

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	2脚口ボットの歩行・走行歩容生成と姿勢制御
Title(English)	
著者(和文)	竹中透
Author(English)	Toru Takenaka
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第4120号, 授与年月日:2015年11月30日, 学位の種別:論文博士, 審査員:山北 昌毅,三平 満司,井村 順一,岡田 昌史,塚越 秀行,梶田 秀司
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4120号, Conferred date:2015/11/30, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

(2000字程度)

報告番号	乙 第 号	学位申請者	竹中 透	
	氏 名	職 名	氏 名	職 名
論文審査員	主査 山北昌毅	准教授	塚越秀行	准教授
	三平満司	教授	梶田秀司	主任研究員
	井村順一	教授		
	岡田昌史	准教授		

本論文は「2脚ロボットの歩行・走行歩容生成と姿勢制御」と題し、全10章より成っている。

第1章「緒論」では、研究の背景、本論文の位置付け、および論文の構成を説明すると共に、本論で扱う用語の定義を明確にしている。その上で、本論文の目的は、走行歩容までも統一的に生成できるように拡張された、単純モデルを用いた近似歩容生成とフルモデル補正とからなる歩容生成手法と、自在な歩容生成能力を活かした、復元力が陽に設計できる姿勢制御手法を提案することであると述べている。

第2章「ロボットの機構」では、筆者が研究に用いている人間型ロボットASIMOの実験機の機構を概説し、本実験機が備えるガイド付きゴムブッシュと発泡ゴムインナーソールから成る足部柔軟構造を備える2脚ロボットを研究対象にすると述べている。

第3章「基礎動力学」では、本論文での理論展開において前提とする基礎動力学を説明し、目標歩容の床反力の並進力鉛直成分がほぼ一定であるならば、転倒力モーメントは、実COP (Center Of Pressure) と目標ZMP (Zero Moment Point) との距離にほぼ比例すること述べている。

第4章「自在歩行歩容生成」では、ZMPを規範とする目標歩行歩容をリアルタイムに自在に生成する技術を提案している。具体的には、脚運動の影響を考慮しつつ、部分的に線形性を有する、線形倒立振り子質点、支持脚足部質点および遊脚足部質点から成る3質点モデルを提案している。また、今回歩容に続く定常歩容を暫定的に設定し、現在の歩行周期内の歩容である今回歩容の終端発散成分が定常歩容の初期発散成分に一致するように、今回歩容の目標ZMP軌道パラメータを修正する歩容生成手法を提案している。更に、この手法により、目標ZMP軌道の修正量は比較的小さく抑えられ、修正されたZMP軌道は支持多角形から逸脱しにくくなると共に、今回歩容は定常歩容に漸近することを示している。

第5章「自在走行歩容生成」では、走行など全体重心鉛直加速度の変動が激しい歩容を、復元力余裕が高くかつスリッパしにくいように生成する技術を提案している。具体的には、鉛直床反力に応じて水平床反力の許容範囲を設定し、この範囲を超えないように、上体水平運動に対応する倒立振り子と、上体回転運動に対応するフライホイールの運動を決定することにより、スリッパしにくい走行歩容を生成する手法を提案している。また、「鉛直方向の加速度変化を伴う倒立振り子の運動に対する発散成分」という概念を提案し、今回歩容終端発散成分と、暫定的に設定された定常歩容の初期発散成分とが一致するように、今回歩容を修正する手法を提案している。更に、この手法により、第4章の手法と同様の効果を得ることができ、両足が浮いている滞空期は、鉛直床反力をゼロ、水平床反力許容範囲をゼロのみの縮退集合とすることで、滞空期と接地期を統一的に扱うことができることを示している。

第6章「フルモデル補正」では、第4章または第5章で生成される近似歩容を、詳細な動力学モデルを用いて、より精度の高い歩容に補正する手法を提案し、その有効性をシミュレーションと9km/hの実機走行結果により示している。提案手法では、水平床反力と目標ZMPまわりの床反力モーメントの水平成分の許容範囲を設定し、この範囲を越えないように、鉛直床反力の変化を考慮した補正用の摂動動力学モデルを用いて、近似歩容の上体位置と姿勢角を補正することができることを示している。

第7章「初期の歩行制御システムと姿勢安定化制御」では、従来の床反力制御である、足首を曲げることによって床の凹凸の吸収と姿勢安定化を図る足首コンプライアンス制御について、制御特性を議論すると共に、両脚支持期にはかえって姿勢を転倒させる床反力モーメントを発生してしまう問題点を指摘している。

第8章「複合コンプライアンス制御」では、足首コンプライアンス制御の問題点を解決するために開発された複合コンプライアンス制御を提案している。提案する制御法は、目標ZMPを回転中心として両足部を公転させる動作と、各足部の目標COPを中心として各足部を自転させる動作によって、床の凹凸を吸収しつつ、姿勢を安定化するために必要な床反力モーメントを目標ZMPまわりに発生させる制御である。本制御により、片脚支持期、両脚支持期いずれにおいても、上体位置・姿勢偏差の挙動は、目標ZMPを支点とする倒立振り子の挙動とほぼ等しくなり、姿勢安定化制御設計が容易になることを示している。

第9章「大局的姿勢安定化制御」では、人が歩行中あるいは直立中に倒れそうになると行う動作を指摘した上で、それらと同等な機能をロボットにおいて実現することを目的とした大局的姿勢安定化制御を提案すると共に、その有効性を理論的に示している。提案している大局的姿勢安定化制御は、前述の複合コンプライアンス制御を用いた床反力制御とモデルZMP制御と長期シナリオ修正制御とから構成されており、モデルZMP制御が、上体傾き偏差を低減するために、目標歩容を生成する動力学モデルに仮想外力を加える制御であり、長期シナリオ修正制御は、モデルZMP制御によって崩された目標歩容の現在時刻状態を初期状態として、所定の目的が達成されるように目標歩容列を修正するものとなっている。

第10章「結論」では、本論文の主な成果をまとめ、今後の発展性を議論している。

以上を要するに、本論文は、2脚ロボットの歩行・走行の実現と姿勢安定化制御の手法を提案し、その有効性を実際の2脚ロボットの実験により示したもので、工学上・工業上寄与するところ大である。よって本論文は、博士(工学)論文として十分価値あるものと認められる。