

熱膨脹測定の自動化

岸 井 賢



(写真1は岸井 賢氏)

まえがき

材料を高温や低温で処理、加工、使用する時は熱膨脹が重要な特性である。各種の試料に適した測定法が多く提案されている。測定には時間と労力とを要するので、自動化が試みられて来たが、最近はずり器、計測技術が発達し、自記計器の実用化が容易になった。膨脹計については他の総説にゆずり、自記化のために用いられた方法を簡単に述べてみる。

〔1〕わが国の実施例

1.1** 図-1は橋本氏により製作されたガラス用膨脹計である。石英ガラスを標準物質とした示差膨脹計で測定用を小さく、一定にするため炉体を傾けた。試料と標準との膨脹差は石英ガラス押棒で取出され、抵抗

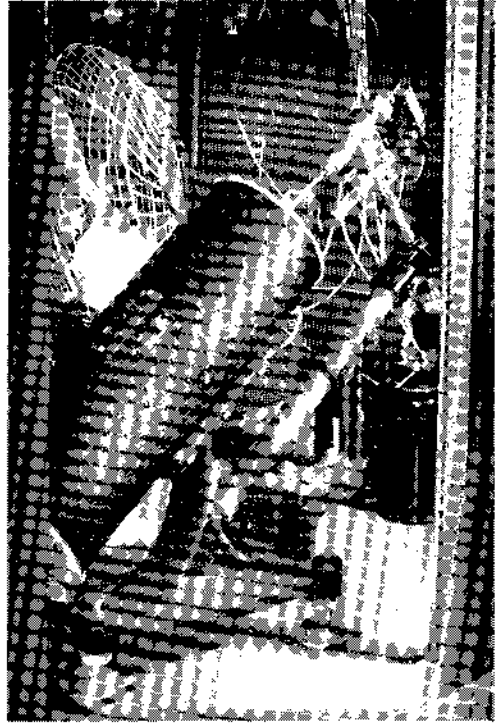


写真-1 b 加熱炉

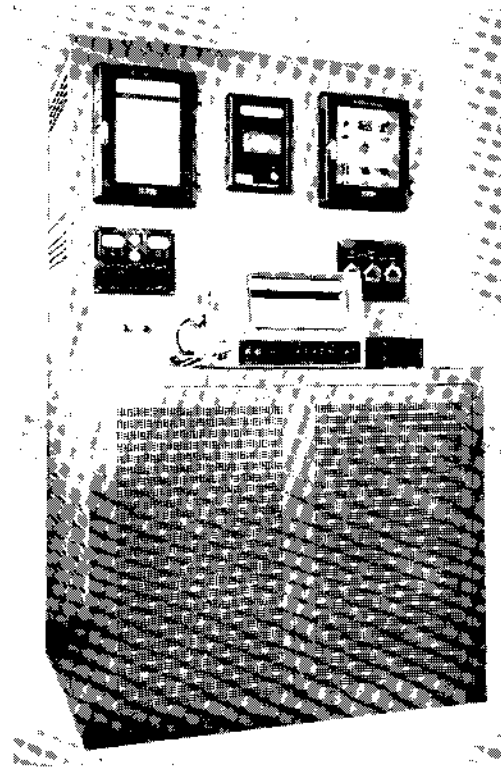


写真-1 a 全 景

日本電信電話公社電気通信研究所に設置された自記膨脹計
(橋本浩氏製作) 0°~1000°C、精度±1%

*東京芝浦電気株式会社管球事業部機材技術部

**写真-1は電気通信研究所、渡辺宗男氏の御好意による

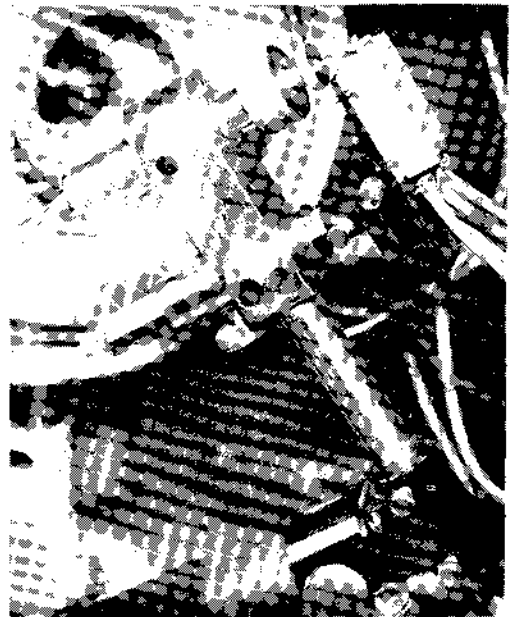


写真-1 c ストレインゲージ取付けの状況

線歪計のゲージを張りつけた板ばねを曲げる。温度はプログラム調節器によって変化して行き、熱電対と歪計との出力はそれぞれ記録計に並行して記されるか、または X-Y 記

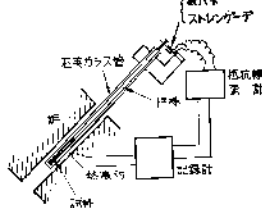


図-1 自記示差膨脹計³⁾

録器で直接に膨脹曲線が得られる。各種の熱処理を受ける場合（封着体の焼鈍、徐冷等）における特性研究に適した測定器である。

1.2 図-2に東芝でガラスの試験、品質管理用に使わ

れている膨脹計を示す。詳細は本誌に報告された³⁾。真空管材料規格に定められた石英ガラス製示差膨脹計を白記化した。試料の伸びは凹面鏡をつけた光学でこで 1000 倍に拡大される。すなわ

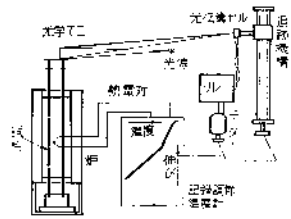
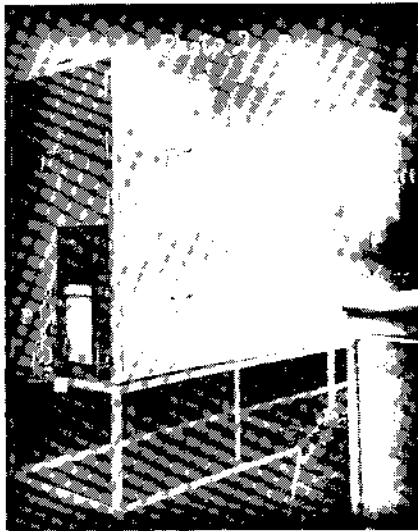
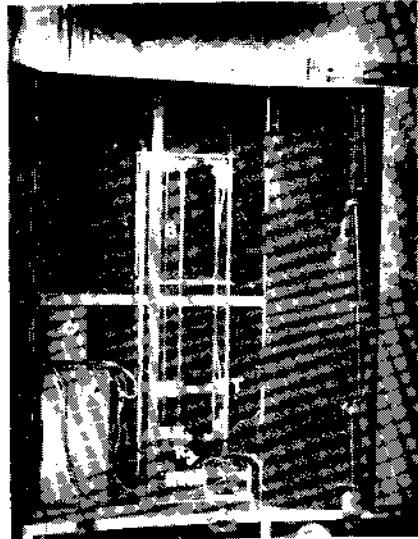


図-2 自記示差膨脹計³⁾

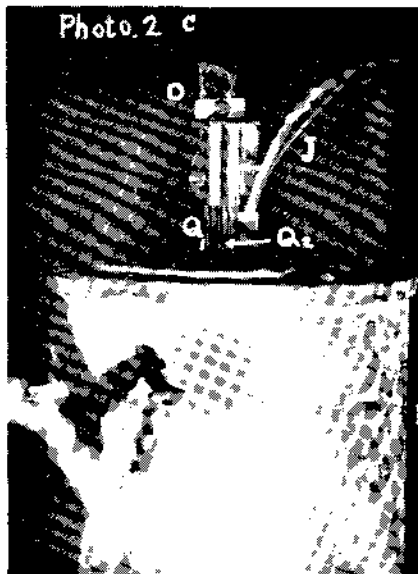
ち光源の実像が追跡機構部にでき、試料の伸びにつれて移動する。光伝導セルを持つ追跡子に実像が入射すると、増幅器、リレーをへてモーターが動かされて、追跡子は常に像に接するよう移動する。試料の伸びと



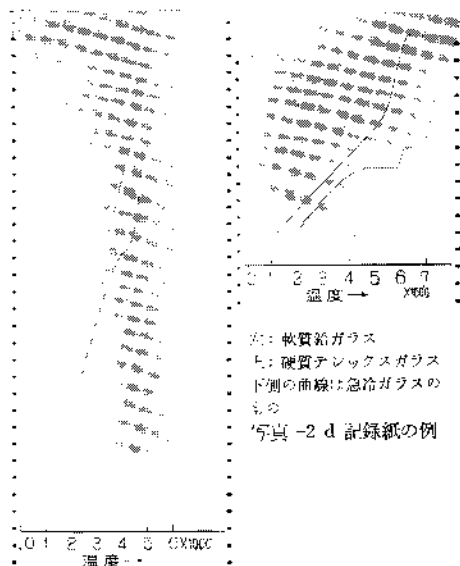
記録計側から見た様子 P: バックグラフ
写真-2 a



追跡機構
T: 追跡子, R: 記録計, C: 調節器
写真-2 b



図の上の部
O: 光学でこ, J: 熱電対, Q: 石英ガラス棒,
F: 電気炉
写真-2 c



○: 軟質鉛ガラス
△: 硬質テラックスガラス
下側の曲線は急冷ガラスのもの
写真-2 d 記録紙の例

写真-2 東芝に設置された自記膨脹計

追跡機構の運動とが比例しているのので、これに連動して記録温度計の記録紙を送る。記録紙上には、温度を横軸、試料の伸びを縦軸にとった膨脹曲線が書かれる。温度に連動して炉の入力電圧が変化し、常に一定速度に近い温度上昇が得られている。

光伝導セルは狭い電極間に CdS などを蒸着したものである。光が当たると抵抗が下るので、簡単な増幅器でリレーなどを動かせる。長波長の光にもよく感じ、有効入射スリット幅（極間の距離）が小さいので追跡の精度がよく、このような目的には光電管より適している。

1.3 図-3 は機械試験所で、金属の焼入時の長さ変化を測定するために作られた石英ガラス製差膨脹計である⁹⁾。試料の伸びは抵抗線歪計で増幅されてブラウン管の縦軸へ、熱電対出力は交流変換—増幅—整流されて横軸へ入れられ、最短1秒の急冷時間内の膨脹曲線を書くことができる。輝点の移動量（縦方向）対試料の伸びの比は600倍、測定圧150gである。

1.4 福家氏も金属用石英ガラス製差膨脹計を報告した⁹⁾。試料と石英ガラスとの伸びの差は抵抗線歪計で測られ、熱電対の出力とともにX-Y記録器に入れられる。本多式膨脹計⁹⁾と同じく、試料部を真空や各種雰囲気中に入れて測定できる。測定圧調整の方法、歪計の感度等について論じており、この種装置の設計に当って参考になるであろう。

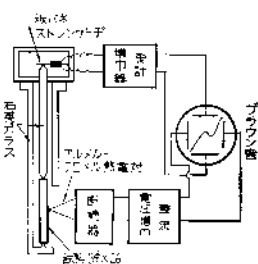


図-3 自記差膨脹計

〔2〕 自記差膨脹計

2.1 図-4 は Cox などによるものである⁹⁾。石英ガラス製わく上にガラス試料をのせ、間に石英ガラスのころをはさむ。全体を炉中に入れると、試料とわく

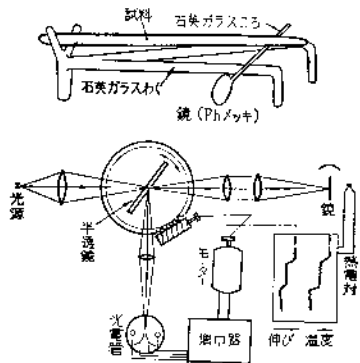


図-4 自記差膨脹計

との膨脹差に比例してころと鏡が回転する。炉外から図示の光学系で鏡に光を当てている。反射した光は複

合光電管の各光電面に等量ずつ入射するが、鏡の回転によって光量の平衡が破れると増幅器等によってモーターが動き、半透鏡を回転して平衡を回復する。この回転に連動して指示計の針が動き回転量を記すと共に、温度が並行的に記録される。伸びを補正し、補正量を記録する点に特長がある。現在ならば光伝導セルを使うとよいと思われる。

2.2 耐火物用膨脹計について二、三述べる。図-5は Lieberman などによるもので⁹⁾、標準物質としてサファイヤ ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, 1500°Cまで使用可能)を使う。試料と標準との膨脹差により押棒下端の可動格子が固定格子に対して動く。格子はそれぞれ約

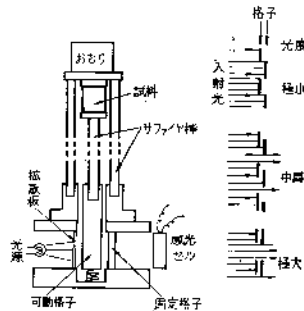


図-5 自記差膨脹計⁹⁾

200回/cmの割合で、透明、不透明部が並んでいる。光を当てると、可動格子の変移につれ、光がぜんぜん通らない時と一番明るい時とが繰返す。光を受光器で受け定速度の記録紙上に記録させるとのこぎり歯形の線になり、その週期は格子の1週期に等しい伸びを代表する。温度は光量とともに並行記録される。製作費(ドル)はサファイヤ100、格子40、受光器240、機械加工350、白金発熱体と熱電対650、炉台など100であった(記録計は別)。

その他、歪計を用いて温度と伸びとをX-Y記録器に入れるもの⁹⁾、伸びによってダイヤフラムを動かして光をさえぎり光量変化を記録するもの⁹⁾、伸びを光学的に拡大して印刷紙上に記録するもの¹⁰⁾、伸びにより差動変圧器の鉄心を動かして出力変化を記録するもの¹¹⁾がある。差動変圧器は一次コイルのまわりの2個の二次コイルを、出力がたがいに打消されるよう接続したものである。中心の鉄心を動かすと二次コイルの誘起電圧間の平衡が破れ、端子に出力が発生する。出力電圧は鉄心移動量に比例するので、伸びが電圧に変えられ簡単に記録できる。精度は±2%であるという。

耐火物用には発熱体として白金、グローバー、標準物質としてはアルミナ、精密を要する時は石英ガラス(常用1150°C、短時間1250°Cまで)が使われる。

熱間荷重試験でも耐火物の伸縮がしばしば自記されているが、これらについては専門の方の解説を待ちたい。

〔3〕 自記干渉膨脹計

3.1 干渉膨脹計とはたとえば図6のように、試料を適当に成形し、2枚の光学的平面ではさんだ時にこれ

らの面がたかひに平行に近くなるようにし、単色光で見た時に等厚の干渉縞による明暗が生ずるようにした装置である。試料が伸びると面間の光路差が変り縞が移動する。半波長の伸びが縞1個の移動に相当するので、膨脹を精密に測れる。しかし縞を正しく数え続けるために努力を要するので、古くから自動化が試みられたが、アメリカ標準局で完全に近いものが開発された。

3.2 Work による装置を図-6 に示す¹²⁾。60 c/s AC 点灯の He ランプを光源とし、 m_1 -P-試料-P- m_2 の順に通過した光により、干渉縞が m_2 の所に投影される。 m_2 にあけられたスリット S_2 (0.1 mm ϕ) を経て、二次電子増倍管に入る光量変化を増幅し、縞の1週期が通過することに記録温度計の記録紙を1こまずつ送る。

ゆえに記録紙上には温度を横軸、移動した縞数(試料の伸び)を縦軸とした膨脹曲線が書かれる。増倍管に入る光量変化が少ないため、光源の点滅週期 120 c/s に同調させた増幅器と雑音の影響をさけるために長時間の直流増幅器とを用いた。図示のものは低

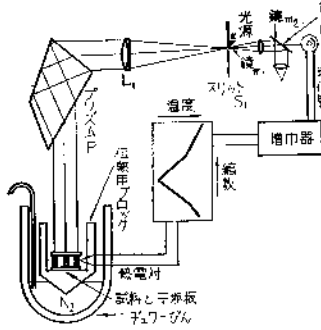


図-6 自記干渉膨脹計¹²⁾

測測定用で、試料の温度はジュワーびん中の液体窒素のレベル変化で調節するが、炉と入れかえて高温で測定することももちろんできる。定偏角プリズムPを回転して増倍管によく感ずるスペクトル線を容易にえらぶことができる。

3.3 図-7 は Saunders の装置の受光部である¹³⁾。干渉縞は鏡にあけられたスリット S_2 (幅 1.5 mm の直線) をへて、フィルム面に投影される。フィルムはスリットの幅方向に定速度で移動するので、干渉縞の明暗はフィルム移動の方向に平行(縞が止まっている時)、あるいは斜め(動いている時)の条として記録される。干渉部分を図-8

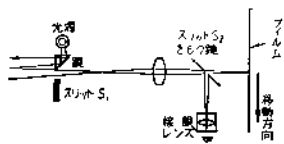


図7 自記干渉膨脹計¹³⁾の受光部

きる。温度によって石英ガラスの屈折率が変わるために、面の間の光路差も変わって縞が動くので、これを干渉温度計として使える。厚さ 5 mm の時縞 1 個が 5°C 位に相当する。温度計は 900°C 以下では再現性

がある。フィルム面には試料部と温度計部の縞が並行記録される。フィルムによく感ずる波長の線を使うが、炉内が赤熱して来れば短波長の線と取りかえる。

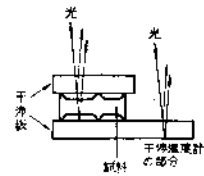
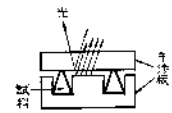


図-8 試料による干渉部と干渉温度計部¹⁴⁾

3.4 上記の装置の先駆と見られるものが古くから報告された¹⁴⁾。当時の感光材料の感度不足を補う方法がいろいろ工夫されている。たとえば干渉板を図-9 のように加工し、干渉面間の距離を 1/2 mm 位として面に半透明の白金メッキを付けて用いた。これによって、反射強度がまし縞が明るくなる、面間の多重反射のため(多重反射干渉法と同じ理由で)縞の明部が細くなり測定精度が上る、面を見込む角度の変化の影響が小さいので、発光体の広い面からの光束を使える、高圧水銀灯のように輝度が高い



がスペクトル線の半値幅が広がっている光源を使える、スペクトル線をフィルタ(たとえば 436 m μ に対してクロム酸カリ溶液、メチルバイオレット等)により明るく取出せるなど多くの利点がある。光学系にも円筒レンズを使って光を集中するなど工夫されていた。金属試料を真空中で、あるいは炉からの熱伝達を良くするため導入した 3 mm Hg の He 中で測定することも試みられた。

なお干渉縞の自動計数については辻氏らの総説¹⁵⁾がある。

む す び

研究、使用の目的によってそれぞれ適した自記測定方式をえらぶべきであるし、新しくすぐれた方式を開発することがもっとも望ましい。各方式の特長、精度、保守の難易などを正しく判断するには専門的な知識が必要で、筆者の能力を超えるからここでは深く立入らなかった。実施に当っては慎重な検討をされるようお願いする。自記化の効果はたとえば単一品種大量生産の工場と、多品種生産の工場とでちがひ、また膨脹特性が製品の良否に関連する程度にもよるであろう。ある場合には自記化が従来の人手による測定の代用であるばかりでなく、今まで研究できなかった方面へ有力な手段として利用できることにもなるので、このような技術の進歩が待たれるわけである。

文 献

- 1) 河嶋千尋、窯業原料 第2集、p.62 (1950)
- 2) 鷹木 浩、化学関係学会講演要旨集、Nov. (1958)
- 3) 岸井 貞、窯協、65、269 (1957); 特許 237001号
- 4) 本多 宏、伊藤正二、計測、3、170 (1953)
- 5) 福家 章、三菱電機、32、707 (1958)

- 6) S.M. Cox, J.F. Stirling, P.L. Kirby. *J. Soc. Class Tech.*, **35**, 103 (1951)
- 7) A. Lieberman, W.B. Crandall. *J. Am. Ceram. Soc.*, **35**, 304 (1952)
- 8) S.P. Mittoff, J.A. Pask. *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **35**, 402 (1956)
- 9) R.J. Beals, J.H. Lauchner. *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **37**, 486 (1958)
- 10) M.P. Bauleke. *Ceramic Age*, 71 Mar. 24 (1958)
- 11) H.J. Kelly, H.M. Harris. *J. Am. Ceram. Soc.*, **33** 344 (1956)
- 12) R.N. Work. *J. Res. N.B.S.*, **47**, 80 (1951)
- 13) J.B. Saunders. *J. Res. N.B.S.*, **35**, 157 (1945)
- 14) A. Trobridge. *J. Opt. Soc. Amer.*, **5**, 195 (1922); M.A. Arnulf. *Rev. d'Optique*, **3** 270 (1924); R.H. Sinden. *J. Opt. Soc. Amer.*, **15**, 171 (1927); J.B. Austin. *Physics*, **3**, 240 (1932); F.C. Nix, D. MacNair. *Rev. Sci. Instr.*, **12**, 66 (1941)
- 15) 辻 二郎, 難波進. 応用物理, **24** 397 (1955)