

論文

組み込みシステムのための学習支援システムの開発と実践

千葉 慎二^{1,a)} 力武 克彰¹ 與那嶺 尚弘¹

受付日 2014年6月24日, 再受付日 2015年2月7日,
採録日 2015年3月22日

概要: 組み込みシステム技術者育成のための学習支援システムを開発した。本学習支援システムは、教育ボード、LMS サーバ、遠隔実習サーバで構成され、教育現場への導入により多くの学生、社会人技術者の育成に寄与してきた。本件では本学習支援システムの現場での活用について検証することで本システムの有効性を確認し、今後の学習支援システムの改良について検討した。

キーワード: 組み込みシステム, 遠隔実習, 学習支援

The Development and Practice of Learning Support System for Embedded Systems

SHINJI CHIBA^{1,a)} YOSHIAKI RIKITAKE¹ TAKAHIRO YONAMINE¹

Received: June 24, 2014, Revised: February 7, 2015,
Accepted: March 22, 2015

Abstract: We developed a learning support system for education of embedded system. This system is consisted of educational boards, a LMS server and a remote practice server. This system have been applied to educational field and contributed to promote many students and engineers. We confirmed the efficiency of this learning support system by evaluating the utility of this system in educational field and discussed improvement of this system.

Keywords: embedded system, remote practice, learning support

1. はじめに

組み込みシステムは製品の高機能化、小型化、省エネルギーといった付加価値を高めることを可能とするため、家電製品、携帯電話、自動車等、あらゆる分野で応用されている。主産業を工業製品とする日本において組み込みシステムはきわめて重要な技術であり、その技術者の育成も重要課題といえる。経済産業省が2003年度～2010年度に実施した組み込みソフトウェア産業実態調査の報告書によると、組み込みソフトウェアの技術者は2006年度に不足率49.0%と深刻な技術者不足となり、その後不足率は緩やかに減少して2009年度には26.9%となった[1]。組み込みシステムに関わる技術者不足は緩和される傾向にあるが、組み込みシステ

ム応用機器に要求される高機能化・複雑化に対応できる技術者の数は十分とはいえない状況にある。また組み込みシステム業界では技術者やプロジェクトマネージャのスキル向上を課題とする企業が多く[2]、技術的な知識だけでなくチームでの開発手法を理解できる人材育成へのニーズは高いといえる。

仙台高専では組み込みシステム技術者育成に2000年度より取り組んでおり、これまでに組み込みシステム教育に特化したeラーニングシステムや教材ボードを開発し、短期間の基礎的研修からチーム開発をとまなう長期的な研修まで、企業のニーズに合わせた人材育成プログラムを実施してきた[3], [4], [5], [6]。これまでに培ってきた教育手法は仙台高専社会人キャリアアップコース「組み込みシステム技術者育成コース」として体系化され、基礎から実践、最新技術までを学べる1年間のコースとして2011年度より開講するに至っている[7]。本論文では、これまでに開発した

¹ 仙台高等専門学校
Sendai National College of Technology, Sendai, Miyagi 989-3128, Japan
^{a)} chiba@sendai-nct.ac.jp

学習支援システムの活用について検証し、本システムの教育への有効性を確認し、今後の学習支援システムの改良について検討した。

本論文は以下の構成となっている。2章で我々が組込みシステム技術教育のために開発した学習支援システムについて解説する。3章で本システムを活用した教育活動について報告し、4章で本システムの有効性の検証と今後の改良について検討する。最後に5章において本論文のまとめを示す。

2. 学習支援システム

2.1 システム概要

図1に学習支援システムの概要を示す。本システムは受講生や教材リソースを管理するLMSサーバと、講義実習で使用する教育ボードを遠隔から利用可能とする遠隔実習サーバで構成される。LMSサーバでは講義資料やサンプルプログラムのダウンロードが行えるので、プログラムやハードウェア設計を行う開発用PCでLMSサーバの閲覧を行うようにすれば、講義内容と開発ツールを用いた実習をシームレスにつなぐことができる。LMSサーバのデータベース、チャット、フォーラムは、グループ開発実習での講義実習時間外でのディスカッションや簡易的な議事録として使用する。遠隔実習サーバは、教育ボードが使用できない自宅等での自学自習においても実習を可能とするために、インターネット経由で教育ボードを利用できる環境を提供する。以降の節において、本システムの各構成要素について詳細に解説する。

2.2 教育ボード

組込みシステム技術者にはソフトウェア、ハードウェアを含むシステム全体を設計できる技術が要求される。我々はこの要求を満たす技術者育成のための教育ボードとして、

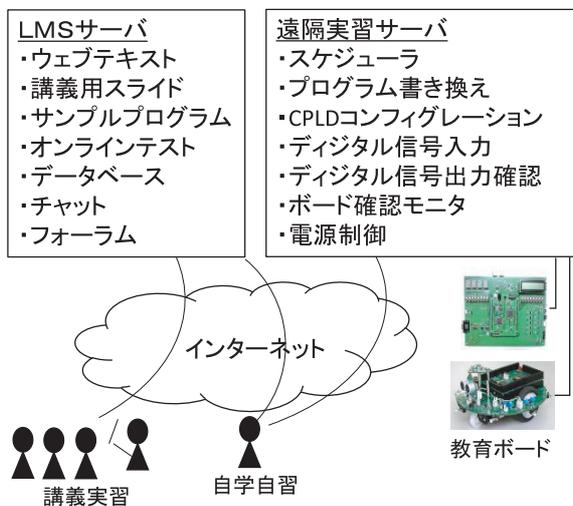


図1 学習支援システム概要

Fig. 1 Overview of the learning support system.

カメレオン AVR ((有) エグゼキュートシステム), Donkey ((株) 北斗電子) を各社と共同で開発した。各ボードの外観を図2に示す。

両ボードともに、ソフトウェアに関してはMPU (Micro Processing Unit) をターゲットとしたC言語によるプログラミング、ハードウェアに関してはCPLD (Complex Programmable Logic Device) をターゲットとしたHDL (Hardware Description Language) による回路設計が可能な汎用コア・ボードと、各種センサ、アクチュエータが実装されたオプション・ボードで構成されている。

各ボードの主な仕様を表1に示す。カメレオン AVR は組込みシステム学習者向けにトグルスイッチや7セグメントLED等のインタフェースをコンパクトにまとめた設計となっており、Donkeyは独立した2つの車輪を搭載したロボットのためモータ制御や自律走行、遠隔操作といっ



図2 カメレオン AVR (左) と Donkey (右) の外観

Fig. 2 The appearance of Chameleon AVR (left) and Donkey (right).

表1 教育ボードの主な仕様

Table 1 The main specifications of the educational boards.

	カメレオン AVR	Donkey
MPU	Atmel 社 AVR ATmega64	Renesas 社 M16/60 M16C/Tiny
CPLD	Altera 社 MAX II EPM570	Altera 社 MAX II EPM1270
システムクロック	MPU: 8[MHz] CPLD: 32/16/8 [MHz]	MPU: 32[MHz] CPLD: 32[MHz]
MPU/CPLD 間 I/F	SPI, IIC, 外部割込	SPI, IIC, 外部割込
トグルスイッチ	MPU: ×8 CPLD: ×8	MPU: ×8 CPLD: ×8
LED	MPU: ×8 CPLD: ×8	MPU: ×8 CPLD: ×8
7セグメントLED	CPLD: ×4	—
キャラクタLCD(16×2桁)	MPU: ×1	MPU: ×1
モータ	MPU/CPLD 切替: DC×1, ステッピング ×1, サーボ×1	MPU: DC×2 (車輪 駆動用)
赤外線通信	CPLD: 送信×2 CPLD: 受信×2	CPLD: 送信×1 (8方 向送信) CPLD: 受信×8
ロータリーエンコーダ	—	MPU: ×2 (各 DC モ ータに装備)
超音波センサ	CPLD: 送信×1 CPLD: 受信×1	CPLD: 送信×1 CPLD: 受信×1
ADC	MPU: ×2	—
DAC	MPU: ×1	—

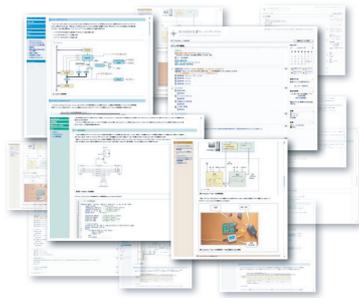


図 3 ウェブテキスト
Fig. 3 The web texts.

表 2 ウェブテキスト学習項目

Table 2 Learning contents of the web texts.

ソフトウェア (C言語)	GPIO, 割込み, タイマ/カウンタ, UART, A/D コンバータ, 各種センサ計測, LCD, DC モータ制御
ハードウェア (Verilog HDL)	組合せ回路設計, 順序回路設計, シミュレーション記述, DC モータ制御, ステッピングモータ制御, 赤外線通信, 超音波距離計, マイクロプロセッサ設計
組込みシステム 応用	SPI 通信, IIC 通信, ソフトウェア・ハードウェア協調設計, 自律移動ロボット

た内容を学習できる。これらのボードを教材とした組込みシステム教育によって、組込みソフトウェア、HDL 設計、センサ計測、アクチュエータ制御、ソフトウェア・ハードウェア協調設計に関する実習を行うことができる。

2.3 LMS サーバ

LMS サーバにはオープンソースの Moodle を導入している。Moodle で配信するウェブテキストは、2.2 節に示した教育ボードをターゲットとした、ソフトウェアおよびハードウェアの初学者向テキストとして開発した (図 3)。

講義の際にはウェブテキストの内容をまとめた講義用スライドを用いて解説している。ウェブテキストやスライド内には関連するサンプルプログラムや資料を参照するリンクを埋め込むことが可能なので、開発ツールや教育ボードを使った実習と連携した講義が容易に行えるようになっている。講義内容に合わせたオンラインテストも用意しており、講義中の理解度確認等に使用している。受講生はこれら教材リソースをインターネット経由でいつでも参照可能なので、自学自習にも活用できる。ウェブテキストとして開発した学習項目を表 2 に示す。

遠隔地間でのグループ学習支援において、議論支援にはチャットが用いられることが多く、テキスト以外での共同作業支援として電子黒板、Wiki 等のコミュニケーションツールを併用することで学習情報の交換や協調学習に役立つことが報告されている [8], [9], [10]。本システムにおいても Moodle の機能として用意されているチャットやフォー

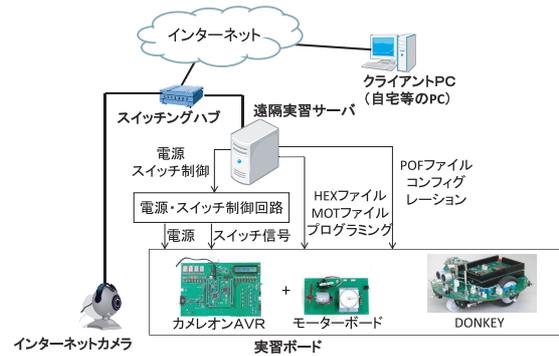


図 4 遠隔実習システム概要
Fig. 4 The overview of remote practice system.

ラム、データベースを、グループ実習での講義時間外ディスカッションや簡易的な議事録、共有フォルダとして活用している。本学習支援システムの対象となるグループには、異なる企業で働く技術者同士がメンバとなることも多く、インターネットを介したグループディスカッションや資料の共有ができる仕組みを取り入れることは必須といえる。

2.4 遠隔実習サーバ

組込みシステムについて自学自習する場合、低コストのソフトウェア開発ツールや EDA (Electronic Design Automation) ツールを自宅等の PC にインストールすることによって、ソフトウェア、ハードウェアの設計やシミュレーションによる動作確認を行うことができる。各ツールのシミュレーションによる動作確認は MPU や CPLD 自体の動作のみが対象であり、それらが実装された組込みシステム全体の動作シミュレーションは不可能である。したがって、組込みシステム開発では実回路での動作確認が重要となる。しかし一般的な教育環境では教育ボードは実習室でのみ使用可能となっているため、実習室外での実回路を用いた学習は困難である。その解決策として実習環境を遠隔操作で提供する手法が考えられる。デジタル回路実習環境を遠隔操作で提供する試みはいくつか報告されており [11], [12], 我々も本件で開発した教育ボードを対象とした遠隔実習システムを開発し、自学自習への活用を実践している [13]。

図 4 に遠隔実習システムの概要を示す。

遠隔で操作する教育ボードにはカメレオン AVR あるいは Donkey を使用する。遠隔実習サーバは、自宅等の PC で設計したソフトウェア設計ファイル (HEX ファイル, MOT ファイル)、ハードウェア設計ファイル (POFF ファイル) を HTML フォームで受信し、サーバ側で教育ボードへの書き込みを行うことで遠隔ユーザの設計内容で教育ボードを動作させることができる。電源・スイッチ制御回路は、教育ボードと撮影用蛍光灯の電源管理、表 1 に示された教育ボードのトグルスイッチ入力を制御するよう配線されている。

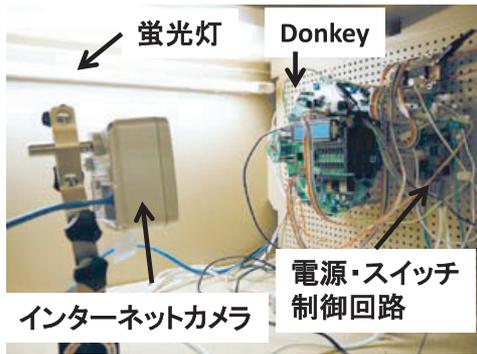


図 5 遠隔実習システム実装図

Fig. 5 The implementation of remote practice system.



図 6 遠隔実習システムユーザインタフェース

Fig. 6 The user interface of remote practice system.

図 5 に遠隔実習システムの実装の様子を示す。図 5 では教育ボードとして Donkey を設置している。Donkey は自走可能なロボットであるが、遠隔実習システムでは図 5 に示すように車輪が空転するように固定して遠隔操作を行う。

図 6 に遠隔実習システムのユーザインタフェース画面を示す。遠隔ユーザは教育ボードのトグルスイッチの ON/OFF 情報を HTML フォームで送信することで、電源・スイッチ制御回路を介して教育ボードのスイッチ入力を制御することができる。教育ボードの動作確認に関しては、インターネットカメラで撮影した教育ボードの映像を配信することで実現している。

3. 本システムを活用した教育活動

3.1 組込みシステム技術者育成コース

2 章で解説した学習支援システムを活用した研修として、仙台高専社会人キャリアアップコース「組込みシステム技術者育成コース」について報告する。

「組込みシステム技術者育成コース」は、仙台高専で社会人技術者向けに開講された 1 年間のコースであり、「組込み系ソフトウェア講座」(30 時間)、「HDL 設計講座」(30 時間)、「Android 開発講座」(30 時間)、「組込みシステム開

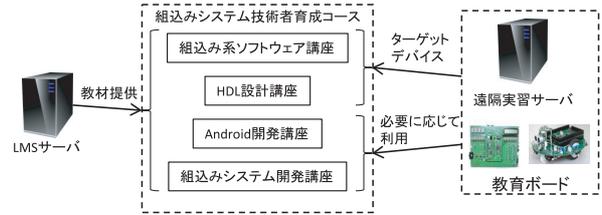


図 7 学習支援システムの利用

Fig. 7 Usage of the learning support system.

発講座」(40 時間)の 4 講座で構成される(カッコ内は総講義時間)。図 7 に本コースでの学習支援システムの利用について示す。本学習支援システムの LMS サーバは、これらの講座での教材リソースの提供やディスカッション、共有フォルダとして活用されている。教育ボードと遠隔実習システムに関しては、基礎学習が中心となる「組込み系ソフトウェア講座」、「HDL 設計講座」でターゲットデバイスとして利用している。「Android 開発講座」および「組込みシステム開発講座」では講義内容が教育ボードの適用範囲とは異なるため、必要に応じて利用している。

「組込みシステム開発講座」は他の 3 つの講座で学習した技術の応用開発を行う講座として、社会人と高専専攻科生で構成された少人数グループによる PBL 形組込みシステム開発実習を実施する。本実習は技術的スキルの向上だけでなく、社会人のリーダーシップやマネージメントのスキルアップ、専攻科生のキャリア教育等、社会人と専攻科生がグループメンバとなって協働して取り組むことで得られる効果も期待できる。本講座でのグループ活動のマネージメント手法として、平成 26 年度よりスクラムを導入している。スクラムはアジャイル開発手法の 1 つであり、チームでの作業の進め方に特化したフレームワークである。スクラムでは、最終的なプロダクトの完成に至るまでをスプリントと呼ばれる短期間(1~3 週間)の作業期間に分割する。各グループはスプリントで定義した完成目標を目指して活動を行い、スプリント終了時に行うスプリントレビューで達成度を評価、グループ活動の振り返りを行い、その反省点を考慮して次のスプリントの計画を立てる。グループでの活動は、データベースに議事録やスクラム活動記録としてつねに最新の情報として保存することとし、グループの進捗状況をメンバ全員が把握できるようにした。

4. 学習支援システム導入の効果検証

4.1 学習支援システム活用アンケート調査実施概要

本学習支援システムの学習への活用に関するアンケート調査を実施した。アンケート対象は、平成 26 年度に実施した組込みシステム技術者育成コースの受講生 42 名(社会人 15 名、専攻科生 27 名)である。アンケート回収率は社会人 73%、専攻科生 85%となり、全回答者数は 33 名となった。このアンケート結果をもとに、4.2 節で教育ボー

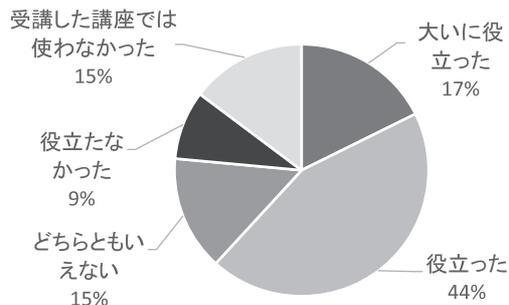


図 8 教育ボードは基礎学習に役立ったか？

Fig. 8 Are the educational boards useful for basic study?

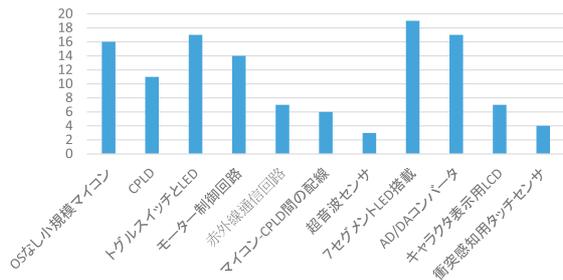


図 9 教育ボードの特徴で学習に効果的なのは？

Fig. 9 Which properties of the educational boards are effective for study?

ドについて、4.3 節で LMS サーバについて、それぞれの教育効果について検証した。

4.2 教育ボード

組込みシステムの基礎技術の学習に、本教育ボードが役に立ったかの問いに対する回答を図 8 に示す。図 8 中の“受講した講座では使わなかった”と回答した割合を除くと、役に立ったと感じた受講生は約 72% となり、本教育ボードを使用した講義実習の教育効果は高いといえる。

教育ボードの持つ特徴で、学習に効果的と思われる項目についてすべて選択するよう質問した結果を図 9 に示す。OS なしの小規模マイコンや GPIO の学習に有効なトグルスイッチと LED、7セグメント LED 等、組込みシステム開発に最低限必要な項目は効果的と感じている受講生が多い。赤外線通信や超音波センサ等比較的高度なプログラミングや回路設計が必要となる項目や、ソフトウェア・ハードウェア協調設計に必要なマイコン-CPLD 間の配線は、PBL 等での活用の機会がないと必要性があまり感じられないため、効果的と感じる受講生は比較的少ない結果となった。

4.3 LMS サーバ

LMS サーバで閲覧するウェブテキストや講義スライドについて、組込みシステムの基礎学習に役立ったかを質問した結果を図 10 に示す。役に立ったという意見が半数以上となり、役に立たなかったという意見はなかった。しか

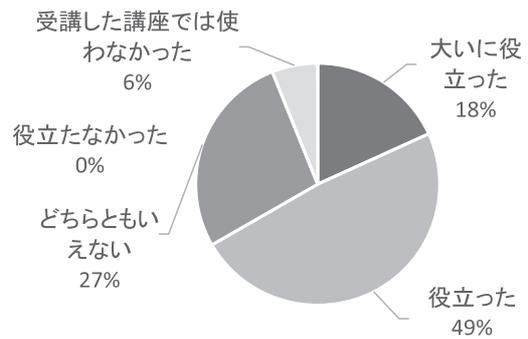


図 10 テキストは基礎学習に役立ったか？

Fig. 10 Are the texts useful for basic study?

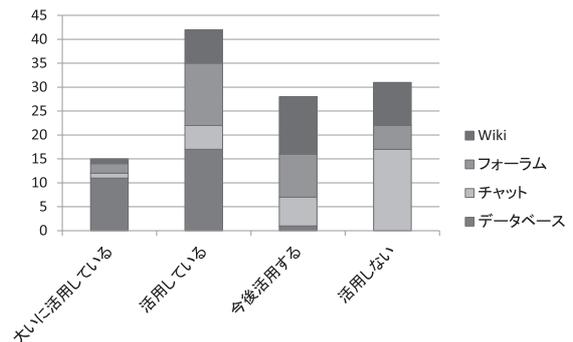


図 11 各ツールをグループ活動に活用しているか？

Fig. 11 Do you use these tools for the group activity?

し、どちらともいえないという意見が 27% あった。この点については、以降で示す自由記述の意見の内容とともに考察する。

学習用テキスト（ウェブテキスト、講義用スライド）の持つ各特徴について、学習効果があると感じている受講生数を集計した結果を以下に示す。インターネットで閲覧できる (27)、資料をダウンロードできる (26)、教育ボードを対象として解説している (15)（※カッコ内の数値は効果的と感じている受講生数）。教育ボードを対象とした解説については、効果的と感じている受講生は半数程度であった。

学習用テキストの今後の改善点について、自由記述で回答してもらった。いただいた意見をまとめると、概念的な説明のみで具体的な動きが分かりにくい箇所があった、情報が古くて最新の開発環境では使用できなかった、印刷して配布してほしかった、といった内容であった。図 10 の質問でどちらともいえないと解答した 27% と教育ボードを対象とした解説に学習効果を感じていない受講生は、自由記述に示された不具合（分かりにくい、情報が古い）を特に大きく感じたためと思われる。学習用テキストについて、今後は最新の情報への更新、分かりにくい箇所の修正を適時実行していくことが必要である。

PBL 実習でのグループ活動支援ツールとして、Moodle の機能であるデータベース、チャット、フォーラム、Wiki を各グループ用に提供した。グループ活動でこれらのツールを活用しているか質問した結果を図 11 に示す。

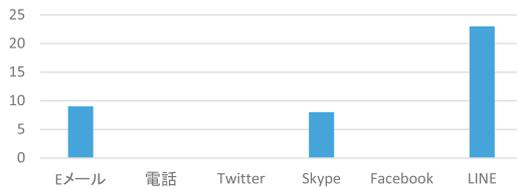


図 12 グループで独自に活用しているツールは？

Fig. 12 Do you use your own tools for the group activity?

これらのツールの中で比較的良好に活用されているのは、データベースとフォーラムであった。データベースは、グループメンバの成果物を保存する共有サーバとして役立っている。フォーラムはトピックごとにディスカッションを整理することができるので、簡易的な議事録として活用されている。グループ活動で有効と思われるチャットがあまり活用されていないが、これは以下に示すように、Moodleのチャットに代わる他のツールを使用しているためである。

図 12 に Moodle で提供しているツール以外で、グループで独自に活用しているツールについて質問した結果を示す。LINE を利用している受講生が特に多く、これがチャットの役割を果たしていると思われる。そのほか Skype によるテレビ会議も遠隔地間でのディスカッションに使用しているグループもあった。今回調査した受講生においては、Twitter や Facebook をグループ活動に使用していると回答した者はいなかった。

4.4 遠隔実習サーバ

2.4 節で解説した遠隔実習サーバは学内授業や社会人向け研修で運用され、すでに受講生アンケートによってその有効性が検証された [14], [15]。その結果、遠隔実習システムは自宅等での自学自習に有効であることが示された。しかし、教育ボードのスイッチ遠隔操作とインターネットカメラによる動作確認には問題点が指摘された。本遠隔実習システムユーザインタフェースからのスイッチ入力は、対応するスイッチボタンをマウスでクリックすることで ON/OFF を切り替える仕組みとなっている。この手法では入力信号を同時に複数変化させることができず、また高速で入力信号を変化させることもできない。インターネットカメラによる動作確認では、LED の点灯/消灯、モータの回転/停止、LCD の表示等をカメラの動画で確認する。この場合、カメラのフレーム変化に比較して高速な動作の確認は不可能となる。よって、基礎的なプログラミングや回路設計の動作確認は可能であるが、高速な信号の入出力を必要とする組込みシステムの動作確認は困難である。また本システムは個人の自学自習を目的に開発されたものであり、グループでの活動が重要な PBL 学習への応用も困難である。

我々はこれらの問題に対応できるよう、遠隔実習システムの改良を進めている [16]。表 3 に現遠隔実習システム

表 3 現システムの問題点と改良システム改善内容

Table 3 Improvement points against each problem of the current system.

改善項目	現システム問題点	改良システム改善内容
同時アクセス数	個人での使用を想定しているため、1名のみアクセス可能。	グループでの予約を可能とし、複数人の同時アクセス可能
信号入力方法	マウスクリックによる単一信号入力	複数入力信号をVCDファイルでアップロード
動作確認方法	インターネットカメラによる動画	複数出力信号をVCDファイルでダウンロード

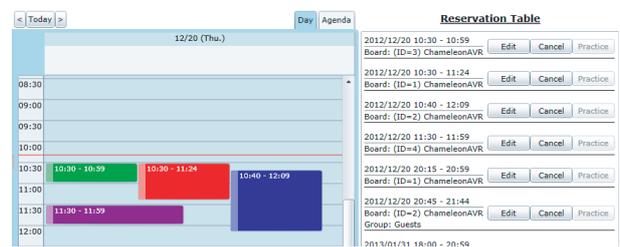


図 13 システム予約画面

Fig. 13 The system reservation window.

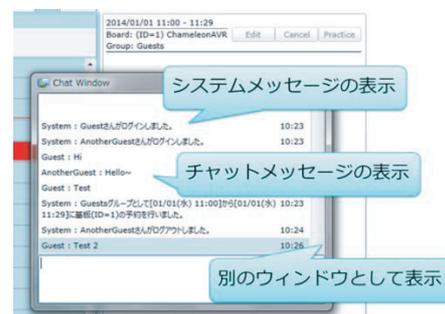


図 14 チャット画面

Fig. 14 The chat window.

(以下、現システム) の問題点と開発中のシステム (以下、改良システム) での改善内容を示す。

図 13 に改良システムのシステム予約画面を示す。改良システムでは複数ターゲットデバイスを単一サーバで管理することも計画しており、図 13 では予約するターゲットデバイスごとに色分けされたボックスで予約時間帯を示している。ログイン中のメンバは同一のターゲットデバイスに対して各人が遠隔操作することが可能であり、同時にチャット機能を使って互いに文字での会話が可能である (図 14 参照)。これらの機能拡張によって同一実験環境を複数で遠隔から操作し、共同作業ができるシステムを実現した。

複雑な入力信号パターンや高速な信号変化の動作確認に対応できるようにするため、VCD (Value Change Dump)

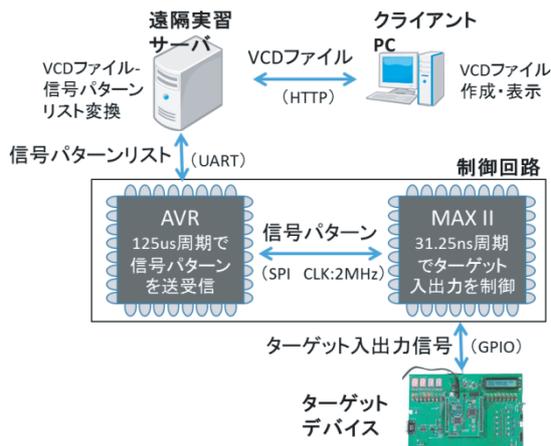


図 15 動作特性データ収集システム

Fig. 15 The operational data acquisition system.

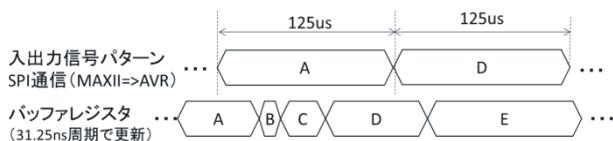


図 16 入出力信号計測タイミング

Fig. 16 A measurement timing of the input/output signals.

ファイルによるターゲットデバイスへの信号入出力を可能とした動作特性データ収集システムを開発している [17]. VCD ファイルは回路シミュレーションの入出力ファイルとして用いられるファイル形式の 1 つで、ヘッダ情報、変数定義および変数値の時間変化を保存した ASCII ファイルである. 多くの回路シミュレータに対応したファイル形式のため、入力信号パターンの作成や動作結果の波形表示を既存のシミュレータや波形表示ツールで行うことができる. 図 15 に動作特性データ収集システムの構成を示す.

クライアント PC より入力信号 VCD ファイルが遠隔実習サーバへ送信され、その結果としてターゲットデバイスより収集された入出力信号 VCD ファイルがクライアント PC で受信される. ターゲットデバイスの入出力信号 (MAX II 内のバッファレジスタに保存) の変化は 31.25 ns の時間分解能で計測可能であるが、SPI 通信による信号パターンの送受信は 125 us 周期で処理される. そのため図 16 に示すように、ターゲットデバイスでの入出力信号の変化は、125 us 周期で実施される SPI 通信のタイミング時の値として計測される. 図 17 に本システムを組み込んだ遠隔実習システム画面を示す. 画面左下に示された連続スイッチ制御機能というフレーム内で VCD ファイルの送受信をすることができる.

図 18 に本システムで得られた出力信号 VCD ファイルの波形表示例を示す. この VCD ファイルは、ターゲットデバイスとしてカメレオン AVR を用い、AVR には 3 ビット四則演算を行うプログラム、MAX II には 10 ms 周期のアップ/ダウンカウンタをクライアント PC から書き込み、

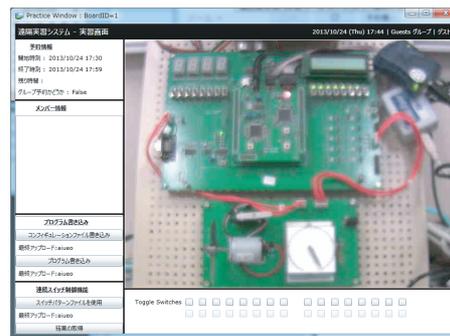


図 17 改良版遠隔実習システム画面

Fig. 17 The improved remote practice system window.

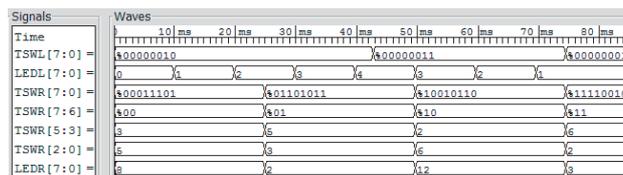


図 18 ターゲットデバイス動作確認

Fig. 18 An operation confirmation of target device.

入力信号 VCD ファイルをクライアント PC から送信し、ターゲットデバイスの出力信号を収集して得られたものである. 図 18 中の信号内容を以下に示す. TSWR (AVR 入力: 7~6 ビット目: 演算選択信号 (00: a+b, 01: a-b, 10: a*b, 11: a/b), 5~3 ビット目: 計算値 a, 2~0 ビット目: 計算値 b), LEDR (AVR 出力: 演算結果), TSWL (MAXII 入力: 1 ビット目: 動作 (1)/停止 (0) 信号, 0 ビット目: ダウン (1)/アップ (0) 切替え信号), LEDL (MAXII 出力: カウント値).

現在の改良システムには、ターゲットデバイス入出力信号の 125 us 未満の変化を検出できないという制限がある. この制限については、図 15 に示された MAX II 内のバッファレジスタをメモリに変更することにより、SPI 通信を介さずに入出力信号をいったん MAX II 内に保存して改善することを試みている. 改良システムは現状では開発段階のため、教育現場での実証実験に向けて研究開発を進めている.

4.5 学習支援システムの教育への有効性

受講生に対するアンケート調査より、教育ボードが組み込みシステムの基礎学習に役立っていることが確認できた. LMS サーバで提供している学習用テキストについては、適時情報更新が必要ということが明らかとなったが、半数以上の受講生が学習に役立っていると回答した. グループ活動支援ツールはデータベース、フォーラムの活用が確認でき、さらに LINE や Skype といった受講生独自のツールも取り入れたグループ活動が行われていることが確認できた. 遠隔実習サーバについては基礎学習には効果的であり、グループ学習やより高度な回路学習のための改良を進めてい

る。以上の検証結果より、本学習支援システムは個人の学習、グループ学習ともに多くの受講生が活用しており、教育への有効性は高いといえる。

5. まとめ

組込みシステム技術者育成のための学習支援システムを開発し、学生、社会人を含めた教育現場での実践によりその有効性を確認した。グループ学習においては本学習支援システムとLINEやSkype等のコミュニケーションツールを併用した活用がなされており、今後はより多彩なツールの組み合わせで学習を支援する統合的なシステムの構築を考えていく必要がある。

参考文献

- [1] 経済産業省：2009年度版組込みソフトウェア産業実態調査経営者及び事業責任者向け調査報告書(2009)。
- [2] 経済産業省：2010年度版組込みソフトウェア産業実態調査経営者及び事業責任者向け調査報告書(2010)。
- [3] 千葉慎二, 鹿股昭雄, 佐達 幹：MPU/CPLD 協調ボード“カメレオン”の開発とデジタルシステム設計教育への応用, 第3回システム LSI 琵琶湖ワークショップ, pp.195-197 (1999)。
- [4] 森 哲史, 千葉慎二：HDL 設計教育支援のための遠隔実習システムの開発, FIT2006 (第5回情報科学技術フォーラム) 講演論文集, pp.341-342 (2006)。
- [5] 千葉慎二：HDL 設計教育における自学自習および学生評価システムの開発, 工学教育, Vol.55, No.4, pp.105-108 (2007)。
- [6] Chiba, S., Yonamine, T., Sasaki, M., Sugawara, K. and Kanomata, A.: Design of a blended e-learning curriculum for embedded system engineering, *Proc. 8th IFAC Symposium on Advances in Control Education*, ThC02.3 (2009)。
- [7] 仙台高専：組込みシステム技術者育成コース, 入手先 (<http://lms.es.sendai-nct.ac.jp/ict/embedded/>)。
- [8] 高田昭伸, 高橋稔哉, デイリムラット デイリワルデイ, 小泉寿男：共同作業を中心とした遠隔協調学習における支援とその実践評価, 電子情報通信学会技術研究報告, ET2006-61, pp.61-66 (2006)。
- [9] 澤井大助, 三輪譲二：e-Learning における統合型協調学習支援システム, 電子情報通信学会技術研究報告, ET2005-63, pp.37-42 (2005)。
- [10] 藤井 諭, 水野忠則：チャットと黒板を併用したグループ学習支援システムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告, ET2001-53, pp.57-63 (2001)。
- [11] 斎藤正和, 藁科 崇, 田中清臣：WWW を利用したデジタル回路遠隔実験, 電子情報通信学会技術研究報告, ET2003-108, pp.59-64 (2004)。
- [12] 中村立人, 國宗永佳, 新村正明, 不破 泰：組込みシステム開発演習における授業時間外学習を支援する遠隔実習システム, 電子情報通信学会信学技術報告, ET2009-80, pp.163-167 (2009)。
- [13] 千葉慎二, 與那嶺尚弘, 佐々木正明, 菅原浩弥, 鹿股昭雄：組込みシステム技術者育成のための教育システムの開発と研修プログラムの実践, 工学教育, Vol.58, No.5, pp.12-17 (2010)。
- [14] 千葉慎二：組込みシステム設計教育のための遠隔実習システムの開発と運用評価, 平成20年度情報教育研究会集講演論文集, pp.339-342 (2008)。
- [15] Kodama, T., Suzuki, Y. and Chiba, S.: Development of a

Remote Practice System for Embedded System Education, *Proc. IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications*, pp.53-58 (2010)。

- [16] Chiba, T., Akai, K. and Chiba, S.: Development of a Groupware System for Embedded System Education, *Proc. 6th International Symposium on Advances in Technology Education (ISATE-2012)*, electronic publishing (2012)。
- [17] 赤井健太, 千葉俊光, 千葉慎二：組込みシステム遠隔検証のための動作特性データ収集システムの開発, FIT2013 (第12回情報科学技術フォーラム), 第3分冊, pp.87-90 (2013)。



千葉 慎二 (正会員)

1996年東北大学大学院情報科学研究科博士課程後期修了。博士(情報科学)。同年仙台電波工業高等専門学校助手。2004年同校講師。2007年同校准教授。2008年仙台高等専門学校准教授。2013年仙台高等専門学校教授。

組込みシステムの応用および教育システムの研究に従事。電子情報通信学会, 日本工学教育協会各会員。



力武 克彰

2004年東北大学大学院情報科学研究科博士課程後期修了。博士(情報科学)。同年科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業(CREST)特別研究員。2008年仙台電波工業高等専門学校助教。2012年仙台高等専門学校

准教授。組込みシステムの設計・開発手法の研究に従事。日本物理学会, 応用物理学会各会員。



與那嶺 尚弘

1993年琉球大学大学院工学研究科電気情報工学専攻修了。修士(工学)。同年仙台電波工業高等専門学校助手。2001年同校講師。2007年同校准教授。2008年仙台高等専門学校准教授。組込みシステムの応用, 教育システムの

開発およびリハビリ機器開発の研究に従事。電子情報通信学会会員。