

身体拡張筋電インタフェース -ASHURA-

Body expansion interface using electromyogram -ASHURA-

b1016088 豊見城 凪 Nagi Tomishiro

1. 背景

本プロジェクトでは、7年間にわたって、主に筋電義手の製作に取り組んできた。近年では、その技術を利用して、多様な観点に基づいた身体拡張筋電インタフェースの製作を行っている。本プロジェクトで扱う筋電位とは、筋収縮時に皮膚に現れる活動電位を指す。筋電位を測定し、デバイス制御に反映することにより、身体の一部として扱うことができる。その技術を利用することで、人間が生まれながらに持っている身体以上の活動が可能となる。身体の一部の機能を喪失された方が、その機能を回復することも、表情以外での感情表現として、人間に本来ない器官を活用することも、翼を操り空を飛ぶことも、それらすべてを実現する可能性を身体拡張筋電インタフェースは持っている。また、それらを手に入れたとき、人間は新たな身体感覚の獲得と同時に、行動の変容が生じることが予想される。私たちは「筋電インタフェースによる身体拡張は、ヒトの行為を変えられるのではないか」と考えた。今年はこのテーマのもと3グループに分かれ、それぞれがもつ独自の観点と目的に基づいてインタフェースの開発に取り組んだ。以下に各グループの取り組みについて記述する。

1.1 Group A 筋電義手

義手とは、怪我や疾患によって上肢もしくは手首を失った者が装着する人工の手である。種類として、装飾義手と能動義手がある。本グループでは、能動義手の中の、表面筋電位を利用して、動作制御を行う筋電義手の製作を行った。筋電義手は他の能動義手に比べ、把持力が強く、軽量であるが、購入に関する制限が強い。私たちは、試装着用の筋電義手を製作することで、前腕欠損者の義手を使用した際の動作の選択肢を広げたいと考えた。その手段として、筋電義手の性能向上を試みる。2017年度の性能評価実験を通して、物を掴むということに関して、十分な性能ではないことが考えられた。このことから、私たちは物を掴む能力に注目し、筋電義手の性能を向上させる取り組みに着手した。

1.2 Group B 翼

我々の背中に翼が生えていて、その翼を自らの意思で動かすことができれば、人間の身体感覚はどのように変化するだろうか。人類は翼を想像するだけではなく、実際に翼で羽ばたき飛行するための手段を検討してきた。それは翼の機能だけでなく、見た目や羽ばたき等の動きの美しさへの憧れや探求があったからではと考えた。今現在、実際に自身の感覚や意思で翼を動かすようなものは実現していない。そこでGroup Bは「翼」に焦点を置き、人間が自らの意思で動かすことができる翼を持った時、どのような身体感覚の変化が起こるのか、また、どのような行動変容が起こるのか調査することを試みた。

1.3 Group C 喜コミュニケーション

感情は、主に6つに分類され、その表出は年齢・文化を超えて普遍的であると言われている。また、感情に伴う自律神経系反応は脳へフィードバックされる。さらに、自らの身体反応を意識すると、その感情をより強く感じる。本グループでは、「喜び」に着目した。人間は表情で感情を表現する。しかし、犬や猫などの動物には表情以外にしばしば表情以外で表現する器官が存在する。そこで、Group Cは、人間にも表情以外の感情を表現する器官によって感情を誇張して知覚できれば、我々は「喜び」を増幅できるのではないだろうかと考えた。また、対話における喜びの相互作用を促すのではと考えた。そうすることで両者の喜びを増幅させることができるのではないか。そして我々は、これを^{ヨロコ}喜コミュニケーションと呼び、最終目標とした。

2. 課題の設定と到達目標

本プロジェクトは、「筋電インタフェースによる身体拡張は、ヒトの行為を変えられる」という全体テーマのもとで活動を行った。このテーマのもと、各グループで達成すべき目標を設定した。以下に各グループの課題を記述する。

2.1 Group A 筋電義手

Group Aでは、筋電義手の使用に興味を持っている前腕欠損者の動作の幅を広げることを目的とし、試装着用の筋

電義手の性能向上に取り組んだ。その中で、握力の向上に着目し、物を持ちやすい筋電義手を目標とした。筋電義手の性能として、物を掴む際の滑りやすさが解消されていること。また、最低 170g、最高 500g のペットボトルを持ち上げることができること。これは、2017 年度の筋電義手の性能評価実験で、170g までのペットボトルを持ち上げることができていたためであり、500g は日常的にあるペットボトルの重さだからである。

2.2 Group B 翼

Group B は目標として、筋電位に連動して動作する翼を装着した際の身体感覚を調査し、それによる行動変容を検証することを設定した。前期の課題をできるだけ解決することを考え、以下の 5 つを設定した。1 つ目は、筋電位を用いてサーボモータを制御し、それによって翼を動作させることである。2 つ目は、装着者が翼で羽ばたいている感覚を得ることである。3 つ目は、装着者の行動変容を調査することである。4 つ目は、装着者が翼を自身の身体の一部と感ずることである。5 つ目は、装着者の姿を見た他者が、翼を装着者の一部として感ずることである。

2.3 Group C 喜コミュニケーション

Group C は、前期において 4 つの課題を挙げていた。1 つ目は、インタフェースが相手の喜びを知覚する機能の検討である。2 つ目は、花が咲く表現の再考である。3 つ目は、自然な装着感のための小型軽量化である。4 つ目は、有用性の調査である。解決策として、活動スケジュールを見直し、後期に取り組むべき課題を再定義した。まず、前期までの成果と中間発表会で得られた意見から、「研究の新規性」や「有用性」についての根拠が不足していると考えた。したがって、プロトタイプ改良を最小限とし、製作物を定量的に評価することに注力することとした。

3. 成果

本プロジェクトでは、最初に担当教員の指導を通して、筋電位に関する基礎的な知識を身に付けた。また、筋電位計測回路と計測に使用する電極の製作方法についての講義を受け、各グループの成果物に合わせた型に改良した。さらに、Arduino で筋電位を処理するプログラムを製作し、各グループで成果物に合わせた調整を行った。今年度は、3 グループに分かれて各グループで別々の身体拡張筋電インタフェースの製作に取り組んだ。Group A は、物を持ちやすい筋電義手(図 1)の製作に取り組んだ。これは、昨年度

の評価実験の結果から、握力向上の必要性が認められたためである。実際に前腕欠損者の方の協力をいただき、昨年度の筋電義手との比較と評価実験を行った。Group B は、羽ばたく翼(図 2)の製作に取り組んだ。これは、人間が自らの意思で動かすことができる翼を持った時、どのような身体感覚の変化と行動変容が起こるのかを検討するものであった。Group C は喜びを表現する新しい器官(図 3)の製作に取り組んだ。これは、「喜び」を増幅して表現することで、対話における喜びの相互作用を促す器官である。Group C は、これを喜コミュニケーションと呼び、最終目標とした。以下に各グループの詳細を記述する。

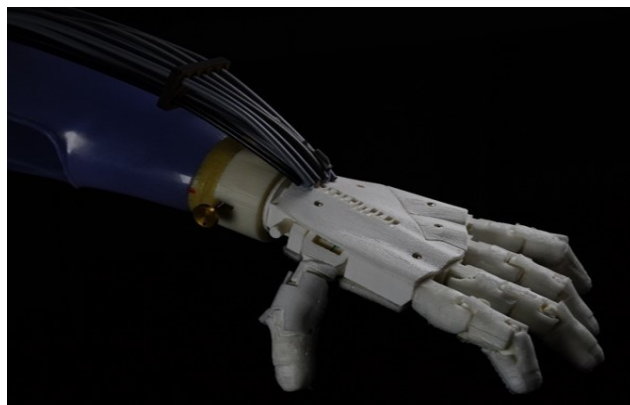


図 1 筋電義手



図 2 筋電義手



図 3 emi

3.1 Group A 筋電義手

Group A は、Arduino と自作基板により、前腕屈筋群のみに力を入れると開き、力を抜くとその状態で一時停止、前腕伸筋群のみに力を入れると閉まるという動作制御を行っている。モータは中指と薬指には DC モータを使用し、物をつかむ際に最も力が必要な親指、人差し指、小指に遊星ギア付きステッピングモータを使用することにより握力を向上させた。ワイヤは PE ラインを使用し、モータとの接続は 3D プリンタで製作したボビンに巻き付け、引っ張る際の摩擦をできる限り減らした。指先はワイヤがモータの力でほつれないようにきつく縛り、義手とワイヤの接触部分には PTFE チューブを使用することで、摩擦を減らしつつ、ワイヤの保護も行った。また、指の曲げる速度を指ごとに変えることにより物をつかみやすくした。

3.2 Group B 翼

Group B は、翼の動作制御にサーボモータを利用した。翼の骨組みの部分には塩化ビニル板を用い、関節部分には蝶番を利用した。また、羽には画用紙を用いて一枚ずつ作成し、OPP テープを利用し骨組みに取り付けた。制御装置には Arduino に取り付けた ICS 基板を用いた。最後に以上の機構を、ライフジャケットの背面に取り付けた塩化ビニル板にねじ止め、3D プリンターで作成したモーターボックスを利用することで接着した。だが、この状態では問題が 2 つ見つかった。1 つ目は、制御についてである。筋電位での制御ができなく、動作も鳥の羽ばたきとは異なるものであることが分かった。2 つ目は材料についてである。全体的に耐久値が低く、鳥の翼とはかけ離れていることが分かった。また、装着方法に塩化ビニル板を用いているため、翼と装着者との密着度が低く体の一部として感じられないことが分かった。改善の際、以上の 2 点を注視し、製作を行った。1 つ目は、鳥の関節部分の動きを模倣すること。それには、片翼につき 2 つのサーボモータを用いることで再現した。2 つ目は、鳥の翼は振り上げるときにしなやかに曲がり、振り下ろすときにまっすぐになるということが分かった。そのため、骨組みの中央にボール紙を用いて、徐々に持ち上がるようにした。羽根については、様々な材料と構造で比較を行った結果、羽軸をつけ、材料は農業用の不織布を使用することにした。装着方法は、背面プロテクターに装置を直接取り付けすることで、背中との密着感を高めた。

3.3 Group C 喜コミュニケーション

今回製作したデバイスは、コミュニケーションの場面を想定して製作をしている。このデバイスを装着した 2 人以上で対話をしている場面では、相手が喜ぶと、相手のデバイスの反応を視覚で認識して、自分の喜びに変換されるという喜びの相互作用を目標に製作した。また、器官の制御として Arduino UNO を用いた。筋電測定回路から筋電位信号を抽出して、Arduino のアナログ入力端子に入力するといった流れである。入力された信号をあらかじめ個人ごとに設定した閾値を超えると、モータに電流が流れるように条件分岐を用いて制御している。

4. 考察・評価

各グループの取り組みは、目的や背景は異なる一方で、身体拡張を促す点は共通している。装着することで、身体を拡張し、装着者の行為を変えるものと言える。そして、各グループで行った検証をもとに考察・評価を記述する。

4.1 Group A 筋電義手

今年度製作した筋電義手を前腕欠損者の方に装着していただき、筋電義手の性能評価実験を行った。検証のために、積み木の移動のタスク、箱をロープで縛るタスク、未開封の 500g ペットボトルの持ち上げ、開封、コップへの注水のタスクを行った。積み木の移動のタスクでは、球体は問題なく掴み、移動させることが出来ていた。しかし、小さい、または薄い積み木では掴むのに時間がかかっており、持ち上げが困難であった。箱をロープで結ぶタスクは、難なくこなせたが、能動義手と比較すると時間がかかりすぎた。ペットボトルの持ち上げ・開封・コップへの注水のタスクでは、500g のペットボトルを持ち上げることが出来ていた。開封については、持ち上げた状態では不可能であったが、机の上に置いた状態での開封は可能であった。その後のコップへの注水も可能であった。総括すると、ロープを握ることが出来ていたことやペットボトルを持ち上げ、開封できたことから、昨年度と比較し、把持力、握力が向上したことが分かった。

4.2 Group B 翼

観測者と装着者を交代しながらそれぞれ動かない翼と成果物を装着してもらい、アンケート調査を行った。アンケートの結果から、自身の身体の一部と感ずるためには、より自在に翼を操作できることが必要であることがわかった

4.3 Group C 喜コミュニケーション

今回の実験の被験者は、大学生 22 名の男女であった。被験者は 2 人 1 組で向かい合わせに座り、与えられたテーマに沿った造形物を製作する課題を 3 回行ってもらった。4 パターンの条件群(図 4)から 3 条件を選択し、設定した。すべての条件において、被験者の頬に電極を張り、大頬骨筋の筋収縮を記録した。また、以下の手順で行った。始めに、実験は個別に個室で実施する。次に、被験者に実験の目的と実験方法を説明する。その際、金属アレルギーの検査のため腕に電極を貼ってもらう。電極を頬に装着してもらい、被験者用に調整を行う。あらかじめ決めておいた条件のインタフェースを装着してもらい、実験者は被験者に課題内容を説明する。実験者のタイマー開始の合図で被験者は課題を始め、5 分が経過したら課題終了の合図をする。以上の実験で得られた被験者の大頬骨筋の筋活動時間を分析した。分析結果より、各群の筋活動時間の平均値に差が認められた($p < .05$)。条件(a)が最も平均値が高く、条件(d)が最も平均値が低かった。また、多重比較の結果、(a) - (d) 間において有意差が見られた($p < .05$)。





(a)	(b)	(c)	(d)
			
花回転あり 振動あり	花回転なし 振動あり	花回転なし 振動なし	インタフェースを 装着しない

図 4 4 パターンの条件群

5. 今後の課題・展望

各グループ共通の課題として、成果物が必ずしも予期していた挙動ではなかったため、今後、対策が必要であるという点があげられる。また、全体的に、余裕がなく、予想外の出来事が起こった際に補える時間がなかったことから、プロジェクトをすすめる際の計画が曖昧であることも課題である。今年度、筋電義手以外の身体拡張筋電インタフェースの製作も行われ、今後、身体機能の拡張や新たな感覚の獲得が実現可能であると実感された。以下に、3 グループの課題と展望についての詳細を記述する。

5.1 Group A 筋電義手

今回のプロジェクトでは握力向上と把持力の向上を目的に活動してきた。把持力は私達が思っていた以上に向上した。しかし握力は思っていたように向上しなかった。結果

的に十分な握力を得ることはできなかったのでさらなる握力の向上が必要になる。また、構造に問題があり、ものを掴む動作が難しくモータから指への力の伝達率も悪い。このことから義手の構造を変更することでこれらの問題を解決したい。今後、日常的に筋電義手を使うことを考えると軽量化、携帯性の向上が必ず必要になると考える。

5.2 Group B 翼

今後の課題として、今回の製作に用いた材料では翼が重くなってしまい、羽ばたきを重ねることによって、骨組みや固定具の変形が見られた。よって、翼の材料や固定具をより軽くて丈夫なものに変更し、どこに力がかかるかを考慮して、翼と支柱の固定方法を検討することが改善策として考えられる。また、アンケート調査の際に筋電位と翼の羽ばたきの連動方法について意見があったことから、課題として考えた。今回の連動方法よりも、力を入れると背中側へ、もう一度力をいれると腹部側へ動く方が、羽ばたかせるために装着者の継続的な行動が必要である。そのため、自身が羽ばたかせているという感覚が強まり、身体の一部と感じられると考える。

5.3 Group C 喜コミュニケーション

カチューシャ型のデバイス 1 つに全てを収めた「咲(emi)」を制作し、本格的に普段使いできる形に改良したいと考えている。これには、さらなる回路の小型・軽量化や外装のデザインの再考、今回、筋電位測定の電極をテープで固定したが、見た目、安定性に欠けていたため、改善が求められる。さらに、最終発表のフィードバックで頂いた意見のように、笑顔時に筋電位が表出する表情筋についての理解を、外部の文献に加え、自分たちで実験を行い、そのデータを加えてより信頼性の高い根拠を作ることも大切になっている。