

システム LSI 関連ものづくり教育の高大連携へのアプローチ

田中 武*・安田 倫己**・山田 明宏***

(平成16年9月10日受理)

Approach to high school-University cooperation of “Monozukuri” education associated with system LSI

Takeshi TANAKA, Tomomi YASUDA and Akihiro YAMADA

(Received Sep. 10, 2004)

Abstract

It is a system LSI is used in all the places of modern society. As advanced circuitry technology, electron device technology, semiconductor process technology, mounting technology, etc. are used to produce the system LSI, it becomes difficult to understand the knowledge about the system LSI, and a system LSI is start to think as a black box. In recent years, the technology which surrounds a system LSI was developed and the design of the digital circuit in an integrated circuit was attained using the software on a personal computer. Although the integrated circuits was mounted in the printed circuit board and tested in education of industrial high school, the preliminary integrated circuit design became easy, and the education which was consistent from an integrated circuit design to printed circuit board mounting was attained at the university, and applied the system to the education of an industrial high school.

Key Words: System LSI, digital circuit, FPGA, SPP

1. ま え が き

システム LSI の高集積化, 高密度化に伴い, システム LSI 関連の研究・教育の重要性が高まってきている。システム LSI 関連のものづくり教育を検討すると, 集積回路の前処理工程としては, 酸化, 拡散, 堆積, エッチング, 微細加工技術等の半導体プロセス技術等, 後処理工程としては, ダイボンディング, ワイヤーボンディング等のチップ実装技術がある。最後に, この集積回路を利用するためのプリント基板関連技術がある。

また, 集積回路の規模の増加に伴い, 半導体設計技術, 電子デバイス技術, 半導体プロセス技術を総合的に集積回路毎に設計・製作・検証等を実施することが困難になって

きた。そのため, 半導体プロセスを固定し, 集積回路設計に必要なデザインルールを定め, 半導体プロセス, デバイス形状等の知識が少なくとも集積回路設計が可能になってきた。

このような背景の中で, 工業高校の情報技術科におけるコンピュータリテラシーとして, 次のような事を生徒に伝えたいと考えていた。

「コンピュータは, 基本的に人間の扱う数字や文字を符号(記号)に変換して, それを扱う機械である。ただの計算機械にすぎないコンピュータは, 命令手順書, 課題解決の仕組み, 手順の解析(つまりデータをどのように把握して, 抽象化, モデル化するか), その記号表現, 記号を取り扱う技術としてのソフトウェアが大切であ

* 広島工業大学工学部電子・光システム工学科

** 静岡県立浜松工業高校

*** トッパンテクニカルデザインセンター株式会社

り、その積み重ねによって論理機械となる。」

一方、専門教科「情報」の内容を概観したり、工業「情報技術基礎」から「ハードウェア技術」の内容を見てみると、2進数や論理回路を学習し、中央処理演算装置(CPU)のブロック図や命令処理サイクルが解説される。また、パソコン組み立てやネットワーク構築の実習を行ってみると、情報技術として、コンピュータの心臓部(CPU、中央演算装置)が、LSI化によって見えにくくなっており、学習上の大きな支障になっている。この部分の仕組みを実際的に理解しておくことは、将来、情報技術に携わっていく生徒にとって、非常に大切なスキルと考える。しかし、現在のカリキュラムでは、「どのような信号を入力したら目的の演算が実行されるのかといったような、得たい機能をどう符号化して命令を作り、その実現のためにどのように論理回路を設計・組み立てたらよいか。」「どのように組み上げればCPUの体をなすのか」というイメージを生徒に与えることができていない。

一方、情報技術系の大学などで行われているCPU設計なる講座は、高校生にとっては、専門的に過ぎる。また、LSIといったハードウェアや開発ツールといったソフトウェア環境も手が届きにくいものだった。

しかし、最近の技術の進歩により、ユーザカスタムロジックLSIのごく簡単な設計を、パソコン環境で比較的容易にできるようになってきた背景がある。

今回、ユーザカスタムロジックLSIの一つであるFPGAとその設計環境を利用して、現在実用されているような高度なCPUではないが、CPUを見通せるような、データを記憶・保持・演算したりする簡単な論理回路を設計し、統合的に組み合わせてみることで、コンピュータの中核部品であるCPUの本質を顕在化し、基本原理から設計・製作までを実習し、体験的に理解させるために、文部科学省が平成14年度から「科学技術・理科大好きプラン」の一環として実施しているサイエンス・パートナーシップ・プログラム(SPP)の連携プログラム¹⁾として実施した。このプログラムは、大学や研究機関など科学技術を研究している現場と中・高等学校などの教育現場とのあいだの連携を支援します。日本の科学技術の第一線で活躍する研究者・技術者の協力を得て、実験・観察・体験を重視した連携を進め、科学技術の分野で活躍している人の熱意に触れる機会を充実することを目的として行っており、このプログラムの利用により、生徒は、コンピュータが「何を」「どのように」処理しているのかという情報技術の中核機構であるCPUのしくみに触れて理解することで、より一層コンピュータを身近に感じ、情報技術をさらに学んでいく意義を理解してくれるものと期待できる。

2. 実施内容

a 準備したツール

広島工業大用意

- ・FPGA (Field Programmable Gate Array) ツール Max Plus II (PC 台数分)
- ・白色 LED キット (生徒人数分)
- ・テキスト (資料6) (生徒人数分)

浜松工業高校用意

- ・制御用パソコン20台 (生徒人数分)
- ・はんだごて、ハンダ、ラジオペンチ、ニッパ (生徒人数分)



図1 白色 LED キット

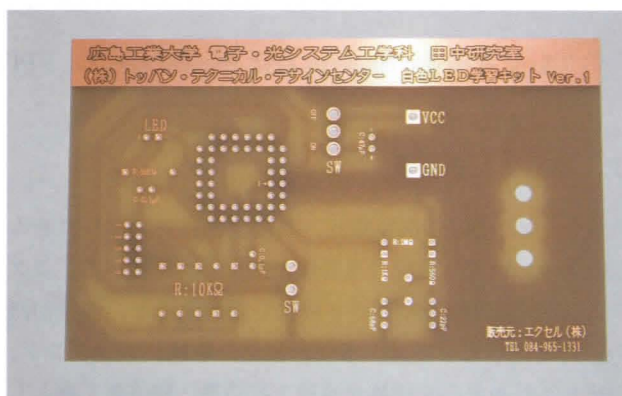


図2 製作基板 表 (部品面)

b 内容

第1日目 8月5日(木)

予定(20名)を大幅に上回る44名の生徒の参加で賑わった。講師紹介、本講座の意義などを確認して、簡単な開講式とした。受講生徒は、コンピュータの中核となる中央演算装置(CPU)が、LSI化によってわかりにくくなっていることを認識し、本講座の意義を理解した。



図3 第1日目講座：論理回路
熱心に聴講2時間が経過し、やや疲れ気味の生徒も！



図5 相談しながら実習を進める生徒

講座：論理回路（2時間）

講師の用意したスライド（パワーポイント）を中心に、基礎的事項の確認を講義形式で行った。

コンピュータの扱うデジタル量とはどのようなものか。

論理回路の解説 AND, OR 等

順序回路の解説 ラッチ, F/F

複合回路の説明 セレクタ, 加算器, デコーダなど

各種論理回路はどのようなものがあるか。背景となる基礎知識の確認を行いながら、講師や TA とのコミュニケーションを深めて行った。

実習（2時間）

アルテラツール Max Plus II を用いたカウンタ作成

以降で利用するロジック回路設計ツールに慣れるため、手順書に従いカウンタ回路のデータ入力を行なった。シミュレーションをしてカウンタ動作の理解をする。参加者全員完成することができた。

第2日目 8月10日（火）

参加生徒36名。



図4 第1日目午後 Max Plus II 実習中

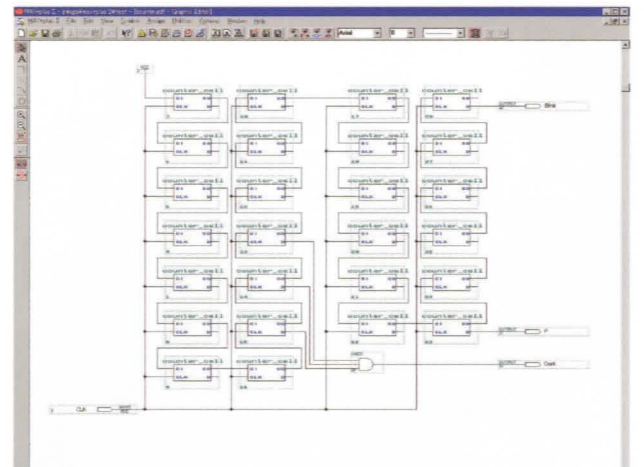


図6 アルテラツール MAX Plus II を用いたカウンタ設計例

講座：CPU の動きの説明（1時間）

CPU の基本構成やその利用例などを講義した。

実習（3時間）

FPGA（既書き込み）を使って白色 LED の点灯制御ボードの作成目的や仕様を確認した。実際にハンダ付けを行い、各自1台ずつ製作し、白色 LED 点灯確認をした。

TA の巡回指導だけで仕様どおりの制御が行われる回路を完成できた生徒は、80%程度であった。残りの生徒も、TA による個別支援を行うことで全員完成できた。今回製作した論理回路が、コンピュータの心臓部である CPU の中で、どのような役割を担う回路なのかを考えながら製作指導するように留意した。

第3日目 8月11日（水）

参加生徒33名。

講座：CPU 内部回路の説明（1時間）

CPU の内部構造（命令ブロック、レジスタ、制御、算術論理演算器）がどうなっているのか説明した。

実習（3時間）

アルテラツール Max Plus II によって、CPU でも使用



図7 第2日目実習 白色LED製作
講師自らハンダ付けの見本を見せてくれました

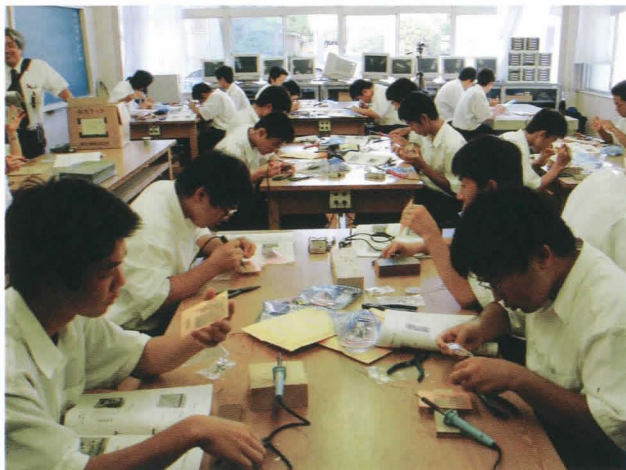


図8 1人1台の製作に熱心に取り組む

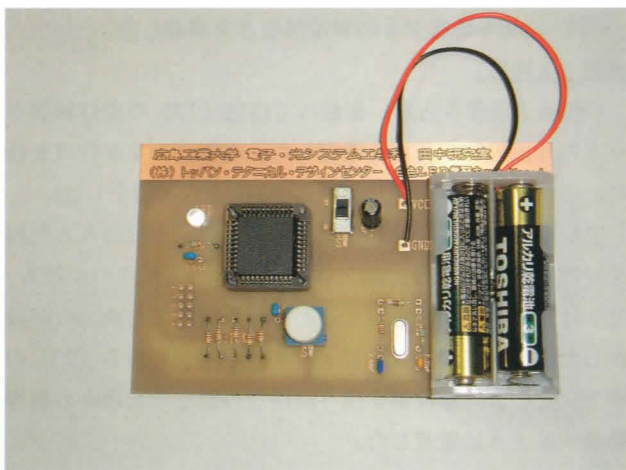


図9 白色LED完動品

されているパリティ（チェック）回路と比較（コンペア）回路を設計し、コンパイル、シミュレートした。

最後に、生徒の感想と講師の言葉をいただき、アンケートを行い、参加者全員で集合写真を撮って閉講式とした。

3日間の講座をとうして、LSIによりわかりにくくなっていたCPUの仕組みや構成の理解が深まった。ロジック

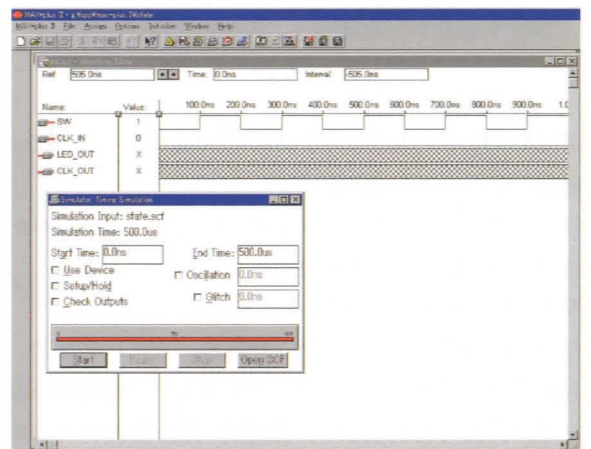
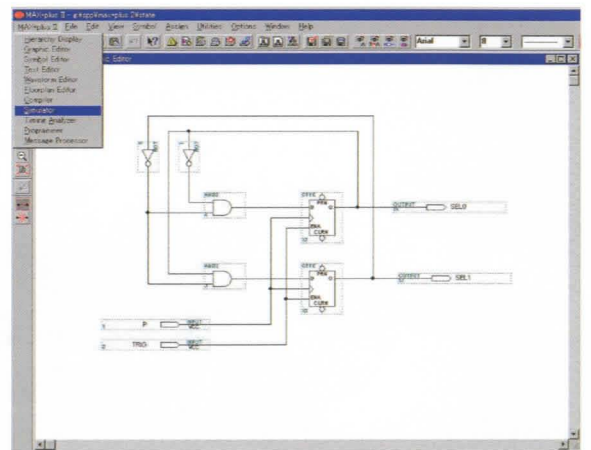


図10 アルテラツール MAX Plus IIによるLED生業回路の設計例およびシミュレーション画面例図



図11 講習後の全体写真

回路を各自が設計する中で、指導者の助言を得ながら、実用CPUとの差に気づき、情報技術への興味関心が醸成された。

3. 実施による効果

本講座の実習では、PLD（Program Logic Device）の入門用として最適で、しかも電子回路の設計の舞台では必

要不可欠なものになってきている FPGA (Field Programmable Gate Array) と呼ばれる書き換え可能な大規模集積回路を活用した。これは、携帯電話、ETC (高速道路料金の自動支払いシステム) をはじめマイコン制御の分野で利用されてきたものだ。これを設計するツールも、最近では高度に整備され、パソコンでも扱うことが可能になり、操作方法も容易になってきた。基本的な取り扱いに限れば、工業高校生でも手の届く範囲になってきたように思われる。

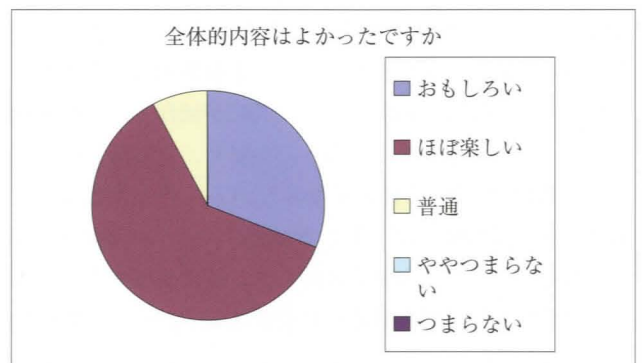
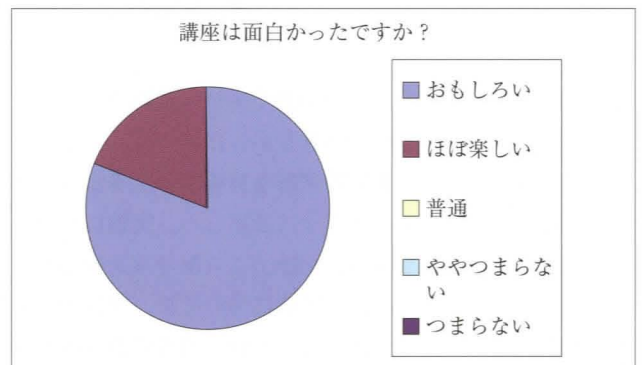
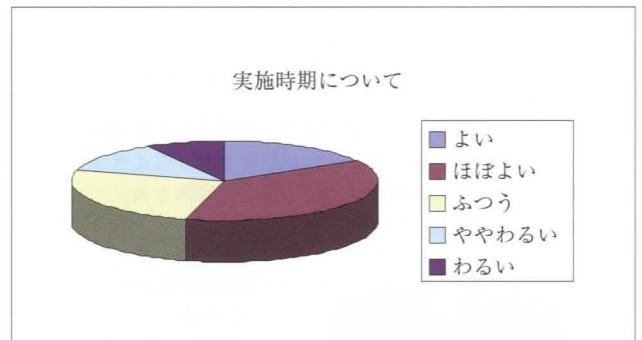
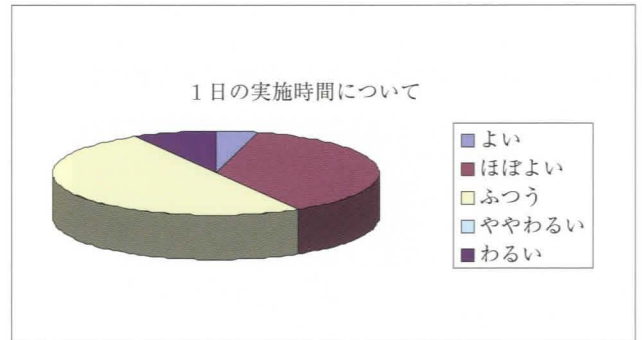
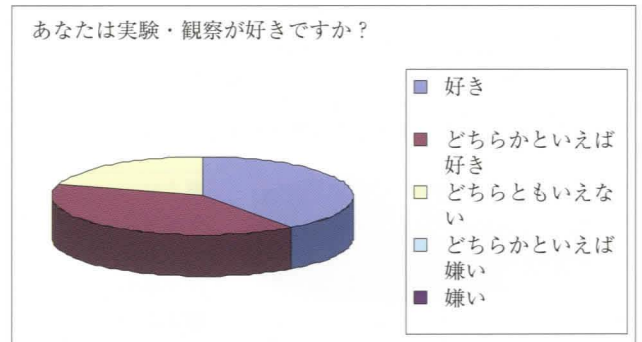
そこで、CPU を構成するさまざまな論理回路を、設計ツールを活用して自作し、組み合わせて CPU 内部構造の一部を構成し、その体験的理解を試みた。制御対象としては、白色 LED の点灯制御を用いた。

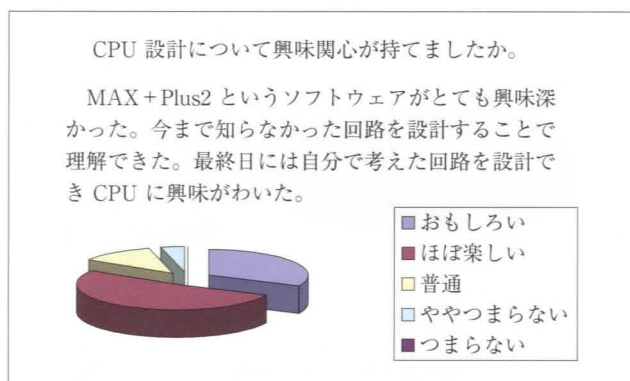
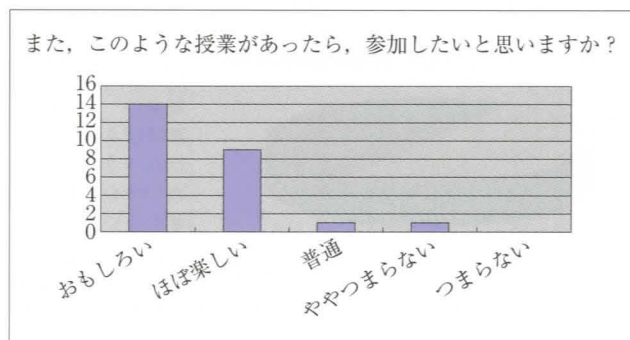
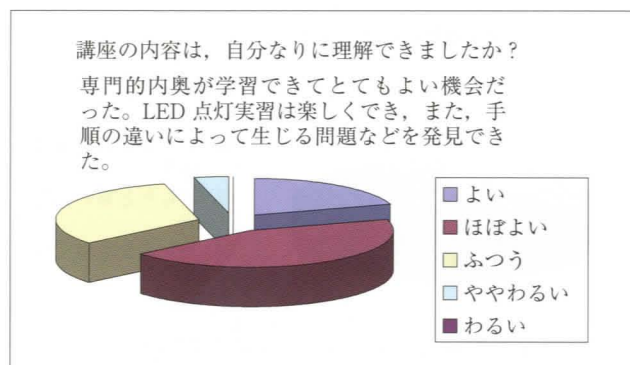
今回の講座では、希望者全員の参加を認め、日頃優秀な生徒を選抜するようなことは行わなかった。そのような背景から、ロジック回路設計ツールの操作やそれを使った簡単な論理回路の設計、コンパイル、シミュレーションの手続き、さらには製作を上手にこなせるか心配した。しかし、この心配は、全く杞憂で、全員が実習項目をこなすことができた。何人かは、講座での環境を、早速自宅でも構築し、発展的活用を希望していた。CPU を構成するすべての論理回路を取り扱うことは、能力的にも時間的にも難しい面があるが、とかくパソコン組み立てで関心を払わず通りすぎてしまう CPU への興味関心をかき立てたことは、確かな成果であった。独自に実施したアンケートでの「全体的内容はよかったですか」との質問に対して、よかった、またはほぼよかったと答えた者が、89%にのぼった。アンケートでは、「授業で取り扱った内容は難しかったですか」に、70%が難しかったと答えた一方、6割の者が、「授業の内容は、自分なりに理解できました」と感じていた。「専門的内容が学習できてとてもよい機会だった。LED 点灯の実習は楽しくでき、また、手順の違いによって生じる問題などを発見できた。」「今までにない実習内容だった。」との声もあり、従来高校レベルで扱いたくても扱いにくいテーマが実習化できる可能性が示されたと思われる。「また、このような授業があったら、参加したいと思いますか」の問いに対して、85%の生徒が「参加したい」と答えていた。

講座実施後、アンケートを実施した。アンケート結果の一部は、次のとおりだった。

4. 実施後の留意点など

今回の講座は、科目「工業・情報技術基礎」の発展的内容として位置づけたため、企画した側の教員は、生徒の時間的余裕がある夏季休業中がよいと考えたが、8月という暑い時期(学校には、冷房施設はない)、1日4時間の講





座は、生徒には思いの外評判が悪く50%（独自のアンケート結果から）の支持しか得られなかった。

実施に当たっては、体験的理解を重視する立場から、講義：実習の時間配分を約 2：3 に設定した。実習における生徒の積極的な活動をみるにつけ、この配分は比較的妥当だったようだった。さらに、実習においては、予算的な問題を何とかクリアし、生徒 1 人に 1 台、自分の製作物を持ち帰れるよう、準備した。この点は、3 日間、興味関心を持続させるにきわめて大事な要素だったように感じている。ある生徒は、製作がうまくできず制御動作の確認ができなかった。時間の関係もあり、TA が試作した基板を提供しようとしたところ、断固として断り、講習時間後に残って、講師や TA の援助を受けながら、何とか完成して満足そうに持ち帰った。多くの生徒が、いつもは教科書などを乱雑にバッグに入れるに比して、製作基板を大切にビニール袋に入れて持ち帰った姿が印象的だった。高校生

を対象とした実習においては、大学院生などの TA の活用がきわめて有効であることも確認できた。

FPGA とその開発ツールは、ロジック設計の現場で現実に用いられているものである。その技術的進歩によって、学校の機器でも実行できるようになってきたことが、今回の講座を実施できた背景である。その内容的なむずかしさから、生徒の取り組みが阻害されるのではないかと心配されたが、逆に設計を通してものづくりの雰囲気を楽しんでいる観があった。本校では、時代の波を乗り越えられるものとの観点から情報技術教育で用いるコンピュータ言語として、紆余曲折の末、アセンブリ言語を扱う場面を設けている。時代遅れの観があるアセンブリ言語の教育的扱いが、実は非常に効果的であるとの確信を得ているのだが、今回の講座を実施してみて、アセンブリ言語のさらに上流のロジック回路設計も情報技術教育のテーマとしてかなり効果的であると感じた。

5. おわりに

システム LSI 関連ものづくり教育の高大連携のアプローチとして、サイエンスパートナープログラム (SPP) 講座を実施した。本講座をコーディネートするに当たって、多くのこまごまとしたことに時間と手間がかかったのが現実です。しかしながら、思いもかけず多くの生徒の参加に恵まれ、高校、大学および企業の担当者および関係各位の前向きな対応にも支えられ、大変楽しく有意義な講習会になりました。

今回の CPU の内部構造を扱う講習は、従来、大学や企業研修で行われてきた内容ですが、技術の進歩に助けられて、高校生でも体験できる場所まで技術がこなれてきました。生徒は、大変興味を持ってくれたようで、今後の生徒の成長に期待するところ大です。今後、今回の内容をもっと多くの生徒に体験させる機会を提供することと、さらに発展した内容での第 2 弾を企画する必要性を痛感しているところ です。

講座の準備中に多くの人にお会いすることができました。浜松地区に、システム LSI 技術をもった人材や会社が数多く存在することにも気づきました。

最後に、本講習のティーチングアシスタントを担当して頂いた院生の植田誠司君、学部生の中野朋君、小野悦司君に感謝いたします。さらに、SPP 事業の実施を承諾いただいた。文部科学省、三菱総合研究所、ならびに静岡県教育委員会に感謝します。

文 献

- 1) <http://www.rikadaisuki-spp.jp/>