

# 組み込みシステム教育のためのFPGAボードの開発

大原 遼太郎<sup>†</sup> 小早川 倫広<sup>‡</sup>  
東京都立産業技術高等専門学校

## 1 はじめに

東京工業大学の吉瀬らは教育用 FPGA ボード MieruEMB[1] を用いて組み込みのためのコンピュータを実際に「つくる」「うごかす」というコンセプトに基づいたコンピュータ教育を実現しており、本校でも MieruEMB を用いたコンピュータ教育を行っている [2]。

しかし、現在のコンピュータシステムにはネットワークは必須となっている。このことから実践的なコンピュータ教育を行うには吉瀬らの思想を継承しコンピュータを「つくる」「うごかす」「つなげる」という教育体系の構築の必要がある。

そこで MieruEMB の設計を継承し、かつ Ethernet によるネットワーク機能を有した新たな FPGA ボードの開発が必須となる。本稿では新たな教育用 FPGA ボードの仕様、設計、および実装方法、使用部品、動作確認について示す。

## 2 要求仕様

新たらしい教育用 FPGA ボードに対する要求は、1) Ethernet によりネットワークに接続する。教員へのヒアリングに基づいた MieruEMB 改良点は、2-6) の意見を得た。2) 入出力インタフェースを増強する。3) CPU 内部の状態を表示する表示器を搭載する。4) MieruEMB より低価格化する。5) 入手性の高い部品で構成する。6) microSD カードを使用可能である。

## 3 FPGA ボードの設計仕様

6つの要求仕様を満たすための設計仕様は以下の通りである。1) ネットワーク接続に関する仕様として次の2つがある。1-a) Ethernet によるネットワーク接続は Arduino の Ethernet シールドを活用する。1-b) Ethernet

シールドを利用するために外部入出力ピンを搭載する。2) 入出力インタフェースの増強のためにつぎの3つの入出力を追加する。具体的には、3-a) LED を4個から8個に増やす。3-b) スイッチの数をタクトスイッチ3個から、スライドスイッチ4個、タクトスイッチ4個に増やす。3-c) 外部 IO ピンとして Arduino 互換の外部ピンを搭載した。これは Ethernet シールドのためのものであるが、それ以外のシールドや外部回路との接続も想定する。4) CPU 内部の状態を表示するために7セグメント LED を2個搭載する。5) 低価格化を実現するために、FPGA を Spartan-3E から、同様に MIPS を搭載可能な MachXO2 へ変更する。6) 液晶画面は流通が不安定であるため Arduino 向けに多く流通しているシリアル通信方式の液晶画面を利用する。7) SD カードスロットを microSD カード用に変更する。

上記の仕様を満たすための FPGA ボードに使用する部品を表1に示す。第1列は使用する部品名、第2列は部品点数、第3列は部品単価、第4列は価格を示す。また、右下隅の要素は FPGA ボードの作製費を表す。

表1 使用部品表

品名	使用個数	単価 (円)	価格 (円)
チップコンデンサ 0.1 $\mu$ F	8 個	10	80
チップコンデンサ 1 $\mu$ F	7 個	10	70
チップコンデンサ 47 $\mu$ F	1 個	10	10
チップコンデンサ 220 $\mu$ F	1 個	10	10
チップ LED	8 個	7.5	60
ピンソケット 2.54mm	2 本	80	160
ピンヘッダ 2.54mm	8 ピッチ	50	10
液晶画面	1 枚	650	650
チップ抵抗 100 $\Omega$	1 個	2.5	2.5
チップ抵抗 1k $\Omega$	35 個	2.5	87.5
チップ抵抗 5.1k $\Omega$	3 個	2.5	7.5
チップ抵抗 47k $\Omega$	5 個	2.5	12.5
タクトスイッチ	4 個	10	40
スライドスイッチ	4 個	30	120
FPGA(MachXO2)	1 個	2,154	2,154
SRAM(512kbyte)	1 個	702	702
7セグメント LED	2 個	197	394
SD ソケット	1 個	140	140
レギュレータ 1.2V	1 個	300	300
レギュレータ 3.3V	1 個	50	50
PCB 基板	1 枚	300	300
合計			5,360

Design of FPGAboard for embedded system education

<sup>†</sup> Ohara ,Ryoutaro

<sup>‡</sup> Kobayakawa ,Michihiro

## 4 PCB基板の設計と作成

PCB基板の回路図及び配線パターンはKicadを用いて作製する。PCB基板を設計する際、学生が授業で使うことを考え、以下の工夫を施す。1) 外部ピンに消費電力の大きいArduinoのシールドを接続すること想定し、電源を3.3[V]で最大800[mA]と余裕をもたせる。2) スイッチ入力のピンに抵抗をつけることで、出力に設定してしまった時の短絡が発生を防止する。3) 電源供給ケーブルの向きを間違えても電源が逆接続されないコネクタピン配置にする。

## 5 PCB基板への部品実装方法

設計したPCB基板の実装手順を以下に示す。実装は各段階で動作テストを行っていく必要があり、次の12段階で行うこととする。1) 電源ICとその周辺部品を実装する。電源回路が正しい電圧を出力しているか確認する。2) 書き込み用コネクタを実装する。3) FPGAとバイパスコンデンサの実装を行う。4) FPGAとPCがJTAGケーブルにより接続できることを確認する。5) SRAMとバイパスコンデンサを実装する。6) LEDと電流制限抵抗を実装する。7) 7セグメントLEDと電流制限抵抗を実装する。8) 入力用のタクトスイッチとスライドスイッチを実装する。9) FPGAにテストプログラムを書き込みスイッチとLEDの動作確認をハンダする。10) 液晶画面とSDカードスロットを実装する。11) コンピュータシステムをFPGAに書き込む。12) MieruEMB用のプログラムが書き込まれたmicroSDカードからプログラムが読み込まれ動作することを確認する。

## 6 動作検証

実装したFPGAボード(図1)に対しMieruEMBのシステムの移植を行いMieruEMBと互換性の検証を行う。FPGAに書き込む回路は、主にプログラムローダ部、CPU部、入出力制御部である。開発したFPGAボードはMieruEMBのプログラムローダ部、CPU部と同一の回路が使用できるが、入出力制御部の回路は新しい液晶を用いたため使用できない、そこで本開発においては液晶コントローラ回路をVerilogを用いて開発した。既存のプログラムローダ部回路、CPU回路、液晶コントローラ回路を結合しFPGAボードが正しく

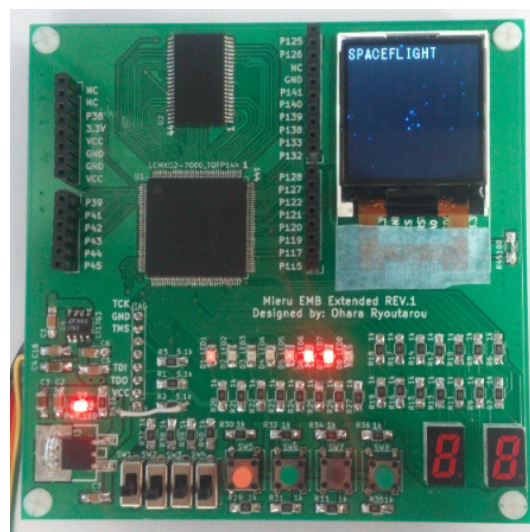


図1 部品を実装したFPGAボード

動作するか検証を行う。

検証として次の4種のプログラムをFPGAボード上で実行した。それぞれのプログラムは1)VRAMへのデータの書き込みの検証のプログラム、2)繰り返しを用いたVRAMへの書き込みの検証のプログラム、3)VRAMのリフレッシュメントの検証のプログラム、4)入出力から値を読み取りVRAMの表示内容の変更の検証のプログラム、である。これらのプログラムが全てMieruEMB上と同様に動作したことからMieruEMBとの互換性を確認できた。

## 7 まとめ

MieruEMBの設計思想をもとにしネットワークに接続できるFPGAボードとして仕様決定、設計、部品実装、動作検証を行いMieruEMBと互換性を有することを確認できた。しかし、Ethernetを用いたネットワークへの接続はできておらず、Ethernetシールドと接続するための入出力モジュールの作成と通信プログラムの作成が今後の課題である。

## 参考文献

- [1] 吉瀬 謙二: シンプルな計算機システムの開発に向けた挑戦, 情報処理学会論文誌 Vol.54 No.7, pp.1902-1912 (2013)
- [2] 佐藤喬, 岩田満, 小早川倫広, 横井健, 吉瀬謙二: MieruEMBを用いたコンピュータ教育 -MieruEMBの作製-, 論文集「高専教育」第38号, pp.1-6 (2015)