

管球技術部技術報告第202号

発行 昭和30年9月10日

報告者 岸井 貞 所 属 硝子材料技術課

題 目 Interferometer method による硝子の熱膨脹係数測定

内容梗概

光の干渉を利用して熱膨脹係数の測定を行い、測定値の再現性も良く、又正確な測定値が得られるとの確信を持つ事の出来る測定法を決定する事が出来た。次に此の方法による測定値と、現用の示差膨脹計による測定値を比較し、示差膨脹計の正確度を検討した。又、米国 Corning 社の発表値とも比較した。更に本方法の応用として、各種の *sealing* 用金属の熱膨脹を測定する事が出来た。以上の事から、本方法が各種の目的に対し、有用な手段である事が判明した。

全ページ数 50

配布先

1. 管工業部長殿
2. 瀬藤専務殿—石川取締役殿—竹村室長殿
3. 倉石専務殿—山口部長殿
4. マ研 本城所長殿—合志室長殿
5. 特許部 井上部長殿
6. 中央図書館 三田館長殿
7. マ研 安部主任研究員殿—伊藤主任研究員殿
8. 塩川硝工場 菅工場長殿—杉谷副工場長殿—射和部長殿
9. 逆路工場 太尾工場長殿—二谷部長殿—田村課長殿
10. 小倉工場 小野塚工場長殿
11. 砂町工場 守田工場長殿—加瀬課長殿
12. 管球技術部 久野部長殿
13. " 中西副部長殿
14. " 岡崎副部長殿
15. " 上田課長殿
16. " 新庄課長殿
17. 報告者
18. 発行担当課（標準課） 19. 20. 21. 22. 23. Extra Copy

発行所 管球工業部 管球技術部長 久野 拓 治

(昭和30年9月10日受付)



本報告に関する諸権利は、総て東京芝浦電気株式会社に属する

東京芝浦電気株式会社 管球技術部

内 容 目 次

§ 1. 緒 言	1
§ 2. 実験の目的	1
§ 3. <i>Interferometer Method</i> の特徴	1
§ 4. 実験装置	1
§ 5. 試料の形状と調整の方法	3
§ 6. 光 源	4
§ 7. 温度の測定法とその精度	5
§ 8. 干渉縞の移動量の測定方法とその精度	6
§ 9. 試料の長さの測定法	6
a. <i>Screw Micrometer</i> による方法	6
b. 合致法による試料の長さの測定	8
1. 補助試料	8
2. <i>Screw Micrometer</i> の校正	8
3. 干渉縞の次数の小数点以下の読取法	10
4. 光の波長の補正	11
5. 計算の方法	11
6. 計算の方法についての説明	15
7. 計算の方法についての討論	16
c. 改良された合致法の測定 計算	17
§ 10. 熱膨脹係数の測定法	19
§ 11. 計 算	20
§ 12. 熱膨脹係数測定の精度	20
§ 13. 試料の形状が測定精度に及ぼす影響	21
a. 塔形試料	22
b. 角錐形試料	22
c. 輪形試料	24
d. 板形試料	24
e. 試料の形状についての討論	25
§ 14. 実測の場合の測定精度の検討	25
a. $\angle M$ -2 硝子標準管についての測定 I	26

§ 1. 緒 言

硝子の熱膨脹を、光の干渉を利用した膨脹計で測定する事を試み、充分な正確度で測定出来るようになった。以下にその結果を報告する。

§ 2. 実験の目的

本実験の目的は、現在硝子の熱膨脹係数測定に使用されている装置を、常に正確な測定値が得られる状態に係つ事であつて、その手段として、正確な値が得られると宣言出来る測定方法を決定し、此の方法により正確な膨脹係数が定められた標準試料を得て、他の膨脹計による標準試料の測定値と比較したいと考えたのである。

此の目的は、略完全に達する事が出来たが、同時に、此の方法を各種の目的に応用して、何れも良い結果が得られた。

§ 3. *Interferometer Method* の特徴

本実験の目的を達する方法として、*Interferometer Method* を選んだ理由は、次の通りである。

1. 試料の熱膨脹の大きさを、光の波長を基準にして測定しているため、*optical lever, dial indicator* 等を使用して、拡大指示させる方法に比べ、正確で精密である。
 2. 試料が比較的小さいため、試料の長さを精密に求める事が出来る。
 3. 試料が小さいため、試料の位置に於ける温度分布を、一様にする事が容易で、温度分布の外気の温度による変化を防げると同時に、試料の温度を正確に測定出来る。
 4. 示差膨脹計の様に、標準物質を必要とする事なく、逆に示差膨脹計に使用されている標準物質の熱膨脹を測定出来る。
- 以上の様な特徴を有つているため、必要な注意を拂つて測定すれば、熱膨脹係数の正確な値が測定されるものと予想される。

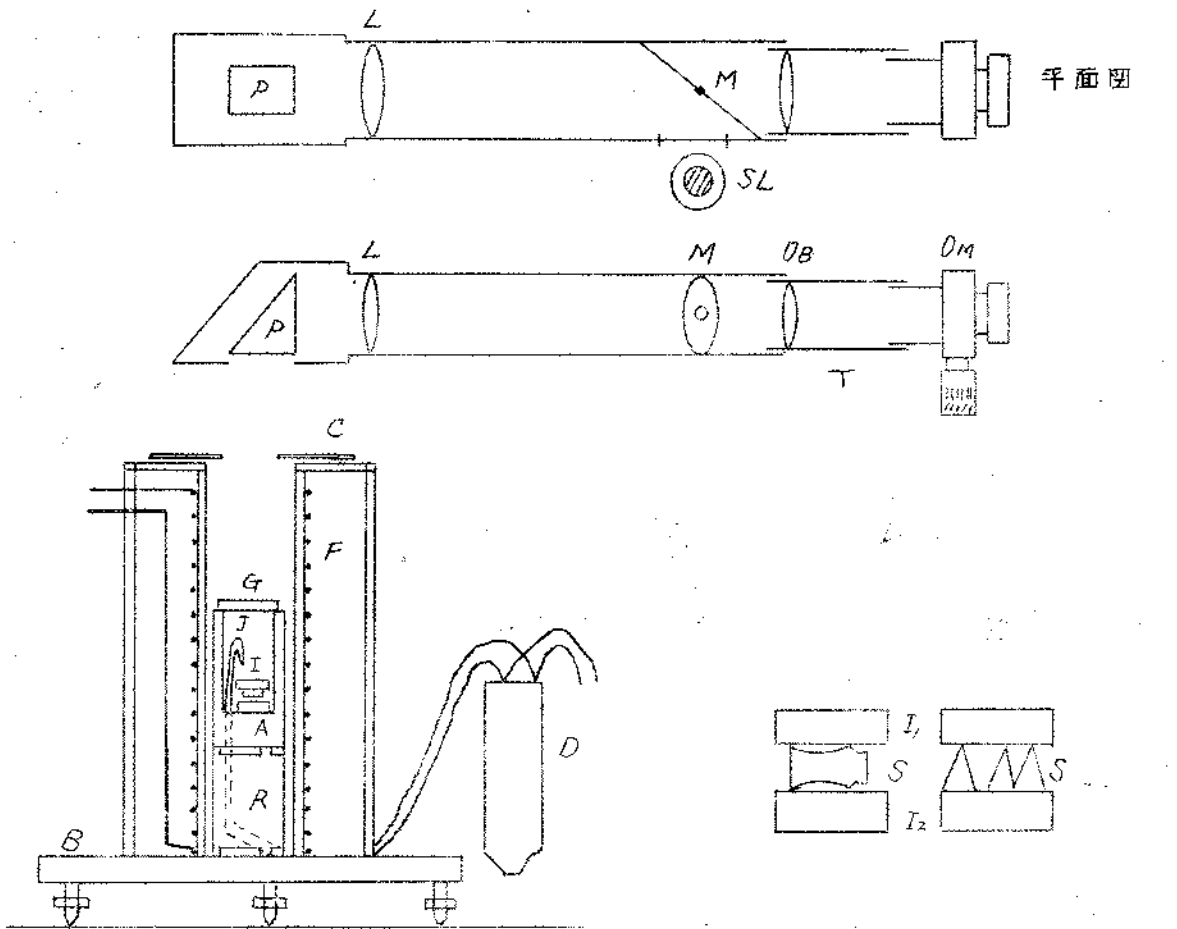
§ 4. 実験装置

Interferometer Method による熱膨脹係数の測定については、*National Bureau of Standard* の *Merritt, Saunders* 等⁽¹⁾⁽²⁾ による詳細な記述がある。我々の使用した装置、方法は略比等の論文のものと同様である。

Interferometer Method とは、二枚の平面硝子板の間に試料を挟み、試料の形を適当にする事により、二枚の平面硝子板の相対する二面を平行に近くして、此の二面の間に等厚の干渉⁽³⁾ を起させるものである。而して試料の熱膨脹につれて、二面の間の距離が変化し、干渉縞が移動するのを観察し、縞の移動量から試料の熱膨脹を算出する。

本実験の装置を *Fig. 1* に示す。

Fig. 1 実験装置



- | | | | | | |
|---|------------|---------------------------------|-----------|----|-----------------------|
| F | 電気炉 | SL | スペクトルランプ | B | 三脚台 |
| A | アルミニウムブロック | J | 熱電対 | T | 望遠鏡 |
| G | Terex板 | R | 耐火物製台 | Ob | 対物レンズ |
| P | 直角プリズム | C | アスベスト板カバー | Om | Ocular Micrometer X10 |
| L | 凸レンズ | D | Dewar 瓶 | S | 試料 |
| M | 平面鏡 | I ₁ , I ₂ | 平面干渉板 | | |

F ニクロム巻線のもので、熱絶縁を出来るだけ良好にした。
 A 直径 70^{mm} 、高さ 100^{mm} で、中に 40^{mm} の孔を明けて試料を入れるようにした。試料部分と熱電対の熱接点附近の温度分布を一樣にし、温度の測定を正確にするために使用した。
 G A 中の空気の対流を妨げるため、A を覆う。
 P 測定の便宜上、光を直角に曲げるためのものである。
 L $f=24^{cm}$ 光源からの光を平行光線にすると共に、等厚の干渉が、起るようになっている。
 SL 光源に利用したスペクトルランプ、本実験では、Na-ランプ、Hg-ラ

ンプ, Cd-ランプを使用した。

J Pt-Pt 13% Pt 熱電対

M 平面鏡で、SLの光をLの方向へ集めると共に、Iから反射した光を、その中央にある、鍍銀をはがして作った小孔から、Tの方へ送り、干渉縞を現出させる役目とする。

Ob $f=9cm$, 及び $5cm$ のもの。干渉縞の幅、明瞭度によつて、何れが適当なものを使用する。

R Aの熱電線を置くために使用する。

C 炉内の空気の対流を防げる。

I, J Terex 製のもの、及び板硝子製のもの二組を使用した。大きさは、Terex製のもの $25^{mm} \phi \times 5^{mm}$, 板硝子製のもの $30^{mm} \phi \times 7^{mm}$ である。平面度は、二面を合せた時、Newton Ring 二箇以内である。但し、Terex製のものは干渉縞が多々よるけるが、板硝子製のものは非常に平面度がきつである。

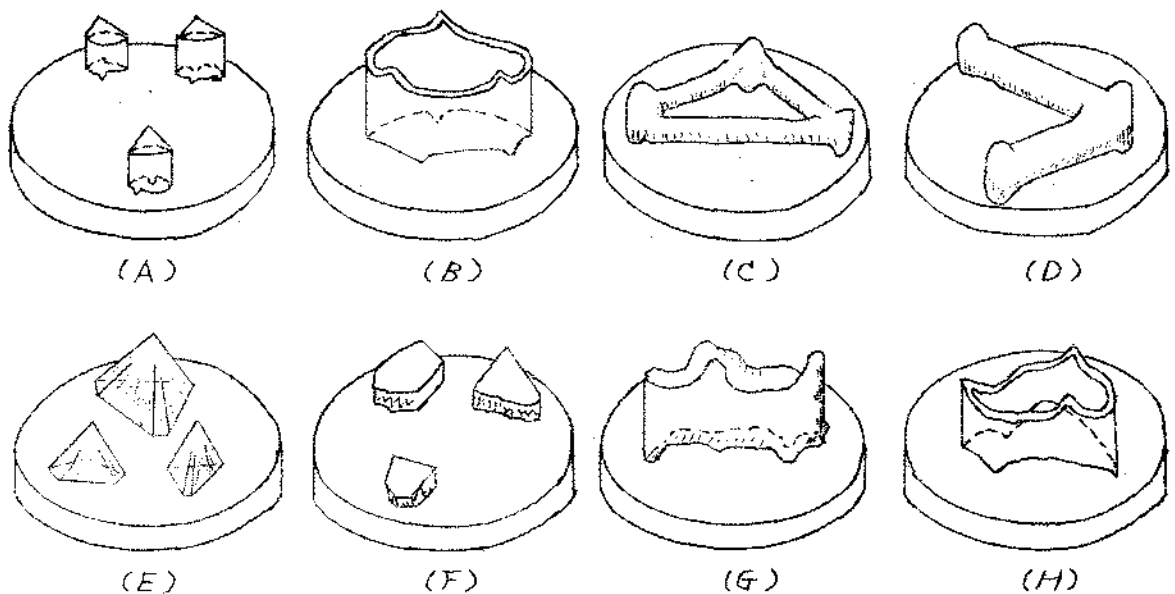
D 氷を入れた、Jの冷接点をOとに保つ、余分な水がたまらないように注意した。

その他、I-R-L, L-M-SL, L-M 間の距離は出来るだけLの燃費距離に等しくし、又、実験板、B, R, Aは夫々下のものに対し、安定な三尖接触をし、R, AはFの内面に接触しないようにしている。

5. 試料の形状と調整の方法

本実験を通じて、Fig. 2の如き形の試料を使用した。実験の目的と測定する試料により適当な形のものを用いる必要がある。

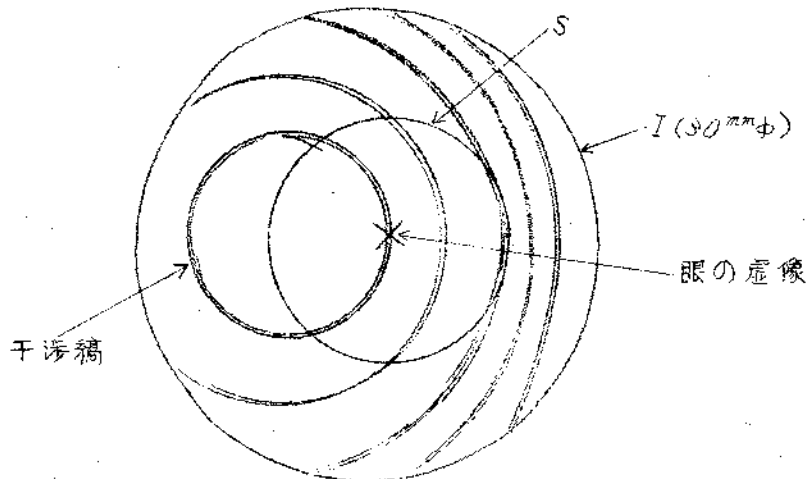
Fig. 2 試料の形状



荒摺により、大体の形を作った後、細かきアランダムを研磨剤として形を調整し、平面干渉板に挟んだ時、十分幅広い干渉縞が現出するようにする。

干渉板の平行度としては、干渉板と試料を set し、約 150° 上方から、等傾角干渉による干渉縞を観察した時に、干渉円群の中心が、眼から干渉平面に下した重線の定から、 2° 以内にあるようにした。

Fig. 5 等傾角干渉による干渉縞の状況



試料は調整後、 300°C に保った炉内に、 I, E と共に入れて set し、 I, S, E の表面に附着していると思われる、水分等の液膜を蒸散させ、炉が冷却してから測定を開始する。

§ 6 光源

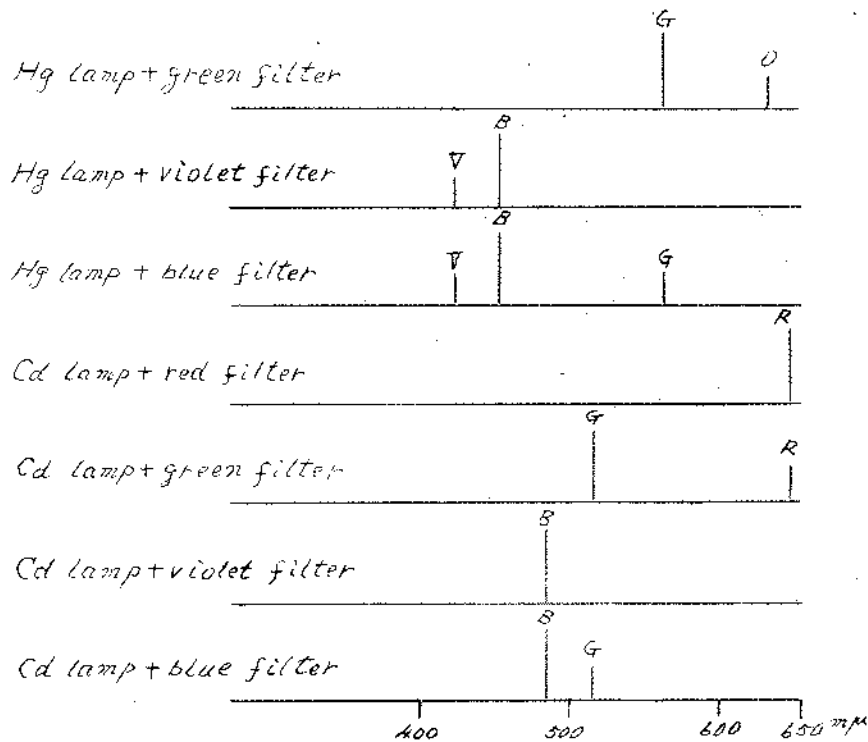
光源に使用したスペクトルランプから単色光を取出すには、適当なフィルターを使用した。

熱膨脹を測定するには、 Hg -ランプが好都合である。即ち、 Hg green line の強度が大きく、眼に対する感度も良いので、フィルターなしで green line が利用出来て、光の損失が少いからである。

Na-D line は明るくフィルターを要しないけれども、二重線であるために、試料の長さによっては、二つの干渉縞が重なり、不明瞭になる。又、波長が長いために干渉縞の振動量が小さくなる欠点がある。又、光の波長としては、 $\text{D}_2 \text{ line}$ の 5890\AA を使用するが、厳密に言えばこれから正又は負に乖れた値を使用しなければならない。この補正量の正負及び絶対値は、干渉縞の次数によるが、補正量は 0.01% 以下であるので、熱膨脹係数の測定に使用する場合は問題にならない。しかし目的によつては、即ち合致法による測定に利用する場合には、適当な考慮が必要である。

スペクトルランプ、スリット、凸レンズ、プリズム、ピンホールを配置して、簡単な分光計を作り、ピンホール上のスペクトル線各フィルターを通して見た時の、概略の強さを Fig. 6 に示す。Cd-ランプの赤、黄、藍線と、 Hg -ランプの青、藍線が取出されたものと見てよい。

Fig. 4 スペクトル光源と filter の組合せの特性



各々の光の波長を第1表に掲げる。

第1表

標準状態 (760^{mm} Hg, 15°C, dry air) に於ける波長

Cd Red	0.64384696 μ	Hg Green	0.5460740 μ
Cd Green	0.50858220 μ	Hg Blue	0.4358350 μ
Cd Blue	0.47999088 μ		
Na D ₁	0.5895923 μ		
Na D ₂	0.5889953 μ		

実用標準状態 (760^{mm} Hg, 20°C, H₂O 10^{mm} Hg) に於ける波長

Cd Red	0.64385033 μ	Cd Blue	0.47999893 μ
Cd Green	0.50858490 μ		

§7. 温度の測定法とその精度

熱電対の熱起電力を、低電圧電位差計と検流計を用いて測定した。検流計は熱起電力の変化 0.01 mV につき、ランプスケール上で 40^{mm} の振れを示す程度の感度がある。0.01 mV の熱起電力の変化は温度 1°C 乃至 1.5°C の変化に相当する。冷接点は 0°C に保つてある。

熱電対は、製造会社から受入れて以後、1000°C 以上の高温に曝された事のないものをきんで使用し、Pt-Pt 13% Rh 熱電対の標準起電力を正確に示すものとして、熱起電力から温度に換算し、其の他の補正は行っていない。

温度は 0.1°C まで読取る事が出来るが、温度分布、温度の時間的变化、熱接

受と試料との温度差等を考えると、 0.3°C まで正確と考えられる。

更に熱電対が、標準起電力を示さない、系統的誤差の原因となるが、 300°C 以下では高々 0.3°C 以内の狂いしかないので見てよい。

§ 8. 干渉縞の移動量の測定方法とその精度

干渉板以上の適当な目標となり得る物等を並べ、目標点とする。干渉縞の暗黒部を、座標が整数値である位置を考え、目標点の座標を定める。

Ocular Micrometer の十字線的一方を干渉縞と平行にして、目標点及び、其を挟む二つの縞の暗部を夫々合置させ、*Ocular Micrometer* の目盛輪の読みから、比例により目標点の座標の小数点以下を計算する。

Fig. 5 目標点の座標の小数点以下の読み方

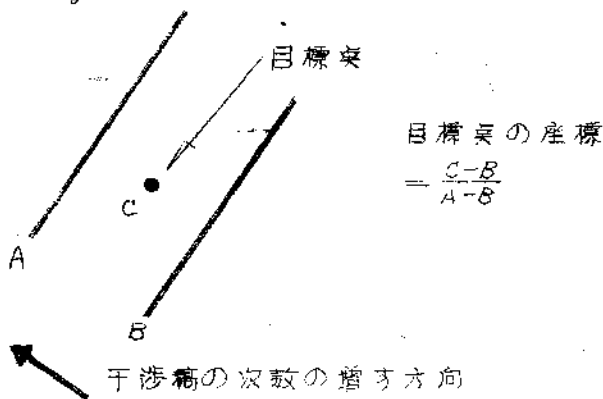


Fig. 5 の計算式の上辺と下辺は、互に独立な量でなく、或程度補償し合うために、 A, B, C の値に誤差があつても、計算値には誤差が累積する事はない、且つ $A-B$ は *Ocular Micrometer* の目盛輪の一廻転 (100 目盛) に相当する位の幅があるので、読み精度は十分高い。

実測の結果では、繰返し測定の場合の測定値のばらつきは、 ± 0.02 程度で、更に十字線と干渉縞との合致を判定する場合に起り得る、個人誤差。測定中に、干渉部分、或は干渉部分自身の熱膨脹のために移動し、目標点、*Ocular Micrometer* の視野内で移動する (実測の結果では 300°C 以下では 3 目盛以下) ための誤差等を考慮して、 ± 0.02 まで正確に定まると考えられる。

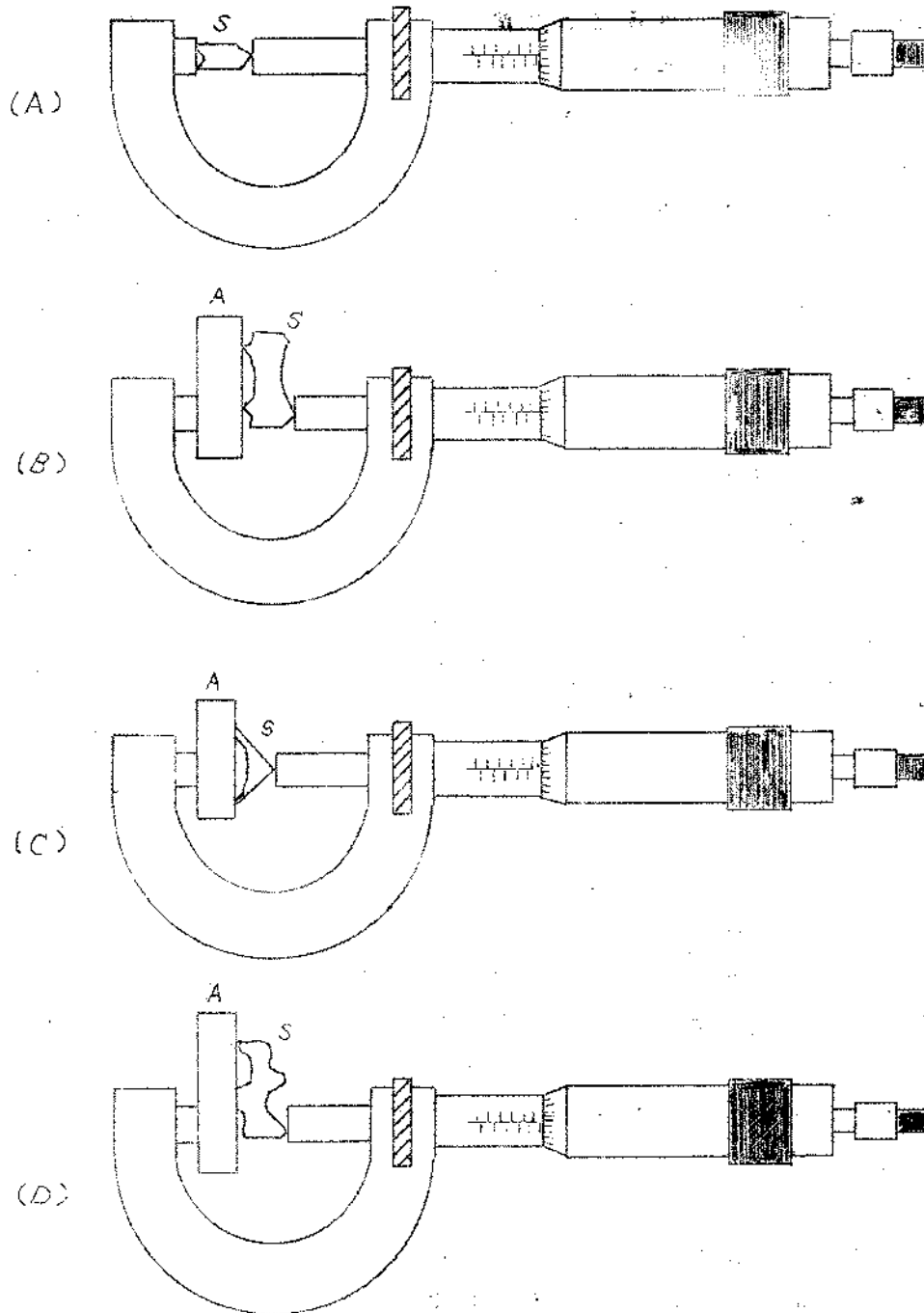
§ 9. 試料の長さの測定法

試料の長さの測定には、必要とする精度により二、三の方法を使い分けた。以下夫々について述べる。

a. *Screw Micrometer* による方法

測定方法を Fig. 6 に示す。S は試料、A は両面が平行な硝子板であつて、A の両面が定常干渉縞により、その屈折率は 3×10^{-4} radian 以下である事が判明して居る。*Screw Micrometer* の目定測定部が、スピンドルの軸とのなす角は、直角とは $1/1000$ radian 以下の差しかないので、此

Fig. 6 試料の長さの測定法



等が傾斜しているための測定誤差は 0.001% 以下で、問題となるのは、スピンドルの送りの誤差だけである。

故に (A) の場合は $\pm 0.01^{mm}$, (B) (C) (D) の場合は A と S とを組合せた時の測定値から、A だけの厚さの測定値を引いたものであるから、 $\pm 0.02^{mm}$ 以内の誤差で測定出来るものと見られる。

6. 合致法による試料の長さの測定

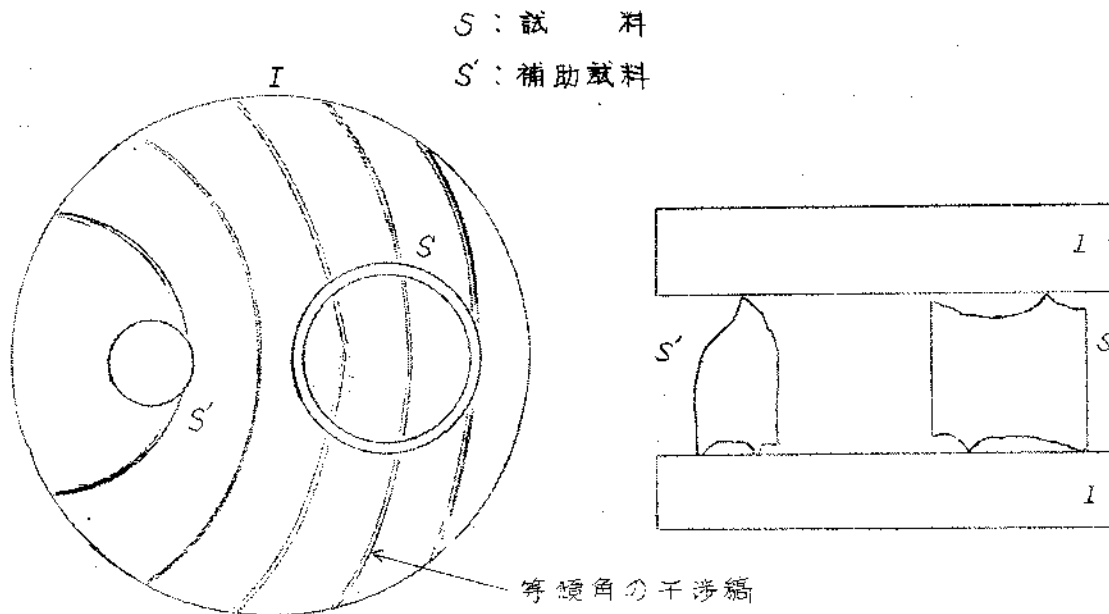
合致法とは、干渉縞を数個のスペクトル線を用いて観察し、目標値における干渉縞の次数の、小致実以下の部分の値を夫々測定し、その結果と、他方試料の大略の長さを知り、その附近に於ける干渉縞の様子を計算した結果とを比較して、合致する次数を探し出す方法である。

此の方法を行うためには、試料の長さを $\pm 0.03^{mm}$ 位の精度で知る必要がある。以下に述べる方法で、合致法を試みた。

7. 補助試料

試料を調整した後、その長さを精密に測定するために、補助試料を作製した。其の形及び本試料との長さの比較方法を Fig. 7 に示す。

Fig. 7 補助試料



補助試料は、直径約 5^{mm} の硝子棒を使用し、三脚と一頂桌を形成する。長さは本試料より僅か長くし、其の差を光の波長程度にすれば、補助試料の頂角と、本試料の二頂角で干渉板を支えた時、干渉縞が現れるようになる。其の場合、Fig. 6 (A) の方法によって補助試料の長さを測定すれば、本試料の長さとの差は *Screw Micrometer* の読取精度以下であるから、本試料の長さが測定された事になる。

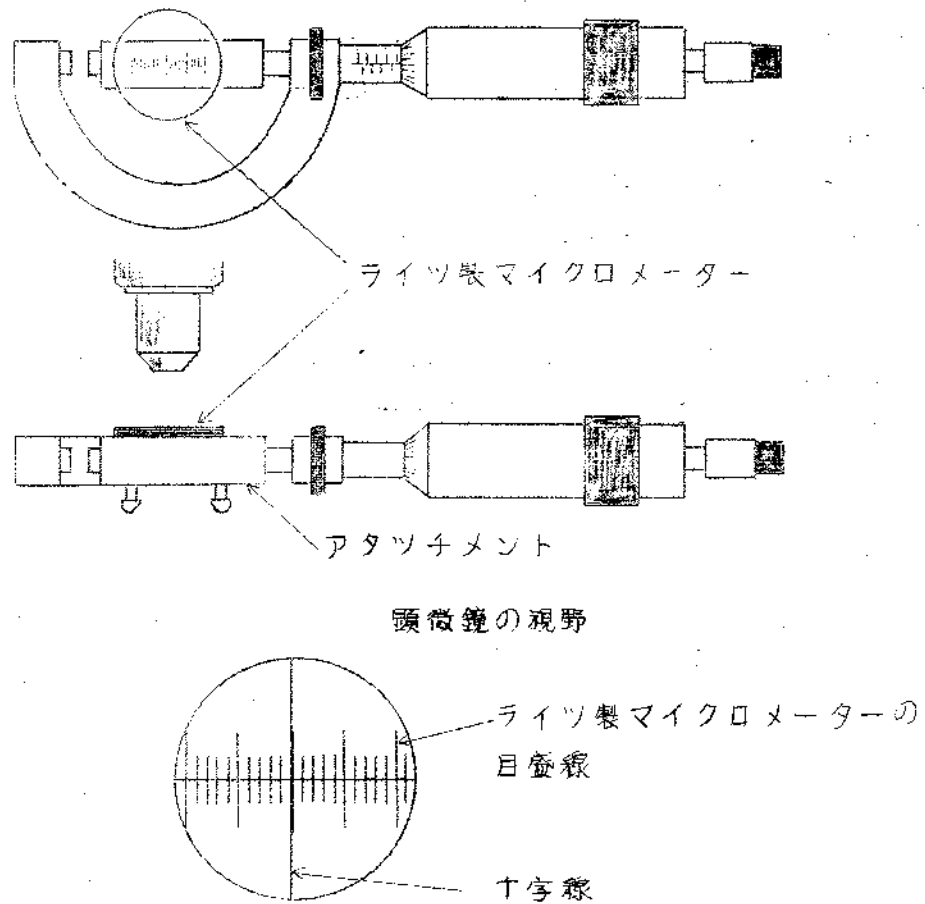
補助試料は *Micrometer* の測定圧に対して十分強く、*ratchet stop* を空転させて測定した時と、更に強く廻して測定した時とでは $0/100^{mm}$ 位の差しか示さなかった。尚此の測定を行うためには、本試料が、上下の干渉板と接する二組の三個の接点で、上下交互に配置されている必要がある。即ち、Fig. 2 の (G) 又は (H) の形でなければならぬ。

8. *Screw Micrometer* の校正

補助試料の長さの測定に使用した *Screw Micrometer* の精度を次のよ

うにして調査した。Fig. 8 のように、ライツ製 *Micrometer* (全長 5^{mm} , $5/100^{mm}$ 目盛) を、*Screw Micrometer* のスピンドルに取付け、目盛の方向を

Fig. 8 *Screw Micrometer* の校正



スピンドルの軸と出来るだけ平行にする。顕微鏡 ($\times 100$) の焦点を、ライツ製 *Micrometer* の目盛線に合せ、顕微鏡の十字線と、*Micrometer* の目盛線の一つとを合致させる。此のままスピンドルを一回転させると、十字線は、先の目盛線から $50/100^{mm}$ 離れた目盛線と、合致する筈である。此の様にスピンドルを廻転させては、十字線と、*Micrometer* の目盛を合致させ、此の時の *Screw Micrometer* の読みを記録すれば、*Screw Micrometer* の誤差の様子が判明する。十字線とライツ製 *Micrometer* の目盛との合致は、*Screw Micrometer* の目盛で $\pm 3/100^{mm}$ の精度で判定出来る。結果は第 2 表

第 2 表 *Screw Micrometer* の校正結果

Screw Micrometer の読み

15.056^{mm}	} 三廻転	10.539^{mm}	} 三廻転	5.529^{mm}	} 三廻転
13.555^{mm}		9.038^{mm}		4.030^{mm}	
12.555^{mm}	} 二廻転	7.538^{mm}	} 二廻転	2.532^{mm}	} 二廻転
11.056^{mm}		6.537^{mm}		1.532^{mm}	
10.555^{mm}	} 一廻転	5.536^{mm}	} 二廻転	0.531^{mm}	} 二廻転

表の通りである。

此の結果から見ると、Screw Micrometer の差りの誤差は、此の方法では検知出来ない位の量であつて、 $0\sim 15^{mm}$ の範囲に於て、 $1/100^{mm}$ までは十分信頼出来る。

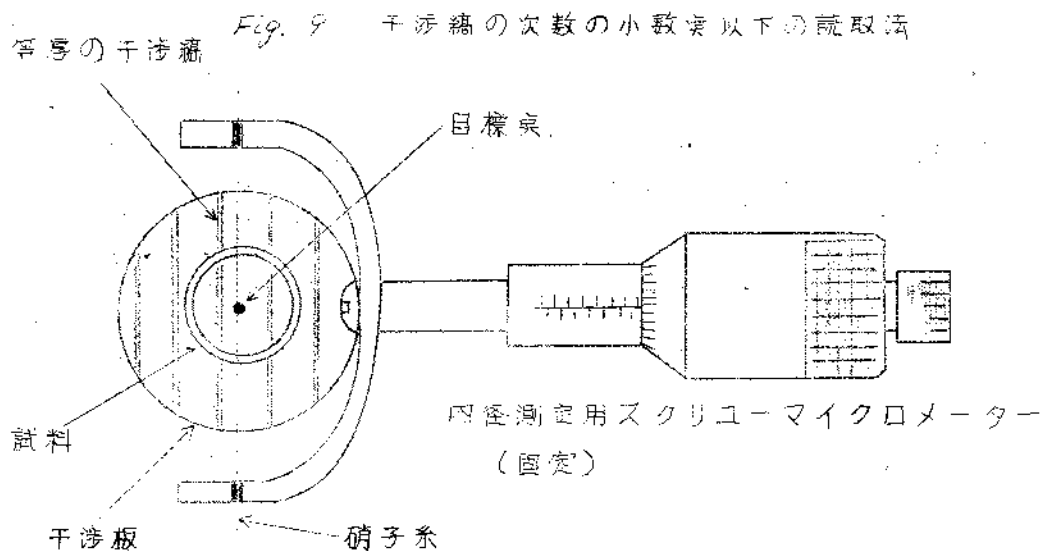
次に Screw Micrometer のスピンドルとアソウイルの両測定面を、良く油で拭き、両測定面を密着させて、顕微鏡で検査したが、方向によつては $5/1000^{mm}$ 以下の gap があるように見えた所がある。殆ど此の二つの原因による誤差は、 $15/1000^{mm}$ より小さく、Screw Micrometer による試料の長さの測定は、 $\pm 0.02^{mm}$ まで正確に行う事が出来る。

5. 干渉縞の次数の小数点以下の読取法

Saunders が試料の長さを合致法で測定した例がある^(*)然し彼の方法に従つて行うには、装置の製作と調整が、非常に精密に行われている必要があり我々には不適當であるので、次の方法を行つた。

Fig. 9 の装置から、望遠鏡 T を除き、M の後にフィルソーを置き、更に眼を置いて、M の孔から直接干渉縞を観察する。

干渉部分の上に、内径測定用 screw micrometer を置き、其のスピンドルに細い硝子糸 (0.05^{mm} 径位) を付け、スピンドルを進退させる事によつて、硝子糸を干渉縞及び目標線と一致させ、其の時の screw micrometer の読みから求め、及び Fig. 5 に示したと同様の方法で、目標線の座標を算出する。



硝子糸と、目標線及び干渉縞とが一致した事を判定出来る精度は $1/100^{mm}$ 位であつた。但し暗い光では、誤差が少し大きくなる。干渉縞の間隔は、 $2\sim 3^{mm}$ であるので、測定精度は ± 0.02 位である。其の他、干渉縞と硝子糸との合致を判定する場合の個人誤差を考慮して、 ± 0.04 と見てよいと思われる。

測定中に空気が変化して、試料が熱膨脹をすると、干渉縞が移動して誤

差を生ずるので、測定は、HgB-HgG-NaD-CdR-CdG-CdB-HgG の順序で行い、HgGによる差が、始めと終りで0.05以上の差がない事を確かめた。但し0.05位変化している場合は、測定順序により適当に補正した値を、夫々採用した。

4. 光の波長の補正

光の波長の温度変化を補正するには、次の式を利用した。

$$(N-1) \times 10^6 = \left(288.02 + \frac{1.678}{\lambda^2} + \frac{0.0316}{\lambda^4} \right) \frac{h(1+Bh)}{760(1+760B)} \times \frac{1}{1+0.003716\theta} \quad (1)$$

N: 空気の屈折率

λ: 標準状態 (760 mmHg, 15°C) に於ける光の波長 単位 μ

h: 気圧 単位 mmHg

θ: 水素温度計による湿度

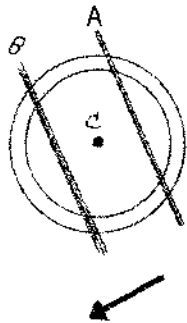
B: 2.4 × 10⁻⁵ なる常数

干渉板附近の湿度を、湿度計で測り、光の波長を補正した。気圧は測定していないので、気圧による変化は無視した。

5. 計算の方法

測定と計算の一例を、第3表と第4表に掲げた。

第3表 合致法の測定の例 (A)



干渉縞の次数
の増す方向

A, B: 干渉縞
C: 目標点

$$F = \frac{C-A}{B-A}$$

$$D = \frac{B-A^{(mm)}}{\lambda(\mu)}$$

Hg Blue line

A	21.45 ^{mm}	21.39
C	19.58	19.59
B	19.30	19.36
F	0.87	0.89 平均 0.88
D	4.95	4.75

Hg Green line

A	22.00	22.03
C	19.60	19.61
B	19.45	19.42
F	0.94	0.93 平均 0.93
D	4.70	4.75

Na D line

A	21.83	21.86
C	19.59	19.59
B	19.25	19.19
F	0.87	0.85 平均 0.86
D	4.35	4.35

Cd Red line

A	20.84	20.78
C	19.60	19.61
B	17.71	17.68
F	0.40	0.38 平均 0.39
D	4.85	4.80

Cd Green line

A	20.86	20.93
C	19.58	19.61
B	18.54	18.55
F	0.55	0.55 平均 0.55
D	4.35	4.70

Cd Blue line

A	19.92	19.90
C	19.61	19.60
B	17.75	17.70
F	0.14	0.14 平均 0.14
D	4.50	4.60

Hg Green line

A	22.03	22.04
C	19.60	19.59
B	19.49	19.50
F	0.96	0.96 平均 0.96
D	4.65	4.65

第 4 表 合致法の計算例 (A-1)

補助試料の長さ 2.244mm 管径 300 μ 光の半波長 単位 μ

目標受の庄徴
 Cd Red により 0.57 Hg Green により 0.38 Cd Red 0.2790404454
 Cd Green " 0.94 Hg Blue " 0.35 Cd Green 0.2594294175 Hg Blue 0.2179206489
 Cd Blue " 0.39 Na D 0.28 Cd Blue 0.239993908 Na D 0.2948004098
 Na D 0.28

試料番号	CdR	CdG	CdB	HgG	HgB	NaD ₂	NaD ₁	NaD ₂	NaD ₁	NaD ₂	NaD ₁	NaD ₂	NaD ₁	NaD ₂	NaD ₁	NaD ₂	NaD ₁	NaD ₂
22390667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22394667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22406667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22412667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22428667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22439667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22455667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22466667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22478667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22490667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22511667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22523667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22535667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22548667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22556667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22562667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22579667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22590667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38
22601667	0.57	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38	0.35	0.38

試料の長さ 2.262267mm $\pm 0.001^{mm}$

補助試料の長さの、Screw Micrometer による測定値を中心として、 $\pm 1/100^{mm}$ の範囲を検討している。

第3表第一列は、Cd R line による干渉縞の次数の小数点以下の部分があるもの、 0.67 であるものを列挙した。第二列はその長さにおける Cd G line の干渉縞の次数の小数点以下の部分を示している。以下、Cd B, Hg G, Hg B, Na D₂, Na D₁ についても同様である。(簡単のために、Cd G による値が $0.79 \sim 0.09$ で、Hg G による値が $0.24 \sim 0.54$ であるものだけを取出してある。)

此等の中から、次の条件に合致しないものを除く。即ち

- (1) Cd G による値の、測定値と計算値との差が 0.15 以内である事。(計算値が $0.79 \sim 0.09$ である事、以下のものについても同様である)
- (2) Hg G による値の、測定値と計算値の差が 0.15 以内である事、
- (3) Cd G による値と、Hg G による値との相対関係が、測定値と計算値で、 0.15 以内の差で一致している事。(Cd G による値の計算値が、Hg G による値の計算値よりも、 $0.41 \sim 0.71$ だけ大きい事、以下のものについても同様である。)
- (4) Cd B による値の、測定値と計算値との差が、 0.23 以内である事。
- (5) Hg B による値の、測定値と計算値との差が、 0.23 以内である事。
- (6) Cd G による値と、Cd B による値との相対関係が、測定値と計算値で、 0.23 以内の差で、一致している事。
- (7) Hg G による値と、Hg B による値との相対関係が、測定値と計算値で、 0.23 以内の差で、一致している事。
- (8) Cd G による値と、Hg B による値との相対関係が、測定値と計算値で、 0.23 以内の差で、一致している事。
- (9) Hg G による値と、Cd B による値との相対関係が、測定値と計算値で、 0.23 以内の差で一致している事。
- (10) Cd B による値と、Hg B による値との相対関係が、測定値と計算値で、 0.30 以内の差で一致している事。
- (11) Na D line による値の、測定値と計算値との差が、 0.15 以内である事。(Na D による値の計算値としては Na D₂ による値の計算値から、やや Na D₁ による値の方へ近づけたものとする。此の場合には、Na D₂ の計算値に out を加える。此の値は Na D₂ と Na D₁ との強度比が $2:1$ であるとして、計算したものである。)

以上の条件に合致しないものを除くと、最後に、Cd R line による縞の次数が、 22522.67 である長さが残った。即ち、試料の長さは 22507^{mm} である事が判った。

此の結果の、繰返し測定の場合の再現性を示す一例として、第4表を掲げる。同一試料について測定したが、測定値と計算値が一致する所が、一つ以上残り、縞の次数が、唯一には定まらなかった場合である。第4表で

第5表 合成波長の計算の例 (A-2)

補助材料の長さ
 光源
 単位A
 Cd Red 0.2219281318 Hg Green 0.2730609454
 Cd Green 0.254294775 Hg Blue 0.2179206489
 Cd Blue 0.239998908 Na D1 0.2943004095
 Na D2 0.2943019055

目録	長さ	光源	単位A	D	G	Cd B	Hg B	B	Cd G	Hg G	Cd B	Hg B	Cd G	Hg G
22421.39	.68	.46	.87	.50	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22432.39	.60	.21	.84	.75	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22439.39	.47	.60	.10	.09	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22443.39	.53	.97	.91	.00	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22466.39	.65	.82	.93	.98	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22477.39	.57	.57	.90	.23	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22485.39	.50	.32	.87	.48	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22499.39	.42	.08	.84	.70	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22500.39	.69	.43	.61	.20	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22511.39	.61	.18	.98	.46	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22522.39	.54	.94	.95	.91	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22533.39	.46	.69	.92	.96	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22556.39	.58	.54	.64	.93	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22567.39	.50	.30	.61	.8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22578.39	.43	.06	.98	.43	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22594.39	.68	.52	.84	.61	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22604.39	.54	.91	.69	.41	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22615.39	.61	.27	.91	.32	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

材料の長さ
 $22499.39 + 22500.39 = 22500.39$ または
 $22499.39 + 22500.39 = 22500.39$

残った Cd R line による次数が 22522 であるのは第 5 表でも残っている。
 他の例を第 6 表に示す。Cd B, Hg B による測定が、光が暗いため行えな
 かった場合である。(1)X(2)X(3)X 順に適合しないものを除いても、可能な次数
 が多く残っているが、その範囲は ± 20071^{mμ} に限られている。

第 6 表 分致法の計算の例 (A-3)

補助試料の長さ	10.222 ^{mμ}	室温	31.5°C	光の半波長
目標線の程様	Cd Red により	0.4F		Cd Red 0.221928389μ
	Cd Green "	0.94		Cd Green 0.254294779
	Hg Green "	0.61		Hg Green 0.273041164
	Na D "	0.78		Na D ₁ 0.294800646
				Na D ₂ 0.294502141

	CdR	CdG	HgG	NaD ₁	NaD ₂	D	G	D	D
							G	CdG	HgG
31600.49 = 40005.10 = 37258.47 = 34543.37 = 34508.39									
31656.49	.99	.49	.57	.54		X	X	X	
31663.49	.85	.74	.23	.18		X	X	X	X
31667.49	.91	.46	.60	.55		X			
31690.49	.03	.56	.74	.67		?			
31701.49	.95	.55	.77	.68					
31712.49	.88	.51	.79	.69					
31723.49	.80	.48	.82	.70					X
31735.49	.99	.63	.93	.81					
31746.49	.92	.60	.96	.82		?		X	X
31757.49	.84	.57	.98	.83		X		X	X
31769.49	.03	.72	.10	.94		X		X	X
31802.49	.81	.63	.17	.87		X		X	X
31818.49	.06	.49	.66	.44		X	X	X	
31825.49	.92	.75	.31	.01		X	X	X	X
31829.49	.99	.46	.68	.46		X	X	X	
31836.49	.85	.71	.34	.94		X	X	X	X

試料の長さ $31690.49 \stackrel{CdR}{=} 10.2021^{m\mu}$ 乃至
 $31735.49 \stackrel{CdR}{=} 10.2166^{m\mu}$

6. 計算の方法についての説明

此の計算法は、次の事を仮定して定めたものである。

- (1) CdR, CdG, HgG, NaD による測定値は 0.08% まで正しい。即ち読取誤差、気圧、温度の補正を行わなかったための誤差を合計したものが 0.08% を超えない事。
- (2) HgB, CdB による測定値は 0.1% まで正しい。暗いため読取誤差が大きいと思はれるからである。又 CdB には直接して 0.4678μ の波長のスペクトル線があり、フィルターでは分離出来ないから、此の線による干渉縞が CdB による干渉縞に重なり、見掛上縞の位置をずらしている場合があり得る。しかし此の線の強度が、CdB の強度の 1/2 を超えないなら

は、縞の位置のずれは最大 0.06 を超えない筈である。此の事は *Na D line* についても同様である。

- (3) *Na D₁*, *Na D₂ line* は半値幅が比較的大きく、干渉による精密な実験には不適當であると言われているが、我々の目的には、各線の中心波長が 0.001 \AA の有効数字まで定まり、又半値幅が 0.003 \AA 以下であるならば十分なので、此の事が成立っていると仮定する。

2. 計算の方法についての討論

我々は気圧による光の波長の変化を補正しないで計算を行つたが、これは不都合な事ではない。試みに次の計算を行つて見る。

標準状態に於て、 $\lambda_1 = 0.4000000 \mu$ の光と、 $\lambda_2 = 0.5866666 \mu$ の光とを使用して、 10.0000000 mm の試料を測定したとする。其の時は、標準状態に於て、

$$10.0000000 \text{ mm} = 50000.00 \times \frac{\lambda_1}{2} = 30000.00 \times \frac{\lambda_2}{2} \quad \text{となる。}$$

30°C , 760 mm Hg の時には、

$$50000.00 \times \frac{\lambda_1}{2} = 10.0001617 \text{ mm} = 30000.0095 \times \frac{\lambda_2}{2} \quad \text{となる。}$$

更に 30°C , 750 mm Hg の時には、

$$50000.00 \times \frac{\lambda_1}{2} = 10.0001837 \text{ mm} = 30000.013 \times \frac{\lambda_2}{2} \quad \text{となる。}$$

(光の波長は、前に掲げた式により計算した。)

此の結果から見ると、光は波長によつて温度、気圧による伸縮率が変わるのであるが、其の差は極めて小さく、沸騰附近に於て、 10 mm 内外の長さの試料を測定する限りでは、光は一樣に伸縮していると見てよいのであつて、其の様に見出すために起さる誤差は干渉縞の移動量にして、 0.01 程度であり、我々の測定精度の $1/4$ に過ぎない。従つて合致法の計算を行う場合に、予め光の波長を補正してから計算を行う場合と、光の標準状態における波長を使用して計算した後、其の結果に温度、気圧による光の伸縮率を掛けて補正した場合、又、光の波長を温度によつて補正した値を使用して計算した結果に、光の波長の気圧による伸縮率を掛けて補正した場合、以上三つの場合は同一結果を与える筈である。我々の計算は最後の場合に当り、尚気圧による補正は 4×10^{-6} 位であるから、我々の目的には、此の補正の必要はない。従つて我々が行つた計算方法は適当なものである。更に湿度、 CO_2 等の影響も同様な程度と思われるから、問題にならない。

計算を実行して、経験的に次の事が判明した。

- (1) 計算例の $1/3$ 位は、干渉縞の次数が唯一に定まる。従つて目標値に於ける試料の長さは 0.05μ 程度まで正確に定まる。(気圧の補正及び目標値の座標の読取精度を考へて 0.05μ と評価した。)

- (2) 其の他の場合、即ち干渉縞の次数が唯一には定まらず、可能な次数が多く残つた時でも、それ等は $\pm 0.05 \text{ mm}$ の範囲に限られる。

但し、*Na D line* による縞の明瞭度が悪くて測定出来ない場合や、*CXB*

Hg B line が暗くて測定しなかつた場合には、更に広い範囲に広がる事もある。

(3) 補助試料の長さの Screw Micrometer による測定値と、合致法による測定値との差は、殆んど 0.006^{mm} 以下である。

(2) の性質は我々の目的には好都合であるが、此の事は偶然の事柄でそうになったのではなく、理由がある事である。従つて我々は、合致法により、 $\pm 0.005^{mm}$ の精度で、試料の長さが決定出来るを期待してよい。

更に他のスペクトル線を追加して測定すれば、凡ての場合に、干渉縞の次数が唯一に定まる事は確実である。現在では、Cd B, Hg B が暗く、又、夫々 Cd Violet, Hg Violet が重疊している恐れがあり、これを計算に用いるのは好ましくない。以下報告する測定値の中、Cd B, Hg B を利用して定めた値には、*印を付けて表わす事とする。

上の様にして定めた長さは、試料の一点に於ける長さであつて、試料は上下の干渉板が僅か傾く様に作られているから、試料全体にわたつて、 $0.001 \sim 0.002^{mm}$ の差がある。更に湿度の変化によつても、 0.001^{mm} 程度の伸縮があるから、干渉縞の次数が唯一に定まつた場合でも、試料の長さの有効数字は $\pm 0.001^{mm}$ までである。

C. 改良された合致法の測定、計算

上に述べた方法を、次の如く改良すると、測定が迅速、正確に行われ、室温変化による誤差も少くなる。測定の例を Fig. 10 に、計算の例を第 7 表に示す。即ち、隣接する Hg G line による干渉縞の間にある、他の光による縞の座標を、Hg G による縞を標準として定めるものである。

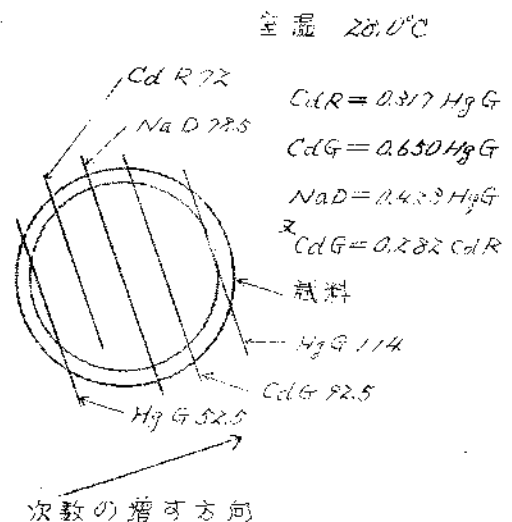
次の仮定を用い、適合しない次数を除いて行く。

- (1) Cd R, Cd G, Na D による縞の、Hg G による縞を標準とした座標は、 ± 0.01 まで正確に測定出来る。
- (2) Cd G による縞の、Cd R による縞を標準とした座標は、 ± 0.08 まで正確に測定出来る。

結局、此の場合、 $\pm 0.001^{mm}$ の精度で試料の長さが定まる。

此の測定法では、精度は一般に、 $\pm 0.001^{mm}$ の程度である。その理由は、使用した光の波長の間に次のような関係があり、

Fig. 10
合致法測定の例 (B)



数字は Ocular Micrometer の目盛

第 2 表 合致法の計算の例 (B-1)

補助試料の長さ 8.988^{mm}, 32870HgG-33070HgG の範囲を検討した。

光の波長は標準状態に於ける値を使用する。室温 28°C

HgG-CdR, HgG-CdG の関係が測定値と±0.08以内で合致するもののみを挙げる。

HgG	CdR	HgG	CdG	HgG	NaD	NaD	CdG	
32870.317 = 27970.714		32870.650 = 3293.217		32870.423 = 30475.033 = 30442.250			27946.282 = 102	
914. "	27916.03	914. "	.03	914. "	.28	.98	238. "	.87
930. "	938.08	930. "	.88	930. "	.99	.06	938. "	.13
951. "	938.93	951. "	.05	951. "	.91	.29	961. "	.98
967. "	960.88	967. "	.77	967. "	.02	.07		

測定値
 $CdR = 0.217HgG$
 $CdG = 0.650HgG$
 $NaD = 0.423HgG$
 $CdG = 0.282CdR$

に合致するものは
 を施したもののみである。

$11CdR = 13.925CdG = 12.970HgG = 12.01NaD$

略公倍数を有しているのので、除かれない回数、 $11CdR = 0.0035^{mm}$ を周期として現われ、その中隣接して現われるべき位の回数の中、試料の長さが何れの回数に対応しているかを、決定する方が困難だからである。従って、此の場合も、更に適当なスペクトル線をノッチ加すれば、試料の長さが、完全に定まる筈である。

同一試料について測定した場合の再現性を示すために、第3表を掲げる。即ち、4面の測定の中、残留する回数には共通と認められるものがあるので、測定精度内に於ける再現性は完全である。

此の方法は、明るい線のみを用い、精度よく試料の長さが定まるまで、使われた方法である。

本報告における試料の長さの測定値の中、此の方法で定めたものは、§14. d の第3番目の試料のみである。

§14. d において、無膨脹の測定に合致法を応用した場合、§9. b, §9. c に説明した方法を共に応用し、精度を検討した。

第 3 表

合致法測定の再現性 (B-2)

測定 残留した回数 (HgGによる)

第1面	32960	32973	
2	32967		
3	32966	32980	32993
4	32965	32968	

4面の平均の回数は共通のもので認められる。

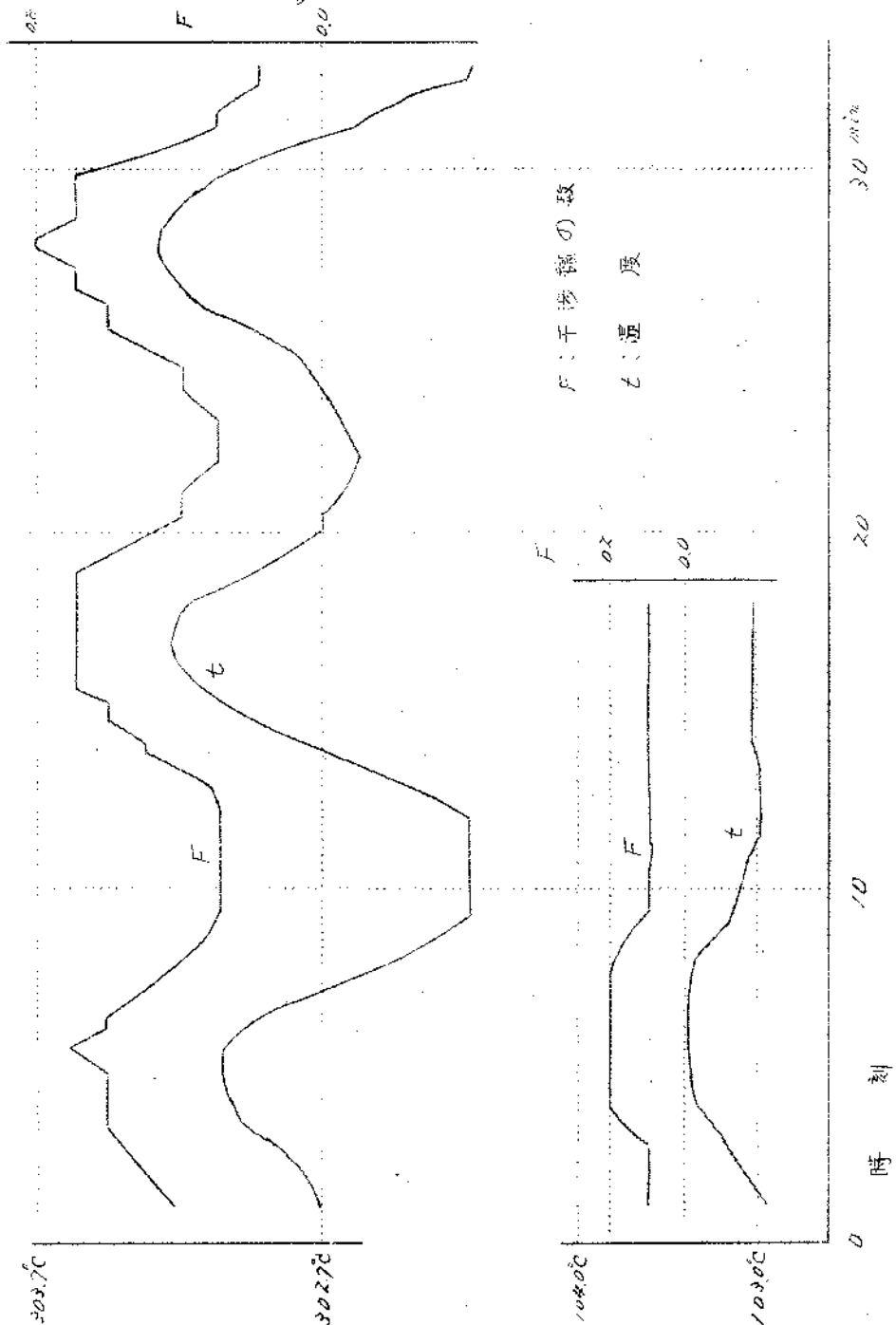
§10. 熱膨脹の測定法

熱膨脹の測定には、実験の目的により二つの方法で行った。

1. 初めに T_1 なる温度に試料を保ち、目標梁の座標をよむ。次に適当な速度 ($4 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$ を超えない) で温度を上げて、 T_2 なる温度で再び試料を定温に保つ。此の間における干渉縞の移動量と、 T_2 における目標梁の座標を読んで、 $T_1 - T_2$ の温度間における縞の移動量を知り、熱膨脹の大きさ、及び $T_1 - T_2$ 間の試料の平均膨脹係数を計算する。

此の場合、炉の温度を一定に保つには、手動で電流を断絶して行った。炉温の変化の一例を、Fig. 11 に示した。

Fig. 11 炉の温度変動と干渉縞の移動



2. 温度を3~4秒の速度で上昇させ、10°C毎に目標室の座標を読み、温度-熱膨脹曲線を示し、又熱膨脹係数を計算する。

測定前に試料を300°Cに加熱する事、並に、炉台を軽く叩きSetが安定している事を確かめる事、測定前後に於て、望遠鏡の視野内で目標室が移動しない事と縞の幅、方向が変化していない事とを確かめる事は必要である。

§11 計算

常温に於ける光の波長を λ_0 とし、 T_1 、 T_2 なる温度における光の波長を夫々、 $\lambda_0(1+\Delta_1)$ 、 $\lambda_0(1+\Delta_2)$ とする。

T_1 に於て、目標室に於ける干渉縞の次数を N とし、 T_1 、 T_2 間に於ける縞の移動量を n とする。 T_1 、 T_2 に於ける試料の長さを夫々 L_1 、 L_2 とすれば、

$$L_1 = \frac{\lambda_0^2}{2}(1+\Delta_1)N, \quad L_2 = \frac{\lambda_0^2}{2}(1+\Delta_2)(N+n), \quad \text{従つて熱膨脹は}$$

$$L_2 - L_1 = \frac{\lambda_0^2}{2}\{n + N(\Delta_2 - \Delta_1) + \Delta_2 n\} \quad \dots \dots (2)$$

今、 $L_1, L_2 \approx 10^{mm}$ 、 $\lambda_0 = 0.5\mu$ 、 $T_1 = 30^\circ C$ 、 $T_2 = 320^\circ C$ 、試料の熱膨脹係数 $\approx 100 \times 10^{-7}/^\circ C$ とするならば、

$$n \approx 120 \quad N \approx 40000 \quad \Delta_2 \approx 13 \times 10^{-6} \quad \Delta_1 \ll \Delta_2 \quad \text{であるから}$$

$$N(\Delta_2 - \Delta_1) \approx 5 \quad \Delta_2 n \approx 0.015$$

従つて(2)式の中 $\Delta_2 n$ の項は省略してもよい。 n の測定精度は0.10~0.15位で、 $\Delta_2 n$ はそれより可成小さいからである。

Δ の値としては、Merrittの論文⁽⁴⁾にある表を引用した。厳密に言へば、 Δ の値は、使用する波長によつて異なるが、例えばCd R line と Hg G line とを比較した場合、 $T_2 = 300^\circ C$ に於ける Δ_2 の差は 1×10^{-6} にすぎず、其のために、 $N(\Delta_2 - \Delta_1)$ は0.04しか変化しない。且つ此の此の程度に正確な値は判明していないので、此の影響を考へる事なく計算し、系統的誤差としておくより外はない。

T_1 、 T_2 間の平均熱膨脹係数を計算するには、

$$\Delta_2 - \Delta_1 / L_1 (T_2 - T_1) = \alpha_{T_1 - T_2} \quad \text{によればよい。}$$

§12 熱膨脹係数測定の精度

次に熱膨脹係数の測定の精度を考察すると次の通りである。

$L_1 = 10^{mm}$ 、 $\lambda_0 = 0.5\mu$ 、 $T_1 = 30^\circ C$ 、 $T_2 = 320^\circ C$ 、試料の熱膨脹係数 $\approx 100 \times 10^{-7}/^\circ C$ なる場合を例に取る。

$$\alpha_{T_1 - T_2} = L_2 - L_1 / L_1 (T_2 - T_1) \quad \dots \dots (3) \quad \text{に於て}$$

1. L_1 の精度は $5\mu/10^{mm} = 0.05\%$
2. $T_2 - T_1$ の精度は $0.6^\circ C / 270^\circ C = 0.22\%$
3. $L_2 - L_1$ は、(2)式について考えると、 n の精度は0.15、 N の精度は20で、 $N(\Delta_2 - \Delta_1)$ の精度は0.0027である。

$\Delta_2 n$ を省略したための誤差は0.015、

Δ が気圧により変化する程度は、 $5^{mm} Hg$ の変化につき0.160倍だけ変

化するので、 $N(\Delta_2 - \Delta_1)$ は 0.003 変化するのみである。

以上尺での合計は、 $0.15 + 0.0027 + 0.015 + 0.033 \approx 0.20$ であり、相対誤差としては $0.20/10 \approx 0.17\%$ である。

4. 系統的誤差として入って来る可能性のあるものは、熱電対の起電力が標準起電力と異なっている事、即ち狂みであるが、此の原因による影響は万一の誤差を更に 0.3% 位増大させる程度のものであると思われる。
5. 使用する光により Δ が異なっているための影響としては、干渉縞の移動量の誤差を更に 0.04 増大させるのと同様である。これも系統的誤差である。
6. Set をした時に、干渉板周における光の通路が、試料の長さの方向と完全に一致しないための誤差が考えられるが、此の誤差は次の様にして評価出来る。即ち、望遠鏡の視野に干渉縞を現出させ、直角プリズムを前後、左右に傾けると、干渉縞が移動し、目標線の座標が変わる。試料の長さ 10^{mm} の場合、座標の変化は 0.3% 以下で、これ以上変化させようとすると縞が消失する。故に、光路が異なる事により、試料の長さが異なれば $0.3/40000 = 0.00075\%$ 変化する事になるが、これは他の誤差に比べ遙に小さいので、無視してよい。此の値から、光の通路と、干渉板に立てた垂線との間の角の Allowance は 0.5° 以下である事が判る。但し、試料が短くなると、此の Allowance、従つてこれによる誤差は数倍の大きさになるものと思われるので、此の裏から試料の長さは、 10^{mm} 附近である事が望ましい。($40000 = 10^{mm} / 0.5\%$)

1-6 に述べた誤差を再配列すれば

1. 此の誤差は 0.005% (但し、§ 9. C に述べた方法によれば、 0.01% 以下になるが、本報告の測定値は凡そ 0.03% の誤差を認めるべきである。)
2. 5-7 の精度は 0.03%
3. 6-11 の精度は 0.20%

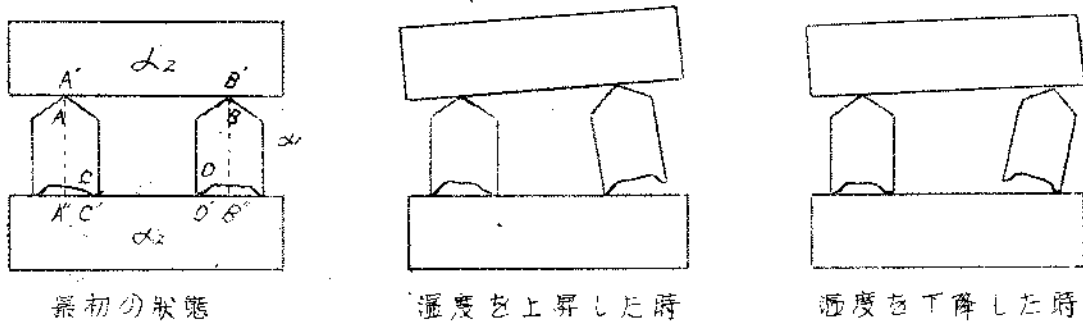
以上の誤差を合計して 0.24% である。即ち正確な値に対し、 $\pm 0.58\%$ 以内の誤差で測定出来る事である。其の中で 0.14% は系統的誤差であつて、測定時の操作には責任のない誤差である。此の系統的誤差を除く事は、非常に専門的な技術を要するので、現在のところ困難である。

§ 10 試料の形状が測定精度に及ぼす影響

Saunders⁽²³⁾ は干渉を利用した膨脹計の精度、誤差の原因について、詳細な報告を行っている。この誤差は、夫々の装置々、試料、Set の方法が異なるれば異なるものと思われるので、夫々の装置につき、彼の論文を参考にして検討を行った。

彼は *tilting* なる現象を報告している。即ち、干渉平面板と試料の熱膨脹係数が異なるために、温度上昇中、Set が安定性を失い、試料が傾斜する事である。(Fig. 11) 直ちに判る様に、試料が3つの小片から成る場合、即ち、Fig. 2 (A)

Fig. 12 試料が傾斜する原因



(E)(F)等の場合に此の影響が著しい筈である。

tiltingの影響を調べた実験を以下に述べる。

a. 楕形試料

IVH Machine のタンク炉に於て、Bi-glass testの標準管として使用されているLM-2硝子製管から試料を作った。Fig. 2の(A)の形状である。550°Cで除歪、徐冷を行つてある。

試料の長さにはScrew Micrometerで直接測定し、目標点の座標は目測で読取つた。(精度0.1)干渉板はVerex製である。

結果をFig. 13に示す。温度を上昇させた場合、目標点毎に干渉縞の移動量が異なる。tiltingを起している事は略確かである。干渉縞の移動量が最も小さい目標点から、 $\alpha_{100-500}$ を計算すると $108.9 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 程である。

Fig. 13 LM-2 IVH 標準管の測定結果

I. 楕形試料

黒点は目標点

第1回測定

$L_0 = 5.762^{29.77}$

$F = 45.9$
 $\alpha = 109.7$

$F = 46.5$
 $\alpha = 111.2$

$F = 46.7$
 $\alpha = 111.5$

温度範囲

$100.5^{\circ}\text{C} \sim 305.0^{\circ}\text{C}$

F: 干渉縞の移動量

α : 平均熱膨張係数 $\times 10^7$

第2回測定

$L_0 = 5.762^{29.77}$

$F = 46.1$
 $\alpha = 111.3$

$F = 45.9$
 $\alpha = 110.7$

$F = 45.9$
 $\alpha = 110.8$

温度範囲

$99.7^{\circ}\text{C} \sim 302.5^{\circ}\text{C}$

第3回測定

$L_0 = 5.762^{29.77}$

$F = 45.2$
 $\alpha = 109.5$

$F = 45.9$
 $\alpha = 111.1$

$F = 46.6$
 $\alpha = 110.7$

温度範囲

$99.2^{\circ}\text{C} \sim 300.6^{\circ}\text{C}$

第4回測定

$L_0 = 5.762^{29.77}$

$F = 45.2$
 $\alpha = 111.2$

$F = 45.0$
 $\alpha = 109.9$

温度範囲

$99.7^{\circ}\text{C} \sim 298.5^{\circ}\text{C}$

6. 魚鱗形試料

硝子は上と同じくLM-2製標準管である。形はFig. 2(E)の形状である。550°Cで除歪、徐冷を行つてある。

Fig. 14 LM-スIVH標準管の測定結果

直角錐形試料

黒鉛又は白鉛

F: 装置を叩く前に於ける干渉縞

F': 叩いて後の干渉縞の移動量

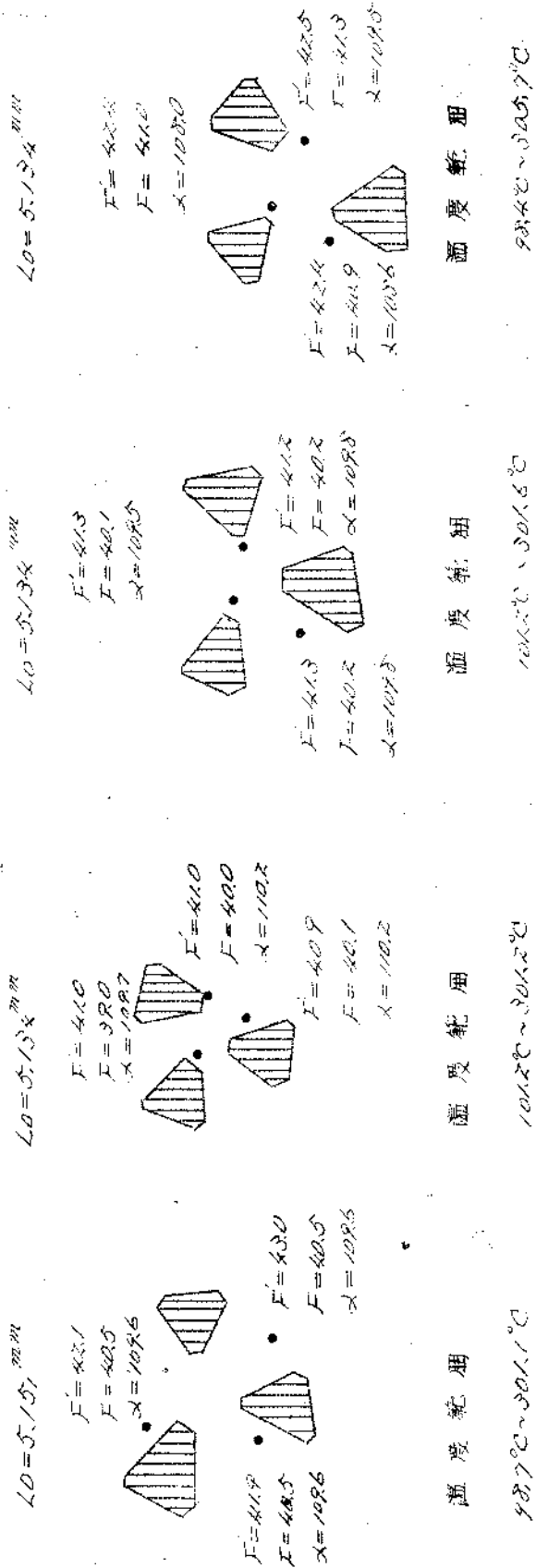
Δ : 平均幾何膨脹率 $\times 10^7$

第4回測定

第3回測定

第2回測定

第1回測定



測定の方法は §13. a と同様であるが、板硝子製干渉板を使用した。

結果は Fig. 14 の通りである。温度を上昇させた場合、3個の目標点に於ける干渉縞の移動量は可成差がある。所が此の場合には、Set が不安定になつていて、装置を軽く叩くと、干渉縞が少し移動して安定になる。干渉縞が移動する方向は、試料が膨張するのに相当する方向であつた。又 Set を安定させた後には、3個の目標点に於ける縞の移動量は、測定精度の範囲内で一致し、 $\alpha_{100-300}$ を計算すると、 $102.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ となる。

c. 輪形試料

試料硝子は、§13. a, §13. b と同一で、管からそのまま試料を作製した。徐冷を行つてある。TereX 製干渉板を使用した。結果は Fig. 15 の通りである。

Fig. 15 LM-2 IVH 標準管の測定結果

皿輪形の試料

黒点は目標点

F: 干渉縞の移動量

α : 平均熱膨張係数 $\times 10^{-7}$

第1回測定

第2回測定

第3回測定

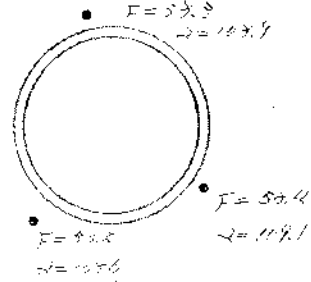
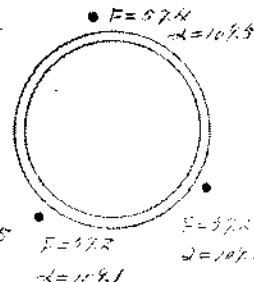
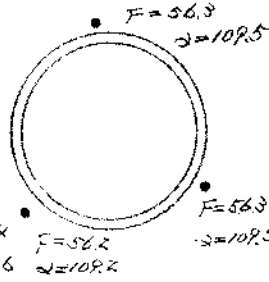
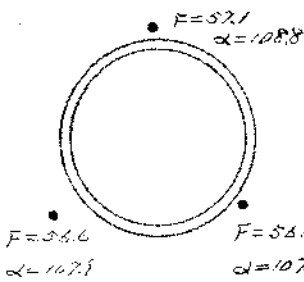
第4回測定

$L_0 = 7.362^{21.71}$

$L_0 = 7.362^{21.71}$

$L_0 = 7.362^{21.71}$

$L_0 = 7.362^{21.71}$



温度範囲

温度範囲

温度範囲

温度範囲

101.2°C ~ 302.5°C

103.7°C ~ 302.7°C

107.0°C ~ 304.5°C

109.0°C ~ 304.7°C

3個の目標点における干渉縞の移動量は、測定精度の範囲内で一致していて、 $\alpha_{100-300} = 102.2 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ である。

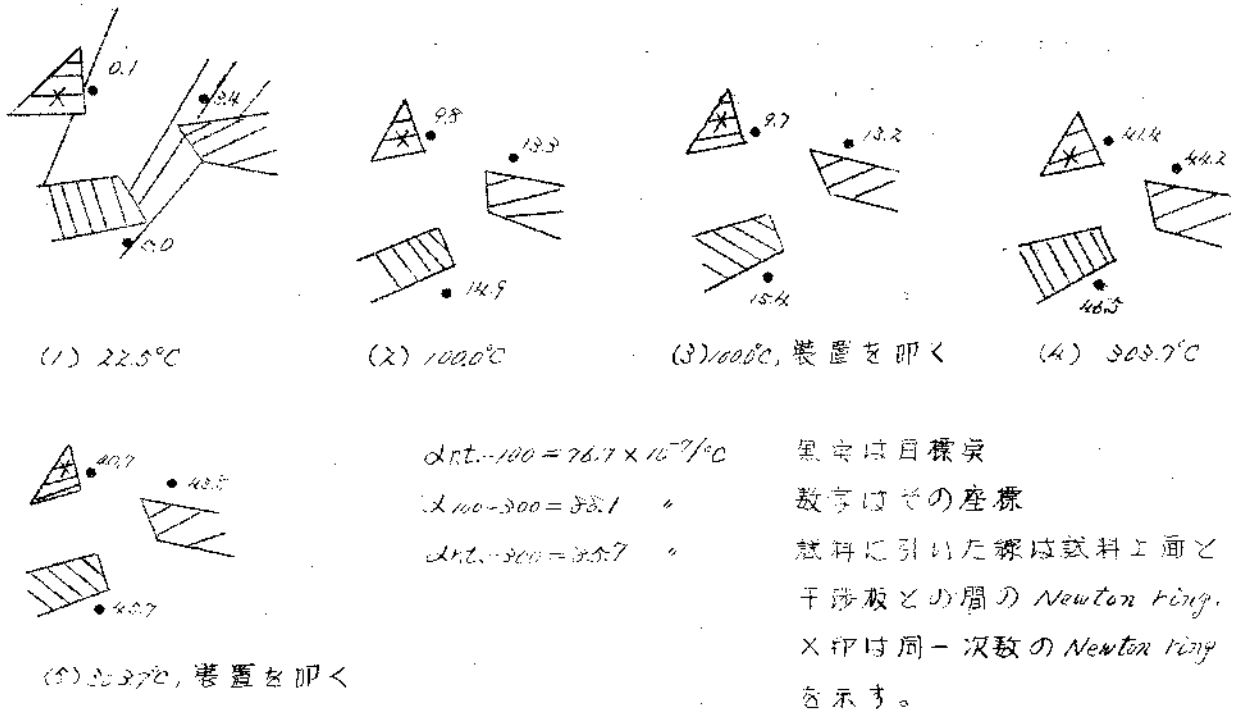
§13. a~c に於て、同一試料の試料について測定したところ、 $\alpha_{100-300} = 101.2 \sim 102.7 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ なる結果が得られた。此の差は測定精度の範囲内であり、此の測定法が、恐らく正確な結果を与えるであろうと予想される。

d. 板形試料

厚板硝子(恐らく旭硝子製と思われる)を割つて試料とした。Fig. 2(F)の形状である。干渉平面板用に生ずる干渉縞と同様に、試料の上画と上方干渉板の下面との間に生ずる Newton Fringe を観察した。結果は Fig. 16 の通りである。

温度上昇と共に試料が傾斜している事は明瞭である。板硝子の $\alpha_{100-300}$ として、Fig. 15 に記入した値が得られたが、此の場合には明らかに相当の誤差、恐らく $3 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 位の誤差があると疑はなければならない。

Fig. 16 板硝子の測定結果



② 試料の形状についての討論

以上の実験から、3個の小片から成る試料を測定する場合には、tiltingの現象が起る事が明らかとなった。tiltingは試料の形が、比較的安定と思われれる角錐形、板形をなして居り、又板硝子製干渉板を使用して、干渉板と試料との膨脹係数を近似させた場合でさえも生じた。従つて精密な測定を行うには、必ず一体となった試料用すべきであり、そうでないとtiltingのために5%程度の誤差を生ずる。

尚tiltingが生じて居る事の他の根拠を挙げると、温度を上昇した時だけでなく、高温で安定にしたsetを体温にしても、setが不安定となり、装置を叩くと、線が試料が収縮する方に相当する方向に移動して安定となる事、干渉板をTerex、試料をTerex CP-34等として膨脹係数を近似させた場合には、目標点毎の干渉線の移動量の差は小さい事、等である。

§14. 実測の場合の測定精度の検討

§13に於ける予備実験で、精度をよく測定するためには、輪形試料の如く一体となった試料を使用しなければならぬ事が判明した。次に一体となった試料を使用すれば、十分な精度で、即ち§12で予期される程度の誤差で、測定が出来るか、どうかの問題になる。以下に検討の結果を述べる。

測定の方法は、§7, §8, §9.b, §10で述べた通りである。

a. LM-2 硝子標準管についての測定 I

試料は §14. a-c で使用したものと同一 lot のものである。300°C で徐冷してある。

補助試料の長さ 2.244^{mm} (Screw Micrometerによる。)

試料の長さ *2.2507 ± 0.001^{mm} (介致法による。)

使用光源 Na D line

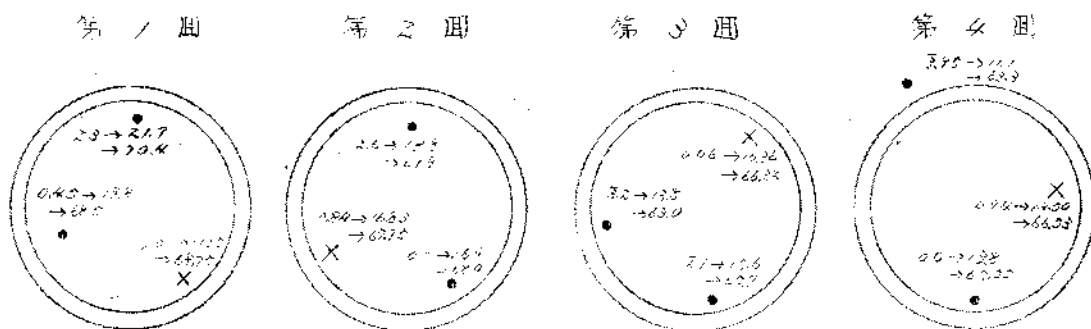
測定結果は Fig. 17 及び第9表に示す。

第5回測定は 100°C ~ 300°C 間に於て、干渉縞を一つ余計に数えている疑がある。括弧内は数え直したものと修正した値である。

目標長等の硝子の移動量は、測定温度の範囲内で一致している。即ち *tilting* の影響は認められない。又の値の計算値も、大体 §14. a から予想される程度のはらつきしかない。

Fig. 17 LM-2 硝子標準管の測定結果 (A)

X : Ocular Micrometer による • : 目測による

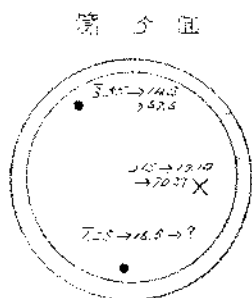


温度範囲 29.15°C → 120.15°C → 300.0°C

温度範囲 26.65°C → 101.65°C → 300.1°C

温度範囲 31.9°C → 103.6°C → 301.6°C

温度範囲 35.1°C → 92.2°C → 300.0°C



温度範囲 24.9°C → 102.15°C → 300.0°C

第9表

	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回
λ_{nt-100}	92.8 (λ_{nt-120})	93.9	95.0	95.7	95.2
$\lambda_{100-300}$	111.6 ($\lambda_{120-300}$)	108.9	107.3	107.5	112.4 (107.3)
λ_{nt-300}	102.4	102.4	101.2	101.8	102.7 (101.4)

λ の単位は 10³/°C

b. LM-2 硝子標準管についての測定 II

§14. a で測定した試料を、Hg G line で再測定したものである。結果は、第10表の通りであつて、§14. a の結果とよく一致する。

c. LM-2 硝子標準管についての測定 III

§14. a で用いた試料と同一 lot の試料である。

補助試料の長さ 16.024^{mm} (Screw Micrometerによる。)

試料の長さ 16.0295 ± 0.001^{mm} (合致法による) (16.032 ± 0.0005^{mm})

使用光源 *Hg G line.*

結果は Fig. 18 及び第 10 表の通りである。
 第 2 回測定は、 $nt \sim 100^\circ$ の間で干渉縞を 1 個数え落している感がある。括弧内は数え落したものとして補正した値である。
 測定値のばらつきも、予期される程度である。 $nt/2mg$ の影響は認められない。

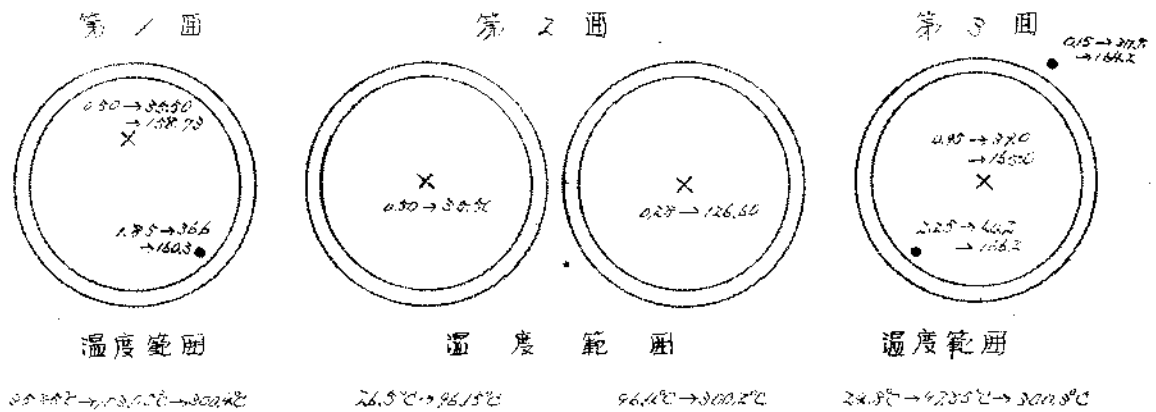
第 10 表

LM-2 硝子標準管の測定結果(a)

温度	目盛線の座標
25.5°C	0.72
92.25	12.73
302.6	24.15
$25.5 \sim 100 = 95.3 \times 10^3 / ^\circ C$	
$100 \sim 300 = 104.3$	
$302.6 \sim 300 = 104.3$	

Fig. 19 LM-2 硝子標準管の測定結果 (c)

× : Ocular Micrometer による ● : 目測による



第 11 表

	第 1 回	第 2 回	第 3 回
$25.5 \sim 100$	95.3	92.3 (95.3)	96.0
$100 \sim 300$	110.1	104.3	104.7
$302.6 \sim 300$	105.4	105.1 (103.7)	106.1

× の単位は $10^3 / ^\circ C$

2. LM-2 硝子標準管についての測定 IV

合致法応用の試み

温度上昇中に於ける縞の移動を観察し続ける代りに、さきで説明した合致法を応用して、測定の手を簡単にする手を試みた。

Na D line, Cd R line, Hg G line を使用し、

試料の温度を一定に保ち、目盛線の座標の、小数点以下の部分を、3 つの光で夫々読取る。此の結果から、2 つの温度測に於ける干渉縞の移動量の小数点以下の部分を知る。此の結果を計算の結果と比較し、夫々の光による干渉縞の移動量の整数部分を知るものである。

此の実験の場合には、*Na D line* により干渉縞の移動を観察し、*Na D line* による干渉縞の移動量を知る。次に此の値から、*Cd R line* と *Hg G line* による干渉縞の移動量の整数部分を計算し、*Cd R line* と *Hg G line* による干渉縞の移動量を知る。此の結果を検討して、仮に *Na D line* による干渉縞の移動量が知られていないとした場合に、計算によつて *Cd R line* と *Hg G line* による干渉縞の移動量が正しく求められるか、どうかを見たものである。

第 1 ス 表 LM-2 耐圧標準管の測定結果

第 1 回 測 定	第 2 回 測 定	第 3 回 測 定	第 4 回 測 定	第 5 回 測 定
HgG NaD	CdR HgG NaD	CdR HgG NaD	CdR HgG NaD	CdR HgG NaD
3072 (24.46 (25.36)	4430 (00 0100 000	5020 (00 0100 000	3050 (00 0100 000	4020 (00 0100 000
1065 (24.46 (25.36)	1105 (12.14 (20.17 (15.27 (22.92)	1087 (2.170 (2.500 2.5.10 (24.86)	1000 (0.00 (0.00 0.00 (24.86)	987 (16.17 (17.07 (17.25 (22.92)
2207 (9.27 (9.30)	3009 (8.14 (9.51 (9.57 (9.52)	3005 (8.11 (10.24 9.2.1 (10.22)	3000 (8.11 (10.24 9.2.1 (10.22)	2770 (8.21 (9.27 (9.27 (9.27)
2100-100 = 1.67 × 10 ⁷ /°C	2100-100 = 1.71 × 10 ⁷ /°C	2100-100 = 1.71 × 10 ⁷ /°C	2100-100 = 1.69 × 10 ⁷ /°C	2100-100 = 1.67 × 10 ⁷ /°C
2100-300 = 1.67	2100-300 = 1.67	2100-300 = 1.67	2100-300 = 1.69	2100-300 = 1.67
2100-500 = 1.67	2100-500 = 1.67	2100-500 = 1.67	2100-500 = 1.69	2100-500 = 1.67

数字は干渉帯の移動量を示す

試料の長さ * 10,185 ± 0.01 mm (10,186 ± 0.01 mm)

() 内の値は NaD の実測値から計算した値

() 内の値は CdR line の値から計算した値

増値のない空白突面値

測定は、NaD, HgG, CdR, NaD の順序で行い、NaD line による値が、初めと終りで 0.05 以上異つていない事を確かめた。

与ふる温度で、目標索に於ける干渉縞の次数を N 、 T_1, T_2 間に於ける干渉縞の移動量を π とする。CdR line, HgG line による値を夫々 λ_{RG} なる添字で示す。 Δ, Δ' 等を π に於けると同様の意味に用いると、

$$\begin{aligned} \Delta_2 - \Delta_1 &= \frac{\lambda_{RG}}{\lambda} n_R + \frac{\lambda_{G0}}{\lambda} N_R (\Delta R_2 - \Delta R_1) + \frac{\lambda_{G0}}{\lambda} \Delta G_2 n_G \\ &= \frac{\lambda_{G0}}{\lambda} n_G + \frac{\lambda_{G0}}{\lambda} N_G (\Delta G_2 - \Delta G_1) + \frac{\lambda_{G0}}{\lambda} \Delta G_2 n_G \end{aligned}$$

$$\therefore n_R = \frac{n_R \lambda_{R0} (1 + \Delta R_2)}{\lambda_{G0} (1 + \Delta G_2)} + \frac{\lambda_{R0} N_R (\Delta R_2 - \Delta R_1) - \lambda_{G0} N_G (\Delta G_2 - \Delta G_1)}{\lambda_{G0} (1 + \Delta G_2)}$$

$$\cong n_R \frac{\lambda_{R0}}{\lambda_{G0}} \frac{1 + \Delta R_2}{1 + \Delta G_2} + \frac{\lambda_{R0} N_R (\Delta R_2 - \Delta R_1) - \lambda_{G0} N_G (\Delta G_2 - \Delta G_1)}{\lambda_{G0} (1 + \Delta G_2)}$$

$$\cong n_R \frac{\lambda_{R0}}{\lambda_{G0}} + N_G \{ (\Delta R_2 - \Delta R_1) - (\Delta G_2 - \Delta G_1) \} \dots \dots \dots (4)$$

$$\because \Delta \approx 10^{-4} \ll 1 \quad \lambda_{R0} N_R \cong \lambda_{G0} N_G \quad \Delta R_2 - \Delta G_2 \approx 5 \times 10^{-7} \ll 1$$

式(4)により n_R の値から n_G を計算する事が出来る。

$$N_G \{ (\Delta R_2 - \Delta R_1) - (\Delta G_2 - \Delta G_1) \} \text{ の値は、 } T_1 = 20^\circ\text{C}, T_2 = 22^\circ\text{C} \text{ の場合 } -0.013$$

$$T_1 = 20^\circ\text{C}, T_2 = 22.5^\circ\text{C} \text{ の場合 } -0.030$$

の程度である。

測定と計算の結果を第 12 表に示す。試料は λ_{CdR} で測定した試料と同一 λ_{G0} のものである。

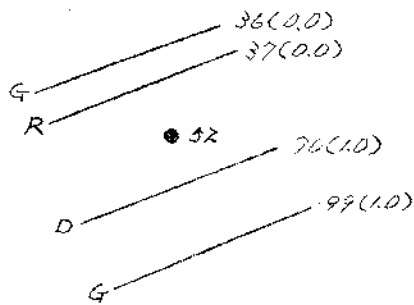
$\lambda_{CdR} \lambda_{G0} = 1.077$ であるから、 n_G の測定値と、 n_R から計算した値とが 0.05 以内の差で一致していないと、合致法の計算が正しい値を与えない。多くの場合は一致の程度が 0.05 に達していないので、此の方法による合致法の試みは失敗したわけである。

此の事は、炉の温度が十分一定にならない事が主な原因である。即ち温度を ± 0.5 まで一定にし、目標索の座標を 0.02 まで正確に読み、0.05 の精度に達する。更に二つの温度に於ける測定、及び二つの波長の光による測定を綜合して、0.05 の精度に達しなければならぬのであるから、これは、§ 7.3.8 に述べた事と比較して見れば、装置の能力を越えたことであるのは、明らかである。

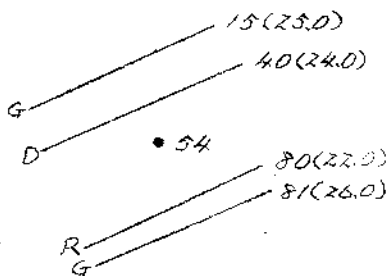
HgG line による測定値から、 λ を計算した結果を第 10 表に示してある。 λ の値のばらつきは $\pm 0.4 \times 10^{-7} \%$ であるが、ばらつきの原因は、一つには温度範囲が一定でないからであつて、此の影響を除外すれば、実質的のばらつきは、 $\pm 0.3 \times 10^{-7} \%$ 程度となる。

以上の方法を改良した測定法により合致法を試みた結果を次に述べる。測定の方法と、その一例を第 13 表に示す。即ち目標索を狭む Hg Green line の縞及び、その間にある Cd Red line の縞、Na D line の縞の位置を測定するものである。測定の手数が省けるため、測定中の温度変化は小さくなり、且つ読取精度が向上する。非常に改良された方法である。測定結果は第 14 表の

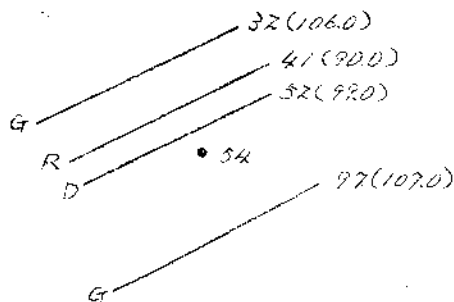
第 13 表 合致法による熱膨脹測定の場合 (D-2)



$0.0R = 0.016G$
 $1.0D = 0.54G$
 $M = 0.255$
 $26.3^{\circ}C$



$22.0R = 25.985G$
 $24.0D = 25.38G$
 $M = 25.59$
 $102.3^{\circ}C$



$90.0R = 106.14G$
 $99.0D = 106.31G$
 $M = 106.34$
 $302.3^{\circ}C$

差をとつて

$t = 100^{\circ}C$ 周では $22.0R = 25.97G$ } 差 $0.02G$
 (25.93)

R: Cd Red line による線の暗黒部

$24.0D = 24.34G$
 (24.02)

G: Hg Green line による線の暗黒部

$t = 300^{\circ}C$ 周では $90.0R = 106.125G$ } 差 $0.05G$
 (106.08)

D: Na D line による線の暗黒部

$99.0D = 106.27G$
 (106.69)

照度は目標値

数字は Ocular Micrometer の読み.

括弧内の数字は線の次数 (但し、便宜な線を 0 とする)

() : Na D line による値よりの計算値

() : Cd R " " " "

M: 目標線の産標 Hg Green line による.

第14表 ムM-ズ 硝子標草管の測定結果 (D-2)

第1面		試料の長さ		第3面		第4面		第5面	
温度	目標量の産標	温度	目標量の産標	温度	目標量の産標	温度	目標量の産標	温度	目標量の産標
25.7°C	0.39	26.3°C	0.255	48.5°C	0.20	30.35°C	0.415	58.6°C	0.50
108.0	28.32	102.3	25.59	99.9	18.13	110.4	28.07	93.0	13.00
303.7	107.30	302.3	106.34	302.2	99.20	293.5	102.00	295.5	94.00
Act-100 = 95.7 × 10 ⁷ /g		Act-100 = 94.1 × 10 ⁷ /g		Act-100 = 97.7 × 10 ⁷ /g		Act-100 = 97.2 × 10 ⁷ /g		Act-100 = 94.3 × 10 ⁷ /g	
Act-300 = 109.1	"	Act-300 = 109.3	"	Act-300 = 109.5	"	Act-300 = 109.2	"	Act-300 = 108.4	"
Act-500 = 105.1	"	Act-500 = 105.2	"	Act-500 = 105.3	"	Act-500 = 105.5	"	Act-500 = 106.5	"
X 24R = 28.18g (28.28)		O 25R = 25.97g (25.93)		X 15R = 12.78g (12.63)		O 24R = 28.31g (28.59)		O 11R = 12.93g (12.94)	
26D = 28.08g (28.04)		23D = 24.34g (24.32)		17D = 18.46g (18.33)		24D = 28.22g (28.04)		12D = 12.79g (12.94)	
O 91R = 103.23g (102.26)		O 90R = 106.12g (106.08)		O 84R = 98.00g (98.00)		? 87R = 102.64g (102.55)		? 80R = 94.38g (94.29)	
99D = 104.33g (106.77)		98D = 105.77g (105.69)		92D = 98.23g (98.20)		94D = 101.41g (101.36)		97D = 93.72g (93.82)	

() : Cu Red line よりの計算値

() : Na D line よりの計算値

目標量の産標は Hg Green line による値

通りである。試料は $\phi 14.0$ で測定した試料と同一 (lot) のものである。

10 個のデータ中、 CdR と HgG line の値を比較して、測定値と計算値の差が 0.09 以下の場合は 6 面、 0.09 の場合 2 面、 0.09 以上の場合は 1 面で、先の測定法に比較して優れている事が明らかである。

熱膨張係数は、目標値の座標を HgG line で読んだ値から計算した。

又の値のばらつきは先の場合と同じ程度の大きさである。

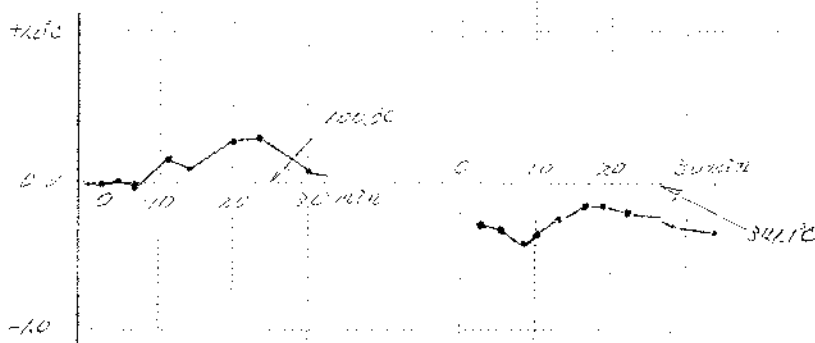
此の方法は次の様に改良出来る事を注意しておく。即ち、上に行つた測定では、室温に於ける測定値と、 $100^{\circ}C$ 又は $300^{\circ}C$ における測定値の差を利用しようとしたのであるが、夫々に測定誤差があり、差を求めると誤差が重畳して、成功しない場合が出たわけである。今、試料の長さが完全に定まり、室温において測定する場合に、視野に現われている干渉縞の次数が判明しているものとする。例えば、測定値 $CdR=0.317$ HgG に対し、計算により、 $27961CdR=32967.34HgG$ なる事が知られる。室温における実測値の代りに此の計算値を使用すれば、誤差は $100^{\circ}C$ 又は $300^{\circ}C$ における測定値から来るものだけとなるので、恐らく CdR と HgG のみを用いて測定しても、単に合致法が成功するのではないかとと思われる。しかし現在、試料の長さを干渉縞一個の精度で定める事は、一般に可能でないので、此の考えを試みる事は出来ない。

更に、 CdR 及び CdG を利用して合致法を試みた例を次に示す。此の二つの光の波長は約 26μ の差があり、スベクトルランプを交換する事なく迅速に測定出来るので、成功の確率が高い。 CdG , CdR , HgG の順序で測定し、 CdR , CdG の測定値を合致法に用い、 HgG により膨脹係数を計算した。温度上昇中に、干渉縞の移動を観察する事は行なわなかつた。

此の測定に先立ち、炉温をサーミスターを使用する調節器により調節するように改良した。温度変動の例を Fig. 19 に示す。変動は非常に小さくなった。

測定の結果を Fig. 18 表に示す。又測定を繰返した場合の結果を Fig. 16 表に掲げた。 $\lambda_{CdG}/\lambda_{CdR}=0.79$ であるから、 CdG と CdR との関係が 0.79 又はそれ以下の差で、測定値と計算値が合致していればよい。Fig. 16 表を見ると、これ

Fig. 19 サーミスター調節器を使用した場合の炉温の変動



以上の差がある場合がなければ、大体合致すると言つてよい。更に熟練すれば、完全に成功するものと考えられる。

測定値のはらつきも十分小さく、満足出来る精度で測定出来た。

第 15 表 合致法による熱膨張測定の場合 (D-3)

R: Cd Red line による線の暗黒部

G: Cd Green " " "

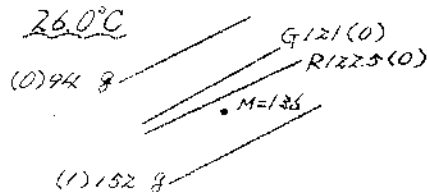
g: Hg Green " " "

M: 目標線の座標

線の数字は Ocular Micrometer の読み

線の括弧内の数字は線の次数 (但し、便宜の線を 0 とする)

() 内は計算値

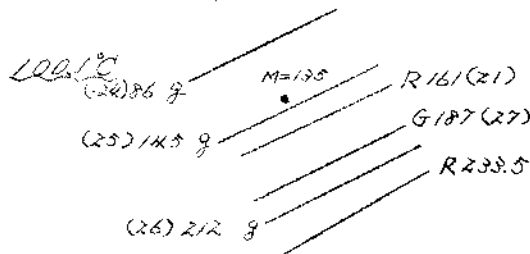


$$0.0R = 0.4919$$

$$0.0G = 0.4743$$

$$0.0g = -0.018R$$

$$M = 0.7249$$

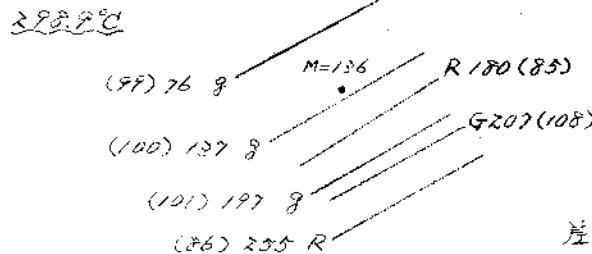


$$21.0R = 25.2399$$

$$27.0G = 25.6279$$

$$27.0g = 21.958R$$

$$M = 24.831$$



$$85.0R = 100.7179$$

$$108g = 85.960R$$

$$M = 99.984$$

差をとると

$$\text{at } -100^\circ\text{C 間では } 27g = 21.976R (21.94R)$$

$$21R = 24.748g (24.78g)$$

$$27G = 25.153g (25.15g)$$

$$\text{at } -300^\circ\text{C 間では } 108g = 85.978R (85.95R)$$

$$85R = 100.226g (100.26g)$$

第 16 表 LM-2 硝子標準管の測定結果

試料の長さ 2860 ± 0.0019 mm

R: Col Red G: HgGreen } 表示す。
G: CdGreen

() 内の値は計算値

第 1 組 測定		第 2 組 測定		第 3 組 測定		第 4 組 測定	
温度	目標線の座標	温度	目標線の座標	温度	目標線の座標	温度	目標線の座標
26.0°C	0.03g	26.0°C	0.72g	25.9°C	0.45g	25.5°C	0.36g
*100.0	*2.972g	99.9	23.38g	96.7	22.23g	109.2	27.24g
305.9	101.47g	217.1	99.98g	304.1	100.00g	308.8	102.75g
* $\Delta t-100 = 95.9 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$		$\Delta t-100 = 92.9 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$		$\Delta t-100 = 92.6 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$		$\Delta t-100 = 95.4 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	
* $\Delta 100-300 = 108.5$ "		$\Delta 100-300 = 107.9$ "		$\Delta 100-300 = 107.1$ "		$\Delta 100-300 = 107.7$ "	
$\Delta t-300 = 105.0$ "		$\Delta t-300 = 105.9$ "		$\Delta t-300 = 104.7$ "		$\Delta t-300 = 105.6$ "	
* 25G = 19.87R [19.76]		25G = 19.66R [19.76]		24G = 18.59R [18.97]		29G = 22.89R [22.92]	
* 19R = 22.43g [22.41]		19R = 22.54g [22.41]		19R = 22.47g [22.41]		23R = 27.74g [27.71]	
* 25G = 23.31g [23.29]		25G = 23.32g [23.29]		24G = 22.86g [22.86]		29G = 27.07g [27.02]	
109G = 86.10R [86.14]		108G = 85.38R [85.35]		107G = 84.51R [84.52]		111G = 89.66R [89.72]	
85R = 100.25g [100.19]		85R = 100.23g [100.19]		85R = 100.28g [100.19]		80R = 103.97g [103.71]	
109G = 101.57g [101.59]				107G = 99.75g [99.67]		111G = 103.50g [103.57]	

(*印の値は誤差がある)

e. 測定精度、測定装置についての討論

§14. a-d)に於ける測定から、測定誤差が小さくとも±5%以下となつており、理論的に予期されるのと同一の程度に於る事が判つた。従つて此の測定法は略完成したわけである。

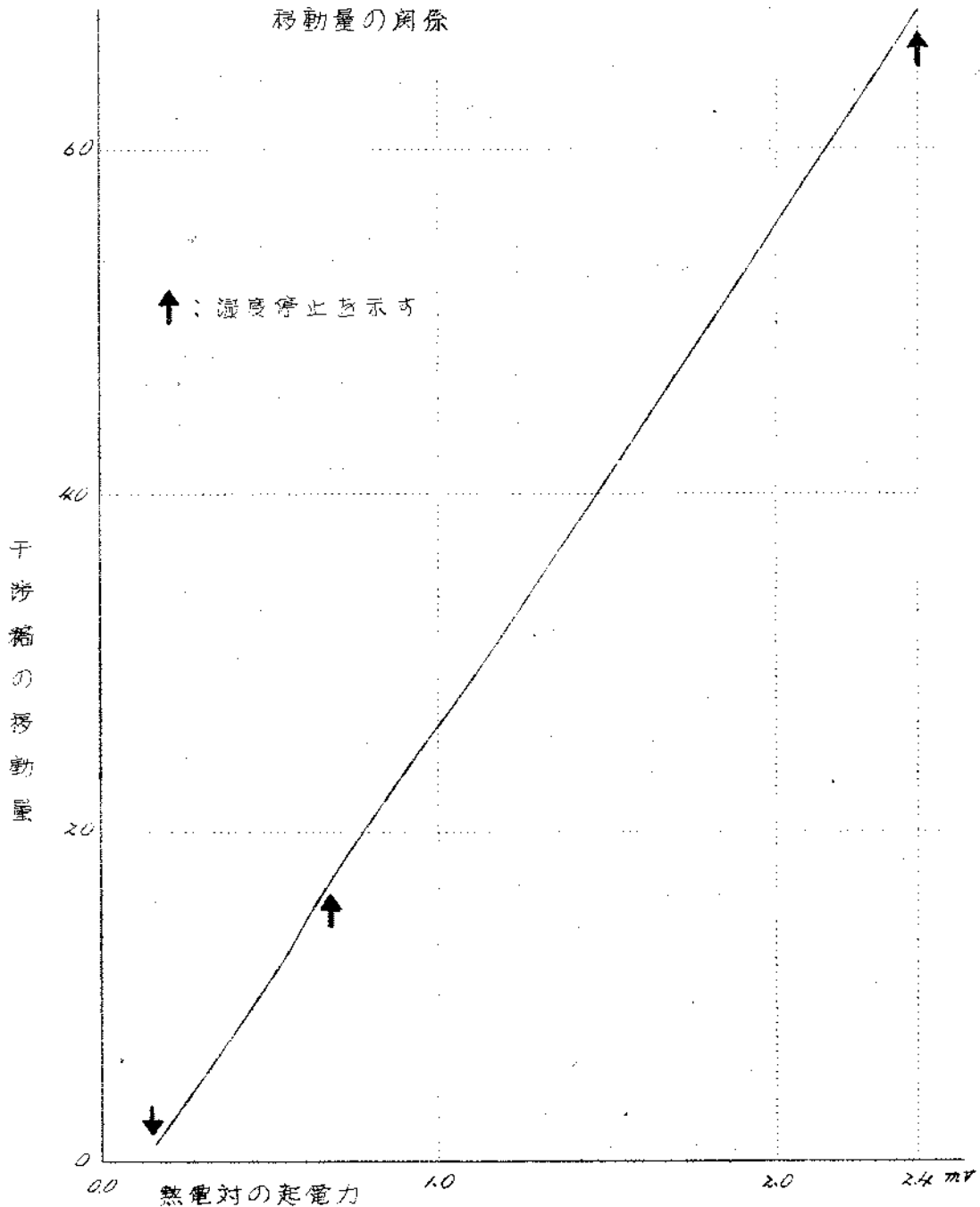
Saunders⁽²⁾は、一様に作られた試料についても、急降と干渉板との熱膨脹の差により、Setの状態が変化するため、tiltingに類似した誤差を報告しているが、我々は此の影響を見出す事が出来なかつた。此の事は、測定方法が異なる事により説明出来る。即ち、Saundersは温度を上昇させながら測定しているが、我々は温度区十分長い間(5~10分間)一定にして後に、測定しているのだから、温度上昇中にSetの状態が変化しても、最終には再び安定

してしまふ。一体に作られた試料である限り、安定化してしまえば、*tilting* 等が起り得ない事は、十分考えられる。

Vanuolens⁽²⁾ は試料に附着した *Surface film* についても実験し、*Surface film* のために数波長程度の誤差が起るが、試料を 250°C まで加熱すれば影響がなくなると言っている。我々は試料を 300°C に予熱しているから、これによる誤差はない筈である。但し、我々の経験によると、少くとも硝子試料の場合、彼の誤差の評価は過大であると思われる。

温度上昇中に、熱電対の起電力と、目標度の座標とを読み、六々を横軸、

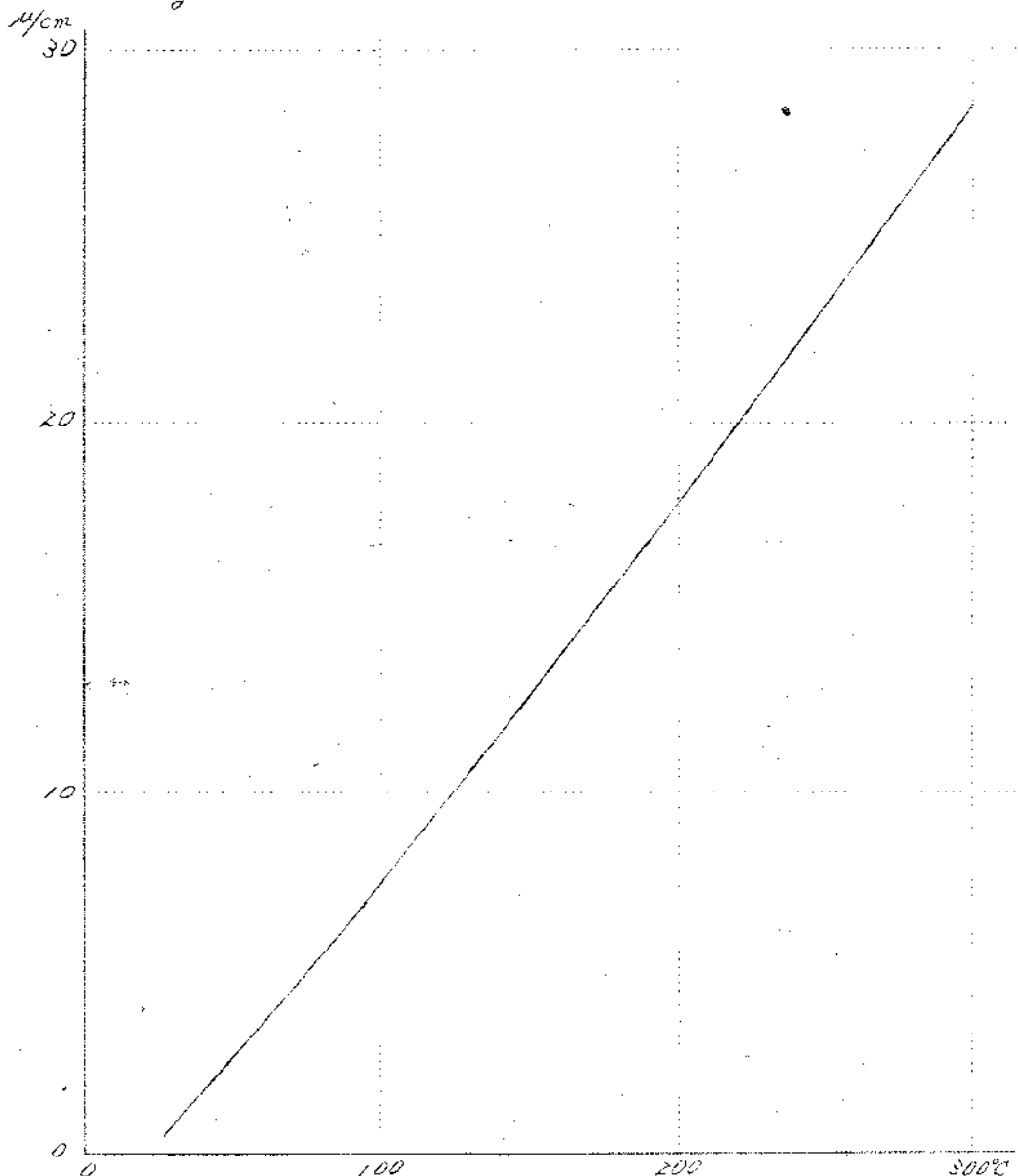
Fig. 20 測定時における熱電対の起電力と干渉縞の移動量の関係



縦軸に取って作った図を Fig. 20 に掲げる。野直線を示すけれども、温度を上げ始めた時は曲線が下を向き、温度上昇を停止した時は上を向く。此の事は試料の温度が、熱電対の熱接点の温度より遅れるのが主な原因である。従って、温度を停止する事なく、温度を上昇させたから測定する場合には、 $\pm 0.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ の精度に達する事は困難と思われる。

§14. a-d にあたり、同一 Lot の LM-2 硝子について測定した結果、熱膨脹係数が試料により、僅か差がある事が判明した。即ち、§14. a, b で測定した試料は、 $\Delta_{100-300} = 109.0 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 、§14. c で測定した試料は $\Delta_{100-300} = 109.4 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 、§14. d で測定した試料は $\Delta_{100-300} = 109.4 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 、 $109.0 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 、 $109.4 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 程度の差がある。標準試料として使用する時に注意が必要である。タンク炉から採取した場合、場所により硝子の成分が多少変化しているのが原因であると思われる。

Fig. 21 LM-2 硝子の熱膨脹曲線



室温、 100°C 、 300°C に於ける熱膨脹の値から、LM-2硝子の熱膨脹曲線を作る事が出来る。(Fig. 21) 温度により膨脹係数は大幅に変化するから、平均熱膨脹係数も、温度範囲により変る。故に他社の発表値と比較する場合、温度範囲に注意しなければならない。

測定精を更に良くするには、試料の長さを長くするのが手近な方法である。しかし、本装置は光の干渉を利用しているので、試料の長さが長くなると干渉縞が不明瞭になる。縞を明瞭にするためには、Fig. 1 の M に開いている孔を小さくしなければならぬ。その結果縞に差する光が弱くなり、望遠鏡や高倍率の *Ocular Micrometer* の使用が困難になる。本実験でも熱減しない時には、*Ocular Micrometer* による観測が困難で、測定値にも、縞の散らかりと思われるものが屢に現れた。然し、縞の幅や明瞭度により、望遠鏡の倍率を適当に調整する様にして、明瞭度は十分改良された。此のより及理由、又、温度分布が不良になる事から、試料の長さを長くするにも限度があり、大体、試料の長さ $10\sim 15\text{mm}$ 程度で、縞の幅を十分広くし、*Ocular Micrometer* で測定するという条件が最良であると思われる。

5.15 各種硝子試料についての測定

前節までに述べた方法を以て、各種硝子を測定した結果を述べる。測定の目的は、膨脹係数を知る事のほかに、他の膨脹計による測定値と比較する事、*Corning* の発表値と比較する事、等である。

a. 透明石英硝子

日本電気製 $6\text{mm}\phi$ の無空棒から Fig. 2 (D) の形の試料を製作した。

試料の長さ 6.243mm (Screw Micrometer にて直接測定)

* $6.2426 \pm 0.001\text{mm}$ (全致法による)

温度を上げつつ、温度-熱膨脹特性を測定した。(Fig. 22)

$\alpha_{rt-100} = 5.7 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ $\alpha_{rt-300} = 6.1 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ $\alpha_{100-300} = 6.3 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$

である。

同一棒から、Fig. 2 (G) の形の試料を作つて測定した結果は次の通りである。

補助試料の長さ		使用した光	Hg Green Line
2.824 ^{mm}			
温度	目標値の座標		
31.5 ^{°C}	0.60		$\alpha_{rt-100} = 5.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$
103.35	0.91		$\alpha_{100-300} = 6.2$ "
302.1	2.00		$\alpha_{rt-300} = 6.0$ "

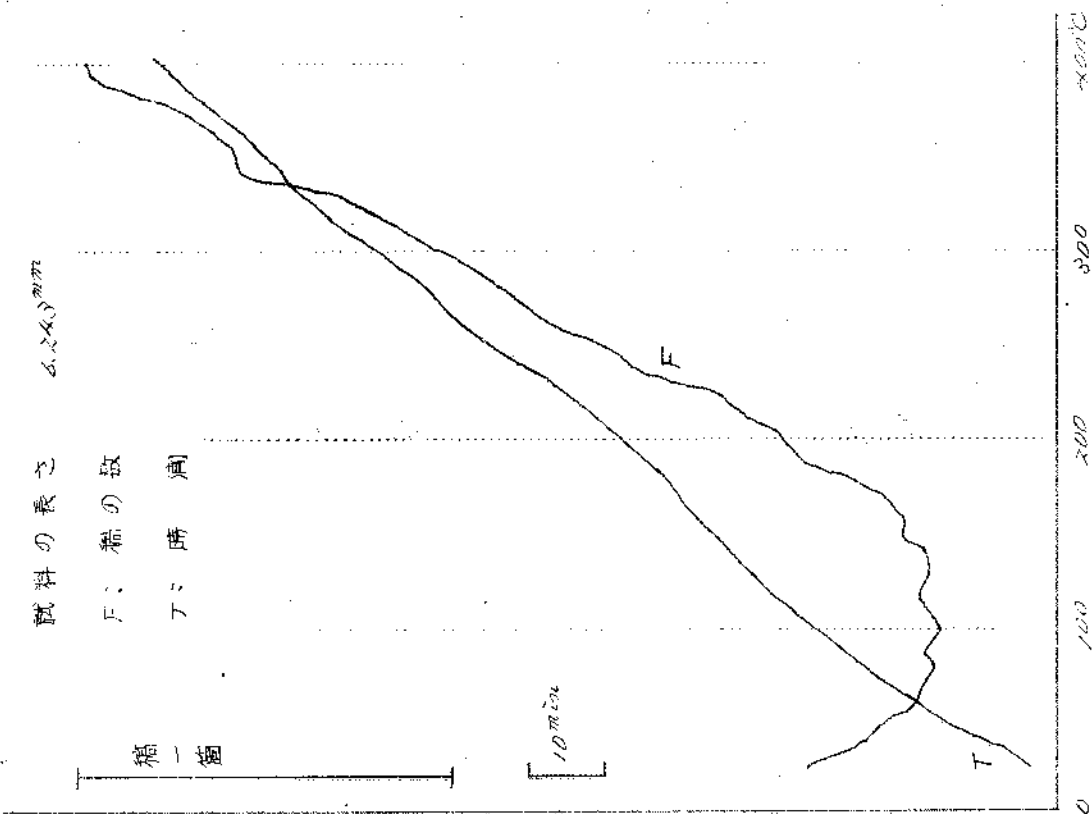
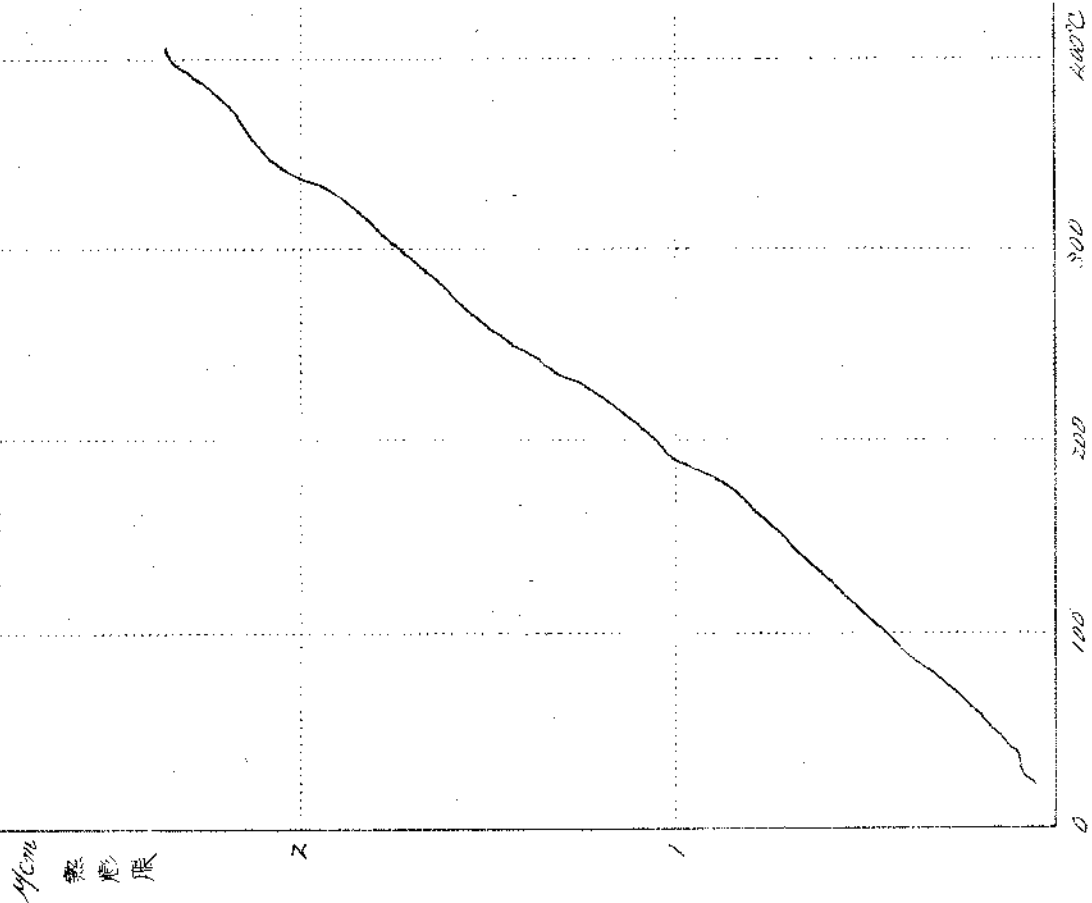
熱膨脹曲線には、読取誤差に基づくばらつきはあるが、駄務等は見出せないようである。

b. 不透明石英硝子

日本電気製、外径 10mm の管から試料を製作した。

補助試料の長さ 11.303mm (Screw Micrometer による)

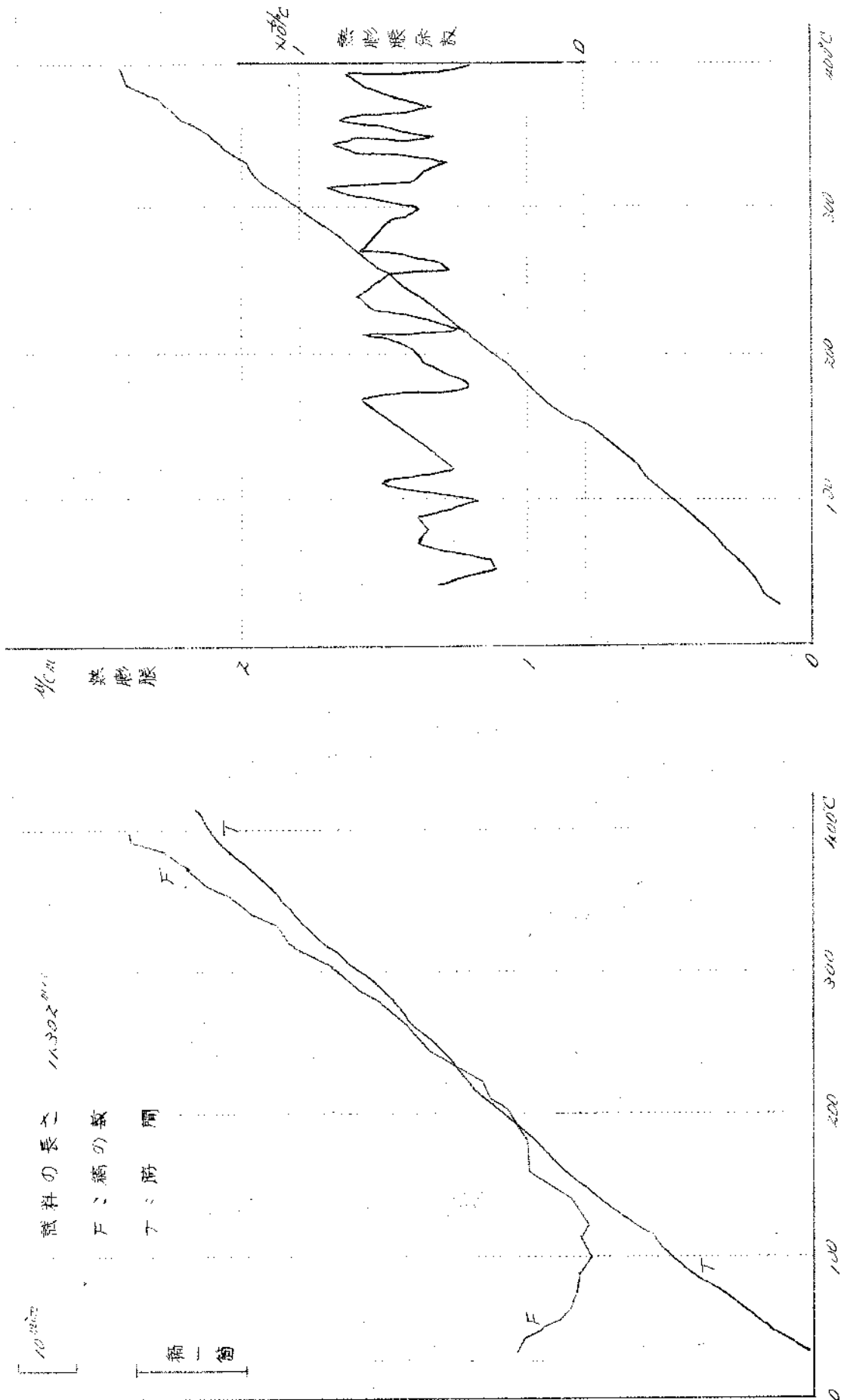
Fig. 22 透明石英燻硝子の熱膨脹



本報告に関する諸権利は、総て東京芝浦電気株式会社に属する

東京芝浦電気株式会社 管球技術部

Fig. 22 不透明石英硝子の熱膨脹



本報告に関する諸権利は、総て東京芝浦電気株式会社に属する

東京芝浦電気株式会社 管球技術部

試料の長さ $*11.3022 \pm 0.001^{mm}$ (合致法による) (11.308 ± 0.006^{mm})

測定結果は Fig. 23 の通りである。

$\Delta L_t - 100 = 4.9 \times 10^{-7}/^{\circ}C$, $\Delta L_t - 300 = 5.7 \times 10^{-7}/^{\circ}C$, $\Delta 100 - 300 = 6.4 \times 10^{-7}/^{\circ}C$

転移点は見出せないようである。10°C毎の膨脹率を計算してみても、読取誤差によるばらつきがあるだけで、膨脹率が急変したと思われぬ程度はない。以上 §15 a, b の測定により、石英硝子の膨脹係数としては $\Delta 100 - 300 = 6.3 \times 10^{-7}/^{\circ}C$ であり、転移点は 400°C 以下にはないので、示差膨脹計の標準物質として採用出来ることが判つた。

C. LM-2 硝子 (標準管)

徐冷が膨脹係数に及ぼす影響を知る為、ノ本の管の隣接した部分から輪を2箇所採り、一方を550°Cまで加熱した後徐冷し、他方はそのまま、夫々試料とした。結果は次の通りである。

徐冷した試料		徐冷しない試料	
補助試料の長さ	10.180 ^{mm}	補助試料の長さ	11.097 ^{mm}
試料の長さ	*10.1839 ± 0.001 ^{mm}	試料の長さ	*11.1043 ± 0.0035 ^{mm} (11.1044 ± 0.004 ^{mm})
使用した光		Hg Green line	
温度	目標線の座標	温度	目標線の座標
25.5°C	0.29	27.0°C	0.31
102.7	25.83	101.3	27.49
298.3	102.75	304.45	114.35
$\Delta L_t - 100 = 95.8 \times 10^{-7}/^{\circ}C$		$\Delta L_t - 100 = 97.0 \times 10^{-7}/^{\circ}C$	
$\Delta 100 - 300 = 102.2$	"	$\Delta 100 - 300 = 108.9$	"
$\Delta L_t - 300 = 105.4$	"	$\Delta L_t - 300 = 105.7$	"

徐冷による膨脹係数の差はない。前徐冷した試料は §14, d の実験に利用した。§14, d における測定値と比較すると、室径が異なる等を考慮すれば、良く一致している。

此の標準管は、VMS 式膨脹計⁽²⁾ dial indicator による膨脹計⁽³⁾では何れも、 $\Delta 100 - 300 = 110 \times 10^{-7}/^{\circ}C$ と測定されて居て、本測定法による値とは、良く一致している。

d. R-32 硝子

30-6-16 長の管から試料を2つ採り、徐冷の影響を見た。

徐冷した試料		徐冷しない試料	
補助試料の長さ	12.136 ^{mm}	補助試料の長さ	11.602 ^{mm}
試料の長さ	*12.462 ± 0.001 ^{mm} (12.4627 ± 0.003 ^{mm})	試料の長さ	*11.6075 ± 0.0010 ^{mm} (11.612 ± 0.007 ^{mm})
使用した光		Hg Green line	
温度	目標線の座標	温度	目標線の座標
27.0°C	0.40	25.5°C	0.63
297.15	25.17	107.8	25.25

温度	目標値の産標	温度	目標値の産標
300.6°C	107.00	302.3°C	102.46
$\alpha_{rt-100} = 85.3 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$		$\alpha_{rt-100} = 85.8 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	
$\alpha_{100-300} = 94.5$		$\alpha_{100-300} = 94.8$	
$\alpha_{rt-300} = 91.6$		$\alpha_{rt-300} = 92.4$	

徐冷した方が、僅か小さく測定される傾向がある。しかし差は測定誤差以内である。

VMS 式膨脹計では、此の試料は $\alpha_{100-300} = 95 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ (徐冷した試料) と測定されて居り、本実験による測定値と良く一致している。

e. 板硝子

日本製板硝子から、Fig. 2(G)型の試料を作り、徐冷して測定した。

補助試料の長さ 12.133^{mm}

試料の長さ * 12.1343 ± 0.0013^{mm} (12.136 ± 0.003^{mm}) Hg Green Line による。

温度	目標値の産標	
24.15°C	0.36	$\alpha_{rt-100} = 82.2 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$
101.7	26.20	$\alpha_{100-300} = 92.8$
300.9	105.03	$\alpha_{rt-300} = 89.6$

f. Pyrex 硝子

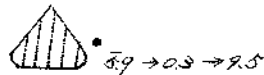
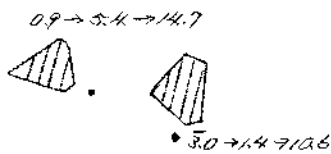
G.E. 製 Sealed Beam の反射鏡の破片を削り、Fig. 2(E) 型の試料とした。試料の長さには Screw Micrometer で直接測定し、目標値の産標は目測した。(精度 0.1) 測定結果は、Fig. 24 に掲げた。

$\alpha_{rt-100} = 33.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$, $\alpha_{100-300} = 34.0 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ である。従つて、

Fig. 24 Pyrex 硝子の測定結果

第一回測定 $L_0 = 4.632^{\text{mm}}$ 第二回測定 $L_0 = 4.632^{\text{mm}}$

数字は目標値の産標を示す

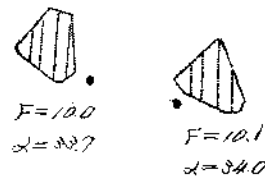


温度範囲

20.2°C ~ 117.5°C ~ 301.0°C

$$\alpha_{rt-300} = \begin{cases} 33.4 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C} \\ 33.4 \\ 33.5 \end{cases}$$

$$\alpha_{100-300} = \begin{cases} 34.1 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C} \\ 34.1 \\ 34.4 \end{cases}$$



温度範囲

105.3°C ~ 301.5°C

備考 Hg Green Line 使用す

$\alpha_{0-300} = 34 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ となり、Corning #7760 (Electrical Pyrex) についての Corning の発表値⁽⁶⁾ $\alpha_{0-300} = 34 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ と一致する。

g. Corning #0120 硝子

Corning 製ブラウン管 J109½C1 の Neck tube で比重の測定値は 2.05 であつた。Corning J109½C1 の Neck tube は #0120 と Corning Glass Works の Information に指示してある。Fig. 24(c) 型の試料を作り徐冷して測定した。測定結果は Fig. 25 に掲げる。試料の長さは直接 screw micrometer で測定し、目線の座標は目測で読取つた。

平均値として $\alpha_{rt-100} = 82.4 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$

$\alpha_{100-300} = 95.0$ "

$\alpha_{rt-300} = 91.6$ " が算出される。

今 $\alpha_{0-rt} = 78 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ と仮定すると、 $\alpha_{0-300} = 90.7 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ であつて、Corning の発表値⁽⁶⁾ $\alpha_{0-300} = 89 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ と多少差がある。

VMS 式膨脹計による測定値から、此の硝子と類似のものと思われる硝子の測定値を抜出してみると、次のようなものがある。

Corning 14" 角型ブラウン管 J109½C1 Neck tube $\alpha_{100-300} = 95 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$

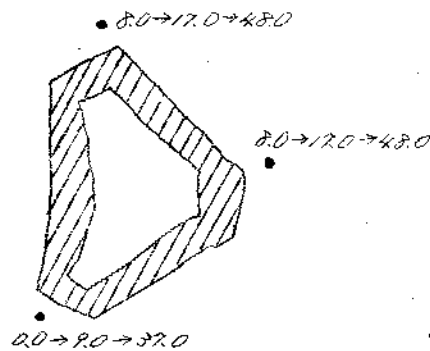
USA 12" ブラウン管 Neck tube $\alpha_{100-300} = 98 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$

本実験値と Corning 製ブラウン管については良く一致している。

Fig. 25 Corning #0120 硝子と思われる試料の測定結果
数字は目線の座標を示す。Hg Green line.

第一回測定 $L_0 = 4.581^{mm}$

第二回測定 $L_0 = 4.581^{mm}$



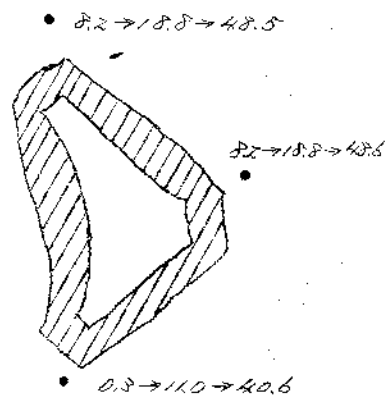
温度範囲

$29.8^{\circ}\text{C} \sim 102.0^{\circ}\text{C} \sim 303.7^{\circ}\text{C}$

$\alpha_{rt-100} = 81.1 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$

$\alpha_{100-300} = 95.2$ "

$\alpha_{rt-300} = 91.4$ "



温度範囲

$21.3^{\circ}\text{C} \sim 104.1^{\circ}\text{C} \sim 298.0^{\circ}\text{C}$

$\alpha_{rt-100} = 82.7 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$

$\alpha_{100-300} = 94.8$ "

$\alpha_{rt-300} = 91.7$ "

h. G.E製 #0080 硝子

G.E製電球バルブ（直径約80^{mm} 内面つや消し）からFig. 2(C)型の試料を作製し、徐冷して測定した。化学分析によると、Corning #0080硝子と大体一致する。

測定結果はFig. 26 に掲げる。

$\alpha_{100-100} = 86.0 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$, $\alpha_{100-300} = 96.4 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$, $\alpha_{100-300} = 92.9 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ となる。 $\alpha_{0-100} = 82 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ と仮定して計算すると、 $\alpha_{0-300} = 92.1 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ であつて、Corningの発表値⁽⁶⁾ $\alpha_{0-300} = 92 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ と一致する。

VMS式膨脹計の測定値から、同種硝子の測定値と思われるものを抜出すと次の通りである。

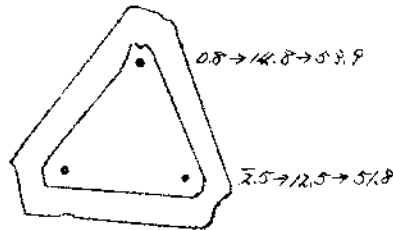
G.E.電球 $\alpha_{100-300} = 97 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$
 本実験の測定値と良く一致する。

Fig. 26 #80 硝子の測定結果

数字は目標点の座標を示す。Hg Green Line による。

試料の長さ 5.840^{mm}

第一組測定



$\bar{2.1} \rightarrow 12.1 \rightarrow 51.3$

温度範囲

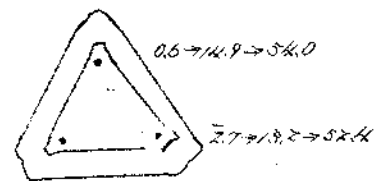
215[°]C ~ 104.7[°]C ~ 304.1[°]C

$\alpha_{100-100} = 86.0 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$

$\alpha_{100-300} = 95.8$ "

$\alpha_{100-300} = 92.7$ "

第二組測定



$\bar{2.5} \rightarrow 13.0 \rightarrow 52.0$

温度範囲

217[°]C ~ 107.5[°]C ~ 304.7[°]C

$\alpha_{100-100} = 86.1 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$

$\alpha_{100-300} = 97.1$ "

$\alpha_{100-300} = 93.1$ "

i. CP-54 硝子

輪形試料によつて測定した。450[°]C に加熱して、徐冷した事による、膨脹係数の変化を調べた。Hg Green line により測定した。

徐冷した試料

補助試料の長さ 10.244^{mm}

試料の長さ 10.2128 ± 0.0071 ^{mm}

温度 目標点の座標

220[°]C 670

103.4 830

306.9 37.25

徐冷しない試料

補助試料の長さ 9.962^{mm}

試料の長さ 9.9625 ± 0.0010 ^{mm} (9.968 ± 0.0055)^{mm}

温度 目標点の座標

26.2[°]C 0.20

103.2 9.95

302.2 37.07

$$\alpha_{rt-100} = 37.8 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_{100-300} = 40.3$$

$$\alpha_{rt-300} = 39.7$$

$$\alpha_{rt-100} = 39.7 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_{100-300} = 41.9$$

$$\alpha_{rt-300} = 41.2$$

徐冷により $1.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 位小さくなる。

他の lot についての、異なる方法による測定を次に示す。

真空棒から Fig. 27 (A) 型の試料を作り、2種は徐冷し、他はそのままとし、干渉板上に配置した。測定結果を Fig. 27 に示す。

Fig. 27 CP-3X 硝子の測定結果 (I)

黒点は目標点

F: 縞の移動量 Hg Green line による。

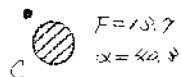
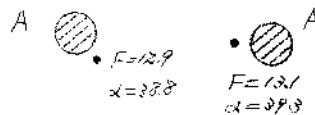
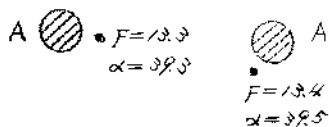
α : 単位 $10^{-7}/^{\circ}\text{C}$

A: 徐冷した試料

C: 徐冷しない試料

第一周測定

第二周測定



温度範囲

温度範囲

$$100.0^{\circ}\text{C} \sim 299.6^{\circ}\text{C}$$

$$100.9^{\circ}\text{C} \sim 299.5^{\circ}\text{C}$$

$$L_0 = 5.104^{72.72}$$

$$L_0 = 5.104^{72.72}$$

$$\alpha_{100-300} = 39.2 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C} \text{ (徐冷した試料)}$$

$$= 40.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C} \text{ (徐冷しない試料) である。}$$

更に他の lot についての測定を Fig. 28 に示す。

Fig. 28 CP-3X 硝子の測定結果 (II)

黒点は目標点

F: 干渉縞の移動量 Hg Green line による。

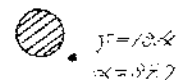
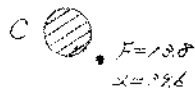
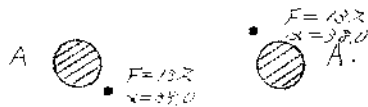
α : 単位 $10^{-7}/^{\circ}\text{C}$

A: 徐冷した試料

C: 徐冷しない試料

第一周測定

第二周測定



温度範囲

温度範囲

$$100.3^{\circ}\text{C} \sim 302.5^{\circ}\text{C}$$

$$101.0^{\circ}\text{C} \sim 297.4^{\circ}\text{C}$$

$$L_0 = 5.175^{72.72}$$

$$L_0 = 5.175^{72.72}$$

$$\alpha_{100-300} = 38.1 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C} \text{ (徐冷した試料)}$$

$$= 39.7 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C} \text{ (徐冷しない試料)}$$

最後の試料については、*dial indicator* を使用した膨脹計による測定値がある。 $\alpha_{100-300} = 32.2 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ (徐冷した試料、5回の測定の平均値)

$$= 32.4 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C} \quad (\text{徐冷しない試料、5回の測定の平均値})$$

測定値はよく一致している。

この値が、*Lot* により可成差がある事も判明した。

J. Terex 硝子

真空炉から、Fig. 2(G) 型の試料を作り、 650°C に加熱、徐冷したための影響を調べた。Hg Green Line により測定した。

徐冷した試料		徐冷しない試料	
補助試料の長さ	13.928 ^{mm}	補助試料の長さ	13.293 ^{mm}
試料の長さ	39.8271 ± 0.001 ^{mm}	試料の長さ	39.224 ± 0.0055 ^{mm}
温度	目標値の座標	温度	目標値の座標
22.9°C	0.00	22.9°C	0.00
109.7	11.55	109.5	9.57
295.0	39.61	302.7	40.80
$\alpha_{rt-100} = 32.0 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$		$\alpha_{rt-100} = 34.7 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	
$\alpha_{100-300} = 32.6$	"	$\alpha_{100-300} = 35.0$	"
$\alpha_{rt-300} = 32.2$	"	$\alpha_{rt-300} = 34.9$	"

VMS 式膨脹計では、 $\alpha_{100-300} = 33 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ (徐冷した試料) と測定されている。

Fig. 29 Terex 硝子の測定結果

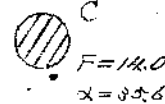
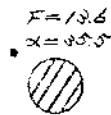
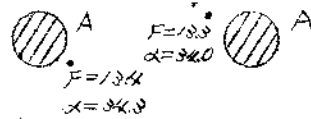
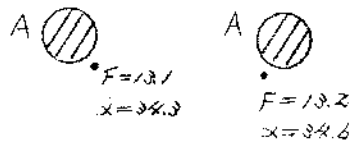
黒丸は目標値 F: 干渉縞の移動量 Hg Green Line による。

A: 平均熱膨脹係数 単位 $10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ A: 徐冷した試料

C: 徐冷しない試料

第 1 回測定

第 2 回測定



温度範囲

温度範囲

$$99.2^{\circ}\text{C} \sim 298.0^{\circ}\text{C}$$

$$101.6^{\circ}\text{C} \sim 305.8^{\circ}\text{C}$$

$$L_0 = 5.865^{\text{mm}}$$

$$L_0 = 5.865^{\text{mm}}$$

他の *Lot* の試料により、他の方法で測定した例を Fig. 29 に示す。

$$\alpha_{100-300} = 34.3 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C} \quad (\text{徐冷した試料})$$

$$= 35.6 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C} \quad (\text{徐冷しない試料})$$

此の試料については、*dial indicator* を使用した膨脹計による測定値がある。
 $\Delta_{100-300} = 39.8 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ (徐冷した試料、5回の測定の平均値)
 $= 39.7 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ (徐冷しない試料、5回の測定の平均値)
 一致は良好である。

6. RB-50 硝子

無空棒から Fig. 2(9) 型の試料を作り、測定した。Hg Green line による。

徐冷した試料		徐冷しない試料	
補助試料の長さ	2.946 ^{mm}	補助試料の長さ	10.826 ^{mm}
試料の長さ	12.9499 ± 0.007 ^{mm}	試料の長さ	10.8190 ± 0.0090 ^{mm}
温度	目標値の座標	温度	目標値の座標
295°C	0.72	295°C	0.91
102.8	14.49	104.0	12.50
298.5	56.68	302.4	50.73
$\Delta_{\text{rt}-100} = 46.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$		$\Delta_{\text{rt}-100} = 47.4 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	
$\Delta_{100-300} = 49.2$	"	$\Delta_{100-300} = 52.5$	"
$\Delta_{\text{rt}-300} = 48.5$	"	$\Delta_{\text{rt}-300} = 51.1$	"

同一の試料について VMS 式膨脹計は $\Delta_{100-300} = 50 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ と測定している。

7. 討 論

以上の測定結果から見て、干渉を利用した膨脹計が、十分な精度を有している事が判った。又他の型式の膨脹計による測定値と比較して、 $\Delta_{100-300} = 30 \sim 110 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ なる範囲の硝子については、 $1 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 以上の差の括る測定値を示す事もなかった。亦に現在用いられている膨脹計は、十分正確な値を手えている事が判明した。Corning の発表値との比較を行つても、満足な一致が得られて、その実からも本装置による測定 of 正確度が確かめられた。

此の測定法に関しては、完全な自信が持てる事になつたわけである。

5.16. 2.2 の金属試料についての測定

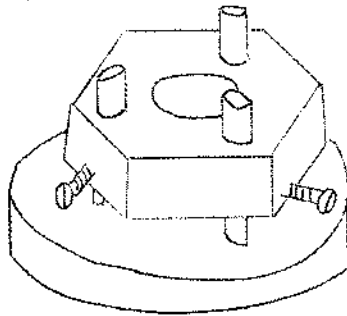
金属の性質は、熱履歴、成型法等により著しく変化するものであるから、単に1箇の試料につき熱膨脹を測定しても無意味な事が多い。しかし、特定の試料について、熱膨脹を知る必要は屡々ある。金属試料は形状が制限される場合があるが、干渉による膨脹計は試料が小さくて良いので、有利である。以下には、現在まで必要あつて測定した例を掲げて、此の測定法が金属にも有効に利用出来る事を示そうとするものである。

a. W 及び Mo についての測定

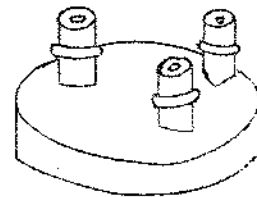
金属材料技術課の試料である。3^{mm}φ の棒を Fig. 30(A) の様に鉄ブロックに組合わせて測定した。測定結果は Fig. 31 に示す。恐らく熱電対の指示と試料の温度とは、差がある事が考えられ、此の事が此の測定法の缺點であ

る。

Fig. 30 試料の形状



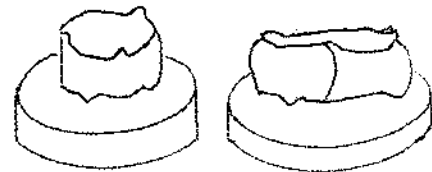
(A)



(B)



(C)



(D)

b. Kovar についての測定

Ge diode の極として使用されたもの。長さ 3.398^{mm} である。Fig. 30(B) の形である。結果は Fig. 32 に示す。

c. Sylvania #4 metal についての測定

ブラウン管の Cavity Cap であり、その形のまゝ、多少削って試料とした。Fig. 28(C) の形である。米國より Cavity Cap の形で入荷したものと、板で入荷し社内で成型したものについて測定した。試料の長さは夫々 4.828^{mm} 及び 6.397^{mm} である。結果は Fig. 32 に示す。2つの試料の間に著しい差はない。

d. 合金についての測定

合金材料技術課試料。直径 1^{mm} の棒から試料を切出し、軸方向と半径方向の膨脹を測定した。試料は Fig. 28(D) の形で長さは夫々 2.540^{mm} 、 2.414^{mm} である。結果は Fig. 31 に示す。二つの方向に対する熱膨脹に着しい差はない。

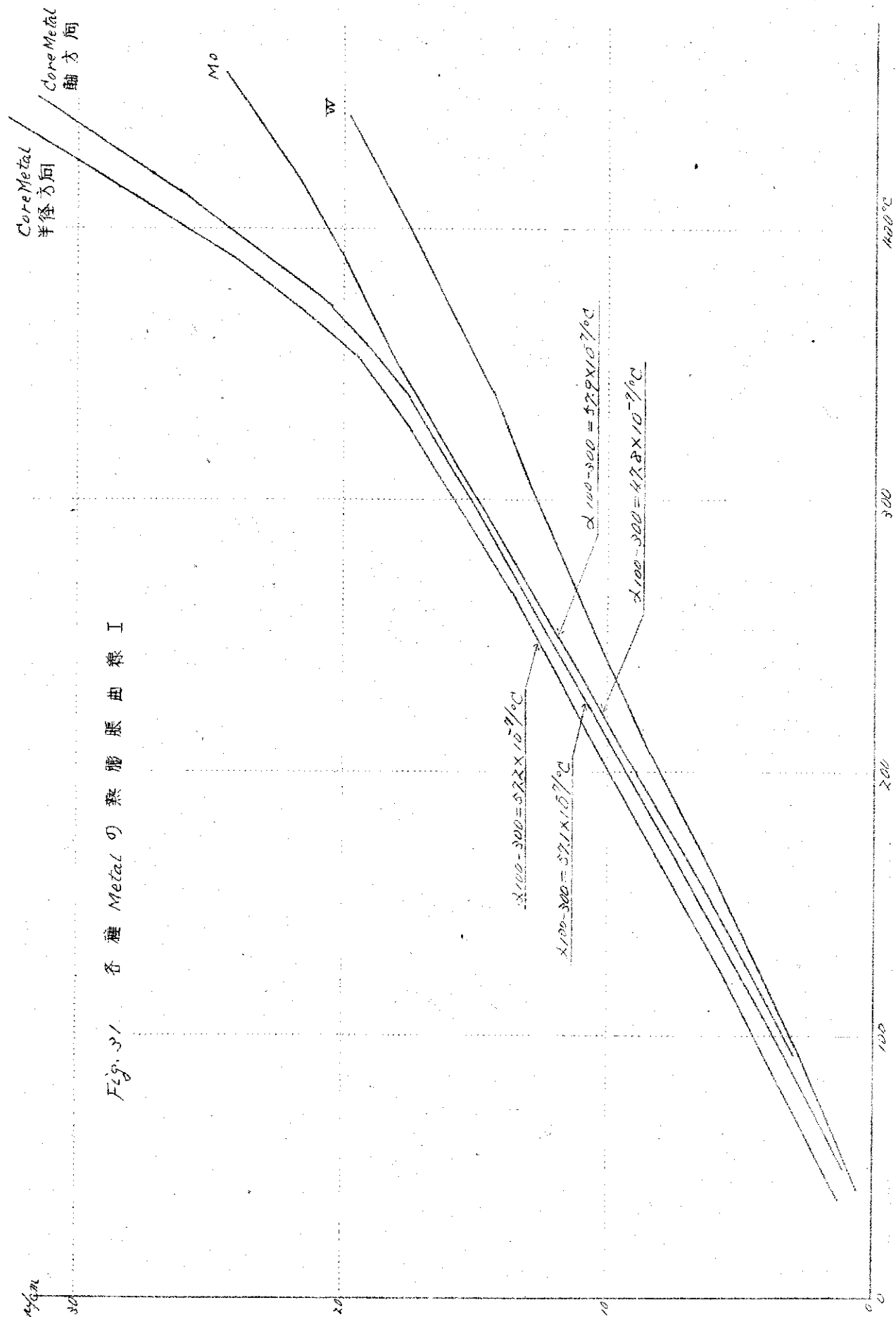
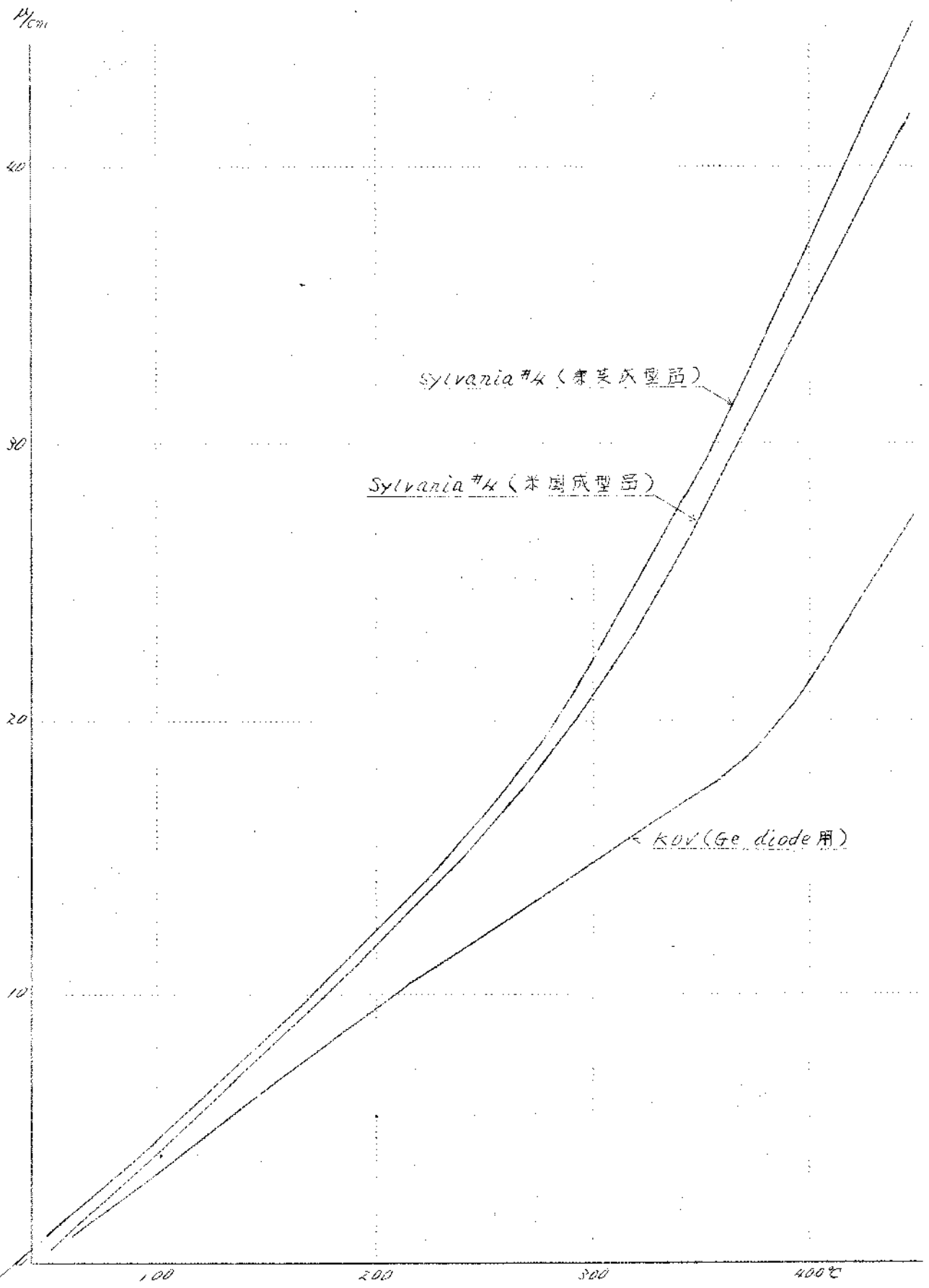


Fig. 3/1 各種 Metal の 熱膨脹曲線 I

本報告に関する諸権利は、総て東京芝浦電気株式会社に属する

東京芝浦電気株式会社 管球技術部

Fig. 32 各種 Metal の熱膨張曲線 II



本報告に関する諸権利は、総て東京芝浦電気株式会社に属する

東京芝浦電気株式会社 管球技術部

§17. 総括及び結論

光の干渉を利用して、正確な熱膨脹係数を測定する方法について、理論的実験的に研究し、考えられる誤りの原因を検討した。更に正確な測定を行うために必要な手段を各種提案した。又、干渉縞の移動を観察する事を必要とせず、従つて教え誤りの可能性を除いた方法を略確立して、測定を簡易化する事が出来た。

此の装置による測定値を、米国 Corning 硝子会社の値、及び当課で採用されている示差膨脹計による測定値と比較し、良く一致する事が判明した。

又、各種金属等、特殊な形状をしている試料につき、そのまま形を変化する事なく測定し得る事も判り、応用方面が拡大した。

此の方法以上に精密に測定する事は、相当大掛りな実験となり、お難である。

此の方法が確立されたので、現用の他の型式の膨脹計を常に正確な値が得られる状態に保つ事が可能になったほか、此の測定法は他の膨脹計とは異なつた特徴を持っているので、形の小さい試料、膨脹係数の小さい試料に対して有利である事も判つた。今後、適用される事が期待出来る。

- (1) Merritt. *The Interference Method of Measuring Thermal Expansion.*
Journ. Res. Nat. Bur. of Standard Vol 10 P 59 (1933)
- (2) Saunders. *Improved Interferometric Procedure with Application to Expansion Measurement.*
Journ. Res. Nat. Bur. of Standard Vol 23 P 179 (1939)
- (3) 例えば、木内、光 P 210 (岩波全書)
- (4) Saunders. *An Apparatus for Photographing Interference Phenomena.*
Journ. Res. Nat. Bur. of Standard Vol 35 P 157 (1934)
- (5) Perard. *Travaux et Memoires du Bureau International des Poids et Mesures Vol 19 P 78 (1934)*
- (6) *Properties of Selected Commercial Glasses*
Corning Glass Works (1949)
- (7) 真空燈材料規格 VMS 31 (7-4) 第二條
- (8) 管球技術部技術報告第 187 号

以上