

令和 5 年 5 月 12 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04505

研究課題名(和文) 生体信号によるリアルタイム感情推定を用いた歩行補助・促進システムの開発

研究課題名(英文) Development of walking assistance and promotion system using real-time emotion recognition from physiological signals

研究代表者

田中 英一郎 (Tanaka, Eiichiro)

早稲田大学・理工学術院(情報生産システム研究科・センター)・教授

研究者番号：10369952

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：高齢者もしくは軽度患者の運動促進を目的として、歩行中の感情を脳波や心拍といった生体信号より推定し、その結果に基づいて自動的に歩行補助するシステムを構築した。感情評価は、ディープニューラルネットワークを用いて快・不快、覚醒・睡眠の2軸で評価した。歩行は、横軸を歩行率、縦軸を歩幅で現す歩容マップ上の直線である歩行比を使用し、歩行比の直線に従って、感情の状態に応じて歩行補助機により歩行周期や歩幅に関係する足関節角度動作の倍率を自動的に調整することとした。本システムを使用して歩行すると、感情を快かつ覚醒状態に導きながら運動が行われることが確認され、有効性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、様々な歩行補助機が提案されてきたが、その多くは物理的に補助するのみであった。しかし、特にニューロリハビリテーションなど場合、脳の活性化が重要であり、当人のやる気を引き出す快かつ覚醒状態に感情を導く本研究方法は、学術的に意義があり、また本システムのコンセプトは、歩行だけでなく勉強、仕事、運動、リハビリなど、様々な自己啓発に活用できることは社会的に意義があるといえる。

研究成果の概要(英文)：For the purpose of promoting exercise in elderly or mild patients, we constructed a system that estimates walking emotions from biological signals such as brain waves and heartbeats and automatically assists walking based on the results. Emotions were evaluated using a deep neural network on the two axes of pleasant and arousal. For walking, the walking ratio, which was a straight line on the gait map showing the horizontal axis as the walking rate and the vertical axis as the stride length, was used. The system decided to automatically adjust the magnification ratio of the related ankle angle movement. It was confirmed that when walking using this system, exercise was performed while leading emotions to a pleasant and arousal state, suggesting its effectiveness.

研究分野：福祉工学，機構学，機械要素学，機械設計

キーワード：歩行補助 感情評価 運動促進 ディープニューラルネットワーク 感情評価に基づいた歩行補助

1. 研究開始当初の背景

●麻痺患者の歩容改善・高齢者の運動促進の効率的実現の必要性

超高齢社会による要介護者増加、介護者不足が深刻化している。また厚労省国民生活基礎調査によると、寝たきりの原因第1位は脳血管障害であり、多くは麻痺症状が発生し要介護状態に陥る。さらに日本は入院日数制限があり、完治せずとも在宅せざるを得ず家族の負担も増大している。したがって、患者の自立生活復帰のため、できるだけ短期に、可能なら入院中の麻痺改善が望まれており、患者を物理的に補助する装置が多数開発されているが、単に動作補助のみ行っても慣れると脳活動が低下し(参考文献1)、歩きながらうたた寝(参考文献2, 3)しては何の効果もない。また、高血圧・筋力低減・骨粗鬆症による脳血管障害や転倒・骨折を防ぐため、高齢者は日常的運動が不可欠だが、誰しも事が起きて初めてその重要性を知るため、自ら厳しくかつ不快な運動を行う気持ちを維持することは困難である。

2. 研究の目的

麻痺患者の歩行訓練、高齢者の運動促進を効率的に支援する超小型装着型歩行補助システムを開発する。従来物理的補助のみの装置が各種開発されてきたが、人間本来の筋力を引き出せば過大な補助は必要なく、使用者のやる気・快感がありかつ維持してこそ効果がある。そこで、歩行中の感情と体調を心拍・脳波分析値を機械学習にて快・不快、覚醒・睡眠を2軸とした2次元感情マップ上の位置と座標変化をリアルタイムに推定した。また歩行率と歩幅を2軸とした2次元歩容マップ上の位置と座標変化との相関関係を用い、使用者の目的・体調に応じて覚醒・快方向に歩行補助機制御値を自動調整し、比較的小さな目標達成による至高経験を繰り返す。楽をしたいという外的欲求に打ち勝ち、高次の内的欲求(人の世話にならない)の維持により、不快度を低減したりハビリ、興奮・疲労しすぎず長時間可能な歩行促進を実現し使用者の自己実現を促進する。本期間中に相関関係の適切な調整法を把握し有効性を検証した。

3. 研究の方法

本研究では、感情をリアルタイムに評価し、その結果に応じて歩行補助機を制御し、人間の気持ちを高めて歩行を促進し、効率的に運動するシステムを構築した(図1)。これを実現するために、足に装着するだけで歩行補助可能な補助機の開発と、生体信号を用いてリアルタイムに感情を評価するシステムの開発、そして感情評価結果に基づいて歩行補助機をチューニングするシステムの開発の3段階によって行われた。

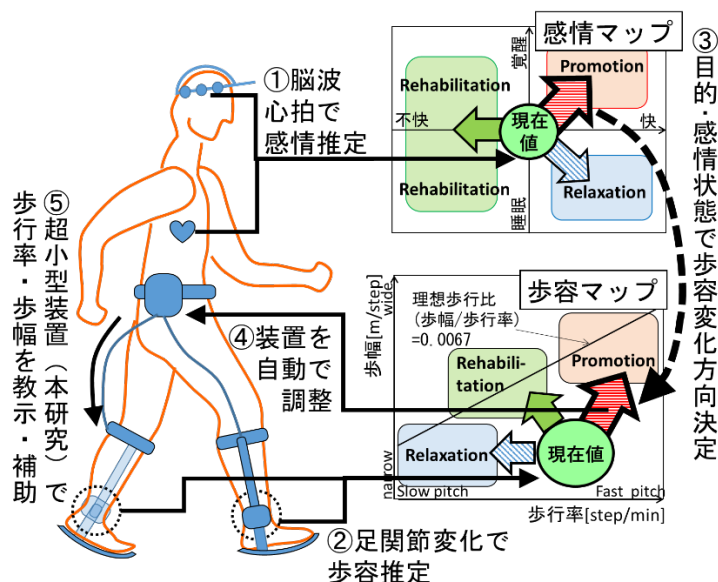


図1 リアルタイム感情評価結果に応じて制御する歩行補助システム

まず、足に装着するだけで歩行補助可能な補助機は、2016年に片麻痺患者の訓練用に製品化した歩行補助機 RE-Gait®の原理を応用し、足関節のみを補助する構造とした。自立歩行可能な対象者には大動力で補助する必要はなく、適切なタイミングと速度で補助するだけでも効果があるため、両足を補助する構造として小型化した装置を試作した。しかしコントローラ、バッテリー等はウエストポーチに収納し、装着部と有線で接続すると、そのケーブルが腕だけでなく家具

などに引っ掛ける恐れがあり、危険を伴うことから、ワイヤレス化を検討した。

次に、リアルタイム感情システムについては、ディープニューラルネットワーク (DNN) を用い、各種脳波と心拍から取得した LF/HF の値から横軸を快-不快、縦軸を覚醒-睡眠として 2 次元平面上の位置を推定するシステムを構築した。ディープニューラルネットワーク内の各種パラメータの最適化を図り、推定精度向上を検討した。

これらを用いて、歩行補助機の目標値を図 1 の歩容マップ (縦軸: 歩幅, 横軸: 歩行率) 上で動かしたときの感情変化を確認し、その結果を用いて歩行中の被験者の感情を快かつ覚醒に導く方法を検討した。

4. 研究成果

運動促進用に超小型軽量の歩行補助機を開発した。図 2 に示す二関節筋の伸張反射を利用することにより、足関節の背屈を立脚終期直後に入力すると足全体が上がる事が確認できており、足関節のみを補助する構造とした。自立歩行可能な対象者には大動力で補助する必要はなく、適切なタイミングと速度で補助するだけでも効果があるため、両足を補助する構造として片足 600g とより小型化した装置を試作した (図 3)。しかし前述のようにケーブルが腕だけでなく家具などに引っ掛ける恐れがあり、危険を伴うことから、装着部とコントローラを独立させ、スマートフォンなどのタブレットから、ワイヤレスに目標値を送る形式の装置を試作した (図 4)。モータを直接装置に接続すると過負荷を直接受けるため、ばねとダンパを備えたトルクリミッタを仲介する構造としたが、3D プリンタで製作すると摩擦が激しく、また防塵を考慮して、総アルミでトルクリミッタ、フレーム、カバーを製作した (図 4 右)。1 次試作機まではバッテリーを毎回外して充電していたが、バッテリー内蔵し装置上部から直接充電可能な構造とした。重量は 1 次試作機 900g, 1 次試作機 1kg と増加したが、リハ施設や病院等、様々な場面での使用を考えると現場での使い勝手や耐久性が大幅に向上した。



図 2 足関節補助だけで足が上がる原理

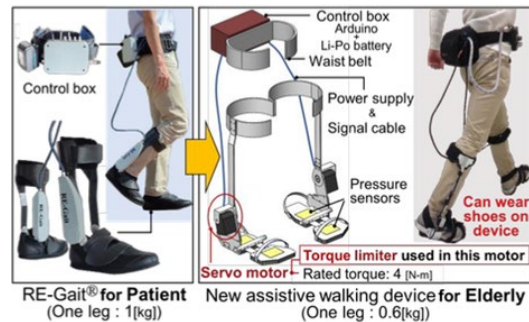


図 3 片麻痺患者向けと運動促進用補助機



図 4 開発した足部のみ取り付けの歩行補助機の 1 次試作機, 2 次試作機

感情評価システムは、DNN の各種パラメータの変更、データセット数の配分や隠れ層の数、ノード数の最適化や、微分エントロピーの特性を使用することなどにより、横軸および縦軸の推定精度を 80% 以上に向上させることができた。また、使い勝手を向上させるため、EEG のみでの評価も実施したが、その場合、縦軸の覚醒睡眠の精度は 76% と低下した。しかし今後 DNN だけでなく、各種ニューラルネットワークでの構築を行い、さらなる精度および使い勝手向上を目指す。

これらのシステムを用いて、目標とする歩容マップ上の位置、すなわち歩行率と歩幅を調整したときの被験者の感情変化を表した結果を図 5 に示す。被験者によって最も歩きやすい設定値を基準点とし、歩行率に従って 10% 増もしくは 10% 減とした場合、さらには歩行率のラインに対し垂直方向に 10% 減, 10% 増とした場合の位置に歩行補助機の目標値を設定したときに、感

情評価システムによって推定した感情の変化方向は、歩行比のラインに沿って動かすと、快かつ覚醒方向にシフトすることが確認できた。一方、垂直方向に動かすと、睡眠方向にシフトすることが確認できた。さらに、4楽章あるクラシック音楽では、第1楽章ではポジティブな感情を表し、第2、3楽章でネガティブな感情を表した後、第4楽章でまたポジティブな感情を表すと、よりその感情を強く感じる。このことを応用し、喜怒哀楽を周期的に感じるよう歩行補助機の日標を設定すると、次に喜の設定が来たとき、感情はより強く快かつ覚醒方向にシフトした(図6)。この手法は、歩行促進のプログラムを作成する際に利用できると考える。

これらの知見を基に、現在の感情を歩行補助機の日標値設定調整によって快かつ覚醒に導く実験を実施した(図7)。歩行開始時は、不快かつ睡眠状態にあったため、歩行補助機の歩行率や歩幅日標値を増加させると、まず覚醒状態に変化した。そこで通常状態に戻すと、快かつ覚醒状態に感情がシフトすることが確認でき、感情に応じて歩行補助機を適切に調整することにより、当人の感情をポジティブに誘導し、気持ちよく運動促進することができる可能性が示唆された。

最後に、筋疲労の評価法についても検討した。いくら感情が高まりやる気に満ちた状態であっても、特に高齢者は疲労に気づくことができずに運動を続けると、転倒等のアクシデントの危険や翌日への疲労の蓄積が発生する。これらを踏まえて運動を収束させる必要がある。従来は、筋電の平均パワー周波数(MPF)による評価が一般的であったが、筋電計測のためには直接肌にセンサを張り付ける必要があるため、使い勝手を考えると難しい。そこで、歩行中に光を前脛骨筋に当てて計測するNIRS、すなわち C_{oxy} ヘモグロビン、 C_{deoxy} 脱ヘモグロビン、それらの差分 C_{minus} の変化とMPFおよび心拍を同時計測した結果例を図8に示す。心拍が上がり続け、ピークを迎えたとき、MPFはピークを過ぎて急降下している。NIRSは C_{oxy} と C_{deoxy} の交点、すなわち C_{minus} が0になったタイミングと等しい。このときをウォーミングアップ完了と推定した。またその後、心拍とMPFが降下するタイミングには周期があり、 C_{minus} も0に近づく傾向がある。これより、NIRSによる筋疲労推定の可能性およびウォーミングアップ、疲労周期の推定の可能性が示唆され、感情と共に疲労も評価しながら運動プログラムを作成する可能性を示すことができた。

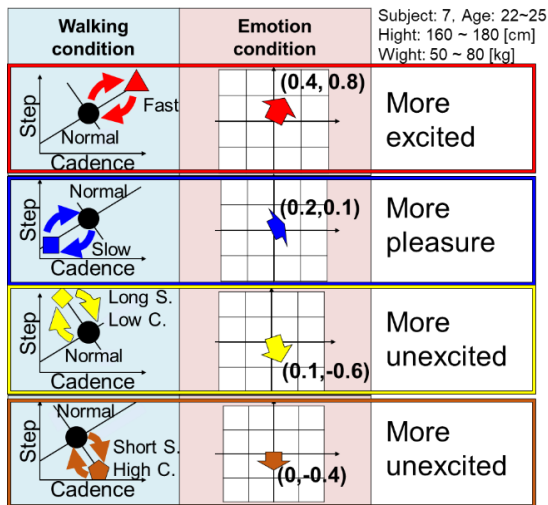


図5 歩容マップ日標値変化と感情変化の関係

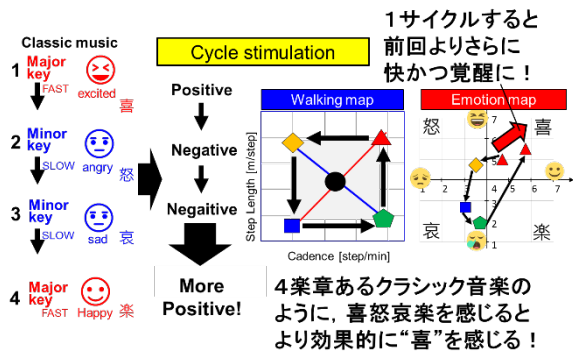


図6 歩容日標値の周期変化と感情増幅

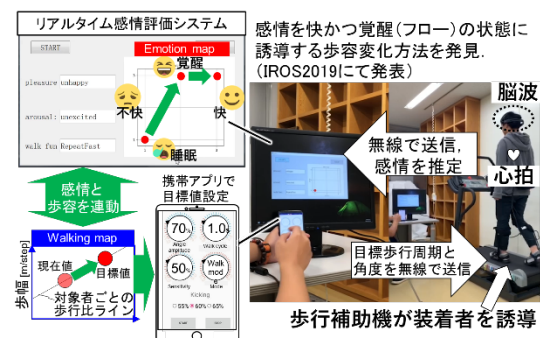


図7 感情に応じて歩行補助機日標値を調整

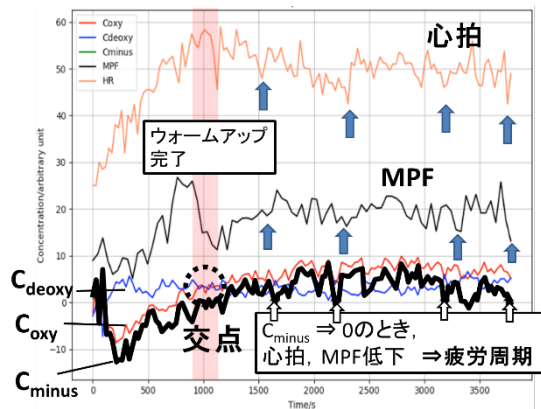


図8 心拍、前脛骨筋EMGのMPF、NIRSの関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Jyun-Rong ZHUANG, Ya-Jing GUAN, Hayato NAGAYOSHI, Keiichi MURAMATSU, Keiichi WATANUKI, Eiichiro TANAKA	4. 巻 13-4
2. 論文標題 Real-Time Emotion Recognition System with Multiple Physiological Signals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jamdsm.2019jamdsm0075	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 2件／うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Jun-Yan Yang, Jyun-Rong Zhuang, Guan-Yu Wu, Eiichiro Tanaka
2. 発表標題 Study of Current Emotion and Muscle Fatigue Evaluation Method for a Walking Assistive Device
3. 学会等名 AIM2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yukai GONG, Junyan YANG, Eiichiro TANAKA
2. 発表標題 Study of Relation between Muscle Fatigue and Walking Mode Based on NIRS for A Walking Assistive Device
3. 学会等名 ISIPS2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中英一郎
2. 発表標題 インクルーシブデザインによるライフサポート機器の開発
3. 学会等名 制振工学研究会 技術交流会 基調講演（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中英一郎
2. 発表標題 医工・産学連携によるライフサポート機器の開発
3. 学会等名 呉高専 特別講演 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jun-Yan Yang, Jyun-Rong Zhuang, Guan-Yu Wu, Eiichiro Tanaka
2. 発表標題 A Control Method for Walking Assistive Device Considering Emotion and Body Condition
3. 学会等名 Robomech2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jyunrong Zhuang, Guanyu Wu, Heehyol Lee, Eiichiro Tanaka
2. 発表標題 Evaluation of the Walking-Emotion Relationship for Applying to an Assistive Walking Device
3. 学会等名 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jyun-Rong Zhuang, Guan-Yu Wu, Ya-Jing Guan, Keiichi Muramatsu, Keiichi Watanuki, Eiichiro Tanaka
2. 発表標題 Evaluating the interaction between human walking and two-dimensional emotion variation by using physiological signals
3. 学会等名 10th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jyun-Rong Zhuang, Guan-Yu Wu, Hee-hyol Lee, Eiichiro Tanaka
2. 発表標題 Applying the Interaction of Walking-Emotion to an Assistive Device for Rehabilitation and Exercise
3. 学会等名 IROS2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eiichiro Tanaka, Jyun-Rong Zhuang, Bo-Rong Yang, Guan-Yu Wu, Hee Hyol Lee, Louis Yuge
2. 発表標題 A Walking Assistive Device of Ankle Joint Motion and Control Method Taken into Account the Emotion Condition
3. 学会等名 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中英一郎・莊俊融・巫冠諭・井上徹夫
2. 発表標題 生体信号を用いたリアルタイム感情推定システムの開発
3. 学会等名 第二回日本再生医療とリハビリテーション学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun-Yan Yang, Jyun-Rong Zhuang, Guan-Yu Wu, Eiichiro Tanaka
2. 発表標題 A Control Method for Walking Assistive Device Considering Emotion and Body Condition,
3. 学会等名 Robomech2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jun-Yan Yang, Jyun-Rong Zhuang, Guan-Yu Wu, Eiichiro Tanaka
2. 発表標題 Study of Current Emotion and Muscle Fatigue Evaluation Method for a Walking Assistive Device
3. 学会等名 AIM2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李雲帆, ゴン渝凱, 田中 英一郎
2. 発表標題 歩行補助装置を自動制御するためのウェアブル感情疲労評価システム
3. 学会等名 MDT2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 英一郎, 大澤 一貴, 山本 祥貴
2. 発表標題 高齢者向け階段昇降用歩行補助機の開発
3. 学会等名 MDT2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 トルクリミッター	発明者 田中英一郎・大澤一貴	権利者 早稲田大学, (株)スペース・ バイオ・ラボラ
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-070975	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 膝関節補助装置	発明者 田中英一郎・山本祥貴・大澤一貴	権利者 早稲田大学, (株)スペース・ バイオ・ラボラ
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-081343	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 膝関節補助装置	発明者 田中英一郎・山本祥貴・大澤一貴	権利者 早稲田大学, (株)スペース・ バイオ・ラボラ
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-033565	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	弓削 類 (Yuge Louis) (20263676)	広島大学・医系科学研究科(保)・教授 (15401)	
研究分担者	莊 俊融 (Zhuang Jyun-Rong) (70824283)	早稲田大学・理工学術院(情報生産システム研究科・センター)・助手 (32689)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------