

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：53401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700879

研究課題名(和文) 高専における組み込みシステム開発者教育手法の研究

研究課題名(英文) Study of Education Method for Embedded System Developer in National College of Technology

研究代表者

西 仁司(Nishi, Hitoshi)

福井工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：70413771

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：高専における組み込みシステム開発者教育の一手法として、高度なインターフェースを搭載した二足歩行ロボットを用いる演習、実験科目を計画し、実施した。高専低学年に対しては、システム開発の基礎技術となるプログラミングを理解させる内容とした。高学年に対しては、画像処理など高度な情報処理技術を理解させる内容とした。これらの演習を受けた学生の意見をまとめると、プログラミングの結果がロボットの動作としてあらわれるため、学習の動機づけには効果があることが分かった。一方、組み込みシステム特有のデバグの難しさは、低学年に対しては学習を進める上での問題となることが分かった。

研究成果の概要(英文)：As an education method for embedded system developers, we have proposed exercises using biped robots which have various sophisticated interfaces and conducted in National College of Technology. The exercise for lower-grade students contained teaching of programming method which is one of basic technology for system development. For higher-grade students, we adopted exercises about advanced information processing technology such as image processing. As the summary of comments from students who took the exercises, we found that the exercises are effective in increase of students' motivation for learning because results of programming appear as the robot behavior. It was also found that the debug difficulty that is specific to embedded systems is a serious problem when lower-grade students learn.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：組み込みシステム

1. 研究開始当初の背景

(1) 家電製品や携帯端末など使用目的が限定されていて、制御用 L S I が搭載されている組み込みシステムは、システム L S I の機能向上に伴ってますます広い分野の製品に適用されると考えられる。また今後は、個々の製品の差別化によって高い機能が要求される。よって、組み込みシステムの開発者には、制御するためのプログラミング能力だけでなく、制御対象となる機器の物理的、電気的性質を把握するとともに、システムに応じた高度な情報処理アルゴリズムに対する知識が求められる。

しかし、組み込みシステム開発者育成を目的にしたカリキュラムが多くの教育機関で充実しているとはいえない現状であり、高い技術力を備えた人材の育成が企業から期待されている。

情報系の学生に対する通常の教育では、プログラムされたものは忠実に画面上で再現され、組み込みシステム開発の際に必要な物理的、電気的な知識や、それを基にシステムを動かすための“あわせこみ”といった感覚を学生に体験させることは困難である。

(2) 研究者はこれまで、工業高等専門学校(以下高専)の高学年学生に対する組み込みシステムの設計、開発、制御に関する教育を行ってきた。これまで実施した四足歩行ロボットを利用した教育では、下記の3つの点が教育に対して有効であった。一つ目に、ロボットが物理的な制限が加えられたシステムである点である。学生はロボットの物理的な限界を考慮したプログラムを作成する必要があり、組み込みシステムの制御の困難性を体験させることができた。また、このような問題を解決するためにはリンク機構の運動学など機械系の知識が必要となり、組み込みシステムに見られる幅広い分野の把握を促すことができたと考える。二つ目に、プログラミング技術の習得そのものに対して、物理的な対象の制御プログラミングを行うことが有効である点である。受講者がプログラミング初心者である場合、出力対象を物理的なロボットとすることで、プログラムとその結果の関係を把握しやすい。三つ目に、歩行ロボットには人間とコミュニケーションするためのカメラやマイク、スピーカが内蔵されている点である。最近の高機能組み込みシステムには、前述したように高度な情報処理技術が導入されている。そこでこの技術の深い理解のために、歩行ロボットに内蔵されているこれら入出力装置を用いて演習・実験を実施することができた。組み込みシステムの理解を目指した教育に対して、教材としてのロボットの有効性が確認できたことから、これを発展させた教育手法の構築を着想するに至った。

2. 研究の目的

本研究では、実践的技術者を養成している高専において、組み込みシステム開発を行う人材育成のための教育方法の開発を目的とした。研究者はロボット制御に関する研究をこれまでに行っており、この実績を生かして組み込みシステムのひとつであるロボットを教材にした教育手法の開発を行った。物理的な動きを実現する二足歩行ロボットの利用により、学生の学習に対する動機を引き出すことが期待できる。また、適切な教育環境を整備することで、簡単な関節の制御動作から複雑な歩行動作まで、学生の知識レベルに応じた教育が可能となる。

また、研究会において結果を発表することを目指し、全国の高専でも実施可能な教育手法の開発を実施した。

3. 研究の方法

(1) まず高専で教育を行う上で有効なロボットを導入した。その際に以下の点に配慮し、機器選定を行った。一つ目に、高度な情報処理能力を持つロボットを複数台導入することである。音声情報処理や画像認識が容易になることで、組み込みシステムにおける複雑なアプリケーション開発に関する演習を高専の高学年を対象として実施できると考えたためである。二つ目に、高専の低学年学生でも容易に使用でき、なおかつ本格的なプログラミングも可能な開発環境が提供されていることである。組み込みシステムは制御対象のハードウェアが備わっているため、プログラムのアルゴリズムとシステムの挙動の関係を把握しやすい。これにより、組み込みシステム開発にも必須となるプログラミングの基礎教育を、プログラミング初心者である高専の低学年学生に実施する際に有効であると考えたためである。なお、対象となる学生がなるべく多くロボットに触れる機会を確保するため、複数台のロボットを導入する。

(2) 上記ロボットの導入とともに、学生に対する演習内容を検討した。本研究では、学生の知識レベルに応じた教育手法を提案することを目的としている。高専は5年一貫教育を行っており、1年生と5年生の知識レベルには大きな違いがある。そこで、電子情報系を専門とし、その導入段階にある低学年学生を対象とした演習と、専門の基礎知識が備わった高学年学生を対象とした演習の2つを検討した。

演習内容の検討にあたり、高学年学生は手続型プログラミング言語を使って一人で500行程度のソースコードが書けるものと想定した。また演習は6人程度のグループに対して、4回にわたって実施されるものとした。また、低学年学生はプログラミングの基礎を特定の言語で学習しているものと想定した。その演習は、10人程度のグループ

に対して15回にわたった内容であるとした。

これら演習内容の検討にあたっては、歩行ロボットを用いた教育に実績のある東京工芸大学工学部の鈴木秀和准教授にアドバイスをいただいた。

4. 研究成果

(1) ロボットの選定の結果、富士ソフト株式会社製のPALROという二足歩行ロボットを導入した。これは、一般的なパソコンでの開発環境が整備されており、C++言語を用いた開発のためのドキュメントも公開されているため、システム開発が容易に可能であったからである。また、歩行のためのアクチュエータ、カメラ、マイク、スピーカ、無線LAN等の多様なインターフェースとともに、高度な情報処理が可能なCPUが搭載されており、電子情報系を専門とする学生に対して発展的な組み込みシステムの演習が可能であると判断した。

(2) 次に、考案した演習内容を示す。高学年学生に対しては、表1に示す演習を構築した。発展的な組み込みシステムの実現を目指し、その目標を「物体の自動追尾」とした。このシステムには、カメラ画像の取得、対象物体の認識、カメラを追尾させるためのアクチュエータ制御、動作確認のためのネットワーク接続といった高度な情報処理技術が必要とされる。その中でアクチュエータの動作速度やカメラの感度といったハードウェアの特性を見極めながら、組み込みシステム開発について理解させることができると考えた。この演習を平成24年度後期に本科4年生6人に対して実施した。この時は、3台のロボットと6台のプログラム作成用のノートパソコンを用意し、2人で1台のロボットを使用させた。また、平成25年度後期に専攻科生産システム工学専攻1年生6人に対しても実施した。この際は、ロボット、パソコンともに一人に1台ずつ用意した。図1に平成24年度の演習中の様子を示す。

演習終了後に得られた11人の感想をまとめる。まず、最も多かったのは、ロボット制御に対する新鮮さについての感想であり、4人の学生が記述していた。また動きによる結果のわかりやすさを挙げた学生も2名おり、ロボットを教材として使用したことで、学生の動機づけに効果があったことが再認識できた。また、それまでに学んできた個別技術と本演習内容とのつながりを4名の学生が「よかった」と評価した。一方で内容が難しかったという学生は1名であり、総合的に判断すると、今回のテーマ設定が妥当なものであったと考える。また、3人の学生がハードウェアと連携したプログラミング作成の重要性を認識したと答えており、組み込みシステム開発に対する理解促進に一定の効果があったと考える。

一方で、教員から配布されたサンプルプログラムの一部を変更する形で演習が進められたことに対して、3名の学生が制御プログラムに対する理解が進まないと答えた。限られた時間の中でロボットを用いたシステムを構築するためには、既存のプログラムの利用が不可欠であるが、その利用方法や学生への提示方法については検討する必要がある。

表1 高学年学生に対する演習内容

第1回	開発環境の紹介 画像処理に関する演習
第2回	ネットワークに関する演習
第3回	アクチュエータ制御に関する演習
第4回	物体の自動追尾システムの構築



図1 演習中にボールの追尾を確認する高学年学生

(3) 低学年学生に対しては、表2に示す演習を構築した。組み込みシステムの基本的な制御の実現を目指し、その目標を「オリジナルシステムの開発」とした。ここでいうシステムとは、ライブラリとしてあらかじめ用意されている簡単な発話やポージング命令の利用によって何らかの機能を実現したものであり、ロボット単体で完結している。システムの開発を行う前にその開発に必要なプログラミング手法を教える。しかしそれだけでは、ハードウェアについての理解が深まらなないと考え、演習の最初でロボットの外観やセンサーの位置について確認させた。また、どのようにプログラムが実行されるのかを計算機の仕組みとともに説明した。この演習を平成25年度の1年生を対象に、前期8名、後期15名に対して実施した。演習の様子を図2に示す。前期は2人に1台ずつロボットとパソコンを割当てた。後期はロボットを3人に1台ずつ、パソコンを一人に1台ずつ割り当て、10回までの演習はグループで作業させた。後半のオリジナルシステム開発では、前期は2人で一つのシステムを、後期は3人が順番にロボットを使用できるようにして、3人に別々のシステムを開発させた。その結果、ロボットの出した質問に「はい・いいえ」で答えることで健康チェックができるシステムや、二足歩行によって物を運んでくれるシステムを開発していた。

終了後に得られた22名のアンケート結果から、本演習の効果を検証する。まず、5

段階で答える（5～1で5が肯定的）質問についての結果を示す。「ロボットとプログラムの関係について理解が深まったか」という質問は4.4ポイント、「C言語プログラミングに関する知識が深まったか」という質問は4.2ポイント、「プログラムを学習する際、ロボット制御プログラムを作ることはロボットを使わないプログラムの学習に比べて効果があると思うか」という質問は4.4ポイント、それぞれ平均ポイントを得た。プログラミング学習にロボットを使うことに対して肯定的にとらえた学生のうち15名が「実際に動きがわかる」という点をその理由に挙げ、評価した。また、「ロボットやプログラミングにより興味を持った」「もっと高度なことをしてみたい」といった今後の学習に対する興味関心の向上について述べた学生も7名おり、学習の基礎段階での導入が学習全体に対する動機づけに効果があることが確認できた。

一方で難しかった点を尋ねる質問には、13名の学生がプログラムのコンパイルエラーの解消法がわからず困ったという点を挙げた。ほとんどプログラミング経験のない学生にとっては、デバッグ作業そのものが困難であることを改めて認識した。また、不具合が発生したときにソフトウェアとハードウェア両方をチェックする必要があるためプログラムの学習には向かないという意見もあった。これらの問題については、デバッグの方法をあらかじめ学生に教えておいたり、指導者の数を増やしてサポートしやすい体制にしたりすることで、ある程度対処できると考える。

また、「プログラムとハードウェアの関係がよくわかったか」という5段階評価の質問は平均3.9ポイントでやや低くなった。このことから本演習内容では、制御プログラムと組み込みシステムのハードウェアとの関係にまで踏み込んで学生に理解させることは困難であったと判断する。

これら効果が不十分であったり、学生の演習遂行の障害になったりした要因は、プログラミングに対する学生の知識と経験が不足していることに起因すると考える。プログラミングの経験があればデバッグ作業に戸惑うことも少なくなり、余裕をもって演習する中でハードウェアとプログラミングの関係を意識づけられるものと考えられる。よって、低学年学生に対するロボット演習では、プログラミングの演習を十分実施したのちにロボットの制御に移行することが重要であると結論付ける。また、基礎段階での学生理解の進展には個人差があるため、学生一人一人にロボットを準備することでさらに効果的な学習を実現できると考える。

(4)以上の結果をまとめると、高学年学生に対する組み込みシステム理解に向けた適切な課題を、ロボット制御を通して設定でき

たとえる。低学年学生に対しては、プログラミングの基礎教育に対する一定の効果を確認した。しかし、組み込みシステム理解はプログラミングなど基礎となる技術の理解の上に積み上げられるものであり、それを同時に実施することは困難であり、一層の工夫が求められることが分かった。

表2 低学年学生に対する演習内容

第1回	演習概要説明、ロボットの外觀確認
第2回	ロボットのハードウェア確認
第3回	計算機の仕組み
第4回	ソフトウェアと計算機
第5回	プログラム実行までの流れ
第6回	音声出力チェック
第7回	プログラムの構造について (条件分岐)
第8回	プログラムの構造について (複雑な条件分岐)
第9回	プログラムの構造について (繰り返し)
第10回	オリジナルシステムの検討
第11回	システムの開発
第12回	システムの開発
第13回	システムの開発
第14回	システムの開発
第15回	オリジナルシステムの発表

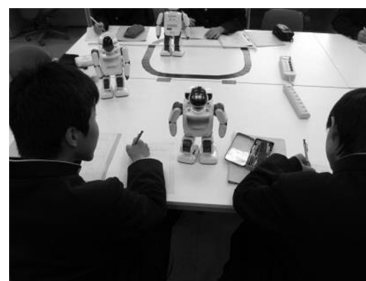


図2 ロボットの機構を確認する低学年学生

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計3件)

西仁司、清水幹郎、下條雅史、小松貴大、高久有一、斉藤徹、組み込みシステムの基礎と応用の理解に向けたロボット教育、第30回ファジィシステムシンポジウム、2014年9月1日～3日、高知城ホール(発表決定)

西仁司、清水幹郎、下條雅史、小松貴大、高久有一、斉藤徹、歩行ロボットを用いた組み込みシステムの基礎と応用の教育、平成26年度全国高専教育フォーラム、2014年8月26日～28日、金沢大学(発表決定)

西仁司、高久有一、斉藤徹、組み込みシス

テムの理解に向けたロボット教育、第29
回ファジィシステムシンポジウム、201
3年9月9日～11日、大阪国際大学枚方
キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西 仁司 (NISHI, Hitoshi)

福井工業高等専門学校電子情報工学科・准
教授

研究者番号：70413771