

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 31 年 3 月 28 日現在

機関番号：13904

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12581

研究課題名(和文)複合感覚刺激による運動認知の強化と運動機能の回復

研究課題名(英文)Cross sensory stimulation for enhancement of motor perception and recovery of motor function

研究代表者

三枝 亮 (Saegusa, Ryo)

豊橋技術科学大学・人間・ロボット共生リサーチセンター・特任准教授

研究者番号：80386606

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、視覚、聴覚、触覚を複合した感覚刺激により運動認知を強化して運動機能の回復を効率化する方法を提案し、感覚刺激、運動計測、運動誘導を実行する走行体と装着ユニットを実装して、その有効性を検証した。映像、音響、振動を統合した感覚刺激を対象者に提示して運動を誘導し、その運動状態を計測して感覚刺激を調整することで、歩行リハビリにおける運動状態の知覚や運動目標の理解の強化が実現された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、複合的な感覚刺激を用いた移動の誘導が歩行リハビリの認知運動的な支援に有効であることが示された。パーキンソン病などの疾患では中枢神経における運動司令の生成や伝達が困難となるが、本研究では自律移動ロボットが患者に複合的な感覚刺激を与えて歩行を誘導することで、パーキンソン病患者のすくみ足を解消して歩行リハビリが行えることを実験的に明らかにした。本成果は、今後のリハビリ分野におけるロボット機器の利用を広く促進するうえで重要な成果であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：This research work aims in examination of a novel therapy for rehabilitation of motor function with enhancement of motor perception induced by cross sensory stimulation in visual, auditory and proprioceptional sensing. The mobile robot and wearable units developed in this research demonstrate sensory stimulation, motor measurement and motor navigation. The closed loop of stimulation, navigation, measurement and stimulus modification allows understanding of own motor state and the target of next movements.

研究分野：情報工学

キーワード：感覚刺激 ロボット 運動認知 歩行

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 運動機能の回復訓練は、人間医工学、リハビリテーション科学、介護福祉学、理学療法学の分野において広く研究されているが、運動の認知に基づいた運動機能の訓練方法の研究やそれを支援するための装置開発の例は少なく、運動認知の向上が運動制御の回復に与える影響は未知である。近年、理学療法学では、運動機能の回復訓練における運動認知の重要性が示唆されており、四肢の関節運動の大きさ・方向の認識検査や、麻痺側と非麻痺側の運動イメージの比較などが試みられている。一方、医療工学の分野では、力支援装置による運動の支援や訓練を行う研究が報告されているが、運動認知を利用した機能回復の支援技術は十分に検討されていない。応募者はこれまでにサルの体性感覚や運動認識の知見に基づいた身体運動イメージの機械学習モデル①②を提案し、その有効性を人型ロボットを用いて実証してきた。この運動認知と運動制御の統合学習の原理が、理学療法学における認知運動機能の回復訓練の状況と一致することに気づき、運動認知を強化する装置を用いて回復訓練を効率化するという着想に至った。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、視覚、聴覚、触覚を複合した感覚刺激を身体に与えて自己の運動認知を強化し、運動機能の回復を効率化する方法を、人間医工学、リハビリテーション科学、介護福祉学、理学療法学などの観点から明らかにすることである。これまでの運動機能の回復訓練では、筋緊張などの運動性の機能回復に重点が置かれてきたが、本研究では、「運動制御の良し悪しは自己の運動イメージの確かさに起因する」と仮定し、運動認知を強化して自己の運動イメージを改善することで、運動機能の回復の効率化を試みる。運動認知の強化は、運動特徴を映像・音響・振動による複合感覚刺激で表現し、運動に伴って訓練者に帰還することで実現する。歩行機能障害に関する臨床実験を実施して、運動認知の強化による運動機能の回復効果を解析する。

### 3. 研究の方法

(1) 歩行は人間にとって最も基本的で重要な動作であり、歩行機能の低下は健康で自立した生活を阻害する。歩行機能の回復や再獲得には、歩行訓練の早期開始と訓練量の確保が重要であるが、現状の医療、介護現場では職員数の不足のために十分なリハビリテーションが提供されない場合が多く、先端的なロボット技術を用いた歩行訓練の支援方法が検討されている。

(2) これまでの研究において、杖型の移動ロボットによる歩行支援や並走台車による歩行計測が開発されているが、歩行訓練の誘導、

計測、分析、評価などをまとめて行う研究や装置の開発例は少ない③。近年、理学療法において認知運動療法などの運動イメージに基づいた運動機能の訓練方法が注目されているが、全身運動と知覚を関連づけた総合的な歩行の誘導や、歩容の計測、歩行分析に基づいた感覚刺激に関する研究例は少なく、十分な検討がなされていない。

(3) 本研究では、歩行訓練において感覚刺激、歩行誘導、歩行計測、歩行分析を閉ループとして実行し、歩行訓練を支援する歩行訓練ロボットと装着ユニットを開発する。歩行誘導では、視覚、聴覚、触覚の複合感覚刺激によるフィードバック型の歩行誘導を提案する。歩行計測、歩行分析については、奥行き画像に基づく全身運動計測とレーザ計測による環境認識を統合し、感覚刺激と歩行誘導を行いながら、ロボットが動的に歩行計測と歩行分析を行う方法を提案する。また、計測情報に基づいて着地と異常歩行を検出するアルゴリズムを実装する。

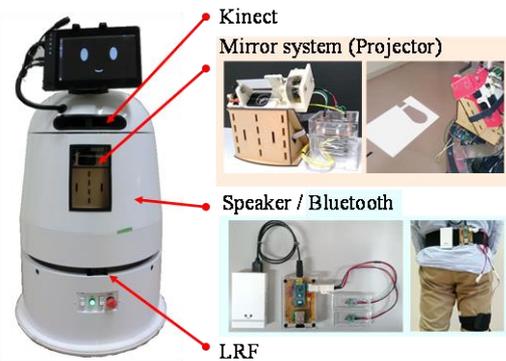


図1 歩行訓練ロボットと装着ユニット

### 4. 研究成果

(1) 本研究で開発した歩行訓練ロボット・ルチアと装着ユニットを図1に示す。ルチアは被訓練者に視覚、聴覚刺激を提示し、装着ユニットは触覚刺激を提示する。視覚刺激の提示では、踏み出しの目標位置に足形などの映像パターンを投影する。ロボットの移動と独立して所望の位置に映像を投影するために、鏡面の姿勢制御を用いた投影機構を設計し実装した。歩行誘導には歩幅、歩行率、歩隔などの歩行パラメータを用い、理学療法士の設定値をもとに誘導速度、投影位置、投影リズムを生成して被訓練者を誘導させた。

(2) 鏡面投影装置では、投影の初期位置、歩幅、歩行率、一步当たりの時間、誘導速度などのパラメータより、映像の投影角度が算出される。この投影角度に基づいて映像パターンの補正を行うことで、歪みの無い一定した大きさの映像パターンを投影できる。一步毎の映像に合わせて、聴覚刺激として左右で異なる音色の足音を提示し、脚の付け根に触覚刺激を提示する。

(3) 触覚刺激の提示には、装着型の小型振動装置を用いた。振動刺激は、足を踏み出すタイミングや、歩行姿勢を改善させるための刺激を提示する。これらの刺激を複合的に被訓練者に提示することで、運動認知の強化と歩行のリハビリ支援が可能となる。

(4) 全身運動の計測と分析には、歩行分析に特化した身体運動計測システムを構築した。赤外線カメラより得られる全身の骨格情報から移動軌跡、変位、速度、関節角度、歩容などの情報を3次元CGや2次元グラフとして可視化し、理学療法士や被訓練者に提示する。本システムでは地図生成と自己位置の同時推定により、環境に固定した座標系で被訓練者の運動計測を記録できる。歩容を定量的に評価し、実時間で歩行の着地検出と異常歩行の検出を行う。高齢者、片麻痺患者、パーキンソン病患者を想定し、すり足歩行、分回し歩行(麻痺側の足を外側に回し、前に振りだす歩行)、小刻み歩行を検出するアルゴリズムを構築した。各条件には、理学療法学の文献値④を採用した。理学療法士が模擬する異常歩行について検出の検証し、実験後には理学療法士への聞き取り調査を実施した。

(5) 実験結果に関して、図2に足形の映像投影の結果を示す。床面の基準線は25cm間隔である。ロボットが移動して被訓練者を誘導しながら所定の位置に映像投影できることを確認した。図3に体幹の傾斜時の触覚刺激の結果を示す。体幹の傾斜方向が閾値を超えた場合に正しく異常を検出し、方向に応じた触覚刺激の提示がなされていることが分かる。分回しの模擬歩行も計測した。図4に分回し歩行の計測情報から再現された歩行パターンを示す。この歩行は左足を身体の側方に投げ出す歩行であり、訓練の再構築映像において、分回し歩行の検出がなされていることが確認された。左右両足の着地検出も確認した。図4に着地検出と異常歩行検出の結果を示す。全ての条件において80%以上の検出率を得ることができた。実験後の聞き取り調査では、提案方法が被訓練者の運動認知の強化に有効であり、理学療法士の診断にも有用な運動情報の計測がなされているとの評価を得た。

(6) 本研究では歩行訓練ロボットを用いた複合感覚刺激により運動認知を強化する歩行訓練手法を提案し、歩行の誘導、計測、分析を一貫して行う歩行訓練システムを開発した。歩行の誘導では複合感覚刺激を用いた定量的で直観的な誘導方法を実現した。また、運動計測と運動分析では、動的な運動計測によって長距離の歩行訓練を実現し、理学療法士の診断や被訓練者の運動認知に有効な着地検知や異常歩行の判定を行うシステムを実現した。施設現場の被験者実験では、脳性麻痺患者にも協力いただき、臨床現場におけ

る提案方法の有用性を検証した。



図2 視覚刺激

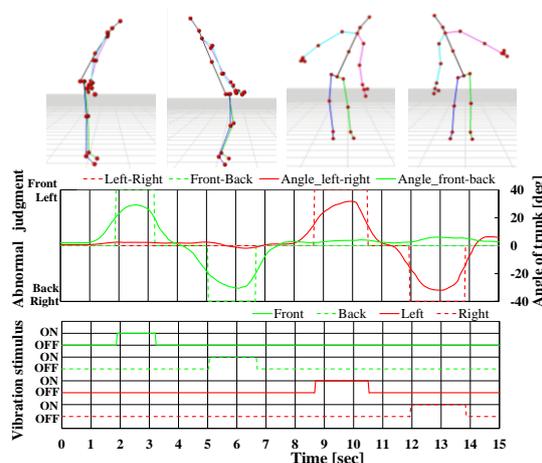


図3 触覚刺激

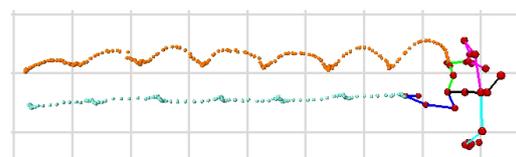


図4 分回し歩行の3次元CG

	Normal gait		Shuffling gait		Circumduction gait		Short stride gait	
	20cm	40cm	20cm	40cm	20cm	40cm	20cm	40cm
Landing	98.1	94.7	100.0	97.4	89.5	81.6	96.0	86.5
Abnormal gait			100.0	87.2	100.0	100.0	96.0	100.0

図5 着地及び異常歩行の検出結果[%]

<引用文献>

- ① Saegusa. R., Metta, G., Sandini, G., Natale, L., Developmental Perception of the Self and Action, IEEE Transaction on Neural Networks and Learning Systems, Vol. 25, No. 1, 2014, 183-202
- ② 三枝 亮、重松 圭祐、寺嶋 一彦、移動訓練支援装置、特願 2014-205286 (2014)
- ③ 石田 秀一、球体駆動式全方向移動機構を用いた歩行訓練ロボットの開発、人間工学、49巻、2号、2017、76-81
- ④ 山出 宏一、パーキンソン病患者に対する逆説性歩行訓練における効率的歩幅の検討、理学療法科学、27巻、5号、2012、529-533

## 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1件)

- ① Shimizu, T., Saegusa, R., Ikemoto, S., Ishiguro, H., Metta, G., Phase Transfer Sequence Learning for Humanoid Whole Body Motor Control in Different Contact, IEEE Transaction on Neural Networks and Learning Systems, Peer Reviewed, 2015, Vol. 26, 1035-1047

[学会発表] (計19件)

- ① Shigematsu, K., Terashia, K., Saegusa, R., Mobile Robot for Walk Navigation with Audio-Visual Effect, International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics, October 4-8, Toyohashi, Japan

- ② Saegusa, R., Hara, K., Teshigawara, Y., Mizushima, Y., Autonomous field mapping and operation using proximity sensors, International Symposium on System, Integration, December 11-13, Nagoya, Japan

- ③ 三枝 亮、発達の学習によるロボットの身体認知と行動獲得、日本ロボット学会第93回ロボット工学セミナー ロボットの知能とデータ構造—身体と環境の継続的な相互作用—、2015年7月31日、中央大学、東京

- ④ 三枝 亮、看護とロボットのやさしい関係、第41回一般社団法人日本看護研究学会学術集会、2015年8月22日-23日、広島国際会議場、広島

- ⑤ 三枝 亮、人間の生活を支えるロボット、豊橋技術科学大学一般公開講座、2015年11月6日、豊橋技術科学大学、豊橋

- ⑥ 三枝 亮、医療介護支援ロボット Lucia の開発、第2回 MERRO 次世代医・理・工連携研究会、2015年7月20日-21日、豊橋技術科学大学、豊橋

- ⑦ 三枝 亮、医療介護支援ロボット Lucia (ルチア) を用いた運動支援、高品位介護シンポジウム、2015年10月30日、京都繊維大学、京都

- ⑧ 三枝 亮、Lucia (ルチア) を使ったパーキンソン病、片マヒ患者歩行回復支援、平成27年度第1回高品位介護シンポジウム、2016年4月28日、京都工芸繊維大学、京都

- ⑨ 三枝 亮、医療介護支援ロボットの開発、社団法人日本粉体工業技術協会「粉体技術」水曜会、2016年6月22日、名鉄ニューグランドホテル、名古屋

- ⑩ 三枝 亮、介護医療コンシェルジュロボットの研究開発、あいちロボット産業クラスター推進協議会、2016年7月11日、栄ガスホール、名古屋

- ⑪ 三枝 亮、移動型映像音響インタラクションによるゲーム本質の解明、中山財団第23回研究成果発表会、2016年9月23日、大崎ブライイトコアホール、東京

- ⑫ 三枝 亮、介護医療コンシェルジュロボットの研究開発、知の拠点あいち重点研究プロジェクト (II 期) キックオフセミナー、2016年10月12日、あいち産業科学技術総合センター、豊田

- ⑬ 三枝 亮、介護医療コンシェルジュロボットの研究開発、平成27年度第2回高品位介護シンポジウム、2016年10月31日、京都工芸繊維大学、京都

- ⑭ Saegusa, R., Gait measurement system for gait rehabilitation support, The 2nd Japan-China symposium on aging society policies and industry, November 4-5, 2016, Tokyo, Japan

- ⑮ Sato, M., Saegusa, R., Image projection control and whole body movement measurement for gait training support, The 2nd Japan-China symposium on aging society policies and industry, November 4-5, 2016, Tokyo, Japan

- ⑯ 三枝 亮、認知発達ロボットの歴史と現状、および将来、豊橋技術科学大学一般公開講座、2016年11月18日、豊橋技術科学大学、豊橋

- ⑰ 三枝 亮、人間協調型ロボットを用いた歩行計測と誘導支援、第29回日本生体医工学会 BME on Dementia 研究会、2017年3月5日、富塚倶楽部、浜松

- ⑱ 三枝 亮、富貴原 信、介護医療コンシェルジュロボットの研究開発、知の拠点あいち重点研究プロジェクト (II 期) 公開セミナー、2017年3月15日、あいち産業科学技術総合センター、豊田

- ⑲ 三枝 亮、介護医療コンシェルジュロボットを用いた歩行リハビリ支援、平成27年度第3回高品位介護シンポジウム、2017年3月27日、京都工芸繊維大学、京都

〔図書〕(計2件)

- ① 三枝 亮、他、情報機構、今後の高齢化社会に求められる生活支援(福祉・介護・リハビリ)ロボット技術、2016年、352-362
- ② 三枝 亮、他、NTS、人と協働するロボット 革命最前線、人とロボットの協調学習に基づく医療福祉支援、2016年、97-106

〔産業財産権〕

○出願状況(計6件)

名称：移動訓練支援装置  
発明者：三枝 亮、重松 圭祐、嶋 一彦  
権利者：同上  
種類：特許  
番号：特願 2015-197255  
出願年月日：2015年10月3日  
国内外の別：国内

名称：自律移動ロボットシステム  
発明者：三枝 亮、原 一隆、勅使瓦 康、水島 侑華  
権利者：同上  
種類：特許  
番号：特願 2015-241649  
出願年月日：2015年12月10日  
国内外の別：国内

名称：自律走行装置及びその開始位置判定プログラム  
発明者：三枝 亮、河合 泰二、高山 裕介、長田 翔一  
権利者：同上  
種類：特許  
番号：特願 2016-064089  
出願年月日：2016年3月28日  
国内外の別：国内

名称：自律走行装置  
発明者：三枝 亮、河合 泰二、高山 裕介、長田 翔一  
権利者：同上  
種類：特許  
番号：特願 2016-145517  
出願年月日：2016年7月25日  
国内外の別：国内

名称：自律走行作業装置およびデータ管理方法  
発明者：三枝 亮、高山 裕介、河合 泰二、長田 翔一  
権利者：同上  
種類：特許  
番号：特願 2017-003183  
出願年月日：2017年1月12日  
国内外の別：国内

名称：自律走行作業装置  
発明者：三枝 亮、長田 翔一、高山 裕介、大野 広視

権利者：同上  
種類：特許  
番号：特願 2017-034701  
出願年月日：2017年2月27日  
国内外の別：国内

○取得状況(計0件)

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www.ryolab.com>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

三枝 亮 (SAEGUSA Ryo)  
豊橋技術科学大学・人間・ロボット共生リサーチセンター・特任准教授  
研究者番号：80386606