

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

小林靖英*, 山本利一**, 軽部禎文*, 高岡暁子*, 山崎知恵*

*株式会社 永和システムマネジメント 〒918-8231 福井県福井市問屋町 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

概要

新学習指導要領の完全実施に伴い必修となった中学校技術・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。中学生が LEGO MindStorms™ 及び ROBO LAB™ を使用し、提示された課題の解決を通じ、ロボットを使ってプログラムと計測・制御を学習するものである。作成されたプログラムや学習前後のアンケート結果より、生徒たちが制御やプログラムを積極的に学び、また理解を深めていく過程を考察した。カリキュラム実践結果の分析を通じて中学生のプログラム作成における思考過程を明らかにし、カリキュラムの改善を進めその後の実践によって効果を検証した。

1. はじめに

平成 14 年度より小中学校では新学習指導要領が完全実施となり、中学校技術・家庭科では「技術とものづくり」、「情報とコンピュータ」の2つの学習内容となった。この新課程に応じた学習カリキュラムの開発が求められている。本研究では「情報とコンピュータ」の中の「(6). プログラムと計測・制御」に対応する学習課題として、提示された課題を解決するロボットの動作を考え、その制御プログラミングを行う学習カリキュラムを開発してきた。さらに、体験教室や学校教育現場での実践を行い、結果を分析しカリキュラムの改善を進めてきた。このカリキュラムではロボット本体に LEGO MindStorms™ を使い、ROBO LAB™ を使用してプログラミングを行うものである。

2. 学習カリキュラム開発の目的

本カリキュラムは、中学校技術・家庭科「情報

とコンピュータ」でのプログラムと計測・制御という学習項目を主眼において開発したものである。中学生がロボットを素材として、プログラムの必要性を理解し、コンピュータを使った計測制御についてロボットの動きを体験することを通じて学習するものである。コンピュータはプログラムによって動いていることを知り、プログラミングに必要なアルゴリズムを考え出す段階的思考を身に付けることを目的としている。さらにロボット製作やプログラミングを通じて生徒の創造性を刺激し、作品発表の場を設けることで自己表現する力を養っている。また、より多くの生徒に学習効果が見られるよう検証を重ねてきた。

3. 活用教材

3.1 LEGO MindStorms™

LEGO MindStorms™ は8ビットのマイクロコンピュータを内蔵した RCX™ 本体とプラスチック製のブロックやギア、シャフトといった各種部品を利用して自由な形のロボットを製作できるブロックキットである。本体には入力、出力端子が3つずつあり標準キットでは入力側にタッチセンサ、ライトセンサ、出力側にモータが用意されている。LEGO MindStorms™ を使う利点として次のものがある。

The analysis of junior high school student's thinking process of programming & the improvements of a learning curriculum

Y. Kobayashi*, T. Yamamoto**, Y. Karube*, A. Takaoka*, Y. Yamazaki*

*Eiwa System Management, Inc.

**Faculty of Education, Saitama University

- (1) 部品は成型されたプラスチックのため組立が容易である。
- (2) 繰り返し作ったり分解したりすることができ、豊富な部品を組み合わせることにより、工夫次第で様々なロボットを作ることができる。
- (3) 各部品の品質が高く、出来上がったロボットの性能面でのばらつきが少ない。
- (4) ハードウェアが原因となる不具合がほとんどないため、プログラミング学習に集中でき理解を深められる。

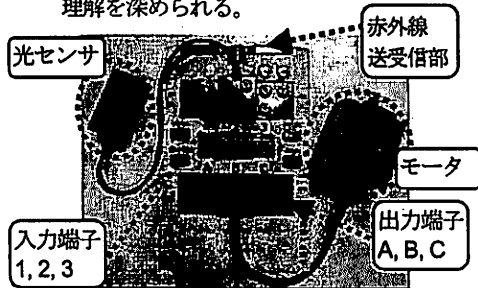


図1. RCX™本体図

3.2 プログラミング用ソフト ROBOLAB™

ROBOLAB™ 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選択し、それらをストリングと呼ばれる線をつないでいくことでプログラミングできる。61種類に及ぶ豊富なコマンドアイコンを使い、反復運動のような簡単なプログラムからマルチタスクのような複雑な制御までが可能である。出来上がったプログラムは、赤外線通信により RCX™ に転送され、ロボットが独立して動作する。ROBOLAB™ を使う利点として以下が挙げられる。

- (1) 文字列によるプログラミングとは異なり、直感的に判断できる絵で示されたコマンドアイコンを用いるため、文法の理解、習得に手間取らず論理や手順の学習と思考に集中できる。
- (2) マウスのクリックによって使いたいコマンドアイコンを選択・配置でき、キー入力で時間をとられることが少ない。

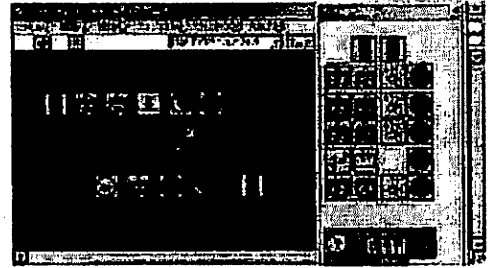


図2. ROBOLAB™のプログラミング画面

4. プログラムと計測・制御の学習カリキュラム

4.1 学習カリキュラムの概要

開発したカリキュラム (10 時間) の流れは、次の通りである。

(1) コンピュータの動きの仕組みを考える

まず身近にある電気機器の動きの仕組みを考え、エアコンなどの具体例から、センサによる入力値を元にコンピュータが判断して制御が行われていることを学ぶ。他の電気機器や機械装置の例を考えることで身の回りの多くのものがコンピュータで制御されていると感じさせる。中学生がコンピュータと聞いてすぐに連想するパソコンだけではなく、実は日々の生活の中で多くのコンピュータに触れていることに気づかせる。自らの生活に結びついた形で、コンピュータの存在を理解することが目的である。

(2) プログラムの必要性を理解する

次にロボットが動くにもコンピュータが必要でかつそれはプログラムという命令の集まりによって実現されていることを知る。

(3) センサを使わないプログラミング

基本となる四輪駆動型のロボット(図3)を使い、楕円形のコース(図4)をセンサを使わずに一周するという課題に取り組む。モータへの出力のみを制御し、プログラムは命令を一つ一つ定義していくことを学習する。



図3.基本型のロボット

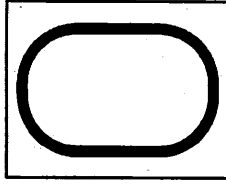


図4.楕円形のコース

(4) センサを使ったプログラミング

光センサを使ってラインレースするプログラムを作成する。(3)の課題でシーケンス制御に取り組んだ後、光センサの使用で汎用性の高まりを実感する。入力の結果を判断し出力を制御するという一連の制御の流れを体験すると共に、出力結果が入力に影響しその値からさらに制御するフィードバック制御を体験するのである。使用するコースは楕円形の一部にへこみがあり、このへこみはプログラムに変化が生まれることを想定している。走行タイムを測定し、タイムを短くする、つまり性能を高めるための工夫を促す課題である。

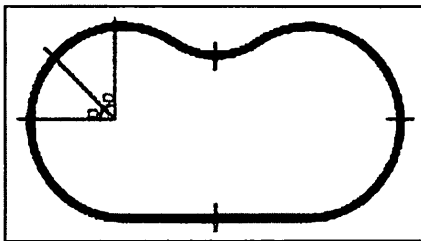


図5.一部がへこんだコース

(5) 発表会

作成したプログラムの工夫点や感想など自分の考えをまとめて発表する。自分がロボットにどう動くかをさせるか、その動き方を述べることで、プログラムのアルゴリズムを表現し、また他人の考え方を聞くことで自分とは異なる考え方に気づき、理解が深まる。教員は生徒の発表を聞き、ロボットの動作を見ることで理解度を認識することができる。



図6.発表会の様子
ロボットとプログラムについて説明し、その後ロボットの走行タイムを計る。

(6) プログラムと計測・制御のまとめ

最後にプログラムとは何か、身近にあるコンピュータ制御とはどういったことかについて学んだ内容をまとめ、復習する。

4.2 カリキュラムの特徴

ロボットを制御することでプログラムの結果がその動きで簡単に分かり、他人のプログラムの考え方も理解できる。

また選択、必修、学習時間数に応じてカリキュラムの内容を変更するために、前述の10時間以外に複数の時間数が準備されている。6時間の場合は「センサを使わないプログラミング」を行わず、最後の発表会を計測会としている。16~18時間ではタッチセンサを使用した課題と分岐のアルゴリズムについての学習が追加されている。

5. 開発カリキュラムを用いた実践と分析

5.1 実践状況

この学習カリキュラムを用いて、現在までに6つの中学校と3回の体験教室でその教育効果を検証するカリキュラムの実践が行われ、現在さらに別の2校で実践が行われている。著者らが主催した体験教室では公募で集まった中学生が参加した。

2002年度

中学校 A,B : 技術科選択/必修	160人	6時間
中学校 C : 技術科選択	9人	18時間
中学校 D : 技術科選択	25人	10時間
体験教室 3回	50人	6, 12時間

2003年度

中学校 E,F : 技術科選択/必修 80人 10時間
学習時間数の違いは、各現場の状況に合わせた内容を選択して実施しているためであり、その全てにおいて「入力を得て出力に反映させる」という制御の仕組みを学ぶことができる。

5.2 分析の手法

実践に際して、中学生には走行できるプログラムが出来た時点でその都度保存するように促し、

時間を追ってプログラム結果を分析した。保存されたプログラムをロボットに転送し実際の動作軌跡を図として示し、コマンドアイコンに番号を付け動作の詳細を記述する。また、実践状況を撮影した VTR から教員・講師の発言を抜き出し、それに対する生徒の反応を検討した。

5.3 実践結果の分析

実践と分析を経て、二つの改善すべき点が明らかになった。

①. センサを使わないプログラミング課題の分析 *学習の目的

プログラムとは一つ一つの命令を細かく定義していくことで成り立つことを理解すること。

*分析結果

トレースの正確さの追及に予想以上に時間がかかってしまった。カリキュラム上では1時間という設定であったが、実際は2時間かかるケースがあった。トレースは概ね出来ているがより正確に黒線の上を走行できるよう、細かな出力時間設定を繰り返したためである。学習目的とするプログラムは早い段階で出来ていたが、微調整に大きな労力と時間が使われてしまい、要した時間の割に学習効果が変わらなかった。

*原因

どこまでの範囲でトレースできていれば課題をクリアしたかが明確でなかったため。

*今後に向けた改善

ラインレースではなく、図7のように本などの障害物をぶつからずに周回できれば良いという課題にする。

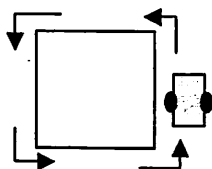


図7. 障害物を周回する課題図

*プログラム例

センサを使わないプログラムを以下に挙げる。

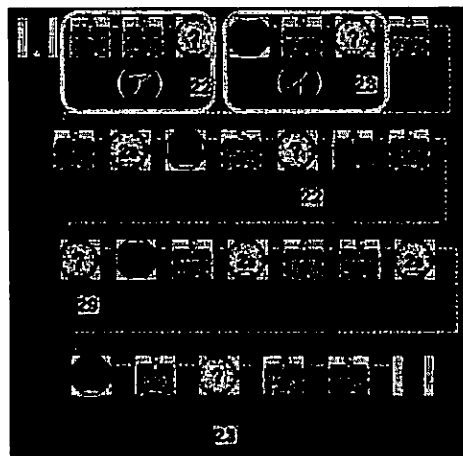


図8. モータの出力のみを制御するプログラム

両方のモータを2.2秒間回転させ直進する(ア)。次に、片方のモータを停止し、他方のモータは2.3秒間動かす(イ、カーブを進む)。直進とカーブを交互に走行するプログラムであり、走行する距離と角度をモータ出力時間に置き換えて制御していることになる。

②. 光センサを使ったプログラミング課題の分析 *学習の目的

光センサを使うことによって、計測した入力値を元にして出力を制御するやり方を学ぶ。

*分析結果

ラインレースの方法がわからず、プログラムに手をつけられない状態の生徒が見られた。

*原因

ラインレースをするには直進するだけでは黒線から外れてしまうので、黒線に戻る処理が必要というロボットの動作を思い描くことができないようだ。

*改善内容

動かし方を具体的に表現できない生徒に対して教員側から次のような支援を行った。

- ・ロボットの動きを思考させるために動作線の図示(図9)や動作例を見せるなどの働きかけをした。




図9. ロボットの動作線(オレンジ)
外側ラインレースの場合

・コマンドアイコンを並べるまでに、課題を解決する動きを順序だて、段階的に考える質問形式のプリントを用意し、ロボットの動きを書かせるようにした。

■ センサを使ってロボットを制御しよう

(1) ライトセンサを利用して曲線（カーブ）を走るためにはどういった流れでプログラムを組まなければならないのか考えてみましょう。

・ロボットの動きを書いてみよう




・スタートする位置はどこから行きますか？

- ①. 外側の白いところ。
- ②. 黒いラインの上。
- ③. 内側の白いところ。

・白黒の判断は、どの方法で行いますか？

- ①. 内側のラインを読み取る。
- ②. 外側のラインを読み取る。
- ③. 内側、外側の両方でラインを読み取る。
- ④. そのほか（ ）

・プログラムにはどのコマンドを使いましたか？



① ② ③ ④

・色が変わったときの動き（命令）

白くなったとき（ ）

黒くなったとき（ ）

図 10. プリントの例

5.4 改善結果

体験教室においては全員がセンサを使ったライトレースの課題をクリアし、学校の実践授業でもほぼクリアできている（一部、最初の時間から取り組む姿勢が見られなかった生徒を除く）ことから、ロボットの動かし方を考え、プログラムのアルゴリズムを思考することができたと思われる。

ロボットが動いた結果、入力値（白か黒）がどう変化するか気付くことで、ロボットの動きをどのようにプログラムすればよいかにつながり、プログラミングに取り組めるようになった。

5.5 プログラムの創意工夫例

光センサを使ったプログラムの中で特徴的なものを3つ例に挙げる。

(1) シンプルな例



図 11. シンプルプログラム

非常にシンプルなライトレースの基本となるプログラムである。使用するコマンドアイコンの数を減らしていき、最終的にこれだけの数で動作することを確認して出来たものである。なるべくシンプルにしたいという考えが見られる。

(2) スピード向上を図る例

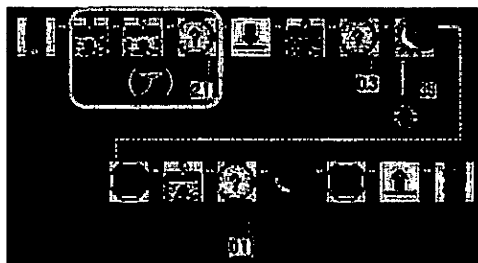


図 12. スピード向上プログラム

このプログラムに見られる工夫は、コース最初の直線部分でセンサを使わず直進させ（ア）、タイムの向上を図っている点である。

(3) スピードを細かく調整できるようにした例

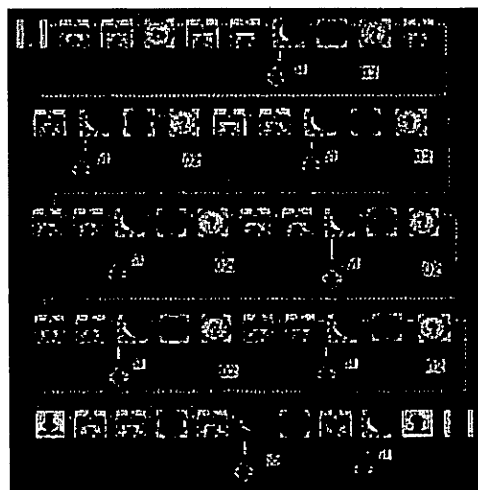


図 13. スピード詳細調整プログラム

このプログラムを作成した生徒は、(1)に近いシンプルなプログラムを完成させた後、このような長いプログラムの設定に変えていた。ラインの各所をそれぞれ最も速いスピードで走行するようにしたいとの考えが見られる。

5.6 まとめと考察

長さもアルゴリズムも多様なプログラムは、全て生徒がそれぞれ考え出した結果で、どれも課題をクリアした正解と言える。一つの課題の解決に多様なプログラムが出来上がるのは、生徒それぞれの創造性と工夫によるものと考えられる。

6. プログラム作成過程に現れる思考の分析

6.1 プログラムの遷移

体験教室に参加した中学生が作成した光センサを使ったライントレースプログラムの作成遷移の例を挙げる。

図 14、16、18 のプログラムは一人の生徒が作成したものを時間を追って見たもので、その変化により思考過程を分析した。特に走行タイムを速くする工夫＝性能の向上を求める思考が見られる。

(1) 最初のプログラム

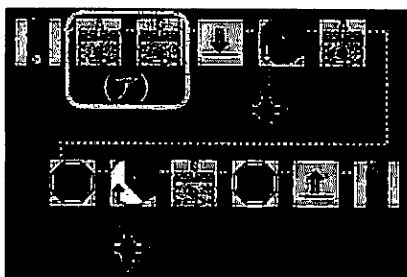


図 14. 内側トレースのプログラム



図 15. 図 14 のプログラムによるロボットの動作線
コースの内側を細かく判別して進む。

直進後、光センサが黒いラインを判別したら、一方のモータの回転を止め、他方のモータを動かすという処理を繰り返す。コース最初の直線部分

(ア) で、センサによる判別を行わない工夫が見られる。

(2) 中間時のプログラム

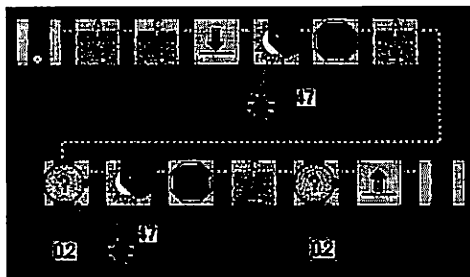


図 16. 両側トレースのプログラム



図 17. 図 16 のプログラムによるロボットの動作線
コース上からスタートし、両側の白を判別して進む。

違うトレース方法を試していることが分かる。

(3) 最後に作成したプログラム

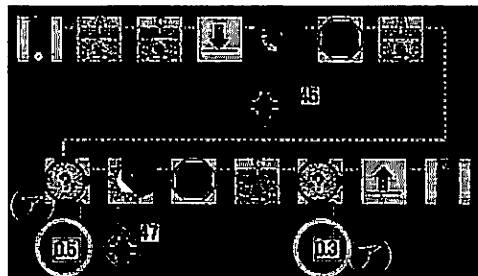


図 18. 内側トレースのプログラム



図 19. 図 18 のプログラムによるロボットの動作線
コースの内側をゆるやかな軌跡を描いて進む。

(2)の両側トレースではスピードが遅いことが分かり、再び内側ライントレースに戻している。さらに、モータの回転時間を指定し(ア)、センシングの間隔を大きくすることで、ロボットの軌跡を緩やかにし、スピードアップを図っている。

6.2 分析からの考察

この例を見ると、速さを追求する工夫の姿勢が見られ、タイムを計測するという課題が工夫して取り組む意欲につながっていると思われる。

7. 実践前後のアンケート結果

7.1 アンケートに見る生徒の反応と考察

実践において、中学生たちにはプログラミング学習の前と後でアンケートを行い、興味や理解についての比較を試みた。関心を問う「A：プログラムに興味はあるか」と意欲を問う「B：プログラムを作りたいか」を取り上げグラフ化した。
<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

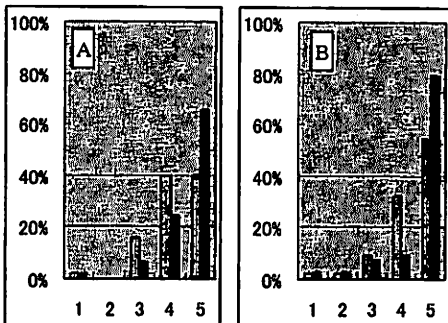
■ 左側の棒グラフ：事前アンケート結果

■ 右側の棒グラフ：事後アンケート結果

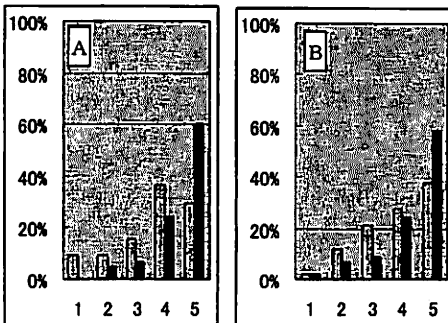
縦軸は回答者数の割合である。

(A) プログラムに興味がある

(B) プログラムを作りたい



グラフ1：6時間の実践でのアンケート結果

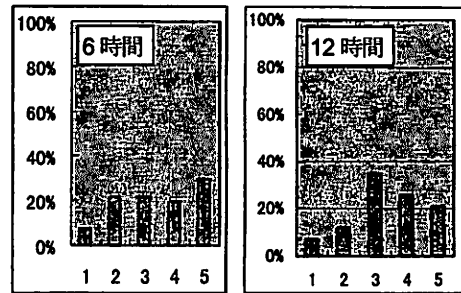


グラフ2：10～12時間の実践でのアンケート結果

体験後にプログラムに対する関心・意欲共に大幅に高まっており、特に「5：あてはまる」と断

言した回答への集中が特徴である。これは、公募による体験教室や選択授業での実践であるため、ある程度関心の高い生徒が集まっていることも要因であると思われるが、関心、意欲共に実践を通じて高まったと見られる。

アンケートの中には「C：プログラムを作ることは難しかったですか」という項目があり、その結果を示したグラフが以下で、左が6時間の実践、右が10～12時間の実践の結果である。



簡単 ⇄ 難しい

簡単 ⇄ 難しい

グラフ3：プログラムの難しさのグラフ

半分以上がプログラム作成は難しかったと答えており、グラフ1、2、3を見ると、6時間よりも12時間の方が難しかったという割合が高く、多少ではあるが関心、意欲の5への集中度が低い。これはセンサを使わないプログラム課題のところで、学習効果の割に大幅に時間をとられてしまったことが生徒たちのアンケート結果に反映されたものと考察される。

8. 実践教員の意見

開発したカリキュラムを用いて実践を行った各中学校の教員には実践後に授業について意見を聞いた。肯定的な意見があった一方で、今後の課題として取り組むべき率直な意見も出された。

8.1 活用教材とカリキュラムへの肯定的な意見

* 多かった意見

- (1) 教員は概ね今回のプログラミング学習では生徒が楽しみながら熱心に取り組み、学習内容を比較的よく理解したという印象を受けた。
- (2) プログラム結果がすぐにロボットの動きとし

て現れるため、生徒の集中力が持続し良い。

- (3) 実験を繰り返し、自分の思考を実際の動作で試すことができるので、途中で投げ出す生徒が居なかった。
- (4) 生徒たちが身の回りのコンピュータに興味を持ち、日常生活の中でプログラムに関心を示すようになった。

*このカリキュラムへの特徴的な意見

- (1) ロボット本体を製作するとプログラム作成後に不具合が生じた場合、原因がロボット本体とプログラムのどちらかがわかりづらく追求が難しい。その点、基本構造が同じしっかりしたハードウェアを使うことでプログラムの学習に集中できる。
- (2) ライントレースが出来ればアルゴリズムを理解できたと評価できる。

8.2 カリキュラムの課題への意見

教員からは、より学習効果の高いカリキュラムへと改善を進めていくための重要な課題も寄せられた。特徴的な意見として以下を挙げる。

- (1) ロボットにどのような動きをさせればライントレースできるのかという考え方のきっかけを与え、生徒が自らの思考をプログラムとして実現できるように導くことが重要なポイントである。
- (2) センサを使わないライントレース課題は、正解かどうか判断がつきにくく、生徒が難しく感じてしまう。
- (3) 課題を解決していく自己探求型のカリキュラムであるため、適切な場面で課題を提示しスムーズに取り組めるよう配慮が必要。
- (4) 生徒の習得レベルによってステップアップした課題に取り組めるよういくつかの種類（基本と応用といった）が必要。

9. おわりに

実践を通じて、このカリキュラムは目的とした中学校技術・家庭科「情報とコンピュータ」、プログラムと計測・制御の授業で取り組む内容として

は概ね良好な意見と反応が得られた。カリキュラムとしては、課題の出し方や生徒への支援内容を今後も検討し改善を加えていく必要があると思われる。また、生徒の習得度・学習進度の違いをカバーできる課題の設定も必要であると思われる。生徒が課題をクリアし問題解決へ導くための教員の支援方法・内容をさらに改良し、多くの生徒により高い教育効果が見られるようカリキュラムを改善していきたい。

参考文献

- 1) Kobayashi, Karube, Yamazaki, Yamamoto: Robot Programming Course for Junior High School Students, Dynamic Systems Approach for Embodiment and Sociality, pp.186-192(2002)
- 2) Yamamoto, Makino, Ando, Kobayashi: Curriculum Development of Programmed Learning by Utilizing ROBOLAB™, Dynamic Systems Approach for Embodiment and Sociality, pp.196-204(2002)
- 3) 小林靖英, 山本利一, 軽部慎文, 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)
- 4) 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)」, 日本産業技術教育学会技術教育分科会第8回研究会(2002)
- 5) 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回関東支部会(2002)
- 6) 文部省 中学校学習指導要領(平成10年12月)解説-技術・家庭編一, 東京書籍(1999)
- 7) 安藤義仁, 山本利一 「LEGO MINDSTORMS™とROBLAB™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 研究紀要第39集(2003)
- 8) 小玉義明, 「情報活用の実践力」を高めるための指導法の研究, 岡山県情報教育センター 平成14年度長期研修員研究成果, http://www.jyose.pref.okayama.jp/tyosa_kenkyu/index_tyosakenkyu.html