

課題発掘型学習を中心とするロボット教育の大学院向け カリキュラム

山口 明彦* 高松 淳* 池田 篤俊* 吉川 雅博*
松原 崇充* 神原 誠之* 小笠原 司*

Graduate Curriculum of Robot Education Centered on Project based Learning

Akihiok Yamaguchi*, Jun Takamatsu*, Atsutoshi Ikeda*, Masahiro Yoshikawa*,
Takamitsu Matsubara*, Masayuki Kanbara* and Tsukasa Ogasawara*

We present an advanced robot education curriculum, “IT Triadic – RT (robot technology) course” for graduate students of NAIST. The goal of RT course is to educate students so that they acquire an ability to solve challenging and novel problems, such as “Create a robot helpful in the real world.” For this purpose, we design a curriculum centered on project based learning (PBL) where the students propose their own project, apply to get fund, proceed the project, and evaluate the results. Since such a task is very hard to many students, we provide several levels of PBL so that the students can gradually learn how to propose a project; for example, we have brainstorming sessions, and we teach how to write a proposal. In this paper, we describe the curriculum of RT course, its features including the PBL classes and the on-line text system, and the lessons obtained through actually conducting the courses.

Key Words: Robot education, project based learning

1. はじめに

これまでのコンピュータ内での情報処理が中心だった IT 産業が, Internet of Things (IoT) などの言葉に見られるように, センサ系統との融合, 家電との融合, ロボット掃除機, Amazon.com における高知能作業ロボットなど, 人間の身近な物理世界へ進出している. この状況下でのものづくり産業において, ロボティクスを題材にした教育を行うことは, ロボティクスにおける要素技術がこれらの産業に必要な知識の土台になること, およびシステム開発を通して得られる問題解決能力がより広範囲な分野において有益であること, の 2 つの意義がある.

ロボティクスは総合学問である. 適切にロボティクスを学ぶことによって, 広範囲の分野 (特にものづくり分野) に応用可能な問題解決能力を養うことができる. しかし, 講義内容が洗練するほど, この目的からは遠ざかることが往々にしてある. なぜなら従来の座学系講義では「定式化された問題に対する解決手段」が効率よく学べるだけで, 挑戦的な課題に取り組む際に発生する問題解決能力が身につかないからである. そのような問題解決能力を身につける方法として, 課題発掘型の実習 (Project Based Learning; PBL) が取り入れられている [1]~[7]. 多く

の PBL ではある課題やテーマ (コンテスト課題など) が与えられて, 解決策や達成方法を受講生自身が模索する. 一方, 「社会に役立つロボットシステムを作る」といった漠然とした課題を扱う PBL は, [5] などを除いてあまり見られない. 今後競争が激化するロボティクス・IT 産業において必要な能力は, 自由度の高い課題に取り組む「未知の問題に対する解決能力」であると考えられる.

しかしながら, 単に自由度の高い課題の PBL を実施すればよいわけではない. 我々の経験上, 問題設定の自由度が大きすぎる課題に対して「どう取り組んでいいかわからない」という学生がある程度の (大学によってはかなりの) 割合で存在する. このため, 単純に自由度の高い課題発掘型の実習を取り入れるだけでは効果は上がらない. よって, 従来の座学系講義や基礎演習科目からスタートし, 段階的に課題発掘型の実習を受講できる能力を養っていくようなカリキュラムの設計が必要である.

奈良先端科学技術大学院大学 (以下, 奈良先端大) 情報科学研究科, 国際電気通信基礎技術研究所, 大阪大学, ロボットラボラトリーでは, 2007 年度よりロボット分野の人材育成プログラム「EPEER」の開発を行なった. 一方, 奈良先端大の同研究科では, 同時期にインターネットセキュリティの人材育成プログラム「IT Keys」, ソフトウェアエンジニアリングの人材育成プログラム「IT Spiral」の開発が行われていた. 2011 年度よりこれら 3 つの専門プログラムを統合した, 博士前期課程学

原稿受付

*奈良先端科学技術大学院大学

*Nara Institute of Science and Technology

生向けの分野横断型人材育成プログラム「IT Triadic」の開発を始めた[8]。IT Triadic では、従来の3専門コースであるRT(ロボットテクノロジー・EPEERから発展)、Keys(インターネットセキュリティ・IT Keysから発展)、Spiral(ソフトウェアエンジニアリング・IT Spiralから発展)に加え、分野横断型のマルチスペシャリスト育成コース Triadic が用意されている。我々は、このIT Triadic プログラムのもとで、ロボティクスを題材にした「未知の問題に対する解決能力」を養成するためのコースとして、RT コースのカリキュラム開発に取り組んだ。本論文では、RT コースの設計について述べ、実施結果から得た知見を紹介する。なお、RT コースの土台になったEPEERは社会人向けに開発されたプログラムだが、RT コースは大学院の博士前期課程学生向けコースである。このため、育成すべき人物像をEPEERから継承しつつ、博士前期課程学生向けにカリキュラムを大幅に再構築している。最大の違いは「PBL実践トレーニング」であり、学生が比較的時間に余裕があることを利用して密度の高いPBLを導入する。

我々は、「未知の問題に対する解決能力」は「提案力」「開発力」「評価力」の3つの系統に分けられると考える。

提案力: 社会のニーズを理解・発見し、新たなプロジェクトを創出するスキル。

開発力: さまざまな要素技術をインテグレートし、高度なRTシステムを創り上げるスキル。

評価力: 実際のフィールドでユーザの声を聞き、プロジェクトにフィードバックするスキル。

これらの系統を意識しながらカリキュラムの設計を行う。具体的には、講義・演習を通じた要素技術の習得を、演習の比率を増やして実施し、開発力を養成する。加えて、課題発掘型の問題に取り組む「プロジェクト」を盛り込み、提案力・評価力を養う。我々が開発したプログラムで特徴的なのは、複数のレベルのPBLを通じた段階的な課題発掘型の実習、合宿形式の演習、オンラインで利用できるテキスト・ノートシステムである。複数レベルのPBLでは、課題の自由度が段階的に増加し、自由度の高い課題にどのように取り組めばよいか、順を追って学習できる。

2011年度には試験的にプログラムを実施しつつ教材開発を行い、2012年度より受講生を受け入れて本格的にプログラムを実施した。各講義ごとにアンケート調査を実施し、開発したカリキュラムの評価を行い、不備を改善してきた。さらに、講義内のプロジェクト(またはその発展)で発表した論文数・受賞数について調査し、客観的な評価とした。

以下、Section 2 で関連研究を紹介し、Section 3 でRTコースの設計について述べた後、Section 4 で実施から得た知見について述べる。Section 5 でまとめる。

2. 関連研究

PBLは米国マサチューセッツ工科大学などで本格的に採用され[2]、日本においてはロボットコンテスト(ロボコン)を皮切りに[1]、多くの大学・高専等で採用されている[2]~[7]。PBLの形態としては、大別して、コンテストなどの課題が与えられて解決方法を模索しながら取り組む形態と[2]~[4][6][7]、自由

度の高い課題に対してプロジェクトの内容の提案から始める形態[5]がある。我々の知る限り前者がほとんどで、後者のような取り組みは少ない。[5]は高専生向けのPBLで、教育としての特色が強く、より高いレベルの成果を期待する我々のカリキュラムとは趣向が異なる。具体的には、我々は学会発表など対外的に評価される成果を目標としている。奈良先端大では、プロジェクト公募型の教育事業CICP(Creative and International Competitiveness Project)を実施しているが[†]、採択されるチームは限定されており、プロジェクトの提案方法や、提案書の書き方等に対する教育は行われていない。対して、RTコースのカリキュラムの集大成であるPBL実践トレーニングでは、自由テーマでプロジェクトの提案を行い資金獲得も模擬的に行う一方で、提案を行う準備や提案書の作成も教育内容に含まれている。

3. RTコースの設計

RTコースのカリキュラム、教材群(オンラインテキスト)、教育体制について述べ、妥当性を示す。なお、より詳細な情報はIT Triadicのウェブサイト[8]や後述のオンラインテキスト[9]から入手できる。

3.1 カリキュラム編成

本コースでは、「提案力」「開発力」「評価力」が段階的に身に付くようにカリキュラムを構成している。大枠の構成は以下の通りである。

基礎座学群(開発力など): RTに関連する基礎知識を、座学を通して学ぶ。

基礎演習(開発力など): RTの研究開発に必要なスキル(サーベイ能力、ロボットプログラミング能力、プレゼンテーション能力など)を、演習を通して学ぶ。

RT技術強化合宿(開発力): 高度なRT技術を、短期集中演習(合宿)を通して習得する。

PBL基礎トレーニング(提案力、開発力): プロジェクトの計画方法および実施方法を、実践的な実習を通して学ぶ。課題発掘型の実習への導入であるが、この段階では教員が大幅にサポートしプロジェクトの成功に導く。

PBL実践トレーニング(提案力、開発力、評価力): プロジェクトの提案、資金獲得のための申請書作成、実施、評価を、受講生が主体となって実行する。

ただしPBLとはProject Based Learningを意味し、プロジェクトの計画や実施を通して学習する講義形態を表す。

Table 1にRTコースで提供する科目数と修了要件の単位数、および実施時期を示す。基本的に1科目あたり1単位であり、PBLは各2単位である。対象は本学修士課程の学生で、修士課程とは別にRTコースを受講する。ただし、RTコースの修了要件の大半は修士課程の修了要件としても認定される。基本的には修士課程開始と同時期にRTコースも開始し、1年強で終了する。Table 1の実施時期は目安であり、実際には秋入学の学生の対応など、より細かく設計されている。なお、基本的にRTコースの受講生でなくとも、RTコースが提供する講義を受講

[†] 学生がチームを組んで提案書を記述し、応募、審査の結果採択されれば資金が提供されてプロジェクトを実施する。

Table 1 RT コースの提供科目数・修了要件・実施時期.

分類	提供科目数 修了要件		実施時期
	(うち必修)	単位	
基礎座学群	10(1)	5	4月-7月
基礎演習	1(1)	1	5月-7月
合宿	1(1)	1	9月-翌1月
PBL 基礎	1(1)	2	7月-8月
PBL 実践	1(1)	2	8月-翌3月

することができる (ただし演習系は申請が必要)。

Table 1 より演習系科目の修了要件単位数が座学と比較して大きいことがわかる。座学を除く科目群ではすべて必修科目となっており受講生に選択の余地は無いように見えるが、実際には各科目の中で、選択可能なテーマが複数用意されており、興味に応じて選択することができる。

以下、特徴的な講義について紹介する。

3.1.1 基礎座学群

ロボティクス、システム制御、画像情報処理など、RT に関連する座学が提供されている。特徴的な講義に「先端ロボット概論」(必修)があり、最先端で活躍する研究開発者を招聘して、オムニバス形式で講義して頂いている。2014 年度は企業や研究機関の研究員に依頼し、企業独自のロボット開発や、Choreonoid, OpenRTM, OpenCV といった、ロボティクスの分野で広く使われるソフトウェア技術について紹介して頂いた。例年、ロボティクスの分野の第一線で活躍する企業・研究者に依頼しているため、RT コースの受講生だけでなく、一般の学生にも非常に人気の高い講義である。

3.1.2 基礎演習

ロボティクス関連の研究室で、従来「勉強会」などの形で修士課程入学者に対して行ってきた演習の多くは、ロボティクスの分野に共通する基礎技術の演習であり、研究室を越えて有用だと考えられた。そこでこういった勉強会を演習科目のレベルに昇華し、RT コース用の基礎演習科目として提供することにした。具体的には、3 研究室からテーマを計 5 つ程度提供し、受講生は自分の興味に従って選択できるようにした。実機を使ったプログラミング、制御、文献(書籍、論文)の輪講、といったテーマで構成される。1 つ以上のテーマの受講で単位認定となり、複数受講することも可能である。このため、講義時間が重複しないように配慮されている。実機のロボットやセンサを使用した内容を含んでいるテーマもある。

3.1.3 RT 技術強化合宿

短期集中型の演習を通して、RT の研究開発で使われるツール、ソフトウェアライブラリといった要素技術の習得を目指す。短期間で集中的に演習し、教員もつきっきりで指導するため、効率的に要素技術が習得できることを期待する。併せて学会や研究施設を見学して最先端の研究に触れ、モチベーションを高めることも目的のひとつである。年度あたり 3 テーマほど提供され、2 つ以上の合格で単位認定される。テーマの内容は毎年異なり、担当する教員ごとに比較的新しい技術を扱う。例えば機械学習を用いたロボット制御や、Choreonoid を用いた演習などである。演習時間の半分以上は要素技術の習得に当てられる。テーマによってはある程度自由度の高い課題による応用演習を

取り入れている。例えば機械学習ツールの演習では、実機のフィンガーロボット (1 自由度) の投球動作を学習させるという課題を出題した。行動方策の表現方法などが自由に設定でき、結果に大きく影響を与えるため、機械学習手法の性質をよく理解しておく必要がある。Choreonoid の演習では、フリーテーマでのプラグイン開発を出題し、数学的な長所 (逆運動学の解法など)、ユーザインタフェース、オリジナリティといった評価軸に留意してプログラムを行うように指示した。

3.1.4 PBL

未知の問題に対する解決能力を身につけるべく、段階的な課題発掘型の実習を導入する。最終的なゴールは PBL 実践トレーニングの完遂であり、受講生が独自のテーマを提案し、資金獲得のための申請書を作成し、期間内に実施・完了させ、プロジェクトの評価を行うことができる能力の習得を目指す。RT コース実施の初期段階で、独自のテーマを提案することやチームで協力してプロジェクトを実施することが (能力のある受講生にとっても) かなり困難であるとわかったため、PBL 基礎でチームによるプロジェクトの取り組み方を演習し、さらにテーマの提案のためにブレインストーミングを導入するなど、改善を加えていった。以下、PBL 基礎と実践それぞれの特徴を述べる。

PBL 基礎トレーニング

より専門的・実践的なテーマについて、PBL 形式で演習を行う。RT コースの担当教員がそれぞれの専門分野からテーマを提供し、受講生はテーマごとに分かれて実習に取り組む。実習成果は受講生の主体性に強く依存し、真剣に取り組んだ受講生の中には、講義終了後に学会発表を行った学生もいる。提供されるテーマは大枠のみ設定されており、実現方法、スケジュールなどは各自で検討する。各テーマにつき、1~4 人のチームで実施する。演習期間は 2ヶ月程度であり、定期的に教員を含めたミーティングを実施して進捗を確認し、問題点の抽出と改善を行う。場合によってはスケジュールの変更も議論する。

単位認定は、期間中の取り組みと、最終報告書、発表会を総合して評価する。発表会は関係者以外の学生や教員も聴講し、テーマによっては実機を用いたデモも行う。このため、講義内の発表と比べてより進んだ完成度が要求される。

PBL 実践トレーニング

この講義では、受講生はチームあるいは単独で RT プロジェクトを提案し、資金獲得のための申請書を作成する。この申請書は日本学術振興会の特別研究員 (DC) の申請書を参考に作られており、同程度の内容が期待される。申請書は教授陣によって審査され、採択されたものには実際に資金が与えられる (上限 50 万円程度)。審査結果は、採択、条件付き採択、不採択のいずれかであり、書類に問題がある場合は修正が指示される。申請書作成に先立ってブレインストーミングが実施され、テーマの立案、チームの編成について話し合う。ブレインストーミングでは、受講生が自分の意見を出せるように教員が発言を促す。各プロジェクトには、チュータが割り当てられ、申請書の作成から指導する。採択されたプロジェクトは、受講生が主体となって実施し、数ヶ月かけてプロジェクトを完了する。定期的にチュータとミーティングを行い、当初のスケジュール通りに進んでいるか確認する。概して、スケジュール通りに進まないプ

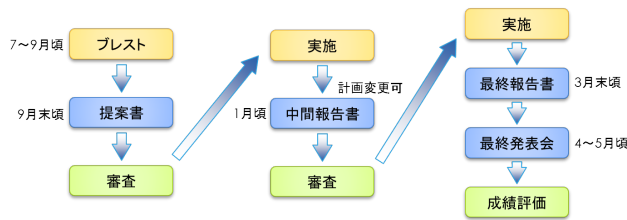


Fig.1 PBL 実践トレーニングの流れ. 4 月から受講を開始した受講生に対する実施時期が併記されている. 中間報告書は翌年 1 月頃, 最終報告書は翌年 3 月頃の実施である.

プロジェクトの方が多く, 適宜変更を議論する. 実施期間の中頃に中間報告書を作成し, 必要に応じて大幅な修正を行う. このように, 従来では, 博士後期課程に進学する学生のみが行っていたような内容だが, RT コースでは, このような一連の取り組みが未知の問題に対する解決能力の養成に不可欠であると考へ, 講義レベルで実施している. Fig. 1 に PBL 実践トレーニングの流れおよび実施時期を示す.

単位認定は, 期間中の取り組み, 中間および最終報告書, 最終発表会を総合して評価する. 最終発表会は学内で公開され, 関係者以外の教員・学生も聴講する. プロジェクトによっては実機を用いたデモを行う. プロジェクトの評価として, 学内での評価だけでなく, 対外的な評価を実施することも要求される. このため, 多くのプロジェクトでは学会発表を行っている.

3.2 教材群 (オンラインテキスト)

我々は IT Triadic プロジェクトのもと, RT コース向けの教材開発にも力を入れている. 大部分の成果は「RoboticsText」としてインターネット上のコンテンツ・マネージメント・システム (CMS) 上にまとめられており, 受講生はいつでもどこからでもテキストにアクセスできる. RoboticsText は, ロボットやセンサに関するテキスト (ロボット, センサともに 10 種類以上), シリアル通信などを含むロボットプログラミングテキスト, OpenRAVE や Eigen などのライブラリテキストのほか, ロボットプログラミングの演習問題集を含む. RoboticsText は講義中に用いることもあるが, 基本的に受講生が自習可能なように構成されている. Fig. 2 に RoboticsText が収録する RT 関連技術の概観を示す.

一方で, RoboticsText と同様の CMS を用いた, 受講生の「ノートウィキ」も提供しており, 進捗や課題の回答を記入するようになっている. プログラミング課題などに対して教員や TA がオンラインでコメントできるようになっており, 一部の課題については効率的に指導ができるようになっている. ノートウィキによって, 学生の進捗が把握しやすくなる, レポート (プログラム) のチェックが効率化される, 後日, 全体の進捗を分析できる, といった利点がある. Fig. 3 にオンラインテキストシステムの概念図を示す.

RoboticsText ではロボットのシミュレーション環境も提供しており, 座学で学んだ運動学や機械学習などの知識を実験することができるようになっている. 演習問題集に沿って課題を進めていけば, プログラミングの基礎から, シミュレーションロボットの運動学, 実機 (NAO ロボットや Bioloid) の制御や運



Fig.2 RoboticsText にはロボット, センサ, RT 関連のソフトウェアライブラリを始め, 多数の RT 関連技術が記載されている. オンラインで公開されており, 受講生だけでなく一般の閲覧も可能である.

<http://robotics.naist.jp/edu/text/>

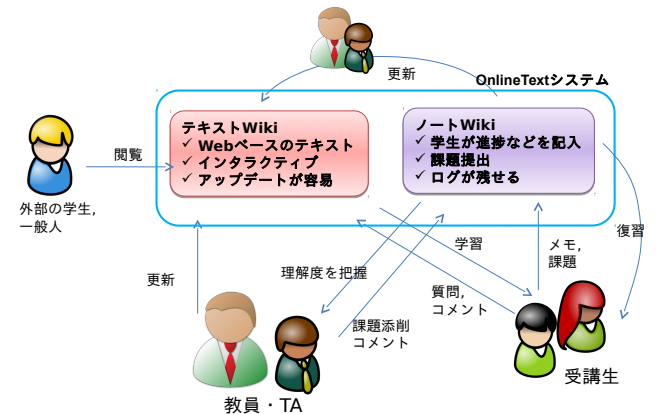


Fig.3 オンラインテキストシステムの概念図.

動学といったことを, 段階的に学習できる.

RoboticsText のような取り組みは「授業のパッケージ化」という側面も持っており, 他機関に我々の教材を提供したり, 一部の講義を外注するといったことも視野に入れている. RoboticsText はウェブ上で一般公開されており [9], 誰でもアクセス可能である (ただし一部のコンテンツは受講生のみ閲覧可). また, 留学生も RT コースに所属するため, 大部分のテキストは英語翻訳されており, 2 か国語で閲覧可能である.

3.3 実施体制

RT コースは, 同大学情報科学研究科のロボティクス研究室, 環境知能学研究室, 知能システム制御研究室が主体となって実施している. 従来のカリキュラム構成では, 基礎科目以外は各研究室の中で閉じた指導が行われていたが, RT コースによって, 横断的に学べる体制が確立されている. 受講生の多くはこれらの研究室に所属する学生だが, それ以外の研究室から受講する生徒もいる.

一方, 各演習ごとのテーマや基礎科目の選択は, Table 1 の記載以上に自由度が高く, 戸惑う学生もいる. IT Triadic ではインストラクター制度を採用しており, 受講生ごとに「カルテ」を作成して単位の取得状況を把握し, 適宜アドバイスを与えている.

4. 実 施

2011 年度に試験的にいくつかの授業を実施し、2012 年度より正式に受講生の受け入れを開始した。実施を通して RT コースのカリキュラムを改善してきた。以下、実施を通して得られた知見を述べる。

4.1 講義内容に関する知見

課題を発表する機会の重要性。

基礎演習のような導入的位置づけの演習においても、積極的に課題を発表する機会を設けてきた。この際、外部の人にも見ってもらうようにすること（最終発表会）、最終発表会の前に内部で発表の練習をすること、が重要だった。特に実機デモを含む発表の場合、自分で開発しているときは動作しても、いざ人に見せるときに期待通り動作しない、というのはロボティクスの開発者がしばしば経験することである。スライドを使ったプレゼンテーションと違って、「想定通りに動作する・動作しない」と結果が明確にわかるので、実機のデモは成果物について明確なフィードバックを与える。ただし、受講生も本番で期待通りに動作することを当然望んでいるものであり、問題は、いかにして本番の成功率を上げさせられるか、である。そこで基礎演習において、最終的な実機デモの前に、受講生と指導教員だけで内々に模擬デモを実施し、開発している最中とデモの状況下でどの程度違いがあるかを体験させた。すると、その後の PBL 基礎トレーニングにおける発表会では、前年の発表会と比較して、実機デモがスムーズに実施されるという改善が見られた。

チャレンジングな課題の重要性。

チャレンジングな課題を出すと、多くの学生が熱中して取り組むようだ。このような課題は、与えられた知識を「自分で使える知識」に昇華させる上で重要である。PBL ではそもそも課題の難易度が高いため、受講生は熱意を持って取り組む（取り組まざるを得ない）が、合宿のように限った時間内で、知識を増やすことが目的の演習でも、ある程度難易度の高い課題を入れておくことが望ましい。例えば Choreonoid の演習ではフリーテーマでのプラグイン開発を出題したが、ある学生は Kinect センサからスケルトンを取得し、手先や胴体の位置を Choreonoid に内蔵された逆運動学ソルバを用いて追従、さらに取得したシーケンスを保存しておき、スライドバーで好きなポーズを選択できるようにして、Kinect センサを使った動作の作成をやすくするプログラムを開発した。この応用課題の演習時間は 1 日強で、かなり集中して取り組んでいたことが窺える。

チャレンジングな課題を出題するポイントとして、簡単なものでもよいので、実機を使った演習を取り入れることが重要と感じた。例えば機械学習演習における実機のフィンガーロボット（1 自由度）による投球動作の学習である。Choreonoid の演習では演習先に NAO ロボットを搬送した。実機を用いた機械学習演習と、シミュレーションのみの同演習を比べると、実機を用いた方が楽しんで取り組んでいる受講生が多かったと感じた。

合宿の有効性。

アンケート調査の結果、合宿に参加した受講生から、以下のような意見が得られた。

“ 〇合宿ではわからないことなどを即座に聞けるので円滑に演習を進めることができた。また、緊張感のある中で演習をするため集中力を持続することができた。〇全体的に非常に勉強になる内容だった。演習室の室温が高い時間帯はつらかった。人にもよと思うが、ずっと一人で PC に向かって演習するのであれば自分の机でやったほうが効率がいいかもしれない。ただ、合宿ということで、それだけに集中できる環境が準備されるのはとても良いと思う。〇通常のクラスに比べて、実践的であり、演習時間にも制限があるので、集中しやすかった。少人数制で、先生や TA のサポートを受けやすかった。（句読点等一部修正。以下同）

このように、合宿に期待した、短期間で集中して要素技術を演習することの有効性が受講生にも受け止められている考えられる。

個人で学習すると学習に時間が掛かるような内容を、簡略なテキストとして解説・演習したため、入門の障壁が低かった、という効果もあった。

“ 〇もっと複雑なライブラリだと思いました。テキストのおかげかもしれません。

学会見学は初めてという学生が多く、その後の自分の発表に向けたイメージがつかめるようだった。

“ 〇初めての学会見学だったこともあり、いい経験になりました。いい発表（企業の方は特に上手でした）を取り入れて自分にいかせるようにしたいです。〇とても有意義であった。また自分が全く知らない知識に触れると同時に、どのようなことが問題となっていて、解決されていないかということについて考えられ、研究テーマを定めていく上でとても参考になると考える。

見学先として、学会も悪く無いが、産総研のような研究機関の方が、より密に説明を受けられるため、学生の興味を引くようだ。

PBL 基礎における経験の重要性。

PBL 基礎トレーニングでは基礎演習と比較してある程度レベルの高い結果を目指したため、多くのトラブルに遭遇する受講生が大半であった。さらに、チームによる課題の取り組みを行ったが、連携に苦労している受講生が多かった。アンケート結果を一部抜粋する。

“ 〇他の研究室と協力する課題だったので、連携が取りづらかったです。ロボットが完成するまではロボティクスに完全に任せる状態だったので製作状況は把握できていませんでした。〇チームの意見を合わせるのがあまり上手くいきませんでした。つい自分の意見を殺してしまうこともありました。〇チームで作業することの難しさを実感しました。チーム全員で考えを共有することの難しさを感じました。〇グループでプロジェクトを進めるのが如何に大変かがわかりました。グループ全員の予定を合わせることや、グループ全員に適切なレベルのタスクを分担することなどが大変であると知ることができました。〇プロジェクトを完遂することの大変さを実感しました。ただ、同じテーマに取り組む仲間たちとのコミュニケーションや、問題設定・解決能力など、企業で必要とされている能力を培える場であったと感じています。

このように、プログラミング、ロボットの制作、デバッグに掛かる工数の見積もりの甘さ、チーム内での役割分担、コミュニケーションなどに問題があったことを受講生も認識していた。これらの経験は今後プロジェクトを計画する上で有益なものと考えられるため、授業設計の問題とは考えず、あえて対策はしていない。講義内のミーティング等を通して改善を促すよう、教員や TA がアドバイスするにとどめた。

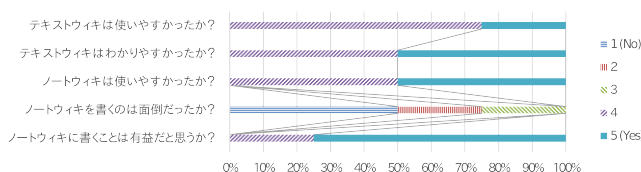


Fig.4 オンラインテキストシステムのアンケート結果 (2012 年度・5 名)。

PBL 実践における提案力の養成.

最終的には、初のコンセプトであった「プロジェクトを提案し、資金獲得のために応募し、実践し、そして実社会で評価するという一連のプロセスを、受講生が主体となって取り組む」ことができた。しかしながら、日本学術振興会の特別研究員 (DC) の方式や科学研究費助成事業の方式をそのまま真似ても、期待通りには進まなかった。初年度の実施後、教員間で議論したところ、以下の分析結果を得た。

“ 修論研究をやっているだけの場合と比べて、提案書を書くこと、計画を意識しながら遂行すること、予算執行、成果評価、などを行うことは、学生にとって大変プラスになった。しかし、いきなり「提案書を書け」といってもなかなか書けず、プロジェクトのスタートがずるずる伸びていた。また、全員が単独でのプロジェクト (自分の修士論文研究に近い内容) を提案してしまっていた。また、研究計画の変更を行うことは、研究系プロジェクトでは起こりえることだが、最終報告の段階での達成度評価で、途中での計画変更に照らしあわせた評価が難しかった (計画段階に対する達成度評価となってしまう)。

一方、受講生のアンケートで以下のような意見が見受けられた。

“ ○PBL を通して、プロジェクトの提案から実行まで一通りの流れを経験した。特に予算の設定・運用は普段の研究でも経験することがないので、思うようにいかないところがあった。○良かった点は、学生でありながら、まるで社会人が行うようなプロジェクトを経験できたことです。

これらを踏まえて、次年度以降はチームでの取り組みを促すように「PBL 基礎でチームでのプロジェクトを体験」「ブレインストーミングの開催」の改善を行った。ブレインストーミングは 1 週間～10 日間隔で、提案書の提出前に 3～5 回行ったところ、非常に効果があり、チームでのプロジェクトにつながった。また、年度途中での計画変更を考慮した達成度評価が行えるように、中間報告書の提出を取り入れた。さらに、予算執行ルールを明文化し、月例ミーティングで計画通りに執行されているかチェックすることで、予算運用が比較的スムーズに行えるようにした。

オンラインテキストシステムの利点.

RoboticsText は、RT コースで使用しているロボットやセンサ、ライブラリを題材に記述されているので、受講生は不必要なトラブルを経験することがあまりなかったと思われる。また、受講生はオンラインで情報を収集することに慣れており、Fig. 4 のアンケート結果に示すように、導入障壁はそれほどなかったと考える。

“ ○リンクがいろいろな場所に張ってあるので使いやすかったです。○演習の説明やライブラリの説明が見やすくまとめられていてよかった。○要点がまとめてあり、未知の知識を学ぶ時に非常に役に立つと感じている。

一方、ノートウィキについては、オンラインでレポートを記

述することに慣れている受講生が多くなく、運用開始初年度は、使いにくい、コマンド一覧がほしい、人によって書き方が異なっ て見難い、などの意見が見られた。Fig. 4 のアンケート結果から、ノートウィキに書くことが「やや面倒だ」と感じている受講生もいたことがわかる。しかし、全体としては比較的好意的に受け入れられていたようで、Fig. 4 のアンケートでも多くの人がノートウィキに書くことが有益だと感じていた。さらに、使用方法・ガイドラインについてドキュメント化し、解説する時間を設けたところ、特に不満もなく運用することができた。また、記録をオンラインに残すことに利点を感じる受講生も少なからずいた。

“ ○記録に残した方が良いと思います。他人とも比べられるので。○開発メモを残しておくことで、同じミスをせずに済むため。また、参加者同士で情報交換できるため。自分と周囲の進捗を把握できるため。○簡単に自分が学んだことについて記録できるので、良いと思う。また人に見られることを意識して作るため、比較的丁寧に記録でき、後から自分が見ても、学んだことを思い返せる良い材料になると思う。

当初懸念していた、カンニングに使う学生はいなかった。ポジティブな理由としては、モチベーションが高い学生が多いため、単に人のコードを移しても力にならないと考えているからだと考えられる。ネガティブな理由は、最後に発展的な課題が用意されているため最初だけコピーしても意味がない、少数なので教員に見抜かれる、などが考えられる。

使いにくい部分についても意見を集めており、システムを更新しながら運用している。当初は想定していなかったが、共同作業をする場合に、情報共有の場としても使えることがわかった。

“ ○それぞれが分担して取り組んだ内容をアップして共有できる点が非常に便利だと感じた。

受講による能力の向上.

2012 年度より受け入れを開始し、2015 年 3 月現在で RT コースの修了生は 11 名であり、定量的に能力の向上があったことを示すのは困難と考える。しかしながら、RT コースの実施開始後、運営研究室における修士課程新入生の、最初の学会発表までの期間が平均して短縮されたことは、ひとつの指標になると考えられる。具体的には、従来の学生の場合、標準的には 4 月に入学して、最短で翌年の 5 月に学会発表だったのが、RT コース受講生については、同年の 12 月に学会発表する学生が増加している。より詳細には、受講生の多くが所属するロボティクス研究室について、2008～2010 年度と 2011～2013 年度の博士前期課程学生が入学後 1 年以内に (第一著者として) 発表した論文数を数えると、前者が 0 件であったのに対し、後者では 4 件が RT コースの講義で得られた成果に関して発表を行っていた (RT に関連しない博士前期課程学生による発表は 0 件)。2015 年 3 月現在、[10]～[19] の 10 件が、RT コースの講義で得られた成果に関しての発表である[†]。これは、主に PBL 基礎・PBL 実践で実施した内容が学会発表に値すると判断したことによる増加である。ただし受講生全員でなく、学会発表にふさわしいもののみ発表している。上記修了生 11 名のうち RT コースに関連して学会発表を行ったのは 9 名である。このうち、[10]

[†]2011 年に試験的にに行った講義の成果も含む。

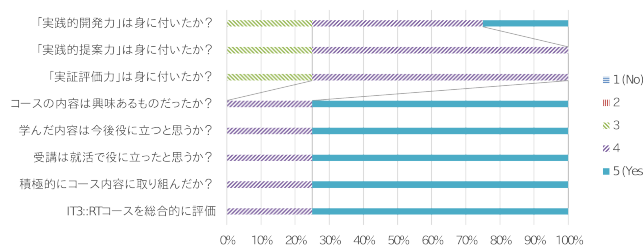


Fig.5 RT コース修了生に対するアンケート結果 (2012 年度・5 名).

は RT Middleware Contest 2011 Incentive Award (Global Standard Award), [12] は SI2012 優秀講演賞をそれぞれ受賞しており、質の高さが第三者によって評価されていると言える。学会発表 10 件、受賞 2 件は、受講生の総数を考慮した場合かなりの成果を上げていると考える。

PBL 実践トレーニングの 2012 年度の成果 [13]~[16] と 2013 年度の成果 [18] [19] を比較すると、受講生単独での取り組みから、チームでの取り組みに変化していることがわかった。これは、「PBL 実践における提案力の養成」の項で述べた「PBL 基礎でチームでのプロジェクトを体験」「ブレインストーミングの開催」の効果であると考えられる。

4.2 RT コースの教育効果に関する考察

以上の実施結果から得られた知見をまとめると、「未知の問題に対する解決能力」の向上に必要な「提案力」「開発力」「評価力」の 3 つの力の養成について、以下の形で達成できたと考える。

提案力: プロジェクトを受講生自身で提案できるように PBL 基礎・実践を通してトレーニングし、教員の補助はある程度あるものの、自力で提案書を作成できるレベルに養成できる。

開発力: 基礎演習, PBL, 合宿を通して、実践的なレベルで開発能力が身につけられる。

評価力: 研究系プロジェクトであれば、学会発表を実施できるレベルまでプロジェクトを昇華できるように養成できる。これらを達成できた最大のポイントは、PBL 実践における提案書の作成を軸にカリキュラム開発を行った点であると考えられる。博士課程に進学する学生は何らかの形でやっていることであり、そういった活動を明示的にカリキュラムに組み込むことで、修士課程で卒業する学生にも同質のトレーニングが実施できるようになったと考える。受講生による、講義で扱った内容および PBL 実践で提案・実施した内容に関する学会発表と受賞も、教育効果を裏付けるひとつの目安になっていると考えられる。

教員側の意見としても、特に PBL 実践トレーニングについて「修論研究をやっているだけの場合と比べて、提案書を書くこと、計画を意識しながら遂行すること、予算執行、成果評価、などを行うことは、学生にとって大変プラスになった」と感じている。教員陣の主観的評価ながら、修論研究を行う上でも特に提案力と開発力について能力向上が感じられた。

修了生に対してアンケートを実施したところ、Fig.5 の結果が得られ、受講生自身も、「提案力」「開発力」「評価力」が「身に付いた」と断言まではできないものの、ある程度達成できたと感じているようだ。Fig.5 の結果からも、RT コースを受講してよかったと感じている学生が多いことがわかる。

5. ま と め

本論文では、奈良先端科学技術大学院大学における教育プログラム IT Triadic の RT (ロボットテクノロジー) コースについて、カリキュラムの設計および実施結果について述べた。未知の問題に対する解決能力を養うため、「提案力」「開発力」「評価力」に分けてカリキュラム開発し、ロボティクス分野におけるカリキュラムの設計事例を示した点に、有益な貢献があると考えられる。教員陣による観察、受講生によるアンケート、および受講生による学会発表と受賞から、教育効果が得られていることを考察した。講義・演習を通した要素技術の習得と、課題発掘型の問題に取り組む PBL を通した提案力や問題解決能力の向上という枠組みは、他の工学分野にも応用可能である。特に、ブレインストーミングの導入など、抽象性の高い PBL 演習を実施するための工夫は、他分野のカリキュラムにおいても効果が期待できる。RT コースのカリキュラム設計は、時代や分野が変わり、要求される要素技術が変化したとしても、大枠を変えずに内容を変更するだけで対応できる、汎用性の高いカリキュラム設計であると考えられる。

「提案力」「開発力」については十分養成できるようなカリキュラムになったと考えるが、「評価力」については、例えば製品化につながるような成果物や、介護施設における実証実験など、より実社会に踏み込んだプロジェクトの提案と評価ができるようになることが望ましい。「評価力」を向上させるようカリキュラムを改善することは、今後の課題としたい。

謝辞 RT コースカリキュラムはサイバーメディア社会におけるマルチスペシャリスト育成プログラム「IT Triadic」のもとで開発された。

参 考 文 献

- [1] 森: “ロボコンの人間教育的意義”, 日本ロボット学会誌, **27**, 9, pp. 964-966 (2009).
- [2] 伊藤: “教育効果を高めるプロジェクト指向型授業に求められる基礎的要件”, 工学教育, **54**, 6, pp. 122-127 (2006).
- [3] 清水: “ロボットコンテストの教育への効用”, 日本機械学会誌, **98**, 923, pp. 816-818 (1995).
- [4] 金田, 土井, 里中, 藤沢, 吉田: “ロボット設計製作教育と創造性育成カリキュラム”, 電子情報通信学会技術研究報告. E.T, 教育工学, **98**, 259, pp. 1-6 (1998).
- [5] 土井, 東田, 重井, 小幡: “プロジェクト活動に基づく学習手法に対するいくつかの評価手法の提案とその実践”, 日本ロボット学会誌, **31**, 2, pp. 181-186 (2013).
- [6] 藤井, 藤吉, 鈴木, 石井: “工学部における問題解決型授業の実践と効果の検証”, 日本ロボット学会誌, **31**, 2, pp. 161-168 (2013).
- [7] 小方: “プロジェクト型学習における相互評価とその妥当性の検証”, 日本ロボット学会誌, **31**, 2, pp. 140-146 (2013).
- [8] “IT Triadic”. <http://it3.naist.jp/>.
- [9] “NAIST::OnlineText”. <http://robotics.naist.jp/edu/text/>.
- [10] G. A. G. Ricardez, S. Tsuchihiro, A. Ikeda, A. Yamaguchi, J. Takamatsu and T. Ogasawara: “Rt component for analyzing a motion script to implement a service using the humanoid robot hrp-4”, the 12th SICE System Integration Division Annual Conference (SI2011) (2011).
- [11] 田辺, 木村, 馬場, 大下, 吉山, 勝山, 竹村, 小笠原: “屋外動的環境下における注視対象推定-色付き三次元点群を用いた移動物体検出-”, システムインテグレーション部門講演会 (SI2012), pp. 2178-2179 (2012).

- [12] 小林, 一圓, 春日, 松本, 井林, 安並, 池田, 松原, 小笠原: “ダイナミックな物体操作に向けたロボットフィンガテストベッドの開発”, システムインテグレーション部門講演会 (SI2012), pp. 2365–2366 (2012).
- [13] 大下, 山口, 高松, 小笠原: “学習した歩行方策の不整地に対する汎化性の検討”, ロボティクスメカトロニクス講演会 2013(ROBOMECH2013), pp. 1A2–P04 (2013).
- [14] 木村, 勝山, 竹村, 高松, 小笠原: “移動ロボットを用いたユーザの姿勢情報分類及びマッピング”, ロボティクスメカトロニクス講演会 2013(ROBOMECH2013), pp. 1P1–H06 (2013).
- [15] 赤本, 山口, 高松, 小笠原: “Rgb-d センサから取得した特徴点座標によるアンドロイドのリアルタイム表情生成”, ロボティクスメカトロニクス講演会 2013(ROBOMECH2013), pp. 2P1–P23 (2013).
- [16] 中山, 山口, 高松, 小笠原: “触覚情報の強化学習における利用－着席タスクを用いた検討－”, ロボティクスメカトロニクス講演会 2013(ROBOMECH2013), pp. 1P1–M03 (2013).
- [17] 小原, 竹森, 仲田, 大津, 南, 山口, 神原, 高松, 小笠原: “Ros を用いた小型ヒューマノイドロボットのタスク記述システム”, システムインテグレーション部門講演会 (SI2013), pp. 2320–2321 (2013).
- [18] 吉本, 佐藤, 石原, 山口, 吉川, 池田, 高松, 小笠原: “ロボットと人による二人あやとの実現”, ロボティクスメカトロニクス講演会 2014 (ROBOMECH2014), pp. 3P1–S03 (2014).
- [19] 島田, 杉垣, 山口, 池田, 高松, 小笠原: “人の把持行動に基づく物体操作データベースの構築手法”, ロボティクスメカトロニクス講演会 2014 (ROBOMECH2014), pp. 3A1–P06 (2014).

(日本ロボット学会正会員)

松原 崇充 (Takamitsu Matsubara)

2007 年 12 月奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士課程修了。2008 年 1 月より同大同研究科助教。2008 年 4 月より ATR 脳情報研究所客員研究員。2013 年 1 月から 2014 年 1 月まで和蘭ラドバウド大学ナイメーヘン校客員研究員。2011 年度計測自動制御学会学術奨励賞 (研究奨励賞), 平成 24 年度日本神経回路学会論文賞などを受賞。機械学習や最適制御, 強化学習を用いたロボットやインタフェースの知能化に興味を持つ。IEEE, 日本ロボット学会, 電子情報通信学会, 日本神経回路学会, 計測自動制御学会などの会員。

(日本ロボット学会正会員)

神原 誠之 (Masayuki Kanbara)

博士 (工学)。2002 年奈良先端科学技術大学院大学博士後期課程修了。同年同大情報科学研究科助教。2010 年同大准教授, 現在に至る。複合/拡張現実感, 環境知能, ヒューマンロボットインタラクションの研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本バーチャルリアリティ学会, 各会

(日本ロボット学会正会員)

小笠原 司 (Tsukasa Ogasawara)

1983 年東京大学大学院工学研究科情報工学専門課程博士課程修了。同年通商産業省工業技術院電子技術総合研究所入所。1993~1994 年ドイツ, カールスルーエ大学客員研究員。1998 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授となり現在に至る。知能ロボットの研究に従事。工学博士。計測自動制御学会, 情報処理学会などの会員。

(日本ロボット学会正会員)

山口 明彦 (Akihiko Yamaguchi)

2006 年京大工学部電気電子工学科卒。2008 年奈良先端大情報科学研究科博士前期課程修了。2011 年同博士後期課程修了。工学博士。知能ロボットの運動学習, 行動獲得の研究に従事。2011 年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科特任助教となり, IT-Triadic RT コースのカリキュラム開発に

従事。IEEE Robotics and Automation Society, 電子情報通信学会会員。

(日本ロボット学会正会員)

高松 淳 (Jun Takamatsu)

1999 年東京大学理学部情報科学科卒業。2004 年東京大学大学院情報理工学系研究科 コンピュータ科学専攻博士課程修了。博士 (情報理工学)。東京大学生産技術研究所特任助教, 同特任講師を経て, 2008 年から奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科准教授。知能ロボットの動作獲得, 3 次元形状モデリング・形状解析, 物理ベースビジョンに関する研究に従事。情報処理学会, 電子通信学会, IEEE の会員。

(日本ロボット学会正会員)

池田 篤俊 (Atsutoshi Ikeda)

2004 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。2004 年から 2007 年にかけてヤマハ発動機 IM カンパニー勤務。2010 年 9 月奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。その後, 日本学術振興会特別研究員 (PD) を経て, 2011 年から 2014 年

にかけて奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教。2015 年より近畿大学理工学部機械工学科講師となり現在に至る。人間の感覚・運動計測システムやモデリング, それらの応用システムについて研究開発を行う。

(日本ロボット学会正会員)

吉川 雅博 (Masahiro Yoshikawa)

2010 年筑波大学大学院図書館情報メディア研究科博士課程修了。博士 (情報学)。2010~2013 年 (独) 産業技術総合研究所知能システム研究部門特別研究員。2013 年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教。筋電などの生体信号を用いたインタフェースや電動義手の研究開発に従事。