


No.583

キャピログラフ

Capilograph

溶融ポリマーのキャピラリーフローテスト・ダイスウェル・メルトテンションの測定装置

 株式会社 東洋精機 製作所

本社・東京支店 〒114-8557 東京都北区滝野川5-15-4 TEL 03-3916-8181 (代表) FAX 03-3916-8173
大阪支店 〒564-0052 大阪府吹田市広芝町5-3 (豊田ビル) TEL 06-6386-2851 (代表) FAX 06-6330-7438
名古屋支店 〒461-0004 愛知県名古屋市東区葵3-15-31 (千種ビル) TEL 052-933-0491 (代表) FAX 052-933-0591

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



No.583 キャピログラフ

Capilograph

・ 溶融ポリマーのキャピラリーフローテスト・ダイスウェル・メルトテンションの測定装置

JIS K 7199

ISO 11443

用途

高分子系材料の成形加工工程における制御因子の中で最も基本的な因子は、溶融樹脂の流動特性であり、この特性は、材料の種類、成形加工条件によって大きく変化します。

このため、材料ごとに溶融粘度を測定する必要があります。

キャピログラフは、キャピラリータイプのレオメータで、高分子溶液、高分子溶融体および複合材料のせん断流動変形における溶融粘度を測定する専用機です。

このキャピログラフでは、せん断粘度測定のほかにもオプションとしてダイ出口における溶融ストランドの外径の変化、すなわちバラス効果を調べるダイスウェル測定やこのときの張力を計測するメルトテンション測定ができます。

特長

1. この1台の試験機から、溶融ポリマー及びゴム溶融流動曲線(粘度)、ダイスウェル、メルトテンションなど、ワイドな情報が得られます!
2. ツインバレルφ15mmを、ラインナップに追加!
3. 上記のツインバレル仕様本体では、オプションの管長補正・ラビノヴィッチ補正が1回の測定で可能!(専用ソフトはオプション)
4. バレル固定で、掃除機構部を稼働!
5. 安全扉を標準付属!
6. ツールホルダーを左右両面に設置!
7. クロスヘッドスピードを、0.1~1500mm/min!
8. 本体操作はタッチパネルより可能!
9. オプションとして、ダイスウェル測定が可能! ツインバレルでも、同時に測定可能!
10. オプションとして、メルトテンション測定も可能!

機構機能

本体は、斬新なスタイルのフロアタイプで、バレル部、荷重検出部、パネル部、駆動部、掃除機構部、保温チャンバー部、制御部、オプションのダイスウェル測定部、メルトテンション測定部で構成される。

キャピラリーの長さで設定できる
安全リミッタ付です

タッチパネル

荷重検出部
(クロスヘッド)

掃除機構部
(エアシリンダー)

データ処理

シアレイト — 粘度
— シェアストレス
— ダイスウェル
— メルトテンション最大、
最小、平均、限界速度

温度 — 粘度
— シェアストレス
— ダイスウェル

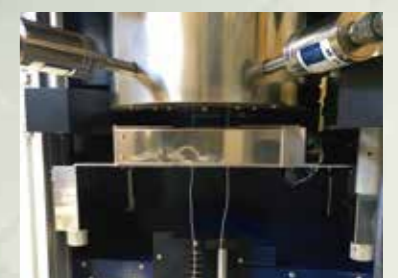
保温チャンバー

キャピラリー出口雰囲気温度
を一定に保ちます

メルトテンション
(オプション)

ダイスウェル測定(オプション)

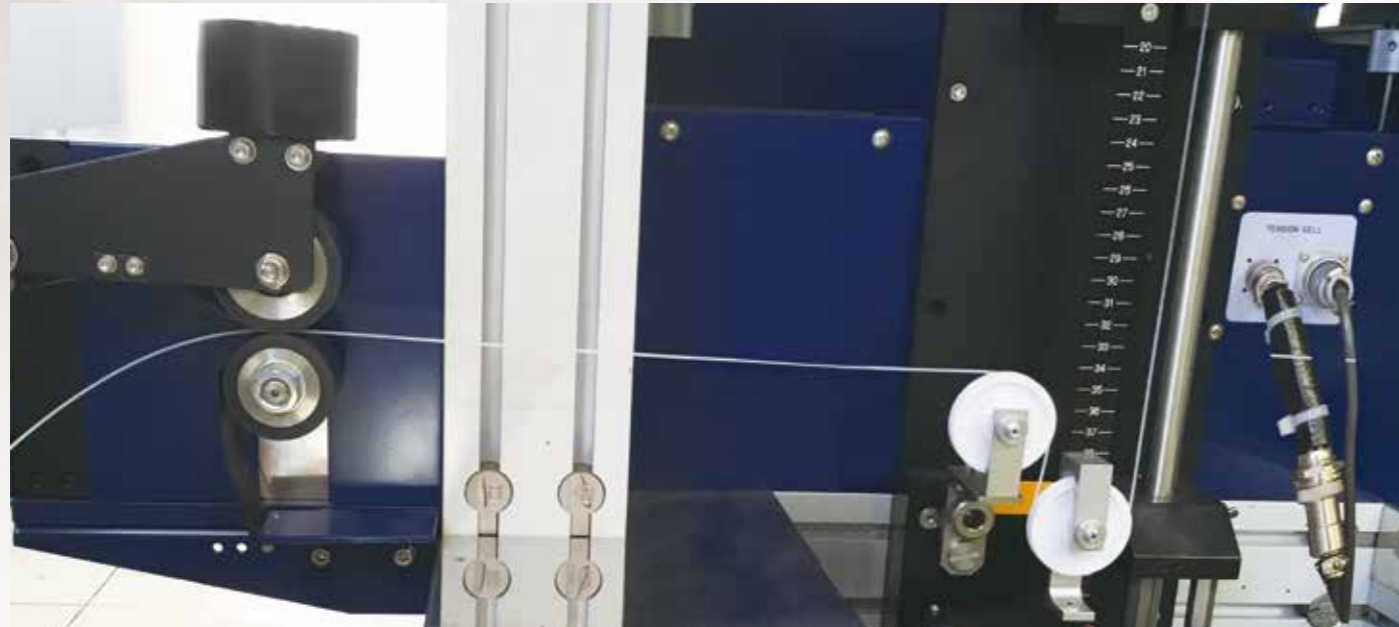
LEDによるダイスウェル測定可能!



メルトテンション測定 (オプション)

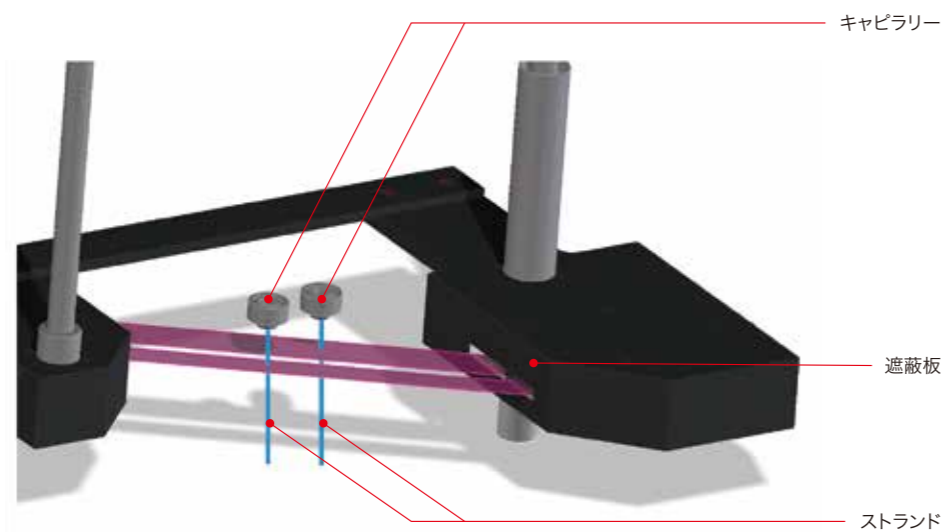
メルトテンション巻取部

引取最高速度は、200m/min、400m/min、500m/minから選択することができます。



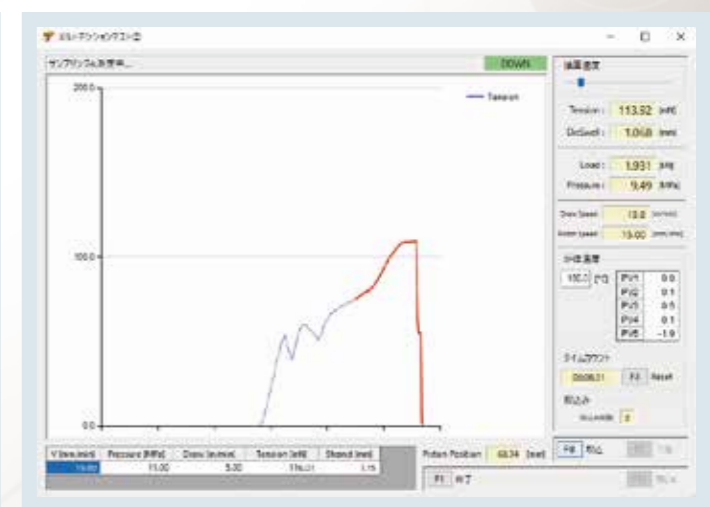
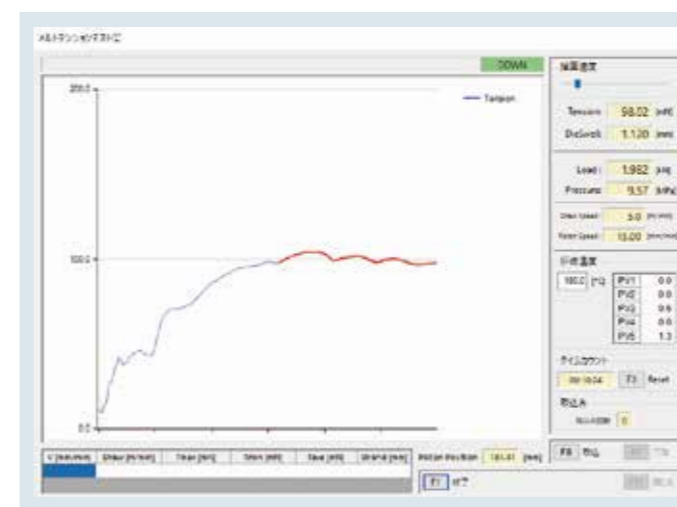
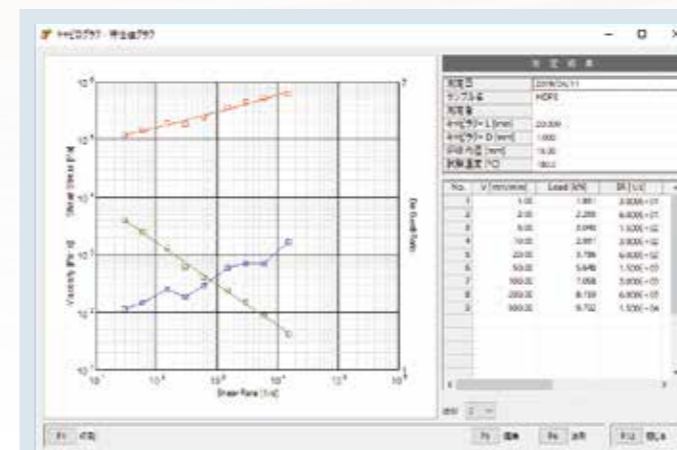
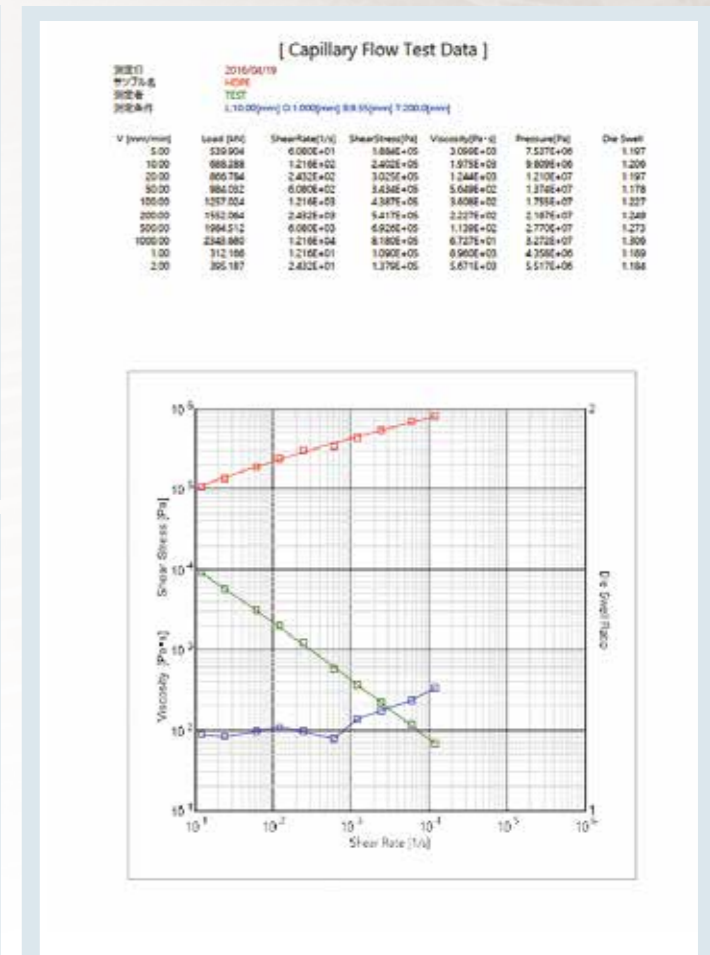
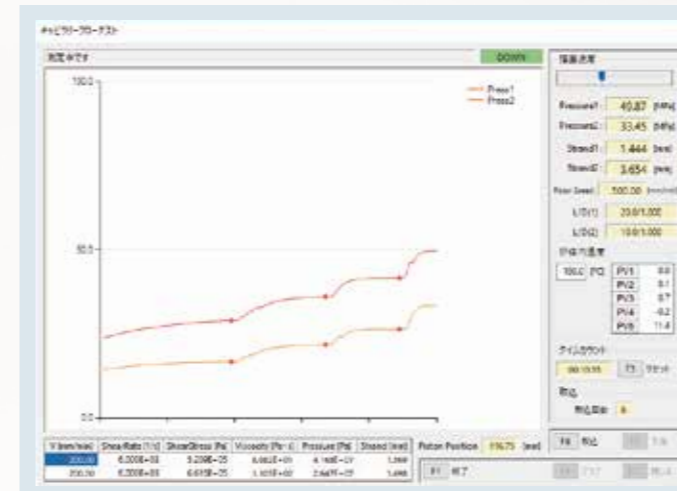
ダイスウェル測定 (オプション)

ツインバレルの場合、測定を2ch同時に行えるように、ストランドサンプルが測定領域に入るように測定器を設置しています。右側の遮蔽板を取り付けることで左右ストランドの領域を分けています。(シングルバレルの場合は、遮蔽板を取り外すことで使用可能です。)



ダイスウェル測定(ツイン)

測定例 テスト画面



***** Melt Tension (1) Test Data *****

測定日: 2018/04/20
サンプル名: TEST
測定条件: L:18.02[mm] D:2.095[mm] B:9.55[mm] T:200.0[mm]

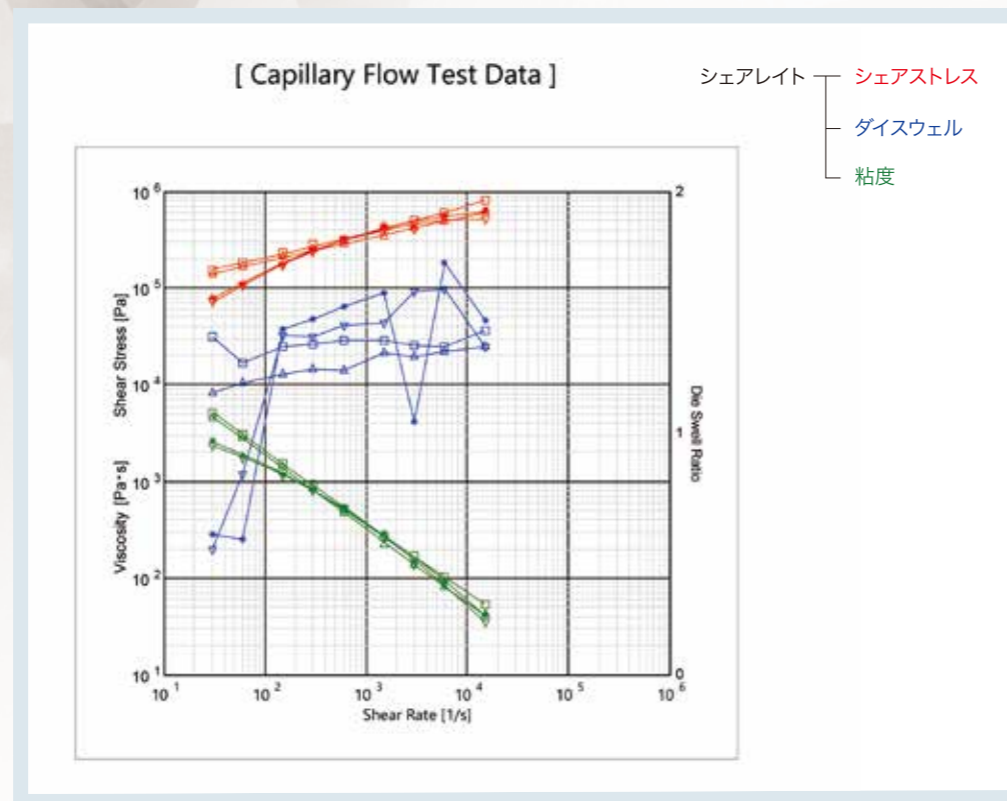
| V[mn/min] | Draw[m/min] | Tmax[mN] | Tmin[mN] | Tavg[mN] | Strand[mm] | CR | WPI | AJ[m] |
|-----------|-------------|----------|----------|----------|------------|--------|------|-------|
| 10.00 | 10.0 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 1.005 | 48.124 | 1.07 | 1.93 |
| 10.00 | 10.0 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 1.003 | 48.124 | 0.89 | 0.93 |
| 10.00 | 10.0 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 1.008 | 48.124 | 0.99 | 1.71 |
| 10.00 | 10.0 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 1.009 | 48.124 | 1.16 | 1.82 |
| 10.00 | 10.0 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 1.063 | 48.124 | 1.03 | 1.67 |

***** Melt Tension (2) Test Data *****

測定日: 2018/04/20
サンプル名: TEST
測定条件: L:10.00[mm] D:1.000[mm] B:9.55[mm] T:200.0[mm]

| V[mn/min] | Pressure[MPa] | Draw[m/min] | Tension[mN] | Strand[mm] | Acc[m/s ²] | Draft Ratio |
|-----------|---------------|-------------|-------------|------------|------------------------|-------------|
| 10.00 | 1020.6 | 53.50 | 0.06 | 0.991 | 0.055556 | 50.661 |
| 10.00 | 1020.6 | 42.80 | 0.06 | 0.992 | 0.055556 | 46.929 |
| 10.00 | 1020.6 | 54.90 | 0.06 | 0.987 | 0.055556 | 60.194 |
| 10.00 | 1020.6 | 31.10 | 0.05 | 0.803 | 0.055556 | 34.100 |

データ処理例



[Capillary Flow Test Data]

測定日 2018/02/26
 サンプル名 * LDPE_φ15mm_圧力センサー
 測定者
 測定条件 L:10.00[mm] D:1.000[mm] B:15.00[mm] T:190.0[mm]

| V [mm/min] | Load [kN] | ShearRate[1/s] | ShearStress[Pa] | Viscosity[Pa·s] | Pressure[Pa] | Die Swell |
|------------|-----------|----------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------|
| 1.00 | 541.992 | 3.000E+01 | 7.935E+04 | 2.645E+03 | 3.174E+06 | 0.579 |
| 2.00 | 765.625 | 6.000E+01 | 1.108E+05 | 1.847E+03 | 4.434E+06 | 0.557 |
| 5.00 | 1263.672 | 1.500E+02 | 1.787E+05 | 1.191E+03 | 7.148E+06 | 1.428 |
| 10.00 | 1756.836 | 3.000E+02 | 2.462E+05 | 8.207E+02 | 9.849E+06 | 1.472 |
| 20.00 | 2333.008 | 6.000E+02 | 3.251E+05 | 5.418E+02 | 1.300E+07 | 1.525 |
| 50.00 | 3193.359 | 1.500E+03 | 4.425E+05 | 2.950E+02 | 1.770E+07 | 1.582 |
| 100.00 | 3210.938 | 3.000E+03 | 4.395E+05 | 1.465E+02 | 1.758E+07 | 1.048 |
| 200.00 | 4130.859 | 6.000E+03 | 5.618E+05 | 9.364E+01 | 2.247E+07 | 1.705 |
| 500.00 | 4714.355 | 1.500E+04 | 6.302E+05 | 4.201E+01 | 2.521E+07 | 1.464 |

測定日 2018/02/26
 サンプル名 ▽ LDPE_φ15mm_圧力センサー
 測定者
 測定条件 L:20.00[mm] D:1.000[mm] B:15.00[mm] T:190.0[mm]

| V [mm/min] | Load [kN] | ShearRate[1/s] | ShearStress[Pa] | Viscosity[Pa·s] | Pressure[Pa] | Die Swell |
|------------|-----------|----------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------|
| 1.00 | 997.070 | 3.000E+01 | 7.141E+04 | 2.380E+03 | 5.713E+06 | 0.516 |
| 2.00 | 1500.000 | 6.000E+01 | 1.060E+05 | 1.767E+03 | 8.484E+06 | 0.830 |
| 5.00 | 2477.539 | 1.500E+02 | 1.741E+05 | 1.161E+03 | 1.393E+07 | 1.403 |
| 10.00 | 3449.219 | 3.000E+02 | 2.420E+05 | 8.067E+02 | 1.936E+07 | 1.399 |
| 20.00 | 4580.078 | 6.000E+02 | 3.214E+05 | 5.356E+02 | 2.571E+07 | 1.448 |
| 50.00 | 5808.105 | 1.500E+03 | 4.076E+05 | 2.717E+02 | 3.260E+07 | 1.456 |
| 100.00 | 5961.914 | 3.000E+03 | 4.146E+05 | 1.382E+02 | 3.317E+07 | 1.586 |
| 200.00 | 7609.863 | 6.000E+03 | 5.267E+05 | 8.779E+01 | 4.214E+07 | 1.594 |
| 500.00 | 7641.602 | 1.500E+04 | 5.235E+05 | 3.490E+01 | 4.188E+07 | 1.357 |

オプションソフトウェア I

I 管長補正係数演算処理 ラビノヴィッチ補正演算処理

※このソフトウェアを使用するには、キャピラリー径Dが同径のもので、長さLが異なる2個以上のキャピラリーが必要です。

●管長補正係数演算処理

管長補正係数Ecを導入したShear stress

$$\tau_c = \frac{P\Gamma}{2(L+Ec)} \text{ (Pa)}$$

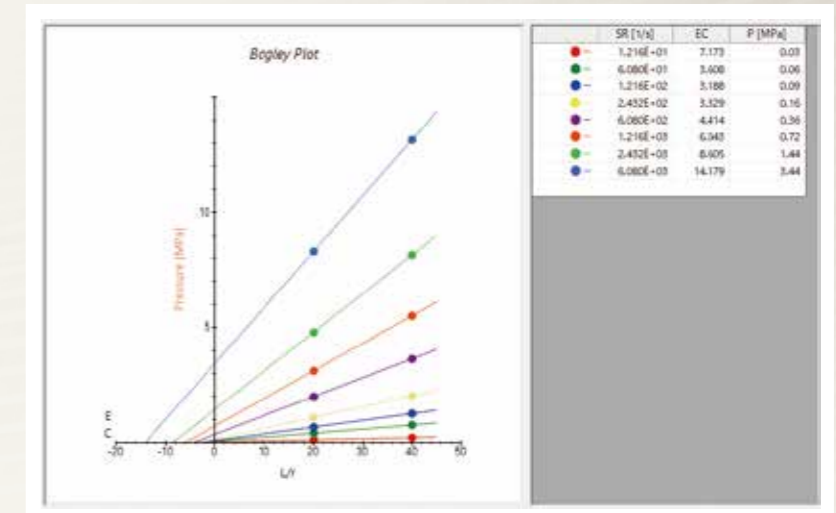
●ラビノヴィッチ補正演算処理

真のShear rate

$$\dot{\gamma}_c = \frac{\dot{\gamma}_a}{4} \left(3 + \frac{d \log \dot{\gamma}_a}{d \log \tau_c} \right) \text{ (sec}^{-1}\text{)}$$

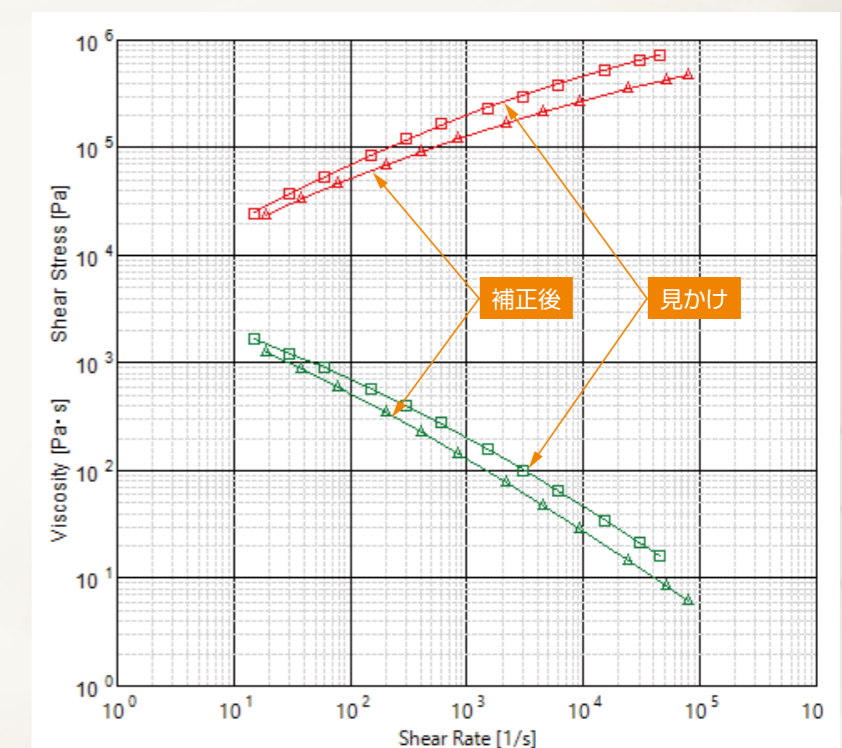
真のViscosity

$$\eta_c = \frac{\tau_c}{\dot{\gamma}_c} \text{ (Pa}\cdot\text{s)}$$



▲縦軸にポリマーの圧力 P、横軸にキャピラリーの L/r をとり、各 Shear rate に対してプロットした延長線が横軸と交わる点が管長補正係数の値になります。

- P バレル内圧 (Pa)
- F 押し出し荷重 (N)
- R バレル半径 (m)
- r キャピラリー半径 (m)
- L キャピラリー長さ (m)
- Q フローレート (m³/s)
- V 押し出し量 (m³/min)
- v 押し出し速度 (m/min)
- t 時間(60) (sec)
- Ec 管長補正係数
- V = πR²v (m³/min)
- Q = V/t = v/60 (m³/s)
- P = F/πR² (Pa)



▲キャピラリー L=5mm、D=1mm、L/D=5 の見かけ線図とラビノヴィッチ補正および管長補正後の線図比較

オプションソフトウェア II

II 自動取込み

・安定条件設定例

自動取込設定
Stroke Total = 175.0/180.0

| No. | V [mm/min] | SR1 [1/s] | Limit [mm] | Balance Item | |
|-----|---------------|--------------|---------------|--------------|-----|
| | | | | [kN] | [s] |
| 1 | 1.00 | 1.216E+01 | 5 | 0.1 | 330 |
| 2 | 2.00 | 2.432E+01 | 5 | 0.1 | 30 |
| 3 | 5.00 | 6.080E+01 | 5 | 0.1 | 20 |
| 4 | 10.00 | 1.216E+02 | 10 | 0.2 | 20 |
| 5 | 20.00 | 2.432E+02 | 10 | 0.2 | 15 |
| 6 | 50.00 | 6.080E+02 | 20 | 0.2 | 10 |
| 7 | 100.00 | 1.216E+03 | 30 | 0.5 | 3 |
| 8 | 200.00 | 2.432E+03 | 40 | 0.5 | 3 |
| 9 | 500.00 | 6.080E+03 | 50 | 0.8 | 2 |

予熱 Time 360 [s]
位置 ○ 250mm ● 200mm

緩和オプション
 取込時荷重の 90.0 [%] 降下で再開
 取込後 10.0 [s] 経過で再開

予め試料の押し出し試験速度と安定条件(データ取込間隔、荷重変動許容幅、安定持続時間)の設定、またはピストンの下降距離を設定する事により、自動的に測定が行えるソフトウェアです。押し出し荷重の変動が安定したことを判断し、自動的にデータを取り込む方法と、設定された距離をピストンが下降した時に自動的にデータを取り込む方法のいずれかを選択し、測定を行います。

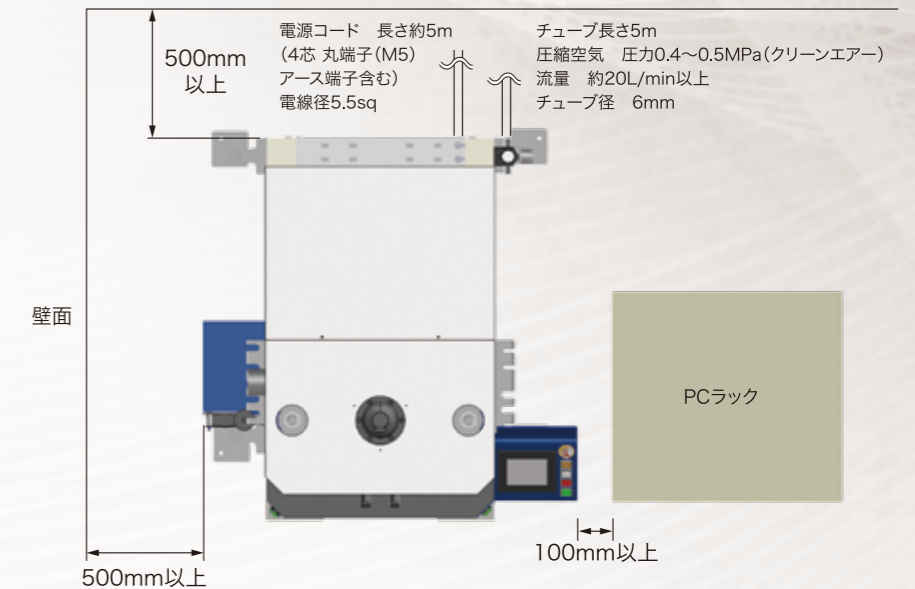
機体の設置

本体の配置

本体の周辺は500mm以上のスペースを開けて下さい。

床面の強度

本体の質量は約650kgになります。この質量に耐えられる床面に設置して下さい。



オプションソフトウェア III

III 伸長粘度演算処理

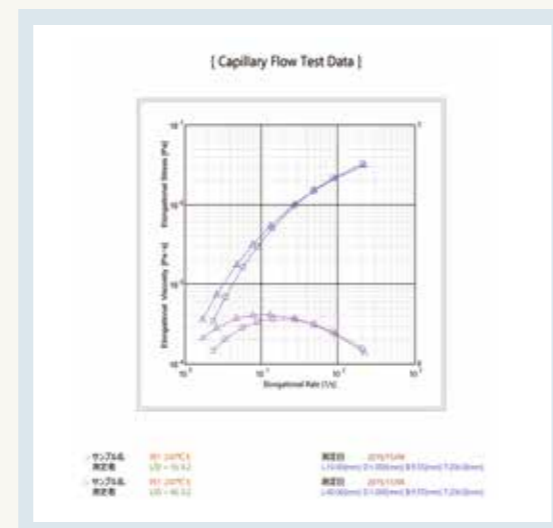
キャピラリー流入領域での縮流場における縮小流動は、流速が速くなるために樹脂の伸長の変形が生じます。Cogswellの理論に基づき伸長流動による圧力損失より伸長粘度を算出するソフトウェアです。このソフトウェアを使用する場合は、キャピラリー径Dが同径で長さLがL=0とL>0の2個のキャピラリーで測定した剪断粘度データが必要です。

$$\text{伸長応力 } \sigma_E = \frac{3}{8} (n+1) P_0 \text{ (Pa)}$$

$$\text{伸長粘度 } \lambda = \frac{9(n+1)^2 P_0^2}{32\eta^2} \text{ (Pa}\cdot\text{s)}$$

$$\text{伸長速度 } \dot{\epsilon} = \frac{\sigma_E}{\lambda} \text{ (sec}^{-1}\text{)}$$

n : 非ニュートン指数
P₀ : L=0での流入圧力



計算式

$$\text{見かけのShear stress } \tau_a = \frac{PR}{2L} \text{ (Pa)}$$

$$\text{見かけのShear rate } \dot{\gamma}_a = \frac{4Q}{\pi r^3} \text{ (sec}^{-1}\text{)}$$

$$\text{見かけのViscosity } \eta_a = \frac{\tau_a}{\dot{\gamma}_a} \text{ (Pa}\cdot\text{s)}$$

$$P = \frac{F}{\pi R^2} \text{ (Pa)}$$

P バレル内圧 (Pa)

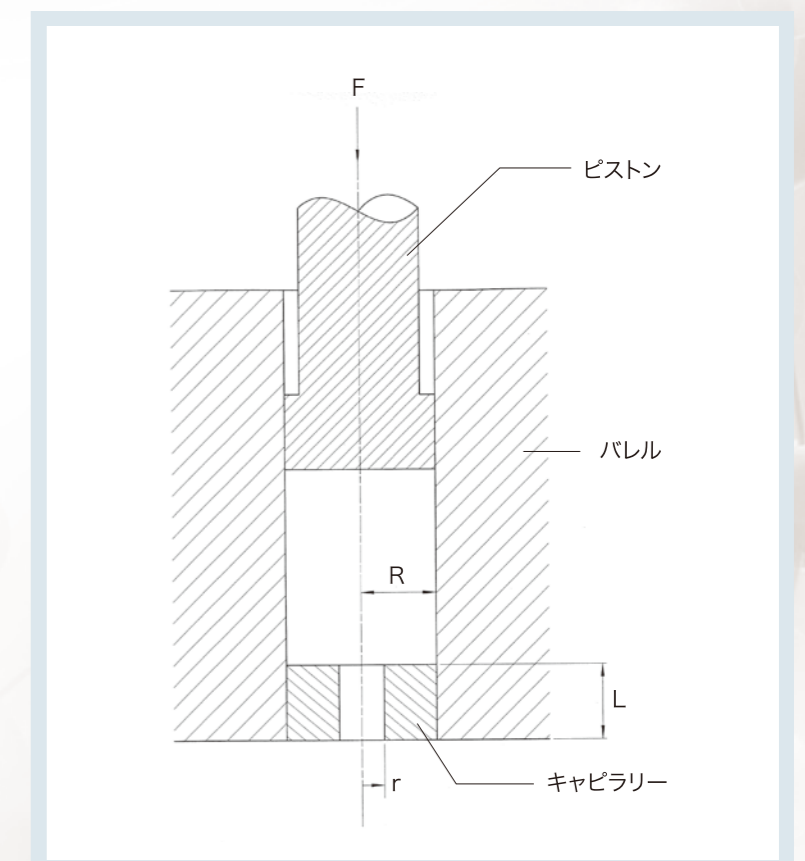
F 押し出し荷重 (N)

R バレル半径 (m)

r キャピラリー半径 (m)

L キャピラリー長さ (m)

Q フローレイト (m³/s)



| 仕様 | | | |
|----------------|-------|---|------------------|
| 型式 | F-1 | F-2 | |
| 炉体部 | 測定範囲 | 60~400°C (オプション 500°C 型式MAX500) | |
| | 温度精度 | 300°Cまで±1°C、300°C以上±2°C以内 (有効長内) | |
| | バレル数 | 1 | 2 |
| | バレル径 | φ9.55mm or φ15mm | φ15mm |
| | バレル長 | 全長 350mm、有効長 250mm | |
| 駆動部 | 押出速度 | 0.1~1500mm/min | |
| | 最小単位 | 0.01mm/min | |
| | モーター | 1.5kW ACサーボモーター | |
| 荷重測定 | 最大値 | 25kN (バレル径φ9.55mm) 50kN (バレル径φ15mm) | 25kN (バレル径φ15mm) |
| | 表示分解能 | 1N (0.001kN) | |
| 圧力測定 ※1 | 最大圧力 | 200MPa | |
| | 表示分解能 | 0.01MPa | |
| | 最高温度 | 400°C | |
| ダイスウェル ※2 | 測定位置 | ノズル下部 0~35mmまで | |
| | 測定範囲 | 0.5~9.999mm | |
| | 測定精度 | ±5μm | |
| | 測定法 | レーザー光スキャニング | |
| メルトテンション ※3 | 測定位置 | 100~520mm | |
| | 最大荷重 | 2N | |
| | 表示分解能 | 0.1mN (0.0001N) | |
| | 引取速度 | 0.1~200m/min、~400m/min、~500m/minより選択 可変式、自動増幅機構付 | |
| 装置 | 電源 | 3相 AC200V 20A (F-2型 25A) 50/60Hz コード長5m 単相 AC100V 3A 50/60Hz (PC用) | |
| | エア源 | 圧力 0.4~0.5MPa | |
| | 機体寸法 | 約W1060xD1100xH1950~2360mm | |
| | 質量 | 約650kg | |
| 処理 | OS | Microsoft Windows10 | |
| | I/F | USBポート×1 | |
| | 解像度 | 1366×768ドット以上 | |

※1 バレル径φ15mmを選択した場合の仕様(バレル径φ9.55mmは不可) ※2 ダイスウェル(オプション)を選択した場合の仕様 ※3 メルトテンション(オプション)を選択した場合の仕様

φ9.55mm炉体用各種キャピラリー
EF型1個標準付属

| 径mm D | 長さmm L | 比 L/D | 材質 | 型式 | |
|----------|-----------|----------|-------------|------|------|
| | | | | 流入角付 | フラット |
| 2.095 | 8 | 3.8 | タンゲステンカーバイト | A | AF |
| 0.5 | 2.5 | 5 | 〃 | B | BF |
| 0.5 | 5 | 10 | 〃 | C | CF |
| 1 | 5 | 5 | 〃 | D | DF |
| 1 | 10 | 10 | 〃 | E | EF |
| 1 | 20 | 20 | 〃 | F | FF |
| 1 | 40 | 40 | 〃 | G | GF |
| 1.27 | 50.8 | 40 | 〃 | H | HF |
| 2 | 10 | 5 | 〃 | I | IF |
| 2 | 20 | 10 | 〃 | J | JF |
| 1.53 | 25.4 | 16.6 | 〃 | K | KF |
| 1 | 0.2 | 0.2 (≒0) | 〃 | - | EL |

※型式ELは伸長粘度演算用

φ15mm炉体用キャピラリー

型式F-1 φ15mmバレル径の場合は、VB型1個標準付属
型式F-2 VB型1個、VC型1個 2個標準付属

| 径mm D | 長さmm L | 比 L/D | 材質 | 型式 | |
|----------|-----------|----------|-------------|------|------|
| | | | | 流入角付 | フラット |
| 1 | 5 | 5 | タンゲステンカーバイト | VA | VAF |
| 1 | 10 | 10 | 〃 | VB | VBF |
| 1 | 20 | 20 | 〃 | VC | VCF |
| 2 | 5 | 2.5 | 〃 | VD | VDF |
| 2 | 10 | 5 | 〃 | VE | VEF |
| 2 | 20 | 10 | 〃 | VF | VFF |