

# 自立型相撲ロボットの製作

## ～ 東海能開大の挑戦 ～

東海職業能力開発大学校 檜原 康弘

### 1. はじめに

「ロボット相撲」とは直径1.5mの鉄板土俵上で、自作したロボット力士が戦い、相手を土俵から押し出した方が勝ちという競技である。ロボット「力士」とはいえ、いわゆる人型ではなく、どちらかといえば車両型のロボットが多く見られる。ロボット力士は、強力な磁石で土俵に張り付き、強力なモータでタイヤを駆動して移動することで相手と戦う。実際の試合を観戦すると、高速で移動するロボット同士がぶつかり合いが見られるなど非常に迫力がある。

大会では、「自立型」と「ラジコン型」の二つの部門に分けられ、部門ごとに競技が行われる。自立型ロボットは、ロボットに搭載されたコンピュータ、センサにより相手ロボットに関する情報収集、分析、判断を自立的に行い戦う。ラジコン型ロボットは、プロポーショナル・システム（プロポ）を使って、競技者がロボットを操縦して戦う。

東海職業能力開発大学校（以下、「東海能開大」という。）では、平成23年からロボット相撲に取り組んできた。現在まで6年連続で全国大会に出場しており、平成26年には全国3位という成績も残した。

本稿では、ロボット相撲の概要、製作した自立型相撲ロボット、および東海能開大での取り組みについて紹介していく。

### 2. 全日本ロボット相撲大会

全日本ロボット相撲大会とは、富士ソフト株式会

社の主催で、1989年より開催されている競技大会である。例年9月～11月にかけて全国9地区で予選が行われ、各地区を勝ち上がった合計32台のロボット力士が12月に行われる全国大会に出場できる。

ロボット力士の寸法および重量の規制はあるが、他のロボット競技に比べて、設計・製作に関する自由度が大きく、様々な形状、性能のロボット力士が登場する。

ロボットづくりを通して、技術の基礎・基本を習得し、研究意欲の向上と創造性の発揮の場を提供し、「ものづくり」の楽しさを広めることを開催目的としている。

### 3. ルール概要

競技に使用される土俵の形状を図1に示す。また、ロボット製作時の制限事項、およびロボット相撲のルール概要は次の通りである。

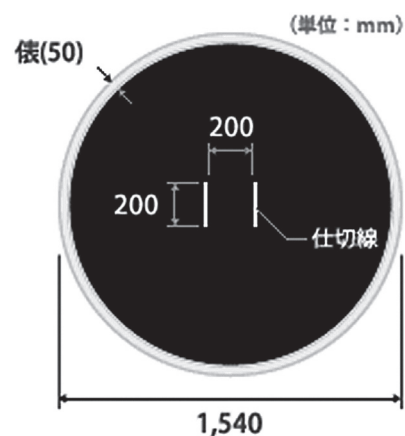


図1 土俵の形状

### 3.1 寸法および重量

自立型もラジコン型も外形寸法が幅20cm，奥行き20cm，重量は3kg以内で作る必要がある。高さについての制限はない。

### 3.2 製作上の禁止事項

妨害電波発生装置，発火装置や物を投げる装置などを組み込むこと，また土俵を傷つけたり汚したりする材料や部品を使用すること，ロボット同士が接触したときに飛散する材料部品の使用は禁止されている。また，吸盤等を用いてロボットを土俵上に固定し，自らも動作不能になる部品を用いてはならない。

### 3.3 出火防止対策

ヒューズまたはポリスイッチの装備，回路による遮断等，バッテリーへの過電流を防止する対策が必要となる。

### 3.4 自立型の動作開始，および停止方法

ロボットは「遠隔スタート・停止用リモコン」（以下，「リモコン」という。）によるスタート指示より，5秒経過してから動作が開始するように製作しなければならない。また，ロボットは危険防止のためリモコンで停止させなければならない。

### 3.5 勝敗判定

ロボットの一部分が相手より先に土俵の余地（地面）に着いたら負けとなる。土俵上で倒れても負けにならない。試合時間は3分間，時間内で先に2本取ったロボットの勝ちとなる。

## 4. 相撲ロボットの構造

東海能開大で製作した相撲ロボットを図2に示す。また，各要素の詳細については次の通りである。

### 4.1 機械的構造

現在，大会に出場しているロボットの大半がブレードと呼ばれる刃物をロボットの先端に取り付け

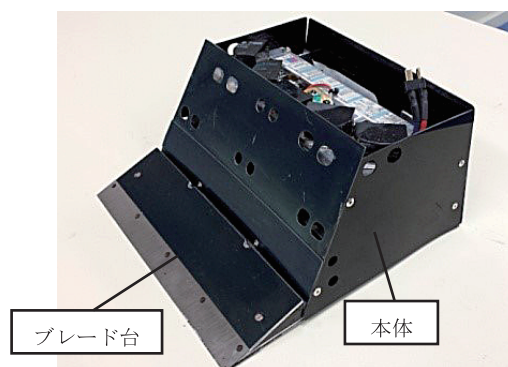


図2 自立型相撲ロボット（全体）

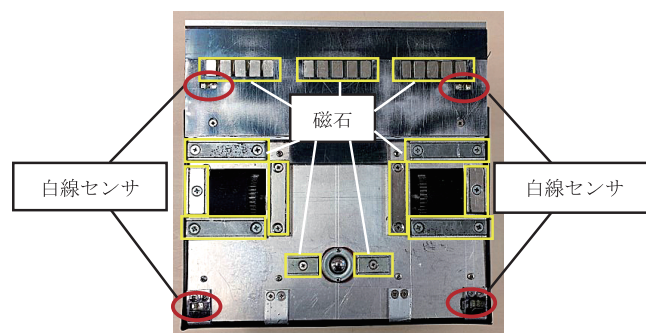


図3 相撲ロボットの底面

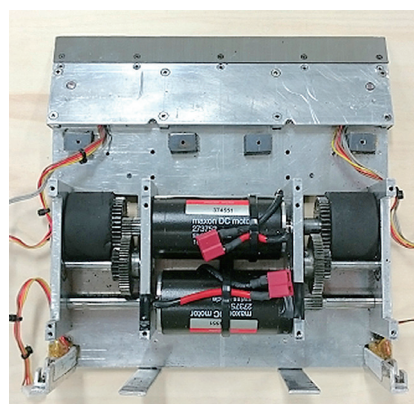


図4 相撲ロボットの駆動部

ている。これは，相手ロボットを持ち上げるための工夫であり，勝敗の行方を左右する重要なポイントである。全体的な構造としては，このブレードを取り付けるための台と本体で構成されている。

本体底面には磁石が配置され，鉄板土俵に吸着して動作する（図3）。また，本体表面は，相手から検出されにくくするため黒色の塩ビ板で覆うようにしている。

ロボットの駆動部を図4に示す。モータにはマクソン社製のDCモータ（90W）を2個使用し，二輪駆

動としている。また減速比は、約7:1としている。

ブレード台は、本体と柔らかい素材で接続されており、土俵表面上の細かい凸凹に対して先端が密着するように調整している。

#### 4.2 電子回路

電子回路基板は、マイコンを搭載した制御回路基板(図5)と、モータ駆動回路基板(モータドライバ)(図6)の2枚で構成されている。

制御回路基板に搭載されているマイコンはルネサスエレクトロニクス社製のSH7125Fを使用している。その他、マイコンの周辺回路としては、プログラムを切り替えるためのスイッチや、プログラムの動作状況を判断するためのLEDなどが基本的な回路として配線されている。また、各種センサ回路、赤外線リモコンの受信回路等が搭載されている。

モータドライバは、MOS-FETを使用したHブリッジ回路を製作している。MOS-FETは、モータに流れる大電流を制御しなければならないため、選定には十分な配慮が必要である。製作したモータドライバは、電流容量を上げるためにMOS-FETを2個並列に接続している。

他にもモータ電流を検出する電流センサや、過電流で回路を遮断するヒューズが組み込まれている。

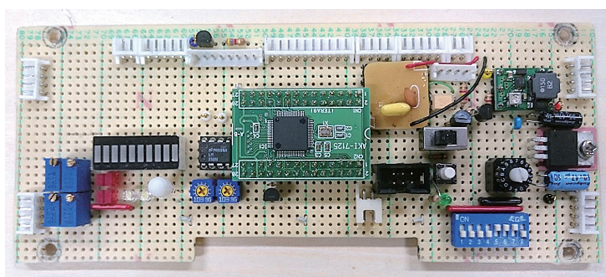


図5 制御回路基板

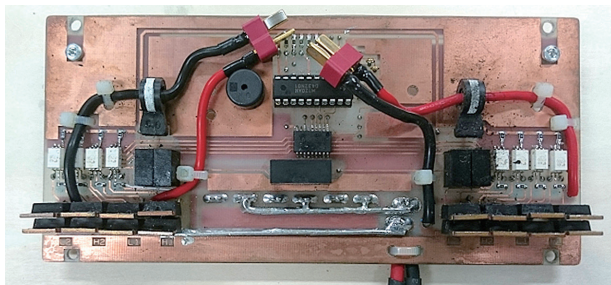


図6 モータ駆動回路基板 (モータドライバ)

#### 4.3 バッテリー

バッテリーはマイコン部を含めた制御回路で使用する制御用バッテリーと、モータを駆動するために使用する駆動用バッテリーの2種類を使用している。

制御用バッテリーはリチウムポリマー (LiPo) バッテリーを2セル使用している。LiPoは1セル当たりの公称電圧が3.7Vであるので、約7.4Vを制御回路に印加している。

駆動用バッテリーはリチウムフェライト (LiFe) バッテリーを9セル使用している。LiFeは1セル当たりの公称電圧が3.3Vであるので、約29.7Vをモータに印加している。

#### 4.4 センサ

相手を検出するセンサとして、パナソニック社製のMAモーションセンサを9個使用している(図7)。相手の位置を的確に検出するためには、できる限り多くのセンサを搭載することが望ましいが、寸法に納まる範囲でしか使用できないうえに、センサが多くなるほどプログラムの処理が複雑になる。また、センサがある箇所には、外装の塩ビ板に穴を空ける必要があるため、相手から検出されやすくなる。よって、センサの配列なども含めて十分に検討する必要がある。

白線(俵)を検出するセンサには、浜松フォトニクス社製の光変調型フォトICと赤外LEDで自作したセンサをロボットの四隅に配置している(図3)。ロボットが高速化するほど、白線センサの応答速度が重要となってくるため、センサの反応速度を考慮した選定が必要となる。

相手を持ち上げた状態を検出するためにCdSを用いたセンサを自作し、ブレード台に左右2個組み込んでいる(図7)。相手が来るのを待つ戦術を選択したとき等は、相手が自分のロボットに乗り上げたことを検出し、攻撃に移るタイミングを計るために使用する。

相手との押し合いになった場合、過負荷の状態が継続すれば、モータや回路、バッテリーから出火する恐れがあるため、過電流を検出する必要がある。モータに流れる電流を検出する電流センサを回路に

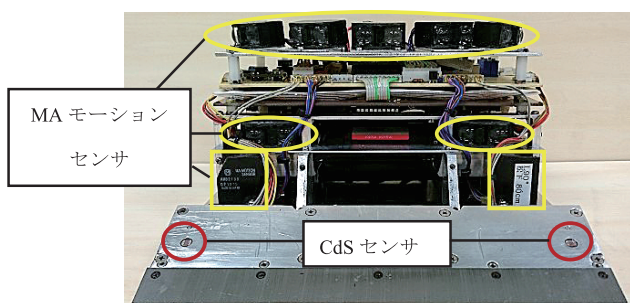


図7 正面（外装を外したところ）

組み込んでいる。モータに流れる電流を検出することにより、相手ロボットとの押し合いになった際、バッテリーやモータに負担をかけるのを防ぐだけでなく、膠着状態以後の動作の判断がより適正にできる。

## 5. 制御プログラム

製作した相撲ロボットのプログラムは、特殊な処理を除けば以下の4つの処理に大別することができる。

### 5.1 仕切り5秒待ちプログラム

前述の通り、自立型の相撲ロボットは、審判の合図から5秒間停止状態であることが定められている。5秒以内に動作すると、フライングと判定され、警告が与えられる。警告を2回受けると、相手方に有効1本が与えられることとなる。

停止時間の計測は、審判のストップウォッチで行う。人の手でを行うため、「はっけよいのこった」の掛け声とストップウォッチを押すタイミングなどは審判によって異なる場合もある。秒速数mで動くロボットにおいて0.1秒遅れることは致命的となる状況も出てくる。

そこで、停止中にただ何もせずに停まっておくのではなく、停止中にもセンサの状況などを確認し、相手のロボットが自分のロボットよりも早く動くことがないか監視している。もし、自分がカウントしている時間よりも早く相手が動けば、こちらも直ちに停止状態から抜け出し、立ち会い動作プログラムに移行する。

### 5.2 立ち会い動作プログラム

立ち会い動作とは、5秒後に相手ロボットと接触する前段階で、相手に対して優位な体勢を取るように行う動作のことをいう。

相撲ロボットの底面には磁石が取り付けられ、鉄板土俵に吸着して動作している。相手のロボットの下に入りロボットを持ち上げることで、磁力が弱まり押し出すことができる。正面同士の接触ならば、先端のブレードの出来や調整具合で勝敗が決まるが、斜めや横から相手のロボットに接触すれば簡単に持ち上げることが可能となる。これを「角を取る」と表現し、ロボット相撲においては、角を取ることが勝利への大原則となる。

相手ロボットの角を取りに行くためには、左前もしくは右前に出てから方向を変え、相手に向かっていく等という動作が必要になってくる。しかし、ここで注意しなくてはならないことは、自分が動いているときには相手も動くということである。そのことを考えてプログラムするか否かは大きな違いが出てくる。自分のロボットよりも相手のロボットの方が極端に遅い場合を除いて、立ち会い動作中もセンサで情報を収集し、不利な体勢でないかを判断している。もし、不利な体勢と判断すれば立ち会い動作を中断し、通常動作プログラムに移行する。

### 5.3 通常動作プログラム

通常動作とは、立ち会い動作以後の動作のことをいう。基本的には、①相手に向かって「突進」する、②相手が来るのを「待つ」、③状況が不利なら退く（「逃げる」）の3種類である。

この3種類の動作を、スタート前の段階でスイッチにより選択しておき、取り組み中も相手を検出するセンサ、持ち上げ検出センサ、過負荷を検出するセンサなどで状況を判断し、動作を変えていく。

通常動作プログラムでは、上記①～③を状況によって使い分け、角が取れるようプログラミングしている。

### 5.4 白線処理プログラム

白線処理とは、土俵の俵（白色）を検出した場合

に、自分で土俵外に飛び出さないように行う動作のことをいう。

相手を押し出すことも重要だが、自分から土俵の外に出てしまえば話にならないため、相手を探す処理よりも優先して行わせる必要がある。

また、どのような処理を行っていたとしても、白線を検出したら、土俵内に戻る処理を行わせるようにプログラムしている。

## 6. 東海能開大での取り組み、および大会結果

現在、東海能開大では、8名の学生が大会に出場するためのロボットを製作している（図8）。取り組みの状況としては、課外活動として放課後の時間を使いロボット製作を行っているのが基本となるが、今年度は専門課程電気エネルギー制御科の総合制作実習のテーマとしても相撲ロボットの製作を行っている。現状では、製作に多くの時間がかかっており、試合に勝つための作りこみの段階までの時間が取れない状況にある。しかし、専門課程2年時にロボットを製作することで、応用課程進学後も活動を継続し、自分が製作したロボットの作り込みができるようにしている。また、毎年新しい学生に入ってもらうことで、学生同士で教えあえる環境を構築できている。

企画・設計・製作・評価という一連のものづくりの過程を経験できるだけでなく、評価（試合の結果）を受け、さらにより良いものに仕上げていくことができる。また、試合に勝つという明確な目標を持ち、メンバー間でその目標を共有しやすいため、メ

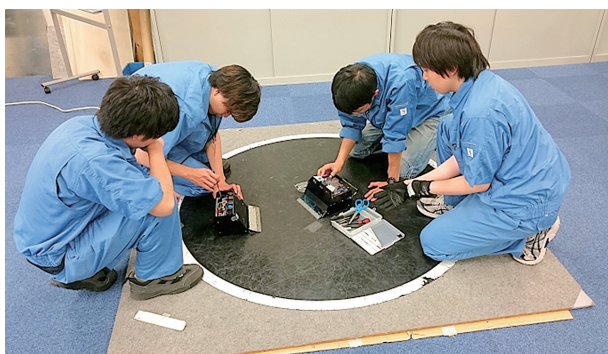


図8 活動の様子

表1 過去に出場した大会の結果

	地区大会	全国大会
第23回（H23）	東海大会 第3位	ベスト48 （全48台）
第24回（H24）	近畿大会 優勝	ベスト24 （全48台）
第25回（H25）	関東大会 準優勝 東海大会 優勝	第4位 ベスト32
第26回（H26）	北信越大会 準優勝	第3位
第27回（H27）	東海大会 第3位	ベスト32
第28回（H28）	東海大会 準優勝	ベスト32



図9 全国大会の様子

ンバー間で助け合い、役割を分担させ、後輩を指導するなど、チームワーク力を向上させることも狙いとしている。

過去に東海職業能力開発大学校として出場した大会の結果を表1に示す。東海能開大チームとしては、6年連続で全国大会に出場中である。第25回大会では2台のロボットが全国大会に出場しており、1台は全国第4位、第26回大会では全国第3位という成績を残している。図9に全国大会に出場した際の様子を示す。

## 7. 今後の技術課題

プログラムに関しては、概ねイメージ通りに動くようにはなってきたが、完成度としては未だ理想の状態とは言えない。

その原因としては、センサの情報からの確かな判断ができていないかが不明確だからである。前述の通り、センサに関しては寸法・重量の制限内で多くの

ものを搭載しているが、これだけでは判断しきれない部分が多くある。例えば、相手ロボットと自分のロボットとの位置関係をもう少し的確に判定できないか、自分のロボットが現在土俵上のどの位置にいるのか、等はなかなか正確な判断が難しい。今後そのような状況を判断するためにはどうしたらよいかといった検討が必要となる。

当面の課題としては、状況を判断するために自分のロボットが浮かされていないかを検出するセンサを実装し、自分が不利な状況にあるのかを判断できればと考えている。相手に向かって突進して乗り上げてしまうなど、タイヤが完全に浮かされてしまえば、勝つ見込みは非常に低くなってしまう。しかしながら、そのような状況になる手前に、先端が少し浮かされてしまった状態を検出できれば、危険回避のプログラムを組むことができ、動きのバリエーションが広がると考えている。

状況判断やプログラムに関してはまだまだ改良の余地があるので、様々な形状や性能をもったロボット力士に、それぞれ対応できるように作りこんでいく必要がある。

## 8. おわりに

相撲ロボットの製作を通じて学んだことは非常に多く、これまでの経験を学生指導や今後の総合制作実習に活かしていきたいと考えている。

相撲ロボットの製作には、機械加工、電子回路、プログラミングと多くの技術要素を必要とする。そしてその成果として大会に出場することで達成感が得られるテーマである。

実際の大会に出場し、試合に勝つことを目標として製作を行えば、学生のモチベーションの維持にもつながり、結果として自分たちが製作したもの（製品）の客観的な評価も得ることができる。

大会の開催目的にもあるように、「ものづくり」の楽しさを知ってもらうことを念頭に置き、今後もチームとして良い結果が残せるよう指導していきたいと考えている。

### <参考文献>

- (1) 全日本ロボット相撲大会 <http://www.fsi.co.jp/sumo/>
- (2) 榎原康弘：自立型相撲ロボットの製作，東海職業能力開発大学校紀要，第20号，pp.7-10（2013）
- (3) 木嶋泰道：優勝ロボットを解剖しよう，第22回全日本ロボット相撲大会自立型「六次元K」～運動解析から始めるロボット設計手法，ROBOCON Magazine，2011年5月号