

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

フリガナ 氏名 (姓、名)	クドウ ショウマ 工藤 将馬		授与番号 甲 1475 号
学位の種類	博士 (スポーツ健康科学)	授与年月日	2021 年 3 月 31 日
学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項該当者 [学位規則第 4 条第 1 項]		
博士論文の題名	Neuromusculoskeletal Modeling and Computer Simulation of Human Locomotion Considering the Multi-Segmental Motion of the Trunk (体幹部の多自由度運動を考慮した筋骨格モデルの構築と歩行動作のシミュレーション)		
審査委員	(主査) 長野 明紀 (立命館大学スポーツ健康科学部 教授)	金久 博昭 (立命館大学スポーツ健康科学部 教授)	
	塩澤 成弘 (立命館大学スポーツ健康科学部 教授)	吉岡 伸輔 (東京大学大学院総合文化研究広域科学専攻 准教授)	
論文内容の要旨	<p>本論文は、体幹部の自由度を考慮に入れ、ヒトの順・逆動力学解析を可能とする筋骨格シミュレーションモデルを構築し、歩行動作のシミュレーションを実施した研究の成果を纏めたものである。</p> <p>【論文の構成】本論文は全 7 章から構成されている。第 1 章は序論である。本論文の背景を述べ、研究小史を纏め、問題提起をした上で本論文全体の目的を述べている。第 2 章から第 4 章には行った実験研究の成果が述べられている。第 2 章には「身体動作中の体幹部に生じる変形の評価」、第 3 章には「剛体リンクモデルを用いて体幹部の運動を評価した際に生じるモデル化誤差の評価」、第 4 章には「体幹部の多自由度運動を適切に表現する剛体リンクモデルの構築」に関する成果が述べられている。また第 2~4 章の成果を踏まえて新たな筋骨格シミュレーションモデルを構築しており、その詳細が第 5 章に述べられている。更にこのシミュレーションモデルを用いて歩行動作をシミュレーションした成果が第 6 章に述べられている。第 7 章は総括論議であり、一連の研究を経て得られた成果に対して多角的な考察を加え、結論を述べている。尚、本論文は英語で記述され、第 2 章~4 章の内容が計 3 編国際誌に原著論文として掲載されている。</p> <p>【論文内容の要旨】以下に各章に記載された事項の要旨を述べる。</p> <p>《第 1 章》ヒトの全身運動のシミュレーション研究はこれまで多々行われてきている。しかし体幹部に着目すると、体幹部を一つの剛体と見做している例、複数の剛体のリンクと見做している例など、多くのケースが見られる。体幹部は質量も大きく、力発揮能力の高い筋が多数付着しているため、体幹部の最適なモデル化手法を確立し、これを用いることが必要であると考えられる。第 1 章ではこれまで用いられてきた手法を纏め、本論文で取り組む課題を明確化している。</p> <p>《第 2 章》走行動作中の体幹部の幾何学的な形状変化を定量化した。結果として体幹部は走行動作中に、部位毎に異なる様相で運動をしていることが明らかとなった。そのため体幹部を 1 つの剛体としてモデル化する従来の手法では、身体動作中の体幹部の複雑な運動を適切に表現出来ない可能性が示された。</p>		

	<p>《第3章》体幹部の運動を複数の異なる剛体セグメントモデルで表現した際に生じるモデル化誤差を定量化した。またモデル間でその誤差を比較した。結果として、モデル化する際のセグメントの数が増加するにしたがってモデル化誤差が減少すること、並びにモデルから算出される体幹部の総角度変位が増加することが明らかとなった。</p> <p>《第4章》適合度と複雑性のバランスを考慮したモデルの評価指標（赤池の情報量規準）を用い、歩行動作中の体幹部の運動を最適に表現する剛体セグメント数を検討した。その結果、体幹部を骨盤部・腹部・胸部に分割した剛体リンクモデルを用いることが、適合度と複雑性のバランスの観点から最適であることが明らかとなった。</p> <p>《第5章》体幹部の多自由度運動を考慮に入れた剛体リンクモデルに90の筋モデルを組み込み、シミュレーションモデルを構築した。従来のモデルと比較して、体幹部の構造を刷新し、モデルの構成およびパラメーター値を柔軟に改変出来る独自のものとした。</p> <p>《第6章》第5章に記載した筋骨格シミュレーションモデルを用いて歩行動作をシミュレーションし、得られた結果を実験的データと比較した。その結果、動力学的に妥当な歩行動作がシミュレーション出来たことが確認された。</p> <p>《第7章》本論文では、従来まで明らかにされていなかった体幹部の運動および力発揮特性を評価するモデルの確立に成功した。ここで構築したシミュレーションモデルは、下肢および上肢筋群による身体運動の理解に留まっていた従来の知見を、体幹部を含めた全身運動の理解にまで拡張することを可能とするものである。</p>
論文審査の結果の要旨	<p><b>【論文の特徴】</b>本論文は体幹部に着目し、その自由度を十分に考慮に入れたシミュレーションモデルを構築し、これを用いてヒトの運動を評価することを目的としている。本論文ではまず走行動作中の体幹部の運動を定量評価し、主に下肢・上肢の運動と考えられている走行動作中にも、体幹部が大きく変形することを示した。これを受けて、体幹部を幾つのセグメントに分割するかに応じてモデル化誤差が変化すること、また赤池の情報量規準を用いて最適な分割方法が定められること、を示している。更に新たなシミュレーションモデルを構築し、歩行動作をシミュレーションしている。一連の研究は先行研究の成果を尊重しつつ、これまで見過ごされてきた重要事項について独自の考察を加え、新たな手法を提案するものであり、高い新規性を有する。</p> <p><b>【論文の評価】</b>上記の特徴を鑑みて、本論文に纏められた成果はスポーツ科学・健康運動科学の分野における重要な知見として、将来的にも長らく活用されるものと高く評価できる。ここで構築したシミュレーションモデルについても、スポーツ科学・健康運動科学を含む多様な領域における研究課題に取り組むに際し、強力なツールとして活用できると評価できる。本論文は先行研究の網羅的な調査に立脚して構成されており、分野自体の更なる発展に寄与できる重要な成果であると判断できる。</p> <p>以上、公聴会と論文審査の議論により、審査委員会は本論文が本研究科の博士学位論文審査基準を満たしており、博士学位を授与するに相応しい水準に達しているという判断で一致した。</p>
試験または学力確認の結果の要旨	<p>本論文の公聴会は2021年1月15日（金）13時00分より13時50分に、インテグレーションコア1階アカデミックラウンジおよびオンラインで行われた。規定時間の発表後、公聴会参加者からの質問に対し、申請者は十分な回答と説明を行い、本論文の意図・成果について参加者の理解をより深めることができたものと評価した。続いて13時50分より14時40分まで同場所およびオンラインで、申請者と審査委員4名で口頭試問および最終試験を行った。口頭試問・最終試験両方においても質疑に対して十分な応答が得られた。口頭試問においては本論文の背景、目的、方法、結果、考察、の各側面について質疑応答を行った。質問事項に対し十分な回答が得られ、当該分野の深い理解に根ざして本論文を執筆したことが判断できた。最終試験における学際的領域（スポーツ科学、健康運動科学、機械工学を含む）についての質問に対しても十分な回答が得られ、申請者の幅広く深い学識が窺えた。以上より主査および副査は、公聴会・口頭試問・最終試験を通して申請者が博士学位に相応しい能力を有することを確認した。</p> <p>したがって、本学学位規程第18条第1項に基づいて、申請者工藤将馬氏に博士（スポーツ健康科学 立命館大学）の学位を授与することが適当であると判断する。</p>