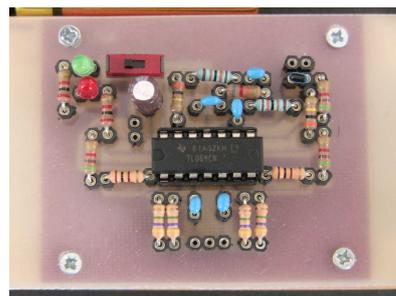


生体電位測定装置の製作

— 東京大学先端科学技術研究センターとの連携 —

北海道立教育研究所附属理科教育センター 村上 俊樹

[キーワード] 高等学校生物 生体電位 カイコの飛翔筋 オペアンプ



1 はじめに

当センターと東京大学先端科学技術研究センター（以下、先端研）は、平成31年4月から理科教育における主課題への対応と教職員の資質・能力の向上を図るため、相互の機能を活用して実践的な連携協力をを行い、北海道の理科教育の充実発展に寄与することを目的として、連携協定を結んでいる。

今年度は、少ない部品で安価に製作できる生体電位測定装置の開発に取り組み、高等学校研修講座においてカイコガ飛翔筋とヒト上腕筋の電位を測定する実習を行い、高等学校生物授業で活用する方法について検討したので、報告する。

2 生体電位測定装置について

微小な生体電位を検出するためには、電子機器等に由来する様々なノイズを除去するフィルター回路とオペアンプICを用いて目的の信号を大きく増幅する回路の設計が必要である。

しかし、電子回路を設計するためには、専門的な知識が必要であり、設計した電子回路を工作するための高度な技術が求められるため、学校現場において生体電位測定装置を製作し、これを活用する授業の展開は難しい。

そこで、電子部品を用いた「半田付け不要の生体電位測定装置回路キット

（以下、キット）」を開発した。

3 キットの準備工程について

(1) 回路について

微小な生体電位を検出するための回路として、先端研神崎研究室で公開している、オペアンプを1個使用した生体信号計測回路を使用した。この回路は、図1のように、低周波数の信号を除去するハイパスフィルタ、高入力抵抗、低出力抵抗の回路で、電流を増幅するボルテージフォロウ、2本の電極に共通に含まれるノイズを除去し、信号を増幅する差動増幅回路、交流電源に由来するノイズを除去するバンドエリミネーションフィルタ、高い周波数のノイズを除去するローパスフィルタ、回路に電

源を供給する電源回路で構成されている。

なお、この回路を基板上に起こしたプリントパターン（図2）も同時に公開されているので、プリント基板の自作に使用した。

(2) プリント基板の作成

プリント基板は、以下の手順①～⑤で自作した。なお、ポジ感光基板、現像液、エッチング液はサンハヤト社製を使用した。

- ① プリントパターンをトレーシングペーパーに転写した。
- ② ①をポジ感光基板NZ-E44Kにのせ、UVランプを用いて15秒間露光した。
- ③ ②をポジ感光基板用現像液で現像した。その後、現像液を十分に洗い流した。

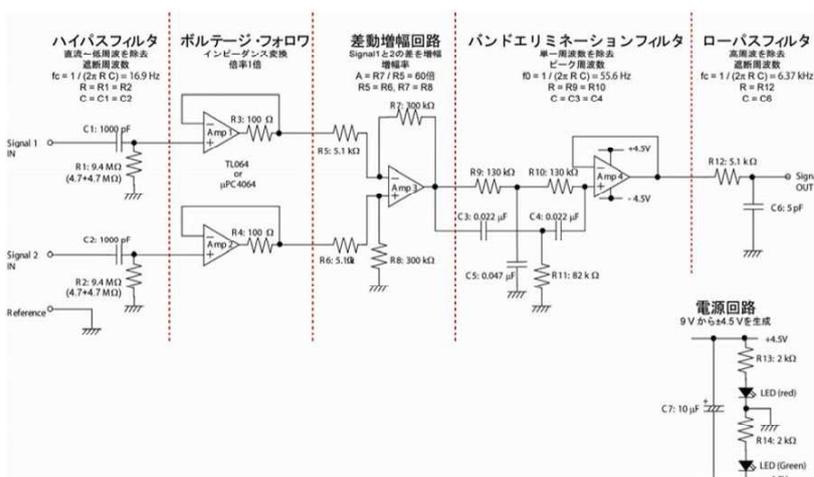


図1 生体信号計測回路

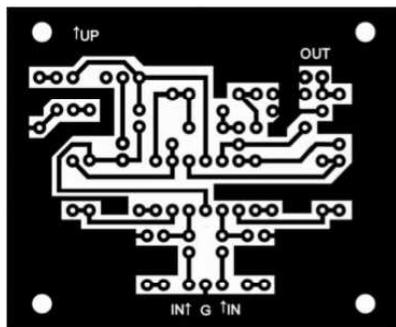


図2 プリントパターン

④ ③を40°Cに温めたエッチング液でエッチングした。その後、エッチング液を十分に洗い流し、乾燥した。

⑤ 基板にハンドドリルで穴を開け、フラックス処理を行い完成した(図3)。

なお、手順①～⑤の工程詳細は本稿の最後の頁に資料として掲載した。

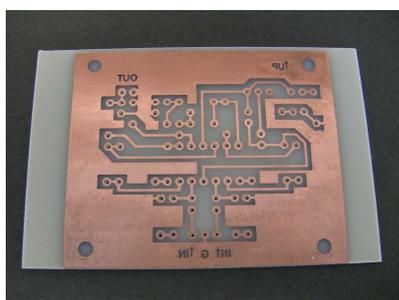


図3 完成したプリント基板

(3) ピンジャックの半田付け

半田付けの作業はコテを扱う技術が必要であるため、研修講座という限られた時間で受講生が電子部品の半田付けを行い、回路を完成し、生体電位を測定することは難しい。

そこで、自作した基板にあらかじめピンジャックを半田付けし、電子部品の足をピンジャックに差し込んで回路を組むことができる基板を開発した(図4)。

ピンジャックを半田付けした基板を使えば、受講生は回路図を参考にしながら、簡単に回路の製作を体験できる。

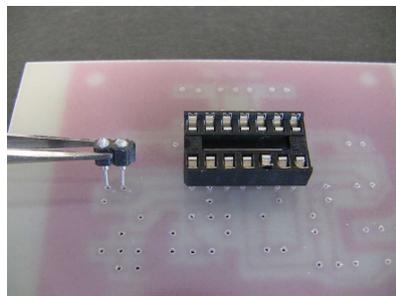


図4 ピンジャックの半田付け

(4) 必要な電子部品の調達

この回路で使用する部品は図5の通りである。梅沢無線電機札幌営業所(中央区南2西7 011-251-2992)で調達できる。マルツ電波、RSコンポーネンツ等の通信販売を利用することもできる。

4 高等学校理科研修講座

(1) キットの製作

研修講座では、受講生10人を対象にして生体電位を測定する回路について説明した後、個々にキットの製作体験をしてもらった

(図6)。電子部品を扱った経験の無い受講生もいたが、全ての受講生が回路図を参考にしながら基板への部品装着を進め木製ホルダに木ねじで留め(図7)、短時間で完成することができた。



図6 電子部品の装着

パーツ	個数	仕様
積層電池 9V	1	アルカリ電池006P
電池スナップ	1	006P用スナップ
スイッチ	1	日本開閉工業SS-12SDP2
イヤホンジャック	1	3.5mmモノラルプラグ付き
ICソケット	1	14ピン
ピンジャック	2	丸ピン 40ピン
オペアンプ	1	TL064CN
LED(赤)	1	BL304V2CA2A01
LED(緑)	1	BL304G4CA2A01
抵抗4.7MΩ	4	1/4Wカーボン抵抗
抵抗100Ω	2	1/4Wカーボン抵抗
抵抗5.1kΩ	3	1/4Wカーボン抵抗
抵抗300kΩ	2	1/4Wカーボン抵抗
抵抗82kΩ	1	1/4Wカーボン抵抗
抵抗2kΩ	2	1/4Wカーボン抵抗
抵抗130kΩ	2	1/4Wカーボン抵抗
セラミックコンデンサ1000pF	2	積層セラコン
セラミックコンデンサ0.022μF	2	積層セラコン
セラミックコンデンサ0.047μF	1	積層セラコン
セラミックコンデンサ5pF	1	積層セラコン
電解コンデンサ10μF	1	縦型電解耐圧25V
ポジ感光基板	1	サンハヤト NZ-E44 適当にカット
ホルダー用の角材	適宜	
木ねじ	5	
洗濯ばさみ	1	

図5 部品表

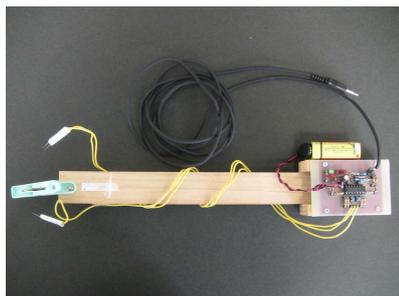


図7 木製ホルダに固定

(2) カイコガ飛翔筋電位の測定

受講生はカイコガの飛翔筋電位を以下①～⑨の手順で測定した。

- ① カイコガの背中中の鱗粉を、湿らせたティッシュ等で十分にはがし、茶色いくちクラを露出させる。
- ② 洗濯ばさみで、左右の前翅、後翅を同時にはさみ、スタンドに固定する。
- ③ カイコガの脚に脱脂綿を持たせて休ませる。
- ④ 図8のように、電極のリード線をテープでスタンド・洗濯ばさみに固定しながら、電極をカイコガの背部から近づける。

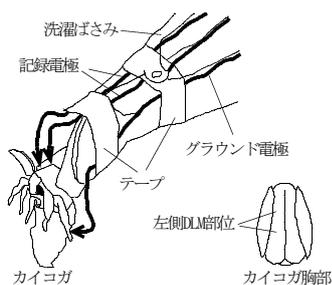


図8 カイコガの固定

- ⑤ グラウンド電極をカイコガの腹部に深く刺入する。
- ⑥ 記録電極をカイコガの胸部の背面の中央近くに深さ2mm程度刺入する。
- ⑦ 電極のコネクタを計測回路に

接続し、出力端子をPCのマイク端子に接続する。

- ⑧ PC上で、フリーソフト「Spike Recorder」を立ち上げる。
- ⑨ カイコガの脚に持たせた脱脂綿を取り除き、「Spike Recorder」を使って、周期的な筋電位を観察する。(図9)

(3) ヒト上腕筋電位の測定

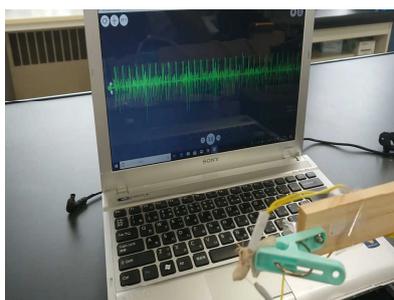


図9 飛翔筋電位の計測

ヒト上腕筋電位は、図10のようなパッド型の電極を皮膚に接触させ、信号を拾う。図11は、受講生が手首を動かしたときに発生する筋電位を測定している様子である。

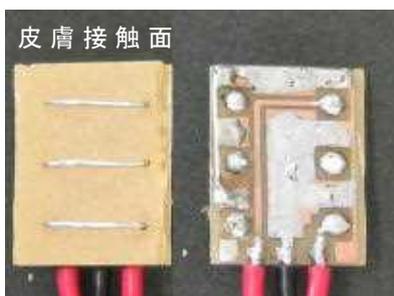


図10 パッド型電極



図11 筋電位の測定

5 講座修了後のアンケートから

飛翔筋電位の測定実験は、実際に見て、触れて、考えるという探究の過程を自身が踏んでいることに気付いたという意見があった。また、授業でこの実験をどう活用し、生徒に何をどこまで考えさせるのかについて、しっかりと考えたいという前向きな意見があった。一方、作成したキットを自校で活用するためには、教員の実験スキルはもちろんのこと、生徒にも高度なスキルが要求されるため、難しいという意見もあった。

6 おわりに

東京大学先端科学技術研究センターとの連携1年目の今年度は、生体電位測定装置を作成し、高等学校生物の授業において「探究的な学習プログラム」を展開するツールとして活用する方法について検討することができた。今後は、できるだけ安価に製作することができるキットの開発を進め、学校現場への普及を進めたい。

7 謝辞

生体電位測定装置の開発にあたり、ご指導・ご助言をいただいた東京大学先端科学技術研究センター所長 神崎亮平 教授、生命知能システム分野 神崎研究室 Haupt 周一 Stephan 特任助教、加沢 知毅 特任研究員に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 平成30年度 高等学校理科研修講座(物理基礎・化学基礎・生物基礎・地学基礎) テキスト 北海道立教育研究所 (むらかみ としき 生物研究班)

