

## 科学研究費補助金研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：12612  
 研究種目：研究活動スタート支援  
 研究期間：2010～2011  
 課題番号：22860025  
 研究課題名(和文) 運動と制御に係る機能を同一の仕組みで実現するモジュラーロボットシステムの研究開発  
 研究課題名(英文) Development of modular robot system generating locomotion and control function in an identical structure  
 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

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、運動と制御に係る機能を同一の仕組みで実現するモジュラーロボットシステムの開発を目的とし、単純機構によるモジュールが結合時に有意な機能を発現し得るシステムに関する検討と機構設計を行った。また、研究代表者らが従来取り組んできた、マトリクス状の多数のセンサ情報をアナログ演算に処理する回路網を形成する手法を、モジュラーロボットが結合時に形成する情報処理回路に対して応用する方法について提案と検討を行った。

研究成果の概要(英文)：This research aimed to develop a modular robot system generating locomotion and control function in an identical structure, mainly focusing on the design of the module having simple mechanism for constructing a system realizing a series of effective functions. Furthermore, the design of sensor circuit formable by connection of the modules was also discussed with applying a net-structure sensor network circuit we have developed for information processing of multiple sensor elements.

交付決定額

(金額単位：円)

|         | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2010 年度 | 1,130,000 | 339,000 | 1,469,000 |
| 2011 年度 | 1,160,000 | 348,000 | 1,508,000 |
| 年度      |           |         |           |
| 年度      |           |         |           |
| 年度      |           |         |           |
| 総計      | 2,290,000 | 687,000 | 2,977,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：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、自律分散システム、モジュール化

## 1. 研究開始当初の背景

モジュラーロボットの研究開発における主要な課題として、製造コスト・小型化の限

界があった。従来提案されていたモジュールの機構設計のほとんどが一台のモジュールにセンサ、制御回路、アクチュエータなど多

くの部品を搭載する機構であったためである。そのため、製造コストの問題から大量生産が困難であり、最も多いものでも100台のモジュールからなるシステムしか実機では実現されておらず、また、モジュールのサイズに関しては、モータなどの要素部品寸法がボトルネックとなっていた。

モジュラーロボットの実用性の向上の観点から、各モジュールの機能を単純化し、結合したときにシステム全体として機能が発現されるような機構・制御アルゴリズムが望ましいと考えた。

## 2. 研究の目的

本研究課題は、運動と制御に係る機能を同一の仕組みで実現するモジュラーロボットシステムの研究開発を目的とした。運動と制御に係る機能を同一の枠組みで自己形成するモジュラーロボットを実現するためには、エネルギー変換素子または演算素子のみを組み込んだ単純構造のモジュールを組み合わせるだけで全体動作が生成でき、また、その結合状態の組み合わせにより全体動作を変化させられるようにするのが望ましい。そこで、各モジュールとして特定のアクチュエータや演算素子のみを配置したものを複数種類製作し、これらが連結構造を形成した際に、ロボットの構成自体がシステムの制御回路として機能する仕組みを採用することで、モジュラーロボット全体としての運動・制御機能を発現するシステムとする。

本システムで用いるモジュールの機構は、従来のモジュラーロボットシステムの構造をより細かくモジュール化するものである。これにより、モジュール一個一個の機能をごく単純なものとし、その結合のしかた次第で様々な運動・制御機能を形成する。これは、従来のモジュラーロボットよりも高次に細分化、単純化が可能であるため、従来では問題となっていたモジュールの高コスト化や、要素部品のサイズがボトルネックとなっていた小型化の限界を解決できる手法と考えられる。

## 3. 研究の方法

まず、運動生成用モジュールとして、ロボットシステムの基本的な運動機能を発現するための素子を組み込んだモジュールの開発を目的とした。ここでは圧電効果、電磁誘導などの基礎的な物理現象によって直動・回転の機械的運動を生成する素子を組み込むことで、小型・軽量・省部品のモジュール設計を試みた。次に、回路形成用モジュールとして、ロボットシステム内のエネルギー伝達の流れを制御するための素子を組み込んだモジュールを開発することを目的とした。各モジュールには入出力端子と演算素子からなるローカルな回路を実装し、その組み合わせ次第で多種多様のグローバルな演算回路網が形成可能となるようモジュール設計を検討した。

さらに、モジュールが結合時に回路形成を行うという点について、研究代表者らが別個の研究として開発を進めてきたネット状センサ回路網を応用できる可能性に思い至ったため、これについて詳細な検討を進めた。ネット状センサ回路網とは、多数のセンサ素子から得られる多量の情報の中から特定の情報のみを抽出することを可能とするものであり、その構成は、マトリクス状に配置されたセンサ素子群を抵抗器で網目状に接続したネットワーク回路の端部電圧のみを出力として取得するものである。モジュラーロボットシステムにおいては、個々のモジュールに搭載されたセンサ情報を基に、いかにしてシステム全体としての行動を決定するかという点が制御面での課題となるが、ネット状センサ回路の仕組みを応用し、モジュール同士が結合した際に情報処理ネットワークを形成することが可能であれば、各モジュールは自身に搭載したセンサの情報を隣接するモジュールにのみ伝達するだけで末端部のモジュールがシステムとして取るべき行動を決定できると予想される。

以上のような回路構成が可能であるかについて、ネット状センサ回路のモジュール化

方法についての検討を行った。

#### 4. 研究成果

ロボットの基本的な運動機能を生成するモジュールとして、プッシュソレノイドによる直動およびロータリーソレノイドによる回転のアクチュエータを搭載した機構と、モジュール間の連結機構についての設計を行った。また、モジュール間の電気的接続によるインターモジュールネットワーク構成について、回路シミュレーションソフトを利用した検証を行い、モジュールの連結順序や組み合わせ次第で多種多様な回路構成が可能となるような方式についての考察を進めた。一方で、新たに考案した方法として、空気圧機器を利用することで運動生成とネットワーク形成を同時に実現する方式を着想し、その実現可能性を検証するための基礎実験装置として、電気信号により空気圧を微調整可能な電空レギュレータ等を用いた空気圧制御回路を製作した。

各モジュールに搭載すべきセンサの種類と、モジュール同士が結合したときに生じるモジュール群のセンサ出力分布をモジュラーロボット全体としての動作に結び付ける手法について検討を行い、研究代表者が従来からの研究において、各モジュールにひずみセンサを搭載してモジュール群の応力分布情報を取得し、各モジュールの行動ルールを周囲のモジュールとの応力差に応じて変化させる手法が有効であることを示した。

また、現在研究代表者が所属している研究室が有する技術として、光電式フォトセンサや感圧センサなどの素子をマトリクス状の抵抗ネットワーク内に接続することで、多数のセンサからなる情報をアナログ回路上で統合する高速処理手法がある。この技術はモジュラーロボットに対しても有効であり、モジュール群が結合した際に構造を成すとともにセンサ情報をアナログ処理する回路を形成するような設計によって、各モジュールのシンプルさを保ちつつ、モジュラーロボット全体としては外部環境に対する高速な応

答が可能なシステムが構築できることを提案した (図 1 参照)。

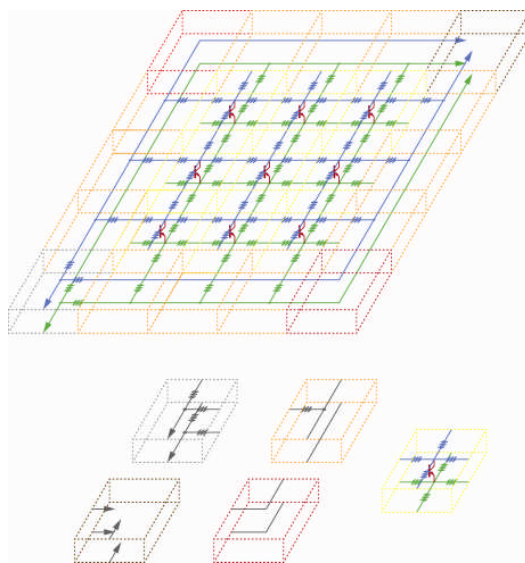


図 1 5種類のモジュールに分割されたネット状センサ回路例の模式図

ネット状センサ回路のモジュール化の試作機の例として、図 2 に一次的に配置したフォトフレクタ群と各 1 個ずつの抵抗器をひとつの検出モジュールとしたネット状近接覚センサ回路を示す。この回路では検出モジュールの配置が入れ替わったり、検出モジュールの個数が増減したりした場合でも同一の方式で機能する。また、検出モジュール間距離を意図的に変化させることで、センサ情報処理の結果として得られる出力もまた変化し、間隔が狭い場合には連続的なセンサ出力が、広い場合には段階的なセンサ出力が得られることが確認された。

したがって、これを自律変形機能を有するモジュラーロボットの部分構成として導入した場合、センサ配置及び情報処理回路網からの出力特性を、モジュラーロボット自身の変形機能によって適応的に変化させることも可能となる。

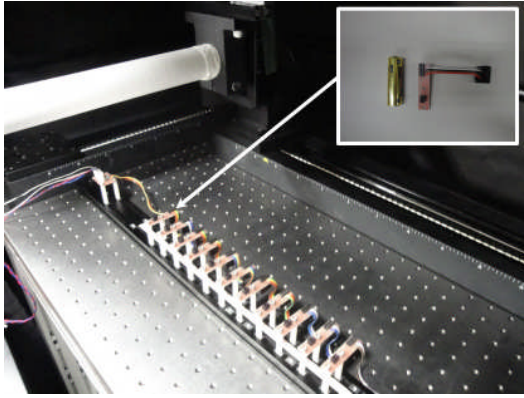


図2 一次元のネット状近接覚センサのモジュール化構成例

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

## 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 1 件)

- ① Yosuke Suzuki, Norio Inou, Hitoshi Kimura, Michihiko Koseki; Self-Reconfigurable Modular Robots Adaptively Transforming a Mechanical Structure: Algorithm for Adaptive Transformation to Load Condition, Journal of Robotics, 査読有, Volume 2011, Article ID 794251

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

なし

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 陽介 (SUZUKI YOSUKE)