

ものづくり教育を意識した工学実験

Engineering Experiments Considering Manufacturing Education

正 佐藤 拓史 (長岡高専) 正 外山 茂浩 (長岡高専) 正 小川 伸夫 (長岡高専)
 梅田 幹雄 (長岡高専) 高橋 章 (長岡高専) 碓氷 誠 (長岡高専)
 小柳 久也 (長岡高専)

Hiroshi SATOH, Nagaoka National College of Technology, h-satoh@nagaoka-ct.ac.jp
 Shigehiro TOYAMA, Nagaoka National College of Technology
 Nobuo OGAWA, Nagaoka National College of Technology
 Mikio UMEDA, Nagaoka National College of Technology
 Akira TAKAHASHI, Nagaoka National College of Technology
 Makoto USUI, Nagaoka National College of Technology
 Hisaya OYANAGI, Nagaoka National College of Technology

This paper deals with engineering experiments considering manufacturing education. In the department of electronic control engineering of Nagaoka National College of Technology, the engineering experiment for manufacturing education has been executed since 2003. The theme in this experiment has been changed from the basic electronic dice to the original electronic circuit. This electronic circuit doesn't use the microcomputer but only logic IC. Moreover, we have introduced the new experiment theme which is named as "the basic mechatronics" since 2009. In this paper, we report the new experiment themes for manufacturing education and the result of the questionnaire in the experiment.

Key Words : handwork, engineering experiment, electronic circuit, line trace robot, LEGO MINDSTORMS

1 はじめに

2008年3月に公示された中学校学習指導要領の改訂において、技術分野の目標の冒頭部分が「ものづくりなどの実践的・体験的な学習を通して、」という文言に改定され[1]、中学校においても「ものづくり」が重要な位置づけに変わってきていることが伺える。「ものづくり」という作業は、開発(企画)・設計・製造(製作)・デバッグという一連の工程を理解し、納期やコスト、実用性・機能性を認識させる上でも非常に重要な役割を果たすことは言うまでもない。しかし、それ以上に創造力や洞察力を養うという点において、非常に有効な手段と考えられる。

高等専門学校や大学などの工学教育においては、早くから「ものづくり」の実体験の重要性を誰もが認めており、多くの高等専門学校・大学等でもものづくり教育を意識したカリキュラムが構成され実施されている[2]~[4]。著者らが所属する長岡高等専門学校の電子制御工学科(以下、本学科)においても平成15年度より、工学教育における「ものづくり」の原点、すなわち「手で作ること」に立ち返った教材を開発し、「電子回路設計・製作」として導入した[5]。この教材を用いた工学実験を行うことで、①自分の力で設計する能力を養うこと(理解力・創造力)、②自分の力で組み立てる能力を身につけること(ものづくりノウハウ)、③自分の力で問題解決する能力を養うこと(洞察力・考察力)のうち、①、②はある程度達成できたが、③は改善の余地が残っていた。また、「電子回路設計・製作」の終了時に行っているアンケート調査より、アクチュエータを動かしたり、マイクロコンピュータを使った回路設計・製作をやってみたいという意見が半数近くもあることから、平成21年度にレゴ・マインドストームを用いた「メカトロニクス基礎」を新たに導入した。

本稿では、ものづくり教育を意識して導入した工学実験テーマの「電子回路設計・製作」と「メカトロニクス基礎」の導入経緯と実施内容について報告する。また、実験終了後のアンケート結果より、導入の効果を考察する。

2 電子回路設計・製作の概要

2.1 実施方法の検討

「ものづくり」を意識した実習を考えた場合、多人数グループで1つの作品を製作する方法と、個人で1つの作品を製作する方法とが考えられる。グループで行う場合には、文献[2]、[3]のように大規模なシステムの製作を行わせることができ、メンバーとの協力や分業の大切さを養うことができる反面、特定のメンバーだけが製作を行い、全く協力しないメンバーも出てしまうという問題も懸念される。工学実験のようにカリキュラムとして実施する場合には、最終的に個人個人の評価(成績)をつけなければならない。グループで行う場合には、非協力的なメンバーの評価をどのような基準で評価するかが大きな問題点となる。そこで、「電子回路設計・製作」では、最終的な評価方法を考慮し、後者の方法を選択した。

実習内容を単なる組み立て作業とするのではなく、創造力や考察力を養うという観点を考慮し、基礎学力・応用力を持ち合わせた本学科4年生をその対象にした。また、この実習に注力しすぎて他の科目に支障が出ないように、実習期間を6月中旬から10月初旬まで(うち8月中旬から9月末までは夏季休業期間)の実験実習科目7週分(28時間)を割り当てた。実習期間に夏季休業を挟む形としたのは、作業に個人差が生じることも考えられるため、作業の遅れている学生はこの夏季休業期間を利用させるためである。

2.2 教材の選定

「ものづくり」には、まず学生にその実習内容に対して興味を持たせる必要がある。筆者らの所属する電子制御工学科という分野からすれば、種々のセンサ等から入力された信号を加工し、演算処理した後、アクチュエータ等に出力させる一連の回路設計を行う実習が理想である。しかし、これでは内容が多すぎて上記期間での完成は難しい。そこで電子回路製作に的を絞ることにした。

近年の学生はアナログ回路よりもデジタル回路に興味を持つ場合が多いこと、また、光や音の動作に興味を示す場合が多いこと等から、基本回路として Fig. 1 に示すデジタル電子サイコロを提示した [6][7]。学生には、この回路を自分なりに改造し、「電子回路工作キット」の製品開発を念頭においた作品を設計・製作させることにした。予算の関係で、使用可能な電子部品は極力限定することにした。この実習で重要なポイントは、マイコンを使用せず、汎用のロジック IC で論理設計させることである。また、パソコンを用いての回路設計や基板配線・作成を不可とし、基板の大きさも指定し、全て「手作り」させることにした。このように使用できる部品や基板の大きさの制約下で独自のアイデアを盛り込むことで「ものづくり」の本質が学べると考えた。実習の最後に作品の取扱説明書を作成させ、内容を使用者側、製作者側、工学的観点で第三者に分かりやすくまとめることを意識させた。

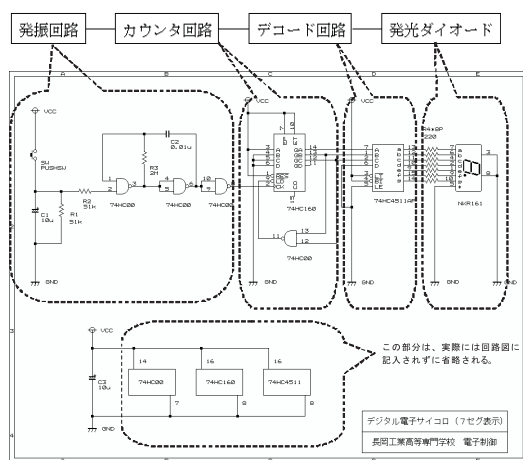


Fig. 1 Sample circuit

以上の点を考慮し、Table 1 のような実習スケジュールを学生に提示し、学生はこのスケジュールを目安とし、自分の能力に見合った予定を新たに作成させ、作業を進める。

Table 1 Training schedule

回数	内容
第 1 週	基本操作確認/理解
第 2 週	アイデアの創出/回路設計
第 3 週	回路設計/実態配線図作成
第 4 週	組立
第 5 週	組立
夏季休業	予備日 (希望者が組立を実施)
第 6 週	動作確認・デバック
第 7 週	取扱説明書作成

2.3 評価方法の検討

学生 1 人に 1 つの回路設計を行わせると、成績評価を行う教員にとって、1 クラス分の回路をチェックし評価することは非常に多くの労力を要する作業となる。成績評価対象は作品と取扱説明書となるので、ある程度機械的に評価する方法を考える必要がある。取扱説明書は作品の仕様から、回路図、組み立て説明、回路の動作説明までを第三者にも分かりやすくまとめることを課すので、必要事項が記載されているか、実際の回路との相違点はないかを自己チェックと他の学生からのチェックを行うことにした。学生は以下の 13 項目についてチェックを行う。これらの項目と取扱説明書作成で意識させた項目との対応を Table 2 に示す。

1. 作品のアイデアについてどの程度基本回路から拡張しているか (数段階)
2. 作品の仕様や特徴が記載されているか
3. 実体配線図と作品が対応しているか
4. 組み立てマニュアルはあるか
5. 部品リスト一覧はあるか
6. 組み立て時の注意事項はあるか
7. 動作説明は記載されているか
8. 回路図が添付されているか
9. タイミングチャートがあるか
10. 素子の設定計算の有無
11. 発振部の動作原理があるか
12. 感想があるか
13. 操作方法と動作の説明があるか

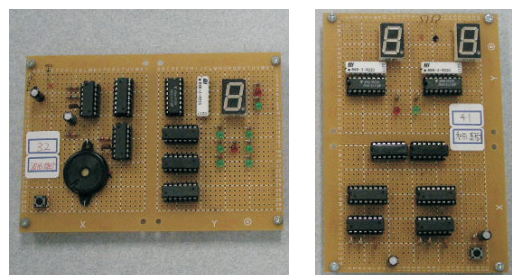
Table 2 Correspondence to check lists

項目	使用者側	製作者側	工学的観点	その他
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				

教員は最終的な動作確認を行うことにし、実際に作品を動作させ、取扱説明書どおりに動作しているかどうかのチェックと作品の仕上りを評価した。作品の仕上りは、操作性、見栄え、はんだ面を総合的に判断して評価する。

2.4 完成作品例

出来上がる作品は基本回路の単純な改造から、かなり手の凝った作品までさまざまである。自分の能力に合わせてアイデアを出し、製作する作品を決定しているため、全員が作品を完成させている。本実習で完成した作品例を Fig. 2 に示す。Fig. 2(a) の作品は電子サイコロのシャッフル時に圧電サウンドを用いて音が出るようにし、LED でサイコロの目を表示する機能と偶数・奇数を表示する機能を追加してある。一方、Fig. 2(b) の作品は 2 つの電子サイコロを搭載し、発振周波数を変えることで目の出方を変え、出た目の丁半判別を LED 表示させるものである。



(a) Production A (b) Production B

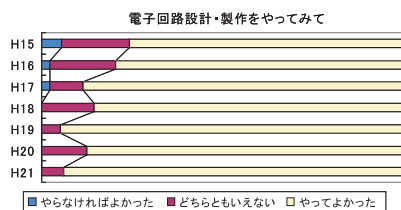
Fig. 2 Production examples

2.5 アンケート結果の推移

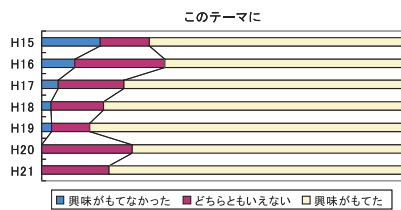
本実習終了後には、今後の実施方法や改善方法の指針とするためのアンケートを実施している。アンケート項目は実習期間や

実習時期、内容や機材の状況などの 11 項目について実施している (アンケート項目の詳細については文献 [5] を参照されたし)。このうち、電子回路設計・製作をやってみてよかったかどうか (Question 8)、このテーマに興味をもてたかどうか (Question 9)、アクチュエータを動かすような回路設計をやってみてよかったかどうか (Question 10)、マイクロコンピュータを使った回路設計・製作をやってみてよかったかどうか (Question 11) のアンケート結果の推移を Fig. 3 に示す。

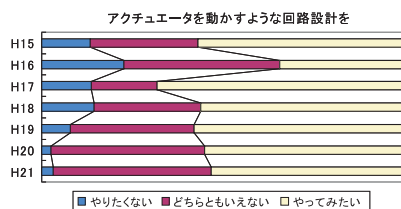
Question 8, 9 とも年々「やってよかった」「興味をもてた」と回答する学生が増えてきており、本実習を「やらなければよかった」と回答した学生は平成 18 年度以降、このテーマに「興味をもてなかった」と回答した学生は平成 20 年度以降いなくなり、学生に対する満足度は十分満たしていると考えられる。この結果は、学生全員が作品を完成させているため、1 つのことをやり遂げたという達成感が反映されているものと推測される。



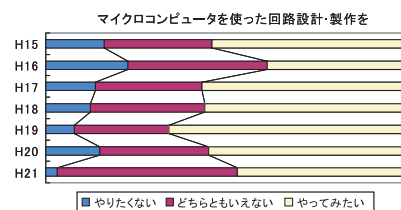
(a) Question 8



(b) Question 9



(c) Question 10



(d) Question 11

Fig. 3 Questionnaire results

3 マインドストームを用いたメカトロ制御実験の概要

3.1 実習内容の検討

Fig. 3 の電子回路設計・製作で行っているアンケート (Question 10, 11) 結果より、アクチュエータを動かしたり、CPU を使った回路製作など、メカトロ的要素に対して半数近い学生が関心を持っており、これらの実習をやりたくないという回答する学生が年々減少してきている現状を改善することを考えた。実習期間

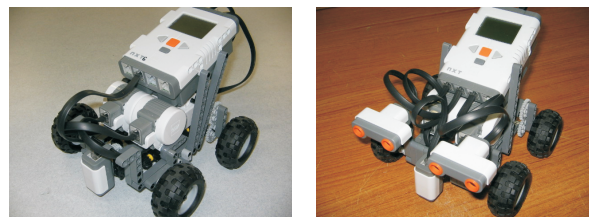
や予算等の関係で、前述の「電子回路設計・製作」にこのようなメカトロ的要素を追加することは難いため、メカトロ的要素を取り込んだ新たな実習テーマを立ち上げることにした。

新たなテーマでは「電子回路設計・製作」で実現できなかったセンサからの入力信号を処理し、アクチュエータを動かすことを反映した内容を設定することにした。ただし、実習科目の 1 つのテーマとして実施することになるので、ハードの設計から組み立てまでを行うことは難しい。そこで、容易にシステムの構築が行えるレゴ・マインドストームを用いることにした。レゴ・マインドストームには 4 種類のセンサ (光, サウンド, タッチ, 超音波) と 3 つのサーボモータ, 数多くの LEGO ブロック, モータの動力を伝達するための様々なギア類 (ギア, ウォームギア, プーリーなど) や, 9 種類の長さのシャフト, パーツ同士を結合するためのコネクタやブッシュが揃っている。また, プログラミング可能なインテリジェントブロックにサーボモータやセンサをつなぐことでセンサ入力を処理しアクチュエータを動かすシステムを構築できる。この教材は, レゴ社と MIT が共同開発したものであり, 初心者には使いやすく上級者には奥深い内容と, 創造性, 問題解決力, チームワークを育めることから, 小学校から大学まで全国 1000 校以上に導入されている [8]。

本学科 2 年生までに, シーケンス制御に関する座学や C 言語によるプログラミングの基礎は学んでいる。しかし, 実際にこれらの知識がどのように扱われるのかなどについては体験する機会がない。また, 本実習テーマがメカトロ的要素を扱うので, センサやアクチュエータについて同時期に座学で学んでいる本学科 3 年生を対象にした。座学で学んだことを本実習で実際に扱うことで, より理解が深まることを期待してである。

3.2 題材の選定と実習内容

「電子回路設計・製作」ではプッシュスイッチを押すことで, 発振回路が発するパルス信号をロジック IC で処理し, 7 セグメント LED を点灯させるもので, これは一種のフィードフォワード制御システムであった。ここでは, センサ入力信号に応じてアクチュエータの動作を変えるフィードバック制御システムとして考えることにする。レゴ・マインドストームに付属するセンサの種類やアクチュエータの個数を考慮し, ライントレースロボットを題材にすることにした。この実習で用いた基本ロボットの外観を Fig. 4(a) に示す。



(a) Basic robot

(b) Modified robot

Fig. 4 Line trace robot using LEGO MINDSTORMS

本学科 3 年生の実験実習の期間が 1 テーマ 3 週と短いため, ライントレースロボットの組み立ては行わず, Fig. 4(a) のロボットをあらかじめ用意した。本学科 3 年生であれば, ある程度のプログラミングの知識はあるが, マイコン制御用のプログラミングは期待できないので, Fig. 5 に示す ROBO LAB 2.9 を用いてプログラミングをさせることにした。ROBO LAB はビジュアルプログラミング言語であり, ブロックを配置することでプログラミングを行えるため視覚的にわかりやすいという利点がある。

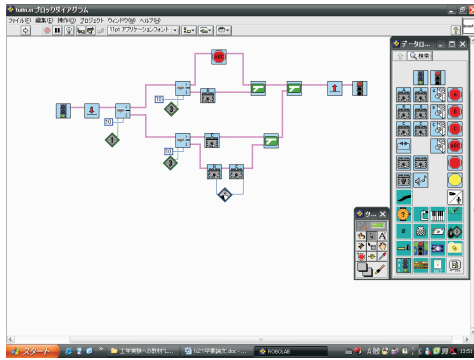


Fig. 5 ROBOLAB 2.9

実習はレゴ・マインドストームの台数の関係で、2~3人のグループに1台での実習とした。実習では、まず基本的な使い方を説明し、ライトレース用のプログラミングを行わせることにした。センサで得た情報をどのように処理し、アクチュエータを動かしたらよいかを考えさせることで、「考える力」や「チームワーク」、「問題解決力」が育めるであろうと期待したためである。また、発展課題としてマインドストーム付属の他のセンサを用いてライトレース上に障害物があった場合に、その障害物を回避するシステムを構築することを考えさせることにした。発展課題で制作されたロボットの一例を Fig. 4(b) に示す。Fig. 4(b) は基本のライトレースロボットに超音波センサを2つ取り付け付けたロボットである。

3.3 実習後のアンケート調査

本テーマの実習後にアンケートを実施した。アンケート項目は以下の5項目である。その結果を Fig. 6 に示す。回答は4段階で回答してもらい、 $A > B > C > D$ の順で高評価である。

1. プログラミングとは何なのかわかりましたか？
2. プログラミングは楽しかったですか？
3. プログラミングをもっと詳しく勉強したいと思いましたか？
4. フィードバック制御のイメージはつかめましたか？
5. フィードバック制御によるライトレースの仕組みはわかりましたか？

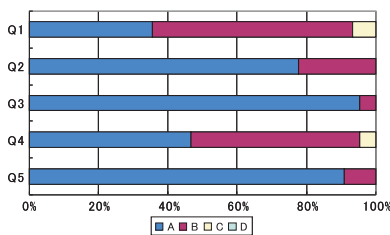


Fig. 6 Questionnaire results for the basic mechatronics

Q2 で 80% 近い学生がプログラミングは楽しかったと回答しており、ROBOLAB により CGI で制御プログラミングができたことが、C 言語のような手続き型言語と比べ高評価につながったのではないかと推測される。Q3 ではプログラミングをもっと詳しく勉強してみたいと回答した学生が 90% を超え、プログラミングに対する学習意欲の向上につながっていることが伺える。Q5 で 90% の学生がフィードバック制御によるライトレースの仕組みが分かったと回答していることより、本テーマの目的はある程度達成できたといえよう。また、アンケートの自由記述では、以下のような意見が寄せられた。

- かなり難しかったが、頑張ってプログラミングを習得したい
- 他の班と完成度について競えたのでよかった
- 機構にも少し詳しくなりたい
- 思い通りに動かさず悔しかった
- いろいろ出来そうで興味深かった
- フィードバック制御のイメージをつかむことができた
- フィードバック制御とシーケンス制御の違いがよく分かった
- プログラムだけでなく、センサの精度や反応速度も考慮しなければならなかった

「電子回路設計・製作」では改善の余地が残っていた③自分の力で問題解決する能力を養うこと(洞察力・考察力)については、本実習である程度達成できたのではないだろうか。

4 おわりに

平成 15 年度より、ものづくり教育を意識した工学実験を導入し、一定の効果を得てきた。しかし、アンケート調査の結果より、アクチュエータを動かしたり CPU を使用するメカトロ的要素の要望が高いことが伺えた。先に導入した「電子回路設計・製作」では、実習期間等の問題でこれらの要素を取り込むことは難しく、新たな実験テーマとして「メカトロニクス基礎」を導入した。新たな実験テーマでは、レゴ・マインドストームを用いたライトレースロボットのフィードバック制御を題材とし、プログラミングにビジュアルプログラミング言語を用いることで、容易に制御プログラムが組めるように設定した。ライトレース用の制御プログラミングと、さらに別のセンサを利用して障害物を回避するロボットに改良する発展課題を課した。実習後のアンケートでも好評であり、自分の力で問題解決する能力を養うこと(洞察力・考察力)がある程度は達成できたのではないだろうか。次年度の実験実習への取り組み方が楽しみである。

「メカトロニクス基礎」の導入には、本学科 5 年生の数名から協力してもらい、オープンキャンパス等での模擬実験を行ってもらったことにより実現しており、ここに感謝の意を表します。

文献

- [1] 文部科学省, "中学校学習指導要領 新旧対照表", http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/chu/chu2.pdf, 2008
- [2] 川谷亮治, "自立移動型ロボットを対象としたメカトロ教育", 第 8 回システムインテグレーション部門 講演会論文集, pp.175-176, 2007
- [3] 佐藤拓史, 明田川正人, 木村哲也, 平田研二, 柳和久, 磯部浩己, 滑川徹, 船木陸議, 田村淳一, "競技用ロボットの設計製作を通じたメカトロ教育", ロボティクスメカトロニクス講演会 2008 講演会論文集, 2A1-I12, 2008
- [4] 二井見博文, 小池稔, 竹内誠一, 堂原教義, "小型ヒューマノイド SANSYRO- による工学導入教育", ロボティクスメカトロニクス講演会 2008 講演会論文集, 2A1-I22, 2008
- [5] 佐藤拓史, 梅田幹雄, 佐藤秀一, 永井睦, 高橋章, 碓氷誠, 小柳久也, "「もの作り」を意識した工学実験実習の導入", 論文集「高専教育」, pp.35-40, 2005
- [6] 湯山俊夫, "デジタル回路の設計・製作 製作の基本からホビー・実用回路の設計まで", CQ 出版社, 1994
- [7] 加藤肇, 見城尚志, 高橋久, "図解・わかる電子回路 基礎から DOS/V 活用まで", 講談社, 1997
- [8] <http://www.legoeducation.jp/mindstorms/>