

2進数と16進数表示教材の開発

飯塚 正 明

千葉大学・教育学部

Development of Teaching Materials to Binary and Hexadecimal Number Display

IIZUKA Masaaki

Faculty of education, Chiba University, Japan

コンピュータの構造の理解を目的とすると、コンピュータ製作教材が有効であると考えられる。コンピュータ製作教材について検討していると、初期のワンボードコンピュータでは2進数や16進数でのプログラムの入力や結果の出力が一般的であった。しかし、学校教育では、2進数や16進数についての取り扱いは紹介程度であり、コンピュータなどでの使用方法などはあまり理解していないことがわかった。本研究では、2進数や16進数についての理解を進めるための教材が必要と考え、2進数と16進数表示教材の開発を検討した。

キーワード：2進数 (binary number), 16進数 (hexadecimal number), 7セグメントLED(seven-segment LED), PICマイコン (Peripheral Interface Controller(PIC))

1. はじめに

パーソナルコンピュータのスタートはワンボードコンピュータと言っても過言では無い。コンピュータの歴史を振り返ると、コンピュータの利用はENIACなどの第1世代コンピュータから始まっているが、業務用途や科学技術用途が中心であり、個人が利用する物では無かった。ワンボードコンピュータとはインテル社などが開発した8ビットCPUを用いて、基板上に回路を作製し発売したコンピュータである。我が国では、日本電気(株)がTK-80というワンボードコンピュータを発売したのがパーソナルコンピュータの起源ともいえる。このTK-80は技術者向けのトレーニングキットとして発売を行ったところ、命令を与えその命令を実行させると、与えた命令通りに動作する機器として、一般のユーザーに爆発的なヒット商品となった。TK-80はマニュアルに回路図やモニタプログラムを掲載し、そのハードウェアもソフトウェアも公開していたために、互換機も多く発売されていた。TK-80のようなワンボードコンピュータは、入力装置として16進数の入力用キーボードと出力装置として8桁の7セグメントLEDでメモリアドレスとそのデータを表示することでプログラミングの動作をするコンピュータである。プログラムは16進数の機械語で入力し、結果も7セグメントLEDに表示することができる。また、基板上に回路を増設したり、外部接続用端子を使って回路の増設が可能で、制御プログラムを作製し、回路の動作などを楽しむことも可能であった。

近年のパーソナルコンピュータはCPUなどの発達に伴い回路が複雑になるとともに、ソフトウェアも高度化している。コンピュータのハードウェアやソフトウェア

が公開されると、その互換機が発売されてしまう。IBMが発売したコンピュータのPC-ATは、ハードウェアやソフトウェアを公開したため、その互換機が爆発的に広がり、今日のパーソナルコンピュータの原型になっている。しかし、今日では、著作権等の理由からも、コンピュータのハードウェアやソフトウェアであるプログラムが非公開となっている。

コンピュータ技術者を目指す者にとって、コンピュータを自作し、その作製したコンピュータでプログラムを作成し、動作させることは重要な経験である。しかし、コンピュータが高度化し、その回路に関わることが困難となった。また、コンピュータの高性能化に伴い、プログラムについても高水準言語でのプログラミングとなっている。ソフトウェア技術者であるば、高水準言語によるプログラミングが有用であるが、ハードウェア技術者の育成にはアセンブラなどの基本的なプログラミング技能も必要である。そこで、ワンボードコンピュータの製作を通じた教材が必要と考え、コンピュータ製作教材を検討してきた。コンピュータでの数値表現が10進数ではなく2進数や16進数を使うが、これらについて技術科や数学科では紹介をする程度であり、2進数や16進数のイメージが理解されていないことに注目した。本研究では、2進数表示や16進数表示についての教材開発を進めることとした。

2. 数値表現についての検討課題

ワンボードコンピュータなどでの表示機器では7セグメントLEDで16進表示を行っていた。また、その互換機やそれ以前のAltair 8800などのコンピュータ等では2進数やメモリなどのデータをLEDを8個並べて8ビットの2進数表示を行っていた。

技術科では情報の領域で2進数や16進数をなどを取り上げるが、利用するまでには至っていない。また数学でもN進数などについても取り上げるが、2進数や16進数を利用するまでには至らない。多くの生徒は、そのような数値表現の存在は知っているが、具体的に利用した経験がない。そのため、コンピュータで2進数や16進数を扱う前に、2進数や16進数表記を理解する教材が必要であると考えた。

3. 表示教材

3-1. 4ビット表示教材

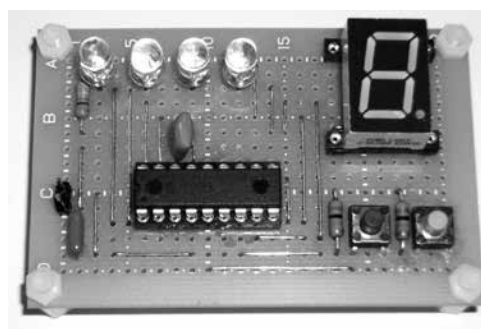
16進数の1桁は4ビットで表現されるため、4ビットの2進数と16進数を比較対象出来るように、4個のLEDと1個の7セグメントLEDで、それぞれに0から15までの数値を表示できる教材を作製した。7セグメントLEDではAからFまでの数値はbとdは小文字でそれ以外は大文字表示となる。TK-80では、0は7セグメントの下半分(c, d, e, gのセル)を点灯していたが、この教材では、セル全体で(a, b, c, d, e, fのセル)表示するようにした。

LEDはカソードを共通とし、カソードから抵抗を1本でGNDに接続した。雑誌などでマイコン等の例題プログラムではLED1個ごとに抵抗を接続している例がよく見られる。これは、プログラムが簡単になるが、回路製作では部品点数が増えて、製作の難易度が高くなる。この回路では、7セグメントLEDもカソードコモンタイプを用い、カソードから抵抗を1本でGNDに接続した。表示は、LEDも7セグメントLEDもダイナミック点灯を行うことで、カソードに接続された1本の抵抗だけで同じ輝度表示をするとともに、部品数の低減を行っている。この回路で使用したマイコンはPIC16F84Aで10MHzのセラミック振動子を用いた。マイコンのプログラムはアセンブラを用いて作製した。表示は0からFまで1秒間隔で繰り返すように変化し、それを繰り返す。また、ボタンスイッチで手動モードも選択でき、ボタンスイッチで数値が0から手動で繰り返すことができ、2進数と16進数の各数値の表示を同時に確認することが出来る。この回路図と製作した教材を図1に示す。

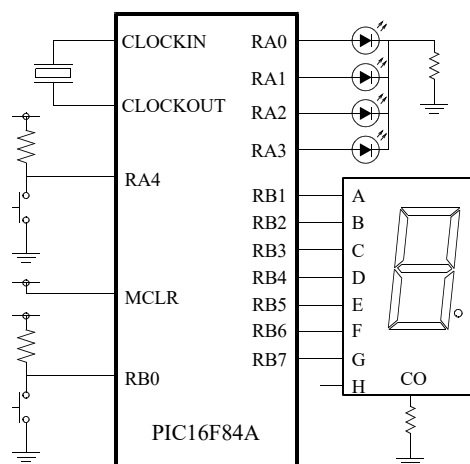
PIC16F84Aを用いた回路では、カソードコモンのLEDの回路と7セグメントLEDを利用したが、アノードコモンのLEDでも作製可能である。LEDをアノードコモン接続にし、7セグメントLEDもアノードコモンにし、マイコンをPIC16F628Aにして、CPUの動作を決めるクロックに内部クロックを利用することで、セラミック振動子を省略して作製した回路を図2に示す。

3-2. 8ビット表示教材

TK-80などのワンボードコンピュータは8ビットマイコンであった。また、2進数を扱う場合は8ビットを1バイトと呼び、8ビット表記をする規格も多い。よく使われる2進数は8ビットであることから、8ビット表示教材を作製した。4ビット教材と同じサイズのユニバーサル基板上に作製するためには、ボタンスイッチを取り付ける場所が難しく、0からFFまでの自動繰り上げ表



(a) 4ビット表示教材



(b) 4ビット表示教材の回路図

図1 4ビット表示教材

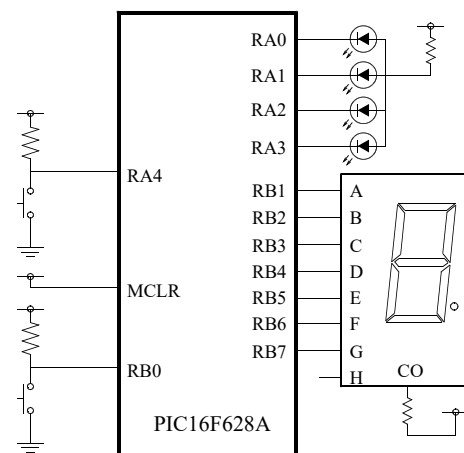
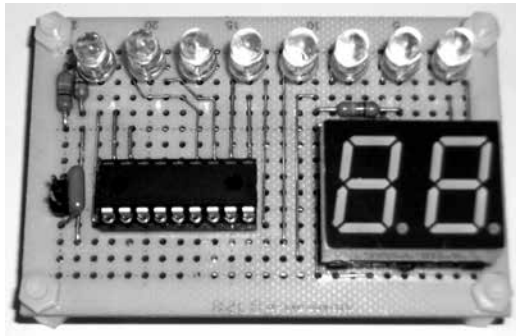


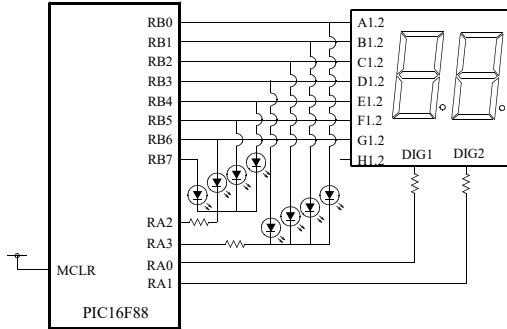
図2 アノードコモンLEDの4ビット表示教材

示回路を作製した。また、ビット数が増えたため、マイコンはPIC16F84Aではポート数に余裕がなく、PIC16F88に変更した。これは、内部発振が可能で、発振子を接続する端子をポートとして利用できるためである。LEDは、4ビットごとに分けて、それぞれのカソードを共通にし、上位4ビットと下位4ビットを分けて表示させることとした。7セグメントLEDはカソードコモンを使用し、表示部7ビット、上位と下位のカソードにそれぞれ抵抗を接続した。どちらのLEDもダイナミック点灯をした。回路図と作製した教材を図3に示す。

8ビットとなると、自動繰り上げだけではなく、手動モードが必要であり、手動モード付き8ビット表示教材



(a) 製作した8ビット表示教材



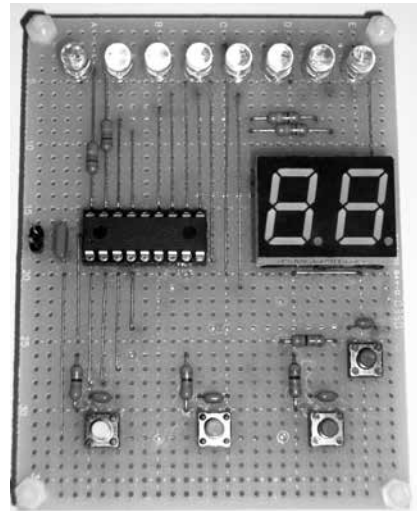
(b) 8ビット表示教材の回路図

図3 8ビット表示教材

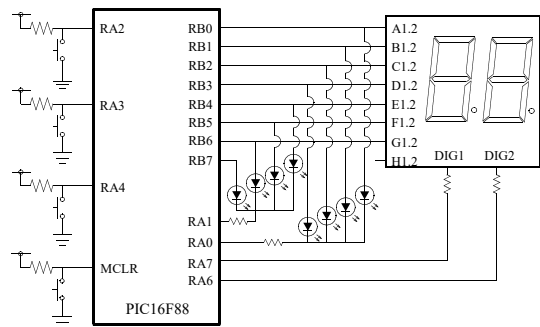
を作製した。基板サイズを大きくし、ボタンスイッチを4個つけた。LEDは先ほどと同様に4ビットごとに上位ビットと下位ビットに分けカソードにそれぞれ抵抗を接続した。7セグメントLEDもカソードコモンでカソードに抵抗を接続した。ボタンスイッチを接続するポートを確保するため、LEDも7セグメントLEDもドライブは同じポートを利用し、LEDで12ビットを利用した。これまでと同様に、LEDはダイナミック点灯をおこなった。ボタンスイッチは1ポートは手動モード入力、1ポートは上位ビットの手動繰り上げ、1ポートは下位ビットの手動繰り上げ、1ポートはRESET端子を利用した。上位ビットと下位ビットを手動で別々に設定できるため、8ビット表示の理解がしやすくなったと考えられる。回路図と作製した教材を図4に示す。

3-3. 16ビット表示教材

16ビットCPUはパソコンを大きく発展させたといっても過言ではない。そこで、16ビット表示教材も検討した。今回使用している8ビット系マイコンでは、ポート数が多くはない。LEDはダイナミック点灯しているため、4ビットごとにカソードの接続を分離すれば、作製可能であるが、配線は複雑になり、自作可能な教材からは離れてしまうと考えられる。そこで、16×2桁表示のLCDを用いることを検討した。このLCDは電子工作や、ロボット制御回路などにもよく利用され、安価に入手が可能である。またちょうど16桁が2行あることで、2進表示と16進表示の同時表示が可能である。1行目には2進表示を行った。これまではLEDのON・OFFで2進数を表現してきたが、LCDでは0と1で表示すると、教科書などで説明される2進数表記と同様な表記が出来るた



(a) 製作した手動モード付き8ビット表示教材



(b) 手動モード付き8ビット表示教材の回路図

図4 手動モード付き8ビット表示教材

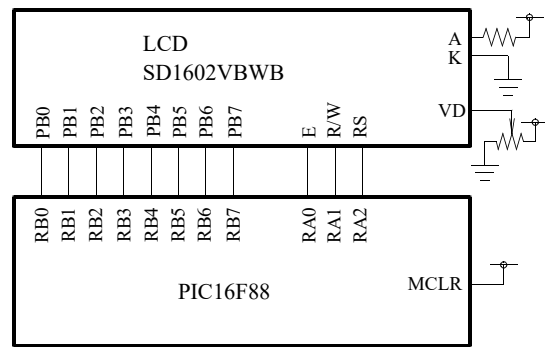


図5 16ビットLCD表示教材の回路図

め、理解がしやすいと考えられる。2行目には、4桁ずつ16進数を表示すると、2進数と16進数の表示が出来る。回路図を図5に示す。手動モードはつけていないが、0からFFFFまでの自動繰り上げが確認できる。

現在のパソコンは32ビットから64ビットとなっているが、ビット数の大きい教材は、2進数の理解度の点から見て、それほど必要性はないと考えられる。

3-4. 足し算引き算回路の検討

LCDを接続した16ビット表示教材にスイッチを追加することで、簡単な電卓教材を検討した。CPUの開発を行う上で、電卓開発競争があったといわれている。それまでの電卓は、複雑な回路で作られており、また高額な機器であったが、その価格競争を終結させたのがCPU

を用いた電卓であった。そのような経緯から、16ビット表示教材を改良し、簡易な電卓教材を検討した。まず、マイコンでは、足し算命令と引き算命令しか持っていないCPUがほとんどである。加減が出来れば、プログラムで剰余も可能である。しかし、ここでは、10進で1桁の足し算と引き算をする教材として検討した。桁数が増えるとボタンスイッチでは対応が困難で、テンキーが必要になるためである。回路としてはLCDの他、演算する数、加減、演算される数、計算の実行、リセットのボタンスイッチが必要となる。

回路図と教材を図6に示す。ボタンスイッチなどの場所を基板上に確保するため、マイコンはLCDの下に配置してある。

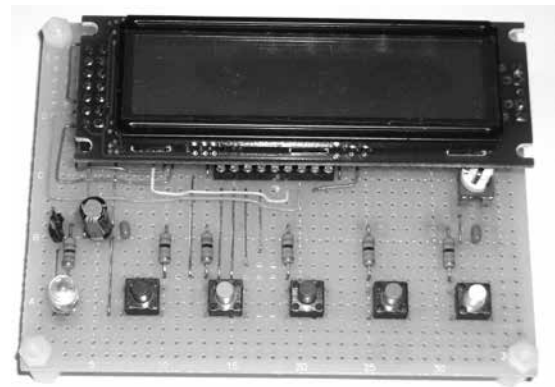
足す数と引かれる数はボタンを押すと増加していくので、ボタンを押す回数で設定する。加減は選択ボタンを押すと入れ替わるので設定する。足される数が引く数もボタンを押す回数で設定する。計算ボタンを押すと、計算結果が表示される。リセットボタンで再度入力が可能となる教材である。

4. おわりに

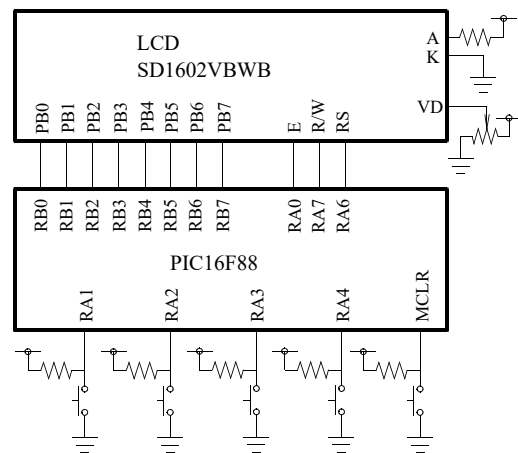
コンピュータで用いられている2進数や16進数について、関わることも少なく、理解はしていても、具体的なそのイメージは認識されていない。ワンボードコンピュータが全盛の時代では、LEDを並べた2進表示や7セグメントLED表示のコンピュータが多く、2進や16進についての理解が出来た。ここでは、LEDと7セグメントLEDを使った2進数、16進数表示教材の開発を行った。CPUのレジスタ等の講義の際に教材として提示した。今後は、今回開発した教材を受講生が作製し、その動作を体験することでコンピュータで使われている数値の理解を行う教材として検討を行っている。

5. 参考文献

- (1) TK-80ユーザーズマニュアル, NEC電子デバイス
- (2) 榎正憲, 復活! TK-80, アスキー
- (3) NHKスペシャル, 電子立国, 日本の自叙伝, DVD,



(a) 製作した足し算引き算回路教材



(b) 足し算引き算教材の回路図

図6 足し算引き算回路

NHKエンタープライズ

- (4) MICROCHIP, PIC16F84A, data Sheet
- (5) MICROCHIP, PIC16F627A/628A/648A, data Sheet
- (6) MICROCHIP, PIC16F87/88, data Sheet

6. 謝 辞

本研究の一部は科学研究費補助金(基盤研究(c))課題番号18K02976の補助を受けて実施した。