

(別紙2)

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 新山 龍馬

本論文は「跳躍・走行のバイオメカニクスを踏まえた俊敏な脚式・筋骨格ロボットの構成論的研究」と題し、バイオメカニクスを踏まえつつ人体の特長を備えた筋骨格型二脚ロボットを工学的に実現し、これにより俊敏な身体運動の原理を明らかにする構成論的研究をまとめたものであり、8章からなる。ヒトを含む脊椎動物の振る舞いは、しなやかで俊敏な身体運動と、その基盤である筋骨格系によって特徴づけられるが、その運動原理は十分に明らかになっていない。また、既存の多関節ロボットにおいても、脊椎動物のような巧みで機敏な身体運動を獲得するには至っていない。これに対して、以下の各章では、生物規範型ロボットを用いた構成論的アプローチに基づき、筋骨格系の力学的機能の分析と工学的実現の方法について記述し、筋骨格系の機構と制御について学術的考察を行っている。

第1章「序論」では、脊椎動物の身体運動に関する学術的課題と背景から、人体の特長を備えた筋骨格ロボットによって生物学的構造における身体運動の原理を解明することを本論文の目的としている。

第2章「ダイナミックな身体運動と筋骨格系」では、動物のしなやかで俊敏な運動を支える生物学的構造について考察し、筋骨格系の機能について詳述している。生体に関する知見を補う実証的な工学的手法の有効性について述べ、筋骨格系を備えたロボットによる構成論的アプローチを提案している。

第3章「ロボット・アーキテクチャとしての筋骨格系」では、脊椎動物が備える筋骨格系とその制御機構を機能的に考察し、その工学的実現について検討している。工学的な観点から、俊敏な運動を実現する筋骨格系の本質的要素を、筋アクチュエータと腱駆動による反力（外力）の制御としている。

第4章「人工筋骨格系の構成論」では、筋骨格系の機構と制御を工学的に実現しようとする「人工筋骨格系」の概念を提案し、その構成論について体系的に述べている。俊敏な運動を行う筋骨格系に不可欠な各要素に対応して、筋型アクチュエータ、力制御のための筋骨格系の力学特性解析、筋指令による運動表現と運動学習、について記述している。特に、筋骨格系の出力特性を記述する“MOF Profile”とその具体的計算方法の提案と、筋指令による簡潔な運動表現である“Sparse Coding of Activation”を提案し、跳躍・着地の実現および運動学習においてその有効性を実証している。

第5章「筋骨格アスリート・ロボットの開発」では、人工筋骨格系を備え、俊敏な運動を行う“筋骨格アスリート・ロボット”の技術要素として、軽量で強靱な骨格、高性能空気圧筋、複数本の空気圧筋の堅固な固定、腱相当の弾性要素、圧力制御系について体系的に述べている。生体運動計測での指標である関節可動域や関節角速度、関節トルクに関して、開発した筋骨格ロボットの評価を行っている。

第6章「筋骨格アスリート・ロボットによる俊敏な運動」では、筋骨格ロボットの実機および計算機モデルによって、提案した人工筋骨格系とその運動制御手法について検討し、ヒトの機構と制御によるダイナミックな全身運動について詳しく分析している。計算機シミュレーションでは、提案した運動制御手法によって、弾性によるエネルギーの回生を利用した疾走動作が実現されている。基礎実験では、脚運動への二関節筋の関与や、蹴りの強さとばね定数の関係が明らかにされている。実機実験では、計算機シミュレーションと同様に、約1mのストライド（1歩あたりの距離）による3歩の走行が実現でき、さらに、床反力の制御によって体幹の姿勢を調節できることを示している。

第7章「ヒトの身体運動と筋骨格アスリート・ロボット」では、開発した筋骨格ロボットとヒトの動作を比較検討し、動作と筋指令パターンに関連を力学的な観点から考察している。

第8章「結論」では、以上を総括し、工学的な観点からヒト筋骨格系の特長を備えたロボットの実現方法が示され、実験によって身体運動における筋骨格系の役割が明らかになったと結論づけている。

以上これを要するに、本論文は、従来ロボットでの実現が困難であった跳躍・疾走といった俊敏な動作を対象とし、脊椎動物の筋骨格系の構造、特性、制御の如何なる要因がこれを可能とするかをバイオメカニクスとロボティクスの融合的方法により解明し、これに基づき独自の筋骨格型二脚ロボットを構成し、人間の筋指令データに基づき生成した制御指令を用い、床反力制御の観点からの指令改善を経て、実機による3歩の走行動作に成功したものであり、バイオメカニクスとロボティクスにまたがる新たな学術的知見を呈示し、さらなる学際的な発展が見込まれる。

以上の理由から、本論文は学際情報学上重要な貢献と見なされる。よって本審査委員会は、本論文が博士（学際情報学）の学位に相当するものと判断する。