

多機能電話を題材としたシステムLSI設計実習

林田, 隆則
九州大学システムLSI研究センター

久住, 憲嗣
九州大学システムLSI研究センター

グラール, ヴィクトル
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

他

<https://hdl.handle.net/2324/15612>

出版情報 : SLRC 論文データベース, 2009-10-22
バージョン :
権利関係 :

多機能電話を題材としたシステム LSI 設計実習

林田 隆則†, 久住 憲嗣†, ヴィクトル グラール†, 築添 明†, 福田 晃†, 中西 恒夫†, 安浦 寛人†

現在, 九州大学システム LSI 研究センターでは, 中級以上のシステム LSI や組み込みソフトウェアに関する設計技術者に対する教育プログラムである“QUBE”を開講している. QUBE スタッフ教員の独自開発コンテンツである「SLD1:システム LSI 設計実習」では, 多機能電話を題材に, 数日間でシステムの要求分析からアーキテクチャの検討までを行う内容で講座を実施している. 本稿ではその講座の概要と実施について報告する.

Practice in System LSI Design using Multi-Media-Phone

Takanori Hayashida†, Kenji Hisazumi†, Victor Goulart†, Akira Tsukizoe†,
Akira Fukuda†, Tsuneo Nakanishi† and Hiroto Yasuura†

QUBE is an intermediate to advanced level education program initiated at Kyushu University, for system LSI / embedded software engineers. A course in QUBE curriculum, “SLD1 : Practice in System LSI Design” has been implemented uniquely. SLD1 is a 4-days course contains some practices about system requirements analysis, functional analysis, and architecture design. In this paper, we will explain the course contents and implementation.

1. はじめに

近年, 半導体設計技術は日進月歩で進化を遂げている. 最新の設計技術に追従するため, 技術者には旧来学んだ内容に加え, 新たな技術について学ぶ場が必要である. 現場で働く技術者に最新の設計技術教育を受ける場と機会を提供するため, 九州大学では平成 17 年度より, 科学技術振興調整費による文部科学省の委託事業として「九州大学システム LSI 設計人材養成実践プログラム QUBE」を開講している[1].

QUBE では, 外部招聘講師による講義を提供するだけでなく, QUBE スタッフ教員で独自に教材を開発しカリキュラムに組み込んでいる. 中でも「システム LSI 設計技術習得プログラム」は, 数日間の実習を通してシステム設計を体験するための講座で, QUBE の中心講座とするべく企画, 実施を行ってきた.

本稿では, QUBE におけるシステム LSI 設計教育の概要を紹介すると共に, 前述の「システム LSI 設計技術習得プログラム」中の「システム LSI 設計実習」について, 企画時からこれまでの変遷と, 昨年度の実施に関して報告する. また, そこから得られた課題を元に今後のシステム設計教育のあり方について検討する.

2. QUBE の概要

平成 17 年より, 科学技術振興調整費による文部科学省の委託事業として, 「九州大学システム LSI 設計人材養成実践プログラム」が開始された. 福岡県では, 福岡システム LSI カレッジがすでに社会人向けの入門・初級設計技術教育を行っていたため, 本プログラムはその上の内容の設計技術教育, すなわち, 中級者以上を対象にした設計技術教育を, 現場で経験を積んだ設計技術者に提供すべく, 「システム LSI 設計技術習得プログラム」と「先端設計技術習得プログラム」の 2 プログラムを設定した. 平成 19 年度からは, システム LSI カレッジの講座群との関連をより高める目的で初級から中級へのステップアップのための講座群である「実践設計技術習得プログラム」を設定した.

また, これらのプログラムを設定する際, 「ハードウェア設計技術」「ソフトウェア設計技術」「ハードウェア・ソフトウェア コデザイン技術」の 3 つの設計技術を柱とし, ハードウェアからソフトウェアまで幅広くシステム LSI 設計を見渡すことができる人材を育成することを目標にした. 本プログラムの愛称である「QUBE」は, “Q-shu University hardware/software Borderless system design Education program”の頭文字を取ったもので, ハードウェア・ソフトウェアの垣根なくシステム LSI 設計技術者を育成しようという理念に基づいた名称となっている.

†九州大学 システム LSI 研究センター
System LSI Research Center, Kyushu University

現在、QUBE の講座群は下記の 3 プログラムから構成されている。

- (1)システム LSI 設計技術習得プログラム
- (2)先端設計技術習得プログラム
 - 先端ハードウェア設計技術コース
 - 先端ソフトウェア設計技術コース
 - HW/SW コデザイン設計技術コース
 - 技術マネジメント知識コース
- (3)実践設計技術習得プログラム
 - 実践ハードウェア設計技術コース
 - 実践ソフトウェア設計技術コース

(1)のシステム LSI 設計技術習得プログラムは、実習を通してシステム LSI 設計のプロセスを一通り体験することを目指したプログラムである。主となる講座である「SLD1:システム LSI 設計実習」は、平成 19 年度までは座学込み 8 日間、平成 20 年度では座学 1 日間(別講座扱い)+実習 4 日間の実習期間で、受講者 4-5 名で一つのグループを構成し、グループ毎に一つのシステムを設計する実習型のプログラムとしている。また、その他にも LSI チップの性能を測定機器を用いて実際に測定する実習型の講座もある。

(2)の先端設計技術習得プログラムは、平均 2 日程度の短期コースで、先端技術や、講座毎に絞ったトピックスについてより深い知識を得ることを目指して構築された講座で構成されるプログラムである。このプログラムに含まれる講座では、各トピックスにおける第一人者(九州大学内外の大学教員や企業の現場で実際に先端技術に携わっている技術者)を招聘し、高度で実践的な内容の講座を実施している。

(3)の実践設計技術習得プログラムは、先端設計技術習得プログラムの講座群を受講する前の基本知識として必要となる内容を学ぶために先端設計技術習得プログラムの講座に対して補講的に行われる講座で構成される。

これら 3 本柱のカリキュラムで年間 35 以上の講座を実施している。また、QUBE では修了条件を「実践または先端設計技術習得プログラムの講座を 2 講座受講・合格すること」もしくは「システム LSI 設計技術習得プログラムの講座を 1 講座受講・合格すること」としており、中級以上の技術者に対して知識の幅をより広げようという修了条件を設定している。平成 20 年度までに延べ 1000 名以上の社会人が受講し、修了条件を満たした受講者も延べ 230 名を超えている。

QUBE の教育活動は、福岡県が中心となり、産・官・学が協力して推進している「シリコンシーベルト福岡プ

ロジェクト」[2]におけるシステム LSI 開発関連企業の集積促進のための設計人材教育機能の強化にも寄与している。

3. 「SLD1:システム LSI 設計実習」

3.1. 「SLD1:システム LSI 設計実習」とは

QUBE カリキュラムにおいて、QUBE スタッフ教員が独自に企画、実施している講座の一つに「SLD1:システム LSI 設計実習」がある。これは、「システム LSI 設計技術習得プログラム」に属する講座で、与えられた題材に対し、システム LSI の設計を要求分析から設計まで数人のグループで行う実習講座である。

QUBE 初年度より開講しており、スタート時は座学と演習を合わせて 8 日間でシステム LSI の設計から FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いた実装までを一通り実習する講座として講座内容を設定した。平成 19 年度までの 3 回の実施を経て、受講者や講師のアンケート結果を踏まえ、平成 20 年度は内容を大幅に変更して 4 日間の実施とした。

3.2. 平成 19 年度までの実施内容

平成 17 年度の QUBE 立ち上げの際、本講座を QUBE の特徴的な講座と位置づけて、講座設計を行った。その際、QUBE が受講対象としている中堅技術者ができるだけ受講しやすい開講期間を設定し、かつ、システム LSI の設計プロセスをひととおり体験できるようなテーマを設定することを大きな方針として定め、具体的に下記の方針で講座を設計した。

- ・開講期間は 8 日間以内
- ・HW/SW コデザインを含む題材を設定する
- ・FPGA によるシステムの実装までを実習に含める

これらの方針を定め、マルチメディアフォン(MMP)を題材として設定し、この設計と実装を実習で行うこととした。また、座学では、システム LSI 設計の概要とともに、HW 設計の基礎、組込み SW 設計の基礎について取り上げることとした。全員がこの内容の座学を受講することで、HW 設計技術者、SW 設計技術者がお互いに設計の際に何を重視しているのかを理解し、円滑な意思疎通ができるようになると考えた。この座学部分は、平成 17・18 年度は SLD1 の一連の日程の一部として実施したが、この座学部分だけを受講したいというニーズに対応するため、平成 19 年度は座学部分を別講座として開講し、直後に SLD1 の実習部分を開講することで、これまでと同様の期間で座学と実習を受講できるようにした。

よる実装)で実現したアプリケーションのソースコードを提供した。受講者は、これらの道具を用いて、グループごとに設計・実装するシステムの仕様を決定し、実習を進めた。具体的には、実装の目標となるシステムの機能仕様をグループで検討した後、それらの機能をプロセッサとソフトウェアで実現するか、専用のハードウェアを実装して実現するか、などを検討する。このとき、前述のライブラリの活用や、基本システムのソースコードを流用することができる。ターゲットが FPGA ボードであるので、ハードウェアで実装する機能がある場合は、Verilog-HDL または VHDL によってそれらを実装し、CPU とともに実機で動作させることが可能となっている。

本講座における1週間の時間配分を表2,3に示す。平成18年度までは、座学と実習を一体化してSLD1として実施していたため、座学とチュートリアルを織り交ぜて進めていた。平成19年度は座学部分を独立した講座(講座ID:A-CD6)に分離したため、1日目をA-CD6、2日目以降をSLD1として実施した。

受講を申し込んだ人数によって、平成17年度は2グループ、平成18年度は3グループ、平成19年度は1グループで実習を行った。とくに受講者が多かった平成18年度は、受講生の中にソフトウェア設計者、ハードウェア設計者ともに、実務経験が豊富な受講生が多かったため、拡張機能セットまで含めた質の高いシステムが短い実習期間で実現された。18年度の実習における成果物では、H18-Aグループは音声通話と独自開発でウィンドウ型のGUIを実装した。H18-Bグループは音声通話機能にボイスチェンジャー(音声フィルタ)の機能を追加して実装した。H18-Cグループは、同一ネットワーク上にあるMMP自動発見・一覧表示機能に加え、一覧からの選択発信が行えるユーザインタフェースの実装、さらに各MMPの通話状態を画面に表示する機能の追加を行い実装した。

表2 平成18年度までのSLD1時間配分

日程	内容	日程	内容
1日目	座学・チュートリアル	5日目	実装
2日目	座学・チュートリアル	6日目	
3日目	目標説明・分析・設計	7日目	実装・検証
4日目		8日目	成果発表会

表3 平成19年度のA-CD6/SLD1時間配分

日程	内容	日程	内容
1日目	座学(A-CD6)	5日目	実装
2日目	チュートリアル	6日目	
3日目	目標説明・分析・設計	7日目	実装・検証
4日目		8日目	成果発表会

3.3. 平成20年度の講座内容刷新と実施

平成19までの実施結果やアンケートで、下記の課題が明らかとなった。

- ・実施期間が長すぎる
8日間の講座期間設定では、企業側が、忙しい中堅技術者を受講者として出しにくい。
- ・コーディングの期間が長い
8日間の講座期間の大半をコーディングと検証に費やすことになり、システムの設計、とくにHW/SWコデザインを行う実習に割ける時間が少ない。
- ・実習の成果物が残らない
実習の途中でドキュメントを作成するような構成にしていなかったため、完成したシステムと、設計途中で作成した検討資料(UML等による記述)しか成果物が残らない。

これらの問題を踏まえ、平成20年度は、

- (1)FPGAボードへの実装を削除
- (2)要求分析と開発方法論の実践を強化

の2つの方針を定めて、内容の改訂を行った。(1)の方針により、コーディングの作業をなくし、実施期間を短縮した。また(2)の方針に従い、講座の方向性を、「システムLSIの設計を一通り体験する」という方向から、「システムLSI設計について、要求分析の手法と開発方法論を学び、それを実践する」という上流の内容にシフトした。それまでの実習では、システム設計の方法論の解説は座学や実習に含まれていなかった。

これら2つの方針に沿って、座学部分の内容も一新し、システム設計の要求分析と開発方法論を具体例で紹介するものに変更した。平成19年度と同様、この座学部分は実習部分と別の講座として位置づけ、座学だけでも受講できるようにした。座学部分の講座は、平成19年度までと大きく内容が変わったため、新たな講座「A-CD8:システムLSI設計～要求分析からアーキテクチャ設計～」として実施した。

この変更により、座学(A-CD8)ではある具体例でシステム設計の方法論をチュートリアル的に紹介し、その後連続開催する実習(SLD1)において、その方法論を

用いて MMP の設計を要求分析から行う構成となった。実習では、要求分析からアーキテクチャ設計に落とし込んでいく過程で、ドキュメントを作成することとして、実習を進めていけば自ずと成果物ができあがっていく仕組みを作った。

講座でとりあげた開発方法論は、機能面では UML ベースの開発方法論である ICONIX[5]を取り入れ、そこに品質-機能展開表を用いた品質特性の分析法である QFD[3,4]を加えた方法論を採用した。実習の時間配分を表 4 に示す。

本実習における、おおまかなシステムの設計手順は以下のとおりである。

- (1)システムの振る舞い要求を明らかにする
 - 1.1)システムの振る舞い・ユースケースを記述する
 - 1.2)ユースケース図を作成する
- (2)品質表の作成
 - 2.1)品質特性を整理し、要求品質を列挙する
 - 2.2)要求品質を品質要素に展開する
 - 2.3)設計品質を定め、品質表を完成させる
- (3)システムの設計
 - 3.1)ロバストネス分析による予備設計を行う
 - 3.2)ロバストネス図を作成する
 - 3.3)シーケンス図を用いて詳細設計を行う
 - 3.4)オブジェクト図で「もの」やデータの関係を整理
 - 3.5)クラス図を用いて機能単位に分割する
- (4)アーキテクチャ選択肢を展開する
 - 4.1)アーキテクチャ上の選択肢を列挙する
 - 4.2)選択肢×品質特性表を作成する
 - 4.3)機能ごとに評価手法を展開する
 - 4.4)選択肢×品質特性×評価手法表を埋める
 - 4.5)評価結果をもとにアーキテクチャ選択を行う

上記の手順に従い、A-CD8 では小規模なシステムによるチュートリアル的な解説を行う。SLD1 ではマルチメディアフォンを題材にして、実際にシステムの要求仕様の獲得からアーキテクチャの選択までをグループ実習で行う。ただし、4.5)の評価結果については、短期間の実習中に各種機能のシミュレーション等、性能評価を実際に行うことは困難であるため、仮想的な評価結果や数式モデルによる概算などでアーキテクチャの選択を行う。成果発表において、アーキテクチャ選択の根拠を明らかにすることを求めているが、根拠となる数値そのものは前述の通り正確なものではないので、決定したアーキテクチャの妥当性よりも、アーキテクチャ決

定までのプロセスの妥当性を重視している。

このように大きく講座の内容を変更した平成 20 年度は、受講者数から 2 グループによる実習となった。グループ毎に要求分析から行った結果、システムの設計結果はグループごとにかなり特色あるものとなった。

H20-A グループは、細かくかつ幅広い要求分析と仕様の検討を行った。結果、非常に高機能なシステムの設計となったが、分析を丁寧に行った結果、演習時間が不足し、アーキテクチャへの落とし込み時に各部の実装方法を選択する際の評価が十分にできなかった。一方、H20-B グループはすでに IP を用いた設計を業務で行っている技術者で構成されていたため、現実的なシステムアーキテクチャ設計を行った。非常にきれいにまとまったシステムの設計が行われたが、典型的なシステムアーキテクチャのパターンに嵌ってしまい、いろいろなシステムアーキテクチャを検討することがなかった点は、演習の進め方に関する課題として残った。

表 4 平成 20 年度の A-CD8/SLD1 時間配分

日程	内容
1 日目	座学(A-CD8)
2 日目	ガイダンス 品質表の作成
3 日目	ロバストネス分析 システムアーキテクチャ設計
4 日目	座学(システムアーキテクチャ) システムアーキテクチャ設計
5 日目	成果発表会

3.4. 実施により得られたシステム設計教育の課題

このようなシステム LSI 設計実習講座を企画・実施することによって、システム設計教育に関する課題が見えてきた。

(1)システム設計と実装の方法論のギャップ

刷新した座学 A-CD8、および実習 SLD1 の実施において、システム設計の方法論と、実装の方法論における内容のギャップがあったことが課題として挙げられる。実装に関する一連の知識を座学で知って貰うために、ハードウェアのアーキテクチャなどを座学に盛り込んでいるが、抽象度の高いシステム設計の方法論の話との間に内容のギャップが存在し、関連性を見出しにくいという意見がみられた。抽象化したモデルと実装方法の間のギャップをなくすような教材への改訂が必要である。モデルと実装の間のギャップを埋め、さらに HW/SW コデザインまで含めた形で教育できるカリキュ

ラムを設計することは、今後より大規模化・複雑化していくと予想されるシステムの設計教育において有用であると考えられるため、継続して取り組んでいきたい。

(2)アーキテクチャ設計の自由度と実現性のバランス

実習においてアーキテクチャ設計を行う上で、「実現可能性を考慮しながらも、実習だからこそ検討することができる構成」を教える側から提示することが難しいという課題もある。平成20年度の実習でH20-Bグループが行ったように、現実的かつシンプルなシステム構成であれば実現可能性は極めて高いものとなり、アーキテクチャ検討においても説得力のあるシステムが構築されることは確かである。しかし、グループ内の検討がその方向に進んでしまうと、実習だからこそ検討できるような思い切ったアーキテクチャにたどり着くことができず、検討の幅が狭くなってしまふおそれがある。そういったケースに対して、講師の側から検討の幅を広げるようなアドバイスや構成の提示等を行うことができれば、より深みのある実習になるのではないかと考える。

(3)実習題材の選択

実習の題材の選択も大きな課題の一つである。とくに社会人教育においては、受講者が業務の一環で来ていることもあるため、あまりエンターテインメントに偏った題材を選ぶと敬遠されるおそれがある。また実装を意識した実習であるが故に、あまり多くのドメイン知識を必要とする題材を選択すると、そのドメイン知識の獲得に多くの時間が必要となり、真に実習で身につけて欲しいシステム設計の方法論や手順などを学ぶ時間が少なくなってしまう可能性がある。また、問題の規模も大きすぎるとは演習時間が不足するが、小さすぎるとHW/SW コデザインを考える必要がなくなる(SW 処理だけで事足りてしまう)など、バランスを取るのが非常に難しい。QUBE ではマルチメディアフォンを題材にしているが、これはコンピュータシステムにおいて、音声の取り扱いが単純なため音声処理に関する知識を理解しやすいのと、「電話」と言ったときにそれが持つべき機能や動作の環境などをイメージしやすいといった特徴を重視したためである。画面共有などの機能をオプションに設定しているのも、画像関係のドメイン知識をあらかじめ持っている、あるいは容易に習得できる受講者が選択的にシステムに盛り込めるように配慮した結果である。この他の題材についても、システムの規模やシステム設計に必要なドメイン知識等を考慮して適切なものがあれば拡張を検討したい。

4. まとめ

本稿では、QUBE におけるシステム LSI や組込みソフトウェアに関する設計教育の取り組みの紹介と、QUBE スタッフ教員がオリジナルで開発した、マルチメディアフォンを題材に用いた実習講座の実施について述べた。3 年間の実施の後、大きく内容を刷新してシステム設計の方法論について実習を行う講座にするなど、受講者のアンケートや講師の意見をもとに講座の内容をリニューアルした。4 年の実施を経て、ようやく当初の目標であった「システム全体を見渡して設計できる能力を身につけるために開発プロセスを一通り体験する」という位置付けの講座に内容が整理されてきたと考える。

また、本稿では実習講座を実施した経験から見えた設計教育に対する課題についても述べた。我々の開発した教材では、モデルベースのシステム設計方法論と、システムを実装するアーキテクチャの設計方法論の教育内容にまだギャップがある。今後、さらに教材の質を高めモデルと実装のギャップを埋め、HW/SW コデザインまで教育できる教材に発展させていきたい。

QUBE の活動は平成 21 年度が最終年度となるが、今後より重要となっていくと考えられるシステム設計教育のあり方について、継続して検討していきたい。

謝辞

本論文は、文部科学省科学技術振興調整費「九州大学システム LSI 設計人材養成実践プログラム」の活動の一部として行われた。

参考文献

- [1] ヴィクトル グラール, 林田 隆則, 久住 憲嗣, 中西 恒夫, 築添 明, 福田 晃, 安浦 寛人, “システム LSI 設計人材養成実践プログラム—QUBE の現状報告”, 組込みシステムシンポジウム 2009, Oct. 2009
- [2] 築添 明, 林田 隆則, 安浦 寛人, 平川 和之, 伊藤 文章, 村上 貴志, 久住 憲嗣, 中西 恒夫, 福田晃, “シリコンシーベルト福岡のシステム LSI 設計人材育成—社会人教育—”, 工学教育, Vol.54, No.5, pp.38-42, Sep. 2006
- [3] 赤尾 洋二 著, “品質展開入門”, 日科技連出版社, 1990
- [4] 大藤 正, 赤尾 洋二, 小野 道照, “品質展開法 (1)(2)”, 日科技連出版社, 1990
- [5] Doug Rosenberg 著, 三河 淳一, 船木 健児 訳, “ユースケース駆動開発実践ガイド”, 翔泳社, 2007