［研究助成（A）］

視線と脳波を利用した身体障がい者のコミュニケーション支援システムの開発

Development of Biological Communication Systems Based on Eye Tracking and Brain Wave for Disabled Persons

2181030

研究代表者　梅山女学園大学 文化情報学部　文化情報学科　准教授　向　直　人

［研究の目的］

2020年4月に障碍者雇用促進法が改正され，障碍者雇用率に応じた障碍者の雇用が義務化されたことを受け，官民問わず障碍者が働きやすい環境を整備することが社会に求められている。障碍者の就業における大きな問題の一つがコミュニケーションの難しさであり，特に筋萎縮生側索硬化症（ALS）や脊髄性筋萎縮症（SMA）などの四肢障碍を伴う障碍者が円滑に他者と意思疎通するためのコミュニケーション手段が求められている。そこで，本研究では，四肢障碍者のコミュニケーションを支援することを目的とし，視線や脳波などの生体情報を活用した新しいコミュニケーション手法を検討・提案することに挑戦した。本研究で検討したコミュニケーション手法は下記の3種類である。四肢障碍に加え，発話に困難を抱える場合は，生体情報をトリガーとして，意思決定を表現することが必要になる。①はユーザの視線で対象を限定し，腕部の筋電位で決定操作を行う手法である。②は視線の上下左右への動きの組み合わせを一つの操作（コマンド）と捉える手法である。③は特定の周波数を注視したときに現れる脳波パターンを利用した手法である。

① 視線追跡と筋電位を組み合わせた入力手法［1, 2, 3］
② 視線の動きを組み合わせたコマンド入力手法［4］
③ 定常状態視覚誘発電位覚誘発電位（SSVEP）を利用した脳波による入力手法

［研究の内容，成果］

先に述べた3種類の手法ごとに研究の内容と成果を述べる。

【視線追跡と筋電位を組み合わせた入力手法】

四肢障碍者のコミュニケーション手段として，視線追跡による入力が普及している。例えば，オリィ研究所が開発するOriHime Eyeは，PC画面に表示される仮想のキーボードを一定時間注視することで，文字や記号を選択することが可能である。しかし，障碍の度合いによっては，特定の箇所を一定時間注視することが難しい場合がある。そこで，視線入力の補助として，反応速度の高い表面筋電位（EMG）を決定操作のトリガーとして用いることを検討した。視線追跡には，トビー・テクノロジー社製の視線計測装置Tobii Pro X2-30，また，表面筋電位の検出には，Plux社製のBITalinoを採用した。

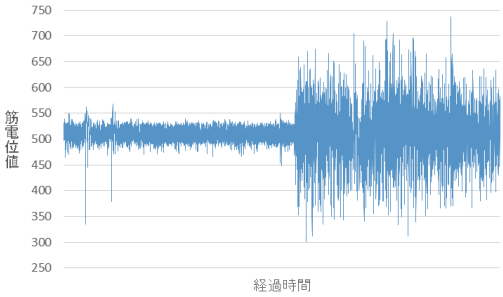

図１　表面筋電位のサンプル

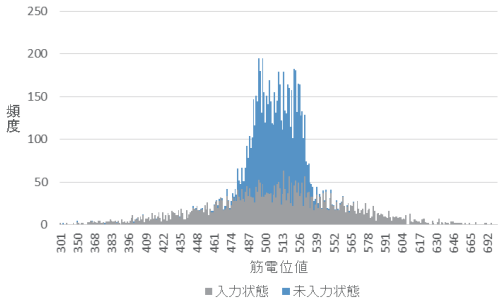

図２　被験者 A の表面筋電位の分布

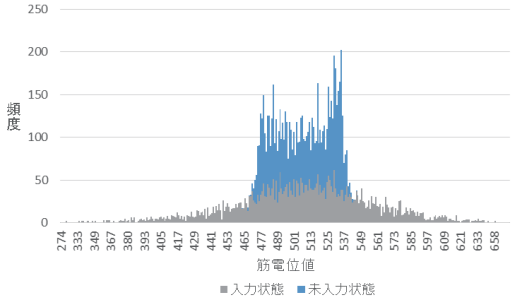

図３　被験者 B の表面筋電位の分布

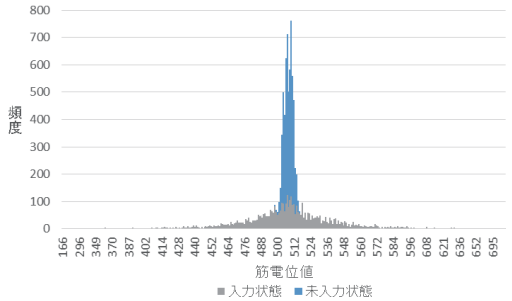

図４　被験者 C の表面筋電位の分布

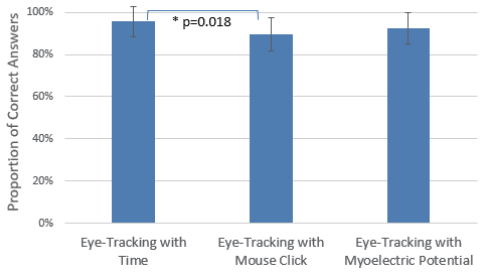

図５　正答率に関する入力方法の比較

図１が BITalino で検出した表面筋電位のサンプルである（サンプリングレートは１kHz）。大小に振れるスパイク状の波形であり，筋の緊張が高まると振幅は大きくなる。

表面筋電位を決定操作のトリガーとするため，検出した筋電位の波形を「入力状態」と「未入力状態」に分類する必要がある。信号の振幅には個人差も大きいことから，分類には閾値を利用する方法と，k 近傍法を利用する方法を採用した。閾値を利用する方法は，入力状態と未入力状態の境目となる基準値を設ける方法である。一方，k 近傍法は多数決法とも呼ばれ，入力信号に近い k 個の信号で多数決を行い，最も多いラベルに分類する手法である。K 近傍法の教師データの作成に当たっては，被験者に対し，測定開始後の５秒間は力を入れない（未入力状態）ように指示し，５秒経過後には力を入れる（入力状態）に指示をした。このときの筋電位を記録しておき，k 近傍法（多数決）で各筋電位値ごとの，入力状態と未入力状態を定める。図２，３，４に被験者 A，B，C の表面筋電位の分布を示す。入力状態は正規分布のような釣り鐘型の形状となる。一方，未入力状態は 500 付近に集中し，端部に現れることは少ない。また，表面筋電位の分布には個人差があり，特に被験者 C の入力状態の中央値の頻度が他の被験者に比べて高いことがわかる。

２択のクイズ問題を作成し，正答率と入力時間に関して比較した。比較対象は，「視線入力のみ（注視 1.5 秒間で決定）」，「視線入力とマウスクリック」，「視線入力と筋電位（閾値）」である。図５に示す正答率に関して，マウスクリックと筋電位に有意な差はなかった。また，図６に示す入力時間に関しては，マウスクリックには劣るが，視線入力のみで決定するよりも

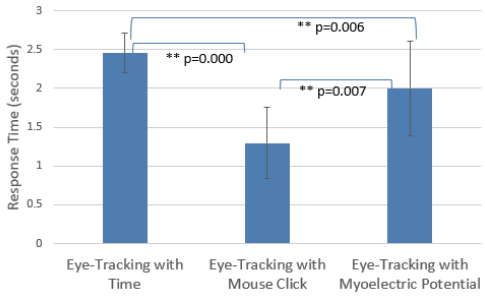

図６　入力時間に関する入力方法の比較

高速に入力が可能であった。視線入力に慣れたユーザであれば，注視時間をより短くすることも可能であるが，四肢の運動に問題を抱える障碍者の場合は，筋電位を採用する方が入力効率が向上すると考えられる。この成果は業績［1］［2］［3］で報告しており，特に業績［3］は Best Paper Award を受賞するに至った。

【視線の動きを組み合わせたコマンド入力手法】

視線入力装置を利用したコミュニケーションは多様性に欠けるという問題がある。先に述べた２値で判断できる決定操作などには適しているが，複数の選択肢から１つを選ぶには，対象の選択や注視に一定の時間を要する。そこで，眼電位（EOG）から上下左右の眼球の動きを検出し，これを組み合わせて１つのコマンドとして認識することを試みた。眼電位とは，眼球の角膜側と網膜側との間に生じる電位差である。眼電位の検出には，図７に示す，株式会社 JINS ホールディングスの JINS MEME を採用した。メガネ型の測定器であり，ノーズパッド部分にある３点式眼電位センサにより，使用者の目の動きを計測し，上下左右の視線移動を認識することができる。

図７　JINS MEME ES

表１　コマンドの組み合わせ

コマンド	眼球運動
コマンドＡ	↑↓↑↓
コマンドＢ	→←→←
コマンドＣ	→↑←↓
コマンドＤ	←↑→↓
コマンドＥ	←→↑↓
コマンドＦ	→↑↓←
コマンドＧ	↓↑←→
コマンドＨ	↓→↑←
コマンドＩ	↑→↓←
コマンドＪ	↓←→↑

ここでは，４回分の眼球の動きにコマンドを割り当てることを想定し，表１に示す上下左右の様々な組み合わせを定義した。これらのパターンは，眼球の上下方向・左右方向への往復運動や，時計回りや反時計回りの回転運動，移動方向が変化する段階運動で構成されている。例えば，コマンドＡは「↑ ↓ ↑ ↓」であり，上下方向の往復運動を表している。視線移動の大きさは０，１，２，３の４段階で測定される。０は動きが検出されない状態を表し，数字が大きくなるほど動きが大きいことを表す。

コマンド入力手法の有効性を検証するため，脊髄性筋委縮症の障碍者１名を被験者として実験を行った。被験者は，図８に示すように，ベッド型車椅子に仰向けの姿勢で JINS MEME を装着し，モニタに映し出されるコマンドを入力する。

表２はコマンドの入力時間を示している。視

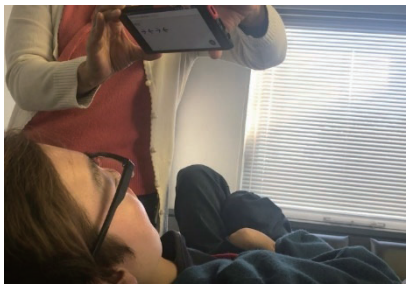

図８　コマンド入力手法の実験

表2　コマンドの入力時間　（単位：秒）

コマンド	基準1	基準2
コマンドA	4.042	6.043
コマンドB	1.761	12.208
コマンドC	3.484	6.753
コマンドD	3.266	10.773
コマンドE	2.786	4.495
コマンドF	3.494	4.232
コマンドG	3.751	3.750
コマンドH	6.259	7.750
コマンドI	3.760	3.018
コマンドJ	4.744	5.980

線移動の大きさを表す1と2を基準として，基準以上の動きが検出されたとき，コマンドが入力されたとみなす。この結果，基準1の平均は3.735秒，基準2の平均は6,500であった。このことから，眼球を大きく動かすことは難しく，入力時間が増加してしまうことが分かる。また，基準1において「→ ← → ←」，「← → ↑ ↓」は他のコマンドと比べて所要時間が短い。このことから，眼球の回転よりも，水平・垂直の動きの方が負担が小さいと考えられる。実験後の被験者に対するヒアリングでは，基準2の方が簡単であったと述べた。基準1は無意識の視線移動も検出されてしまうことが原因と思われる。また，仰向けの状態で入力したことから，下方向への視線移動が難しいと感じたようである。また，視線の動きでモバイル端末を操作できることは価値が高いと評価された。この成果は業績［4］で報告した。

【定常状態視覚誘発電位覚誘発電位（SSVEP）を利用した脳波による入力手法】

視線追跡に代わるコミュニケーション手段の1つが脳波（EEG）である。脳の神経ネットワークに流れる微弱な電気信号を検出・解析することで，障碍者の意図を読み取る仕組みである。従来の脳波検出装置は，頭蓋内に電極を埋め込むなど障碍者の身体的な負担が大きく，大規模で高価であった。近年，安価なヘッドセット型の脳波計が利用可能になり，一般的なコミュニケーション装置として普及しつつある。

図9　EMOTIV EPOC＋

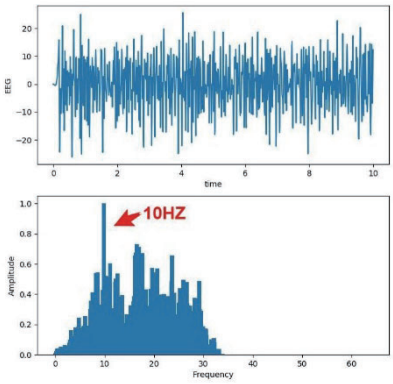

図10　SSVEP 10 HZ

ここでは，図9に示す株式会社イノバテック製のEMOTIV EPOC＋を採用し，定常状態視覚誘発電位（SSVEP）を利用した2クラス分類を実装した。図10の上のグラフは，10 HZの信号パターンを注視した被験者の脳波である。これをフーリエ変換し，周波数成分を抽出した結果が下のグラフである。10 HZの周波数成分が他と比べ有意に大きくなっていることが分かる。SSVEPを利用した2値分類の精度を，3人の被験者で実験したところ，30/30，28/30，24/30で正しく識別が可能であった。

［今後の研究の方向，課題］

今後は視線と脳波など異なる生体情報のセンサ・フュージョン（センサ統合）が重要だと考えている。分類精度低下の原因となる視線の揺らぎを脳波で補完するなどの可能性を探りたい。また，この研究成果を基に，将来の実用化を視野に入れた研究開発を継続したい。

［成果の発表，論文等］

［1］ 後藤久乃，向 直人：視線入力に対する表面筋電位情報の補助的な役割の評価，第 16 回情報学ワークショップ，P121，2018

［2］ 後藤久乃，向 直人：表面筋電位を用いた入力補助における K 近傍法による閾値の自動化と評価，HAI シンポジウム 2018，P-8，2019

［3］ Naoto Mukai and Hisano Goto: Evaluation of Input Method by Myoelectric Potential Sensor for Eye-Tracking System Proceedings of ICIAE2019, pp. 239-242, 2019, Best Poster Award

［4］ 後藤久乃，向 直人：障碍者の視線入力補助を目的とした視線コマンド入力インターフェースの試作，社会情報学会・中部支部研究会，2019