

小林 亮

広島大学大学院理学研究科
教授

環境を友とする制御法の創成

§ 1. 研究実施体制

(1)「小林」グループ

- ① 研究代表者:小林 亮 (広島大学理学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・コウモリのエコーロケーション、および飛行経路決定の数理的研究
 - ・ムカデの 3 次元モデルの構築と、不規則面上での歩容の再現
 - ・真正粘菌変形体における快・不快のコーディングについての研究
 - ・触角による空間認知と行動決定

(2)「石黒」グループ

- ① 主たる共同研究者:石黒 章夫 (東北大学電気通信研究所 教授)
- ② 研究項目
 - ・高速四脚ロコモーションを発現する脚間協調メカニズムの考察
 - ・環境に応じて多様な運動パターンを発現可能なヘビ型ロボットの自律分散制御
 - ・多足類に内在する脚間協調メカニズムの数理モデルの再考
 - ・フナムシなどの等脚目が示す特異な歩容遷移現象の考察
 - ・ウツボやゴカイなどが示す遊泳行動に内在する胴体・肢間の協調メカニズムの考察
 - ・昆虫が示す6脚ロコモーションに内在する脚内・脚間協調メカニズムの再考
 - ・手応え制御に基づくクモヒトデの腕内・腕間協調メカニズムの有機的連関

(3)「青沼」グループ

- ① 主たる共同研究者:青沼 仁志 (北海道大学電子科学研究所 准教授)
- ② 研究項目

- ・X 線マイクロ CT を用いた節足動物の筋骨格系の無破壊イメージングによる詳細な構造解析
- ・昆虫のチープな身体構造から適応的な運動が生まれるカラクリについての実験的解析
- ・昆虫の外骨格の弾性変形を使った運動の制御機構の解析
- ・昆虫や多足類および棘皮動物などの適応的なロコモーション生成の基盤となる神経生理機構についての実験的解析
- ・経験や学習に基づいて状況に応じた行動を発現する神経生理機構についての実験的解析

(4)「大須賀」グループ

- ① 主たる共同研究者:大須賀 公一 (大阪大学大学院工学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・アクチュエータに内在する力学特性が引き起こす, 多様な運動パターンの発現
i-CentiPot の商品化
 - ・陰的制御構造を同定するための閉ループ同定に関する考察
 - ・ヘビとスナヘビは何が違うか: 環境に応じた蛇行ロコモーションの考察
 - ・物理パラメータ変化による環境に適応した運動の発現

§ 2. 研究実施の概要

「本質的に予測不可能に変化する環境の中を生き物のようにしなやかに動き回ることができる、実時間環境適応能力をもった人工物はどうすれば造れるのか？」本プロジェクトは、このまだ解かれていない問題への挑戦である。進化の結果として動物たちは、高等下等を問わず、その能力を持っている。そこで我々は動物たちに学ぶことにより、制御の視座から次の3つの基本コンセプトを提案した。

- (1) 手応え制御: 環境との相互作用をリアルタイムに評価しながら、利用できるものは積極的に利用する。
- (2) 陰陽制御: 陽的制御(明示的な制御則)と陰的制御(身体と環境のダイナミクスから表出する制御則)の適切な結合により、環境適応的な制御を実現する。
- (3) 階層制御: 自律分散制御と中枢制御が適切に組み合わせられていて、大自由度を持つ身体を無理なくリアルタイムで制御できる。

我々はこれらを統合した制御方策を「環境を友とする制御法」と名付け、その創成を通して動物のように複雑な環境の中をしなやかに動き回ることのできるロボットを創ることを目指している。

本年度の大きな成果として、クモヒトデ型ロボット PENTABOT の開発がある。クモヒトデは棘皮動物の一種であり、脳を持たない動物である。危機に際し自分の腕を切ることで(自切)、難を逃れるのであるが、その結果として様々なパターンで腕の欠けた状態に陥ることになる。驚くべきことに、彼らはどのような腕の欠けた状況に際しても、おそらく最適と思われる歩き方をする。このような究極の耐故障性は、どのように実現されているのだろうか。我々は「手応え」という概念を導入することによってこの問題を解決した。「手応え」とはまず運動を行なって(考える前にまず動く点が従来のロボット制御と大きく異なる点である)、その結果が「運動の意図」とどれだけフィットしているかを定量化したものである。この「手応え」を PENTABOT の制御則に組み込むことで、クモヒトデの驚異的な故障対応能力をほぼ完全に再現することができた。



PENTABOT

コウモリのエコーロケーションの研究では、環境の部分情報(それも極めて少ない)をもとに飛行経路を設計する方法を開発した。同様に、触角から得られる環境の部分情報をもとに非常にタフな運動を生成できることをムカデのモデルにおいて示した。X線マイクロCTを用いた研究では、ムカデの外骨格と筋肉の詳細を明らかにし、アギトアリの脅威的な顎の高速運動の仕組みを解明した。また工学サイドでは、アクチュエータの「弱さ」(負荷に対応して運動速度が低下する)をそのまま受け入れることによって(従来の工学的アプローチでは「弱さ」は「悪」であり、補償されるべきものであった)、様々な運動パターンを自律的に生成することに成功した。これは前CRESTでの「齧歯関数」の再発見とも言え、本プロジェクトでの極めて重要な知見となっている。最後に、i-CentiPotをベースとした「ムカデロボット工作セット」がタミヤから2018年7月に発売されることとなった。このロ

ロボットには「陰的制御」という概念が凝縮されているので、興味のある方はぜひお買い求め頂きたい。

代表的な論文

T. Kano, E. Sato, T. Ono, H. Aonuma, Y. Matsuzaka, and A. Ishiguro, “A Brittle Star-like Robot Capable of Immediately Adapting to Physical Damage”, Royal Society Open Science, Vol.4, No.2, DOI: 10.1098/rsos.171200 (2017)