

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 8日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009年度～2011年度

課題番号：21700581

研究課題名（和文） バーチャルリアリティを用いた姿勢制御及び  
歩行能力評価システムの構築研究課題名（英文） Development of an integrated system for assessing the ability of  
posture control and walking using virtual reality

研究代表者

長野 明紀（NAGANO AKINORI）

神戸大学・システム情報学研究科・准教授

研究者番号：30392054

研究成果の概要（和文）：本研究ではバーチャルリアリティの技術を活用し、人間の姿勢制御と歩行の能力を客観的に評価することを可能にした。姿勢制御についてはバーチャルリアリティを用いた視覚フィードバックにより立位保持時の足関節インピーダンスが変化することを明らかにした。また、立位保持時・脱力時それぞれに足関節インピーダンスの値を同定する手法を開発した。歩行に関しては、歩行動作時の力学変数の変化と歩行速度との関係を明らかにした。更にこれを応用して、使用者の意図を推定するインテリジェントなトレッドミルを開発した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to develop an integrated assessment system for human posture control and gait ability using virtual reality techniques. For posture control, it was revealed that visual feedback changes the value of the ankle joint impedance. We also developed methods to estimate the ankle joint impedance during stance and sitting-rest conditions. For gait, we revealed the relations between kinetic variables and the gait speed. We used this knowledge to develop an intelligent treadmill that estimates the intended walking speed in real time.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学、リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：バイオメカニクス、動作解析、動力学、姿勢制御

## 1. 研究開始当初の背景

我が国では社会全体のますますの高齢化を迎え、人々のクオリティ・オブ・ライフを向上・維持させる事の重要性が高まっている。自らの脚で立ち、歩行をするという能力はクオリティ・オブ・ライフと密接な関係を持つ。この能力を失う事で自由な移動が妨げられ、

日常生活が全般に渡って不便になり、場合によってはそのまま寝たきり生活へと移行してしまう可能性もあるためである。

立位の保持や安定な歩行動作の遂行のために、視覚情報が重要な役割を果たすことが広く知られている。Vuillerme et al. (2001, NeuroSci Lett., 308, 103-106) は下肢の筋

肉に運動課題を課して疲労させ、疲労の前と後で立位保持時の姿勢動揺量を評価した。その結果、(1)下肢筋の疲労は閉眼時の姿勢動揺を顕著に増加させること、(2)開眼時には筋肉が疲労していても姿勢動揺の増加は抑えられること、(3)閉眼で姿勢動揺を計測中に開眼した場合、ほぼ開眼した瞬間に姿勢動揺の量が低下すること、等が解った。特に(2)と(3)の知見は視覚情報が姿勢動揺に大きな影響を及ぼすことを明らかに示す物であり、姿勢制御を考える際に視覚に着目することの重要性が示唆された。

先行研究の中で申請者は下肢筋をストレッチする課題を行い、その前後での姿勢動揺の変化を分析した(Nagano et al., 2006, Hum. Mov. Sci., 25, 422-434)。その結果ストレッチにより姿勢動揺が増加することが解り、筋肉の疲労、筋紡錘の感度の変化、弾性要素の特性の変化等が原因であることが議論された。一方で開眼時と閉眼時を比較した場合には、ストレッチを施した後でも開眼時には姿勢動揺が小さく抑えられることが明らかとなり、ここでもまた姿勢制御に於ける視覚の重要性が明らかとなった。

この様な背景を踏まえ、本研究では視覚情報の呈示が姿勢制御能力に及ぼす影響を評価する事を目指した。ここで視覚情報の呈示に際しては臨場感の高い手法が有効であると考えられたため、バーチャルリアリティの技術を用いる事を考えた。また、立位姿勢の保持のみならず歩行動作をも対象とし研究を遂行した。

## 2. 研究の目的

前述の背景を踏まえ本研究では、眼前に映示される視覚刺激が立位保持や歩行動作といった課題の遂行に及ぼす影響を詳細に評価することを目指した。映示するオブジェクトとしては球、円柱、四角柱等の幾何学的な形状の物から、人物、動物、車等の実生活で身近に接する対象まで幅広く考えることを目指した。また、複数のオブジェクトが混在する、より実生活に近い状況も取り扱うことも検討した。

大きく分けて以下の二つの状況について実験を行う計画を立案した。(1)被験者には立位保持・安定な歩行の継続などの課題を課し、その途中で映示した視覚刺激を変化させ、その変化が身体の動作に及ぼす影響を評価する。(2)被験者には映示された刺激に対応した動作を行うように指示し(映示されたオブジェクトの動きに合わせて身体重心を

移動させる等の視覚刺激応答課題)、その応答特性を評価する。前者では視覚的な外乱によって身体運動が如何に影響を受けるかを評価することができ、後者では視覚をキーとした課題を忠実に遂行する能力を評価できる。これらの課題は日常生活でも行う種の物であり、これに関する詳細な評価を行うことには科学的のみならず社会的な意義があると考えられる。また映示するオブジェクトの大きさ、動きの速さや明度などを系統的に変化させることで視覚刺激の強度を調整して、その影響も評価する事とした。これらの変化についても実際の生活環境に対応した設定を行う事を考えた(昼の明るさと夜の暗さに対応した明度、等)。

## 3. 研究の方法

### (1) 2009年度

この年度は、視覚刺激がヒトの姿勢制御能力に及ぼす影響を評価する事を目的とした。姿勢動揺の計測には床反力計を用いた。立位保持の課題遂行時に視覚刺激・聴覚刺激を提示して、それに対する被験者の応答をバイオメカニクス的手法を用いて詳細に評価した。これに際して、時系列データの新たな評価手法を考案した。視覚刺激の提示にはバーチャルリアリティの技術を用いた。metasequoiaを用いた三次元モデルの作成とOpenGLを用いたプログラム構築によりこれらを実現した。高性能なグラフィックボードを搭載したコンピュータを用いた。

### (2) 2010年度

この年度は主としてVRの環境構築、インテリジェント・トレッドミルを用いた歩行システム構築、コンピュータシミュレーションを用いたヒト身体運動の解析、の三つのテーマに取り組んだ。バーチャルリアリティの環境構築に関しては前年度に引き続き、より臨場感・没入感の高いシステムの構築を行った。デジタル素材集なども活用した。インテリジェント・トレッドミルに関しては高精度なデータ計測と解析を通して、使用者の意図を推定するアルゴリズムを構築し、それに基づいたリアルタイム制御を可能とした。身体運動の解析については、身体剛体リンク系の理論解析を通して動作の効率を理論的に考察した。

### (3) 2011年度

姿勢制御に関しては、立位姿勢保持時に足関節のインピーダンスを同定する手法を開発した。これには床反力計による計測とシステム同定の手法を用いたリアルタイム解析を用いる。また、トルクメーターとモーターを

備える座位足関節インピーダンス計測装置による計測も実施し、立位・座位時のインピーダンス値の比較も行った。歩行動作に関しては、使用者の意図を推定するアルゴリズムを改良し、より信頼性の高いものとした。またアルゴリズムを拡張することにより歩行のみならず走行動作にも対応出来る様にした。そのうえで床反力のデータを視覚的にバイオフィードバックし、これによって脚部のステイフネスや床反力のピーク値が変化することを明らかにした。

#### 4. 研究成果

##### (1) 2009年度

①準静的姿勢制御課題遂行時の姿勢動揺について、時系列データの画期的な解析手法を考案した。これは従来手法を拡張した斬新なものである。

②ここで開発した手法を用いて、視覚バイオフィードバックの有無、及び聴覚バイオフィードバックの有無に伴う姿勢動揺の変化を定量的に評価した。その結果バイオフィードバックを与えた際には動揺範囲が小さくなるものの動揺速度は増加して、狭い領域内で小刻みな姿勢調整が行われる事が示された。

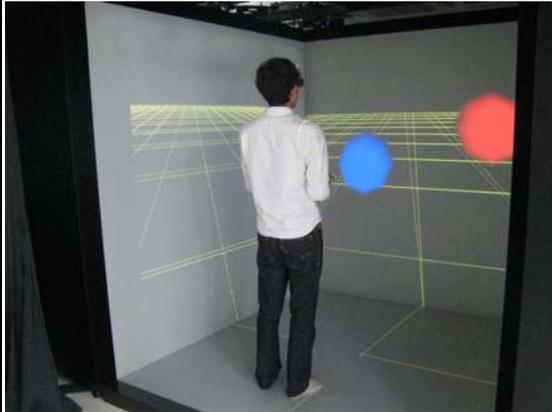
③バーチャルリアリティの技術を用いて、3次元の仮想空間を構築した。具体的には現実的な商店街の町並みを作成した。また、この環境の中での買い物課題等を作成し、高齢者の認知能力の評価を行った。更に、この立体仮想空間を姿勢制御や歩行能力の評価に拡張するシステムも構築した。



##### (2) 2010年度

①バーチャルな市街地の環境を構築し、その中で使用者が前後左右に自在に動ける様にした。この市街地は3次元のポリゴンを用いて構築したもので、5面からなる没入型立体視のシステムを用いると、あたかもその市街地に入り込んだかのような状況を作れる。現実感を高めるために認知心理学的な知見を

大幅に取り入れ、前年度までに構築したシステムを大幅に改良した。



②6成分力のセンサを有するトレッドミルを用いて、使用者の意図を検出し、それに応じてベルト速度を適応的に制御するシステムを構築した。具体的にはトレッドミル上で歩行する際に床反力を計測し、足部が蹴り出す力が大きい際にはベルトを加速し、力が小さい際にはベルトを減速する。これによって使用者はあたかも平地を自由に歩行するような感覚でトレッドミル上を歩行出来るようになった。

③高自由度・高精細なヒト筋骨格系のモデルを用い、特に下肢運動の際の筋・腱複合体の力学的挙動を解析した。これによって、従来の実験的な手法では不可能であった力学的評価が可能となった。跳躍運動や、跳躍に類する爆発的な運動を取り扱った。身体運動時に筋骨格系に作用するストレスを詳細評価した。



### (3) 2011年度

①立位姿勢に関しては、静止立位を保持している際の足関節のインピーダンス特性(粘弾性)を同定する手法を開発した。これは床反力計を用いた足圧中心位置の計測データを、システム同定の手法を用いて解析するものである。これによって立位時の足関節インピーダンス特性をリアルタイムに同定することが可能になった。また、足関節のインピーダンス特性が立位姿勢の安定性に及ぼす影響を制御理論に基づいて考察した。その結果個々人が安定的に立位姿勢を保持する能力(裏を返せば立位保持時の転倒リスク)を定量評価することが可能となった。更に、バーチャルリアリティ技術を用いた視覚フィードバックによりインピーダンス特性が変化し、立位姿勢の安定性を向上できる事が示された。

②歩行動作に関しては、様々な速度で歩行する際の歩行速度と床反力との関係を詳細に解析した。これによって、歩行速度が増加するにつれ進行方向の床反力の力積が増大すること、支持脚期の長さが短くなること、遊脚期の長さが長くなること、が明らかになった。また、これらのパラメータ値に基づいて被験者の意図する歩行速度を高精度に推定できることも明らかとなった。同様に走行動作にも対応出来るアルゴリズムを導出し、歩行/走行の動作切り替えを判定することも可能にした。推定結果に基づいてトレッドミルを駆動することにより、通常の平地歩行・走行に近い感覚でトレッドミル上の歩行・走行を行える。これによって仮想空間内で歩行動作の評価をする際に、より没入感の高い環境を実現できる様になった。



このトレッドミルを用いて、歩行・走行時の力学情報のバイオフィードバックの影響を評価した。力センサから得られた床反力のピーク値や、床反力の値に基づいて計算した脚

部のスティフネスを被験者の眼前にバイオフィードバックしその効果を評価した。その結果バイオフィードバックの効果により脚部に作用するストレスを軽減できる可能性が示唆された。

### 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 21 件)

1. Dong, H., Luo, Z., Nagano, A., in press. An adaptive treadmill-style locomotion interface and its application in 3D interactive virtual market system. Intelligent Service Robotics. (査読有)
2. Yoshioka, S., Nagano, A., Hay, D.C., Fukashiro, S., in press. The minimum required muscle force for a sit-to-stand task. Journal of Biomechanics. (査読有)
3. Yoshioka, S., Nagano, A., Hay, D.C., Fukashiro, S., 2011. The effect of bilateral asymmetry of muscle strength on the jumping height of squat jump: a computer simulation study. Journal of Sports Sciences 29 (8), 867-877. (査読有)
4. Nagano, A., Noritake, H., Luo, Z., 2010. An analysis of directional changes in the center of pressure trajectory during stance. Gait and Posture 31, 400-402. (査読有)
5. Yoshioka, S., Nagano, A., Hay, D.C., Fukashiro, S., 2010. The effect of the bilateral asymmetry of muscle strength on the jumping height of the counter movement jump. Journal of Sports Sciences 28 (2), 209-218. (査読有)
6. Arakawa, H., Nagano, A., Yoshioka, S., Fukashiro, S., 2010. Interaction between elastic energy utilization and active state development within the work enhancing mechanism during countermovement. Journal of Electromyography and Kinesiology 20 (2), 340-347. (査読有)
7. Dong, H., Luo, Z., Nagano, A., 2010. Adaptive attitude control for redundant time-varying complex model of human body in the nursing activity. Journal of Robotics and Mechatronics 22 (4), 418-429. (査読有)
8. Dong, H., Luo, Z., Chen, W., Nagano, A., 2010. A novel information matrix sparsification approach for practical implementation of SLAM. Advanced Robotics

24 (5-6), 819-838. (査読有)

9. Yoshioka, S., Nagano, A., Hay, D.C., Fukushima, S., 2009. Biomechanical analysis of the relation between movement time and joint moment development during a sit-to-stand task. BioMedicalEngineering OnLine 8, 27. (査読有)

〔学会発表〕(計 45 件)

1. 長野明紀, 則武悠人, 羅志偉, 2010. 姿勢動揺方向の解析を用いた聴覚フィードバック効果の評価. 第 21 回日本バイオメカニクス学会. 2010 年 8 月 30 日. 国士舘大学 (東京).
2. 長野明紀, 2010. コンピュータシミュレーションの基礎理論. 第 21 回日本バイオメカニクス学会. 2010 年 8 月 29 日. 国士舘大学 (東京).
3. 長野明紀, 本城豊之, 羅志偉, 2009. パラメタ励振原理を用いた高効率な歩行動作のシミュレーション研究. 第 22 回日本トレーニング科学会. 2009 年 12 月 9 日. 名古屋大学 (愛知).
4. 長野明紀, 2009. バイオフィードバックが姿勢制御能力に及ぼす影響. 日本体育学会. 2009 年 8 月 26 日. 広島大学 (広島).
5. Nagano, A., Noritake, H., Luo, Z., 2010. A new method of posturography processing: directional change analysis. 6th World Congress on Biomechanics p. 437. 2010 年 8 月 2 日, Suntec Convention Center, シンガポール.

〔図書〕(計 1 件)

長野明紀, 吉岡伸輔, 2011. バイオメカニクスー人体運動の力学と制御. ラウンドフラット. 368 ページ.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www2.kobe-u.ac.jp/~aknrngn/>

[http://kuid.ofc.kobe-u.ac.jp/InfoSearch/html/researcher/researcher\\_QKBj80vPS5H0-IBQ3mbe3w\\_ja.html?backtoResultPath=html/shozoku/shozoku\\_11-3\\_ja.html](http://kuid.ofc.kobe-u.ac.jp/InfoSearch/html/researcher/researcher_QKBj80vPS5H0-IBQ3mbe3w_ja.html?backtoResultPath=html/shozoku/shozoku_11-3_ja.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

長野 明紀 (NAGANO AKINORI)

神戸大学・システム情報学研究科・准教授  
研究者番号：30392054