

SSEST: Summer School for Embedded System Technology

Yutaka Matsubara
Nagoya University, Japan
yutaka@ertl.jp

Second Author
Institution2
First line of institution2 address
Second line of institution2 address
SecondAuthor@institution2.com

Abstract

近年、組み込みシステム技術の発展は著しく、次世代ユビキタス社会のカギとなる技術のひとつとなっている。組み込みシステム研究が活発化し、企業の先端技術力も向上する一方で、技術者不足が大きな課題となっている。

我々は、SSEST (*Summer School for Embedded System Technology*) 実行委員会を組織し、組み込みシステム初学者を対象とした組み込みシステム短期学習プログラムを実施している。SSEST 実行委員会は、組み込みシステム技術に関するサマークワックション (SWEST) と連携し、組み込みシステムに関連する研究、開発に携わる修士、博士課程の大学院と、若手技術者が中心となって組織した。

SSEST は、一連の組み込みシステム開発と、複数人数によるグループ開発を通して、組み込みシステムの基礎技術の習得と、学生間、産学間の交流を目的としており、学生、若手技術者の視点から、現在の組み込みシステム教育を考え、独自の教材製作とカリキュラムを設計していることが特徴である。本論文では、2005 年と 2006 年の夏に実施した SSEST の開催概要と実施結果について紹介する。

1. はじめに

近年、組み込みシステム技術の発展は著しく、次世代ユビキタス社会のカギとなる技術のひとつとなっている。日本の大学においては、組み込みシステムをキーワードとした研究が盛んになり、組み込みシステムを専攻コースのひとつとして創設する大学院も増えつつある。さらに、情報処理学会は、組み込みシステム研究会を設立し、産学管で連携した組み込みシステム研究の活性化を目指している。

組み込みシステム研究が活発化し、企業の先端技術力も向上する一方で、技術者不足が大きな課題となっている [1]。我々は、情報工学を専攻する学生の立場から、特に大学における組み込みシステム技術教育に注目している。

近年、複数の教育機関が組み込みソフトウェア技術者教育に取り組んでいる。大学が主体となって進めている教

育プログラムとしては、名古屋大学の NEXCESS [2]、九州大学の QUBE [4] がある。これらの取組みは、基礎教育から専門性を高める高度な先端技術教育まで幅広くカバーしており、大変興味深い教育成果が出ている。しかし、これらの教育プログラムは、学生が受講できない。また、大学の教育カリキュラムとして、組み込みソフトウェア技術コースが、東海大学大学院 [5] に創設されている。

組み込みシステムの学習では、ハードウェアからソフトウェアまで幅広い知識が必要となる。大学の情報工学系のカリキュラムでは時間の制約があるため、幅広い知識を少しずつ学習するか、ハードウェアとソフトウェアのどちらかに重点を置くことが多い。結果として、大学院で組み込みシステムを専攻する場合や、企業で組み込みシステムを開発する場合は、研究、開発を進めながら、必要な知識を補っているのが現状である。

また、組み込みシステム技術者には、ハードウェアやソフトウェアといった枠組みにとらわれず、システム全体を見渡す広い視野と、幅広い知識と技術に裏付けされた問題解決能力が求められる。総合的な問題解決力を身につけるためには、ハードウェアからソフトウェアまでの一連の開発プロセスを実際に経験することが必要となる。また、開発ツールや教育教材の普及によりブラックボックス化されてしまった基礎技術を学習する機会も必要である。

しかし、組み込みシステムの初学者が一連の開発プロセスを経験できる学習機会は、ほとんどないのが現状である。また、大学間や産学間で連携し、学生や若手技術者が交流できる機会も少ない。

そこで、我々は SSEST (*Summer School for Embedded System Technology*) 実行委員会を組織し、組み込みシステム初学者を対象とした組み込みシステム短期学習プログラムを実施している。SSEST は、一連の組み込みシステム開発と、複数人数によるグループ開発を通して、組み込みシステムの基礎技術の習得と、学生間、産学間の交流を目的としている。また、実行委員と参加者が SSEST を通じて、産学越えた議論、問題解決による組み込みシステム開発の面白さを体験することを期待している。

SSEST 実行委員会は、組み込みシステム技術に関するサマークワックション (SWEST) と連携し、組み込みシステ

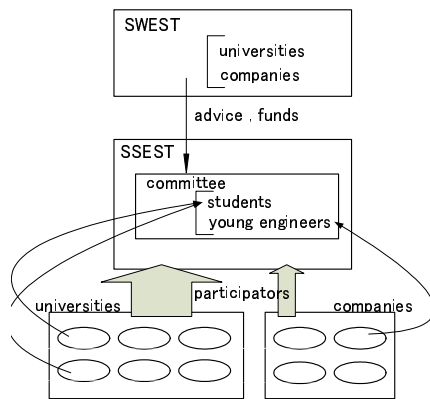


Figure 1. SSEST の位置付け

ムの研究、開発に携わる修士、博士課程の大学院と、若手技術者が中心となって組織している。1. SSESTは、学生、若手技術者の視点から、現在の組み込みシステム教育を考え、独自の教材製作とカリキュラムを設計していることが特徴である。SWESTは、産学連携のワークショップで、7月または8月に毎年開催されている。SWEST実行委員会からは、金銭的援助だけでなく、大学教育者、中級、上級技術者の立場から、学習テーマとカリキュラムの設計に対してアドバイスを頂いている。

本論文では、2005年8月と2006年7月に実施した2回のSSESTの開催概要と実施結果について紹介する。

最後に本論文の構成を述べる。まず、2章で学習内容の整理と、学習教材の構成について述べる。次に、3章でSSESTのカリキュラムについて述べる。4章では、SSESTの実施者と参加者の構成を紹介し、SSESTカリキュラムに対する参加者からの評価結果を述べる。5章で、まとめと今後の課題、計画を述べる。

2. 学習内容

2.1. 目標

組み込みシステム技術者には、ハードウェアやソフトウェアといった枠組みにとらわれず、システム全体を見渡す広い視野と、幅広い知識と技術に裏付けされた問題解決能力が求められる。このような総合的な問題解決力を身につけるためには、ハードウェアからソフトウェアまでの幅広い一連の開発プロセスを実際に経験する機会が必要である。

我々は、具体的に、以下のような内容の基礎的知識を網羅的に学習することが重要であると考えている。

- 回路、センサ、アクチュエータを設計、理解するための電子工学
- マイコン、プロセッサ等の多様な制御コンピュータを扱うためのコンピュータアーキテクチャ工学

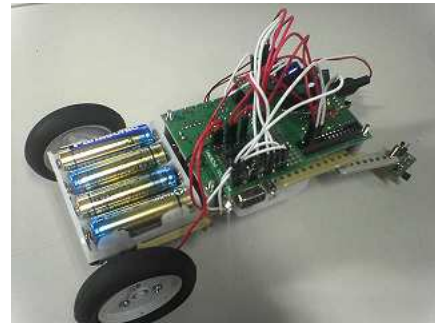


Figure 2. ライントレースカーの外観

- システムの対象を制御するための制御工学
- 基盤ソフトウェア (クロスコンパイラ, リンカ, リアルタイム OS, デバイスドライバ, ライブラリ)
- 組み込みプログラミング (主にアセンブラ, C言語といったプログラム言語)
- 専門の異なる技術者とのコミュニケーション能力
- プロジェクト管理 (グループ開発)

コミュニケーション能力やプロジェクト管理の学習については、座学での学習は困難である。そのため、グループ開発、プロジェクト管理、指導者教育の専門家を招いて、体験型の実習が効果的であると考えられる。

2.2. 学習テーマ：ライントレースカー

近年では、Lego Mindstorm[6]を始めとする教材の普及により、組み込みシステム学習に利用できるロボット教材は豊富に存在する。そのため、初学者は、容易に学習環境を得られるようになった。これらの教材は、情報工学の知識を持たない初学者(中学生、高校生、コンピュータを専門としない大学生など)を対象に、短期間で一連の製作を体験できるよう、学習効率を最優先している。そのため、電子回路の動作原理の学習や、基盤ソフトウェアの構築、クロス開発環境構築といった部分を省略している。

SSESTは情報工学系の学生を対象としているため、出来る限りブラックボックスの領域をなくすことが重要であると考えている。そこで、実行委員会は、学習教材としてのライントレースカーを独自に設計した。ライントレースカーは、コース上のラインに沿って動く車型ロボットである。動作原理は単純で、ラインを検出するセンサからの情報をマイコンで処理し、モータの回転方向、回転速度を制御することでラインに沿って移動する。

設計したライントレースカーを図2に示す。

このライントレースカーを製作する過程で、主に以下の内容を学習すること期待している。

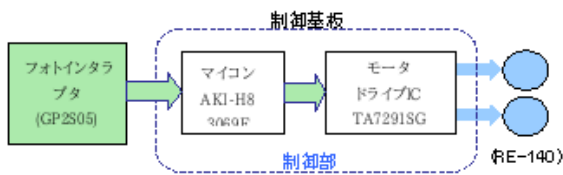


Figure 3. ライトレースカーのハードウェア構成

- 電子回路 (センサ回路, 電源回路, モータ制御回路) 製作
- GNU 開発ツールを用いたクロス開発環境構築と利用
- H8/300H マイコン制御
- ライトレースカーの組立て
- C 言語による組込みソフトウェア開発
- リアルタイム OS 上でのアプリケーション開発

ライトレースカーの製作には、センサ回路、電源回路、モータ制御回路、マイコンなどの電子回路製作、回路と機械部品の組立て、クロス開発環境上での組込みソフトウェア開発など、組込みシステム開発の基礎的な要素が含まれている。製作者は、センサ数やモータ制御アルゴリズムなどを変更することで、自由にライトレースカーを改良できる。

2.3. ハードウェア構成

次に、製作するライトレースカーのハードウェア仕様を表1、構成を図3に示す。ライトレースカーのハードウェアは、ラインを検出するセンサ回路 (検出部)、マイコンボードとモータドライバ回路 (制御部)、タイヤを回転させるモータ (駆動部) で構成される。

マイコンボードには、Renesas 社製 16 ビットマイコン H8/300H を搭載した H8/3069F ボードを採用した。H8/3069F ボードを採用した理由は、安価で入手できるだけでなく、オープンソースのリアルタイム OS がサポートしていること、ユーザ数が非常に多いために情報を提供するウェブサイトが豊富であること、電子部品を自分で基板にハンダ付けするキットが販売されていること、などがある。

2.4. ソフトウェア構成

ライトレースカーを制御するためのソフトウェア構成を図4に示す。ライトレースカーのソフトウェアは、リアルタイム OS、センサドライバ、モータドライバ、制御アプリケーションで構成される。また、図 (開発環境) に示すソフトウェア開発環境を標準とした。近年では、

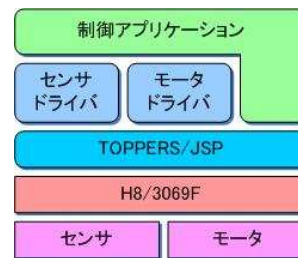


Figure 4. ライトレースカーのソフトウェア構成

容易に高機能なクロス開発環境を構築できるツール製品が存在するが、SSEST では、基本的なクロス開発環境を一から構築することを体験する目的で、GNU 開発環境を採用した。

リアルタイム OS には、 μ TRON4.0 仕様 [7] に準拠した TOPPERS/JSP カーネル [8] を採用している。TOPPERS/JSP カーネルは、TOPPERS プロジェクトが配布しているオープンソースのリアルタイム OS で、自由に利用できる。一般的なライトレースカーは、リアルタイム OS を利用せずにプログラム制御するものも多いが、SSEST では、初学者にとってリアルタイム OS の学習は非常に有益であると考えソフトウェア構成を設計した。

実行委員会は、センサからの入力値を取得するセンサドライバと、設定した値をモータへ出力するためのモータドライバ、簡単な制御プログラムを用意した。参加者は、センサ値の利用方法と、モータの回転方向、速度制御のアルゴリズムを検討し、制御アプリケーションプログラムを開発する。

第2回 SSEST では、第1回 SSEST で設計したライトレースカーを改良し、前輪の装着による移動時の摩擦の削減、電源電圧とギア比変更による移動速度の向上、モータ制御方法の変更などを行った。

3. サマースクールの実施

3.1. スケジュール構成

SSEST は、表2に示すように、事前実習と合宿で構成される。事前実習は、参加者が一人一台製作する個人実習である。合宿は、初対面の参加者が数人でチームを組み、最終日に開催する競技会の課題をクリアすることを目標に、事前実習で製作したライトレースカーを改良する。また、合宿ではグループ開発や競技会だけでなく、組込みシステムの先端技術の開発に携わる技術者から、最新の技術トピックに関する講演も開催する。

3.2. 事前実習

参加者は、事前実習の1ヶ月間で、実行委員会が配布するライトレースカー教材を製作する。事前実習での学習手順を以下に示す。

Table 1. ライトレースカーのハードウェア仕様

本体	外形寸法	80x160x60(mm)
	シャーシ	160x60(mm)
	ギアボックス	タミヤ TM006 ツインモータギアボックス
	モータ	RE-140
制御部	基板	15x25(mm)
	マイコン	AKI-H8/3069F
	モータ駆動 IC	TA7291SG
検出部	基板	15x25(mm)
	センサ	GP2S05
電源	電池	単 3x4

Table 2. SSEST の全体構成

	期間	内容
事前実習	約一ヶ月	ライトレースカーの基礎部分製作（個人）
合宿	2泊3日	講演，グループ開発，競技会，報告会（全体）

1. ハードウェアの製作

- (a) H8/3069 マイコンボードを作成する
- (b) H8/3069 マイコンボードの動作確認
 - i. H8 マイコン用プログラムライタの用意
 - ii. H8 マイコン用モニタプログラムの書き込みと動作確認
- (c) 電子部品を組み立て
 - i. センサ回路の作成
 - ii. モータ回路の作成
 - iii. 電源回路の作成
- (d) メカの組み立て

2. ソフトウェアを作成する

- (a) 組み込みソフトウェア開発の基礎知識
- (b) クロス開発環境の構築
- (c) ITRON 仕様リアルタイム OS "TOPPERS/JSP" のコンパイル，動作確認

3. ライトレースカー動作確認

- (a) ラインの作成
- (b) ライトレースカーを動作させてみよう

実行委員会は、参加者に対して教材を配布するだけでなく、ライトレースカーを順を追って製作できるように、電子部品の役割、回路図、製作手順、制御プログラムのサンプルプログラムをウェブに公開している。また、メーリングリストを利用して、技術的な疑問、動作不良に対応する。

事前実習は参加者の個人実習であり地理的に離れているため、実行委員会が十分なサポートを行うことは困

難である。そこで、電子回路製作やクロス開発環境の構築など、未経験者が多いと予想される作業に対しては、ウェブに公開するマニュアルに特別な工夫が必要であると考えた。例えば、電子回路製作のマニュアルには回路図だけでなく、実際に部品を基板に取り付けていく過程の写真を豊富に掲載した。さらに、回路製作後に、動作をチェックする項目を設け、問題が発生しても容易に原因を特定できるように配慮した。

また、参加者の事前実習の進捗を把握するため、参加者個人用のウェブページを wiki 上に用意し、実習の進捗を逐次報告してもらう仕組みを取り入れた。

3.3. 合宿

昨年開催した SSEST2 の合宿スケジュールを表 3 に示す。合宿は、SWEST と同じ会場で、2泊3日で開催した。

合宿には、主に以下のイベントが含まれる。これらの内容は、SSEST1 から現在開催準備中の SSEST3 まではほぼ同様である。

- 組み込みシステムの現役技術者、研究者による実習付き講演
- グループ開発（ドキュメント作成，プログラム開発）
- 競技会
- 成果報告会

初日の午後には、自動車制御システムの開発、テストツールなどの現役技術者、組み込みシステム教育の講師、組み込みソフトウェアテスト研究者などを招き、講演会を開催している。実行委員会では、組み込みシステム関連技術の流行テーマ、研究活動にすぐ活かせるテーマ、

Table 3. SSEST2 のスケジュール

時刻	一日目	二日目	三日目
9:00		実習	実習
10:00		開発環境チェック	コーディング, テスト
11:00		概要, 詳細設計	報告書作成
12:00	受付, オープニング	昼食	昼食
13:00	講演 1	実習	成果報告会準備
14:00	「組込みシステム開発概論」	コーディング	成果報告会
15:00	講演 2		
16:00	「ヒューマンスキル」		
17:00			
18:00	夕食		夕食
19:00	懇親会	夕食	競技会
20:00		実習	
21:00			
22:00			クロージング

グループ開発に有用なテーマ等を、学生の視点から選択し、各分野の専門家に講演を依頼している。過去2回のSSESTでは、以下のような講演を開催している。

- 「組込みシステム開発概論」 車載ソフトウェアエンジニア
- 「組込みソフトウェア」 ツール開発エンジニア
- 「ソフトウェアテスト」 大学研究者
- 「コミュニケーション」 大学研究者

二日目から三日目午前までは、事前実習で製作したライトレースカーを用いるグループ開発が中心である。参加者4~5人で一つのグループを構成する。なお、各グループには、補助的な位置付けで実行委員が1~2人含まれている。

各グループは、合宿の最終日に開催する競技会の課題をクリアすることを目標に、グループのメンバのライトレースカーから一台を選択し、そのライトレースカーの制御ソフトウェアを開発していく。なお、競技会のルールでハードウェアの大幅な改良は禁止とした。

グループ開発では、プログラムを開発するだけでなく、ドキュメントを作成し、レビューすることも重視している。組込みソフトウェアのバグは、組込みシステム全体の動作に影響し、製品回収や人的被害といった大きな損害をもたらす。企業におけるソフトウェア開発では、多人数による開発が多く、仕様書や設計書などのドキュメントを記述するのが常識である。

しかし、大学の研究室におけるソフトウェア開発では、試作を目的とする場合が多く、仕様書や設計書などのドキュメントをほとんど記述せずにコーディングしてしまう場合が多い。そのため、ドキュメントを正確に記述する(テクニカルライティング)能力が非常に重要であるにも関わらず、学生がこれを体験する機会がほとんどない。

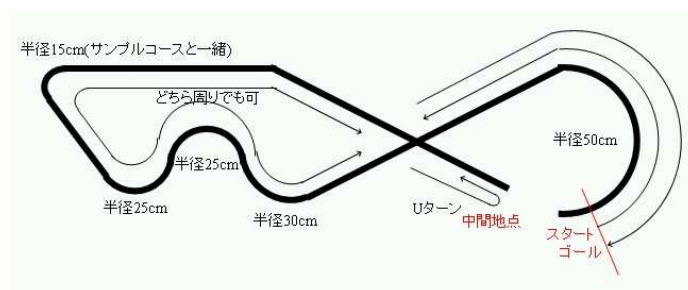


Figure 5. 競技会のコース

SSESTでは、テクニカルライティングを学習するため、要求仕様書、設計仕様書、テスト仕様書のテンプレートを用意し、グループ開発の開始時に、ドキュメントの記述方法を学ぶ時間を設けた。各グループには、ライトレースカーの制御ソフトウェアを開発する過程で、すべてのドキュメントを作成し、グループ内でレビューを実施することを義務付けた。

合宿でグループ毎に製作する成果物は以下の通りである。

- 要求仕様書
- 設計仕様書
- テスト仕様書
- 制御プログラム

合宿最終日の午後に、競技会と成果報告会を開催する。競技会は、グループごとに製作したライトレースカーを用いて、走行タイムを競う。SSEST2のコースを図5に示す。

成果報告会では、グループ毎に検討した制御アルゴリズムや仕様書の内容について発表し、アルゴリズムの有

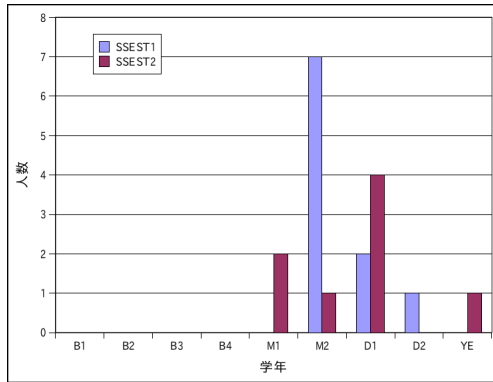


Figure 6. 実行委員の構成

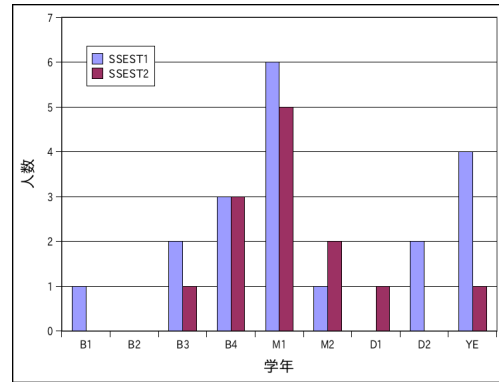


Figure 7. 参加者の構成

効性や、グループ開発の効率的な進め方について、活発に議論した。また、競技会と成果報告会には、SSEST 実行委員を招き、意見やアドバイスを頂いた。

なお、SSEST の実施内容は、毎年併催される SSEST において、ポスター形式で発表している。

4. 実施結果と評価

過去に2回開催した SSEST の実施結果及び、合宿参加者からの評価結果を紹介する。

4.1. 実行委員の構成

図7に SSEST 実行委員の構成を示す。図中の YE は若手技術者 (Young Enginner) を表す。実行委員会の人数は、毎年 10 名程度で、東京、名古屋、大阪、九州などの全国各地にある大学から参加している。実行委員の大部分は、大学院修士課程、博士課程の学生であるが、SSEST2 では SSEST1 の参加者であった若手のエンジニアが、翌年は実行委員として参加した。実行委員の研究テーマは、モデル検証、再構成可能プロセッサの設計、リアルタイム OS、車載ネットワーク、ソフトウェアテストなど多様である。SSEST 実行委員会は、組込みシステムという共通の枠組の中で、多様な興味をもつ若手で構成されている点の特徴である。

4.2. 参加者の構成

図7に参加者の構成を示す。参加人数は、SSEST1 が 19 名、SSEST2 は 13 名であった。SSEST2 では、合宿開催時期を変更したことが、博士課程の学生及び社会人の参加人数が減少した主な理由であると思われる。

参加者は、学部と修士課程1年の学生が多く、組込みシステムの研究、開発の経験年数が1年未満という初学者がほとんどであった。SSEST の対象である組込みシステム初学者として適切であったと考える。

4.3. 事前実習の評価

事前実習に関するアンケート結果をまとめる。アンケートの回答者は、SSEST1 と SSEST2 の実行委員及び、参加者である。ここに実行委員を含めている理由は、実行委員自身も事前実習に参加しているためである。実施期間は、アンケート回答者の 80% が適当だと回答した。また、17% が短いと回答した。短いと回答した人のほとんどは、過去に回路作成やロボット組み立ての経験がないため、ハードウェアの製作に多くの時間を費している。実行委員会が設定した期間としては、ほぼ適切であったと考えられるが、今後は実行委員会がウェブに用意した手順書の内容を見直す必要があるかもしれない。

4.4. 合宿の評価

合宿に関するアンケート結果をまとめる。アンケートの回答者は、SSEST1 と SSEST2 の実行委員及び、参加者である。合宿の期間は、アンケート回答者の 76% が適当だと回答した。また、24% が短いと回答した。長くと回答した人はいなかった。表3を見ても分かる通り、合宿における学習内容は非常に多く、一つ一つの作業に十分な時間を取ることができなかった。今後は、予算の問題もあるが、合宿の内容をある程度絞る必要があると考える。

4.5. 満足度評価

最後に、SSEST の参加満足度と、学習内容の有用性をまとめる。SSEST に参加した感想として、「満足」、「ほぼ満足」と答えたのは、96%であった。残りの4%は、「やや不満足」と回答した。参加満足度から、十分な高い評価が得られたと考えている。

次に、SSEST の学習内容の有用性を報告する。SSEST の学習内容が研究や開発活動に役立つかという質問に対しては、全員が「大変役立った」、「役立った」と回答した。特に、グループ開発を体験できたこと、専門外の内

容を学習する機会になったこと、組込みシステム開発のプロセス全体を体験できたことなどの理由が多かった。

以上より、一連の開発プロセスの体験、グループ開発による議論、大学間、産学間の交流など、SSESTの目標を達成できていると考えられる。

4.6. 参加者からのコメント

参加者からのコメントの一部を紹介する。

- リアルタイム OS やドライバについての知識が得られた。
- 開発のプロセスを考える機会になった。
- ハードやデバッグの大切さ、レビューや設計の大変さが良く理解できた。
- 状態遷移表やテストの知識が身についた。
- 実装後のテストケース作成の難しさを実感した。

コミュニケーション

- 自分と異なる、物の見方を学ぶ事ができた。
- 他大学、他企業の人と議論しながら実習することで、様々なアイデアや考え方を知る事ができた。
- 人との出会い、多人数開発が勉強になった。
- 多人数での開発は、確認作業とコミュニケーションが重要である事を実感した。
- 自分の研究を振り返り、その楽しさに気づいた。今後の研究が楽しみ。
- 上流からの設計がおろそかになっていた。
- 要求仕様、機能仕様、設計について切り分けできている班は少数であった。
- より高度なハードウェアに挑戦したい。

4.7. 今後の課題

SSESTの今後の課題としては、主に、実行委員、参加人数の増加と、開発成果物の質の向上の2点を挙げる。例年、実行委員は10名程度、参加者は20名程度である。今後は、さらに多くの学生、若手エンジニアにSSESTを経験して頂きたい。また、もう一つの課題として、開発成果物の質の向上がある。SSESTは、限られた時間の中で、組込みシステムの一連の開発プロセスを体験することを目標としている。そのため、例えば、作成したドキュメントの内容、ソースコードの効率、テスト技法の有効活用など、一つ一つのプロセスの内容を技術的観点から十分に検討、評価できていない。今後は、SWESTとさらに強く連携し、開発成果物の内容をSSESTの直

後に開催されるSWESTでレビューする時間を設けることを検討している。学生や若手エンジニアが、現場の中級、上級のエンジニアと議論し、開発成果物を技術的観点から評価し、修正することで、開発成果物の質を向上できると期待している。

5. 結論

本論文では、情報工学を専攻する組込みシステム初学者を対象とした、組込みシステム短期学習プログラムSSESTについて、過去2回の実施内容を紹介した。

SSESTの目的は、一連の組込みシステム開発と、複数人数のチーム開発を通して、組込みシステムの基礎技術を習得し、産学越えた議論、問題解決による組込みシステム開発の面白さを体験することを目指している。

SSEST実行委員会は、組込みシステムに関連する研究、開発に携わる修士、博士課程の大学院と、若手技術者が中心となって組織され、学生、若手技術者の視点から、現在の組込みシステム教育を考え、独自の教材製作とカリキュラムを設計していることが特徴である。

実行委員と参加者からのアンケート結果から、SSESTの教育的効果が明らかになった。我々は、今後もSSESTを実施することで、組込みシステム業界の若手の能力向上、組込みシステム教育の改善に少しでも貢献することを目指していきたい。

なお、現在、実行委員9名、参加者30名でSSEST3を開催している。SSEST3の実施結果は、今後報告する予定である。

謝辞

SSESTを開催するにあたり、貴重なご意見を頂きましたSWEST実行委員会を始め、過去のSSEST実行委員、SSESTにおいてご講演頂いた方々に心より感謝致します。

References

- [1] Ministry of Economy Trade and Industry. Embedded software actual condition survey, <https://sec.ipa.go.jp/download/200606es.php>, 2006.
- [2] M.Yamamoto, et. al., NEXCESS: Nagoya University Extension Courses for Embedded Software Specialists, *IEEE Workshop on Embedded Systems Education*, Sep, 2005.
- [3] M.Yamamoto, et. al., Practice and Analysis of an Extension Course for Training Trainers of Embedded Software, *SIGBED Review*, Vol.4, No.1, Jan, 2007.
- [4] QUBE:Q-shu University hardware/software Borderless system design Education program, <https://qube.slrc.kyushu-u.ac.jp/en/index.html>.

- [5] 東海大学専門職大学院組込み技術研究科,
<http://www.u-tokai.ac.jp/kumikomi/>.
- [6] レゴ・マインドストーム, <http://mindstorms.lego.com>.
- [7] ITRON specification, <http://www.sakamura-lab.org/TRON/ITRON/home-e.html>.
- [8] TOPPERS/JSP Kernel, <http://www.toppers.jp/en/jsp-kernel-e.html>.