

## 四足歩行ロボットのナビゲーション

### Navigation of Autonomous Quadruped Walking Robot

○大沼俊一\*, 及川一美\*, 大久保重範\*, 高橋達也\*, 村井一誠\*

○Syunichi Ohnuma\*, Kazumi Oikawa\*,  
Shigenori Okubo\*, Tatuya Takahashi\*, Issei Murai\*

\*山形大学工学部

\*Yamagata University

キーワード : SA(Subsumption Architecture), 四足歩行ロボット(Quadruped Walking Robot)

連絡先 : 〒992-8510 山形県米沢市城南4-3-16 山形大学工学部 機械システム工学科 大久保研究室大沼俊一,  
Tel.: (0238)26-3245, Fax.: (0238)26-3245, E-mail: dmr07320@dip.yz.yamagata-u.ac.jp

#### 1. はじめに

近年様々なロボットが登場し世間を賑わせているが、高性能になるにつれ複雑で高価になりやすくあまり一般的ではなくなる。そこで我々は素人が扱いやすくするために安価で小型かつセットアップコストが低くても十分に性能が発揮できるようなロボットの開発を目指している。我々は車輪型ロボットにSubsumption Architecture[1](以下SA)を適用してロボットを自律化させており、将来的にはロボットとのコミュニケーションを容易にするため、ロボットに関して全くの素人でも簡単に扱える手書き地図による教示法などを提案している。今回は車輪型で適用したSAを四足歩行ロボットに適用し自律化を行った。本稿では距離センサー、コンパス、赤外線受信モジュールを用いたセンサーシステムの製作、ロボットのソフトウェア開発方法、SAの適用、ナビゲーションの実機実験により考察した課題について述べる。

#### 2. ロボットのハードウェア

##### 2.1 ロボット本体の仕様

本研究で製作したロボットの概観をFig.1に示す。フレームは主にアルミ材で構成しており、四足歩行ロボットにはサーボモーターFP-S3003(Futaba社製)を用いて1脚につき3自由度、計12個を装備している。モータードライバにはHSWB-01(姫路ソフトウェア社製)を使用しロボットの歩行モーションを容易に作成できるようにした。メインCPUにはL-card+(LASER5社製)を用いLinuxOSを搭載している。自律化にはH8を使用したセンサーシステムを搭載している。これら全て積載してロボットのサイズは初期姿勢でおおよそ300×250×230[mm]、重量は1.76[kg]となった。ロボットの歩行には上体の不安定によるセンサーなどの誤作動を防ぎ、またそれらの積載量に耐えるいクロール歩容を選択した。

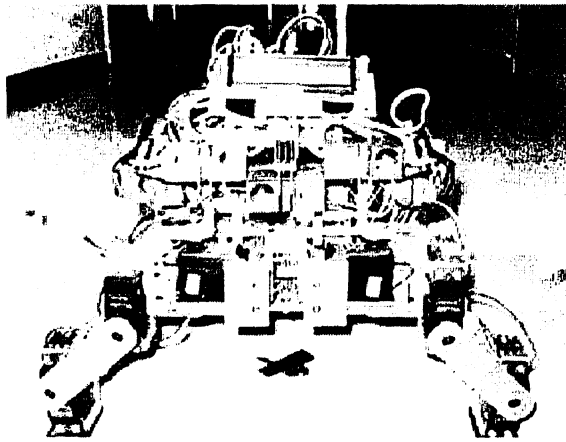


Fig. 1 Front view of robot

## 2.2 ロボットのセンサーシステム

今回ロボットに自律化させるにあたり、3種類のセンサーを搭載する。センサーの配置をFig.3に示す。障害物を回避するための距離センサーにはGP2D02 (SHARP製)を8個、図の矢印のように配置した。ランドマークの方向を知るために電子コンパスはRDCM-802(共立電子産業製)を図で□の位置に配置し、ランドマークセンサーとして赤外線リモコン受信モジュールCRVP1738を7個、△の位置に配置した。

これらのセンサー処理マイコンとしてH8-3069LANボードキットを使用をする。センサーシステムの構成をFig.2に示す。センサーシステムのメインはH8-3069LANボードキットでありメインCPUとはUDP接続している。そこでLCDによる表示とランドマークセンサーによるセンシングを行っている。今回、センサーの数が多いため更にセンサー処理マイコンが必要になった。そこでH8-3069Fマイコンボードを用意しシリアルでH8-3069LANボードキットと接続している。そこでは距離センサーと電子コンパスが接続されセンシングを行う。センサーの通信サイクルは0.34[cycle/sec]で行っている。

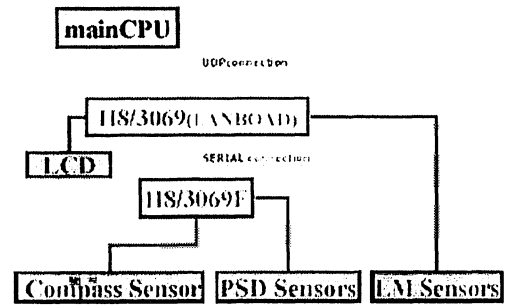


Fig. 2 Sensors of system

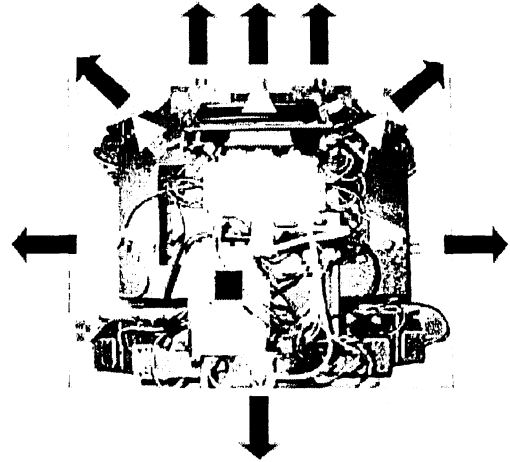


Fig. 3 Arrangement of sensors

## 3. ロボットのソフトウェア

### 3.1 ソフトウェア開発

ハードウェア仕様による様々な制約を受けることが予想される中、行動決定がシンプルな行動規範型手法を選択することにした。このことによって様々なセンサーによる入力から出力される行動を簡単に選択したい。しかし、センサーの追加によって行動のアルゴリズムが複雑になりやすく、パラメーター変更などによるソフトウェア開発に時間がかかるのはなるべく避けたいと考えている。そこで変更、追加、削除が容易な状態遷移を用いて状態を複数製作してロボットの行動を部品化したら効率がよいと思われる。そこでモジュール化した行動を最適に選択し出力する方法として非干渉型SAを使ってプログラミングを容易にしておくことにした。非干渉型SA[2]については次節で

説明する。

### 3.2 非干渉型SA

R.Brooksが提案しているSAは、ロボットが達成しなければならないタスクを機能ごとに分割し、上位層のモジュールが下位層より優先されて行動が出力される順位を持たせた階層構造である。このことで各層のモジュール間の行動の衝突問題が比較的簡単に設計できるようにしている。しかしこの型のSAは各層間には情報伝達のために絡み合うワイヤが存在し、層の修正や挿入、削除を困難になりやすい。そこで我々の研究室では非干渉型SAというシンプルな型のSAを用いて自律化の設計をしている。Fig.4に非干渉型SAの例を示す。この形のSAはワイヤがシンプルに接続されており、層が独立しているので、層の追加、削除、挿入、交換が容易になる。ロボット開発初期においては試行錯誤が行われる状態において、層が独立しているのでデバックが容易になる。

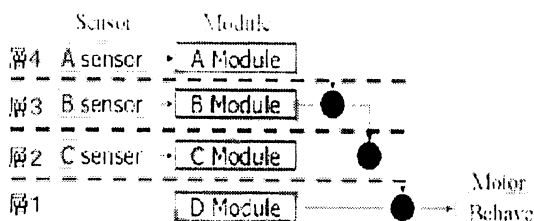


Fig. 4 SA which has independent layers

### 3.3 各センサーによるモジュール製作

3種類のセンサーを用いてそれぞれに各モジュールを用意して簡単な状態を複数個用意しモジュールを製作した。状態はセンサーの値から行動を維持するか他の最適な状態に素早く遷移できるようにシンプルな型にした。

#### 3.3.1 障害物回避モジュール

距離センサーは8個のセンサーそれぞれに測定に個体差があるため、約15[cm]まで危険領域、約30[cm]までを近距離、約50[cm]までを中距離、それ以上を遠距離とし、4段階で判断させる。Fig.5にこのモジュールの状態遷移図を示す。障害物が中距離の間なら左右方向前進で回避しており、それでも回避できない時には、左右旋回を用いる。後進は前に3個配置した距離センサーのどれかが危険領域の状態の時だけ遷移するようにしている。Fig.3で半円状に配置している距離センサーで回避する方向を判断している。

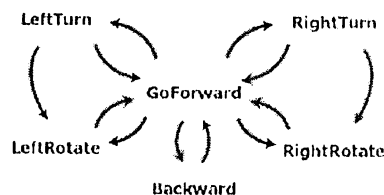


Fig. 5 State transition diagram of PSD module

#### 3.3.2 方位検知モジュール

ランドマークを特別な計算をさせずに大まかな方向を教示させるため、電子コンパスを用いた。よって方向に向いているかいないかを判断する簡単な状態を作ることができた。Fig.6にこのモジュールの状態遷移図を示す。状態には前進するか左右旋回の3個で構成している。

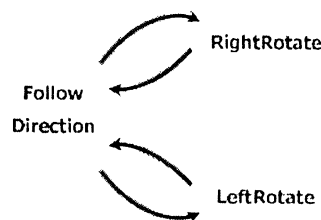


Fig. 6 State transition diagram of Compass module

### 3.3.3 ランドマークナビゲーションモジュール

今回ランドマークとして使用している赤外線LEDを用いる。これを天井に設置しFig.7にランドマークの認識範囲を示す。2種類の指向性の異なる赤外線LEDを用いることで広範囲とランドマークの真下を認識できるようにする。これらを元にランドマークナビゲーションモジュールを製作した。Fig.8にこのモジュールの状態遷移図を示す。赤外線LEDはノイズが激しく広範囲での方向認識が困難であったため、そのような状態では前進するようにしている。広範囲でランドマーク認識が可能な場合は左右方向前進を用いて接近する。真下の検知ができるようになったら左右信地旋回をするようにして真下を検知するために遷移する。どの状態で真下に到着するかわからないのですべての状態に到着状態に遷移するようにしている。またランドマークを通過してしてしまった場合は後進へ遷移する。

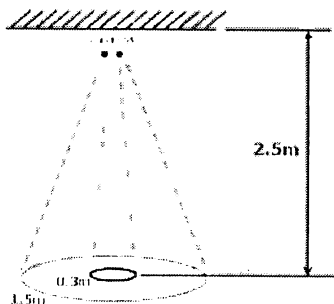


Fig. 7 Rangen of landmark

### 3.4 SAの構築

前述した3個のモジュールと前進するだけの状態を用いて4層の非干渉型SAを構築した。Fig.9にナビゲーションのSAを示す。この図は上層が優先となるように設計してある。これによって障害物回避が最上位に優先され、ランドマークを検知していない状態ではコンパスによりその方向へ進むよう

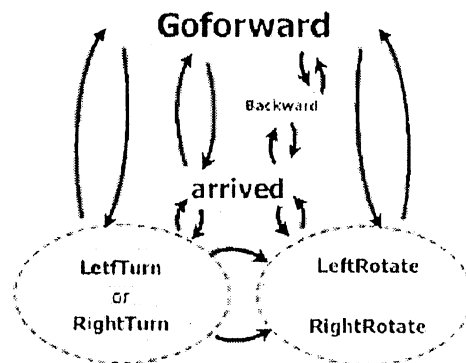


Fig. 8 State transition diagram of landmark module

になる。そして、ランドマークを検知したのなら障害物による進路の障害がない限り、ナビゲーションする構造である。

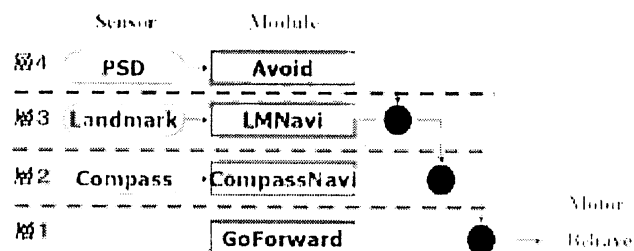


Fig. 9 Layered control system for navigation

## 4. 実験

ナビゲーションは整地で静的障害物がある通路環境としランドマークまで到達したら終了するようにする。今回は自律のテスト段階のため、有線(LAN・シリアルケーブル・電源)で実験した。コンパスで方向を変更し障害物を回避しながらランドマークまでたどり着くまで様子についてFig.10に示す。

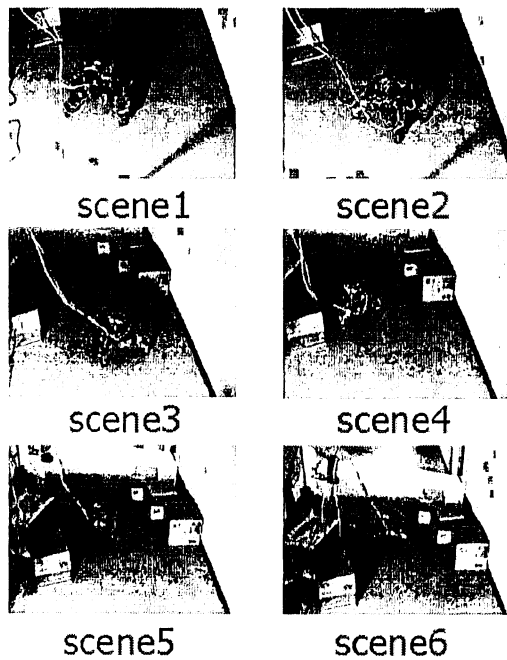


Fig. 10 Navigation experiment scenery

## 5. 考察

今回行った実験でナビゲーション自体は成功はしたが改良しなくてはいけない点がいくつかある。まだ試作段階であるのでセンサーのパラメーターの調整の必要がある。このことでロボットの無駄な動作を減らしナビゲーションがスムーズになるようにしなければならない。またランドマークの付近に障害物を配置すると障害物をよける動作とナビゲーションによる動作によるデッドロックの問題が起きた。これは非干渉型SAによる問題であるので、このような状況に陥る時は、途中で層自体を削除するなど工夫をする必要がある。

## 6. 終わりに

今回はロボットのセンサーシステムの開発,ロボットの自律化方法,各センサーによる各モジュールの製作,ナビゲーションをするためのSAの構築を行った。更に実機実験を行った。まだ四足自律ロボットは試作段階で実機実験を行った結果,様々な問題

が出てきた。これからはナビゲーションがスムーズにできるようハードウェア・ソフトウェア両面から改良を重ねていきたい。

## 参考文献

- 1) R.A.Brooks: "A Robust Layered Control System For A Mobile Robot,"IEEE Journal of Robotics and Automation, vol.RA-2,no.1,pp.14-23,1986.
- 2) 及川一美: "サブサンプリング・アーキテクチャのオブジェクト指向設計", 日本ロボット学会誌 (Vol.23 No.6 2005)