

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760201

研究課題名(和文)形状・剛性の自律適応機能を有する触覚応答型柔軟被覆材料の研究開発

研究課題名(英文)Development of a robotic covering mechanism autonomously adapting its shape and stiffness based on tactile response

研究代表者

鈴木 陽介 (Suzuki, Yosuke)

電気通信大学・情報理工学(系)研究科・助教

研究者番号：20582331

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、ロボットハンド指先部等を実装でき、接触しようとする物体に対して自律的かつ適応的に形状・剛性を変化させる機能を有する被覆機構の研究開発を目的とした。すなわち、物体との接触により生じる圧力等を感じ取る素子を複数配置するとともに、その反応分布に応じて素子間に配置されたアクチュエータを駆動する仕組みを形成することによって、CPU等による制御を必要としないなじみ機構である。モジュラー構造として全体を設計し、各モジュール内には外界の認識とモジュール間の情報伝達を同一のセンサで実行し、これをアナログ回路のみによって統合処理することで動作決定を行う手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to develop a mechanism which covers robotic surfaces, e.g. robotic hands, with a function to change its shape and stiffness autonomously and adaptively to an object being to contact. The mechanism consists of multiple sensing elements to detect contact state with the object and multiple actuators to transform the configuration of the mechanism. By introducing a method for generating the transformation according to the output distribution of the sensor elements, the mechanism fits to the object without a control unit such as CPU. We designed the mechanism in a framework of modular robots. We proposed a method that each module has the same sensors for detecting its surrounding condition and for communicating with the neighboring modules, and that the module can determine the next motion based on integrated processing the information with only using an analog computation circuit.

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：モジュラーロボット 適応変形 ソフトメカニクス

### 1. 研究開始当初の背景

従来の産業用ロボット分野では、特定の製品を製造することに特化することによって効率のよい生産を実現してきた。しかし、現代は製造現場で扱う部品の多様化やセル生産方式が進んでおり、生産ラインの自動化、高効率化のためには、部品の形状や材質に対してロバストなロボットが求められている。また、ホームサービスロボット分野では、片付け等の家事やドアの開閉のように人間のために作られた道具を扱う必要がある。このような背景を受け、形状や剛性が未知の対象物もハンドリング可能なロボットの研究開発が数多く行われていた。

未知対象物の把持という問題に対しては、列駆動システムや柔軟素材を用いた機構知による解決方法が多い。すなわち、ロボットハンドの全体または一部に柔軟性を設けることで、把持対象物の破壊を抑止するものである。しかし、剛性の低さは把持時の位置・姿勢の精度低下をもたらすという欠点があった。

### 2. 研究の目的

本研究課題は、ロボットハンド指先部等に実装でき、その形状と剛性を接触物体に合わせて自律的に変化させる機能を有する被膜材の研究開発を目的とした。本被膜材の特徴は、物体との接触点近傍において応力に応じた収縮力を発生するアクチュエータと、圧力センサとしての感圧導電性ゴムを用い、対象物との接触領域外縁部が隆起して物体との接触面積を増大させるとともに、応力集中部ほど高い剛性を有することである。すなわち、接触物体の形状になじむような変形が、機構自体が必要な剛性を維持したまま、外部制御装置なしで実現できるものである。

提案する機能性被覆材は、触覚センサを内包する自律機構によってモジュラーロボットの適応変形制御則を機構的に再現することで、接触物体になじむような変形を生成する。これは未知対象物の把持という問題に対し新たな解決方法を与えるものである。従来の柔軟なグリッパに比べ、提案する機構には変形部分が少ないため応答性に優れる。また、外部の制御装置を必要としないという利点がある。

### 3. 研究の方法

本研究課題における第一段階の目的は、シンプルかつ多自由度の自律変形機構の設計とした。外界センサとアクチュエータを多数配置し、それぞれの出力の相関がシステム全体としての動作収束性を有するような枠組みをもつようにする必要がある。第二段階の目的は、上記の収束性が制御装置なしで実現されるための回路構造の設計とした。これには生物に似た動作の創発を行うように自律分散システムをデザインすることにより実現することを試みた。

### 4. 研究成果

本機構においては所望の特性を有する検出素子およびアクチュエータの発見と選定が課題となった。はじめに、マトリクス状に配置した感圧導電性ゴムのユニット間を形状記憶合金を原料とした繊維状アクチュエータで結合し、隣接素子間の反応量差に応じて伸縮による構造変形機構を提案・設計した。この機構は薄型柔軟であることが利点とされたが、素子感度や機構の変形力の不足などから望ましい動作を得ることが困難であった。

そこで構造全体を多関節リンク機構として形成し、各節には検出素子として反射型フォトセンサを配置する構成とした。各節のフォトセンサの反応量の情報は、センシング同様に発光の強弱によって隣接する節へと送られる。このとき各関節に配置されたアクチュエータは、隣接する節同士のフォトセンサの反応量差から駆動量を決定される。これらの演算は全てアナログ回路で実現する仕組みを提案した。本提案は、自律変形機能を有するモジュラーロボットシステムの制御方式において、通信を含む内界センシングと環境認識を行う外界センシングをアナログ回路のみで統合的に処理することで、多自由度のロボットが外部環境への適応を行うための連鎖的動作を自発的な仕組みで実現するものである。

この仕組みは自律分散型モジュラーロボットの適応変形手法としての適用できる。モジュラーロボットがその全体構造を外部環境に適応させるためには、通常、各モジュールに外界センサを搭載し、無線通信等によってセンサ出力の分布情報を収集し、マイコン等の演算装置によって出力分布における特徴点を求め、必要に応じてこれを解消するためのモジュール動作を実行することを行う。このとき、分散的な枠組みにおいては、各モジュールが収集する情報を一定の限られた範囲に制限する。これはシステムに拡張性をもたせるためである。これによりシステムを構成するモジュールの台数が増加したとしても、各モジュールが処理すべき情報量が一定となるため、システムを拡張しても問題なく動作することを保証することができる。しかしながら、分散的な情報処理のみでシステムがなす構造全体の目的を維持したまま局所的な適応変形を行うことは難しかった。すなわち、構造内で適応変形が必要な個所から遠く離れたモジュールはその変形の必要性を認識できないことが要因で、構造変形の過程がデッドロックに陥る可能性が存在した。

この問題に対して、提案手法では我々が研究を進めている“ネット状近接覚センサ”の検出手法を応用することで解決している。ネット状近接覚センサでは、ロボット表面の広い領域を覆う多数のフォトセンサの出力を、網目状に配置した抵抗器で繋ぐアナログ演算回路によって統合することで、CPUを用い

ず出力分布重心等の情報を電圧値として抽出できる。我々の過去の研究において、この抵抗回路網をモジュール構造に分解できることが示されており、各モジュール内での演算結果が隣接モジュールの演算に影響を与えるように設計することで、システム全体の出力分布の影響が連鎖的に全てのモジュールに発生する仕組みを提案した。具体的には、各モジュールは外界センシングを行うフォトセンサと、隣接モジュールに向けて配置したフォトセンサを同一のネット状近接覚センサ回路内に統合し、その出力に応じて隣接モジュールへ向けて発する光の強度をコントロールする。すなわち、モジュール内部では電氣的、モジュール間は光学的な手法を用いることでネット状近接覚センサを構成する仕組みである。

提案した手法の動作を検証するための試作機として、一次元鎖状モジュラーロボットを作成した。図 1 に基礎実験の様子を示す。各モジュールには DC モータ、LED、フォトトランジスタ、バッテリーおよびオペアンプ等のアナログ回路素子を搭載しているが、マイコンは搭載していない。信号発生回路を用いて発生させた LED の周期的な発光によって、隣接するモジュールが DC モータを CW、CCW の順で駆動することが確認できた。また、同様のモジュールを 3 台連結させることで、蛇型ロボットのような前進動作が可能であることが確認できた。本試作機の側面には、外界センシングのためのフォトセンサも搭載しており、その出力分布の偏りに応じて周期運動の中心位置をシフトすることによって、外部の障害物を避けて移動する動作を発現することを試みている。

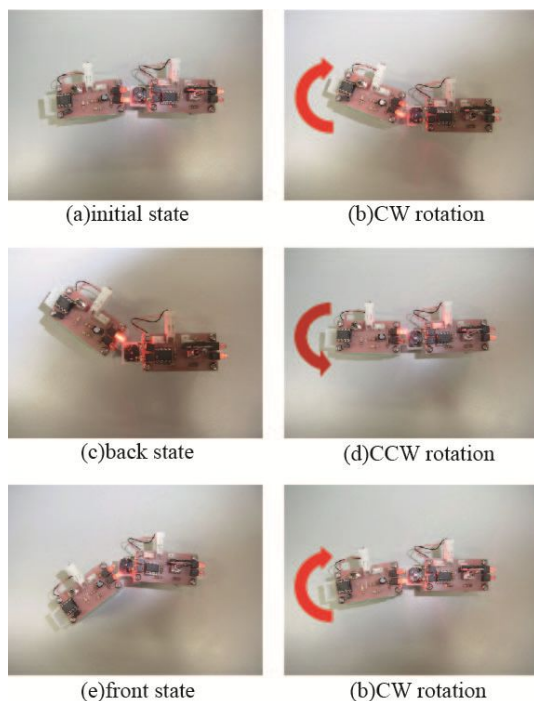


図 1 一次元鎖状モジュラーロボットの試作機による動作実験の様子

一方、ロボットハンド等の表面に実装することを目標として、二次元平面に構成されるモジュラーロボットにおける動作生成手法の開発に取り組んだ。正方形のモジュールが格子状に連結して構成されるシステムに対して、同様の動作生成手法を適用した。各モジュールには外界センシングのためのフォトセンサ 4 個を法線方向に向けて配置するとともに、8 近傍のモジュールに向けてそれぞれ対向するように 8 個のフォトセンサを配置することで、計 12 個のフォトセンサ出力を統合してモジュールの行動決定を行うアルゴリズムを考案した。本アルゴリズムでは、主として外界センサの出力に基づいて決定される各モジュールの状態適合度と、その適合度の平面内での勾配から決定される移動のモチベーション方向を導出する。状態適合度が低いモジュールほど高い移動優先度をもつようになり、その移動方向はモチベーション方向により与えられる。

本アルゴリズムの有用性をシミュレーションにて検証した。モジュール機構のモデルは二次元格子状スライド移動型モジュラーロボットとした。シミュレーション結果の一例を図 2 に示す。適応すべき外界の対象物体（図中白丸）の直下にあるモジュールは状態適合度が高く、離れるにつれて適合度が低くなることを確認され、さらに、モチベーション方向に基づいて実行されるモジュールごとのスライド移動の結果、対象物体の形状に倣うようにシステムの全体形状が変化していくことが確認できた。なお、変形機構についてはスライド移動では変形過程が多くなることから、伸長や屈曲による変形機構等、他の変形機構も考慮し、よりスムーズな適応変形を実現できるようにすることが今後の課題である。

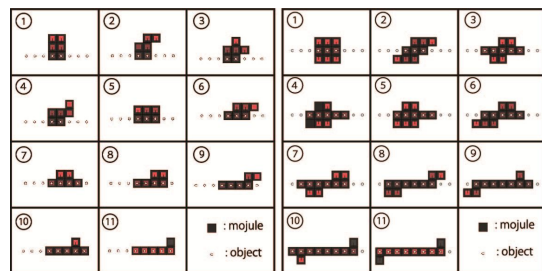


図 2 二次元格子状モジュラーロボットによる変形アルゴリズムのシミュレーション

### 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 3 件)

望月康平, 鈴木陽介, 明愛国, 下条誠:  
光を用いて動作生成を行うモジュラーロ

ロボットシステムの開発 光の伝搬による連鎖行動生成手法の提案 ; 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 ' 14, 1A1-W06 (2014年5月26日, 富山)  
米田将允, 鈴木陽介, 明愛国, 下条誠: 光学式近接覚センサ情報を用いた自律分散型モジュラーロボットの行動規範; 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 ' 14, 1A1-W05 (2014年5月26日, 富山)  
望月康平, 鈴木陽介, 明愛国, 下条誠: 近接センサを用いて適応変形を行うモジュラーロボットシステムの開発; 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 ' 13, 2A1-N08 (2013年5月24日, つくば)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鈴木 陽介 (SUZUKI YOSUKE)  
電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教  
研究者番号: 20582331

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし