

専門科目と連携した課題実験による組み込みシステム教育の実践

Practice of Embedded System Education by Student Experiment in Cooperation with Subject

五味 悠一郎[†] 関 弘翔[†] 平山 雅之[†]
 Yuichirou Gomi Hiroto Seki Masayuki Hirayama

1. はじめに

さまざまな機械や機器などに組み込まれて、その制御を行い、ある機能を実現するコンピュータシステムを組み込みシステムという。現代社会において組み込みシステムは、炊飯器や洗濯機などの家電機器から、自動車や航空機などの運輸機器、ロケットや工業用ロボットに至るまで多様な分野で活用されている^{[1][2]}。

前述の組み込みシステムの活用分野の多様性から、組み込みシステムに対する要求も多種多様なものとなる。そのため、ある一つの組み込みシステムは、ある要求を実現した機能に特化しており、他の要求や機能を実現する組み込みシステムとは形態も開発方法も異なる。また、組み込みシステム開発はソフトウェアが動作するハードウェアが限定的であり、使用できるハードウェア資源に強い制約がかかる中で、リアルタイム OS (RTOS) 上で動作し、高信頼性を実現する必要がある。このため、要求される組み込みシステムを開発するためには、ソフトウェアだけでなく、ハードウェアに関する知識や技術および発生する動作や現象の理解力が求められる。

以上のような特徴を持つ組み込みシステム開発は煩雑で、学習の難易度も高く、学校教育における組み込みシステム教育には、講義や実習などの取り組みに工夫が求められている。

1.1 組み込みシステム教育の現状

経済産業省が発表する 2010 年版組み込みソフトウェア産業実態調査報告書では、経営者・事業責任者が選ぶ政府の重要な施策として「組み込みソフトウェアの開発を担う人材の育成」が最も多く挙げられている^[3]。また、独立行政法人情報処理推進機構がまとめた組み込みソフトウェア産業の現状と課題に関する報告の中でも、重要と考える政府施策の 2006 年から 2012 年までの推移を見ると、割合は変化するものの 7 年連続で「組み込みソフトウェアの開発を担う人材の育成」がトップを占めている^[3]。

ここで、経済産業省が調査した、企業側から学校教育への要望として学校で強化してほしい教育分野を見ると、技術者個人向け調査および経営者・事業責任者向け調査のどちらにおいても、上位から順に「組み込みシステム」「コミュニケーション/プレゼンテーション」「情報処理技術」「ソフトウェア設計」「システム要求分析・方針設計」という項目が挙がっており、組み込みシステム教育の充実化が求められている^[4]。このなかで、「コミュニケーション/プレゼンテーション」が 2 番目に高くなっているのは注目すべき点である。これは、組み込みシステム開発はグループやチームでの作業が中心になることから、円滑なシステム開発のために、技術者のコミュニケーション能力が求められているためと考えられる。

また、学校教育で有効と思われる技術者教育方法を見ると、技術者個人向け調査および経営者・事業責任者向け調査のどちらにおいても「プロジェクトベース演習」「企業との共同プロジェクト」「企業実習」という項目が上位を占めており、講義だけでなく、より実践的な形態での学校教育が求められている^[4]。このことは、先にも述べたとおり、組み込みソフトウェア開発では現実世界で発生する動作や現象の理解が求められることに起因すると考えられ、講義科目など、いわゆる座学のみによる技術教育の限界が表面化している。

このような背景をもとに、組み込みシステム開発の教育手法として、近年では企業や学校を問わず ET ソフトウェアデザインロボットコンテスト (ET ロボコン)^[5]など、コンテストへの参加を通じた教育や実習が注目されている^{[6][7][8]}。

1.2 初級組み込みシステム教育へのアプローチ

コンテストを活用した PBL (Project Based Learning) などによる組み込みシステム教育の目的は、高度な問題解決力を身に着けたり高度な組み込みシステムの開発力を身に着けたりなど、比較的高度な目標になりがちである^[7]。そのため、主な対象は数年の実務経験のある人材^[6]や大学院生レベルの人材^[7]となり、ある程度限られた人材のスキルアップに有効な教育になると考えられる。学部 3、4 年生レベルの人材を対象とした取り組みもあるが、教育目的は「試行錯誤の能力」や「協調して開発する能力」など、パーソナルスキルの習得に重きが置かれており^[8]、初級組み込みシステム教育としての役割は軽視されがちである。

このように、現在の組み込みシステム教育は PBL など実習をベースとしたものがほとんどであり、課題実験をベースとした組み込みシステム教育の取り組みはあまりない。文献 [9]、[10] においては課題実験や演習をベースに、座学とリンクした取り組みをしているが、対象に大学院生や社会人を含んでおり、学部の 1 年生を対象とするような初級組み込みシステム教育に関するものではない。

一方、日本大学理工学部応用情報工学科 (以下、本学科) で情報工学を学ぶ学生は、ハードウェアを苦手とする学生が多く、実データや現象の観察力が弱いことが履修科目や 2 年生までの実験レポートから分かっている。背景として、高等学校で物理を履修しなかった学生が多く、慣れ親しんだ情報端末に対する興味で情報系学科を選択していることが挙げられる。こうした学生はソフトウェア開発のイメージだけで進学してくるが、卒業後の就職先ではハードウェアと関連する業務に就く可能性が高く、意識面でも技術面でもギャップを埋める必要がある。

以上のことから我々は、組み込みシステムの初級教育として、組み込みシステムへの関心向上や基本要素技術の理解促進ならびにグループワークと実験報告 (レポートおよびディスカッション) を通じた技術者としてのコンピテンシー

[†] 日本大学, Nihon University

向上を目的に、専門科目(座学)と連携した課題実験による組み込みシステム教育を実践した。

課題実験で扱うテーマと座学の内容をリンクさせることで、座学で学んだ内容を実践する場として実験を設置でき、実際の機器を用いた動作や現象の観察および理解を通して、組み込みシステムの理解促進が図れるようになる。また、課題実験の性質上、複数人のグループで実験を行い、相互に協力および分担しながら進行する必要がある、終了後には実験報告も必須となることから、これらの作業を通して技術としてのコンピテンシーも養われるものと考えられる。

以降、第 2 章で、対象とする課題実験の基本的なスキームについて述べ、第 3 章で、実験内容の設計方針および実験内容を説明する。第 4 章で、実験内容の評価方法について述べた後、第 5 章で、評価結果をまとめる。第 6 章で、得られた評価結果や実験の実施状況について考察し、最後に第 7 章で本論文をまとめる。

2. 実験スキーム

2.1 実験テーマと座学の連携

情報工学実験 III (以下、本実験)は、本学科 3 年生の科目である。本学科では、情報処理、ネットワークシステム、組み込みシステム、の 3 分野の教育研究に取り組んでいる。実験テーマは 3 分野との対応を意識し、ネットワーク、組み込みシステム、マイコン、ソフトウェアと回路設計、の 4 テーマとした。各テーマは 5 回の実験を含み、前半 2 回と後半 3 回に分けて学生は実験レポートを作成し、個々の学生は最終的に 8 つの実験レポートを完成させる形式とした。組み込みシステムの構成は、

前半) 4 輪カート

- ① 組み込みシステム構造・特徴の理解
- ② マイコン動作の理解

後半) 電気ポット

- ③ 組み込みシステムの設計
- ④ 組み込みシステムの実装
- ⑤ ソフトウェアの品質・信頼性の確認

とした。

いずれの実験においても、専門科目とリンクするようにしている。組み込みシステムについては、本学科に設置されている「計算機工学 I・II」「組み込みシステム I・II」「ソフトウェア工学」の専門科目と連携している。各科目と組み込みシステムの実験内容との関連は以下のとおりである。

1) 計算機工学 I・II

- 計算機の基本動作
 - ・クロックサイクル・・・前半②
 - ・割り込み・・・前半②
- 計算機の要素技術
 - ・メモリ・・・前半①
 - ・タイマカウンタ・・・前半①
 - ・PWM(Pulse Width Modulation)・・・前半①
 - ・センサ・・・後半①②
 - ・ノイズ処理・・・後半①②

2) 組み込みシステム I・II

- ・状態遷移・・・後半①
- ・RTOS(Real Time OS)・・・後半②
- ・タスク設計・・・後半②

3) ソフトウェア工学

- ・テスト技術・・・後半③
- ・不具合管理・・・後半③
- ・要求分析および理解・・・後半①

2.2 実験の基本スキーム

本実験では、実験による実体験を通じた基本知識の定着効果を考慮し、図 1 に示すような基本スキームを設定して運用している。

1) 事前学習による知識確認フェーズ

実験では 2.1 節に示すような、組み込みシステムを作り上げるうえでの基本要素技術を取り上げている。これらは座学の授業内でも詳細に解説がなされているものの、学生の学習態度としては受け身になりがちである。このため、自分たちの課題として認識し、実験で取り扱う知識を再度確認することを目標に、実験の着手前に、それぞれの実験項目についての予習項目を指定し、予習レポートとして提出をさせるようにしている。

2) 実験実施フェーズ

実験は実験テキストをベースに、事前学習で作成する予習レポートなども参考にしながら自主的に進めることを基本としている。教員や TA(Teaching Assistant) は学生達の自主的な作業や検討に対して、アドバイスをする役割に徹している。大学の授業としての実験の多くは、予め設定された手順に作業を進めていくことを基本とする場合が多いが、本実験では学生たちが自ら作業を組み立てていくことを特徴の一つとしている。

3) 実験確認フェーズ

一連の実験が終了すると、実験に対するディスカッションを行う。ディスカッションは、実験当日に行うグループ内ディスカッション(学生間)とグループディスカッション(教員と複数学生)、および後日行う個別ディスカッション(教員と学生個人)の 3 段階で実施している。これらのディスカッションでは、

- ・実験に対してどのように考え取り組んだか
- ・どのような実験結果やデータが得られたか
- ・実験結果やデータをどのように理解・解釈するか

などを徹底的に議論する。議論の過程で、学生達は自分たちの実験の組み立てや結果の解釈に対するの適否などを考えることができる。

4) 実験まとめフェーズ

実験結果や前述したディスカッションを基に、実験に関するレポート作成を行わせる。この実験レポートでは、自分たちの実施した実験がどのようなもので、どのような結果が得られたかを、第三者に的確に伝えるための能力を育成するという観点から教員による添削指導を行っている。

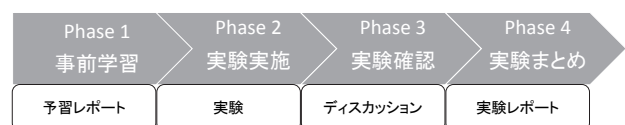


図 1 実験の基本スキーム

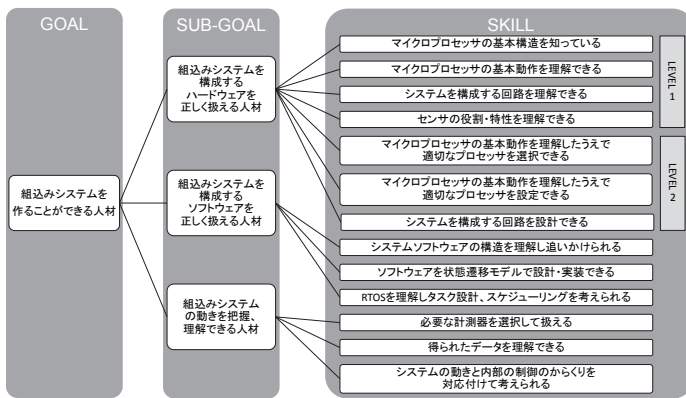


図 2 組込みシステム教育のゴールツリー

3. 実験内容の設計

3.1 設計方針

本実験は 2.1 節に示したように、計算機工学（ハードウェア）や組込みシステム、ソフトウェア工学などの授業との連携を意識した位置づけになっている。この中で、どのような知識やスキルを、実験を通して定着させていくかを慎重に検討しておく必要がある。このため、実験内容の詳細な設定の前段階で、図 2 に示すようなゴールツリーを検討し、組込みシステム技術者に求められるスキルや技能・知識を整理して、この中から、実験で扱うべきテーマを具体化していった。

3.2 実験内容

組込みシステムに関する全 5 回の実験のうち、前半 2 回では簡易な 4 輪カートを題材として、組込みシステムの基本構造や計算機（マイクログロッサ）の動作特性などを理解させる。また、後半 3 回では簡易な電気ポットを題材に、多くの組込みシステムで利用されている状態遷移モデルを基本とした組込みソフトウェアの設計と実装、ならびにシステムのテスト方法などを体験させる。

1) 組込みシステムの基本構造と動作の理解

前半 2 回の実験で利用する 4 輪カートは、モータ制御部と走行状態計測部という独立した 2 つのユニットから構成され、それぞれ別個の MPU を搭載し、MPU 間はバスで接続する形態をとっている。また、計測ユニットは USB を介して、システム外部の PC と接続可能となっており、走行状況データを PC 側に転送することで、データ処理を可能にしている。このような構成の実験キットを利用して、図 3 に示す内容の実験を行う。実験を通して学生たちは、組込みシステムで多用されるモータ制御の原理や PWM といった基本事項を理解したうえで、PWM 値を変化させ、その際のシステム（4 輪カート）の動作を観察し、システム内の処理との対応付けを考えることができる。同時に、システム内外のバスを介したデータ転送の仕組みやメモリ容量との関係、転送速度などについても同様に様々な設定を行うことで、組込みシステムの基本構造や動作について、体験を通した理解をすることができる。更に組込みシステムで重要となる MPU のクロックサイクルなどを変更することで、同一の PWM 値であってもシステム動作に違いが生まれることなども理解することができる。

組込みシステムと計算機 1 (前半①)

1. 目的とねらい
 計算機を中心に構成されるシステムを開発するうえでは、利用する計算機の特性を理解、把握することが必要である。この実験では多くの組込みシステムで利用される Microchip 社の PIC マイコンを利用した簡易なシステムを題材に、計算機（マイクログロッサ）の特性や性能を計測し、それがシステムの動作にどのような影響を及ぼすかを検証する。

2. 学習課題
 1) PIC マイコンを利用した組込みプログラム開発の手順について調べ整理しておく。
 2) DC モータのマイコンによる制御方法についてモータドライバも含めて調べ整理しておく。
 3) PWM について調べ整理しておく。
 4) モータの回転数が 50rpm の場合に得られるカートの走行速度を試算しておく。

3. 実験方法
 1) 着手前確認
 ① 付録の回路図を参考に、回路構成を確認、理解する。
 ② 付録のソースコードリストを参考に、ソフトウェアでどのような制御をしようとしているかを確認、理解する。
 2) 実験
 ① プログラムのローディングとキット基本動作の観察
 ② 走行状況の確認
 ③ モータ出力の直接観察
 ④ PWM 設定値の変更
 ⑤ 速度計測のタイミングの変更

4. 結果の整理
 1) オリジナルプログラムのクロック設定値、速度計測用の割り込み周期、モータ駆動制御の PWM
 2) 上記条件で動作させた場合の、時間-走行速度、走行距離のグラフおよびモータドライバの入力電圧パターン、出力電圧パターン
 3) モータ駆動制御 PWM 値の変更後の値と、その際の時間-走行速度、走行距離のグラフ
 4) 速度計測用割り込み周期の変更後の値と、その際の時間-走行速度、走行距離のグラフ

5. 考察事項
 1) PWM 設定値とモータ駆動制御動作の関係について考察する。
 2) 割り込み周期の違いによる速度計測値の値変化について考察する。
 3) キットは、実験中に特定の条件が組み合わさると、正しく動作しない場合がある。実際に実験でそのような状況になったグループは、その原因について、付録のシステム仕様なども参考に、組込みシステムがもつ特性の観点から考察する。

組込みシステムと計算機 2 (前半②)

1. 目的とねらい
 前半①の実験に引き続き計算機の特性を理解する。この実験では、計算機の特性の中でも最も重要なクロックサイクルについて理解するとともに、計算機の命令セットの違いによるプログラムの移植性の問題を考える。

2. 学習課題
 1) PIC マイコンと R8 マイコンの違いを調べ確認しておく。
 2) PIC マイコンについて、制御プログラム内の CONFIG 内でクロックサイクルを指定する方法を調べ確認しておく。

3. 実験方法
 1) 着手前確認
 ① 付録の回路図を参考に、回路構成を確認、理解する。
 ② 付録のソースコードリストを参考に、ソフトウェアで PIC のクロックサイクルをどのように指定しているかを確認、理解する。
 2) 実験
 ① クロックサイクル変更によるキット動作への影響の観察
 ② 走行状況の確認
 ③ モータ出力の直接観察
 ④ プログラムの移植

4. 結果の整理
 1) オリジナルプログラムのクロック設定値、速度計測用の割り込み周期、モータ制御の PWM
 2) 上記条件で動作させた場合の、時間-走行速度、走行距離のグラフ、モータドライバの入力電圧、出力電圧のパターン
 3) モータ駆動制御用 MPU のクロックサイクル変更値と、その際の時間-走行速度、走行距離のグラフ
 4) モータ駆動制御用 MPU のモータ制御ソフトウェアについて、PIC 用と R8 用の違いを確認し、どのような点を変更しなければならぬかを整理する。

5. 考察事項
 1) 利用するマイクログロッサのクロックサイクルとモータ制御動作の関係について考察する。
 2) 異なるマイクログロッサへのプログラム移植の際に考慮すべき点を整理考察する。

図 3 前半（4 輪カート）の実験内容

2) 組込みシステムの設計・実装およびソフトウェア品質・信頼性の確認

後半 3 回の実験で利用する電気ポットは、温度制御・計測用の MPU を 1 つ搭載しており、デバイスとして温度計、水位計および加熱ヒータが接続された形態をとっている。MPU 上にポーティングされた RTOS を利用し、イベントドリブン型の制御モデル（状態遷移モデル）で設計された電気ポット制御ソフトウェアが、RTOS 上で動作するマルチタスクプログラムの形で実装されている。このような構成の実験キットを利用して、図 4 に示す内容の実験を行う。実験を通して学生たちは、組込みシステムで多用される状態遷移モデルによる制御の原理や RTOS、タスクスケジューリングといった基本事項を理解したうえで、タスクの優先度を変化させ、その際のシステム（電気ポット）の動作を観察し、システムの挙動との対応付けを考えることができる。同時に、与えられたシステム仕様を基に実装されているシステム状態遷移の整理や、過不足機能を考慮したシステム設計および実装を行うことで、組込みソフトウェアの設計や実装について、体験を通した理解をすることができる。更に、組込みシステムで重要となるシステムテストに必要なテスト項目設計およびテスト実施を行うことで、

<p>状態遷移モデルによる組込みシステム開発 1 (後半①)</p> <p>1. 目的とねらい 組込みシステムでは、システムを構成する様々なデバイスや制御対象の状況などによって決定されるシステム内部状態と各内部状態における発生事象(イベント)によって引き起こされる状態の遷移をもとにしたイベントドリブン型の制御モデル(状態遷移モデル)が多く利用される。また、このようにして設計されたソフトウェアはマイクロプロセッサ上にポーティングされたリアルタイム OS を利用し、その上で動作するマルチタスクプログラムの形で実装される。この実験では組込みシステムに対する状態遷移設計の考え方を理解するとともに、リアルタイム OS 上のマルチタスクプログラミングについても理解を深めることを目的とする。</p> <p>2. 予習課題 1) 状態遷移モデルの基本的な考え方と表現方法を調べ整理しておく。 2) リアルタイム OS としての FreeRTOS の利用方法を調べ整理する。特にタスク優先度などの概念を調査し理解しておく。</p> <p>3. 実験方法 1) 着手前確認 ① 付録に示す回路図を参考に、回路構成を確認、理解する。 ② システムに実装してある電気ポット制御ソフトウェア(Type-A)は、電源 ON すると待機状態になり、待機状態において「沸かしボタン(決定 SW)」が押されると沸かしモードになる仕様となっている。 2) 実験 ① ハードウェアデバイスの特性を把握する ② システムの挙動の確認とシステム状態遷移の整理 ③ 状態遷移プログラムの設計 ④ マルチタスクプログラムとしての実装設計</p> <p>4. 結果の整理 1) システムの状態遷移図 2) システムがどのような処理や制御を順次行っていくかを示す処理フロー(フローチャートなどで整理する) 3) 上記の処理を実現するためのプログラムがどのようなモジュールから構成され、それぞれがどのように関係(呼び出しなど)になっているかを表すプログラム構造図</p> <p>5. 考察事項 1) 電気ポット制御ソフトウェア(Type-A)を用いた場合の、システムの状態遷移上の過不足について検討する。 2) RTOS のタスク優先度について、このシステムの場合、なぜ、当初のようなタスク優先度に設定してあったかも含めて、タスク優先度の設定の考え方について検討する。</p>
<p>状態遷移モデルによる組込みシステム開発 2 (後半②)</p> <p>1. 目的とねらい システム仕様から状態遷移モデルを用いてシステム動作設計を行い、それをマイクロプロセッサ上のプログラムとして実装する。</p> <p>2. 予習課題 特になし。</p> <p>3. 実験方法 1) 着手前確認 電気ポットの制御システムの仕様を確認しておく。また、基板上の PIC マイコンにプログラムを書きこめるよう準備しておく。なお、PIC 用のプログラムのエディット、コンパイルビルド、および PIC へのプログラムインストール方法は、付録を参考のこと。 2) 実験 Type-A プログラムリストに掲載されているソフトウェアでは、「沸かしモード」のみが実装されている。このソフトウェアに「保温モード」に関する機能仕様を追加する。 ① システム最上位レベルの状態遷移図の作成 ② モード遷移部分のプログラム変更 ③ 保温モード内の状態遷移図の作成 ④ 保温モードの実装</p> <p>4. 結果の整理 今回のシステム機能追加の際に、問題となった点を各班で整理する。</p> <p>5. 考察事項 解決方法について検討する。</p>
<p>状態遷移モデルによる組込みシステム開発 3 (後半③)</p> <p>1. 目的とねらい 状態遷移モデルで設計されたシステムについて、システムテストを行う場合のテスト項目設計、テスト実施、テスト十分性評価や不具合管理の方法を習得する。</p> <p>2. 予習課題 1) ソフトウェアテスト項目の作成方法を調べ整理しておく。 2) テスト項目作成からテスト実施、不具合管理までのテスト作業に関する一連の基本動作を調べ整理しておく。 3) テスト十分性評価の考え方を調べ整理しておく。</p> <p>3. 実験方法 1) 着手前確認 特になし。 2) 実験 ① システムテストの準備 ② テスト項目の十分性評価 ③ システムテストの実施 ④ テスト結果の評価 ⑤ 不具合の修正(時間的に余裕がある場合、興味がある場合)</p> <p>4. 結果の整理 1) テスト対象部分の仕様(状態遷移図などで記述) 2) テスト項目表 3) バグシート 4) テスト対象部分のステップ数、データ数など計数データ 5) テスト項目数、不具合項目数などのテスト関連の計数データ</p> <p>5. 考察事項 1) ソフトウェアのテストにおける対象プログラム(システム)の規模や複雑さとテスト項目密度、バグ密度の関係を調べ、今回、実験で行ったテストの十分性について、これらの一般的な基準数値(自分たちで調べる)と比較し考察する。 2) 実験対象部分のソースコード(Type-B)を参考に、今回実施したテスト項目でどの程度のテストカバレッジ(C0,C1)が達成されているかを計算し、一般的な C0,C1 カバレッジの基準値と比較するなどして、プログラム内の論理構造に関する確認の十分性の観点から考察する。 3) 今回のテスト結果を基に、Type-B ソフトウェアを実装したポットのシステムとしての安全性について考察する。</p>

図 4 後半(電気ポット)の実験内容

テスト十分性評価や不具合管理の方法を理解することができる。

4. 実験内容の評価

実験内容の評価は、組込みシステム後半の実験を終了した学生を対象に、個別ディスカッション日にアンケートを実施することで行った。アンケートの回収率を上げ、他授

業との関連も取れるように記名式とした。アンケートの設問は以下のとおりである。設問 9 のみ複数選択可とし、それ以外は択一とした。

- 1) 4 輪カート/電気ポットの実験を終えて、組込みシステムへの興味はどうか?
- 2) 4 輪カート/電気ポットの実験を通して、組込みシステムの構造や仕組みを理解できましたか?
- 3) 4 輪カート実験の前半は、計算機の CPU の性能などに焦点を当てています。この実験で計算機のクロックサイクルや割込みの考え方などを理解できましたか?
- 4) 4 輪カート実験の後半は、異なるマイコン間でのプログラムの移植について焦点を当てています。この実験で組込みシステムにおけるプログラムの移植についてどう感じましたか?
- 5) 電気ポット実験の初回は、状態遷移に基づくシステム設計に焦点を当てています。この実験で状態遷移モデルをベースにした組込みシステムの動きや考え方を理解できましたか?
- 6) 電気ポット実験の初回は、リアルタイム OS を用いたマルチタスクプログラムの考え方やタスク優先度の理解も目的にしています。これらについて理解できましたか?
- 7) 電気ポット実験の二回目は、仕様を基に状態遷移図を作り、そこからプログラムを考えることを体験することを目標にしています。状態遷移ベースのシステム実装について理解できましたか?
- 8) 電気ポット実験の三回目は、組込みシステムのテスト作業の理解に焦点を当てています。テスト項目の設計やテスト十分性評価などを理解できましたか?
- 9) 4 輪カート/電気ポットの実験で取り上げた内容は、計算機工学 I/II、組込みシステムなどの授業とリンクさせています。授業と実験との関連はどうでしたか?
- 10) 4 輪カート/電気ポットの実験を通して、組込みシステム分野の仕事に興味を持ちましたか?

5. 評価結果

平成 27 年度(初年度)の本実験受講学生 64 名から回答が得られた。設問 8 以降で標本数が減少したのは、アンケート用紙を両面印刷したことにより、裏面の存在に気づかなかった学生がいたためである。

アンケートの各設問に対する選択肢項目を集計した結果を表 1~10 に示す。ここで、設問 9 のその他の理由は、3 年次編入のため 2 年次の授業を履修していない、授業進行の関係で実験が先になってしまった、などであった。

6. 考察

6.1 実験スキームに関する評価

- 1) 予習レポートの効果(事前学習による知識確認フェーズ)

今回設計し実施した本実験は、図 1 に示した実験スキームで組み立てられている。この中で、実験に関係する技術内容を事前に調査するレポートを課している点が特徴の一つである。実験後に実施しているディスカッションでの学生の受け答えや最終的な実験レポートの内容を見ると、予

表 1 設問 1 (組込みシステムへの興味, n=64)

とても興味を持った	6
少し興味を持った	46
あまり興味が持てなかった	10
全く興味が持てなかった	2

表 2 設問 2 (組込みシステムの構造や仕組み, n=64)

大体理解できた	9
少し理解できた	40
あまり理解できなかった	15
全く理解できなかった	0

表 3 設問 3 (クロックや割込み, n=64)

大体理解できた	12
少し理解できた	45
あまり理解できなかった	7
全く理解できなかった	0

表 4 設問 4 (プログラムの移植, n=64)

とても難しい	18
少し難しい	42
少し簡単	3
とても簡単	1

表 5 設問 5 (状態遷移図, n=64)

大体理解できた	22
少し理解できた	36
あまり理解できなかった	6
全く理解できなかった	0

習項目を踏まえての受け答えや考察も多く含まれていた。また、こうした予習レポートの効果は実験全体を通じた各技術項目(表 2~表 8)の理解度の向上にも表れており、実験後のアンケートでは各技術項目ともおよそ 7 割以上の学生が理解できたと回答している。

2) ディスカッションの効果 (実験確認フェーズ)

本実験では、前述したように 3 段階でディスカッションを行なっている。各段階では、5~20 分のディスカッションを行なっており、個別ディスカッションでも 10 分程度のディスカッションを成り立たせることができた。ディスカッションでの学生達の受け答えのレベルは、前半の実験テーマ時にはたどどしかったものが、後半の実験テーマでは、理解が進んだことも相まって、実際に実験で観察された事象について、原因分析などを展開できるまでに成長していた。このことから、複数回の実験でそれぞれ 3 レベルのディスカッションを繰り返していく方式は、学生のディスカッション能力の向上という点から効果が大きいと考えられる。

3) 実験レポートの効果 (実験まとめフェーズ)

学生は組込みシステムの実験では前半、後半の 2 つの実験レポートを作成する。学生が作成した実験レポートは平均で 25 ページ程度であり、組込みシステムの基本技術習得という点からは十分な内容のレポートを提出している学生が多数を占めた。一部の学生は、この実験をきっかけに自ら調査範囲を広げて、最近の組込みシステムで話題となっている技術課題まで掘り下げて 100 ページ近い実験レポ

表 6 設問 6 (リアルタイム OS, n=64)

大体理解できた	18
少し理解できた	32
あまり理解できなかった	14
全く理解できなかった	0

表 7 設問 7 (状態遷移ベースの実装, n=64)

大体理解できた	13
少し理解できた	38
あまり理解できなかった	12
全く理解できなかった	1

表 8 設問 8 (テスト作業, n=61)

大体理解できた	12
少し理解できた	30
あまり理解できなかった	18
全く理解できなかった	1

表 9 設問 9 (授業と実験との関連, n=61)

授業内容と内容が重なっているの、比較的わかりやすかった	27
授業とのつながりが、あまり感じられなかった	8
授業との時期が若干ずれているので、もう少し時期などの調整ができるとよい	22
授業で説明された他の技術についても実験で確認できるとよい	2
その他	4

表 10 設問 10 (組込みシステム分野の仕事, n=61)

とても興味を持った	5
少し興味を持った	29
あまり興味が持てなかった	22
全く興味が持てなかった	5

ートを提出する者もあり、予習やディスカッションなどを組込んだ重層的な実験スキームがレポート能力の向上、ひいては技術者としてのコンピテンシーの向上にも寄与しているものと考えられる。

6.2 実験による技術習得に対する評価

組込みシステムに関する実験は、図 2 に示すゴールツリーを念頭に実験項目を設計し、実施した。ゴールツリーでは「ハードウェアへの正しい理解」「ソフトウェア実装の能力」「システムとしての動作理解」の 3 点を重要な要素として取り上げている。

1) ハードウェアへの正しい理解

ハードウェアの理解は、4 輪カートを利用した前半の実験を中心としている。アンケート評価を確認すると、

- ・表 2 : 組込みシステムの構造や仕組みを理解できた割合が 77%

- ・表 3 : クロックや割込を理解できた割合が 89% となっており、組込みシステムを構成するハードウェア関連の要素技術の理解が進んだといえる (表 2、表 3)。

2) ソフトウェア実装の能力

ソフトウェア実装能力は、電気ポットを利用した後半の

実験を中心としている。アンケート評価を確認すると、

- ・表 5 : 状態遷移図を理解できた割合が 91%
- ・表 6 : リアルタイム OS を理解できた割合が 78%
- ・表 7 : 状態遷移ベースのシステム実装を理解できた割合が 80%

となっており、組込みソフトウェア実装の基礎となる RTOS や状態遷移ベースでシステムを考え実装する最低限のスキルが身に付いていることがうかがえる。さらに、ソフトウェア実装の能力に関して、ソフトウェアの移植性や品質についても、実験内で扱っている。

プログラムの移植性の観点では、プログラムの移植が難しいと回答した割合は 94%であった。開発現場で発生する可能性が高いものの、これまでの学校教育で扱われることが少なかった移植について、その難しさおよび気をつけるべき点などへの理解が進んだといえる(表 4)。また、ソフトウェア品質の観点では、テスト作業を理解できた割合が 69%となっており、多くの学生が、ソフトウェアを開発するに当たりプログラミング終了後のテスト作業の重要性をしっかりと認識したことがうかがえる。

3) システムとしての動作理解

組込みシステムの実験では、前述したハードウェアやソフトウェアそれぞれに対する理解や基礎技術の習得とともに、システムとして全体を把握し、理解する能力にも重きを置いている。実験では学生達はオシロスコープを始めとする様々な計測機器を自分たちで選定して必要なデータを計測し、システムとしての動きやその結果として発生する状況の観察などを行った。実験レポートには、そうして観察された事象とシステム内部の動きを対応付けた考察も多く含まれていたことから、組込みシステムとしての動作把握や理解が進んだものと考えられる。

6.3 組込みシステムへの関心

1) 組込みシステムへの関心

本学科は 3 分野の技術者および研究者の育成に取り組んでおり、学生の興味対象も 3 分野に分かれている。このような状況において、組込みシステムへの関心が増した割合が 81%、組込みシステムに全く関心がない学生が 3%となったことから、本実験によって組込みシステムへの関心が増したといえる(表 1)。組込みシステム分野の仕事への関心が増した割合が 56%となったことと比較しても、他分野に関心がある学生についても、組込みシステムへの関心が増したことが分かる(表 10)。

2) 座学と実験との連携効果

座学と実験の連携についても、ある程度の相乗効果が得られた(表 9)。座学の授業の進行に合わせて実験スケジュールを設定しているが、実験スケジュールの都合上、専門科目で取り扱うよりも早く実験を行う学生がいるため、こうした学生を支援する方策も必要である。

7. まとめ

現在あまり取り組み例のない、学部生の一学年を対象にした初級組込みシステム教育として、専門科目と連携した課題実験を実践し、その評価を行った。今回は情報工学実験 III における組込み関連のテーマを対象として実験のゴールツリーを基に実験内容の設計を試みた。考察でも触れたとおり実験後の分析を見ると、今回適用した実験スキ-

ムとゴールツリーを用いた実験内容の設計は、座学や実習だけでは難しい「組込みシステムへの関心」「組込みシステムの技術理解」「技術者としてのコンピテンシー」の向上に効果があったことが認められる。

一方で、向上を実感できなかった学生も少数ながらいることから、こうした学生を出来るだけ減らしていく必要がある。情報技術分野は組込みシステムから IT システムまで非常に幅が広く、裾野の広がりも大きいため、学生の興味関心の幅も広いことが理由の一つとして推測される。このため IT システム関連についても、今回と同様なアプローチにより、学生たちの興味・関心を引出し、理解力向上につながる実験テーマの設計を進めていく予定である。

また、こうした実験も含めた教育の効果は、受講者たちが過ごしてきた環境や受講前の教育内容やそれらの理解度レベルによっても大きく変化する。このため専門科目との相関なども追跡できる形でアンケートの見直しを図り、引き続きアンケートを実施し経年変化を確認し、効果測定を行う予定である。

謝辞

本実験の立ち上げにご協力いただきました、木原雅己先生、細野裕行先生、加藤隆先生には大変お世話になりました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 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, “組込みスキル標準 ETSS 概説書”, 翔泳社 (2008).
- [2] 経済産業省 商務情報政策局情報処理振興課, “2010 年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書”, (参照 2016-04). http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/downloadfiles/2010software_research/
- [3] 独立行政法人情報処理推進機構 技術本部 ソフトウェア・エンジニアリング・センター, “組込みソフトウェア産業の現状と課題—2011 年度ソフトウェア産業の実態把握調査より—”, (参照 2016-04). <https://www.ipa.go.jp/files/000004015.pdf>
- [4] 経済産業省 組込みソフトウェア開発力強化委員会 組込みスキル標準領域教育部会プロフェッショナル教育検討グループ, “組込みソフトウェア開発力強化推進委員会 組込みスキル標準領域 教育部会 プロフェッショナル教育検討グループ 平成 18 年度活動報告書”, (参照 2016-04). <http://sec.ipa.go.jp/sweipedia/cat1033/catm047/cats047/23152/>
- [5] ET ロボコン 2016 ホームページ (参照 2016-04). <http://www.etrobo.jp/2016/>
- [6] 大原貴都, 八木将計, 深谷直彦, 小川秀人, “組込み製品開発へのソフトウェア開発手法適用に関する一考察 - ET ロボコンを活用した事例 -”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2013-SLDM-160, No.10, Vol. 2013-EMB-28, No.10, pp. 1-6 (2013).
- [7] 久住憲嗣, 細谷晋太郎, 渡辺晴美, 元木誠, 小倉信彦, 三輪昌史, 孔維強, 築添明, 鶴林尚靖, 福田晃, “コンテストを活用した連合型 Project Based Learning カリキュラム”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-SLDM-165, No.34, Vol. 2014-EMB-32, No.34, pp. 1-6 (2014).
- [8] 小倉信彦, 渡辺晴美, “ロボットコンテストを利用した組込み教育の実践”, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No. 10, pp. 3531-3540 (2008).
- [9] 小林敬太, 佐藤賢文, 神戸英利, 三井浩康, “学生を対象とした組込みソフトウェア技術者育成のための HW/SW トレードオフ実験方式”, 日本工学教育協会, Vol. 61, No. 4, pp.36-42 (2013).
- [10] 清尾克彦, 吉田利夫, “複合領域での教育手法をベースとした組込みシステム技術者教育の実践と評価”, 日本工学教育協会, Vol. 59, No. 6, pp.72-78 (2011).