

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23240088

研究課題名(和文) 全身協調動作を誘発する福祉支援ロボットの制御手法の開発

研究課題名(英文) Development of a Control Method of Assistive and Rehabilitation Robot to Induce Harmonized Movement of Whole Body

研究代表者

藤江 正克 (Fujie, Masakatsu)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：20339716

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 38,400,000円、(間接経費) 11,520,000円

研究成果の概要(和文)：超高齢社会の到来に伴い、動作支援ロボットに対する社会的ニーズは急速に拡大している。しかし、動作支援ロボットでは、支援する関節・筋の生体情報のみを利用してロボットの動作を決定しているため、全身協調運動に与える影響は十分に検討されていない。本研究では、ロボット使用者の全身の動作が協調されることが可能なロボットの制御則の構築に向け、課題を大きく以下の3つに分けて取り組んだ。(1)ヒトの全身協調動作モデルの構築、(2)生活動作における被介助者の全身動作の最適化、(3)介助ロボットの動作生成。そして、用途の異なる複数のロボット対し上記の3つの課題に基づき、全身協調動作を誘発するロボットの開発を目指した。

研究成果の概要(英文)：In the super-aged society in Japan, assistive and rehabilitation robots are now thought as promising ways to support elderly people. However, most of robots focus only on the target parts of the body and this focus makes the user's movement of the other body parts unbalance. In this research, the goal is to develop a control strategy which is able to harmonize the movement not only the target body part but also the other parts. We categorize the task to reach this goal as follows; (1)Development of a model to harmonize the whole body during using robots, (2)Optimization of the user's movement of whole body while performing activities of daily living,(3)Test movements of assistive and rehabilitation robots. We tried to develop several kinds of robots based on aforementioned three tasks

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

科研費の分科・細目：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：生理学的モデル 動力学的モデル 意図推定 シミュレータ 動作解析

1. 研究開始当初の背景

超高齢社会の到来に伴い、動作支援ロボットに対する社会的ニーズは急速に拡大しているにも関わらず、一部の病院や介護施設内といった限られた状況における利用に留まっており、日常生活に普及しているとは言い難い。一方、これらの動作支援ロボットでは、身体機能が低下しておりロボットが支援する関節・筋の生体情報のみを利用してロボットの動作を決定しているため、人間の全身協調運動に与える影響は十分に検討されていないのが現状である。このため、全身協調運動として評価した場合に動作の効率が悪く、「非介助者が他の部位の動作を非意識的にロボットに合わせる」必要がある動作が生成されている。これらが、機器使用の際の直感性を低下させている原因になっていると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、動作支援ロボットの普及を目指し、直接的なアシスト部位だけでなく、全身の動作が自然と調和されることを目標に加えたロボットの制御則の構築を行う。

3. 研究の方法

本研究では、ロボット使用者の全身の動作が協調されることが可能なロボットの制御則の構築に向け、課題を大きく以下の3つに分けて取り組んだ。

- (1) ヒトの全身協調動作モデルの構築
- (2) 生活動作における被介助者の全身動作の最適化
- (3) 介助ロボットの動作生成

そして、用途の異なる複数のロボットに関して、上記の3つの課題に基づき、全身協調動作を誘発するロボットの開発を目指した。

4. 研究成果

全身協調動作を誘発する制御則の構築に向けて行った研究の成果をロボットの研究事例に分けて記載する。

移動支援機器 Tread-Walk: 搭乗者がベルト状で歩行した速度を増幅する移動支援機器 Tread-Walk において、ベルトの摩擦などの力学的なモデルと NIRS を用いた非侵襲の脳活動計測に基づく生理的な指標を統合し、最適な速度増幅率を検討した。

振戦（ふるえ）抑制ロボット: 本態性振戦患者の上肢の不随意的ふるえを抑制する装着型ロボットに関して、ふるえを抑制する際に起こる関節の拘束によって、特定の動作に於いて他関節の代償動作が発生し、不自然な動作となることによる筋疲労の発生が確認されている。そこで、対象動作を食事とし、食事動作の動作解析に基づいて、拘束されている関節自由度と、自由に動作可能な自由度を連結する機構を開発した。本機構により、

代償動作を発生させることなく、食事動作が可能となる可能性が示唆された。

起立誘導ロボット: 高齢者の起立動作を支援する起立誘導ロボットに関連して、使用者個人個人の持つ能力（残存能力）に応じて、個人個人に適切な支援機器を提供するための残存能力推定アルゴリズムを構築した。また、使用者の残存能力や姿勢（円背など）に応じて、個人個人にあった起立を誘導するための制御アルゴリズムを構築した。

骨盤支持ロボット: 理学療法士が片麻痺患者の骨盤を両手で支持し、冠状面方向の体重移動を整えながら、足の振り出しを支援する「ハンドリング」という歩行リハビリを模倣する骨盤支持ロボットとして開発してきた。本研究課題に関連して、片麻痺患者の不意な冠状面方向のバランスの乱れに対応した片麻痺患者とロボットの接触方法について検討した。



図1 Tread-Walk

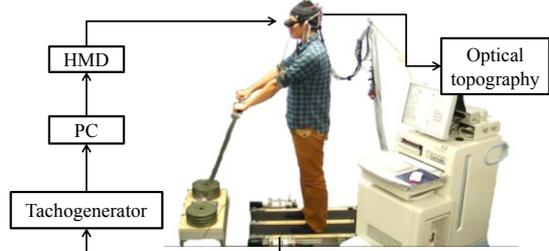


図2 制御パラメータ導出に向けた脳活動計測



図3 振戦抑制ロボット

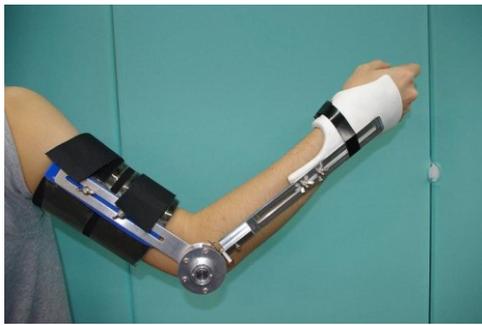


図4 関節連動機構 検証用プロトタイプ



図5 起立誘導ロボット

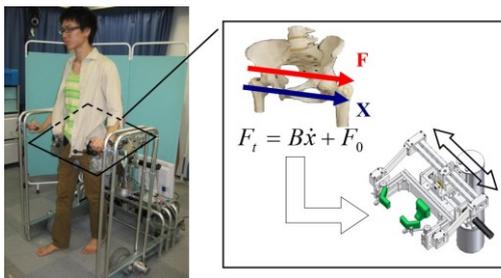


図6 骨盤支持ロボット

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 61 件)

- [1] Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Kenji Ishida, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie, "Directional Control of an Omnidirectional Walking Support Walker: Adaptation to Individual Difference with Fuzzy Learning", *Advanced Robotics*, 有, Vol. 28, 479-485, 2014
- [2] Yina Wang, Shuoyu Wang, Yinalai Jiang, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie, "Trajectory Planning to Improve the Motion Performance of a Non-holonomic Wheeled Mobile Robot", *Innovative Computing, Information and Control Express Letters*, 有, Vol.8, 295-301, 2014
- [3] Bo Shen, Shuoyu Wang, Yinali Jiang, Yina Wang, Rengpeng Tan, Kenji Ishida, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie, "Motion Control Method of Seat-Style Omnidirectional Mobile Walker Using a Digital Acceleration Control Method", *Innovative Computing, Information and Control Express Letters*, 有, Vol.8, 87-93, 2014
- [4] Yuya Matsumoto, Masatoshi Seki, Takeshi Ando, Yo Kobayashi, Yasutaka Nakashima, Hiroshi Iijima, Masanori Nagaoka, Masakatsu G. Fujie, "Development of an Exoskeleton to Support Eating Movements in Patients with Essential Tremor", *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 25, No. 6, 有, Dec. 2013, pp.949-958,
- [5] Uchida Y, Mizuguchi N, Honda M, Kanosue K, "Prediction of short success for basketball free throws: Visual search strategy", *Eur J Sport Sci*, 有, 1-7, 2013
- [6] Nakagawa K, Muraoka T, Kanosue K, "Factors that determine directional constraint in ipsilateral hand-foot coordinated movements", *Phyiol Rep.*, 有, Vol. 1, 2013
- [7] 小林吉之, 長尾裕太, 高橋健, 藤本浩志, "人が知覚しているつま先の高さとの誤差", *バイオメカニズム学会誌*, 有, Vol. 37, 121-126, 2013
- [8] Yina Wang, Shuoyu Wang, Rengpeng Tan, Yinalai Jiang, Kenji Ishida, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie, "Improving the Motion Performance for an intelligent Waling Support Machine by RLS Alogrithm", *Innovative Computing, Information and Control Express Letters*, 有, Vol.7, 1177-1182, 2013
- [9] Nakamura M, Yoda T, Crawshaw LI, Kasuga M, Uchida Y, Tokizawa K, Nagashima K, Kanosue K, "Relative Importance of different surface regions for thermal comfort in human", *European Journal of Applied Physiology*, 有, Vol.113, 63-76, 2013
- [10] Uchida Y, Kudoh D, Higuchi T, Honda M, Kanosue K, "Dynamic visual acuity in baseball players is due to superior tracking abilities", *Medicine Science Sports Exercise*, 有, Vol.45, 319-325, 2013
- [11] 小林洋, 渡辺峰生, 安藤健, 関雅俊, 藤江正克, "筋肉の粘弾性特性を再現する分数次微分方程式を用いたインピーダンス制御", *バイオメカニズム*, 有, pp.239-250, 2012
- [12] Mizuguchi N, Sakamoto M, Muraoka T,

Moriyama N, Nakagawa K, Nakata H, Kanosue K, “Influence of somatosensory input on corticospinal excitability during motor imagery”, *Neuroscience Letters*, 有, Vol.514, 127-130, 2012

- [13] 豊田航, 斎藤健太郎, 土井幸輝, 藤本浩志, “凸点の高さと先端部の曲率半径が携帯電話の操作性に及ぼす影響”, *日本機械学会誌 C 編*, 有, Vol. 78, 3495-3503, 2012
- [14] Sakamoto M, Moriyama N, Mizuguchi N, Muraoka T, Kanosue K, “Modulation of corticospinal excitability during acquisition of action sequence by observation”, *PLoS ONE*, 有, Vol.7, 2012
- [15] Nakata H, Miura A, Yoshie M, Kanosue K, Kudo K, “Electromyographic analysis of lower limbs during baseball batting”, *Journal of Strength and Conditioning Research*, 有, Vol.27, 1179-1197, 2012
- [16] 安藤健, 山田憲嗣, 清水佐知子, 大野ゆう子, 電動ベッドに後付け可能な起立支援機器の提案, *日本機械学会論文集 C 編*, 有, Vol. 78 (785), 151-162, 2012
- [17] Takeshi Ando, Masaki Watanabe, Keigo Nishimoto, Yuya Matsumoto, Masatoshi Seki and Masakatsu G. Fujie, Myoelectric Controlled Exoskeletal Elbow Robot to Suppress Essential Tremor: Extraction of Elbow Flexion Movement Using STFTs and TDNN, *Journal of Robotics and Mechatronics*, 有, 24(1), 141-149, 2012
- [18] Takeshi Ando, Jun Okamoto, Masakatsu G. Fujie, Micro Macro Neural Network to Recognize Rollover Movement, *Advanced Robotics*, 有, vol. 25, no. 2, 3, pp.253-271, 2011

(他, 43 件)

[学会発表] (計 111 件)

- [1] Jing Ye, Yasutaka Nakashima, Takao Watanabe, Masatoshi Seki, Bo Zhang, Quanquan Liu, Yuki Yokoo, Yo Kobayashi, Qixin Cao and Masakatsu G. Fujie, “Development of a Novel FES Control System Based on Treadmill Motor

Current Variation for Gait Rehabilitation of Hemiplegic Patients after stroke”, *ICCAS2013*, pp. 635-640, Kimdaejung Convention Center, Gwangju, Korea, Oct. 20-23, 2013

- [2] S. Matsushita, Masakatsu G. Fujie, Algorithm for selecting Appropriate Transfer Support Equipment and a Robot Based on User Physical Ability, 2485-2490, Osaka International Convention Center, Osaka, Japan, July 3-7, 2013.
- [3] Jing Ye, Yasutaka Nakashima, Takao Watanabe, Masatoshi Seki, Bo Zhang, Quanquan Liu, Yuki Yokoo, Yo Kobayashi, Qixin Cao and Masakatsu G. Fujie, “Development of a Novel Gait Rehabilitation System Based on FES and Treadmill-Walk for Convalescent Hemiplegic Stroke Survivors”, *IEEE/RSJ IROS2013*, Tokyo, Japan, Nov. pp. 977-982, Nov. 3-8, 2013
- [4] 松下詩穂, 美馬哲郎, 藤江正克, “訓練効率向上を目的とした立ち上がり訓練システムの提案～膝関節負荷を指標とした動作のばらつき検討～”, 第34回バイオメカニズム学術講演会 (SOBIM2013 in Tokorozawa), B1-1-2, pp. 49-52, 国立障害者リハビリテーションセンター, 埼玉, 11月16-17日, 2013年
- [5] 滝澤和弥, 望月孝太, 鋸屋宜和, 横尾勇樹, 中島康貴, 小林洋, 藤江正克, “高齢者の転倒防止に向けた視覚遮断歩行訓練による動的バランス能力向上効果の検証”, *日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013*, 1A1-C13, 筑波, May 22-25, 2013
- [6] Takahiro Nishimura, Kouki Doi, Hiroshi Fujimoto, “Relationship between Surface Property and Operability of Tablet Terminal with Touch-Sensitive Screen”, 15th

- International Conference on Human-Computer Interface, Las Vegas, Nevada, USA, July 21-26, 2013
- [7] 高杉紳一郎, "安全な以上と移動を支援する電動車いすロボット開発の経緯と展望", 第3回運動器リハワークショップ鳥取, 米子市, Oct. 16, 2013
- [8] 望月 孝太, 中島 康貴, 小林 洋, 藤江 正克, 外骨格ロボットを用いた手指巧緻動作補助に関する研究—運筆タスクにおける手指の把持力・関節角度の解析—, 日本ロボット学会第30回記念学術講演会, 3C1-1, 札幌コンベンションセンター, 札幌, 9月17-20日, 2012
- [9] 雨宮 元之, 陳璋煒, 松本 侑也, 関 雅俊, 藤江 正克, "肘装着型ロボットを用い食事動作をする際の代償運動を軽減する肘・前腕連動機構の開発", 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 2A1-U08, 筑波, May 27-29, 2012
- [10] 小峯 悠司, 渡邊 峰生, 井上 淳, 中島 康貴, 川村 和也, 貴島 芳文, 豊永 勇樹, 手島 健夫, 東 祐二, 湯地 忠彦, 藤元 登四朗, 藤江 正克, 片麻痺患者の骨盤動作アシストを行う歩行訓練ロボットの開発 ~骨盤運動の振幅変動における理学療法士のハンドリングの変化の計測~, 生活生命支援工学系学会連合大会 (LIFE2012), GS3-2-9, 名古屋大学, 名古屋, 11月2-4日, 2012年
- [11] Yuki Yokoo, Yasutaka Nakashima, Satoshi Miura, Yoshikazu Ogaya, Takeshi Ando, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie, Brain Activity Measurement Based Evaluation of Active Control of a Treadmill, 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and the 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, Kobe, Japan, November 20-24, 2012
- [12] Kouki Doi, Kensaku Soma, Takahiro Nishimura, Hiroshi Fujimoto, Susumu Ouchi, Yoshihiro Tanaka, Mayumi Sawada, Ken Kaneko, Katsuhiro Kanamori, Masaru Kawano, Tsumoto Wada, "Development of Fabrication Technique for Accessible Design Pamphlet for Visually Impaired and Sighted Persons", World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Beijing, China, May 26-31, 2012
- [13] 高杉紳一郎, "高齢者の安全な異常と移動を支援する電動車椅子の開発", 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2012, 名古屋, Nov. 4, 2012
- [14] Takeshi Ando, Yu Ogawa, Yasutaka Nakashima, Eiichi Ohki, Yo Kobayashi, Misato Nihei and Masakatsu G. Fujie, Stable turning movement of a gait-controlled personal mobility "Tread-Walk 1", 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 4157-4162, Shanghai International Convention Center, Shanghai, China, May 9-13, 2011
- [15] Takao Watanabe, Yo Kobayashi and Masakatsu G. Fujie, Pelvic Motion Analysis for Gait Phase Estimation during Gait Training with Body Weight Support, 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 3219-3223, Shanghai International Convention Center, Shanghai, China, Oct. 9-12, 2011
- [16] Masatoshi Seki, Yuya Matsumoto, Hiroshi Iijima, Masanori Nagaoka, Takeshi Ando, Yo Kobayashi and Masakatsu G. Fujie, Development of Robotic Upper Limb Orthosis with Tremor Suppressibility and Elbow Joint Movability, 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 729-735, Shanghai International Convention Center, Shanghai, China, Oct. 9-12, 2011
- [17] Jun Inoue, Wenwei Yu, Kang Zhi Liu, Kazuya Kawamura and Masakatsu G. Fujie,

A detailed 3D ankle-foot model for simulate dynamics of lower limb orthosis, 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 8148-8145, Boston Marriott Copley Place Hotel, Boston, MA, USA, Aug.30-Sep.1, 2011

[18] Takeshi Ando, Masakatsu G. Fujie, Repeatability Analysis of Rollover Recognition in Changing Myoelectric Electrode Condition, 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 619-623, Boston Marriott Copley Place Hotel, Boston, MA, USA, Aug.30-Sep.1, 2011

[19] Shiho Matsushita, Yasutaka Nakashima and Masakatsu G. Fujie, Algorithm for Selecting Appropriate Transfer Support Equipment Based on the Physical Ability of the User, 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 1253-1258, Boston Marriott Copley Place Hotel, Boston, MA, USA, Aug.30-Sep.1, 2011

[20] Takeshi Ando, Kazuya Kawamura, Junko Fujitani, Tomokazu Koike, Masashi Fujimoto and Masakatsu G. Fujie, Thoracic ROM Measurement System with Visual Bio-feedback: System Design and Biofeedback Evaluation, 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 1272-1274, Boston Marriott Copley Place Hotel, Boston, MA, USA, Aug.30-Sep.1, 2011

(他, 91件)

〔図書〕 (計1件)

[1] 高杉紳一郎, “ヒトの運動機能と移動のための次世代技術開発-使用者に寄り添う支援機器の普及へ向けて”, エヌ・ティイー・エス, 197-203, 2013

〔その他〕

ホームページ等

- [1] Fujie Lab.
<http://www.fujie.mech.waseda.ac.jp/>
- [2] 彼末研究室
<http://www.f.waseda.jp/kanosue/>
- [3] 早稲田大学 藤本浩志研究室
<http://www.waseda.jp/sem-fujimoto/>
- [4] 九州大学病院リハビリテーション部
<http://www.med.kyushu-u.ac.jp/reha/>
- [5] 王 碩玉
<http://www.souken.kochi-tech.ac.jp/arch-eng/frontier/FB775320-EE48-4B94-88F2-1EDACCF73FE.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤江 正克 (FUJIE Masakatsu)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号： 20339716

(2) 研究分担者

藤本 浩史 (FUJIMOTO Hiroshi)
早稲田大学・人間科学学術院・教授
研究者番号： 60209103

彼末 一之 (KANOSUE Kazuyuki)
早稲田大学・スポーツ科学研究科・教授
研究者番号： 50127213

王 碩玉 (WANG Shuoyu)
高知工科大学・工学部・教授
研究者番号： 90250951

高杉 紳一郎 (TAKASUGI Shinichiro)
九州大学・大学病院・助教
研究者番号： 40253447

小林 洋 (KOBAYASHI Yo)
早稲田大学・理工学術院・准教授
研究者番号： 50424817

安藤 健 (ANDO Takeshi)
早稲田大学・理工学術院・講師
研究者番号： 40535283