OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Study of the Adaptive Locomotion Generated by a Body : An approach focusing on the leg movements of hexapod animals
Author(s)	浪花, 啓右
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/81877
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　（　浪花　啓右　）	
論文題名	Study of the Adaptive Locomotion Generated by a Body - An approach focusing on the leg movements of hexapod animals - (身体が生み出す適応的ロコモーションの研究 -六脚生物の脚運動に着目したアプローチ-)

論文内容の要旨

The aim of this study was to elucidate the mechanisms underlying the adaptive locomotion of animals. There are about 1,000,000 species of insects on Earth, in contrast to only 6,000 species of mammals. This indicates that insects can adapt to various environments and express sophisticated locomotion, regardless of their small nervous systems. How is it possible for insects with a small nervous system to produce diverse types of locomotion? In this thesis, based on the hypothesis that "the source of the adaptive locomotion of animals lies in the design of their bodies," I deduce three results that are the first steps towards proving this hypothesis. First, using the stereotypical locomotion of headless crickets, based on their excretion, I found that the locomotion embedded in the cricket's body includes gait triggers. I also noticed that signals from the head are necessary for achieving coordination of the entire leg. By observing and analyzing actual data of the animals, I have learned about the roles played by the upper centers and the body with respect to gait. It is not enough to investigate the importance of body design from a biological perspective alone; it is also vital to know how to use the robot body proficiently. Therefore, the second step is to build a robot without a centralized controller, and I explored the key points for designing based on adaptive locomotion. As a result, the weakness of the actuators and the softness of the body are found to make the robot behave cooperatively only with its body. Third, the proposed method of locomotion evaluation in this study uses the quantitative evaluation of the coordination of leg movements in the phase axis. In the development of legged robots and the analysis of animal locomotion, it is often determined whether the gait pattern is stereotyped or not. To determine the control laws of physical characteristics, evaluation of the coordination between legs at a finer level is essential. Using the proposed method, I'm able to evaluate a gait pattern that is not confined to existing patterns (walk, tripod, etc.). The three results obtained in this paper are the primary and important steps for "clarifying the mechanism of the locomotion of the body of an animal."

I think that "variation in body design and behavior" is the "key to generate adaptive locomotion". To confirm this, it is necessary to view "variation" in engineering as a component of design, and not a hindrance. In other words, "robotics as a species: Generic Robotics" must be practiced in the future. To practice generic robotics, it is necessary to adopt a constructive approach based on the results of multiple experiments with multiple robots and not just the champion data of a single robot. Because not all robots have exactly the same shape, their behaviors should vary. If there exists a behavioral characteristic that is not lost even if it varies, that is the behavioral characteristic of the body design. If we use a constructive approach to search for the key to body design, I am convinced that we must renew our approach with the Generic Robotics. This idea of "Generic Robotics" is led in this thesis, which is the greatest contribution to biology and engineering.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　浪　花　啓　右　）		
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主 査　教 授	大須賀　公一
	副 査　教 授	石川　将人
	副 査　教 授	東森　充
	副　査　准教授	杉本　靖博

論文審査の結果の要旨

本研究の目的は，生物の適応的な運動のメカニズムを解明することにある．本論文では，「生物の適応的な運動の源は身体の設計にある」という仮説に基づき，この仮説を証明するための第一歩となる 3 つの結果を導き出している．

まず第二章で，クロコオロギが排泄時に行う定型的なふるまいに着目した，歩行の誘発における脳と腹部の神経節の役割について調査した．断頭したコオロギの排泄に基づく定型的な運動から，頭部からの信号だけではなく，腹部からの信号により歩行が誘発されることを発見したことが記されている．またトライポッド歩行のような全体の協調性を実現するためには，頭部からの抑制性の信号が必要であることも示された．これらの結果は，歩行の誘発という生物の生存に対して基本的なふるまいが，脳からの指令に基づくとは限らず，腹部神経節からの指令によっても誘発可能なことをから，脳以外の身体に埋め込まれた制御則の重要性を強く示唆する結果である．

第三章では，中央集権的な制御則を持たないロボットが，身体の特性から協調的な運動を生み出すための最小構成について，構成論的アプローチを試みる．そのアプローチの一例として，制御則を持たず，身体とアクチュエータの物理的特性のみから周期的な協調運動を生み出すロボット，Brainless I を設計製作した．その結果，中央集権的制御則を持たずとも，身体背骨の柔軟さとアクチュエータの弱さという身体設計上の特性により，製作したロボットの協調的な脚運動を実現した．

第四章では，分析的アプローチ，構成論的アプローチ双方から，身体と環境の相互作用を数理モデルとして表現するための，脚運動パターンの新たな評価指標を提案する．本評価指標では，脚の運動状態に着目し，脚の位相状態を定義した上で，極ヒストグラムによる評価方法を提案している．この手法により，これまで 1 個体の瞬間的な脚運動の状態評価に留まっていたものが，位相軸の評価となり複数個体の脚運動の協調性を定量的に評価可能となり，その理論分布の推定法も提示している．提案手法を用いることで，既存の歩容にとらわれない，ありのままの歩容評価が可能になった．

第五章では，ここまでの三つの成果についてまとめるとともに，「身体設計やふるまいのばらつき」が「適応的なふるまいを生む源泉」ではないかという新たな仮説について述べている．この仮説を検証するため，工学における「ばらつき」を障害ではなく，設計の要素として捉える必要性を訴えており，「単体としてのロボット工学」ではなく「種としてのロボット工学」を新たに提案している．この「種としてのロボット工学」の考え方は，本論文で導かれたものであり，生物学・工学への最大の貢献である．

以上から，本論文は，分析的，構成論的アプローチの双方から，身体設計から実現可能なふるまいについて新たな知見を与え，それらを統合可能な評価指標を提案し，これらの結果から新たな工学分野を見出す，学術的に意義あるものである．よって本論文は博士論文として価値あるものと認める．