

膨張計のいろいろ

東芝 総合研究所 岸井 貫

1 膨張測定における問題点

膨張計ないし膨張測定は、普及し、普遍的に行なわれている装置、技術であるが、しかし一方、他の測定に比べて、多くの、または固有の問題をかかえている。これに注意をせずに漫然と、機械を信用して測った結果は、大変信頼性のないものである。

問題点1 他種の測定では、有効数字2桁の測定は容易なことが多い。これに対して熱膨張は、試料の原長に比べて 10^{-2} ~ 10^{-3} の量であり、これを有効数字2桁の精度で測ることは、相当に難しい技術である。

問題点2 弾性率や誘電率のように、温度に敏感でない性質の測定では、温度測定に 10°C や 20°C の誤差があっても、結果に及ぼす効果が小さい。これに対して熱膨張は、温度ないし温度差に比例する量であるから、温度測定の誤差はそれ

温度、試料へ攪乱
と云えずに、

弾性応力との関連

いし面厚さ按比例する際であるから、温度測定の見差はこれに比例した誤差を生ずる。

問題点3 ここで「温度測定の誤差」と言うものは、分解すれば、温度計の誤差のほか、温度計と試料との間の温度差、試料全長にわたる温度の不均一、を含んでいて、實際上管理できない量、測定できない量を含んでいる。

問題点4 以上のような問題点があるため、膨張計を組んで測定しても、相当の誤差が含まれる。標準試料による検定は、有効な手段であり、また必要なことであるが、たとえ500℃までの低温域だけを問題としても、酸化、相変態、流動などの恐れのない、かつ膨張係数の小さくない物質としては、白金しかないと思われる。

問題点5 標準物質としては、現在米国立標準局(National Bureau of Standard)のものが商業的に入手可能であるがこれには高温域のものは含まれていない。また膨張係数としての残留誤差としては $\pm 1 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 前後である。

石英ガラス

低膨張硼珪酸

ガラス。

2 膨張測定が行なわれる場合

膨張測定の目的としては次のような分類ができよう。

1. 計量標準 標準試料の検定, 保証
2. 材料工業での品質管理, 工程管理 特に封着材料, 複合材料において重要である。
3. 高温で使用する材料 構造材料, 耐熱衝撃材料。
4. 材料の持性値として。
5. 物性研究

低温では
特に →

上記のうち, 5. を除けば, 番号が若いほど精度の要求が厳しい。
5. では精粗いろいろありうる。2. では, 膨張係数として $\pm 2 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 温度差 300°C , 試料長 5cm に換算した膨張として $\pm 3\mu\text{m}$ を要求される。

3. 膨張計の分類

現存の膨張計の大分類として, 筆者は次のように分けてみたい。

昔はこれに精力的
に測定された。
今でも引用
高温では
これがもっとも
問題が少ない。

1. 独立測長式 試料の伸びを、標準材料の助けなしに測定する。 干渉膨張計
2. 半独立測長式 炉外で定温保持された材料を基準として伸びを測る。 双望遠鏡方式。
3. 示差式 基準材料との伸びの差を測る。
 - 3.-1 炉外測長式 伸びの差を炉外へ取出し測定する。
 - 3.-2 炉内測長式 測長系が試料と同一の炉室内にある。
4. 体積膨張計

3.-1 に属するものは、非常に多い。取扱しも簡便である。3.-2 は低温用のものだけで、高温用の例はない。

3.-2 を除けば、いずれの方式の原型も1900年までに出現している。原理的な面における精度(感度ではない。)の向上は遅々としたものであった。誇張した言い方をすれば、発展がなかったとも言える。

「発展がなかった」理由の一つは、当時の測長は原器から導かれていたのに対し、その後測長方式が光干渉に移って来ており、光干渉はすでに膨張計に取り入れられていたからである。

4 精度向上のためのチェックポイント

膨張計では普通、長さ測定の精度が温度(分布, 試料/温度計間の温度差)の面での精度を上回っていることが多い。温度の面で問題を少なくすれば、再現性はかなり向上する。

測定圧の影響は、弾性の面だけから見れば小さい。しかし、軟化、クリープをする材料、温度域では影響が大きい。また、示差式においては、測定圧は伸び伝達系の撓みを起して、誤差を極端に大きくすることがある。

上記の理由によって、伸び伝達系は、撓まないように、弾性論的に考慮が拂われていなければならぬ。

また、示差式で伸び伝達部に高膨張材料を使っている時には、並行する材料間の温度差をなくすることが大切である。

以上の注意を拂った上で、標準物質による検定をする。上記の問題点を放置したままでは、検定の意味は薄い。

5 光干渉による伸び測定

最近における電子工学、機械工学の発展によって、膨張計に各種の技術が適用され、膨張計の種類が多くなり、感度(精度では

$10^{\circ}\text{C} \rightarrow 10^{-4}$

ない)も極端に大きいものが出てきた。しかし、筆者は精度の
点では、光干渉を利用するのが最良だと信じている。

この理由を挙げると

1. 粗い測定で伸びの $0.03\mu\text{m}$, 精密には $0.01\mu\text{m}$ の精度がある。
2. 校正の必要がない。
3. 長期にわたって精度を保持する, という努力が要らない。
4. 試料や操作誤りに責任のある誤差はあり得ても, 測長系による誤差は皆無か, または非常に稀と思われる。
5. 将来, 絶対測定を試みる人があったとすれば, 干渉膨張計によらざるを得ない。
6. 高祖部と測長系との距離が長くても, 精度に影響がない。

従って, レーザーの出現が膨張測定に与えた影響は大きい。干渉性の良さ, 平行性, 単色性, 光強度のすべてが, 干渉膨張計に都合が良い。

レーザーにより, 自記化が非常に簡単になり実用性が増した。将来の発展の方向としては

1. レーザーの波長安定化, 単一モード化 (コーニング社の実施例あり。)

2. 示差膨張計の測長部を干渉計化する(東芝に実施例あり)
 3. 干渉部をファブリ・ペロー型とする(現在はフゾー型)
- これ以上の高感度化は、測温系の誤差を $0.1^{\circ}\sim 0.3^{\circ}\text{C}$ 以下にしない限り、意味がない。
 干渉膨張計には、急激な転移のある試料、不均質な試料に適さないという欠点がある。この改善に努力することは意味がある。

ついでに述べると、光てこ方式は、伸び拡大のためには、光干渉について望ましいやり方だと考えている。

6 自記化の問題

VTR

熱膨張の自記化は、見掛け上容易である。しかし、精度を考慮せずに、形式的に自記化するのは意味がないと思う。自記化のために機械→電気変換センサーを使っている時には、その感度、感度の恒常性に注意するとともに、定期的な検定が必要である。

既存の膨張計を自記化する場合、試料、測長系に変化をよえないような工夫をしないと、データの連続性は失われる。

自記=データ処理
 がないとこまる

$$\frac{X-Y}{X-X'}$$

しかしながら、逆に、相反要素を必要とする傾向の簡便化、自記化、ラボ・オートメ化に適した方式へ移る傾向がある。膨張計のセンサーとして差動トランスは、この目的に適するだけでなく、他種の測定（粘性、流動、クリープ）にも使えるため、これらと膨張計とを同一ラボオートメ系で、時分割でコントロールし、能率を上げることができる（コーニング社に実施例あり）。

熱膨張の自記化については筆者もかつては興味を持ち、窒素誌に2度にわたり執筆したことがある。しかし現在では、自記化は容易なことであり、調べる意味も小さい。精度の向上と結びついた自記でない、興味を持たない。

7 最近の膨張計の発達

測定目的の多様化と、利用できる技術の多様化とにより、膨張計の種類が非常に多くなった。これは特に、低温、極低温での測定が求められ、この場合に使用構成材料と構造に自由度がふえたからであると言える。

逆の見方をすれば、膨張計は目的に応じ工夫して、構成するものであるとも言える。

その他、X線回折のほか、中性子回折を用いたもの、薄膜の膨張を測ろうとしたもの、などは新しい方式だと言える。

低温での物質の膨張係数は零に近づくことが多いし、またその近つき方に物性論的意味があるので、その測定のために、精度は別としても、極めて高感度の方式が工夫されることがある。

これらのうち、次の諸項目に絞って説明をする。

7.1 干渉膨張計の改良

干渉膨張計は、発明以来現在まで、原理はほとんどかわらないが、次のように多数回の改良が加えられてきた。

a. 目視による測定

b. 流し撮り写真フィルムによる自動記録 NBS

c. 光電子増倍管による自動記録 NBS

d. ガスレーザーの導入

d-1 波長安定化レーザーによる長尺試料の測定 コーニング社

d-2 流し撮り写真フィルムによる自動記録 IBM

d-3 ビームの平行性の活用 清原光学

d-4 集束ビームの活用

d-5 VTRの利用

東芝 1970年
東芝

7.2 筆者による示差膨張計の改良

- a. 光てこ式拡大の自記化
- b. 固体電子素子の導入

計量研

オーストラリア

絶対膨張計

7.3 炉内測長式膨張計の二,三の実例