

JIS Z8803
〈JCSS校正対象機器〉
音叉振動式粘度計

音叉振動式粘度計SVシリーズは、JCSS校正対象機器です。
エー・アンド・テイの高度な技術レベルと高い信頼性が裏づけた、
粘度測定標準機器です。

AND
エー・アンド・テイ

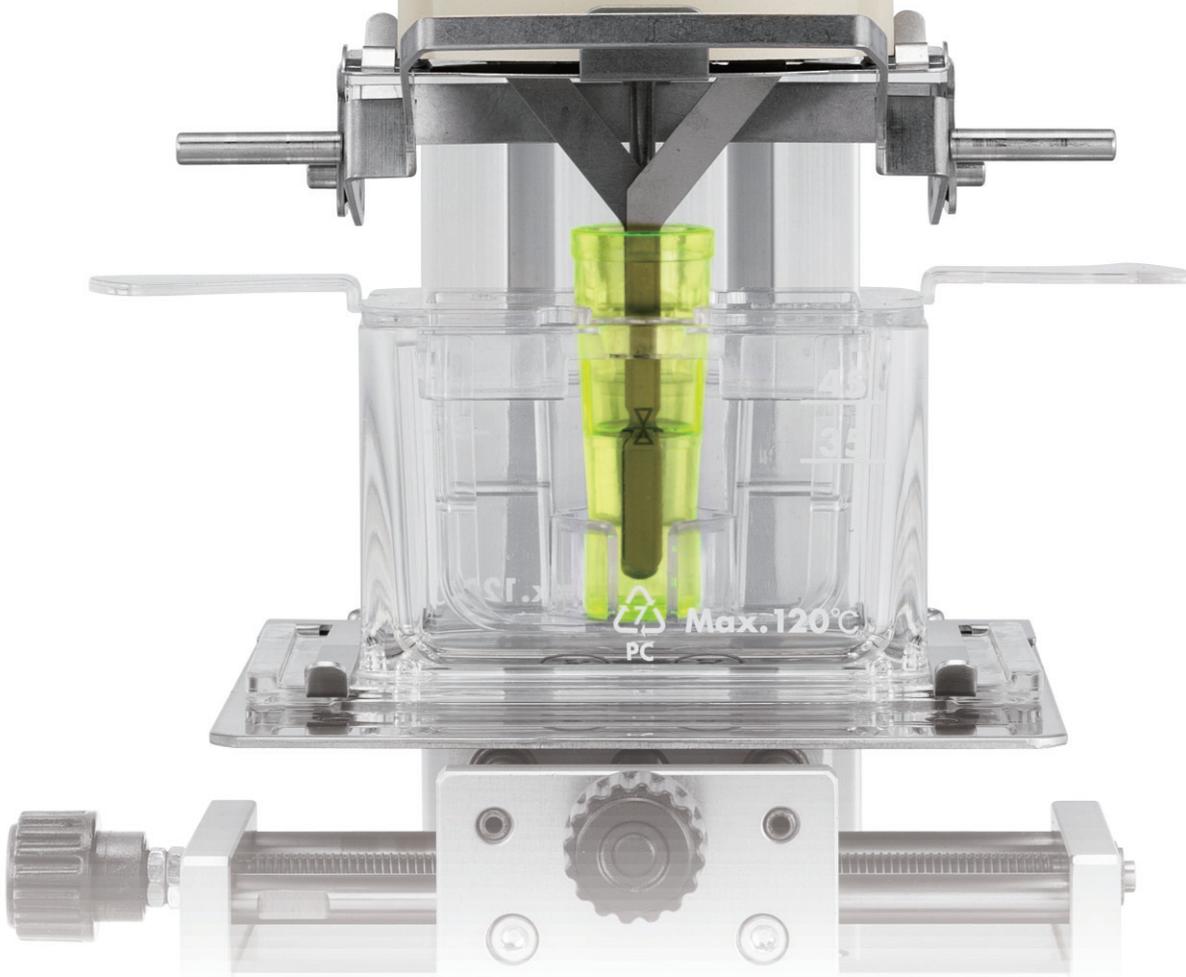
粘度計 *SV-A series*

Sine-wave Vibro Viscometer

音叉振動式粘度計SV-Aシリーズ

Users' Handbook

Version 1.15J May 2013



*We listen to you.
We change the Viscometer.*

音叉振動式粘度計SV-Aシリーズの製品情報や粘度測定に関する技術資料、学术论文、測定事例など、
最新情報は下記の株式会社エー・アンド・テイのホームページに更新しておりますのでご覧ください。

AND 株式
会社 エー・アンド・テイ

<http://www.aandd.co.jp>

目次

基礎編

A. 測定について	3
1. 粘度について	3
1. はじめに	3
2. 粘度とは	4
3. 粘度の単位	5
2. 測定方式について	6
1. 振動式粘度計	6
2. 回転式粘度計	6
3. 細管式粘度計	7
4. 落体式粘度計	7
5. カップ式粘度計	8
B. 粘度の標準	9
1. 粘度の標準	9
2. 粘度計校正用標準液	9
3. 水の粘度	9
C. 校正について	10
Q&A 1 ユーザーでの粘度計の校正(粘度値)について	10
Q&A 2 粘度校正の校正点数について(1点校正、2点校正、純水での簡易校正)	11
Q&A 3 粘度校正の行い方(粘度と密度の積として校正します)	11
Q&A 4 JSCC校正対象機器について	11
Q&A 5 検査成績書、トレーサビリティ体系図について	12
D. 精度(繰返し性)について	12
Q&A 6 粘度計の精度、繰返し性について	12
Q&A 7 測定値に対する繰返し性について	12
文献	12

製品編 〈音叉振動式粘度計SV-Aシリーズ〉

A. 音叉振動式粘度計SV-Aシリーズのしくみと特長	13
B. 測定方式について	14
Q&A 8 SV-Aシリーズの測定方式について	14
Q&A 9 振動子が2枚ある理由	14
Q&A 10 SV-Aシリーズと回転式粘度計との相関性について	14
Q&A 11 非ニュートン流体におけるについてSV-Aシリーズと回転式粘度計との相関性について	14
Q&A 12 粘度計SV-Aシリーズのずり速度について	14
C. 粘度測定について	15
Q&A 13 測定時間について	15
Q&A 14 試料の量について	15
Q&A 15 測定値の繰返し性について	15
Q&A 16 単位の切り換えについて	15
Q&A 17 最小表示(分解能)について	15
Q&A 18 粘度の測定レンジとセンサの交換について	16
Q&A 19 試料の温度範囲について	16
Q&A 20 測定中、試料温度も同時に測定するには	16
Q&A 21 試料の温度を一定にして粘度を測定するには	16
Q&A 22 試料の温度を変化させながら粘度測定するには	16
Q&A 23 循環水ジャケットの冷媒について	17
Q&A 24 溶剤の試料を測定するには	17
Q&A 25 標準以外の容器を使用する場合	17
Q&A 26 センサ部の材質について	17

Q&A 27	非ニュートン流体の粘度測定	17
Q&A 28	低粘度の試料の粘度測定	17
Q&A 29	流動状態の試料の粘度測定について	17
Q&A 30	粘度の絶対値を厳密に求めるには	18
Q&A 31	動粘度の測定について	18
Q&A 32	試料の液面レベル(高さ)について	18
Q&A 33	長期間連続測定について	19
D.	測定データの収集および出力について	20
Q&A 34	測定結果をプリントアウトしたい、測定データを収集したり保存したい	20

応用編

A.	データ解析について	21
1.	Windowsデータ通信ソフトウェア WinCT-Viscosity について	21
2.	RsViscoを使った測定表示例	22
(1)	RSViscoの表示例(シリコンオイル、精製水)	22
(2)	工業製品の粘度測定例	24
	セメント材(モルタル、セメントペースト)の硬化過程と粘度測定	24
	ガソリンエンジンオイルの粘度測定	26
	半導体研磨剤の粘度測定/石膏の硬化過程の粘度測定	27
	ハンダフラックスのゲル化点測定/シリコーン接着剤の硬化過程と粘度測定	28
	非イオン系界面活性剤の曇点測定	29
	水性塗料の測定例(水性ニス、水性ペイント)	30
(3)	濃度の異なる液体の粘度測定例	31
	エタノール水溶液の濃度と粘度	31
	ダイカスト離型剤の濃度と粘度/絶縁コーティング剤の濃度と粘度	32
(4)	食品の測定例	33
	卵白の凝固過程と粘度測定	33
	ゼラチンの濃度と粘度測定	35
	プリン良品検体/不良品検体と粘度測定	35
	ウスターソースの粘度測定	36
3.	代表的な測定結果	37
(1)	試料温度一定で測定	37
(2)	試料の温度係数の測定	39
(3)	凝固点、曇点などの測定	40
(4)	試料の濃度を変化させて測定	43

メンテナンス編

A.	振動子について	44
Q&A 35	振動子の交換について	44
B.	清掃について	44
Q&A 36	測定部の清掃について	44
C.	故障かなと思ったら	45
Q&A 37	測定値が安定しない場合	45
Q&A 38	測定値が正しくない場合	45
Q&A 39	温度表示が正しくない場合	45
Q&A 40	左側の振動子だけが大きく振動している場合	45

§	粘度計SV-A シリーズ製品仕様	46
----------	-------------------------	-----------

§	索引	49
----------	-----------	-----------

基礎編

A. 測定について

1. 粘度について

1. はじめに

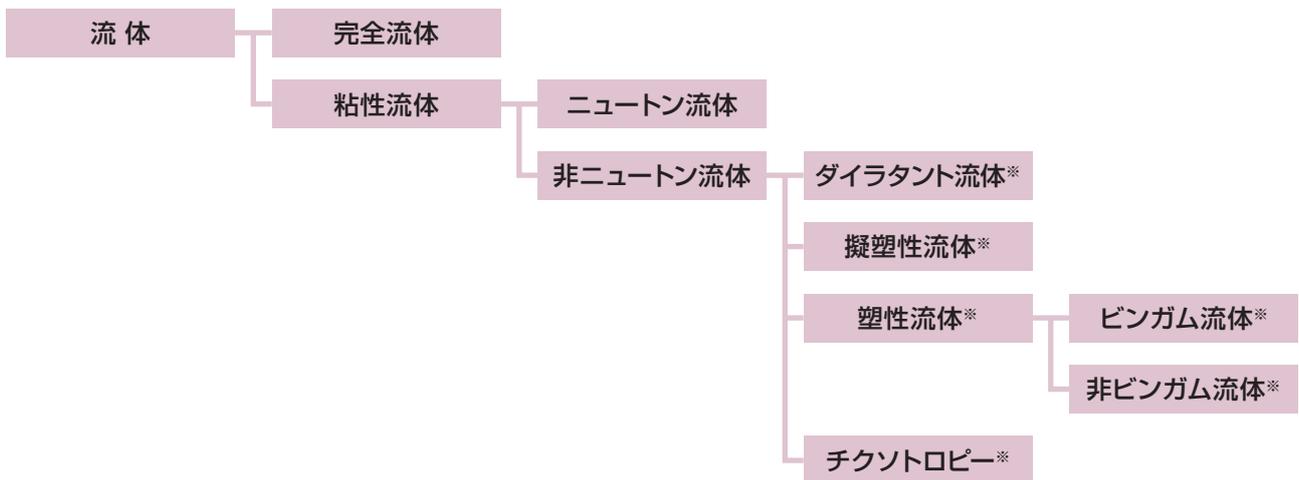
液体および気体の状態(物性)や流動性を知る上で粘度の測定は重要です。例えば、液体の粘性はパイプラインで原油、化学薬品などを送る場合や、プラントの配管設計時には重要なパラメータとなります。石油化学以外でも塗料、印刷(インク)、食品、医薬品、化粧品などの広い産業分野で、また研究開発の段階や製造工程での品質管理においても製品性能の向上、品質向上に粘度測定が重要になっています。また近年、電子工学の産業分野でも、プリント基板、ブラウン管、液晶フラットディスプレイの製造過程において、フォトリソ液を使用する工程があり、このリソ液の粘度管理が完成品の歩留まりや性能、品質を決定することが明らかになっています。また以上の産業分野では、粘度を最適に管理することで**製品コストを低減**することができるようになったとの認識も生まれています。

さらに生物学や医学分野においても、たとえば血液の粘性が血行動態や微小循環を左右したり、血液以外にも消化管液など体液の粘性が疾病におよぼす影響や、タンパク質や高分子溶液、コロイド溶液(colloidal solution)の研究にも粘度は重要なパラメータとなっています。

実際に粘性が問題となるのは主に液体に限られます。航空機やロケットのように気体中を高速で運動する場合を除き、気体は比較的サラサラした流体であり、気体の接する面の流れ方向にかかる力(*接線応力)の存在を無視しても、通常大きな誤差が発生しないと考えられるからです。このように、運動中(流動状態)に接線応力の現れない理想的な流体を**完全流体(perfect fluid)**または**非粘性流体(inviscid fluid)**とよびます。

液体のほとんどすべては粘性をもった**粘性流体(viscous fluid)**となり、例えば円筒形容器に水を入れ容器の垂直中心軸のまわりに容器を回転させると、最初は静止していた水は器壁に引きずられて運動を始め、ついには容器と一体となってあたかも剛体のように回転します。これは水と容器の壁が接する面において流れ(運動)の方向に力(接線応力)が現れた結果であり、このような力が現れる流体を、**粘性(viscosity)**をもった流体とよびます。粘性流体はさらに、ニュートンの粘性法則(Newton's law of viscosity)が適用できる**ニュートン流体(Newtonian fluid)**と、ニュートンの粘性法則が成り立たない**非ニュートン流体(non-Newtonian fluid)**に大別されます。

上記に説明したように、流体を大きく分類すると下の図1のように表現することができます。

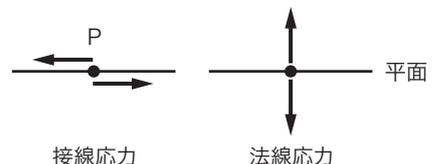


(※については次項『2.粘度とは』で説明)

図1. 流体の物理学的分類

*接線応力

流体内のある任意の点Pを通る平面において、その両側にある流体の各部分は平面を通して互いに力をおよぼし合っています。平面の単位面積あたりに作用する力(応力)の成分を右図のように接線成分と法線成分に分解したとき、それぞれの成分の応力を接線応力(tangential stress)、法線応力(normal stress)とよび、たとえば静止流体の場合は接線応力はゼロで法線応力は圧力となります。



2. 粘度とは

粘度 (coefficient of viscosity) とは流体の“流れやすさ、流れにくさ”の大きさを表す物質定数で、**粘性係数**とか**粘性率**とも呼ばれます。

図2のように、2枚の平行な平板 A と B が y_0 の距離にあり、その間に液体 (流体) が満たされています。いま、A を固定し、B を A に平行に V_0 の一定速度で動かした場合、AB間の流体も A に平行な運動をして定常流である時、このような流れを**クエットの流れ** (Couette flow) と言います。

AB間の途中にある、任意の距離 y における速度を V とすると、図2のように両者は比例関係にあり、その傾きすなわち直線 OP' の勾配を D とすると、

$$D = V/y$$

これは単位距離あたりの速度の増加分、すなわち速度勾配と等しいので

$$D = dV/dy \quad (1)$$

この D を**ずり速度** (shearing rate) または**せん断速度** とよびます。

図2において距離 y と $y+dy$ の位置の液体層はそれぞれ速度 V と $V+dV$ で互いに平行に流れ、これらの速度の差のため2つの層の間には内部摩擦力が働きます。このように平板 AB 間の、流れ方向に平行な平面における単位面積あたりに作用する摩擦力を**接線応力** (tangential stress) とよびます。接線応力は**ずり応力** (shearing stress)、または**せん断応力** とよびます。

ずり応力を記号 τ で表すと、 τ はずり速度 D に比例する。その比例定数を η とすると

$$\tau = \eta D \quad (\text{ニュートンの粘性法則}) \quad (2)$$

この(2)式の法則を、**ニュートンの粘性法則** (Newton's law of viscosity) とよび、比例定数 η を**粘度** (coefficient of viscosity) または**粘性係数**とか**粘性率**とよびます。

$$\eta = \tau/D \quad (3)$$

このニュートンの粘性法則にしたがう流体、つまり粘度 η がある決まった温度において、ずり速度 D またはずり応力 τ によらず一定である流れを**ニュートン流体** (Newtonian fluid) とよび、ずり速度とずり応力に比例法則が成り立たない流体、つまりずり速度 D またはずり応力 τ の大きさによって粘度 η が一定でない流れを**非ニュートン流体** (non-Newtonian fluid) とよびます。水やアルコールなど単一物質 (分子) で構成されている液体はニュートン流体となり、一方、高分子の溶液やコロイド溶液などは一般に非ニュートン流体に属しています。

図3のようにずり速度 D とずり応力 τ の関係を表すと、①のように両者が一定の傾きをもった比例関係の場合がニュートン流体であり、その傾きを θ とすると粘度 η は次式(4)のように言い換えることができます。

$$\eta = \tan \theta \quad (4)$$

②～⑤のような流動性を示すものは非ニュートン流体となり、ずり速度の大きさによって粘度 τ/D は変化し粘度は一定値となりません。

②は**ダイラタント流体** (dilatant fluid) とよばれ、ずり速度の増加にともない粘度は増加します。

③は**擬塑性流体** (pseudo plastic fluid) とよばれ、ずり速度の増加にともない粘度は減少します。

④、④'は**塑性流体** (plastic fluid) とよばれ、ずり速度をゼロから増加させても、ある臨界のずり応力 τ_0 (降伏応力) 以上にならないと流動しない流体です。降伏後、 τ と D とが直線関係になるものを④を**ビンガム流体** (Bingham fluid)、非直線関係のものを**非ビンガム流体** (non-Bingham fluid) といいます。

⑤は**チクソトロピー** (thixotropy) とよばれ、ずり速度の増加過程と減少過程との間にヒステリシスが生じます。これは静止状態ではゲル状の液体が流動によりゾルになり、再び静止させることによりゲル化するためです。

次の表1に、それぞれの流体の種類における代表例を示しました。

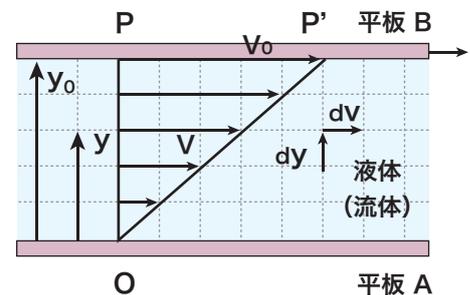


図2. Couetteの流れ (ニュートン流動)

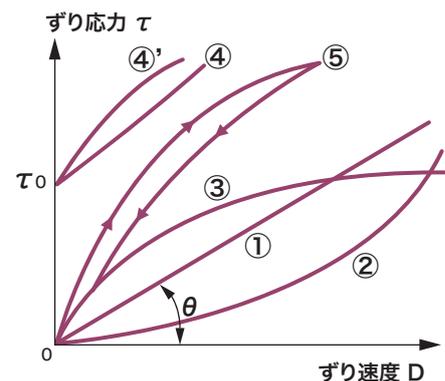


図3. ニュートン流体と非ニュートン流体

(松山裕, 実用工業分析, 61, (財)省エネルギーセンター, 2001.)

表1. 流体の種類と代表例

流体の種類	代表例
① ニュートン流体	水、砂糖水溶液、食塩水溶液、アルコール、一般溶剤、グリセリン、シリコン油、油性(水性)化粧品、水銀
② ダイラタント流体	澱粉の水溶液、水分を含んだ砂(流砂)、サスペンション(高濃度)、粘土スラリー、塗料、チョコレート(バターミルク)
③ 擬塑性流体	コロイド溶液、高分子溶液、エマルジョン、ラッカー・ワニス、塗料・染料、ソース類、ジュース、練乳
④ 塑性流体 (ビンガム) (非ビンガム)	マーガリン、トマトケチャップ、卵白(泡状)、練りはみがき、クリーム(化粧品)、各種スラリー(固体粒子の混濁液) 印刷インク、塗料、ペイント、マヨネーズ、こんにゃく精粉、アスファルト、血液
⑤ チクソトロピー	半田ペースト、グリース、印刷インク、粘土サスペンション、トマトケチャップ、ココア、クリーム(化粧品)

3. 粘度の単位

前述の(3)式より、粘度 $\eta = \tau/D$ で、この単位をまずMKS 単位系に基づいたSI 単位系で表してみます。

(i) ずり応力 τ は単位面積あたりの力で、力の単位はニュートン[N]、 τ の単位は[N/m²]でこれは応力(圧力)の 単位、パスカル [Pa]で表されます。

(ii) ずり速度Dは(1)式のように dV/dy で定義され速度V の単位[m/s]を距離y の単位[m]で割った、[s⁻¹]で表されます。

よって、(i)、(ii)より粘度 η の単位は、[Pa]/[s⁻¹] = [Pa・s]となり、これを[パスカル・秒]と読みます。

$$\text{(SI 単位系) 粘度}\eta\text{の単位は [Pa}\cdot\text{s]} \quad (5)$$

CGS単位系では、力の単位はダイン[dyn]、 τ の単位は[dyn/cm²]となり、ずり速度Dの単位は上記のように[s⁻¹]より粘度 η の単位は、[dyn/cm²]/[s⁻¹] = [dyn・s/cm²]となり、これをポアズ[P]とよびます。

$$\text{(CGS 単位系) 粘度}\eta\text{の単位は [P]} \quad (6)$$

粘度 η のSI単位系とCGS単位系との関係(換算)は、1ニュートンは 1×10^5 dyn、1m²は 1×10^4 cm²だから、1 [Pa・s] = 10 [P] となるのがわかります。したがって

$$1 [\text{mPa}\cdot\text{s}] = 1 [\text{cP}] \quad (7)$$

[mPa・s]はミリパスカル・秒、[cP]はセンチポアズと読みます。

また、粘度 η をその液体の密度 ρ で割ったものを動粘度(kinematic viscosity)または動粘性率、動粘性係数とか運動粘性率とよばれます。

動粘度を ν と表すと、

$$\text{動粘度 } \nu = \eta / \rho \quad (8)$$

動粘度のSI系単位は(5)式を密度の単位[10³kg/m³]で割ったもので、[m²/s]となりこれを[平方メートル毎秒]と読みます。一方、CGS単位系では同様に[cm²/s]となり、この単位をストークス[St]とよびます。

したがって、動粘度の単位は、 SI単位系で [m²/s] (9)

CGS単位系で [cm²/s] = [St] (10)

両者の関係(換算)は 1×10^{-4} [m²/s] = 1 [cm²/s] = 1 [St] (11)

または、 1×10^{-6} [m²/s] = 1 [mm²/s] = 1×10^{-2} [St] = 1 [cSt] (12)

[cSt]はセンチストークスと読みます。

粘度のミニ解説

図4のように、平板Aと平板Bとの距離が1cmでその間に液体が満たされており、平板Bだけを1秒間に1cmの速度で平行移動させたとき(ずり速度 $D = 1$ [s⁻¹])、単位面積1cm²の平面B(内面)に加わる応力 τ が1 [dyn/cm²]であった場合、(3)式の $\eta = \tau/D$ より、この液体の粘度 η を1ポアズ[P]、または(7)式より0.1パスカル秒[Pa・s]と定義をします。

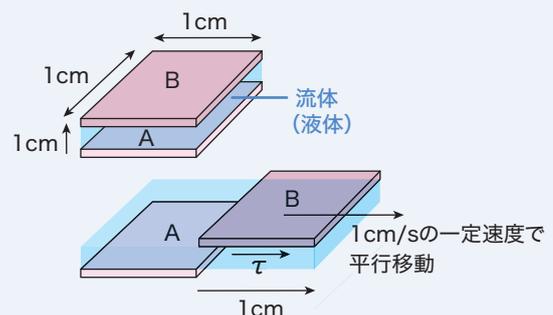


図4. 粘度の幾何学的な定義

2. 測定方式について

粘性の評価には粘度測定が有効です。現在では各種産業、研究開発用にいくつかの種類粘度計が開発されています。粘度計はその測定原理によって、次のように分けられます。現在のところ、JISの粘度測定法として規格化されているのは2)～4)の粘度計となります。

- 1) 振動式粘度計 … 試料中の振動子(感応板)の振幅を制御しその振動子をドライブする電流を測定し粘度を求めます。
- 2) 回転式粘度計 … 試料中に円筒形の回転子を入れ、その回転トルクを測定して粘度を求めます。
- 3) 細管式粘度計 … 細管に試料を流し、細管の両端の圧力差から粘度を求めます。
- 4) 落体式粘度計 … 試料中に円筒形や球体のものを落とし、一定距離を落下する時間を測定して粘度を求めます。
- 5) カップ式粘度計 … 試料を一定容積の容器(カップ)に満たし、オリフィスからの試料の流出時間から粘度を求めます。

1. 振動式粘度計

図5のように試料中に、薄い振動子を挿入します。この振動子を一定の振動数(周波数)で振動させると、振動子と試料の間には粘性による摩擦力が働き、この摩擦力の大きさにより振幅が変化します。振動式粘度計では、この振幅が一定になるように、振動子を振動させる駆動電流を変化させます。

粘性による駆動力と粘度×密度は比例関係にあるので、粘度の異なる試料において一定の振動数で、一定の振幅になるように板ばねを振動させるとき、この振動子を振動させる駆動電流(または駆動電力)は試料の粘度と密度の積に比例し、相関関係があります。

このように振動式粘度計で測定される物理量は、その測定原理に基づく理論式より粘度と密度の積として検出されます。振動式粘度計SV-Aシリーズにおいても**粘度×密度の値として表示**されます。また、表示部の粘度の単位として「 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 」と表示されますが、密度が $1[\text{g}/\text{cm}^3]$ と異なる試料を測定する場合は、表示値を試料の密度で除して補正し、粘度を求めることができます。

イー・アンド・デイの振動式粘度計SV-Aシリーズでは、感度よく粘度を測定するために検出系の固有振動数と等しい約30Hzの振動数で振動させ、広いダイナミックレンジと高い分解能をもたせることができるように設計されています。

この結果、粘度測定のダイナミックレンジが、SV-1Aでは $0.3\sim 1,000\text{mPa}\cdot\text{s}$ 、SV-10Aでは $0.3\sim 10,000\text{mPa}\cdot\text{s}$ 、そしてSV-100Aでは $1\sim 100\text{Pa}\cdot\text{s}$ ($1,000\sim 100,000\text{mPa}\cdot\text{s}$)と広く、この広い測定範囲において連続的に再現性(精度)よく、安定した粘度測定を行うことができます。このようにダイナミックレンジが広いことから、従来の回転式粘度計では連続的に測定することが不可能であった、ゾルからゲルへと変化するチクソトロピー性液体の粘度変化過程や、樹脂、接着剤、塗料などの硬化過程における粘度変化の測定が可能となりました。

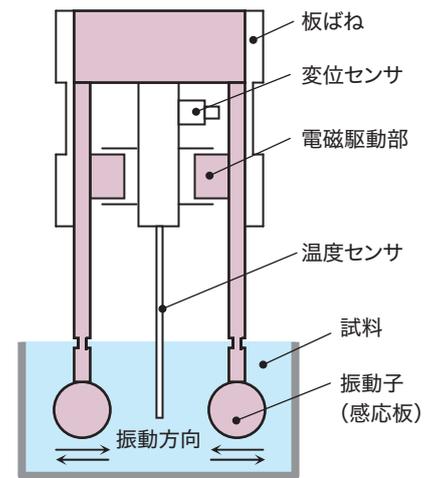


図 5. 振動式粘度計の原理(検出系)

2. 回転式粘度計

図6のように円筒形のローター(回転子)を試料中に入れ、モーターにより一定の速度で回転させます。この回転運動を定常的に起こすのに必要な力、つまり回転トルクが粘度に比例することを利用した測定法が回転式粘度計です。図6のように回転が定常状態に達すると、粘性による回転トルクとスプリングのねじれによる回転トルクがつり合い、スプリングのねじれ角が試料の粘度に比例し、これを目盛板上に指針として表します。また、回転トルクから粘度に換算した値を数値としてデジタル表示する機器もあります。

図6のようなものが一番簡単な方式で**単一円筒形回転粘度計**とよべます。このほかに、同一中心軸をもつ外筒と内筒の間に試料を満たして内筒もしくは外筒のどちらかを回転させ試料を層流の状態にさせ粘度を測定する方式があり、これを**共軸二重円筒形粘度計**とよびます。

また、回転トルクを一定に制御して測定する定トルク方式などがあります。

回転式粘度計は原理的には優れた測定方法ですが、広い測定範囲をカバーするには数種類ものローターが必要になります。つまり、ひとつのローターで測定できる粘度範囲は狭く、ローターを交換した時点で測定値の連続性は失われてしまいます。

また、測定精度がフルスケールに対してしか保証されていないために、低粘度側での測定誤差が大きく出てしまいます。

さらに低粘度領域では一定以上のトルクを検出するためにローターの形状を大きくする必要があり、一方、高粘度領域においては大きな摩擦力によりローターの持つ運動エネルギーが大きくなり、どちらの状態においても測定開始から試料の温度が次第に上昇して、それともない粘度値が変化し正確な粘度測定値を得ることができない場合があります。

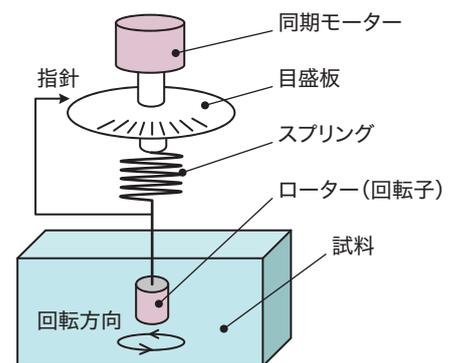


図 6. 回転式粘度計の原理

3. 細管式粘度計

円筒細管内を流体が層流として流れるとき、図7のように単位時間に流れる流体の体積(流量)をQ、細管の直径と長さをそれぞれ2r、L、細管の両端の圧力をP₁、P₂、圧力差P₁-P₂をΔPとすると、細管を通過する流量Qは圧力勾配ΔP/Lに比例する。この現象はポアズイユの法則(Poiseuille's law)とよばれ、(13)式のように表されます。

$$Q = \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{\Delta P}{L} \quad (13)$$

(13)式より粘度ηは(14)式のように求められます。

$$\eta = \frac{\pi r^4}{8L} \frac{\Delta P}{Q} \quad (14)$$

したがって、図7で構成されるような細管式粘度計においては、細管を流れる流体の流量Qと細管両端の圧力差ΔPを測定することにより、粘度ηを求めることができます。この測定法は物理法則に基づいているので、粘度の定義にしたがった測定値を得ることができます。また、この測定方式を粘度の絶対測定法といいます。

別の方法として、図8のようなガラスで作られた毛細管式の粘度計もあります。細管部の加工は難しいですが比較的簡単な原理と構造をしています。原理が簡単なことから、古くから使われており、多くの改良もされてきました。

この毛細管式粘度計は、一定体積の試料が自由落下により毛細管を通過して流れるのに要する時間tを測定して動粘度νを求めます。またそれぞれの毛細管粘度計には粘度計定数Cが定められていますが、この定数は校正用標準液で校正して値づけられた定数です。そして毛細管粘度計を使った動粘度の測定は次の(15)式のように表されます。

$$\nu = Ct \quad (15)$$

動粘度と粘度の関係は前述の(8)式で表されるので、粘度ηは試料の密度ρを測定することにより(16)式のように表されます。

$$\eta = \rho\nu = \rho Ct \quad (16)$$

毛細管式粘度計は原理と構造が簡単ですが、測定操作に十分注意を払う必要があり、精度よく測定するには非常に煩雑な作業が必要になります。例えば毛細管を使用しているために粘度計の管内の洗浄は特に注意が必要で、まずベンジンのような洗浄液で2~3回超音波洗浄し、その後乾燥してアセトンで同様に超音波洗浄、さらに乾燥後純水で洗い流して乾燥させてから、測定する必要があります。また、ガラスは温度により熱的膨張や収縮の影響を受けるので、特に低粘度領域の測定においては誤差が大きく測定される可能性があり、温度管理に注意を払う必要があります。このように測定に関して十分な注意と煩雑な操作が必要となり、また測定結果は動粘度として測定されるので、粘度の計算には試料の密度を事前に測定しておく必要があります。

4. 落体式粘度計

図9のように、試料中に寸法と密度がわかっている円柱形もしくは球形の剛体を試料中で自由落下させ、一定の距離を落下させるのに必要な時間を測定して粘度を測定する方法です。図9の原理図は重力場における剛体の自由落下の法則より粘度を求めますが、電磁場による力を利用して、試料中にあるピストンなどの剛体を、一定速度で水平移動させてその移動時間により粘度を測定する機器もあります。

図8や図9のような毛細管式粘度計や落体式粘度計では、振動式粘度計や回転式粘度計のように連続的な粘度測定をすることはできません。また、測定値を連続的に電気的信号として出力して粘度値をデータ管理することもできません。

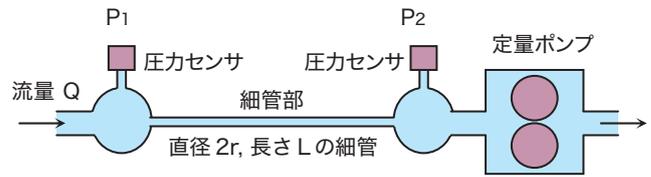


図7. 細管式粘度計の原理

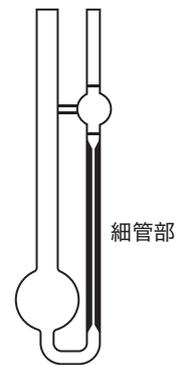


図8. 毛細管式粘度計(自由落下)

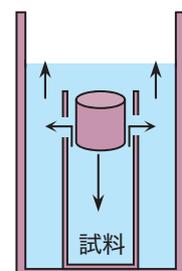


図9. 落体式粘度計の原理

5. カップ式粘度計

塗料やインクの粘度を測定する場合、図10のようなカップ式粘度計が使われることがあります。自動車外装の塗装で静電霧化塗装機を使う場合などにおいても粘度調整用と同じ方式が使われています。

カップ式粘度計は図のように塗料やインクなどの試料を一定容積の容器(カップ)に満たし、オリフィス(細孔)からの試料の流出時間を測定します。代表的なカップ式粘度計として、フォードカップ粘度計があり、比較的低粘度の試料に適用されるNo.3カップとやや高粘度の試料に適したNo.4カップがよく用いられます。

通常はオリフィスからの試料の流出時間をストップウォッチで測定しますが、試料の流出を光センサでとらえ、連続した試料の流出が終了するまでの時間を自動計測して0.01秒単位でデジタル表示する、デジタルフォードカップ粘度計もあります。

カップ式粘度計は細管式、落体式と同様に、測定データを電気信号として得ることが困難な為、連続した粘度測定には不向きな方法となります。

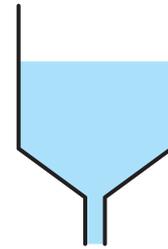


図10. カップ式粘度計

記号のミニ解説

表4. 記号の読み方(ギリシア文字)

A	α	アルファ	H	η	イータ	N	ν	ニュー	T	τ	タウ
B	β	ベータ	Θ	θ, θ	シータ	Ξ	ξ	グザイ	Υ	υ	ウブシロン
Γ	γ	ガンマ	I	ι	イオタ	O	o	オミクロン	Φ	ϕ, ϕ	ファイ
Δ	δ	デルタ	K	κ	カッパ	Π	π	パイ	X	χ	カイ
E	ε	イブシオン	Λ	λ	ラムダ	P	ρ	ロー	Ψ	ψ	プサイ
Z	ζ	ゼータ	M	μ	ミュー	Σ	σ, ς	シグマ	Ω	ω	オメガ

B. 粘度の標準

1. 粘度の標準

粘度の標準としては、蒸留水の粘度が精密に測定されており、1気圧、20.00℃における蒸留水の粘度1.002[mPa・s] (動粘度1.0038[mm²/s])が日本における粘度の第一次標準になっています。

粘度の標準は次項で示すように日本工業規格JIS Z8809に規定される粘度計校正用標準液があり、粘度計の校正に利用されます。

2. 粘度計校正用標準液

粘度の標準は、表2のように20℃における動粘度を基準値として、13種類の粘度計校正用標準液が日本工業規格JIS Z8809に規定されています。

表2. 粘度計校正用標準液

種類	動粘度 [mm ² /s]				粘度 [mPa・s]			
	基準値	概略値			概略値			
		20℃	25℃	30℃	40℃	20℃	25℃	30℃
JS 2.5	2.5	—	2.1	1.8	2.0	—	1.6	1.4
JS 5	5.0	—	3.9	3.2	4.1	—	3.2	2.5
JS 10	10	—	7.4	5.7	8.4	—	6.1	4.6
JS 20	20	—	14	10	17	—	11	8.2
JS 50	50	—	32	21	43	—	27	18
JS 100	100	—	59	38	86	—	51	32
JS 200	200	—	110	66	170	—	95	56
JS 500	500	—	260	150	440	—	230	130
JS 1000	1000	—	500	270	890	—	430	230
JS 2000	2000	—	940	480	1800	—	820	420
JS 14000	14000	—	5500	2400	12000	—	4800	2100
JS 52000	52000	—	20000	8500	46000	—	18000	7500
JS 160000	160000	100000	—	—	140000	90000	—	—

これらの標準液は国家標準とトレーサビリティがあり、また国際標準とのつながりとして国際標準物質データベースCOMARに登録されているものもあります。国内でも入手は容易で、代表的な標準液の供給メーカーとして日本グリース(株)の粘度計校正用標準液があり、これは独立行政法人 産業技術総合研究所の校正済みで国家標準とトレーサビリティがあります。

粘度計校正用標準液の取扱いには注意が必要で、表2のように温度変化に対して粘度が大きく変化し、1℃の温度変化で2～10%程度粘度値が変わります。従って粘度計を校正する際には、正確な温度管理が必要となります。温度管理以外でもJIS Z8809には取扱い上の注意として次のような記述があります。

- (1) 標準液は、密栓し、熱および光を避け、室温で保存しなければならない。
- (2) 使用後の標準液は、元の容器に戻してはならない。
- (3) 使用後の標準液を、再使用することを避け、開栓後はなるべく早く使用することが望ましい。

3. 水の粘度

水(蒸留水)は入手が容易で、取扱いも簡単であり、国際的にも標準として認められます。この為低粘度領域においては水を粘度の標準液として手軽に使うことができます。標準液として利用する水は不純物の混じっていない純水を使う必要があり、通常精製水、蒸留水を用います。また試料容器内に付着した不純物を取り除くために洗浄剤などで十分に汚れ(不純物)を洗い流した後、最後に純水で数回、共役洗浄(とも洗い)をするのにも使用します。粘度の測定を始める前には、試料内に挿入するセンサ部にも付着物がないように清掃しておく必要があります。

表3、図11に示したように、水の粘度は温度により大きく変化することがわかります。これは水に限らず、すべての液体や気体にいえることですが、水の場合、20℃の粘度が1.002mPa・s、0℃では1.792mPa・s、100℃では0.282mPa・sと変化し、1℃温度が変わると粘度は2～3%変化します。粘度計を使って得られる測定結果は、試料(水)の温度管理を±1℃で注意して行っても、このような水が有する物性と、測定者のパーソナルエラー(測定誤差)、粘度計のもつ誤差など複合的な誤差要因が加わり、最終的には測定値に±5%程度の誤差が生じる可能性があります。

表2. 粘度計校正用標準液

温度 t (°C)	粘度 η (mPa·s)	動粘度 ν (mm ² /s)	温度 t (°C)	粘度 η (mPa·s)	動粘度 ν (mm ² /s)
0	1.792	1.792	40	0.653	0.658
5	1.520	1.520	50	0.548	0.554
10	1.307	1.307	60	0.467	0.475
15	1.138	1.139	70	0.404	0.413
20	1.002	1.0038	80	0.355	0.365
25	0.890	0.893	90	0.315	0.326
30	0.797	0.801	100	0.282	0.295

JIS Z8803より

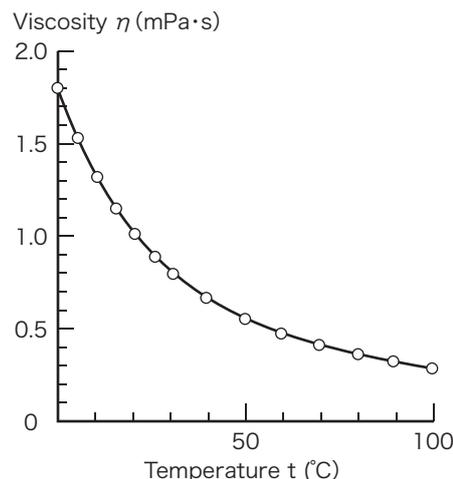


図11. 水の粘度と温度との相関関係(1気圧)

水の任意の温度 t における粘度 η(t) の算出については、JIS Z8803(1991)の解説より、式(17)を参照してください。

$$\log \frac{\eta(t)}{\eta(t=20^{\circ}\text{C})} = \frac{20-t}{t+96} \left\{ 1.2364 - 1.37 \times 10^{-3}(20-t) + 5.7 \times 10^{-6}(20-t)^2 \right\} \quad (17)$$

ここで、tは温度(°C)、η(t)は温度tにおける粘度(mPa·s)、η(t=20°C)は20°Cにおける粘度で1.002mPa·sを表します。

また、水の任意の温度 t における密度 ρ(t) の算出については、G.S.Kell, J.Chem. Eng. Data20(1975)より、式(18)を参照してください。

$$\rho(t) = \frac{0.99984 + 0.01695t - 0.79870 \times 10^{-5}t^2 - 0.46170 \times 10^{-7}t^3 + 0.10556 \times 10^{-9}t^4 - 0.28054 \times 10^{-13}t^5}{1 + 0.01688t} \quad (18)$$

ここで、tは温度(°C)、ρ(t)は温度tにおける密度を表します。

C. 校正について

No.	Question	Answer
1	粘度値の校正はユーザーでも可能ですか？	<p>SV-Aシリーズでは、お客様で粘度値の校正をすることができます。粘度の校正をする場合、前述の粘度計校正用の標準液、または手持ちの管理された液体を用いてください。また温度によって標準液の粘度が変化しますので、校正値を入力する場合、粘度計SV-Aシリーズが測定、表示している試料の温度値を利用し標準液の粘度値を温度補正した値を校正値として入力する必要があります。粘度標準液の温度補正值は、検査成績書、成績保証書に記載されています。添付されていない場合は標準液のメーカーにお問い合わせください。</p> <p>* 振動式粘度計SV-1Aは0.3~1,000mPa·s、SV-10Aは0.3~10,000mPa·s、SV-100Aは1~100Pa·sの広い粘度範囲において振動子の交換が不要で、また校正についても校正用標準液を何種類か用意するだけで、簡単にお客様で粘度校正をすることができます。この為回転式粘度計に比較し、短時間・低コストで粘度値の校正と管理が可能となります。</p> <p>* JIS規格で規定された粘度標準液は、炭化水素系鉱物油で構成されています。この為、温度変化を始めとし、環境変化に弱い素材となります。シリコンオイルなど化学合成され環境変化により安定した校正液の利用をお勧めします。</p>

No.	Question	Answer
2	粘度の校正は、1点校正ですか、それとも2点校正ですか？	<p>エー・アンド・デイの振動式粘度計SV-Aシリーズでは、1点校正、2点校正どちらもできます。校正方法として、校正値の1点入力(スパン補正)または2点入力(ゼロとスパンの補正)のどちらかを選択することができます。粘度の測定範囲が広い場合は2点校正をお勧めします。</p> <p>また、SV-1AおよびSV-10Aでは1mPa・s付近では純水を利用した簡易校正が行えます。使用した純水の温度から粘度値の温度補正を自動で行うため、簡単に校正できます。</p>
3	校正はどのように行うのですか？	<p>1点校正、2点校正どちらの場合においても、補正値としては粘度と密度の積を入力してください。また、校正後の確認も粘度と密度の積と表示値を比較してください。</p> <p>式(8)より密度 = 粘度 / 動粘度 SV-Aシリーズの表示粘度 = 粘度 × 密度 は、 SV-Aシリーズの表示粘度 = 粘度² / 動粘度と表されます。</p> <p>具体例 ① 粘度計校正用標準液を使用して、校正する場合 「粘度計校正用標準液 温度-動粘度・粘度 計算表」を利用し、校正時に入力する値を計算します。</p> <p>(1) 校正時における、動粘度と粘度を調べます。 例では、20.0℃にて 動粘度 = 1011 [mm²/s] 粘度 = 889 [mPa・s] とします。</p> <p>(2) 粘度²/動粘度を計算し、校正時の入力値とします。 例では、 $889^2 / 1011 \approx 781$ [mPa・s] となります。</p> <p>具体例 ② 粘度と密度が既知の標準液を利用する場合 標準液(例:889mPa・s、20℃)を使用し、実際に20℃の液温で校正する場合。</p> <p>(1) 校正時の温度における、粘度と密度を調べます。 例では、20℃にて 粘度 = 889 [mPa・s] 密度 = 0.878 とします。</p> <p>(2) 粘度×密度の値を計算し、校正時の入力値とします。 例では、 $890 \times 0.878 \approx 781$ [mPa・s]となります。</p>
4	振動式粘度計はJCSS校正対象機器となっていますか？	<p>SV-Aシリーズを含め振動式粘度計はJCSS校正対象機器となっています。JSCC校正対象機器としては、振動式粘度計以外に細管式粘度計、回転式粘度計があります。</p> <p>JCSSとはJapan Calibration Service Systemの略で、計量法に基づいた国家のトレーサビリティ制度を意味します。</p>

5	検査成績書やトレーサビリティ体系図は発行できますか？	粘度と温度に関する検査成績書およびトレーサビリティ体系図の発行ができます。粘度計SV-Aシリーズでは全数、出荷時に校正用標準液による粘度の校正がなされていますが、成績書の発行時にはJIS規格で規定されたJS標準液を使用した検査を行います。SV-1AはJS2.5とJS100、SV-10AはJS2.5とJS1000、SV-100AはJS2000(またはシリコンオイル)とJS14000にて検査を行いません。 成績書は製品注文時に請求してください。(成績書の発行は有料です)また、既にお買い求めになった製品に成績書が必要な場合は弊社まで粘度計SV-Aシリーズ一式をお送りください。
---	----------------------------	---

D. 精度(繰返し性)について

No.	Question	Answer															
6	粘度計の測定精度とは？ 繰返し性1%とはどういう意味ですか？	同一の試料について同じ測定条件で繰返し測定をしたときの測定結果のばらつきです。統計学的には標準偏差として表現されます。 SV-Aシリーズでは同一の試料と測定条件で粘度測定した場合、測定結果(測定値)のばらつき(繰返し性)が標準偏差で1%以内であることを意味します。ただし、SV-1Aでは、サンプル容器(容量2ml)、SV-10AおよびSV-100Aでは、サンプル容器(容量45ml)において、振動子の出し入れ操作のない条件で繰返し測定した場合です。 ※ 標準偏差1%の具体例:例えば粘度が100mPa・sの液体で測定を100回繰返し行なうと、67回は99~101mPa・sの値を示します。															
7	“測定値”に対する繰返し性とはどういう意味ですか？	繰返し性はその基準を“測定値”にするか、“フルスケール”にするかとで実際の誤差が大きく異なります。SV-Aシリーズは音叉型振動方式の原理から高い繰返し性を得ることができ、繰返し性の基準を“測定値”としており、全領域で測定値の1%の繰返し性を保証しています。ただし、SV-1Aでは、サンプル容器(容量2ml)、SV10A/100A では、サンプル容器(容量45ml)において、振動子の出し入れ操作のない条件で繰返し測定した場合です。 フルスケールが10000mPa・sの場合の実際の誤差の例 <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">方式</th> <th colspan="3">測定粘度</th> </tr> <tr> <th>10mPa・s</th> <th>100mPa・s</th> <th>1000mPa・s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SV型 (測定値の1%)</td> <td>0.1mPa・s</td> <td>1mPa・s</td> <td>10mPa・s</td> </tr> <tr> <td>他の方式 (フルスケールの0.2%の時)</td> <td>20mPa・s</td> <td>20mPa・s</td> <td>20mPa・s</td> </tr> </tbody> </table>	方式	測定粘度			10mPa・s	100mPa・s	1000mPa・s	SV型 (測定値の1%)	0.1mPa・s	1mPa・s	10mPa・s	他の方式 (フルスケールの0.2%の時)	20mPa・s	20mPa・s	20mPa・s
方式	測定粘度																
	10mPa・s	100mPa・s	1000mPa・s														
SV型 (測定値の1%)	0.1mPa・s	1mPa・s	10mPa・s														
他の方式 (フルスケールの0.2%の時)	20mPa・s	20mPa・s	20mPa・s														

■ 基礎編 参考文献

- 1) 岡小天:レオロジー. 裳華房, 1982.
- 2) 川田裕郎: 改訂粘度. コロナ社, 昭和51年.
- 3) 今井功: 流体力学(前編). 裳華房, 1985.
- 4) 池田勝一: コロイド化学. 裳華房, 1986.
- 5) 出雲直人, 小岩井淳志: 静粘度[sv]と振動式粘度計について. 第24回センシングフォーラム資料: 141-146, 2007.
- 6) 石渡章介, 林充郎, 大島秀明, 鈴木脩: 音叉型振動による粘度測定法. 日本レオロジー学会誌Vol.19, No.2: 83-88, 1991.
- 7) 独立行政法人製品評価技術基盤機構: JCSS 技術的要求事項適用指針(区分: 粘度)JCT20601, 第3版, 平成19年4月.
- 8) 独立行政法人製品評価技術基盤機構: JCSS 不確かさ見積もりに関するガイド(区分: 粘度/粘度計)JCG206S21, 第2版, 平成19年7月.
- 9) 鈴木啓仁: 音叉型振動式粘度計活用報告, 3-1~7. (株)エー・アンド・デイ ユーザーズミーティング講演資料集vol.2, 1998.
- 10) 田中丈之: 各種材料の新試験評価技術, 3-1~14. (株)エー・アンド・デイ ユーザーズミーティング講演資料集vol.5, 2000.

A. 音叉振動式粘度計SV-Aシリーズのしくみと特長

音叉振動式粘度計SV-Aシリーズは試料の粘度を検出する部分が図12のように2枚の薄い振動子で構成されています。この振動子を音叉のように互いに逆位相・一定の正弦振動で駆動します。振動子を構造から決まる固有振動数と同一の振動数で電磁力駆動させることで、測定系は共振振動状態となり、この共振現象を利用することに大きな特長があります。検出部が振動することで、板ばねを介して振動子の支持部には大きな反力が発生しますが、もう片方の振動子が逆の位相で同じ振動数・振幅で駆動されるため、支持部の反力を打ち消し合い、安定した正弦振動を得ることができます。

試料中の振動子を検出部の共振を利用し、一定振幅になるように電磁駆動部でコントロールさせることで、振動子と試料との間に生じる粘性の大きさを加振力となる駆動電流として検出します。この駆動電流と粘性の大きさ(粘度)との相関関係(図13)より試料の粘度を求めています。ただし、SV-Aシリーズの表示値は粘度×密度を表示しています。

測定、検出系を共振振動させることのメリットは

- 1) 検出部が共振振動することにより、低粘度領域でも感度良く粘度の検出が可能となります。また共振により効率良く微小電流で駆動力が得られますので、広いダイナミックレンジと高い精度、分解能を維持した粘度測定をすることができます。
- 2) 振動子の慣性力と復元力は互いに打ち消し合っており、加振力(駆動電流)は粘性の大きさ(粘度)のみに影響されます。(粘度のパラメータだけを抽出できる)
- 3) 振動子の振動系は慣性力や復元力の影響を受けないので、急激な粘度の変化に対しても素早く応答し試料の急激な粘度変化を測定することができます。

また、SV-Aシリーズは検出部の寸法や振動子の表面積が小さく、また従来の振動式粘度計の振動数が数kHzで駆動されるのに比べて30Hzと低い周波数で駆動される為、以下に示すような特徴があります。

1. 試料の粘度変化に迅速して、リアルタイムに粘度を測定することができます。また試料温度も同時にリアルタイムに測定するので、温度変化と粘度の相関関係が測定できます。
2. 新開発のSV型測定方式(音叉振動式)により、再現性1%(測定値)の高い精度で粘度測定ができます。
3. センサ(振動子)の交換なしでSV-1Aは0.3~1,000mPa・s、SV-10Aは0.3~10,000mPa・s、SV-100Aは1~100Pa・sの低粘度から高粘度までの広い測定範囲で連続的に粘度測定ができます。(回転式粘度計では何種類ものローター(回転子)が必要で、ローターを交換すると粘度測定の連続性がなくなります)
4. 粘度検出部(振動子)の表面積・熱容量が小さく、試料と振動子が短時間に熱平衡に達し、試料の正確な温度測定ができます。(回転式粘度計ではローターの表面積・熱容量が大きく、試料とローターが同じ温度に達するのに通常では数十分かかります)
5. 振動子の熱容量が小さいので、測定中の試料への温度干渉が小さく、長時間に及び粘度の連続測定ができます。
6. 薄形プレート振動子を採用していますので、試料の構造を壊しにくく、安定した状態での粘度変化過程を測定することができます。また、固有振動を利用し粘度を測定するので、非ニュートン流体でも再現性良く粘度測定ができます。
7. 気泡の入ったゲルなどの試料も安定して測定できます。振動子の振動数が30Hzと低いため、試料中の微小な気泡を壊さず、また分散した大きな気泡には影響しません。
8. 2つの振動子の相互作用より、攪拌中や流動中の試料でも粘度測定ができます。(回転式粘度計では、回転方向と流速方向が干渉し測定できません)
9. 流動状態での測定ができることから、バイパスのオーバーフロー槽を設けてラインでの粘度測定ができます。この結果、研究室とライン間で同一のデータ管理が可能となります。
10. 試料の物性変化を連続的に測定できます。振動子の慣性がなく、高い分解能を有していますので界面活性剤の曇点や濡れ性など、粘度変化から界面物性などの変化を捉えることができます。
11. 通信用ソフトウェアWinCT-Viscosityを標準で付属しています。このソフトを利用し図14のように測定中の粘度と温度のデータをリアルタイムにグラフ化することができます。

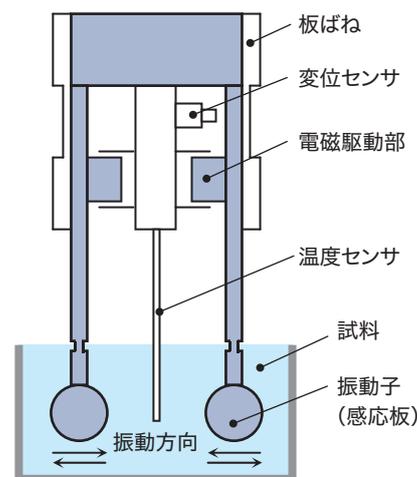


図12. 粘度の検出部(振動系)

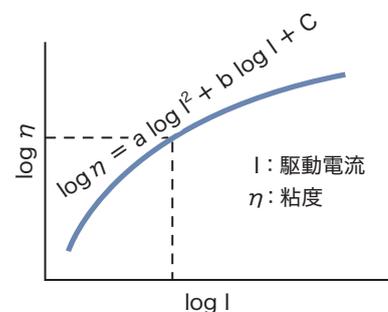


図13. 電磁駆動部のドライブ電流と試料の粘度との相関関係

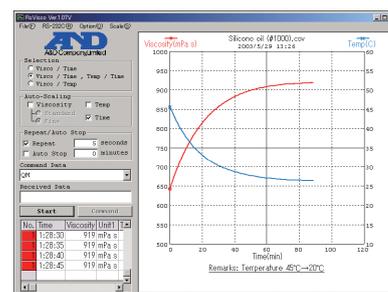


図14. 測定データのリアルタイム表示 (WinCT-Viscosity)

B. 測定方式について

No.	Question	Answer
8	SV-Aシリーズの測定方式は？	SV型です。音叉振動方式です(Sine-wave Vibro Viscometer) 粘度計SV-Aシリーズの測定原理や特長などの詳細は、 ■製品編 A. 音叉型振動式粘度計SV-Aシリーズ 1. 粘度計SV-Aシリーズのしくみと特長 をご覧ください。
9	振動子が2枚ある理由は何ですか？	検出部の振動特性を安定させるためです。構造的な固有振動数(約30Hz)と同じ正弦波で振動させています。測定系全体を共振振動系とすることを利用して精度よく測定しています。1枚の振動子だと板ばねを介して振動子の支持部に大きな反力が発生し、この反力を打ち消すために、別のもう1枚の振動子を逆位相で同じ振動数、振幅で振動させています。そのため、振動子の反力を打ち消し合い非常に安定した振動測定系をつくりだすことができます。 詳細は、 ■製品編 A. 音叉振動式粘度計SV-Aシリーズ 1. 粘度計SV-Aシリーズのしくみと特長 をご覧ください。
10	回転式(B型)粘度計とのデータの互換性はありますか？	ニュートン流体では回転式粘度計との互換性があります。非ニュートン流体の場合は、測定装置に固有の ずり速度 の差からデータに互換性のない場合があります。データに互換性がない場合は、機器毎にデータを管理するか、係数を考慮し管理するしかありません。一般的に、短時間で正確に安定した測定値の得られる方式を採用することが、将来の品質向上、生産性向上には有効となります。
11	非ニュートン流体で回転式粘度計と数値が異なる場合、どのように(解釈)すればよいのですか？	非ニュートン流体の場合でもコーンプレート方式の回転式粘度計とは互換性のあるデータも得られています。また粘度計では測定方式や測定条件が異なると測定結果が異なることは一般的に認識されています。 測定方式の比較を行なう場合は、測定結果の再現性が最も重要な評価基準となります。SV-1Aでは0.3~1,000mPa・s、SV-10Aでは0.3~10,000mPa・s、SV-100Aでは1~100Pa・sと、今までの粘度計にはなかったワイドレンジ全領域で再現性1%(測定値)を保証しています。
12	粘度計SV-Aシリーズの ずり速度 はどの程度ですか？	非ニュートン流体の場合、 ずり速度とずり応力 に比例関係がなく、 ずり速度 または ずり応力 の値を決めなければ、粘度の評価ができません。 SV-Aシリーズでは ずり速度 一定の条件にて粘度測定を行なっていますが、正弦振動*1を利用していることから振動子の速度(ずり速度)はゼロから最大値を周期的に繰り返します。標準液を使用したニュートン流体の粘度値、及び振動子の駆動力から求めたずり速度は、各粘度値に対し以下の数値となります。 *1) 振動振幅は、SV-1Aで約0.4mm(p-pで約0.8mm)、SV-10Aで約0.2mm(p-pで約0.4mm)、SV-100Aで約0.1mm(p-pで約0.2mm)、振動数30Hzで正弦振動しています。

	粘度値 [mPa・s]	ずり速度 [1/s] (最大値)	ずり速度 [1/s] (実効値)
SV-1A	1	3,500	2,500
	10	520	370
	100	150	100
	1,000	110	80
SV-10A	1	590	420
	10	130	92
	100	42	30
	1,000	17	12
SV-100A	10,000	10	7
	1,000	11.4	8.1
	10,000	8.6	6.1
	100,000	7.1	5.0

C. 粘度測定について

No.	Question	Answer																																																																																		
13	測定にはどのぐらい時間がかかりますか？	<p>測定を開始して、最初に粘度値が表示されるのには15秒かかります。またその後は試料の粘度変化にตอบสนองしてリアルタイムに測定値を表示します。</p> <p>振動式粘度計SV-Aシリーズは試料中のセンサ部(振動子)の移動距離が小さく測定系がコンパクトで、また振動子の表面積、質量が小さく瞬時に試料温度と熱平衡に達することから、非常に早く、安定した状態で試料の粘度変化を測定をすることができます。</p>																																																																																		
14	測定する試料の量はどの位必要ですか？	<p>SV-1Aでは、1.8~2mlです。SV-10AおよびSV-100Aでは標準容器で35ml~45mlです。別売品の少量サンプル容器 (AX-SV-34) では10ml、ガラス容器 (AX-SV-35) では約13ml、SV-1A用ガラス容器 (AX-SV-59) では約2mlです。^{*1} 回転式(B型)粘度計に比べて少ない量で測定できます。</p> <p>^{*1} 容器を変更した場合、その容器で校正を行う必要があります。Q&A25 参照</p>																																																																																		
15	測定値の繰り返し性はどの位ですか？	<p>同一の試料を同じ測定条件で繰り返し測定をしたときの繰り返し性は測定値の1%です。全測定領域に高い再現性があり、安定した測定値を得ることが出来ます。また、他の測定方式に比べて操作が簡単なため、測定者が限定されず、多くの測定を繰り返しても安定した測定値が得られます。</p> <p>複合材など不均一試料の経時的変化、温度変化の測定が可能で、非ニュートン流体の粘度特性、物性変化の測定も可能となります。</p>																																																																																		
16	単位の切り換えはできますか？	<p>1. 粘度はmPa・s^{*1}、Pa・s およびcP^{*1}、Pの単位切換ができます。</p> <p>2. 温度は℃と°Fの単位切換ができます。 *1) SV-1AとSV-10Aのみ</p>																																																																																		
17	最小表示(分解能)はどの位ですか？	<p>● 単位がmPa・sまたはPa・sの場合</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">測定粘度レンジ (mPa・s)</th> <th colspan="2">SV1A</th> <th colspan="2">SV10A</th> <th>SV100A</th> </tr> <tr> <th>最小表示 (mPa・s)</th> <th>最小表示 (Pa・s)</th> <th>最小表示 (mPa・s)</th> <th>最小表示 (Pa・s)</th> <th>最小表示 (Pa・s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.3~10</td> <td>0.01</td> <td>0.0001</td> <td>0.01</td> <td>0.0001</td> <td>——</td> </tr> <tr> <td>10~100</td> <td>0.1</td> <td>0.0001</td> <td>0.1</td> <td>0.0001</td> <td>——</td> </tr> <tr> <td>100~1000</td> <td>1</td> <td>0.001</td> <td>1</td> <td>0.001</td> <td>——</td> </tr> <tr> <td>1000~10000</td> <td>——</td> <td>——</td> <td>10^{*1}</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>10000~100000</td> <td>——</td> <td>——</td> <td>——</td> <td>——</td> <td>0.1</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">^{*1} 単位はPa・sになります。</p> <p>● 単位がcPまたはPの場合</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">測定粘度レンジ (cP)</th> <th colspan="2">SV1A</th> <th colspan="2">SV10A</th> <th>SV100A</th> </tr> <tr> <th>最小表示 (cP)</th> <th>最小表示 (P)</th> <th>最小表示 (cP)</th> <th>最小表示 (P)</th> <th>最小表示 (P)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.3~10</td> <td>0.01</td> <td>0.0001</td> <td>0.01</td> <td>0.0001</td> <td>——</td> </tr> <tr> <td>10~100</td> <td>0.1</td> <td>0.001</td> <td>0.1</td> <td>0.001</td> <td>——</td> </tr> <tr> <td>100~1000</td> <td>1</td> <td>0.01</td> <td>1</td> <td>0.01</td> <td>——</td> </tr> <tr> <td>1000~10000</td> <td>——</td> <td>——</td> <td>10^{*2}</td> <td>0.1</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>10000~100000</td> <td>——</td> <td>——</td> <td>——</td> <td>——</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">^{*2} 単位はPになります。</p>	測定粘度レンジ (mPa・s)	SV1A		SV10A		SV100A	最小表示 (mPa・s)	最小表示 (Pa・s)	最小表示 (mPa・s)	最小表示 (Pa・s)	最小表示 (Pa・s)	0.3~10	0.01	0.0001	0.01	0.0001	——	10~100	0.1	0.0001	0.1	0.0001	——	100~1000	1	0.001	1	0.001	——	1000~10000	——	——	10 ^{*1}	0.01	0.01	10000~100000	——	——	——	——	0.1	測定粘度レンジ (cP)	SV1A		SV10A		SV100A	最小表示 (cP)	最小表示 (P)	最小表示 (cP)	最小表示 (P)	最小表示 (P)	0.3~10	0.01	0.0001	0.01	0.0001	——	10~100	0.1	0.001	0.1	0.001	——	100~1000	1	0.01	1	0.01	——	1000~10000	——	——	10 ^{*2}	0.1	0.1	10000~100000	——	——	——	——	1
測定粘度レンジ (mPa・s)	SV1A			SV10A		SV100A																																																																														
	最小表示 (mPa・s)	最小表示 (Pa・s)	最小表示 (mPa・s)	最小表示 (Pa・s)	最小表示 (Pa・s)																																																																															
0.3~10	0.01	0.0001	0.01	0.0001	——																																																																															
10~100	0.1	0.0001	0.1	0.0001	——																																																																															
100~1000	1	0.001	1	0.001	——																																																																															
1000~10000	——	——	10 ^{*1}	0.01	0.01																																																																															
10000~100000	——	——	——	——	0.1																																																																															
測定粘度レンジ (cP)	SV1A		SV10A		SV100A																																																																															
	最小表示 (cP)	最小表示 (P)	最小表示 (cP)	最小表示 (P)	最小表示 (P)																																																																															
0.3~10	0.01	0.0001	0.01	0.0001	——																																																																															
10~100	0.1	0.001	0.1	0.001	——																																																																															
100~1000	1	0.01	1	0.01	——																																																																															
1000~10000	——	——	10 ^{*2}	0.1	0.1																																																																															
10000~100000	——	——	——	——	1																																																																															

No.	Question	Answer
18	粘度の測定レンジによってセンサや器具を交換する必要があるのですか？	<p>SV-1Aでは、測定範囲が0.3～1,000mPa・s、SV-10Aでは0.3～10,000mPa・s、SV-100Aでは1～100Pa・sと広範囲ですが、フルレンジでセンサを交換する必要はありません。</p> <p>ゾル→ゲルへの変化過程など、粘度がダイナミックに変化する場合もセンサを交換する必要がないので、データの連続性を失うことなく変化過程を測定することができます。</p> <p>回転式粘度計の場合は1つの回転子（ロータ）で測定できる粘度範囲が狭く、上述のような広い粘度範囲で物性が変化する測定は困難でした。</p> <p>SV-Aシリーズを利用したワイドレンジ・連続測定により、研究分野での新素材・機能性材料の開発が可能となります。</p>
19	測定できる試料の温度は何度までですか？	<p>0℃～160℃の範囲です。</p> <p>付属されている標準容器（プラスチック製）の耐熱温度は約120℃となりますので、100℃以上の測定を行う場合はガラスビーカーや、ガラス保存容器（AX-SV-38）などを使用して下さい。</p>
20	試料の温度変化も粘度変化と同時に測定したいのですが？	<p>SV-Aシリーズは検出部（試料中）に温度センサが標準でついています。この為粘度測定中に温度を同時に測定することができます。お客様で別に温度計を用意する必要はありません。</p> <p>SV-Aシリーズの表示部には粘度と温度の値が同時に表示されますので、測定中の試料温度をリアルタイムに見ることができます。試料の温度変化に対する粘度変化の相関関係を見たい場合も応答性よく測定することができます。SV-Aシリーズの粘度検出部（振動子）の表面積は小さく、熱容量が小さいため、試料と検出部との温度平衡までの時間が短く、応答性よく正確な温度測定ができます。</p> <p>また、付属されている“WinCT-Viscosity”を使ってPCに接続すると測定中の粘度と温度のデータがPCに転送され、リアルタイムに測定中の粘度と温度の変化過程がグラフおよび数値で把握することができます。測定データはファイル（CSV形式）に保存することができますし、お客様でExcel形式のファイルに変換してExcelがもつグラフ機能を使って、お客様の目的に合ったデータやグラフにすることもできます。</p>
21	試料の温度を一定にして粘度を測定したいのですが？	<p>別売品の循環水ジャケット（AX-SV-37）と市販の温度コントローラを使用すれば、任意の温度で粘度を測定することが可能です。これにより、温度による粘度変化を気にすることなく、試料の粘度管理が行えます。</p>
22	試料の温度を変化させて粘度の変化を測定したいのですが？	<ol style="list-style-type: none"> 1. 別売品の循環水ジャケット（AX-SV-37）と市販の温度コントローラを使用すれば、温度を変化させて測定することが可能です。任意の温度に変化させて測定したい場合や室温よりも低い温度で測定したい場合に適しています。 2. 事前に加熱した試料をサンプル容器に入れて、試料が自然冷却される過程を測定するのが最も容易な方法です。ヒーターを利用しサンプル容器を加熱することもできますが、その場合はヒーター表面の温度が120℃を越えないよう注意してください。表面温度が100℃を越える場合はビーカーの使用をお勧めします。 3. 付属される“WinCT-Viscosity”を使い、測定中の粘度／温度のデータを、接続したPCに転送できます。この結果、リアルタイムに測定中の粘度と温度データを数値で把握し、同時にグラフ化することができます。“WinCT-Viscosity”には横軸を温度、縦軸を粘度としたグラフ化機能もありますので、粘度の持つ温度係数の目視確認も可能となります。

No.	Question	Answer
23	循環水ジャケット (AX-SV-37) の冷媒は何を使えばよいですか？	基本的に水を使用してください。0°Cと100°C付近で使用する場合、水単体では冷媒として使用不可能となります。その場合、0°C付近ではイソプロピルアルコール、100°C付近ではシリコンオイルを使用してください。冷媒によってはポリカーボネイト製となる循環水ジャケットを侵す可能性があるため注意が必要です。(特にエタノール/メタノール/汎用不凍液(プラスチックを侵す添加物が入っています)は使用できません。)
24	溶剤を試料とした場合、付属容器は溶けませんか？	標準容器はポリカーボネイト製のプラスチック容器です。溶剤では変形・溶解することがあります。その場合は別売品のガラス容器(AX-SV-35)、または一般に市販されているガラス製のピーカなどを容器として使ってください。ピーカは100ml以上の大きさから使用できますが、100mlを使用する場合は振動子プロテクタを外してから測定してください。
25	標準以外の容器を使用する場合、注意することはありますか？	SV-1Aはサンプル容器(ポリカーボネイト製2ml)、SV-10AおよびSV-100Aは、サンプル容器(ポリカーボネイト製35~45ml)で粘度校正が行われています。標準サンプル容器以外の容器を使用し1000mPa・s以上の高粘度の絶対値を測定される場合は、使用する容器にて校正を行うことをお勧めします。
26	試料に接する振動子や温度センサの表面の材質は？	SV-1A、SV-10A、SV-100Aはチタン製(JIS2種)の材質を使用しています。通常の有機溶剤では腐食しません。酸性、塩基性(アルカリ性)溶液の試料でも腐食されにくい材質ですが、高濃度のものと腐食する可能性があります。
27	非ニュートン流体の粘度測定はできますか？	薄型プレートを採用した振動子(感応板)により、試料の構造を破壊させることが少ない為、非ニュートン流体も安定して再現性よく測定をすることができます。また試料の粘度変化に対しても素早く応答します。
28	低粘度の試料はうまく測れますか？	1. 低粘度の試料でもSV-1AおよびSV-10Aでは安定して測定できます。 SV-1AおよびSV-10Aでは粘度は0.3mPa・sから測定できます。低粘度測定の為のセンサ交換、特殊な低粘度測定アダプターやアクセサリは必要ありません。また直接、試料の温度も測定できますので、温度と粘度の相関関係を正確に評価することができます。低粘度溶液への使用例としては、今まで数値化が困難であった、清涼飲料水、ワイン、日本酒、ビール、発泡酒などの“飲みごち”の客観的評価方法として、SV-10Aを利用した粘度測定が注目されています。 2. 他方式の粘度計では、50mPa・s以下の低粘度領域を測定する事は測定原理、感度、測定系の持つエネルギーが試料の物性へ干渉するなど、多くの問題を伴いました。SV-1A、SV-10Aでは試料温度を測定しながら、簡単に低粘度領域の試料を測定することが可能です。
29	流動状態の試料でも粘度測定ができるのですか？	可能です。攪拌中やインラインなど、流動状態での試料でも連続的に粘度測定できることは音叉型振動式粘度計SV-Aシリーズだけの大きな特長です。 スターラで攪拌することのできる300mPa・s以下の粘度領域であれば、試料が流動していても測定ができます。しかし液面が波打つほど試料が運動している場合は液面レベルが変化するために安定した測定をすることができません。 また、非ニュートン流体の場合は試料の流動速度が変わると粘度値が変化するので、流動状態(速度)を一定にして測定してください。 インラインで流動中の試料を連続的に測定する場合、バイパスのオーバーフロー槽を設け液面レベルを一定にすることで、インラインで連続した粘度測定が可能となります。

No.	Question	Answer
30	粘度の絶対値を厳密に求めるには？	<p>振動式粘度計SV-Aシリーズでは測定原理上、粘度と密度の積として粘度値を表示しています。</p> <p>粘度の絶対的数値を求める場合は、振動式粘度計SV-Aシリーズで測定された粘度値を、その温度に対する試料の密度で割り算して求めてください。</p> <p>例えば温度Tにおいて、ある試料を測定した結果、</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 粘度が73.6 (mPa・s)と表示され 2) 温度Tにおける試料の密度が0.856であったとすると、 3) 粘度の絶対的数値ηMは、73.6 / 0.856 = 85.98 (mPa・s)となります。 <p>試料の密度がわからない場合、電子天秤と比重測定キット(AD1653)を用いて、あらかじめ試料の密度(比重)を測定してください。比重測定はエー・アンド・デイの分析用電子天秤GH/GRシリーズや汎用電子天秤GX/GFシリーズと比重測定キットを用いて簡単に測定することができます。</p> <p>※ この場合、密度(比重)を測定した温度条件で粘度測定をしてください。</p>
31	動粘度は測定できますか？	<p>振動式粘度計では直接、動粘度を測定することはできません。</p> <p>前のQ&A30にしたがって試料粘度の絶対値ηMを求めて、このηMを再度試料の密度で割り算して動粘度を求めてください。</p>
32	<ul style="list-style-type: none"> ・ 試料の液面のレベルは？ ・ 液面レベルが変わると測定値にどの程度影響しますか？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 円形の振動子(感応板)の少し上に“くびれた”部分があります。右図のようにくびれの中央に試料の液面がくるように調整してください。左右の振動子で液面位置が一致しない場合は、容器が傾斜していますので計測部後方2箇所足コマを調整して振動子左右の液面調整をしてください。液面調整板の付いている機器では、液面調整板の先端が振動子のくびれの中央を指していますので、液面の高さを上げていき、液面調整板の先端に液が接した高さで測定してください。 2. SV-1Aの場合は、振動子のくびれ中央にある三角マークの間に液面がくるように液面高さを調整してください。 3. SV-1Aでは、液面が1mm変化すると、粘度は約10%変化します。SV-10Aでは液面が1mm変化すると、粘度は約5%変化します。しかし経験的に、使い始めてから数回測定操作を繰り返せば、測定者はほぼ液面レベルを一定に操作することができるようになり、同じ試料・同じ測定条件の場合、繰り返し測定時に発生する液面レベルの誤差は±1%以下となります。SV-100Aでは液面が1mm変化すると、粘度は約15%変化します。しかし、液面調整板を使用することにより、液面レベルの誤差は±1%以下となります。 4. 高粘度試料の場合、液面に凹凸が残ると測定値が変化することがあります。この場合、へらなどを利用して試料液面をならしてください。 5. 長期間の粘度測定を行う場合、試料によっては蒸発で液面が低下することがありますので、定期的に合わせてください。



No.	Question	Answer
33	試料の経時変化を測定する場合の注意点はありますか？	<p>1. 蒸発による液面の低下</p> <p>長期の粘度測定を行うと、試料によっては蒸発により液面が低下する場合があります。この場合も定期的な液面の高さあわせにより測定は可能です。また、液面が低下した場合でも、液面が振動子の円形部分にかからなければ、液面の変化に伴う粘度値の減少はおおよそ直線的ですので、補正により液面の減少を補正できます。</p> <p>2. サンプルの経時変化</p> <p>例えば、水道水を測定した場合、連続測定を行うと振動子やサンプル容器の表面に気泡が発生します。これは、水圧によって水道水に溶けこんだ空気が出てくるためです。SV型粘度計は、振動子と試料となる液体の間に発生するトルクを検出するため、測定途中から気泡や固形物の付着がある場合は粘度値の変化として検出されます。そのため、だんだんと表示粘度値が上昇していきます。純水や精製水を使用すれば、気泡の発生は最小限に抑えられます。</p> <p>また、純水や精製水などを1週間程度連続測定すると、空気中の菌糸・藻類などが水中で増殖し振動子の周りに“藻”が発生したような状態になります。この場合も水の粘度上昇が測定されます。この様に、長期間に及ぶ連続測定では予期されないサンプルの経時変化が測定される事があります。</p> <p>3. サンプルの分離</p> <p>ゾル・ゲルなど混合液体の測定では、経時的な変化により液体と固形分が分離し、振動子の周りで液体成分が多くなり粘度が減少していく現象が確認されます。液体中の固体成分の沈降を測定したい場合は問題ありませんが、均一状態での測定を行う場合はスターラーなどを使用し攪拌してください。（別売品となる循環水ジャケットには専用スターラーが取り付け可能です）</p> <p>測定中に加熱－冷却を行う場合も、加熱時にサンプルが分離し冷却後に上澄み部分が固まり“にごり”状態になってしまう事が有ります。この場合もスターラー等による攪拌である程度均一性は確保されます。</p> <p>4. 振動子への液体使用の固着</p> <p>液面から上の振動子表面に試料液体が付着したり、付着した液体が硬化して固形化すると振動子への負荷となり、正確な粘度測定ができなくなります。特に連続使用される場合は定期的な管理を行ってください。</p>

D. 測定データの収集および出力について

No.	Question	Answer
34	<p>測定結果をプリント出力したいのですが、できますか？</p> <p>測定データを収集したり保存することはできますか？</p>	<p>プリント出力、データの収集ができます。</p> <ol style="list-style-type: none"> 標準付属となるRS-232Cを利用し、別売オプションのコンパクトプリンタAD-8121Bに接続して測定結果を印字することができます。AD-8121Bの機能により、粘度測定結果の統計計算や一定時間毎の粘度の変化(数値)を印字することもできます。 接続にはAD-8121Bに付属されているケーブルを使用してください。 標準付属されているWindowsデータ通信ソフトウェア“WinCT-Viscosity”を使いPC(コンピュータ)に接続し、リアルタイムに測定中の粘度と温度の変化過程をグラフおよび数値として把握できます。もちろん測定データはファイル(CSV形式)で保存することができます。また、お客様でExcel形式のファイルに変換してExcelがもつグラフ機能を使って、目的に合ったデータやグラフにすることもできます。 <p>※ “WinCT-Viscosity”を使った時の表示例やソフトウェアの特長や詳細は ■ 応用編A.データ解析について をご覧ください。</p>

A. データ解析について

1. Windowsデータ通信ソフトウェア WinCT-Viscosityについて

エー・アンド・デイの音叉振動式粘度計SV-Aシリーズは、RS-232Cを介して、Windowsデータ通信ソフトウェア“WinCT-Viscosity”(Windows Communication Tools for Viscometer)を使うことにより、測定中の経過をパーソナルコンピュータにリアルタイムに表示したり、測定結果(データ)を簡単にパーソナルコンピュータに取り込み、保存やデータ解析などをすることができます。WinCT-ViscosityはCD-ROMとして粘度計SV-Aシリーズに標準で付属されています。

Windowsデータ通信ソフトウェアWinCT-Viscosityには以下の3種類のソフトウェアが収録されています。

- RsVisco … 粘度測定中の過程および測定結果のグラフソフトウェア
- RsCom … データ送受信ソフトウェア
- RsKey … データ転送ソフトウェア

ソフトウェア	内 容
RsVisco	<ol style="list-style-type: none"> 1. RS-232Cを介してエー・アンド・デイ音叉振動式粘度計SV-Aシリーズから受信したデータをリアルタイムにグラフ化することができます。測定中の粘度の変化過程をグラフで確認することもできます。また温度データも同時に表示することができますので、温度と粘度のグラフもリアルタイムに見ることができます。 2. グラフは以下の3種類から選択(切り替え)することができます。 <ol style="list-style-type: none"> ① 粘度(Y軸) ……時間(X軸) ② 粘度・温度(Y軸) ……時間(X軸) ③ 粘度(Y軸) ……温度(X軸) 3. 繰り返し測定において、グラフを重ね描きすることができます。(識別は10色まで) 試料の濃度や温度などを変えて測定するなどの測定条件を変化させて検討、評価する場合などに有用です。 4. 測定されたデータはCSV形式のデータファイルとして保存することができます。 5. 表示されるグラフをパーソナルコンピュータを介してプリンターで印刷することができます。
RsCom	<p>RS-232Cを介してコンピュータとの間でデータの送受信を行うことができます。粘度計SV-Aシリーズを制御する際に有用なソフトウェアです。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 記録されたデータはテキストファイルに保存できます。 2) 受信したデータはパーソナルコンピュータを介してプリンターで印刷することができます。 3) パーソナルコンピュータの複数のポートにそれぞれ粘度計を接続した場合、各粘度計と同時に通信することができます。(多重実行)
RsKey	<ol style="list-style-type: none"> 1. RS-232Cを介してSV-Aシリーズから出力されたデータを市販のアプリケーションソフトウェア(Microsoft Excel など)へ転送することができます。 他のアプリケーションソフトウェアでデータを編集する際に有用です。 2. 粘度計SV-Aシリーズから出力されたデータをアプリケーションへ、あたかもキーボードから入力したように自動入力することができます。 表計算ソフトウェア(Excel)やテキストエディタ(Word、メモ帳)、ほか幅広いアプリケーションの種類に転送できます。

2. RsViscoを使った測定表示例

(1) RsViscoの表示例

RsViscoは粘度測定過程をリアルタイムに表示し、測定結果(CSVファイル)を読み込み下図のようにグラフ表示するソフトウェアです。図15および図16はSV-10Aでシリコンオイル(ニュートン流体)を約45°Cから25°Cまで室温にて自然冷却した時の粘度の変化を測定したものです。図15は横軸に時間、縦軸に粘度(左)と温度(右)を表したグラフ、図16は同じデータにおいて横軸に温度、縦軸に粘度をとってグラフ化したものです。温度変化に対する粘度の変化に線形(直線的)な相関関係のあることがよくわかります。

グラフはこの3種類から選択することができます。

タイトルは画面上で自由に入力したり編集することができます。

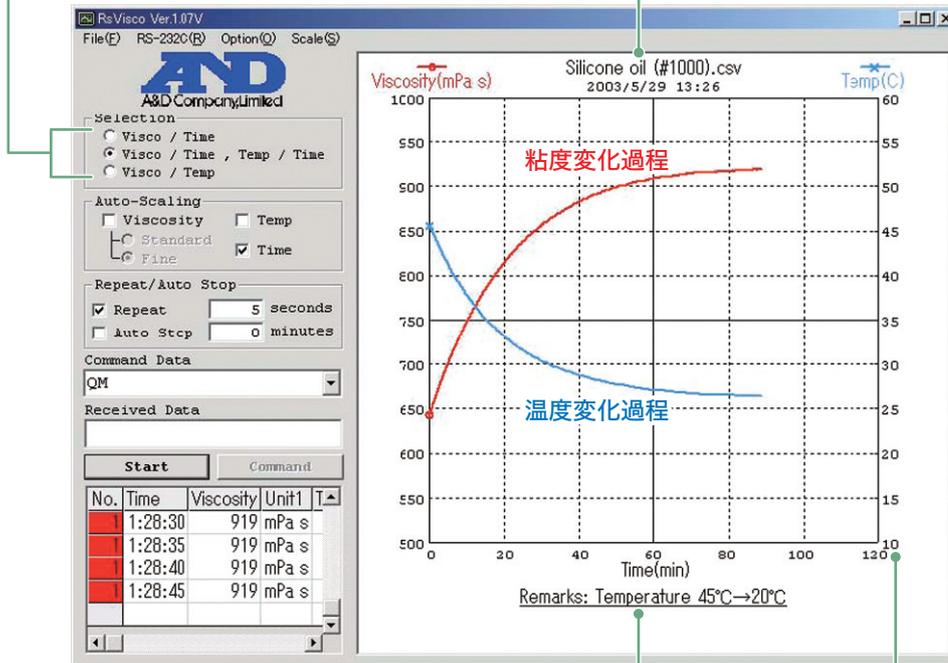


図15. シリコンオイルの測定表示例 (SV-10A)

縦軸、横軸の最大値や最小値も画面上で自由に入力したり変更することができます。

測定条件などの注記が画面上で自由に入力したり編集することができます。

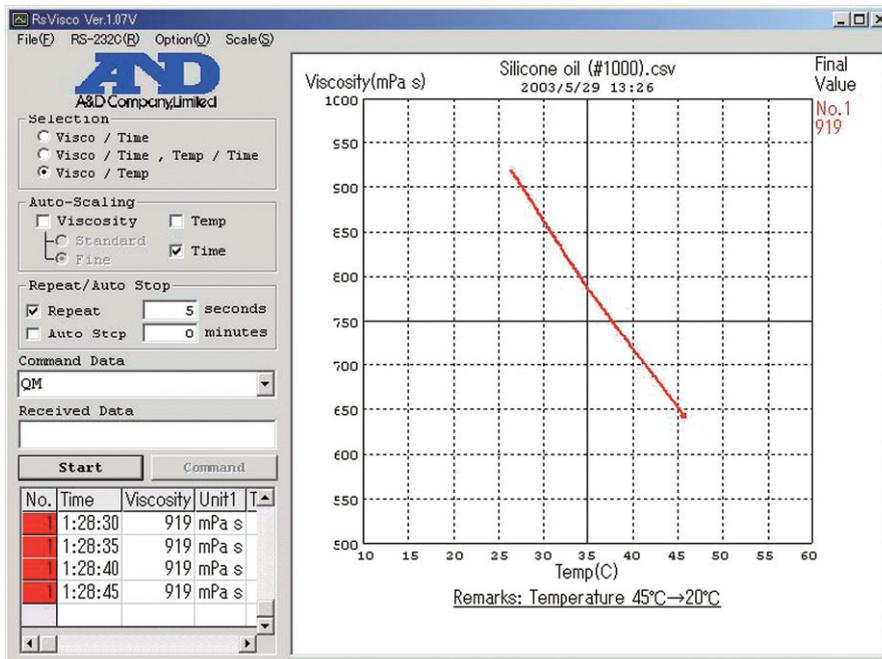


図16. シリコンオイルの温度変化に対する粘度変化との相関関係

精製水の粘度測定例

図17はSV-10Aで約40℃まで加熱した精製水を自然冷却しながら測定した結果です。図18は横軸を温度、縦軸を粘度としたグラフです。図18のグラフにおいて、赤は測定値、緑は理論値を表しています。このように、精製水の粘度を正確に測定できていることがわかります。SV-10Aは低粘度の試料を正確に測定することができます。

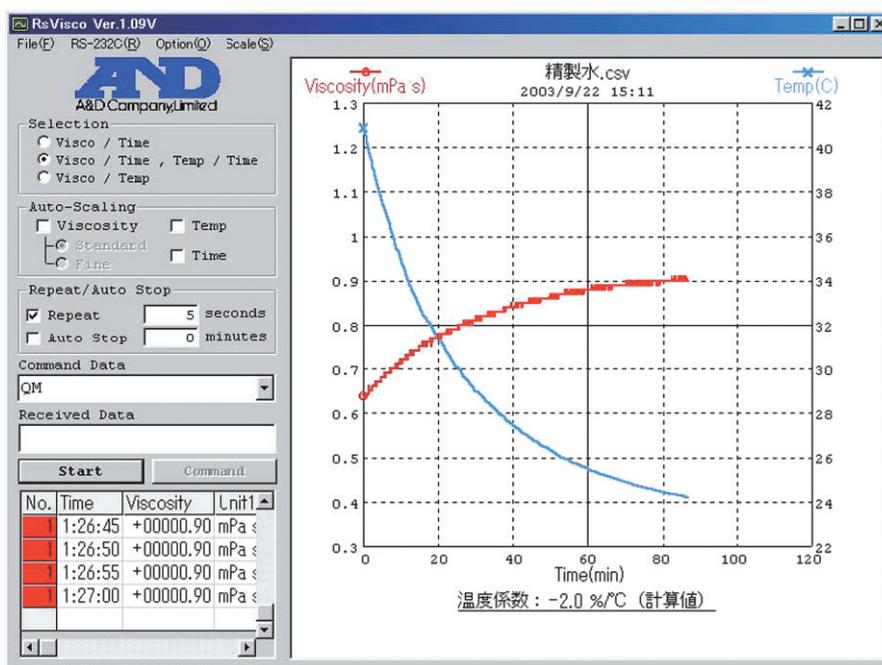


図17. 精製水の粘度測例 (SV-10A)

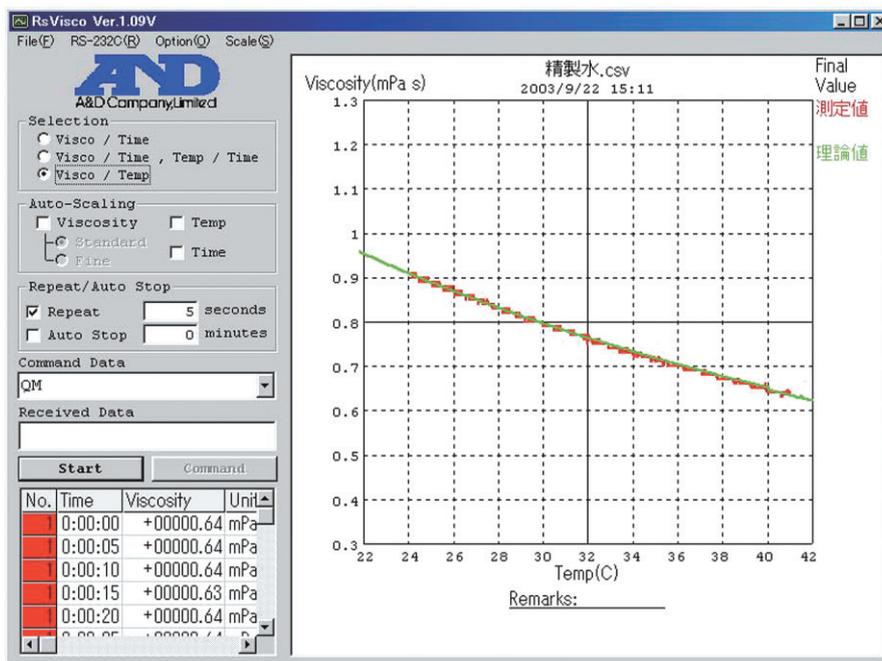


図18. 精製水の温度-粘度特性 (SV-10A)

(2) 工業製品の粘度測定例

■ セメント材の硬化過程と粘度測定例

一般に市販されている、4種類の調合済みのモルタル材について、室温における硬化過程を図19に示しました。モルタル材とは、セメントに砂、樹脂系結合材などが調合されている複合材料で、表記されている推奨量の水を入れ混練させた直後からの硬化過程を粘度測定しました。図のようにこれらのモルタル材の硬化過程には差異が認められ、特に急速硬化セメントと表記されていたモルタルNo.1では非常に早い硬化が確認されます。

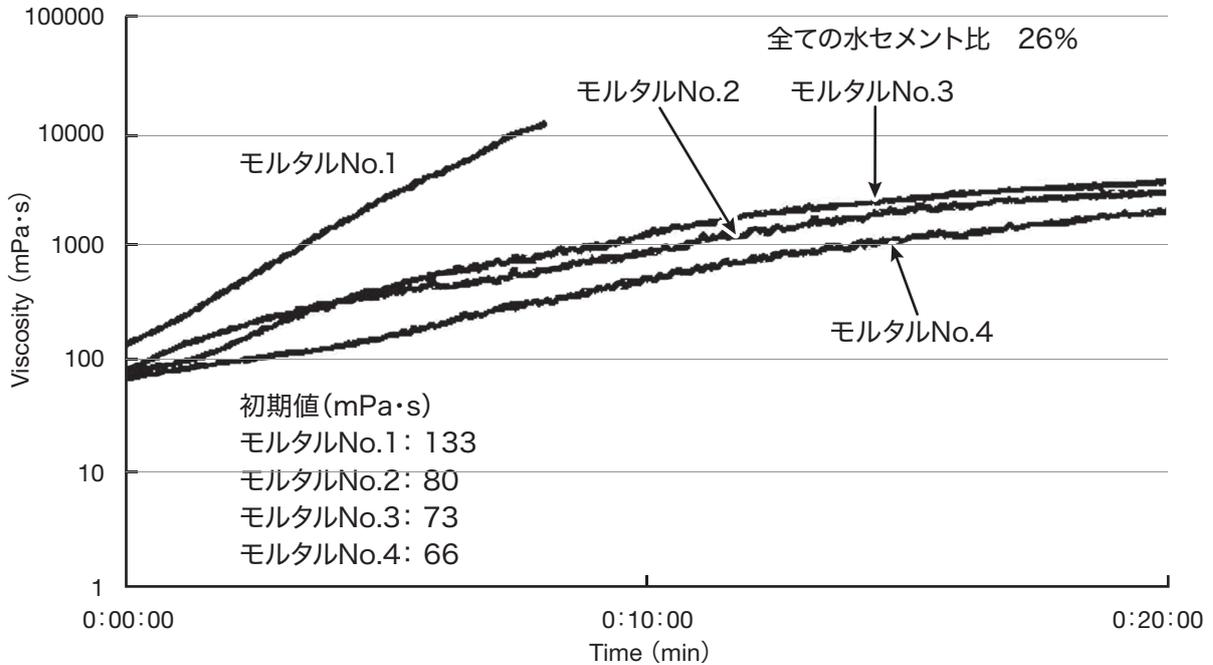


図19. 各種モルタル材の混練後の粘度変化 (SV-10A)

図20は生セメントに水を加えたセメントペーストの室温における粘度測定結果です。セメントと水の配合比を変化させた3種類のセメントペーストを作成して測定しています。図のようにセメントペーストでは、水とセメントの比に依存して初期粘度、初期流動性が異なることがわかります。

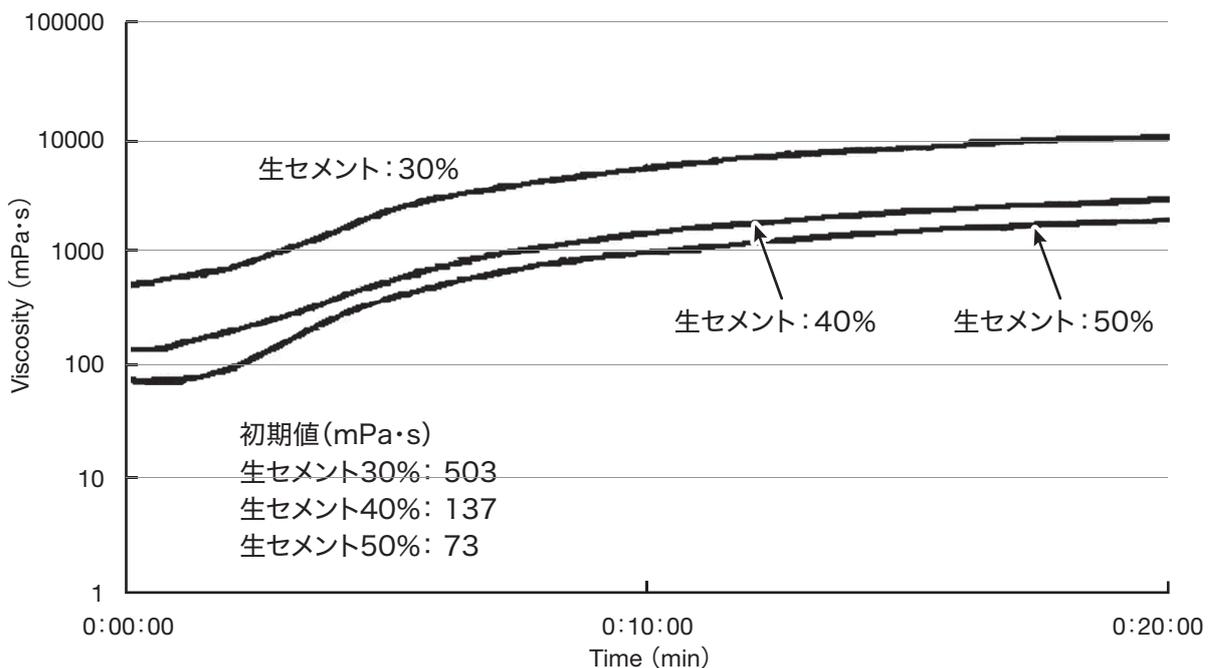


図20. セメントペーストの粘度変化 (SV-10A)

次にモルタルNo.1(急速硬化セメント)において、水との配合比の違いによる硬化過程について、経時的な粘度変化を図21に示しました。水分率に依存して硬化過程に影響を与え、水分率が多いと硬化時間も遅れることがわかります。特に26%以下の水量では急激に硬さが増加し流動性が悪くなること示されました。また水配合比20%の粘度変化過程において細かな粘度値のピークが数ヶ所観察されますが、これは試料に直接接する粘度計センサー部の振動子とモルタル材との境界面で、スリップなどと思われる突発的な粘度変化が観測されたものです。

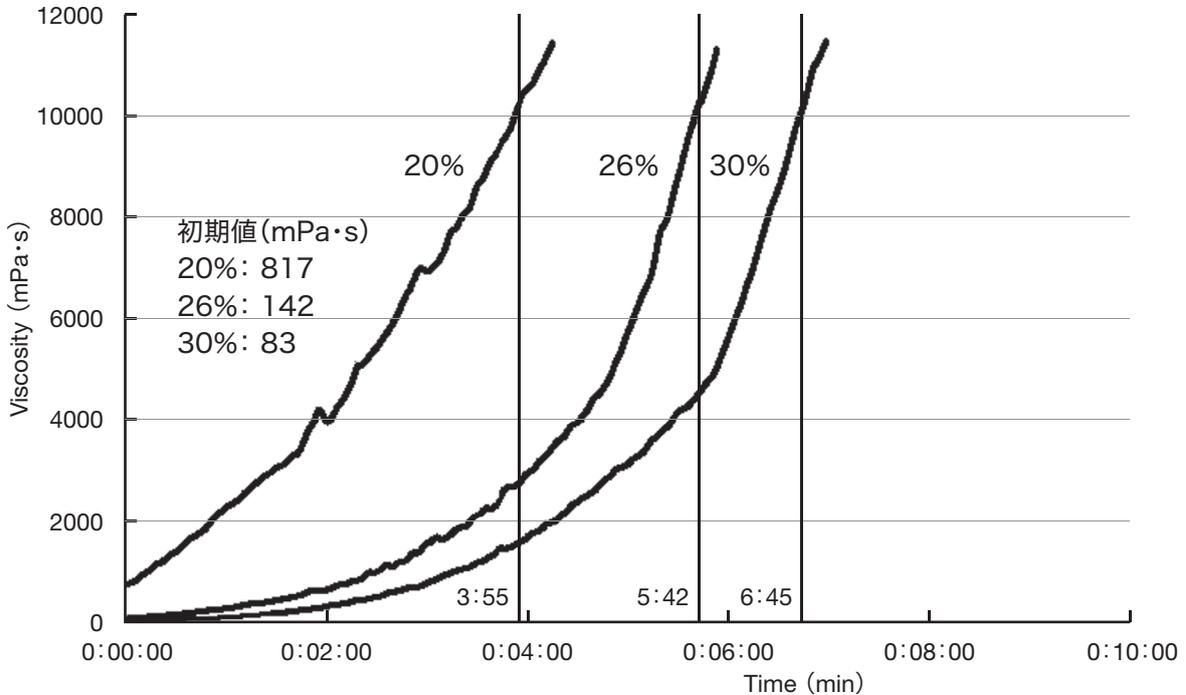


図21. モルタルの水分率の違いによる硬化過程 (SV-10A)

さらに同じモルタルNo.1(急速硬化セメント)について、環境温度が硬化過程に及ぼす影響について図22に示しました。粘度計と試料を恒温室に入れ、それぞれの設定温度下でモルタル材と水を混合し、環境温度の違いによる硬化過程への影響について測定しました。気温を想定して、10°Cの低温では硬化速度が遅く、また40°Cでは硬化速度が速いことが示されますが、一般的に言われる化学反応速度の温度依存性としての10°C倍則は確認できず、温度変化分に対する硬化速度の変化には累進性が少ないと判断されました。また、40°C環境温度での硬化過程において、8000mPa·s付近で粘度値の変動が確認されますが、これは試料と粘度計センサー部の振動子との間における滑りが原因と考えられます。

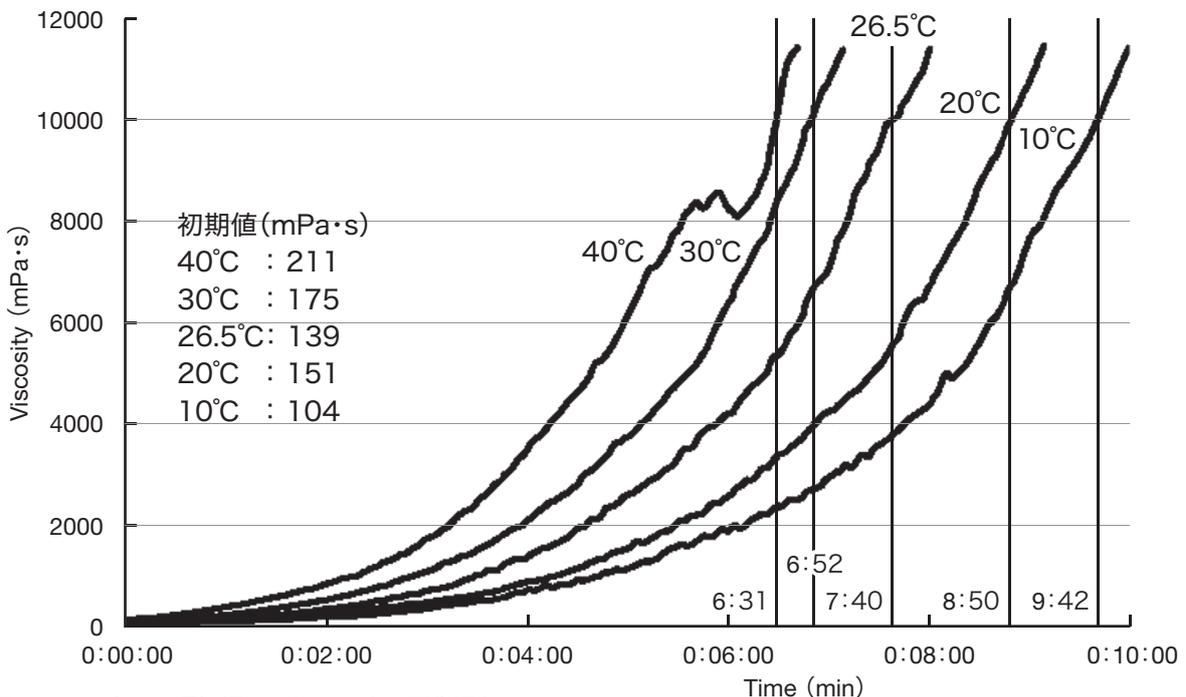


図22. モルタルの環境温度の違いによる硬化過程 (SV-10A)

■ ガソリンエンジンオイルの粘度測定例

図23、図24はガソリンエンジンオイルを100ccビーカーに入れ、約110°Cまで加熱してから、SV-10Aで自然冷却の過程を測定したものです。エンジンオイルは一般的に40°Cと100°Cの粘度で評価されます。今回の測定では、100°Cで7.64mPa・s、40°Cで45.4mPa・sとなりました。SV-Aシリーズでは温度変化の過程の粘度を測定できるので、簡単に特定の温度での粘度を知ることができます。

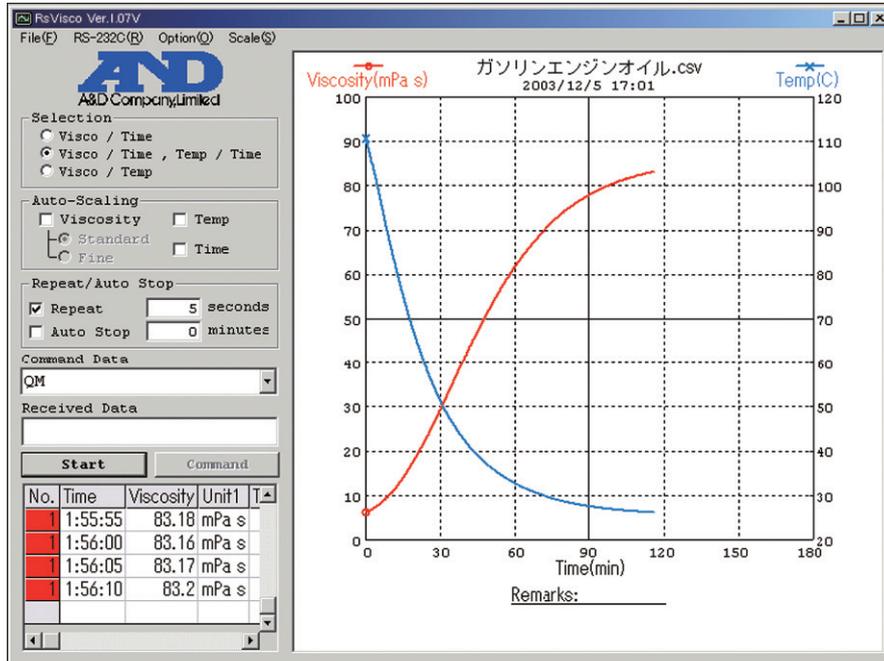


図23. ガソリンエンジンオイルの粘度測定例 (SV-10A)

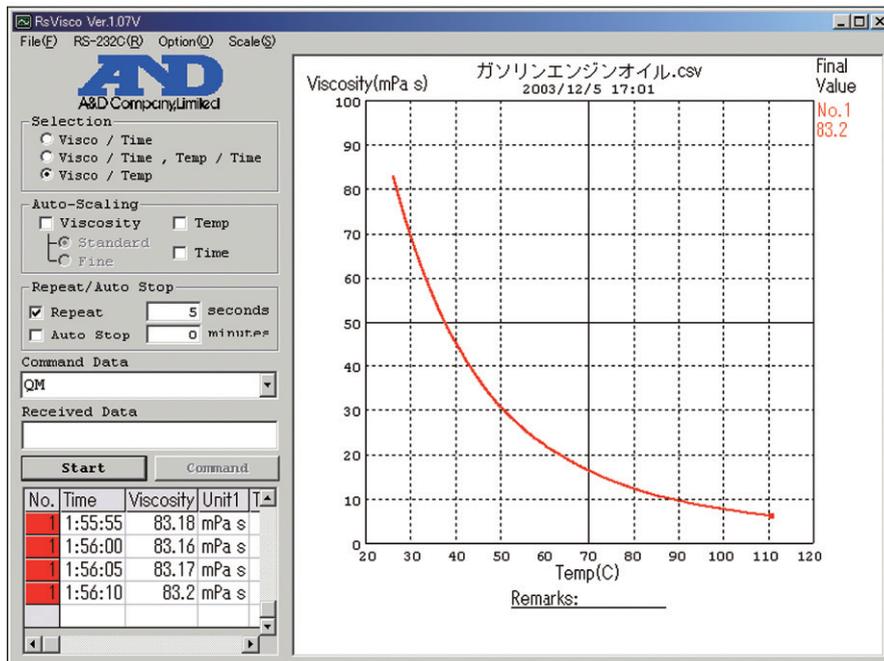


図24. ガソリンエンジンオイルの温度変化に対する粘度変化との相関関係

■ 半導体研磨剤、石膏の粘度測定例

図25は3種類の半導体の研磨剤をSV-10Aで測定した結果です。SV-10Aでは、低粘度の液体でも安定して測定することができ、研磨剤の本来の粘度、劣化状態の判断が可能となります。

図26は石膏の硬化過程をSV-10Aで測定した結果です。水との混合比で石膏が67%、60%、50% (重量比率) の3種類を測定しています。混合比によって硬化時間が異なることがわかります。

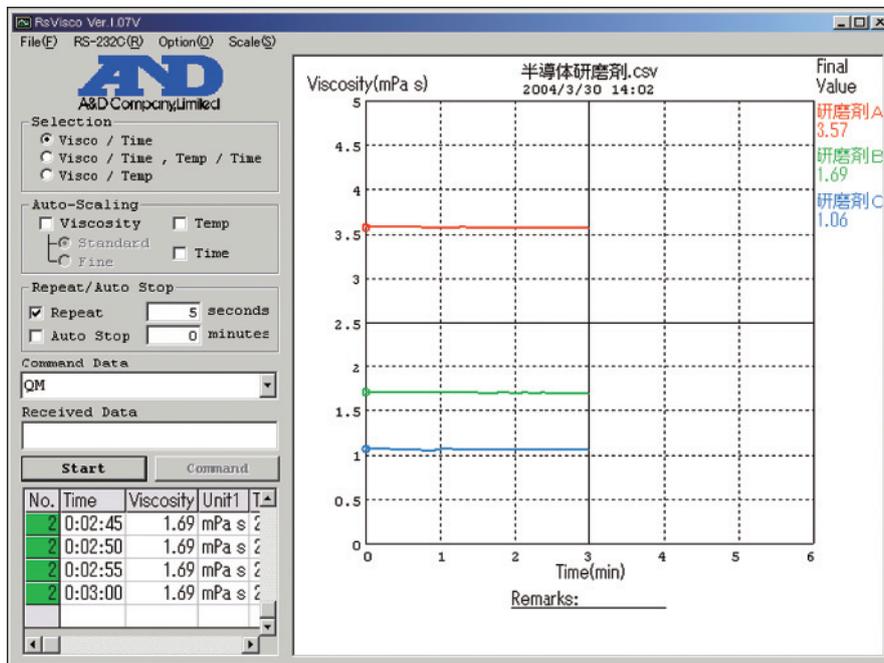


図25. 半導体研磨剤の測定例 (SV-10A)

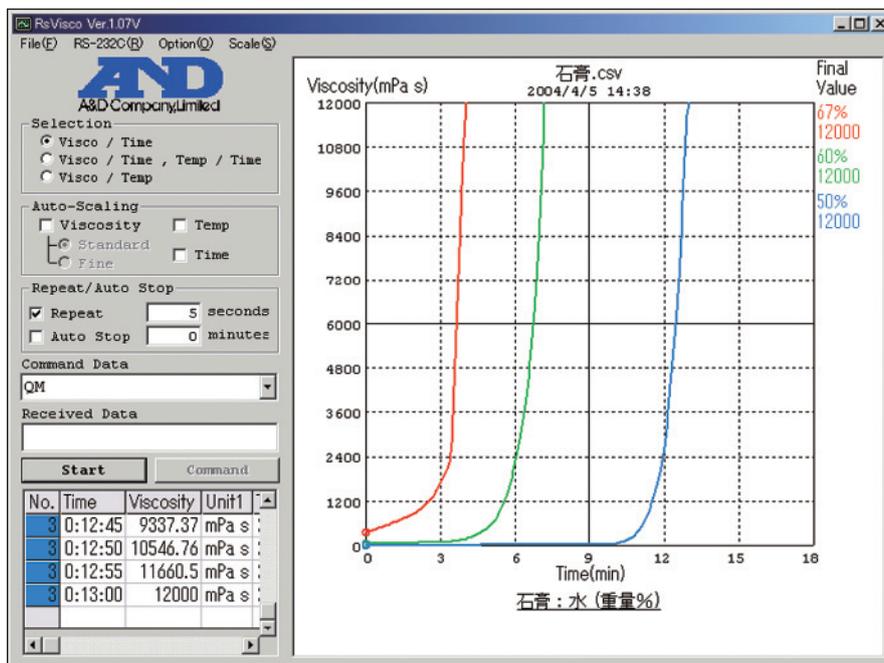


図26. 石膏の硬化過程の測定例 (SV-10A)

■ 半田フラックス、シリコン接着剤の粘度測定例

図27はペースト状のハンダフラックスを加熱して溶かし、自然冷却しながらSV-10Aで粘度を測定した結果です。温度-粘度のグラフから、ゲル化点は約70°Cとわかります。

図28はシリコン接着剤の硬化過程をSV-100Aで測定した結果です。硬化するまで約1日かかっていますが、SV-Aシリーズは長期間の連続測定が可能のため、接着剤の硬化過程を見ることができます。

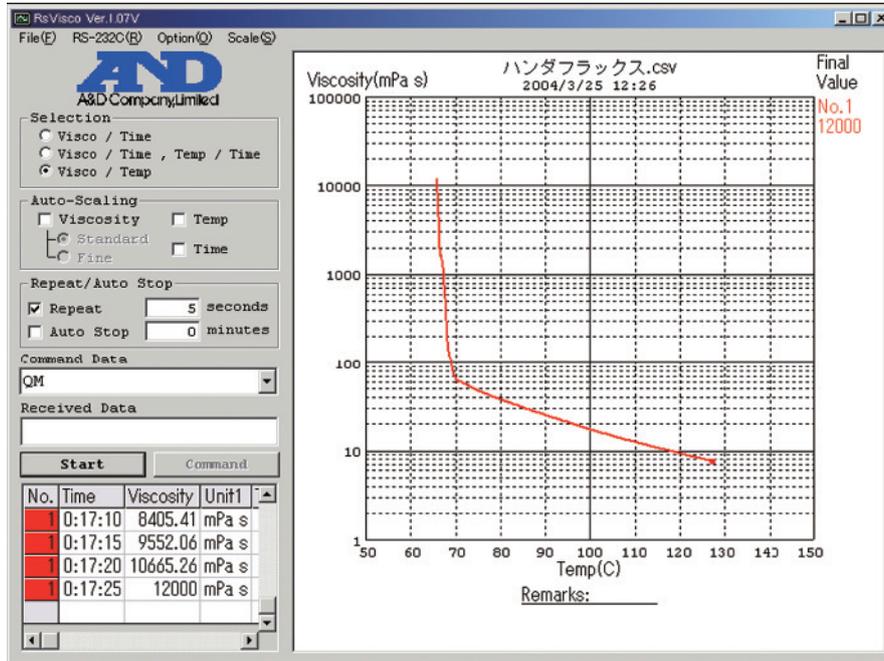


図27. ハンダフラックスのゲル化点の測定例 (SV-10A)

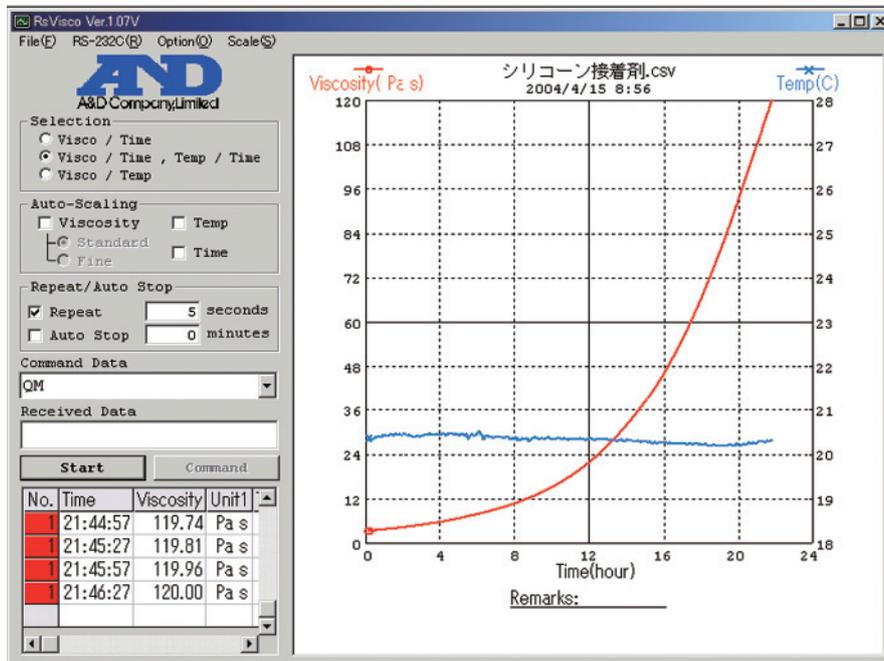


図28. シリコン接着剤の硬化過程の測定例 (SV-10A)

■ 非イオン系界面活性剤の粘度測定例（曇点測定）

図29は非イオン系界面活性剤（1%濃度）を加熱しながら測定した結果です。界面活性剤は温度を上げていくと、ある温度で白濁します。このときの温度を曇点と呼び、従来は光学的にしか測定することができませんでした。しかし、曇点においては、物性の変化により粘度も急激に変化するため、SV-10Aを利用することで粘度の変化からも曇点を測定することができます。

温度－粘度のグラフから、粘度の急激な変化が液温35.4℃で見られます。この温度が曇点として測定されたこととなります。JIS法によるこの界面活性剤の曇点は35.9℃であり、SV-10Aで曇点測定が行えることがわかります。

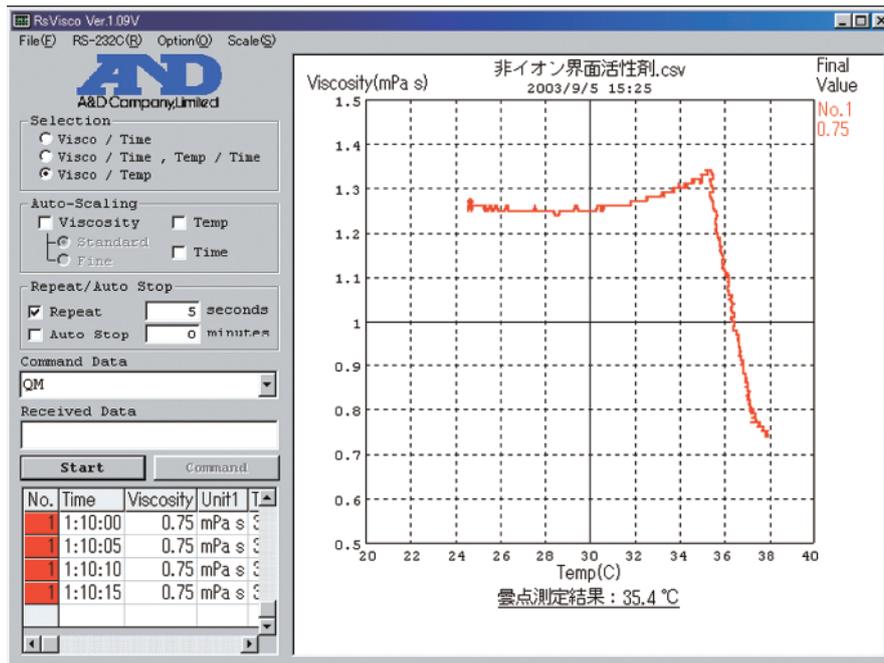


図29. 界面活性剤の曇点測定 (SV-10A)

■ 水性塗料の粘度測定例

図30はSV-10Aで水性ニスに室温にて一定の温度条件で測定した結果です。時間経過にも安定した粘度値を得ることができるサンプルの測定例です。

図31はSV-10Aで水性ペイント(黒)を室温にて一定の温度条件で測定した結果です。測定を開始してから測定粘度値は漸減する傾向(チクソトロピー性)があるサンプル例です。このようなサンプルの粘度値を評価する場合は、例えば減少傾向がゆるやかになる時間を実験から求め、その時間で粘度値を評価することができます。

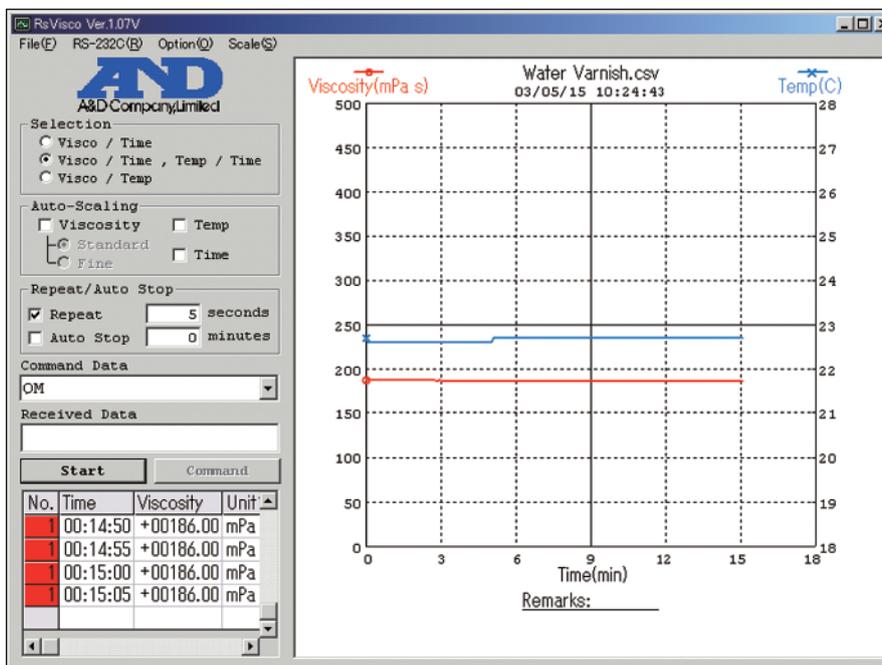


図30. 水性ニスの粘度測定例 (SV-10A)

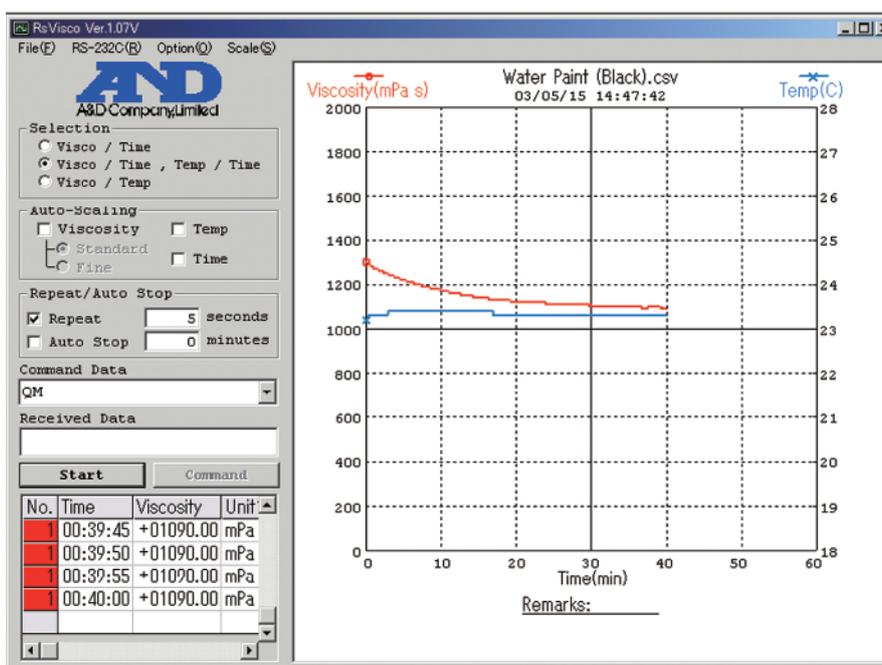


図31. 水性ペイント(黒)の粘度測定例 (SV-10A)

(3) 濃度の異なる液体の粘度測定例

図32、図33は濃度の異なるエタノール水溶液を25°C一定にしてSV-10Aで測定した結果です。濃度によって粘度は変わります。エタノール100%、エタノール0% (水100%) のときはともに粘度が低いです。両者を混ぜると粘度は高くなります。

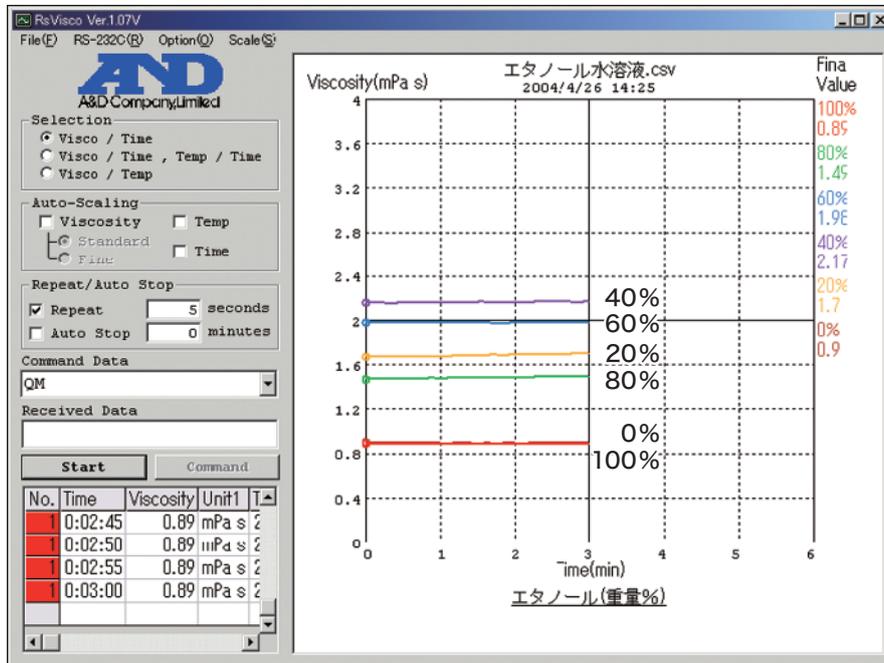


図32. エタノール水溶液の測定例 (SV-10A)

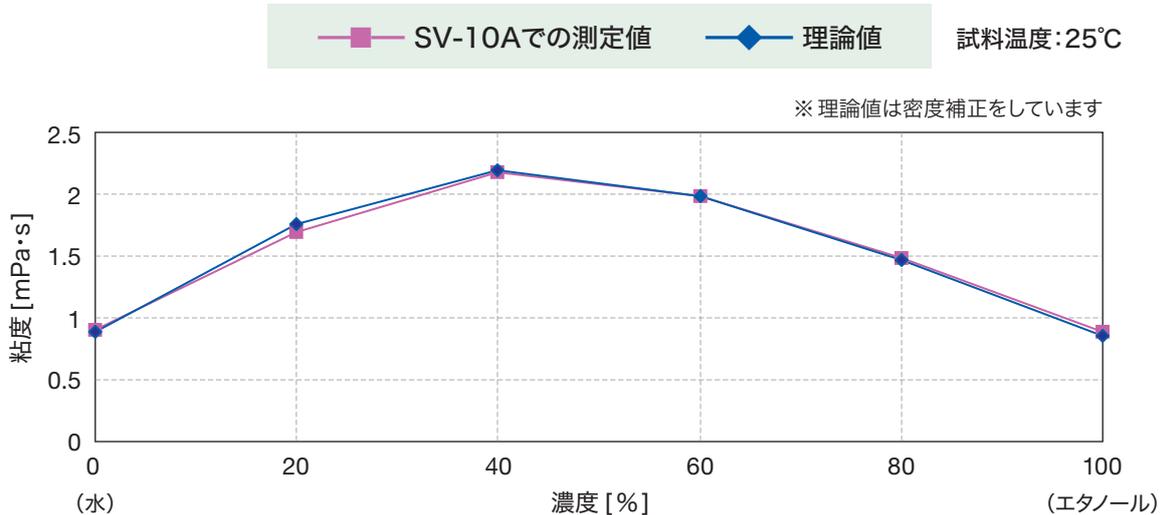


図33. エタノール水溶液の濃度と粘度の関係

図34は水で希釈した各濃度のダイカスト離型剤をSV-10Aで測定した結果です。
濃度によって粘度が異なることがわかります。

図35は希釈液で希釈した各濃度の絶縁コーティング剤(ポリビニール系樹脂)をSV-10Aで測定した結果です。
高濃度側では粘度が時間的に増加しています。これは、揮発によって試料の状態が変化しているためであると思われます。
このように、濃度の違いを粘度で検出することもできます。

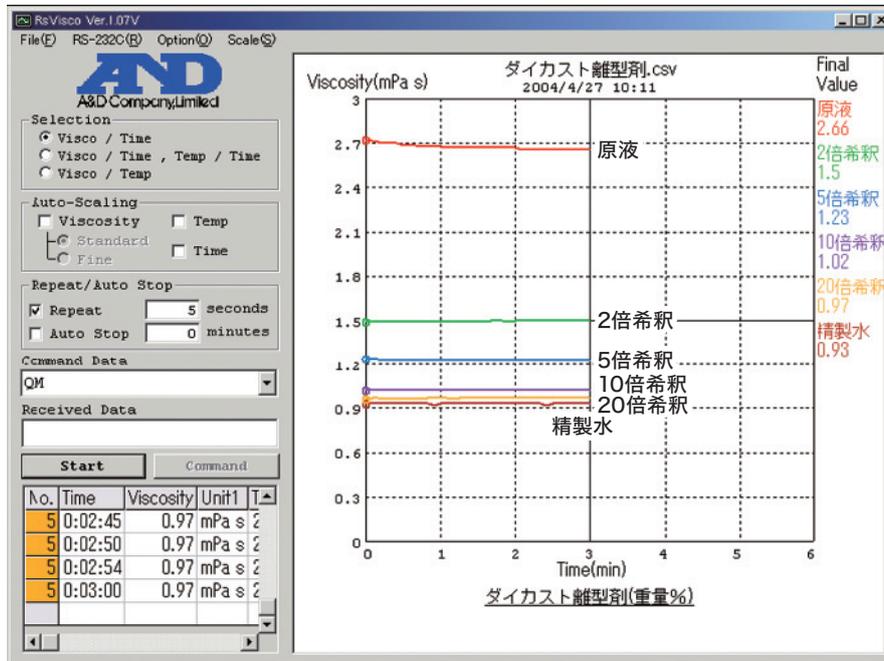


図34. ダイカスト離型剤の測定例 (SV-10A)

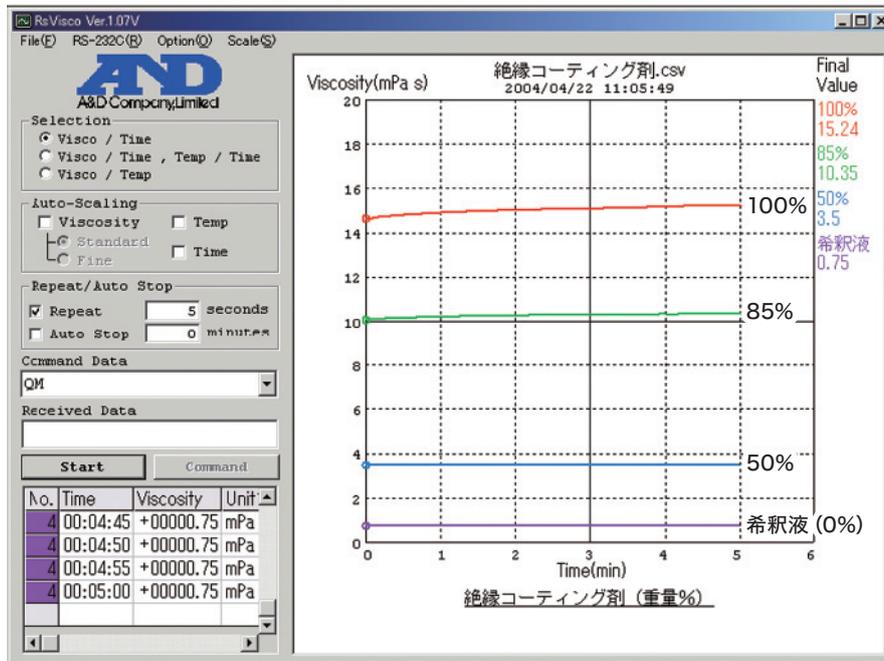


図35. 絶縁コーティング剤の測定例 (SV-10A)

(4) 食品の粘度測定例

図36、図37は鶏卵の卵白について、ヒーターなどを用いて室温から80°C付近まで温度を上昇させた時の粘度をSV-10Aで測定した結果です。卵白の温度が60°Cを超えると急激に凝固が始まる振る舞いがよく測定されています。グラフは卵白の主成分(組成)である、たんぱく質(アルブミン)の性質を的確に表わしています。

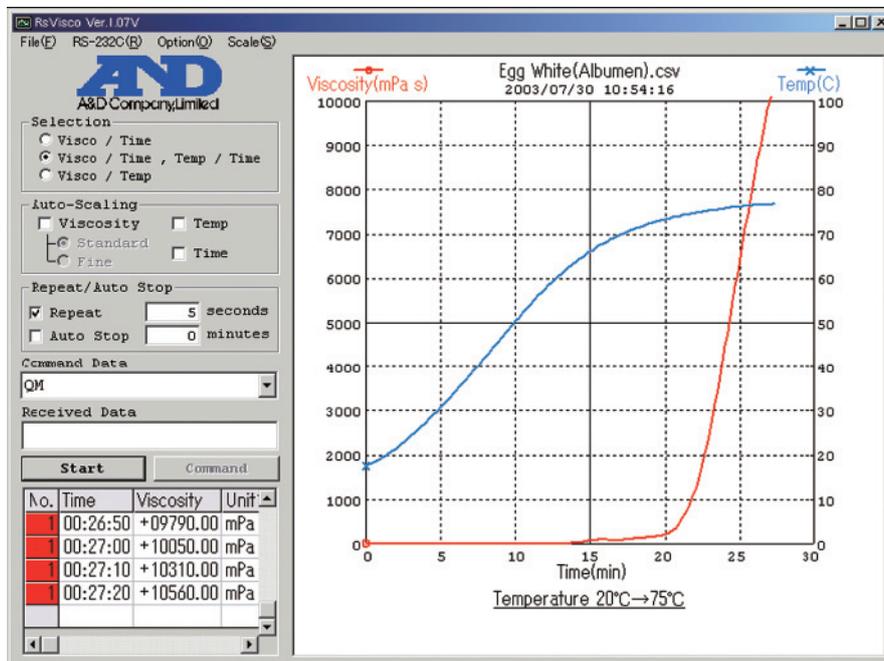


図36. 卵白の粘度測定例 (SV-10A)

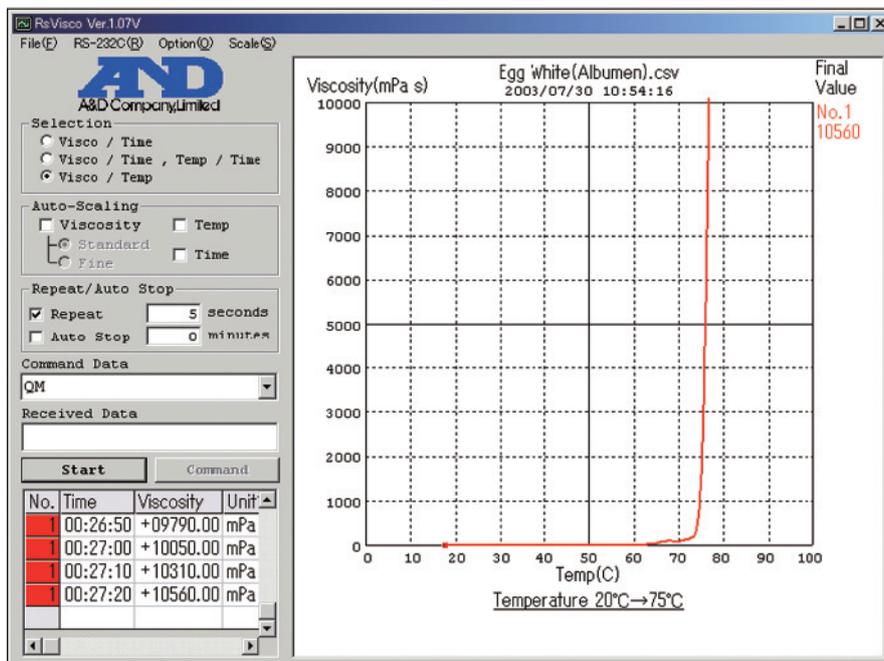


図37. 卵白の温度上昇の対する粘度の増加過程

図38、図39は前ページに示した鶏卵卵白の粘度測定結果、図36および図37の縦軸(粘度)を対数目盛で表したものです。特に図39でわかるように、鶏卵の卵白は60°Cまでは通常の液体のように温度上昇にともない粘度は減少する振る舞いを示しますが、60°Cを超えたところから急に粘度が上昇し、たんぱく質が凝集する性質がよくわかります。振動式粘度計SV-Aシリーズではこのように、試料(物質)特有の微小な変化とダイナミックな粘度変化を正確に捉えることができます。図のように、WinCT-Viscosity(RsVisco)では粘度軸を対数軸で表すことができるので、粘度の変化領域が広い場合や非線形的に変化する場合、変化をわかりやすく表すことができます。

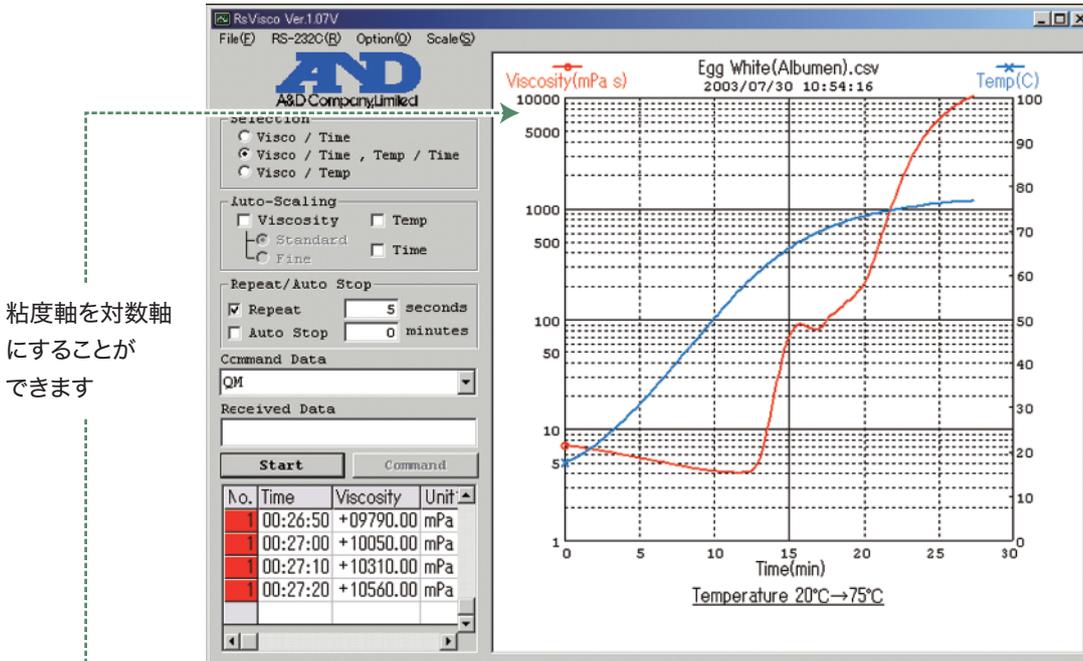


図38. 卵白の粘度測定例 (粘度軸 log スケール)

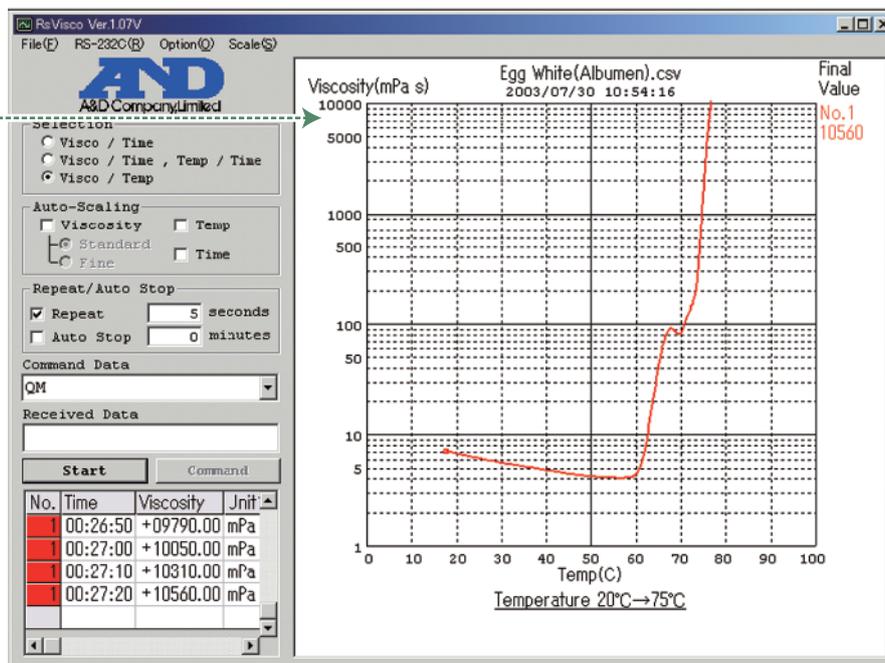


図39. 卵白の温度上昇の対する粘度の増加過程 (粘度軸 log スケール)

図40はゼラチン水溶液の濃度を2.5%と5%の2種類として温度を変化させながらSV-10Aで粘度を測定した例です。横軸に温度、縦軸(log)に粘度をとり測定をしていますが、ゼラチン水溶液の濃度に依存して凝固温度に差があるので理解できません。

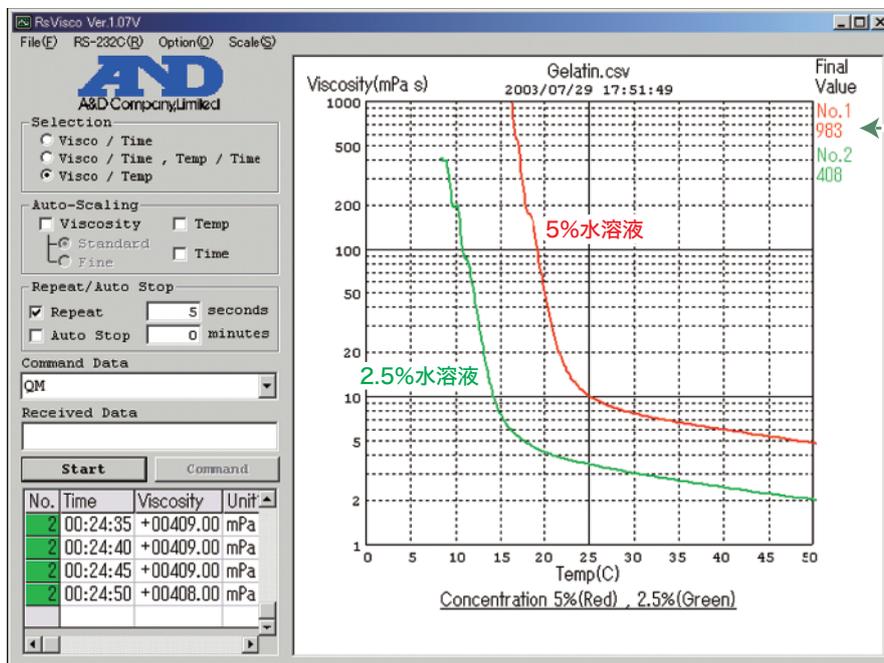


図40. 濃度の異なるゼラチンの粘度測定例 (SV-10A、粘度軸 log スケール)

複数回測定した場合も、ひとつのグラフに重ね描きすることができます (10色まで)

図41はSV-10Aでプリンを約20°C一定の温度条件で測定した結果です。プリンは良品 (3検体) と不良品 (1検体) の計4検体で、グラフ上部の3検体 (赤、水色、黄緑) は良品、グラフ下部の1検体 (紫色) は不良品と判定されていたものです。図で示されるように試験者 (ヒト) の官能的評価が、SV-10Aを利用した粘度測定により数値として評価が可能になりました。

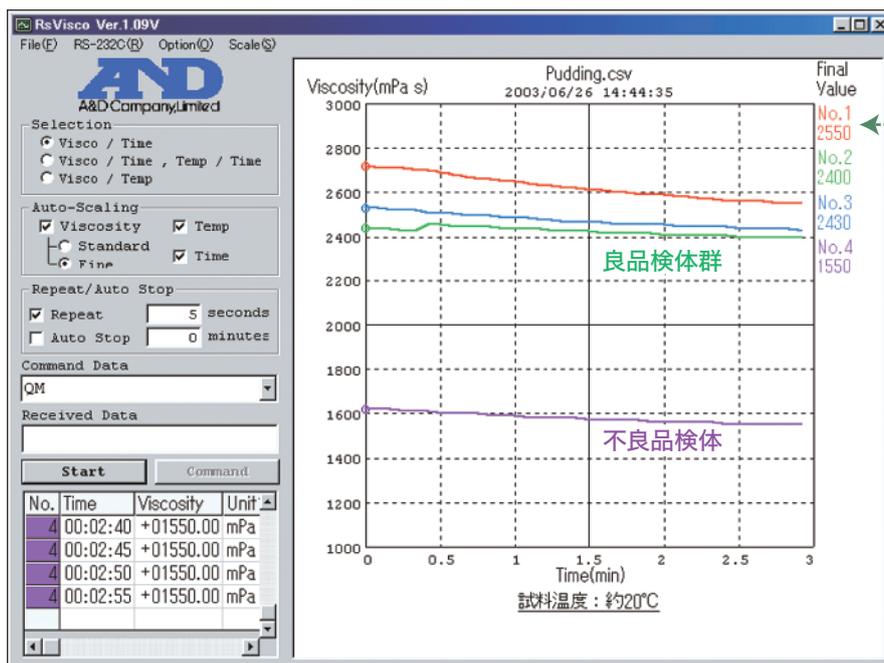


図41. プリンの粘度測定例 (SV-10A)

図42はSV-10Aでウスターソースを一定の温度条件(室温)で測定した結果です。
SV-10Aを使用し、ウスターソースも時間に対して安定した粘度値が得られることが示されました。

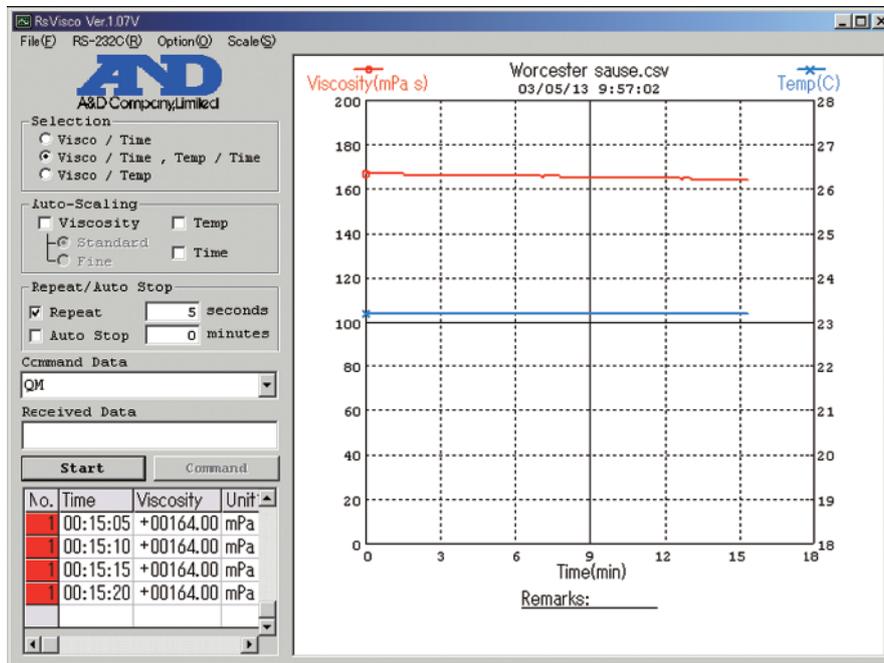


図42. ウスターソース粘度測定例 (SV-10A)

3. 代表的な測定結果

(1) 試料温度一定で測定

粘度測定値：「測定開始時の粘度～測定終了時の粘度」を表示。

粘度の単位：mPa・s(ミリパスカル・秒)

1 mPa・s = 1 cP(センチポワズ)、1 Pa・s(パスカル・秒) = 10 P(ポワズ)

試料温度：測定中の温度(平均値)

SV-10Aによる測定結果

No.	分類	試料名	粘度(測定値) [mPa・s]	試料温度 [°C]	備考
1	薬品	水(精製水)	0.92	23.6	時間的变化なし
2	薬品	メチルアルコール	0.42	24.5	時間的变化なし
3	薬品	エチルアルコール	0.91	24.5	時間的变化なし
4	家庭用品	でんぷん糊	6320	25.2	時間的变化なし
5	家庭用品	洗濯糊	370~346	23.3	時間とともに低下し安定 安定に要する時間：30分
6	家庭用品	台所用洗剤	164	23.7	時間的变化なし
7	家庭用品	コンタクト洗浄液	5.57	23.3	時間的变化なし
8	家庭用品	リンス入りシャンプー	705~677	25.1	時間とともに低下し安定 安定に要する時間：6分
9	家庭用品	ワックス(床用)	4.91	23.6	時間的变化なし
10	化粧品	化粧水	1.18	23.6	時間的变化なし
11	化粧品	乳液	43.6	23.4	時間的变化なし
12	化粧品	スキンケアクリーム	1410	24.2	時間的变化なし
13	化粧品	マニキュア	437~448	21.6	時間とともに上昇し安定 安定に要する時間：1分
14	食品	スポーツ飲料 (ゼリー状)	106~116	23.0	時間とともに上昇し安定 安定に要する時間：12分
15	食品	トマトジュース	18.7~21.0	22.7	時間とともに上昇
16	食品	チョコレートシロップ	987~1150	23.7	時間とともに上昇
17	食品	牛乳	2.27	20.7	時間的变化なし
18	食品	ミルク (植物性油脂)	85.0~83.7	23.0	時間とともに低下し安定 安定に要する時間：6分
19	食品	加糖れん乳	1540~1470	23.3	時間とともに上昇し安定 安定に要する時間：9分
20	食品	マスタード	428~679	23.3	時間とともに上昇
21	食品	トマトケチャップ	1660~2030	23.3	時間とともに上昇
22	食品	マヨネーズ	2570~3030	23.7	時間とともに上昇
23	食品	しょうゆ	4.76	23.5	時間的变化なし
24	食品	ソース(中濃)	167	23.2	時間的变化なし

No.	分類	試料名	粘度(測定値) [mPa·s]	試料温度 [°C]	備考
25	食品	サラダ油	54.5	24.2	時間的变化なし
26	塗料	合成樹脂塗料 (水性ニス)	188	22.7	時間的变化なし
27	塗料	合成樹脂塗料 (水性塗料、黒)	1300~1090	23.3	時間とともに低下し安定 安定に要する時間:30分
28	塗料	合成樹脂塗料 (水性塗料、クリア)	70.1~59.1	23.2	時間とともに低下
29	塗料	黒インク	16.6~15.8	23.3	時間とともに低下し安定 安定に要する時間:5分
30	塗料	黒インク(10倍希釈)	1.14	23.2	時間的变化なし
31	塗料	赤インク	184~161	23.2	時間とともに低下し安定 安定に要する時間:20分
32	塗料	赤インク(10倍希釈)	1.12	22.8	時間的变化なし
33	その他	アルギン酸塩印象材	899~12000	21.2	水と混ぜると約5分後に ゲル化する
34	その他	石膏	11.6~12000	24.0	水との混合比によって硬化 時間が変化する(図31 参照)
35	その他	半導体研磨剤 A	3.57	24.0	時間的变化なし
36	その他	半導体研磨剤 B	1.69	24.0	時間的变化なし
37	その他	半導体研磨剤 C	1.06	24.0	時間的变化なし

SV-100Aによる測定結果

No.	分類	試料名	粘度(測定値) [Pa·s]	試料温度 [°C]	備考
38	塗料	油性インク	17.6~17.4	20.1	時間的变化なし
39	工業製品	シリコーン接着剤 A (Bと混合して使用)	4.33~6.65	24.2	時間とともに上昇し安定 安定に要する時間:15分
40	工業製品	シリコーン接着剤 B (Aと混合して使用)	2.1	23.6	時間的变化なし
41	工業製品	シリコーン接着剤 (AとBを混合)	3.31~120	20.3	温度コントローラで20°C 一定にして測定 約1日で固まる(図33 参照)

(2) 試料の温度係数の測定

測定方法 : 試料を約50℃まで加熱後、自然冷却したときの粘度を測定。

粘度測定値 : 「測定開始時の粘度～測定終了時の粘度」を表示。

試料温度 : 「測定開始時の試料温度～測定終了時の試料温度」を表示。

温度係数 : 温度係数の計算式は以下となります。

$$\text{温度係数} = \frac{\text{終了時の粘度} - \text{開始時の粘度}}{\text{終了時の温度} - \text{開始時の温度}} \times \frac{1}{\text{粘度の平均値}} \times 100 (\%/^{\circ}\text{C})$$

SV-10Aによる測定結果

No.	分類	試料名	粘度 (測定値) [mPa·s]	試料温度 [°C]	温度係数 [%/°C]
42	薬品	水(精製水)	0.64~0.90	40.9~24.2	-2.0
43	家庭用品	洗濯糊	157~324	47.3~23.3	-2.9
44	化粧品	ファンデーション	61.2~189	48.3~26.1	-4.6
45	食品	チョコレートシロップ	660~2200	49.4~24.5	-4.3
46	食品	ガムシロップ	50.9~205	45.1~24.5	-5.8
47	食品	マスタード	631~2100	46.7~23.3	-4.6
48	食品	ソース(中濃)	107~159	46.9~27.0	-2.0
49	食品	サラダ油	20.5~50.8	48.8~24.3	-3.5
50	食品	ハチミツ	508~3750	48.0~26.4	-7.0
51	食品	お茶	0.47~0.72	56.2~38.0	-2.3
52	食品	寒天	2570~12000	72.9~48.6	-5.3
53	工業製品	シリコンオイル	643~919	45.6~26.4	-1.8

SV-100Aによる測定結果

No.	分類	試料名	粘度 (測定値) [Pa·s]	試料温度 [°C]	温度係数 [%/°C]
54	家庭用品	はみがき粉	5.15~9.14	63.9~24.9	-1.4
55	家庭用品	ハンドクリーム	2.55~28.5	46.0~22.9	-14.5
56	食品	ハチミツ	6.85~59.8	21.7~7.1	-10.9
57	食品	あんこ	22.5~48.9	50.0~22.2	-3.2
58	食品	海苔の佃煮	27.2~31.8	50.5~24.2	-0.6

(3) 試料の凝固点、曇点などの測定

温度-粘度のグラフを次ページ以降に記載しています。

SV-10Aによる測定結果

No.	試料名	温度変化の方法	結果
59	卵白	ヒータで加熱	60℃付近で凝固する (図43 参照) (たんぱく質が凝固する)
60	ラード	約70℃に加熱後、自然冷却	26℃付近で凝固する (図44 参照)
61	チョコレート (ビター)	約50℃に加熱後、自然冷却	25℃付近で凝固する (図45 参照)
62	チョコレート (ミルク)	約50℃に加熱後、自然冷却	25℃付近で凝固する (図45 参照)
63	ゼラチン (濃度5%)	温度コントローラで冷却	20℃付近でゲル化する (図46 参照)
64	ゼラチン (濃度2.5%)	温度コントローラで冷却	12℃付近でゲル化する (図46 参照)
65	口紅	約80℃に加熱後、自然冷却	65℃付近で凝固する (図47 参照)
66	ろうそく	約110℃に加熱後、自然冷却	60℃付近で凝固する (図48 参照)
67	ハンダフラックス (ペースト状)	約130℃に加熱後、自然冷却	70℃付近でゲル化する (図49 参照)
68	グリース A	約150℃に加熱後、自然冷却	100℃付近で凝固する (図50 参照)
69	グリース B	約150℃に加熱後、自然冷却	90℃付近で凝固する (図50 参照)
70	ガソリンエンジンオイル	約110℃に加熱後、自然冷却	100℃での粘度 : 7.64 mPa・s 40℃での粘度 : 45.4 mPa・s (図51 参照)
71	ディーゼルエンジンオイル	約110℃に加熱後、自然冷却	100℃での粘度 : 9.01 mPa・s 40℃での粘度 : 77.1 mPa・s (図52 参照)
72	非イオン界面活性剤 (濃度1%)	温度コントローラで加熱	JIS法による曇点 : 35.9℃ SV-10Aによる測定結果 : 35.4℃ (図53 参照)

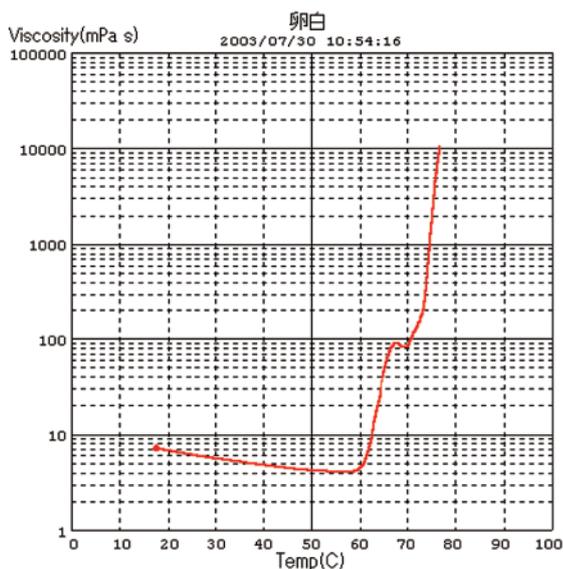


図43. 卵白の測定例 (SV-10A)

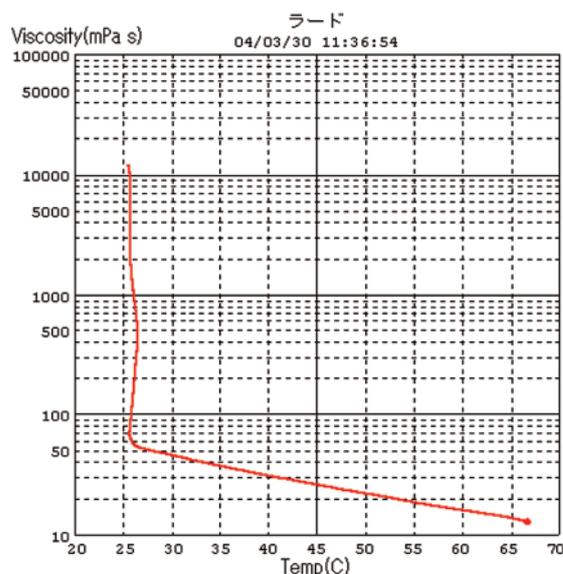


図44. ラードの測定例 (SV-10A)

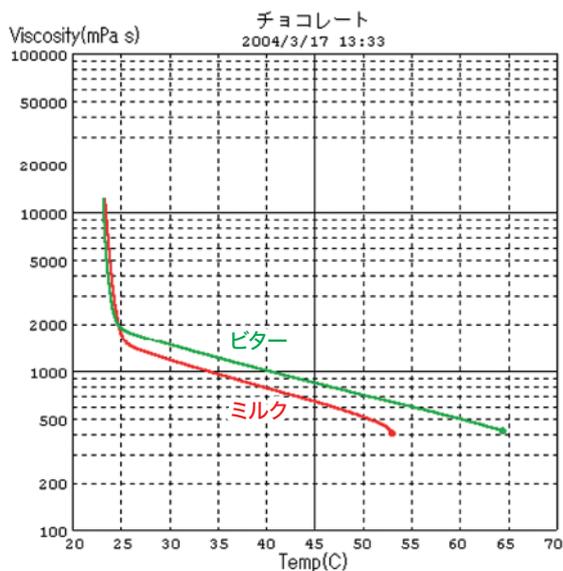


図45. チョコレートの測定例 (SV-10A)

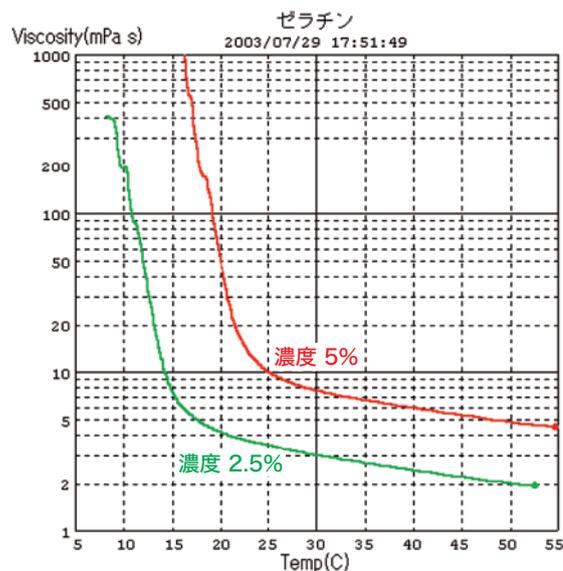


図46. ゼラチンの測定例 (SV-10A)

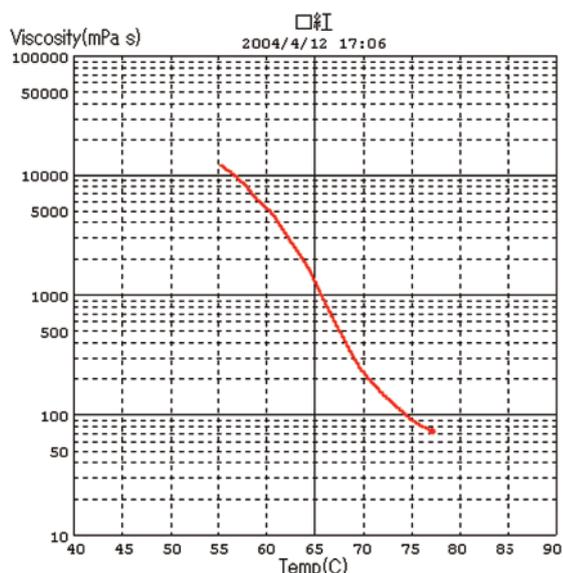


図47. 口紅の測定例 (SV-10A)

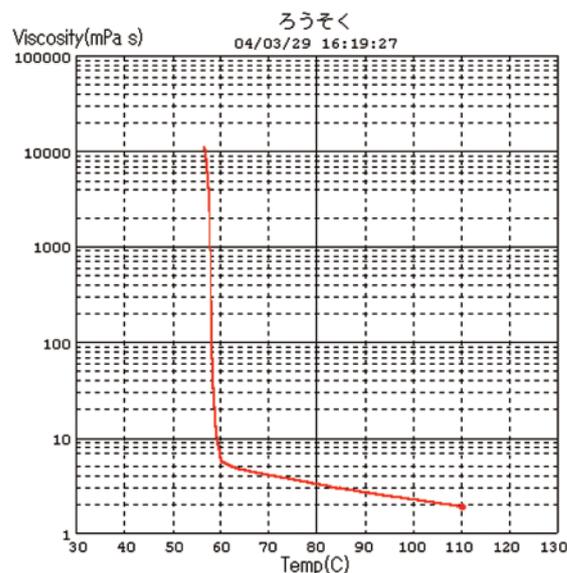


図48. ろうそくの測定例 (SV-10A)

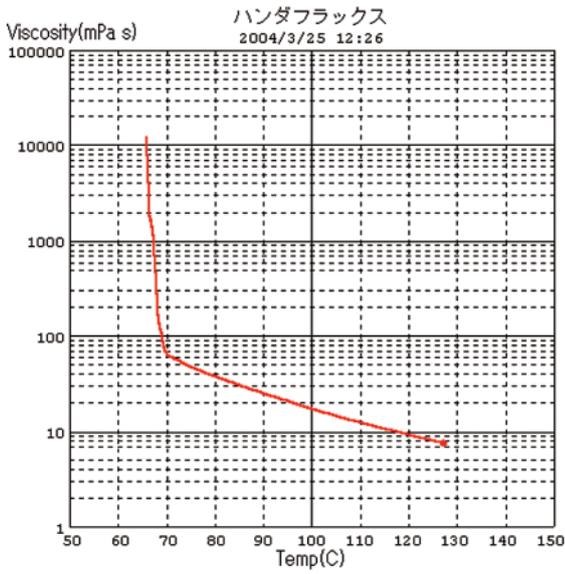


図49. ハンダフラックスの測定例 (SV-10A)

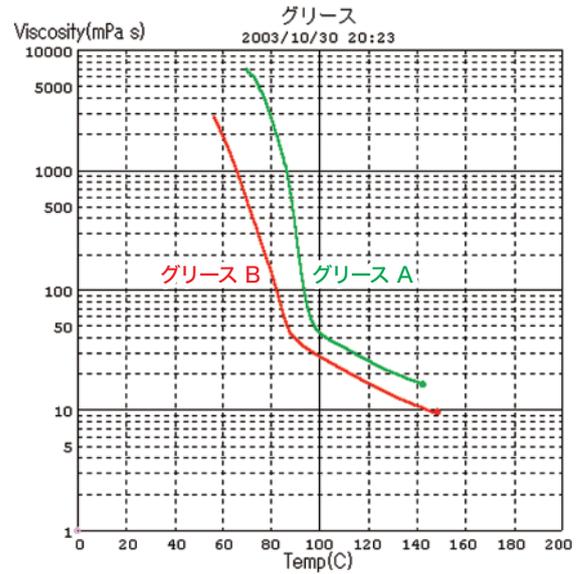


図50. グリースの測定例 (SV-10A)

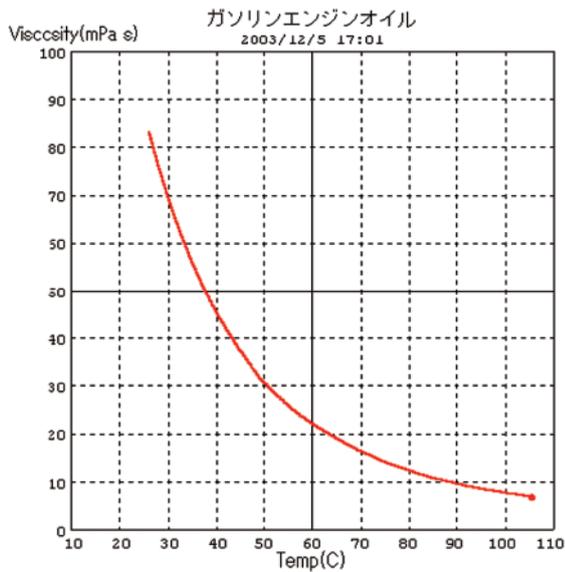


図51. ガソリンエンジンオイルの測定例 (SV-10A)

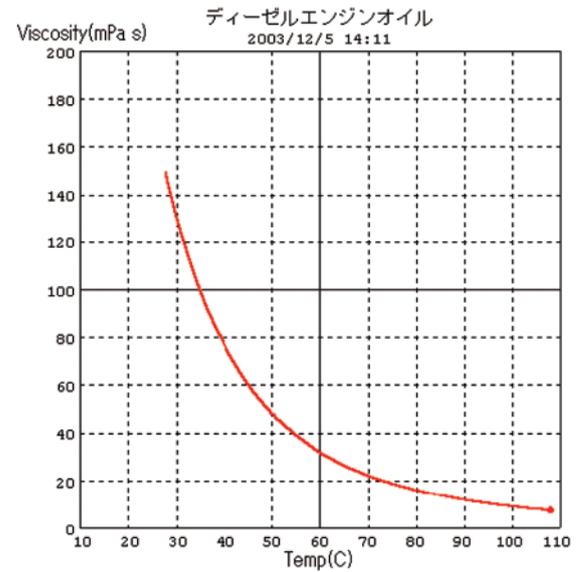


図52. ディーゼルエンジンオイルの測定例 (SV-10A)

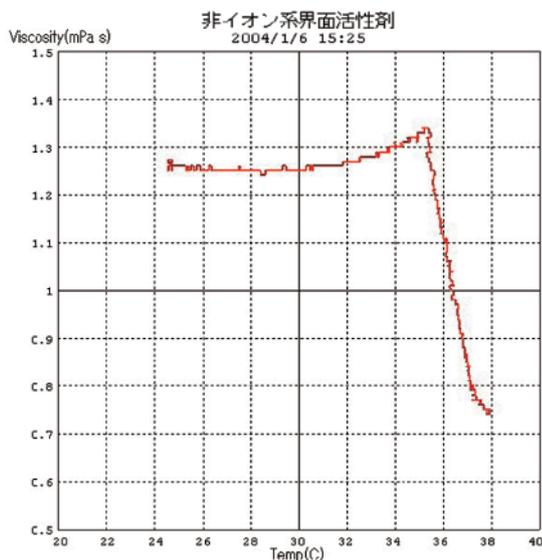


図53. 非イオン系界面活性剤の測定例 (SV-10A)

応用編

(4) 試料の濃度を変化させて測定**(a) エタノール**

測定方法：各濃度(重量比率)のエタノール水溶液に対する粘度を一定温度にて測定。

試料温度：25.0℃

SV-10Aによる測定結果(図32、33参照)

No.	試料名	粘度(測定値) [mPa·s]
73	エタノール水溶液(濃度100%)	0.89
74	エタノール水溶液(濃度80%)	1.49
75	エタノール水溶液(濃度60%)	1.98
76	エタノール水溶液(濃度40%)	2.17
77	エタノール水溶液(濃度20%)	1.70
78	精製水(濃度0%)	0.90

(b) ダイカスト離型剤

測定方法：各濃度(重量比率)のダイカスト離型剤に対する粘度を一定温度にて測定。

試料温度：23.5℃

SV-10Aによる測定結果(図34参照)

No.	試料名	粘度(測定値) [mPa·s]
79	ダイカスト離型剤(原液)	2.66
80	ダイカスト離型剤(2倍希釈)	1.50
81	ダイカスト離型剤(5倍希釈)	1.23
82	ダイカスト離型剤(10倍希釈)	1.02
83	ダイカスト離型剤(20倍希釈)	0.97
84	精製水	0.93

(c) 絶縁コーティング剤

測定方法：各濃度(重量比率)の絶縁コーティング剤に対する粘度を一定温度にて測定。

試料温度：22.5℃

SV-10Aによる測定結果(図35参照)

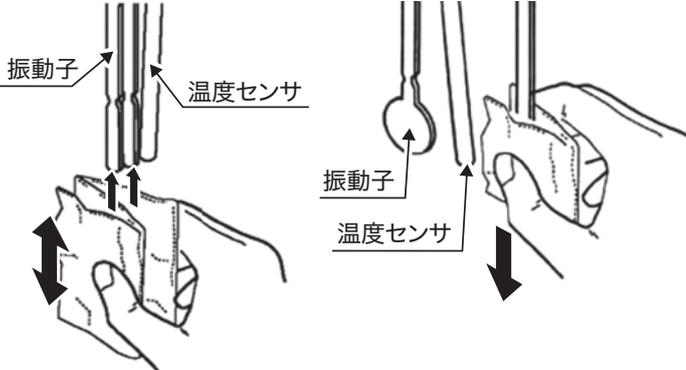
No.	試料名	粘度(測定値) [mPa·s]
85	絶縁コーティング剤(濃度100%)	14.7
86	絶縁コーティング剤(濃度85%)	10.1
87	絶縁コーティング剤(濃度50%)	3.49
88	希釈液	0.75

メンテナンス 編

A. 振動子について

No.	Question	Answer
35	振動子はユーザで交換できますか。	お客様では交換することはできません。 振動子に試料が硬化、付着して取り除けない場合や破損した場合は、測定部、表示部と一緒に送っていただき、メーカーで交換および調整してお返しすることになります。

B. 清掃について

No.	Question	Answer
36	測定部の清掃は どうすればよいのですか？	<p>測定終了後、振動子や温度センサ、プロテクタに付着した試料は洗浄液や溶剤などで洗浄してください。特に硬化してしまう試料の場合は測定終了後すみやかに清掃してください。 また同様にサンプル容器も清掃してください。 また室温で揮発してしまう洗浄液でない場合は、最後に純水で洗浄液を拭き取り乾かしておく、次の試料測定に影響が出ません。</p> <p>洗浄方法は、下の図のように振動子や温度センサ、プロテクタをティッシュペーパーなどで軽く挟み、上部から下の方向へ動かして付着した試料を拭き取ります。下部から上部へ動かすと振動子が座屈し破損する場合があります。</p> <p>続いてティッシュペーパーに洗浄液や溶剤などを含ませて同様に清掃、必要に応じて最後に純水で清掃してください。</p> <p>通常、軽く挟んで清掃する場合には振動子や温度センサ、プロテクタは破損することはありませんが、必要以上の無理な力は加えないようにしてください。</p> <p>拭き取り難い場合は、別売品AD-1686(超音波洗浄器)をご利用ください。</p> 

C. 故障かなと思ったら

No.	Question	Answer
37	測定値が安定しない場合	<ul style="list-style-type: none"> ● 周囲の振動や風は問題ありませんか？ <ul style="list-style-type: none"> ・ 防振台AD-1685を使用してください。 ・ 風が粘度計に直接あたらないようにしてください。 ・ 粘度計の内部設定(環境設定)を見直してください。 ● 周囲にモータなどの強いノイズ、振動の発生源はありませんか？ ● プロテクタ、センサ保護カバーが振動子、温度センサに接触していませんか？ <ul style="list-style-type: none"> ・ 接触している場合は、正しい位置にセットしてください。 ・ プロテクタ、センサ保護カバーは取り外すことができます。 ● SV-1Aの場合、振動子が2ml容器の内壁に接触していると表示が不安定になります。振動子と容器内壁の位置を再調整してください。 ● 水道水を直接サンプル容器に入れて測定すると、圧力差、温度差から振動子表面に気泡が発生し徐々に粘度の上昇が測定されることがあります。 水道水は加圧されており、気泡が発生しやすいので、加圧されていない蒸留水や精製水のご利用をお勧めします。また、振動子と液体を測定前に同一環境に放置し、温度差を減らす事をお勧めします。
38	測定値が正しくない場合	<ul style="list-style-type: none"> ● 液面が左右の振動子のくびれ中央にくるように調整されていますか？ <ul style="list-style-type: none"> ・ 液面の位置が合っていない場合はテーブルの高さを調整してください。 ● 左右の振動子で液面位置が異なっていませんか？ <ul style="list-style-type: none"> ・ 異なっている場合は計測部の水平がとれていません。 足コマで左右の高さを調整してください。振動子の厚さが0.3mmしかないため、前後の傾斜にはほとんど測定感度はありません。 ● 振動子が曲がっていませんか？ <ul style="list-style-type: none"> ・ 曲がっている場合は修理を依頼してください。 ● 測定サンプル温度と周囲温度に差があり、気泡が発生して、振動子に付着していませんか？ ● 校正を行いましたか？ <ul style="list-style-type: none"> ・ 粘度の絶対値が問題となる測定の場合、標準液による定期的な校正をお勧めします。
39	温度表示が正しくない場合	<p>計測部と表示部が接続ケーブルで正しく接続されているか確認してください。計測部と表示部はセットで調整されていますので、異なるシリアルナンバー間での接続は行わないでください。</p>
40	左側の振動子だけが大きく振動している場合	<p>硬化過程の測定時に、右側の振動子のみが先に固まってしまうとこのような現象が起こることがあります。サンプルを良く攪拌して振動子の接する左右のサンプル状態を同じにしてから再度測定を行ってください。</p>

音叉振動式粘度計 SV-Aシリーズ ・ 製品仕様

測定方式 SV型(音叉振動式) / 固有振動数 30Hz

粘度測定範囲 SV-1A : 0.3~1000mPa·s

SV-10A : 0.3~10000mPa·s

SV-100A : 1~100Pa·s

粘度測定再現性 1%(標準偏差)

最小表示

測定粘度レンジ (mPa·s)	SV-1A		SV-10A		SV-100A
	最小表示 (mPa·s)	最小表示 (Pa·s)	最小表示 (mPa·s)	最小表示 (Pa·s)	最小表示 (Pa·s)
0.3~10	0.01	0.0001	0.01	0.0001	——
10~100	0.1	0.0001	0.1	0.0001	——
100~1000	1	0.001	1	0.001	——
1000~10000	——	——	10 ^{*1}	0.01	0.01
10000~100000	——	——	——	——	0.1

粘度表示単位 mPa·s^{*2}、Pa·s、cP^{*2}、P

動作温度範囲 10~40℃

試料量 2mℓ以上^{*3}、10mℓ以上

試料温度測定部 0~160℃

温度測定精度 ±0.5℃ (20~30℃)

±1℃ (0~20℃)

±2℃ (30~100℃)

±4℃ (100~160℃)

表示部 蛍光表示管

接続ケーブル長 約1.5m (測定部-表示部間)

通信機能 RS-232C

電源 AC アダプタ (AX-TB135: AC100V (+10%、-15%)、50/60Hz)

消費電力 約14VA (AC アダプタを含む)

外形寸法/自重 計測部 112W×132D×291H (mm) / 約5.0kg

表示部 238W×132D×170H (mm) / 約1.3kg

共通標準付属品 AC アダプタ (AX-TB135) 1個

接続ケーブル (1.5m) 1本

キャリングケース

※1 単位は Pa·s になります

※2 SV-1A/10A

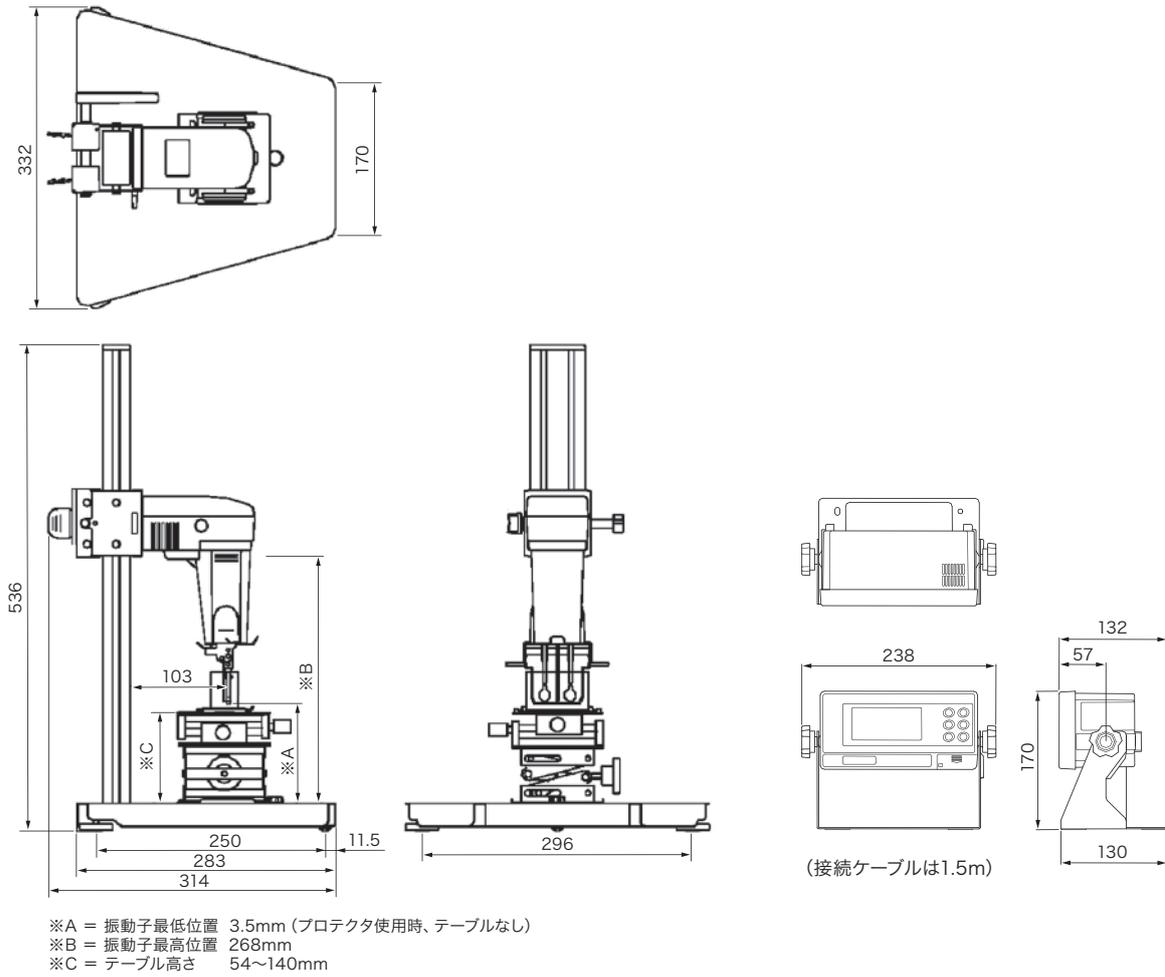
※3 SV-1A のみ

別売品

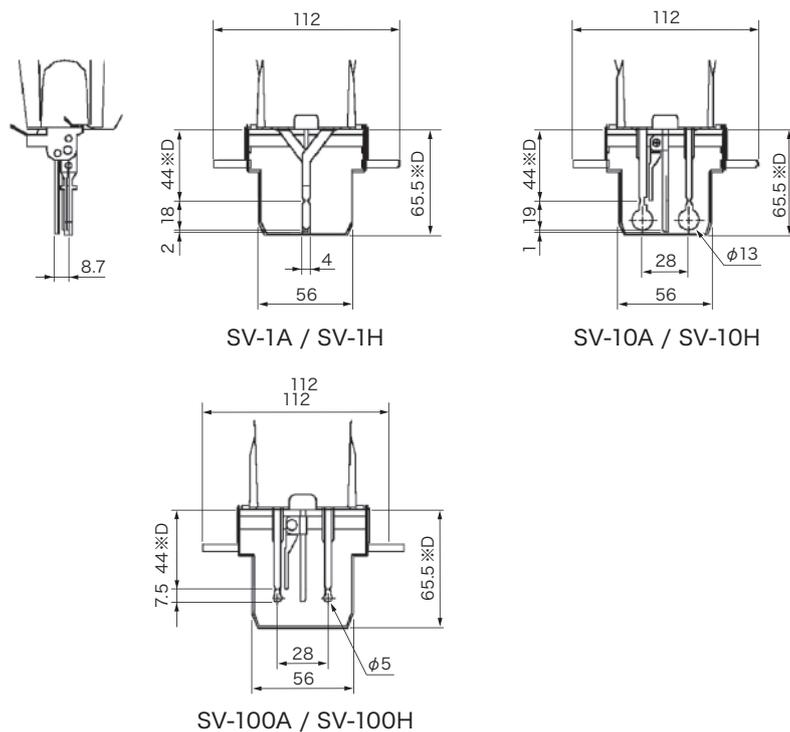
AX-SV-31-2.5	粘度計校正用標準液 (JS2.5)
AX-SV-31-5	粘度計校正用標準液 (JS5)
AX-SV-31-10	粘度計校正用標準液 (JS10)
AX-SV-31-20	粘度計校正用標準液 (JS20)
AX-SV-31-50	粘度計校正用標準液 (JS50)
AX-SV-31-100	粘度計校正用標準液 (JS100)
AX-SV-31-200	粘度計校正用標準液 (JS200)
AX-SV-31-500	粘度計校正用標準液 (JS500)
AX-SV-31-1000 ^{*4}	粘度計校正用標準液 (JS1000)
AX-SV-31-2000 ^{*5}	粘度計校正用標準液 (JS2000)
AX-SV-31-14000	粘度計校正用標準液 (JS14000)
AX-SV-31-160000 ^{*6}	粘度計校正用標準液 (JS160000)
※4 SV-10Aのみ使用可能 ※5 SV-100Aで使用する場合25°C以下で使用してください ※6 SV-100Aのみ使用可能	
AX-SV-33	サンプル容器 (PC (ポリカーボネート) 製、容量45mℓ) 付属品と同じもの10個セット
AX-SV-34	少量サンプル容器 (PC製、容量10mℓ) 10個セット、フタ10個付き
AX-SV-35	ガラス容器 (容量約13mℓ)
AX-SV-36	位置決め用ストッパー
AX-SV-37	循環水ジャケット (本体:PC 製、パッキン:シリコンゴム製)、少量サンプル容器、フタ各4個付き
AX-SV-38	ガラス保存容器 (容量 約60mℓ、内径47mm) 10個セット
AX-SV-39	プラスチック (PP) 製保存容器 (容量 約120mℓ、内径50mm) 20個セット
AX-SV-42	アナログ電圧出力 (0~1V)
AX-SV-43	延長ケーブル (5m) 計量部と表示部接続延長用
AX-SV-51	スタンドセット (計量部固定スタンド×1個、X-Y-Z ステージ×1個、スライダ×1個)
AX-SV-52	X-Y-Z ステージ×1個
AX-SV-53-JA	ソフトウェアセット (シリアルUSB コンバータ付属) (WinCT-Viscosity×1個、RS232C ストレートケーブル×1個、シリアル-USBコンバータ×1個)
AX-SV-54	容器セット (容量10mℓ・13mℓ・45mℓ) (循環水ジャケット付き) (サンプル容器 (容量45mℓ) ×5個、少量サンプル容器 (容量10mℓ) ×5個、少量サンプル容器フタ ×5個、ガラス容器 (容量13mℓ) ×2個、ガラス容器ホルダ×1個、循環水ジャケット×1個)
AX-SV-55	容器セット (容量2mℓ) (循環水ジャケット付き) (サンプル容器 (容量2mℓ・フタ付き) ×10個、ガラス容器 (容量2mℓ) ×10個、容器ホルダ (容量2mℓ用) ×5個、容器台 (2mℓ用) ×1個、循環水ジャケット×1個、サンプル容器 (45mℓ) ×5個) ^{*6}
AX-SV-56-1	容器ホルダ×5個 (透明) ^{*6}
AX-SV-56-2	容器ホルダ×5個 (黒色) ^{*6}
AX-SV-57	容器台 (容量2mℓ用) ×2個 ^{*6}
AX-SV-58	サンプル容器 (容量2mℓ・フタ付き) ×100個 ^{*6}
AX-SV-59	ガラス容器 (容量2mℓ) ×5個、容器台 (容量2mℓ用) ×1個 ^{*6}
AX-SV-60	角型ガラス容器 (容量2mℓ) 2個セット
AX-SV-61	電磁スターラー (リモート・マイクロ型)
AD-8121B	コンパクト・プリンタ
AD-1682	充電式バッテリー・ユニット
AD-1671A	除振台
AD-1686	超音波洗浄器

*6 SV-1Aのみ使用可能

外形寸法図 単位: mm



センサ部詳細 単位: mm



※D = センサカバーからの寸法

Alphabet

cP(単位)・5
 cSt(単位)・5
 mPa・s(単位)・5
 Pa(単位)・5
 Pa・s(単位)・5
 RS-232C・20、21
 RsCom・21
 RsKey・21
 RsVisco・21
 St(単位)・5
 WinCT-Viscosity・20、21

あ行

インライン測定・17
 Windowsデータ通信ソフトウェア・20、21
 ウスターソースの粘度測定例・36
 運動粘性率・5
 SV-Aシリーズ製品仕様・46
 SV-Aシリーズ外形寸法図・48
 SV型・14
 SV-Aシリーズの測定方式・14
 SV-Aシリーズのしくみと特長・13
 SV-Aシリーズの表示する粘度(粘度×密度)・11、6
 オーバーフロー槽・17
 音叉振動式粘度計・13

か行

界面活性剤・29
 回転子・6
 回転式粘度計・6
 回転式粘度計の原理・6
 カップ式粘度計・8
 完全流体・3
 記号のミニ解説・8
 擬塑性流体・4
 共軸二重円筒形粘度計・6
 共振振動・13
 クエットの流れ・4
 グラフソフトウェア・21
 繰り返し性・12、15
 鶏卵卵白・33
 検査成績書・12
 工業製品の粘度測定例・24
 校正の方法・11
 降伏応力・4
 固有振動数・13

さ行

細管式粘度計・7
 細管式粘度計の原理・7
 再現性・12、15
 最小表示・15
 食品の粘度測定例・33
 シリコンオイルの測定例・22
 試料温度の変化と粘度の変化・16
 試料の液面レベル・18
 試料の温度範囲・16
 試料の量・15
 振動子・6
 振動式粘度計・6
 振動式粘度計の原理・6
 振動子の交換・44
 水性塗料の粘度測定例・30
 水性ニス of 粘度測定例・30
 水性ペイント(黒)の粘度測定例・30
 ストークス(単位)・5
 ずり応力・4
 ずり速度・4
 清掃について・44
 接線応力・3
 セメント材の硬化過程と粘度測定例・24、25
 セメントペーストの水分率と粘度測定例・24
 ゼラチンの粘度測定例・35
 せん断応力・4
 せん断速度・4
 センサ部の材質・17
 センチストークス(単位)・5
 センチポアズ(単位)・5
 測定結果のプリント出力・20
 測定時間・15
 測定中における試料温度の同時測定・16
 測定データの収集と保存・20、21
 測定部の清掃・44
 塑性流体・4

た行

対数軸・34
 ダイラタント流体・4
 単一円筒形回転粘度計・6
 単位の切り換え・15
 チクソトロピー・4
 定トルク方式・6
 データ解析・21
 データ収集と保存・20、21
 データ送受信ソフトウェア(RsCom)・21
 データ転送ソフトウェア(RsKey)・21
 低粘度の試料を測定・17
 トレーサビリティ体系図・12
 動粘性係数・5
 動粘性率・5
 動粘度・5
 動粘度の測定・18
 動粘度の単位・5
 曇点・13、29

な行

ニュートンの粘性法則・4
 ニュートン流体・4
 濡れ性・13
 粘度・4
 粘度計校正用標準液・9
 粘度計の校正・10、11
 粘度測定過程および測定結果のグラフソフトウェア・21
 粘度の幾何学的定義・5
 粘度の国際標準・9
 粘度の絶対値測定・18
 粘度の第一次標準・9
 粘度の単位・5
 粘度の標準・9
 粘度のミニ解説・5
 粘性・3
 粘性係数・4
 粘性率・4
 粘性流体・3

は行

パスカル(単位)・5
 パスカル・秒(単位)・5
 非イオン系界面活性剤・29
 比重・18
 非ニュートン流体・4
 非ニュートン流体の粘度測定・17
 非粘性流体・3
 非ビンガム流体・4
 ビンガム流体・4
 フォードカップ粘度計・8
 プリンの粘度測定例・35
 分解能・15
 ポアズ(単位)・5
 ポアズイユの法則・7
 法線応力・3

ま行

水の粘度・9、10
 水の粘度と温度との相関関係・10
 水の粘度と動粘度・10
 密度・11、18、6、
 ミリパスカル・秒(単位)・5
 メンテナンス・44
 毛細管式粘度計・7
 モルタル材の硬化過程と粘度測定・24、25
 モルタル材の水分率と硬化過程、粘度測定例・25
 モルタル材の環境温度と硬化過程、粘度測定例・25

ら行

落体式粘度計・7
 落体式粘度計の原理・7
 卵白の粘度測定例・33
 流体の種類と代表例・5
 流体の物理学的分類・3
 流動状態の試料の粘度測定・17

粘度計 *SV-A series* *Users' Handbook*

東証1部上場(コード:7745)

AND 株式会社 **エーアンド・デイ**

本社:〒170-0013 東京都豊島区東池袋3丁目23番14号
TEL.03-5391-6128(直) FAX.03-5391-6129

■札幌出張所	TEL.011-251-2753(代)	FAX.011-251-2759
■仙台出張所	TEL.022-211-8051(代)	FAX.022-211-8052
■宇都宮営業所	TEL.028-610-0377(代)	FAX.028-633-2166
■東京北営業所	TEL.048-592-3111(代)	FAX.048-592-3117
■東京南営業所	TEL.045-476-5231(代)	FAX.045-476-5232
■静岡出張所	TEL.054-286-2880(代)	FAX.054-286-2955
■名古屋営業所	TEL.052-726-8760(代)	FAX.052-726-8769
■大阪営業所	TEL.06-7668-3900(代)	FAX.06-7668-3901
■広島営業所	TEL.082-233-0611(代)	FAX.082-233-7058
■福岡営業所	TEL.092-441-6715(代)	FAX.092-411-2815

<http://www.aandd.co.jp>

* SV HANDB-ADJC-05-PR4-14b005