

# 動的粘弾性 測定システム DMA

MCR 702e MultiDrive



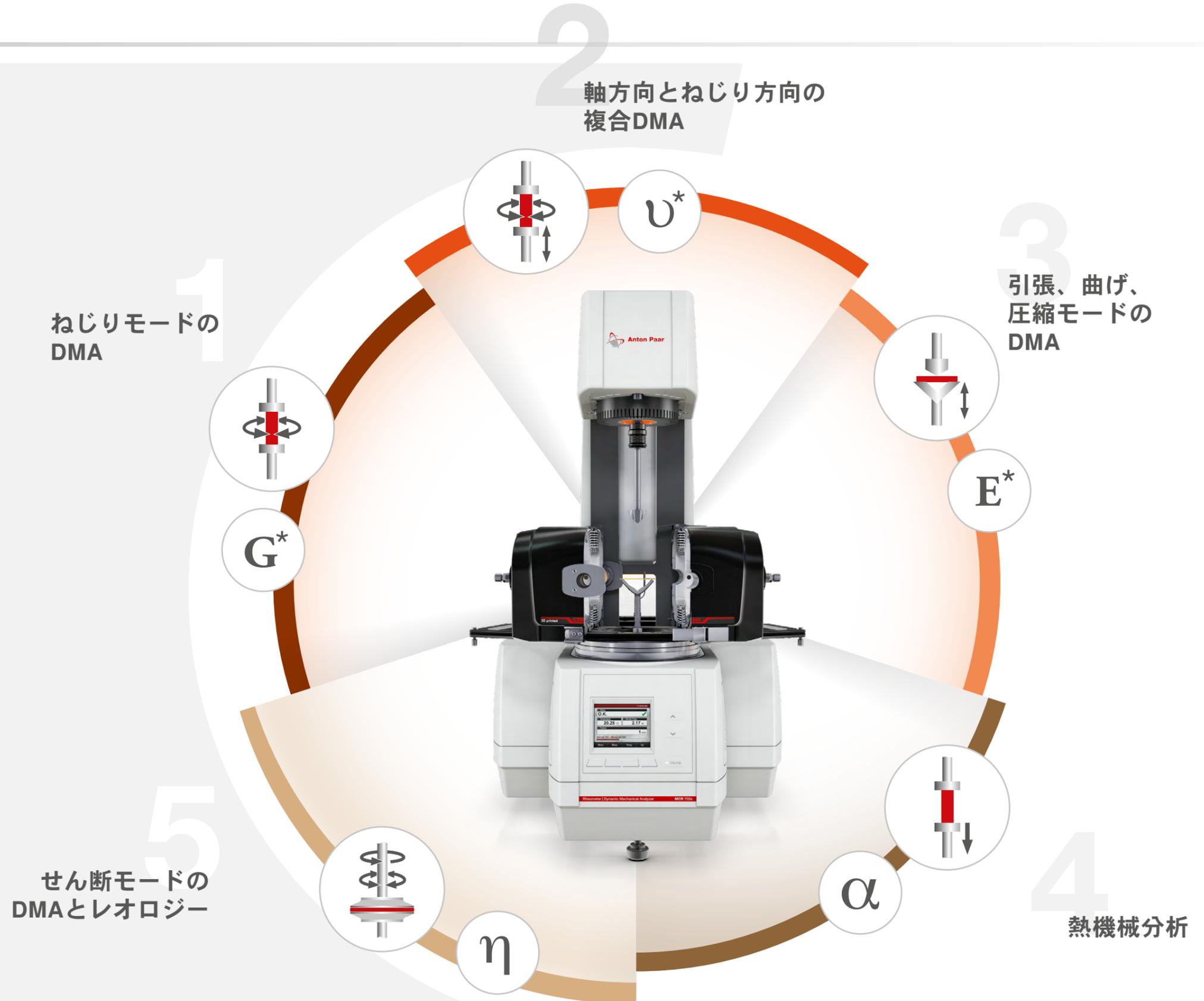
# DMA以上の機能を提供

世界で最も汎用性の高い動的粘弾性測定  
高性能プラットフォーム

MCR 702e MultiDriveは、最先端のリニアモーターと、MCRレオメータで定評のあるECモーター技術を組み合わせたものです。これにより、液体、軟質、固体サンプルの動的粘弾性測定(DMA)の可能性が大きく広がります。この装置1台で、引張、ねじり、曲げ、圧縮モードのDMAに加え、レオロジー特性評価や熱機械分析(TMA)も行うことができます。

しかし、イノベーションはこれだけではありません。MCR 702e MultiDriveでは、一つの試験定義で軸方向とねじり方向のDMAを組み合わせることができます。この当社独自の機能により、1回の試験で異方性材料の特性評価とポアソン比の測定を簡単に行えるようになりました。

MCR 702e MultiDriveは、この画期的な5-in-1機能で動的粘弾性測定システムの新たなスタンダードを確立し、材料の動的粘弾性評価に全く新しい可能性をもたらします。



# 多彩な測定モード

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、ねじり方向とリニア方向だけでなく、軸方向とねじり方向の複合モードでの動的粘弾性測定、熱機械分析、エアベアリング式レオメータで知られる幅広いレオロジー測定に適した世界初の装置です。このように、Anton Paarは、産業用と研究向けの両方に対応できる柔軟性を持つ製品を提供しています。MCR 702e MultiDriveを使用すれば、固体から液体まで、多種多様な材料特性をユーザーが希望する方法で評価でき、最も信頼性の高い包括的な評価結果を得ることができます。

リニアドライブ      回転ドライブ

リニア・回転ドライブモード



円柱状/短冊状サンプル用測定システム(SRF/SCF)を用いたリニアドライブと回転ドライブによる複合測定では、温度、周波数、時間、湿度の関数としての複素ヤング率( $E^*$ )と複素せん断弾性率( $G^*$ )を1度の試験で求めることができます。これにより初めて、等方性材料のポアソン比を単一サンプルで正確かつ迅速に測定できるようになりました。また、複合材料などの異方性材料を調査する場合は、方向に依存した迅速な特性評価が可能のため、サンプルの特性をより包括的に分析することができます。

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。三点曲げ、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、従来の動的粘弾性測定を、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、クリープ回復試験、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/短冊状サンプル用測定システム(SRF/SCF)や、プレートプレートまたはコンプレートなどの測定システムと組み合わせることで、ねじりモード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、下部の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。リニアモーターユニットを取り外すと、Anton Paar MCRシリーズのあらゆる測定システム、温度装置、用途に応じたアクセサリを搭載でき、サンプルの標準的な粘弾性測定や高度な粘弾性測定が可能になります。リニアドライブの代わりに、2つ目の回転ドライブを下部に取り付けると、レオメータにあるすべてのテストモードで高度な粘弾性測定を実行できます。

# 主な機能

## DMAとレオロジー測定で最高の柔軟性を 実現する先進のコンセプト

リニアドライブと回転ドライブを独自設計で1台の装置に組み合わせたことで、直線方向とねじり方向の両方向の動的粘弾性測定、軸方向とねじり方向の複合測定、さらにはレオロジー測定が可能になり、お客様の材料のアプリケーションに最も関連する特定の評価結果を得られるようになりました。

## 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質の高い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ます。

## 正確な荷重測定と広い変位範囲

設計を最適化し、可動式磁気モーターの材質選定にこだわることで、リニアドライブの磁気ヒステリシスを最小限に抑えています。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。

## 高い再現性のために測定システムを最適化

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、サンプル内の温度勾配を最小限に抑えます。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、温度範囲全体にわたって高い精度と再現性を保ちつつサンプルの実温度を測定します。

## すべてのアクセサリの簡単な取付と 自動設定

実績のあるクイックコネクタカップリングは、測定システムを変更する際、ねじ止め機構や追加のアライメント調整作業が不要で、非常に使いやすい設計となっています。Toolmaster™(ツールマスター)は、完全に非接触の自動ツール・設定システムで、利用可能なあらゆる測定システムを認識します。現在使用している設定や複雑な形状データをソフトウェアに手入力することなく、測定システムやアクセサリの変更にかかる時間を短縮し、ミス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

サポートプレートが露出しているため、MCRの全アクセサリ、特に幅広いレオロジーアプリケーション用アクセサリや、共焦点顕微鏡などの外部セットアップと簡単に組み合わせることができ、最大限の作業スペースを確保できます。この装置には外部電子ボックスが備わっており、グローブボックス内でのセットアップなど、お客様の設置条件に柔軟に対応できます。

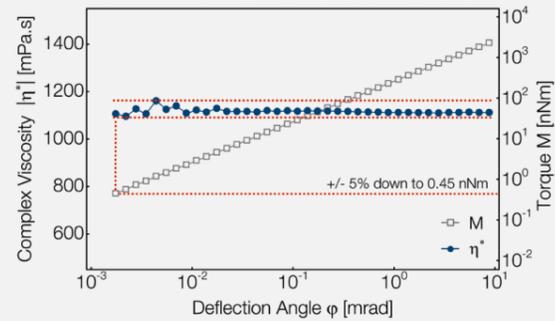


# 独自のモーターテクノロジー 最高レベルの精度を実現

## 回転ドライブ

ECモーター(永久磁石同期モーター)ベース

- ローターに永久磁石を搭載 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同期を実現
- 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ヤルエアベアリング②とラジアルエアベアリング③を搭載



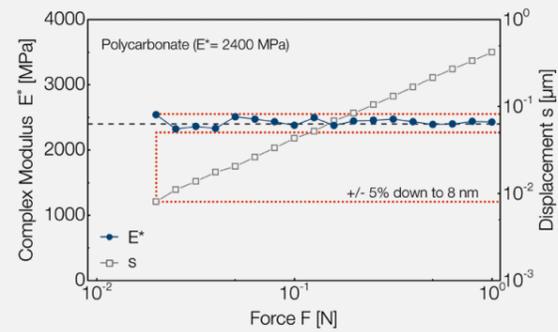
### 測定の利点

- 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

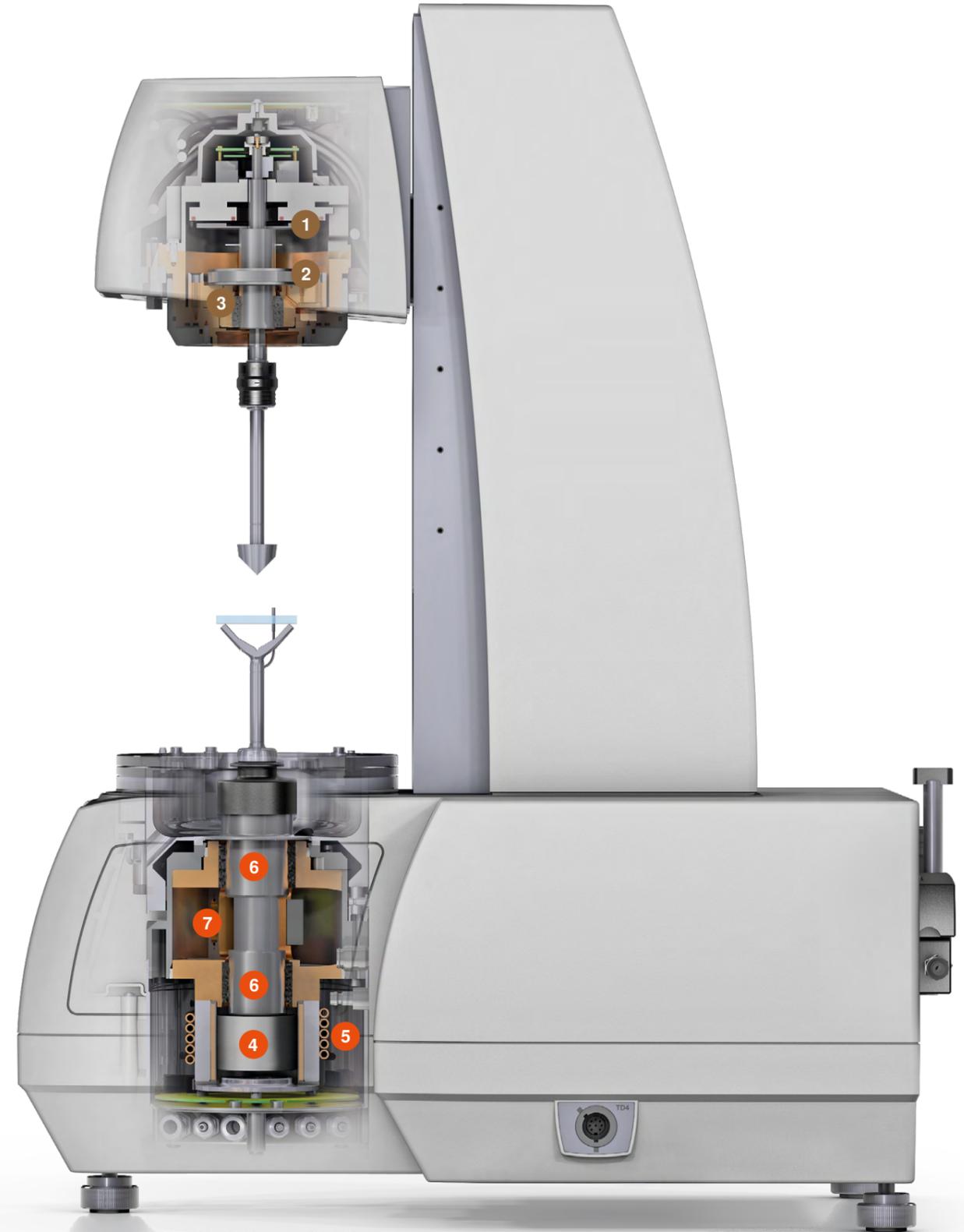
可動式磁気モーターベース

- 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によって、最低限の電流で変位を実現し、光学式エンコーダで測定
- 引張、曲げ、圧縮モードのDMA、さらに高剛性材料のねじりモードのDMAにおける低荷重測定を可能にするラジアルエアベアリング⑥とトーショナルエアベアリング⑦を搭載

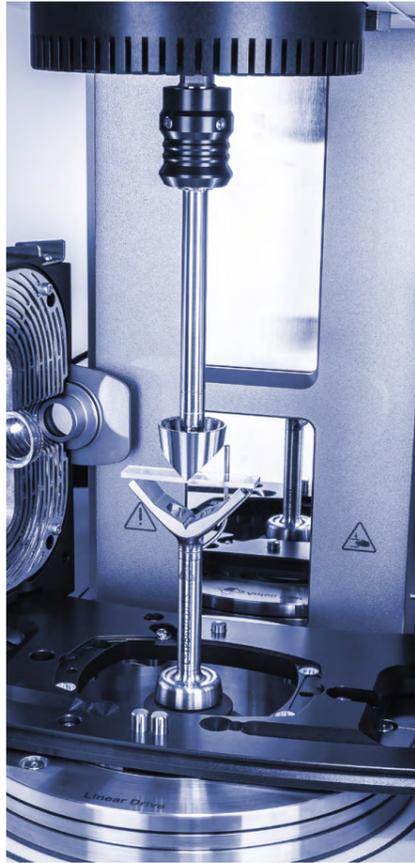


### 測定の利点

- 磁場形成技術による、優れたS/N比での低荷重測定(最小0.5 mN)
- 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し、最高40 Nの高荷重測定や長時間測定であっても温度による信号ドリフトを排除
- 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)

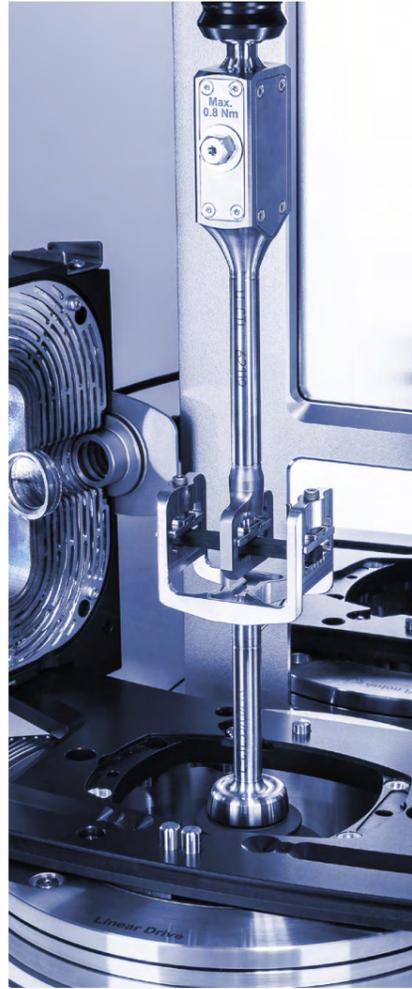


# 測定システム



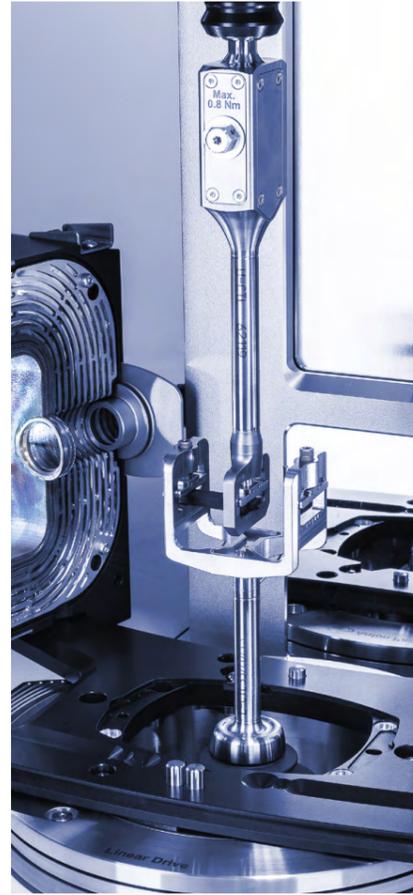
三点曲げシステム

サンプルは、両端にある2か所の可動式支持部の上に置き、固定式シャフトはサンプルの中央にくるようにします。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。



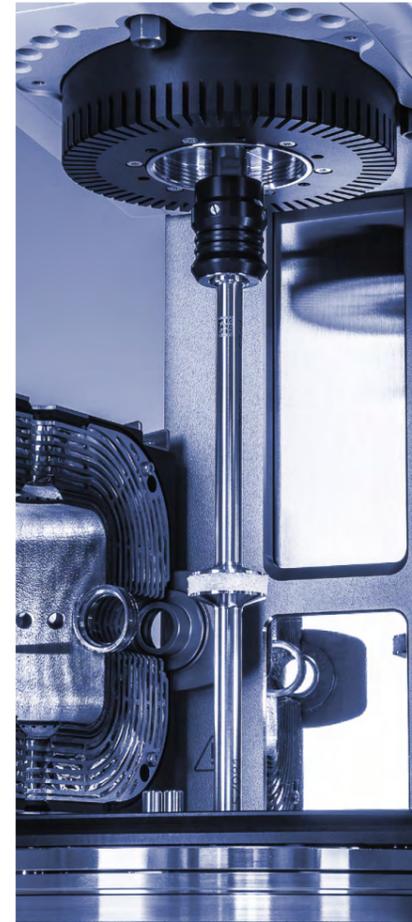
デュアル  
カンチレバー

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。この測定システムは測定中にたる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。



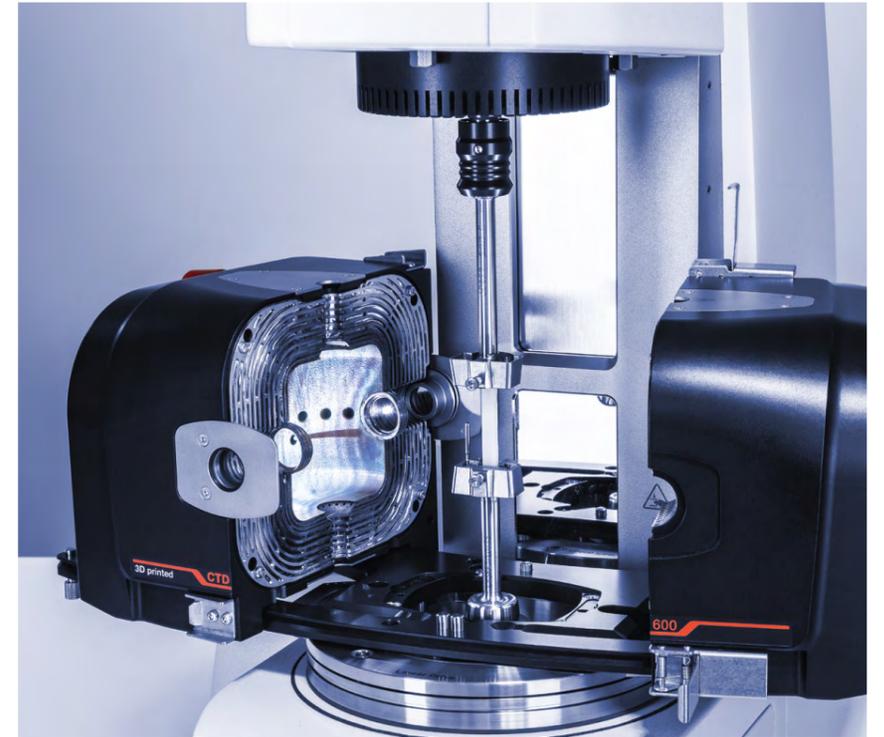
シングルカンチレバー

サンプルは、中央のクランプと片端にある1つのクランプの間に固定されます。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、測定システムは、たるみが発生するような軟質材料にも対応します。例としては、熱可塑性樹脂やエラストマーなどです。



圧縮システム

圧縮モードのDMAでは、従来のプレート・プレート測定システムを使用できます。サンプルは上下の測定システムの間置き、一軸負荷をかけます。この変形モードは、発泡体、エラストマー、食品やゲルなどの柔らかい固体の特性評価に特に有効です。



短冊状サンプル測定システム/  
円柱状サンプル測定システム

サンプルは上下の固定具で垂直に固定し、一軸方向に変形します。アントンパールの独自設計により、厚みや直径の異なるサンプルでも、測定システムの軸に正確に合わせて測定することができます。フィルム、繊維、棒状などのサンプルでも再現性に優れた結果を得ることができます。

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モードの動的粘弾性測定に加えて、ねじりモード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。ポアソン比や異方性材料の方向依存特性など、これまでDMAでは測定できなかった材料特性を簡単に測定したり、引張モードのDMAからねじりモードのDMAへのデータ変換やその逆の作業を必要とせず、完全な材料挙動を測定したりすることができます。

お客様のために

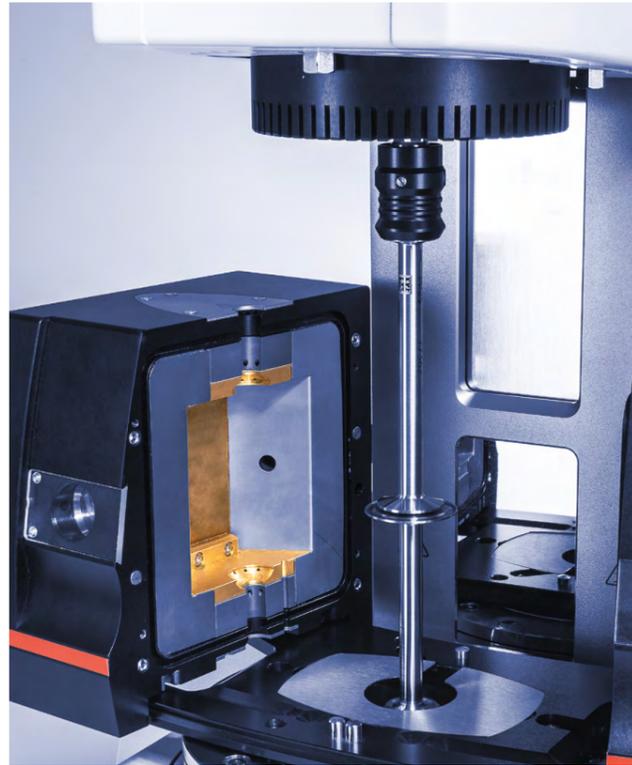
- ✓ 測定システム内蔵の高精度温度センサにより、サンプルの実温度を高い再現性で検出
- ✓ 数値流体力学(CFD)に基づいた設計により、サンプル内部の温度勾配を低減
- ✓ 堅牢なシステム形状により、優れたコンプライアンスを誇り、高い弾性率を持つサンプルの評価を実現

お客様のために

- ✓ クイックコネクト機能により、ネジを使用せず数秒で測定システムを交換可能
- ✓ Toolmaster™(ツールマスター)機能は、ソフトウェアの手動設定なしでツールを自動で認識・設定
- ✓ 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・湿度用アクセサリ

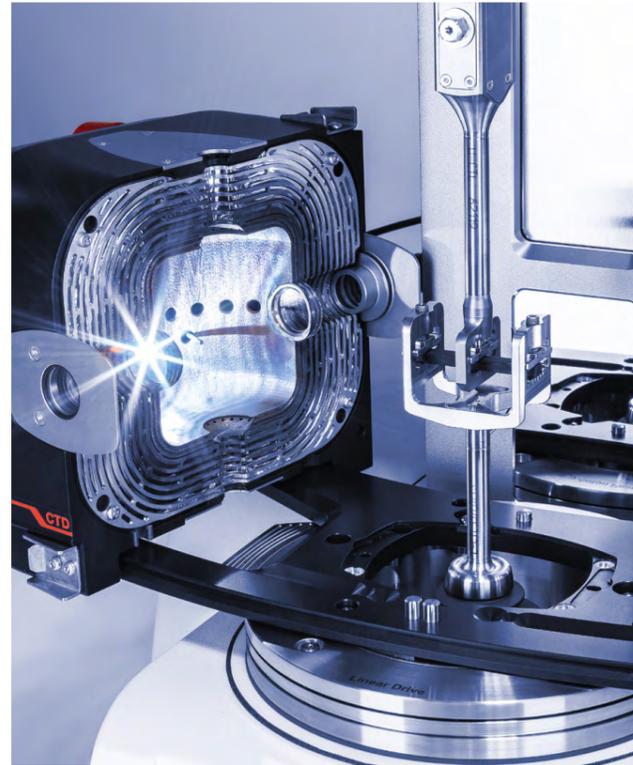
アントンパールでは、DMAとレオロジー測定の特特殊要件に応じた、対流式温度制御システム (CTD) を各種ご用意しています。この温度制御システムは、-160~+1,000 °Cの温度範囲をカバーし、空気または不活性ガスを使用できます。いずれのシステムも簡単に交換でき、温度範囲全体にわたって正確な温度制御が可能です。



CTD 180 HR

ペルチェ素子を用いた対流式温度制御

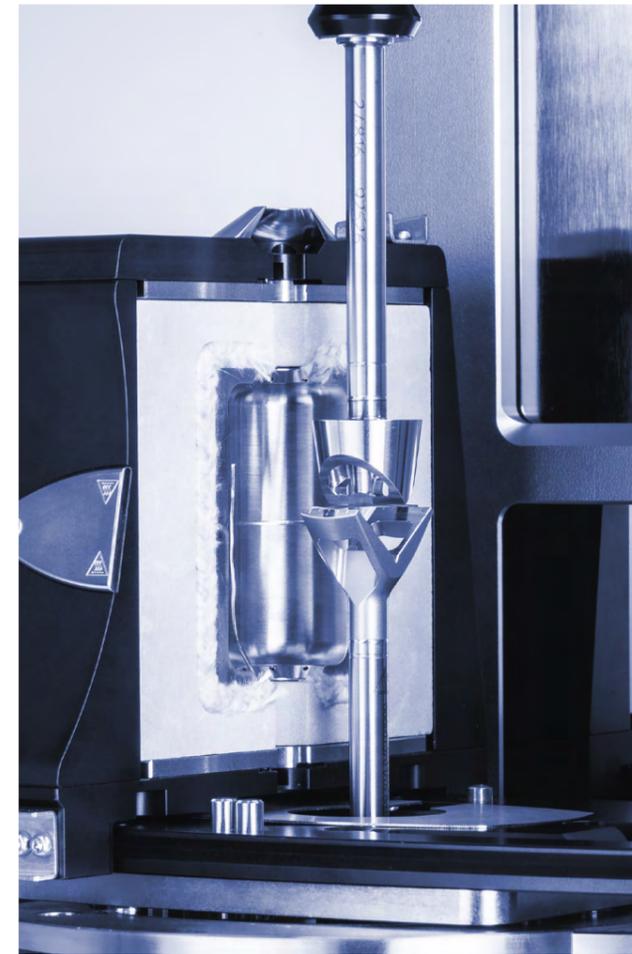
- 温度範囲: -20~+180 °C
- ガスチラーや液体窒素などの追加冷却オプションが不要
- 相対湿度がポリマー、食品、医薬品に与える影響の評価に最適



CTD 600 MDR

対流式と輻射式を組み合わせた、最高レベルの精度を提供する最新式温度制御

- 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
- デジタルアイカメラオプションにより、たるみ、すべり、破壊、光学的に観察可能な相転移などの測定効果を確認可能



CTD 1000 MDR

パワフルな対流式温度制御で極めて広い温度範囲を実現

- 温度範囲: -150~+1,000 °C
- 金属や合金、ガラス、セラミックスの特性評価に最適



低温測定用オプション

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またはCTD 1000 MDRへの窒素ガスの連続供給を制御
- ガスの供給は、空気または不活性ガスに自動的に切り替わり、CTD 600 MDRの全温度範囲に対応

オプション2: CTD 600 MDRと-90 °Cまで対応する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
- 社内の安全規則により、液体窒素の使用が禁止されている現場に最適

CTD 180 HR用湿度オプション

- 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

お客様にとってもっと

- ✓ 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

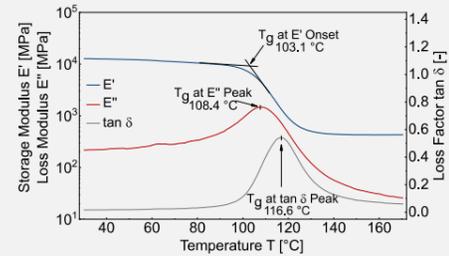
MCRのすべてのアクセサリに対応

MCR 702e MultiDriveはリニアドライブを取り外すと、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。アントンパールではさらに、特定のアプリケーション向けにカスタム製品もご用意しています。例えば、液体に浸漬された固体のDMA用システム、任意の使い捨てまたはカスタム形状に組み合わせ可能なシャフト、一般的なDMA測定システムで粉末状サンプルを曲げモードで試験するための材料ポケット、DMAで粘弾性材料を軸方向せん断で評価するためのせん断サンドイッチなどがあります。詳細は、アントンパール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

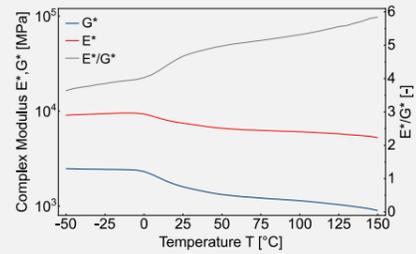
## 技術仕様

5-in-1機能を備えたMCR 702e MultiDriveには、動的粘弾性特性評価に利用できる最も包括的なテストモードが搭載されています。例として、ポリマー産業で一般的な複合材料の特性評価・最適化にとって重要なアプリケーションである4つの測定をご紹介します。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優れた品質で実行することができます。



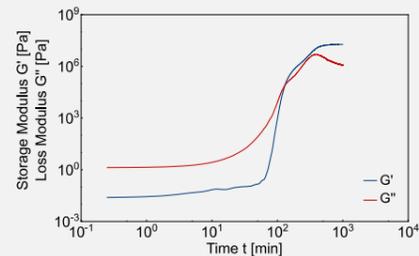
### 1. 曲げモードのDMA

曲げモードでのDMAは、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の粘弾性特性を測定するためにしばしば利用されます。図には、Tgを測定するためによく使われる3つの方法(初期値G'、G''のピーク、tan δのピーク)が示されています。これらの値は、適切な使用温度と、使用時の材料の実際の機械的特性を決定するために利用できます。



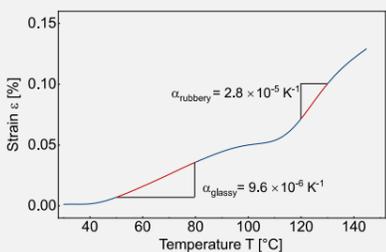
### 2. ねじり複合モードのDMA

高分子複合材料はその異方性により、変形モードに強く依存する粘弾性特性を示すことがあります。この例では、CFRPのねじりDMAと引張DMAの温度依存性の測定結果が示されています。E'とG'の比が変化していることから、CFRPの機械的特性は、荷重の方向によって、温度によるさまざまな影響を受けることがわかります。



### 3. レオロジー

CFRPのポリマー母材には、エポキシ樹脂がよく使用されます。エポキシ樹脂の機械的特性は架橋反応中に変化します。架橋の開始と速度、G'とG''のクロスオーバーポイント、最終的な機械的特性は、等温振動時間掃引を行うことで簡単に測定することができます。このように、樹脂システムの挙動を制御し改善することで、部品品質を向上できます。



### 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。この例は、寸法変化の不連続性が約100 °Cで始まっていますが、これはDMAで測定されるガラス転移温度との強い相関関係を示しています。その結果、熱膨張係数(CTE)は、ゴム弾性状態とガラス状態において異なる値を示すことがわかります。

	単位	技術仕様
<b>引張、曲げ、圧縮モードのDMA用リニアドライブ</b>		
最大荷重	N	40
最小荷重	N	0.0005
最大変位	μm	9,400 <sup>(1)</sup>
最小変位	μm	0.01
最大周波数	Hz	100
最小周波数	Hz	0.001

<b>ねじりモードのDMA、レオロジー用回転ドライブ</b>		
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 <sup>(2)</sup>
最大角周波数	rad/s	628 <sup>(3)</sup>
最小角周波数 <sup>(4)</sup>	rad/s	10 <sup>-7</sup> <sup>(5)</sup>
法線力範囲	N	-50~+50

<b>温度制御</b>		
最大温度制御範囲	°C	-160~+1,000 <sup>(6)</sup>
最大昇温速度	K/min	60 <sup>(6)</sup>
最大冷却速度	K/min	30 <sup>(6)</sup>

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、仕様については、MCR Evolutionのカタログを参照してください。

<b>機能</b>	
引張、曲げ、圧縮モードのDMA	✓
ねじりモードのDMA	✓
軸ねじり複合モードのDMA	✓
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(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: 液体窒素気化器	○
低温オプション: ガスチラー	○
湿度オプション	○

✓ 搭載 | ○ オプション

- 振動時の最大変位は±4,500 μmです。
- せん断応力制御(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。
- マルチウェーブ機能を使用することで、より高い周波数も利用可能(942 rad/s(150 Hz)以上、測定システムとサンプルに依存)。
- 測定間隔が1日より長いため、10<sup>-4</sup> rad/s未満の周波数の設定は現実的ではありません。
- 理論値(1サイクル当たりの期間=2年)
- 限界値は使用する対流式温度制御システムや測定システムによって異なります。ご要望に応じて、-170 °Cまで対応可能なカスタム低温オプションをご用意しています。



**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: 03-6661-8328

〒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: 03-6661-8328

[info.jp@anton-paar.com](mailto:info.jp@anton-paar.com)