慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	高齢者の転倒予防の一助となる歩行時の運動・認知機能計測システム
Sub Title	Motor and cognitive function measurement system for prevention of falls in the elderly
Author	高橋, 正樹(Takahashi, Masaki)
Publisher	
Publication year	2016
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2015.)
JaLC DOI	
Abstract	本申請課題では, 高齢者が日常生活を営む上で必要な運動機能と認知機能を同時活性化する機能を定量可視化するシステムを構築することを目的とする。 レーザレンジファインダを用いて非接触型の固定式歩行計測システムを開発し, 指定された色のマーカーを踏んで歩く課題, 片足立ち試験, Timed Up and Go試験に適用し, 高齢者の被験者実験により有用性を確認した。 移動式の歩行計測システムである全方位移動機構を有する歩行計測ロボットを開発し, 建物内の通路において, 30m歩行試験を実施し, 1.5～2.0mの距離を保ちながら目標方向へと誘導可能であることを実験的に確認した。 This project develops novel measurement and evaluation system of both motor and cognitive function to enhance both function and to prevent falls in the elderly. The stationary gait measurement system using laser range system (LRS) was developed. The developed system was applied to the multi-target stepping task, one-leg standing test and the timed up and go test (TUG). The measurement accuracy of the leg trajectory was verified in comparison with a three-dimensional motion analysis system (VICON). The usefulness of the system was confirmed thought the experiments in the elderly. For a long-distance walk test, a gait measurement robot which estimates own pose and leads the participant maintaining a certain distance was developed. The experiments of 30-meter walk tests in a living space were carried out and the leg tracking performance was verified.
Notes	研究種目：若手研究(A) 研究期間：2013～2015 課題番号：25709015 研究分野：機械力学・制御
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_25709015seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ２８ 年　 ５ 月 ２６ 日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：若手研究(A)
研究期間：2013～2015
課題番号：２５７０９０１５

研究課題名（和文）高齢者の転倒予防の一助となる歩行時の運動・認知機能計測システム

研究課題名（英文）Motor and Cognitive Function Measurement System for for Prevention of Falls in the Elderly

研究代表者
高橋　正樹（Takahashi, Masaki）

慶應義塾大学・理工学部・准教授

研究者番号：１０３９８６３８

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　17,900,000円

研究成果の概要（和文）：　本申請課題では、高齢者が日常生活を営む上で必要な運動機能と認知機能を同時活性化する機能を定量可視化するシステムを構築することを目的とする。
　レーザレンジファインダを用いて非接触型の固定式歩行計測システムを開発し、指定された色のマーカーを踏んで歩く課題，片足立ち試験、Timed Up and Go試験に適用し、高齢者の被験者実験により有用性を確認した。
　移動式の歩行計測システムである全方位移動機構を有する歩行計測ロボットを開発し、建物内の通路において、30m歩行試験を実施し、1.5～2.0 mの距離を保ちながら目標方向へと誘導可能であることを実験的に確認した。

研究成果の概要（英文）：This project develops novel measurement and evaluation system of both motor and cognitive function to enhance both function and to prevent falls in the elderly.
The stationary gait measurement system using laser range system (LRS) was developed. The developed system was applied to the multi-target stepping task, one-leg standing test and the timed up and go test (TUG). The measurement accuracy of the leg trajectory was verified in comparison with a three-dimensional motion analysis system (VICON). The usefulness of the system was confirmed thought the experiments in the elderly.
For a long-distance walk test, a gait measurement robot which estimates own pose and leads the participant maintaining a certain distance was developed. The experiments of 30-meter walk tests in a living space were carried out and the leg tracking performance was verified.

研究分野：機械力学・制御

キーワード：運動力学　ロボティクス　人間計測　人間支援　医療・福祉

１．研究開始当初の背景

高齢者の寝たきりの原因を順挙すると脳血管障害、認知症、衰弱、関節疾患、転倒による骨折が挙げられる。このうち、転倒は運動機能が高い元気高齢者であっても約 20%が１年間に転倒を経験していることが報告されている。このような高齢者の転倒には運動機能だけではなく、認知機能の低下が関与していることが示されている。

近年では、運動機能や認知機能の個々の強化に加えて、計算をしながら歩く、段差を乗り越えて歩く、など運動機能と認知機能を同時に強化する訓練方法が国内外で提案されている。しかし、これらの訓練の評価は第 3 者が観察を主とした定性的なものが多く、訓練している高齢者に即座に情報を提示できず、高齢者の訓練への飽きや継続の意志の低下につながっている。運動機能や認知機能を個別に計測・評価する機器はあるが高価であり、介護関連施設にはあまり導入されていない。もうひとつの問題として、訓練機材や計測機器の制約から訓練環境が閉鎖的であることが挙げられる。この問題に対して、バーチャルリアリティ技術を用いた訓練方法などが提案されているが、画面が移動する際の酔いなど様々な課題があり、日常生活に近い環境における訓練および対応可能な歩行計測システムが求められている。

２．研究の目的

高齢者の活動性や自立を低下させる要因として転倒がある。転倒予防の目的で運動機能の評価や強化訓練が行われ、近年は運動機能に加えて認知機能の強化が重要視されている。しかし、各機能を計測する機器は存在するが、運動機能と認知機能を同時に計測するシステムは存在しない。そのため、高齢者の健康維持・増進する施設では様々な訓練が行われているが、高齢者へのフィードバックができず、やる気の促進に繋がっていない。本申請課題では、高齢者が日常生活を営む上で必要な運動機能と認知機能を同時活性化する機能を定量可視化するシステムを構築することを目的とし、転倒予防の側面から、豊かな高齢化社会構築への一助となる。

図１　クロスステップ

３．研究の方法

高齢者の転倒予防の一助となる歩行計測システムを確立する。また、ステップ、直進歩行、段差乗り越え、右左折を含む日常生活に近い歩行と段階的な被験者実験を通して提案システムの有用性を明らかにする。

平成２５年度は、直進歩行、方向転換時の運動機能、認知機能の計測を行う。特に、転倒群高齢者の特徴的な歩行の計測システムを確立する。また、デイサービス暖団において、京都大学医学部の指導のもと、高齢者による被験者実験により有用性を確認する。

平成２６年度は、移動式歩行計測システムのハードウェアの開発および誘導・姿勢制御則、歩行訓練士と高齢者訓練者の識別技術を確立する。

平成２７年度は、右左折時における歩行特性の検出技術を提案し、複数の介護関連施設で利用してもらい、計測技術、移動技術に関する課題をフィードバックしてもらい、実現性の高い計測システムへと改良する。

４．研究成果

平成２５年度は、図１に示すように転倒群の高齢者にみられる方向転換時に支持脚に対して先導脚がクロスしてしまう特徴的な歩行であるクロスステップの検出が可能な歩行計測システム（図２）を開発した。また、安全性の面から訓練時には転倒を含む事故防止のため、歩行訓練士が介添えするため、高齢者訓練者と歩行訓練士の歩行特性の識別技術を提案した。

具体的には、レーザレンジファインダで取得した距離情報から五種類の観測パターンに基づく脚検出手法および立脚、遊脚、速度などの脚の状態に基づく対応付け（相関処理）により両脚の誤識別や見失いが生じにくい手法を提案した。開発した歩行計測システムを大学施設での若者での検証の後、高齢者

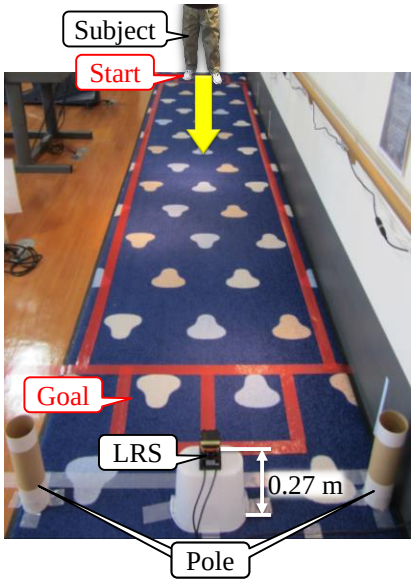
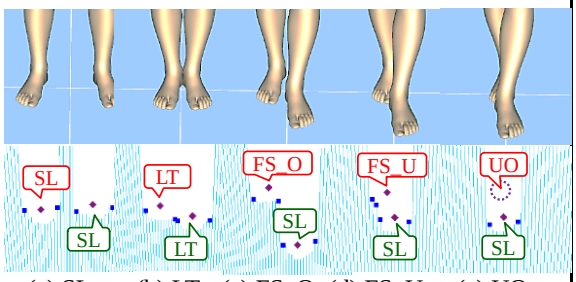


図２　歩行計測システム

の被験者実験を実施し、両脚の位置、速度を推定し、かつ、追跡可能であること、脚の交差時に隠れてしまう脚の着床、離床時刻を取得可能であることを確認した（図４）。本提案技術は開発する移動式の歩行計測システムにおいても核となる要素技術のひとつである。平成２６年度に行う予定であった移動式の歩行計測システムである歩行計測ロボットのプロトタイプとなる，図５に示す全方位移動機構を有する歩行計測ロボットを製作した。ロボットに環境地図生成・自己位置推定技術を実装し、自律で移動するための要素技術を開発した。



(a) SL　(b) LT　(c) FS_O　(d) FS_U　(e) UO

図３　脚検出手法

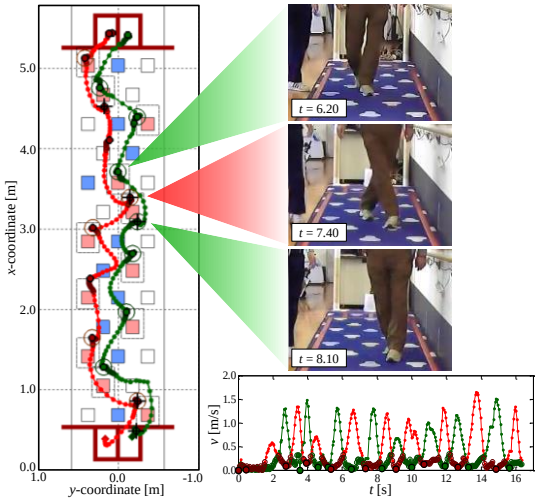


図４　実験結果

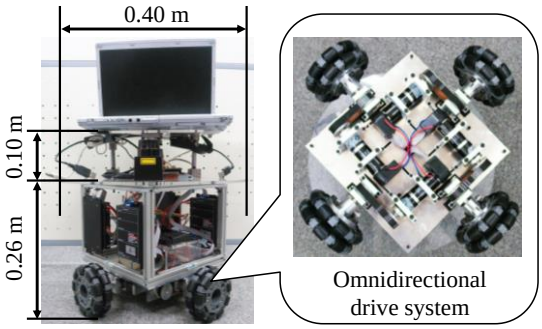


図５　歩行計測ロボット

平成２６年度は、高齢者の運動機能を評価する試験方法のひとつである片足立ち試験において離踵時間、着床時間を検出するアルゴリズムを開発し、図６に示す片足立ち時間を計測可能な固定式の歩行計測システムを開発した。開発した歩行計測システムを用いて要支援 1，2（厚生労働省，2012）の高齢者 15 名（男性 7 名，女性 8 名，年齢 78.3 ±6.3 歳）を対象に片足立ち時間の計測を行った。床反力計を用いた計測結果と比較することにより計測値の妥当性を確認した。また、3 m の歩行スペースがあれば実施可能で、立ち上がり、歩行、方向転換、座り込み動作を含み、日常生活における機能的な移動能力を評価可能な Timed Up and Go（TUG）試験において、離床、着床、歩幅、歩隔、歩行速度を計測可能な固定式の歩行計測システムを開発した（図７）。高齢者 180 名を対象に TUG 試験を実施した。図８に示すような実験結果より、先述の計測項目が取得可能であることを確認している。

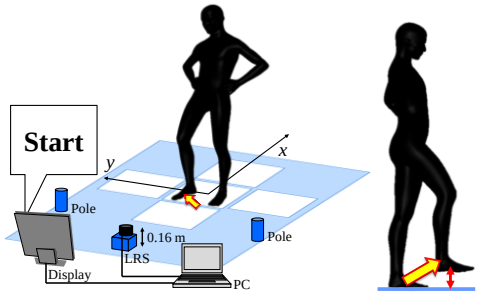


図６　片足立ち計測システム

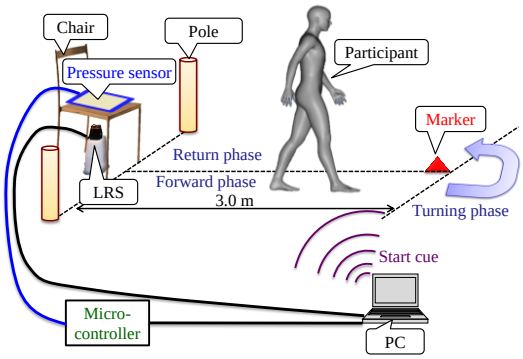


図７　TUG 試験計測システム

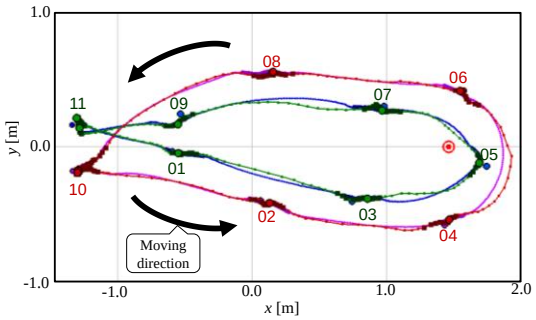


図８　TUG 試験計測結果

図９に示す３次元動作解析システム VICON の結果と比較することにより、取得された計測値の妥当性を検証した。移動式の歩行計測システムである全方位移動機構を有する歩行計測ロボットに環境地図生成・自己位置推定技術を実装し、３ 次元動作解析システム VICON と比較することにより、自己位置推定精度を検証し、グリッドサイズの 3cm 以下の精度におさまっていることを確認した。

平成２７年度は、右左折を含む日常生活に近い環境における長距離歩行課題とする。右左折時には回転運動を伴うため、自己位置推定精度が劣化すると言われているため環境地図生成技術・自己位置推定技術（SLAM）の改良に加えて、被験者を見失わずに 1.5～2.0 m の距離を保ちながら安全に誘導するための経路計画と姿勢制御則を確立した。図１０に示すような大学内の廊下において、30m歩行試験時の計測実験を実施した。図１１に示すように被験者に対して一定の距離を保ちながら先導し、披見者の両脚を見失うことなく検出・追跡できていることを実験的に確認した。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計６件）

① Ayanori Yorozu, Masaki Takahashi, Improved Leg Tracking Considering Gait Phase and Spline-based Interpolation during Turning Motion in Walk Tests, Sensors, 査読有, Vol. 15, No. 9, 2015, pp.22451-22472; doi:10.3390/s150922451.

② Ayanori Yorozu, Shu Nishiguchi, Minoru Yamada, Tomoki Aoyama, Toshiki Moriguchi, Masaki Takahashi, Gait Measurement System for the Multi-Target Stepping Task Using a Laser Range Sensor, Sensors, 査読有, Vol. 15, No. 5, 2015, pp.11151-11168; doi:10.3390/s15051115.

③ 萬礼応, 森口智規, 並川浩史, 高橋正樹, レーザレンジセンサを用いた片足立ち時間計測（高齢者の転倒危険度評価システムのための運動機能評価）, 日本機械学会論文集, 査読有, Vol.81, No.824, 2015, pp.1-12 (14-00570).

④ 小澤真裕美, 萬礼応, 松村哲哉, 高橋正樹, レーザレンジファインダを用いた歩行計測システムの提案, 日本機械学会論文集Ｃ編, 査読有, Vol. 79, No. 801, 2013, pp.1550-1560.

⑤ Tetsuya Matsumura, Toshiki Moriguchi, Minoru Yamada, Kazuki Uemura, Shu Nishiguchi, Tomoki Aoyama, Masaki Takahashi, Development of measurement system for task oriented step tracking using laser range finder, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 査読有, 2013, doi:10.1186/1743-0003-10-47.

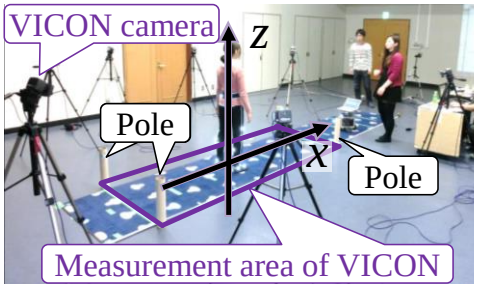
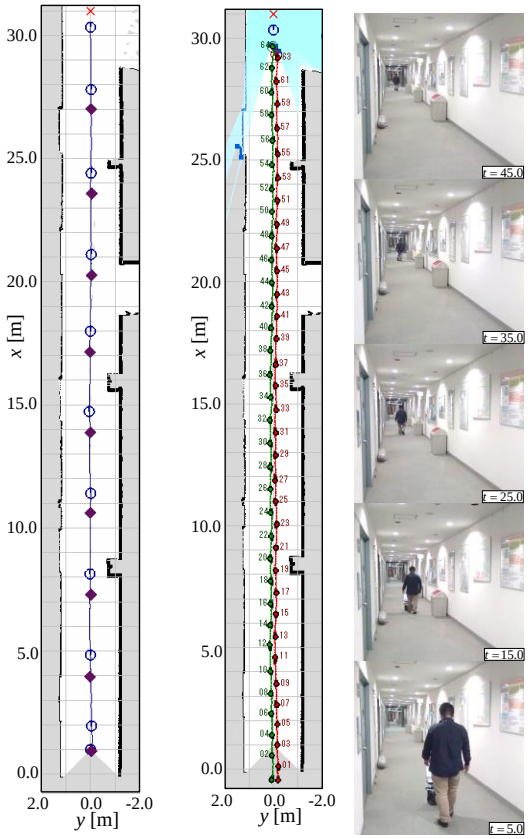


図９　３次元動作解析システムとの比較実験

図１０　30m歩行計測実験



(a) ロボットの移動軌跡　(b) 歩行計測結果　(c) 実験の様子

図１１　30m歩行計測実験結果

⑥ Shu Nishiguchi, Minoru Yamada, Kazuki Uemura, Tetsuya Matsumura, Masaki Takahashi, Toshiki Moriguchi, Tomoki Aoyama, A novel infrared laser device that measures multilateral parameters of stepping performance for assessment of all risk in elderly individuals, Aging Clinical and Experimental Research, 査読有, 2013.

〔学会発表〕（計１２件）

① Ayanori Yorozu, Masaki Takahashi, Development of Gait Measurement Robot Using Laser Range Sensor for Evaluating Long-distance Walking Ability in the Elderly, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2015), 査読有, 2015 年 10 月 1 日, Hamburg (Germany).

② 萬礼応, 足達大樹, 青山朋樹, 福本貴彦, 森口智規, 高橋正樹, 機能的移動能力評価システム Laser-TUG（高齢者の Timed Up and Go 試験への適用）, Dynamics and Design Conference 2015 (D&D2015), 査読なし, 2015 年 8 月 25 日, 弘前大学（青森県・弘前市）, 208.

③ Ayanori Yorozu, Mayumi Ozawa, Masaki Takahashi, Development of Gait Measurement Robot for Prevention of Falls in the Elderly, 11th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2014), 査読有, 2014 年 9 月 2 日, Vienna (Austria).

④ Ayanori Yorozu, Masaki Takahashi, Gait Measurement for Human Behavior Estimation against Autonomous Mobile Robot, The 13th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-13), 査読有, 2014 年 7 月 18 日, Padova (Italy).

〔図書〕（計１件）

① Ayanori Yorozu, Masaki Takahashi, Gait Measurement System for the Elderly Using Laser Range Sensor, Applied Mechanics and Materials, Vols. 490-491, 2014, pp. 1629-1635, (ISSN: 1660-9336).

〔産業財産権〕

○出願状況（計４件）

名称：歩行計測システム
発明者：高橋正樹、萬礼応、森口智規
権利者：同上
種類：特許
番号：特許願 2015-122274 号
出願年月日：平成 27 年 6 月 17 日
国内外の別： 国内

名称：脚部状態検出装置、脚部状態検出方法、及び脚部状態検出プログラム
発明者：高橋正樹、萬礼応、森口智規、並川浩史
権利者：同上
種類：特許
番号：特許願 2014-151890 号
出願年月日：平成 26 年 7 月 25 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.yt.sd.keio.ac.jp/research/Walking.html

６．研究組織

(1)研究代表者

高橋　正樹　（TAKAHASHI, Masaki）
慶應義塾大学・理工学部・准教授
研究者番号：１０３９８６３８