



Title	Robust Autonomous Navigation System of a Biped Robot Based on Subsumption Architecture
Author(s)	山本, 孝信
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/82265">https://hdl.handle.net/11094/82265</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。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">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</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">〈/a〉</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

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 山本 孝信 )	
論文題名	Robust Autonomous Navigation System of a Biped Robot Based on Subsumption Architecture (包摂アーキテクチャに基づく二脚ロボットのロバストな自律誘導システム)
論文内容の要旨	
<p>二脚ロボットは人間の生活空間や災害現場など様々な環境内で、人の代わりに危険で複雑な作業を行うことが期待されている。このような環境内で二脚ロボットが環境変化や障害物との衝突に耐えながら自律的に移動することは未だ難しい課題である。複雑地形上で二脚步行するためには、(1)認識、(2)誘導、(3)全身協調制御の処理が必要である。(1)認識ではカメラ情報から地図を生成し、(2)誘導では生成した地図に基づき足を着く位置を決め、(3)全身協調制御ではそこへ踏み出す全身運動を生成する。従来の二脚步行システムは(1)、(2)、(3)の処理を直列に接続した構造を持っていたため、転倒回避など即応性が要求されるタスクとの併用ができなかった。このような直列構造を持つシステムでは計算コストの高い上位処理がシステム全体のボトルネックとなりロボットの即応性を低下させるという問題がある。これを解決するためには動作周期の異なるプロセスを並列に実行できるシステムが求められる。この問題に対しBrooksはサブサンプション・アーキテクチャ(包摂アーキテクチャ)という画期的な方法を提案した。各処理を階層的に構成し、上位処理が下位処理の出力を抑制する事でロボットに高度なタスクを行わせる。Brooksはこの抑制の事をサブシューム(包摂)と呼び、各処理が短周期で並列動作するように実装した。しかし、上位処理がいつでもアクチュエータへの出力を上書きできるBrooksの実装は、車輪駆動ロボットや六脚ロボットでは機能していたが、常に転倒の危険にさらされている二脚ロボットに適用することは難しい。本論文の目的は、二脚ロボットにも適用可能な包摂アーキテクチャの実装形態を明らかにすることである。</p> <p>本論文では包摂を上位出力が下位処理を変容することと捉えた新しいシステム・アーキテクチャを示した。上位が下位の出力を抑制するのではなく、非同期に動作する下位処理の内部パラメータを上位処理が状況に応じて変化させることでロボットに高度なタスクを行わせる。また、この提案に基づき二脚步行システムに必要な(1)認識、(2)誘導、(3)全身協調制御それぞれに対し、各層の出力が短周期で変化することを前提とした新しい方法を示した。</p> <p>第一章では、研究の背景を述べ、本論文の目的とアプローチ、構成についてまとめた。</p> <p>第二章では、二脚步行システムのための新しいシステム・アーキテクチャについて述べた。Brooksが提案した包摂アーキテクチャを二脚步行システムに適用する際の課題を示し、それを解決した新しいアーキテクチャを示した。また、新しいアーキテクチャに基づく二脚步行システムの内容について述べた。</p> <p>第三章では、提案した最下層で動作する(3)全身協調制御について述べた。制御のためにロボットを重心と足裏反力中心のみで低次元モデル化し、リアルタイムに全身のモータを制御する方法を示した。提案した(3)全身協調制御は上位処理から受け取る目標着地足が変化しても即座に応答できることを示した。</p> <p>第四章では、(1)認識と(2)誘導を組み合わせた誘導システムについて述べた。(1)認識では(2)誘導で使用する情報を持つ地図を生成する必要がある。(1)認識では着地足決定に必要な地面の高さと法線ベクトル情報を持つ地図の作成手法と有効性を述べた。また、(2)誘導では、地形形状、足の到達可能領域、目的地に基づき着地足を決定する方法を示した。与えられた目的地と動的に変化する地図から、目的地へ向かう次の一步を即座に決定できることを述べた。</p> <p>第五章では、シミュレーションを用いて提案したシステムの即応性を検証した。まず、(1)認識、(2)誘導、(3)全身協調制御それぞれを検証し、その有効性を明らかにした。(1)、(2)、(3)を統合した二脚步行システムで目的地の急変更、外力の付加に即応できることを検証し、システムの有効性を明らかにした。</p> <p>第六章で、本論文のまとめと今後の課題について述べた。</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 山 本 孝 信 )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	中谷 彰宏
	副 査	教授	細田 耕
	副 査	教授	大須賀 公一
	副 査	教授	石川 将人
	副 査	教授	平田 勝弘
	副 査	教授	吉矢 真人

## 論文審査の結果の要旨

二脚ロボットには住居から災害現場等にいたるまで様々な環境下で人の作業を代替することが期待されている。その実現には多様な周囲環境の変化に即応可能な二脚歩行システムが必要不可欠である。本論文では、地図生成、着地位置決定、及び全身協調制御からなる二脚歩行システムを研究の対象としている。これらが直列接続された構造を有している従来の二脚歩行システムでは、上位処理がボトルネックとなり即応性が要求されるタスクの実現に難点があった。一方、この種の問題を解決する方法として、タスク毎に内部処理を設計しそれぞれを並列実行するサブサンプリング・アーキテクチャ（包摂アーキテクチャ）が提案され、その有効性が示されている。本論文では、二脚歩行システムに実装可能な新しい包摂アーキテクチャの提案と、ロバストな自律誘導システムの研究により、アーキテクチャとシステムの有効性を明らかにしている。

第1章では、研究の背景と本論文の目的を述べている。

第2章では、包摂アーキテクチャに基づく新たな二脚歩行システムについて述べている。上位処理が下位処理を抑制する従来の包摂アーキテクチャの課題が包摂を抑制ではなく変容として実装するなどによって解決できることを示すとともに、それに基づくシステムを提案している。

第3章では、提案した歩行システムの全身協調制御について述べている。ロボットを重心と足裏反力中心のみで低次元モデル化することにより、リアルタイムに全身のモータ制御を可能にする方法を提案し、有効性を示している。

第4章では、二脚ロボットの誘導に必要な地図生成と着地位置決定について述べている。着地に必要となる地面の高さと法線ベクトル情報を持つ地図生成の手法、及び、地形、足の到達可能範囲、目的地に基づく着地足の着地位置決定方法について提案し、その有効性を示している。

第5章では、二脚歩行システムの即応性のシミュレーションによる検証について述べている。地図生成、着地位置決定、全身協調制御それぞれの検証と妥当性確認とともに、それらを統合したシステムにおいて、目的地の急変更、外力の付加に即応できるロバスト性を有していることを明らかにし、自律誘導システムとしての有効性を示している。

第6章では、本論文の各章の内容を総括し、将来性や波及効果について述べている。

以上のように、本論文は、包摂アーキテクチャの拡張に基づく二脚ロボットのロバストな自律誘導歩行システムについて、独創的提案を行なっていると同時にその有効性を明らかにしている。得られた成果は今後のロボット学、機械工学の発展に貢献するところが大きいと期待できる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。