

# 自律四足歩行ロボットのナビゲーション

## Navigation for an Autonomous Quadruped Robot

鈴木貴志\*, 大久保重範\*, 及川一美\*, 高橋達也\*

Takashi Suzuki\*, Shigenori Okubo\*, Kazumi Oikawa\*, Tatuya Takahashi\*

\*山形大学工学部

\*Faculty of Engineering Yamagata University

キーワード: PF 法 (Potential Function), 自律四足歩行ロボット (Autonomous Quadruped Robot)  
ナビゲーション (Navigation) 傾斜センサ (Inclination sensor)

連絡先: 〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16 山形大学工学部 機械システム工学専攻 大久保研究室  
鈴木貴志, Tel.: (0238)26-3245, Fax.: (0238)26-3245, E-mail: gowankuroneko@hotmail.co.jp

### 1. はじめに

我々は自律四足歩行ロボットの行動決定手法として Potential Function(以下 PF 法)を導入しイベント駆動型階層構造切替手法を取り入れるなどしてロボットの自律化を行いナビゲーションを行ってきた。現在ロボットで使用している PF は複数のモジュールから構成されており,それぞれのモジュールが干渉しないようになっている。そのためモジュールの追加削除が容易に行える構造になっている。モジュールは主にセンサーごとに分かれて構成されそれぞれのセンサーからの値を元にモジュールごとに優先度を出力するようになっており,その優先度を重ね合わせ優先度の高い方向に進むようになっている。

これまで行ってきた行動決定法を用いることで平地での障害物回避,ならびに目的地までのナビゲーションは行えることが実験でも証明されている。しかし,実際にロボットを運用する際には悪路でも歩行できることが望ましく傾斜した地面でも安定に歩行で

きななければならないと考えられる。

今回は,新たにセンサーを追加し傾斜した地面で機体を安定させることについて述べる。

### 2. 導入

導入として,これまで行ってきたナビゲーション実験について簡単に述べる。

#### 2.1 ナビゲーション環境

ロボットを動かす環境として,廊下のような通路状の環境を想定する。ロボットはどのような環境なのかを理解しておらず目的地のある方向だけを理解している状態でナビゲーションをスタートする。ロボットは自身に設置されたセンサーを使用し周囲の環境を認識しながら障害物に触れないように目的地まで歩行していく。目的地の天井に目的地の目印としてランドマークと呼ばれる 2 種類の指向性の異なる赤外線 LED を設置しそこからの赤外線をロボットが受信することで目的地と認識できるようになって

いる．ランドマークの認識範囲を Fig.1 に示す．また，ロボットでナビゲーションの実験をした際の環境とおおよその移動経路を Fig.2 に示す．

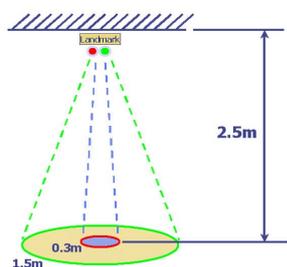


Fig. 1 Range of Landmark

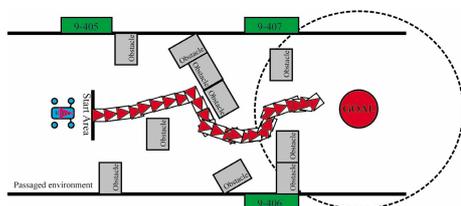


Fig. 2 Experiment Tracks

### 3. 四足歩行ロボットの概要

研究で開発，使用しているロボットの概観を Fig.3 に示す．サイズは，立ち上がり姿勢でおおよそ 230 × 300 × 250[mm] で，重量は 2.0[kg] となっている．

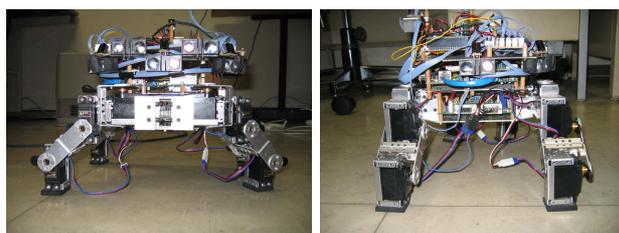


Fig. 3 Overview of the Robot

#### 3.1 主な使用デバイス

ロボットに使用しているサーボモータは ERG-VB(SANWA 社製) を 1 脚で 3 自由度で計 12 個のサーボモータを装備している．モータドライバには，HSWB-01(姫路ソフトウェア社製) を使用す

る．main CPU には，L-card+(LASER5 社製) を使い LinuxOS を搭載している．センサーから値を取得するために H8 マイコンを 2 個使用し 3 種類のセンサーを搭載している．距離センサーとして GP2D02(SHARP 製) を 8 個，電子コンパスは RDCM-802(共立電子産業) を 1 個，ランドマークを検出するための赤外線センサーは CRVP1738 を 7 個，距離センサーと赤外線センサーの配置図は Fig.4 のようになっておりロボットの前方を重心的に配置している．

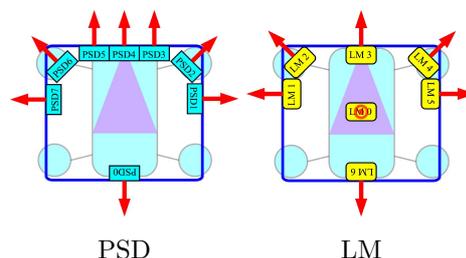


Fig. 4 Arrangement of Sensors

#### 3.2 リニア傾斜センサ

ロボットに新たに搭載した傾斜センサの形状を Fig.5 に性能を Table.1 に示す．このオムロン社製の傾斜センサーの大きさはおおよそ 45 × 48 × 46[mm] である．ロボットで前後左右の角度変化を調べるため 2 個を 90° ずらした形でロボットに搭載している．



Fig. 5 D5R-L02-60

Table 1 Specification

種類	D5R-L02-60	
電源電圧範囲	DC5 ± 0.5V	
消費電流	20mA 以下	
検出角度範囲	± 60°	
性能	水平電圧	2.5V ± 0.05(V)
	感度	25m V/° ± 3%

## 4. 脚機構

傾斜センサーを使用して傾斜した地面でバランスを取るためロボットの脚機構について説明する。ロボットの1脚にはそれぞれ3個のサーボモータがFig.6のような構造で設置されている。

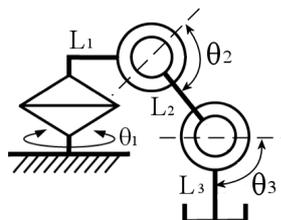


Fig. 6 Mechanism of the Leg

### 4.1 脚の回転角度

サーボモータは0~180°まで回転することができる。回転角度の限度が決まっているためにロボットの姿勢を制御する段階でサーボモータを回転させすぎると歩行するために脚を上げることができなくなってしまう。そのため、傾斜センサーからの値を元に姿勢制御に使える角度を指定することが必要である。Fig.7での $\theta_2$ と $\theta_3$ を決定する式を以下に示す。ロボットの基本姿勢での脚の角度を90°、 $\alpha$ を歩行する際の脚上げ角度、 $\beta$ を傾斜角度とする。

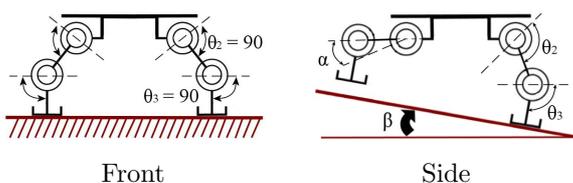


Fig. 7 Angle of the Leg

$$\theta_2 = 90 + \alpha + \beta \quad (0 < \theta_2 < 180)$$

$$\theta_3 = 90 - \alpha + \beta \quad (0 < \theta_3 < 180)$$

## 5. 実機での実験

### 5.1 姿勢制御の実験

傾斜センサーを搭載した四足歩行ロボットで、傾斜した地面の上で機体を水平に保つ実験を行う。傾斜した地面を機体を傾けることなく水平に保つために機体がどの程度傾いているのかをセンサーにより検

知しその傾いている分だけ脚を傾けることで機体を水平に保つ。これまではセンサーごとにモジュールを設定していたが、傾斜センサーはロボットの進行方向を決定するのに使用するセンサーではなく姿勢制御に使用するため新たにモジュールは設定せずに脚姿勢を決定している部分に直接姿勢制御のプログラムを組み込む形にしている。

実験内容は板の上にロボットを乗せその板を次第に傾けて行き、その傾きにあわせてロボットが水平を保ち続けるかを調べる。実験の模式図をFig.8に示す。



Fig. 8 Walking Experiment

### 5.2 姿勢制御下での歩行実験

傾けた斜面上を姿勢制御を行いながらロボットに歩行させてみて、問題なく歩行できるかどうかを調べる。このとき斜面の傾き角度は一定とする。

## 6. 実験結果

実際にロボットが横方向に傾斜した地面で水平を保っている様子をFig.9に前後方向に傾斜した地面で水平を保っている様子をFig.10に示す。

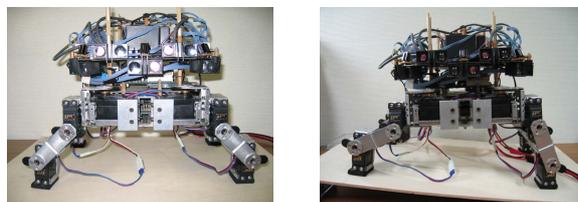


Fig. 9 Right and Left Balance

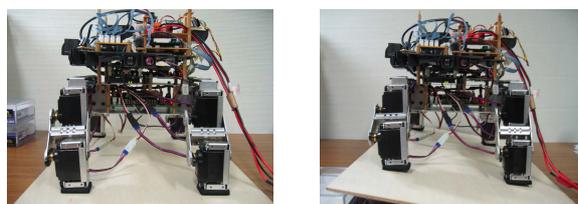


Fig. 10 Back and Forth Balance

Fig.9 と Fig.10 を見て分かるように水平を保つことは可能である。また、左右と前後を混ぜた斜めに傾いた面でも水平にバランスをとることは可能であった。しかし、Fig.6 のような脚機構であるため左右の傾きにはうまく対応できるが前後の傾きには脚が斜面に垂直に設置してしまうと機体を水平に保つことができないため脚が浮かんでいる不安定な姿勢でしか水平を保つことができない。

次に実験 2 にで斜面上を歩行させてみたが現状使用している足裏の素材では摩擦力が足らず脚が滑ってしまいうまく歩行ができないことがわかった。また、歩行中脚を動かすたびに機体が傾きバランスを崩しながら歩いている様子が見て取れた。

## 7. 考察

実験結果を見る限りロボットが傾いた状態から水平な状態へ姿勢を変更させることには成功している。しかし、前後の傾きに関しては脚が地面に対して垂直に設置することができないために不安定であると考えられる。姿勢制御の方法も角度に合わせて脚の角度を変更しているだけなので重心位置を考慮に入れないと不安定で歩行に影響が出ていると考えられる。また、ロボットは脚を 1 脚ずつ動かして歩くため脚の一つだけが傾斜のある地面に乗っかり機体が傾くような状況になると思われるため 1 脚のみが傾斜のある地面に乗った場合には 1 脚ごとの姿勢制御が必要になってくると考えられる。

また、前後の傾きに対して脚が正しく設置できずに不安定になってしまっていたが悪路を歩行する際に平らな脚底では自由度が足りずに今回のようにうまく脚を置く事ができない場面が多々あると考えられる。脚底を他の形状にすることでこの問題は解決できると考えられる。

歩行する際に脚を上げる角度が低く脚を引きずるようにしか歩けてないため歩幅も狭まり歩行の安定性にも影響が出ていると考えられるため脚上げ角度

を変更する必要がある。また、脚を引きずらなくし足裏をもっと摩擦力のある素材に取り替えることで歩行の安定を狙えると考えられる。

## 8. おわりに

今回は傾斜センサーを使用し機体を水平に保つことのみを目標に実験を行ったがこのままでは実際に歩行した際に不具合が発生してくると考えられるため脚全体での姿勢制御ではなく歩行中の姿勢制御が可能になるように調整が必要である。また、今回は斜面でバランスをとったが斜面を移動可能にするだけでなく悪路での歩行や、小さい障害物なら乗り越えて移動していけるようにしていきたいと考えている。そのためには今ロボットに搭載されている距離センサーでは感知範囲が狭く、近くの物体の距離も正確に測ることができないために他の距離を測るためのセンサーを搭載し小さい障害物を認識させてやる必要があると考えられる。

## 参考文献

- 1) 及川一美 他:”Decision Making for a Mobile Robot Using Potential Function”,Journal of Robotics and Mechatronics,Vol.19,NO.3,298/307(2007)
- 2) 村井一誠 他:”自律四足歩行ロボットのための脚姿勢切替歩行”,ロボティクス・メカトロニクス講演会'06 講演論文集 No.06-4,2A1-C32(DVD-ROM)(2006)