

# 行動規範型自律四足歩行ロボットの開発

大沼俊一 大久保重範 及川一美 (山形大学)

## Development of Behavior-Based Autonomous Four-Legged Walking Robot

E.S. Ohnuma, S.Ohkubo and K. Oikawa (University of Yamagata)

**Abstract** { We develop autonomous four-legged walking robot .We want to apply Event Driven Layered Control Changing System that we are proposed to this robot. This robot is applied landmark based navigation; searching a landmark detecting it and approaching it.

**Key Words:** Behavior-Based Autonomous Four-Legged Walking Robot , Subsumption Architecture , Navigation

### 1 はじめに

我々は現在,四足歩行ロボットを製作している.四足歩行ロボットの目的は赤外線ランドマークによるナビゲーションである.自律四足歩行ロボットには行動規範型手法を適用する. SAの欠点を改良したイベント駆動型階層切り替え手法 [1] を適用し, 難易度の高い様々なタスクを設ける. 本稿ではロボットの製作, 歩行実験, ナビゲーションについて述べる.

### 2 四足歩行ロボット

#### 2.1 ロボットの仕様

本研究で用いるロボットの概観と主な仕様を. Fig.1, Table.2に示す. フレームは主にアルミ材で構成しており, 四足歩行ロボットは一脚につき3個のサーボモーターを配置し, 計12個装備している. サーボモーターには専用のブラケット(市販品)を取り付け, 足を構成した. 組み立てが簡単であること, 軽量であることが多関節ロボットを製作する上で非常に便利である. サーボモーターの駆動にはHSWB-01を使用する. そして, メインCPUにはL-card+を搭載する.

#### 2.2 HSWB-01の仕様

Fig.2にHSWB-01の概観図を示す. HSWB-01は32チャンネルサーボモータ制御ボードである. 複数の模型用サーボモータを接続し容易に多関節ロボットを製作できることを目的として開発されており, 今回四足歩行ロボットを製作するにあたり, 製作及び開発時間の短縮を期待できる. HSWB-01は複数のサーボモータを同時に駆動でき, 多関節ロボットの動作パターン生成は専用の添付アプリケーションにより windows パソコンから容易に製作できる. HSWB-01には専用のコマンド, 簡易プログラムが備わっており, それらはパソコン等からRS-232Cによりシリアル通信を行うことで動作命令を出すことが可能である. そしてHSWB-01は受信した命令を解析し, 処理を行なう.

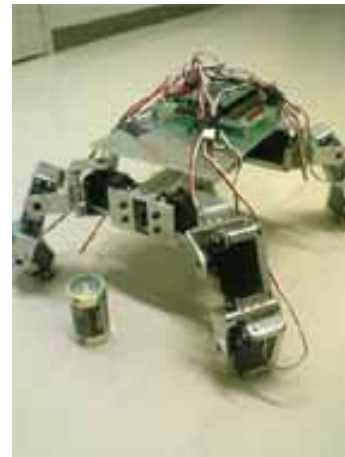


Fig. 1: General view of four-legged walking robot

Table 1: Specification of robot

モーター	FP-S3003(Futaba)×12
モーターブラケット	ServoCreation FU3003
サーボコントローラー	HSWB-01C(姫路ワークス)
主電力	スイッチング電源 7.2V 4A
サイズ	300×250×170(W×D×H[mm])

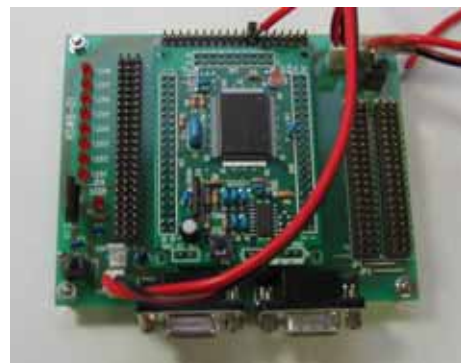


Fig. 2: General view of HSWB-01

## 2.3 L-card+の仕様

Fig.3, Table.2にL-card+の概観と主な仕様を示す。L-card+はカードサイズのLinux搭載機である。特徴としてRom, シリアルポート, メモリなどがコンパクトにまとめられていることや消費電力が少ないため, ロボットに搭載する上で便利である。また, スロットも搭載してあるので無線LANカードを搭載し, ロボットの無線化を図ることも可能である。



Fig. 3: General view of L-card+

Table 2: Specification of L-card+

CPU	NEC製Vr4181 66MHz
SDRAM	16MB
Flash ROM	16MB
シリアル	RS232C×1ch
消費電力	0.55W(最大1.5W)
サイズ	60×90mm
OS	Linux(kernel 2.4)
無線LAN	AirStation

## 3 ロボットの歩行

### 3.1 ロボットの足の自由度配置

自律四足歩行ロボットが任意の場所へ移動するために様々な歩行パターンが必要である。四足による代表的な歩行方法には, トロット・クロール・ペース・パウンス歩行などが挙げられる。このロボットは, ナビゲーションに必要な各種センサ, バッテリーなど様々な装置を搭載する予定である。したがって積載重量が増していくことを考慮する必要がある。積載重量の増加や各装置を搭載する配置バランスなどで, 重心が移動し歩行は不安定になる可能性がある。これを改善するためには, 支持脚設置面によってできる支持多角形内に重心が存在する必要がある。そこで亀やワニなど大型動物に見られる4肢を体幹の側方に張り出すようなサーボモーター配置構成を行なった。Fig.4にロボットの足の自由度配置を示す。配置は胴体から第1関節がyaw回転, 第2関節がroll回転, 第3関節がroll回転である。クロール歩行を行なう際には支持脚設置面によってできる支持多角形が広範囲になり, 重心はその範囲内に存在しやすくなるため, 安定した歩行することが可能となる。

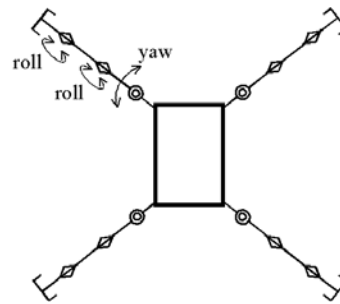


Fig. 4: Degree of freedom arrangement of leg

### 3.2 歩行方法

今回は開発段階であり, 比較的軽量であるため, 対角の2脚を同時に動作させ遊脚, 支持脚に切り替えるトロット歩行を用いる。そして前後進, 左右旋回, 左右横歩きの試作を行なった。Fig.5に前進歩行法, Fig.6に旋回歩行法, Fig.7に横歩行法について示す。これらの図で示す黒丸は支持脚, 白丸は遊脚である。各歩行パターンについてstep1からstep4が一周期となっている。これを繰り返すことにより連続した歩行になる。この四足歩行ロボットは, 足の自由度配置上の都合とサーボモーターの回転角度は $\pm 90^\circ$ であるため, 足の稼動範囲はかなり限定されるため, 地面を這わせるような足の運びになった。

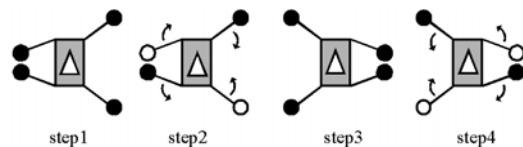


Fig. 5: Go ahead

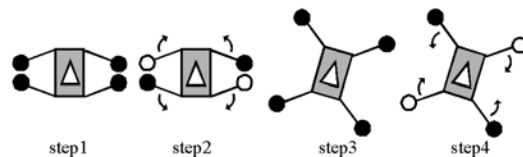


Fig. 6: Turn

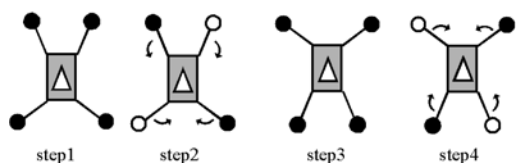


Fig. 7: walk to side

### 3.3 歩行実験

トロット歩行により製作した前進, 後進, 左右旋回, 左右横歩行を組み合わせて障害物を回避する操作を行なった。今回はHSWB-01添付アプリケーションにより直接ロボットを操作した。Fig.8に歩行実験を示す。

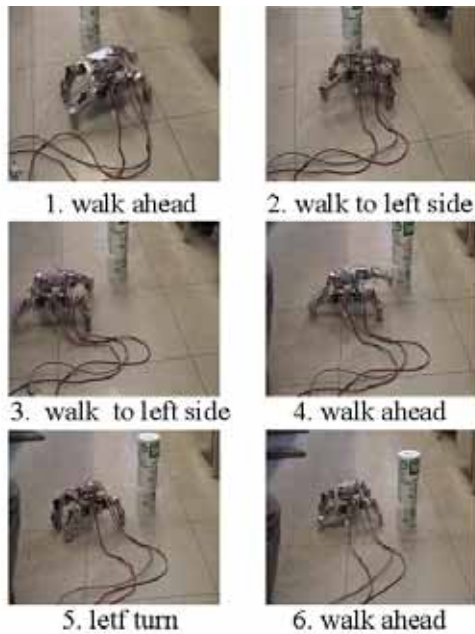


Fig. 8: Walking experiment

## 4 ロボットの自律化

### 4.1 本研究での行動規範型手法

ロボットを自律化させる際、行動規範型ではif-thenルールでアルゴリズムを構成することが多く、試行錯誤になることが多い。そのため意図した行動を取らせるためのパラメータの調整に時間を費やすことやプログラムの修正が困難になることがある。そこで本研究では知能ロボットを構築する際の処理方式としてSA(Subsumption Architecture)[2]を用いる。SAとはロボットが達成しなければならないタスクを機能毎に分割し、上位が下位に優先されて行動が現れる優先順位を持たせた階層構造を構成する手法である。

### 4.2 本研究でのSAの特徴

本研究で用いるSAの構造はFig.9のように、全タスクを独立な小タスク(モジュール)に分割しお互いに干渉させずに実行することにより反射的な行動が可能となるSAである。これを非干渉型SAと呼ぶことにする。特徴として、層が独立しているため層の追加や削除、修正が容易にできることである。しかし、層が独立で抑制が出力のみであるために、センサ群から同時に複数の層に入力があっても下層は上層に抑制されて仕事ができなくなる固定階層問題が発生してしまう。この問題の解決法として、複数の階層構造を用意して有限状態オートマトンにより状況に応じて階層を切り替える手法(イベント駆動型階層構造切り替え手法)を用いる。Fig.10にイベント駆動型階層切り替え手法の概要図を示す。

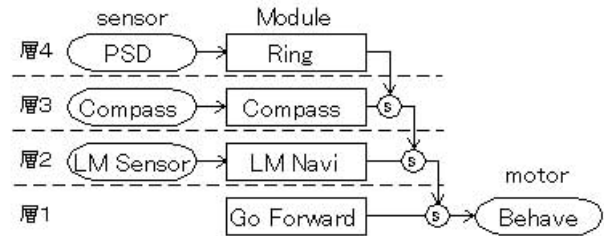


Fig. 9: Character of SA

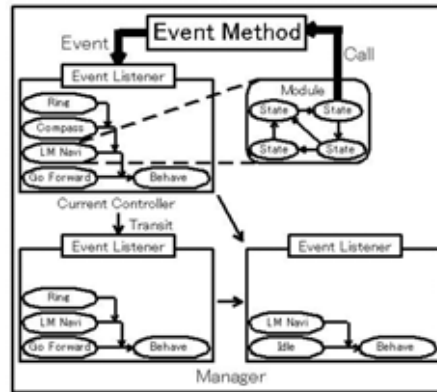


Fig. 10: Event Driven Layered Control Changing System

### 4.3 自律ロボットの構成

Fig.11にロボットの構成図を示す。自律化するためにL-card+の搭載準備を行なっている。これにより、ロボットの無線化を図る。まず、自律化の初歩として人工ランドマークへ向かっていくハードを構成する。Fig.12に人工ランドマーク、Fig.13にロボットに搭載するランドマークセンサを示す。人工ランドマークには赤外線LEDを用いる。IDは8ビットであり、天井に設置する。2種類の指向性の異なるLEDを用いることで人工ランドマークを広範囲で検知させ、またランドマーク真下も検出できるようにする。ランドマークセンサは赤外線リモコン受信モジュール(CRVP1738)とPIC(16F873)を用いてセンサを製作する。

### 4.4 SA

今回、この人工ランドマークへ向かっていくためのSAをFig.14に示す。このSAはLMNavi Module(ランドマーク到達モジュール)、GoForward Module(前進モジュール)により階層構造を構成した。LMNavi Moduleはランドマークセンサを用いてランドマーク真下へ接近し、ランドマークを認識後停止するモジュールである。ランドマークセンサはFig.13のような配置であり、周囲の6個のセンサでランドマークの方向を検知し、真中のセンサでIDを認識する。ランドマークGoForward Moduleは常に前進信号を出力するモジュールである。

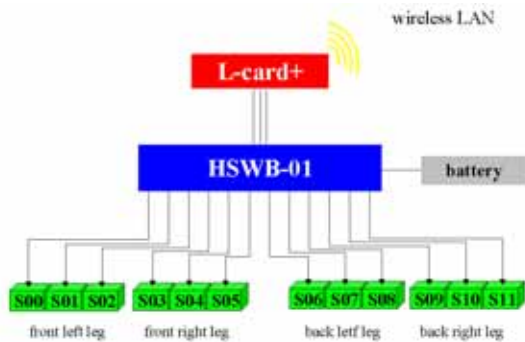


Fig. 11: Composition of autonomous robot

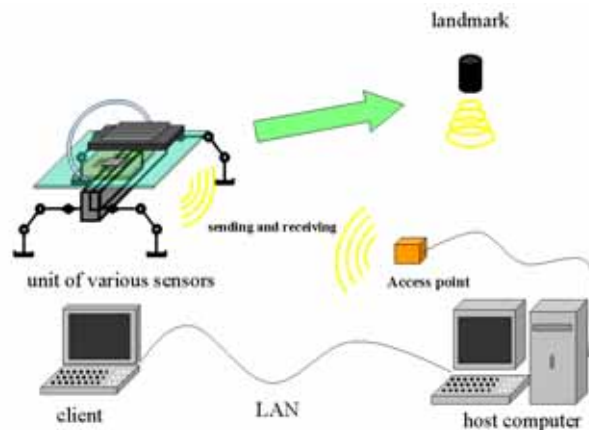


Fig. 15: Composition of navigation system

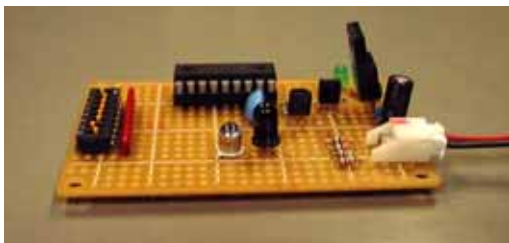


Fig. 12: Landmark

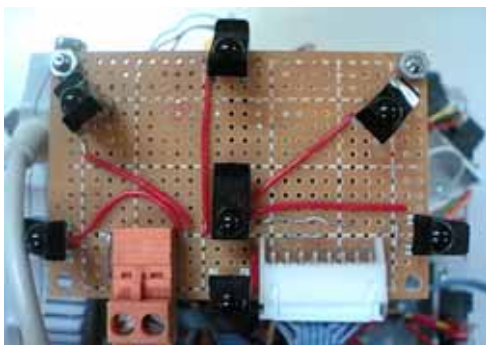


Fig. 13: Landmark sensor



Fig. 14: Layered structure of SA

#### 4.5 ナビゲーションシステムの構成

Fig.15にナビゲーションシステムの構成図を示す．システムはクライアントにはwindowsOS，ホストコンピュータにはLinuxOSを用い，無線LANにより，ロボットと通信を行う．クライアントの役割はロボットの開発，モニタ，インターフェースである．四足移動ロボットのハードディスクを直接搭載するのは危険なので，ホストコンピュータをロボットのNFSサーバとしている．ロボットにはL-card+を搭載し，外部との通信，自分で行動を決定する．

#### 5 終わりに

今回はロボットのハードの製作，トロット歩行でのパターン生成，L-card+の搭載準備を行った．現在は，クロス環境でのC言語によるシステム開発とランドマークへ向かっていく簡単なSAの開発を行なうためのハード製作を行なっている．今後は，ナビゲーションセンサやL-card+の搭載により，ロボット重量が増加していくので歩行をクローラ歩行に切り替え様々な歩行させていく．また，ロボットの足を改良することで安定した歩行をさせる．今後はロボットがナビゲーションできるようハード，ソフトの両方について様々な開発を行なっていく予定である．

#### 参考文献

- [1] R.Brooks : "A Robot Layered Control System For A Mobile Robot", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.RA-2, no.1, pp.14-23
- [2] 及川一美: "座標系を用いない人工ランドマークを用いた移動ロボットのナビゲーション", 計測自動制御学会東北支部 第211回研究集会 (2003.10.11), 資料番号 211-12