

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：32408

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25350679

研究課題名(和文) 他者との身体的な相互作用に基づく歩行機能の獲得支援技術に関する研究

研究課題名(英文) Study on technology to support acquisition of gait function based on embodied interaction

研究代表者

武藤 剛 (Muto, Takeshi)

文教大学・情報学部・准教授

研究者番号：50433701

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、歩行訓練による歩容の改善プロセスを、認知を伴わない外因性の改善プロセスと、外部環境の認知に基づきボディイメージを改善していく内因性の改善プロセスの2種類に分類し、それらに基づく障がい者の歩容の改善訓練技術の提案を行った。提案装置には、模範となる歩容と被訓練者自身の歩容を仮想的な足音とCG映像としてリアルタイムでオーバーラップさせる形式で、歩容の補正訓練を行う機能が実装されている。また、健常者の右足に負荷をかけた疑似障がい者を対象とした評価実験を行った結果、疑似障がい者の脚運びがより健常な状態へと変化し、提案装置を用いた訓練が安定な歩行の効率的な獲得を促していた可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：In this study, classifying the process of improving the gait by the training into two types, an exogenous improvement process without cognition and an intrinsic improvement process to improve the body image based on cognition of the external environment, we proposed a training technology to improve the handicapped gait. The proposed device is implemented a function to perform gait training, in a form that overlaps in real time as virtual footsteps and CG images as a model gait and the trainee's gait itself. In the evaluation experiments with imitation handicapped gait, which applied load to the right foot of healthy volunteers, the swing motion of gait has changed to a more healthy state. The results suggest that the training by the proposed device may be possible to lead efficient acquisition of stable gait motion.

研究分野：ヒューマンインタフェース、福祉工学

キーワード：歩容 歩行訓練 ボディイメージ 福祉工学

### 1. 研究開始当初の背景

高齢者によくみられる運動機能障がいでは、歩行運動などの肢体動作の正確な遂行が困難となる。その原因として、筋力や関節可動域の自由度の低下など運動機能そのものの低下が挙げられるが、それだけでなく肢体運動を事前にシミュレートする自己の身体に関する視覚表象(ボディイメージ)などの、外部環境の認知にかかわる機能も変容することが知られている。我々は、これまで臨床における肢体麻痺のリハビリ訓練に注目し、これら2種類の機能が改善される仕組みを外部環境との動的な相互作用の観点からモデル化し、訓練装置として活用することを進めてきた。特に、複雑システムの観点からの解析を用いて有効性を評価した結果、提案手法が、自身の運動を環境へ適応させる能力の改善に有効であること、そして、その改善過程が、外部環境の認知を伴わない外因性の改善プロセスと、外部環境の認知に基づく内因性の改善プロセスの2種類に分類されることを報告してきた。このことは、申請者の提案する相互作用を活用した訓練手法が、従来手法では積極的な支援が難しかったボディイメージのような“状況に応じて運動パターンを意識的に環境に適応させる能力”の改善にも効果があること、そして、それを訓練技術として工学的に活用するには、この2種類の改善プロセスを考慮して装置設計をしなければならないことを示唆している。

### 2. 研究の目的

本研究は、歩行訓練による歩容の改善プロセスを、認知を伴わない外因性の改善プロセスと、外部環境の認知に基づきボディイメージを改善していく内因性の改善プロセスの2種類に分類し、それら2種類の改善プロセスを中心とした、障がい者の歩容の改善訓練技術の提案を目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究計画は、片側性の肢体麻痺による歩行障がいの改善過程を具体的な対象として、外部環境である他者との相互作用に基づき人間が環境へ動的に適応するための運動機能を獲得していくメカニズムに基づく、工学的な応用技術の開発を行った。

具体的には、認知を伴わない外因性の改善プロセスを、模範となる歩行運動の足音で表現し、聴覚刺激として被訓練者へ提示する機能として実装した。また、外部環境の認知に基づきボディイメージを改善していく内因性の改善プロセスは、模範となる歩容をCGとして表現し、視覚刺激として提示する機能として実装した。そして、それら双方の機能を活用した歩容の改善訓練装置を構築し、その動作確認と、疑似障がい者を対象とした有効性評価を行った。

### (1) 2種類の改善プロセスに基づく歩容改善技術の構築

歩行運動のボディイメージの改善を目的として図1,2のような装置を構築した。使用者は小型センサを胸、腰、太もも、脹脛、足の甲、合計8個を身体に付着する形式のモーションキャプチャ装置(イエイ立体空間モーションキャプチャシステム, YEI Technology社製)を装着し、トレッドミル(AFW1109, ALINCO社製)上を任意の速さで歩行できる。また、トレッドミル上には、デスクトップPC(Inspiron Desktop 3847, DELL社製)に接続された液晶ディスプレイ(VE248H, ASUS社製)が設置されており、使用者はそこにCGとして表示される歩容の視認と、PCから提示される模範となる歩容の足音に相当するリズム音を聞きながら歩容の補正訓練を行うことができる(図3)。

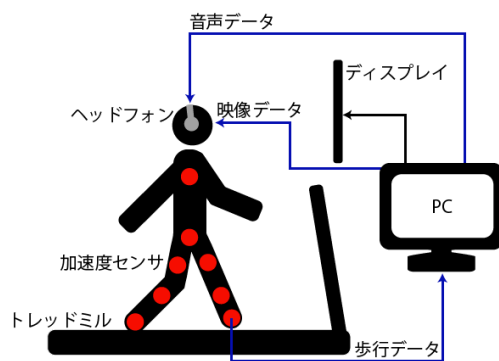


図1 提案装置の概要



図2 提案装置による歩行訓練の様子

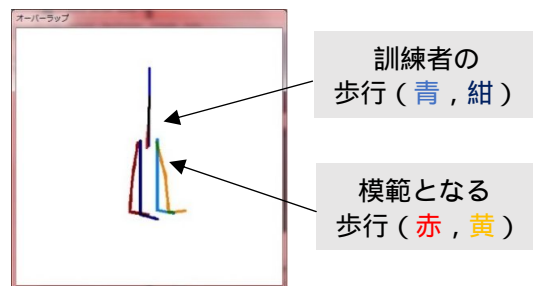


図3 提示される歩容のCG

使用者に提示されるCG及びリズム音は、独自に製作したソフトウェアにより、モーションキャプチャ装置からリアルタイムで得られる使用者の歩容、事前に記録された模範となる歩容、その双方を同時にオーバーラップさせた歩容の、3種類をCG及び、足音としてとして表示す機能が実装されている。また、訓練中の歩容データはcsv形式で保存され、歩容状態の評価に用いることができる。

#### 4. 研究成果

##### (1) 他者の歩容との適応性の評価

提示される模範歩行に対する使用者の歩容の適応性を評価するため、左側の脚部データ（左上脚，左下脚，左足）に対応するセンサから得られた歩容データに基づくxyz軸の各単位ベクトルの線形和のベクトルを各部位の方向ベクトルと定義し、その時間変化データを使用者の歩容を評価するデータとして用いた。

その1例として、使用者と模範歩行に関し、双方の左上脚部の方向ベクトルの方向の角度の違いを歩容のずれと定義し、その時間変化を図4に示す。すると、歩行開始直後に比べ、後半では、ずれの値が減少する傾向にある様子が見て取れる。

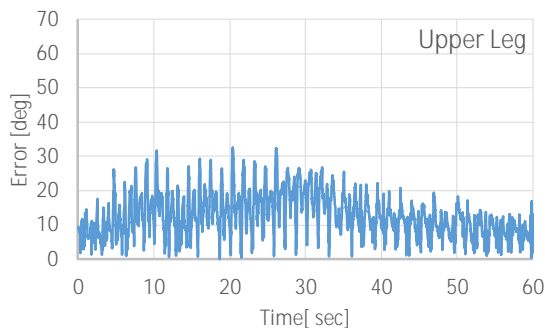


図4 提案装置の概要

このような傾向を定量的に評価するため、使用開始直後から15secまでを前半、使用開始45sec後から60secまでを後半とし、それぞれの歩容ずれの平均値の比較を行った。(図5)すると、全ての部位において、前半にくらべ、後半のほうが、有意に歩容ずれが小さくなる傾向になることが明らかとなった(Student t-test,  $p < 0.001$ ). このことから訓練の開始直後に比べ、訓練の後半では、歩容

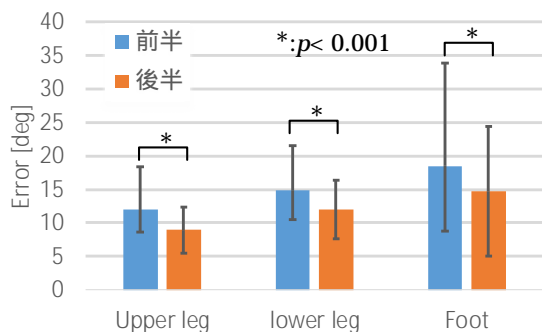


図5 体験者と模範の歩容ずれの前後半の比較

ずれがより小さくなる傾向にあったことが考えられる。

また、使用者と模範、双方の各部位の方向ベクトルの向きの違いに関する傾向をより詳細に検討するため、双軸成分（上方向）に関し、水平面（地面）に対する角度の時間変化を求め、それを双方の相関図として図6に

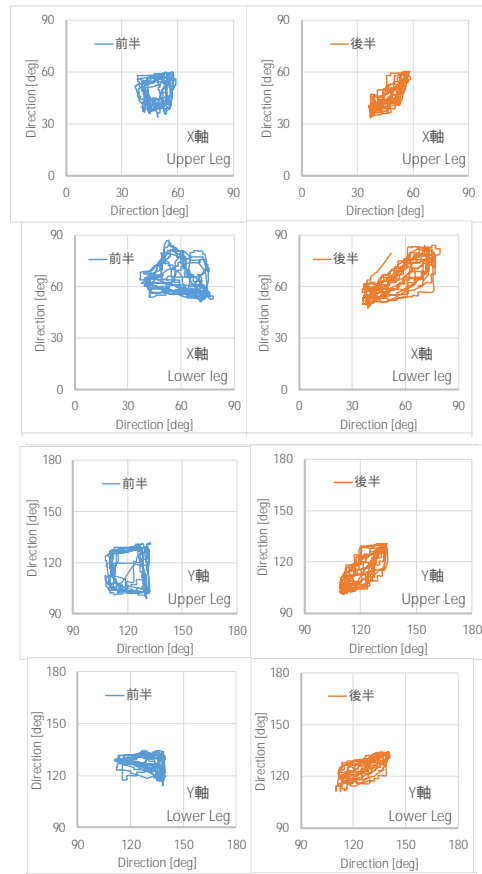


図6 体験者と模範歩容の時間変化の相関図

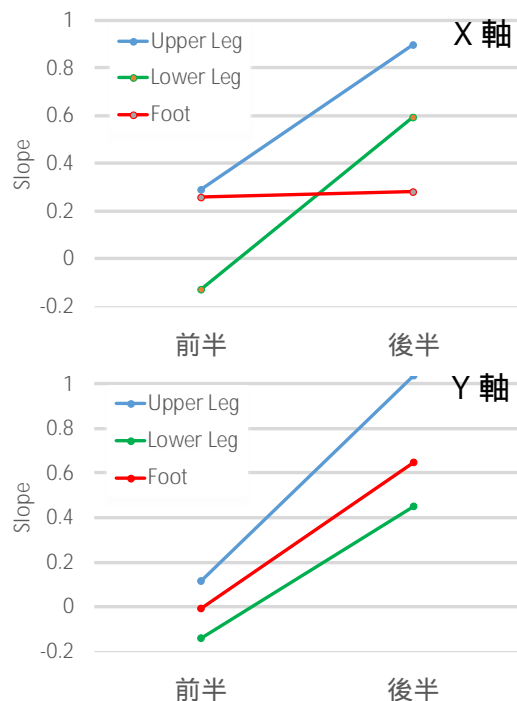


図7 使用者と模範歩容の相関の傾きの比較

示す．すると、いずれの部位に関しても、前半（使用開始直後から 15sec まで）は、後半（使用開始 45sec 後から 60sec まで）と比べ、その分布の傾きが小さいことが見て取れる．これに対し、後半では多くの部位に関し、正の相関となる傾向がみられた．このような傾向を、定量的に評価するため、双方の各部位の方向ベクトルの x 軸成分（正面方向）と y 軸成分（上方向）に関し、各部位の相関図に関する回帰直線の傾きを示す．（図 7）

すると、x 軸に関しては、足を除いた、左上脚、左下脚の回帰直線の傾きの値が、前半に比べ、後半のほうがより 1 に近い正の値となっていた．また、y 軸に関しては、すべての部位に関し、x 軸の場合と同様に回帰直線の傾きの値が、前半に比べ、後半のほうがより 1 に近い正の値となっていた．また、これらの x 軸、y 軸双方の 3 部位に関する、回帰直線の傾きの値の前半と後半の変化の大きさに関しても有意に大きくなっている傾向（Student t-test,  $p < 0.005$ ）にあることが明らかとなった．

以上のことから、本装置により提示される模範歩行の歩容データ対し、訓練が進むにつれ、使用者の歩容とのずれが減少する形式で、類似した時間変を伴い、歩容が適応していたと考えられる．

## (2) 疑似高齢者を対象とした歩容の改善

装置への適応による、歩容の改善への有効性を検討するため、下記の 3 パターンの歩行を各 3 分間計測し、2 分から 2 分 30 秒までの 30 秒間計測を行った．

free 条件： 自由歩行  
handicap 条件： 右足に疑似障がい（錘 10kg）を装着して歩行  
training 条件： handicap 条件の状態装置による支援を受けながら歩行

図 8 に結果の典型例を示す．すると、左右の脛に装着したセンサの軌道に関し、疑似障がい歩行中の軌道（赤）に比べ、装置を使用

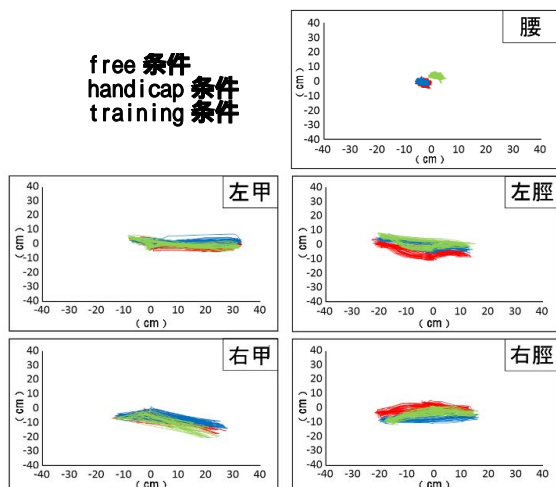


図 8 歩行訓練の結果の例

しながらの歩行中の軌道（青）が、自由歩行中の軌道（緑）により近接している傾向が見られた．このことから、本提案装置を用いた訓練によって、左右の脛の部分の動きがより健全な状態に近い動きになったことが考えられる．したがって、この結果から、本提案装置による歩行訓練により、疑似障がい者の脚運びが健全な状態へ変化し、安定な歩行の獲得をより効率的に促せる可能性が示唆される．このことから、歩行運動の改善が見られ、提案装置による歩行支援によって歩容補正が実現できる可能性が示唆される．

## 5. 主な発表論文等 〔学会発表〕(計 4 件)

富川 繭, 伊東 勇飛, 上杉 慎, 紀 埜将, 長島 拓也, 小林 洋平, 武藤 剛: 視聴覚情報の提示を用いた歩容フィードバック装置の提案, 情報処理学会第 78 回全国大会予稿集, 東京, 4-345-346 (2016)  
岡崎 大輝, 安藤 優人, 高田 悠輔, 小林 洋平, 武藤 剛: 視聴覚情報による歩容変化を目的とした歩容フィードバック装置の提案, Proc. of the Human Interface Symposium2016, 東京, pp.827-830, (2016)  
武藤 ゆみ子, 菅生 誠, 伊藤 穂南, 圓井 楓, 細野 雄一郎, 武藤 剛: 移動ロボット Dr'sEye を用いた加齢に伴う体全体の歪みの分析と評価, Proc. of the Human Interface Symposium2016, pp.87-90, (2016)  
圓井 楓, 伊藤 穂南, 細野 雄一郎, 菅生 誠, 武藤 剛, 武藤 ゆみ子: 着座時における高齢者の姿勢の歪みの評価, 情報処理学会第 79 回全国大会予稿集, 名古屋, 4-595-596 (2017)

## 〔産業財産権〕 出願状況 (計 1 件)

名称: 高齢者の歩行姿勢を対象とした体の歪み年齢推定モデル  
発明者: 武藤 ゆみ子, 武藤 剛  
権利者: 武藤 ゆみ子, 武藤 剛  
種類: 特許  
番号: 2017 - 77818  
出願年月日: 2017 年 3 月 23 日  
国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者  
武藤 剛 (MUTO TAKESHI)  
文教大学・情報学部・准教授  
研究者番号: 50433701