



Title	Slip-Turning Motion of the Musculoskeletal Robot on Toe Joints Using DSP-SLIP Model
Author(s)	Nipatphonsakun, Kawinna
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/98683
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (Kawinna Nipatphonsakun)	
Title	Slip-Turning Motion of the Musculoskeletal Robot on Toe Joints Using DSP-SLIP Model (DSP-SLIPモデルに基づく筋骨格ロボットの趾関節での滑りを伴う旋回運動)
Abstract of Thesis This study focused on the slip-turning motion of the musculoskeletal robot by utilizing the biomechanic properties of the foot in the motion. In the first topic, we investigate the slip-turning motion of the musculoskeletal robot on toe joints. The robot successfully executed the turning motion based on the human's spin turn despite its limited range of movements. Additionally, turning experiments on different types of feet were done to compare the effect of foot structure in the slip-turning motion. The results showed that slip-turning on the foot with toe joints has a reduced frictional torque and an increased rotational angle compared to turning on the foot without toe joints. With its passive stiffness from plantar intrinsic muscle (PIM), the foot could prevent the toe from over-dorsiflexion, which might help improve stability. In comparison, the active type of the foot with PIM could generate even stronger propulsion in a trade-off with its stability. In the second topic, we described the turning mechanism of the robot using the double-support parallel spring-loaded inverted pendulum (DSP-SLIP) model, which is possible due to its compliant structure and tried to improve the stability of the motion with the intrinsic toe joint stabilization with PIM. The experiments were done to prove the leg's compliance during the motion rendered the model possible, and the preset stiffness of PIM could help stabilize the foot posture, improving the robot's stability. The results showed that the robot's leg was in a compressed state, especially during the early phase of the motion, and by applying stiffness to the toe joint, the robot showed a short duration trying to regain its balance in the later phase of the motion, improving its overall postural stability. Finally, the study was extended to improve the optimization of motion using the friction control method in the dual mass DSP-SLIP model. The research suggested that by shifting the body weight in each foot, the robot could manipulate the frictional torque of the foot, resulting in the change of body rotational angle. The experiments were done by comparing the effect of changing the robot's weight during the slip-turning motion and changing the swing duration of the leg. The results showed that by adding more weight to the swing leg, the robot would turn slower with higher frictional torque, trying to resist the motion with its structure, while it showed better stability. The increase in the swing duration will cause the robot propulsion to be stronger and accelerate the motion faster.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Kawinna Nipatphonsakun)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	多田 隈 建二郎
	副 査	教 授	原田 研介
	副 査	教 授	石黒 浩
	副 査	教 授	細田 耕 (京都大学大学院工学研究科)

論文審査の結果の要旨

本博士論文は、筋骨格構造を持つ二足ヒューマノイドロボットについて、その趾関節での滑りを伴う旋回運動の実現を目的とし、力学的モデルDSP-SLIPモデルに基づいてその運動を解析し、筋骨格ロボットを試作、実験している。これまでの二足ヒューマノイドロボットの場合、ステップを重ねることで旋回することが一般的であるが、動作領域が大きくなり、ステップ数が必要なので、エネルギーと時間を必要とする。趾関節での滑りを伴う旋回運動は、体幹全体の回転領域が小さく、必要エネルギーも少なくなるため、その実現は二足ヒューマノイドの運動性能を向上するために大きく役立つ。本論文では、このような趾関節での滑りを伴う旋回運動について

(1) 運動中の足の生体力学的特性を利用して筋骨格ロボットのスリップターン運動に焦点を当て、つま先関節での筋骨格ロボットのスリップターン運動を調査した。ロボットは動作範囲が限られているにもかかわらず、人間のスピントーンに基づいてターン運動ができた。さらに、異なる種類の足でのターン実験を行い、スリップターン運動における足の構造の影響を比較した。その結果、つま先関節を持つ足でのスリップターンは、つま先関節を持たない足でのターンに比べて摩擦トルクが低く、回転角が大きいことが示された。足は足底筋 (PIM) の受動的な硬さにより、つま先の過度の背屈を防ぐことができ、安定性の向上に寄与する可能性がある。比較すると、能動的にPIMを駆動する場合、その安定性と引き換えにさらに強力な推進力を発生できることがわかった。

(2) ダブルサポートSLIP (DSP-SLIP) モデルを使用してロボットのターンメカニズムを説明し、PIMを用いたつま先関節の内在的な安定化で運動安定性の向上を目指した。実験により、脚の柔軟性をモデル化し、PIMの予め設定された硬さが足の姿勢を安定させ、結果的にロボットを安定化させることが示された。つま先関節に硬さを適用することで、運動の後期段階でバランスを取り戻す時間が短くなり、全体的な姿勢の安定性が向上した。

(3) 二つの質量を持つデュアルマスDSP-SLIPモデルにおける摩擦制御法を用いて、運動の最適化を改善するために研究を拡張した。各足の体重を移動することで、ロボットが足の摩擦トルクを操作し、結果として身体の回転角度を変えることができることを示唆した。実験は、スリップターン運動中のロボットの重量変化と脚のスイング時間の変更の影響を比較することで行われた。その結果、スイング脚に重量を追加することで、ロボットはより高い摩擦トルクでより遅く回転し、より高い安定性を示した。

以上の結果は、趾関節での滑りを伴う旋回運動を筋骨格ロボットによって実現するために有用な知見を含むため、博士 (工学) の学位論文として価値のあるものと認める。