慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	電気的筋肉刺激を用いたポップダンスアシスト
Sub Title	Pop dance assist using electric muscle stimulation
Author	浜辺, 大智(Hamabe, Taichi) 南澤, 孝太(Minamizawa, Kouta)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2018
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2018年度メディアデザイン学 第699号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002018-0699

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2018年度

電気的筋肉刺激を用いた
ポップダンスアシスト

慶應義塾大学大学院
メディアデザイン研究科

浜辺 大智

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士 (メディアデザイン学) 授与の要件として提出した修士論文である。

浜辺 大智

研究指導コミッティ：

南澤 孝太 准教授　(主指導教員)
岸 博幸 教授　(副指導教員)

論文審査委員会：

南澤 孝太 准教授　(主査)
岸 博幸 教授　(副査)
石戸 奈々子 教授　(副査)

修士論文 2018 年度

電気的筋肉刺激を用いた
ポップダンスアシスト

カテゴリ：デザイン

論文要旨

多様化したダンスジャンルの中の 1 つに、ポップダンスがある。それは、任意の筋肉の収縮および弛緩を瞬時に行うことにより、あたかもその部位が弾けているかのように見せるテクニックをパフォーマンスの軸としている。ポップダンスは、一般的に困難である特殊な動作を行うことで見る人を圧倒するという特性を持つため、その基礎となるスキルの習得は非常に困難である。そのため、ポップダンスに興味を持ちつつも途中で習得を諦めてしまうダンサーが多数いる。本研究では、初心者でもポップダンスを踊れるようにすることを目的とし、近年医療の分野で活用されている電気的筋肉刺激の技術を用いることで、音楽に合わせ両腕に低周波電流を流すことにより使用者のポップダンスをアシストするシステ ム「ElectricalPopping」を提案する。ElectricalPopping を使用した未経験者によるポップダンスの正確さや力強さを比較することで、パフォーマンスが表現できているかどうかを検証する。

キーワード：

身体表現, ダンス, 電気的筋肉刺激, マッスルコントロール

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

浜辺 大智

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2018

Pop Dance Assist Using Electric Muscle Stimulation

Category: Design

Summary

Pop dance is a kind of dance. Its uniqueness is overwhelming audience with extraordinary moves such as "popping" one's body parts by using a technique to contract/relax muscle in an instant. The technique is so hard that many dancer who try to master pop dance end up giving up. In this research, aiming at make anyone able to perform fine pop dance, I propose "Electrical Popping" which is a system assists inexperienced dancers' performance by applying a low frequency electrical current to both arms to the music with a technology called electrical muscle stimulation which is used in the medical field in recent years. I verify whether novice dancer with "Electrical Popping" could recreate the performance by comparing the accuracy and strength of pop dance.

Keywords:

Body Expressions, Dance, Electric Muscle Stimulation, Muscle Control

Keio University Graduate School of Media Design

Taichi Hamabe

目　　次

第 1 章　Introduction **1**
1.1. 現代のダンス文化 1
1.1.1　多様なダンスジャンル 2
1.2. ポップダンスとそれが抱える課題 3
1.3. 本研究の目的 5
1.4. 本論文の構成 6

第 2 章　Literature Review **7**
2.1. 身体制御とテクノロジー 7
2.2. EMS を用いた感覚提示と身体拡張 10
2.3. EMS の技術概要 12
2.3.1　EMS の原理 12
2.3.2　EMS のパラメータ 13
2.3.3　EMS ツールキット 16
2.4. 本章のまとめ 17

第 3 章　Electrical Popping **18**
3.1. コンセプトデザイン 18
3.2. システム設計 19
3.2.1　システム構成 19
3.2.2　EMS 適用部位の選定のための考察 20
3.3. 1st プロトタイプ 24
3.3.1　1st プロトタイプの設計と制作 24
3.3.2　実験 1：EMS を用いたポッピン再現のための検証 26

3.4. 2nd プロトタイプ 32
3.5. 本章のまとめ 35

第 4 章 Validation **36**
4.1. 本章の概要 36
4.2. 実験 2：システムの有効性の検証 37
4.2.1 実験の目的 37
4.2.2 実験概要 37
4.2.3 動画撮影 39
4.2.4 実験結果と考察 42
4.3. ユーザビリティテストと考察 46
4.3.1 ユーザビリティテストの目的 46
4.3.2 デモンストレーションの概要 46
4.3.3 フィードバック 49
4.3.4 考察 51
4.4. 本章のまとめ 52

第 5 章 Conclusion **53**

謝辞 **55**

参考文献 **56**

付録 **59**
A. 2nd プロトタイプを装着して踊った様子の動画 59
B. 実証実験にて使用した動画 59

図　目　次

1.1 ストリートダンスの世界大会 Juste Debout2017 [3] におけるポップダンス[1] 4

2.1 RAMDanceToolkit を用いて踊るダンサー[1] 9
2.2 Malleable Embodiment[2] 9
2.3 haptics for VR walls and other objects [10] 11
2.4 Wired Muscle [11] 11
2.5 UnlimitedHand [12] 12
2.6 パルス波の各パラメータ 15
2.7 バースト波の波形 15
2.8 筆者が自作した multi-ems 16

3.1 システム設計のスケッチ 20
3.2 上腕二頭筋、上腕三頭筋 [22] 21
3.3 前腕筋、大腿四頭筋 [22] 21
3.4 大胸筋、腹直筋 [22] 22
3.5 1st プロトタイプのシステム概要図 25
3.6 1st プロトタイプ 25
3.7 実験 1 の様子 26
3.8 電極配置 a 29
3.9 電極配置 b 29
3.10 電極配置 c 29
3.11 電極配置 d 29
3.12 2nd プロトタイプ 32

3.13 2nd プロトタイプを装着する様子 33
3.14 2nd プロトタイプを装着して踊った様子 33
3.15 2nd プロトタイプにおける MIDI 信号制御の様子 34
3.16 2nd プロトタイプのシステム概要図 34

4.1 動画撮影のためのセットアップの様子 40
4.2 セットアップ完了の状態 40
4.3 実験に使用した動画 (EMS 有り) 41
4.4 実験に使用した動画 (EMS 無し) 41
4.5 デモンストレーション体験の様子 (手順 4) 48
4.6 デモンストレーション体験の様子 (手順 6) 49

表　目　次

3.1　ポッピンの場所に対応する筋肉 21
3.2　実験 1 の実験結果 30

4.1　ElectricalPopping 適用前 42
4.2　ElectricalPopping 適用後 42
4.3　ElectricalPopping 適用前 43
4.4　ElectricalPopping 適用後 43
4.5　ElectricalPopping 適用前 44
4.6　ElectricalPopping 適用後 44
4.7　刺激の感じ方の内訳 50

第 1 章
Introduction

1.1. 現代のダンス文化

今日、文化や技術の発展に伴い世界中で様々なダンスジャンルがそれぞれ独自の成長を遂げ、現代のダンス文化を盛り上げている。そんな中、私たちのダンスへの関わり方を見てみる。現代社会に生きる人々の大半は、体育の授業や、行事での創作ダンスやフォークダンス、町内会の盆踊りなどで、人生に一度はダンスを踊る機会を持つ。中にはバレエの稽古に通っていたり、ダンスサークルに入っている人など、日常的に踊る機会を持っている人も存在する。また 2012 年には、ダンスを通した豊かな自己表現や、それらを仲間と共同で作り上げるという行為が、コミュニケーション能力の発達に役立つという考えのもと、中学校の体育の授業においてダンスが必修化されるなどの変化も起こった。しかしその一方で、スポーツ庁健康スポーツ課が平成 29 年度に行ったスポーツの実施状況等に関する世論調査 [1] によると、この一年間にダンスを踊った経験がある者は 2.5%と、現代社会においては普段はほとんど踊らないという層が一番多いという現実がある。最たる理由として挙げられるのは、ダンスを踊るという行為がダンス経験者の指導の元による一定時間の練習の上にしか成り立たないという認識である。現代では、踊りたいという意思のある人は、ダンス指導者への弟子入りや、カルチャースクールに通うなどすれば踊ることができる。しかし、それは踊りたいという意思がある人と、踊りのための練習時間を持つ人に限られる。これまで多くの人類が営んできた生活を見ると、生活の中に踊りが溶け込んでいたため、踊る機会を無理に作らずとも踊ることができたが、現代社会ではそれは困難となっていると言える。

1.1.1 多様なダンスジャンル

ダンスの種類は歴史とともに細分化されてきた。また、それら細分化され独自の進化を遂げたダンスジャンル同士の組み合わせによって、新たなダンスジャンルも生まれ、１つのダンスジャンルとして確立されつつある。本節では、今日のダンス文化における様々なダンスジャンルについて、比較的有名な具体例を挙げながら簡単に整理し、ポップダンスの立ち位置を明確にする。星 [2] によれば、ダンスは大きく、芸術舞踊、民俗舞踊、大衆舞踊の３つに大別できる。芸術舞踊とは、その名の通り芸術の表現媒体としての舞踊である。芸術舞踊は観客を対象とする劇場芸術の一形式で、音楽、物語、衣装、照明、美術などの要素を統合し、踊り子の動きを通して表現する総合舞台芸術である。ルネサンス期に西ヨーロッパで発祥したとされるバレエや、1980 年代にフランスやベルギー、カナダ、ドイツ、日本などで爆発的に普及した、従来のダンスという枠組みにとらわれない取り組みが多く見られるコンテンポラリーダンスなどがこれに当たる。民俗舞踊は、芸術舞踊に対して、世界各地で民衆の間で踊られる伝統的な踊りを指す。民俗舞踊は、本来は踊ること自体を楽しむ目的で行われ、観客を対象としなかった。しかし、今日では観客に見せるための振り付けが行われたり、見せるための機会が設けられるなどしている例もある。日本舞踊を始め、ブラジルのサンバ、スペインのフラメンコ、ハワイのフラダンスなどが、この民俗舞踊に当たる。大衆舞踊は、大衆的な娯楽としてや、観客に対してのパフォーマンスとしての要素の強い、今日では最もポピュラーな舞踊である。踊り子に高度な専門性が求められる芸術舞踊や、土着の文化由来であり観客を対象としない民俗舞踊と比較し、誰もが趣味や習い事として気軽に始められるために広く普及し、最も複雑に細分化されてきた。路上で踊られることから発生したストリートダンス、ディスコ (現代で言うクラブ) で踊られるディスコダンスやパラパラ、楽しさを感じられるために継続性が高い有酸素運動として注目されたエアロビクスダンスなどがこれに当たる。大衆舞踊に分類されるストリートダンスは、時系列によってさらに２つに分けることができ、1980 年代までのダンスをオールドスクール、それ以降のダンスをニュースクールと呼ぶ。ニュースクールはオールドスクールの時代に確立された様々なジャンルの動きを組み合わせたテクニックが多く、２つのジャンルには密接な繋

がりがある。本研究で扱うポップダンスはオールドスクールに分類される。片腕での逆立ちや、全身を使っての回転や跳躍などのアクロバティックな動きを軸とするブレイクダンス、腕や上体を使った激しい動きから突然静止する動きを軸とし、その動きがあたかも身体に錠をかけたように見えることからその名前がついたロックダンスと並び、ニュースクールに大きな影響を与えているジャンルの 1 つである。ニュースクールは、オールドスクールを新しく解釈し直したものとされ、様々なジャンルの中で最もポピュラーなジャンルであるヒップホップや、日本独自に生まれ、近年コンテストやイベントも急増し 1 つのジャンルとして確立しつつあるアニソンダンスなどがこれに当たる。

1.2. ポップダンスとそれが抱える課題

前節で述べたストリートダンスという枠の中で、オールドスクールと呼ばれるジャンルに属すポップダンスと呼ばれるダンスジャンルがある。ポップダンスは、一連の動作の中で一度静止し、瞬間的に筋肉を収縮させ音に合わせるというスタイルで踊られる。この瞬間的に筋肉を収縮させる (ポップダンス界隈では「筋肉をはじく」という表現がよく用いられる) 動きを、ポッピン (他にもポップ、ヒットなど様々な呼称が存在する) と呼ぶ。このあたかも筋肉がはじけるような動きから、ポップダンスはストリートダンスの中では特に人間離れした動きが特徴となるダンスジャンルである。熟練したポップダンサーは、ポッピンを全身を構成する筋肉 1 つ 1 つに対して部位とタイミングを正確に調整することによって、人間離れした面白い動きを演出することができる。

図 1.1 ストリートダンスの世界大会 Juste Debout2017 [3] におけるポップダンス[1]

ポップダンスはその他のダンスジャンルと比較した時、以下に述べる傾向が強いと考えられる。

敷居が高い

ポップダンスは他のダンスジャンルに比べ、これから新たなジャンルに挑戦しようとするダンサーに敬遠されがちである。それは、パフォーマンスの軸となる動きの特殊性に起因する。ロックダンスやブレイクダンス、バレエやジャズダンスなどの比較的メジャーであるダンスは、見よう見まねである程度の動きは再現でき、軸となる動きの原理も頭では比較的理解しやすい。それに対しポップダンスは、パフォーマンスの軸となる動きである筋肉をはじくという動作が、日常生活を送る上ではまず目にしない人間離れした動きであるため、直感的に動きの原理を理解することが出来ない。そのため心理的に敷居が高く、他の主要なダンスジャンルに比べ、これから新しくダンスを始めようとする人に選ばれ難いダンス

1 https://www.youtube.com/watch?v=t6Wh_0LDhT4

ジャンルであると言える。

基礎テクニックが高難度

ポップダンスの一般的とされる練習プロセスは、まず一番初めにポッピン自体を習得する。次にそれを音楽などのリズムに合わせて行えるようにし、そこから様々な振り付けに取り入れる、という順序で行う。ポッピンとは、特定の筋肉の脱力と弛緩を瞬時に行うことにより、あたかもその筋肉がはじけているように見える、マッスルコントロールと呼ばれる技術の一種である。マッスルコントロールは、長期間に渡る特定筋肉の反復使用と、その反復を筋肉の動きへ意識を向けながら行うことによって習得できるとされる、任意の筋肉を他の筋肉の動きと独立させて動かすことができる技術である。繰り返し身体を使うことを専門とするボディビルダーやアスリートの長期間にわたる筋力トレーニングや、野球やテニスなどの球技における素振りなどによって無意識のうちに習得していることもある。つまり、ポッピンは本来長期間に渡る訓練が必要不可欠である。

1.3. 本研究の目的

本研究の目的は、ポップダンス未経験のユーザーが音楽に合わせた正確なポッピンを取り入れたポップダンスを踊ることができるようになることである。そのために、電気的筋肉刺激を用いたアプローチによってアシストするシステムを構築する。具体的には、MIDI 音源再生ソフトを用いて、低周波電流発生装置の出力信号を制御することで、音楽に合わせてユーザーの前腕部および上腕部の筋肉に電気刺激を与えるためのシステムを構築する。ポップダンスの基礎テクニックであるポッピンの習得とは、本来は繊細な筋肉制御と長期間に渡る反復練習が不可欠であるため、ポップダンスを始めようとするダンサーにとって避けられない大きな関門であり、習得に至る前に挫折してしまうことも少なくない。この練習過程を経ることなく、誰でも簡単にポップダンスが踊れるようになるアシストシステムの存在は、過去にポップダンスを諦めてしまったダンサーを始め、これから

ポップダンスを始めようとしている全ての人が、熟練のポップダンサーにも劣らないポップダンスが踊れるようになる可能性がある。

1.4. 本論文の構成

本章では、Introductionとして現代におけるダンス文化の現状について述べ、様々なダンスジャンルを紹介しその中におけるポップダンスの立ち位置を明らかにした。第2章では、Literature Reviewとして、本研究に関してこれまで行われてきた既存の事例を概観した上で、本研究の位置付けを明らかにする。第3章では、コンセプトの立案に至った背景および、本研究のコンセプトである「ElectricalPopping」について提案する。第4章では、ValidationとしてElectricalPoppingの適用前後や、熟練のポップダンサーの動きとの比較を通して、システムの有効性の検証を行う。第5章では、Conclusionとして本論文を統括する。

第 2 章
Literature Review

2.1. 身体制御とテクノロジー

筋肉、関節など人間の身体活動に必要となる器官や、五感を得るための感覚受容器には、物理的な制約が数多く存在する。人間の知覚のメカニズムの分析および、テクノロジーの力によってそれらの器官を支援・拡張することで、本来あるはずの制限を超え、人間がより高次の身体制御を可能とするための数々の研究が行われてきた。2010 年には、山口情報芸術センターと、現代の身体表現全般に多大な影響を与える振付家である William Forsythe 率いるダンス・カンパニー「ザ・フォーサイス・カンパニー」において中心的な存在として世界の第一線で活躍する安藤洋子氏が主体となり、ダンスの創作と教育のためのツールを研究開発するプロジェクト「Reactor for Awareness in Motion」[4] が実施された。このプロジェクトでは、モーションキャプチャーシステムや、Microsoft Kinect などを使用して、ダンサーの動きを検出し、環境からの応答を様々なアウトプットに変換してダンサーに伝えることが出来るツールキット「RAM Dance Toolkit」図 2.1 が制作された。「RAM Dance Toolkit」には、数秒前の過去から現在までに動いた量や方向を解析し、近い未来の自分のポジションを推測して表示する「Future」、ダンサーの身体の部分ごとの長さや繋がり方を、実際とは異なる方法で表示する「Monster」、画面上に表示されるダンサーの関節部分を、身体の外延に拡張して表示する「Expansion」などのシーンがあらかじめ実装されている。これら処理を全てリアルタイムで行うことにより視覚、聴覚、触覚刺激などの情報を与え、ダンサーと空間との関係性を変更したり拡張したりすることで、ダンサーがそれまで無意識に持っていた感覚や状態を見直したり、新しいダンスのアイデアを刺激

した。また、アート・テクノロジー・サイエンスの領域で活動している、ソニーコンピュータサイエンス研究所の研究員の笠原ら [5] による Malleable Embodiment では、人間の身体帰属感の柔軟性に着目し、Virtual Reality 空間で自分の身体表現の動きを時間的・空間的に変調させることで、身体の軽さや重さなど物理的な感覚の変化を生み出すシステム図 2.2 が開発された。このシステムでは、モーションキャプチャスーツなどの全身の動きをリアルタイムに計測する装置を用いられている。ヘッドマウントディスプレイ越しに、この時空間的に変調させた自分の身体の動きを観測することで、自分の身体そのものに変化は無いにも関わらず、身体感覚に変化を感じることができる。この研究により、身体感覚の制御を工学にすることができる可能性があることが示唆された。これらの研究は、主に視覚情報によって人間の運動に影響を及ぼすものである。その一方で、触覚情報によって人間の運動に影響を与える研究も行われてきた。暦本 [6] は、人間の振動刺激に対する知覚の非線形性に着目し、振動波系の制御により仮想力覚の提示を可能としたデバイスを作成し、これを歩行者ナビゲーションに用いた。また、今ら [7] は、より直感的な歩行ナビゲーションシステムとして、皮膚へのせん断力によって生じる錯覚であるハンガー反射の歩行への影響を研究し、これを利用した歩行ナビゲーションを提案した。藤井ら [8] は、手への触覚情報によって、あたかもエキスパートが手を握りながら動きをガイドしているような感覚を提示し、初心者による楽器の演奏をサポートするシステム MoveMe を作成した。また、聴覚情報によって人間の運動に影響を及ぼす研究も行われている。村田ら [9] は、人間の持つ動きのリズムに着目し、このリズムを意図的に変えることで運動自体に変化が起こると考え、この考えを歩行という動作に適用し実験を行なった。一歩一歩の歩行リズムを元にリアルタイムで音楽を生成するシステム Walk-In Music を開発し、これを用いて歩行と音楽のリズムを同期したのち、音楽のリズムを変えると、歩行リズムや歩行感覚が変化した。このことから、身体化した音の情報によって人間の動きを意図的に変化させることができることを証明した。

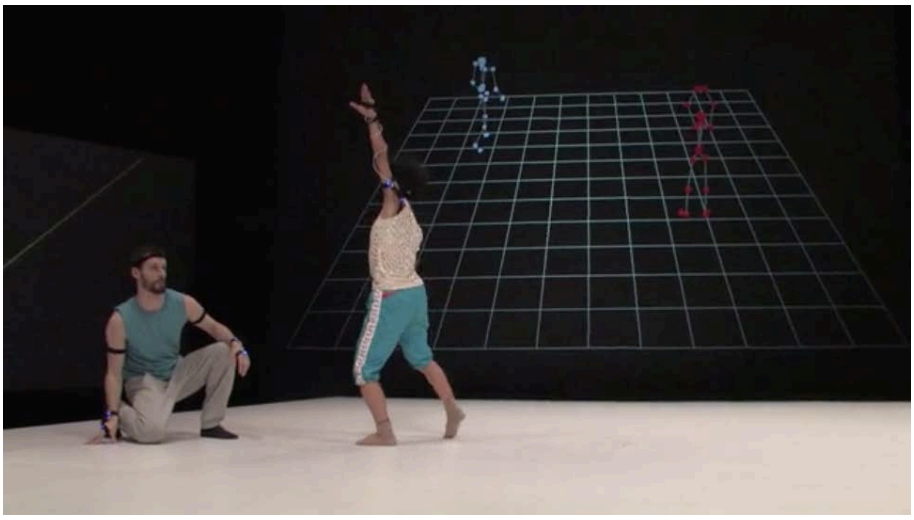

図 2.1 RAMDanceToolkit を用いて踊るダンサー[1]

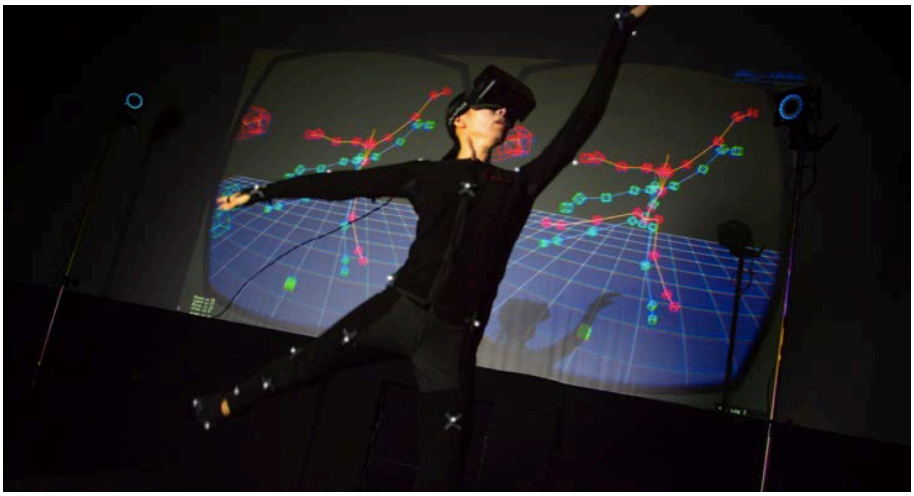

図 2.2 Malleable Embodiment[2]

1 https://special.ycam.jp/ram/tools/dance_tool_kit/

2 https://www.sonycsl.co.jp/tokyo/3969/

2.2. EMS を用いた感覚提示と身体拡張

前節で述べた様々なテクノロジーに加え、電気的筋肉刺激 (Electric Muscle Stimulation、以下 EMS) と呼ばれるものがある。EMS とは、電気刺激による筋肉収縮運動、またはそれを応用した機器の意である。EMS を用いた感覚提示の例として、Pedro ら [10] による、仮想上の壁や重い物体に対する触覚提示がある。これまでの仮想上の物体に対する触覚提示に関する研究では、片手で持つことができるような比較的軽量の物体に対する触覚提示が主であったが、ユーザの手が仮想上の物体に突き刺さらないよう EMS によって肩や腕に擬似的な抵抗力を発生させることにより、これを実現させた。玉城ら [11] は、前腕に複数の小さな電極を貼り付けることで指や手の動きを制御し、ゲームなどの仮想世界の擬似的な触感を自らの手で体感することができるデバイスを開発した。西田ら [12] による Wired Musle では、筋電図測定と EMS を用いて、特定の運動を共に行う 2 人の筋収縮を連動させることで、従来の視覚情報に頼った反応よりも早く、特定の運動が行えることを示した。蛭子ら [13] の Stimulated percussions は、EMS を使って両手両足を制御することにより打楽器の演奏練習を行い、これがリズム感覚を養う練習として有効であることを示した。いずれの研究も、EMS によって生じる身体の動きそのものをユーザへのフィードバックとして利用している。このように、EMS は感覚提示や身体拡張、トレーニングという分野においても数々の活用がなされたきた。

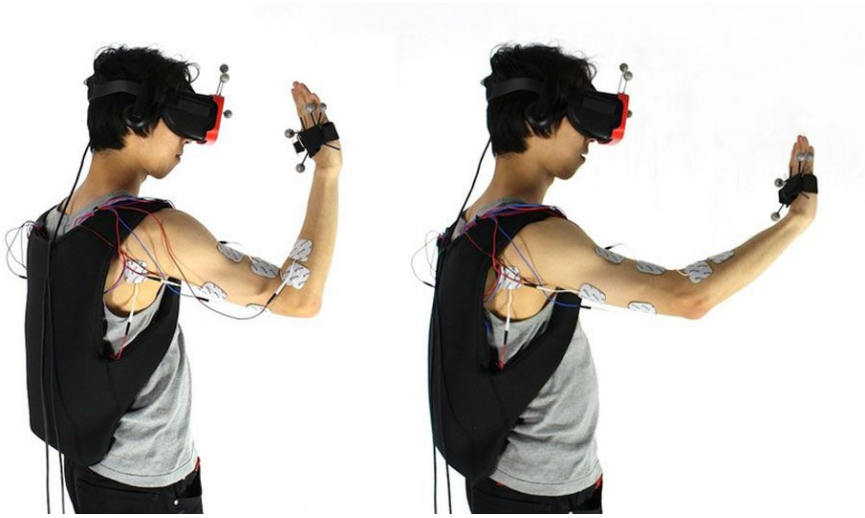

図 2.3 haptics for VR walls and other objects [10]

図 2.4 Wired Muscle [11]

図 2.5 UnlimitedHand [12]

2.3. EMS の技術概要

本節では、前節で述べた様々な研究に用いられた EMS について、その原理や特性、運用方法について述べる。

2.3.1 EMS の原理

人間の筋肉は自分の意思で動かせる随意筋と、自分の意思では動かせない不随筋の二つに大きく分類でき、随意筋を収縮させることで手足など体の各部位を動かす。随意筋は、中枢から筋肉など効果器官への出力を担っている末梢神経によって神経支配されており、脳から発せられる電気信号が運動神経を伝って各随意筋に到達することによって収縮が起こり、様々な運動を行う。この脳が発する電気信号の代わりに、一定周波の電流を外部から皮膚越しに筋肉に流すことによって、脳を介さない筋収縮を引き起こすことができる。これが EMS の基本原理である。

EMS はリハビリなど主に医療分野で用いられてきたが、近年ではフィットネスやトレーニングに使用されることも多い。また、EMS による運動は脳を介さず行えるという特性から、使用者の運動を外部から制御できるため、楽器の演奏練習、特定競技のフォームの練習などにこれを応用する研究も行われている。EMS には、その使用の際に痺れや痛み、不快感が生じる場合がある。これは、神経に電圧による負荷がかかることによって起きる現象であり、使用部位や周波数、波形などの各種パラメータを適切に調節することによって抑えることができる。

2.3.2 EMS のパラメータ

本節では、EMS を使用する際に留意すべき各種パラメータとその影響について述べる。EMS は、人体に電気を流すため、与える電気信号の性質を理解した上で、安全に運用しなければならない。EMS では、以下で述べる電気信号のパラメータによって、電気刺激を与える対象となる筋肉への影響が変化する。

波形

EMS では様々な波形が使用されている。一般的に使用されている波形としては、振幅が最大値と最小値のどちらかの値をとるように周期的に変化するパルス波 (図 2.6) と、連続刺激と無刺激を交互に繰り返すバースト波 (図 2.7) がある。Brian ら [14] によれば、前者は、上肢などに見られる小さな筋肉の刺激に適しており、後者は刺激強度が高いため、筋肉が皮膚表面から離れた位置にある場合や、脂肪の存在によって刺激を行いにくい下肢の筋肉の刺激に使用されることが多い。また、単相波形、二相波形のどちらも使用されているが、Nicola ら [15] によれば、EMS の使用による負荷を抑えるため極性のバランスが取れていることが必要である。そのため、二相波形であれば対称波形とし、単相波形であればパルス幅を極めて小さくする必要がある。なお、筋張力を最大化するためには二相波形のパルス波を使用することが推奨されている。

周波数

周波数は、図 refnami1 における周期 T の逆数で定義され、刺激強度、持続時間、疲労度に影響する。Lynne ら [16] によれば、周波数が高いほど刺激強度は大きくなるが、筋張力の減少は早くなり、筋肉疲労も大きくなる。また、一般的に使用されている周波数は、低周波、中周波、高周波の 3 つに大別するとこができ、それぞれに特徴や効果が異なる。低周波とは、具体的には 1〜1000Hz ほどの周波数を指す。低周波の場合、身体に流した電気刺激の大半が皮膚表面で分散してしまうため、皮膚表面から比較的浅い箇所に位置する筋肉を刺激する際に用いられ、主にマッサージ機などの治療機に利用されている。高周波は 3000Hz を超える周波数を指す。高周波は低周波に比べ皮膚抵抗が小いため、ピリピリとした刺激を感じることは少なく、通電した際は皮膚をさするような感触が得られる。また、透過性に優れているため深層部の筋肉を刺激する際に用いられ、主に筋力トレーニングやダイエットを目的とした機器に使用されている。なお、Nicola ら [15] によれば、筋張力を最大化するためには 50〜100Hz での使用が推奨されている。

電圧

電圧の大きさは刺激の強度に影響する。電圧を大きくすることで刺激の強度を高めることができるが、人体に流れる電流値が増加するため、安全性の観点からその最大値は慎重に決める必要がある。JIS 規格 [17] ではパルス幅が 0.1 秒以上で 400Hz 以下の周波数であれば 500 Ωの抵抗に対して 80mA 以上の出力電流が流れないよう制限をかけることを規定している。また、パルス幅が 0.1 秒未満の場合は、500 Ω 抵抗器でのパルスエネルギーが 1 パルス当たり 300mJ を超えてはならないと規定している。

パルス幅

パルス幅は刺激強度に影響する。パルス幅を大きくすることで刺激強度を高めることができる。振幅の項で述べたように、振幅と合わせてエネルギーを計算し、人体へ悪影響が出ないように最大値を決定する必要がある。Lynne ら [16] によれ

ば一般的には 0.2ms が多く使用されており、Nicola ら [15] によれば、筋張力を最大化するためには 0.1 0.4ms での使用が推奨されている。

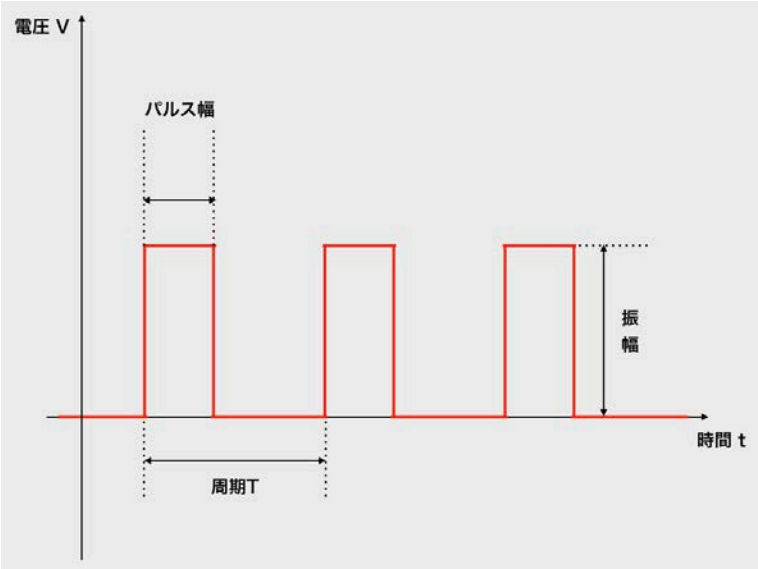

図 2.6 パルス波の各パラメータ

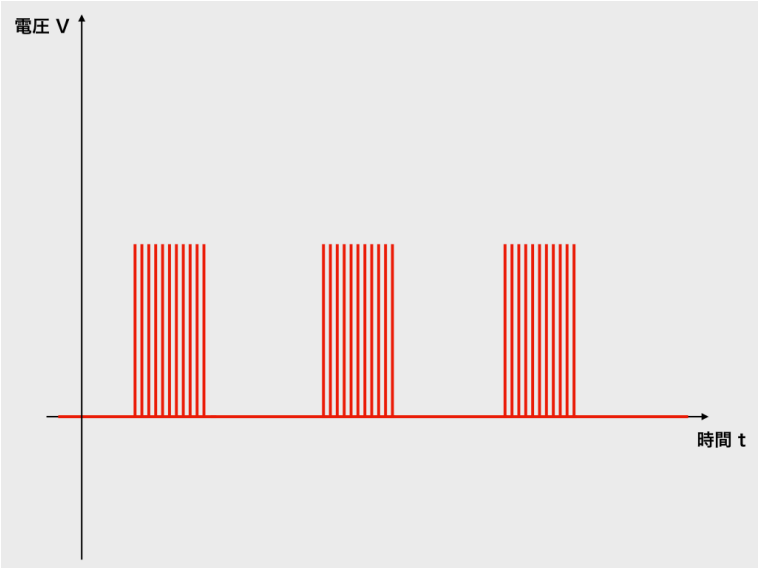

図 2.7 バースト波の波形

2.3.3 EMS ツールキット

multi-ems は、河野ら [18] により開発された複数チャンネルの出力ができる EMS ツールキットである。複数のチャネルをそれぞれ独立させ同時に操作できるように設計されているため、複数の部位や複数のユーザーを同時に制御することができる。主に研究者やデザイナーが自らのアイデアを開発するためのマルチチャネル EMS ツールキットとして提供された。これまで、EMS のための低周波電流を出力できる機器としては、医療用具として医療機関で使用されているものの他に低周波治療器などが広く普及していたが、研究目的の EMS 製品は限られており、オープンソースのハードウェアには制限があった。これまでの EMS ツールキットとしては、既製品の EMS デバイスを制御するツールキットである、Pfeiffer らによる Let Your Body Move toolkit [19] や、その派生品である Lopes らによる openEMSstim1 [20] があった。multi-ems は、これらのツールキットではできなかったパルス幅、周波数、出力時間、および強度を制御することができ、チャンネル数も容易に拡張できるような設計がされている。また、河野らは人間の増強をテーマにしたワークショップを開催し、複数のグループが開発に EMS を使用することに関心を示したことで、EMS ツールキットが人間の増強目的のために大きな需要を有することを見出した。

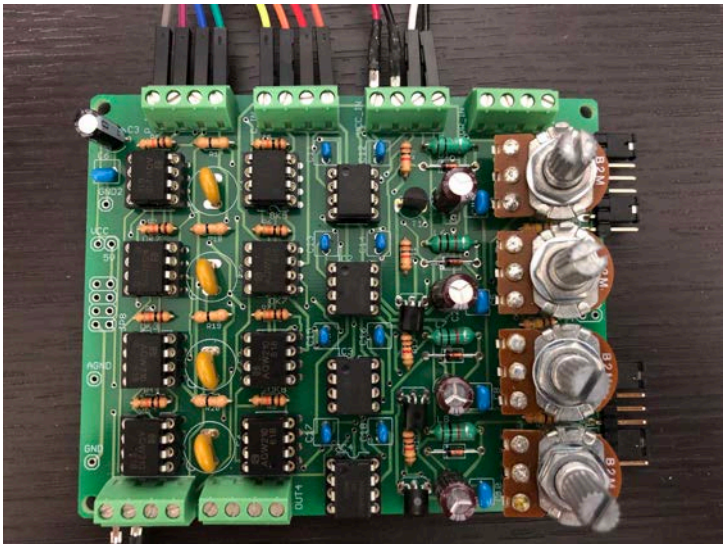

図 2.8 筆者が自作した multi-ems

2.4. 本章のまとめ

本章では本研究に関連する領域として、身体制御とテクノロジーの関わりについて、その具体例を挙げながら述べ、それらのテクノロジーのうちの 1 つである EMS を紹介した。EMS は、医療分野をはじめ、フィットネスやトレーニングなど、近年幅広い分野で応用されている技術である。そして、EMS はその有用さの反面、人体に電流を流すという性質上、扱いに細心の注意を払う必要のある技術でもある。そこで、これを使用する際に留意すべき各種パラメータとその影響について述べ、安全に扱うためのツールキットを紹介した。本研究における各種実験は、ここで紹介したツールキットを用いて行ったものである。次の 3 章では、ElectricalPopping のコンセプトデザインについて述べ、プロトタイプを作成する。

第 3 章
Electrical Popping

3.1. コンセプトデザイン

筆者が低周波治療器を初めて使用した際、EMS を適用し筋収縮を引き起こした部位の運動が、ポップダンスに見られるポッピンに酷似していたことに気付いたことが、本研究を始めたきっかけである。過去のダンス経験の有無に関わらず誰でも手軽にポッピンを経験できることから、当初はポッピンの習得のための練習の効率化を目的としていた。つまり、最終的には EMS を適用しない状態でポッピンができる段階まで到達するために、従来のものより短時間で実行できる練習プロセスのデザインを行うというものであった。しかし、以下で述べる 2 つの理由により ElectricalPopping は、「装着した状態でならば誰でも簡単にポップダンスが踊れる」という、あくまでポップダンスの表現をアシストするシステムとして提案することにした。1 つ目の理由は、習得までの練習プロセスにおいて、EMS によるサポートだけでは解決が難しいフェーズが存在したためである。ユーザが EMS によるポッピンを経験するとき、その動きの全てが EMS による筋収縮に依存しているため、楽器の演奏や正しいフォームの体験とは異なり、受動的である動きを徐々に能動的なものにシフトしていくと言うことが難しい。そのため、他の運動のトレーニングと比較すると「ある程度はできる」と言う段階が明確に存在せず、ポッピン習得の状況はできるかできないかの二極化するという性質がある。そのため、EMS によって受動的なポッピンを体験する段階と、自力で能動的にポッピンが行えるようになると言う段階の落差が大きく、この間を繋げる新たなアプローチが生まれない限り、EMS を直接的にポッピンの練習に用いることは現時点では難しいと考えた。2 つ目の理由は、EMS とポッピンの親和性の高さか

ら、アシストシステムとして活用する方が活躍の幅が広いと考えられるためである。EMS によるポッピンは機械による正確な制御が可能なため、理論上あらゆるポップダンスのテクニックの再現が可能であると言える。そのため、利用価値としてはこれらの再現を目指す方がポップダンスに携わる人たちにとって有用であると考えた。

3.2. システム設計

本節では ElectricalPopping のシステム設計について記述する。

3.2.1 システム構成

ElectricalPopping は、低周波電流の生成及び出力を行う回路、出力信号を制御するマイクロコンピュータ、音楽の再生を行う Desktop Audio Workstation(以下 DAW) によって構成される。低周波電流の生成及び出力を行う回路には multi-ems、出力信号を制御するマイクロコンピュータには Arduino UNO、音楽の再生を行う DAW には Studio One 4 [21] を用いた。図 3.1 はシステムのおおよその設計図である。

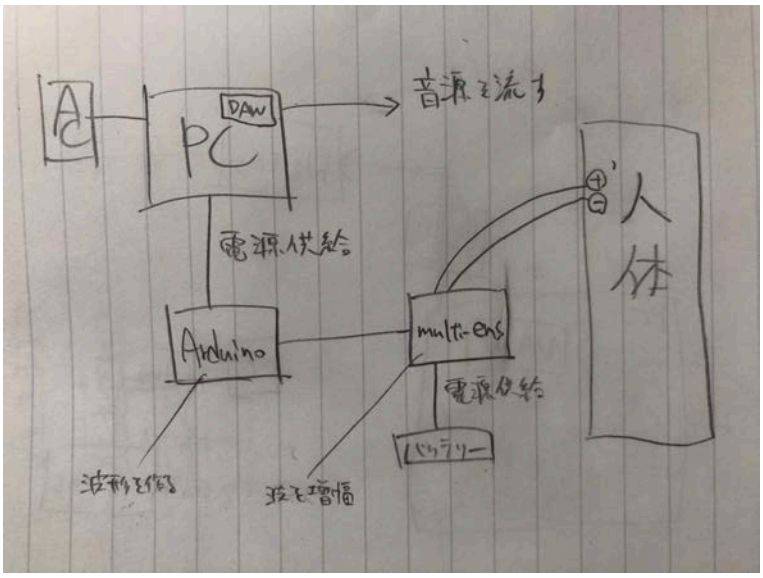

図 3.1 システム設計のスケッチ

3.2.2 EMS 適用部位の選定のための考察

まず初めに、EMS を適用させる部位を選定するため

- 各運動に対応する筋肉の働きの把握
- ElectricalPopping によりポッピンを行わせる部位の決定
- 安全性の確保

を目的とした検証と考察を行った。

まずはじめに、ポップダンスで使われる主要なポッピンについて、ポップダンス歴 5 年の知人のダンサーの協力のもと観察とヒアリングを行い、それぞれのポッピンで使用される正確な筋肉の部位を明らかにした。調査の結果、ポッピンの場所と筋肉の部位の対応は表 3.1 のようになった。

表 3.1 ポッピンの場所に対応する筋肉

ポッピンの場所	対応する筋肉
腕	上腕三頭筋 (必然的に上腕二頭筋が連動する)
胸	大胸筋
腹	腹直筋
大腿	大腿四頭筋

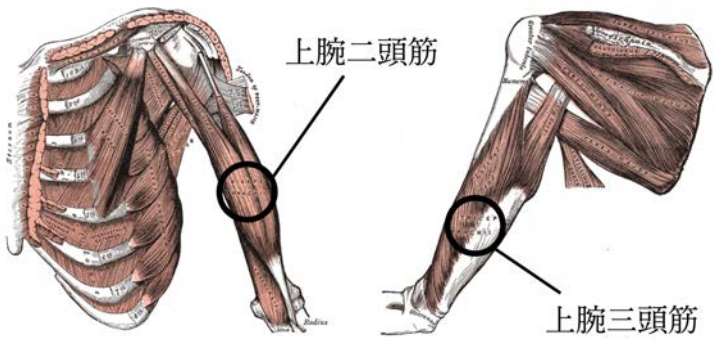

図 3.2 上腕二頭筋、上腕三頭筋 [22]

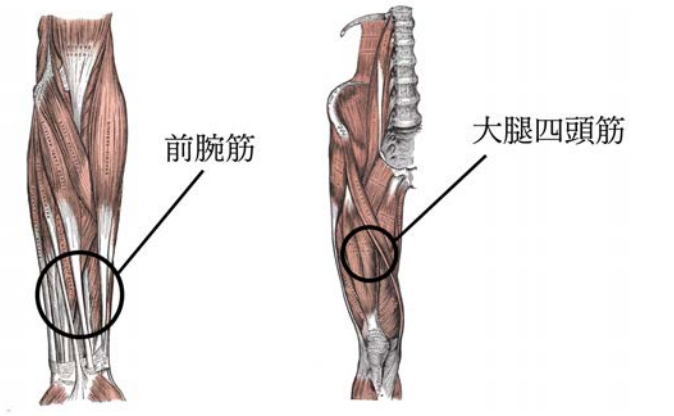

図 3.3 前腕筋、大腿四頭筋 [22]

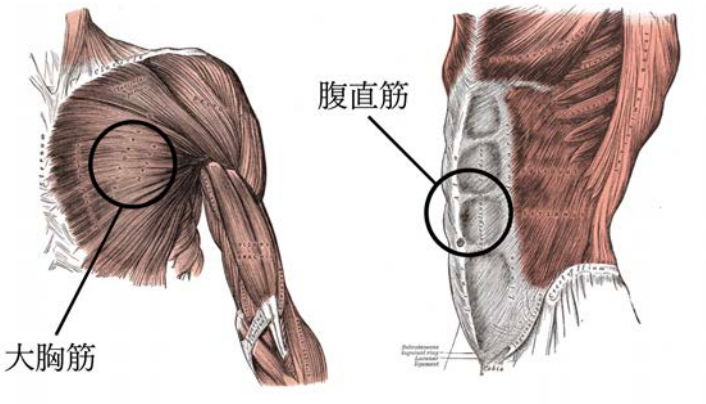

図 3.4 大胸筋、腹直筋 [22]

次に、ElectricalPopping によりポッピンを行わせる部位の選定を行った。ポップダンスに限らず、ダンスは本来全身を使って行う運動であるため、ポップダンスに使用される筋肉も枚挙に遑がない。しかし、全身のあらゆる筋肉に EMS を適用させ制御することは、実用性や安全面の観点から見て現実的でない。そのため、一般的なポップダンスにおいてポッピンの使用頻度の高い部位をリストアップし、それぞれについてポップダンスにおける重要性を考慮しつつ、EMS 適用の妥当性および安全性について考察を行った。考察を行った部位は、

- 腕部 (上腕三頭筋)
- 胸部 (大胸筋)
- 腹部 (腹直筋)
- 大腿部 (大腿四頭筋)

の計 4 箇所である。考察の結果は以下のようになった

腕部

腕部のポッピンとは上腕三頭筋のポッピンを指す。なお、これを行う時上腕二頭筋が必然的に連動して収縮する。ポップダンスは、ダンサーのダンススタイル

によって各部位の使用頻度に差があるが、腕のポッピンはダンススタイルに関わらず最も使用頻度の高いポッピンである。また、腕は他の部位に比べ日常生活の中での使用頻度が高いため、力を込める・脱力するという動作が行いやすく、ポッピンにおける「筋肉をはじく」という感覚がつかみやすい。そのため、一般的にポッピンの練習において一番初めに習得することが推奨されている。これらの理由から、腕のポッピンはポップダンスにおける基礎テクニックであると言えるため、ポップダンスを踊るにあたって腕のポッピンを行うことの優先度は最も高いと言える。

胸部

胸部のポッピンとは大胸筋のポッピンを指す。大胸筋は身体の正面に位置するため、胸のポッピンは腕のポッピンと並んで目立たせやすく、腕のポッピンを習得した者が次に習得を目標とすることが多いポッピンである。よって、ポップダンスを踊るにあたって胸のポッピンを行うことの優先度は高いが、EMS は安全面の理由から、心臓付近への適用は推奨されていない。そのため、本研究では胸部への適用は断念した。

腹部

腹部のポッピンとは腹直筋のポッピンを指す。みぞおち、ストマックのポッピンとも呼ばれる。腹部は体の中心に位置するため、腹部のポッピンは全身を使ったダイナミックな動きを演出する際などに用いられる重要な部位となる。腹部には臓器が密集しているため、胸部同様安全面を考慮して EMS の適用を断念した。

大腿部

大腿部のポッピンとは大腿四頭筋のポッピンを指す。大腿四頭筋とは大腿直筋、外側広筋、内側広筋、中間広筋で構成される筋肉群の総称で、全身の筋肉の中で最も強く大きい筋肉である。そのため、大腿部のポッピンは他の部位のポッピンと比べて動きが大きく、パフォーマンスにおける使用頻度も高い。そのため、大

腿部のポッピンは腕のポッピンの次に重要性が高い。しかし、4 つの筋肉で構成されるという性質上、異なる複数の筋肉を同時に刺激するためにその数だけ電極および信号出力のチャンネル数を増やす必要のある EMS とは相性が悪いと言える。また、大腿筋四頭筋はその大きさから、視覚的にポッピンが確認できるほどの収縮を引き起こすためには他の部位と比べ十分大きな電圧数が必要となる。そのため、本研究では大腿部への適用は断念した。

以上の理由から、ElectricalPopping では適用箇所を腕部に限定して開発を進めることとした。

3.3. 1st プロトタイプ

本節では ElectricalPopping によるアシストの正確さ、体験の快適性を高めるために行ったプロトタイピングについて記述する。

3.3.1 1st プロトタイプの設計と制作

1st プロトタイプは、実際に運動に合わせた電気刺激による筋収縮が、能動的に行うポッピンの代わりになり得るか否かを検証するために制作した。音源は Studio One 4 に備えられていたサンプル音源を使った。サンプル音源のテンポを Studio One 4 の機能を使って割り出し、multi-ems による刺激のバースト波の周期を音源のテンポと一致させることで、音源と刺激タイミングの同期を図った。1st プロトタイプの段階では音源と multi-ems 間でシステムとしての連携が取れておらず、音源と電気刺激のタイミングのズレが生じた際は手動で調節を行う設計となっている。システム概要図を図 3.5 に示す。

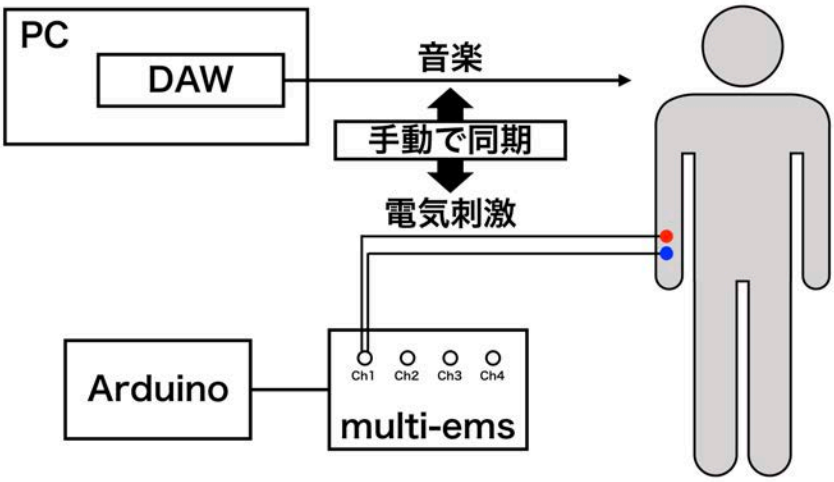

図 3.5 1st プロトタイプのシステム概要図

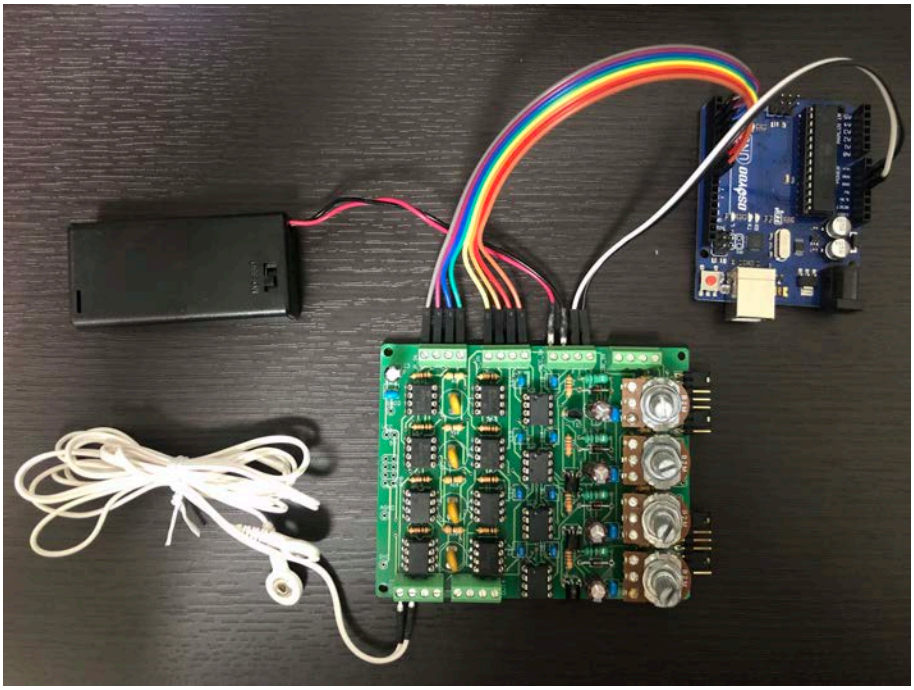

図 3.6 1st プロトタイプ

3.3.2 実験 1：EMS を用いたポッピン再現のための検証

前節で述べた考察により、適用部位は腕部に限定した。この実験では、腕部を適切に制御するための電極の配置を決定するための実験を行なった。(図 3.7)

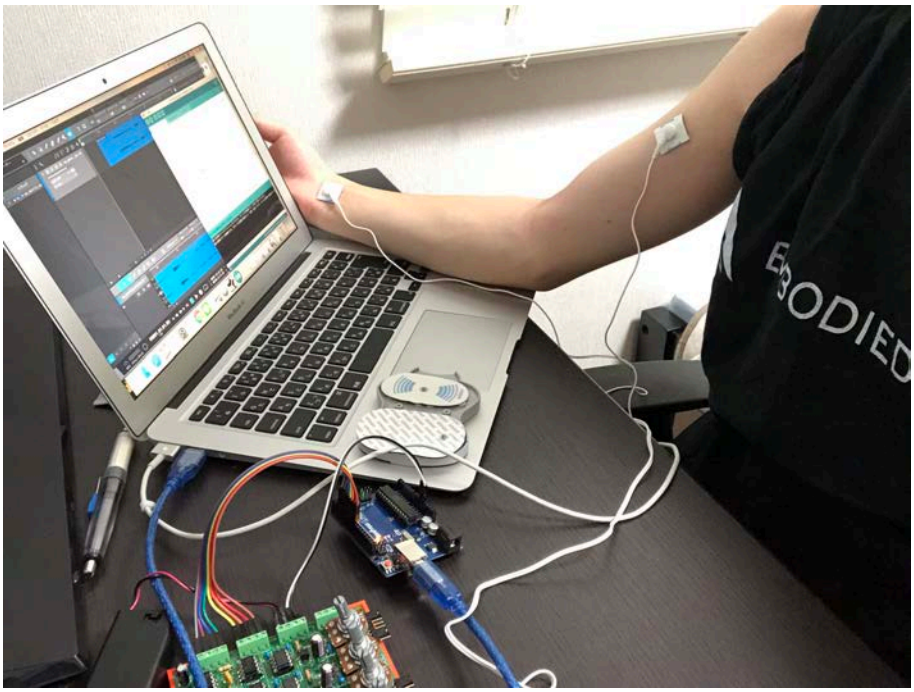

図 3.7 実験 1 の様子

まず満たすべき要件として、

- 実際のポッピンとの視覚的な類似性が確認できること
- 感じる痛みをできる限り少なくすること
- 効果の再現性が保証できること

の 3 項目がある。

実際のポッピンとの視覚的な類似性

まず実際のポッピンとの視覚的な類似性について、本来のポッピンはダンサー本人が能動的に行う動作であるのに対し、ElectricalPopping ではこれを EMS によって受動的に行わせる。そのため、対象部位付近の細部の筋肉や対象部位以外の筋肉の収縮、その際の被験者の意識などについてまで厳密に再現することはできない。しかし、ダンスパフォーマンスとはあくまで観る人を楽しませるということが本質であるという思想のもと、あくまでも第三者により視覚的な類似性が確認できれば、ElectricalPopping のコンセプトに沿って「ポッピンの表現」ができているとみなし、これを満たすべき要件の 1 つとする。

痛みや痺れなどの不快感

EMS の出力電流は 2 つの電極によって身体に伝わる。この際、一方の電極からもう一方の電極に向かって電気が流れ、その際の導電経路上にある筋肉が収縮を引き起こす。よって、特定筋肉の収縮だけを目的とする場合、電極を装着する位置の候補は広範囲にわたる。しかし、第 2 章で述べたように、EMS は身体に電気を流すという性質上、刺激に用いる波の各パラメータの値や適用部位によっては痛みや痺れなどの不快感を生じることがある。これらの不快感の存在は、ダンスには不可欠となる自由な身体運動を阻害する恐れがあるため、ElectricalPopping のコンセプトであるダンスアシストシステムという概念に矛盾する。よって、EMS を適用した際の痛みや痺れ等の不快感を可能の限り抑えることを、満たすべき要件の 2 つ目とする。

再現性の保証

人間は基本的な筋肉の構造は共通しているが、各筋肉ごとの大きさや細かな配置は、体格や、生活習慣やトレーニングによる筋肉の発達の仕方などにより、個体差がある。筋肉の大まかな配置は皮膚の上からでも知ることができるが、目視での確認ができないため、EMS を用いた研究では実験などの際のキャリブレーションにかかる手間がしばしば課題となる。この対策としては、面積の広い電極を用

いて皮膚との接地面積を大きくすることなどが挙げられる。小さい電極を用いてピンポイントで特定の筋肉を収縮させる場合、電極の配置に少しのずれが生じるだけで導電経路が変わり、電流が目的の筋肉を経由しないことがある。電極との接地面積を広くすることで、電極のわずかなずれによる導電経路の振れ幅を小さく抑えることができるため、電極の大きさも考慮する必要がある。このように、電極の大きさも考慮に入れた上で、導電経路が筋肉の大きさや構造の個人差に左右されないような配置を探り再現性を保証することを、満たすべき要件の 3 つ目とする。

EMS 適用部位の選定のための考察で決定した腕部を構成する前腕筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋について、対象の筋肉を電極対で挟むような配置となるように電極を配置する位置の候補を決め、1st プロトタイプを用いて実際に刺激を行う。上腕二頭筋は上腕三頭筋と連動するため、上腕二頭筋も検証の対象とした。電極配置の候補は

a). 上腕三頭筋の両端 (図 3.8)

b). 上腕三頭筋の胸側の末端、前腕筋指先側の末端 (図 3.9)

c). 上腕二頭筋の両端 (図 3.10)

d). 上腕二頭筋の胸側の末端、前腕筋指先側の末端 (図 3.11)

に定め、それぞれの場合について電極の接地面積を 3 段階で変えて刺激を行う。電圧の変化による効果の変動は個人差に依存する部分が大きいため、今回の検証では電圧は一定とする。それぞれの配置について前節で述べた要件を満たすか否かを検証し、電極の配置を決定する。本検証には前節で述べた 1st プロトタイプを用いる。図 3.8〜図 3.11 には、shutterstock[1]のフリー素材を使用した。

1 https://www.shutterstock.com/ja/

図 3.8 電極配置 a

図 3.9 電極配置 b

図 3.10 電極配置 c

図 3.11 電極配置 d

実験結果は表 3.2 のようになった。

表 3.2 実験 1 の実験結果

電極配置	電極面積	ポッピンとの類似性
a	6 平方 cm	わずかに上腕三頭筋のみが収縮する。視覚的に確認できる動きはとても小さくポッピンと認識することは困難である。
	18 平方 cm	上腕三頭筋のみ収縮する。視覚的に筋収縮を確認できるが、収縮量が小さく、ポッピンとの類似性は確認できない。
	28 平方 cm	上腕三頭筋のみ収縮する。視覚的に筋収縮を確認でき、ポッピンとの類似性が確認できる。
b	6 平方 cm	上腕三頭筋から前腕筋にかけてわずかに収縮する。視覚的に確認できる動きはとても小さくポッピンと認識することは困難である。
	18 平方 cm	上腕三頭筋から前腕筋にかけて収縮する。視覚的に筋収縮を確認でき、ポッピンとの類似性が確認できる。
	28 平方 cm	上腕三頭筋から前腕筋にかけて収縮する。視覚的に筋収縮をはっきりと確認でき、ポッピンとの類似性が確認できる。
c	6 平方 cm	わずかに上腕二頭筋のみが収縮する。視覚的に確認できる動きはとても小さくポッピンと認識することは困難である。
	18 平方 cm	上腕二頭筋のみ収縮する。視覚的に筋収縮を確認でき、ポッピンとの類似性が確認できる。
	28 平方 cm	上腕二頭筋のみ収縮する。視覚的にはっきり筋収縮を確認でき、ポッピンとの類似性が確認できる。
d	6 平方 cm	上腕二頭筋から前腕筋にかけて収縮する。視覚的に筋収縮が確認でき、ポッピンと認識できる。
	18 平方 cm	上腕二頭筋から前腕筋にかけて収縮する。視覚的に筋収縮がはっきりと確認でき、ポッピンと認識できる。
	28 平方 cm	上腕二頭筋から前腕筋にかけて最も強く収縮する。視覚的に筋収縮がはっきりと確認でき、ポッピンと認識できる。

表 3.2 より、以下の事実が確認できる。

- 電極の面積と筋収縮の強度は比例する。
- 上腕二頭筋による筋収縮も視覚的には腕のポッピンとして認識できる。
- 同じ電極面積では、上腕三頭筋の収縮と比較して上腕二頭筋の収縮の方が、視覚的にはより大きな動きとして確認できる。
- 上腕二頭筋、上腕三頭筋共に、単体での筋収縮よりも、前腕部を連動させた筋収縮の方が視覚的に大きな動きとして確認できる。

考察

熟練のポップダンサーは上腕三頭筋の収縮を意識して腕部のポッピンを行うが、実験 1 を通して EMS による上腕二頭筋の筋収縮は上腕三頭筋によるポッピンと視覚的には同等の効果があることが分かった。腕のポッピンでは上腕三頭筋と上腕二頭筋が連動しているということから、どちらも現象としては近い筋収縮が起こっていると考えられる。また、全ての配置の中で、上腕二頭筋の胸側の末端と前腕筋指先側の末端に電極を配置した場合 (電極配置 d) が最も視覚的に強い動きが確認できた。上腕二頭筋、上腕三頭筋共に単体の刺激の場合、肘から先の前腕部が上腕筋の収縮による動きに引っ張られるため、腕部全体としての動きのまとまりが悪くなり、それが結果的に前腕部ごと収縮させた場合との差を生んでいると考えられる。腕部のポッピンは前腕部も含めた腕全体としてのパフォーマンスであり、前腕部と上腕部の動きの統一が重要であることが分かった。

3.4. 2nd プロトタイプ

本節では、実験 1 での検証により決定した部位への刺激を実際に音楽のリズムに合わせて出力することによって、より本格的なポップダンスのアシストシステム (図 3.12、図 3.13) を構築し、これを使い実際に踊ってみた。(図 3.14) 電気刺激を出力するタイミングを音楽に合わせる手法として、あらかじめ音楽の拍に合わせた信号を記述した MIDI 音源を使用した。(図 3.15) 音楽の再生と同時に MIDI 信号が Arduino へ送信され、電気刺激の出力を行う。MIDI(Musical Instrument Digital Interface) とは、日本の MIDI 規格協議会 (JMSC、現在の社団法人音楽電子事業協会) と国際団体の MIDI Manufacturers Association (MMA) により策定された、電子楽器の演奏データを機器間でデジタル転送するための世界共通規格である。MIDI 規格上のデータの送受信は MIDI メッセージと呼ばれる信号で行われ、この信号を MIDI 機器として認識させた Arduino へと送信することで、リアルタイムでの信号制御を行う。システム概要図を図 3.16 に示す。

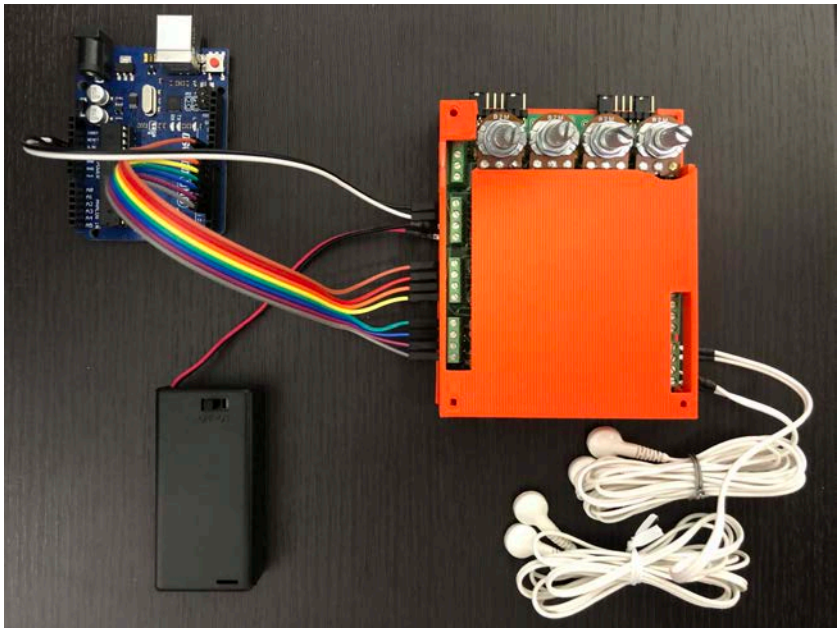

図 3.12 2nd プロトタイプ

図 3.13 2nd プロトタイプを装着する様子

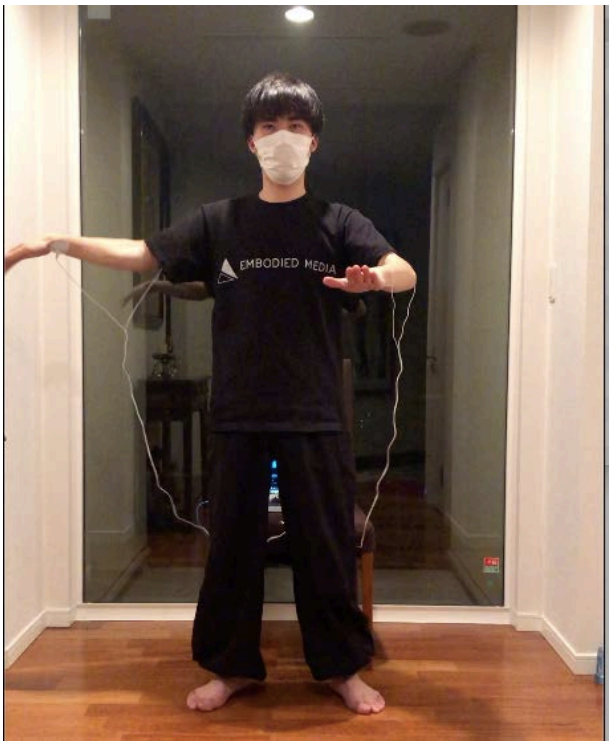

図 3.14 2nd プロトタイプを装着して踊った様子

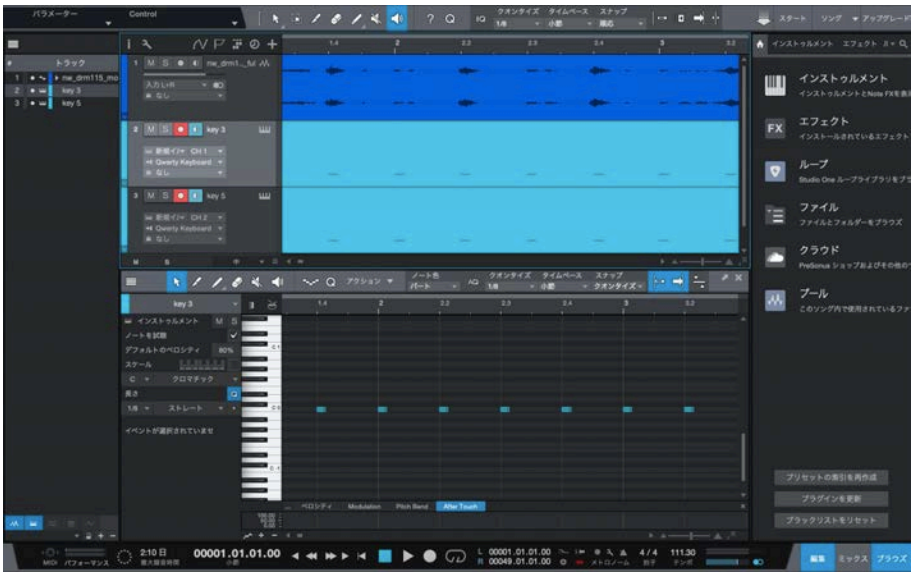

図 3.15 2nd プロトタイプにおける MIDI 信号制御の様子

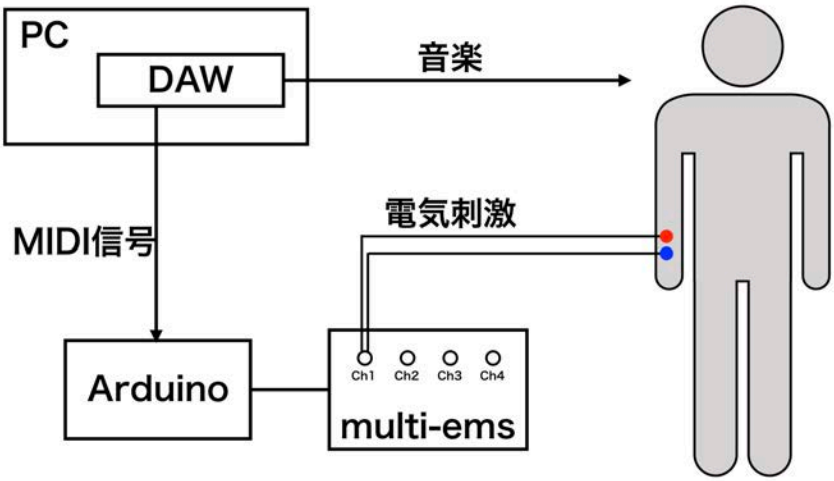

図 3.16 2nd プロトタイプのシステム概要図

3.5. 本章のまとめ

本章では、身につけることでポップダンスの表現のアシストを行う ElectricalPopping のコンセプトデザインおよび、作成したプロトタイプについて述べた。また、プロトタイプを作成するにあたりポップダンスに精通する知人の協力のもと行なった、ElectricalPopping の適用部位の選定のための考察について述べた。最後に作成したプロトタイプでは、音楽の再生とともに、腕部へ拍に合わせた電気刺激を与えることにより、リズムに合った腕のポッピンを装着者に行わせることができ、これを使用して踊ってみたことでポップダンスアシストシステムとしての効果を確認した。次の 4 章では、ElectricalPopping のコンセプトの有効性をより厳密に検証するために行なった実証実験および、ユーザビリティテストについて述べる。

第 4 章
Validation

4.1. 本章の概要

本章では、Proof of Concept として ElectricalPopping の使用前後を比較することでコンセプトの有効性を検証した。また、ユーザビリティテストを行って ElectricalPopping の使用感を調査した。ElectricalPopping は、授業やサークル活動などでの初歩的なダンス経験のある素人や他ジャンルのダンサーに、EMS によるポッピンの表現のアシストを行うことにより、熟練のポップダンサーと同レベルの高度なポップダンスを踊ることを可能にするダンスアシストシステムである。こうしたコンセプトの実証実験を行うため、ダンス経験のあるポップダンスの素人に ElectricalPopping を使用してもらい、その適用前と適用後とを不特定多数の第三者によって評価してもらうことで、コンセプトの実現ができたかを評価する。 本研究における検証では、コンセプトのターゲットとして当てはまる筆者が、ElectricalPopping を使用してポップダンスの基本となる動きである「フレズノ」を行う様子を不特定多数の第三者に評価してもらった。これらの評価を、未習得者が ElectricalPopping を適用せずに行ったフレズノやプロのポップダンサーのフレズノと比較し、コンセプトが達成できていることを証明する。

4.2. 実験 2：システムの有効性の検証

4.2.1 実験の目的

第 3 章で制作した 2nd プロトタイプを用いて、実証実験を行った。本実験では、ElectricaiPopping の実用性を測ることを目的とした。実験 1 では、即興の動きに ElectricalPopping によるアシストを適用させてポッピンの検証をしていたのみであったが、本実験ではポップダンスの基本動作であるフレズノに ElectricaiPopping のアシストを適用させることで、ポップダンスのアシストシステムとしての実用性があることを示す。

4.2.2 実験概要

本実験はアンケート形式で行った。コンセプトのターゲットと合致する筆者がポップダンスの基本動作であるフレズノを行う様子を、ElectricalPopping によるアシストの適用前と適用後の両パターンを動画で用意しておき、それらの動画を視聴してもらった上で、次に述べる 3 軸で評価してもらった。評価は、それぞれの項目について 5 段階で行った。また、ポップダンスやポッピンに関する知識がない人でも回答できるよう、あらかじめプロのポップダンサーによるフレズノの動画を見せ、フレズノとポッピンについて簡単に解説を行った上で、このプロによるポッピンを基準としてそれぞれの動画を評価してもらった。

ポッピンの評価軸

ポッピンのクオリティの評価は以下の 3 軸で行う。

- 視認性
- 力強さ
- 正確さ

評価軸である上記 3 項目の詳細を以下に記す。また 5 段階評価は、回答者に対して分かりやすい言い回しを選んでそれぞれ以下のように提示した。

ポッピンの視認性

この項目は回答者が動画を見た際、どの程度直感的にポッピンが確認できたかを示す項目である。これは、ElectricalPopping のコンセプトが達成できたか否かを測る際、最も重要となる項目である。

1. ポッピンを行っていることが視覚的に全く確認できない
2. どちらとも言えない
3. ポッピンを行っていることがなんとなく視覚的に確認できる
4. ポッピンを行っていることが視覚的に確認できる
5. ポッピンを行っていることが視覚的にはっきりと確認できる

ポッピンの力強さ

ポッピンの力強さとは、ポッピンを行う筋肉が最も肥大する収縮時と、平常時の弛緩状態の筋肉の大きさの差のことである。これが大きいほどポッピンは力強く見える。評価基準は以下の 5 段階である

1. 全く力強く見えない
2. 力強く見えない
3. どちらとも言えない
4. 力強く見える
5. とても力強く見える

ポッピンの正確さ

ポッピンの正確さとは、ポッピンが音楽の拍に合っているか否かで評価する。撮影した動画ではいずれも音楽のリズムに合わせて左右交互に 2 回ずつポッピンを行っている。音楽のリズムにしっかりと合っているか否か、および、片方の腕での 2 連続のポッピンが確認できるか否かで、ポッピンの正確さを評価する。

1. 音楽のリズムに合わせて左右交互にポッピンしていることがわからない。
2. 音楽のリズムに合わせて左右交互に 2 回ずつポッピンしていることがわからない。
3. どちらとも言えない
4. 音楽のリズムに合わせて左右交互にポッピンをしていることはわかるが、2 回ずつ行っていることはわからない。
5. 音楽のリズムに合わせて左右交互に 2 回ずつポッピンしていることがわかる。

4.2.3 動画撮影

実験に用いる動画の撮影は、Embodied Media Project の研究室である渋谷ラボにて行われた。撮影には、実験 2 に引き続き 2nd プロトタイプを使用した。筆者の身体には、実験 2 と同様に左右それぞれの手首および上腕二頭筋の中程に電極を装着した。(図 4.1) 電極と multi-ems を繋ぐコードは衣服の袖の中を通し、背中側の裾から出した。(図 4.2) また、multi-ems と Arduino および音声再生用の PC は、全て背後に配置したデスクの上に固定した。一方の動画は、ElectricalPopping で音源の拍に合わせて 2 回ずつ、左右交互に刺激を行ってフレズノを行う様子を撮影する。もう一方は ElectricalPopping による刺激を行わずに、ポッピンのないフレズノを行う様子を撮影する。

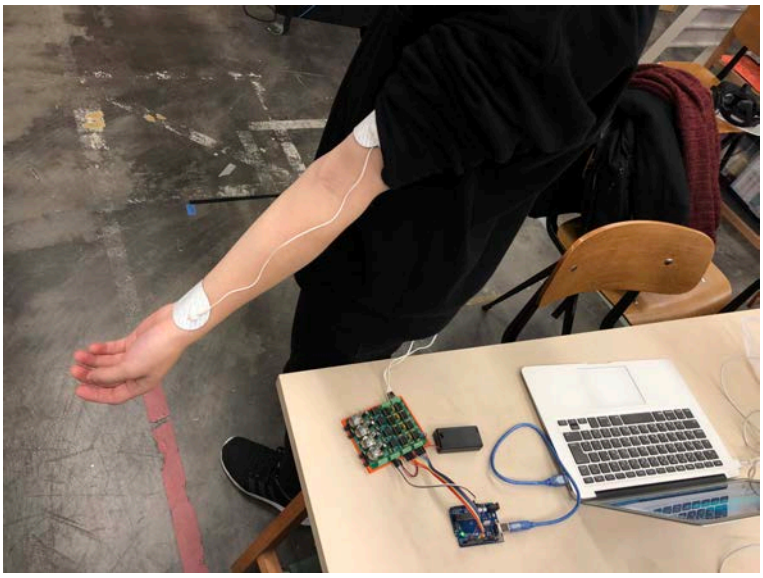

図 4.1 動画撮影のためのセットアップの様子

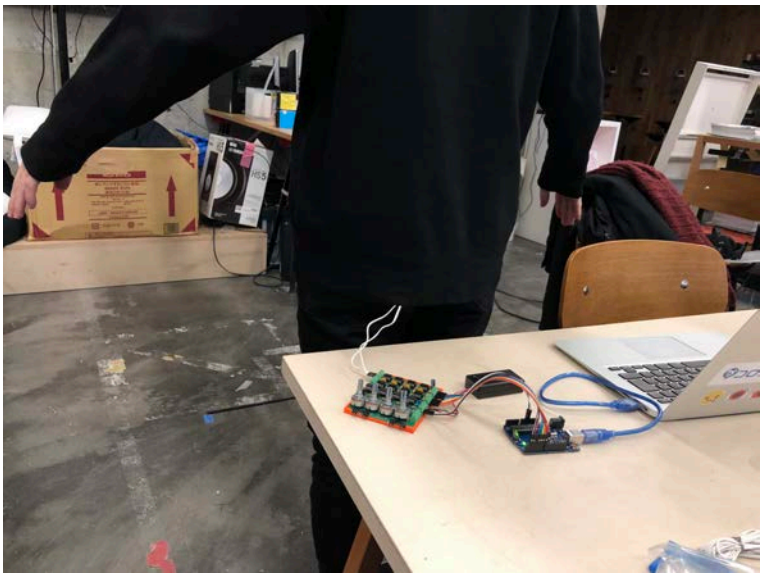

図 4.2 セットアップ完了の状態

図 4.3 実験に使用した動画 (EMS 有り)

図 4.4 実験に使用した動画 (EMS 無し)

4.2.4 実験結果と考察

実験の結果は以下のようになった。

実験結果

ポッピンの視認性

ポッピンが視覚的に確認できるか否かという質問に対しての回答は表 4.1、表 4.2 のようになった。平均点は 3.42 点から 4.08 点に上昇した。ElectricalPopping 適用前は、ポッピンを視覚的にはっきりと確認できた人数は、全体の 1 割にも満たなかった。それに対し、ElectricalPopping 適用後では約半数が視覚的にはっきりとポッピンを確認できたと回答している。

表 4.1 ElectricalPopping 適用前

5 段階評価	数
視覚的に全く確認できない	0
どちらとも言えない	3
視覚的になんとなく確認できる	2
視覚的に確認できる	6
視覚的にはっきりと確認できる	1

表 4.2 ElectricalPopping 適用後

5 段階評価	数
視覚的に全く確認できない	0
どちらとも言えない	1
視覚的になんとなく確認できる	2
視覚的に確認できる	4
視覚的にはっきりと確認できる	5

ポッピンの力強さ

ポッピンが力強いか否かという質問に対しての回答は表 4.3、表 4.4 のようになった。平均点は 1.42 点から 3.58 点と大きく上昇した。ElectricalPopping 適用前は、全体の 7 割以上がポッピンが全く力強く見えないと回答しており、力強く見えると回答した者はいなかった。それに対し ElectricalPopping 適用後では、過半数がポッピンが力強く見えると回答しており、力強く見えなかった人数は全体の 2 割を下回る結果となった。

表 4.3 ElectricalPopping 適用前

5 段階評価	数
全く力強く見えない	9
力強く見えない	1
どちらとも言えない	2
力強く見える	0
とても力強く見える	0

表 4.4 ElectricalPopping 適用後

5 段階評価	数
全く力強く見えない	1
力強く見えない	1
どちらとも言えない	3
力強く見える	4
とても力強く見える	3

ポッピンの正確さ

ポッピンが正確か否かという質問に対しての回答は表 4.5、表 4.6 のようになった。平均点は 3.17 点から 4.08 点に上昇した。ElectricalPopping 適用前は、音楽のリズムに合わせて左右交互に 2 回ずつポッピンをしていることがわかったと回答した者はおらず、分からない、どちらとも言えないと回答した人数は過半数を上回った。それに対し ElectricalPopping 適用後では、全体の約 3 割が音楽のリズムに合わせて左右交互に 2 回ずつポッピンをしているように見えると回答しており、分からない、どちらとも言えないと回答した人数は全体の 2 割を下回る結果となった。

表 4.5 ElectricalPopping 適用前

5 段階評価	数
音楽のリズムに合わせて左右交互にポッピンしていることがわからない	0
音楽のリズムに合わせて左右交互に 2 回ずつポッピンしていることがわからない	3
どちらとも言えない	4
音楽のリズムに合わせて左右交互にポッピンをしていることはわかるが、2 回ずつ行っていることはわからない	5
音楽のリズムに合わせて左右交互に 2 回ずつポッピンしていることがわかる	0

表 4.6 ElectricalPopping 適用後

5 段階評価	数
音楽のリズムに合わせて左右交互にポッピンしていることがわからない	0
音楽のリズムに合わせて左右交互に 2 回ずつポッピンしていることがわからない	1
どちらとも言えない	1
音楽のリズムに合わせて左右交互にポッピンをしていることはわかるが、2 回ずつ行っていることはわからない	6
音楽のリズムに合わせて左右交互に 2 回ずつポッピンしていることがわかる	4

考察

ポッピンが視覚的に確認できるか否かという質問に対しての回答データから、ポッピンを習得していない人でも、ElectricalPopping を使用することでそれを見ている人からは明確にポップダンスを踊っているように映るということが分かった。数値の上がり幅が小さかった要因としては、ポップダンス未経験者にはポッピンに似せた動きと本来のポッピンの区別が付きにくく、その結果 ElectricalPopping 使用前にも高めの評価をつけてしまったことが考えられる。また、ポッピンの力強さに関する質問では、ElectricalPopping 使用前と使用後の変化が顕著に出ている。ポッピンの正確さに関する質問では、全体的に見ると ElectricalPopping 使用前と使用後では後者の方が正確さが増しているように映るという結果となったが、

他 2 つの質問の結果と比較すると使用前後での変化が少ないという結果となった。これは、実験に用いた動画ではテンポが早めの曲を使用したため、正確さに関しては見る人の動体視力にも少なからず依存しているためと考えられる。筆者自身も、ElectricalPopping を使用して踊ってる時は、はっきりと左右交互に 2 回ずつ筋収縮が行われていることを体感していたが、客観的に動画を見てみると連続する 2 回の筋収縮の間隔が体感時より短く感じた。以上の結果から、ポッピンができない人でも ElectricalPopping を使用することによって、ポップダンスの基本動作であるフレズノができるようになることが分かった。

4.3. ユーザビリティテストと考察

2018 年 11 月 2 日から 3 日にかけて、慶應義塾大学日吉キャンパス協生館で開催された KMD フォーラム 2018 において、ElectricalPopping のデモンストレーションの展示を行った。また、このデモンストレーションの展示を通して来場者を対象にユーザビリティテストを行った。テストの協力者は年齢層もダンス経験の有無も異なる 57 人の来場者で、数々の出展の中から自ら本研究の展示ブースへ足を運んでくれた方々である。以下で行ったデモンストレーションおよびユーザビリティテストの詳細について述べる。

4.3.1 ユーザビリティテストの目的

本ユーザビリティテストは、ElectricalPopping の使用感や快適性について、不特定多数の第三者による意見の収集を目的として行った。ElectricalPopping は EMS を用いたシステムであるため、2 章でも述べたように電気刺激の感じ方には個人差がある。よって、不特定多数の第三者により ElectricalPopping を実際に使用してポップダンスを踊ってもらい、コンセプトが満たすべき要件である、身体運動を阻害しない快適性の有無を検証した。

4.3.2 デモンストレーションの概要

デモンストレーションは 2nd プロトタイプを用いて行った。各種パラメータの詳細は以下の通りである。

- 出力信号は 2 チャンネル使用した。
- 出力信号のパルス幅は 50 μ s。
- 電極面積は 28 平方 cm。腕が細いユーザー用に 6 平方 cm のものと 18 平方 cm のものも用意した。
- 曲は 111.3 テンポの音楽を使用。

- 1 小節あたり 4 回、左右の腕を交互に刺激した。

ブースにはポップダンスを知らない人にポップダンスを説明するため、熟練したポップダンサーの動画を用意し流しておいた。デモンストレーションは毎回以下の手順で行った。

デモンストレーションの手順

1. EMS の技術概要を、具体例を挙げながら簡単に解説する。
2. 熟練したポップダンサーの動画を見せ、ポップダンスの概要を説明する。
3. 筆者が ElectricalPopping を使い、音楽のリズムに合わせて腕がポッピンしている様子を見てもらう。
4. 筆者が腕のポッピンに合わせて即興で動きを取り入れ、ポップダンスを行う様子を見てもらう。
5. 体験するか否かを質問する。

デモンストレーションの手順 5 において来場者が体験を希望した場合、次の手順によって筆者の指導と ElectricalPopping によるアシストのもと、実際に即興のポップダンスを体験してもらった。

デモンストレーション体験の手順

1. 電極を取り付ける手首および力こぶの部分をウェットティッシュで拭く。
2. 電極を取り付け、最も低い電圧で ElectricalPopping による刺激を開始する。
3. ユーザーにヒアリングを行いながら、ポッピンが視覚的に確認できるまで慎重に電圧を上げる。
4. 音楽の拍に合わせて腕がポッピンする様子を体験してもらう。(図 4.5)

5. ポッピンを単位動作の始点と終点に合わせることで、その動きに生じる視覚的な変化を感じてもらう。

6. 即興で自由にポップダンスを踊ってもらう (図 3.13)

図 4.5 デモンストレーション体験の様子 (手順 4)

図 4.6 デモンストレーション体験の様子 (手順 6)

4.3.3 フィードバック

デモンストレーションを見てくれた人の内、57 人の来場者が実際に体験を希望し、ユーザビリティテストに協力してくれた。出力電圧の値による刺激の感じ方は様々で、予想通り個人差が顕著に出ることが分かった。また、57 人のうち 2 人はポップダンスの経験者であり、大変貴重な意見を得ることができた。以下に、ElectricalPopping の使用で感じる不快感の個人差についての調査結果と、得られたフィードバックのうち主要なものを紹介する。

痛みや不快感の有無

表 4.7 刺激の感じ方の内訳

不快感の詳細	人数
不快感は感じなかった	43
刺激が気持ち良かった	7
ピリピリと痺れる感覚があった	3
痛みを感じた	2
痛みや痺れはないが不快に感じた	2

ポップダンス歴 3 年の A さん

- 自分で能動的に行うポッピンとは感覚が異なる。
- 痛いわけではないが、怖くて刺激を強くできない。

ポップダンス歴 7 年の B さん

- 自分で能動的に行うポッピンの感覚となかなか近い。
- 今回使用しているテンポの曲の場合、自分で能動的なポッピンするときはもっと筋肉を収縮させる時間が長い。
- より速いテンポの曲ならば、実際に行うポッピンの感覚により近くなると思う。

運動全般が得意である C さん

- 腕がポッピンしていることはわかるが、これに動きを合わせてポップダンスを踊ることが難しい。

- リズムに合わせて動くというのはスポーツとはまた体の使い方が違い、どのようにすればポップダンスが踊れるかという原理は頭では理解できるが、それでも体を思うように動かせない。しかし面白さは感じた。
- ポッピンに動きを取り入れてポップダンスを踊ることが難しい人のため、動きに合わせて刺激が来る仕様にするのもいいかもしれない。

本格的なダンスの指導を受けた経験はないがクラブなどで踊る機会を持つ D さん

- ポッピンに動きを組み合わせて踊ることが難しい。
- 音楽のビートが分かりやすくなるというメリットもあると感じた。

その他多かった意見の一部抜粋

- 刺激による感覚としては、人に腕を叩かれた時の感覚が一番近く感じる。
- これまでポップダンスに興味はなかったが。これを機に興味を抱きポップダンスを始めたくなった。

4.3.4 考察

本節では、デモ展示を通して行ったユーザビリティテストにより得られたデータやフィードバックを統括し、考察を行う。デモを体験した 57 人中 50 人の来場者が、ElectriclPopping の使用の際痛みや痺れなどの不快感を感じなかったという結果から、コンセプトが満たすべき要件である、身体運動を阻害しない快適性が確認できた。これは、デモを体験した来場者のほとんどが、ElectriclPopping のアシストによるポップダンス体験に対し「面白い」、「楽しい」と言った肯定的な感想を残したことからも確かであると言える。このことにより、痛みや痺れがないという物理的な要因による快適性に加え、娯楽としても有用であるという精神的要因による快適性の存在が、ElectricalPopping の付加価値として確認できた。一方で、体験自体の面白さについての言及の次に目立った意見として、ElectricalPopping によるア

シストをうまくポップダンスに活かせないというものがあった。ElectricalPopping は、あくまでもポッピンのアシストのみを行うものであるという性質上、音楽に合わせて体を動かすこと自体が苦手な人にとっては、アシストによる恩恵が極端に減ってしまう。誰もが使用するだけで簡単にポップダンスが踊れるようになるダンスアシストシステムというコンセプトを考えると、これは解決すべき課題であると言える。

4.4. 本章のまとめ

本章では、ElectricalPopping の使用前後のパフォーマンスを、視認性、力強さ、正確さの 3 軸で第三者によって評価してもらうことにより、コンセプトの有効性を検証した。アンケートの結果、全ての項目において ElectricalPopping 使用後の方が使用前に比べ上回った。また、使用感の調査のため行なったユーザビリティテストにより、EMS 使用の際に生じることのある痛みや不快感なども生じないことが分かった。以上の結果から、ElectricalPopping はポップダンスのアシストシステムとして有効であることが分かった。

第 5 章
Conclusion

本稿は、電気的筋肉刺激による不随意筋収縮を用いることでポップダンス未経験者でもポップダンスが踊れるようになるダンスアシストシステム「ElectricalPopping」の提案および実装を行ったものである。1 章では、研究の背景として、今日のダンス文化について紹介し、現代を生きる人々が昔と比べ自身がダンスを踊ることへの関心が薄れてしまっているという現状を述べた。そして、その一方で現在も多様化と発展を続ける様々なダンスジャンルを紹介し、中でも一際人間離れした動きが特徴であるポップダンスと、ポップダンスが抱える「敷居の高さ」という課題について述べた。2 章では、まず様々なテクノロジーによって人間が新しい身体制御を生み出し続けていることを紹介し、そのテクノロジーの中の 1 つである EMS と呼ばれる技術について、概要と安全な運用方法を解説した。同時に、EMS の活用例として感覚提示を担う研究から身体拡張、トレーニングへの活用など、過去の事例を俯瞰した。3 章では、ElectricalPopping のコンセプトデザインについて紹介し、コンセプトを具現化するためのプロセスとして、ポップダンス熟練者の協力のもと実装にあたり必要となる EMS 適用部位についての検討を行い、具体化のための実験を行った。4 章では、コンセプトの実現ができていることを証明するために行ったシステムの有効性の検証について、その過程と実験結果を示した。また、慶應義塾大学日吉キャンパス協生館で開催された KMD フォーラム 2018 にて出展したデモンストレーションの概要を述べた。最後に、そこで行ったユーザビリティテストを通して得たフィードバックを通じて、ElectricalPopping がダンス文化にもたらす効果について考察を加えた。本研究では、ポップダンスにおいて本来長期間にわたる訓練が必要である基礎テクニック「ポッピン」を、電気的筋肉刺激を用いてアシストするシステムを構築し、誰もが簡単にポップダン

スを踊れるようになるダンスアシストシステムの存在が、これまでポップダンスで挫折を経験した人を始め、ポップダンスに興味を抱いたことがある全ての人にとっての助けとなりうるという立場からコンセプトの提案を行った。実証時間やユーザビリティテストを通して確認できたことは、ElectricalPopping を用いることによって、ポップダンスを踊ることができなかったユーザーが、第三者から見て明らかにポッピンを取り入れたポップダンスを踊っているというレベルに到達できたことである。また、このアシストシステムによる電気刺激自体が、ほとんどの体験者にとって快適なものであったという結果から、ユーザーのポップダンスへのモチベーション自体を増長させることに繋がりうるという付加価値の存在も確認できた。

今後の展望としては、ポップダンスのアシストシステムとして ElectricalPopping では補いきれなかった、ポッピン以外の身体運動を苦手とする人に対しては、本システムがその効力を全く発揮できないという結果を補うべく、まず第一に、より汎用性を考慮した設計を行い、ターゲットユーザーの範囲を拡大することが必要である。本研究における各種実験では ElectricalPoping のメインターゲットの条件である、ポッピンを見習得であるという条件を満たす私が、ターゲットユーザーの代表として ElectricalPopping を使用し、評価を行なった。そのため、初歩的なリズム取りやダンス全般における基礎は身に付いているという前提のもとでしか、効果の検証が行えなかった。よって今後は、これを本当の意味で誰が使ってもポップダンスが踊れるようなアシストシステムとすることを目標とし、ターゲットユーザーに要求される前提条件を減らしていきたい。また、今回 ElectricalPopping では、腕部への刺激のみによるアシストを行ったが、EMS は慎重に扱うことで身体のほとんどの筋肉に適用させることができるため、デバイスの小型化が進み、より多くの部位へのアシストが可能となれば、理論上プロのポップダンサーと全く同等の動きすら、誰もが長時間の練習を経ることなくできるようになる可能性があると言える。ポップダンスは、そのパフォーマンスの特殊性から、他ジャンルのダンサーにとっても敷居が高く思われがちなダンスジャンルである。EMS の技術の発展次第では誰もが簡単にポップダンスが踊れる未来が訪れうるという可能性を示唆することに、本研究が貢献できたのであれば幸いである。

謝　　辞

本研究の指導教員であり、様々な段階で幅広い知見から的確な指導と温かい励ましやご指摘をしていただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の南澤孝太准教授に心より感謝いたします。ご指導をいただくたびに視界が明瞭になり、目的が揺れ動きやすかった私の助けとなりました。
副指導員の慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科の岸 博幸教授に論文執筆に際し研究の方向性について様々な助言や指導をいただきました。副指導員の慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科の石戸 奈々子教授には研究指導や論文執筆など数多くの助言を賜りました。副査を引き受けていただいたお二人に心から感謝いたします。
電気的筋肉刺激を扱う研究を進めるにあたり、数多くのご助言をいただきました早川 裕彦氏、Yamen Saraiji 氏には一方ならぬお世話になりました。
デバイス作成にあたり、制作者である河野通就氏、神山洋一氏、中村開氏、畠山海人氏には、進捗が滞った際に、ハードウェア作成の経験のなかった私に数々のご助言とともに熱心な手ほどきをいただきました。
皆様のおかげで本研究のデザインを行っていくことができました。本当にありがとうございました。
コンセプトデザインから方向性について相談に乗っていただいた EmbodiedMedia ならびにメディアデザイン研究科の修士の皆様に感謝いたします。また実証実験にあたり、お忙しい中アンケートに回答していただけた皆様、ユーザビリティテストに協力していただけた皆様に心から感謝いたします。
本研究にご協力いただいた全ての方に感謝の意を表明したく存じます。この場を借りて皆様に篤く御礼申し上げ、謝辞にかえさせていただきます。

参 考 文 献

[1] 平成 29 年度 スポーツの実施状況等に関する世論調査. スポーツ庁健康スポーツ課. 2018.

[2] 星海舟. 世界のダンス 世界舞踊祭 TOKYO から発信. 不昧堂出版. 2013.

[3] Juste Debout 2019 -LE PLUS GRAND EV ENEMENT DE DANSES HIP HOP AU MONDE-. https://www.juste-debout.com/fr/

[4] Reactor for Awareness in Motion(RAM). https://special.ycam.jp/interlab/projects/ram.html

[5] Malleable Embodiment. https://www.sonycsl.co.jp/tokyo/3969/

[6] Jun Rekimoto. Traxion: A Tactile Interaction Device with Virtual Force Sensation. SIGGRAPH '14 ACM SIGGRAPH 2014 Emerging Technologies Article No. 25. 2014.

[7] Yuki Kon, Takuto Nakamura, Hiroyuki Kajimoto. ハンガー反射の歩行への影響. TVRSJ Vol.22 No.3 pp.335-344. 2017.

[8] Katsuya Fujii, Sophia S Russo, Pattie Maes, Jun Rekimoto. MoveMe:Haptic Support for Learning a Musical Instrument. ACE '15 Proceedings of the 12th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology. No.9. 2015.

[9] Haruto Murata, Youssef Bouzarte, Junichi Kanebako, Kouta Minamizawa. Walk-In Music: Walking Experience with Synchronized Music and Its Effect

of Pseudo-gravity. UIST'17 Adjunct, Oct. 22-25, 2017, Quebec City, Canada. 2017.

[10] Pedro Lopes, Sijing You, Lung-Pan Cheng, Sebastian Marwecki, Patrick Baudisch. Providing Haptics to Walls and Heavy Objects in Virtual Reality by Means of Electrical Muscle Stimulation. CHI '17. pp. 1471-1482. 2017.

[11] Emi Tamaki, Terence Chan, Ken Iwasaki. UnlimitedHand: Input and Output Hand Gestures with Less Calibration Time. UIST '16 Adjunct Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology. pp. 163-165. 2016.

[12] Jun Nishida, Shunichi Kasahara, Kenji Suzuki. Wired Muscle: Generating Faster Kinesthetic Reaction by Inter-personally Connecting Muscles. SIGGRAPH '17 ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies Article No. 26. 2017.

[13] Ayaka Ebisu, Satoshi Hashizume, Kenta Suzuki, Akira Ishii, Mose Sakashita, Yoichi Ochiai. Stimulated Percussions: Method to Control Human for Learning Music by using Electrical Muscle Stimulation. AH2017. No. 33. 2017.

[14] Brian Reed. The Physiology of Neuromuscular Electrical Stimulation. Pediatric Physical Therapy, Vol. 9, No. 3, pp. 96-102, 1997.

[15] Nicola A Maffiuletti. Physiological and Methodological Considerations for the Use of Neuromuscular Electrical Stimulation. European journal of applied physiology, Vol. 110, No. 2, pp. 223-234, 2010.

[16] Lynne R Sheffler and John Chae. Neuromuscular Electrical Stimulation in Neurorehabilitation. Muscle and nerve, Vol. 35, No. 5, pp. 562-590, 2007.

[17] JIS T 0601-2-10:2015：医用電気機器-第 2-10 部：神経及び筋刺激装置の基礎安全及び基本性能に関する個別要求事項. 日本規格協会. 2015.

[18] Michinari Kono. Design and Study of a Multi-Channel Electrical Muscle Stimulation Toolkit for Human Augmentation. AH2018, 2018.

[19] Max Pfeiffer, Tim Duente, and Michael Rohs. Let Your Body Move: A Prototyping Toolkit for Wearable Force Feedback with Electrical Muscle Stimulation. MobileHCI ’16. ACM, New York, NY, USA, 418-427.

[20] Pedro Lopes. openEMSstim: open-hardware module for EMS UIST ’16 SIC. http://plopes.org/ems/

[21] PreSonus Studio One. https://www.mi7.co.jp/products/presonus/studioone/new/

[22] Henry Gray. Anatomy of the Human Body. Lea and Febiger, 1918.

付　　録

A. 2nd プロトタイプを装着して踊った様子の動画

URL : https://youtu.be/TK42f6pzJ6Y

B. 実証実験にて使用した動画

ElectricalPopping を適用しないフレズノ

URL : https://www.youtube.com/watch?v=lAory6at8v4

ElectricalPopping を適用したフレズノ

URL : https://www.youtube.com/watch?v=aOtptx5neg4