

高専ロボットコンテスト 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 of National College of Technology

(Department of Electrical and Computer Engineering, Oyama National College of Technology)

Abstract This paper reports the structures of a wall climbing robot. This robot was produced for Robot Contest 2005 of National College of Technology. The vacuum system is used as a wall climbing equipment. This system has enough power to lift a 10kg object. The robot is able to absorb the surface of the wall and move on the wall by using this system.

キーワード：ロボット、ロボットコンテスト、壁登り装置、真空装置

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、各高専において積極的な取り組みがなされている¹⁾⁻⁴⁾。

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 および図 2 に

競技フィールド全体図、壁の正面図を示す。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、床面から高さ 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に登らせる機構である。最も確実な方法は、壁面上に取り付けられた足場にロボットの一部分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 3 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。ゴールまでの走行経路は、図 4 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。

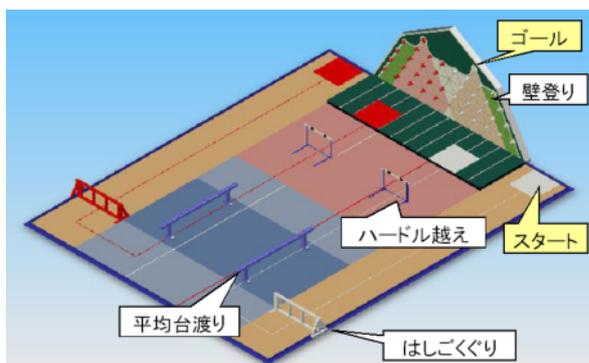


図 1. 競技フィールド全体図

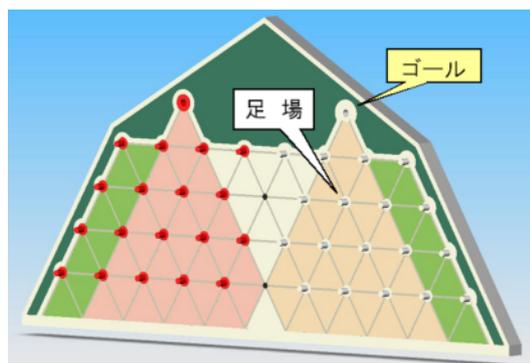


図 2. 壁正面図

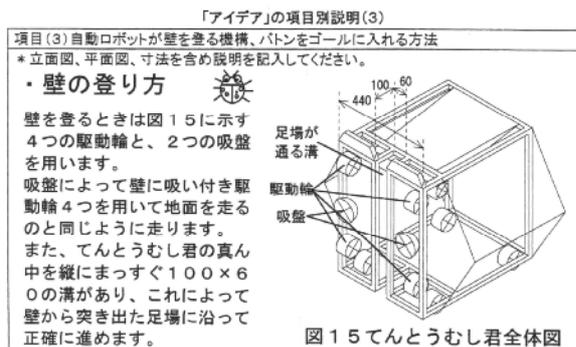


図3. 壁登りのアイデア

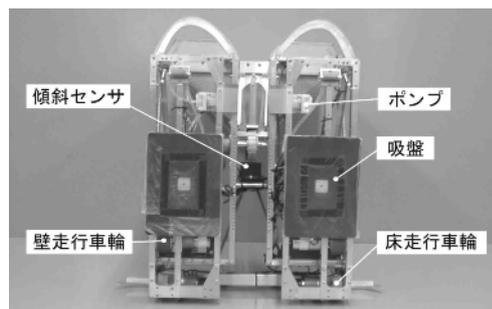


図5(a). 正面図(接地面:床面)

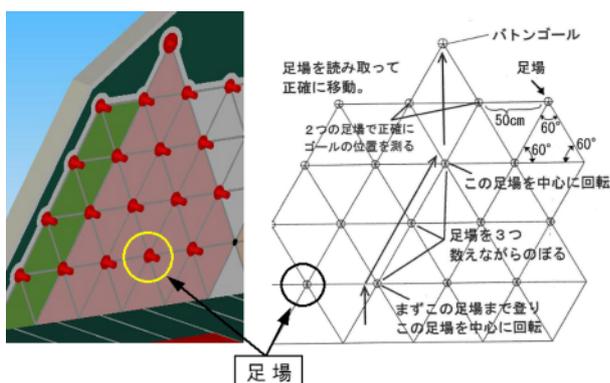


図4. ゴールまでの走行経路探索法

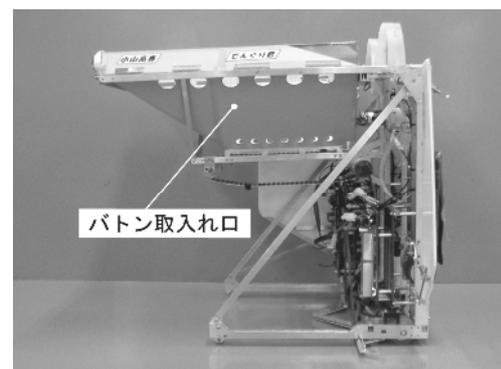


図5(b). 側面図

図5は製作された自動ロボットである。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パトン受取り動作を短時間で行うため、パトン取入れ口がある。ロボットの全幅は600mmであり、壁面上の足場間隔(500mm)よりも大きい。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 (パトン受取り~ゴールまで)

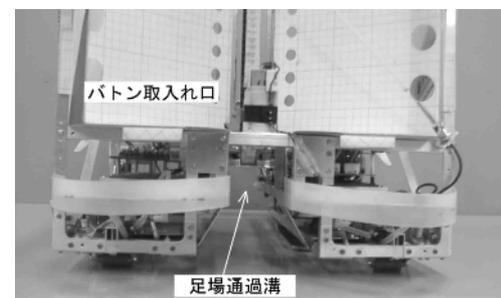


図5(c). 上面図(接地面:壁面)

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⁵⁾。相撲ロボットの吸引装置は、土俵外へ押出されることを防御するため、あるいは駆動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方向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実現できる。

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、簡単な動作で吸着面を壁に対して平行に密

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 に示される市販吸盤（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、吸着面と壁面の摩擦抵抗により、吸盤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）

以上のような問題点を解決するため、図 7 のような吸盤を製作した。吸着パッドは、大きさ 15cm × 21cm、厚さ 2mm のブチルゴムを使用した。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、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 μm 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 ($11\text{cm} \times 14\text{cm}$) 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) の範囲では、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-380PH, 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 の特性 () も示した。モーターの変更により最高到達圧力 -0.68kgf/cm^2 、最大荷重は 104kgf となり、吸着力は約 25% 増加した。

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。

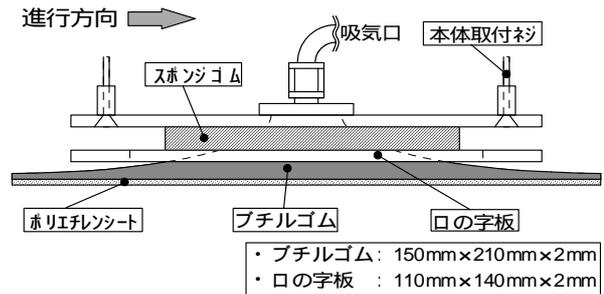


図 7 . 吸盤構造（側面図）

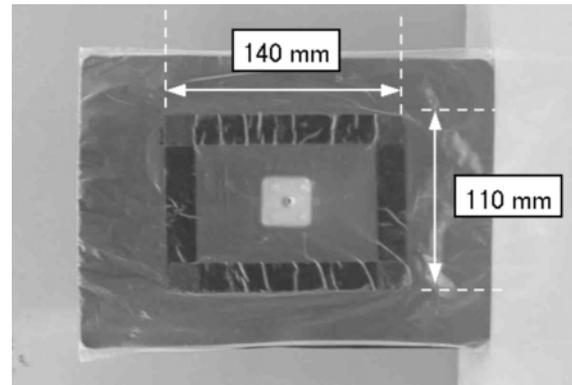


図 8 . 吸盤の吸着面

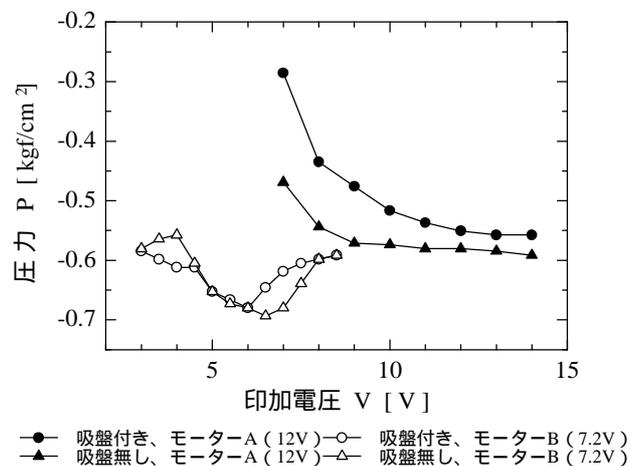


図 9 . 印加電圧 V - 圧力 P の特性

3.2 壁面走行の制御法

壁面上にはゴール位置まで幅 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、今大会では外部光から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。表 2 に傾斜センサの主な性能を示す⁶⁾。

このセンサを図 10 のように取り付けた場合、出力電圧は、傾き角度に比例した値となり、この信号をマイコン内の 8bit-AD 変換器で処理する。このとき、検出角度の精度は 1bit 当たり 0.70° である。センサの応答速度は $0^\circ \sim 60^\circ$ 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したことによって、ゴールまでの走行経路を自由に設定することができる。今大会では、図 11 に示すように 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 としている。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 に設定を変更することができる。

表 2. リニア傾斜センサの仕様

角度検出範囲	$\pm 60^\circ$ (検出幅 120°)	
電源電圧	DC 5V ± 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 ($+60^\circ \rightarrow 0^\circ$ ステップ移動)	
角度分解能	$0.7^\circ/\text{bit}$	

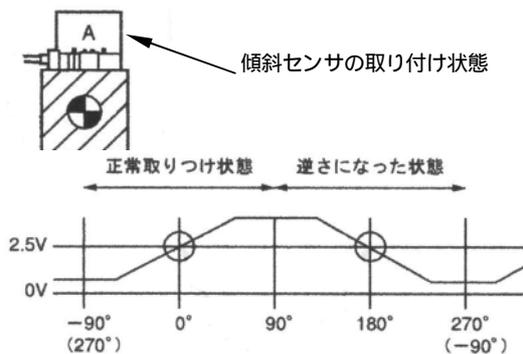


図 10. 傾き角度と出力電圧の関係

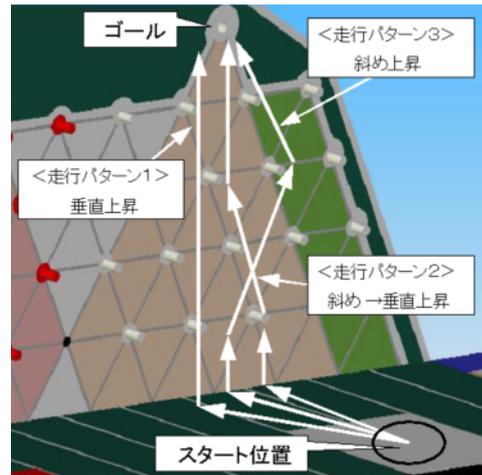


図 11. 走行経路パターン

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ていたことから、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。

5. 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 ポテット S) の開発, 高専教育 24 (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) 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 26 (2003) 459 - 464.
- 5) 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).
- 6) ベスト制御機器第 17 版, オムロン株式会社.