

ワンチップコンピュータを用いた教具並びに教材の開発

— 中学年児童用電圧計の試作 —

原田一孝・岡崎宏光

Development of Teaching Aids and Materials by using One-chip Computers

— Trial manufacture of voltmeter for 3-4th grade students —

Ikko HARADA, Hiromitsu OKAZAKI

(Received October 4, 2004)

The enormous one-chip computers advances of recent years has been proposing a bright circumstance developing novel teaching aids and educational materials, which will realize sophisticated and convenient functions in classrooms with low cost.

In this paper, a voltmeter introducing electric measurement with numerical concept in advance of proper usage of voltmeters and circuit testers, is developed by use of a one-chip computer. This has the advantages which indicate the measured value but also the bar graphs of the measured and the reference values, and propose its simple configuration and low cost. It will be expected to foster students' quantitative ability of the invisible electric value.

The circuit configuration and operation, besides the brief overview of the used one-chip computer, are described. Additionally, the rosy ability of one-chip computers contributing teaching aids and educational materials is discussed in this paper.

Key words : quantitative ability, chip-computer, teaching aid, educational material, voltmeter

1. はじめに

今や日常的に使われるようになった汎用コンピュータ(パソコン)は、益々高速処理が可能になり、ハードウェアの充実は、社会の様々の分野で重要な働きをなすようになってきた。この進歩は一方では、システムの複雑化・巨大化を意味し、今やパソコンを改造したり、その機能の一部を取り出して、他の仕事に転用するなどは、到底考えられないことになった。

この多様化するパソコンの入出力機器一つひとつに組み込まれて、パソコンのMPU(Micro-processing Unit)の働きを支えているのは、小さなワンチップコンピュータ(またはコントローラ)である。また、これは家庭の家電品(電気釜や洗濯機、テレビなどのリモートコントローラなど)に組み込まれて、機器をインテリジェントに制御する。さらに、携帯電話などのモバイル機器の素晴らしい機能は、ワンチップコンピュータの働きに負うところが大きい。

このようにワンチップコンピュータは小規模のシス

テムでは、小型ながら素晴らしい働きをする。しかも、ほとんどのコンピュータ動作に必要な回路を内蔵しているため、外部に殆ど部品をつながなくても、プログラム通りに処理を行うことができる。

この優れた機能を教育の場で活用できないものかと、ここ数年、考えてきた。今回、内蔵のA/D変換回路を用いて電圧計を構成し、電気の強さを感覚的に捉えるための教具として試作した。これは回路計や電圧計を使った電圧の定量的な取り扱いの導入になるもので、従来、電球の明るさやモーターの回転状態で推し量っていたものを、科学的な手段で初心者をサポートしようというものである。

これを設計し、構成する過程において、従来の機械式の教具と異なり、マイクロコンピュータを使うことで、それ特有の柔軟なシステムの構成できることに気づき、その観点から教具のあるべき姿を検討した。

ワンチップコンピュータの特徴を調べ、それを組み込んだ電気導入教具としての電圧計を構成し、さらにワンチップコンピュータを教育現場へ導入した場合どのような優れた可能性が発揮できるかについて考察を

行ったので、報告する。

2. ワンチップ・コンピュータ

2.1 パソコンとワンチップ・コンピュータ^{5,6,7,8)}

パソコンシステムの充実、ハードウェア的には、入出力機器の充実でもあった。それら入出力機器一つひとつを管理するためにワンチップ・コンピュータは不可欠であり、パソコンの発展と共に、ワンチップ・コンピュータの需要は伸びてきた。米国マイクロチップ社のワンチップコンピュータは、1995年頃日本に紹介された。当初は4ビット処理が主で、小規模な入出力機器を設計する技術者によって専ら使われていたようであるが、その後、8ビット処理を可能にし、フラッシュ・メモリを装備し、更にA/D変換機能などの高度な機能を付加したものが提供されるに及んで、一気にホビーユーザの注目するところとなった⁶⁾。

パソコンは元々MPU (Micro processing Unit) という中心的なICを中心に、メモリや入出力機器を配し、それらをアドレスバスやデータバスなどで結んだ構成になっている。これらは各種の機能のIC (Integrated Circuit) をプリント基板上に配置し、組合せることを可能にしている。その組合せ方によりシステムの特長を出したり、変更や拡張が可能であるが、かなり広いプリント基板とそれを格納するスペースが必要となる。

一方、ワンチップコンピュータは、これら基本的な機能を全て1チップ (1個のIC) 上に配したもので、外部からは電源ラインと入力ラインを接続するだけで動作可能である。ハードウェア的な拡張・変更はできない構造であるが、IC1個分の小さな収納スペースで十分であり、さらに後述する特長を併せ持つため、教育用教具や教材などの小規模なシステムを開発する環境としては、従来にない高機能と簡便さが実現される。

2.2 教育への応用の観点から見たPICコンピュータの特長

米国マイクロチップ社が開発し、供給されるPICコンピュータ (PICコントローラともいう) は、種々の形状のものが利用できるが、ここでは教育者が手作りするという観点からDIP (Dual-Inline Package) 構造のものに限って考察する。

1. ICのピン数：ICのピン数は最低8本、最高40本のものまで開発されている。最高のもは33個の入出力機器を直接制御できる。1～2個のモーターの制御などは8ピンのICで充分であり、数10個のLEDを点滅する場合は、18ピンや40ピンのものを使う。

2. フラッシュメモリの採用：従来はROMまたは紫外線消去型の書換え可能なメモリが使われていたが、フラッシュ・メモリの採用により、電氣的に即座に消去ができるようになって、スピーディにプログラムの開発・デバッグができるようになった。

3. 広い電源電圧：ボードコンピュータ用MPUは厳しい電圧制限があったが、PICコンピュータは、2.0Vの低い電圧から5.5Vまで動作する。電源電圧変動があっても、特別な場合以外は、処理結果に支障がないので、電圧安定化の必要もことさら必要でなく、また、直接乾電池から電源を供給することも十分可能である。

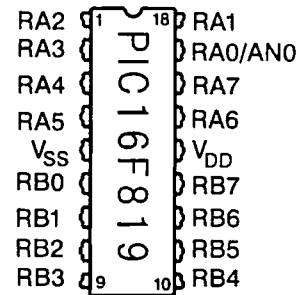


図1 PIC16F819のピン配置

4. 大きな制御電流：各ピンを出力モードで使う時、20～25mAまでの電流を制御できるので、LED (Light Emitting Diode, 発光ダイオード) などは直接駆動できる。このため、回路構成が随分と楽になる。

5. 豊富な品種と互換性：100種近くに及ぶ品種が提供されているので、ピン数、メモリ容量、組み込み回路 (機能) などが異なる豊富な品種から選択できる。更に、各グループごとに、高度の互換性が保たれているので、ほんの少しのプログラムの手直しで、他品種用のプログラムを開発できる特長もある。

2.3 使用したPIC16F819と液晶文字表示器

電圧計の製作では、PIC16F819という18ピンのものを用いた。そのピン配置を図1に示す¹⁾。

ここでは、入力電圧 (アナログ値) をデジタル電圧に変換する必要から、A/D変換回路内蔵のPICコンピュータを採用した。

PICコンピュータ：これは1個のA/D変換器を内蔵していて、入力部を切り替えることにより、4個の入力電圧をそれぞれ別個に測定できるが、ここではAN0 (RA0) 端子のみを使用する。システムクロックとしては、ことさら正確さを要求されないので、内蔵クロックで4MHz発振を利用した。(本PICコンピュータでは内蔵クロック回路で31.25kHz～8MHzの広範囲のクロックを利用できる。)

表示回路として、2行16文字の液晶文字表示器を使

うので、それに表示データを送るのに、8ビットデータ転送を利用する。ポートBの8ビットをこのために当てた。またLCDのレジスタ選択信号、ストロブ信号、リード/ライト制御信号用にポートAのビット1 (RA1)、2 (RA2)、3 (RA3) を使用した。

液晶文字表示器：電圧計を構成するもう一つの重要な機能は、表示部である。表示は液晶表示器 (LCD) が消費電力の点から有利であり、サンライク社 SC1602BSLS を採用した。これは、液晶表示部、コントロール部、インターフェース部が1つのモジュールとして構成されており、8本のデータラインと数本の制御信号線で、文字データを受信し、表示でき、とてもコンパクトにできており、複雑な手続き無しで1個の部品として取り扱える特長がある^{(4),(5)}。

これは16文字2行の半角文字 (カタカナ、英数字、記号) の表示が可能で、キャラクタ・ジェネレータを内蔵しているため、文字表示位置と文字コード (ASCII コード) を送るだけで表示が可能である。また、表示文字の表示パターン (ユーザ文字) の登録も可能で、本電圧計では、これを用いて多彩なバー表示を行っている。

本LCDはLEDによるバックライト機能も装備しているため、明るい画面にして、高コントラストで読み取ることも可能である。電源電圧の定格は $5.0 \pm 0.3V$ と厳しく、電圧レギュレータの使用は不可欠であり、そのため乾電池なら、4本以上で駆動する必要が生じる。従って、LCDを使う限りPICコンピュータの特有の有利な電源仕様を活かせないことになるが、LCDの小さな電流容量を考える時、スイッチング方式の電圧ブースタICなどを採用することで、将来PICと同じ乾電池による小さな電圧で駆動することも充分可能であろう。

3. 児童用電圧計のハードウェア

3.1 回路構成

使用するPICコンピュータは、クロック発振回路とA/D変換回路を内蔵した最新のデバイスPIC16F819を用いることにした。これは、18ピンDIP構造で、最大16本の入出力ラインを利用でき、フラッシュメモリを使用しているためプログラム開発が容易である。また、クロック発振回路は特に正確な動作を要求しない場合には、内蔵の発振回路を用いる方が部品点数の観点から有利である。ここでは、ソフトウェアとの関連で、内蔵の4MHzを使用することにした。

電源電圧は2.0～5.5Vの広い範囲の電圧で確実に動作し、更に静止時の電源消費電流が数100 μA と小

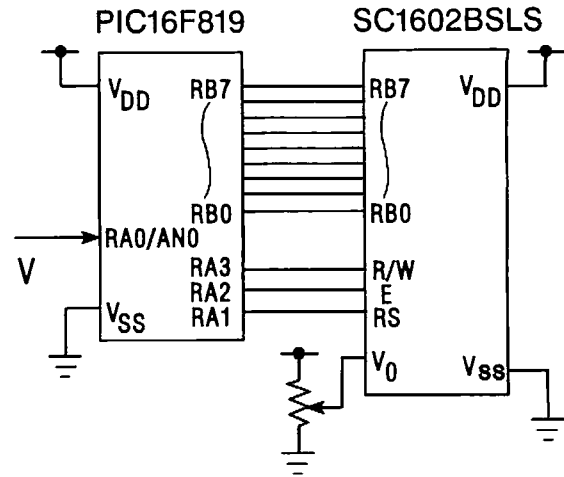


図2 試作電圧計の回路構成

さく、小学校の授業では乾電池が多用されることを考えると、格好のデバイスである。

入出力ピンは最大16本利用可能で、各ピンの供給電流は (ソース/シンクとも) 25mAの容量を持ち、LEDなどは直接駆動できる。

A/D変換は10ビットの高精度の分解能をもち、教材としては充分すぎるほどの高スペックを提供する。

回路を構成する主な部品はPICコンピュータとLCDであり、それらは8ビットバスを使って相互に接続されている。入力電圧はPICのAN0ピン (ポートAのビット0) から取り込むことにし、ポートAのビット1、2、3はそれぞれLCDの制御用信号RS (レジスタセレクト) 信号、E (イネーブル) 信号、およびR/W (リード/ライト) 信号に接続される。また、LCDのバックライトの輝度調整電圧 V_0 は外付けの可変抵抗を用いて行う。回路構成を図2に示す。

電源は差し当たりACアダプタでDC6Vを得、電圧レギュレータで5Vに安定化して印加している。

4. 電圧計のソフトウェア設計

4.1 全体構成

近年のインテリジェントなデジタルデバイスは設計のフレキシビリティを考慮して、使用する前に回路構成を変更できるようにしているものが多い。PICにしても、LCDにしても、例外ではなく、そのためかなりの設計の自由度が許される。このことは、これらを初めて使う人にとっては、煩わしく面倒な手続きのように感じられるが、慣れてくると、これによって潜在的なデバイスの機能を最大限に引き出し、設計に活かすことが可能となる。

ここでは、PICの初期設定として、ポートAのピッ

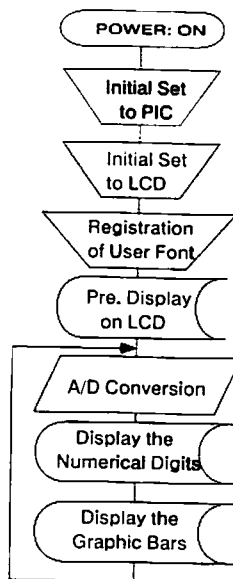


図3 処理の流れ図

ト0はアナログ入力に設定し、A/D変換回路へ接続する。入力専用のRA5を除き他の入出力ピンは全てデジタル出力に設定する。システムクロック f_{osc} は内蔵の4MHz($T_{osc} = 250\text{ns}$)を使う。また、A/D変換クロック f_{AD} はシステムクロックの1/8を使う。したがって、1ビット変換するのに $8 \times T_{osc} = 2\mu\text{s}$ かかることになるので、10ビット全てを変換するには $20\mu\text{s}$ を要することになる。また、プログラムの暴走、電源電圧変動による誤動作からシステムを保護する機能を付加することができるが、今回は使用していない。

LCDの初期設定では、パワーオン時の一連の設定項目が指定されているので、それらのデータを必ず送る必要がある。これには、表示を右または左シフトするか、カーソルを移動するか、表示行数、文字パターンなどを設定する。本回路では、半角カタカナと数字を用いた表示を行う。その際、半角カタカナの濁音文字は2文字分のスペースに表示されるため、これをしまりのある1文字と表示するために、2字(“デ”と“ボ”)の文字を新たにデザインして登録した。更に、電圧値を疑似バー表示するためのグラフィック文字も登録した。

LCDのレスポンスはPICの処理スピードに比べ格段に遅い(1文字表示の処理に約 $50\mu\text{s}$ かかる)ので、固定的に表示される文字は予め表示させておくことが望まれる。したがって、測定値を表示する場合は、電圧値の数値2文字とバー表示のみの表示となるので、高速処理が実現されている。

以上のパワーオン時の初期設定が終了したら、A/D変換器を起動させ、変換終了を待って、その値をASCII文字コードに直して、表示し、更に、バー文字

を使ってアナログ表示する。これを電源オフになるまで繰り返す。

その処理の流れの概略を図3に示す。

4.2 処理手順について

PICコンピュータはRISC (Reduced Instruction Set Computer) であり、プログラムメモリ(14ビット長)とデータメモリ(8ビット長)を別々に備え、ハードウェアを簡単にすると同時に高速処理を実現している。また、プログラム命令を基本的なもの35種に限定している。このことは初心者には馴染みやすい反面、高度な処理プログラムを作成するには困難が伴うことが予想される。1命令は全て1ワード(14ビット長)で構成され、アドレスや直接数値を指定するオペランド部分も全てこれに含まれている。このことは、従来のノイマン型MPUのプログラムになれている者にとっては、初め戸惑いを感じるが、慣れてくるとシンプルさ故にスッキリ感を味わえるようになる。

プログラムの開発には、マイクロソフト社が無償提供している統合開発環境ソフトウェアMPLAB(エディタ付アセンブラ+デバッガ+書き込み)が手軽に利用できる。最近のバージョンでは、エディタで漢字のコメントが使えるようになったので使い勝手はかなり改善された(ただし、メニューやヘルプは英文のまま)^{(2),(3)}。

この他に、C言語やBASIC言語を用いて記述できるコンパイラも、他社から発売されており、これを利用してプログラム開発もできる。本器では、PICやLCDの全ての機能を引き出し、その可能性を試すという立場からMPLABを用いて、全てアセンブラ言語でプログラムを開発した。

処理プログラムでは、特記すべき処理ルーチンは使っていないが、いくつかのサブルーチンを例に挙げて、PICプログラムの概要を示す。

本器のプログラム開発で戸惑った点と言えば、PICの処理スピードが $1\mu\text{s}$ なのに対して、LCDの処理スピードは $47\mu\text{s}$ と、約50倍も違うことであった。したがって、1バイトのデータを送出した後、次のデータを送出するまでに約 $50\mu\text{s}$ 待たなければならない。そのために、ソフトウェアタイマを多用して、実質LCDの処理速度に合わせることになる。

データをLCDに送る場合、データライン上に8ビットデータを出力した状態で制御信号Eを立ち上げ、220ns以上保持した後、立ち下げる必要がある。この一連の手順は頻繁に使うので、表1に示すサブルーチンにした。これはW(working)レジスタに送出するデータを格納して、CALL SET_E命令を実行すると、LCDにそのデータが送られる。そして、LCDの処理

表1 LCDへのデータ送出ルーチン
(MPLAB アセンブラ言語)

```

SET_E MOVWF PORTB      ;Data out to PortB
SET_EO BSF   PORTA, RA2 ;E=1 :Strobe to LCD
nop
nop
BCF   PORTA, RA2 ;E=0 :Strobe to LCD
CALL  T_50u     ;Wait 50usec
RETURN

```

時間に相当する $50 \mu\text{s}$ の時間つぶしの後、元のプログラムへ戻る。ここで、CALL T_50u 命令は $50 \mu\text{s}$ の間、時間を費やすためのソフトウェアタイマである。

A/D 変換結果 (10 ビット長) は PIC のデータ RAM の SFR (Special Function Registers) の ADRESH と ADRESL に格納される。その上 8 ビットをとって、表示に利用している。入力電圧値 0 ~ 5V に対して変換値は 00 ~ FFH (H を付加した数は 16 進数を表す) となる。また、表示は 0.0 ~ 5.0V としなければならないので、それら相互のデータ変換をプログラムで行う必要がある。

1 の位の表示値は次のようにして求めた。変換値 (00 ~ FFH) に、1 位の数の 1 に相当する 16 進数 (FFH/5 = 33H = 51) が幾つ含まれているかを調べることにより、知られる。また、小数 1 位の数は、上の残余に、5 (33H/10 = 5) が幾つ含まれているかを調べることにより、決まる。ここで、16 進 - 10 進変換時に誤差が生じることがあるが、ここでは切り捨てた。

4.3 バー表示処理手順について

LCD 上に表示されるものは、このシステム唯一のマンマシンインターフェースであり、これの設計如何によって、使い勝手が大きく左右される。また、児童の学習到達度も考慮に入れないと、表示しても理解されないことになる。例えば、アルファベットを用いた表示や小数点表示なども学年が低くなると、問題になる。ここでは、全て半角カタカナと数値のみを表示することにした (漢字やひらがななどの 2 バイト文字は本 LCD では表示できない)。また、前述したように、半角カタカナでは、濁音文字は 2 文字で表示され、間延びして見えるので、ここでは濁音文字を新しくデザインし、1 字分のスペースに表示させることにした。

また、バー表示は入門者にとって、量や大きさを感覚的に捉えるという点で重要な働きをする。更に、基準のバーを表示して、それとの比較も併せて捉えることができれば、より効果的な学習ができると考えられる。ここでは、乾電池 1 個分の電圧 1.5V を基準にとることにした。したがって、乾電池 3 個分の電圧とか、乾電池の $\frac{3}{5}$ の電圧とか、などの思考を育てることが

できると考えられる。

そのような目的で、LCD の 2 行目に測定値のバーと基準のバーの 2 本を表示するように工夫した。これらの表示に使われるグラフィック文字は、初期設定時にキャラクタ・ジェネレータ RAM のユーザエリア (8 文字分) に予め登録された。そのデザインを図 4 に示す。

試作回路の外観を図 5 に示す。LCD の文字表示はスッキリ見やすくまとめられているのがうかがえる。

Registered Character Patterns

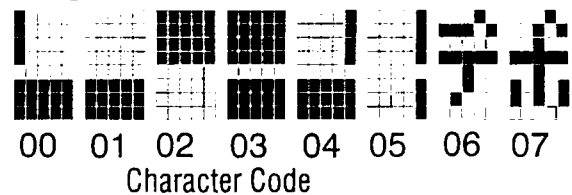


図4 登録したユーザ定義文字

5. 今後の学校教育とワンチップコンピュータの役割

ここ数年のワンチップコンピュータの機能の充実ぶりには驚嘆さえ感じる。これを学校現場に取り入れたら、どのような可能性が生まれるかについて考察してみた。

従来の教育現場で扱われる道具は機械式と言われる部類に類別することができるであろう。それらは、いわゆる、単能型と称した方がいいのかも知れないが、要するに、融通の利かない使い方しかできないものが多いように思われる。あることに関しては、優れた道具であるが、その他のことでは、ほとんど役に立たない。要するに、融通の利かない使い方しかできないものが多いように思われる。あることに関しては、優れた道具であるが、その他のことでは、ほとんど役に立たない。道具とは所詮そんなものと、これまでずっと考えられてきた感がある。そして、人間の営みの数だけ、種々の道具が考案され、人間の能力を拡張し、より高い可能性を求めらるべく使われてきた。これら先人たちが考え出した道具などについて、その使い方、活かし方を学習していくのが、学校教育の重要な一面でもあろう。

しかし、この 10 余年のデジタル情報処理技術の発達は、このような概念を覆すような社会変革を迫っているように思える。たとえば、定規を使わなくてもきれいで正確な図面が描けたり、計算機を使わなくても与えた数値の答が即座に示されたり、鉛筆や筆を使わなくて文書が作成できたり、絵の具や筆を使わなくても水彩画が描けたり、電話や手紙を使わなくても遠くの人と意思疎通ができたり、その他、推挙に暇がない

ほどいろいろなことがコンピュータという道具の助けによりできる時代になってきた。この多面性・融通性は、MPUやワンチップコンピュータ（コントローラ）などのハードウェアと、ソフトウェアと呼ばれるプログラムのなせる業である。

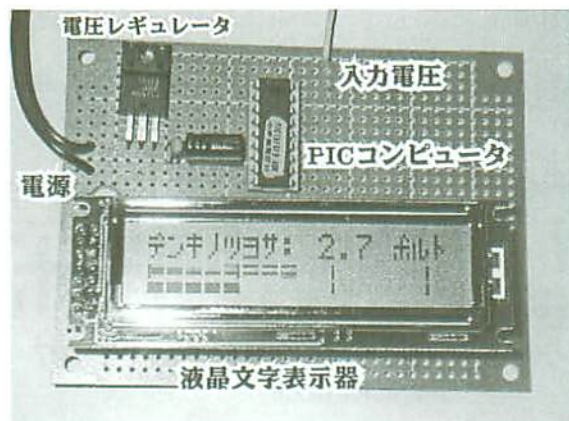


図5 試作電圧計の外観

ソフトウェアとそれが動作するハードウェアがあれば、一つの道具でもいろいろな使い方ができることを示している。ワンチップコンピュータも小規模ながらこの両面を備え持っており、ハードウェアさえ整っておれば、如何様にも変身できる潜在能力を備えている⁽⁷⁾。

今回試作した児童教育用電圧計はその一つの試みであると捉えられる。学習者のレベルに合わせて、表示や使い方を容易に変えることができ、他の測定をする道具として転用や変更もユーザサイドで比較的簡単にできる。または、電圧の大きさに比例して、光る強さや、音の高さ、またはモータ回転数を変えたりすることによって、更なる機器へ発展させていくことは、それ程困難なことではない。

PICなどのワンチップコンピュータを使うと、従来の回路構成に比べて、格段に単純な回路構成で実現できる。しかも、高機能の回路が組み込んであるのでそれを引き出して使うだけで、確実に動作する回路が得られるので、これを用いた道具を使うだけでなく、これを用いて道具や玩具などを組み立てることで、教材の開発に結びつけることもできる筈である。

従来の機械式の教具に多面的な柔軟性をもたせ、学習者に優しい教具に仕立てるためにワンチップコンピュータの活用は不可欠であり、強力な武器になり得ると思える。

6. おわりに

A/D変換機能を持つ最新のPICコンピュータを用いて、電圧を測定し、数値及びバー表示する電圧計をLCDを用いて試作した。学習進度の関係から回路計や電圧計を使用できない児童のために、直感的に電圧の大きさを捉えさせ、数量概念の形成に役立つことに主眼をおいて設計・開発した。教具にワンチップコンピュータを組み込むことで、今までにない新しい視点の教具が開発できる可能性を明らかにした。また、高機能で、確実な動作をする回路が格段に簡単な回路構成で得られることが分かり、これから、PICなどのワンチップコンピュータを用いた製作教材なども可能なことを示唆した。

今後は、開発した電圧計を実際の授業で使用し、実証的に改良し、また発展させていきたい。さらに、PICなどのワンチップコンピュータの有用性を教育に活かすための研究を続けていきたい。

参考文献

- [1] PIC16F818/819 Data Sheet (Preliminary), Microchip Co., Ltd.,2003.
- [2] MPLAB IDE, Simulator, Editor User's Guide, Microchip Co., Ltd.,2000.
- [3] PICSTART Plus User's Guide, Microchip Co., Ltd.,2000.
- [4] SC1602B Data Sheet, SUNLIKE Display Tech. Corp.
- [5] Liquid Crystal Displays — Standard Character Modules Application Notes —, Seiko Instruments GmbH, AN No.SIG-CHMO98-05A, 1998.
- [6] PICマイコン活用ハンドブック, CQ出版, 2001.
- [7] 岩本正敏, 水谷良成; コンピュータ制御ロボットを用いた電子制御技術教育の導入学習の効果, 信学技報, ET2003-25, pp. 35-40, 2003.
- [8] 後閑哲也; 電子工作のためのPIC活用ガイドブック, 技術評論社, 2001.
- [9] 後閑哲也; 電子工作のためのPIC応用ガイドブック, 技術評論社, 2002.
- [10] 後閑哲也; 電子工作のためのPIC18本格活用ガイドブック, 技術評論社, 2004.
- [11] 後閑哲也; たのしくできるPIC電子工作, 東京電機大学, 2000.
- [12] 堀桂太郎; 図解 PICマイコン実習 — ゼロからわかる電子制御 —, 森北出版, 2003.