

ものつくりと計測・制御用教材の開発[†]

大八木義教*・戸田富士夫**・針谷 安男**

宇都宮大学大学院教育学研究科*

宇都宮大学教育学部**

わが国は、技術立国を目指し、急速な発展を遂げてきた。技術教育は今日までに多数の優秀な技術者を育成し、産業技術の発展に貢献している。その一方で昨今、ものつくり離れや将来における技術進化の収束への懸念が叫ばれている。平成14年度から施行された学習指導要領では、中学校技術・家庭科の技術分野における学習領域を「技術とものつくり」、「情報とコンピュータ」の2構成としている。「技術とものつくり」の分野において特に、「機器の仕組み及び保守」と「エネルギーの変換を利用した製作品の設計・製作」は、ものつくり離れの進行を止めるために必要な学習内容であると考えられる。そこで、「エネルギーの変換を利用した製作品の設計・製作」における教材として、市販のものつくり教材を用い、さらに自作の光スイッチ回路を組み込むことによって総合的な加工技術及び計測・制御の基礎について複合的に学習できるような教材を試作し、それを用いた授業を実践した。その結果、本教材は「技術とものつくり」全般における技術教育的効果が得られた。

キーワード：教具開発，技術教育，ものつくり教育，計測・制御

1. はじめに

技術によってめまぐるしい発展を遂げてきたわが国において昨今、理工系離れ、ものつくり離れが叫ばれている。しかし技術立国としては技術に対する判断力、理解力が、もはや人に求められる資質の一つとして認められている¹⁾。わが国の技術教育は普通教育、専門教育ともに行われ、今日までに多数の優秀な技術者を育成し、産業技術の発展に貢献している。さらに、

半導体技術等の躍進に伴う電子制御技術は、技術の発展に伴い次第にその速度を増している。その一方で、子どもには“ものつくり離れ”の傾向が見られる。最新の技術によって作られたゲーム機等を用いて遊ぶことはするが、五感を働かせて物を作る、といったことにはあまり興味を示さない。現代の子供のこのような事態は、これから更に加速するであろう技術進化の収束を懸念させる。なぜなら、ものつくりによって養われる工学的な知識や経験は、技術が進化していくためには必要不可欠なものである。

平成14年度から実施された学習指導要領²⁾にも見られるように、中学校技術科の授業数および学習領域数は減少の一途を辿っている。そ

[†]Yoshinori OHYAGI*, Fujio TODA**, Yasuo HARIGAYA** : The Production of Educational Material for the Practice, Measurement and Control for Junior High School

*Graduate School of Education, Utsunomiya University

**Faculty of Education, Utsunomiya University

のような状況の下で、ものづくり技術、計測・制御技術などの学習において、より工夫を凝らした授業を提案・実践することが急務となっている。

中学校技術科の旧学習指導要領における「木材加工」「金属加工」「電気」「機械」といったものづくりに関する領域は、それぞれ単独で学習を行い、それによって各領域で知識を深めることが可能であった。しかし、現行の学習指導要領からは、旧学習指導要領の「情報」を除いた五つの領域が「技術とものづくり」として一つにまとめられている。よって従来の各領域に相当する学習内容を十分に習得することができない。そのため、中学校技術科のものづくり教育では、一つの学習活動において生徒が得る知識や技能をできるだけ多様に含み、総合的な学習活動を展開する必要がある。さらに、生徒が実感できるような体験的学習を増やすことも重要となり、このような状況に適したものづくり教材が求められている。

一方、計測・制御の学習を取り入れたものづくり教材の研究事例として、齋藤ら³⁾は中学校教材としてマインドストームの検討を行っている。また、岩本らのロボット教材「梵天丸」と制御言語「まきもの」など、ものづくり教材に計測・制御部を加え、コンピュータによって命令を入力する教材が報告されている⁴⁾。これらのものは全て、製品が完成した喜びだけでなく、目の前で動いたときの感動を味わうこともできる。自ら考えながら完成に至った製作品が、思ったとおりの動きをするときの感動は、子ども達のものづくりに対する興味・関心を高めるものだと考える。

これらの事例は、技術科の内容を総合的に学習することのできる教材である。したがって計測・制御の学習は、まさにものづくり教育と情報教育との間の架け橋としての役割を担ってい

ると考える。しかし、計測・制御部が既製品であり、構造が複雑であること等から計測・制御における基礎的な内容について学習することは難しい。また、ものづくり学習において中学校技術科で扱うべき学習内容を満足するには、検討を要すると思われる。

本報では、「技術とものづくり」の領域と計測・制御における基礎を総合的に学習する教材について検討及び試作をし、それをを用いた授業展開を検討・実践をすることを目的とする。そこで、市販のものづくり教材を用い、さらに自作の回路を組み込むことによって総合的な加工技術及び計測・制御の基礎について複合的に学習できるような教材を試作し、それをを用いた授業を考案、実践した結果について報告する。

2. ものづくりと計測・制御教材

今日、我々の身近にある様々な機器は高度な計測・制御技術により成り立っており、ボタン一つで、人間より正確に仕事をこなす。さらにその計測・制御技術がブラックボックス化している。それは、昨今における急速な技術の発展による副産物であり、技術者が技能をどのように定式化したのかを示していても、消費者にとって理解が難しいという現状を生み出し続けている。この状況が長く続けば、技術科での授業と生活とのつながりは次第に希薄化し、現代の子ども達におけるものづくり離れがさらに加速することが懸念される。

平成 14 年度から施行された中学校技術科の学習指導要領では、「技術とものづくり」の学習内容として、(1)生活や産業の中での技術の役割、(2)製作品の設計、(3)工具や機器の使用方法及びそれらによる加工技術、(4)機器の仕組み及び保守の 4 項目と、生徒の興味・関心に応じて選択的に履修させる発展的な内容の(5)エネルギー変換を利用した製作品の設計・製作、(6)作物の

栽培の計6項目で構成されている。また、選択的な内容である(5)エネルギー変換を利用した製作品の設計・製作については、(2)、(3)、(4)、の内容も含めた発展的な学習として指導する、としている。

ここで、(5)エネルギー変換を利用した製作品の設計・製作における学習内容の取扱いとして以下の項目を挙げている。

- ① 使用目的や使用条件に適した製作品の機能と構造について考える
- ② 製作品に用いる材料の特長と利用方法を知ること
- ③ 製作品の構想の表示方法を知り、製作に必要な図を書くことができること
- ④ 材料に適した加工法を知ること
- ⑤ 工具や機器を適切に使い、製作品の部品加工、組み立て及び仕上げができること
- ⑥ 機器の基本的な仕組みを知ること
- ⑦ 機器の保守と事故防止ができること
- ⑧ エネルギーの変換方法や力の伝達の仕組みを知り、それらを利用した製作品の設計ができること
- ⑨ 製作品の組み立て・調整や、電気回路の配線・点検ができること

以上の項目の中で、計測・制御に関連するものとして⑥、⑨が挙げられる。

また、「情報とコンピュータ」の学習内容²⁾として、(6)プログラムと計測・制御について、『コンピュータを用いて簡単な計測・制御ができること』を指導することとしている。その内容として、計測・制御システムは、人間の目や耳の代わりに機械や環境の状態を計測するセンサ、人間の頭脳に相当する検知された情報を処理・判断するコンピュータ、そして、人間の手足の代わりに機械的な仕事をする制御機器（アクチュエータ）などの要素で構成されていることを知らせることを挙げている。さらに、「技術

ものづくり」の領域と関連付けて自分で製作した動く模型を制御することも考えられるとしている。

制御の歴史は、自動制御の祖とも呼ばれるWatt氏によって19世紀に発明されたガバナ⁵⁾に始まる。1930年代には、周波数応答の考え方が導入され、制御系の性質との関係が明らかにされるなど、貴重な研究成果が発表された。これらの研究成果により、制御理論は20世紀中頃までに古典制御理論の基盤を構築したといえる。今日では、高度の半導体技術によって、多様な電子制御が我々の生活の中に定着している。中学校技術科においては、その中でも基礎的な計測・制御用回路について学習することが必要であると思われる。

中学校技術科における学習内容を総合的に習得する教材として、先に挙げた①～⑨の項目に⑩として「計測・制御の概念について知ること」を新たに加え、ものづくりの関心と計測・制御について総合的に学習できるような教材開発を目指した。

2.1 ものづくり教材の選定

本来、我々は幼少期から様々なものづくりの経験をして成長してきたといっても過言ではない。ここで我々の身近にあるものづくり教材を、大きく二つに分類する。

一つ目は、ある決められた行程に沿って順序良く作業を進めることによって作品が完成するもので、製作キットなどがそれにあたる。キットの中に部品が全てそろっており、作業内容が画一化されているため、製作技術の安定した修得が充分期待できる。しかし、製作過程においては自分の意志に関係なく、説明書の通りに「製作」を進めていくため、創造性の育成には不向きである。

二つ目は、材料のみが与えられ、自分で課題

を決め、自由にもものづくりをしていくもので、木材のみを与えた加工実習等がそれにあたる。自ら作品の構想を考え、それに適した加工を生徒それぞれが「創作」するため、それぞれが得る知識並びに経験に差が生じる。しかし自ら考えて創作を進める過程で、創造性が養われる。

以上のような例は、技術教育の中では、両者とも必要不可欠なものであり、授業数に制約を受けている今日、生徒に平等に学習の機会を与えられ、さらに製作に自由度があり生徒の創造性を養うことのできる両者を融合した教材が求められている。

ピアジェの認知発達理論⁹⁾によると、中学校という13～15歳において、人間は一貫した操作の構造が形成され、論理的体系的思考ができるようになる具体的操作段階を終えていると考えられる。また、この頃から概念形成が大きく発展する。そのため、技術的知識とものづくりの技能を連携・融合させるにはふさわしい時期である。決められたものをマニュアル通りに作る“製作”をさせるよりも、生徒それぞれが自ら考えて決定し、そのために必要なマニュアルを参考にしながら“創作”をしていくことが重要になる。

そこで、本研究において扱う市販のものづくり教材について検討した結果、製作例として8種類のパターンが提示されており、与えられた材料を自らの製作パターンに応じて切断などの

加工を施し、定められた機構に取り付けるものづくり教材「メカフレンド」を採用した。生徒の工夫によってさらに製作例の発展が望めるため、創造性が高いものづくり教材であると考えられる。

2.2 計測・制御用教材

今回採用した市販のものづくり教材「メカフレンド」を図1に示す。本教材によって得られる知識及び技能として、前述の10項目のうち、②、③、④、⑤、⑥、⑦、⑧、⑨が当てはまる。この教材にさらに計測・制御の基礎的学習並びに電気回路製作を取り入れることで、上記の項目について理解を深めることが可能となり、さらに①、⑩の目標も扱うことができ、より総合的な技術学習となる。

本教材は、エネルギー変換の一例として電気エネルギーから動力エネルギーへの変換を直観的に理解することを可能とするため、動力源にモータを用いている。ここで、計測・制御回路についても、計測・制御の様子が直感的に理解できるように光センサを採用し、本教材に取り付けることで、計測・制御についても学習可能な教材にする。そのため、新たに受光の有無によって動作を制御する回路を付加する必要がある。このとき、光センサを胴体上部に設置するため、メカフレンドの胴体下部にギアボックスが位置する製作パターンを選択する。

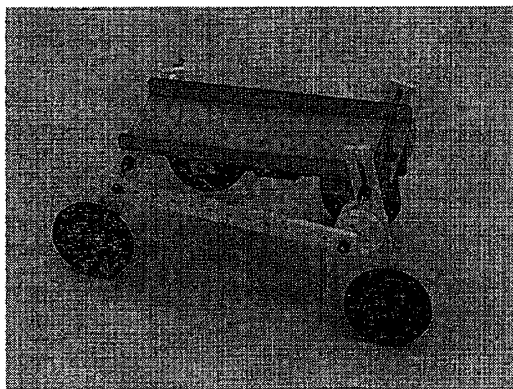


図1 メカフレンド

2.3 試作計測・制御用回路

2.3.1 受光素子の選択

試作する計測・制御回路には、標準的である電流帰還バイアス回路を用いた。ここで、赤外線センサを構成する上で、検出部となる素子の検討を行う。赤外線センサの中でも、教科書などにおいて従来扱われてきた光導電セルを用いて試作を行った。

光導電セルは、受光部に硫化カドミウム膜を設け、光による膜の電気抵抗が変化することによって光量を計測することができる素子であり、比較的人間の視覚に近い範囲において作動する。セルの示す抵抗値は、受光部を指などで完全に覆うと、 $20\text{k}\Omega$ 以上にまで上昇するが、明るい状態（蛍光灯の下）でも $1\text{k}\Omega$ の値を示す。これを、ベース電流の制御のためにバイアス回路に組み込むとき、直流電源 3V において、電流はわずかに 3mA であった。このとき、トランジスタのコレクターエミッタ間をショートさせるとモータが作動したことから、電流増幅率が明らかに不足していることがわかった。よって光導電セルは、低電圧においてモータを駆動させるようなセンサとしては不適切であるといえる。

受光時の抵抗が低いものとして、フォトトランジスタが挙げられる。これは、現在最も広く使用されている受光素子で、受光部で受けた光によって発生する出力をトランジスタで増幅している。そのため、抵抗値のとり得る範囲が大きく、光導電セルのとり得る範囲にまで達するものもある。さらに、多量に購入する上で安価であることも含め、フォトトランジスタを採用する。

2.3.2 増幅部の検討

試作する回路は、光量によってモータの動きを制御するものであるが、教材用としてモータの動きを制御するバイアス回路の事例報告はなく、試作当初は非常に困難を極めた。そこで、今回使用するモータと、今までに報知器などでバイアス回路に取り付けられていた電圧ブザーについて、作動する限界の電流を比較した。その結果、直流電源 3V において、電圧ブザーは 10mA 程度においても作動したが、モータは 150mA 以上の電流が必要とされることが分かった。したがって、試作する回路は、従来扱われてきたものよりも電流増幅率を大きくする必

要があると見られる。

しかし、低電圧用のトランジスタを用いているにも関わらず、一つのトランジスタでは十分な増幅率を得られず、モータが動くだけの電力を供給することができない。そこで、二つのトランジスタをダーリントン接続によって構成する方法を試みた。

ダーリントン接続とは、複数のトランジスタを用いて、一つのトランジスタによって得られる電流が次のトランジスタのベース電流へ、と積層的に配置することで、電流増幅率を簡単に上げることのできる手法である⁷⁾。また、このときの電流増幅率は、それぞれのトランジスタの電流増幅率の積となる。

この方法によって、計測・制御を組み込み、受光によりモータが駆動するものづくり教材が可能となった。

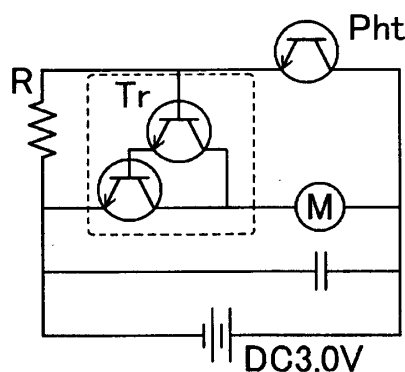


図2 計測・制御回路図

ダーリントン接続を自ら製作すると電気分野への知識・関心が増すと思われる。しかし、中学生が製作する際にその製作難度は高く、繰り返し半田ごてをあてることで、過熱によるトランジスタの損傷が懸念される。そこで、授業展開の中でダーリントン接続型のトランジスタを用いて、回路の補足説明を行うこととした。

以上のような改良点を踏まえ、検出部が光を感知している間モータが動き続け、光を遮断することによって動きが止まるシーケンス制御の

回路を構成した。これをメカフレンドに取り付け、図3のような試作教材が完成した。

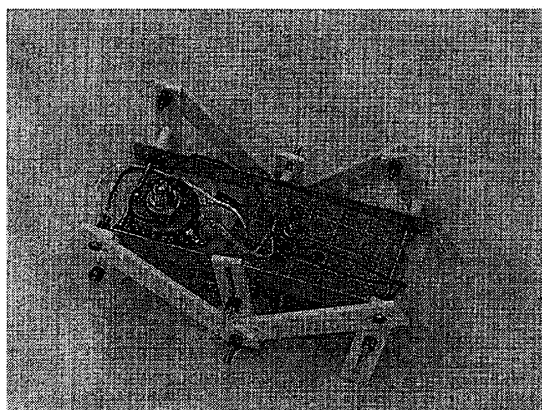


図3 試作教材

3. 授業実践

本学科における「技術学実験実習(IV)」は、3年後期に実施し、エネルギー変換についての測定、解析を中心とした機械系の実習が行われている。ここでは本実験実習の一部として、「総合実習」を設け、本教材を用いた授業(1回135分2回分)を展開し、事前・事後テストを行うことにより本教材の技術教育的効果について検討した。本総合実習は、以下のことを目的としている。

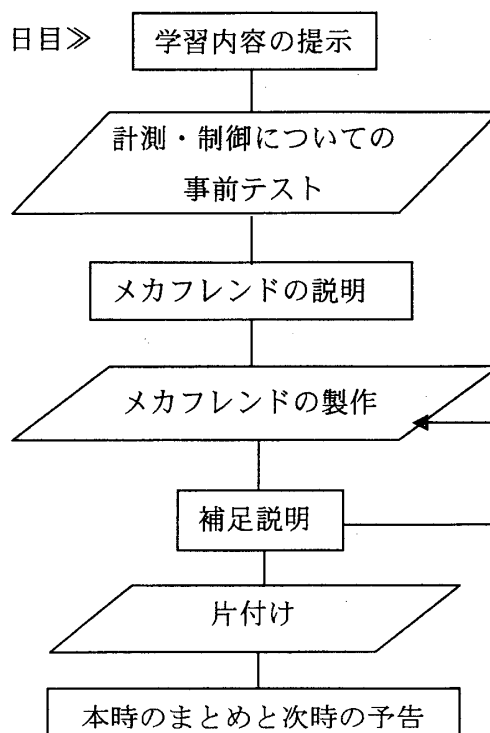
- ・ 本教材において、動力伝達部及びリンク機構の製作を通して、エネルギー変換の様子を体験的に理解することができる。
- ・ リンク装置の学習によって、機械の動く仕組みや動力の伝達機構について理解しできる。
- ・ 計測・制御回路の製作を通して、計測・制御について理解することができる。

本総合実習を行うにあたり、図4のような授業展開を計画した。また、教材を製作する上での難易度、学習内容の妥当性についてアンケートをとった。

3.1 総合実習1

本実習では、学習内容の提示及び事前テスト

《1日目》



《2日目》

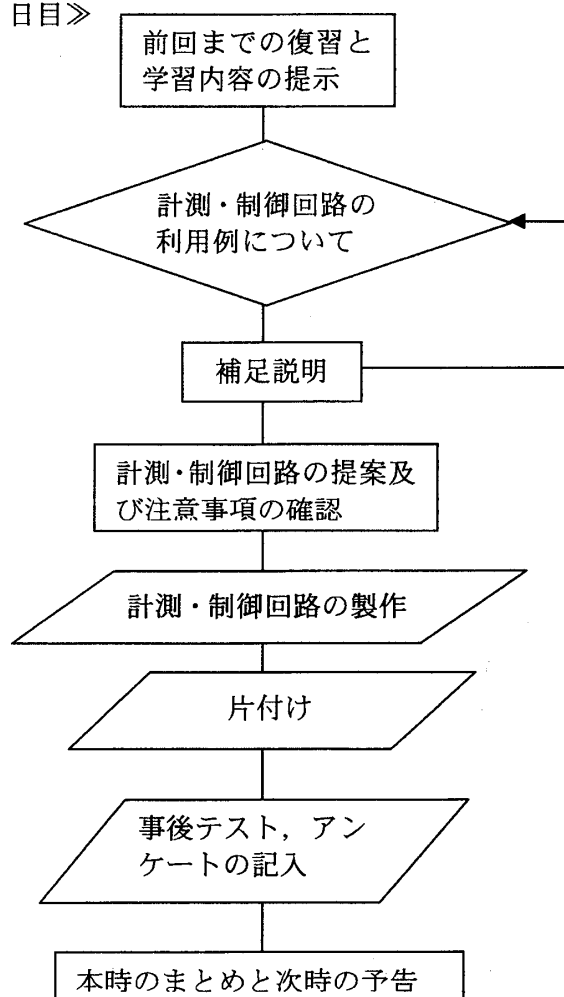


図4 総合実習の授業展開

の後、教材の概要の説明及び製作を行った。

事前テストの内容は、計測・制御の基本的事項について設問しており、分かる問題にのみ答えさせることで、制御に関する知識の現状を調査した。

製作において、試作の際に最も時間のかかったギアボックスの製作（図5）は、各行程ごとに確認しながら行うことで作業の円滑化を図った。しかし、ギアの動きが良くない、または取り付け部分を間違えるなどの問題解決に当てる時間も含めて、約 60 分を要した。実習 1 回あたりの時間 135 分の中で製作に 100 分を割り当てていたが、予定時間内に機構部の製作を終えることはできなかった。したがって 2 回目の実習までに機構部を完成させておくことを課題として本時を終えた。

3.2 総合実習 2

2 回目の実習は、電気回路の説明及び製作、完成品の試運転を行い、最後にアンケート並びに事後テストを行った。

電気回路の製作は、資料プリントを用いて素子の極性を確認させるなどして、回路の組み間違いの防止に努めた。回路製作は特別な問題は発生せず、順調に進んだ。

全員が作品を完成させた後、試運転を屋外で実施した。図6の伸縮車、図7の歩行マシンな

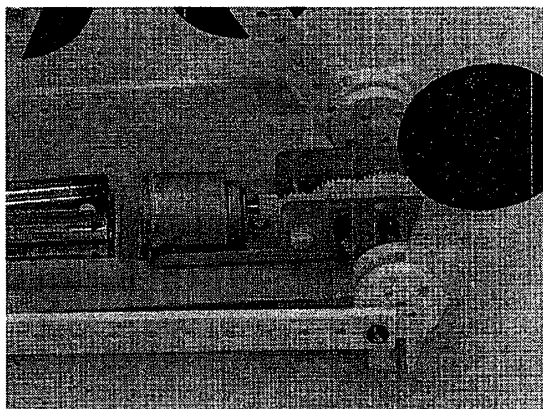


図5 ギアボックス

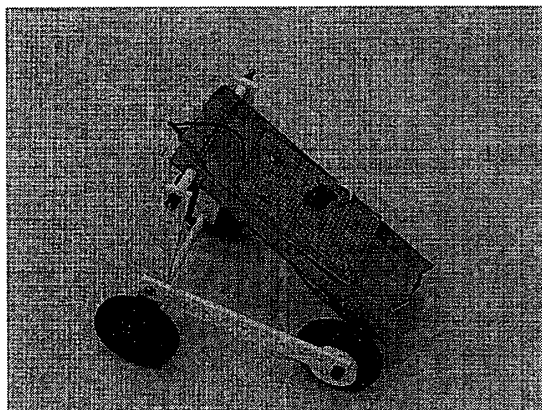


図6 作品1

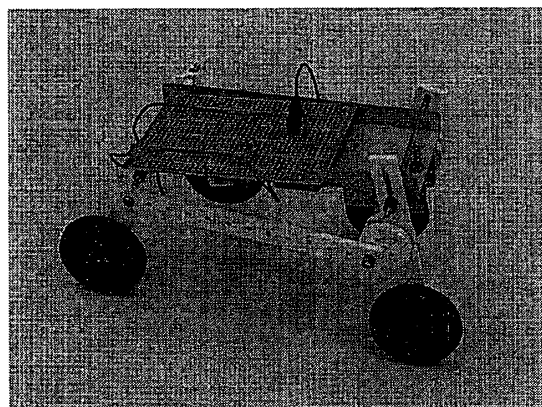


図7 作品2

表1 事前・事後テストの得点

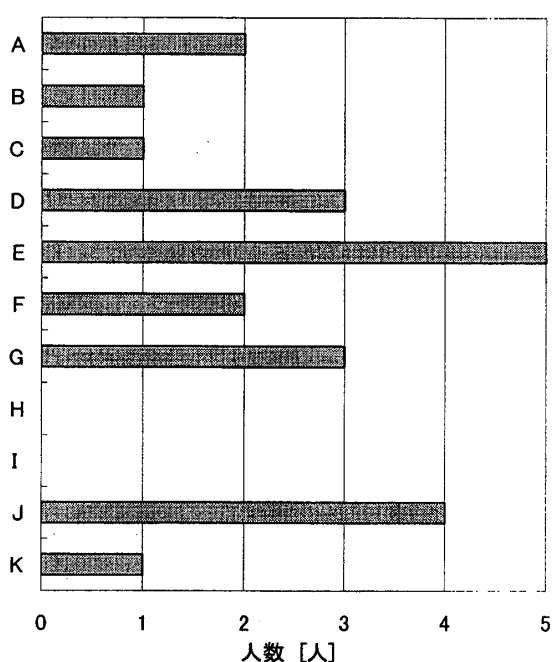
受講者	得点(/100)	
	事前	事後
A	22	43
B	25	70
C	10	18
D	13	43
E	9	54
平均点	15.80	45.60
分散	42.16	288.24
t値	4.18	

(有意水準 5%における境界値: $t=2.776$)

ど、製作した全ての作品が受光の有無を感知し、試運転に成功した。最後に事後テストを行い、2回にわたる実習で、ものつくりと計測・制御についてどの程度理解できたのかを調査した。また、本実習についてアンケートを取り、本教材についての検討も行った。

3.3 授業実践の結果

本実習で行った事前・事後テストの得点についてt検定を行った結果を表1に示す。算出したt値は4.18となり、有意水準 $\alpha=0.05$ におけるt境界値を上回り、有意差が確認できた。したがって、本総合実習による計測・制御に関する理解には効果があったことが分かる。しかし、事前、事後テストとも平均点は低かった。これは、授業展開の中で計測・制御における基礎的学習が不十分であったことを表わしている。



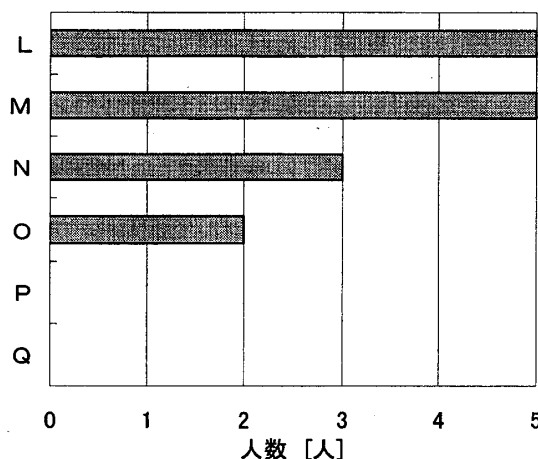
- A.ものづくりの技能
- B.機械についての知識
- C.工学的な考え方
- D.「制御」への関心
- E.制御についての知識
- F.道具などの扱い方
- G.ものづくりへの関心
- H.工学的な知識
- I.論理的思考
- J.ものづくりにおける感覚
- K.工学的な探究心

図6 本実習において身についたと思う項目

工学用語としての制御とは、「ある目的に適合するように、対象となるものに所要の操作を加えること」とされている⁸⁾。しかし「制御」という言葉は様々なところで使われており、一般的に使われる言葉としての「制御」と工学用語としての「制御」とでは多少意味が違う。このことを知らない学生が多かったため、事前テストの点数は非常に低かったものと考えられる。

本実習において、「制御」という言葉について工学的な意味を改めて知ることができた。それとともに、ものづくりを通して動力伝達機構についての知識を深め、新たに付加したセンサ回路によって制御が行われる様子を体験的に知ることができたと思われる。

また、アンケートの中で、「本実習を通して身についたと思うもの」を11項目の中から複数回答を求めた結果を図6に示す。「D.『制御』への関心」、「E.『制御』についての知識」、「G.ものづくりへの関心」、「J.ものづくりにおける感覚」の4項目について、身についたと答え



- L. 説明書
- M. 部品の分別し易さ
- N. 加工の難易度
- O. 部品の寸法
- P. デザイン
- Q. 提案する製作パターン

図7 本教材について改良すべき点

た学生が過半数であった。少数であるが「B. 機械についての知識」、「C.工学的な考え方」についても、情報の提示の仕方などを工夫することで十分身に付けさせることが可能であると考えられる。

「本教材を改良するとしたらどこを改良しますか」という質問について、6項目の中から複数回答を求めた結果を図7に示す。「L.説明書」、「M.部品の分別のし易さ」については全員が改良すべきであると答えた。本実習での製作については、詳しい説明をせずに各自で進める方法をとったこともあるが、このことは、実際に中学校で取り扱う際には十分な説明が必要とされるということを示唆している。

さらに、授業に対する意見、感想では、「制御に関して関心を持つようになった」「ものづくりの達成感を味わうことができた」など、本実習での目標についての達成感が感じ取れるものが多かった。また、「自分で考えて作ることができてよかった」「回路を付け加えるのは良かった」といった、題材を選択することや、新たに回路を付け加えたことへの支持も多かった。

本実習を通して、ものづくり教材を用いた体験的総合的学習によって、計測・制御に関する教育的効果は充分期待できることが分かった。

4. 考察

本総合実習を通して、事前、事後テストの結果から、本教材はものづくり学習及び計測・制御の学習において教育的効果がある、ということが分かった。しかしアンケートの結果などから、更なる工夫が必要であることも痛感した。

また本実践は大学生を対象に行ったものであるため、これらの結果をもとに中学校技術科向けの教材としての改良点を検討する必要がある。

ここで、中学校技術科で実践するにあたっての本教材について、以下の改良点を挙げる。

(1) 機構部の製作について

ギアボックスやリンク機構などの行程を極力細分化し、それぞれについて十分な説明並びに注意事項を、口頭及び別紙資料などで指導する。そのことによって、製作における間違いや事故などを未然に防ぐことが可能となるとともに、各部に活かされている技術について深く理解できると考えられる。

(2) 製作時間について

各行程の製作難度に応じて、十分な製作時間を決定することが必要である。特に製作に時間を要したギアボックスについては、組み間違い等を直すことに時間を多く取られてしまう。よって細かな注意を含めながら指導する。

(3) 計測・制御回路について

今回は光センサが受光時に作動する回路で実践したが、受光時には停止し、非受光時に作動する回路も簡単に作ることができる。本教材に要する時間を多く取ることができれば、電気回路の製作においても自由度が生まれ、生徒の創造性の向上につながると考える。

アンケートに寄せられた授業の感想の中には、「ものづくりの達成感が得られてよい」、「計測・制御回路にも選択の幅がほしい」といった意見が多く見られた。いろいろなことに興味を持ち始める中学生においてはなおさらのことであろうと思われる。授業の中で、みな同じ物を作るのではなく、できる限り選択の幅を持たせ、それぞれについて具体的な手法を示すことは生徒の好奇心を深めるものであろう。そのような体験を経て作品を完成させることで、計測・制御についての学習が実体験とともに身につくのではないかと考える。

5. まとめ

本研究では、市販のものづくり教材を用い、更に自作の回路を組み込むことによって、「技

術とものづくり」の領域を総合的に学習する教材を試作した。また、それを用いた授業展開を検討・実践した結果、次のようなことが分かった。

- (1) 市販のものづくり教材に自作の光スイッチ回路を組み込むことにより、「技術とものづくり」と計測・制御の基礎を総合的に学習することが可能な教材を試作した。
- (2) 本教材による授業実践を通して、ものづくり学習と計測・制御の学習を複合的に学習することによって、エネルギー変換を利用した製作品の設計・製作における学習内容としての①～⑨の項目に、「⑩計測・制御の概念について知ること」も含めて教育的効果が得ることができた。
- (3) 本実践は大学生を対象に行ったものであるが、中学校技術科における教材として扱うには以下の点についてさらに検討する必要がある。
 - ① 作業が円滑に進行するようにするために、製作難度に応じて、行程を細かな注意を含めながら指導する等、指導法について検討する。
 - ② 製作における自由度がさらに増すように、付加する計測・制御回路について、他の製作パターンの検討をする。

今後、本教材にコンピュータからの命令を入力するためのマイコン等を取り入れることができれば、学習内容は「情報とコンピュータ」にまで及ぶ。そして技術科の内容を総合的に学習することのできる、より高度な制御により作動する自作ロボット教材へと発展することを期待する。

参考文献

- 1) 日本産業技術教育学会：21世紀の技術教育，日本産業技術教育学会誌第41巻3号別冊，

(1999)

- 2) 文部省：中学校学習指導要領，(平成10年12月)解説－技術・家庭科編－，pp.16-44
- 3) 齋藤秀則・他4名：技術科教育のための計測・制御用教材の開発－自律型ロボットの製作－，宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要 第25号，(2002)，p.407.
- 4) 岩本・他：子ども用ロボット教材の開発，日本機械学会[No.98-4]ロボティクス・メカトロニクス講演会‘98講演論文集，(1998)，p.1BIII4-3
- 5) 遠心調速器と制御工学：<http://www.suelab.nuem.nagoya-u.ac.jp/~suematsu/centrif/centrif.html>
- 6) 橘川真彦：児童と青年の発達心理学，(1998)，随想舎，p.80.
- 7) 久保重美・他2名：解説電子回路<下巻>，(1975)，近代科学社，pp.329-330.
- 8) 日本機械学会：機械実用便覧，(1990)，丸善株式会社，p.783.