

## QUBE「システムLSI設計実習」実施報告

久住，憲嗣  
九州大学システムLSI研究センター

林田，隆則  
九州大学システムLSI研究センター

築添，明  
九州大学システムLSI研究センター

中西，恒夫  
九州大学大学院システム情報科学研究院 | 九州大学システムLSI研究センター

他

<https://doi.org/10.15017/1937953>

---

出版情報：SLRC プレゼンテーション，pp.1-，2006-10-19. 九州大学システムLSI研究センター  
バージョン：  
権利関係：



# QUBE「システムLSI設計実習」実施報告

久住 憲嗣<sup>†</sup> 林田 隆則<sup>†</sup> 築添 明<sup>†</sup>  
安浦 寛人<sup>††,†</sup> 中西 恒夫<sup>††,†</sup> 福田 晃<sup>††</sup>

システムLSI設計人材養成実践プログラム(QUBE)は、電子情報系企業におけるシステムLSI設計分野の中堅、ベテランの技術者及び研究者を対象に、ハードウェアや組み込みソフトウェアの垣根を越え、先端技術や製品市場に対する広い視野を持つシステムLSI設計者を養成することを目的として、平成17年からプロジェクトを開始した。本稿では、一貫してシステムLSI設計演習を行う「システムLSI設計実習」について、開発した教材を紹介し、昨年度実施した実習について報告する。

## The Report of the System LSI Design Lab

KENJI HISAZUMI,<sup>†</sup> TAKANORI HAYASHIDA,<sup>†</sup> AKIRA TSUKIZOE,<sup>†</sup> HIROTO YASUURA,<sup>††,†</sup>  
TSUNEO NAKANISHI<sup>††,†</sup> and AKIRA FUKUDA<sup>††</sup>

The Education Program for System LSI Designers referred as QUBE was begun since 2005. QUBE aims at educating system LSI designers who have wide knowledge and know-how both of hardware and embedded software design for veteran engineer and researcher. In this paper, we describe the course material of the System LSI Design Lab and we report running the course in last school year.

### 1. はじめに

半導体の設計、製造拠点が集積する九州地区は、世界最大の供給基地かつ市場へと急速に台頭してきた東アジア地域の中にあつて激しい競争に晒されており、国際競争力を強化するためには高度な設計人材の確保が企業の緊急の課題となっている。また、より高い製品機能を、最小のコストと最短の期間で実現するため、ハードウェアとソフトウェアを含むシステム全体を見渡す高い能力を有するシステムLSI設計技術者への要求が高まってきている。しかし、このような人材を養成するための高度な専門教育を行う機関は少なく、企業も厳しいコスト競争の中、教育に多くの予算を割けないのが現状である。そこで、システムLSI設計人材養成実践プログラム(QUBE: Q-shu University hardware/software borderless system design Education program)は、電子情報系企業におけるシステムLSI設計分野の中堅、ベテランの技術者及び研究者を対象に、ハードウェアや組み込みソフトウェアの垣根を越え、先端技術や製品市場に対する広い視野を持つシステムLSI設計者を養成

することを目的とし、平成17年7月から5年間の予定でプロジェクトを実施してきた。QUBEプロジェクトの詳細は1)を参照されたい。

本稿ではQUBEが特に重点的に取り組む、システムLSI設計に必要なハードウェア/ソフトウェア(HW/SW)コデザイン分野の幅広い知識を横断的に習得させることを目的としたコースであるシステムLSI設計実習の教材開発、及び17年度に実施した実習について報告する。

### 2. 概要

本節ではQUBEが重点的に取り組んでいる講義であるシステムLSI設計実習の概要を述べる。システムLSI設計実習は比較的長期間の講座を開講し、システムLSI設計に必要なHW/SWコデザイン分野の幅広い知識を横断的に習得させることを目的として実施する。また、知識だけにとどまらない設計指針、設計技術、実装技術を習得させるべく、プロセッサ内蔵FPGAボードを用いてプロセッサ/専用ハードウェア混在システムを試作させる。

当該実習では、1)ハードウェア設計技術者2名程度、2)組み込みソフトウェア設計技術者2名程度、全体を束ねる3)HW/SWコデザイン技術者1名程度でチームを編成し、実習に当たる。このことにより、ハードウェア設計技術者とソフトウェア設計技術者は、異分

<sup>†</sup>九州大学システムLSI研究センター  
System LSI Research Center, Kyushu University

<sup>††</sup>九州大学大学院システム情報科学研究院  
Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

野の技術について理解し、異分野技術者とのコミュニケーション能力を高める機会が得られ、コデザイン技術者には企業の現場では習得しにくいコデザイン技術を習得し、プロジェクトの進め方を学ぶことができる。

### 3. 授業計画

ここではシステム LSI 設計実習の授業計画について述べる。コースは大まかに、講義、チュートリアル、実習(分析、設計、実装)、評価の4段階に分かれる。なるべく実習に当てる期間を長くするよう計画する。また、Edwards らにならい<sup>2)</sup> 試作以外にチュートリアルを設け、ボードと開発環境の習熟を図る。

#### 1,2 日目 午前 講義

1,2 日目の午前はコデザインに関する知識を教授する講義を行う。本実習の演習教材に限らず幅広いコデザイン関連知識を学ばせ基礎体力をつけることを目的とする。講義の内容としては、まず本講座の趣旨の説明を行い、次に、システム LSI について概説する。また、異分野の技術を理解させるべく、ハードウェア設計及び組込みソフトウェア開発の基礎を概説する。そして、コデザイン手法として、性能評価指標に基づいてハードウェア/ソフトウェアを分割する手法を教え、プロセッサ混在ハードウェアの設計手法について解説する。

#### 1,2 日目 午後 チュートリアル

1,2 日目の午後はチュートリアルを実施する。講義とチュートリアルを織り交ぜることにより、受講生の集中力持続を図る。チュートリアルはボードと開発環境に習熟させ、ハードウェア、ソフトウェア協調開発に必要な技能の習得させることを目的として実施する。チュートリアルとして、プロセッサと専用ハードウェアとの接続方法について、ハードウェア設計とデバイスドライバ開発の両面から段階的に学ぶことができる課題を与える。

#### 3, 4 日目 目標説明 / 分析 / 設計

3,4 日目は、演習教材の仕様を理解し、1 日目で学んだ手法を利用してコデザインを行わせることを目標とする。システム/ハードウェア/ソフトウェアを設計させ、文書化させる。

#### 4~7 日目 実装 / テスト

4~7 日目は設計文書を元にハードウェアを設計、ソフトウェアを実装し、テストを行う。このとき限られた時間内に実装を完了させるために、基本機能の一部分の実装を受講者にあらかじめ与えることとする。受講者はそれらの実装を利用してハードウェア/ソフトウェアの組み替え並びにチューニングを行う。

#### 8 日目 成果発表会

最終日には、受講者に設計、実装した演習教材のプ

レゼンテーション及びデモを行わせる。また、互いに設計文書をレビューしあい意見交換する。特に後述するシステムの評価指針に従ってレビューを実施させる。

### 4. 演習題材 マルチメディアフォン (MMP)

本節では演習題材として選択したマルチメディアフォン (MMP) について述べる。当演習題材の詳細については 3) を参照されたい。MMP は、Ethernet を介したコミュニケーション機能をユーザに提供する多機能電話である。MMP はコデザイン実習の題材となりうる、日程内に設計、実装が可能、前提知識を多く必要としない、教材にスケラビリティがあること等の実習題材に必要な性質を満たすため選択した。

MMP の機能は、基本機能と拡張機能の2種類の機能がある。基本機能としては、発呼・切断機能、音声通話機能を設定し拡張機能としては MMP 自動発見機能、ホワイトボード共有を設定する。MMP は複数台存在し、それらは Ethernet ハブを介して接続される。

MMP の試作にあたっては、まず、基本機能のみを受講者に実装させ、日程に余裕がある場合に拡張機能を実装させる。基本機能と拡張機能をいくつか準備することで演習題材にスケラビリティを持たせる。

MMP はプロセッサ内蔵 FPGA ボードを用いたプロセッサ/専用ハードウェア混在システム上で動作する。当該ボードには FPGA の他に、数個のボタン、Ethernet コントローラ、音声インタフェースが搭載されていることを仮定する。また、拡張機能の実装にあたっては、VGA インタフェース、マウスインタフェースが搭載されている必要がある。

受講者は変更できないハードウェア以外の部分をハードウェア、ソフトウェア、ハードウェア・ソフトウェア混在の3つの実装方式の中から選択して実装する。基本機能は発呼・切断機能、音声通話機能から構成され、音声通話機能は音声処理及び通信処理を含む。音声処理の一部である音声インタフェース及び通信処理の一部である Ethernet コントローラはボード上に存在する変更できないハードウェアである。受講者は音声処理の一部であるフィルタ処理、圧縮処理、通信処理の一部である音声パケット作成・展開などにおいて実装方式を選択できる。

受講者が、上記3つの中から実装方式を選択する場合は、システム全体を見渡して下記の評価基準にしたがって評価、検討し、選択を行わせる。1) 音声の遅延、2) 設計コスト(ハードウェア規模、ソフトウェア規模) 4) 推定電力(CPU/ハードウェアクロックをどこまで落とせるか) 5) SN 比、6) 設計の柔軟さ。

前述したインタフェースを搭載するプロセッサ内蔵 FPGA ボードとして Xilinx XUP Virtex II Pro を

表1 コースごとの受講者内訳

チーム名/分野	CO	HW	SW
社会人チーム	1名	2名	2名
学生チーム	-	1名 (スタッフ)	2名

- CO: HW/SW コデザイン実習
- HW: ハードウェア設計実習
- SW: 組み込みソフトウェア設計実習

採用する。当ボードは Xilinx 社製 PowerPC 405 混在 FPGA (Virtex-II Pro XC2VP30)、Ethernet インタフェース、AC97 音声コーデック、シリアル、ボタン、VGA インタフェース、キーボード・マウスインタフェースを搭載しており、MMP の実装のために十分な機能を持つ。また、開発環境としては Xilinx 社製 ISE、EDK を利用する。

開発を支援するツールとして、パケットキャプチャツール Ethereal<sup>4)</sup>、イーサネットフレームをキャプチャするソフトウェアの開発を支援する WinPcap<sup>5)</sup>、独自開発の MMP エミュレータを提供する。

## 5. 実施報告

本節では、2006年3月1日～10日に実施したシステム LSI 設計実習について報告する。

当コースの受講者を公募した結果、社会人5人、学生2人、計7人の応募があった。専門分野ごとの受講者の内訳及びチーム分けを表1に示す。社会人受講者の専門分野は第2節で述べた想定通りであったため、そのままチームを編成した。社会人チームにおける受講者のキャリアは、組み込みソフトウェア開発現場出身の経験豊富な技術者、及び若手ハードウェア、ソフトウェア技術者であった。

また、学生の受講者はソフトウェアを専門とする者のみであったため、ハードウェアを専門とするスタッフを1名加えてチームを編成した。また、学生チームにおける受講者のキャリアは、博士後期課程進学予定の修士課程の学生であった。当該学生は組み込みシステム関連の研究、特にプロダクトライン開発方法論に関する研究を実施している学生であった。

### 1,2日目 講義/チュートリアル/目標説明

講義及びチュートリアルは第3節で述べたとおり実施した。2日目のチュートリアルの後に演習対象である MMP の仕様を説明した。

また、計画した講義以外に受講者の要望により小講義を実施した。小講義とは希望があった基礎的なトピックを希望者にのみ30分程度解説する講義である。今回の小講義では割込みの仕組み、OSとドライバの仕組みを取り上げた。小講義が必要となった背景には、本コースが対象としている入社数年目の受講者は現場

で学べる技術、仕事で扱っている技術しか習得できておらずそれ以外の基礎的な知識が習得できていない状況があった。

### 3,4日目 設計

3日目からは社会人チームと学生チームに別れて、別々に前述した MMP の設計・実装を実施させた。開発の進め方、設計文書の書き方などは受講者の裁量に任せた。その結果、社会人チームは UML を利用した組み込みソフトウェア向け開発方法論である eUML<sup>6)</sup> を採用し、学生チームはプロダクトライン開発方法論の1種である PLUS<sup>7)</sup> を採用し、設計を行った。2チームともに演習題材の分析、設計、文書化に2.5日程度とかなりの時間をさいていた。また、2チームともにソフトウェア技術者が中心になり分析、設計を行っていた。これは、ハードウェア技術者は与えられた仕様に従ってハードウェア設計を行う文化であるのに対し、ソフトウェア技術者はソフトウェア開発方法論を学ぶ機会が多く、分析、設計技術を身につけているからであると思われる。

### 5～8日目 実装

2チームとも5日目から設計と並行して演習題材の実装が始まった。受講者は、実装に先立ち、受講者に提供したソフトウェアコンポーネント群、OS、ハードウェア仕様の詳細に理解するところから開始した。仕様の理解のために試験的にソフトウェアを実装し、動作を確認しつつ実施した。動作が理解できたところで、設計文書に従いソフトウェアを実装した。また、まずソフトウェアですべて実装し、その後ハードウェア化を模索するアプローチで実装は進められた。実装中の問題としては、通信系のデバッグが難しくソフトウェア実装が難航したことが挙げられる。そのため、両チームともに演習題材はソフトウェアのみで基本プロファイルを実現するにとどまった。

### 8日目 成果発表会

最終日午後に成果発表会を実施した。発表会ではそれぞれの設計文書をプレゼンテーションしつつレビューし、議論した。両チームともに、定性的な議論にとどまり、定量的な評価までは実施できなかった。

### アンケート

コース終了後、受講者アンケートを実施した。ここでは受講者アンケートの中から講義、演習内容に関するアンケートを抜粋し、報告する。

当該コースに対する一般的な感想、要望として、講義部分は企業での内製化は困難、演習部分も企業内の指導者を育成するプログラムが必要、中堅技術者対象にぴったりの内容だが十分な演習時間の確保が困難、新人にも演習を少し易くしてぜひ体験させたい内容、などがあった。

また、当該コースの特色である異分野の技術者と協力した演習については、普段出来ないソフト側の概念から実装までを体験できて有意義、ソフト側からハードがどう見えているのかイメージができた、異なる企業の方々とコミュニケーションがとれた、などがあつた。

また、演習については、基本機能までは実装できた、時間が足りず HW/SW コデザインや拡張機能の取り組みができなかったのは残念、などがあつた。

## 6. 考察と今後の課題

本節では、実施した本実習について考察し、今後の課題について述べる。

本実習の開発により、HW/SW コデザインプロジェクトを実施するに当たり必要な知識を身につけることができる講義教材及び演習題材のプロトタイプを開発した。本実習を実施することで違う専門分野を持つ技術者同士がチームを組みプロジェクトを遂行するために受講者に必要な技能の一部を身につけさせることができた。

実習を実施することで明らかになった問題点は、当初の目標の HW/SW コデザインまで実施できなかったことである。この問題の主な原因は、演習対象の理解、分析、提供したソフトウェアコンポーネント群の仕様の理解に予想よりも大幅に時間をとられたことである。当初より演習時間が厳しいことは想定していたため、必要なソフトウェアコンポーネント群をあらかじめ提供し、時間の短縮を図ったが十分ではなかった。この問題の原因の1つとして、演習題材の難易度に比べ受講生のスキルが足りない傾向があつたことがあげられる。これは、QUBE が本講座を受講するに当たり必要な技能レベルを募集の際に十分に明示していなかったことが原因である。その対策として、まず、システム LSI 設計に必要な技能の整理を ETSS スキル規準<sup>8)</sup> のフレームワークを利用して実施していきたい。その上で、本講座を受講するに当たって必要な技能と達成目標を可視化していきたい。また、受講者の技能レベルに応じた演習を提供するために、より簡単な題材の開発に取り組みたい。また、原因の2つ目として、ドキュメント不足、提供したソフトウェアコンポーネント群の品質の低さが演習題材の理解や分析に時間を消費した原因としてあげられる。ドキュメントの整備、及び提供するコンポーネントの改良を進めていきたい。

## 7. おわりに

システム LSI 設計人材養成実践プログラム (QUBE) は、電子情報系企業におけるシステム LSI 設計分野の中堅、ベテランの技術者及び研究者を対象に、ハード

ウェアや組込みソフトウェアの垣根を越え、先端技術や製品市場に対する広い視野を持つシステム LSI 設計者を養成することを目的として平成 17 年からプロジェクトを開始した。

本稿では、開発したシステム LSI 設計実習の教材と演習題材について述べた。当該実習は、システム LSI 設計に関する幅広い知識を学ぶことができ、また、限られた期間内にコデザインの知識を習得させ実務に必要なノウハウを演習を通じて学習させることができる。さらに、平成 18 年 3 月に実施したシステム LSI 設計実習について報告した。受講生に、様々な専門分野を持つ技術者がチームを組みプロジェクトを遂行するために必要な技能の一部を身につけさせることができたが、実習時間が不足する問題があつた。

今後、実施に当たって得られた知見を元に教材、演習題材を改良していきたい。とくに、受講者のレベル、実施期間などに応じてコースを編成できるようにしたい。また本講座の受講に当たって必要な技能レベルと到達レベルを明らかにすべくシステム LSI 設計に必要な技能の整理を実施したい。

**謝辞** システム LSI 設計人材養成実践プログラムは、文部科学省の平成 17 年度科学技術振興調整費による「新興分野人材養成」の一環として実施したものである。

## 参 考 文 献

- 1) 九州大学システム LSI 研究センター: システム LSI 設計人材養成実践プログラムホームページ. <https://qube.slrc.kyushu-u.ac.jp/>.
- 2) Edwards, S. A.: Experiences Teaching an FPGA-based Embedded Systems Class, *Proc. 2005 Workshop on Embedded Systems Education (WESE2005)*, pp. 52-58 (2005).
- 3) 久住憲嗣, 林田隆則, 築添明, 安浦寛人, 中西恒夫, 福田晃: システム LSI 設計人材養成実践プログラムの取り組み, 組込みシステム合同研究会論文集, pp. 87-93 (2006).
- 4) Orebaugh, A., Morris, G., Warnicke, E. and Ramirez, G.: *Ethereal Packet Sniffing*, Syngress Publishing (2004).
- 5) WinPcap: The Windows Packet Capture Library. <http://www.winpcap.org/>.
- 6) 渡辺博之, 渡辺政彦, 堀松和人, 渡守武和記: 組み込み UML eUML によるオブジェクト指向組み込みシステム開発, 翔泳社 (2002).
- 7) Gomaa, H.: *Designing Software Product Lines with UML: From Use Cases to Pattern-Based Software Architectures*, Addison-Wesley (2004).
- 8) 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: スキル規準 ホームページ. [http://sec.ipa.go.jp/std/skilllex\\_eb.php](http://sec.ipa.go.jp/std/skilllex_eb.php).