



動的粘弾性測定装置

DMAなど

世界で最も汎用性の高い動的粘弾性測定プラットフォーム

MCR 702e MultiDriveは、液体、ソフトマター、固体の動的機械分析(DMA)を行う、市場で最も汎用性の高い強力なプラットフォームです。この装置は、全く新しいリニアモーターと、MCRレオメータの定評あるECモーター技術を組み合わせたものです。この最先端のリニアモーターにより、熱機械分析(TMA)や引張、曲げ、圧縮によるDMA測定を1台の装置で行うことができます。

さらに、ECモーターにより、アントンパール社のMCRレオメータシリーズで定評あるねじり方向の測定が可能になりました。このようにして、ねじり方向のDMAだけでなく、すべてのレオロジー測定を最高レベルの精度で行うことができます。

他に類を見ないこの4-in-1機能と多機能ソフトウェアRheoCompass™により、動的機械分析による材料特性評価に、全く新しい可能性がもたらされます。

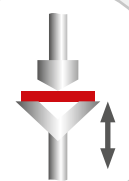
1 ねじりモードの動的粘弾性測定

G^*



2 ねじり、引張、曲げ、圧縮の動的粘弾性測定

E^*



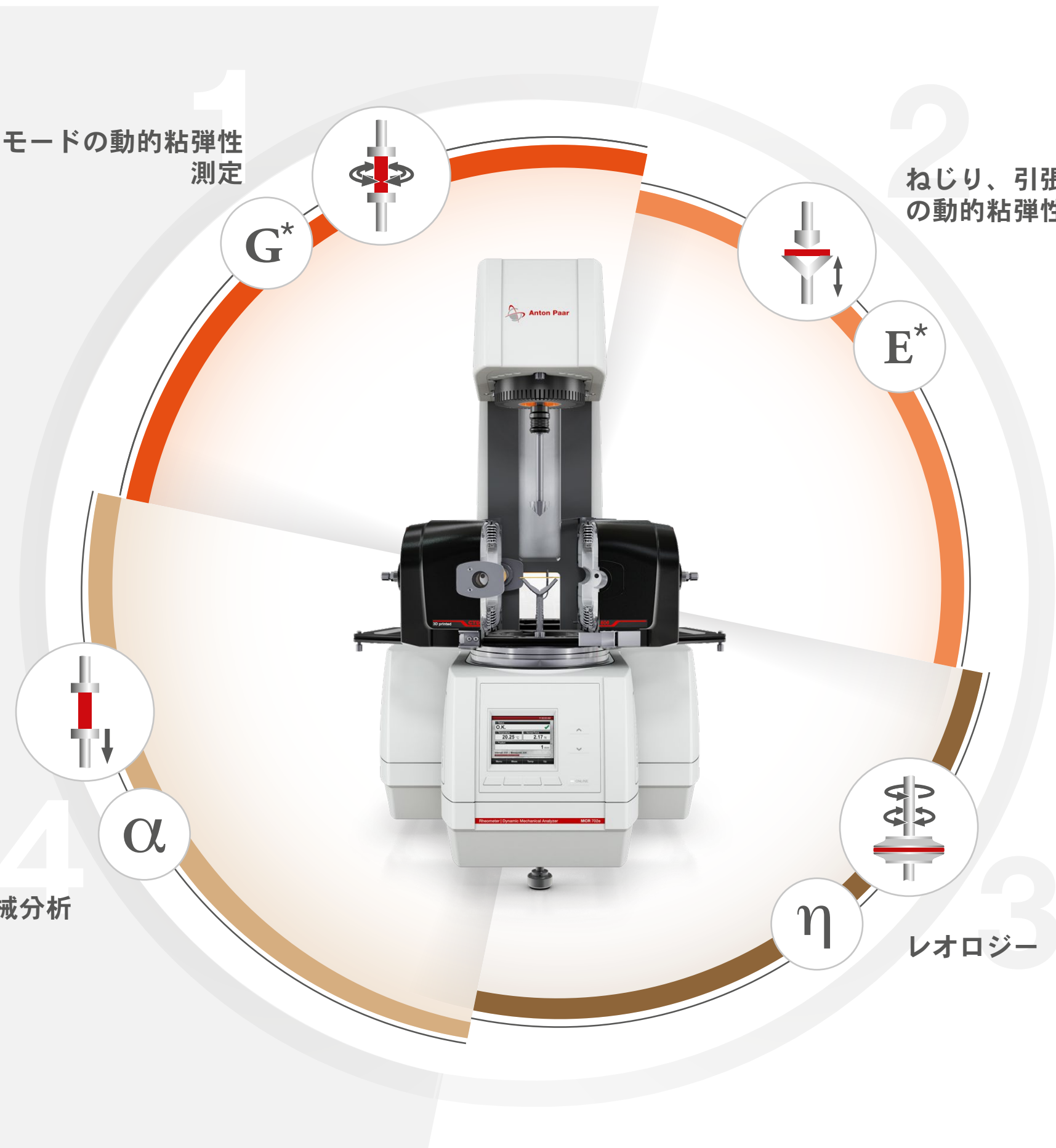
4 熱機械分析

α



3 レオロジー

η



多彩な測定モードで様々なアプリケーションに対応

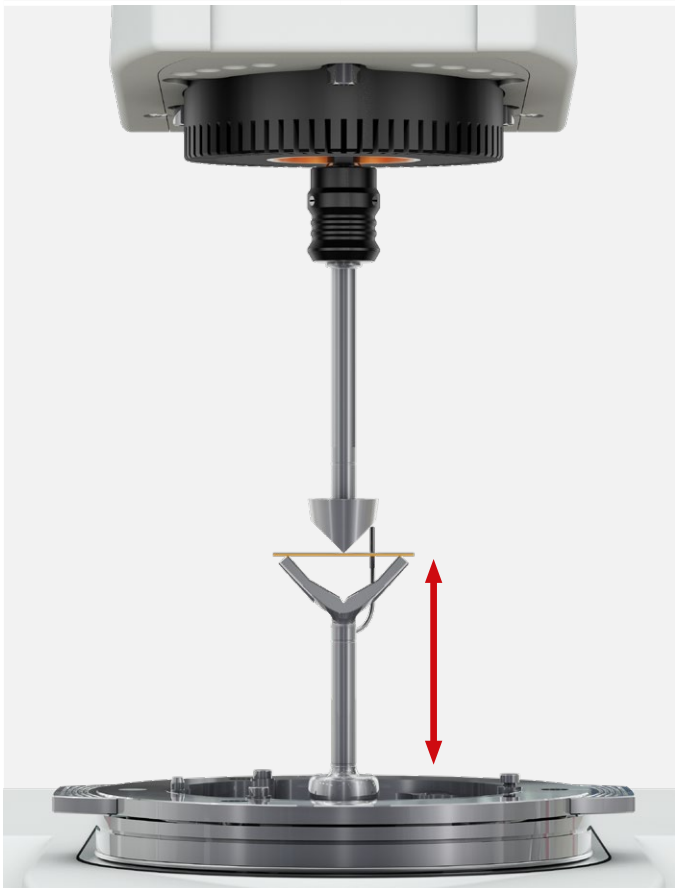
MCR 702e MultiDriveは、上部のECモーターと下部の可動式磁気リニアドライブの組み合わせにより、ねじり方向および引張方向の動的粘弾性測定、熱機械分析ができるだけでなく、エアベアリングベースのレオメータで行うことのできるレオロジー測定にも適した世界初の装置です。このように、アントンパール社は産業界と研究機関のどちらのご要望にも、柔軟に対応可能です。MCR 702e MultiDriveを使用すれば、固体から液体まで、多種多様な材料の特性評価を、お好みの方法で行うことができ、最も信頼性の高い特性評価結果を得ることができます。

動的粘弾性特性評価に最適な ドライブモードの選択

リニアドライブ

回転ドライブ

リニアドライブモード



このモードでは、回転ドライブを固定し、リニアドライブを使用して荷重または変位のいずれかを制御します。3点曲げ、シングルカンチレバー、デュアルカンチレバー、引張DMA用治具、圧縮DMA用治具などの測定システムと組み合わせることで、「古典的」な動的粘弾性測定を、可能な限り正確に行うのに適しています。さらに、このモードでは、クリープ&リカバリー試験、一定の応力やひずみ下での測定、熱機械分析などを行うことができます。

リニアドライブ

回転ドライブ

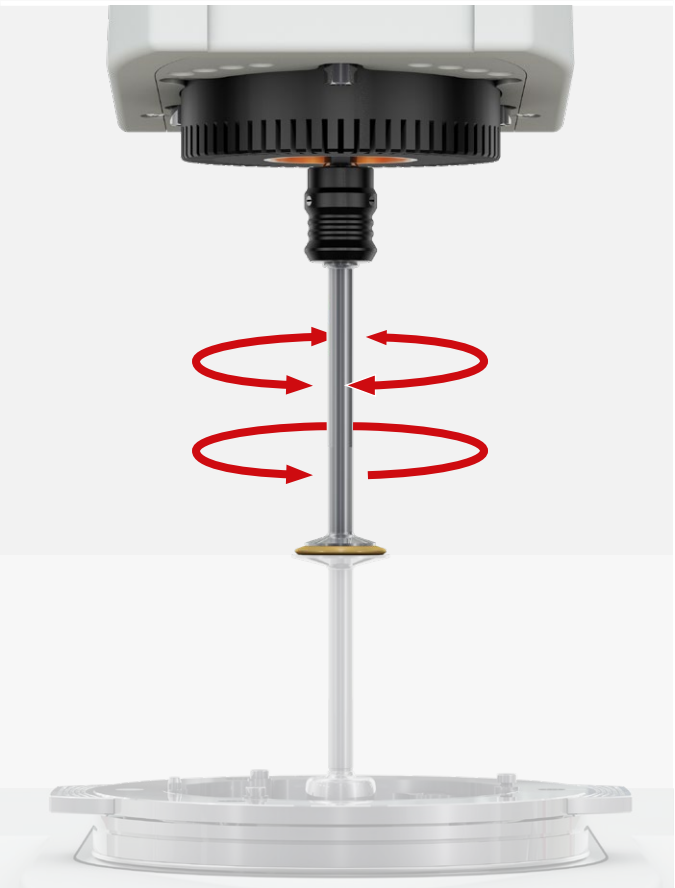
回転ドライブモード



このモードでは、リニアドライブを固定し、回転ドライブを使用してせん断ひずみやせん断応力を制御します。円柱状もしくは短冊状のサンプルに対応する治具(SCF、SRF)や、プレートプレートまたはコンプレートなどの利用可能な治具と組み合わせることで、ねじりの動的粘弾性測定やレオロジー測定の可能性を広げます。

回転ドライブ

シングルドライブモード



このモードでは、下部リニアドライブを取り外し、従来の回転レオメータとして使用します。下部リニアモーターユニットを取り外すと、アントンパール社が誇るMCRシリーズの様々なアプリケーションに対応した測定オプション、測定システム、温度制御システム、特殊アクセサリを装着することができ、一般的な測定から高度なレオロジー測定まで、様々な測定を実施することができます。リニアドライブの代わりに下側にもう一つの回転ドライブを取り付けることにより、ツインドライブレオメータを構成することができ、粘弾性測定の新たな可能性を広げることができます。

主な機能

DMAおよびレオロジー測定における最高の柔軟性を実現する高度なコンセプト

リニアドライブと回転ドライブを1台に搭載した独自の組み合わせにより、引張方向とねじり方向の両方で、真の動的粘弾性測定を実現できます。また、レオロジー測定も可能で、材料の用途に最も適した特定のタイプの特性評価を行うことができます。

独自のモーター設計 —エアベアリングテクノロジー—

リニアドライブと回転ドライブの両方にエアベアリングを採用しているため、MCRレオメータシリーズの高い品質で知られるように、動的粘弾性測定やあらゆる種類のレオロジー測定において並外れた感度を実現しています。

正確な荷重測定と広い変位範囲

可動式磁気モーターの最適化された設計と高度な材料選定により、リニアドライブの磁気ヒステリシスは最小限に抑えられています。これにより、最大40 Nまでの幅広い荷重範囲で高精度な測定が可能となり、柔らかい材料や硬い材料の特性を最高の精度で評価することができます。また、引張試験などに有利な9.4 mmの変位範囲でも測定が可能です。

最高の分解能による変位測定

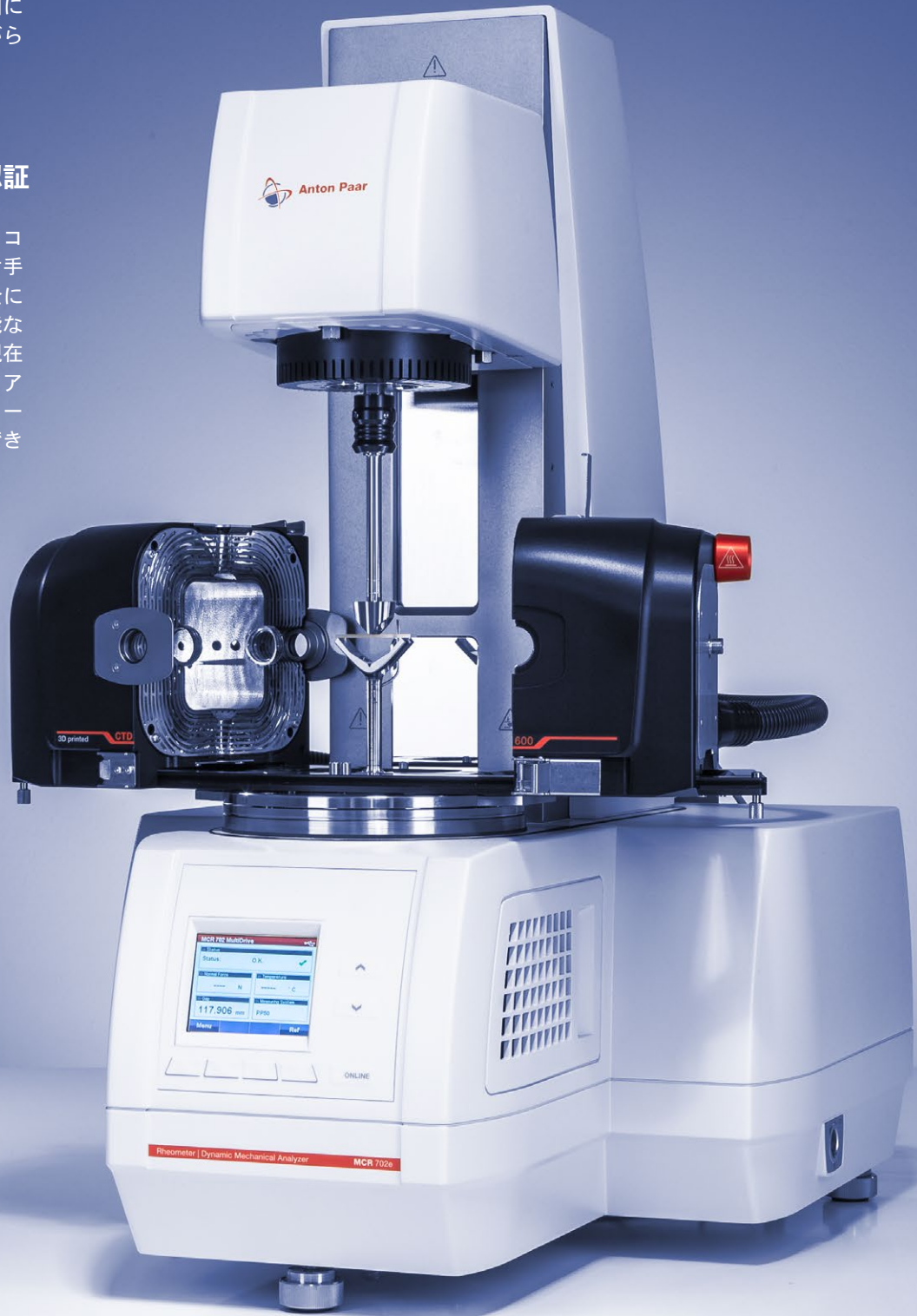
測定器には、変位を測定するために光学式リニアエンコーダが搭載されています。この光学技術により、サブナノメートルの分解能で安定したひずみ測定を実現しました。

再現性の高い結果を得るために最適化された測定システム

数値流体力学(CFD) を用いて最適化された革新的な設計の測定システムは、高精度で信頼性の高い測定結果を得るために、サンプル内の温度勾配を最小限に抑えることを保証します。各測定システムの温度センサは固定されたサンプルの直近に配置しており、全ての温度範囲においてサンプル実温度を高い精度と再現性を保ちながら測定を行います。

全てのアクセサリーの簡単取付、自動認証

測定システムの交換は、従来から実績のあるクイックコネクトカップリングによりネジ止めの必要がなく、片手で簡単に行うことができます。Toolmaster™は、完全に非接触の自動ツール認識・設定システムで、利用可能なすべての測定システムを認識します。これにより、現在使用している設定や複雑な形状のデータをソフトウェアに手動入力することなく、測定システムやアクセサリーの変更にかかる時間を短縮し、エラーを防ぐことができます。



MCR 702e Space MultiDrive

最大限の作業スペースが必要な場合に最適な選択肢

サポートプレートが露出しているため、MCRのすべてのアクセサリーを簡単に組み合わせて、作業スペースを最大限に確保することができます。特に、多様なレオロジーアプリケーションや、共焦点顕微鏡などの外部セットアップに最適です。この装置は外部電子ボックスを備えているため、グローブボックス内でのセットアップなど、設置条件に関して最大限の柔軟性を発揮します。



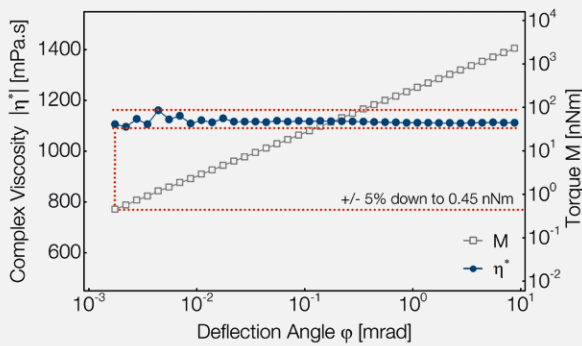
独自のモーターテクノロジー

最高の精度の鍵

回転ドライブ

ECモーター(永久磁石同期モーター)ベース

- ローターは永久磁石を搭載①
- コイルによりステータの磁極を形成
- コイルの入力電流の回転磁束により、摩擦のないローターの同期運動を形成
- DMAモードでの高剛性サンプルの特性評価と低トルクでのレオロジー測定を可能にするアキシアルおよびラジアルエアベアリングを搭載②③



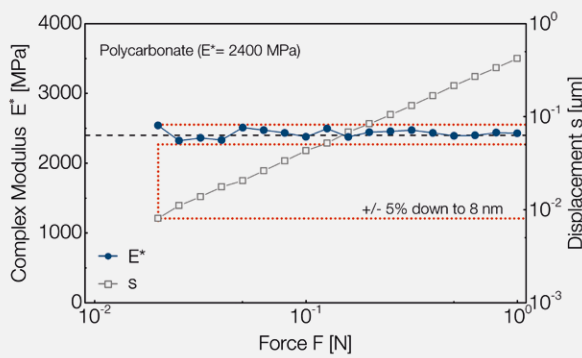
測定の利点

- ステータ電流とトルクの線形関係により、0.5 nNmまでの正確なトルク測定が可能(上図参照)
- 最大230 mNmまでの恒久的なトルクに対して、モーターの発熱や温度による信号のズレを起こさない高い熱安定性
- 急速なトルク制御のための磁場の瞬時形成が可能

リニアドライブ

可動式磁気モーターベース

- 永久磁石付き軽量ドライブシャフト④
- 磁場を形成してドライブシャフトの軸方向の運動に作用するステータコイル⑤
- 独自の磁場形成技術と高分解能光学式エンコーダーの組合せによる最低電流での微小変位の実現
- 高剛性材料の引張、曲げ、圧縮のDMAおよびねじりのDMAで低荷重測定を可能にする、ラジアルおよびねじり用のエアベアリングを搭載⑥⑦

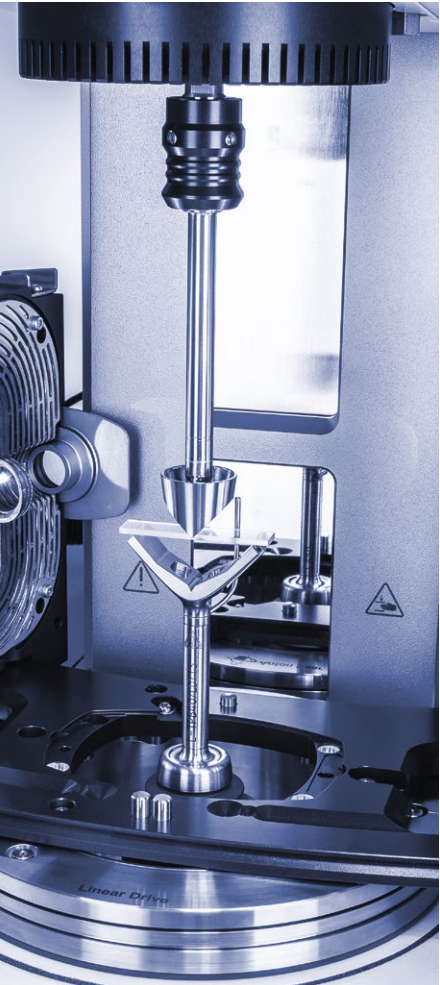


測定の利点

- 磁場形成技術により、優れたS/N比での低荷重測定(最小0.5 mN)を保証
- 独自のモーターコンセプトによりモーター内部の完全な温度管理を実現、また最高40 Nの高荷重及び長時間であっても温度によって誘起される信号のドリフトを排除
- 高分解能光学式エンコーダーと高性能リニアドライブの組み合わせにより、10 nm~9.4 mmまでの広範囲変位幅を実現(上図を参照)

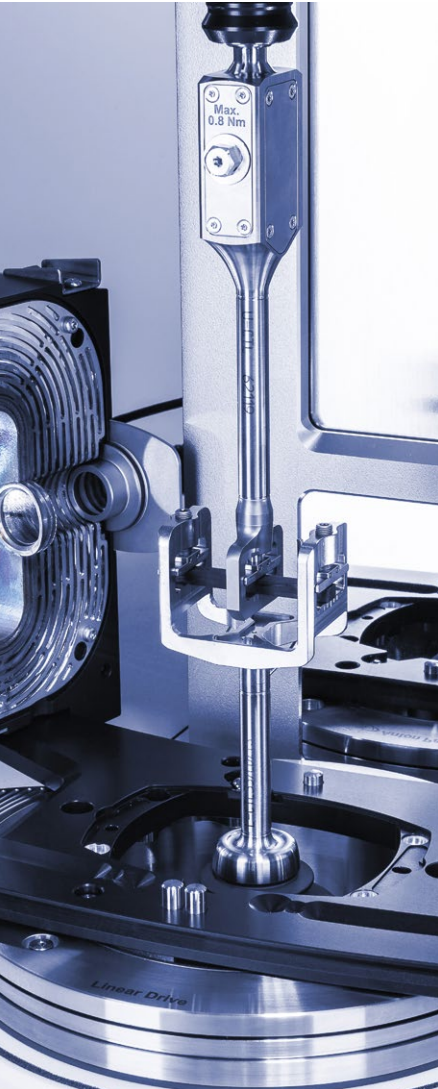


測定システム



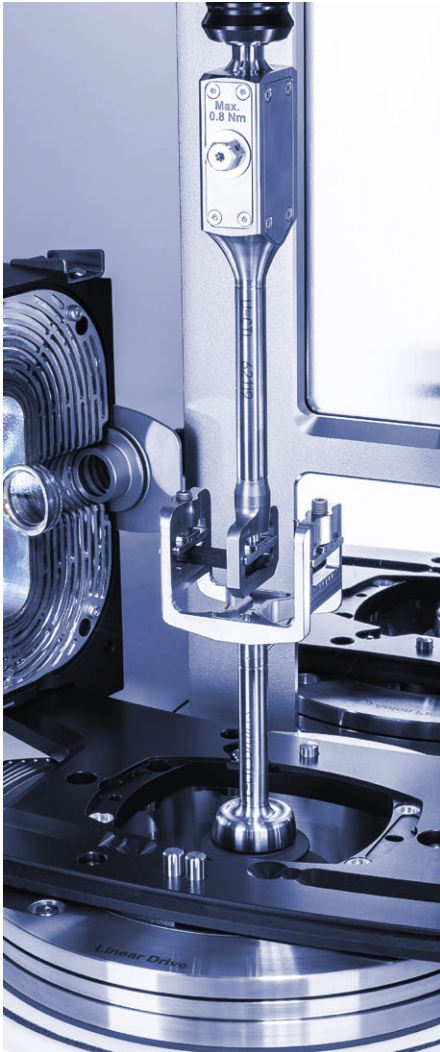
三点曲げシステム

上部固定シャフトの中央の位置になるようにサンプルを置き、下部シャフトの両端の2つの可動式支持部で固定します。シンプルな設計により、サンプル固定による測定誤差を最小限に抑えることができます。この測定システムは、 T_g を下回る複合材料や熱可塑性樹脂などの固体材料、熱硬化樹脂、金属、セラミックの評価に有効です。



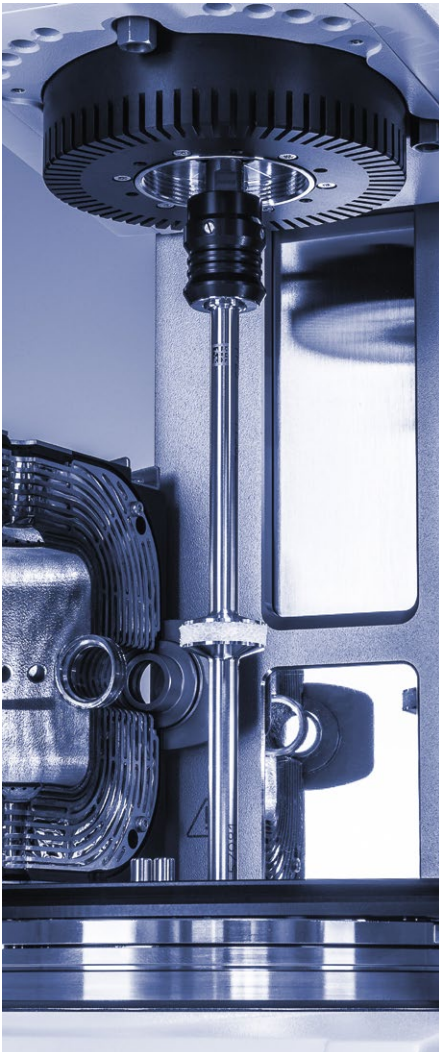
デュアルカンチレバー

サンプルの両端を下部の2つのクランプで固定し、サンプル中央を上部中央のクランプで固定します。この測定システムを用いることで、測定中にたわみが発生するような軟質材料、低剛性サンプルの評価に有効です。



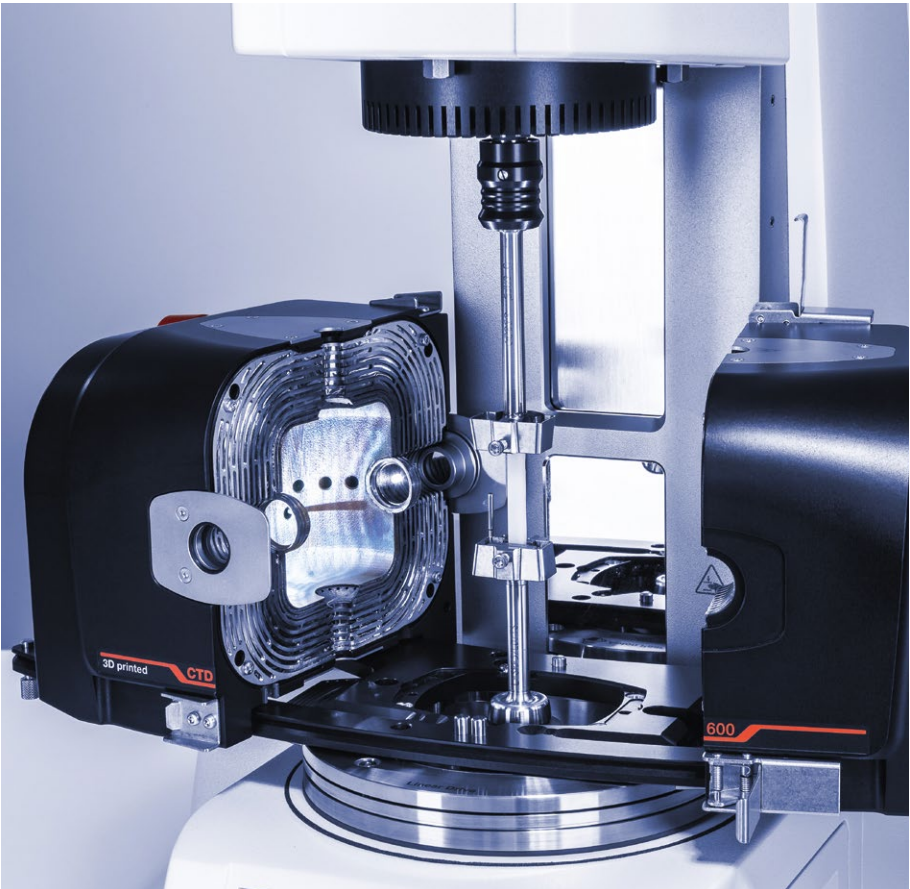
シングルカンチレバー

上部中央のクランプと片方の下部クランプのみでサンプルを固定します。この測定システムは、サンプルの長さが比較的短い場合に有効です。デュアルカンチレバーと同様に、測定中にたわみが発生するような軟質材料、熱可塑性樹脂やエラストマーに有効です。



圧縮測定システム

圧縮による動的粘弾性測定（DMA）は、従来のプレートプレート測定システムを使用します。上側と下側の測定システムの間にはサンプルを置き、軸方向の荷重を加えます。この変形モードは、食品やゲル、泡やエラストマーなど弱い構造を持つソフトマターの評価に有効です。



引張・ねじりモードに対応した、短冊状サンプル用治具

サンプルは上側と下側の測定システムの間に固定し、軸方向に変形します。アントンパール社の独自設計により、厚みの異なるサンプルでも常に測定システムの中心軸に正確に合わせて測定可能です。この測定システムにより、フィルム、ファイバー、円柱状などサンプル形状に問わず再現性に優れた測定結果を得ることができます。また、固体板状サンプルの熱膨張の測定にも有効です。

同じ測定システムを回転モーターと組み合わせて使用することで、リニアドライブによる引張の動的粘弾性測定に加えて、ねじりの動的粘弾性測定も可能になります。その結果、サンプル、測定システム、その他の付属品を変更することなく、単一の試験定義内で同じサンプルのヤング率とせん断弾性率を測定することが初めて可能になりました。これにより、DMAの引張データをDMAのねじりデータに変換したり、逆にDMAの引張データをDMAのねじりデータに変換したりすることなく、材料の挙動を完全に把握できます。

- お客様のために
- ✓ 測定システム内蔵の高精度温度センサにより、サンプルの実温度を高い再現性で検出
 - ✓ 数値流体力学(CFD)に基づいた設計により、サンプル内部の温度勾配を低減
 - ✓ 堅牢なシステム形状により、優れたコンプライアンスを誇り、高い弾性率を持つサンプルの評価を実現

- お客様のために
- ✓ QuickConnect機能により、ネジを使用せず短時間かつ正確に測定システムの変更が可能
 - ✓ Toolmaster™の機能により、ソフトウェアの手動設定なしでツールの自動認識と構成を実現
 - ✓ 自動ゼロギャップ/ゼロアングル機能により、複雑なアライメント調整を行わない、高精度かつ優れた再現性で測定システムの位置設定を保証

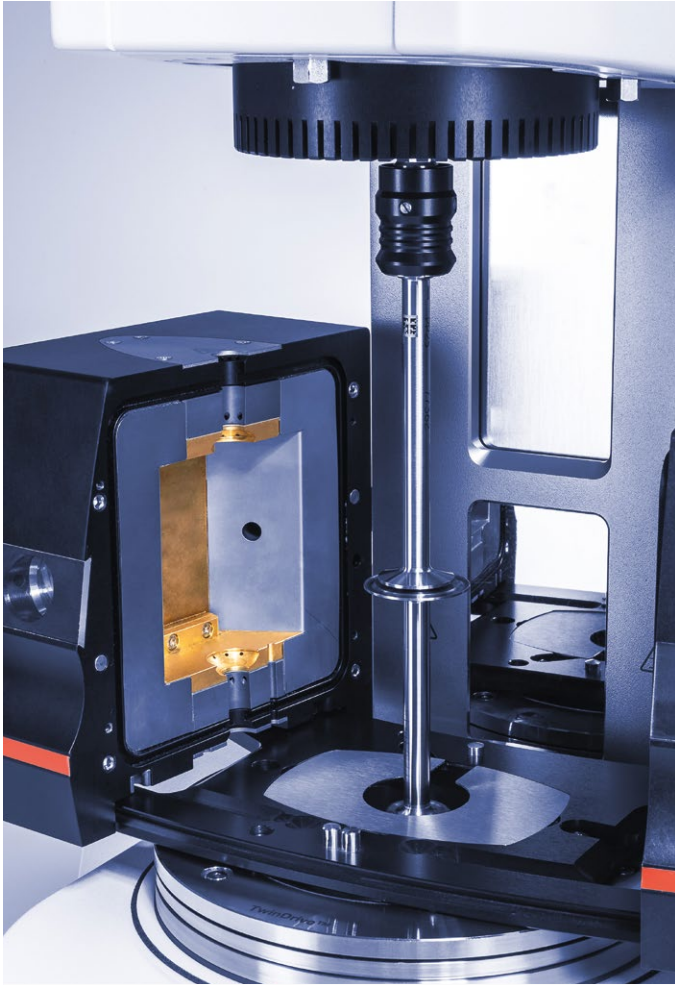
温度及び湿度制御システム

アントン パール社は、DMAやレオロジーの特性に応じ、様々な対流式温度制御システム(CTD)を幅広く提供しています。温度制御システムは、-160 °C～600 °Cの温度範囲をカバーし、空気または不活性ガスで使用できます。各システムは全て簡単に交換可能であり、全ての温度範囲において正確な温度が保証されています。



CTD 180 HR用
湿度オプション

- CTD 180 HRに接続することで、DMAやレオロジー用の測定システムを使用した試験が可能
- 外部湿度発生装置が、実際の温度に応じて相対湿度を5 %～95 %に制御
- 材料の乾燥、軟化、硬化への影響を調べるために使用



CTD 180 HR

ペルチェ素子を用いた対流ガス温度制御

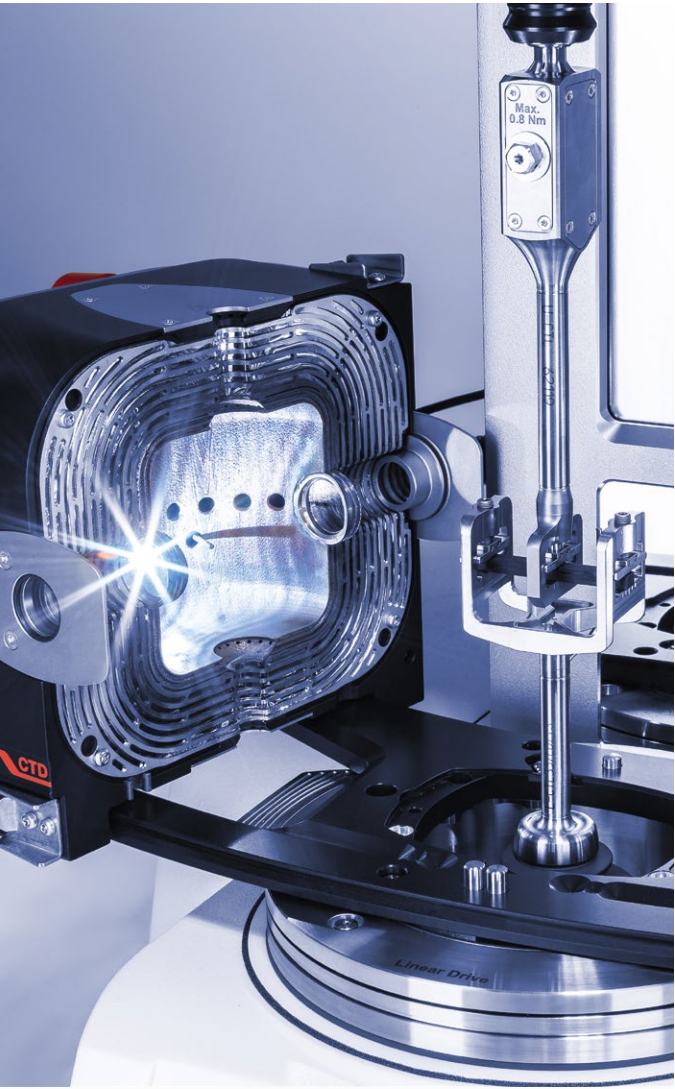
- 温度範囲: -20 ～+180 °C
- ガスチラーや液体窒素などの追加冷却オプションが不要



CTD 600 MDR用の
低温オプション

- オプション1: -160 °Cまで対応のEVU 20
- 液体窒素の気化とCTD 600 MDRへの窒素ガスの連続供給量を制御
 - 窒素の消費量は、必要な温度に応じて最適化され、運転コストを削減
 - ガス供給は、周囲温度以上の空気または不活性ガス(窒素など)に自動的に切り替わり、CTD 600 MDRの全温度範囲をカバー

- オプション2: -90 °Cまで対応のカスタマイズガスチラーユニット
- 圧縮ガス(空気または不活性ガス)を使用
 - 温度に応じて低温のガスと暖かいガスを連続的、自動的に切り替えることにより、エネルギー消費量、騒音、発熱量を最小限に抑制
 - 社内の安全規則で液体窒素の使用が禁止されている場合にも最適



CTD 600 MDR

対流ガス及び輻射熱併用の高度な温度制御

- 温度範囲: -160 ～600 °C
- 革新的な3D金属プリント製造技術により、最低温度・最高温度でも正確で安定した温度制御を実現
- 測定中のサンプルのたるみ、すべり、破壊、光学的に観察可能な相転移などを確認するために、デジタルアイカメラオプションを利用可能

- お客様にとってのメリット
- ✓ システム内部の均一なガスフローにより、高精度で温度を制御
 - ✓ 最高温度でも長時間にわたる測定が可能
 - ✓ ガス消費量が少ないため、運用コストの削減や、低トルク・荷重でも正確な測定を実現

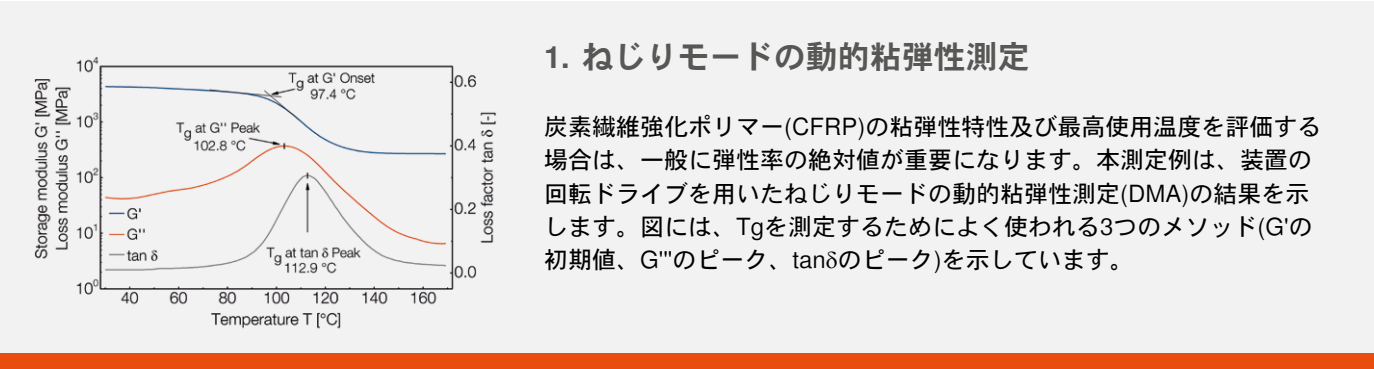
MCRのすべてのアクセサリーに対応

リニアドライブを取り外すと、MCR 702e MultiDriveはCMT(Combined Motor Transducer)レオメータとして使用できます。この構成では、様々な温度制御システムやアプリケーション固有のアクセサリーが用意されており、数え切れないほどのオプションから選択できます。さらに、アントンパール社では、特定の用途向けにカスタマイズ製品を提供しています。例えば、液体に浸された固体のDMA用システム、使い捨て先端パーツまたは特殊形状の先端パーツ（カスタマイズ）と組み合わせ可能なシャフト、さらには1000 °Cまで対応の材料特性評価ソリューションなどがあります。概要については、アントンパール社のウェブサイトをご覧ください。

MCR 702e MultiDrive – 世界で最も汎用性の高い動的粘弾性分析プラットフォーム

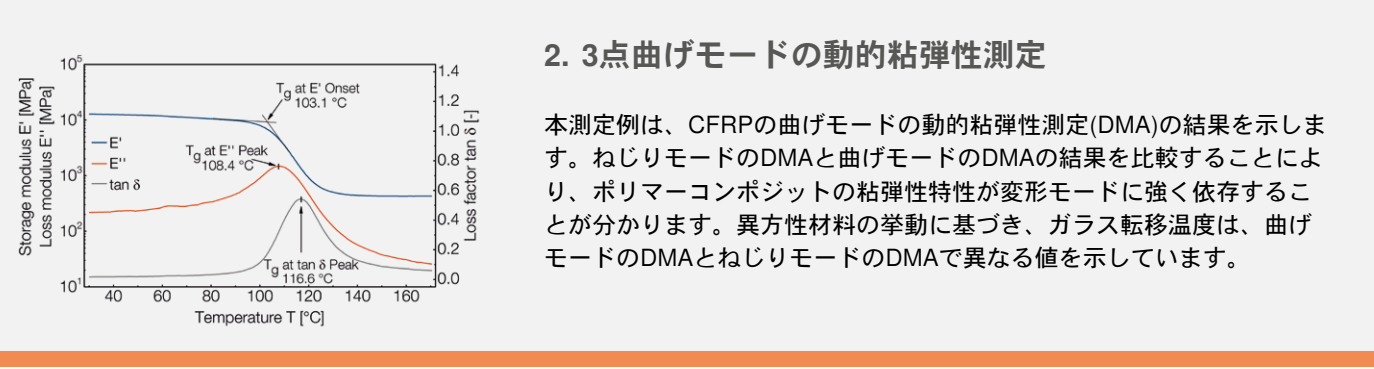
技術仕様

MCR 702e MultiDriveは、4-in-1機能を備え、動的粘弾性測定 of the most comprehensive test mode を提供します。例として、典型的な複合材料の特性を明らかにして最適化するための、ポリマー業界での重要なアプリケーション例を4つ示します。MCR 702e MultiDriveを使用すれば、1台の装置でこれらすべての測定タスクを卓越した品質で実行することができます。



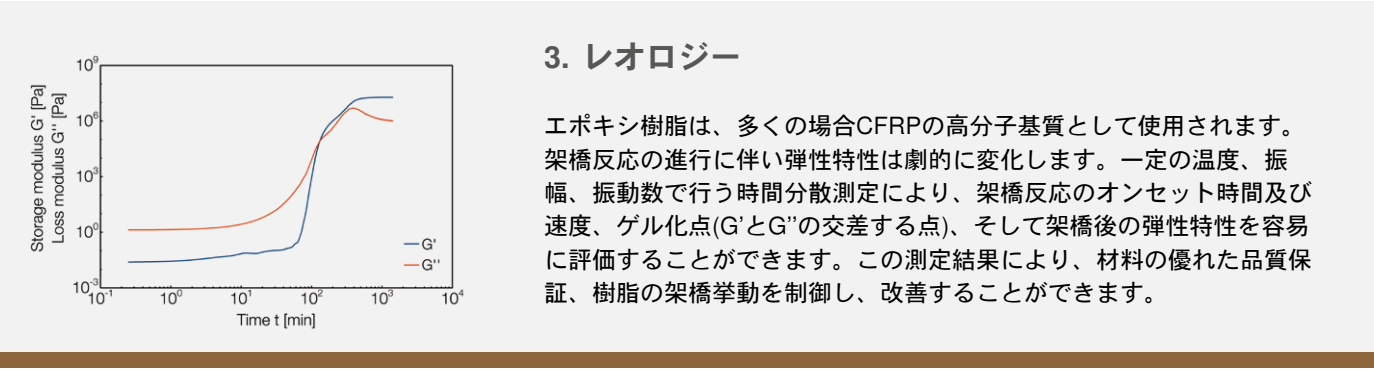
1. ねじりモードの動的粘弾性測定

炭素繊維強化ポリマー(CFRP)の粘弾性特性及び最高使用温度を評価する場合は、一般に弾性率の絶対値が重要になります。本測定例は、装置の回転ドライブを用いたねじりモードの動的粘弾性測定(DMA)の結果を示します。図には、Tgを測定するためによく使われる3つのメソッド(G'の初期値、G''のピーク、tanδのピーク)を示しています。



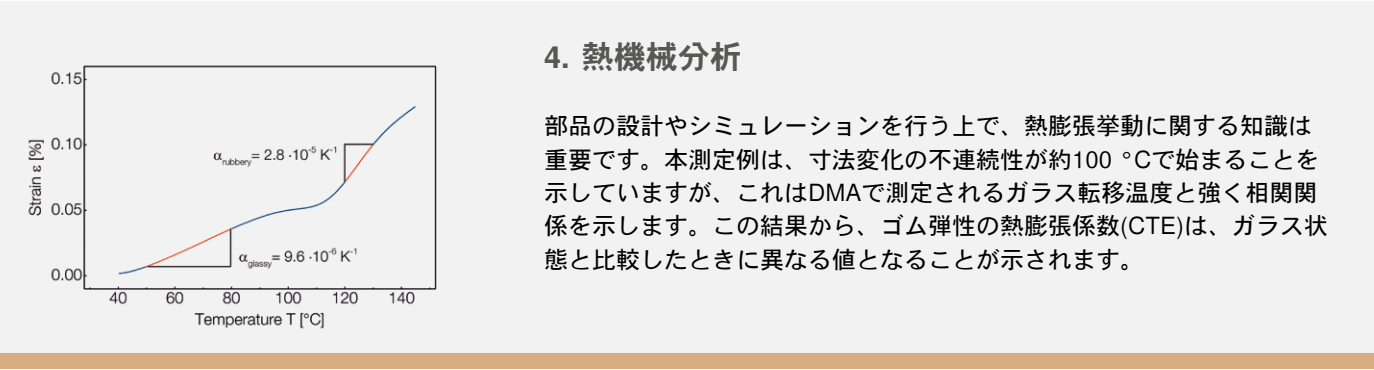
2. 3点曲げモードの動的粘弾性測定

本測定例は、CFRPの曲げモードの動的粘弾性測定(DMA)の結果を示します。ねじりモードのDMAと曲げモードのDMAの結果を比較することにより、ポリマーコンポジットの粘弾性特性が変形モードに強く依存することが分かります。異方性材料の挙動に基づき、ガラス転移温度は、曲げモードのDMAとねじりモードのDMAで異なる値を示しています。



3. レオロジー

エポキシ樹脂は、多くの場合CFRPの高分子基質として使用されます。架橋反応の進行に伴い弾性特性は劇的に変化します。一定の温度、振幅、振動数で行う時間分散測定により、架橋反応のオンセット時間及び速度、ゲル化点(G'とG''の交差する点)、そして架橋後の弾性特性を容易に評価することができます。この測定結果により、材料の優れた品質保証、樹脂の架橋挙動を制御し、改善することができます。



4. 熱機械分析

部品の設計やシミュレーションを行う上で、熱膨張挙動に関する知識は重要です。本測定例は、寸法変化の不連続性が約100 °Cで始まることを示していますが、これはDMAで測定されるガラス転移温度と強く相関関係を示します。この結果から、ゴム弾性の熱膨張係数(CTE)は、ガラス状態と比較したときに異なる値となることが示されます。

	単位	技術仕様
引張、曲げ、圧縮モードのDMA用リニアドライブ		
最大荷重	N	40
最小荷重	N	0.0005
最大変位	μm	9400 ⁽¹⁾
最小変位	μm	0.01
最大周波数	Hz	100
最小周波数	Hz	0.001
最高温度	°C	600 (950) ⁽²⁾
最低温度	°C	-160 ⁽³⁾
最大昇温速度	K/min	35 ⁽²⁾
最大冷却速度	K/min	30 ⁽³⁾

ねじり変形による動的粘弾性測定(DMA)及び一般的なレオロジー測定用回転ドライブ		
最大トルク	mNm	230
最小トルク(回転)	nNm	1
最小トルク(振動)	nNm	0.5
最大偏向角(設定値)	μrad	∞
最小偏向角(設定値)	μrad	0.05
最大角速度	rad/s	314
最小角速度	rad/s	0 ⁽⁴⁾
最大角周波数	rad/s	628 ⁽⁵⁾
最小角周波数 ⁽⁶⁾	rad/s	10 ⁻⁷ ⁽⁷⁾
ノーマルフォース範囲	N	-50~+50
最大温度制御範囲	°C	-160~-+1000

回転ドライブのみを使用する場合の一般的な機能、測定システム、アクセサリー、仕様については、MCR Evolutionのカタログを参照してください。

機能		
引張、曲げ、圧縮モードのDMA		✓
ねじりモードのDMA		✓
レオロジー		✓
熱機械分析		✓
Toolmaster™: 測定システム		✓
Toolmaster™: 測定セル		✓
測定システムのクイックコネクト(ネジなし)機能		✓
自動設定温度待機機能(T-Ready™)		✓
低温オプション: 液体窒素氮化器		○
低温オプション: カスタマイズガスチラー		○
湿度オプション		○

✓ 搭載 | ○ オプション

¹⁾ 振動時の最大変位は±4500 μmです。
²⁾ CTD 600 MDRと組み合わせた場合。標準の測定システムは最高350 °Cで使用可能です。ご希望に応じ、最高600 °Cまでの測定に対応した測定システムを提供可能です。
CTD 1000との組み合わせにより、ご希望に応じて最高950 °Cまでのカスタマイズが可能です。
³⁾ CTD 600 MDRおよび低温オプションを組み合わせ場合。
⁴⁾ セン断応力制御(CSS)モードの場合。せん断速度制御(CSR)モードの場合、各測定点の測定時間とサンプリングレートに依存。
⁵⁾ マルチウェーブ機能を用いることによりより高い周波数が可能です(942 rad/s(150 Hz)以上、測定システムとサンプルに依存)。
⁶⁾ 測定間隔が1日を超えるため10-4 rad/s未満の周波数の設定は現実的ではありません。
⁷⁾ 理論値(1サイクル当たりの期間=2年)。



Anton Paar

株式会社アントンパール・ジャパン
〒131-0034 東京都墨田区堤通1-19-9
リバーサイド隅田1階
Tel: 03-4563-2500 | Fax: 03-4563-2501

〒562-0035 大阪府箕面市船場東3-4-17
箕面千里ビル8階
Tel: 050-4560-2100 | Fax: 050-4560-2101

info.jp@anton-paar.com
www.anton-paar.com