

センサーによる物理測定

日時： 2014年4月25日（金）13:00-17:00

場所： 2号館別館 351 教室（学部学生実験室）

I. 熱電対による温度測定 13:00-15:00

目的

温度の測定／計測は、私たちの生活のいろんな場面で行われている。本実験では、温度センサー（熱電対）の原理を理解すると共に、熱電対温度計を自作して、土壌温度を計測する技術を学ぶ。

熱電対の原理

（重要な用語） 熱電効果

- 1) セーベック効果(Seebeck effect, 1821)： 異種金属導線の両端を接合して回路をつくり、両接点を異なる温度に保つと、電流が流れる現象。
- 2) ペルチエー効果(Peltier effect, 1834)： 異種金属の接点を通し電流を流すと、接点で熱の吸収または発生が生じる現象。
- 3) トムソン効果(Thomson effect, 1854)： 温度勾配がある導線に電流を流すと、熱の吸収または発生を生じる現象。
- 4) 熱電対(Thermocouple)： 異種金属導線の両端を接合して回路をつくり、発生した熱起電力から両端の温度差を測定する機器。

（解説）

温度を測る簡単な道具の一つに熱電対 (thermocouple) がある。熱電対は用いる種類に応じて -200°C ～ 2000°C 程度までの広い測定範囲をもち、比較的安価であること、遠隔測定ができること、測温部が小さいことなどの特徴がある。

熱電対は、その名の通り 1 対の金属線からなる。ある金属に温度差を与えると、金属内の自由電子が熱によって移動し低温側の密度が小さくなる(図-1)。このため、この金属の低温側は負に、高温側は正に帯電する。こうした自由電子の密度の変化は金属の種類によって異なる。そこで、2 種類の金属線を図-2 や図-3 のようにつなぎ、接点 A, B に異なる温度を与えると、接点間に起電力（熱起電力）E が発生することになる。この現象は発見者 T. Seebeck (1821) にちなみ、ゼーベック効果と呼ばれる。

熱起電力の大きさは、金属がそれぞれ均質であれば金属線の組合せと接点間の温度差だけによって決まり、金属線の長さや太さ、接点以外の部分の温度などには無関係である。そこで、一方

の接点を基準温度に保ち熱起電力を求めれば、もう一方の接点の温度が測定できる。銅-コンスタンタンの場合、 1°C あたりの熱起電力はおおよそ $40\ \mu\text{V}$ （熱起電力 1mV のときの温度差は 25°C ）である。

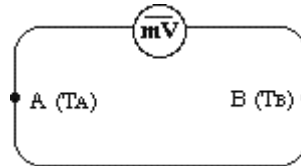
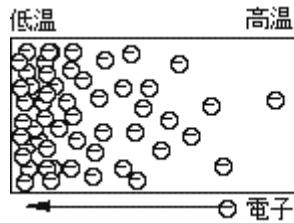


図-1 ある金属内の温度勾配下の電子密度

図-2 起電力の発生（接点が2つの場合）



図-3 起電力の発生（接点が1つの場合）

（なぜ熱移動と電子の流れが同時に起こるのか：自然の不思議）

もともと自然には変化を嫌う傾向がある。すなわち、温度勾配下で熱が流れようとするとその変化を嫌うように電子が流れようとする。その逆も成り立つ。定常状態では、この傾向が系のエントロピー生成速度が極小になるように現れる。自然界で起こる移動現象（例えば、土壌などの多孔質体中で生じる熱移動：Fourierの法則，拡散：Fickの法則，水分移動：Darcyの法則）は、本当は、単独で生じているのではなく、全ての移動が同時に起こるものなのである。ただし、この法則が成り立つのは平衡状態からのずれ（変化）が小さい範囲に限られる。では、平衡状態から大きくずれる（変化する）場合にはどうなるのだろうか？ 関心のある人は、不可逆過程の熱力学 (Irreversible thermodynamics) を勉強すると面白いだろう。

(熱電対の種類) JIS規格の熱電対

| 記号 | ＋側金属 | －側金属 | 使用温度範囲 | 過熱使用限度 | 特徴 |
|----|------|---------|------------|--------|---------------------------------------|
| K | クロメル | アルメル | -200～1000℃ | 1200℃ | 温度と熱起電力との関係が直線的であり、工業用として最も多く使用されている。 |
| J | 鉄 | コンスタンタン | 0～600 | 750 | E熱電対に次いで熱起電力特性高く、工業用として中温域で使用されている。 |
| T | 銅 | コンスタンタン | -200～300 | 350 | 電気抵抗が小さく、熱起電力が安定。低温での精密測定に広く利用されている。 |
| E | クロメル | コンスタンタン | -200～700 | 800 | JISに定められた熱電対の中で最も高い熱起電力特性を有している。 |

クロメル（合金）、コンスタンタン（合金）

過熱使用温度：必要上やむを得ない場合に、短時間使用できる温度の限度

（熱電対による温度測定誤差の原因）

1. 挿入深度による誤差： 浅いと外気や壁の影響で誤差を生じる。
2. 応答遅れによる誤差： 熱電対の被覆の厚みや材質の違いで熱の伝わる速度に違いが生じる。
3. 放射熱による誤差： 熱電対端子部との温度差の大きな物体が近くにあるときに生じる。
4. 高速気流による誤差： 気体の圧縮や内部摩擦で熱を発生し、誤差を生じる。
5. 寄生熱起電力誤差： 導線間に温度勾配があると生じる。

（その他の温度計）

1. 抵抗温度計／サーミスタ
2. 放射温度計

実験 I - I 熱電対の検定

目的： 熱電対の熱起電力が温度によって変化することを確認する。

準備するもの

- | | | |
|----|------------------|----------------------|
| 1. | 水 | (氷, 湯) |
| 2. | 熱電対 | 2本 (A, B: 長さ 1m のもの) |
| 3. | 魔法瓶 | 2個 (A, B) |
| 4. | テスタ (デジタルマルチメータ) | 1台 |
| 5. | アルコール温度計 | 1本 (0-100℃) |

実験手順

- 魔法瓶 A に氷水, 魔法瓶 B に湯を入れるなどして, 魔法瓶 A, B に温度差をつくる。
- アルコール温度計を使って魔法瓶 A, B の液体の温度を記録する。
- 熱電対 A, B それぞれを魔法瓶 A, B に入れる。
- 熱電対をテスタに正しく接続する。(図 4)
- テスタを使って熱電対の熱起電力 (mV) を記録する。
- アルコール温度計を使って魔法瓶 B の液体の温度を記録する。
- 1に戻る。(温度差を最低 7 回変えること)
- 縦軸に魔法瓶 A, B の温度差 (℃), 横軸に熱起電力 (mV) をとり、グラフ用紙にプロットする。
- プロットから最小二乗法により関係式を求める。

| | 魔法瓶 A の温度 [℃] | 魔法瓶 B の温度 [℃] | 温度差 [℃] | 熱起電力 [mV] |
|---|------------------|------------------|---------|-----------|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

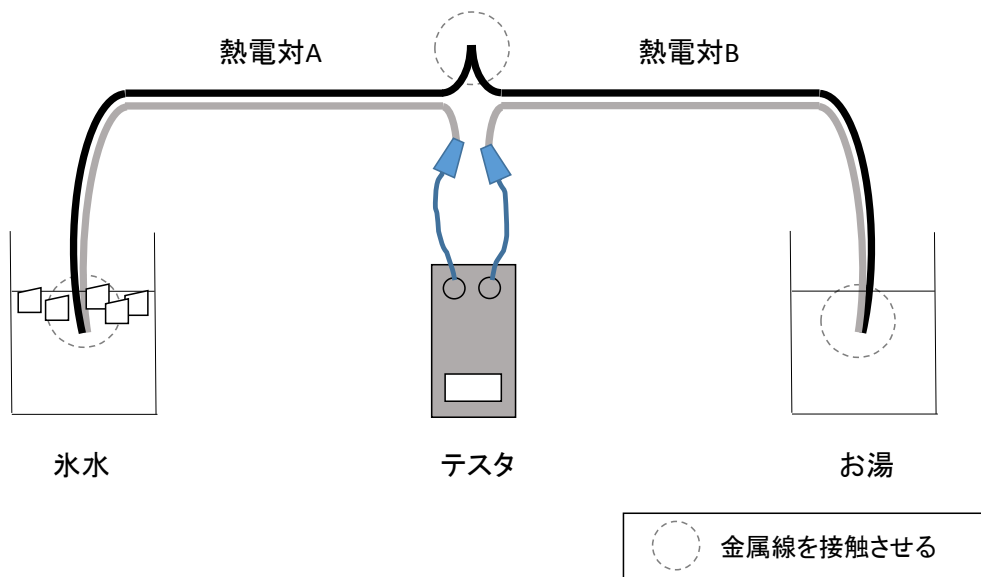


図 4 熱電対の接続

実験 I – II 指先熱起電力の測定

実験手順

1. 2人1組になり，熱電対の両端を各人が指先で強く挟む。
2. テスタを見ながら，熱電対の熱起電力（mV）を記録する。
3. 総当たり戦で，班員全員の熱起電力を測定する。
4. 結果を表にまとめて，実験 I で決定した関係式から温度差を計算する。
5. 班の中で最も指先の温度が高かった人を特定する。

| | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| A | | | | |
| B | | | | |
| C | | | | |
| D | | | | |

II. センサーによる水分測定 15:00-17:00

目的

農地やグラウンドの地表面は、降雨や灌漑水により湿ったり、日射や風の影響により乾いたりしている。この過程で、土壤の物理的環境はダイナミックに変化している。本実験では、土壤水分量の定義を理解し、その測定法について実習すると共に、センサーを用いて土壤環境（土壤水分量、地温、降水量など）を計測する技術を学ぶ。

土壤水分量に関連する物理量

（重要な用語）

- 1) 含水比 w (water content): 乾燥した土の質量(M_s)に対する水の質量(M_w)の比(M_w/M_s)。乾燥した土の質量は 105°C で 24 時間乾燥して得られる値である。乾燥する前の湿った土の質量(M_t)を用いると、 $w=(M_t - M_s)/M_s$ 。[g/g]
- 2) 体積含水率 θ (volumetric water content): 土の全体積(V_t)に対する水の体積の比。[m³/m³]
- 3) 乾燥密度 ρ_b (dry bulk density): 土の単位体積(V_t)あたりの乾燥質量(M_s)。[g/m³]

実験 II - I 野外土壤の環境計測

目的：最近では、性能の良い土壤水分センサーが開発されてきている。本実験では、野外の土壤に種々のセンサーを設置し、現地土壤に生じている様々な現象を把握する。

準備するもの:

- | | | |
|--------------------------------|-----|--------------|
| 1. データロガー Em50 (4 班で 1 台を共有) | 1 台 | 地上 |
| 2. 土壤水分・温度・電気伝導度センサー 5TE (A 班) | 1 本 | 5cm 深 (Ch1) |
| 3. 土壤水分・温度・電気伝導度センサー 5TE (A 班) | 1 本 | 10cm 深 (Ch2) |
| 4. 土壤水分・温度・電気伝導度センサー 5TE (B 班) | 1 台 | 5cm 深 (Ch3) |
| 5. 土壤水分・温度・電気伝導度センサー 5TE (B 班) | 1 本 | 10cm 深 (Ch4) |
| 6. 雨量計 (4 班共通) | 1 個 | 地上 (Ch5) |
| 7. データ回収用 PC | 1 台 | |

データロガーの設定

1. コンピュータを立ち上げて、外付けハードディスクを USB ポートに差し込む。
2. デスクトップのショートカットから ECH20U-tility を起動させる。
3. データロガー接続用のケーブルを PC の USB ポートとデータロガー (Em50) の COMM PORT に差し込む。

4. 画面右上の Connect アイコンをクリック。（正しく接続されれば緑の Connect アイコンが赤の Disconnect アイコンに変わり、その右の Download アイコン、Scan アイコン、にも色がつく）
5. データロガーの各ポートに挿入するセンサーに合わせて、画面右下のチェックボックス Port 1 sensor～Port 4 sensor で同じものを選択する。
6. データ測定の間隔（ここでは60分）を決め、画面右中央のチェックボックス Measurement Interval で選択する。

センサーの動作確認

1. データロガーの port1から port4に選択したセンサーを接続する。
2. 画面右上の Scan アイコンをクリックする。
3. センサーを握るなどして画面右下の Scan Again をクリックし、数値に変化があったら OK。
4. 画面上部の Disconnect アイコンをクリック

実験手順

1. 観測地に 30cm 程度の穴を掘る
2. 各種の土壌センサーを所定の深さに水平に設置する。
3. 注意深く穴を埋め戻す。
4. センサーの埋設地の近くに杭を立てる。
5. データロガーと雨量計を設置する。
6. 各種センサーをデータロガーに正しく接続する。
7. 各センサーの動作を確認する。
8. 1週間後、データロガーからデータ回収用 PC を用いてデータを回収する。
9. 回収したデータを自分の PC にコピーする。
10. エクセルを使って、各センサーの動きをグラフ化する。

データ回収：5月8日（木）学生実験の空時間（※USBを持参してください）

注目！

今年度は、生態調和農学機構のミニチュア都市型農場実習でも同様の環境計測機器を導入し、農作物の生長と気象・土壌環境の変化を遠隔地から観察しながら ICT 農業について考えてもらう予定です。そのためにもこの実験をしっかりと学習してください。

実験Ⅱ－Ⅱ 土の乾燥密度と含水比の測定

目的： 湿った土の乾燥密度と含水比の測定法について実習する。

準備するもの

- | | | |
|----|-------------|-----|
| 1. | 100cc サンプラー | 1 個 |
| 2. | ビニールテープ | 1 巻 |
| 3. | カッター | 1 個 |
| 4. | 電子天秤 | 1 台 |

実験手順

- 100cc サンプラーを用いて、実験Ⅱ－Ⅰの現地土壌を採集する。
- 土を成形した後、容器に蓋と底をつけてビニールテープで巻きつける。
- 実験室に移動して、ビニールテープと蓋を外す。
- 容器と底、土の合計質量を測定する。
- 電気炉に入れて、24 時間乾燥させる。
- 24 時間後の質量を測定する。
- 土を捨てて、容器と底の合計質量を測定する。
- 乾燥密度・含水比・体積含水率を計算する。

| | 1 班 | 2 班 | 3 班 | 4 班 | 平均 |
|--|-----|-----|-----|-----|----|
| 容器重[g] | | | | | |
| 容器重+湿土重[g] | | | | | |
| 容器重+乾土重[g] | | | | | |
| 乾燥密度[g/cm ³] | | | | | |
| 含水比[g/g] | | | | | |
| 体積含水率[cm ³ /cm ³] | | | | | |

レポートの提出

締切： 5 月 15 日（木）13:00 @学部学生レポート BOX （教務課）

内容： 実験Ⅰ－Ⅰ・実験Ⅰ－Ⅱ・実験Ⅱ－Ⅰ・実験Ⅱ－Ⅱそれぞれについて

- 記載事項：
1. 表紙（氏名・出席番号）
 2. 目的・方法・結果・考察・結論