



**Discovery TMA**  
熱機械分析裝置



DISCOVER the WORLD'S FINEST  
THERMOMECHANICAL ANALYZER

## Thermomechanical Analysis

TAインストルメントから、もっとも優れた熱機械分析装置Discovery TMA 450をご紹介します。あらゆる技術的側面を向上させ、ユーザーに新しいレベルの経験を提供する高度な技術と細部へのこだわりをご覧ください。Discovery TMAは、高度なテスト機能と幅広い治具を備えています。お客様のご要望に応え、そしてご期待を超えるTMAです。これまでよりも素晴らしいTMAデータ取得が容易になりました！

### 特徴と利点:

- 非接触、摩擦のないモーターは、0.001 ~ 2 Nの荷重を伝達し、柔らかい圧縮性エラストマーから硬い複合材料まで、幅広いサンプルの測定が可能
- 広範囲の高分解能測定トランスデューサは、最大26 mmのサンプル長、±2.5 mmの測定範囲に対応し、15 nmの分解能で正確な寸法変化測定を実現
- Modulated TMA(MTMA<sup>TM</sup>)、ダイナミック TMA、クリープ、応力緩和の高度なテストモードは、機能を拡張し、材料の機械的挙動に関するさらに貴重な情報をユーザーに提供
- 便利な機械式冷却アクセサリ(MCA 70)は、液体窒素のコストや手間をかけずに、-70 °Cまで冷却制御が可能
- 優れたTRIOSソフトウェアは、装置制御、データ解析、レポート作成用の複合パッケージで、優れたユーザーエクスペリエンスと使いやすさを提供、トレーニング時間の短縮、新しいレベルの生産性を実現
- 新しく革新的なアプリ形式タッチスクリーンは簡単なOne-Touch-Away<sup>TM</sup>機能を搭載し、これにより使い勝手が向上し、今までよりも容易に優れたデータを取得可能



課題の多いアプリケーションのニーズに対応する高性能な材料の需要が高まっており、環境に対する材料の反応を理解することが、これまでより重要です。テストの業界標準に適合し、それを超えるDiscoveryTMA 450は材料の線熱膨張係数(CTE)、収縮、軟化、ガラス転移温度などに関する情報を提供します。最先端のオプションの使用により、材料の剛性(弾性率)、ダンピング特性( $\tan \delta$ )、クリープおよび応力緩和のような粘弾性特性を取得できます。TMA 450は、特に材料の適合性が最重要である製造済みのコンポーネントまたはアセンブリで、これらの材料特性をローカルで測定するのに特に役立ちます。

\* ASTM E831, E1545, D696, D3386 and ISO 11359: Parts 1–3

## Instrument Design

重要なファーナス、寸法測定、雰囲気制御コンポーネントの設計と統合におけるTAインストルメントのエンジニアリング技術は、優れたTRIOSソフトウェアと融合し、Discovery TMA 450の構成の柔軟性と最大限の汎用性を保証します。

### ファーナス

TMA 450の特徴は、-150 ~ 1000 °Cの範囲の温度と、0.1~100 °C /minの範囲の安定した加熱速度を最も精密に制御するために設計された高い応答性の低質量ファーナスです。ファーナスは、正確な寸法変化測定に必要な優れたベースライン性能、およびModulatedTMA™操作に必要なダイナミック温度制御を保証します。空冷機能により、わずか10分に実験間の冷却時間を短縮し、ラボの生産性が大幅に向上します。ファーナスの上部に組み込まれたInconel®718デュワーは、-150 °Cまで液体窒素冷却が可能です。また、装置をオプションの液体窒素フリー機械冷却アクセサリ(MCA 70)に接続して-70 °Cまで冷却できます。広い温度範囲に加えて、実験間の冷却時間をさらに改善するだけでなく、周期的な加熱/冷却実験を実行する機能を提供します。

### サンプルステージ

サンプルステージとプローブは石英製で、-150~1000 °Cの範囲の操作のために最適化されています。石英は、その剛性、腐食への不活性性および非常に低い熱膨張性のため、理想的な材料です。簡単にアクセス可能なステージにより、プローブあるいはフィクスチャーの取付け、サンプルの装着および熱電対の配置が容易になります。石英プローブは、膨張、針入、屈曲(3点曲げ)および引張りの変形モードで使用するように設計されています。内蔵されたデュアルインプットガルモジュールは、最大200 ml/minの流量でサンプル領域に雰囲気(空気、アルゴン、ヘリウムまたは窒素)を提供します。

### 高性能変位トランスデューサ

TMA 450の心臓部は、幅広い変位および温度範囲(-150~1000 °C)にわたり、サンプル寸法の変化を非常に高い精度・正確度で直接測定する変位トランスデューサです。測定システムは、長さ26 mmまでのサンプルに、15 nm分解能および±2.5 mmのダイナミックレンジを提供します。変位のトランスデューサは温度のドリフトから隔離され、安定したベースライン性能および再現性を保証します。

### 摩擦のない荷重モーター

非接触モーターは0.001~1 N の範囲にわたって、サンプルに摩擦のない制御荷重を与えます。荷重は分銅を加えることにより2Nまで負荷が可能です。荷重モーターの精密な制御は、すべての変形モードで品質測定に必要な静的、ランプ、または振動の動的荷重を生成します。制御された荷重を使用して標準的な温度ランプから小さい振幅のダイナミックTMAまで、Discovery TMA 450は最高レベルの感度と正確度で幅広い材料特性を取得できるよう装備されています。



フーナス



高性能変位トランスデューサ



摩擦のない荷重モーター



## 膨張

膨張測定では、材料の熱膨張係数(CTE)、ガラス転移温度( $T_g$ )、圧縮弾性率を評価できます。先端が平坦な標準膨張プローブはサンプルの上に置かれ(一定の小さい荷重が付加されます)、サンプルは温度プログラムの条件下に置かれます。プローブの動きはサンプルの膨張あるいは収縮を記録します。このテストは多くの固体サンプルに使用されます。接触面積の広いマクロ膨張プローブによりやわらかいサンプルや不規則なサンプル、粉末、フィルムの測定が容易になり、体積фиксチャーは体積熱膨張係数の評価を可能にします。

## 針入

針入測定では、延長されたチッププローブを使用して、サンプル表面の小さな領域に荷重を集中させます。これにより、ガラス転移( $T_g$ )、軟化および融解挙動を正確に測定できます。コーティングを基材から剥がさずに特性を評価できます。プローブは膨張プローブのように作動しますが、より大きな応力が与えられます。半球形プローブは、固体の軟化点測定用の代替針入プローブです。

## 引張り

フィルムやファイバーの応力/歪特性の引張り試験は、フィルム/ファイバープローブアセンブリを使用して行ないます。アライメント治具により、サンプルはクランプ中で確実に、再現性よく位置決めされます。固定荷重を与えることによって、応力/歪および弾性率の情報が得られます。さらに収縮力、 $T_g$ 、軟化温度、硬化および架橋密度も測定できます。引張りのダイナミック測定(例えばダイナミックTMA、Modulated TMA™)では、粘弾性パラメータ(例えば $E'$ 、 $E''$ 、 $\tan \delta$ )を評価したり、重なる転移を分離できます。

## 3点曲げ

3点曲げの変形(フレキシュアとして知られる)では、サンプルはステージ上部の石英製アンビルの両端で支持されます。くさび形の石英プローブを介して、サンプルの中心に一定の静的荷重が垂直に加えられます。このテストは、クランプの影響がないため、真の変形が示されます。主に、剛性材料(複合材など)の曲げ特性の評価や、たわみ温度の測定のために使用されます。TMA 450EMは、石英製アンビルに代わり特殊な低摩擦金属アンビルを使用してダイナミック測定も可能です。

膨張



マクロ膨張



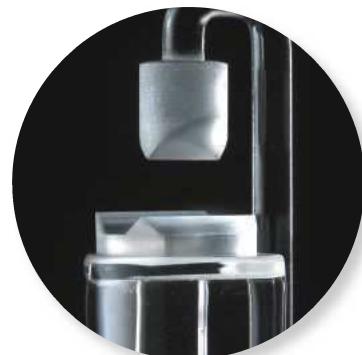
体積



針入



3点曲げ



引張り



半球状

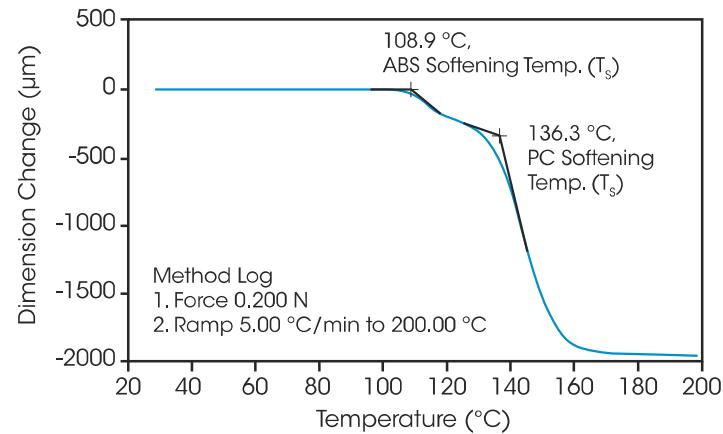
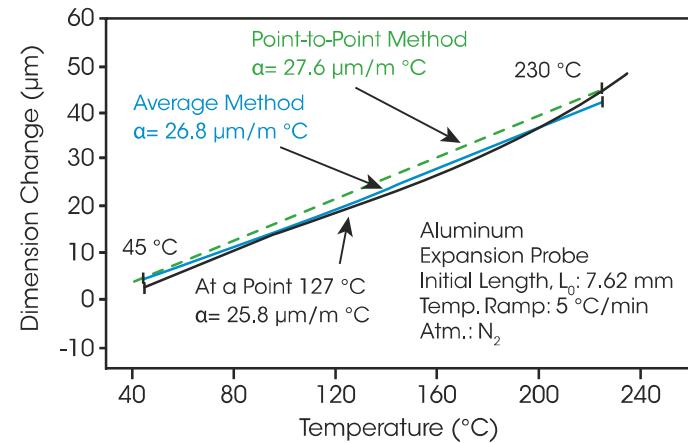


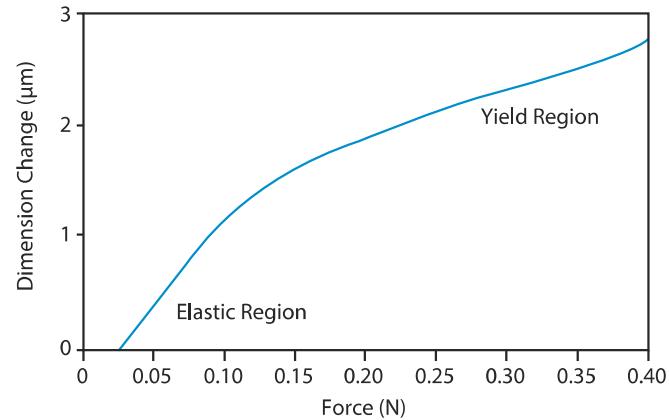
### 膨張、マクロ膨張および体積 正確な熱膨張係数の測定

この例は、膨張プローブを使用して、200 °Cの温度範囲でアルミニウムサンプルのCTE変化の正確な測定を示しています。TRIOSソフトウェアでは、選択した温度または温度範囲で様々な方法により曲線の傾きを分析してCTEを計算できます。

### 針入と半球状形 軟化点( $T_g$ )の決定

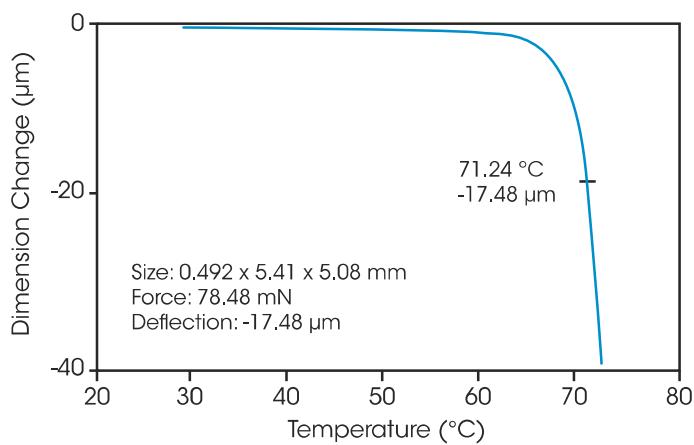
針入治具を使用して、アモルファス熱可塑性樹脂ブレンドであるポリカーボネート/アクリロニトリル-ブタジエンスチレン(PC/ABS)を、5 °C/minの制御加熱速度および0.2 Nの一定力でテストしました。ASTM E1545およびISO 11359に概説された条件に従って、針入による軟化温度/ガラス転移が決定されました。軟化点は、負の寸法変化として容易に検出され、このブレンドの各成分について個々の軟化点が観察されました。





### 引張り ファイバー応力/歪測定

応力/歪測定は材料の評価や比較に広く使用されます。左図は一定温度で荷重をランプさせた $25 \mu\text{m}$ のポリアミドファイバーの応力/歪の挙動の異なる領域を示しています。ファイバーは瞬時に変形し、それに続いて遅延、線形応力/歪応答が発生し、最終的に降伏伸張が生じます。その他のパラメータ(降伏応力、ヤング率など)が決定されます。



### 3点曲げ 材料の性能と選択

左図は、ASTM規格E2092に従って熱変形温度または荷重たわみ温度(DTUL)を決定するためにポリ塩化ビニル(PVC)サンプルを3点曲げ(フレキシュアプローブ)で測定した例です。このテストは、与えた荷重下におけるサンプルの歪曲する温度を特定できます。これは材料の性能の予測する方法として長く用いられています。

# Technology





Discovery TMA 450は革新的な'アプリ形式'、タッチスクリーンを搭載しています。強化されたOne-TouchAway™機能により、これまでよりも操作が容易になりました。

### タッチスクリーン 特徴と利点

- 見やすく操作しやすい、人間工学に基づいたデザイン
- 容易に装置を操作できる機能を搭載
- ユーザーの使用感を向上させる応答性の高いタッチスクリーン

### One-TouchAway™機能:

- |                   |                  |
|-------------------|------------------|
| ・開始/停止            | ・リアルタイムシグナルとプロット |
| ・アクティブメソッド表示      | ・温度の設定           |
| ・プローブと荷重キャリブレーション | ・プローブ位置とサンプル測定設定 |
| ・システム情報           | ・テストと装置ステータス     |

アプリ形式タッチスクリーン、新しいTRIOSソフトウェアにより、迅速で堅牢なキャリブレーションルーチンがシームレスに機能し、ラボのワークフローおよび生産性を劇的に向上させます。



TAインスツルメントの最先端ソフトウェアパッケージは、熱分析とレオロジーのための装置制御、データ収集、データ解析に対して最新の技術を採用しています。直感的なユーザーインターフェースにより、実験を簡単かつ効率的にプログラムできるだけでなく、実験の画面と、データの表示・解析画面を容易に移動できます。



### TRIOS 特徴

- 単一のPCとソフトウェアパッケージにより、複数の装置を制御
- TMA、DMA、DSC、TGA、SDT、レオメータなどの技術をまたがった、データ結果のオーバーレイや比較を行う
- 無制限ライセンスと無料のソフトウェアアップグレード
- 生産性を高めるワンクリックの繰り返し解析
- 実験の詳細、データプロットと表、解析結果が記載されたカスタムレポートの自動生成
- プレーンテキスト、CSV、XML、Excel®、Word®、PowerPoint®、画像形式にデータをエクスポート
- 監査証跡、データ保全性のための電子署名が付いたオプションのTRIOS Guardian



### 使いやすさ

TRIOSソフトウェアにより、TMA 450のキャリブレーションと操作が容易です。ユーザーは、さまざまな実験条件(異なる加熱速度やガス選択など)で複数のキャリブレーションデータセットを簡単に生成でき、サンプルテストに使用される実験条件に合わせてシームレスに切り替えることができます。リアルタイム信号と実験の進行状況はすぐに確認可能で、実行中の条件を測定中でも変更できる機能が追加されています。TRIOSソフトウェアは、業界において優れたレベルの柔軟性を提供します。

### 完全なデータ記録

高度なデータ収集システムが関連するすべての信号、アクティブなキャリブレーション、システム設定を自動で保存します。この包括的な情報は、メソッド開発、手順開発、データ確認に欠かせない要素です。

### 迅速かつ容易なキャリブレーション

TRIOSソフトウェアにより、容易にキャリブレーションできます。タッチスクリーン、TRIOSソフトウェアのどちらでも明確な説明がオペレーターをガイドし、シンプルなキャリブレーション手順を経て要約レポート表示で終了します。レポートではひと目でキャリブレーションステータスを確認でき、データの整合性を確保するために各データファイルに保存されます。

# The Most VERSATILE CONTROL and ANALYSIS SOFTWARE!

## 完全なデータ解析機能

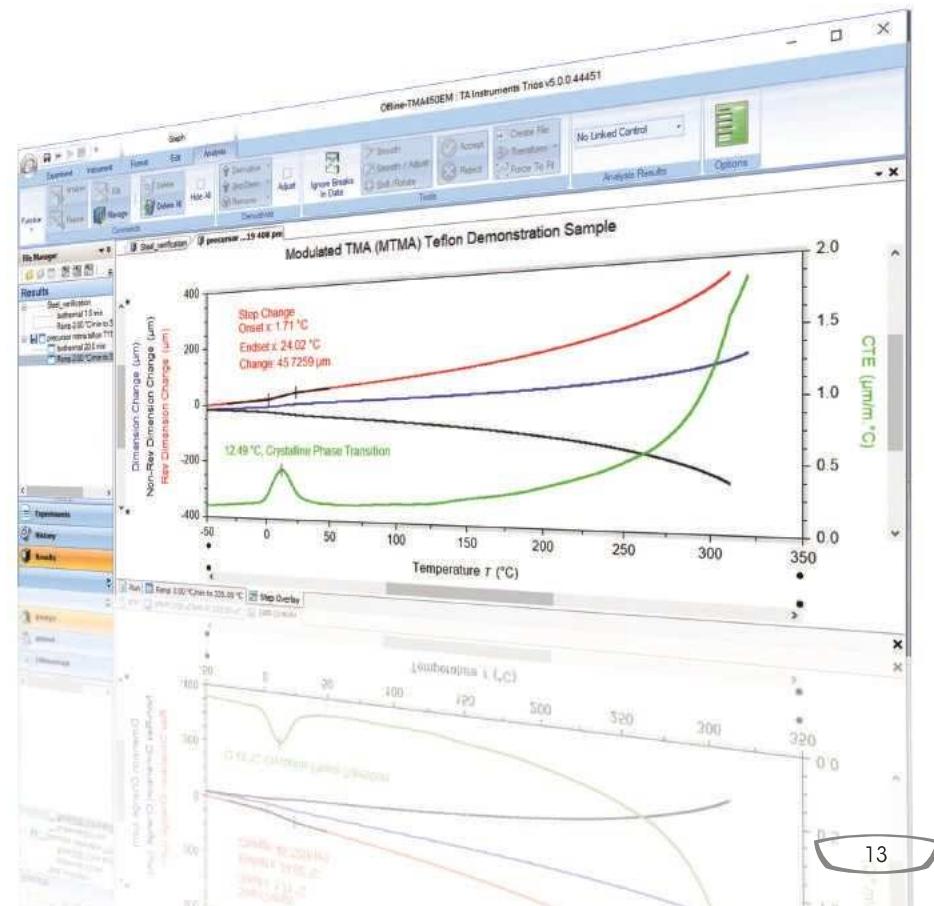
実験中でも実施できるリアルタイムのデータ解析のための、包括的な関連ツールを利用できます。TRIOSIにシームレスに統合された優れた汎用性の高い機能によって、材料の挙動を実践的に把握できます。

### すべての標準的なTMA解析:

- Alpha at X1 (CTE)
- Alpha at X1 to X2 (CTE)
- Alpha fit X1 to X2 (CTE)
- 補外開始・終了点解析
- 寸歩変化( $\mu\text{m}$ , %)
- シグナル 最大と最小
- ステップ転移
- 特定のX点またはY点の曲線値
- 一次導関数と二次導関数
- 数学的フィッティング:直線、多項式または指数
- 応力-歪曲線

### TMA 450EMの高度な解析機能

- ダイナミックTMAを使用する場合の $\tan\delta$ ピーク解析による貯蔵および損失弾性率
- 熱膨張、収縮や応力緩和を分離するための、モジュレイティッド TMA™(MTMA™)を使用したトータル寸法変化シグナルのリバーシングおよびノンリバーシング寸法変化シグナルへの分離



# Discovery TMA

## Theory

熱機械分析(TMA)は、荷重、雰囲気、時間、温度の制御された条件下で材料の寸法変化を測定します。TMAの一般的な操作では、平行で平らな表面の小さなサンプルが、熱電対の近くの石英ステージに置かれます。石英プローブは、一定の力を加えて試料に対して下げられます。サンプルが加熱または冷却されると、石英プローブの動きを観察することで寸法の変化が測定されます。

Discovery TMA 450は、テストのための業界の基準\*を満たし、超えて、材料の線熱膨張係数(CTE)、収縮、軟化、ガラス転移温度、熱変形などに関する情報を提供します。

高度なテストによりDiscovery TMA 450の機能が拡張され、科学者とエンジニアがデータと機器への投資を最大限に活用できます。

### 標準テスト:

- 温度ランプ
- フォースランプ
- 一定歪
- カスタム編集された手順

### 高度なテスト(拡張モード-EM):

- 応力ランプ
- 歪ランプ
- クリープ
- 応力緩和
- 温度変調TMA(MTMA™)
- ダイナミック温度ランプ(荷重振動)
- マニュアル(高度なテストタイプの組み合わせ)



# The POWER of TMA

TMAは、共に機能する必要がある材料の適合性を理解するために重要です。  
例は次のとおりです。

- コーティングとその基材
- ラミネートの隣接層
- 樹脂またはエラストマーとその補強材またはフィラー
- シールまたはカプセル封止、およびそれらが保護する機械的システム

TMAは、過酷な環境や極端な温度で使用される材料の適合性を判断するのに役立ちます。  
例は次のとおりです。

- ブレーキライニング
- 自動車用ガスケット
- はんだ接合
- 接着剤
- 保護コーティング



TMAによって測定される一般的な特性を挙げると次の通りです:

- 線形熱膨張
- 热膨張係数(CTE)
- 相転移温度
- ガラス転移温度
- 収縮
- 軟化点
- 体拡張
- 層間剥離
- 残留硬化反応
- ストレス
- 分解温度

高度なTMAテストにより以下の測定が可能です

- 貯蔵および損失弾性率( $E'$ ,  $E''$ )
- 減衰特性( $\tan \delta$ )
- 緩和挙動
- クリープと回復
- 応力緩和
- 応力-歪曲線
- 収縮力
- 同時に起こる膨張と収縮の分離

# Discovery TMA

## Standard TMA Applications

### 標準オペレーションテスト

TMAは、荷重、雰囲気、時間、温度の制御された条件下での材料の変形の変化を測定します。特別に設計されたプローブを使用して、圧縮、曲げ、または引張りの変形モードで荷重を加えることができます。TMAは、固有の材料特性(膨張係数、ガラス転移、ヤング率など)に加えて、加工/製品性能パラメータ(軟化点など)を測定します。

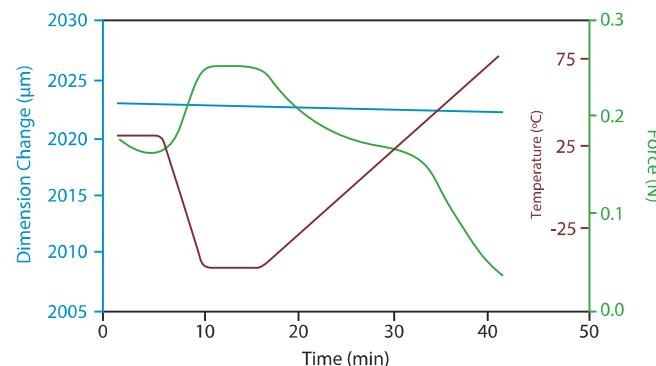
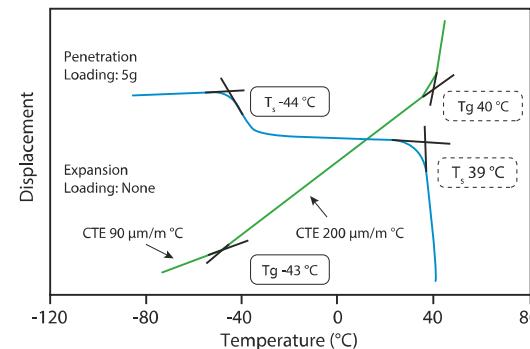
これらの測定には幅広い適用性があり、Discovery TMA 450またはTMA 450EMで実行できます。TMA 450は標準のテストセット(温度ランプ、フォースランプ、等歪)を備えていますが、TMA 450EMはさらに応力/歪、クリープ、応力緩和、ダイナミックTMA、およびモジュレイテッドTMA™を提供します。

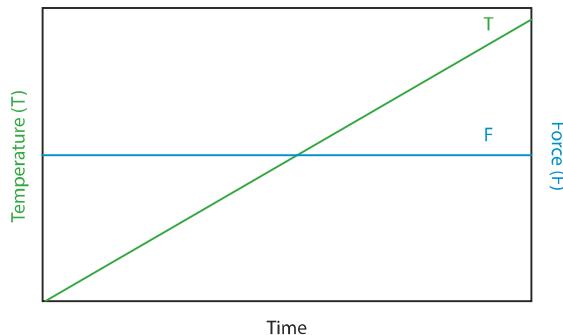
### 物性・製品特性評価

この図は、一定応力、線形昇温条件下で合成ゴムのTgおよび軟化点を膨張プローブと針入プローブを用いて測定した結果を示しています。膨張測定で大きなCTEの変化は、転移温度を示しています。針入測定では、転移がサンプル内へのプローブの鋭い動きによって検出されます。

### 収縮力

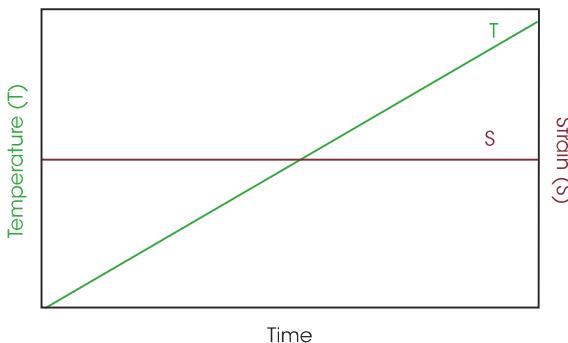
この図は、食品ラップフィルムの引張りモードでの典型的な収縮力(等歪)実験を示しています。フィルムは、室温で5分間20 %の歪を与え、-50 °Cまで冷却して5分以上保ち、5 °C/min で75 °Cまで昇温させました。データはフィルムに与えた歪を維持するために必要な荷重の変化(収縮力)を示しています。このテストは冷凍庫から電子レンジへのフィルムの使用をシミュレートしています。





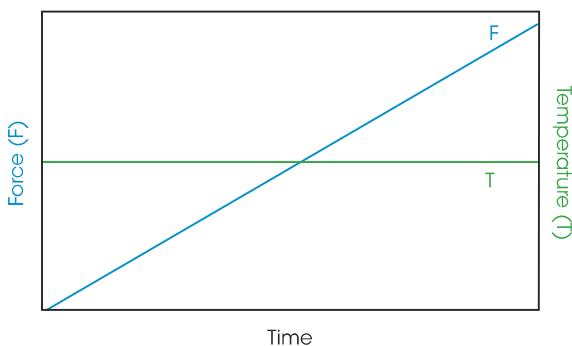
### 温度ランプ | 変位または歪の観察

荷重は一定に保たれ、変位は線形温度ランプの下で観察され、固有の特性測定を提供します。



### 等歪 | 荷重の観察

歪は一定に保たれ、歪を維持するために必要な荷重は温度ランプの下で観察されます。



### 荷重ランプ | 変位または歪の観察

荷重を傾斜させ、結果の歪を一定温度で測定し、荷重/変位プロットと弾性率評価を生成します。

# Discovery TMA

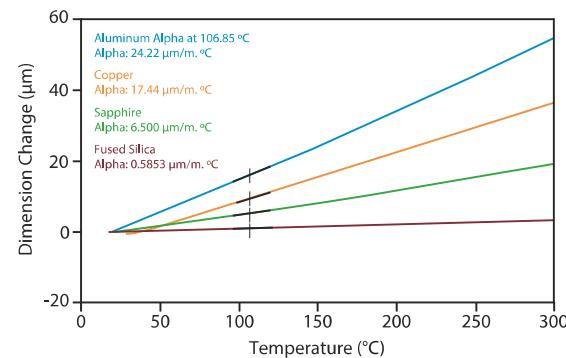
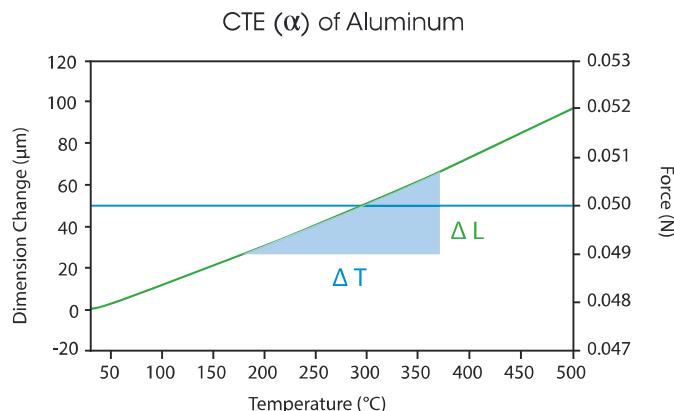
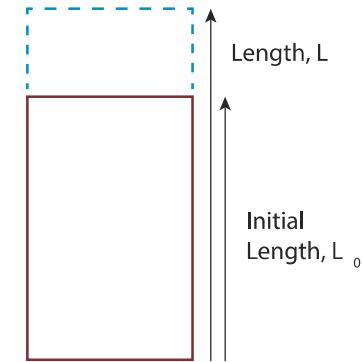
## Standard TMA Applications

### 熱膨張係数

TMAで測定される最も一般的な特性は、ASTM E831、D969、D3380、および ISO11359 Part1-3に記載されている国際規格ごとの熱膨張係数(CTE)です。CTEは、さまざまな温度での材料の機械的膨張または収縮を表します。これは材料の重要な特性であり、温度が材料の物理的サイズに及ぼす影響を考慮に入れないことは、製品故障と層間剥離を引き起こすことが知られています。平均熱膨張係数(CTE)は次のように計算されます。

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \frac{\Delta L}{\Delta T}$$

ここで  $\alpha$  は平均熱膨張係数、 $\Delta L$  は指定された温度範囲での試料の膨張(mm)、 $L_0$  は試料の最初の長さ(mm)、 $\Delta T$  は試験中の温度変化( $^{\circ}\text{C}$ )です。材料のCTEは温度に依存し、 $\alpha$  は特定の温度範囲で報告されている平均です。



### 3点曲げの歪温度

熱たわみ温度(HDT)と荷重たわみ温度(DTUL)は、3点曲げ荷重を受ける材料が所定の位置に変形する温度を反映する同等の条件です。サンプルに加えられる実際の荷重と必要なたわみの量は、サンプルの形状によって異なります。

ASTM規格E2092および関連する規格D648は、特定の応力(455または1820 kPaのいずれか)の下で正確な歪(0.25 mmのたわみまたは手順のサンプル寸法で定義される0.20 %歪)が発生する温度としてDTULを定義します。TMAを使用すると、これらの応力を達成するために必要な荷重(力)は、次の式を使用して決定できます。

$$F = \frac{2}{3} \frac{Sbd^2}{L}$$

ここで、Fは荷重(N)、Sは応力(0.455 MPa [66 psi]または1.82 MPa [264 psi])、bはサンプル幅(mm)、dはサンプルの厚さ(mm)、Lはサンプル長(フレクシャープローブのジオメトリで定義される5.08 mm)です。

試料のたわみは、所定レベルの歪が観察される温度の関数として記録されます。たわみあるいは寸法変化は、以下に示す式の関係を使用して決定されます。

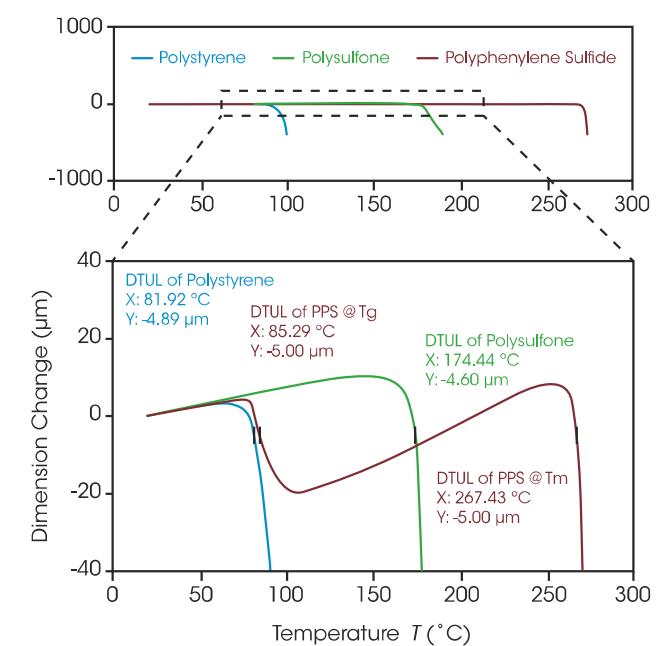
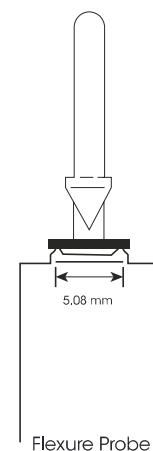
$$D = \frac{rL^2}{6d}$$

ここでDはセンタースパンでのTMA寸法変化(mm)です。  
rはサンプル歪です(0.0020または0.20 %)

Discovery 450 TMAでは、荷重たわみ温度(DTUL)テストを簡単に実行できます。ポリスチレン、ポリスルホン、およびポリフェニレンスルフィドが、0.455 MPa(66psi)の負荷、0.2 %の歪、2 °C/minの加熱を伴う3点曲げのフレクシャープローブを使用してテストされました。これらの材料のDTUL測定は、高温で荷重に耐える能力を区別し、剛性が失われる温度を決定します。材料のたわみ温度は適合性のある樹脂とファイバーの強化剤を用いた再処方により改質されます。小さな試料のDTULテストはDiscovery TMA450で迅速かつ簡単に実行できます。

0.455 MPaの応力、0.2 %の歪および2 °C /minの加熱速度の条件を使用した場合の、実験の荷重と中心スパンでの寸法変化の計算値

Sample	Sample Width (b) x Thickness (d) x Length (L) (mm)	Calculated Force, F (N)	Dimensional Change at center span, D (μm)
Polystyrene	2.33 x 1.76 x 5.08	0.431	4.89
Polysulfone	2.30 x 1.87 x 5.08	0.480	4.60
Polyphenylene sulfide	2.36 x 1.72 x 5.08	0.417	5.00



# Discovery TMA

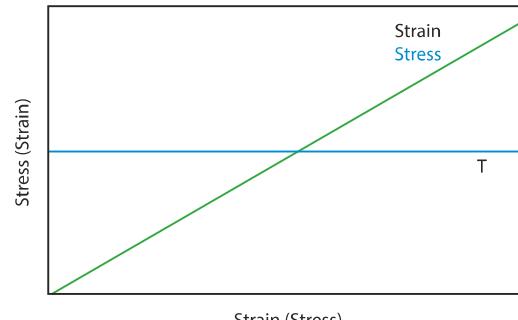
## Standard TMA Applications

### 高度なオペレーションテスト

高度なテスト機能には、材料の同時に起こる膨張と収縮を最も効率的に分離するための、TAの業界をリードするModulated TMA™、小振幅、固定周波数正弦波変形による粘弾性特性のダイナミックTMA、および過渡条件下での粘弾性挙動のクリープ/応力緩和が含まれます。これらの高度なオプションは、科学者とエンジニアの権限を拡張し、材料の機械的挙動に関するさらに価値のある情報を提供します。

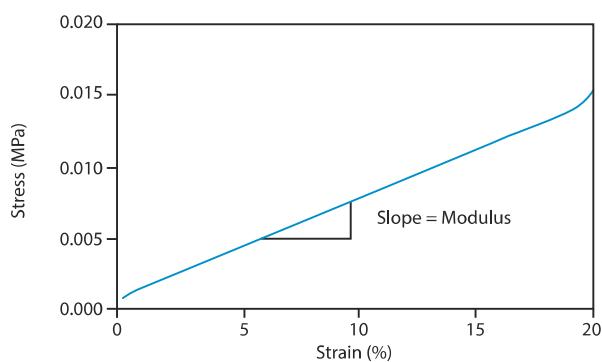
### 応力/歪テスト

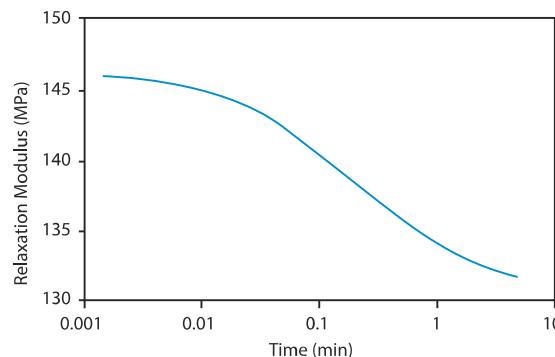
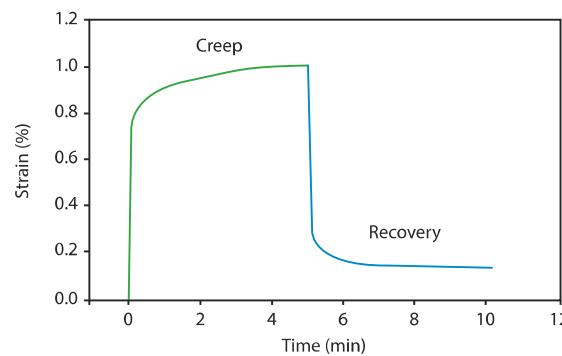
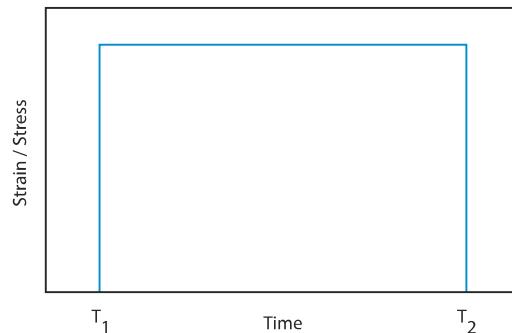
応力または歪を一定速度で変化させ、定温で歪または応力変化を測定します。入力されたサンプルジオメトリを使用して、応力/歪プロットと弾性率を得られます。さらに、計算された弾性率を応力、歪、温度または時間の関数として示すことができます。



### フィルム引張りテスト

この図は引張りモードでポリマーフィルムを一定温度で歪ランプ測定した結果を示します。このプロットは、応力と歪が線形である広い範囲を示しており、そこから引張り弾性率を直接求められます。定量的な弾性率データは、応力、歪、時間、または温度の関数としてプロットすることができます。この結果から、TMA 450EMがフィルムやファイバーのミニ引張り試験機としての機能も有することを示します。





## クリープと応力緩和

TMA TMAは過渡特性テスト(クリープまたは応力緩和)により粘弾性特性を測定できます。クリープ測定では入力応力が一定に保たれ、結果の歪が時間の関数として観察されます。応力緩和測定では、入力歪は一定に保たれ、応力減衰は時間の関数として測定されます。データは、コンプライアンス(クリープテスト)および応力緩和弾性率(ストレス緩和テスト)の単位で表示させることもできます。

## クリープ分析

クリープテストは、応力変化が予想される用途のための材料選択に役立ちます。この例は、ポリエチレンフィルムの室温における引張りでのクリープテスト結果を示します。瞬時に起こる変形、遅延、一定応力下における歪応答の線形領域、そして応力をゼロにしたときのリカバリーを示しています。データは時間に対してクリープコンプライアンス、回復コンプライアンスとしてプロットすることもできます。

## 応力緩和分析

この図は、前例のクリープテストに使用したサンプルと同じポリオレフィンフィルムの引張りにおける応力緩和テストの結果を示します。ある歪を一定時間与えて応力変化を見ます。グラフは応力緩和弾性率の典型的な減衰を示しています。また、このようなテストは変形が予想される材料の設計に役立ちます。

# Discovery TMA

## Advanced Tests & Applications

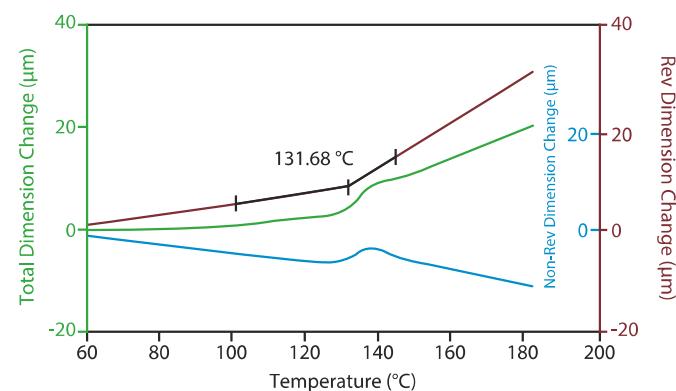
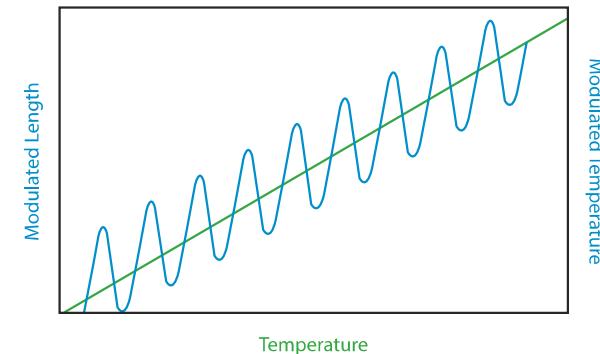
### モジュレイテッドTMA™ (MTMA™)

業界をリードするTAのモジュレイテッドTMA™(MTMA™)は、材料の同時に起こる膨張と収縮を効率的に分離します。トータル寸法変化のデコンボリューションにより、応力緩和と同じ温度領域で発生するガラス転移などのイベントが容易に明らかになります。モジュレイテッドTMAにおいて、サンプルは、従来の線形ランプに重ねられた正弦波温度振動の複合した影響にさらされます。出力シグナル(生データのフーリエ変換後)は、トータルの寸法変化と熱膨張係数の変化となります。モジュレイテッドTMAは、トータル変位をリバーシング、ノンリバーシング寸法変化シグナルに分離し、リバーシングシグナルは、熱膨張による寸法変化に関するイベントを含んでおり、 $T_g$ のような関連するイベントの検出に役立ちます。ノンリバーシングシグナルには、時間依存のキネティックプロセスに関連するイベント(応力緩和など)が含まれます。この手法は、TAインストルメントDiscovery TMA 450EM特有のものです。

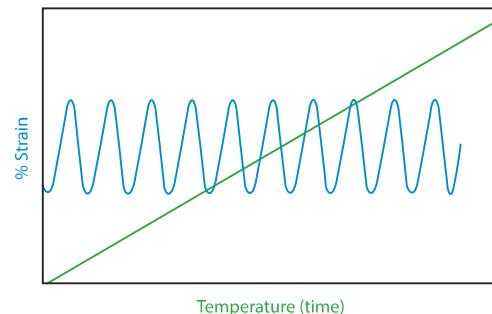
### 重なり合う転移の分離-モジュレイテッドTMA

この図は、プリント基板の $T_g$ を検出するためのMTMATM測定結果を示します。プロットされたシグナルは、トータル寸法変化に加え、そのリバーシング、ノンリバーシング成分を示します。トータルのシグナルはスタンダードTMAで得られる結果と同じですが、 $T_g$ を決定できません。しかしながら、コンポーネントシグナルは、PCBの処理条件によって引き起こされる応力緩和イベントから実際の $T_g$ を明確に分離します。

Modulated TMA (MTMA)

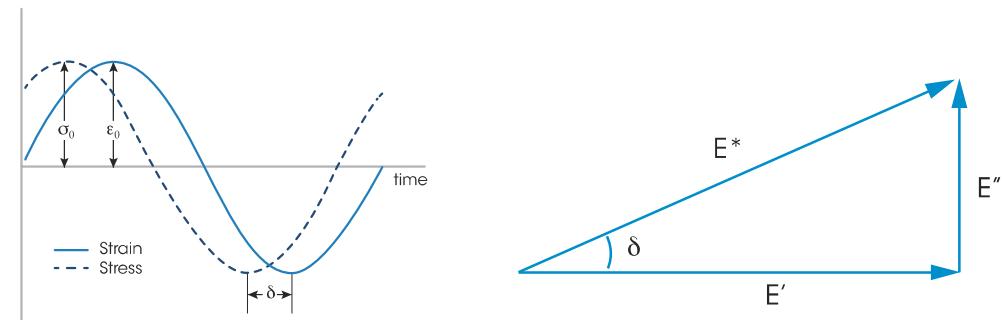


### Dynamic TMA Test

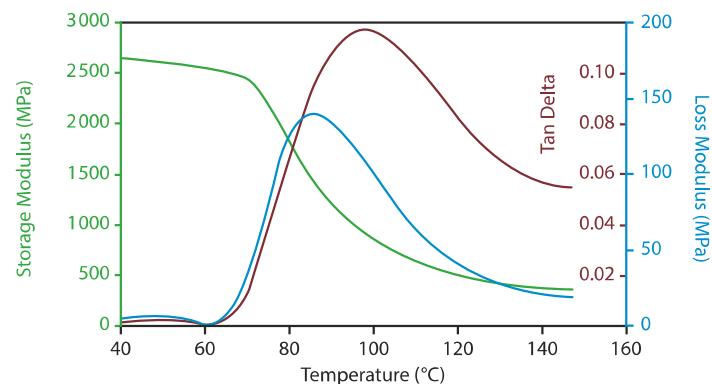


### ダイナミックTMA テスト

ダイナミックTMAは、正弦波状応力と線形昇温をサンプルに与え(図A)、結果として生じる正弦波状の歪と位相差( $\delta$ )を測定します(図B)。このデータから貯蔵弾性率( $E'$ )、損失弾性率( $E''$ )および $\tan \delta (E''/E')$ が温度、時間または応力の関数として得られます(図C)。ダイナミックTMAにより、科学者、エンジニアは材料の粘弾性挙動を取得できます。



$\epsilon_0$	Strain amplitude
$\sigma_0$	Stress amplitude
$\delta$	Phase angle
$E^* = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0}$	Complex Modulus Total resistance to deformation
$E' = E^* \cos \delta$	Storage Modulus Elastic, solid-like resistance
$E'' = E^* \sin \delta$	Loss Modulus Viscous resistance, damping



### 粘弾性特性の決定- ダイナミック TMA

この図は、張力がかかった半結晶性ポリエチレンテレフタレート(PET)フィルムが線形温度ランプ中に一定の正弦波力を受ける動的テストを示しています。結果の歪と位相のデータを使用して、材料の粘弾性特性( $E'$ 、 $E''$ 、および $\tan \delta$ など)を計算します。プロットされたデータは、フィルムがガラス転移温度を超えて加熱されたことによる劇的な弾性率変化を示します。

# Accessories

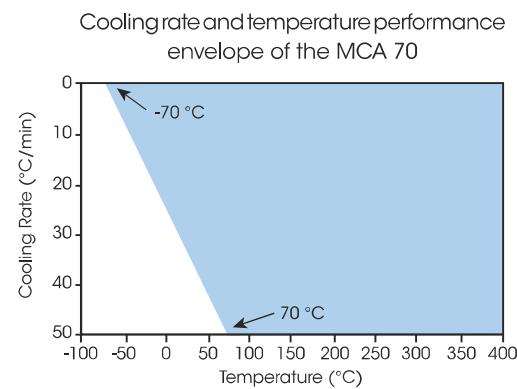
## Mechanical Cooling System

広い温度範囲における無人操作のTMAおよびモジュレイテッドTMA™(MTMA™)操作に便利な電気冷却アクセサリMCA 70を活用ください。MCA 70は、メーカーが実際の製造条件下で使用している条件での材料の加熱/冷却サイクル実験に最適です。

温度サイクルテスト(TCT)は、極度の低温および高温と、これらの極端な状態に周期的に晒されることに耐える部品の性能を決定します。周期的な熱機械的負荷に起因する機械的破損は疲労として知られているため、温度サイクルは主に疲労破損を加速します。MCA 70を使用すると、温度の極端な変化に対する材料の反応をこれまで以上に簡単に調べることができます。

### MCA 70 特徴と利点:

- 70 ~ 400 °Cの温度範囲を提供する2ステージ冷却システム
- 密閉システムにより、液体窒素冷却が不要
- 周期的、モジュレイテッドTMA、速度制御冷却、および急速冷却実験が可能
- 安全、便利、ラボで必要な継続的な冷却操作が可能



## Performance Specifications

仕様	Discovery TMA 450EM	Discovery TMA 450
温度範囲(最大)	-150 ~ 1000 °C	-150 ~ 1000 °C
温度精度	± 1 °C	± 1 °C
加熱速度	0.01 ~ 150 °C/min	0.01 ~ 150 °C/min
ファーナス冷却時間 (エアクール)	600 ~ 50 °C 10分未満	600 ~ 50 °C 10分未満
最大サンプルサイズ - 固体	26 mm (L) x 10 mm (D)	26 mm (L) x 10 mm (D)
最大サンプルサイズ - フィルム/ファイバー		
スタティックオペレーション	26 mm (L) x 1.0 mm (T) x 4.7 mm (W)	26 mm (L) x 1.0 mm (T) x 4.7 mm (W)
ダイナミックオペレーション	26 mm (L) x .35 mm (T) x 4.7 mm (W)	
測定精度	± 0.1%	± 0.1%
感度	15 nm	15 nm
ディスプレイメント分解能	<0.5 nm	<0.5 nm
ダイナミックベースラインドリフト	<1 μm (-100 ~ 500 °C)	<1 μm (-100 ~ 500 °C)
荷重範囲	0.001 ~ 2 N	0.001 ~ 2 N
周波数範囲	0.01 ~ 2 Hz	
デュアルインプットガスデリバリーモジュール	●	●
雰囲気(スタティックまたはフロー)	不活性ガス、酸化性または反応性ガス	不活性ガス、酸化性または反応性ガス

測定モード	TMA 450EM	TMA 450	制御速度	温度下限
標準(温度ランプ、荷重ランプ、一定歪)	●	●	50 °C/min	70 °C
ストレス/ストレイン	●	○	20 °C/min	-15 °C
クリープ	●	○	10 °C/min	-40 °C
応力緩和	●	○	5 °C/min	-55 °C
ダイナミックTMA (DTMA)	●	○	2 °C/min	-65 °C
モジュレイテッド TMA™ (MTMA™)	●	○	MCA70の400 °C(上限)からの冷却速度 *性能はラボの状況により若干変化することもあります。	
			●標準装備      ○オプションのアップグレードにより使用可能	

## NOTES





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](http://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。

東京営業所	03-3987-6261	名古屋営業所	052-703-1021
横浜営業所	045-326-6090	刈谷営業所	0566-70-7744
相模営業所	046-228-8611	鈴鹿営業所	059-378-9733
土浦営業所	029-824-9361	大阪営業所	06-6304-2332
宇都宮営業所	028-639-5077	滋賀営業所	077-582-8077
北関東営業所	0276-46-1092	姫路営業所	079-223-8234
甲府営業所	055-222-7868		

