ネットワーク利用による若手教員の ロボット指導力向上法に関する研究

松 谷 宏 明*

Method to Improve the Education Skill of the Robot of a Young Teacher using a Network

Hiroaki Matsutani*

Many young teachers want to learn a new technique. The technique that a young teacher wants to study is often related to a robot and robotics. However, there may not be an expert teacher in their school. I've been teaching a bipedal robot to high school students from eight years ago. Students educating a bipedal robot are students of other schools. The education to them uses the E-mail. Educational use of the E-mail system will be able to educate the bipedal robot to the students of the world. I thought that the young teacher of other schools could learn bipedal robot education when I used the E-mail.

Key Words: Biped Robot, Education, Young Teacher

1. は じ め に

企業で叫ばれてきた団塊世代の退職に伴う技術継承の問題は教育現場でも同様である。ベテラン教員が培ってきた専門知識や教育手法は従来の技術講習のみで伝授することは難しい。その理由の一つに若手教員の経験値の不足がある。経験値の不足は教員の職に就くまでに関連する企業での勤務経験や大学等での研究経験がほとんどない者が採用されている現状からも推測される。また、授業は自らのペースだけで進めることは難しく、常に生徒の反応（理解度）に応じ解決方法（指導内容）を順応させることが求められる。時には教員が予測してない失敗（トラブル）が発生することもあり、その後の授業展開に大きく影響を与える。教員は新しい授業内容を取り入れる場合、様々な状況下で発生するトラブルに対応できる技量が求められるが、この技量は実際に指導していく過程で経験的に学び、身につけていく技能でもある。経験の浅い若手教員の多くは、経験から得られる失敗への対応法に不安を感じ、新しい授業内容への挑戦に足踏むこともあり得る。この問題を解決する一つの方策として、授業を実践しながら発生する諸問題を相談し、解決に繋げられる環境を構築することを考えた。初めに教員がどのような技術・技能を身につけたいと考えているかを知る必要がある。参考として、2005年に愛知県立工業高校の全職員（回答数819名）に

Table 1 Workshop that teachers want to participate

Training contents	Number of people	%
PC (CAD design, Programming, Network security, Etc.)	54	38
Manufacturing (Lathe, milling, machining center, Etc.)	26	18
Robot	22	16
Circuit design	9	6
Safety education	1	0.7
Others (Biotechnology, Architecture, Automobile Etc.)	29	21
Total	141	

対して実施したアンケート [1] 結果を用いた。この中で研修を受けたい内容を聞いた設問があり、**Table 1** に示すように141名から具体的な記述があった。この中でロボットと回答している割合が全体の16%となっている。ロボット教育に欠かせないPCを使用したCAD設計やプログラミング、工作機械を使った加工、電子回路の設計を含めると全体の79%となっていることから、回路設計からプログラミングまで一貫した教育ができる教材を開発することは非常に有効であると考えた。具体的には2足歩行ロボットをその教材として採用したいと考えた。その理由は二つあり、一つは、ロボット教育論文特集号2013 [2] で示したとおり、高校生にとって最も興味を持ちやすい内容であり、複合的な技術・学習要素を兼ね備えているからである。もう一つの理由は、指導する教員にとっても複合的な学習要素への対応力を身につけられる教材であると判断したからである。経

原稿受付 2014年4月29日

*愛知県立春日井工業高等学校

*Kasugai Technical High School

■ 本論文は有用性（人材育成・社会分野）で評価されました。

験の浅い若手教員の多くは、経験から得られる失敗への対応法に不安を感じ、新しい授業内容への挑戦に足踏むこともあり得る。この問題を解決する一つの方策として、授業を実践しながら発生する諸問題を相談し、解決に繋げられる環境を構築することを考えた。筆者は2007年から全国の高校生に対し、メールを活用した2足歩行ロボット教育を実践してきた経緯がある。この2足歩行ロボットは高校生がハンダ付けによる回路製作やC言語によるプログラミング作成を行えるように工夫した教材である。このロボット教材を用いて高校生に自宅等でもロボット製作が継続できることを確認してきた。従来の教育と大きく異なる点は指導する教員が同じ部屋（学校）にいないことも、生徒本人がロボット製作に興味を持ち続けられれば遠隔地にいても学習を継続することができる点にある。

この指導で培ったノウハウを応用し、**Fig. 1**に示すように実践型の教育研修を考案した。通常の研修は講習会を1回または数回行って終了し、その後のサポートはあまり実践されていない現状がある。実践的な研修に継続的なサポートが可能であれば、新しい授業内容を実践しながらその指導法を学ばせることが可能であると考えた。しかし現状では、研修会終了後のサポートまで支援が継続するような事業はほとんど存在しない現状がある。そこで、筆者がボランティアとして、いつでも参加者からの疑問や相談に答えていくことにした。

高校生対象に指導する場合は、高校生本人が疑問に思うことをメールで指導してきたが、若手教員に対しては、実際に勤務校の生徒に対してロボット製作の授業を実践しながら、そこで生じた失敗への対応法をメール等で相談し指導を受ける。発生した失敗に対応していくことで、より実践的な経験を積ませることが可能であると考えた。

Fig. 1 Education image

2. 教材開発

2.1 ロボットの開発条件および性能

開発したいロボットは若手教員の研修を目的としているため、授業への活用が容易になる工夫が必要である。必ずしも高性能なロボットが教材として最適というわけではない。教員が学びたい **Table 1** の内容を踏まえ、さらに幅広い学習教材として使用できるように **Table 2** に示すような条件でロボット開発した。特に教材ではメンテナンス性に優れていることが求められる。サーボ等は汎用性の高い部品使用することで、万一、部品が破損した場合でもスムーズに交換できるように工夫した。電源には単4乾電池2本を使用している。乾電池に変更しても10時間以上は連続で歩行プログラミング等を行う実習ができるため、ランニングコストにも優れている。これらの改良以外にマイコン部をユーザーが多い microchip [3] 社の PIC12F683 を採用したことで、3,000 円程度でロボットを製作することが可能になった。開発したロボット (**Fig. 2**) と筆者が高校生対象のロボット学習用に開発したロボットの性能比較を **Table 3** に示す。若手教員の初歩的な研修ができるように設計した。

Table 2 Development condition

Development condition
・ Circuit design easily
・ Maintenance easily
・ Programming learning is possible
・ Remodel easily
・ Use general-purpose parts
・ About \$ 30

Fig. 2 Developed biped robot

Table 3 Comparison of two types of robot

Item	For Students	For Teachers
Controller	Push button	3
	LED	Infrared
	Micro-computer	Microchip PIC12F683
Robot	Size(L*W*H)	5cm*5cm*5cm
	Battery	Li-Po3.7V 200mA
	Charge	USB power
	Sensor	Infrared communication
	Micro-computer	TI eZ430-F2013
	Servo	Micro Servo*4
		Microchip PIC12F683
Total cost		100\$
		30\$

2.2 想定する学習内容

開発したロボットを活用することで期待できる学習内容は回路設計、加工技術、プログラミングの3項目である。

回路設計技術は使用する部品の選定、CADによる回路パターンの考案を行うことができる。事前に使用する部品を決めておけば、CADソフトの使い方を学びながら、配線パターンを考えることが可能である。プリント基板用CAD (Free) であるPCBE [4] を使って、初心者なら6時間程度で回路パターン図を完成させることができる。目標とするレベルに応じ、回路設計技術を合わせて学習させることも有効である。例えば、電源、サーボやモータを動かすための線は電流が多く流れるため、配線パターンの線の太さは太くし、逆にマイコン部の信号線の電流は数[mA]しか流れないので、配線パターンは細くてよいことを学ばせることができる。このように設計理由を加えながら複合的な学習内容をおしえられる教員を育成できることを期待している。

加工技術は設計したパターンから基板製作、脚部の加工等を行うことができる。ロボットの脚部はプラスチックアングルやプラ板を使用して構成している。ニッパー等で簡単に切断することも可能である。アルミを工作機械で同様のサイズに製作できれば、より強度を確保することができる。部品の形状は自由度が高くなるように設計してあるので、機械加工技術を身につける行程として最適である。

プログラミングは統合開発環境であるMPLAB (Free) [5] を用いて容易にC言語のプログラミング学習ができるように設計した。初心者が容易にプログラミングできるようにマイコンの初期設定やサーボの基本関数などをヘッダーファイルとして事前に準備した。このヘッダーファイルを使用すると、C言語の基本的な学習を行いながら、簡単な歩行ができるまでに9時間、C言語経験者であれば3時間程度でつくることが可能である。プログラミング力が向上するに従い、センサを使った動作やロボットにダンスをさせるなどのロボットパフォーマンスをさせることも可能である。さらに応用力を学びたい場合は、ヘッダーファイルを自作するような学習をすることで、ほかのマイコンを使用する場合にも有用な知識となる。

これらの学習項目は実施する時間に合わせ、それぞれ単独で実施することも可能である。例えば、完成したロボットを事前準備しておけば、1時間程度で関数を合わせるだけで歩行の仕組みだけを学ばせることも可能である。C言語の基本命令と組み合わせでプログラミング学習だけ行うことも可能である。また、これらの製作過程をまとめ、発表経験を積むことも期待している。

3. 事前講習

筆者が高校生対象に行っているメールによる継続教育の特徴の一つに、十分な動機付けがある。ロボットに興味をもった高校生に対して、ロボット製作を体験させることで、自らが次の目標を立てられるまでの学習ができる環境を整備することが重要であった。この経験を活かし若手教員に対しても、自らが製作体験することで、教育指導への意欲増進が期待できると考えた。

実際の講習会は平成23年2月21日に4時間程度の講習会を

実施した。実施した主な製作工程をTable 4に示す。時間的な制約によりハンダ付けから組み立て加工、プログラミングの基礎までを実施した。一つ一つ確認しながら組み立て、行程を確認する程度の内容を行った。高校生対象に指導してきた経験から、講習会は「もっと難しいことがやりたかった」「もう少しやりたかった」「次はもっとうまくつくりたい」といった、やや不完全燃焼さみの感想をもった参加者の方が自宅学習に積極的な傾向にあった。そのため、教員に対しても基礎的な内容を行うことにした。参加者からのアンケート結果をTable 5に示すとおり、難易度は、「やや簡単」との回答が多く、ほぼ想定どおりであると判断した。

基礎的な部分だけを実施したため、この内容のみでは次年度への授業展開は難しいと思われる内容である。そこで、講習会後に自主的に研究ができるようにTable 6に示すようなデータをWebからダウンロードできるようにした。基本的な動作の確認が容易にできるようにサンプルプログラムとその動画を5種類用意した。サーボの初期設定、歩行やアナログセンサの使い方等を確認できるようにした。ロボット製作初心者はエラーの原因追及に不慣れある。上手く動作しないときに、プログラムが悪いと思い込んでしまい、一人では解決できないこともある。時には、サーボや基板が原因の時もあり得るので、それらが正しく動作するか、確認する手段を用意しておくことも必要である。例えば、サンプルプログラムを実行させ、サンプル動画どおりになるかを確認することで、トラブルの原因を探ることができる。サンプルプログラムが動画どおりに動作すれば、ロボットが正しく動作しない原因は開発者のプログラムであることが分かる。あるいはサンプルプログラムでも正しく動作しな

Table 4 Schedule of workshop

Contents	Time allocation
Introduction	20min
Soldering	60min
Assembly	60min
Initial setting of the servo	30min
Running of demonstration program	30min
How to use development tools	Supplement
How to use functions	
Thinking of walking program	

Table 5 Questionnaire result

	Easy		Difficult	
	1	2	3	4
Difficulty	1	8	5	2
Understanding level	4	7	6	0
Future utilization	1	14	2	0

Table 6 Download content from the Web

Download contents	
CAD data	Main board
	Controller
	CAD(Free) Manual
Sample data	C source program (Initialize, Sensor, Timer function)
	Movie (Sensor, Timer function)
Text (used in workshop)	

い場合は、基板、センサ、サーボ等のハード部分に問題がある。例えばバッテリー不足、センサ、サーボ単体の故障、コネクタの差し間違い等が考えられる。

講習では実施できなかった回路設計に挑戦できるように PCDE CAD の紹介やその基本データも準備した。このデータを使うことで、パターン設計も容易に行うことが可能である。

4. 実践事例

前章で行った事前講習参加者の中で 2 名の参加者から来年度、生徒へのロボット製作授業を実施したいと申し出があった。この 2 人が指導しながら完成させたロボットを **Fig. 3** に示し、その指導過程を以下に示す。

4.1 教員 H の場合

この教員は採用 2 年めで、30 代前半で機械工学を専門としている。この教員は講習会に参加以前は、制御回路の設計・製作やプログラミング経験もほとんどない状態であった。勤務校の所属は電子機械科であったが、同科に制御回路等の指導できる教員がいない状況であった。実習環境は回路製作に必要な加工機材・工具類も不足しているため、それらを購入や、他科から借りるところからのスタートであった。通常であれば、ロボット製作の授業展開は困難な状態であった。

この教員が行った授業展開は電子機械科 3 年生 8 名に対して週 3 時間の授業を 7 月～11 月まで行った（7 月 20 日～8 月末までは夏季休業中のため、実施していない）。この期間に行った作業概要を **Table 7** に示す。講習会では実施しなかったエッチング作業やプログラミングにも挑戦した。この間に筆者への質問は、「基板を作りたいので、基板データが欲しい」、「プログラムのエラーメッセージの意味が理解できない」、「ロボットへの書き込みができない」、といった内容であった。

ロボットの完成状況は組み立てまでは完了したが、当初予定していた、歩行プログラミングまでは完成することができなかった。理由としては、生徒の学習ペースが予定していた学習配分

とはかみ合わず、予定どおりに進行できなかったためであった。教員 H からは、生徒のペースが思っていたより遅く、時間内に完成できなかったこと、想定以上にプログラミングには時間がかかること等、実際に指導することで生徒の修得時間を十分考慮する必要性を体得することができた、との感想を得ることができた。

参加した生徒からは、時間的な制約により、ロボットを歩行させるまでプログラミングができなかったことを非常に残念がっている感想が大半であった。また、基板を製作するエッチング作業を教員 H と共に何度も失敗し、試行錯誤しながらようやくノウハウを理解できた喜びを書いている生徒もいた。

4.2 教員 I の場合

この教員は採用 1 年めで、20 代後半で電気工学を専門としている。この教員も講習会以前にはロボット製作指導に関する技術は不足している状態であった。勤務校の所属は電子工学科であったので、ロボット製作に必要な加工機材・工具類は十分あるが、教員本人は加工機材等の使用経験が乏しい状態であった。この教員が行った授業展開は電子工学科 3 年生 6 名に対して週 3 時間の授業を 4 月から 12 月まで行った（7 月 20 日～8 月末までは夏季休業中のため、実施していない）。この期間に行った作業概要を **Table 8** に示す。

講習会で行っていない、CAD による基板設計、エッチング作業、脚部の金属加工、オリジナルの歩行プログラミングの挑戦を行っている。特徴的な点は講習会で製作したロボットでは配線がロボットの足に絡むことがあったが、教員 I と生徒らが解決策をみつけ、脚部を改良することで、その問題を解決している（**Fig. 4**）。また、CAD による基板設計では、教員 I も未経験であったが、見事にオリジナルの基板を作りあげている。参加した生徒からは歩行プログラミングまでつくることができ、達成感を味わうことができたという意見が非常に多くあった。教員

Table 8 Action contents (teacher I)

Action contents	Teaching experience
Design of the leg	First time
CAD Design(control board)	First time
Etching	Several times
Processing of control board	Several times
Soldering	Workshop
Assembly	Workshop
C language	Initial setting of servo
	Walk program
Presentation of the results of the study	First time

(a) Teacher H (b) Teacher I

Fig. 3 Finished products

Table 7 Action contents (teacher H)

Action contents	Teaching experience
Etching	First time
Processing of control board	First time
Soldering	Workshop
Assembly	Workshop
C language	Initial setting of servo
Presentation of the results of the study	First time

(a) Cable holder (b) Development view

Fig. 4 Legs of original design

I から製作にあたり、質問があった点は教員 H の場合と同様にプログラミングのエラーメッセージについてのみであった。教員 H に比べ、製作期間が倍近くあったため、生徒とともに何度も失敗してもやり直せる時間が十分確保できたため、生徒とともに考え問題解決ができたのではないかと推測できる。教員 I からは製作したロボットを見た周囲の職員から非常に高い評価を得ることができ、非常に驚いている様子であった。機会があれば、さらなるレベルアップしたいとの感想を聞くことができた。

5. 若手教員の取り組みからの考察

5.1 教員間のネットワーク

2名の教員が実際に製作指導を行ったが、当初想定していたようなメール等での相談は多くなかった。筆者が高校生からメールでの相談は、生徒一人あたり年間 20 件以上のメールを受け取ることがある。当初は教員からも同等のメールを受け取することを想定していた。しかし、教員 H, I の両者からのメール等で相談を受けた回数はどちらも 4, 5 回程度であった。当初は勤務校の職員がアドバイス等してくれているかと考えていたが、教員 I, H に確認したところ、互いに相談し合い情報交換を行って学習指導を行っていたことが判明した。情報交換の方法は多様でメールや電話のほか、実際に会って今後の進め方等の相談を行っていた。教員 I のほうが 3ヶ月ほど先にロボット製作を始めていたので、それまでに培ったノウハウを上手く教員 H に伝えていたことが後に分かった。これは当初想定していた Fig. 1 のように指導者への質問で問題解決する関係に加え、Fig. 5 に示すような教員間のネットワークによって問題解決を図っていた。従来、技術・技能を学ぼうとする者同士が切磋琢磨しながら技術・技能を向上させ、互いの力で解決できないときにベテラン指導者に教を仰ぐ光景があった。この事例では教員間のネットワークを活用して切磋琢磨しながら解決策を探り、解決できないときにはメール等で筆者に質問する構図が形成されていた。当初、筆者は高校生への指導経験から指導者へメール相談できる関係を築くことで技術・技能の修得できると考えていた。実際にはそれに加え、指導者よりハードルが低く、互いに教え合う関係も技術・技能の修得には有効であることが分かった。また、教員間のネットワークは技術・技能向上へのモチベーションの維持・向上という観点でも、非常に有効な働きをできている。

このように若手教員を対象にした研修では、上下関係による技術・技能指導だけでなく、対等関係にある者同士での関係を含めた教育ネットワークが構築されていたことになる。この関係は、ネットワーク環境に対応した技術・技能の継承モデルが形成されていたとも考えることができる。

5.2 失敗できる（させられる）環境

教員 H の場合、生徒とともにエッチングにより基板製作に挑戦しているが、基板製作のノウハウがまったくない状態だったので、生徒も失敗の連続であった。Fig. 6 は生徒が何度も失敗した写真である。教員 H 自身は機械系教員であり、基板製作経験が初めての経験であったため、このような失敗を何度も繰り返していた。このときに教員 H は教員 I に連絡し、状況を説明して、考えられる対策法を聞いて無事に解決できた。このとき

Fig. 5 Education network

(a) Failure

(b) Success

Fig. 6 Failures of etching

の失敗理由はエッチングに問題があったわけではなく、その前工程の現像時間に問題があった。対処法として、現像が効率よく進行するように 40°C まで加温して、基板を十分に現像することで無事にエッチングを完了することができた。

ここで注目したい点は授業の中で失敗できる（失敗させられる）という点である。一般的に教える技術・技能に不安が残る場合、想定外の失敗は避けたい。授業でも指導経験の少ない教員は生徒たちに自由度を与え考えさせ、行動させることを避ける傾向にある。仮に「失敗してしまうと元に戻せない」等の理由によるものが多い。しかし、ものづくり現場においては失敗から学べることが非常に多く、失敗経験を十分に積ませたほうが後に役立つ場合もある。安全面に十分配慮できる範囲で、生徒たちに失敗できる環境はものづくり教育では非常に重要になる。失敗がおきた場合でも直ちに相談できるネットワーク内にいることで、失敗後の不安が軽減されていたのではないかと考えている。失敗後にどう対応したら良いかを相談できることは若手教員にとって非常に安心できる環境である。

6. お わ り に

若手教員対象に指導力向上を目標に継続的な研修法に取り組んできた。実際に行ってみると高校生と若手教員とは疑問に思った後の行動は大きく異なることが分かった。高校生はすぐにメー

ルで質問し、納得がいくまで何度でも質問を繰り返し、ロボットを完成に繋げている。一方で若手教員は、疑問や失敗があっても直ちに相談するのではなく、まずは自分の力で解決できないかと試行錯誤する点が想定外であった。ただ、この想定外が簡易的な教育ネットワーク構築に貢献している点を評価したい。当初は若手教員に生徒が起す失敗への対応法を修得して欲しいと思い、そのサポート役を指導者が担うことを想定していた。しかし、若手教員間で教育ネットワークが拡大していけば、より多くの情報を共有することが可能であり、「安心して失敗ができる（させられる）環境」に近づくのではないかと考えている。

また、ロボットは各種技術が集まって構成されていることは周知のとおりである。若手教員にとっても1台のロボット製作をととして、回路設計、機械加工やプログラミングといった数多くの技能・技術が必要であることが生徒と共に学修することができたと考えている。そのほとんどの技術はTable 1で示した教員が修得したい内容であることから、教材として開発した2足歩行ロボットは効果的な教材になったと考えている。今後、簡易的に構築できた教育ネットワークを有効活用し、若手教員の技術・技能が向上していけば、若手教員自身でオリジナルロボットの製作も可能になってくる。今回、限定的な地域で開催したが国内外でロボット教育ネットワークが構築でき、さらに

はそれらネットワークが一つの大きなロボット教育ネットワークを構築するように努めたい。教育ネットワークが機能すれば、誰でも、どんな事でも、相談できる環境がWeb上に存在し、理想的な環境に近づくと考えている。

参 考 文 献

- [1] 愛知県高等学校工業教育研究会, <http://aichi-kouken.kir.jp/>.
- [2] 松谷宏明: “2 足歩行ロボット教材開発とメールによる継続学習に関する研究”, 日本ロボット学会誌, vol.31, no.2, pp.175-180, 2013.
- [3] Microchip Technology Inc, <https://www.microchip.com/>.
- [4] PCBE(OS: Windows), <http://www.vector.co.jp/soft/winnt/business/se056371.html>.
- [5] MPLAB(OS: Windows, Linux, Mac), <http://www.microchip.com/pagehandler/ja-jp/family/mplabx>.

松谷宏明 (Hiroaki Matsutani)

1989 年愛知県立東山工業高等学校実習助手として採用。1994 年名古屋工業大学 II 部電気情報工学科卒業。1998 年愛知県立碧南工業高等学校教諭として採用。2002 年愛知県立名南工業高等学校教諭として転勤。2012 年愛知県立春日井工業高等学校教諭として転勤。研究テーマ: 教育用ロボット教材の開発。(日本ロボット学会正会員)