2005－CE－82（11）
2005／12／10

工学部における創造性教育の実践と学習成果の評価

鈴木裕利[†]　藤吉弘亘[†]　藤井隆司[††]　石井成郎[†††]

近年の工学教育では，「ものづくり」の体験を通して創造性を育成する，プロジェクト形式の授業が盛んに実施されている．中部大学工学部においても，ロボット製作を題材とした創造性教育を目的とする授業を実践している．本文では，2004 年度の授業における実践の内容，および，学習成果の評価について報告する．具体的には，学習者の創造活動に関するテスト課題の実施により，「授業を体験したことによって，どのようなスキルを学習したのか」という点に着目し，客観的な評価を行っている．さらに，2005 年度の授業において追加した，新たな視点に基づいた評価方法についても報告する．

Practice of Creativity Education in Engineering and Its Evaluation

Yuri Suzuki[†]　Hironobu Fujiyoshi[†]　Takashi Fujii[††]　Norio Ishii[†††]

Recently, some educational courses focusing on creativity, here after called “creativity education” have been conducted in engineering education. This paper presents the program of robot based course as a creativity education course held in 2004 at the department of computer science in Chubu University, and reports how to evaluate student’s performance of creativity. We evaluate the effectiveness of our educational program based on objective evaluation for creativity. We consider self-reflective activities as indicators of creativity. We confirm that the number of students who performed self-reflective activities in creativity after taking the course.

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)].

中部大学工学部情報工学科では，2001 年度より，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)]. この実験では，学生が 2 名ずつでチームを組み，タイムトライアル競技を行う内容であった．これにより，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させることを目的とした．そして，学生へのアンケート調査により，他の実験テーマに比べて，より強い興味を本実験に対して持ったこと，また，自発的に取り組む姿勢が確認された．しかし，このような調査からは，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困難であり，本実験の取り組みや教育方法の有効性が明確になっているとはいえない．

そこで，2004 年度からは，認知科学的アプローチに基づき，創造的な活動に関する知識・スキルをより効果的に体得するための授業デザインを考案し，実践に取り組んだ．

本文では，ロボットプログラミングを題材にした創成科目の 2004 年度の実践報告と，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．さらに，2005 年度の創成科目の授業において追加した，新たな視点に基づいた評価方法についても報告する．

2.　創成科目授業のデザイン

創造性教育の実践にあたり，従来の技術主導型の教育者（ロボット工学研究者）だけではなく，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 名からなるチームで，創成科目への取り組みを検討し，授業デザインを考案した．

以下にその概要を示す．

2.1　授業の目的

本創成科目では，創造性，すなわち，創造的な態度やものの考え方の体得を目標としている．創造性の因子としては，Guilford が次の 6 項目を挙げている [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

† 中部大学工学部/中部大学情報科学研究所, College of Engineering, Chubu Univ./ Research Institute for Information Science, Chubu Univ.
†† 中部大学工学部, College of Engineering, Chubu Univ.
††† 愛知きわみ看護短期大学, Aichi Kiwami College of Nursing.

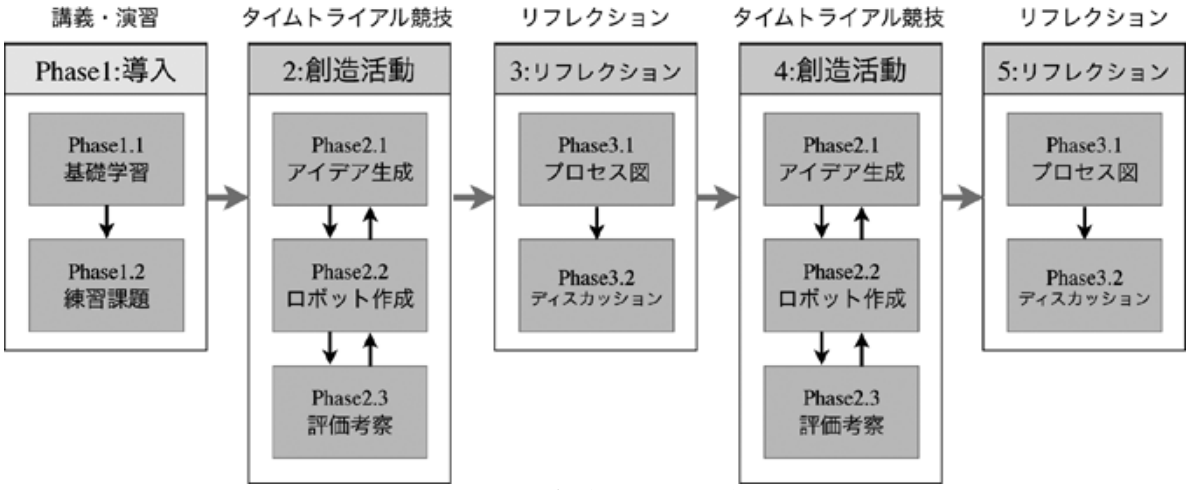


図 1　創成科目の構成

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

考案した授業デザインでは，これら創造性に関する一連の能力を育成することを目的としている．具体的には，「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，ディスカッション等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おり [7]，本科目においても有用であると考えたからである．

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，後述する 3 つの Phase からなる講義を構成した．図 1 にその構成を示す．

2.2.1　Phase1：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．

2.2.2　Phase2：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立・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可能である．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．

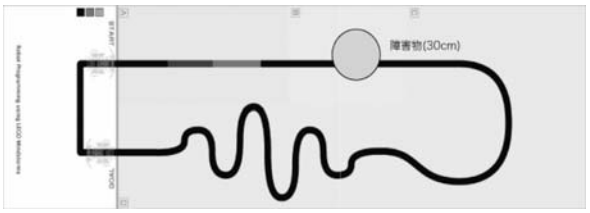


図 2　タイムトライアル競技用コース

その際，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．

2.2.3　Phase3：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．

2.2.4　授業の全体スケジュール

本創成科目は，1 回当たり 135 分の講義が，13 週にわたって行われる．このスケジュ

ールに対して，前述した各 Phase を組み合わせた構成を計画した．具体的には，Phase2 と Phase3 の 2 回の繰返しを含む，以下の構成である．

・第 1ー6 回目：講義・演習(Phase1)
　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(Phase2)
　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(Phase3)
　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(Phase2)
　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(Phase3)
　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

以上の内容は，次の効果を期待して構成した．第 1 には，パートナーとの取り組みを通じて，役割分担，協調作業を体験できることである．また，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できる．これにより，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とが可能となる．このように Phasse2 と Phase3 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期待される．

さらに，この授業構成に加えて，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．

・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



(a) TOP ページ



(b) 学習過程

図 3　創成 II-web サイト
http://edu.cs.chubu.ac.jp/LEGO/

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．

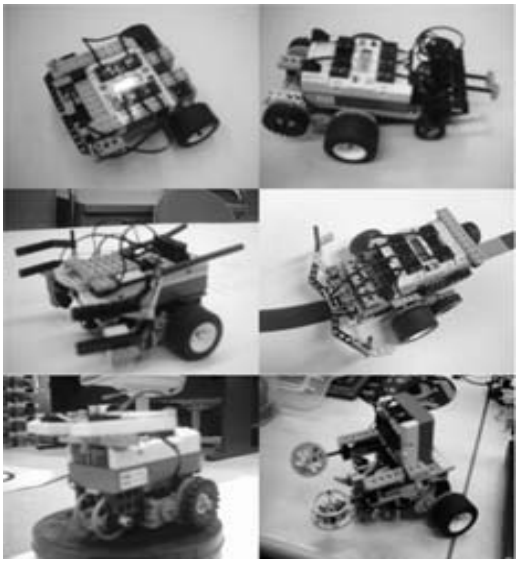


図 4　LEGO ロボットの作成例

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記入例を示す．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ス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の要素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）を配置し，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 5　リフレクションシートの記入例（第２位）



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.

(1)興味ある内容でしたか？
(2)達成感はありましたか？

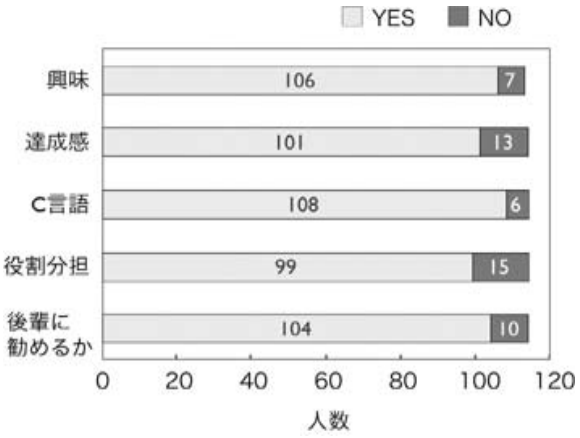


図 7　アンケートの結果

(3) C 言語について理解できましたか？
(4) パートナーと役割分担はできましたか？
(5) 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.

以上の自由記述からも，本創成課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 [8]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」

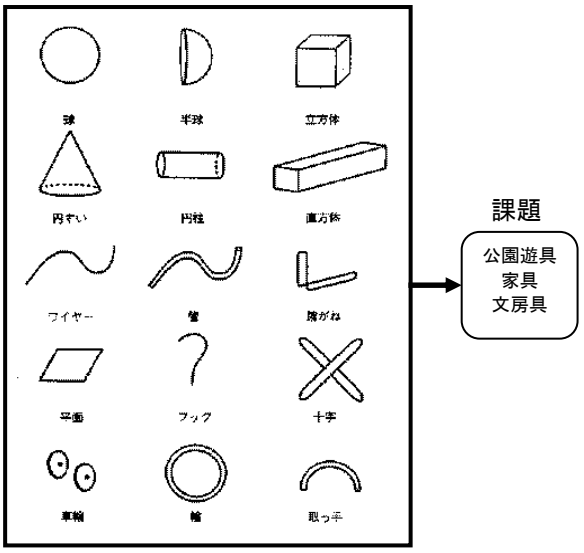


図 8　デザイン課題

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 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＋渡る），パイプ状のすべり台（入る＋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）.

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」

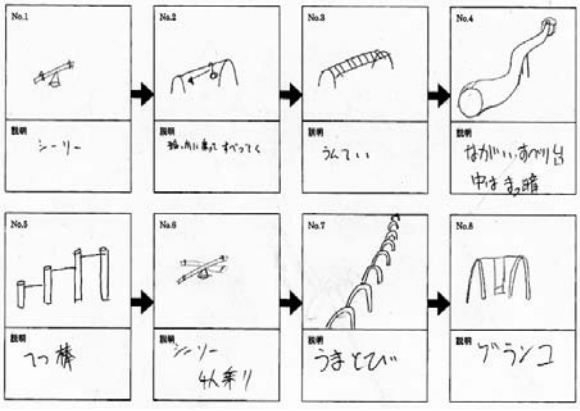


図 9　デザイン課題の記入例

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
投げる，蹴る，飛ばす	飲食・調理する	記録する

「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．

(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($t(90)=4.481$, $p<.05$)．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確認された（アイデアの幅：$t(90)=3.727$, $p<.01$；アイデアの深さ：$t(90)=2.6229$, $p<.05$）．

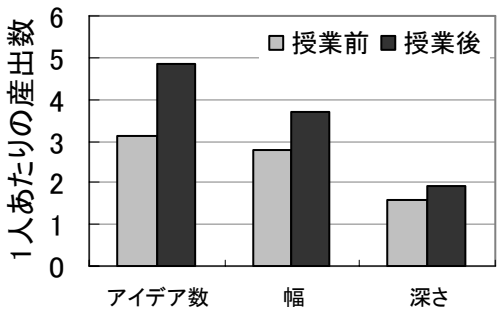


図 10　デザイン課題における学習者のアイデア産出量の変化

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

(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ある．

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境教育によって，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．

5.　2005 年度の新たな試み

本章では，2005 年度の創成科目において，新たに実施した 2 つの試みについて説明する．

(1)PAD 課題

本創成科目は，創造的な態度やものの考え方の体得を目標としている．一方，実際の授業においては，プログラミングというスキルの修得も同時に行っている．そこで，創造性の評価に加えて，プログラミングスキルの評価を行うことも重要と考え，2005 年度の内容に，PAD 評価を追加した．

PAD とは，プログラミングの際に，考え方(アルゴリズム)を図式化する方法の一つである．プログラミングの際には，あらかじめ処理内容のアルゴリズムを PAD 等で図式化しておき，それに基づいてコーディング作業を行うことが基本である．プログラムの改善には，直接コーディングを修正するのではなく，考え方を見直すために，アルゴリズムに戻っての再検討が重要である．2005 年度の授業では，この PAD を活用できる能力を評価することにした．

具体的には，web サイトにアーカイブする項目に PAD データを追加している．また，Phase1 の終了後と 2 回目の Phase3 の終了後

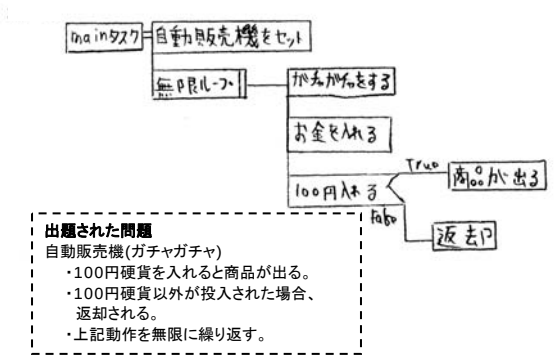


図 11　PAD 課題と解答例

に PAD 課題の実施を追加している．PAD 課題は 3 題を与える．図 11 には，1 回目の PAD 課題の解答の例を示す．

(2)作業報告書

リフレクション活動の補助となるように，作業報告書の作成とアーカイブを義務付けた．内容は，作業時間数とプログラム実行回数を必須記入項目とし，作成したプログラムの PAD，各個人の感想，反省点等を作業時点ごとに記入させている(図 12 参照)．

この記録より，リフレクションシートを作成する際に，学生は自己の活動をより詳細に把握することができる．さらに，これらの活動を通して「作業内容を逐次記録する」という工学系技術者の基本となる態度を身につけ

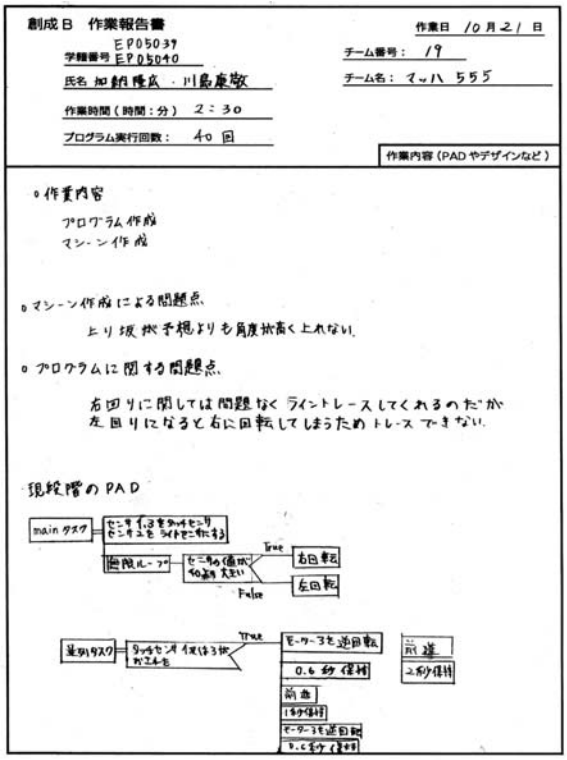


図 12　作業報告書

させることも目的としている．

また，教員側においては，授業時間外の作業時間の把握と，トライ回数の把握が可能となり，本科目の効果を評価する際に，有効なデータとなることが期待できる．

(3)web サイトの変更

前述の 2 つの試みに対応するため，アーカイブ項目の追加が生じるので，web サイトのプログラムを変更している．作業報告書については，手書きしたものを PDF ファイルに変換する装置を利用し，アーカイブの効率化を図っている．

6.　おわりに

本稿では，2004 年度年度秋学期の開講科目「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．

さらに，2004 年度の結果を踏まえて改善した授業デザインについて報告した．現在，新たなデザインにより，2005 年度秋学期の授業が実施されている．今後は，2005 年度の評価結果に基づいて，よりよい授業デザインを提案し，実施していく予定である．

謝辞

本研究の一部は，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