

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K15255

研究課題名（和文）Digital Twinに基づくInContextアクセシビリティ評価技術の実現

研究課題名（英文）InContext accessibility evaluation technology based on digital twin

研究代表者

丸山 翼（Maruyama, Tsubasa）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：50817161

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：誰もが安心・安全に利用できる屋内外環境の実現のために、アクセシビリティに優れた環境デザインが必要である。当初は、多様なコンテキスト下での環境アクセシビリティ評価を目的としていたが、感染症の影響により被験者実験が困難であったため、研究計画を修正した。具体的には、既計測データに基づき仮想空間内で動作シミュレーションを行い、様々な条件下で環境アクセシビリティを評価・応用できる技術の開発を目的とする。このために、少数IMUを用いた歩行評価研究、環境のつまづきリスク評価に基づく安全ルートの提案技術、下肢装具の違いによるリスクの評価技術を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

インクルーシブ環境の実現のため、利用者の身体性を考慮しつつ、屋内外環境に対してアクセシビリティを定量評価できなければならない。そこで、実環境の3Dレーザ計測点群上で、想定利用者の歩行動作をシミュレーションし、アクセシビリティを定量評価することを試みた。

現在は健康的な若年者・高齢者・一部の下肢装具ユーザしか模擬できないが、提案技術によりアクセシビリティを定量評価でき、これに基づく歩行ルート提案、コンテキスト（選択ルートや下肢装具の種類）を考慮したリスク評価を行えることを確認した。このように、シミュレーションベースで様々な利用者に対する環境点検を実現できる点において、本研究は社会的意義を持つ。

研究成果の概要（英文）：It is necessary to design environments with high accessibility for indoor and outdoor environments that everyone can use safely and comfortable. The initial goal of this study was to evaluate environmental accessibility with various contexts. However, the research plan was changed to due to the difficulty of measurement experiment with a various subject. Thus, we updated a research plan to develop a technology that can evaluate and apply environmental accessibility under various conditions by simulating movements in a virtual space based on measured human data. For this purpose, we conducted a gait evaluation study using a sparse set of IMUs, developed a safe route recommendation system based on the tripping risk evaluation results, and developing a technology for evaluating the risk when using different lower limb orthoses.

研究分野：デジタルヒューマン

キーワード：転倒 アクセシビリティ レーザ計測点群 デジタルヒューマン 歩行シミュレーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

誰もが安心・安全に利用できる屋内外環境(インクルーシブ環境)の実現のために、アクセシビリティに優れた環境デザインが必要である。このために、既設の屋内外環境に対して、環境アクセシビリティを定量評価できる技術が求められている。また、環境アクセシビリティは、健康的な若年者だけではなく、高齢者をはじめとしたさまざまな身体性を持つ人々に対して評価されなければならない。

そこで、研究開始当初は、多様なコンテキスト下での環境アクセシビリティ評価技術の開発を目的としていた。このために、実際の環境と様々な歩行者の運動を仮想空間にデジタルツインとして再現し、仮想空間内で運動解析や行動属性認識を実施する。そしてこの結果に基づき環境アクセシビリティを評価する、被験者実験ベースの研究を進める予定であった。このために、初年度は少数 IMU を用いた深層学習ベースの運動計測技術を用いた歩行評価を進めていた。しかし、感染症の影響により被験者実験の実施が困難となってしまう、研究方針を転換せざるを得なかった。そこで、既計測データに基づき仮想空間内で動作シミュレーションを行い、シミュレーションベースで環境アクセシビリティを評価・応用できる研究計画に修正した。具体的には、環境のつまづきリスク評価、これに基づく安全ルートの提案、下肢装具によるリスクの違いの評価を実施した。

2. 研究の目的

歩行計測データと動作シミュレーションを組み合わせ、環境のアクセシビリティを評価・応用できる技術の開発

3. 研究の方法

(1) 歩行者のデジタルツイン構築

環境アクセシビリティ評価のためには、整備された実験室環境ではなく、坂道や階段を含む実際の屋内外環境での日常的な歩行計測が必要である。申請者らはこれまで、IMU を用いた運動計測技術を開発し、屋外環境での歩行評価などに活用してきた[1]。しかし、この技術では全身の各体節に IMU を装着する必要がある、日常的な歩行計測に活用することは困難であった。そこで、近年の深層学習技術に着目し、手首や靴に装着した少数 IMU から全身運動を推定できる技術を用いて歩行動作の評価を実施した(図 1)。

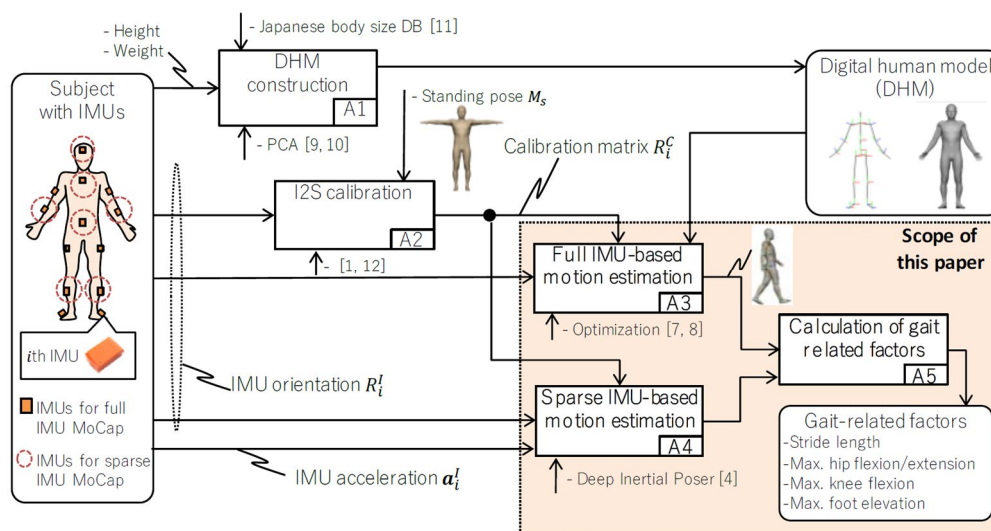


図 1 少数 IMU による動作計測技術を用いた歩行評価 [2]

(2) 環境のデジタルツイン構築

アクセシビリティ評価対象となる環境のデジタルツイン構築のために、3D レーザ計測を行い、対象環境の 3D レーザ計測点群を取得した。さらにこの点群データに対し、申請者らの既存研究[3]の技術を用いて、歩行可能な領域や経路構造の取得、凹凸度の定量化を実施した。申請者らの研究拠点の近くにあり、坂道や階段など様々な歩行地形が含まれるお台場の 3 区画(東京都江東区青海 2 丁目 3-5 ~ 7)を対象環境とし、レーザ計測を実施した。また、過去に計測された日本大学工学部の 3D レーザ計測点群も研究に用いた。

(3) 歩行シミュレーションに基づくつまづきリスク評価と安全ルート提案への応用

実験ベースではなくシミュレーションベースでの環境アクセシビリティ評価のために、3D 点群上でのデジタルヒューマン歩行シミュレーションによりつまづきリスクを定量化する従来研

究[3]を拡張し、歩行ルート毎のつまづきリスクを算出し、ユーザの歩行能力に応じた安全な歩行ルートを提案する技術を開発した(図2)。本研究については、広島大学の修士学生を中心に実施した。

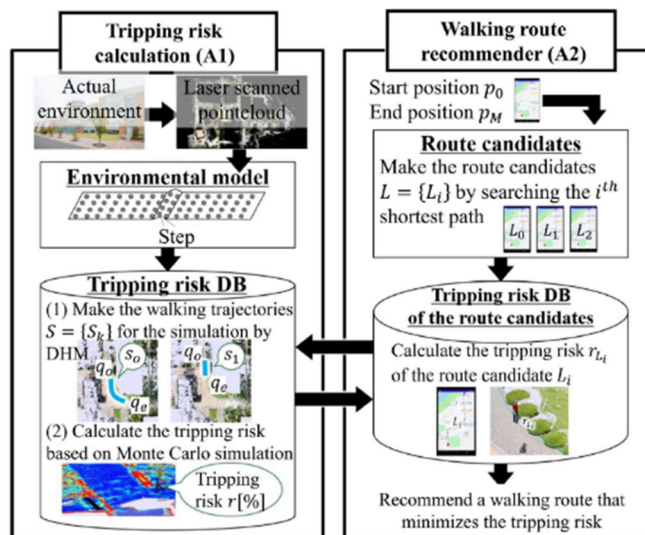


図2 つまづきリスク推定と歩行ルート提案 [4]

(4) 下肢装具を考慮した環境アクセシビリティ評価への応用

高齢者以外の歩行者や移動中のコンテキストの考慮の一例として、提案技術を下肢装具ユーザに対する環境アクセシビリティ評価へと応用した。下肢装具ユーザの歩行シミュレーションによりつまづきリスクを評価した。さらに、背屈支援といった装具によるアシストの有無により、つまづきリスクの変化を予測評価できるようにした。これにより、シミュレーションベースで装具による歩行支援効果を、環境アクセシビリティの観点から評価できるようになった。本成果については論文投稿準備中である。

4. 研究成果

(1) 歩行者のデジタルツイン構築

図3に、少数IMUによる推定動作を用いた歩行評価結果の例を示す。光学式モーションキャプチャで計測した真値に対し、少数IMUによる推定結果・全身IMUによる推定結果との相関を評価した。図3に示すように、歩行中の股関節最大伸展角や足部のエレベーション角度であれば、少数IMUであっても歩行評価に活用できる可能性を確認した。本成果は国際会議(ABC2020)で発表した。

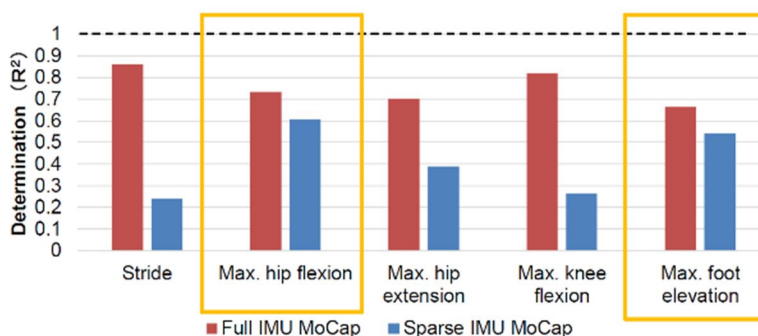


図3 少数IMUによる推定動作を用いた歩行評価結果の例 [2]

(2) 環境のデジタルツイン構築

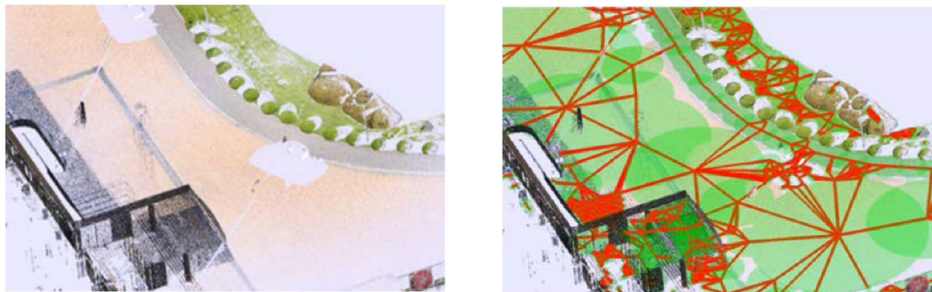
図4・図5に、取得したお台場の3Dレーザ計測点群と、日本大学工学部の3Dレーザ計測点群データを示す。また、図6は点群データから経路構造の抽出を行った例である。本研究では、これらを用いて環境アクセシビリティ評価を実施した。



図4 お台場の3Dレーザ計測点群の一部



図5 日本大学工学部のレーザ計測点群 [4]



(a) 点群データ

(b) 経路構造

図6 経路構造の抽出例 [4] (緑：歩行可能な小空間を表すノード，赤：ノード間の接続性)

(3) 歩行シミュレーションに基づくつまづきリスク評価と安全ルート提案への応用

図7, 図8に, 入力された出発位置から目標位置に到達する歩行ルート候補の選定結果と, 各ルートにおけるつまづきリスクの評価結果を示す. 従来ではある地点に対するつまづきリスク評価にとどまっていたが, 図8に示すように, ルート毎にリスクを定量化できていることが確認できる. 本成果は, 広島大学の修士学生を筆頭としQ1国際誌(IEEE Access)に発表した.

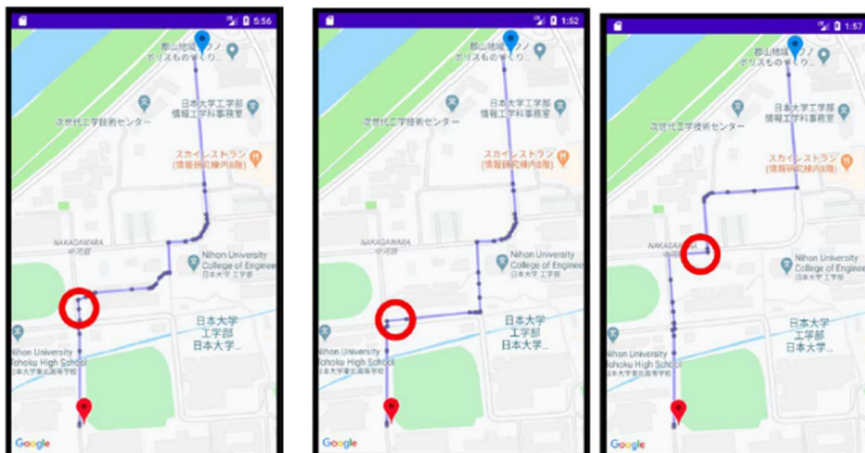


図7 歩行ルート候補の選定の例 [4]

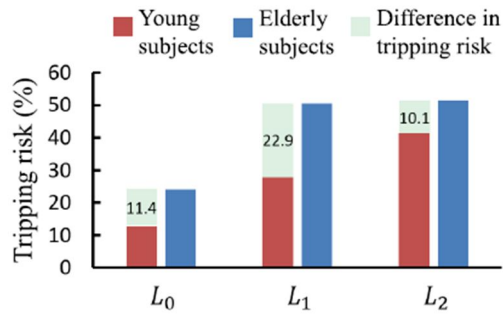


図 8 歩行ルート毎のリスクの評価結果の例 [4]

(4) 下肢装具を考慮した環境アクセシビリティ評価への応用

図 9 に下肢装具ユーザの歩行シミュレーションの様子を，図 10 にリスク評価結果を示す．図 10 に示すように，歩行地形によるリスクの違いだけでなく，下肢装具による歩行支援の有無によるリスクの違いを定量化できていることが確認できる．本成果については論文投稿に向けて準備中である．

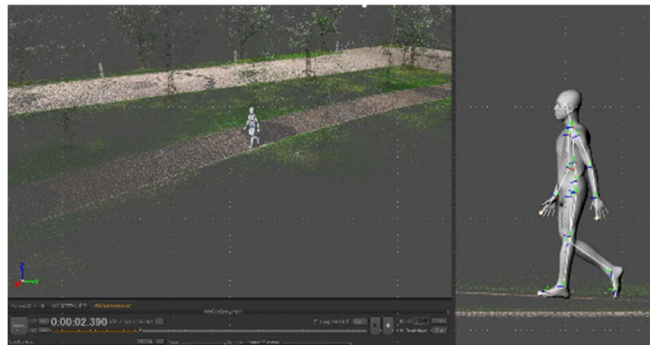


図 9 歩行シミュレーションの様子

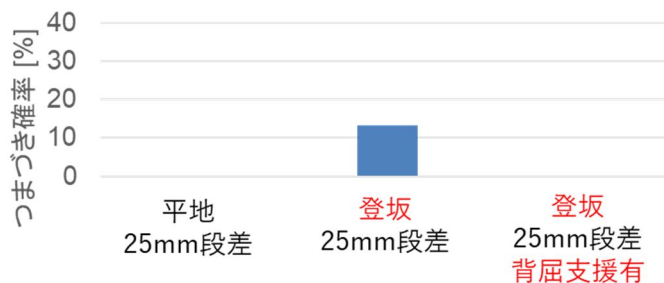


図 10 リスク評価結果

<参考文献>

- [1] Toda H, Maruyama T, Tada M. Indoor vs. Outdoor Walking: Does It Make Any Difference in Joint Angle Depending on Road Surface? *Front Sports Act Living*. 2020 Sep 18;2:119. doi: 10.3389/fspor.2020.00119. PMID: 33345108; PMCID: PMC7739828.
- [2] Maruyama, T., Kanai, S., & Date, H. (2018). Tripping risk evaluation system based on human behavior simulation in laser-scanned 3D as-is environments. *Automation in Construction*, 85, 193-208.
- [3] Maruyama, T., Toda, H., Kanoga, S., Tada, M., Endo, Y. (2021). Accuracy Evaluation of Human Gait Estimation by a Sparse Set of Inertial Measurement Units. In: Ahad, M.A.R., Inoue, S., Roggen, D., Fujinami, K. (eds) *Activity and Behavior Computing. Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 204. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8944-7_4
- [4] Minakata M., Maruyama T., Tada M., Ramasamy P., Das S. and Kurita Y., "Safe Walking Route Recommender Based on Fall Risk Calculation Using a Digital Human Model on a 3D Map," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 8424-8433, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3143322.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Minakata Mayuko, Maruyama Tsubasa, Tada Mitsunori, Ramasamy Priyanka, Das Swagata, Kurita Yuichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Safe Walking Route Recommender Based on Fall Risk Calculation Using a Digital Human Model on a 3D Map	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 8424 ~ 8433
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2022.3143322	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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 南方麻友子, 丸山翼, 多田充徳, 栗田雄一
2. 発表標題 3D マップとデジタルヒューマンモデルを利用した転倒リスク計算に基づく安全な歩行ルート提案
3. 学会等名 第26回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

1. 発表者名 Tsubasa Maruyama, Haruki Toda, Suguru Kanoga, Mitsunori Tada, and Yui Endo
2. 発表標題 Accuracy Evaluation of Human Gait Estimation by a Sparse Set of Inertial Measurement Units
3. 学会等名 International Conference on Activity and Behavior Computing 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020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
---------------------------	-----------------------	----

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