

ロボット教材の開発

－ 「問題解決能力」の育成を目指して －

西原 秀夫¹

PISA調査の結果を受け、「PISA型 読解力」の向上を始めとした、様々な取り組みが各所で行われている。本研究は、児童・生徒の興味・関心が高いロボットを題材として、その動作プログラミングの学習を通して、「PISA型 問題解決能力」を育成するための学習プロセス（過程）を考慮したロボット教材の開発を行ったものである。

はじめに

OECD(経済協力開発機構)によって実施されている「生徒の学習到達度調査(PISA調査)」は、生徒が、持っている知識や技能等を実生活の様々な場面で直面する課題にどの程度活用できるかについて調査しているもので、2000年から「読解力」、「数学的リテラシー」、「科学的リテラシー」の3分野で実施され、第2回目に当たる2003年の調査では「問題解決能力」(以下「PISA型 問題解決能力」という。)が付加的に追加され、4分野で実施された(第3回目の2006年の調査は、当初の3分野で実施された。)

「PISA型 問題解決能力」は、「問題解決の道筋が瞬時には明白でなく、応用可能と思われるリテラシー領域あるいはカリキュラム領域が数学、科学、または読解のうちの単一の領域だけには存在していない現実の領域横断的な状況に直面した場合に、認知プロセスを用いて問題に対処し解決することができる能力(丸数字は筆者)」と定義(国立教育政策研究所訳)されており、その問題の構成要素は、「問題タイプ(意思決定、システム解析・設計、トラブル・シューティング)」、「問題の文脈」、「問題解決過程」の三つである。なお、「PISA型 問題解決能力」は「数学的リテラシー」や「科学的リテラシー」の問題の構成要素となっている「問題解決」とは異なるものである。

この「PISA型 問題解決能力」の特徴は、『問題解決の道筋(定義)』とあるように問題解決のプロセス(過程)に着目している点や『応用可能な領域が単一の領域だけには存在していない現実の状況(定義)』とあるように問題解決に教科横断的な知識や技能を要する点、そして、最大の特徴として『認知プロセスを用いる(定義)』ことが挙げられる。

「PISA型 問題解決能力」の公開問題は、問題のタイプ別にみると、意思決定では「鉄道の経路決定」など、システム分析と設計では「図書の貸し出しシステムの設計」など、トラブル・シューティングで

は「冷蔵庫の故障診断」などが出題されており、いずれのタイプにおいても、情報処理システムやコンピュータプログラム、アルゴリズム等に関係の深いものとなっている。

現在、教育の場で行われている「問題解決的な学習」は、一般にジョン・デューイの『思考の方法』にある、問題解決における「反省的思考の5つの側面」を参考とするものが多く見られる。デューイは、「思考の諸状態」における、「五つの局面」として、問題提議、知的整理、仮説、推理、検証を示し、これらは「思考の過程」がたどるプロセス(過程)ではなく、思考の特徴を述べたものとしている。つまり、ここでいう「五つの局面」は必ずしも問題提議から検証の順に、順番に行われるものではなく、学習者の試行錯誤が随時行われ、その試行錯誤のプロセス(過程)の中にこそ、学習の目的があるといえる。

また、ベンジャミン・ブルームは『教育目標の分類学：認知領域』の中で、「認知プロセス」について、「知識の想起」という単純なものから、「判断を下す」という複雑なものへと6段階のプロセス(過程)として解説している。このブルームの「認知プロセス」は、その後、弟子であるローリン・アンダーソンらによって、思考の内容である「何を知っているか」と、問題解決で使用するプロセス(過程)である「いかにして知っているか」を明確に区別する形で改定され、「認知プロセス」は、単純なものから複雑なものへ、記憶、理解、応用、分析、評価、創造という6段階のスキルで構成されるとされた。アンダーソンらは、問題解決の際に、この「認知プロセス」を経ることによって、「問題解決を成し遂げるために必要とする知識と、そのプロセス(過程)を獲得することができる」としている。問題を解決するプロセス(過程)において随時行われる試行錯誤においても、「認知プロセス」が実行されているといえる。

研究の目的

本研究では、「PISA型 問題解決能力」が「認知プ

1 カリキュラム支援課 課長

ロセスを用いた問題解決」を求めていることから、問題解決に当たって、特に試行錯誤のプロセス（過程）を重視し、学習を「認知プロセス」の手順で行うことは、「PISA型問題解決能力」の育成に有効であると考へた。また、「PISA型問題解決能力」の公開問題の傾向が情報処理システム等に関連が深い点から、児童・生徒の興味や関心が高く、制御プログラムの学習が論理的な思考力の育成に有効であることが知られている「ロボット」を題材に、その教材化を行うための「教材用ロボットの開発」を試みた。

研究の内容

1 ロボット教材とは

ロボットの教材化への取組は古く、1969年には、マサチューセッツ工科大学のシーモア・パパートによって、「タートル」と名付けられたロボットにプログラム言語として「Logo」を実装し、ロボットをプログラムどおりに動かすという試みがなされている。しかし、このロボットにはセンサーは取り付けられておらず、プログラムどおりに、前進、後進、左折、右折の動きをするのみであった。

現在では、センサー技術の進歩などによって、ロボットを教材として用いた学習の特徴は、センサー（入力）とアクチュエーター（出力）の関連や、それらに介在するプログラムの制御について、実際の動きを体験しながら実感でき、自ら問題を発見し、筋道を立てて理解する力を育成できる点にあり、コンピュータ上でのシミュレーション等によるプログラミング学習では得られない学習効果が期待されている。

一方、一般的にロボットを制御するためのプログラミングの学習は、論理的な思考力の育成など、問題解決のための諸能力を育成するために有効であることは知られているが、実際に与えられた課題を解決するためのプログラムを記述するためには、多くの命令語や文法事項を膨大な時間をかけて習得する必要があり、初等・中等教育において効果的な学習を展開するのは困難である。

この問題を解決するため、シーモア・パパートらは、プログラマブル・ブリック・プログラミング方式（プログラミングに必要な命令をブロック（画面上のアイコン）で表し、そのブロックを組み合わせることでプログラムする方式）を考案した。その後、デンマークのレゴ社とマサチューセッツ工科大学のミッチェル・レズニックらは、このプログラマブル・ブリック・プログラミング方式をレゴブロックと組み合わせた知育玩具（レゴ マインドストーム）を共同開発し、商品化した。

このレゴ マインドストームは、世界中の教育現場に受け入れられるとともに、多くの教育実践がなされ、

想像力や問題解決能力などの育成に対する効果が報告されている。

レゴ マインドストームの知育玩具や教材としての成功を受け、同様のコンセプトの製品が知育玩具として、我が国を始め、アメリカ、ドイツ、韓国など、世界各国で開発され、商品化されている。

これらの商品は、高価で完成度の高い製品と安価で機能が限定的な製品とに大別できる。前者の代表は、レゴ マインドストームである。この製品は、ロボットのメカニズムをレゴブロックで構成するため、機構面において様々な工夫が可能となっていることが最大の特徴である。反面、ロボットメカニズムの組み立てに多くの時間が必要である点が、授業で使用する際の課題となる。制御ソフトウェアは、機能的な制限が少ないため、プログラミングにおける高い学習効果が期待できる。後者に分類される製品の多くは、ロボットのメカニズムや接続できるセンサーについて固定的な製品が多く、機構面での工夫がほとんどできない。また、制御ソフトウェアについても、回転方向のみが指定でき、個々のモーターの回転速度や方向を自由に制御できないなどの機能的な制限がある製品もあり、学習者の試行錯誤の範囲が限定される場合がある。

さらに、レゴ マインドストームなど、前者に分類される製品は、相当に高価であるため、研究指定校などを除いて、一般の授業で利用するために十分な台数を確保するには、多くの予算を必要とする。

2 ロボット教材の仕様策定

本研究で開発するロボットは、「PISA型問題解決能力」育成の視点から、学習プロセス（過程）における学習者の試行錯誤を重視し、ロボットのメカニズムや接続センサーに自由度を持たせるとともに、制御ソフトウェアについても、モーターの回転方向や速度など、素となる機能での制御を可能とすることとした。

(1) ロボットボディー

ロボットのボディーの材質には、加工性に富む板目紙を使用し、各種の部品は型紙として提供することとした。（写真1）学校では、総合教育センターのWebページから



写真1 ロボットのボディー

型紙をダウンロードし、プリンターで印刷した後、型紙どおりに切り抜き、のりで接着することで組み立てることを想定した。組み立ては、カッターなどで切り抜いた後、ポンチでパーツ等の固定用のネジ穴を開け

た後に、のりで接着することとした。なお、実験の結果、板目紙は、3枚重ねることによって、ロボットのボディとして十分な強度が得られることが分かった。

動力となるモーターには、模型用のモーター付きのギアボックスを利用し、タイヤやキャタピラーで走行するようにし、アームなどを動かしたりできるようにした。

(2) センサー

基本的なセンサーとして、壁面などを検出するマイクロスイッチを用いたタッチセンサー（写真2）とライトレール用の床面のラインを検出する光反射センサー（写真3）を利用することにした。また、必要に応じて、方位センサーや距離センサーなども利用できるようにするため、センサー回路は、デジタルセンサー回路とアナログセンサー回路に加え、CPUを搭載するセンサーとの通信回路を実装した。



写真2 タッチセンサー

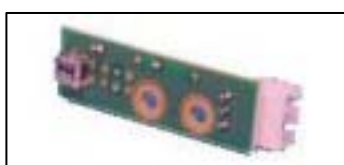


写真3 光反射センサー

(3) ロボット制御基板

ロボット制御基板は、部品の入手性と価格面に考慮し、ROMやRAM、ADCなどをチップ内に内蔵している、1チップタイプのマイクロプロセッサを用い、学校での利用を考慮し、ROMへのファームウェアの書き込み機能（ROMライター機能）を搭載することとした。（写真4）多様なロボットメカニズムに対応するため、ロボット制御基板のインターフェイスは、センサー入力6回路、DCモーター駆動出力3回路及びPCとの通信回路などで構成し、さらにサーボモーターの接続も考慮することとした。



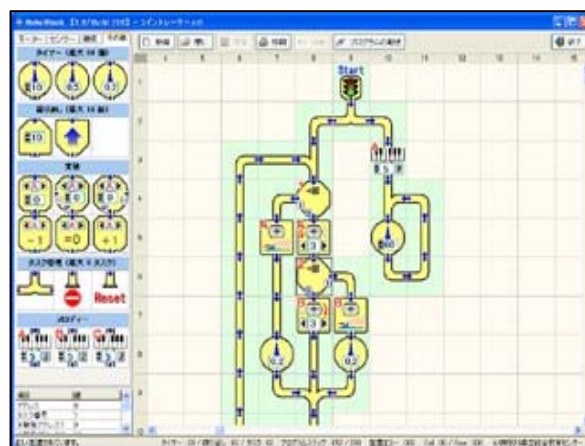
写真4 ロボット制御基板

(4) 制御ソフトウェア

命令語や文法事項を習得することなく、子どもたちでも簡単に流れ図のみで問題解決の手順を記述できることを目指し、プログラマブル・ブリック・プログラミング方式の独自のロボット制御プログラムの記述環境を開発することとした。

プログラム機能として、「PISA型問題解決能力」の定義にある「単一の領域だけには存在していない現実の領域横断的な状況」を解決する際のヒトの認知プ

ロセスに見られる複数の事象の同時処理過程を忠実にプログラムとして表現できるようにするため、マルチタスク機能を実装することとした。また、学習者のプログラミングを容易にするため、マウスのみですべての操作（値の入力を含む）を実現できることやコピーや移動などの操作をMicrosoft Windowsの基本操作と同一にすることとし、さらに、作成したプログラムを日本語の文章やBASICプログラムとして表示する機能、センサーの読み取り値をモニター表示する機能を実装することとした。（第1図）



第1図 制御ソフトウェア

(5) その他の機能

ロボットのメカニズムの動作検証や動作イメージの確認のため、有線リモコンでロボットの操縦機能を実装した。（写真5）また、学習者の興味や関心を高めるための機能



写真5 リモコン操作部

として、鍵盤による楽曲の入力とロボットに搭載するスピーカーによるメロディの演奏機能を搭載した。（第2図）



第2図 メロディの入力画面

3 ハードウェア（ロボット制御基板）

ロボット制御基板は、CPUにマイクロチップ社製のPIC16F88を、モータドライバに東芝製のTA7291Pを使用した。このモータドライバ（TA7291P）は、1A（ピーク時2A）の電流が流せるので、模型用のDCモータ

(マブチ製 FA130 など)を駆動することができる。なお、CPU は、内蔵の発信機で 4 MHz で動作している。

回路電圧は、3.3V と 5V をジャンパーで切り換えられるようになっているが、PIC16F88 の最低動作電圧は 4V、TA7291P の最低動作電圧は 4.5V となっているので、5V での使用を推薦する。また、ボルテージレギュレタの動作には、回路電圧 + 0.5V 程度が必要なので、電源端子に接続する電源の電圧に注意が必要である(ブートローダーの転送時には、8.5V 以上の電源を接続する必要がある。)

シリアル通信のレベルコンバータは、価格を抑えるために、MAX232C のような専用 IC ではなく、トランジスタによる簡易回路で構成している。使用する PC によっては、うまく通信できないことも考えられるが、そのような場合は、次のいずれかの対応をとる必要がある。

- ・ファームウェア書き込み画面の「ハンドシェイクをしない」をチェックする。
- ・USB-シリアル変換アダプタを使用する。

(1) ブートローダー

ロボット制御基板では、使用している CPU(PIC16F88) のプログラムメモリを、ブートローダー、ファームウェア、ユーザープログラムに分けて利用している。これは、PIC16F88 のプログラムメモリに最初にプログラムを書き込む場合、特別な書き込み手順や 8.5V 以上の高電圧を必要とするため、頻繁に書き換える必要のあるユーザープログラム等の書き込みを容易にするためである。

つまり、PIC16F88 に最初に書き込むプログラムを、ブートローダーとして書き換えの必要のない最小限の内容で独立させ、ファームウェアとユーザープログラムの書き込みは、ブートローダーが通常の動作電圧(5V)で行うというものである。

ここで、ユーザープログラムだけでなく、ほとんど書き換えの必要のないファームウェアもブートローダーから切り離しているのは、アセンブラや C 言語で作成したプログラムの書き込みにも対応するためである。

(2) ファームウェア

ファームウェアは、ブートローダーとして書き込まれているプログラムによって、通常の動作電圧(5V)で書き込むようになっている。

ファームウェアは、後に書き込まれるユーザープログラムを解釈し、ロボットのセンサー値を読み取ったり、モーターの回転を制御したりする働きを持っており、いわゆるインタープリタの役割を果たすものである。

なお、前述のとおり、このファームウェアの代わりに、アセンブラや C 言語で作成したプログラムを書き込むことができるようになっている。

(3) ユーザープログラム

ユーザープログラムは、ブートローダーとして書き込まれているプログラムによって、通常の動作電圧(5V)で書き込むようになっている。

ユーザープログラムは、ロボット制御基板内で、ファームウェアによって解釈され、ロボットのセンサー値を読み取り、モーターの回転などを指示するものである。

ロボット制御基板に書き込まれたユーザープログラムは、スタートボタンを押すことによって、スピーカーが、「ピピピピー」と鳴動した後、実行される。ストップボタンを押すことで、実行中のユーザープログラムを停止することができる。

4 ソフトウェア(制御ソフトウェア)

制御ソフトウェアは、ロボットプログラムの初心者を対象として、命令をブロック化して、フローチャートのように並べていく、プログラマブル・ブリック・プログラミング方式のプログラミング環境で、細かな命令(言語)を覚えることなく、プログラムの動作の仕組みや、その考え方を理解できることを目的に開発した。

例えば、車を前進させるには、両輪を順回転させなければならない。また、右方向にゆっくりと回転させるには、左の車輪を順回転、右の車輪の速度を少し落として順回転させるなど、目的とする動きをさせるためには車輪をどの方向に回すのか、どのようなセンサーを使うのか、センサーが反応したときどのように動きを変えればいいのかなど、学習者が動きを予想し、プログラムを組み立てられるようになっている。

命令ブロックは、グループ毎にタブで表示を切り替えるようになっている。

(1) モータータブ

モーターの回転方向や回転速度の指定、減速や加速、反転など、細かく指定できるので、後述するセンサーの測定値の読取機能と合わせて、ロボットが予定どおりに動作しない場合の試行錯誤のプロセス(過程)を論理的な考えに基づいて、踏むことができる。

(2) センサータブ

アナログセンサー、デジタルセンサー、インテリジェントセンサーの選択と、センサー値による分岐動作を指定できる。各センサーの測定値は、ロボットに PC を接続することで、常にモニターすることができるので、前述のモーターの細かい制御機能と合わせて、論理的な試行錯誤ができるようになっている。

なお、サーボモーターを使用する場合は、一部のセンサーが使えなくなる。

(3) 接続タブ

命令ブロック同士をつなぐ道筋となる。

(4) その他タブ

タイマー、タスク、変数、メロディ等のコマンドを

指定できる。

5 プログラミング

ここでは、基本的なプログラムを例示することで、制御ソフトウェアのプログラム方法を説明する。

(1) モーターAとBを5のスピードで右回転させるプログラム(第3図)

①は、スタート命令のブロックで、プログラムの開始を示す。

②は、Aのモーターを制御する命令のブロックで、この場合は、5のスピードで右回転させる。

③は、Bのモーターを制御する命令のブロックで、この場合は、5のスピードで右回転させる。

[注]このプログラムは、②と③の命令を、永遠に繰り返す。プログラムを終了するには、ロボット制御基板のストップボタンを押す。

(2) モーターAを5のスピードで右回転させ、センサー1に接続したタッチセンサーが押されたら終了するプログラム(第4図)

①は、スタート命令のブロックで、プログラムの開始を示す。

②は、Aのモーターを制御する命令のブロックで、この場合は、5のスピードで右回転させる。

③は、デジタルセンサー命令のブロックで、センサー1の値を評価し、タッチセンサーが押されていないときは、〔1〕を返すので、命令③を無限に繰り返し、センサーが押されると〔0〕を返すので、リセット命令④に処理を分岐する。

④は、リセット命令のブロックで、プログラムを終了する。

(3) モーターAを5のスピードで3秒間、右回転させるプログラム(第5図)

①は、スタート命令のブロックで、プログラムの開始を示す。

②は、Aのモーターを制御する命令のブロックで、この場合は、5のスピードで右回転させる。

③は、タイマー命令のブロックで、この場合、3秒間、現在の状態を保持する。

④は、リセット命令のブロックで、プログラムを終了する。

(4) モーターAを1のスピードで右回転させ、3秒ご

とに1段階ずつ加速していくプログラム(第6図)

①は、スタート命令のブロックで、プログラムの開始を示す。

②は、Aのモーターを制御する命令のブロックで、この場合は、1のスピードで右回転させる。

③は、タイマー命令のブロックで、この場合、3秒間、現在の状態を保持する。

④は、Aのモーターを加速する命令のブロックで、この命令ブロックを処理する毎に1段階ずつ加速する。

[注]このプログラムは、③のタイマー命令と④のモーターAの加速命令を、永遠に繰り返す。プログラムを終了するには、ロボット制御基板のストップボタンを押す。

(5) ライトレーサーのプログラム

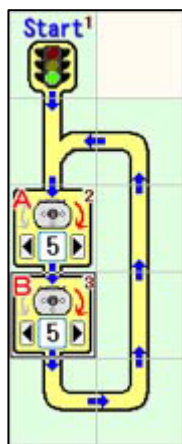
ライトレーサーとは、床面に描かれたラインをセンサーで検出し、そのラインに沿ってロボットを走行させるものである。

ロボットが第7図(A)のようなライン上を走行する場合、ロボットがライン上を直進すると、矢印の先の光センサーは黒い線から、右側にはみ出してしまふ。このような場合、ライン上

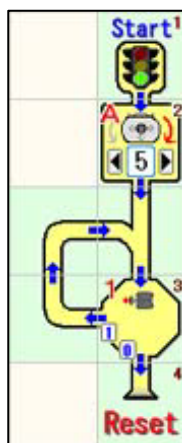
をトレースさせるためには、左側のモーターを止め、ロボットを左に向ける必要がある。また、ロボットが左に向いて、ライン上に光センサーが入ったら、右に回転させ光センサーがラインからはみ出すまで動かす。この動作を繰り返すことで、ロボットは、第7図(B)のようにライン上をトレースして進むことになる。

このプログラムをフローチャート

で表すと、第8図のようになり、本研究で開発した「制御ソフトウェア」でプログラムすると、第9図のようになる。



第3図



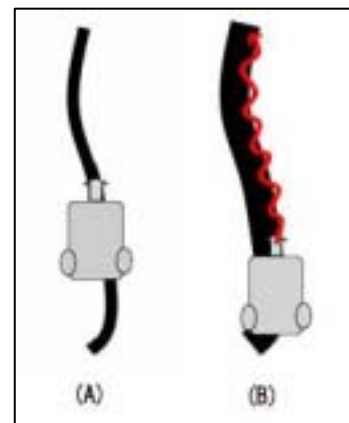
第4図



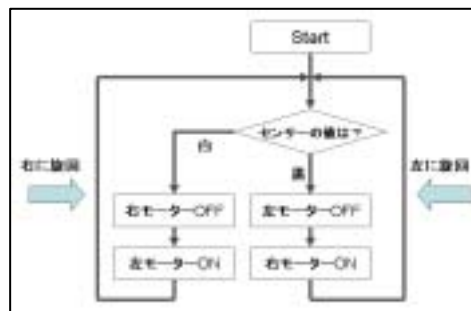
第5図



第6図

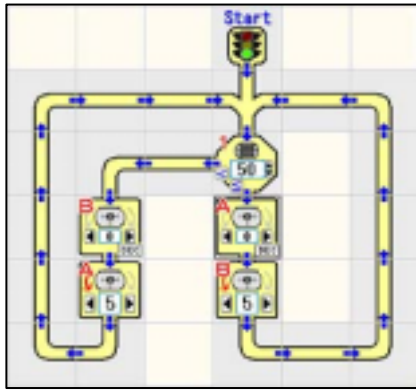


第7図 ライトレーサーの原理



第8図 ライトレーサーのフローチャート

両図を比較して分かる通り、本研究で開発した「制御ソフトウェア」は、プログラムの動作を視覚的に表すフローチャートと完全に同一のイ



第9図 ライトレーサーのプログラム

メージでプログラムできることが分かる。

(6) マルチタスクライトレーサーのプログラム

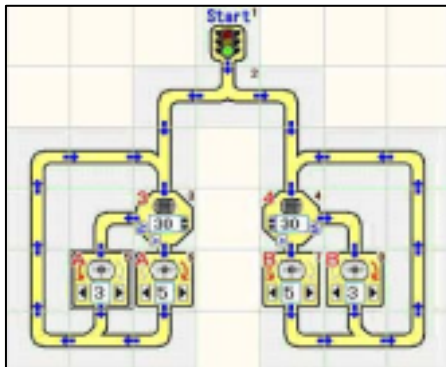
マルチタスクを使ったライトレーサーのプログラム例を示す。マルチタスク機能は、本研究で開発したロボット教材の重要な特徴の一つで、複数の処理を同時に実行する機能を指す。

このマルチタスク機能を用いると、左右2つのセンサーと2つのモーターを、それぞれ独立させて制御することができる。ここでの例では、右のセンサーがラインをはずれた場合は、右のモーターを加速する、

左のセンサーがラインをはずれた場合は、左のモーターを加速する。つまり、と の2つの別々の処理によって、ラインをトレースするものである。この考え方は、人間の思考過程に非常に近いものとされており、「問題解決能力」育成の視点において、通常のプ

ログラミング言語による学習に比べて、優れた特徴のひとつである。

マルチタスクを使ったライトレーサーのプログラム例を示す。



第10図 マルチタスクライトレーサーのプログラム例を示す。

(第10図)

研究のまとめ

本研究で開発した「ロボット教材」を利用した学習活動を通して、児童・生徒が「問題解決」の新たな概念や思考プロセスを自ら見出し、自らに合った学習方法やスタイルで学ぶことは、その児童・生徒が、異なる学習方法やスタイルにも適応できる能力を身に付けることにもつながるものと考えられる。教師が「問題解決型の学習」や「新しいスタイルの教材」など、学習方法やスタイルについて工夫・改善を行うことは、

児童・生徒の興味・関心や学習意欲など、学びの向上につながるといえる。

本研究によって開発したロボット教材とそれを活用した「問題解決型の学習」は、ハワード・ガードナーの多重知能の研究における「言語的知性〔コンピュータ言語〕、論理・数学的知性〔アルゴリズム〕、空間的知性〔ロボットの移動空間〕、運動感覚的知性〔ロボットの操縦〕、音楽的知性、対人的知性〔グループ学習〕、内省的知性〔試行錯誤の思考過程〕、自然主義的知性（〔〕内は筆者）」の多くの部分をカバーするものであり、児童・生徒の「問題解決能力」の育成に効果があるものと確信している。

おわりに

本研究で開発したロボット教材の普及のため、本研究での教材開発と並行して、ロボット教材を利用した学習の体系化を目指し、PISA型「問題解決能力」の育成を目的としたカリキュラムの開発を行っている。また、ロボット制御基板を理科の学習でも活用できるようにファームウェアを改良し、温度センサーなどの各種の物理量を測定するセンサーを接続し、その測定値を記録するシステムの開発も行っている。これらの成果によって、本ロボット教材が広く活用され、児童・生徒の「問題解決能力」が向上することを願っている。

なお、本研究及び関連する研究の成果の詳細は、総合教育センターのWebページに掲載してある。

<http://www.edu-ctr.pref.kanagawa.jp/roblox/>

最後に、本研究は、横浜国立大学と共同で行ったことを申し添える。

[調査研究協力員]

大和市立大和中学校 佐藤 浩二

松田町立松田中学校 奥村 尚太

県立磯子工業高等学校 尾花 健司

[助言者]

横浜国立大学

川原田 康文

参考文献

デューイ 1980 「論理学 探究の論理」(上山春平編 『世界の名著 59』中央公論社)

インテル教育支援プログラム「思考スキル：考える方法や技術」<http://www97.intel.com/jp/ProjectDesign/ThinkingSkills/>(2008年2月取得)

岩崎保之 2007 「教育評価における『情意』の位置づけの在り方 - デューイとブルームの理論比較を通して - 」(『新潟青陵大学紀要』第7号)