

令和 5 年 6 月 30 日現在

機関番号：32410

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K01551

研究課題名（和文）使用者の意思と身体状態の変化に対応する歩行補助装置の開発

研究課題名（英文）Development of assistive walking devices which change the motions with user's body conditions and volition.

研究代表者

長井 力 (NAGAI, Chikara)

埼玉工業大学・工学部・教授

研究者番号：80401777

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、使用者の意思と身体状態の変化に対応する歩行補助装置について研究を行った。研究成果は、1．従来研究で用いてきた歩行補助装置の構造上の問題点を改良し、より使用者にとって負担の少ない装置を設計した。2．歩行コントローラに用いているCPGコントローラに対し、装着者と協調して歩様を変化させるシステムの検討を行った。その結果、外部入力により歩様をある程度変化させることが可能となった。3．使用者の状態推定を行うためのセンサシステムの検討を行った。センサ配置や信号処理手法等の改良により、使用者の状態を歩行にフィードバックできる可能性を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、1．リハビリテーションや移動手段としての歩行補助装置について、より使用者にとって負担の少ない構造、制御手法について知見を得られたこと、2．CPGコントローラの歩行補助装置への適用及び外部入力による歩様変化手法について知見を得られたこと、3．使用者の身体情報から意図や身体の状態を推定する手法について知見を得られたこと、4．使用者にとって負担の少ない、人間機械システムを構築するための知見を得られたことである。

本研究の社会的意義は、歩行補助装置がより安全に使用できるための知見を得られたことは人間機械システムが幅広く社会に普及するために意義のあることである。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated a walking assistance device that responds to changes in the user's intention and physical condition. The research results are as follows: 1. We have improved the structural problems of the walking assistance devices used in previous research, and designed a device that reduces the burden on the user. 2. For the CPG controller used for the walking controller, we studied a system that changes the walking style in cooperation with the wearer. As a result, it became possible to change the gait to some extent by external input. 3. We investigated a sensor system for estimating the user's state. By improving the sensor arrangement and signal processing method, we found the possibility of feeding back the user's condition to walking.

研究分野：医療福祉工学

キーワード：歩行補助装置 リハビリテーション 支援ロボティクス 身体状態推定 CPGコントローラ 疲労推定  
福祉・介護用ロボット 運動学習

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1)日本は近年急速に高齢化が進み、超高齢社会に突入している。今後も高齢化率の上昇が予想されており、2025年には約30%、2060年には約40%に達すると見られる。高齢化に伴い、加齢を原因とする筋骨格系が衰弱した人や、脳卒中などの疾患による下肢運動機能の障害等を持つ人の割合がさらに増加していくものと思われる。また、若年層では事故などが原因で障害を持つ人がおり、年間5000人程度が脊髄を損傷すると推計されている。これら身体障害者が自立した生活を送れるようにするための技術、医療、社会制度の確立が強く望まれている。

(2)加齢等による身体機能の低下や受傷による障害には、適切なリハビリテーションを行うことで機能の改善が見込まれる。適切なリハビリテーションを行うためには、医師や療法士等多くの人員と長いリハビリ訓練時間が必要となる。一般に歩行機能回復のリハビリテーションにおいては、1名の患者に対して複数名の療法士が必要であり、また、療法士にかかる身体的な負担も大きいことから、長時間の訓練を十分に行うことは現実問題として困難である。このように、人材の不足や医療費等の問題からすべての患者が十分なりハビリテーションを受けられていない事が問題として挙げられる。

リハビリテーションは、医師や療法士の長年の経験の積み重ねに基づき手技手法が決められてきたが、近年はロボットを用いたリハビリテーションが試みられ、より定量的な運動評価や正確な反復訓練が可能となった。このように、ロボットを用いたリハビリテーションは訓練の質の向上が望めるとともに、人材不足等の問題を解決できる。下肢機能回復リハビリテーションでは、装着型パワーアシスト装置の開発が試みられており、代表的なものとしてHAL(CYBERDYNE Inc.)、Honda 歩行アシスト(本田技研工業(株))、パーソナルアシストロボット(トヨタ自動車(株))等が挙げられ、臨床での幅広い利用が期待されている。

(3)ヒトの運動をアシストしたりリハビリテーションを行う上で重要な点は使用者の状態を正しく評価し、状態に合わせて適切な量をアシストすることである。アシストの量が多ければ、使用者は現在ある機能を退化(廃用症候群)させてしまう危険性がある。アシストの量が少なければ、十分な訓練効果を発揮することができない。医師や療法士は、このぎりぎりの「さじ加減」を経験的に調節している。しかし、患者個々の状態は、回復の程度や疲労状態、運動意欲等によって常に変化している。そのため、パワーアシスト装置を適切かつ効果的に使用するためには、使用者の状態の定量的評価手法の開発、及び、評価をもとにアシスト量を変更できるアシスト装置の実現が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究は、加齢や障害による歩行困難者を対象とした歩行補助装置の最適運動制御を行うために、装着者の歩行状態の評価と評価値を用いた最適制御手法の構築を目的とする。従来、患者の状態評価は医師や療法士が経験的に行ってきたが、患者個々の状態は、回復の程度や疲労状態、運動意欲等によって常に変化しており、適切な運動補助を行うためにはその状態を定量的に評価する必要がある。

研究代表者は、長下肢装具のひざ関節部と股関節部にアクチュエータを装着した下肢麻痺患者用パワーアシスト装置の開発を行い、健常者による歩行実験に成功した。しかし、関節軌道制御手法及び使用者との協調制御について課題を残しているため、以下の課題について解決を行う。

- (1)下肢運動データから歩行状態を評価する手法の開発
- (2)運動データから得られた状態評価指標を用いた関節軌道制御
- (3)最適な歩行補助装置の開発と制御手法の確立

### 3. 研究の方法

#### (1)改良型パワーアシスト装置の開発

研究代表者らの過去の研究から、最適なパワーアシストに必要な構造、制御手法が明らかになってきた。過去の研究結果より得られた知見を元に、問題点を解消した改良型パワーアシスト装置を設計製作する。完成後は、健常者による歩行実験を行い、予定された性能が発揮できるか検証を行う。

#### (2)装着者の状態評価手法の確立

装着者の状態評価手法の評価は、関連文献の調査を行いながら、過去の実験データを用いて検討を行う。筋シナジ情報や運動データの特異値情報等を用いて運動の特徴評価に関する検討を行う。心理学や運動学、脳科学等の様々な分野の知見を利用しながら、身体状態を評価できるパラメータの検討を行う。改良型パワーアシスト装置を用いて健常者による歩行実験を行い、パラメータを様々に変えながらデータ収集を行い、評価指標の妥当性を検討する。

#### (3)CPGコントローラの導入手法の検討

CPG コントローラは、非線形コントローラでありパラメータの数が多く、またその機序が複雑で理解しにくいいため、意図した運動を生成させることは一般に困難である。本研究では、パラメータ生成を遺伝的アルゴリズムを使用して試行錯誤的に求めている。研究代表者は、この CPG コントローラの動作を外部から操作し、パワーアシスト装置が装着者を適切にアシストできるように試みる。手法の検討は、シミュレーションベースで行う。実験環境と同様の環境をシミュレーション上で再現し、CPG コントローラの構造を変化させ検討を行う。

#### 4. 研究成果

本研究で得られた主な成果：

##### (1)改良型パワーアシスト装置の開発

従来研究の結果をもとに、改良型パワーアシスト装置を開発した。主な改良点は、1. 可動部の構造見直しによる装着者への安全性の向上、2. 軽量化、3. センサの最適配置、4. 駆動安定性の向上である。改良した装置は健康者による歩行実験を行い、設計通りの性能が発揮されていることを確認した。

##### (2)装着者の状態評価手法の確立

過去の実験データ及び健康者による歩行実験を行い、歩行時の状態評価手法の確立を試みた。健康歩行運動時の下肢筋電データのシナジ解析と運動データの特異値を用いて、歩様の变化、筋疲労状態の違いによる特徴量の変化を解析した。その結果、被験者の状態に応じてシナジ数が変化することが確認された。また、下肢筋電データの取得は少なからず装着者の負担となることから、新たな筋活動状態推定の手法について検討した。FMG (Force Myo Graphy) による身体状態推定手法について検討を行い、信号処理及びデータの特異値分解による解析により、装着者の運動状態推定の可能性を見出した。

##### (3)CPG コントローラの導入手法の検討

制御システムの開発については、既に得られている歩行データを用いて検討を行った。また、CPG コントローラの最適設計パラメータの探索及び協調制御手法の検討についてはシミュレーションによって行った。CPG コントローラを外部から操作し、意図した運動を生成させることは一般に困難であるが、コントローラの構造を検討した結果、外部からの信号により出力を変化させることに成功した。改良したコントローラを神経筋骨格モデルに組み込み、歩行を生成させた。その結果、入力信号により歩行が連続的に変化することを確認した。

設計したコントローラを歩行補助装置に実装した。健康者による歩行実験では、装置構造及び協調システムの改良により歩行の安定性向上がみられた。

新型コロナウイルス感染拡大の影響から、計画していた対麻痺者による歩行実験を行うことができず、改良型歩行補助装置を対麻痺者に装着した歩行データは得ることができなかった。しかし、整形外科医との議論から対麻痺者へのアシスト手法及び装置の実用化についての知見を得た。

本研究課題の国内外における位置づけ：

パワーアシスト装置を用いた歩行リハビリテーションについては、国内外で実用化され始めているが、装置使用の簡便性や装着者との協調制御については依然課題を残している。本研究成果は、装置の改良と制御手法の改良により、これらの課題の解決を試みた。本研究課題での提案した CPG コントローラを用いたパワーアシスト装置の歩行制御は世界的に見ても例は少なく、本研究成果がこれらの課題解決に貢献するものである。また、本研究成果は、体幹や上肢など他の部位を対象としたパワーアシスト装置への展開も可能であり、応用先は広いと考えられる。

今後の展望：

本研究課題の成果をもとに、リハビリテーション用途だけでなく、歩行困難者の新たな移動手段としての歩行補助装置としての展開を計画している。また、実用化を目指して国内外の企業、研究機関と連携を図っている。

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 AZMAN Amir Mukhriz, NAGAI Chikara, SAGAWA Koichi, HIRAKAWA Yuichi, SAWADA Kaori	4. 巻 13
2. 論文標題 Inertial gait analysis measurement system for large-scale health checkups	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 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jamdsm.2019jamdsm0069	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17件（うち招待講演 2件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Chikara Nagai
2. 発表標題 Active Lower Limb Orthosis with one Motor Drive
3. 学会等名 INTERNATIONAL FORUM ON EXOSKELETON & HUMAN AUGMENTATION SYSTEMS, EXOBerlin2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長井力
2. 発表標題 使用者と協調動作する歩行補助パワーアシスト装置の研究開発
3. 学会等名 第19回若手研究フォーラム（埼玉工業大学先端科学研究所）（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長井力, 藤崎和弘, 小渡亮介, 矢野哲也
2. 発表標題 熟練動作解析のための前腕部装着型Force-myographyによる手指動作計測
3. 学会等名 第47回日本臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大西章寛, 長井力, 佐川貢一
2. 発表標題 リンゴ栽培作業支援のための上肢パワーアシストスーツの開発
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部 第330回研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長井力
2. 発表標題 歩行補助パワーアシスト装置の協調動作
3. 学会等名 SICE Tohoku オンライン講演会 ~東北地方の若手研究者と語り合う~ (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今井理生, 白川秀人, 長井力, 佐川貢一
2. 発表標題 慣性センサを用いた革靴のフィット性の評価
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部 第323回研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田澤卓, 今井理生, 長井力, 佐川貢一
2. 発表標題 ウェアラブルセンサを用いたリンゴ収穫動作の計測
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部 第323回研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今井理生, 田澤卓, 長井力, 佐川貢一
2. 発表標題 ローパスフィルタによる慣性センサの推定誤差軽減法を利用したリンゴ収穫動作の計測
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部 第323回研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大宮萌, 長井力, 佐川貢一
2. 発表標題 表面筋電位を用いた肘関節パワーアシスト装置の制御の検討
3. 学会等名 第40回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白川秀人, 今井理生, 長井力, 佐川貢一
2. 発表標題 慣性センサを用いた靴のフィット性の評価
3. 学会等名 第40回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Azman Amir Mukhriz, Ohno Youhei, Nagai Chikara, Sagawa Koichi
2. 発表標題 Simultaneous measurement of 3D foot trajectory and foot pressure path using tip-toe mounted sensor
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大宮萌, 肥後洋暁, 長井力, 佐川貢一
2. 発表標題 肘関節パワーアシストのための筋疲労評価の基礎検討
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Amir Mukhriz, Chikara Nagai, Koichi Sagawa, Yuichi Hirakawa, Kaori Sawada
2. 発表標題 Predicting possibility of mild cognitive impairment from gait parameter measured with inertial sensor
3. 学会等名 日本機械学会 情報・知能・精密機器部門(IIP部門)講演会 IIP2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Amir Mukhriz, Hirofumi Kuga, Koichi Sagawa, Chikara Nagai
2. 発表標題 Estimation of gait parameter during high speed walking using inertial sensors
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部 第309回研究集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山上勸司, 長井力, 佐川貢一
2. 発表標題 手動制御系における操作者のフィードフォワード特性の解析
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部 第309回研究集会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Amir Mukhriz Azman, Hirofumi Kuga, Koichi Sagawa, Chikara Nagai
2. 発表標題 Fastest gait parameters estimation precision comparison utilizing high-sensitivity and low-sensitivity inertial sensor
3. 学会等名 Conference for Innovation in Biomedical Engineering and Life Sciences (ICIBEL2017) in conjunction with the 10th Asia Pacific Conference on Medical and Biological Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山上勸司, 長井力, 佐川貢一
2. 発表標題 手動制御における追従特性の解析
3. 学会等名 日本人間工学会 第59回大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 手術用フィードバックシステム及び手術用フィードバック方法	発明者 小渡亮介, 長井力, 矢野哲也, 藤崎和弘, 陳暁帥	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特許出願2020-181616	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	佐川 貢一  (SAGAWA Koichi)  (30272016)	弘前大学・理工学研究科・教授    (11101)	
研究分担者	大日方 五郎  (OBINATA Goro)  (50111315)	公益財団法人名古屋産業科学研究所・研究部・上席研究員    (73905)	

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
---------	---------