解説

子どものためのロボットキット「梵天丸」の開発と教育実践

Practical Education using Robot Kit 'BontenMaru' for Children

岩本正敏^{*1} 水谷好成^{*2} 鈴木南枝^{*3} 中村昇^{*4}

^{*1}東北学院大学 ^{*2}宮城教育大学 ^{*3}メカトロで遊ぶ会 ^{*4}NEC ネットイノベーション

Masatoshi Iwamoto^{*1}, Yoshinari Mizutani^{*2}, Namie Suzuki^{*3} and Noboru Nakamura^{*4}

^{*1}Tohoku Gakuin Univ. ^{*2}Miyagi Univ. Edu. ^{*3}Association of Mechatronics Education for Children ^{*4}NEC Net Innovation

1. はじめに

20世紀は、科学技術の発達により社会が大きく変わった世紀であった。特に後半世紀に起こった家電革命では生活環境が一変し、それに続く高度情報革命においてはあらゆるものがグローバル化の影響を受けた。我々は科学技術の発展に多くの期待を寄せると同時に、科学技術の発展に不安感を持つようになってきた。社会が科学技術の発展とともに歩み続け、健全な姿で発展していくためには大衆の科学技術理解が不可欠であり、それは世代を越え安定した形で引き継がれることが重要であると考えた。ところが、科学技術の発達した先進諸国においては、子ども達の理科離れ、ものづくり離れの傾向が見られ、子ども達の関心が科学技術から離れていく傾向がある。

我が国においても理科離れが社会問題となり、科学教育の環境整備が進められている。しかし、技術者を育成するための取り組みは必ずしも十分とは言えない。筆者らは工学的な技術教育の導入には子ども達が興味を示しているロボット技術を紹介することが有効であると考えた。そこで、1996年に教育用ロボット「梵天丸」を開発し、ワークショップやロボットコンテストを開催することで子ども達のロボット技術教育、技術リテラシー教育に取り組んできた。

2. 次世代の技術者をとりまく環境

2.1 技術者の卵をとりまく環境の変化

携帯電話の普及で、アマチュア無線に興味を示す子どもが減少したといわれている。携帯電話が普及し、日常的に利用している子ども達がアマチュア無線に関心を示すことは、彼らの生活環境からは考えにくい。ところが、現在活

躍している技術者の中にはアマチュア無線が入り口となり、そこから高度な技術を習得した技術者が多数いる。アマチュア無線技術者が手作り無線機で交信を楽しんだのと同じように、オーディオファンは手作りのアンプやスピーカーボックスを製作してきた。自動車やバイクは、若者の技術指向を強く刺激し続けた。技術者の卵達は多くの技術を機器や機械と接することから学び、創造的能力、問題解決能力、安全意識、チームワーク、そして技術を言語とした技術者コミュニティを形成してきた。そこには、生活の場や遊びの場から機械を介して技術を学ぶ環境があった。ところが、現在は工業製品のブラックボックス化が進み、機器を操作したり、分解したとしても、そこから仕組みを学ぶことはできない。ブラックボックス化により技術を覆い隠した機器が普及することで利用者と技術との距離は広がり、利用者が技術に興味を持つ機会が減少してきたと考える。

図1に示すように、現在の大学生以下の子ども達は家電革命後（1980年以降）に生まれており、誕生してからの生活環境はほとんど変化がないことが分かる。彼らが初めて使った調理器具は電子レンジであり、初めて使った電話が携帯電話といった状況にある。技術者の卵を取り巻く環境

図1 家電製品の普及率（内閣府経済社会総合研究所消費動向調査資料より）

原稿受付 2005年10月4日

キーワード: Technology Education, Educational Robot

^{*1}多賀城市中央 1-13-1

^{*2}仙台市青葉区荒巻字青葉 149

^{*3}多賀城市中央 1-13-1

^{*4}仙台市青葉区花京院 2-1-1

^{*1}Tagajo-shi, Miyagi

^{*2}Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi

^{*3}Tagajo-shi, Miyagi

^{*4}Aoba-ku, Sendai-shi, Miyagi

は、生活環境の変化で大きく変わってきた。科学技術に興味を示さない子ども達は理科離れ、ものづくり離れが進むであろうし、そのことは科学技術を理解する力を失うことにもつながる。

2.2 隠される技術

家電革命は生活環境を大きく変化させたが、高度情報革命・ユビキタス革命（携帯電話、インターネット）では地球規模でコミュニケーションやコミュニティのあり方まで変えてしまった。我々の生活に大きな影響を与えた二つの革命には、大きな違いがある。それは、家電革命は技術の変化を大衆に説明する形で進められてきたが、高度情報革命・ユビキタス革命では技術の変化が大衆に理解されないまま進められていることである。我々は技術が見えない、見えにくい環境を作ってしまった。このことが、大衆と技術との距離をさらに広げたと考える。今後の科学技術の発達で、この傾向はさらに強まると予想される。科学技術が正しく認識されないまま社会が発展していくと、科学技術への理解が低下するであろう。科学技術の発展が生活環境を改善し、利便性の高い社会を築いてきた科学技術の光の部分よりも、環境破壊・資源枯渇、情報漏えい・個人情報保護、テロ活動・戦争といった影の部分が科学技術と結びついてしまうことが危惧される。科学技術が見えにくくなるこれからの社会において、技術者の卵と科学技術との距離を接近させる環境を意識的に準備し整備することが健全な社会の発達のためには不可欠であると考えられる。

3. ロボットによる技術教育

ユビキタス化が進むことで技術は偏在し、利用者からはさらに見えにくくなる傾向がある。ポケットに入る小さな携帯電話で遠方の大型コンピュータを操作しているといったように、ネットワーク化された機器操作では、システム規模が理解されにくい。ところが、ロボットは一つの筐体にエネルギー技術、センサー技術、アクチュエータ・メカニズム技術、制御・知能技術が集積しており、それは一つの自立した機械として認識される。このことは人間の消化・循環器官、感覚器官、筋肉と骨格、脳との対応も取りやすい。人間と機械との対応が容易に行えることで、子ども達にはロボットは理解しやすい機械となる。ロボットを学ぶことから生物や環境について学びを深めることもできるし、生物や環境を学んでからロボット技術について学ぶこともできる。また、人とロボットとの共生社会に夢を馳せることができるし、子ども達とロボットがパートナーとして共に成長していったほしいとの大人の願いもある。これまでの技術の導入教育とは異なり、人間と機械の機能に対応させながら人間と機械のことについて学ぶといった新しい学習スタイルや、ロボット技術を生活の場で応用させながら学ぶといった学習スタイルに期待を寄せる。また、技術に

は安全性、信頼性、保全性が求められ、この考えは人と機械、機械と機械との関係だけではなく人と人との関係にも重要であり、グローバル化した現代社会において安全で安心できる生活を営むために大衆が技術リテラシーを身につけ、安全性、信頼性、保全性について学ぶべきではないだろうか。

4. メカトロで遊ぶ会

子ども達の技術リテラシー教育活動を行うために、知能ロボットコンテストの関係者、初等中等教育、高等教育、社会教育、まちづくりの関係者が集まり仙台市科学館で1996年に「メカトロで遊ぶ会」を発足した。名称に「遊ぶ」を入れたのは、参加した会員の多くが子ども時代に機械を分解したり組み立てたりする遊びの行動から技術へ興味を持つようになった経験を持っているのに対して、現在の子どもの遊びには技術的な要素が減少し偶発的な要素や心理的要素が増加していると感じていたからである。技術的な要素のある遊びの整備を行い、その環境から技術者を育てたいとの思いがあった。会が活動を始めた1996年はコンピュータゲームやカードゲームが子ども達の遊びとして定着し、インターネットが社会的に認知されWWW（World Wide Web）の普及が始まったところである。このころは情報通信技術の発達が社会にどのような影響を与えるのかについて、多くの議論が行われた時期でもあった。高度情報化社会の先にはロボットとの共生社会があると考えたことも、本会の発足につながっている。

本会の活動として小・中学生にロボット技術を紹介する教室と子ども達が製作したロボットによる小・中学生の競技会の開催を計画した。当時小学生でも扱える適当なロボットキットが存在しなかったため、会で教育用ロボットを開発することになった。メカトロで遊ぶ会の活動として「君だけのロボットを持とう」を合言葉に、小学生を対象とした教育用ロボットの開発とそのロボットを利用した教室を始めることにした。また、障害者、特に肢体不自由者がロボット技術への関心が高かったことから、障害者のためのロボット教室や応用製品の開発、また、まちづくり活動でのロボット技術の応用についての活動も行うことになった。

5. 教育用ロボットの開発

5.1 梵天丸の開発

子ども達がロボットの技術に関心を持つにはどのようにしたらよいのか、初等中等教育、社会教育の立場から様々な助言をいただいた。要望としては、子ども達が個人で購入できる価格であること、ロボット技術の基本が学べること、プログラム作成が容易に行えること、仲間と競技（ゲーム）ができること等があげられた。ロボットはできるだけ簡素にするために、センサーは一つの赤外線受光モジュール

図 2 教育用ロボット「梵天丸」

ルのみとし、駆動装置には、子ども達に馴染みのある田宮模型のツインギヤボックスを用いた。また、一つの光学センサーでどれだけのことができるのかを示すことで、子ども達に工夫する楽しみを伝えようとも考えた。一つの光学センサーで動くこのロボットは、病で片方の眼を失い、独眼で仙台を築いた伊達政宗の姿に重なるものを感じ、この教育用ロボットを伊達政宗の幼名である「梵天丸」と命名した(図 2)。歴史的な人物とロボットを重ね合わせたことで、子ども達に自分達の郷土の歴史・文化についても感心を持ってほしいとの願いもある。

ロボットを制御するコンピュータにはマイクロチップ社の PIC16F84 (現在は PIC16F628A) を使用し、ROM 書き込み装置も自作することになった。ロボットのプログラミングは小学生でも理解できるよう、ひらがなで記述することにした。また、子ども達がロボットの状態遷移を理解できるように工夫した。1997 年からは、仙台市科学館で始めた教室で実際に「梵天丸」を利用しながら改良を続けた。

「梵天丸」は、前方左右の赤外線発光ダイオードと前方中央の赤外線受光モジュールを使い、前方左、前方右、前方の障害物を検知することができる。また、テレビリモコンの信号を受信することもできる。さらに、4 ビットの入出力ポートを使い外部装置の制御が行える。この入出力ポートは RC サーボモータの制御にも利用できる。「梵天丸」には初期状態として、障害物を避けながら走行する「避けるの術」、モータを振動させることで音楽を演奏する「オルゴールの術」、前方を移動するものを追従する「カルガモの術」が入っており、キットを組み立てればプログラミングを行わなくてもすぐに遊べるようになっている。

5.2 制御プログラム言語「まきもの」

「梵天丸」の制御プログラムとして「まきもの」言語を開発した。「まきもの」は子ども達の大好きな忍者が口に銜える巻物からヒントを得て付けた。ロボットの「梵天丸」が巻物に書いてある術に従って動くことになる。

「まきもの」は「じゅつ(術)」と「だん(段)」から構成される。プログラムの一つの単位が「じゅつ」に相当し、

ロボットの一つ一つの動きを「だん」で表現している。「まきもの」の簡単な例を次に示す。

：はじめのだん	— (a)
みぎよれ	— (b)
みぎだ：ひだりへよけるのだん	— (c)
：ひだりへよけるのだん	— (d)
ひだりよれ	— (e)
！みぎだ：はじめのだん	— (f)

「だん」はロボットの一つの動作状態を記述したものと考えることができる。「だん」には段名をつけ、必ず“：”で始まる。この例では“：はじめのだん”(a)や“：ひだりへよけるのだん”(d)が段名になる。「だん」の中には、行動と回避条件を記述する。行動ではロボットの動き、例えば前進、後進、回転などを記述する。回避条件では、障害物を感知した場合や指定した時間が経過した場合、どの状態に遷移するか、つまりどの段に移るかを記述する。この例では“みぎよれ”(b)が行動を、“みぎだ：ひだりへよけるのだん”(c)が回避条件になる。この回避条件では右に障害物があれば、“ひだりへよけるのだん”(d)に遷移することを意味している。また、条件の先頭につけられた“！”は条件の否定を意味している。“！みぎだ：はじめのだん”(f)は、右に障害物を検知しなくなったら“：はじめのだん”(a)に遷移することを意味している。このプログラム例では、ロボットは右手法で壁にそって走ることになる。

6. ロボット教室と競技会

6.1 教育メニューの開発とロボット工作教室

仙台市科学館を中心にロボット工作教室を約 250 回開催してきた(図 3)。対象は、小学校 4 年生以上とした 1 日のコースで約 12 名の参加者で行われる。午前中は、各種部品、工具の説明、「梵天丸」の組み立て、ロボット技術に関する実験と説明を行い、午後から「まきもの」によるロボットのプログラミングと簡単なゲームを指導している。子ども達はこの教室を楽しみにしており、電話での事前申し込みは数分で終了してしまう。教室に参加する子ども達と接していると、科学に興味を持ち大変物知りであると感じ、理科離れと言われるのが嘘のようである。しかし、いざ工作となると工具の使い方、安全意識、図の読み方など、工作の経験が少ないようであり、スタッフは基本的なドライバーやニッパの安全な使い方の指導から始め、ロボットを組み立てていく楽しさを伝えるよう配慮している。子ども達が製作した「梵天丸」が完成し電源を入れ動き出したとき、子ども達の眼が輝く瞬間がある。その様子は何度体験してもスタッフにとって嬉しい一時である。

午後からは「まきもの」の学習になる。例題を説明をし

図3 ロボット工作教室（仙台市科学館）

図4 ロボコン Jr. パフォーマンス部門

た後、簡単なゲームを行う。子ども達は「梵天丸」がプログラムを入れ替えると動きが変わることに感動し、次々と新しいプログラムを試してみたい。1日の教室では自分でプログラムをはじめから作ることは難しく、例題の数値を変更することで動きを調整するだけとしている。それでも、自分が決めた数値でロボットが期待したように動作すると満面の笑みで応えてくれる

6.2 小・中学生を対象にしたロボコン Jr.

6月末に仙台市科学館を会場として「知能ロボットコンテスト」と「ロボコン Jr.」が開催される。仙台市科学館が賑やかになる日の一つである。2005年のロボコン Jr.では、梵天丸を使った「ジャストストップ」、「ダンプリターン」、「パフォーマンス」の三つの競技が行われた。ジャストストップでは位置と時間の正確さを競い、ダンプリターンでは小さなボールをゴールまで運ぶ。パフォーマンス部門では、自由な発想でロボットを使った表現活動を行う（図4）。競技ルールは教育メニューの開発に合わせて、その都度変更してきた。

7. 学校でのロボット活用

社会教育施設では日数を重ね、継続的、段階的な教育を行うことが難しく、学校現場での取り組みが不可欠と考える。仙台市教育センターなどと協力し、人とロボットの共生社会への準備としてロボットを活用した学校教育での実

践研究を宮城県・仙台市内の複数の小・中学校で継続的にやってきた。

ここでは、2004年度に仙台市立東四郎丸小学校で行った授業の事例を紹介する。5年生を対象に、総合的な学習の時間における国際理解の単元で「梵天丸」を活用した。ものづくりの視点により日本の文化や伝統、産業について学び、各自の思いをロボットで表現する。初めに、からくり人形のお茶運び人形を例にあげ、この人形が作られた背景には、来客を心からもてなし、家の主人と来客が共にこの人形を使って楽しみ、来客と心のふれあいを持とうとしたと考えられることを示した。からくり人形は現代ではロボットに例えることができ、日本で開発された AIBO や ASIMO はエンターテインメント性が強く、人と人を結びつけ楽しませる要素を持っていることに子ども達は気がついた。相手をもてなす行為は、茶道、俳句、短歌にも見られ、日本の素晴らしい伝統とロボットが結びついた。

授業実施以前の児童観として、子ども達は自分の意見を発表することはできるが、自分の意見と異なった場合、お互いに自分の意見を譲らない傾向が見られた。これは、お互いの良い点を見出し、自分の考えを修正し、お互いに高めあう経験が少なかったからであると考えた。そこで、共通の課題を設け、チームで取り組む活動を行うことにした。課題はロボットで「客のもてなし」、「祭りの出店」を表現する活動を行うことにした。子ども達は、同じようなアイデアをもつ友達とチームを組んでグループ活動として取り組んだ。各自の意見の違いを調整しながら、子ども達は自分のアイデアから自分達のアイデアに変化させていった。次に、自分達のアイデアを実現化するための図画工作の活動に移る。活動を通して、子ども達はお互いの話に耳を傾けるようになった。問題解決のためにチーム内で相談し、さらに、教師に進んで質問するようにもなってきた。チームとして課題解決に向けて、積極的に行動する姿を目にする場面が増えた。発表会はポスターセッション方式を取り入れ、「ロボフェスタ in 東四」と呼び、お祭りと位置付け、保護者も招待し開催した。子ども達は前半、後半の2回に分かれ、発表者、見学者それぞれの立場を経験した。作品の良かった点は掲示板に貼り付けられ、見学者はその掲示板を参考にしながら作品鑑賞を楽しむことができた。中には上手に発表できない児童もいたが、まわりから励ましの声が掛けられ勇気づけられていた。また、発表を聞く側も真剣に耳を傾ける姿が印象的であった。小学校での実践では「チームワークの大切さ」、「表現することの喜び」への指導が重要だと考えている。

8. ま と め

ロボット工作教室を長年続けていると様々なドラマに出会う。教室が終了し1時間経ったころ、女の子が泣きな

がら科学館に戻ってきた。地下鉄のドアに「梵天丸」を挟んでしまい「梵天丸」が壊れてしまったとのことである。修理し手渡すと、何度も礼を言いながら太陽のような笑顔で帰っていった。自分で作ったロボットには特別な思いが入るのであろう。また、ある教室では、兄についてきた小2の児童が涙を流しながら筆者に訴えてきた。「この教室は小2では参加できないのですか。僕もロボットを作りたい。先生の言うことをまもって一所懸命やるから作らせて」とのことだった。子ども達は科学技術、ものづくりが大好きだと思う。残念ながら彼らの科学技術への欲求を満たす環境が現在の社会には不足しているので、このままではしだいに科学技術から興味を失っていくだけではないだろうか。

社会教育施設と学校と実践を継続的に行っていると、社会教育施設と学校教育の役割の違いが見えてくる。ロボット技術の理解を大衆化していくためには、学校と連携した継続的な教育活動の実現が重要になると感じている。

情報教育の三つの柱として文部科学省は「情報活用能力」、「情報の科学的な理解」、「情報社会に参画する態度」をあげている。情報通信社会への対応として情報教育が学校に導入されたように、ロボット技術教育も学校教育への導入を検討すべき時期を迎えたのではないだろうか。ロボット技術教育を情報教育の三つの柱に対応させると、「技術（安全性・信頼性・保天性）の利用と技術倫理」、「人間とロボットの科学的な理解」、「人とロボットとの共生社会の創造」になるのではないだろうか。これから迎える新しい社会への準備として子ども達がロボット技術を身近に感じる活動を今後も続けていきたい。

謝 辞 教育実践にご協力いただいている仙台市科学館、仙台市教育センター、宮城県・仙台市内の各小中学校、ならびに、本会の実践活動にご助成いただいた、つくば科学万博記念財団、双葉電子記念財団に心から感謝致します。

参 考 文 献

- [1] 岩本正敏：“メカトロで遊ぶ会（ロボコンジュニア）”，日本機械学会誌，vol.103，no.977，pp.76-77，2000.
- [2] 日下孝，岩本正敏：“社会教育施設におけるコンピュータ・ロボット教室”，ROBOMECH'98，1BIII4-4，1998.
- [3] 中里俊晴，池原満雄，小林巖，白鳥さち子，島貫直子，岩本正敏：“障害者を対象としたメカトロニクス教育”，ROBOMECH'98，1BIII4-5，1998.
- [4] I. Kobayashi, T. Nakazato, S. Shiratori and M. Iwamoto: “Mechatronics Education for People with Physical Impairments,” The 6th International Conference on Computers Helping People with Special Needs, pp.229-230, 1998.
- [5] 岩本正敏，水谷好成，中村昇：“子供用ロボット教材の開発”，ROBOMECH'98，1BIII4-3，1998.
- [6] 岩本正敏：“情報教育と物理教育への提言”，物理教育，vol.46，no.6，pp.363-365，1999.
- [7] 水谷好成，岩本正敏：“小学校の総合的な学習におけるロボット教材「梵天丸」の活用”，産技教大全，C-2-22，p.97，2001.
- [8] 岩本正敏，水谷好成：“ロボット教材を用いた情報教育”，信学技報，ET2001-39，pp.31-38，2001.
- [9] 水谷好成，岩本正敏：“教育用ロボット梵天丸を用いた小・中学校の合同授業”，ROBOMECH'2002，1P1-K10，2002.
- [10] 水谷好成，岩本正敏：“教育用ロボット梵天丸を用いた創造性の教育”，応用物理教育，vol.27，no.1，pp.79-83，2003.
- [11] 岩本正敏，水谷好成：“コンピュータ制御ロボットを用いた電子制御技術教育の導入学習の効果”，信学技報，ET2003-25，pp.35-40，2003.
- [12] 水谷好成，岩本正敏：“梵天丸を利用したお茶運びロボットの製作と教育への適用”，信学技報，ET2005-25，pp.41-44，2005.
- [13] 情報教育研究推進委員会：“確かな学力と豊かな心をはぐくむ情報教育”，仙台市教育センター教育研究紀要，2005.

岩本正敏 (Masatoshi Iwamoto)

1979年東北学院大学大学院工学研究科修士前期課程修了。1989年東北学院大学工学部助教授，現在に至る。仙台市科学館友の会会長。メカトロで遊ぶ会会長。1993年情報教育方法優秀賞（私情協）。2002年日本機械学会教育賞。コンピュータネットワーク，情報教育，パート

ナーロボットに関する研究に従事。情報処理学会，日本機械学会会員。

鈴木南枝 (Namie Suzuki)

1981年東北学院大学工学部応用物理学卒業，1981～1991年東北大学工学部機械工学第二学科助手，知能ロボットコンテスト初代実行委員長。現在は，フリーランスの立場で，科学館特別展示企画・パンフレット作成などを行いながら，メカトロで遊ぶ会，建築と子供たちネットワーク仙台等，教育に関するボランティア活動に参加。メカトロで遊ぶ会事務局。（日本ロボット学会正会員）

水谷好成 (Yoshinari Mizutani)

1981年静岡大学工学部電気工学科卒業，1987年北海道大学大学院工学研究科生体工学専攻博士後期課程修了（工学博士），1986～1988年日本学術振興会特別研究員，1988年東北大学工学部情報工学科助手，1993年東北大学大学院情報科学研究科助手，1994年宮城教育大学教育学部（技術教育）助教授，現在に至る。筋萎縮症児のコミュニケーション補助システムの開発，メカトロで遊ぶ会の活動を通じた小・中学校における情報関連教育の実践研究に従事。日本生体医工学会，電子情報通信学会，日本産業技術教育学会などの会員。

中村昇 (Noboru Nakamura)

1978年東北工業大学工学部電子工学科卒業。1980年NEC宮城（現：NEC通信システム）入社。1993年からNEC宮城ビジネス（現：NECネットイノベーション）に在籍。コンピュータ・ネットワークシステムの提案・営業に従事。メカトロで遊ぶ会で製造・販売担当。