

### 1. 担当 PM

五十嵐 悠紀（明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科 専任講師）

### 2. 契約者氏名

クリエイター：蛭子 綾花（筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類）

### 3. 委託金支払額

1,604,400 円

### 4. テーマ名

電気刺激によるリズム学習補助

### 5. 関連 Web サイト

なし

### 6. テーマ概要

本プロジェクトでは筋肉に対する電気刺激 Electrical Muscle Stimulation（以下 EMS）を用いてリズム学習の補助を行うシステムを開発した。本システムでは、コンピューター上で入力されたリズムをユーザの筋肉への電気刺激に変換する。ユーザは EMS によって動かされた身体の動きを覚えることによって、動かすべき身体の部位とそのタイミングを知ることができる。本プロジェクトの成果では、カスタネットなどの小型楽器だけでなく、複数の手足を同時に使うドラムの演奏学習支援をすることが可能となった。

### 7. 採択理由

音楽を演奏する際には、音楽の三要素であるメロディ、ハーモニー、リズムをきちんと理解し再現しないとならない。提案プロジェクトは、三要素の一つであるリズムに着目して、制御された電気刺激を、EMS を用いてユーザの手足に与えることでリズム学習支援を行う。この方法により、指導者が少ない場合や個人練習などでもリズム学習が可能になるという提案であった。

二次審査の際にはプロトタイプシステムを実装開始しており、EMS によって

人間の体を制御しリズムを刻ませることが可能であると示していた。一方で、筋肉のつき方や電気刺激の感じ方などの個人差により、それぞれのユーザに適切に設定をした上で、ユーザに提示することは課題である状況であった。プロジェクト期間中に、楽譜から適切な電気刺激を生成するソフトウェアと、その電気刺激をユーザに与えるための小型化したEMSハードウェアを開発するという提案であった。

音楽は子どもに習わせたい習いごとランキングにおいて常に上位に挙がっているが、昨今では大人がはじめる習いごととしても人気が高まっている。大人のピアノやドラム、ギターやウクレレ、バイオリンなどといったものが挙げられる。子どもが実際に習う際には、指導者のリズムを模倣するところから始まる。同じリズムを手のひらで叩いてみたり、腕を持ってリズムを体で再現してもらったりすることを経て、自分で楽譜が読めるようになり、自分でリズムが理解し演奏できるようになっていく。一方で、大人が習いごととして音楽を習う際には頭で理解しながら演奏に結び付けようとするのが現状であり、なかなか身体を用いてリズムを獲得するという方法では行っていない。

本プロジェクトでは、身体に直接リズムを刻ませることでリズム学習を支援することを行うものであり、安全にかつ小型化させることで家庭内でも手軽にリズム学習が行える環境を整えることが可能になる。リズムを学習者（演奏者）本人が学べることによって、指導者の負担を大幅に減らし、指導者は音程や音楽の表現の部分の指導に専念ができるようになる。加えて、指導者のいない個人練習においても、リズムを正確に理解し再現させることを可能にするため、リズムが理解できることよってモチベーションも高まると考えた。

これまで視覚や聴覚によるリズム学習支援に関しては様々な技術的な提案がされてきているが、視覚や聴覚に依らない情報の提示によるリズム学習手法として斬新であり、世の中の音楽学習方法を変える可能性を秘めていると考え、採択とした。

## 8. 開発目標

本プロジェクトでは制御された電気刺激を、EMSを通してユーザの手足に与えることによるリズム学習方法により、これら問題を解決するシステムを開発することとした。本手法であればソフトウェアが指導者役を務めるので、指導者がいない場合や、生徒数に対して指導者数が少ない場合にも対応ができる。

本プロジェクト開始までに実現しているプロトタイプシステムにより、EMSによって人間の体を制御しリズムを刻ませることが可能となっている。しかし、筋肉のつき方や電気刺激の感じ方などの個人差により、それぞれのユーザに適切に設定をすることが難しい。本プロジェクトでは、楽譜から適切な電気刺激を生成するソフトウェアと、その電気刺激をユーザに与えるための小型化したEMSハードウェアを開発することとした。

本システムが学校や音楽教室等で使用されることにより、指導者の負担を大幅に減らし、指導者は音程や音楽の表現の部分の指導に専念ができるようになる。加えて、指導者のいない個人練習においても、リズムを正確に理解し再現させることを可能にする。

具体的な開発目標としては、以下の項目とした。

(1) 制御システムの構築

- 電気刺激を制御するためのシステム
- 電気刺激を与える EMS ハードウェア

(2) ユーザインタフェース

- 学習したいリズムを入力するためのユーザインタフェースの構築

(3) ユーザテスト

- 開発した制御システムを使用したテストおよびその考察

## 9. 進捗概要

楽曲を演奏する際にはリズムを理解し再現する必要がある。しかし、リズムを理解し再現することは音楽の知識や訓練がないと難しい。さらに、楽譜の読めない人に対して、口頭での説明や音で聴かせることによってリズムを理解させることは難しい。このような理由から、視覚や聴覚に依らない情報の提示によるリズム学習の手法として本システムは開発した。

特に、部活動等では楽器を始めたばかりの初心者も多く、図 1 で示すように、指導者一人に対し複数のリズムの分からない初心者がいるという状況のバンドも多い。リズムを曖昧な理解のまま演奏していると、演奏者も自信が持てず、その自信のなさが音量の低下や音色の良くない変化につながってしまうこともある。先生の負担を減らし、演奏者も自信を持って演奏できるようにするためにも、一人で正しいリズムを理解して練習できるようなシステムが求められている。

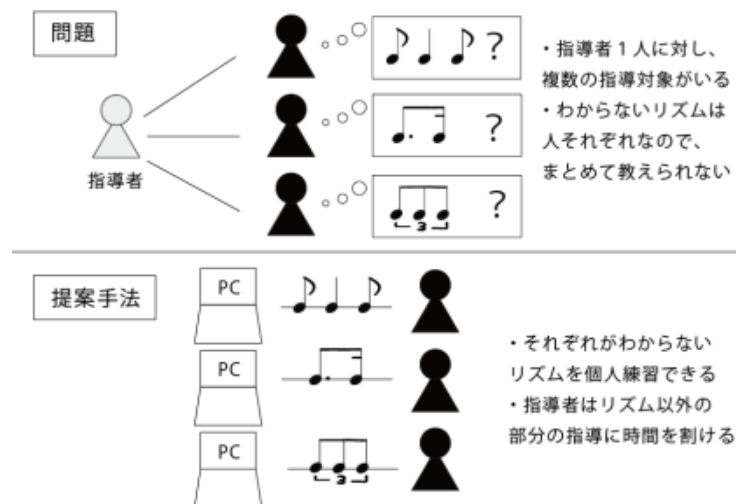


図 1. バンドにおける問題と提案手法による解決

本プロジェクトではこのような状況下において、制御された電気刺激を EMS としてユーザの手足に与えることによるリズム学習方法により、上述の問題を解決するシステムを開発した。EMS によって身体の各部位を直接刺激することができるので、ユーザはどのタイミングでどの腕足を動かせばいいのかが分かるようになる。

本プロジェクトは、

- 誰が：音楽演奏や作曲の初心者、楽譜の読めない人、リズムが分からない人
- どうやって：音符（視覚的情報）+ 電気刺激による学習で
- どうなる：楽譜を見てリズムを叩くことができるようになる

とゴールが明確でもあり、開発すべきこと、したいことも明確であった。

プロジェクト期間開始直後は、システムを一から作るか既存の作曲ツール（Garageband 等）のプラグインとして開発するかを悩んでおり、その点ではなかなか手が進まない様子であった。自身では一からプログラムを作成したい思いがあるが、プラグインとして開発することで、MIDI との連携もでき、繰り返し機能も既にツールにあるものを使えるとのことで悩んでいた。結果として、既存の作曲ツール等で作った MIDI 信号を Arduino に送信して、MIDI とハードの電圧を連携させることとした。MIDI 出力が可能な無料の作曲ソフトもあり、ユーザは任意の MIDI 出力可能なソフトを使うことができるため、普及の面でも問題ないと考えた。

開発したシステムは図 2 のように PC、制御用の Arduino（MIDI デバイス）、電気刺激回路、電源、電極という簡単なシステム構成となる。加えて、Web ブラウザ（Google Chrome）から操作できるドラム演奏向けの UI を開発した（図 3）。

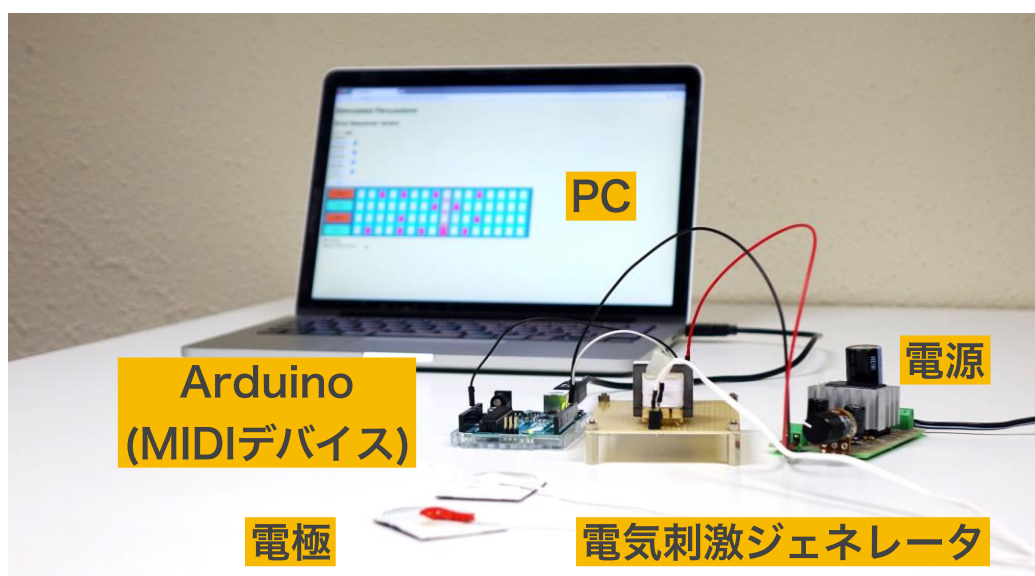


図 2. システム構成

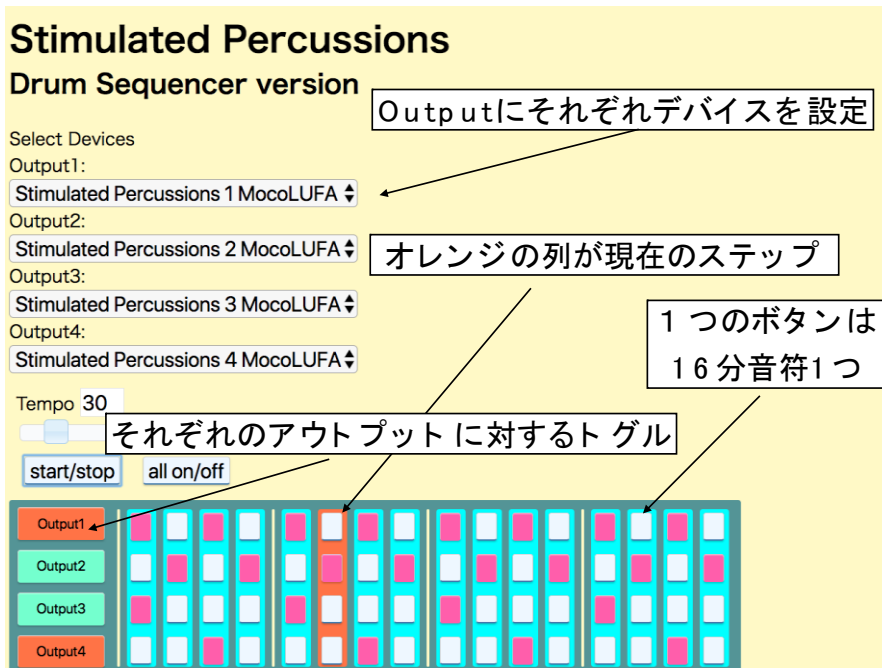


図 3. ドラム演奏向け UI

本 UI では 4 つの Output デバイスが設定できるようになっており、各行が各 Output のパートを表している。1 つのボタンは 16 分音符を表すため、それを横に 16 個並べることで、4/4 拍子で 1 小節分の長さになる。ステップは水色で示された列がオレンジ色に変化することによって、視覚的にも分かりやすくした。それぞれの Output に対して、On/Off のトグルスイッチがあるので、たとえば、両腕の Output は電気刺激を On、右足の Output は電気刺激を Off にする、といった練習をすることが可能である。また、動的にリズム・パターンを作成することができるので、難しい部分だけを取り出して組み合わせて練習したり、足のパターンだけを少し変更してみたりといったことも可能である。

ユーザの身体の部位に図 2 の電極を装着することで、UI で設定した電気刺激がユーザの筋肉に与えられ、リズム通りにユーザの身体が動かされる。ユーザはその動きを見て、感じて、リズムを覚える。電気刺激を Off にしたとき、学習したリズムを再現する、という流れの練習を繰り返すことで、ユーザはリズム・パターンを学習する (図 4)。

キャリブレーションの面では、主動作筋のだいたいの位置に貼ってみてうまく動かなければパッド位置をずらすという運用をしており、慣れればすぐにいい位置が分かってくるが、筋の付き方や体脂肪といった個人差もあり、慣れるまでは時間がかかっている状況であった。そこで筋肉についての情報収集および勉強も並行して行うと共に、電気刺激を使ったシステムを構築していた早稲田大学の玉城絵美氏にも相談をして、キャリブレーションについてどのようにしていたかを教えていただいた。このように積極的に情報を集めようと動くところは蛭子氏の評価できる点である。

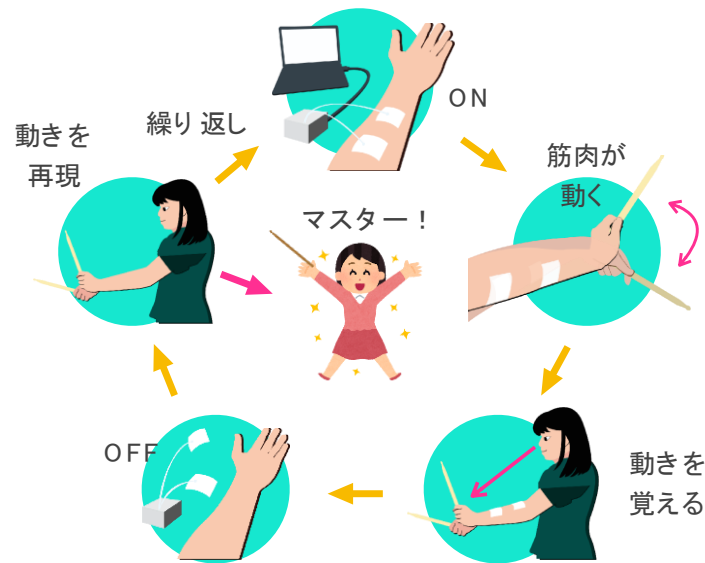


図 4. 本システムを使用したリズム学習ステップ

リズムに関する実験を何度か行っているが、実験の回数は重ねているものの、プロトコルが甘かったためか、うまく結果が残せていないといった点は反省点がある。例えば、

- ① リズムを楽譜で見せて演奏
- ② 被験者が自分で覚えたと思うまでシステムありで練習。その回数を数える。
- ③ システムなしで演奏
- ④ 音でリズムを提示し楽譜を選んでもらう
- ⑤ ③, ④を一定時間後に行う

という実験を計画した際には、1回目の時点で正しく覚えられていなかったり、練習の際の指示をした方が良さそうであったりと、反省点・課題が多く残された。

1. 「体が動くことに意味があるのか」と「電気刺激自体に意味があるのか（肩に貼るのと腕を動かすのを比較）」
  - どちらも学習できるか
2. 音のみ/EMSのみ/音+EMSの比較（触覚では音+触覚が一番よかったようなのでEMSもそうなるかもしれない）
3. 拍の頭が休符のリズムの学習方法の比較
  - 右手音符 左手休符
  - 背屈で休符
 この2つはできるか、どちらがよいか
4. どこまでのテンポに対応できるか
  - どこまでの速い連符に対応可能か

など、実験で明らかにすべき項目がたくさん洗い出された。しかし、実験にはかなりの時間と労力、ユーザ数が必要とされるため、実験だけを行っていてもプロジェクト期間が終わってしまうことから、優先順位を改めて検討し直し、システムを完成させることを重点的に行うこととした。

システムが完成間近になった段階で、カスタネットでのリズム練習だけでなく、実際に両手・足を動かしてリズムを演奏するドラムをターゲットにできることでインパクトがあると考え、スペースや持ち運び、練習のしやすさの関係で電子ドラムを選定・購入し実験を行うと共に、自分自身でも演奏したことのないドラムを練習してみることにした。また、実験のための計測用プログラムを実装した。

1月にはWeb MIDI APIを用いてドラムシーケンサーを作成した。JavaScriptを使ったことがない状態から始まったものの、Web MIDI APIやjQueryなどを使い、ドラムシーケンサーが完成し、実験へと進めることができた。

本システムを使用したユーザテストでは、ドラムの初心者が8ビートを叩けるようになった。他にも、一般的に難しいとされる、右手で4拍子、左手で3拍子を同時に叩くといったリズムも叩くことができるようになった。図5に本システムを用いて電気刺激を受けながらリズム・パターンの学習をしている様子を示す。



図 5. 電気刺激でリズム学習をするユーザ

ドラム演奏は手と足が全て異なる動きをさせる必要があるが、初心者は手と足が同じ動きをしてしまうことも多い。また、手で一定のリズムを刻むことが多いがテンポを保ってずっと同じリズムを叩くことは初心者にとって難しい。通常の練習ではこういった困難があるユーザは本システムを使ったあとは、「電気刺激によって手や足のタイミングが今だと分かりやすい。電気刺激を受けてるときに自分で叩いてみると、正しく叩けていれば電気刺激とのタイミングが合うから、正しく叩けていることが分かって、楽しくなった。」といったフィードバックをいただいた。

## 10. プロジェクト評価

MIDI 出力が可能な汎用の作曲ツール等で作成した MIDI 信号を Arduino に送信して、MIDI とハードウェアの電圧を連携させるシステムを作成した。1ヶ所への電気刺激だけでも、カスタネットのリズム練習などが可能となるが、複数箇所への電気刺激を可能にしたシステムを作成したことで、両手・足を動かしてリズムを演奏するドラムをターゲットにした実験を行い、ドラムが叩けなかったユーザが叩けるようになるなど、有益な結果が得られたことから本システムは評価できる。

キャリブレーションでは、主動作筋のだいたいの位置に貼ってみてうまく動かなければパッド位置をずらすという運用をしており、慣れればすぐにいい位置が分かってくるものの、初心者が使用するためには、ここが簡単になるよう改善が必要である。

## 11. 今後の課題

初心者が使いやすいという点を第一に考えると、現状の PC での稼働よりも iPad や iPhone で稼働するアプリの方が手軽でいいかと検討を重ねたが、実装上の都合および時間の都合で断念をした。ゆくゆくは手軽に使える方法を模索してほしい。

本システムが学校や音楽教室等で使用されることにより、指導者の負担を大幅に減らし、指導者は音程や音楽の表現の部分の指導に専念ができるようになる。指導者のいない個人練習においても、リズムの正確な理解、再現が可能になるため、音楽教育に対する学びに変化が起こる可能性も秘めている。一方で電気刺激を使用していることにより、その安全性を評価してからでないと導入できないなどといった課題もある。電気刺激自体は肩こりや捻挫などの治療にも用いられている低周波であるため、大人の学びなおしのための音楽教室であったり、中学・高校などの部活くらいから導入できる可能性を探って行って欲しい。