

## 情報通信技術を支える高集積化システム LSI 設計技術者育成のための演習教材開発

情報電気電子工学科 久我 守弘

### 1. はじめに

研究代表者の研究室では、1990年台初頭からノイマン型計算機の動作原理、設計理論、構成方式、管理技法までの一貫した計算機工学教育に利用できる教育用マイクロプロセッサKITEとそれをを用いた教育支援システムを開発し、実際に学生実験に採用することで大きな学習成果を挙げてきた[1].

一方で、KITE用実験ボードを開発してから現在までにFPGA (Field Programmable Gate Array) の集積度は飛躍的に向上し、システム全体をひとつのLSI に集積するSoC (System on a Chip) が可能となった。それに伴い、システム全体を協調させて設計を進めるシステムレベル設計の重要性が増しているが、最新の設計技術・設計環境を活用できる高いスキルを持った技術者が不足している。その原因のひとつとして、システムレベル設計を意識した教育支援システムが十分でないということがあり、即戦力になり得る人材を教育機関等で育成することが課題である。

以下、2章では昨年度採択課題の追加報告、および、3章では本年度の従前採択課題継続支援により本課題に関連する既存実験演習テーマの充実化を図るための教材開発とその実施状況について報告する。

### 2. システムレベルLSI設計教材[2]

#### 2.1 教材概要

FPGAの集積度も年々向上し、100万ゲート規模を超えるデバイスも容易に入手可能となった。それに伴い、FPGAを用いたSoC開発演習も実現可能な領域に入ってきたが、従来のKITE用実験ボードでは高々25Kゲート相当の回路しか実装することができないため、実装ボードの機能拡張も要求されるようになってきた。提案する教育支援システムでは、従来の教材では対応できていない以下の項目について対応した。

すなわち、i) SoCの実現に必要な規模を持ったFPGAの実装、ii) 様々なアーキテクチャへの対応、および、iii) システムレベル設計を考慮したWeb教材の開発、である。また、これまでKITEマイクロプロセッサの開発演習を実施してきた成果から、学習者の意欲を損なうことなく、しかも完成できたときの喜びを同時に味わえるような教材でなければ、教材として最大限の効果を発揮することができないという

ことが分かっている。既存のEDAツールで利用できるIP等を有効に活用し、かつ、目に見えて分かる形でデジタルシステムの開発を検証できる題材として、一種のコンピュータシステムを完成させる課題とする教材を開発した。

#### 2.2 演習事例

図1に演習事例として設計したコンピュータシステムのFPGA内ブロック図を示す。ソフトコアプロセッサとしてはKITE-1マイクロプロセッサを用い、ビデオRAM (VRAM)、キャラクタジェネレータROM (CGROM)、および、VGAコントローラからなるVIDEO部とともに全てFPGA上に搭載した。

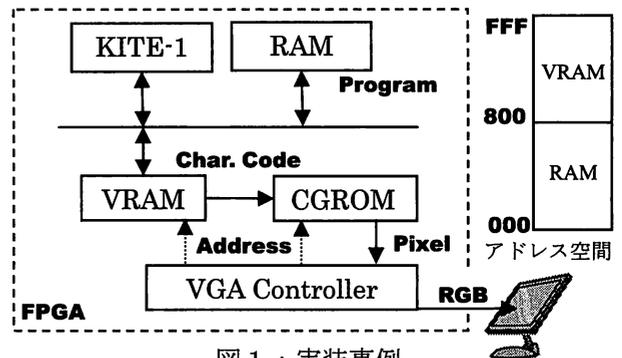


図1：実装事例

表1：FPGA実装結果

HDL記述量	プロセッサ部 858行, ビデオ部 105行	
使用FF数	154/9,312 (1%)	
使用LUT数 6,477/9,312 (69%)	Logic	2,622
	route-thru	15
	32×1 RAM (RAMとして)	2,048 語×16bit
	Dual Port RAM (VRAMとして)	1,792 2,048 語×7bit
使用Block RAM数	1/20 (5%) (CGROMとして) 8×16dot 128文字	
動作周波数	プロセッサ部 50MHz, ビデオ部 25MHz	
実装時間	合成から構成データ生成まで：約25分	

FPGAへの実装結果を表1に示す。全ての回路はVerilog HDLを用いて記述した。回路資源としてはFPGA内LUTの69%を使用しているが、I/O等を追加実装する余裕は残されており、さらなるシステム拡張が可能である。システムの組込みプロセッサを KITE-1とし、その上でLIFEゲームを動作させた結果をVGAモニタ上に表示させ図2のように正しく動作するこ

とを確認した。

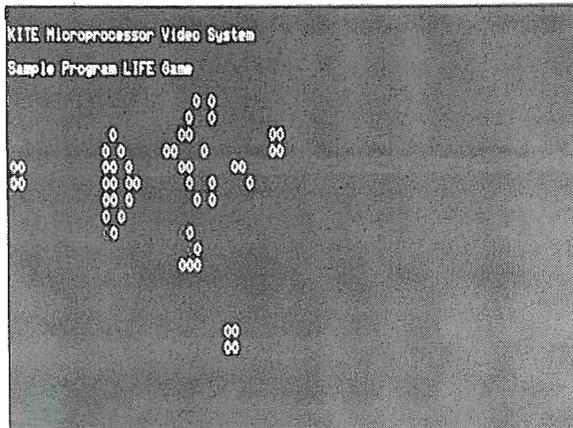


図2：LIFEゲーム処理画面

現状では、まだ「システム」と呼べるほど大規模なものではない。設計事例を洗練化するとともに、現状よりもさらに抽象度の高いUMLからのシステムレベル設計教材へ適用範囲を広げる予定である。

### 3. 実験演習：マイクロプロセッサの動作原理

#### 3.1 実験概要

今回の継続課題支援では、KITEマイクロプロセッサを用いた情報工学教育のうち、2年次情報電気電子工学実験第一において実施している「マイクロプロセッサの動作原理」のテーマにおける実験設備の拡充を行った。本テーマは、コンピュータの基本であるノイマン型プロセッサの動作原理を理解することを目的としている。演習ではプロセッサの動作を機械命令の単位で、そのクロックレベルの動作について学習する。これにより、プロセッサを実現する論理回路がクロック単位でどのように動作しているかについて把握する。また、アセンブリ言語を用いて機械命令でのプログラミング演習を行い、ソフトウェアとハードウェアの対応関係についても理解を深める。

#### 3.2 演習事例

実験ボードはプロセッサの全てのレジスタを表示できるため、機械命令がどのように動作しているか視覚的に確認することが可能である。しかし、プロセッサ外部のメモリや入出力装置についてはソフトウェアとハードウェアの対応関係を理解するのに十分な情報を提供できておらず、これまでの実験状況から学生がソフトウェアとハードウェアの対応関係を十分に理解できていないとはいえなかった。そこで、図3のように従来の実験ボードに付加できるLEDを用いた電光掲示装置を作成し、上記問題に対応した。アセンブリプログラミング課題として、文字やキャラクタを横方向スクロールにより表示させる電光掲

示板を作成するプログラムを課した。図4は学生が作成した♥♦♣を表示する電光掲示板の動作例である。他にも表示キャラクタに様々な工夫が見られた。しかしながらプログラミング演習は基本的に個人単位の演習であるが、学生がアセンブリプログラミングに慣れていないこともあり、5~6名の班単位でプログラムを作成してくる傾向にあった。これについては、Web教材などプログラム開発環境の拡充により対応しなければならないと考えている。

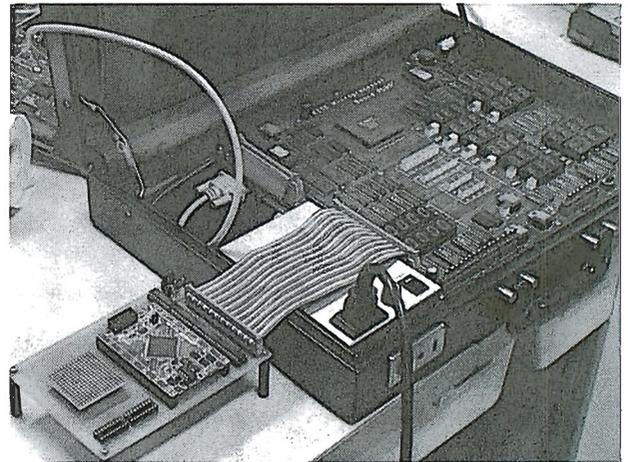


図3：「マイクロプロセッサの動作原理」実験環境

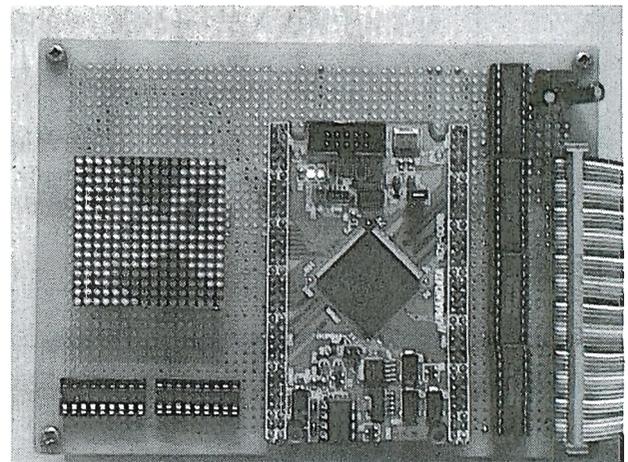


図4：電光掲示板プログラムの実行例

### 4. おわりに

システムLSI設計技術者の育成を目的とした教育支援として、比較的安価なFPGA実験ボードおよび設計システムを利用した教材開発、および、それを用いる設計演習事例について報告した。

#### 参考文献

- [1] 末吉, 久我, 柴村: “KITEマイクロプロセッサによる計算機工学教育支援システム,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J84-D-I, No. 6, pp. 917-926, 2001.
- [2] 久我: “システムLSI設計教育のための演習教材開発,” 平成19年度 工学・工業教育研究講演会講演論文集, A-001, pp. 694-695, Aug. 2007.