

小型シーケンサをコントローラに用いた自走式ロボットの製作実習

(鈴鹿工業高等専門学校) ○白井達也, 大井司郎, 富岡 巧

1. はじめに

鈴鹿高専・機械工学科では平成 11 年度より第 4 学年の選択科目として「創造工学」(180 分、半期、選択)を開講している。本校の機械工学科の学生は電気・電子・情報工学および制御工学に関する授業数が少ないため、メカトロニクス技術に関する知識が機構分野に偏っている。その結果、学生は制御やプログラミングといったエレクトロニクス技術に触れることを敬遠する傾向が強い。メカトロニクス技術全般の知識の強化を図るために、機械工学科ではセンサおよびコントローラを搭載した自走式ロボットの設計・製作を「創造工学」のテーマとした。授業は 3 名の専門教官(平成 13 年度以前は 2 名)および技官が担当している。第 3 学年の時に「総合実習」(180 分、通年、必修)において手動操作ロボット(平成 10 年度～12 年度は「相撲ロボット」、平成 13 年度以降は「バスケットロボット」)の設計・製作を経験しているので、モータを用いた機構の設計・製作に関しては十分な経験を積んでいる。しかし「創造工学」は「総合実習」の半分の授業時間しかない。少ない時間で効率よく自動制御ロボットを設計・製作するにはどうしたら良いのか? 本報告では、自走式ロボットのコントローラとして、高信頼性で取り扱いも容易な小型 PLC (Programmable Logic Controller: シーケンサ、以下 PLC) を導入した経緯とその効果について述べる。

表 1. ロボットの制約

外形寸法	300[mm]×300[mm]以内 (高さは自由)
重量	3[kgf]以内
動力源	・直流電源 (動力用: 7.2[V]、3[V] (制御用: 5[V]、24[V]) ・高圧エア (5[kgf/cm ²]) いずれも外部から供給
制御方法	自走式

トの外形寸法は 300[mm]×300[mm]以内 (高さは自由)、重量は 3[kgf]以内とする。スタート地点からゴール地点まで S 字コース上の白色ラインをトレースして進む。単純なライントレースではなく、コース中間には高さ 100[mm] (平成 14 年度は 80[mm]に変更)、長さ 300[mm]の障害物がある。障害物を乗り越えるためにモータあるいはエアシリンダを用いた機構が必要であり、各ロボットの特徴が現れる。1 クラス 50 名弱を 7～8 班に分け、各班ごとに 1 台のロボットを設計・製作する。

図 2 は実際に学生が製作したロボットの一例である。動力源として直流電源および高圧エア(エアシリンダ用)を外部から供給する。材料は各種アルミ材(平板、丸パイプ、丸棒、角パイプ、L 材、C 材、板材)、塩ビ丸棒 (Φ50、Φ80)、ウレタンゴムシート (主にタイヤ用滑り止めに使用)、ベアリング、平歯車、ウォームギアを必要なだけ使用して構わない。モータは移動機構用の遊星ギヤボックスセット (DC3[V]、(株)タミヤ)を

2. 段差乗越えライントレースロボット

図 1、表 1 はそれぞれ自走式ロボットのコース図、ロボットの制約をまとめた表である。ロボッ

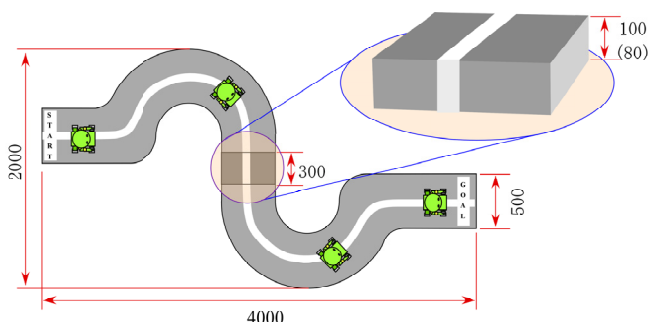


図 1. コース図

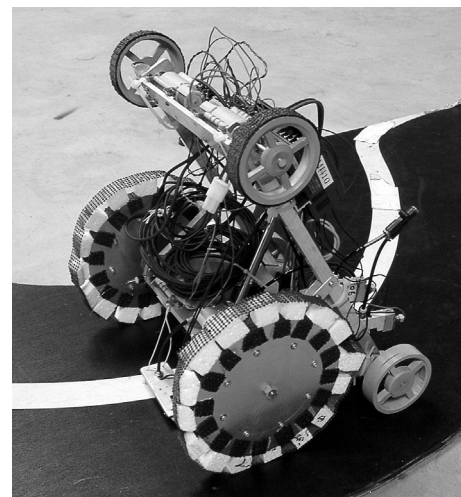


図 2. 実際に製作したロボットの例

2 個、段差乗越え機構用のウォームギヤボックス HE (DC3[V]、(株)タミヤ) を 2 個 (段差乗越え機構用) 支給する。7.2[V]駆動の DC モータ(RS-540HS、マブチモータ(株))の使用も認める。ライントレース用のフォトセンサ (詳細は後述) を 2 セット、図 3、図 4 に示す障害物検知用のタッチセンサ (D5B-1511、オムロン(株))、複動エアシリンダ(ストローク 100[mm]、SMC(株)) とダブルソレノイドバルブ (DC5[V]、SMC(株)) をそれぞれ 1 個ずつ、自動制御用のコントローラ (詳細は後述) を 1 セット、モータ正逆転切り替え用の電磁リレー (詳細は後述) を使用するモータ数に応じて必要な数だけ支給する。それ以外の部品については各チームで調達する。

3. PLC とファイバセンサの導入

3. 1. 導入前の問題点 (平成 11~12 年度)

PLC 導入前は、(1)ライントレース用のフォトセンサとして単純な赤外 LED とフォトディテクタを用いた電子回路、(2)コントローラとして Z80 ワンボードコンピュータ (AKI-80、(株)秋月電子通商、以下ワンボード PC) を用いていた。

結論から先に述べると、平成 11 年度、12 年度はワンボード PC による制御システムが完成に至らなかったため、段差乗越え機構を搭載していながら使用しない、単なるリレー回路によるライントレースマシンとなってしまった。電気系の基礎知識に乏しい機械工学科の学生が制御システムを完成するには、センサやコントローラの動作原理や使用する電子部品の名称と機能を学ぶ必要があるが、全てを説明しながら設計・製作するには時間数が足りなかった。ワンボード PC のプログラムは機械語 (Z80) で記述し、アセンブラで変換後、ROM ライタでワンボード PC に書き込むなど、手間が多い上にデバッグが困難である。ワンボード PC の組み立て、ラインセンサの配線には正確なハンダ付け作業を要する。ハンダ不良、配線ミス等による原因不明のトラブルの解明と修理に掛かる手間と時間は予想以上に多く必要だった。学習事項や作業量が多いため機構部設計・製作と並行して学習と作業を進める必要があり、各班から制御担当者 1 名を選出して担当させていた。制御部担当者が全責任を負い、強いプレッシャーを受ける一方、制御部担当の学生以外は電子回路・制御技術を学べない点も当初の「創造工学」の目的と矛盾していた。

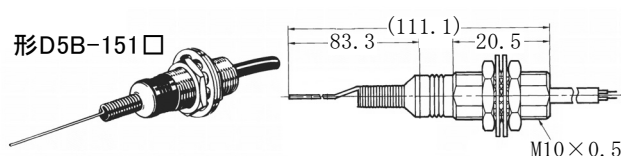
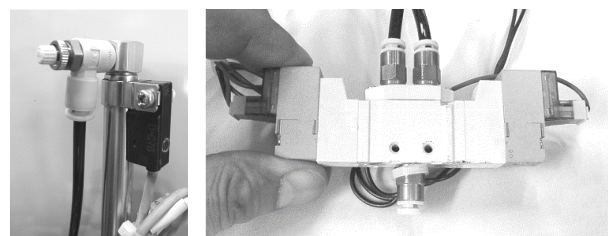


図 3. タッチセンサ¹⁾



(左) 複動エアシリンダ+スピードコントローラ+リミットスイッチ
(右) ダブルソレノイドバルブ

図 4. エアシリンダとソレノイドバルブ

3. 2. PLC の導入 (平成 13 年度以降)

電子回路の製作、配線、プログラミングを基礎から全学生に教授するのは授業時間数の制限から無理であると判断した。授業の重点はあくまでもロボットの機構である。より深い電子回路の基礎知識 (要素部品の名称、原理) は工学実験や専門科目に譲り、ロボットを自動制御するには様々な種類のセンサ、その入力に基づいて判断するコントローラとそのプログラムであることを理解させることに限定した。

PLC を実習に導入する理由は大きく分けて三つある。一つは高信頼性である。ワンボード PC などの自作回路と違って産業用機器である PLC は劣悪な環境での使用に耐えるよう設計されており、ハンダ不良や脱落した部品による電子回路の短絡といったトラブルに強い。

二つ目はプログラム作成とデバッグの容易さである。機械語によるプログラムは小さなミス一つでシステムが暴走するが、ラダーシーケンスにミスが存在しても PLC は暴走しない。ラダーシーケンスは (アセンブラ、BASIC、C 言語などの) 手続き型言語とは根本的にプログラムの設計思想が異なるため、最初はプログラミング手法の違いに戸惑うが、憶える必要のある命令語の数や規則は非常に少ない。プログラミングは図 5 のように図記号による GUI 入力も可能である。また、I/O チェックから始まる制御システムのデバッグの際に、入出力端子の ON/OFF 状態は本体 LED で、内部補助リレーやタイマの状態はラダーサポートツールを用いてリアルタイムにモニタできる。

そして最後は、実際に学生が産業界に入って即戦力として活躍する際に役立つ実践的知識と経験を身に付けさせるためである。高専の機械工学科を卒業した学生が配属される可能性の高い製造現

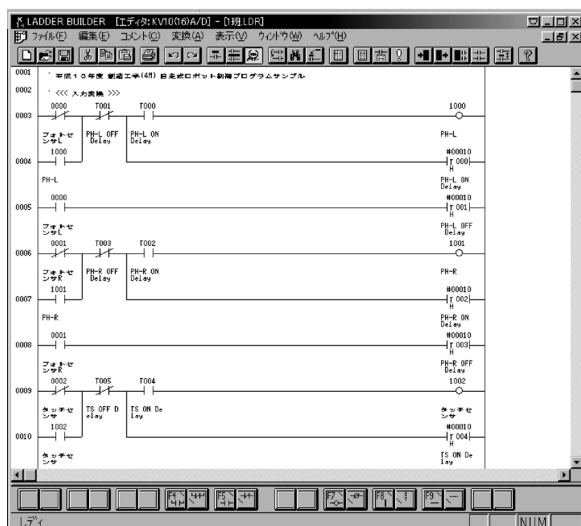


図5. ラダーサポートツールの画面

場において、自動生産機の多くはPLCにより制御されている。

3. 3. ファイバセンサの導入（平成 14 年度）

今回の課題は、単に平坦な面を移動するライントレースではなく、段差を乗り越える必要がある。複雑な機構をもつロボットが多く、ラインセンサには小型のものが望まれた。段差乗り越え前、乗り越え中、乗り越え後で地面とラインセンサの距離や角度が変化してしまうロボットもある。常に一定の距離・角度を保つようにロボットを設計させるのが重要という考え方もあるが、ラインセンサの取り付け位置を重視してロボットの機構が制限され、独創的なロボットが少なくなることも危惧される。予算上の都合により、平成 13 年度は光変調型フォト IC（S7136、浜松ホトニクス）を用いたフォトセンサ回路の製作を試みた。感度調整は赤外 LED と直列接続した可変抵抗器のボリュームを回転させて行う。高性能なフォト IC を使用したことで平成 13 年度以前の回路と比べて信頼性は高くなったが、部品供給が安定していない、感度調整が難しい、ハンダ付けの良し悪しによる品質のバラツキ、検出距離・範囲ともに狭く、センサの取り付け位置を優先しなくてはならないといった問題は残った。

今回導入した産業用のファイバセンサ（FS-V21、キーエンス製）は非常に高価で、ラインセンサに用いるのは贅沢であるという指摘もあった。しかし、ファイバセンサは物体の有無を検出するのが使用目的であり、ラインセンサとしての使用が目的から外れている訳ではない。“セットボタン”を 2 回押すだけで閾値が自動調整され、アンプのゲイン調整が完了する。閾値はシュミットトリガに

なっており、ファイバユニットと地面との距離が不安定に変化するような箇所に取り付けても安定したライン検出が可能となった。光ファイバ製のファイバユニットは配置の自由度が高く、図 6 のようにファイバセンサアンプから離れた位置に自由に取り付け可能である。

3. 3. 導入後の結果

PLC、ファイバセンサの導入に加えて平成 13 年度から、ハンダ付けによる結線を原則的に禁止し、圧着端子および多極コネクタによる溶ダレス化を進めた。圧着端子による配線を行うために、端子台（PTU-10、東洋技研(株)）とターミナルリレー（G6B-4CB、オムロン(株)）を導入した。溶ダレス化により、(1)断線トラブルの減少、(2)配線ミスの修正が容易、(3)配線作業の迅速化が実現した。今回、制御機器は図 7 のように全て DIN レールに装着できる物を選定した。ロボット本体に制御機器の取り付け穴を厳密に指定する必要が無く、ロボット本体の設計の自由度が増した。ロボットの機構改造時にも効力を発揮した。

図 8 はシステム構成図の一例である。班毎に必要なセンサ、モータ数が異なるが基本的な構成は同じため、白紙の状態から設計するのではなく数箇所の修正で済む。ラダーシーケンスも同様に雛

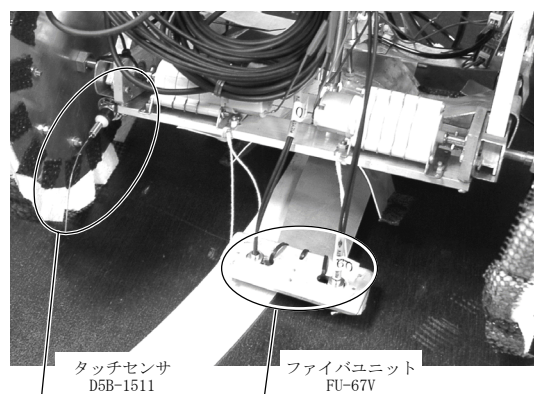


図6. センサの取り付け例

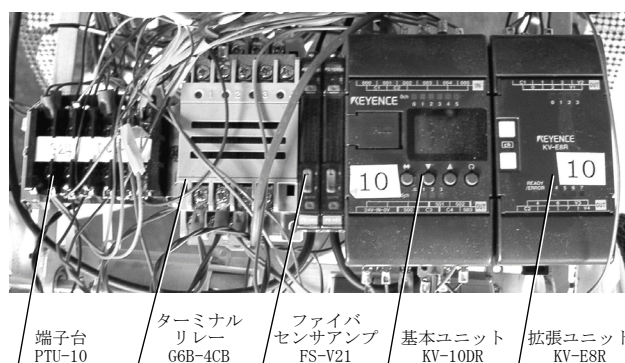


図7. DIN レールへの取り付け

型となるプログラムを用意した。雛型と異なる部分のみ修正すれば良いため、少ない時間でラダーシーケンスが完成する。

平成 13 年度は 7 班中、1 つの班はロボットが完成しなかった。残り 6 班中、1 つの班がラインレースに成功、3 つの班が辛うじて成功、2 つの班は部分的に成功した。段差乗り越えは 3 つの班が、一部、人によるサポートありで成功した。平成 14 年度は更に完成度が上り、8 班すべてがロボットを完成させ、6 つの班がラインレースに成功した。段差乗り越えは 4 つの班が成功した（内 1 班は条件付き）。平成 13 年度の成績があまり良くないのは、当初、ワンボード PC で制御を行う予定でいたのを途中で PLC に急遽変更したことと、フォトセンサ回路を自作するのに時間が掛かったことに起因する。教官側の準備不足に学生が振り回された結果である。平成 13 年度以前は正規の授業時間以外も活動したにも関わらず完成に至らなかったのに対して、PLC を導入した平成 13 年度は大多数の班がロボットを完成させた。ファイバセンサを導入した平成 14 年度は正規の授業時間だけで全ての班がロボットを完成させ、さらに改良を加える余裕も持てた。

表 2 は PLC およびファイバセンサ導入時に要した費用の概算（定価、税別）である。例えば 1 クラス 8 班の場合は、固定費用 154,450 円に加え、 $97,630 \text{ 円} \times 8 \text{ 台} = 781,040 \text{ 円}$ を加算し、合計で 935,490 円を要する。一見、費用が大きいように見えるが、配線にハンダ付けを一切行っていないので、大半の部品が翌年度以降も再利用できる。

4. まとめ

信頼性の高い産業用のコントローラ（PLC）とフォトセンサ（ファイバセンサ）を用いることで自走式ロボットの完成度を高めることができた。

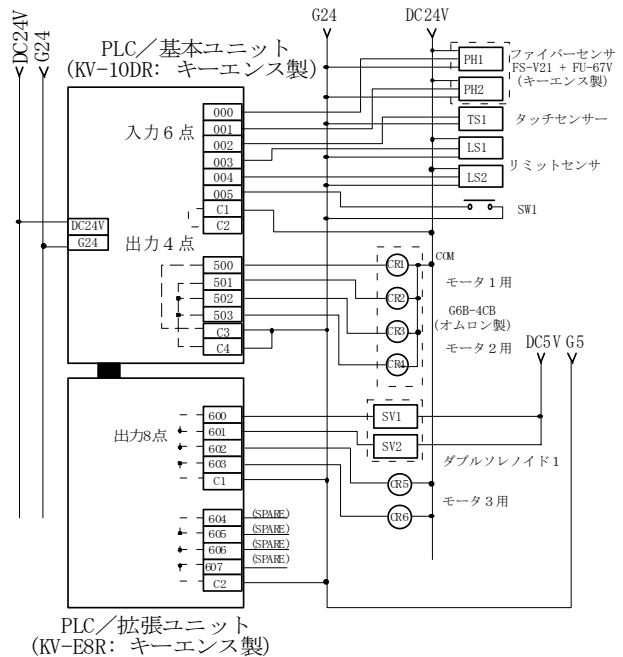


図 8. 制御部システム構成図の例

センサやコントローラの動作原理、電子部品の名称や機能といった詳細な電子工学知識を犠牲にすることになるが、学習する事項を制限することで全学生に対して均等に自動制御に関する基礎知識を理解させることができた。

平成 15 年度入学の学生からカリキュラムが変更になり、3 学年から「メカトロニクス」の授業が始まる。電気・電子・情報系のカリキュラムも強化されるので、より難易度の高い課題を設定できるようになる。

最後に、PLC の導入に伴う出費にご理解頂くとともに創造工学の運営にご協力いただいている教職員の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 「ベスト制御機器オムロン第 15 版」、オムロン株式会社
- [2] 「キーエンス 2002 総合カタログ」、株式会社キーエンス

表 2. 初期投資費用

< 固定費用 >

品 名	型 番	メーカー	定価(税別)	数量	備 考
ラダーサポートソフト	KV-H1W	(株)キーエンス	¥150,000	1	Windows版
通信ケーブル	OP-26487	(株)キーエンス	¥2,000	1	
D-SUB9ピン用コネクタ	OP-26486	(株)キーエンス	¥2,450	1	
合計			¥154,450		

< 1台当たり >

品 名	型 番	メーカー	定価(税別)	数量	備 考
基本ユニット	KV-10DR	(株)キーエンス	¥27,200	1	入力6点、出力4点
拡張ユニット(8点リレー出力)	KV-E8R	(株)キーエンス	¥17,800	1	出力8点
ファイバセンサアンプ	FS-V21	(株)キーエンス	¥16,800	2	
ファイバユニット	FU-67V	(株)キーエンス	¥7,000	2	
ターミナルリレー	G6B-4CB/DC24V	オムロン(株)	¥4,550	1	1c×4接点、接点定格5[A]
DINレール取付端子台	PTU-10	東洋技研(株)	¥480	1	6P,側版,止め金具
合計			¥97,630		