

体験型ロボット制御プログラミング 学習カリキュラムの展開

小林靖英*, 山本利一**, 黒島浩司***, 田賀秀子****, 軽部禎文*, 柏崎暁子*, 山崎知恵*

*株式会社永和システムマネジメント 〒918-8231 福井県福井市間屋町 3-111

e-mail: yosu@esm.co.jp

**埼玉大学教育学部 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

e-mail: tyamamot@tech.edu.saitama-u.ac.jp

***石川県立工業高等学校電子情報科 〒920-0964 石川県金沢市本多町 2-3-6

****鯖江市立借陰小学校 〒916-0053 福井県鯖江市日の出町 6-37

概要

新学習指導要領の完全実施をうけ、中学校技術・家庭科「情報とコンピュータ」の「(6). プログラムと計測・制御」を学習するカリキュラムを開発した。プログラム作成によるロボット制御体験を通して、コンピュータの動きの仕組みや課題解決力を養うカリキュラムをさらに発展させ、小学校や高校での実践を通してその効果を検証した。

1. はじめに

新学習指導要領の完全実施に伴い、子供たちが学校でコンピュータやソフトウェア、プログラミングについて学ぶ機会は格段に増加したと言える。しかし、現在も有効なプログラミング教育の素材や手段を模索している指導者は多い。本研究では、これまで開発してきた中学校向けのカリキュラムを基礎として、新たにこれを小学生や高校生に展開することを考え、開発と実践を試みた。元になるカリキュラムは中学校技術・家庭科で必修とされている「情報とコンピュータ」の中で、「(6). プログラムと計測・制御」を学習するものである。LEGO Mindstorms™ を用いてロボットを製作し、ROBOLAB™ を使用してプログラミングを行うことで、コンピュータを使った計測制御について学ぶことができる。

2. 体験型プログラミング学習

自律型ロボットの製作とプログラム作成、及びプログラムによるロボット制御を体験することで、コンピュータの動きの仕組みを理解し、学習するカリキュラムを開発した。コンピュータの画面上でのプログラム作成と実行にとどまらず、ロボットという実物をプログラムで動かすことで制御の流れそのものを体験できるものである。規定のロボットを用いることで、提示される課題をプログラムの工夫で解決することが求められ、課題解決力を養うことができると考えた。

3. 使用素材

ロボット本体の製作には LEGO Mindstorms™ を使用し、プログラミングには ROBOLAB™ 及びコンピュータ言語を用いた。

プログラミング ソフトウェア及び プログラミング言語		利用素材 (ロボット・ キット)
小学校	ROBOLAB™	LEGO
中学校	ROBOLAB™	
高校	基礎：ROBOLAB™ 応用：C 言語	Mindstorms™

The Experience-Based Curriculum of Learning
a Robot Control Programming
Y. Kobayashi*, T. Yamamoto**, H. Kuroshima***,
H. Taga****, Y. Karube*, A. Kashiwazaki*,
T. Yamazaki*

*Eiwa System Management, Inc.

**Faculty of Education, Saitama University

***Ishikawa Technical Senior High School

****Sekiin Elementary School

LEGO Mindstorms™は、プラスチック製の成型された各種部品を利用して、自由にロボット製作のできるキットである。ROBLAB™は教育用に開発されたプログラミング用ソフトウェアで、絵で表現されたコマンドアイコンを並べていくことでプログラムを作成できる。

3. 中学校向けカリキュラムから、小学校・高校への展開

これまで中学校での実践を目的とした学習カリキュラムを開発してきた。中学校での授業と体験教室で実施し、その結果の分析よりカリキュラムを改善してきた。

<2002年度>

中学校4校 技術科授業 195人 6~18時間
体験教室3回 54人 6, 12時間

<2003年度>

中学校6校 技術科授業 580人 6~18時間
体験教室3回 46人 6時間

<2004年度> 中学校2校 技術科授業

約900人に及ぶ子どもたちがロボット制御プログラミング学習を体験した。10時間のカリキュラムで学習することは次の事項であり、基本型のロボットを用いてライトレースでコースを1周することが課題である。

- (1) コンピュータの動きの仕組みを考える
- (2) プログラムの必要性を理解する
- (3) センサを使わないプログラミング
- (4) センサを使ったプログラミング
- (5) 発表会

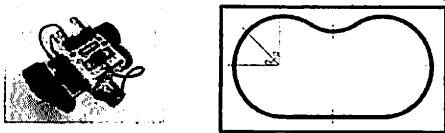


図1. 基本型のロボット 図2. コース

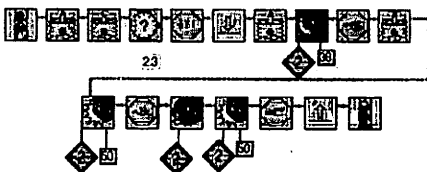


図3. 中学生のライトレースプログラム

体験教室でのアンケート結果を次に示す。

<凡例>

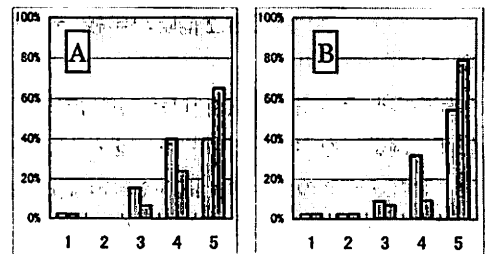
- 1: あてはまらない
2: どちらかと言えばあてはまらない
3: どちらとも言えない 4: だいたいあてはまる
5: あてはまる

□ 左側の棒グラフ: 事前アンケート結果

■ 右側の棒グラフ: 事後アンケート結果

A: プログラムに興味はあるか

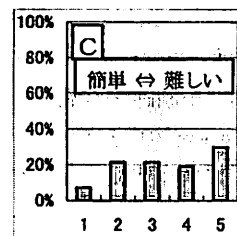
B: プログラムを作ってみたか



グラフ1. 6時間でのアンケート結果

体験後にはプログラムに対する興味や作ってみたという意欲が高まっていることが分かり、特に「5: あてはまる」という回答に集中している。また、半分以上がプログラムは難しかったと答えていることから、難しいことは必ずしもやる気を減退させるわけではなく、困難に挑戦しながら意欲を高めていると言えるだろう。

C: プログラムを作ることは難しかったか



グラフ2. 6時間でのアンケート結果

現在では、実践結果を反映したカリキュラムが、各地の中学校で実施されている。これを基礎として小学校や高校への展開を考え、それぞれに応じたカリキュラムを開発することとした。

4. 小学生を対象とした体験教室での実践とカリキュラム改善

小学校では主として理科での活用を目的としてカリキュラムを開発している。特に、電流の働きとモータを学習し、モータをプログラムで制御する内容である。学習の流れは次の通りである。

対象：小学校6年生、 時配：6時間

(1)モータの動く仕組みを知る。

生活の中でモータがどこに使われているかを探し、モータを使った制御について説明する。電磁石であるモータの回転の仕方を話し、洗濯機の回転や携帯電話の振動機能など身近な例を紹介する。

(2)ロボットを組立て動かしてみる。

基本型のロボットを組立てた後、サンプルプログラムを使ってロボットを動かしてみる。このとき、モータの配線を変えて動きの変化を見ることで、電流の動きとモータの動きの関係を確かめさせる。

(3)プログラムを作ってみる。

プログラミング用ソフトウェアの操作練習を兼ね、全員が同じプログラムを作ってみる。複雑な動きも直進や回転、方向転換などを組み合わせさせてできていることを確認させる。

(4)メールリレーをする。

LEGO Mindstorms™ はメールの送受信機能があり、本体同士で255種類の赤外線を判別して通信することができる。この機能を使って、6人1グループでメールリレーを行った。赤外線の判別は番号で行われるため、子どもたちは1人が1つずつ決まった番号を使い、ロボットには番号の旗を付けた。その後、グループで送受信テストを行ってリレーを完成させるというものである。

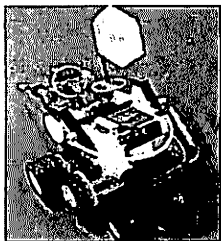


図4. 飾りつけをした基本型のロボット

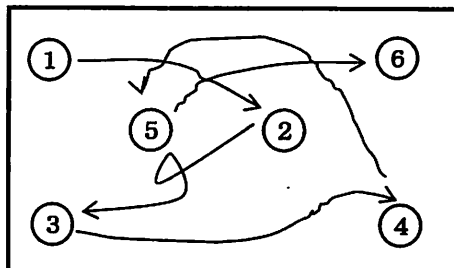


図5. 1回目の体験教室での課題図

(5)発表会

発表用のシートにプログラムの工夫点や感想などを記入し、プログラムについて説明できるように準備する。指導者は発表会でロボットの動きを見て、子どもの理解度を図ることができる。

小学生の体験教室においては、次の4つをねらいとした。

(1)プログラムとはどういうものが分かる

(2)プログラムの内容を変えることによってロボットの動きが変わることを理解する。

(3)コンピュータ制御の仕組みが分かるようになる。

(4)コンピュータやプログラムに興味を持つようになる。

小学生のカリキュラムは、2003年8月に2回の体験教室にて実施した。

1回目：10名（5年生4名、6年生6名）

2回目：16名（5年生9名、6年生7名）

ブロックで遊んだ経験のある子どもは多かったが、ほとんどがプログラミングは初めてであった。

1回目の実践では次の問題点が明らかになった。

- ・メールの送受信を行う本体の微妙な向きでメールが受信できない

- ・メール送信後に自分のロボットが他のロボットの邪魔になるため、動かなくてはならない

少しの動きのずれが結果に大きく影響し、調整に大きな時間を要すると共に、考えねばならない要素が多すぎて小学生には負担が大きかったと思われる。

この結果を受けて 2 回目の実践では二人一組で行う課題に変更し、時間内に課題をクリアするという目的を果たせるよう調整の負担を減らすことにした。2 回目の課題ルールを次に示す。

- ・ロボットAがスタートして障害物を回りこんで、中継地点に到達する
- ・ロボットAは、中継地点でロボットBにメールを送信
- ・ロボットBは、メールを受信したらスタートし、障害物に触れないようにゴールにたどりつく。
- ・ロボットBは、ゴールロボットにメールを送信し、ゴールロボットがメールを受信して旗を振ったら成功

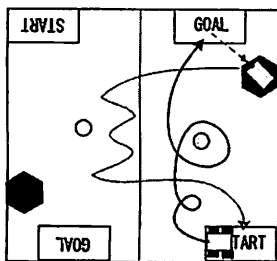


図6.
2回目の体験
教室での
課題

1 回目、2 回目共に、時間内に参加者全員がプログラムを完成でき、二人一組で話し合いながらロボットを動かす実験を行う姿が見られた。参加者は、うまくいかないと何度もやり直すなど積極的に取り組んでいた。



図7. 小学生の体験教室の様子

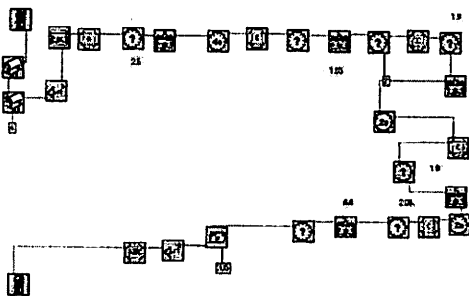
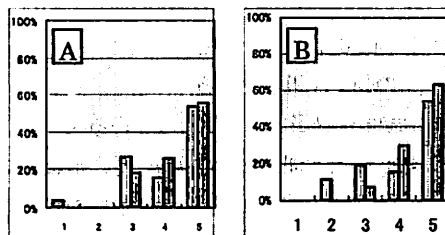


図8. 小学生の作ったプログラム

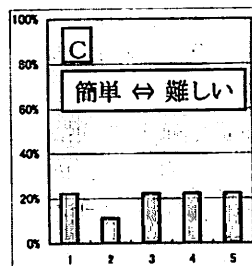
5. 小学生のアンケート結果

小学生たちには体験の前後でアンケートを行い、プログラムに対する興味や理解についての比較を試みた。凡例は前述の中学生のグラフの通りである。



グラフ3. 小学生のアンケート結果

体験後には、プログラムを作ってみたいという気持ちが高まっていると共に、4 割以上が難しいと答えていることが分かる。小学生においては、簡単ではないプログラムにやる気をもって取り組む姿が見える。



グラフ4.
小学生の
アンケート結果

6. 小学校での実践

体験教室での実践を元に公立小学校でも実践を行った。4 年生の電気のはたらき、6 年生の電流のはたらきでの取り組みである。

4 年生ではまず、ロボットに興味を持ち、モータや電気と関連があることを理解することが目的とされ、プログラムによる制御には踏み込んでいない。授業の流れは次の通りで、各項目は2時間で行われた。

- (1)モータを回してみよう
- (2)モータと乾電池を使って車軸型ロボットを動かしてみよう
- (3)車軸型ロボットを反対に動かしてみよう
- (4)検流計や豆電球を使って電流の強さと向きを調べよう

(5)光電池を使ってロボットを動かしてみよう

(6)車軸型ロボットの動きを工夫しよう

(7)アクロボットを作ろう

(8)オリジナルロボットを作ろう

上記のうち、(7)(8)の学習時間で LEGO Mindstorms™を用いている。教員が用意したサンプルプログラムを使って、アクロボットという決まった形のロボットを動かしてみる。このとき、コンピュータ制御によるロボットの動きと、電池とモータを使って作った車軸型ロボットの動きの違いを電気のはたらきと関係づけて学習する。その後、オリジナルロボットを作り発表会をすることで、自分が作ったロボットについて説明する。

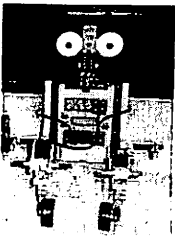


図9. アクロボット

下表は、4年生の授業後のアンケートから単語の分類と出現回数を分析したものである。

1.2時間目	3.4時間目	5.6時間目	
反対に	22 速く	37 明るい	19
検流計	17 回る	15 一個	15
～したい	14 電池	13 並列つなぎ	14
モーター	13 2つ	11 直列	13
動く	10 ～したい	9 電池	12
タイヤ	7 つなぎ方	9 光電池	12
導線	7 分かった	8 明るさ	12
回る	7 モーター	7 2個	11
分かった	7 直列つなぎ	7 直列つなぎ	10
速く	6 ～しない	7 並列	9
走らせる	5 1つ	7 同じ	9
向き	5 ありません	6 2つ	8
	直列	6 ～したい	8
	つなぎ	6 分かった	8
	2個	6 1番	8
	分からない	5 1つ	7
	乾電池	5 乾電池	7
	並列つなぎ	5 ありません	6
		電気	5

7.8時間目	9.10時間目	11.12時間目		
光電池	21 つける	16 アクロボット	55	
光	19 速く	14 ～したい	25	
回る	13 プロペラ	14 車軸ロボット	24	
ありません	10 ～したい	12 動く	19	
速く	10 ありません	10 プログラム	18	
当てる	10 走る	10 分かった	17	
ライト	10 分かった	7 なぜ、 なんで	12	
～したい	9 モーター	7 作る (作った)	12	
プロペラ	8 車軸ロボット	7 いろいろな	12	
動く	8 動かない	6 分からない	11	
当たらない	8 タイヤ	6 回る	11	
メロディー	8 競争	5 動き	10	
～ない	6 遅くなる	5 動かない	6	
太陽	6		まっすぐ	6
知らなかった	5		自分たちで	5
オルゴール	5		ある	5
おもちゃ作り	5		行く	5
鏡	5		入る	5
鳴る	5			5

表1. 発話単語数

授業が進むにつれて、子どもの発話単語数が増えていき、ロボットやプログラムの印象が強くなっていることが分かる。

6年生では、実際にプログラムを作ることに時間をかけるため、形は簡単なロボットとして、電磁石の学習の中でロボット製作とプログラム作成に取り組んだ。

- (1)コイルに鉄心を入れたものの性質を調べよう
- (2)電磁石のはたらきを大きくしよう
- (3)電磁石を使った道具や

おもちゃを作ろう

- (4)ローバーボットを作ろう
- (5)ローバーボットを動かそう
- (6)ローバーボットを使って

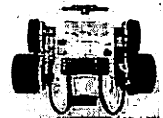


図10. ローバーボット

障害物競技会をしよう

特に電磁石であるモータに着目し、これを制御するプログラムを作成するという流れである。(4)(5)(6)は、ロボットを組立て、動かすためのプログラムを作り、目的(コースやルール)に合ったプログラムを工夫するというように段階を踏んで、プログラムの学習まで進んでいる。モータ出力だけを制御する課題になっている。

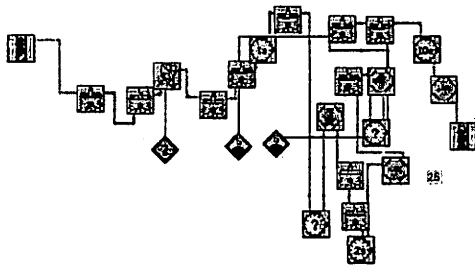


図11. 小学生のモータ制御プログラム

小学生の段階では、プログラムをつくり動かすことができたということが成果であると考えている。

7. 高校における教科「情報」の新設

現在開発中のカリキュラムは、平成15年度より普通高校において新設された「情報」での適用と工業科高校における情報技術基礎や制御システムのプログラミング実習での活用を目指したものである。入門レベルである教科「情報」ではROBOLAB™を、より技術に踏み込んだ制御システムの実習ではプログラミング言語を用いる。

8. 体験教室での実践

まず中学生のカリキュラムを基本とし、体験教室で実施することで、高校生での展開に必要な内容を検証した。課題は中学生と同様の光センサによるライントレースとし、中学生との習得進度の違いやプログラムの工夫の仕方などを分析した。高校生での実践ということで、プログラミング言語に近い制御ができるよう、使用できる命令を増やして実施した。2003年度に実施した体験教室参加者の内訳は次の通りで、情報科の生徒などプログラミング経験のある者が半数程度居た。

- *人数 13名
- *学科 電気科：9名，普通科：1名，
電子情報科：1名，情報科：2名
- *学年 1年5名，2年3名，3年4名，
5年1名（高専）

特徴として、非常に工夫を凝らしたプログラムを作成していたことが挙げられる。性能を高める（速くする）ための意欲が高く、できるだけ適切な効率の良い動きができるよう、何度もプログラ

ムを作り直す姿が見られた。タイムを縮めようとするあまり、途中では上手く一周していたプログラムが、最終の発表会で完走できないという参加者も見られた。

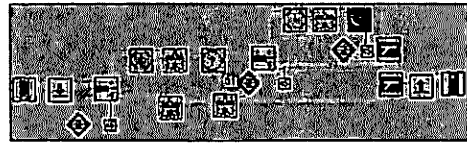


図12. 高校生のライントレースプログラム

実践結果から、単一の学習課題だけでは学習進度がばらばらになりやすく、学習者が達成感を得られにくくなってしまおうということが言える。また、このことは教える側が学習進度の評価をしづらいという問題にもつながる。進度に応じて段階的に課題の難易度を上げていくよう、準備が必要である。

9. 工業高校でのROBOLAB™による実践

公立の工業高校でLEGO Mindstorms™とROBOLAB™を使ったプログラミング実習を試行した。2段階の課題が用意され、光センサを使ったライントレースで楕円コースを一周した後、余裕があれば一部がへこんだコースにも取り組む内容である。

2003年度 電子情報科 2年

10名×9時間を4グループ

ロボット1台を3名（2名）1組で使用

3時間を1単元として、単元ごとにプログラムをレポートにまとめ提出した。実践の特徴として、教員はソフトウェア（ROBOLAB™）の使い方など必要事項のみ説明し、生徒自身が考え気づく時間を十分に取ったことが挙げられる。これは、実習という授業形態で生徒自身がプログラミングに必要なアルゴリズムを理解すること、そして生徒自身の課題解決力の向上に重点を置いたためと言える。教員は問題が生じたときに必要に応じて、適切なヒントを与え気づくポイントを示す形である。実習後に生徒が提出したレポートには次のような感想が見られた。

- ・自分の作った設定で何度も走らせて間違えた箇

所を少しずつ直していくのが難しかった。でも、その分うまくいったときは嬉しかった。

・自分でプログラムを作りロボットを動かすことは簡単そうで難しかった。でも、出来上がったときはすごく嬉しかった。

・なかなかうまくいかず苦戦した。でもできたときは感動した。

教員としては、生徒がプログラムが動いて面白いという感想を持ち、まずはプログラムに対する苦手意識がやわらぐことが良いと考えている。



図 1 3. 工業高校での授業の様子

10. 工業高校での C 言語による実践

LEGO Mindstorms™ は、C、C++、Java、Visual Basic などプログラミング言語でも制御可能である。フリーソフトとして公開されている OS や標準の API を用いて、制御プログラミングの初級レベルを学習することができる。

[プログラミング環境]

OS : Windows95

開発環境ソフトウェア : Cygwin

[実行環境]

LEGO Mindstorms™ 上の実行 OS : LegOS

LegOS のコンパイル環境 : H8 クロスコンパイラ

ROBOLAB™ を使った授業の後、C 言語による制御実践が行われた。目的は C 言語のプログラム学習を機械制御で確認することと、ROBOLAB™ と同じ課題を C 言語で開発することで、ROBOLAB™ と比較し細かな制御ができることを学ぶことである。

[最初の 3 時間]

- ・ OS の役割、クロスコンパイルの役割
- ・ 光センサー一つでライントレースするときのサンプルプログラムを見せ、ROBOLAB™ と比較
- ・ 光センサを増やした場合のライントレースのフローチャートを書かせる

[次の 3 時間]

- ・ タッチセンサを使ったサンプルプログラムを見せる
- ・ タッチセンサを 2 つ使った課題を提示し、フローチャートを書かせてプログラムを作成
- ・ タッチセンサ、光センサを使って自由な動きをするプログラムをフローチャートを書かせてから作成

[最後の 3 時間]

- ・ RCX™ の液晶パネルに光センサの値を表示させる
 - ・ 光センサの値を表示しながらライントレースを行う課題に取り組む (マルチタスクが必要)
- 上記授業を終えての生徒らの感想は次の通りである。

・ 後半に行くほどプログラムが難しくなり、ミスが出たりコンパイルが通ったのに思ったような動きをしなかったりと、いろいろ大変だったがうまく動いたときは大変面白かったし、みんなでいろいろ相談しながらやることができ良い実習だったと思う。

・ 実際に C 言語でプログラムを作ってみると、最初のうちはエラーばかり出でなかなか先にすすめずかなり困りました。最終的に、自分の思った通りのプログラムを作れたので満足した。

・ プログラムを作っていてプログラムはなるべく短くした方がいいと思った。なぜなら、プログラムを長くしたら他の人が見にくいし、理解するのも大変だと思う。自分でミスがないかをチェックするときも長いプログラムよりもチェックしやすいし、入力するときもミスが減っていいと思う。

工業高校は「ものづくり」を大きな柱としており、情報技術教育におけるプログラミング実習は画面上だけではいけないと感じていた。そのような中で、LEGO Mindstorms™ を使った実習を行ってみて、プログラムにエラーが無くても思ったように動くとは限らないことを感じたり、成功するまで何度もチャレンジする様子を目のあたりにし、良い教材に巡りあえたと思っている。

・ 画面だけではなく実際にものが動く楽しさ

・他の生徒のプログラムがロボットの動きを通して見ることができる、見ようとする
こういった楽しさが成功するまでがんばろうとする力につながっているだろう。

1 1. 終わりに

これまで述べてきたように、ロボット制御をテーマとしたプログラミング学習は、プログラムの結果が直接目に見える動きとして現れるため、体験することで理解を深められ、小中高校を通じてプログラミング教育の素材として有効であると考えられる。また、アンケートの結果や授業後の生徒らの感想からも、難しいと思いつつも楽しく学んでいる様子が見られ、プログラムに対する意識が高まり、理解を深めていることが分かる。どの学齢においても実物体験型の学習は有効と思われる、今後も段階的な課題カリキュラムの開発・改善を進め、体系化へ取り組んでいきたい。

1 2. 参考文献

- [1] 小林靖英, 山本利一, 黒島浩司, 山崎知恵, 軽部禎文, 柏崎暁子, 「LEGO MindStorms™ ロボット制御を使ったプログラミング教育実践と成果 小中高校生から企業エンジニアまでの教育体系づくりを目指して」, ソフトウェア・シンポジウム 2004, pp159-168 (2004)
- [2] 山本利一, 真島清貴, 牧野亮哉, 小林靖英, 「LEGO MindStorms™ を活用したプログラムと計測・制御学習における授業実践の評価」, 日本産業技術教育学会第 15 回関東支部大会講演要旨集, pp47-48 (2003)
- [3] 山本利一, 牧野亮哉, 小林靖英, 「中学生が作成した ROBOLAB™ プログラムの分析による指導法の改善」, 日本産業技術教育学会第 46 回全国大会, p.27 (2003)
- [4] 山本利一, 真島清貴, 牧野亮哉, 小林靖英, 「LEGO MINDSTORMS™ を活用したプログラムと計測・制御学習における評価規準表の作成」, 技術科教育の研究 Vol.9, No.1, pp.81-86 (2003)
- [5] 小林靖英, 山本利一, 軽部禎文, 高岡暁子, 山崎知恵, 「中学生の思考過程の分析とプログラミング学習カリキュラムの改善」, 情報教育シンポジウム論文集, pp.99-106 (2003)
- [6] 小林靖英, 山本利一, 軽部禎文, 高岡暁子, 山崎知恵, 「ロボット・プログラミング・キャンプ 中学生コース(ソフトウェアによるロボット制御体験教室の実施)」, ロボティクス・メカトロニクス講演会'03 (2003)
- [7] 安藤義仁, 山本利一, 「LEGO MINDSTORMS™ と ROBOLAB™ を使ったコンピュータ制御の学習指導」, 埼玉大学教育学部附属中学校研究紀要 Vol.39, pp25-30 (2003)
- [8] H.H.Lund, J.Nielsen, An Edutainment Robotics Survey, Dynamic Systems Approach for Embodiment and Sociality, pp.153-185 (2002)
- [9] Kobayashi, Karube, Yamazaki, Yamamoto: Robot Programming Course for Junior High School Students, Dynamic Systems Approach for Embodiment and Sociality, pp.186-192 (2002)
- [10] Yamamoto, Makino, Ando, Kobayashi: Curriculum Development of Programmed Learning by Utilizing ROBOLAB™, Dynamic Systems Approach for Embodiment and Sociality, pp.196-204 (2002)
- [11] 山本利一, 林俊郎, 小林靖英, 牧野亮哉, 「ROBOLAB™ を使用したプログラム学習のカリキュラム開発(1)」, 技術科教育の研究, Vol.8, No.1, pp.1-6 (2002)
- [12] 林俊郎, 山本利一, 小林靖英, 牧野亮哉, 「プログラムと計測・制御を学習するカリキュラム開発(2)」, 日本産業技術教育学会第 14 回関東支部大会講演要旨集, pp.43-44 (2002)
- [13] 文部省 中学校学習指導要領(平成 10 年 12 月)解説一技術・家庭編一, 東京書籍(1999)
- [14] LegOS <http://www.noga.de/legOS/>
- [15] Cygwin <http://sources.redhat.com/cygwin/>