

# ロボット教材を用いた個別学習を連携した協調学習

布施 泉<sup>\*1</sup>, 野口 孝文<sup>\*1</sup>, 梶原 秀一<sup>\*2</sup>, 千田 和範<sup>\*3</sup>, 稲守 栄<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup> 北海道大学, <sup>\*2</sup> 室蘭工業大学, <sup>\*3</sup> 釧路工業高等専門学校

## Collaborative Learning linking Individual Learning using Teaching-aid Robot

Izumi Fuse<sup>\*1</sup>, Takafumi Noguchi<sup>\*1</sup>, Hidekazu Kajiwara<sup>\*2</sup>, Kazunori Chida<sup>\*3</sup>, Sakae Inamori<sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup> Hokkaido University, <sup>\*2</sup> Muroran Institute of Technology,

<sup>\*3</sup> National Institute of Technology, Kushiro College

In this paper, we propose collaborative learning linking individual learning using a teaching-aid robot as a better learning method in a group of learners with different programming skills and levels. According to the learner's questionnaire that was conducted after completing the nine class lessons, it was confirmed that the learner had an increased interest in programming regardless of programming experience.

キーワード: ロボット, 個別学習, 協調学習

### 1. はじめに

プログラミングの学習は、初等中等教育における次期学習指導要領(小学校は 2020 年度から全面実施)の柱の一つであり、将来的にはすべての児童・生徒が、「プログラミング的思考」を身につけ、大学に進学してくるものと考えられる<sup>(1)</sup>。一方、その学習到達レベルは、学習者により異なることが当然に予想される。

本報告は、プログラミングを対象とし、スキルやレベルが異なる学習者集団における、より良い学習手法として、個別学習を連携した協調学習の実践手法について検討することを目的とする。その際、特定のプログラミング言語を用いるのではなく、機械語命令で動作するプログラミングロボットを用い、ロボットの動きを制御することで、プログラミングを基礎的なレベルから体験的に理解することを目的とした。

本稿では、第 2 章でロボット教材について紹介する。第 3 章で個別学習と協調学習を連携させた授業実践の詳細を示した上で、第 4 章で学習者によるアンケート結果を用いた評価を行う。最後に第 5 章で本実践手法の有用性等についてまとめる。

### 2. ロボット教材

#### 2.1 ロボット教材の構造

図 1 に本実践で用いた教材ロボットを示す。ロボットは、2つのギヤドモータに直結した車輪で移動する。ロボットはマイクロコンピュータ上に作成した仮想コンピュータのプログラムを書き換えることで制御し、その命令セットには演算命令等の他、モータ制御やセンサ入力を読み取る命令を用意している<sup>(2)</sup>。また、ロボットを動作させるプログラムの入力や実行をすべて図 1 のロボット上面にあるスイッチのみで行うようにしているほか、PC に接続して PC からプログラム作成の支援をしたりプログラムを実行したりすることができる。

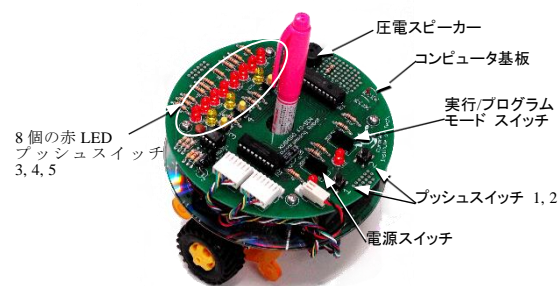


図 1 プログラミングロボット

## 2.2 直感的に作成できるプログラム

本ロボット教材の特徴は、ロボットを制御する命令コードのビットデザインにある。プログラムの入力や実行を、図 1 に示したロボットの上面前方にある 8 つの赤色 LED にロボットの命令を表示させながら行うことができる。図 2 は、LED とスイッチの機能説明図である。本ロボットでは、ロボットを移動させる命令を直感的に分かりやすくなるように設計している。

命令は 8 個の LED の点灯/消灯に対応する 8bit 列で表現する。さらに左右 4bit ずつに分け、左 4bit で動作内容、右 4 ビットで動作量を示すことを基本とする。左 4bit をさらに 2bit ずつ左右のモータの動作内容に割り当てている。図 2 に示す上位 4bit の点灯パターン(0101)は、左右のモータの順回転を指示しており、ロボットが前方に進む命令となる。これを左の 2 つの LED の点灯を逆にして(1001)とすると、左のモータが逆回転するため、ロボットは左に回転する。

8bit のうち、右の 4bit は動作量を表し、ロボットの前・後進/回転/停止に応じて距離/角度/時間に割り当てている。この 4bit には重みを付け、図の前進命令(0101 1010)では、 $8+2=10\text{cm}$  移動することに対応する。前述の左回転命令(1001 1010)にすると、 $60+15=75^\circ$  左に回転する。

このように本ロボットでは、動作内容と動作量を組み合わせた命令によりプログラムとすることで、プログラミングや制御の仕組みのイメージを学習者が容易に持つことができる。

学習者は、ロボットへのプログラム入力に慣れた後には、繰り返し処理やデータを保持できるレジスタを用いた比較演算やジャンプ命令等を用いたプログラムを作成することもできる。一部の命令は、2 バイトの命令により指示を行う。音データを指示することにより、音を奏でることも可能である。

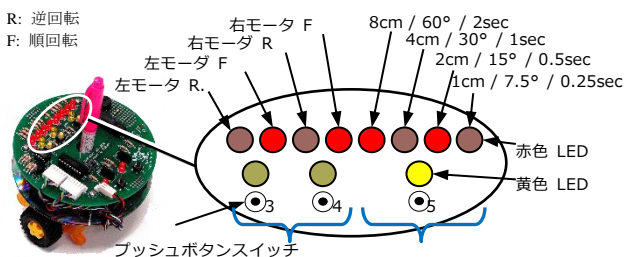


図 2 ロボットの動作命令機能の説明図

## 2.3 プログラムの入力と実行

本ロボットへのプログラム入力やその実行は、コンピュータ基板上のスライドスイッチおよび 5 つのボタンスイッチで行う。図 1 のコンピュータ基板の右下(ロボットの後方)に 2 つのスライドスイッチとそれらの後方に 2 つのボタンスイッチ 1, 2 がある。スライドスイッチの 1 つは、電源スイッチである。もう 1 つのスイッチは、プログラムの実行とプログラムの入力の切り替えを行う。なお、ロボットには 256 ステップのプログラムを入力することができる。この場合、命令は 0 から 255 番地までのメモリに記録される。電源スイッチをオンにすると、0 番地の命令が表示され、プログラム実行の待機状態となる。

図 2 に示した黄色 LED のそれぞれ下にある 3 つのボタンスイッチ 3, 4, 5 を使い、番地の移動やプログラムの確認・入力を行う。このように、本ロボットではプログラミングから実行までを本ロボットのみで行うことができる。

命令の数が 20 ステップ以上に増えてくると、手入力のみでは使いにくくなる場合もあることから、プログラムを PC で作成し、ロボットに転送することで、より高度なプログラミングの支援を実現している。

## 2.4 PC を用いたプログラムの確認と転送

PC を使い、ロボットに入力されたプログラムの確認、ロボットへのプログラム転送、等を行うことができる環境を用意した。図 3 に、PC の操作画面例を示す。右欄内に、「04 FOR 2」「05 RGT C」といった形で、番地の指示とともにアセンブリ言語による命令を記述している。ここで、上部にある「データ変換」ボタンを押すことで、対応する 16 進表示によるコードに変換することが出来る。さらに、当該コードを、ロボットへの送信データとして変換し、ロボットへ転送するような流れとなる。

ロボットに格納されているプログラムを確認する際には、図 3 の上部中央にある「list:0x1f」と表示されているボタンを押すことで、31 (16 進で 1f) バイト分の命令内容を確認することができる。なお、ボタンに表示している文字は、ロボットに送ることができる操作命令の一例で、これらの操作命令を、キーボードを使って送ることもできる。

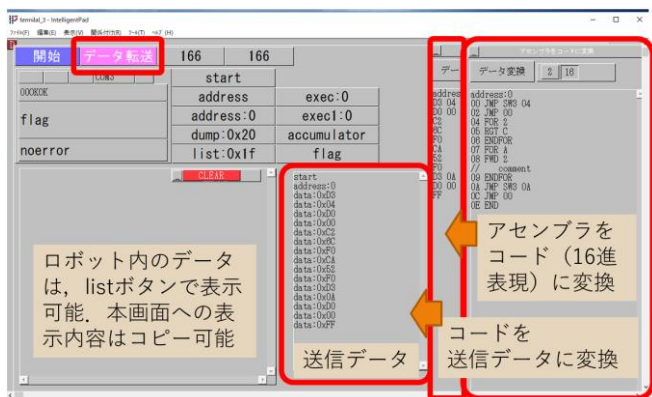


図 3 PC の操作画面 (ロボットへのプログラム転送)

### 3. 授業実践

#### 3.1 授業の概要

2018 年度後期、第一著者の所属大学において、全学共通科目「一般教育演習 (フレッシュマンセミナー) タンジブルな情報科学入門 (2 単位 15 回)」と題する授業において、9 回を用い、18 名の履修者を対象に本ロボットを用いて授業を行った。ロボットを用いた授業スケジュールを表 1 に示す。表は左から授業実施日、当該回の授業テーマ、授業形態 (個人学習か協調学習の別)、当該回の授業概要を示す。

当初は普通教室で授業を行ったが、グループ作業を行う第 5 回 (11/1) 以降は、コンピュータ教室で授業を行った。但し、PC からロボットへの転送等には、独自のソフトウェア環境等の整備が必要なことから、ロボットへの転送を行えるマシンはノート PC を 5 台持ちこみで用意し、学習者には共用で利用させた。コンピュータ教室のマシンは、全員が使うことができるため、当該 PC に入れるべきデータを作成するために各学習者が利用した。

表 1 授業スケジュール

日	テーマ	形態	概要
10/4 (1 回)	ロボット操作	個人	2 進法, ロボット操作 (作成, 書き込み, 実行, 修正), 動作確認
10/11 (2 回)	繰返し処理	個人	繰返しを用い, 円とその円に内接する三角形を描き出す

10/18 (3 回)	条件分岐 / PC でのデータ確認	個人	命令の種類の確認, 2 進法と 16 進法の変換確認, プッシュスイッチ押下による条件分岐プログラムの作成, ロボット内のプログラムを PC 上で確認
10/25 (4 回)	条件分岐 / PC によるデータ転送	個人	各自の独自の条件分岐プログラムを作成 (前回の継続), PC からロボットへのデータ転送の方法, アキュムレータを用いたデータの保存
11/1 (5 回)	復習, サブルーチン, グループ作業	個人 & グループ	ロボット操作の復習, PC を用いた処理確認・転送, サブルーチンの使い方の確認とそのメリットを説明, グループ生成・活動開始 (全 5 グループ). グループでの相談 (計画策定, 分担を決める)
11/8 (6 回)	グループ活動	グループ	分担を決め, 適宜, グループ活動.
11/15 (7 回)	グループ活動	グループ	同上. 2 グループはプログラムが完成. ロボットの動きをビデオ撮影.
11/22 (8 回)	グループ活動・発表会 1	グループ	未完成チーム: 次回目途に完成を目指す. 完成チーム: 前半発表スライドの作成, 後半発表会
11/29 (9 回)	発表会 2・まとめ	グループ・個人	前半発表会, 後半: ロボット授業のまとめ, システムアーキテクチャを考慮したプログラムの解析 (問題を解く)

表1に示したとおり、前半4回でロボットの操作について、一通り個人での学習（基本事項）を行った。その際に、サブルーチンについての質問が複数あったため、その利便性を第5回の始めに以下のように提示したのちにグループ分けを行い、協調学習をベースとした学習へ遷移させた。

- ・呼び出す先の番地を指定できるため、使いたいプログラムを、予め別々にセットできる。
- ・グループ作業の際には、個々の領域を確保しておき、個別作業をしてから統合ができる。
- ・同じ処理を何度も書かなくてよい。
- ・レジスタというデータを保持する場所が1つあるので、それを利用して、ある値より大きければ6cm直進、小さければ3cm直進というように、ちょっとだけ違う値を持つプログラムをまとめて記載しておくこともできる（かもしれない）

最後の項目は、教員から可能か否かは明言せず、サブルーチンの利用可能性を述べ、学習者に色々と考えさせることを求めた。

グループ分けは、全体で3-4名とすることのみを提示し、学習者に任せた。結果的に5グループとなった。第5回の授業内で、どのようなプログラムをグループで作成するかを相談を行う、作業分担を行った。

ロボットは、原則として授業時のみに貸与し、授業時間外での貸し出しは行わないこととしたが、グループでのプログラム完成が遅れた1チームに対しては、授業時間外に集合することになり、その際は教員の立ち会いの下で貸与し、完成させた。

グループとしてのプログラムが完成した後は、ロボットがプログラムに応じて動く様子をグループ内で分担を決めてビデオ撮影した上で、その内容をを用いた発表会を行った。9回の授業が終了した後には、グループ成果物として発表会資料、プログラムのまとめを提出させるとともに、個人レポートとして、ロボット授業における苦労した点、工夫した点などを提出させた。さらに、授業時間外にアンケートに回答をさせた。

### 3.2 グループによる協調学習の状況

全体で5つのグループに分かれ、協調的なプログラミング活動を行った。それぞれのテーマは、北大尽くし、北海道、自転車、雪、ハロウィン、の5種である。

概要と特徴を表2に示す。

表2 グループのテーマと概要・特徴

テーマ	利用機能等	人数	概要・特徴
北大尽くし	描画、音、アキュムレータを利用した入力値判断	3	プッシュスイッチによる入力値が一致した場合に動作開始。音楽(北大寮歌)演奏と文字(「北大」)描画。音楽、文字描画の順でプログラムを単純連結。
北海道	描画、音	4	メンバーで分担し、北海道地図を描く。個人で分担作成したものを単純連結。描画とは別のロボットにて、「北の国から」のテーマソングを演奏。
自転車	描画(サブルーチン)	3	車輪(前輪と後輪)、ハンドル、サドルの3か所に分け、サブルーチンのプログラムとして分担作成。メインプログラムで順次サブルーチンを呼ぶ方法で実装。PCは利用せず。
雪	描画(サブルーチン、繰り返し)	4	雪の結晶の模様を描く。3パーツの描画(枝から先、結晶の骨格、内部模様)と全体プログラムを分担作成。全体プログラムは、枝等の6回繰り返しに加え、内部模様を描く。
ハロウィン	描画(サブルーチン)	4	帽子、カボチャの上半分(目と顔輪郭)、カボチャの下半分(歯と顔輪郭)、マントと足、の4箇所を分け、サブルーチン化し分担作成。全体プログラムでそれらをまとめる。



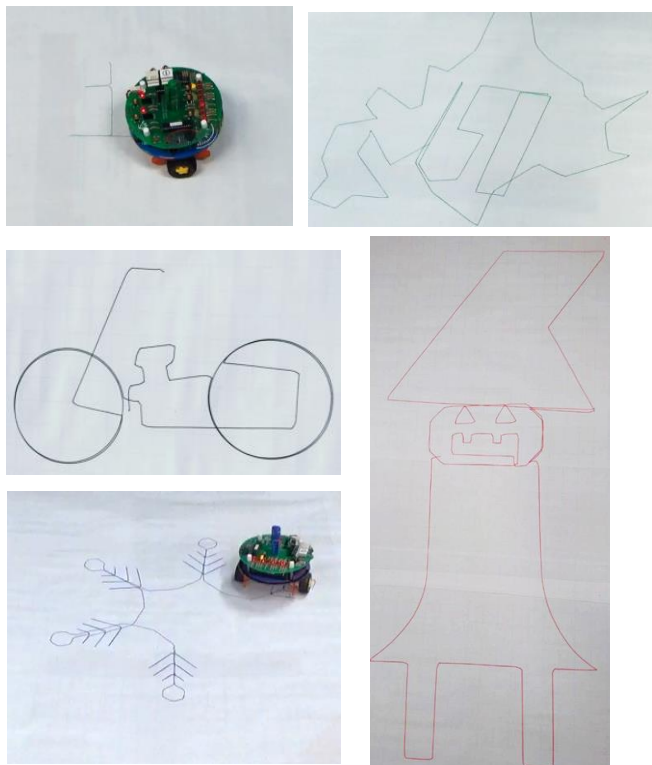


図 4 各グループの作品

ロボットは個人用のものを各自に貸与する他、各グループに1台、グループ用のロボットとして貸与した。グループでの作業方法としては、大きく、個人が分担して作成するプログラムを、そのままグループのロボットに対し順次連結させるタイプと、サブルーチンで各自が作業を行い、メインプログラムにおいて連結させるタイプのものに大別された。

ハロウィンチームは、授業の想定期間内ではバグが取れず、授業時間外での作業が発生した。原因は、メンバーの1名が、サブルーチンの最後に次の人のプログラムを呼び出していたにも関わらず、メインプログラムでも次のプログラムを呼び出していたことによる想定外のプログラムの2重実行であった。

各グループのプログラムが完成し、描画をさせた際の動作状況を図4に示す。

#### 4. 学習者による評価

9回の授業が終了した後の11月29日にアンケートを提示し、2019年1月10日までの間に回答をさせた。有効回答数は17名である。項目は、プログラミング経験と経験年数、プログラミングロボットの各種操作や興味関心についての感想に分けられる。本稿では、

表3 各グループのプログラミング経験割合の内訳

グループ	A	B	C	D	E
未経験	0	0	1	1	3
経験	3	3	2	3	1

プログラミング経験と、所属グループに分けて、本ロボットへの興味関心、および自由記述の感想についての概要を述べる。

17名のうち、プログラミング経験は7割の12名であり、経験年数は殆どが1年未満であった。授業と同時に他のプログラミング言語を学んでいる学習者が多かった。未経験者は5名である。また、17名のうち文系5名、理系12名であり、文系の殆どがプログラミング未経験であった。このように本授業を履修した学習者には、プログラミングに関するスキルに差がある状態であることが分かった。表3にグループ毎のプログラミング経験者の割合を示す。

Eグループに未経験者が固まっている状況が確認された。続いて、表4に以下の5つの設問について、(強くそう思う、そう思う、あまり思わない、まったく思わない、の4択)で回答させた結果をプログラミング未経験者と経験者の別でまとめた結果を示す。具体的な質問項目は下記に記す。

- ・ ロボットのプログラム実行は簡単だった
- ・ ロボットのプログラム入力は簡単だった
- ・ ロボットのプログラム修正は簡単だった
- ・ ロボットの命令は理解しやすい
- ・ ロボットのプログラム作成(考えたとおりに動作させる)は簡単だった

表4では、各設問で最も多い回答の背景を網掛けとした。全体として、未経験者は難しく、経験者は易しいという回答が多いことがわかる。

次に、表5に以下の5つの設問について、(強くそう思う、そう思う、あまり思わない、まったく思わない、の4択)で回答させた結果をプログラミング未経験者と経験者の別でまとめた結果を示す。

- ・ ロボットの動作をプログラムすることは面白いと思う
- ・ ロボットのプログラミングを体験して、プログラミングに対する興味が増したと思う
- ・ ロボットのプログラミングを体験して、もっと

複雑なプログラムを作りたいと思う

- ・ ロボットのプログラミングを体験して、ロボットのハードウェアに対する興味が増したと思う
- ・ ロボットのプログラミングを体験して、新しくロボットを作りたいと思う

表 5 では、「ロボットのプログラミングを体験して、プログラミングに対する興味が増したと思う」との設

表 4 ロボットへのプログラム実行・入力・修正・命令・作成の容易さ（未経験者を未、経験者を経と表記）

	実行		入力		修正		命令		作成	
	未	経	未	経	未	経	未	経	未	経
強く思う	0	2	0	2	0	1	0	2	0	1
そう思う	1	6	1	8	0	0	0	8	0	6
あまり思わない	3	4	4	2	3	10	5	1	4	5
まったく思わない	1	0	0	0	2	1	0	1	1	0

表 5 プログラムの面白さ・興味の増加・複雑なプログラムの作成・ハードウェアへの興味・ロボット作成（未経験者を未、経験者を経と表記）

	面白い		興味増		複雑		ハードウェア		新規ロボット	
	未	経	未	経	未	経	未	経	未	経
強く思う	2	8	2	8	1	7	2	5	1	3
そう思う	2	4	3	4	2	5	1	7	2	5
あまり思わない	1	0	0	0	1	0	2	0	2	4
まったく思わない	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

問に全員が肯定的な回答を得た。また、「ロボットの動作をプログラムすることは面白いと思う」の設問にも 1 名を除き、未経験者でも肯定的な回答を得た。

一方、プログラミング経験者においては、より複雑なプログラムの作成、ハードウェアへの興味についても全員が肯定的な回答をしていることがわかる。

これらの結果から、未経験者は、ロボットへのプログラミングが難しいと感じながらも、ロボットの動作をプログラムすることや、プログラミングに対する興味を持ったことがわかる。雪グループに所属してグループ活動を行った未経験者の個人レポートでは、「自分たちの班は、他班に比べ作業にかなり多くの時間を要していたが、原因として、図に精巧な計算が必要であり、その実現においてロボットの動作に一切の妥協が許されなかったことがあげられると思う。微調整のためのプログラミングの再構築にかなりの時間が割かれたが、その結果、ある程度のレベルの雪の結晶を描けたことは間違いない事実である。」と記述しており、グループによるプログラムの成果に、自信を持っていることが伺える。このようなグループでの協調活動での達成感が、プログラミングへの興味に直結しているものと考えられる。また、アンケートにおける未経験者の自由記述では、2 名「とても難しかった」との回答があるものの、「今まで未知の世界だったので学習する機会があつてよかったです。仕組みがわかると面白いなと思いました。」「操作に慣れれば、ロボットの動作やそのプログラミングは、楽しいものだった。」といった肯定的な回答も見受けられた。

一方、プログラミング経験者のアンケートにおける自由記述意見は、より具体的であり、「機械語レベルでプログラムを書くことは、普段 C や Ruby で書いているときには得られなかった発見を多く提供してくれるものであり、楽しかった。」「レジスタとかがもつといっぱいあつたら面白いものが作れるなあと思った。」「大方自分が作成したプログラム通りにロボットが動いてくれたのでそこは面白かった。自分が経験したことがある言語は全部 web 制作に使用したので今回初めてパソコンの画面ではなく実際にハードを動かすことができたのでそこは新鮮だった。」「プログラミングの基礎的な仕組みについての理解をより深めることができた。レジスタや音などの少し特殊なプログラムの

解釈には時間がかかった。」などの回答があった。

このように、本実践では、プログラミング経験者と未経験者といった学習者のレベルが大きく異なっている学習者構成であるにも関わらず、学習者全体で達成感が高い状況が確認でき、本実践が有効に機能していることが示唆される。

## 5. まとめ

本稿では、プログラミングを対象とし、スキルやレベルが異なる学習者集団における、より良い学習手法として、個別学習を連携した協調学習の実践手法について検討した。具体的には、機械語命令で動作するプログラミングロボットを用い、グループとしてのプログラム作成を企画し、その実現に必要なプログラムを、グループ構成員が分担して作成し、実現を調整していく「個別学習を連携させた協調学習」にて行った。

実践結果をアンケートによる回答で確認したところ、プログラミング経験者と未経験者において、プログラムの実行等の難易度の感じ方に大きな違いがあることが示された。それにも関わらず、「プログラミングに対する興味が増した」との設問に全員が肯定的な回答を得るなど、未経験者でも満足のいく学習活動が行えていることが確認できた。

これらのことから、本ロボットを用いた個別学習を連携した協調学習の手法は有効であると結論付けられる。レベルの異なる学習者に対し、プログラミングに対する更なる興味関心を喚起したと言って良いと考える。

今後の課題として、実際のプログラミングの知識修得度合いを調査し、個別学習と協調学習の連携により、プログラミングスキルについても、各学習者の状況に応じて、どのように向上していくかを確認したいと考えている。

## 謝辞

本研究の一部は、科学研究費 16K01150, 16K12779, 19H01727 の支援を受けた。

## 付記

本研究の一部は、参考文献(3)における発表の一部成果にさらなる分析を加えてまとめたものである。

## 参考文献

- (1) 文部科学省 学習指導要領「生きる力」平成 29・30 年改訂 学習指導要領、解説等、  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/1384661.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1384661.htm) (2019 年 6 月 12 日確認)
- (2) T. Noguchi, H. Kajiwara, K. Chida and S. Inamori, “Development of a Programming Teaching1-Aid Robot with Intuitive Motion Instruction Set”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.29 No.6, pp.980-991, December 2017
- (3) 野口孝文, 布施泉, 梶原秀一, 千田和範, 稲守栄: “個別学習から協調学習をシームレスに支援するロボット教材”, *ロボティクス・メカトロニクス講演会報告*, 2P2-N03, p4, (2019)