

アイデア対決ロボットコンテストにおけるロボット製作 —— アイデア実現のための製作技術 ——

Production of Robots for RoboCon —— Producing Technology for Realizing Ideas ——

田中 昭雄, 石崎 雅寛*, 今野 大輔*, 諏訪 浩司*

Akio TANAKA, Masahiro ISHIZAKI*, Daisuke KONNO*, Kohji SUWA*

1. はじめに

アイデア対決ロボットコンテスト, 通称ロボコンは, 高専における実践的な技術教育の場として注目されてきた。1), 2) ロボコンは'98年大会をもって第11回を迎える。ここ数年の大会の様子を見てみるとテーマの難易度は高くなり, それにともないマシン性能は向上している。「ものづくり」を体験できる貴重な機会として, 多くの学生に参加してもらいたいコンテストであるが, マシン製作の難しさから, 初心者学生にとって敷居の高いコンテストになりつつあるのが現状である。そのため, 初心者学生でも気軽に参加できる製作環境の整備や, アイデアを実現するための製作技術の蓄積, 継承が重要となる。

本論文はアイデア対決ロボットコンテスト'98において製作したマシン「いろとりどり」(写真1)を取り上げ, 効率よく製作を進めるための工夫や, アイデアを実現するために導入した製作技術について報告し, ロボコンに限らず, 「ものづくり」を初めて体験する学生に対し, 基礎的な製作技術を提供するものである。



写真1 ロボコン'98製作マシン「いろとりどり」

* 本校電気工学科4年生(平成11年4月1日現在)

2. ロボコン'98の競技テーマ

毎年, 出題される競技テーマは違った内容となる。'98年のテーマ「生命上陸」の概略は, 『各チームのマシンに搭載した自作の「種子」や「たまご」を, 大・中・小10個の島に向けて投げたり, ころがしたりして, 「生命」を誕生させる。生まれた生命が島内にとどまると得点になる。』(ロボットコンテスト実行委員会ルールブックより抜粋³⁾) というものである。次にルールの詳細について述べる。

2.1 競技フィールドの形状

図1は競技フィールドの全体図である。フィールドは「スタートゾーン」, 「走行ゾーン」, 「接地禁止ゾーン」, 「進入禁止ゾーン」, 「島」(得点エリア)に分かれている。フィールドの周囲には高さ100mmの木工フェンスが設けられている。

2.2 マシンの規定

マシンの走行に必要なエネルギー源は再生可能な電池を使用し, その数や電圧に制限はない。マシンの重量は19kg以下とする。重量とは電源, コントロールボックス, ケーブルそしてデコレーション等の他, マシン全ての重量の合計をいう。大きさは, スタート時, 1200mm×1200mmのスタートゾーンを底とし, 高さ3000mmの直方体の中に「種子」を含めたマシンの全てが収まっていなければならない。

2.3 「種子」と「生命」

マシンに搭載された自作の物体が, マシンから完全に離れたものを「種子」という。「生命」とは, 「種子」の中に隠され, 誕生後, 見えるよう

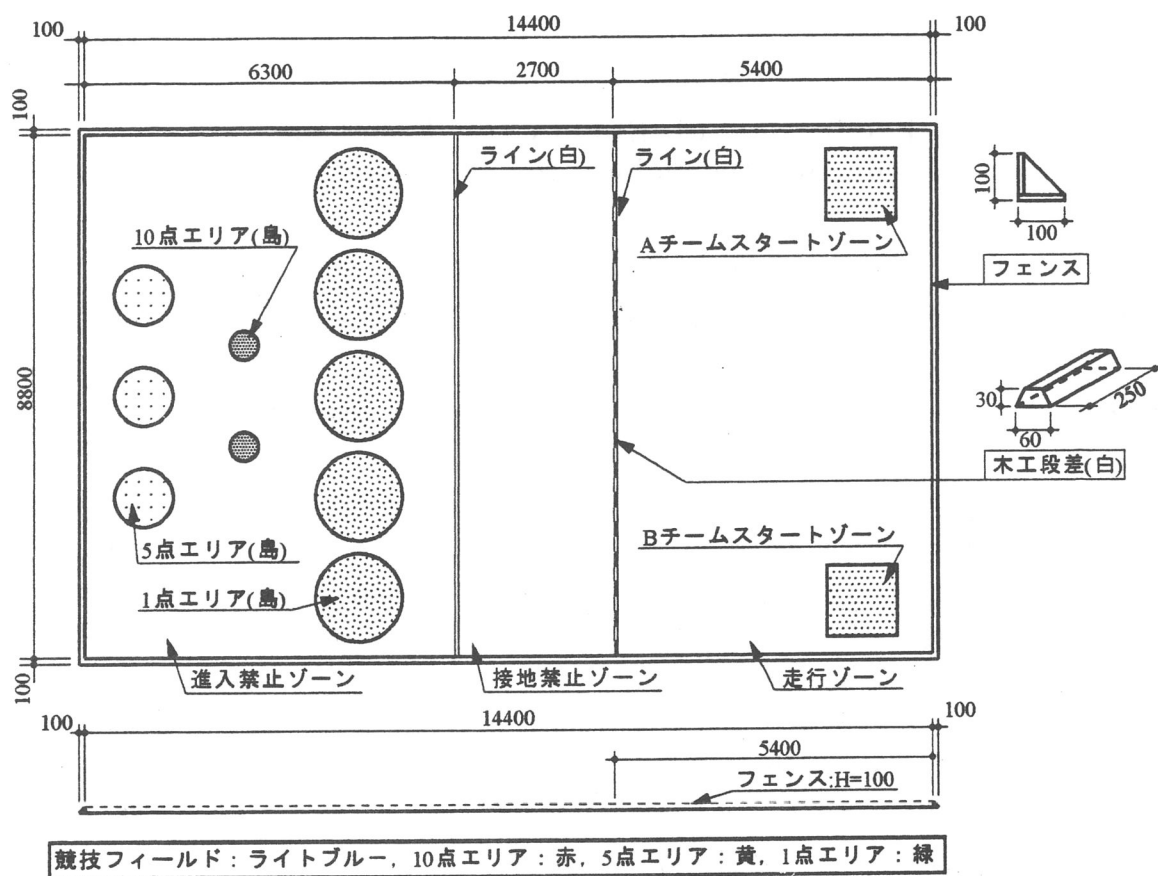


図1 競技フィールド (ロボコン'98用)

になる物体を指す。「生命」の形状、大きさの規定として投影面は、誕生後、直径200mmの円を含まねばならず、かつ「生命」の高さは、誕生後400mmを越えなければならない。

2.4 競技時間と勝敗の判定方法

競技形式は勝ち抜きトーナメント方式で行い、獲得した島の合計得点より勝敗を決定する。各島の得点は「大きい島」(緑色)を1点、「中くらいの島」(黄色)を5点、「小さい島」(赤色)を10点とする。競技時間は3分である。

3. マシンのアイデア

図2は、学生から提出されたアイデア図の一部である。このアイデアはテーマ名「生命上陸」にあるように、生命らしい動きを実現するための工夫が盛り込まれている。それはマイコン制御による自動走行によって、操縦者の手から放たれたマシンが意志を持っているかのように動き回ること

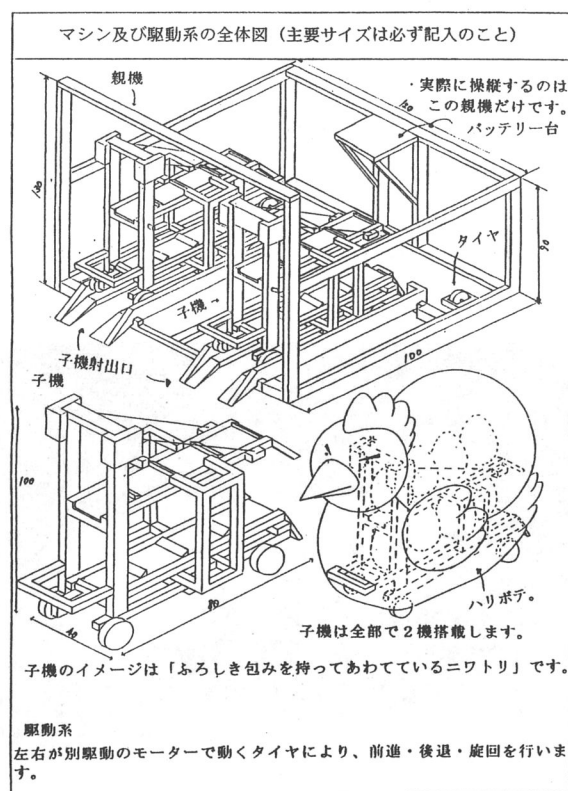


図2 マシンのアイデア

生命らしさを表現するものである。

マシンは、「台車」、「種子輸送車」（以下、輸送車と略す）および「種子」の3つの部分から構成される。操縦者が直接操作できる部分は、台車のみである。その上に2台の輸送車が搭載される。操縦者は台車を動かし所定位置で輸送車を発射する。輸送車は、自動走行によりフィールド内を自由に動き回り、島を発見すると運搬してきた種子を1個ずつ島に置く。この動作は全ての種子を放出するまで続けられる。放出された種子は一定時間が経過すると、その内部から生命が現れ得点となる。

以上のようなアイデアを実現するため、機械的な加工技術だけでなく、マイコン制御などの電気系統の製作技術が必要となる。また、種子のような付属マシンの大量製作、最終段階では輸送車の自動走行プログラムの調整もあり、例年の大会に比べると作業工程が非常に多く、製作を効率的に進めなければならない。

表1. マシン各部の大きさ

マシン種別	長さ × 幅 × 高さ／重量	個数
1. 台 車	1180mm × 1180mm × 1000mm / 8880 g	1
2. 種子輸送車	1040mm × 540mm × 800mm / 9850 g	2
3. 種子(下段*)	220mm × 220mm × 208mm / 1370 g	6
4. 種子(上段*)	270mm × 270mm × 235mm / 1650 g	6
マシン総重量	46700. g	

*1: 上段ベルトコンベア, *2: 下段ベルトコンベア

表2 マシン各部の使用モーターと電源

(1) マシン台車

種 別	規 格	メーカー	個数
1. 走行モータ	TG-35B-AM-75-KA 12 V	ツカサ電工	2
2. 電 源	ニッカドバッテリー7.2 V	サンヨー	2

(2) 種子輸送車 (1台分)

種 別	規 格	メーカー	個数
1. 走行モータ	TG-35B-AM-30-KA 12 V	ツカサ電工	2
2. コンベアモータ	TG-35A-SG-500-KA 6 V	ツカサ電工	2
3. カラーセンサ部 昇降モータ	遊星ギヤボックス 減速比1/400	田宮模型	3
4. 電 源	ニッカドバッテリー7.2 V	サンヨー	2

(3) 種子 (1個分)

種 別	規 格	メーカー	個数
1. ファンモータ	DAINATECH 02H 7.2 V	田宮模型	1
2. 生命回転モータ	FA130 3.0 V	マブチモータ	1
3. 電 源	ニッカドバッテリー7.2 V	サンヨー	1

4. マシンの製作と構造

台車、輸送車および種子の寸法は、生命の大きさを基準に決定されている。表1はマシン各部の大きさと重量、表2は使用したモータと電源の規格について示した。設計図面は、試作後の修正を容易するためジャストシステムの図形ソフト「花子Ver. 3.1」により作成した。台車および輸送車の組立図などの図面は、方眼模造紙に実寸大で作図している。これによりマシン全体の構造が明確となり、最小部品数が決定される。マシンの主な使用材料は、アルミ材、ベニア板、スポンジゴム、高密度発砲スチロールなどである。フレーム材は断面12mm×25mm、厚さ1mmのアルミ角パイプを用いた。各部の接合は、全てネジ止めである。

4.1 台車の構造およびコントローラ

フレーム材はアルミ角パイプを用い、その上面は、大きさ1150mm×1150mm、厚さ5mmのベニア板（写真2）で覆われている。台車全体は、2個

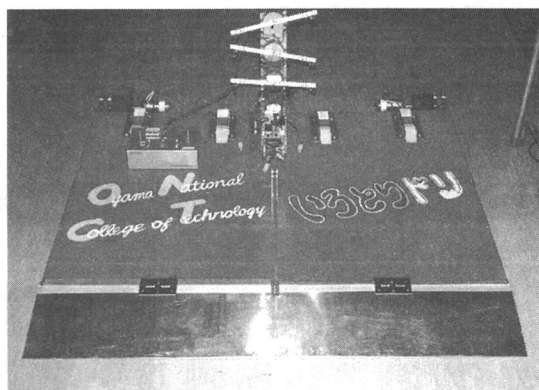


写真2 台 車

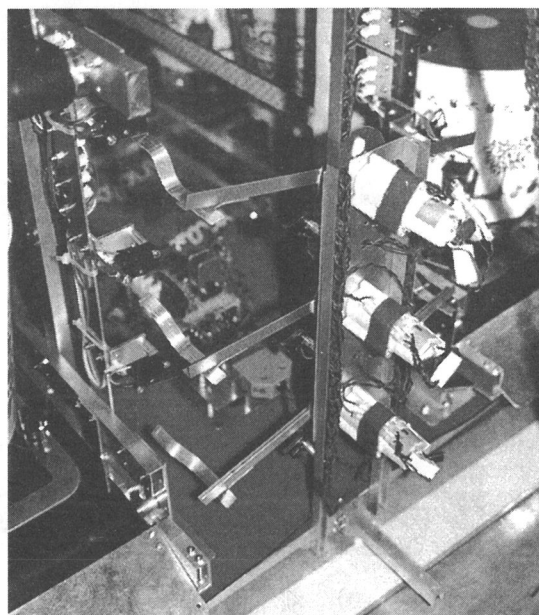


写真3 台車のシーソーアーム

の駆動輪と6個のボールキャスターで支えられている。走行方式は後輪による2輪駆動とした。前部にある傾斜角10度のスロープは、輸送車を滑らかに降下させるものである。後部には輸送車を発射させるためのシーソーアームが、3つ取り付けられている(写真3)。水平位置からアームを上下させることで、各輸送車のスタートスイッチが押される。台車の電源および制御回路は、台車の中央部に配置されている。

写真4は台車のコントローラである。中央に電源スイッチ、その左右に車輪駆動スイッチがある。下に並んだ3つのスイッチは、各シーソーアームの駆動スイッチである。コントローラは、大きさ210mm×150mm×70mm、重さ300gであり操縦者の操作性を考え小さなものにした。

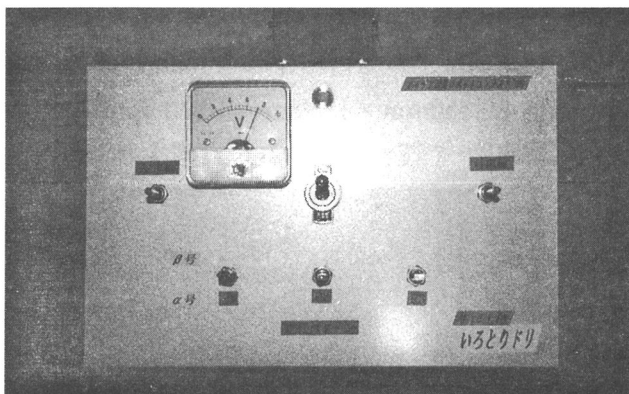
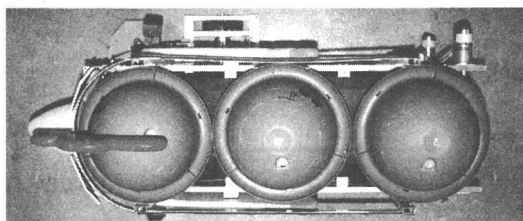


写真4 コントローラ

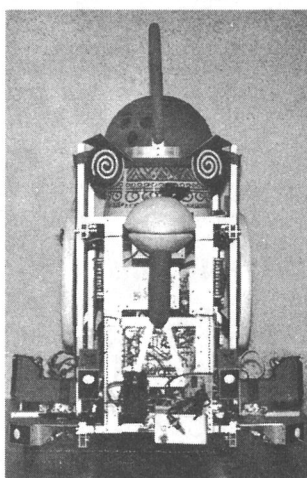
4.2 種子輸送車の構造

写真5に輸送車を示す。自動走行を行うためのセンサ群は輸送車前部に取り付けられている。それらはカラーセンサ、赤外線センサ、触覚センサの3種類である。各センサの取り付け位置は図3に示す通りである。赤外線センサは壁および相手種子を検出する。このセンサは会場の照明等による誤動作防止のため、パルス変調されたものを使用した。カラーセンサは競技フィールド上の色を識別し島を検出する。また、触覚センサは、赤外線センサで捕らえられない近距離にある物体および木工段差を検出する。写真6に示すように各触覚センサの触針は下向きに湾曲し、その先端は床から15mmの高さにある。したがって、触覚センサは木工段差に必ず接触し、その有無を確実に検出することができる。

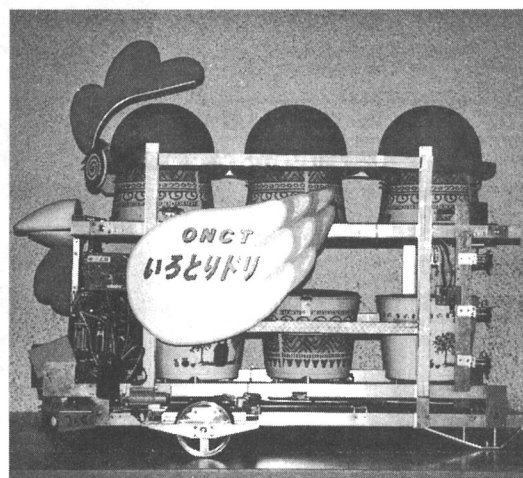
搭載する種子は、上下2段のベルトコンベアに3個ずつ乗せられる。ベルトコンベアの種子放出口には、種子に取り付けられたスタートスイッチ押すための金具がある。輸送車のスタートスイッチは、後部に3つあり、台車のシーソーアームの上下動作によって各スイッチが押される。走行方式は前輪による2輪駆動であり後輪はない。その代わりとして木工段差を乗り越えやすいようにソリが取り付けられている。



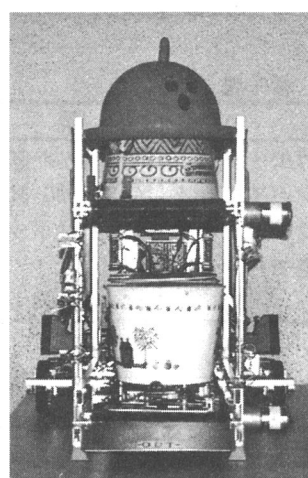
(a) 上面



(b) 前面



(c) 側面



(d) 後面

写真5 種子輸送車

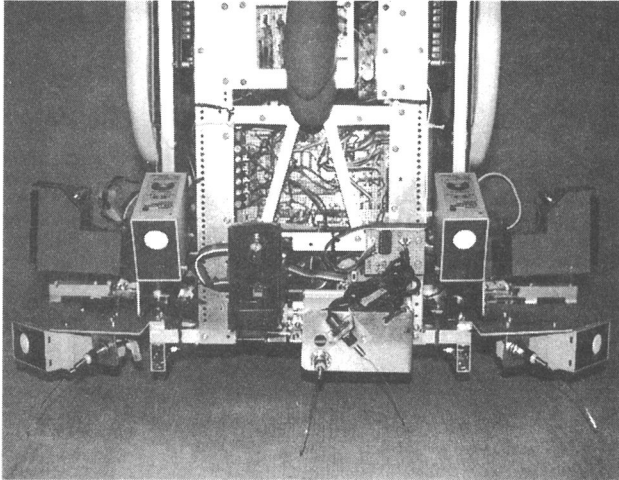


写真6 各種センサ

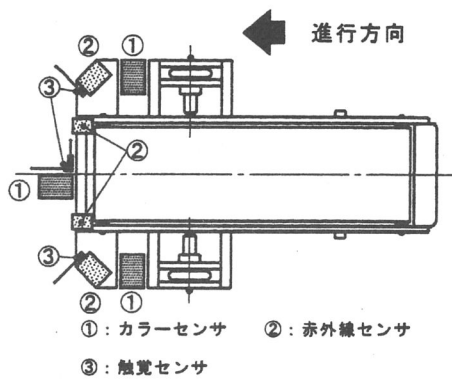


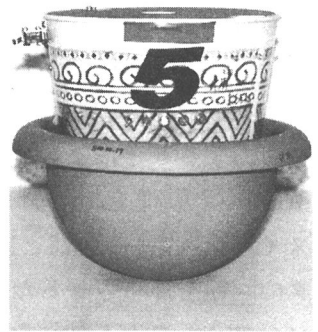
図3 各センサの取り付け位置

4.3 種子の構造

種子のボディは、直径22cmのプラスチック植木鉢（写真7）を使用した。その内部にサテン生地（写真8a）が折り畳まれ格納されている。ボディの下部には生命を膨らますためのファン（写真8b）が取り付けられている。ファンおよびモータはラジコン飛行機用のもので、瞬間的に生命を膨らますことができる。種子の台座部分は、種子を乗せるベルトコンベアによって形状が異なる。輸送車下段のベルトコンベアから放出される台座は厚さ2mmのアルミ平板（写真7a）である。一方、上段のベルトコンベアから落下して放出される台座は半球状（写真7b）であり、その内部に油粘土が詰めてある。輸送車の上段に乗る種子は、高さ40cmから落下して放出されるため姿勢を崩し倒れやすい。そこで、半球部分に粘土を詰めることによって種子の重心を下げ、ダルマと同様な仕組みで正常な姿勢に復帰するようにした。生命を膨らますためのスタートスイッチは種子の側面に配置され、輸送車から放出されるときに押される。

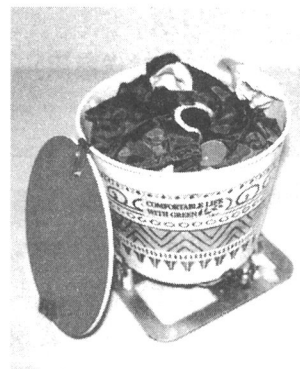


(a) 下段用



(b) 上段用

写真7 種子



(a) 生命の格納



(b) ファンの取り付け部

写真8 種子の構造

5. 電子回路の設計および製作

回路設計は、資料やメーカーのカatalogに記載されている回路例を参考に修正を加えた。設計のポイントは、安価で入手しやすい電子部品を使用すること、回路構成は極力簡単なものとして部品点数を少数化することである。回路基板はマイコン基板など製作個数が少数のものはユニバーサル基板を使用しているが、種子の制御回路やモータ駆動回路など、大量に製作しなければならない基板については、回路の信頼性、製作時間の短縮化のためプリント基板を製作した。プリントパターン設計は、松電子システムのパターンデザインソフト「HIWIRE School Version」を使用した。以下にマシンの電気系統について主要となる回路を説明する。

5.1 モータ駆動回路（台車および輸送車用）

図4にモータ駆動回路を示す。台車および輸送車のモータ駆動回路は、全て共通の回路とすること

で、部品の種類を少なくし、設計および製作時間の短縮した。回路にはモータ駆動用ICとしてTA8429H（東芝、平均電流3A、最大電流4.5A）を用いた。ICはIN1,IN2端子に制御信号00,01,10,11（TTLレベル）を入力することによって惰性、正転、逆転、ブレーキの4つの動作を制御することができる。リミットスイッチ入力L_SW1とL_SW2は、強制的にモータの回転を停止させるためのもので、台車のシーソーアームの上下動作および輸送車のカラーセンサユニットの昇降動作において、それらの可動範囲を制限する。可動範囲はリミットスイッチの取り付け位置により調整する。

5.2 センサのインターフェース回路（輸送車用）

図5は赤外線センサおよび触覚センサのインターフェース回路を示す。赤外線センサPZ II⁴⁾（キーエンス）は、FA用のものであり、外乱光に対する安定性に優れている。動作電圧は12Vであるため、3端子レギュレータ7812を用い電源電圧を得た。センサ出力12Vは、フォトカプラを介して5Vに変換され、マイコンの入力信号としている。一方、触覚センサはD5B-1511（オムロン）を使用した。出力信号電圧は5Vとし、反応有りのときLOWとする。基板上には、各センサの出力信号に対応したLEDが取り付けられ、反応状態を確認することができる。

5.3 カラーセンサ回路（種子輸送車用）

輸送車はフィールド上の島を検出するため、カラーセンサが必要となる。図6はカラーセンサ回路である。センサ素子は、サンヨーのアモルファス光センサAM-33RGB-04を使用した⁵⁾。センサからのR,G,B信号は対数アンプLA6600Mより増幅された後、演算増幅器によりR/G、B/G信号として出力される。それらはコンパレータにより比較され、色に対応した3ビットのデジタル信号に変換される。識別する色は、競技フィールドの使用された赤、黄、緑、白、ライトブルーの5色である。色の設定は、図7を参考にしてコンパレータのしきい値を調整することで行う。カラーセンサの光源は定格6.3Vのタングステン球を使用した。電球とセンサ素子は、図8の「JIS Z 8722」に規定されている「45/0法」を参考にして、内側を黒く塗ったケース（写真9）に収めた。このような構造にする

ことで、動作環境が変化してもセンサは正確に色を識別することができる。写真10は、完成したカラーセンサ基板である。

5.4 種子の制御回路（種子用）

図9は種子の制御回路である。この回路にはマイクロチップテクノロジー社のワンチップマイコンPIC16F84F（以下PICと略す）を使用し、モータの始動タイミングをプログラムによって簡単に調整できるようにした。基本的な動作は、輸送車から種子が放出される時、スタートスイッチ（START_SW）が押される。それから20秒経過すると、PICのRB1端子がHIGHとなり、ファン用モータ（DAINATECH02H）が始動する、このとき、生命は送り込まれた空気によって膨らむ。その10秒後、生命回転用モータ（RE130）が始動し、膨らんだ生命が回転を始める。写真11は完成した回路基板である。

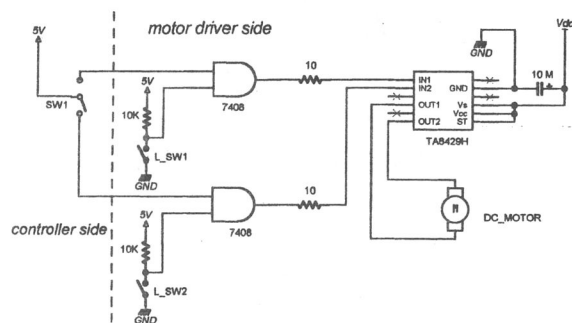


図4 モータ駆動回路

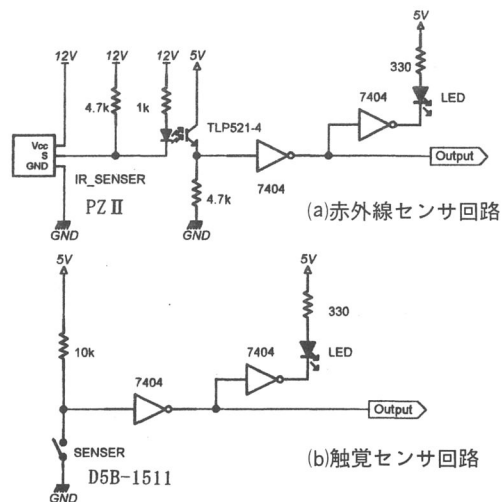


図5 センサインターフェース回路

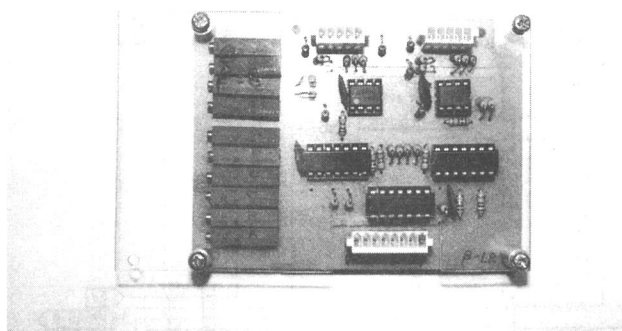


写真10 カラーセンサ回路基板

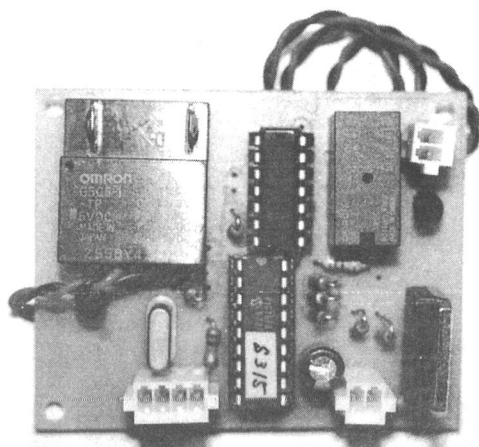


写真11 種子の制御回路基板

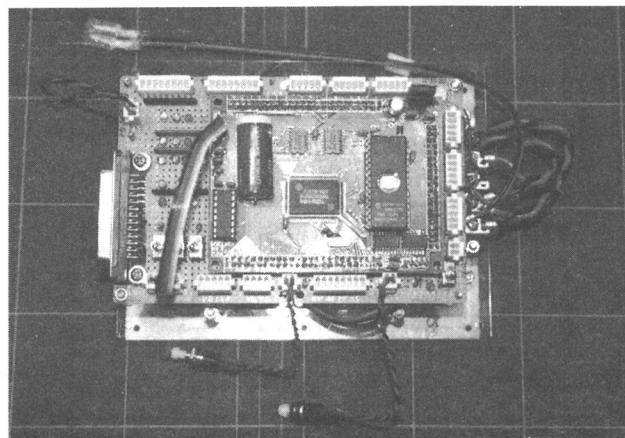


写真12 種子輸送車のマイコン基板

表3 マイコンボード (SUPER-AKI80) の仕様⁶⁾

CPU	Z80CPU-10MHz *	Central Processing Unit
PIO	Z80PIO-10MHz *	2組の8ビットパラレルポート
PPI	82C265-10	6組の8ビットパラレルポート
SIO	Z80SIO-10MHz *	2組の全二重シリアルポート
CTC	Z80CTC-10MHz *	4組のカウンタ/タイマ
CGC	Z80CGC-10MHz *	クロック発振器 4つのHALTモード
WDT	ウォッチドックタイマ *	暴走検出用タイマ
CLOCK	9.8304MHz	9600Hz × 1024
RAM	256K SRAM	
ROM	64K, 128K, 256K	100nsec
その他	メモリーバックアップ MAX232 リセットIC, S8054	
サイズ	72mm × 94mm × 10mm(但しROM, リチウム, 端子類未実装時)	

(*はZ84C015内蔵)

6. プログラムの作成と開発環境

6.1 プログラムの開発環境

輸送車に使用したマイコンボードは秋月電子から発売されているSUPER-AKI80(写真12)である⁶⁾。表3は、その主な仕様である。このボードは入出力用ICとして、PIOが1個とPPI8255が2個装備され、合計ポート数は64本となる。輸送車のようにセンサやモータの入出信号を制御するのに十分なポート数があるため、このワンボードマイコンを選択した。輸送車のプログラムはZ80のアセンブラ言語で作成し、RS232C通信によりマイコンの256k RAMに転送される。

一方、種子制御回路のプログラムは、PIC用のアセンブラ言語により作成した。この場合は、PIC WRITER KITのよりPIC内部のフラッシュROMにプログラムを書き込んでいる。

輸送車および種子のプログラム開発に使用したソフトは、全てMS-DOS上で動作する。よって、型式の古いパソコンで十分に開発可能である。今回、会場までの持ち運びを考え、約1万円の中古ノー

表4 プログラム開発環境

1. パソコン	NEC 98note sx/e CPU : 386SX 16MHz
2. OS	MS-DOS Version3.1B
3. エディタ	VZエディタ Version 1.6
4. 開発言語	アセンブラ XA80 (Z80用) PA (PIC用)
5. 転送ソフト	Z VISION Remote (Z80用) PIC WRITER KIT (PIC用)

トパソコンを購入した。プログラムの開発環境は表4の通りである。

6.2 輸送車のプログラム作成

図10は輸送車における自動走行フローチャートである。最初に、各ポートの設定と初期化、種子の放出数COUNTを0とする。次にスタートスイッチ入力待ちとなる。台車のシーソーアームによりスタートスイッチSW1, SW2, SW3のどれかが押されると、各スイッチに対応したパターン走行1,2,3が開始される。パターン走行の終了後、ランダム

走行となる。パターン走行およびランダム走行中に放出された種子の数はカウントされ、搭載された6個の種子が全て放出されると輸送車は停止する。

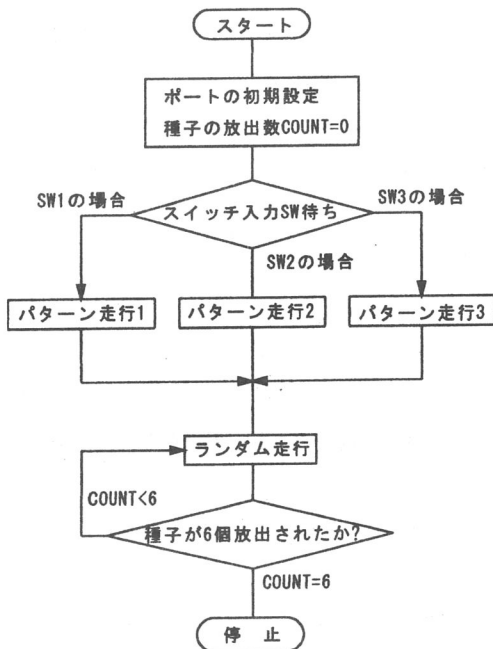
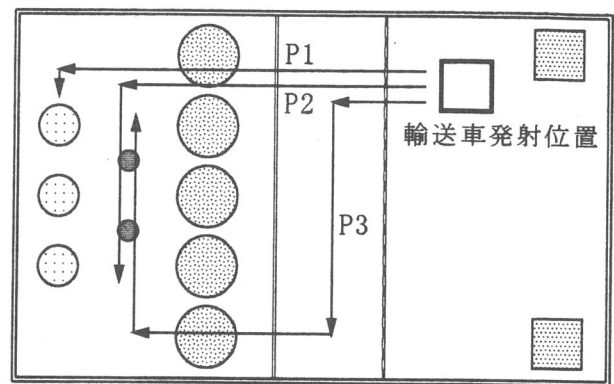


図10 フローチャート（種子輸送車）

(1) パターン走行

パターン走行とは、あらかじめ作成しておいた走行データに従って輸送車を走行する動作をいう。走行データの形式は、車輪の回転方向と回転時間を変えることで回転角と走行距離を設定し、それらのデータを順番に記述する。図11にパターン走行の経路を示す。走行データは島を通過する経路となるように作成し、輸送車に島を効率よく検出させる。また、パターン走行は1つだけでなく、相手種子によって走行経路が妨害されてしまった場合を想定し、他に2つの走行データを作成している。これをパターン走行2,3とする。パターン走行2,3の動作は相手種子が10点の島を獲得している場合、その種子を島から押し出し、自種子をその島に置く。走行データ2,3の違いは、10点の島に置かれた相手種子の押し出し方向が異なる点である。走行データ2は自分サイドから相手サイドへ、走行データ3は相手サイドから自分サイドとなる。それぞれのデータは、マシン本体の位置取りや種子の散乱状態によって、どちらの方向から相手種子を押し出したほうが、後の試合展開に有利であるかにより使い分ける。



P1: パターン走行1 P2: パターン走行2 P3: パターン走行3
※ Aチームコーナーからスタートの場合

図11 パターン走行経路

(2) ランダム走行

ランダム走行とは、輸送車が前進を続けながら木工フェンス、相手種子および木工段差を検出するとそれらを回避して、進入禁止および接地禁止ゾーン内を自由に走行する動作をいう。輸送車は島を検出すると、走行動作を停止し種子を放出、再び前進動作を開始する。島を検出しても、相手種子がすでに島を占拠している場合、その島を無視して相手種子を回避する。

(3) 島検出後の動作

島を検出した場合、種子放出動作は、10点の島（直径50cm）を基準に作成されている。輸送車は、どのカラーセンサが島を検出したかによって、進行方向を変え、島の中央に種子を放出する。この動作設定の注意点として、放出動作の終了時点で3つのカラーセンサ全てが、島のサークル外に出るようにすることである。もし、1つでもカラーセンサが島を検出していた場合、続けて放出動作が開始され、同一の島に2個の種子を置いてしまうからである。

7. マシンの完成度

完成したマシンの機械系統，電気系統およびプログラムの完成度について述べる。

(1) 機械系統

機械的な故障は、主に駆動部分に発生しやすいと考えられる。このマシン場合、全てのモータはギヤードモータを使用したため、ギヤ抜けや歯車

欠けなどの故障は一度もなかった。また、大会まで約180時間のテスト走行を行ったが、使用部品の変形は見られず、台車、輸送車および種子の機械的強度は十分であった。

(2) 電気系統

プリント基板の製作によって、製作時間が短縮され効率よく作業が進められた。マイコン基板、センサのインターフェイス回路およびモータ駆動回路には、安定な動作を示した。一方、カラーセンサ回路、種子制御回路については、次のような問題点があった。

・カラーセンサ回路

白とライトブルーの識別において、両色間のセンサ出力電圧の差は10mV以下と小さいため、しきい値の調整が不十分であると色を誤って検出することがあった。安全策として本番では、ランダム走行時の白線検出は行わないことにした。この場合、輸送車の走行範囲は接地禁止ゾーンまで拡大されるため、島の検出確率は小さくなる。

・種子の制御回路

生命回転用のモータが発生するノイズにより、プログラムがリセットされてしまうことがあった。生命の回転動作は演出上のものであり、この機構は使用しなくても問題にはならない。よって、本番では、このモータを使用していない。

(3) プログラム

プログラム開発において問題となった部分は、パターン走行データの作成に関する点である。走行データは小山高専体育館に競技フィールドを設置し、テスト走行より作成された。そのときのデータを用いて会場でのテスト走行を行った結果、走行距離が変化してしまうことが明らかとなった。原因は、フィールド上の細かい埃や砂によって、車輪と床との摩擦が異なったためである。競技フィールドの表面状態は、本番中も刻々と変化しており、正確な走行データを設定することはできない。対策として、会場での走行距離から、適切なデータを求め修正した。適切なデータとは、床面が良好であった本校体育館のデータと会場での走行データとの中間値である。

以上のように、マシン細部についてみた場合、いくつかの問題点が残されている。しかし、それら

は得点能力を失ってしまう致命的な欠陥ではなく、一部の機能を削除することで、マシンは安定な動作を示した。また、アイデアだけのマシンというわけではなく対戦相手との相性、試合の進行状況によっては大量得点を獲得できる性能も兼ね備えている。したがって、アイデア、得点能力、完成度について総合的に判断するならば、それぞれのバランスが良く、考案されたアイデアに沿ったマシンが製作されたといえるだろう。

8. ま と め

ロボコン'98のマシン製作を例に、アイデア実現のための製作技術と効率的な作業方法について報告した。今回の製作では、機械加工技術だけでなく、カラーセンサ回路などの電気系統の製作技術、マイコン制御のためのプログラム開発など、多くの新しい試みに挑戦した。その結果、アイデアを重視した魅力的なマシンが製作された。また、豊富な製作技術が蓄積され、今後、初心者学生に対し有益な技術データとして提供することができる。さらに、それらは学生の柔軟な発想によって創造性豊かなアイデアの実現に応用され、より高度な技術へ発展していくことを期待している。

最後に、製作したマシンは地区大会、アイデア賞、そして全国大会、芸術賞を受賞した。今大会のマシン製作において、御協力いただいた関係各位の方々に深く感謝致します。また、本校電気工学科3年石崎雅寛をリーダーとする学生諸君9名の功績を讃えます。

参 考 文 献

- 1)岡野内 悟,同好会としてのロボコンへの取り組みと指導方針,高専教育,第21号p319(1998)
 - 2)佐藤 浅次ほか,本校におけるロボコンへの取り組みと出品マシンの概要,平成10年度工学教育研究講演会論文集,p217(1998)
 - 3)ロボコン'98ルールブック,ロボットコンテスト実行委員会
 - 4)アモルファス光センサカタログ,三洋ソーラーインダストリー
 - 5)センサ・測定器'97~'98,キーエンスカタログ
 - 6)SUPER-AKI80の取り扱い説明書,秋月電子通商
- 「受理年月日 1999年9月30日」