

技術レポート

# FPGA を利用した画像処理システムの開発

細谷 達夫\*・大峠 忍\*・竹下 英樹\*\*

## 1. 目的

FPGA (Field Programmable Gate Array) は、ユーザによるプログラムが可能な LSI で、ハードウェアでありながら、回路のデバッグ、回路設計仕様変更への対応が基板の改造なしに可能である。また、場合によっては、出荷後の製品に対しても回路の変更が可能である等のフレキシビリティを有している。従来から、その特性を活かした応用が進んでいたが、既に普及しているマイコンに比べて単価が高く、また、IC 設計にノウハウが必要なことが、普及のボトルネックとなっていた。しかし、ここ数年、FPGA の低価格化と性能向上が多くの導入事例を生み、電子製品開発における注目の技術となって来ている。

このような背景のもと、画像処理装置の共同研究開発をエステック(株)と鳥根県が実施することとなったが、本研究には FPGA の利点が活かされると判断し、Linux を含むシステムを搭載した本格的な FPGA システムを構築することになった。画像解析の概要を図1に示す。図にあるように、金属材料を炉で調製する際、適宜試料を取り出し、カントバック法で成分分析を行う。本研究では、取り出し、切断研磨されたボンブ試料が、キズ、空洞、欠けなどの欠陥の

無いカントバック法に適した表面状態を持っているかを検査する画像処理システムを試作する。また、この試作開発を通して、今後、県内電子技術関連企業が FPGA を利用した製品開発を行う際に、その支援のための基礎技術を確立していくことを目的とする。

## 2. 方法

### 2.1 全体構成

今回の開発では、図2に示すように、CCD カメラに AV ボードを接続して画像信号を規格に従ったデジタル信号に変換し、それより後の信号処理は FPGA を用いて行うこととした。画像処理を行う FPGA は、システム全般の制御を行うシーケンサと接続し、シーケンサから画像処理開始の指示を受け、処理結果をシーケンサに返送する。画像処理を行う際のパラメータ設定、つまり、画像処理範囲の指定、二値化の閾値等は、図2の「画像処理パラメータ設定用 PC」から、図3のような画面を通して行う。その際、この機能は cgi を使って実現しているため、「画像処理パラメータ設定用 PC」には専用の設定用ソフトウェアをインストールする必要はなく、Windows のインターネットエクスプローラに代表される Web ブラウザで、

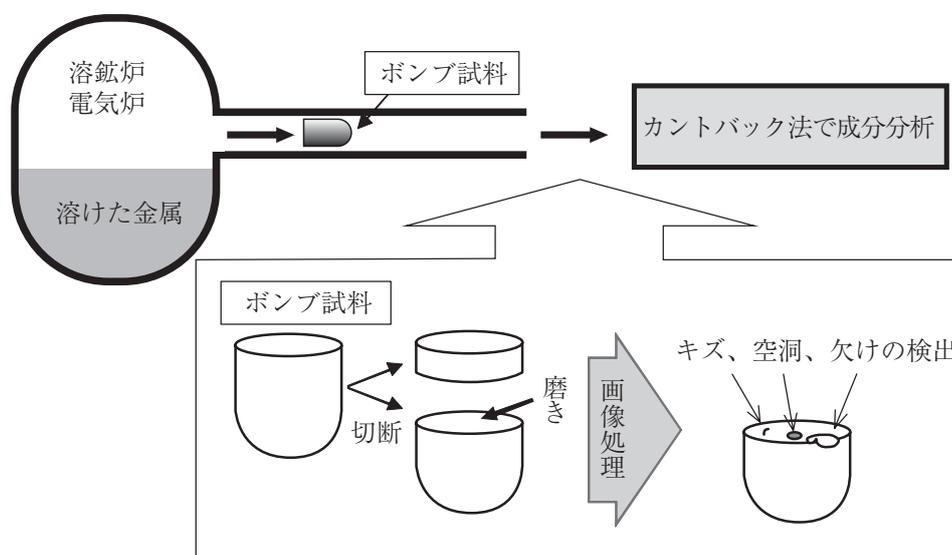


図1 画像解析の概要

\*電子・電気技術グループ, \*\*エステック(株)

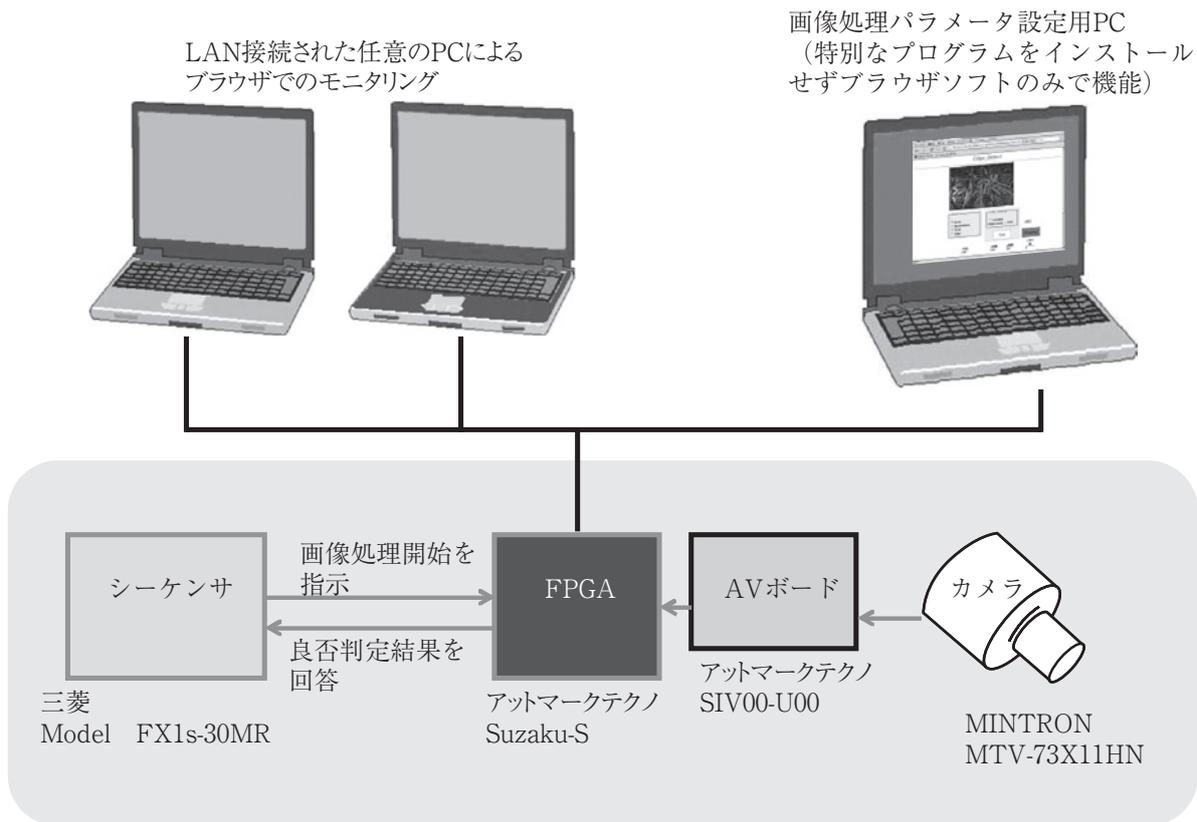


図2 画像処理システムの構成

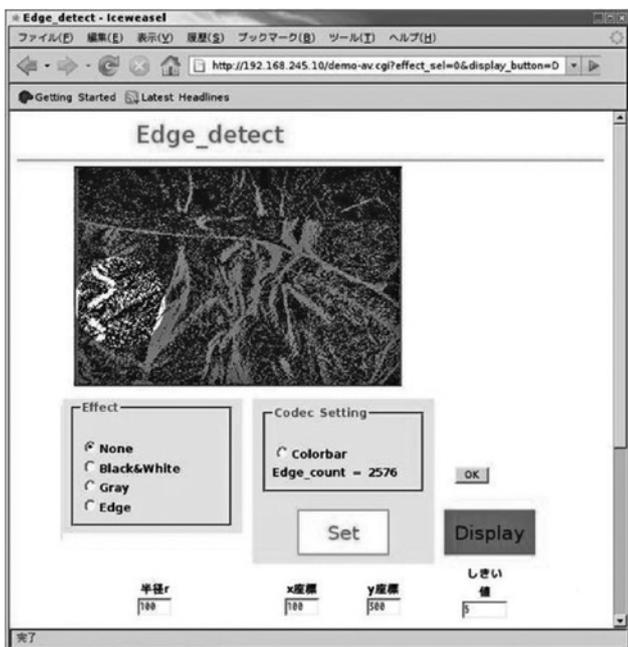


図3 ブラウザで設定される画像処理条件等

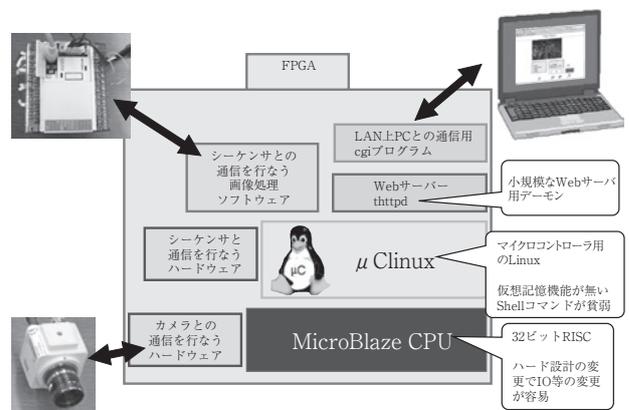


図4 FPGA 内に実装されている機能

て採用したシステム仕様を図4にまとめて示した、主な点は次のとおりである。

- ① CPUとしてXilinx社の提供するソフトコアCPUのMicroBlazeを組み込んだ。
- ②基本OSとしてμ Linuxを搭載した。
- ③画像処理支援のためのハードウェア(特に画像データ転送回路)をFPGA上に設計した。
- ④MicroBlaze上には画像処理プログラムだけでなく、LAN接続されたPC、RS232C接続されたシーケンサとの通信プログラムが搭載されている。
- ⑤組み込みボードということで、電源投入時にログインプロ

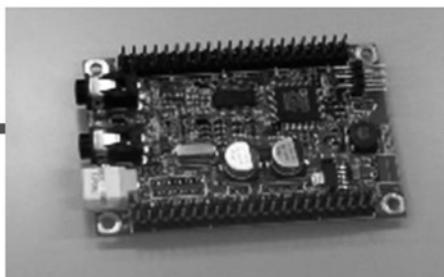
FPGAに設定されたIPアドレスを読みに行けばよい。モニタリング用PCにおいても同様に、ブラウザでの画像処理状況の監視が可能となる。

## 2.2 FPGAに実装された機能

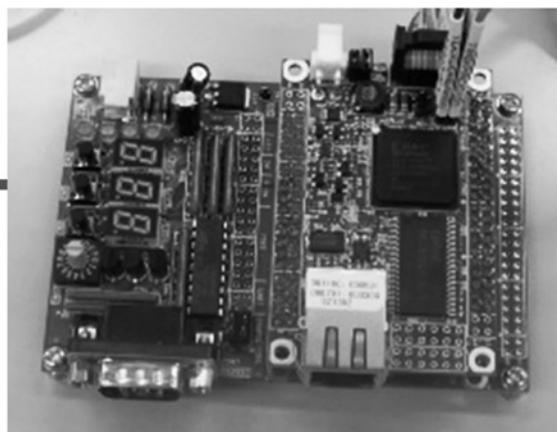
FPGAの中に組み込まれた機能について、試作にあつ



40万画素CCD  
[MTV-73X11HN]



AVボード  
ビデオ信号のデジタル化



FPGAボード(SUZAKU-S SZ130)  
FPGA: Xilinx製 Spartan-3E  
DRAM: 32MB  
コネクタ: RS232, JTAG, Etherne

図5 試作に使用したカメラ, ボード類

原画像



エッジ抽出



図6 画像処理結果の例 (濃淡処理後, エッジ抽出)

グラムを利用せず, 制御プログラムが自動起動する.

### 2.3 実装された機能の意図と特徴

2.2項に示した機能の意図と特徴は次のとおりである.

①については, 完全に独自の仕様のCPUを開発することも可能であり, 実際独自の専用CPUを搭載している機器は多数存在する. 今後の電子関連製品開発の動向によっては取り組まなければならないテーマではあるが, その際には, 独自のコンパイラも同時に作成する必要がある. これ自体が, 一つの研究テーマとなり得る開発内容を持っている. そこで, 今回は, Xilinx社の提供する既存のCPUコアと, その開発環境を用いることとした.

②のOSについては, 通常のパソコンと異なり, OSを用いない方法もあるが, 今回は, リアルタイム性は必要な

ものの, ネットワーク利用によるシステムの遠隔制御・モニタリングを行うため, 小規模ではあるがイーサネットのプロトコルスタックを利用できる $\mu$ Clinuxを採用した.

なお,  $\mu$ Clinuxはマイクロコントローラ用のLinuxで「ユーシーリナックス」と呼ばれることが多い.

③の画像データ転送回路については, サンプルとして提供されていたVHDLファイルをもとに作成した.

④の画像処理及び通信プログラムの開発環境は, アットマークテクノ社が提供したものを使用した. パソコン上のVMwareにターゲットと同じ種類のLinuxを載せてC言語のクロスコンパイラで画像処理システム用プログラムを作成し, OSとともにFPGAに転送して, システムを構築した. デバッグの段階では, システム全体の書込みは時間

がかかるため、画像処理システム用の実行コードだけを FTP で FPGA に転送し、動作確認を行った。

⑤のプログラムの自動起動については、種々の方法が考えられるが、今回は、シーケンサプログラムから FPGA へ制御開始コマンドを自動送信することによって実現した。

図5に実際に使用したカメラおよびボード類の写真を示す。

### 3. 結 果

開発した画像処理システムによって行なわれたエッジ抽出に関する画像処理の例を図6に示す。実際に試料の表面欠陥を制御に用いる場合は、図3のエッジ抽出画像の左側に特に明るい円形で指定しているように、画像の一部をエッジカウントを行う領域としてパラメータで設定できる。また、同様に各種画像処理において必要となる二値化の閾値もパラメータ設定可能である。画像処理前の画像と、処理パラメータを使って変換された画像および処理結果の確認は、FPGA ボードと LAN で遠隔接続されている任意の PC から可能であり、実際の工場における工程管理において役立つものと期待できる。

### 4. ま と め

FPGA は最先端の多機能なハードウェア、ソフトウェアをワンチップ化できること、また、機能分担の設計が可能であり、その最適化によるスループットの最大化が可能であること等により、組み込み産業に浸透してきている。しかし、集約できる機能そのものが使いやすくなったわけではない。今回、この画像処理という一つのシステム構築に用いたものは、言語だけでも、VHDL：ハードウェア記述言語、C 言語：一般的なプログラム言語、HTML：Web ブラウザの表示用言語、JavaScript：ブラウザに動的な制御機能を持たせる言語、Shell Script：Linux 上でのコマンド管理言語、Ladder 言語：シーケンサの動作記述言語の

6種類の言語にわたっている。その他にも、Linux に関する FTP, Vi, Make 等のツール、コマンド類の使い方や起動の仕組み、シリアル通信に関する通信設定に合わせたケーブル設計、ネットワーク技術に関する cgi や daemon 管理等のさまざまな知識が要求された。

そのため、FPGA を使ってシステムをコンパクトに最適化する技術は、原理的には実用の域に入ったものの、実際にシステム開発を少数の技術者で実施するためには相当量の技術習得を要し、個々の技術者にかなりのポテンシャルを求めることになる。とはいえ、技術者の絶対数が少ない県内中小企業を想定した時、この高いハードルを越えることの意義は非常に大きい。今回構築したシステムは、欠陥の画像処理診断に十分な性能を持っていることが確認できたが、その画像処理機能そのものよりも、産業技術センターを核に、多機能システムをワンチップに搭載する FPGA 技術を普及させることが、県内電子産業の競争力を飛躍的に高めると期待される。

### 文 献

以下に示す文献は、本研究開発の全般に渡って参照してきたものである。また、(株)アットマークテクノ社のマニュアル類については、随時最新のものをダウンロードして参考資料とした。

- 1) (株)アットマークテクノ. SUZAKU スターターキットガイド (FPGA 開発編) .
- 2) (株)アットマークテクノ. SUZAKU スターターキットガイド (Linux 開発編) .
- 3) (株)アットマークテクノ. SUZAKU AV ボード ハードウェアマニュアル .
- 4) (株)アットマークテクノ. uClinux-dist 開発者ガイド .
- 5) (株)アットマークテクノ. ATDE Install Guide.
- 6) (株)アットマークテクノ. SUZAKU-S ソフトウェアマニュアル
- 7) Steve Kiltz. Advanced FPGA Design Architecture Implementation and Optimization. Wiley-IEEE Press.
- 8) Karim Yaghmour. Building Embedded Linux Systems. O'Reilly Media.