

# 第1章

プログラマブルなLSIを実現するしくみとアプリケーションを理解する

## FPGAの基礎知識

三上廉司

本章では、これまでFPGAを使ったことのない人のために、FPGAの構造やFPGAの使い方について解説する。FPGAは所望の機能を手元で構成できる特徴を持つ。これからのハードウェア開発には不可欠なLSIである。 (編集部)

最初のプログラマブル・デバイス(PLD: programmable logic device)が登場して30年、FPGA(field programmable gate array)が登場して20年がたちました。この間にプログラマブル・デバイスの高集積化、多機能化、高速化、低価格化が進んでいます。シンプルなアーキテクチャで小規模だった時代からプログラマブル・デバイスを使っている人にとって、デバイスの進歩はありがたい限りです。しかし、これからプログラマブル・デバイスを使おうというエンジニア

にとっては、最新のFPGAとその設計技術は、複雑すぎて導入の糸口がつかみづらくなっているかもしれません。

ここでは、デジタル回路の一応の知識があり、これからFPGAを活用し始めようとするエンジニアの方々を対象に、FPGAの基礎について解説します。

### 1. FPGAの構造を理解する

FPGAは、図1のように、プログラム可能な比較的小規模の論理ブロックを格子状に配置し、その間に縦方向と横方向に配線路を設けた構造を基本としたLSIです。一つの論理ブロックは小規模ですが、多くのブロックを組み合わせることで大規模な回路を実現できます。

#### ● 基本論理ブロックはLUTとフリップフロップで構成

図2にFPGAの論理ブロックの基本的な構成を示します。

プログラム可能な論理ブロックを実現する基本要素は、SRAMで構成されたLUT(look-up table)です。図2では、4入力1出力のLUTの例を示しています。4ビットの入力から1ビットの出力を得る任意の論理関数を構成できます。

フリップフロップは、同期出力を得たり順序回路を構成する際に用います。LUTの出力にフリップフロップを接続するかどうかは選択可能です。

このLUTとフリップフロップのペアを基本として、高性能化するための付加回路などによって基本論理ブロックが構成されます。このブロックの構造はメーカーによって異なります。CLB(configurable logic block)やLE(logic

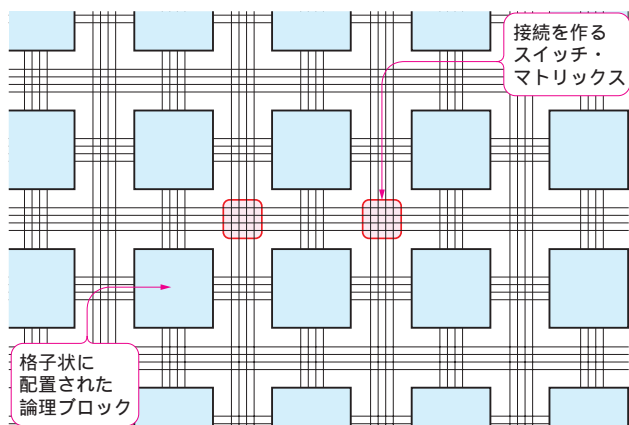


図1 FPGAの基本構造

格子状に配置された論理ブロックと、論理ブロック間を接続するスイッチ・マトリクスで構成される。

**Keyword** プログラマブル・デバイス, PLD, FPGA, SRAM, LUT, トランスファ・ゲート, IP コア

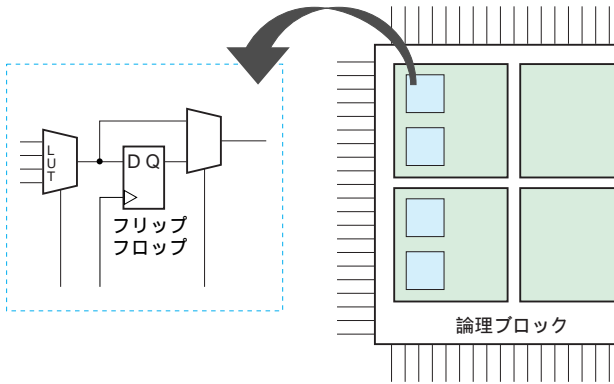


図2 FPGAの基本論理ブロック

LUTはメモリで構成される。接続はトランスファ・ゲートで作られる。

element), スライスなどメーカーにより名称も異なります。

● 論理ブロック間はスイッチ・マトリックスで接続

基本論理ブロックは、配線路に設けられたスイッチ・マトリックスによって任意の接続が可能です。

スイッチ・マトリックスは、図3に示すようなトランスファ・ゲート(アナログ・スイッチ)で作られています。

FPGAの論理を構成するLUTはSRAMです。スイッチ・マトリックスを構成するトランスファ・ゲートのON/OFFを決めるのもSRAMです。

SRAMは、電源がOFFになるとデータが消えてしまいます。そのため、FPGAは電源を投入すると外部から回路情報(コンフィグレーション・データと言う)を読み込みます。

● FPGAの性能は配置配線で決まる

FPGAは、同じ論理であっても、配置配線の結果によって信号の遅延時間(最大動作周波数)が変化します。多数の小規模な論理ブロックと配線リソースを組み合わせるため、論理ブロックが実際に配置される場所によって配線長や経由する配線スイッチの数が異なるためです。また、微細プロセスで製造されるLSIでは、論理素子の遅延時間よりも配置配線の遅延のほうが大きくなります。

● 1個から製造できるカスタムLSI

FPGAは標準LSIとして製造され、提供されています。しかし、プログラマブルな特徴を持ち、機能を自由に設計できるので、カスタムLSIとして活用できます。

ASIC(application specific IC; 特定用途向けIC)では、ゲート・アレイやスタンダード・セルがよく使われます。

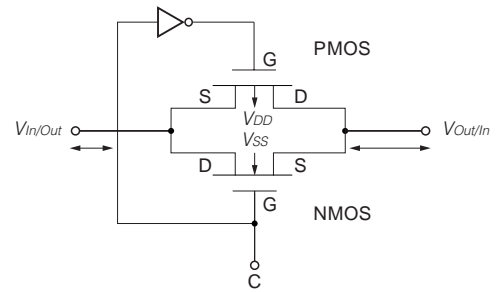


図3 トランスファ・ゲートの構造

メモリでトランスファ・ゲートのON/OFFを決める。

これらは、半導体工場で生産するために、高い開発費と一定の製造期間がかかります。これに対し、FPGAは、回路の設計コストはかかるものの、回路データの書き込みのコストはほとんどタダのようなものです。また、設計者の手で1個からでも製造(プログラム)できます。

2. FPGAが活躍するアプリケーション

FPGAの製造コストは、同じ回路規模で比較すると、ASICと比べて高くなります。しかしASICに必要な高額な開発費がFPGAではかからないため、数千個程度までのトータル・コストはFPGAの方が安く済むのが普通です。

● 少量多品種のアプリケーションはFPGAの独壇場

少量多品種の開発では、FPGAの独壇場と言えます。かつては高い性能が求められる場面でFPGAは使えませんでした。現在ではこのようなケースは少なくなりました。

医療機器分野にも画像処理が必要なMRI、超音波断層診断装置、内視鏡などの装置にFPGAがよく使われています。専門医による画像の見え方などの細かい要望やマン・マシン・インターフェースの改善などに柔軟に対応できるからです。また、工場の生産設備や治具などにも数量が少なくてもよいというメリットが生かされています。

● 量産品へ搭載され始める

近ごろは、セットトップ・ボックスや液晶テレビといった民生機器でもFPGAが使われるようになりました。FPGA自体の低コスト化はもちろん、ハードウェアがプログラマブルに変更可能という利点があるためでしょう。

近年、製品のライフ・サイクルが短期化しています。標準とされる技術も頻繁に変化します。短期間に製品を開発

