科学技術高校におけるロボット教育のカリキュラム開発

門 田 和 雄*

Curriculum Development of Robot Education at High School of Science and Technology

Kazuo Kadota*

Mechanical systems engineering course at Tokyo tech high school of science and technology has been developed the curriculum of robot education. Our educational objective is to improve our students' basic ability of mechanical engineering and robotics and help them acquire a foundation from which they can advance to a higher education level. We developed new lessons such as robot contest and control of the single-board microcomputer. Third year students developed the fish robot and two-legs robot, etc. The best feature of our curriculum is to make our students acquire these bases both theoretically and practically. This paper describes the curriculum development of robot education and that it has become clear through these educational practices at high school of science and technology.

Key Words: Robot Education, Technology Education, Curriculum Development, Educational Practice

1. は じ め に

東京工業大学附属科学技術高等学校（以下、東工大附と略す）は、2011年に創立125周年を迎えた、機械系、電気系、情報系、化学系、建築系の五つの分野がある国立唯一の工業系専門高校である。2005年の改組において機械系はシステムデザイン・ロボット分野という呼称となり、ロボット教育を重視する教育課程に移行することとなった。その背景には、1999年に発表されたSonyのAIBO、2000年に発表されたHondaのASIMO、2003年の鉄腕アトムの誕生日などをはじめとしたロボットブームの到来があげられ、これらと時期を同じくして「ロボットを作りたい」という意識で入学してくる生徒が増加してきたこともその大きな要因である。

本校では1995年度から二年次において学内ロボットコンテストを開催、2000年度から一年次の科目「人と技術」の中にロボットの講義を取り入れるなど、この改組の下地は構築していた。また、三年次にグループで研究に取り組む科目「課題研究」において、ロボットに関係するテーマに取り組む生徒が増えるなどの動きも見られた。

一般的な工業高校機械科では、「機械設計」「機械工作」「機械製図」などの講義科目、および作業着を着用して工作機械の操作や溶接、鋳造などを行う「実習」を専門科目として学ぶが、

電気や制御に関する内容を扱うことはそれほど多くない。本校のカリキュラムでは、一年次の科目「科学技術基礎」において電気回路の基礎、科目「情報技術基礎」においてC言語のプログラミングなどを共通で学ぶが、それらの内容を二年次に各分野で学ぶ教育内容とどのように関連づけていくのかは、それほど考慮されてこなかった。

そのため、三年次の「課題研究」においてロボット研究に取り組むことになった生徒は、電気や制御に関する内容をその時点から学び始めることになり、その人数が増えるにつれて、二年次までにある程度の指導をしておく必要が生じてきた。

本稿では、従来の工業高校機械科における指導内容である機械技術を中心として、電気技術や情報技術を加えたロボット教育のカリキュラム開発を行い、実際の教育実践を通じて明らかになったその成果をまとめることを目的とする。

2. 高等学校におけるロボット教育の現状

2.1 高等学校工業科におけるロボット教育

2010年度版の高等学校学習指導要領[1]によると、高等学校工業科の目標は「工業の各分野における基礎的・基本的な知識と技術を習得させ、現代社会における工業の意義や役割を理解させるとともに、環境およびエネルギーに配慮しつつ、工業技術の諸問題を主体的、合理的に、かつ倫理観をもって解決し、工業と社会の発展を図る創造的な能力と実践的な態度を育てる」とある。

教科「工業」が扱う内容は、機械、電気、電子、情報、工業化学、土木、建築などの分野であり、これら工業に関する科目

原稿受付 2012年2月24日

*東京工業大学附属科学技術高等学校

*Tokyo Tech High School Science and Technology

■ 本論文は提案性で評価されました。

は「工業技術基礎」をはじめ、61 科目がある。これらのうち、各学科において原則としてすべての生徒に履修させる科目（原則履修科目）は、各学科における共通で基礎的・基本的な内容で構成され、より専門的な学習への動機付けや卒業後の進路について生徒の意識を高めることをねらいとした科目の「工業技術基礎」、習得した知識・技術の深化を図る学習を通じて問題解決の能力や自発的、創造的な学習態度を育てることをねらいとした科目の「課題研究」である。その他の履修科目は、各学校における各学科の特性に応じて、学校ごとにカリキュラムを編成することになる。なお、専門科目の履修単位数は合計で 25 単位以上、これに普通科目を加えた卒業単位数は 74 単位以上とすることが規定されている。

これらの中には、ロボットという単語を含んだ科目は存在しないが、科目「電子機械」では、コンピュータ制御の基礎やメカトロニクスの活用、科目「電子機械応用」では、動力用アクチュエータや産業用ロボットなどを扱っている。また、各学科における科目「実習」や科目「課題研究」においても、ロボットに関連した内容が取り入れられている。1980 年代頃からこれにメカトロニクスに対応した学科として、多くの工業高校に電子機械科が設置されたが、その後、数を減らしている。この理由として、30 単位程度の専門科目のうち、機械系と電気系の科目を半分ずつ学ぶようなカリキュラムでは、どちらの学習も中途半端になってしまい、就職において不利になったことがあげられる。工業高校生に就職先の企業が期待するのは、メカトロニクスを学んだ生徒ではなく、機械や電気のどちらか一分野であることが多かったのである。そのため、現状においては、高等学校工業科においてメカトロニクスやロボットを取り入れた教育は部分的には実施されているものの、全面に出した教育は実施されていないと言える。

2.2 東工大附におけるロボット教育

ロボット工学は、機械工学、電子工学、情報工学など多くの工学分野の総合技術であるため、統一的な学問体系が確立しているとはいえない。近年、理工系大学において、ロボットやロボティクスの名前をつけた学科が増えているものの、多くの大学では機械系や電気系の学科の中に、ロボットに関係する研究室が置かれている。しかし、現状では産業用ロボットの市場は大きい、サービスロボットの市場はそれほど大きくないこともあり、工業高校を卒業してすぐにロボットに関する職業に就くことは難しい。

そのため、2005 年度の改組において、システムデザイン・ロボット分野という呼称でロボット教育を重視するカリキュラムを開発する際には、高校段階におけるロボット教育をどのように位置づけるのかが、重要な事項であった。熟慮の末、本校へ入学する生徒のほとんどが入学段階で理工系大学への進学を希望しているため、18 歳で卒業してすぐに就職するためのカリキュラムではなく、理工系大学にうまく接続できるようなロボット教育のカリキュラムを開発するという視点で取り組むことになった。本校におけるロボット教育のカリキュラム開発の流れは、機械工学を基盤としつつ、電気回路やプログラミングの実習などを加えて、三年次の課題研究においてロボット研究に取り組むというものである。

実施の背景として、本校が 2002 年度より文部科学省が科学技術や理科・数学教育を重点的に行う高校を指定する制度であるスーパーサイエンスハイスクール [2]（以下、SSH と略す）に指定されており、高等学校の学習指導要領に縛られることなく、大胆な教育課程を編成することができることもあった。すなわち、25 単位ある工業の専門科目において、学校独自の科目を設置できるなど、他校には見られない取り組みを行うことができた。なお、多くの SSH は普通科や理数科を母体としているため、理科や数学を重視して取り組んでおり、ロボットを重視した取り組みは、ほとんど見受けられないが、理系の高校生の進学先は理学部や医学部よりも工学部の方が多い。そのため、本校におけるロボット教育のカリキュラム開発は本校のみでの実践に留まることなく、広く全国の工業高校はもちろんのこと、工業に関する専門科目をほとんど学ばずに理工系大学に進学する生徒を送り出している SSH や普通科高校にも何らかの形でその成果を普及できると考えられる。本カリキュラムの運営は、従来の工業科の学校運営の予算内で実施できるものとした。普通科高校には実習設備はほとんどないため、三年次のロボット研究をそのまま導入することは難しいが、ロボットの講義や簡単なロボットコンテストなどは導入できると考えられる。

ロボット教育のカリキュラム開発にあたっては、このことも十分に踏まえて取り組んだ。次章では、本校におけるロボット教育のカリキュラム開発の実態を述べる。なお、ここで紹介するカリキュラムは 2010 年度のものであり、1 単位とは、1 年間において 1 週間に 50 分の授業が 1 回あることを示す。

3. 東工大附におけるカリキュラム開発

3.1 一年次におけるロボット関連科目

本校では入学時には所属分野に分かれることなく、全員が科学技術に関する基礎的な科目を一年次に 8 単位を共通履修し、二年次から希望する専門分野に進んで、それぞれの分野の専門的科目を学ぶ。一年次における専門科目である「科学技術基礎」（3 単位）では、機械、電気、情報、建築、物理、化学等に関する内容をローテーションしながら学んでおり、機械の 1 テーマとして、Fig. 1 に示すような、ロボットでも多く用いられる往復スライダクランク機構を用いた厚紙模型の設計・製作を実施している。

同じく一年次に五つの専門分野の教員がテーマを決めて、各クラス 4 回ずつの授業をローテーションで実施する「人と技術」

Fig. 1 Mechanism model of reciprocating slider crank mechanism

(1 単位) では、テーマの一つとして「ロボット」を取り上げており、1. 東工大附におけるロボット研究、2. 東洋初のロボット学天則、3. ロボットの動力としての電気モータ（クリップモータの実験あり）、4. ロボットと共生する未来のあり方、という 4 回の講義を実施している。

この授業の評価は、4 回の講義を受けた後、ロボットに関するレポートの提出によって行う。レポートのテーマは、ロボットに関連した内容であれば自由とし、テーマを絞って何かしらの情報を収集し、それをまとめるとともに自分自身の意見を述べることを指示している。テーマの例として、「ロボットは心を持つことができるか」「人工知能が人間を超える可能性について」「2050 年にワールドカップの優勝ロボットと人間が対戦したら、どちらが勝つか」「ロボット産業はどうして立ち上がらないか」「人型ロボットの目的とは」「レスキューロボット開発の方向性について」「ドラえもんのタケコプターを実現するには」などがあげられる。なお、本授業では毎年 6 月に東京工業大学の教員による特別講義を実施しており、生徒たちはここで大学におけるロボット研究の実際を直接伺うことができる。また、7 月には横浜方面の技術館・博物館見学を実施しており、ここでロボットに関する内容を見学することもある。

このほか、一年次における専門科目には、C 言語のプログラミングを中心に情報技術を学ぶ「情報技術基礎」(2 単位)、科学技術を学ぶにあたって必要となる基礎的な数学を学ぶ「数理基礎」(2 単位) がある。

3.2 二年次におけるロボット関連科目

システムデザイン・ロボット分野における、二年次の専門科目は「実習」(3 単位)、「科学技術研究入門」(2 単位)、「科学技術」(2 単位)、「製図」(2 単位)、「先端科学技術入門」(1 単位) の 10 単位である。ここでは特にロボット教育と関連する科目である「実習」と「科学技術」について述べる。

①実習

「実習」は、40 人の生徒を 10 人ずつ 4 グループに分け、前半 3 週、後半 3 週のローテーションで実施しており、前半では手仕上げ、旋盤、MC、PLC を用いたシーケンス制御、後半では、旋盤、ガス溶接、CAD、Arduino を用いたマイコン制御の内容を扱う。ここではその中でもロボット教育との関連が深い制御実習に関する内容を詳しく述べる。

前半の制御実習の内容は、PLC を用いたシーケンス制御であり、ここでは論理回路を基本としたデジタル入出力装置である PLC の活用法を学ぶ。具体的には、入力装置である各種のスイッチ、出力装置である電気モータや空気圧シリンダを用いて、論理回路にタイマを組み合わせることで、各工程を順次進めていくプログラムを作成する [3][4]。PLC を用いて電磁弁を制御して空気圧シリンダを作動させるための回路例を Fig. 2 に示す。生徒たちはこれらの実習を通して、シーケンス図のプログラムや各種機器の配線などを学ぶ。これらの知識や技術は後述する自動食品製造ロボットや自動楽器演奏ロボットなどの研究にも役立つ。

後半の制御実習の内容は、ここ数年試行錯誤しながら教育実践を重ねている。2005 年の改組時点では、RC サーボモータを 9 個搭載したヒューマノイドロボットキットを用いて、歩行動

Fig. 2 Pneumatic control using PLC

Fig. 3 Microcomputer control using Arduino

作のモーション作成を実施していた。これは、2 足歩行動作に興味を持たせる教材として優れていたが、モーション作成のプログラム開発が中心となり、コンピュータを用いた入出力回路の実際を学ぶことはできなかった。

この実践での反省を踏まえて、コンピュータを用いてロボットを制御するためには、各種のスイッチやセンサを用いた入力回路、電気モータや空気圧シリンダなどのアクチュエータを用いた出力回路をプログラムで制御することを教えたいという思いを強く持つようになった。

また、センサの活用などの場面で、電気信号をアナログ的に変化させる電気信号を扱う必要も生じた。そこで、2008 年度からアナログ入出力ボードを用いて VisualC# のプログラムによる制御を実施することにした。生徒たちは一年次に C 言語のプログラミングを学んでいるため、PID 制御の基礎に関する内容を指導できるかと考えていたが、C 言語のプログラムに組み込む制御関数や、微分・積分などの数学が二年次の生徒には難しかったこともあり、入出力ボードを用いた実習は、比例制御 (P 制御) の指導に留まった。

そのため、2010 年度からは、近年使いやすいとして注目されている Arduino を用いたマイコン制御を用いた制御実習に取り組むことにした。このマイコンは、デジタル入出力のほか、アナログ入出力や PWM など扱うことができる。電気回路の作成にはブレッドボードを活用し、プログラミングにより制御を行う。押しボタンスイッチによって LED を点灯させる回路例を Fig. 3 に示す。

入力装置としては、各種スイッチのほか、光センサ、温度センサ、曲げセンサ、振動センサ、接触センサなどの各種センサ、ま

た、出力装置としては、単色 LED や 7 セグメント LED、液晶ディスプレイ (LCD)、ロボット製作に不可欠なモータに関しては、モータドライバ IC を用いた DC モータの制御、PWM だけでなくシリアル通信を用いた RC サーボモータの制御を行った。また、XBee を用いた無線通信にも取り組んだ。

一年次の C 言語のプログラミングで苦労した生徒も、これらの制御実習を通して、自ら作成した電気回路とプログラムで、センサからの入力 of 強弱に応じて LED の明るさが変化するアナログ入出力ができるようになると、これらがロボットの制御に役立つことも理解でき、制御のおもしろさを実感できるようになる。また、ここで共通のマイコンボードを学ぶことで、三年次の課題研究においても、そこからそれぞれ異なるマイコンボードを覚えるのではなく、積極的に Arduino を活用しようとする姿も見られるようになった。

なお、制御実習の評価は、授業終了後一週間以内に提出するレポートで行う。授業時間内に行ったプログラムや電気回路などをきちんとまとめ、より発展的な課題に取り組んだレポートには高い評価を与えている。

②科学技術

「科学技術」は、40 人の生徒を 20 人ずつ二つのグループに分けて実施しており、そのうち一グループでロボットコンテストの実施を含めたロボット教育に関する内容を扱う。ここでは、その授業内容を述べる。

(1) LEGO を活用した機械要素の学習

一学期には、ロボット製作に必ず用いられる機械要素について、ねじ、歯車、ベルト、チェーン、軸、軸受、軸継手などを扱う。ここでは各種の機械要素の種類やはたらき、規格の重要性などについて、実物を紹介しながら解説する。これらの機械要素を適切に選定することを学ぶことで、ロボットを製作する際にどの機械要素を購入し、どの機械部品を加工するのかの区別ができるようになる。また、リンク機構とカム機構については、自ら設計するという視点で、てこクランクや往復スライダクランクなどの機構設計を行う。

なお、機構設計は単なる幾何学の理論に終始することなく、LEGO の歯車やリンク棒を組み合わせて機構を設計製作し、MINDSTORMS のコンピュータである RCX を用いてモータを回転させることにより、その機構を動かすことを試みている。LEGO を用いて二軸が一直線上になくても回転を伝えることができるオルダム継手を Fig. 4 に示す。

生徒たちは実際に機構模型を設計製作することにより、機械には動く部分とそれを支える部分があることに気づき、リンク棒の干渉や軸受の重要性などを実感できる。LEGO は部品の接合が容易であるため設計変更が容易にできる有用な教材である。しかし、金属を用いた機械部品の組立では、部品間のずれやはめ合いなども検討しなければならない。そのため、授業の中では前年度のロボットコンテストで用いたロボットを分解させることも試みている。先輩が製作したロボットを分解することで、どのようにしてロボットを組み立てたのかを理解できるとともに、部品のリサイクルにもなる。なお、分解の際に数多く出てくるねじは LEGO では登場しないが、締結には欠かせない機械要素であるため、分解後に集められたねじを分類することで、

Fig. 4 Oldam shaft coupling using LEGO

Fig. 5 Robot contest

その形状の違いや使い分けなどを解説している。

(2) ロボットコンテストの取り組み

一学期に学んだ内容を踏まえて、二学期はロボットコンテストのロボット製作に取り組む。本校でのロボットコンテストは、1995 年から開始しており、2011 年までに全 17 回実施している。競技内容は毎年変更しており、競技内容は初心者向けに、ボールを運んだり、ボックスを積み上げたりするなど、シンプルなものである。ロボットは二人一組で製作し、電気モータを正転・逆転できる 4 チャンネルの有線リモコンで操縦する。競技時間は 3 セット制、競技時間は 2 分または 3 分である。また、大きさの制限は競技開始時に縦横高さ 40 [cm] の立方体に収まっていることなど、その都度決めている。ボールを取り込む競技のロボットコンテストの様子を Fig. 5 に示す。

競技内容を発表して、二人一組のチームが決定したら、生徒たちはまず最初に設計図を作成する。この時点ではまだ機械製図を十分に習得していないため、設計図は大まかなスケッチでアイデアを確認する程度であるが、このときメカニズムに関する箇所は詳しく説明を受け、この段階で実現困難と思われる場合には、設計変更を促す。実現可能と思われる図面が完成したグループからロボットの製作に取りかかる。材料にはアルミ板やプラスチック段ボール、またギヤボックスやタイヤなどを用意しておく。主な金属加工はボール盤による穴あけ、板金のせん断や曲げなどである。十数時間の授業だけでは時間が不足するため、12 月中旬に実施する決勝戦の前には居残り作業が続くことも多い。

決勝戦は体育館や大講義室を使用して、学内の一大行事として全チームが参加するトーナメント方式で実施する。優勝するためには 4~5 試合を勝ち抜く必要があるため、ロボットには耐久性も要求される。優勝チームなど活躍したチームには全校

生徒の前で表彰を行い、生徒たちの記憶に残る行事となるように心がけている。決勝戦の参観は学外にも呼びかけており、他校の教員やロボット研究者などの参観も多い。

生徒たちにとっては初めてのロボット製作は、最初の設計図面通りに進まないことが多い。また、製図学習も二学期までに他授業で進めているため、三学期は決勝戦を終えたロボットを確認しながら、第三角法による組立図の製図を行う。生徒たちは、設計変更を行った箇所や、後から部品を継ぎ接ぎして何とか完成させた箇所など、自分が製作したロボットを振り返りつつ、図面をまとめる。また、改善案などを検討することも同時に行う。

3.3 三年次の「課題研究」におけるロボット研究

①「課題研究」とは

三年次の専門科目には「課題研究」(4単位)「機械設計」(2単位)と「機械工作」(2単位)があり、選択科目を選択することで、さらに多くの内容を履修することができる。三年次の中心となる科目は、3～5人程度のグループで研究に取り組む「課題研究」(4単位)であり、四名の指導教員が1人あたり約3グループを指導する[5]～[7]。

「課題研究」は二年次末にテーマの希望調査を行い、三年次の4月から授業開始、6月の中間発表、9月末の分野発表会、10月の文化祭展示、11月の研究論文提出という流れで進められる。前年度からの継続的なテーマには比較的取り組みやすいが、新規のテーマは安全面や予算面なども配慮しながら、到達目標を明確にした上で開始する。その内容は自動車や航空機に関するものもあり幅広く機械工学に関する内容であるが、近年はテーマの約八割がロボット研究に分類される。

②これまでに取り組んだ主なロボット研究

これまでに筆者が担当してきた主なロボット研究をいくつかのテーマに分類し、以下にその概要を述べる。なお、「課題研究」は2005年の改組前から実施しており、研究の継続性を示すため、ここでは、2000年頃に取り組んだ内容も一部含まれる。

(1) 自動演奏ロボット

PLCを用いたシーケンス制御で作動する自動演奏ロボットとしてこれまでに鍵盤ハーモニカリコーダー、ギター、トランペットなどに取り組んできたこれらは空気圧シリンダやソレノイドを用いて人間の指の動作を再現した。2010年に取り組んだクラリネット自動演奏ロボットをFig. 6に示す。このロボットは、PLCを用いて空気圧シリンダを順番に作動させるとともに、クラリネットに息を吹き込む吹鳴機も自作し、空気圧制御による自動演奏を可能とした。

(2) 魚ロボット

魚ロボットをはじめとする一連の水中ロボットに関する研究にも、継続的に取り組んでいる。2002年に取り組んだ、ひれで直進と左右に泳ぐことができる魚ロボットをFig. 7に示す。この後には、カメやアメンボの形をしたロボットやヒューマノイドロボットの平泳ぎなどにも挑戦した。ロボットの遊泳は、いずれもRCサーボモータの無線操縦により実施している。水中ロボットの難しさは、浮力の計算と防水技術である。完全な防水はなかなか難しいが、部品ごとのパッケージングや接着材の有効活用などで、どのロボットも一定の遊泳に成功した。

Fig. 6 Automatic performance robot of clarinet

Fig. 7 Fish robot

Fig. 8 Automatic hamburger maker

2007年には'07水中ロボットコンベンション in 辰巳にて「泳ぐヒューマノイドロボット」が学生部門の最優秀作品として表彰された。近年は水中ロボットコンベンション[8]が定期的に開催されており、現在も継続的に取り組んでいる。

(3) 食品製造ロボット

食品製造ロボットの研究にも継続的に取り組んでおり[9]、これまでに自動紅茶製造ロボットや自動目玉焼き製造ロボットをはじめ、餃子やみそ汁、ハンバーガーなどを製造するロボットなどを製作した。これらに共通する技術は、二年次の実習で学んだPLCを用いたシーケンス制御により、電気モータや空気圧シリンダを順番に作動させることである。食品製造ロボットを研究する中で、毎年、東京ビッグサイトで開催される国際食品工業展(FOOMA JAPAN)を知り、ここで様々な食品機械の実際を見学した。その後、2007年にはこの展示会のアカデミックプラザにおいて、Fig. 8に示す自動ハンバーガー製造ロボットの展示、発表を行った。

Fig. 9 Two-legs robot

Fig. 10 Arm model using pneumatic rubber muscles

(4) ヒューマノイドロボット

各関節に RC サーボモータを配置して、プログラムで作動させるヒューマノイドロボットの研究は、単なる 2 足歩行ロボットから発展し、腕部で荷物を持ち上げたり、2 足歩行と 4 輪走行の変形を行うものなども開発してきた。2007 年に開発した 2 足歩行ロボットを Fig. 9 に示す。その後、2008 年には、Fig. 10 に示すような空気圧ゴム人工筋を用いた軽量で柔軟性をもつロボットの開発へと展開した。最初に上腕部モデル、次に脚部モデルと肩部モデルを開発し、その後は人体装着型のパワーアシストロボットへの発展した [10]。この研究には東京工業大学の研究室から、様々な支援を受けて取り組んだ。

4. ロボット教育のカリキュラム開発

4.1 教員の指針

ロボット教育のカリキュラム開発において、試行錯誤を重ねる中で得られたいくつかの知見をまとめる。

①技術の基礎は、全員共通に学ぶべき内容として押さえる

機械要素の学習では、ねじや歯車の実物を見せ、JIS 規格や強度設計の基本を説明し、実際に選定できる力を身に付けさせる。また、機構の学習では幾何学を理解させた上で、LEGO などを活用して実際に動くものを作ることができるようにする。マイコン制御のプログラムでは入出力の基本を押さえて、基本的なスイッチやセンサ、LED や各種アクチュエータを制御できるようにする。特に DC モータと RC サーボモータの正転・逆転回路まではきちんと押さえる。

②基礎が習得できた生徒には、より発展的な課題を用意する

金属加工の授業でもプログラムの授業でも、学びの進度には個人差がある。そのため、基礎的な事項を習得できた生徒にはより発展的な課題を用意しておき、積極的に取り組んでもらう。ただし、実習系の学びにおいては、生徒が単独で取り組むのではなく、できるだけ生徒同士で教え合いながら協同で学ぶ場面を設けることを心がけている。

③加工法を見据えた材料選定ができるようにする

ロボットコンテストには時間の制限があるため、すべての部品を金属加工することができない。そのため、構造部分については金属加工を推奨するが、外装部分などそれほど強度が求められない箇所にはアクリル板やプラスチックダンボールなどの活用を推奨する。なお、金属加工に関しては、ボール盤による穴あけ加工、足踏みせん断機を用いた板材のせん断加工や油圧プレス機を用いた板材の曲げ加工などを主な加工法とした。

一方、課題研究での部品加工は時間的な余裕があるため、旋盤やレーザー加工機などを用いて、より精密な加工に取り組むことができる。いずれの場合にも、使用できる工具や工作機械の中で、加工の難易度を把握した上で、加工法を見据えた材料選定が重要となる。

④創意工夫力は基礎力の組み合わせである

ロボットコンテストの場面における課題解決学習において、答えが一つに定まることはなく、「ボールを運ぶ」という課題に対してもその方法は数多くある。このとき、基礎を曖昧に学んでいる生徒ほど、アイデア勝負だと言って突発的なことを申し出てくることがある。教育的には失敗を経験させるということも大事なこともかもしれないが、頭の中で考えを整理させることで改善の余地を学ばせることも重要である。そのため、生徒がはじめて取り組むことに関しては、特に金属加工の場合には教員と生徒が対話をする場面を設けて、お互いに作業内容を把握した上で取り組むことを心がけている。イメージだけで実現可能なメカニズムかが分からないような場合には、LEGO や厚紙などで模型を製作して動きを確認させることもある。

プログラムの学習に関しては、大部分の基礎的なプログラムはインターネットで調べることができるため、何も見ないで長時間考えるよりも、似ているプログラムを見つけて改良するほうが効率的でもある。いずれの場面でも、創意工夫力は基礎力の組み合わせから生まれることを意識させたい。

⑤確実に動くものを作り、まとめあげる総合力を身につける

機械加工では部品の寸法が 1 ミリずれるだけで動かない、プログラムも一箇所間違えただけで動かないことがよくある。人間はミスをするものだということを前提として、注意深く取り組み、もし動作に不具合が発生したときには、何がおかしいのかを早期に発見して、できるだけ早く改良できることが重要である。高校生の段階で、各部分の働きをすべて把握して自動車や飛行機を作ることは難しい。一方、ロボットならば、機械系・電気系・情報系の知識や技術を総動員して取り組むことで、各部分の働きを把握しながら、それらを総合的にまとめあげる能力を身につけることができる。このことは教育的な意義としても高いと言える。

4.2 生徒の反応

次にロボット教育のカリキュラム開発を行った授業実践の中

で、生徒たちに見られるようになった反応をまとめる。

①ロボット開発を見据えて、真摯に学ぶ姿勢が身につく

どんな学習にも言えることであるが、目的が不明確に取り組む基礎的な学習に対して、意欲的に取り組むことはなかなか難しい。本カリキュラム開発では、将来のロボット開発に役立てるために学ぶということを明確にしたことにより、鉄工やすりを用いたやすりがけにも C 言語のプログラムにも、積極的に取り組む姿勢が見られるようになった。また、このことは数学や物理などの普通科目への学習意欲を高めることにもつながっている。なお、教育実践の各場面において、実際にロボット研究をしたことのある教員の苦労話なども効果的なようである。

②機械工学を柱としながら、電気や制御を学ぶ姿勢が身につく

本校のシステムデザイン・ロボット分野は機械科を母体としているため、これまで作業着を着用して工作機械を操作するというイメージが強かった。今回のカリキュラム開発により、従来からの機械系の内容に加えて、電気回路やマイコン制御などにもより積極的に取り組む姿勢が見られるようになった。「課題研究」においては、ロボット研究に必要な事項であれば、無線通信の方法やロータリーエンコーダの使用法など、学問横断的に取り組んでいる。これは、ロボット工学が総合的な学問体系であることを再確認することにもなった。一方で、どうしても機械加工が好きな生徒、マイコン制御が好きな生徒は出てくるので、特にグループで取り組むときには、ある程度の分担は認めているが、各人の作業内容はきちんと把握しておくという指示を出すようにしている。

③グループによる課題解決力とプレゼンテーション力の向上

ロボット教育において、特に課題解決型の学習の場面では、複数のグループで取り組むことが多い。グループの人数は、ロボットコンテストは 2 人 1 組、「課題研究」は 1 グループが 3 名～5 名など、その都度、最適な人数を模索しながら取り組んでいる。話し合いの場面を用意することで、自分の意見を押し通すだけでなく、他人のアイデアに感心して自分のアイデアを取り下げるなど、協同の姿勢が芽生える。このことは、グループごとにプレゼンテーションをする場面において、さらに深めることができる。

4.3 卒業生の進路

新たなロボット教育のカリキュラムで学んだ卒業生の進路は、その教育成果の一つの指標になると考えられるが、現段階ではまだ卒業生の人数が少ないため、ここでは傾向の紹介に留める。なお、本校のシステムデザイン・ロボット分野は各学年 1 クラス、40 名であり、平成 19 年度と平成 20 年度の卒業生のうち理工系大学進学者はそれぞれ 34 名 (85%)、32 名 (80%) であった。なお、理工系大学進学者の多くが進学した学科は機械工学科であるが、ロボットを学びたいという意識を明確に持ち、学科名にロボットが付く大学への進学者が毎年 2～3 名いる。また、中学校技術科や工業高校の教員になってロボット教育に取り組みたいとして国立大学教育学部技術科への進学者も毎年 1～2 名おり、これも理工系進学者に含めている。

5. ま と め

本報告では、従来の工業高校機械科における指導内容である

機械技術を中心として、電気技術や情報技術を加えたロボット教育のカリキュラム開発を行うことを目的として取り組み、主に二年次の科目である制御に関する「実習」と「科学技術」、三年次の「課題研究」について教育実践をまとめるとともに、そこから得られた教員の指針、生徒の反応、卒業生の進路などもまとめた。

教育実践を進めていく様々な場面では、生徒たちが積極的に取り組み、ロボットコンテストや「課題研究」の場面では仲間と相談しながら課題解決力を身に付けている様子を伺うことができる。また、近年は対外的なコンテストや国際交流の場面で積極的に自らがかわったロボット研究をアピールする生徒も増えている。そして、毎年 80%以上の卒業生が理工系大学に進学し、そのなかにはロボット研究をするという強い気持ちをもっている生徒も多い。将来的には、本カリキュラム開発の教育成果の指標の一つとして、卒業生の就職状況などの追跡調査なども行っていきたいと考えている。

本来ならば機械工学の教育を受けた者は機械系のエンジニア、電気工学の教育を受けた者は電気系のエンジニアということになるはずであるが、ロボット工学の教育を受けた者をロボット系のエンジニアと呼ぶことは実際には難しい。これは、ロボット工学を学んだ者の職業が明確でないことがあげられる。今後、ロボット工学がますます発展し、ロボット市場がより大きくなることで、ロボット系のエンジニアの姿というものが明確になってくると予想される。それに対応したロボット教育を今後も検討し続けて行きたい。

参 考 文 献

- [1] 文部科学省、高等学校学習指導要領解説（工業）、2010。
- [2] JST-科学技術振興機構、スーパーサイエンスハイスクール実施要項、<https://ssh.jst.go.jp/>
- [3] 門田和雄：“科学技術高校における PLC を活用したシーケンス制御の指導法”，日本機械学会 2008 年年次大会講演要旨集，pp.45-46，2008。
- [4] 門田和雄：“工業高校における空気圧システムの授業実践”，日本機械学会関東支部第 9 期総会講演会講演要旨集，pp.111-112，2003。
- [5] 門田和雄：“制御とメカニズムを学ぶ工業高校におけるロボット研究”，日本機械学会関東支部第 6 期総会講演会講演要旨集，pp.132-134，2000。
- [6] 門田和雄：“科学技術高校の「課題研究」におけるロボット開発”，日本産業教育学会関東支部大会，pp.20-21，2007。
- [7] 門田和雄：“科学技術高校におけるロボット工学の指導法について”，第 27 回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集 DVD-ROM，1D17，2009。
- [8] 水中ロボット推進会議，<http://aquarobo.com/>
- [9] 門田和雄：“工業高校における食品機械の授業実践”，日本機械学会関東支部第 10 期総会講演会講演要旨集講演要旨集，pp.179-180，2004。
- [10] 門田和雄：“科学技術高校における空気圧ゴム人工筋を用いたロボット開発”，第 25 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM，1B14，2007。

門田和雄 (Kazuo Kadota)

1993 年東京学芸大学大学院教育学研究科技術教育専攻修士課程修了。2010 年東京工業大学総合理工学研究科メカノマイクロ工学専攻博士課程修了。1993 年より、東京工業大学附属科学技術高等学校機械システム分野教諭、博士（工学）。

（日本ロボット学会正会員）