

令和 4 年 4 月 27 日現在

機関番号：11401
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2018～2021
課題番号：18K10668
研究課題名（和文）機能的電気刺激を併用した両側下肢型歩行訓練リハビリテーションロボットの開発と検討

研究課題名（英文）Development of a Gait Rehabilitation Robot Using an Exoskeleton and Functional Electrical Stimulation for paraplegia

研究代表者
島田 洋一（Shimada, Yoichi）

秋田大学・名誉教授・名誉教授

研究者番号：90162685
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：脊髄障害に伴う対麻痺者を主対象とした、機能的電気刺激併用の歩行訓練リハビリテーションロボットを開発した。機能的電気刺激による筋収縮は、ロボットにより生じるモータートルク量を減少させることが証明された。また、機械学習により被検者に適したロボットモータートルク量を自動調整できる機構を開発した。これにより麻痺の改善が得られた際に、その麻痺の程度に適したサポートトルク量を自動で適切に提供する。健常者における安全性を検証ののち、対麻痺者に対するリハビリテーションを行った。有害事象なく経過、今後継続したリハビリテーション効果の検証を行う。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脊髄障害に伴う対麻痺者を主対象とした、機能的電気刺激併用の歩行訓練リハビリテーションロボットを開発した。重度の麻痺がある時から、自身の筋収縮を用いた歩行訓練は機能改善に有効となる可能性がある。機能的電気刺激は神経可塑性に対し有効な治療であり、今後再生医療との併用効果に期待される。

研究成果の概要（英文）：A gait training rehabilitation robot with functional electrical stimulation was developed mainly for paraplegics with spinal cord injury. It was proven that muscle contraction by functional electrical stimulation decreases the amount of motor torque produced by the robot. We also developed a mechanism that can automatically adjust the amount of robot motor torque appropriate for the subject through machine learning. When paralysis improves, the amount of support torque appropriate for the degree of paralysis is automatically and appropriately provided. After verifying safety in healthy subjects, rehabilitation was performed on paraplegic subjects. No adverse events occurred, and the effectiveness of continued rehabilitation will be verified in the future.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：機能的電気刺激 ロボットリハビリテーション 歩行 機械学習

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

脊髄損傷患者の歩行再建を目標に、本研究グループでは機能的電気刺激 (FES) の研究を続けてきた。当初より当大学理工学部と医工連携による研究を行い、現在は複数のリハビリテーションロボットの開発を行っている。FES とロボットの各々の利点、欠点が補充し合えることから有効な組み合わせと考え、同時に使用するリハビリテーションロボットシステムを考案した

2. 研究の目的

脳卒中や脊髄障害など中枢神経障害による歩行障害に対し、ロボットリハビリテーションによる高頻度反復訓練が効果的である。また疾病によらずとも、高齢化に伴う歩行障害の場合も、ロボットによるサポートがあれば安全に、効果的な訓練を行うことができ、歩行能力維持ひいては健康寿命延伸につながる可能性がある。しかし従来のリハビリテーションロボットは高額かつ巨大なため普及してない。本研究では、体幹支持により従来の歩行訓練リハビリテーションロボットに対しサイズの縮小を図り、また機能的電気刺激 (Functional Electrical Stimulation: FES) を併用することで、ロボットによるアシストのみでは得られない能動的な筋収縮から筋力改善ならびに、神経可塑性の向上が期待できる両側下肢型リハビリテーションロボットを開発し、その効果の検討を行う。

3. 研究の方法

・対麻痺対応ロボットの開発

外骨格型装具をベースとし、トレッドミル上を歩行する。ハーネスによる転倒予防ならびに免荷機構で重度麻痺でも歩行訓練を行える機構とする。

・FES の刺激タイミングの策定

健常者歩行周期データから、歩行タイミングに合わせた FES の刺激タイミングの策定を行う。

・自動サポートトルク調整機構の開発

機械学習を用いることで、麻痺の程度に応じた自動ロボットトルク調整機構を開発する。

上記開発後、健常者における安全性の検証を行う。

その後、脊髄障害に伴う対麻痺者を対象とした、リハビリテーション効果検証を行う。

4. 研究成果

脊髄障害に伴う対麻痺者を主対象とした、機能的電気刺激併用の歩行訓練リハビリテーションロボット (Akita Trainer) を開発した (図 1)。機能的電気刺激による筋収縮は、健常者を用いハーネスで吊り上げた疑似対麻痺者において、ロボットにより生じる股関節・膝関節のモータートルク量を減少させることが証明された¹⁾。歩行速度を変化させても同様の結果が得られた。これにより、重度麻痺者であっても自身の筋収縮を用いて、ロボットに頼り切らない歩行訓練が受傷・発症早期から可能となると予想される。また、機械学習により被検者に適したロボットモータートルク量を自動調整できる機構を開発した²⁾。これにより麻痺の改善が得られた際に、その状態に適したサポートトルク量を自動で適切に提供することで、よりロボットに頼り切らない歩行訓練を継続可能となる (図 2)。健常者における安全性を検証ののち、対麻痺者に対するリハビリテーションを行った。上記 2 つの機構は、対麻痺者においても問題なく稼働することを確

認した。有害事象なく経過、今後継続したりハビリテーション効果の検証を行う。

引用文献

- 1) Inoue J, Kimura R, Shimada Y, et al. Development of a Gait Rehabilitation Robot Using an Exoskeleton and Functional Electrical Stimulation: Validation in a Pseudo-paraplegic Model. *Prog Rehabil Med.* 2022;7:20220001. Published 2022 Jan 22. doi:10.2490/prm.20220001
- 2) 前田海, 巖見 武裕, 木村 竜太, ら . 片麻痺患者用歩行訓練リハビリテーションロボットにおける強化学習を用いたアシスト量自動調整システムの開発 . 産業応用工学会論文誌, 2022, 10 巻, 1 号, p.28-37 .

図 1

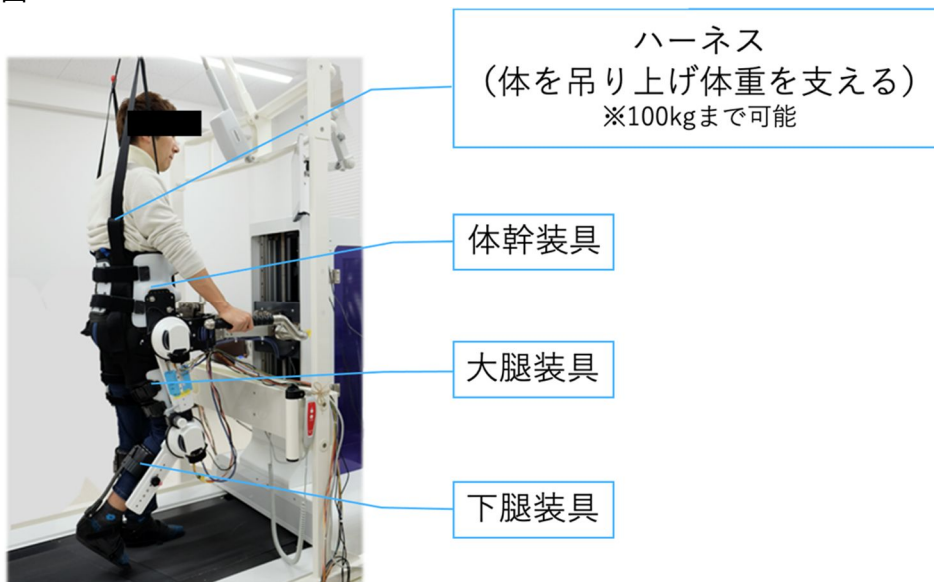
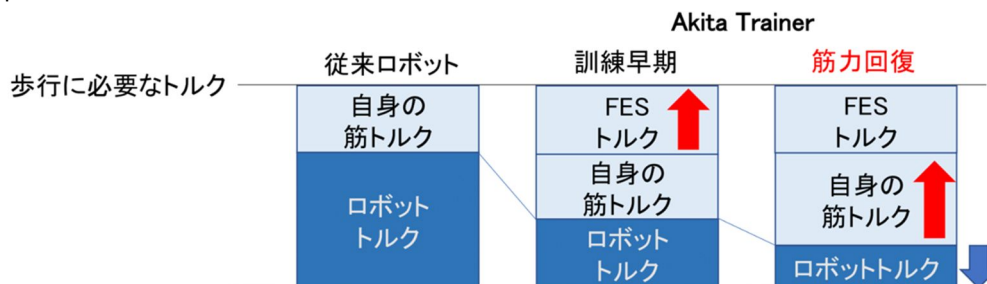


図 2



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kimura Ryota, Matsunaga Toshiki, Iwami Takehiro, Kudo Daisuke, Saitoh Kimio, Hatakeyama Kazutoshi, Watanabe Motoyuki, Takahashi Yusuke, Miyakoshi Naohisa, Shimada Yoichi	4. 巻 3
2. 論文標題 Development of a Rehabilitation Robot Combined with Functional Electrical Stimulation Controlled by Non-disabled Lower Extremity in Hemiplegic Gait	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress in Rehabilitation Medicine	6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2490/prm.20180005	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 -

1. 著者名 Inoue Junichi, Kimura Ryota, Shimada Yoichi, Saito Kimio, Kudo Daisuke, Hatakeyama Kazutoshi, Watanabe Motoyuki, Maeda Kai, Iwami Takehiro, Matsunaga Toshiki, Miyakoshi Naohisa	4. 巻 7
2. 論文標題 Development of a Gait Rehabilitation Robot Using an Exoskeleton and Functional Electrical Stimulation: Validation in a Pseudo-paraplegic Model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Progress in Rehabilitation Medicine	6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2490/prm.20220001	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 -

1. 著者名 前田 海、巖見 武裕、木村 竜太、島田 洋一	4. 巻 10
2. 論文標題 Development of an Automatic Adjustment System for the Amount of Assist Using Reinforcement Learning in Gait Rehabilitation Robot for Hemiplegic Patients	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 産業応用工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 28 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.12792/jjiaae.10.1.28	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12件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 井上純一, 木村竜太, 斉藤公男, 工藤大輔, 松永俊樹, 宮腰尚久, 島田洋一
2. 発表標題 中枢神経障害に対する機能的電気刺激 (FES) を併用した歩行リハビリテーションロボットの開発
3. 学会等名 第57回日本リハビリテーション医学会学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上純一, 木村竜太, 斉藤公男, 工藤大輔, 松永俊樹, 宮腰尚久, 島田洋一
2. 発表標題 脊髄障害に対する機能的電気刺激 (FES) を併用した歩行リハビリテーションロボットの開発
3. 学会等名 第36回日本義肢装具学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三浦大輝, 山内哲也, 前田海, 井上純一, 木村竜太, 巖見武裕, 島田洋一
2. 発表標題 下肢麻痺者のための歩行リハビリテーションロボットの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松永俊樹, 巖見武裕, 工藤大輔, 斉藤公男, 木村竜太, 千田聡明, 畠山和利, 渡邊基起, 島田洋一
2. 発表標題 工学と繋がるリハビリテーション医療の連携 Akita FES Project, Akita Motion Analysis Groupの活動紹介
3. 学会等名 日本リハビリテーション医学会第56回学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村竜太
2. 発表標題 Akita Trainer - 地方発の歩行訓練リハビリテーションロボット -
3. 学会等名 第35回日本義肢装具学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上純一, 木村竜太, 宮腰尚久, 松永俊樹, 工藤大輔, 島田洋一
2. 発表標題 脊髄障害に対する機能的電気刺激 (FES) を併用した歩行リハビリテーションの開発
3. 学会等名 第54回日本脊髄障害医学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山内哲也, 三浦大輝, 白田伊織, 前田海, 巖見武裕, 島田洋一
2. 発表標題 歩行リハビリテーションロボットにおける強化学習によるアシスト量最適化システムの開発
3. 学会等名 日本機械学会年次大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuya Yamauchi, Daiki Miura, Kai Maeda, Iori Usuda, Junichi Inoue, Ryota Kimura, Takehiro Iwami and Yoichi Shimada
2. 発表標題 Development of Assist Torque Optimization System using Reinforcement Learning in Gait Rehabilitation Robot
3. 学会等名 2019 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦大輝, 山内哲也, 巖見武裕, 畠山和利, 島田洋一
2. 発表標題 機能的電気刺激を併用した片麻痺用歩行リハビリテーションロボットにおける歩行の左右対称性評価
3. 学会等名 日本機械学会東北学生会第49回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 臼田伊織、齊藤涼、山内哲也、巖見武裕、木村竜太、島田洋一
2. 発表標題 歩行訓練リハビリテーションロボットの下肢関節軌道作成に関する研究
3. 学会等名 第45回日本臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上純一、木村竜太、齊藤公男、工藤 大輔、松永 俊樹、宮腰 尚久、島田 洋一
2. 発表標題 対麻痺に対する機能的電気刺激を併用した歩行リハビリテーションロボットの開発、健常者による検討
3. 学会等名 第58回日本リハビリテーション医学会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 1) Inoue, J., Miyakoshi, N., Hongo, M., Kimura, R., Saito, K., Kudo, D., Hatakeyama, K., Watanabe, M., Takahashi, Y., Suda, T., Matsunaga, T. and Shimada, Y
2. 発表標題 Gait Rehabilitation with Exercise Assist Robot and functional electrical stimulation (FES) for incomplete paraplegia : a case report
3. 学会等名 413th International Society of Physical and Rehabilitation Medicine World Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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	巖見 武裕 (Iwami Takehiro) (10259806)	秋田大学・理工学研究科・教授 (11401)	

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