

## DTL, TTL, CMOS の内部動作をシミュレーションで理解する

# ビギナのためのデジタル IC のしくみと動作

相田 泰志  
Yasushi Soda

### ● はじめに

現代のハードウェアの多くは、マイコンやCPLD, FPGAなどの高機能でプログラマブルなICと、単機能なデジタルICの組み合わせでできています。

使い勝手を良くするために、バッファや保護回路を内蔵したマイコンやPLDもたくさん誕生し、速度などを求めなければ、ICの単純な組み合わせ作業で、簡単にシステムが作れる時代です。

昔は、半田ごてを握りながら、目の前にある実際に動作している回路と接しながらモノ作りをしていたのですが、今は、ソフトウェア開発やHDLのプログラミングなど、パソコンのキーボードを触るだけの作業がほとんどです。ICのなかで、どんな素子がどんなふうに動いているかなど、想像したことのない人も多いかもかもしれません。

アセンブラを知っている人が書いたC++のプログ

ラムと、知らない人が書いたC++のプログラムでは、でき上がったプログラムの大きさやスピードが違ってきます。ハードウェア設計をするときも、**デジタルICの内部の動作を理解しているかどうかによって、でき上がるシステムの性能や信頼性は大きく変わってきます。**

そこで、なにをいまさらといわれそうですが、定番のアナログ回路シミュレータ PSpice(評価版)を使って、単機能なデジタルICの内部動作をシミュレーションして、そのアナログ動作を理解したいと思います。

### ● デジタルICは1と0の世界で動作しているわけではない

図1に示すのは、AND回路と入力と出力の関係です。

真理値表に示すように、入力AとBがともに“H”のときだけ、出力Yは“H”になります。入力がそれ以外のときは“L”が出力されます。

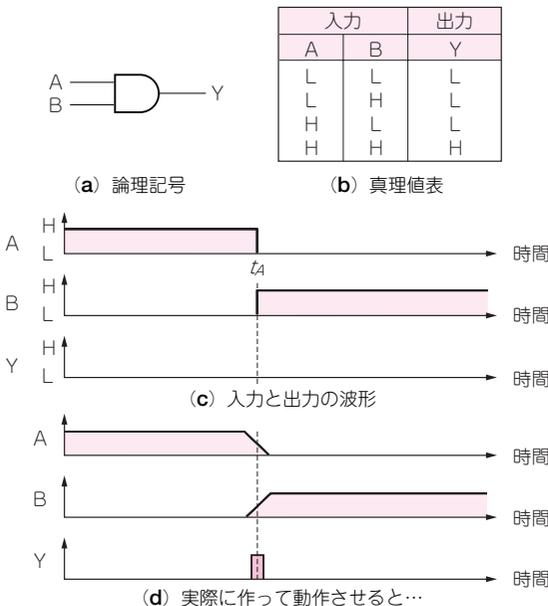
このAND回路の二つの入力AとBに、図(c)のような信号を入力した場合を考えてみましょう。入力信号は、時刻0～ $t_A$ の間はA=“H”, B=“L”, 時刻 $t_A$ で、同時に反転します。

教科書どおりにAND回路が動作するなら、出力Yは変動することなく、“L”のままになるはずですが、**実際に作って実験してみると、AとBの極性が入れ替わるタイミングで、Yが一瞬“H”になることがあります。**これをハザードと呼びます。

これは、“L”から“H”, または“H”から“L”に変化する時間がゼロではないからです。時間軸を広げてみると、図(d)のように、AとBの信号の電圧は徐々に上昇したり下降しています。AとBの両方が“H”になる期間では、Yは“H”になります。

このように、**すべてのデジタル回路はアナログ動作しているのです。**

〈図1〉AND回路の論理の動作と実際の動作



## デジタルICはDTL, TTL そしてCMOSへと進化を遂げた

昔のデジタルICはとても単機能なので、動作を理解するにはとても良い材料です。

そこで、まずデジタルICの内部回路の進化のようすを追いかけてみます。

### ■ DTL の誕生

最も古いデジタル回路は、リレーを使って作られていました。リレーのONとOFFで0と1を実現するわけです。

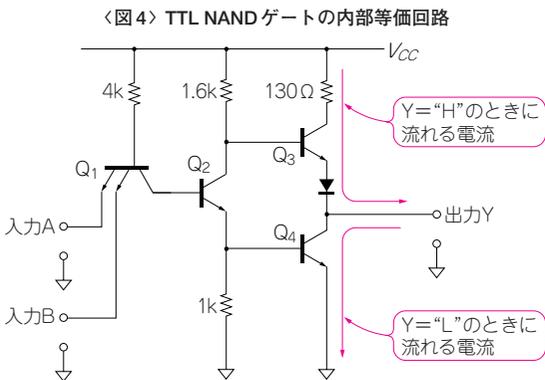
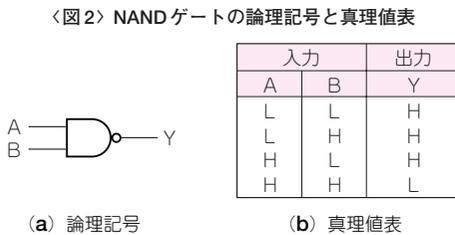
その後、真空管が誕生して主流になりますが、駆動電圧が高いことや発熱や消費電流が多いことから、簡単に作れるものではありませんでした。

そして、皆さんおなじみのダイオードやトランジスタが発明され、トランジスタを使ったディスクリートのロジック回路が作られ始めます。

最も単機能なロジックICとして作られたのが、DTL(Diode - Transistor - Logic)です。

図2に示すのは、NANDゲートと呼ぶ論理回路です。二つの入力があると「H」のときに出力が「L」になり、そのほかの入力条件では「H」になります。これをDTLで作った回路が図3です。

AとBのいずれかの入力が「L」になると、ダイオードが接続されたトランジスタのベース電位が0Vになり、トランジスタがOFFして出力が「H」になります。



### ■ TTL の誕生

図3に示したように、DTLの出力回路はエミッタ接地方式です。この回路はQ<sub>1</sub>がONのときは、大きな電流を引き込むことができるのですが、OFF時は、内部のプルアップ抵抗R<sub>C</sub>が邪魔をして、大きな電流を出力できません。

R<sub>L</sub>を小さくすれば良いようにも思えますが、ON時にR<sub>C</sub>からの電流とR<sub>L</sub>からの両方の電流がQ<sub>1</sub>に流れるので、負荷から引き込める電流が小さくなります。

この欠点を補うために開発されたのが、TTL(Transistor - Transistor Logic)です。

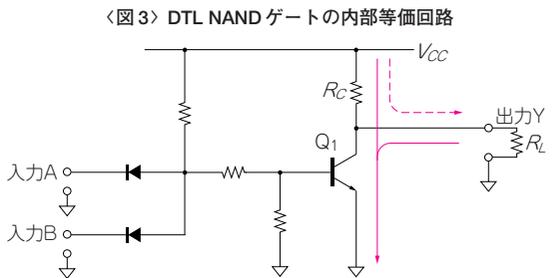
図4に示すのは、TTL ICの元祖であるテキサス・インスツルメンツ社のSN74シリーズのデータシートに掲載されている内部等価回路です。

図3のR<sub>C</sub>をトランジスタに置き換えて、DTLの欠点である「H」出力時の駆動電流不足の問題を解決しています。

さらに、入力はマルチエミッタ・トランジスタと呼ばれるトランジスタが使われています。図5に示すように、NPNトランジスタのNチャンネルを増やしたようなチャンネル構造になっています。

### ■ 74LS や 74AS の誕生

DTLとTTLには、高速に動作できないという共通の欠点がありました。これを補うために登場したのが、74LSや74ASなどの高速TTLです。



Q<sub>1</sub>がONしているときのコレクタ-エミッタ間の抵抗値はR<sub>L</sub>に比べてとても小さいので、入力「H」、出力「L」のとき、負荷抵抗R<sub>L</sub>からグラウンドに向けて、比較的大きな電流を流すことができる。しかし、Q<sub>1</sub>がOFFのとき(入力「L」、出力「H」)は、R<sub>C</sub>が邪魔をするので、大きな電流を負荷に供給できない

