

# 論文審査の結果の要旨

氏名 峠隆広

本論文は「モジュラーロボットのための構造探索に関する研究」と題し、8章からなり、モジュラーロボット構造の効率的な表現方法と探索手法を提案し、シミュレーション結果と実機による実験結果に基づき提案手法の有用性を検証している。

第1章は序論であり、モジュラーロボット研究の概要、未知の環境で活動するという目的に対してどこまでの機能が実現されているかについて述べられている。

第2章では従来研究におけるモジュラーロボットの構造探索の中で本論文の位置づけを明らかにしている。これまでロボット工学におけるモジュラーロボットでは、既存の有用な構造を再現するために人間が構造を決めていた。一度構造が定まってしまうと学習や進化等の方法を使うことによって動作を最適化させることができるが、本論文では構造をプログラムにより決定し、決められた動作の中でどこまで性能を向上させることができるかという点に研究の主題が置かれている。

第3章ではロボット構造の表現方法について述べられている。実験に用いるモジュラーロボットのモジュールは立方体を基本構造としているため、これらから構成されるロボットの形状はポリキューブとして近似できる。ポリキューブ型はモジュラーロボットの中でも主要な位置を占めているため、ロボットの構造のみを考えた場合モジュラーロボットの構造表現問題はいかにしてポリキューブを表現するかという問題に帰着できる。本章ではセルオートマトンと3次元タイルという2つの手法を提案している。どちらの表現方法も成長ルールをもとにした間接型表現であるため、実機での仕様や干渉回避のための制限を容易に取り込むことが可能となっている。

第4章ではロボット構造の探索手法について述べられている。前章で述べた表現はどちらもプログラム上では固定長の文字列であり、ひとつの文字列がひとつの個体に相当している。しかし同じポリキューブを表現する文字列は複数存在するため、表現にはある程度の冗長性がある。このようなパラメータの集合を効率良く探索するため遺伝的アルゴリズムを用いている。しかし実装の上では個体の評価時間がボトルネックとなり、遺伝的アルゴリズムに必要な十分な個体数を割り当てることができず探索が粗くなってしまいう傾向がある。そのため遺伝的アルゴリズムに局所探索を融合した **Memetic Algorithm** によってさらなる探索の効率化を実現している。

第5章では実機のモジュラーロボット **ROBOCUBE** を対象にした実験について議論され、提案手法の有効性が示されている。ロボットの目標は平面上での移動という基本動作に始まり、階段、亀裂といった障害を乗り越えるという探索に重要な運動能力を獲得することである。これらの環境下で通常の **ROBOCUBE** よりも性能が良い個体が発見できることが示されている。

第6章では別種のモジュラーロボット、**SUPERBOT** を対象に本手法を適用した実験

が示されている。SUPERBOT は ROBOCUBE とは関節構造が異なっているが、ポリキューブからロボットへの変換手順を SUPERBOT 用に修正することでそのまま提案手法の適用が可能である。実機での検証ができないという制限があるものの、8個のモジュールを使用するという条件では、既存の構造の性能を上回るものが発見できることが確認されている。これにより一般的なモジュラーロボットに対しても提案手法が有効であることが示されている。

第7章では第5章、第6章で獲得された構造について、表現型、遺伝子型、モジュール数の変化について議論されている。平面上の移動では ROBOCUBE の通常の車輪を用いた移動、最小構成による移動の性能を上回る個体が獲得され、その構造は人間が想像し難い特異なものである。また段差、亀裂という環境は ROBOCUBE の車輪移動、最小構成では全く進むことのできない環境であり、人間が設計することも難しい問題であるが、どちらの実験でも探索が有効に働き与えられた障害を確実に乗り越える構造が獲得されている。歩行を対象にしたモジュール数の影響を調べる実験では、その最大モジュール数により最適な構造が大きく変わることが示されている。これにより、この問題は単純にモジュールを付け足していだけで解決できるような容易な問題ではなく、探索が困難な問題であることが示されている。

第8章においては本論文のまとめと今後の展望が述べられている。

以上これを要するに本論文は、モジュラーロボット構造の効率的な表現方法と探索手法を提案し、そのアルゴリズムを複数の環境、複数のロボットに適用して有用性を実験的に実証したものであり、情報学の基盤の発展に貢献するところが少なくない。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。