

FPGA の導入方法と物理計測における用途について

川端哲也

教育・研究技術支援室 計測・制御技術系

はじめに

太陽地球環境研究所第3部門宇宙線グループからの業務依頼の中で、FPGA を用いた回路試作の機会を得た。ここでは、FPGA 入門者である筆者が、これから FPGA を始めようとする人に参考になりそうな事柄について簡単に紹介する。なお、ここでは実際に使用した Xilinx の FPGA について紹介している。

1 FPGA (Field Programmable Gate Array)

FPGA は、プログラム可能なロジックデバイス PLD(Programmable Logic Device)である。かつては 74 シリーズなどの汎用ロジック IC を組み合わせた回路基板を製作し、一つの機能を実現していた。FPGA は、この回路基板が一つのデバイスにそっくり入ってしまったイメージになる (図1)。しかも、デバイス内の配線はプログラムによって自由に書き換えられるため、仮に論理のミスがあっても後から修正できるし、大規模なロジック回路をコンパクトに基板上に実装することも可能となる。また、CPU と異なり、全ての入出力端子がそのときの状態に応じて即座に反応するので、高速な信号処理が可能である。

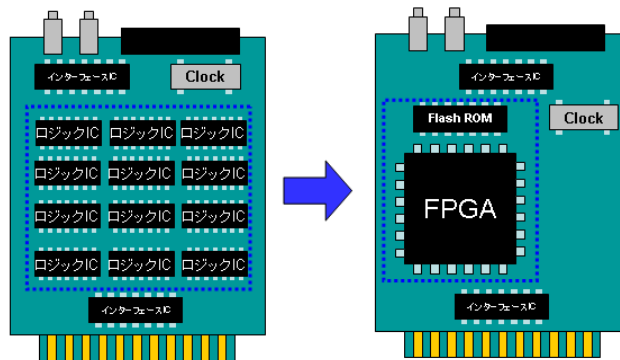


図1 FPGA のイメージ

2 開発環境の整備

FPGA の開発に必要なものは、(1) パソコン (Windows, Linux)、(2) 開発ソフト ISE Design Suite (Xilinx の場合)、(3) プラットフォームケーブル、(4) FPGA 基板 (評価基板、試作・本作基板など) である (図2)。プラットフォームケーブルは、FPGA や不揮発性メモリにプログラムを書き込む時に使用する。

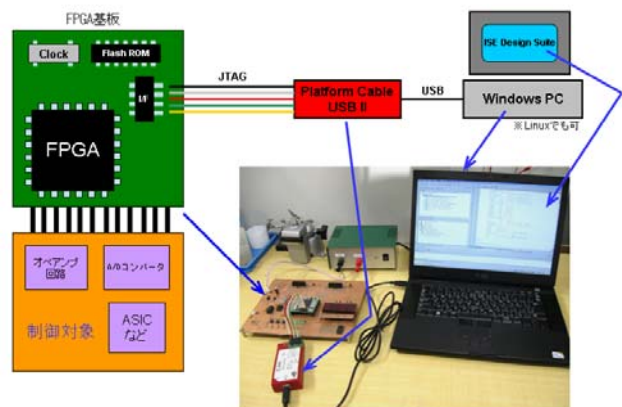


図2 FPGA の開発に必要な機材

3 ハードウェア記述言語 HDL

PLD は、ハードウェア記述言語 HDL (Hardware Discription Language) でロジックをプログラムする。普及している HDL には、VHDL と Verilog HDL があるが、筆者は VHDL を使っている。入門者に注意しておきたいのは、HDL は C 言語や Visual Basic など PC のプログラム言語とは、動作順序が異なるという点である。PC のプログラミング言語は、記述した上の行から逐次実行されるが、HDL は全ての行が同時に動作する。プログラムとは言うものの回路の配線をイメージして記述する必要があり、PC のプログラミングとは全く別物であると思った方がよい。こうした点から PC でのプログラミング経験者よりも、むしろデジタル回路の経験者の方が入りやすい。

4 開発環境 ISE Design Suite

ISE Design Suite は、Xilinx 社の PLD 開発環境である。実際に FPGA デバイスが無くても HDL の開発が可能で、ロジックの量に合わせたデバイスの選定 (FPGA のグレードの選定) にも使用できる。Web からダウンロードできる無償版が用意されており、まずはここからスタートするのをおすすめしたい。無償版は開発できるデバイスに制限があるものの大規模なロジックでなければ、こと足りることも多い。有償版は、高性能な FPGA にも対応しており、FPGA 内にロジックアナライザーを組み込んでデバッグで使用する Chip Scope Pro という機能が付けられるのが大きな違いである。注意点としては、開発環境のバージョンは、FPGA デバイスと深く関連していることである。最新の開発環境は、最新の FPGA に対応しているが、逆に古い FPGA には対応していない。もし、古くなった FPGA をメンテナンスする時は、そのデバイスをサポートする古い開発環境を用意する必要がある。

入門者は、HDL の習得と合わせて、この開発環境の使い方を覚える必要がある。これには、Xilinx の Web 上にわかりやすいチュートリアルがあるので、それを参考にするのが良い。

5 パッケージの種類

FPGA のパッケージは多種多様であるが、入門者から見るとデバイスの 4 辺から端子が出ている QFP(Quad Flat Package)と、デバイスの裏面にボール状の端子が並んだ BGA(Ball Grid Array)の 2 種類が目につく。QFP であれば、プリント基板加工機などで基板を試作し、自分で半田付けすることも不可能ではないが、QFP はピン数が少ない FPGA しか用意されておらず、ほとんどの FPGA が BGA となっている。したがって、最初は評価ボードを利用した試作をおすすめしたい。慣れてくれば、FPGA を実装した試作基板を外注で製作し、開発した HDL をデバッグするといった流れで開発が可能となる。

6 試作回路の製作例

ここでは、評価ボードを利用した試作基板の例を紹介する。使用した評価ボードは、Spartan-3E が実装されたヒューマンデータ社のボード (型番 : XCM-302-250E) で、FPGA から 56 本の I/O が 2.54mm ピッチの端子で引き出されている。この端子を利用して、外部回路を制御する。

FPGA に慣れるには、まずは LED を光らせたり、スイッチを押して動作が確認できると理解しやすい。また、テストピンを多く設けてオシロスコープで波形計測ができれば、直感的に HDL のデバッグもできる。製作した試作基板には LED、スイッチ、7セグ表示器、テストピン、RS232C などを実装した (図 3)。

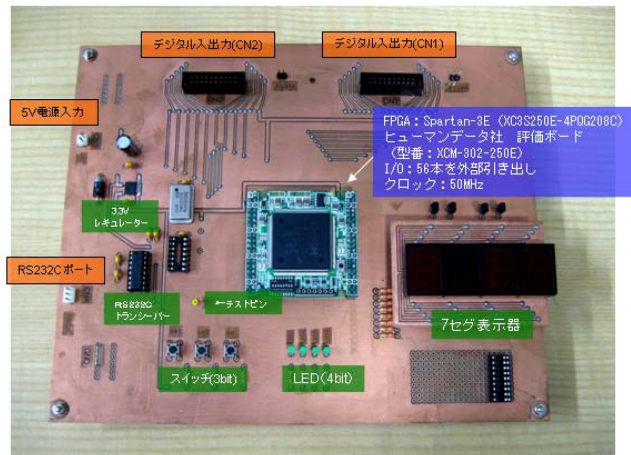


図3 試作した基板

7 FPGA の用途

今回の試作では、多チャンネル型 PMT (Photomultiplier Tube) から出力される電流信号に対して、信号の検出とその波高をシリアル化する ASIC (Application Specific Integrated Circuit) を制御する回路の一部に FPGA が用いられた。物理実験では、数万チャンネルという検出器からのパルス信号を、高い時間分解能で強度まで含めた測定をすることがあり、フロントエンドに専用の ASIC (注1) を、バックエンドにそれらを制御する FPGA を配置することが多いようである。また、データの転送についても TCP/IP を FPGA に実装して高速化した SiTCP (注2) と呼ばれる技術が用いられる。

注1) 多チャンネル型 PMT (例えば 32ch) からの電流出力を増幅し、信号の検出を知らせる早いパルス出力 (TA) と各チャンネルの波高電圧をシリアル化 (VA) する機能を実装した VA/TA ASIC が用いられる。

注2) 高エネルギー加速器研究機構の内田智久氏によって開発された技術で、現在は株式会社 Bee Beans Technologies へ技術移転されている。

謝辞

筆者に FPGA を勉強する貴重な機会を与えて下さった、太陽地球環境研究所第3部門宇宙線グループの皆様に深く感謝申し上げます。