

熱の不良導体の熱伝導率の測定

担当 堀場柳一朗

1. はじめに

本課題は熱の不良導体の熱伝導率を測定することにより、熱の伝導現象についての理解を深めることを目的として、以前から物理学実験（三）に導入されている題目である。実験課題は2つの部分からなる。第1の課題は「温度測定に用いる熱電対の較正」である。これは3種類の金属のそれぞれの融点における熱起電力を測定することにより、熱電対の熱起電力と温度の関係を調べるといったものである。第2の課題は「熱の不良導体であるセメントの熱伝導率の測定」である。これは、中空円筒型のセメントの中空部に熱源を配置したときのセメント内部の2点における温度の時間変化を測定し、これより定常状態での各点の温度を得て、それと境界条件を与えた熱伝導方程式の定常解から熱伝導率を求めるといったものである。これらの実験において、これまで学生は熱電対の熱起電力を定期的に取り読みとり記録するという単純作業を数時間にわたって行わなくてはならなかった。第1の実験では、金属1種類あたり1時間程度かかる測定を3種類の金属に対して行う。第2の実験は、課題は1つであるがそれに3～4時間ほどかかる。

今回、数時間にわたってひたすら読みとり、記録するという単純作業から学生を解放し、実験の中身を物理現象の理解へと移すことを目的として、コンピュータを導入し自動計測を行った。

2. 実験装置

自動計測装置の概要は、デジタルマルチメータ（Keithley 2000）で測定した熱電対の熱起電力を

GPIB インターフェースを用いて、ノート型コンピュータ（SONY VAIO）で定期的に取り込むというものである。装置の全体図を図1、図2に示す。測定プログラムは、Lab VIEWにより作成した。図3に示したフロントパネルに測定時間間隔を入力し、測定開始ボタンを押すと測定を開始するようになっている。また、測定終了ボタンを押すと測定が停止し、データをファイルに保存するようになっている。熱電対較正実験と熱伝導率測定実験の測定プログラムの基本的な動作は同じであるが、熱伝導率測定実験ではセメント内部の異なる2点の温度を交互に測定できるよう2チャンネルの測定が可能になっている。2つの実験で別々のプログラムを用意し、新たな設定などを必要としないようにしている。

(a) 電気炉（内部に試料、熱電対）

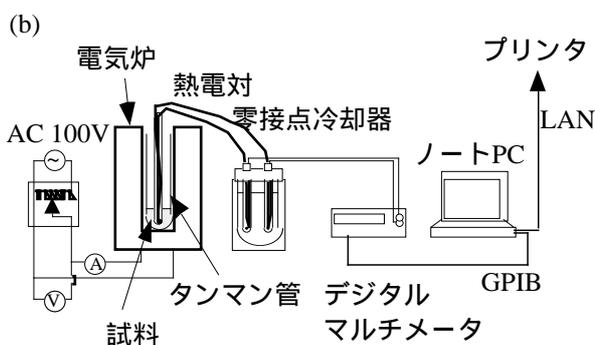


図1. 熱電対較正の実験装置

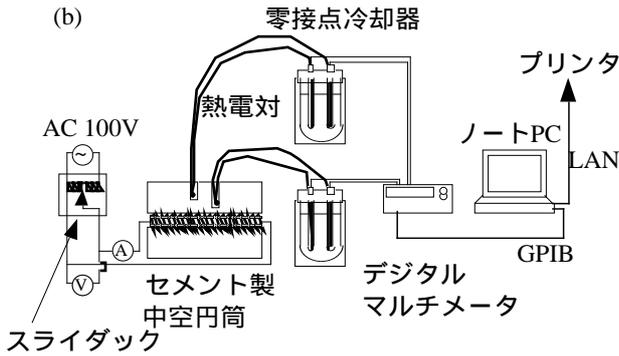
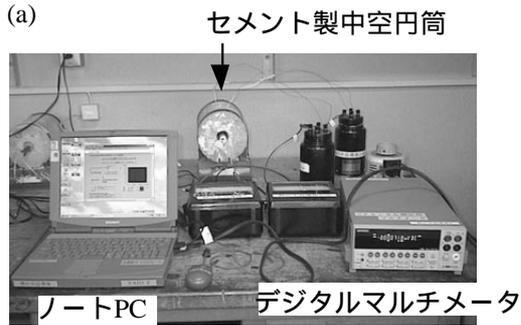


図 2. 熱伝導率測定の実験装置



図 3. Lab VIEW フロントパネル

3. 測定例

3.1 旧測定システムによる測定例

旧システムでは、熱電対の熱起電力をアナログ式のミリボルトメータで定期的に読むという作業の繰り返しである。熱電対校正実験の例として、測定時間間隔を 30 sec としたときの各金属試料

(Zn,Pb,Sn)の凝固点付近における冷却曲線を図 4 に示す。次に、熱伝導率測定実験の例を図 5 に示す。測定時間間隔は 60 sec である。(ただし、交互に 2 点の測定をするため、1つの点における時間間隔は 120 sec になる。)測定時間間隔は学生各自が自由に決定できるが、実際に学生が選択していた時間間隔はこの程度である。また、熱起電力の測定精度はともに 0.1 mV 程度である。

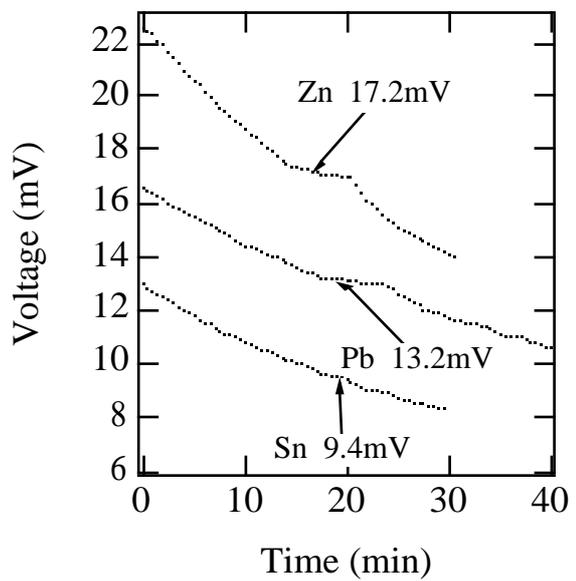


図 4. 旧測定システムによる各試料の冷却曲線

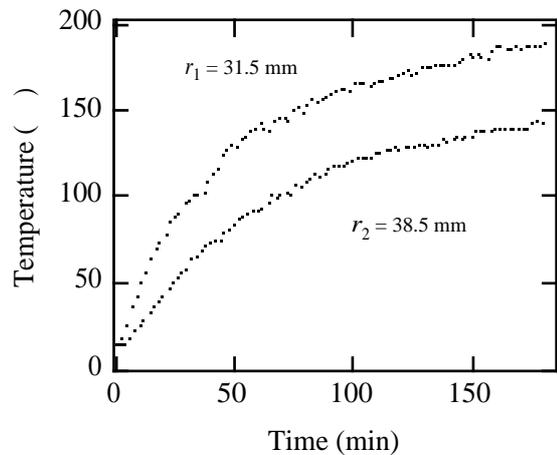


図 5. 旧測定システムによる、セメント中空円筒における時間-温度曲線。 r_1, r_2 は中心からの距離。

3.2 新測定システムによる測定例

新システムでは、従来に比べて測定にかかる手間がはるかに減った。測定時間間隔を短くしても学生の負担は増えることがないので、現在は 5 sec 間隔で測定している。また、デジタルマルチメータの導入により熱起電力の測定精度が 0.01 mV 以下まで上がったこともあり、以下の例（図 6、7）に示すように、以前と比べてはるかにきれいなデータを得ることが出来た。

また、コンピュータで取り込んだデータをフィッティングすることにより、熱起電力と温度の関係、および定常状態におけるセメント内部の 2 点の温度を得る作業が飛躍的に向上した。以前、これらの作業は学生各自が自宅で行っていたが、コンピュータ導入による解析作業の効率化により、実験時間内にデータの解析を行うことが出来るようになった。

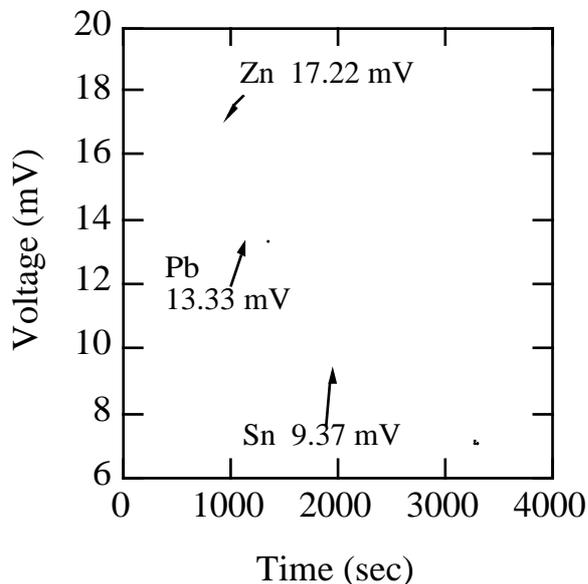


図 6. 新測定システムによる各試料の冷却曲線。

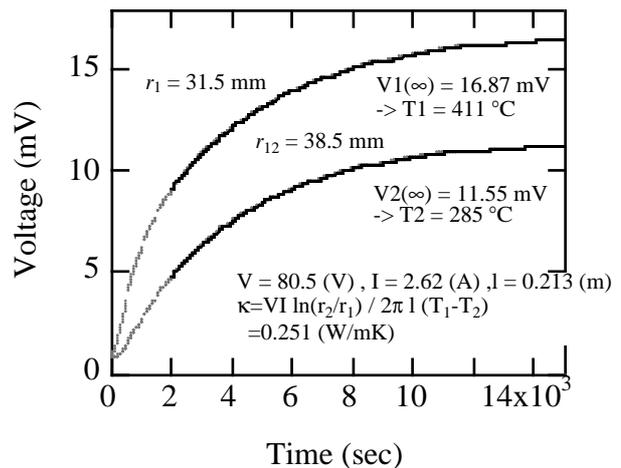


図 7. 新測定システムによる、セメント中空円筒における時間-熱起電力曲線。細い実線は指数関数によるフィッティング。

4. 検討

デジタルマルチメータとコンピュータを導入した測定系により自動測定が可能になり、測定の作業が飛躍的に簡単化された。また、コンピュータを用いたデータの解析を行えるようになり、データ解析の効率化が図られた。しかしながら、今回変更した点は基本的に測定系のみであり、実験の内容までは変更していない。そのため、いくつかの問題が生じた。

第 1 の問題は、自動計測化により学生が行う作業が極端に減ってしまったという点である。特に、熱伝導率測定の実験では、測定に 3 ~ 4 時間ほどかかるため、その間に学生のすることがなくなってしまった。この問題の対策として、暫定的にコンピュータを用いたデータ解析という作業を新たに増やしたが、それほど時間を要する課題ではなく、どうしても時間は余ってしまった。実際、学生の反応として「ほっとけば勝手に測ってくれるが、測定中にする作業がなくて暇」、「することがなくて、つまらない」と言ったようなものが多く見受けられた。さらには、測定中に実験装置から離れてどこか別のところで休憩している学生も中にはいた。電気炉やヒ

ーターを使用し高温になる部分があるため、これは大変危険である。

第2の問題は、学生が現象を定性的に体感出来ているか？という点である。例えば熱電対校正実験において、試料の凝固点で熱起電力の時間変化を出来るだけ一定に保つのは学生各自の工夫の見せ所であるが、そういう工夫をしようとする学生が減ってしまったように思われる。コンピュータの導入により学生の関心が物理現象やそれに直結した実験装置から離れてしまい、現象の体感がしにくくなってしまった可能性がある。

第1の問題については、実験課題の内容自身を変更することによって改善が可能と考えられる。例えば、試料を熱の良導体などに変更して、短い測定時間で現象をとらえることが出来れば、学生が暇を持って余すこともなくなり、また物理的に興味深い現象を数多く取り扱えることが出来るので、魅力ある実験になることが期待できる。実際に学生の声として「実験の内容がつまらない」というものが多く聞かれるので、これは重要な課題である。問題は装置がどの程度速い現象をとらえられるかという点であるが、時間、電圧の測定精度が向上した結果、一例として、図8に示すようにSnが過冷却状態から凝固する様子を数sec程度の時間を追って観察することが出来るようになった。このことからわかるように、新システムは熱伝導現象の比較的速い時間変化を追うことが出来る。

第2の問題については、現在のシステムでは「ヒータに電流を流して、コンピュータのボタンを押せばデータが取れる」という状況になっているので、もっと学生自身に実験装置に触らせ、考えさせながら実験させるような実験課題のデザインが必要と考

えられる。また、現象を体感させやすい状況を作るためにも、コンピュータを用いた情報処理を有効的に利用していくべきである。例えば、熱伝導方程式を様々な境界条件で時間発展を追いながら解くことにより、得られた実験データを理論的な側面から体感することが出来ると考えられる。

以上の点は、本課題の今後の課題となると考えられ、物理学教室の小林正明先生により検討が始められている。

5. 謝辞

本課題の改良に当たり、Lab VIEW プログラム作成、学生実験への導入および本報告書作成にわたり、大学院生の永井康之君からの不可欠な協力を得た。記して感謝いたします。

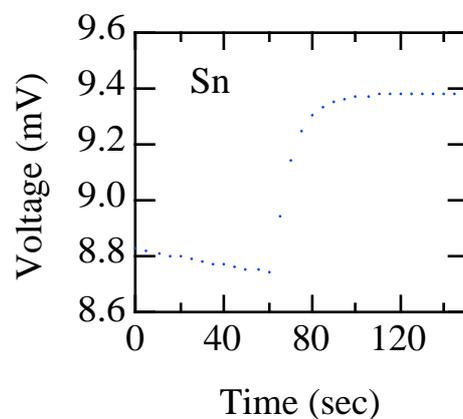


図8. 凝固点付近におけるSnの温度変化