第1章　基礎をしっかり身に付けて論理回路設計の世界を楽しもう！

お話し「ディジタル回路入門」

畦津　明仁
Akihito Azetsu

今月の特集のテーマはディジタル回路設計の基礎です．「ディジタル回路」という言葉は「アナログ回路」との対語としてよく使われますが，本来，回路設計という仕事の中でディジタルかアナログかを特に区別する要素はありません．たまたま選択した実現手段がディジタル的かアナログ的かの別はあっても，回路設計者がその一方しか知らなくてよいことにはならないのです．しかしそうはいっても，今日のディジタル回路設計にいくつかの特有の状況があることもたしかです．

例えば…

①小規模な回路から大規模（ゲート規模で数百万）な回路までとても広い範囲を要求される

②速度などの性能や機能の面でも，きわめて複雑なものが平然と語られる

③回路素子，特にFPGA（Field Programmable Gate Array）やCPLD（Complex Programmable Logic Device）の進歩が早く，昨日はだめでも今日は可能になることが多い

④設計ツールが進歩し，後述の論理設計の枠内では，ほとんどの仕事がコンピュータ上ですむ

かくして，設計の現場では難しい要求①②を押しつけられながらも，部品やツールの進歩③④でなんとかしのいでいるというのが現状です．

皆さんの中には，ふだんからASICやFPGAの設計に携わっている人も，これから勉強を始めようとする人もいるでしょう．今月の特集では基本的な内容が多いですが，ベテランの人も設計技術向上のための復習としてお読みいただけると幸いです．

スイッチと電球による論理設計のお話

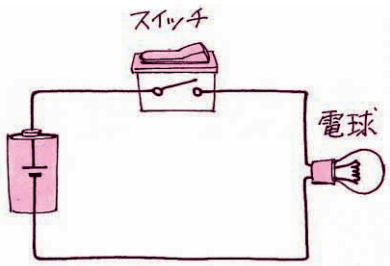
● 簡単な例を一つ

小学生になったつもりで，電源，スイッチ，電球を使った工作を考えましょう．

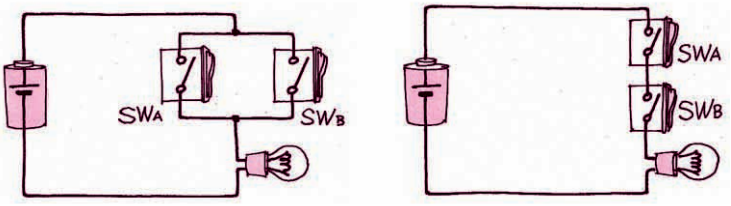
図1に示すのは，1個のスイッチをONにすれば電球が点灯するという簡単な回路です．しかし，これだけでは面白くないので，スイッチを2個使ってみましょう．2個のスイッチを使って「SW_AがON」または「SW_BがON」のときに点灯する回路は**図2**（**a**），「SW_AがON」かつ「SW_BがON」のときに点灯する回路は同図（**b**）です．

あまりに簡単な例なので「何をいまさらいっているんだ．」といわれそうですね．また皆さんの多くは，「または」を論理和（logical OR），「かつ」を論理積

〈図1〉スイッチを1個使って電球を点灯させる回路



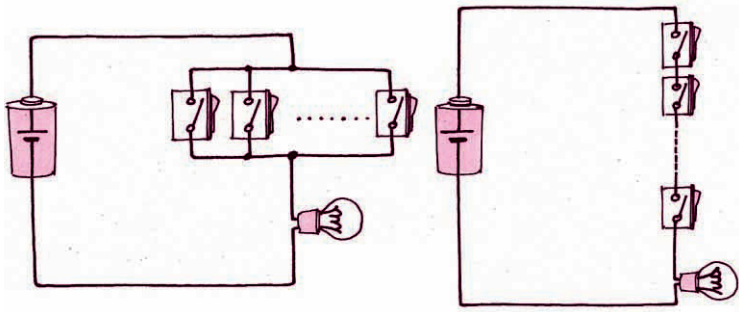
〈図2〉スイッチを2個使って電球を点灯させる回路



（**a**）OR　　（**b**）AND

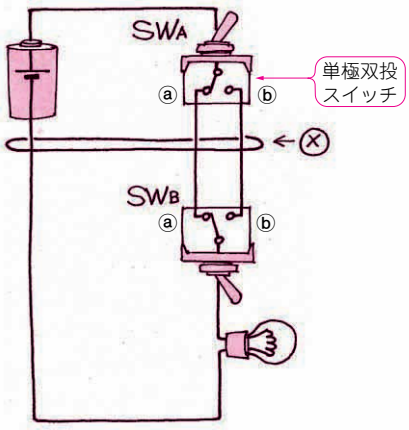
Keywords
FPGA，CPLD，論理和，論理積，単極双投，モーメンタリ型，RS動作，多数決回路，双極単投，単極単投，トップダウン，ボトムアップ，ブール代数，DTL，TTL，ECL，CMOS，ラッチ，フリップフロップ，組み合わせ論理回路，順序回路，RTL，PLA，マルチプレクサ，同期式，非同期式，HDL，VHDL，センス・アンプ．

〈図3〉スイッチを3個以上使って電球を点灯させる回路



(a) OR　　(b) AND

〈図4〉他方のスイッチで電球を点灯/消灯できるようにするには？



(logical AND)と呼ぶことも知っているでしょう．さらに，**図3**に示すように，**図2**(**a**)と(**b**)は3個以上のスイッチにも拡張できることも当然です．しかし，簡単すぎるからといって投げ出すのは少しお待ちください．

● 論理設計というもの

図1や**図2**だって，りっぱな回路であることはもちろんです．しかし，一般の回路設計とは趣きが少し違うことにお気付きでしょうか？

電気回路といえば，電圧，電流，抵抗…といった値が登場するのが普通です．現実に，たかが**図1**の回路であっても，点灯する部品が0.1 Wの豆球か10 kWのサーチ・ライトによって，スイッチも配線材料もまったく異なるものになります．そこまで考えるのが回路設計というものです．

ところが，**図1**～**図3**のようにスイッチのON/OFFと電球の点灯/消灯を関連づける目的では，電圧や電流や抵抗といったものを考えなくてもすむのです．さらに，後で述べるように，FPGAやASICの内部設計の際にも，当面の間，電圧や電流は登場しません．

ディジタル回路設計を手掛ける場合，最初に頭に入れてもらいたいのがこの点なのです．

〈図5〉3か所以上で電球を点灯/消灯するには？

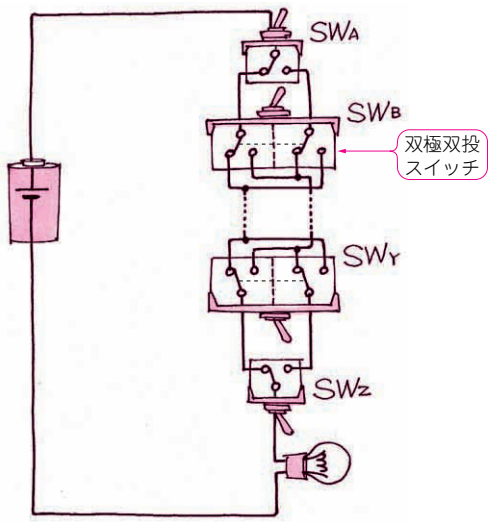


図1～**図3**のようにON/OFFと点灯/消灯を関連づけるのは論理設計の範中です．そして，ディジタル回路設計の仕事では，この論理設計が大半を占めます．また，コンピュータ・ツールの進歩によって，論理設計だけで設計が済んでしまうという錯覚にも捕らわれがちです．

しかし，現実の回路では必ず電圧が変化し電流が流れ，1本の配線にもインダクタンスやキャパシタンスがあり，光(電流)の速度は有限です．今回の特集でも，大部分は論理設計の話しですが，論理設計以外の部分にも注意を払ってください．

● ANDやORでない接続

論理設計以外の部分も必要だという点を頭に残して，話しを論理設計に戻しましょう．「リレー・シーケンサの時代じゃあるまいし，もっと最新の回路素子の話しをしてくれ」という人もいるでしょう．しかし，ASICやFPGAの内部回路であっても，原理的にはスイッチのON/OFFで動いているのです．もちろん，スイッチとしてはトランジスタが使われています．

さて，**図2**～**図3**以外について考えてみましょう．

図2(**a**)では，SW_AとSW_BのいずれかのスイッチがONになると点灯しますが，一方のスイッチ，例えばSW_AをONにすると，SW_Bによって消灯できません．逆に**図2**(**b**)では消灯優先になります．では，一方のスイッチのポジションがON/OFFのいずれであっても，他方のスイッチから電球の点灯/消灯ができるようにするにはどうしたらよいでしょうか．

一例を**図4**に示します．この例では，SW_AとSW_Bに単極双投タイプを使っています．この接続は，図中ⓧの区間に3本の配線があることから「3路スイッチ」として知られています．この接続では，各スイッチのポジションⓐ/ⓑと点灯/消灯との関係は決まっていません．SW_AがⓐならSW_Bはⓐで点灯ですし，SW_Aが