

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月 8日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656171

研究課題名（和文） ダイナミックテンセグリティから探る個体発生的時間スケールの構造適応様式

研究課題名（英文） Ontogenetic-time-scaled Adaptation Mechanism based on Dynamic Tensegrity

研究代表者

石黒 章夫 (ISHIGURO AKIO)

東北大学・電気通信研究所・教授

研究者番号：90232280

研究成果の概要（和文）：本研究では、真正粘菌変形体の身体に遍在する位相振動子の位相調整メカニズムのみならず、原形質流動の流量に応じた輸送管の径の自発的变化現象に相当する適応メカニズムも実装することで生み出される適応能力について議論した。時定数の異なるこれら二つの適応メカニズムの有機的なカップリングによって、これまでは不可能であった狭窄空間の通り抜けなどが可能となった。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have investigated adaptability by coupling adaptation mechanisms with different time scales, by taking decentralized control of an amoeboid robot inspired by true slime mold as a practical example. Simulation results strongly suggest that highly adaptive behavior can be generated via well-balance coupling between two adaptation mechanisms each of which has different time constant.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 交付決定額 | 2,800,000 | 840,000 | 3,640,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：自己組織化、適応、真正粘菌、個体発生、テンセグリティ

1. 研究開始当初の背景

現在の人工物は、所与のタスクや環境に対して特化した設計がなされている。このため、その発現する環境適応能力は著しく限定されているのが一般的である。一方で生物は、自身の身体に有する膨大な自由度を巧みに操りながら、適応的かつ多様な振る舞いを発現している。

生物が示すこのような優れた運動機能の背後には、さまざまなダイナミクスを有する多数の適応メカニズムが有機的にカップリングしていると考えられているが（以下このことを、適応メカニズムの多重時間スケール性と呼ぶ）、その機序は依然として明らかになっていない。この発現機序を明らかにする

ことで、これまで一般的に単一の適応メカニズムのみに依拠していた既存技術では決して達成し得ない高度な適応能力をロボットに発現させることが可能となると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、多重時間スケール性に基づく適応メカニズムの構築原理を調べることを第一義的な目的とする。この目的のために、行動主体の身体の力学的特性を時空間的に改変することから生み出される、個体発生的時間スケールでの適応様式主たる焦点を当て、その発現機序の学理の究明とハードウェアでの実現方策の検討を試みる。

具体的には、形態変化よりも速い時間スケールで行われる運動が生起する力学場が、環境適応的な形態の形成に不可欠であるという作業仮説に基づき、圧縮材にも張力材にもなりうる可変弾性要素を用いて、生体構造を縮約したカリカチュアモデルを構成する。そして、可変弾性要素群の駆動から生み出される力学場に適合した形態が創発するための秩序形成ロジックの抽出を目指す。



図 1：真正粘菌変形体

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、以下のステップで研究を行った：

- 1) 適応メカニズムに内在する多重時間スケール性を考察するためには、適切なモデル生物を設定して最小限の基本論理設定から考察を進めていく方法論が有効である。そこでわれわれは、もっとも原初的と考えられる単細胞生物に立ち返ることにし、図 1 に示す真正粘菌変形体とモデル生物として採り上げることにした。
- 2) 多重時間スケール性に基づく適応メカニズムを効果的にモデル化するために、真正粘菌変形体が原形質流動によってその周辺部に仮足と呼ばれる突起を自発的に形成する現象に着目した。そしてこの仮足の自発的生成・消滅が、周辺部のステイフネスを原形質の流動状況に応じて調整することから生み出されるとの作業仮説を立て、力学場環境に応じた仮足構造形成過程のモデリングを試みた。
- 3) 原形質を効率よく流動させることに寄与する生化学振動子のリズム調整に関する自律分散制御則と、原形質の流動状況によって周辺部のステイフネスを自発的に変更する自律分散制御則の 2 つをアメーバ様ロボットに実装した。そしてこれら 2 つの自律分散制御則の時間スケールを変えてシミュレーションを行い、適応メ

カニズムの多重時間スケール性のあるべき描像を考察した。具体的には、アメーバ様ロボットを狭窄空間に突入させ、周辺部のステイフネス変更の時定数を変化させ、力学場に応じた構造形成や運動パターンの生成を再現できるかを確認した。

4. 研究成果

原形質流動によって駆動する真正粘菌変形体に着想を得て、図 2 に示すようなアメーバ様ロボットを用いて考察を行った。同図に示すようにこのロボットは、放射状に配置された複数のシリンダの伸縮によって内部に封入された空気（原形質に相当）が移動し、原型質量が保存されるように設計されている。

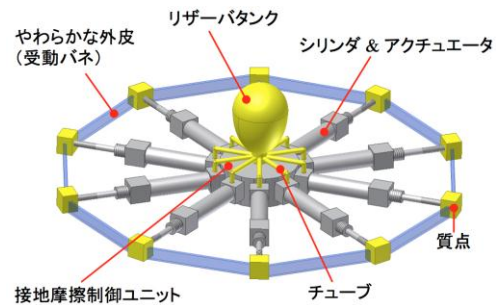


図 2：アメーバ様ロボットの構造

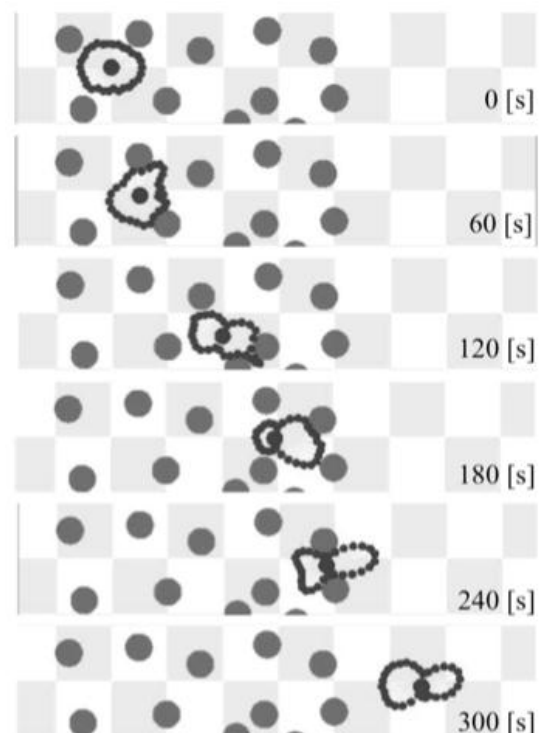


図 3：狭窄空間走破のシミュレーション結果
各シリンダは、実時間弾性要素 (real-time tunable spring) と呼ばれる、自然長を実時

間で変更可能なバネによって伸縮量が制御される。この制御は、申請者らが真正粘菌変形体から抽出した自律分散制御則によって制御されている。

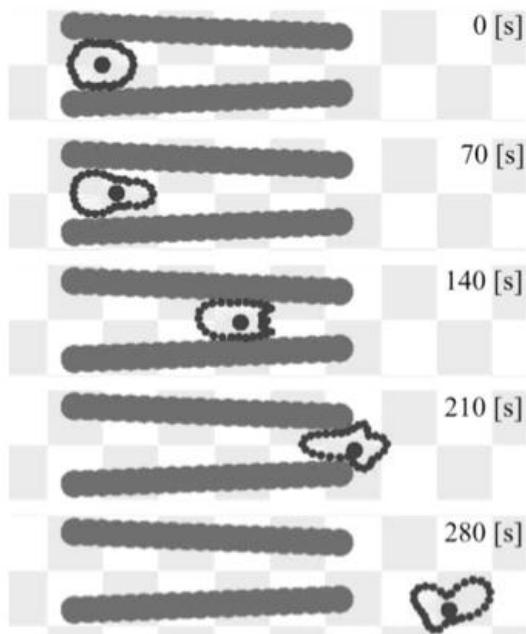


図4：別の狭窄空間環境における突入実験のシミュレーション結果

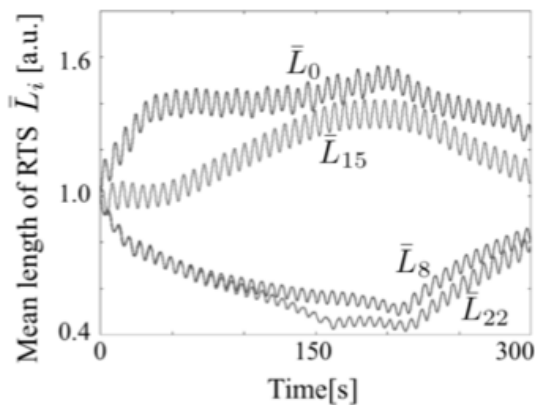


図5：実時間弾性要素の自然長の時間発展

本研究ではさらに、適応メカニズムの多重時間スケール性を考察するために、各シリンダに実装された実時間弾性要素にかかる負荷に応じてその平均自然長を無理な負荷がかからないように時間発展させるという自律分散制御則を新たに実装した。その結果、図3に示すように、狭窄空間を柔軟に走破できる適応能力が発現することが明らかとなった。別の狭窄空間存在環境の突入実験（図4）、実時間弾性要素の自然長がどのように

時間発展するかを考察したシミュレーション結果を図5に示す。0番と15番は進行方向側に、8番と22番は進行方向の左右側に位置する実時間弾性要素を示している。同図から、狭窄空間を深く突入するにつれて、進行方向の左右側に位置する実時間弾性要素の徐々に自然長が短くなる一方で、前後方向に位置する実時間弾性要素の自然長が長くなることで、原形質を前後に効果的に流動できるように構造へと自発的に発展していることが見て取れる。

さらに興味深いことは、振動子の位相修正に関する適応メカニズムの時定数と平均自然長の改変に関する適応メカニズムの時定数が異なる場合にもっとも優れたパフォーマンスが発現するという事実である。これはまさに生物制御の多重時間スケール性を強く示唆する結果であり、きわめて重要な知見である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計0件）

〔学会発表〕（計6件）

1. 出井遼, 梅舘拓也, 伊藤賢太郎, 小林亮, 石黒章夫, 仮足を出し入れして環境に適応する超軟性アメーバ様ロボット, 第25回自律分散システム・シンポジウム, 平成25年1月26日, 仙台
2. 出井遼, 梅舘拓也, 伊藤賢太郎, 石黒章夫, 真正粘菌変形体に着想を得た多様な振る舞いを示す静水力学的骨格ロボットの实機実現, 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2012), 平成24年12月18日, 福岡
3. 出井遼, 梅舘拓也, 伊藤賢太郎, 石黒章夫, 質的に異なる振る舞いを状況依存的に発現可能なアメーバ様ロボットの自律分散制御, 第30回日本ロボット学会学術講演会, 平成24年9月17日, 札幌

4. Takuya Umedachi, Ryo Idei, Akio Ishiguro, A
True-Slime-Molde-Inspired
Fluid-Filled Robot Exhibiting
Versatile Behavior, First
International Conference, Living
Machine 2012, 12 July, 2012, Barcelona
5. 出井遼, 梅舘拓也, 伊藤賢太郎, 石黒章夫, 真正粘菌変形体に着想を得た多様な振る舞いを示す大自由度モジュラーロボット, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2012), 平成24年5月29日, 浜松
6. 出井遼, 梅舘拓也, 石黒章夫, 多様な時空間振動パターンを創発する真正粘菌様ロボットの実機実現, 第24回自律分散システム・シンポジウム, 平成24年1月28日, 札幌

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

石黒 章夫 (ISHIGURO AKIO)
東北大学・電気通信研究所・教授
研究者番号 : 90232280

(2)研究分担者

()

研究者番号 :

(3)連携研究者

梅舘 拓也 (UMEDACHI TAKUYA)
東北大学・工学研究科・産学連携研究員
研究者番号 : 60582541