

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：55301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350257

研究課題名(和文) 自転車ロボットを利用する組み込みプログラミング教育用教材の考案

研究課題名(英文) Development of teaching materials about embedded programming using the bicycle robot

研究代表者

大西 淳(Onishi, Atsushi)

津山工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：60311073

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：申請時、3年間の研究期間全体に渡る目標は、組み込み分野を対象として、プログラミングの入門レベルから製品開発ができるレベルまで一貫してソフトウェア技術を学ぶことができる教材群を開発することとしていた。

このような目標に対して、まず、教育用自転車ロボット開発は順調に進んで、平成28年度には市販化に至った。また、教育教材については、レゴロボットを使う既存の各種コンテストを代用することや自転車ロボットを使うコンテストを開催することが、教育効果が高いと結論した。そして、レゴロボットを使うコンテストに被験者を参加させて、その効果を確認し、自転車ロボットを使うコンテスト開催に向けて課題考案などを行った。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop the teaching materials about embedded programming. I hoped that students were able to learn the basics of embedded programming and to get skill to develop the applicative products by using my teaching materials.

Under this purpose, I have developed the bicycle robot to learn embeded programming. And my collaborator put this bicycle robot on the market in 2016.

Regarding the development of the teaching materials for beginners, I reached the conclusion that it was best to leave the work to the existing contests which were using Lego. Instead of the development of the teaching materials for beginners, I have worked out the themes for the technical contest which will use the bicycle robot.

研究分野：技術教育

キーワード：プログラミング教育 組み込み

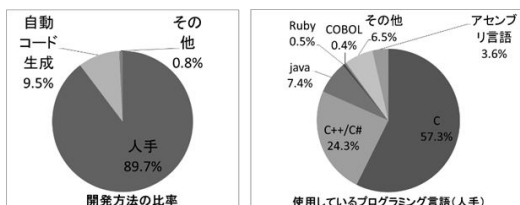
1. 研究開始当初の背景

我が国の2010年度名目GDPにおいて組込み関連製造業が占める割合は10%を超えており、組込み関連産業は我が国の重要な産業分野の一つであると言ってよい。その組込み関連産業の分野では、近年、製品出荷後の不具合発覚の増加が問題となっている。特に2011年度は、前年度に比して、「不具合なし」の製品の割合が半減した。その不具合の原因の第1位は「ソフトウェアの不具合」であり、全体の40%を超えている(情報処理推進機構「IT人材白書2012」,「IT人材白書2013」)。このように、日本国内では組込みソフトウェア技術者のスキル不足が深刻な問題となっており、この分野の技術者教育の充実が急務の課題である。

そのような状況の中、我が国でも、特に情報処理推進機構が中心となって対策が立てられてきた。その一つが、組込みスキル標準の制定である。組込みスキル標準は、組込みソフトウェア開発に必要なスキルを明確化・体系化したものであり、組込みソフトウェア開発者の人材育成・活用に有用な「ものさし」となるものである。

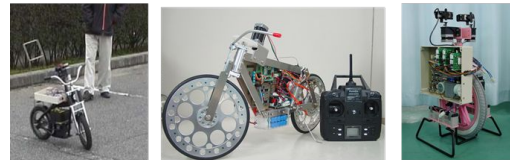
しかし、この組込みスキル標準は、組込みソフトウェアの開発に必要なスキルを全方位的に網羅した「ものさし」にすぎず、技術者養成機関である工学系の学校において、ある一つの学科の教育カリキュラムにすべての項目を盛り込むことは、事実上不可能である。実際には情報系学科がソフトウェア技術者育成の期待を集めているが、現在この学科に期待される教育内容は多岐にわたっており、多くの場合、組込みソフトウェア技術の教育に割ける時間は限られている。

また、近年組込み分野では、ソフトウェア開発手法の一つであるモデルベース開発が注目を集めており、この手法の教育に対する取り組みが盛んである。モデルベース開発とは、仕様を実行可能なモデルとして表現し、そこからコードを自動生成する手法である。安全なコードを安価なコストで生成できる手法として将来有望であるが、下のグラフの通り、現在のソフトウェア開発現場にこの手法が広く普及しているとは言えず、特に、日本の物作りを支えている中小の企業では、プログラミング言語を用いる人手による開発手法が主流である。



(注)いずれのグラフも、2011年度「ソフトウェア産業の実態把握に関する調査」報告(情報処理推進機構)に基づく

このような状況を鑑み、申請者らは、申請者が持つプログラミング教育の経験と企業で活躍中の現役技術者が持つ現場経験を結集して、技術系学校で利用可能な組込みソフトウェア技術教育用の教材を開発中である。この教材は、自転車ロボットの姿勢制御プログラムの作成を題材としており、プログラミング言語としては、現在の開発現場で広く用いられているC言語およびアセンブリ言語を想定している。自転車の姿勢制御はリアルタイム性を考慮する必要があり、組込みソフトウェア開発の題材に向いている。



申請者らはこれまでに何体かの自転車ロボットの試作を行ってきた。その過程で、教材として見た場合の自転車ロボットの要改善点も明らかになっている。一つはリアルタイムOSの搭載である。組込み技術の基本を理解するためには、リアルタイムOSに頼らないプログラミング技法の修得が必要であると申請者らは考える。一方で、昨今の機器はリアルタイムOSを利用することも多い。教材としては、リアルタイムOSの搭載も必要である。

また、現在自転車ロボットに搭載しているマイコンは現実の家電品でも使われる高性能品であり、実践的な教材になる可能性を秘めているが、一方で、複雑すぎてプログラミングやハードウェアの初学者が取り組むことを困難にしている。自転車ロボットだけを教材として、初学者がこのマイコンの機構を理解することやプログラミングを習得することは不可能である。学習者が理解しなければならない事項には、他に、開発環境の扱いやリアルタイムプログラムの特殊な構造も含まれるが、これらを自転車ロボットだけで理解することは難しい。自転車ロボット教材に取り組む前に上述の基礎事項をマスターするための、初学者用の教材が別途必要である。

2. 研究の目的

本研究では、まず、工学系教育機関の情報系学科において専門教育を受け始めたばかりの学生を想定して、ハードウェアと組込みプログラミングの両方の基礎を効率よく学べる初学者向け教材を開発したいと考えた。具体的には、教材用ハードウェア回路の設計を完成させ、それを用いて行うプログラミング課題と解説テキストを完成させたかった。ただし、その内容は、次に続く自転車ロボットの教材を意識して、そこでの演習の基礎をマスターさせるものでなければならない。次に、OS対応の自転車ロボットの設計を完成

させたいと考えていた。最後に、設計した自転車ロボットを活用して組み込みソフトウェア技術を習得できるプログラミング課題の作成やテキストの作成を行い、教材を完成しようと考えていた。

以上のような目的の下で実施する本研究の特徴の一つ目は、実際に企業において組み込みソフトウェアを開発している技術者と協力して実施する点である。この技術者は、マイコン教材の開発や出版の経験もあり、教育に対して思い入れが深い。特徴の二つ目は、基礎から実用までの技術を一貫して学べる教材群を開発しようとしている点である。情報系専門教育を受け始めたばかりの学生が、リアルタイム性を意識する特に難易度の高い自転車の姿勢制御プログラムが開発できるようになることを狙っていた。特徴の三つ目は、自転車ロボットを使った全国的な技術競技会の開催も視野に入れている点である。学習者にとって技術競技会は、学習意欲をかき立てられるよい目標になると考えた。

このような特徴をもった教材を完成できれば、我が国が抱える組み込み技術者不足の問題を解決するための大きな貢献になると考えていた。

3. 研究の方法

本研究は、申請者である研究代表者と、企業技術者である研究協力者の二者が協力して行うことを予定していた。研究代表者と研究協力者の役割分担を表にまとめて示しておく。

	研究代表者 (津山高専 大西洋)	研究協力者 (タマデン工業 武下博彦)
自転車ロボットの設計と試作	・プログラミング実習課題に影響する部分の設計について助言	・設計と試作
自転車ロボットを用いた実習課題の考案とテキスト作り	・研究代表者の教育経験と、研究協力者の製品開発経験に基づいて、協力して作業	
初学者向け教材の開発	・開発	・助言

平成 26 年度は、専業業者に依頼し、制御用リアルタイム OS のスタンダードである μ ITRON を自転車ロボットに移植することを予定していた。移植が完了し次第、 μ ITRON 搭載状態の自転車ロボットの動作を確認し、必要なハードウェアの設計調整を行う。設計調整と試作については、製品開発経験が豊富な研究協力者に依るところが大きいですが、センサや動力の選定や回路構造など、実習として学生に作成させる制御プログラムにも大きな影響を与える箇所については、研究代表者も適宜助言を行うことにしていた。

設計が確定し、研究協力者が製作に入った後、並行して、研究代表者は初学者向け教材の開発を進めることにしていた。こちらの開発は未だ実績がないため、ゼロからの開発になる。後に行う自転車ロボットを使った演習の基礎を固められるよう、開発環境への習

熟、プログラム実行機構としてのマイコンの理解、センサ出力を処理して動力をコントロールする機構としてのマイコンの理解、という主に 3 つの目標を達成できるような、ハードウェアとソフトウェアの両面に関する演習を考案することになる。その演習内容については、学習者が将来的に実際の製品開発現場に出たときにも役に立つ内容となるよう、研究協力者の助言も求めようと考えていた。

平成 27 年度は、申請時までの過去の研究の経過から考えると、安定した自転車ロボットの設計は平成 26 年度の試作だけでは完成しない見込みであった。そのため、この平成 27 年度も、前年度の試作の結果をよく検討して、再度、設計と試作を行うことにしていた。研究代表者と研究協力者の役割分担も平成 26 年度と同様である。

もし、平成 26 年度の設計と試作が予想以上に順調だった場合は、本年度予定の試作を平成 26 年度に前倒して行い、必要であれば、本年度は、3 回目以降の設計・試作や改良を行うつもりだった。

初学者向け教材については、平成 26 年度に考案したものの評価を行い、こちらの教材についても、1 回の考案で完全なものができることはないと考えられるので、平成 27 年度に改良版の考案を行う予定であった。

最終年度の平成 28 年度は、平成 27 年度に完成した自転車ロボットを使って行う演習課題に取り組むためのテキストを作成することを予定していた。このテキストでは、学習者に、まず、自転車ロボットの姿勢制御の原理を理解させなければならない。申請時点での自転車ロボットは、左右の傾斜角度を入力、ハンドルの切れ角とペダリングに相当する動力とを出力として、姿勢制御を行うよう設計されているので、このことを理解させるつもりであった。

次に、自転車ロボットの姿勢制御には厳しいリアルタイム性が要求されるため、リアルタイム制御プログラムの構造と注意点を理解させなければならない。リアルタイム制御プログラムの構造は、無限ループとこれをループしている間に行う各種の割込み処理から構成される特殊な構造をしているため、特別な学習が必要であった。

そして、以上の基本を理解させた上で、テキストの最後では、自転車の姿勢制御プログラムを完成させる演習を学習者に実施させる予定であった。

実際に最後の演習が行えるようになるには、学習者は、割込みを含むマイコンプログラミングの基本から、センサ出力の扱い方やモーター制御のやりかたまで理解していなければならない。これらのどこまでを初学者向け教材で行い、どこからを自転車ロボット上で行うのか、切り分けが必要である。この切り分けは、平成 26 年度の時点から慎重に検討しておき、初学者向け教材との守備範囲

の最終調整を、この平成 28 年度に行う予定であった。

また、自転車ロボットの姿勢制御は、蓄積するセンサ誤差の補正なくして実現不能である。その他、姿勢制御プログラムの実現には、現実的な細かい配慮事項が必要となる。これらについては、例えば、誤差補正は高度な話としてブラックボックス化し、教材の学習範囲から外すことも可能であり、このような難易度調整も必要である。どのような簡易化が許容されるかについては、学校教育に人材を求める側である研究協力者の意見を聞きながら、調整していきたいと考えていた。

4. 研究成果

(1) 平成 26 年度の目標は、自転車ロボットへ搭載予定のマイコンに対する OS「 μ ITRON」の移植、自転車ロボットの開発、ハードウェアとソフトウェアの両面に関する演習の考案の3つであった。このうち、については、研究協力者の努力があって、ほぼ完成の状態となり、その後、平成 28 年度には市販化された。また、については、入門レベルの者に対する、自転車ロボット教材に取り組む前の教育用教材として、レゴロボットを活用した演習を考案することに方針を決定した。については、現在の組込み分野の状況と平成 26 年度中に改めて観察した結果、「 μ ITRON」以外のものが今後主流になる可能性が無視できないことと、製品ラインナップと技術革新の結果、例えば ARM 系等へマイコンの変更もありうることを理由に、ペンディングとした。実際、平成 28 年度に市販化されたときには、ARM を搭載したバージョンの自転車ロボットも別バージョンとして追加された。

(2) 平成 27 年度の目標は、プログラミング課題、テキスト、および、初学者用教材の作成・開発であった。これに対しては、レゴロボットを活用して行われている既存の各種技術コンテストにレベルを上げながら順次チャレンジさせ、最終的に本課題で開発した自転車ロボットを活用する競技にチャレンジさせるという教育課程を考案し、その教育効果の一部評価を行った。その結果、この教育課程に関わった被験学生の反応は良好であった。

(3) 平成 28 年度の目標は、自転車ロボットを活用する教育課程を考案することであった。これに対しては、いわゆる実験手引き書のような、手順に従って作業を続けることで一定の技量を身につけさせる課題群を開発するよりも、一定レベルの最終的技術課題のみを与え、試行錯誤による課題解決の過程で必要になる情報やツールを充実させることのほうが、アクティブラーニングと同様に教育効果が高いという結論に達した。そこで、学習者が自転車ロボットを使って解決する技術課題の考案と、その課題解決に必要なツールの洗い出しを行った。その結果、直進性

能を向上させるといった、一見単純な技術課題であってもそれなりの難易度になることと、性能チューニングのために自転車の走行履歴をロギングするツールが必要であることが分かり、一部開発した。

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)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

河合 雅弘、宮下 卓也、曾利 仁、大西 淳、ロボットコンテストに向けた取り組みと設計製作の課題、設計工学、査読無、Vol.52、No.2、2017、pp.60-66

大西 淳、高山 直紀、学生の学習意欲を維持・発展させるプログラミング実験への取り組みとその結果、日本高専学会誌、査読有、Vol.19、No.4、pp.57-64

〔学会発表〕(計 4 件)

赤松昌俊、コンテスト課題を設定するための自動姿勢制御自転車の登坂実験、津山工業高等専門学校情報工学科卒業研究発表会、2017年2月27日、津山工業高等専門学校(岡山県津山市)

近藤瑞樹、自動姿勢制御自転車の直進性能を改善させる研究、津山工業高等専門学校情報工学科卒業研究発表会、2017年2月27日、津山工業高等専門学校(岡山県津山市)

Hiroaki HONDA, Rintaro YAMAMOTO, Atsushi ONISHI, Hitoshi SORI, Introduction to the Action for ET Robot Contest in Tsuyama College, 10th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, 3, November, 2015, Matsue(Japan)

大西 淳、曾利仁、八木秀幸、小坂田達也、有宗良洋、大橋有美、元番教允、花房来美、ET ロボコン参加を通じたモデリングによるソフトウェア開発に関する考察、計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会、平成 27 年 1 月 31 日、津山圏域雇用労働センター(岡山県津山市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

大西 淳 (ONISHI, Atsushi)

津山工業高等専門学校・総合理工学科・教授

研究者番号：60311073

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

武下 博彦 (TAKESHITA, Hirohiko)