システム LSI 設計技術者向け教育活動

System LSI Design Education Program Promoted by STARC

小池 豊^{※1}
Yutaka KOIKE

鴨野 豊^{※1}
Yutaka KAMONO

土屋主税^{※1}
Chikara TSUCHIYA

This paper describes SoC (System On a Chip) design program for Japanese 51 universities and/or SoC designers promoted by STARC that is a consortium consists of Japanese major 6 semiconductor companies. The best practice of SoC design education materials are including not only expertise, but also arrangement technique overall team work designs. So, STARC has developed unique SoC design education materials from 2001, and applies it as both a course program and practice program to 51 universities through 11 years. Students will learn SoC design methodologies and/or techniques from user requirement definition to FPGA and/or CPU implementation.

Keywords : SoC, System LSI, Design Practice Education, Design Methodology, University and Company, Collaborative Task

キーワード : SoC, システム LSI, 講座, 実習, 設計教育, 設計手法, 産学連携, アンケート

1. はじめに

近年の多くの製品の主要部品は半導体であり、21世紀以降の半導体の市場規模は20兆円を超えてもなお、年率10%の成長を続けている。それは世界GDPの0.5%に相当し、半導体技術の他産業に及ぼす波及効果は大きく、日本の半導体産業の収益性実証分析に基づく¹⁾技術基盤強化は避けては通れない。

加えて、資源の少ない日本に於いて「ものづくり」は、国策の源泉であり、それを支える人材育成は、必要不可欠であるが、国際情勢の変化に相まって、産業界の求める人材像や大学教育への期待も変化している²⁾。

半導体業界では、(株)半導体理工学研究センター(STARC)が産官学一体となった教育活動を推進してきた。その背景は2000年3月、半導体産業研究所(SIRIJ)が「日本半導体産業の復活」と題する報告書をまとめ、その提言の一つに設計技術者育成があり、その推進のミッションをSTARCが担い現在に至る。本論文では、STARCの11年間の設計技術者教育活動とその成果を述べる。なお活動の5年間の経過は本誌³⁾で既に述べているので、特に「ものづくり」に関わる教育活動内容を述べる。

2. システムLSI技術者向け教育活動の歩み

大学向け教育の修了生の累計を図1に示す。2001年

図1 修了生累計

度より講座と実習のペアで教育を開始し、最新技術や業界動向を取込みLSI設計編、組込みSW (Soft Ware) 編、システム設計編、アルゴリズム設計編と開発・提供して今日に至る。大学側担当教員の実践的な先端技術教育への熱意、各大学の状況に合わせた豊富な教材からの取捨選択の自由度、教材の無償提供などの要因から、講座15,365名、実習1,849名の修了生を輩出し、システムLSI設計技術者の裾野を広げることの一翼を担っている。

3. 教育のねらい

産業界の求める人材像と大学教育への期待に関するアンケート結果²⁾によれば、グローバルに活躍する人材に求められる素質、知識、能力で最も多かったのは、「既存概念に捉われず、チャレンジ精神を持ち続けること」であり、採用に際して重視する素質・態度、知

2012年1月18日受付

※1 (株)半導体理工学研究センター

識、能力では、「主体性、コミュニケーション能力、実行力、チームワーク」であり、学生への期待も「論理的な思考力や課題解決能力」が「専門分野の知識」を大幅に上回る。これは、「ものづくり」を支える専門の知識に加え、仕事を進める上での段取り技術の重要性がより増した結果と考えられる。その背景には、冷戦終結後の東側と第三世界の国の市場経済への移行による国際競争激化や、インターネットの急速な普及による情報や価値の流れが地理的・時間的な距離を超えた物流や製品設計を生み出した結果、一企業での「ものづくり」から国際的な協業を前提としたグローバルな「ものづくり」へと推移しているためと考えられる。

この様な環境下で、半導体業界で活躍するシステム設計技術者の技術要件を整理し、教材を開発・改訂し、教育浸透に取り組んでいる。

3.1 システムLSI技術要件

最初に、IT (Information Technology) とET (Embedded Technology) との違いを述べ、ETを支えるSoC (System On a Chip) の技術要件を説明する。ITとETの最大の違いは、自然界の法則に従うか否かである。ITは正常時・異常時を問わず、その都度人間が考えた最適な手続きに則って処理が可能である。他方、ETは自然界法則に従い、それに沿ったリアルタイム性が要求される。そのため自然界の情報をセンサで取込み、フィルタで処理範囲を限定し、AD変換器でデジタル信号に変換する。そして信号処理をして、結果をDA変換器でアナログ信号に変換し、アクチュエータで外界を制御する。この様に考えた時のSoC技術要件を図2に示す。三角形の内側には、SoC特有の専門技術があり、円内のその他の項目は、ITとETで共通の専門技術であり、ITとETが融合したシステムを可能にしている。円外の項目は、仕事を進める上での段取り技術であり、システム全体を鳥瞰的に捉えた上で、

図2 SoCの技術要件

品質・納期を守るためのチーム運営、外部規制や制約、設計ガイド等である。段取り技術は各項目間の関連が深く、実践的なチーム教育が必要であるが、大学教育では不得手としている。

3.2 技術要件を満たす教材構成

SoC技術要件を満たす教材構成の考え方を、図3に示す。STARCでは、専門技術に加え段取り技術も習得可能な教材構成にするために、講座・実習のペアでの教育としてきた。企業に就くと専門分野での技術深耕が求められるため、専門分野をシステム、ソフト、ハードに大別し、その分野毎に設計手法に沿って専門技術とその設計を進める上での段取り技術を学べる構成とした。そのため、市販の教材がある専門技術の概論から各論までを解説しているのに対し、STARC教材は、専門技術と段取り技術の概論を中心に、専門技術間の関係、専門技術の背景と各論の要旨、及び専門技術を実施する上での段取り技術を記載している。また大学の事情を踏まえた講座開講の利便性のために、専門分野毎に15コマ（1コマ90分）の講義分量とし、専門分野内での特定コマの組合せでの教育も可能にしている。

3.3 教材の特徴

STARC教育教材を用いた大学での単位修了認定は、11年間の実績を持つ。図4に教育教材の構成を示す。講座では、SoC設計概論、組込みSW設計、LSI設計、システム設計、アルゴリズム設計、アナログRF

図3 技術要件を満たす教材構成

図4 教育教材の構成

図5 講座と実習の関係

設計の構成を取り、講義を進める上での参考用に、e-learningを提供している。また、各専門の講座に対応した実習を提供し、設計手法に沿った講座の専門技術の代表例を題材に、「ものづくり」の段取り技術を体験させ、SoC設計技術の鳥瞰的理解が得られるように工夫している。

3.4 テキスト編集委員会での教材改訂

講座・実習共に、開講当初からテキスト編集委員会を発足させ、各コマの専門の執筆者にも関わらず、テキスト全体での統一性を持たせている。特に最新の業界動向や技術を取込むことにより、学生の関心を喚起し、またアンケート結果を参考に理解度や満足度向上に努めている。

4. 講座と実習との関係

講座と実習との関係を図5に示す。講座では、大学側の実情に合せて、教材を選択して頂き、半期15コマを講義し、教材内に記載した問題をレポート提出し、その理解度を測りSTARCから修了証を発行すると共に、大学では単位を認定している。実習でも、実習教材を選択して頂き、5日間連続15コマの実習を行う。実習で学ぶ専門技術と段取り技術を纏めたものを予習教材とし事前配布し、学生達は、講座で学習した専門技術の実体験に加え、チームで「ものづくり」をするための段取り技術を学ぶ。実習でも修了証を発行するが、単位認定は、大学に依存する。

4.1 講座の概要

STARCの支援の程度に応じて支援講座と協力講座の二本立てで、講座を支援している。どちらも講座テキストを無償で配布しているが、支援講座では、大学での立上げのため、期限付きで講師の派遣も無償で支援している。

4.2 実習の概要

実習では、4～6名でチームを構成し、連続5日間で「ものづくり」を体験する。講座と同様に、全て無償で提供し、実習教材をSTARCから大学へと運搬して、講師も派遣する。連続5日間という制約から、一

図6 実習のモチーフ

部の大学を除き、夏季休暇や春季休暇期間中に実習を行う。

各コース共通の段取り技術は、顧客要求仕様獲得手段、チーム運営のための役割分担、工程線表、デザイン・レビュー、各種設計書の記述方法であり、コース別の段取り技術は、アルゴリズムの鳥瞰的理解、設計ガイドに沿った標準類とその活用方法、設計工程での品質確保方法である。

4.3 実習のモチーフ

実習は、6コースを用意しているが、全てのコースで、顧客要求仕様の獲得から実装までを体験し、最終日には、完成した製品のデモンストレーションを行う。特に、学生の興味を喚起するために、図6に示すように身の周りの製品と同等のモチーフを採用した。モチーフは擬似DVD、車の無線制御、走行車線の画像認識と3種類あり、習得したい専門技術や興味あるモチーフにより、実習コースを選択可能である。

擬似DVDモチーフでは、音声アルゴリズムの設計からFPGA実装までの①音声アルゴリズムコース、DVDのシステム設計からFPGA実装までの②システム設計コース、音声のデコード回路のRTL設計からFPGA実装までの③RTL設計コースの計3コースを用意し、着手する設計工程により、業界で定めた設計ガイドを適用しながらDVDを製作する。

制御モチーフでは、制御アルゴリズムの設計からCPU実装までの④制御アルゴリズムコース、ミドルウェアとデバイスドライバの設計からCPU実装までの⑤組込みSWコースの計2コースを用意し、自動車型ロボットの走行制御を無線で行うリモコンを製作する。

画像モチーフでは、画像アルゴリズムの設計からCPU実装までの⑥画像アルゴリズムコースを用意し、ビデオカメラで撮った画像から、自動車の走行車線を認識する装置を製作する。

学生の発想した顧客要求仕様を実現し、学生が仕様設計の楽しさや重要性を認識できるように、自由度の高い教材とした。具体的には、学生の設計部分と提供する教材部分との外部端子のみ固定とし、その制約の範囲で、学生の自由な設計を可能とした。

5. 実習の進め方

実習シラバスに沿って、実習での要点を説明する。

5.1 モチーフと課題の解説

1コマの講義であり、各チームで実習を行うためのモチーフの解説、設計すべき課題の内容、チーム運営の仕方を講義する。なお、課題には必須課題と能力に応じた発展課題を用意し、5日間を有効に過ごせるように工夫している。

5.2 顧客要求仕様、役割分担、工程線表作成

世の中でヒットする商品は、最先端の技術を豊富に盛込んだものではなく、顧客に最高の体験を提供するものと言われる。学生達は、Alan Cooperにより提唱された厳密な顧客像であるペルソナを仮定し、製品の利用シーンを精査し、顧客要求仕様を纏める。そして、顧客要求仕様を、機能要件、非機能要件、制約に分類し、システム要求仕様書とする。更に、製品の訴求点を纏め、競業他社の参入障壁を挙げ、製品のライフサイクルにおける一定の利潤確保を仮定する。そして、このシステム要求仕様を基に、設計の役割分担、実施すべき作業を列挙し、工程線表を作成する。

5.3 初回デザイン・レビューの開催

チーム毎に、顧客要求仕様、役割分担、工程線表を説明する。講師と他のチーム員は、レビューワとなる。デザイン・レビューを介して、各チームの良い所は採り入れ、指摘事項は対策する。

5.4 実習コース毎の技術のコツの解説

STARC実習で習得可能な技術は、全40項目あり、それを予習教材「実習 Tips」として、各項目を1ページで纏めている。1実習で習得可能なものは、15項目程度であり、その技術を解説し、技術をどのように実習で活用するのかを、学生は学ぶ。

図7 設計フロー

5.5 実習コース毎の詳細設計

各コースでの製品設計の具現化を行うと共に、工程線表との差異を分析し、対策を立案する。具現化設計は、コース毎に着目する専門技術が異なるが、全てのコース共に図7に示す設計フローに従う。図7中の①～④がコース毎で学習する専門技術であり、チームは顧客要求仕様をその専門技術を駆使して実現し、実装までを行う。コース以外の専門技術は、既定の設計フローに沿って処理するため、他コースの専門技術の概要は理解できる構成である。

アルゴリズム設計コースでは、音声、画像、制御の3つのアルゴリズムコースがあり、図8に示す設計フローに従って、アルゴリズムを解くのに最適な領域を設定し、MATLAB®を用いて実装のための離散化、固定小数点数化を行い、実装対象の同期を取るための手続きであるプロトコルを挿入する。そしてアルゴリズムの設計段階で、顧客要求仕様に沿ったアルゴリズム改善を行う。その後は、実装する個々の機能毎にCPU実装とFPGA実装までを行い、製品を評価する。

システム設計コースでは、C言語でDVDの機能設計を行い、HW/SWの協調検証を行う。そして、音声処理部、画像処理部、音声・画像の同期部に対し、実装方法による性能の差をプロファイリングで確認し、HW/SW分割を行う。その後、音声のデコード処理部に対し、動作合成、論理合成、配置配線、FPGA実装までを体験する。CPU実装部は、教材提供である。

組込みSW設計コースでは、ロボットの無線制御のための、PID制御アプリケーション、ロボットとリモコン間でのデータの無線送受信のミドルウェア、HW

図8 アルゴリズム設計フロー

の初期化やデータの読み書きを行うデバイスドライバをC言語で設計する。C言語のコーディング基準は、独立行政法人情報処理推進機構の出版書「組込みソフトウェア開発向けコーディング作法ガイド」に従う。また学生は、PIDパラメータをチューニングし、顧客要求仕様に近づける。加えてCPU実装に加え、通信データのシリアル変換を行うUARTのRTLを与え、FPGA実装も体験する。

RTL設計コースでは、音声デコード回路のRTL記述とテストベンチを設計し、RTLシミュレータで確認し、システムレベルで音声と画像の同期を確認する。この時のRTL設計ガイドは、半導体理工学研究センター発行の「RTL設計スタイルガイド VHDL」に従う。その後、論理合成、配置配線を行い、FPGA実装する。

5.6 中間デザイン・レビュー

製品設計での進捗と対策を発表する。レビューの指摘を吟味し、対策を工程線表へ反映させる。

5.7 実装設計と製品アピールポイントの作成

コース毎の設計フローに従い、CPU実装とFPGA実装し、製品を評価し、検証仕様書に纏める。また、当初想定した顧客要求仕様との差異を分析すると共に、製品やチーム運営のアピールポイントを纏める。更に、実習を通じて、「ものづくり」の段取り技術の達成度合いを評価し、今後どのように役立てるかを記載する。

5.8 最終デザイン・レビュー

実習大学の担当の先生方を含め、デザイン・レビューを開催し、学生達が「ものづくり」の楽しさを体験したことを確認する。学生達は、チーム目標に照らした設計結果やアピールポイントを報告し、製品のデモンストレーションを行う。最後に大学の担当の先生にご講評を頂く。

6. 講座と実習の教材対応例

講座と実習の教材の対応を、システム設計実習を例に説明する。図9に講座テキストの目次の抜粋を示す。図9中で太字の章の技術を、システム設計実習で体験する。章の前に「*」を付与した章に関し、学生が作成した具体的資料の要約例を、図10に示す。

要求仕様定義は、音楽好きな若者をペルソナとし、画像の強調やコマ止めで若者の感性に訴えるDVDとしている。

システム仕様では、DVDの機能設計を行う。設計を行った結果として、デコード回路の記述方法の記述の違いを理解する。アルゴリズムでは、 $y = a/256 + 128$ と記載するが、C言語記述では、割算をシフト演算に置換える。それは割算回路がシフト回路に比べ規模が大きく、また動作合成ツールがサポートしていない場合があるからである。RTL記述では、シフトをビット列代入に置換え、128 (0×80) のビット列に着目し足し算を上位ビットの反転に置換え、更なる最適化がで

<p>システム設計編 目次</p> <p>D1章: 組込みシステムと開発概要</p> <p>* D2章: 要求仕様定義</p> <p>* D3章: システム仕様定義</p> <p>D4章: システムアーキテクチャ設計</p> <p>D5章: 動作合成</p> <p>D6章: 機能検証</p> <p>* D7章: 高位設計による最適化</p>
<p>組込みSW編 目次</p> <p>C1章: 組込みソフトウェアの基礎</p> <p>* C2章: リアルタイムシステム</p> <p>C3章: ミドルウェア</p> <p>C4章: マルチコア上のソフトウェア</p> <p>C5章: アプリケーション開発</p> <p>.....</p> <p>C9章: チューニング</p>
<p>LSI設計編 目次</p> <p>B1章: システムLSIとは</p> <p>.....</p> <p>B4章: 論理合成</p> <p>B5章: 論理検証</p> <p>B6章: レイアウト設計</p> <p>B7章: タイミング検証</p> <p>.....</p> <p>B10章: 先端フィジカル設計</p>

図9 講座テキストの目次の抜粋

図10 DVD設計資料例

きることを理解する。

高位設計による最適化では、HW/SW分割のための協調設計を行い、音声のデコード処理をSWで実現する場合とHWで実現する場合のプロファイリングを計測し、HW実現がSW実現に比べ700倍高速であることを理解し、HWで実現することを決定する。なお、音声・画像の取込み、同期処理、機能追加した部分は、SW実装とし、教材で制約している。

リアルタイムシステムでは、音声と画像の同期が取れることを検証し、実装前に顧客要求仕様を満たしたDVDができていることを確認する。

その後、音声デコード処理部を、動作合成、論理合

成、配置配線、FPGAへの書き込み処理を逐次行い、DVD実機を完成する。

7. アンケート結果と学生動向の分析

図11に、過去3年間の実習全体とコース毎のアンケート結果を示す。実習の総括と学生の動向を分析し、今後の指針にする。アンケートの母数は683名であり、内訳は大学院1年生が約7割、3年生を中心とした学部生が約3割弱で、クライアントの設計者が数パーセントの構成である。

7.1 アンケート結果の考察

過去3年間に開催した実習で、全てのチームが顧客

図11 アンケート結果

要求仕様書作成から実装までを終了し、「ものづくり」の技術を体験している。そのような中で、アンケートは、実習前後での理解度の変化、実習の満足度、SoC設計への関心度を5段階で問い、上位2段階の全体に占める比率を集計した。

アンケートの結果からは、実習後の理解度が2010年度以降10%程度の下落を示すが、満足度と関心度は80%以上を保持している。この理解度低下の原因は、大学の実習担当の先生方との打合せを踏まえた結果から、ゆとり教育と推定したが、更なる考察が必要である。また満足度や関心度が高い傾向があるのは、学生が顧客要求仕様から実装までを体験する上で、様々な工夫をしたためと考えられる。様々な工夫をする姿勢は、今後の「ものづくり」に期待できる要素である。

8. 講座・実習教材の企業への展開

SoC教育教材を、大学を中心に提供してきた。現在の製品は、ITとETが融合したものであり、他産業に於いても、本教育教材の活用は有益と考える。日本の産業の発展に寄与するために、講座・実習教材の提供を計画している。加えて、クライアントのみに提供してきた以下のアドバンスト教育やMOT講座⁴⁾も含め、広く教材を提供する計画である。

8.1 アドバンスト教育

業界最先端の講師を招き、技術動向や新規アプリケーションの創造可能性とそこでの半導体の役割を教育する。9年間での受講者総数は、10,422名である。

8.2 MOT講座⁴⁾

技術教育のみでは、業界での収益性は改善しない。正味11日間の集合研修の形で、代表企業の収益構造を調査分析させ、技術から収益を生む仕組みを教育する。6年間での受講総数は、162名である。

9. むすび

2001年度より、STARCはSoC設計技術の講座・実習を開催してきたが、「ものづくり」のための専門技術と仕事を進める上での段取り技術を備えた教育教材は、産業界の求める人材像と一致する。講座の受講総数は15,365名、実習の受講総数は1,849名であり、半導体業界の技術の裾野を広げるのに貢献してきた。11年間に亘り、無償で大学を支援できた背景には、STARCの継続的な教育支援の姿勢を支えてきたクライアント社の理解と支援があり、またテキスト編集委員会のメンバーや教材執筆者のボランティア的な継続的な教材改訂、加えて各大学での担当教員の熱意や積極的な取り組みやSTARC支援委員会のメンバーによる大学教育のあるべき姿への指導に依るところであり、深く感謝する。ITとETが融合する現在、STARCの教育教材は他産業でも有益と思われ、今後提供範囲を拡大したいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 中屋雅夫：半導体産業の収益性分析, 一橋大学イノベーション研究センター, Webページ, <http://www.iir.hit-u.ac.jp/iir-w3/file/WP11-03Nakaya.pdf>, 2011年3月, 参照日: 2011-12-27
- 2) (社)日本経済団体連合会教育問題委員会：産業界の求める人材像と大学教育への期待に関するアンケート結果, Webページ, <http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/2011/005/index.html>, 2011年1月18日, 参照日: 2011-12-27
- 3) 橋詰恒雄, 有賀正憲, 加沼安喜良, 今村 健：大学でのSoC設計教育推進へ向けたSTARCの取り組み, 工学教育, 54-5, pp.31-37, 2006
- 4) 今村陽一, 橋詰恒雄, 宇野 正：半導体技術者のためのMOT教育実施に向けた調査結果と今後の展開, 工学教育, 54-5, pp.25-30, 2006

著 者 紹 介

小池 豊

株式会社半導体理工学研究センター (STARC) 研究推進部教育推進室 上級研究員。実習教材開発と実習講師を担当
STARC教材「実習 Tips」著者
2007年に沖電気工業株式会社(現ラピスセミコンダクター(株))よりSTARCに出向