

人体信号を用いた電気機器の駆動制御に関する研究：電気自動車・介護ベッドへの応用

郷原, 秀太 / GOHARA, Shuta

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

65

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

6

(発行年 / Year)

2024-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00030699>

人体信号を用いた電気機器 の駆動制御に関する研究 —電気自動車・介護ベッドへの応用—

CONTROL OF ELECTRICAL EQUIPMENT USING HUMAN BODY SIGNALS
—APPLICATION TO ELECTRIC VEHICLES AND MEDICAL BEDS—

郷原 秀太

Shuta GOHARA

指導教員 岡本 吉史

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

There is a need to rehabilitate depressed patients and reduce the burden on caregivers. Myopotential, EEG, gesture recognition, and eye tracking have been applied to means of non-contact control of medical beds and electric vehicles (EVs) using body parts and movements. However, these test and measurement methods have poor measurability due to the low level of detectable signals, lack of stability of the control system, and the need for training for the patient to properly operate the system, which may cause fatigue in the process. Therefore, in this paper, a system is proposed that controls a nursing care bed/EV by estimating voice and facial expressions in a non-contact manner without moving limbs, aiming at assisting people who require nursing care and who have difficulty living on their own.

Key Words : *electric car, medical bed, facial expression estimation, myoelectric potential measurement, bedridden, disabled person*

1. はじめに

近年、平均寿命の延伸に伴う 65 歳以上の人口増加や、少子化の進行に伴う若年層人口の減少の観点から、高齢化が進んでいる。さらに、内閣府の報告によると、人口の約 3 人に 1 人が 65 歳以上、約 5 人に 1 人が 75 歳以上となることを見込まれており、超高齢化社会を迎え「2025 年問題」と呼ばれている^[1]。なかでも、厚生労働省の報告では施設に入居している寝たきりの高齢者は 300 万人以上となり、自宅等の寝たきり高齢者を含めるとそれ以上になることが考えられる^[2]。寝たきりの状態に陥ってしまう事により、うつ病を発症しやすくなる他に、床ずれや褥瘡、食事、水分補給等々を自身で行うことが困難となる。よって、介護者への負担が大きくなり介護・看病疲れや介護殺人が問題とされる。そのため、被介護者のうつ病のリハビリや、介護者への負荷軽減などが求められている。

介護者への負担軽減や、要介護者だけでなく手足が不自由な肢体不自由者の移動の自由を実現するにあたり、身体

部位や動作を利用した介護ベッド・電気自動車 (EV) を非接触で制御する手段として筋電位^[3]や脳波^[4]、ジェスチャ認識^[5]、視線追従などが提案されている。これらの生体信号を測定するにあたり、有用かつ正確な情報を抽出するためには、時間領域および周波数領域の計測処理ソフトウェアが必要となり、カメラを用いた測定では、光環境や画素数などを考慮する必要がある。さらに、これらの測定時に被介護者への肉体的・精神的負担だけでなく、制御システムの安定性をも考慮し測定することが求められる。

しかし、当該試験・測定方法では検出できる信号が微弱であり測定性が悪く、制御システムの安定性に欠けることや、被介護者がシステムを適切に操作するための訓練が必要となり、その過程で疲労が生じることがある。さらに、全く手足の動かない被介護者については測定が困難であり介護ベッド・EV のような状況では利用に限定され、冗長な動きが誤検出を招き、被介護者の疲労に直結してしまう可能性が高い。

そこで本論文では、自力での生活が困難な要介護者や介

護を必要とする方の生活援助を目指して、手足を動かすことなく、音声や表情を非接触的に推定し、介護ベッド・EVの制御を行うシステムを提案する。このシステムは、音声からも感情を推定し、表情と併用することで被介護者のうつ病のリハビリを行うことができる。さらに、表情のみ、音声認識のみ、表情と音声感情認識、表情と音声認識・音声感情認識の4種類から制御を行えるシステムであり、ユーザーの用途に合わせて使用することが可能である。表情の推定精度は92%と従来法よりもシステムの安定性が高く、音声感情認識をも用いる事でリハビリにも適応でき、介護者の負担を軽減できることが確認されたので報告する。

2. 生体信号測定原理

(1) 筋電位測定

本論文では、生体信号を測定する手法の一つに筋細胞の収縮によって発生する活動電位である筋電位測定を使用した。以下に作成した回路図を図1に示す。本回路は、差動増幅回路、HPF（ハイパスフィルタ）、電圧フォロア、ローパスフィルタ、バンドストップフィルタ、反転増幅回路、包絡線検波回路の順で構成した。差動増幅回路の入出力関係式を(1)式に示す。

$$V_{out} = \frac{2R_2 + R_1}{R_1} (V_{in1} - V_{in2}) \quad (1)$$

フィルタのカットオフ周波数の算出式を(2)式に示す。

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2)$$

電圧フォロアの入出力関係式は入力信号と出力信号が同等なので省略する。反転増幅回路の入出力関係式を(3)式に示す。

$$V_{out} = -\frac{R_{14}}{R_{13}} V_{in} \quad (3)$$

(2) 音声録音技法

表1に音声システムの概要を示す。音声の録音にはPyaudio^[6]というライブラリを用いた。Pyaudioはオーディオの録音や再生を行う標準ライブラリである。リアルタイムで音声を処理しシステムの応答性を高めることも可能であったが、データのサイズを抑える為に録音をした。

Table 1. Overview of voice recording system

Setting Items	Value
Format	paInt16
Channels	1
Rate[Hz]	11025
Chunk	2000
Record Time[sec]	4

録音データのフォーマットには高品質な音声を録音するためにpaInt16^[7]を使用し、音声ファイルの容量を抑える為にサンプリングレートは11025 Hzに設定した。また、マイクは1つのみ使用したのでチャンネルは1に設定し、可能な限りリアルタイムに近い状態を実現するべく、Chunkは2000に設定し、録音時間も4秒に設定しファイル容量を抑えた。

(3) 表情推定技法

表情推定にはIntel社が開発したOpen VINO Tool Kit^{[8][9]}を使用した。顔検出にはface-detection-retail-0004を使用した。カメラから取得した映像を顔検出モデルへ供給するために、前処理としてフレームサイズを300×300ピクセルに変換し顔検出モデルに供給した。モデルからの信頼度スコアの高い出力モデルの顔の部分を取り出した。次に、感情認識モデルにはemotions-recognition-retail-0003を用いた。顔検出モデルによる信頼度の高い結果から、フレームサイズを64×64ピクセルに前処理として変換し、感情認識モデルに供給した。感情認識モデルからの出力結果として、[Neutral, Happy, Sad, Surprise, Anger]の5種類の感情を出力し、その中で一番数値の高いものを現在の感情に一番近いものとして出力した。

3. 生体信号測定システム及び使用機器

(1) 使用機器（電気機器）

本研究で用いたEV及び、介護ベッドの代用として用いた電動ラウンジチェアSHIFFON Jr^[10]を図2に示す。カメラを固定するため、顔が固定される位置にアームを設置した。

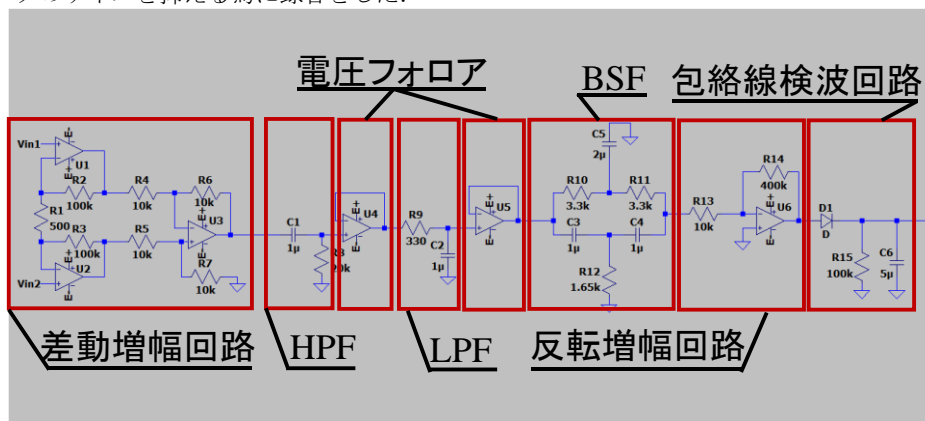


Fig. 1. Myoelectric potential measurement circuit diagram



(a) Electric car.



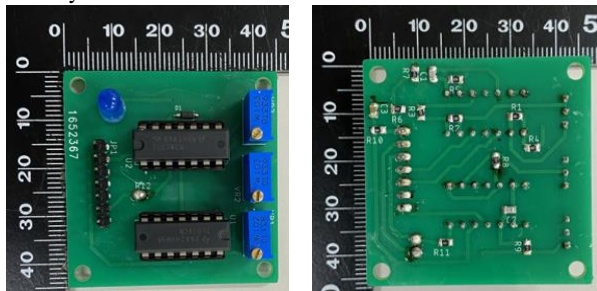
(b) Prototype of medical bed.

Fig. 2. Experimental equipment.

EV はチョロ Q モーターズ株式会社が製造した Q-CAR^[11] を使用した。アクセルセンサを取り外し、ECU 内に 0.6 から 5.0V を入力することで加速を変化させることが出来る。また、0.6V 入力時にはクリープ状態に入り、5.0V 入力した際にはアクセルが全開の状態になる。EV の制御方式として、ブレーキオーバーライドシステムが採用されているため、実験時に入力電圧が誤入力した際、ブレーキを踏み安全に実験を行った。

(2) 筋電位測定器

図 3 に作成した筋電図測定器を示す。ノイズ除去及び小型化の観点からプリント基板に回路を実装し、チップ素子を採用した。その結果、45×45 mm の小型化に成功した。また、オペアンプによる増幅率の調整を行うため、可変抵抗・LED を用いて実装し、筋電位を測定出来ているか可視化した。また、図 4 に筋電位測定器の出力電圧を Analog Discovery 2 で測定した波形図を示す。



(a) Circuit surface.

(b) Back side of circuit.

Fig. 3. Myoelectric potential measurement circuit diagram.

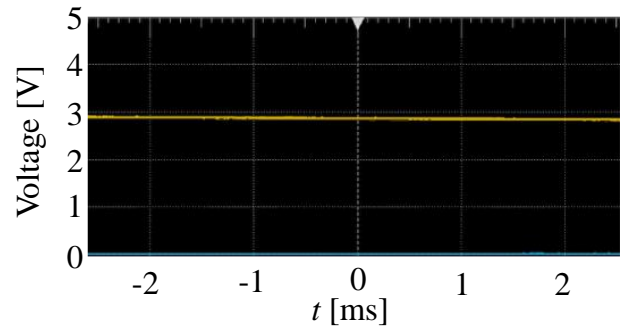


Fig. 4. Measurement waveform.

入力電圧が 2V 以上に増幅された際に LED が点灯するように設計したため、正常に動作していることが確認された。

(3) 音声認識部

音声認識には Google 社が開発した Google Speech Recognition^[12] を使用した。生体信号測定原理で記載した、音声録音技法における 4 秒の音声データを Google 音声認識 API に送信し、その結果をターミナルに出力した。本研究では背上げ、背下げに特化して制御を行ったので、「リクライニング」「起こす」「倒す」「角度」等の文字列を検出した場合に制御を行うプログラムを作成した。

(4) 音声感情認識部

音声感情認識には音声感情認識 API である Empath^[13] を用いた。音声認識部と同様に、4 秒の録音データを Empath に送信しその結果をターミナルに出力した。出力の結果として、[calm, anger, joy, sorrow, energy] の 5 種類が 0 から 50 の結果で出力されるため、表情認識と出力値を合わせるために 2 倍した。音声感情認識部では joy の値のみ抽出して制御及び比較検討を行った。

(5) 表情推定部

図 5 に表情を推定し、“Happy”を検出した際の実験画像を示す。また、表情推定には、表情推定技法で説明したように Intel 社が開発した Open VINO Tool Kit を使用し推定した。

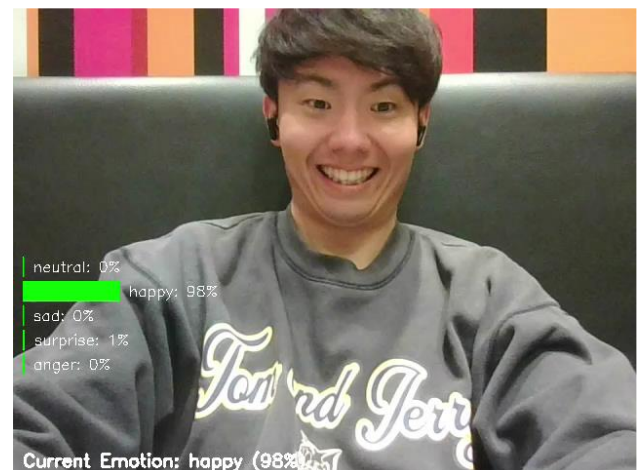


Fig. 5. Facial expression estimation.

出力結果として[Neutral , Happy , Sad , Surprise , Anger]の5種類が0から100の結果で出力され、その中で一番数値の高いものを現在の感情として出力した。また、制御の際には各表情に応じて用途を変更さ、音声感情認識と併用する際には、“Happy”の値を抽出して制御を行った。

(6) EV への制御方法

EV へ信号を送信する役割として、Arduino [14] を採用した。EV での駆動制御に関するフローチャートを図 6 に示す。まず、EV の駆動制御ではリバース・ニュートラル・ドライブの3種類のモードに変更し制御することが可能であるので、電磁リレーと併用して制御を行った。筋電位測定で EV を制御する際には、筋電位測定器から 2V の以上の電圧が入力された際には、Arduino から EV へ 0.6V の出力をし、駆動方式もニュートラルからドライブに電磁リレーで変更した。また、安全上の観点から 0.6V 以上の電圧は出力せずに、クリープ状態を保った。

次に表情推定による EV の駆動制御に関するフローチャートを図 7 に示す。表情推定による EV の制御でも同様に駆動方式を、電磁リレーを用いて変更した。推定結果が数ミリ秒から数十ミリ秒程度で完了し短時間で膨大なデータを送信すると、受信漏れが起こる可能性がある為、Arduino のコード内に 1 から 5 の数字にあらかじめ役割を与え、Python 側から入力された数字に応じて制御方式を変更した。さらに、誤作動を防止する為、信号を受信した後に即制御せず、合計で 14 回入力された場合に実行する。この 14 という数字は、人間が認知してから行動するまで約 0.4 秒程度とされているためである。ただし、他のパラメータが入力された場合にはそのパラメータの型に 1 を加算しそれ以外のパラメータの型から 1 を減算するプログラムに構成している。EV での制御については、表情推定結果が“Happy”を出力し、“Happy”が合計で 14 回出力した際に EV の駆動方式ニュートラルからドライブに切り替え、クリープ状態にして発進させた。ただし、“Happy”の合計回数が 13 回を下回った際には、駆動方式をドライブからニュートラルに変更した。

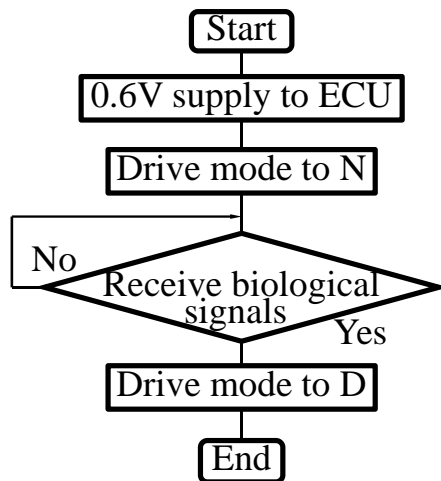


Fig. 6. Drive control method using myoelectric potential.

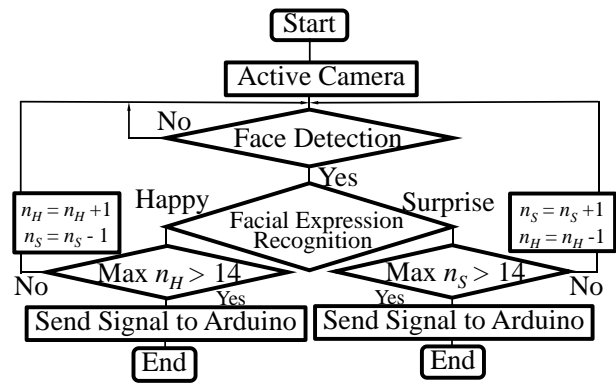


Fig. 7. Drive control method using facial expressions.

(7) 介護ベッドへの制御方法

介護ベッドへ信号を送信する役割として Arduino を用いた。介護ベッドの機能として、背上げ・背下げ・足下げ・足上げの 4 種類の機能がボタン式で制御できたため、EV と同様に電磁リレーを併用して制御を行った。

表情で制御する際には EV の制御方法と同様に各表情に任意の数字を与え、Arduino に入力された数字に応じて制御を行った。また、EV への制御方式と同様に誤作動を防止する為、信号を受信した後に即制御せず、合計で 14 回入力された場合に実行する。

音声で制御する際には、特定の文字列が Python で認識した際に、Arduino へ介護ベッドが背下げ等の機能を制御しきるまでの時間、数字を入力するように制御を行った。ただし、途中で機能を停止するためにストップと音声認識で入力された際には、入力されたタイミングで制御を即停止した。

表情推定と音声感情認識で制御する際には、表情推定による“Happy”の値と音声感情認識の“joy”の値の和の平均値を用いて制御を行った。1 回目の推定で基準となる最低値を算出し、2 回目以降で最低値を上回った際には背上げまたは背下げの制御を行い、下回った際には制御を行わないプログラムとした。

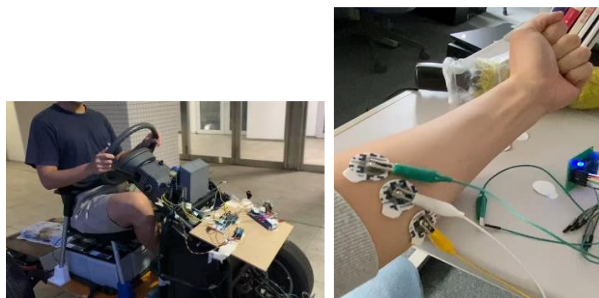
表情推定・音声認識と音声感情認識の 3 つを組み合わせたプログラムで制御する際には、表情推定による“Happy”の値と音声感情認識の“joy”の値の和の平均値を用い、音声認識による文字列を用いて制御を行った。上記表情推定と音声感情認識を併用したプログラムの出力を結果に、音声認識による文字列が「リクライニング」「フットレスト」「起こす」「倒す」などの文字列が認識された場合に制御を行った。

4. 実験結果

(1) 電気自動車への応用結果

筋電位測定器の出力は、包絡線検波回路の出力が 2V を超えた時点で駆動モードをニュートラルからドライブへ変更し、アクセルの出力をクリープ状態に変更させ発進させた。ノイズ除去の観点から半袖でなおかつ安定的に皮膚と接触させるため、生体電位用 ディスポ電極 [15] を用いて

誤検出を防いだ。しかし、走行中ロードノイズや振動により測定精度が悪くなる場合や、ワニロクリップ^[16]で筋電位測定器とディスプレイ電極をつないでいるため外れる時があった。測定時の波形と走行時の様子を以下に示す。



(a) Experimental image. (b) Myoelectric potential measurement.

Fig. 8. Experimental equipment.

表情推定での EV の制御については、“Happy”を出力した際に駆動モードをニュートラルからドライブへ変更し、アクセルの出力をクリープ状態に変更させ発進させた。ノイズ除去の観点からカメラの位置をパソコンに固定し誤検出を防いだ。しかし、逆光により検出ができない場合やロードノイズによる振動の影響により検出がしづらい場合があった。表情推定での走行の様子を図 9 に示す



Fig. 9. EV control with facial expressions.

(6) 介護ベッドへの応用結果

1 つ目は表情推定のみでの制御である。5 種類の表情から“Happy”が出力された際に背下げ、“Surprise”が出力された際に背上げを行うように制御を行った。測定精度向上の観点からカメラを顔全体が映る位置に固定した。表情推定のみでの制御の様子について図 10 に示す。背下げを仕切った際に顔の位置が徐々に下に下がり顔が検出しにくい場合があった。



Fig. 10. Control with facial expressions.

2 つ目は、音声認識のみでの制御である。録音された音声内に「リクライニング」「起こす」「倒す」「角度」という文字列が出力された際に制御を行った。出力された文字列が「リクライニング」のみの場合には起こすのか倒すのかをもう一度聞き直し、「角度」のみの場合には 0 度から 90 度の範囲で聞き直した。また、初期位置を 0 度とし、制御する度に現在位置の更新を行った。音声認識のみでの制御した際のターミナル上の出力を図 11 に示す。音声認識において、同じ読み方の他の単語が認識される場合があった。

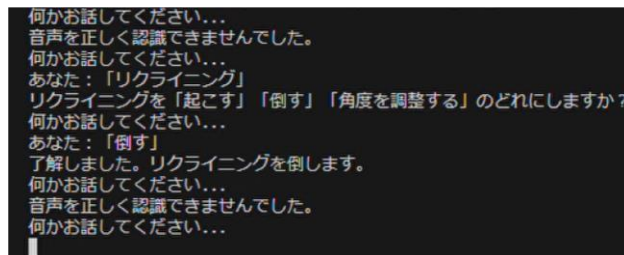


Fig. 11. Voice-only medical bed control (terminal output results).

3 つ目は、表情推定と音声感情認識の併用による制御についてである。4 秒間同時に表情推定と録音を行い、その際に出力された“Happy”の平均値と“joy”の平均値の和から平均を出力させた。平均値を上回った際には、背下げを行い、推定精度向上の観点から、カメラを固定し、マイク的位置を胸元に固定した。表情推定と音声感情認識の併用による制御の様子について図 12 に示す。

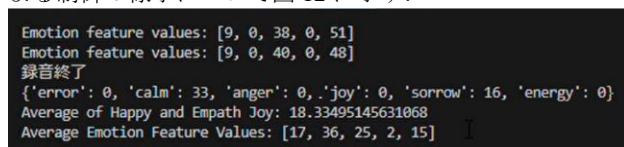


Fig. 12. Medical bed control using voice emotion recognition and facial expression estimation (terminal output results).

4 つ目は、表情推定と音声感情認識、音声認識の併用による制御である。表情推定と音声感情認識の併用に音声認識が組み合わさり出力結果が平均値を上回り尚且つ、音声認識が「リクライニング」「起こす」「倒す」「角度」が検出された際に制御を行った。表情推定と音声感情認識、音声認識の併用による制御の様子について図 13 に示す。

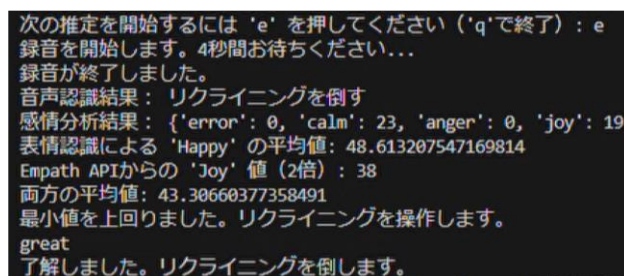


Fig. 13. Voice emotion recognition and facial expression estimation, control of medical bed using voice recognition (terminal output results).

5. まとめ

本論文では、生体信号を用いた電気機器 (EV・介護ベッド) の駆動制御について、検討を行った。介護ベッドを

“Happy”と“Surprise”で制御した際に約 92%と高確率で推定が成功していることが得られた。また、推定精度を従来法（筋電位測定）と表情や音声による制御について比較を行い各提案手法の評価を行い、制御システムの安定性や介護者への肉体的・精神的負担について本論文から得られた結果をまとめると、以下のようになる。

- (1) 筋電位測定と表情推定による EV の駆動制御を行った結果、ロードノイズによる振動やシステムの安定性という観点から考察した結果、表情推定のほうが良好な結果が得られた。筋電位測定器による制御では、特定の筋肉を動かすことによりリハビリにもつながるが、体毛が濃い方や ALS^[17]（筋萎縮性側索硬化症）や筋ジストロフィーのような筋肉が徐々に衰弱してしまう方には安定的に測定することが極めて困難となる。その一方で、表情推定では肢体不自由者でも ALS や筋ジストロフィーのような方々でも、表情を動かすことで制御することが可能となり、さらに表情筋のリハビリにもつながる。
- (2) 表情推定と音声感情認識、音声感情認識による介護ベッドの制御を行った結果、4 種類の制御法については使用者の用途に応じて使い分ける必要があると考察する。その理由として、どの手法もシステムの安定性が極めて高いためである。そのため、表情のみで制御する場合には、失声症や失語症の方や表情筋のリハビリを行いたい方などが使用し、音声のみで制御する場合には抗うつ薬を服用後に表情を動かしにくくなってしまった場合や肢体不自由者などが使用する必要があると考える。また、表情推定や音声認識、音声感情認識の併用による制御を行う場合には、寝たきりのうつ病患者に対するリハビリとしても有効であると考察する。

今後、介護ベッドで水分補給や空調設定、食事について人体信号を用いて制御させるとともに、実際の現場で利用し社会実装を見据え試行錯誤することが必要である。

謝辞

本稿で述べた電気自動車・介護ベッドの駆動制御について、ご助言を頂いた看護師 郷原朱満 様へ謝意を表します。

参考文献

- [1] 内閣府：「令和 4 年版高齢社会白書」，高齢社会白書，pp. 2-4 (2022)
- [2] 厚生労働省：「介護保険事業状況報告」，pp. 7-14 (2020)
- [3] 加藤 正樹，他，“まばたきによる筋電位変化を用いた入力インタフェースの実現性の検討” マルチメディア，分散，協調とモバイル(DICOMO2011)シンポジウム，pp957-964,2011
- [4] 池西 俊仁，他，“EEG を用いたステアリング操舵意図の推定，” 自動車技術会論文集，vol.39,no.6,pp6_23-6_28,2016
- [5] 川野 常夫，他，“高齢者にやさしい電動ギャッチベッド用ハンドジェスチャーインターフェース，” 人間工学会誌，vol.51,pp98-99,2015

- [6] Pyaudio, <https://pypi.org/project/PyAudio/>
 - [7] paInt16, <https://x.gd/Ijbdy>
 - [8] Open VINO tool kit, <https://x.gd/cKtwa>
 - [9] Open VINO tool kit, <https://monomonotech.jp/>
 - [10] 電動ラウンジチェア SHIFFON Jr, <https://x.gd/x3OuT>
 - [11] チョロQモーターズ株式会社, <https://x.gd/i9exG>
 - [12] Google speech recognition, <https://x.gd/USHVD>
 - [13] Empath, <https://webempath.com/>
 - [14] Arduino, <https://www.arduino.cc/>
 - [15] ディスポ電極, <https://x.gd/1nEVd>
 - [16] ワニロクリップ, <https://x.gd/LpVWb>
 - [17] 荻野 美恵子，“日本における ALS 終末期” 臨床神経学雑誌，vol.48,pp973-975,2008
- 研究業績
- A. 国内論文・発表（査読無し，○印：発表者）
- [1] ○郷原秀太・岩波康生（法政大学）・岡本吉史（法政大学）・郷原朱満（看護師）：「表情・音声を用いた介護ベッドの制御及び試作検討」，令和 6 年電気学会全国大会，2024 年 3 月