

組込み技術を課題とするエンジニアリング・ デザイン教育

村上 純一* 白石 啓一**

Engineering Design Education by using Embedded Technology

Junichi MURAKAMI, Keiichi SHIRAISHI

Abstract

The purpose of the report is to discuss engineering design education for advanced course students by a process of designing and making a prototypical machine which has mechanism, electronic circuits and software. Teaching materials about microcomputer were developed and used in Experiments and Exercise II for 2nd year students of advanced course for past three years. The challenges, the processes and the prototypical machines are shown in the report.

Keywords: embedded technology, engineering design, engineering education

1. はじめに

本校専攻科電子情報通信工学専攻では、2年次の特別実験・演習Ⅱにおいて JABEE のエンジニアリング・デザイン教育 (以下、デザイン教育) を実施している。デザイン教育の方法については、平成 19 年度より準備を始め、平成 20 年度よりスタッフによるワーキンググループを組織して検討を進めてきた。その結果、本専攻は通信、電子、制御、情報の基礎技術を修得した 4 学科出身の学生により構成されていることから、学生が興味をもつ分野から課題を設定できるよう出身学科毎に実施することとした。そこで、電子制御工学科出身学生の課題には、マイコンに代表される組込み技術を取り入れることとした。その方法は、マイコンを用いた自律型ロボットによるコンテスト (以下ロボコン) を想定し、学生数名のグループ毎に与えられた競技課題と制約条件の下にロボットを組み立て、競技により

成果を問うよう求めることとした。このようなロボコン型の創造教育はすでに実施例が報告されており^{1,2)}、JABEE のエンジニアリング・デザイン教育とも合致している。

平成 19 年の試行段階では創造教育に重点を置いたため、設計仕様は学生自身が作成するよう求めていた。しかし、仕様の設定に時間がかかり、試作の完成度が低くなった。完成度を上げるためには、演習時間を確保すればよいが、カリキュラムの制約から困難であった。そこで、与えられた設計仕様に基づいて設計するように変更した。また、電子制御工学科においても組込み技術の講義は行っていないことから、速やかに効率よく設計に取りかかることができるようにプログラミング演習書を教材として整備することとした。

本稿では、過去 3 年間の実績を報告するとともに、課題として与えた仕様及び制約条件の妥当性について述べる。また、必ずしも試作が完成しなかった原因について考察する。

2. デザイン教育の進め方

* 香川高等専門学校詫間キャンパス 電子システム工学科

**香川高等専門学校詫間キャンパス 通信ネットワーク工学科

2.1 課題設定

課題は、ロボットコンテストに見立てたテーマ、及び、競技ルールを与え、マイコンを用いた自律型ロボットの設計演習に設定した。与えられた課題の条件を満たすロボットの設計・製作過程からメカトロニクス分野の技術者として必要な設計力を養うことを目的とする。なお、一般に設計は設計図の完成をもって終了するが、設計上の問題点を明らかにするためにチーム当たり1台の試作を行う。

試作機製作の条件は、課題毎に与えるものとした。結果は、成果発表会において発表し、レポートにより報告する。また、設計の各段階における検討結果を記録するため、概要設計、計画立案、詳細設計、製作、動作検証、問題報告の各シート、及び、製作ノートに記入することとした。また、適宜、製作図面、プログラミング資料を作成することを求めた。次に、過去3年間の課題を示す。

(a) ライントレーサ (平成20年度課題)

競技エリアに移動ルート、出発点、到着点、障害エリアを設ける。移動ルートは大小2つの周回コースから成り、大周回コースは移動時間を要するが障害の少ないコースとし、小周回コースは時間短縮できるが障害の難度を高く設定した。開始、終了は別途製作する自動計測器(スタータ)によって行う。計時スタートは、スタータの高輝度LEDの点灯により行い、計時停止は近接スイッチにより停止する。したがって、マシンにはスタータからの合図を検知するセンサを設け、自動的に発進するものとする。周回は1周のみとし、ゴール直後で停止しなければならない。移動ルートは白地の用紙に引かれた黒線によって示され、障害は欠落した黒線(破線)によって示される(図1参照)。成績は、周回に要する時間、及び、走行状況により順位付けされる。

(b) マインスイーパー (平成21年度課題)

機雷に見立てた突起のあるボールをエリア内で探索し、把持して所定の位置に回収する課題とした。エリアは、約1m×1mのフィールドとした。ボールの設置方法は任意とし、マシンのスタート位置はボールに対して50cm以上離れていることとした。直径約60mmの球形、ゴム製のボールを機雷に見立てる(図3(a)参照)。ボールには全体に突起物があり、その分布が粗である赤道部を把持することとする。ただし、ボールは最大±15°傾斜して置かれる。位置検出には、カメラを使用してよい。また、カメラの画像処理にはパソコンを用いてもよい。

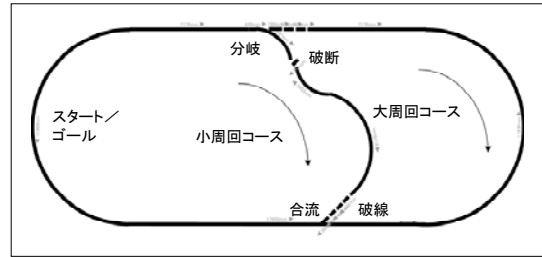


図1 ライントレーサの課題コース

(c) 自動搬送ロボット (平成22年度課題)

課題は、1m四方のフィールド内の一端に任意の状態で置かれた対象物を自動検出し、把持し、スタート位置まで持ち帰る自走式ロボットを設計、製作することとした。

3組の班別に合わせるため、仕様は共通項目と班別項目に分けた。第1班は、2名のチームであり、対象物は、直径約60mm、5gの球とする。第2班も2名のチームであり、対象物は、直径44mm、長さ70mm、54gの円柱物体とした。第3班は3名のチームとし、対象物は、第2班と同等の物体(直径30mm長さ115mm、39g)とした。この班の付帯事項としてフィールドの2カ所に障害物を置き、障害物の位置をパソコンから指示できるものとした。ロボットは、パソコンから指示される障害物を回避する経路を選択できなければならない。ただし、フィールド、対象物のサイズは10%の誤差を許容するものとした。

2.2 制約条件

ロボコンには、ロボットの移動手段、経路の障害、オブジェクトまたは相手ロボットの探索・回避・妨害、オブジェクト搬送等の解くべき種々の問題が存在する。問題の一部は、制約条件として示している。

使用するマイコンは、16ビット以上とする。実質的には文献3)及び演習書で扱う16ビットマイコンH8/3694Fを用いている。ロボットの本体、及び駆動系には、タミヤ製の「楽しい工作シリーズ」を用いる。センサ類は、別途指示される予算の範囲内で購入してよいものとする。使用するプログラム言語は、C言語とする。

マシンは、マシン底面のサイズがA4版用紙程度の大きさとする。明示的に与えず、試作の過程で問題点として発見すべき項目として、マイコンのメモリ容量、ボードのノイズ対策、電源容量、デバッグ方法などがある。

2.3 実施スケジュール

デザイン教育は、表 1 に示すように後期 15 週で実施している。平成 20, 21 年度は週 2 回各 3 時間で行い、平成 22 年度より週 3 回各 3 時間とした。同表は概略の流れを示したものである。学生には、これを基にしたスケジュールを立てることを求めている。試作過程には変更や修正が伴うため余裕をみた計画を立てなければならない。

2.4 教材の提示

試作の基礎として使用するプラットフォームは、タミヤ製楽しい工作シリーズから選択することとし、拡張部材も購入して提供した。また、マイコンは、H8/3694F を準備しているが、別途購入してよいものとし、3. に述べる H8/3694F を使用する演習書を提供した。センサは、所定の予算内で購入するものとしたが、自作も可とした。部品は、可能な限りグループ間の差がでないよう標準化するよう求め、使用上の留意点やノウハウをグループ間で共有するようにした。

本科低学年の工学実験と時間割が重複しないように教務関係に依頼し、実施場所を確保した。また、材料は主としてプラスチックであるので、大型の工作機械を使用しなくてもよいように実験室の一隅にドリル、フライス盤、バンドソー等の卓上型工作機械を置いた。さらに、プラスチック加工に適したハンドグラインダを数セット準備し、半田ごて等の工具を組み合わせた工具箱を学生毎に準備した。

2.5 実施記録

設計の各段階では、様々の問題や検討事項が発生する。これらの問題解決の成果として設計図が完成するが、設計図から問題解決に至った過程を読み取ることは困難である。そこで、各段階の思考過程を記録する設計シートの提出を求めた。設計シートは、ワーキンググループの検討結果から、概要設計、計画立案、詳細設計、製作、動作検証、問題報告、成果報告シートとした。設計シートは企業技術者がデザインレビューのために作成する資料を簡略化したものである。

設計過程は、概ね、設計シート順の段階を経ることになる。各シートの記述方法は設計対象によって異なり、固定した書式に当てはめるには無理があるので、各自の工夫で変更してもよいこととした。学生は、設計シートに記録することにより、仕様を満足する設計について考察を深めることができ、報告書の作成が容易になることを学ぶ。

概要設計シートには、設計の背景、目的など、何のためのシステムかを明記する。設計仕様は、明確に与

表 1 実施計画

週	内容	説明	提出書類
1 2	基本検討	課題の理解、達成するための手段の検討、外部仕様書の作成、開発環境の整備	概要設計シート
3 4	システム設計	システム設計 内部仕様書の作成、センサ部品の決定	計画立案シート
5 6	詳細設計	ハードウェア、ソフトウェア詳細設計	詳細設計シート
7 8	試作機製作	プログラム設計、製作	製作シート
9 10	試作機製作	試作機製作	動作検証シート
11 12	試作機製作	試作機製作	問題報告シート
13 14 15	発表準備 プレゼンテーション	プレゼンテーション、及び相互評価 レポート提出	製作ノート 報告書

えられないことが多く、その場合には設計者が補完しなければならない。そのためには、設計の背景や目的を理解していることが必要である。

計画立案シートには、システムが満たすべき要件およびそのシステムの概要を明確に記述する。特に、設計仕様は項目ごとに数値化しなければならない。また、設計上の制約もできる限り数値化しなければならない。与えられた課題では明確でない項目は、設計者の裁量で数値目標を決定してよい。また、製作スケジュール、設計条件（予算、期間、人数等）、運用形態、外部条件（信号、電力、データの入手方法等）を明記する。

詳細設計シートは、設計図の内容説明である。各部の回路図、接続図を示して、検討項目を如何に達成したかを示す。ハードウェアのシステムは一般に複数のユニットで構成されている。各ユニットは回路図で示され、全体はユニット間の接続図で示される。ソフトウェア・システムについても同様に、システムは複数のモジュール（1 個または数個の関数）から成る。モジュール間の連携、スケジューリング、相互呼出条件を明示しておく。

製作シートは、製作項目ごとの部品図、組立図、配線図から構成される。それぞれの手順、方法を簡潔に説明する。動作検証シートは、検証すべき項目と試験方法を明示する。単に動作していることを目視するだけではなく、仕様を満足しているかどうかの試験である。動作検証の結果、明らかになった問題点も列挙する。

問題報告シートは、動作試験の結果判明した問題点について、状況および現象、推定原因、対策と結果の順に記述する。問題の解決にあたっては、独力では問題解決ができなくても、教師やチームメンバの助言により問題を解決できればよい。その場合には、問題解決の方針、教師やチームメンバからの助言、判明した原因、原因究明のための実験、解決方法、助言と自身による解決の別なども記録しておく。

設計シートにまとめる前段階のアイデア等を記録するために、製作ノートと称する大学ノートを配布した。製作ノートには、毎時間の作業記録、採用したアイデア、採用されなかったアイデア等、シートに記録する前の自己分析を記入するよう求めた。

2.6 評価の方法

評価は、達成度に基づく評価と報告書の内容評価を併用した。達成度評価では、以下の観点と根拠資料に基づき学科の審査会において評価することとした。

- (1) 役割を分担し、相互に協力して作業できている。
- (2) 計画を立案できている。
- (3) 回路又はシステムを設計できている。
- (4) 回路を組み立てることができている。又は、システムを構築することができている。
- (5) 回路又はシステムの問題点を見つけることができている。
- (6) 問題点を解決できている。
- (7) 粘り強く取り組んでいる。

3. 教材の作成

本校の電子制御工学科では、工学実験においてマイコンをテーマとした実験として、アセンブラ、及び、C言語による8ビットマイコンのメカトロニクス実験を行っているが、16ビット以上のマイコンは扱っていない。また、割り込み処理については学習項目としていない。16ビットマイコンの参考書では、開発環境やマイコン種別、CPUボードの機能に依存するため、使用する実験環境に一致する解説を期待することはできない。そこで、文献3)で扱われるH8/3694Fマイコンを用いたプログラミング演習書を作成することとした。マイコンボードは、パソコンとの接続機能を持つ評価ボードである秋月電子製TERA6を用いることとした。演習書では、I/Oポート、割り込み処理、A/D変換器、タイマを用いたPWM信号の発生を取り扱う。しかし、演習書だけでは、課題を達成できないように注意した。例えば、複数のセンサからの信号を一度に得るために

は8チャンネルのA/D変換器をスキャンモードで使用し、連続したデータを収集するべきであるが、演習書ではシングルモードのみを扱い、詳細はマイコンメーカーの発行するハードウェアマニュアルを当たるよう解説を加えた。演習書による演習を加えたため、表1の実施計画には遅れが生じることとなったが、後半のプログラム作成がスムーズに進められた。

センサには浅草ギ研製の赤外線、及び、超音波センサを用いることとし、それらを使用した演習書も第2部として作成した。今年度は、新たに、Aki-H8/3069(秋月電子製)、及び、SH2/Tinyマイコンを用いたSTK-7125EVB(アルファプロジェクト製)のプログラミング演習書も作成し選択の幅を広げた。

4. 実施事例

4.1 ライントレーサ

平成20年度の課題では、7名の学生が各々設計仕様に基づくライントレーサを製作することとした。設計条件に加えて各々がユニークなマシンであること、ラインセンサを自作することを求めた。結果として、外観は個性的なマシンとなったが、プログラムはほぼ同じとなった。センサを高輝度LEDスタータの合図により自動発進し、破線や分岐のないテストコースをライントレース走行することには成功した。しかし、分岐や破線の処理までには至らなかった。この原因としては、自作したラインセンサの感度調整やC言語のプログラミングに時間を要したことがあげられる。また、分岐や破線部分を処理するためには、1列のセンサ配置では不足であり、2列以上で面状に検出すべきであるが、これは達成できなかった。図2に、タミヤ楽しい工作シリーズのショベルドーザを用いたライントレーサを示す。

4.2 マインスイーパー

平成21年度の課題では、5名を2班に分けて実施した。パソコンに接続したカメラと台車に搭載したマイコンを通信しながら制御するサブシステムを3名で行い、機雷に見立てた突起付きのボールを突起に衝突しないように把持するサブシステムを2名で行った。台車の駆動は、LabVIEWを用いたUSBカメラの制御とシリアル通信機能によりボールに近接するまでの経路発見を達成できたが、突起付きボールの検出は、把持位置の特定ができなかった。図3に、マインスイーパーに用いたボール、ハンド部、駆動部を示す。突起付きボールの検出には5チャンネルの反射形赤外線センサを用

いたが、小さな突起が密集しているため高々数個の赤外線センサでは検出が困難であったと考えられる。ハンド部が完成しなかったため、台車駆動は別のマシンを作成した。台車に色紙のカラーマーカを備え、カメラからの画像解析で進行方向を判断する工夫がなされた。

4.3 自動搬送ロボット

平成 22 年度の課題である自動搬送ロボットは、7 名を 3 班に分けて実施した。3 班とも対象物を発見し、把持するまでは達成できたが、帰還するまでには至らなかった。図 4 に、各マシンを示す。同図(a)のマシンでは、コストの制約を達成するため、1 個の距離センサを用いて対象物を発見した後、後部方向に回転させて帰路の探索に用いている。同図(b)のマシンでは、ボールからの反射信号が微弱であったため、複数のセンサ信号を平均化している。同図(c)のマシンでは、センサの消費電流を押さえるため、対象物に接近した場合にのみ第3のセンサを用いる工夫が見られた。図5に、設計シートの一例を示す。

帰還までを含めたプログラムの完成に至らなかった理由として、マイコンの RAM 容量不足があげられる。容量の大きいプログラムは、フラッシュ ROM に書き込まなければならないが、フラッシュメモリの書き込み回数には制限があるため、プログラム完成まではモニタを使用することとした。モニタを使用する場合にはプログラムは RAM 領域のみにロードされる。モニタを使用すれば書き込みの時間を節約できる利点がある。モニタは、H8 マイコン供給元であるルネサスエレクトロニクスの WEB サイトから最新版を入手し、CPU に合わせた変更を加えてコンパイル、ROM への書き込みを行うことにより使用可能となる。モニタの内部関数を呼び出すことにより、動作状態をパソコンに送りながらデバッグができるようになった。完成したプログラムの一部をモニタの空き領域に組み込むことにより使用できる RAM 領域が増えるが、この技法を修得するまでには至らなかった。

4.4 成果発表会

デザイン教育の実施結果は、対象学生全員が参加する成果発表会において報告することとしている。発表会の参加教員には、発表内容と会場に展示した試作機により評価を求めた。表 2 に、成果発表会における 4 段階評価の平均点を示す。年度が下るにつれて徐々に向上していることが認められる。同表の全体の評価は、全学生の平均値を示す。平成 22 年度は、実習時間が 1

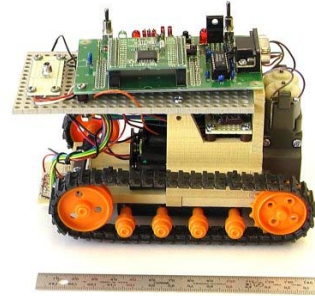
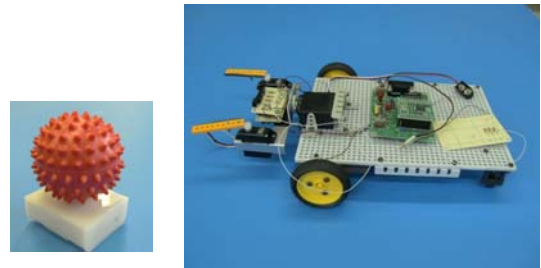
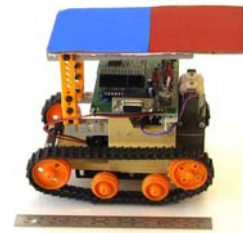


図2 ショベルドーザを用いたライントレーサ



(a) 機雷に見立てたボール (b)ハンド部



(c) 台車駆動部

図3 マインスイーパー

表2 成果発表会の評点 (4段階評価の平均値)

年度	課題平均	全体の評価
20	2.94	3.08
21	2.98	3.08
22	3.08	3.23

週9時間になったこともあり全体的に向上したことが窺える。

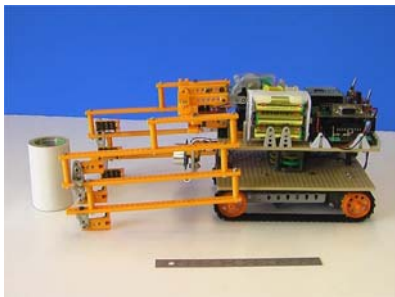
5. おわりに

専攻科の特別実験・演習Ⅱで行っている組込み技術を課題としたデザイン教育の実施について述べた。実施に当たってはマイコン教育教材を開発した。過去3年間の実績によれば着実な成果が認められる。今後

の課題は、完成度を一層向上させることである。

参考文献

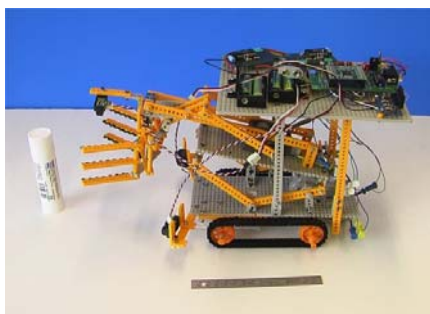
- 1) 今井裕司, 熊谷和志, 山内誠, 遠藤雄定, 大泉哲哉: “ロボット製作実習における課題内容とアンケート調査の評価”, 論文集「高専教育」, 第30号, pp. 293-298, 2007.
- 2) 松尾芳樹: “チームとしての創造性をめざすロボコン型授業科目「創造設計第二」”, 工学教育, 54-2, pp. 21-29, 2006.
- 3) 島田義人: H8/Tiny マイコン完璧マニュアル, CQ出版社, 2006.



(a) 1個の距離センサを前後の検出に用いるマシン



(b) 複数のセンサによりボールからの反射を平均化したマシン

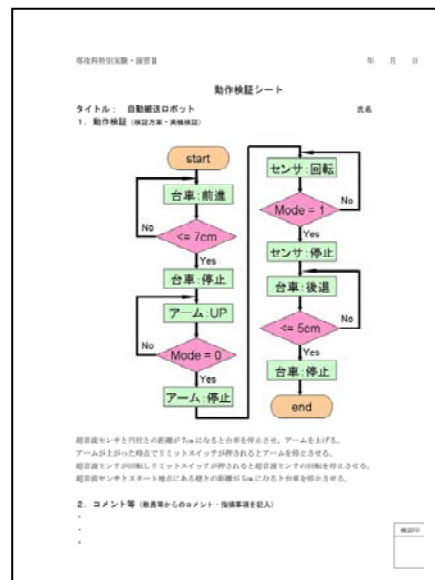


(c) 対象物に接近した場合に用いるセンサを備えたマシン

図4 自動搬送ロボット



(a) 製作シート



(b) 動作検証シート

図5 設計シートの例