

## 第2部

# 自立型ロボットについて

# ゴーアヘッドの誕生まで

三菱電機エンジニアリング株式会社 伊丹事業所  
矢島 貴幸・千野 隆之

### 2.1 まえがき

私達は2年程前に「南清水マイコンクラブ」というロボット相撲専門のクラブを結成した。このクラブは約10名ほどの会社の同僚で構成されており、特に会則などもなく自由な集まりである。活動場所は会社の独身寮の研修室で、徹夜になっても、少々大きな音を出しても怒られないので、心ゆくまで製作に取り組むことができる。

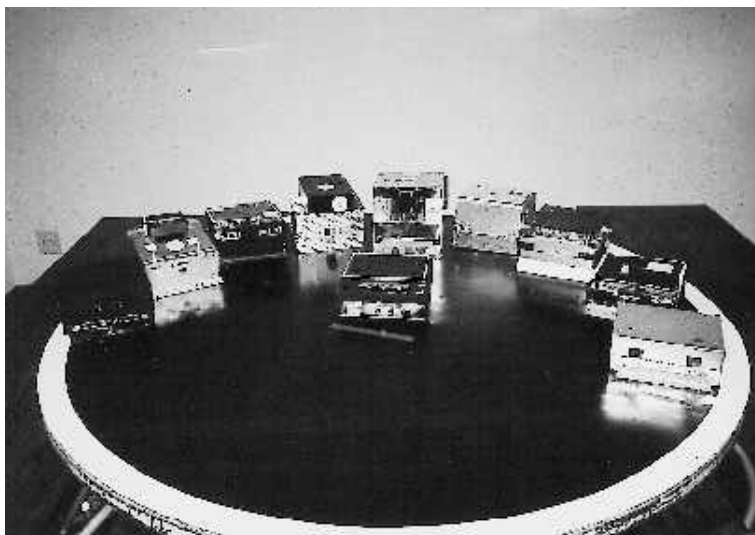


写真2 - 1 南清水マイコンクラブのロボット力士達  
(中央が「ゴーアヘッド」)

第5回大会には、当クラブから8台のロボットを出場させた。大会前にはクラブ内での練習試合も日常茶飯事で、戦法や防御法を実際に試すことで各人の考え方やロボットの性能に磨きがかかる。こんな状況で熟成を重ねた「ゴアヘッド」は、大会間近になるとほとんど負けることがなくなり、大会では念願の優勝を成し遂げることができたのである。

「ゴアヘッド」の優勝はまさにこのクラブ内の「よきライバル達」のおかげであり、一匹狼では今回のような成果は残せなかったと確信している。写真2-1で、当クラブの相撲ロボット「よきライバル達」をご覧いただきたい。

以降、優勝した「ゴアヘッド」の誕生に至るまでの経緯、考え方および具体的な構成について紹介する。

## 2.2 概要

写真2-2から2-5に「ゴアヘッド」の写真を示す。また表2-1に基本仕様、図2-1に外観図、表2-2にキーパーツ一覧表、図2-2に製作日程、表2-3に材料費の内訳を記載する。

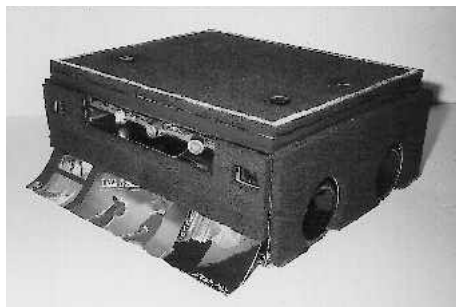


写真2-2 斜めから見た「ゴアヘッド」



写真2-3 正面から見た「ゴアヘッド」



写真2-4 側面から見た「ゴアヘッド」

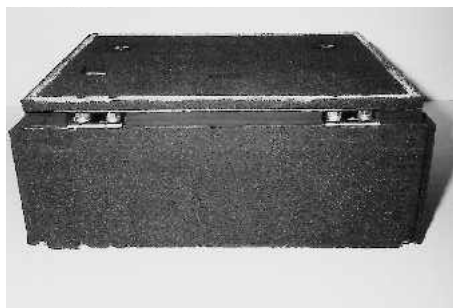


写真2-5 後ろから見た「ゴアヘッド」

表 2 - 1 「ゴーアヘッド」基本仕様

項 目	性能
寸 法	20 × 20 × 8.5cm
重 量	2965g
電源電圧	20.8V
最高速度	1.3m / s
拘束推力	3.7kgf
駆動方式	4 輪駆動
敵検知距離	70cm [ 20 × 10cm 白紙 ]

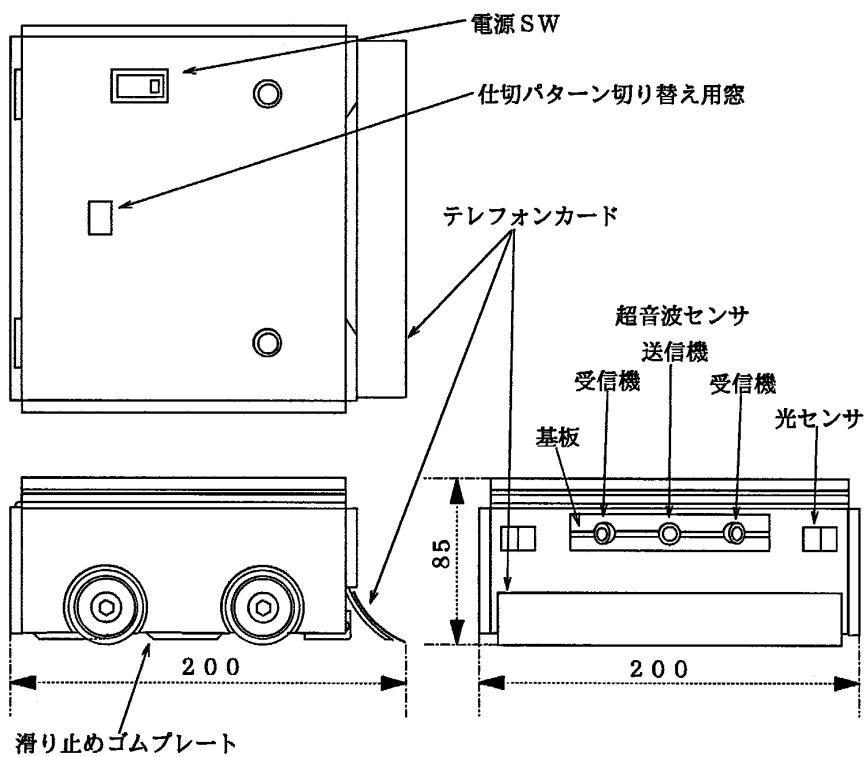


図 2 - 1 「ゴーアヘッド」外観図

表2-2 「ゴーアヘッド」キーパーツ一覧表

部 品	品 名	型名など	メーカ	購 入 先
ベース材質	アルミ	1 mm		東急ハンズ 06-338-6161
カバー材質	アルミ + 黒吸音材			東急ハンズ
タイヤ材質	ネオプレンゴム			東急ハンズ
まわし支え板材質	ステンレス	1 mm		東急ハンズ
遠距離敵センサ	光電スイッチ	PZ51L	キーエンス	(不明) 廃棄物から外した
広視野敵センサ	超音波センサ	MA40S2	ムラタ	共立電子 06-644-4446
土依検知用光センサ	反射型フォトインタラプタ	TLP903	東芝	共立電子
マイコンボード	マイコンボード	AKI80	秋月電子	秋月電子 03-3251-1779
電池	ニッカド電池	1.2V 2200mAh		秋月電子
モータ	DCギヤードモータ	TG05C-AM-12.5KA	ツカサ電工	ティエス電機 06-532-4931
モータドライバ	電界効果トランジスタ	2SJ122, 2SK428	日立	デジット 06-644-4555

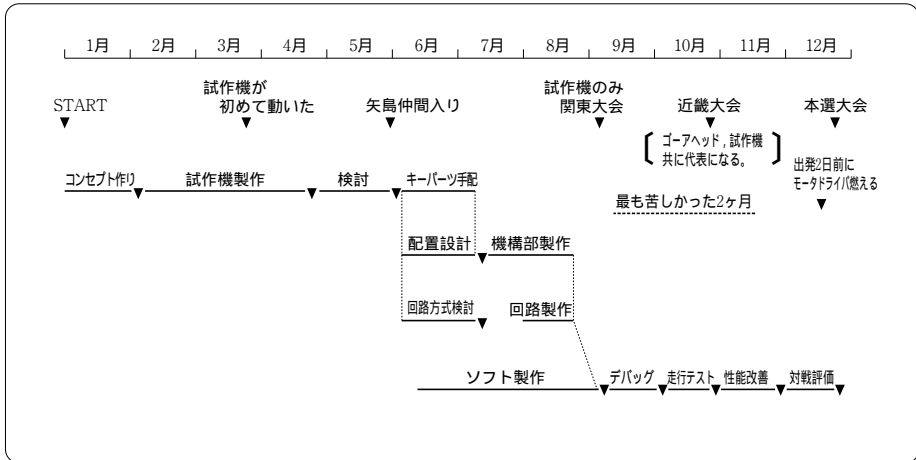


図2-2 「ゴーアヘッド」製作日程（実績）

表2-3 「ゴーアヘッド」材料費内訳

モータ	4 個	15,200 円
電池	16 個	8,000 円
マイコンボード	1 個	4,700 円
駆動機構	2 セット	2,200 円
超音波センサ	3 個	1,800 円
FET	8 個	400 円
電子部品	1 セット	5,000 円
機構部品	1 セット	6,200 円
光電スイッチ	2 個	20,000 円 (実際は未購入)
スポンジ類	1 セット	1,500 円
合計		65,000 円

注) 初めて相撲ロボットを製作される方は、上記の材料以外に工具、ソフトウェア開発ツール、テスター等の購入費も必要である。

## 2.3 構想設計

### 2.3.1 「強いロボット」とは？

「強いロボット」とはどんなロボットなのか？

第4回大会で悔しい思いをしてから、相撲ロボット漬けになった頭の中でどうしたら勝てるかについて考えていた。その頃考えていたことの一部を図にすると図2-3のようになる。

図からも判るように「強いロボット」とは、高速ハイパワーで視力がよく敵ロボットから発見されにくく故障しないロボットのことである。これは当り前のことであるが、相撲ロボットを製作する上で難しいことは、限られた寸法重量内でこの「強いロボット」をどこまで実現できるかということである。

ともかく限られた制約内で可能な限り「強いロボット」を実現する方策を考え、「強いロボット」のコンセプト作りを行った。

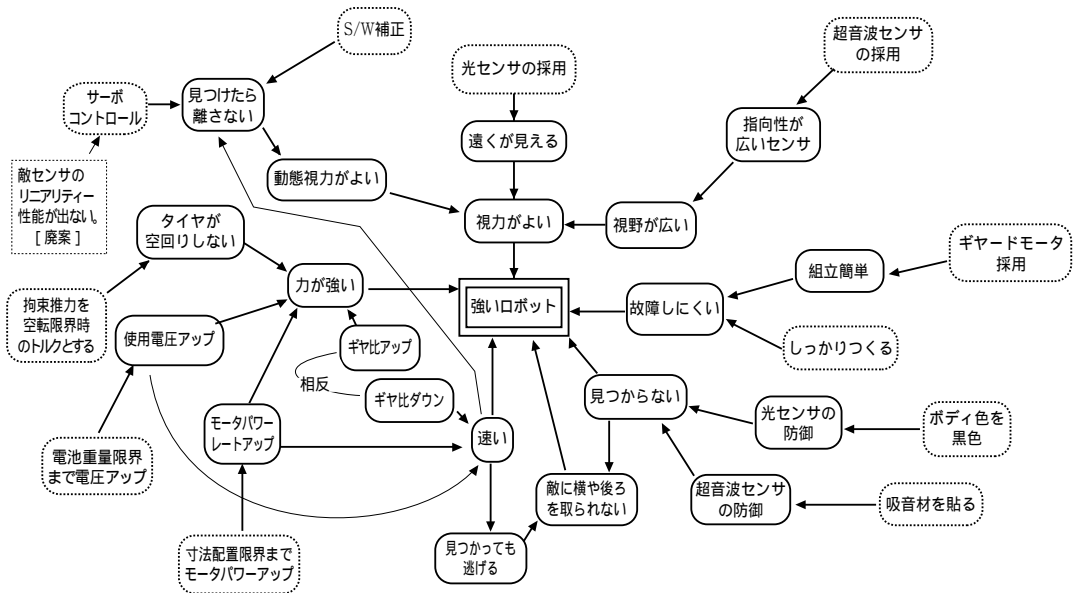


図2-3 強いロボットとは？

### 2.3.2 コンセプト作り

#### (1) パワーとスピードについて

パワーとスピードは大きいに越したことはないが、限られた寸法重量の中で両方共大きくすることは難しい。従って両者のバランスをとることが相撲ロボットを製作する上で最も重要なポイントである。

我々はスピードを優先して考えた。その理由は以下の通りである。

- いくらパワーがあっても動作が遅いと側面や背面を敵ロボットに取られてしまう。逆に、敵ロボットより動作が速ければ敵ロボットは追従できなくなり、側面や背面を取られる確率が低くなるし、敵ロボットの側面や背面を取る確率が高くなる。
- パワーアップには上限がある。例えばモータの減速比を大きく設定してモータトルクを上げることはできるが、本体重量が3 kg程度なので、減速比を大きくした分だけロボットのパワー（推力）が上がる訳ではなく、タイヤが空回りするので、そのポイントを境にパワーアップしなくなる。
- 第2回大会から第4回大会までの上位入賞ロボットを見ると、回を追うごとにロボットのスピードが上がってきている。

#### (2) 視力（敵ロボット検出センサ）について

視力を、視野、遠視力、動態視力の三つに分けて考えた。

視野を広げるためには、音を検出原理とした超音波センサが適しており、遠視力を高めるためには、光を検出原理とした赤外線センサが適している。また動態視力を高めるためには、左右の方向にサーボコントロールをかけるとよいが、敵ロボットの存在方向を高分解能で検出するセンサを実現することが難しいことと、例えその検出ができてセンサ感度に直線性を持たせることが難しいため、今回はやめた。

従って、超音波と赤外線を使ったダブルセンサ構成とする。

以上、パワーとスピード、視力についての考え方を述べた。

要は、敵より速く走行することで敵に捕まらないようにし、敵よりよい目を持つことで先に敵を捕まえるという考え方、言わば「蝶のように舞い、蜂のように刺す」という製作コンセプトである。

### 2.3.3 試作機製作

以上のコンセプトを起点にまず試作機を製作し、それらのデータを基に新しいロボットを製作し、第5回大会にエントリーする計画を立てた。第5回大会で4位になった「干野隆之2号」が実は「ゴアヘッド」の試作機である。当初は試作機のみで製作したが、十分な性能が出たので第5回大会にエントリーした。

「干野隆之2号」の写真を写真2 - 6に示す。

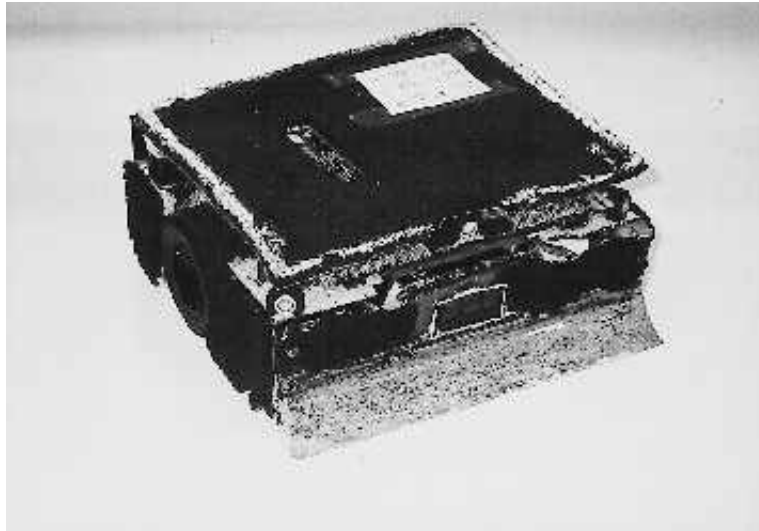


写真 2 - 6 「干野隆之 2 号」

試作機の製作過程は省略し、その評価結果を以下に記す。

- (1) タイヤの空回り限界は、ロボットの推力換算で 3 ~ 5 kgf 程度である。
- (2) 最高速度が 1.6m / s。速すぎて土俵から飛び出す。速度を 0.9m / s まで下げると土俵から落ちなくなる。試作機は後輪 2 輪駆動であるため、前輪キャストが土俵から落ちた瞬間に後輪が浮き、ブレーキ力が弱くなってしまふ。走行速度の限界は前輪駆動にすることで 0.9m / s より上げれそうだが、試作機の構造上これ以上の実験は不可能。また前輪のみの駆動にした場合、前部が浮くと推力を失うので、構造が多少複雑になることを覚悟で 4 輪駆動とした方がよい。
- (3) 走行速度が速いことは実戦で予想以上の効果がある。敵ロボットが遅い場合、側面や背面を取られても振り切って逃げるができる。

#### 2.3.4 具体的検討

- (1) 重量配分計画（実機と一致しているとは限らない。）

モータ	250g	× 4	1000g
機構	500g	× 1	500g
基板	200g	× 1	200g
電池	75g	× X	75Xg
合計			2900g

- (2) 電源電圧（電池本数）決定

電池は 2200mAh の大容量でスペース効率がよい角形のニッカド電池とする。（通信販売でたまたま 500 円 / 個で売っていた。）容量的にも十分過ぎる値で、これを採用することで容量切れや過放電などの電源トラブルは心配なくて済む。

電池の本数は、上記の重量配分で可能な限り増やすという考え方で、かつ合計重量が 2900g になるように電池本数 X 本を求めると、



$$1000 + 500 + 200 + 75X = 2900$$

$$X = 16 \text{本}$$

直列接続で構成すると電源電圧は

$$1.3V \times 16 \text{本} = 20.8V \text{ となる。}$$

ニッカド電池の公称電圧は1.2Vであるが、実際の端子電圧は1.3V程度なので1.3Vと計算した。

(3) モータ、ギヤ比の選定

先般述べたように推力については限界があり、その限界点を越えてモータのトルクアップを図っても、ロボットの推力は上がらない。その限界点は、試作機の評価データより3～5 kgfである。従って最高推力は最大でも5 kgf程度とする。

また走行速度についても限界があり、土俵の区画線を検知してからブレーキをかけて土俵内に戻れる程度の速度が上限である。試作機の評価結果からその上限は0.9m / sで、4輪駆動にすることによって0.9m / s以上にできそうだが、実際4輪駆動にした場合、どの程度まで走行速度が上げられるのか判らない。

そこで、土俵区画線検知後のブレーキ動作について理論計算を行い、その計算プログラムを制作した。付録2.1にその計算方法を、付録2.2に計算プログラムを添付する。計算プログラムの入力にモータの各定数やギヤ比等のデータを入れると、ロボットの最高走行速度と最高推力（拘束時）および土俵区画線検知後のロボットの挙動（位置、速度）のデータを出力する。要は、最高速度で土俵区画線に向かって走行した場合、土俵区画線を検知した位置からどれだけ行き過ぎてブレーキ動作を行うかを把握し、その行き過ぎ距離（オーバーシュート）が区画線幅の5 cm以下ならば土俵から落ちずに土俵内に戻れるという考え方である。

このプログラムを使って、土俵から落ちずにできるだけ速いロボットを構成するためのモータとギヤ比の組合せを選定する。表2 - 4に検討したモータとギヤ比の組合せデータを添付する。選定結果は以下の通りである。

- ツカサ電工製 ギヤードモータ TG38C（ギヤ比12.5）

しかしこのモータは逆転ブレーキをかけると、内蔵フィルタやブラシが焼損することが後の走行テストで判ったので、最終的には上記のモータとほぼ同一寸法の以下のギヤードモータに変更した。

- ツカサ電工製 ギヤードモータ TG05C（ギヤ比12.5）

(4) 敵検知センサ

長距離検出用の光センサとして、赤外線発光ダイオードと赤外線フォトトランジスタで実験を行った。各素子の能力一杯まで性能を引き出してみたつもりだが、10cm × 20cmの白紙を20cm程度しか検知できなかった。これ以上検知距離を伸ばすにはレンズなどの光学系が必要となり、取付が難しくなるので、レンズ一体型のFA用センサを使用することにした。

超音波センサについては、視野拡大が狙いなので、センサの取付け方向を真正面ではなく、ロボット進行方向に対して左右45°程度の方向に向けて設置する。具体的な回路等は後述する。

表2-4 相撲ロボットブレーキ動作シミュレーション結果

条件) タイヤ半径2 cm 本体重量3 kg 4輪  
ギヤ効率90% 動摩擦0.5kgfs/m

メーカー	モータ型名	トルク定数 [Nm/A]	ギヤ比	ギヤ段数	端子間抵抗 [Ω]	電源電圧 [V]	最高推力 [kgf]	最高速度 [m/s]	オーバershoot量 [cm]	コメント
日本サーボ	DME34B50G9B	0.038	9	2	20	20.8	4.1	1.06	2.5	
	DME34B37G18B	0.038	18	3	20	20.8	7.4	0.58	0.4	
	DME38S50G9B	0.023	9	2	10.4	20.8	4.8	1.60	5.4 ×	対向配列難しい
	DME38B50G9B	0.017	9	2	7.5	20.8	4.9	2.13	8.7 ×	対向配列難しい
	DME34B50G36B	0.038	36	3	20	31.2	14.8	0.67	0.3	
	TG35C-AM10	0.038	10	2	14	20.8	6.5	1.01	1.5	対向配列難しい
ソカサ電工	TG35C-AM5	0.038	5	2	14	20.8	3.3	1.64	7.7 ×	対向配列難しい
	TG06B-AM10	0.043	10	2	22	20.8	4.7	0.88	1.5	
	TG38B-AM10	0.031	10	2	24	20.8	3.1	1.10	3.7	
	TG38C-AM15	0.018	15	3	9.4	20.8	6.2	1.37	2.8	第2候補
	TG38C-AM12.5	0.018	12.5	3	9.4	20.8	5.2	1.57	4.4	第1候補
	TG05B-AM12.5	0.029	12.5	3	25	20.8	3.1	0.97	2.8	
	TG05B-AM10	0.029	10	2	25	20.8	2.8	1.14	4.4	
	TG05C-AM15	0.021	15	3	15.4	20.8	4.4	1.15	2.8	
	TG05C-AM12.5	0.021	12.5	3	15.4	20.8	3.7	1.30	4.3	第3候補
	28L28-416E	0.043	6	2	18.8	20.8	3.3	1.30	4.8	高価
ボルデスキャップ	34L11-219E	0.042	6	2	9.7	20.8	6.3	1.46	3.2	高価
	TE40QG-24	0.022	10	2	15	20.8	3.5	1.49	5.9 ×	
	DG35-H104	0.035	10	2	37	20.8	2.3	0.94	3.7	購入ルート不明

注) オーバershoot 5 cm 越えるものは×とした。

## 2.4 ハードウェア設計

### 2.4.1 全体配置

「ゴアヘッド」で使用している主要パーツの配置を図2 - 4に、また内部配置写真を写真2 - 7、2 - 8に示す。

「ゴアヘッド」の車体はボディ、シャーシという組合せ構造ではなく、外箱そのものに強度を持たせたモノコックフレーム構造になっている。このフレームの中にDCギヤードモータ、バッテリー、センサ、タイヤ、基板をパッケージングしている。

パッケージングの際に気をつけたことを以下に記載する。

- 4輪駆動という特徴を出すために、極力タイヤを外側に配置する。
- 高いスピードで土俵区画線に突入した場合のブレーキ動作時に、土俵を割らないように、極力低重心にする。
- 4駆は2駆に比べ旋回性能が悪いため、本体中央に重量物を配置し、旋回方向に対する慣性モーメントを下げる。
- 土俵センサを最も外側に配置する。
- 土俵面との接触精度向上のため、テレフォンカード長を幾分長くする。
- 将来の機能拡張も考えて、基板面積をできるだけ広くとる。
- 基板メンテナンスが容易に行える構造にする。

以上のような点に気をつけながら主要パーツの配置を行った。この結果、上記の項目をほぼクリアできる配置が完成した。タイヤ、ギヤ、モータの軸線を一直線にできる小型のDCギヤードモータを採用したので、最も重い電池を、前後のモータ間に8本（全体の半分）配置することができた。また土俵センサをフレームの四隅に実装すると、前輪用モータより前の中央部分と、後輪用モータより後ろの中央部分にデッドスペースができるが、このスペースにもそれぞれ4本ずつの電池を配置し、限られたスペースを有効に利用した。

このようにほとんどの重量物を非常にコンパクト、低重心に配置できたので、基板面積も十分広く取れ、テレフォンカードの長さも十分長くすることができた。

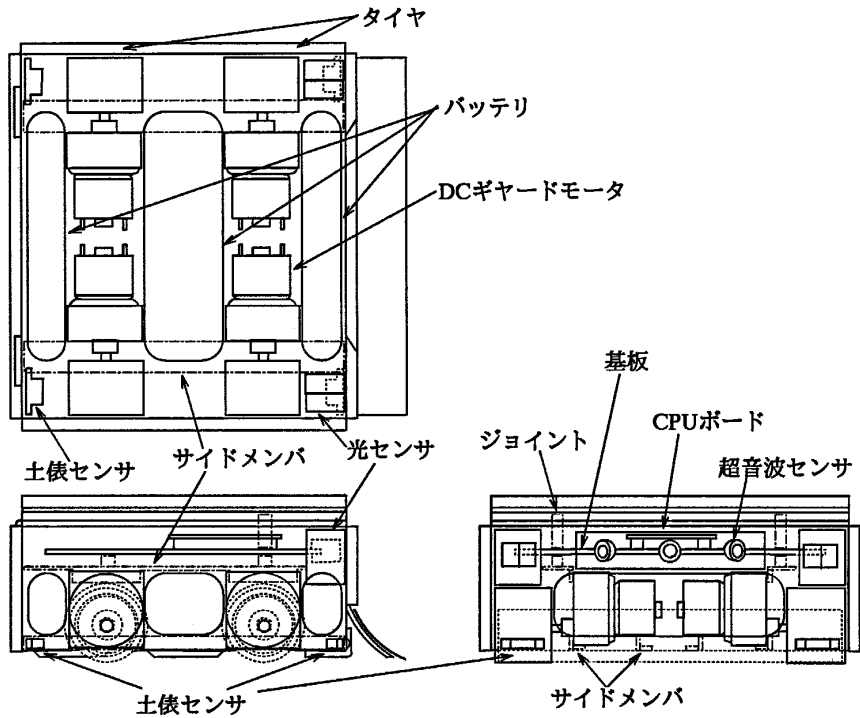


図 2 - 4 主要パーツ配置図

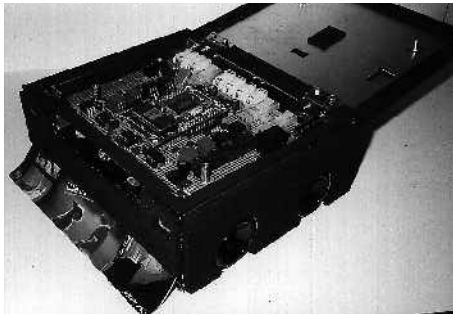


写真 2 - 7 内部配線 (基板あり)

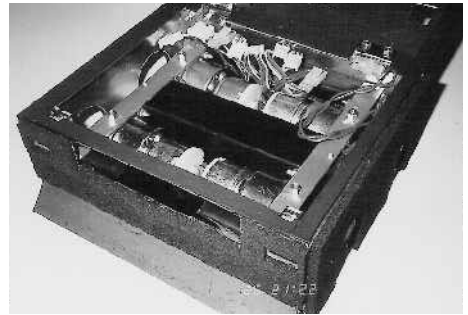


写真 2 - 8 内部配線 (基板なし)

### 2.4.2 フレーム

ロボットのフレーム構造の作り方を、下記のように大別した。

- ワイヤフレーム構造

棒状部材をネジ、ナットで固定しながら構成していく方法

[長所] 製作が簡単。

[短所] サイドメンバ等の部材点数増加，歪みが発生しやすい。

- モノコックフレーム構造

アルミ等の 1 枚板を折り曲げながら箱状にしていく方法

[長所] 部品点数が少ない。開口部を少なくできる。

〔短所〕 製作手順をひとつ誤ると、手直しがきかない。

● 削出し構造

アルミ等の塊を削っていく方法

〔長所〕 高精度，複雑形状のものを製作可能。

〔短所〕 高価。切削マシンが必要。

我々は卓上糸ノコ盤、ドリル程度しか所有しておらず、切削マシン等は夢のまた夢である。従って削出し構造は不可能。またロボット相撲はハードな競技であるので、部品点数が少なく歪みにくいモノコックフレーム構造を採用した。

以下、製作手順を記載する。

(1) 1 mm アルミ板に展開図を書く

完成状態を意識しながら曲げしろ、穴位置、切断しろ、ナットスペース等を考慮し、もれなく書き込む。この作業をいい加減に行うと、パーツを実装できなくなる等、取り返しのつかないことになる。今回は修正が簡単なようにホワイトボードに展開図を書いた。写真2 - 9にホワイトボード上の展開図写真を添付する。

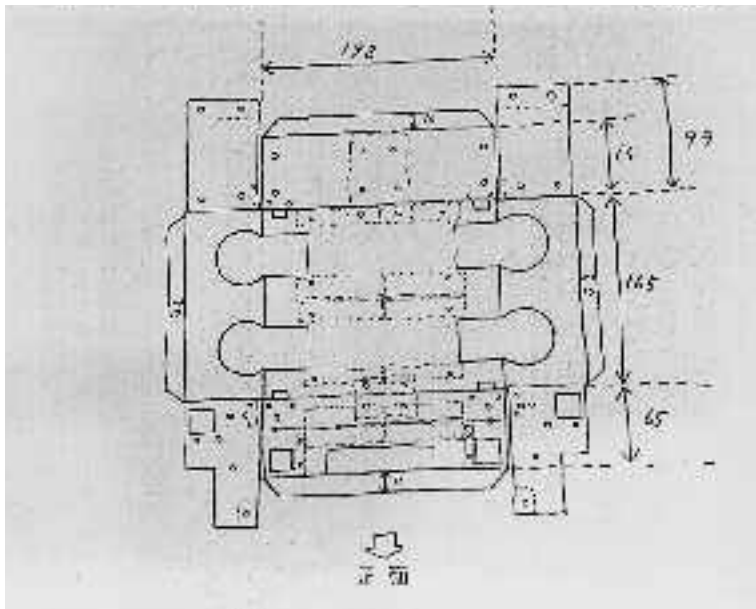


写真2 - 9 ホワイトボード上の展開図

(2) 卓上糸ノコ盤で切断する

まず展開図通りに外枠を切断し、次にタイヤ穴、土俵センサ窓、敵センサ窓を型抜きしていく。型抜き方法は、型のコーナーにまずドリルで穴をあけてから糸ノコ刃を通して切断していく。

使用した卓上糸ノコ盤は RYOBI 製で 15000 円程度のもので、これに長めの板を取り付けた。写真2 - 10に卓上糸ノコ盤とドリルを示す。(南清水マイコンクラブ最新鋭!の加工設備である。)



写真 2 - 10 卓上系ノコ盤とドリル

- (3) 曲げ加工部に筋堀をいれる  
筋堀はいれすぎると曲げた時に裂けてしまうし、少なすぎると鋭角に曲らない。板厚の60%程度が丁度よいようだ。
- (4) ドリルで穴をあける  
各パーツを仮置きし正確に位置合わせをしてから穴をあける。前面、後面は2枚重ねなので外板の穴を先にあけ、内板を曲げた後で外板の穴を基準に内板の穴をあける。
- (5) 曲げ加工を行う  
万力を使用し筋堀ぎりぎりまで挟み込み、筋堀部分に極力近い所にあて木をあてて曲げる。曲げる順番は、前後面の内板、側面板、前後面の外板、上蓋支えガイドの順である。うまく曲げれそうにない部分は、あて木をして木槌でたたきながら曲げた。
- (6) ネジ止め  
できるだけ本体の横幅寸法を確保するため、ネジ止め部は前面と背面に集中させる設計とした。

以上のような手順で箱型のフレームの外枠が完成した。しかしこれだけでは全体的なねじれには弱い。このねじれは4輪のタイヤを均等に接地させることへの障害となるため、必ず排除する必要がある。そこでアルミLアングルのサイドメンバを、前後面と底面の曲げ部および底面縦方向に配置し、ネジ止めした。

DCギヤードモータの固定には、前述の底面縦方向のサイドメンバとさらに、もう1本のサイドメンバ2本で、上下から前後2個のDCギヤードモータを挟み込むように固定している。つまりギヤ部を補強部材の一部として使用している訳である。さらにこのサイドメンバは電池固定用として、また上部サイドメンバは基板固定用ベースとしても使用している。

上蓋は、各パーツ組込みとメンテナンスを可能にするために、蝶番で開くようにした。この蓋は手で回せるボルト2本で固定できるようにしたので、開け閉めが簡単にできる。また最終的にできた基板の高さが予定より少し高くなったので、フレームと上蓋との間に固めのウレタンゴムを入れて高さを調整した。

写真2 - 7、2 - 8 参照。

### 2.4.3 駆動部

写真2 - 11にDCギヤードモータ、ジョイント、タイヤを示す。(但し写真のモータはTG38Cで地区予選で使用したもの。)

DCギヤードモータはツカサ電工製のTG05C - AM12.5を使用している。ギヤ部分がフランジタイプなので取付けが非常に簡単である。先述のように、このフランジ部分を2本のアルミアングルサイドメンバで固定している。図2 - 5にモータ外形図、図2 - 6に負荷特性図、表2 - 5にモータ単体仕様を示す。

DCギヤードモータの駆動軸は6.0mmであり、これと最も相性がよかったジョイントとして、タミヤ製のRDデフジョイントセット(No. 409)の中のジョイントを使用している。

タイヤは一般的にラジコンで使用されているスポンジタイヤを使うことが多いが、摩擦係数があまり大きくない。また変形しやすいため、急制動により車体の姿勢変化が大きくなり、土俵センサが誤動作する可能性がある。

「ゴアヘッド」では、3mm厚のネオプレンゴムを、タミヤ製RDディッシュホイールセット(No. 386)のホイールに瞬間接着剤で貼り付ける構造とした。ネオプレンゴムはスポンジゴムより粘着性があるため、十分な摩擦力を確保できる。反面、剥離しやすいので、よく接着し、タイヤの縁をはさみで斜めにカットするとよい。

以上の駆動部の構成により、モータのパワーが効率よくタイヤに伝達され、車体の姿勢変化も約2mm程度に押えることができるので、パワー不足や土俵センサ誤動作などの致命的な欠陥が現れない、安定した動作が可能となる。

また評価段階でわかったのだが、土俵区画線検知時、急制動をかけると前方への慣性力で後輪が浮いてしまう現象が出た。これを抑えるため後輪のホイール内になまりのウェイトを増設した。

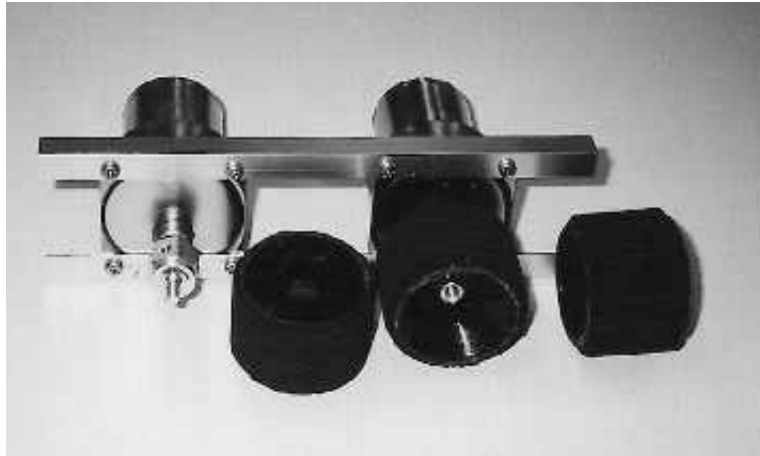


写真 2 - 11 モータ、ジョイント、タイヤ

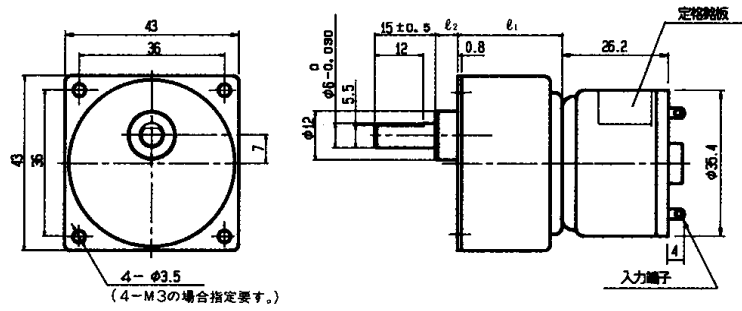


図 2 - 5 モータ外形図

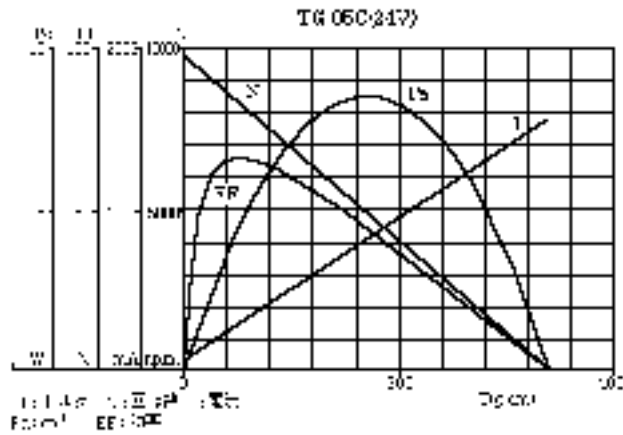


図 2 - 6 モータ単体負荷特性図



表2 - 5 モータ単体仕様

機種名	定格電圧 (V)	無負荷回転数 (rpm)	無負荷電流 (mA)	定格トルク (g-cm)	定格回転数 (rpm)	定格電流 (mA)	回転方向	重量 (g)	備考
TG-05C	24	9800	55	40	8650	240	CCW	75	コンデンサ

#### 2.4.4 まわし（正面に設置した敵をすくい上げるための傾斜部分）

「ゴアヘッド」の製作コンセプトからすると、「ノコッタ」の合図の直後に敵ロボットと正面同志衝突することは、あまり歓迎していない。得意の視力やスピードで敵ロボットの側面や背面に一気に近づき、そのまますくいあげて押し出すのが常勝パターンである。また防御という意味でも、まわしは大変重要な部分なので、下記のように検討した。

- ・テレフォンカード
- ・オレンジカード      テレフォンカードより薄く入手が困難。
- ・プラバン              先端がすぐに変形する。弾性力が少なく調整難。
- ・鉄板                    土俵に傷がつく。弾力性がなく調整難。
- ・りん青銅              土俵に傷がつく。

土俵に傷をつけない程度の高さに設置した1 mmステンレスの板上に、両面テープでテレフォンカードを貼り付けるようにした。

またテレフォンカードの先端部分を上方からやすりで削り、さらに薄くした。薄く削っていくと、中の紙の部分が露出するため、補強も兼ねて瞬間接着剤をその部分に薄く塗込んでいる。写真2 - 12にまわし先端処理を示す。

ステンレスの板は土俵面に対して45°にしている。これ以上角度をきつくすると、テレフォンカードの弾性力が強すぎて前輪が浮く傾向になり、角度を寝せ過ぎると、かえって敵ロボットのまわしにすくわれやすくなる。

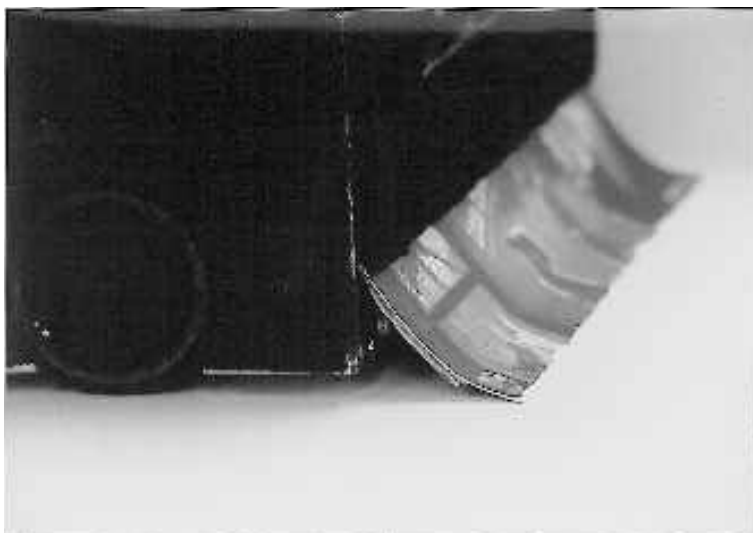


写真2 - 12 まわし先端処理

### 2.4.5 外装

「ゴーアヘッド」の車体は、目のあらい黒いスポンジゴム（吸音材）で覆っている。これは敵の光センサと超音波センサの反射を抑える効果がある。（50cmを検知する超音波センサが、40cm弱しか検知できなくなる。）

また車体底面には、タイヤに巻いたものと同じ材質のネオプレーンゴムを多く貼っている（写真2 - 13参照）。これは土俵で脱輪した場合に車体の落下を防ぐものである。また敵から押された時に、タイヤが若干変形して車高が低くなると、これらのゴムが土俵に密着し摩擦力を上げるので、敵からの攻撃の防御策にもなる。

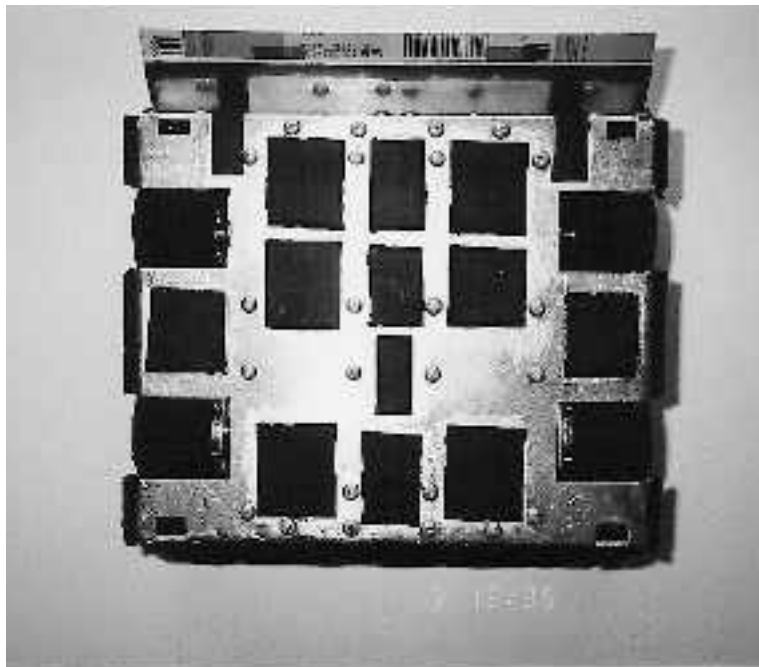


写真2 - 13 車体底面

### 2.4.6 予備部品

写真2 - 14に「ゴーアヘッド」の分解状態を示す。写真からも判るように、通常のメンテナンスを実施する場合に、このレベルまで簡単に分解できる構造になっている。

タイヤは摩耗が激しいので、3組計12個用意した。市販のタイヤホイールにゴムを貼り付けるだけの簡単構造なので、予備部品製作は容易である。

まわしのテレフォンカードは、損傷が激しいと予測されたので第5回大会本選では10枚用意した。しかし実際には1枚も交換することはなかった。

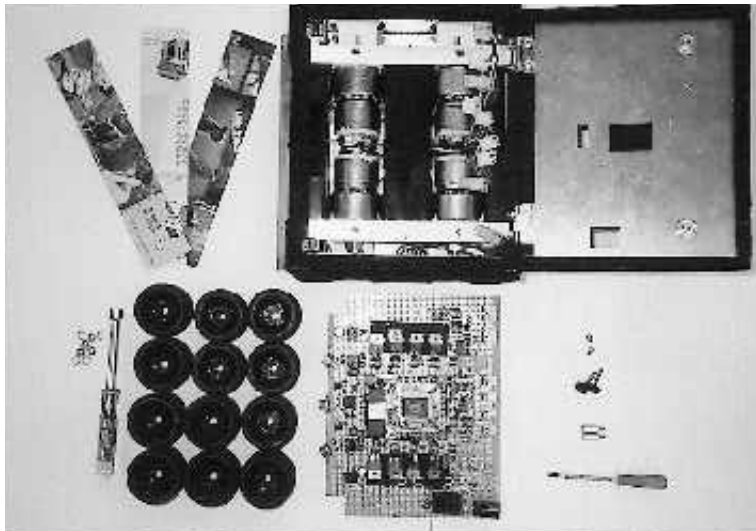


写真 2 - 14 分解状態

#### 2.4.7 モータドライブ回路

##### (1) モータ駆動素子の選定

無負荷で回転しているモータに逆転ブレーキをかけた場合に、駆動素子とモータに最大電流が流れる。この最大電流値は

$$2 E \div R = 2 \times 20.8 \div 15.4 = 2.7 \text{ [A]} \quad \begin{array}{l} E : \text{電源電圧} \quad 20.8\text{V} \\ R : \text{モータ抵抗} \quad 15.4 \end{array}$$

電圧・電流に対し約3倍のディレーティング(過減率)を持たせて、駆動素子を下記の電界効果トランジスタ(FET)とした。

日立製 2SK428、2SJ122 [コンプリメンタリペア]

写真 2 - 15にこのFETを、また図 2 - 7に標準出力特性を、表 2 - 6に絶対最大定格を、さらに表 2 - 7に電気的特性を示す。

最大電流時の電力損失は  $0.1 \times (2.7\text{A})^2 = 0.73\text{W}$  (フィン不要)

##### (2) 駆動回路

回路図を図 2 - 8 に示す。基本的には2本の指令信号でモータの正転、逆転、停止を制御し、下段のNチャンネルFETがオンすると、上段のPチャンネルFETがオンするように構成した。またFETを飽和領域で動作させるためオン時のゲート電圧を10V程度とした。

入力側のTTL ICは4個のFETを同時オンさせないためである(4個のFETが同時オンすると、FETが焼損しバッテリーを壊す)。

左右モータのオン指令がもしも同時に発行された場合、また電源電圧投入時の過渡現象で同時オン指令が発行されてしまった場合に効果がある。

モータと並列に接続したコンデンサは、モータブラシノイズを吸収するためである。

モータドライバが焼損し試合放棄するのを大会でよく見かけるが、最大電流、最大電圧、電力損失に対する最悪条件を十分に割出し、最大定格の半分くらいで動作させることで、焼損などの心配は一切解消されるはずである。

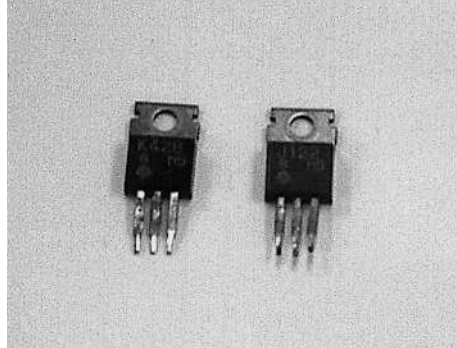


写真2 - 15 FET

## TYPICAL OUTPUT CHARACTERISTICS

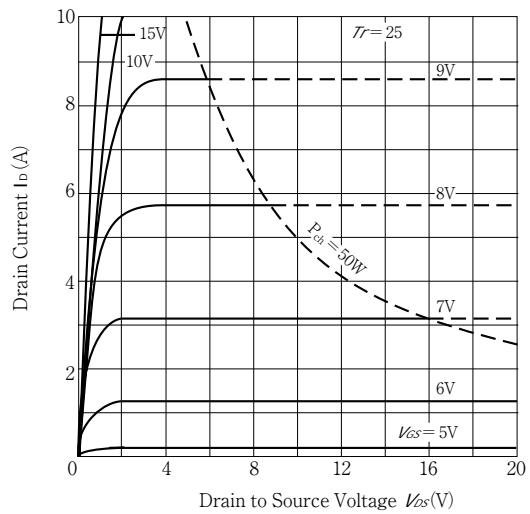


図2 - 7 FET 標準出力特性

表2 - 6 FET絶対最大定格

Item	Symbol	Rating	Unit
Drain-Source Voltage	$V_{DS}$	60	V
Gate-Source Voltage	$V_{GS}$	$\pm 20$	V
Drain Current	$I_D$	10	A
Drain Peak Current	$I_{D(peak)}$	15	A
Body-Drain Diode Reverse Drain Current	$I_{DR}$	10	A
Channel Dissipation	$P_{ch}^*$	50	W
Channel Temperature	$T_{ch}$	150	
Storage Temperature	$T_{stR}$	- 55 ~ + 150	

\*Value at  $T_a = 25$

表2 - 7 FET電気的特性

Item	Symbol	Test Condition	min.	typ.	max.	Unit
Drain-Source Breakdown Voltage	$V_{BR(DSS)}$	$I_D = 10mA, V_{GS} = 0$	60	-	-	V
Gate-Source Leak Current	$I_{GSS}$	$V_{GS} = \pm 20V, V_{DS} = 0$	-	-	$\pm 1$	$\mu A$
Zero Gate Voltage Drain Current	$I_{DSS}$	$V_{DS} = 50V, V_{GS} = 0$	-	-	1	mA
Gate-Source Cutoff Voltage	$V_{GA}$	$I_D = 1mA, V_{DS} = 10V$	2.0	-	5.0	V
Static Drain-Source On State Resistance	$R_{DS(on)}$	$I_D = 5A, V_{DS} = 15V^*$	-	0.1	0.15	
Drain-Source Saturation Voltage	$V_{DS(sat)}$	$I_D = 5A, V_{DS} = 15V^*$	-	0.5	0.75	V
Forward Transfer Admittance	$ y_f $	$I_D = 5A, V_{DS} = 10V^*$	1.5	2.2	-	S
Input Capacitance	$C_{in}$	$V_{DS} = 10V, V_{GS} = 0$ $f = 1MHz$	-	900	-	pF
Output Capacitance	$C_{out}$		-	700	-	pF
Reverse Transfer Capacitance	$C_{rt}$		-	120	-	pF
Turn-on Delay Time	$t_{r(on)}$	$I_D = 2A, V_{GS} = 15V$ $R_t = 15$	-	15	-	ns
Rise Time	$t_r$		-	45	-	ns
Turn-off Delay Time	$t_{r(off)}$		-	55	-	ns
Fall Time	$t_f$		-	65	-	ns
Body-Drain Diode Forward Voltage	$V_{DF}$	$I = 5A, V_{GS} = 0$	-	0.9	-	V
Body-Drain Diode Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$I = 5A, V_{GS} = 0$ $d_i, idt = 50A / \mu s$	-	300	-	ns

\*Pulse Test

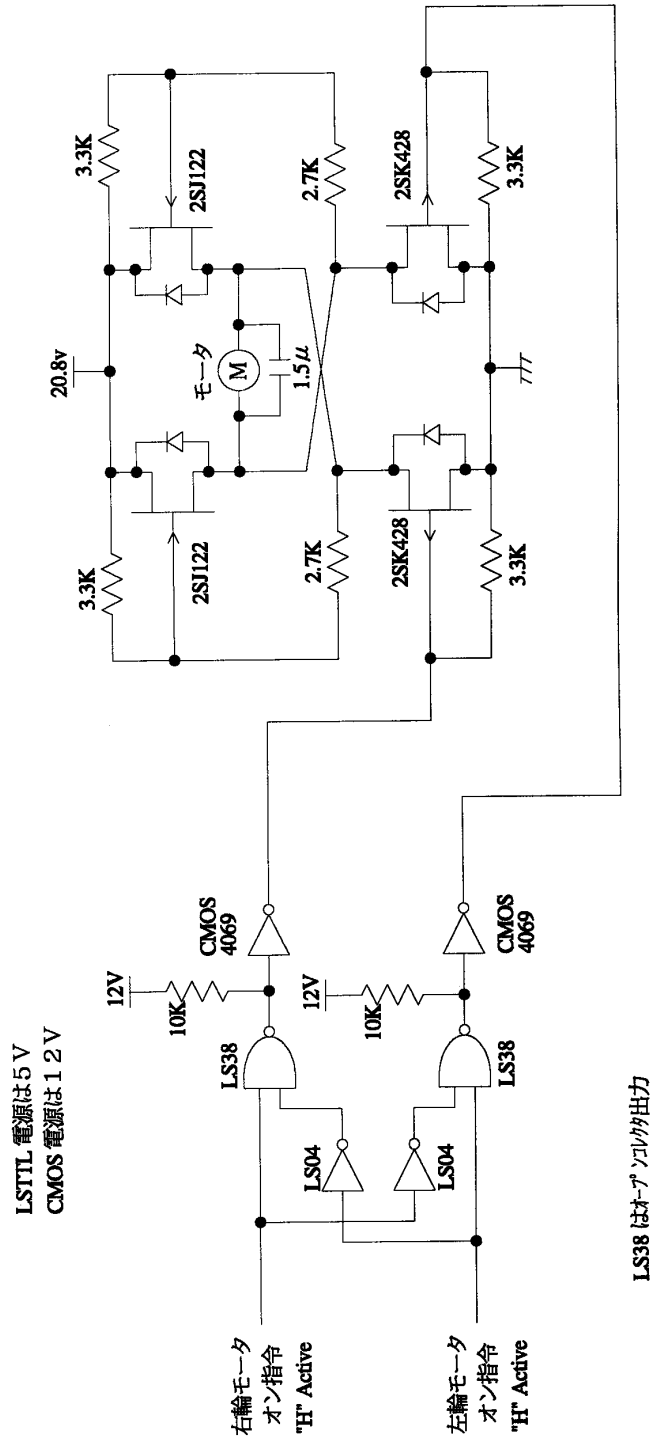


図2-8 モータドライブ回路

### 2.4.8 敵センサ回路

敵検出センサは超音波と赤外線を使ったダブルセンサ構成である。超音波は視野拡大のため、また赤外線は遠距離検出のために用いる。

#### (1) 超音波センサ

ムラタ製「MA40S2」を超音波センサ素子として採用した。つっぱり棒を持ったロボットと試合する場合、センサ素子は少しでも小さい方が壊れにくいので小型の素子を選択した。(表2 - 8参照)

「ゴアヘッド」の超音波センサは、中央に送信素子、両端に受信素子を設置しており、両端の受信素子を進行方向に対して45°傾けることで、視野を拡大している。(写真2 - 16参照)

超音波センサ回路図を図2 - 9に示す。送信回路はオペアンプを使って、送信素子を自励発振させている。この方式は送信素子の直列共振周波数で発振させることができるため、他励発振の場合に比べて大きな音量がとれる。(とは言っても超音波だから聴こえないが...)

また受信回路は、増幅 絶対値化 比較の部分から構成されている。増幅部ではオペアンプを2個使って100 ~ 1400倍まで増幅させており、可変抵抗器で調整できるように構成した。次の絶対値部では半波整流回路で交流信号を直流信号にしている。最後の比較部ではコンパレータを使って基準の電圧 ( $V_{ref}$  に対して1.6V) と絶対値化した直流信号とを比較し、直流信号の方が大きければコンパレータ出力は0Vに落ちる設計である。

検出距離の実力値は、10 × 20cmの紙で正面60cm、正面から30°の方向で30cmである。

#### (2) 赤外線センサ

レンズ一体型のFA用センサとして、キーエンス製のアンプ内臓型光電スイッチ、型名PZ51Lを使用する(写真2 - 17参照)。これは透過用途に使われるセンサであるが、反射用途に使った。以前、レーザーディスク装置のようなものが大量に捨てられており、その中に使われていたPZ51Lを取り外して実験したのが採用のきっかけである。(買うと1万円もする。表2 - 9、図2 - 10参照。)

視野は10°と狭いが10 × 20cmの白紙なら70cm離れていても検出可能である。またオープンコレクタ出力なので、超音波センサ回路の出力とOR接続し、マイコンのポートへ直接入力した。

表 2 - 8 超音波センサ定格

項目	品名	MA40S2R / S
公称周波数	( KHz )	40
感 度	( dB )	- 74以上
音 圧	( dB )	100以上
指向性	( deg )	100°
静電容量	( pF )	1600
許容入力電圧	( Vrms )	10
使用温度範囲	( )	- 30 ~ +85
検知距離	( m )	0.2 ~ 4
分解能	( mm )	
外形寸法	( mm )	10 × 6.5h
重 量	( g )	0.7
特 長		小形

空中超音波センサは、超音波を空中に放射し、物体からの反射波を検知することによって、物体の有無や物体までの距離計測などに利用することができる。  
 感度：0dB=1V /  $\mu$  bar , 音圧：距離30cm , 0dB=2x10  $\mu$  bar



写真 2 - 16 超音波センサ設置状態





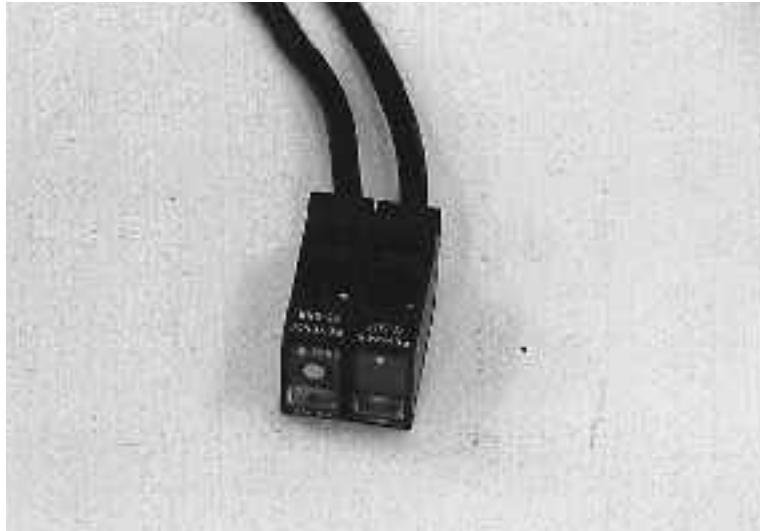


写真 2 - 17 光電スイッチ

表 2 - 9 光電スイッチ仕様

種類	透過型	
	L型	
形式	PZ-51L	
検出距離	7 m	
光源	赤外 LED	
検出物体	不透明体 8 mm 以上	
応差距離		
感度調整	1 回転トリマ (240 °)	
応答時間	1.5ms 以下	
動作形態	入光時 ON / しゃ光時 ON 切換 (配線による)	
表示灯	出力表示・電源表示・・・赤色 LED、安定動作表示・・・緑色 LED	
出力	制御出力	NPN オープンコレクタ最大 100mA (40V 以下)
	スタビリティ出力	NPN オープンコレクタ最大 50mA (40V 以下)
保護回路	逆接続保護・過電流保護	
定格	電源電圧	DC12 ~ 24V ± 10 % リップル (P-P) 10 % 以下
	消費電流	投光器 : 20mA 以下 受光器 : 25mA 以下
耐環境性	保護構造	IP-67
	使用周囲照度	白熱ランプ : 5,000lx 以下、太陽光 : 20,000lx 以下
	使用周囲温度	- 20 ~ +55 (氷結しないこと)
	使用周囲湿度	35 ~ 85 % RH
	耐振動	10 ~ 55Hz 複振幅 1.5mm X, Y, Z 各方向 2 時間
ケース材質	ガラス強化樹脂	
重量 (コード 2 m 付)	投光器 : 約 60g 受光器 : 約 70g	

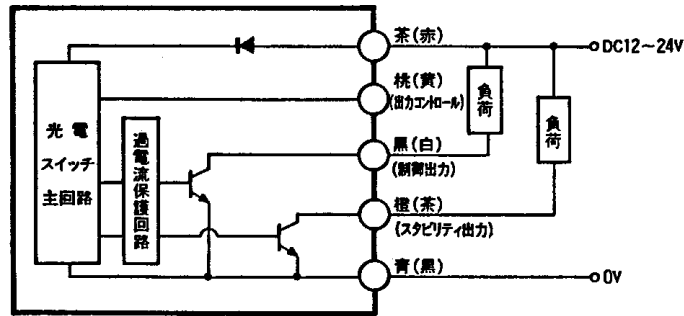


図2 - 10 光电スイッチ内部回路図

### 2.4.9 土俵センサ回路

センサ素子としては、東芝製の反射型フォトセンサ 型名 TLP903 を使用した (写真2 - 18 参照)。この素子は出力段がダーリントントランジスタになっているので、出力を直接コンパレータに入力するだけで土俵区画線を検出することができる (表2 - 10、図2 - 11、図2 - 12、図2 - 13 参照)。

回路図を図2 - 14 に示す。センサから土俵面までの距離を 5 mm 程度と考え、当初は発光ダイオードと直列の抵抗を 2.2K としたが、実機調整で 5.6K に変更した。この回路で最も怖いのはセンサと土俵面の距離が変わってしまうことで、最悪の場合は土俵区画線を検出できずに自爆することになる。回路自体は簡単であるが、センサの固定方法には十分な注意が必要である。

また寸法や構造の関係上、どうしても十分な固定ができない場合は、「ハッケヨイノコッタ」の後の 5 秒間で自動補正する方法もある。

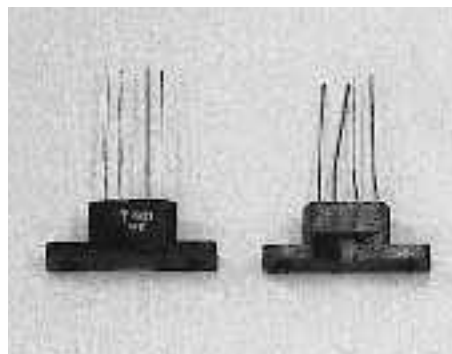
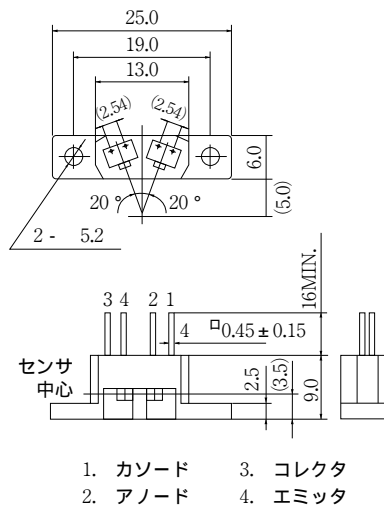


写真2 - 18 反射型フォトセンサ

表 2 - 10 反射型フォトセンサ電気的特性

項 目	記 号	測 定 条 件	最 小	標 準	最 大	単 位	
発光側	順 電 圧	$V_F$	$I_F = 10\text{mA}$	1.00	1.15	1.30	v
	逆 電 流	$I_R$	$V_R = 5\text{V}$			10	$\mu\text{A}$
	端 子 間 容 量	$C_T$	$V = 0, f = 1\text{MHz}$		30		pF
受光側	暗 電 流	$I_D (I_{CEO})$	$V_{CE} = 16\text{V}, I_F = 0$		30	250	nA
伝 達 特 性	コレクタ電流 (注 2)	$I_C$	$V_{CE} = 2\text{V}, I_F = 10\text{mA}$	200	1000		$\mu\text{A}$
	上 昇 , 下 降 時 間	$t_r, t_f$	$V_{CC} = 5\text{V}, I_C = 10\text{mA}, R_L = 100$		200		$\mu\text{s}$

注1. パルス幅 100  $\mu\text{s}$ , 繰り返し周波数 = 100Hz  
 注2. 反射率90%白紙・検出距離 5 mm



( )は参考値

図 2 - 11 反射型フォトセンサ外形図

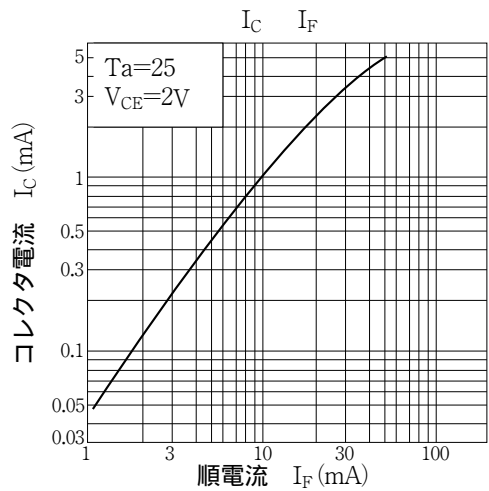


図 2 - 12 フォトセンサ電流伝達特性

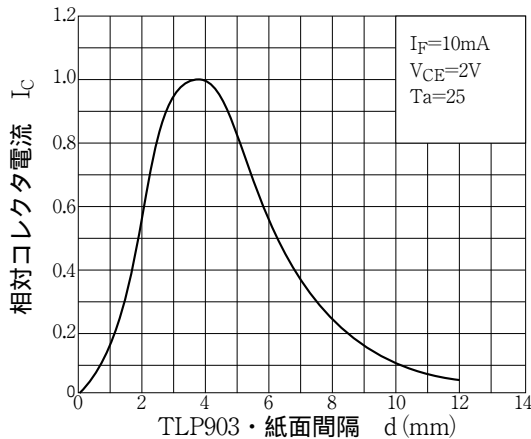


図 2 - 13 フォトセンサ検出距離特性

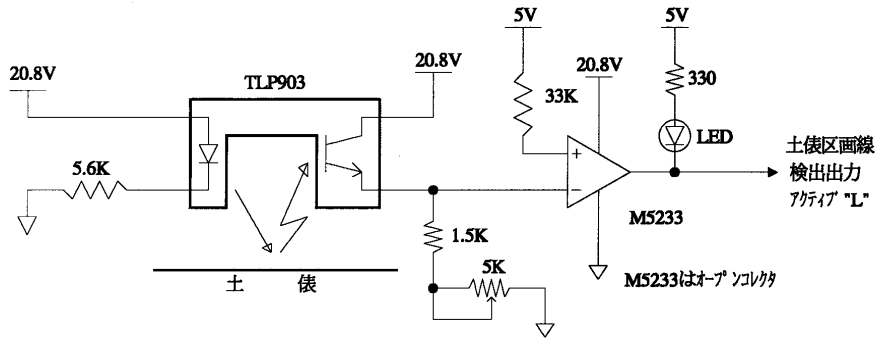


図2 - 14 土俵センサ回路図

### 2.4.10 電源回路

電源回路図を図2 - 15に示す。前に述べた通り、バッテリー16本分の電圧は20.8Vである。しかしCPU部分が5Vで動作することと、モータドライブ回路で使用するCMOS ICの最大定格が20Vで定格オーバーすることから、5Vと12Vの安定化電源を図のように3端子レギュレータで作った。

5Vの3端子レギュレータを写真2 - 19に示す。

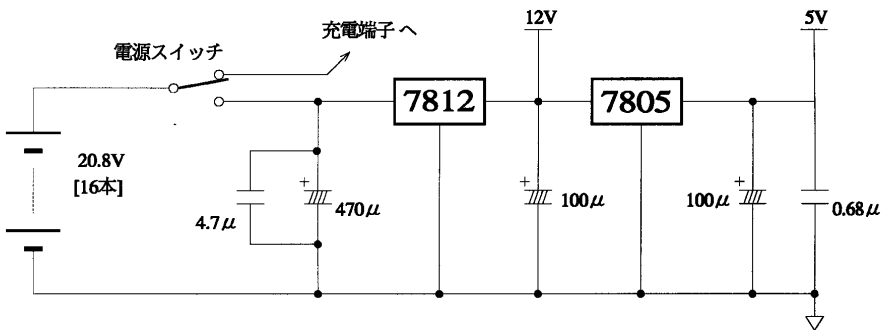


図2 - 15 電源回路図

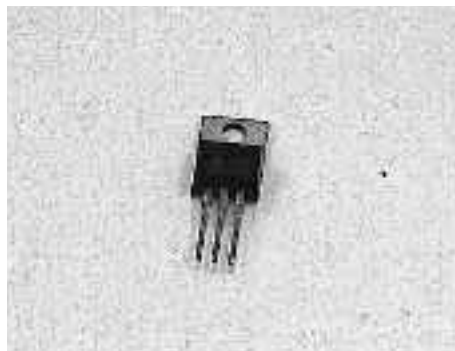


写真2 - 19 3端子レギュレータ

## 2.4.11 マイコン回路

マイコン回路を初めから手作りで製作すると、アドレスバスなどの配線本数が増え、断線などで故障しやすくなるので、面倒くさがり屋の筆者は、市販のマイコンボードを購入することにした。マイコンボードは各社から多数販売されているが、当時調べた中で最も安価で小型の次のボードを採用した。

- ・秋月電子通商 AKI-80 ゴールド  
4700円 5 × 7 cm

上記のボードには東芝製の Z84C015 という Z80 をベースにした強力なワンチップマイコンが搭載されている。写真 2 - 20 にマイコンボードを、写真 2 - 21 に基板全体を示す。また、回路図を図 2 - 16 に、仕様を表 2 - 11 に、さらに I/O マップを表 2 - 12 に示す。

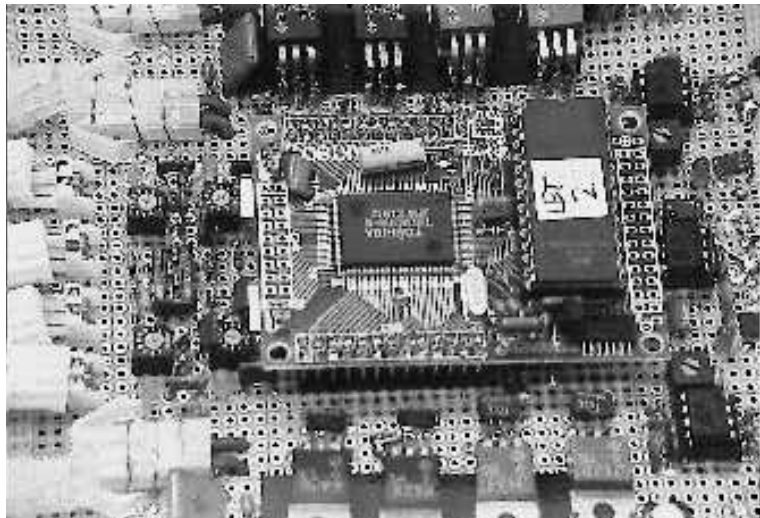


写真 2 - 20 マイコンボード

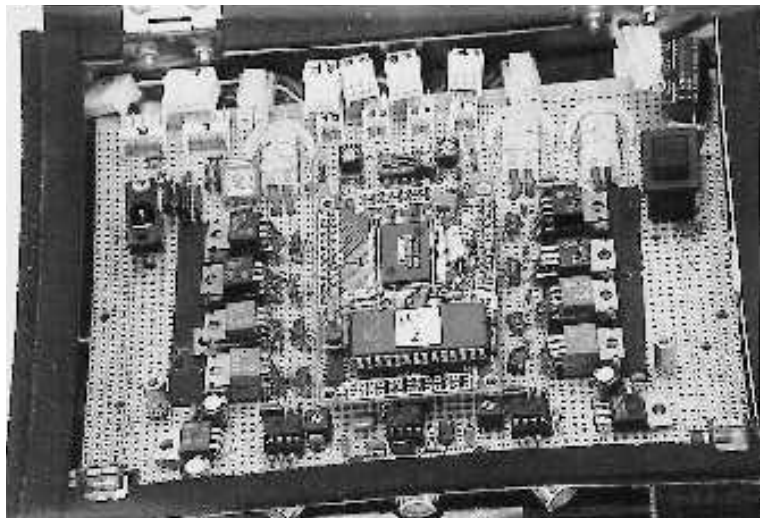


写真 2 - 21 基板全体

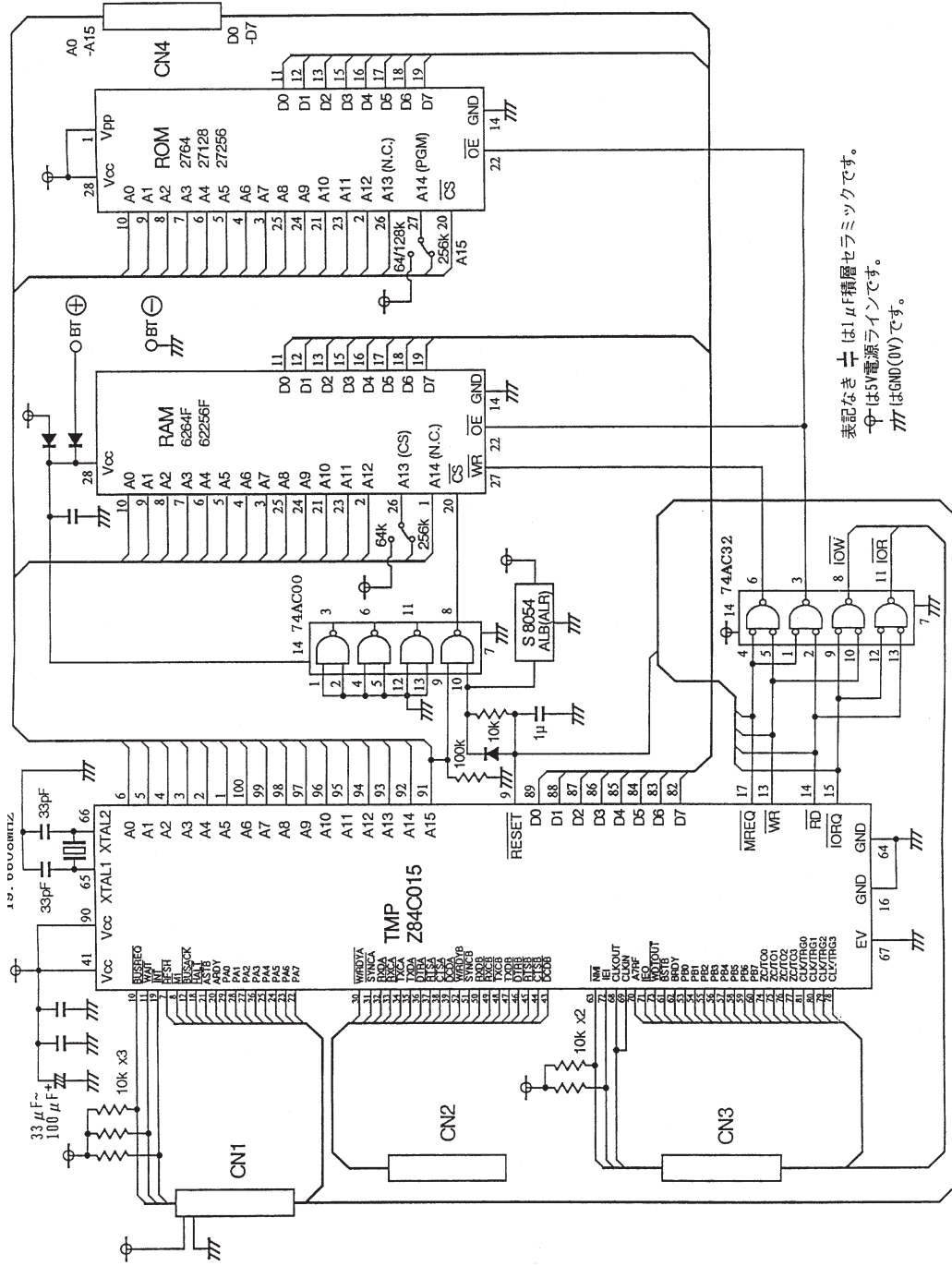


図2-16 マイコンボード回路図

表2 - 11 マイコンボード仕様

TMP Z84C 015 BF-10	CPU	Z80CPU-10MHz	Central Processing Unit
	PIO	Z80PIO-10MHz	2組の8ビット(計16)入出力ポート
	CTC	Z80CTC-10MHz	4組のカウンタ/タイマ(選択可能)
	SIO	Z80SIO-10MHz	2組の全二重チャンネル2000Kボーまで
	CGC	Z80CGC-10MHz	クロック発信器4つのHALTモード
etc		ウォッチドッグタイマ	暴走検出用タイマ
		ディジーチェーン 優先順位設定レジスタ	内部I/O用 Z80シリーズ割込み優先順位設定
システムクロック		9.8304MHz	19.2KHz × 256 × 2 (X'tal=19.6608MHz)
メモリ	RAM	256Kbit (100nSEC以下)	
	ROM	64K, 128K, 256Kbit (100nSEC以下)	
その他	メモリバックアップ可。リセットIC, S8054。全フラットIC使用。		
サイズ	50mm × 70mm × 10mm (但しROM、端子類、リチウム電池未実装時)		

表2 - 12 マイコンボードI/Oマップ

内部I/O	チャンネル	I/Oアドレス
CTC (カウンタタイマ)	ch0	#10
	ch1	#11
	ch2	#12
	ch3	#13
SIO (シリアルI/O)	chA送信/受信バッファ	#18
	chAコマンド/ステータスレジスタ	#19
	chB送信/受信バッファ	#1A
	chBコマンド/ステータスレジスタ	#1B
PIO (パラレルI/O)	Aポートデータ	#1C
	Aポートコマンド	#1D
	Bポートデータ	#1E
	Bポートコマンド	#1F
ウォッチドッグタイマ/スタン ドバイ モード設定レジスタ	WDTER, WDTPR, HALTMR	#F0
ウォッチドッグタイマ コマンドレジスタ	クリアコマンド (4EH) ディセーブルコマンド (B1H)	#F1
ディジーチェーン割込み 優先順位設定レジスタ	bit2 ~ bit0のみ使用	#F4



## 2.5 ソフトウェア組込み

### 2.5.1 開発環境

#### (1) ハードウェア

- ・パソコン PC9801NS NEC
- ・ROMライター [組立キット] 秋月電子通商 9500円
- ・ROMイレーザ [自作]
- ・RS232Cケーブル [自作]
- ・予備ROM (20個程度)

#### (2) ソフトウェア

- ・エディタ MIFES
- ・アセンブラ XA80 システムロード 2500円
- ・デバグ Z VISION REMOTE ミニ システムロード 2000円

#### (3) 開発方法

全体構想をまとめる。(十分検討しておかないと、後で時間を浪費する。)

エディタでソースプログラムを制作する。

アセンブラでソースをアセンブルし、ヘキサファイルを作成する。

デバグとROMライターで単体デバグを行う。

単体デバグを完了したヘキサファイルをROMに書込む。

走行テストなどの実機テストを実施し評価を行う。

完成

ソフトウェアの環境に必要なものと、その開発方法の概略について記載した。秋月電子通商やシステムロード社の製品については、エレクトロニクス総合誌「トランジスタ技術」にほとんど毎回、広告が掲載されているので、本書では特に詳しい説明はしない。

ソフトの開発環境について、本来はICE (インサーキットエミュレータ) などがあって、実機デバグができれば開発効率は格段の差なのであろうが、たかが一個人にそんな高価なものが入手できるはずもない。手作業アセンブルでマシン語コードを直接入力しなければならないよりはましと思い、上記のような環境がこれだけ安価に入手できたことを感謝している。

中でもお勧めは、システムロード社のデバグと秋月電子通商のROMライター

の組合せである。ROMライター自体が9500円の安価であるにもかかわらず、たった2500円のデバッグソフトを追加するだけでROMライターがターゲットCPUに変身し、実機に非常に近いデバッグが可能になる。(但し、実機にAKI80ボードを採用した場合)

筆者も最初のバグ取りの大半は、このデバッグに助けられた。

## 2.5.2 ポート割当て

表2 - 13にマイコンポートの割当て表を示す。

表2 - 13 マイコンポートの割当て表

ポート番号	入出力	信号の意味
PA7	IN	右前に土俵区画線を検知した時に"L"になる信号
PA6	IN	左前に土俵区画線を検知した時に"L"になる信号
PA5	IN	右後に土俵区画線を検知した時に"L"になる信号
PA4	IN	左後に土俵区画線を検知した時に"L"になる信号
PA3		(あきポート)
PA2		(あきポート)
PA1	IN	左方向に敵ロボットを検知した時に"L"になる信号
PA0	IN	右方向に敵ロボットを検知した時に"L"になる信号
PB7	IN	"L"で敵検索動作回転モード"H"で敵検索動作直進モード
PB6	IN	"L"で立会いパターン左攻め "H"で立会いパターン右攻め
PB5	IN	立会いパターン設定用上位ビット信号
PB4	IN	立会いパターン設定用下位ビット信号
PB3	OUT	左タイヤ前進指令信号"H"で前進
PB2	OUT	左タイヤ後進指令信号"H"で後進
PB1	OUT	右タイヤ前進指令信号"H"で前進
PB0	OUT	右タイヤ後進指令信号"H"で後進

### 2.5.3 立会いパターン

「ゴアヘッド」には基本的に3種類の立会いパターンをプログラミングしている。以下、右方向攻めの3種類の立会いパターンを記載するが、同様に左攻めのパターンもある。左右の切替えとパターンの選択を、基板上のディップスイッチによって行っている。(図2 - 17 ~ 2 - 19参照)

#### (1) Aパターン

ロボットを斜め45° の方向に向けて置く。

センサオン、全速前進。敵検知すれば敵検知動作(2.5.5項参照)

約160° 左回転、敵検知すれば敵検知動作

もとの場所より少し前に戻る。

[狙い] 敵ロボットのスピードが遅いと判った場合に敵の横腹を狙う。低速ロボットには大抵、このパターンで勝てる。

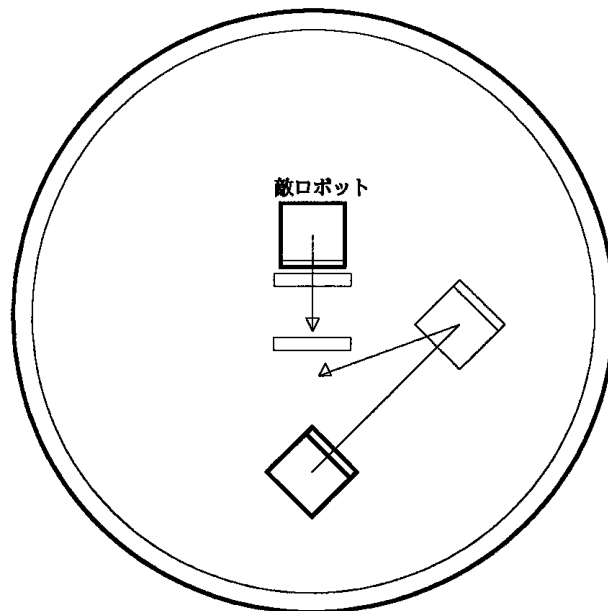


図2 - 17 立会いパターン「A」

## (2) Bパターン

ロボットを正面に向けて置く。

センサオフのまま右45°方向に回転する。

センサをオン、全速前進。敵検知すれば敵検知動作。

約160°左回転、敵検知すれば敵検知動作。

もとの場所より少し前に戻る。

[狙い] 直進してくる敵ロボットをまずかわして、横腹または背後から押し出す。  
本選大会では殆どこのパターンで勝ち進んだ。

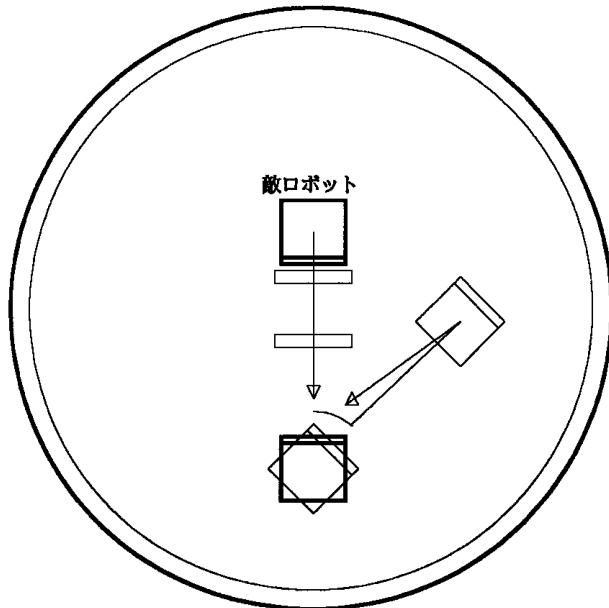


図2 - 18 立会いパターン「B」

(3) Cパターン

ロボットを斜め45° の方向に向けて置く。

センサオン、左回転60° 。敵検知すれば敵検知動作

全速前進。敵検知すれば敵検知動作

約160° 左回転。敵検知すれば敵検知動作

もとの場所より少し前に戻る。

[狙い] 立会いパターンのフェイント作戦である。右斜め 45° の方向にロボットを置くと、相手選手も同じように右斜め 45° の方向に向けてくる機会が多い。右斜めに進むと見せかけて、直進して敵の横腹を攻撃する作戦である。策士は策におぼれることもあり、殆ど使用しなかった。

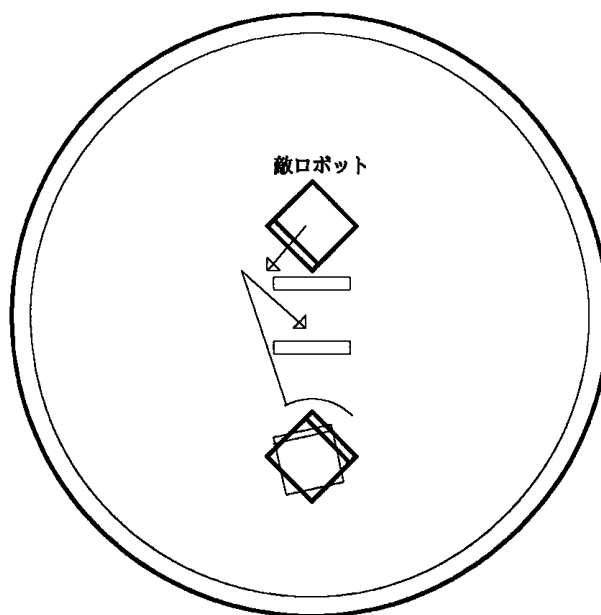


図2 - 19 立会いパターン「C」

### 2.5.4 土俵回避動作

土俵区画線をロボットの前部の土俵センサで検知した場合、まず全速後進（20～30cm程度）した後、左120°回転する。これで土俵中をおおよそ三角形を描いて走行する。

土俵区画線をロボットの後部の土俵センサで検知した場合、検知中は全速前進し、検知後片輪のみ1/25秒だけ全速前進する。例えば右後ろの土俵センサが区画線を検知した場合は、まず両輪後進し、右後ろのセンサが区画線を検知しなくなった時点で右輪のみ駆動し左輪は停止させる。

### 2.5.5 敵検知動作

敵検知動作は以下の通りである。

- (1) 右、左センサ共、敵を検知した場合  
全速前進
- (2) 右センサのみ、敵を検知した時  
左タイヤ全速前進、右タイヤ半速後進  
また敵を見失っても一度右センサがオンすると、0.3秒間は上記の動作を継続する。
- (3) 左センサのみ、敵を検知した時  
右タイヤ全速前進、左タイヤ半速後進  
また敵を見失っても一度左センサがオンすると、0.3秒間は上記の動作を継続する。
- (4) 敵未検知の時  
14%速度減で前進。  
速度制御の方法は、モータオンオフの切替えパルス幅をソフトウェアでコントロールしモータにかかる電圧を制御した。  
ディップスイッチのモード設定で回転/前進が切り換えられるが、殆どの試合では前進モードに設定した。

### 2.5.6 その他

- (1) ソフトウェア（アセンブラソース）リストについて

アセンブラ言語でプログラムを制作したことが初めてであり、また大会前に慌てて制作したこともあって、ソフトウェアはかろうじて動く程度のでき映えである。中でも、タイマー割込みを使わず全ての時間管理をポーリング処理の中でやってしまったことが、このようなソフトウェアができるに至った最大原因である。

そんな訳でソフトウェアリストを本書に掲載することは非常に恐縮ではあるが、きれいにまとめたフローチャート等もなく、恥ずかしながら付録2.4にそのリストを添付させて頂く。（ソフトウェア制作にあたっての考え方は参考にして頂ければ幸いだが、制作方法自体は真似をしない方が賢明だと思います。）

(2) ソフトウェア組込み評価について

ソフトウェアの組込み評価時に一番悔しかったのは、走行速度に制限をかけなければならなくなった時である。走行速度は土俵の区画線で、ぎりぎり止まれるはずの設計だったにもかかわらず、土俵から落下することがあったので、涙を飲んで走行速度を下げた。その他、評価中のでき事を気づく範囲で先述の付録 2.4 のソフトウェアリストの冒頭に記録していたので、これを見ていただければ、およその製作評価について理解していただけたらと思う。

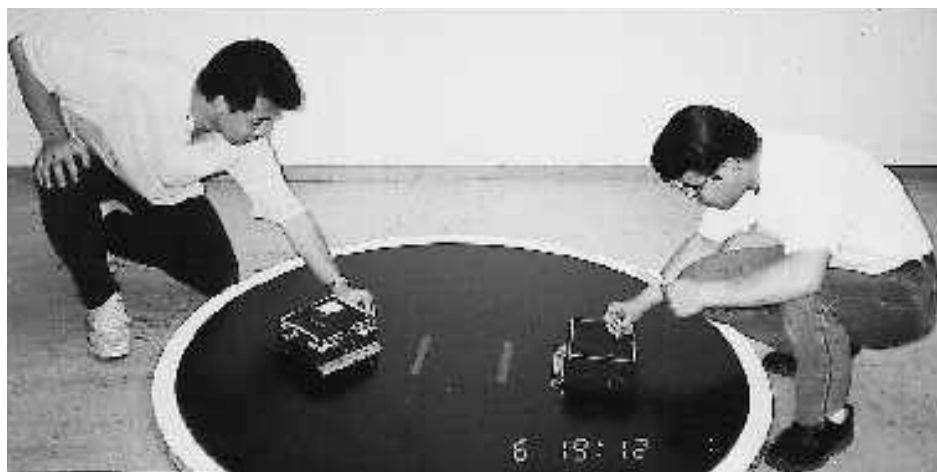


写真 2 - 22 南清水マイコンクラブの対戦スナップ(1)

## 2.6 むすび

以上、「ゴーアヘッド」誕生までの経緯、考え方および具体的な構成について紹介した。構成部品の解説だけでなく、何故その構成部品を使用することになったのかという設計思想についてもある程度説明したつもりである。

製作にあたって最も重要なことを一言でいうと、ずばり「チームワーク」という言葉に集約されるだろう。まずは「ゴーアヘッド」を製作した二人のメンバーが、それぞれの得意分野の意見を徹底的に出しあって、うまく融合できたこと、さらに「南清水マイコンクラブ」という集団でクラブ員同志がよいライバルとして刺激しあえたことが、技術論以上に、一番重要だったと感じている。

また、93年の近畿大会前に「ゴーアヘッド」の駆動モータが焼損したことがあったが、この時交換用のモータを無理を言って短納期で納入していただいたティエス電機の佐伯氏にこの場を借りて、お礼申し上げます。

さて我々の今後であるが、今のままの製作コンセプトでいつまでも勝ち続けることは難しいので、どんどん新しい考え方を取り入れていきたいと思う。今後、相撲ロボットを作られる方々に対して、本章が少しの参考にならば幸いである。第6回大会に向けての戦いは始まっています。会場でお会いしましょう。

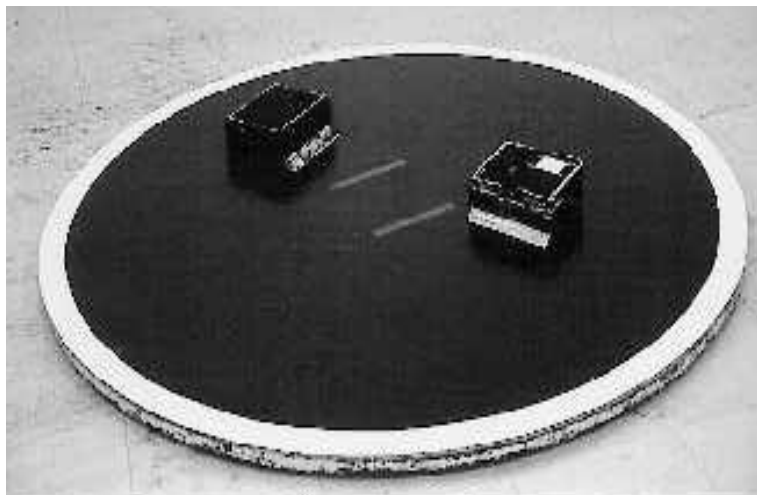


写真 2 - 23 南清水マイコンクラブの対戦スナップ(2)

### <参考文献>

- (1) 神戸一夫：電池活用ハンドブック，1992，CQ出版．
  - (2) ひろ松恒彦：Z-80 アセンブリプログラミング，1987，サイエンス社
  - (3) ツカサ電工：DC GEARED MOTORカタログ，1994
  - (4) 東芝：東芝光センサカタログ，4版，1988
- 他



付録2.1 土俵区画線検出後のブレーキ動作

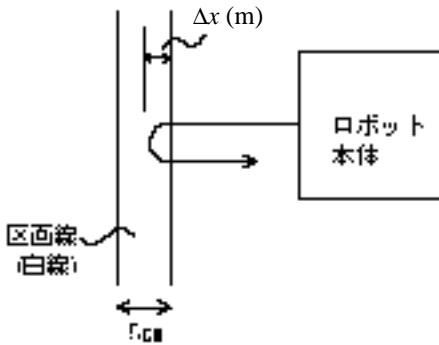
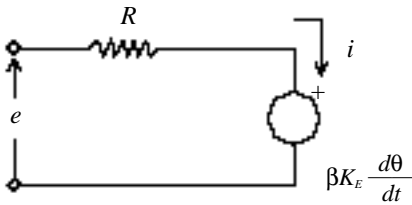
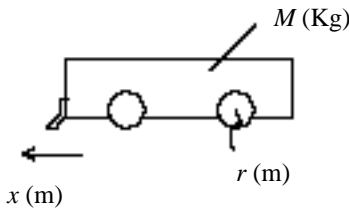


図 付2 - 1のように土俵の区画線を検出してからブレーキをかけ、ロボットが区画線から退避する動作において、必ず行き過ぎ量（オーバーシュート） $\Delta x$ が存在する。この $\Delta x$ が5 cmになる点をロボットの最高速度限界として考え、これに合ったモータとギヤ比を決定する。

図 付2 - 1 ブレーキ動作

(1) 検討条件



- $M$  : ロボット重量 [ Kg ]
- $r$  : タイヤ半径 [ m ]
- $\theta$  : タイヤ回転角 [ rad ]
- $x$  : ロボット進行距離 [ m ]
- $K_T$  : モータトルク定数 [ Nm/A ]
- $K_E$  : モータ逆起電力定数 [ V/rad/s ]
- $R$  : モータ端子間抵抗 [ ]
- $i$  : モータ電流 [ A ]
- $e$  : モータ端子電圧 [ V ]
- $k$  : 動摩擦係数 [ N/m/s ]
- $n$  : 車輪定数（接地状態の補正）
- $\beta$  : 減速比
- $\rho$  : 減速段 1 段あたりの効率
- $N_B$  : 減速段数
- $E$  : 電源電圧 [ V ]

図 付2 - 2 モータ等価回路

$k, n$  は推定

(2) 方程式をたてる

$$\begin{cases} e = Ri + \beta K_E \frac{d\theta}{dt} \\ x = r\theta, \quad K_E = K_T \\ M \frac{d^2x}{dt^2} = n \cdot \rho^{N_b} \cdot \beta \cdot K_T \cdot i/r - k \frac{dx}{dt} \end{cases}$$

(3)  $\theta$  と  $i$  と  $K_E$  を消去

$$\begin{aligned} M \frac{d^2x}{dt^2} &= \frac{n\rho^{N_b}\beta K_T}{r} \times \frac{e - \beta K_T \frac{d\theta}{dt}}{R} - k \frac{dx}{dt} \\ M \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{n\rho^{N_b}\beta^2 K_T^2}{Rr^2} \cdot \frac{dx}{dt} + k \frac{dx}{dt} &= \frac{n\rho^{N_b}\beta K_T}{Rr} e \\ \frac{d^2x}{dt^2} + \left( \frac{n\rho^{N_b}\beta^2 K_T^2}{MRr^2} + \frac{k}{M} \right) \frac{dx}{dt} &= \frac{n\rho^{N_b}\beta K_T}{MRr} e \\ a = \frac{n\rho^{N_b}\beta^2 K_T^2}{MRr^2} + \frac{k}{M}, \quad b = \frac{n\rho^{N_b}\beta K_T}{MRr} e &= \frac{-n\rho^{N_b}\beta K_T}{MRr} E \text{ とすると} \\ e &= -E \\ \frac{d^2x}{dt^2} + a \frac{dx}{dt} &= b \end{aligned}$$

(4) ラプラス変換

$$\left\{ s^2X - sx(0) - \frac{dx(0)}{dt} \right\} + a \left\{ sX - x(0) \right\} = \frac{b}{s} \quad \text{ステップ関数}$$

初期位置  $x(0) = 0$ ,  $\frac{dx(0)}{dt} = v_0$  と考える。

$$\begin{aligned} s^2X - v_0 + saX &= \frac{b}{s} \\ X &= \frac{b}{s^2(s+a)} + \frac{v_0}{s(s+a)} \end{aligned}$$

(5) 逆ラプラス変換

$$x(t) = \frac{b}{a^2} (at - 1 + \varepsilon^{-at}) + \frac{v_0}{a} (1 - \varepsilon^{-at})$$

(6) 速度・加速度の計算

$$\begin{aligned} v(t) &= \frac{dx(t)}{dt} = \frac{b}{a^2} (a - a\varepsilon^{-at}) + \frac{v_0}{a} a\varepsilon^{-at} \\ &= \frac{b}{a} (1 - \varepsilon^{-at}) + v_0 \varepsilon^{-at} \\ \alpha(t) &= \frac{dv(t)}{dt} = \frac{b}{a} \cdot a\varepsilon^{-at} - av_0 \varepsilon^{-at} \\ &= b\varepsilon^{-at} - av_0 \varepsilon^{-at} \end{aligned}$$

(7) 最高速度  $v_{max}$

$$v_{max} = \left| v(t \rightarrow \infty) \right| = \left| \frac{b}{a} \right| \quad [\text{m/s}]$$

(8) 拘束時、最高推力  $F_{max}$

$$F_{max} = M\alpha(0) = M(b - av_0) = Mb \quad [\text{N}]$$

$$v_0 = 0$$

(9) ブレーキ動作中の挙動

$$x(t) = \frac{b}{a^2} (at - 1 + \varepsilon^{-at}) + \frac{V_{max}}{a} (1 - \varepsilon^{-at})$$

$$v(t) = \frac{b}{a} (1 - \varepsilon^{-at}) + V_{max} \varepsilon^{-at}$$

(10) まとめ

上記の式に時間  $t$  を入力することで  $t = 0$  からのロボットの挙動（位置と速度）が判る。

ブレーキ動作中に速度が零になった時間での距離がオーバーシュート量である。本来は、 $v(t) = 0$  になる時間  $t$  を求めてから、それを  $x(t)$  に代入することでオーバーシュート量が一発で求まるが、ブレーキ開始直後から  $x(t)$  と  $v(t)$  の変化が見たかったので、計算プログラム上では時間  $t$  をパラメータとして  $x$  と  $v$  の変化を表示させる出力形式とした。

計算プログラムを付録2.2に添付する。

この計算手順では、動摩擦係数を速度に比例するものと考えたことや、車輪定数など勝手に筆者が定義した係数もあり、理論的には最適とは言えない。むしろ誤っているかもしれないくらいであるが、以上のような計算過程を経て「ゴアヘッド」を製作した。誤り部分や最適な計算方法など本章を一読された方より、ご指摘いただければ幸いである。

## 付録2.2 ブレーキ動作計算プログラム

```

10  | *****
20  |                                     *
30  |   相撲ロボット  構想用  プログラム  ( 1 )                               *
40  |                                     *
50  |           基本性能把握版      '93-2      制作：千野 隆之      *
60  |                                     *
70  | *****
80  |
90  |
100 |===== Initialize =====
110 | M=3                                ' 本体重量 (Kg)
120 | E=20.8                            ' 電源電圧 (V)      1.3V*16
130 | KTS=.021                          ' モータ単体トルク定数 (Nm/A)   拘束トルク ÷ 拘束電流
140 | B=12.5                            ' モータギヤ比
150 | EFF=.9                            ' ギヤ1段当りの効率
160 | GN=3                              ' ギヤ段数
170 | R=15.4                            ' モータ巻線抵抗 + ブラシ抵抗 ( )   電源電圧 ÷ 拘束電流
180 | D=.02                             ' タイヤ半径 (m)
190 | N=4                               ' 車輪の数 (個) N=2,4,6
200 | K=4.9                             ' 動摩擦係数 (Nsec/m)   0.5Kgf at 1m/s  推定
290 |
300 |===== MAXPOWER,MAXSPEED Calculate =====
320 | IF N=2 THEN N=N*.9
330 | IF N=4 THEN N=N*.7                ' タイヤ接地不平衡率を考慮 推定
340 | IF N=6 THEN N=N*.5
350 | ACONST=N*KTS^2*B^2*EFF^GN/R/M/D^2+K/M      ' "a" 定数
360 | BCONST=-N*KTS*B*EFF^GN/R/M/D*E            ' "b" 定数
370 | MAXPOWER=ABS (BCONST*M/9.8)
380 | MAXSPEED=ABS (BCONST/ACONST)
390 | CLS:PRINT
400 | PRINT "最大推力 = " ; MAXPOWER ; " (Kgf)      最高速度 = " ; MAXSPEED ; "
      | (m/s) ":PRINT
490 |
500 |===== MOTION Calculate =====
510 | FOR T=0 TO .2 STEP .01
520 |           POSITION=BCONST/ACONST^2*(ACONST*T-1+EXP(-
      | ACONST*T))+MAXSPEED/ACONST*(1-EXP(
      | -ACONST*T))
530 | VELOCITY=BCONST/ACONST*(1-EXP(-ACONST*T))+MAXSPEED*(EXP(-ACONST*T))
540 | TIME=T*1000:POSITION=POSITION*100:VELOCITY=VELOCITY*100
550 | PRINT "TIME= " ; TIME ; " (msec)   POSITION= " ; POSITION ; " (cm)   VELOCITY=
      | " ; VELO
      | CITY ; " (cm/s) "
560 | NEXT T
690 |
999 | END

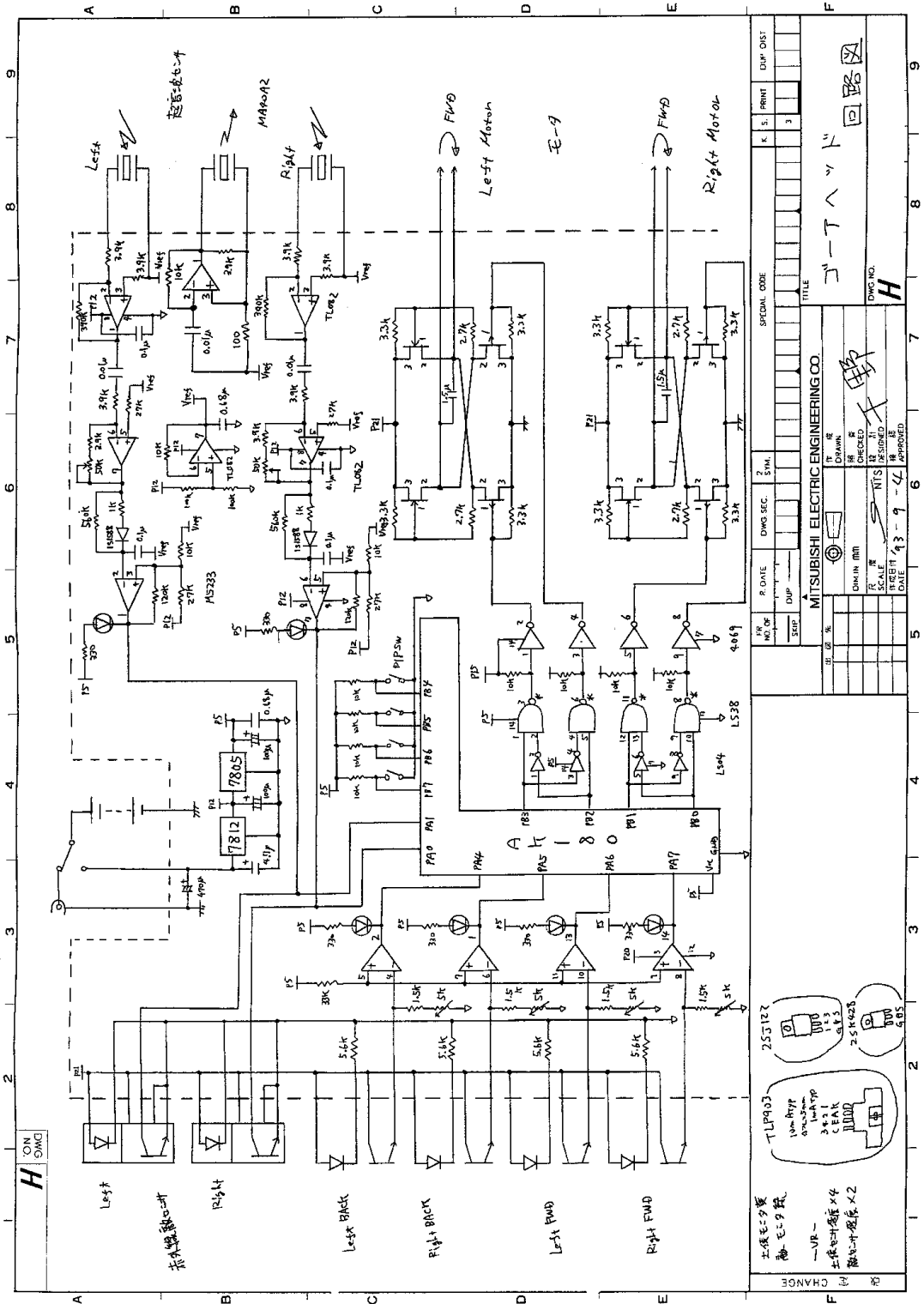
```

プログラム実行結果

速度がほぼ零になる時間でオーバーシュートが最大になる。(4.3cm)

最大推力 =		3.69234 (Kgf)		最高速度 =		1.30476 (m/s)	
TIME=	0 (msec)	POSITION=	0 (cm)	VELOCITY=	130.476 (cm/s)		
TIME=	10 (msec)	POSITION=	1.18777 (cm)	VELOCITY=	107.434 (cm/s)		
TIME=	20 (msec)	POSITION=	2.15546 (cm)	VELOCITY=	86.4267 (cm/s)		
TIME=	30 (msec)	POSITION=	2.92249 (cm)	VELOCITY=	67.2744 (cm/s)		
TIME=	40 (msec)	POSITION=	3.50658 (cm)	VELOCITY=	49.8132 (cm/s)		
TIME=	50 (msec)	POSITION=	3.92389 (cm)	VELOCITY=	33.8938 (cm/s)		
TIME=	60 (msec)	POSITION=	4.18914 (cm)	VELOCITY=	19.3801 (cm/s)		
TIME=	70 (msec)	POSITION=	4.31576 (cm)	VELOCITY=	6.14792 (cm/s)		
TIME=	80 (msec)	POSITION=	4.31599 (cm)	VELOCITY=	-5.91584 (cm/s)		
TIME=	90 (msec)	POSITION=	4.20099 (cm)	VELOCITY=	-16.9144 (cm/s)		
TIME=	100 (msec)	POSITION=	3.98094 (cm)	VELOCITY=	-26.9418 (cm/s)		
TIME=	110 (msec)	POSITION=	3.66511 (cm)	VELOCITY=	-36.0838 (cm/s)		
TIME=	120 (msec)	POSITION=	3.26196 (cm)	VELOCITY=	-44.4185 (cm/s)		
TIME=	130 (msec)	POSITION=	2.77919 (cm)	VELOCITY=	-52.0173 (cm/s)		
TIME=	140 (msec)	POSITION=	2.22384 (cm)	VELOCITY=	-58.9451 (cm/s)		
TIME=	150 (msec)	POSITION=	1.60232 (cm)	VELOCITY=	-65.2612 (cm/s)		
TIME=	160 (msec)	POSITION=	.920476 (cm)	VELOCITY=	-71.0196 (cm/s)		
TIME=	170 (msec)	POSITION=	.183625 (cm)	VELOCITY=	-76.2696 (cm/s)		
TIME=	180 (msec)	POSITION=	-.603372 (cm)	VELOCITY=	-81.0559 (cm/s)		
TIME=	190 (msec)	POSITION=	-1.43609 (cm)	VELOCITY=	-85.4197 (cm/s)		

付録2.3 ゴアヘッド電気回路図



付録2.4 ソフトウェアリスト

```

*****
;
;
;   ゴアヘッド   ファームウェア           L E T . A S M           *
;
;
;   1993-9-11           制作：干野 隆之           *
*****
;
;
; 93年9月11日：ソフトウェア製作完了。ハードウェアへの組込み作業に入る。
;   9月26日：単体デバッグ完了。
;
;   日数がかかったのは、モータドライバが焼損するため。
;   焼損原因はF E Tのゲート電圧が低すぎた為、モータ逆回転時
;   の最大電流が流れる時に、F E Tの動作領域が飽和域から活性域に
;   移り、損失ロスオーバーで燃える。ゲート電圧を上げることで対策
;   し、効果弊害を確認した。根本原因はモータ最大電流をモータ拘束
;   時の電流と考え違いしていたこと。
;
; 10月 2日：仕切りパターンを追加。明日の土俵上の動作テストで、基本動作が
;   O Kならば、仕切りパターンの評価も行う。
;
; 10月 3日：土俵上動作テスト開始。
;   モータが燃えた。スピードが思ったより遅い。土俵で止まれる。
;   スピードアップしたモータを発注。土俵検出感度調整範囲下げる。
;   モータと直列に抵抗を入れる。矢島、モータ分解。修理！？
;
; 10月10日：土俵検出感度調整範囲1 / 2にした。土俵回避動作の復帰角を大き
;   くした。追加抵抗は3 . 6オームに設定。抵抗を追加することで、
;   モータ焼損はないようだが、追加抵抗がかなり熱くなる。
;   モータを変更する必要がある。
;
; 10月16日：時々動かなくなる不具合が発生していたが、C P U基板と本基板を
;   直接ハンダ付けすることで対策できた様子。C P U基板と本基板の
;   ジョイント部の接触不良か？ 以後、再現すれば真の原因を調査。
;   スピードアップモータ入手。交換。研修出張のため評価を矢島に
;   頼んだ。
;
; 10月18日：2輪だけモータ交換。スピードはアップしたが目標値には達してい
;   ない。不満。動かなくなる不具合は再現しないようだ。
;   近畿大会には残り2輪のモータ交換と仕切りパターン合わせ込み、
;   土俵回避動作の調整が間に合わない。照準を四国大会に合わせる？
;
; 10月24日：近畿大会に参加。結果、本選出場が決った。また干野2号について
;   も本選出場が決った。近畿大会は独占。干野2号はともかく、ゴ
;   アヘッドがよく勝てたなあ。
;
; 11月13日：4輪とも高速モータに交換。理想に近い速度が出た。重量配分など
;   を適性化すると、土俵でぎりぎり止まれるようになった。課題下記
;   * 前後土俵検出時の処理改善。* ステルス（黒スポンジ）
;   * 新仕切りパターン作成、評価。
;   干野2号と対戦させた結果、10戦5勝。互角。
;   干野1号と対戦させた結果、10戦9勝。絶対優勢。
;
; 11月24日：前後土俵検出時の処理改善した。土俵からは落ちない。
;   ステルスは矢島に製作を依頼した。新仕切りパターン調整完了。
;   残る課題はフル充電で土俵停止できるか否かの評価。
;   できなければ直進検出時の速度を下げる必要がある。
;   非常に完成度の高いロボットができた。狙うは優勝だ！
;
; 12月 7日：フル充電で白線検出後、落下することがある。
;   P W M制御により10%印加電圧を下げる改造をした。
;   前側方に一瞬でも敵を検知したら、0.3秒程度その方向に本体を

```

```

;                                     向けるようにした。これで時々ではあるが、すれ違った敵に対して
;                                     追いかけていく動作が決る。
; 12月11日：10%電圧を下げてフル充電後、自滅することがある。
;                                     14%電圧を下げることにした。当然、敵発見時は全電圧印加。
;                                     仕切りパターンの最終調整を終了した。干野2号と対戦させた。
;                                     10戦中7勝。すくわれることはないが、横を取られて負ける時がある。
; 12月20日：“モータドライバがいきなり燃えた”と、矢島から深夜にTEL。
;                                     研修室へ行って、修理。修理完了はAM3:30。
;                                     原因は対戦衝撃による配線外れ。配線改修とドライバ交換。
;                                     東京出発2日前。もうトラブルは嫌。
;                                     予備ROMを焼いて本選大会に備える。思えば今年の4回大会で
;                                     干野1号(当時のハヤブサ号)が本選で動作不能状態となり、ただ
;                                     回っているだけのイシャマルに負けて以来1年が経過した。
;                                     自滅動作や動作不能などが最低限起こらず、どうせ負けるとしても
;                                     まっとうな負け方ができれば悔いはない。
; 12月24日：全国優勝。干野2号は4位。多摩乃舞、ZIGU、パンプキン、プ
;                                     リアレオス等強豪の中で優勝できたのが夢のようだ。
;                                     相撲ロボットに取り組んでよかった。あきらめないでよかった。
;                                     がんばってよかった。
;
; --- A.port ---                      --- B.port ---
;
; 7 : WLRF                             7 : ROTATION SERCH (on"L")
; 6 : WLLF                             6 : LEFT ACCESS (on"L")
; 5 : WLRB                             5 : function 2
; 4 : WLLB                             4 : function 1
; 3 :
; 2 :
; 1 : TK_L                             1 : R_FWD
; 0 : TK_R                             0 : R_REV
;
;
FCNT EQU 8101H ;前土俵検出後の回避動作カウンタ
BLCNT EQU 8102H ;後左土俵検出後の回避動作カウンタ
BRCNT EQU 8103H ;後右土俵検出後の回避動作カウンタ
TCNT EQU 8105H ;ブレーキ動作カウンタ
MOTION EQU 8106H ;未検出状態(検索中)でのモータ指令
DIPSW EQU 8107H ;ディップスイッチ格納メモリ
FLG EQU 8108H ;スピード制限時は“0”
LCNT EQU 8109H
RCNT EQU 810AH
CNT EQU 810BH
APORT EQU 1CH ;Aポートの番地
BPORT EQU 1EH ;Bポートの番地
;
; ORG 0 ;リモートデバッグ時は8000H
; JP START
;
FCNT0: DB 140 ;前土俵検出後の回避動作カウンタ設定値
FCNT1: DB 90
BCNT0: DB 30 ;後土俵検出後の回避動作カウンタ設定値
BCNT1: DB 20

```



```
TCNT0:  DB    40                ;ブレーキ動作カウンタ設定値
TCNT1:  DB    24
LCNT0:  DB    150
RCNT0:  DB    150
;
;   ORG    100H
;
;   ; メインルーチン
;
START:  DI
        IM    2                ; 割り込みモード2 設定
        LD    SP, 0
        LD    A, 11001111B     ; P I Oモード3 設定 (A_PORT)
        OUT   (A_PORT+1), A
        LD    A, 11111111B     ; 全ビット入力に設定 (A_PORT)
        OUT   (A_PORT+1), A
        LD    A, 00010111B     ; 割り込み要求禁止を設定 (A_PORT)
        OUT   (A_PORT+1), A
        LD    A, 00000011B     ; 割り込み発生禁止を設定 (A_PORT)
        OUT   (A_PORT+1), A
        LD    A, 11001111B     ; P I Oモード3 設定 (B_PORT)
        OUT   (B_PORT+1), A
        LD    A, 11110000B     ; 下位4ビットを出力に設定 (B_PORT)
        OUT   (B_PORT+1), A
        LD    A, 00010111B     ; 割り込み要求禁止を設定 (B_PORT)
        OUT   (B_PORT+1), A
        LD    A, 00000011B     ; 割り込み発生禁止を設定 (B_PORT)
        OUT   (B_PORT+1), A
        EI
;
        IN    A, (B_PORT)
        AND   0F0H
        OUT   (B_PORT), A
        LD    (DIPSW), A
        LD    C, A
        LD    A, 0
        LD    (FCNT), A
        LD    (BLCNT), A
        LD    (BRCNT), A
        LD    (TCNT), A
        LD    (FLG), A
;
        CALL  L_WAIT           ; 4.5秒待ち
;
        LD    A, C
        AND   70H
        CP    70H
        JP    Z, MODE7
        CP    60H
        JP    Z, MODE6
        CP    50H
        JP    Z, MODE5
        CP    40H
        JP    Z, MODE4
```

```

CP      30H
JP      Z,MODE3
CP      20H
JP      Z,MODE2
CP      10H
JP      Z,MODE1
MODE0:  LD      A,0
        LD      (FLG),A
        BIT     7,C                ;ディップSWの最上位ビットONで
        JP      Z,MODE01          ;回転検索モード
        LD      A,00001010B
        JP      MODE02
MODE01: LD      A,00000110B
MODE02: LD      (MOTION),A
LOOP:   CALL   SENSE              ;永久ループに入る。
        JP      LOOP
;
MODE5:  LD      A,1
        LD      (FLG),A
        LD      A,00001010B        ;53cm ZENSIN (442ms)
        LD      (MOTION),A
        PUSH   BC
        LD      B,221
MODE71: CALL   SENSE
        DJNZ   MODE71
        POP    BC
        LD      A,0
        LD      (FLG),A
        LD      A,00000110B        ;160deg HIDARI KAITEN (374ms)
        LD      (MOTION),A
        PUSH   BC
        LD      B,180              ;214
MODE72: CALL   SENSE
        DJNZ   MODE72
        POP    BC
        LD      A,1
        LD      (FLG),A
        LD      A,00001010B        ;40cm ZENSIN (334ms)
        LD      (MOTION),A
        PUSH   BC
        LD      B,167
MODE73: CALL   SENSE
        DJNZ   MODE73
        POP    BC
        LD      A,0
        LD      (FLG),A
        JP      MODE0
;
MODE7:  LD      A,1
        LD      (FLG),A
        LD      A,00000110B        ;40deg HIDARI KAITEN (68ms)
        LD      (MOTION),A
        PUSH   BC
        LD      B,43

```

```

MODE61: CALL SENSE
        DJNZ MODE61
        POP BC
        LD A,00001010B ;61cm ZENSIN (508ms)
        LD (MOTION),A
        PUSH BC
        LD B,254
MODE62: CALL SENSE
        DJNZ MODE62
        POP BC
        LD A,00000110B ;90deg HIDARI KAITEN (150ms)
        LD (MOTION),A
        PUSH BC
        LD B,94
MODE63: CALL SENSE
        DJNZ MODE63
        POP BC
        LD A,0
        LD (FLG),A
        LD A,00000110B ;72deg HIDARI KAITEN (168ms)
        LD (MOTION),A
        PUSH BC
        LD B,85 ;95
MODE64: CALL SENSE
        DJNZ MODE64
        POP BC
        LD A,1
        LD (FLG),A
        LD A,00001010B ;32cm ZENSIN (266ms)
        LD (MOTION),A
        PUSH BC
        LD B,133
MODE65: CALL SENSE
        DJNZ MODE65
        POP BC
        LD A,0
        LD (FLG),A
        JP MODE0
;
MODE6: LD A,1
        LD (FLG),A
        LD A,00001001B ;40deg MIGI KAITEN (68ms)
        OR C
        OUT (BPORT),A
        CALL WAIT77
        LD A,00001010B ;53cm ZENSIN (442ms)
        LD (MOTION),A
        PUSH BC
        LD B,221
MODE51: CALL SENSE
        DJNZ MODE51
        POP BC
        LD A,0
        LD (FLG),A
    
```

```
LD      A,00000110B      ;160deg HIDARI KAITEN (374ms)
LD      (MOTION),A
PUSH   BC
LD      B,180            ;214
MODE52: CALL  SENSE
        DJNZ  MODE52
        POP   BC
        LD   A,1
        LD   (FLG),A
        LD   A,00001010B  ;40cm ZENSIN (334ms)
        LD   (MOTION),A
        PUSH BC
        LD   B,167
MODE53: CALL  SENSE
        DJNZ  MODE53
        POP   BC
        LD   A,0
        LD   (FLG),A
        JP   MODE0
;
MODE4:  JP    MODE0
;
MODE1:  LD    A,1
        LD   (FLG),A
        LD   A,00001010B  ;53cm ZENSIN (442ms)
        LD   (MOTION),A
        PUSH BC
        LD   B,221
MODE31: CALL  SENSE
        DJNZ  MODE31
        POP   BC
        LD   A,0
        LD   (FLG),A
        LD   A,00001001B  ;160deg MIGI KAITEN (374ms)
        LD   (MOTION),A
        PUSH BC
        LD   B,180        ;214
MODE32: CALL  SENSE
        DJNZ  MODE32
        POP   BC
        LD   A,1
        LD   (FLG),A
        LD   A,00001010B  ;40cm ZENSIN (334ms)
        LD   (MOTION),A
        PUSH BC
        LD   B,167
MODE33: CALL  SENSE
        DJNZ  MODE33
        POP   BC
        LD   A,0
        LD   (FLG),A
        JP   MODE0
;
MODE3:  LD    A,1
```

```

LD      (FLG),A
LD      A,00001001B      ;40deg MIGI KAITEN (68ms)
LD      (MOTION),A
PUSH   BC
LD      B,43
MODE21: CALL  SENSE
DJNZ   MODE21
POP     BC
LD      A,00001010B      ;61cm ZENSIN (508ms)
LD      (MOTION),A
PUSH   BC
LD      B,254
MODE22: CALL  SENSE
DJNZ   MODE22
POP     BC
LD      A,00001001B      ;90deg MIGI KAITEN (150ms)
LD      (MOTION),A
PUSH   BC
LD      B,94
MODE23: CALL  SENSE
DJNZ   MODE23
POP     BC
LD      A,0
LD      (FLG),A
LD      A,00001001B      ;72deg MIGI KAITEN (168ms)
LD      (MOTION),A
PUSH   BC
LD      B,85              ;95
MODE24: CALL  SENSE
DJNZ   MODE24
POP     BC
LD      A,1
LD      (FLG),A
LD      A,00001010B      ;32cm ZENSIN (266ms)
LD      (MOTION),A
PUSH   BC
LD      B,133
MODE25: CALL  SENSE
DJNZ   MODE25
POP     BC
LD      A,0
LD      (FLG),A
JP      MODE0
;
MODE2:  LD      A,1
LD      (FLG),A
LD      A,00000110B      ;40deg HIDARI KAITEN (68ms)
OR      C
OUT     (BPORT),A
CALL   WAIT77
LD      A,00001010B      ;53cm ZENSIN (442ms)
LD      (MOTION),A
PUSH   BC
LD      B,221

```

```

MODE11: CALL SENSE
        DJNZ MODE11
        POP BC
        LD A,0
        LD (FLG),A
        LD A,00001001B ;160deg MIGI KAITEN (374ms)
        LD (MOTION),A
        PUSH BC
        LD B,180 ;214
MODE12: CALL SENSE
        DJNZ MODE12
        POP BC
        LD A,1
        LD (FLG),A
        LD A,00001010B ;40cm ZENSIN (334ms)
        LD (MOTION),A
        PUSH BC
        LD B,167
MODE13: CALL SENSE
        DJNZ MODE13
        POP BC
        LD A,1
        LD (FLG),A
        JP MODE0
;
;
; センスサブルーチン
;
SENSE: PUSH BC
        IN A,(APORT)
        LD B,A
        LD A,(DIPSW)
        LD C,A
        LD A,B
        AND 0F0H
        CP 050H
        JP Z,AWAYD0 ;右側面2個土俵検出の場合
        CP 0A0H
        JP Z,AWAYD1 ;左側面2個土俵検出の場合
        BIT 7,B
        JP Z,AWAYF0 ;右前土俵検出の場合
        BIT 6,B
        JP Z,AWAYF0 ;左前土俵検出の場合
        BIT 5,B
        JP Z,AWAYB0 ;右後土俵検出の場合
        BIT 4,B
        JP Z,AWAYB1 ;左後土俵検出の場合
        LD A,(FCNT)
        CP 0
        JP NZ,AWAYF1 ;前土俵回避動作中の場合
        LD A,(BRCNT)
        CP 0
        JP NZ,AWAYB2 ;左後土俵回避動作中の場合
        LD A,(BLCNT)

```

```

    CP      0
    JP      NZ,AWAYB3                ;右後土俵回避動作中の場合
;
SKIP:    LD      A,(TCNT)
    CP      0
; JP      NZ,BRK0                    ;ブレーキ動作中の場合
    LD      A,B
    AND     3
    CP      3
    JP      Z,TEKIE                  ;敵未発見の場合
    IN      A,(BPORT)
    AND     0FH
    CP      00000110B
; JP      Z,BRK1                    ;右回転中に敵を発見した場合
    CP      00001001B
; JP      Z,BRK2                    ;左回転中に敵を発見した場合
    LD      A,B
    AND     3
    CP      2
    JP      Z,TEKI2                  ;右方に敵を発見した場合
    CP      1
    JP      Z,TEKI1                  ;左方に敵を発見した場合
    LD      A,(CNT)
    INC     A
    LD      (CNT),A
    CP      5
    JP      M,TIS
    LD      A,0
    LD      (CNT),A
    LD      A,00000000B
    OR      C
    OUT     (BPORT),A
    LD      A,00001010B
    OR      C
    OUT     (BPORT),A
TIS:    CALL    WAIT
    CALL    WAIT
    LD      A,0
    LD      (RCNT),A
    LD      (LCNT),A
TEKI:   LD      A,0
    LD      (FCNT),A
    LD      (BLCNT),A
    LD      (BRCNT),A
    LD      (TCNT),A
PRET:   POP     BC
    RET
;
TEKIE:  LD      A,(LCNT)            ;敵未発見ルーチン
    CP      0
    JP      NZ,TK10
    LD      A,(RCNT)
    CP      0
    JP      NZ,TK20

```

```

LD      A,0
LD      (CNT),A
LD      A,(FCNT)
CP      0
JP      NZ,PRET
LD      A,(BLCNT)
CP      0
JP      NZ,PRET
LD      A,(BRCNT)
CP      0
JP      NZ,PRET
LD      A,00000000B
OR      C
OUT     (BPORT),A
LD      A,(FLG)                ;FLG=1 の時は速度制限しない
CP      1
JP      Z,TEKIEE
CALL    WAITN                  ;止まりきれなかったら調整する。0.33ms
TEKIEE: LD      A,(MOTION)
OR      C
OUT     (BPORT),A
CALL    WAIT
CALL    WAIT
JP      PRET
;
AWAYF0: LD      A,00000000B      ;前土俵回避ルーチン
OR      C
OUT     (BPORT),A
LD      A,00000101B
OR      C
OUT     (BPORT),A
LD      A,0
LD      (BRCNT),A
LD      (BLCNT),A
LD      (TCNT),A
LD      (LCNT),A
LD      (RCNT),A
LD      (CNT),A
LD      A,(FCNT0)
LD      (FCNT),A
AWAYF2: CALL    WAIT
CALL    WAIT
LD      A,(FCNT)
DEC     A
LD      (FCNT),A
JP      PRET
;
AWAYF1: LD      A,(FCNT)
LD      HL,FCNT1
CP      (HL)
JP      Z,AWAYF3
JP      P,AWAYF2
JP      AWAY
AWAYF3: LD      A,(MOTION)

```



```

CP      00000110B
JP      NZ,AWAYF4
LD      A,0
LD      (FCNT),A
JP      SKIP
AWAYF4: LD      A,00000000B
OR      C
OUT     (BPORT),A
LD      A,00000110B
OR      C
OUT     (BPORT),A
AWAY:   CALL   WAIT
CALL   WAIT
LD      A,(FCNT)
DEC     A
LD      (FCNT),A
JP      SKIP
;
AWAYB0: LD      A,00000000B           ;右後土俵回避ルーチン
OR      C
OUT     (BPORT),A
LD      A,00001010B
OR      C
OUT     (BPORT),A
LD      A,0
LD      (FCNT),A
LD      (BLCNT),A
LD      (TCNT),A
LD      (LCNT),A
LD      (RCNT),A
LD      (CNT),A
LD      A,(BCNT0)
LD      (BRCNT),A
AWAYB4: CALL   WAIT
CALL   WAIT
LD      A,(BRCNT)
DEC     A
LD      (BRCNT),A
JP      SKIP
;
AWAYB1: LD      A,00000000B           ;左土俵回避ルーチン
OR      C
OUT     (BPORT),A
LD      A,00001010B
OR      C
OUT     (BPORT),A
LD      A,0
LD      (FCNT),A
LD      (BRCNT),A
LD      (TCNT),A
LD      (LCNT),A
LD      (RCNT),A
LD      (CNT),A
LD      A,(BCNT0)

```

```

LD      (BLCNT),A
AWAYB5: CALL  WAIT
        CALL  WAIT
LD      A,(BLCNT)
DEC     A
LD      (BLCNT),A
JP      SKIP
;
AWAYB2: LD      A,(BRCNT)
        LD      HL,BCNT1
        CP      (HL)
        JP      NZ,AWAYB4
LD      A,00000000B
OR      C
OUT     (BPORT),A
LD      A,00000010B
OR      C
OUT     (BPORT),A
JP      AWAYB4
;
AWAYB3: LD      A,(BLCNT)
        LD      HL,BCNT1
        CP      (HL)
        JP      NZ,AWAYB5
LD      A,00000000B
OR      C
OUT     (BPORT),A
LD      A,00001000B
OR      C
OUT     (BPORT),A
JP      AWAYB5
;
AWAYD0: LD      A,00000000B          ;側面側土俵回避ルーチン
        OR      C
        OUT     (BPORT),A
LD      A,00000010B
OR      C
OUT     (BPORT),A
JP      AWAYD2
AWAYD1: LD      A,00000000B
        OR      C
        OUT     (BPORT),A
LD      A,00001000B
OR      C
        OUT     (BPORT),A
AWAYD2: CALL  WAIT
        CALL  WAIT
        JP      PRET
;
TEKI2:  LD      A,(CNT)            ;敵右方発見動作ルーチン
        INC     A
LD      (CNT),A
CP      5
JP      M,TIS

```

```

LD      A,0
LD      (CNT),A
LD      (LCNT),A
LD      A,(RCNT0)
LD      (RCNT),A
TK20:   LD      A,00000000B
OR      C
OUT     (BPORT),A
LD      A,00001001B
OR      C
OUT     (BPORT),A
CALL   WAIT
LD      A,00001000B
OR      C
OUT     (BPORT),A
CALL   WAIT
LD      A,(RCNT)
DEC     A
LD      (RCNT),A
LD      A,(MOTION)
CP      00000110B
JP      NZ,TK21
LD      A,00001001B
LD      (MOTION),A
TK21:   JP      TEKI
;
TEKI1:  LD      A,(CNT)           ;敵左方発見動作ルーチン
INC     A
LD      (CNT),A
CP      5
JP      M,TIS
LD      A,0
LD      (CNT),A
LD      (RCNT),A
LD      A,(LCNT0)
LD      (LCNT),A
TK10:   LD      A,00000000B
OR      C
OUT     (BPORT),A
LD      A,00000110B
OR      C
OUT     (BPORT),A
CALL   WAIT
LD      A,00000010B
OR      C
OUT     (BPORT),A
CALL   WAIT
LD      A,(LCNT)
DEC     A
LD      (LCNT),A
LD      A,(MOTION)
CP      00001001B
JP      NZ,TK11
LD      A,00000110B

```

```

    LD      (MOTION),A
TK11:    JP      TEKI
;
BRK1:    LD      A,00000000B      ;ブレーキ処理ルーチン
        OR      C
        OUT     (BPORT),A
        LD      A,00001001B
        OR      C
        OUT     (BPORT),A
        JP      BRK3
BRK2:    LD      A,00000000B
        OR      C
        OUT     (BPORT),A
        LD      A,00000110B
        OR      C
        OUT     (BPORT),A
BRK3:    LD      A,0
        LD      (FCNT),A
        LD      (BLCNT),A
        LD      (BRCNT),A
        LD      (LCNT),A
        LD      (RCNT),A
        LD      A,(TCNT0)
        LD      (TCNT),A
BRK0:    CALL    WAIT
        CALL    WAIT
        LD      A,(TCNT)
        DEC     A
        LD      (TCNT),A
        LD      HL,TCNT1
        CP      (HL)
        JP      NZ,BRK4
        LD      A,00000000B
        OR      C
        OUT     (BPORT),A
        LD      A,00001010B
        OR      C
        OUT     (BPORT),A
        LD      A,(TCNT)
BRK4:    CP      0
        JP      NZ,PRET
        LD      A,00000000B
        OR      C
        OUT     (BPORT),A
        JP      PRET
;
;
L_WAIT:  PUSH    BC      ; 4.5秒待ち
        LD      B,90
L_WT:    CALL    WAIT50
        DJNZ   L_WT
        POP     BC
        RET
;

```

```

WAIT18:  PUSH  BC
         LD    B,180
WT180:   CALL  WAIT
         DJNZ  WT180
         POP   BC
         RET

;
WAIT15:  PUSH  BC
         LD    B,150
WT150:   CALL  WAIT
         DJNZ  WT150
         POP   BC
         RET

;
WAIT12:  PUSH  BC
         LD    B,120
WT120:   CALL  WAIT
         DJNZ  WT120
         POP   BC
         RET

;
WAIT10:  PUSH  BC
         LD    B,100
WT100:   CALL  WAIT
         DJNZ  WT100
         POP   BC
         RET

;
WAIT77:  PUSH  BC           ; 7 0 m s 待ち
         LD    B,77
WT77:    CALL  WAIT
         DJNZ  WT77
         POP   BC
         RET

;
WAIT60:  PUSH  BC           ; 6 0 m s 待ち
         LD    B,60
WT60:    CALL  WAIT
         DJNZ  WT60
         POP   BC
         RET

;
WAIT50:  PUSH  BC           ; 5 0 m s 待ち
         LD    B,50
WT50:    CALL  WAIT
         DJNZ  WT50
         POP   BC
         RET

;
WAIT:    PUSH  BC           ; 1 . 0 m s e c 待ち
         LD    B,0
WT1:     NOP                ; (4+11*2+13)/9830400*256=1.0msec
         DEC   (HL)
         INC   (HL)

```

```
DJNZ  WT1
POP   BC
RET

;
WAITL:  PUSH  BC
LD     B,0
WL1:   DEC   (HL)           ; (11*4+13)/9830400*256=1.5msec
INC    (HL)
DEC    (HL)
INC    (HL)
DJNZ  WL1
POP   BC
RET

;
WAITLS: PUSH  BC
LD     B,222
WLS1:  DEC   (HL)           ; 1.3ms
INC    (HL)
DEC    (HL)
INC    (HL)
DJNZ  WLS1
POP   BC
RET

;
WAITLL: CALL  WAIT           ; 1.7ms
PUSH  BC
LD     B,120
WLL1:  DEC   (HL)
INC    (HL)
DEC    (HL)
INC    (HL)
DJNZ  WLL1
POP   BC
RET

;
WAITN:  PUSH  BC           ; 0.33ms
LD     B,84
WN1:   NOP
DEC    (HL)
INC    (HL)
DJNZ  WN1
POP   BC
RET

;
WAITS:  PUSH  BC
LD     B,128
WS1:   NOP                 ; (4+11*2+13)/9830400*128=0.5msec
DEC    (HL)
INC    (HL)
DJNZ  WS1
POP   BC
RET

;
MINI:   PUSH  BC
```

```
LD      B,5
MN1:    CALL  SMALL
        DJNZ  MN1
        POP   BC
        RET
;
SMALL:  PUSH  BC          ; 0.1 msec 待ち
        LD   B,75
SM1:    DJNZ  SM1        ; 13/9830400*75=0.1msec
        POP   BC
        RET
;
END
```