TA Instruments

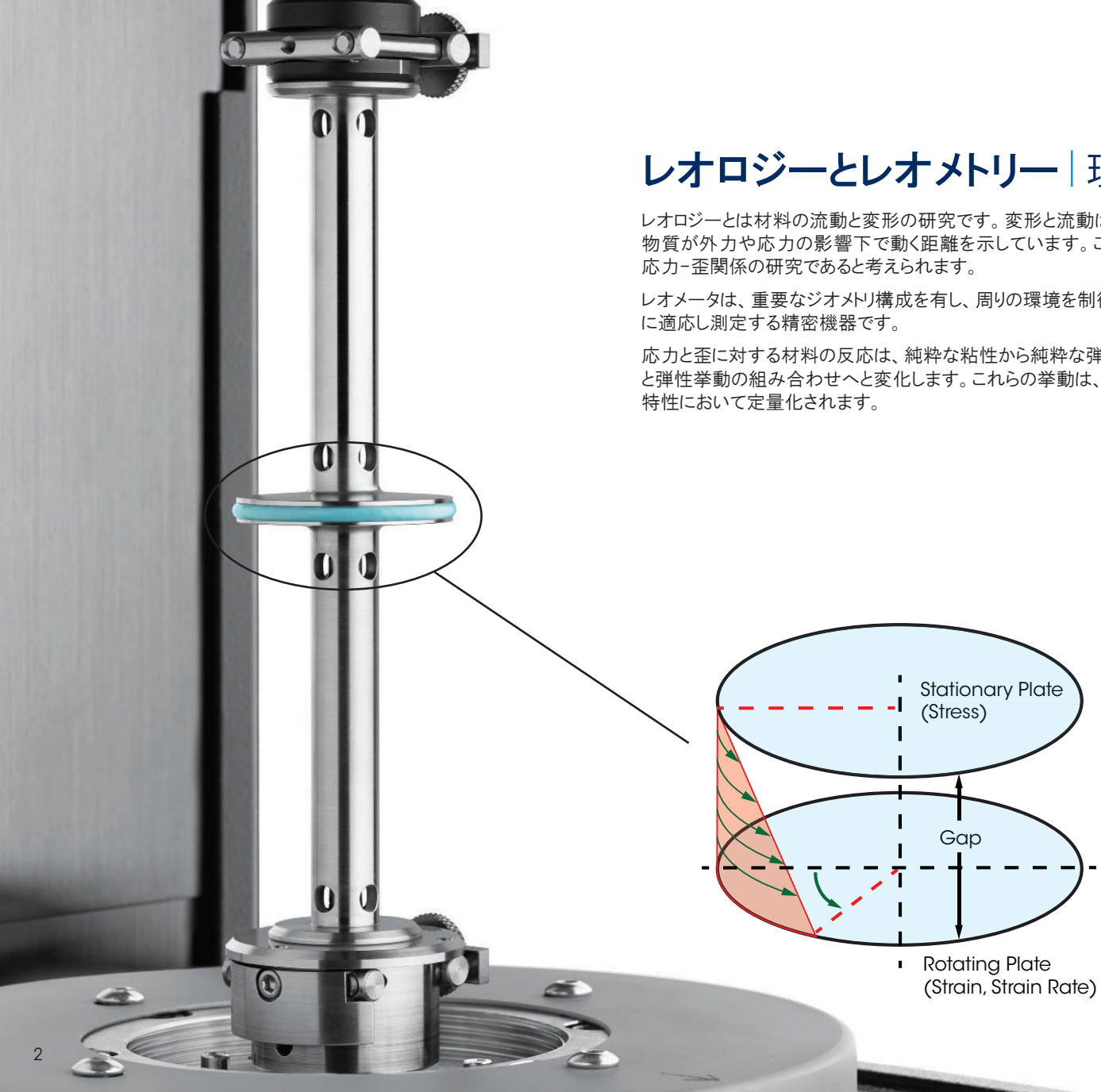
ARES-G2 レオメータ

The **ARES-G2** is the **MOST ADVANCED rotational rheometer** for **RESEARCH** and **MATERIAL DEVELOPMENT**

ARES-G2は、変形制御のための専用アクチュエータや、せん断応力およびノーマル応力を独立して測定できるトルクリバランストランスデューサ(TRT)、フォースリバランストランスデューサ(FRT)を備えた、唯一の市販されているレオメータです。レオロジー測定の精度比較における業界標準としてレオロジストに認識されています。
ARES-G2 プラットフォームは、優れた機能を備えています。:

- 最高のデータ精度
- 優れた歪、新応力制御
- 高速データサンプリング
- 分離された電源
- 新Smart Swap™ 環境システム
- 特許取得のアクティブ温度制御
- 高精度アクセサリ
- 最高のテスト柔軟性を提供するTRIOS ソフトウェア
- 大振幅振動せん断測定(LAOS)、フーリエ変換(FT)レオロジー解析ソフトパッケージ
- 新オルソゴナルスーパーポジション(OSP)、2方向小振幅せん断測定(2D-SAOS)技術
- 固体の曲げ、引張り、圧縮測定の新DMAモード

他に比較できるレオメータはありません。



レオロジーとレオメトリー | 理論

レオロジーとは材料の流動と変形の研究です。変形と流動はそれぞれ、歪または歪速度と呼ばれ、物質が外力や応力の影響下で動く距離を示しています。このことから、レオロジーは材料における応力−歪関係の研究であると考えられます。

レオメータは、重要なジオメトリ構成を有し、周りの環境を制御、そして応力、歪、歪速度の広い範囲に適応し測定する精密機器です。

応力と歪に対する材料の反応は、純粋な粘性から純粋な弾性へ、そして粘弾性として知られる粘性と弾性挙動の組み合わせへと変化します。これらの挙動は、弾性率、粘度および弾力性などの材料特性において定量化されます。

$$\text{弾性率} = \frac{\text{応力}}{\text{歪}}$$

$$\text{粘度} = \frac{\text{応力}}{\text{歪速度}}$$

レオロジーのメリット

多くの工業関連の材料は複雑なレオロジー挙動を示します。これらの特性は材料の加工性および最終用途の性能を決定します。レオロジー測定は、航空宇宙、アスファルト、自動車、セラミックス、エラストマー、電気、食品、パーソナルケア、生物医学、ペイントやコーティング、インク、石油製品、医薬品などの幅広い産業にとって非常に重要です。レオメータはレオロジー特性が産業製品のすべての工程にどのように影響を及ぼすかを測定、理解するために用いられます。

フォーミュレーション：
化学、濃度、相構造に基づいたフォーミュレーションの測定および予測。物質の存在の研究と、レオロジー特性に基づいたフォーミュレーションの理解

工程：
時間、電力の節約、望ましい最終的物性を維持するフォーミュレーションや工程の選択

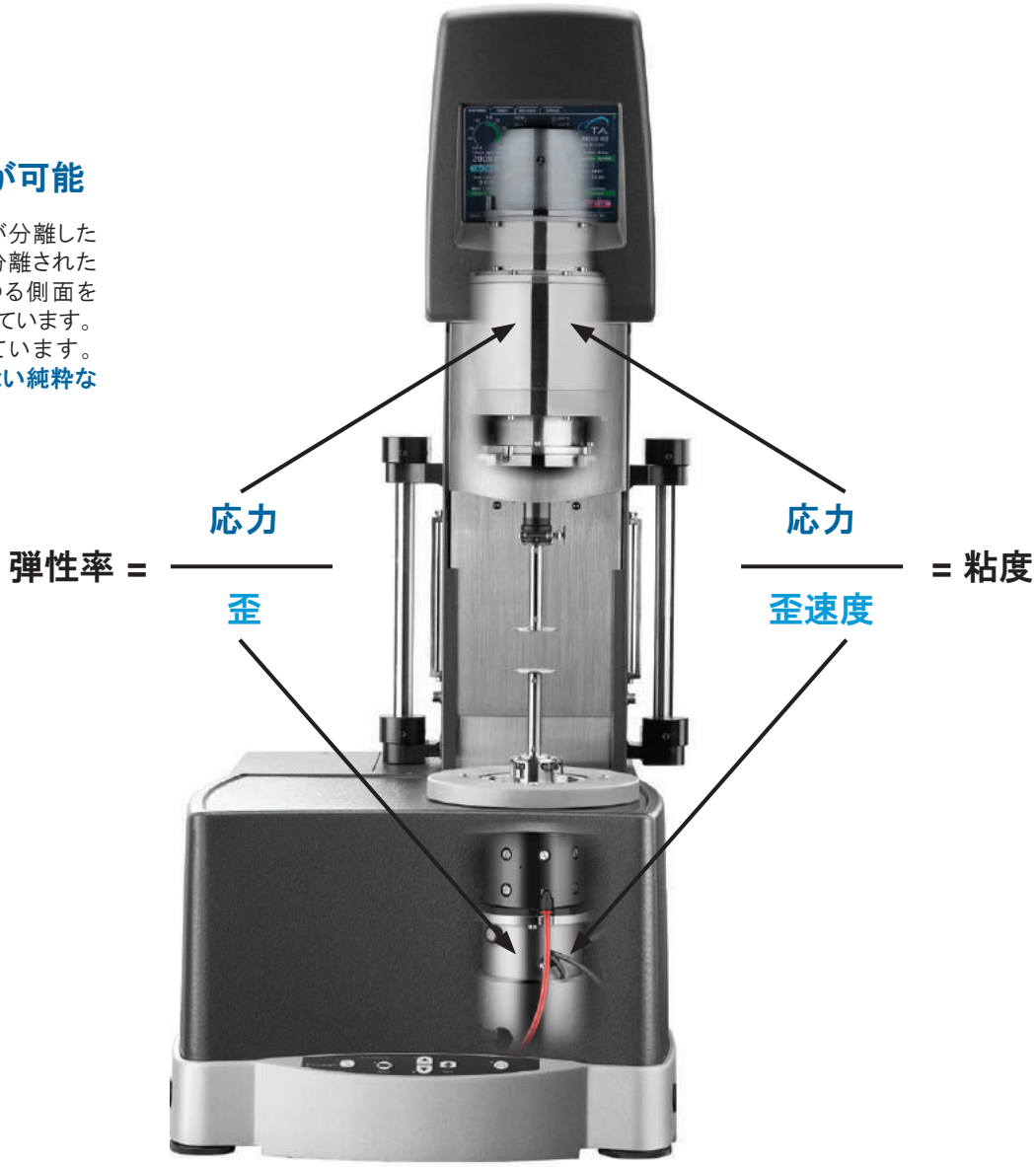
性能の予測：
特別な測定条件を模倣することなく既知の使用条件にづいて材料の性能を予測

顧客の支持：
濃度、テクスチャー、口当たり、咀嚼や嚥下における挙動、適用性、拡延性、注入性、保管中の安定性に基づき、顧客が価値あるものとして認識する特性を定量的に最適化

ARES-G2 | テクノロジー

ARES-G2は応力と歪の独立した測定が可能

ARES-G2は世界で唯一のモーターとトランスデューサが分離したレオメータです。SMTは2つ以上のドライブを有します。分離されたモーターとトランスデューサはレオロジー測定のあらゆる側面を最適化します。モーターは完全な変形のために設計されています。トランスデューサは正確な応力測定に最適化されています。**幅広い応力、歪、周波数にわたり装置起因の影響のない純粋なレオロジー測定ができます。**



トルクリバランス トランスデューサ (TRT)

ARES-G2のトルクリバランストランスデューサ(TRT)は、サンプル応力のもっとも精密な測定のためだけに設計され、最適化された3世代目のリバランストランスデューサです。このアクティブシステムはゼロ点維持を必要とするトルクに基づいたもっとも正確なサンプル応力が測定可能な特許取得済の技術を搭載しています。 ARES-G2 TRT は装置の慣性補正やエラーの影響を受けずに、このタスク専用に設計、最適化されています。非常に頑丈なトランスデューサは、5,000,000～1のダイナミックトルク範囲、堅牢なエアベアリング、高分解能容量角度センサー(特許#7,075,317、7,135,874)、新しい非接触上部温度センサー(特許#6,931,915)を特徴とします。独立した定常トルク測定により、モーターの摩擦や慣性を補正する必要がなくなり、もっとも純粋なトルク測定に変換されます。

ノーマルフォースリバランス トランスデューサ (FRT)

ARES-G2のフォースリバランストランスデューサ(FRT)により、優れたノーマルフォース測定が実現します。ゼロ点においてFRTシャフトを維持するポジションフィードバックを利用するアキシャルサーボコントロールシステムで構成されます。優れたトランスデューサの剛性により、もっとも正確で速い過渡的なノーマルフォース測定が可能です。

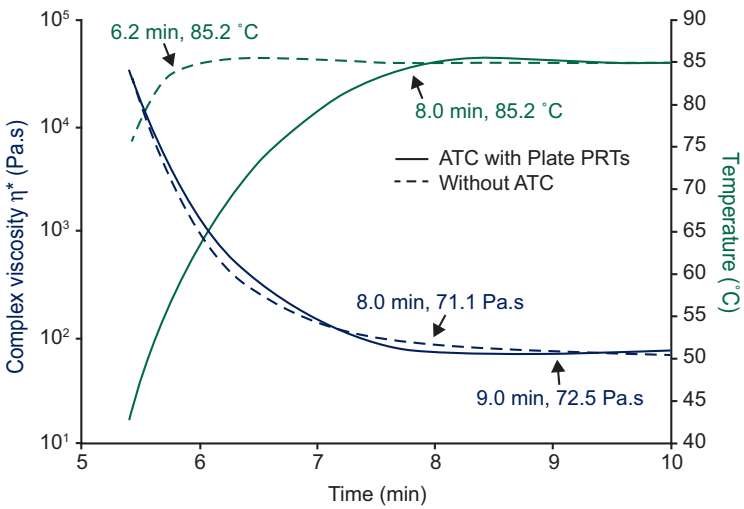
ドライブモーター

ARES-G2のドライブモーターは広範囲の変位角と速度を持ち、正確な回転で作動するよう設計されています。主要部分は堅牢なエアベアリングシステム、800 mN.mの高トルクで摩擦のないブラシレスDCモーター、特許取得の非接触温度センサーおよびオプティカルエンコーダ変位センサーから構成されています。サンプルの変形専用に設計されたARES-G2モーターは、優れたせん断とノーマル応力測定に適しており、高剛性、最高の同心性、軸ずれしにくいことが特徴です。

ARES-G2 | テクノロジー

アクティブ温度コントロール（ATC）

ARES-G2はアクティブ測定のための特許取得の非接触温度センサーテクノロジーを取り入れ、上下両方のプレート温度を制御します。白金抵抗体(PRT)がモーターとトランスデューサの両方のシャフトに直接接続されています。これらのPRTは上下の測定面の中心と密接するよう配置され、検知された温度はワイヤレスで装置に送られます。温度検知により両方のプレート温度の直接制御が可能になります。その結果、より正確で反応のよい温度制御が可能になり、垂直な温度勾配がなく、**事前の複雑なキャリブレーションおよびサンプル温度を推測するための表の補正も不要となります**。これは、熱の遅れやオフセットが起こりやすい雰囲気測定のみに依存する競合製品よりはるかに優れています。この新技術の利点を下記に例示します。アスファルトサンプルは、温度が段階的に85℃まで上昇する前の5分間、25 ℃に保たれます。この材料の複素粘度は、2つの連続的なオシレーションタイムスイープテストで監視されます。2つの温度制御設定があり、ひとつはATCテクノロジーを利用したプレートと物理的に接触する2つのPRTを使用する設定、ふたつめはプレートと近接するものの物理的な接触のないPRTの使用です。ふたつめの場合のデータでは、サンプルの温度が85 ℃まで急速に上昇しているのは明らかですが、定常値に到達する前のサンプルの複素粘度の応答速度は遅いです。これは、実際のサンプル温度が公表されている温度と大きく異なることを示します。しかし、ATCテクノロジーを利用した設定から得たデータでは、実際のプレート温度は、材料の複素粘度の減少を正確に追いながら上昇しています。アクティブ温度コントロールにより、サンプル温度は非常に正確に測定されます。



タッチスクリーンとキーボードパッド

グラフィカルインターフェースにより、使い易さに新たな特徴が加わりました。ジオメトリのゼロ点調整、サンプルローディングや温度設定などの相互的な操作は、テストステーションで行うことができます。温度、ギャップ、力、およびモーター位置などの重要な装置の状態や測定情報が表示されます。タッチスクリーンは、装置の設定および診断レポートへも簡単にアクセスできます。装置の基礎となるキーパッドにより、測定ヘッドの位置調整が容易になります。

フレーム、垂直移動と位置調整

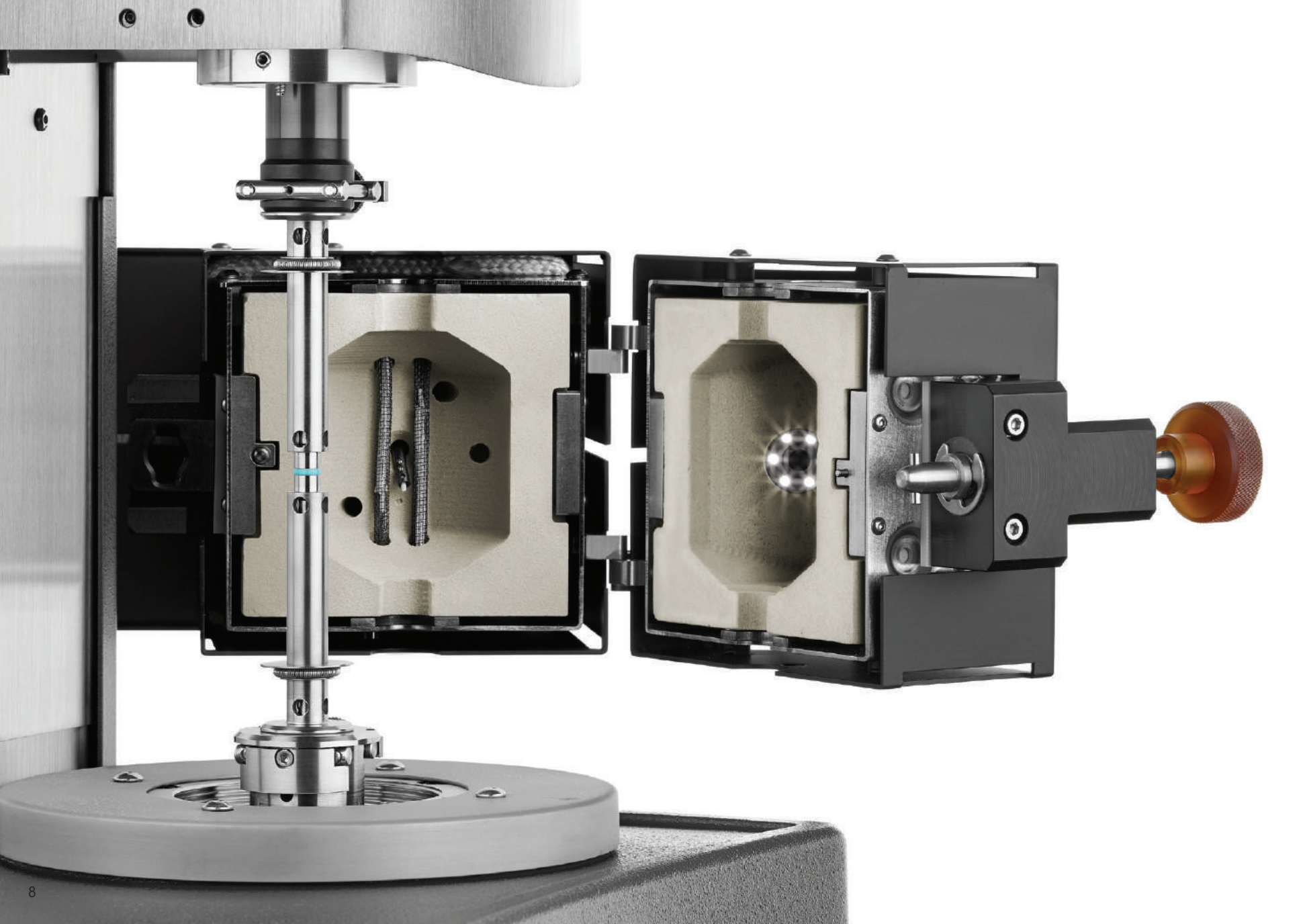
ARES-G2のフレームと垂直移動アセンブリは、最大剛性、低軸コンプライアンス(0.1μm/N)、最も正確なジオメトリ位置決定、同心性および調整のために備えられています。

フレームは高い剛直性があり、高周波数テストでのダンピングを最適化し、広い温度範囲における寸法安定性をもたらします。

トランスデューサ取付部は2本のスチールクロスローラースライドによってしっかり固定されています。このスライドは同心性と並行性を維持しながらヘッドの滑らかな垂直移動を可能にします。これはパラレルプレートのギャップを設定する際に重要です。

トランスデューサヘッドは精密なグランドリードスクリューを経由して垂直に配置されます。堅牢であらかじめ搭載されている二重ベアリングによりマクロステッピングモーターに取り付けられ緩みを防いでいます。

リニアオプティカルエンコーダは、精密にヘッドを位置調整するために固定フレームと移動式金具の間に直接取り付けられるので、0.1 μmの精度までリードスクリューの動きの影響は受けません。

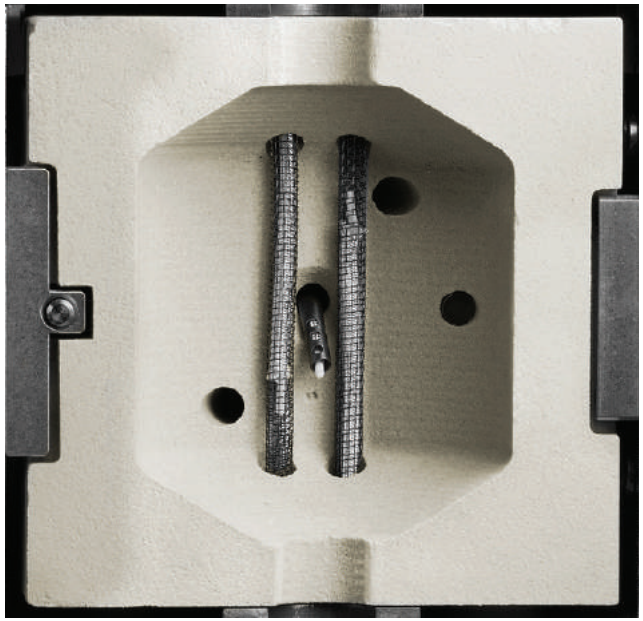


フォースコンベクションオーブン
環境アクセサリ

フォースコンベクションオーブン (FCO)

フォースコンベクションオーブン(FCO)は、理想的な温度安定性と高速昇降温を両立し、-150～600 ℃の範囲で容易に使用できるよう設計された対流式オーブンです。最大昇温速度は60 ℃/minで、オプションの液体窒素を使用すれば-150 ℃まで急速、均一かつ効率的に温度を下げることができます。メカニカルチラーシステムにより液体窒素なしで最大-100 ℃まで冷却できます。FCOはポリマーメルト、熱硬化性ポリマー、固体ポリマーの測定に適しています。排気性に優れており、酸化安定性に乏しいポリマーの高温での測定に対する有効なオプションとなります。対のヒーターの使用により優れた温度安定性と均一性を実現し、チャンバー内を対流する空気がサンプルの温度分布を抑えながら迅速に加熱します。

FCOはテストステーションの左右どちら側にも取り付けることができ、長寿命のLEDランプと観察用の窓が標準装備となっています。また、オプションでカメラビュアーを取り付けることで、測定中にリアルタイムのサンプル画像の観察およびデータポイント毎の保存が可能となります。この視覚的な記録はデータバリデーションやサンプル状態の確認に役立ちます。FCOはパラレルプレート、コーンプレート、固体のトーション、コーン&分割プレート(CPP)、伸張粘度フィクスチャー(EVF)、SER3-Aユニバーサルテスティングプラットフォーム、新しい線形DMAクランプなど様々なジオメトリと組み合わせて使用できます。

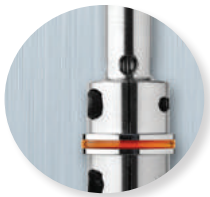


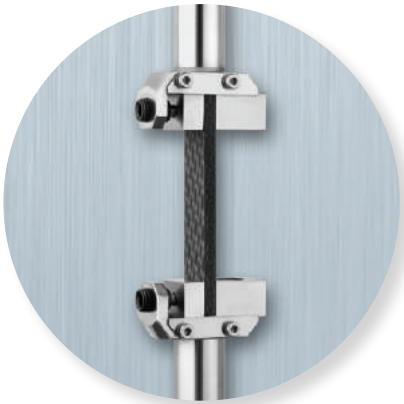
フォースコンベクションオーブンは**温度の応答時間、均一性および安定性を最適化**するよう設計されています。ガスは、2つの抵抗性ガンヒーター上を通り、ガスを最大限に混合し均一にする特殊形状オーブンキャビティへ送られます。オーブン内の最大5つの熱電対は、温度の連続測定を行ない、理想的な熱環境を維持するために、どの電力とガスフローが各ガンヒーターへ指示するかを決定するために利用されます。

フォースコンベクションオーブン | サンプルジオメトリ

パラレルプレート、コーン、プレート

FCOプレートジオメトリは、直径8、25、40および50 mmで、ステンレススチールあるいはチタンなどの材料で構成されています。上部コーンジオメトリのコーン角度は0.02、0.04、0.1 radで使い易いです。直径とコーン角度を変えることにより、応力や歪、あるいはせん断速度の測定範囲はもっとも広範囲の測定条件を得られます。硬化システム用のディスポーザブルプレートとコーンは、直径8、25、40、50 mmです。低粘度熱硬化性樹脂はサンプルの損失を防ぐためにドリップチャンネル付の下部ディスポーザブルカップあるいはプレートを使用して測定可能です。



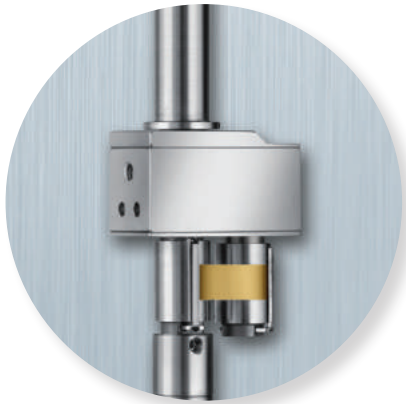


固体トーション

固体またはゴム状の材料は、長方形あるいは円筒のトーションジオメトリの使用により特性評価されます。この測定モードは、完全に硬化した熱硬化性樹脂と複合材料の測定、またはガラス転移および熱可塑性ポリマーの二次転移の測定に特に有用です。これらの固いサンプルはレオメータの回転軸と同軸の長い軸に固定されます。長方形のサンプルは、厚さ 0.3~6 mm,、幅 12 mm、長さ 40 mmまで変化します。直径1.5、3、4.5 mmの円筒サンプルは円筒トーションジオメトリに適応可能です。

伸長粘度フィクスチャー(EVF)

EVFはポリマーメルトや、生地、接着剤などの高粘度材料の伸長粘度測定に使用される特許取得システムです。フィクスチャーは固定ドラム、および周りを回転するドラムを利用し、サンプル中に一定速度の単軸伸長を生成します。伸長応力はギアやベアリングに妨げられることのない固定ドラムにより測定され、もっとも正確な応力測定が可能でベアリング摩擦のキャリブレーションも不要です。4.0までのヘンキー歪に対応でき、FCOはの高温測定を制御します。



SER3 ユニバーサルテスティングプラットフォーム

SER3伸長レオロジー測定および一連の物理的な材料試験を行うためのユニバーサルテスティングプラットフォームです。SER3デザインは、回転式のクランプでサンプルを巻き取ることにより、限られたスペース内でのサンプル伸長の概念を使用しています。回転式クランプは2シリンダでサンプルを巻きあげます。サンプルの端部は一定のドラム回転速度、一定のヘンキー(Hencky)歪速度が得られるように2個の巻き上げドラムの表面に固定されます。サンプルがドラム表面で伸長され、巻き取りドラムでの抵抗力Fsが回転の主軸に対するトルクM(t)に変換されます。与えられた伸長速度の代わりに測定されたトルクシグナルは、伸ばされたサンプルの伸長粘度と直接関係があります。SER3はポリマーメルトでの伸長測定に加えて、小さくて硬いおよび柔らかい固体サンプルでの引張り、剥離、引き裂き、摩擦測定等の様々な物理特性の測定を行うことができます。

コーン&分割プレートアクセサリ

新しいARES-G2コーン&分割プレートアクセサリ(CPP)は、オシレーション、定常流測定ともに高弾性材料の大変形におけるテスト機能を拡張します。CPPはプレート中心部のみがサンプルからの応力応答を感知する機構であり、この部分で従来型コーンプレートの測定を実施します。CPPはアクティブな測定領域の周囲に試料の“ガードリング”を配置することで、プレート端部から生じるサンプルはみ出しや剥離の影響を遅らせ、弾性材料において、より高い歪の測定を可能にします。また、このガードリングは試料のトリミングの重要度を抑えることでオペレータ要因のバラつきを減少させ、データの再現性を向上します。上部ジオメトリは、トランスデューサマウント部に取り付けられている中空軸と25 mm環状プレートで構成されています。10 mmの中央プレートは環状部の内側に位置し、トルク/ノーマルフォーストランスデューサに接続されている有効な測定面です。下部ジオメトリは 25 mm 0.1 rad コーンプレートです。CPPは最低限のアライメントで機能し、クリーニング時は容易に取り外すことができます。CPPはARES-G2専用であり、LAOS測定および高分子レオロジー用途において優位性を示します。

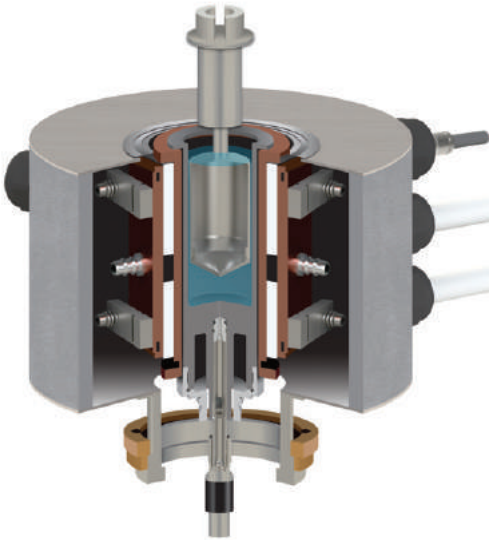
CPP 上部

CPP 下部

アドバンストペルチェシステム |
環境アクセサリ

アドバンストペルチェシステム (APS)

APSは、-10～150 ℃の温度範囲に対応する測定ジオメトリに最大の柔軟性を与えるSmart Swap™ペルチェ温度コンロール環境システムです。このシステムは最大20 ℃/minの速度で加熱され、±0.1 ℃以内の精度で制御されます。他のペルチェ温度システムとは異なり、APSはプレート（パラレルプレートとコーンプレート）、DIN準拠共軸円筒ジオメトリを備えています。新しいクイックチェンジ下部プレートシステムには、直径60 mmの硬質クロムの表面と、直径、材料および表面テクスチャーに基づくプレート表面を、ユーザーが迅速かつ容易に交換可能な独自の差し込み治具を備えています。APSは、揮発性物質のテスト中の蒸発を阻止する効率的な加熱ソルベントトラップカバーも備えています。



APSは非接触熱伝達メカニズムを介して、温度を制御します。小さなギャップの効率的な熱伝達によりペルチェ素子をシステム中心部の間の50 μ mのギャップはもっとも純粋なサンプル変形を可能にします。

ジオメトリタイプ

上部ジオメトリタイプは手近なテストのニーズに応じて利用できます。ヒートブレークカラーはステンレススチールプレートの耐久性と耐薬品性を維持しながら、熱転移を減少し温度の均一性を向上させます。低膨張性、低熱伝導性のあるポリフェニルスルフォン(PPS)プレートはさらに温度均一性を向上させます。

ソルベントトラップ付ステンレススチール

ヒートブレイクとソルベントトラップ付
ステンレススチール

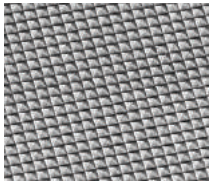
ソルベントトラップ付PPS

プレート表面テクスチャー

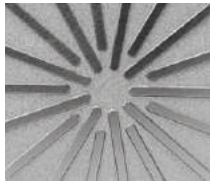
上部ジオメトリおよび下部クイックチェンジプレートは幅広い表面テクスチャーに適応可能です。粗面は、多くの材料、特に充填システムに起こり得る、スリップや人為的影響を効率的に除去します。

スムーズ(標準)
Smooth

サンドブラスト



クロスハッチ



セレーテッド

クイックチェンジプレート

APSには、下部プレートカバーがシンプルな差し込み式ロックリングを使用して容易に取り付け可能なクイックチェンジプレートシステムが搭載されています。これらのプレートは材料、直径、表面に基づいて選択されます。ディスポーザブルプレートは硬化材料にも適応可能です。

8 mm ステンレススチール

20 mm ディスポーザブル
アルミニウム

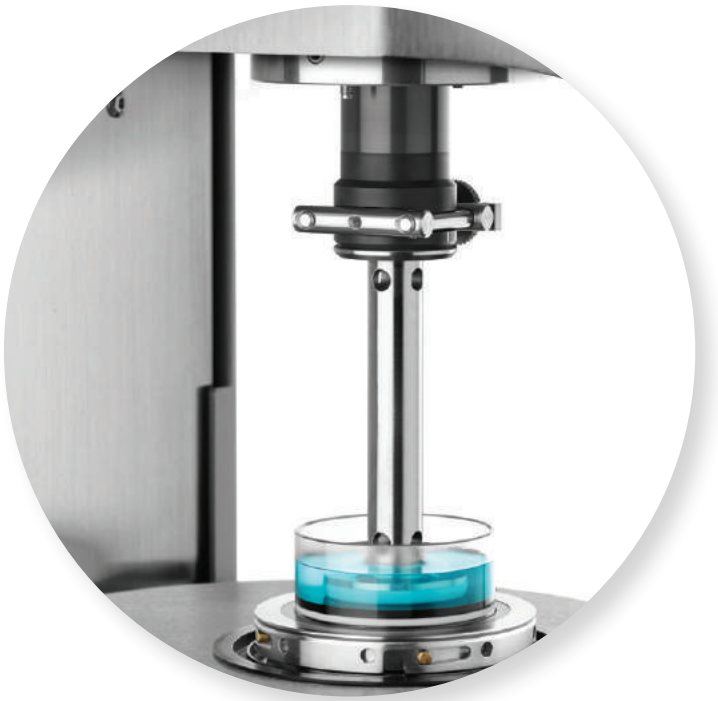
25 mm クロスハッチ

40 mm 硬質アルミニウム

40 mm サンドブラスト

50 mm チタン

アドバンストペルチェシステム | アクセサリ



ペルチェソルベントトラップと蒸発防止

ソルベントトラップカバーとソルベントトラップジオメトリは熱的に安定な蒸気バリアを生成し、実験中の溶媒の蒸発を防ぎます。ジオメトリは、極低粘度のオイルまたはサンプル中に存在する揮発性溶媒を貯留できる溝(ウェル)を有します。ソルベントトラップカバーは、上部ジオメトリのウェル内に重なるブレードがあり、機械的接触なしに密閉空間を作ります。均一な温度、飽和雰囲気といった環境が確立され、サンプルからの蒸散およびカバーの結露を防ぎます。APS上面にセンタリングリングを装着することで、ソルベントトラップは容易に中心部へセットできます。

浸漬カップ

浸漬カップは、完全に流体中に浸漬した状態で試料を測定することができます。差し込み治具を使ってAPSプレートの上部に簡単に取り付けられます。ゴムリングが流体シールとなっており、サンプルローディング、トリミング、およびその後のシーリングと充填が簡単にできます。浸漬カップシステムは、直径40 mmまでのパラレルまたはコーンプレートを適用できます。このアクセサリはハイドロゲルの特性解析に最適です

DIN ボブ

埋め込み式エンドクエット

カップ

ヘリカルボブ

羽根ボブ

カップ、ボブジオメトリ

APSジオメトリは半径10、15および17 mmのカップと埋め込み式、あるいはDINボブのいずれかで構成されています。ボブの半径は9.3 、14および16 mmで、対応するカップと組み合わせて使用する場合、DIN規格に準拠します。ダブルギャップ共軸円筒は、非常に低い粘度溶液に対し低応力と高感度を提供するシングルギャップ上にさらなるせん断面を有します。

スペシャルカップ、ボブ

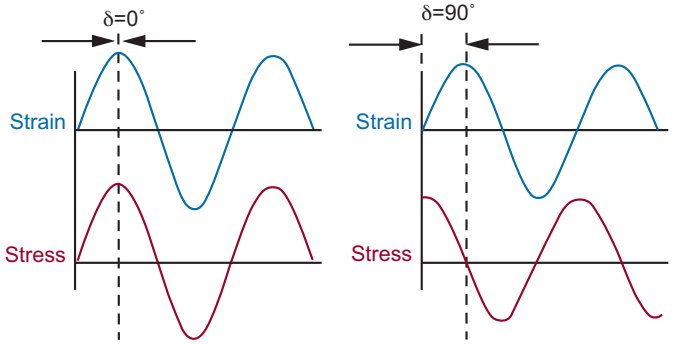
特殊なジオメトリには羽根およびヘリカルボブがあります。これらの特別な共軸円筒ジオメトリは、材料/ジオメトリ業界のスリップから起こるエラーを防ぐ、制限のある安定性を有する分散液と、より大きな粒子を有するバルク材料の特性評価のために非常に貴重です。羽根ジオメトリは、半径7.5および14 mmの両方で利用可能です。ヘリカルボブは、せん断中にサンプルの混合または粒子の混濁を維持できるよう大きなカップで構成されています。

Cup	ボブ					
	DIN	埋め込み式	羽根	ワイドギャップ羽根	ヘリカル	ダブルギャップ
半径　10 mm	●	●		●		
半径　15 mm	●	●	●	●		
半径　17 mm		●	●	●	●	
ダブルギャップ						●

オシレーションテスト

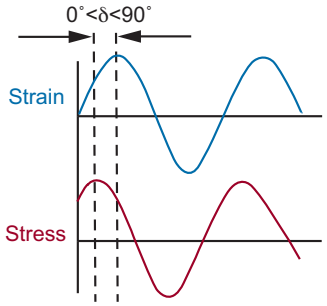
ARES-G2の最新式の分離されたモーターとトランデューサ(SMT)は幅広い材料タイプとテストにおける高品質のオシレーションデータを提供します。オシレーションテストは材料の粘弾性特性の測定においてもっとも一般的なテストタイプです。材料の弾性と粘性の両方の特徴は、正弦波歪(あるいは応力)を与え、2つの正弦波(入力および出力)の間の位相差の結果得られた正弦波応力(あるいは歪)を測定することにより研究されます。純粋な弾性材料(応力と歪は同相)の位相角は0 °、純粋な粘性材料(応力と歪の位相が異なる)は90 °です。粘弾性材料は変形速度に応じて2つの理想的な状況間に位相角を示します。右図では、得られた様々なレオロジーパラメータと同時に正弦波応答を示しています。粘弾性パラメータは、変形振幅、周波数、時間、および温度の関数として測定されます。

Purely Elastic and Viscous Behavior

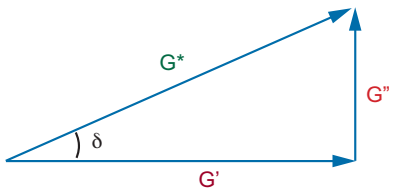


100% Elastic Behavior　　100% Viscous Behavior

Viscoelastic Behavior and Parameters



Viscoelastic Behavior



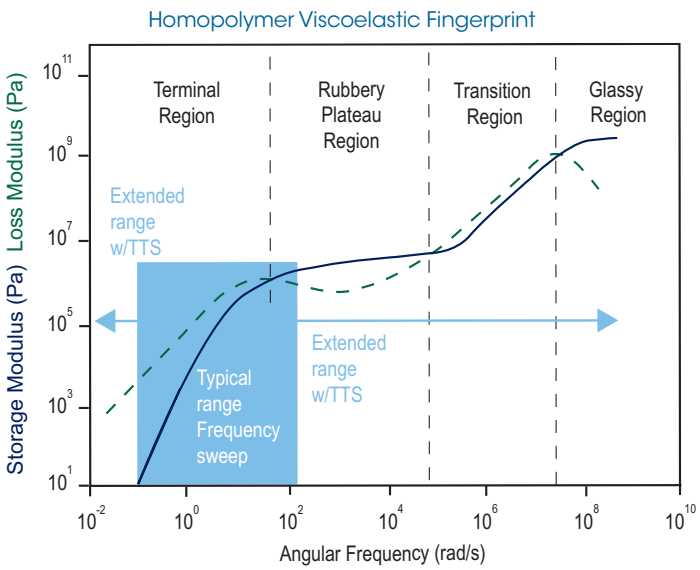
Rheological Parameters
- G* = Stress*/Strain
- G' = G*•cosδ
- G" = G*•sinδ
- tan δ = G"/G'

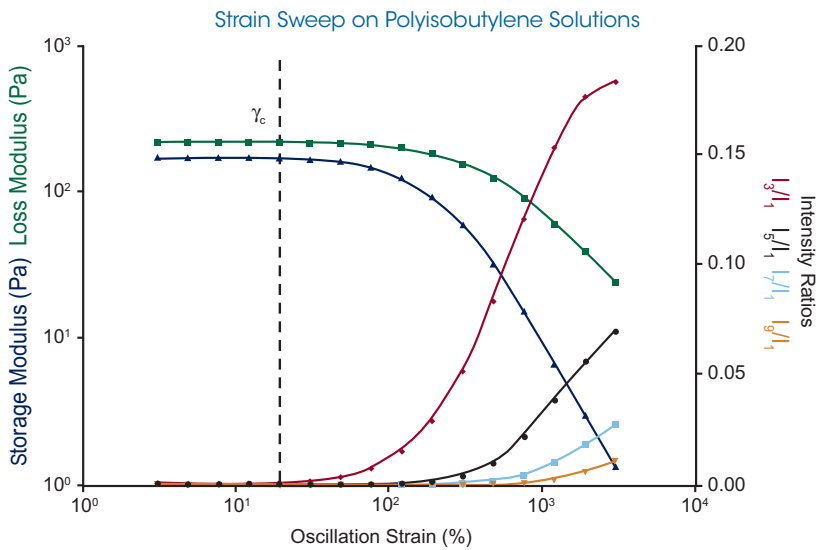
オシレーション周波数スイープ

温度と歪は、周波数スイープにおいて一定に保たれており、粘弾性特性は周波数の変化に伴い監視されます。右図は線形ホモポリマーの粘弾性特徴を解説しており、周波数関数としてG′とG″の変化を示しています。周波数は時間の逆数であるので、曲線は、固体のような挙動に対する短時間（高周波数）、および液体のような挙動に対する長時間（低周波）の時間依存の機械的な応答を示します。G′とG″曲線の大きさと形状は、分子構造に依存します。周波数スイープは一般的に0.1～100 rad/秒の限られた範囲内で実行されます。時間-温度重ね合わせ（TTS）は、多くの場合、それぞれの温度における一連の周波数スイープの実行による周波数範囲の拡張ために使用されます。示されているデータはポリスチレンの190 ℃のリファレンス温度において構築されたマスターカーブから構成されています。3桁のオリジナル周波数はTTSの使用により約8桁まで拡張されました。

オシレーション歪スイープ

このテストにおいて、周波数と温度は一定に保たれており粘弾性特性は歪の変化に伴い監視されます。歪スイープテストは線形粘弾性領域LVRを識別するために用いられます。LVR内での測定は、材料の分子配列が平衡に近く、応答が内部の動的プロセスを反映しているので、優れた構造-特性の関係を提供します。データは、コーンおよびプレートジオメトリにおけるポリイソブチレン溶液（SRM2490）の歪スイープを示しています。LVR内の低い歪の時、弾性率は臨界歪 γ まで歪振幅に依存しません。臨界歪を超えると、挙動は非線形になり、弾性率はこの材料のLVRの終わりを示しながら大きく減少し始めます。粘弾性特性に加えて、ARES-G2は、高調波の情報を収集できます。



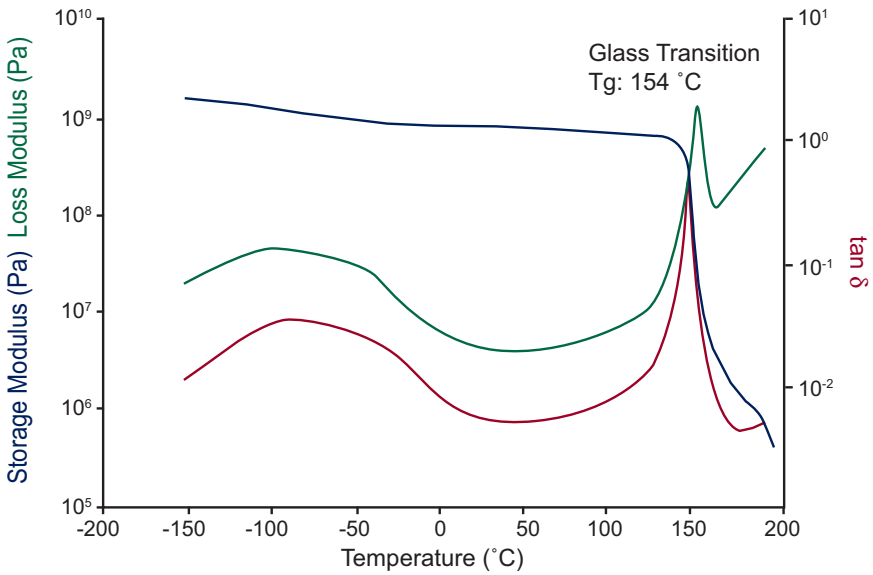


オシレーションの温度ランプとスイープ

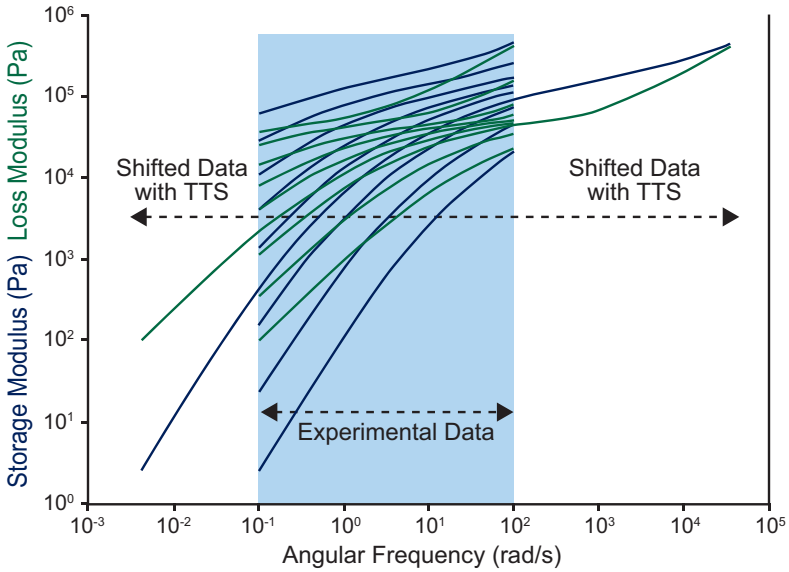
広い温度範囲における粘弾性特性の測定は、材料のαあるいはガラス転移温度Tgおよびβやγ転移温度の測定のための非常に高精度の技術です。温度ランプでは、一定昇温速度が適用されます。一般的な加熱速度はおよそ1～5 ℃/minです。材料の反応はLVRのひとつまたはそれ以上の周波数、一定の振幅で測定されます。データはユーザー定義の時間間隔で得られます。トーションレクタンギュラージオメトリを用いて行ったポリカーボネート温度ランプを右に示します。複数のパラメータは、G′のオンセットポイントまたはG″あるいはtan δ 中のピークを含む転移の決定に用いられます。

温度スイープでは、ステップアンドホールド温度プロファイルが適用されます。スイープの各温度で、サンプルは浸漬されるか、または材料内の温度均一性を確保するためにユーザー定義の時間で平衡が保たれます。この材料応答はLVR内の一定振幅でひとつまたは複数の周波数にて測定されます。すべての周波数依存データが同じ温度で収集されるので、これは時間-温度重ね合わせ研究のために選択される手法です。このデータはポリマーの分子量分布の計算のためにレオロジーポリマーライブラリソフトウェアと共に使用されます。

Temperature Ramp on Polycarbonate

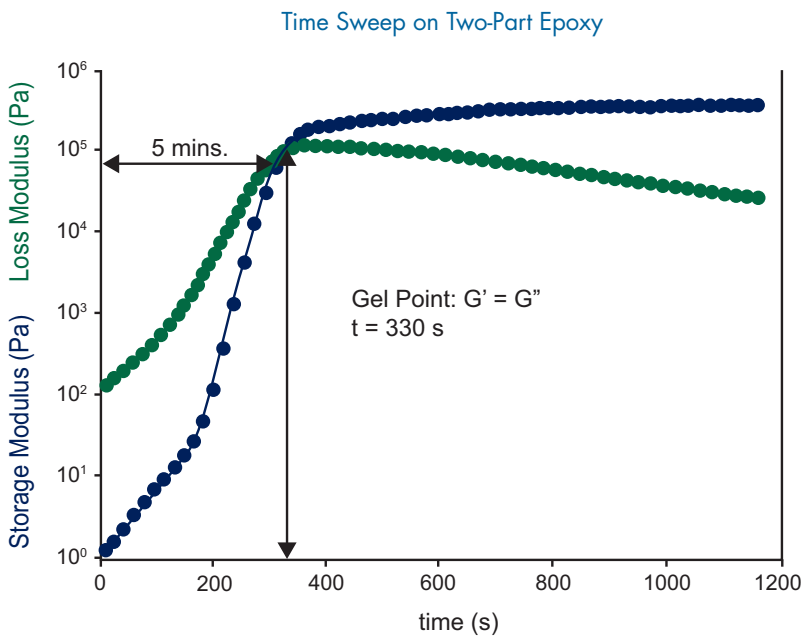


Temperature Sweep on Polycarbonate



オシレーションタイムスイープ

温度、歪、および周波数を一定に保持しながら、材料の粘弾性特性は時間の関数として測定されます。オシレーションのタイムスイープは、材料の構造が時間と共にどのように変化するかをたどるために重要です。これは硬化反応、疲労試験、構造の再構築の監視、および他の時間依存研究のために使用されます。データは、ディスポーザブルパラレルプレートジオメトリを使用した2液性5分エポキシ硬化を示しています。短時間における貯蔵弾性率は損失弾性率よりも低いです。硬化反応が進行すると、2つの弾性率はゲル点で交差し、それを超えるとG′がG″よりも大きくなり、材料が硬化したことを意味します。



フロー(流動)とトランジェント(過渡) | テストモード & アプリケーション

フローテスト

フローテストは材料の“流れに対する抵抗”、あるいは粘度プロファイルを測定するために用いられます。多くの材料は非ニュートニアン、すなわち粘度は変形速度に依存するということが重要です。これらの材料の粘度は単一のポイント値ではなく、幅広いせん断速度範囲にわたり大きく変化する値、曲線によって表されます。フローモードにおいて、レオメータはサンプルに対して段階的あるいは連続的に広範囲のせん断速度(あるいは応力)を適用し、その結果せん断応力(あるいは速度)が測定されます。計算により明らかになった粘度は一般的に制御変数の関数として表示され、この曲線はフローカーブと呼ばれます。分散液およびポリマーの一般的なフローカーブを以下に示します。

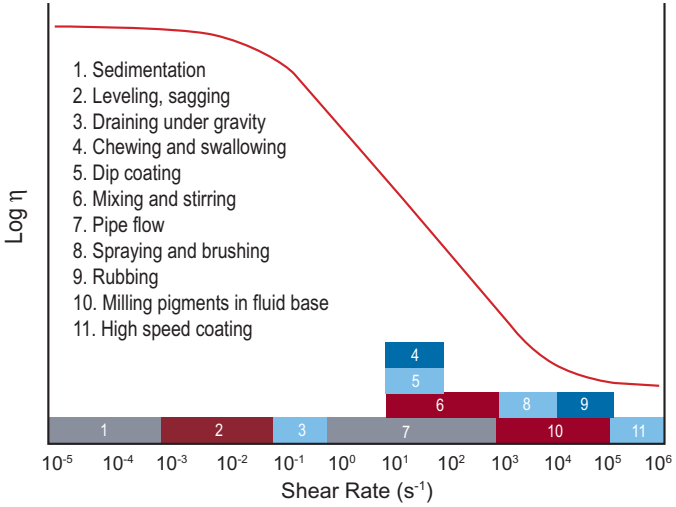
流体

測定されたデータは、粘度、降伏応力、シアシニング、チキソトロピー性などの情報を提供し、実環境プロセスと関連します。スピンドル粘度計のような単純な手法は、ポイントや総曲線の限られた部分のみを測定できます。

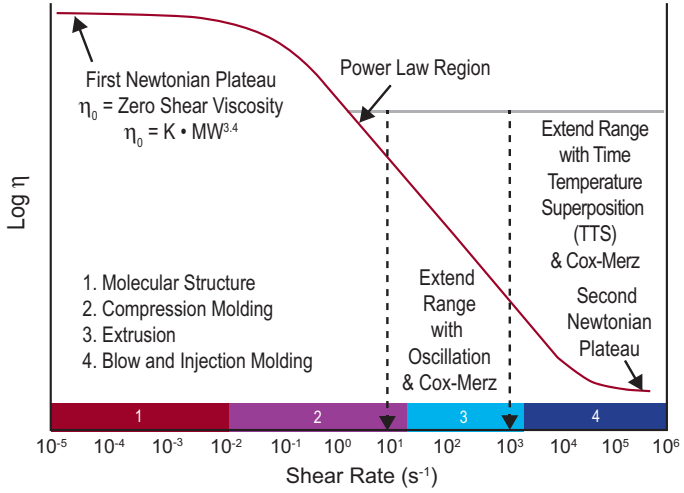
ポリマー

ポリマーの分子量はその粘度に非常に大きく影響を及ぼします。その一方で分子量分布と分岐度はせん断速度依存に影響します。これらの差異は、メルトフローインデックスあるいはキャピラリー装置では不可能な低いせん断速度においてもっとも明白になります。ARES-G2は、ゼロせん断粘度の測定に基づいた分子量を決定できます。コックス-メルツおよびTTSは、より高いせん断速度のデータ拡張に用いられます。I

Flow Curve for Dispersions



Flow Curve for Polymers



トランジェント(過渡)テスト

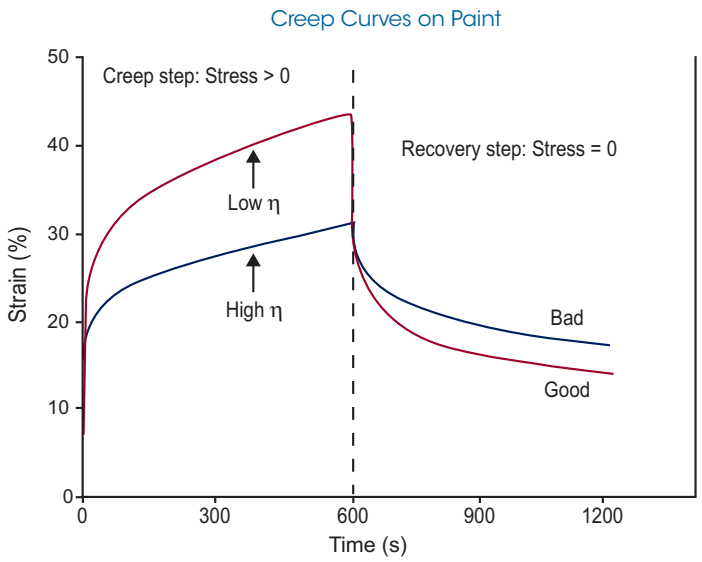
応力緩和およびクリープ/リカバリーの試験は、変形が連続的にサンプルに適用されるため、トランジェント(過渡)テストと呼ばれます。両方とも材料の粘弾性特性を測定するための高感度のテストです。ARES-G2は、クリープおよび応力緩和テストの両方が可能です。800 mN.mのモーター、高速データ収集、半無限剛性のトルクリバランストランスデューサにより、ARES-G2は歪みと歪み速度の両方において最も速いトランジェント応答時間を実現します。クリープ/リカバリーテストにおいて、一定応力がサンプルに適用され、結果的に得られた歪が経時的に測定されます。その後応力が除去されリカバリー(リコイル)歪が測定されます。応力緩和テストにおいては、瞬間的な歪がサンプルに適用され、一定に保たれます。結果的に得られた応力の低下は、降伏応力緩和弾性率G(t)の時間の関数として測定されます。

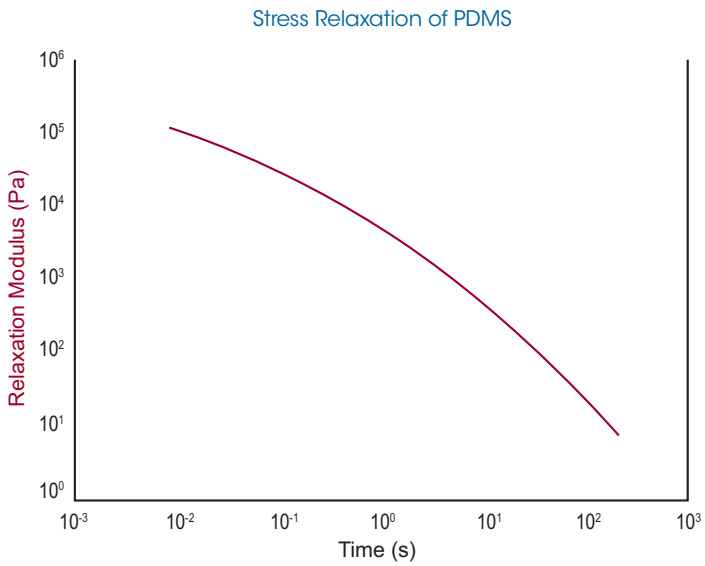
クリープとリカバリー

”良い“あるいは”悪い”性能を有すると判断された塗装サンプルのクリープおよびリカバリー測定で得られたデータを右図に示します。このテストモードは、粘弾性特性の測定や、長時間の負荷の下での、材料性能の理解や予測のための優れた手法です。例としては、複雑な流体中の安定性の確立、およびポリマーメルトにおけるゼロせん断粘度と平衡リカバリーコンプライアンスが挙げられます。

応力緩和

この例では25 ℃におけるポリジメチルシロキサンの応力緩和弾性率G(t)を示しています。G(t)は適用された歪で割った時間依存応力の低下から算出されます。応力緩和実験は、材料における緩和時間を直接測定するための迅速かつ簡単な方法を提供します。





アドバンスト | テストモード & アプリケーション

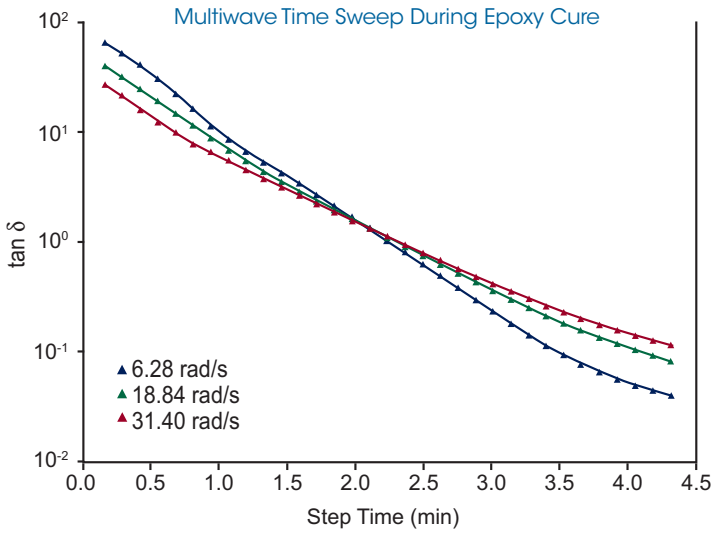
ARES-G2の高性能エレクトロニクスとSMTデザインは高度なテストモードに好ましい選択です。もっとも応答の速いモーターは複雑な変形プロファイルに最適で、トルクリバランストランスデューサは高度な分析のための補正不要のデータを提供します。

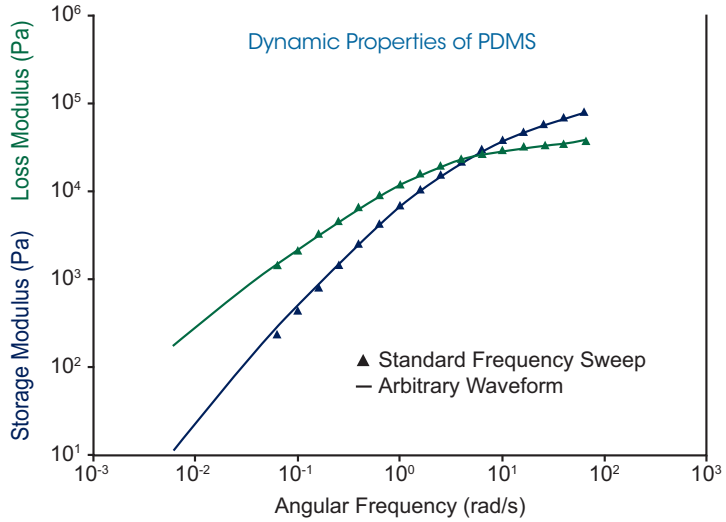
マルチウェーブ周波数スイープ

熱的および酸化により劣化した熱硬化性樹脂やポリマーなど、過渡的な構造を伴う材料はテストの進行と共に変化するので高速テストが必要です。これらはマルチウェーブモードで適切にテストできます。このモードでは、2つまたはそれ以上のメカニカルウェーブが互いに独立して、同時にサンプルに適用可能です。ウェーブは独立して動くので、サンプル上のすべての歪はウェーブによって起こる歪の合計になります。後者はボルツマンの重ね合わせ原理を表しており、適用する合計の歪が線形粘弾性領域(LVR)内にある限り、原理が保たれます。このテストモードの別の利点は、標準周波数スイープと比較して迅速な結果を提供できることです。これは、ハイスループットツールとして適しています。右図のデータは、エポキシの硬化挙動を監視するマルチウェーブモードを使用して得たものです。ゲル点はtan δが周波数に依存しない時間により決定されます。**ARES-G2のモータとトランスデューサが分離した設計は、マルチウェーブの実験で生成された複雑な歪や応力に非常に適しています。**

アビタリーウェーブモード

このモードは、時間と共に変化する材料のテスト、過程におけるせん断挙動のモデリング、トランジェント(過渡)テストでの感度の向上、最先端のレオロジー研究における調査などに特に有効です。標準の正弦波変形だけでなく、数学的方程式の応用によりユーザー定義の波形も表します。入力歪と結果的に得た応力は時間の関数として測定されます。TRIOSソフトウェアはデータを周波数領域に変えるフーリエ変換を利用し、これらのデータは材料の粘弾性特性の判断に用いられます。右図において、選択された入力関数は、最低周波数域にわたる周波数において連続的に増大するオペラハウス型の正弦波関数です。これは、最短時間で周波数スペクトルを決定するための最速のアプローチです。応力応答のフーリエ変換から計算される継続的な動的弾性率は標準周波数スイープから得たデータで示されます。オペラハウス型の関数を用いた連続動的スペクトルの生成に必要な時間は、桁毎に5ポイントの標準周波数スイープでの6600秒に対して1000秒でした。

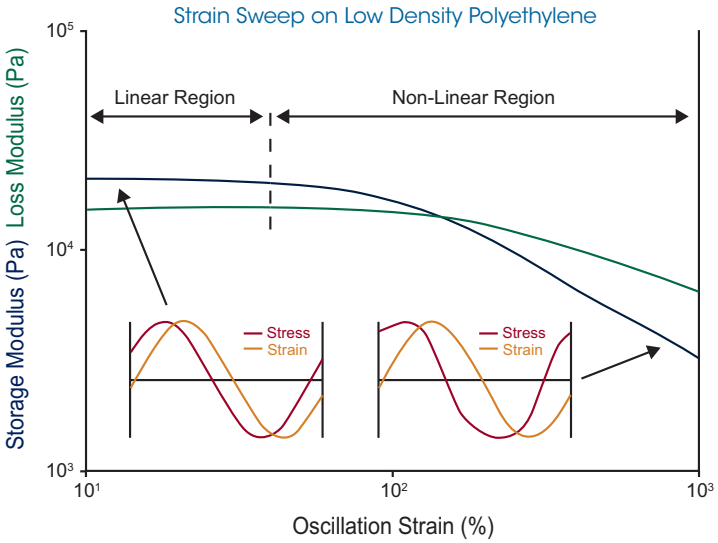


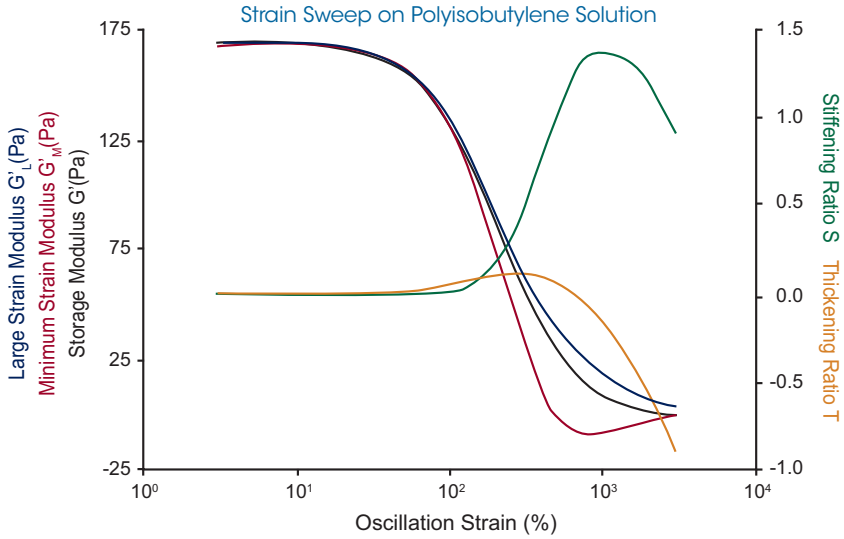


大振幅振動せん断測定(LAOS)

ARES-G2は、すべてのテストモードにおいて角変位、トルクおよびノーマルフォースの同時収集を可能にするトランジェント(過渡)とオシレーション(振動)テストのためのデジタル信号処理を有する新しい高速エレクトロニクスを備えています。これにより、トランジェント(過渡)が(最大8,000 Hz)とオシレーション(振動)(最大15,000 Hz)テストの測定から完全に統合された高速データを得ることができます。高速サンプリングは優れた大きな分解能および測定シグナルの位相を提供します。これは、オシレーションテスト中の自動分析あるいはフーリエ変換解析後の、より優れた高調波分解能を可能にします。オシレーションテストにおける応力シグナルに起こる高調波は非線形応答の結果といえます。右図はコーン&分割プレートアクセサリを用いたLDPE測定を例示しています。高速データ取得は真の材料の応力応答を得ることが重要です。この機能により、ARES-G2レオメータは、高精度のLAOSの実験を行い、もっとも信頼される基礎的および高次高調波データを提供する理想的なプラットフォームとして確立されます。オプションのソフトウェアパッケージにより過渡的なオシレーションデータの解析や、G'_L G'_M, η'_L, η'_M, S,T, Qなどすべての非線形材料パラメータの提供が可能です。

弾性領域における転移中の弾性および粘性変形メカニズムが研究されています。下のデータは最大および最小歪弾性率と共に10%の振幅で始まる貯蔵弾性率の単調減少を示しています。非線形のパラメータ$_S$(硬化/軟化 比率)およびT(粘稠化/流動化 比率)により非線形転移および構造変化の力学を理解できます。Tは転移開始時から約0.125の値まで増加し、ポリマー溶液がほぐれるにつれて急速に減少します。しかしSは、Tが再び減少する前に、約1.25の最大値に達するために急速に増加するよりも高い振幅で増加し始めます。材料は、全体的な構造変化に寄与する硬化および粘稠化/流動化のメカニズムによって歪むので、大振幅での弾性率G'に記録されません。





オルソゴナルスーパーポジション | テストモード & アプリケーション

デュアルヘッドレオロジーテストの新たな特徴

TAインスツルメントはARES-G2特有のレオロジーテストにおける新たな特徴をご紹介します。角度および軸方向の同時変形は、複合流体の非線形および異方性挙動を精査するためのすべての新機能を明らかにします。この新しいテスト機能は、軸方向のオシレーションや角度せん断方向へのオルソゴナルに適応するARES-G2 FRTの独自の機能を利用しています。

オルソゴナルスーパーポジション (OSP)

非線形粘弾性の新しいテスト

オルソゴナルスーパーポジションは、非線形粘弾性を調べるための更なる優れた方法を提供します。角度方向における定常せん断変形がARES-G2のFRTによって軸方向でのオシレーション変形に結びつけられます。流れ方向における定常状態の特性および流れに直交している動的特性が測定されます。この流れは十分に制御されており、粘弾性応答は容易に読み取れます。

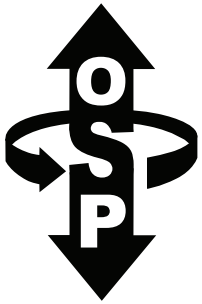
2 次元小振幅振動せん断測定 (2D-SAOS)

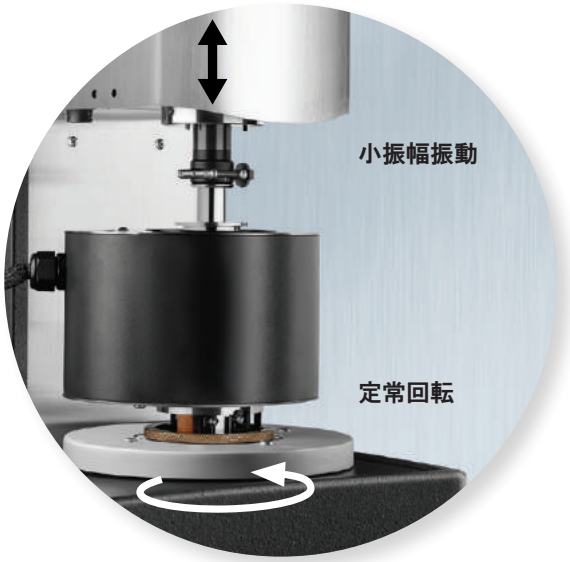
異方性選択プローブ

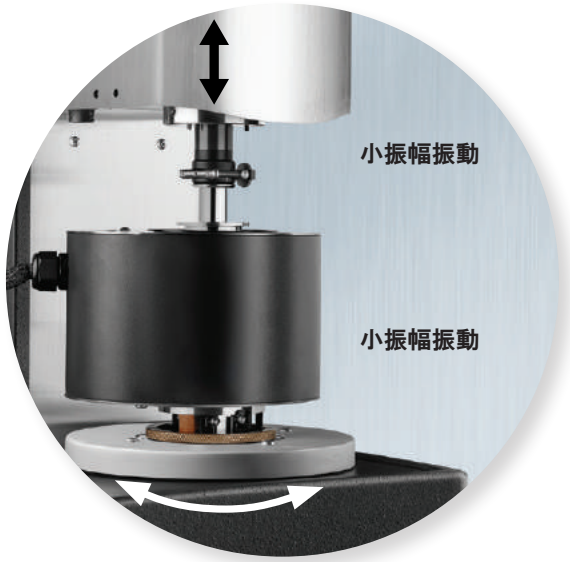
2D-SAOSは、方向選択で線形粘弾性を測定できます。これは、複合流体の異方性を理解する上で特に有用です。角度および軸方向の同時振動変形は、制御された角度での線形振動あるいは単一の振動周期における異方性を完全に理解できる局部回転フローを生成します。

特徴と利点

- ARES-G2レオメータ特有
- ダブルギャップ共軸円筒
- OSPおよび2D-SAOS測定の完全プログラム化
- 2方向の同時測定
- アドバンストペルチェシステム温度制御

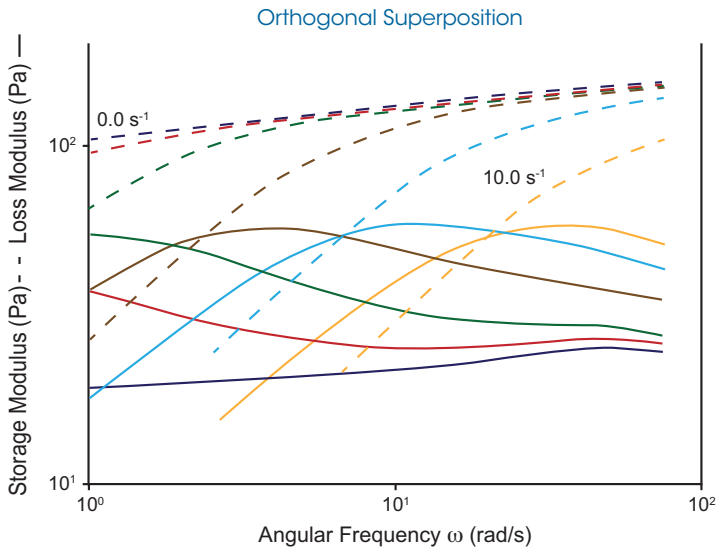






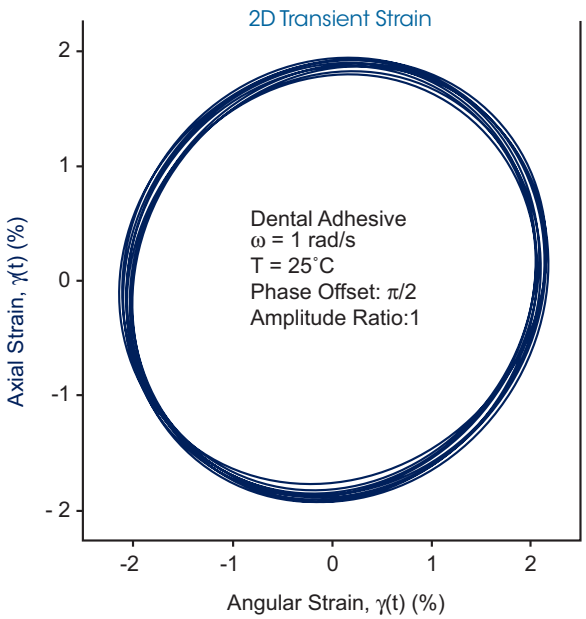
キサンタンガム溶液

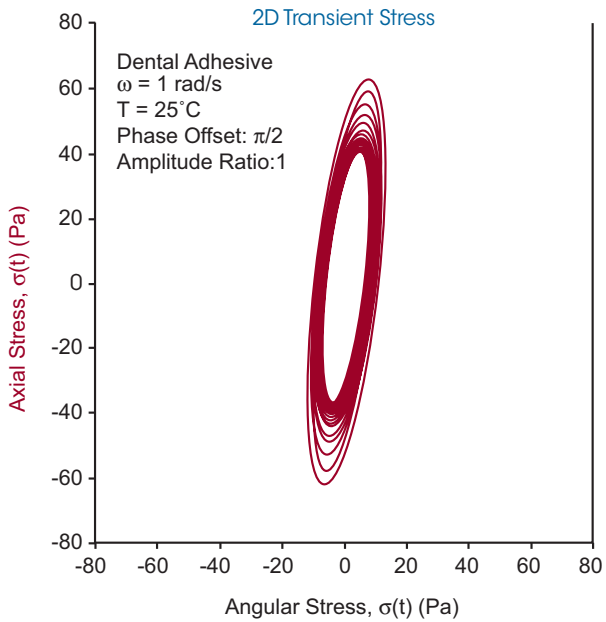
オルソゴナルスーパーポジション測定を0～10_s^{-1}の定常せん断にさらされる2 %キサンタンガム水溶液で行いました。周波数スイープは、定常せん断方向への動的弾性オルソゴナルを示しながら同時に測定されました。これは、せん断速度が増加するにつれて、より短い時間スケールに移動するクロスオーバー周波数により示されるターミナルフローの時間スケールを表しています。



高充填歯科接着剤

2D-SAOSはサンプルのせん断履歴より生じる流体の異方性を明らかにします。この高充填歯科接着剤ペーストは、過去のせん断フローの結果から明白な調整を行いました。サンプルは、等方性の2次元小振幅変形にさらされました。結果的に生じた応力は明らかに異方性であり、流体の異方性が明確になります。充填システムにおけるチキソトロピー挙動を研究する時にこの技術は特に有益です。





動的機械測定 | テストモード & アプリケーション

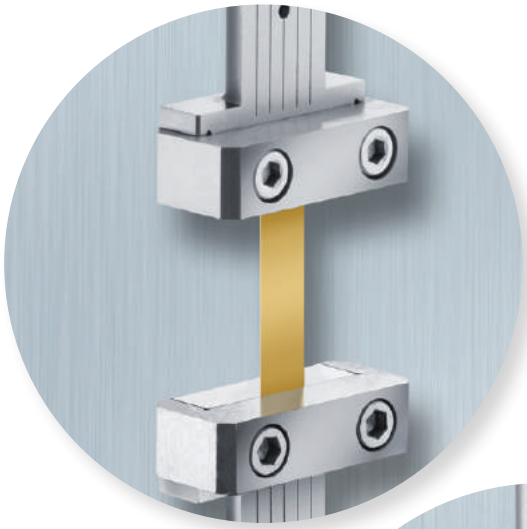
軸方向曲げ、引張りおよび圧縮

TAインスツルメント独自のフォースリバランストランスデューサ(FRT)の技術により、ARES-G2レオメータは、曲げ、引張りおよび圧縮で固体の**線形動的粘弾性測定(DMA)を行うことのできる唯一の回転型レオメータ**です。軸方向のサンプルの変形は固体試験に新機能を制御された歪正弦波オシレーションで高感度FRTを駆動し、固体試験用のすべての新機能のロックを解除することにより適用されます。

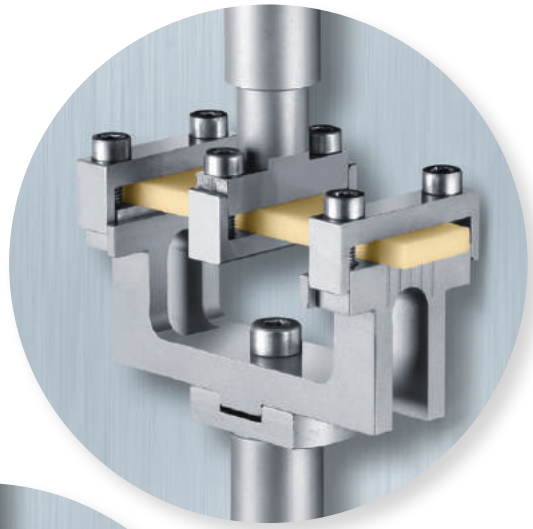
特徴と利点

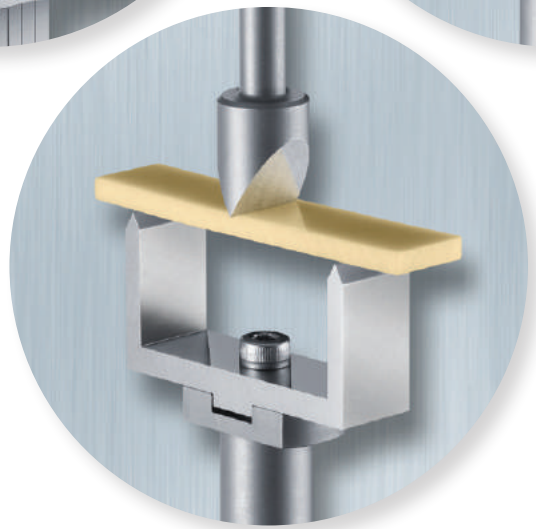
- 広範囲のジオメトリ:
  - 3点曲げ
  - フィルム/ファイバー引張り
  - シングルおよびデュアルカンチレバー（クランプ曲げ）
  - パラレルプレート圧縮
- アキシャルフォースコントロールは材料剛性の静荷重を最適な状態で自動管理
- オートストレイン調整はサンプル剛性の変化に対して歪を最適に適用
- 応答性 FCO 温度制御 : -150 ～ 600 °C
- FCOカメラによりサンプルの可視化

引張り



デュアルおよびシングルカンチレバー

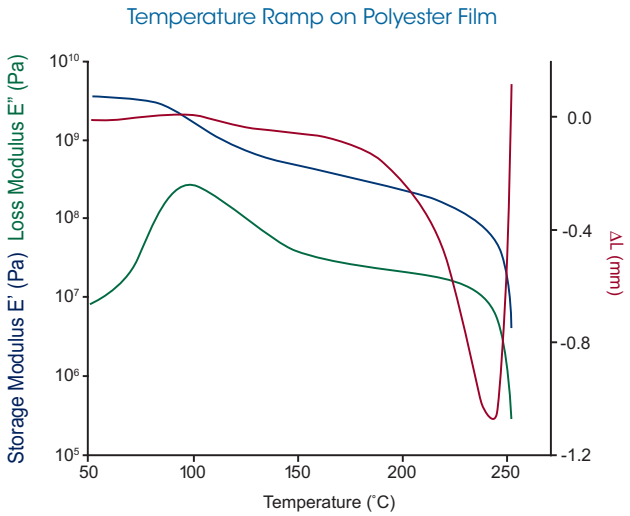




3点曲げ

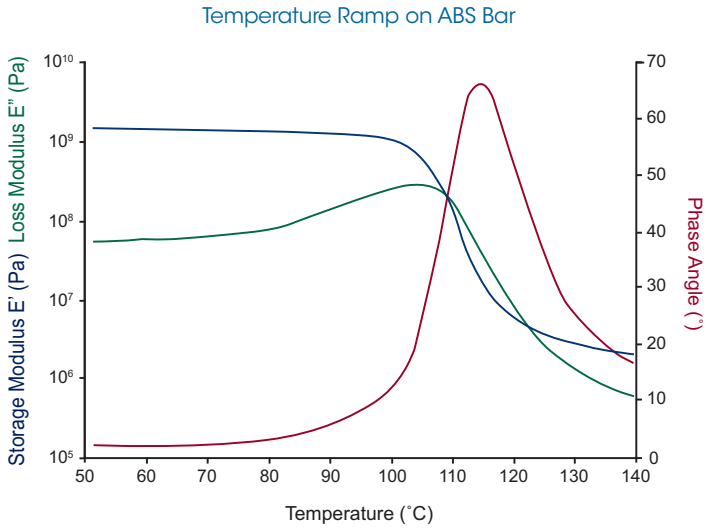
引張りモードでのポリエチレンフィルム

オシレーション温度ランプを、50～250 ℃の温度範囲にわたり引張りジオメトリを用いて、厚さ50 μmのPETフィルムに行いました。2つの主要な転移が見られます。：約109 ℃のガラス転移、234 ℃での溶融ガラス転移後の長さ信号ΔLの変化でわかるように、材料は急激な収縮を示します。



3点曲げモードでのABS

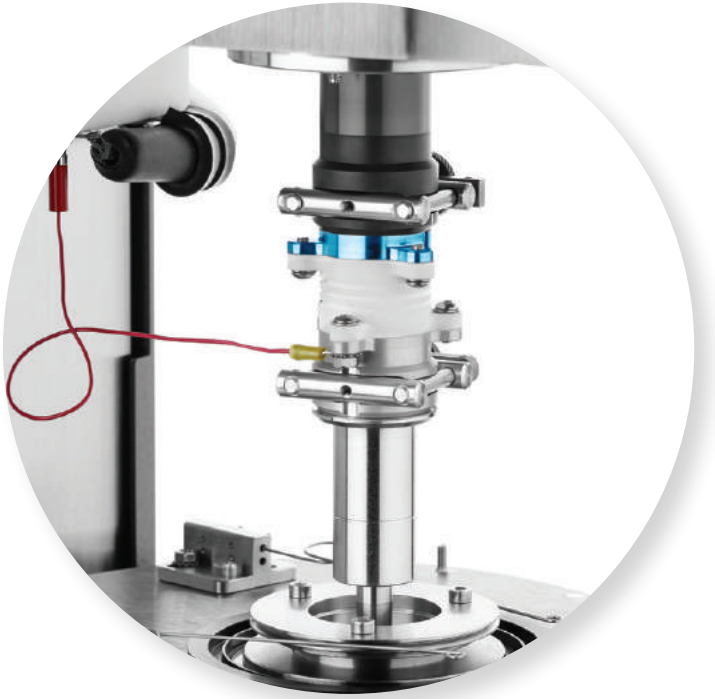
アキシャルフォースコントロールおよびオートストレインの両方の利点は、3点曲げジオメトリを使用してテストされるABSバーのオシレーション温度ランプにおいて明らかです。アキシャルフォースコントロールはクランプがサンプルと連続的に接触を維持するようクロスヘッドを移動させます。この接触力は、ガラス転移中の材料の弾性率における熱膨張および大きな変化をたどるためにテスト中に調整され、サンプルの湾曲を防止します。オートストレインはすべての条件下で最適なオシレーション力を維持しながら、入力歪の調整にも用いられます。これらの特徴は、最小限の実験的最適化を伴うすべてのサンプルと条件において最高品質のデータを確実にするために機能します。



アクセサリ | ARES-G2

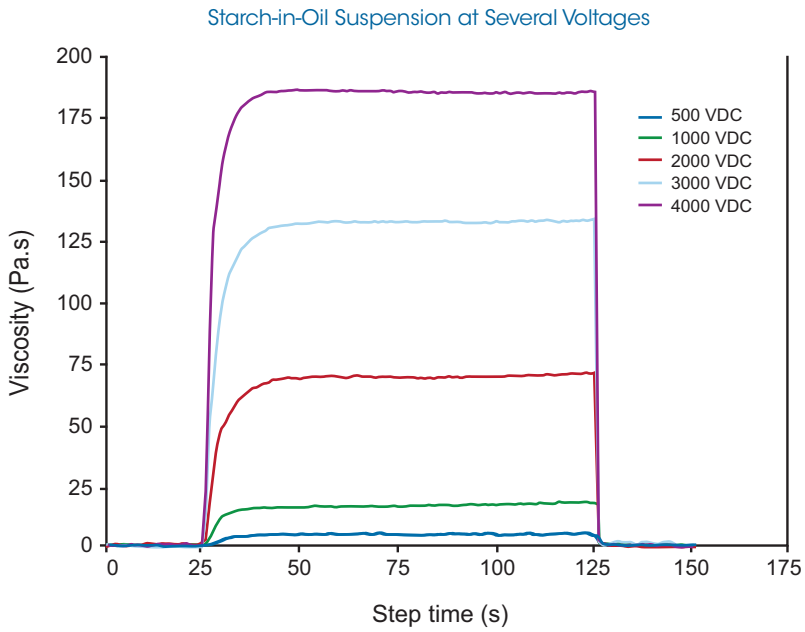
エレクトロレオロジー(ER)アクセサリ

エレクトロレオロジー(ER)流体は、電界が加えられた時に劇的な可逆レオロジー変化を示す電気絶縁流体中の、非常に微細な非導電性粒子の懸濁液です。ARES-G2 ERアクセサリは、パラレルプレートあるいは共軸円筒ジオメトリのどちらかを使用して測定中に最大4000 Vまで適用可能です。電圧は、高電圧ケーブルを通してTrekアンプ経由でサンプルに加えられます。トランスデューサハブと上部ジオメトリ間の断熱ブロックは、サンプルを回路から分離します。テストは-10 ～ 150 ℃の温度範囲にわたりアドバンストペルチェシステムで実行できます。



定常せん断でのスターチ懸濁液ステップ電圧

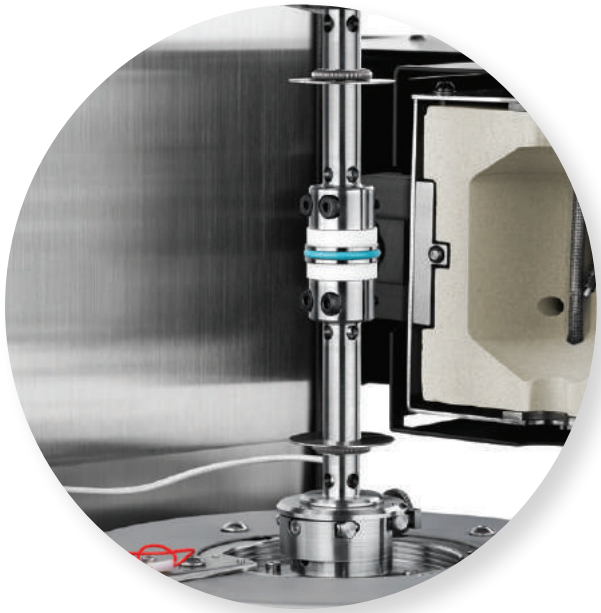
シリコンオイル中の10 %スターチ溶液は、高電圧を印加した時の構造における劇的かつ可逆的変化を示します。図は500～4000 Vまで100秒間、DC電圧を変化させた時間依存粘性を示します。基本となるレオロジーテストは、構造化プロセスへの妨害を最小限に抑える1s^{-1}の一定速度で行われます。電界が印加されると、非導電性シリコンオイル中のデンプン粒子の分極は電極プレートの間に分散するデンプン粒子を一列に並べます。この配向は、強力な粘度増加によるものです。粒子を整列させる時間は、懸濁流体の粘度と電界の強さに依存します。せん断速度を適用すると、構造化プロセスの変形は完全には除去されないため、最大粘度は、並んだ粒子の列の形成と破壊との間の動的平衡が実現した際に観察されます。



誘電解析アクセサリ(DETA)

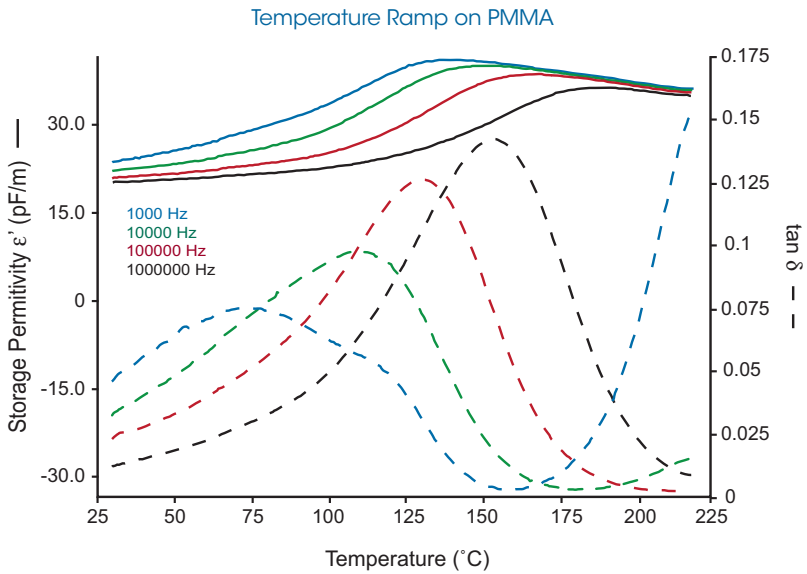
ARES-G2 DETAは容量と伝導特性の分析を通して材料の誘電応答の測定をする、ARES-G2レオメータのテスト性能を拡張するアクセサリです。DETAアクセサリはARES-G2レオメータへの取り付け、取外しが容易です。ARES-G2プラットフォームは柔軟性があり、容易に実験設定が可能で、350 ℃まで温度制御するフォースコンベクションオーブン、ギャップ温度補償機能を備えた20 Nまでのアキシャルフォース制御、TRIOSソフトウェアなどの標準機能により優れたDETAデータ精度を提供します。アクセサリは25 mm標準プレートあるいは8～40 mmのディスポーザブルプレートで構成されます。DETAは独立モードあるいは同時誘電および機械測定モードにおいてARES-G2により操作されます。システムは以下の2つのメータに適応します。

Keysight LCR meters:
E4980A(20～2 MHz、0.005～20 V)および
4285A (75 k ～ 30 MHz, 0.005～ 10 V)



複数の周波数における誘電温度ランプ

下図は1 k～1 MHzの範囲の4つの異なる誘電周波数におけるポリメタクリル酸メチル、すなわちPMMAサンプルの温度ランプを示しています。ここでは転移領域の周波数の増加に伴いε'の大きな減少、および周波数の増加に伴いtan δの転移ピークの高温への移動が見られます。

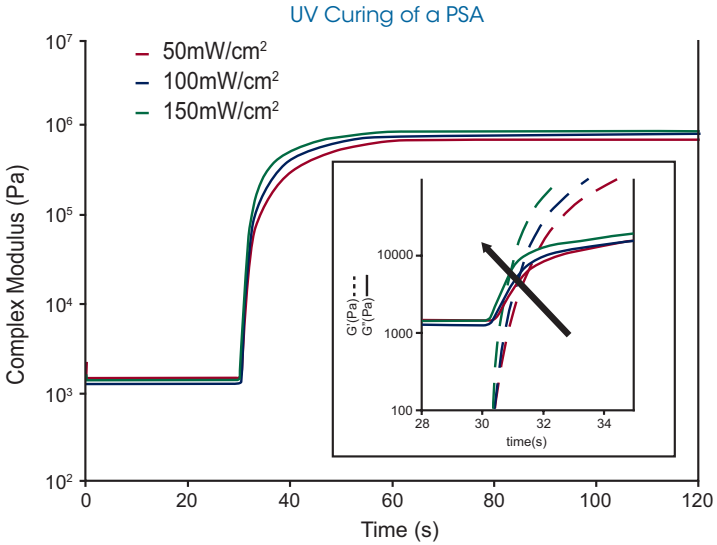


UV硬化アクセサリ

硬化接着剤や放射線硬化性接着剤には、加熱することなく永久的な結合が可能な紫外線あるいは他の硬化開始放射線源が使用されます。ARES-G2 UV硬化アクセサリは、ライトガイドおよび、硬化反応中の貯蔵および損失弾性率測定のために高圧水銀光源からサンプルへUV放射を転移する反射ミラーアセンブリを使用します。アクセサリには取外し可能な直径20 mmのプレート付上部および下部ジオメトリ、コリメータ、5 mmの導波管、リモート放射計/線量計が含まれます。システムは320～500 nmの範囲の波長を有するUV光源(Exfo Omnicure S2000)に接続できます。オプションである150 ℃までの温度制御はアドバンスペルチェシステムAPSで可能です。ディスポーザブルプレートも利用できます。

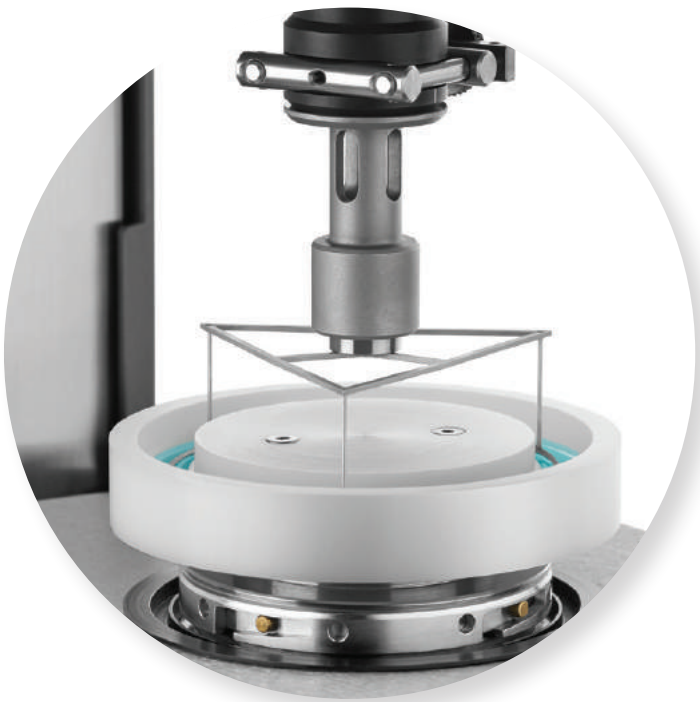
UV硬化

粘着剤(PSA)はUV硬化アクセサリにより特性評価されます。PSAは25 ℃の等温温度に保たれ硬化プロファイルは50～150 mW/cm²の放射強度で測定されます。サンプルは光源がつく前に30秒間測定されます。データは、G′とG″が交差する時間が短くなることによって証明されるように、強度の増加に伴ってより速くなる反応速度論を示しています。同様の結果は、反応がさらに高温でより速く起こる制御温度によって得られます。硬化反応は2秒以内に起こります。ARES-G2のデータを速く(50 pts/secまで)入手することにより、液体から固体までの転移の明らかな識別が可能です。わずかな強度と温度の変化が、一瞬で交差ポイントを推移させることに注意が必要です。この情報は、材料の形成の初期段階での差異の理解と同様に、高速のUV硬化プロセスの接着性コントロールパラメータの理解に非常に重要です。



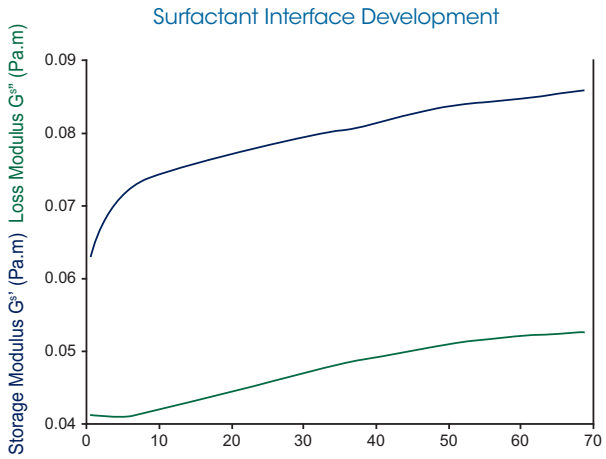
界面レオロジー

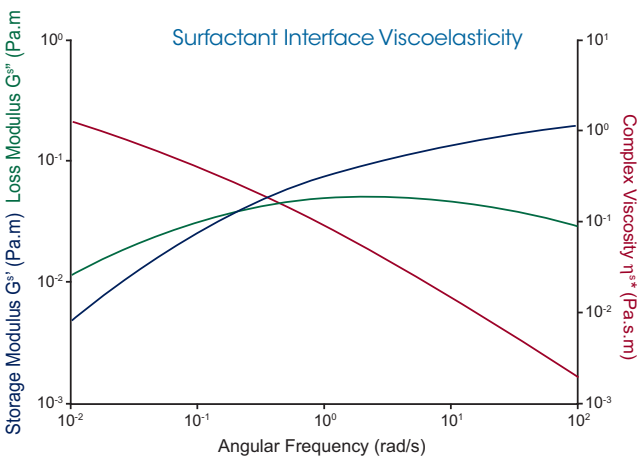
レオメータは通常、材料のバルクや三次元の特性を測定するために使用されます。例えば、医薬品、食品、パーソナルケア製品やコーティング等の多くの材料では、異なるレオロジー特性を有する液体/液体または気体/液体界面を有します。特許取得済みのダブルウォールリング(DWR)システムは、広い測定範囲で粘度の定量測定と粘弾性情報を得られARES-G2に使用できます。サンプルはデルリン製トラフに入れられ、測定リングは白金イリジウム製です。これらの材料は、化学的に不活性でクリーニングが容易です。液体-空気または液体-気体界面における単分子層の粘弾性応答に高感度でアプローチできるようジオメトリ表面の両側にせん断面を与えるダブルウォールジオメトリをご用意しております。DWRは界面をジオメトリリングのダイアモンド形の断面で"固定"できるため、真の定量的な粘弾性パラメータを取得できます。この特許取得済みのリング(特許No.7,926,326)は直径60 mmで、使いやすく高い感度を有します。表面の粘度測定は、複雑なサブ相の補正なしで10^{-5}Pa·s·m程度の低粘度でも行うことができます。オシレーション測定は、すべての界面アクセサリで広い周波数範囲にわたって測定可能です。



水-ドデカン界面でのSPAN65の界面特性

SPASPAN65は非線形構造の複雑な界面活性剤です。水とドデカンの間の界面へと分離し、形成された粘弾性単子分子層はダブルウォールリング付のARES-G2により特性評価されます。左図は貯蔵弾性率の増加により明らかになる70分にわたる界面形成の進化を示しています。界面アセンブリの粘弾性特性は右図の周波数スイープにおいて明白です。0.2 rad/sで G′, G″の交差するポイントと高周波数での主要な弾性特性は強い界面構造を実証しています。ARES-G2による高感度で慣性のない測定のみ、100 rad/sほどの高周波における界面の完全な粘弾性特性評価が可能です。

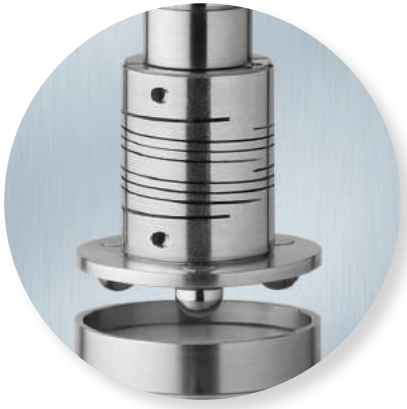




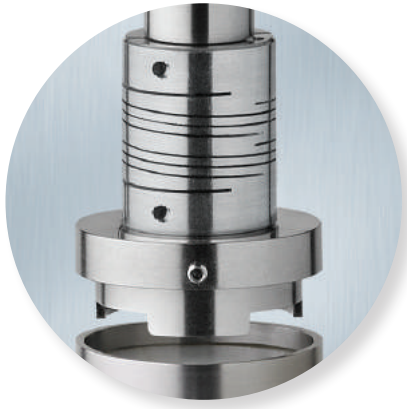
トライボレオメトリーアクセサリ

新しいトライボレオメトリーアクセサリは業界最大の測定範囲で摩擦と摩耗をダイレクトに測定できます。このシステムは、ARES-G2回転型レオメータに全く新しい機能を追加するために、標準的なジオメトリのモジュールを採用しています。接触している2つの固体表面の摩擦係数は、複数の乾燥、潤滑条件および接触プロファイル下で測定することができます。革新的なセルフアライニングデザインにより、使いやすく素早く装着できるアクセサリであり、均一な固体−固体接触が保証されます。トライボロジー測定はまた、ARES-G2の優れた速度制御、独立したトルク測定、追随を許さないノーマルフォースの正確性およびフォースリバランストランスデューサの安定性の恩恵を受けています。

ボールオンスリープレート



スリーボールオンプレート



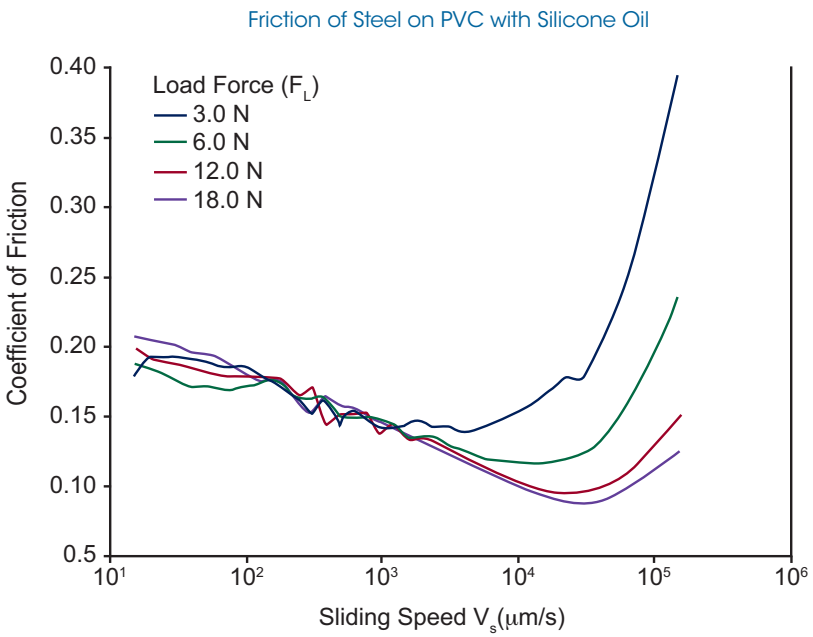
リングオンプレート

ボールオンスリーボール

トライボレオメトリーアクセサリは、すべてのテストジオメトリに対応する正確で安定した温度制御のためのアドバンストペルチェシステム(APS)とフォースコンベクションオーブン(FCO)に適合します。利用可能の様々なコンタクトプロファイルはトライボロジーアプリケーションの多様な要件を満たしています。リングオンプレート、ボールオンスリープレート、スリーボールオンプレートおよびボールオンスリーボールなどのジオメトリが利用可能です。リングオンプレートジオメトリは、液体潤滑剤の補充を可能にするパーティションリングとしても構成されます。アクセサリの多様な構成と交換可能な基板は、自動車部品およびグリース、補綴装置における潤滑、パーソナルケア用クリームやローションに至る幅広い材料における摩擦や摩耗の影響を研究するために理想的です。

向上したTRIOSソフトウェアにより、測定は制御され、結果は直接計算されます。摩擦係数(μ)、負荷力(FL)、摩擦力(FF)およびガンベル数(Gu)などが測定されます。これらはストライベック曲線構築や静止摩擦測定、または温度、接触力、動作の特定の組み合わせを研究するために用いられます。

	温度範囲		最大負荷力	最大スライド速度
	APS	FCO		
リングオンプレート	-10 ～ 150 ˚C	-150 ～ 180 ˚C	20 N	4.5 m/s
ボールオンスリープレート	-10 ～ 150 ˚C	-150 ～ 350 ˚C	28 N	2.7 m/s
ボールオンスリーボール	-10 ～ 150 ˚C	-150 ～ 350 ˚C	24 N	2.3 m/s
スリーボールオンプレート	-10 ～ 150 ˚C	-150 ～ 180 ˚C	20 N	4.5 m/s



PVCプレート上のステンレススチールリング

右図は、ステンレススチールリングとシリコーンオイルにより潤滑されたPVCプレートとの間の摩擦係数を示しています。表面間のスライド速度が大きくなると、摩擦係数は軸方向の荷重に顕著な依存性を示す体系的な増加前の初期段階で減少します。初めの減少は、シリコーンオイルによる表面の潤滑性を反映します。高速での摩擦の増加は、摩擦効果が流体抗力に支配されるストライベック曲線が、流体力学的領域に重なる部分を示しています。

エアチラーシステム (ACS-2, ACS-3)

新しいエアチラーシステムは、独自のガスフロー冷却システムで、液体窒素を利用せず、環境テストチャンバーの温度制御が可能です。ACS-2およびACS-3はマルチステージのカスケーディングコンプレッサーを備え、-55 ℃と -100 ℃の低温でETCの操作が可能です。エアチラーシステムは圧縮空気を利用してラボにおける液体窒素の使用を低減または排除し、投資に対する素晴らしいリターンを提供します。

特徴と利点

安全： 液体窒素あるいは他の冷却ガスの必要性を排除

便利： 液体窒素の交換、補充、別のタンクの発注不要

コンパクト： 同等の液体窒素冷却システムよりも小さいスペースに設置可能

手頃な価格： 定期的なガス供給よりも大幅なコスト削減を実現

フォース/トルクリバランストランスデューサ（サンプル応力）

トランスデューサタイプ	フォース/トルクリバランス
トランスデューサトルクモーター	ブラシレス DC
トランスデューサノーマル/アキシャルモーター	ブラシレス DC
オシレーション最小トランスデューサトルク	0.05 µN.m
定常せん断最小トランスデューサトルク	0.1 µN.m
最大トランスデュートルク	200 mN.m
トランスデューサトルク分解	1 nN.m
トランスデューサノーマル/アキシャルフォース範囲	0.001 ～ 20 N
トランスデューサベアリング	グルーブ補正エア

ドライブモーター（サンプル変形）

最大モータートルク	800 mN.m
モーターデザイン	ブラシレス DC
モーターベアリング	サファイア製, クリーンなエアが必要
変位制御/センシング	光学式エンコーダ
歪分解能	0.04 µrad
オシレーション最小角変位	1 µrad
定常せん断最大角変位	無制限
角速度範囲	1 x 10^{-6} ～ 300 rad/s
角周波数	1 x 10^{-7} ～ 628 rad/s
速度ステップ変化	5 ms
歪ステップ変化	10 ms

オルソゴナルスーパーポジションとDMAモード

モーターコントロール	フォースリバランストランスデューサ
オシレーションの最小トランスデューサフォース	0.001 N
最大トランスデューサフォース	20 N
オシレーション最小変位	0.5 µm
オシレーション最大変位	50 µm
変位分解能	10 nm
アキシャル周波数範囲	1 x 10^{-5} ～ 16 Hz

ステップモーター

動作/配置	マイクロステップモーター/精密リードスクリュー
位置測定	線形オプティカルエンコーダ
位置正確性	0.1 µm

温度システム

Smart Swap™	標準
フォース今ベクションオーブン, FCO	-150 ～ 600 °C
FCOカメラビュアー	オプション
アドバンストペルチェシステム, APS	-10 ～ 150 °C
ペルチェプレート	-40 ～ 180 °C
シールドバス	-10 ～ 150 °C

Expert Training Expert Support

WORLDWIDE

AMERICAS

New Castle, DE USA
Lindon, UT USA
Saugus, MA USA
Eden Prairie, MN USA
Chicago, IL USA
Irvine, CA USA
Montreal, Canada
Toronto, Canada
Mexico City, Mexico
São Paulo, Brazil

EUROPE

Hüllhorst, Germany
Bochum, Germany
Eschborn, Germany
Wetzlar, Germany
Elstree, United Kingdom
Brussels, Belgium
Etten-Leur, Netherlands
Paris, France
Barcelona, Spain
Milano, Italy
Warsaw, Poland
Prague, Czech Republic
Sollentuna, Sweden
Copenhagen, Denmark

ASIA & AUSTRALIA

Shanghai, China
Beijing, China
Tokyo, Japan
Seoul, South Korea
Taipei, Taiwan
Guangzhou, China
Petaling Jaya, Malaysia
Singapore
Bangalore, India
Sydney, Australia

tainstruments.com

ティー・エイ・インスツルメント・ジャパン株式会社
本　　社　〒141-0031　東京都品川区西五反田5-2-4レキシントン・プラザ西五反田6F
TEL(03)5759-8500 FAX(03)5759-8508
大阪営業所　〒532-0011　大阪市淀川区西中島5-14-10新大阪トヨタビル10F
TEL(06)6303-6550 FAX(06)6303-6540
www.tainstruments.com
*製品の仕様は予告なく変更される場合があります。ご了承ください。

© 2017 TA Instruments. All rights reserved.

201705ARES2000