

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-35678

(P2019-35678A)

(43) 公開日 平成31年3月7日(2019.3.7)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)		
GO 1 N	11/00	(2006.01)	GO 1 N	11/00	A
GO 1 N	9/00	(2006.01)	GO 1 N	9/00	A

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2017-157597 (P2017-157597)
 (22) 出願日 平成29年8月17日 (2017.8.17)

(71) 出願人 504229284
 国立大学法人弘前大学
 青森県弘前市文京町1番地
 (74) 代理人 100108833
 弁理士 早川 裕司
 (74) 代理人 100162156
 弁理士 村雨 圭介
 (72) 発明者 城田 農
 青森県弘前市文京町1番地 国立大学法人
 弘前大学内

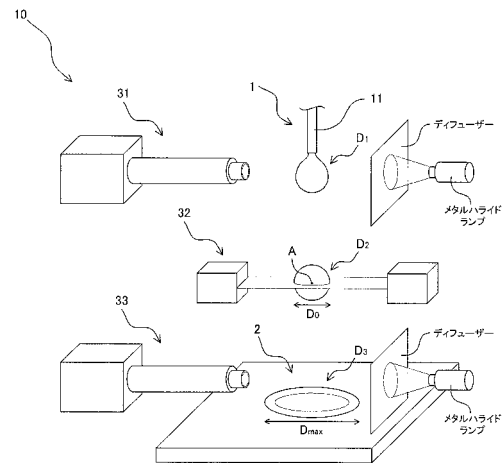
(54) 【発明の名称】 液体の粘度計測システム及び液体の粘度計測方法

(57) 【要約】

【課題】 従来の粘度計測器と比べて計測時間が短く、必要とするサンプル量が少なくても、簡易かつ正確にその粘度を計測することができる液体の粘度計測システム及び液体の粘度計測方法を提供する。

【解決手段】 液体の粘度計測システム10は、液体を質量Mの液滴Dとして所定高さに位置する滴下部11から自由落下するように滴下させる滴下機構1と、滴下部11に対向して設けられ、滴下部11から滴下された液滴Dを衝突させるための平板状衝突部2と、滴下部11から滴下時の液滴Dの状態を測定する第1測定装置31と、平板状衝突部2へ衝突直前の液滴Dの状態を測定する第2測定装置32と、平板状衝突部2に衝突後の液滴Dの状態を測定する第3測定装置33と、第1測定装置31の測定結果、第2測定装置32の測定結果及び第3測定装置33の測定結果に基づき液体の粘度を算出する粘度算出装置とを備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

液体を質量 M の液滴として所定高さに位置する滴下部から自由落下するように滴下させる滴下手段と、

前記滴下部に対向して設けられ、前記滴下部から滴下された前記液滴を衝突させるための平板状衝突部と、

前記滴下部から滴下時の前記液滴の状態を測定する第 1 測定手段と、

前記平板状衝突部へ衝突直前の前記液滴の状態を測定する第 2 測定手段と、

前記平板状衝突部に衝突後の前記液滴の状態を測定する第 3 測定手段と、

前記第 1 測定手段の測定結果、前記第 2 測定手段の測定結果及び前記第 3 測定手段の測定結果に基づき前記液体の粘度を算出する粘度算出手段と
を備える液体の粘度計測システム。 10

【請求項 2】

前記第 1 測定手段が、前記滴下部に懸垂し、自由落下する直前の前記液滴の輪郭形状 S を測定するものである請求項 1 に記載の液体の粘度計測システム。

【請求項 3】

前記第 2 測定手段が、前記平板状衝突部へ衝突直前の測定点における前記液滴の水平方向の最大径 D_0 及び前記測定点を前記液滴が通過するのに要する通過時間 T を測定するものである請求項 1 又は請求項 2 に記載の液体の粘度計測システム。

【請求項 4】

前記第 3 測定手段が、前記平板状衝突部に衝突し、略円形状に変形した前記液滴の最大広がり径 D_{max} を測定するものである請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の液体の粘度計測システム。 20

【請求項 5】

前記第 1 測定手段が、前記滴下部に懸垂し、自由落下する直前の前記液滴の輪郭形状 S を測定するものであり、

前記第 2 測定手段が、前記平板状衝突部へ衝突直前の測定点における前記液滴の水平方向の最大径 D_0 及び前記測定点を前記液滴が通過するのに要する通過時間 T を測定するものであり、

前記粘度算出手段が、 30

前記第 1 測定手段により測定された輪郭形状 S 及び前記質量 M に基づき前記液滴の体積 V 、密度 ρ 及び表面張力 σ を算出する第 1 算出手段と、

前記第 2 測定手段により測定された最大径 D_0 及び通過時間 T 並びに前記第 1 算出手段により算出された体積 V に基づき前記液滴の衝突速度 U を算出する第 2 算出手段とを備える

請求項 1 に記載の液体の粘度計測システム。

【請求項 6】

前記第 3 測定手段が、前記平板状衝突部に衝突し、略円形状に変形した前記液滴の最大広がり径 D_{max} を測定するものであり、

前記粘度算出手段が、前記第 2 測定手段により測定された最大径 D_0 、前記第 3 測定手段により測定された最大広がり径 D_{max} 、前記第 1 算出手段により算出された密度 ρ 及び前記第 2 算出手段により算出された衝突速度 U から、下記式 (1) を用いて前記液体の粘度 μ を算出する第 3 算出手段をさらに備える請求項 5 に記載の液体の粘度計測システム。 40

【数 1】

$$\mu = \left(\frac{D_0}{D_{max}} - AWe^{-\frac{1}{2}} \right)^5 (\rho U D_0) \quad (1)$$

(式(1)中、 We はウェーバ数、 A は固体平面の濡れ性等によって変化する補正係数である。)

【請求項7】

液体を質量 M の液滴として所定高さに位置する滴下部から自由落下するように滴下させる滴下工程と、

前記滴下部に対向して設けられた平板状衝突部に、前記滴下部から滴下された前記液滴を衝突させる衝突工程と、

前記滴下部から滴下時の前記液滴の状態を測定する第1測定工程と、

前記平板状衝突部へ衝突直前の前記液滴の状態を測定する第2測定工程と、

前記平板状衝突部に衝突後の前記液滴の状態を測定する第3測定工程と、

前記第1測定工程で得られた測定結果、前記第2測定工程で得られた測定結果及び前記第3測定工程で得られた測定結果に基づき前記液体の粘度を算出する粘度算出工程とを備える液体の粘度計測方法。

10

【請求項8】

前記第1測定工程が、前記滴下部に懸垂し、自由落下する直前の前記液滴の輪郭形状 S を測定するものである請求項7に記載の液体の粘度計測方法。

【請求項9】

前記第2測定工程が、前記平板状衝突部へ衝突直前の測定点における前記液滴の水平方向の最大径 D_0 及び前記測定点を前記液滴が通過するのに要する通過時間 T を測定するものである請求項7又は請求項8に記載の液体の粘度計測方法。

20

【請求項10】

前記第3測定工程が、前記平板状衝突部に衝突し、略円形状に変形した前記液滴の最大広がり径 D_{max} を測定するものである請求項7から請求項9のいずれか1項に記載の液体の粘度計測方法。

【請求項11】

前記第1測定工程が、前記滴下部に懸垂し、自由落下する直前の前記液滴の輪郭形状 S を測定するものであり、

前記第2測定工程が、前記平板状衝突部へ衝突直前の測定点における前記液滴の水平方向の最大径 D_0 及び前記測定点を前記液滴が通過するのに要する通過時間 T を測定するものであり、

30

前記粘度算出工程が、

前記第1測定工程で測定された輪郭形状 S 及び前記質量 M に基づき前記液滴の体積 V 、密度 ρ 及び表面張力 σ を算出する第1算出工程と、

前記第2測定工程で測定された最大径 D_0 及び通過時間 T 並びに前記第1算出工程で算出された体積 V に基づき前記液滴の衝突速度 U を算出する第2算出工程とを備える請求項7に記載の液体の粘度計測方法。

【請求項12】

前記第3測定工程が、前記平板状衝突部に衝突し、略円形状に変形した前記液滴の最大広がり径 D_{max} を測定するものであり、

40

前記粘度算出工程が、前記第2測定工程で測定された最大径 D_0 、前記第3測定工程で測定された最大広がり径 D_{max} 、前記第1算出工程で算出された密度 ρ 及び前記第2算出工程で算出された衝突速度 U から、下記式(1)を用いて前記液体の粘度 μ を算出する第3算出工程をさらに備える請求項11に記載の液体の粘度計測方法。

【数1】

$$\mu = \left(\frac{D_0}{D_{max}} - AWe^{-\frac{1}{2}} \right)^5 (\rho U D_0) \quad (1)$$

50

(式(1)中、Weはウェーバ数、Aは固体平面の濡れ性等によって変化する補正係数である。)

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、液体の粘度計測システム及び液体の粘度計測方法に関し、特に、血液や塗料、接着剤のような凝固性を有する液体の粘度を簡易に計測することのできる液体の粘度計測システム及び液体の粘度計測方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、液体の粘度の計測には、細管式、回転式、落体式、振動式等の計測器が広く用いられている。細管式の粘度計測器は、細管内に液体サンプルを通して、単位時間に流れる液体の体積(流量)と細管の両端の圧力差に基づき粘度を求めるものであって、最も古典的な粘度計測器である。回転式の粘度計測器は、液体サンプル中に円筒形の回転子を入れ、その回転トルクが液体の粘度に比例することを利用して粘度を求めるものである。落体式の粘度計測器は、液体サンプル中に一定の寸法及び密度を有する円柱形又は球形の剛体を自由落下させ、一定距離を落下する時間に基づき粘度を求めるものである。振動式の粘度計測器は、近年用いられるようになってきたものであって、液体サンプル中に挿入した振動子を一定の振幅で振動させるための駆動電流から液体の粘度を求めるものである。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、上述のような従来粘度計測器は、構造が複雑であり操作が簡易とはいえず、計測器自体も高価である。また、このような計測器は、液体の粘度を計測するためある程度の時間を必要とすることから、特に血液や塗料、接着剤のような凝固性を有する液体の粘度を計測する場合には、計測中に液体が凝固して粘性が変化してしまうことにより、正常な粘度計測ができないという問題がある。そして、凝固した液体のせいで、計測後の計測器の洗浄にコストがかかり、場合によっては計測器の故障につながることもある。さらに、このような計測器は、必要とする液体サンプル量が数10ccから100cc程度と比較的多いため、十分なサンプル量を用意することが困難な液体の粘度計測には適さないという問題もある。

【0004】

本発明は上述のような事情に基づいてなされたものであり、従来粘度計測器と比べて計測時間が短く、必要とするサンプル量が少なくても、簡易かつ正確にその粘度を計測することができる液体の粘度計測システム及び液体の粘度計測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】

【0005】

上記課題を解決するために、第一に本発明は、液体を質量Mの液滴として所定高さに位置する滴下部から自由落下するように滴下させる滴下手段と、前記滴下部に対向して設けられ、前記滴下部から滴下された前記液滴を衝突させるための平板状衝突部と、前記滴下部から滴下時の前記液滴の状態を測定する第1測定手段と、前記平板状衝突部へ衝突直前の前記液滴の状態を測定する第2測定手段と、前記平板状衝突部に衝突後の前記液滴の状態を測定する第3測定手段と、前記第1測定手段の測定結果、前記第2測定手段の測定結果及び前記第3測定手段の測定結果に基づき前記液体の粘度を算出する粘度算出手段とを備える液体の粘度計測システムを提供する(発明1)。

【0006】

かかる発明(発明1)によれば、液体を液滴として自由落下させて平板状衝突部へ衝突させるまでのわずかな時間で、第1測定手段、第2測定手段及び第3測定手段の測定結果

10

20

30

40

50

から、液体の粘度を計測することができる。その結果、たとえ計測対象である液体が血液や塗料、接着剤のような凝固性を有するものであっても、その凝固性の影響を受けることなく正確な粘度計測が可能となる。また、一滴という極めて少ないサンプル量で液体の粘度を計測することができるので、十分なサンプル量を用意することが困難な液体の粘度計測にも利用でき、汎用性が高い。

【0007】

上記発明（発明1）においては、前記第1測定手段が、前記滴下部に懸垂し、自由落下する直前の前記液滴の輪郭形状Sを測定するものであることが好ましい（発明2）。

【0008】

上記発明（発明1, 2）においては、前記第2測定手段が、前記平板状衝突部へ衝突直前の測定点における前記液滴の水平方向の最大径 D_0 及び前記測定点を前記液滴が通過するのに要する通過時間Tを測定するものであることが好ましい（発明3）。

【0009】

上記発明（発明1-3）においては、前記第3測定手段が、前記平板状衝突部に衝突し、略円形状に変形した前記液滴の最大広がり径 D_{max} を測定するものであることが好ましい（発明4）。

【0010】

なお、図4は、平板状衝突部へ衝突させた液滴の状態変化を示す模式図であって、(a)は衝突直前の状態、(b)は衝突後、慣性力によって略円形状に変形しつつある状態、(c)は略円形状への変形が最大に達した状態、(d)は(c)の後、表面張力等によって戻る方向に収縮し、平衡に達した状態を示している。本発明において液滴の最大広がり径 D_{max} とは、図4(c)に示す状態における略円形状に変形した液滴の最大径を意味する。

【0011】

上記発明（発明1）においては、前記第1測定手段が、前記滴下部に懸垂し、自由落下する直前の前記液滴の輪郭形状Sを測定するものであり、前記第2測定手段が、前記平板状衝突部へ衝突直前の測定点における前記液滴の水平方向の最大径 D_0 及び前記測定点を前記液滴が通過するのに要する通過時間Tを測定するものであり、前記粘度算出手段が、前記第1測定手段により測定された輪郭形状S及び前記質量Mに基づき前記液滴の体積V、密度及び表面張力を算出する第1算出手段と、前記第2測定手段により測定された最大径 D_0 及び通過時間T並びに前記第1算出手段により算出された体積Vに基づき前記液滴の衝突速度Uを算出する第2算出手段とを備えることが好ましい（発明5）。

【0012】

従来、液体の主要物性である粘度、密度及び表面張力の計測には、それぞれに専用の計測器が用いられる。かかる発明（発明5）によれば、一度の計測で、液体の粘度だけでなく密度及び表面張力を同時に計測することができるので、効率的である。

【0013】

上記発明（発明5）においては、前記第3測定手段が、前記平板状衝突部に衝突し、略円形状に変形した前記液滴の最大広がり径 D_{max} を測定するものであり、前記粘度算出手段が、前記第2測定手段により測定された最大径 D_0 、前記第3測定手段により測定された最大広がり径 D_{max} 、前記第1算出手段により算出された密度及び前記第2算出手段により算出された衝突速度Uから、下記式(1)を用いて前記液体の粘度 μ を算出する第3算出手段をさらに備えることが好ましい（発明6）。

【数1】

$$\mu = \left(\frac{D_0}{D_{max}} - AWe^{-\frac{1}{2}} \right)^5 (\rho U D_0) \quad (1)$$

10

20

30

40

50

(式(1)中、Weはウェーバ数、Aは固体平面の濡れ性等によって変化する補正係数である。)

【0014】

かかる発明(発明6)によれば、上記式(1)を用いて計測対象である液体の粘度を求めることができる。

【0015】

第二に本発明は、液体を質量Mの液滴として所定高さに位置する滴下部から自由落下するように滴下させる滴下工程と、前記滴下部に対向して設けられた平板状衝突部に、前記滴下部から滴下された前記液滴を衝突させる衝突工程と、前記滴下部から滴下時の前記液滴の状態を測定する第1測定工程と、前記平板状衝突部へ衝突直前の前記液滴の状態を測定する第2測定工程と、前記平板状衝突部に衝突後の前記液滴の状態を測定する第3測定工程と、前記第1測定工程で得られた測定結果、前記第2測定工程で得られた測定結果及び前記第3測定工程で得られた測定結果に基づき前記液体の粘度を算出する粘度算出工程とを備える液体の粘度計測方法を提供する(発明7)。

10

【0016】

上記発明(発明7)においては、前記第1測定工程が、前記滴下部に懸垂し、自由落下する直前の前記液滴の輪郭形状Sを測定するものであることが好ましい(発明8)。

【0017】

上記発明(発明7,8)においては、前記第2測定工程が、前記平板状衝突部へ衝突直前の測定点における前記液滴の水平方向の最大径 D_0 及び前記測定点を前記液滴が通過するのに要する通過時間Tを測定するものであることが好ましい(発明9)。

20

【0018】

上記発明(発明7-9)においては、前記第3測定工程が、前記平板状衝突部に衝突し、略円形状に変形した前記液滴の最大広がり径 D_{max} を測定するものであることが好ましい(発明10)。

【0019】

上記発明(発明7)においては、前記第1測定工程が、前記滴下部に懸垂し、自由落下する直前の前記液滴の輪郭形状Sを測定するものであり、前記第2測定工程が、前記平板状衝突部へ衝突直前の測定点における前記液滴の水平方向の最大径 D_0 及び前記測定点を前記液滴が通過するのに要する通過時間Tを測定するものであり、前記粘度算出工程が、前記第1測定工程で測定された輪郭形状S及び前記質量Mに基づき前記液滴の体積V、密度及び表面張力を算出する第1算出工程と、前記第2測定工程で測定された最大径 D_0 及び通過時間T並びに前記第1算出工程で算出された体積Vに基づき前記液滴の衝突速度Uを算出する第2算出工程とを備えることが好ましい(発明11)。

30

【0020】

上記発明(発明11)においては、前記第3測定工程が、前記平板状衝突部に衝突し、略円形状に変形した前記液滴の最大広がり径 D_{max} を測定するものであり、前記粘度算出工程が、前記第2測定工程で測定された最大径 D_0 、前記第3測定工程で測定された最大広がり径 D_{max} 、前記第1算出工程で算出された密度及び前記第2算出工程で算出された衝突速度Uから、下記式(1)を用いて前記液体の粘度 μ を算出する第3算出工程をさらに備えることが好ましい(発明12)。

40

【数2】

$$\mu = \left(\frac{D_0}{D_{max}} - AWe^{-\frac{1}{2}} \right)^5 (\rho U D_0) \quad (1)$$

(式(1)中、Weはウェーバ数、Aは固体平面の濡れ性等によって変化する補正係数である。)

50

【発明の効果】

【0021】

本発明の液体の粘度計測システム及び液体の粘度計測方法によれば、従来の粘度計測器と比べて計測時間が短く、必要とするサンプル量が少なくても、簡易かつ正確にその粘度を計測することができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の一実施形態に係る液体の粘度計測システムの構成を示す模式図である。

【図2】図1の液体の粘度計測システムが備える第1測定装置の測定結果を示す画像であって、(a)は、撮影された画像、(b)は(a)の画像を二値化した画像、(c)は(b)の画像から、滴下部に懸垂し、自由落下する直前の液滴の輪郭形状を抽出した画像である。

10

【図3】図1の液体の粘度計測システムが備える第2測定装置の測定結果を示す波形図であって、縦軸は第2測定装置によって検知された液滴の水平方向の長さ、横軸は時間である。

【図4】平板状衝突部へ衝突させた液滴の状態変化を示す模式図であって、(a)は衝突直前の状態、(b)は衝突後、慣性力によって略円形状に変形しつつある状態、(c)は略円形状への変形が最大に達した状態、(d)は(c)の後、表面張力等によって戻る方向に収縮し、平衡に達した状態を示している。

【図5】図1の液体の粘度計測システムが備える粘度算出装置の構成を示すブロック図である。

20

【図6】図5の粘度算出装置による粘度算出工程の実行手順を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、本発明の液体の粘度計測システム及び液体の粘度計測方法の実施の形態について、適宜図面を参照して説明する。以下に説明する実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであって、何ら本発明を限定するものではない。

【0024】

〔粘度計測システム〕

30

図1は、本発明の一実施形態に係る液体の粘度計測システムの構成を示す模式図である。図1に示す液体の粘度計測システム10は、滴下部11を有する滴下機構1、平板状衝突部2、第1測定装置31、第2測定装置32、第3測定装置33、粘度算出装置(不図示)を主に備える。なお、以下においては、説明を容易にするために、滴下部11に懸垂し、自由落下する直前の液滴Dを D_1 、衝突直前の液滴Dを D_2 、平板状衝突部2に衝突し、略円形状への変形が最大に達した状態の液滴Dを D_3 とすることがある。

【0025】

〔滴下機構〕

滴下機構1は、計測対象である液体を質量Mの液滴Dとして滴下するものであって、所定高さに位置する滴下部11を有する。液滴Dは、滴下部11から、自由落下するように滴下される。滴下機構1の構成としては、滴下部11から、計測対象である液体を液滴Dとして自由落下するように滴下することができるものであれば特に制限されず、本実施形態においては、液体を充填するためのシリンジとシリンジポンプとシリンジポンプにつないだ注射針(ニードル)とを有する滴下機構1において、ニードルを滴下部11として用いている。

40

【0026】

〔平板状衝突部〕

平板状衝突部2は、滴下部11から滴下された液滴Dを衝突させるためのものであり、滴下部11に対向して設けられる。平板状衝突部2の材質としては、滴下部11から滴下された液滴Dを平面衝突させることができるものであれば特に制限されず、例えば、アル

50

ミ製の平板が使用できる。なお、平板状衝突部 2 の材質の種類によって、計測対象である液体の液滴 D が固体平面上に形成された際の接触角 が決定し、この接触角 に基づいて評価される濡れ性によって、後述する式 (1) における補正係数 A が変化する。

【 0 0 2 7 】

本実施形態において、平板状衝突部 2 は、滴下部 1 1 から垂直方向に離間して配置されている。滴下部 1 1 と平板状衝突部 2 との離間距離は、概ね 1 0 c m から 4 0 c m の範囲であることが好ましい。

【 0 0 2 8 】

滴下部 1 1 と平板状衝突部 2 との離間距離が大きくなると、それだけ運動エネルギーが増加するが、運動エネルギーが大きすぎる場合には、液滴 D が平板状衝突部 2 に衝突する衝撃で、いわゆるスプラッシュを生じ、衝突液滴の周縁部が微細な液滴へと分裂してしまい、液滴 D の最大広がり径 D_{max} の測定に支障をきたすおそれがある。一方で、滴下部 1 1 と平板状衝突部 2 との離間距離が小さくなると、それだけ運動エネルギーが減少するが、運動エネルギーが小さすぎる場合には、平板状衝突部 2 に衝突した液滴 D は、上述の濡れ性のみによって広がり平衡状態となるため、液滴 D の最大広がり径 D_{max} の測定に支障をきたすおそれがある。したがって、測定対象である液体に応じて、滴下部 1 1 と平板状衝突部 2 との離間距離が適切に設定される。

10

【 0 0 2 9 】

[第 1 測定装置]

第 1 測定装置 3 1 は、滴下部 1 1 に懸垂し、自由落下する直前の液滴 D_1 の輪郭形状 S を測定するものである。第 1 測定装置 3 1 の構成としては、液滴 D_1 の輪郭形状 S を測定できれば特に制限されず、本実施形態においては、長距離顕微鏡とこれに接続したハイスピードカメラを有する第 1 測定装置 3 1 において、ハイスピードカメラで撮影した画像に基づき、液滴 D_1 の輪郭形状 S を求めている。上記長距離顕微鏡及びハイスピードカメラとしては、公知又は市販のものが使用できる。また、本実施形態において、第 1 測定装置 3 1 は、図 1 に示すように、液滴 D_1 を照射するためのメタルハライドランプ等の白色光源とこの白色光源から射出された光を十分に拡散させるためのディフューザーとをさらに備えている。

20

【 0 0 3 0 】

ここで、図 2 は、第 1 測定装置 3 1 により測定された画像であって、(a) は、第 1 測定装置 3 1 のハイスピードカメラにより撮影された画像、(b) は (a) の画像を二値化した画像、(c) は (b) の画像から輪郭形状 S を抽出した画像である。このように、本実施形態においては、第 1 測定装置 3 1 のハイスピードカメラにより撮影された液滴 D_1 の画像を二値化した後、この二値化した画像の輪郭を抽出することにより、液滴 D_1 の輪郭形状 S を求めている。

30

【 0 0 3 1 】

[第 2 測定装置]

第 2 測定装置 3 2 は、平板状衝突部 2 への衝突直前の測定点 A における液滴 D_2 の水平方向の最大径 D_0 及び測定点 A を液滴 D_2 が通過するのに要する通過時間 T を測定するものである。第 2 測定装置 3 2 の構成としては、測定点 A における液滴 D_2 の水平方向の最大径 D_0 及び測定点 A を液滴 D_2 が通過する通過時間 T を測定できれば特に制限されない。本実施形態においては、第 2 測定装置 3 2 の構成として、測定点 A を間に挟んで一方の位置に配置されたレーザ光源と、他方の位置に配置されたレーザ受光器とで構成される透過型レーザセンサを用いている。

40

【 0 0 3 2 】

ここで、図 3 は、第 2 測定装置 3 2 の透過型レーザセンサの挙動の変化を示す波形図であって、縦軸は透過型レーザセンサによって検知された液滴 D_2 の水平方向の長さ、横軸は時間である。本実施形態において、第 2 測定装置 3 2 は、上記波形図から最大径 D_0 及び通過時間 T を求めている。より具体的には、測定点 A を通過した液滴 D_2 の水平方向の長さの値のうちの最大値に基づき最大径 D_0 を求め、測定点 A を液滴 D_2 が通過するの

50

に要した時間から通過時間 T を求めている。上記透過型レーザセンサとしては、公知又は市販のものが使用できる。

【0033】

[第3測定装置]

第3測定装置33は、平板状衝突部2に衝突し、略円形状への変形が最大に達した状態の液滴 D_3 の最大広がり径 D_{max} を測定するものである。なお、平板状衝突部2に衝突した液滴 D は、図4に示すように、慣性力により略円形状に広がり、最大広がり径 D_{max} に達した後、表面張力等により戻る方向に収縮して平衡状態となる。

【0034】

第3測定装置33の構成としては、図4(c)に示す、略円形状への変形が最大に達した状態の液滴 D_3 の最大広がり径 D_{max} を測定することができれば特に制限されず、本実施形態においては、第1測定装置31と同様に、長距離顕微鏡とこれに接続したハイスピードカメラを有する第3測定装置33において、ハイスピードカメラで撮影した画像に基づき、最大広がり径 D_{max} を求めている。上記ハイスピードカメラとしては、公知又は市販のものが使用できる。また、本実施形態において、第3測定装置33は、図1に示すように、液滴 D_3 を照射するためのメタルハライドランプ等の白色光源とこの白色光源から射出された光を十分に拡散させるためのディフューザをさらに備えている。

10

【0035】

[粘度算出装置]

粘度算出装置(不図示)は、第1測定装置31の測定結果、第2測定装置32の測定結果及び第3測定装置33の測定結果に基づき、測定対象である液体の粘度を算出するものである。本実施形態において、粘度算出装置は、第1算出手段、第2算出手段、第3算出手段を備える。なお、粘度算出装置の具体的な構成については、実行手順とともに後述する。

20

【0036】

(第1算出手段)

第1算出手段は、第1測定装置31により測定された輪郭形状 S 及び液滴 D の質量 M に基づき液滴 D の体積 V 、密度 ρ 及び表面張力 σ を算出するものである。第1算出手段による液滴 D の体積 V 、密度 ρ 及び表面張力 σ の算出方法について、図2を参照しつつ以下詳説する。

30

【0037】

滴下部11に懸垂し、自由落下する直前の液滴 D_1 の体積 V は、第1測定装置31により測定された、図2(c)に示す輪郭形状 S において、これと同じ幅で、全高さにおいて 1 pixel の高さをもつ円柱を仮定し、この円柱の体積を求め、これらを足し合わせることで求めることができる。

【0038】

液滴 D_1 の密度 ρ は、上記手法により求められた液滴 D_1 の体積 V と予め測定された液滴 D の質量 M から求めることができる。

【0039】

液滴 D_1 の表面張力 σ は、図2(b)に示す画像において、液滴 D_1 の外径に真円を合せることで最大径 d_e を、液滴 D_1 の最下端から最大径分だけ高い位置における径 d_s を、それぞれ測定し、この d_e 及び d_s の値と上記手法により求められた液滴 D_1 の密度 ρ に基づき、Fordhamによる静水圧とラプラス圧の釣り合いから表面張力を求める下記式(2)(Fordham, On the Calculation of Surface Tension from Measurements of Pendant Drops, Proc. R. Soc. Lond. A 194(1948), p. 1-16)を用いて求めることができる。

40

【数 3】

$$\sigma = \rho g d_e^2 J \quad (2)$$

(式(2)中、 J は d_s / d_e から求められる補正係数であり、 g は重力加速度である。)

【0040】

(第2算出手段)

第2算出手段は、第2測定装置32により測定された最大径 D_0 及び通過時間 T 並びに第1算出手段により算出された体積 V に基づき液滴 D の衝突速度 U を算出するものである。第2算出手段による液滴 D の衝突速度 U の算出方法について、図4を参照しつつ以下詳説する。

【0041】

液滴 D_2 の衝突速度 U は、第2測定装置32により測定された最大径 D_0 と第1算出手段により算出された体積 V から、図4(a)に示す衝突直前のやや扁球となった液滴 D_2 の高さ(垂直方向の最大径) h を計算し、この高さ h と第2測定装置32により測定された通過時間 T とから求めることができる。

【0042】

(第3算出手段)

第3算出手段は、第2測定装置32により測定された最大径 D_0 、第3測定装置33により測定された最大広がり径 D_{max} 、第1算出手段により算出された密度 ρ 及び第2算出手段により算出された衝突速度 U から、下記式(1)を用いて、計測対象である液体の粘度 μ を算出するものである。

【数 4】

$$\mu = \left(\frac{D_0}{D_{max}} - A We^{-\frac{1}{2}} \right)^5 (\rho U D_0) \quad (1)$$

30

上記式(1)中、 We はウェーバ数、 A は固体平面の濡れ性等によって変化する補正係数であり、ウェーバ数 We は、 $We = U^2 D_0 / \sigma$ である。

【0043】

なお、上記式(1)中の補正係数 A は、Zhang et al.による平板上の液滴の接触角 θ と補正係数 A との相関を示す下記式(3)(Zhang et al., On the spreading of impacting drops under the influence of a vertical magnetic field, J. Fluid Mech., vol. 809, R3(2016), pp. 1-13)を用いて求めることができる。

40

【数 5】

$$A = 0.87\theta - 0.31 \quad (3)$$

具体的手法としては、第3測定装置33のハイスピードカメラで撮影した、図4(d)に示す、衝突後に表面張力等によって戻る方向に収縮し、平衡に達した状態の液滴 D の画像から、液滴の接触角 θ を求め、この接触角 θ から、上記式(3)を用いて、補正係数 A を求めることができる。

【0044】

また、上記式(1)は、Laan et al.による衝突液滴最大径に関する下記相

50

関式(4) (Laan, et al., Maximum Diameter of Impacting Liquid Droplets, Phys. Rev. Applied 2, 044018 (2014), pp. 1 - 7) を液体の粘度 μ について解くことにより求めることができる。

【数6】

$$\frac{D_{max}}{D_0} Re^{-\frac{1}{5}} = \frac{\left(We Re^{-\frac{2}{5}} \right)^{\frac{1}{2}}}{A + \left(We Re^{-\frac{2}{5}} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

10

上記(4)式中、レイノルズ数 Re とウェーバ数 We はそれぞれ、 $Re = UD_0 / \mu$ 、 $We = U^2 D_0 / \sigma$ である。

【0045】

〔液体の粘度計測方法〕

次に、上述したような本実施形態の液体の粘度計測システム10を用いた液体の粘度計測方法について、図1-3を参照しつつ説明する。

20

【0046】

まず、計測対象である液体を質量 M の液滴 D として所定高さに位置する滴下部11から自由落下するように滴下させるために、液滴 D を滴下部11としてのニードルの先端に懸垂させる。

【0047】

次に、第1測定装置31によって、滴下部11に懸垂し、自由落下する直前の液滴 D_1 の輪郭形状 S を測定する(第1測定工程)。

【0048】

第1測定工程後、液滴 D を、滴下部11から滴下し、自由落下させる(滴下工程)。第2測定装置32によって、平板状衝突部2への衝突直前の測定点 A における液滴 D_2 の水平方向の最大径 D_0 及び測定点 A を液滴 D_2 が通過するのに要する通過時間 T を測定する(第2測定工程)。

30

【0049】

第2測定工程直後、液滴 D は、滴下部11から垂直方向に離間して配置された平板状衝突部2に衝突する(衝突工程)。

【0050】

衝突工程後、第3測定装置33によって、平板状衝突部2に衝突し、略円形状への変形が最大に達した状態の液滴 D_3 の最大広がり径 D_{max} を測定する(第3測定工程)。

【0051】

上記工程がすべて終了した後又は上記工程と並行して、粘度算出装置によって以下の通り、粘度算出工程が行われる。

40

【0052】

まず、第1算出手段によって、第1測定工程で測定された輪郭形状 S 及び液滴 D の質量 M に基づき液滴 D の体積 V 、密度 ρ 及び表面張力 σ が算出される(第1算出工程)。次に、第2算出手段によって、第2測定工程で測定された最大径 D_0 及び通過時間 T 並びに第1算出工程で算出された体積 V に基づき液滴 D の衝突速度 U が算出される(第2算出工程)。

【0053】

最終的に、第3算出手段によって、第2測定工程で測定された最大径 D_0 、第3測定工程で測定された最大広がり径 D_{max} 、第1算出工程で算出された密度 ρ 及び第2算出工

50

程で算出された衝突速度 U から、下記式 (1) を用いて、計測対象である液体の粘度 μ が算出される (第3算出工程)。

【数7】

$$\mu = \left(\frac{D_0}{D_{max}} - AWe^{-\frac{1}{2}} \right)^5 (\rho U D_0) \quad (1)$$

上記式 (1) 中、 We はウェーバ数、 A は固体平面の濡れ性等によって変化する補正係数であり、ウェーバ数 We は、 $We = U^2 D_0 / \rho \nu$ である。 10

【0054】

本発明においては、上述の粘度算出工程を、例えばプログラムとして用いてコンピュータ (例えば汎用のパーソナルコンピュータ等) に実行させることができる。このプログラムは、上記粘度算出工程を用いていれば特に限定されず、公知の手段を用いて作成されてもよい。

【0055】

以下、上記プログラムをコンピュータに実行させる態様につき、図5及び図6に基づき説明するが、本発明はこれら図面に記載の内容に限定されるものではない。

【0056】

図5は、本発明の一実施形態に係る液体の粘度計測システム10が備える粘度算出装置の構成を示すブロック図である。演算部100はCPUを備え、入力部101、記憶部102、プログラムメモリ103及び表示部104と接続されている。入力部101は、例えば、キーボードやタッチパネル等からなり、文字や数値等を入力可能に構成されている。また、入力部101は、3つの測定装置 (第1測定装置31、第2測定装置32、第3測定装置33) と直接または間接的に接続されていて、各測定装置から発信された測定データを入力部101が受信するように構成されていてよい。記憶部102は、プログラムを使用するに際して、所定の情報を記憶する。プログラムメモリ103には、上記式 (1)、(2) 及び (3) 等の数式データを含む動作プログラムが格納されている。演算部100では、入力部101で入力された測定データを、プログラムメモリ103に格納されている数式等にあてはめ、液体の粘度を算出する。 30

【0057】

図6は、上記のプログラムの実行手順を示すフローチャートである。まず3つの測定装置 (第1測定装置31、第2測定装置32、第3測定装置33) の測定データを入力する (201)。入力された測定データが不適合である場合には、エラーとなり、入力をし直す。次に、入力された測定データを上述の粘度算出工程の上記式 (1) 等にあてはめて液体の粘度を算出する (202)。具体的には、入力された測定データに基づき、まず第1算出工程が行われ、次に、第1算出工程で得られた算出データを加えて、第2算出工程が行われる。さらに、第1算出工程で得られた算出データ及び第2算出工程で得られた算出データを加えて、上記式 (1) を用いて第3算出工程が行われる。このとき、算出結果が、例えば負の値等の場合にはエラーとなり、再度、入力からやり直す。算出結果が正常である場合には、算出結果を表示する (203)。 40

【0058】

なお、上述の実施形態では、図5に記載の機能ブロックが、CPUのプログラムにより主としてソフトウェア的に実現される例について述べたが、電子部品により主としてハードウェア的に実現されるものであってもよい。

【実施例】

【0059】

以下、実施例に基づき本発明をさらに詳細に説明するが、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

【0060】

図1に示す粘度計測システム10を用いて、液体の粘度を計測した。計測対象として、グリセリン水溶液を使用し、グリセリン水溶液濃度：6通り、ニードル径：3通り、液滴の落下高さ：2通りの組み合わせで得られる36通りの条件について、その粘度を計測した。なお、各パラメータについては、統計的不確かさを小さくするために、1つの液体サンプルに対して計測を10回ずつ行った。

【0061】

本実施例では、シリンジポンプにつないだ注射針（ニードル）から一定量の液体サンプルを液滴として滴下し、アルミ平板へ衝突角90度で衝突させた。その際、ニードルに懸垂し、自由落下する直前の液滴（ D_1 ）の状態と、アルミ平板へ衝突し、径方向に変形した液滴（ D_3 ）の状態を、それぞれ、長距離顕微鏡（Navitar社製，12×ズーム）を接続したハイスピードカメラ（Vision Research社製，Phantom V9.1）で撮影した。ハイスピードカメラの撮影速度は、4000fpsとした。また、アルミ平板への液滴の衝突直前の位置に設けた透過レーザセンサ（Keyence社製，IB・10）とデータロガーを用いて、衝突直前の液滴（ D_2 ）の水平方向の最大径 D_0 と、透過レーザセンサを液滴 D_2 が通過するのに要する通過時間 T を測定した。データロガーのサンプリング速度は、12500Hzとした。

10

【0062】

次に、上述の粘度算出装置を用いて、液体の粘度 μ を求めるための各物理量を算出した。ここで、液体の液滴の体積と表面張力は、ニードルに懸垂し、自由落下する直前の液滴（ D_1 ）の撮影画像をMATLAB Image Processing Toolbox（登録商標）で処理することにより算出した。

20

【0063】

上記衝突実験から算出した液体サンプルの粘度（実験値）と従来のオストワルド粘度計で計測した液体サンプルの粘度（実測値）との比較を表1に示す。

【0064】

【表 1】

液体サンプル	water					
ニードル径 [G]	18		21		24	
落下高さ [mm]	100	400	100	400	100	400
実験値 粘度 [mPa・s]	1.1	0.8	1.4	0.8	1.5	0.9
実測値 粘度 [mPa・s]	1					
液体サンプル	gly60					
ニードル径 [G]	18		21		24	
落下高さ [mm]	100	400	100	400	100	400
実験値 粘度 [mPa・s]	11.2	9.1	9.7	8.6	12	11.2
実測値 粘度 [mPa・s]	9.8					
液体サンプル	gly70					
ニードル径 [G]	18		21		24	
落下高さ [mm]	100	400	100	400	100	400
実験値 粘度 [mPa・s]	23.8	24.4	21.4	24.3	22.2	22.2
実測値 粘度 [mPa・s]	21.8					
液体サンプル	gly75					
ニードル径 [G]	18		21		24	
落下高さ [mm]	100	400	100	400	100	400
実験値 粘度 [mPa・s]	36.2	36.1	35.7	36.4	33.8	36.4
実測値 粘度 [mPa・s]	35.7					
液体サンプル	gly79					
ニードル径 [G]	18		21		24	
落下高さ [mm]	100	400	100	400	100	400
実験値 粘度 [mPa・s]	49.4	48.5	47.8	51.3	46.4	50.5
実測値 粘度 [mPa・s]	48.3					
液体サンプル	gly80					
ニードル径 [G]	18		21		24	
落下高さ [mm]	100	400	100	400	100	400
実験値 粘度 [mPa・s]	63.4	61.2	62.7	61.7	58.6	62.3
実測値 粘度 [mPa・s]	62.1					

表 1 に示す結果より、本発明による液体の粘度計測システム及び方法によれば、従来の粘度計測器と比べて計測時間が短く、必要とするサンプル量が少なくても、簡易かつ正確にその粘度を計測することができることが分かる。

【 0 0 6 6 】

以上、本発明について図面を参照にして説明してきたが、本発明は上記実施形態に限定されず、種々の変更実施が可能である。例えば、上記実施形態においては、平板状衝突部 2 に衝突し、略円形状に変形した液滴 D_3 の最大広がり径 D_{max} を測定するための第 3 測定装置として、長距離顕微鏡とこれに接続したハイスピードカメラを用いているが、これに限られず、例えば、プリズム上面での全反射を利用した可視化法を適用した手段を用いてもよい。この手法では、プリズム上面が空気の場合、臨界角以上で入射されたレーザー光は全反射するため、カメラセンサ上では明るい像が得られる。一方で、液滴 D がプリズムに接触すると、液体の屈折率は気体の屈折率よりも高いことから、光が液滴を透過するため、カメラセンサ上の反射光は暗くなる。これにより、液滴 D が固体（プリズム）と接触している箇所としていない箇所を明確に判別することが可能となる。また、滴下部 1 1 に対する振動や揚力、風等の外力の影響による液滴 D の測定誤差の発生を防止する観点から、粘度測定システム 1 0 全体がグローブボックス内に設置されるものであってもよい。

10

【 0 0 6 7 】

以上説明したように、本発明の液体の粘度計測システム及び液体の粘度計測方法によれば、液体を液滴として自由落下させて平板状衝突部へ衝突させるまでのわずかな時間で、第 1 測定装置、第 2 測定装置及び第 3 測定装置の測定結果から、液体の粘度を計測することができる。その結果、たとえ計測対象である液体が血液や塗料、接着剤のような凝固性を有するものであっても、その凝固性の影響を受けることなく正確な粘度計測が可能となる。また、一滴という極めて少ないサンプル量で液体の粘度を計測することができるので、十分なサンプル量を用意することが困難な液体の粘度計測にも利用でき、汎用性が高い。

20

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 6 8 】

本発明は、特に、血液や塗料、接着剤のような凝固性を有する液体の粘度を計測するためのシステム及び方法として有用である。また、従来、別々の計測器が必要とされる、液体の主要物性である粘度、表面張力及び密度を一度の計測で求めることができるので有用である。

30

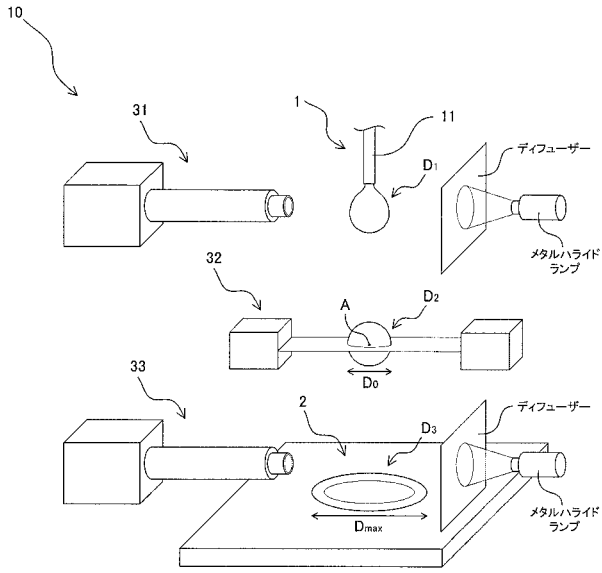
【 符号の説明 】

【 0 0 6 9 】

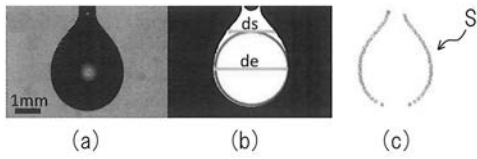
- 1 0 液体の粘度計測システム
 - 1 滴下機構
 - 1 1 滴下部
 - 2 平板状衝突部
 - 3 1 第 1 測定装置
 - 3 2 第 2 測定装置
 - 3 3 第 3 測定装置
- A 衝突直前の液滴 D の測定点
- D (D_1 , D_2 , D_3) 液滴
 - D_0 衝突直前の液滴 D の水平方向の最大径
 - D_{max} 衝突後の液滴 D の最大広がり径

40

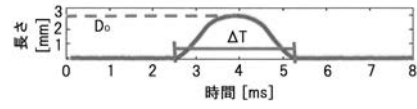
【図1】



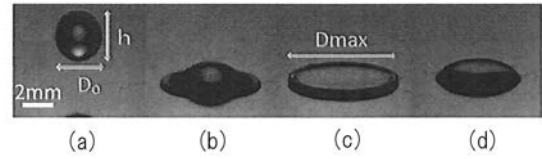
【図2】



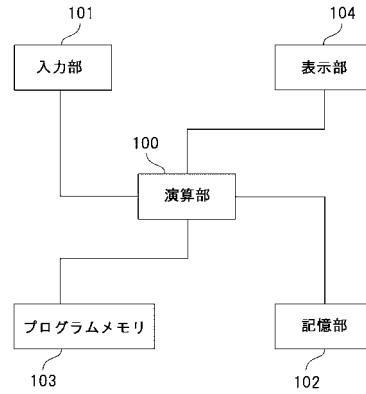
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

