塗り絵デバイス：計算機工学を学ぶための新しい教材の提案

玉木　徹
（広島大学大学院工学研究科情報工学専攻）

本稿では、児童や生徒が計算機の仕組みを学習するための「塗り絵デバイス」という教材を提案する。

はじめに

計算機工学や計算機アーキテクチャを学ぶ上で論理回路は重要であり、通常は大学や高専のカリキュラムにおいて、論理式やカルノー図など論理回路に関する高度な知識を学ぶ。これらは一般に小中学生には理解しがたい高度な内容である。しかし、近年理系離れやIT離れが深刻に叫ばれている中、計算機の中身がどうなっているのかを面白く子供達に伝える必要がある。

大学における小中学生を対象としたイベントでは、そのような試みがいくつかなされてきた。高橋俊彦氏（新潟大学工学部）は小学生を対象としたイベントのために、2004年に電気の流れを水の流れに置き換えた「水デバイス」を作成し、教室を埋め尽くす数のPNP/NPN型”水”トランジスタで全加算器を実現した。同氏はまた2006年に、転がる金属球で10状態の順序回路を実現する「玉デバイス」を作成した。これらは好評ではあったが、大勢の子供達が実際に手を動かしたり操作したりすることができないという問題があった。

そこで、子供達が手を動かしながら計算機内部の動作原理を実感できる「塗り絵デバイス」を提案する。これは、電気の流れを鉛筆で塗りつぶしていくことで実現し、自分で論理素子の処理を行うものである。

回路構成

ここでは1から4までの数字を2つ足すだけの単純な電卓（図4）を実現することを考える。必要な回路は、2進エンコーダ、全加算器、7セグメントLEDエンコーダ、7セグメントLEDである。

塗り絵デバイスの実現方法

塗り絵デバイスの基本は、線を塗りつぶしていくことである。論理素子はすべて2入力1出力とし、塗りつぶして素子に到達したら処理を行う。

論理素子は子供向けに個性を付けたキャラクタで表現する（図1）。ANDは「両方から来ないと次に進まない臆病なネズミ」、ORは「片方から来たら次に進んでしまうせっかちな犬」にする。

線を鉛筆で塗っていくため、塗らない線が活きてしまうNOTやNANDは使えない。しかしどのような簡単化をしてもNOTを論理回路から排除することができないため、以下のような変形を行う。

まずできるだけNOTが対になる $\bar{x}\cdot y+x\cdot\bar{y}$ の形を作り、XORを用いる。塗りつぶしが複雑になるが、「どちらか片方から来た場合だけ次に進むひねくれもののアヒル」と設定し、塗りつぶす手間をキャラクタの性格に押し付ける。

NOTを含む項が一つで $\bar{x}\cdot y$ の形が残る場合、（論理回路ではないが）PNP型トランジスタを用いる。つまり通常はyをそのまま出力し、xが1のときのみ遮断する

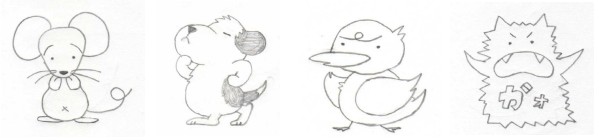

図1: AND, OR, XOR, PNP型素子のキャラクタ。

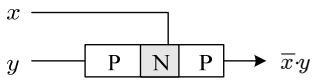

図 2 : PNP 型トランジスタによる NOT の実現

（図2）ことにする。塗り絵デバイスでは「塗りつぶすための線を壊してしまう怪獣」という設定にする。

NOTのみの項 $\bar{x}$ が残る場合は、Vccを1とみなして $\bar{x}\cdot 1$ の形にして、PNP型を用いる。ここで実現する簡易電卓では、入力する2つの数を（0を含まず）1から4までに限定したことで必ず信号が得られるため、そこからVccを引くことにする。

以上の方針で作成した簡易電卓を図4に示す。塗りつぶしが間違っていないかどうかを確認できるように、4つのステージに分かれている。第2ステージ終了時点の4本の線が計算結果の2進数を表現する。

塗り絵デバイスの実行方法（遊び方）

以下の手順に沿って、塗り絵デバイスで実際に計算した様子を図3に示す。

1. スタート地点の第1ステージで2つの数字を選び、線を塗りつぶしていく。ステージ毎に、線を全部塗りつぶしたかどうかを確かめる。
2. 線が分岐したら両方塗りつぶしていく。線が交差している場合には線をまたいで塗っていく。
3. 論理素子（キャラクタ）にたどりついたら、次に進んで塗りつぶしていくかどうかを判断する。
4. アヒル(XOR)はひねくれた性格なので、両方から塗りつぶした線が入ってこないか注意する。
5. 怪獣（PNP型）への線は先に塗りつぶして、怪獣に線を壊させる。壊された線はそれ以上塗りつぶせない（塗っていた場合には消してやりなおし）。
6. 最後の7セグメントLEDの部分に到達したら、セグメント内部を塗りつぶす。

おわりに

図4の塗り絵デバイス電卓には結線ミスがあり、ある組み合わせの足し算の結果が正しくない。このバグも、計算機を作る人間が間違えると計算機は間違える、という教訓を教えられる素材であると思われる。

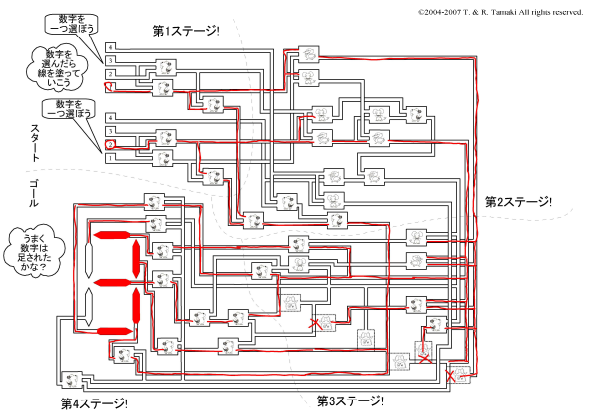

図 3 : 塗り絵デバイスで 1+2 を計算した様子

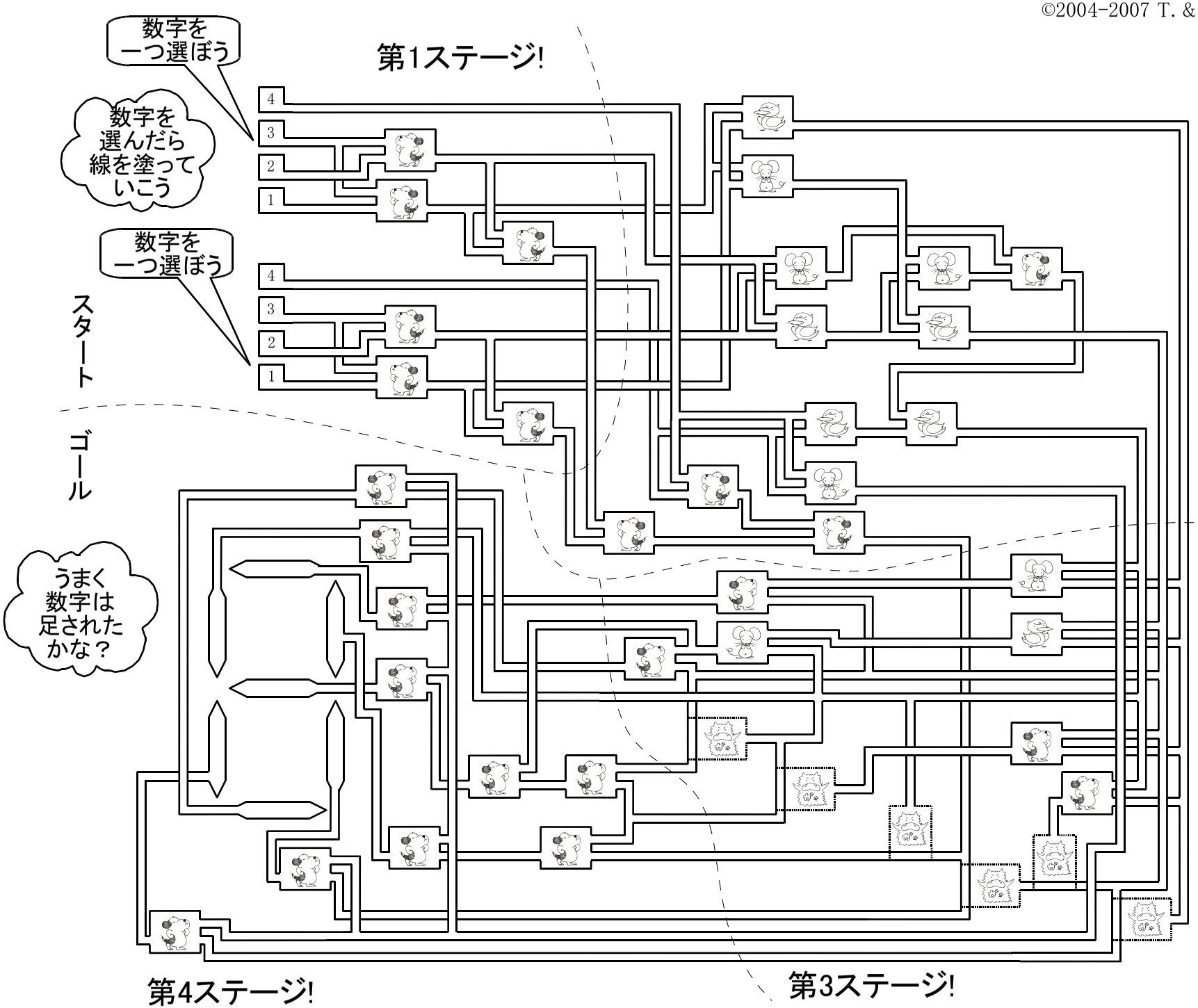

図4：紙デバイスで実現した簡易電卓