

アイシン技術会ロボット企画委員会 活動報告 ～全日本ロボット相撲大会への挑戦～

1. はじめに

我々、ロボット企画委員会はアイシン技術会の中にある8つの委員会の内の一つであり、「ものづくり」を実践できる場の提供、スキル向上、人材育成を目的に2012年に発足、2025年1月現在で13名のメンバーによって活動している。主な活動は社内イベントで子供達がロボットに触れ合える各種イベントの企画や社外ロボット競技会への参画となっている。社外ロボット競技会は1989年より開催されている歴史ある国内最大規模のロボット競技会である「全日本ロボット相撲大会」に参画しており、当委員会としての参加は2024年現在で12年目をむかえる。

2. 全日本ロボット相撲大会について

本大会は富士ソフト株式会社が主催し、参加者が技術とアイデアで自作したロボット力士を土俵の上で戦わせる競技である。日本各地で開催される地方大会を勝ち上がった国内代表と海外大会から勝ち上がった各国代表が毎年12月に両国国技館に集まり世界一を目指して熾烈な戦いが繰り広げられている。

ロボットの規格は長さ200mm×幅200mmの大きさで高さは無制限、重さ3kg以内となっており、人間がプロポで操作する「ラジコン型」、プログラムによって自動で動く「自立型」の2つの部門に分かれて戦う。2024年大会から長さ100mm×幅100mmと大きさが半分の500g級の大会が新設され、製作難易度が下がり盛り上がりを見せている。

試合は直径1.5mの鉄製土俵から相手ロボットを押し出す事で勝ちとなり、1試合で2本先取した方が勝者となる。

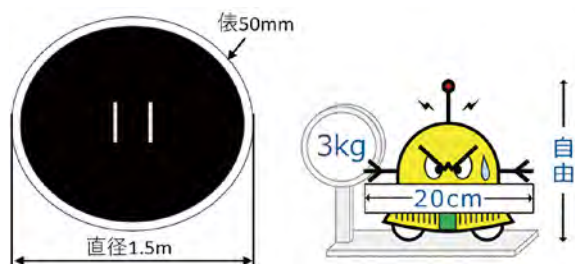


図1 土俵とマシンの大きさイメージ

3. ロボット力士について

3.1 強いロボット力士の条件

土俵から相手ロボットを押し出す事で勝ちとなるため強いロボット力士（以降「マシン」と呼ぶ）には以下の要件が求められる。

- ・相手を押し出すための強力な推進力
- ・相手に押し出されないための土俵への吸着力
- ・相手の側面や背面に回り込むための機動性
- ・様々な状況に対応可能な作戦と戦略
- ・激しい対戦に耐える頑強性

3.2 マシンの基本構成

ロボットで相撲と言うと二足歩行ロボットを想像するかもしれないが、上記要件を満たすには都合が悪い。人間がブルドーザと戦っても勝てない事は明白であり、図2のようにロボット相撲でも不安定な人型より土砂を運ぶ事に特化したブルドーザ型の方がより適する。

そこで図3のようなマシンがロボット相撲の最適解として一般化している。

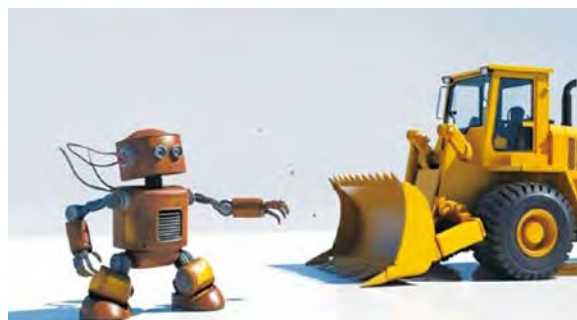


図2 人型ロボットvsブルドーザのイメージ

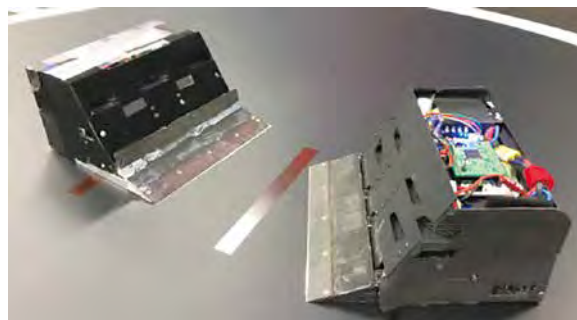


図3 実際のロボット相撲マシン(3kg級)

基本的なマシンの内部構成を図4に示す。マシン重量3kgのうち1kg近くをモータが占めており残りの2kgに電池や磁石、センサなど全ての部材を収めるために筐体は極力軽量化しつつ強度を確保する事が重要である。そこで我々のマシンでは比強度の高い超々ジュラルミン (A7075) を骨格部材に採用している。

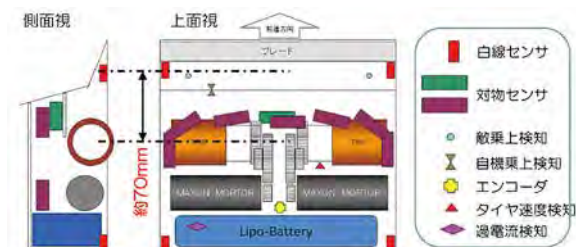


図4 基本的なマシン構成

基本的にマシン重量は重い方が相手に押され難くなるため有利であるが、レギュレーションで3kg以内と規定されているため土俵が鉄製である事を利用してマシン底面にネオジム磁石を設置する事が必須である。我々のマシンも吸着力が約10kg/個のネオジム磁石をマシン底面に30個ほど搭載しており、人間の力で垂直に引き剥す事はほぼ不可能である。このように数百kgに及ぶ吸着力で土俵に張り付いたマシンは単純に押しでも押し出す事が難しいため、マシン前面には鋭利な刃物（ロボット相撲専用に設計されたブレード）を設置する（図5左）。これは相手マシンと土俵の間にブレードを楔として挿し込むことで磁石と土俵の隙間を広げ、磁石の吸着力を緩和し、押し出し易くする事が目的となる。



図5 マシン正面視(左)と底面視(右)

限られたスペースで磁力を最大化するためにFEMによる磁場解析を活用し磁石配置を検討。図6に示すとおり解析結果では隣接する磁石同士の極性を1個おきに反転し磁石間に1mm程度の隙間を設ける、複数の磁石背面を跨ぐように薄い鉄板（バックヨーク）を付けるといった条件で磁力が向上する事を確認、磁石組付け時の参考とした。

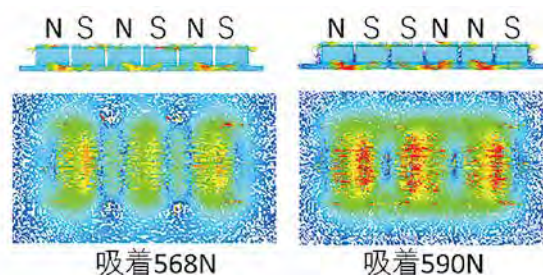


図6 磁場解析による検討結果

駆動系は図5右のように左右二輪タイプが主流でステアリングはなく左右タイヤを前後に動かす事で前進・後進・旋回が可能なシンプルな駆動方式をとっている。左右二輪とするのは土俵との接地をタイヤとブレードだけにすることで、常にブレードを土俵に押し付けながら走行する事で相手に潜り込まれにくくする事が可能となる。

タイヤは減速ギアを介してモータで駆動するがモータの応答性が高いほどマシンの速度を上げても土俵から落ちにくくなる事や相手マシンの弱点である側面を攻撃できる可能性が向上する。そのためモータは極力トルクリップル、ロータ慣性が小さい、機械的時定数の低い高応答な性能が求められる。この条件を高い次元で満たすモータとしてMAXON社製のコアレスモータがあり、高価ではあるが我々含む参加チームの90%以上が採用する定番のモータとなっている。参考までにMAXONモータと電動工具等に使われている安価なモータの性能を表1に比較する。我々が採用しているMAXON RE40モータは定格電圧が24Vとなっているがマシンは工業製品ではなく1シーズン持てば良いという考えから公称電圧の2倍近い48Vを付加する事でモータ性能を極限まで引き出している。その時の停動トルクが単純計算で2倍になるとするとマブチRS-775WCモータで同じマシン速度、停動トルクを得るためには電圧2倍、減速比2倍にする事で成立すると思われるが、起動電流156Aも電圧に応じて2倍に増加すると考えるとそれに耐え得るモータドライバの設計が課題となってくる。

表1 モータ性能比較

	MAXON RE40	マブチRS-775WC
公称電圧	24V	18V
無負荷回転数	7580rpm	20400rpm
停動トルク	2420mNm	1265mNm
起動電流	80.2A	156A
機械的時定数	4.67ms	12ms
重量	480g	280g

3.3 各種センサについて

マシンはただ速くてパワーがあるだけでは勝てない。どんなに強力なマシンパワーを有していても相手プレー

ドに乗り上げてしまっは押し出す事は出来ない.そこで重要になるのが戦略(プログラム)である.対戦ではマシンが刻々と変化する状況を正確に把握し,それをマイコンに伝え,次の動作を決定する必要がある.そのためマシンには様々なセンサが必要で,我々のマシンにも表2に示すとおり多数のセンサが搭載されており,競合チームに比べても種類が多く当チームの強みとなっている.

表2 マシンに搭載しているセンサの一覧

機 能	方 式	個数
敵検知	赤外線式	8
白線検知	赤外線式	4
空転検知	ロータリエンコーダ	1
ストール検知	ホールIC	1
ブレード勝ち	CdSセンサ	5
ブレード負け	リーフスイッチ	2

敵検知センサはマシンの前面および側面に合計8個を搭載し,マシン前側180度範囲にある相手マシンの位置を補足,自機が常に相手マシンと正対できるように制御する.相手を正確に補足し続けるためには応答性が良く,黒色物体でも安定して検知できるセンシング性能が求められる.

白線検知センサは高速で動き回る自機が土俵から誤って落下する事を防ぐためにマシン底面の4隅に配置される.

空転検知センサはパソコン用マウスのホイール等に使われる安価なロータリエンコーダに小径タイヤを取り付け,土俵に接する様にマシン底面に設置,モータ指示とエンコーダ回転の整合によりタイヤの空転を見張っている.相手の吸着が強く相手を押せない状態が継続するとタイヤが空転し白煙を上げてタイヤへのダメージが大きい.そこで空転検知により一旦下がって再度攻撃をやり直すといった戦略も可能となる.

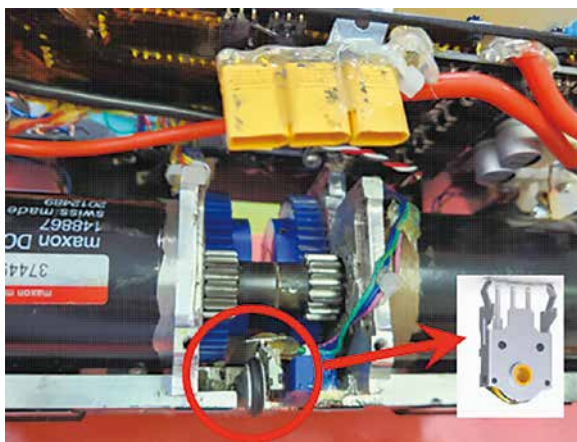


図7 空転検知用ロータリエンコーダ

ストール検知センサはギア側面にφ5mm程度の磁石を埋め込みホールICでギアが回転しているかを検知するものである.モータに回転指示が与えられ,モータ

に電流が流れているにも関わらずモータが回れない(ストール状態)に陥るとモータには大電流が流れ続け,いずれモータコイルの焼損やリチウムポリマ電池がパースト電流に達して発火するなど致命的な不具合に繋がる恐れがあるため,本センサはマシンを燃やさないための重要なフェール機能となる.

3.4 制御基板の製作

各種センサの情報はマイコンで処理される.我々のマシンにはメインマイコンとしてSTM32F401(通称BlackPill)と呼ばれる安価で入手性の良いものを選定,サブマイコンとしてRasberry Pi PicoWというWifi通信機能を持ったものを選定.マイコン同士をシリアル通信によって情報のやり取りをおこなっている.例えばメインマイコンでセンサ信号を集約し,サブマイコンに情報を伝達,サブマイコンが液晶ディスプレイにセンサ状態を表示する.(図8)

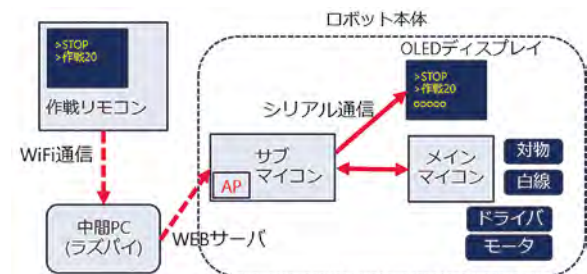


図8 マイコン周りの機器構成

図8の機器構成を実現するために図9のような基板を自作.マシンは激しい衝撃に耐える必要があり,断線等のリスクを最小化するために回路図からア트워크を行い,表面実装のプリント基板を低価格で品質の良いJLCPCB(中国)で製作した.

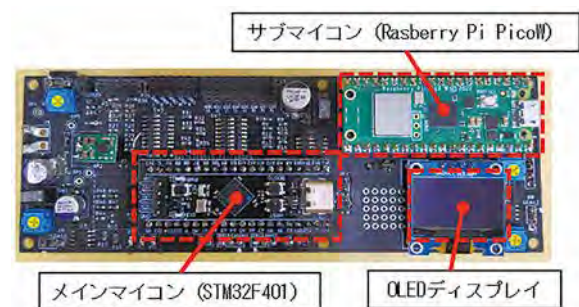


図9 自作プリント基板

3.5 作戦リモコンについて

試合開始時,審判の掛け声とともに両者同時に土俵にマシンを置く必要がある.置いた後はマシンに触れてはいけなため,ディップスイッチ等で予め作戦をセットした状態でマシンを土俵に置く事が一般的である.一方,我々のマシンは手元の作戦リモコンからマシン本体のサブマイコンに無線LANを通じて作戦を送信でき

るようにしており、立ち合いで置いた際の相手との位置関係や状況に応じて作戦を切り替える、いわば後出しジャンケンを可能とした。作戦数も4bitのディップスイッチでは16個の作戦数に制限されるのに対し、我々のマシンは手元送信機から6桁の数字に変換して送信するため作戦数の上限が100万個となり、事実上無制限になったに等しい。このように作戦が大量に増えていくと何番にどの作戦を割り当てたか、表にして手元に置いておくにしても探すのに時間が掛かる。また6桁の数字を打ち込むにしてもプッシュスイッチのカウントアップダウンでは時間が掛かり過ぎるため、UIについても検討する必要があった。そこで作戦リモコンのハードとしてM5Stack Dial ESP32S3（スイッチサイエンス社）を採用（図10左上）。本デバイスは小型のマイコンモジュールとタッチ式ディスプレイ、メカダイヤルが一体になったもので、これにバッテリーとUSB Type-Cの充電モジュールを組み合わせて3Dプリンタで自作したケースに収納（図10右上と左下）。これによりダイヤルで作戦の組み合わせを対話形式で選択、タッチパネルで操作する事で作戦表を持ち歩く事なく膨大な作戦の組み合わせを素早く指示できるようにした。（図10右下）



図10 作戦送信機（パーマンパッチ型）

3.6 マシンの製作について

マシンを製作するにはボール盤やフライス盤、旋盤、3Dプリンタなどの加工設備が不可欠で個人で所有するにはハードルが高く、アイシン技術会として重原町にもづくりができるスペースを確保していただき、モータースポーツ委員会含めて活動拠点としている。

日々仕事帰りに集合しマシン製作を行っている様子を図11に示す。

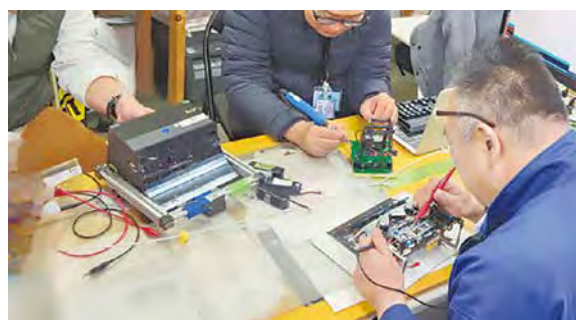


図11 ロボット製作風景

4. 2024年大会結果

4.1 地方大会エントリー状況

全日本の部は関東、近畿、九州の3カ所で地区大会（10月）が開催され、各大会のいずれかで8位以内に入る事で全国大会（12月）の出場権を得る事ができる。当委員会からは交通費がかさむ九州大会を除いた関東大会、近畿大会に各カテゴリーに対して6台のマシンをエントリーする。

関東大会（10月14日）東京工芸大学

3kg級

自立型（全26台）：闘魂M、闘魂K、影武者R

ラジコン型（全60台）：花夜叉

近畿大会（10月20日）大阪府立今宮工科高校

3kg級

自立型（全63台）：闘魂M、闘魂K、影武者R

ラジコン型（全80台）：花夜叉

500g級

自立型（全22台）：ツケメン

ラジコン型（全20台）：ラーメン

4.2 地区大会結果

前節のとおり各地区大会に6台のマシンでエントリー。

結果は3kg級では4台中3台が、500g級では2台中1台と過去最高となる合計4台のマシンで全国大会の出場権を得る事ができた。大会の様子を図12、13に示す。

トーナメントは各地区大会のおよそ1週間前に発表される、その後対戦相手の過去動画を徹底的に分析し、多彩な作戦を準備して臨んだ成果と言える。

関東大会

・闘魂M（四股名）：準優勝（全国出場決定）

・闘魂K：ベスト8（全国出場決定）

・影武者R：ベスト8（全国出場決定）

・花夜叉：ベスト16

近畿大会

- ・花夜叉: 1回戦敗退
- ・ツケメン: 準優勝(全国出場決定)
- ・ラーメン: 1回戦敗退



図12 試合開始前の立ち合いの様子(闘魂M)



図13 取組み中(左:影武者R)

4.3 全国大会結果

2024年の全国大会は関東、近畿、九州の各地方大会で8位以内に入ったマシンの他に高校生ロボット相撲大会の上位入賞マシン、世界30か国の予選会で上位入賞した招待選手ら合わせて286台が12月7～8日に掛けて両国国技館に集結し、頂点を競う。

地区大会で準優勝した闘魂Mは初戦、Cheetah(ルーマニア)と対戦、しかし作戦送信のために使っていた無線LANシステムが不調で作戦の送信が思うようにいかず遅延行為で反則1本。また数日前から時折発生していた電源の瞬断が試合中に発生し合わせて2本取られ1回戦敗退。闘魂Kは初戦、九州大会ベスト8の薦神零(中津東)と対戦、動き回ってブレードが微かに浮くのを抑えるために最小限の動きで相手マシンをブレードに載せてCdSセンサで相手が載った事を確認した上で押したという横綱相撲で相手を一蹴(図14)。2回戦はルーマニアに勝利した佐野工ガイア(大阪佐野工科高校)にも同様の立ち回りで勝利。3回戦はCharizard(ブラジル)と対戦、同様の勝ちを狙いにいったが駆動系の不調で相手の動きに追従できず横腹を掃われて飛ばされる。2本目は相手の動きに合わせて正面で受けるもブレードが不利な状態となり力負け、結果ベスト16で無念の敗退。

他マシンも1回戦敗退となり今年の最高位は闘魂K

のベスト16という結果で幕を閉じた。来年はさらに高みを目指したい(図15)。



図14 作戦送信中の闘魂K



図15 大会終了後の集合写真

5. おわりに

継続は力なり。12年前の参加当初は地方大会で1勝もできず、高校生にも負けるなど悔しい思いをしてきた。なぜ負けたのか？相手と何が違うのか？分析を重ね、同じ轍は踏まないようにと改善し、来年の大会に臨む。来年に向けて少しでもレベルアップする。という事を目標に愚直に12年間継続してきた。ここ数年でその地道な改善の種が実りつつあり、勝率が上がりはじめ、全国大会にも安定して参加できるレベルになってきた。しかし全国大会ではまだまだ1回戦2回戦で負ける事も多く対戦を通じて学ぶ事は終わらない。

ロボット製作はメカ、エレキ、ソフトと当社の製品開発においても必要な要素が全て含まれており、業務では体験できない自分の専門外の分野についても楽しみながら体験し学ぶ事ができる優秀な教材であると言える。もし本稿を読み、少しでも興味を持つ方がいたら気軽に連絡を貰えると幸いに思う。

最後に本活動をここまで継続してやってこられたのもアイシン技術会のバックアップ、同じ志を持った仲間達、本活動への参加を応援してくれる家族の理解あつてのものであり、この場を借りて感謝したい。

※紙面では迫力が伝わりにくいいため、インターネットで「全日本ロボット相撲」と動画検索して是非ご覧ください。

筆 者



松井 智和

解析技術部 第1CAE開発室
流体解析技術開発業務に従事

「アイシン技術会」の紹介：

「会員相互の交流と親睦の和を広め、技術の高揚と視野の拡大を図ること」を目的とし、【組織の枠を超えた技術交流】と【幅広くアイデアに挑戦する場】を創造する会となっています。

現在は本投稿にある「ロボット企画」をはじめ、「講演会」「見学会」「会員だより」「SDGs推進」「モータースポーツ」など、さまざまな行事委員が活動しています。

皆さんもぜひ一緒に活動してみませんか？

アイシン技術会事務局連絡先：aitechs@rd.aisin.co.jp