

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11445

研究課題名(和文) 実世界の普遍的性質を利用した汎化能力の獲得と柔軟ロボットへの実装

研究課題名(英文) Proposal of generalization ability using properties of the real world and application to actual soft robots.

研究代表者

伊藤 一之 (Ito, Kazuyuki)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：90346411

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、「汎化機能を実現しているものは、学習により得られる内部モデルではなく、実世界に最初から存在している普遍的性質である」との仮説をたて、この実世界の普遍的な性質を利用するためのロボットの身体的设计方法、並びに、制御方法について検討を行った。また、その具体例として、「柔軟マニピュレータ」、「柱状物昇降ロボット」、「垂直壁登攀ロボット」の開発を行い、未知環境における提案手法の有用性を実験により確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来研究では、汎化能力とは、多数の経験を抽象化して、様々な状況に適応可能な方策を獲得する能力であると考えられており、そのためには、何らかの学習が必要であると考えられてきた。一方、生物に目を向けると、脳を有しないような下等生物であっても、複雑な未知環境において適応的に振る舞うことが可能であり、従来の枠組みでは、この適応能力を説明することが出来ない。本研究では、これまで汎化能力により実現されていると考えられてきた適応的な振る舞いの多くが、実は、環境に存在している普遍的な性質を上手く利用することで実現されていると考え、その枠組みをロボットの開発に適用することで、高い適応能力を持つロボットを実現した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we proposed a framework that realize generalization ability using properties of the real world, and we designed bodies and controllers for robots based on the proposed framework. To demonstrate the effectiveness of the proposed framework, we developed soft manipulator, climbing robot for columnar objects, and climbing robot for vertical walls. Experiments were conducted, and the effectiveness of these robots for unknown environment was confirmed.

研究分野：知能ロボット

キーワード：ソフトロボット マニピュレータ 柔軟ロボット 汎化 多脚ロボット

1. 研究開始当初の背景

従来の枠組みの問題点は、「本来、複数のメカニズムによって実現されている汎化作用を、統計に基づくメカニズムのみで説明しようとしている点」にあると考えられる。統計に基づく汎化機能は非常に有効であり、高等生物はこの仕組みを用いていると考えられるが、先に述べたように、統計的な仕組みだけでは、情報処理能力の劣った下等な生物の汎化能力を説明することができない。

本研究の独創的な点は、この問題に対して、汎化機能を担う新しいメカニズムとして、実世界に存在する普遍的な性質に着目し、学習の枠組みを「タスクを達成するために利用可能な環境の普遍的な性質を探索し発見する行為」に転換する点である。

また、本研究の成果をロボットに応用することにより、従来のロボットの適用が困難であった、被災地での復旧作業、土木作業、農林業など、新しい領域においてロボットを活用することが可能となり、社会的波及効果は極めて大きいと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、「汎化機能を実現しているものは、学習により得られる内部モデルではなく、実世界に最初から存在している普遍的な性質である」との仮説をたて、この実世界の普遍的な性質を利用するためのロボットの身体設計方法、並びに、ロボットが環境に働きかけるなかで、新たな普遍的な性質を発見し、状態・行動空間を分化させ、振る舞いの精度を向上させてゆくための発見・学習アルゴリズムの提案を行う。また、実際に提案手法を柔軟ロボットに適用しその有用性・妥当性を検証する。

3. 研究の方法

柔軟マニピュレータならびに多脚ロボットを開発し、タスクとして、未知柱状物（パイプ、角柱など）や自然木の昇降、不整地の走破、未知物体の把持を行う。これにより、同一のロボットおよびアルゴリズムを用いて複数の異なるタスクを実現可能であることを検証する。また、多脚ロボットは、アルミの骨格を有する大型（全長1m程度を想定）のもの、シリコン製の小型（全長10cm程度を想定）のものを開発することで、スケールによる力学的特性の違いを検証し、それぞれの力学的特性を活かした設計指針の提案を目標とする。

また、これらの成果を、災害時のレスキューロボット並びに、平常時のインフラ点検ロボットの開発に応用する。

4. 研究成果

提案した枠組みに基づき、柔軟マニピュレータ（図1）ならびに多脚ロボット（図2-図5）を実際に開発した。柔軟マニピュレータの開発では、マニピュレータをシリコンゴムを用いて作成し、その柔軟性を用いて力学的に汎化機能を実現することで様々な形状の物体の把持を可能とした。またこれにより、画像処理による物体の形状認識の必要がなくなり、非常に簡単な画像処理をもちいて物体の大まかな位置を計測するだけで、様々な物体を全自動で把持して回収可能なシステムを構築した。これらの技術は、今後、農作物の箱詰めや、災害現場や原子力発電所の復旧作業などにおける瓦礫の除去などへの応用が期待される。

多脚ロボットにおいては、脚の柔軟性を利用することで様々な柱状物を把持可能なロボットを実現し、環境の計測を行うことなく自然木の昇降が可能であることを確認した。また、異なるサイズのロボットを製作することで、身体スケールの違いによる影響についても確認した。

学習アルゴリズムについては、簡単な分別タスクへの応用については検討したものの、ロボットの制御への応用には至っておらず、今後、引き続き検討を行う予定である。

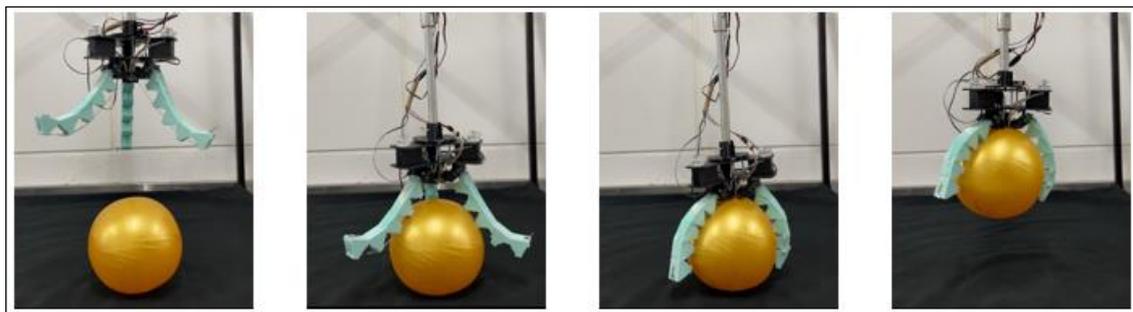


図1 柔軟マニピュレータ

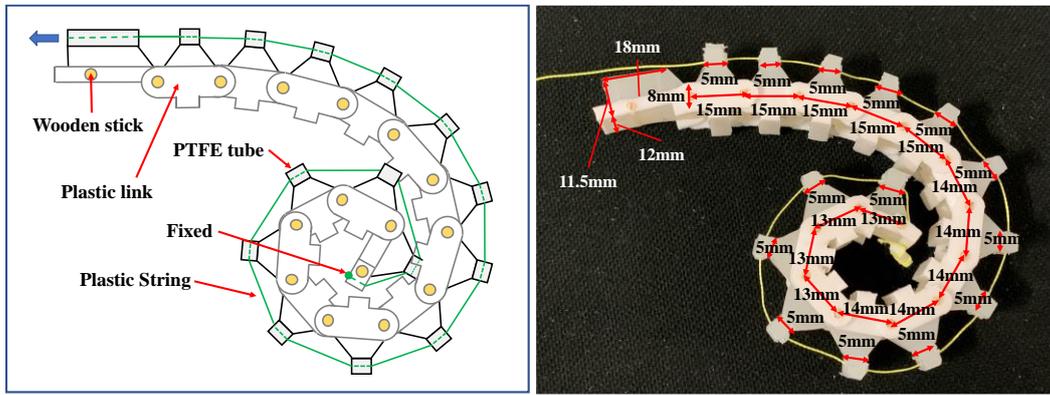


図2 多脚ロボット用柔軟脚

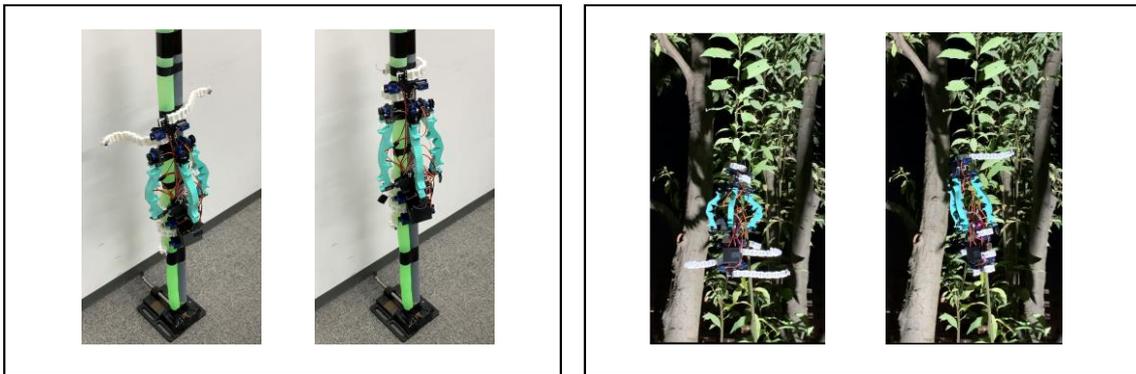


図3 シリコン製多脚ロボットによる昇降

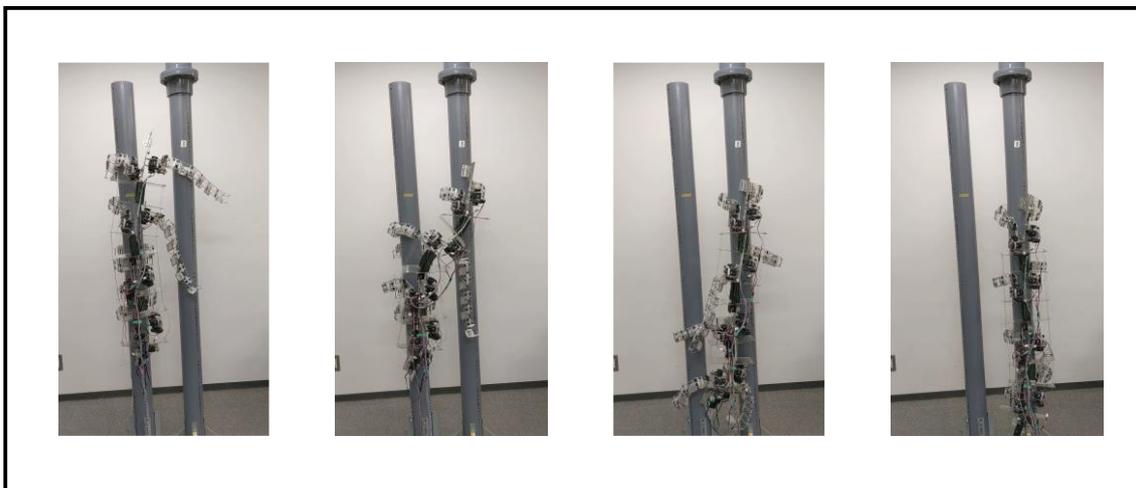


図4 アルミ製多脚ロボットによるパイプ間移動

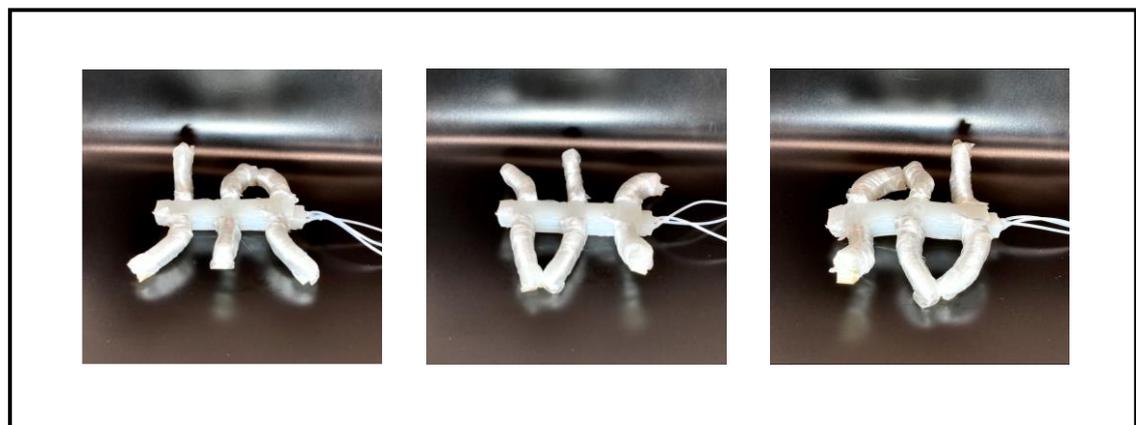


図5 柔軟6脚ロボットによる歩行

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ito Kazuyuki, Ninomiya Yamato	4. 巻 26
2. 論文標題 TAOYAKA V: a multi-legged robot, successfully combining walking and climbing mechanisms	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 97～102
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10015-020-00621-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ito Kazuyuki, Homma Yoshihiro, Rossiter Jonathan	4. 巻 34
2. 論文標題 The soft multi-legged robot inspired by octopus: climbing various columnar objects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 1096～1109
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/01691864.2020.1753570	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Kazuyuki Ito, Taichi Mukai	4. 巻 25
2. 論文標題 Flexible manipulator inspired by octopi: advantages of the pulling mechanism	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 167～172
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10015-019-00573-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kazuyuki Ito, Ryushi Aoyagi, Yoshihiro Homma	4. 巻 31
2. 論文標題 TAOYAKA-III: A Six-Legged Robot Capable of Climbing Various Columnar Objects	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 78～87
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2019.p0078	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 佐藤祐亮, 岩津智士, 伊藤一之	4. 巻 31
2. 論文標題 支援物資の継続的な供給を目指した災害対応システムの提案-アリの反応閾値モデルを基にした自律分散型システム-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌)	6. 最初と最後の頁 586 ~ 591
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3156/jsoft.31.1_586	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 齋藤明日希, 永山和樹, 本間義大, 青柳龍志, 伊藤一之, 大道武生, 芦澤怜史, 松野文俊	4. 巻 54
2. 論文標題 三次元環境を移動可能な多脚型ロボット-身体の柔軟性を利用した未知環境への適応-	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 695 ~ 704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.54.695	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計21件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 21件)

1. 発表者名 S. Yamashita and K. Ito
2. 発表標題 Cylindrical Flexible Robot Using a Novel Twisting Mechanism
3. 学会等名 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Yoshizawa, K. Ito
2. 発表標題 URARAKA VI: Multi-Legged Robot with Suckers -Climbing walls and pipes by improving leg-joint mechanism-
3. 学会等名 International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 S. Yamashita, K. Kuboi, K. Ito
2 . 発表標題 Six-legged soft robot using crawling motion
3 . 学会等名 International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 S. Takaku, K. Mamiya, K. Ito
2 . 発表標題 TAOYAKA-S III : Soft multi-legged robot for climbing unknown columnar objects : Realization of self-contained mechanism
3 . 学会等名 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Yamashita, K. Ito
2 . 発表標題 Proposal of a novel Creeping Mechanism by Using Twisting Motion for Soft Robot
3 . 学会等名 International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 H. Egawa, K. Ito
2 . 発表標題 A Multi-Legged Robot Capable Of Moving From Pipe To Pipe: TAOYAKA-VI
3 . 学会等名 International Symposium on Socially and Technically Symbiotic Systems (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. Tominaga, K. Ito
2 . 発表標題 A System for Autonomous Gathering of Unknown Objects using a Soft Robotic Hand
3 . 学会等名 International Symposium on Socially and Technically Symbiotic Systems (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Bezha, K. Ito
2 . 発表標題 A Novel Autonomous Soft Multi-Legged Robot based on Multi-body Dynamic Modeling with Enhanced Performance through a Modular Portable Li-Ion BES
3 . 学会等名 International Symposium on EMC and Transients Infrastructures (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Sakuhara, K. Ito
2 . 発表標題 Crawling soft robot without explicit controllers
3 . 学会等名 International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Sakuhara, H. Shimizu, K. Ito
2 . 発表標題 Climbing Soft Robot Inspired by Octopus
3 . 学会等名 IEEE 10th International Conference on Intelligent Systems (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Ninomiya, K. Ito
2 . 発表標題 TAOYAKA V: A multi-legged robot, successfully combining walking and climbing mechanism
3 . 学会等名 International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Sato , K. Ito
2 . 発表標題 Evacuation support system to control emotional level of crowd - Simulation based evaluation under various scales and ratios of guide avatars for evacuees -
3 . 学会等名 International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 H. Shimizu, K. Ito
2 . 発表標題 Ladder Climbing Robot Inspired by Octopus-like Behavior
3 . 学会等名 International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Aso, K. Aihara, K. Ito
2 . 発表標題 Multi-legged robot for rough terrain: SHINAYAKA-L VI
3 . 学会等名 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Hachimine, S. Takano, K. Ito
2. 発表標題 How Do Jumping Spiders Perceive Passability: Experimental Verification Using Small Mobile Robot
3. 学会等名 International Conference on Perception and Action (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤祐亮, 伊藤一之
2. 発表標題 群衆の感情レベルを制御する避難支援システム ~ 様々な集団同調性バイアスモデルを用いた評価シミュレーション ~
3. 学会等名 第35回ファジィ システム シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Mukai, K. Ito
2. 発表標題 Flexible manipulator inspired by Octopi: Comparative study of pushing and pulling mechanisms in realizing intelligent behavior
3. 学会等名 The Twenty-Forth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Okino, K. Nagayama, K. Ito, T. Oomichi, S. Ashizawa, F. Matsuno
2. 発表標題 URARAKA IV: Multi-Legged Robot with Suckers to Climb a Wall - Autonomous climbing and recovery from miss-adsorption -
3. 学会等名 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Ito, Y. Homma, R. Aoyagi
2. 発表標題 Generalization ability of a soft robot in reinforcement learning: Applization to a soft climbing robot TAOYAKA-S II
3. 学会等名 The Workshops sessions at the 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Okino, K. Nagayama, K. Ito, T. Oomichi, S. Ashizawa, F. Matsuno
2. 発表標題 URARAKA IV: Multi-Legged Robot with Suckers - Moving on ceiling -
3. 学会等名 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Ito, Y. Homma, R. Aoyagi, J. Rossiter
2. 発表標題 TAOYAKA-S: The soft six-legged robot climbing columnar object
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 伊藤一之	4. 発行年 2018年
2. 出版社 株式会社オーム社	5. 総ページ数 164
3. 書名 実装 強化学習	

〔産業財産権〕

〔その他〕

法政大学 知能ロボット研究室
<https://www.k.hosei.ac.jp/~ito/>
Intelligent Robotics Laboratory, Hosei University
<https://www.youtube.com/channel/UCFL01SPFfPIIRbfKDWYtTVA>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
英国	Bristol University		