

画面を飛び出したオブジェクト: 自立型ロボットを活用した 情報教育の提案*

紅林 秀治[†], 兼宗 進^{*}, 岡田 雅美[‡], 佐藤 和浩[§], 久野 靖^{*}

藤枝市立西益津中学校[†] 筑波大学大学院 経営・政策科学研究科^{*} 千葉市立金沢小学校[§]

〒426-0012 静岡県藤枝市田中1丁目7-1[†]

kurezo@vcs.wbs.ne.jp[†] {kanemune,kuno}@gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp^{*}

seigy@logob.com[‡] k.sato@asahi-net.email.ne.jp[§]

概要

自立型ロボットを題材に、それを制御するプログラミングと、画面上でシミュレーションを行なうプログラミングを組み合わせた情報教育を提案する [7]。最初に、授業の中で活用できる廉価な車型のロボットの設計 [6] と、そのロボットを汎用のプログラミング言語 (LOGO、ドリトル) から制御する仕組みを述べる。続いて、中学校の「技術・家庭科」において実施した制御とシミュレーションの授業事例 [2] を報告し、最後に、小学校の「総合的な学習の時間」の中で実施した授業事例 [8] を紹介する。ロボットという現実世界のオブジェクトを扱うことで、生徒たちは実世界と結び付いた形で計算機の仕組みを学ぶことができた。

1 はじめに

技術科の授業の中で「情報とコンピュータ」の展開が期待されている。しかし、携帯電話やネットワークの発達した現代社会の中で、情報とコンピュータが活用される様子を実感を持った形で生徒に伝えるためには、アプリケーションソフトの操作や Web ページの作り方を伝えるだけでは十分ではない [3]。そこで、自立型ロボットを活用した情報教育を考案し、実施した。その結果、この授業を通して、生徒がハードウェア、ソフトウェア、通信、制御などをバランスよく学ぶことができることを確認した。

本論文では、使用した教材を紹介した後、中学校「技術・家庭科」で実施した授業と小学校「総合

的な学習の時間」で実施した授業を順に紹介する。

2 使用した教材

今回の授業で使用した教材として、自立型ロボット、およびその制御に用いた2種類のプログラミング言語を紹介する。

2.1 自立型ロボット

今回の授業で使用するために市販のロボット教材を調査したところ、我々が望んでいる次の条件を満たす製品を見つけることはできなかった¹。

- 車輪の付いたロボットカーである (教材として使いやすい)

¹市販教材は1万円以上する高価な製品が多く、生徒が教材費で購入して持ち帰ることができる製品は少なかった。その中で梵天丸 [10] は5千円前後という価格と高い操作性で最も条件に近かったが、プログラムが専用言語であることから、教材費を3千円台で押さえたことから、今回は新たなロボットを設計することにした。

Objects outside the screen — IT education with autonomous robots —, Shuji Kurebayashi[†], Susumu Kanemune^{}, Masami Okada[‡], Kazuhiro Satoh[§], Yasushi Kuno^{*} (Nishimashitsu Junior High School[†], Tsukuba University^{*}, Kanazawa Elementary School[§])

- 壁にぶつかったことがわかるセンサーがある (迷路などの学習に使いたい)
- プログラムを内蔵して動く自立型であり、線をつながなくてもパソコンからプログラムを転送できる (有線は行動範囲が狭くなるので望ましくない)
- 汎用のプログラミング言語から操作できる (プログラミングやシミュレーションの授業と関連付ける)
- TV リモコンで制御できる (自宅に持ち帰っても遊べる)
- 安価である (生徒が教材費で購入できる)

そこで、新たに学習用のロボット教材を設計した。基板の設計方針を示す。

1. 簡潔な回路にする

CPU とメモリなどが一体になった PIC という制御用のチップを採用することで部品数を減らし、生徒が作りやすい簡単な回路にする。

2. 簡単な命令で動くようにする

パソコンから転送する命令をできるだけ簡単なものにして、生徒が扱いやすいようにする。命令は汎用性を持たせ、一般的な言語から扱えるようにする。

3. 古くならない内容にする

最新の技術を使いながら、時代が変わっても無駄にならないオーソドックスな計測・制御を学べる設計にする。

4. さまざまな授業で使えるようにする

- (1) 小学校の総合的な学習の時間では、TV リモコンを使った操作で迷路ゲームなどを行なえるようにする
- (2) 中学校の技術・家庭科では、ロボットカーを作り、それをプログラムから制御できるようにする
- (3) 高校の情報科では、回路を見ながらロボットの仕組みを学べるようにする

図 1 に設計した基板を示す²。少ない部品で構成されており、必要な機能を持ちながら、複雑にならないように工夫されている。

²回路図や基板の入手方法は文献 [6] を参照されたい。

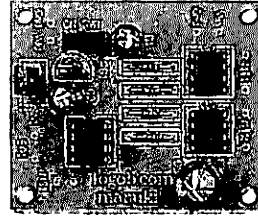


図 1: 設計した基板

この基板に採用した PIC という CPU には、演算装置の他に、揮発性メモリ (RAM)、不揮発性メモリ (ROM)、入出力装置 (I/O) が搭載されている。不揮発性メモリには、パソコンから転送された命令を解釈するためのモニタプログラムが書き込まれている。揮発性メモリには 39 ステップのプログラムと、7 ステップのサブルーチンプログラムを 2 個記憶することができる。入出力装置は 2 軸モータの正逆動作により、ロボットの前後左右の移動を可能にした。また、マイクロスイッチによる入力検出により、プログラムによるマイクロスイッチのオン・オフの判別が可能になっている。

プログラムは基板上の赤外線受光機により、外部から受け取るようにした。パソコン側の送信インターフェースには、汎用的な赤外線送信機を使用可能である。図 2 に赤外線によるプログラム転送の様子を示す。

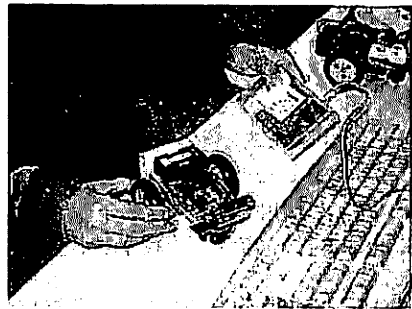


図 2: 赤外線によるプログラム転送の様子

2.2 ドリトル

ドリトル [4] [5] [9] は教育用に設計されたオブジェクト指向言語である³。簡潔な日本語による構文を採用しており、オブジェクトに呼び掛ける形でプログラムを記述できる。

ドリトルの処理系には通信ポートにアクセスする機能が含まれており、それを利用することで外部機器の制御が行なえる。授業で使う際には、外部機器の仕様に対応して分かりやすい記述を可能にするオブジェクトを予め用意することで、生徒が入出力の詳細に煩わされることなく外部機器の制御に集中できる。

図3に、2.1節のロボットをドリトルから制御するプログラム例を示す。このプログラムでは、“ロボ次郎”という名前の通信オブジェクトを生成し、その内部に“転送命令”という名前でロボットに命令を送るメソッド(オブジェクトごとに記憶する小さなプログラム)を定義している。このメソッドは、通信ポートを開いた後で実行される。転送される命令により、ロボットは次のように実行を行なう。

- スイッチが押されたら実行を開始する
- スイッチが押されるまで前進する
- 何かにぶつかったら後退し、左に向きを変える
- 再びスイッチが押されるまで前進する
- 何かにぶつかったら後退し、右に向きを変える

```
ロボ次郎 = シリアルポート!作る。
ロボ次郎:転送命令 = 「
!はじめロボット
スイッチスタート
前進・入力で停止
10 後退 15 右前 15 左後
前進・入力で停止
10 後退 15 左前 15 右後
おわりロボット」。
ロボ次郎!"com1" ひらけごま。
ロボ次郎!転送命令。
ロボ次郎!うごけ。
ロボ次郎!とじろごま。
```

図3: 制御プログラム例 (ドリトル)

³最新版はプログラミング言語「ドリトル」のサイト (<http://www.logob.com/dolittle/>) から入手できる。

2.3 ロゴ坊

ロゴ坊 [1] は、初中等教育でのプログラミング学習で広く使われてきた LOGO 言語の処理系である⁴。ロゴ坊の言語仕様はオーソドックスな LOGO の構文に準拠しており、手続き的な構文(繰り返し、条件分岐、手続きなど)を使ってプログラムを記述する。命令は日本語で記述でき、外部のロボットなどをプログラムから制御することが可能である。図4に、2.1節のロボットをロゴ坊から制御するプログラム例を示す。

```
てじゅんは 新ロボ
ひらけごま
転送
入力1
前停止
後退 10
右前 15
左後 15
前停止
後退 10
左前 15
右後 15
終了
うごけ
とじろごま
おわり
```

図4: 制御プログラム例 (ロゴ坊)

3 中学校での授業

藤枝市立西益津中学校の技術・家庭科の授業では、2001年度に3年生の必修授業として自立型ロボットの製作と、それを制御するプログラミングの授業を行なった。また、同年の後半には3年生の選択授業として画面上でロボットの動きをシミュレーションする授業を行なった。

3.1 ロボットを活用した授業

必修授業では、ロゴ坊によるプログラミング学習(6時間)を終えた後、ロボット製作(7時間)、制御プログラミング(7時間)の順に進めた。実施

⁴最新版は Logo 情報室 (<http://www.logob.com/logo/>) から入手できる。

当時はドリトル言語が開発中だったため、LOGO言語を使用した。

表1に実施したカリキュラムを示す。プログラミングともの作りを融合させた内容である。生徒には、最終的な目標として、迷路の中でスタートからゴールまでを正確に移動する課題を与えた。

表 1: 必修授業のカリキュラム

時限	内容
1-3	LOGO 言語の基礎
4-6	8ビットのランプ点滅プログラム
7-13	ロボット製作
14-20	ロボット制御プログラム

1-3 時限では、タートルグラフィックスを題材として、逐次的な実行、繰り返し、手続きの定義などLOGO言語の基礎を学んだ。

4-6 時限では、計算機と外部機器の通信を理解するために、通信ポートに送ったデータをビットごとのランプで確認する授業を行なった(図5)。

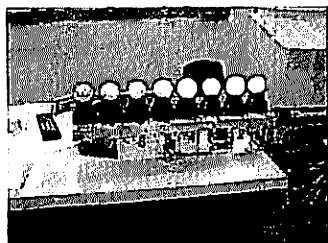


図 5: 出力データの確認

7-13 時限では、ロボットを製作する授業を行なった。半田で基板を作成し、模型の台車に装着した後、TV用のリモコンで動作を確認した。図6に、生徒が作成したロボットの作品例を示す。

14-20 時限では、LOGO言語からロボットを制御する授業を行なった。生徒には簡単な迷路を与え、スタート地点からゴール地点までを移動するプログラムを課題とした。図7に課題を実行する様子を示す。

図8、図9に、生徒の感想を示す。「プログラムは大変で難しいが、楽しく取り組めた」という感想が多く見られた。自立型ロボットを使ったプ

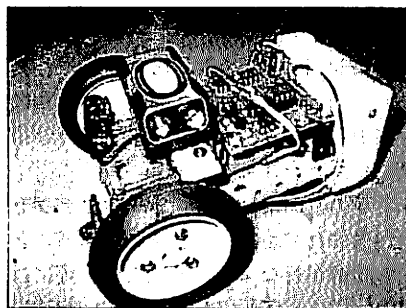


図 6: 製作したロボットの例



図 7: 課題を実行する様子

ログラミング学習は生徒の学習意欲を高めたことがわかる。

3.2 シミュレーション授業

選択授業では、必修授業で体験した「ロボット」という実世界のオブジェクトをイメージしながら、ドリトル言語を使用して画面上で複数のオブジェクトが相互的に影響を与え合うプログラミングの授業を行なった。実施時間は8時間である。表2に実施したカリキュラムを示す。

図10に、ロボットをシミュレーションするプログラム例を示す。この中で、ロボットに見立てたタートルオブジェクトには、他のオブジェクトに衝突したことを検出して特定の動作を行なう命令(メソッド)を埋め込んでいる。これにより、他

自分が作ったロボットが自分が命令するように動いてくれるので、うれしかった。ロボットへの命令は適当じゃなくて、頭を使わなくてはいけないので、けっこう難しいけどロボットがゴールについた時は、本当にうれしい。思ったようにロボットが動かなかった時は、どこが間違っているのかとかどうすればよくなるかと考え込んでしまった。何時間も続けて追求しながらやりたかった。3学期は迷路がもっとむずかしくなるらしいけど、絶対にゴールしたい。

図 8: 生徒の感想 (1)

最新のロボット技術を学ぶことができ、とてもうれしかった。プログラムは難しいけれども、できた時はとてもうれしかった。この勉強をしたら、AI もそんなに先の話でもないんじゃないかと思った。ロボットが少し狂っても、プログラムでその動きを修正できるなんて、とても驚いた。アイボなどの技術もこれを使っていると思うから、やっぱりすごいと思う。世界のいろいろな物の基礎が今ぼくらがやっているプログラミングだと思った。

図 9: 生徒の感想 (2)

のロボットや壁と衝突したときの動作を定義できる。タートルオブジェクトは、タイマーオブジェクトから一定間隔で繰り返し送られる命令を受け取って移動する動作を行なう。

図 11 に、図 7 の迷路をロボットが動く様子をシミュレーションするプログラムの実行例を示す。

表 2: 選択授業のカリキュラム

時限	内容
1	タートルグラフィックス
2	図形オブジェクトの生成と操作 タイマーによるアニメーション
3,4	メソッドと継承
5,6	メソッド定義による衝突検知
7,8	GUI 部品の活用
9,10	ゲーム作品
11-13	配列
14-16	アニメーション作品

```
カメゾウ=タートル!作る。
カメゾウ:長方形=「|x y|「!(x) 歩く 90 右回り
(y) 歩く 90 右回り」!2回 繰り返す。」。
壁=カメゾウ!10 200 長方形 図形にする。
壁!0 100 移動する (赤) 塗る。
カメゾウ!ペンなし 200 戻る。
```

```
カメゾウ:衝突=「!10 戻る 90 右回り。」。
時間1=タイマー!作る。
時間1! 0.1秒 間隔 15秒 時間。
時間1!「カメゾウ!2 歩く。」実行。
```

図 10: シミュレーションのサンプルプログラム

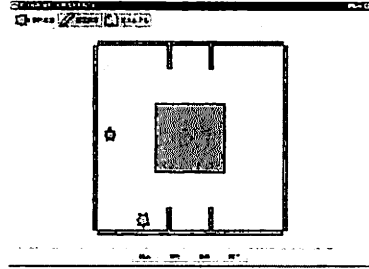


図 11: ロボットシミュレーションの実行例

3.3 考察

これらの授業を通して、生徒たちは次のことを学ぶことができた。

- 計算機のハードウェア的な仕組み。電源、CPU、メモリ、外部機器の制御 (ブザー、発光ダイオード、モーター)、外部との通信 (赤外線) など。
- 計算機のソフトウェア的な仕組み。ROM に定義された命令セットを使い、RAM にプログラムを記憶して CPU により逐次的に処理する。
- プログラミング。自分の作ったプログラムの動作がロボットの動きという目に見える形でフィードバックされることにより、動機付けや学習効果を高めることにつながった。
- 計算機の仕組み。ボタンなどの GUI 部品から制御することにより、家電製品の操作パネルやリモコン等の内部の仕組みを体験的に学ぶ

ことができた。

- 仮想的な世界と実世界の違い。画面上のシミュレーションでは常にプログラムした通りの動作になるが、実際のロボットでは、同じ制御プログラムであっても異なる結果となる。左右のモーターの個体差、地面との摩擦、電池の消耗等の原因を考察し、物理的な現象の理解に結び付けることができた。

プログラミングに関しては、ドリトルの利用が効果的であった。LOGO 言語や、以前使用したことがある BASIC 言語では、全体の動きをひとつのプログラムとして制御するため、複数のロボットを動かすシミュレーションはプログラムが複雑になってしまい、授業の中で実施できなかった。ドリトルではオブジェクトの中にメソッドという形で個々の動きを定義することができ、タイマーを使って定期的な繰り返し実行が可能であるため、画面上でシミュレーションを容易に行なうことができた。今後は、制御プログラミングに関してもドリトル言語を使用して授業を進める予定である。

4 小学校への応用

ロボットとそれを制御する情報教育は、さまざまな教科や学年で利用可能である。本節では、小学校の総合的な学習の時間において実施した授業を報告する。

4.1 総合的な学習と情報教育

小学校では総合的な学習の時間が実施され、その柱のひとつである情報教育をどのように扱うかが教育現場の課題となっている。

千葉県立金沢小学校では、これまでインターネットや図書館、インタビューなどによる調べ学習や、その結果をハイパーリンクで Web 上で結び付けて関連付ける学習を行ってきた。しかし、アプリケーションソフトや OS の操作の仕方を学習することは可能なものの、「情報の科学的な理解」の学習である「情報の表現法」、「情報処理の方法」、「統計的見方・考え方やモデル化の方法」、「シミュレーション手法」、「人間の認知的特性」、「身近な

情報技術の仕組」、「情報手段の特性」等を小学生が体験的に学習することは容易ではないという問題があった。

そこで、日本語でプログラミングができるオブジェクト指向言語「ドリトル」を使用したロボット制御を、総合的な学習の時間実践してみた。すると、児童は具体的な課題（ねがい）を設定するようになり、問題解決の過程で、自分の仮説を検証したり、ロボットをどのくらい動かせばいいのか実験を繰り返し、データをとる姿がみられたり、問題を解決するための情報の交換も活発に行なわれた。結果として、小学校においてもロボットとプログラミングを組み合わせた学習は効果があることが明らかになった。

今回は、次の理由から「ドリトル」を利用した。

- 画面で対話的に使える
- 日本語で命令を書ける
- 児童の発想に近いオブジェクト指向を採用している
- 誰かに仕事を頼む形でプログラムを書ける

また、ドリトルは、プログラムを書いて実行し、動作を確認しながら対話的に使っていけるため、基本的なプログラミングの作業がスムーズに行なえ、児童の思考の流れが途切れることはなかった。

4.2 金沢ミニロボットコンテスト

小学校で制御やプログラミング自体を教える必要はないものの、それらを学習に取り入れることは、コンピュータの動作原理が体感できる、科学的な探求ができるなどのメリットが多い。しかし、制御やプログラミングを前面に出すことは生徒に難解さを感じさせてしまうため、今回は次のように生徒のモチベーションを持続する工夫をした。

- 3,4 人のチームを作り、共同で課題を追求していけるプロジェクト型の学習とした。チーム内では、全体の進行を管理するディレクターと、橋の作成を担当するデザイナー、ロボットの動きを担当するプログラマーの 3 つの役割を持たせた。
- プログラミングや制御だけでなく、紙工作などと組み合わせた総合的な学習とした。

- 画面の中と実世界の関わりを体験できるようにした。紙工作においては、ロボットが通過する橋を画面上のCADで設計し(ペイント系のソフトを用いた)、実際に工作を行なった。制御においては、画面上でプログラミングを行ない、実際にロボットに転送して動作させた。
- 学習の最終局面をコンテスト形式にして、楽しみながら課題の達成度を確認できるようにした。

学習は「ドリトルメモ」というワークシートを児童に配布して行なった。1~4時限は、全員でドリトルのプログラミングに取り組んだ。内容はタートルグラフィックスと図形オブジェクトまでを扱った。当初は3時限だけで終る予定であったが、生徒の興味や関心が高く「いろいろなプログラムを作って動かしたい」という希望が多かったため、4時限もドリトルの授業を行なうことになった。5~11時限はロボットコンテストを行なった。図12にコンテストのコースを、図13にコンテストの課題を示す。

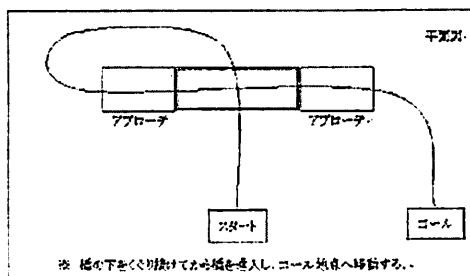


図12: ロボットコンテストのコース

図14にコンテストの様子を示す。ロボットはスタート後、橋の下を通過するため、橋の強度とロボットが自由に通り抜けるための橋脚の間隔を決めることが、難しかったようである。

図15に児童の感想を示す。計算機からプログラムが転送されていること、ドリトルのような言語処理系もひとつのソフトウェアであること、ソフトウェアは自分がプログラムした通りにしか動かないこと、市販のゲームなどもプログラムにより動いていること、などを生徒が学んだことが現

- 机に自作の橋を置き、プログラムしたロボットカーを図12のコースの通りに動かす
- 2回のトライアルでよい方の記録を採用する。橋のデザイン・強度・製作技術も評価対象とする
- ロボットはプログラムで制御する
- ステージは180cm×135cm(長机3台分)とする。橋は全長40cm・全幅20cm・最低高10cmとする

図13: ロボットコンテストの要項



図14: コンテストの様子

れている。

小学校の児童にこのような学習は成立するか心配な部分もあったが、チーム間に競争の要素や発表会的なミニロボットコンテストを取り入れることによって、高いモチベーションを持続したままミニロボコンを迎えることができた。一部の好きな児童だけが熱中するというのではなく、ほぼ全員の児童が夢中になって取り組んでいる姿が印象的であった。

プログラミングに関しては、80~90年代にBASISなどを学習に取り入れてプログラミングの学習の困難さを見てきた世代の教員にとって、日常の会話に似たような感覚でプログラミングできるドリトルは、隔世の感があった。総合的な学習の時間の中でプログラミングを取り上げることによ

- コンピュータで命令を出し、ロボットが動くな
んてびっくりしました。すごいと思いました。
- こんな楽しいソフトを作る人はすごい。ゲー
ムと違って、プログラムを作るところが気に入
った。
- 自分の命令したとおりにしか行かないから気を
つける。
- 文を入力すれば動くなんてすごいと思った。
- コンピュータを使ってロボットを動かす楽しさ
に気づいた。
- ゲームをやっている時、ぼく達はかんたんに進
めているけど、本当はすごい。プログラムは大
変だなあと改めて気がついた。
- 楽しくできたので、家でもやってみたい。
- みんないろいろなデザインがあってよかった。
ゴールした時はとてもうれしかった。

図 15: 生徒の感想

て、児童は今まで以上にコンピュータについて興味をもつことができた。今回使用したロボット教材やドリトルなどの適切な学習教材を用いることは、小学校児童の学習に効果があると考えられる。

5 まとめ

ロボットと通信・制御するプログラムの授業を通して、生徒たちは現代社会における情報とコンピュータの役割について、体験的に学ぶことができた。

中学校「技術・家庭科」においては、ロボットの製作を通してハードウェアの仕組みを学び、操作するプログラミングとその転送を通してソフトウェアの仕組みと情報の通信を学んだ。

小学校「総合的な学習の時間」においては、ミニロボットコンテストの授業を紹介した。この授業では、ロボット制御をチーム学習や橋の設計と組み合わせることにより、計算機を用いた問題解決を総合的に学ぶ内容となっている。

シミュレーションを行なうプログラミングに関

しては、ドリトル言語の利用が効果的であることを確認した。ドリトルではタイマーなどを利用することで、画面上で行なうシミュレーションを容易に行なうことが可能であった。

本研究の実験授業に協力頂いた、藤枝市立西益津中学校と千葉市立金沢小学校の教員と生徒の皆様に感謝致します。

参考文献

- [1] 井戸坂幸男. コンピュータの楽しさを知る～プログラミングソフト「ロゴ坊」. NEW 教育とコンピュータ, Vol. 13, No. 3, pp. 42-45, 1997.
- [2] 井戸坂幸男, 紅林秀治. 「ドリトル」ではじめる情報教育 第3回 中学校 技術・家庭科での授業実践. NEW 教育とコンピュータ, Vol. 18, No. 3, pp. 84-87, 2002.
- [3] 甲斐康司, 木室義彦, 坂口良文, 安浦寛人. 情報社会に生きる小中学生のための計算機の動作原理の教育. 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 4, pp. 1121-1131, 2002.
- [4] 兼宗進, 中谷多哉子, 御手洗理英, 福井眞吾, 久野靖. オブジェクト指向言語「ドリトル」を利用した情報教育について. 情報処理学会 情報教育シンポジウム (SSS2001), pp. 275-282, 2001.
- [5] 兼宗進, 御手洗理英, 中谷多哉子, 福井眞吾, 久野靖. 学校教育用オブジェクト指向言語「ドリトル」の設計と実装. 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. SIG11(PRO12), pp. 78-90, 2001.
- [6] 紅林秀治. 「ドリトル」ではじめる情報教育 第4回 ドリトルで制御の学習 その1. NEW 教育とコンピュータ, Vol. 18, No. 4, pp. 120-123, 2002.
- [7] 紅林秀治. 「ドリトル」ではじめる情報教育 第5回 ドリトルで制御の学習 その2. NEW 教育とコンピュータ, Vol. 18, No. 5, pp. 40-43, 2002.
- [8] 佐藤和浩. 「ドリトル」ではじめる情報教育 第7回 ミニロボットコンテストを開いたよ! ～小学校 総合的な学習での授業実践. NEW 教育とコンピュータ, Vol. 18, No. 7, pp. 114-117, 2002.
- [9] 中谷多哉子, 兼宗進, 御手洗理英, 福井眞吾, 久野靖. オブジェクトチーム: オブジェクト指向言語による初中等プログラミング教育の提案. 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 6, pp. 1610-1624, 2002.
- [10] メカトロで遊ぶ会. ロボット 梵天丸. <http://www.inrof.org/TORO/>.