

職業能力開発施設向け ETSS 準拠 組み込み技術者教育訓練プログラムの開発と評価

榮 智 徳^{†1,†2} 香 山 瑞 恵^{†3} 伊 東 一 典^{†3}

本論文では、職業能力開発施設における組み込み人材育成のための教育訓練プログラムについて述べる。このプログラムの開発に際しては、実践的な技術者育成を目的とし、受講者のスキル実態、社会基準としての組み込み技術スキル標準 (ETSS)、そして育成人材が登用される現場からのニーズを考慮した。2008 年度の試行と再設計、そして 2009 年度の本実施をふまえ、実習アプローチの工夫による組み込みソフトウェア開発スキル向上への本プログラムの効果を確認した。

A Proposal for a Training Program for Acquiring Practical Embedded Technologies/Skills Based on the ETSS at Vocational Ability Development Center

TOMONORI SAKAE,^{†1,†2} MIZUE KAYAMA^{†3}
and KAZUNORI ITOH^{†3}

In this paper, a training program for acquiring practical embedded technologies at vocational ability development center is proposed. This program is designed based on the ETSS (Embedded Technology Skill Standards) by IPA-SEC. The ideal competency model of the center, the actual knowledge level of students' skills, and curriculum coverage of the proposed education program are expressed based on this standard model. Firstly, we describe the problems of past training program and our solution. Then, the pragmatic education program and the result of its trial are shown. Finally, the effect of this program for fostering of personnel responsible for embedded software industry is discussed.

1. はじめに

現在、多くの高等教育訓練機関において、組み込みソフトウェア技術者不足を補い、組み込み産業界のさらなる発展を人材育成の面から後押しするための取組みがなされている。PBL 手法などに基づいた組み込み技術の教育訓練^{1),2)} や、また、ロボットコンテストをゴールとする実習の導入により組み込み技術に関する理解を深めるなどの取組みもなされている³⁾。これらの多くは設計力の向上に重点を置いており、同時に創造力や問題解決能力を養う目的も兼ねている。

職業能力開発施設⁴⁾においても、組み込み技術に関する教育訓練が積極的に展開されている⁵⁾。特に都道府県が管理主体となる施設では、地域ニーズを勘案した職業訓練の実施が期待される。そこでの教育カリキュラムは現場における職務に直結するような実践的な内容が必要となる。

茨城県が設置している職業能力開発施設に茨城県立産業技術短期大学校 (以下、本校) がある。本校は平成 17 年度に開校した IT 技術者育成に特化した 2 年制の教育訓練施設である。近年、卒業生の就職先の企業を中心に、組み込みシステム開発工程に関する教育訓練の要望や必要性が多く寄せられるようになった。そこで、これらの技術習得を目標とし、実際の開発現場を意識した実践的な組み込み技術教育プログラムの開発を試みる。

以下、本論文では本校が想定する受講者の仕上がり像を明確にし、その目標達成のために必要とされる教育カリキュラムを具体化する試みとして、職業能力開発施設における組み込み技術教育プログラムの開発と試行、その評価について述べる。

2. 従来型の組み込み技術教育

本章では、従来型の組み込み技術教育について述べる。

2.1 従来型教育プログラムの概要

2007 年度までに本校で実施された組み込み技術教育プログラムの概要 (2 年次実施分) を表 1 に示す。各科目はこの順序で実施されていた。マイクロコンピュータの実技・実習が

†1 信州大学大学院工学系研究科
Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

†2 茨城県立産業技術短期大学校
Ibaraki Prefectural Industrial Technology Junior College

†3 信州大学工学部
Faculty of Engineering, Shinshu University

表 1 従来の技術教育プログラムの概要

Table 1 Contents and course hours of the past technology programs.

科目名	内容	時間	課題数・開発規模 (コードステップ数)
マイクロコンピュータ 基礎	概要、ペリフェラル、 割込み	72H	8課題 (1課題50ステップ程度)
マイクロコンピュータ (コントローラ系)	速度制御や 位置決制御	72H	5課題 (1課題80ステップ程度)
マイクロコンピュータ (プロセッサ系)	マイコンによる デジタル信号処理	72H	4課題 (1課題80ステップ程度)
マイクロコンピュータ ネットワーク	CAN通信	36H	2課題 (1課題80ステップ程度)
ロボット工作	仕様合わせた ロボット製作	72H	1課題 (340ステップ程度)

中心とされ、受講者は与えられた課題に対してプログラミングにより成果物を完成させる形態で学習が進められる。

2.2 従来型教育プログラムの課題

本校では、教育訓練内容の適切性の確認のために、企業へのニーズ調査や卒業生に対する聞き取り調査を毎年実施している。この調査の結果において、近年、組み込み系企業を含む IT 企業全般から「システム開発工程に関する技術・技能」や「品質を重視したシステム開発」に関する教育訓練の要望が寄せられるようになった。また、卒業生からも同様の意見が数多くあげられている。これらの要望や意見は、即戦力に近い人材育成を行う職業訓練の立場から考えた場合、可能な限り考慮すべき課題となる。この課題に対処するためにソフトウェア工学に関する新たな科目の設置を検討することとした。

3. 試行教育プログラム

本章では、2008 年度に試行実施した技術教育の結果などについて述べる。これは、従来型の技術教育プログラムを ETSS^(6),7) に沿って変更した成果である。

3.1 ETSS に基づく従来型教育プログラムの評価

3.1.1 仕上げるべき技術者像

教育目標設定にあたり、まず、本校として仕上げるべき技術者像を考慮し、ETSS キャリア基準により対象職種を検討した。対象職種を具体化することで、学生が修得すべき技術項目を明確化する。本校の場合、「ソフトウェアエンジニア」と「テストエンジニア」が対象職種としてあげられる。これは、本校の卒業生の大半が実務において担う職種であること、およびこれらの職種がキャリア基準におけるキャリアレベル 1 から存在していることを考慮した結果である。さらに、これらの技術項目に対しては、本校生の大半が基本情報技術者

試験^{*1}を在学中に取得可能という知識レベルを考慮し、各キャリアレベルに見合ったスキルレベルを習得目標とした。

3.1.2 従来型教育プログラムとの比較

本校での従来型カリキュラムにおいて習得可能であったスキル項目とそのスキルレベルを、表 2 の従来の達成状況欄に濃塗りつぶして示す。なお、「初級」は「支援のもとに作業を遂行できる」を、「中級」は「自律的に作業を遂行できる」のスキルレベルを示している。

さらに、今回設定した本校で仕上げるべき技術者像を考慮した教育目標を、表 2 達成状況欄の右列「教育目標」欄に示す。塗りつぶされた部分が、目標とするスキルレベルである。すなわち、ソフトウェア方式設計からソフトウェア適格性確認テストおよびプロジェクトマネジメントのスキルレベルを中級にし、これら以外はスキルレベルを初級とした。

教育目標としては教育訓練ニーズが開発技術を中心に広範囲にわたり設定されていることが分かる。しかしながら、従来の達成状況は技術要素に極端に偏っている。ETSS に基づく整理により、従来型カリキュラムにおいて修正および補強すべき分野が明確となった。

3.1.3 試行プログラム

この結果に基づき、新たな組み込み技術教育プログラムを具体化した。従来型教育からの主な改良点は、全技術要素の中で他の科目と重複する内容であった「マイクロコンピュータネットワーク」および「ロボット工作」を教育プログラムから除外することである。そして、表 2 の教育目標欄に示した開発技術/管理技術/パーソナルスキルの各第 2 階層におけるスキルレベルへの達成を主目的とした新たな科目として、「組み込みシステム開発実習」を導入することとした。実務の疑似タスクを実習させるこの科目は、本校における組み込み技術教育プログラムの総まとめとして位置付けられる。

3.2 試行プログラムの内容

3.2.1 前提となる教育環境

技術要素の習得を主目的として行われる「マイクロコンピュータ基礎」および「マイクロコンピュータ(プロセッサ系)」は従来実施していた内容が継続される。しかし、実習で利用する開発環境は、新規に導入する「組み込みシステム開発実習」との接続性を考慮し、Linux 上でのクロスコンパイル環境から統合開発環境 HEW (ルネサステクノロジ社製)へと変更した。これによりシミュレータデバッグや実機デバッグの使用方法も含めた技術習得

*1 基本情報技術者試験は、共通キャリア・スキルフレームワークにより、ETSS のキャリアレベル 2 に対応付けられている。

表 2 ETSS に基づく本校の教育目標と、従来型教育での達成状況および提案プログラムの評価結果
Table 2 Educational objective, status of the achievement by past education program and status of the achievements by trial revised educational program in the ETSS framework.

スキルカテゴリ	従来の達成状況		教育目標				2008年度				2009年度					
	初級	中級	初級	中級	初級	中級	初級	中級	初級	中級	初級	中級	初級	中級		
	自己評価	指導者評価	自己評価	指導者評価	自己評価	指導者評価	自己評価	指導者評価	自己評価	指導者評価	自己評価	指導者評価	自己評価	指導者評価		
技術要素	通信	有線														
	情報処理	情報入力														
		データ処理														
		セキュリティ														
	マルチメディア	情報出力														
		音声														
	ユーザインタフェース	人間系入力														
		人間系出力														
	ストレージ	メディア														
		理化学系入力														
計測・制御	理化学系出力															
	計測・制御処理															
プラットフォーム	プロセッサ															
	基本ソフトウェア															
開発技術	ソフトウェア要求分析	ソフトウェア要求事項の定義														
		ソフトウェア要求事項の評価レビュー														
	ソフトウェア方式設計	ソフトウェア構造の決定														
		ソフトウェア構造のデザインレビュー														
	ソフトウェア詳細設計	ソフトウェアの詳細設計														
		ソフトウェアの詳細設計のレビュー														
	ソフトウェアコード作成とテスト	プログラムの作成とプログラムテスト項目の抽出														
		コードレビューとプログラムテスト項目のデザインレビュー														
	ソフトウェア結合	プログラムテストの実施														
		ソフトウェア結合テスト仕様的设计														
	ソフトウェア適合性確認テスト	ソフトウェア結合テストの実施														
		ソフトウェア適合性確認テストの準備とレビュー														
	システム結合	ソフトウェア適合性確認テストの実施														
		システム適合性確認テストの準備とレビュー														
	システム適合性確認テスト	システム適合性確認テストの実施														
システム適合性確認テストの準備とレビュー																
管理技術	プロジェクトマネジメント	タイムマネジメント														
	プロセスマネジメント	品質マネジメント														
		コミュニケーションマネジメント														
その他	開発環境マネジメント	開発環境マネジメント														
	コミュニケーション	構成管理・変更管理														
		話す、聞く、書くなど														
ネゴシエーション	リーダーシップ	賞問、調査、主張など														
	問題解決	能力開発、時間管理、動機付けなど														
スキル	問題解決	常規、発想、問題発見、分析、論理指向など														

各欄における濃淡つがし部分はその技術項目のスキルレベルの自己評価による達成状況を、薄淡つがし部分は教育目標に対する未達成状況を示す。各欄における初級は「指導の下作業遂行できる」、中級は「自律的に作業遂行できる」のレベルを示す。

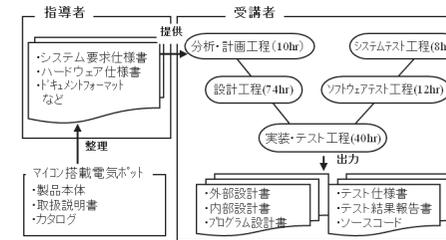


図 1 「組み込みシステム開発実習」の概要

Fig. 1 Outline of trial program for the practical training of embedded system development.

を図ることができる。

3.2.2 実習課題

「組み込みシステム開発実習」では、市販されているマイコン搭載電気ポットのソフトウェア開発を課題とした。機能を容易にイメージできること、既習技術を生かすことのできる機能を有していることなどが導入の理由である。課題としてこのマイコン搭載電気ポットを使用するにあたり、実習を担当する職員は、マイコン搭載電気ポットをマイコン搭載基板とそれ以外に分解し、周辺基盤およびセンサやブザーなどの仕様を調べ、これまでの実習で使用したマイクロコンピュータにあわせたハードウェア仕様書/ハードウェア設計書を作成した。すなわち、既存の電気ポットのセンサなどの入出力デバイスを実習で使用したマイクロコンピュータボード (AKI-H8/3052F) に接続し、開発したソフトウェアをこのボードに搭載し動作させた。

3.2.3 実習の運営体制

実習の全体像を図 1 に示す。実習手順は、一般的な開発手法である V 字型モデルに従った。指導は、常時 4 名のプロジェクトマネージャ経験のある職員 (以下、指導者と称する) が担当した。指導者は設計書の提示や説明、あるいは設計書のドキュメントフォーマットの提示のほか、各実習時間の開始時に工程計画と比べた遅れへの指摘や、デザインレビューにおける開発工程に関する技術指導などを主な業務として行うこととした。なお、デザインレビューは各工程終了時の実施を必須とし、そのほか必要に応じて随時実施することとした。

受講者は全体で 16 名、これを 4 グループに分けた。1 グループは 4 名で構成され、各人がリーダ/操作機能/制御機能/トレンドデータ収集機能をそれぞれ担当した。リーダには各実習時間の開始時ミーティングや作業進捗管理、状況報告、スケジューラなどの共通機能作成も担当させた。

表 3 主な使用教材

Table 3 Learning tools of the trial program.

ハードウェア環境	マイコン電気ポット, オシロスコープ, AKI-H8/3052F, グラフィックLCDディスプレイ
ソフトウェア環境	統合開発環境HEW, ライタソフト(FDT), 通信ソフト, Javaコンパイラ, Eclipse, MS-Project
その他教材	電気ポット製品カタログ, H8/3052F仕様書, HEW ユーザーズマニュアル, 各種ドキュメントフォーマット

3.2.4 実習教材

主な使用教材を表 3 に示す。開発言語として C 言語を用いて実習を進めさせたが、一部 PC 側の Windows アプリケーションの開発では Java 言語も利用させた。実製品を教材として用いたことは、これまでの教育訓練では教授が難しかったシステム開発における安全性や使いやすさなどを意識させるのに有効であった。さらに、実製品の取扱説明書などを参考にできたことで、記述の網羅性やシステムとの整合性が保障され、独自教材を開発する負担の軽減につながるなどの指導面での効果が確認できた。

3.3 試行プログラムの評価

試行プログラムの各工程の計画時間、実時間、主な成果物としてのドキュメント名称とページ数を付録表 7 に、開発課題における各機能のプログラムサイズと総行数を付録表 8 に示す。

受講者は、既習の知識・技術を生かし実習を進めていた。また、グループ開発によってパーソナルスキルの向上もうかがえた。しかし、開発技術や管理技術の面では当初の計画を満足する結果とはならなかった。それは、実習の回を重ねるにつれ、特にドキュメント作成の不慣れから生じる後戻りの多さなどにより遅延が生じ、ソフトウェアテストの工程までたどり着けなかったからである。

3.3.1 受講生からの評価

実習終了後、受講者 16 名全員に対し質問紙調査を実施した。質問内容は特に限定せず、難しかったことや学んだことについてなど自由記述を求めるものである。この調査で得られた意見内容から、回答について指導者側で「技術要素」「開発技術」「管理技術」「パーソナルスキル」「その他」のカテゴリに分類・整理した。これらの中における主要な意見とその回答数を表 4 に示す。特に多かったのは、グループによる開発の難しさに関する意見であった。また、実習開始当初にシステム開発全体のイメージがつかめていなかったことなどに起因する開発技術面に関する意見も多数あった。同時に、こうした経験が今回の実習にお

表 4 試行プログラムに対する質問紙調査結果

Table 4 Results of questionnaire research of educational effects for students in trial education program.

技術要素面 (7件)	・「製品におけるI/O制御の使われ方がわかった」など 基本技術の深化に関すること (3件) ・「シミュレータなどを開発現場に生かす自信になった」など 実践的な技術に関すること (2件) 他 2件
開発技術面 (12件)	・「開発工程のイメージをつかむことができた」など 開発工程のイメージに関すること (6件) ・「設計書の重要さがわかった」など 仕様書や設計書に関すること (4件) 他 2件
管理技術面 (9件)	・「工程計画どおりに進められなかった」など 工程計画に関すること (4件) ・「資料の整理などが大事」など データの管理などに関すること (2件) 他 3件
パーソナルスキル面 (12件)	・「グループ作業の難しさを感じた」など グループ作業に関すること (6件) ・「コミュニケーションの大切さを学んだ」など コミュニケーションに関すること (4件) 他 2件
その他 (8件)	・「指導者は常に質問を受けており大変」 ・「はじめての作業に対する戸惑い」 など

ける成果であるとも回答されている。

さらに、教育プログラム全体を通じた習得状況について、ETSS スキルフレームワークに基づくスキル診断シート⁸⁾により自己評価させた。目標達成の有無をまとめた結果を表 2 の 2008 年度自己評価欄に示す。濃塗りつぶしで示した部分が自己評価による目標達成項目とそのスキルレベルを示している。ここでは、16 名の受講者全体の 3/4 に当たる 12 名以上の受講生が目標達成したと判断した達成状況をもって、当該レベルに達成したと見なした。薄塗りつぶし部分は、教育目標に対して未達成と評価された項目である。

この結果から、テスト工程において未達成項目はあるものの、従来の達成状況(表 2)に比べ、教育目標のスキルレベルを習得していると学習者自身が感じていることが読み取れる。これは、今回試行した「組み込みシステム開発実習」の成果であると考えられる。

3.3.2 指導者からの評価

本実習を担当した指導者 4 名による指導者評価を実施した。評価には、3.3.1 項の自己評価に使用したスキル診断シートを他者評価用に再編成した指導者用スキル診断シートを使用した。ここでは、はじめに指導者 4 名の協議により受講者各人の表 2 に示した各スキル

表 5 評価の対象となる成果物
Table 5 Evaluated documents.

スキルカテゴリ 第1階層	主な評価対象成果物
ソフトウェア要求分析	分析・計画工程における ドキュメント, レビュー議事録
ソフトウェア方式設計	外部設計書, レビュー議事録
ソフトウェア詳細設計	内部設計書, レビュー議事録
ソフトウェアコード 作成とテスト	ソースコード, 単体テスト仕様書
ソフトウェア結合, ソフトウェア適格性 確認テスト	ソフトウェアテスト(結合/機能テ スト)仕様書, ソフトウェアテスト結果報告書, レビュー議事録
システム結合, システム適格性 確認テスト	システムテスト仕様書, システムテスト結果報告書, レビュー議事録

項目に対するスキルレベルの達成状況を「未達成」「初級」「中級」の3段階により評価する。そして、各スキル項目の各スキルレベルにおいて受講者全体の3/4にあたる12名以上の受講生が目標達成したと評価した達成状況をもって、当該レベルに達成したと見なした。その達成状況についてまとめたものを、表2の2008年度指導者評価欄に濃塗りつぶしにより示す。薄塗りつぶし部分は、教育目標に対して未達成と評価された項目である。

技術要素は受講者全員の実習中の達成状況を対象として評価を行った。指導者用スキル診断シートの内容は3.3.1項と同様である。

開発技術では、本実習における各開発工程での成果物を評価の対象とした。各スキル項目における評価の対象となる成果物を表5に示す。その適正度を7観点(完全性, 正確性, 一貫性, 伝達性, 追従性, 必要性, 実現可能性⁹⁾)から統合的に評価できるよう反映した指導者用スキル診断シートにより評価を行った。

管理技術とパーソナルスキルについては、中央職業能力開発協会から提案されている職業能力評価基準^{*1}のうち、ソフトウェア設計にかかわる能力ユニット¹⁰⁾を参考に指導者用スキル診断シートに反映させ評価を行った。

3.3.3 考 察

表2における2008年度指導者評価と2008年度自己評価との間には、習得スキル項目とそのスキルレベルにおいてほぼ同様の関係がみられる。このことから2008年度に試行した

*1 厚生労働省の委託を受け、中央職業能力開発協会がまとめたもので、仕事をこなすために必要な職業能力の体系。

技術教育プログラムに関して、主に2つの成果が整理できる。

- 受講者の既習技術の深化
- パーソナルスキルの向上

前者はデバッグツールなどを使用して実製品の開発工程を経験させたことによる効果と考えられる。後者はグループによる開発形態という実際の現場に近い実習を体験させたことによる。この体験がパーソナルスキル向上に非常に有効であった。

一方、課題として以下の2つが指摘できる。

- 未実施の開発技術が存在すること
- 管理技術の習得が不十分であること

前者に関しては、テストエンジニアに必要となるテスト工程が未実施であり受講者の達成感も不十分な結果となった。これは題材の開発規模が大きく時間に見合ったものではなかったことに加え、受講生においてシステム開発工程のイメージがなく、作業量の見積りができていないため生じた時間不足によると思われる。これにともない、システムを完遂することができずに達成感を欠く結果となった。後者は、受講生の役割が1つに固定化されたため、他者の作業について理解できないことや成果物が他者から見られることを意識できないことが原因と考えられる。

4. 教育プログラムの再設計

試行プログラムへの評価結果に基づき、教育プログラムの改良を検討した。また教育成果の評価についても、より客観的な方法で実施することとした。

4.1 AV字型モデルによるシステム開発実習

3.3節の結果をふまえ、以下の5項目を要件として組み込み技術教育プログラムを再設計する。

- (1) システム開発工程のイメージを持たせる。
- (2) システム開発を完遂する達成感を得させる。
- (3) テスト工程の達成度を確実なものとする。
- (4) システム開発実習を複数実施することにより他の役割も体験できるようにする。
- (5) 他者に見せることを意識したドキュメンテーションをさせる。

開発技術や管理技術に関し、表2に示した教育目標を達成するためには少なくとも、V字型モデルによる一連のシステム開発を完遂させる必要があると考える。しかしながら、試行プログラムの実施結果から、システム開発工程の全体像を把握していない受講生に対し、

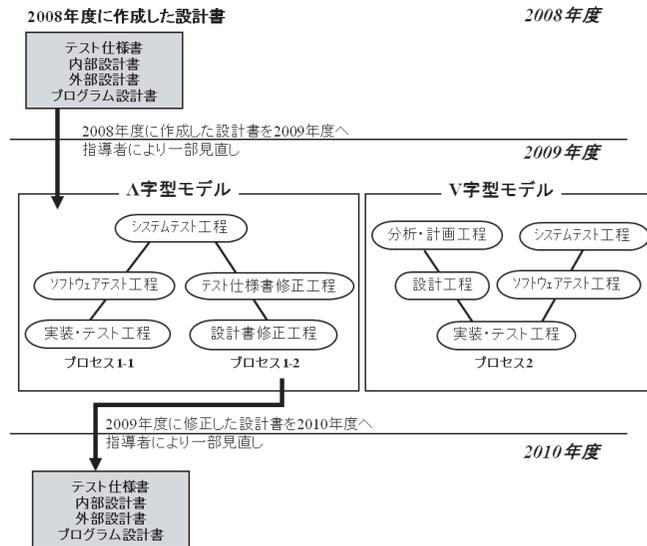


図 2 ΛV 字型の実習プロセス

Fig. 2 Outline of proposed program for practical training of embedded system development.

制限された時間内でシステム開発の実施経験が要されるような上流工程から実習に取り組ませることは、テストに関するスキル達成度を不確実なものにさせてしまう恐れがある。そこで、実習に対する導入を、上流工程からではなく受講生にとって抵抗感の少ない下流工程である実装・テストからシステム開発工程をはじめ、テスト仕様書やそれらに対応する設計書を参照することにより、システム開発工程全体のイメージを把握させる。その後、V字型モデルによるシステム開発を実施することで表 2 に示した教育目標を達成することが可能になると考えた。

これらに基づき「組み込みシステム開発実習」の実施方法を見直した結果として、図 2 に示す ΛV (ラムダ・ブイ) 字型モデルによる実習プロセスを提案する。この実習プロセスでは、初めに、ソフトウェア開発プロセスの下流工程である実装・テストからシステムテストに向けて実習を進め、続いて、ここまでの過程で使用した設計書やテスト仕様書の見直しや修正を行う。すなわち、V字型モデルの工程を逆の要領で実習を進めるプロセス (Λ 字型モデル) を実施した後に、V字型モデルによるシステム開発の実習を行うという、 ΛV 字型の実習プロセスである。これら Λ 字型モデルと V字型モデルの実習はそれぞれ 108 時間で実

施する。また、 Λ 字型モデルと V字型モデルではそれぞれグループの人員構成および役割を再編成することができる。これにより複数の役割を体験することができ、試行プログラムの課題であった管理技術の向上効果もねらえることになる。

4.1.1 Λ 字型モデルの上り側 (プロセス 1-1)

前年度を受講者が作成した各設計書に基づき、本年度の受講者が実装からテストへと工程を進めていく。ここで利用する設計書にはテスト仕様書も含まれる。ここでは設計書の完成度による実習プロセスへの影響を考慮し、前年度作成された設計書の中から最も完成度の高いものを指導者が選定し、一部修正したものを受講生に配布する。ここでのねらいは、試行プログラムにおいては未達成となったテスト技術の項目を実習早期に実施することにより、その達成度を確実なものとするにある。また、実装やテストといった技術要素に直結する工程から実習を開始することで、実習導入の際の抵抗感を減らすことをねらっている。さらに、下流工程から体験させることにより受講生に上流工程の作業イメージをつかませ、同時に他者が作成した設計書を読むことで現場での作業を疑似体験させる効果を考えて。それゆえ、指導者はこのプロセスにおいて、必ずしもシステムの完成度を追求する必要はない。

4.1.2 Λ 字型モデルの下り側 (プロセス 1-2)

プロセス 1-1 での実装やテストの経験から、配布された設計書やテスト仕様書を修正する。ここで修正された設計書やテスト仕様書は、次年度の Λ 字型モデルのプロセス 1-1 を実施するための設計書やテスト仕様書として引き継がれる。そのため、他人が読むことを意識した設計書作成と、これによる設計品質向上への意識を持たせることが、本プロセスでのねらいとされる。

4.1.3 V字型モデル (プロセス 2)

システムの設計から完成までの一連の作業を実施する。ここでのねらいは、システム開発を完遂する達成感を得させることと、設計品質向上の追求を意識させることである。ここでは、プロセス 1-2 とは異なるプロダクト、たとえば開発規模が小さな家電製品の設計・開発が実習課題とされる。また、限られた時間で効果的な開発を促せるように、テスト工程でシミュレータ環境を導入するなど、実習方法を工夫した。

4.2 改良プログラムの実施

2009 年度は 20 名の受講生を対象に教育訓練を実施した。

4.2.1 Λ 字型モデル

技術要素面の習得を主目的とした「マイクロコンピュータ基礎」、「マイクロコンピュータ

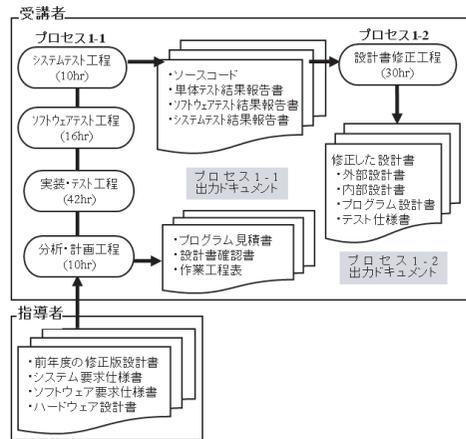


図 3 Λ 字型モデルによる実習の概要

Fig. 3 Total image of learning processes in Λ-formation model.

(プロセッサ系)」および「マイコンコンピュータ(コントローラ系)」の3教科^{*1}を実施した後、「組み込みシステム開発実習」前半のΛ字型モデル側(プロセス1-1および1-2)を実施した。実習環境についてはソフトウェアテストの実習効率を考え、HEW Target Server (COM)^{*2}により指導者が作成した割込み機能付きの汎用シミュレータを導入した。実習体制は試行時とほぼ同様で、試行プログラムでの作業分担を踏襲し、1グループ4名体制(5グループ)とした。

Λ字型モデルによる実習の全体像を図3に示す。はじめにプロセス1-1として、受講者は前年度から引き継いだ設計書を分析し、実装・単体テスト工程から入る。実装段階では、相互チェックとして他者の作業内容の理解を目的にグループ内でのピアレビューを実施した。単体テストでは命令網羅率を示すC0カバレッジが100%、すなわちすべてのコード内のすべてのステートメントが少なくとも1回は実行されることを確認した。結合テスト以降では前述したシミュレータを使用した。

テスト工程後半ではグローバルメモリの多用やテストケースの荒さによるバグなどで、全

*1 新たに、各教科の授業最終日に実技試験を課した。内容はETSSスキルフレームワークの技術要素を含めた温度データロガーの作成、PID制御による位置決めサーボの組み込み、ローパスフィルタの実装である。試験結果が100点満点の数値で評価される。

*2 HEWを拡張するための機能であり、HEWのカスタマイズや他のアプリケーションとの連携を実現する。

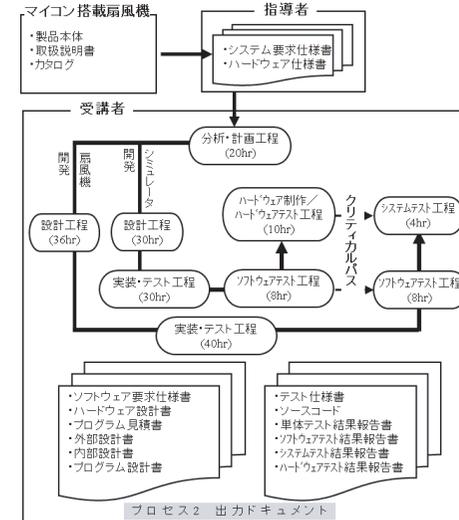


図 4 V 字型モデルによる実習の概要

Fig. 4 Total image of learning processes in V-formation model.

テスト工程完遂には至らなかった。しかしながら、このプロセスでの経験は設計書の重要性を意識させる動機づけとして役立つものとなった。

その後、プロセス1-2として、これまでに発生したバグとその対処から、前年度の設計書の見直しを行った。受講者は設計品質の向上について理解し、これを意識した修正作業を行った。これらの学習活動の成果として、分析/プロセス1-1/プロセス1-2の各工程で評価対象となる各種ドキュメントが出力される。

4.2.2 V字型モデル

「組み込みシステム開発実習」後半のV字型モデル側(プロセス2)の全体像を図4に示す。実習課題は、市販されているマイコン搭載扇風機のシステム開発とした。このプロセスで課題とした扇風機には3段階の風量制御に加え、リズム風、自動停止タイマ機能が備わっている。さらに、この市販されていたマイコン搭載扇風機には備わっていなかった機能であるが、本実習用に通信に関わるスキル習得を目的としてリモートコントロール機能も付加した。

指導者が見積もった受講者の開発工数と実習時間数とを考慮し、プロセス2での実習体制

を 1 グループ 5 名 (4 グループ) とした。グループ構成は扇風機システム開発 3 名 (リーダー/操作機能担当/制御機能担当), シミュレータ開発 2 名 (サブリーダー: ユーザインタフェース担当/HEW インタフェース担当) とした。ここでのリーダーとサブリーダーはプロセス 1 でのリーダーとは別の受講者に担当させる。

また, ここでの開発言語は C++ とした。この理由は, 前段の Λ 字型モデルにおいて, ソフトウェアテストやシステムテストへと進むに従い, グローバル変数の多用によるメモリリソースへの影響や, コードの修正による影響範囲がつかみ難く作業効率が落ちるなどの問題に直面していた。これらの経験をふまえ, 情報隠蔽とカプセル化の考え方を実習項目に取り入れる必要があると考えたためである¹¹⁾。これにより, ソフトウェア環境に UML 設計ツール (Enterprise Architect, SparxSystems 社製) を追加した。さらにソフトウェアの設計品質向上の追及を目的として, 扇風機のソフトウェアシミュレータの開発も同時に行われた。このシミュレータ作成のために VisualBasic (Microsoft 社製) を利用した。シミュレータはソフトウェアテスト時に使用させた。

実習手順は V 字型モデルに従う。指導者から与えられるシステム要求仕様の分析から始まり, システムテストまで完遂させる。ここでも成果物としてプロセス 2 の各工程で評価対象となる各種ドキュメントが出力される。

このプロセスの指導では時間内でのシステム開発完遂と設計品質向上の追求が重要となる。そのため, 上流工程におけるテスト設計にも十分な注意を払うよう指導した。特に状態遷移図の設計を中心に, ソースコードへのマッピング, 状態遷移表の活用や全パスの網羅によるテストケース作成などについてはレビュー時以外でも適時に指導を行った。また, ソフトウェアテスト, システムテストにおいては立会検査によりテスト完了を確認していった。その結果, ハードウェア結合など作業工程数は多かったものの全グループが計画通りの時間で全工程を完遂させるに至った。

4.3 改良プログラムの評価

改良プログラムにおける Λ 字型モデルによる実習の各工程の計画時間, 実時間, 主な成果物としてのドキュメント名称とページ数を付録表 9 に, 開発課題における各機能のプログラムサイズと総行数を付録表 10 に示す。また, V 字型モデルによる実習の各工程の計画時間, 実時間, 主な成果物としてのドキュメント名称とページ数を付録表 11 に, 開発課題における各機能のプログラムサイズと総行数を付録表 12 に示す。

4.3.1 受講生からの評価

2008 年度と同様に Λ 字型モデルおよび V 字型モデルそれぞれの実習終了後, 受講生 20

表 6 改良プログラムに対する質問紙調査結果

Table 6 Results of questionnaire research of educational effects for students in revised program.

	Λ 字型モデル(プロセス1-1.1-2)終了時	V字型モデル(プロセス2)終了時
技術要素面	11 件 ・「基本技術を深く理解した」など 基本技術の深化に関すること(4件) ・「開発環境を整えるのが重要」など 実践的な技術に関すること(3件) 他 4件	13 件 ・「シミュレータの作成によりハードウェアリソースなどの 理解が深まったように感じる」など 既習技術の深化に関すること(7件) ・「開発環境の詳細設定は勉強になった」など 実践的な技術に関すること(3件) 他 3件
開発技術面	18 件 ・「仕様書が理解しにくかった」など 仕様書や設計書に関すること(9件) ・「テストの作業の流れを理解した」など テスト作業に関すること(8件) 他 1件	17 件 ・「理解しやすい設計書づくりを意識した」など 仕様書や設計書に関すること(8件) ・「ソフトウェア結合に時間がかかった」など テスト作業に関すること(8件) 他 1件
管理技術面	14 件 ・「工程表通りに進めるのが大変」など 工程計画に関すること(6件) ・「データの整理をしっかりとやればよかった」 などデータの整理に関すること(5件) 他 3件	16 件 ・「作業量の見積もりでき, 工程通りに作業を進めることが できた」など工程計画に関すること(6件) ・「議事録を詳細に取ることが大切である」など データの整理に関すること(5件) ・「プログラム中のコメントやコーディングを解り易いものに した」など開発品質に関すること(5件)
パーソナル スキル	14 件 ・「コミュニケーションの大切さを学んだ」など コミュニケーションに関すること(8件) ・「自分の遅れが全体に迷惑をかけてしまう緊張感 があった」などグループ作業に関すること(4件) 他 2件	15 件 ・「シミュレータ部門との打合せが大切であった」など コミュニケーションに関すること(9件) ・「解らないことも独力で調べ解決できるようになった」など 問題解決に関すること(3件) 他 3件
その他	9 件 ・「はじめての作業なので何から手をつけてよいか わからなかった」など(4件) ・「成果物として完成させることができなかったのが 残念」など(2件) 他 3件	17 件 ・「最後まで完成することができ達成感を得ることができた」 など(7件) ・「スムーズに作業に取り掛かれた」など(4件) ・「オブジェクト指向により変数領域を意識することができた」 など(3件) 他 3件

名全員に対し自由記述による質問紙調査を実施した。そして指導者が回答意見について分類し, 整理したものを表 6 に示す。 Λ 字型モデル終了後には, テスト工程の大変さや重要性, 設計書の分かりやすさに関する意見が多くみられる。また, V 字型モデル実習終了後では, Λ 字型モデルの実習経験を生かした意見が多く, その内容もより具体的となり技術習得の深化がうかがえた。教育プログラム全体を通じた習得状況について, ETSS スキルフレームワークに沿って受講生に自己評価させた。その結果を表 2 の 2009 年度自己評価欄に濃塗りつぶしと薄塗りつぶしにより示す。薄塗りつぶし部分は, 教育目標に対して未達成と評価された項目である。

表 2 の 2009 年度自己評価欄で示された各スキル項目におけるスキルレベルと 2008 年度自己評価欄で示された各スキル項目におけるスキルレベルを比較した場合, 2009 年度自己評価は, 教育目標欄で設定された各スキル項目におけるスキルレベルにより近い結果を示すものとなった。ソフトウェアテスト(主にソフトウェア結合)時に若干手間取った様子が見受けられるが, 前年度に比べテスト項目全般における成果は明らかである。これは Λ V 字

型モデルでの展開を導入した実習の教育効果であると考える。

4.3.2 指導者からの評価

開発技術/管理技術/パーソナルスキルの評価方法は試行プログラムの評価と同様である。技術要素に関しては、定量的な評価の判断材料として実技試験での数値評価結果も加味させた。この評価結果を表 2 の 2009 年度指導者評価欄に濃塗りつぶしと薄塗りつぶしにより示す。

技術要素と開発技術のすべての項目において、試行プログラム実施時の評価結果と比較して目標達成と回答している割合が増加している。特に、ソフトウェア方式設計および詳細設計、プロセスマネージメントの項目での目標達成の割合の増加が顕著である。また、テストに関連する項目では、コード作成とシステムテストで約 90%、ソフトウェアテストでも約 70%以上がほぼ目標達成という評価であった。管理技術とパーソナルスキルについては試行プログラムと同程度と考えられる評価結果である。その中でも、リーダーシップの目標達成の割合は試行プログラム実施時と比較して 10%以上増加した。

4.3.3 第 3 者からの評価

より客観的な立場から第 3 者評価として、企業において技術者のスキル診断を行ってきた経験を持つ技術士からの評価を得た。この評価者は本実習の実施に関わっていないため、評価は V 字型モデル側（プロセス 2）の実習の開発工程で生成された受講生の成果物である各種設計書やテスト仕様書などのドキュメント（表 5 として前出）に対して行うことになる。そのため、評価対象は表 2 の開発技術におけるスキル項目の範囲に限定される。

各受講者の各対象スキル項目に対するスキルレベルは、指導者評価と同様に「未達成」「初級」「中級」の 3 段階による評価を行った。この評価結果を表 2 の最右列に第 3 者評価欄として濃塗りつぶしと薄塗りつぶしにより達成状況として示す。2009 年度の全受講者 20 名のうち 3/4 にあたる 15 名以上の達成状況をもって当該レベルに達成したものと判断し、濃塗りつぶし部分として示した。教育目標に対して未達成と評価された項目は、薄塗りつぶし部分として示される。

その結果、ソフトウェア方式設計に関しては、指導者に比べ低めの評価であるが、その他のスキル項目に関してはほぼ同等の評価とされている。

5. 考 察

5.1 教育プログラム開発における ETSS の有効性

ETSS に基づく教育内容の整理により、本校での教育目標や、従来型教育の問題点などを

明確化できた。さらに、試行教育プログラムの設計と改良により、従来との比較から、より効果的な教育訓練プログラムを具体化することができた。これにより、短期間で実践的な技術者を養成することが求められる職業能力開発の場においても ETSS を利用することの有効性が示されたと考える。

5.2 再設計プログラムによる教育成果

今回導入した新たな実習では、当初想定していなかった技術要素面にも大きなスキルアップが確認された。これは実製品を実習課題としたことによる既習技術の深化である。

改良した教育プログラムの実施では、試行プログラムにおいて課題となったテスト工程の達成度向上、システム開発工程のイメージ作りに対しほぼ対処できたものと考えられる。これは、教育訓練時間を考慮した実習アプローチおよびツールや開発対象などの教材選定による複合的な効果が起因している。特に、制限された時間内で効果的な教育訓練を施すのに AV 字型モデルによる実習アプローチは有効であった。このモデルの実施に際しては、試行プログラム導入のような戸惑いは少なくスムーズな実習導入が可能であった。課題の開発規模を小さくし、開発全体を見通せるようにしたことも実習の実施に対して効果的に機能した。これらの結果としてシステム完遂までの工程を経験させることができた。

さらに、技術要素に関しても、改良プログラムでのスキル向上は著しい。これはシミュレータの作成やオブジェクト指向の導入が、開発プロセスを有機的に関連し、システム開発におけるテスト工程の効率化だけでなくスキル向上にも効果的であったことが、受講生からのアンケートからも読み取れる。これらの結果から、改良した教育プログラムの導入が受講者の目標スキル達成へ貢献したと考える。

6. おわりに

本論文では、職業能力開発校における組み込み技術者の教育プログラムの開発と評価について述べた。本校で実施した組み込み技術教育プログラムは短期間で実践的な人材を育成するという目的のもとに設計されたものである。AV 字型モデルの実習プロセスはこの目標を達成するための有効な手段であった。本技術教育プログラム開発の基となった ETSS は、職業人だけでなく職業能力開発校においても十分に有効に機能しうることが示された。

今後は、今回提案した教育プログラムに対する企業からの評価についても検証を行い、本教育プログラムのさらなる改良を目指すものである。

参 考 文 献

- 1) 経済産業省：組み込み技術者教育ベストプラクティス集．<http://sec.ipa.go.jp/reports/20070607/ebtrainbp20070612.pdf> (2010/02/15 アクセス)
- 2) 沢田篤史，小林隆志，金子伸幸，中道 上，大久保弘崇，山本晋一郎：飛行船制御を題材としたプロジェクト型ソフトウェア開発実習，組み込みシンポジウム 2008 論文集，pp.5-14 (2008).
- 3) ET ロボコン実行委員会：ロボットレースによる組み込み技術者養成講座，毎日コミュニケーションズ (2008).
- 4) 厚生労働省職業能力開発局編：職業能力開発促進法 (2002).
- 5) 厚生労働省：厚生労働省令第六十一号，別表第六の十六「電子情報制御システム系」(2008).
- 6) 独立行政法人情報処理推進機構：組み込みスキル標準 ETSS2007．<http://sec.ipa.go.jp/ETSS/files/ETSS2007.20070903.pdf> (2010/02/15 アクセス)
- 7) 独立行政法人情報処理推進機構：組み込みスキル標準 ETSS2008．<http://sec.ipa.go.jp/ETSS/files/ETSS2008.20081028.pdf> (2010/02/15 アクセス)
- 8) 独立行政法人情報処理推進機構ソフトウェア・エンジニアリング・センター：組み込みスキル標準 ETSS 導入推進者向けガイド，毎日コミュニケーションズ (2008).
- 9) 花田収悦：ソフトウェアの仕様化と設計，日科技連 (1986).
- 10) 中央職業能力開発協会：職業能力評価基準情報処理技術者 (06)—システムエンジニア (061) に関する評価基準—ソフトウェア設計．<http://www.hyokka.javada.or.jp/data/s/01701002005.doc> (2010/02/15 アクセス)
- 11) SESSAME WG 2：組み込みソフトウェア開発のためのオブジェクト指向モデリング，翔泳社 (2006).

付 録

A.1 試行プログラムの内容および開発規模

3.3 節に示した試行プログラムの内容を表 7 に，開発規模を表 8 に示す．

A.2 改良プログラムの内容および開発規模

4.3 節に示した改良プログラムにおける Λ 字型モデル実習の内容を表 9 に，開発規模を表 10 に示す．また，V 字型モデル実習の内容を表 11 に，開発規模を表 12 に示す．

表 7 試行プログラムの内容

Table 7 Educational content of trial program.

工 程	計画時間	実時間	主な成果物 (括弧内はドキュメントのページ数)
分析・計画	10hr	10hr	プログラム見積書(12p), 設計書確認書(16p), 作業工程表(6p)
設計	74hr	92hr	外部設計書(69p), 内部設計書(104p), プログラム設計書(73p), テスト仕様書(92p)
実装・テスト	40hr	42hr (テスト途中で終了)	ソースコード(表8参照), 単体テスト結果報告書, 結果報告(104p)
ソフトウェアテスト	12hr	—	—
システムテスト	8hr	—	—

ドキュメントのページ数は 4 グループの平均値．

表 8 試行プログラムでの開発規模

Table 8 Development size of trial program.

区 分	サイズ (byte)	総行数
共通機能	26,577	1,107
操作機能	22,658	898
制御機能	16,243	520
データ収集	68,958	2,650

サイズと総行数は 4 グループの平均値．

表 9 改良プログラムの Λ 字型モデル実習の内容

Table 9 Educational content of Λ -formation part in revised program.

工 程	計画時間	実時間	主な成果物 (括弧内はドキュメントのページ数)
分析・計画	10hr	10hr	プログラム見積書(12p), 設計書確認書(16p), 作業工程表(6p)
実装・テスト	42hr	44hr	ソースコード(表10参照), 単体テスト結果報告書(99p)
ソフトウェアテスト	16hr	20hr	ソフトウェアテスト結果報告書(17p)
システムテスト	10hr	4hr (途中で終了)	システムテスト結果報告書(5p)
設計書修正	30hr	30hr	外部設計書(71p), 内部設計書(105p), プログラム設計書(74p), テスト仕様書(92p)

ドキュメントのページ数はグループの平均値．

表 10 改良プログラムの Λ 字型モデル実習の開発規模

Table 10 Development size of Λ -formation part in revised program.

区分	サイズ (byte)	総行数
共通機能	26,597	1,096
操作機能	22,886	879
制御機能	16,062	537
データ収集	67,645	2,675

サイズと総行数は 5 グループの平均値。

表 11 改良プログラムの V 字型モデル実習の内容

Table 11 Educational content of V-formation part in revised program.

工程	計画時間	実時間	主な成果物 (括弧内はドキュメントのページ数) 上段: 扇風機システム開発 下段: 扇風機シミュレータ開発
	上段: 扇風機システム開発 下段: 扇風機シミュレータ開発	上段: 扇風機システム開発 下段: 扇風機シミュレータ開発	
分析・計画	20hr	20hr	作業工程表(6p), プログラム見積書(4p), ソフトウェア要求仕様書(9p)
	26hr	26hr	作業工程表(6p), ハードウェア設計書(12p), プログラム見積書(4p), ソフトウェア要求仕様書(8p)
設計	36hr	36hr	外部設計書(12p), 内部設計書(15p), プログラム設計書(15p), テスト仕様書(34p)
	30hr	30hr	外部設計書(12p), 内部設計書(13p), プログラム設計書(13p), テスト仕様書(27p)
実装・テスト	40hr	38hr	ソースコード(表12参照), 単体テスト結果報告書(24p)
	30hr	30hr	ソースコード(表12参照), 単体テスト結果報告書(17p)
ソフトウェアテスト	8hr	10hr	ソフトウェアテスト結果報告書(5p)
	8hr	10hr	ソフトウェアテスト結果報告書(4p)
ハードウェア製作/ ハードウェアテスト	10hr (シミュレータ側のみ)	8hr	扇風機制御ボード, ハードウェアテスト結果報告書(6p)
システムテスト	4hr (共通で実施)	4hr	システムテスト結果報告書(6p)

ドキュメントのページ数は 4 グループの平均値。

表 12 改良プログラムの V 字型モデル実習の開発規模

Table 12 Development size of V-formation part in revised program.

区分	サイズ (byte)	総行数	
	共通機能	8,762	467
扇風機システム	操作機能	11,971	558
	制御機能	6,875	386
	HEWインタフェース	13,130	352
扇風機シミュレータ	ユーザインタフェース, その他	10,020	315

(平成 22 年 2 月 26 日受付)

(平成 22 年 9 月 17 日採録)



榮 智徳

2010 年信州大学大学院工学系研究科修了・工学修士・2005 年より茨城県立産業技術短期大学校講師・職業能力開発施設における情報技術の教育訓練に従事。



香山 瑞恵 (正会員)

信州大学工学部准教授・博士(工学)・電気通信大学大学院助手, 専修大学助教授を経て, 2007 年より現職・研究テーマは学習支援工学・特に, 知識処理, 協調技術, 教育工学の研究に従事・著書には「人工知能と教育工学」・教育システム情報学会評議員・電子情報通信学会, 日本人工知能学会, 日本教育工学会等の各会員。



伊東 一典 (正会員)

信州大学工学部教授・工学博士・長野工業高等専門学校助手, 信州大学工学部助手, 助教授を経て, 2005 年より現職・1998 年~1999 年デンマークオールボー大学客員研究員・音響情報, 生体情報の計測処理およびヒューマンインタフェースの研究に従事・電子情報通信学会, IEEE, 日本音響学会, 日本生体医工学会, ヒューマンインタフェース学会, 日本人間工学

会等の各会員。