

平成 21 年度 大阪中学サマー・セミナー

# 生命と暮らしを科学する

第 3 講 「からだの電気をはかろう」

摂南大学

工学部

## 1. からだと電気

からだと電気の係わりは古代ローマ時代にまでさかのぼります。紀元 46 年にローマの医師が、頭痛や通風などに電気エイを使った治療方法が有効であると記述しています。近代においても、ベンジャミン・フランクリンが静電気による電気ショックを治療に使っています。日本でも、江戸時代の有名な発明家平賀源内が作成したエレキテル（図 1 参照）は医療器具として用いられたものです。

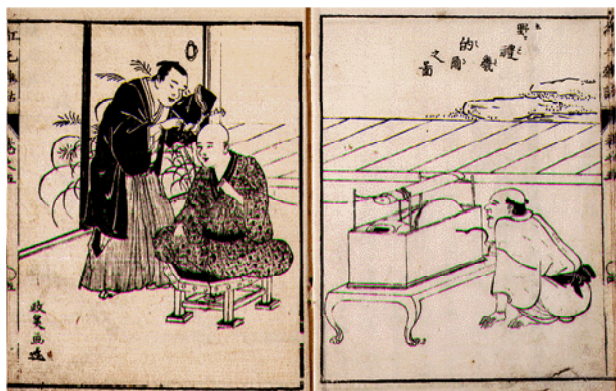


図 1 平賀源内とエレキテル

ただし、これらの時代は、からだと電気の関係はあやふやな理解のままでした。科学的に「からだと電気」が解明されるのは 18 世紀に入ってからです。イタリア ボローニャ大学のルイーダ・ガルバーニ教授は摩擦起電機で放電すると、解剖されたカエルの筋肉が痙攣（収縮）することを発見しました。ある時、ガルバーニの助手が解剖されたカエルの脚を図 2 の様に鉄棒に引っ掛けていたとき、たまたま真鍮の鉤でカエルの神経に触れたところ、脚が収縮しました。つまり、起電機を使わなくても、カエル→真鍮→鉄→カエル→…という経路で電気が流れたのです。ガルバーニは「生物の中から電気が発生した」と考え、その電気を動物電気と名づけました。

しかし、この考え方を否定する人も現れました。アレッサンドロ・ボルタもその一人です。電気は生物の中から発生したのではなく「鉄と真鍮」から発生したのだと主張しました。そして亜鉛版と銅板で食塩水を浸み込ませた厚紙を挟んだ電堆を作製し、そこから電気が発生させ、自説の正しいことを証明しました。この電堆が現在の電池の元祖です。ここから電気に関する研究は飛躍的に発展し、現在では暮らしを支える上でなくてはならないものとなりました。

動物電気こそ否定されましたが、生物の中で電氣的な活動が見られること、電気信号により筋肉や脳の神経細胞が活動することなど、多くのことが発見されました。これらのことは、電気生理学、生体医工学の基礎となり、医療、リハビリテーションなどの分野で、多くの人々の健康と福祉に役立っています。

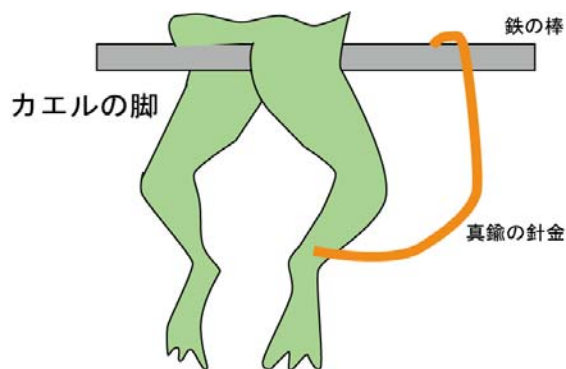


図 2 ガルバーニの動物電気

## 2. 心電図

生物のからだにおいて様々な電気活動を観測できます。心電図もその一つです。心電図は 1903 年にオランダの生理学者ウィレム・アイントホーフェンによって測定されました。彼はこの業績によって 1924 年、ノーベル生理学・医学賞を授与されています。

心臓は身体に血液を送るためのポンプの役割を成しており、循環する血液によりエネルギー源や酸素を細胞へ供給し、老廃物や二酸化炭素を運び出しています。大きさは握りこぶしほどで、図 3 で示されるように二心房二心室（右心房、左心房、右心室、左心室）に別れています。

心臓の周囲の壁は心筋とよばれる筋肉の一種で構成されており、一定のテンポで筋肉の収縮・拡張することで血液を送っています。このテンポを刻んでいるのが右心房にある洞房結節です。ここから電気刺激が発生し、房室結節→ヒス束→右脚・左脚という神経（刺激伝導系）に沿って心室へと電気刺激が伝わっていきます。電気刺激が伝わるとその周囲の心筋が収縮します。心房と心室とでは、電気刺激を受ける時間差があるために、心房の収縮に遅れて心室の収縮が起こります。この時の心筋の電気活動を記録したものが心電図です（図 4 参照）。

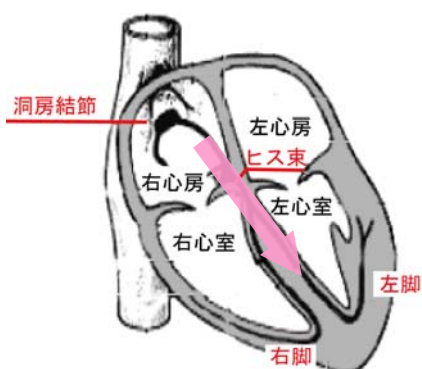


図 3 心臓の構造

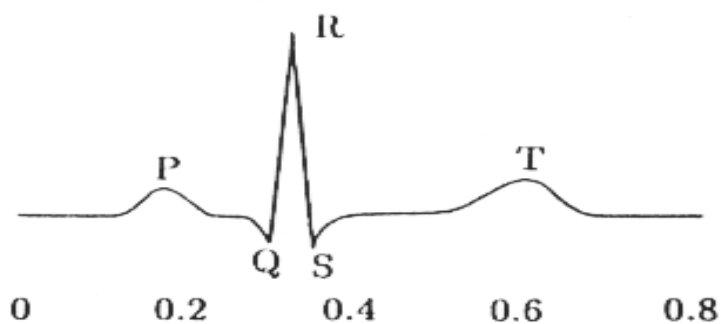


図 4 心電図波形

### 3. 心電計を作ろう

#### 3. 1 心電計の構成

心電計は診断に必要な精度を要求しなければ、簡単な電子回路で作ることができます。その回路図を図 5 で示します。一般的な心電図は図 4 のように波形として目に見える形で表示するのがほとんどです。しかし、今回は目ではなく、音として心拍が聞こえるように、スピーカで出力します。

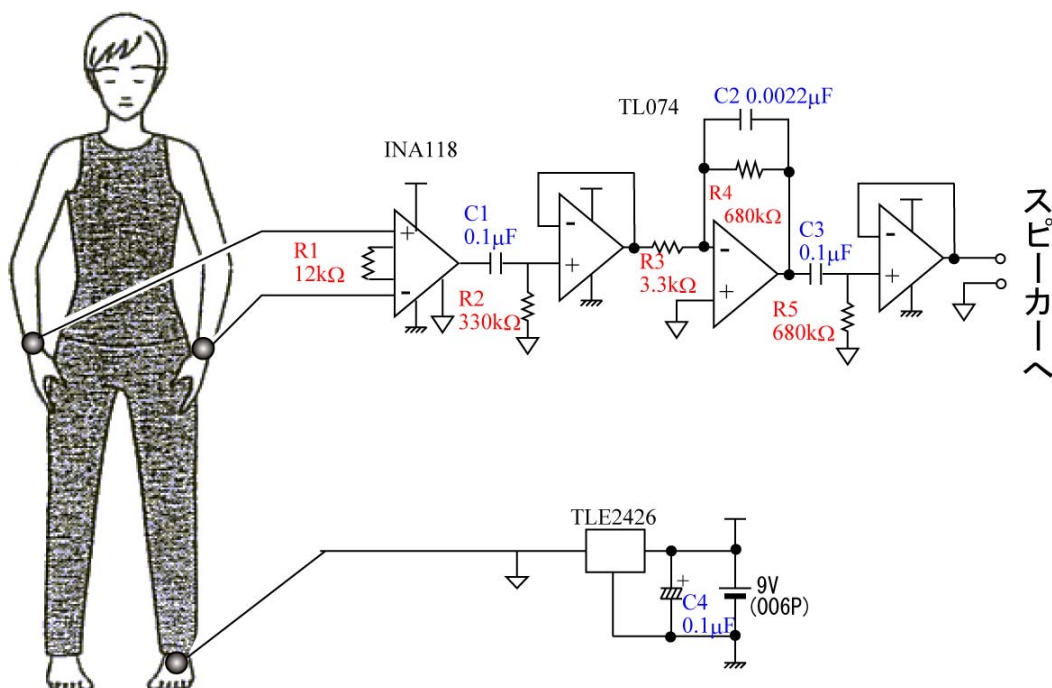


図 5 心電計の回路図



心電図は微弱な信号ですので、測るためには工夫が必要です。はじめに心電図以外の信号は邪魔ですので、取り除きます。これをフィルタリングといい、心電図以外の信号を雑音といいます。そして雑音を取り除いた小さな信号を大きくします。このことを増幅と言います。この回路にはそれらの機能が含まれています。

それでは、早速作ってみましょう。用意するものは次の通りです。準備はできていますか？まず、部品の確認をしましょう。

< 部品表 >

品名	部品番号	型番	個数	写真
計装用オペアンプ		INA118	1	
オペアンプ		TL074	1	
電源用IC		TLE2426	1	
抵抗	R1	12k $\Omega$	1	 (茶 赤 黒 赤 茶)
抵抗	R2	330k $\Omega$	1	 (橙 橙 黒 橙 茶)
抵抗	R3	3.3k $\Omega$	1	 (橙 橙 黒 茶 茶)
抵抗	R4, R5	680k $\Omega$	2	 (青 灰 黒 橙 茶)

コンデンサ	C1, C3, C4	0.1 $\mu$ F	3	
コンデンサ	C2	0.0022 $\mu$ F	1	
電池スナップ		BS-ER(-)	1	
ブレッドボード		KH-102N	1	
電池		006P	1	
クリップ(黒色電線付き)			1	
クリップ(緑色電線付き)			2	

ミニステレオプラグ(電線付き)			1	
ジャンパー線(単芯線)			1	

<その他材料>

アルミ箔, サージカルテープ

<工具>

ニッパー, ワイヤーストリッパ, ラジオペンチ

### 3. 2 回路の作成

まず、ブレッドボードを目の前に置きます。ブレッドボードは半田付けをすること無しに電子回路が組めるため、電子回路の試作やテストなどによく用いられています。図 6 で示されるように板の上に穴が横に 2 列、5 列、5 列、2 列、それらが縦 29 行分配置されている。外側の 2 列は縦方向に導通しており、中の 5 列は横方向に導通しています。これが配線のかわりになります。この穴に電子部品を挿して回路を作ります。

実際に配線してみましょう。自分たちで好きなように配線したらいいのですが、例として次のような手順で配置するとコンパクトに仕上がります。

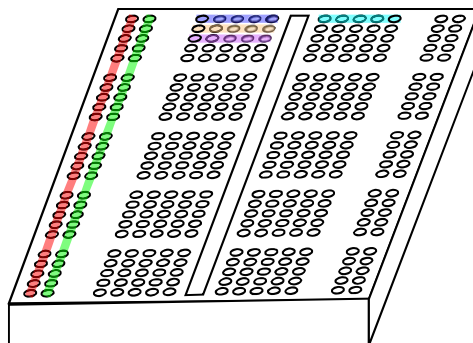


図 6 ブレッドボード

1. IC をブレッドボード上に配置します。これが他の部品を配置するための基準となりますので、穴の位置と 2 つの IC の向きを間違えないようにしましょう (図 7)。

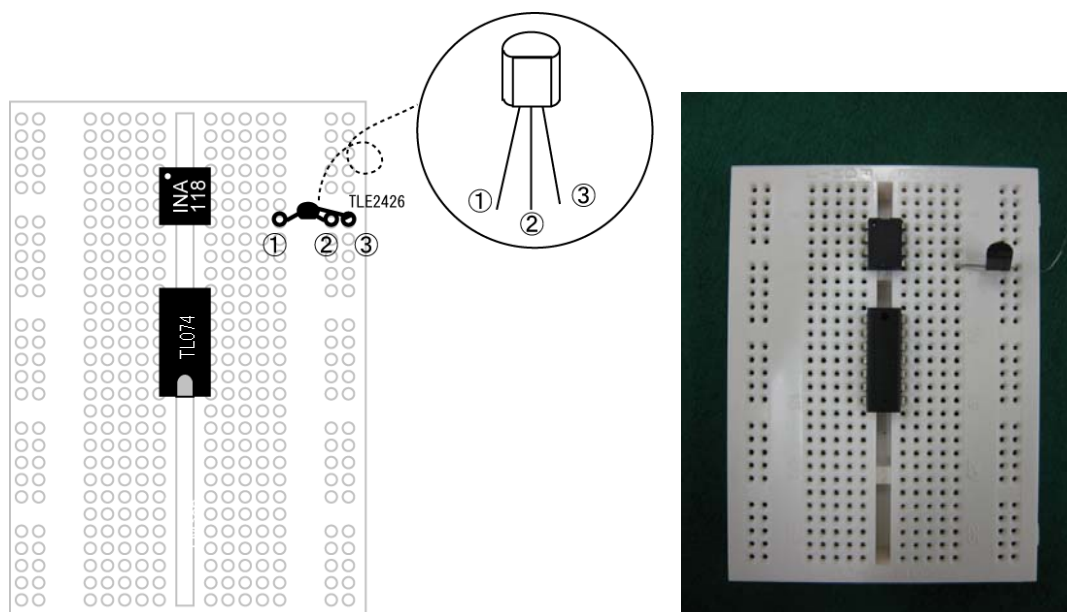


図 7 ブレッドボード上の IC の配置

- INA118 (8 本足)** : IC の表面に円形の小さな窪みがあります。それが左上になるように配置します。
- TL074 (14 本足)** : IC の表面の U 字型の窪みが下になるように配置してください。
- TLE2426 (3 本足)** : 平らな面に向かって IC を見たとき、左から IC の番号を①, ②, ③とします。それらを図 7 のように差し込んでください。



2. 図 8 の緑の線に合わせて、ジャンパー線を配置しましょう。ワイヤーストリップを用いてジャンパー線の両端の被覆を剥き、コの字型にラジオペンチで折り曲げます。そして、ジャンパー線をブレッドボードの穴に差込ます (図 8)。

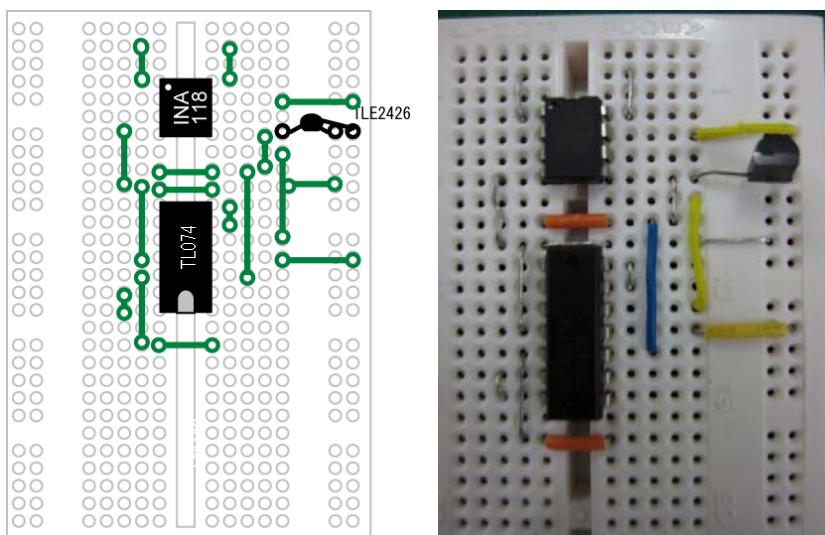


図 8 ブレッドボード上のジャンパー線の配置

3. 赤で記された位置に抵抗を配置します。ニッパーで 1cm 程残して足を切ると綺麗です。  
4. 同様に青で記された位置にコンデンサを配置します (図 9)。

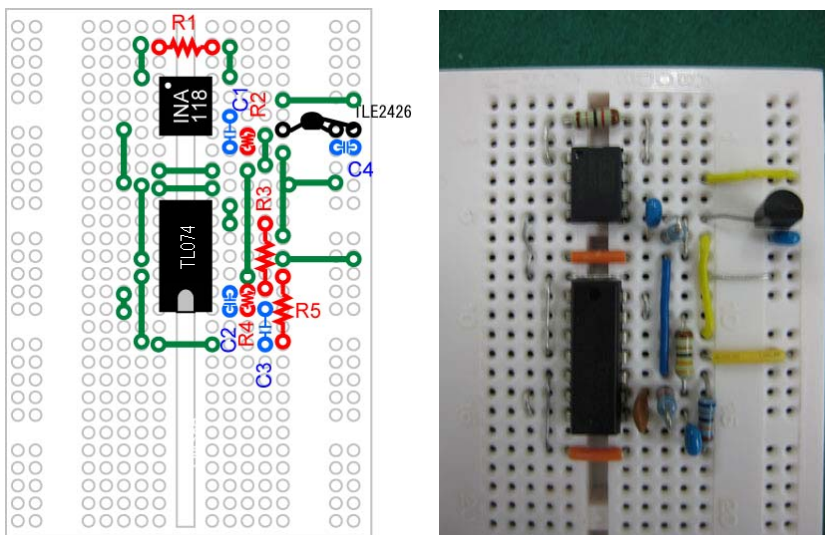


図 9 ブレッドボード上の抵抗, コンデンサの配置

5. コード付きクリップをブレッドボードに差込みます。緑色の電線が付いたものが手首用、黒色のものが足首用です。
6. ステレオミニプラグの電線をブレッドボードに差込みます。
7. 電池スナップのコードの端をブレッドボードに差込みます。

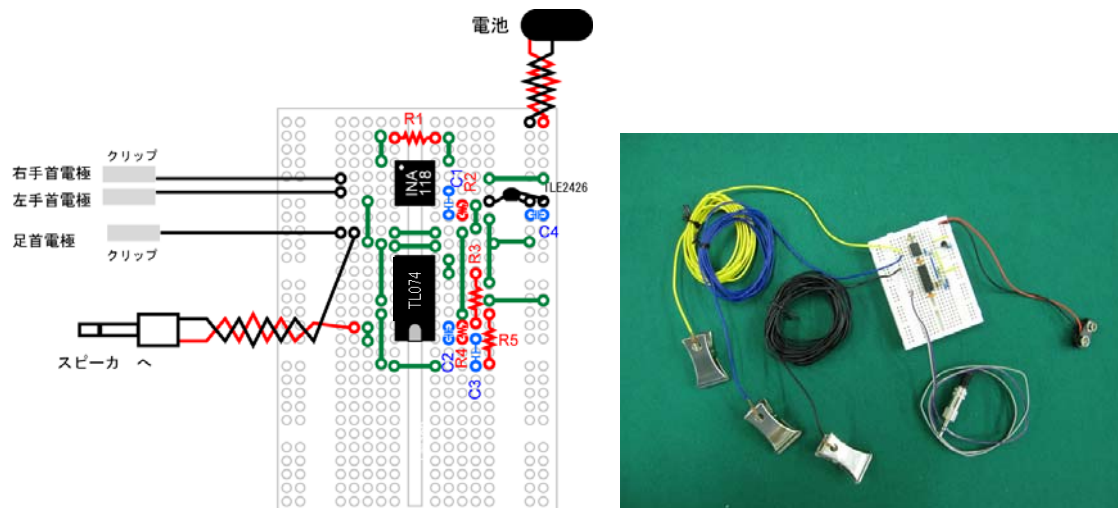


図 10 心電計回路の完成図

これで完成です。もう一度配線が間違えてないか、確認しましょう (図 10)。

**【注意】** 図 10 では黄色と青色の電線を使っていますが、みなさんに配布したキットでは緑色の電線になっています。

8. 心電図をはかろう

本来でしたら、医療用の電極(Ag-AgCl 電極)を使って計測するのですが、今回は安価に、かつ、家庭にあるものを使って計測します。

1. 約 15cm x 15cm 位のアルミホイルを 3 枚用意します。
2. 1 枚のアルミホイルを適当にたたんで、7cm x 5cm 位の大きさに折り曲げてください。できれば端 2cm 位を谷折りしてください。これを後 2 つ (計 3 つ) 作りましょう。



図 11 電極の貼付

3. それを両手首にサージカルテープで貼り付けます。それぞれのアルミホイルの端をクリップ（緑色の電線が付いたもの）ではさみます。
4. 残りのアルミホイルを足首に張り、黒色の電線が付いたクリップで挟みます。
5. ステレオミニプラグをスピーカに接続してください。ご家庭では CD ラジカセやステレオなどの外部入力 (AUX) 端子に接続してもらっても OK です。

これで準備は整いました。乾電池を電池スナップに取り付けてください。最初は気持ちよくない変な音（雑音）が聞こえてくるとは思いますが、そのうち一定間隔でビート音が聞こえてきます。これが心臓の拍動を音にしたものです。



図 12 電極の装着

## 9. 筋電図でうごく義手

心電図は心臓の筋肉（心筋）が活動する際に生じる電気信号をはかったものです。とすれば、手足を動かす筋肉（骨格筋と言います）も動かしたときには電気信号がでるのでしょうか？答えはです。このときの信号を筋電図と言います。

筋電図は筋肉の出す力が大きくなると筋電図の大きさも大きくなります。この筋電図は病気の診断やリハビリテーションの分野では重要な情報です。それだけでなく、機器の制御にも用いられます。その代表的な例が筋電義手です。義手は事故や疾病などで切断された手の機能を代行するための人工の手です。

筋電図を使うことで、使用者の思い通りに義手の手が「開く」、「閉じる」という動作を行わせることができます。



図 13 筋電義手の一例

## 10. 未来の「からだと電気」

からだの中には他にも様々な電気活動を観ることができます。脳のような神経活動も電気信号として観測できます。いわゆる脳波です。ブレインマシンインターフェース、ブレインコンピュータインターフェースは脳波を使って機械の動作を制御しようとするものです。もしかしたら、2～30年後には考えただけでワープロの文章が書けたり、車を運転したりすることができるようになるかも知れません。

今回作製した電子回路を記念として持ち帰っていただくことができます。ただし、自宅で使用する際には下記事項に注意してください。

- この装置は基礎研究用のものであり、医療機器ではありません。
- 雑音しか聞こえない場合、基準電位をアース(接地)してください。
- アースを接地する際は、他の機器と独立させてください。
- 電源には必ず 9V 電池 (006P) を使用してください。AC アダプタ等を使用しないでください。機器の破壊、感電の元となります。
- 感電防止のため、音を聞く際に用いるスピーカは電池駆動のものをを使用することをお勧めします。