

学生および若手技術者による 組込みシステム技術に関するサマースクールの実践

谷口 一 徹^{†1} 安藤 友 樹^{†2} 高瀬 英 希^{†2}
安積 卓 也^{†1} 松原 豊^{†2} 細合 晋 太郎^{†3}
村上 靖 明^{†2} 菅谷 みどり^{†4}

本論文では、組込みシステム技術に関する教育プログラムとして実施した「組込みシステム技術に関するサマースクール (Summer School on Embedded System Technologies: SSEST)」の取り組みについて述べる。SSEST は、さまざまなバックグラウンドを持つ参加者を想定して、実際の組込みシステムを各自で作成する事前実習と、コミュニケーション能力やドキュメンテーションの重要性を体験する合宿形式で実施されるグループ開発から構成される教育プログラムである。過去 5 年間で、6 週間から 8 週間で実施する SSEST を 5 回開催した。SSEST の参加者に対して実施したアンケート結果から、本教育プログラムにより一定の効果が得られたことが確認した。

Summer School on Embedded System Technologies Organized by Students and Junior Engineers

ITTETSU TANIGUCHI,^{†1} YUKI ANDO,^{†2} HIDEKI TAKASE,^{†2}
TAKUYA AZUMI,^{†1} YUTAKA MATSUBARA,^{†2}
SHINTARO HOSOAI,^{†3} YASUAKI MURAKAMI^{†2}
and MIDORI SUGAYA^{†4}

This paper describes an educational program on embedded systems, named Summer School on Embedded System Technologies (SSEST). Assuming that participants have different background and experience, the curriculum of SSEST consists of two activities: a prior individual training and a boot camp. In the prior training, the participants are required to individually do a hand-on experience of embedded system development. Then, in the boot camp, they experience team development, and learn communication and documentation skills. For five years, SSEST has been held taking for six to eight weeks. Ques-

tionnaires from the participants show that they are satisfied by this program.

1. はじめに

近年、組込みシステム技術は著しく発展しており、わが国の製造産業における重要な技術の 1 つになっている。その一方で、組込みシステム分野に関わる技術者や研究者の人材不足が深刻な問題となっている¹⁾。本論文は、組込みシステム開発未経験の学生や若手技術者を対象とした教育プログラムを提案し、その実施結果についてまとめたものである。

組込みシステム技術の基礎知識となるソフトウェアやハードウェア、コンピュータ・アーキテクチャは、今日の大学の情報系および電子系専門コースのカリキュラムとして広く受講されている。しかしながら、経済産業省による組込みソフトウェア産業実態調査²⁾によると、最大で 55% の組込みシステム開発現場の技術者から、コミュニケーションやネゴシエーション、リーダシップや問題解決能力といったパーソナルスキルに対して、「学校で獲得しておけばよかった」、もしくは「今後伸ばしたい」との回答が得られている。これまで学んできたはずの開発技術に関しても、ソースコード作成など実装技術より、システム要求分析やシステム設計、ソフトウェア要求分析やソフトウェア設計などといった上流工程のスキルに対して、同様に最大で 55% の組込みシステム開発現場の技術者から、「学校で獲得しておけばよかった」、もしくは「今後伸ばしたい」との回答が得られている。これらの傾向は、数年前から今日まであまり変化が見られていない。

組込みシステム開発未経験の学生や開発経験の少ない若手技術者が大学や企業の研修で最初に経験するのは、開発技術の習得を目標とした明確かつ小さな問題を単独で解決するトレーニングである。しかし、実際の現場で開発する組込みシステムは複雑化や大規模化の一途をたどっているため、複数の技術者で協力分担した開発体制をとるのが一般的となってい

^{†1} 立命館大学
Ritsumeikan University

^{†2} 名古屋大学
Nagoya University

^{†3} 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology

^{†4} 横浜国立大学
Yokohama National University

る。このようなグループ開発において、コミュニケーションやリーダーシップといったヒューマンスキルは開発を円滑に進めるために必須となる。しかし、これまで開発技術の習得に重点を置いていた学生や若手技術者にとって、開発とはソースコードを書くことであるという認識が強く、コミュニケーションやリーダーシップ、さらにドキュメンテーションなどの重要性を理解することは困難である。近年、実際の組込みシステム開発現場におけるバグ混入の原因の多くが、プロジェクトメンバー間のコミュニケーション不足やドキュメンテーションの不備であることはよく知られており³⁾、学生や若手技術者が開発技術とヒューマンスキルをバランスよく身につけ、開発現場で実際に有用となる技術やスキルを身につけることが望まれている。

組込みシステム分野の技術者や研究者の育成を目的として、これまでさまざまな活動が実施されてきた。2005年には、組込みシステム分野の先進的な研究や技術交流を産学官で目指すための研究コミュニティとして、情報処理学会に組込みシステム研究会が立ち上がった⁴⁾。東海大学⁵⁾や北陸先端科学技術大学院大学⁶⁾では、組込みシステム技術に特化した新しい専門コースを開講している。これらのコースは主に社会人を対象とした、大学院修士課程のカリキュラムとなっている。2年間と課程の期間が長く、組込みシステムの初学者や未経験者にとって入学の敷居は高い。さらに、社会人技術者を対象とした人材プロジェクトとして、名古屋大学の組込みソフトウェア技術者人材育成プログラム NEXCESS⁷⁾、九州大学のシステム LSI 設計人材養成実践プログラム QUBE⁸⁾が実施されており、これらは一定の教育成果をあげたことが報告されている^{9),10)}。NEXCESS や QUBE の講座は、1日から4日間と期間は短い、企業の技術者を主な教育対象としている。また、講座によっては、講義内容の専門性が高く、受講の際に前提知識や業務経験が要求されるものがあるため、やはり組込みシステムの初学者や未経験者には受講の敷居が高い講座である。

座学や実習を中心とする教育講座ではなく、コンテスト型で組込みシステム分野の教育を実施する取り組みとしては、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)¹¹⁾、MDD ロボットチャレンジ¹²⁾、および、レスキューロボットコンテスト¹³⁾が継続的に開催されており、これまで多数の参加者を集めている。これらコンテスト型の教育プログラムの場合、組込みシステムの初学者や未経験者の参加は比較的容易である。しかし、大部分の参加者が部署や研究室、サークルなどの知人同士でチームを組んで参加する 경우가多く、ヒューマンスキルの重要性を学ぶという教育効果は少ないと考えられる。また、日本国外では APDES¹⁴⁾ や ACACES¹⁵⁾ などの組込みシステム技術関連のサマースクールが開催されている。これらの活動は、企業の上級技術者や大学教授による講義が中心になってお

り、最先端の知識を得る機会として非常に有意義であると考えられる。しかし、APDES や ACACES は、講義や議論によりカリキュラムが構成されており、実習によって組込みシステム開発を実施する機会は提供されない。以上のように、組込みシステム技術の教育活動は年々増加しており、組込みシステム教育の重要性は広く一般に認識されるようになった。しかしながら、組込みシステム技術の初学者や未経験者を対象としたプログラムは依然として少なく、また、ヒューマンスキルを学ぶ教育プログラムの数も多くはないと考えられる。

そこで我々は、2005年に組込みシステム技術に関するサマースクール (Summer School on Embedded System Technologies: SSEST) 実行委員会^{16),17)}を立ち上げた。SSEST 実行委員会では、組込みシステム開発未経験の学生や開発経験の少ない若手技術者が、開発現場で必要なコミュニケーション能力とドキュメンテーションの重要性を身をもって理解することを目的とし、コミュニケーション能力とドキュメンテーションの重要性を体験できる教育プログラムを開発してきた。開発した教育プログラムは、組込みシステム技術に関するサマースクール (SSEST) と名付け、2005年から2009年までの毎年夏期に計5回実施した。SSEST は、以下の特徴を持つ教育プログラムである。

- コミュニケーション能力とドキュメンテーションの重要性を体験することを目的とした合宿形式を中心とする教育プログラム
- 組込みシステム開発未経験の学生や開発経験の少ない若手技術者が対象
- 特定の大学や企業に対象者を限定しない日本全国規模の取り組み
- 学生や若手技術者が主体的に運営

SSEST の大きな特徴は、初対面の参加者同士でグループを構成し、グループ実習による組込みシステム開発を2泊3日の合宿形式で行い、コミュニケーション能力およびドキュメンテーションの重要性を体験する機会を提供していることである。このようなグループ開発体験を通し、参加者はグループ内での意思疎通の難しさやドキュメンテーションの重要性を身をもって理解することができる。また、SSEST では、合宿の前に事前実習と呼ばれる参加者各自で行う演習も提供している。事前実習では、合宿形式でグループ開発を行うために必要となる、組込みシステム分野の最低限の基礎知識や技術を習得することができる。これらすべての特徴を備えた教育プログラムは我々の知る限り初めての試みである。

以下、本論文の構成を述べる。2章では、組込みシステム技術に関するサマースクールの概要を述べる。3章では、SSEST の教材であるライントレースカーの構成について述べる。4章では、事前実習について述べ、5章では、合宿について述べる。6章では、参加者のアンケート結果から、SSEST の実践結果と考察について述べ、7章で、まとめと今後の課題

について述べる．

2. 組込みシステム技術に関するサマースクールの概要

本章では，SSEST の目的，教育プログラムの構成，教育プログラムに含まれる技術とスキル，および，実行委員会の構成について述べる．

2.1 教育目的

SSEST の目的は，組込みシステム開発未経験の学生や開発経験の少ない若手技術者を対象に，組込みシステム開発に必要な基本的な開発技術に加えて，コミュニケーション能力とドキュメンテーションの重要性を体験して理解してもらう教育プログラムを提供することである．

本教育プログラムの対象者は，組込みシステム技術の初学者や未経験者であるため，教育プログラムで最も重視する教育目標を，参加者が一連の組込みシステム開発技術を体験し，そこに要求されるさまざまな技術・スキルの重要性を理解することとした．参加者にとって，組込みシステムに関連する技術・スキルの重要性を理解し，それらの技術やスキルをさらに高めていくことが技術者・研究者として重要であると認識する機会は貴重である．この教育目標が達成されることにより，教育プログラムの修了後にも，各参加者がスキルの向上や，目標とするキャリアパスを具体的に持って，研究，業務などに取り組むことが期待できる．したがって，この教育目標は，組込みシステム分野の初学者や未経験者に対する教育として，最も重要なことの 1 つであると考えられる．

さらに発展的な教育目標として，参加者が教育プログラムに含まれる技術・スキル項目を理解して，実施する能力を身につけることという目標を設定した．具体的には，IPA が公開している組込みスキル標準 ETSS2008^{18),19)} で定められているスキルレベルのレベル 1：初級「支援のもとに作業を遂行できる」に相当するものである．この目標は，実行委員会が参加者を支援する状況のもとで，参加者が事前実習と合宿を進めることにより，一部の参加者は達成できると考えた．しかしながら，本教育プログラムの対象者は，組込みシステム技術に関しての初学者および未経験者であるため，参加する時点での参加者の能力に大きな差があることが予想された．そのため，教育プログラム修了後のスキルレベルの目標を同一のレベルに設定することは適切ではないと考えた．その結果，参加者のスキルレベルを向上させることは，あくまで本教育プログラムの発展的な目標であると位置づけた．本論文では，本教育プログラムの修了後に参加者のスキルレベルがレベル 1 相当に向上したかどうかを参考情報として獲得するため，参加者に対して実施したアンケート結果の自己評価を分析し

	11~3	4	5	6	7	8	9
運営		広報		参加受付	合宿実習準備		評価・分析
教材開発	教材検討	プロトタイプ作成	基板設計	テキスト作成			合宿
参加者				参加申込	事前実習期間		

図 1 実行委員会と参加者の主なスケジュール

Fig. 1 Schedule of committee and participants.

た．この結果については，6.2 節で述べる．

2.2 教育プログラムの構成

SSEST は，6 週間から 8 週間に及ぶ，長期間の教育プログラムである．図 1 の下部は，SSEST の参加者のスケジュールを示している．まず，参加者は，合宿が開催される約 6 週間前から，事前実習を開始する．事前実習の課題は，実習教材であるライントレースカーを作成することである．次に，合宿では，事前実習で作成したライントレースカーを各参加者が持参し，実行委員会から与えられる課題に対して，2 泊 3 日のグループ開発形式で取り組む．

事前実習では，参加者は組込みシステムの基礎知識や開発方法，開発環境の準備など，合宿での課題に取り組むために必要となる最低限の知識や技術を習得する．具体的には，実行委員会から参加者に対して，ライントレースカーの部品一式を送付し，参加者が個人でライントレースカーを作成する．事前実習は e ラーニングにより実施し，各自のペースで進められるよう配慮した．事前実習の詳細については 4 章で述べる．教育プログラムにおける事前実習の狙いは，合宿の前に事前実習を行うことにより，多様なバックグラウンドを持ち，かつスキルレベルの異なる参加者が，合宿の課題に円滑に取り組めるための基礎的な知識および技術を習得する機会を提供することにある．本教育プログラムでは，参加者の応募条件として特別なスキルを要求していないため，事前実習を，参加者の知識および技術を底上げする実習と位置づけた．

合宿では，初対面の参加者がグループを構成し，事前実習で作成したライントレースカーの仕様変更にもともなう差分開発を体験する．具体的には，事前実習で実装した単純な走行制御アルゴリズムでは，短時間で完走できない複雑な走行コースが合宿で提示され，その走行コースをより短い時間で，かつ障害をクリアできるよう各グループが走行制御アルゴリズムやハードウェア仕様を変更する．最終日の競技会では，走行タイムや，障害をクリアした度合いなどで順位を競う．合宿の詳細については 5 章で述べる．教育プログラムにおける合

表 1 教育プログラムに含まれる開発技術
Table 1 ETSS category: developmental technology.

第 1 階層	第 2 階層	実行委員会が実施した項目	事前実習に含まれる項目	合宿（講義含）に含まれる項目
システム要求分析	要求の獲得と調整	要求獲得	—	追加機能の要求獲得
	システム分析と要求定義	システム要求仕様書の作成	—	追加機能のシステム要求仕様書の作成
	システム分析と要求定義のレビュー	システム要求仕様書のレビュー	—	追加機能のシステム要求仕様書のレビュー
システム方式設計	ハードウェアとソフトウェアなどの機能および性能分担の決定	システム設計書の作成	—	追加機能のシステム設計書の作成
	実現可能性の検証とデザインレビュー	システム設計書のレビュー	—	追加機能のシステム設計書のレビュー
ソフトウェア方式設計	ソフトウェア構造の決定	タスク、割り込み処理、デバイスドライバへ機能分割	—	追加機能のタスク分割
	ソフトウェア構造のデザインレビュー	機能分割のレビュー	—	タスク分割のレビュー
ソフトウェア詳細設計	ソフトウェアの詳細設計	タスク、デバイスドライバ、割り込みの設計	—	追加タスクの設計
	ソフトウェアの詳細設計のレビュー	タスク、デバイスドライバ、割り込みのレビュー	—	追加タスクのレビュー
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	割り込みの実装	タスク、デバイスドライバの実装	追加タスクの実装
	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	機能のテスト作成	—	追加機能のテスト作成
	プログラムテストの実施	—	機能テストによる動作確認	追加機能テストの実施
ソフトウェア結合	ソフトウェア結合テスト仕様設計	結合テストの設計	—	追加機能の結合テストの設計
	ソフトウェア結合テストの実施	—	結合テストによる動作確認	追加機能の結合テストの実施
ソフトウェア適格性確認テスト	ソフトウェア適格性確認テストの準備とレビュー	適格性確認テストの準備	—	追加機能の適格性確認テストの準備
	ソフトウェア適格性確認テストの実施	—	適格性確認テストの実施	追加機能の適格性確認テストの実施
システム結合	テスト項目抽出とテスト手順の決定およびレビュー	テスト項目の抽出とテスト手順の決定	—	テスト項目の抽出とテスト手順の決定
	システム結合テストの実施	—	結合テストの実施	追加機能の結合テストの実施
システム適格性確認テスト	システム適格性確認テストの準備とレビュー	実機でのシステム適格性確認テストの作成	—	システム適格性確認テストの作成
	システム適格性確認テストの実施	—	実機でのシステム適格性確認テストの実施	競技コースでのテストの実施

宿の狙いは、ハードウェアとソフトウェアの仕様および設計の変更にもなう、ドキュメンテーション技術を含めた一連のシステム開発技術を学ぶことに加えて、グループ開発におけるコミュニケーション能力の重要性を体感する機会を提供することにある。初対面の参加者がグループを構成する場合、互いによく知るメンバでグループを構成する場合に比べて、ドキュメンテーション技術やコミュニケーション能力の不足が原因で問題が発生しやすい。その結果、ドキュメンテーション技術やコミュニケーション能力の重要性を認識しやすくなると考えた。本教育プログラムの合宿は、参加者にこれらの重要性を短期間で体感してもらう実習と位置づけた。

2.3 教育プログラムに含まれる技術・スキル

本教育プログラムの教育教材、事前実習と合宿に含まれる技術・スキル項目について述べる。本論文では、IPA が公開している組込みスキル標準 ETSS2008 のスキル基準¹⁸⁾ およびキャリア基準¹⁹⁾ を参考に整理する。なお、本教育プログラムは、組込みスキル標準 ETSS が最初に公開される 2007 年以前の 2005 年から開催しており、ETSS のスキル標準を参照して、本教育プログラムを設計したわけではないことに注意されたい。

まず、事前実習と合宿で扱う開発技術の範囲を表 1 に示す。表 1 は、各技術項目について、実行委員会が参加者に対して提供する項目、参加者が事前実習で体験する項目、および、参加者が合宿で体験する項目のどれに該当するのかを示している。この表から明らかな

表 3 教育プログラムに含まれる管理技術
Table 3 ETSS category: management skills.

第 1 階層	第 2 階層	実行委員会が実施した項目	事前実習に含まれる項目	合宿に含まれる項目
プロジェクトマネジメント	統合マネジメント	全体のスケジュール管理, ミーティング実施の補助	—	定期的なミーティングの実施
	スコープマネジメント	変更管理	—	定期的なミーティングの実施
	タイムマネジメント	ガント図の作成	進捗の把握	開発スケジュールの計画
	組織マネジメント	チーム内の役割分担の補助	—	チーム内の役割分担の実施
	コミュニケーションマネジメント	定期的なコミュニケーションの補助	実行委員会への質問	定期的なミーティング
開発プロセスマネジメント	調達マネジメント	追加部品の調達	—	—
	開発プロセス設定	全体の開発プロセスの提示	—	定期的なミーティングの実施
	開発環境マネジメント	ソフトウェア開発環境, 走行コースの提供	—	—
	進捗管理, ソフトウェア構成管理の補助	進捗管理表	—	進捗管理

表 4 教育プログラムに含まれるキャリアスキル
Table 4 ETSS category: career skills.

第 1 階層	第 2 階層	教育対象の技術項目	事前実習に含まれる項目	合宿 (講義含) に含まれる項目
パーソナルスキル	コミュニケーション	読む, 書く, 話す, 聞く	e-ラーニング	グループ開発
	ネゴシエーション	質問, 調査	実行委員会への質問	グループ開発
	リーダーシップ	能力開発, 時間管理	自己管理	グループ開発
	問題解決	着眼・発想, 問題発見・分析, 論理思考	—	追加課題への対応

表 2 実習教材に含まれる要素技術
Table 2 Elemental technology included in the educational material of SSEST.

第 1 階層	第 2 階層	実習教材に含まれる技術項目
計測・制御	入力	光センサによるライン検出
	計測・制御処理	ライントレース制御
	出力	DC モータ制御
プラットフォーム	プロセッサ	H8/300H マイコン
	基本ソフトウェア	μITRON 仕様リアルタイム OS, デバイスドライバ

ように, 本教育プログラムには, 組込みシステム開発の一連の流れが含まれる。また, 参加者が教育プログラムを通じて体験できる内容は, システム方式の設計から, システムの適格性確認テストまで幅広い範囲に及ぶ。

次に, 教育教材であるライントレースカーに含まれる技術要素を整理した結果を表 2 に示す。組込みシステムの基本的な技術要素である, センサ入力, モータ制御, マイコン技術, リアルタイム OS 技術などがすべて含まれる。

最後に, 事前実習と合宿におけるコミュニケーションに関するスキルを, 管理技術とキャ

リアスキルの観点で整理した結果を, 表 3 と表 4 に示す。事前実習と合宿には, パーソナルスキルに関連するすべての項目が含まれている。管理技術については, チーム編成や開発プロセス設定など基本的な部分を実行委員会が実施し, 参加者は, 事前実習と合宿を通じて, その一部を実際に体験する。

2.4 実行委員会の構成と運営

SSEST の特徴の 1 つとして, 学生および若手技術者が主体となって実行委員会を構成している点があげられる。過去 5 年間で, 延べ 51 名が SSEST に実行委員として運営活動に参加している。図 1 の上部は, SSEST 実行委員会の運営および教材開発における主な活動項目とスケジュールである。実行委員会は, 本図に示すように, 幅広い活動を担ってきた。

実行委員会の活動は, プログラムの運営および教育コンテンツの開発に分類される。プログラムの運営には, 予算管理や広報活動, および, 参加者の申込み受付への対応などが含まれる。教育コンテンツの開発には, 教育内容の検討や教材のシステム仕様設計やプロトタイプ作成が含まれる。教育対象でもある学生および若手技術者が運営主体となることで, 自身が組込みシステム開発において真に必要なと思える教育プログラムを検討できる。また,

SSEST では事前実習を参加者各自で行うため、できるだけ分かりやすい教材が必要である。そのため、細部まで解説した教材テキストの執筆や、半田付けの難易度を下げるための独自のプリント基板を作成した。

実行委員会のメンバの所属機関は全国各地に散らばっており、直接会って議論や作業を行う機会を頻繁に設けることは困難であった。そこで、議論を行う際には、Wiki やメーリングリスト、インスタントメッセンジャといったオンラインツールを活用した。Wiki やメーリングリストは、データの蓄積や更新が容易で閲覧性が高いため、実行委員会プロジェクトの管理情報や作業の進捗情報の交換などに役立てた。インスタントメッセンジャは、リアルタイム性が高いため、主に定期的な打合せに使用した。また、Wiki は、事前実習の教育テキストの作成と公開にも採用した。SSEST の事前実習は、e ラーニングによる実施形態を採用しており、ハードウェアやソフトウェアの基礎知識や実習教材の製作手順の解説をサイト上に公開した。Wiki を採用することで、数名の実行委員が分担して、効率的にテキストを作成することができた。

3. SSEST の教材としてのライントレースカー

SSEST では、実習教材としてライントレースカーを選択した。本章では、2008 年に開催した SSEST4 において実習教材として開発したカラー・ライントレースカー^{*1}を例にあげ、その概要とシステム構成を示す。

3.1 実習教材の概要

図 2 に、カラー・ライントレースカーの外観を示す。ライントレースカーとは、ラインセンサを搭載したおもちゃの車であり、コース上のラインを検知し、モータを制御してラインに沿って走行する機器である。SSEST4 において実習教材として開発したカラー・ライントレースカーは、一般的なライントレース機能に加えて、コース上のラインの色を識別する。ライントレースカーは単純にラインに沿った動作を行うが、カラー・ライントレースカーは識別した色によってさまざまな動作の制御が要求される。表 5 にカラー・ライントレースカーの構成部品のリストを、図 3 にカラー・ライントレースカーのハードウェア構成の模式図をそれぞれ示す。我々の実習教材は、ラインやカラーを検知する入力回路、マイコンや IC による制御回路、および、モータや LED といった出力回路から構成される。これらの

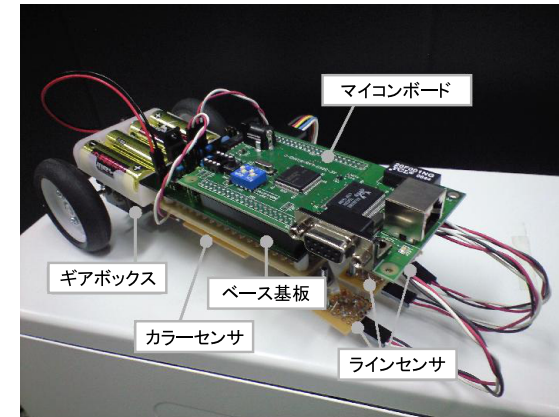


図 2 SSEST4 の実習教材：カラー・ライントレースカー
Fig.2 Material of SSEST4: Color Line-Trace-Car.

表 5 カラー・ライントレースカーの主な使用部品リスト
Table 5 Major components of color Line-Trace-Car.

本体	全体サイズ	160 × 80 × 60 mm 縦 × 横 × 高さ
	シャーシ	ユニバーサル基板 (サイズ: 160 × 60 mm)
	ベース基板	実行委員会製作プリント基板 (サイズ: 100 × 60 mm)
入力部	ラインセンサ	RPR-220
	カラーセンサ	TCS230D
制御部	マイコンボード	AKI-H8/3069F
	モータドライバ IC	TA7291SG
出力部	ギアボックス	TAMIYA TM006 ツインモータギアボックス
	モータ	RE-140
	LED	有色 LED × 3 (赤, 青, 黄)
電源	乾電池	単 3 乾電池 4 本

部品は、非常に安価で容易に入手可能である。

実習教材としてライントレースカーを採用した理由は、次のとおりである。

- (1) 動作の様子が視覚的に分かりやすく、かつその挙動から要求される機能が正しく実装されているか否かが一目で分かる。また、レースなどを通し、他のライントレースカーとの性能比較もしやすい。
- (2) ハードウェアとソフトウェア、そしてその境界のデバイスドライバに関し、学習者が

*1 SSEST では、ライントレースカーをベースとして、組込みシステムの基本的な開発スキルをより理解しやすくなるような実習教材を毎年開発してきた。

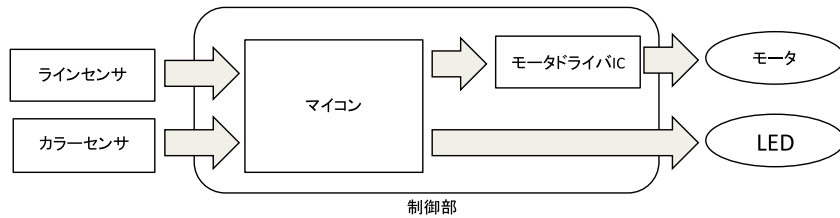


図3 カラー・ライントレースカーのハードウェア構成と制御の流れ

Fig. 3 Hardware structure of Color Line-Trace-Car and workflow of processing.

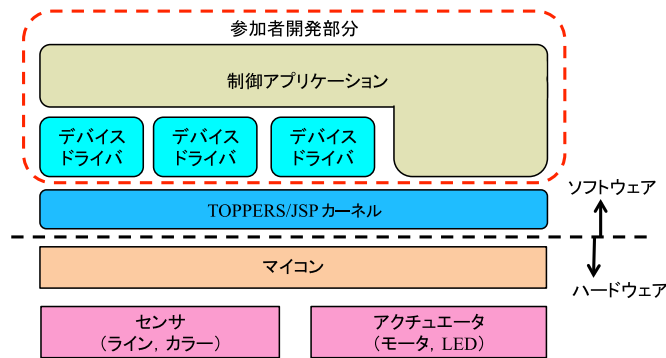


図4 カラー・ライントレースカーのシステム構成

Fig. 4 System structure of Color Line-Trace-Car.

直接手を加えられる。

(3) 4~6人のグループで2,3日でひとおりの改良が可能な規模のシステムである。

組込みシステム開発の難しさは、電子システムが実際の物理現象を扱うところにある。ライントレースカーでは、図3に示すとおり、センサから読み込んだ信号をマイコンボードに適切に入力することが必須であり、マイコンボードからの出力でモータを制御する必要がある。処理の入力と出力の対応がとれており制御の流れが理解しやすいことも、ライントレースカーが組込みシステムの初学者および未経験者の教育に向いている理由の1つとしてあげられる。

3.2 システム構成

図4に示すように、ライントレースカーのソフトウェアは、リアルタイムOSのレイヤ、センサやアクチュエータなどのドライバのレイヤ、および、制御アプリケーションのレイヤ

表6 クロス開発環境

Table 6 Cross developments environments.

アセンブラ, リンカ	Binutils 2.16.1
コンパイラ	GCC 3.4.1
標準Cライブラリ	Newlib 1.16.0

によって構成されている。SSESTの参加者が実習において開発するソフトウェアの対象は、リアルタイムOSより上位のドライバおよびアプリケーションのレイヤとなる。ソフトウェアの開発環境は、Cygwinを導入したWindows, またはLinux上で構築できる。表6に、SSEST4において用いたクロス開発環境を示す。表6に示すGNUのクロス開発環境を採用した理由は、その利用入手性と、参加者にクロス開発環境の導入方法を体験してもらいたいという点を重視したためである。

ソフトウェアの核となる構成部品として、TOPPERS/JSPカーネル²⁰⁾を採用した。TOPPERS/JSPカーネルとは、 μ ITRON 4.0仕様²¹⁾に準拠したオープンソースのリアルタイムOSである。TOPPERS/JSPカーネルはTOPPERSプロジェクト²²⁾によって開発・リリースされており、さまざまな企業の製品で採用されている。ライントレースカーのような単純なモジュールの制御には、リアルタイムOSの提供する豊富な機能は必ずしも必要ではない。それでもなお、我々が実習教材の構成においてTOPPERS/JSPカーネルを採用したのは、システムの機能要件をタスク単位として容易に分割することができ、システム全体の保守が容易となるためである。

実行委員会は、サンプルプログラムとして、カラー検知やLED点灯制御のためのドライバを有するアプリケーションを参加者に提供した。このアプリケーションはシングルタスクで構成され、検知した色に応じてLEDの点滅を制御させる機能が実装されている。サンプルプログラムは非常に単純なアルゴリズムを採用しており、C言語でコメント文を含めて1,500行程度の実装となっている。参加者は、このサンプルプログラムを参考にして、ライントレースのためのタスクを作成する。このタスクの実現には、ライン検知およびモータ制御のためのドライバを用意し、検知したラインに応じたモータの制御を行うタスクを実装する必要がある。そして、TOPPERS/JSPカーネルのAPIを用いて、このライントレースのタスクをサンプルプログラムのタスクと並行動作できるようにしていく。

以上のように、表2に示す要素技術を含んだ実習教材であるライントレースカーの作成を通し、参加者は以下の技術を体験することができる。

- ライントレースカーの組立て

- 電子回路作成（センサ回路，モータ制御回路）
- GNU 開発ツールを利用したクロス開発環境の構築
- H8/300H マイコンによるライトレース制御
- C 言語による組み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

4. 組み込みシステム開発体験のための事前実習

本章では，合宿の前に実施する事前実習について述べる．

4.1 事前実習の教育内容

SSEST4 において実施した事前実習のカリキュラムを示す．

- (1) マイコンボードの組立てと動作確認
- (2) 組み込みソフトウェア開発の基礎と環境整備
 - (a) 組み込みソフトウェア開発の基礎
 - (b) ホスト PC 上へのクロス開発環境の構築
 - (c) リアルタイム OS を用いない単純なプログラム (I/O, タイマ, 割込み) の動作確認
- (3) リアルタイム OS の基礎
 - (a) リアルタイムシステムの基礎
 - (b) TOPPERS/JSP カーネルの基礎
 - タスクマネジメント, API, デバイスドライバ, 同期, マルチタスク環境
- (4) リアルタイム OS 上でのプログラミング
 - (a) サンプルプログラムの動作確認と理解
 - (b) 簡単なプログラムの作成と動作確認
- (5) ライトレースカーの作成と動作確認
 - (a) 周辺回路の作成と動作確認
 - センサ回路, モータ制御回路, 電源回路
 - (b) ライトレースカー本体の組立て
 - (c) ライトレースカー制御プログラムの書き込み
 - (d) ライトレースカーの動作確認

事前実習では，実習教材であるライトレースカーを個々の部品から組み立て，動作確認を行うまでの一連の作業を通し，基本的な開発手順や基礎知識を学び，開発環境の構築や動

作確認方法などを体験する．

「マイコンボードの組立てと動作確認」では，実行委員会が執筆した手順書に従って半田付けを行い，マイコンボードが正しく動作するかを確認する．次に，「組み込みソフトウェア開発の基礎と環境整備」では，組み込みソフトウェア開発の基礎知識を学んだ後，開発環境の構築やサンプルプログラムの動作確認を行う．「リアルタイム OS の基礎」では，まず，リアルタイムシステムおよび使用する TOPPERS/JSP カーネルに関する基礎知識を学ぶ．そして，「リアルタイム OS 上でのプログラミング」で，TOPPERS/JSP カーネル上で動作するいくつかのサンプルプログラムの動作を実際に確認し，さらに簡単なプログラムを作成することで，プログラム作成からその動作確認までの手順を学ぶ．ここまでの知識と経験で，参加者自らがリアルタイムシステムのプログラムを作成して動作確認が行えるようになることを期待している．

「ライトレースカーの作成と動作確認」では，個々の部品からライトレースカーを組み立て，その動作を確認する．センサやモータ，電源周りのための回路を作成し，テストを用いて各回路の単体動作を確認する．その後，全体を組み立てて，マイコンボードに制御プログラムを書き込み，全体動作を確認する．この段階で完成したライトレースカーは，単純なコース上を走行可能となる．

4.2 事前実習の運営と参加者のサポート

組み込みシステム開発の経験の少ないまたは未経験の参加者各自が部品からライトレースカーを組み立てるためには，その運営や参加者サポートに工夫が必要である．本節では，事前実習の運営方法と参加者のサポート方法について述べる．

事前実習では，日本全国に散らばる参加者が各自の好きな場所で好きなペースで実習を行うことを想定している．そのため，事前実習の運営には以下の課題を克服する必要がある．

- 地理的に離れた各参加者の実習準備
- さまざまな知識レベルの参加者が 1 人でも実習を進められるためのサポート

まず，参加者が実習を行うためには，実習開始時に必要な部品一式が揃っている必要がある．そこで，必要な部品一式は実行委員会から各参加者にまとめて送付することで，参加者各自の環境での実習を可能とした．

次に，事前実習を行うために必要な情報や知識は，チュートリアル形式による e ラーニングの Web サイトを構築して提供することで対応した．事前実習では，先に述べたように指導書どおりにライトレースカーを組み立てるだけでなく，その背景となる基礎知識を同時に学ぶことを目的としている．そこで，事前実習のオンラインテキストには，組立て手順や

電子回路について詳細な説明を記し、さらに、回路図には多くの写真を加えて掲載し、参加者にとって分かりやすいものとなるように努めた。事前実習用の Web サイトは、Wiki により構築した。これにより実習に関する質問などを掲示板形式で参加者が書き込むことが可能となり、参加者側からも Web サイトを介してフィードバックを返せるように工夫した。

5. 組込みソフトウェアのグループ開発体験のための合宿

本章では、SSEST の柱である合宿形式で行うグループ開発について述べる。

5.1 合宿の概要

合宿における主な課題は、事前実習で作成したライントレースカーに対する機能要求や仕様の変更に対応するよう、ソフトウェアとハードウェアを差分開発することである。同時に、仕様書やテスト項目が書かれたドキュメント作成も課す。実習は、実行委員会が指定する 4~6 名で構成されたグループごとに進める。初対面の参加者同士でグループ内の役割分担を行い、与えられた開発課題に対し試行錯誤的に取り組むことで、コミュニケーション能力とドキュメンテーションの重要性を身をもって体験する。合宿では、組込みシステムの一連の開発プロセスをグループ開発によって実践することに加えて、課題解決やグループ開発を支援するために、組込みシステム技術者や研究者による講義なども提供している。

表 7 に 2008 年 9 月 1 日から 3 日にかけて開催された SSEST4 の合宿の時間割を示す。合宿 1 日目は、組込みシステム業界の最先端で活躍されている現場の技術者や研究者を招聘し、組込みシステム分野の技術動向や開発経験談に加え、コミュニケーションやドキュメンテーションの重要性といった内容の講義を実施した。さらに、実行委員会からのコミュニケーション能力とドキュメンテーションの重要性を理解するためのチュートリアルを実施した。また、チュートリアルでは、合宿中のグループ開発に必要な技術と知識を、開発課題を取り上げて解説した。さらに、グループ開発が円滑に進むように、参加者の開発環境の確認を行った。合宿 2 日目および 3 日目の午前は、各グループでの実習時間である。実習時間では開発課題とドキュメント作成課題に取り組んだ。

開発課題は、図 5 に示す競技コースを最速で完走するように、ライントレースカーの仕様を決め、その仕様を満たすように事前実習で作成するライントレースカーを改良することである。事前実習で作成するライントレースカーは、カラーセンサを搭載せず、ラインに沿って走行する単純な機能のみを持ち、非常にシンプルな制御アルゴリズムを採用している。そのため、競技コースを完走するには、ソフトウェアとハードウェア両方の仕様変更が必要である。改良やデバッグなどが円滑に行えるように、実習時間中は各グループが競技

表 7 SSEST4 の合宿時間割

Table 7 Time table of 3 days camp at SSEST4.

時間	1 日目	2 日目	3 日目
9:00		実習	実習
10:00		設計	実装とテスト
11:00		設計仕様書作成	発表準備
12:00	開会	昼食	昼食
13:00	講義 1	実習	成果報告会の準備
14:00		設計仕様書作成	成果報告会
15:00	講義 2	実装	
16:00			
17:00	チュートリアル		
18:00			夕食
19:00	懇親会	夕食	競技会
20:00		実習	
21:00	実習(予備)	実装	
22:00	開発環境の確認		閉会

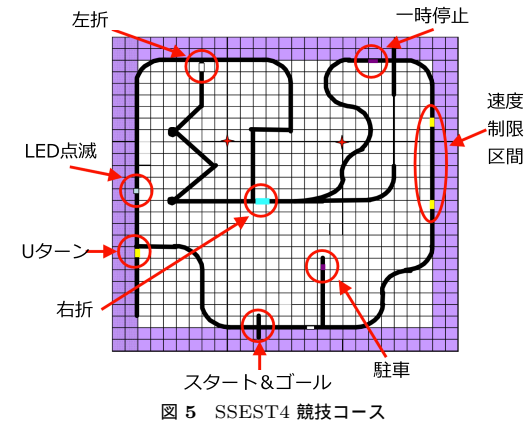


図 5 SSEST4 競技コース

Fig. 5 The course of competition at SSEST4.

コースを自由に使用できる。

ドキュメント作成課題は、ライントレースカーの仕様変更のために必要な仕様書やテスト項目などを記述したドキュメントを作成する課題である。作成するドキュメントは、3 日目の実習時間終了時に提出する。ドキュメント作成課題の詳細は 5.3 節で述べる。なお、時

間割では 22 時までが実習時間となっているが、22 時以降も競技コースを含め、自由に実習環境を利用することができる。合宿ではグループ開発の実践を重視しているため、2 泊 3 日のうち 1 日半以上を各グループでの自由な実習時間とした。

合宿 3 日目の午後は、成果報告会と競技会を通して、各グループの成果発表を行う。成果報告会ではライトレースカーの仕様変更の説明や開発過程などを各グループが発表し、他のグループとディスカッションを行う。ディスカッションを通して、他のグループが上手にできたこと、苦労したことなどを共有する。成果報告会には経験豊富な技術者も参加し、各グループの発表に対するコメントをする。競技会では作成したライトレースカーを競技コースで走行させ、走行タイムを競う。そして、最も高速に走行したライトレースカーを開発したグループを表彰する。

5.2 グループ実習と役割分担によるコミュニケーションの促進

SSEST の合宿では、グループ開発を単なるグループワークとしないために、グループ内で明確な役割を決め、コミュニケーションが必要になる状況を生み出した。組込みシステム開発では、ソフトウェアとハードウェアの協調が必要不可欠で、ソフトウェア設計者とハードウェア設計者のコミュニケーション不足は、そのままシステムの不具合につながる。さらに、各担当の進捗が揃わないと、ソフトウェアとハードウェアを協調させたテストやデバッグが行えず、システム開発が円滑に進まない。このように、役割分担をすることで、システム開発を進めるために定期的にグループメンバー間でコミュニケーションをとらざるをえない状況にする。そのため、グループメンバー間のコミュニケーション不足が、そのままシステム開発の進捗に影響することを体験でき、グループ開発におけるコミュニケーションの大切さを身をもって知ることができる。SSEST の合宿では、チュートリアルで初めて課題となるコースが提示されるため、コースを走破するための戦略や、ハードウェア・ソフトウェアの変更はチュートリアル後にグループ内でコミュニケーションを通じて合意を得なければならない。実行委員会から提示した役割分担は、以下のとおりである。

- プロジェクトマネージャ
- ソフトウェア担当
- ハードウェア担当
- ドキュメント担当

プロジェクトマネージャは、グループのリーダーとして、進捗管理および定期的に行うミーティングなど、グループ全体のとりまとめを行う。ソフトウェア担当は、システムの仕様策定、モジュール分割、コーディング、および、テストといったソフトウェア関連の行程を担

当する。ハードウェア担当は、仕様変更にともなうセンサの追加や、その他のハードウェア部品の位置調整など、ハードウェア関連の開発を担当する。ドキュメント担当は、仕様書や成果報告書といったドキュメント作成のとりまとめを行う。

チュートリアルにて、実行委員会は役割分担を提示するのみとし、役割ごとの人数配分は各グループに任せる。また、役割分担を勤めるだけでなく、システム開発を円滑に進めるために、定期的なグループミーティングの開催など、グループ内のコミュニケーションの重要性を伝える。グループミーティングの開催頻度に関しても、実行委員からは提示せず、各グループのプロジェクトマネージャの判断に任せることとした。実習時間中に実行委員からの直接的な指示はなく、プロジェクトマネージャをリーダーとして、グループごとに実習を進める。

5.3 ドキュメント作成課題

組込みシステム開発においては、要求定義やハードウェア、ソフトウェアの各仕様に関するドキュメントを残すことは重要である。SSEST の合宿では、ドキュメンテーションの重要性を理解するために、ライトレースカーの仕様変更にともなう開発課題に加えて、開発に係る一連のドキュメントを成果報告書として作成することを体験する課題を課す。具体的には、以下の内容を必須項目として記述したドキュメントをグループごとに作成する。

- 開発計画
- 要求仕様
- ソフトウェア仕様
- ハードウェア仕様
- テスト

「開発計画」の項目では、前節で述べた役割分担や、作業時間の事前計画における割当てと進捗の実績を記述する。「要求仕様」の項目では、仕様変更にともなうライトレースカーの拡張方針と、それを満足するためにグループのメンバーで定義した要求および仕様を記述する。「ソフトウェア仕様」の項目では、要求仕様で定義した要求のうち、ソフトウェアとして実現する機能とその仕様を記述する。同様に、「ハードウェア仕様」の項目では、要求仕様のうちハードウェアとして実現する機能とその仕様を記述する。「テスト」の項目では、実装したそれぞれの拡張機能およびシステム全体の動作に対して定義したテスト項目およびそのテスト結果を記述する。合宿の最終日には、上記のドキュメントを成果報告書として提出する。

成果報告書は、システム開発と並行して作成を進め、その内容のレビューをミーティング

表 8 SSEST4 のグループ構成と成果
Table 8 Group and reports of SSEST4.

項目	1 班	2 班	3 班	4 班	5 班	6 班	備考
メンバー数	5	5	5	5	5	4	
プロジェクトマネージャ	1	1	1	1	1	1	
ハードウェア担当	1	2	1	1	2	1	兼任あり
ソフトウェア担当	2	2	2	2	2	1	兼任あり
ドキュメント担当	1	2	1	1	1	1	兼任あり
ソースファイル数	13	11	10	14	13	10	ソース・ヘッダのみ, Makefile などは除く
全コード行数	1,457	1,511	1,731	1,449	1,276	1,288	コメント含む, ソース・ヘッダの全合計行数
ドキュメントページ数	12	11	14	13	12	6	

において積極的に行うことを推奨した。また、各ドキュメントを作成するためには、その事柄に関するグループ内の合意が必要であるため、ドキュメントの作成はコミュニケーションを促す狙いもある。上述したように、ドキュメントには、グループ内で検討して定義したソフトウェア仕様とハードウェア仕様を記述する。それぞれの担当者は、記述された内容に従って各機能を実装することになる。そのため、ドキュメントの内容が間違っていたり不十分であったりすると、ソフトウェアとハードウェアの間で実装の不整合が発生し、ライントレースカーの動作に不具合が生じやすくなる。このような状況は、ドキュメント担当が中心となって成果報告書を作成してその内容をレビューすることで回避できる。なお、SSESTの参加者は組込みシステムの開発経験が少ないかまたは未経験であるため、このようなドキュメントを作成することは容易でないと考えられる。そのため、事前実習における単純な機能のライントレースカーを例とした仕様書を実行委員会が作成し、これをドキュメントのサンプルとして示した。以上のように、成果報告書の作成と提出を課題とすることで、作業分担して行うグループ開発におけるドキュメンテーションの重要性を知ることができる。

提出された成果報告書は、実行委員だけでなく、企業で実際に活躍されている経験豊富な技術者を招聘し、評価を行う。評価基準は、技術者とともに検討のうえ、以下に示す項目を基準とした。

- 読みやすさ
- 正確さ
- 網羅性

読みやすさとは、内容が簡潔にまとめられていることである。正確さとは、成果報告書の記載内容に矛盾がなく、開発された成果物と対応がとれていることである。そして、網羅性とは、提示した必須項目が記述されているか、各項目の内容が十分に記述されているかを評

価する。評価は最終日に実施される成果報告会で提示される。開発者視点から評価してもらうことにより、成果報告書の内容の不備への気づきを促し、ドキュメンテーション能力の向上を期待できる。

さらに、SSESTでは、開発実習終了後に成果報告会を実施する。成果報告会では、各グループが開発成果物のポイント、開発体制および役割分担、実習において苦労したことや気づき、および、反省点などを発表する。成果報告会を実施することで、グループ開発の難しさや面白さ、新しい発見を他のグループと共有できる。成果報告の例として SSEST4 における、チーム構成ならびにソースコードのファイル数と行数、ドキュメントページ数を表 8 に示す。

成果報告会では、実際の現場での開発経験が豊富な技術者から、成果報告書や成果報告会の内容、さらには合宿全体の評価をいただくことにより、各々が各自の能力を再確認することができ、スキルの向上を促すことができる。

6. 組込みシステム技術に関するサマースクールの実践結果と考察

本章では、SSEST の実践結果と、参加者に対して実施したアンケートの集計結果を考察し、SSEST の教育目標に対する達成度と、得られた知見について述べる。

6.1 参加者数の推移

2005 年から 2009 年まで開催された SSEST の参加人数の推移を、表 9 に示す。過去 5 年間の参加者合計数は、113 名にのぼる。参加者身分の内訳を見ると、8 割弱が学部および修士課程の学生であった。それ以外のは大半は、技術系の職種に就いている社会人であった。これまで実施した 5 回の SSEST では、参加したすべての参加者が、事前実習と合宿の課題を修了することができた。

表 10 アンケート結果：開発技術

Table 10 Results of questions: developmental technology.

質問	回答	SSEST1	SSEST2	SSEST3	SSEST4	SSEST5	合計
要求分析はできたか？	できた	14	9	22	26	15	86 (83%)
	できなかった	3	3	3	2	7	18 (17%)
仕様定義はできたか？	できた	14	7	22	26	15	84 (81%)
	できなかった	3	5	3	2	7	20 (19%)
概要設計はできたか？	できた	11	9	22	22	15	79 (76%)
	できなかった	5	3	4	6	7	25 (24%)
詳細設計はできたか？	できた	11	7	22	22	15	77 (75%)
	できなかった	5	4	4	6	7	26 (25%)
コーディングはできたか？	できた	13	8	18	20	14	73 (70%)
	できなかった	4	4	7	8	8	31 (30%)
デバッグはできたか？	できた	12	6	12	19	16	65 (63%)
	できなかった	5	6	13	8	6	38 (37%)
テストはできたか？	できた	14	7	12	19	16	68 (66%)
	できなかった	3	5	13	8	6	35 (34%)

表 9 参加者の内訳

Table 9 Detail of participants.

参加者内訳	SSEST1	SSEST2	SSEST3	SSEST4	SSEST5
学生（学部）	6	4	16	9	11
学生（修士課程）	7	7	10	9	4
学生（博士課程）	2	1	1	1	0
学生（その他）	0	0	0	0	1
社会人（技術系）	4	1	2	9	6
社会人（その他）	0	0	1	1	0
参加者合計	19	13	30	29	22

6.2 アンケートの集計結果

参加者に対して実施したアンケートから、SSEST の教育プログラムに含まれる開発技術とコミュニケーションスキルに関する参加者の自己評価結果を考察する。表 10 に、開発技術に関する自己評価結果を示す。開発技術の技術項目を、要求分析、仕様定義、設計、コーディング、および、テストに大きく分類し、それぞれについて、SSEST の教育プログラムを通じて実施できたか、もしくは、できなかったかを回答してもらった。なお、各技術項目には、それぞれの項目におけるドキュメント作成も含まれている。要求分析、仕様定義、設計などの開発技術の上流工程については、約 8 割の参加者が実施できたと回答した。そ

表 11 アンケート結果：コミュニケーションスキルは向上したか

Table 11 Results of questions: communication skills.

	SSEST1	SSEST2	SSEST3	SSEST4	SSEST5	合計
向上した	12	7	22	22	18	81 (78%)
変わらない	5	5	3	6	4	23 (22%)

れに対して、コーディング以降のテスト、デバッグなどの下流工程については、約 7 割の参加者が実施できたと回答し、上流工程を実施できたと回答した割合よりも約 1 割低下した。この理由としては、上流工程に関する講義を多めに実施したり、ドキュメントのテンプレートを用意したりするなど、上位工程に対する実行委員会からの支援が多かったことと、グループ開発において、上流工程をメンバ全員で実施することが多く、互いに十分協力しながら実施できたためと考えられる。それに対して、下流工程は、実行委員会からの支援が、上流工程に対する支援よりも少なかったことに加えて、下流工程を個人、もしくは数名で実施するグループが多く、上流工程よりも時間に余裕を持って互いに協力して進めることが難しかったためと思われる。さらに、表 11 に、コミュニケーションスキルの向上に関する自己評価結果を示す。この結果から、約 8 割の参加者がコミュニケーションスキルの向上を実感できたことが分かる。

次に、参加者の満足度を分析する。表 12 に、SSEST に参加した目的をまとめる。参加

表 12 SSEST への参加目的
Table 12 Purpose of participation.

	SSEST1	SSEST2	SSEST3	SSEST4	SSEST5
組込みシステム開発を体験したかった	11	8	17	15	10
組込みシステム分野の同年代との交流	11	6	8	6	6
自己啓発	14	6	9	18	6
その他	0	4	0	0	4

目的は、複数回答可能としている。この結果からは、SSEST1 から SSEST5 を通して、組込みシステム開発の体験や、自己啓発を目的とする参加者が多いことが分かる。さらに、教育プログラムに対する満足度について、約 95% の参加者から「満足」または「やや満足」という回答が得られた。このことから、SSEST の取り組みは、参加者から高い満足度を得ていることが分かる。

「SSEST を通して新しい発見があったか？」という問いに関しては、約 95% の参加者から「あった」という回答が得られた。新しい発見に関する自由記述欄にあった内容を分類すると、大きく分けて 5 つの項目に分類できる。各項目と得られたコメントを以下に示す。

- コミュニケーション能力について
 - “組込みシステム開発の難しさを実感。複数人による開発におけるコミュニケーション能力の必要性？”
 - “多人数で開発するときには、確認作業とコミュニケーションが最も重要であること”
 - “チームワークの難しさを知った。的確なコミュニケーションを考えるきっかけになった”
 - “グループ内での進捗確認での意思疎通を正確にするのは難しかった。頻繁に話し合ってもそうだったので、たまにしか話し合う機会がないと大変だろうと思う”
 - “(自分の) コミュニケーション能力の低さ”
- ドキュメント整備について
 - “ドキュメンテーション整備の重要性”
 - “ドキュメンテーションの有用性、上流工程の重要性、もっと勉強すべき点”
- グループ開発について
 - “多人数開発の難しさ”
 - “多人数での組込み開発の楽しさ”

- “グループ開発の楽しさ、利便さ(適材適所の分担ができればとても効果的)、難しさ(意思の疎通)”
- “グループでの仕事は、予想以上に難しいということが分かった”
- “自分と異なる物の見方”
- 開発計画や開発プロセスについて
 - “計画の重要性。計画どおりに進まない難しさ”
 - “スケジューリングとレビューの重要性が分かった”
 - “開発のプロセスを考えさせられた”
- 組込みシステム開発について
 - “組込みシステム開発の難しさを感じることができた”
 - “組込みシステムでは物理要因によって挙動が変化しやすい”
 - “プログラムのスマートさが装置性能にモロに表れてくるのが印象的でした”

以上のコメントより、事前実習と合宿を終えた各参加者はそれぞれの新しい学びが得られたことが見て取れる。特に、教育目標であったコミュニケーション能力とドキュメンテーションに関しては、その重要性や難しさを体験できたとのコメントが多く見られた。つまり、これらのコメントから、コミュニケーション能力に関して、進捗確認での意思疎通において困難を体験した参加者がいたことが見て取れる。また、コミュニケーション能力やドキュメンテーション以外に、グループ開発に関してのコメントも比較的多く見られた。これは、グループ開発が参加者自身が思っていた以上に難しいことが発見できたことを示していると考えられる。それと同時に、グループ開発は「難しいが楽しい」という非常にポジティブな意見も見られた。開発計画や開発プロセスについても、2泊3日という非常に厳しい時間制約の下でグループ開発を経験し、開発の計画を立てることの重要性や計画どおりに進まないことの難しさを体験したことがうかがえる。一方、SSEST の題材である組込みシステム開発に関して、参加者は物理要因を考慮した組込みソフトウェア作成の難しさを体験した様子も見て取れる。これらより、SSEST の事前実習と合宿を通し、参加者が個別に学習しては決して見えてこない組込みシステム開発の難しさや開発プロセスの重要性、ひいては、グループで開発することの難しさを、参加者自身が身をもって体験できたことが推察される。これらは、参加者の自信につながり、今後の学びを後押しするきっかけになったと考えられる。

6.3 教育目標に対する達成評価

SSEST の最も重要な教育目標は、2.3 節で述べたように、「参加者が一連の組込みシステ

ム開発技術を体験することで、習得すべき知識や技術の重要性を理解してもらうこと」である。まず、この目標に対する達成度を評価する。6.1 節で述べたように、これまで開催した5回のSSESTに参加した合計113名の参加者は、事前実習と合宿を完了し、SSESTの教育プログラムをすべて修了できた。したがって、2.3 節で整理した本教育カリキュラムの技術・スキル項目をひとつおりの体験したことになる。さらに、アンケートに寄せられたコメントから、参加者の大部分が、技術・スキルの重要性を理解し、今後の技術習得やスキル向上の目標を見出すことができたと考えられる。以上のことから、本教育プログラムの最も重要な目標は達成された。

さらに、発展的な教育目標としてあげた「参加者に組込みスキル標準 ETSS のスキルレベル1相当を身につけてもらうこと」に対する達成度を評価するため、アンケート結果の自己評価を分析した。その結果、前節でも述べたように、開発技術に関しては、上流工程では約8割、下流工程でも約7割の参加者が実施できたと回答している。このことは、実行委員会から提供した資料や合宿での講義、合宿中の実行委員の支援の下で、参加者が各開発技術を実施できたという自己評価を下したことを示している。同様に、コミュニケーションスキルについても、約8割がスキルの向上を実感している。以上のことから、組込みスキル標準 ETSS のスキルレベル1を身につけるといふ発展的な目標に対しても、おおむね達成できたと考えられる。

6.4 得られた知見

これまで実施、運営したSSESTの経験を通じて得られた知見について、事前実習、合宿、教育プログラム全体、実行委員に対する教育効果、教育効果の評価方法の5つの観点で整理する。

事前実習を実施した結果、得られた知見について述べる。2.2 節で述べたように、SSESTでは、参加者の応募条件として特別なスキルを要求していないため、事前実習を、参加者の知識および技術を底上げする個人実習と位置づけた。それに対して、合宿は初対面の参加者同士でグループを組んで実施する。すなわち、このグループで2泊3日という限られた時間でシステム開発に取り組み、合宿終了までに成果物をまとめる必要がある。グループ分けの際、運営側はまったくの初対面の参加者同士でグループを組むことを優先し、参加者のスキルや過去の経験はいっさい考慮していない。その結果、すべての参加者が事前実習で基礎知識や基本的な開発技術を体験したとしても、合宿開始時点でグループごとの開発能力に少なからず差が発生し、自ずとその後の進捗状況にも差が出てくることを確認した。

合宿を実施した結果、得られた知見について述べる。SSESTの合宿は、会場となるホテ

ルの大広間を3日間貸し切って、実習以外の時間も自由に実習できる環境を提供し、実習以外の時間は基本的に自由時間とした。また、合宿では、最終的な成果物が満たすべき仕様、すなわちライントレースカーが走破すべきコースを提示し、そのコースを走破するライントレースカーを開発することが最低限の課題とし、走行タイムを速くすることはあくまでもオプションとした。これらを前提として、各グループは合宿開始時に開発計画を立て、グループの開発能力から実現可能と思われる目標をそれぞれ設定して開発を進めている。それにもかかわらず、非常に興味深いことに、ほとんどすべてのグループが開発の遅れを経験し、実習時間外も実習会場に集まり日付が変わるまで開発を続けていた。特に、開発の遅れが顕著なグループは、徹夜で課題に取り組んでいた。実際、コミュニケーション能力に関するコメントでは、進捗確認での意思疎通において困難を体験したとのコメントがある。最終的にはどのグループも最低限の要求を満たし、かつ、オリジナリティ溢れる成果物をまとめることができたが、コミュニケーション能力の不足が少なからず進捗状況に影響を及ぼしたのではないかと考えられる。

教育プログラム全体に関して得られた知見について述べる。SSESTの教育プログラムを通じて、参加者は合宿期間中に「失敗」と「成功」を同時に経験できたことが見て取れる。失敗とは、各グループの開発見通しの甘さや、開発中のコミュニケーション能力やドキュメンテーションに関連して起こった問題から、開発の遅れを招き、時間外にも開発せざるをえなくなったことである。一方、成功とは、課題となるコースを走破するライントレースカーを作成できたことであり、走破できたときの歓喜の様子から、どのグループも一定の成功を体験できたことが見て取れる。多くの教育プログラムでは、参加者に課題を与え、それを解決することで成功体験を与えるものが多い。それに対して、SSESTでは、成功体験と同時に失敗体験を与えることが、参加者にとって新たな学びを生むきっかけになっているのではないかと考えられる。特に、参加者の自由な判断で開発を進めさせた結果、進捗が大幅に遅れ、参加者が「開発の遅れから徹夜をした」という通常の教育プログラムでは得難い経験をしている。参加者が失敗を経験できることは、決められた時間だけ実習をこなせばよいという多くの教育プログラムでは決して得ることはできない貴重な体験である。このような体験を本格的な組込みシステム開発に従事する前にしておくことは、学生や若手技術者にとって一定の意義があると考えられる。このことから、成功体験だけでなく、失敗体験も同時に経験できるSSESTは、1つの教育プログラムのあり方として非常に意義深い実践であったと結論づけられる。

実行委員に対する教育効果に関して得られた知見について述べる。SSESTを実施した結

果, 実行委員として SSEST の運営に携わった学生や若手技術者には, 単純な技術開発の経験だけでなく, リーダとして将来業界を率いていくためのさまざまな能力が身についたのではないかと考えられる。特に, 自分たちのアイデアを企画としてまとめ, 教育プログラムとして提供し, 参加者対応や対外交渉から運営ノウハウを得た経験は何事にも代え難い経験である。このような点から, SSEST は単なる学生や若手技術者の教育プログラムとしてだけでなく, 運営側の学生や若手技術者の成長の場, さらに, 組込みシステム開発に興味のある学生や若手技術者のコミュニティ形成の核となりうる可能性を秘めているのではないかと考えられる。このような教育プログラムは前例がなく, 今後の発展が期待される。

教育効果の評価方法に関して得られた知見について述べる。スキルが向上したことを定量的に評価するためには, 自己評価だけでなく, たとえば, 教育カリキュラムの参加前後で, 参加者に対してスキル判断テストを実施して, その点数を比較するといった客観的に評価できる方法が必要となる。しかしながら, SSEST では, 一連の組込みシステム開発技術を体験することを最大の教育目標としていたため, スキルの判断テストのような評価方法を実施していなかった。今後, 前提となるスキルレベルが SSEST よりも高い参加者を対象に, スキルの向上を最大の目標とする教育カリキュラムを設計する場合には, 教育目標の定量的な評価方法を十分に考慮する必要があると考える。

7. まとめと今後の課題

組込みシステム技術に関するサマースクール (SSEST) は, コミュニケーション能力とドキュメンテーションの重要性を, 組込みシステム開発未経験の学生や開発経験の少ない若手技術者に身をもって理解させることを目的とした教育プログラムである。目的を達成するために, 我々は合宿形式のグループ開発を中心とした教育プログラムを開発した。2泊3日のグループ開発では, 初対面の参加者でグループを構成し, 与えられた課題を達成する過程で直面するさまざまな問題を自らの力で克服することで, 軽視されがちなコミュニケーション能力やドキュメンテーションの重要性への気づきを与えている。SSEST では, 当初の目的であったコミュニケーション能力やドキュメンテーションだけでなく, グループ開発や組込みシステム開発の難しさ, さらに, 開発プロセスに至るさまざまな気づきを参加者に与えることに成功した。組込みシステム開発未経験の学生や開発経験の少ない若手技術者が, このように組込みシステム開発の難しさを体験し, さまざまな気づきを得たことは参加者の今後の学びに非常に大きな意味を持ち, SSEST のようなスタイルの教育プログラムは非常に有益であると考えられる。

SSEST は特定の大学や企業を対象としない日本全国規模の取り組みである。今後の課題は, 特定の大学や企業での研修に実際に使えるような教育プログラムとしての改良や教材となるライントレースカーの改良, さらに, より難易度の高い課題の開発があげられる。そして, SSEST を通してつながった学生や若手技術者のコミュニティ形成の核となることも, 非常に価値のある課題としてあげられる。

謝辞 組込みシステム技術に関するサマースクール (SSEST) 実行委員会に関わったすべてのメンバに感謝いたします。また, 組込みシステム技術に関するサマースクール実施にあたり, 資金面および運営面でサポートしてくださった組込みシステム技術に関するサマースクールワークショップ (SWEST) に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 独立行政法人情報処理推進機構: 2008年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書 (2009), 入手先(<http://sec.ipa.go.jp/reports/20080715.html>) (参照 2011-02-22)。
- 2) 2009年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書—技術者個人向け調査, 経済産業省商務情報政策局, 入手先(http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/downloadfiles/2009software_research/09gijutusya_houkokusyo.pdf) (参照 2011-02-05)。
- 3) 2009年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書—プロジェクト責任者向け調査, 経済産業省商務情報政策局, 入手先(http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/downloadfiles/2009software_research/09project_houkokusyo.pdf) (参照 2011-02-05)。
- 4) 一般社団法人情報処理学会: 「組込みシステム研究会」発足のお知らせ (2005), 入手先(<http://www.ipsj.or.jp/09sig/kenkyukai/newSIG-EMB.html>) (参照 2011-02-22)。
- 5) 東海大学組込み技術研究科, 入手先(<http://www.u-tokai.ac.jp/kumikomi/>) (参照 2011-02-22)。
- 6) 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科組込みシステムコース, 入手先(<http://www.jaist.ac.jp/is/2008ja/tamachi/embedded-idea.html>) (参照 2011-02-22)。
- 7) NEXCES: 名古屋大学組込みソフトウェア技術者人材養成プログラム, 入手先(<http://www.nces.is.nagoya-u.ac.jp/NEXCESS/>) (参照 2011-02-22)。
- 8) QUBE: 九州大学システム LSI 設計人材養成実践プログラム, 入手先(<https://qube.slrc.kyushu-u.ac.jp/>) (参照 2011-02-22)。
- 9) Yamamoto, M., Tomiyama, H., Takada, H., Agusa, K., Mase, K., Kawaguchi, N., Honda, S. and Kaneko, N.: NEXCESS: Nagoya University Extension Courses for Embedded Software Specialists, *Proc. 1st Workshop on Embedded Systems Educa-*

tion, Jersey City, NJ, USA, pp.16–20 (Sep. 2005).

- 10) Yamamoto, M., Honda, S., Takada, H., Agusa, K., Tomiyama, H., Mase, K., Kawaguchi, N. and Kaneko, N.: Practice and Analysis of an Extension Course for Training Trainers of Embedded Software, *ACM SIGBED Review*, Vol.4, No.1, pp.73–81 (Jan. 2007).
- 11) ET ソフトウェアデザインロボットコンテスト, 入手先(<http://www.etrobo.jp/>) (参照 2011-06-08).
- 12) MDD ロボットチャレンジ, 入手先(<http://sdlab.sys.wakayama-u.ac.jp/mdd2010/>) (参照 2011-06-08).
- 13) レスキューロボットコンテスト, 入手先(<http://rescue-robot-contest.org/>) (参照 2011-06-08).
- 14) Architectural Paradigms for Dependable Embedded Systems Summer School, available from (<http://www.vmars.tuwien.ac.at/summerschool/>) (accessed 2011-02-22).
- 15) Third International Summer School on Advanced Computer Architecture and Compilation for Embedded Systems, available from (<http://www.hipeac.net/acaces2007/>) (accessed 2011-02-22).
- 16) 組込みシステム技術に関するサマースクール (SSEST), 入手先(<http://www.ertl.jp/SSEST/>) (参照 2011-02-22).
- 17) Matsubara, Y., Sugaya, M., Taniguchi, I., Murakami, Y., Kanai, H. and Takada, H.: SSEST: Summer School on Embedded System Technologies, *Proc. 1st Asia-Pacific Workshop on Embedded System Education and Research*, Hsinchu, Taiwan (Dec. 2007).
- 18) 独立行政法人情報処理推進機構—組込みスキル標準スキル基準 Version 1.2, 入手先(<http://sec.ipa.go.jp/ETSS/download.html>) (参照 2011-06-15).
- 19) 独立行政法人情報処理推進機構—組込みスキル標準キャリア基準 Version1.2, 入手先(<http://sec.ipa.go.jp/ETSS/download.html>) (参照 2011-06-15).
- 20) TOPPERS/JSP カーネル, 入手先(<http://www.toppers.jp/jsp-kernel.html>) (参照 2011-02-22).
- 21) μ ITRON 仕様, 入手先(<http://www.ertl.jp/ITRON/spec-j.html>) (参照 2011-02-22).
- 22) TOPPERS プロジェクト, 入手先(<http://www.toppers.jp/>) (参照 2011-02-22).

(平成 23 年 3 月 1 日受付)

(平成 23 年 9 月 12 日採録)



谷口 一徹 (正会員)

2004 年 3 月大阪大学基礎工学部卒業. 2009 年 3 月大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了. 博士 (情報科学). 2009 年 4 月より立命館大学理工学部電子情報デザイン学科助教, 現在に至る. 2007 年 10 月~2008 年 3 月, 2008 年 8 月~11 月, IMEC, Belgium にて Ph.D. Researcher. 第 19 回回路とシステム軽井沢ワークショップ奨励賞, 第 9 回船井研究奨励賞受賞. 電子システムの設計最適化や低消費電力化, コンパイラ最適化に関する研究に従事. 電子情報通信学会, IEEE 各会員.



安藤 友樹 (学生会員)

2009 年 3 月名古屋大学工学部卒業. 2011 年 3 月名古屋大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了. 修士 (情報科学). 2011 年 4 月より名古屋大学情報科学研究科博士後期課程, 現在に至る. MPSoC や組込みシステムの設計技術に関する研究に従事.



高瀬 英希 (学生会員)

2007 年 3 月名古屋大学工学部卒業. 2009 年 3 月名古屋大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了. 2009 年 4 月より名古屋大学大学院情報科学研究科博士後期課程, 同じく, 日本学術振興会特別研究員 DC, 現在に至る. 情報処理学会 2007 年度コンピュータサイエンス領域奨励賞, 平成 21 年度 IPSJ 論文船井若手奨励賞受賞. コンパイラ技術, 組込みシステムの消費エネルギー最適化等の研究に従事. 修士 (情報科学).



安積 卓也 (正会員)

立命館大学情報理工学部助教. 2008~2010 年日本学術振興会特別研究員. 2009 年名古屋大学大学院情報科学研究科情報システム学専攻博士後期課程修了. 2010 年より現職. リアルタイムシステム, 組込みシステム向けのコンポーネントシステムの研究に従事. 博士 (情報科学). IEEE, 日本ソフトウェア科学会, 電子情報通信学会各会員.



松原 豊（正会員）

名古屋大学大学院情報科学研究科附属組込みシステム研究センター研究員。2006年名古屋大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。2009年同博士後期課程単位取得満期退学。2009年4月より現職。リアルタイムOS，リアルタイムスケジューリング理論，組込みシステムの安全分析に関する研究に従事。博士（情報科学）。



細合晋太郎（学生会員）

2005年3月近畿大学生物理工学部卒業。2007年3月北陸先端科学技術大学院大学博士前期課程修了。修士（情報科学）。2007年4月より北陸先端科学技術大学院大学博士後期課程，現在に至る。組込みソフトウェア向けのモデル駆動型開発に関する研究に従事。



村上 靖明

2006年3月名古屋大学工学部卒業。2008年3月名古屋大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。修士（情報科学）。2008年4月よりソニー・エルエスアイ・デザイン株式会社に在籍，現在に至る。組込みシステムのソフトウェア開発に従事。



菅谷みどり（正会員）

2003年3月早稲田大学理工学研究科修士課程（情報科学）修了。2008年3月早稲田大学理工学研究科博士課程修了。2008年4月科学技術振興機構戦略的創造研究推進機構（CREST）研究員，2010年博士（工学）。2010年4月より横浜国立大学未来情報通信医療社会基盤センター講師，現在に至る。IEEE会員。オペレーティングシステム，ディペンダブルシステムに関する研究に従事。