

円標点とメッシュ変形法を用いた  
靴歩行時足変形の計測

2013 年度

西濱 里英

## 主 論 文 要 旨

報告番号	①	第	号	氏名	西濱 里英
主論文題目：					
円標点とメッシュ変形法を用いた靴歩行時足変形の計測					
(内容の要旨)					
<p>靴歩行時には、筋活動による関節運動と靴を介した外力の作用によって、足の表面軟組織が複雑に変形する。このため、靴を足に適合させるには、この変形を明らかにする必要がある。動的な3次元形状の計測には、パターン光投影や多標点計測など、様々な方法が提案されているが、これらの方法で靴に覆われた足の動的変形を計測することは困難であった。本研究では、従来の動作計測で用いる反射球標点を反射円標点に代え、透明甲素材の実験靴を使用して靴歩行中にも足骨格特徴点の3次元計測を行えるようにした。また、足の主要骨格モデルと静止直立時の足形状メッシュモデルを用い、メッシュモデルの特徴点位置を計測した骨格特徴点位置と合わせることで、靴歩行時の足部の関節運動と表面伸縮の同時推定を行う手法を開発した。さらに、提案手法を用いてハイヒール靴歩行時の足変形を計測し、変形の特徴を示すとともに、本手法の靴開発への応用の可能性を示した。</p> <p>第1章では、研究の背景と位置づけ、および新規性と有用性を示した。</p> <p>第2章では、新たな計測手法を提案した。すなわち、足運動に関わる主要な骨格構造を4節のリンク構造に単純化し、各リンクの動きを記述する足表面上の骨格特徴点20点を標点位置と定め、この位置に厚さ0.2mm直径5mmの円標点を貼ることで、甲を透明素材に代えた実験靴を履けるようにした。また、あらかじめ用意した静止足型メッシュを、計測した標点位置にフィッティングすることで、歩行中の各時点の足表面形状と標点間の伸縮量を推定した。さらに、骨格モデルを用いて、計測した標点位置から関節運動を推定した。なお、被験者の足型メッシュは、光学式3Dデジタイザで取得した静止立位時の足形状に重なるように、テンプレートメッシュを変形させることで作成した。</p> <p>第3章では、提案手法の精度と実用性を確認するために、骨格位置と体表面標点位置のずれ量を超音波画像計測装置で計測し、ずれ量が関節角度に与える影響は小さいことを確認した。また、透明甲素材を通しての円標点の3次元計測精度は、球標点よりも円標点の方が、その中心が足表面に近いと、寸法精度が高くなることを確認した。3Dデジタイザによる計測形状と本手法による推定形状を比較した結果、幅方向の誤差は最大2mm、周長誤差は、変形が大きい足首付近でも最大2.5mmであり、実用上十分な精度を有することを示した。</p> <p>第4章では、本手法の応用例として、ヒール靴歩行時の足変形を計測した。これにより、ヒール高によって骨格姿勢は変化するが、屈伸方向の関節運動や体表面積変化率の変化傾向は裸足歩行時とほぼ等しいことを示した。また、体表面伸縮分布とその時間変化を示し、足と靴の固定方法や適合性の向上手段を検討した。さらに、踵離地直前では、足アーチが低下し、中足骨が広がって足囲が増加することを利用して履き口を締める機構を提案し、履き口が大きく開いた婦人靴でも踵ずれを軽減できることを示した。</p> <p>第5章では、本提案のまとめとともに、今後の課題と展望を示した。</p>					

## SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number	SURNAME, First name NISHIHAMA, Rie
<b>Title</b> Measurement of Dynamic Foot Deformation Using Circular Markers and Mesh Deformation		
<b>Abstract</b> <p>Human feet deform greatly during walking because of muscle activity of the foot and pressure from shoes. To design well-fitting shoes, dynamic foot deformation must be quantified. Dynamic 3D foot shapes are measured using various methods such as using projection of pattern light or measuring multi-point markers on the foot. However these methods present difficulty when measuring a foot shape in shoes. Using circular markers and a transparent shoe with a motion-capture system, this study can record motions of anatomical landmarks of the foot surface during shoe walking. Using this method, this study proposes a process for simultaneous estimation of foot joint motions and foot-surface deformation during shoe walking from motions of anatomical landmarks, based on a foot segment model and mesh deformation. Furthermore, measuring foot deformation during high-heel walking using this method revealed features of deformation during walking and the potential for application of this method for shoe design.</p> <p>In chapter 1, the background, positioning, novelty, and usefulness of this study are described.</p> <p>Chapter 2 presents a summary of the proposed method. The principal skeletal structure related foot motions were simplified to a four-link model. Marker positions were set to 20 anatomical landmarks on the foot surface to construct the four-link model. After attaching small thin circular markers (<math>t</math>, 0.5 mm; <math>r</math>, 2.5 mm) to these positions, transparent shoes are worn. Foot joint motions are calculated from a foot segment model based on motions of the 20 markers recorded using a motion capture system. Foot-surface deformation was estimated by deforming a standing 3D foot mesh to fit landmarks of a standing foot mesh to 20 anatomical landmarks in walking. A standing foot mesh of each subject was made by deforming a template of a foot mesh to a standing foot shape using a 3D digitizer</p> <p>In chapter 3, the proposed technique is evaluated. Skin displacement of markers and anatomical landmarks are confirmed as small and not affecting the calculation of joint angles. Furthermore, the accuracy of recorded circular markers through a transparent shoe is higher than that of sphere markers because they are attached closer to the foot surface. To evaluate accuracy, two foot-surface deformation results were obtained using the proposed method and a 3D digitizer. Surface distances between the markers were calculated from the results. Calculated results show that the error of circumference was 2.5 mm maximum, even near the ankle. This method has sufficient accuracy for practical use.</p> <p>In chapter 4, as an example of an application, foot deformation was measured during high-heel walking. Foot deformation during the stance phase was similar during barefoot and high-heel walking: relative motion between the midfoot and forefoot segment was similar because of the change of the longitudinal arch, as was the pattern of highly deformed and slightly deformed foot surface regions. Using the measured data, a mechanism for reducing slippage of ladies' pumps was proposed.</p> <p>Chapter 5 presents a summary of results along with challenges and prospects for the future.</p>		