釧路高専専攻科における競争試作方式を適用した PBL 型演習の実践例

Case Study of PBL Seminar Class Applying Small Team-Based Competition Approach in Kushiro National College of Technology

石山 俊彦^{*1}
Toshihiko ISHIYAMA

中島 陽子^{*1}
Yoko NAKAJIMA

神谷 行基^{*1}
Akimoto KAMIYA

This paper describes the PBL (Project-Based Learning) method which is applied to the seminar class at the Advanced Course of Electronic and Information Systems Engineering in Kushiro National College of Technology. The PBL method is an educational technique used for students to develop problem-solving skills through a self-directed learning process, in which students are responsible to identify problems and explore possible solutions. A small team-based competition approach which is applied by companies in developing trial product is employed in the seminar, aiming at developing students' problem-solving skills. Subjects which contain two solutions or more are applied for the seminar class. During the problem-solving process, the students are also expected to learn the practical knowledge and skills.

Keywords : Engineering Education, College of Technology, Project Education, Problem-Solving Skill, JABEE

キーワード：工学教育，高等工業専門学校，プロジェクト教育，問題解決，JABEE

1. はじめに

社会のニーズが急速に変化する中で、エンジニアには状況の変化に柔軟に対応し、従来技術の延長線上に無い新技术を提案、開発する能力が求められている。こうした人材を養成するためには、自ら課題を設定、解決策を提案できる「課題設定解決能力」を養うことが有効とされている¹⁾。課題設定解決能力を習得するための教育方法として、達成すべき課題に対して学生が主体となって問題解決のプロジェクトを実施する PBL (Project Based Learning) 形式の授業が注目されている²⁾。

釧路工業高等専門学校（釧路高専）専攻科においては、2006年度後期授業より専攻科（電子情報システム工学専攻）2年生向けの演習科目として PBL の手法を取り入れた授業を実施している。PBL 授業は、JABEE（日本技術者教育認定機構）認定³⁾を取得する際に、PBL 型の創造実験系科目を設けることが求められたことをきっかけに実施された。専攻科 2 年生を対象とした理由として、PBL 教育が十分な効果を期待できる程度にベースとなる理工系知識を習得していることが挙げられる。

高専専攻科において PBL 授業を効果的にこなすには、注意すべき点がいくつか挙げられる。例えば、学生はプロジェクトを経験しておらず、プロジェクトの規模や目標達成までに起こりうる問題点や要する時間などを把握できていない。そのため、プロジェクトの開始直後の作業は遅々とした進行状況をたどり、終了間際に駆け込みで作業を行う例が見られる。結果として、プロジェクトの成果が不満足な結果に終わることもある。企業などに見られるプロジェクトでは、状況により正解がひとつとは限らないことにも留意すべきである。それまで学生が受けていた授業では、あらかじめ「唯一の正解」が用意されていた。プロジェクトの置かれた状況によって最適な解が変化することに、違和感を感じる学生もいる。また、釧路高専専攻科は、電気工学科、電子工学科、情報工学科等の複数学科の出身学生から構成される。学生の出身学科によって、基盤となる知識にも違いが見られる。

本稿では、PBL 形式による演習に、企業に実施されている「新製品開発における複数チームによる競争試作」の手法を導入した試みについて述べる。競争試作の形をとることで、参加学生の興味を喚起するとともに、PBL 授業で養うべき課題設定解決能力や自己学習能力を効果的に身につけさせている試みについて報告する。

平成 20 年 4 月 28 日受付

*1 釧路工業高等専門学校情報工学科

2. PBL授業の概要

2.1 PBL形式による演習の流れ

PBL授業における演習科目は、JABEE対応の創造実験系の演習科目として、与えられた課題の開発を通して制約の中での開発やグループ内での協力関係などの習得を目的としている。演習を受講する学生は電気、電子、情報の各学科出身の専攻科2年生で、2007年度は14名が受講した。学生は2名を1チームとして、チーム単位で課題に取り組む。出身学科によるハードウェア、ソフトウェア等の基盤となる知識に違いを考慮して、異なる出身学科の学生でチームを編成するように指導している。

演習は後期開講科目であり、10月から翌年2月の間に計15回実施される。半期15回の演習の中で、「授業ガイダンス」、「課題1」、「課題2」、「課題3」、さらに講義のまとめをおこなっている。「授業ガイダンス」はJABEE認定に沿ったPBL授業の位置づけの他、企業などにおける競争型試作についての現状を説明している。「課題1」は、使用するハードウェアやソフトウェアに慣れるための予備的な課題であり、「課題2」と「課題3」の準備と位置づけている。「課題2」と「課題3」は提示された課題を解決する提案と、提案に基づいた試作物の評価を内容としている。

「課題2」と「課題3」は、本稿で述べるPBL授業の中心をなすものであり、図1に各課題でのPBL授業の流れを示す。各課題はPDCA手法⁴⁾を参考に、「提案(Plan)→試作(Do)→評価・分析(Check)」の過程を、1サイクルとしている。評価・分析は、プレゼンテーション、競技会およびレポートにより行う。改善(Act)に相当する項目は、次の課題にフィードバックされるので、図中には記されていない。設定された課題を解決する過程で、課題設定解決能力を養うとともに、ロボティクス、C言語プログラミングなどの知識やグループ開発のような実践的な技法を身に付けさせている。課題の具体的な進め方を、(1)から(4)に分けて説明する。なお、項目(1)で示した「状況設定と課題内容」については教員が事前に設定すべきも

のであり、図中には示されていない。

(1) 状況設定と課題内容

学生への課題を提示する前に、あらかじめ教員は演習を受講する学生のおかれた状況や課題の内容を設定する。状況設定として、学生は「企業内の開発チームのメンバであり、提示された課題に対する解決策を他チームと競争で試作する」ものとした。競争試作の結果として、自チームの解決策をアピールする「プレゼンテーション」と試作物を実際にテストする「競技会」を実施し、最も優れた成績を収めた試作車両のみが採用されるものとした。企業の場合、プレゼンテーションの段階で最も優れている試作車両のみを選び出す。本演習ではプレゼンテーションの重要性を意識させることのほか、当初のアイデアと実際の結果を比較するために、プレゼンテーションと競技会の両方を行っている。

課題については、トレードオフがあるゲーム性のある内容を設定している。課題には、複数の問題点を内在しているものを選ぶ。問題点の間にはトレードオフがあり、かつ、試作への制約条件や運の要素により、容易に最適解が得られないものとした。

(2) 課題の出題と開発提案書の作成

PBLでは、開発部門トップ(教師が担当)が解決すべき課題を提示する。各チームはブレインストーミングを行い、課題に対する解決策を考える。学生は他チームとの競争を意識することで、他チームとの差別化や高性能化を考える。また、チーム毎に課題の中で最も重視すべき問題点を抽出し、最も優れた解決策を出すことにつながるかを考える。各チームで抽出した問題点と解決策は開発提案書にまとめられ、項目(3)以降での実際の製作の方針として利用される。

(3) 競争試作とグループ作業

各チームは、課題の解決策を試作車両として実現する。試作車両は、項目(2)で作成した開発提案書に沿って製作される。製作の過程で他チームの情報を入手することで、自チームが気づかなかった問題点に気づいたり、自チームの提案は不十分な解決策であることに気づいたりする場合がある。こうした場合でも、他チームと同じ解決策に変更したり、新規に解決策を考え直すのではなく、当初の提案の範囲内での変更にとどめるよう指導している。

グループ作業は2人1組のグループ作業とし、グループ間の共同作業などは認めていない。グループ構成員はソフト担当者とハード担当者に分かれるなど、共同作業になるよう指導している。

試作車両は、LEGO社のMINDSTORMS NXT(以下、LEGOブロック)をもとにハードウェアを製作、C言語をベースとしたプログラミングにより制御される。LEGOブロックはPBL授業教材として採用された実績を有する他⁵⁾、材料部品調達能力やハードウェア

図1 PBLをもとにした課題解決の流れ

作製能力に差がつくことなく、同じ条件で競争できるメリットもある。試作車両を作製する過程で、ハードウェアやC言語プログラミング知識を身につけることができるよう配慮した。また、各チームは簡単なガントチャートを作成し、工程の進捗状況を管理するよう指導した。

(4) プレゼンテーションと競技会

各チームが提案した解決策は、コンテストと評価レポートにより客観的な評価、分析を受ける。試作車両の作製後に、プレゼンテーション、競技会を行ない、レポートを提出する。

プレゼンテーションでは、発表者は自チーム提案の優位性や独創性について開発提案書をもとに説明する。開発部門トップ（教員）は、各チームの発表に対して、課題の中での問題点の把握や解決策との整合性をプレゼンテーションの段階で評価する。提案の中身が優れていても、プレゼンテーションでその良さを伝えることができれば、低い評価が下される。企業の競争試作ではプレゼンテーションの段階で決定が下され、各チームの試作品は比較されずに終了することも起こりうる。本演習では競争試作の成績にはプレゼンテーションの成績を加味し、自らの提案の良さを伝えることの重要性を理解させている。

プレゼンテーション後は、各チームの提案、試作車両の実際の結果を評価するため、競技会を行う。競技会は設定条件を変えた2回戦制とし、汎用的に通用しうる解を提案することを求めている。

課題の終了後に、学生はレポートを作成する。レポートでは、自らがとりあげた課題中の問題点や解決策の妥当性、さらには解決策が試作車両で実際に表現できたか等について評価し、課題を終了する。

2.2 PBL授業への競争試作手法の導入

本稿では、PBL形式による演習を活性化させるための試みとして、企業に実施されている「新製品開発における複数チームによる競争試作」を模範とした手法を導入している。競争試作の形をとることで、参加学生の興味を喚起するとともに、PBL授業で養うべき課題設定解決能力や自己学習能力を効果的に身につけさせることを目的としている。

本稿で実施した、(1) 複数チームによる競争試作、(2) トレードオフがあり、複数の解が考えられる課題の出題、(3) 試作に設けられた制約条件、の3点について述べる。

(1) 複数チームによる競争試作

企業内において新製品を開発する場合、より良い製品を開発するために、社内の複数チームによる競争型試作が有効である⁶⁾。複数チームによる試作の結果、最も優れていると判断されるものだけが評価され、製造、販売プロセスにまわされる。

演習に競争型試作の考え方を導入することで、学生

に他チームとの競争意識を持たせ、課題に真剣に取り組ませる効果を狙っている。

(2) トレードオフがあり、複数の解が考えられる課題の出題

課題が抱える問題点は複数あり、課題のどの部分について注目するかにより、複数の解が考えられるものを出题した。さらに、問題点の間でトレードオフがあることで、各要素を同時に満足する解は容易に得られ難くなるよう、ルールや制約条件を工夫した。

各チームにおいて、ベースとなる知識や着眼点により、課題のどの部分を重視するかが変わってくる。また、トレードオフがあることで、重視した部分以外の問題点については、提案する解決策の実施に影響を及ぼさない程度に対応策を施す必要がある。

(3) 試作に設けられた制約条件

企業における開発エンジニアは、軽自動車の開発に見られるように⁷⁾、一定の制限、制約条件の下で開発することは少なくない。

PBL授業において、試作車両に使用できるモータ、センサの使用数はLEGOブロックに標準的に同梱されているものに限定した。学生的设计案ではモータやセンサが不足する場合があっても、設計の変更で部品の不足を補ったり、他の部品で代用するなどの創意工夫が求められた。

2.3 課題テーマの概略

図2に、設定課題の一例として、「課題3」の概略を示す。課題3では、スタートから5つのパイロンをターンしてゴールするまでの時間を競う。試作車両にはカメラは搭載されておらず、パイロン、補助線、コースの境界線などを利用して、自らの位置を知りながら、

図2 設定課題例

表1 学習効果評価項目

評価項目		
1. さまざまな角度から多角的に問題を捉えようとしたか	[	]
2. 既習の知識を活用することができたか	[	]
3. 様々な疑問点や学習項目を発見することができたか	[	]
4. 問題を発見し解決する能力が身に付いたか	[	]
5. 演習への参加意欲や学習意欲は高まったか	[	]
6. 演習計画における時間配分は適切であったか	[	]
7. グループの一員として問題解決への貢献を行うことができたか	[	]
8. 自分の考えを他メンバーに理解してもらうよう、論理的に説明したか	[	]
9. メンバーの考えを理解しようとしたか	[	]
10. PBL（課題設定）型の演習は、従来型の実験演習と比べ、演習への取り組みの意識を持てたか	[	]
11. 複数プロジェクトの競争型試作（プレゼンテーションを含む）は、従来型の実験演習と比べ、演習への取り組みの意識を持てたか	[	]
12. 課題にサイズや使用部品などの制約があることが、問題解決においてアイデアや工夫を生むことにつながったか	[	]
※ アンケートには、5段階で回答する。 5：大変そう思う、4：そう思う、3：普通、2：そう思わない、1：全く思わない		

ゴールへと向かう。競技は2回戦制で、1回戦と2回戦で、スタートとゴールの位置が入れ替わる。

学生は、おおよそのスタート位置しか知らされていないので、スタート～ゴール間の走行コースを事前に計算、プログラムすることで、コースを完走することはできない。各チームの試作車両には、自らが次のパイロンを発見し、ターンする機能の搭載が求められる。各チームは「走行スピード」と「目標物（パイロン）の確実な発見とターン」の、いずれかに重点を置くかで自チームの試作車両を特徴づけることになった。

3. 結果と考察

3.1 実践結果についての評価

PBL授業を実施した結果は、アンケートにより評価した（表1）。演習の性格上、PBL形式ではない演習は実施していないので、演習を受講した学生の理解度や満足度をもとに評価した。問題の発見や解決に関する評価として、文献8）をもとにしたPBL授業の評価項目に、筆者らの取り組みについての評価項目を追加した。なお、調査は演習の終了後に、無記名のアンケートにより実施した。

アンケートでは、(1) 課題発見解決能力、(2) 自己学習、(3) 対人技能の3項目に加え、(4) 演習におけるPBL形式や競争試作の効果についても調査した。各項目は5（大変そう思う）～1（全く思わない）までの、5段階で評価した。なお、評価項目(4)については、次節で考察する。

(1) 課題発見解決能力

課題発見解決能力に関する項目の評価点は3.5～3.9と、文献8）に示された値と同じ傾向を得た（図3）。

図3 評価結果

演習授業についてはPBL形式が課題発見解決能力の育成に有効であることが確認できた。その一方で、評価項目3. にあげた「様々な疑問点や学習項目を発見することができたか」という質問に関しては、半数以上の学生が「3：普通」と回答していた。高専の本科、専攻科の教育の中で、自ら積極的に疑問点や学習項目を見つけ出す機会が少ないまま進級する学生も少なくない。こうした学生に対しては今回の演習だけでなく、日常の教育活動の中で、自ら疑問点や学習項目を見つけ出す機会を与えることが必要と考えられる。

(2) 自己学習

自己学習に関する項目は2項目と少ないが、評価項目5.にあげた「演習への参加意欲や学習意欲は高まったか」という質問に対して3.9の高い評価点を得ることができた。その一方、評価項目6.にあげた「演習計画における時間配分は適切であったか」という質問については3.1という低い評価点に留まった。本演習では、通常の演習時間では不足、学生が演習時間外に製作活動を行う姿が多く見られた。学生が高い学習意欲を持ち、熱心に演習に参加していることを示している。一方で、締め切り期日までの時間や工程を上手く管理できなかったことも事実である。学生には、時間管理のためにガントチャートを作成させたものの、上手く使いこなせたチームは少なかった。学生が締め切りを前提に工程を管理する機会は少ないことから、時間管理の未熟さが現れたと考えられる。

(3) 対人技能

対人技能に関する項目の評価点は3.6～4.1であり、PBL形式を用いることが他のメンバーとのコミュニケーションを活発化することに効果があることが確認された。演習が、他チームとの競争試作の形態であることから、他チームより優れたアイデアを出すために、チーム内での意見交換や討論が必要であったためである。

3.2 導入した効果についての考察

(1) 複数チームによる競争試作

本稿では、演習に対する学生の興味を喚起するために、企業に見られる「複数チームによる競争試作」の形式をとった。グループ間の競争試作の形式をとることで、学生の中に「他チームよりも良い結果を出そう。」という競争意識が芽生えた。その意識の現われとして、作業を進捗させるために、通常の演習時間外に作業をおこなうなど、自主的な活動につながった。アンケート結果からも、複数チームによる競争試作の方式については3.8の評価点であり、効果的であったことが裏付けられる。

好成績をあげるためには、グループ内の意思を統一し、明確なコンセプトのもとに試作車両を作製する必要がある。また、グループ内でブレインストーミングをおこなうことで、個人作業では気づかなかった視点からの意見に気づかされ、課題内容を掘り下げて考察する効果があった。開発を遂行するために、グループ内でのコミュニケーションは、うまくとられていたことがわかる。

(2) トレードオフがあり、複数の解が考えられる課題の出題

課題に内在する問題点にはトレードオフがあり、複数の解決策が考えられものを課題とした。複数の解決策が考えられる課題を出題することで、各チームが課題のどの部分を重視し、最も有効な解決策を提案するかといった問題発見と、それに応じた解決策提案を主体

(a) 走行性能重視で小型化を目指した試作車両例

(b) 目標の発見とターン性能重視で接触アームを搭載した試作車両例

図4 試作車両の一例

的に行えるようにした。

各チームでは、ベースとなる知識の違いにより、課題のどの部分を重視するかは変わってくる。また、トレードオフがあることで、重視した部分以外の問題点については、提案する解決策のバランスを崩さない程度に、対応策を施す必要があった。

トレードオフの一例として、課題3では、試作車両の「走行スピード」と「目標物の確実な発見とターン」を取り上げた。図4に、それぞれの立場での試作車両を例示する。競技会で好成績を挙げるために、「走行スピード」を解決すべき優先課題としたチームは、高速での走行性を生かすため、シンプルな構造を選択した。一方、「目標物の確実な発見とターン」を解決すべき優先課題としたチームは、目標物を発見するために、接触アームや超音波センサなどを装備した。各チームの試作車両は、同じ課題に対する解決策でありながら、方針の違いにより全く異なる外形を持つに至った。

このように、トレードオフがあり、複数の解が考えられる課題を出題することで、学生は創意工夫を働かせることができた。

(3) 試作に設けられた制約条件

課題2,3については、サイズ、使用デバイス数などに制約を設けた他、サイズの小型化や使用デバイス

数の少ないチームには、ボーナス点を与えた。

しかし、評価項目12. にあげた「制約があることが、問題解決においてアイデアや工夫を生むことにつながったか」という質問に対しては3.5と、やや低い評価が得られた。学生にとって、こうした制約条件の存在は開発を難しくし、ストレスを与えることになったようだ。一部の学生からは、制約があることが自由な発想を妨げることになるとの意見もあった。

学生にとっては、サイズ、使用センサ数などの制約が無いほうが、より簡単に解決策を考えることができる。例えば、コースの境界線(図2)を検知するための光センサを試作車両の両側に装着すれば、容易にコースから外れたことを検出することができる。しかし、LEGOブロックに同梱されている光センサは1個のみであり、装着センサ数を増やすことは、実際の開発ではコスト増につながる。

本演習の趣旨から考えると、超音波センサなどの他センサに、光センサの役割を任せたり、試作車両のデザインやセンサ設置位置を工夫することで、光センサ1個で目的を達成することができる。本演習での試作車両では、制約条件を克服したものも少なくない。このように、制約条件の下での創意工夫を求めることで、企業等に見られる実際の製品開発につながる課題設定解決能力を養成することができたと考えられる。

4. おわりに

状況の変化に柔軟に対応し、自らが積極的に新しい価値を提案できるエンジニアを育成するために、PBL形式の演習をおこなっている。

PBL授業で出題された課題の解決に、企業内で行われている「複数チームによる競争試作」の手法を用いることにより、参加学生の興味を喚起し、主体的な開発活動を促進している。

複数の解決策が考えられる課題を出題することで、各チームが課題のどの部分を重視し、最も有効な解決策を提案するかといった問題発見と、それに応じた解決策提案を主体的に行えるようにした。また、試作に一定の制約条件を設けることで、学生は制約条件下での性能向上を目指し、創意工夫を働かせることができた。

各チームが提案した解決策は、コンテストと評価レ

ポートにより客観的な評価を受けた。提案→試作→評価・分析の過程を繰り返すことで、課題設定解決能力を養うとともに、ロボティクス、C言語プログラミングといった知識やグループ開発のような実践的な技法を身に付けさせている。

参 考 文 献

- 1) 金子成彦, 渡邊辰郎: 東京大学におけるPBL教育の一事例, 設計工学, 37-4, pp.157-164, 2002
- 2) 井上 明: PBLによる問題発見解決型情報教育, IT活用教育方法研究, 8-1, pp.41-45, 2005
- 3) 大中逸雄: 技術者教育の認定, 日本機械学会誌, 104-5, pp.289-293, 2001
- 4) 高階玲治: 学校を変える「組織マネジメント」力, ぎょうせい, pp.3-5, 2005
- 5) 金田 徹, 阿久津敏乃介, 辻森 淳, 武田克彦: 関東学院大学工学部機械工学科における実践例 - LEGO MindStorms Robotics Inventionを利用したPBLによる教育課程 -, 人工知能学会誌, 21-5, pp.543-552, 2006
- 6) 斉藤富士郎: 研究開発フロー&ストック・ダイヤグラムに基づいたエレクトロニクス企業における開発過程の研究, 研究技術計画, 18-1/2, pp.75-90, 2003
- 7) 池田和外: 自動車空力におけるデジタルデザイン, 日本機械学会年次大会, 2004-8, pp.325-326, 2004
- 8) 井上 明: PBL情報教育の学習効果の検証, 情報処理学会研究報告, 2007-25, pp. 123-130, 2007

.....

著 者 紹 介

石山 俊彦

1985年東北大学理学部物理学科卒業,
1987年筑波大学大学院理工学研究科物理学専攻修士課程修了, 博士(工学).
釧路工業高等専門学校情報工学科准教授.
日本物理学会, 応用物理学会, 電気学会,
電子情報通信学会, IEEE各会員