The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	受動的動歩行の適応的なふるまいに着目した脚歩行ロボットの設計と制御に関する研究
Author(s)	浦, 大介
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/76540
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　　浦　大介　　）	
論文題名	受動的動歩行の適応的なふるまいに着目した 脚歩行ロボットの設計と制御に関する研究

論文内容の要旨

本論文では，受動的動歩行の性質である適応的なふるまいに着目した脚歩行ロボットの設計と制御について提案し，その検証を行った．

受動的動歩行とは，機構の持つダイナミクスと環境との相互作用のみによって発現する歩行である．現象そのものは古くから坂道を歩くおもちゃで知られていたが，1990年にT. McGeerによって学術的に取り扱われ，再発見が行われた．この歩行はアクチュエータやセンサ，制御を必要とせず，歩行機そのものと歩行を行う坂道に対して適切な初期条件を与えると発現する現象である．また，受動的動歩行は歩行中に適応的なふるまいを見せることが知られている．例えば，歩行中に歩行路面の傾斜を変更すると，歩行機は自身の歩容を変化させ歩行を継続する．このように，いわば骨組みのみで発現し，歩容の調整まで行う受動的動歩行には歩行の本質を含んでいるように見える．

しかしながら，受動的動歩行が可能な脚歩行ロボットの設計は非常に難しい．特に，膝関節を持たせるなどして自由度を増加させると，歩行開始可能な初期条件の領域は非常に狭くなることが知られている．また，受動的動歩行ロボットの歩行制御についても，従来のような関節を駆動させるような制御では，最大の特徴である受動性を損なうことになってしまう．

そこで，本論文では受動的動歩行の持つ適応的なふるまいに着目した設計と制御について提案した．まず，比較的歩行させやすいことが既知である小さなコンパス型の歩行機を用意し歩行を開始させ，歩行中に所望のハードウェアへと徐々にパラメータを変化させていく．このパラメータ変化が小さければ歩行機は適応的なふるまいの効果で歩行を継続する．最終的に所望の設計条件を満たすパラメータを有するハードウェアに到達すれば設計完了となる．この方法では，設計したハードウェアは受動的動歩行が可能であることが保証され，さらに設計中に歩行を行っているときのどのタイミングの状態を切り出しても歩行開始可能な初期条件となりうる．

具体的な方法について述べる．提案する手法では，受動的動歩行システムは二つのパラメータを持っていると考える．一つは脚長や質量，関節位置などの物理的パラメータ，もう一つは歩行速度や脚角度など，歩行の結果として得られる出力である変数的パラメータである．変数的パラメータは厳密にはパラメータではないが，設計という観点で物理的パラメータと同等に見るためにパラメータとして定義している．受動的動歩行において，変数的パラメータは物理的パラメータのみによって決定される．つまり，物理的パラメータを変化させることで，変数的パラメータを間接的に変化させることができる．本手法ではこの性質を利用し，所望の変数的パラメータを持った脚歩行ロボットの設計・制御を行う．このとき，物理的パラメータの変化を入力として見ると，物理的パラメータを調節することで変数的パラメータを調節する制御として見ることができ，この入力を切断すれば，システムの物理的パラメータは時不変となり，これは設計とみなせる．

まず，第二章では提案した手法の実現可能性，特に自由度の変化について，動力学シミュレーションを用いて検証を行った．歩行中に脚長・脚質量の変化，自由度の増加（膝関節の生成）を行い，特にこれまで確認されていなかった力学構造の変化である自由度の増加に対しても適応的なふるまいが見られることを確認した．同時に，歩行させることが難しい膝付きの受動的動歩行ロボットの設計を行い，提案手法の実現可能性を示唆することができた．

次に，第三章では所望の変数的パラメータで歩行を行えるような制御性能を持った脚歩行ロボットの設計・制御を行う．

第四章では第三章で検証を行った制御に関して，実際に物理的パラメータが変更可能な脚歩行ロボットを設計し，本手法を用いた歩行制御の実機検証を行い，その効果を確認した．

おわりに，本手法で行った物理的パラメータの調整とはすなわち，間接的に環境と機構との間に生まれる陰的な制御則を調整していることになることを述べた．また，本稿では対象を受動的動歩行に絞って検討を行ったが，この本手法はあらゆる動的システムに対して適用可能であることを述べた．

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　浦　大　介　）	
論文審査担当者	（職）　氏　名 主 査　教 授　大須賀　公一 副 査　教 授　石川　将人 副 査　教 授　東森　充

論文審査の結果の要旨

本論文では，受動的動歩行の性質である適応的なふるまいに着目した脚歩行ロボットの設計と制御について提案し，その検証を行っている．

受動的動歩行とは，機構の持つダイナミクスと環境との相互作用のみによって発現する歩行である．この歩行はアクチュエータやセンサ，制御を必要とせず，歩行機そのものと歩行を行う坂道に対して適切な初期条件を与えると発現する現象である．また，受動的動歩行は歩行中に適応的なふるまいを見せることが知られており，そこには歩行の本質を含んでいるように見える．しかしながら，受動的動歩行が可能な脚歩行ロボットの設計は非常に難しい．また，受動的動歩行ロボットの歩行制御についても，従来のような関節を駆動させるような制御では，最大の特徴である受動性を損なうことになってしまう．そこで，本論文では受動的動歩行の持つ適応的なふるまいに着目した設計と制御について提案している．

具体的な方法について述べる．提案する手法では，受動的動歩行システムは二つのパラメータを持っていると考える．一つは脚長や質量，関節位置などの物理的パラメータ，もう一つは歩行速度や脚角度など，歩行の結果として得られる出力である変数的パラメータである．そして，受動的動歩行において，変数的パラメータは物理的パラメータのみによって決定される．つまり，物理的パラメータを変化させることで，変数的パラメータを間接的に変化させることができる．本手法ではこの性質を利用し，所望の変数的パラメータを持った脚歩行ロボットの設計・制御を行う．

まず，第二章では提案する手法の実現可能性，特に自由度の変化について，動力学シミュレーションを用いて検証を行っている．歩行中に脚長・脚質量の変化，自由度の増加（膝関節の生成）を行い，特にこれまで確認されていなかった力学構造の変化である自由度の増加に対しても適応的なふるまいが見られることを確認している．同時に，歩行させることが難しい膝付きの受動的動歩行ロボットの設計を行い，提案手法の実現可能性を示唆している．

次に，第三章では所望の変数的パラメータで歩行を行えるような制御性能を持った脚歩行ロボットの設計・制御を行っている．具体的には，変数的パラメータに目標値を設定し，歩行時の変数的パラメータがその値に向かうように，物理的パラメータを修正するアルゴリズムを提案し，シミュレーションによってその有効性を示す．

第四章では第三章で検証を行った制御に関して，実際に物理的パラメータが変更可能な脚歩行ロボットを設計し，本手法を用いた歩行制御の実機検証を行い，その効果を確認している．

おわりに，本手法で行った物理的パラメータの調整とはすなわち，間接的に環境と機構との間に生まれる陰的な制御則を調整していることになることを述べている．また，本稿では対象を受動的動歩行に絞って検討を行ったが，この本手法はあらゆる動的システムに対して適用可能であることを述べている．

以上のように、本論文は受動的動歩行に対してその設計論および制御方策に関する新たな知見を与え，ダイナミクスを活かした制御系設計に対する有益な方向性を与えている．また，一般的に適応制御に対する再考の可能性を提案するものになっており，学術的に重要な意味を持つ．よって本論文は博士論文として価値あるものと認める．