

波形解析による神経信号処理

— ダンシング・テディ・ベアと踊りたくて —

愛知県立豊橋工業高等学校
電子工学科・堀内 郁哉

1 Abstract

In regard to this Teddy Bear project, I must acknowledge it is a recreation of my university work. Thus, the fundamental element of the project is reused from the past project in my university era. As it may be, still some new challenges are prepared for the high school students under my care.

The project overview would be to detect a neural signal vibration of a human by means of an acoustic non-invasive extraction (Let's call it an Acoustic Muscle Signal Sensor: AMS sensor). Then, using Cerebot MX4cK (the U.S. Digilent inc. production) processing unit, the sound signal is processed to output 5 servomotor controlling signal to realize Teddy Bear dancing movement. This unit contains PIC 32 microcontroller and several I/O ports and 8 servo connectors and etc. and allows a programmer to use either MPLAB IDE or MPIDE as an integrated developmental environment tool, for that PIC method or Arduino method can be chosen to program this device. MPIDE was used to program the consequent servomotor movements to realize the dancing sequences each time “the AMS sensor is clicked.” By clicking, it means each time a user makes the mouse clicking motion wearing the AMS sensor, the device is activated to perform a sequential dance movement as the sensor detects the muscle movement.

The above project description also intended to serve as 4 fundamental elements of project attractions. Firstly, the sensor circuit was built by the positive printed circuit board to understand the flow of the electric circuit mass production. Secondly, there is a relatively low difficulty mechanical handicraft to build the inner-structure of the Teddy Bear. Thirdly, The Muscle signal Analysis to understand the waveform of acoustic muscle signals by using a 2 channel Oscilloscope, and process the original signal to revile the frequency domain and the frequency power. Moreover, it is also required to practice the Cerebot board programming to process the sensor input signal to Teddy Bear output. Above four tasks except PCB (Printed Circuit Board) making are carefully assigned to 7 students in my senior project by their interests and strengths. Therefore, the every one of them had required making an involvement at the duty he is relatively comfortable with. Thus, everyone has his sense of belonging to the project, although; their strengths and/or weaknesses differ from each other.



写真1 テディ・ベア

2 はじめに

本校電子工学科における三年時に行われる課題研究の授業では、大学の工学部において課せられている卒業設計の授業を模倣し、高校レベルの取り組みとして、研究や物作りを生徒主体で実際に行い、その過程と成果を学期毎にクラス人員と教師の前で発表するという実践的なプロジェクト・デザインを行っている。

今年度の研究課題として考案したのが、神経信号の抽出によりバイオ・フィードバックを行う製品の開発である。具体的には、介護やリハビリもしくはウェアラブル・メジャーメントの分野で期待されている神経信号を音として取り込むことでノン・インベイスブ抽出法を実現している。サーボモータを配置したテデ

ィ・ベアによって動作を表現し、肢体不自由者のリハビリにバイオ・フィードバックを行う事で、励みになるような玩具の製作である。

更に、作業レベルと分配方法に重点を置き研究員全員が興味・関心を持ち続けられるように、大きく4つの工程を準備し、各々の興味や強みによって振り分けた。その中でも、生徒の習熟度も異なるため難易度が異なる3つの作業を、小グループで並行して行う事で、今までであれば手出しが出来ず見ているだけ、ふらふらと近くの班に遊びに行ってしまう生徒達にも、プロジェクトへの主体的な参加を促して行く事が、今年度の大きな試みであった。これは言い換えれば、この課題研究の中でしっかりと「居場所」を持たせ、生徒間での協力・支援によって研究の進行を行い、且つ研究の楽しみを分かち合い、達成感を感じる事で、肯定的な自己像を築いていけるように支援する事であった。

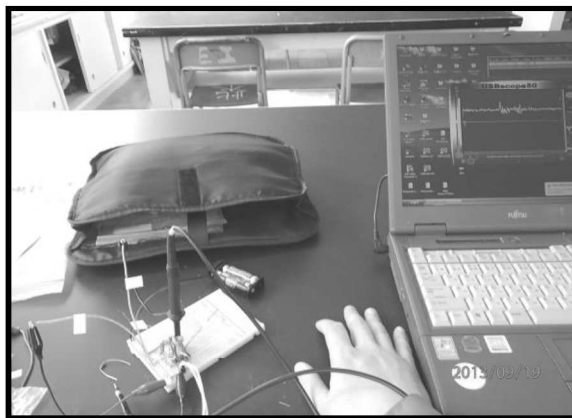


写真2 神経音抽出作業

3 プロジェクト概要

図1にプロジェクトの全体像を示す。プロジェクトの構成要素を大別すると、今研究の要でもありクリエイティブ・パスと言える神経音抽出センサー回路、プロジェクトの心臓部でありプログラミングに重心を置くマイクロ・コントローラ・ボード、一番の華形であると同時に機械工作に重きを置く出力系統のテディ・ベア、そして一連の部品に電力を供給する電源部分の4部品の構成でハードウェアが成り立っている。今回の神経音を利用したテディ・ベアの玩具の4部品について信号の流れと共に紹介する。

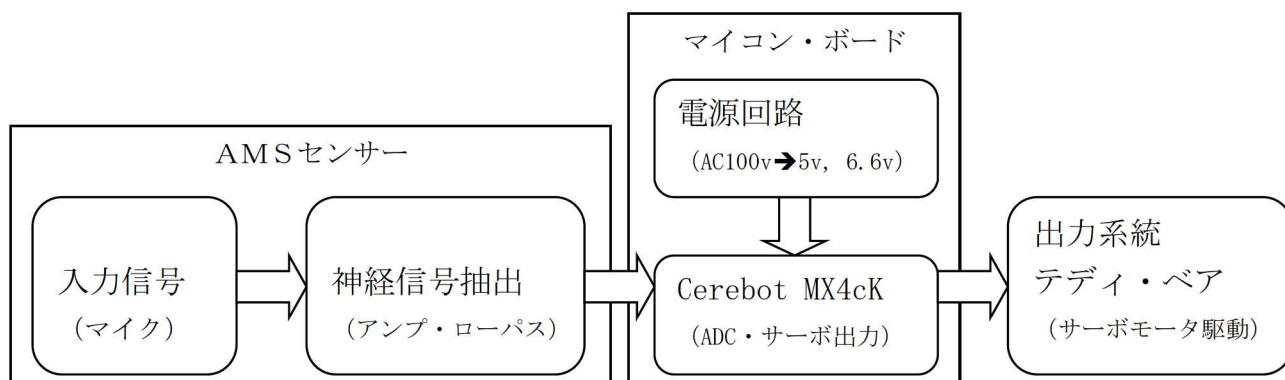


図1 プロジェクトの全体像

(1) 神経音抽出センサー回路

マイクから取り入れられた音の信号は神経音抽出センサー (Acoustic Muscle Signal Sensor: AMSセンサー) (写真3)を通ると、1vのオフセットと共にポテンション・メータによって任意のゲインで増幅される。増幅された信号は25Hzをカット・オフとしたローパス・フィルタを通過し、神経音を読み取るのに必要な周波数の信号のみを残して、不必要な高い周波数は除去される。これは狙ってい

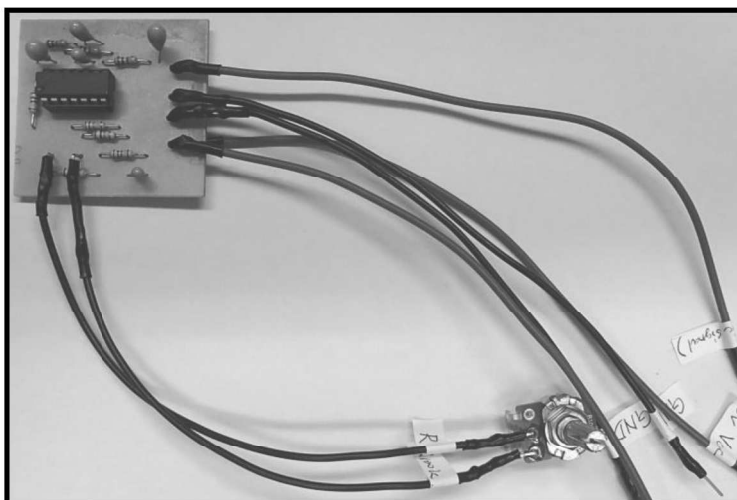


写真3 神経音抽出センサー回路

る神経音が、人間の場合約 20Hz 前後と非常に低いためであり、人間の耳で聞こえる範囲では無いと言う事である。神経音に関しては後述「波形解析」の所で詳しく取り上げるので、ここでは省かせて頂く。センサー回路の設計に関しての詳細は「Appendix」を参照されたい。回路図も載せているので参考にさせて頂きたい。

(2) マイクロ・コントローラ・ボード

センサーに依って抽出された信号は、心臓部とも言えるマイクロ・コントローラ・ボードの入力信号として処理される。今年度のプロジェクトのために用意した米デジレント社の Cerebot MX4cK (写真 4) は、PIC32MX460F512L マイコンをベースとして、大学でも使われているマイコン・トレイナーの一種で、プログラミング練習に必要程度の入出力端子や部品が搭載されている。今回の研究においても、外部からの入力として AMS センサー、アクチュエータとしてサーボモータを接続することで、環境が準備出来る。また、プログラム開発環境においても、通常であれば、PIC マイコンへの書き込みであれば MPLAB IDE を統合環

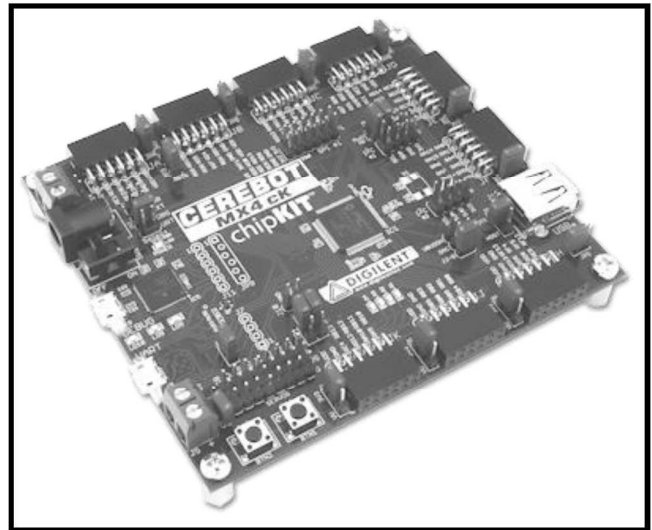


写真 4 Cerebot MX4cK Microcontroller Trainer

境として使い、C 言語でのソース作成には、CCS-C の様な専用のコンパイラが必要となる。特に PIC32 シリーズを扱う場合ハイエンドなコンパイラが要求されるのだが、PIC の統合環境である MPLAB IDE だけでなく Arduino の統合環境でもある MPIDE を用いたプログラミングが行えるため、オープン・ソースで C 言語が扱える利点大きい。

更に、デジレント社のボードには、Pmod シリーズと言われる、様々な入出力を司る小型モジュール群が提供されている。システムの拡張・変更が容易に行える事も、高校や大学などの教育機関にとって優しい設計となっている。

(3) 出力系統のテディ・ベア

5 つのサーボモータをそれぞれ腰の横振り、右手の縦振り、左手の縦振り、首の横振り、顔の縦振りを行うように配置し、テディ・ベアの動きの表現をする事とした。写真 5 は自由度 5 のテディ・ベアのアルミ骨格と内部構造を示す。土台に座った状態で、上半身のみでダンスをする。前提として足は単なる飾りであり動かない。5 つのサーボモータは Cerebot に装備されたサーボ接続用端子に直接接続してプログラムによって動作を決めていく。

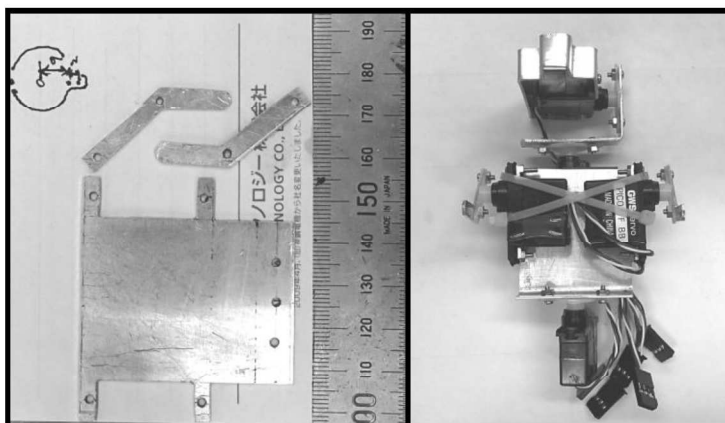


写真 5 テディの骨格 (切出されたアルミ骨格、テディ正面)

(4) 電源回路

電源回路の構成は家庭用コンセントに供給される AC100v を降圧し、全波整流を行った後、DC-DC コンバータを 2 つ使用して 2 種類の直流電圧を準備した。1 つ目は DC5v で、マイコン・ボードへの電源供給用としている。もう 1 つは DC6.6v で、サーボモータ駆動用に使われる。定格電圧を多少上回っているが、トルクを少し上げ、安全な稼働範囲内ギリギリでの運用を試みた。多少ではあるが、これによってテディ・ベアの動きに迫力を持たせる効果があった。写真 6 は上記の電源回路をマイコン・ボードに接続した状態である。この状態でテディ・ベアのベースボードとして取り扱って行く事とした。

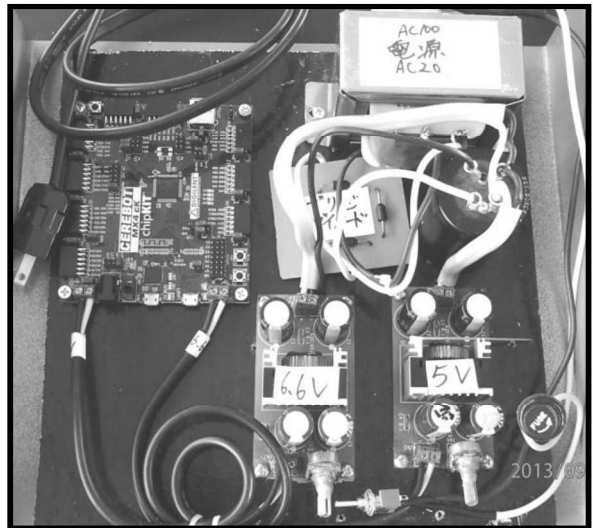


写真 6 ベースボード

4 生徒の興味・関心を掴む 4 種類の作業

本年度の担当している生徒は 7 名である。担当者の生徒観として、2 名は物事の理解も速く情報系に興味を持つが、半田付け作業等はあまり得意ではない。2 名は運動部で快活的でありコツコツと物事をこなしていくタイプ。1 名は中位に位置しコミュニケーション力も程々にはあるが専門科目に対し興味を示すタイプではない。他 2 名は活発であるが物事の理解に時間のかかるタイプである。そのような 7 名のメンバで課題研究を行っている。このように多様な生徒が興味・関心を持ち、取り組める作業として次の 4 種類の作業を設定した。4 種類の作業とは、(1) 電子回路製作、(2) MATLAB を用いた波形解析、(3) プログラミング作業、(4) 出力システムの機械工作である。これら 4 種の工程を生徒個人が持った技術・性格・習熟度の違いを踏まえた上で、どの人員も研究・製作への参加を主体的に行っていく体制に考慮して、生徒を各作業に振り分けた。電子回路製作は課題研究の取り掛かりとして全員で回路製作手順の習得に努めプロジェクト班全体に連帯感を与える事に寄与した。波形解析、プログラミング、機械工作はそれぞれに大きな作業の違いと研究日程において並行して進めて行く必要性から生徒の興味・関心・技能によって小グループで分担して行った。(2) の波形解析の作業では己の動きに反応を示す波形を採取して行くので、体の計測部位や運動方法によって波形に違いが生じ、様々な採取方法を自ら考える創意工夫の幅が広い。メンバの内、快活でコツコツと物事を行う 2 名にこの作業を任せた。(3) のプログラミングではサーボが実際に動いてテディ・ベアの動きを表現する楽しみや、ダンスの動き方には限りない自由が望める。メンバの内情報系のプログラミングに興味を持っている 2 名に任せた。(4) の機械工作は上記のような電気系タスクが苦手な人のための避難小屋でもあるが、プロジェクトの外観を作る重要な作業として貢献度は大きい。他 3 名の電気系科目に中々興味を示さないメンバに任せる事とした。

(1) 電子回路製作

前述の神経音抽出センサー回路を製作する事が研究の最初の作業となった。作業内容としては 1 年時の工業基礎でも行った、事前に準備しておいた回路パターン図を使用して、ポジ感光基盤での露光、現像、エッチングをへて試作回路を起こす一連の作業であった。メンバ全員に追体験してもらいセンサー基板の製作をした。写真 7 は電子回路製作工程の様子である。

年度当初に編成されたばかりの班では、メンバ同士が顔を合わせこれからの方向性について話し合い

を行っていく必要があった。授業としての課題研究の場合、必ずしも仲の良いグループが揃って研究を行う訳では無い。作業手順の話し合いやアートワーク作業を行わせることで、簡素で比較的単純な作業をこなし、チームとして連帯感を持たせた。ことに、仲間内で気軽に話せる雰囲気作りがこの作業の焦点であった。以後の研究姿勢に良い影響を与える事ができた。



写真7 電子回路製作工程（左上：露光、右上：現像、左下：エッチング、右下：ドリリング）

(2) MATLAB を用いた波形解析

製作した神経音抽出センサー回路の出力部分にオシロスコープを接続して、波形サンプルを採取した。信号の波長や大きさなどの特徴を分析するために使用した。オシロスコープで採取した波形データを、CSV形式で保存し、MATLAB を使用して、時間軸の基の波形と、周波数帯域で表した信号の強さ、そして、パワースペクトルの比較を行った。マイコンに入れてから如何に信号処理をするかを決定する材料とした。次に取得したサンプル波形の内、特に重要だと思われるものを2つ紹介する。これらのサンプルは腕を机の上に置き、手首にセンサーを付け、ゴムバンドを巻いた状態で落ち着いた後、取得された。

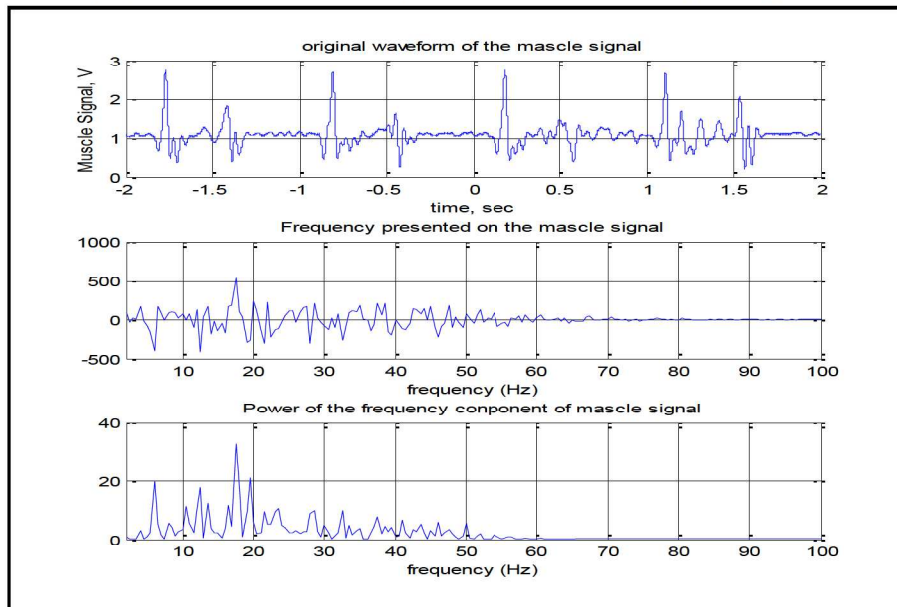


図2 AMSセンサーサンプル波形1

図2のサンプル波形は素早く4回、定期的に「クリック動作」をした結果である。ここで読み取れる事は、クリック動作をする瞬間に鋭く神経音が出ている事と、その周波数が約18Hz程度であった事である。20Hzでも少し強く反応しているが、最初の波の後に続く小刻みな揺れがこの周波数にあたる。

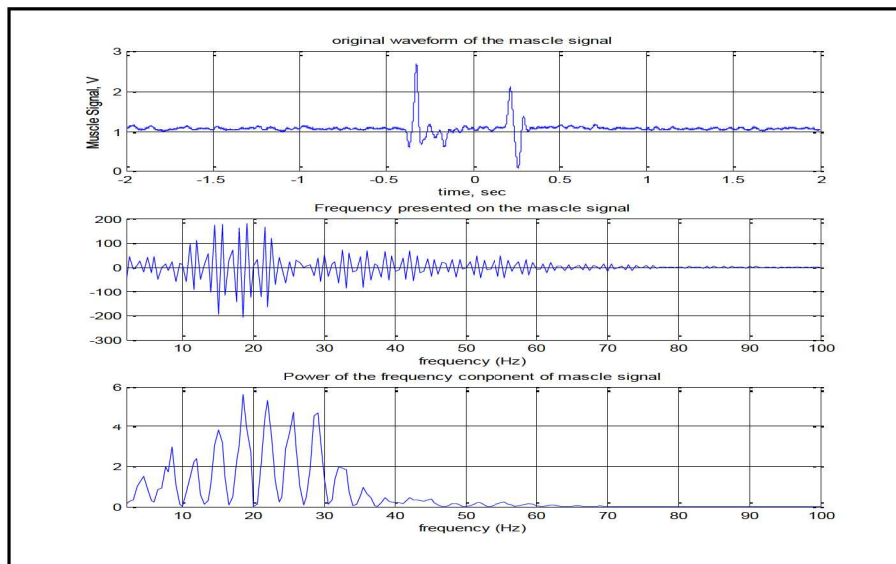


図3 AMSセンサーサンプル波形2

図3のサンプル波形は「クリック動作」を1回ゆっくりと行った物で、大きな波が2回現れている事から、クリック1回の動作と言っても、指を下げる瞬間と上げる瞬間とで、2種類の違う動作を行っている事がよくわかる。

データ観測により、波形に関する性質が掴めると、如何に使うのかの意見が生徒から多く出るように成った。結果として、センサー信号レベルが2.5v/3vを越えるとオンにして、手の動きをスイッチに見たて、波形の大きさでオン/オフを読み取るという結論に至った。

生徒たちのサンプル取得中の様子であるが、体の色々な部位で試して見たり、腕立て、スクワットなどの運動をしてみたり、時々歓声を上げながら楽しんでいる様子であった。自分の動きに合わせて変化する波形に、非常に高い関心を示しながら取り組んでいた様子であった（写真8を参照）。観測と言う1つの目標を与え取り組ませることで、ものづくりへの関心が高まり、より積極的な取り組みを見せるようになった。



写真8 サンプル波形取得中の様子

(3) プログラミング作業

アナログ量であるセンサー信号はボードに入る前に、Pmod AD1(2チャンネルADCモジュール)を介してデジタル量化された。使用者が指を動かした時(マウスをクリックする動作)に、ある種のオン/オフ・スイッチとして働くように、信号の大きさにより処理が行われた。この時、はじめに大きく揺れのあった波形のみをとらえる事とし、後に続く細かな波形の揺れを無視する事とした。一度センサー信号レベルが2.5v/3vを越えるとオンとして、その状況が検知されると、10秒間程度のダンスを意識した動作をサーボモータによって作り出す事とした。

プログラミングと聞くだけで敷居が高くて、自分の能力で出来るか不安になり、中々手が出せないと言うのが大半の生徒の考えであった。MPIDEにより、Arduino方式のC言語プログラミングを行う事でオープン・ソース・コードが様々な入出力システムに対応しており、プログラミングに慣れていない生徒たちでも、短時間でソース・コードの応用が可能となり、目標対象の制御が可能と成った。プログラミング作業は、始めCerebotの入出力ピンの番号と配置を確認しマッピングする事から行われた。次に単純なボタン操作とLED点滅を行い、そして、サーボモータ1つを外部アクチュエータとして、制御方法の理解を徐々に計った。次に、サーボ数を増やしながら連続した動きが作り出せるかを試みた。5つのサーボを滑らかに動かすために、ダイナミック方式を採用して、1番から5番のサーボモータに順に位置情報を送って行く事とした。この間の授業数にして、3回程で無意味な動きではあるが、5つのサーボモータを同時に動かせるようになった。

テディの内部構造が完成して、サーボの動きで動作表現が可能になると、生徒の興味も俄然強くなり、プログラムで動きが変わって行く度に、歓声を挙げて楽しんでいる様子であった(写真9を参照)。ダンスらしい滑らかな動きをさせるには、まだ時間が掛かるもののダンス・ルティーンを作り、その組合せで表現していく予定である。プログラミング作業においても手順を覚え、目標が見えてくる事で生徒のやる気が格段に上がった。

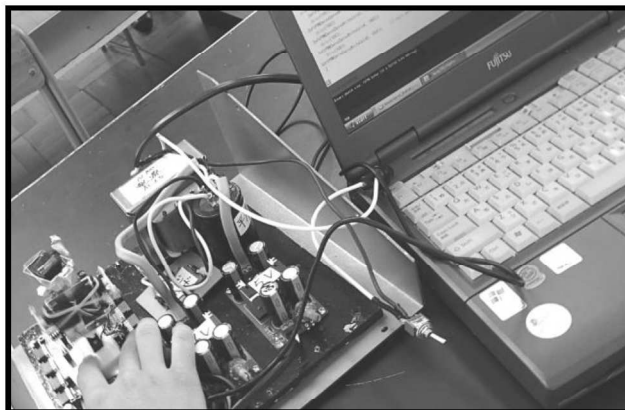


写真9 ロボット動作中

(4) 出力システムの機械工作

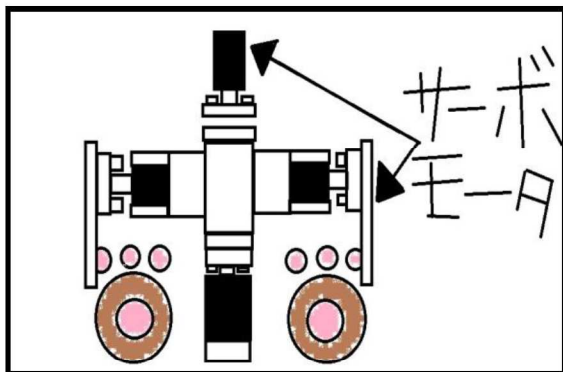


図4 初期段階の内部構造(自由度4)

この機械工作作業は上記のような電気系のタスクがどうしても苦手という生徒に用意した簡易工作であり、ちょっとした避難小屋のような役割を果たしている。ただし、プロジェクトの外見を作る作業と言うことで、生徒の積極性如何でプロジェクト全体の印象が変わってしまう事は間違い無い。テディ・ベアのぬいぐるみの中に入れて動作させる内部構造として、当初の計画では4つのサーボモータを使って腰、右手、左手、首の横振りを表現する予定であった(図4を参照)。メンバからの提言により、首の部分を縦に振った方がダイナミックなダンスに見えると言う事で、構造を作り替えようとしたが、首の根本

でサーボを縦向きに配置すると、回転する軸であるホーンが構造上、軸の動きが背中のアルミ骨格に妨げられ、左右の腕用のサーボの間に挟み込むように設置しなければならず、現状の骨格では実現不能であると言う事が解った。如何に配置すべきか再検討し、背中に1つ横置きし、L字アングルを噛ませた上で、顔のサーボを縦置きにする配置に至った(写真10を参照)。新構造ではサーボモータの数が5つ必要であるが、

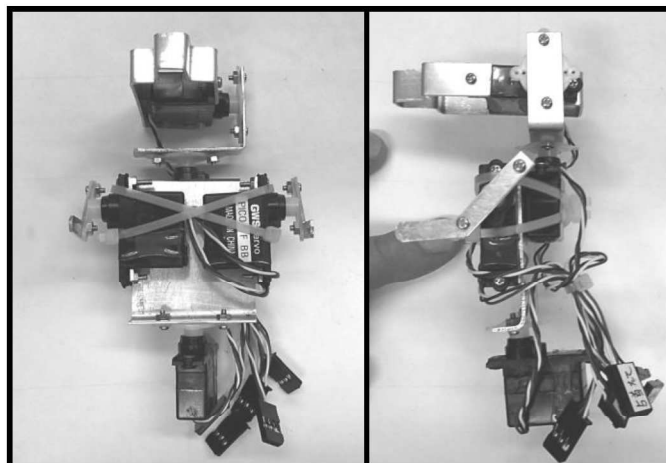


写真10 新内部構造(自由度5)

利点としては背中に使用していたアルミ骨格がそのまま使えて、首の横振り、顔の縦振りにより自由な頭部の動きを実現出来た。構造の改善はメンバの自主性から生まれたと言って間違いはない。テディの内部構造の機械工作作業でも、生徒自身での再検討により改善を自主的に行った事で、より良い動きを実現できるという自信が付き、より良い物へと言う意識の変化が見られ、より積極的な取り組みを見せるようになった。

5 成果報告

課題研究というのは元々楽しい要素がある授業ではある。それでも生徒同士の話で「課題研究が一番楽しい！」と言う趣旨の談話をしているのを聞き、余りにダイレクトな反応にこちらも少し動揺した程である。

もう1つに、先日(9月下旬)の授業中、就職試験から帰ってきたメンバの一人が面接で印象に残っている授業は何ですかと言う質問に、「課題研究ですっと迷わず言えた。」と少し嬉しそうに生徒同士で話しているのを耳にした事である。

6 おわりに

今年度の課題研究はまだまだ現在進行中であり、プロジェクトの完成まで乗り越えなければ成らない壁は未だ残っている状態である。1つの玩具の装いに成るまでもう少し時間が掛かる模様である。今年度のプロジェクトでは、生徒にとって「出来なかった自分から出来る自分へ意識改革」を目標に3つの並行したタスクにより作業班に分け、メンバ個人がそれぞれの興味や強みの効く分野を担当する事で、研究体制を整えた。生徒にとっては自分の成すべきタスクが理解の範疇にあり、且つ現状よりも少し背伸びして挑戦していく事で、プロジェクトの一員として自分の居場所があり、自分の力を活かせる事で存在感を感じられ、仲間と共に研究を進めていく事で協調性を養い、研究を成し遂げていく事で達成感を感じ、最終的にはこれらの良き循環に於いて肯定的な自己像を築いく事にも成ると考える。

7 参考文献

"Assistive Technology." Origin Instruments Corporation. 2006

<http://shop.oriin.com/shop/index.php?main_page=index&cPath=4_10>.

Brozovich, F.V. and Gerald,G.H. "Muscle contraction generates discrete sound bursts. *Biophysics Journal*, vol.41, pp. 525-531, 1983.

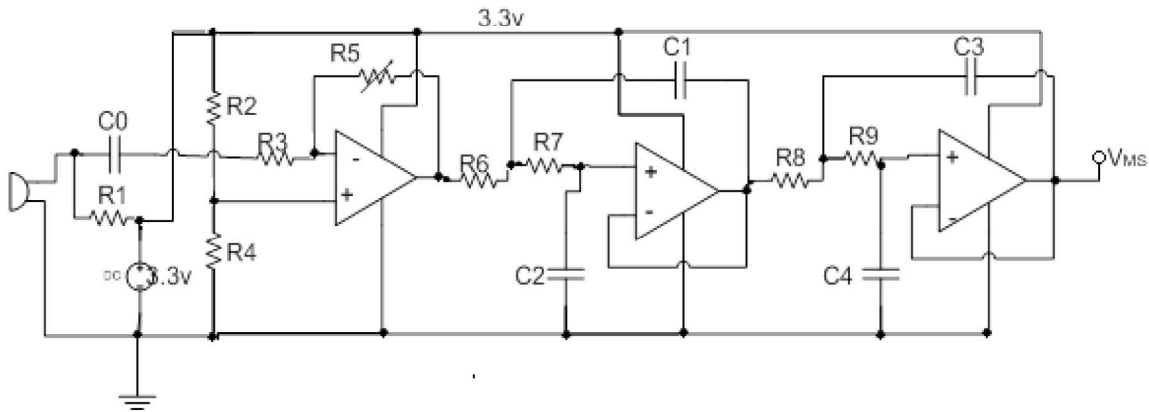
Chuck Hellebuyck "Getting Started with chipkit," *Electric Product*, 2011

Digilent Inc. "Cerebot MX4cK Board Reference Manual" Revision Dec.15,2011

Graupe, D and Kohn, K.H. "A Critical Review of EMG-Controlled Electrical Stimulation in Paraplegics," *CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 15(3):187-210, 1988.

(1) Design of a Single Acoustic Muscle Sensor Circuit

There were three distinct stages to the design of the muscle signal sensor. The stages are Microphone, Amplifier & Offset, and Low-pass filter. Each of the design stages will be explained with detail in this section including how the values of resistances, capacitances and voltage source were determined. Nonetheless, since, it would be more appropriate to note briefly how the entire operation would work before going into the each part of implementation, let's considering the entire circuit first. The figure below illustrates the entire single sensor circuit.



$R1 = 1k$, $R2 = 20k$, $R3 = 100$, $R4 = 10k$, $R5 = 0\sim 100k$ (max), $R6 = 1k$, $R7 = 1k$,
 $R8 = 1k$, $R9 = 1k$

$C0 = 1\mu F$, $C1 = 22\mu F$, $C2 = 2.2\mu F$, $C3 = 10\mu F$, $C4 = 4.7\mu F$

图 5 Circuit Implementation of the Acoustic Muscle Signal Detection Sensor

First, using the microphone, the sound signal was extracted. A microphone simply catches the air vibration and converts the pressure to voltage. In this stage the signal was still small and the sound including 0 Hz to 10000Hz of wide range of voice & muscle sound mixed. Note that muscle movement was not audible since the human ear only could detect the certain range of frequency (20 Hz ~ 20 KHz), and the muscle signal was lower than the range of a human's hearing ability. Second, the sound signal was amplified and given an offset, so that the negative range of the voltage can be detected. This was because the power was DC, and the microphone would not be able to send a signal in negative range of the voltage without offsetting the signal to certain level of voltage. The offset of 1V was used for our sensor. Finally, the low pass filter was employed to eliminate the undesired frequency components of the sound signal. For our purpose to extract the fundamental signal for the muscle movements, the cut-off frequency was set to be 25 Hz. The output port of muscle signal voltage is shown in the Fig.1 and denoted as V_{MS} .