

(金 + 0.07%鉄) 対 クロメル (またはノーマル シルバー) 熱電対による温度制御

Temperature Control with a (Gold + 0.07 % Iron) vs Chromel
(or Normal Silver) Thermocouple

野木 宣宏，平林 健一，奈良 英明，中丸 久一，齋藤慎八郎

桐蔭学園横浜大学工学部 物理学教室

(1994 年，2 月 24 日 受理)

液体ヘリウム温度から室温までの温度領域における実験的研究で，温度を知るための方法として，金鉄対クロメル，あるいは，金鉄対ノーマルシルバーの熱電対が広く用いられている．熱電対を使用する利点としては，熱起電力による電圧をデジタルマルチメータなどを通じ，離散値のデータとしてコンピュータに送ることによって，迅速な情報処理と測定作業の省力化が図れることが挙げられる．

かつて，我々はマイスナー効果自動測定装置の自作に際し，いちいち校正表の数値をコンピュータに入力しなくても良いようにと，プログラムを作成し，雑誌「固体物理」の実験ノート欄に発表したことがある¹⁾．そのプログラムは全国の国・公・私立大学及び国立の研究所の研究者に広く利用された．ところで，そのプログラムの当初の目的とする温度領域は主として液体窒素温度から室温の間であった．その領域では，熱電対（金鉄対クロメルと金鉄対ノーマルシルバー）の実際の熱起電力から校正表によって求めた温度と，液体窒素の蒸気圧²⁾から得られる温度との相違は1%以内であった．しかし，その

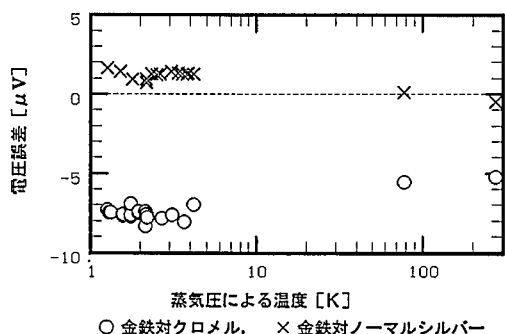
プログラムを液体ヘリウム温度領域で使おうとすると，校正表から得られる温度とヘリウム蒸気圧³⁾より求めた温度との相違は10%～70%にもおよび，温度に対する信頼性が低下してしまうことが実験を重ねた結果明らかとなった．そこで，そのプログラムの短所であった測定開始時に行なう校正表の展開のための待ち時間を短縮し，測定時の操作性を改善しつつ，熱起電力 vs 温度変換の信頼性を向上させた結果⁴⁾をここに述べてみたい．

熱起電力から温度を決めるには，熱起電力 vs 温度の校正表を用いなければならないが，これをコンピュータ上で行なうには，使用するそれぞれの熱電対に対する校正表の数値をコンピュータに入力しなくてはならない．この作業を軽減するために，熱電対の熱起電力が温度の14次関数⁵⁾で表現できることを利用して，熱電対の購入時にメーカーから14次関数の定数を教えて貰う^{*)}ことで，コンピュータへの直接の入力作業は14個の定数と温度定点の定数だけでよくなる．

14次式から作成された熱電対の校正表が示しているものは，その製造ロットに対する熱電対の基本的な熱起電力特性なのであって，

Yoshihiro Nogi, Ken-ichi Hirabayashi, Hideaki Nara, Hisakazu Nakamaru, and Shin-hachiro Saito :
Laboratory of Physics, Faculty of Engineering, Toin University of Yokohama, Midoriku, Yokohama 225.

図1 蒸気圧による温度 対 熱電対表の電圧誤差

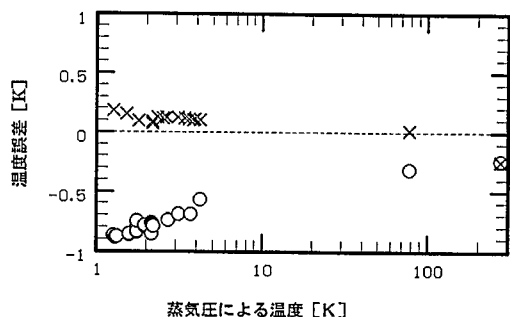


各自がその線材を使って、実際に作成した熱電対が、この校正表の特性と一致しているとは限らない。むしろ、違っている方が多いであろう。特性の変化の原因としては、熱電対の線材の歪みや、2種類の線材間の接合状態、また測定環境からの影響(磁界・電界の変動等)などが考えられる。そして、校正表の特性と実際の特性とが不一致であるために、熱電対の熱起電力から校正表によって求めた温度は、実際の温度とは違ってくる。

図1は、ヘリウム蒸気圧を水銀マノメーターおよび、マクラウド真空計により測定し、N.B.S.の1958年温度スケール³⁾により求めた温度に対する、熱電対(金鉄対クロメル、または、金鉄対ノーマルシルバー)の熱起電力の電圧誤差である。また、この電圧誤差を含んだ熱起電力を校正表により求めた温度が、蒸気圧より求めた温度とどのくらい違っているかを示したものが図2である。

図1によると、金鉄対ノーマルシルバーも、

図2 補正前の熱電対表からの温度と、蒸気圧による温度との関係



金鉄対クロメルも14次関数に対して、電圧誤差があることがわかる。特に金鉄対クロメルは金鉄対ノーマルシルバーに比べて非常にずれが大きい。このために、熱起電力を14次関数による校正表を使って温度に変換すると、温度に含まれる誤差の割合が、図2のように液体ヘリウム温度領域で激増することがわかる。

上記の欠点を解決する方法としては以下の2つが考えられる。

- (1) 誤差の原因となるものを全て排除するか、または、何らかの補償を行うことによって校正表に合うような熱電対を作る。
- (2) (1)のような考慮をしないまま、とりあえず、作成した熱電対について、実際の温度に対する熱起電力を測定し、その熱電対固有の校正表を新たに作成する。

(1)を行うには解決すべき要素が多過ぎ、しかも、非常に困難であるので、我々は(2)を採用することで問題を解決しようと試みた。

方針としては、熱電対の基本的な特性は14次関数で得られることから、これをもとにして、各自が使用する測定システムにおける熱電対の校正表を、マノメーターなどを用いて測定した温度 vs 熱起電力のデータを使って補正し、補正された校正表によって熱電対の熱起電力から正確な温度を決定する。そのためには、測定したデータ(氷定点、液体窒素定点、液体ヘリウム定点などでの熱起電力)と14次関数から算出される熱起電力との差を調べ、この誤差を14次関数にフィードバックしながら校正表を作成し、その校正表を節点として、スプライン曲線で補間し、温度変換のための関数を作らなければならない。

以上の処理を行うためのプログラム1, 2, とサブルーチン1, 2, をBASICで作成し

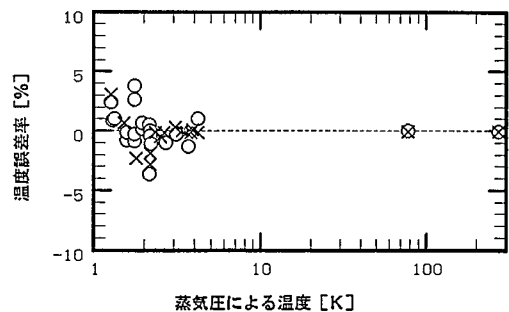
た. プログラム 1 の処理内容は, 14 次関数の定数を入力して, 熱電対の基本特性の校正表を作り出し, さらに実際に測定した温度 vs 熱起電力のデータを入力して, 14 次関数から求めた校正表の熱起電力と, 実際の温度に対する熱起電力との電圧の誤差を調べる. そして得られた温度に対する誤差電圧を, なめらかな曲線となるような温度の関数で表わし, この関数を校正表の値に補正として加えることで自分の熱電対の校正表とする. 温度による誤差電圧の関数は, 3 次の平滑化スプライン関数を用いて表わすが, この関数を得るためには平滑化係数を決定しなければならない. これはデータ点と関数曲線との相関関係を示すパラメータなので, グラフを見ながら最適な関数となるように当事者各自が決定する. 出来上がった誤差電圧の関数と 14 次関数とを電圧に関して加算することで, 熱電対の校正表を補正する. また, 校正表を作成するときに, 温度を任意に指定するので, 温度が何度(K)のときの熱起電力が知りたいのかを決めておかななくてはならない.

次にプログラム 2 では, プログラム 1 で作成した校正表の数値を節点としたスプライン関数を作って, 熱起電力の温度変換に必要なパラメータを計算し, それを一つのファイルとしてフロッピーディスク上に保存する. このファイルを呼び出すことで, 温度測定を即座に行うことができる. パラメータのファイルをコンピューターに読み込むためのプログラムをサブルーチン 1 として, また, 読み込まれたパラメータを使って温度変換をするためのプログラムをサブルーチン 2 (引数 = V (熱起電力), 戻り値 = T (温度)) とする. これらのサブルーチンを各自の使用している測定プログラムに組み込んで使用する.

各プログラムの計算速度の向上と使用上の便宜を考慮される方は MS-DOS その他に変換し, 実行ファイルとする方がよいかもしれない. 我々も実験では MS-DOS にコンパイルしたプログラムを使用している.

以上の方法によって, 測定した熱起電力が

図 3 補正後の熱電対表による温度誤差率と, 蒸気圧による温度との関係



ら算出した温度の精度は, 図 3 のように, 最大でも 5 % 以内である.

熱電対の熱起電力をプログラムによって変換し求めた温度の精度は, 校正表を作成する際に使用した実測データの正確さに依存している. 実測データの精度が高く, 又そのデータの数が多いほど, その変換精度も高くなる. また電圧の測定は, 高精度のデジタルマルチメーターで行うのが望ましい. デジタルマルチメーターの測定精度が低いと, 十分な正確さの温度が得られないことになる.

熱電対を利用するにあたり, 同様な問題を抱えておられる研究者は多いと思われるので, ここにプログラムを公開する. 研究者の方々のご参考になれば幸いである.

*) 国産メーカーとしてはイワタニブランドの K K がある. 熱電対購入の際に通常, 校正表がついてくるが, この他に希望すると 14 個の定数と 3 個の定点 (氷点, 液体窒素, 液体ヘリウム) の定数を教えてくれる.

文 献

- 1) 雑誌「固体物理」Vol.25 No.8, 519(1990).
- 2) W.H.Keesom and A.Bijl, Physica, Vol. 4, 305(1937); G.T.Armstrong, Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol.53, 263(1954).
- 3) H.G.Brickwedde, H.van Dijk, M. Durieux, J.R.Clement, and J.K.Logan, The 1958 'He Scale of Temperatures, ibid; Physics and Chemistry, Vol.64A.

No1.(1960).

4) 中丸久一, 野木宣宏, 奈良英明, 平林健一, 齋藤慎八郎; 第4回応用物理学関係連合講演会, 計測・制御分科 31p-p-2, 1993年3月, 於青山学院大学.

5) L.L.Sparks and R.L.Powell, Journal of Research of the National Bureau Standamrds.(U.S.)76A. 263 (1972).

(後記) 学術研究用としてご希望の方には本文のプログラムをコピーします.

使用機種はNECのPC9801シリーズです. MS-DOS版またはDISK-BASICのいずれかを明記したフォーマット済みディスク(3.5または5インチ)一枚に返送料を添えて下記(送付先)迄お申込み下さい. なお, ご希望の方が多数の場合には多少待ち時間がかかることをご承知おきください.

送付先:

〒225横浜市緑区鉄町1614

桐蔭学園横浜大学・工・物理・齋藤研