

# ガスレーザーによる干渉膨張計の自記化

岸 井 貢<sup>(1)</sup> 荻野直彦<sup>(2)</sup>  
 峯 岸 豊<sup>(2)</sup> 渡辺寿雄<sup>(2)</sup>

## Automatic Recording Interferometric Dilatometer Using Gas Laser

By Tôru KISHII, Eng. D.\*, Naohiko OGINO\*\*,  
 Yutaka MINEGISHI\*\* and Toshio WATANABE\*\*

Toshiba Research and Development Center\* and Glass Engineering Dept.\*\*,  
 Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd.

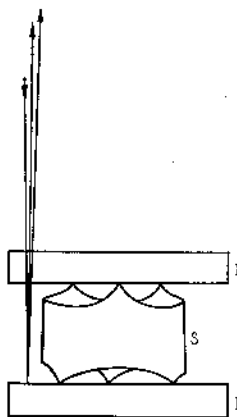
A conventional type of interferometric dilatometer was improved to be operative with intense, coherent and monochromatic beam of a 2-mW He-Ne gas laser. The beam was focused on an interference system composed of two interferometric plates held parallel by a sample. Narrow beams reflected from the respective plates interfered with each other, causing change in resultant intensity of the beams with the change of sample length by heating. The change of the beam intensity was easily measured by a solar cell, and thermal expansion curves of the samples were derived from simultaneous recording of the beam intensity and sample temperature.

The mechanisms of interfering were studied for some optical arrangements and for various sample lengths. An improved, simplified optical system was proposed by which interfering was possible for samples up to 10 cm in length.

Key words: Extensometers, Thermal expansion, Optical interference, Gas lasers, Helium neon lasers, Recording, Automation, Construction, Performance, Development

### 〔1〕 ま え が き

従来の干渉膨張計では試料の寸法、取扱上また精度などの点で不満足な点が多かったので、筆者らはこれらの点を改良するためのいろいろと実験をしてほしい満足する装置を開発することができたのでその経過と結果を報告する。



I: 干渉板  
 S: 試料

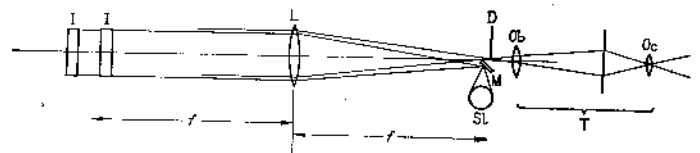
図1. 干渉部

Interfering system

### 〔2〕 干渉膨張計の概要

干渉膨張計は光波の干渉現象を利用して物体の熱膨張を測定する装置である。原理を図1に示す。

試料を適当な形に加工し、2枚の光学平板にはさんだときに試料に接して互いに相対する2面が平行になるようにする。これらの面に垂直に単色光束を投射すると、前記の2面からそれぞれ反射された二つの光束が互いに干渉する。すなわち、2面間の往復の距離が光の波長の整数倍であれば強めあい、半整数倍であれば弱め合う。試料の熱膨張に従い、反射光束の合成強度は強→弱→強の周期をくり返し、この1周期は試料の長さが半波長だけ変わったことに対応する。試料の温度と反射光束の強さを並行的に測定すると試料の熱膨張特性がわかる。



I: 干渉板  
 L: 主レンズ  
 M: 鏡  
 D: 絞り  
 SL: スペクトルランプ  
 T: 望遠鏡  
 Ob: 望遠鏡の対物レンズ  
 Oc: 望遠鏡の接眼レンズ  
 f: 主レンズの焦点距離

図2. 通常の干渉膨張計

Ordinary interferometric dilatometer

(1) 総合研究所 材料研究所 工務  
 (2) 電子技術部

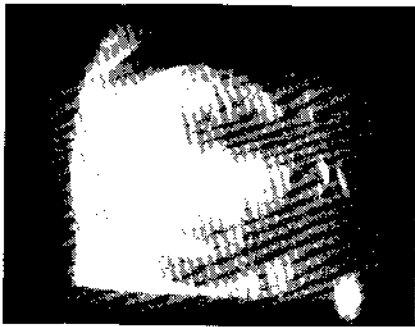


図 3. 輪形試料を使った場合の干渉像

Interference pattern of a ring-shaped sample

この方法は試料の膨張が光の波長の 1/20 程度の精度で確実に測定できる。したがって、試料は小形のものでよいので温度を均一にし、同時に正確に測ることが容易なことなどの理由で、精度のよい測定や小形試料の測定に適している。そのため、示差膨張計に使われる標準物質の熱膨張の測定、気密封着用細線の半径方向の膨張測定、プリント配線基板の厚さ方向の膨張測定など、他の方法ではむずかしい測定が実行できる。

図 2 はスペクトルランプを光源にした通常の形式の干渉膨張計の光学系である。小さい鏡を通過した散光がとつレンズ（以後、主とつレンズと呼ぶ）で、平行な光束となって干渉系にほぼ垂直に投射する。2 板の光学平面から反射した光束は干渉しながら逆行し、小さな絞りにへはいる。絞りの背後には望遠鏡があり、干渉の状況が観察される。光学平面は、一般にはわずかであるが互いに傾いているので、望遠鏡では干渉板間距離が半波長の整数倍である部分は明るく、半整数倍である部分は暗く見え、板間距離の等高線に相当する明暗のしま模様が見られる（図 3）。この模様は、望遠鏡の対物レンズの焦点面にもできている。試料の熱膨張に伴い、しま模様はほぼ平行に移動する。干渉面上の一定の点での明るさ変化を観察すると、試料が半波長だけ膨張したとき、しま模様は 1 周期だけ平行移動し、定点での明るさも明暗変化の 1 周期が進行する。

このような測定、観察をするために光学系は小さな鏡、干渉系、絞りのいずれもがとつレンズからその焦点距離にほぼ等しい距離にあるように組み立てられる。

干渉膨張計の光源として強力な単色性のよい光ビームを出すガスレーザーは都合がよい。市場にはこの種の装置が実際に見つけられる。われわれはガスレーザーの特性を生かした利用法をくふうし、また干渉現象について考察した。特に測定を自記化することを主目的とした。

〔3〕 通常の形式の膨張計への適用

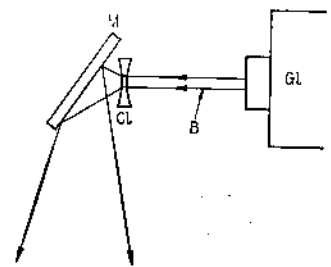
はじめに、スペクトルランプを光源とする図 2 のような干渉膨張計を自記化する方法を考える。望遠鏡の接眼レンズをはずし、対物レンズの焦点面に小さな絞りを置く。絞りを通過した光の強さは、試料の膨張に従って明暗の周期をくり返す。試料温度と光の強度とを 2 ペン記録計で並行に自動記録すれば、測定後に記録を整理して試料の膨張特性がわかる。

この方法では、一般にはスペクトルランプの輝度と全光量が少ないこと、小さな鏡と 2 個の絞りとによって三重に絞られ、光の利用率が極端に小さいこととによって測光は二次電子増倍管でなければ実際上不可能である。

スペクトルランプの代わりにガスレーザーを

図 4. ガスレーザービームを  
発散させる方法の一例

A method for spreading out laser beam



M: 鏡  
CL: おうレンズ  
GL: ガスレーザー  
B: レーザビーム

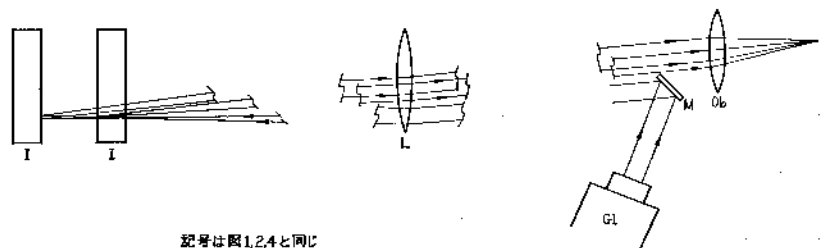
使ってみる。レーザーの細い平行ビームを補助レンズで発散光束に変え、小さな鏡を経て干渉膨張計へ入れる（図 4）。その他の光学系は図 2 と同じである。この方法では、レーザーの全出力が大きいこと、光量を実質的に制限する絞りは 2 個に減ることなどの理由で測光はかなり楽になる。

次にレーザービームを平行なまま小さな鏡を経て干渉膨張計に入れてみる（図 5）。ビームは主とつレンズによって干渉系の部分に焦点を結ぶ。干渉面から反射された二つの光束は、主とつレンズで平行光束にもどされ、望遠鏡の対物レンズによりその焦点面上の一点に投影される。小さな鏡の近くにある絞りは、反射された 2 本の平行ビームが細いため実質的な役割をもたない（取り除いてもさしつかえない）。そのため、レーザーから発した光は、光学系内で不必要な反射や透過のため弱められる（この効果は光源の種類によらず存在する）以外には、絞りによる損失なしに対物レンズの焦点面上の一点に集束し、ここで干渉現象を起こす。そして、干渉系内のレーザー光が集束した部分での間隔距離が半波長の整数倍ならば明るく、半整数倍ならば暗い。ここへ集まる光量は、前にした二つの場合と比べて比較にならないくらい強いので、測光は太陽電池で簡単にできる。試料を加熱しながら太陽電池出力と、熱電対出力とを並行記録した例を図 6 に示す。これには出力 2mW のヘリウムネオンガスレーザーを使った。

干渉膨張計内へレーザー光をそのまま入射させ、望遠鏡の接眼レンズを除いて太陽電池に取り換えると、通常の装置が簡単に自記化される。図 7 はこの測定装置である。図 8 は焼鈍されていないガラスの熱膨張を測定した例である。これを整理して、焼鈍されたもののデータとともにまとめると図 9 になる。

〔4〕 光学系の簡易化

レーザー光はコヒーレンシー（可干渉性）がよいので、二つの光束を使うと干渉現象がしばしば見られ、これは実験者が経験することである。図 5 を見ると、望遠鏡の対物レンズにはいる直前で二つのビームがほぼ平行に進行している。ここで干渉現象が見られると予



記号は図 1, 2, 4 と同じ

図 5. 干渉膨張計へ直接入射したレーザービームの経路

Path of laser beams which enter an interferometric dilatometer

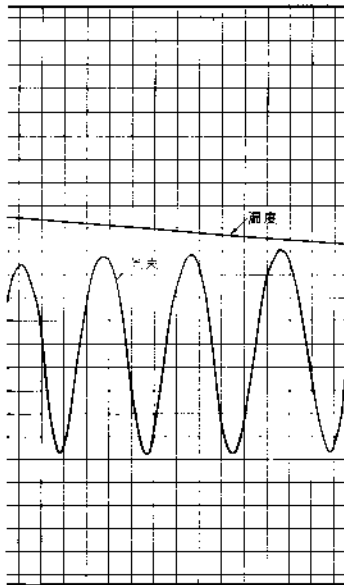


図 6. 通常の形式の干渉膨張計とガスレーザで自動的に得られた記録

Record obtained automatically by a gas laser and an ordinary type interferometric dilatometer

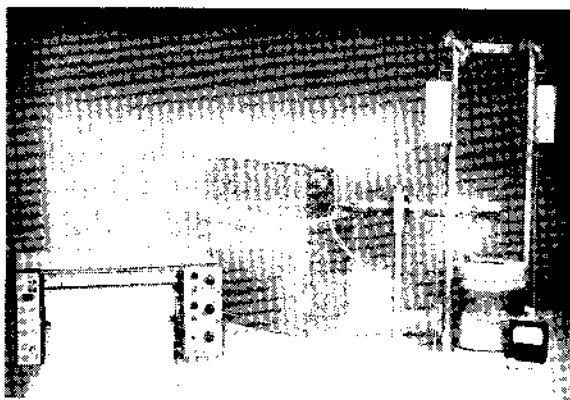
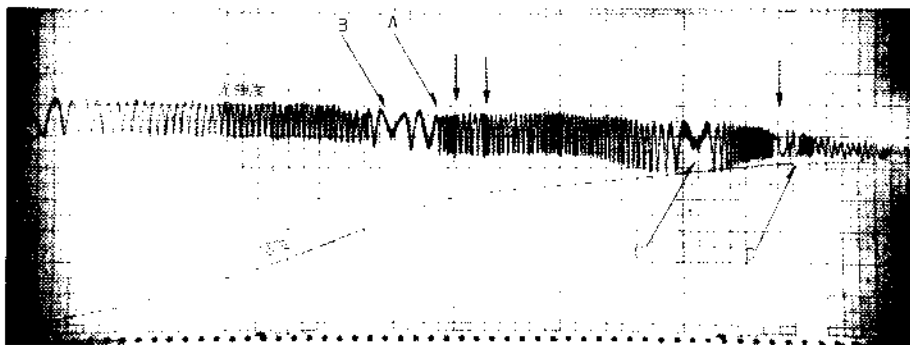
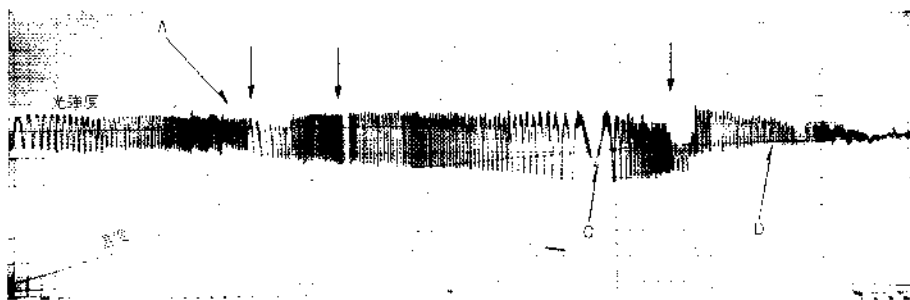


図 7. 電気炉、光学系、ガスレーザ、二筆記録計から成る自動干渉膨張計

Automatic recording dilatometer composed of an electric furnace, optical system, gas laser and a two-pen recorder



(a) 引放し状態



(b) 焼鈍後

矢印: チャート速度またはフルスケールレンジ変化  
A: ガラス転移点での膨張増加  
B: 転移点付近の膨張異常  
C: 軟化による起伏  
D: 軟化変形による干渉じまの不明確化

図 8. 鉛ほうけい酸ガラスの膨張測定記録

Records of thermal expansion measurement of lead borosilicate glass

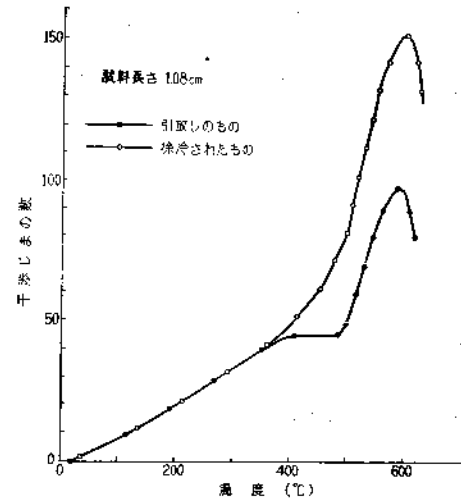


図 9. 図 8 の記録から得られたガラスの膨張曲線

Thermal expansion curves of a lead borosilicate glass derived from Fig. 8

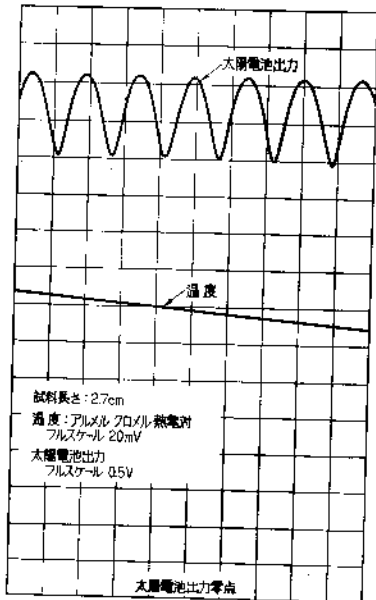
想される。対物レンズを除き、かわりに太陽電池を置くと試料の熱膨張に伴い出力の強弱のくり返しがある。図 10 は、試料の長さが 2.7cm および 4.3cm の場合の記録である。試料が長くなると、明暗のコントラストが弱まるが、4cm でも測定は容易である。

レーザビームを集束する主とつレンズを取り除いても、2本の反射ビームが同一箇所へ到達すれば干渉現象が見られるはずである。4.3cm の長さの試料で実験してみたところ、明暗のコントラストが悪くなり測定ができないことがわかった。これはおそらく原理的に不可能なのではなく、反射ビームを十分よく重ね合わせる事が試料が長いなどの理由でできなかったためと思われる。

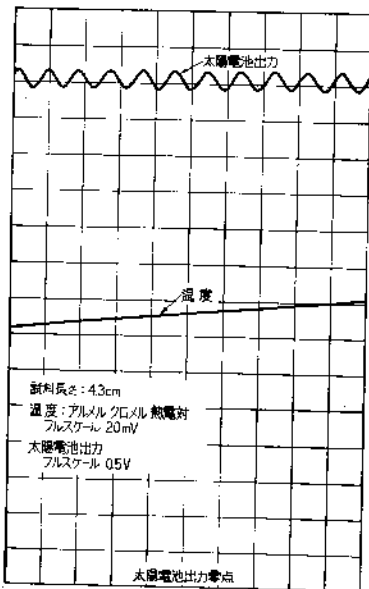
### 〔5〕 干渉のメカニズム

前章でしるした場合の干渉を考えてみよう。入射ビームは主とつレンズで干渉系部へ集束され、ついで干渉面で反射され、主とつレンズをふたたび通過して 2本の平行ビームになる。2枚の干渉面が十分平行ならば 2本のビームの重なりが比較的よく、この重なった部分に干渉が起こる。

図 11 のように、2本の反射ビームがその一部を互いに重ね合わされて進行する。干渉は重なり合った部分だけに生ずる。入射ビームとの位相差が波長の整数倍になる位置を点線で表わす。これらは空間的には反射ビームを進行方向にほぼ直角に切り、波長に等しい間隔で並ぶ断面群である。2本のビームの断面が切り



(a) 試料長さ 2.7 cm



(b) 試料長さ 4.3 cm

図 10. 望遠鏡の対物レンズを除いて得られた記録

Record obtained without objective lens of telescope

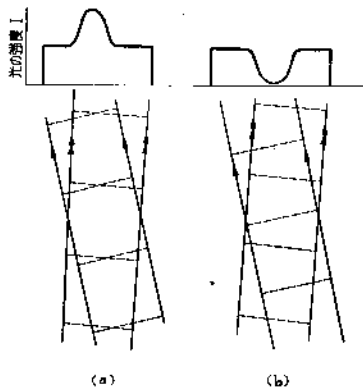


図 11. 重なりあうレーザービームの干渉

Interfering of two laser beams which overlap together

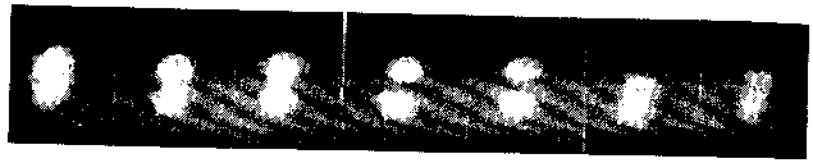
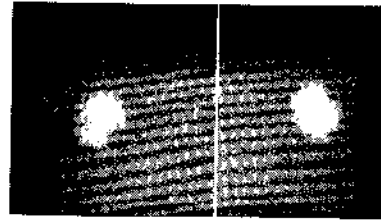


図 12. 試料の膨張に伴う反射ビーム内の光束分布の変化 (試料長さ 0.75 cm)

Change of light flux distribution in reflected beams with thermal expansion of a sample



(a) 試料長さ 4.7 cm (b) 試料長さ 11 cm

図 13. 反射ビーム内の光束分布

Light flux distribution in reflected beams

合う部分は明るく (図 11 (a)), 一方の断面が他方の断面の中間にくる部分は暗い (図 11 (b))。これらに対し、ビームが重ならない部分の明るさは一定で、測られた光の強弱に対するバックグラウンドになる。

試料の膨張にしたがい、一方のビームの断面群は光の進行方向に移動し、ビームの重なる部分では明るい筋と暗い筋とが次々と一方から他方へと動いてゆく。

図 12 は反射ビームをすりガラススクリーンに当て、ビーム内の明るさの分布の試料の膨張に伴う変化をみた例である。試料の長さが 5 cm 近くになるとコントラストは非常に悪くなるが、明暗は見える (図 13 (a))。長さが 11 cm ではコントラストは写真ではわかりにくい (図 13 (b))。

## 〔6〕 装置の簡易化と改良

干渉のメカニズムがわかれば、太陽電池出力の強弱のコントラストを顕著にし、あるいは長い試料でも測定できるように改良する手段がいくつも考えられる。

### 6.1 ピンホールを使う方法

太陽電池の前に暗い筋の幅に相当するくらいの直径をもつピンホールを置く。これは光の利用効率を下げるといふ不都合はあるが、レーザー出力が 2 mW あれば実際上問題はない。長さ 0.75 cm の試料でピンホールを使うことによって記録が明瞭になることは実際に確かめられた。図 14 はピンホールを使って長さ 4.3 cm および 11 cm の試料で記録した例である。

### 6.2 反射スポットを広げる方法

(1) 干渉系と主とつレンズとの距離をレンズの焦点から離すと反射ビームは広がる。したがって、反射ビーム中の明暗の筋が幅広くなるので、ピンホールがなくても記録のコントラストが比較的よい。太陽電池の感度さえ許せば、ピンホールを並用すると、コントラストはさらによくなる。この方法で反射ビーム中の明暗分布を観察した例を図 15 に示す。試料が長いほど明暗のしまの幅が狭く、コントラストが悪くなる。試料の膨張に伴いこの模様は平行移動する。

(2) 反射スポットを広げるのに補助のつまたはおうレンズを使ってもよい。この方法で、あるいはさらにピンホールを併用して明瞭な記録ができることを確かめた。

## 〔7〕 新形式自記干渉膨張計

以上の実験と考察とから、干渉膨張計の光学系を必要最小限の要素だけに簡素化することができる。レーザ出力が2mWあれば太陽電池にピンホールをかけてもさしつかえないので、コントラスト上昇のためピンホールを使うのが得策である。主とつレンズは、3章で述べたように原理的には必要がない。しかし、レーザビームを干渉面に垂直に投射するようにコリメーションするために便利なので残しておく。主とつレンズをビームに垂直に移動すると、ビームの干渉面への入射角度を連続的に変えられるからである。これは、レーザ装置の移動によるコリメーションより簡単である。最終的には図5から対物レンズObを除き、ピンホールを持つ太陽電池を置いた構成になる。ただし、この装置は自動記録専用であり、干渉じまの移動量を1周期以下まで正しく測るには通常の干渉膨張計でなければいけない。

図16は硬質鉛ガラスの焼鈍されていないものの記録例である。図8に比べて明暗のコントラストがよい。

## 〔8〕 ま と め

レーザ光を干渉膨張計に使うと、

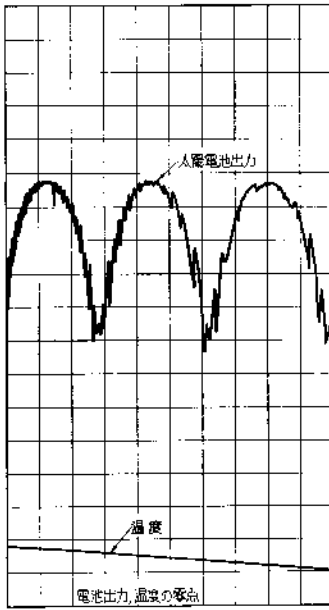
1. コリメーションのための光学系が省略または簡素化できる、
2. 干渉性がよいので長い試料でも測定できる、
3. 散乱光で光の通路が目に見えるので装置の軸出しがやさしい、
4. 光が強くて測光が楽である、
5. 輝度が高いから試料が赤熱または白熱状態でも測定できるなど多くの利点がある。

本報の方法によれば、レーザ光を発散光に変えないで利用しているのでこれらの利点がさらに顕著である。

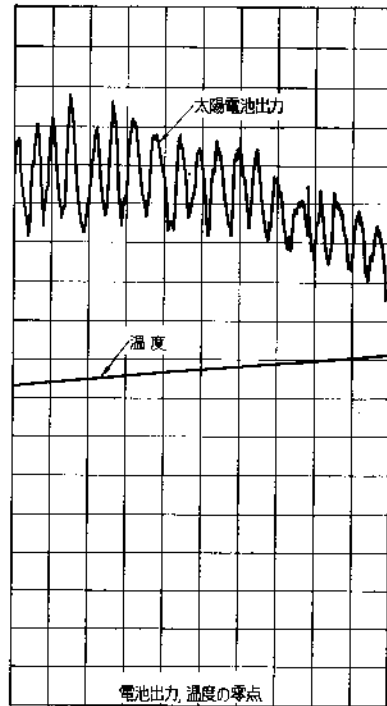
測定法の詳細については、本報ではすべて省略してあるので文献1)～(6)を参照していただきたい。

## 文 献

- (1) 岸井 貫：窯協, 72, 11-2, C756 (1964)
- (2) " : 干渉膨張計への合致法の応用, 東芝レビュー, 13, 1, pp.59~63 (昭33-1)
- (3) " : 窯協 68, 4, C128 (1960)
- (4) " : " 72, 11-2, C763 (1964)
- (5) " : ジュメット線の熱膨張, 東芝レビュー, 12, 3, pp.265~272 (昭32-2)
- (6) " : Trav. IV<sup>e</sup> Congès Intern. Verre, p.244 (1956)



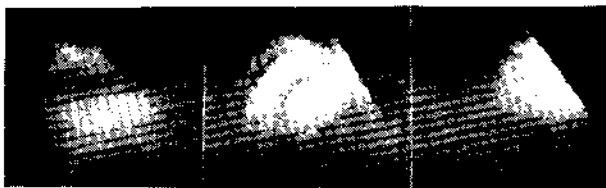
(a) 試料長さ 4.3cm



(b) 試料長さ 11cm

図14. ピンホールを使って得られた記録

Records obtained by using pinhole



(a) 試料長さ 0.75cm (b) 幅 4.3cm (c) 幅 11cm

図15. 拡大された反射ビーム中の光束分布

Light flux distribution in expanded reflection beams

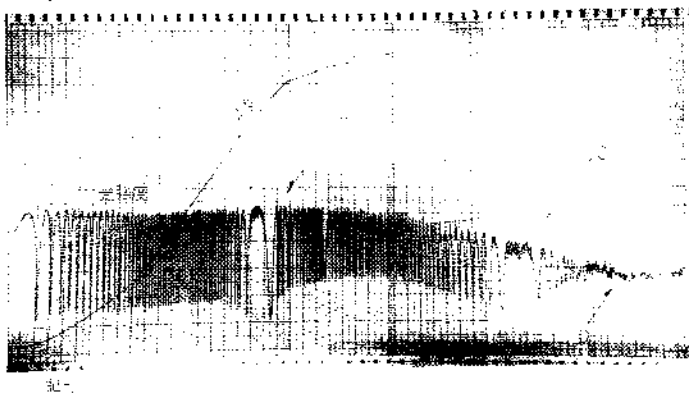


図16. 新形式干渉膨張計による未焼鈍ガラスの測定記録例

Record of thermal expansion measurement for quenched glass by new type interferometric dilatometer