

公立はこだて未来大学 2016 年度 システム情報科学実習
グループ報告書

Future University Hakodate 2016 System Information Science Practice
Group Report

プロジェクト名

身体拡張インタフェース ～ASHURA～

Project Name

Body augmentation myoelectric interface - ASHURA -

グループ名

グループ A

Group Name

group A

プロジェクト番号/Project No.

21

プロジェクトリーダー/Project Leader

1014239 古谷望 Nozomu Kotani

グループリーダー/Group Leader

1014239 古谷望 Nozomu Kotani

グループメンバ/Group Member

1014239 古谷望 Nozomu Kotani

1014039 西田光理 Hikari Nishida

1014192 飯塚亮騎 Rioki Iizuka

1014140 原田高大 Koudai Harada

1014150 有田健治 Kenji Arita

1014206 新岡拓也 Takuya Niioka

指導教員

櫻沢繁 高木清二 伊藤精英

Advisor

Shigeru Sakurazawa Seiji Takagi Kiyohide Ito

提出日

2017 年 1 月 21 日

Date of Submission

Jan 21, 2017

概要

もし腕が3本あったなら楽器の演奏はどのように変化するだろうか。腕が2本の場合と比較すると演奏の幅が大きく広がることは明らかである。例えば、鍵盤楽器であれば同時に弾くことのできる音の数が増加しその組み合わせも増える。打楽器であれば組み合わせが増えるだけでなくより早いリズムを刻むこともできるようになるだろう。電子楽器の演奏中に音色のコントローラを操作したい場合、2本の腕で演奏しながら音色を変化させることができるようになるであろう。我々はこの電子楽器の演奏中にコントローラを操作する状況に着目した。演奏中に音を変化させるためにコントローラを操作する必要があるが、これが腕である必要はない。そこで我々は身体から発生する電気信号でコントローラを操作するシステムを Arduino を用いて開発した。

キーワード 演奏, 電気信号, Arduino, コントローラ

(※文責: 古谷望)

Abstract

If we had three arms, how would our way to play musical instruments change? Three arms would lead an increase in the variety of the way to play music instruments than two arms. For example, in the case of keyboard, you would be able to play multiple notes simultaneously, and combination of the notes would increase. In the case of percussion, you would be able to increase the number of combination of notes but also be able to get faster rhythm. We sometimes operate the controller to change the sound while playing electronic musical instruments. You would be able to change the sound while playing the keyboard with both hands. We focused on the situation of operating controllers on electronic music instruments during performance. We sometimes have to operate the controllers to change its sounds while playing with both hands, but we do not have to operate with our arms. Therefore, we developed the system using Arduino which operates the controllers with electric signals generated from the body.

Keyword music instruments performance, electrical signals, Arduino, controller

(※文責: 飯塚亮騎・新岡拓也)

目次

第 1 章	背景	1
1.1	シンセサイザの現状	1
1.2	現状における問題点	2
1.3	課題の概要	2
第 2 章	到達目標	4
2.1	本プロジェクトにおける目的	4
2.1.1	通常の授業ではなく、プロジェクト学習で行う利点	4
2.2	具体的な手順・課題設定	4
2.3	課題の割り当て	5
第 3 章	課題解決のプロセスの概要・準備	6
3.1	前期課題解決プロセス	6
3.2	後期課題解決プロセス	7
第 4 章	課題解決のプロセスの詳細	9
4.1	各人の課題の概要とプロジェクト内における位置づけ	9
4.1.1	古谷望	9
4.1.2	西田光理	10
4.1.3	飯塚亮騎	10
4.1.4	原田高大	11
4.1.5	有田健治	11
4.1.6	新岡拓也	12
4.2	担当課題と他の課題の連携内容	13
4.2.1	古谷望	13
4.2.2	西田光理	13
4.2.3	飯塚亮騎	13
4.2.4	原田高大	13
4.2.5	有田健治	13
4.2.6	新岡拓也	14
第 5 章	結果	15
5.1	プロジェクトの結果	15
5.2	筋電 MIDI コントローラ使用方法	15
5.2.1	機能	16
5.2.2	モード切り替えスイッチ	16
5.2.3	液晶ディスプレイ	17
5.2.4	機能切り替えスイッチ (ペダル)	18

第 6 章	考察・評価	19
6.1	プロジェクトの評価	19
6.2	担当分担課題の評価	20
6.2.1	古谷望	20
6.2.2	西田光理	21
6.2.3	飯塚亮騎	22
6.2.4	原田高大	22
6.2.5	有田健治	23
6.2.6	新潟拓也	23
第 7 章	使用技術	26
7.1	使用規格	26
7.2	使用回路	26
第 8 章	今後の課題と展望	29
付録 A	新規習得技術	31
付録 B	活用した講義	32
付録 C	相互評価	33
	参考文献	34

第 1 章 背景

キーボード奏者は、シンセサイザの演奏中にコンソール上に並ぶツマミ（コントローラ）を操作して音色や音程を変化させることがある。しかし、両手で鍵盤を弾きながらコントローラを操作することはできない。そこで、咬筋から計測した筋電位信号を用いてシンセサイザを制御することで、新しい腕が増えたかのように身体を拡張し、演奏表現の可能性を広げることを試みた。

(※文責: 西田光理)

1.1 シンセサイザの現状

シンセサイザは、ツマミやペダルなどのインタフェース（コントローラ）を備え、それらを操作することで音色を変化させることができる、電子楽器の一種である。音声の生成方式やインタフェースの様態により、様々な機種が存在する。このプロジェクトでは、アナログ・デジタルを問わず、減算合成方式で、鍵盤と MIDI 入力端子を備えるシンセサイザを前提とした。

シンセサイザのコントローラは、音量や音高および音色を特徴づける様々なパラメータを制御する。演奏中によく操作するパラメータとして、ピッチベンド、ビブラート、ローパスフィルタのカットオフ周波数、アンプ・エンベロープ・ジェネレータのリリースタイムが挙げられる。

「ピッチベンド」は、音の高さを一時的に上下させる効果を持つ。自動復帰（手を離すと元の位置に戻る）するホイールやジョイスティックで実装されることが一般的である。音の高さを「ド、ミ」のように離散的に変化させるのではなく、「ド～ミ」のように連続的に（滑らかに）変化させる、「ポルタメント」と呼ばれる奏法を再現する際に使用する。

「ビブラート」は、音の高さを周期的に細かく上下させる効果を持つ。自動復帰しないホイールやジョイスティックで実装されることが一般的である。周期の速さを決める「スピード」、上下させる両を決める「デプス」等のパラメータを持つ。浅く効果を掛けたものは管楽器や歌声のような自然な揺らぎを再現し、無機質な電子音を有機的な音に変化させる効果を持つ。一方で、深く効果を掛けたものはサイレンのような過激な印象を与える効果を持つ。

ローパスフィルタは、シンセサイザに内蔵されるオーディオフィルタの一種である。アナログ・シンセサイザにおいてはコンソール上のツマミで、デジタル・シンセサイザにおいてはカーソルキーおよびスライダーやジョグダイヤル等によりソフトウェア的に操作することが一般的である。「カットオフ周波数」や「レゾナンス」等のパラメータを持つ。オシレータで生成した音声から余分な周波数成分を除去したり、一部の周波数成分を強調することで、音色の明るさを特徴づける働きを持つ。「カットオフ周波数」は、ローパスフィルタで除去する周波数の下限を設定するパラメータであり、カットオフ周波数より大きい周波数成分は除去される。また、「レゾナンス」の設定により、カットオフ周波数付近の周波数成分を急激に増幅させることができ、金属的でハリのある明るい音色を作り出すことが可能である。

アンプ・エンベロープ・ジェネレータ（以下、アンプ EG）は、時間の推移とともに音量を制御する機構である。アナログ・シンセサイザにおいてはコンソール上のツマミで、デジタル・シンセサイザにおいてはカーソルキーおよびスライダーやジョグダイヤル等によりソフトウェア的に操作することが一般的である。アンプ EG の主なパラメータとして、鍵盤を押さえてから最大音量に到

達するまでの時間を決める「アタックタイム」、アタックに到達した後にサスティンレベルに移行するまでの時間を決める「ディケイタイム」、ディケイの後に鍵盤を押さえ続ける限り出力し続ける音量を決める「サスティンレベル」、鍵盤を離してから音が鳴り終わるまでの時間を決める「リリースタイム」がある。例えば、オルガンのように、鍵盤を押さえるとすぐに最大音量で発音し続け、鍵盤を離すとすぐに発音が終わるような音量推移を再現する場合、「アタックタイム」と「リリースタイム」をともに短く、「サスティンレベル」を最大に設定するという具合である。多くのシンセサイザにおいて、「リリースタイム」を長く設定することは、ダンパーペダルを踏むこととほぼ同じ効果である。しかし、ダンパーペダルの効果は、ペダルから足を離すと既に発音中の音も含めて効果が失われるのに対して、アンプEGの「リリース」の効果は、既に発音している音に対しては発音時に設定された効果が持続される。そのため、「既に発音している音の余韻を残しながら、新しい音を発音させたい」という場合には、アンプEGのリリースタイムを変更することが有効である。

(※文責: 西田光理)

1.2 現状における問題点

ライブ等の、リアルタイムパフォーマンスが必要な場面でシンセサイザを演奏する際、コントローラを操作するには片手を鍵盤から離す必要があり、演奏表現上の制約となっている。この問題は、両手を使わずに操作を行うコントローラを用いることで解決可能であると考えられる。実際、足で操作を行うフットコントローラや、息を吹き込んで操作を行うブレスコントローラが開発されており、今日ではフットコントローラが広く用いられている。しかし、これらの既存のコントローラには様々な問題点がある。

フットコントローラは、「ダンパーペダル」と呼ばれる、音の余韻を一時的に引き伸ばす機能のものが一般的であり、音色のパラメータを連続的に変化させる操作には不向きである。音色のパラメータを連続的に変化させることに適した「エクスプレッションペダル」と呼ばれるフットコントローラも存在する。しかし、多くの場合では演奏中にはダンパーペダルを頻繁に用いるため、複数のフットコントローラを同時に操作することが必要になる。ところが、立ちながらの演奏では、1本の足で複数のフットコントローラを操作することは難しい。

ブレスコントローラは、そもそもブレスコントローラの接続に対応している機種が少なく、接続端子等も規格化されていないため、汎用性が低いという問題がある。また、ブレスコントローラは長時間に渡って効果を掛けるには息が続かないという問題もある。

(※文責: 西田光理)

1.3 課題の概要

我々は、身体を拡張することで、ヒトの身体の限界を超えた、新しいパフォーマンスを行うことができるのではないかと考えた。「身体を拡張する」ためには、拡張された身体を意のままに動作させられること、つまり「意思を反映させる」ことが必要であると考えた。

意思を反映させる手段として、まず物理的な腕を付け加える方法、つまり義手を制作することが挙げられる。しかし、義手を意のままに動作させるには複雑な機構が必要であり、実現は困難であ

Body augmentation myoelectric interface - ASHURA -

る。例えば、つまみをひねるという動作も、掌をつまみの位置まで移動したうえで手指を開閉し手首を回転させることが必要である。また、ヒトの手や既存のユーザインタフェースは、機器類を意のままに操作することに必ずしも適しているとはいえない。

そこで我々は、筋電位信号をもとに外部の機器を制御する仕組みを用意することで、仮想的な腕が増えたかのように、意思の反映が実現できるのではないかと考えた。

(※文責: 西田光理)

第 2 章 到達目標

2.1 本プロジェクトにおける目的

キーボード奏者は、シンセサイザの演奏中に、コンソール上に並ぶツマミ（以下コントローラ）によって音色や音程を変更することがある。しかし、両手で鍵盤を弾きながら同時にコントローラを操作することは不可能である。このため、両手でのシンセサイザの演奏中にコントローラを操作するためには、両手の内どちらかの片手を鍵盤から離さなければならないため、演奏表現上の制約となっている。つまり、シンセサイザの演奏時に両手の内のどちらか片手を離すことなくコントローラの操作をすることができれば、演奏表現上の制約を取り除くことができると考えた。そこで、シンセサイザの演奏時に直接必要のない部位である咬筋を利用し、片手でコントローラの操作を行うことなく、意のままにシンセサイザのコントローラの操作を可能にすることを目的とした。

(※文責: 飯塚亮騎)

2.1.1 通常の授業ではなく、プロジェクト学習で行う利点

本グループの目的は、キーボードを両手で弾いているときにツマミを同時に操作できない演奏表現上の制約を、シンセサイザの演奏時に直接必要のない部位である咬筋を片手の代替として使用することで解決するものである。つまり咬筋を動かすことでシンセサイザを制御することが可能な装置の開発が必要である。この装置の開発には、咬筋に力を込めたことを検出する装置と、検出された咬筋の力の入れ具合でシンセサイザをコントロールする機能、またそれらに電源を供給する装置が必要になり、ハードウェアとソフトウェア両方の技術を必とする。この時点で通常の授業で扱うには扱う範囲としては内容量が多く、時間的な制約から不向きである。更に一般的に専門科目で演習を含む講義では他コースの人間は受講をすることはしない。そのためコースごとで異なる分野が融合する本グループの目標に対し、一般的な講義だけでは不十分である。本グループではオシロスコープを使い、波形を確認し読み取る実験の経験がある複雑系コースの人間と、Arduino のソフトウェアを設計、コーディングの経験がある情報システムの人間が在籍しており、それぞれの経験した得意な分野を活かし、また融合することで目標の達成に向けて活動することができた。また、互いに教授し合いながら進められるため、ハードウェアとソフトウェアで共通に持っておかなければいけない知識、技術について共有することができた。これらは所属コースの垣根を超えたプロジェクト学習だからこそ行える利点である。

(※文責: 飯塚亮騎)

2.2 具体的な手順・課題設定

咬筋の筋電位信号を計測し、筋電位信号の大きさに対応したシンセサイザの制御メッセージを出力する装置を開発するため、必要な構成と知識を洗い出した。その結果、本装置の開発には筋電位に関する生物学的な知識、装置の開発には筋電位の知識と、筋電位を計測するセンサと、センサか

ら読みだした波形を Arduino で扱うために最適化を行う装置、及びそれらの装置を組み込む筐体等のハードウェアと、筋電位信号をシンセサイザの制御メッセージに変換を行う Arduino 用ソフトウェアが必要となった。そこで筋電位に関する学習は全員で行い、6人のグループメンバーをハードウェア班に3人、ソフトウェア班3人に分け開発を行った。

(※文責: 飯塚亮騎)

2.3 課題の割り当て

ハードウェア班は、咬筋から表面筋電位を読み取るために皮膚表面に接着させる筋電センサ、読み取った表面筋電位を Arduino で読み取ることができる信号に最適化させ、増幅する筋電計測回路、Arduino 及び筋電計測回路に電源を供給する電源回路、シンセサイザと装置を接続する MIDI インタフェース回路、ユーザが装置を制御するためのインタフェース、そしてそれらを格納するアルミシャーシの設計と実装及び加工を担当した。ソフトウェア班は、咬筋から読み取った表面筋電位を MIDI 信号に変換する Arduino 用ソフトウェアの設計及び開発と、ユーザーが制御している項目を表示する液晶ディスプレイ（以下 LCD）の表示項目の設計と開発、そしてそれらのデバッグを担当した。

(※文責: 飯塚亮騎)

第 3 章 課題解決のプロセスの概要・準備

3.1 前期課題解決プロセス

1. 筋電位についての学習
担当教員からの講義を受講した。
2. 筋電位を計測する手法の学習
担当教員からの講義を受講した。
3. MIDI やシンセサイザについての学習
インターネットから情報を収集した。本グループリーダー西田から問題の説明を聞いた。
4. 中間発表までの目標の設定
問題解決のための目標を設定した。目標：一つの制御メッセージを送信することができるプロトタイプを製作する。
5. プロジェクトグループ内での情報共有
毎週水曜日の 4 限目の時間に情報を共有する時間を設けた。
6. ソフトウェアの仕様の検討
パラメータの変化を可視化し、具体的にどのようなプロセスが必要なのかまとめた。
7. ハードウェアの仕様の検討
回路設計、基板設計、外装設計を行った。
8. 準備
インターネットで必要な部品を探し、担当教員を通じて購入した。
9. ソフトウェアの制作
ソフトウェアの仕様を実装した。実装内容：
 - 筋電位信号を入力し、MIDI 信号として出力
 - 読み込んだ筋電位信号の大きさをもとにピッチを変化させる MIDI 制御メッセージを生成
 - 余分な筋電位信号を無視するなど、使用者の意図したとおりに効果を得られるよう信号を処理
10. ハードウェアの制作
ハードウェア仕様を実装した。実装内容：
 - 微弱な筋電位信号を約 5V まで増幅
 - 整流回路や積分回路により、筋電位の生波形を筋活動の強さに比例した信号波形に変換
 - 実装時の操作性の検証や、配線ミス防止のため、ケースに組み込み、インターフェースを実装
11. ソフトウェア、ハードウェアの統合
9、10 での制作物を統合した。
12. 制作物の挙動の確認
11 で統合されたシステムを実際に稼働させた。
13. 制作物のデバック
12 で見受けられた不具合の修正を行った。

14. 製作物の完成

(※文責: 原田高大)

3.2 後期課題解決プロセス

1. 目標の再設定

製作物の目標を再設定した。目標：演奏に直接必要ない筋肉に力を籠めることで、意のままにシンセサイザを制御する。

2. 制作物の反省、課題・問題点の洗い出し

前期制作物の課題・問題点を話し合った。

3. 要件定義

2で洗い出した課題と問題点を優先順位順に並べ替え、重要度で比重をつけ、要件定義をした。

4. 準備

インターネットで新たに必要な部品を探し、担当教員を通じて順次発注、購入した。

5. ソフトウェアの仕様の再検討

要件定義した内容を踏まえて、ソフトウェアで実装すべき内容に対し、具体的にどのようなプロセスが必要なのかまとめ、検討した。

6. ハードウェアの仕様の再検討

要件定義した内容を踏まえて、ハードウェアで実装すべき内容である回路設計、基板設計、外装設計を行った。

7. ソフトウェアの制作

ソフトウェアの仕様を実装した。

実装内容:

- 4つのコントロール要素を制御可能 (ピッチベンド、ビブラート、LPF カットオフ周波数、エンベロープジェネレータリリースタイム)
- 読み込んだ筋電位信号の大きさを基に、各パラメータを変化させる MIDI 制御メッセージを生成
- 余分な筋電位信号を無視するなど、使用者の意図したとおりに効果を得られるように信号を処理

8. ソフトウェアのデバッグ

ソフトウェアのデバッグを行い、バグを修正した。

9. ハードウェアの制作

ハードウェアの仕様を実装した。

実装内容:

- 微弱な筋電位信号を約 5V まで増幅
- 整流回路や積分回路により、筋電位の生波形を筋活動の強さに比例した信号波形に変換
- 演奏者に装着する電極のアタッチメントを演奏の邪魔にならない形で実装
- ケースに組み込んだインターフェースを実装

10. ソフトウェア、ハードウェアの統合

7、8、9の製作物を統合した。

11. 統合後の制作物のデバッグ

統合時不具合が発生する可能性があるため、不具合をチェックし、デバッグ及び修正を行った。

12. 製作物のテスト

製作物の耐性、使いやすさのテストを行った。

13. 製作物の完成

(※文責: 原田高大)

第 4 章 課題解決のプロセスの詳細

4.1 各人の課題の概要とプロジェクト内における位置づけ

4.1.1 古谷望

- 5月 プロジェクトリーダーに任命されたので、このプロジェクトでメンバーが何をしてみたいかを聞き出した。そこからプロジェクトを各々のやりたいことを指標に3つのグループに分けた。自分はCグループに所属し、今後のスケジュールを決めた。その後、昨年の筋電計測回路を用いて筋電位を計測し、その筋電位でモータを動かすことに成功した。
- 6月 arduino でモータを制御するプログラムを書いた。また、筋電計測センサの作り方を学び実際に作製した。Cグループのメンバーと話し合いながら、役割分担を細かく設定した。自分はモータを動かすプログラムとモータで動かす尻尾を作製した。AグループとBグループの進み具合を確認しながら中間発表の準備も始めるよう促した。中間発表のスライドを作製し始めた。
- 7月 7月前半は中間発表に向け、スライドと尻尾の作製をした。中間発表後に反省会を行い中間報告書を執筆した。その後でCグループのメンバーやプロジェクトメンバーと前期の問題点と後期の進め方について話し合った。その結果Cグループを解散し、2つのグループで活動することに決めた。自分はAグループに所属しグループリーダーを担当した。
- 8月 夏休み中はライブラリやプロジェクトメンバーから本を借り、プレゼンテーションやプロジェクトマネジメントについて勉強した。
- 9月 夏休みが明ける前にAグループのメンバーを集め、後期の進め方について話し合った。プロジェクト全体でおおまかなスケジュールを決め、Aグループ内での細かな予定を決めた。さらにAグループのタスクをしっかりと洗い出しそれぞれに明確な作業を割り振った。
- 10月 Arduino に入力された筋電位の値の処理の一部を担当した。メンバーにそれぞれ締切を設定し、手の空いている者がいないようにタスクを割り振った。時間がある時にプレゼン資料を作製した。締め切りに間に合っていない作業もあったが、あまり厳しく言わないようにした。
- 11月 電極のつけ方やデザインを担当した。見栄えがいい方法を見つけることが困難だったため隠す方向で話を進めた。同時に、他のメンバーの担当部分で問題が発生したらその問題をいつまでに解決すればいいか設定し、メンバーの進捗管理に注力した。遅れている部分で手伝えるような作業は可能な範囲で手伝った。手の空き始めたメンバーにタスクを振り分けできるだけメンバーが作業をしてない時間を減らすよう努めた。
- 12月 発表原稿を作成し最終発表を行った。最終発表のための事務的な手続きを行った。最終発表後、グループ報告書の章立てと担当を決めた。最終発表の後半を担当した。

(※文責: 古谷望)

4.1.2 西田光理

- 5月 制作すべきシステムの要件定義を行った。Arduino ソフトウェアの仕様を指示した。回路図と実体配線図を書き起こした。必要な部品の選定と発注を行った。
- 6月 筋電計測回路の実装を行った。アルミシャーシの加工と、基板や部品の組み込みを行った。
- 7月 ハードウェア・ソフトウェアの統合とデバッグを行った。グループポスターの制作を行った。前期製作したものを後期でどのように生かしていくのか検討した。
- 9月 後期の長期的な活動計画を立てた。後期で製作するシステムの要件定義や必要部品の検討・発注を行った。筋電位を計測する部位の検討を行い、そのための計測実験の計画を練った。また、ソフトウェアの方で一部問題が生じたので、優先順位を考え先にソフトウェアの問題に取り組んだ。また、他のメンバーがシンセサイザに関する知識が乏しかったため、実際にシンセサイザを演奏し、音を変化させる様々なコントロール要素について解説を行った。
- 10月 筋電計測実験の準備を行った。筋電計測実験に関して倫理的な問題がないか、担当教員に助言をいただきながら計画を進めた。実験のための課題曲の検討を行い予定を立てた。他のメンバーと協力して、プロジェクトメンバーを対象に実験を行った。筋電計測実験と並行してハードの作製を行った。CAD ソフトを用いてアルミシャーシの加工寸法図を作図し、その設計に基づき加工を行った。またそのアルミシャーシ内部に配置する Arduino や液晶モジュールを接続するためのケーブルも作製した。
- 11月 電極の無線化について検討した。無線化は実現に時間がかかると見込まれるため、有線で完成させてから無線化を行うことに決定した。11月は主にアルミシャーシへの組み込みを行った。同時に筋電計測回路の不備を他のメンバーと協力して取り除いた。他にも、筋電センサの取り付けの機構を検討、改善やスイッチ等のインタフェースの結線を行った。
- 12月 最終発表前のテスト・調整・撮影を行った。組み込みの際に断線してしまった部分や、不備の生じている部分がないか細かくチェックし修繕した。また、実際に利用している動画や機能を説明するための動画を撮影した。最終発表の前半を担当した。

(※文責: 古谷望)

4.1.3 飯塚亮騎

- 5月 Arduino 用ソフトウェアのコーディングに必要な環境の選定及び構築をした。さらに Arduino 用ソフトウェアを扱うにあたって講義「情報処理演習 II」で習得した Arduino でボリューム抵抗を使う方法を再度確認した。
- 6月 Arduino 用ソフトウェアのコーディングを開始した。Arduino に筋電位を入力する機能、目標達成に必要な液晶ディスプレイへの文字列表示機能の実装、MIDI 出力の実装を試みた。その際、筋電位を Arduino 上で扱う技術と LCD (液晶ディスプレイ) ライブラリと MIDI ライブラリ [1] を扱う技術を習得した。
- 7月 Arduino 用ソフトウェアのデバッグを行った。中間発表の反省を行った。それを踏まえて後期はどのように進めていくか話し合いを行った。
- 9月 中間発表までの活動を再確認し、後期製作物の要件定義を行った。主にソフトウェアで実装する機能の見直しや追加を検討した。前期実装した機能に関する細かい修正案を提案した。
- 10月 前期で実装した機能に加え新たに 3つの機能を提案・検討・実装した。ここで MIDI に関する

る大きな問題が発生したが、メンバーとともに予定に大幅な修正を加えることなく解決することができた。入力に応じた出力値の計算方法を検討・提案を行った。他のメンバーが実装した出力値の計算処理を統合しソフトウェアのみのテストを実施した。

- 11 月 後期で新しく追加した機能の調整やモードの切り替えを実装した。タクトスイッチやペダルスイッチに対応してどのように変化するとユーザが使いやすいか検討しテストと実装を繰り返した。このプログラムに LCD を表示させるプログラムを追記しテストを行った。ハードウェアとの統合テストまでにポスターに必要な情報の整理を行い作成した。また、可能な範囲でハードウェアの実装を行った。11 月後半からハードウェアとの統合テストを行いデバッグ作業を行った。
- 12 月 ハードウェアとソフトウェアの最終調整を行いポスターやスライドに使用する写真の撮影を行った。合わせて最終発表の原稿とスライドを作成した。最終発表の前半を担当した。

(※文責: 古谷望)

4.1.4 原田高大

- 5 月 筋電 MIDI コントローラのソフト面での要件定義を行い、「情報処理演習 II」で学んだ Arduino についての基本的な操作方法の確認をした。
- 6 月 Arduino から MIDI 出力の実装を試みた。まずは 1 種類のコントロールチェンジを実装した。さらに出力の状況を LCD(16 × 2) に表示させることに成功した。
- 7 月 ソフトウェアのデバッグを行った。中間発表を行い、後期もソフトウェアを担当していくことを決意した。
- 9 月 前期で実装した機能の改善を担当した。他のメンバーと協力した要件定義をし出力値の変化に時間の概念を加えることで、出力値を加速度的に変化させるプログラムを実装した。
- 10 月 9 月に実装したプログラムのデバッグ・調整を行った。前期からコントロールチェンジの種類が増えたので、再度 LCD(20 × 4) 表示の要件定義を行い実装した。また、表示画面をプログラムで実装するだけでなくテストする際に LCD の構造と Arduino の配線を学びながら作業を進めた。他のメンバーと協力してソフトウェアのみの統合テストを行った。同時に製作物の説明書を作製した。
- 11 月 製作物のわかりやすい説明書を作製した。他のメンバーと協力して筋電センサをどういったものにするか検討した。また、一部作業の遅れているところや手の行き届いていない細かいハードウェアに関する部分の修正をした。最終発表に向けて A グループのポスター、プロジェクト全体のポスターを作製し、プレゼン資料を作製した。
- 12 月 他のメンバーと協力して A グループのポスター、プロジェクト全体のポスターを作製した。発表スライドに使用する動画の撮影も行った。最終発表の前半を担当した。

(※文責: 古谷望)

4.1.5 有田健治

- 5 月 回路でよく使われる部品について調べ、学んだ。また A グループでの用途に適した、オペアンプの特性を調べた。
- 6 月 アクティブ電極を作るためにはんだづけを行った。ユニバーサル基板の作製を取り組んだ。

- 7月 全体ポスター、グループポスターの作成を行った。中間発表後、後期では製作物をどの様に拡張していくか検討した。
- 9月 プロジェクト全体でのスケジュールを決定した。A グループでの要件定義をし役割分担をした。自分はハードウェアを担当し、特にアルミシャーシの加工とインタフェースの結線を主に担当した。また、筋電計測実験を行うための準備を開始した。
- 10月 筋電計測実験を行うための手順書を作成した。その際、実験に関して倫理的に問題がないか教授からの助言をいただきながら手順書を作成した。その手順書に基づきプロジェクトメンバーを被験者として実験を行った。同時にアルミシャーシの加工をエレクトロニクス工房で進めた。
- 11月 ハードウェアのインタフェース周辺の結線をはんだごてを用いて進めた。また他のメンバーと協力して筋電センサをどのようにして見栄えをよくするか検討した。11月の後半では完成したアルミシャーシに組み込みを行った。その際にアルミシャーシに加工が足りなかったり必要になった場合に追加で加工した。同時に最終発表のためにポスターを作製した。
- 12月 他のメンバーと協力してポスターを仕上げた。また、一部繋がっていない部分の結線も行った。最終発表の後半を担当した。

(※文責: 古谷望)

4.1.6 新岡拓也

- 5月 筋電位測定回路を制作するために利用するオペアンプの電圧特性を調べる作業をした。オペアンプの仕様書が英文だった為、英訳しながら作業した。
- 6月 筋電位測定回路の基板設計を行った。また、制作した回路設計書をもとにユニバーサル基板へ電子部品配置し、はんだ付けを行った。ハードケースに MIDI ケーブル、USB ケーブルなどを通す為の穴を開けた。
- 7月 統合されたシステムの被験者の一人になった。
- 9月 前期の活動を振り返り後期のスケジュールを決めた。後期製作物の要件定義を細かくし、必要な部品を検討・発注した。筋電計測実験の内容をきめ、データのログの取り方を確認した。個人の担当は筋電計測回路の作製・改善であった。改善とは具体的には前期と同じ機能でより小さいものにする小型化であった。
- 10月 CAD ソフト eagle を利用して前期に製作した筋電計測回路をプリント基板で製作した。そのためにまず、ソフト上で使用する部品のピックアップを行い前期と同じように配置した。次に各部品を経路でつないだ回路図を製作した。その回路図をオートルータ機能にかけ、基板サイズを 6*5 センチを目標として部品を再配置した。その後でプリント基板を加工するために工房を利用した。加工前にデザインプロというソフトで加工可能であるか確認を行ったところ、経路と部品が近すぎて加工不可能な部分が存在したため修正を行った。
- 11月 10月に作製した回路図を基に新たな回路図を製作した。そして実際に工房でプリント基板を加工し部品をはんだ付けして回路を作製した。11月の中頃からは回路が実際に動くかどうかの確認と修正を繰り返し行った。後半では櫻沢先生の協力もあり筋電計測回路を小型化させることに成功した。その後ハードウェアの組み込み作業に協力した。
- 12月 ハードウェアの結線が終わっていない部分を主に担当し、その後で他のメンバーと協力してプレゼン資料と原稿を仕上げた。最終発表の後半を担当した。

4.2 担当課題と他の課題の連携内容

4.2.1 古谷望

入力値の処理を担当した。その際に他のソフトウェアのメンバーやハードウェアのメンバーと相談して出力した。また、ソフトウェアとハードウェアのそれぞれの進捗状況に応じて手が足りていない部分の補助をした。さらに、筋電センサの装着方法をハードウェアのメンバーと協議して決定した。

(※文責: 古谷望)

4.2.2 西田光理

ソフトウェアの仕様を検討し、ソフトウェア班に指示を出した。ソフトウェアのデバッグのため、シンセサイザを提供した。

(※文責: 西田光理)

4.2.3 飯塚亮騎

Arduino 用ソフトウェアの開発を担当していたが、ソフトウェアを実装する際にハードウェアの実装と合わせてデバッグする必要があるため、デバッグ時にはハードウェア担当の班員と合同で行った。また、Arduino 用のソフトウェアは LCD や MIDI ポート (DIN5pin) 等の信号を出力する部分に関しては Arduino 上のピンヘッダとソフトウェアの実装が対応するため、Arduino のどのピンが LCD、または MIDI ポートに接続されるのか、ハードウェア担当の班員と密に連絡をとり策定した。

(※文責: 飯塚亮騎)

4.2.4 原田高大

ソフトウェア班でのデバッグを行った。ソフトウェアの問題が発生した際には、班員と相談をしつつ、解決にあたった。また、ハードウェア班と共同で、LCD と Arduino との接続について連絡を取り合い決定した。さらに発表資料の原稿作成及び映像資料作成に協力した。

(※文責: 原田高大)

4.2.5 有田健治

ソフトウェアの使用についてソフトウェア班と確認を行った。また、グループのメンバーを被験者にし、実験の進行と分析を行った。

(※文責: 有田健治)

4.2.6 新岡拓也

前期、後期でどちらもハード制作を担当するハード班として課題に取り組んだ。前期ではハード制作全般を行った。電極の制作、筋電計測回路の制作、外装の制作など実作業全般で活動した。電極制作では、制作方法を他グループと共に上級生より指導していただいた。その後、その制作方法を他のグループメンバーにも伝えました。筋電計測回路の制作では制作した回路をソフト班が実験やデバッグで使用できるように準備などを行った。外装制作では、特に他の作業との連携はしなかった。後期では、筋電位計測回路の制作を主に担当していた。他の作業との連携は、基板制作に当たって他のハード班メンバーとハードの仕様を確認しあった。基板制作で使用した EAGLE の使い方、基板加工機の使い方を他のグループとも共有した。また、ソフト班の動作実験の際に、実際に筋電位を計測した値を読み込むためのオシロスコープ、電源装置などの準備を補助した。

(※文責: 新岡拓也)

第 5 章 結果

5.1 プロジェクトの結果

筋電位信号を用いたリアルタイムパフォーマンス用 筋電 MIDI コントローラ（以下、筋電 MIDI コントローラと略す。） 図（5.1）を制作した。この装置により、筋の電気信号を用い楽器を操作することが可能になった。筋電 MIDI コントローラは、表面筋電センサおよび筋電計測回路により微弱な筋電位信号を Arduino で読み取れる電圧まで増幅し、それを MIDI 信号としてシンセサイザに出力するものだ。

今回、本プロジェクトで開発した筋電 MIDI コントローラのエフェクトのコントロール機能は次の 4 種である。ピッチベンド、ビブラート、アンプ エンベローブ・ジェネレータ リリースタイム、カットオフである。また、入出力インタフェースの 1 種としてコントロールする機能の切り替え用 ツマミとペダルを取り付けた。ツマミは回したに応じ対応した機能が呼び出され、ペダルは一度踏むと機能が一つずつ変わるロータリー式となっている。これらはどちらも同じ操作が可能で、最後に操作した方の機能が呼び出される。

この筋電 MIDI コントローラは、リアルタイムパフォーマンスの有力なインタフェースの一つになりえる。そして実際の LIVE などで使用され、楽器を演奏する上での演奏表現をもっと幅広く自由にできるのではないかと考える。

（※文責: 有田健治）

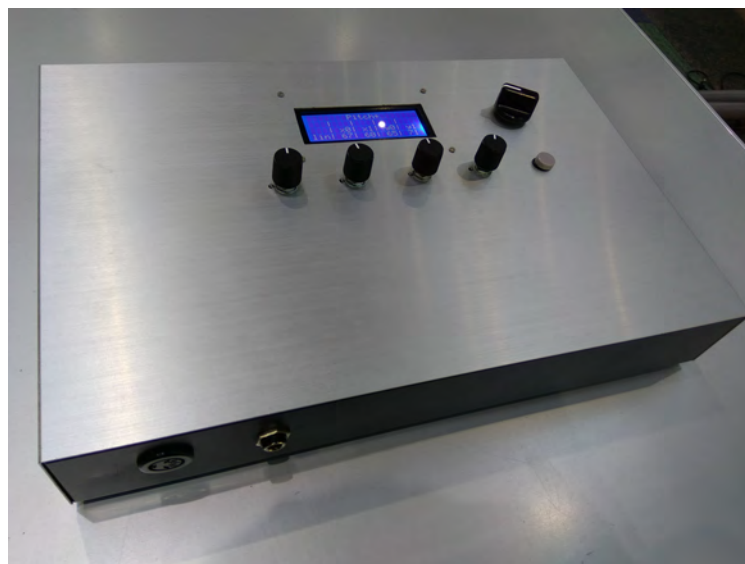


図 5.1 筋電 MIDI コントローラ 外装

5.2 筋電 MIDI コントローラ使用方法

まず筋電 MIDI コントローラを使用するにあたり、シンセサイザ、電極、ペダルを接続する。電極を顎に張り付ける。電源をオンにする。筋電 MIDI コントローラ内に電池、回路、Arduino 等

は内蔵されているので、以上の作業で使用可能となる。次につまみ、モード切り替えスイッチ、液晶ディスプレイ、機能切り替えスイッチ（ペダル）について、以下で説明する。

5.2.1 機能

4種類の機能を搭載する。それに対応するつまみが4つあり、それぞれの機能は全て127段階で変更することが可能になっている。



図 5.2 4種類の機能に対応するつまみ

ピッチベンド

音高（ピッチ）を連続的に（滑らかに）変化させる。直訳すると「ピッチを曲げる」の意で、単にベンドとも呼ぶ。

ビブラート

音を伸ばすとき、その音の見かけの音高を保ちながら、その音の特に高さを揺らすことである。

アンプ エンベロープ・ジェネレータ リリースタイム

鍵盤から指を離してから音が鳴り終わるまでの時間を操作する。

カットオフ

ローパスフィルターのカットオフ周波数を制御することで、音の明度を変化させる。

5.2.2 モード切り替えスイッチ

2種類のMIDI信号算出パターンの切り替えを行う。

リニア 任意の2点を取り2段階の変化をつけることができる。設定する値は任意の2点それぞれのx座標とy座標である。

アクセル 設定した閾値を超えたとき設定値に合わせて変化する。設定する値は閾値、出力値の上がる早さ、出力値の下がる早さ、出力値の上限である。



図 5.3 モード切替スイッチ

5.2.3 液晶ディスプレイ

起動時に起動画面が表示され、通常時に実行画面に切り替わる。4列構成となっている。

列 1: 現在選択されている機能

列 2: 入力値、出力値

列 3: パラメータ 4 種

列 4: モード、パラメータの項目名 4 種



図 5.4 LCD

5.2.4 機能切り替えスイッチ（ペダル）

4種類の機能および機能停止を切り替える。ロータリースイッチとペダルの2種があり、最後に操作した機能が呼び出される。

ロータリースイッチ 回した角度に対応した機能が呼び出される

ペダル ペダルを踏むたびに機能が順に切り替わる



図 5.5 ロータリースイッチ (左) ペダルスイッチ (右)

(※文責: 有田健治)

第 6 章 考察・評価

6.1 プロジェクトの評価

本プロジェクトグループ A の目的はリアルタイムパフォーマンスの可能性を広げることである。その為に筋電 MIDI コントローラを制作した。

実際に制作したものは、上記の結果より、身体を動かそうとしたときに発生する筋電位を用い、Arduino と MIDI ケーブルを利用してシンセサイザの音色を変化させることに成功した。また、音色の変化の仕方はアクセルと呼ぶ筋電位の入力値に比例した変化を行うモードと、リニアと呼ばれる閾値を設定し、その値を超える筋電位を入力する事で一定以上の変化を行うモードを用意した。音色の変化には四種類あり、ピッチベンド、ビブラート、アンプエンベロープ・ジェネレータリリースタイム、カットオフの四種類がある。使用しやすいようにセンサ取り付けや画面の大きさ、モード変更のためのスイッチなど入出力まわりのインタフェースを改良した。

これらリアルタイムパフォーマンスの可能性を広げるかどうかを考える。

まず、本来であれば、シンセサイザを演奏中の音色の変化には摘みを回すために、左右どちらかの腕を使用する必要がある。この片手が使えなくなる状況がシンセサイザを演奏するうえでの制約であると考えられる。そこで、筋電 MIDI コントローラは身体を動かすときに発生する筋電位を用いることにした。摘みを回す腕の代わりに、筋電位の入出力で摘みを回す効果を代替する機能をもった機器を作製した。筋電位であれば使用者が意図したタイミングで出力することが出来るので、この腕の代わりに演奏者の意志を反映させることが出来る。これにより前述した制約を解決できると考えた。つまり、両手が自由な状態でも音色を変化させることが出来、新たに空いた分の腕でのパフォーマンスが可能となったのである。また、筋電計測部位は普段演奏を行う際に使用しない筋肉部分を選択し、演奏中の誤操作や新たな制約にはつながらないと考えられる。次に、音色の変化についての二つのモードについてだが、これは個人による筋電位の値の違いに対応するものである。個人によって筋電位を計測する際の値が発生するタイミングや大きさに違いが存在し、それらに対応するため二つのモードが搭載された。一つ目のアクセルは演奏者がこめた筋肉の力に比例して音色を変化させる。つまり、筋肉に力をこめればこめるほど音色の変化が大きくなる仕様である。この仕様により演奏者は自らが思う程度の音色変化を筋肉に力を入れることで瞬時に行うことが出来る。二つ目のリニアについては、ある一定の閾値を超える筋電位の発生により音色を変化させるモードである。こちらは一定以上の筋電位をこめることで音色を徐々に変化させる。これらの二つのモードは個人による筋電位を計測する際の違いに対応するために制作されたが、筋電位を演奏者の思うように変化させるのは難しいため、どちらも習熟度が高くなければ自在に操作できないものと考えられる。

そして、音色変化の四つのバリエーションについては、ピッチベンドは音程を上か下かに変化させる。ビブラートは音程を上下に揺らす変化である。アンプエンベロープ・ジェネレータリリースタイムは音が鳴り終わるまでの時間を操作する。カットオフは音の明度を変化させる。これらの四つの変化は本プロジェクト内にいるシンセサイザ演奏者と相談の元よく使われる変化を選定して実装を行った。実際に使用する際に他の変化も必要になる可能性があるため、音色変化のバリエーションを増やす拡張要素はまだ残っていると考えられる。

最後に入出力のためのインタフェースの改良である。センサの改良、タクトスイッチ・フットペ

ダルの導入、液晶画面の導入などがある。センサの改良については、人体の接触部分をディスポ電極に変え、センサ自体で人体に接着できるようにした。また、シールド線を用いることで一本のケーブルに二本分のセンサをまとめることが出来た。そして、ケーブルと MIDI コントローラへの接続部分を mini-din にする事で機器の接続が容易になった。タクトスイッチ・フットペダルの導入では、音色変化の種類を変えるときに使用する。タクトスイッチは各角度がそれぞれの変化に対応しており、フットペダルはピッチベンド、ビブラート、アンプエンベロープ・ジェネレータリリースタイム、カットオフの順に変わるロータリースイッチになっている。タクトスイッチとフットペダルの変化は、最後に操作した方に変更されるようになっている。これにより、演奏前や演奏中での音色変化の種類を変えることが容易になり操作性が上がっていると思われる。液晶画面については、現状のモードや音色変化の種類、その他の数値などを見やすくする為に、80 文字表示可能なキャラクタ LCD を使用している。これにより演奏者が自身でどのような変化を行おうとしていることや、どの程度の力を加えているかなどを一目でわかるようになっている。よって、実際に必要条件である筋電位を計測し音色を変化させる以外の設計でも、演奏者が使いやすいように設計していると思われる。

以上のことから本制作物である筋電 MIDI コントローラは使用者にとって円滑に扱うことが出来、かつシンセサイザ演奏者がリアルタイムパフォーマンスを行う上で演奏の幅を広げることが出来ると考えられる。

(※文責: 新岡拓也)

6.2 担当分担課題の評価

6.2.1 古谷望

私は前期に C グループのメンバーとして活動し、筋電位を用いて動く尻尾を作製した。C グループは 2 名であった。C グループでは最初に筋電位を計測するための筋電計測回路に関する知識を習得した。さらに、筋電計測のために必要な筋電センサについて学び実際に作製することができた。その後尻尾を作製するために同じグループのメンバーと協力して要件定義と関連研究の調査を行った。しかし要件定義をうまく進めることができなかった。そして曖昧であるままに尻尾の作製に移行した。そのため尻尾を作製していく段階で様々な問題が生じた。その結果、中間発表までに何とか作製することには成功したが出来がいいものではなかった。この前期の成果から、私は少人数で素早く何かを作製し動くようにするという点では十分に役割を果たすことはできた。しかし、何かを作製する前の要件定義や関連研究の調査が不十分であるという課題が残った。

後期は A グループに所属しグループリーダーとして活動した。前期での反省点を踏まえ前期よりも早めに要件定義の時間を取り何度もスケジュールの調整を行った。その結果、後期の前半では予定よりも早い期間で作業を進めることに成功した。さらに、要件定義を丁寧に行ったことによってグループメンバーへのタスク振り分けを円滑に進めることができた。その結果、筋電 MIDI コントローラを完成することができた。この後期の成果から、私はグループリーダーとしての役割を果たしたと考える。残された問題点は、タスクを振り分ける際にメンバーによって厳しいタスクを与えてしまったり説明が不十分で手を付け始めるのが遅れてしまうメンバーがいたことが挙げられる。

プロジェクト全体を通して私はグループメンバーとして作業している時間よりも、プロジェクト

リーダー・グループリーダーとしてスケジュールやタスクを管理している時間が多かったように思える。前期は人数が少なかったために作業する時間は多かったが、それでも他のグループのことを気にしながら作業していたと感じる。後期は人数が多くなったのでメンバーとしての作業の時間は短く、スケジュールや要件定義を深く掘り下げ、メンバーができるだけ暇しないように意識してタスクの振り分けを行った。このように現在誰が何をしているのかという状況の把握をするのは評価のできる点であるように思える。しかし、やはり個人の作業量を見ると他のグループメンバーよりも少ないことから、タスクを振り分けた後は自分に振ったタスクをこなす時間を取るべきだという課題が残った。

(※文責: 古谷望)

6.2.2 西田光理

目標を達成するためにどのような製作物が必要なのか要件定義を行い、ハードウェア・ソフトウェアの仕様書を作成した。シンセサイザを外部から制御するため、MIDI を用いることを提案した。MIDI による制御を実現するため、ソフトウェア的な MIDI メッセージの生成方法やハードウェア的な実装方法を提案した。他のメンバーがシンセサイザに関する知識が乏しかったため、実際にシンセサイザを演奏して聞かせ、音色を変化させる様々なコントロール要素について解説した。

筋電位信号を扱うため、担当教員より筋電位に関する講義を受け、筋電計測回路について学習した。筋電計測回路を去年度のものより改良するため、使用する電子部品を検討し、新しい回路図を作成した。筋電計測回路や Arduino など、ハードウェア全般の電源回路や信号線の配線を設計した。単電源（乾電池）で、バランス電源が必要なオペアンプを駆動するため、仮想グラウンドという手法を取り入れた電源回路を製作した。入出力ポートの少ない Arduino で多くの機能を実現するため、ユーザインタフェースにロータリースイッチを用いることを提案し、設計と実装を行った。

ハードウェアの設計と実装では、これまでの経験と知識を活かして部品の選定や加工を行い、ハードウェアを完成させることができた。複数人での作業を円滑に進めるため、具体的な寸法や指示を記した設計図面を製作し、ハードウェア班で共有した。当初、製作した回路が正常に動作しなかったため、オシロスコープやデジタルマルチメータを用いて回路の検証を行い、問題点を修正した。筋電計測回路を製作し、アルミケースの加工を行った。ソフトウェア班と協力することにより、MIDI メッセージを送信してシンセサイザを制御することができた。

Arduino で MIDI 信号を扱うため、ソフトウェア班と協力して MIDI ライブラリに関する情報収集を行った。Arduino ソフトウェアについて、シンセサイザの経験をもとに様々な助言を行った。例えばユーザインタフェースの部分では、シンセサイザ奏者が慣れ親しんだ操作方法や画面表示を提案した。内部処理の部分では、MIDI で扱われる数値の範囲を考慮して変数の値域を変換する処理を提案するなど、Arduino で MIDI を扱うための補助を行った。特に後期では、閾値に対する筋電位信号の大小に応じて効果の度合いが変化する「アクセルモード」を提案し、前期よりも実用的な制御を実現した。これらの補助により、ソフトウェアの開発をより円滑にすることができた。

(※文責: 西田光理)

6.2.3 飯塚亮騎

前期ではプロトタイプの作製を行った。私はプロトタイプの Arduino 用のソフトウェアを担当した。プロトタイプのソフトウェアは機能を最小限に抑え、表面筋電位からシンセサイザを操作することを念頭に開発が行われた。そのため、プロトタイプ作製の時点で操作可能な機能はピッチバンドのみである。このピッチバンドを扱う上で必要な MIDI ライブラリの仕様を前期で学習することができた。ピッチバンドを操作するには使用者の筋電位を入力値として入力する必要がある。このため、Arduino 上で筋電位を扱わなければならないため、アナログ信号として入力した筋電位を Arduino 上で扱いやすくするために精度変換も行った。更に、ユーザーエクスペリエンスを向上させるために、入力された筋電位をある程度調節可能にするために調整値の計算と、それらを入力するインタフェースについても同じプログラム班の原田と一緒に考え、実装した。また LCD ライブラリを用いて LCD の実装も行った。LCD の実装に関してはユーザーが視覚的に理解が可能なように各調整値（バイアス値、リミット値、入力最小値、出力最大値）を表示させることに成功した。また、それら調整値をハードウェア班がじっそうしたツマミからアナログ値として Arduino に入力し、数値として扱うことにも成功した。これらの課題について前期中に実装が完了したため前期の課題は達成できたと言える。

後期にはより完成度の高い MIDI コントローラにするため、操作可能な機能の拡張と入力された筋電位から MIDI 信号に変換する算出方法の改善、LCD に表示される情報の拡張を行った。これらの改善点のうち、1つ目の操作可能な機能の拡張を主に担当した。MIDI ライブラリの仕様は前期で習得していたため設計及びコーディングは時間的なコストをかけることなく完了した。しかし MIDI の仕様はシンセサイザごとに若干異なることが判明し、意図した機能をシンセサイザ上で実行させるには各シンセサイザの MIDI の仕様を調べる必要があった。そのため実験用に導入したシンセサイザから出力される MIDI 信号をコンピュータで表示し、対応する MIDI 信号を割り出した。多くの時間を要したがシンセサイザ固有の MIDI 信号を理解し、新たに4つの機能を実装することができた。また、完成した各機能を統合し、デバッグを行う作業も担当した。ソフトウェア班は各機能を関数単位で分け、統合の際には引数名の誤入力や返り値の型変換など、設計段階で未定義だった部分を修正しながら統合作業を行った。プロジェクト最終段階ではハードウェア班とソフトウェア班で作製したモジュールを統合する作業に立ち会った。統合作業はハードウェア班とソフトウェア班がお互いの開発したモジュールの仕様について再度確認し、問題が起きた場合はお互いのモジュールに問題がないか再度確認しながら統合作業を行った。この統合作業はお互いに確認を取りながら作業を行ったため、時間を要するものになったが、確実に問題を解決することができた。このことから後期中の担当課題は達成できたと言える。

以上のことから前後期に想定していた課題は達成され、全体を通して成果物を作製する課題については達成できたといえる。

(※文責: 飯塚亮騎)

6.2.4 原田高大

前期では、講義等で学んだ Arduino についての基礎的な知識を学習し直し、筋電 MIDI コントローラ開発に向けて知識を発展させ、MIDI ライブラリ及び LCD ライブラリの応用的な知識を身に付けた。身につけた知識を用いて筋電 MIDI コントローラのプロトタイプ製作に貢献した。具

体的には、Arduino に筋電位信号を入力し、MIDI ライブラリを用いて MIDI 信号として 1 種類のコントロールチェンジとして出力することを可能とした。また、LCD ライブラリを用いて、筋電 MIDI コントローラの LCD(16 × 2) に MIDI 信号の情報を表示することも可能とした。さらに、プログラムのデバッグ作業を担当し、バグの修正を行った。それゆえに前期担当課題は達成することができたと言える。

後期では、前期制作物であるプロトタイプの反省点・問題点をグループ内で検討し、その中でソフトウェア上の問題をソフトウェア班で分担した。問題点の課題解決を図るため、自分は現状以外の変位モード、通称アクセルモードを新たに用意した。アクセルモードを用意することで、従来の変位モード、通称リニアモードでは筋電位の値を直接反映するしかなかったが、時間変化で MIDI 信号を反映することができるようになった。また、前期制作物より機能拡張を行った。特に、前期では 1 つの機能のみの操作だったが、4 つの機能を操作できるように拡張した。そのため、LCD に必要な情報量が表示できない課題が発生した。課題解決をするため、LCD を 16 × 2 から 20 × 4 に変更した。それに伴い、ソフトウェアを 20 × 4 用に変更を行った。また、デバッグを行っていく過程で、コントロールチェンジを変更する際に値が保持できない問題が発覚した。その問題の修正も行った。さらに、制作物を説明するための説明書の作成を行った。プロトタイプで発生した課題は、これらの活動を通して、機能拡張を行った最終成果物で解決することができた。よって後期担当課題も達成することができたと考えられる。

(※文責: 原田高大)

6.2.5 有田健治

最初に筋電位についての知識が乏しかったため、担当教員から講義を受けた。実際に自分の筋電位を表面筋電センサで検出し、それを波形として確認した。A グループは筋電位を読み取ることにより、何かデバイスに応用できないかということを目的に集まった。そこで着目したのが MIDI コントローラである。2 つのグループ（ハードウェア班、ソフトウェア班）に分かれ、私はハードウェア班に属した。作業工程としては要件定義、部品発注、製作の順に取り組んだ。最初はアクティブ電極を作製し用いていたが、筋電センサの皮膚との脱着を簡略化させるためディスボ電極を採用した。はんだ付けは初めてであり、正確な作業が要するため集中力が必要であった。ハードケース製作ではもともと発注したものを加工し用いたので、穴を多数開けるためボール盤を用いた。専門の先生が付き添いのもと行い、すぐに自分でもできるようになった。安全性を考え、ハードケース全体のやすりがけも行った。そしてハードケース内の電池や回路、Arduino などの収納を行い、導線を正しく配線した。組み立てていくうちに徐々に完成までが見えてくるので、とてもいい作業であった。また全体ポスターの作製に携わり、内容とレイアウトを行った。最後に筋電位や回路の知識を増やすことと、タスクへの積極性を出すことができたのでよい活動となった。

(※文責: 有田健治)

6.2.6 新岡拓也

前期プロジェクトでは制作するにあたって大まかな担当をソフト班、ハード班で分けたが、私はハード班の一員として活動をした。内容は外装や基板などハード面の制作を行うことである。筋電計測回路の制作は、論理回路図は同じくハード班の西田が制作した。私はその回路図をもとに実

態配線図を制作した。その後、ユニバーサル基板上へ電子部品を配置しそれらをはんだ付けしながら配線をしていった。計測可能かオシロスコープ、電源装置を利用して確認を行った。計測結果は良好であり、想定していた値を計測できた。つづいて外装の加工を行った。加工は基板や電源を収めるケースにケーブルを通すためにドリルで穴をあける作業を行った。前期の活動ではプロトタイプ制作としていて、外装の完成度で満足のいかない部分があった。また、基板制作では、回路の理解を深める為にあえて大きめのユニバーサル基板に余裕をもって配線し実装を行った為、大きく場所を取るようになってしまった。

後期では前期で制作したプロトタイプをどのように改善するかを話し合うことから始まった。その場で決まったことは音色変化の追加、インタフェース周りの改善であった。その後の制作にあたって今後無線化にも取り組む可能性を考え回路基板を小型化する意見もあり、後期は基板の小型化に取り組んだ。

まず、基板を小型化する上でどのような方法があるかを調査した。その結果、現在行っているユニバーサル基板上に配線と部品を自分で配置を考えてからはんだ付けする方法のほかにも、基板をプリントする制作法があることを知った。基板をプリントする場合は専用のソフトにより基板データを作製する必要があり、また、基板をプリントするための専用の機械も必要である。両者を比較して考えてみた場合、ユニバーサル基板を使用して制作する方法はバグを見つけやすい代わりに、設計者が部品や経路を組み立てる必要がる。しかし、プリント基板の場合は、専用のソフトで論理的な回路を作製し部品を配置する事により自動で最短経路を出力してくれる機能があることが分かった。よって後期では基板をプリントする方向で制作を始めた。

プリント基板を制作するには専用のソフトと基板加工機が必要である。基板加工機は本学のエレクトロ工房に存在したため、そちらを利用した。ソフトについては、インターネットで調べ、いくつかの候補をダウンロードして使用した。それにより、使い勝手の良さや工房推奨であることから EAGLE(<https://cadsoft.io/>) というソフトを利用した。使い方は以下の URL : <http://www.picfun.com/Eagleframe.html> などを参考に勉強、制作を勧めた。

ソフト制作では EAGLE 上に前期の論理的な回路を制作することから初めた。EAGLE 上で部品の配置を行い、回路を繋いでいった。完成した基板データを基板加工機で使えるデータへ変換を行うことで、実際に基板を掘り出すことが出来た。そこへ電子部品をはめ込み、はんだ付けを行うことで計測回路の試作品を作った。データの変換、機器の操作などは工房所有の資料を基に行った。

制作した試作品計測回路はオシロスコープと電源装置を利用する事で動作を確認する。埋め込んだ基板に +、-、グラウンドの電源を電源装置から接続し、最終出力や差動増幅回路の後などの波形をチェックしていった。うまく計測することが出来なかったため、原因を調査した結果、基板データ制作時の配線ミスや部品間違いなどがあり数回の試作を繰り返した。しかし、制作途中で材料である銅版が無くなり、新しく発注する時間がなかったため、急遽、ユニバーサル基板上に制作することになった。前期同様に実体配線図を手書きし、プリント基板で制作予定の大きさと同程度の大きさ位で制作した。前期とは違い、回路理解よりも基板縮小を第一に制作した結果、前期と比べ約 1/2 ほどの大きさまで縮小できた。こちらは動作を確認したところ、最終出力での出力がなく、ハイパスフィルタの直後で発振した。原因調査として、回路の通電を電圧計で一つ一つ調べることで一か所通電していない箇所を発見した。原因はその通電していなかった箇所のはんだ付けの非接触な状態であると考え、再度はんだごてで熱した。その結果、筋電位を最終出力で確認することが出来た。しかし、出力される値の変化が急激であり、積分回路が正常に動作していない可能性がある。出力自体はできているので自身の意志を反映させる事は可能であるが、急激な値の変化は

Body augmentation myoelectric interface - ASHURA -

ソフト班の制作に大きく影響を与えてしまった。

基板制作後は資料制作、センサ制作の補助などの作業をおこなった。

(※文責: 新岡拓也)

第 7 章 使用技術

7.1 使用規格

MIDI コンピュータや電子楽器間で演奏データを転送する通信規格である。31.25Kbps の非同期方式シリアル通信をベースとし、様々な「MIDI メッセージ」が規定されている。コネクタは DIN-5 ピンが用いられる。MIDI メッセージは、鍵盤を押さえた／離したことを表す「ノートオン／ノートオフ」や、シンセサイザが備える様々なパラメータを制御する「コントロールチェンジ」などが規定されている。

MIDI を用いることで、予めシーケンサに記録された演奏パターンを再生したり、離れた場所にある電子楽器をリアルタイムで演奏することが可能である。

Arduino 8bit マイコンをベースに入出力ポートを備えたマイコンボードと、C/C++ をベースとする Arduino 言語および IDE から構成される、オープンソースのマイコンボードシステムである。2005 年にイタリアで計画が始まった。Arduino LLC および Arduino SRL が設計・製造を行っている。

16MHz 動作の「ATmega328P」と 20 個の入出力ポートを搭載する「Arduino Uno」のほか、基板の大きさや入出力ポートの異なるいくつかのモデルが存在する。Arduino 言語は C 言語風の簡潔な文法で記述でき、ライブラリを用いることでシリアル通信や液晶ディスプレイの制御を容易に行える。

(※文責: 西田光理)

7.2 使用回路

筋電位計測回路 この回路では身体が動こうとしたときに筋肉から発生する信号である筋電位を計測し、arduino で処理をしやすいうように変換を行うことが目的である。制作した計測回路は以下の画像 7.1 のようになっている。この回路は差動増幅回路、ハイパスフィルター、整流回路、積分回路、メインアンプの五つの回路から構成されており、以下の画像 7.2 の画像のように回路を経由していく。以下にそれぞれの役割を記述する。この筋電位計測回路を用いることで体表面より計測した微弱な筋電位信号を arduino で使用できるように変換を行った。

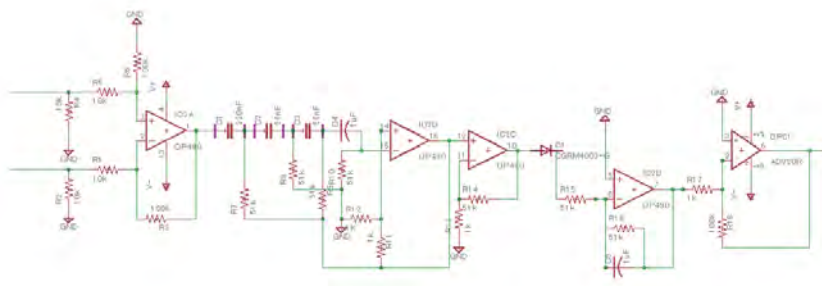


図 7.1 筋電計測回路

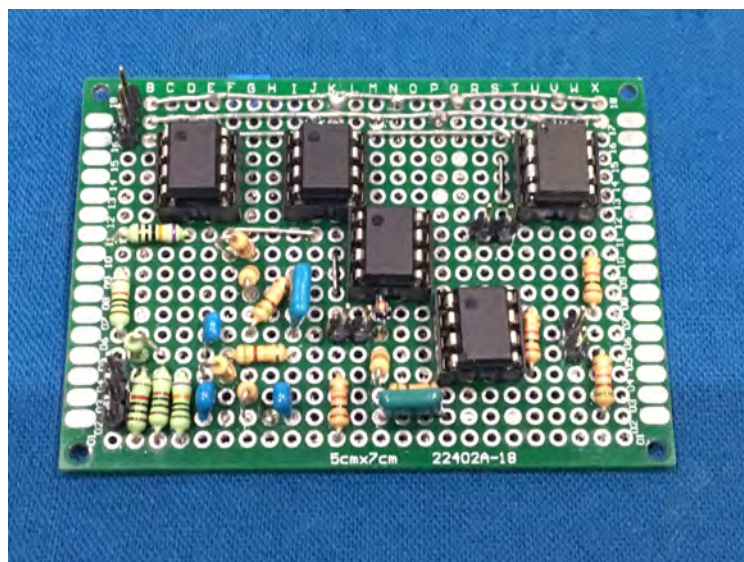


図 7.2 筋電計測回路

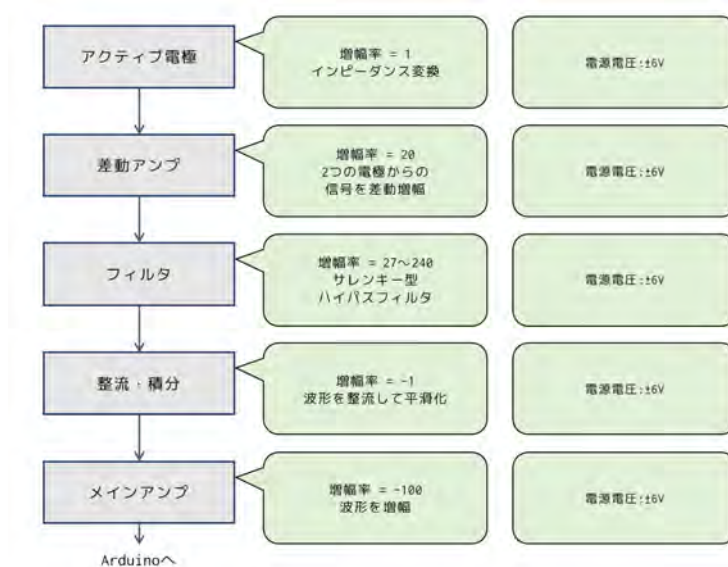


図 7.3 処理フロー

アクティブ電極 表面筋電位を計測する電極にはアクティブ電極とパッシブ電極がある。パッシブ電極は使用に当たってノイズの発生を抑える為に電解液などを塗り込む必要がある。しかし、アクティブ電極であれば電極側で皮膚に近い高インピーダンスを電気的に作り出してノイズの発生を防いでくれる。

差動増幅回路 二つの入力を用いて、その入力信号の差分を増幅する増幅回路である。この回路を用いることで、筋電位を計測する際にノイズとして同時に計測されてしまう 50Hz/60Hz の周波数を取り除くことができる。

High-pass filter: HPF フィルタの一種である。一定の周波数より高ければ、その成分はほとんど減衰させない。一定の周波数よりも低ければ、その成分を減衰させる。このような機能をもった回路である。この回路を用いることで、計測の際に使用者個人が発するノイズを除去することが出来る。

整流回路 交流電流を直流電流に変換するための回路である。この回路では、Arduino で利用しやすいように交流成分を直流成分に変換する。

積分回路 入力電圧の波形の時間積分に等しい波形の電圧を出力する回路である。この回路は信号の立ち上がり、下がり遅らせる為に使用する。この回路によって arduino へ徐々に変化する値を送ることができる。

(※文責: 新潟拓也)

第 8 章 今後の課題と展望

A グループの展望として、筋電計測回路、Arduino 用ソフトウェア、ユーザーインターフェースの各要素 3 つについてと、筋電 MIDI コントローラの装置について述べる。

筋電計測回路

筋電計測回路は機能としては問題なく、入力された筋電位に対して想定していた最適な出力を得ることができた。前期ではプロトタイプとしてユニバーサル基板上で部品の実装を行い、筐体中の約 3 分の 1 程度の大きさの筋電計測回路を作製することができた。後期ではプロトタイプの意味合いもなくなり、銅張積層板を用い小型化を試みた。しかし銅張積層板は性質上、回路が細くなればなるほど切削処理にエラーが生じやすく、検証に時間がかかってしまった。このため後期もユニバーサル基板を用いての実装になった。前期と比べて基板の大きさを 2 分の 1 以下の大きさに小型することはできた。より回路を最適化し銅張積層板による基板を用いた実装を行い、装置の完成度を向上させることが筋電計測回路の展望である。

Arduino 用ソフトウェア

前期ではピッチベンドの操作のみの対応且つ、入力された筋電位についてバイアス値と最大値、傾きの設定のみが設定可能であった。後期では対応するコントロールの項目を 1 種（ピッチベンド）から、4 種（ピッチベンド、ビブラート、アンプエンベロープジェネレーターリリース、ローパスフィルターカットオフ）に増やし、入力された筋電位に対して、2 段階の傾きを設定できる機能と、入力した筋電位をスイッチとして扱い、任意に設定した閾値を超えるとシンセサイザに MIDI 信号を送信する 2 つの機能を新たに実装することができた。しかし、後者の入力した筋電位に対して設定する 2 つの機能は切り替えは可能であるが、機能の切り替え後に切り替え前の設定値を維持することができない。そのためユーザーは 2 つ機能を切り替える度に設定値を入力を再度行う必要がある。展望としてはこの 2 つの機能の切り替え時に、切り替え前の機能の設定値を保存し、実用性を向上させることが挙げられる。

ユーザーインターフェース

前期では作製した筋電センサをテーピングを用いて肌に固定していた。後期ではディスプレイ電極を用いてセンサ部分の脱着性を高めた。しかしディスプレイ電極では使い捨てが基本であり、一度使用すると粘着力が落ちてしまうため、使用するたびにコストがかかってしまう。ユーザーインターフェース部分の展望としてはセンサを容易に脱着可能且つ、ディスプレイ電極を毎回用意する必要のない、ヘルメットやヘッドセット型のユーザーインターフェースを開発し、実用性を向上させることが挙げられる。

まとめ

我々はシンセサイザの演奏時の制約を緩和し、演奏表現の幅を広げるために筋電 MIDI コントローラの開発を行った。同時に我々はこの筋電 MIDI コントローラがリアルタイムパフォーマンスの有力なインタフェースの 1 つになり得ると考え活動をしてきた。我々の展望としては、開発した筋電 MIDI コントローラが実際のライブ等のリアルタイムパフォーマンスの場で使用され、新たなリアルタイムパフォーマンス上の表現の 1 つになると考えている。

(※文責: 飯塚亮騎)

付録 A 新規習得技術

筋電計測技術

Arduino 用 MIDI ライブラリの仕様

シンセサイザから出力される MIDI 信号をコンピュータ上に表示する

電子基板の加工技術

付録 B 活用した講義

情報処理演習

- ・ Arduino 用ソフトウェアの仕様および作製方法
- ・ タクトスイッチの扱い方
- ・ LCD の扱い方

電子工学基礎

- ・ 電流、電圧の計算
- ・ 回路図の読み方

付録 C 相互評価

ソフトウェア班に対するハードウェア班の評価 ピッチベンド一つのみだった機能を四つまで無事に拡張した点と、使用する MIDI ライブラリの仕様についての勉強やプログラム上では複雑になる計算式を実装した点は非常に評価できる。

ハードウェア班に対するソフトウェア班の評価 複雑な回路を少ない人数で作り上げたのが素晴らしい上に外装まで完璧に作製していた点が高評価である。またハードウェアとソフトウェアの統合時には率先して原因の究明を行っていた。

参考文献

- [1] http://fortyseveneffects.github.io/arduino_midi_library/ "Arduino MIDI Library" ,2003