

コンピュータエンジニアリング領域における

総合的なデザイン実習の試み

尾崎 亮・島田英之・上嶋 明・小田哲也・クラ エリス・小畑正貴

岡山理科大学工学部情報工学科

(2018年10月22日受付 2019年2月6日受理)

1. はじめに

岡山理科大学工学部情報工学科（以下、本学科）CE コースの技術者育成プログラム（以下、本プログラム）は、2008年に日本技術者教育認定制度（Japan Accreditation Board for Engineering Education、以下、JABEE）¹⁾により、日本技術者教育認定基準に適合しているとの認定を受けた。この認定基準は定期的に改定が行われており、継続した JABEE 認定のためには、本プログラムは少なくとも6年ごとに、改定された認定基準による再審査を受けなければならない。この枠組みの中で、JABEE は、2011年度以降の審査にあたっては、エンジニアリングデザイン（以下、ED）に関する教育が行われているかを重視するとの方針を打ち出した。

ED 能力の涵養については、JABEE 以前から複数の表現や理解があった。角野ら²⁾はそれらを、“(1)知識・技術的学力・技術力という「学力・実技」、(2)コミュニケーション能力・使命感・自立心・倫理観という「人と関わる力・意識」、(3)課題抽出・構想・実行という「思考力・行動力」という3要素を問題解決に向けて相互に活用できる能力”とまとめている。また、“これは、経済産業省が提言する“社会人基礎力”³⁾、厚生労働省の“就職基礎能力”⁴⁾、日本経済団体連合会の“求められる3つの力”などで求める能力と合致するところが多く、社会人としての必要な基礎的能力と言える。また、技術者育成に関わる全ての者が、ED 能力の何らかの要素を教えていることになる”としている。さらに、これは、本学の建学理念である、「ひとりひとりの若人が持つ能力を最大限に引き出し、技術者として、社会人として、社会に貢献できる人材を養成する」による教育成果の一つとして期待される能力とも言える。

しかし、そのような状況にありながら、JABEE が 2005年にワシントンアコード（工学系の高等教育プログラムを相互認証する国際協定）に正式加盟した際、その加盟審査において、日本の ED 教育の弱さが指摘された。その主な原因として、大中⁵⁾は、“一部のプログラムで、卒業論文が ED 能力を示す裏付け資料として提示され、その内容が ED 成果とは見なし難いこと、ED 教育内容そのものも曖昧であった”としている。

そうした背景から、JABEE は ED 教育に関していくつかの観点を重視する方針をとった。すなわち、JABEE は、(i) ED 能力に関して具体的な達成目標を設定しているか、(ii) 学生が ED についての学習体験をしているか、(iii) 学生に、大学で学ぶ複数の知識を応用でき、コミュニケーション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、

(iv) 明確な達成度評価を実施しているか、(v) (i)～(iv)についての裏付資料が存在するか、を審査の項目として新たに設定し、上述のように、2011年度以降の審査から適用するとした⁶⁾。これに対して、本プログラムは、3年次秋期に必修科目の「エンジニアリングデザイン実習」(以下、ED実習)を設置することにより、1年次から涵養されてきたED能力を総合的に評価することにした。この科目は、本プログラムの一貫性の問題から、2008年度のJABEE認定時には既に行われていたED教育を、一つの科目により具体的かつ明確に評価することを目的とした。つまり、ED教育として(1)～(3)の能力が涵養されているかを、(i)～(v)の観点をもとに総合的かつ明確に評価できるように、本学科カリキュラムの最終端に位置付けられる内容、また、ED能力を明確に成績で評価できる内容となるように設計した。ここでは、その設計手順、科目の内容、授業アンケート等の結果について報告する。

以下、2.では設計手順および内容を示し、3.ではアンケート等の結果を示す。そして、それらをもとに4.で考察する。

2. ED実習

2-1 設計手順

1. で述べた(1)～(3)および(i)～(v)を満足させる科目を設計するために、これらを新たに3項目に再編した。すなわち、ED実習では、(ア)カリキュラムの広範な知識を応用できる、(イ)定められた人員、期限等の制約を意識して、学位レベルにふさわしい複雑さと複合性をともなったシステムや技術をチームにより開発できる、(ウ)情報工学分野における社会の要求を踏まえた上で、自ら課題を設定し、解決手法を比較検討し、解決できる、という特徴を備えたプロジェクトに取り組みせることにした。以下、これらを満足させるような、科目の設計手順を述べる。

CEコースを設置するにあたっては、本学科学生の1995年度～2004年度の業種別進路を調査している。それによれば、ハードウェア、ソフトウェア、ネットワークを含むコンピュータエンジニアリング関連企業への就職が半数を占め、ついでその他技術系企業15%、大学院進学14%であった。この分析を踏まえ、CEコースで養成する技術者像を、ハードウェア、ソフトウェア、およびネットワーク技術を3本の柱とし、これらの基礎をなす各種の知識と応用能力、問題解決能力を身につけた者としている。また、この技術者像を軸として、CEコースの教育到達目標(学位授与の方針)を定め、カリキュラムおよびカリキュラムツリーを構成している。本学科のカリキュラムツリーのうち、CEコースの技術者養成に関わる専門科目を抜粋したもの(ED実習設計当時)を図1に示す。ED実習の内容を検討するにあたっては、これらの主要科目の最終端にED実習を置くことにより、(ア)を満足させることにした。具体的には、これらの52科目のうち、26科目を対象とし、ソフトウェア(2段目)、ハードウェア(3段目)およびネットワーク(4段目)の幹となる部分と、プログラミング関連の実習科目(1段目)から、ED実習につながる内容とした。

一般に、ソフトウェア開発とハードウェア開発では開発規模が異なる(ソフトウェア開発のほうが、チーム規模、開発期間ともに大規模になる)ため、ED実習を二つの内容に分け、通信をともなうソフトウェア開発(以下、ED実習(A))と、通信をともなうハー

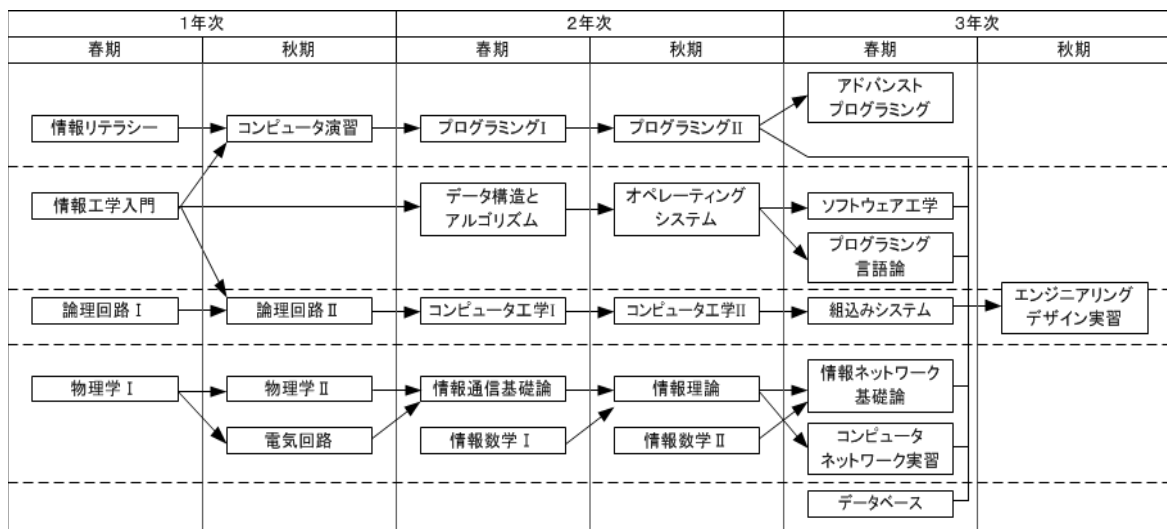


図1 カリキュラムツリー (抜粋)

ドウェア開発 (以下、ED 実習 (B)) のどちらか一方を選択させることにより、(イ) が含まれるようにした。チーム規模については、ED 実習(A)を 6 名 1 組、(B)を 2 名 1 組とした。開発期間についても、ED 実習 (A) を 1 年、ED 実習 (B) を半年として現実に即するようにした。なお、ED 実習は半期の科目としたので、1 年の開発期間を持つソフトウェア開発については、図 1 の科目「ソフトウェア工学」を利用し、3 年春期に「ソフトウェア工学」でソフトウェアの設計工程、秋期に ED 実習 (A) でソフトウェアの開発工程を体験させることにした。また、「ソフトウェア工学」で得た知見を ED 実習 (B) でも活かせるようにするため、「ソフトウェア工学」、ED 実習 (A)、ED 実習 (B) では同じ開発モデル (ウォーターフォールモデル) を採用することにした。

「ソフトウェア工学」にソフトウェア設計の工程を割り当てたことにより、チーム分けを 3 年開始時点で行うことが必要になる。このため、3 年生の春期オリエンテーションで履修希望調査を行うとともに、ED 実習 (A) (B) の振り分けおよびそれぞれのチーム分けを行った。

以上のように科目を設計したことにより、ED 実習 (A) を選択した学生は「ソフトウェア工学」、ED 実習 (A) を通じてソフトウェアの設計・開発を体験することができ、ED 実習 (B) を選択した学生は、同じウォーターフォールモデルを利用したソフトウェアとハードウェアの開発経験を比較できる。これをもって、(ウ)を達成するための便宜を図った。

2-2 内容

2-1 で述べた方針に従い、ED 実習 (A) (B) それぞれで実験内容を決定していった。以下ではそれについて述べる。ED 実習は、3 年生秋期の実験実習科目 (2 単位 : 180 分 × 15 週) として、ED 実習(A)では Java による Web システムの設計・開発を、(B)では無線通信機能を備えた組込みシステムである、教育用レゴ・マインドストーム NXT による荷物の集配システムの制御を、それぞれ解決すべき課題として設定した。図 2 に、ED 実習 (A) における Web システムの構成を示す。学生たちは 6 名で一つのチームを組み、こ

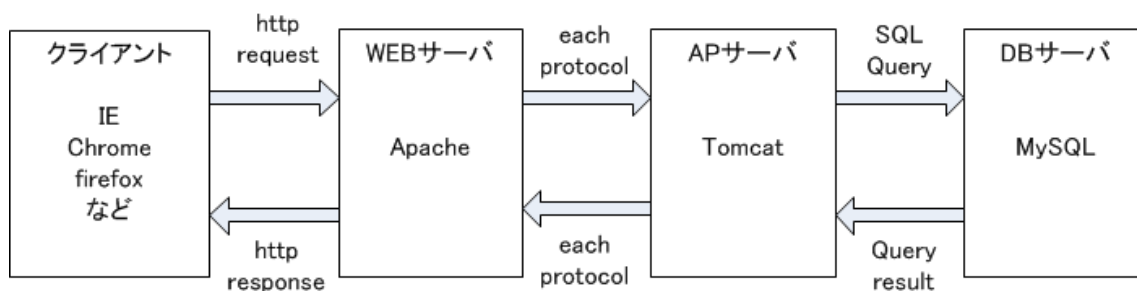


図2 Webシステムの構成 (ED 実習 (A))

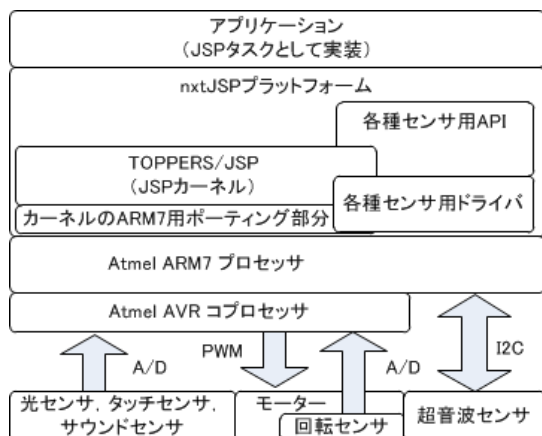


図3 動作環境 (ED 実習 (B))



図4 システム全景 (ED 実習 (B))

の構成を前提としたオリジナルのWebシステムを一つずつ提案した後、その中から一つを選んで設計・開発を行う。開発には、統合開発環境に Eclipse、プログラム言語に Java、Webサーバに Apache、Java サーブレットに Tomcat、Java フレームワークに Struts、データベースに MySQL を用いる。図3に、ED 実習 (B) で用いる NXT 上の動作環境を示す。学生たちは2名で一つのチームを組み、2台の NXT を通信・制御するアプリケーションとして、2台の NXT で一つの荷物を受け渡すアプリケーションの設計・開発を行う。設計には UML を使い、プログラムには C 言語を用いる。システム全景を図4に示す。2名が協働してシステム設計を行った後、収集係、配達係に分かれてプログラミングを行う。ED 実習 (A) (B) とともにウォーターフォールモデルによる開発を行い、チーム演習として要求定義、外部設計、内部設計、プログラミング、単体テスト、結合テスト、総合テスト、報告（プレゼンテーション）を実施する。既に述べたように、開発期間は(A)を1年、(B)を半年としているが、ED 実習自体は半年開講となるため、(A)については「ソフトウェア工学」と連携させ、「ソフトウェア工学」で Web システムの設計、ED 実習(A)で開発を行うようにしている。「ソフトウェア工学」、ED 実習 (A) (B) の各授業回および「ソフトウェア工学」のうちの関連項目のテーマ（いずれも 2014 年度）を表1に示す。表中のチーム作業（設計、コーディング等）では、6人または2人で作業を分担し、一つ的设计書やコード等を作成する。また、総合（各種テスト）では、システムのテストによるバグの知覚（情報収集）、バグの特定と対応策の検討（議論）、デバッグ（チーム作業）を繰り返してシステムの品質を高める。

表1 各授業回のテーマ

春		ソフトウェア工学 (抜粋) : 90分/回		
第3回	要求分析 (1)	発表:	Web システムの提案	
第4回	要求分析 (2)	議論:	Web システムの選定	
第6回	外部設計 (1)	情報収集:	問題点の把握	
第7回	外部設計 (2)	議論:	コンセンサスの獲得	
第9回	内部設計 (1)	チーム作業:	画面の詳細設計	
第10回	内部設計 (2)	チーム作業:	モジュール設計	
第11回	内部設計 (3)	チーム作業:	メッセージ設計	
第12回	内部設計 (4)	チーム作業:	物理データ設計	
秋		ED 実習 (A) : 180分/回	ED 実習 (B) : 180分/回	
第1回	個人学習:	Java 演習	チーム作業:	教材組み立て
第2回	個人学習:	Web サーバ演習	議論:	UML 作成
第3回	個人学習:	フレームワーク演習	情報収集:	問題点の把握
第4回	個人学習:	データベース演習	チーム作業:	インタフェース設計
第5回	個人学習:	総合演習	チーム作業:	アルゴリズム設計
第6回	チーム作業:	コーディング (1)	チーム作業:	アルゴリズム設計
第7回	チーム作業:	コーディング (2)	チーム作業:	コーディング
第8回	チーム作業:	コーディング (3)	チーム作業:	コーディング
第9回	議論:	テスト仕様書作成	総合:	単体テスト
第10回	チーム作業:	ドライバ/スタブ作成	総合:	単体テスト
第11回	総合:	単体テスト	総合:	単体テスト
第12回	総合:	結合テスト	総合:	結合テスト
第13回	総合:	結合テスト	総合:	総合テスト
第14回	自己評価:	プレゼン資料作成	自己評価:	プレゼン資料作成
第15回	発表:	成果発表会	発表:	成果発表会

表2 授業アンケート結果

		2014	2015	2016	2017
意欲	ED 実習(A)	4.53	4.79	4.81	5.00
	ED 実習(B)	4.90	4.68	4.77	4.91
満足度	ED 実習(A)	3.83	4.30	4.71	4.81
	ED 実習(B)	4.83	4.68	4.45	4.78

3. 指標

3-1 授業アンケート

2014年度からの授業アンケート結果を表2に示す。設問は、授業に対する教員の意欲が感じられましたか(意欲)とこの授業に満足しましたか(満足度)で、前者は感じられた(5点)、少し感じられた(4点)、どちらとも言えない(3点)、あまり感じられなかった(2点)、感じられなかった(1点)、後者は満足(5点)、ほぼ満足(4点)、普通(3点)、

やや不満（2点）、不満（1点）として、実習ごとの平均点を算出している。回答率については、いずれの実習、いずれの年度についても93～100%の範囲に収まる。この結果によれば、ED実習（A）において2015年度までの満足度が低い以外は、高い水準にあることが分かる。そこで、以下の指標は、主にED実習（A）を受講した学生に対して調査し、その原因を求めた。

2016年度、授業アンケート時に、ラーニングエクスペリエンス（Learning Experience：LX）に基づいた三つの設問を追加した。LXは、“魅力的な授業設計は、学生の学習へのエンゲージメント（意欲的な姿勢）に影響を与える”という考え方のもとに、PARRISHらによって定義された⁷⁾⁸⁾。LXでは6つのレベルとして、レベル1（No Experience）：何も興味がない状態、レベル2（Mindless Routine）：目的意識がない状態、レベル3

表3 LXレベルと授業アンケートの特別質問項目との対応

LX レベルと 状態	質問項目		
	知識	人と関わる力	課題解決能力
1 No experience	これまで学んできたことは何も役に立たなかった	チームにとけこむことはできなかった	システム開発は全て他のメンバーに任せていた
2 Mindless routine	過去に学んだ科目のいくつかとの類似性は感じたが、特に得るものはなく退屈だった	チーム内で協力することはできたが、特に成長した感じはない	チーム内であてがわれた作業だけをこなしていた
3 Scattered/ Incomplete activity	少なくない科目との関連性を感じたが、特に何もしなかった	チーム内で協力し、コミュニケーションの重要性を確認したが、特に何もしなかった	システムの品質を上げるための幾つかの意見が持っていたが、指摘しなかった
4 Pleasant routine	様々な科目との関連性を感じ、過去の講義の教科書等をいくつか見直した	チーム内で生じた問題のいくつかに積極的に関わることにより、今後の自分の成長を予感できた	開発の過程で生じた問題や、品質を高めるための幾つかの提案をし、採用された
5 Challenging endeavors	かなり多くの科目との関連性を感じ、過去の講義の教科書の知識や演習問題を応用して本演習の課題解決をはかった	チーム内コミュニケーションを円滑にするために積極的に介入し、その経験によって、多くの成長を実感した	開発の過程で生じた問題や、品質を高めるためにチーム内で意見を出し合い、比較検討して、よりよい解決策を得た
6 Aesthetic experience	ほとんどの科目との関連性を感じ、幾つかを応用して課題解決した。本学科で得た知識が将来役に立つと実感できた	人と関わる力に関してこれまでになく経験が得られ、自分の多大な成長が実感できた	チーム内の議論を通じて、品質を高めるための提案、比較検討、解決に関して実社会で通用する知見が得られた

(Scattered/Incomplete Activity) : 中途半端な関与の状態、レベル 4 (Pleasant Routine) : 前向きな努力継続の状態、レベル 5 (Challenging Endeavors) : 挑戦的、計画的に取り組んでいる状態、レベル 6 (Aesthetic Experience) : 強い関心と積極的な関与の状態、が規定されている。同文献によれば、これらの規定に基づいてアンケートの設問を設定することにより、学生のエンゲージメントに寄与しない講義のアンケート回答の分布は、レベル 3 を中心とする正規分布を示す。ここでは、表 3 に示すように、ED 実習の設計方針 (ア) ~ (ウ) に対して一つずつ、LX に沿った設問を設置した。ED 実習 (A) で学生の回答から得られた LX レベルの平均 (アンケート数 28 名) は、知識 4.92, 人と関わる力 4.43, 課題解決能力 4.25 となった。なお、学生は LX の品質概念を知らない状態で回答を行っている。なお、ウェルチの t 検定 (片側検定 : $p < 0.05$) によれば、これらの平均点は 3.00 に比べて有意に高いと言える。

3-2 自由記述とインタビュー

最終回において、班ごとに所感を 100 字程度にまとめさせている。ED 実習 (A) を対象に、これらの所感 (2014 年度からの 4 年間で 22 文書が集まり、総抽出語数は 2484 語、異なり語数は 515 語) をテキストマイニングして 515 次元の文書ベクトルとし、多次元尺度構成法により二次元に圧縮した結果を図 5 に示す。縦軸および横軸に付した数値は、任意の二円間の距離 (同一文、同一段落に並んで現れる、すなわち出現傾向が似た単語ほど近くなる) を補助的に示す。距離の正負および円の中心の絶対座標には意味がないが、原点に近いほど、その語は全文書中に万遍なく現れ、遠いほど一部の文書に偏って現れる。

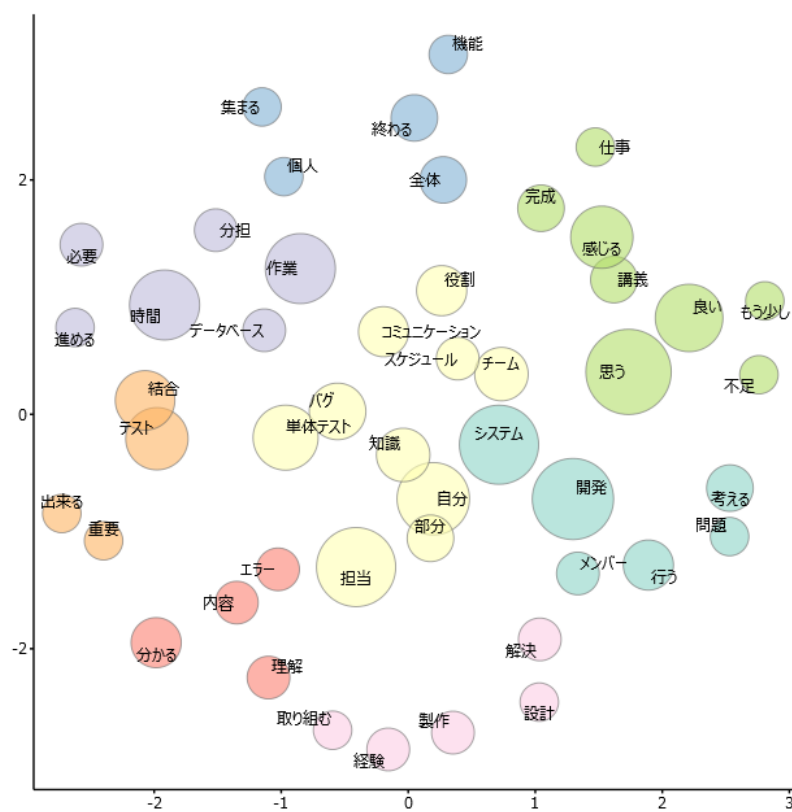


図 5 多次元尺度構成法による所感のテキストマイニング結果

雑さと複合性をともなったシステムや技術を開発できる、(ウ)情報工学分野における社会の要求を踏まえた上で、自ら課題を設定し、解決手法を比較検討し、解決できる、の各項目について、3のデータをもとに考察する。(ア)については、図1で示したカリキュラムツリーとの繋がりをもとに、学科カリキュラムの大部分と接続するようにして実習内容を決定している。この結果、表3に示した授業アンケート(知識)の結果では、平均LXレベルが4.92となり、多くの学生が、かなりの科目との関連性を実感しているとの認識をもたせることができた。また、図5の(2, 1)付近のグループにおいて、所感の原文を辿ると「学科の各講義との(関連|繋がり|関わり)が(感じられる|分かって良い|あると思う)」のような記述や、「各講義の(知識が必要なこと|学力が必要なこと|勉強不足)を感じる」のような記述が得られ、学生たちは学科カリキュラムの総復習としての位置づけを感じ取っているようである。ここで、(関連|繋がり|関わり)とは、所感の原文において、学生たちが関連や繋がり、関わりといった多様な表現で記述したために、意味は同じでありながら図中に単語として現れなかったことを示す。

(イ)については、図5の(0, 0)付近のグループ「チーム内で(自分の役割を把握して|コミュニケーションを取って|スケジュールを管理しながら)、効率良く作業していく必要があった」(人員の制約)、(-2, 1)付近のグループ「作業を分担して、(時間を効率よく使って進めることが必要)」(期限の制約)等の記述が見られた。また、表3の授業アンケート(人と関わる力)では、平均LXレベルが4.25となった。さらに、学位レベルにふさわしい複雑さと複合性をともなったシステムであるかどうかについて、筆者のうちの一人が2014年度から2017年度までに担当した卒業研究の実コード量(学生自身が卒業研究で作成したプログラムコードとコメントの量。ライブラリやそのコメントを除く)と、ED実習(A)で開発したシステムの実コード量を、Linuxのコード量計測ツールclocで比較したところ、前者は15件の平均値14505.47(Lines Of Code:LOC)、標準偏差4497.41(LOC)であり、後者は22件の平均値13713.32(LOC)、標準偏差2557.39(LOC)であった。分散が等しくないと仮定した2標本のt検定(両側検定: $t(20)=0.617$, $p<0.05$)を行ったところ、両者に差があるとは言えないとの結論を得た。また、図6の(2, 0)付近のグループに「(卒業)研究」「(エンジニアリング)デザイン」が離れて同じ大きさで存在しているように、インタビューを受けた10名の学生のうち、8名が“卒業研究では”、“ED実習では”と、二つを対比させて振り返りを行った。これは、学生たちがED実習の成果をもって卒業研究に取り組んだ、という意識ではなく、ED実習を卒業研究と同等の科目として見ていたことを示している。

(ウ)については、図5の(0, -2)付近のグループ「システムを(設計|製作)することにより生じた(課題|問題)を解決するのはいい経験になった」「製作を経験し、チームで(課題|問題)に取り組んだのがよかった」といったマクロ視点、あるいは(-1.5, -2)付近のグループ「エラーから(コードのミス|バグ|記述ミス)を(見つける|理解する)のが(難しかった|いい経験になった)」といったマイクロ視点での課題解決能力について、多くの記述が見られた。また、表3の授業アンケート(課題解決能力)では、平均LXレベルが4.43となった。さらに、図6の(-2.5, 3)付近のグループ「プログラミングやテストで生じる色々な問題の解決法を見つけるのがよい」等、卒業しても課題解決の経験が印象に残っていると言える。社会の要求としては、図6の(4, 1)付近のグループ「面接時にED実習の内容が

役に立った」「実践的な演習だった」という回答が目立った。これは、企業・学生双方が、本学科卒業生の就職先において、ED 実習は有用であると認識していることを意味する。

以上をまとめる。ED 実習は、(ア)受講した多くの学生が、学科カリキュラムのかなりの科目との関連性を感じ、(イ)チームで協力しながら時間内に効率よく、卒業研究と同等のコード量のシステムを、(ウ)マクロ、ミクロの両視点から生じる様々な課題に悩まされながら開発し、かつ、社会人となってからも、就職活動や仕事で有用であったと感じる、科目であると言える。これらのことから、ED 実習の設計方針は達成されたと言えるであろう。

5. おわりに

本学科では、コンピュータエンジニアリング分野における技術者を育成する CE コースにおいて、JABEE が志向する ED 教育と、社会人としての力を養成するという従来の ED の概念を両立するために、3 年生秋期に必修科目の ED 実習を設置した。この科目は、双方の ED の理念を両立させるために、卒業後の進路を分析し、それらの進路が求める技術者像を設定し、それに沿ったコースカリキュラムを構成し、その総合演習としての職業訓練的な内容となるように設計した。4 年間の運用を経た授業アンケート等の結果によれば、その設計方針は達成されたと言える。

今後の課題として、ED 実習を受講し卒業した学生の数が少ないため、ED 実習 (A) (B) の受講者別の進路や転職状況等の詳細な分析が行えなかったことが挙げられる。今後運用を続け、学生達の活躍にどのような影響があったか調査したい。

参考文献

- 1) 日本技術者教育認定基準, JABEE ホームページ URL: https://jabee.org/about_jabee/accreditation_system
- 2) 角野晴彦, 黒田大介, 堀内 匡, 藤田直幸, 小林淳哉, 市坪 誠: 高等専門学校(高専)におけるエンジニアリングデザイン(ED)教育の実施状況, 工学教育 59(6), 65-71 (2011)
- 3) 経済産業省: 社会人基礎力, <http://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/> (2006)
- 4) 厚生労働省: 『若年者就職基礎能力修得のための目安委員会報告書(平成 年 7 月)』, <https://www.mhlw.go.jp/houdou/2004/07/dl/h0723-4h.pdf> (2004)
- 5) 大中逸雄: エンジニアリング・デザイン教育と卒業研究, 工学教育, 60(5), p.5-12, (2012)
- 6) 大中逸雄: 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, 日本技術者教育認定機構 (2009)
- 7) Parrish, P., Wilson, B. G. and Dunlap, J. C. : Learning experience as transaction: A framework for instructional design, Educational Technology, 52(2), 15-22, (2011)
- 8) 川本弥希, 渡辺雄貴, 日高一義: 高等教育における学習者のラーニングエクスペリエンスの形成に影響を与える要因, 日本教育工学会論文誌, Vol. 41, No.4, 363-374, (2018)