

2021年度

筑波大学情報学群情報科学類

卒業研究論文

題目

ハンドジェスチャの記憶性に与える  
電気的筋肉刺激の効果

主専攻 知能情報メディア主専攻

著者 西川 宜利

指導教員 志築 文太郎, 川口 一画, 高橋 伸

## 要 旨

本研究において、我々はユーザの手指へ電氣的筋肉刺激を与えられるグローブ型デバイスを作製した。ユーザの皮膚に取り付けられた電極から電氣刺激を与えることによって、ユーザの筋肉運動を誘発できる。また、このデバイスを用いることにより、発話に合わせて人間の手を用いたジェスチャ（以降、ハンドジェスチャ）を誘発するアプリケーションを作製した。このシステムを用いてハンドジェスチャを学習することによって、記憶性の向上に寄与できると考える。また、手話の学習を補助するだけでなく、手話を知らないユーザがこのシステムを用いることによって、簡単な手話を聴覚障がい者に伝えられると考える。そのため、電氣的筋肉刺激を与えながらハンドジェスチャを学習した場合における記銘のしやすさ（記憶性）の効果についての調査を行った。その結果、本手法を用いてハンドジェスチャを記憶した方が、記憶にかかる時間が長く、思い出す時間が短いことが分かった。しかし、実験参加者が合計4人、各手法において2人のみの参加だったため、個人差の影響も大きいと考えられる。今後はアンケートを元に実験計画を改良し、実験参加者人数を増やす予定である。また、現在作製したデバイスは指の動かせる箇所および動かせる方向に制限がある。そのため、提示できるハンドジェスチャに制限がある。今後は提示できるハンドジェスチャを増やすために、デバイスも改良する予定である。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	背景	1
1.2	目的およびアプローチ	2
1.3	本論文の構成	2
1.4	貢献	2
<b>第2章</b>	<b>関連研究</b>	<b>3</b>
2.1	電氣的筋肉刺激	3
2.2	手の関節および筋肉	4
2.3	機械的グローブ型デバイス	4
2.4	人間の記憶に関する研究, ハンドジェスチャに関する研究および手話学習の既存手法	5
<b>第3章</b>	<b>電氣的筋肉刺激を与えらるグローブ型デバイス</b>	<b>6</b>
3.1	ハードウェア	6
3.2	ソフトウェア	12
3.3	デバイスの安全性	12
3.4	キャブレーション方法	12
3.5	発話に合わせてハンドジェスチャを誘発できるアプリケーション	12
3.5.1	アプリケーションの構成	12
3.5.2	デモンストレーションにおいて得たフィードバックおよび回答	14
<b>第4章</b>	<b>評価実験</b>	<b>15</b>
4.1	実験参加者	15
4.2	実験に用いた装置	15
4.3	実験内容	15
4.3.1	事前アンケート	16
4.3.2	実験手順	16
4.4	収集データ	17
4.5	実験結果	17
4.5.1	記憶したハンドジェスチャのミス数	17
4.5.2	ハンドジェスチャの記憶にかかった時間	19

4.5.3	1 時間後および 1 日後のハンドジェスチャの回答時間 . . . . .	19
4.5.4	SUS によるユーザビリティの評価 . . . . .	19
4.5.5	アンケート . . . . .	19
4.5.6	考察 . . . . .	20
<b>第 5 章</b>	<b>議論および今後の課題</b>	<b>21</b>
5.1	本研究の議論 . . . . .	21
5.2	作製したデバイスの課題 . . . . .	21
5.3	今後の課題 . . . . .	21
<b>第 6 章</b>	<b>結論</b>	<b>23</b>
	<b>謝辞</b>	<b>24</b>
	<b>参考文献</b>	<b>25</b>
	<b>著者論文リスト</b>	<b>28</b>
<b>付録 A</b>	<b>評価実験にて用いた各種書類</b>	<b>29</b>
A.1	評価実験にて用いた事前アンケート . . . . .	30
A.2	評価実験にて用いた本実験のシステムに対するユーザビリティ調査 (SUS) . . . . .	32
A.3	評価実験にて用いた実験の感想アンケート . . . . .	35
<b>付録 B</b>	<b>デモンストレーションにて用いた同意書</b>	<b>36</b>

# 目次

2.1	手指における DIP 関節, PIP 関節, および MP 関節. . . . .	4
3.1	実装した電気刺激回路の全体を示した簡略図. . . . .	7
3.2	電圧調整用回路 (デジタル) . . . . .	7
3.3	チョッパブースト回路. 電源電圧 (3V) を 30~100V まで昇圧する. . . . .	8
3.4	電圧調整用パルスのガルバニック絶縁回路. Arduino Uno 電源の回路および VCC 電源の回路を絶縁する. . . . .	8
3.5	電気刺激パルスのガルバニック絶縁回路. Arduino Uno 電源の回路および VCC 電源の回路を絶縁する. . . . .	9
3.6	電気刺激パルス制御用 UI. 電気刺激パルスのパルス幅, 周波数, 電圧, 出力時間を調整出来る. . . . .	9
3.7	グローブ型デバイスの配線. デバイス内部の配線は点線で表している. . . . .	10
3.8	グローブ型デバイスを装着した様子. . . . .	10
3.9	ASL における 1~10 を表現するハンドジェスチャ. . . . .	13
3.10	ユーザの発話に合わせて手話を出力するアプリケーション. . . . .	13
4.1	本手法を用いた場合のミス数. . . . .	18
4.2	既存手法を用いた場合のミス数. . . . .	18
4.3	ハンドジェスチャの記憶にかかった時間. . . . .	18
4.4	1 時間後の回答時間. . . . .	19
4.5	1 日後の回答時間. . . . .	19

# 第1章 はじめに

本論文ではユーザの手を用いたジェスチャ（以降、ハンドジェスチャ）の学習を補助する電氣的筋肉刺激（以降、EMS：Electrical Muscle Stimulation）を用いたグローブ型デバイスを示す。また、そのデバイスを用いてハンドジェスチャを記憶した際の記憶の記録しやすさ（以降、記憶性）について述べる。本章では、まず背景として、楽器の練習のような身体を動作の伴う学習におけるEMSの有用性、EMSをハンドジェスチャの学習（以降、ハンドジェスチャ学習）に用いる利点、およびハンドジェスチャの既存学習手法について述べる。次に、本研究のアプローチおよび目的を示す。その後、本論文の構成を述べ、最後に本研究の貢献を示す。

## 1.1 背景

ハンドジェスチャは様々な場面において使われている。例えば、コンピュータへの入力[1]、ならびに聴覚障がい者および健聴者の間においてコミュニケーションを取るための手段の1つである手話などに用いられている。これらのハンドジェスチャ学習には本および映像を使用する方法がある[2]。しかし、これらの方法を用いた場合、正しいハンドジェスチャの形および動きを把握することが難しいために、ハンドジェスチャを正しく表現できているかの判断が難しいという問題がある。また、ハンドジェスチャの学習の補助する研究としてハンドジェスチャの一つであるASLをMR環境において学習させる研究がある[3]。我々は、ハンドジェスチャの学習の補助する方法としてEMSに注目した。EMSは、ユーザの皮膚に取り付けられた電極から電気刺激を与えることにより、ユーザに対して筋収縮を誘発できる技術である。また、EMSとは1960年代に医療リハビリテーションとして開発された技術である[4]。近年、EMSは、機械的なアクチュエータと比較してデバイスが小さいため、力覚フィードバックおよび触覚アクチュエーションのための有望な技術として注目されている。また、一般に、人間は指を伸ばしているまたは腕を曲げているなどの体の状態を知覚できるため、EMSによって動かされた体の状態も知覚できる。これを活かすことによってEMSは運動の学習の補助としても役立つことが明らかにされている[5]。そのため、楽器の演奏のような新しい技術の習得[6]、初めて使う道具の操作方法の学習および歩行者の進路方向の誘導などの補助を可能にする研究[7]がある。

そこで、ハンドジェスチャ学習を行う際に動かす指を、EMSを用いて提示することにより、ハンドジェスチャ学習の補助になると考えられる。

## 1.2 目的およびアプローチ

本研究の目的は、EMS を用いてハンドジェスチャ学習の補助し、その際の記憶性について調査することである。そのために、手にEMS を与えて、ハンドジェスチャを提示できるデバイスを作製した。このデバイスはEMS を与え、ハンドジェスチャを提示するために、各指を独立に細かく動かす必要がある。そのために、このデバイスではTakahshi ら [8] の手の甲に電極を貼るという電極配置および、親指の付け根に電極を貼る手法を用いる。この電極の配置を用いることにより、各指を独立に細かく動作させることができる。また、この電極配置を用いることにより、デバイスを取り付ける箇所は、手および手首のみになる。

## 1.3 本論文の構成

1章では、背景、本研究の目的およびアプローチ、本論文の構成、および本研究の貢献を示した。2章では、本研究に関連のある研究について述べ、本研究の位置付けを示す。3章では、本研究のデバイスの構成、ソフトウェア、デバイスの安全性、およびリリース方法について述べる。4章では、本デバイスを用いてハンドジェスチャ学習を補助した場合の記憶性の評価実験、結果および結果に対する議論を述べる。5章では本デバイスを用いたアプリケーション例を示す。6章では本研究における議論および今後の課題を述べる。7章では、本研究の結論を述べる。

## 1.4 貢献

本研究の貢献は以下の通りである。

- EMS により手指の動作を誘発できる、グローブ型デバイスを作製した。
- 本デバイスを用いることにより、ハンドジェスチャを提示できる。
- 本デバイスを用いて、発話に合わせてハンドジェスチャを学習できるアプリケーションを作製した。
- EMS をハンドジェスチャ学習に用いた場合の記憶性に関する調査を行い、その結果、本手法を用いた方が記憶したハンドジェスチャを思い出す時間が短いことが判明した。

## 第2章 関連研究

本研究は主に触覚，特にEMSを用いた研究分野に基づいている．本章ではEMSを用いた研究について述べる．また，手の関節および筋肉，EMSを用いていないグローブ型デバイスの研究および，人間の記憶に関する研究について述べる．また，ハンドジェスチャ学習の研究および手話の既存学習手法について述べる．

### 2.1 電氣的筋肉刺激

EMSは1960年代に医療リハビリテーションとして開発された技術である [4]．EMSは高い抵抗をもつ皮膚の下にある筋肉に電気刺激を与えるため，高い電圧のパルス波形の形をしている．それにより，ユーザの意図しない筋収縮が起こり，腕または指などの動きを誘発できる．近年，EMSは，モータを用いた機械的なデバイスと比較してデバイスの大きさが小さいため，力覚フィードバックおよび触覚アクチュエーションのための有望な技術として注目されている [8, 7, 5, 6, 9]．このため，EMSを用いてVRおよびARにおける力覚フィードバック [10, 11]，および新しい道具の操作方法の習得の補助 [9] などが行われてきた．しかし，これまでの研究では手の前腕部に貼った電極を用いてEMSを与えていた．腕の前腕部は指を伸展させるための筋肉が密集しているため，特定の指のみを動かすといったことが難しかった [12]．そのため，EMSを用いてそれぞれの手指を独立して制御する研究がなされている [12, 8, 13]．Takahashiら [8] はEMSを与える電極を手の甲に貼ることによって，手指の付け根の関節を独立して動かせることを示した．これらにより，細かい手指の制御ができるようになった．また，Watanabeら [14] は指屈筋および指伸筋に対してEMSを与え，指を目的の角度において停止させるために，フィードバック制御を行った．しかし，指を停止させる際に指が振動してしまふという問題があった．Romainら [13] は機械的なストッパとWatanabeらの研究の手法を組み合わせることによって，それぞれの手指の独立性を向上させた．

本研究ではそれぞれの手指を動かすために，EMSを与える電極を手の甲に貼る方法 [8] を用いて，ハンドジェスチャを誘発するグローブ型デバイスを作製した．他の研究のEMSデバイス [13, 6, 9] では前腕部に電極を配置しているのと比較して，本デバイスは手および手首のみに完結している．

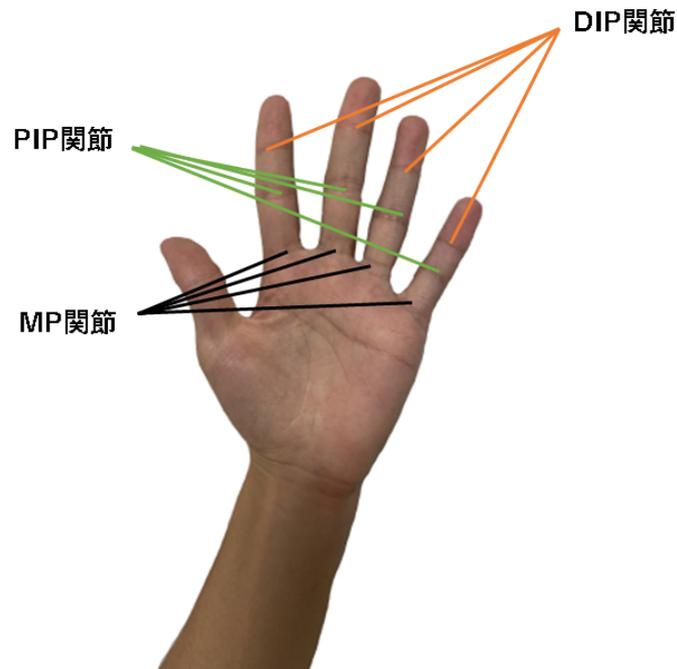


図 2.1: 手指における DIP 関節, PIP 関節, および MP 関節.

## 2.2 手の関節および筋肉

本研究では手指に関する筋肉を EMS によって刺激し, 指を屈曲させている. そのため, 手指の関節の定義および, 本研究において EMS を与えている手の筋肉について述べる. 手指の関節は図 2.1 に示すように指の先から順に DIP 関節, PIP 関節, MP 関節となっている. 本研究は人差し指, 中指, 薬指, および小指の 4 本の指を屈曲させるため, Takahashi らの提案手法である手の甲に電極を貼る方法を用いている. これにより, MP 関節のみが屈曲し, PIP 関節は伸展している. これは指の MP 関節を屈曲させ, DIP 関節および PIP 関節を伸展させる筋肉である虫唾筋および背側骨間筋 [15] の筋肉運動を EMS によって誘発するためである. また, 親指を屈曲させるために親指の付け根に電極を貼りつけている. これは親指を屈曲させる筋肉である母子内転筋, 短母子屈筋, および母子対立筋 [15] の筋肉運動を EMS によって誘発するためである.

## 2.3 機械的グローブ型デバイス

一般にユーザの指を動かして力覚フィードバックを提供する方法として, モータを用いたグローブ型デバイスの研究がなされてきた. モータを用いたグローブ型デバイスはすべての指の MP 関節および PIP 関節にモータを取り付けることによりユーザの指を器用に動かすことを可能にしている. 例えば, Haptic Workstation [16] は完全な機械的な触覚デバイスであ

る。他にも、モータを用いた触覚デバイスとして、Cyber Grasp [17], Exoskeleton [18], および Dexmo [19] などがある。

## 2.4 人間の記憶に関する研究，ハンドジェスチャに関する研究および手話学習の既存手法

人間の記憶に関する研究は昔から行われてきている。例えば、エビングハウスは実験において実験参加者に「子音・母音・子音」から成り立つ無意味な音節を記憶させ、その再生率を調べ、そこから忘却曲線を導いた [20]。忘却曲線では1時間後の忘却率は56%、1日後には74%、さらに1週間後には77%、1カ月後には79%であることを示している。この忘却曲線から1日後以降の忘却率の変化は少ないことが分かる。そのため、本実験では、本手法を用いた場合および既存手法においてハンドジェスチャを記憶した場合の1時間後および1日後の定着度を評価する。また、記憶の定着度に関する研究として、触感覚が言語学習に及ぼす影響を検討している研究がある [21]。他にも、ハンドジェスチャの関連する研究として、記憶の定着度を向上させるジェスチャセットを考案している研究 [1]、ハンドジェスチャの一つである American Sign Language (以降, ASL) を MR 環境において、ハンドジェスチャを1人称視点および、3人称視点で表示することにより、学習を補助する研究 [3]、およびハンドジェスチャ学習において、教師が提示したハンドジェスチャを教示側の筋電情報を元に EMS を用いて生徒側にも同じハンドジェスチャを提示するといった研究 [22] などがある。本研究では EMS を与えながらハンドジェスチャを記憶した場合の記憶性の効果について調査する。また、ハンドジェスチャの一つとして手話がある。手話を独学で学ぶ場合、テレビ番組の映像または、書籍のような2次元の画像を見ながら学習する方法がある [2]。本研究において、手話学習の既存手法は2次元の画像を見ながら学習する方法とする。

## 第3章 電氣的筋肉刺激を与えらるグローブ型デバイス

我々のシステムはグローブ型デバイスに取り付けられた電極からユーザの手にEMS 与えることによって、ユーザの手指の動作を誘発できる。本章において作製したデバイスのハードウェア、ソフトウェア、デバイスの安全性、キャリブレーション方法、および発話に合わせてハンドジェスチャを誘発できるアプリケーションについて述べる。

### 3.1 ハードウェア

デバイスの実装に用いた環境を以下に示す。

- ハードウェア
  - Arduino UNO
  - PC (CPU: Intel Core i7-10750H CPU and NVIDIA GeForce GTX 1650)
- ソフトウェア
  - Arduino IDE 1.8.13
  - Processing 3.5.4
  - Windows11

我々のデバイスには、Konoら [23] が提供しているEMS を与えられる回路（以降、EMS 回路）が用いられている。EMS を人体に与えるためには、Arduino Uno によって制御されたEMS のパラメータが反映されたパルス波（以降、電気刺激制御パルス）を約 30 V–100 V に昇圧する必要がある。また、EMS 回路の電源には 3 V 乾電池を用いている。3 V 乾電池の電圧を昇圧するために、昇圧回路であるチョップブースト回路を用いる。その昇圧回路を制御するために、ソフトウェア（以下、デジタル制御とする）を用いた制御手法を用いる。また、Arduino Uno からの電圧を電源として用いた回路部分から 3V 乾電池を電源として用いた回路部分を絶縁するためにガルバニック絶縁回路を用いる。また、ガルバニック絶縁回路を用いることにより、出力されるEMS のGND は分離される。これらの役割をまとめた電気刺激回路の全体簡略図を図 3.1 に示す。また、回路を主な役割ごとに分けて説明する。

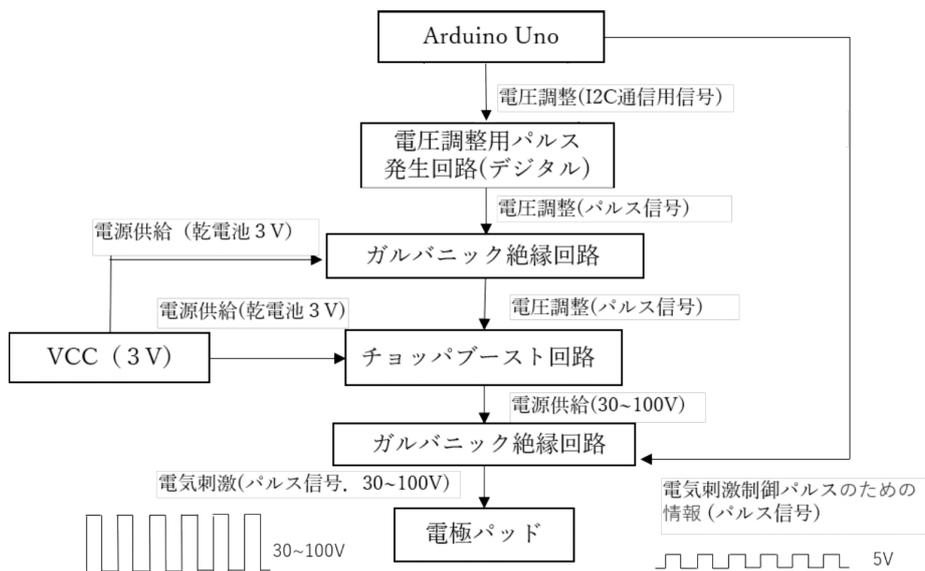


図 3.1: 実装した電気刺激回路の全体を示した簡略図.

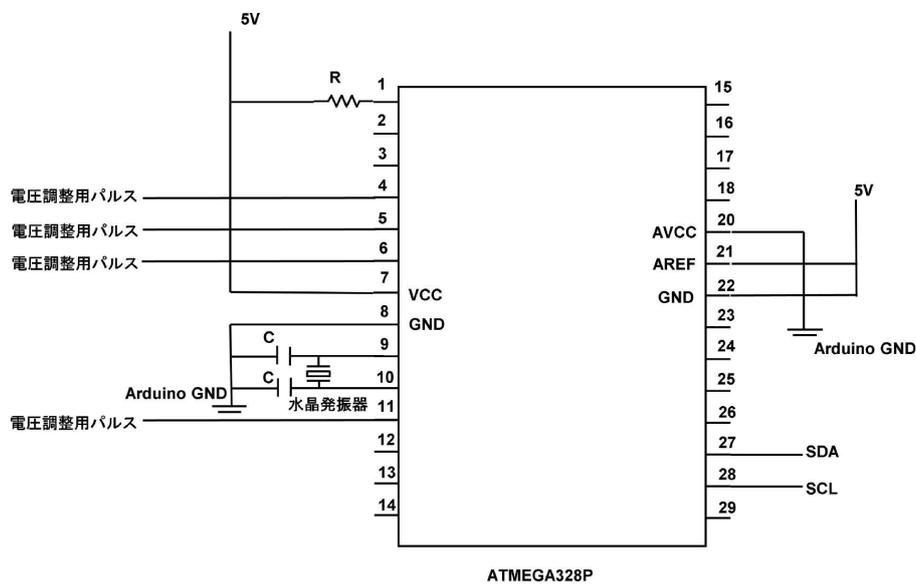


図 3.2: 電圧調整用回路 (デジタル)

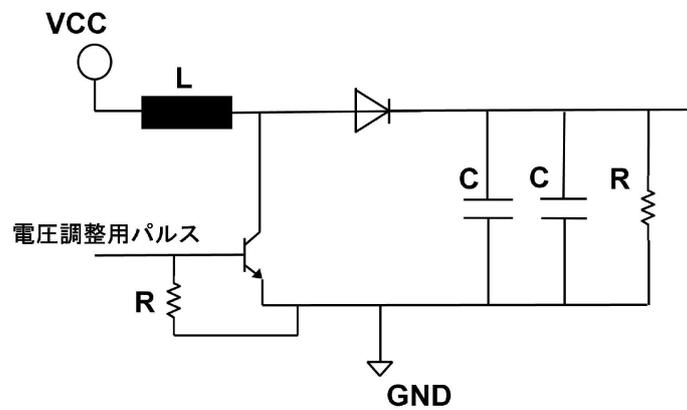


図 3.3: チョップブースト回路. 電源電圧 (3V) を 30~100V まで昇圧する.

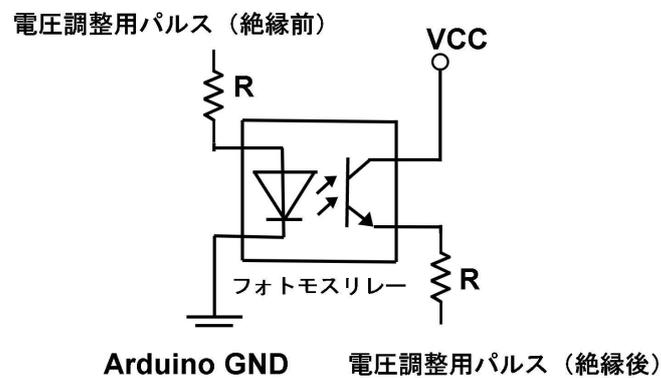


図 3.4: 電圧調整用パルスのガルバニック絶縁回路. Arduino Uno 電源の回路および VCC 電源の回路を絶縁する.

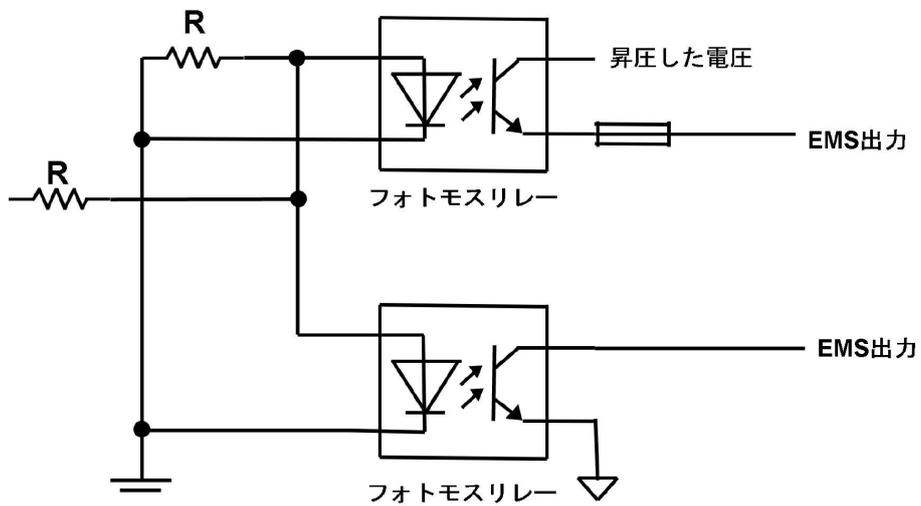


図 3.5: 電気刺激パルスのガルバニック絶縁回路. Arduino Uno 電源の回路および VCC 電源の回路を絶縁する.



図 3.6: 電気刺激パルス制御用 UI. 電気刺激パルスのパルス幅, 周波数, 電圧, 出力時間を調整出来る.

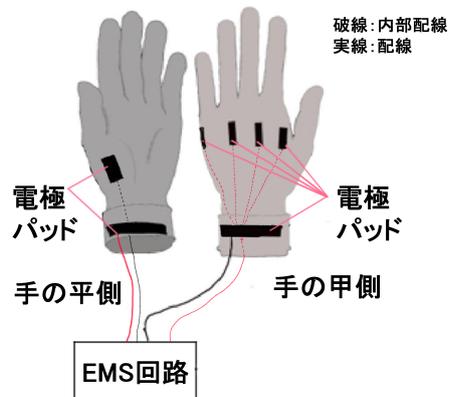


図 3.7: グローブ型デバイスの配線. デバイス内部の配線は点線で表している.

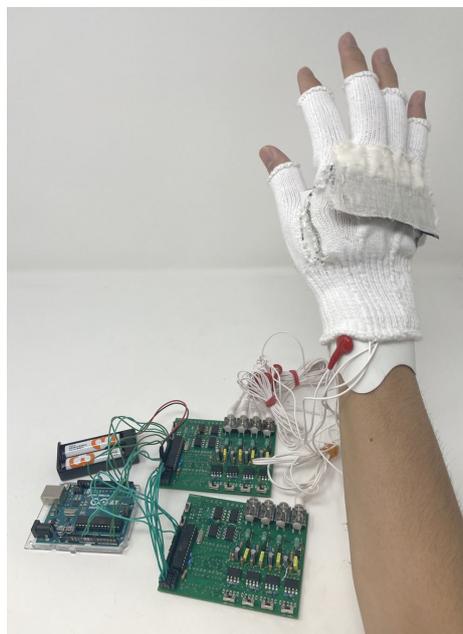


図 3.8: グローブ型デバイスを装着した様子.

- 電圧調整用パルス幅発生回路（デジタル制御）

作成した電圧調整用パルス幅発生回路（デジタル制御）を図 3.2 に示す。今回作成した電気刺激回路はマイクロコンピュータである ATMEGA328 を回路上にも配置しており、Arduino UNO をマスタ、回路上の ATMEGA328 をスレーブとして I2C 通信と呼ばれるシリアル通信手法の一つを用いた通信を行っている。スレーブ側からは PC 上で操作したパルス幅のパルス信号を出力することが出来る。出力パルスは図 3.3 に示すチョップブースト回路の入力信号である。

- チョップブースト回路

作成したチョップブースト回路を図 3.3 に示す。この回路では直列に繋げた 2 本の単三乾電池（3V）を電源（VCC）としている。この電源の電圧を昇圧している。また、昇圧された電圧は図 3.3 にある BV1 の端子から出力される。電圧を昇圧する際、昇圧する電圧量を制御するために、PULSE\_V\_1 より入力されたパルス信号の幅を用いる。電圧は約 30~100V まで昇圧される。

- ガルバニック絶縁回路

作成したガルバニック絶縁部分の回路を図 3.4 および図 3.5 に示す。ガルバニック絶縁回路は追実装した回路にて 2 種類存在する。1 つ目は、電圧調整用パルス（図 3.2 に示す回路から出力されたパルス）を Arduino Uno の電源から絶縁するための回路（図 3.4）であり、2 つ目は Arduino から出力された電気刺激制御パルスを Arduino Uno の電源から絶縁する回路（図 3.5）である。また、ガルバニック絶縁回路により、1 つの EMS に対して、GND が分かれて存在する。そのため、与えたい箇所に他の GND を気にせず EMS を与えることが可能である。

これらの回路は絶縁するためにフォトモスリレーを用いる。図 3.5 に示す回路は、チョップブースト回路によって昇圧した電圧を電源として用いている。また、Arduino Uno から出力された電気刺激制御パルスを入力信号として用いている。これにより、チョップブースト回路から出力された電源の電圧と同じ電圧にまで電気刺激制御パルスを昇圧することができる。その後、昇圧した電気刺激制御パルス（i.e.EMS）を電極パッドから出力する。

次に、本デバイスを装着した様子を図 3.8 に示す。また、グローブの内部配線を図 3.7 に示す。図 3.7 に示すようにグローブの内部には EMS を与えるための配線が縫い付けられており、手の甲側の 4 つの配線は虫様筋および背側骨間筋の上部に固定され、手のひら側の 1 つの配線は母指内転筋、短母指屈筋、および母指対立筋の上部付近に固定されている。装着時にはこの配線の先に湿式の電極パッド（HV-LLPAD, オムロンヘルスケア株式会社）[24] を取り付け、その後、ユーザの手の甲および親指の付け根に電極パッドを貼り付ける。電極パッドのつけ外しはグローブに取り付けられたマジックテープを用いて行える。また、電極パッドは湿式のため、定期的に交換または水洗いをする必要がある。

## 3.2 ソフトウェア

出力される電気刺激パルスを制御するために、Kono ら [23] が提供している図 3.6 に示すソフトウェアを使用した。このソフトウェアは、Processing を用いて作られている。ユーザは、図 3.6 に示す UI を用いて電気刺激パルスのパルス幅、周波数、電圧、出力時間を調整することができる。また、複数の EMS を出力する際、各 EMS の出力するタイミングをずらすことにより、同時に EMS が流れないようにしている。

## 3.3 デバイスの安全性

今回用いている EMS 回路の電源には、アルカリ乾電池 2 本を使用している。家庭用電源ではなく乾電池を用いることによって、供給される電流の量を制限し、安全性を確保するためである。さらに、出力部にはヒューズを用いており、出力される電流の量を制限している。

## 3.4 キャブレレーション方法

我々は、作製したグローブ型デバイスを安全に使うために、キャリブレーションを行う。キャリブレーション手順では、本デバイスが出力できる最大電圧である 100V を 10 分割し、電圧を小さい順に 1 段階ずつ上昇させる。これを EMS によって指の屈曲が必要十分になるまで行う。指がうまく屈曲しない場合は電極の位置をずらして調整する。この作業を片手の 5 本指全てを行う。また、EMS の他のパラメータである周波数、パルス幅、および時間はそれぞれ、周波数 70Hz、パルス幅 300  $\mu$ m、時間 1000ms とした。

## 3.5 発話に合わせてハンドジェスチャを誘発できるアプリケーション

今回作製したグローブ型デバイスを用いて音声認識と組み合わせることにより発話に合わせて手話を出力するアプリケーションを作製した。本節では作製したアプリケーションの構成および作製したアプリケーションをデモンストレーションにおいて用いた際の参加者のフィードバックを述べる。

### 3.5.1 アプリケーションの構成

我々は作製したデバイスを用いてハンドジェスチャを学習する応用例として、ASL における 1~10 のハンドジェスチャ (図 3.9) を学習および対話に活用できるシステムを作製した。このシステムは、ユーザの発話に合わせてハンドジェスチャを誘発する EMS をユーザの手指に与える。例えば、ユーザは GUI に表示されている数字読み上げることによって、デバイスを通して、ユーザに EMS が与えられる (図 3.10)。なお、音声認識には、Python の音声認識ライブラリである Speech Recognition [25] を用いた。

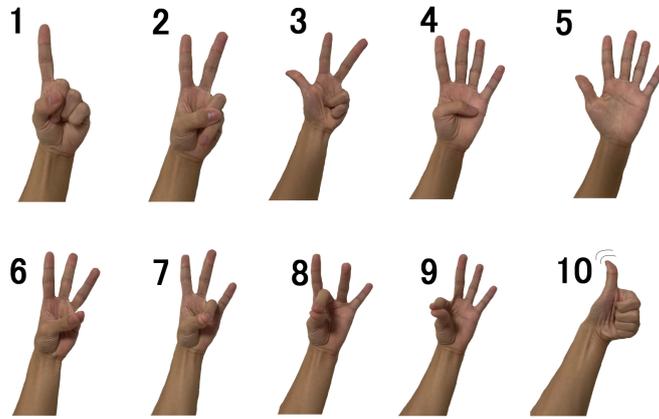


図 3.9: ASL における 1~10 を表現するハンドジェスチャ.



図 3.10: ユーザの発話に合わせて手話を出力するアプリケーション.

我々は本システムをハンドジェスチャ学習，および実際の会話において用いることを想定している．例えば，記憶が難しいハンドジェスチャを学習する際に，このシステムを用いてハンドジェスチャを誘発しながら学習することによって，ジェスチャの記憶性の向上に寄与できると考えられる．他にも，聴覚障がい者との会話において，ユーザは本システムを用いることによって，発話した内容に対応する手話が誘発されるため，手話を知らない人でも簡単な手話を伝えられると考えられる．

### 3.5.2 デモンストレーションにおいて得たフィードバックおよび回答

第29回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップにおいて作製したアプリケーションのデモンストレーション発表を行った．なお，本デバイスのデモンストレーションの参加希望者にはデモンストレーション参加同意書（付録B）に署名してもらった．デモンストレーションにおいてデバイスを使用した参加者および使用している様子を見た参加者から以下のようなフィードバックを得られた．

1. 既存研究にも同じように指を動かすものがあるが，違いはどこなのか？
2. 現在は湿式電極を用いているが，乾式電極ではどうなのか？
3. 実際に指が動くにより，体に強制的に覚えさせている感じがあり，学習に効果がありそう．
4. 指がななめに方向に折れ曲がるが，他の動きはできるのか？
5. 今ない（デモンストレーションで行っていない）ハンドジェスチャもすぐに対応できるのか？

1のコメントには，既存研究の電極位置に加えて，親指の付け根に電極を貼り，五本全ての指を動作させることが可能な点および，EMSを用いて，ハンドジェスチャを記憶した際に，記憶性における効果を調査することが本研究における貢献だと回答した．2のコメントには乾式電極では人間の肌のとの密着度が下がり，湿式電極を用いた場合に比べて抵抗が高くなってしまったため，うまくEMSを与えることが出来なかったと回答した．4のコメントには，指の動く方向はMP関節の屈曲方向のみであり，個人差によりななめに動くことはあるが，伸展することはないと回答した．5のコメントには，現在行える．MP関節の屈曲のみで対応できるハンドジェスチャならば可能であると回答した．

## 第4章 評価実験

ハンドジェスチャ学習における EMS を用いた場合の記憶性の効果について既存の学習手法との比較を行うため、評価実験を行った。実験におけるハンドジェスチャ学習方法は、2次元画像のみを見ることにより学習する場合および、2次元画像を見ることに加えて EMS を与えながら学習した場合を比較する。

### 4.1 実験参加者

実験参加者は、研究室内の男性の学生 4 名であった。また、実験参加者は全員右利きであり、手話の経験はなかった。

### 4.2 実験に用いた装置

デバイスの実装に用いた環境を以下に示す。

- ハードウェア
  - Arduino UNO
  - EMS を与えるグローブ型デバイス
- ソフトウェア
  - Arduino IDE 1.8.13
  - Python
  - Windows11 (CPU: Intel Core i7-10750H CPU and NVIDIA GeForce GTX 1650)

### 4.3 実験内容

実験は参加者が椅子に座った状態において行われ、本実験は全体で 2 日間、合計 1 時間程度であった。

### 4.3.1 事前アンケート

実験参加者は事前アンケートにおいて、年齢、性別、利き手、および市販の EMS 機器の使用経験についてのアンケートに回答した。

### 4.3.2 実験手順

ハンドジェスチャ学習における EMS を用いた場合の記憶性の効果について既存の学習手法との比較を行うために、実験参加者にはハンドジェスチャを記憶してもらう。実験に用いるハンドジェスチャとして、American Sign Language（以降、ASL）における 1-10 のハンドジェスチャを選択した（図 3.9）。これは、今回作成した EMS 回路によって提示可能な指の付け根の関節を使ったジェスチャが多いという特徴がある。また、記憶する際にハンドジェスチャに注目してもらうため、1-10 のハンドジェスチャを形と連想しにくい記号と組み合わせた。例えば、1 のハンドジェスチャを○とした。ASL を記憶する方法としては既存の学習手法である 2 次元画像によって ASL を確認し学習した場合および、2 次元画像を見ることに加えて EMS を与えながら学習した場合を比較する。評価方法としては、まずはじめに、実験後、実験参加者に記憶したジェスチャを提示してもらい記録する。その後、1 時間、および 1 日経過させ、記憶したジェスチャを提示してもらい記録する。以下に具体的な流れを述べる。

1. 事前アンケートを実施する：年齢、性別、利き手、市販の EMS 機器の使用経験について確認する。
2. 研究概要の説明と同意の確認を行う：研究の目的、内容、プライバシー擁護、倫理的配慮について書面による説明を行い、説明事項に対する質疑があれば口頭で説明を行う。
3. 1 日目の実験タスクの説明する：1 日目の実験のタスクと手順の詳細について説明を行う。
4. ハンドジェスチャの記憶を行う：実験参加者は既存手法または本手法を用いてハンドジェスチャを記憶する。
5. ハンドジェスチャの確認する：実験参加者は記憶したハンドジェスチャを実験実施者に提示する。
6. 1 時間経過させる：既存手法および本手法の記憶の定着度を比較評価するため、1 時間経過させる。
7. ハンドジェスチャの確認する：記憶の定着度を評価するため、実験参加者は記憶したハンドジェスチャを実験実施者に提示する。
8. 1 日経過：既存手法および本手法の記憶の定着度を比較評価するため、1 日経過させる。
9. 2 日目の実験のタスクの説明：2 日目の実験のタスクと手順の詳細について説明を行う。

10. ハンドジェスチャの確認する：記憶の定着度を評価するため、実験参加者は記憶したハンドジェスチャを実験実施者に提示する。
11. アンケートを行う：実験後のアンケートとして、ユーザビリティに調査と実験の感想を行った。

## 4.4 収集データ

実験において以下のデータを収集した。

- ハンドジェスチャ学習にかかった時間
- 1時間後および1日後におけるハンドジェスチャ確認時のミス数
- 1時間後および1日後におけるハンドジェスチャ確認時の回答時間
- 事前アンケート (付録 A.1)
- System Usability Scale (以降, SUS とする. 付録 A.2) [26]
- 実験後アンケート (付録 A.3)

## 4.5 実験結果

実験により明らかになったそれぞれの手法のミス数, ハンドジェスチャの記憶にかかった時間, 正答にかかった時間, および SUS スコアを示し, またそれらの分析結果を述べる. 統計解析として, それぞれの手法の正答数, ジェスチャ学習にかかった時間, 正答にかかった時間, および SUS スコアについてそれぞれの平均および標準偏差を求めた. また, 実験後アンケートで取得した実験の感想も述べる.

### 4.5.1 記憶したハンドジェスチャのミス数

実験において記憶したハンドジェスチャを記憶した瞬間, 1時間後および, 1日後に確認した. また, その際のハンドジェスチャのミス数を本手法および, 既存手法に分けて図 4.1 および図 4.2 に示す.

この図から, 本手法および既存手法を用いた場合のミス数は少ないことがわかる. これは実験に用いたハンドジェスチャが記憶することが容易な数および形状であるため, ミス数において本手法および既存手法において差が生まれなかったと考えられる.

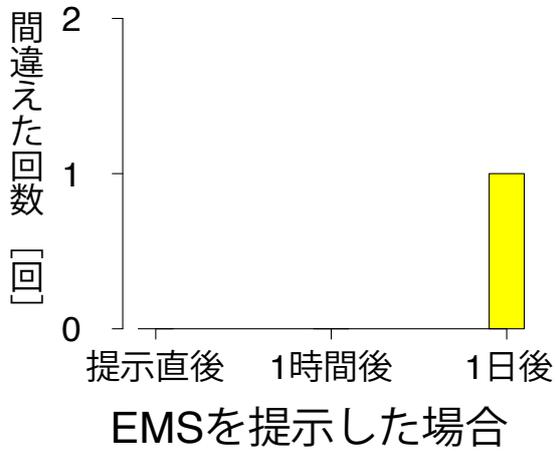


図 4.1: 本手法を用いた場合のミス数.

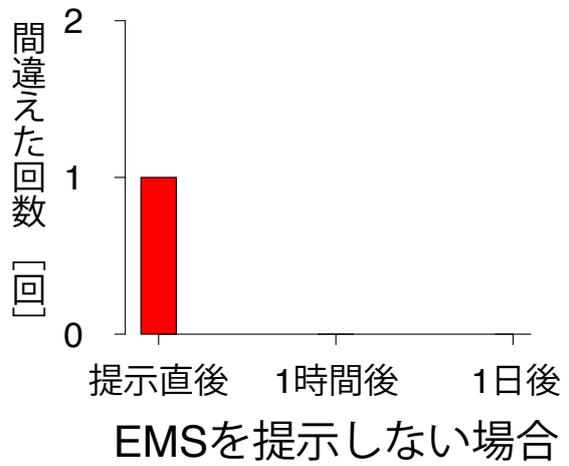


図 4.2: 既存手法を用いた場合のミス数.

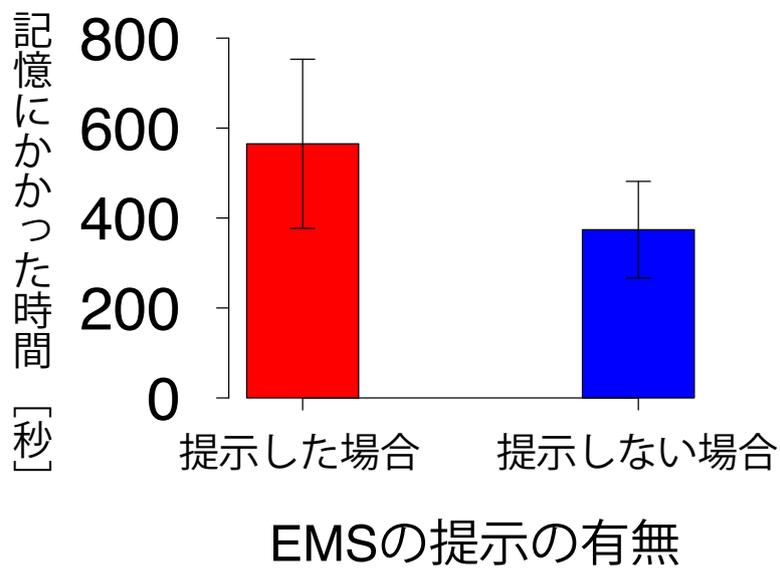


図 4.3: ハンドジェスチャの記憶にかかった時間.

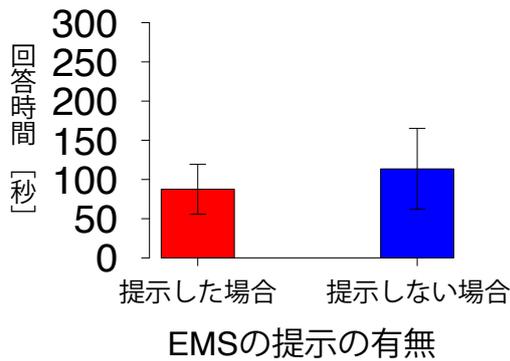


図 4.4: 1 時間後の回答時間.

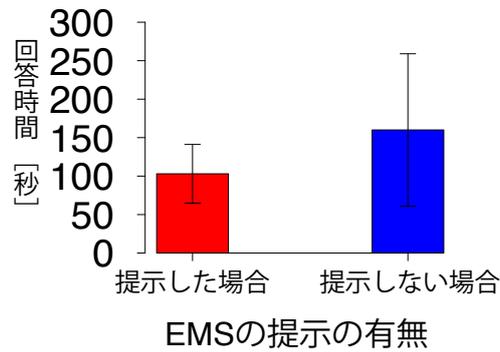


図 4.5: 1 日後の回答時間.

#### 4.5.2 ハンドジェスチャの記憶にかかった時間

実験において計測した記憶にかかった時間を図 4.3 に示す。図 4.3 より本手法を用いた方が記憶にかかる時間が長いことが分かる。これは、本手法を用いた方が、既存手法に比べて、操作量が多いためだと考えられる。

#### 4.5.3 1 時間後および 1 日後のハンドジェスチャの回答時間

実験において 1 時間後および 1 日後のハンドジェスチャの回答にかかった時間を図 4.4 および図 4.5 に示す。

図 4.4 および図 4.5 より、本手法を用いてハンドジェスチャを記憶した方が、回答時間が短いことがわかる。また、本手法および既存手法において、1 時間後の方が、1 日後より回答時間が短いことが分かる。

#### 4.5.4 SUS によるユーザビリティの評価

実験後、SUS によるシステムのユーザビリティ評価を行った。その結果、4 人分のスコアは、本手法の 2 人が、80, 30, 既存手法の 2 人が、75, 67.5 であり、それぞれの平均 55 および 71.25, ならびに標準偏差が 35.4 および 5.3 だった。このことから既存手法を用いた方がユーザビリティが高いことが分かる。しかし、本手法の標準偏差は 35.4 と高く、母数も 2 つであることから個人差の影響が大きいと考えられる。

#### 4.5.5 アンケート

アンケートにおいて実験参加者はハンドジェスチャを記憶する際、本手法を用いた場合は EMS を感じたときに意図的に動かす、記憶した。また、EMS とともにマークを口に出しながら

ら記憶したなどと答えた。既存手法の場合は関連する記号の連続またはセットを記憶するために活用したと回答した。

実験の感想としては、人差し指のみといった単純なハンドジェスチャは覚えやすかったというコメントおよび、もう少し記憶するハンドジェスチャは難しい方がよいと感じたといったコメントがあった。また、本手法を用いてハンドジェスチャを学習した実験参加者は単語の暗記とかは苦手な部類だが今回成績がよかったので、電気刺激がある方が定着につながるかもしれないと思ったというコメントもあった。

#### 4.5.6 考察

今回の実験において、図 4.4 および図 4.5 より、本手法を用いてハンドジェスチャを記憶した方が、回答時間が短いことがわかる。しかし、実験参加人数が少ない、および標準偏差が大きいことより、個人差による可能性も考えられる。またアンケートより、ハンドジェスチャが覚えやすかったというコメントがあった。現在は実験において記憶するハンドジェスチャの数が 10 個である。この数を増やすことにより、記憶の難易度を上昇させられると考えられる。

理由としては既存手法に比べて、EMS を与える段階が多いため、記憶するのに時間がかかると考えられる。また、本手法は既存手法に比べて標準偏差が大きい。これは各実験参加者において本デバイスの慣れに個人差があることが原因であると考えられる。

## 第5章 議論および今後の課題

本章にて、本研究における議論、作製したデバイスの課題、および今後の課題を述べる。

### 5.1 本研究の議論

本研究においてEMSを与えられるグローブ型デバイスを用いてハンドジェスチャを記憶した際の効果について調査した。結果として、本手法を用いた方がハンドジェスチャを提示する時間が短いことが分かった。しかし、実験参加者人数が4人であり、各手法の人数は2人ずつであることに加えて、標準偏差が大きいこと、個人差の影響が大きいと考えられる。また、本手法を用いた場合SUSスコアは既存手法と比べて低かった。しかし、本手法のSUSスコアは標準偏差が極めて大きいことから個人差の影響が大きいと考えられる。また、実験において、ハンドジェスチャを記憶する際、簡単な操作方法のみ教えて、それ以外の記憶方法としては自由とした。それにより、操作方法の習熟に差が生まれ、SUSスコアの標準偏差が大きくなった原因のひとつだと考えられる。

### 5.2 作製したデバイスの課題

本研究において、我々はEMSを与えられるグローブ型デバイスを作製した。作製したグローブ型デバイスは指のMP関節の屈曲動作しか出来ないという問題がある。これは手の甲にEMSを与えるための電極を貼っているためである。これを解決する方法として、前腕部に電極を貼る手法と組み合わせることが考えられる。しかし、この手法は指を動かす筋肉が前腕部に集中しているため、個人差が大きいことが知られている [12]。そのため、現在のグローブの利点の一つである、取り付けのしやすさが損なわれてしまう可能性がある。他の方法として、Romainら [13]はEMSと機械的なストッパを組み合わせることで器用さを向上させている研究がある。これを参考にMP関節の屈曲はEMSを用いて行い、指の伸展動作を機械を用いて行うことにより、さらに複雑な指の動作が可能だと考えられる。

### 5.3 今後の課題

今後の課題としては、デバイスの改良および実験人数を増やすことを考えている。また、今回実験において取得したアンケートを参考に実験計画を改良することを考えている。また、デバイスの取り付けは現在実験実施者が行っているが、実験参加者に行ってもらおうことを考え

ている。そして、その際の取り付け時間も含むキャリブレーション時間も測定することを考えている。

## 第6章 結論

本研究においてEMSを与えられるグローブ型デバイス作製した。またそのデバイスを用いてハンドジェスチャを記憶した際の効果について調査した。結果としては本手法を用いた場合、ハンドジェスチャを思い出す時間が短いことわかる。しかし、実験人数が少なく、標準偏差が大きいことから、個人差の影響が大きいことがわかる。今後はアンケートを元に実験計画を改良し、実験参加者の人数を増やすことを検討している。また、現在用いているデバイスはEMSによって、動かすことのできる指の動きはMP関節の屈曲のみである。そのため、電極の貼る位置を増やす、またはモータなどと組み合わせることにより指の動かせる範囲を増やすことを考えている。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、志築文太郎先生、高橋伸先生、川口一画先生には多大なご意見とご指導を頂きました。心から感謝いたします。特に、志築文太郎先生には、研究の進め方、論文執筆をはじめとした研究の基礎をご指導いただきました。さらに、研究の相談や研究生生活に関して多くのご助言を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。インタラクティブプログラミング研究室の同輩、先輩方には研究生生活においてお世話になりました。また、WAVEチームの皆様にはチームゼミにおけるご意見や論文の添削といった研究に関する多くの支援だけでなく、研究室においても多くのご助言を頂きました。深く感謝いたします。特に、日高拓真氏には研究方針や論文執筆など本研究における重要な部分において多くのアドバイスを頂き大変お世話になりました。多大なご協力に心からお礼申し上げます。最後に、学生生活においてお世話になった皆様、そして、私の学生生活を支えて頂いた家族に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] Yuta Takayama, Yuu Ichikawa, Buntarou Shizuki, Ikkaku Kawaguchi, and Shin Takahashi. A User-Based Mid-Air Hand Gesture Set for Spreadsheets. In Asian CHI Symposium 2021, pp. 122–128, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [2] 社会福祉法人聴力障害者情報文化センター 手話を学びたい人々へ. <http://www.jyoubun-center.or.jp/slit/howto/>. 最終参照日：2021年1月31日.
- [3] Qijia Shao, Amy Sniffen, Julien Blanchet, Megan E. Hillis, Xinyu Shi, Themistoklis K. Haris, Jason Liu, Jason Lamberton, Melissa Malzkuhn, Lorna C. Quandt, James Mahoney, David J. M. Kraemer, Xia Zhou, and Devin Balkcom. Teaching American Sign Language in Mixed Reality. In Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, pp. 152:1–157:27, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [4] Miland E. Knapp. Practical Physical Medicine and Rehabilitation. Postgraduate Medicine, Vol. 41, pp. A–113–A–116, 1967.
- [5] Pedro Lopes, Alexandra Ion, Willi Mueller, Daniel Hoffmann, Patrik Jonell, and Patrick Baudisch. Proprioceptive Interaction. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15, pp. 939–948, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [6] Ayaka Ebisu, Satoshi Hashizume, Kenta Suzuki, Akira Ishii, Mose Sakashita, and Yoichi Ochiai. Stimulated Percussions: Techniques for Controlling Human as Percussive Musical Instrument by Using Electrical Muscle Stimulation. In SIGGRAPH ASIA 2016 Posters, SA '16, pp. 37:1–37:2, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [7] Max Pfeiffer, Tim Dunte, Stefan Schneegass, Florian Alt, and Michael Rohs. Cruise Control for Pedestrians: Controlling Walking Direction Using Electrical Muscle Stimulation. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15, pp. 2505–2514, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [8] Akifumi Takahashi, Jas Brooks, Hiroyuki Kajimoto, and Pedro Lopes. Increasing Electrical Muscle Stimulation’s Dexterity by Means of Back of the Hand Actuation. In Proceedings

- of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '21, pp. 216:1–216:12, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [9] Pedro Lopes, Patrik Jonell, and Patrick Baudisch. Affordance++: Allowing Objects to Communicate Dynamic Use. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15, pp. 2515–2524, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [10] Pedro Lopes, Sijing You, Lung-Pan Cheng, Sebastian Marwecki, and Patrick Baudisch. Providing Haptics to Walls & Heavy Objects in Virtual Reality by Means of Electrical Muscle Stimulation. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '17, pp. 1471–1482, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [11] Pedro Lopes, Sijing You, Alexandra Ion, and Patrick Baudisch. Adding Force Feedback to Mixed Reality Experiences and Games Using Electrical Muscle Stimulation. In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '18, pp. 1–13, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [12] Emi Tamaki, Takashi Miyaki, and Jun Rekimoto. PossessedHand: Techniques for Controlling Human Hands Using Electrical Muscles Stimuli. In Proceedings of the 2011 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '11, pp. 543–552, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery.
- [13] Romain Nith, Shan-Yuan Teng, Pengyu Li, Yujie Tao, and Pedro Lopes. DextrEMS: Increasing Dexterity in Electrical Muscle Stimulation by Combining it with Brakes. In Proceedings of the 34rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [14] Kyosuke Watanabe, Makoto Oka, and Hirohiko Mori. Feedback Control to Target Joints Angle in Middle Finger PIP and MP Joint Using Functional Electrical Stimulation. In Human Interface and the Management of Information. Information in Intelligent Systems, pp. 440–454, Cham, 2019. Springer International Publishing.
- [15] 小田隆. 手の筋肉図. <http://www.studio-corvo.com/contents/gallery/illustrations/手の筋肉図スライド.pdf>. 最終参照日：2021年1月31日.
- [16] Haptic Workstation. CyberGlove Systems LLC. <http://www.cyberglovesystems.com/haptic-workstation>. 最終参照日：2021年1月31日.
- [17] CyberGrasp. CyberGlove Systems LLC. <http://www.cyberglovesystems.com/cybergasp>. 最終参照日：2021年1月31日.

- [18] Oscar Sandoval-Gonzalez, Juan Jacinto-Villegas, Ignacio Herrera-Aguilar, Otniel Portillo-Rodriguez, Paolo Tripicchio, Miguel Hernandez-Ramos, Agustín Flores-Cuautle, and Carlo Avizzano. Design and Development of a Hand Exoskeleton Robot for Active and Passive Rehabilitation. International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 13, pp. 13:1–13:66, 2016.
- [19] CyberGrasp. Dexta Robotics - Touch the Untouchable. <https://origin.dextarobotics.com/en-us/>. 最終参照日：2021年1月31日.
- [20] Hermann Ebbinghaus. Memory: A contribution to experimental psychology. Oxford, England: Dover, 1885.
- [21] 裕也丸山, 実中沢. 触感覚が言語学習に及ぼす影響についての検討・評価. pp. 1–4. 研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS) , 2015.
- [22] Kaida Chen, Bin Zhang, and Dingguo Zhang. Master-Slave Gesture Learning System Based on Functional Electrical Stimulation. In Intelligent Robotics and Applications, ICIRA '14, pp. 214–223, Cham, 2014. Springer International Publishing.
- [23] Michinari Kono, Yoshio Ishiguro, Takashi Miyaki, and Jun Rekimoto. Design and Study Of a Multi-Channel Electrical Muscle Stimulation Toolkit for Human Augmentation. In Proceedings of the 9th Augmented Human International Conference, AH '18, pp. 11:1–11:8, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [24] オムロンヘルスケア株式会社. 低周波治療器 エレパルス用 ロングライフパッド hv-llpad. [https://store.healthcare.omron.co.jp/item/HV\\_LLPAD.html](https://store.healthcare.omron.co.jp/item/HV_LLPAD.html). 最終参照日：2021年1月31日.
- [25] Anthony Zhang. Speech Recognition(version 3.8). <https://pypi.org/project/SpeechRecognition/>, 2017. 最終参照日：2021年1月31日.
- [26] John Brooke. SUS: A Quick and Dirty Usability Scale, pp. 189–194. Taylor and Francis, London, 1996.

# 著者論文リスト

## 参考論文

本論文の主な内容は、下記にて公表済みである。

- 公表済み論文
  1. 西川宜利, 日高拓真, 志築文太郎. ハンドジェスチャ学習のための電氣的筋肉刺激を与えるグローブ型デバイスの試作. 第 29 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, 2021, 2 pages

## 付録A 評価実験にて用いた各種書類

本付録にて，評価実験に関する各種書類を示す。

## A.1 評価実験にて用いた事前アンケート

2022/01/18 13:35

実験事前アンケート

### 実験事前アンケート

 nishikawa@iplab.cs.tsukuba.ac.jp (共有なし) [アカウントを切り替える](#)



名前を入力してください

回答を入力

当てはまる年齢を教えてください (例: 22歳)

回答を入力

当てはまる性別を教えてください

男

女

当てはまる利き手を教えてください

右

左

今まで市販のEMS機器の使用経験をお答えください (例: 腹筋padをつかったことがある)

回答を入力



[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScLncO9-qhtoH\\_5G-6398\\_AW-dnzuF-C0eafjthonTwdWanLQ/viewform](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScLncO9-qhtoH_5G-6398_AW-dnzuF-C0eafjthonTwdWanLQ/viewform)

1/2

2022/01/18 13:35

実験事前アンケート

手話の経験があるか

- はい
- いいえ

送信

[フォームをクリア](#)

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング  
研究室 内部で作成されました。 [不正行為の報告](#)

Google フォーム



[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScLncO9-qhtoH\\_5G-6398\\_AW-dnzuF-C0eafijhonTwdWanLQ/viewform](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScLncO9-qhtoH_5G-6398_AW-dnzuF-C0eafijhonTwdWanLQ/viewform)

2/2

## A.2 評価実験にて用いた本実験のシステムに対するユーザビリティ調査 (SUS)

2022/01/18 13:08

本実験のシステムに対するユーザビリティ調査 (SUS)

### 本実験のシステムに対するユーザビリティ調査 (SUS)

 nishikawa@iplab.cs.tsukuba.ac.jp (共有なし) [アカウントを切り替える](#)



名前

回答を入力

このシステムをしばしば使いたいと思う \*

1      2      3      4      5  
           

このシステムは不必要なほど複雑であると感じた \*

1      2      3      4      5  
           

このシステムは容易に使えと思った \*

1      2      3      4      5  
           



[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdmS0drJY4daPsmg8qys5JhdD27gZFVezO31al7ETA\\_rdp2dw/viewform](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdmS0drJY4daPsmg8qys5JhdD27gZFVezO31al7ETA_rdp2dw/viewform)

1/3

このシステムを使うのに技術専門家のサポートが必要とするかもしれない \*

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

このシステムにあるさまざまな機能がよくまとまっていると感じた \*

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

このシステムでは、一貫性のないところが多くあったとおもった \*

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

たいていのユーザは、このシステムの仕様方法について、素早く学べるだろう \*

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

このシステムはとても扱いにくいと思った \*

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				



このシステムを使うのに自信があると感じた \*

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

このシステムを使い始める前に多くのことを学ぶ必要があった \*

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

送信

[フォームをクリア](#)

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング研究室 内部で作成されました。 [不正行為の報告](#)

Google フォーム



## A.3 評価実験にて用いた実験の感想アンケート

2022/01/18 13:41

実験の感想

実験の感想

 nishikawa@iplab.cs.tsukuba.ac.jp (共有なし) [アカウントを切り替える](#)



名前を記述してください

回答を入力

記憶するにあたって気をつけたことを答えてください

回答を入力

実験の感想を記述してください

回答を入力

送信

[フォームをクリア](#)

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング研究室 内部で作成されました。 [不正行為の報告](#)

Google フォーム



[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSekbyxqI9Me\\_D-SLCTzOmaLTS10hpxsRnUg5J81sgG0-NW8dA/viewform](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSekbyxqI9Me_D-SLCTzOmaLTS10hpxsRnUg5J81sgG0-NW8dA/viewform)

1/1

## 付録B デモンストレーションにて用いた同意書

## デモ参加同意書

私は、下記の注意事項を確認し、十分にその内容を理解した上で、デモを体験することに同意します。

令和 年 月 日

氏名 \_\_\_\_\_

(研究課題名) ハンドジェスチャ学習のための電氣的筋肉刺激を与えるグローブ型デバイスの試作

(デモ実施責任者) 所属 筑波大学情報学群情報科学類

氏名 西川 宜利

(注意事項)

- 本研究では電氣的筋肉刺激を用いているため、デモへの参加の際、軽い痛みおよび不快感を覚える可能性があります。
- 本研究は現在、倫理申請書を作成段階であるため、デモへの参加によって起こる参加者への全ての不利益は自己責任となります。