用摄像元件 111 的观察可以替换为如下方法, 即使容器 101 为透明的材料, 从底部通过倒立型显微镜进行观察。此时, 观察能够通过容器 101 的底部和转子 106 的下部之间的极薄的检测对象物质的层来进行。因此, 假设检测对象物质是像几乎不透过光的墨水材料这样的物质, 也能够进行测量。此时, 用于检测转速的标记附加在转子 106 的下部。

[0123] 上述的旋转控制单元 107 对转子 106 施加的磁场的周期以及方向可以任意地变化。

[0124] 例如,通过周期性地扫描磁场的朝向和旋转速度,能够对转子 106 施加周期性的旋转扭矩。

[0125] 另外,对于如凝胶 (gel)、橡胶等这样除了粘性还具有弹性的物质、或者通过粘性的缓和而产生弹性的高分子溶液这样的物质,能够从提供一定扭矩时的静止位置,除了决定粘性率之外,还同时决定弹性率。

[0126] 这里,弹性率与弹簧常数一样,带来与旋转变形成比例的还原力。因此,在试料除了粘性之外还有弹性的情况下,由弹性率产生的还原力与变形成比例地变大。因此,转子 106 在旋转了某一程度后,由弹性力 (弹性阻力) 和磁场产生的扭矩均衡而静止。

[0127] 即,使电磁铁 102 ~ 105 生成的旋转磁场的大小变化,并且使旋转速度变化,从而使施加到转子 106 的旋转扭矩的大小变化,计测转子 106 的平衡静止位置,由此检测从不施加旋转扭矩的初始状态至该静止位置为止的旋转角度。该旋转角度与所施加的旋转扭矩成比例,其比例系数与弹性率成反比。由此能够求出弹性率。此时,与粘度的测量同样,使用知道弹性率的标准试料。从旋转扭矩和旋转角度的关系,对标准试料求比例系数。并且,根据对检测对象物质 (测量试料) 求出的比例系数和从标准试料获得的比例系数之比,能够求出检测对象物质的弹性率。

[0128] 通过时间性地改变施加到转子 106 的旋转扭矩,也能够同时决定弹性率和粘性率。

[0129] 例如,在对转子 106 施加一定的旋转扭矩后,瞬时消除施加磁场,观察此后的转子 106 的运动,则转子 106 因试料的弹性而振动,并且该振动的振幅因粘性率而衰减下去。也能够从该检测对象物中的转子 106 的振动的振幅、周期以及持续时间,决定弹性率和粘性率。例如,将标准试料中的转子 106 的振动的振幅、周期以及持续时间和检测对象物中的转子 106 的振动的振幅、周期以及持续时间进行比较,能够求出检测对象物质的弹性率。

[0130] 通过周期性地扫描磁场的方向和旋转速度,能够对转子 106 施加周期性的旋转扭矩。

[0131] 通过一边使该周期变化,一边观察转子 106 的旋转振动的振幅和相位,也能够独自地决定粘性率和弹性率。

[0132] 该观察将消除了上述磁场后的衰减振动捕捉为频谱,两者原理上是相同的测量。

[0133] < 应用例 >

[0134] 以下更详细说明本实施方式中的具体的应用例。但是,本发明不是被以下所示的应用例子限定的发明。

[0135] 使用图 1 所示的粘性 / 弹性测量装置 (力学物理性能测量装置) 进行了以下的粘性检测的处理。

[0136] 使用内径 7mm、高度 30mm 的玻璃制试管作为容器 101,在该玻璃制试管中,放入了 0.4cc 的 20℃ 的纯水作为测量对象试料 (检测对象物质)。

[0137] 该纯水的粘性为 1.0cP,在该纯水中沉入了直径 2mm 的铝球作为转子 106。

[0138] 接着,在试料容器的周围使 2 个永久磁铁旋转,产生了旋转磁场。

[0139] 由摄像元件 110 捕捉上述铝球受到由该旋转磁场产生的旋转扭矩而进行旋转的

情形,将该图像录像到视频磁带中。此后,通过计算机的图像处理(图像处理单元 109),求出了铝球的转速。即,一边使旋转磁场的旋转速度变化,一边计测了此时的铝球的旋转速度。

[0140] 图 2 是表示此时的旋转磁场的旋转速度以及转子 106 的旋转速度之差(与旋转扭矩成比例的参数)和铝球的转速之间的关系的曲线图。

[0141] 磁场以及旋转物体的各个旋转速度之差如上述那样,与铝球产生的旋转扭矩成比例。

[0142] 因此,该曲线图的纵轴表示与扭矩成比例的量。此关系呈由(8)式表示的一次函数的形状,可知,从第 1 项中的斜率求出粘性,从第 2 项表示的截距(相对纵轴)求出摩擦力。

[0143] 进而,使用图 1 所示的力学物理性能测量装置进行了以下的操作,即,使用内径 7mm、高度 30mm 的玻璃制试管作为试料容器,进而将放入了 0.4cc 的重量比 30% 的蔗糖水溶液作为测量对象试料。该水溶液的粘性为 3.2cP。

[0144] 进而,将作为转子 106 的直径 2mm 的铝球沉入上述水溶液,接着,通过在容器 101 的周围使 2 个永久磁铁旋转,使其产生了进行旋转的旋转磁场。

[0145] 由摄像元件 111 捕捉铝球受到由该旋转磁场产生的旋转扭矩而进行旋转的情形,并将该图像录像到视频磁带,此后,通过计算机的图像处理(图像处理单元 109),求出了转速。即,一边使旋转磁场的旋转速度变化,一边计测了此时的铝球的旋转速度。

[0146] 图 3 是表示此时的旋转磁场的旋转速度以及转子 106 的旋转速度之差和旋转物体的转速之间的关系的曲线图。

[0147] 与图 2 的纯水相比,由于蔗糖水溶液的粘性大,因此可知曲线图的斜率变大。

[0148] 该截距下的旋转磁场的转速大约为 0.4 转/秒,数量级与 1 转/秒大致一致,该 1 转/秒是从提供与粘性为 3cP、旋转物体的直径为 2mm 时的摩擦力相当的转速的式(7)导出的值。由此可知本发明的原理是有效的。

[0149] 另外,图 2 和图 3 的斜率之比为 3.26,与实际的粘度之比 3.2 极其一致,因此可知能够高精度地测量 1cP 左右的粘性。

[0150] 另外,从该结果可知,通过求出检测对象物质和标准试料的旋转扭矩、转速的斜率之比,并将这个比乘以标准试料的粘度,从而能够估计检测对象物质的粘度。

[0151] 产业上的可利用性

[0152] 根据本发明,能够对微量的试料,以高精度进行粘性以及/或者弹性的测量。此时,能够使用与试料接触的容器、在转子方面使用市场出售的廉价的物品,并进行一次性使用。因此,能够降低装置需要的成本,并且能够完全排除其它试料的混合带来的影响。另外,也能够简便且可靠地进行与试料的废弃有关的后处理。

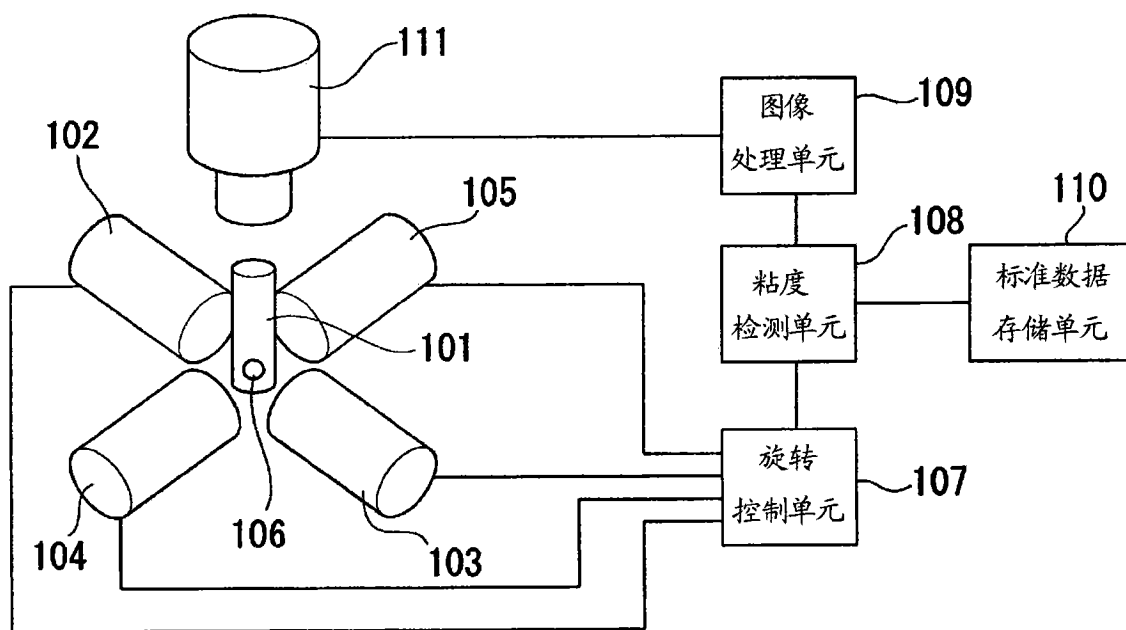


图 1

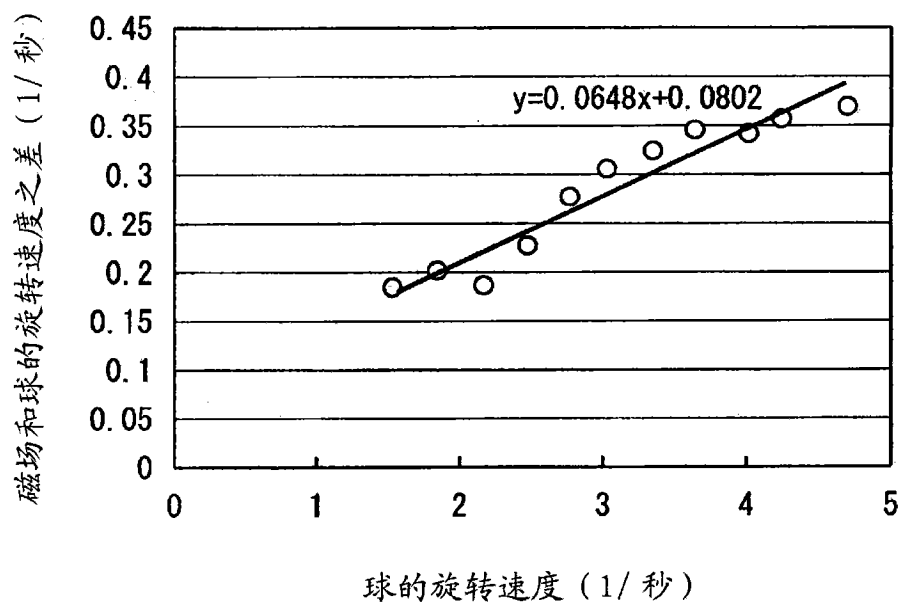


图 2

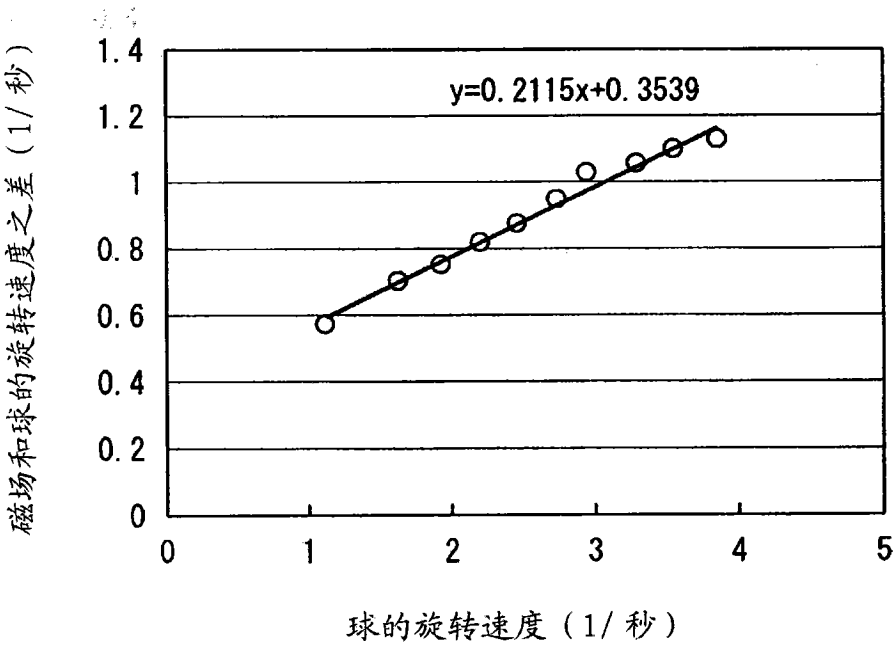


图 3