第5章　フリップフロップによるカウンタを例に学ぶ

記憶素子を使って数値や状態を保持する回路を作る

大中 邦彦
Kuinihiko Ohnaka

● 第3章と第4章で作った回路は組み合わせ回路

すべてのディジタル回路は，組み合わせ回路と，フリップフロップやラッチなどの値を保持する機能をもつ素子で構成された順序回路でできています．そして，第3章と第4章で作った加算回路やデコーダは，実は組み合わせ回路です．

この章では，これらの組み合わせ回路に，「レジスタ」という“H”(1)または“L”(0)の状態を記憶できる回路を追加して，もう1段階処理能力の高いディジタル回路を作ってみます．

例題は，4桁の表示値が10進値でカウント・アップするリセット機能付きのカウンタです．

レジスタは値を記憶できる回路素子です．非同期回路と組み合わせることによって，好きなタイミングで好きな値を書き込むことができるようになります．カウンタは，組み合わせ回路よりも動きが複雑なディジタル回路を作るために知っておく必要のある重要な回路です．しっかりと理解しましょう．

組み合わせ回路とは

■ 入力が決まると出力が一意に決まる回路

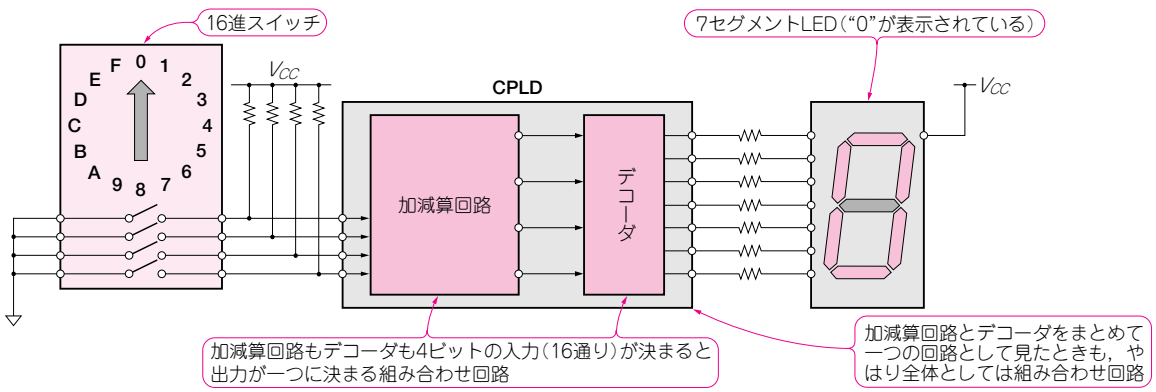
組み合わせ回路には「入力が決まると出力が一意に決まる」という特徴があります．これはたいへん重要な特徴です．第3章で動作させた16進スイッチを使った7セグメントLED点灯回路は，典型的な組み合わせ回路です．

● 加算回路もデコーダも組み合わせ回路

図1に示すのは，第4章で出てきた16通りのスイッチ・パターンをもつ16進スイッチを使って7セグメントLEDを点灯させる回路です．16進スイッチと7セグメントLEDの間にある，1を加えたり差し引いたりする加減算回路と，この加減算回路の出力を7セグメントLEDの駆動信号に変換するデコーダが使われています．

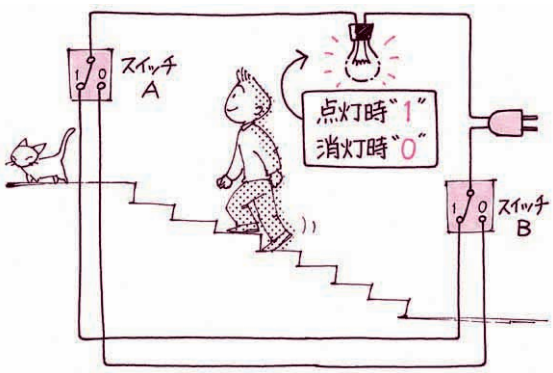
加減算回路の入力は16進スイッチの値ですね．そ

〈図1〉組み合わせ回路の例…16進スイッチで7セグメントLEDを点灯させる回路

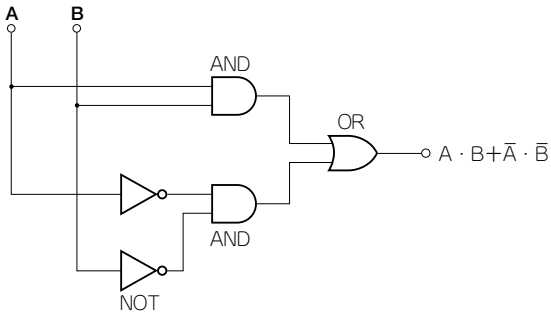


Keywords
組み合わせ回路，ラッチ回路，レジスタ，非同期回路，順序回路，論理ゲート，フリップフロップ，NAND，RSフリップフロップ，Dフリップフロップ，非同期リセット，reg宣言，カウンタ，function.

〈図2〉階段の照明も組み合わせ回路で作れる



(a) 階段に設置されている照明のON/OFFスイッチ



入力AとB(点灯)がどちらも同じ，つまりA=B=1またはA=B=0のときだけ出力が1(点灯)になる

(b) 論理回路で作ると…

〈表1〉図2の組み合わせ回路の入出力

入力		出力
スイッチA	スイッチB	照明の状態
左(1)	左(1)	点灯
右(0)	左(1)	消灯
左(1)	右(0)	消灯
右(0)	右(0)	点灯

の値が決まるとLEDに表示される値は必ず一つに決まります．16進スイッチの内部には四つのスイッチがあります．各スイッチの状態はONとOFFの2通りあるので，四つのスイッチを組み合わせると，ON/OFFのパターンは16通りになります．そのどれか一つの状態を選ぶと出力(4ビット)が一つに決定します．このように，組み合わせ回路は入力信号の0と1の組み合わせで回路の出力が決まります．

● 組み合わせ回路をつなげた回路は組み合わせ回路

7セグメントLEDのデコーダも4ビット入力と7ビット出力の組み合わせ回路です．また，加減算回路とデコーダを含む全体の回路も，やはり4ビット入力，7ビット出力の組み合わせ回路になっています．つまり，組み合わせ回路を左から右へつなげてできた大きな回路も，やはり組み合わせ回路なのです．

● 複雑な組み合わせ回路も論理ゲートの集合体

NOT，AND，ORなどの論理ゲートそのものも実は小さな組み合わせ回路です．逆にすべての組み合わせ回路は， NOT，AND，ORの3種類の論理ゲートの組み合わせで作ることができます．

■ 身近な回路に見る組み合わせ回路の例

身近にあって，しかも簡単な構造をした回路というと電球をON/OFFする回路でしょうか．

家の中にある照明のスイッチを見てみましょう．一番簡単なスイッチは壁に付いている照明をON/OFFするタイプのものですね．これはどちらかに倒すと照明が点灯し，反対側に倒すと消えます．

この回路は「スイッチの向き(入力)が決まると照明の状態(出力)が決まる回路」なので，組み合わせ回路の特徴をもっています．

もうちょっと複雑な回路としては，**図2**に示す階段の照明の回路があります．上の階のスイッチの向きと下の階のスイッチの向きの組み合わせは2×2で4通りしかありません．このうち，両方が同じ向きを向いているときは点灯し，違う向きを向いているときは消灯します．

4通りすべてをまとめると**表1**のようになります．入力が決まると出力が一意に決まるという組み合わせ回路の条件を満たしているので，組み合わせ回路で作ることができます．

組み合わせ回路の限界…
状態を維持できない

■ 組み合わせ回路だけでは作れない回路がある

組み合わせ回路は，入力(スイッチの状態)が決まると出力(LEDの表示や照明のON/OFF)が決まります．つまり，入力の状態が変わると，同時に出力の状態もそれに連動して変わります．第4章で作った16進スイッチによる7セグメントLED点灯回路も，16進スイッチを回すと同時に，LEDの表示もそれに合わせて変わります．