

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Directional Normalized Energy Stability Margin and Non-Tumbling Gait for Robust Legged Locomotion
著者(和文)	LAZARENKOEVGENY
Author(English)	Evgeny Lazarenko
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:甲第9291号, 授与年月日:2013年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:福島 E 文彦,大熊 政明,小田 光茂,松永 三郎,塚越 秀行, 野田 篤司,廣瀬 茂男
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9291号, Conferred date:2013/9/25, Degree Type:Course 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

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Lazarenko, Evgeny		
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	福島 E.文彦	准教授		塚越 秀行	准教授
	審査員	大熊 政明	教授	審査員	野田 篤司	准教授
		小田 光茂	教授		広瀬 茂男	名誉教授
		松永 三郎	教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Directional Normalized Energy Stability Margin and Non-Tumbling Gait for Robust Legged Locomotion（安定的歩行を実現するための方向性正規化エネルギー安定余裕と転倒防止歩容に関する研究）」と題し、英文全 5 章から構成されている。

第 1 章「Introduction（緒論）」では、本論文の背景と目的を述べている。すなわち、高度な不整地移動性能を潜在的に有する多脚歩行ロボットの実現は古くから期待されており、19 世紀後期から現在まで多くの機械が研究開発されてきたが、機構設計や歩行安定性を確保できる歩容制御等の複雑さから現在でも実用的なロボットの開発には至っていないことを述べている。そして、信頼性の高い多脚歩行ロボットの実現には歩行安定性の向上が不可欠であるが、従来から提案されてきた、静的安定余裕（Static Stability Margin）、エネルギー安定余裕（Energy Stability Margin）、そして正規化エネルギー安定余裕（Normalized Energy Stability Margin）に代表される安定性の評価基準は、不整地で任意姿勢を取るロボットへの適用法が必ずしも明確でなく、また外乱の加わる方向と安定性の関係や転倒過程を考慮していないため、実際の歩行ロボットには適用が難しい点を指摘している。そして、本論文は、これらの課題を解決する新たな安定性の評価基準を提案し、多脚歩行ロボットを用いてその有効性を検討すると述べている。

第 2 章「Directional Normalized Energy Stability Margin（方向性正規化エネルギー安定余裕）」では、新たな安定性の評価基準として、方向性正規化エネルギー安定余裕（DNESM）を提案している。DNESM は、任意水平方向からロボットの重心に加えられ、物体を転倒させるために必要な最小外乱エネルギーを、物体の自重で除算した、距離の次元を持った評価基準としている。そして外乱エネルギーの印加時にはロボットの各関節は瞬時に固化する、また接地点では滑りが生じないと仮定し、その瞬間のロボット自体が有する速度と外乱エネルギーによる印加速度の和がその後の転倒運動を生じさせる、という前提で評価を行うものとなっていると論じている。ついで、任意姿勢を成す歩行ロボットについて DNESM の誘導法を明らかにし、小型の 3 脚支持状態の歩行ロボット実験装置に任意方向から打撃を加えて転倒させる実験を行い、理論値と実験値がよく一致することを確認し、DNESM の誘導法の有効性を示している。

第 3 章「Non-Tumbling Gait（転倒防止歩容）」では、転倒防止歩容を提案し、DNESM の概念を拡張した安定性の評価基準を誘導している。まず、歩行ロボットの転倒には、転倒の結果、胴体が地面に打ち付けられる「完全転倒（complete tumbling）」と、転倒の途中で地表に沿って復帰運動をしている遊脚が接地することで完全転倒を阻止できる「部分転倒（partial tumbling）」があると述べ、後者は歩行ロボットの歩行時の安定性を確保しながら、歩容の選択幅を広げることが可能であって重要性が高いと論じ、部分転倒までを許容する転倒防止歩容を提案している。そして、4 足歩行ロボットの歩行を定式化の例として取り上げて、ある遊脚の方向へロボットが転倒することを想定し、その遊脚が接地するまでの第 1 の転倒過程と、遊脚が接地した後の第 2 の転倒過程とに区別することで、DNESM の概念を一般化して評価できることを明確化し、定量的な安定性の評価基準を誘導している。

第 4 章「Validation of Generalized DNESM for Non-Tumbling Gait（転倒防止歩容に適用した一般化 DNESM の妥当性の検証）」では、転倒防止歩容に適用した一般化 DNESM の妥当性を検証している。まず、第 2 章で導入した実験装置について、遊脚を追加した転倒実験を行い、実験結果が一般化 DNESM の理論式によく一致することを確認している。ついで、具体的な 4 足歩行ロボットを対象とし、そのトロット歩容における、遊脚高さ、重心高さ、推進速度、脚支持点の諸パラメータを変化させたシミュレーションを行い、一般化 DNESM を評価基準とした歩容パラメータの調整で歩行安定性が具体的に向上できることを明らかにしている。そして、既存の小型 4 足歩行ロボットを使用し、トロット歩容で歩行中にロボットを急停止させる転倒実験を行うことにより、遊脚高さを変化させて転倒が防止できる条件がシミュレーションの結果と定性的に一致することを確認し、提案する理論の有効性を示している。

第 5 章「Conclusions and Future Work（結論と今後の課題）」では、本研究で得られた結果を総括し、今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文は多脚歩行ロボットの安定性を評価する新たな評価基準である方向性正規化エネルギー安定余裕(DNESM)の概念の提案とその誘導法を論ずると共に、歩行ロボットの完全な転倒を防ぐ転倒防止歩容の概念を明確化し、その歩容の安定性を一般化した DNESM で評価し、4 足歩行ロボットによる転倒実験でその妥当性を検証したものであり、工学上、及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認められる。