

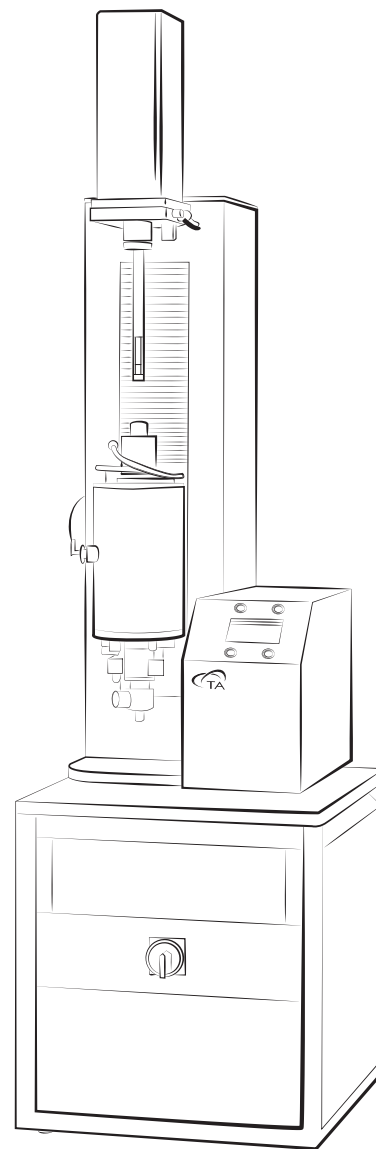
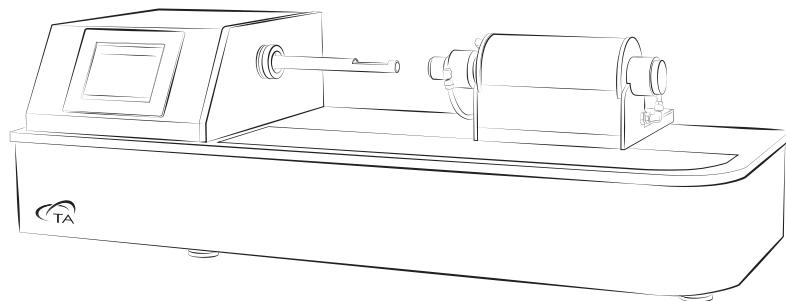


プッシュロッド式 & 光学式
熱膨張率測定装置

高性能熱膨張率測定装置

熱膨張率測定装置は、材料の寸法変化を温度の関数として測定するための精密機器です。熱膨張率測定装置は、セラミック、ガラス、金属、ポリマーなど伝統的および先進的な幅広い材料の測定に使用できます。線熱膨張、熱膨張係数、焼結温度、収縮ステップ、相転移、密度変化、軟化点、分解温度、異方性、異方性、ガラス転移温度など様々な熱的特性を評価することができます。

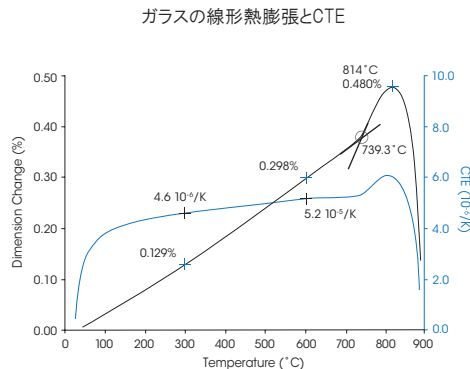
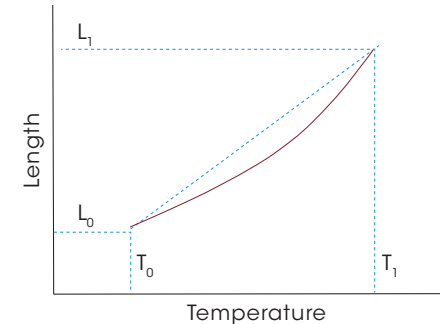
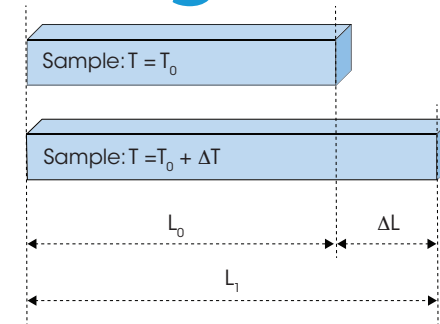
単一の熱膨張率測定装置では、これほど幅広い材料に対して、適切な測定条件で、効果的かつ正確な測定を行うことはできません。TAインスツルメントのみが水平、垂直・光学式の熱膨張率測定装置の完全なラインナップを備え、お客様のあらゆるニーズに応じた適切な装置を提供します。



Dilatometry and the Measurement of Dimensional Changes

熱膨張率測定では、サンプルをホルダーにセットし片側をプッシュロッドに接触させます。また非接触測定の場合は、サンプルを光学CCDセンサーで囲みます。次に、ファーマス(サンプルを加熱、冷却または等温条件など任意の温度プログラムに沿って作動する炉)内にサンプルとホルダーを封入します。測定中のサンプル寸法変化(膨張または収縮)は非常に正確な変位感知システムにより検出します。

特定の温度変化 ΔT の下で発生する線形寸法変化 ΔL は、線熱膨張 $d\%$ と呼ばれます。このパラメータは、 ΔL と初期長さ L_0 の比率として単純に表されます。単位温度変化あたりの線形変化は線熱膨張係数と呼ばれ、CTE(Coefficient of Linear Thermal Expansionの省略形)またはギリシャ文字 α (アルファ)で表記されます。



$$d\% = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$$

$$CTE = \alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} = \frac{L_1 - L_0}{L_0 (T_1 - T_0)}$$

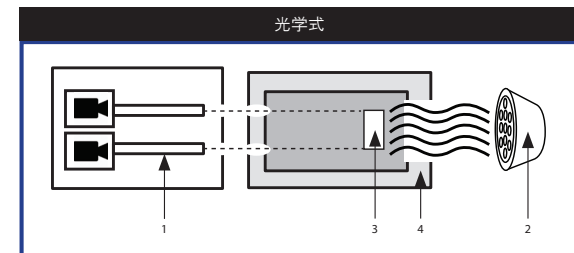
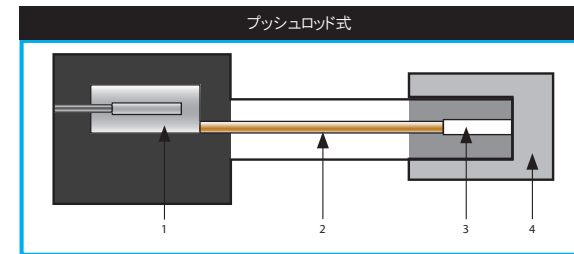
Understanding Dilatometry

Measurement Technologies:

Push-rod vs. Optical

厳密な寸法変化測定が求められるすべての材料とアプリケーションにおいて、全く同じ条件による測定はできません。従来の方法において、測定精度はサンプルの柔らかさや剛性、物理的状態の変化挙動、寸法変化量、測定温度範囲や昇降温速度、サンプルの形状の違いやサンプルロードの状態などの影響を受ける可能性があります。そのため自身のアプリケーションで適切な測定を行うためには、適切な測定手法の選択とその手法の原理を正しく理解することが重要です。熱膨張率測定装置では、プッシュロッド設計の水平式と垂直式の性能比較が行われますが、これらはしばしば「ひとつで全てに対応可能なソリューション」として位置づけられているためです。TAインスツルメントならば、垂直、水平プッシュロッド、光学熱膨張率測定装置の完璧な製品ラインナップを提供できます。下の図表はこれら技術の比較結果であり、適切な機器を選択していただくことで、様々な材料やアプリケーションのニーズに応えます。

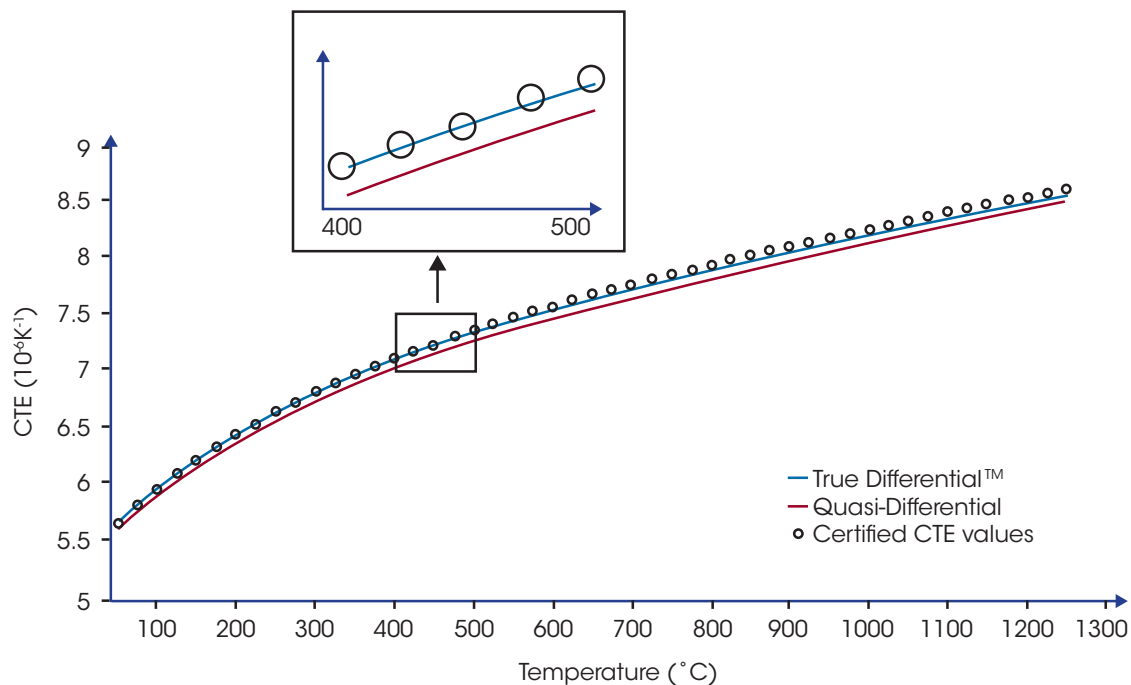
	パラメータ	プッシュロッド式	光学式
	測定モード	熱膨張率測定	熱膨張率測定, フレキシメーター, 加熱顕微鏡
1	変位センサーテクノロジー 分解能	光学式エンコーダー, あるいはLVDT max. 1 nm	光学式ベンチ HDカメラ, あるいは CCD センサー付 max 50 nm
2	測定システム	プッシュロッド式の サンプル接触	非接触測定用のLEDから 放射される光線
3	サンプル寸法 物理的状態	0.1 ~ 50 mm 剛性 ~ 適度な軟性	0.3 ~ 80 mm 剛性 ~ 溶融性
4	温度範囲	-150 ~ 2300° C (*)	-150 ~ 1650° C (*)
(*) Possible with different furnaces			



プッシュロッド式熱膨張率測定 | True Differential™ テクノロジー

プッシュロッド式熱膨張率測定装置は主に「測定ヘッド（サンプルに荷重を加えるフォースコントローラー+変位センサー）」、「測定システム（変位センサーに繋がるサンプル保持チューブ+プッシュロッド）」、「可動式ファナス」で構成されています。サンプルは、測定システムの端とプッシュロッドの間に挟まれています。測定中に温度が変化すると、サンプルと測定システムが共に膨張、収縮します。測定ヘッドは、これらの変化の総括を信号として記録します。シングルサンプル、デュアルサンプル、True Differential™熱膨張率測定装置には、様々な測定ヘッドが組み込まれています。これらの測定ヘッドは、それぞれ異なるアプローチにより測定システムの変位がサンプルに及ぼす影響を校正および補正しています。TA インструメントの独自技術True Differential™テクノロジーが最も正確な結果を提供します。

認証標準サファイア CTE : True Differential™ vs. Quasi-Differential



Unique True Differential™ Technology Provides Unmatched Precision and Accuracy for Thermal Expansion Measurements

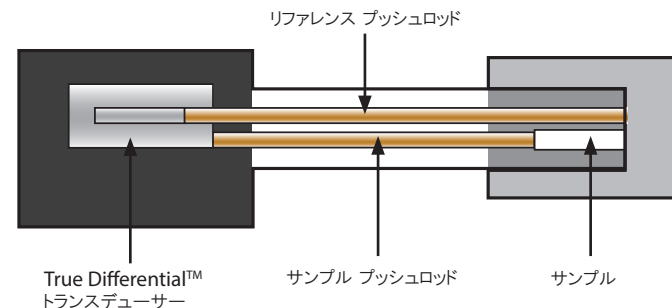
True Differential™ vs. Quasi-Differential

従来のシングルプッシュロッド式熱膨張率測定では、サンプル測定時に測定システムの影響の補正するために使用されるベースラインを、熱膨張率が既知の標準リファレンス試料を使用して定めます。Differential補正式では、第二のプッシュロッドが組み込まれているため、リファレンス試料による校正を同時に実行して精度と正確さを向上させることができます。右に概略的に示されているようにDifferential補正式の熱膨張率計には「Quasi-Differential」とTAインスツルメント独自の「True Differential™」と呼ばれる2つの方法があります。TA独自の「True Differential™」が「Quasi-Differential」より優れている理由を簡単な概略図を用いて説明します。

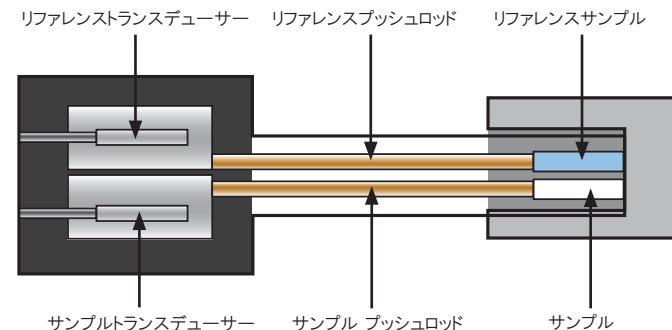
「Quasi-Differential」ではデュアルサンプル式熱膨張率測定装置を使用し、2つの別々のトランスデューサーから得た信号を差し引きします。この方法ではシングルサンプル式よりも精度が向上しますが、2つの別々の変位センサーを使用すると変数が増えるため、高度なソフトウェアアルゴリズムが必要となります。

一方でTAインスツルメントのTrue Differential™では、革新的なアプローチによりひとつのトランスデューサーでQuasi-Differentialよりも精度を向上させることに成功しました。トランスデューサーのコイルがサンプルに結合し、トランスデューサーのコアはリファレンス試料に結合しています。その結果、リファレンス試料側のトランスデューサーフレームがシステムの膨張に伴って移動することで、測定しているサンプルの膨張のみを測定することが可能になります。これにより**測定正確度が向上し、システム校正の寄与の減少、温度プログラムの柔軟性の向上につながりました**。左図の標準リファレンス試料(サファイア)の測定結果は、True Differential™測定の正確度の高さを明確に示しています。

TAインスツルメント独自の True Differential™



Quasi-Differential モードでのデュアルサンプル



高分解能水平式熱膨張率測定装置 | DIL 830 シリーズ

DIL 830シリーズは、独自のテクノロジーと優れた機能を兼ね備えた、正確な材料特性を必要とするR&Dラボに理想的な装置です。この装置には、TA独自のTrue Differential™ テクノロジー、光学式エンコーダ変位センサー、電動式高速冷却 ファーナス、熱安定化機能を備えた測定ヘッド、タッチスクリーンディスプレイ、リニアサンプルロードモーターを搭載しております。これらの機能により、材料や用途に関係なく測定可能な、最高性能の水平プッシュロッド熱膨張率測定装置となりました。

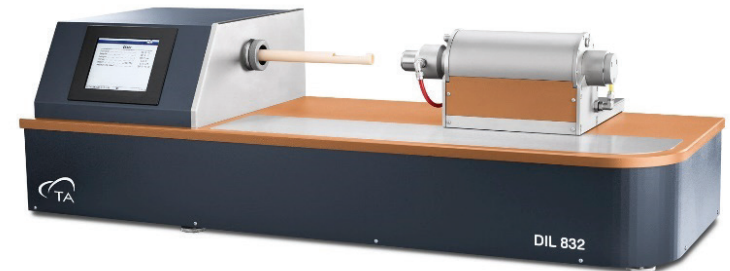


The World's Most Advanced Horizontal Push-rod Dilatometer

特徴と利点:

- 独自のTrue Differential™テクノロジーにより、システムキャリブレーションへの依存を減らし、業界をリードするCTE正確度 $0.01 \times 10^{-6} [K^{-1}]$ を達成
- 高速冷却ファークラスにより、競合他社と比較して測定効率が7倍に向上
- クラス最高の1 nmの分解能を備えた光学式エンコーダーがわずかな寸法変化を検出することで、より短いサンプルの測定が可能に
- 電氣的熱安定化機能を備えた新設計の測定ヘッドにより、これまでにない検出安定性を実現
- 5,000 μm の測定領域すべてにおいて誤差 ± 0.005 Nを達成する高性能磁気モーターにより、サンプルの寸法変化に関係せず一定の荷重を保証
- 容易なサンプルのロード/アンロードを可能にする電動ファークラスステージ
- 新たにタッチスクリーンを採用することで、測定パラメータと測定時間がリアルタイム表示され、より簡単に装置機能を操作可能に
- 自動でサンプルの初期長を測定、記録することで、人為的ミスを排除
- 様々なサンプルに対して、最大長25 mm、直径6 mmまたは12 mmまでの2つのモデルが利用可能(詳細は仕様を参照)
- ASTM C372、ASTM E228、DIN 52328、ASTM C531、ASTM E831、DIN 53752、ASTM C824、DIN 51045、SEP 1680、ASTM D696、DIN 51909、SEP 1681を含むあらゆる主要な熱膨張率測定法規格に準拠

Dilatometer



DIL 832 True Differential™
水平式高分解能熱膨張率測定装置

アドバンスト垂直式熱膨張率測定装置 | DIL 820 シリーズ

DIL 820シリーズ熱膨張率測定装置は垂直方向で動作することで、水平方向では不可能な独自の測定を実施することができます。膨張-収縮の変位が大きい速度制御焼結法(RCS:Rate Controlled Sintering)や2800 °Cまでの高温条件、粉末など水平式では測定困難なサンプルの試験で活躍する装置です。820シリーズモデルは、独自のTrue Differential™テクノロジー、光学式エンコーダー変位センサー、高速冷却機能を備えた電動ファーンラス、高い熱安定化機能を備えた測定ヘッド、タッチスクリーンディスプレイおよび新たなリニアサンプルロードモーターを備えています。これらの技術により、寸法変化測定が困難なサンプルでも最高のパフォーマンスで測定できる、新たな垂直プッシュロッド式熱膨張率測定装置となりました。



Furnace	21.2 °C
Sample	22.2 °C
Length	15402.8 µm
Water	(50-70) 0.0 1/h

TA

VERTICAL DESIGN for the Most Challenging Applications

特徴と利点:

- 独自のTrue Differential™テクノロジーにより、システムキャリブレーションへの依存を減らし、業界をリードするCTE正確度 $0.01 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ を達成
- 垂直式では、正確な焼結性評価時の摩擦レスの大きな変位範囲、粉末などの測定が難しいサンプルの試験など、水平式では不可能な独自のパフォーマンスを提供
- 垂直方向に設計されているため、高温時の測定システムとファーナチューブのたわみが防止され、高温でも長時間の測定が可能
- 自然冷却時間が1時間未満の高速冷却ファーナスにより、競合製品と比較して測定測定効率が7倍に向上
- ファーナスと測定ヘッド間を断熱したチャンバー設計にすることで「煙突効果」を防止し、垂直式では前例のないほど優れた温度均一性を実現
- クラス最高1 nmの分解能を備えた新たな光学式エンコーダにより、これまで測れなかった極小の寸法変化にも追従することが可能
- -150 ~ 2800 °Cの温度範囲を持つ6つのモデルを用意
- 5,000 μm の測定範囲全体にわたって誤差 $\pm 0.005 \text{ N}$ を制御可能な業界最先端の磁気モーターにより、水平式では測定困難な荷重に敏感なサンプルの評価が可能
- 水平式と比較してわずかなスペースで設置可能
- ASTM C372, ASTM E228, DIN 52328, ASTM C531, ASTM E831, DIN 53752, ASTM C824, DIN 51045, SEP 1680, ASTM D696, DIN 51909, SEP 1681を含む膨張測定のためのすべての主要な試験方法規格に準拠



DIL 822
True Differential™
垂直式熱膨張率測定装置



DIL 821HT
高温垂直式熱膨張率測定装置

DIL820&830 シリーズ | テクノロジー

True Differential™設計によりCTEの正確度が10倍向上

DIL 822およびDIL 832モデルで利用できるTrue Differential™テクノロジーは、熱膨張率測定で最も重要なCTE正確度を飛躍的に向上させた画期的な技術です。業界最高峰のCTE正確度 $0.01 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ により、科学者やエンジニアが求める信頼性の高い試験結果を提供できます。

注：True Differential™設計の詳細については、5ページを参照ください。

新たなダイナミックファークスが測定効率を7倍に

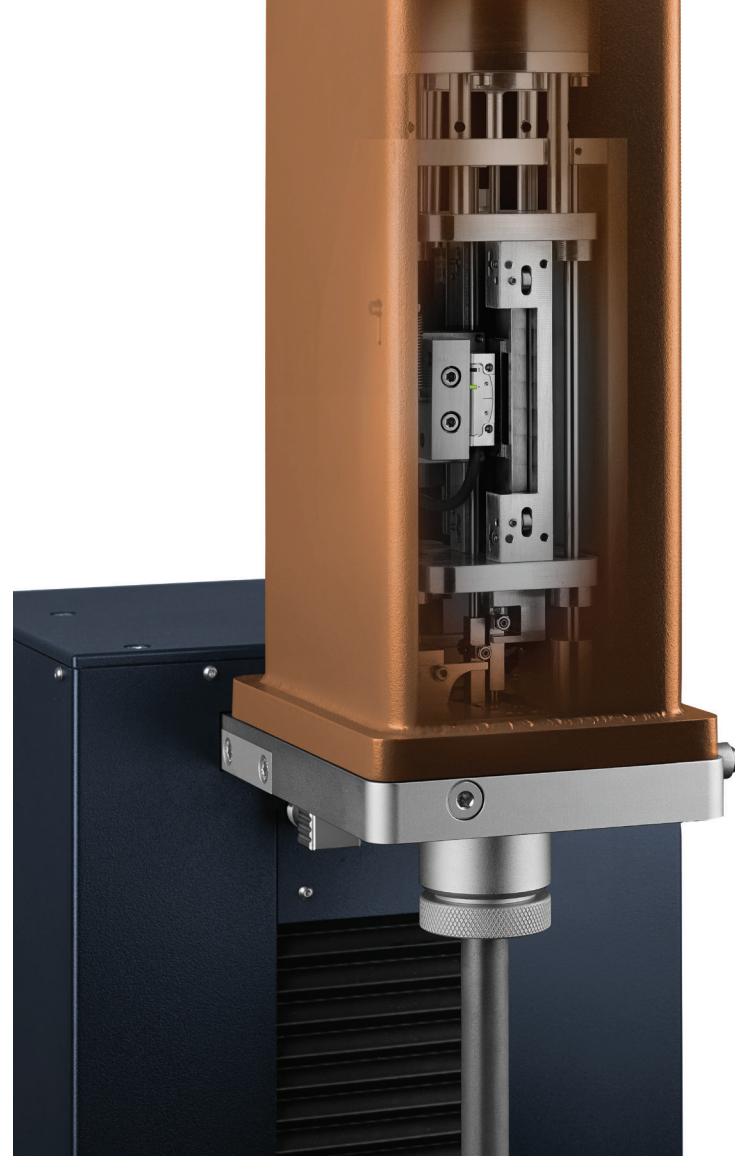
ファークスの冷却時間は、連続して試験をする際に無駄な工数となります。そのため、冷却時間に時間がかかる熱膨張率測定は効率の悪い試験と見なされます。そこで、冷却時間が飛躍的に改善されたTAの新たなダイナミックファークス：800シリーズをご紹介します。試験温度に関係なく、800シリーズファークスは1時間以内に室温まで冷却可能です。これにより測定効率が大幅に向上し、わざわざ同じファークスを2つ用意する必要がなくなります。

光学エンコーダが1 nmの分解能を実現

820および830シリーズ熱膨張率測定装置には、1 nmの変位分解能を有する、信頼性の高い光学エンコーダ技術が組み込まれています。この技術には従来LVDTシステムと比較して優れた機能が数多くあります。分解能が10倍まで向上したことで、サイズや寸法変化量が非常に小さいサンプルの高精度な評価が可能になりました。

安定に荷重を加える新たなモーター

新たな磁気モーターより、 $5,000 \mu\text{m}$ の変位範囲にわたり、荷重誤差を $\pm 0.005 \text{ N}$ にまで抑えることに成功しました。これにより、試験片の寸法変化やその発生速度に関係なく、プッシュロッドとサンプルを一定の荷重で接触させることができます。これは、正確な焼結性評価には欠かせない機能です。



垂直型熱膨張率測定装置DIL 820シリーズ：
光学エンコーダと磁気モーターを搭載した測定ヘッド

DIL820&830シリーズ | 測定データ

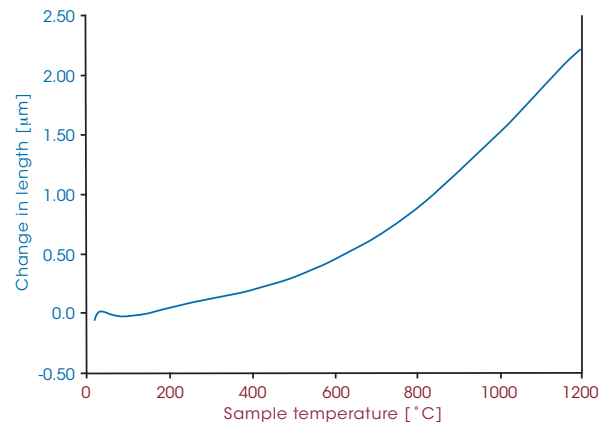
光学エンコーダーによりナノスケールの寸法変化を測定可能

一部の熱膨張率測定装置では、非常に薄い試料の測定が難しく、正確なCTE測定ができない場合があります。DIL 820および830シリーズには、1 nmの変位分解能を持つ光学式エンコーダーが組み込まれており、薄い試料でも正確に熱膨張率を測定することができます。右図は、水平式熱膨張率測定装置DIL 820シリーズでアルミナ(厚み650 μm)を室温から1200 $^{\circ}\text{C}$ まで昇温測定した結果です。この光学エンコーダ技術を使用すると、わずか2.26 μm の膨張を容易に測定できます。

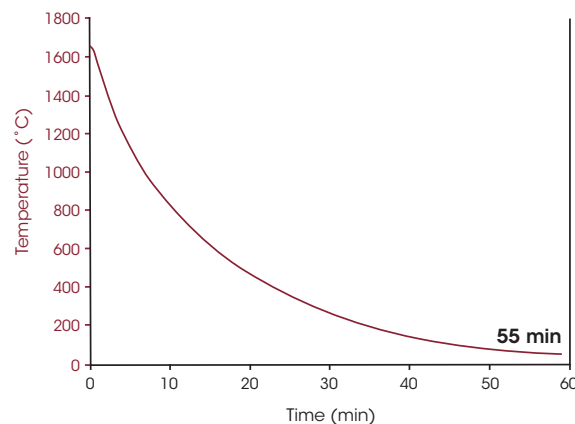
高速冷却ファーンラスにより測定効率を3倍に向上

膨張測定において時間がかかる大きな要因は、実験が終了してから炉を冷却するための待機時間です。820および830シリーズのダイナミックファーンラスは、ハイテクノロジーな断熱材と冷却機能により、測定間のアイドリングタイムを劇的に減らすことができます。右図では、1700 $^{\circ}\text{C}$ の測定終了後、別のファーンラスを必要とすることなく1時間未満で次の測定が開始できることを示しています。これにより余計な補正を加えることなく再現性の高い測定を効率的に実施できます。

650ミクロンの厚さのサンプルにおけるナノスケール膨張測定



高速ダイナミックファーンラスの冷却曲線



DIL820&830シリーズ | 仕様

	821	822	831	832
設計	シングルサンプル 垂直式プッシュロッド	True Differential™ 垂直式プッシュロッド	シングルサンプル 水平式プッシュロッド	True Differential™ 水平式プッシュロッド
最大サンプル長	25 mm	25 mm	25 mm	25 mm
最大サンプル径	12 mm	6 mm	12 mm	6 mm
変位システム	光学エンコーダ	光学エンコーダ	光学エンコーダ	光学エンコーダ
長さ (ΔL)分解能	1 nm	1 nm	1 nm	1 nm
測定範囲	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm
CTE正確度	0.03 10 ⁻⁶ K ⁻¹	0.01 10 ⁻⁶ K ⁻¹	0.03 10 ⁻⁶ K ⁻¹	0.01 10 ⁻⁶ K ⁻¹
サンプルホルダー	石英ガラス、 アルミナあるいはグラファイト	石英ガラス、 アルミナあるいはグラファイト	石英ガラスあるいは アルミナ	石英ガラスあるいは アルミナ
温度範囲	-160 ～ 2300 °C (*)	-160 ～ 2300 °C (*)	-160 ～ 1700 °C (*)	-160 ～ 1700 °C (*)
最大昇温速度	100 °C/min (*)	100 °C/min (*)	100 °C/min (*)	100 °C/min (*)
最大冷却速度	100 °C/min (*)	100 °C/min (*)	100 °C/min (*)	100 °C/min (*)
雰囲気	空気 (酸化), 不活性, 還元, 真空	空気 (酸化), 不活性, 還元, 真空	空気 (酸化), 不活性, 還元, 真空	空気 (酸化), 不活性, 還元, 真空
調整可能荷重範囲	0.01 ～ 1 N	0.01 ～ 1 N	0.01 ～ 0.5 N	0.01 ～ 0.5 N

(*) ファーナスのオプションによって異なります。詳細については、ファーナスの仕様をご参照ください。

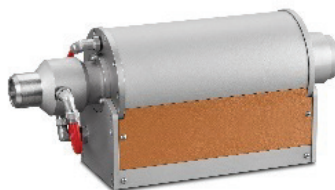
DIL820&830シリーズ| ファーナスオプション

電動オペレーション、高性能断熱、アクティブ冷却が備えられたDIL 820および830シリーズは、最小の内部容積に最適化されたさまざまな動的ファーナスを利用できます。

最大ファーナス温度	-160 ~ 700 °C	RT ~ 1100 °C	RT ~ 1500 °C	RT ~ 1700 °C	RT ~ 2300 °C
サンプル温度範囲	-150 ~ 650 °C	RT ~ 1000 °C	RT ~ 1470 °C	RT ~ 1680 °C	300 ~ 2300 °C
加熱エレメント	NiCr with sheath	CrAl Fe	Pt / Rh	Pt / Rh	グラファイト
メジャメントシステム	石英ガラス	石英ガラス	アルミナ	アルミナ	グラファイト
最大昇温速度	50 °C/ min	60 °C/ min	100 °C/ min	100 °C/ min	50 °C/ min
最大冷却制御速度	25 °C/ min	25 °C/ min	15 °C/ min	5 °C/ min	100 °C/ min
自然冷却時間 (min) (最大温度 ~ 25 °C)	22 min	51 min	53 min	54 min	22 min
モデル適合性	820	820, 830	820, 830	820, 830	820



820 シリーズ ダイナミックファーナス



830 シリーズ ダイナミックファーナス



820 シリーズ
高温ファーナス

水平式熱膨張率測定装置 | DIL 800 シリーズ

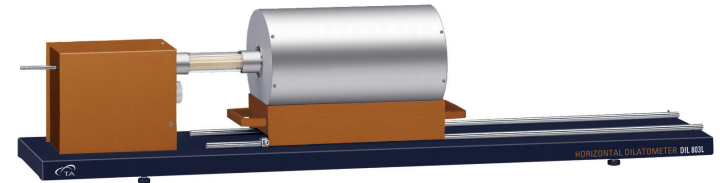
すべてのTAインストルメント800シリーズ水平式熱膨張率測定装置には、最先端の線形可変差動トランスデューサー(LVDT:Linear Variable Differential Transducer)とデジタルアンプテクノロジーを採用しています。これらの装置はシングルサンプル、デュアルサンプル、True Differential™の3種類の測定方式を採用しています。「L」シリーズは空気中のみの測定に用いられ、空気中で処理されるセラミックやその他の材料の特性評価に最適です。標準モデルは、空気、不活性、還元、または真空雰囲気下での測定が可能です。用途に応じた様々な種類のファナースを用意しており、幅広い分野、アプリケーションに対応できます。



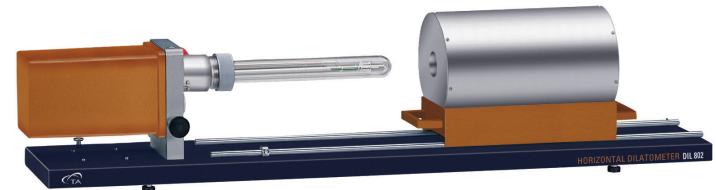
Traditional Horizontal Design, Industry Tested, Rugged and Reliable Dilatometers

特徴と利点:

- 業界最高峰のCTE正確度 $0.01 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (DIL 802モデル)を可能にするTA独自のTrue Differential™測定設計
- デジタルアンプテクノロジーを備えた高感度の線形可変差動トランスデューサー(LVDT: Linear Variable Differential Transducer)測定ヘッドは高い耐衝撃性と熱的な安定性を確保し、業界最高峰の感度、正確度、精度、耐久性を提供
- デュアルサンプル式と、交換可能なファークラスを組み合わせて、ニーズに合わせた最も効率的な測定を提供します。(DIL 803モデル)
- 空気中での測定に特化したセラミック測定用モデル「Lシリーズ」
- 交換可能なファークラスにより、単一の装置で $-150 \sim 1700 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度範囲で測定可能
- 空気(酸化)、不活性ガス、還元ガス、真空雰囲気下など幅広い条件での測定が可能
- ASTM C372, ASTM E228, DIN 52328, ASTM C531, ASTM E831, DIN 53752, ASTM C824, DIN 51045, SEP 1680, ASTM D696, DIN 51909, SEP 1681を含むすべての主要な試験方法規格に準拠



DIL 801L, DIL 802L, DIL 803L 熱膨張率測定装置



DIL 801, DIL 802, DIL 803 熱膨張率測定装置

DIL 800シリーズ | テクノロジー

信頼性の高いトランスデューサー技術

すべての800シリーズ水平熱膨張率測定装置には、最先端の線形可変差動トランスデューサ (LVDT: Linear Variable Differential Transducer) とデジタルアンプテクノロジーが採用されています。高い耐衝撃性を備えたトランスデューサは熱的な安定性を確保し、業界最高峰の感度、正確度、精度、耐久性を提供します。すべての熱膨張率測定装置において、0.02 ~ 1.00 Nもの幅広いコンタクトフォースが適用でき、サンプルの収縮を伴う測定でも安定して接触させることができます。これにより、測定正確度と再現性が保証されます。

独自のTrue Differential™ 方式による業界最高峰の正確度

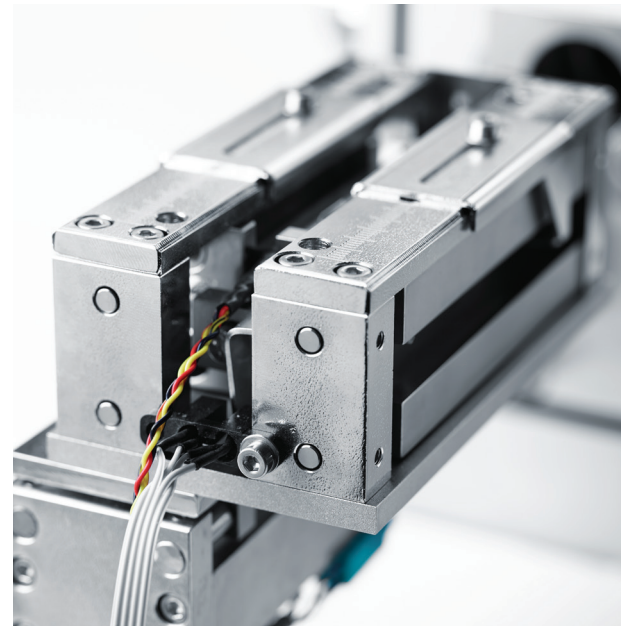
DIL 802ではTA独自のTrue Differential™方式を採用することで、業界最高峰のCTE正確度と精度を提供します。通常のデュアルサンプル式熱膨張率測定装置では、トランスデューサが2つ搭載されており、互いの信号を差し引きする設計となっています。これらの「ソフトウェア示差型」装置よりも高い性能を目指し、DIL 802で特別に設計されたのがTrue Differential™方式です。DIL 802のコアとなるのは、ノイズを低減し、正確度を最大化する革新的な単一変位トランスデューサです。トランスデューサのコイルが試料に結合し、トランスデューサのコアはリファレンス試料に結合しています。リファレンス試料側のトランスデューサフレームがシステムの膨張と共に移動することで、サンプルの膨張のみを正確に測定可能です。これによりキャリブレーションへの依存が減少し、温度プログラムの柔軟性が向上し、業界最高峰のCTE正確度 ($0.01 \times 10^{-6} \text{ K}$) を実現しました。

高生産性と柔軟性を備えたデュアルサンプル式

DIL 803は、スループットを最大化する、デュアルサンプル式を採用した水平式熱膨張率測定装置です。また、不活性な標準リファレンス試料を使用することで示差式のシステムとして使用することもでき、システム全体の膨張の影響を減少させ、測定正確度を向上させることもできます。容易に交換可能なファークラスと組み合わせることで測定間の冷却時間を短縮し、さらに測定効率を高めることも可能です。

セラミック測定に最適な“L”シリーズ

DIL 800Lシリーズは、空気雰囲気下での測定に特化し、広い温度範囲で空気雰囲気での寸法変化を測定するように設計されています。

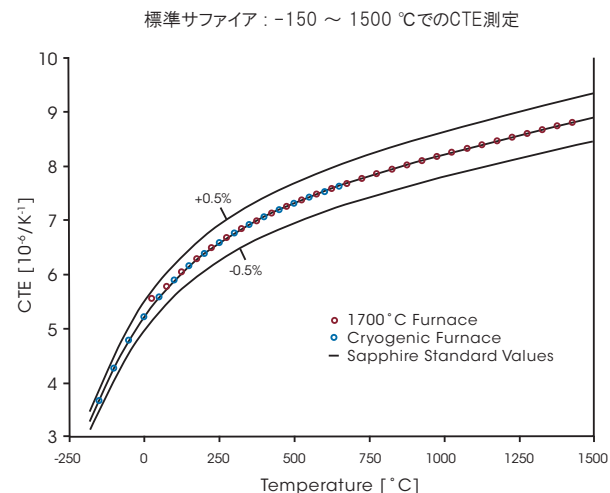


DIL 802 True Differential™ トランスデューサ

DIL 800シリーズ | 測定データ

幅広い温度範囲で正確かつ安定した測定を

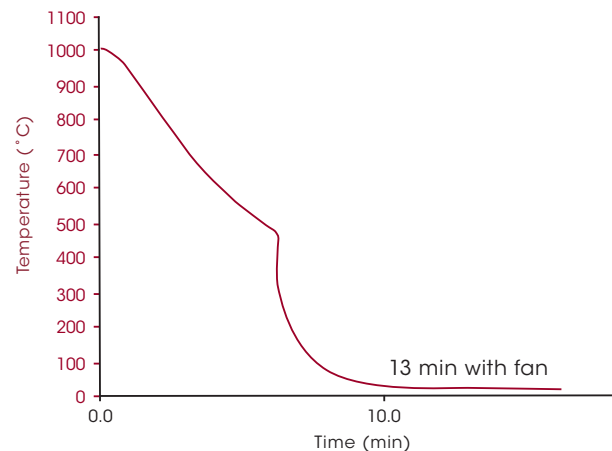
高機能材料の多くは製品として使用される中で急激な温度変化に曝される可能性があります。この温度変化時の材料寸法変化を正確に把握することが非常に重要です。Tru Differential™ テクノロジーを採用した熱膨張率測定装置DIL 802では、優れたCTE正確度を提供し、複数のファーンラスを使用することで-160 ~ 1700 °Cの幅広い温度範囲をカバーできます。右図にサファイア標準リファレンス試料のCTE測定結果を示しています。サファイアのCTEを2種類の交換可能なファーンラス (Cryogenic Furnace: 極低温ファーンラスと1700 °Cファーンラス) を使用し、-150 ~ 1500 °Cの温度範囲で測定しました。すべての測定値が基準値の±0.5%以内に収まっており、2種類のファーンラスで測定した温度範囲(室温付近~600 °C)では値が一致していることがよく分かります。



急速冷却ファーンラス

DIL 800シリーズでは、従来のセラミック材料の試験ニーズに応えるために特別に設計した1100 °Cファーンラスを搭載しております。この新たなファーンラスは、高性能な断熱材で出来ており、これまでにないほど素早い冷却を可能にする革新的な空冷システムを備えています。右図では、わずか13分間での1000 ~ 25 °Cまでファーンラスを急速冷却しているデータを示しています。測定サンプルが雰囲気気に敏感で、強制空冷が使用できない場合でも、総冷却時間はわずか35分です。どちらの冷却時間も熱膨張率測定装置では類をみない結果であり、これまでのように高価なファーンラスを複数所持しなくても迅速に測定できます。

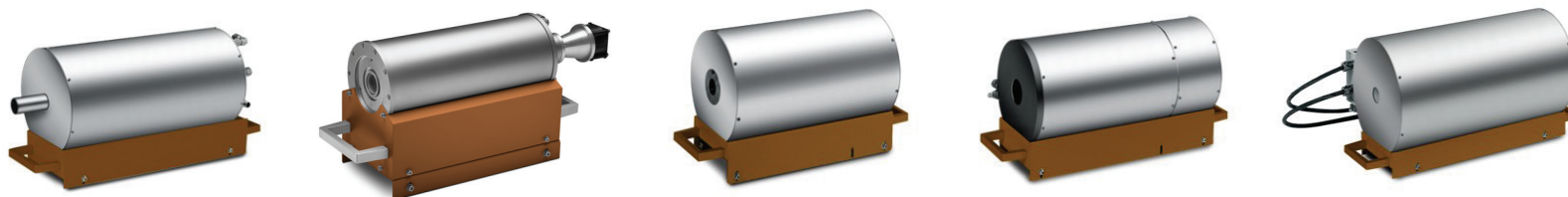
ファーンラスの1000 °Cから室温への
わずか15分での急速冷却



DIL 800シリーズ | ファーナスオプション

すべてのDIL 800シリーズ水平式熱膨張率測定装置は、必要な温度範囲に応じて、様々なファーナスを選択し、取り付けることが可能です。ファーナスは容易に交換可能で、測定の柔軟性を最大限まで高めることができます。同じタイプのファーナスを複数用意することで、測定の効率を向上させることもできます。

温度範囲	-160 ～ 700 °C	RT ～ 1100 °C	RT ～ 1350 °C	RT ～ 1500 °C	RT ～ 1700 °C
サンプル温度範囲	-150 ～ 650 °C	RT ～ 1000 °C	RT ～ 1320 °C	RT ～ 1470 °C	RT ～ 1680 °C
加熱エレメント	NiCr with sheath	CrAl Fe	CrAl Fe	SiC	Pt/Rh
メジャリングシステム	石英ガラス	石英ガラス	アルミナ	アルミナ	アルミナ
最大昇温速度	50 °C/ min	100 °C/ min	100 °C/ min	25 °C/ min	25 °C/ min
最大冷却速度	25 °C/ min	25 °C/ min	10 °C/ min	15 °C/ min	5 °C/ min
モデル適合性	801, 802, 803	801, 801L, 802, 802L, 803, 803L			



DIL 800 シリーズ | 仕様

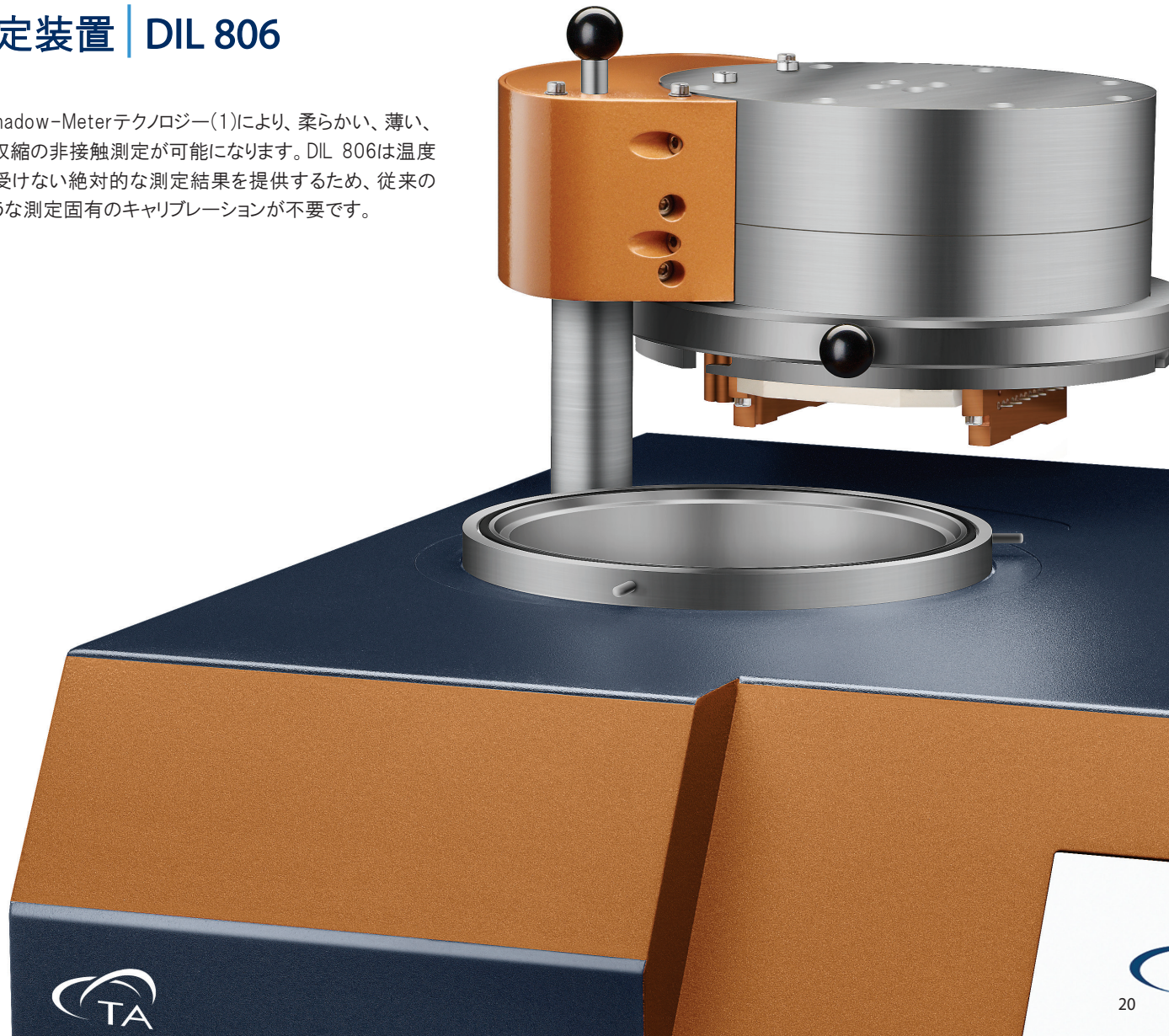
	801	802	803	801L	802L	803L
水平式プッシュロッド設計	シングル	True Differential™	デュアル	シングル	True Differential™	デュアル
最大サンプル長	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
最大サンプル径	14 mm(*)	7 mm(*)	7 mm(*)	14 mm(*)	7 mm(*)	7 mm(*)
変位システム	LVDT	LVDT	LVDT	LVDT	LVDT	LVDT
長さ (ΔL) 分解能	10 nm	10 nm	10 nm	20 nm	20 nm	20 nm
測定範囲	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm
CTE正確度	0.03 10 ⁻⁶ K ⁻¹	0.01 10 ⁻⁶ K ⁻¹	0.03 10 ⁻⁶ K ⁻¹	0.03 10 ⁻⁶ K ⁻¹	0.01 10 ⁻⁶ K ⁻¹	0.03 10 ⁻⁶ K ⁻¹
サンプルホルダー	石英ガラス, アルミナ	石英ガラス, アルミナ	石英ガラス, アルミナ	石英ガラス, アルミナ	石英ガラス, アルミナ	石英ガラス, アルミナ
温度範囲	-1600 ~ 1700 °C (*)	-160 ~ 1700 °C (*)	-160 ~ 1700 °C (*)	RT ~ 1700 °C (*)	RT ~ 1700 °C (*)	RT ~ 1700 °C (*)
最大昇温速度	100 °C/ min (*)	100 °C/ min (*)	100 °C/ min (*)	100 °C/ min (*)	100 °C/ min (*)	100 °C/ min (*)
最大冷却速度	25 °C/ min (*)	25 °C/ min (*)	25 °C/ min (*)	25 °C/ min (*)	25 °C/ min (*)	25 °C/ min (*)
雰囲気	空気 (酸化), 不活性, 還元, 真空	空気 (酸化), 不活性, 還元, 真空	空気 (酸化), 不活性, 還元, 真空	Air	Air	Air
調整可能荷重範囲	0.01 ~ 1 N	0.01 ~ 1 N	0.01 ~ 1 N	0.02 ~ 1 N	0.02 ~ 1 N	0.02 ~ 1 N

(*) ファーナスのオプションによって異なります。詳細については、ファーナスの仕様をご参照ください。

光学式熱膨張率測定装置 | DIL 806

TAインスツルメントの特許取得済みのShadow-Meterテクノロジー(1)により、柔らかい、薄い、不定形な形状のサンプルの熱膨張/熱収縮の非接触測定が可能になります。DIL 806は温度変化によるシステムの熱膨張の影響を受けない絶対的な測定結果を提供するため、従来のプッシュロッド式熱膨張率測定装置のような測定固有のキャリブレーションが不要です。

(1) US Patent No. 7.524.105



Contactless Measurements make Unconventional Dilatometry Possible

特徴と利点:

- 非接触測定ではサンプルとの接触を必要とせず、薄膜、不定形な形状、透明および半透明の材料、従来のプッシュロッドシステムでは測定不可能であった柔らかい材料まで多種多様なサンプルの測定が可能
- 測定システム膨張のキャリブレーションや補正が不要になり、サンプル応答の絶対的な測定が可能
- 1つのサンプルを複数の方向で測定できるため、複合材料やその他配向材料の異方性熱膨張率を測定可能
- プッシュロッドとサンプルの接触点がないため、測定条件にかかわらず、測定全体でサンプルの温度が均一
- 革新的なプレート型ファークラスの優れた温度均一性、応答時間および急速加熱/冷却速度により、高い測定正確度と測定効率を提供可能
- 3つの異なる温度範囲をカバーするファークラス:
-150 ~ 600 °C、RT ~ 900 °C、RT ~ 1400 °C
- サンプルチャンバーと測定エリアに簡単にアクセスできる、簡易化されたサンプルローディングにより、サンプルの位置決めに関する制限がフリーに
- 初期のサンプル長を自動的に測定、記録することで人為的な測定エラーを排除



DIL 806 光学式熱膨張率測定装置

DIL 806 | テクノロジー

光学式熱膨張率測定装置DIL 806は革新的な測定方式を採用することで、従来の方式では測定できない多くのサンプルの熱膨張率測定を可能にしました。

測定原理

DIL 806は、光投影方式を採用しています。この方式では、サンプルサイズを高精度の電荷結合素子(CCD)検出器に投射された影により測定します。高輝度GaN LEDより放出した光は拡散ユニットとコリメートレンズを通過し、非常に均一な短波長光平面を生み出します。この光の一部を遮ることで、サンプルが検出器に投影されます。このサンプルの影が、テレセントリック光学システムによってリファインされ、分解能50 nmのCCDカメラにより記録されます。デジタルエッジ検出により、影の幅を自動的に検出することでサンプルの寸法を測定します。

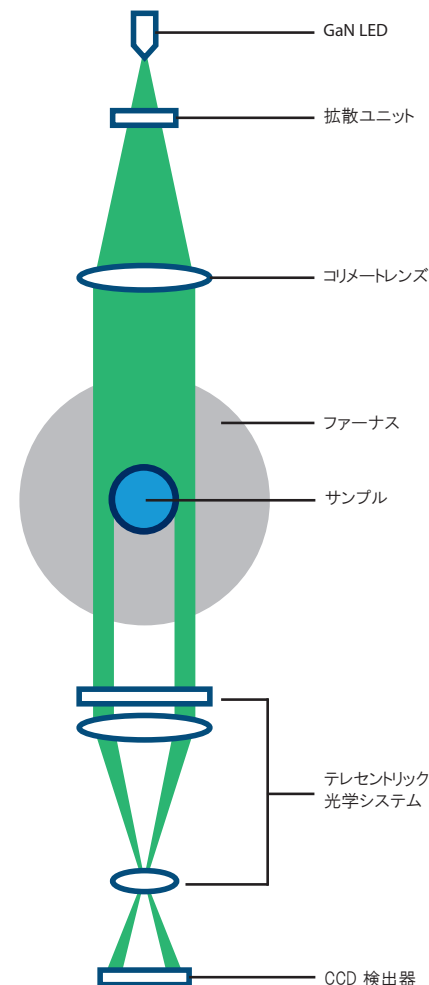
絶対値測定の利点

非接触設計であるDIL 806は絶対値測定を行うため、温度変化による装置全体の熱膨張による影響を受けません。サンプルのみが温度変化にさらされ、光源と検出器はどちらも分離されています。これにより測定は絶対的となり、一般的なプッシュロッド式熱膨張率測定装置で必要なキャリブレーションが不要になります。

ファーナスの技術

DIL 806は、革新的なプレート型ファーナスを採用しており、 $-150 \sim 1400\text{ }^{\circ}\text{C}^{(*)}$ の広い温度範囲と、温度均一性、応答速度に優れています。サンプルよりも充分大きな平面発熱体の中央にサンプルをセットすることで、横方向の温度勾配を防ぐことができます。ファーナスの蓋に採用されているファーナスと同じ材質の発熱材がサンプルの真上にくることで、垂直方向の温度勾配を最小限に抑えます。ファーナスは最高 $100\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{min}$ の速度での急速加熱、10分未満で $1400 \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ まで急速冷却できます。これらの急速な加熱/冷却速度により、サンプルの測定効率が高くなり、温度変化が大きく急激な条件でのサンプル特性評価も可能になります。ファーナスの高い温度応答性のためDIL 806は速度制御焼結実験にも特に適しており、装置制御ソフトウェアによりユーザーが定めた焼結(収縮)速度で容易に測定できます。サンプルのリアルタイムの応答を読み取り、昇降温速度を自動で変化させ、湿度プロファイルを調整します。

(*)ファーナスオプションによって異なります。詳細については、ファーナスの仕様を参照ください。



Shadow-Meter 設計

[1] US Patent # 7,524,105

DIL 806 | 測定データ

非接触熱膨張率測定の特長

向上した温度均一性

従来の熱膨張率測定では、プッシュロッドとサンプルの接触点で熱の受け渡しが発生します。光学式熱膨張率測定では、測定システムとサンプルの間に物理的な接触がないため、熱の受け渡しの問題がなく、均一な温度で測定が可能です。

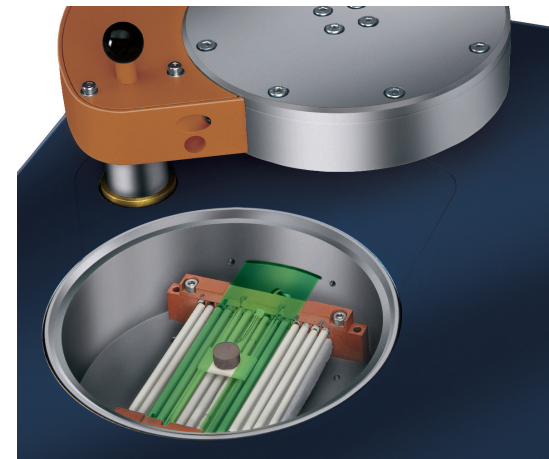
容易なサンプルロードシステム

右図に示すように、DIL 806には30 mm幅のサンプル測定エリアがあります。この範囲内のどこにセットしたサンプルでも、優れた正確度で測定することが可能です。これにより、サンプル位置を細かく規定する必要がなくなり、サンプルのロードが容易になります。

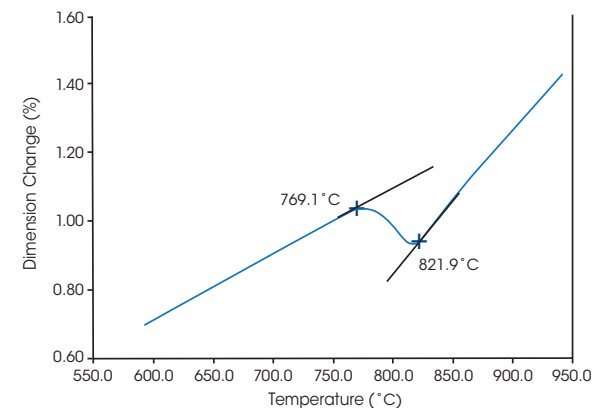
多種多様なサンプルの測定

プッシュロッドの接触がないため、サンプル上の平滑・平行な面が不要になり、不定形な形状のサンプルを簡単に測定できます。サンプルに荷重がかからないので、柔らかい素材でも精度よく評価することができます。また、薄膜や軟質材料あるいは測定過程で軟化転移を発現する材料の評価も可能です。例えば、プッシュロッド式熱膨張率測定装置による薄膜の測定は、接触力の影響により困難です。しかし、光学式熱膨張率測定装置DIL 806では、右図に示すように薄い鋼箔の熱膨張と相転移を簡単に評価できます。薄膜を支持するサンプルホルダーは、サンプル形状や温度範囲に応じたオプションアクセサリとして販売しています。

DIL 806 サンプルロード



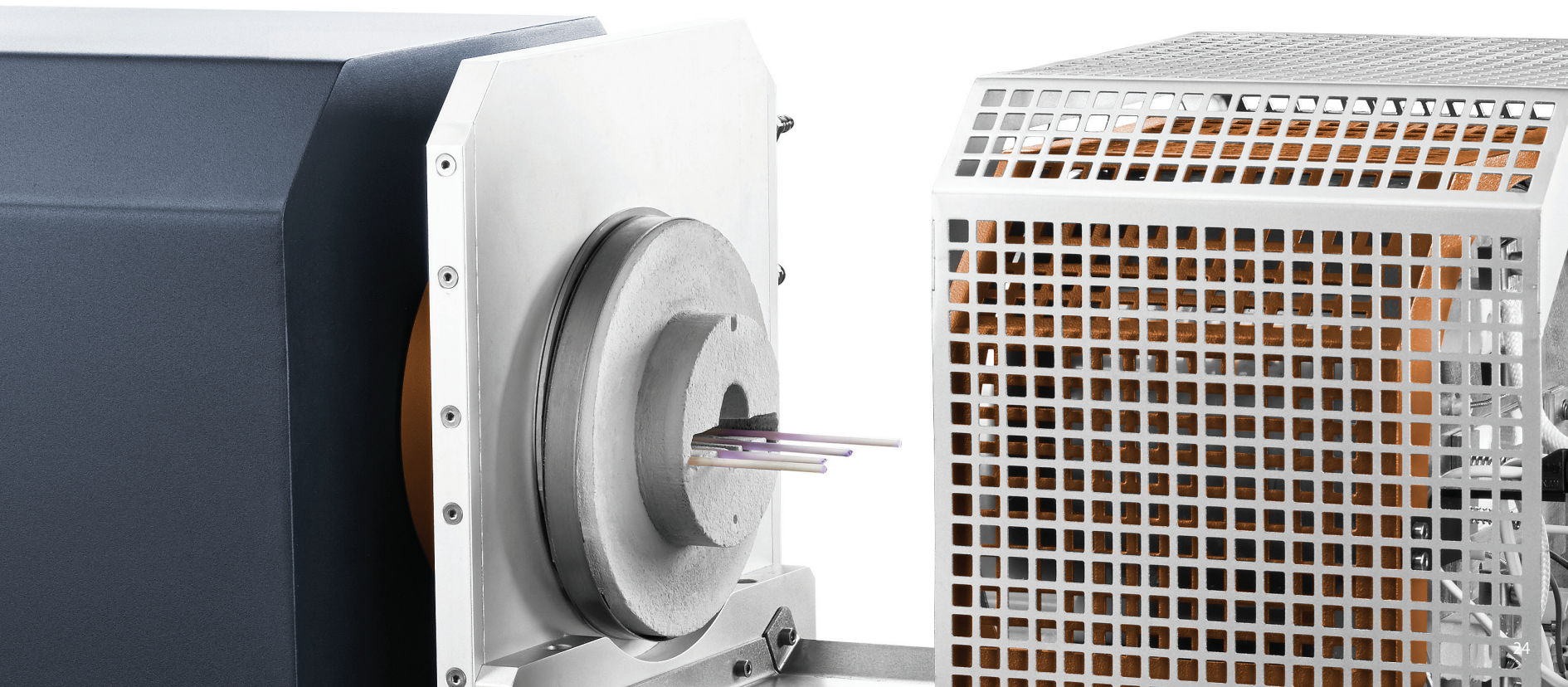
DIL 806 薄膜寸法変化



光学式熱膨張率測定プラットフォーム | 860 シリーズ

熱膨張率測定装置860シリーズは、特許取得済み(1)の多方向光学ベンチ技術を採用したユニークで汎用性が高い装置であり、サンプルの多次元的な形状変化を測定可能です。光学式熱膨張率測定装置ODP 868は、熱膨張率測定、加熱顕微鏡、相対たわみ測定、絶対たわみ測定の4つのモードで動作する装置です。HM 867は、セラミック業界で標準的に用いられるスタンドアロン型加熱顕微鏡です。

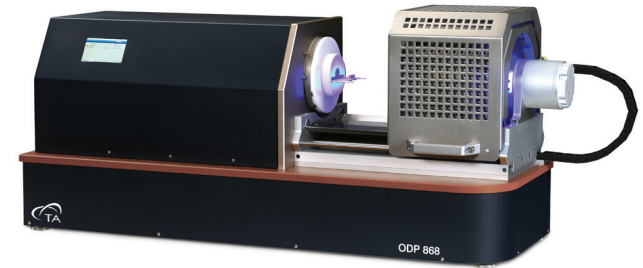
(1) US Patents: #6,476,922 B2 & #6,767,127 B2



Non-Contact measurements For Absolute Data

特徴と利点:

- 熱膨張率測定、加熱顕微鏡およびたわみ測定モードにより原材料、半製品およびプロセス最適化の完全な特性評価が可能
- 非接触な測定システムにより、従来のプッシュロッド式では不可能だった薄膜、不定形状、柔らかいサンプルの測定が可能。さらに測定の準備も容易に
- 特許取得済みのマルチビーム設計により、補正やキャリブレーションを必要とせずに、1度の測定で寸法変化の絶対値が測定可能
- 熱的に安定した光学ベンチチャンバーにより、測定温度範囲全体で最大のパフォーマンスと安定性を提供
- 専用レンズを備えたマイクロステッパモーター駆動型の高解像度CMOSカメラにより最先端のイメージングと正確な自動XYZポジショニングを実現
- 最高温度1650 °C、最大昇温速度200 °C /secもの高い温度応答性ファナスにより、実際の製造サイクルを再現した温度条件下での評価が可能
- Misura 4™とMorphometriX™ソフトウェアは、独自のアルゴリズムと14 fpsもの高速画像取得で、人間の目では認識できないサンプル形状の非対称を補正可能
- カスタマイズやアップグレードが可能なプラットフォームと4つの測定モードにより、現在から将来までの様々な測定ニーズに対応可能
- 灰の熔融性に関するすべての試験方法規格に準拠：ASTM C372、ASTM D1857、CEN / TR 15404、BS 1016 : Part 15、CEN / TS 15370-1、DIN 51730、ISO 12891、ISO 540、およびNF M03-048



ODP 868
光学式熱膨張率測定プラットフォーム

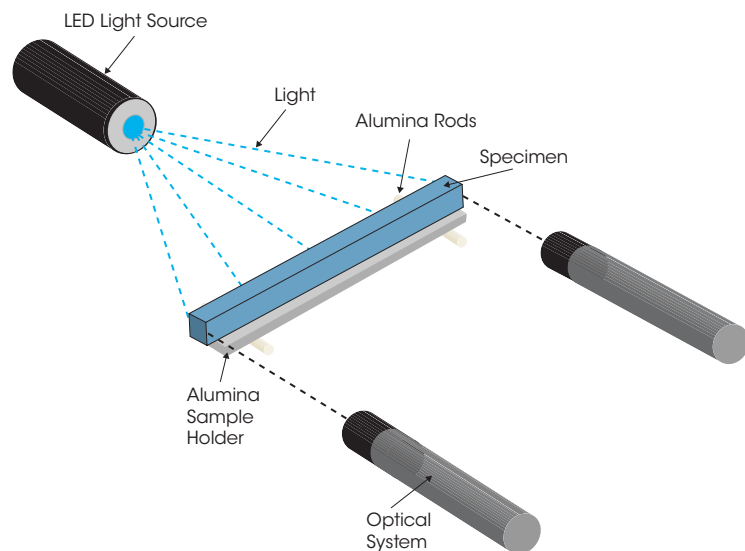
860 シリーズ | テクノロジー

860シリーズは、ファーマス内に保持されたサンプルを高出力LED光源で照らします。多方向光学ベンチに取り付けられた4台の高解像度カメラによりサンプルをフレーム化し、リアルタイムで寸法変化を追跡します。860シリーズは熱膨張率測定、加熱顕微鏡およびたわみ測定モードで試験可能な唯一の装置です。

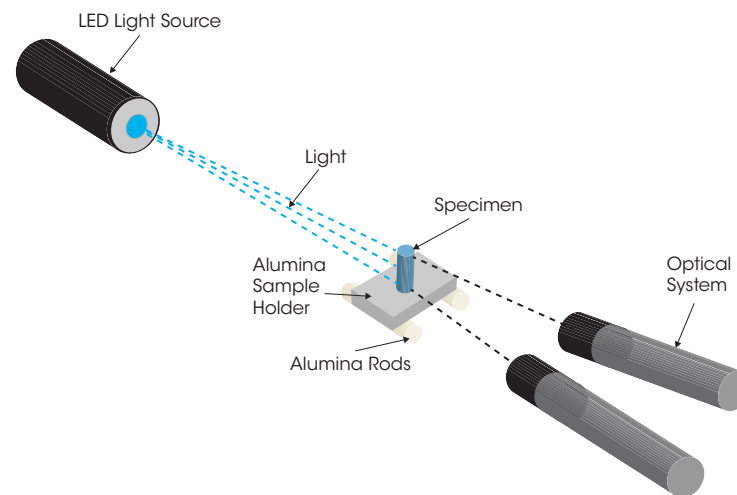
熱膨張率測定

熱膨張率測定モードでは、光学ベンチ上の2台のカメラがサンプルの両端を認識し、測定中にサンプルが膨張または収縮するときの端部を追跡します(1)。これにより、非接触熱膨張率測定のすべての利点を活用できます。

水平式熱膨張率測定



垂直式熱膨張率測定



(1) US Patents: #6,476,922 B2 & #6,767,127 B2

Worlds most **Versatile** Optical Dilatometry Platform

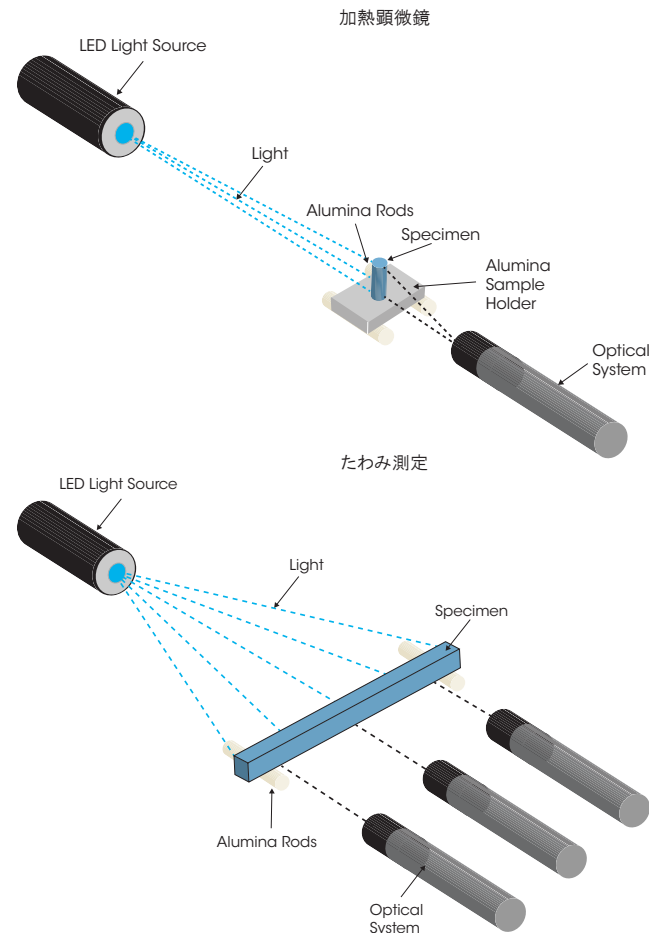
加熱顕微鏡

加熱顕微鏡モードでは、一台のカメラがサンプル全体をフレーミングし、測定全体の一連の特徴的な形状変化と温度を記録します。このモードは焼結、軟化、全球状化、半球状化、溶融を含むすべての重要な材料変化イベントを評価するのに適しています。最大100 %までの寸法変化が測定可能です。加熱顕微鏡モードは、スタンドアロン型加熱顕微鏡 HM 867または光学熱膨張率測定装置ODP 868のオプションを用いることで利用できます。

たわみ測定

たわみ測定では、相対モードと絶対モードの2つのモードを用意しています。相対モードでは、1台のカメラがサンプルの下側中央領域をフレーミングして、温度変化に伴う非常に速い屈曲変化挙動をモニターします。絶対モード(1)では、3台のカメラがサンプルをフレーミングします。1台のカメラはサンプルの中心をフレーミングし、他の2台はサンプル保持棒に接するサンプル下端に向けられています。これにより、サンプルの屈曲挙動を定量的に分析できます。これらの測定モードは、産業用の焼成サイクルのようなサンプルに荷重をかけない材料の屈曲挙動分析に最適です。

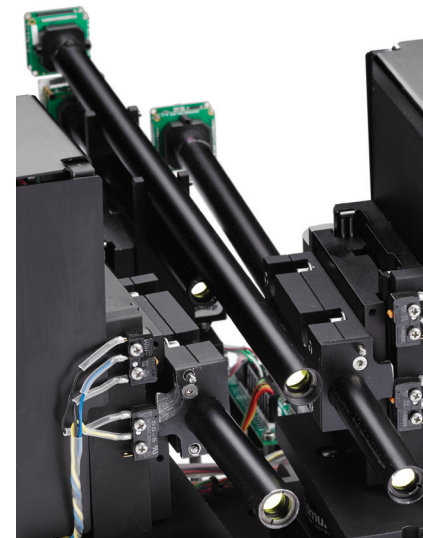
(1) Patent Pending # PR2013A000064



860 シリーズ | テクノロジー

高い正確度と柔軟性を実現する特許取得済みの光学設計

ODP 860シリーズは、熱膨張率測定、加熱顕微鏡およびたわみ測定モードが利用可能な、特許取得済みのテクノロジー搭載の多方向光学ベンチを備えた唯一の光学式熱膨張率測定装置です。光学ベンチには、4台の完全自動カメラが搭載されています。各カメラには、最新のイメージング用高解像度CMOSカメラと専用レンズが搭載されており、マイクロステッパーマーター駆動により正確なXYZ座標位置を自動に決定します。光学ベンチは温度安定化されたハウジングで囲まれており、測定温度範囲全体で最高のパフォーマンスと安定性を生み出します。特許取得済みのマルチビーム設計により、熱膨張率測定およびたわみ測定モードでの寸法変化の絶対値測定が可能です。これにより補正やキャリブレーションが不要になり、より簡単に測定できるようになります。ODP 868の多方向型光学ベンチは、すべてのテストモードまたは4つのモードのいずれかを組み合わせて購入でき、測定条件やニーズの変更に応じてアップグレードもできます。



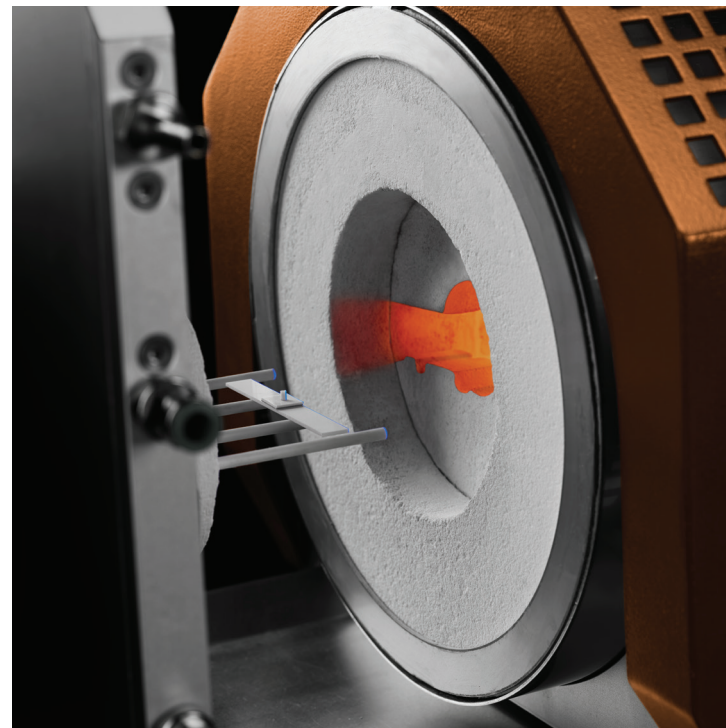
多方向光学ベンチ



光学ベンチカメラの側面図

応答性の高い大容量ファーンラス

860シリーズは、自動開閉用の精密ステッピングモーターを兼ね備えた、最高温度1650 °Cの全く新しいファーンラスを搭載しています。この非常に温度応答性が高いファーンラスは、最大200 °C /secの昇温速度により、製造プロセスを模倣した温度条件下でのサンプル測定を可能にします。ファーンラスは大きく、長さ85 mm、高さ19 mmまでのサンプルが測定可能であり、灰溶融ASTM要件も満たしています。また、3x2 mmのサンプルを最大8つ同時に測定することで測定効率を大幅に向上させることができます。ファーンラスには、空気や不活性ガスをサンプル到達前に予熱する機能が搭載されています。



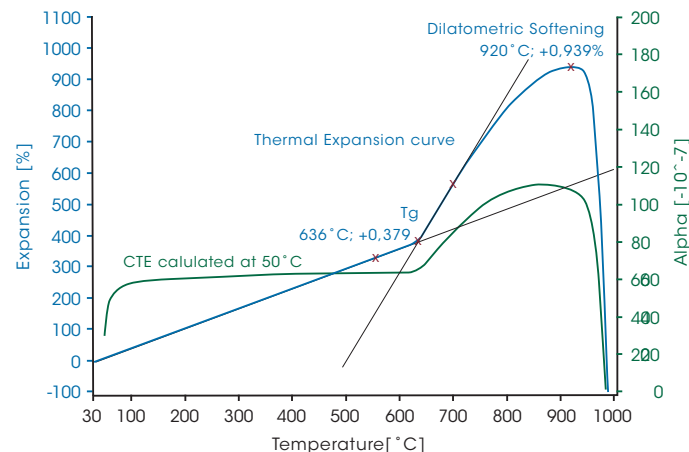
860 Furnace

860シリーズ | 測定データ

光学熱膨張率測定装置による真の軟化温度の測定

従来のプッシュロッド式熱膨張率測定装置では、材料の軟化点を正確に測定できません。これは、柔らかいサンプルにプッシュロッドが接触すると力により、測定温度に大きな誤差が生じるためです。測定された軟化点は、150 °C以上低く出ることがあります。TAインストルメントの非接触光学熱膨張率測定装置は、通常困難な材料の軟化点測定を簡単な測定にします。プッシュロッド式の熱膨張率測定装置で発生するサンプルへの荷重に伴うすべてのトラブルを非接触式では排除することができます。右図は、ODP 868で測定した陶磁器用釉薬のCTE（線形熱膨張係数）を示しています。ここで、パラメータが簡単かつ正確に測定されることがわかります。さらに、軟化点をはるかに超える温度まで試験を続けることができます。

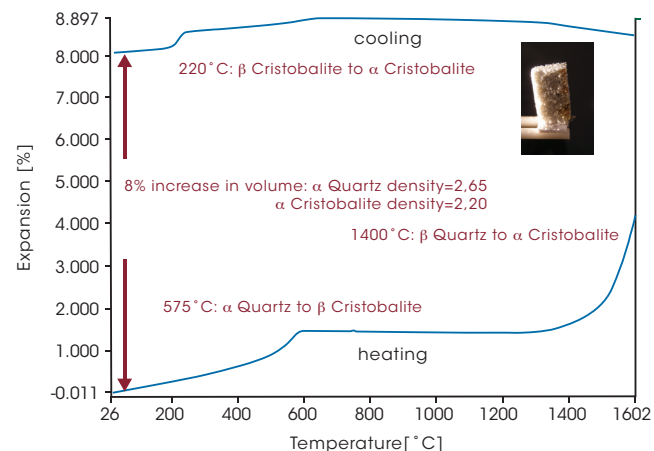
軟化点での釉薬の熱膨張とCTE



非均質材料の光学式熱膨張率測定

石英砂は安価で高温に強い材料であり、一般的に金属鑄造プロセスにて使用されています。右のグラフは、純粋な石英砂を少量のPVAで結合させたサンプルの熱膨張率と体積変化を示しています。体積の増加は、 α 石英と α クリストバライトの密度減少の理論値と一致しています。壊れやすい粗粒子サンプルは、プッシュロッド式では接触に伴う荷重によって押し潰されてしまいます。このような壊れやすいサンプルの熱膨張率測定は、光学式熱膨張率測定装置を使用すると正確に測定できます。

垂直膨張率測定モードでテストされた粗い石英砂サンプル



860 シリーズ MISURA4™ 用ソフトウェア | テクノロジー

熱膨張率測定装置の完全なソリューションであるMisura 4™ソフトウェアには、機器制御、データ分析、MorphometriX™およびグラフィックスが含まれます。

・ アプリベースの装置制御システム

アプリで装置を制御することで、より複雑な分析セグメントを自由に設定できます。ユーザーは、ファイルをインポート/エクスポートすることで、他の熱膨張率測定装置等からのデータを様々な形式で分析、比較できます。

・ 形状変化を自動識別する画像解析エンジンMorphometriX™

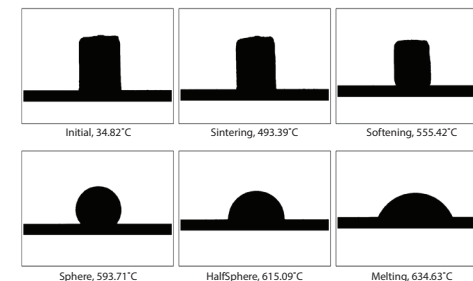
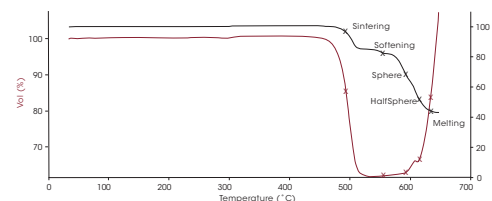
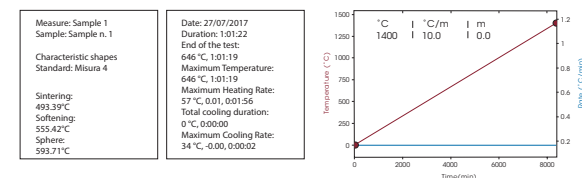
Misura 4™ソフトウェアの中核となる革新的な形状解析エンジンMorphometriX™は、直観的な概念である「形状」を、数学的パラメータに変換します。高さ、幅、周長などの古典的なパラメータだけでなく軟化、球、半球、溶融などの特徴的な形状まで分析できます。MorphometriX™パターンマッチングは、最大14 fpsもの画像取得速度を活用して、材料の変形を正確に認識し、サンプルの形状と温度を自動的に識別します。

・ MorphometriX™ の座標変換とモデルカスタマイズ

TAインスツルメント独自のアルゴリズムにより、サンプル座標の非対称性を補正し、測定準備とサンプルの位置決めが測定に及ぼす影響を排除できます。MorphometriX™を使用して、ユーザーは未知の形状や挙動の認識方法およびリアルタイムに分析する方法をソフトウェアにティーチングすることができます。このようにアルゴリズムを自身でカスタマイズすることにより、あらゆるサンプルの測定が可能になります。

・ Misura 4™ Graphicsでレポートをもっと自由に

Graphicsを使用することで、高度な数学ツールを使用して結果をプロット、分析し、追加のデータを統合してV.F.T.式に従った材料の理論粘度や液滴法による表面張力を計算することが可能になります。レポートを生成し、ベクタPDFファイルとして表示することができます。画像をいくつか選択して、プレゼンテーション用にWebまたはビデオ形式(.AVI)でエクスポートできます。生データはCSV形式でインポート/エクスポートが可能です。



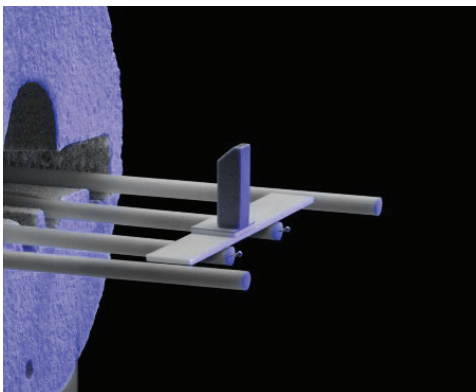
Misura 4™ Graphics flexible reporting

サンプルとメソッドデータ、温度の関数としてのサンプルの高さと体積の変化、および材料の特徴的な形状とその温度をすべて1ページに表示した加熱顕微鏡レポートです。Graphicsを使用すると、ユーザーは膨張測定のレポートを簡単に調整したり、サードパーティのソフトウェアからデータをインポートしたり、サードパーティのレポートツールにエクスポートできます。

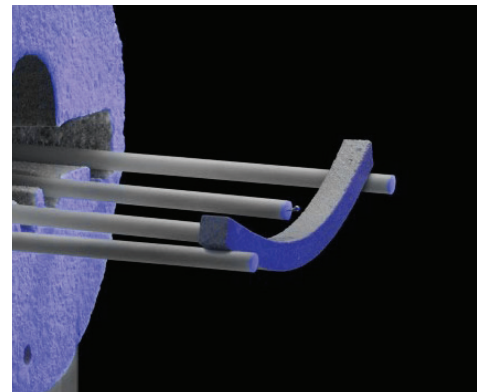
DIL 806 & 860 シリーズ | 仕様

	DIL 806	ODP 868	HM 867
型式	特許取得済Shadow-Meter 水平光学式熱膨張率測定装置	光学式熱膨張率測定プラットフォーム: 特許取得済デュアルビーム式熱膨張率測定装置 加熱顕微鏡 特許取得済絶対測定フレキシメーター 相対測定フレキシメーター	加熱顕微鏡
サンプル長さ	0.1 ~ 30 mm	0.5 ~ 85 mm (*)	1 ~ 6 mm
サンプル高さ	2 ~ 10 mm	0.5 ~ 19 mm	0.5 ~ 19 mm
変位Displacement System	CCD センサーアレイ	HDカメラ-加熱顕微鏡 デュアル光学システム-熱膨張測定 トリプル光学システム-屈曲たわみ測定	HD カメラ
変位分解能	50 nm	3 ppm - 加熱顕微鏡 250 nm - 熱膨張測定 500 μ m - 屈曲たわみ測定	5 ppm
測定範囲	29 mm	19 mm (*)	19 mm
CTE 正確度	$0.05 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$0.2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (測定モードとサンプルサイズによる)	NA
温度範囲	-170 ~ 700 °C RT ~ 900 °C RT ~ 1400 °C	RT ~ 1650 °C	RT ~ 1600 °C
実際のサンプル温度	-150 ~ 650 °C RT ~ 900 °C RT ~ 1350 °C	RT ~ 1650 °C	RT ~ 1600 °C
昇温速度	0.1 ~ 200 °C (温度範囲による)	0.2 ~ 100 °C/min 最大 200 °C/sec (フラッシュモード)	0.2 ~ 100 °C/min 最大 200 °C/sec (フラッシュモード)
雰囲気	空気, 不活性, 真空	空気	空気
接触荷重	荷重なし, 非接触測定	荷重なし, 非接触測定	荷重なし, 非接触測定

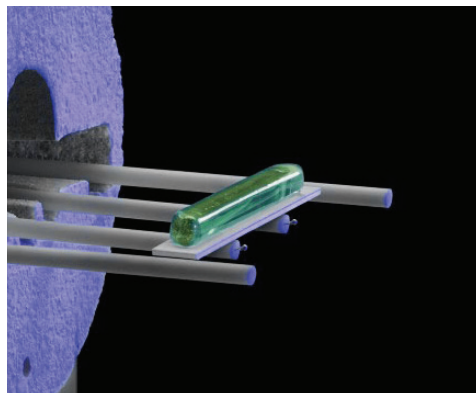
(*) オプションのモードにより異なります。詳細は860シリーズテクノロジーを参照ください。



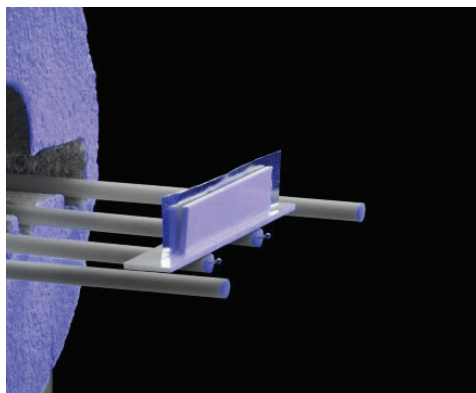
垂直式熱膨張膨張測定による焼結研究



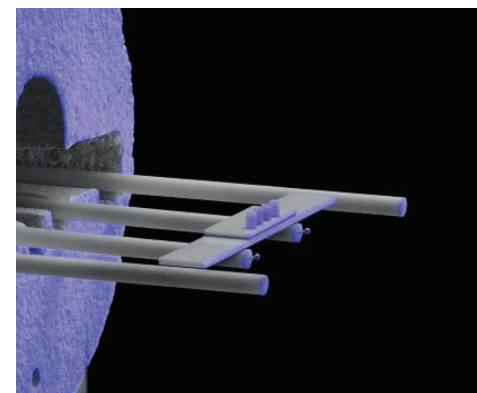
フレキシメータによる熱可塑性



水平式熱膨張率測定によるガラスの膨張と軟化



薄膜ホルダー



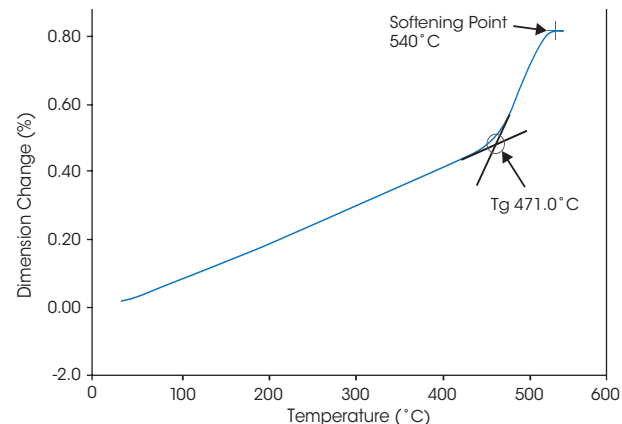
マルチ

熱膨張率測定 | アプリケーション

ガラス転移温度および軟化温度の測定

熱膨張率測定装置で一般的に行われる2つの重要な測定は、ガラス転移温度 T_g および軟化点の決定です。右図は、TAインストルメントの独自技術であるTrue Differential™を搭載した熱膨張率測定装置で測定したガラス材料の熱膨張を示しています。図より、サンプルが $471\text{ }^{\circ}\text{C}$ の T_g を介して、 $540\text{ }^{\circ}\text{C}$ の軟化点まで加熱されていることがわかります。装置制御ソフトウェアには、測定を自動的に終了する独自技術「自動軟化点検出機能」が搭載されています。この機能により、軟化点が未知のサンプルを測定する際にも、サンプルが溶融して装置に流れ込み、故障する心配がなくなります。

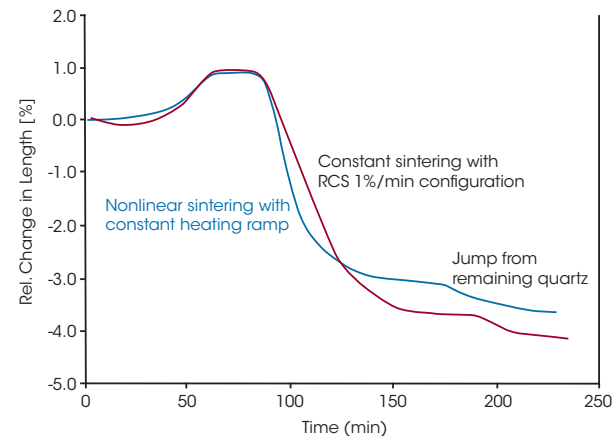
ガラス転移と軟化温度



焼結測定における垂直式熱膨張率測定装置の利点

TA独自の垂直プッシュロッド式熱膨張率測定装置は、焼結プロセスの研究と最適化に最適です。サンプルを垂直方向にセットすることで、水平式で発生してしまう過度な変形を最小限に抑えることができます。さらにサンプル/ホルダー間で発生する摩擦の影響もほとんどありません。水平式熱膨張率測定装置で発生するこれらの事象は、誤った測定結果の原因となる恐れがあります。右図は、同じセラミック体を一定昇温速度法と速度制御焼結法(RCS:Rate Controlled Sintering)の2通りで焼結した結果です。一定昇温速度法は、素早く焼結することができるため一般的なセラミック製品の製造に使用される手法です。速度制御焼結法はサンプルを高密度化することができるため、高機能セラミックの製造で用いられています。

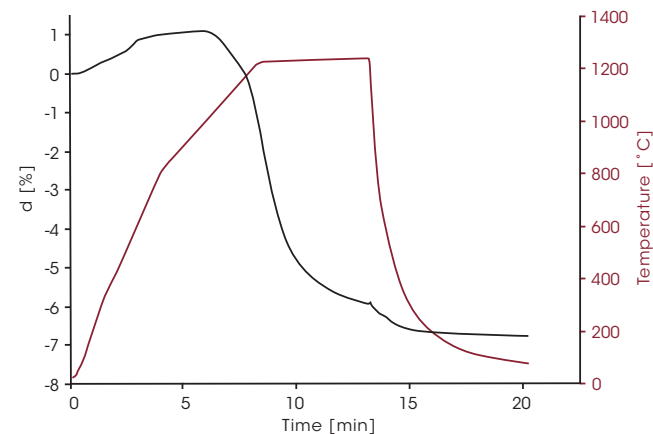
焼結vs.速度制御焼結



光学熱膨張率測定装置を使用したラボスケールでの 高速焼成サイクルシミュレーション

セラミック高速焼成はコスト削減と生産性の向上の観点から、優れた加工技術として活用されています。高速焼成ではセラミック中のすべての成分が数分以内に最適な安定状態に到達する必要があるため、低速焼成プロセスで使用される一部の原材料は使用できない可能性があります。したがって、バッチを工業用にスケールアップする前に、ラボスケールですべての原材料の適合性を把握する必要があります。TAインスツルメントの光学式熱膨張率測定装置ODP 868には、迅速な加熱と冷却が可能なファルナスが搭載されているため、高速焼成窯の熱特性シミュレーションが可能になり、高価で時間のかかる大規模な試験場テストが不要になります。右図に例を示します。サンプルを4分間で800 °Cまで、さらに4.2分間で1220 °Cまで昇温しました。その後サンプルを完全に焼結させるために5分間等温保持し、最後にファルナスを30秒で680 °Cまで、さらに5.3分で100 °Cまで急冷しました。グラフでは、冷却後も寸法が安定しており、サンプルが適切に焼結されたことがわかります。

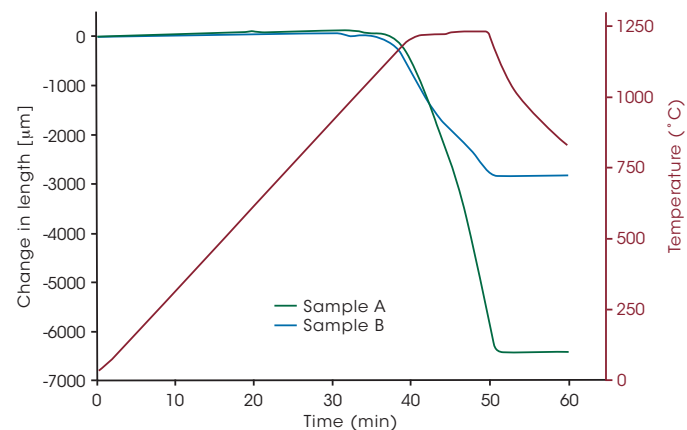
セラミックタイルグリーンボディ高速焼成



絶対たわみ測定モードを用いた焼結体の熱可塑性評価

セラミックタイル分野では、平面性を維持しながらタイルの厚さを減らすという課題に直面しています。平面性の欠損は、プレス、焼成、冷却中に発生する可能性があります。焼成中の変形量はガラス相の粘度に依存し、一般的に粘度はアレニウスの関係式に従います。しかし、一部の材料は焼成プロセス中にガラス相の組成が変化し、温度上昇に伴い粘度が増加することが知られています。右図は、ODP 868の絶対たわみ測定モードを使用して測定された2つの焼結体の結果を示しています。サンプルAは温度が上昇して曲がり始めると、自重を支えることができなくなり、最終的に6 mm以上（つまり7.5 %）たわみました。一方で、サンプルBは異なる挙動を示しました。サンプルBはガラス相が軟化することで、サンプル中のミネラル成分を溶かします。その結果、粘度は温度とともに増加し、サンプルのたわみが小さくなりました。以上の結果より、サンプルBは容易に加工でき、平面性の高い大きなタイルの生成にも適していることがわかります。

フレキシメーターによる焼成セラミックボディの
熱可塑性変形の比較



熱膨張率測定 | アプリケーション

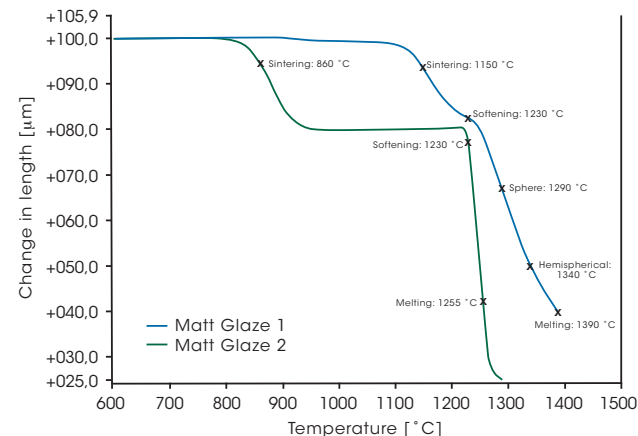
加熱顕微鏡による形状変化と温度の相関評価

加熱顕微鏡は、材料の特徴的な形状と対応する温度を検出し、セラミック、金属、合金の製造プロセスを最適化するために必要なツールです。右のグラフでは、2種のつや消し釉薬(Matt Glaze)の測定結果を示しています。Matt Glaze 1では、5つの特徴的な形状がすべて検出されており、サンプルの表面張力が強く、基材との親和性が低いことがわかります。一方で、Matt Glaze 2は低温で溶融するだけでなく、非常に高い基材との親和性を示しました。Matt Glaze 2は溶けると基材の表面全体に均一に広がるため、基材と同じ組成の材料に対する釉薬として有用であると推察されます。測定中に形状変化が起こる温度は、MorphometriX™によって自動検出されています。MorphometriX™は、オペレーターの目に代わって材料の変化をリアルタイムで正確に認識可能なパターンマッチングモデルを搭載したTAインスツルメント独自の画像分析ソフトウェアエンジンです。

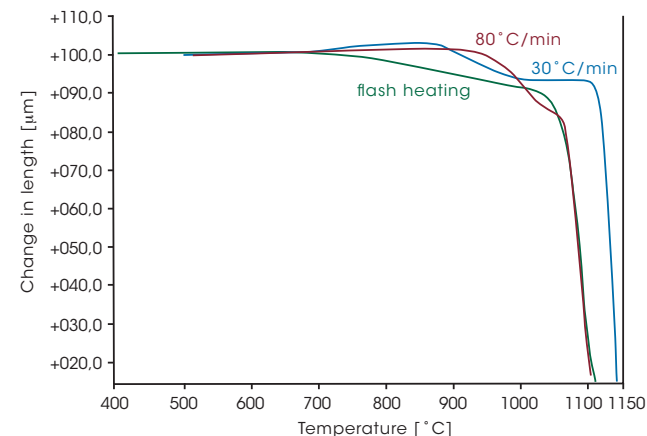
連続 casting 用モールドパウダーの特性評価

モールドパウダーは、連続 casting 工程において金型内の溶鋼上部に追加される材料です。モールドパウダーには、部分的に溶けて溶鋼表面に液体層を形成することによる再酸化からの保護、非金属介在物の吸収、金型を通過する際の潤滑作用、固化する鋼殻から金型への熱伝導率の制御などの役割があります。モールドパウダーの流動性が悪く、溶鋼の表面を完全に覆うことができない場合、断熱効果は不十分になります。その結果、予期しない再酸化や非金属介在物の除去の非効率化を引き起こす恐れがあります。モールドパウダーの溶融挙動は昇温速度に依存するため、 casting 工程における性能を評価するには、実際の工程と同様の急速昇温条件で正確に測定することが非常に重要です。急速昇温機能を備えたTAの光学式熱膨張率測定装置ODP 868は、このような挙動を評価し分析するのに最適なツールです。ODP 868は光学式であるため、従来のプッシュロッド式のように複雑なサンプル前処理を行う必要はありません。右の図は30 °C/min、複雑なサンプル前処理を行う必要はありません。右の図は、30 °C/min、80 °C/min、急速昇温 (flash heating) 条件下で測定際のモールドパウダーの融点を示しています。昇温速度の増加に伴いモールドパウダーの融点が低下していることがわかります。

マット釉薬の特徴的な形状と温度



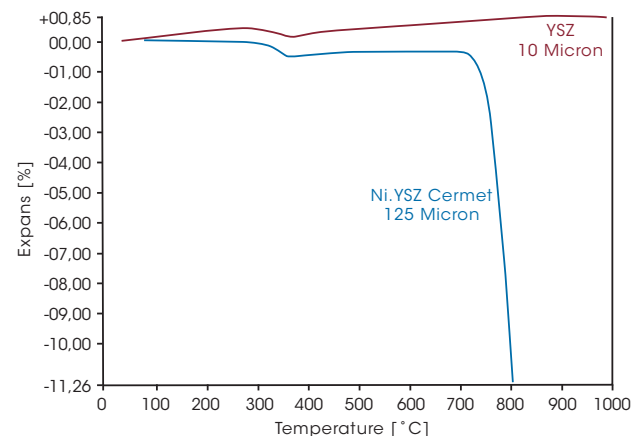
モールドパウダーの融点



固体酸化物形燃料電池の互換性評価

固体酸化物形燃料電池(SOFC: Solid Oxide Fuel Cells)は、酸素と水素を組み合わせる化学エネルギーを電気エネルギーと熱エネルギーに変換するデバイスです。SOFCは、高密度の酸素伝導性電解質層で分離された2つの多孔質電極層で構成されています。全体の厚さは1 mm未満です。製造プロセスは、アノード層とカソード層の形成、電解質の積層、層全体の共焼結で構成されています。このプロセスにおいて、材料の収縮挙動の不一致は最終部品の歪みにつながります。そのため正常なSOFC製造するには、共焼結中における層全体の寸法変化挙動を把握することが重要です。ここで、層は非常に薄く自立出来ないため、従来のプッシュロッド式熱膨張率測定装置でこれらの測定を行うことは不可能です。しかし、TA独自の光学式熱膨張率測定装置とフィルムサンプルホルダーを使用することで、このようなサンプルも容易に測定できます。右図は、SOFCに使用されている2種類の材料；厚さ125 μm のニッケル/イットリア安定化ジルコニアセラミック金属(Ni-YSZサーメット)アノードと厚さ10 μm のYSZ電解質の焼結挙動を、薄膜ホルダーを用いて測定した結果です。焼結中の収縮挙動は大きく異なっており、2つの材料が共焼結プロセスに適合していないことがグラフからわかります。

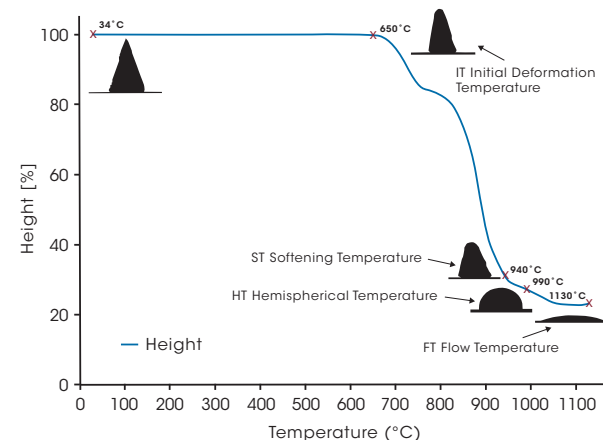
固体酸化物形燃料電池アノード層とカソード層の焼結



固形燃料の灰流動温度

一般的に石炭、固体回収燃料、木材、その他のバイオマスなどの燃料は、燃焼することで熱と灰を発生させます。この時、燃料中のアルカリ金属が複雑な共晶塩を生成することで、灰の融点さが下がる可能性があります。これにより熱交換器と過熱器チューブにファウリングやスラッシング等の問題が発生し、発電所の設備損傷や稼働停止に伴う高額な損害が発生する恐れがあります。固形燃料の灰流動温度(AFT: Ash Flow Temperature)は、ガス化中にどの程度の灰の凝集と灰のクリンカーが発生する可能性が高いかを示しています。AFT解析の結果は、初期変形温度(IDT)、軟化温度(ST)、半球温度(HT)、流動温度(FT)の4つの温度で構成されています。これらの温度は、酸化または還元条件(またはその両方)で観測可能です。酸化と還元による結果の違いは、鉄などのフラックスと強く相関していることがあります。最も一般的なASTM 1857、ISO 540およびDIN 51730等の標準手法では、試験片と事前処理方法と測定方法を定義しています。どの標準手法においても、TAインストルメントのHM 867などの加熱顕微鏡を使用する必要があります。右図は、ASTM 1857に従って、19 mmの高さのピラミッド型石炭サンプルを用いて測定した溶融性試験結果を示しています。特徴的な形状変化温度は、Morphometrix™ソフトウェアで自動的に検出しました。

ASTM1857に準拠した石炭灰溶融性試験



Industry-Leading Sales & Support

TA Instruments' leadership position results from the fact that we offer the best overall product in terms of technology, performance, quality, and customer support. While each is important, our demonstrated commitment to after-sales support is a primary reason for the continued loyalty of our customers. To provide this level of support, TA Instruments has assembled the largest worldwide team of field technical and service professionals in the industry. Others promise good service. Talk to our customers and learn how TA Instruments consistently delivers on our promise to provide exceptional service.

With direct support staff in 23 countries and 5 continents, TA Instruments can extend its exceptional support to you, wherever you are.







Expert Training

Expert Support

WORLDWIDE

AMERICAS

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

EUROPE

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



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。