

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-62192

(P2017-62192A)

(43) 公開日 平成29年3月30日(2017.3.30)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)  
 G 0 1 N 25/16 (2006.01) G 0 1 N 25/16 E 2 G 0 4 0

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2015-188093 (P2015-188093)  
 (22) 出願日 平成27年9月25日 (2015.9.25)

(71) 出願人 000137694  
 株式会社ミットヨ  
 神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目20番1号  
 (74) 代理人 110000637  
 特許業務法人樹之下知的財産事務所  
 (72) 発明者 横山 雄一郎  
 茨城県つくば市上横場430番地の1 株式会社ミットヨ内  
 (72) 発明者 萩野 健  
 茨城県つくば市上横場430番地の1 株式会社ミットヨ内  
 Fターム(参考) 2G040 AB07 BA25 CA01 CA03 CA18  
 CB01 CB09 CB11 EB06 FA10  
 HA06 HA16

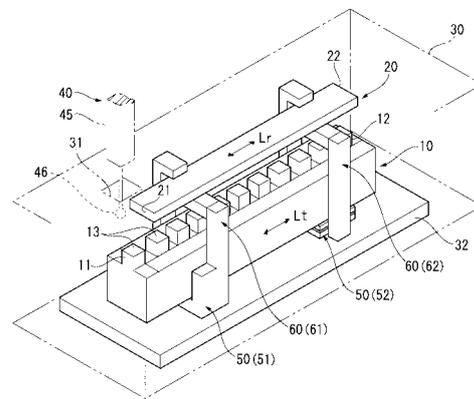
(54) 【発明の名称】 寸法基準器の線膨張係数測定方法および測定装置

(57) 【要約】

【課題】様々な長さの寸法基準器に対して、線膨張係数の測定を、高精度かつ安価に行える寸法基準器の線膨張係数測定方法および測定装置を提供する。

【解決手段】恒温槽30の内部に、測定対象物(ステップゲージ10)および基準ゲージ(基準ブロックゲージ20)を平行に支持しておき、恒温槽30の内部温度を第1温度とし、基準ゲージの第1基準表面21から第2基準表面22までの長さを基準として、測定対象物の第1表面11から第2表面12までの長さを比較測定し、恒温槽30の内部温度を第2温度とし、同様に第1基準表面21から第2基準表面22までの長さを基準として、第1表面11から第2表面12までの長さを比較測定し、第1温度での測定対象物の長さ第2温度での測定対象物の長さから測定対象物の線膨張係数を算出する。

【選択図】 図4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

寸法基準器を測定対象物として、前記測定対象物の延伸方向に離れた前記測定対象物の第 1 表面から第 2 表面までの部分の線膨張係数を測定する寸法基準器の線膨張係数測定方法であって、

前記第 1 表面および前記第 2 表面に対応する第 1 基準表面および第 2 基準表面を有し、かつ前記第 1 基準表面から前記第 2 基準表面までの長さが既知である基準ゲージと、

前記測定対象物および前記基準ゲージを収容可能、かつ内部温度を調整可能、かつ測定用表面に測定用開口を有する恒温槽と、

前記恒温槽の内部に設置されて前記測定対象物を支持する測定対象物支持台と、

前記恒温槽の内部に設置されて前記基準ゲージを支持する基準ゲージ支持台と、

前記測定用開口から前記恒温槽の内部へ測定プローブを導入可能な三次元測定機と、を準備し、

前記恒温槽の内部に、前記測定対象物および前記基準ゲージを平行に支持しておき、

前記恒温槽の内部温度を第 1 温度とし、前記第 1 基準表面から前記第 2 基準表面までの長さを基準として、前記第 1 表面から前記第 2 表面までの長さを比較測定し、

前記恒温槽の内部温度を第 2 温度とし、前記第 1 基準表面から前記第 2 基準表面までの長さを基準として、前記第 1 表面から前記第 2 表面までの長さを比較測定し、

前記第 1 温度での前記第 1 表面から前記第 2 表面までの長さと同温度での前記第 1 表面から前記第 2 表面までの長さから前記測定対象物の線膨張係数を算出することを特徴とする寸法基準器の線膨張係数測定方法。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載された寸法基準器の線膨張係数測定方法において、

前記比較測定を行う際に、前記第 1 基準表面、前記第 2 基準表面、前記第 1 表面および前記第 2 表面の中心座標の計算と、前記基準ゲージおよび前記測定対象物の前記延伸方向に対する傾きの計算と、を含む座標系決定を行うことを特徴とする寸法基準器の線膨張係数測定方法。

## 【請求項 3】

請求項 2 に記載された寸法基準器の線膨張係数測定方法において、

前記基準ゲージ支持台は、前記測定対象物の前記測定用開口に対向する側に前記基準ゲージを支持することを特徴とする寸法基準器の線膨張係数測定方法。

## 【請求項 4】

請求項 3 に記載された寸法基準器の線膨張係数測定方法において、

前記基準ゲージは、前記延伸方向の長さが、前記測定対象物よりも所定長さ短いことを特徴とする寸法基準器の線膨張係数測定方法。

## 【請求項 5】

請求項 4 に記載された寸法基準器の線膨張係数測定方法において、

前記比較測定を行う際に、前記第 1 基準表面と前記第 1 表面とを同一平面内に配置、または、前記第 2 基準表面と前記第 2 表面とを同一平面内に配置することを特徴とする寸法基準器の線膨張係数測定方法。

## 【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載された寸法基準器の線膨張係数測定方法において、

前記測定対象物支持台は、測定対象物第 1 支持台および測定対象物第 2 支持台を含み、

前記測定対象物第 1 支持台および前記測定対象物第 2 支持台は、それぞれ前記延伸方向に交差する 2 方向の前記測定対象物の変位を規制しかつ前記延伸方向に交差する 2 方向を中心軸とした前記測定対象物の回動を許容し、

前記測定対象物第 1 支持台および前記測定対象物第 2 支持台のいずれか一方が前記延伸方向の前記測定対象物の変位を規制しかついずれか他方が前記延伸方向の前記測定対象物の変位を許容し、

10

20

30

40

50

前記測定対象物第1支持台および前記測定対象物第2支持台のいずれか一方が前記延伸方向を中心軸とした前記測定対象物の回動を規制しかついずれか他方が前記延伸方向を中心軸とした前記測定対象物の回動を許容するとともに、

前記基準ゲージ支持台は、基準ゲージ第1支持台および基準ゲージ第2支持台を含み、前記基準ゲージ第1支持台および前記基準ゲージ第2支持台は、それぞれ前記延伸方向に交差する2方向の前記基準ゲージの変位を規制しかつ前記延伸方向に交差する2方向を中心軸とした前記基準ゲージの回動を許容し、

前記基準ゲージ第1支持台および前記基準ゲージ第2支持台のいずれか一方が前記延伸方向の前記基準ゲージの変位を規制しかついずれか他方が前記延伸方向の前記基準ゲージの変位を許容し、

前記基準ゲージ第1支持台および前記基準ゲージ第2支持台のいずれか一方が前記延伸方向を中心軸とした前記基準ゲージの回動を規制しかついずれか他方が前記延伸方向を中心軸とした前記基準ゲージの回動を許容することを特徴とする寸法基準器の線膨張係数測定方法。

【請求項7】

請求項6に記載された寸法基準器の線膨張係数測定方法において、

前記測定対象物第1支持台は、前記測定対象物の底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部、V溝と球との接触部のうちいずれか1つまたは2つを有し、

前記測定対象物第2支持台は、前記測定対象物の底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部、V溝と球との接触部のうち前記測定対象物第1支持台にない接触部を有することを特徴とする寸法基準器の線膨張係数測定方法。

【請求項8】

請求項6に記載された寸法基準器の線膨張係数測定方法において、

前記測定対象物第1支持台は、前記測定対象物の底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部のうちいずれか1つを有し、

前記測定対象物第2支持台は、前記測定対象物の底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部のうち前記測定対象物第1支持台にない接触部を有し、

前記測定対象物第1支持台または前記測定対象物第2支持台のいずれかは、前記測定対象物の一方の側面と球との接触部と、前記測定対象物の側面を前記球に押圧する押圧手段とを有することを特徴とする寸法基準器の線膨張係数測定方法。

【請求項9】

請求項6から請求項8のいずれか一項に記載された寸法基準器の線膨張係数測定方法において、

前記基準ゲージ第1支持台は、前記基準ゲージの底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部、V溝と球との接触部のうちいずれか1つまたは2つを有し、

前記基準ゲージ第2支持台は、前記基準ゲージの底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部、V溝と球との接触部のうち前記基準ゲージ第1支持台にない接触部を有することを特徴とする寸法基準器の線膨張係数測定方法。

【請求項10】

請求項6から請求項8のいずれか一項に記載された寸法基準器の線膨張係数測定方法において、

前記基準ゲージ第1支持台は、前記基準ゲージの底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部のうちいずれか1つを有し、

前記基準ゲージ第2支持台は、前記基準ゲージの底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部のうち前記基準ゲージ第1支持台にない接触部を有し、

前記基準ゲージ第1支持台または前記基準ゲージ第2支持台のいずれかは、前記基準ゲージの一方の側面と球との接触部と、前記基準ゲージの側面を前記球に押圧する押圧手段とを有することを特徴とする寸法基準器の線膨張係数測定方法。

【請求項11】

請求項1から請求項10のいずれか一項に記載された寸法基準器の線膨張係数測定方法

10

20

30

40

50

において、

前記基準ゲージに装着されて前記基準ゲージ支持台に支持される支持アダプタ、または、前記測定対象物に装着されて前記測定対象物支持台に支持される支持アダプタを用いることを特徴とする寸法基準器の線膨張係数測定方法。

【請求項 1 2】

請求項 1 から請求項 1 1 のいずれか一項に記載された寸法基準器の線膨張係数測定方法において、

前記基準ゲージを下向きに与圧する与圧手段を有することを特徴とする寸法基準器の線膨張係数測定方法。

【請求項 1 3】

請求項 1 から請求項 1 2 のいずれか一項に記載された寸法基準器の線膨張係数測定方法において、

前記基準ゲージは、前記第 1 温度と前記第 2 温度との間の温度変化では精度上膨張を無視しうる極低膨張係数ないしゼロ膨張係数の材質から製造されたもの、または、膨張係数が既知である材質から製造されたもの、のいずれかであることを特徴とする寸法基準器の線膨張係数測定方法。

【請求項 1 4】

寸法基準器を測定対象物として、前記測定対象物の延伸方向に離れた前記測定対象物の第 1 表面から第 2 表面までの部分の線膨張係数を測定する寸法基準器の線膨張係数測定装置であって、

前記第 1 表面および前記第 2 表面に対応する第 1 基準表面および第 2 基準表面を有し、かつ前記第 1 基準表面から前記第 2 基準表面までの長さが既知である基準ゲージと、

前記測定対象物および前記基準ゲージを収容可能、かつ内部温度を調整可能、かつ測定用表面に測定用開口を有する恒温槽と、

前記恒温槽の内部に設置されて前記測定対象物を支持する測定対象物支持台と、

前記恒温槽の内部に設置されて前記基準ゲージを支持する基準ゲージ支持台と、

前記測定用開口から前記恒温槽の内部へ測定プローブを導入可能な三次元測定機と、

を有することを特徴とする寸法基準器の線膨張係数測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、寸法基準器の線膨張係数測定方法および測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

三次元測定機などの測定装置においては、検査のために寸法基準器が用いられる。

寸法基準器としては、端面寸法が高精度に校正された各種ブロックゲージが用いられるとともに、複数の長さに対応したステップゲージが用いられている。

ステップゲージは、凸部と凹部とが交互に配置される櫛歯状とされ、凸部の端面間に複数の基準寸法が得られる。このようなステップゲージは、凸部となる測定ブロックと凹部となる間隔ブロックとを交互に配列してホルダに固定することで製造されるほか、単一の部材から櫛歯状に削り出すことで製造される。

【0003】

ステップゲージの端面間の距離の校正値は、特定の温度における長さとして提供され、多くの場合は工業標準温度の 20 における長さである。

三次元測定機の検査において、測定された長さは校正時の温度に換算して用いる必要がある。これを一般に、長さの温度補正と呼んでいる。この時、ステップゲージの線膨張係数を正確に知る必要がある。

【0004】

ステップゲージを含め多くの寸法基準器は、校正証明書あるいは検査成績書に、温度補正に用いる線膨張係数が記載されている。このような線膨張係数は、それぞれ公差を伴っ

10

20

30

40

50

て表示される。

三次元測定機の検査にステップゲージを用いる場合には、検査の不確かさを検討する上で、この公差を不確かさの要因として扱う。従って、検査における不確かさを低減する目的で、ステップゲージの線膨張係数を高精度に評価することが要求される。

【0005】

寸法基準器を含めて、物体の線膨張係数は、物体の温度を変化させ、その温度変化による物体の長さの変化量を測定することにより、求められる。

具体的に、線膨張係数は、基準温度 $T_0$ における物体の長さを $L_0$ 、現在の温度 $T$ における物体の長さを $L$ 、温度変化量 $\Delta T = T - T_0$ 、長さの変化量(熱膨張量) $\Delta L = L - L_0$ として、 $\alpha = (\Delta L / L) \cdot (1 / \Delta T)$ によって与えられる。

10

【0006】

ステップゲージなど、寸法基準器では、物体の長さ $L$ の大きさは長さの変化量 $\Delta L$ に対して10の5乗より大きい。このため、一般に、長さ $L$ の数値の正確性は、線膨張係数の数値に対して影響が小さい。

従って、線膨張係数を高精度に求めるためには、温度変化量 $\Delta T$ 及び長さの変化量 $\Delta L$ を高精度に測定することが必要である。

【0007】

このような線膨張係数の測定を行うために、光波干渉計を用いた測定方法が提案されている(特許文献1参照)。

特許文献1では、同じ測定軸線に対向する2組の光波干渉計を用い、ブロックゲージなどの被測定物の両端面間の長さを高精度に測定できるようにする。そして、温度制御手段により被測定物の温度を変化させ、異なる温度で長さ測定を行うことで、変温による熱膨張量を取得し、線膨張係数を計算する。

20

【0008】

しかし、このような光波干渉計を用いた長さ測定では、光波干渉計が高価であるという問題がある。すなわち、光波干渉計自体が高価であるだけでなく、測定用の光の波長を補正するために空気の屈折率の算出が必要で、これには温度、湿度、気圧、二酸化炭素濃度といった環境の測定機も必要であり、システム全体として高価となるという問題がある。

【0009】

また、光波干渉計を用いた長さ測定では、被測定物の両端面からの反射光を利用するため、測定する長さは測定対象の長さに限定される。つまり、ステップゲージのような櫛歯状の測定面をもつ基準器において、中間部分の凸部どうしの長さの測定には適用が難しいという問題がある。

30

【0010】

このような問題に対し、三次元測定機を用いる方法(特許文献2参照)および挟み部と歪みゲージを用いる方法(特許文献3参照)が提案されている。

【0011】

特許文献2の方法では、被測定物であるステップゲージを恒温槽内に配置し、外部の三次元測定機のプローブを恒温槽の開口部から導入し、このプローブによってステップゲージの長さを測定する。そして、恒温槽内の温度設定を変更し、異なる温度で長さ測定を行い、変温の前後の測定長さの差から熱膨張量を計算する。

40

このような三次元測定機を用いた長さ測定では、光波干渉計を用いる必要がなく、汎用の三次元測定機が使用できる環境であれば十分である。

また、三次元測定機を使用することで、ステップゲージの中間部分の凸部間の長さ測定も行うことができ、中間部分の熱膨張率の均一性についても測定することができる。

【0012】

特許文献3の方法では、ステップゲージの任意の凸部を挟む挟み部を用い、挟み部のステップゲージに接触するチップの一方に歪みゲージを設置しておき、長さ測定する一対の端面を挟み部で挟んだ状態で温度を変化させ、温度変化に伴う熱膨張を歪みゲージで直接検出する。

50

このような挟み部と歪みゲージを用いた熱膨張の測定では、光波干渉計を用いる必要がなく、挟み部と歪みゲージという簡単かつ安価な構成でよく、ステップゲージの中間部分の凸部間の長さ測定も行うことができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0013】

【特許文献1】特許第3897655号公報

【特許文献2】特開2004-226369号公報

【特許文献3】特開2005-83920号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

ところで、ステップゲージなどの寸法基準器は、検査対象の三次元測定機のサイズに合わせて、様々な寸法のものが用いられる。例えば、ステップゲージの長いものでは、呼び寸法（公称長さ）が1.5mを超えるものもある。

前述した寸法基準器の線膨張係数の測定は、このような長さLが大きな寸法基準器に対しても適用でき、かつ高精度に測定できることが要求される。

【0015】

しかし、前述した特許文献3の方法では、挟み部によって測定長さが固定され、中間部分の長さなど多様な測定ができないという問題がある。また、長尺のステップゲージに対しては、相応の大きさの挟み部を準備する必要があり、実施が制約される。

20

さらに、歪みゲージの出力にはノイズ成分が含まれるため、長さに変換された量からステップゲージの線膨張係数だけを抽出することが難しいという問題もある。

【0016】

これに対し、前述した特許文献2のように、長さ測定に三次元測定機を利用すれば、様々な長さの寸法基準器に対して、両端面間の長さおよび中間部分の凸部の端面間長さといった多様な測定に対応することができ、異なる温度での測定に基づいて線膨張係数の測定を行うことができる。

【0017】

しかし、特許文献2の方法のように三次元測定機による長さ測定を用いる場合でも、前述した長さが1.5mを超える大きなステップゲージについては、精度低下などの問題が生じる可能性がある。

30

すなわち、三次元測定機には、その測定性能を示す指標として最大許容長さ測定誤差が用いられる。最大許容長さ測定誤差は、一般的に一次式で与えられ、測定長さに比例して大きくなる。このことは、測定する長さが大きくなるに従って、精度が低下することを意味する。このような理由で、長いステップゲージについては、線膨張係数を高精度に測定することが難しくなる。

【0018】

本発明の目的は、様々な長さの寸法基準器に対して、線膨張係数の測定を、高精度かつ安価に行える寸法基準器の線膨張係数測定方法および測定装置を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0019】

本発明の寸法基準器の線膨張係数測定方法は、寸法基準器を測定対象物として、前記測定対象物の延伸方向に離れた前記測定対象物の第1表面から第2表面までの部分の線膨張係数を測定する寸法基準器の線膨張係数測定方法であって、前記第1表面および前記第2表面に対応する第1基準表面および第2基準表面を有し、かつ前記第1基準表面から前記第2基準表面までの長さが既知である基準ゲージと、前記測定対象物および前記基準ゲージを収容可能、かつ内部温度を調整可能、かつ測定用表面に測定用開口を有する恒温槽と、前記恒温槽の内部に設置されて前記測定対象物を支持する測定対象物支持台と、前記恒温槽の内部に設置されて前記基準ゲージを支持する基準ゲージ支持台と、前記測定用開口

50

から前記恒温槽の内部へ測定プローブを導入可能な三次元測定機と、を準備し、前記恒温槽の内部に、前記測定対象物および前記基準ゲージを平行に支持しておき、前記恒温槽の内部温度を第1温度とし、前記第1基準表面から前記第2基準表面までの長さを基準として、前記第1表面から前記第2表面までの長さを比較測定し、前記恒温槽の内部温度を第2温度とし、前記第1基準表面から前記第2基準表面までの長さを基準として、前記第1表面から前記第2表面までの長さを比較測定し、前記第1温度での前記第1表面から前記第2表面までの長さとして前記第2温度での前記第1表面から前記第2表面までの長さとして前記測定対象物の線膨張係数を算出することを特徴とする。

#### 【0020】

このような本発明では、三次元測定機を用いて測定対象物の長さ測定を行うので、高価な光波干渉計を用いることなく、様々な長さの寸法基準器の線膨張係数を、高精度に測定することができる。

10

この際、第1表面から第2表面までの長さを測定対象物の長さとして測定することができる。このため、測定対象物の両端面を第1表面および第2表面とすることで、測定対象物の長さおよびその間の線膨張係数を測定できる。また、第1表面および第2表面を測定対象物の中間部分の凸部の端面などに設定することで、この中間部分の長さおよび線膨張係数を測定することもできる。

#### 【0021】

さらに、本発明では、三次元測定機を用いて測定対象物の長さを測定する際に、長さの基準として基準ゲージを用い、この基準ゲージに対する長さの比較測定を行う。このため、長さ測定の結果は、三次元測定機のスケールの精度に依存せず、専ら基準ゲージの精度に依存することになり、測定対象物が長尺化しても高精度を確保できる。

20

#### 【0022】

すなわち、本発明では、長さの比較測定において、測定対象物が短尺である場合には、これに応じた短尺の基準ゲージを用い、測定対象物が長尺である場合には、これに応じた長尺の基準ゲージを用いる。

そして、三次元測定機により、基準ゲージの長さ（第1基準表面と第2基準表面との距離）および測定対象物の長さ（第1表面と第2表面との距離）を測定し、基準ゲージの測定長さと測定対象物の測定長さとの差を、基準ゲージについて既知である基準長さに加算し、これにより測定対象物の長さを算出する。

30

つまり、三次元測定機は、基準ゲージの測定長さと測定対象物の測定長さとの差、具体的には第1表面と第1基準表面との距離と、第2表面と第2基準表面との距離とを測定できればよい。

このため、本発明では、長さの比較測定において、測定対象物が長尺であっても、三次元測定機の測定性能である最大許容長さ測定誤差に影響されることがない。

#### 【0023】

以上により、本発明の寸法基準器の線膨張係数測定方法によれば、様々な長さの寸法基準器の線膨張係数の測定を、高精度かつ安価に行うことができる。

#### 【0024】

本発明の寸法基準器の線膨張係数測定方法において、前記比較測定を行う際に、前記第1基準表面、前記第2基準表面、前記第1表面および前記第2表面の中心座標の計算と、前記基準ゲージおよび前記測定対象物の前記延伸方向に対する傾きの計算と、を含む座標系決定を行うことが望ましい。

40

#### 【0025】

このような本発明では、比較測定を行う際に、基準ゲージおよび測定対象物について、各々の長さ測定の基準となる座標系を決定することができる。

すなわち、基準ゲージの第1基準表面および第2基準表面、測定対象物の第1表面および第2表面が、延伸方向に対して傾いた状態であっても、各表面における三次元測定機の接触位置から中心座標までの距離と、各表面の傾きとから、三次元測定機による検出位置を補正することができる。

50

そして、基準ゲージおよび測定対象物の現在の状態に即して各々の座標系を決定し、その座標系のもとで長さ測定を行うことで精度を高めることができ、比較測定の精度を高く維持することができる。

【0026】

本発明の寸法基準器の線膨張係数測定方法において、前記基準ゲージ支持台は、前記測定対象物の前記測定用開口に対向する側に前記基準ゲージを支持することが望ましい。

測定対象物の測定用開口に対向する側としては、例えば、測定対象物の上面側、あるいは側面側などとすることができる。

【0027】

このような本発明では、測定対象物の測定対象部位である第1表面および第2表面が測定用開口側に配置され、同側に基準ゲージが配置されることで、比較対象の第1基準表面および第2基準表面を第1表面および第2表面に近接して配置することができ、測定精度の向上とともに測定動作の効率化、迅速化を図ることができる。

【0028】

本発明の寸法基準器の線膨張係数測定方法において、前記基準ゲージは、前記延伸方向の長さが、前記測定対象物よりも所定長さ短いことが望ましい。

所定長さとしては、測定対象物の測定用開口側の表面であって第1表面または第2表面に最寄りの表面に、三次元測定機のプローブが接触することができる広さが確保できる程度の長さであればよい。例えば、測定対象物として複数の凸部を有するステップゲージを用いる場合、基準ゲージはステップゲージの長さよりも凸部の1個分だけ短いものとすればよい。

【0029】

このような本発明では、測定対象物の測定用開口側に基準ゲージが配置されるため、測定対象物の測定用開口側の表面が基準ゲージで覆われる。しかし、測定対象物の端部近傍では、基準ゲージの長さが短い分、表面が測定用開口側に露出する。

従って、前述した座標系決定において、三次元測定機のプローブを、測定対象物の端部の露出した表面に接触させることで、基準ゲージと干渉することなく表面の検出を行うことができる。

【0030】

本発明の寸法基準器の線膨張係数測定方法において、前記比較測定を行う際に、前記第1基準表面と前記第1表面とを同一平面内に配置、または、前記第2基準表面と前記第2表面とを同一平面内に配置することが望ましい。

【0031】

このような本発明では、前述のように基準ゲージを測定対象物よりも所定長さ短くした際に、同一平面とした側とは反対側の端部で、基準ゲージと測定対象物との長さの差が最大となり、三次元測定機のプローブによる表面検出を行う際の余裕を最大にすることができる。

【0032】

本発明の寸法基準器の線膨張係数測定方法において、前記測定対象物支持台は、測定対象物第1支持台および測定対象物第2支持台を含み、前記測定対象物第1支持台および前記測定対象物第2支持台は、それぞれ前記延伸方向に交差する2方向の前記測定対象物の変位を規制しかつ前記延伸方向に交差する2方向を中心軸とした前記測定対象物の回動を許容し、前記測定対象物第1支持台および前記測定対象物第2支持台のいずれか一方が前記延伸方向の前記測定対象物の変位を規制しかついずれか他方が前記延伸方向の前記測定対象物の変位を許容し、前記測定対象物第1支持台および前記測定対象物第2支持台のいずれか一方が前記延伸方向を中心軸とした前記測定対象物の回動を規制しかついずれか他方が前記延伸方向を中心軸とした前記測定対象物の回動を許容するとともに、前記基準ゲージ支持台は、基準ゲージ第1支持台および基準ゲージ第2支持台を含み、前記基準ゲージ第1支持台および前記基準ゲージ第2支持台は、それぞれ前記延伸方向に交差する2方向の前記基準ゲージの変位を規制しかつ前記延伸方向に交差する2方向を中心軸とした前

10

20

30

40

50

記基準ゲージの回動を許容し、前記基準ゲージ第1支持台および前記基準ゲージ第2支持台のいずれか一方が前記延伸方向の前記基準ゲージの変位を規制しかついずれか他方が前記延伸方向の前記基準ゲージの変位を許容し、前記基準ゲージ第1支持台および前記基準ゲージ第2支持台のいずれか一方が前記延伸方向を中心軸とした前記基準ゲージの回動を規制しかついずれか他方が前記延伸方向を中心軸とした前記基準ゲージの回動を許容することが望ましい。

【0033】

このような本発明では、測定対象物および基準ゲージを、各々の延伸方向の変位に対して、第1および第2の支持体の一方では変位を規制（位置決め）しつつ、他方で変位を許容することで、測定対象物および基準ゲージの延伸方向の長さの比較測定を正確に行うことができる。さらに、第1および第2の支持体のいずれか一方で延伸方向を中心軸とした回動を規制しつつ、他の軸まわりの回動を許容することで、測定対象物および基準ゲージに曲げ変形などが生じて、これを許容することができる。

10

本発明では、このような測定対象物支持台および基準ゲージ支持台により、測定対象物および基準ゲージの自由な膨張、姿勢変動に対応できるとともに、測定対象物および基準ゲージを、各々の延伸方向が互いに平行な所期の状態に維持することができる。

【0034】

本発明の寸法基準器の線膨張係数測定方法において、前記測定対象物第1支持台は、前記測定対象物の底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部、V溝と球との接触部のうちいずれか1つまたは2つを有し、前記測定対象物第2支持台は、前記測定対象物の底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部、V溝と球との接触部のうち前記測定対象物第1支持台にない接触部を有することが望ましい。

20

【0035】

このような本発明では、測定対象物第1支持台および測定対象物第2支持台を含む測定対象物支持台は、測定対象物の底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部、V溝と球との接触部の3点を有するキネマティックマウントを構成することができ、延伸方向およびその交差方向に対する前述した変位規制および回動規制を適切に行うことができる。

【0036】

本発明の寸法基準器の線膨張係数測定方法において、前記測定対象物第1支持台は、前記測定対象物の底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部のうちいずれか1つを有し、前記測定対象物第2支持台は、前記測定対象物の底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部のうち前記測定対象物第1支持台にない接触部を有し、前記測定対象物第1支持台または前記測定対象物第2支持台のいずれかは、前記測定対象物の一方の側面と球との接触部と、前記測定対象物の側面を前記球に押圧する押圧手段とを有することが望ましい。

30

【0037】

このような本発明では、測定対象物第1支持台または測定対象物第2支持台のいずれかにおいて、測定対象物の側面との接触部と押圧手段との組み合わせが、延伸方向の変位を許容しつつ延伸方向に交差する2方向の変位を規制するため、測定対象物の底面に形成されるV溝と球との組み合わせに相当する機能をはたすことになる。その結果、測定対象物第1支持台および測定対象物第2支持台において、前述したキネマティックマウントに相当する機能を得ることができ、延伸方向およびその交差方向に対する前述した変位規制および回動規制を適切に行うことができる。

40

【0038】

本発明の寸法基準器の線膨張係数測定方法において、前記基準ゲージ第1支持台は、前記基準ゲージの底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部、V溝と球との接触部のうちいずれか1つまたは2つを有し、前記基準ゲージ第2支持台は、前記基準ゲージの底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部、V溝と球との接触部のうち前記基準ゲージ第1支持台にない接触部を有することが望ましい。

50

## 【0039】

このような本発明では、基準ゲージ第1支持台および基準ゲージ第2支持台を含む基準ゲージ支持台は、基準ゲージの底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部、V溝と球との接触部の3点を有するキネマティックマウントを構成することができ、延伸方向およびその交差方向に対する前述した変位規制および回動規制を適切に行うことができる。

## 【0040】

本発明の寸法基準器の線膨張係数測定方法において、前記基準ゲージ第1支持台は、前記基準ゲージの底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部のうちいずれか1つを有し、前記基準ゲージ第2支持台は、前記基準ゲージの底面との間に、円錐穴と球との接触部、平面と球との接触部のうち前記基準ゲージ第1支持台にない接触部を有し、前記基準ゲージ第1支持台または前記基準ゲージ第2支持台のいずれかは、前記基準ゲージの一方の側面と球との接触部と、前記基準ゲージの側面を前記球に押圧する押圧手段とを有することが望ましい。

10

## 【0041】

このような本発明では、基準ゲージ第1支持台または基準ゲージ第2支持台のいずれかにおいて、基準ゲージの側面と押圧手段との組み合わせが、延伸方向の変位を許容しつつ延伸方向に交差する2方向の変位を規制するため、基準ゲージの底面に形成されるV溝と球との組み合わせに相当する機能をはたすことになる。その結果、基準ゲージ第1支持台および基準ゲージ第2支持台において、前述したキネマティックマウントに相当する機能を得ることができ、延伸方向およびその交差方向に対する前述した変位規制および回動規制を適切に行うことができる。

20

## 【0042】

本発明の寸法基準器の線膨張係数測定方法において、前記基準ゲージに装着されて前記基準ゲージ支持台に支持される支持アダプタ、または、前記測定対象物に装着されて前記測定対象物支持台に支持される支持アダプタを用いることが望ましい。

## 【0043】

このような本発明では、前述したキネマティックマウントなどによる支持を行う場合でも、支持アダプタに円錐穴やV溝などを形成すればよく、基準ゲージまたは測定対象物に直接形成する必要がなく、実施を容易にすることができる。

30

## 【0044】

本発明の寸法基準器の線膨張係数測定方法において、前記基準ゲージを下向きに与圧する与圧手段を有することが望ましい。

## 【0045】

このような本発明では、基準ゲージが軽量である場合でも、下向きに与圧することで、基準ゲージ支持台による支持を安定して行うことができる。

なお、測定対象物は一般に基準ゲージよりも重量が大きく、与圧は特に必要がない。ただし、測定対象物が軽量な場合には、同様な与圧を行ってもよい。

## 【0046】

本発明において、前記基準ゲージは、前記第1温度と前記第2温度との間の温度変化では精度上膨張を無視しうる極低膨張係数ないしゼロ膨張係数の材質から製造されたもの、または、膨張係数が既知である材質から製造されたもの、のいずれかであることが望ましい。

40

## 【0047】

このような本発明では、基準ゲージが、極低膨張係数ないしゼロ膨張係数の材質から製造されている場合、第1温度と第2温度との間での基準ゲージの長さの温度補正を省略することができる。一方、基準ゲージが、膨張係数が既知である材質から製造されている場合、第1温度および第2温度において、温度補正により各温度における高精度な基準ゲージの長さを計算することができる。いずれの場合も、各温度における基準ゲージ長さを正確にできるので、第1温度での比較測定と第2温度での比較測定とを高精度に行うことが

50

できる。

なお、このような基準ゲージとしては、高精度が確保された既存のブロックゲージが利用できる。

【0048】

本発明の寸法基準器の線膨張係数測定装置は、寸法基準器を測定対象物として、前記測定対象物の延伸方向に離れた前記測定対象物の第1表面から第2表面までの部分の線膨張係数を測定する寸法基準器の線膨張係数測定装置であって、前記第1表面および前記第2表面に対応する第1基準表面および第2基準表面を有し、かつ前記第1基準表面から前記第2基準表面までの長さが既知である基準ゲージと、前記測定対象物および前記基準ゲージを収容可能、かつ内部温度を調整可能、かつ測定用表面に測定用開口を有する恒温槽と、前記恒温槽の内部に設置されて前記測定対象物を支持する測定対象物支持台と、前記恒温槽の内部に設置されて前記基準ゲージを支持する基準ゲージ支持台と、前記測定用開口から前記恒温槽の内部へ測定プローブを導入可能な三次元測定機と、を有することを特徴とする。

10

【0049】

このような本発明では、前述した本発明の寸法基準器の線膨張係数測定方法で説明した通りの手順により、同様な作用効果を得ることができる。

【発明の効果】

【0050】

本発明によれば、様々な長さの寸法基準器に対して、線膨張係数の測定を、高精度かつ安価に行える寸法基準器の線膨張係数測定方法および測定装置を提供することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】本発明の第1実施形態の測定装置を示す斜視図。

【図2】前記第1実施形態の測定対象物であるステップゲージを示す斜視図。

【図3】前記第1実施形態の基準ゲージである基準ブロックゲージを示す斜視図。

【図4】前記第1実施形態の恒温槽、ステップゲージおよび基準ブロックゲージの配置を示す斜視図。

【図5】前記第1実施形態の測定対象物第1支持台を示す側面図。

【図6】前記第1実施形態の測定対象物第2支持台を示す側面図。

30

【図7】前記第1実施形態の基準ゲージ第1支持台を示す側面図。

【図8】前記第1実施形態の基準ゲージ第2支持台を示す側面図。

【図9】前記第1実施形態の基準ブロックゲージの底面側を示す斜視図。

【図10】前記第1実施形態の測定手順を示すフローチャート。

【図11】前記第1実施形態の設置状態を示す側面図。

【図12】前記第1実施形態の測定動作を示す斜視図。

【図13】本発明の第2実施形態の支持アダプタを示す斜視図。

【図14】本発明の第3実施形態の恒温槽を示す斜視図。

【図15】前記第3実施形態の恒温槽、ステップゲージおよび基準ブロックゲージの配置を示す斜視図。

40

【図16】本発明の第4実施形態の測定対象物第1支持台を示す側面図。

【図17】前記第4実施形態の測定対象物第2支持台を示す側面図。

【図18】本発明の第5実施形態の基準ゲージ第1支持台を示す側面図。

【図19】前記第5実施形態の基準ゲージ第2支持台を示す側面図。

【発明を実施するための形態】

【0052】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

〔第1実施形態〕

図1において、本実施形態の線膨張係数測定装置1は、寸法基準器であるステップゲージ10を測定対象物とし、その線膨張係数を高精度に測定するものである。

50

このために、線膨張係数測定装置 1 は、ステップゲージ 1 0 を収容して所定温度に維持する恒温槽 3 0 と、同じく恒温槽 3 0 に収容される基準ゲージとしての基準ブロックゲージ 2 0 と、基準ブロックゲージ 2 0 を基準としてステップゲージ 1 0 の長さを比較測定する三次元測定機 4 0 と、を備えている。

【 0 0 5 3 】

三次元測定機 4 0 は、定盤 4 1 を有し、その上面にはコラム 4 2 およびクロスバー 4 3 によりヘッド 4 4 が支持されている。ヘッド 4 4 には下方へ延びるラム 4 5 が設置され、その先端にはプローブ 4 6 が支持されている。

三次元測定機 4 0 は、コラム 4 2 が定盤 4 1 に対して Y 軸方向に移動自在とされ、ヘッド 4 4 がクロスバー 4 3 に対して X 軸方向に移動自在とされ、ラム 4 5 がヘッド 4 4 に対して Z 軸方向に移動自在とされている。これらの 3 軸移動により、プローブ 4 6 を定盤 4 1 に対して三次元移動させることができる。

【 0 0 5 4 】

恒温槽 3 0 は、箱状の筐体内部の温度を所望の温度に維持可能な装置であり、定盤 4 1 の上面に載置され、その長手方向が Y 軸方向に沿うように固定されている。

恒温槽 3 0 は、上面側を開閉することで、内部にステップゲージ 1 0 および基準ブロックゲージ 2 0 を収容可能である。

恒温槽 3 0 の上面には、開閉式の蓋体を有する測定用開口 3 1 が複数形成されている。

【 0 0 5 5 】

恒温槽 3 0 の内部において、ステップゲージ 1 0 は、その延伸方向  $L_t$  が Y 軸方向に沿うように支持されている。また、基準ブロックゲージ 2 0 は、ステップゲージ 1 0 の上面側（ステップゲージ 1 0 の測定用開口 3 1 に対向する側）に配置され、その延伸方向  $L_r$  が Y 軸方向に沿って、ステップゲージ 1 0 と互いに平行に支持されている。

【 0 0 5 6 】

図 2 に示すように、測定対象物であるステップゲージ 1 0 は、延伸方向  $L_t$  に延びる角柱状の本体を有し、その上面、底面および各側面は延伸方向  $L_t$  に交差する 2 方向である高さ方向  $H_t$  および幅方向  $W_t$  のいずれかに平行とされている。

ステップゲージ 1 0 の上面には、ブロックゲージ状の凸部 1 3 が複数、延伸方向  $L_t$  に配列されている。各凸部 1 3 の延伸方向  $L_t$  の長さは  $D_p$ 、各凸部 1 3 の間の凹部の延伸方向  $L_t$  の間隔は  $D_c$  とされている。

本実施形態では、ステップゲージ 1 0 の一方の端部にある凸部 1 3 の表面を第 1 表面 1 1 とし、他方の端部にある凸部 1 3 の表面を第 2 表面 1 2 とし、これらの第 1 表面 1 1 と第 2 表面 1 2 との距離をステップゲージ 1 0 の長さ  $D_x$  として測定する。

【 0 0 5 7 】

図 3 に示すように、基準ゲージである基準ブロックゲージ 2 0 は、延伸方向  $L_r$  に延びるブロックゲージであり、その上面、底面および各側面は延伸方向  $L_r$  に交差する 2 方向である高さ方向  $H_r$  および幅方向  $W_r$  のいずれかに平行とされている。

基準ブロックゲージ 2 0 は、延伸方向  $L_r$  の両端にあたる一对の端面が第 1 基準表面 2 1 および第 2 基準表面 2 2 とされている。

【 0 0 5 8 】

基準ブロックゲージ 2 0 は、第 1 基準表面 2 1 と第 2 基準表面 2 2 との距離つまり長さが  $D_{rx}$  である。基準ブロックゲージ 2 0 は、測定対象物であるステップゲージ 1 0 における測定対象の長さ  $D_x$ （公称寸法、呼び寸法）に基づいて、長さ  $D_{rx}$  が長さ  $D_x$  よりも所定寸法（例えば凸部 1 3 の長さ  $D_p$  分）短い寸法となるものが選択されている。

基準ブロックゲージ 2 0 は、長さ  $D_{rx}$  が既知であるだけでなく、線膨張係数が高精度に既知であり、後述する第 1 温度  $t_1$  での比較測定および第 2 温度  $t_2$  での比較測定の際には、その線膨張係数から各温度  $t_1$ 、 $t_2$  における長さ  $D_{rx}$  を高精度に計算することができる。

【 0 0 5 9 】

図 4 において、これらのステップゲージ 1 0 および基準ブロックゲージ 2 0 は、恒温槽

10

20

30

40

50

30内に平行に設置される。

これらのステップゲージ10および基準ブロックゲージ20を支持するために、恒温槽30内には剛性の高い底板32が設置され、その上面には測定対象物支持台50および基準ゲージ支持台60が設置されている。

【0060】

測定対象物支持台50は、第1表面11側の測定対象物第1支持台51と、第2表面12側の測定対象物第2支持台52とで構成されている。

基準ゲージ支持台60は、第1基準表面21側の基準ゲージ第1支持台61と、第2基準表面22側の基準ゲージ第2支持台62とで構成されている。

【0061】

〔測定対象物第1支持台51〕

図5において、測定対象物第1支持台51は、底板32に設置された基部511を有し、その両側縁に沿って起立部512、513が形成されている。ステップゲージ10は、起立部512、513の間の空間に収容され、基部511上に支持される。

基部511には、2組のボール514およびボールホルダ515が幅方向 $W_t$ に並べて設置されている。ボールホルダ515は、ボール514に転動する多数の支持ボールを有し、いわゆるフリーボールベアリングあるいはボールキャストを形成している。

【0062】

ステップゲージ10の底面は2つのボール514に当接され、これらのボール514およびボールホルダ515により、測定対象物第1支持台51とステップゲージ10の底面との間には、平面と球との接触部502が形成されている。

そして、これら2組の接触部502により、ステップゲージ10の荷重が基部511、底板32を経て恒温槽30に支持されている。

【0063】

接触部502においては、ステップゲージ10の底面とボール514とが転動することで、ステップゲージ10は延伸方向 $L_t$ および幅方向 $W_t$ に変位可能、かつ高さ方向 $H_t$ および幅方向 $W_t$ を中心軸とした回転（ヨーイングおよびピッチング）が可能である。

ただし、ステップゲージ10の底面とボール514とは当接しており、高さ方向 $H_t$ への変位は規制されている。また、ボール514が2組であることで、延伸方向 $L_t$ を中心軸とした回転（ローリング）も規制されている。

【0064】

起立部512とステップゲージ10の側面との間には、基部511との間の接触部502と同様なボール514およびボールホルダ515が設置され、これにより平面と球との接触部504が形成されている。

起立部513とステップゲージ10の側面との間には、基部511との間の接触部502と同様なボール514およびボールホルダ515が設置されている。さらに、ボールホルダ515と起立部513との間には圧縮コイルばね516が設置されている。これらのボール514、ボールホルダ515および圧縮コイルばね516により押圧手段505が形成されている。

【0065】

ステップゲージ10は、押圧手段505により幅方向 $W_t$ に沿った押圧を受け、接触部504を介して起立部512に押し付けられ、幅方向 $W_t$ には変位を規制される。ただし、押圧手段505および接触部504はボール514を介してステップゲージ10の側面に接触するため、他の方向の変位を規制することはなく、各方向を中心軸とする回動を規制することもない。

【0066】

従って、測定対象物第1支持台51においては、2組の接触部502でステップゲージ10の荷重を支持しつつ、ステップゲージ10の高さ方向 $H_t$ に沿った変位が規制されている。また、接触部504および押圧手段505により、ステップゲージ10の幅方向 $W_t$ に沿った変位も規制され、これによりステップゲージ10の延伸方向 $L_t$ の向きも確定

10

20

30

40

50

される。

一方、測定対象物第1支持台51においては、延伸方向Ltの変位は許容され、ピッチングおよびヨーイングも許容されており、ステップゲージ10に熱変形が生じた際には延伸方向Ltの伸縮を許容することができる。

【0067】

〔測定対象物第2支持台52〕

図6において、測定対象物第2支持台52は、底板32に設置された基部521と、ステップゲージ10の下面が載置される支持部522とを有する。

基部521には、ボール524およびボールホルダ525が設置されている。ボールホルダ525は、ボール524に転動する多数の支持ボールを有し、いわゆるフリーボールベアリングあるいはボールキャストを形成している。

10

【0068】

支持部522の下面には、円錐穴529が形成され、ボール524は円錐穴529に嵌め込まれている。

これらの円錐穴529およびボール524により、円錐穴と球との接触部501が形成されている。

【0069】

従って、測定対象物第2支持台52においては、接触部501でステップゲージ10の荷重を支持しつつ、ステップゲージ10の高さ方向Htの変位、幅方向Wtの変位および延伸方向Ltの変位が全て規制されている。ただし、接触部501においては、ボール524を中心として、高さ方向Htを中心軸とした回転（ヨーイング）、幅方向Wtを中心軸とした回転（ピッチング）および延伸方向Ltを中心軸とした回転（ローリング）は全て許容されている。

20

【0070】

このように、ステップゲージ10は、測定対象物第1支持台51および測定対象物第2支持台52によって支持される。

これにより、ステップゲージ10は、測定対象物第1支持台51および測定対象物第2支持台52の各々において幅方向Wtの位置を規制され、延伸方向Ltが恒温槽30および三次元測定機40のY軸方向に揃うように支持される。

そして、測定対象物第2支持台52の接触部501において延伸方向Ltの位置を拘束されているが、測定対象物第1支持台51においては延伸方向Ltの変位が許容され、熱変形による伸縮は主に第1表面11側に現れる。

30

【0071】

〔基準ゲージ第1支持台61〕

図7において、基準ゲージ第1支持台61は、底板32の上方に配置される基部611と、基部611の下面に固定された支柱612とを有し、支柱612で底板32に支持されている。

基部611には、2組のボール614およびボールホルダ615が幅方向Wrに並べて設置されている。ボールホルダ615は、ボール614に転動する多数の支持ボールを有し、いわゆるフリーボールベアリングあるいはボールキャストを形成している。

40

【0072】

2組のボール614およびボールホルダ615のうち、一方の組のボール614は、基準ブロックゲージ20の下面に当接され、これにより平面と球との接触部602が形成されている。

2組のボール614およびボールホルダ615のうち、他の組のボール614は、基準ブロックゲージ20の下面に形成された円錐穴619（図9参照）に嵌め込まれ、これにより円錐穴と球との接触部601が形成されている。

【0073】

従って、基準ゲージ第1支持台61においては、幅方向Wrに並んだ平面と球との接触部602および円錐穴と球との接触部601により、基準ブロックゲージ20の荷重が支

50

持されるとともに、高さ方向  $H_r$  の変位、幅方向  $W_r$  の変位、延伸方向  $L_r$  の変位および延伸方向  $L_r$  を中心軸とした回転（ローリング）が規制され、高さ方向  $H_r$  を中心軸とした回転（ヨーイング）および幅方向  $W_r$  を中心軸とした回転（ピッチング）は許容されている。

#### 【 0 0 7 4 】

さらに、基部 6 1 1 には起立部 6 1 0 が形成され、起立部 6 1 0 と基準ブロックゲージ 2 0 の上面との間には、接触部 6 0 2 と同様なボール 6 1 4 およびボールホルダ 6 1 5 と、これらを基準ブロックゲージ 2 0 の上面に向けて付勢する圧縮コイルばね 6 1 7 とが設置され、これらにより基準ブロックゲージ 2 0 を下向きに与圧する与圧手段 6 0 9 が形成されている。

10

このような与圧手段 6 0 9 により、基準ゲージ第 1 支持台 6 1 においては、基準ブロックゲージ 2 0 の重量が小さい場合でも、下面側における接触部 6 0 1 , 6 0 2 の接触が確実に維持される。

#### 【 0 0 7 5 】

〔基準ゲージ第 2 支持台 6 2 〕

図 8 において、基準ゲージ第 2 支持台 6 2 は、基準ゲージ第 1 支持台 6 1 と同様な基部 6 2 1、支柱 6 2 2、起立部 6 2 0 を有する。そして、ボール 6 2 4、ボールホルダ 6 2 5 および圧縮コイルばね 6 2 7 により、同様な与圧手段 6 0 9 が構成されている。

一方、基準ゲージ第 2 支持台 6 2 においては、基準ゲージ第 1 支持台 6 1 における平面と球との接触部 6 0 2 および円錐穴と球との接触部 6 0 1 に替えて、V 溝と球との接触部 6 0 3 が構成されている。

20

#### 【 0 0 7 6 】

基部 6 2 1 の上面には、ボール 6 2 4 およびボールホルダ 6 2 5 が設置されている。対向する基準ブロックゲージ 2 0 の下面には、延伸方向  $L_r$  に沿って V 溝 6 2 8 が形成されている（図 9 参照）。この V 溝 6 2 8 にボール 6 2 4 が嵌め込まれることで、V 溝と球との接触部 6 0 3 が構成されている。

#### 【 0 0 7 7 】

従って、基準ゲージ第 2 支持台 6 2 においては、V 溝と球との接触部 6 0 3 により、基準ブロックゲージ 2 0 の荷重が支持されるとともに、高さ方向  $H_r$  の変位および幅方向  $W_r$  の変位が規制され、延伸方向  $L_r$  の変位、延伸方向  $L_r$  を中心軸とした回転（ローリング）、高さ方向  $H_r$  を中心軸とした回転（ヨーイング）および幅方向  $W_r$  を中心軸とした回転（ピッチング）は許容されている。

30

#### 【 0 0 7 8 】

このように、基準ブロックゲージ 2 0 は、基準ゲージ第 1 支持台 6 1 および基準ゲージ第 2 支持台 6 2 によって支持される。

これにより、基準ブロックゲージ 2 0 は、基準ゲージ第 1 支持台 6 1 および基準ゲージ第 2 支持台 6 2 の各々において幅方向  $W_r$  の位置を規制され、延伸方向  $L_r$  が恒温槽 3 0 および三次元測定機 4 0 の Y 軸方向（すなわちステップゲージ 1 0 の延伸方向  $L_t$ ）に揃うように支持される。

そして、基準ゲージ第 1 支持台 6 1 の接触部 6 0 1 において延伸方向  $L_r$  の位置を拘束されているが、基準ゲージ第 2 支持台 6 2 においては延伸方向  $L_r$  の変位が許容され、熱変形による伸縮は主に第 1 基準表面 2 1 側に現れる。

40

#### 【 0 0 7 9 】

〔線膨張係数の測定動作〕

図 1 0 には、線膨張係数測定装置 1 を用いてステップゲージ 1 0 の線膨張係数を測定する手順が示されている。

測定開始にあたっては、まず、線膨張係数測定装置 1 として三次元測定機 4 0 に恒温槽 3 0 を固定し、恒温槽 3 0 の内部にステップゲージ 1 0 および基準ブロックゲージ 2 0 を設置する（処理 S 1）。

#### 【 0 0 8 0 】

50

恒温槽 30 の内部にステップゲージ 10 および基準ブロックゲージ 20 を設置する際には、先ず、測定対象物第 1 支持台 51 および測定対象物第 2 支持台 52 を設置し、これらによりステップゲージ 10 を支持する。次に、ステップゲージ 10 を跨ぐように、基準ゲージ第 1 支持台 61 および基準ゲージ第 2 支持台 62 を設置し、これらにより基準ブロックゲージ 20 を支持する。

#### 【0081】

図 11 に示すように、ステップゲージ 10 および基準ブロックゲージ 20 を設置する際には、各々の延伸方向  $L_t$ 、 $L_r$  の位置を調整し、各々の第 2 表面 12 と第 2 基準表面 22 とが同一平面となるようにしておく。

ここで、基準ブロックゲージ 20 の長さ  $D_{rx}$  は、ステップゲージ 10 の長さ  $D_x$  よりも凸部 13 の長さ  $D_x$  分短く設定されているので、第 2 基準表面 22 と第 2 表面 12 とを揃えた際には、第 1 基準表面 21 は凸部 13 の長さ  $D_x$  分だけ第 1 表面 11 に届かず、第 1 表面 11 に最寄りの凸部 13 は上面側を基準ブロックゲージ 20 で覆われない状態とされる。

#### 【0082】

ステップゲージ 10 および基準ブロックゲージ 20 の設置（処理 S1）ができれば、三次元測定機 40 に測定長さ（ステップゲージ 10 の長さ  $D_x$ ）を入力し（処理 S2）、異なる温度でのステップゲージ 10 の長さの比較測定動作を実行する（処理 S3～S5）。

先ず、測定用開口 31 を全て閉じた状態で、恒温槽 30 の内部温度を第 1 温度  $t_1$  に設定し、所定時間を待って温度を安定化させる（処理 S3）。

#### 【0083】

恒温槽 30 の内部が第 1 温度  $t_1$  で安定化したら、ステップゲージ 10 および基準ブロックゲージ 20 の座標系決定を行う（処理 S4）。

具体的には、第 1 表面 11 側の測定用開口 31 を開き、三次元測定機 40 のプローブ 46 を導入する。そして、図 12 に示すように、ステップゲージ 10 の第 1 表面 11 を 3 点以上接触して位置および傾きを検出する。さらに、第 1 表面 11 が設定された凸部 13 の上面および一方の側面について、同様に 3 点以上接触して位置および傾きを検出する。これにより、第 1 表面 11 の中心位置の三次元座標と、ステップゲージ 10 の延伸方向  $L_t$  の向きが取得される。

#### 【0084】

同様に、プローブ 46 により基準ブロックゲージ 20 の第 1 基準表面 21 と、隣接する上面および側面の接触検出を行い、第 1 基準表面 21 の中心位置の三次元座標と、基準ブロックゲージ 20 の延伸方向  $L_r$  の向きを取得する。

さらに、第 2 表面 12 側の測定用開口 31 を通してプローブ 46 を導入し、ステップゲージ 10 の第 2 表面 12 および基準ブロックゲージ 20 の第 2 基準表面 22 の測定を行い、第 2 表面 12 および第 2 基準表面 22 の中心位置の三次元座標を取得しておく。

#### 【0085】

ステップゲージ 10 および基準ブロックゲージ 20 の座標系決定（処理 S4）ができれば、ステップゲージ 10 および基準ブロックゲージ 20 の寸法の比較測定を行い、その際の温度を測定して記録しておく（処理 S5）。

具体的には、処理 S4 による座標系のもとで、第 1 表面 11 の中心位置と第 1 基準表面 21 の中心位置との距離、第 2 表面 12 の中心位置と第 2 基準表面 22 の中心位置との距離に基づいて、第 1 基準表面 21 と第 2 基準表面 22 との距離（基準ブロックゲージ 20 の長さ  $D_{rx}$ ）から計算を行うことで、第 1 表面 11 と第 2 表面 12 との距離（長さ  $D_x$  の正確な値）を比較測定することができる。

#### 【0086】

以上により、第 1 温度  $t_1$  での第 1 表面 11 と第 2 表面 12 との距離の比較測定ができれば、恒温槽 30 の内部温度を第 2 温度  $t_2$  に変更し（処理 S6）、前述した比較測定動作（処理 S3～S5）を繰り返す。

これらにより、第 1 温度  $t_1$  での長さ  $D_{x1}$  と、第 2 温度  $t_2$  での長さ  $D_{x2}$  とが得ら

10

20

30

40

50

れるので、ステップゲージ 10 の長さ  $D$  として、ステップゲージ 10 の第 1 表面 11 と第 2 表面 12 との間の区間の線膨張係数  $= [(D \times 1 - D \times 2) / D] / (t_1 - t_2)$  として計算することができる(処理 S7)。なお、長さ  $D$  は、測定した長さ  $D \times 1$ 、長さ  $D \times 2$  のいずれか、または平均値としてもよく、ステップゲージ 10 の公称長さであってもよく、いずれの場合も熱変形  $D = (D \times 1 - D \times 2)$  に対して十分大きいので線膨張係数の計算には影響するものではない。

#### 【0087】

〔第 1 実施形態の効果〕

このような本実施形態によれば、以下のような効果を得ることができる。

三次元測定機 40 を用いて測定対象物であるステップゲージ 10 の長さ測定を行うので、高価な光波干渉計を用いることなく、様々な長さのステップゲージ 10 の線膨張係数を、高精度に測定することができる。

10

#### 【0088】

さらに、本実施形態では、三次元測定機 40 を用いてステップゲージ 10 の長さを測定する際に、長さの基準として基準ブロックゲージ 20 を用い、この基準ブロックゲージ 20 に対する長さの比較測定を行う。このため、長さ測定の結果は、三次元測定機 40 のスケールの精度に依存せず、専ら基準ブロックゲージ 20 の精度に依存することになり、ステップゲージ 10 が長尺化しても高精度を確保できる。

#### 【0089】

本実施形態では、比較測定を行う際に、第 1 基準表面 21、第 2 基準表面 22、第 1 表面 11 および第 2 表面 12 の中心座標の計算と、基準ブロックゲージ 20 およびステップゲージ 10 の延伸方向  $L_r$ 、 $L_t$  に対する傾きの計算を含む座標系決定(図 11 の処理 S4)を行うようにした。

20

このため、基準ブロックゲージ 20 の第 1 基準表面 21 および第 2 基準表面 22、ステップゲージ 10 の第 1 表面 11 および第 2 表面 12 が、延伸方向  $L_r$ 、 $L_t$  に対して傾いた状態であっても、各表面におけるプローブ 46 の接触位置から中心座標までの距離と、各表面の傾きとから、三次元測定機 40 による検出位置を補正することができる。

そして、基準ブロックゲージ 20 およびステップゲージ 10 の現在の状態に即して各々の座標系を決定し、その座標系のもとで長さ測定を行うことで精度を高めることができ、比較測定の精度を高く維持することができる。

30

#### 【0090】

本実施形態では、ステップゲージ 10 の測定対象部位である第 1 表面 11 および第 2 表面 12 が測定用開口 31 側に配置され、同側に基準ブロックゲージ 20 が配置されることで、比較対象の第 1 基準表面 21 および第 2 基準表面 22 を第 1 表面 11 および第 2 表面 12 に近接して配置することができ、測定精度の向上とともに測定動作の効率化、迅速化を図ることができる。

#### 【0091】

本実施形態では、基準ブロックゲージ 20 の第 1 基準表面 21 から第 2 基準表面 22 までの長さ  $D_{rx}$  は、ステップゲージ 10 の第 1 表面 11 から第 2 表面 12 までの長さ  $D_x$  よりも、凸部 13 の 1 個分の長さ  $D_p$  だけ短く設定した。

40

このため、ステップゲージ 10 の測定用開口 31 側に基準ブロックゲージ 20 が配置されて、ステップゲージ 10 の表面が基準ブロックゲージ 20 で覆われても、第 1 表面 11 側の端部近傍では、基準ブロックゲージ 20 の長さが短い分、ステップゲージ 10 の表面が測定用開口 31 側に露出する。従って、前述した座標系決定にあたっては、この露出した表面に三次元測定機 40 のプローブ 46 を接触させることで、基準ブロックゲージ 20 と干渉することなく、ステップゲージ 10 の表面の検出を行うことができる。

#### 【0092】

本実施形態においては、第 2 基準表面 22 と第 2 表面 12 とを同一平面内に配置したので、前述のように基準ブロックゲージ 20 をステップゲージ 10 よりも所定長さ短くした際に、同一平面とした側とは反対側の端部(第 1 表面 11 と第 1 基準表面 21 の側)で、

50

基準ブロックゲージ 20 とステップゲージ 10 との長さの差が最大となり、三次元測定機 40 のプローブ 46 による表面検出を行う際の余裕を最大にすることができる。

【0093】

本実施形態では、測定対象物第 1 支持台 51 において、ステップゲージ 10 の側面との接触部 504 と押圧手段 505 との組み合わせが、延伸方向 Lt の変位を許容しつつ延伸方向 Lt に交差する 2 方向（高さ方向 Ht、幅方向 Wt）の変位を規制するため、この組み合わせによりキネマティックマウントの V 溝と球との組み合わせに相当する機能が得られる。その結果、測定対象物第 1 支持台 51 および測定対象物第 2 支持台 52 において、キネマティックマウントに相当する機能を得ることができ、延伸方向 Lt およびその交差方向に対する変位規制および回動規制を適切に行うことができる。

10

【0094】

本実施形態では、基準ゲージ第 1 支持台 61 および基準ゲージ第 2 支持台 62 で基準ゲージ支持台 60 を構成し、基準ブロックゲージ 20 の底面との間に、円錐穴と球との接触部 601、平面と球との接触部 602、V 溝と球との接触部 603 の 3 点を有するキネマティックマウントを構成することができ、延伸方向 Lr およびその交差方向（高さ方向 Hr、幅方向 Wr）に対する変位規制および回動規制を適切に行うことができる。

【0095】

本実施形態では、基準ブロックゲージ 20 を下向きに与圧する与圧手段 609 を設けたので、基準ブロックゲージ 20 が軽量である場合でも、下向きに与圧することで、基準ゲージ第 1 支持台 61 および基準ゲージ第 2 支持台 62 による支持を安定して行うことができる。

20

【0096】

なお、本実施形態は、ステップゲージ 10 の長さがより短い場合、あるいはステップゲージ 10 の中間部分の凸部 13 の間の長さを測定する場合にも、それぞれ対応することができる。

図 11 において、ステップゲージ 10 の中間部分の長さを設定する場合、一点鎖線で示すように、中間部分の凸部 13 に第 1 表面 11 を設定し、対応する長さの基準ブロックゲージ 20 を用いて第 1 基準表面 21 を設定し、プローブ 46 で各々の測定を行えばよい。この際、プローブ 46 を恒温槽 30 の内部に導入する際には、複数の測定用開口 31 のうち最寄りのものを用いればよい。

30

【0097】

〔第 2 実施形態〕

図 13 には、本発明の第 2 実施形態が示されている。

前述した第 1 実施形態では、基準ブロックゲージ 20 を基準ゲージ第 1 支持台 61 および基準ゲージ第 2 支持台 62 で支持する際に、円錐穴 619、V 溝 628 を基準ブロックゲージ 20 の下面に直接形成した。

【0098】

これに対し、第 2 実施形態では、図 13 に示すように、基準ブロックゲージ 20 に支持アダプタ 71、72 を装着し、各々の下面に円錐穴 619、V 溝 628 を形成する。

なお、第 2 実施形態の構成は、基準ブロックゲージ 20 の支持部分以外は前述した第 1 実施形態と同様であるので、重複する説明は省略し、以下には相違部分のみ説明する。

40

【0099】

支持アダプタ 71 は、基準ブロックゲージ 20 の基準ゲージ第 1 支持台 61 で支持される位置に設置される。支持アダプタ 71 は、支持板 711 と固定部材 712 とを有し、各々で基準ブロックゲージ 20 を挟み付けることで基準ブロックゲージ 20 に固定される。

支持アダプタ 72 は、基準ブロックゲージ 20 の基準ゲージ第 2 支持台 62 で支持される位置に設置される。支持アダプタ 72 は、支持板 721 と固定部材 722 とを有し、各々で基準ブロックゲージ 20 を挟み付けることで基準ブロックゲージ 20 に固定される。

【0100】

支持板 711 の下面には円錐穴 619 が形成され、支持板 711 の下面には V 溝 628

50

が形成されている。

これらを利用して、支持アダプタ 7 1 , 7 2 と基準ゲージ第 1 支持台 6 1 および基準ゲージ第 2 支持台 6 2 との間には、第 1 実施形態の基準ブロックゲージ 2 0 の下面 ( 図 9 参照 ) と同様に、円錐穴と球との接触部 6 0 1、平面と球との接触部 6 0 2、および V 溝との接触部 6 0 3 が形成されている。

#### 【 0 1 0 1 】

このような本実施形態では、基準ブロックゲージ 2 0 の下面に円錐穴 6 1 9、V 溝 6 2 8 を形成することなしに、前述した第 1 実施形態の各効果を得ることができる。

基準ブロックゲージ 2 0 の下面に円錐穴 6 1 9、V 溝 6 2 8 を形成する必要がないので、支持アダプタ 7 1 , 7 2 を共用することで、基準ブロックゲージ 2 0 として汎用のものを利用でき、様々な寸法への対応を容易に行うことができる。

10

#### 【 0 1 0 2 】

##### 〔 第 3 実施形態 〕

図 1 4 および図 1 5 には、本発明の第 3 実施形態が示されている。

前述した第 1 実施形態では、恒温槽 3 0 の上面にプローブ 4 6 を導入するための測定用開口 3 1 を形成し、恒温槽 3 0 の内部では、ステップゲージ 1 0 の上面側 ( 測定用開口 3 1 がある側 ) に凸部 1 3 を向け、かつ同側に基準ブロックゲージ 2 0 を平行に配置した。

#### 【 0 1 0 3 】

これに対し、第 3 実施形態では、図 1 4 および図 1 5 に示すように、恒温槽 3 0 A の側面にプローブ 4 6 を導入するための測定用開口 3 1 A を形成し、同側面に沿ってステップゲージ 1 0 を配置するとともに、同側面とステップゲージ 1 0 との間に基準ブロックゲージ 2 0 を平行に配置している。

20

このような本実施形態においても、前述した第 1 実施形態と同様な効果を得ることができる。

#### 【 0 1 0 4 】

##### 〔 第 4 実施形態 〕

図 1 6 および図 1 7 には、本発明の第 4 実施形態が示されている。

前述した第 1 実施形態では、測定対象物第 1 支持台 5 1 ( 図 5 参照 ) において、ステップゲージ 1 0 の下面との間に平面と球との接触部 5 0 2 を 2 つ形成し、ステップゲージ 1 0 を側面から挟むように押圧手段 5 0 5 および接触部 5 0 4 を形成していた。さらに、測定対象物第 2 支持台 5 2 ( 図 6 参照 ) では、ステップゲージ 1 0 の下面との間に円錐穴と球との接触部 5 0 1 を形成していた。

30

#### 【 0 1 0 5 】

これに対し、第 4 実施形態では、測定対象物第 1 支持台 5 1 A ( 図 1 6 参照 ) において、ステップゲージ 1 0 の下面との間に平面と球との接触部 5 0 2 および円錐穴と球との接触部 5 0 1 ( 円錐穴 5 1 9 ) を形成し、測定対象物第 2 支持台 5 2 A ( 図 1 7 参照 ) において、ステップゲージ 1 0 の下面との間に V 溝と球との接触部 5 0 3 ( V 溝 5 2 8 ) を形成している。

このような本実施形態においては、ステップゲージ 1 0 と測定対象物第 1 支持台 5 1 A および測定対象物第 2 支持台 5 2 A との間に、キネマティックマウントに相当する構成を形成することができる。

40

#### 【 0 1 0 6 】

なお、測定対象物第 1 支持台 5 1 A とステップゲージ 1 0 との間に円錐穴と球との接触部 5 0 1 を形成し、測定対象物第 2 支持台 5 2 A とステップゲージ 1 0 との間に平面と球との接触部 5 0 2 および V 溝と球との接触部 5 0 3 を形成してもよい。

#### 【 0 1 0 7 】

##### 〔 第 5 実施形態 〕

図 1 8 および図 1 9 には、本発明の第 5 実施形態が示されている。

前述した第 1 実施形態では、基準ゲージ第 1 支持台 6 1 ( 図 7 参照 ) において、基準ブロックゲージ 2 0 の下面との間に円錐穴と球との接触部 6 0 1 および平面と球との接触部

50

602を形成し、さらに、基準ゲージ第2支持台62(図8参照)において、基準ブロックゲージ20の下面との間にV溝と球との接触部603を形成していた。

【0108】

これに対し、第5実施形態では、基準ゲージ第1支持台61A(図18参照)において、基準ブロックゲージ20の下面との間に平面と球との接触部602を2つ形成し、基準ブロックゲージ20を側面から挟むように押圧手段605(ボール614、ボールホルダ615、圧縮コイルばね616)および接触部604(ボール614、ボールホルダ615)を形成している。さらに、基準ゲージ第2支持台62A(図19参照)では、基準ブロックゲージ20の下面との間に円錐穴と球との接触部601(円錐穴629)を形成している。

10

このような本実施形態においても、基準ブロックゲージ20と基準ゲージ第1支持台61Aおよび基準ゲージ第2支持台62Aとの間に、キネマティックマウントに相当する構成を形成することができる。

【0109】

なお、基準ゲージ第1支持台61Aと基準ブロックゲージ20との間にV溝と球との接触部603および平面と球との接触部602を形成し、基準ゲージ第2支持台62Aと基準ブロックゲージ20との間におよび円錐穴と球との接触部601を形成してもよい。

【0110】

〔変形例〕

本発明は、前述した各実施形態の構成に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲での変形などは本発明に含まれるものである。

20

例えば、各実施形態では、基準ゲージ第1支持台61、61Aおよび基準ゲージ第2支持台62、62Aにおいて、与圧手段609により、下面側における接触部601、602、603の接触が確実に維持されるようにしていた。

このような与圧手段609としては、圧縮コイルばね617、627を用いた機械的なものに限らず、流体圧や流体流れ、電磁気力などを利用した非接触の付勢手段などを用いてもよい。

さらに、基準ブロックゲージ20の重量が十分な重さであれば、与圧手段609は省略してもよい。

【0111】

30

前述した第1実施形態では、第1表面11から第2表面12までの長さD<sub>x</sub>をステップゲージ10の長さとして測定した。ただし、ステップゲージ10の両端面を第1表面11および第2表面12とすることで、ステップゲージ10の長さおよびその間の線膨張係数を測定できる。また、図10において説明した通り、第1表面11および第2表面12をステップゲージ10の中間部分の凸部13の端面などに設定することで、この中間部分の長さおよび線膨張係数を測定することもできる。

【0112】

前述した各実施形態では、ステップゲージ10を測定対象物としていたが、測定対象物としてはブロックゲージあるいは他の寸法基準器であってもよい。

また、基準ゲージとしては、基準ブロックゲージ20に限らず、専用の基準ゲージあるいは測定対象物と同様なステップゲージ10であって高精度に校正されたマスターゲージを用いてもよい。

40

この際、基準ゲージとしては、第1温度t<sub>1</sub>と第2温度t<sub>2</sub>との間の温度変化では精度上膨張を無視しうる極低膨張係数ないしゼロ膨張係数の材質から製造されたもの、または、膨張係数が既知である材質から製造されたもの、のいずれかであることが望ましい。

【0113】

前記実施形態では、基準ゲージである基準ブロックゲージ20の第2基準表面22と測定対象物であるステップゲージ10の第2表面12とを同一平面に揃えたが、第1基準表面21と第1表面11とを揃えてもよく、あるいは基準ゲージおよび測定対象物の両端を揃えない配置としてもよい。

50

ただし、いずれかの端部を揃えることにより、同一平面とした側とは反対側の端部で、基準ゲージと測定対象物との長さの差が最大となり、三次元測定機のプローブによる表面検出を行う際の余裕を最大にすることができる。

【産業上の利用可能性】

【0114】

本発明は、寸法基準器の線膨張係数測定方法および測定装置に利用できる。

【符号の説明】

【0115】

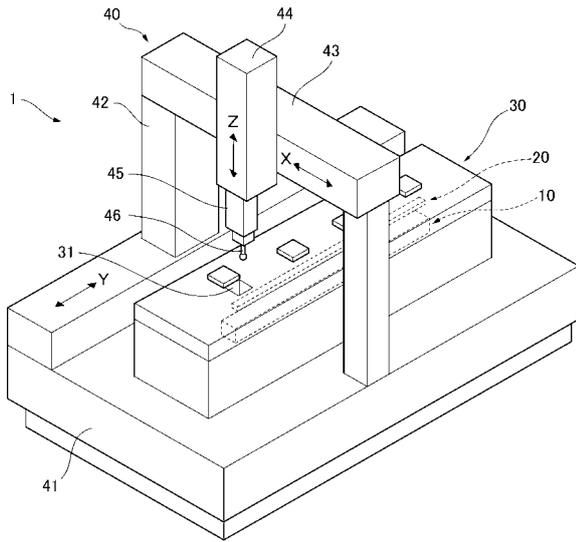
1 ... 線膨張係数測定装置、10 ... 測定対象物であるステップゲージ、11 ... 第1表面、12 ... 第2表面、13 ... 凸部、20 ... 基準ゲージである基準ブロックゲージ、21 ... 第1基準表面、22 ... 第2基準表面、30, 30A ... 恒温槽、31 ... 測定用開口、31A ... 測定用開口、32 ... 底板、40 ... 三次元測定機、41 ... 定盤、42 ... コラム、43 ... クロスバー、44 ... ヘッド、45 ... ラム、46 ... プローブ、50 ... 測定対象物支持台、501 ... 円錐穴と球との接触部、502 ... 平面と球との接触部、503 ... V溝と球との接触部、504 ... 平面と球との接触部、505 ... 押圧手段、51, 51A ... 測定対象物第1支持台、511 ... 基部、512 ... 起立部、513 ... 起立部、514 ... ボール、515 ... ボールホルダ、516 ... 圧縮コイルばね、519 ... 円錐穴、52, 52A ... 測定対象物第2支持台、521 ... 基部、522 ... 支持部、524 ... ボール、525 ... ボールホルダ、528 ... V溝、529 ... 円錐穴、60 ... 基準ゲージ支持台、601 ... 円錐穴と球との接触部、602 ... 平面と球との接触部、603 ... V溝と球との接触部、604 ... 平面と球との接触部、605 ... 押圧手段、609 ... 与圧手段、61, 61A ... 基準ゲージ第1支持台、610 ... 起立部、611 ... 基部、612 ... 支柱、614 ... ボール、615 ... ボールホルダ、616 ... 圧縮コイルばね、617 ... 圧縮コイルばね、619 ... 円錐穴、62, 62A ... 基準ゲージ第2支持台、620 ... 起立部、621 ... 基部、622 ... 支柱、624 ... ボール、625 ... ボールホルダ、628 ... V溝、629 ... 円錐穴、71, 72 ... 支持アダプタ、711, 721 ... 支持板、712, 722 ... 固定部材、Dx ... 測定対象物の長さ、Drx ... 基準ゲージの長さ、Hr ... 基準ゲージの高さ方向、Ht ... 測定対象物の高さ方向、Lr ... 基準ゲージの延伸方向、Lt ... 測定対象物の延伸方向、T ... 温度、t1 ... 第1温度、t2 ... 第2温度、To ... 基準温度、Wr ... 基準ゲージの幅方向、Wt ... 測定対象物の幅方向、... 線膨張係数、L ... 長さの変化量。

10

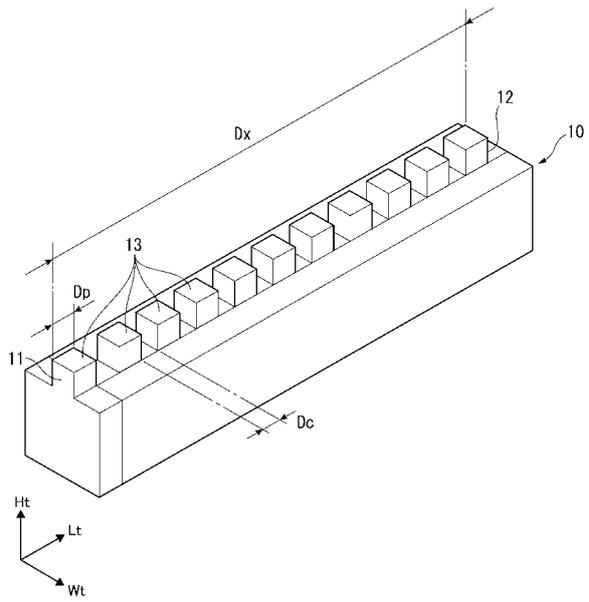
20

30

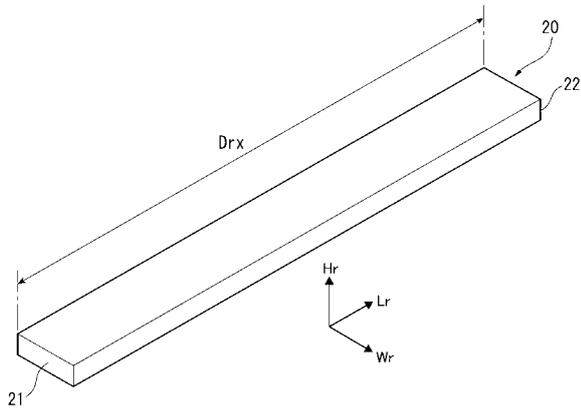
【 図 1 】



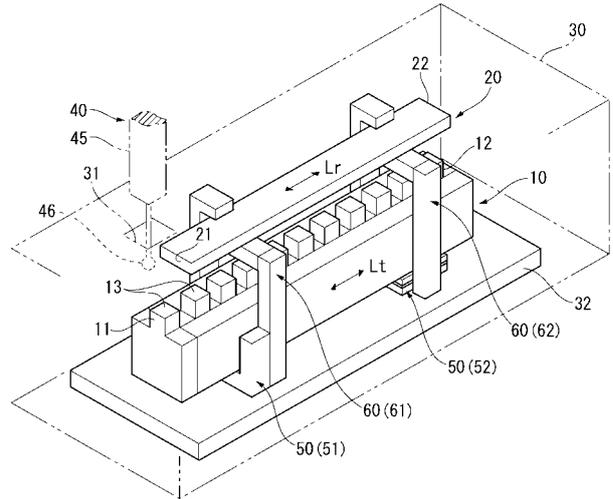
【 図 2 】



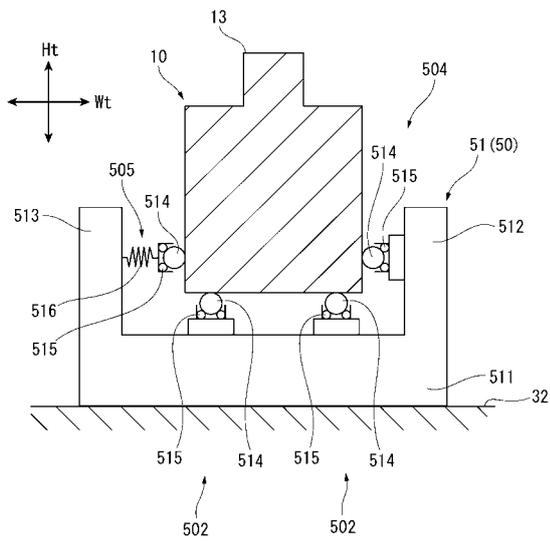
【 図 3 】



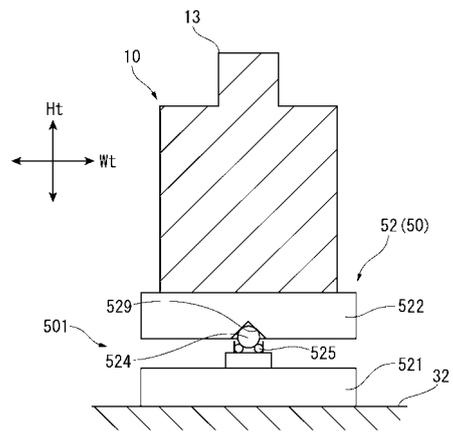
【 図 4 】



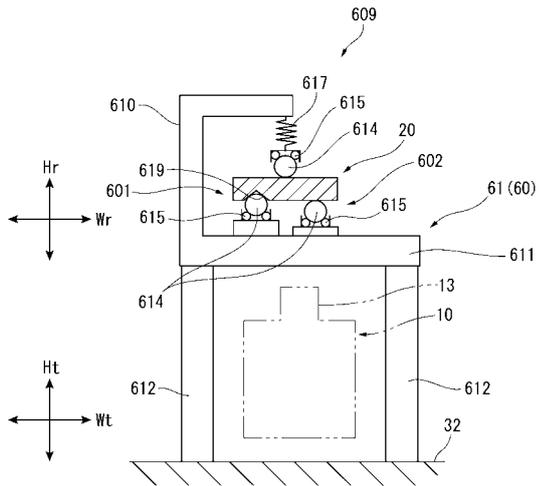
【 図 5 】



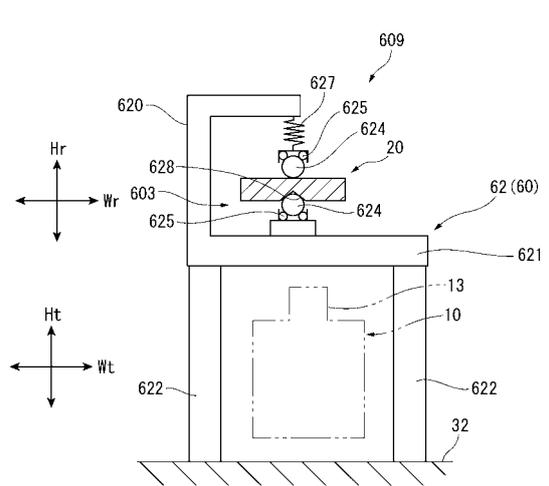
【 図 6 】



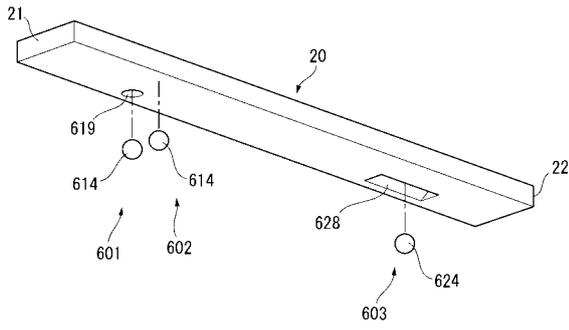
【 図 7 】



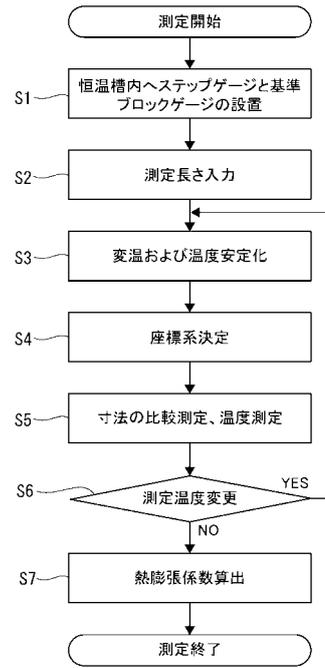
【 図 8 】



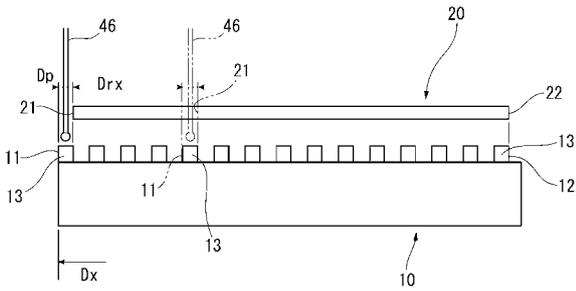
【図 9】



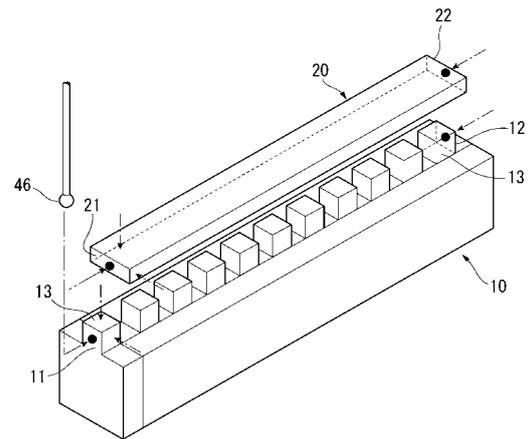
【図 10】



【図 11】

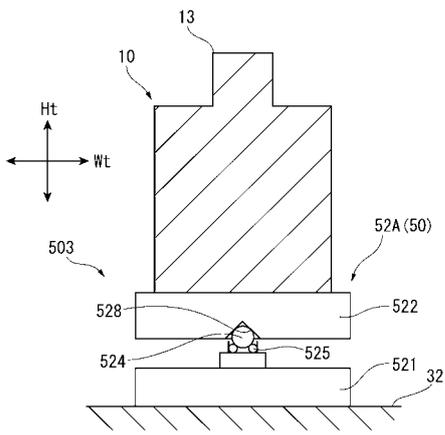


【図 12】

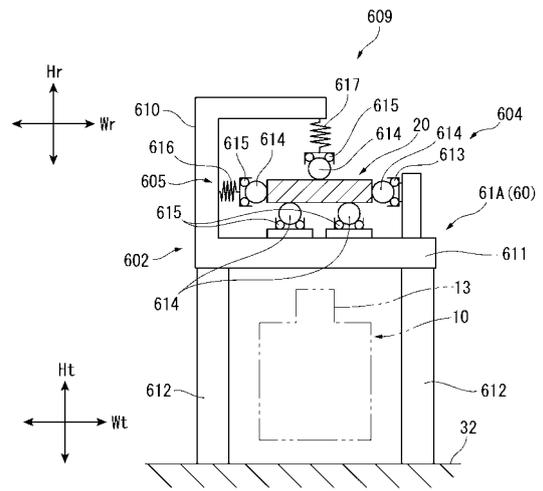




【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



【 図 1 9 】

