

アイデア対決ロボットコンテスト'95におけるロボットの製作

田中昭雄・鈴木 俊*・小林隆興**・後藤忠昭**・磯 和幸**

小島 昇*・坂田泰紀**・瀧田 英**・日暮武夫**・増田博之***

Products of Robot for ROBOCON'95

Akio TANAKA・Shun SUZUKI*・Takaoki KOBAYASHI**・Tadaaki GOTO**・Kazuyuki ISO**

Noboru OZIMA*・Yasunori SAKATA**・Suguru TAKITA**・Takeo HIGURE**・Hiroyuki MASUDA**

1. はじめに

近年、全国各地においてロボット相撲、マイクロマウス大会等の各種ロボットコンテストが開催されている。これらコンテストのロボットを製作するには、機械設計、電気回路設計およびそれらの製作技術、さらに制御プログラムの開発等の知識が必要となる。将来、技術者を目指す学生達にとって、コンテストへの参加は、彼らの創造力を養い、ロボット製作技術における基礎的な知識の修得に役立つものと考えられる。

本報告は数々あるロボットコンテストの一つであるNHKアイデア対決ロボットコンテスト'95（以下ロボコンとする）に参加した小山高専チームのロボット「子連れ狼」（写真1）の製作について、まとめたものである。



写真1 出場ロボット（親機）

2. ロボコンの競技規定

今回の競技名は「ドリームタワー」という。その内容は合計20個のバレーボールを高さ3メートルまで3段階のゴールに入れて合計得点を競う。Vゴールに2ヶ所とも入れるとその時点で勝ちとなる。

*：平成8年度電子制御工学科卒業生

**：平成8年度電気工学科卒業生

***：平成7年度電子制御工学科卒業生

以下に競技方法、ロボットの規定、材料費等について述べる。

2.1 競技方法

図1はドリームタワーに使用される競技場、ゴール、およびボールストッカーを示す。

①競技時間は3分とする。

②3分間の競技時間の終了時点で、自分のゴールに入った合計得点の多い方が勝ち。なお、A・Bゴールの両方にボールが入ると、その時点でそのチームの勝ちとなる。

③ゴールの得点は、ボール1個入ると、1点ゴール=1点、2点ゴール=2点、Vゴール=20点。ボールの色を問わず、A・Bそれぞれのゴールに入っていれば、そのチームの得点になる。ただし、A・BのVゴールの両方に同じチームのボールが入った場合は、そのチームの勝ち。また、バスケットドリブル特例が適用された場合は、1つのVゴールに入れただけで勝ちとなる。

④コンテストはトーナメント方式で行う。

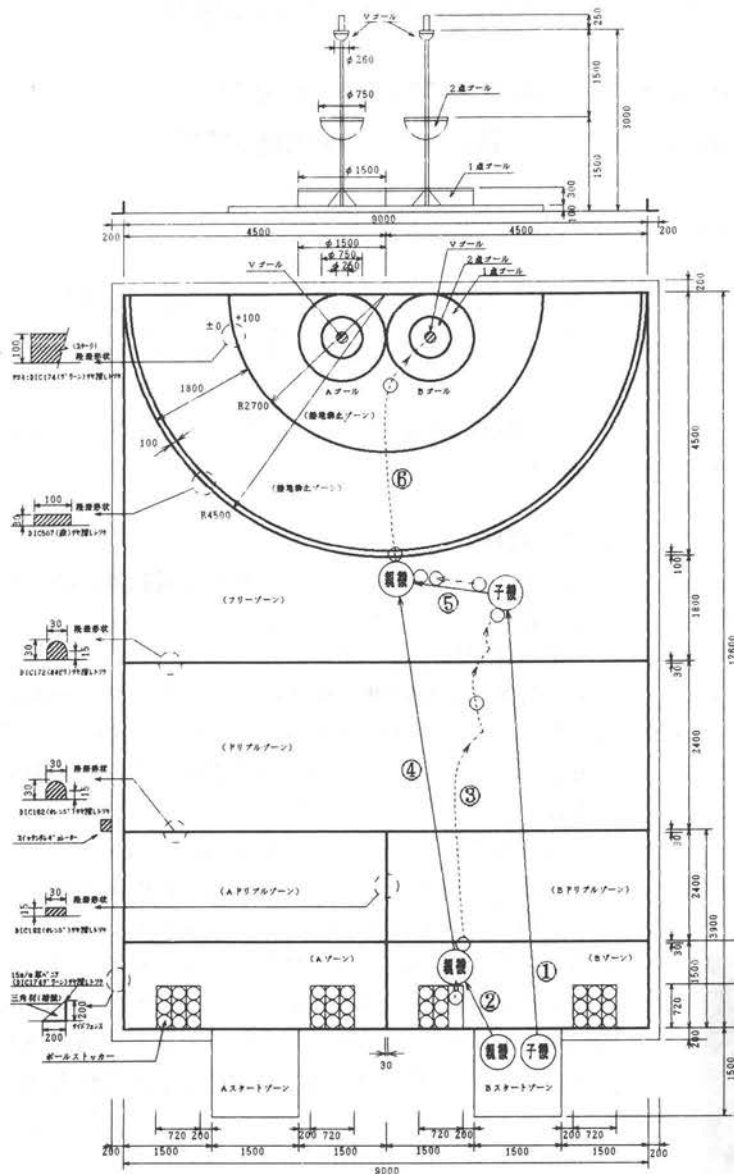
2.2 バレーボールの操作

①バレーボールは各チーム20個使用できる。そのうち2個は、ゲームの開始前から予めマシンにセットしておかなければならない。残り18個は2つのボールストッカーに9個ずつ置かれている。ボールの取り方は自由。

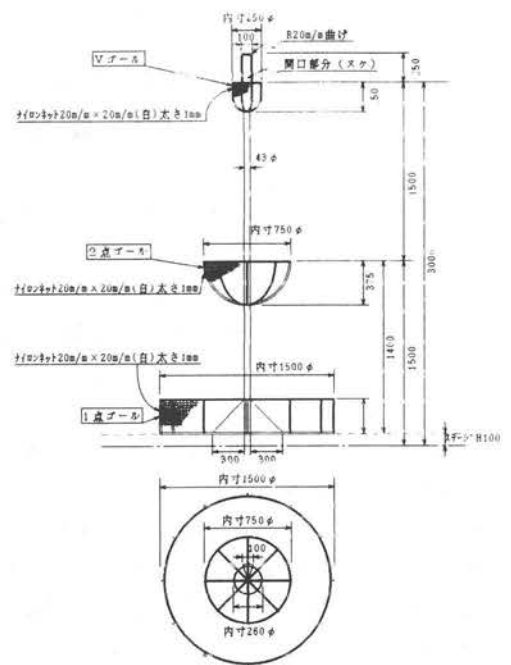
②予めセットされたボールがマシンから離れないと、ボールストッカーの残りの18個への接触は許されない。

2.3 ロボットの規定

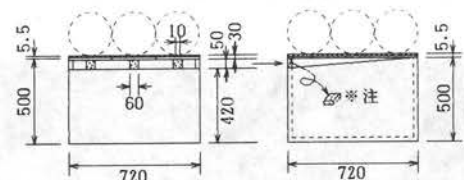
①エネルギー源はDC12V/60W（スイッチングレギュレーター定電圧電源）をチームにつき2系統供給する。



(a) 競技場



(b) ゴール



※注・角材は上部からの荷重によっては変形。
・角材がはねると、上部が傾き、ボールがこぼれ落ちる。

(c) ボールストッカー

図1 競技場および競技セット (ロボコン'95用)

②重量は10kg以下とする。コントロールボックスとケーブルの重量は含まない。

③スタート時には、1500mm×1500mm (高さ制限はない) のスタートゾーンに収まっていなければならない。スタート後、マシンの変更、分離は可能である。

2.4 材料費

①材料費 8 万円を支給する。

②材料の算定は「完成マシン」を対象とし、開発過程で要した費用は含まない。

2.5 操作方法

①操縦者は1名、有線のリモートコントロールで操縦する。

②コントロールボックスからマシンまでのケーブルは4m以下。ケーブルはマシンの重量に含まない。地上1m以上の位置でマシンからケーブルを出すこと。

③マシンが分離する場合、それぞれのマシンにケーブル(4m以下)をつけてもよい。

図3は完成したロボットを示す。ロボットはアイデアシートを基本として、製作の途中で確実に動作しない部分は、改良された。アイデアからの大きな改良点は二つある。一つは子機を削除したこと、もう一つは親機のドリブルアームの形状を変更し、床からのボールを取り込み機構を追加したことである。改良の理由については、6. ロボットの評価で述べる。

4. ロボットの設計

4.1 材料および部品の選定

表1はロボット各部の材料と重量および密度を示す。駆動系の回転部には市販のボールベアリング⁴⁾、滑り軸受け⁵⁾を使用した。表1は、ロボットの大きさから重量を求めるための参考資料として用いられた。

表1 主な使用材料の重量と密度

材 料	重量m[g]	材 料	密度 ρ [g/cm ³]
アルミ パイプ 肉厚 1mm 長さ 1m	$\phi 10\text{mm}$ 73	アルミニウム	2.75
	$\phi 12\text{mm}$ 85	鉄	8.04
	$\phi 15\text{mm}$ 113	真 鍮	8.38
	$\phi 19\text{mm}$ 153	発砲スチロール	2.75×10^{-2}
ボールベアリング NSK ⁴⁾	6.9		
滑り軸受け オイレス ⁵⁾	3.0		

4.2 重量配分とドラム半径

親機と子機の重量配分は親機：子機＝6kg：4kgとした。親機の重量は打ち出しドラムやそれを回転させるためのモータの重量を考慮し6kgにされた。ドラム重量は、親機6kgの重量範囲内でモータおよびフレームに使用するアルミパイプの重量を除き、約500g程度とした(表1参考)。発砲スチロールを張り合わせるための接着剤の重量も500g内に含まれている。親機のドラム半径は20cmにした。この長さは、バックスピンを加えるための打ち出し加速距離ができるだけ長くなるように、重量範囲内における最大限の大きさである。ドラムの厚さは、ボールとの接触面積を大きくするため、10cmとしている。子機のドラム半径は10cmである。この長さは、その重量範囲内で多くのボールを取り込めるように、最大限に大きくされた。

親機の各部名称

① ボール取り込み口	⑥ 誘導路
② 圧力調整アーム	⑦ ドリブルおよび 取り込みアーム
③ 打ち出しドラム	
④ 照準器	⑧ 打ち出し誘導路
⑤ マスク	⑨ ドリブルガイド

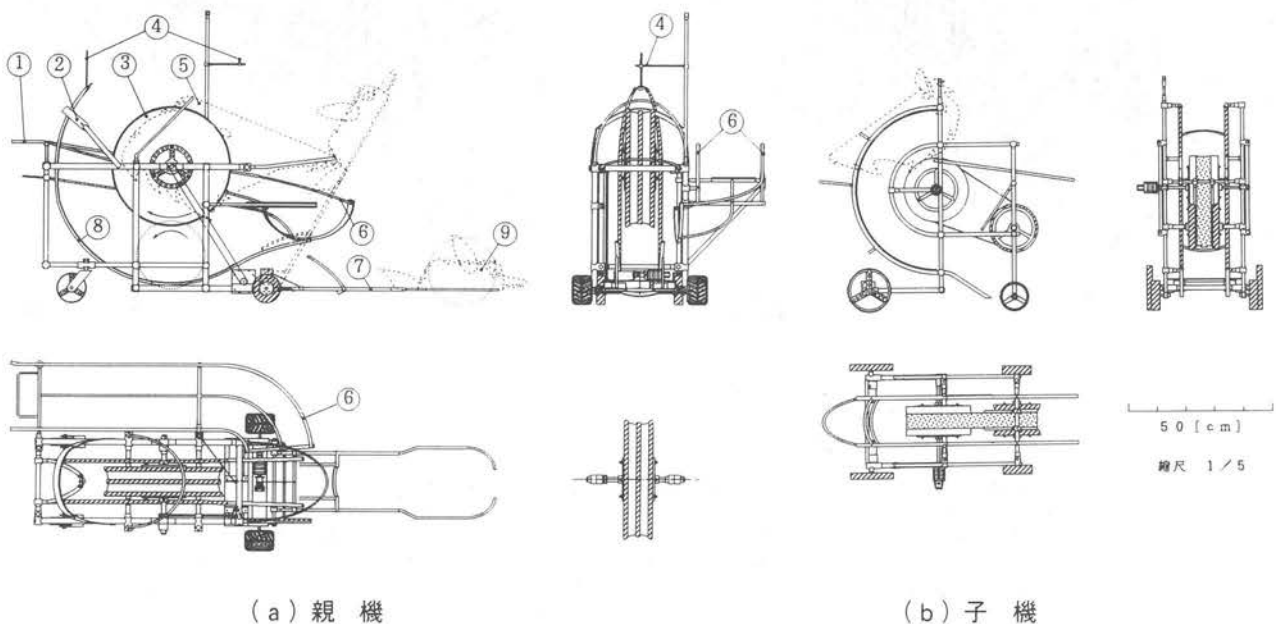


図3 完成ロボット図

4.3 駆動系の設計

4.3.1 ドラム回転数

ボールがVゴールに到達するための最低回転数を求めるため、ボールのシミュレーション計算を行った。打ち出し条件として、ドラム半径は0.2m、打ち出し角度はVゴールに入りやすくするために、ボールはゴールの真上から落下したほうが良いと考え70度、打ち出し距離は、ロボットがゴールに最接近したときの距離3.8mである。

図4はVゴール、2点ゴールを狙った場合の計算結果を示す。ロボットから打ち出されたボールは、バックスピンをしながら放物線軌道を描く。各ゴールに入れるための回転数は、Vゴールの場合435rpm、2点ゴールの場合390rpmであることがわかった。実際にボールを打ち出す場合、ドラム回転数は、摩擦抵抗等のエネルギー損失によって減少すると考えられる。そのため、最終的にドラム回転数はVゴール発射時の3～4倍の回転数を見込み、1500rpm程度に設定した。

使用するモータの電力は電源の容量から走行に必要な電力を除き、80W程度¹⁾にした。ドラムの駆動は、ベルト駆動方式を採用している。最終調整において、モータの最大パワーを引き出すために、モータ軸およ

びドラム軸に取り付けられたプーリー半径は、それぞれ23mm：17mmとされた。

子機のドラム回転数は、テスト走行において操縦者の制御しやすい速度に調整し、11rpmとした。回転数の調整はギヤ比を変更することで行っている。ギヤ比は1208：1である。このとき得られるトルクは最大3.1kgfとなり、ボール取り込みには十分な大きさである。表2にドラム駆動に用いたモータの仕様を示す。

4.3.2 走行速度

操縦者は有線操作であるため、ロボットとともに移動することがある。そのためロボットの走行速度は人間の歩く速度4km/sを目安にした。ギヤ比は親機、子機の駆動用のホイール直径10cm、15cmに対し、それぞれ1：18、1：30に設定した。ギヤボックスは、設定ギヤ比が既にボックスの中に組み込まれたギヤードモーターを使用した²⁾。このモータはギヤボックスがコンパクトにまとめられ、走行中のギヤ抜け等の故障はない。表2に走行用モータの仕様を示す。

4.4 コントローラおよび回路の設計

図5はコントローラ回路図を示す。コントローラは親機、子機あわせて合計7個の直流モータを動作させる。各モータ回転速度は一定とし、回転方向はドラム回転スイッチを除き、全てのモータは正逆転できるようにしてある。ドラム回転スイッチS7は、V（Vゴール）、N（ニュートラル）および2P（2点ゴール）の3モードがあり、同じ打ち出し位置においてVゴール、2点ゴールを狙える回転数に合わせることが出来る。

図6はコントローラのスイッチ配置を示す。各スイッチの位置は、手の握りを変えずにすむように、親指の関節を支点に親指の先端が各スイッチに届く範囲に取り付けられている。

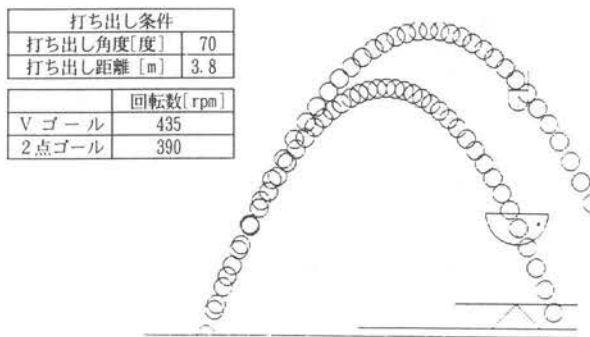


図4 シミュレーション結果

表2 各モータの仕様

	電圧 [V]	トルク [kg・cm]	電流 [A]	回転速度 [rpm]	出力 [W]	効率 [%]	重量 [kg]	備 考
TD2557F-555 ¹⁾	12	3.5	8.3	1950	70	70	1.60	ドラム(親)
TG-35B-AM-1/18 ³⁾	12	1.5	—	248	—	—	0.25	車輪(親)
TG-35B-AM-1/30 ³⁾	12	2.6	—	147	—	—	0.25	車輪(子)
RF-280 ⁶⁾	3	0.05	0.65	6600	—	—	—	ドラム(子), アーム(親)

4.5 ドリブル、ボール取り込みアーム部の駆動設計

親機のボール取り込みアームは、アームの一部に取り付けられたワイヤーをウインチで巻き上げ、アームを上下させる仕組みにした。アームのワイヤー取り付け位置において、ボール取り込み時のアームを引き上げ張力は、バネばかりによる実測の結果、最大の6.2 kg fであった。引き上げ速度は、操縦者が制御しやすい速度にギヤ比を調整し、1280:1に設定した。このとき得られる最大トルクは、モータ特性から使用電圧12Vにおいて61kg・cmとなり、アームを引き上げるのに十分なトルクが得られる。

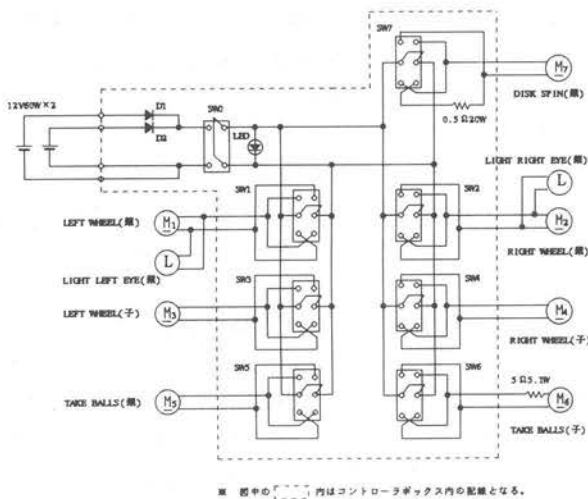
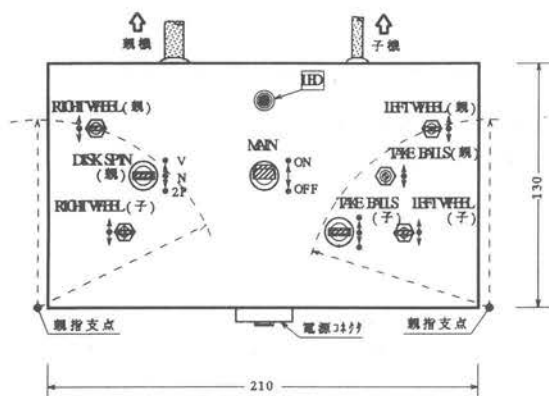


図5 コントローラ回路



※ DISK SPINのV、2PおよびNは、V₁、2点、N点、回転停止となる。
※ の記号は→:スイッチ倒れ方向、●:スイッチ止まり位置を示す。

図6 コントローラのスイッチ配置

5. ロボットの製作と加工法

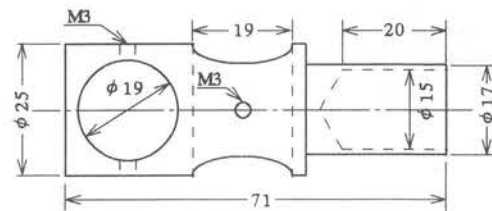
5.1 フレームの製作

フレームに使用するアルミ材は、直径19mmと直径15mmのパイプを用いた。パイプ接合は、アルミ製のジョイントを使用している。ジョイント寸法は、最初に規格を決め、差し込み部の肉厚や穴の間隔は統一されている(図7)。加工は、接合するパイプの本数、直径および方向にあわせて、アルミ丸棒の外周を切削し穴を開けている(写真2)。最後に、ジョイント差し込み部のガタを止めるため、アラライト等のエポキシ樹脂材がパイプ差し込み部の隙間に充填された。

子機のフレーム製作も、親機と同様である。子機の場合、使用されたアルミパイプは軽量化のため直径12mmにされた。

5.2 回転ドラムの製作

厚さ10cmのドラムは、厚さ2.5cmのスチロール板を4枚貼り合わせ製作された。このときの注意点は、ボンドを接着面に均一に塗り付け、塗り過ぎないことである。これはドラムの軽量化およびドラムの回転バランスをよくするためである。ドラムは、その両面にアルミ製の軸取付金具をあてがわれ、回転軸に取り付けられる(図8)。軸取付金具の働きは、ドラムの偏心



※ φ19mmおよびφ15mm用3方向ジョイント

図7 ジョイントの一例

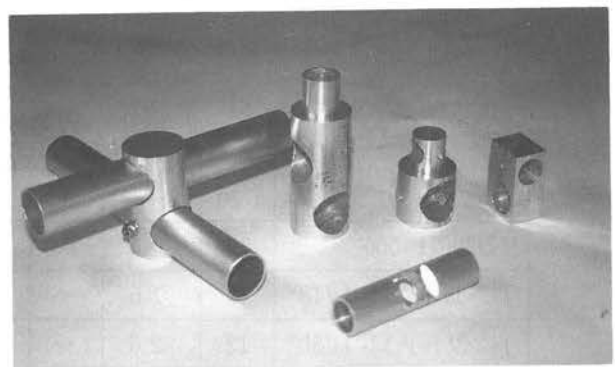


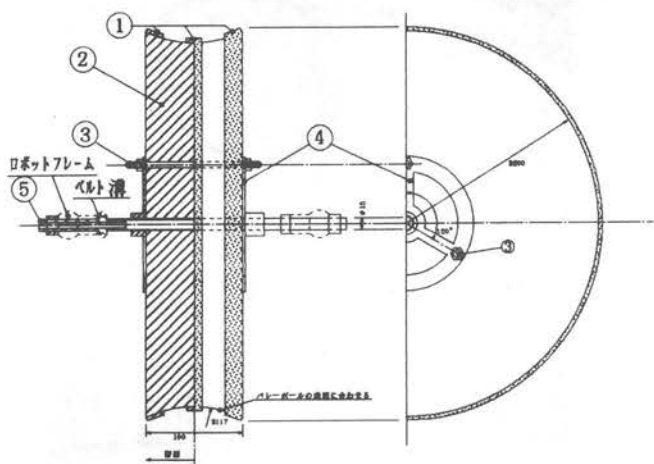
写真2 各種フレーム用ジョイント

や横ブレを防ぐことである。次に、ドラムを真円にするための旋盤加工を行う。加工法はドラムをロボットフレームに取り付け回転させ、同時にフレームに直接バイトを固定し、ドラム側面をボールの曲面に合わせて切削する。最後にボールとの密着性を高めるため、スポンジゴムが表面に貼り付けられた。フレームへの取り付けは、ドラム軸にボールベアリング⁴⁾をはめ込み、接合ジョイントにより固定する。

子機のドラム構造および製作方法は、基本的に親機のドラム製作と同様である。

5.3 取り込みアーム、打ち出しおよび取り込み誘導路の製作

親機の打ち出し誘導路は直径15mmのアルミパイプを用いた。パイプの曲げ加工は、実寸法で誘導路の図面を方眼紙上に描き、その図面と比較しながらパイプを曲げていく。パイプを滑らかな曲線に仕上げるため、曲げの道具として自転車のリム等の円形の型が用いられた。取り込みアーム、取り込み誘導路の製作も同様に行っている。打ち出し誘導路のボール接触面にはスポンジゴムが貼られた。これはボールと誘導路の密着性を高め、スピンが掛かりやすくする。打ち出し



ドラムの各部名称

①	スチロールドラム	④	軸取り付け金具
②	スポンジゴム	⑤	ドラム軸
③	金具接合棒		

図8 回転ドラム

誘導路の最終部分は、その傾斜を調整することができる。これはボールの空気圧に応じて、ドラムと誘導路間の挟み込み圧力を一定にするためである。傾斜の調整は、挟み込み圧力調整アームに開けられた穴の位置を変えることによって行う(写真3)。フレームへの取り付けは各誘導路はアルミ製ジョイントを使用し、取り込みアームは、支点到にテフロンコートされた滑り軸受け⁵⁾をはめ込みロボット先端に取り付けた。子機の誘導路製作の場合も、親機と同様である。

5.4 モータのマウント位置と取り付け

設計当初、ドラム駆動は伝達効率の良い歯車を使用する予定であった。しかし、モーターをロボットの側面に取り付けた場合、その重量によってバランスを崩し、走行中にロボットが倒れやすくなる。そのため、モーターの取り付け位置を下げ、ロボットの中央に配置を変更した。これにより、モーター軸と回転ドラム軸の間隔が広がったため、ベルト駆動方式にした(写真4)。

5.5 車輪の製作と取り付け

車輪半径は競技場に設けられた3cmの段差を乗り越えるため、5cmとされた。車輪は親機の場合、直径100mm、子機の場合、150mmのアルミ丸棒から削り出された。軽量化のため、強度を考慮しながら車輪の肉厚は2mmまで薄くされた。車輪の接地面には、厚さ5mmの

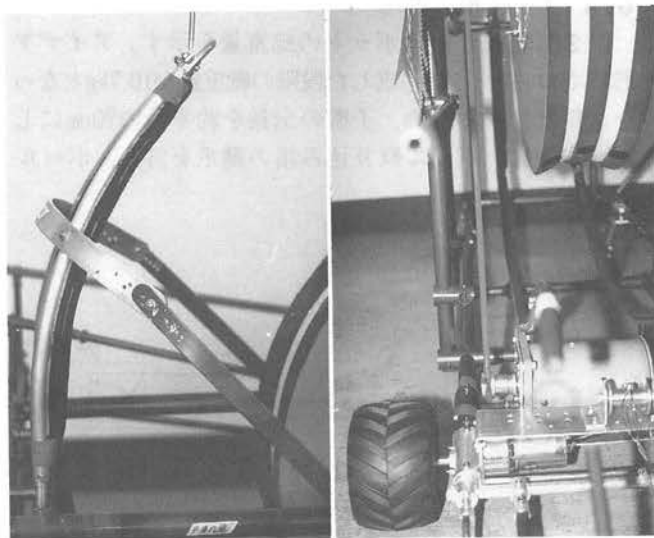


写真3 ボール打ち出し口 写真4 モータの取り付けと圧力調整アーム

スポンジゴムが貼られている。車輪はスポンジゴムの貼り付け方が異なる二種類が製作された。一つは写真5に示すように接地面の全てに貼り付けた車輪1、他方は、スポンジゴムを細切りにして凹凸をつけた車輪2である。さらに、ラジコンカー用のゴムタイヤも用意した。タイヤの選択は子機の場合、車輪1を使用し、親機の後輪については3種類の車輪についてテスト走行を行い、状況に応じて選択する。

車輪の取り付けは親機、子機とも駆動輪はギヤードモータの回転軸を直径8mmの真鍮棒で延長し、その先端に車輪をはめ込み、M3ネジあるいはステンレスの割ピンで固定する(写真6)。また、親機の後輪キャスターは、写真7のように車輪受けをアルミ板で製作し、ジョイントによりフレームに取り付けられた。子機の後輪はキャスターではなく固定車輪である。

5.6 照準器の製作

ゴールへの命中精度を高めるため、ボールの打ち出し方向を決定する照準器が取り付けられた。照準器の構造は、親機のマスクおよび打ち出し誘導路の上部に取り付けられた2本の細い棒である(写真8)。ボールの発射方向は、ロボットの後部から照準器を覗きゴールと、2本の棒が重なるようにロボットの方向を変え決定する(図9)。

6. 完成ロボットの評価

6.1 アイデア段階との変更箇所について

6.1.1 子機の削除

表3に完成したロボットの総重量を示す。アイデア形状でロボットが完成した段階の総重量が10.7kgとなった。軽量化するため、子機の全長を約半分の70cmにした。同時に、ボール取り込み用の鍵爪を外し、ボール



左から車輪1、車輪2、ゴムタイヤ
写真5 各種車輪

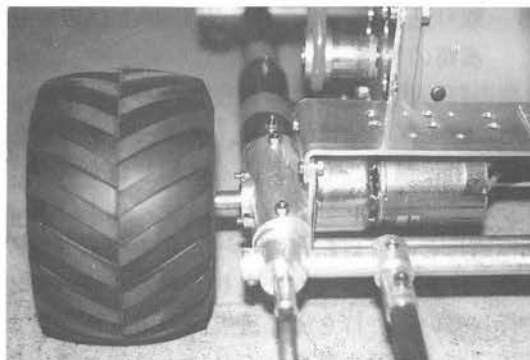


写真6 車輪の取り付け



写真7 キャスター車輪の取り付け

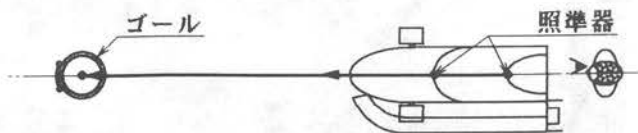
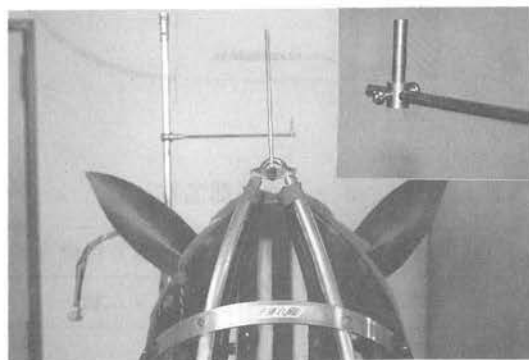


図9 照準のあわせ方



右上は前方の照準棒
写真8 照準器

の取り込みは、ドラムに掛けたゴムベルトのみとした。子機の改良によりロボットの総重量は10.2kgになった。さらに、これ以上の軽量化はロボットの強度を弱めてしまうことになる。

次に、親機と子機の同時操作において、ボールストッカーから親機が子機にボールを投げ渡すとき、子機のボール回収操作が難しい。これはコントローラからのケーブル長が4mに制限されているためである。このような事態はアイデアの段階で予想していた。実際の操作によって、ボールの運搬に時間がかかり、子機を使用しても運べるボールの数を増やせないことが明らかとなった。

以上のような二つの理由から子機を削除した。子機の削除によりロボットの総重量に余裕ができるため、親機の各駆動部分をアルミから真鍮に変更し強度を大きくした。最終的に、ロボットの総重量は、子機の削除と親機の改良により8.34kgとなった。

6.1.2 ドリブルアームの改良と取り込み機構の追加

親機はアイデアの段階では床からのボール取り込み機構は装備しておらず、子機の削除によって床にあるボールを取り込むことができない。そのため、先端のドリブルアーム部は上下に動かせるように改良され、親機は床のボールを取り込めるようにした。

アームの改良点は次の通りである。設計当初、親機先端がコの字型になっていたものをアームを延長し写真9のようにボールを囲う形にした。アームの間隔は、先端はボールより幅広く、後部はボールより幅が狭い。このような形状した理由は、床からのボール取り込み時に、ボールより幅の狭い後部へボール引き込むことで、取り込みが可能となるからである。

6.2 走行性能と操作性

表4に親機、子機の走行速度とモータ電流およびトルクの関係を示す。走行動作において、親機の直進性は悪い。これはホイールベースに比べて駆動輪間隔が短いため、左右駆動輪のわずかな回転の差によってロボットが蛇行するためである。さらに、ドラムを回転させた状態での走行速度は、車輪を駆動するための電力が不足し、非常に遅くなることも明らかになった。以上のことから、ロボット移動に時間がかかり3分間でボールストッカーからのボールの取り込みは1回のみである。また、一度に運べるボールの数が少ないため、3分間に打ち出せるボール数は5~6球であった。

6.3 ドラム回転数

無負荷時において、回転速度は1150rpmである。次に、ボール発射時のドラム回転数は、ビデオカメラで撮影された映像をもとに、シミュレーション計算から求められた。計算条件は、映像より打ち出し角度が40度、打ち出し距離が4.5mである。その結果、ドラムの回転数は、Vゴールの場合、520rpm、2点ゴールの場合、385rpmである。図10は計算結果を示す。

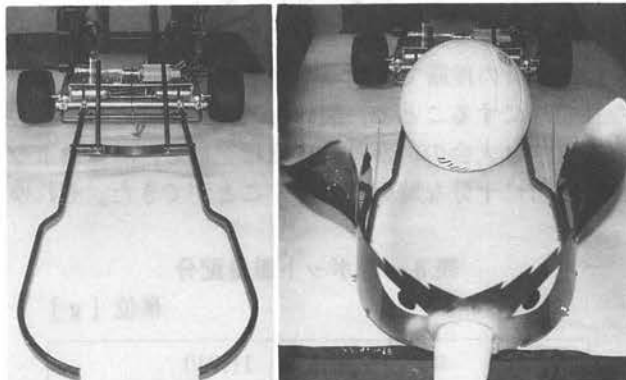
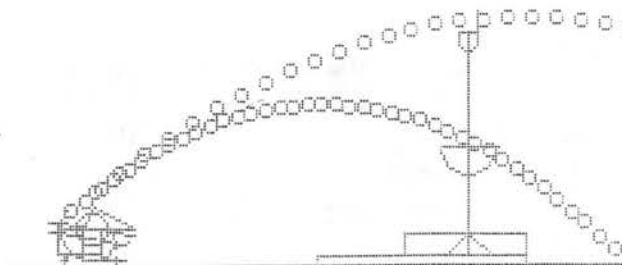


写真9 取り込みアームの改良



打ち出し条件			回転数[rpm]
打ち出し角度[度]	40	Vゴール	520
打ち出し距離[m]	4.5	2点ゴール	385

図10 ロボットのシミュレーション結果

6.4 シュートの安定性

発射角度が40度であるため、最大高さ3.2mにおいてボールは水平方向に移動する。通常ならボールはVゴールに入らないが、バックスピンの効果が有効に働きVゴール後部のパイプに衝突した後、ボールは真下に落ちVゴールに入りやすくなった。

シュートの方向性は、照準器を見ることによってボールは同じ方向へ発射され、ボールの軌道は一定であった。打ち出し位置の設定はテスト走行において、操縦者はゴールに入るロボット位置を競技場のラインを基準に覚えておくことで決定した。

7. まとめ

ロボットのアイデアであるバックスピン打ち出し方式によって、スピン効果が有効に働きVゴールシュートの命中確率を高めることができた。ロボットの製作では、設計の段階でロボットの構造や駆動方式を簡単な仕組みにすることで、製作を効率的に進められた。ロボットは大会の一か月前にはほぼ完成し、調整および操作練習に十分な時間を費やすことができた。それゆ

え、試合前の調整は短時間で行え、試合中の故障はなかった。最後にロボコン'95大会結果を表5に示す。

謝 辞

ロボット製作において、適切なアドバイスや製作技術の指導して下さった本校電気工学科の長浜技官、テスト走行のため競技用のゴール、ボールストッカー等を製作していただいた本校工場の技官の方々、また、製作費の御援助や大会の応援に来ていただいた後援会の方々、関係各位に深く感謝いたします。

最後に、ロボット製作に奮闘した、チームリーダーの鈴木俊君（電子制御工学科）をはじめとする9名の学生諸君の功績を讃えます。

参考資料

- 1) 共栄小型モータカタログ, 共栄通信工業(株)
- 2) 精密小型モータカタログ, ティエス電機(株)
- 3) 91スイッチの日開操作スイッチ編, 日本開閉器工業(株)
- 4) ベアリング販売の手引き, 旭機工(株)
- 5) オイレス総合カタログ, オイレス(株)
- 6) タミヤ総合カタログ1995 (受理年月日 1996年9月30日)

表3 ロボット重量配分

単位 [g]

ロボット総重量		11,340
親機の総重量		8,640
フレーム(打ち出し誘導路含む)		3,720
取り込み誘導路(ロボット側面)		340
直流モータ	ドラム駆動用 車輪駆動用 取り込みアーム用	1,700 250×2 100
回転ドラム		990
車輪 (ホイール含む)	前輪(ゴムタイヤ) 後輪(キャスター)	240×2 170×2
取り込みアーム部		310
狼マスク(親機用)		160
子機の総重量		2,700
フレーム		844
直流モータ	ドラム駆動用 車輪駆動用	90 250×2
回転ドラム	大(駆動用) 小	480 258
車輪	前後輪	108×2 113×2
狼マスク(子機用)		86

表5 アイデア対決ロボコン'95の大会結果

関東信越地区大会		参加ロボット 20台	
一回戦	不戦勝	アルミのおもちゃ'95 ピタゴザウルス号	
二回戦	勝ち4-2群馬高専		
準々決勝	負け2-21長野高専		
・ベストデザイン賞 全国大会推薦			
全 国 大 会		参加ロボット 25台	
一回戦	不戦勝	Erforg80(エアフォルクハチマル) 緊急発進!!Tokyoタワー	
二回戦	勝ち21-6 仙台電波		
準々決勝	負け0-V都立航空		
・技術賞			

表4 ロボットの走行速度とモータ電流

電源電圧 12[V]

	走行速度 [m/s]	モータ 回転数 [rpm]	モータ電流 [A]×個数 / トルク [kg・cm]			
			直進(左右同時駆動)		左右旋回(片側駆動)	
			始動時	走行時	始動時	走行時
親機	1.03	197	1.8×2 / 6.2	0.7×2 / 2.0	2.4×1 / 8.0	1.3×1 / 3.8
子機	1.01	129	0.7×2 / 5.4	0.3×2 / 1.9	0.8×1 / 6.6	0.7×1 / 5.4