

工学部の創造性育成教育における デザイン能力評価のためのフレームワークの 提案と実践

鈴木裕利[†] 藤吉弘亘[†] 藤井隆司^{††} 石井成郎^{†††}

近年、工学教育においては、学習者の創造性の育成を目的とするプロジェクト形式の授業が盛んに実施されている。その授業の効果に対する客観的な評価は、「創造性」の定義が曖昧であるために非常に難しい。そこで、本研究では日本技術者教育認定機構（JABEE）が提唱しているデザイン能力に着目して評価を行うフレームワークを提案する。そして、本文では提案フレームワークを用いて、著者らがこれまでに行ってきた創造性教育の実践に対して評価を行った結果について報告する。結果からは、本提案に基づく授業実践により、学習者のデザイン能力についての多面的な評価が可能になった点、さらに、デザイン能力に着目した評価の分析結果が、授業改善のためにより有効な知見をもたらした点が確認された。

The proposal of framework for design ability evaluation for education to foster creativity in Department of Engineering and the report concerning the practice

Yuri Suzuki[†] Hironobu Fujiyoshi[†] Takashi Fujii^{††}
and Norio Ishii^{†††}

Recently, Project-based Learning has been actively introduced into the engineering education to foster the creativity of the student. However, because the definition of "Creativity" is vague, an objective evaluation to the effect of the education is very difficult. Then, we propose the evaluation framework along the definition of the design ability that JABEE (Japan Accreditation Board for Engineering Education) advocates. In this paper, The result of the evaluation to the creativity education that we have executed up to now by using the proposal framework is reported, and the finding concerning the result is reported.

1. はじめに

近年、大学や高専などの工学教育においては、ものづくりの体験を通じた学習者の創造性の育成を目的と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。これらの実践では、ロボット製作等を題材として、グループで話し合いながらアイデアを考え、実現するという活動を通して、学生が創造的な態度や専門的な知識を学習していくことを目標としている 1)2)3)。

このような授業実践が目標とする「創造性」の定義については、非常に曖昧な概念としてとらえられることが多い。そこで、本研究は、日本技術者教育認定機構（JABEE）が提唱しているデザイン能力に着目して、学習者のデザイン能力を評価するためのフレームワークを提案する。そして、提案フレームワークを用いて、著者らがこれまでに行ってきた創造性教育の実践を評価した結果と考察について報告する。

以下、2章では JABEE が提唱するデザイン能力に関して本研究が提案する分類と定義について説明する。また、関連研究の調査結果も踏まえて、本研究の提案を述べる。3章では、本研究の提案を導入した教育の実践の特徴と概要についてまとめる。そして、4章と5章では、教育効果に関する評価について報告する。6章では、本研究の成果に関して考察する。

2. デザイン能力の構成と評価のための提案

本章では、工学における創造性教育が育成の対象とする能力について、JABEE の提唱するデザイン能力を構成する要素に着目して整理、分類することにより明確にする。そして、明確になった分類に基づいて提案する本研究の評価アプローチについて言及する。

2.1 デザイン能力の構成要素

工学教育における創造性とは、実質的には「専門知識を駆使して独自に課題を探索し、新製品・新技術を創製する能力」といえる 4)。さらに、JABEE では、技術者教育の学習・教育目標の一つとして「種々の科学・技術・情報を利用して社会の要求を解決するためのデザイン能力」を挙げており、このデザイン能力が工学教育における創造性を意味するといえる 5)。ここでのデザインとは、「必ずしも解が一つでない課題に対して、種々の学問・技術を統合して、実現可能な解を見つけ出していくこと」であり、構想力・問題設定力・種々の学問、技術の総合応用能力・創造力・公衆の健康・

[†] 中部大学 情報科学研究所／工学部
Research Institute for Information Science, Chubu University / College of Engineering, Chubu University

^{††} 中部大学 工学部
College of Engineering, Chubu University

^{†††} 愛知きわみ看護短期大学
Aichi Kiwami College of Nursing

安全、文化、経済、環境、倫理等の観点から問題点を認識する能力、および、これらの問題点等から生じる制約条件下で解を見出す能力・構想したものを図、文章、式、プログラム等で表現する能力、コミュニケーション能力・チームワーク力・継続的に計画し、実施する能力等をデザイン能力の要素として含めている 6)。

よって、このような種々の能力を積み上げ、融合したエンジニアとしての総合力の向上が、創造性育成教育の目標である。

本研究では、この JABEE の提唱するデザイン能力を創造性の定義として捉えて進める。そして、このデザイン能力を構成する各能力を構成能力と呼ぶ。さらに、これらの構成能力を基礎的構成能力、応用的構成能力、社会的構成能力の3分類に整理する。具体的には、構想力、創造力、問題設定力、継続的に計画し実施する能力、構想したものを図、文章、式、プログラム等で表現する能力を「基礎的構成能力」とまとめる。また、種々の学問、技術の総合应用能力、公衆の健康・安全、文化、経済、環境、倫理等の観点から問題点を認識する能力、および、これらの問題点等から生じる制約条件下で解を見出す能力を「応用的構成能力」とまとめる。そして、コミュニケーション能力、チームワーク力を「社会的構成能力」とまとめる。以上の3分類を表1に示す。

2.2 評価の対象

前節にて、工学教育における創造性を意味するデザイン能力を構成する能力の定義について明記した。

一方、工学教育には幅広い分野が存在し、すべての分野において必要とされる構成能力が同一とは限らない。JABEE においても、化学系、機械系、建築系、土木系、情報系等の分野別に認定基準が設定されている。さらに、各分野のどのようなプロセスにおける創造性育成を目的とするかによって対象とする構成能力が異なることもありうる。例えば、情報系のソフトウェアシステムの開発プロセスにおいては、上流工程（システム設計等）と下流工程（プログラム開発等）で求められる構成能力は同じではない。一般的に、創造性育成教育は、ロボット製作、各種システム開発等の PBL

表 1 JABEE が提唱するデザイン能力の構成要素の分類

基礎的 構成能力	創造力、構想力、問題設定力、継続的に計画し実施する能力
	構想したものを図、文章、式、プログラム等で表現する能力
応用的 構成能力	種々の学問、技術の総合应用能力
	公衆の健康・安全、文化、経済、環境、倫理等の観点から問題点を認識する能力、それらの問題点等から生じる制約条件下で解を見出す能力
社会的 構成能力	コミュニケーション能力
	チームワーク力

(Project Based Learning) 形式で取り組まれることが多い。よって、目標とする題材、課題によって、含まれるプロセスが異なり、求められる構成能力も変化する。また、取り組むメンバー構成についても、個人、ペア、チームと様々である。

このように、対象とする分野、題材、プロセス、メンバー構成によって求められる構成能力が異なることから、「創造性」の持つ意味が曖昧であるという問題点にもつながり、教育効果の客観的な評価を困難にしているといえる。

2.3 関連研究

前述したように、創造性育成のための工学教育は数多く実践されている。ここでは、創造性育成のための教育実践とその評価に関して言及している研究について、先に述べたデザイン能力の構成要素、評価の対象という視点も踏まえてまとめる。

はじめに、評価方法という観点から見た場合に、受講者へのアンケート、受講者による作品の相互評価等の主観的な評価による教育効果が報告されている研究は数多く存在する。本研究と同様に市販のロボットキットを使った教育実践に限定した場合においても事例が多く確認される 7)-11)。

一方、一部の例ではあるが、創造活動を対象とした授業において客観的な評価を試みる事例が確認される。

熊丸等は、小型ロボット開発を題材とする授業を実施して、受講者のモデル分析力が授業受講の前後で変化したかについて、物理系の問題を活用したテストの点数の変化により客観的な評価を行っている 12)。その後、ロボットコンテスト出場のための製作活動によって観察力がどのように変化したかについて、属性列挙法を用いた客観的な評価を実施している 13)。川口等は、アイデア発想法に関する講義と実習を行う科目において、受講者の発想力がどのように変化したかについて評価している。具体的には、テスト用に作成された課題に対するアイデア数を、受講前後で比較している 14)。南野等は、ソフトウェアを学ぶ大学生のプログラミング演習における、創造的な課題解決を対象とするグループ発想法と支援システムを提案している。このシステムの評価に関して、南野等はアイデアの発展とコミュニケーションの関係、アイデアの量と質、および、演習の受講者が作成した仕様書における独創性・実用性・賢明性等の分析を行い、システムの有効性を確認している 15)。大橋等の研究においても、発想を支援するシステムを開発し授業への適用を行っている。そして、この支援システムの改善による発言回数の変化によってシステムの評価を行っている 16)。このように、南野等、大橋等は発想力の向上に関する数値的なデータからの客観的な評価を行い、創造性の育成について評価している。しかし、対象がグループ活動であるためにグループメンバーの個々の能力の評価は明確になっていない。最後に、磯本等は知的能力を創造性の源泉であると着目して、8 因子に分類して定量的に評価する方法を提案しているが、実践における評価はまだ報告されていない 17)。

2.4 本研究の提案

前節の関連研究の調査も踏まえて、創造性の評価における課題に関する考察を行い、本研究の目標を明確にする。

第一に、評価方法に客観的なデータを使用している事例が少ない点である。これは、授業を担当する教員は工学分野での専門家であり、創造性という曖昧な能力を評価する点については専門外であるために生ずる問題点である。そのために、アンケートという一般的で容易な評価に頼らざるを得ないのである。よって、何らかの創造性を評価するための指針、あるいは、フレームワークの存在が望まれるといえる。

次に、客観的な評価を実施している事例においては、モデル分析力、観察力、発想力、知的能力等の個別的な能力に限定しての評価が多くを占めている点である。前述の2.1でまとめたように、創造性は一種の総合的な能力であるといえる。JABEEではこれをデザイン能力と称している。よって、デザイン能力を構成する種々の能力に対する個別的な評価を基礎として、より多面的、多角的に分析することで、デザイン能力、言い換えれば創造性という総合力が評価できるのではないかと考える。

最後に、2.2節でも述べたように、創造性育成を目指す実践教育の内容は多岐に渡り、対象とする分野、題材、プロセス、メンバー構成等は多様である。このような前提から評価方法の適用も個別になるために、容易な評価を困難にしている。よって、なんらかの汎用的な手法の組み合わせによる評価が望まれる。すなわち、分野、題材等に依存しない評価手法である。

以上から、本研究では、工学部における創造性教育に関する評価について、JABEEの提唱するデザイン能力の定義に則した評価フレームワークの提案を目指す。具体的には、定義された個々の能力に対する客観的な評価を可能にし、さらに、結果を統合することにより、総合力としてのデザイン能力の評価を可能にするフレームワークを目指している。また、使用する評価手法については、分野や題材に依存しない汎用的な手法の導入を目指している。

このフレームワークの提案により、創造性育成教育の授業設計において、向上を目的とする対象能力の決定、課題の選定、授業デザインの設計、授業の実践、実践の効果の検証という、いわゆるPDCAサイクルにおいて、有用な指針が与えられると期待できる。

本研究の提案する評価フレームワークのイメージを表2に示す。

例として、ソフトウェアとハードウェアの両者の製作が必要なロボット製作を課題とする授業を計画した場合を考える。

はじめに、育成を目的とする能力は基礎的構成能力を対象とすると決定し、また、社会的構成能力の育成も目的の一つとするためにペアでの作業と決定する。以上から、授業の対象能力が表2の網かけの部分となる。

表2 デザイン能力の例

デザイン能力評価表		基礎的構成能力					応用的構成能力			社会的構成能力	
		創造力	構想力	問題設定力	継続的に計画・実行する力	構想したものを図、文章、式、プログラム等で表現する能力	種々の学問、技術の総合应用能力	公衆・安全、健康、倫理等に関する観点から認識する能力	それら(左記)の問題点(制約条件)を認識し、解決する能力	コミュニケーション能力	チームワーク力
題材	全般	成果物の分析による評価									
	ロボット製作	ハード製作	プレポストテスト1			プレポストテスト2					
		ソフト制作	プレポストテスト3			プレポストテスト4					
	Webアプリ	設計									
	開発	製造									
対象者	工学部学生	個人									
		ペア								評価テスト	
		チーム									

次に、各対象能力の育成のために、授業の実践において何を実施すべきかを検討する。例えば、構想したものを図、文章、式、プログラム等で表現する能力の育成のためには、「ロボットの形状については、作成する前に必ずスケッチを描かせて提出させる」等、対象となる構成能力と重ね合わせることにより、授業の内容がより具体的に設計可能となる。

さらに、評価においては、ハードウェア制作における「創造力」「構想力」を評価する課題を授業前と授業後に実施して比較する(プレポストテスト)、同様に、ソフトウェア制作では「構想力」と「問題設定力」を評価する課題をプレポストテストで実施する等の評価デザインをすることにより、「どの能力を何で評価する」という点を明確にして、学習者の能力の変化を測定する。そして、学習者の能力の変化と学習活動の関係を分析することにより、どのような活動がデザイン能力の向上に関与しているかを明らかにすることが可能であると考えられる。

以上のように、創造性育成教育に提案フレームワークを導入することは有効であると考えられる。

3. 提案フレームワークによる創造性教育実践の評価

本章では、著者らがこれまで行ってきた創造性教育の実践に対して、前述した提案フレームワークに基づいて実施した評価について報告する。対象とする実践は、著者

らの所属する工学部情報工学科 1 年生を対象として、デザイン能力の育成を目指して取り組まれている、「創成 B」という科目である。

3.1 授業の概要

「創成 B」は、本学工学部において 1 年次から 4 年次にわたって導入的・基盤的・発展的に創造性の育成を行うために導入されている創成科目の一つである 18)。

以下では 3 つの Phase から構成される本授業の概要について説明する。

(1) 導入(Phase1)

本 Phase においては、学習者のノートパソコンへのプログラミング環境の構築作業と基本的なプログラミングに関する講義と演習が行われる。本授業におけるプログラミングの教育に関しては、アルゴリズム表記用の PAD とプログラミング言語として C 言語を採用している。

(2) 創造活動の体験(Phase2)

本 Phase においては、学習者は 2 人 1 チームのペアとして活動する。具体的には、ロボットの組み立て及びプログラミングを行い、作成したロボットによるタイムトライアル競技に挑戦する。授業の教材には、自律移動型ロボットの組立・分解が容易に可能な市販キットである LEGO Mindstorms を使用している 19)。

学習者には、本 Phase における創造活動を支援するための記録システムが用意されており、学習者が自らの活動を記録することが可能となっている。本システムの特徴と詳細は次項で述べる。

(3) リフレクション(Phase3)

本 Phase においては、学習者はリフレクション活動を行う。リフレクションとは創造活動を体得するための学習支援として、メタ認知的スキルの学習を促進すると報告されている活動である。このリフレクション活動の特徴と詳細については次項で言及する。

本授業では、学習者は自ら蓄積した活動記録に基づき、どのようなことをプランニングしたか、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）の観点を加えて、ペアとなったメンバーとディスカッションを行って創造プロセスをチャート形式にまとめる。このようにして作成されたプロセス図をリフレクションシートと呼ぶ。

(4) 授業の構成

本授業では、前述した 3 つの Phase を順に実施した後、さらに Phase2 と Phase3 を再度実施する。実践の初年度の授業では、1 回当たり 135 分の講義が 13 週にわたり開講され、受講者は 131 名であった。次年度は、2 週分の期間が延長されて 15 週の開講となり、受講者は 133 名であった。

3.2 本実践の特徴

本実践では、心理学的知見の活用と創造活動を支援するシステムの提供の 2 つの特徴が挙げられる。

前者については、それまでの実践を担当してきた工学系の教員の経験に加えて、認知心理学の専門家の参加を得ることにより、創造活動におけるメタ認知的な活動に関する心理学的知見を導入した点である。メタ認知的活動とは、自己の活動をメタな視点から捉える行為のことであり、これまでの心理学的知見から、教授・学習場面において、自己説明・自己調整といったメタ認知的な活動に関与する活動の重要性が指摘されており、本研究で対象としているプログラミング教育場面においても、メタ認知的な活動を支援することの学習効果が報告されている 20)。また、我々の先行研究においても、リフレクションの有効性が確認されており、本研究においてもリフレクションを授業に導入した 21)。

次に、後者の創造活動を支援するシステムの提供について説明する（図 1 参照）。

これまでソフトウェア工学の領域では、発想支援システムなどに代表される、創造活動における「考える活動」を支援するシステムが多数開発されている 15)16)。しかし、学習者の創造活動自体を支援するシステムを利用した実践報告はほとんどないのが現状である。これは、前述したように「創造性」の持つ意味が曖昧であり、その構成要素が多岐にわたるために「何を支援するのか」が明確でないことが原因として考えられる。そこで本研究では、授業において学習者が行うロボット製作作業の中で、デザイン能力の構成能力と深く関係のある作業に着目し、さらに、創造的な活動に対するメタ認知活動の有効性に基づいて、活動中のリフレクションの支援に着目した。



図 1 創成科目「創成 B」の web サイト

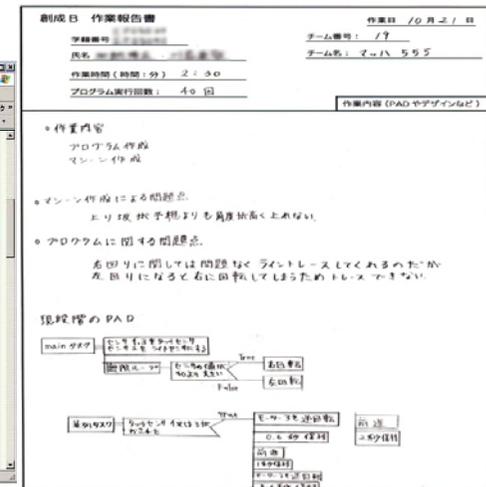


図 2 作業報告書の例

以上の観点に基づいて、グループの創造活動を記録・管理・閲覧する機能を実装した創造活動記録支援システムを開発した。本システムは PHP とデータベース (MySQL) の連携から構成される web ベースのシステムであり、学習者はブラウザを利用して、グループの創造活動に関する以下の項目を任意にアップロードすることができる。

- (a) 作成したロボットの形状 (静止画像)
- (b) // ロボットの動き (動画像)
- (c) タイムトライアルの結果 (走行タイム)
- (d) 制御プログラム (ソースファイル)
- (e) 作業報告書 (手書き書類を学習者自身が PDF ファイルに変換 : 図 2 参照)
 - ・作業時間数 ・プログラム実行回数
 - ・作成プログラムの PAD ・コメント (感想, 反省点等)

本実践では、学習者は創造活動を行う際に本システムを利用してグループの作業状況を逐次記録する。これら一連の活動は、活動中のリフレクションを促進することが期待される。そして、活動後のリフレクションを行う際に、学習者は本システムによって記録された自己の創造プロセスを閲覧し、必要なデータを適宜ダウンロードしながら、活動後のリフレクションとしてリフレクションシートの作成を進めることが可能となる。

3.3 基礎的構成能力の評価

前述したように、創造性教育の先行研究では、アンケート主体の主観的評価が実施されてきた。そのため、特に「授業を受けたことが学習者の今後の創造活動にどのような影響を与えているのか」という点に関しては、重要な観点にもかかわらずこれまでほとんど検討が行われてこなかった。そこで本研究では探索的な試みとして、授業前後の学習者の創造活動の変化を客観的に評価するための課題について検討を行った。具体的には、授業実践の内容とは直接関係しない課題による評価を導入している。これは、創造性の構成能力を含んだ課題を学習者に与えてその結果を評価することにより、学習者の創造性にかかわる能力の変化が客観的に確認できるのではないかと考えたからである。そして、検討に基づいて、デザイン課題と PAD 課題を用いた学習者の変化に関する評価方法を提案する。

3.3.1 デザイン課題による個人別評価

ここでは、授業後の学習者の創造活動の変化を客観的に評価するために実施したデザイン課題の分析方法について説明する。本分析は本授業の初年度の受講生 131 名のうち、第 1 回と第 13 回の両方の回に出席した 91 名を対象とした。

本課題は、認知的アプローチによる創造性研究における有名な課題のひとつである、Finke の発明課題をベースとしている (22)。Finke のオリジナル課題では、球や立方体等の指定された 15 種類のパーツ (図 3 参照) のうち 3 つを使用して作品をデザイン

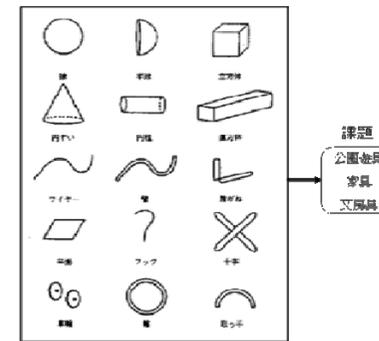


図 3 デザイン課題で提示されたパーツの種類

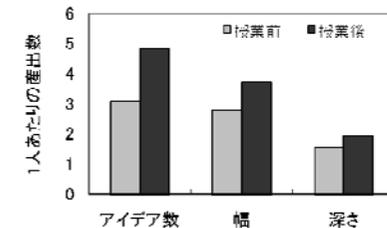


図 4 学習者の考案したアイデアの変化

することが求められる。一方、本研究で実施するデザイン課題では、より現実場面に近い状況としてパーツ使用数は自由とした。学習者にはテーマとして「公園遊具」「家具」「文房具」のいずれかがランダムに割り当てられる。学習者は与えられたテーマについて、思いついたアイデアを記録用紙に記入する。制限時間は 20 分とした。

本研究では、学習者の考案した作品の持つ機能に注目して分析を行った。具体的には、第 4 著者が、それぞれのテーマについて作品の機能をカテゴリ化した。例えば、家具の場合、「収納する」「吊るす」「座る」などのカテゴリである。

図 4 は、学習者の考案したアイデアの変化を、「アイデア数」「アイデアの幅」「アイデアの深さ」の要素ごとにまとめたものである。なお、本研究では学習者の考えたアイデアの持つ機能の種類数 (アイデアの機能のバリエーション) を「アイデアの幅」とした。同様に、ある機能を持つアイデアに関する検討回数 (アイデアの数) の最大値を「アイデアの深さ」とした。

授業前後の差に関して対応のある t 検定を行った結果、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 ($t(90)=3.727, p<.01$) およびアイデアの深さ ($t(90)=2.629, p<.05$) のどちらにも、授業後においてそれぞれの数が増加していることが確認された。

また、以上の結果に関しては、繰り返し実施したことによる成績向上の可能性が考えられるため、対照群として本授業を受講していない学生を対象にデザイン課題を実施した。被験者は本学の他学科の学生 8 名であり、3 ヶ月の期間をあけて課題を 2 回実施した。その結果、1 回目と 2 回目の成績には有意な差がみられなかった (アイデア数: $t(7)=0.105, n.s.$, アイデアの幅: $t(7)=0.564, n.s.$, アイデアの深さ: $t(7)=1.821, n.s.$)。

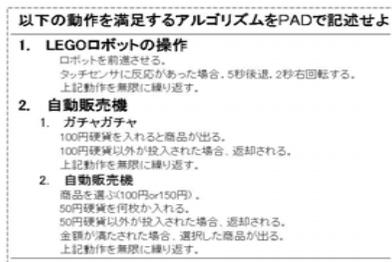


図 5 PAD 課題 (プレテスト)

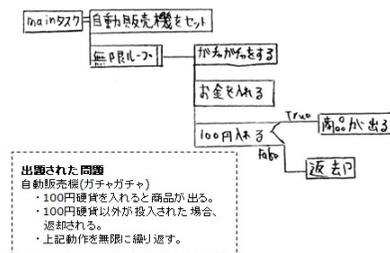


図 6 PAD 課題と解答例

このことは、本実践における創造活動の体験によって学習者の「構想力」「創造力」「構想したものを図、文章、式、プログラム等で表現する能力」の基礎的構成能力に変化が生じた可能性が高いことを示唆している。

3.3.2 PAD 課題による分析

前述したように、PAD の作成によりアルゴリズムを考える「問題設定力」「構想力」、「構想したものを図、文章、式、プログラム等で表現する能力」の基礎的構成能力育成につながると考える。そこで、この PAD 作成に関しての学習者の変化に着目することは重要であると考え、本実践においては PAD の活用能力を確認するために PAD 課題を学習者に与えた。以下では、実施した PAD 課題による評価について報告する。課題は、以下のようなデザインである。

創造活動前である第 5 回の授業時にプレテストとして実施する。また、創造活動後である第 12 回の授業時にポストテストとして実施する。本課題は、授業で対象としているロボットプログラミングに関する基礎問題 1 問と、自動販売機 (ジュース・ガチャガチャ) の機能に関する 2 問 (基礎問題 1 問、応用問題 1 問) の合計 3 問から構成されている (図 5 参照)。学習者は PAD を用いて各問題のアルゴリズムを解答用紙に図示した。学習者の解答例 (第 5 回) を図 6 に示す。なお、この課題についての制限時間は 40 分であった。

次に、実施した PAD 課題の分析結果について報告する。分析の対象は、授業に参加した学生 133 名のうち、欠席者を除いた 105 名である。また、本文では、PAD 課題 3 問のうち、最も難易度の高い応用問題に関する分析結果について報告する。具体的には、図 5 に示したプレテストの問題の 2.2 について対象とする。

ポストテストでは「食券販売機」に関する同等の課題が 2.2 として与えられた。これらの課題は、基本的なアルゴリズムに加えて、金額の判断等の付加的な機能を追加することが求められる open-end な問題である。

そこで、学習者の考えたアルゴリズムの複雑さを表す指標として、回答結果に含ま

れるユニットの個数をカウントした。ただし、学習者の回答した PAD の中には、PAD の様式を満たしていないものや実行不能なものも含まれていたため、そのような学習者のユニットの個数はすべて 0 とした。その結果、プレテストの平均は 8.9、ポストテストの平均は 10.6 となり、授業前よりも授業後のユニット個数が増加しており、対応のある t 検定を行った結果、有意な差が確認された ($t(104)=2.648, p<.01$)。

以上から、本実践における創造活動の体験によって学習者の「構想力」「問題設定力」「構想したものを図、文章、式、プログラム等で表現する能力」の基礎的構成能力に変化が生じたことが示唆されたといえる。

3.3.3 デザイン課題による評価と学習活動の関係に関する分析

本項では、学習者の体験した創造活動の内容とデザイン課題の結果との関係について、学習者の利用した創造活動記録支援システムに記録されたチームとしての情報に基づいて以下の 2 点を検討する。なお、以下の分析はチーム作業のデータを分析の指標としているため、チームメンバーの 2 名がともに 2 回のデザイン課題に参加した 66 名を分析対象とした。

(1) 学習者の作業時間との関係

本実践では授業時間外の活動を許可していたため、チーム間でロボット製作の作業時間かなりの違いがあった。そこで、活動時間の多い学習者デザイン課題の成績により大きな向上がみられたのか、という点について検討を行った。なお、本分析では学習者の正確な作業時間が把握できないため、作業時間量を反映する指標として、学習者が創造活動記録支援システムに情報をアップロードした回数を採用した。

学習者全体のアップロード回数の平均を基準に学習者を長時間群 (24 名) と短時間群 (42 名) に分け、授業前後のデザイン課題の考案アイデア数の変化量を比較した。その結果、短時間群の考案アイデア数の変化量の平均が 1.0 であったのに対して、長時間群の平均は 3.2 であった ($t(64)=2.246, p<.05$)。このことは、創造性教育の実践において、十分な作業時間を設定することや授業時間外の作業環境を提供することが高い学習効果を生む可能性を示唆している。

(2) 学習者の競技成績との関係

実践に参加した学習者のうち、コースを完走することのできるロボットを製作することができたのは 50 チームであり、残りの 15 チームは完走することができなかった。このような、競技の成績とデザイン課題の結果の関係について、システムに記録されたランキングデータに基づいて検討を行った。なお、本分析ではコースを完走できなかったチームはすべて最下位として扱った。

競技成績 (走行タイム) の上位 50% を高成績群 (30 名)、下位 50% を低成績群 (36 名) として、デザイン課題の考案アイデア数の変化量を比較した。その結果、高成績群の平均は 2.4、低成績群の平均は 1.4 であり、高成績群のほうが平均が高かったものの有意な差はみられなかった ($t(64)=1.039, n.s.$)。一般に、「創造性」というとアイデア

の良さや作品の良さなど、そのアウトプットの質が注目される。しかし、以上の結果からは、創造性教育における学習成果を評価する際にアウトプットの質を評価するだけでは不十分であり、むしろ活動の量的な側面の評価を重視する必要性を示唆している。

3.4 社会的構成能力の評価

本節では、社会的構成能力を評価するために実施した分析結果について報告する。本実践では学習者の社会的構成能力を測定するために Kiss-18 (Kikuchi's Scale of Social Skills: 18 items) 23)を導入した。この尺度は18項目の質問からなり、「問題解決スキル」「トラブル対処スキル」「コミュニケーションスキル」といった因子から構成されている。

学習者が回答する用紙には、上記の18項目が質問として順不同に並べられている。これらの各質問項目に対して、学習者は5段階で回答した。本実践では、授業の初回(プレテスト)と最終回(ポストテスト)にそれぞれ実施した。プレテスト、ポストテストの結果を比較し、授業前後の社会的スキルの各因子の変化を図7に示す。

分析の結果、問題解決スキル、トラブル対処スキル、コミュニケーションスキルのどの因子についても授業後のスキルの向上が確認された(問題解決スキル(プレ=17.9, ポスト=18.6, $t(77)=2.131$, $p<.05$), トラブル対処スキル(プレ=15.2, ポスト=15.9, $t(77)=2.612$, $p<.05$), コミュニケーションスキル(プレ=20.8, ポスト=21.7, $t(77)=2.745$, $p<.01$)). 以上の結果から、本実践で設定した共同作業の体験が、社会的構成能力である学習者のコミュニケーション能力、応用的構成能である制約条件下で解を見出す能力の向上に影響を与えたことを示唆している。

そこで次に、学習者の作業プロセスと社会的スキルの変化の関係について検討を行った。具体的には、学習者の作業プロセスを示す指標として各チームにおける作業スタイルに着目した。

ロボット製作においては、ハードウェア(パーツの組み立て)とソフトウェア(プログラミング)の両方の活動を並行して進めることが求められる。その際に、多くの学習者は役割を分担して作業を進めている。この作業の分担割合に基づいた分類を作業スタイルとした。具体的には、リフレクションの際に回答された学習者のハードウェア/ソフトウェアの作業割合を以下の式にあてはめ、Sを算出した。

$$S = Ah \times As + Bh \times Bs \quad (0 \leq S \leq 100)$$

式中の Ah, As はペアとなった学生 A のハードウェアおよびソフトウェアの作業割合を示している。同様に Bh, Bs は学生 B の作業割合を示している。そして、S の値が 0~33 のペアを分業スタイル(ハードウェア担当とソフトウェア担当に分担するスタイル)、34~66 のペアを協同スタイル(2人がハードウェアとソフトウェアの両方に携わるスタイル)とした。また、67~100 のペアは独占スタイル(1人がほとんど作業を

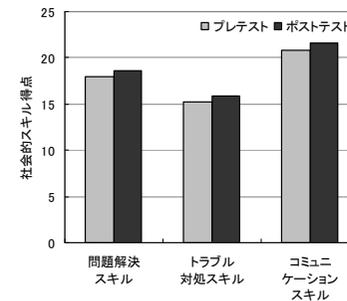


図7 授業前後の社会的スキルの変化

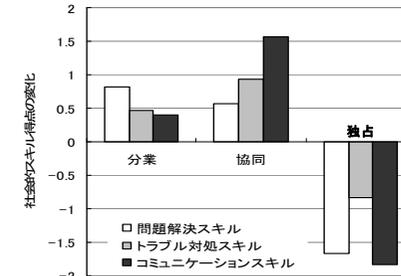


図8 社会的スキルの変化と作業スタイルとの関係

行ってしまうスタイル)とした。各スタイルの学習者の社会的スキルの変化量をまとめて図8に示す。図8より、協同スタイルの学習者が分業スタイルの学習者に比べて、社会的スキルがより大きく向上していることが確認される。逆に、独占スタイルの学習者は社会的スキルの低下を示す結果となった。以上の結果から、社会的構成能力である学習者のコミュニケーション能力(コミュニケーションスキル)、応用的構成能である制約条件下で解を見出す能力(問題解決スキル・トラブル対処スキル)の向上に対して、協同作業における作業スタイルが影響を及ぼしていることが確認されたといえる。今回の結果からは、グループのメンバーが同程度の作業を受け持つことや、各メンバーの役割を交代しながら作業を進めることの重要性が示唆される。また、チーム作業であるにもかかわらず、どちらか一方の学習者に作業が集中することは、学習者の持つデザイン能力の構成能力をかえって低下させる事態を招いていることが確認されたといえる。

4. 考察

本章では、本研究の提案するフレームワークの有効性に関して考察する。

第一に、本提案に基づく授業実践により、学習者のデザイン能力についての多面的な評価が可能になったといえる。本提案では、あいまいな定義である創造性に関して、「基礎的構成能力」、「応用的構成能力」、「社会的構成能力」の3つに分類されるデザイン能力として定義した(表1参照)。そして、デザイン課題、PAD課題を用いた客観的な評価を行うことによって、各課題に含まれる構成能力の向上について評価できたといえる。さらに、このような個人別の評価に加えて、チームとしての学習活動と構成能力との関係に着目した分析から、競技成績等の質の評価だけではなく、作業時

間等の量的な評価と構成能力との関係の分析の重要性が示唆されている。この分析に関するより詳細な分析が可能となれば、さらに多面的な分析が可能になるといえる。

次に、デザイン能力の向上を目指した本実践の結果は授業改善に対しても大きな効果があると考えられる。具体的には、作業時間と構成能力の向上に関連が確認されたので作業時間の増加を目的とする授業改善を行っている。作業時間の目安となるアップロード回数を増加させるための支援システムの改良を実施した結果、改良前の平均アップロード回数が 8.14 回に対して、改良後の実践では 9.49 回となり、改良後の増加傾向が観察され、分散も減少している ($t(115)=1.795$, $p<.10$)。また、基礎的構成能力と社会的構成能力に影響するリフレクション活動に関しても、リフレクションシートの形式変更という改善を実施している。この改善により、Plan と Do への記入個数の平均が、改善前の実践に比較して増加したことが確認され ($p<.01$)、より活発なリフレクション活動が行われたことが確認される。以上のように、デザイン能力の構成能力に着目した評価の分析が、より効果的な授業改善に結びついているといえる。

以上のように、本提案フレームワークによる授業実践の有効性は確認されたといえる。しかし、本授業の実践においては、「応用的構成能力」、「社会的構成能力」の向上に関しては、まだ不十分であるといえる。よって、本研究では、上位年次に配当される授業科目において、「システム開発」を対象としたカリキュラムを実践中である。ここでは、システム開発入門、システム開発演習、システム開発応用の 3 段階の課題を用意しており、「応用的構成能力」、「社会的構成能力」の向上を目指している。これにより、学習者は本実践の「創成 B」を含めた 4 つの段階で、デザイン能力の向上に取り組むことになる。

5. おわりに

本文では、本研究で提案するフレームワークを用いて、著者らがこれまでに行ってきた創造性教育の実践を評価した結果と考察について報告した。

本提案による創造性教育は大学生を対象として実践されているが、例えば小中高における創造性教育、ロボットコンテスト等の創造性を競うコンテストの評価フレームワーク、他の科目領域への適用等、対象範囲の拡張も可能と考えられる。よって、今後は、この実践結果からの考察を踏まえて、本フレームワークの他の領域、対象への適用可能性についても検討を進める予定である。

謝辞 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) 人工知能学会編：特集 MindStorms と高等教育，人工知能学会誌，Vol.21，No.5(2006).
- 2) 弓野憲一，平岩徳己：世界の創造性教育（展望），教育心理学年報，Vol.46，pp.138-148(2007).
- 3) 河合塾編：工学部の現状を探る第 3 回工学系学士課程教育（創成教育），Guideline，Vol.September，pp.42-47(2007).
- 4) 塚本真也：創造力育成の方法-JABEE 対応の創成型教育-，森北出版(2003).
- 5) 日本技術者認定機構（JABEE）：日本技術者認定制度 認定基準の解説，<http://www.jabee.org/>.
- 6) 大中逸雄：日本技術者教育認定制度の現状と展望，日本機械学会誌，Vol.104，No.990，pp.289-293 (2001).
- 7) 丘華，久保明雄：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).
- 8) 大山啓，高木均，日下一也，堀川敬太郎：LegoMindstorms 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).
- 9) 浪花智英，仲田純人：福井大学工学部知能システム工学科における Mindstorms を用いた創造性教育，人工知能学会誌，Vol.21，No.5，pp.532-536 (2006).
- 10) 吉富秀樹：レゴマインドストームとブレッドボードを組み合わせたメカトロニクス教材の開発と創造性教育，設計工学，Vol.43，No.5，pp.243-248 (2008).
- 11) 池田貴幸，今井太朗：レゴマインドストームを用いたプロジェクト型実験実習，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集，2A1-J9，pp.1-3 (2008).
- 12) 熊丸憲男，中野明：小型ロボット製作における教育効果測定について，日本ロボット学会誌，Vol.24，No.1，pp.20-22 (2006).
- 13) 熊丸憲男：創造力開発手法による観察力の評価，実践教育，Vol.23，No.3，pp.103-104 (2008).
- 14) 川口清司：富山大学における創造性と問題解決力を育成する講義併用型創成授業，砥粒加工学会誌，Vol.52，No.9，pp.511-514 (2008).
- 15) 南野謙一，照井孝幸，木下哲男：創造的な課題解決を支援するグループ発想支援システム，電子情報通信学会論文誌，Vol.J91-D，No.2，pp.166-177 (2008).
- 16) 大橋誠，伊藤淳子，宗森純，松下光範，松田昌史：テーブルトップインタフェースを用いた発想支援システムの開発と適用，情報処理学会論文誌，Vol.49，No.1，pp.105-115 (2008).
- 17) 磯本征雄，近松亮，伊藤敏，津森真一：コンピュータゲームによる知的資質の定量的評価法，信学技法，ET2006，No12，pp.1-6 (2006).
- 18) 山内睦文：工学部における教育改革の視点，中部大学教育研究，No.5，pp.25-30 (2005).
- 19) LEGO 社 Web サイト，<http://mindstorms.lego.com/>.
- 20) Bielaczyc, K., Pirolli, P.L., & Brown, A.L.: "Training in self-explanation and self-regulation strategies: Investigating the effects of knowledge acquisition activities on problem solving". *Cognition and Instruction*, Vol.13, No.2, pp.221-252 (1995).
- 21) 石井成郎，三輪和久：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，Vol.19，No.2，pp.126-135 (2004).
- 22) Finke, R.A., : *Creative imagery: Discovery and inventions in visualization*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ(1990).
- 23) 菊池章夫：社会的出会いの心理学，川島書店，東京 (1993).