

NEVA[®] METER

曳糸性・牽糸性・凝固性測定装置



レオロジーの新たなステージへ。

Simple & Easy



ア
ル
コ
ウ
ニ
ク
ス
テ
ム
ズ

あらゆる流動物質の曳糸長測定試験、凝固分析試験用として極めてシンプルな測定器で、弾性の強い試料・検体を測定するウェット測定法、粘性の強い試料・検体を測定するドライ測定法、とを組み合わせる事により、診断検査、開発、品質管理、工程分析の現場で、リアルタイムに有益なデータを取得することができます。また、ウェット測定法に時間的概念を取り入れた凝固測定法では、血液凝固分析など検体の凝固反応を経時的に連続自動測定することができます。もっとも身近な単位系ミリメートルで測定結果を表示する、より直感的な測定器です。

特長

- ・極めて少量の試料・検体で測定できます。
- ・試薬調整の必要がありません。
- ・経時変化を読みとることが出来ます。
- ・緊急性に優れています。
- ・試料・検体に与える物理的影響が微少です。
- ・ランニングコストがかからないので、スクリーニングテストに最適です。
- ・小形、軽量で、持ち運びが簡単です。

適用例

- 分野を越えたあらゆる流動物質の測定に使用できます。
医療介護の現場で ……
唾液、血液、頸管粘液などの体液、介護食品のとろみなど
- 食品・飲料製造の現場で ……
調味料、スープ、ドレッシング、ヨーグルトなど
- 生活用薬液製造の現場で ……
化粧品、リンス、歯磨、薬用クリームなど
- 新製品開発・品質管理の現場で ……
コーティング液、印刷液、塗料、オイルなど
- 研究の現場で ……
各種動植物液など

曳糸性・引張荷重測定

NEVA METER IMI-0901



ユニークなデスクトップ測定機登場！

あらゆる流動物質の曳糸長・引張荷重を測定する極めてシンプルな測定機です。
従来の様々な曳糸長測定に加え、電子天秤の搭載で引張加重の測定も可能にしました。
0.01mm単位で伸びを、0.1mg単位で荷重変動の測定結果を表示します。

■機器構成

NEVAMETER

電子天秤:最大秤量220g／データ転送率92/bps／最小表示0.1mg

コンピューター:省スペースFAコンピュータ／液晶19インチモニター／外付け320GB HDD

データ管理も専用ソフト「Neva Call」で、ラクラク。



「NEVA CALL」は、NEVA METERとパソコンを接続して、測定した結果をその場で確かめ、正しい測定を確認しながら記録する事が出来ます。測定値をグラフィックにリアルタイム表示し、測定対象毎に、測定環境や治具の記録をはじめ、測定結果を時系列に記録し、事後処理や統計処理に利用できるよう構成しています。測定結果の評価や整理に便利です。



測定記録画面



測定結果確認画面

1. なぜ糸を引くのか？

曳糸性とは、水あめや納豆などに見られる様な長く糸状に伸びる性質をいいます。医学分野では牽糸性、繊維関係では紡糸性とも呼ばれますが同じ性質を指しています。



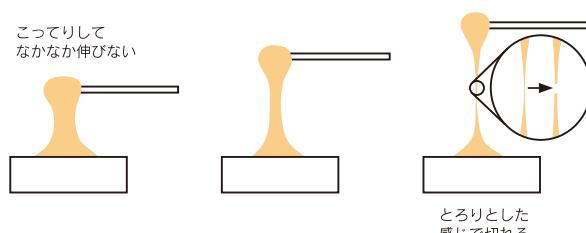
では、糸を曳かないで丸くなる水などの液体と、糸を曳く水あめや納豆ではどこが異なるのでしょうか？実は、下に説明する様に、水と水あめや納豆とは、粘性の大きさ、粘弾性の存在という点で異なります。ここでは詳細には立ち入らず、解りやすさに重点をおいてお話をしたいと思います。



注意しないといけないのは、見かけは同じでも、納豆と水あめの糸曳きは違う仕組みで起きているので2つの場合を別に考えなければならない事です。

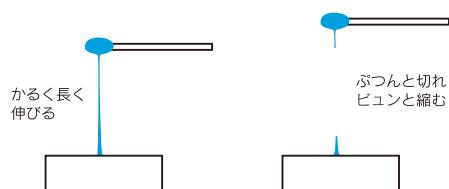
●水あめの糸曳き

この様な物質と純粋な水との異なる点は、ドロッとした性質（粘性）が非常に高いかどうかです。同じ性質を示すものにアラビア糊や熔けかかったガラスやプラスチックなどがあります。この場合、よく見ると糸の上から下へゆっくりとした流れが見られます。また、糸はとろりとした感じで切れ、切れ端は水滴が縮まる時の様に丸くなります。糸を細めたり、切れ端を縮める力は表面張力です。付録1



●納豆などの糸曳き

水あめ程にはドロッとしている液でも、絡まりあっている糸状物質（高分子）が含まれる場合なども糸を曳きます。この場合の純粋な水との相違点は、高分子が含まれるかどうかです。サトイモやトロロイモの粘液、唾液、関節液などの糸曳きがこの場合に当たります。この場合、液がドロッとしているのでかるく長く糸を曳く事ができます。また、糸曳きをして切れた後は、ゴムが縮むようにピュンと縮む点が特徴です。



ここまででは、端的な2つの例として、水あめと納豆の例について説明してきました。一般的な場合は、2つの要素が混ざり合っていますので、その要素の混じり方により水あめと納豆を両極端にした間の性質を示す事になります。

2. 曳糸長から分かる事

上に書いた様に糸を曳くしくみには、水あめ、納豆で代表される2つの場合があり、糸曳きの長さから分かる事もそれぞれの場合で異なってきます。

解りやすく説明するため、これから説明では急な引張りや大変形により生じる複雑な事は省略します。

●粘性が糸曳きの主な原因である場合

まず、水あめの糸曳きの場合の様に粘性が糸曳きの主な原因である場合の曳糸長について考えてみます。

・曳糸長について

糸の細まり方が表面張力のみの影響を受け、引張る速さに依存しないと仮定してモデル計算を行うと、〔平井(日)本化学雑誌 75巻10号1019頁)、後藤ら(材料試験6巻43号245頁)(付録1)〕

$$L \sim R \times V \times \eta / \gamma$$

L : 曳糸長
R : 糸の半径
V : 曳糸速度
 η : 粘性係数
 γ : 表面張力

という関係が導けます。RとVは、既知の量、設定する量ですので、曳糸長から表面張力に対する粘性係数の比 η / γ

がわかる事になります。

・糸を曳く条件

上の場合について、「糸を曳く」という事を $L/R \geq 1$ 、つまり半径以上に糸が伸びている状態であると決める、前節の式から

$$V \times \eta / \gamma \geq 1$$

という関係が成り立つ事がわかります。この結果から、曳糸長は

曳糸速度が速く、粘性が大きく、表面張力が小さくなる程、顕著になる事がわかります。

・曳糸の為の η と γ との間の条件

糸を曳く為に必要な η と γ との間の条件を求めてみましょう。

上の式を両辺 V で割ると、

$$\eta / \gamma \geq 1 / V$$

という関係が成り立ちます。今、cgs 単位系を使い、 $V = 0.5$ (cm/s) と仮定すると

$$\eta \geq 2 \gamma$$

という関係が導かれます。つまり、曳糸速度が 0.5 cm/s の場合には、

η が γ の2倍以上である事が、「糸を曳く」条件である事がわかります。

●粘弾性や弾性が糸曳きの主な原因である場合

納豆の様な絡まりあう高分子が含まれる場合では、粘弾性や弾性が関係し、糸を曳いて切れる過程は解析が複雑です。

この場合の曳糸長は、上の場合と異なり表面張力とはあまり関係ではなく、粘性と関係が深いのですが唯一の原因とは考えられていません。

ここでは、簡単な力学モデルで説明を行います。この様な液体を棒につけて引き上げる時の様子は下の2つのタイプになります。

・マックスウェルモデル

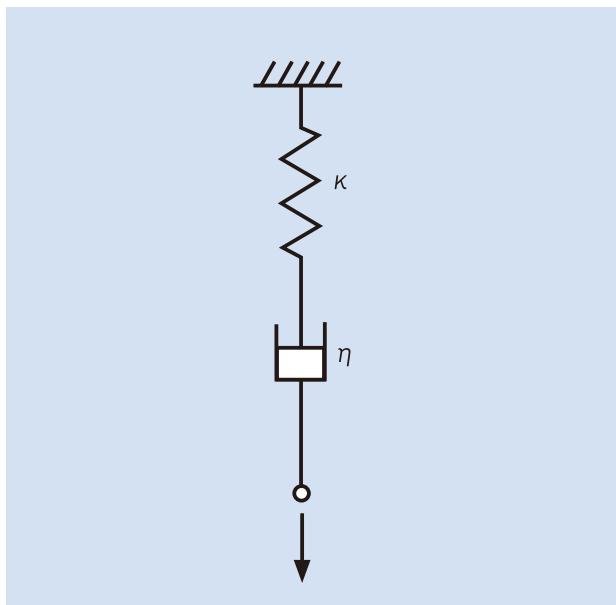
1つめのタイプは、引き上げ速度に依存して様子が変化するもので、引上げ速度が極端に遅ければ粘性的で糸を長く曳かず、またあまりにも急激に引上げれば切断し、その間の適当な速度でのみ糸を曳くものです。この様な性質は粘弾性と呼ばれ、一種の力学緩和現象です。

この様子を良く表す力学モデルが、右図の様にバネとダッシュポット（ダンパー）を直列につないだマックスウェルモデルと呼ばれるものです。

このモデルによる曳糸長の式の形は水あめの場合と似ていて

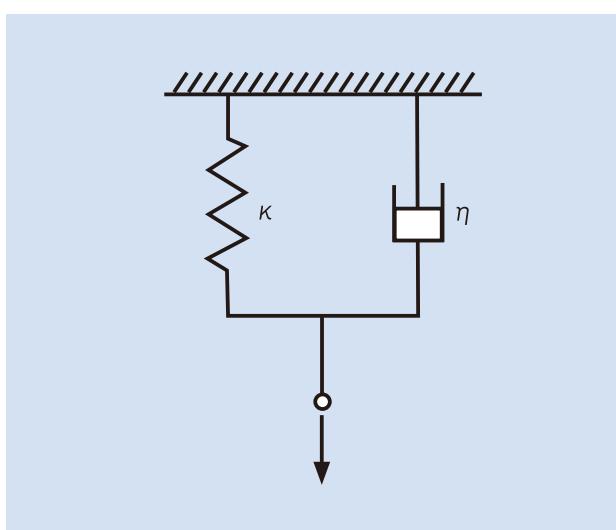
L (曳糸長) $\sim V$ (曳糸速度) $\times \eta$ (粘性定数) $/ k$ (バネ定数)

となります。



・フォークトモデル

もう1つのタイプは、もっと絡みあいが強固になったもので、ゴムが伸びるように伸張し、破断するものです。2番目のタイプのものの様子を良く表すものは、右の図の様にバネとダッシュポットを並列につないだフォークトモデルと呼ばれるものです。この場合の曳糸長は、一般的には計算する事はできません。



3. いくつかの場合について

・粘性と曳糸性の違い

これまで説明してきました様に、曳糸性は、物質に関する量としては粘性以外にも、水あめの様な場合には表面張力に、納豆の様な場合に弾性定数に依存します。従って、粘性係数が同じでも他の量が異なれば、違った値を示します。

また、複雑になるのでこれまで説明しませんでしたが、実際の事情は、下に書く様にもっと複雑です。

通常、粘性係数は、定常的な運動や微少振幅の振動により求められます。それに対し、曳糸長を求める実験は、静止状態から急に大きく引張り上げるものですから運動は非定常的でかつ大変形なものとなり、過渡現象や非線形現象とも捉えられるものです。そう言う意味でも、曳糸性は通常の粘性とは異なる条件で現れる性質です。

・水性塗料に水が加えられた時の曳糸性

水性塗料は、カゼイン、膠、酢酸ビニルなどの水溶性結合剤の水溶液に顔料を混合したのですが、これに水を加えると、後述する水素結合により水溶性結合剤が若干高分子化して水あめの様に粘性が増加、納豆の様に高分子のからまりや網目の形成が起こり曳糸性が増すと考えられます。

・水に砂糖を加えていった場合の曳糸長の変化

曳糸性には、粘性と共に表面張力も関係している事は上に説明しました。

液体に物質が溶けるとき溶液の表面張力が減少する現象を界面活性と呼びますが、それに対し、表面張力がほとんど変わらない事を表面不活性といいます。砂糖は、水に対して表面不活性を示す物質です。従って、水に砂糖を加えていても表面張力はあまり変化しません。

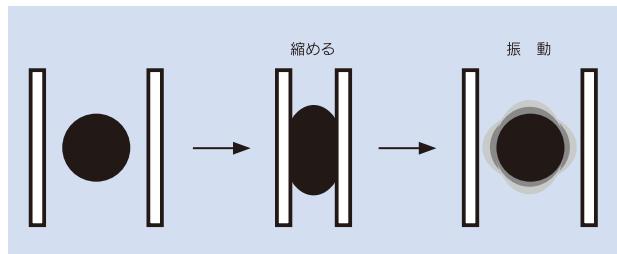
では、粘性の方はどうでしょうか。砂糖は、水の水素と水素結合を作りやすい水酸基をもち、水を構造化することが知られています。これにより、水の粘性が増加します。

従って、表面張力はあまり変化せず、粘性が上昇しますので曳糸長は長くなると考えられます。(糖の濃度が大変大きくなつたものが水あめです。)

内部分子同士の相互作用には弾性を起こす成分がない液体でも、液滴の様に、他の物質との界面が存在すると界面(表面)積を小さくしようとする界面(表面)張力が発生します。この界面(表面)張力のより弾性力が生じ、曳糸性に影響を与えます。

ここでは、平井の報告(日本化学会誌 75巻 10号 1019頁)を基にして説明させていただきます。

今、下の図の様に水銀の液滴を2枚のガラス板にはさんで急に離した場合を考えましょう。



板を離すと、水銀は一番右の図の様に振動をします。

水銀原子同士には振動を起こす程大きな弾性的相互作用はありませんが水銀液滴の様に表面が存在すると液滴自身の表面積を小さくしようとする表面張力が発生し、変形の復元力として働くために上の様な振動が起こります。

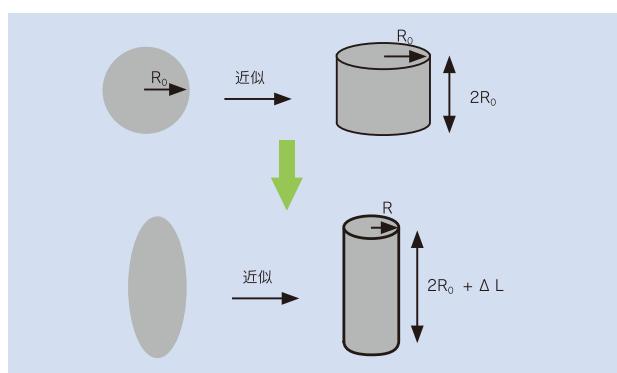
見かけ上は、弾性体や粘弾性体が示す性質と同じですがこれらの物質では絡み合いなどの内部構造からこの様な性質が出てきますので液体内部では弾性的な力が生じませんので区別が必要です。

特に表面張力の大きい水銀を例にとって説明しましたが、この様な弾性的復元力は、水あめの様な高粘性液体を引っ張った時の側面方向への径の細まり方に大きな影響を与え、以下で導出する様に、この様な物質の曳糸長を決定する事になります。

●粘性が支配的な場合の曳糸長の算出

水あめの様な場合には、内部からは弾性的な性質は出てきませんが、表面が存在する事により弾性的な性質を生じる事を述べました。次にこの擬似的な弾性が曳糸にどの様に影響を与えるかを見ていきましょう。

まず始めに、擬似的弾性による引っ張りひずみと応力間の比例定数であるヤング率を算出してみましょう。



具体的には、上図の様に、球を引っ張り、右の様に楕円体になつた場合を考えます。

そのままでは複雑ですので、問題を簡単にする為に

- ・始める状態(球) ⇒ 底面の半径 R_0 、高さ $2R_0$ の円柱
- ・引っ張り後(楕円体) ⇒

底面の半径 R 、高さ $2R_0 + \Delta L$ の円柱
でそれぞれの場合を近似します。 $(\Delta L \ll R_0$ と仮定します。)

素材は液体ですから、引っ張っても体積 V は変化しないと考えると、

$$(始める体積) = \pi R_0^2 \cdot 2R_0 = 2\pi R_0^3$$

$$\text{(後の体積)} = \pi R^2 \cdot (2R_0 + \Delta L)$$

$$\therefore R^2 = 2\pi R_0^3 / \{\pi (2R_0 + \Delta L)\} = R_0^2 (1 + \Delta L / 2R_0) - 1$$

$$R = R_0 (1 + \Delta L / 2R_0) - 1 / 2$$

より R と ΔL の関係が得られます。

次に、引っ張る前と後の表面積を求めます。

$$\text{(始めの表面積: } S_0) = 2 \times \pi R_0^2 + 2\pi R_0 \times 2R_0 = 6\pi R_0^2$$

$$\begin{aligned} \text{(引っ張り後の表面積: } S) &= 2 \times \pi R^2 + 2\pi R \cdot (2R_0 + \Delta L) \\ &= 2\pi R_0^2 (1 + \Delta L / 2R_0)^{-1} + 2\pi R_0 (1 + \Delta L / 2R_0)^{-1 / 2} (2R_0 + \Delta L) \\ &= 2\pi R_0^2 (1 + \Delta L / 2R_0)^{-1} + 4\pi R_0^2 (1 + \Delta L / 2R_0)^{1 / 2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 2\pi R_0^2 \{(1 + \Delta L / 2R_0)^{-1} + 2(1 + \Delta L / 2R_0)^{1 / 2}\} \\ \text{近似式 } [1 > > x \text{ の時: } (1+x)^n \approx 1 + nx + n(n-1)x^2 / 2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\approx 2\pi R_0^2 [\{1 - (\Delta L / 2R_0) + (\Delta L / 2R_0)^2\} \\ &+ 2\{1 + 1/2(\Delta L / 2R_0) - 1/8(\Delta L / 2R_0)^2\}] \\ &= 2\pi R_0^2 [1 - (\Delta L / 2R_0) + (\Delta L / 2R_0)^2 \\ &+ 2 + (\Delta L / 2R_0) - 1/4(\Delta L / 2R_0)^2] \\ &= 2\pi R_0^2 \{3 + 3/4(\Delta L / 2R_0)^2\} \\ &= 6\pi R_0^2 + 3\pi(\Delta L)^2 / 8 \end{aligned}$$

となります。

従つて、

$$\text{(引っ張る前と後の表面積の増分: } \Delta S) = S - S_0 = 3\pi(\Delta L)^2 / 8$$

(表面エネルギーの増加分: $\Delta \varepsilon_\gamma$)

$$= (\text{表面張力: } \gamma) \cdot \Delta S = 3\pi\gamma / 8 \cdot (\Delta L)^2$$

となります。

この擬似的弾性体の伸びによるひずみは、元の長さに対する伸びの比で与えられますので

$$(\Delta L / 2R_0) \text{ となります。}$$

この伸びに対する仮想的なヤング率を E とすると、伸びによるエネルギー $\Delta \varepsilon_E$ は

$$\begin{aligned} \Delta \varepsilon_E &= 1/2 \cdot E \cdot (\text{ひずみ})^2 \times V = 1/2 \cdot E \cdot (\Delta L / 2R_0)^2 \\ 2 \times 2\pi R_0^3 &= R_0 \pi / 4 \cdot E \cdot (\Delta L)^2 \end{aligned}$$

と計算できます。

これまで、もともと同じ変形のエネルギーを、表面張力によるエネルギーの増加、擬似的弾性体のひずみによる弾性エネルギーの増加と見方を考えて計算しただけですので、 $\Delta \varepsilon_\gamma$ と $\Delta \varepsilon_E$ とは同じになるはずです。従つて、

$$3\pi\gamma / 8 \cdot (\Delta L)^2 = R_0 \pi / 4 \cdot E \cdot (\Delta L)^2$$

という関係式が成り立ち、これから

$$E = 3/2 \cdot (\gamma / R_0)$$

と、変形を擬似的弾性体の伸びと考えた際の仮想的なヤング率が計算できます。

弾性体を上下方向に引っ張った際、側面方向への径を細める様な変形が生じます。この変形は弾性体のずれの変形になりますので、この変形に対し弾性体からそれを妨げる剛性率に関係した応力が生じます。

ヤング率 E と剛性率 G の間には、弾性変形に関する考察から

$$G = E / \{2(1 + \sigma)\}$$

という関係が得られます。 σ は、ボアソン比と呼ばれるものです。

詳細は省略しますが、液体の場合 0.5 になります。従つて、擬似弾性体の仮想的ヤング率 E と剛性率 G の関係は

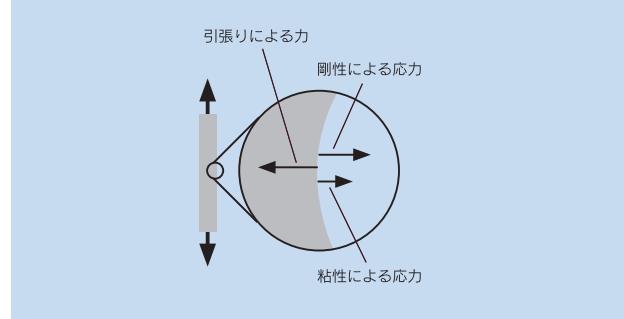
$$G = E / 3 = \gamma / (2R_0)$$

という事になります。

液滴が表面張力に起因する弾性を有する事から、ここまで擬似弾性体とみなしつつ、仮想的剛性率を算出してきました。以下では実際に曳糸性とのかかわりについて述べます。

問題を整理する為に、右上図の様に引張りにより側面方向に径が縮まっている過程を考えてみます。

側面では、引張りにより生じた径を細めようとする力 F 、こ



これまで述べてきた様な変形に抗する仮想的剛性率により生じた応力、液体が変形を起こす際に生じる粘性に起因した応力が生じています。

この様子は、右下図の様な仮想的剛性率 G のバネと粘性率 η のダッシュポットで出来たマックスウェルモデルで記述できます。バネの伸びを x と、ダッシュポットの伸びを x_2 とすると、内向きの力 F と G 、 η による抗力は作用反作用の関係にあるので

$$F = Gx + \eta dx_2 / dt \dots (1)$$

となります。また、全体の伸び x は $x_1 + x_2$ ですので、

$$v = dx / dt = dx_1 / dt + dx_2 / dt \dots (2)$$

となります。(1) 式の関係を(2) 式に代入して

$$v = (1/G) dF / dt + (1/\eta) F$$

簡単の為に v は一定とすると、

$$d(F - \eta v) / dt = - (G/\eta) (F - \eta v)$$

と変形できます。この微分方程式解くと

$$(F - \eta v) = (F - \eta v)_0 e^{-(G/\eta)t}$$

$$= (F_0 - \eta v_0) e^{-(G/\eta)t}$$

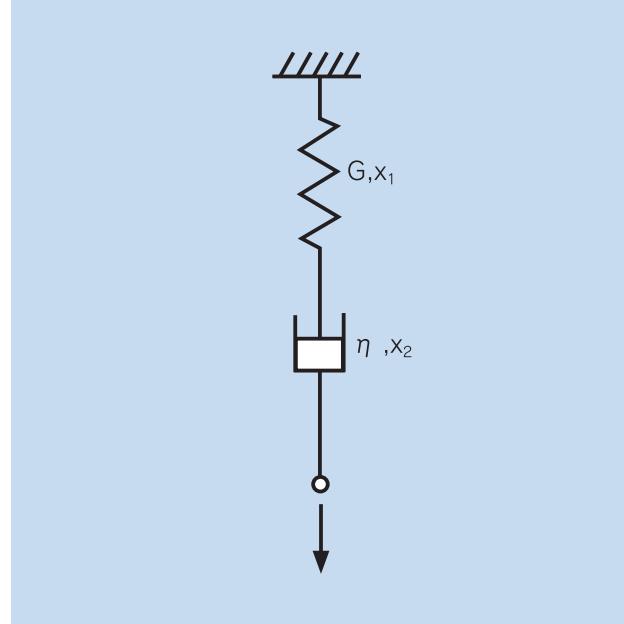
$$= (F_0 - \eta v_0) e^{-t/\tau}$$

となり、 $(F - \eta v)$ は、緩和時間 $\tau = \eta / G$ で減衰する事になります。

ここで、この緩和時間 τ までの伸びで曳糸長 L を定義すると

$$L = V\tau = V(\eta/G)$$

$$= V(\eta / \{\gamma / (2R_0)\}) = 2R_0V\eta / \gamma \sim R_0V\eta / \gamma$$



参考文献

1. “曳糸性”「レオロジーハンドブック」（丸善；高分子学会編）術語編 pp.19-20
2. “曳糸性” 平井；日本化学雑誌第 75 卷第 10 号 1019-1027 頁
3. “粘稠物質の破壊と曳糸” 後藤、相田、林、平井；材料試験、第 6 卷 43 号 245-250 頁

曳糸性・牽糸性・凝固性測定装置

NEVA[®] METER

■仕様



測定距離	有効ストローク : 40.0mm
測定速度	標準速度 : 5.0 ± 0.5mm/sec
	可変範囲 : 4.0 ~ 7.0mm/sec
測定精度	最小表示値 : 0.01mm
	指示精度 : ± 0.02mm
	標準液繰り返し測定精度 : ± 0.02mm
試料検体必要量	0.06ml 以上
測定子・測定皿	標準測定子 (直径 3mm 平型)
	標準測定皿 (滴下 0.06ml)
洗浄液	日本薬局方消毒用エタノールなど
表示部	液晶表示 (16 キャラクタ × 2 行 対話式)
電源	AC100V 50/60Hz 30VA
温度	使用温度範囲 : 10 ~ 40°C
	保存温度範囲 : -10 ~ 60°C
本体重量	1.8Kg
外形寸法	110mm × 110mm × 220mm

※改良のため予告なく外観、仕様等を変更する場合があります。予めご了承下さい。

■メンテナンスサービス

・保守サービス

メンテナンス、故障、修理相談などご使用にあたっての保守サービスを、FAX、メールでお受け致しております。また、指定の運送会社がご指定の場所に修理品を引き取りにお伺いするドア ツー ドアサービス（有償）も行っております。

・部品サービス

試料・検体の性状に合わせた測定子を製作致します。また、測定用の測定子、測定皿などの消耗や形式変更による部品交換をお受けします。部品価格はその都度お見積もりいたします。

■製造・販売



株式会社 石川鉄工所

〒807-0831 北九州市八幡西区則松沼ヶ元472
TEL 093-691-4577 FAX 093-602-3065
E-mail : info@iiw.co.jp

■製品の最新情報はホームページで提供しています。

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

石川鉄工所は、特機・専用機・加工生産機などあらゆる分野、システムに対応した装置の、新しい発想をもとに企画・開発・設計・製作・メンテナンスを行います。

主な製品

●ラボ：全自動物性試験器 (MASTER SERIES ST-02)、全自動フィルム引張試験機 (MASTER SERIES ST-10)、引張試験片自動打ち抜き機 (MASTER SERIES)、有機・無機肥料全自動分析前処理装置 (ME-101)、ロール濾紙自動精密濾過装置、カセットフィルター式全自動濾過装置、インライン精密濾過式画像異物検査装置、水・土壤・医薬品・食品対応自動前処理分析装置 (iiw-LAS-PE2003)、テレフタル酸インライン異物画像検査装置、高粘度対応粘性自動判定機能付分注システム、中和値自動分析装置、光学式自動粉体表面積測定装置

●情報：MS ダイコーター・精密薬液供給装置、DVD 高速プリライティングマシン、クリーン容器超音波洗浄口ボットライン、半導体ウェハー再加工、クリーン洗浄ライン、大型ガラス板専用ハンドリングロボットシステム

●産業：ストレート・スパイラルビード自動倣い切削装置、全自動高速ワインディングマシン、高速多列スタッキングマシン (パルスタッカー)、大径大リードテーパーネジ切専用工作機

●レーザー：低コヒーレンスレーザー超精密流速計、ピコ秒レーザー波長可変装置、YAG レーザー自動溶接システム機器

●メディカル：自動薬剤表裏判別整列装置、曳糸性測定装置 (NEVA METER)

●工芸：北九州市紫川水中展望窓防護シャッター、宝飾用ダイヤモンド研磨盤、民芸家具金物、モニュメント