

ロボコン2005における壁登りロボットの製作

Production of a Wall Climbing Robot for Robot Contest 2005

田 中 昭 雄

Akio TANAKA

1. はじめに

アイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテスト（以下ロボコンと略す）は2005年大会で18回目を迎えた。現在、ロボコンは、創造性を養うための物作り教育イベントとして、各高专において積極的な取り組みがなされている。¹⁾⁵⁾

最近の競技課題においては、2001年大会から、赤外線および超音波などを利用したロボットの無線操作が規定に加えられ、ロボットの製作は、より難しいものとなってきている。したがって、ロボット製作活動では、機械工作、プログラミングなど技術的な指導も重要であり、製作技術の継承および蓄積が必要となる。

本稿では、ものづくりにおける製作技術の選択肢を拡げることを目的とし、ロボコン2005における壁登りロボットの製作に着目した。ここでは特に、アイデアを実現するための工夫点、すなわち壁走行用の吸盤部の製作および壁走行の制御法について報告する。

2. ロボットのアイデアと仕様

ロボコン2005の競技テーマは「大運動会」、ロ

ボットによる障害物競走である。図1に競技フィールド全体を示す。競技は2チームによる対戦形式である。1チームは手動および自動ロボットの2台を製作する。手動ロボットは、はしごくぐり、平均台渡り、ハードル越えの障害をクリアし、バトンを自動ロボットに渡す。自動ロボットは壁を登り、高さ2.2mの位置にある穴にバトンを差し込むことでゴールとなる。競技の勝敗については、3分間でゴールまでの到達時間が短い、もしくはゴールにより近いチームの勝ちとなる。

自動ロボット製作において重要となるポイントは、安定した姿勢を保ちながら壁を登らせる機構である。最も確実な方法は、壁面上の足場にロボットの一部を掛けて登る機構であろう。しかし、本校ロボコンチームでは独創性を重視し、吸引式壁登りロボットの製作に挑戦することにした。

図2は壁登りロボットのアイデア図である。壁登り機構は、2個の吸盤を用いて壁にロボット本体を吸着させて走行させるものである。ゴールまでの走行動作は、図3のように壁面上に規則的に配置された足場(直径60mm、長さ100mm)の位置を基準として、一定の方向にロボットを傾けて走行させる。同時に通過した足場の数をカウントすることによってゴール位置を計測する。

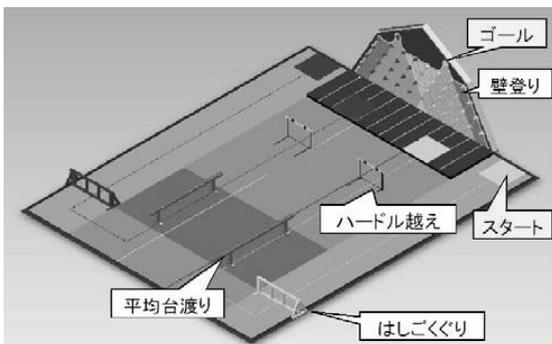


図1 競技フィールド全体図

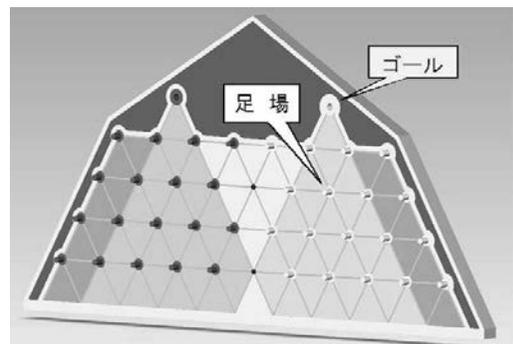


図2 壁の正面図

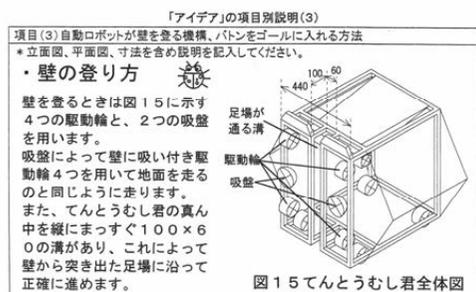


図3 壁登りロボットのアイデア

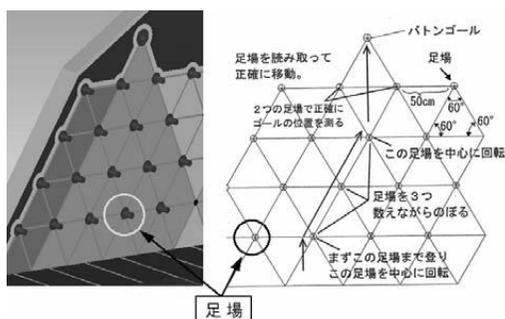
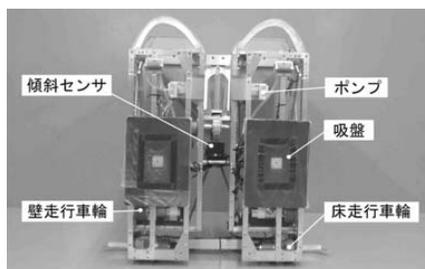


図4 ゴールまでの走行経路の求め方

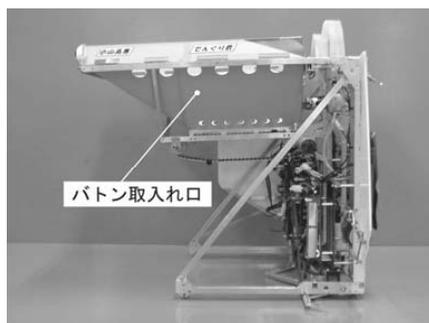
図5は製作されたロボットの全体図である。壁に吸着するための吸盤は、図5(a)に示すように左右に1個ずつ配置されている。ロボット上部には手動ロボットからのボタン受取り動作を短時間で行うため、ボタン取入れ口がある。ロボットの全幅は600mmであることから、壁面の足場間隔(500mm)よりも長い。そのため、壁面走行時、足場は図5(c)に示されるロボット中心部の溝を通過する。溝部の途中には、足場の通過を検出するための透過型光センサが取り付けられている。表1に壁登りロボットの仕様および走行性能を示す。

表1 壁登りロボットの仕様および走行性能

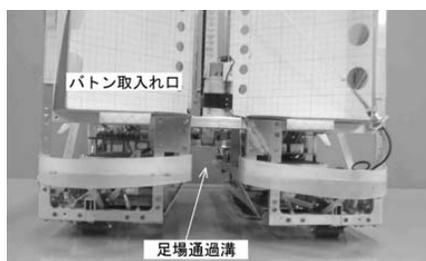
大きさ	全幅 600 mm×奥行 620 mm×全高 600 mm
重量	6950 g
マイコン	PIC16F877 1個
電源	16.8 V(8.4V バッテリーパック 2本直列)
最高到達圧力	-0.68 kg/cm ² 有効吸盤面積 154cm ² (11cm×14cm)
床走行速度	46.5 cm/s
壁登り速度	29.3 cm/s
最速タイム	12.5 s (ボタン受取り～ゴールまで)



(a) 正面図 (接地面: 床面)



(b) 側面図



(c) 上面図 (接地面: 壁面)

図5 吸引式壁登りロボット

3. アイデア実現のための工夫

3.1 吸盤の製作

吸引装置の製作において、相撲ロボットの吸引走行技術を参考にした⁶⁾。相撲ロボットの場合、相手ロボットに土俵外へ押出されることを防御するため、あるいは車輪と土俵面との摩擦力を高めるために利用されている。相撲ロボットの吸着面には、自重によって常に下向きの力が加わっていることから、吸盤内の真空状態は安定に保たれ、比較的簡単に吸引走行が可能である。

一方、その技術を壁登りロボットで利用する場

合のポイントは、約7kgのロボットが垂直方向に高速移動しても、落下しない吸引力を発生させること、さらに、床面走行から壁面走行へ走行状態を移行するとき、ロボットの単純な動作で吸引面を壁と平行に密着させ、短時間に真空状態を得ることである。

当初、製作時間の短縮のため図6のような市販吸盤（丸形吸引パッド）を利用したが、(1)ゴムの硬度が適切でない、(2)吸盤の形状が取り付けスペースに合わない、(3)吸着面と平行な方向（走行方向）に対して、摩擦が大きく走行できない、(4)値段が高価である等の問題点が明らかとなった。特に(1)についてはゴムが柔らかい場合、吸引面と壁面の摩擦抵抗により、吸引パッドの縁が真空室内に潜り込む、逆にゴムが硬い場合、壁の土台となる合板の接合部あるいは厚さ0.3mm装飾用カラーシートによる段差によって、吸盤と壁面の間に隙間が生じ、真空状態を保てないことなどがわかった。



図6 市販吸盤（丸形吸引パッド）

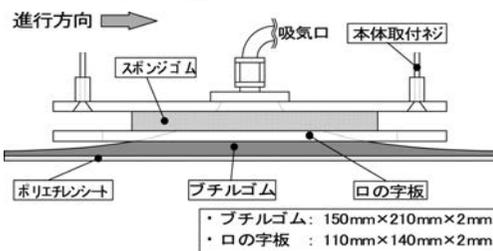


図7 吸盤構造（側面図）

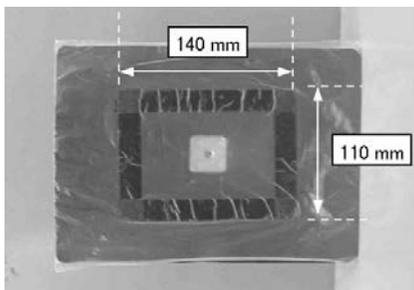


図8 吸盤の吸着面

以上のような問題点を解決するため、図7に示される吸盤を製作した。吸引パッドは、大きさ15cm×21cm、厚さ2mmのブチルゴムを使用した。吸引パッドの縁の変形を防止するため、パッドの縁に沿って、口の字形のアルミ板を上からあてがった。吸盤本体は、口の字板とロボット本体フレームの間に、緩衝材として厚さ8mmのスポンジゴムを挟んで取り付けられている。これにより吸着面は壁に倣って動くため、壁面への吸着動作において吸着面を確実に密着させることができる。ブチルゴムの吸着面側には壁走行時の摩擦抵抗を軽減するため、図8のように厚さ100 μ mポリエチレンシートを貼り付けている。ポリエチレンシートの効果は摩擦抵抗の軽減だけでなく、その柔軟性によって壁面の微小な凹凸を緩衝して密着するため、床走行時から壁面への吸着時間を短縮することができる。

図9は吸引ポンプの印加電圧に対する圧力の特性を示したものである。吸着面からのリークの影響を確認するため、吸気口に直接、圧力センサを取り付けた測定結果（吸盤無し(▲)）についても示してある。同図より、圧力は印加電圧の増加にともない減少し、モーターの定格電圧12Vでは、 -0.54kgf/cm^2 である。吸盤の有効面積は 154cm^2 (11cm×14cm)であるから、約83kgfの荷重が吸盤に加わることになる。リークの影響については、低電圧(7~10V)の場合、吸盤の有無による圧力差は大きい、定格電圧12V付近では、圧力差は小さくリークの影響は少ないものと考えられる。さらに、より吸着力を高めるため、吸引ポンプ附属のモーターAからモーターB(RS-380 PH, 定格電圧7.2V, マブチモーター)に変更した。同図にモーターBの圧力特性(○)も示した。モータ

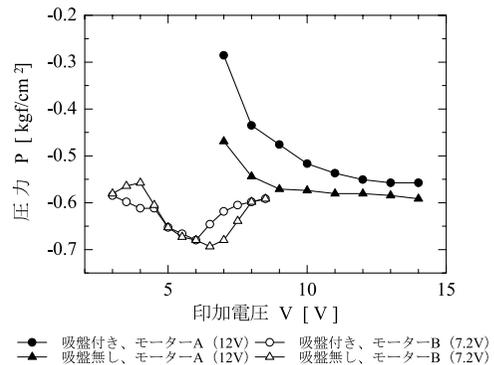


図9 印加電圧V-圧力Pの特性

一の変更により最高到達圧力-0.68kgf/cm²、最大荷重は104kgfとなり、最大荷重は約25%増加している。

以上の結果より、製作された吸盤は壁面走行を可能とする性能を持っていることがわかった。

3.2 壁面走行の制御法

壁面にはゴール地点まで幅20mmの白線が引かれている。そのため、走行制御の方法として、光センサを用いたライトレースを利用することができる。しかし、この方法を用いる場合、壁面の色、会場照明による光センサの誤動作に注意しなければならない。それには光変調型センサの利用やセンサ本体を外部光から遮光するなどの工夫が必要となる。

そこで、今大会では外部光の影響を受けない方法を試みるため、リニア傾斜センサによる走行経路の探索法を利用した。この方法により、光センサによるライトレースを使用せずに走行制御が可能となる。図10に傾斜センサの写真および表2に傾斜センサの主な性能を示す。⁷⁾



図10 リニア傾斜センサ (D5R-L02-60, オムロン)

表2 リニア傾斜センサの仕様

角度検出範囲	±60[°](検出幅 120[°])	
電源電圧	DC 5[V] ± 0.5[V]	
出力	出力範囲	1 ~ 4[V]
	水平電圧	2.5[V] ± 0.05[V]
応答時間 (90%到達時間)	0.1[s]以下 (+60[°]→0[°]ステップ移動)	
角度分解能	0.7[°/bit] (180[°]/256bit)	

傾斜センサの取付状態(正常)

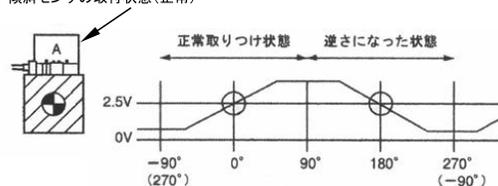


図11 傾き角度と出力電圧の関係

このセンサを図11のように取り付けた場合、出力電圧は、同図に示されるように傾き角度に比例した値となる。この信号はマイコン内の8bit-AD変換器で処理される。このとき、検出角度の精度は0.70°/bitに設定されている。センサの応答速度は0°~60°のステップ応答に対し0.1秒以下であり、ロボットの傾き変化に対して十分に追従可能である。

このような制御法を利用することによって、ゴールまでの走行経路を自由に設定することが可能となる。今大会では、図12に示すような3通りの走行経路を設定した。通常の走行経路は、ゴールまでの距離が最短となる走行パターン1を設定している。それ以外に、試合の進行とともに最短コースの壁面状態が悪化することから、走行パターン2および走行パターン3を設定に加えた。

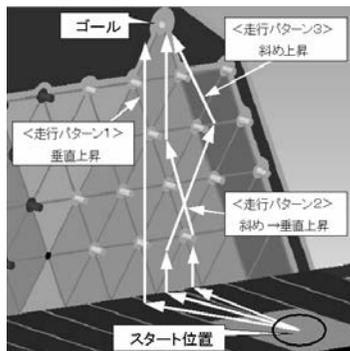


図12 走行経路パターン

4. まとめ

ロボコン2005における自動ロボットとして、吸引式壁登りロボットを製作した。より速く安定した壁登り走行を実現するため、市販吸盤の問題点を明らかにし独自の吸盤を開発した。また、ゴールまでの走行経路探索では、会場照明の影響を受けない方法として、傾斜センサによる走行制御法を用い安定した壁走行を実現した。

全国大会での成績は、3試合中2回、自動ロボットは十数秒程度でゴール位置に到達している。しかし、ゴール付近の壁面状態が予想以上に悪化したことから、ロボットの位置決めに誤差が生じたため、残念ながらバトンをゴールに差し込むまでには至らなかった。

今後、これらの製作技術は、高専ロボコンだけでなく創造的な物作りを実践するための要素技術の一つとして利用されることを期待したい。

参考文献

- 1) 藤本 浩, 杉村 敦彦, 濱口 雅史, 石川 善丈, 門脇 重道, 藤満 達朗: 打ち出し式飛行ロボット (Fly DoボテットS) の開発, 高専教育, 第24号, (2001), 453-458
- 2) 矢野 順彦: 「アイデア対決ロボットコンテスト高専部門」の指導体制, 平成16年度高専教育講演論文集, (2004), 263-266
- 3) 外山 茂浩, 増山 裕之, 八戸 俊貴, 山下 晃司, 大石 哲男: 初心者を対象とした高専ロボットコンテストの指導, 平成17年度高専教育講演論文集, (2005), 289-292
- 4) 杉浦 藤虎, 伊藤 和晃, 渡辺 正人: 高専の技術者育成教育におけるロボコンおよびロボカップ参加の現状とその役割, 工学教育, 53-5(2005), 71-76
- 5) 岡野内 悟: ロボット同好会をとおしてのもの作り教育, 高専教育第26号, (2003), 459-464
- 6) 西村 輝一: 自立型相撲ロボットをつくる, ベストテクノロジー, (1995)
- 7) ベスト制御機器第17版, オムロン株式会社

