

頸コミュニケーションの提案 ～頸部の計測と刺激による行動・動作状態の伝達手法の検討

井藤 隆秀[†] 近藤 一晃^{††} 中村 裕一^{††} ジョナサン ロシター^{†††} 秋田 純一^{††††}
戸田 真志^{††††}

[†] 京都大学大学院 工学研究科 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

^{††} 京都大学 学術情報メディアセンター 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町

^{†††} University of Bristol & Bristol Robotics Laboratory Department of Engineering Mathematics,
University of Bristol Merchant Venturers Building, Woodland Road, Bristol BS8 1UB, UK

^{††††} 金沢大学 〒920-1192 金沢市角間町

^{†††††} 熊本大学 〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1

E-mail: †{itou,kondo}@ccm.media.kyoto-u.ac.jp, ††yuichi@media.kyoto-u.ac.jp,

†††Jonathan.Rossiter@bristol.ac.uk, ††††akita@is.t.kanazawa-u.ac.jp, †††††toda@cc.kumamoto-u.ac.jp

あらまし 頸部の筋電位計測と皮膚を引っ張る刺激を組み合わせたデバイスとそれによる頸(くび)コミュニケーションを提案する。これは、デバイス装着者の頸部の活動を相手側に伝えることによって、行動の状態や動作の内容を伝えることを目的とする。本研究では、様々な状況を想定し、装着者の様々な行動や状態が相手側に伝わる粒度や精度の確認を行った。

キーワード ユーザインタフェース, 動作の誘導, 皮膚の引っ張り, 頭部回転, 動作の伝達, 人間機械系

Neck-on Communication

～Communicating behavioral states through neck muscle measurement and skin stimulus

Takahdie ITO[†], Kazuaki KONDO^{††}, Yuichi NAKAMURA^{††}, Jonathan ROSSITER^{†††}, Junichi
AKITA^{††††}, and Masashi TODA^{††††}

[†] Graduate School of Engineering, Kyoto University, Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501 Japan

^{††} Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University, Yoshidahonmachi, Sakyo-ku,
Kyoto, 606-8501 Japan

^{†††} University of Bristol & Bristol Robotics Laboratory Department of Engineering Mathematics,
University of Bristol Merchant Venturers Building, Woodland Road, Bristol BS8 1UB, UK

^{††††} Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan

^{†††††} Kumamoto University, 2-39-1, Kurokami, Chuo-ku, Kumamoto, 860-8555 Japan

E-mail: †{itou,kondo}@ccm.media.kyoto-u.ac.jp, ††yuichi@media.kyoto-u.ac.jp,

†††Jonathan.Rossiter@bristol.ac.uk, ††††akita@is.t.kanazawa-u.ac.jp, †††††toda@cc.kumamoto-u.ac.jp

Abstract This paper introduces a Neck-on Communication through neck muscle measurement and skin-stretcher stimulus. The device is designed for communicating motions and behavioral states a wearing person measured as neck muscle activities. In this research, we checked how precisely or accurately people with skin-stretcher device feel remote situations of daily activities.

Key words user interface, motion induction, skin stretcher, head rotation, motion communication, man-machine system

1. はじめに

我々は、遠隔の相手に所定の動作をしてもらうための意図伝達手段として、頸部の皮膚感覚を用いた新しいデバイス (skin-stretcher 型デバイス) を設計し、その性能を評価してきた [1]. このデバイスは、装着者に動作を強要することがないように皮膚の柔らかさを用いたデバイスで、装着者の自発的な動きを妨ぐことなく、意図に反する身体拘束を与えることによって事故などを引き起こす可能性が低い構造となっている。

本研究では、このデバイスを、複数の人の間で動作情報の伝達共有を行うコミュニケーション補助デバイスとして用いることを検討している。特に、送信側の筋活動を受信側へ皮膚感覚として伝えることにより、言葉で表現しにくい動作や身体活動の情報を伝えることを目的とする。想定する機能としては、以下のようなものである。

- (a) 相手に所定の動作を促したり、そのタイミングを指示する
- (b) 相手との協働を円滑化する
- (c) 自分の動作を相手に直感的な方法で伝え、共感 (empathy) を得る。

アプリケーションへの活用には以下のようなものが想定される。

- (a) 動作 (スポーツやリハビリテーション動作等) のコツ・タイミングを教える教示ツール
- (b) 遠隔から相手に動作の指示や注意を与えるコミュニケーションツール
- (c) 力やタイミングを合わせるが必要な共同作業における協働ツール
- (d) 相手 (例えば、遠隔地の親族) の意図や体の状態を直感的に感じ取る共感ツール

本研究では、これらの目的のために、筋電位計測と skin-stretcher 型デバイスを組み合わせたコミュニケーションデバイスを試作し、その基本的な性能を調査した。

本稿以下では、2 章で提案デバイスの概略を述べ、3 章で提案デバイスを用いた動作誘導に関して述べる。4 章で筋電位とデバイス動作量の変換方法について述べ、5 章では実験とその結果について述べる。

2. skin-stretcher 型デバイスによる動作情報伝達

2.1 skin-stretcher 型デバイス

我々の提案している頭部誘導回転デバイスは、ブリストル大学で肘の屈曲・伸展を促すために試作された skin-stretcher を元にしたものである。skin-stretcher はサーボモータの回転運動を直線運動に変換するリンク機構を用いて伸縮し、それによって装着部の皮膚を引っ張る構造となっている。また、サーボモータとデバイスの間をばねで結んだ構造となっているため、モータの強制力によって皮膚を痛めないものとなっている。

我々が提案した skin-stretcher 型の頭部回転誘導デバイスを図 1 に示す。これには頸部の皮膚を引っ張るために特化した設

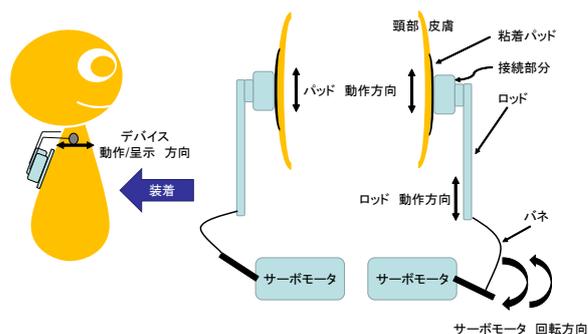


図 1 skin-stretcher 型デバイスの模式図



図 2 skin-stretcher 型デバイス 装着の様子

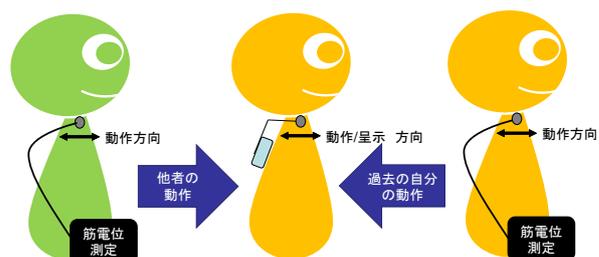


図 3 本稿で提案するシステムの概略

計が施されており、首の左右から引っ張り刺激を与えることによって、頭部の回転を促す構造となっている。装着時の様子を図 2 に示す。このデバイスにも、skin-stretcher と同様な柔軟性を持たせてある。装着者の意図しない強制力や拘束力が働きすぎると、行っている動作が乱れたり、危険な動作を誘発する恐れがあるためである。どのような環境においても、頭部を強制的に動かすことには危険が伴うため、このように、身体とゆるくカップリングされたシステムが適していると言える。

2.2 動作情報の伝達と誘導

図 3 に skin-stretcher 型デバイスを使用した動作情報の伝達と動作誘導の考え方を示す。送信側では、このデバイスを装着する人間の動作情報を得る必要があるが、これは頸部の筋活動を筋電位によって計測したものとする。受信側では、送信側の筋電位信号を基にしてこの呈示デバイスの動作量を決定し、受け側の人間に皮膚刺激として与える。以下では、この動作伝達を「頸コミュニケーション」と呼ぶことにする。この頸コミュニケーションは、2 者またはより多くの人の間で動作情報を伝えたり共有するために利用できるほか、自分の過去の動作情報を感じたり、自己学習するためにも利用できる。このように動

作を伝達する目的には、大きく分けて以下の3種(1~3)が考えられる。

(1) 動作の再現: 動作誘導側と被誘導側が完全に同じ動作を行う。教示する人の動きを体感しながら、模倣学習や習熟のための練習を行う。

(2) 動作の同期・協調: 被誘導側ができるだけ動作誘導側の動作に合わせる。言語以外の手段を用いて、円滑に協働作業を行う。

(3) 動作の共感: 被誘導側は動作を行わずに、動作誘導側の動作を感じ取る。非言語的な相手の状態を感じたり、生理的な感覚を通じた共感を得る。

関連する研究としては、古くから動作情報を呈示して、動作を教示したり、機械の操作を補助する試みが行われてきた。しかし、動作している人間の生理的な状態を直接伝えることによって、それを再現させる試みは比較的新しいものである。これに関して、例えば前田らは、視覚情報ではあるが、個人の体験に近い一人称視点の画像を相手に伝達することによって操作の補助を行うことや、熟練者の動作を元に初心者の学習の補助を行うことを提案している[2]。動作情報を直接扱うものとしては、Carlsonらは、筋電位と脳波を組み合わせ、走行ロボットをなめらかに制御することを行っている[3]。

Leinterらは、腕の筋電位と加速度を組み合わせるロボットアームを操作する手法を提案しており[4]、佐々木らは筋電位から歩行動作をシミュレートする方法を比較検討し、ロボット操作時の臨場感を与える手法を提案している[5]。これらの他にも、筋活動、姿勢、動きなどを伝える手法が種々提案されてきている。[6]

これらの手法に対して、我々が新しく目指すのは、できるだけ安全かつ直感的に動作情報を伝え、装着者が意図すれば動作を簡単に模倣(再現)でき、必要がなければ無視することのできるデバイスである。そのために重要な意味を持つのが、skin-stretcherと身体との皮膚を介したゆるい接続である。また、筋電位と皮膚の引っ張りを使うことで、直感的な動作情報の伝達を行うことを目指している。

以上のことから、頸コミュニケーションの特徴は次のようになる。

(1) 直感的に動作が伝わる(筋活動の情報がそれを促す方向への皮膚の引っ張りとして呈示される)。

(2) 強制力が弱いため、動くためには装着者の意思が必要。つまり、呈示された動作を無視したり、それに反する動きをすることが可能。

その反面、以下のような問題もある。

(1) サーボモータ等が必要なため、装着場所を選ぶ。

(2) 皮膚感覚の個人差、不安定さが大きく、正確な動作誘導が難しい。

前者の問題に対し、本研究のデバイスは肩に装着する形状となっているため、違和感を緩和しているが、より軽く小さなデバイスを設計することが今後の課題となっている。後者は本デバイスに関する本質的な問題であるため、詳しく吟味する必要がある。これに関しては、頸部引っ張り量とそれにより誘導さ

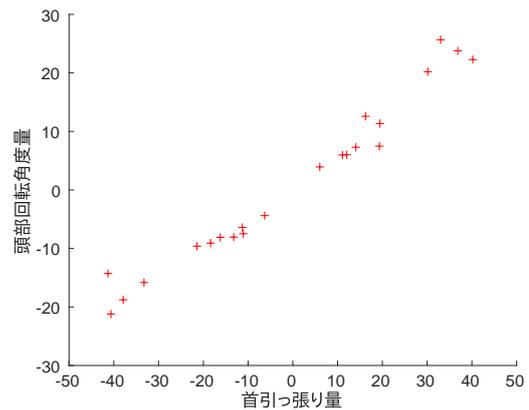


図4 一被験者における首引っ張り量-頭部回転角度量の関係

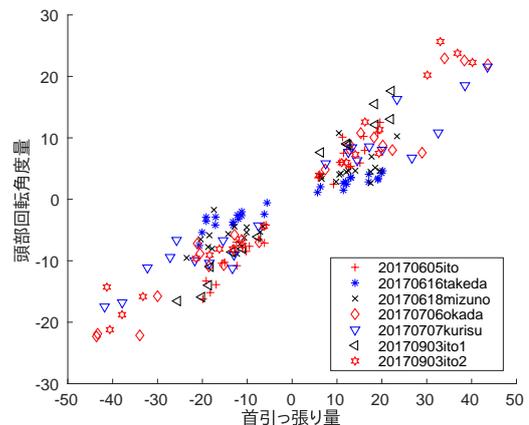


図5 複数被験者における首引っ張り量-頭部回転角度量の関係

れる頭部回転量との関係をモデル化しながら、本デバイスの有効性を確認することにする。

3. 頭部回転動作と皮膚の引っ張り量との関係

最も基本的な skin-stretcher の特性として、デバイスの呈示量(皮膚の引っ張り量)と、誘導される頭部回転の角度との関係がある。これを見積もるため、予備実験として複数の被験者による実験を行った。被験者は全員大学生、大学院生の男性である。

図4に被験者の一人の結果を示す。横軸が皮膚の引っ張り量から換算される仮想的な頭部の回転角^(注1)、縦軸が実際に頭部が回転した角度である。図4のグラフから大まかな比例関係が見て取れるが、その傾き(以下、ゲインと呼ぶ)は1ではない。このゲインの性質をより詳しく調べるため、複数被験者の複数日時でのデータを収集した。その結果を図5に示す。ここでは、同一の記号が同一人物の同一日時の結果を表す。

図4や5より、人体への提示量(皮膚の引っ張り量)と、誘導される頭部回転の角度量との関係は以下のように考えることが可能である。

- 大まかには比例関係とみなすことが可能。ただし、引っ張った量から計算される仮想的な回転角よりも小さな頭部回転

(注1): 仮想的な頭部の回転角は首の太さと引っ張り量から計算されるが、詳しくは文献[1]を参照されたい

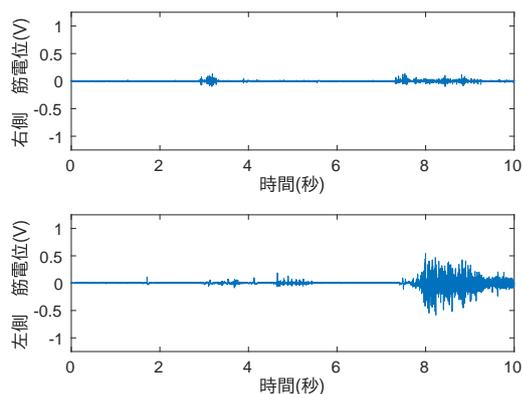


図 6 各筋電位-首角度変換方法の元波形 例

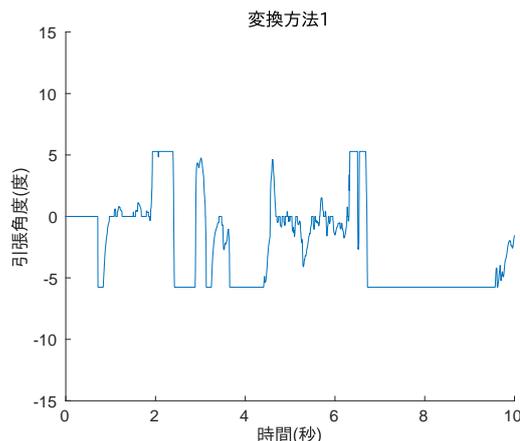


図 7 筋電位-首角度変換方法 1 波形例

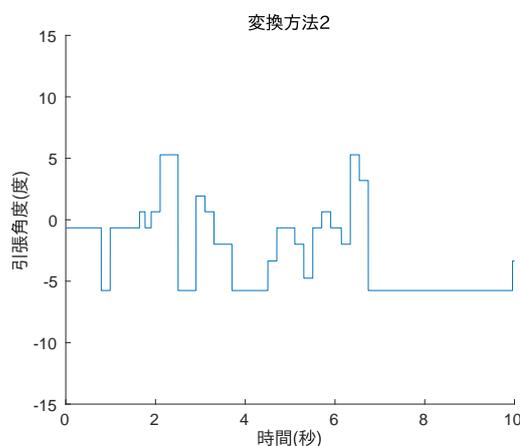


図 8 筋電位-首角度変換方法 2 波形例

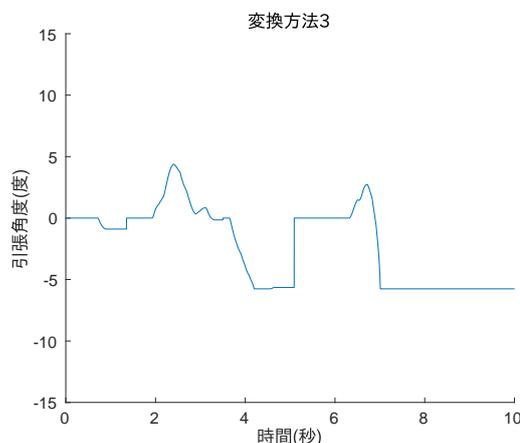


図 9 筋電位-首角度変換方法 3 波形例

しか起こらない (ゲインが1よりも小さい)

- 個人毎にゲインが異なる。また、同一人物でも、日時によって、つまり装着毎 (試行毎) にゲインが異なる

各個人の皮膚自体の感覚差や、デバイスの装着状態によるゲインの差が存在するが、一回装着すれば、しばらくはゲインの値が比較的安定する。これにより、装着時に簡単なキャリブレーションなどを行ってゲインを推定できれば、所定の頭部回転を促せることが示されている。しかし、図のグラフからもわかるように、ある程度の誤差は避けられない。つまり、頭部回転を正確に感じさせたり誘導しなければならない場合には、何らかの補助デバイス等を利用することが必要となる。

4. 筋電位によるデバイス動作の設定

4.1 胸鎖乳突筋の計測

頭部の回転運動を計測するために、測定が比較的容易な胸鎖乳突筋を選んだ。この筋は皮膚表面に近い位置にあり、大きな筋電位変化を計測することが可能である。しかし、この筋は頭部の左右回転だけでなく、上下動作、首の緊張 (すくめる) にも関わっているため、頭部回転以外の動作を拾うことが問題となる。そのため、本稿の実験では、首全体を後ろに傾ける動作や、両側の筋を働かせるなどの対象以外の動作を行わないようにした。それらを区別することは今後の課題とするが、腕などの動作推定で行われているように、複数の筋を計測することによってある程度緩和することができると予想される。

4.2 筋電-首角度変換手法の検討

送信側の筋電位を基に受信側へ呈示する引っ張り量を決める方法について考える。本研究で用いる表面筋電位は、筋が収縮する際に発生する活動電位を皮膚表面で計測したものである。等尺性の収縮を行っている場合には、発生している筋張力と筋電に変化の実効値が大まかな比例関係にあると言われている。ただし、これはかなり粗い近似であり、種々の設定によってその関係が変化する。

以上のように、筋電位と頭部の回転角には直接的な関係はなく、正確に対応付けるには、筋電位から筋張力を求め、動力学などによって頭部の回転運動を推定する必要がある。複数の筋が関わる頭部でこのような計算を正確に行うことは難しいため、本研究では以下のように単純化した。

(手法 1) 筋張力 (の推定値) をそのまま伝える。筋張力を推定するために、筋電位から筋活性度を求める。図 6 の入力に対して得られた変換結果は図 7 となる。以下、入力はすべて同一とした。

(手法 2) 筋張力の概略を伝える。手法 4.2 をフィルタ処理し振幅的、時間的な細かな変動をなくす。得られた変換結果は図 8 となる。

(手法 3) 筋張力 (推定値) を積分処理し、回転角度の指標とする。得られた変換結果は図 9 となる。

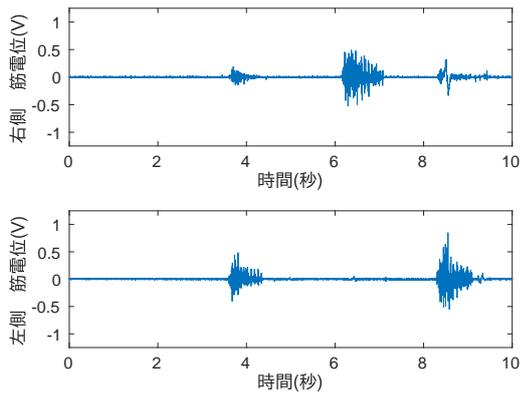


図 10 実際の筋電位波形例

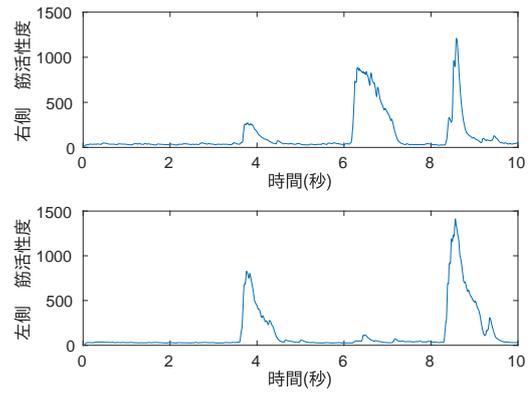


図 11 図 10 の筋活性度変換結果

これら各手法の特徴は以下のように考えられる。

(観点 A) どのような情報が伝わりやすいか

(手法 1) 筋活動をそのまま伝えるため、細かな動きが良く伝わるが、逆に、ゆっくり大きな回転が起こっているなどの情報は伝わりにくい。

(手法 2) 角度的、時間的な分解能を荒くしているため、細かな振動が少なく、動きの概要が伝わりやすい。しかし、回転角を直接感じることは難しい。

(手法 3) 筋の個別の動作は伝わらないが、全体の動きは大まかに伝わる。ただし、回転角が正確に伝わるほど正確な情報とはなっていない。

(観点 B) デバイスの動きに自分の動きを同調させやすいか

(手法 1) デバイスの表示量は小→大へと変化してゆく。そのため、皮膚が小さく引っ張られたという感覚をトリガとして自分の動作を起こすことが易しいが、頻繁に調整する必要がある。

(手法 2) デバイスの表示量が変化する回数が少ない。そのため、動きを同調させる負担が軽くなる。

(手法 3) デバイスの表示量が頭部の回転角に直接関係する量となっており、他の手法よりも直感的に動作を合わせやすい。

5. 実験と考察

5.1 対象動作

対象動作としては、本研究の目的や提案デバイスの性質から、日常的に現れ言葉による表現が難しい動作が望ましい。このようなことから、誘導側の被験者のタスクとして、(1) 首を左右に振り、タイミングと角度を伝達するタスク、(2) PC 作業や片付けなどの机上のタスク、(3) 読書のタスクなどを対象とすることにした。

今回の実験で受信側に設定したタスクは、以下の二通りである。

(タスク A) 同期して同じ動きをする

被誘導側が誘導側の動きを感じながら同調して動作することを求められる。

(タスク B) 同期せずに動作を再現する

被誘導側は動作情報の提示を受けながら動作を再現するが、提示情報に同期することは求められない。考えたり反芻する時間を与えられる。

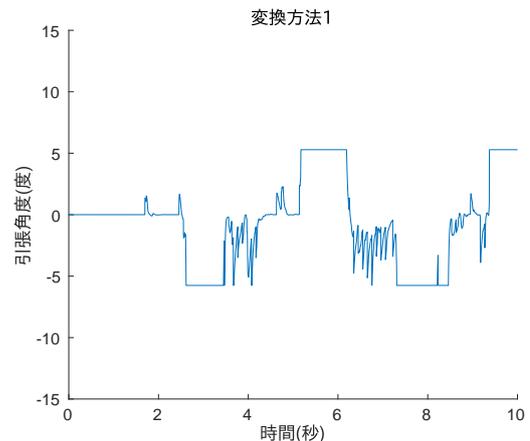


図 12 図 11 の変換手法 1 に基づく動作誘導角度出力

なお、図 10 は実験動作 5.1 で実際に得られた筋電位波形の例であり、この波形からは図 11 となる筋活性度が計算によって得られ、最終的に図 12 のようなデバイスによる提示動作量を得ている。

5.2 実験結果

実験によって受信側の被験者から得られた主観的評価をあげる。

(タスク A) 同期して同じ動きをする

(手法 1) 筋張力を引っ張り量として伝える場合

知覚面： 細かな動きも知覚できる。

再現面： 知覚してから動くまでに次の提示が来るため、すべての提示に合わせた動作はできない。ただし、全体の傾向がわかるので、それに合わせた動作は可能。

その他： デバイスが常に細かく動作し続けるため、皮膚の引張感覚が絶えず変化し、最も不快と感じる。

(手法 2) 筋張力にフィルタ処理を行って引っ張り量として伝える場合

知覚面： 回転動作の大きさを大まかに感じることはできる。変化が早い場合には手法 1 と同様の印象を受ける。

再現面： ある程度大きな動作が予備刺激なく提示されることがあり、動作を再現する余裕がない。

(手法 3) 積分処理を行ったものを引っ張り量として伝える場合

知覚面： 大きな変化が突然起こることがないため連続的に知覚できる。

再現面：動作を同期させやすい。しかし、積分処理が入っているために、小さな動きはあまり伝わらず、再現できない。

その他：細かい振動がなく、急な変化がないために煩わしくない。

(タスク B) 同期せずに動作を再現する

以下は、同期して同じ動きをする場合に既出の評価を除いたものである。

(手法 1) 筋張力を引っ張り量として伝える場合

知覚面：意図を持った動きか、本筋とは関係のないノイズ成分であるのかの判別が必要で、それが負担となる。

再現面：ある程度以上の再現性度は見込めない。

(手法 2) 筋張力にフィルタ処理を行って引っ張り量として伝える場合

知覚面：手法 1 に比べ、ノイズ的な動作の細かな呈示が減る点は優れている。

再現面：細かな特徴がないため、動作間の差が見えない場合が存在する。タイミングの差から判別はできると感じる場合も存在する。

その他：同期する場合と同様に、呈示中の余裕が少なくなるため、意図や行動を推測することが困難。

(手法 3) 積分処理を行ったものを引っ張り量として伝える場合
知覚面：動作間の差が小さい。つまり、動作を区別することが難しい。

再現面：呈示の量が大きくなる前に呈示が終了するため、場合によっては動作の差をほとんど感知できない。大まかな再現として考えた場合には、余裕を持って再現しやすい。

これらのことから、大まかな動きを伝えるためには、筋電位の積分を行って伝える方法が適していると言える。また、タイミングを合わせる場合には筋張力にフィルタ処理を行って引っ張り量として伝える方法が、細かい動作の種類を感じるようなタスクでは筋張力を引っ張り量として伝える方法が適していることが示唆される。

また、筋電位の積分を行って伝える方法はデバイスの装着者に不快感を与える可能性が小さく、動作中の余裕が生まれやすいということがわかった。

なお、本実験は予備実験的なものであり、今後、定量的な評価を行っていく予定である。

6. 終わりに

本稿では、skin-stretcher 型の動作伝達デバイスと筋電位計測を用いた身体動作情報の伝達手法について提案した。また、動作伝達の目的、また、それに応じた、筋電位情報からの引っ張り量(動作呈示量)の変換について検討した。実際に複数の変換方法を実装し、被験者実験を行うことによって、動作量や動作の雰囲気伝えるためのそれぞれの方法の利点・欠点について調べた。その結果、種々の目的に応じた変換方法が異なることが示唆された。ただし、これらの実験は予備実験的なものであり、定量的な評価を含めたシステムティックな実験は今後の課題となっている。また、今回の実験において対象とした筋は胸鎖乳突筋のみである。そのため、扱える動作に制約が大きい

ものとなっている。今後は計測する筋を増やすことによって複雑な動きを扱えるようにすることや、筋電位以外の情報を活用していくことも検討したい。

文 献

- [1] 井藤 隆秀, 近藤 一晃, 中村 裕一, Jonathan Rossiter, Skin Stretcher 型の頭部回転誘導デバイスの基礎的検討, HCG シンポジウム 2016
- [2] Taro Maeda, et al., Immersive tele-collaboration with Parasitic Humanoid: how to assist behavior directly in mutual telepresence, ICAT 2011, Osaka, Nov. 30, 2011.
- [3] Tom Carlson, et al., A hybrid BCI for enhanced control of a telepresence robot, Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE
- [4] J Leitner, M Luciw, A Forster, J Schmidhuber, Teleoperation of a 7 DOF humanoid robot arm using human arm accelerations and EMG signals, the 12th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space - iSAIRAS '14
- [5] Yuma Sasaki, Toshiyuki Kondo, A proposal of EMG-based teleoperation interface for distance mobility Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2011 IEEE International Conference, 9-12 Oct. 2011
- [6] Yee Mon Aung, Adel Al-Jumaily, Rehabilitation Exercise with Real-Time Muscle Simulation based EMG and AR, Proceedings of the 2011 11th International Conference on Hybrid Intelligent Systems, 2011, pp. 641 - 646