

審査の結果の要旨

氏 名 西川 鋭

本論文は「筋骨格ロボットによる棒高跳び実現のための姿勢・ポール弾性特性活用戦略」と題し、筋骨格ロボットによる従来にない大きな弾性要素の活用タスクである棒高跳びを実現するための戦略に関する研究をまとめたものである。本論文は7章からなる。

第1章「序論」では、動物のダイナミック運動における身体内外の弾性要素の活用を述べ、その中でも特に大きな弾性要素の特性を活用するダイナミック運動として棒高跳びを取り上げている。そして、この動作をロボットによって実現することを本論文の目的としている。目的達成のために、運動調節能力が高いことが知られている筋骨格系を実装した筋骨格ロボットを用い、姿勢特性、能動的なポール操作による弾性特性の活用に着目することを述べている。

第2章「身体運動に寄与する筋骨格系と弾性要素の活用」では、棒高跳び、筋骨格ロボット、弾性要素の活用の中における本論文の位置づけを述べている。さらに、本論文で扱う棒高跳びの特徴、それを扱う上でのシミュレーション、ロボットを用いた発見的アプローチについて述べている。

第3章「筋関節複合機構の特性が跳躍性能に与える効果」では、本論文で扱うロボットである筋骨格ロボットの運動性能向上を目指し、人工筋の関節トルク—角度関係を変化させる機構であるADMAを提案し、その効果をシミュレーション、ロボットの垂直跳びを用いて検証している。結果として、提案機構が複数姿勢からの跳躍性能を向上させること、高い跳躍が得られる各関節の特性は、近位関節では屈曲位、遠位関節では伸展位にトルクピーク角度が移動したものであることを示している。

第4章「ポールの局所曲げの活用による棒高跳びの跳躍高さの向上」では、棒高跳びのポール支持期におけるポール操作に着目し、1質点の単純モデルながらポール操作による曲げモーメントの効果を扱える「遷移座屈モデル」を提案し、シミュレーション、ロボットによって曲げモーメントが跳躍性能に与える効果を調べている。結果として、ポール局所曲げは前半のPositive Bending、後半のNegative Bendingに分けられ、それぞれが跳躍の成否に関わる跳躍方向の垂直化、跳躍高さの向上に寄与するという知見を得ている。また、ロボットでは、局所曲げにより14%の跳躍性能向上が確認されている。また、シミュレーションでは局所曲げの最適切り替えタイミングがポールの最大湾曲であったのに対し、ロボットではタイミングの後方移動が見られ、その原因として身体の回転の影響を考察している。

第5章「棒高跳びにおける身体構造と身体運動の寄与」では、第4章では扱わなかった身体構造、身体運動が棒高跳びに与える影響を扱っている。身体構造としては、筋骨格系の粘弾性を取り上げ、粘弾性要素が棒高跳びの跳躍性能の安定化に寄与することを示している。身体運動としては振り子モデルによる身体の振り上げを取り上げ、切り替えタイミングに影響を与える以下の3つの知見を得ている。1つ目は、ポール支持期前半でのNegative Bendingへの切り替えはポールの起き上がりを妨げること、2つ目はNegative Bendingは一時的なポール伸展後にポール湾曲方向に働き、その効果を小さくする姿勢がポールが一直線に伸びた姿勢であること、3つ目は跳躍時にポールの弦と身体のポール先端に対する方向が揃う時に高い跳躍が得られることである。

第6章「筋骨格ロボットによる棒高跳び」では、これまでの章から要求仕様を導き、第3章の機構を実装し、第5章のシミュレーションにより得られた要求性能を満たす筋力分布の筋骨格二腕ロボットを開発している。このロボットを用いて、前章までの知見の確認を行い、ポールから手を離すことで最大1.72mの高さの棒高跳びを実現している。

第7章「結論」では、以上を総括し、本論文により棒高跳びにおける姿勢・ポール弾性特性の活用戦略が明らかになり、それを用いることで実世界上での筋骨格ロボットによる棒高跳びが可能であると結論づけている。さらに、本論文のロボティクスの意義、バイオメカニクスの意義を述べ、その発展性について議論している。

以上これを要するに、本論文は、シミュレーション、ロボットによる実験を通し、姿勢・ポール弾性特性に着目することで、従来にない大きな弾性要素の活用タスクである棒高跳びの実現戦略を提案し、それにより筋骨格ロボットによる棒高跳びを実現したものである。身体外部の物体の活用はロボットの運動の幅を広げる上で重要な要素であり、従来扱われていない大きな弾性要素による飛躍的な身体運動機能の拡張を扱った本論文は、ロボットによる身体、環境を含めた系全体を活かす適応的な運動の実現に向けた重要な一歩である。さらに開発したロボットの活用による今後のバイオメカニクスへの貢献も期待される。

以上の理由から、本論文は情報理工学上重要な貢献と見なされる。よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。