



Title	Dynamic Rotational Gait Control for Symmetrical Legged Robot
Author(s)	Theeravithayangkura, Chayooth
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/59855">https://hdl.handle.net/11094/59855</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">&lt;a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"&gt;</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">&lt;/a&gt;</a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	THEERAVITHAYANGKURA CHAYOOTH <small>ティラウィッタヤンクーン チャヨット</small>
博士の専攻分野の名称	博士 (工学)
学位記番号	第 25688 号
学位授与年月日	平成 24 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科システム創成専攻
学位論文名	Dynamic Rotational Gait Control for Symmetrical Legged Robot (対称型脚ロボットの動的回転歩容制御)
論文審査委員	(主査) 教授 新井 健生 (副査) 教授 大塚 敏之 教授 宮崎 文夫

## 論文内容の要旨

This research proposed a new dynamic rotational walking motion for multi-legged robot. Legged robot has abilities to isolate their body from terrain irregularities, avoid undesirable footholds, and regulate their stability. These abilities are very useful in terms of locomotion. Furthermore, legged robot has high flexibility when it comes to motion design. Therefore, with the author own multi-legged robot unique omni-directional design, the author proposed a dynamic rotational motion for multi-legged robot to let the robot walk through narrow spaces which standard walking motion could not succeed. To achieve dynamic motion, the motion is realized by using isotropic leg arrangement and the dynamic center of mass control inspired by bipedal robot. There are two controllers used for controlling the dynamic rotational walking motion: Preview Control with cart-table model based on the bipedal robot technique, and the Resolved Momentum Control for manipulating the multi-links robot as a single mass.

In order to practically use the motion in actual environment, many motions are needed, for example, straight motion, turning motions, and rough terrain motions. Previously, the author already proposed the standard straight motion. Therefore, in this study, turning motions and rough terrain motions will be designed. Additionally, the author noticed that in actual environment, such as disaster sites or dangerous areas, viewing ability of an operator is limited by environment itself. This problem inspired the author to aid the motion control by an operator. Consequently, the author came up with the idea of adaptive gait. Adaptive gait here is a gait that let the robot understand and effectively respond to its environment by itself without any command from an operator. In this study, adaptive gait includes body angle compensation to let the robot recognize its present environment and modify its present body angle to balance position by creating a virtual plane, center of mass height compensation to compensate errors in vertical axis that caused by environment with high variations, posture control to adjust robot posture to match with present environment according to posture optimization database created in advanced by using Genetic Algorithms, and stability control containing the online zero moment point compensation for reducing errors from environment in horizontal axis and the compliance control to surplus variation of kinetic energy caused by the differences of terrain level.

Two experiments for turning motions and rough terrain motions are prepared. In the case of experiment on turning motions, left and right continuous motion, and pivot turning motion are tested. On the other hand, in the case of rough terrains experiments, experiments are divided into three parts: inclined-plane as linear variation, step as step variation, and obstacle as impulse variation, to test the robustness of the proposed adaptive gait.

As a result of this research, with the proposed method, the robot could successfully perform left and right continuous turning motions, pivot turning motion, up and down inclined-plane motions with angle of 6.8 and 5.6 degree respectively, step and obstacle motions with the highest height of 20[mm], which is about 7.7% of the robot CoM height, without receiving any commands from user and without falling down by using the proposed

## 論文審査の結果の要旨

不整地狭あい環境に対応できる歩行ロボットの研究は遅れており、ロボットの物理的制限や歩行スピードの遅さ、モーションデザインや環境認識等、様々な課題がある。本論文ではこれらの問題を解決し、不整地狭あい環境に対応できる効果的な歩行法として、動的回転歩容と未知不整地に対応する方法を提案している。

第一に、腕脚統合型ロボット"ASTERISK"の等方向デザインを利用した動的回転歩容を提案している。ロボットによる動的歩容とは、静的歩容のように体の中心の投影点を支持多角形内に置くことができないので、代わりに動的バランスを保つためにZMPを支持多角形内に置く手法である。実際のロボットでは傾斜面を転がる受動的動作をそのまま実現すること困難であり、2足歩行ロボットで用いられるような質点の移動を模擬する動作を導入している。また、実際に3次元の空間を歩行するために、2足歩行の1脚と2脚の繰り返し歩容モデルを2本脚と3本脚の歩容モデルに適用し、全身の関節角を動的に制御することで回転歩容を実現する手法を提案している。

第二にデザインした歩行方法を発展させるため、右折と左折と限られたエリア内にて曲がる歩行を提案している。右折と左折は曲がる前後の二つの直進歩行をつなぎ合わせ、ロボットの重心の径路を計画する。限られたエリア内にて曲がる歩行はデザインした動的回転歩容と異なり、体を回転せずに脚を1本ずつ動かし曲がる歩行である。

第三に腕脚統合型ロボット"ASTERISK"の動的回転歩容により、不整地に対応するアダプティブ歩容を提案している。アダプティブ歩容には4つのモジュール（姿勢の角度補正、姿勢制御、重心の高さ制御、安定制御）がある。姿勢の角度補正には環境の影響により発生したエラーを除き、不整地でもZMPを求められるように仮想平面を作成する手法を提案している。姿勢制御ではGAによって事前で作成したデータベースに基づいてロボット環境に最適な姿勢を決める手法を提案している。また、重心の高さ制御では環境の影響で発生した誤差を低減し、重心の高さを一定に保つ手法を提案している。また、安定制御ではオンラインZMP補償とコンプライアンス制御を組み合わせた手法を提案している。オンラインZMP補償には環境によって発生された運動方向のエラーを無くす役目が、コンプライアンス制御は脚接地時に発生した衝撃を減少し、弾性的に環境に適應させる機能が付与される。これらのモジュールの組み合わせることによりケース・バイ・ケースの歩行計画を改め、動的回転歩容のロバスト性を改良することが可能となる。

提案手法は他のロボットにも実装することが可能であり、例えば4脚ロボットに体の角度補正と重心の高さ制御を同時に実装することでロボットの姿勢を地面に平行にさせることが可能となる。さらに、コンプライアンス制御を加えることで柔軟に環境に適應させることができる。これらの3つのモジュールを適用することによって、静的または動的歩行でも、4脚ロボットの場合においても安定性を改善することが可能となる。

以上の通り、多脚ロボットの不整地狭あい環境における動的回転歩容について、新たな方法論やシステムの構築を行い、6脚移動ロボットでの実現可能性を示し、移動ロボットの新たな歩行手法の確立に大きく貢献をしている。ロボット工学における学術的かつ技術的貢献をもたらしており、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。