

PBL的手法によるデザイン能力の育成 —専攻科での「デザイン・プロジェクト」への取り組み—

吉富秀樹* 井上浩行* 細谷和範* 趙 菲菲*

Education for Design Ability through Project-Based Learning — DESIGN-PROJECT carried out in the Advanced Engineering Course —

Hideki YOSHITOMI*, Hiroyuki INOUE*, Kazunori HOSOTANI*, Feifei ZHAO*

The education program for engineering design ability is carried out in many educational institutions which are accredited by JABEE, the Japan Accreditation Board for Engineering Education. National Institute of Technology, Tsuyama College is working on DESIGN-PROJECT in the Advanced Mechanical and Control System Engineering Course since 2007. The DESIGN-PROJECT is an action to raise ability for engineering design. In this action, students are engaged in upbringing of the ability to search a problem in conjunction with many social phenomena, and to arrive at a rational solution voluntarily. In the project, we introduce the PBL(Project-Based Learning) method to achieve the aim. The students worked on a problem in independent (individual) initially, but we improved it in form to wrestle in a small group to cope with team activity and communicative competence through PDCA(Plan-Do-Check-Act) cycle. In this report, we describe the enforcement form and the scholastic evaluation.

Key Words: Ability for Engineering Design, Project-Based Learning, JABEE, Technical Education, PBL

1. はじめに

JABEE (Japan Accreditation Board for Engineering Education)の認定課程を持つ多くの教育機関でデザイン教育に対応する取り組みが行われている¹⁾。津山高専も専攻科の機械・制御システム工学専攻 (JABEE認定プログラム: 機械・制御システム工学)において、デザイン能力を育成する取り組みである「デザイン・プロジェクト」に平成19年度から取り組んでいる。この取り組みは“社会の数々の事象に関連して、自発的に課題を探究し、合理的な解を見つけ出す能力の育成”を目的としており、専攻科生に自ら課題を発見・提案させ、自発的に課題を探究するPBL(Project-Based Learning)的手法をとっている。開始当初は単独(個人)で課題に取り組んでいたが、その後、PDCA(Plan-Do-Check-Act)サイクルによりチーム活動やコミュニケーション能力にも対応できるよう2~3人のグループで取り組む形に改善している。

授業は、専攻科の実験科目である特別実験に組み込んでおり、1週あたり50分×3コマとし、1年間で30週を割り当てている。指導教員は4名がついているが、教員からテーマを与えることはなく、教員はあくまでファシリテータ(学習支援者)の立場をとっている。本報では、「デザイン・プロジェクト」の実施形態、達成度評価等について報告する。

なお、以降では本取り組みの根拠となっているJABEEの認定基準とデザイン能力、および本校の学習・教育到達目標をそれぞれ第2章と第3章で示し、第4章以降で本取り組みの内容を述べる。

2. JABEE認定基準とデザイン能力

日本技術者教育認定機構のホームページ²⁾によると、認定基準として「基準1: 学習・教育目標 (a)~(i)」が示されている。この具体的内容については、紙面の都合もありここでは省略するが、JABEE認定プログラムでは基準1に対応した取り組みが必要である。また、JABEEというデザイン能力とは“エンジニアリングデザイン能力”のことであり、同ホ

原稿受付 平成28年8月29日

*総合理工学科機械システム系

ームページによると次のように記述されている²⁾。
以下、同ホームページからの引用である。

- (i) 「デザイン」とは、単なる設計図面制作ではなく、「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、そのために必要な能力が「デザイン能力」である。デザイン教育は技術者教育を特徴づける最も重要なものであり、対象とする課題はハードウェアでもソフトウェア（システムを含む）でも構わない。
- (ii) デザイン能力には、次のような能力が含まれる。

- 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・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、実施する能力など

さらに、日本技術者教育認定機構のホームページの認定・審査の項の資料³⁾によると、以下の記述がある。

[デザイン教育の観点]

1. デザイン能力に関して具体的な達成目標を設定しているか。
2. 学生がデザインあるいは問題解決策についての学習体験をしているか。
3. 学生に以下のような能力が育成される複合的で解が複数存在する課題を与えているか。
 - (1) 複数のアイデアを提案できる。
 - (2) 大学で学ぶ複数の知識を応用できる。
 - (3) コミュニケーション力ならびにチームワーク力。
 - (4) 創造性（既存の原理や知識を組み合わせ、新規の概念または物を創り出せる）。
 - (5) コスト等の制約条件や評価尺度について考察できる。
 - (6) 自然や社会への影響（公衆の健康・安全、文化、経済、環境、倫理等）について考察できる。
4. 以下のような内容を含む達成度評価を実施しているか。
 - (1) 解決すべき課題の内容を良く考えている。
 - (2) 制約条件を考慮したデザインあるいは解決

策となっている。

- (3) デザイン（あるいは解決策）の結果を分かりやすく提示している。
 - (4) その他、各プログラムのデザイン教育に関連する学習達成目標を満足している。（例えば、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／計画的に実施する能力など）
5. 上記 2. ～4. についての裏付資料が存在するか。

このようにJABEEというデザイン能力には、技術者教育の成果として求められる能力が広範囲に関わっている。このようなJABEEの基準に対応するため、本校では「理念・教育目標」のもとに次章で述べる学習・教育到達目標を掲げている。

3. 学習・教育到達目標とデザイン能力

本校の「理念・教育目標」のもとにJABEEの認定基準を考慮し、認定プログラム「機械・制御システム工学」では、以下に示す具体的な学習・教育到達目標を掲げている⁴⁾。

- (A) 技術に関する基礎知識の深化
- (B) 地球的視野に立った人間性の育成
- (C) 情報技術の修得
- (D) 課題解決能力の育成
- (E) 研究能力の育成
- (F) コミュニケーション能力、プレゼンテーション能力の育成
- (G) 技術者倫理の理解
- (H) 地域との連携による総合能力の展開

これらの学習・教育到達目標は、主として本科4年次から専攻科2年次までの科目を履修することで達成できるようなカリキュラムになっている。このなかでデザイン能力は(D)と(E)で達成するとされているが、本報の「デザイン・プロジェクト」は、主として(D)に対応したものである。そこで、(D)の具体的内容を示すと以下のようにになっている。

- (D) 課題解決能力の育成

学内外で得た科学・技術に関する知識や種々の情報を利用して、問題を明確にとらえ、最も適切な解決策や方法を見つけていく能力を育成する。

D-1. 学内外で得た科学・技術に関する知識や種々の情報を用い、問題を明確にとらえ、複数の解決策を考え出し、それらの解決策を多面的に評価し、適切な解決策や方法を見つけ、示せること。

D-2. ハードウェア・ソフトウェアを利用した適切な方法を用いて、要求された課題を制約の下でデザインできること。

D-3. 課題解決のために他者と共通認識を形成しながら、組織的な取り組みができること。

なお、JABEE のデザイン能力と本校の学習・教育到達目標の関係については注記があり、「現在の本校の学習・教育到達目標 (D) は、JABEE のデザイン能力ほど内容・程度の範囲が広くないが、(E) の学習・教育到達目標も使って JABEE のいうデザイン能力を育成する」と記されている。

4. 「デザイン・プロジェクト」の実践

4. 1 概要

この取り組みは、第3章の学習・教育到達目標 (D) に対応する取り組みであるが、広くは JABEE というエンジニアリングデザイン能力の育成を目指している。平成 19 年度から取り組んでおり、冒頭でも述べているが“社会の数々の事象に関連して、自発的に課題を探求し、合理的な解を見つけ出す能力の育成”を目的としており、専攻科生に自ら課題を発見・提案させ、自発的に課題を探求させる PBL 的手法をとっている。

なお、PBL とは、細かく言うと諸説あるようだが、基本的には“少人数グループによる問題発見解決型の学習方法”と言える。その内容は、グループ討議、活動記録の作成、自己学習、成果報告までを含む統合的・創造的な学習に主眼を置いており、実践形式の学習法と言われている⁹⁾。

PBL では、PDCA サイクルによって常に見直して行くことが必要とされているが、この取り組みにおいても開始当初は単独 (個人) で課題に取り組んでいたが、その後、チーム活動やコミュニケーション能力にも対応できるよう 2～3 人のグループで取り組む形に改善している。このことにより、チーム活動の中で相互に学ぶことを身に付け、学習プロセスへ主体的・能動的に関わろうとする態度を涵養することが期待できる。授業は、専攻科の実験科目である特別実験に組み込んでおり、1 週あたり 50 分×3 コマとし、1 年間で 30 週を割り当てている。これは特別実験の総時間数のちょうど半分の時間数となっている。指導教員は 4 名がついているが、教員からテーマを与えることはなく、教員の役割はあくまでファシリテータである。

4. 2 グループ分け

前述のように、JABEE のコミュニケーション能力やチームワーク力、および本校の学習・教育到達目標 (D-3) に対応するため、2～3 人のグループで取り組む形態にしている。グループのメンバーは、教員側から指定することはせず、学生の話し合いで決めさせている。そのため、気の合う者どうしや、特

別研究が同じ研究室の者どうしとなり易いが、これは大きな問題とはならないと考え、現時点では許容している。また、各グループにはファシリテータの役割として教員 1 名を指導教員として付けている。

4. 3 グループディスカッション

本校の学習・教育到達目標 (D-3) の“他者と共通認識を形成しながら、組織的な取り組みができること”に対応し、また JABEE の“継続的に計画し実施する能力”を涵養するため、年に 5 回のグループディスカッションを定めている。このときディスカッションの記録担当者を決めておき、ディスカッション記録簿を付けて指導教員に提出させている。なお、ディスカッション記録簿の記載事項は、状況報告、問題点と具体的な意見、解決方法、今後の予定等となっている。

4. 4 年間スケジュール

本取り組みの年間の流れを表 1 に示す。1 年間で 30 週を割り当てているが、最初にガイダンスを行い、翌週にグループ分けを行う。その後の流れは、取り組み課題の検討、年間計画の策定、研究・調査の推進、結果の分析、成果報告書の作成の順で、それぞれ 4 週から 8 週程度をかけて取り組む。また、年間 5 回のグループディスカッションの日を設けている。

報告会は、年に 3 回行っており、まず年間計画の策定が完了した 11 週目にテーマ発表会を行う。これはパワーポイントを使ったプロジェクターでの発表となっている。この発表において、以降の取り組みに著しい支障があると複数の教員が判断した場

表 1 年間スケジュール

週	内容
1～2	ガイダンス、グループ分け
3～6	取り組み課題の検討 第 1 回グループディスカッションを含む
7～10	年間計画の策定 第 2 回グループディスカッションを含む
11	テーマ発表会 (パワーポイントによる発表)
12～19	研究・調査の推進 第 3 回グループディスカッションを含む
20	中間発表会 (パワーポイントによる発表)
21～24	結果の分析 第 4 回グループディスカッションを含む
25～29	成果報告書の作成 第 5 回グループディスカッションを含む
30	最終報告会 (ポスター発表)

合は、再検討および再発表を課している。第2回目は中間発表会と位置付けており、研究・調査がほぼ完了した時点である20週目に行っている。これもパワーポイントを使った発表である。最後に最終報告会を行うが、これはポスター発表形式として全校に案内し、できるだけ多くの教職員に参加してもらっている。最終報告会をポスター発表にした理由は、デザイン教育という観点から、学生がどのようにして問題を発見し、どのように探索し合理的な解を導いたのか、その過程をじっくりと聞きたいからである。最終報告会の様子を図1に示す。



図1 最終報告会のポスター発表の様子

4.5 作業日誌

本取り組みでは、毎回作業日誌を付けている。記載内容は、従事した時間数と時間帯、作業内容、および欠席者名となっている。作業日誌は毎回指導教員に提出し印をもらうようにしている。このときに指導教員は、取り組みの進捗状態や問題点を把握し、ファシリテータとして助言をする。なお、作業日誌は各グループで1通としている。

4.6 取り組み課題の例

取り組み課題は、学生が自ら発見し提案させており、学生たちが興味を持ったことなら何でもよいとしている。ただし、ゴールが明確であること、1年間かけるだけの価値があること、また、問題点の抽出や改善案あるいは調査結果等の成果が出せるもの、すなわち、第2章の(ii)で示されているデザイン能力を育成できることが必要である。また、ときどき特別研究に関連した課題が提案されるが、その場合は、特別研究そのものは不可とするが、特別研究に関連したテーマ、例えば特別研究に使う特殊なセンサを開発するなど可としている。

平成26～27年度の課題を表2に示す。環境や公衆の健康・安全に関する課題、技術史的な課題、技術開発的な課題などさまざまな分野に及んでいること

表2 最近の課題の例

平成26年度	津山市の河川における水質調査 (担当学生：2名)
	ANSYS を用いた除草ロボットの車輪の比較・検討 (担当学生：3名)
	レオナルド・ダヴィンチが設計した機械の調査及び試作 (担当学生：3名)
	津山のさまざまな気象データの収集と分析 (担当学生：2名)
平成27年度	ウェアラブルコントローラの試作 (担当学生：3名)
	情報メディア廃棄方法及び装置の適正化 (担当学生：3名)
	BMF を用いたフレキシブルハンドの開発 (担当学生：2名)
	自作メカナムホイールを用いた競技用ロボットの開発 (担当学生：2名)
	PC ファンで実現する空撮ドローンの開発 (担当学生：2名)

がわかる。なお、表2では年間4～5テーマとなっているが、平成26年度以前は単独(個人)での取り組みであったため毎年10テーマ以上をこなしていた。

4.7 予算処置

学生がこの取り組みを遂行するうえで経費が必要な場合は、一人当たり1万円を限度に予算処置を行っている。この予算限度というのは一つの制約条件であり、この制約下で合理的な解を見出すことが必要となる。なお、物品購入は指導教員を通して購入するようにしている。

4.8 最終報告会のポスターの例

最終報告会のポスターの例を図2に示す。これは、表2の最上段の課題のポスターである。グループで行っているため、各自が担当した部分がはっきりと分かるようなポスターにすることを条件としており、この例では担当学生が2名であるのでポスターも2枚作っている(図2は2枚のうちの1枚である)。

また、図2のポスターの課題とデザイン能力の関係について考察してみると次のように言える。まず、この課題を提案したきっかけは、本校が所在する津山市を流れる1級河川の吉井川が中国地方5県の15河川の中で水質汚濁ワースト2になってしまったことをマスコミ報道から発見したためである。そこで、河川の水質汚濁防止という大きな社会的テーマに取り組むことを考えた。これにはさまざま



図2 発表用ポスターの作成例

まなアプローチが考えられるが、“限られた予算”や“1年間で結果を出す”などの制約条件下での実現可能な方法として「水質調査」を提案している。この過程は、JABEEというデザイン能力の育成に対応できているものと言えよう。

4.9 成果報告書

本取り組みでは、最終報告会でのポスター発表とともに、成果報告書の提出も義務付けている。成果報告書は、A4用紙で1ページ当り1000文字程度で10~20ページに纏めることとしている。様式は、専攻科の定める「特別研究報告書執筆要綱」に準拠することとしており、専攻科修了時に提出する特別研究報告書の事前教育にもなるようにしている。なお、成果報告書は各グループで1通を提出すればよい。

4.10 JABEEのデザイン能力との対応関係

第2章の(ii)で示したJABEEのデザイン能力と本取り組みの内容の対応関係をまとめると表3のようになる。いずれの項目についても対応関係が成り立っている。

5. 「デザイン・プロジェクト」の達成度評価

5.1 シラバスとルーブリック

本取り組みが組み込まれている専攻科の特別実験のシラバスとルーブリックは本校のホームページ

表3 JABEEのデザイン能力との対応関係

構想力・問題設定力
<ul style="list-style-type: none"> ● 取り組み課題の設定 ● 年間計画の策定
種々の学問・技術の総合应用能力
<ul style="list-style-type: none"> ● 研究・調査の推進
創造力
<ul style="list-style-type: none"> ● 取り組み課題の設定 ● 研究・調査の推進
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
<ul style="list-style-type: none"> ● 取り組み課題の設定
制約条件下で解を見出す能力
<ul style="list-style-type: none"> ● 1年間という時間的制約 ● 予算限度という制約
構想したものを図、文章、式、プログラム等で表現する能力
<ul style="list-style-type: none"> ● テーマ発表会、中間報告会、最終報告会 ● 成果報告書の作成
コミュニケーション能力
<ul style="list-style-type: none"> ● グループでの取り組み ● グループディスカッション
チームワーク力
<ul style="list-style-type: none"> ● グループでの取り組み ● 相互評価と自己評価
継続的に計画し、実施する能力
<ul style="list-style-type: none"> ● 年間計画の策定 ● 作業日誌 ● ディスカッション記録簿

表4 ルーブリックの関係部分

理想的なレベル	標準的なレベル
<ul style="list-style-type: none"> ・自発的に課題を探索し、より革新的・合理的な解答を導き出すことができる。 ・課題探索の過程で新しい問題を発見した時に、協力者と協議しながら問題に対応できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・社会の数々の事象に関連して、自発的に課題を設定し探求できる。 ・協力者と共通認識を形成しながら、組織的な取り組みができる。
<ul style="list-style-type: none"> ・報告書の構成を立案し、実験方法や解析結果および考察を適切かつ簡潔にまとめることができる。 ・各種コンピュータソフトウェアを融合的に活用し、見やすく美しい報告書が作成できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・報告書の構成を立案し、実験方法や解析結果をまとめることができる。 ・コンピュータソフトウェアを有効に活用し、構想したものを図、文章、式、プログラム等で表現できる。

から見る事ができる⁶⁾。内容は、「実験」に関する項目と「デザイン・プロジェクト」に関する項目とに区別される。ルーブリックから「デザイン・プロジェクト」に関する部分を抜き出すと表4のようになった

ている。

本取り組みのような PBL 的手法によるデザイン教育では、課題の達成度も評価対象であることは間違いないが、より重要なのは問題解決の過程である。これを学習・教育到達目標 (D) に対応して達成度として示す必要がある。表4のルーブリックもそのような観点から作成されている。

5. 2 評価

デザイン教育は、通常の座学等に比べて評価が難しい。通常の座学では、例えば数学の微分方程式では、微分方程式が解けるかどうかを試験で判断すれば評価が可能である。しかし、デザイン教育において、学生にデザイン能力が身に付いたかどうかを直接判断することは難しい。特に注意しなければならないことは、本取り組みのような PBL 的手法によるデザイン教育では、課題の達成度も評価対象であることは間違いないが、課題の達成度そのものが評価の全てではない。問題解決の過程が重要であり、これを評価しなければならない。学習・教育到達目標やルーブリックもこのような観点から作られている。また、評価者は、普段の状況を良く知っている指導教員(複数名)としている。評価の対象は、取り組み態度、ディスカッション記録、ポスター発表会、作業日誌、成果報告書などの複合的な資料であり、これらをベースに評価を行っている。なお、教員評価の割合は90%であり、残り10%は次に述べる学生の相互評価および自己評価を取り入れている。

5. 3 学生の相互評価および自己評価

グループのメンバーについて、役割遂行度を相互評価および自己評価させている。評価項目は、“ディスカッションに積極的に参加したか”、“自分の役割を果たしているか”の2項目である。これは、前述したが、チーム活動の中で相互に学ぶことを身に付けたり、学習プロセスへ主体的・能動的に関わる

うとする態度を涵養することを期待して実施している。なお、成績評価における割合は10%である。また、実施時期は、年3回の発表会の時としている。

6. まとめ

本報では、JABEE のエンジニアリングデザイン能力に対応する取り組みとして津山高専専攻科の機械・制御システム工学専攻 (JABEE 認定プログラム: 機械・制御システム工学) において取り組んでいる「デザイン・プロジェクト」について報告した。平成19年度から取り組んでいるが、いくつかの改善を取り入れながら今の形態になっている。今後も PDCA サイクルを繰り返し、より良いものにして行きたい。

謝 辞

本取り組みには、著者だけでなく過去には多くの教職員が取り組んでおり、これらの方々の PDCA サイクルによって改善がなされてきた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 例えば、<https://www.jsee.or.jp/>>イベント>ワークショップ>「第10回ワークショップ「エンジニアリング・デザイン教育」(配布資料-2 2016/03/07)」, (参照 2016-08-03) .
- 2) <http://www.jabee.org/>>JABEE と認定制度>「認定制度の現状と展望」, (参照 2016-08-03) .
- 3) <http://www.jabee.org/>>認定・審査>審査関連書類>「JABEE におけるエンジニアリング・デザイン教育への対応 基本方針 (2010.4.30)」, (参照 2016-08-03) .
- 4) 津山工業高等専門学校学生課編集: 平成28年度学生生活ガイドブック (第2学年以上), 2016, pp.41-42.
- 5) <http://wol.nikkeibp.co.jp/>>WOL Information>「今, なぜPBLなのか? MSD×筑波大学」, (参照 2016-07-29) .
- 6) <http://www.tsuyama-ct.ac.jp/>>学科紹介>専攻科>授業科目表>機械・制御システム特別実験, (参照 2016-08-18) .