

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：82723

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13956

研究課題名（和文）鉄道車両振動に対する人間の応答特性評価のためのウェアラブル評価システムの開発

研究課題名（英文）Development of wearable system for evaluation of human standing on train vibrating floor

研究代表者

本城 豊之（Honjo, Toyoyuki）

防衛大学校（総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群）・システム工学群・助教

研究者番号：20710643

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）：日本国内は鉄道網が非常に発達しており、日常生活において利用者は車両からの振動の影響を受けることになる。そのため、車両乗車中の転倒予防によるQOLの維持・向上といった安全や快適性への配慮は重要な課題である。より安全な利用のために、振動といった外乱に対する人の姿勢維持機能を理解し、安全指標の開発や利用中の安全への注意喚起を行うウェアラブルシステムの開発を目指し、振動台を使用した床面振動環境下における人間の立位姿勢維持機能を計測できる環境を構築し、計測結果から評価に適した数理モデルを導出し、数値シミュレーションから姿勢維持時の負担を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、これまであまり報告されていなかった鉛直方向の振動を含む床面振動環境下における人間の立位姿勢維持運動の計測を実施した。実験結果から振動環境下における簡便な評価のための数理モデルとして、仮想的な脚部の弾性を考慮した倒立振り子を規範としたモデルを構築できた。このような実験結果を踏まえた数理モデルは、鉄道乗車時等に簡便に計測し、安全のための注意喚起といった情報をフィードバックするためのシステム等に利用可能である。

研究成果の概要（英文）：In this research, we evaluated human standing behavior on floor with perturbation to develop a wearable system for enhancing safety of train passengers.

The experimental environment consisted of a shaking table, optical motion capture system, and two force plates was constructed to measure human behavior while the floor was periodically vibrated up and down and backwards and forwards at several frequencies. A simple and planar human model with virtual leg-stiffness was proposed based on experimental results. The effect of virtual leg-stiffness on human standing with floor perturbation was evaluated via numerical simulation.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：ヒューマンダイナミクス 床面振動外乱 姿勢維持 ウェアラブルセンシング

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

日本国内は鉄道網が非常に発展しており、利用者は日常的に車両からの振動の影響を受けている。また、高齢社会にある日本では高齢者の鉄道利用も多く、転倒予防による QOL の維持・向上といった安全への配慮は重要な課題である。鉄道車両を含めた機械構造物の振動が人体に与える影響の評価は実振動波形の実行値によってその許容の判断がなされるものであり、より安全な鉄道車両の利用のために、人間の姿勢維持機能や環境からの外乱に対する応答特性といった鉄道利用者である人間の挙動を踏まえた新たな安全指標の開発や利用中の人間の姿勢維持機能をウェアラブルに評価し、逐次安全への注意喚起を行うなど、人と機械システム双方からの安全への対応が重要になると考える。

平成 27 年度の総務省の情報通信白書では、ウェアラブルデバイスが注目されている背景として、「デバイスに搭載されたセンサーを通じて装着している人の生体情報を取得・送信し、クラウド上で解析しフィードバックすることで、フィットネスやヘルスケア分野などでの活用が期待されている」ことが報告されている。このように、ウェアラブルセンサによる計測と、結果のフィードバックを利用した身体パフォーマンスの定量的評価が注目されており、立位姿勢維持の分野では、振動等の外乱に対する平衡機能の定量的な評価を可能とすることで、車両乗車中の転倒予防による QOL の維持・向上に貢献できると考えた。

鉄道等の車両の振動と立位姿勢維持の研究において、鉄道車両の振動を扱った研究においては、実際の車両や大型の振動台などを使用した 3 次元的な振動の影響を含めて研究がなされているが、乗客の立位姿勢や身体の動揺量といった点の報告は少ない。一方で、人間の立位姿勢維持運動を扱った研究では、水平方向の周期的な振動や一過性の外乱の影響を考慮した研究は多いが、鉛直方向の振動や外乱の影響を扱った報告は少ない^①。そのため、鉛直方向の振動を含めた床面振動環境における人間の姿勢維持機能を計測・評価し、その特徴を踏まえたシステムの開発を検討する必要がある。

2. 研究の目的

上述のような鉄道車両振動に対する人間の応答特性をウェアラブルに評価するために、大型振動台と光学式・慣性式モーションキャプチャシステム、床反力計を使用した計測実験から、鉄道車両モデルから導出した床面の振動パターン等に対する人間の身体各部位の動揺量を計測し、定量的な応答特性を求め、評価に必要な身体部位の選出と適切な数理モデル(人体モデル)を決定し、それらをウェアラブルに計測可能とするためのシステムを開発することを目指した。

3. 研究の方法

本研究課題は以下の手順、内容にて実施される。

- (1) 実験室内にて床面の振動環境とその上に立つ人間の運動を計測可能な計測実験系を構築する。
 - 床面振動環境の生成には水平方向、鉛直方向を独立に加振可能な大型振動台を使用した。
 - 振動台の加振テーブル部に床反力計を 2 台設置し、その上に立つ人間の左右の足の床反力を独立に計測できるようにした。
 - 振動台の周囲に配置した 5 台のカメラによる光学式モーションキャプチャシステムによって、床面と人体に配置した反射マーカの座標を取得した。
- (2) 構築した実験環境を用いて、被験者実験を実施する。
 - 当該実験は、十分な休息や実験中のハーネスの着用など安全面に配慮し、防衛大学校研究倫理委員会の承認を得て実施した。
- (3) 実験結果から、床面振動環境下における人間の立位姿勢維持運動の特徴を解析し、その特徴を踏まえた数理モデルを導出する。
 - 倒立振子系を規範とし、計測結果の特徴を考慮可能なモデルを模索した。
 - 簡便な計測のため、左右の脚を 1 組として扱った平面モデルとした。
- (4) 導出した数理モデルや特徴をウェアラブルに計測可能とするためのシステムを開発する。
 - ウェアラブル計測には加速度センサ、ジャイロセンサを備えた慣性式センサを用いた。
 - 省センサ化のため、左右の脚を 1 組として片側の脚を計測対象とした。
 - 光学式モーションキャプチャシステムによる計測結果との誤差が少ないセンサ配置箇所を分析した。

4. 研究成果

主に以下に挙げる成果を得た。

(1) 計測実験

被験者実験において、前後方向 (AP)、上下方向 (V) それぞれを単独に加振した場合と同時に加振した場合 (下表参照) の床反力計の上に立つ人間の立位姿勢維持運動を計測 (右図参照) し、周波数分析によって計測結果の時系列データに含まれる加振周波数成分を抽出し、立位姿勢維持時の身体各部位 (頭部、胸部、腰部、足部、身体重心) の動揺量や車両等の振動乗り心地の指標として用いられることもある加速度の大きさ、床反力等を解析した。結果から、前後方向の加振条件において、先行研究による知見と合致する結果を得た^②。1Hz の上下方向の加振条件においては、脚長の微小な変化が見られ、床反力の値を用いて脚部の仮定の弾性値 (leg-stiffness) を算出したところ、弾性値の異なる 2 組に分類される結果を得た。また、前後方向と上下方向の振動パターンによっては特異な結果がみられることを確認した。

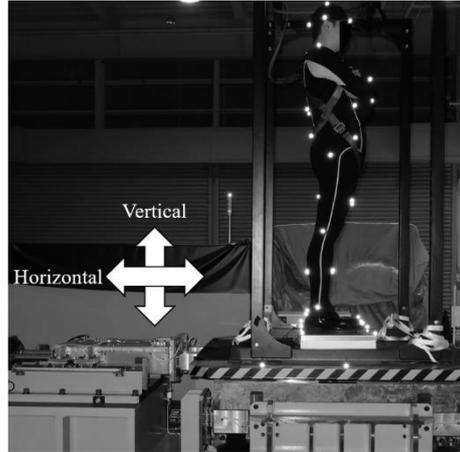


図 1 実験風景の外観

(2) 数理モデルと数値シミュレーション

(1) の結果を踏まえて、左図に示すような脚部の仮定の弾性値 (leg-stiffness) を考慮した 3 自由度の倒立振子モデルが鉛直方向の床面振動を含む環境における人体の数理モデルとして適していると考えた。この仮定の脚部の弾性 (leg-stiffness) が振動環境下における立位姿勢維持運動に与える影響を関節の発揮力の観点から解析するために、MATLAB による数値シミュレーションを構築した。足部には計測実験時と同様の床面振動を与え、腰部が実験結果と同様に上下に振動するように下肢の運動を制御した。結果、シミュレーションにおいても計測実験による結果と同様の床反力と脚部の弾性値が得られ、下肢 3 関節の発揮力から姿勢維持時の負担を評価することができた。

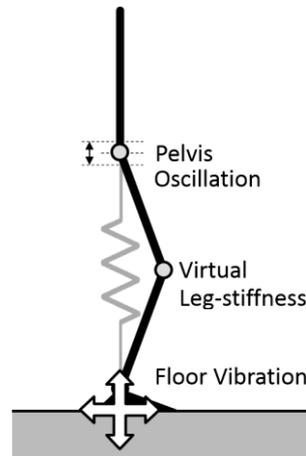


図 2 提案モデル

(3) ウェアラブル計測システム

より少ないセンサによる簡便な計測を目指し、省センサ化のための検討が必要であった。そこで、光学式モーションキャプチャシステムにて計測した立位姿勢維持運動から、身体各部位の中心位置と誤差の少ないセンシング箇所 (センサの配置箇所) の選定を実施し、より有効なセンサ配置箇所の検討を行った。

表 1 床面振動条件

V \ AP	0Hz	0.5Hz(0.02 G)	1.0Hz(0.08 G)
0Hz	Trial 1 (static)	Trial 2 (↔)	Trial 3 (↔)
0.5Hz(0.01 G)	Trial 4 (↑↓)	Trial 5 (↗)	Trial 6 (⊗)
1.0Hz(0.04 G)	Trial 7 (↑↓)	Trial 8 (∞)	Trial 9 (↗)

<引用文献>

- ① D.Tokur, M.Grimmer, and A.Seyfarth, Review of balance recovery in response to external perturbations during daily activities, Human Movement Science, Vol.69, 102546, 2020
- ② 藤原 勝夫、池上 晴夫、床振動時の立位姿勢の応答特性、体育学研究、29 巻、1984、251-261

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 本城豊之, 笹山雄平, 吉田秀久
2. 発表標題 矢状面内の床面振動環境下における立位姿勢維持と脚剛性
3. 学会等名 第64回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本城豊之, 吉田秀久
2. 発表標題 矢状面内の床面振動環境下における脚部の弾性と立位姿勢維持
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 笹山雄平, 吉田秀久, 本城豊之
2. 発表標題 床面振動外乱に対する立位姿勢の乗り心地評価
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本城豊之, 笹山雄平, 吉田秀久
2. 発表標題 床面振動環境下における立位姿勢ウェアラブル計測のための計測部位評価
3. 学会等名 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田秀久, 本城豊之
2. 発表標題 振動台による研究用車体振動シミュレータの構築
3. 学会等名 第27回交通・物流部門大会
4. 発表年 2018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
---------	---------