

氏名(本籍)	CISNEROS LIMON RAFAEL		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第 7306 号		
学位授与年月日	平成 27 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	Impulsive Pedipulation: Using the humanoid's leg for impulsive "manipulation" of objects (インパルシブ ペデピュレーション: ヒューマノイドの足を用いた衝撃力による物体操作)		
主査	筑波大学 教授 (連携大学院) (産業技術総合研究所)	博士(工学)	横井 一仁
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	相山 康道
副査	筑波大学 准教授 (連携大学院) (産業技術総合研究所)	博士(工学)	吉田 英一
副査	筑波大学 准教授	博士(情報科学)	望山 洋
副査	筑波大学 客員教授 (名古屋大学大学院工学研究科)	博士(工学)	長谷川 泰久

## 論文の要旨

本論文は、ヒューマノイドの足を用いて任意の剛体を衝撃力により操作する「インパルシブ ペデピュレーション」に関する問題を論じたものである。従来、ロボットの物体操作手法は、床に固定されたロボットアームによるマニピュレーションが中心となって研究されていた。しかし、我々人間は、腕のみでなく、足を巧みに用い物体操作を行う。そこで、ヒューマノイドロボットの足で物体を蹴ることにより発生する衝撃力を利用することで、新たなハードウェアの追加なしにヒューマノイドロボットの物体操作能力を向上させる「インパルシブ ペデピュレーション」手法の確立を目指した。

本論文では、まずインパルシブ ペデピュレーションの基礎となるヒューマノイドロボットの運動学及び動力学を、隣り合う関節軸に微小なオフセットがある関節構造に対応した新たな逆運動学解法も含めて示している。次に、インパルシブ ペデピュレーションの動作計画手法及びヒューマノイドロボットの安定性維持手法について述べている。この中では、まず物体の目標運動から物体に与えるべき目標衝撃力を求める手法が示されている。次に、目標衝撃力を加えるためのヒューマノイドロボットの動作を計画する手法を、ヒューマノイドロボットと物体との相対位置についての

検討も踏まえ新たに提案している。さらに、ヒューマノイドロボットの有する冗長性を活用し、作業実行には直接的に関与しない関節の協調動作により、転倒のみならず不要なスリップを防ぐ、足裏に鉛直な Yaw 軸周りのモーメントを設定値内に補償する二重積分を用いた新たな動力学補償手法を提案している。さらに、サッカーのフリーキックのようなボールを 3次元の目標位置に運ぶ作業を例として、新たに考案した球とポリゴンの接触判定アルゴリズムを取り入れた動力学シミュレータ OpenHRP3 によるヒューマノイドロボット HRP-2 のモデルを用いた計算機シミュレーションと、実ヒューマノイドロボット HRP-2 を用いた実験を行い、考案したインパルス ペデピュレーション手法の有効性を検証している。

以上示すように、本論文ではヒューマノイドロボットの新たな技術分野であるインパルス ペデピュレーションについて、理論的な解析から実ヒューマノイドロボットを用いた実験的な検証まで総合的に行っている。

## 審 査 の 要 旨

### 【批評】

本論文は、ヒューマノイドロボットによる新たな物体操作の枠組みとして、ヒューマノイドロボットの足により物体に衝撃力を加えるインパルス ペデピュレーションについて体系的にまとめたものである。単なる手法の提案にとどまらず、インパルス ペデピュレーションを実現に必要な様々な課題を丁寧に指摘し、それらを解決する手法を考案している。その有効性についても、シミュレーションと等身大ヒューマノイドロボット HRP-2 を用いた実機実験により検証しており、完成度の高いものとなっている。なお、本論文の一部は、IEEE International Conference on Mechatronics and Automation にて Best Student Paper Award を受賞しており、世界的にも高く評価されている。

### 【最終試験の結果】

平成 27 年 2 月 6 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。