

創成科目における創造性教育の実践とその学習成果の評価 ー情報工学科創成Ⅱロボットプログラミングにおける取り組みー

藤吉 弘亘、藤井 隆司、鈴木 裕利、石井 成郎

1 はじめに

近年、大学や高専などの工学教育では、「ものづくり」の体験を通じて学習者の創造的な態度を育成する、プロジェクト形式の授業実践が盛んに実施されている^{1)~4)}。情報工学科では、創成科目の実施以前から情報工学実験のテーマの一つとして、ロボットプログラミングに取り組んできた⁵⁾。本実験テーマでは、二人1チームとし、タイムトライアル競技を行うことで、学生間の競争意識を刺激しつつ、自ら問題を解決し目的を達成させる、トライ・アンド・エラーの姿勢を身につけることを試みてきた。また、その教育効果をアンケートにより評価したところ、他の実験テーマより本実験テーマであるロボットプログラミングに興味を持ち、自発的に実験に取り組んでいることが分かった。しかし、創造的なものづくりへの効果を具体的に評価することは難しい問題であり、このような取り組みや教育方法の有効性について疑問を感じていた。

そこで、本実験テーマを創成科目として実施するにあたり、認知科学を専門とする先生の協力を得て、創造的な活動に関する知識・スキルを体得するための授業デザインを行い、その実践に取り組んだ。本報告では、ロボットプログラミングを題材にした創成科目「創成Ⅱ」の実践報告と、このような創造性教育における「学習成果の評価」についての検討を行う。具体的には、創造性教育を受けたことで、学習者の創造性活動にどのような変化が見られたかについて、客観的に評価し報告する。

2 創成科目授業のデザイン

創造性教育の実践にあたり、従来の技術主導型（ロボット工学が専門）の教育者に、ソフトウェア工学と認知科学を専門とする教育研究者を加えた計4名で、創成科目への取り組みを検討した。以下にその概要を示す。

2.1 リフレクションによる創造活動

本創成科目では、創造的な態度やものの考え方の体得を目標とする。Guilfordによると、創造性の因子には次の6項目が挙げられる⁶⁾。

- ① 問題に対する感受性：問題点を発見する能力
- ② 思考の流暢性：生成するアイデアの量
- ③ 思考の柔軟性：異なるアイデアを広範に生成する能力
- ④ 独創性：ユニークな考えを出す力
- ⑤ 綿密性：具体的に工夫し完成させる能力
- ⑥ 再定義：ものを異なる目的に利用できる能力

本創成科目の目的は、これら創造性に関する一連の能力を育成することである。本研究においては、「与えられた課題に対して、アイデアを検討し、それを実現する」という、本科目において学習者が体験する活動に関連する項目である、②③⑤について学習者の変化を評価する。

また、これらの創造活動を体得するための学習支援として、自己の行動プロセスを振り返る活動（リフレクション）を授業に取り入れる。このリフレクションに関しては、活動内容の記録・評価、プロセス図の作成、ディスカッションなどの活動がメタ認知的スキルの学習を促進することが報告されている⁷⁾。

2.2 授業の構成

自己の行動プロセスを振り返る活動を創成科目に取り入れ、効果的に創造的な活動に関する知識・スキルを体得するために、以下に示す三つのPhaseから創成科目を構成した。図1にその構成を示す。

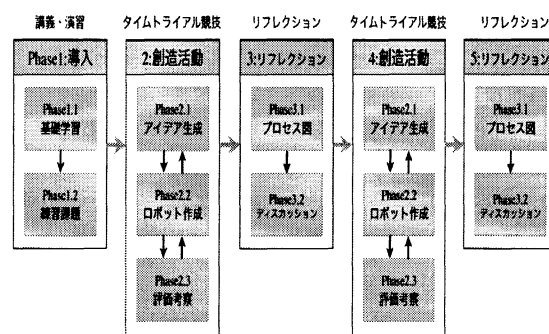


図1 創成科目の構成

Phase 1：導入

学習者はまず、各自ノートパソコンにプログラミングを行うための環境を構築する。その後、基本的なプログラミングに関する講義と演習を行う。

Phase 2：創造活動の体験

学習者はペアを組み、ロボットを組み立て、タイムトライアル競技に取り組む。ロボットには、LEGO Mindstormsを使用する。LEGO Mindstormsは、自立移動型ロボットの組み立て・分解が簡単にできる市販キットである。学習者は、自由に様々な形態のロボットを作成することができる。タイムトライアル競技は、図2に示すような決められたコースを1週するタイムを競うものであり、障害物の回避とライントレース等の機能を実装したロボットを実現することが要求される。

Phase 2では、学習者は、創造活動における自己の作業過程（ロボットの形状・動き（タイム）・制御プログラム）を記録し、定期的にwebページにアップロードする。

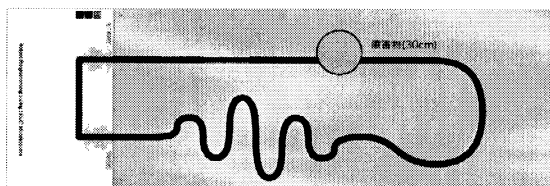


図2 タイムトライアル競技用コース

Phase 3：リフレクション

学習者は、webページに蓄積された各自の創造プロセスをチャート形式にまとめる。本稿では、このチャート形式にまとめたものを、リフレクションシートと呼ぶ。リフレクションシートの作成時に、学習者は上記の情報を補足するものとして、(1)どのようなことをプランニングしたか、(2)どのような結果だったのか（結果をどのように評価したか）の2点を記入する。

以上の流れに沿って、13回の創成科目を以下のように計画した。Phase 2とPhase 3は2回繰り返す。

- ・第1～6回目：講義・演習 (Phase 1)
コンピュータの設定、C言語プログラム
- ・第7、8回目：タイムトライアル競技 (Phase 2)
ロボットのデザイン、トライ&エラーによる実習
- ・第9回目：リフレクション (Phase 3)
リフレクションシートの作成、チーム内でのディスカッション
- ・第10、11回目：タイムトライアル競技 (Phase 2)

ロボットの再デザイン、トライ&エラーによる実習

・第12回目：リフレクション (Phase 3)

リフレクションシートの作成、チーム内でのディスカッション

・第13回目：プレゼンテーション

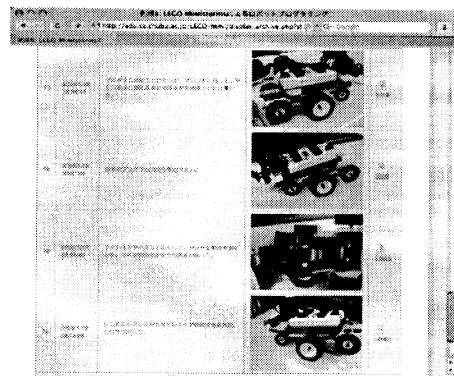
パートナーとの取り組みを通じて、役割分担、協調作業を体験させる。リフレクションシートを記入することで、自己の行動プロセスを客観的に振り返ることが可能となり、1回目のタイムトライアル競技で得た知見を利用して、再度同じ課題に取り組む。このようなPhase 2とPhase 3を繰り返すことで、アイデアの量と深さを向上させることができる。また、学習者の学習意欲の維持、促進を図るために、ロボットと競技コースは24時間使用できるように、情報工学科で配慮した。

3 創成科目の実践と教育環境の整備**3.1 教育環境の整備**

リフレクション時に、正確な学習者の行動プロセスを振り返ることが可能となるように、以下の項目をアップロードできるwebサーバを構築した。



(a) TOPページ



(b) 学習過程

図3 創成II-WEBSITE

<http://edu.cs.chubu.ac.jp/LEGO/>

- ・C言語プログラム
- ・ロボットの形状（静止画像）
- ・ロボットの動き（動画像）
- ・タイムトライアルの結果
- ・コメント

図3に、構築したWEBサイトのTOPページと、学生がアップロードした学習過程を記録したページを示す。構築したwebサイトは、PHPとデータベース(MySQL)の連携からなり、学習者にとって容易なデータのアーカイブを実現している。また、登録したタイムトライアル結果はリアルタイムに更新され、学習者のチームの競技順位をいつでも知ることが可能である。

3.2 創成科目の実践

2.2で示す講義計画に従って、工学部情報工学科2004年度秋期開講科目「創成Ⅱ」において実施した。情報工学科の1年生131名が参加した。65チームのうち、50チームがコースを完走することができた。図4に、学習者が作成したLEGOロボットの例を示す。チーム毎に、ロボットの形態が異なっており、学習者のアイデアが多方面に向いていることがわかる。

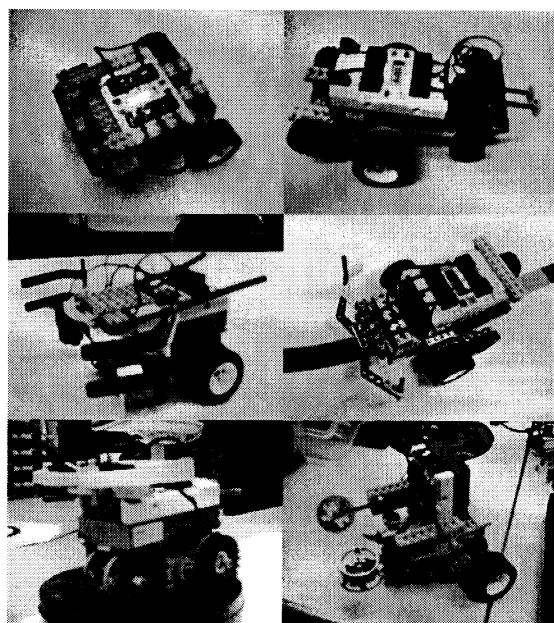


図4 LEGOロボットの作成例

図5にタイムトライアル競技第2位のチームによるリフレクションシートの作成例を示す。リフレクションシートは、自己の行動プロセスを振り返るために作成する。Webサーバ上にアーカイブした画像やソー

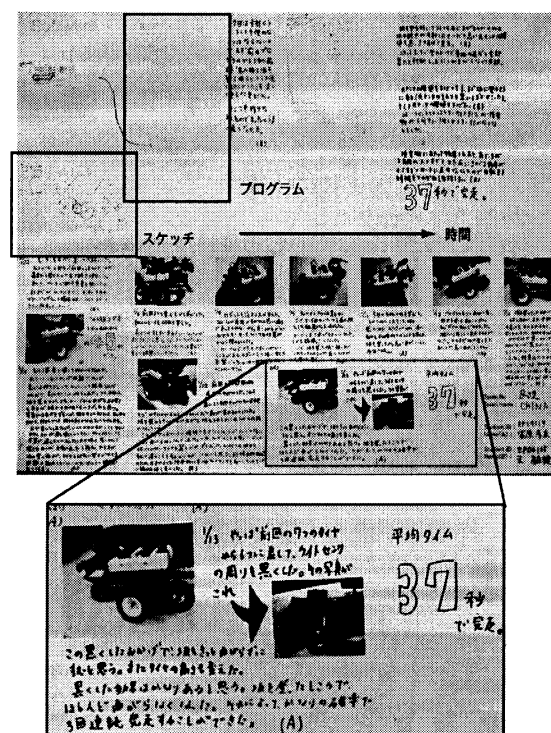


図5 リフレクションシートの記入例（第2位）

プログラムを時間軸表示（横軸が時間）し、さらに上部にはソフトウェアとなるプログラムやPAD図と、下部にはハードウェア関連としてロボットの写真（変更した箇所）配置し、その関連を図示する。また、各プロセスにおいて、各自の評価と感想を記入する。

このように作成したリフレクションシートを基に、パートナーとディスカッションを行うことで、自己プロセスの履歴を確認、誤った記憶の修正、パートナーとのプロセスの共通理解を深め、さらに深く広くアイデアを検討するきっかけとなる。

また、1回目のタイムトライアル競技の終了後、ロボットを完全に解体して2回目のタイムトライアルに取り組むことで、効率の良いロボットの組み立て、効率の良いアルゴリズム（プログラム）を実現することができる。最終の講義では、チーム毎にリフレクションシートを用いて創意工夫した点やロボットについてのプレゼンテーションを行った（図6参照）。

4 創造性教育における学習効果の評価

創造性教育における学習効果を明確にするために、アンケートによる主観的評価と、デザイン課題によるアイデア産出スキルの変化を客観的に評価し、その有効性を示す。

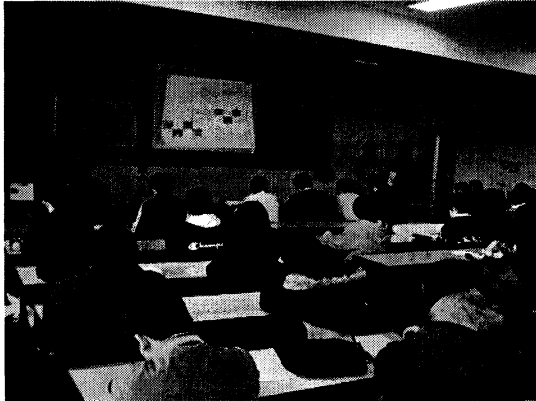


図6 プレゼンテーションの様子

4.1 アンケートによる主観的評価

創成科目の終了後、学生による主観的な評価として、下記の質問項目についてアンケートを実施した。

- ・興味ある内容でしたか？
- ・達成感がありましたか？
- ・C言語について理解できましたか？
- ・パートナーと役割分担はできましたか？
- ・後輩に創成Ⅱを勧めますか？

アンケートを回収した114名分の結果を図7に示す。

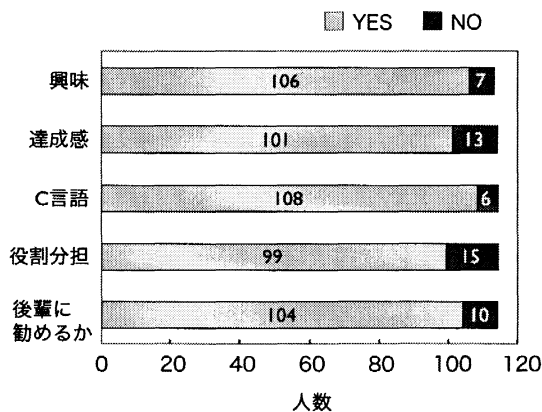


図7 アンケートの結果

図より、約90%の学生から、全ての質問項目において、良い評価を得た。また、自由記述欄からは、以下のコメントが得られた。

- ・創造と発想が大事だと思いました。
- ・他の講義と違い、見て覚えるのではなく体感して覚えることができた。
- ・挑戦する楽しさを味わった。
- ・自分でプログラムを組むことによって、理解が深まった。

- ・粘り強く、あきらめずにやればいつかできるということと、パートナーの大切さが分かりました。
- ・何度も問題点を修正し、より良いものへとする探究心が大事であるとわかりました。
- ・創成のwebページのおかげで、いつでも復習できた。

これらの自由記述からも、本創成科目の目的である創意工夫、トライ・アンド・エラーの姿勢で学習者が取り組んだことが確認される。

4.2 デザイン課題による客観的評価

本稿では、学習者の創造活動のうち、特にアイデア産出スキルの変化を評価するために、Finke (1990)の発明課題¹⁾をアレンジした「デザイン課題」を授業の前後に実施した。学習者は、与えられたテーマについて、球や立方体等の指定された15種類のパーツ(図8参照)を自由に組み合わせて新しいアイデアを考え、思いついたものから順に用紙にスケッチした。学習者には「家具」「公園遊具」「文房具」のいずれかのテーマがランダムに割り当てられた。制限時間は20分とした。

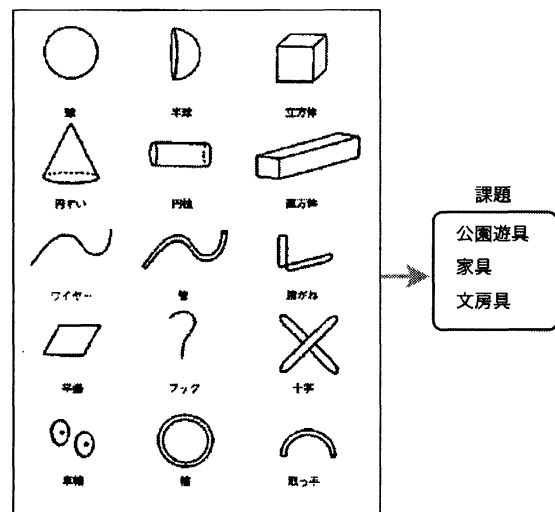


図8 デザイン課題

図9に、学習者によるデザイン課題の記入例を示す。この学習者は、シーソー(バランスをとる)、うんてい(ぶらさがると渡る)、パイプ状のすべり台(入ると滑る)といった、さまざまな機能を持つ遊具をデザインしている。また、単にアイデアを考えるだけでなく、前にデザインしたアイデアをさらに発展させていることがわかる(シーソー→4人乗りシーソー)。

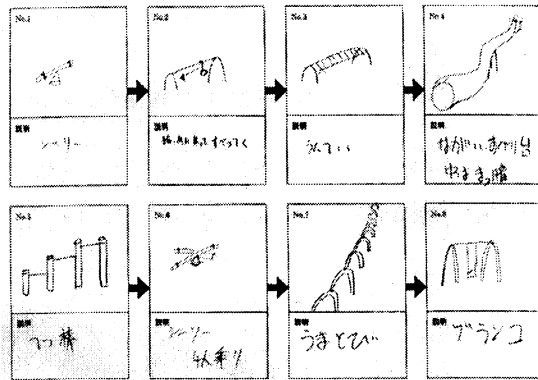


図9 デザイン課題の記入例

以下では、デザイン課題に参加した91名の学習者を対象とした分析について報告する。

最初に、学習者の産出したアイデアを、各アイデアの持つ機能に注目し、分類を行った。具体的には、第4著者が、それぞれのテーマについてアイデアをカテゴリー化した。例えば、家具の場合、「収納する」「吊るす」「座る」などのカテゴリーである(表1参照)。

以上の分類に基づいた集計結果から、アイデア産出量とアイデア産出の系列の、2つの観点から考察する。

表1 アイデアの分類

公園遊具	家具	文房具
乗る、移動する	収納する	収納する
回る	吊るす、かける	書く
ぶら下がる	運ぶ	消す
滑る	整理する	切る
入る、くぐる	置く	貼る
わたる、ジャンプする	座る	描く
揺らす、バランスをとる	洗う、掃除する	計測する
走る、こぐ	寝る	留める、補助する
登る	照らす	掃除する
投げ、蹴る、飛ばす	飲食・調理する	記録する

(1) アイデア産出量の分析

学習者の産出したアイデアの量的な変化について検討を行った。図10は、学習者のアイデア産出量の変化をまとめたものである。ここで、図中に示された「アイデア数」「幅」「深さ」の各項目は、2.1で述べた「思考の流暢性」「思考の柔軟性」「綿密性」にそれぞれ対応する評価観点である。

図10より、授業前から授業後にかけて、産出アイデア数が増加していることが確認された ($t(90)=4.481$, $p<.01$)。さらに、産出されたアイデアの幅(機能のバリエーション)およびアイデアの深さ(一機能あたりのアイデア数)のどちらにも、授業後においてそれぞれ増加が見られた(アイデアの幅: $t(90)=3.727$, $p<.01$; アイデアの深さ: $t(90)=2.629$, $p<.05$)。

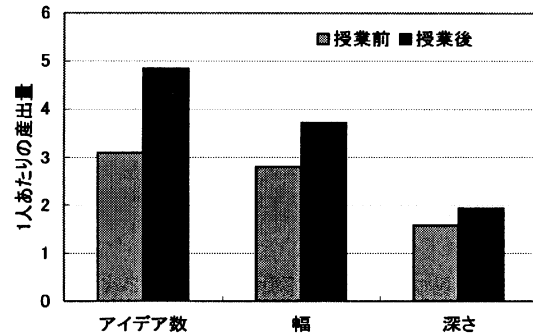


図10 デザイン課題における学習者のアイデア産出量の変化

(2) アイデア産出の系列分析

学習者のアイデア産出の系列の変化について、検討した。具体的には、創造活動においてその重要性が指摘されている、リフレクティブな活動(自己の活動を振り返る行動)に注目した分析を行った。表2は、デザイン課題において、「前に考えた機能について再検討する」というリフレクティブな活動を行っていた学習者の人数をまとめたものがある。

表2 学習者のリフレクティブな活動の変化

	再検討あり	再検討なし
授業前	17	74
授業後	35	56

表2より、授業後では、アイデアを考える際に、前に考えた機能について再検討を行う学習者が約20%増加していることが確認された ($\chi^2(1)=8.723$, $p<.01$)。

以上の2つの観点から考察した結果は、創成科目で実施した創造性教育によって、学習者のアイデア産出活動が全体的に改善されたことを示唆している。

今後は、今回の結果をふまえ、「より効果的な授業デザインの計画・実施」、「アイデアを具体化する活動に関するスキルの評価」の2点について、さらに検討を進めていく予定である。

5 まとめ

本稿では、2004年度年度秋学期に開講科目「創成Ⅱ」において実施したロボットプログラミングを用いた創造性教育の概要について述べ、その学習効果を学習者のアイデア産出スキルの変化より客観的に評価した。学習者のアイデア産出量は、授業後、アイデア数、幅、

深さともに増加していることを確認した。また、アイデア産出の系列を分析した結果、創造活動に重要とされるリフレクティブな活動を行った学習者が、授業後増加していることを確認した。以上より、本創成科目で実施した創造性教育によって、学習者の創造活動を改善させることができた。

謝辞

本創成科目は、創成科目特別予算(学部長裁量経費)により実施された。山下興亜学長、ならびに、山内睦文工学部長に、記して感謝の意を表します。

また、本創成科目の一部は、2005年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C)(No.17500659)の援助を受けている。

参考文献

- 1) 白畑、徳永、丸山、"大学・高校・中学の情報教育における創成科目の意義"、情報処理学会研究報告(2001-CE-62)、pp.79-86、2001
- 2) 丘、久保、"LEGOマインドストームを利用するものづくり教育の試み"、九州産業大学工学部研

究報告、No.41、pp.41-48、2004

- 3) 大山、高木、日下、堀川、"Lego Mindstormsを利用した創造的ものづくり教育とその効果"、工学教育、Vol.52、No.4、pp.20-24、2004
- 4) 大西、富永、林、山崎、"作業過程を重視したLEGOプログラミング演習支援システムGoalpostの提案"、電子情報通信学会技術報告(ET2005-15)、pp.23-28、2005
- 5) 藤井、藤吉、"LEGO MindStormsを用いたプログラミング教育" 中部大学教育研究、pp.81-87、2003
- 6) 小橋康章、"創造的思考と発想支援"市川伸一編、認知心理学4 思考、pp.181-203、東京大学出版会：東京、1996
- 7) 石井、三輪、"プロセスの自己省察を軸とした創造性教育"人工知能学会論文誌、19、2、pp.126-135、2004
- 8) Finke, R. A., "Creative Imagery: Discovery and Inventions in Visualization" Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale: NJ、1990

助教授	工学部	情報工学科	藤吉弘亘
教育技術員	工学部	情報工学科	藤井隆司
助教授	工学部	情報工学科	鈴木裕利
愛知きわみ看護短期大学			石井成郎