

マイコン機能を搭載した教育・研究用 FPGA ボードの開発

月本 功* 森宗 太郎* 高木 正夫*

Development of FPGA Board with Microcomputer Functions for Education and Research

Isao TSUKIMOTO, Taichiro MORIMUNE and Masao TAKAGI

Synopsis

Recently, programable LSIs and microcomputers are used in a lot of electric circuits. Therefore, the education about programable LSIs and microcomputers is necessary. On the other hand, different functions are needed in research and education. While, the cost needed for developing printed circuit boards with different functions for some applications is very high. Thus, the FPGA board with Microcomputer function is developed by this research. Software CPU system “NiosII” that is composed in this FPGA can correspond to different functions, because specification for any applications can be corrected flexibly. And, USB function and Ethernet one, etc. were added to the circuit based on original NiosII CPU board designed in Infohobby, Ltd.

1. はじめに

現在、FPGA 等のプログラマブル LSI を使用してのデジタル回路設計が非常に多く行われるようになり、従来高価であったプログラマブル LSI も低価格が進んでいる。プログラマブル LSI はユーザが設計した回路データを書き込むことでユーザオリジナルの機能を実現できる LSI である。プログラマブル LSI の設計は HDL (ハードウェア記述言語) で行うことから、HDL の知識は不可欠なものとなっている。一方、組み込み機器で多く使用されるマイコンも高性能・低価格化が進み、HDL 同様、マイコンについての知識も重要である。そのため、プログラマブル LSI を使用した HDL 学習用ボードやマイコン学習用ボードなど多くの教材が市販されている。しかし、双方を学習可能な教材はほとんど存在しない。

FPGA が高性能化した現状において、FPGA に組み込むことのできるソフトウェアマイコンがリリースされ、FPGA にオリジナルのマイコンシステムを構築することが可能となった。そこで本研究では、学生実験や研究に適したハードウェア仕様を検討し、マイコン機能を搭載可能な教育・研究用 FPGA ボードを開発したので報告する。

2. 構成と仕様

2.1 構成

本 FPGA ボードはインフォホビー社の NiosIICPU カードを基板として開発を行った¹⁾。

FPGA はアルテラ社の低価格 FPGA “cyclone シリーズ” を採用した。またアルテラ社は自社 FPGA 用のソフトウェアコアプロセッサとして「NiosII」をリリースしており、本ボードでもこのマイコンを利用することとした。

図 1 に本ボードの構成図を示す。本ボードにはマイコンシステムを構成するため必要となるフラッシュメモリ、SRAM 実装している。

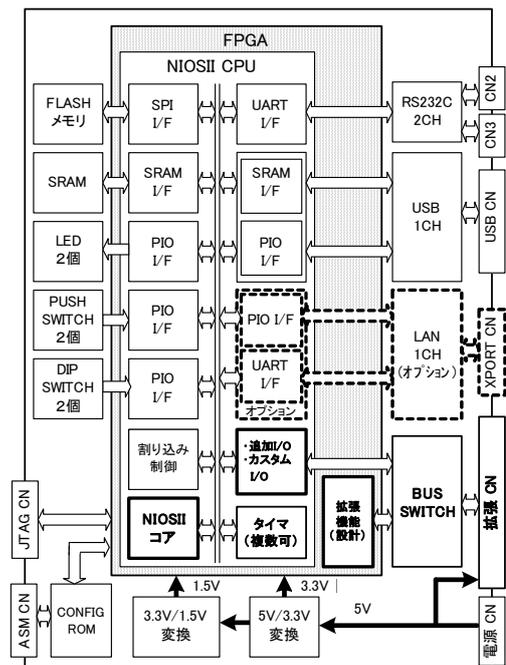


図 1 構成図

* 電子工学科

外部との通信用には、RS232CとUSB機能を搭載している。さらに、オプション機能として、イーサネットに接続するためのXPortを搭載し、TCP/IPによる通信機能やWEBサーバ機能も実現可能である²⁾。

本ボードの外観を図2に示す。本ボードは、機能拡張用に40ピンの外部接続用コネクタが実装され、FPGAに接続されている。学習教材用途や研究用途ごとに追加回路が必要な場合は、その回路を別ボードとして製作し、機能拡張用コネクタで本ボードと接続することで、外部回路がFPGAに接続される。別ボードとのインターフェース回路をFPGA内に実現することで、各事例に対応できる。

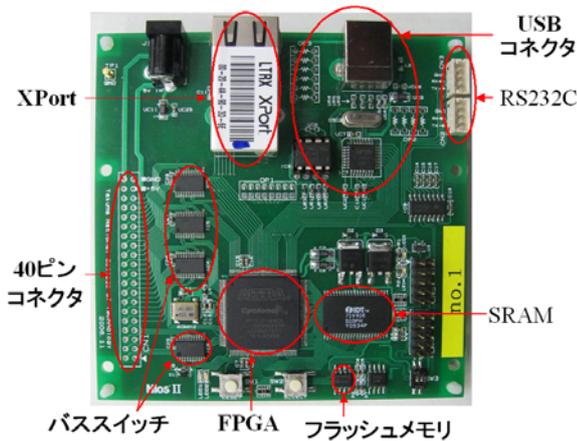


図2 外観図

2.2 仕様

本ボードはマイコンの機能を構成する上での最小構成とした。主な仕様を表1に示す。なお表1は標準的な構成であるが、設定を変更することで、クロックアップや、内部タイマの追加、割り込み機能の追加など、要求に応じカスタマイズ可能である。

表1 主な仕様

FPGA	cyclone	EP1C3T144C8
	形状	144pin TQFP
	回路規模	78%
	動作周波数	60MHz
	内部ROM	1536byte
メモリ	内部RAM	1536byte
	フラッシュメモリ	512KB
	SRAM	512KB
	LED	4個
	SW	2個
	RS232C	2CH
	USB	1CH
	LAN	1CH(オプション)

スイッチ入力、LED、7セグメント表示器を各4回路、LCD表示器を1回路実装した図3右のIOボードを試作し、本ボードと組み合わせて、NiosII

マイコンの構成変更の手順やプログラム開発手順を調べた。本IOボードを使用するには、IOボード上のLED等の表示器を制御するための機能をNiosIIマイコンに組み込む必要がある。こういった機能追加の作業には、開発ツール「SOPCビルダ」を使用する。SOPCビルダでは、機能ライブラリの中から必要な機能を選択、追加し、必要な設定やコンパイル等の操作をした後、FPGAにNiosIIマイコンを書き込むことで、オリジナルマイコンを構成する³⁾。

また、外部ボード制御用にHDLで設計した拡張機能を、NiosIIマイコンと組み合わせてFPGAに組み込むことで、さらに機能拡張が可能である。

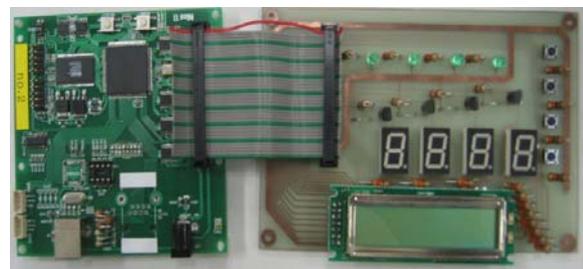
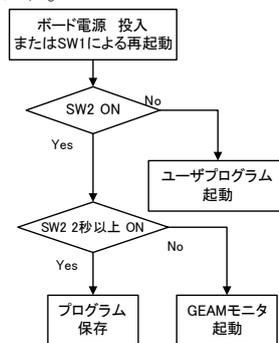


図3 IOボードとの接続

3. プログラム開発手順

FPGA内部のROMには、作成したユーザプログラムをボードにダウンロードする機能やメモリダンプ機能などをもったデバッグモニタ(GERMSモニタ)を保存している。またマイコン起動時に動作するブートプログラムはFPGA内のRAMに保存している。

NiosIIマイコンが起動すると、まずブートプログラムが起動する。ブートプログラムはモード選択スイッチ(SW2)の状態に応じて、(1)デバッグモニタの起動、(2)SRAM内のユーザプログラムをフラッシュメモリへコピー、(3)フラッシュメモリ内のユーザプログラムの起動、のいずれかの処理を行う。図4にSW2によるモード切り替えフローを示す。



SW1:リセットスイッチ

SW2:モード切り替えスイッチ

図4 スイッチによるモードの切り替え

ユーザプログラム開発時には、(1)と(2)を使用する。まず、パソコン上で、作成したソースプログラムをコンパイルし、ダウンロード用のインテル HEX ファイルを作成する。次に SW2 を短時間 (2 秒以内) 押した状態で、マイコンを起動 (リセット操作) することで、デバッグモータを起動して、マイコンにプログラムをダウンロードする。プログラムはボード上の SRAM に 1 時的に保存され、SRAM 上でプログラムが自動的に実行される。正常動作するかどうか、この段階でデバッグを行う。

設計したプログラム動作に問題なければ、(2)のモードで SRAM 内のユーザプログラムをフラッシュメモリに転送する。(2)は、マイコンをリセットし、SW2 を 2 秒以上押し続けた状態にすることで実行される。

スイッチ SW2 を押ししていない状態でリセットすると、フラッシュメモリに保存した、最新のユーザプログラムが自動実行される。

4. 卒業研究への適用事例

4.1 DC ブラシレスモータの PWM 制御

電子機器への組み込み用途では、アクチュエータとしてのモータや、外部情報を取り込むためのセンサを扱うことが多い。そこで、本卒業研究テーマではモータ駆動の用途にも本 FPGA ボードを使用できるよう、モータ制御機能および回転角検出センサ信号処理回路を VHDL で設計し、本 FPGA ボードの機能追加を行った。本件では、Nidec 社のアンプー体型 DC ブラシレスモータ「22H055C030」を制御対象モータとした。また、回転角検出センサには、インフォホビー社製エンコーダモジュール「IHA/05005ECS(Type-300)」を使用した。

モータ駆動用の PWM 信号発生回路のブロック図を図 5 に示す。図 5 の Setting 信号は PWM 信号のデューティ比を設定する信号で、Limit 信号は PWM のデューティ比の上限を設定する信号である。PWM 信号はクロックパルスをカウントした値と Setting 値を比較し、Setting 値がカウント値より大きいと 1 を、小さいと 0 を出力することで得られる。なお、使用したモータの仕様から PWM 周波数は 20kHz とした。

エンコーダモジュールは、図 6 に示すように A 相、B 相信号が 90 度位相差で出力する。また回転方向により位相進みと遅れの関係が逆になる。回転軸方向から見て左回転の場合、A 相が B 相より 90 度進み、右回転の場合は 90 度位相遅れとなる。このような A 相、B 相信号は一般的に使用されるエンコーダ回路と同様であり、本件で設計した回路は多くの用途にも使用可能である。

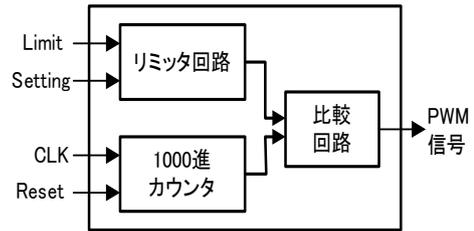


図 5 PWM 信号発生回路のブロック図

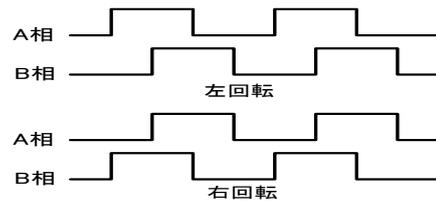


図 6 エンコーダの A/B 相信号波形

設計した PWM 制御回路と、エンコーダ出力処理回路を NiosII マイコンへ拡張機能として追加し、FPGA に書き込み、動作実験を行った。実験は図 7 のように、モータから発生するサージから FPGA ボードを保護する保護回路を追加して行った。その結果、PWM のデューティ比設定に応じてモータ回転数が増減することを確認できた。またエンコーダの A/B 相信号を処理した回転角情報の取得にも成功した。

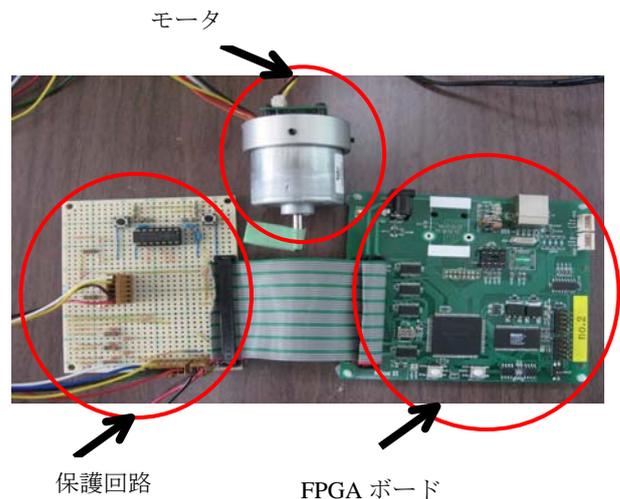


図 7 試験回路構成

4.2 電光掲示板遠隔制御システムの開発

本 FPGA ボードには、オプションとして Xport を実装可能である。Xport は TCP/IP-シリアル変換機能を有しており、FPGA は複雑な TCP/IP 通信を意識することなく、単純なシリアル通信で容易にイーサネットに接続可能である。

本事例では本ボードを使用して遠隔で電子機器を制御する場合の開発課題等を調べるため、電光掲示板の遠隔制御システムの開発を試みた。

システム構成を図8に示す。掲示板は双葉電子工業製電光掲示板「GP1054A」を採用し、図8に示すように、RS232Cによるシリアル通信で掲示板を制御する。本システムではXportのWebサーバ機能を利用し、Javaアプレットを使用して作成したXport上のホームページから掲示板に表示したい文字を送信する。

本件の電光掲示板は、RS232C通信プロトコルに規定があり、HDLでハードウェアとして実現するには処理が複雑である。そのため、本事例ではFPGAボードをNiosIIマイコンボードとして使用し、FPGAにHDLによるハードウェア追加は行わず、マイコンプログラミングで掲示板制御を実現した。本事例はマイコンボードとして本ボードを使用した事例である。

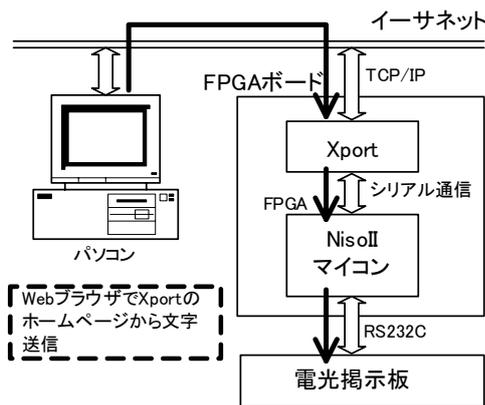


図8 電光掲示板遠隔制御システムの構成

4.3 ロックインアンプ用 A/D コンバータ製作

電子工学科の森宗研究室では卒業研究・特別研究において物質の光学的特性と光デバイスの光電変換特性の測定・解析を行っている。ここでは、微少な信号を測定するため、ロックインアンプという特殊なアンプを使用している。ロックインアンプの出力はアナログ信号であり、パソコンにデータを取り込んで処理する場合はADコンバータにより、アナログ信号をデジタル信号に変換する必要がある。市販製品を使用しても実現可能であるが、本事例では、アナログデバイス製AD変換IC「AD7721」と組み合わせる周辺回路を設計し、A/Dボードを試作した。このボードと本FPGAボードと組み合わせることで、安価なデータ測定システムを製作した。

システム構成を図9に示す。本事例では、図9のAD変換部の制御とデジタルデータの取り込み、および測定データのパソコンへの送信を本

FPGAボードが行っている。ここではAD変換部の制御回路はVHDLで設計し、NiosIIマイコンと組み合わせてFPGAに組み込み使用している。パソコンへのデータ送信機能は、NiosIIマイコンのプログラムで実現し、タイマ割り込みを使用して、1秒ごとにデータをパソコンに通信する。

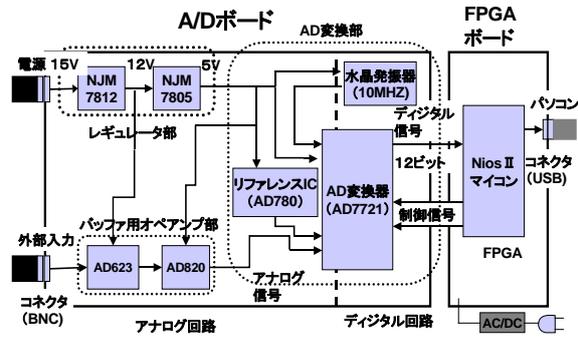


図9 AD変換システム構成

5. むすび

現在のデジタル回路設計の現場では、プログラマブルLSIが多く使用されるようになっている。その設計にはハードウェア記述言語HDLを使用する。そのためデジタル回路設計においてHDLの知識は重要である。また電子機器内にはマイコンが数多く使用されており、これについて学ぶことも必要である。

そこで本研究では、アルテラ社製のCycloneシリーズFPGAを搭載したFPGAボードを開発し、ソフトウェアマイコン「NiosII」を実装可能なハードウェア環境を構築した。また本ボードにはUSB機能やイーサネットに接続するための機能も搭載した。

本論文では、FPGAの構成、仕様等の概要報告と、実際に本ボードを使用した卒業研究事例を紹介した。これらの事例では、回路の一部をHDLで設計しFPGAで動作させたほか、その回路をNiosIIマイコン新機能として機能拡張を行った。

本FPGAボードは汎用性が高く、紹介した事例以外にも広く利用可能であると考えている。具体には、本校専攻科の特別実験・演習で教材開発での使用を予定している。

参考文献

- 1) ”インフォホビー社 NiosII CPU カード <Btype> ユーザーズマニュアル”, 有限会社インフォホビー
- 2) 日高亜友、中村雄次、瀬木千秋、和田好司: ”センサとインターネット接続”, CQ出版社
- 3) ”NioSysTM で始める NiosII 開発”, 東京エレクトロニクスシステム株式会社