

論文

# 技術科教育におけるパソコンUSB制御教具の開発

Development of Teaching Tools for a Personal Computer Control Using USB Interface  
in Technology Education

道法 浩孝 (高知大学教育学部)

Hiroataka DOHO

*Faculty of Education, Kochi University*

## ABSTRACT

Automatic control using a computer from the viewpoint of its excellent reliability, accuracy, and efficiency is widespread and well established in all areas from household instruments to the fields of research, development and production in contemporary society. In this paper, in order to allow the technology of automatic control using a computer into teaching materials, to deepen and enrich the learning in Technology Education, we developed teaching tools for a personal computer control using USB interface. The teaching tools have LED on-off control and motor revolution control functions based on a program on a personal computer introducing Peripheral Interface Microcontroller for USB communication. We extended and applied the teaching tools for a robot control aimed at utilization in lessons. As a result, we have confirmed that utilizing our teaching tools makes it possible to develop learning about systems, functions, and characteristics of the control using a personal computer and the automatic control by programming flexibly depending on the learner's readiness, and suggested the availability as teaching materials.

Key words : Personal Computer Control, Teaching Tools, Universal Serial Bus, PIC, Technology Education

## 1. はじめに

制御とは、ある目的に適合するように対象となるものに所要の操作を加えることであり、その方法には、手動制御および機械・機器やコンピュータによる自動制御がある<sup>1), 2)</sup>。これらのなかで、コンピュータによる自動制御は、情報技術の著しい発展に伴い生活機器から研究機関における実験装置、生産現場における産業機械等に至るまで現代社会のあらゆる領域に普及・浸透している。これは、コンピュータによる自動制御の高い信頼性、精密性、効率性等によるものである。例えば、研究開発現場における計測機器は、そのほとんどがパソコン、ワークステーション等のコンピュータによって自動制御されており、高精度かつ高感度なパラメータ設定それに基づ

く自動計測を通して、膨大なデータ収集・解析を可能にしている。

ところで、コンピュータによる自動制御技術を異なる視点から捉えると、教育における教材としても多大な機能を見出すことができる。すなわち、コンピュータ制御技術は情報技術をはじめとして電気・電子工学、機械工学および材料加工技術の集積であり、これを技術教育の教材として適用することにより、多大な教育効果が期待できる。

これに対応すべく、コンピュータによる自動制御技術は、現在技術教育の各ステージで取り上げられている。なかでも、一般普通教育における技術教育である中学校技術・家庭科技術分野 (以下技術科教育と略記) におい

ては、コンピュータによる制御技術が現行学習指導要領では生徒の興味・関心に応じて履修させる発展的な内容（選択履修項目）として<sup>3)</sup>、また平成24年度から完全実施される新学習指導要領では必修項目として取り上げられている。そして、コンピュータを利用した計測・制御の基本的な仕組みおよび情報処理の手順を考えた簡単なプログラムの作成が学習内容として掲げられている<sup>4)</sup>。

コンピュータによる制御技術の必修化に伴い、題材の検討、教材・教具の開発が課題となるが、これまでの実践事例では、ワンチップマイコンを用いた自律制御教材が多く報告されており<sup>5),6),7)</sup>、パソコンを活用した制御技術を扱った事例はほとんど見られない。一方、技術科教育のプログラミング、計測・制御以外の項目における情報に関する学習および小中学校教育現場での一般的な情報教育においては、パーソナルコンピュータを対象とした情報教育が展開されており<sup>8)</sup>、両者間において内容に乖離がみられる。

この原因は次のように考えられる。現在パソコンに標準装備されているインターフェースはUSBインターフェースであり、これを通してキーボード、プリンタ等各種の周辺機器との通信が行われているが、USBインターフェースを活用した制御機器の製作には多くの難課題が含まれており、機器の自作を容易に行うことができない。具体的には、従来のインターフェース機器に比べハードウェアとアプリケーションの他にプロトコル、デバイスドライバ等の製作が必要である<sup>9)</sup>。また、パソコンの高性能化に伴い、システムのブラックボックス化が進み、ハードウェア・ソフトウェアの自作による機能の拡張が困難になっている。しかしながら、小中学校段階における情報教育の充実、すなわち一貫性・系統性をもった情報リテラシー教育、情報技術教育の展開を考慮すると、技術科教育におけるプログラミング、計測・制御に関する学習は、パーソナルコンピュータをホストコントローラとした教材を扱うことが適切であると考えられる。

そこで本研究では、上記の課題に対し、USB通信機能を内蔵した小型マイクロコントローラ（PIC）を導入し、USBプロトコルおよびデバイスドライバの製作をそれに代替させることでその解決を図った。そして、PICを通してパソコンとのUSB通信を実現し、それを活用した制御教具の開発を行った。本論文では、開発した教具のハードウェア・ソフトウェア構成および制御のしくみと方法について詳述する。

## 2. 開発したパソコン制御教具

開発した制御教具は、USBインターフェースを通してパソコンからデジタル信号を出力し、LEDの点滅制御、モータの回転制御を行うものである。パソコンと外部デ

バイスとのインターフェースには、従来、拡張ボード、シリアルポート、パラレルポート等各種が存在し、接続するデバイスの仕様に応じて適切なインターフェースを使用する必要があった。しかし、パソコンの高性能化に伴いこれらのインターフェースは規格・仕様の統一化が図られた。現在、プリンタ、スキャナ、マウス等の多くの外部デバイスは、プラグ&プレイ機能を有し、高速かつ操作性に優れているUSBインターフェースを通してパソコンと接続されている。

図1に、開発した制御教具のハードウェア部のブロックダイアグラムを掲げる。ハードウェアは、USBプロトコルに従ってパソコンとデータの送受信を行うインターフェース機能とハードウェアに実装された機能デバイスの制御機能を担うワンチップマイコン、LED点滅制御部およびモータ回転制御部で構成されている。使用したマイコンは、マイクロチップ社製マイクロコントローラPIC18F4550<sup>10)</sup>である。また、直流モータの回転制御には、東芝社製のモータ制御用ICTA7291P<sup>11)</sup>を用いた。

開発したハードウェアを動作させるためには、マイクロコントローラ側へのUSBプロトコルファームウェア、パーソナルコンピュータ側へのデバイスドライバの実装およびマイクロコントローラとパーソナルコンピュータ双方についてのアプリケーションソフトウェアの開発が必要である<sup>12),13)</sup>。本教具の開発においては、USBプロトコルおよびデバイスドライバの実装にマイクロチップ社から無償で提供されているUSBフレームワークを使用した。また、アプリケーション開発に使用した言語は、PIC側がC言語（MPLAB C18）、パソコン側がBasic言語（Visual Basic2005）である。開発にあたっては、PIC側ソフトウェアで基本的な機能を組み込み、パソコン側のソフトウェアで汎用性やユーザーインターフェースを考慮したソフトウェア開発を行った。

### 2.1 制御教具のハードウェア部

図2に、開発した制御教具のハードウェア部の回路図を掲げる。PIC18F4550は、USB2.0対応モジュールを内

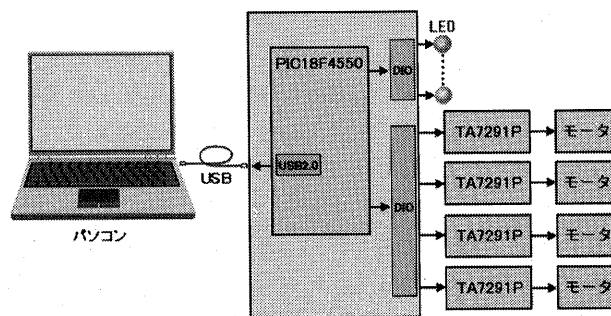


図1 開発した制御教具のブロックダイアグラム

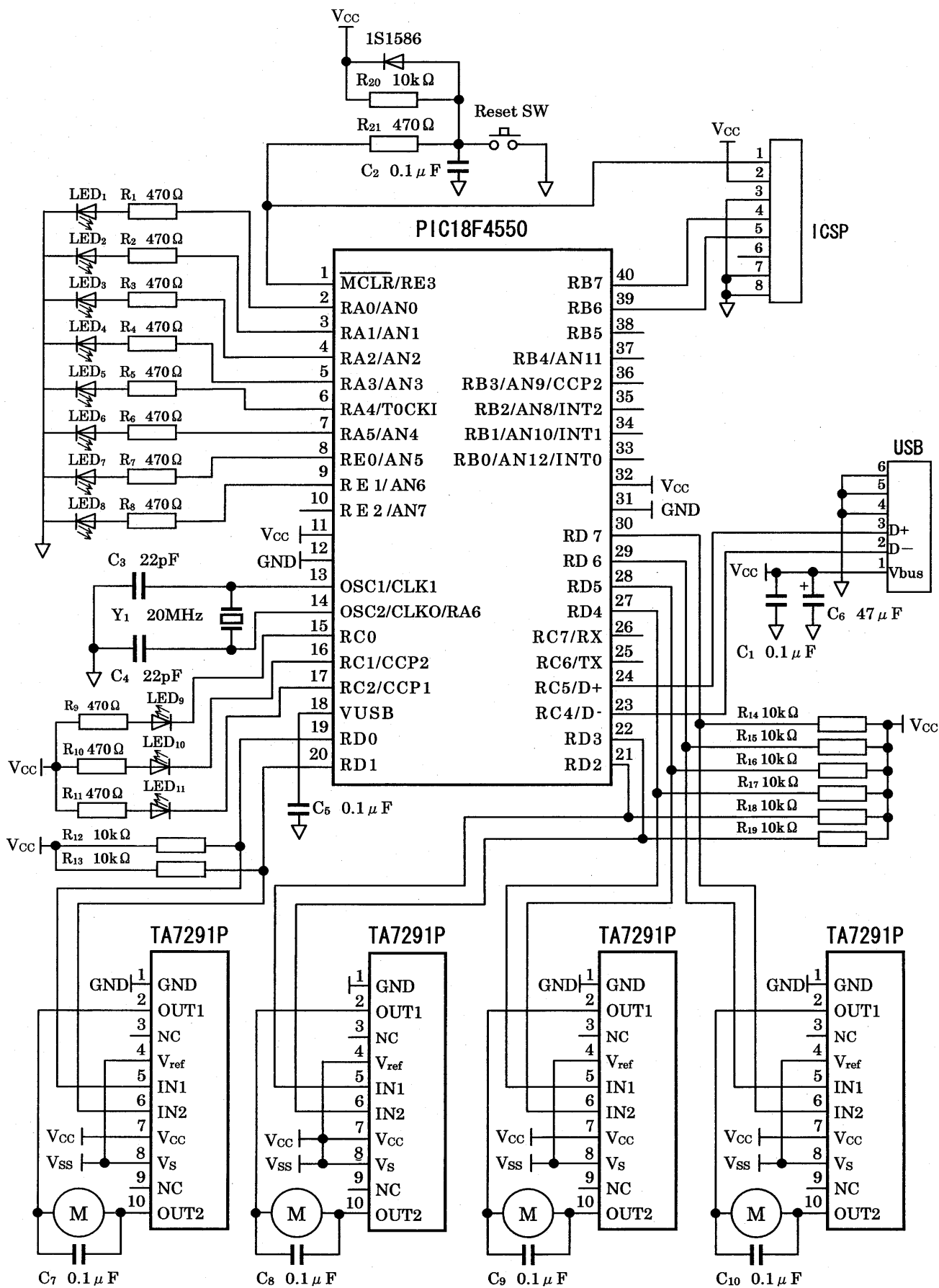


図2 パソコン制御教具のハードウェア部回路図

蔵した8ビットワンチップマイクロコントローラであり、これに標準USBプロトコル規格を満足するファームウェアであるUSBフレームワークを活用することにより、パソコンとのUSB通信が可能になる。PIC18F4550の主なハードウェア仕様は、次の通りである。CPUのクロック周波数は最大48MHz、メモリ容量はプログラムメモリが32KB、データメモリが2KBである。入出力ポートは、A、B、C、D、Eの5種類あり、ソフトウェアによる設定でアナログ入力ポート、デジタル入出力ポート等として使用できるようになっている<sup>14),15)</sup>。本研究で開発した教具は、A、D、E3種類のポートをすべてデジタル出力ポートとして使用しLED、モータの制御を行った。PICのシステムクロック信号の周波数は20MHzとし、クリスタル振動子HC49USを使って発振させている。電源は、バスパワー方式としUSBインターフェースを通してパソコンから供給している。また、PICへのプログラムの書き込みはICSP方式とし、モジュラージャックを通してPICを基板に実装したままの状態でのプログラミングができるようになっている。

8個のLEDを配列したLED点滅制御部は、各LEDを保護抵抗(470Ω)を通してPICのポートAおよびポートEに接続し、回路構成した。

直流モータの回転制御は、ポートDを東芝社製のモータ制御用ICTA7291Pを通してモータと接続して行う。回路図に示すようにPICのポートDから出力される8ビットのデジタル信号を2ビットずつTA7291Pに接続し、2ビットのデジタル信号の組み合わせで正転・逆転、停止の制御を行うしくみになっており、最大4個のモータが制御可能である。TA7291Pはトランジスタを用いたモータ制御回路を内蔵するDCモータ用フルブリッジドライバICであり、図に示すように10本のピンで構成されている<sup>16)</sup>。TA7291Pの動作電圧は、一般的なデジタルICと同様5Vであるが、モータ用電源( $V_{SS}$ )として3Vの電源が必要である。モータに並列接続されている0.01μFのコンデンサは高周波ノイズ対策用である。図2に掲げる回路を実装した制御基板を図3に、プリントパターン図(基板の裏面)を図4に掲げる。

## 2.2 制御教具のソフトウェア部

PIC18F4550を用いてUSB機能を実現するには、USB規格の第9章に準拠するプロトコルソフトウェアを実装する必要がある。本研究においては、マイクロチップ社が提供するUSBフレームワークを用いてUSBプロトコルの実装を行った。USBフレームワークは、マイクロチップ社がUSB2.0対応PIC用に無償で提供している標準USBプロトコル規格を満足するファームウェアであり、接続する機器や通信仕様に依りて5つのクラスが提供されて

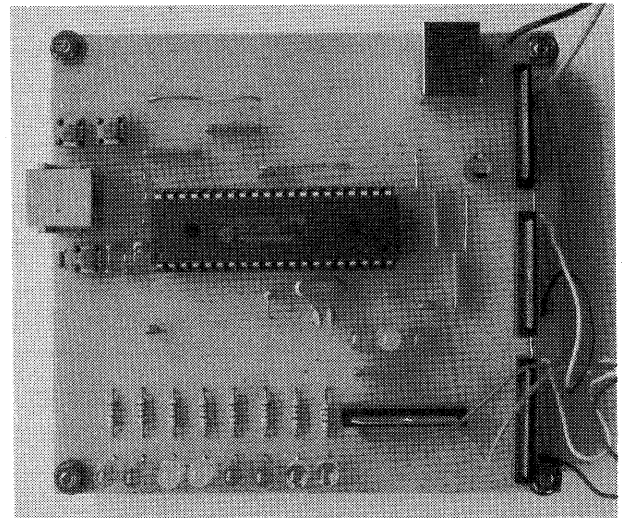


図3 パソコン制御教具のハードウェア部

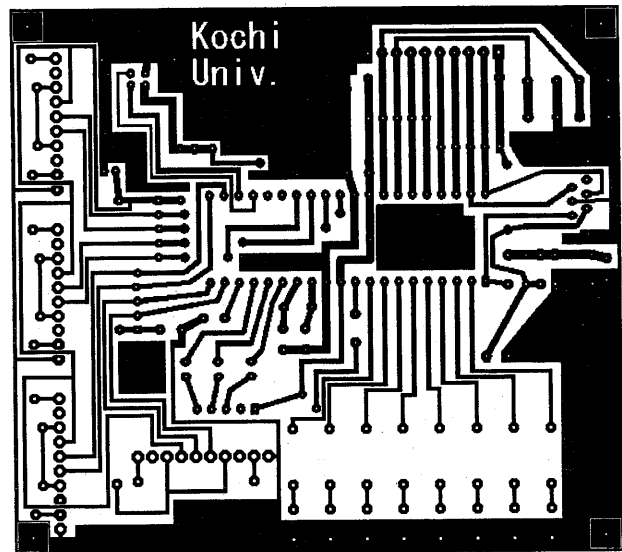


図4 制御基板のプリントパターン

いる<sup>17)</sup>。本研究では、この中からUSBをCOMポートに変換する機能を持ったRS232CエミュレータであるCDCクラスを用いてUSBプロトコルの実装を行った。これを組み込むことによって、PIC側もパソコン側も従来のRS232C通信での接続と同様の感覚でUSB通信を行うことが可能になる。また、パソコン側のデバイスドライバおよびプラグ&プレイ機能に対応するためのコンフィギュレーション用プログラムの実装も、USBフレームワークを通して行うことができる<sup>18)</sup>。

PIC側のソフトウェア開発は、マイクロチップ社製MPLAB C18コンパイラ Student Edition<sup>19)</sup>を用いて行った。PIC側ソフトウェアのフローチャートを図5に掲げる。プログラムは、While(1)文による無限ループのなかで実行される。まずUSBの接続状態をチェックし、接続状態であればパソコンからのイベントをポーリングしてデータ受信の有無をチェックする。接続状態でなけ

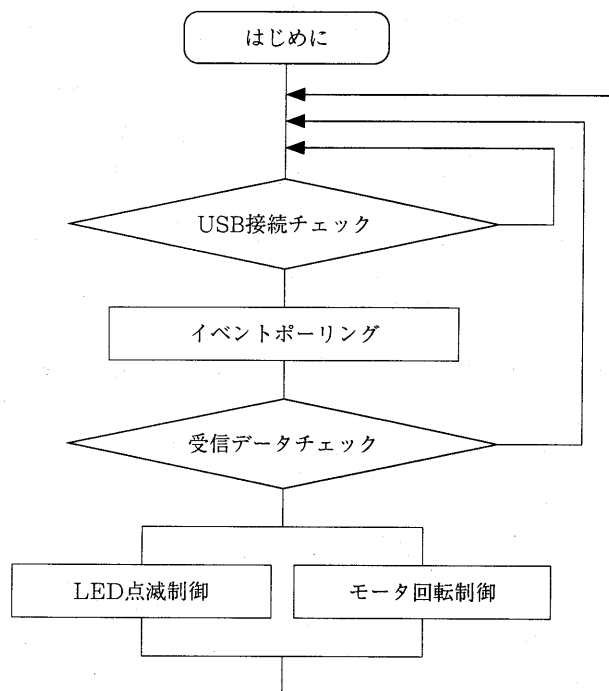


図5 PIC側ソフトウェアのフローチャート

ればループの最初に戻り接続チェックを繰り返す。次に受信データがあればそのデータの値に応じてLEDの点滅制御またはモータの回転制御処理に分岐する。各処理が終了すると、再度ループの最初に戻り接続チェックを行う流れになっている。

パーソナルコンピュータ側のソフトウェア開発は、マイクロソフト社製Visual Basic2005 Student Edition<sup>20), 21)</sup>を用いて行った。USBフレームワークCDCクラスを実装したデバイスをパソコンに接続すると、COMポートデバイスとして認識される。そこで、Windows API（システムコール）を使ってCOMポートの通信プログラムの開発を行った。開発したプログラムは、PICに組み込んだ2つの処理をイベントドリブン方式で選択・起動させ、目的とするLEDの点滅制御およびモータの回転制御に応じたデータを送信するしくみになっている。パソコン側ソフトウェアのフローチャートを図6に掲げる。プログラムは、COMポートのオープン、接続の確認、コマンドの送信およびアクチュエータの状態の受信という順序で実行される。

### 3. 開発した教具を用いたパソコン制御

本章では、開発したパソコン制御教具によるLED点滅制御とモータ回転制御について、ハードウェア回路の動作とパソコン側で開発したソフトウェアに基づいて詳述する。

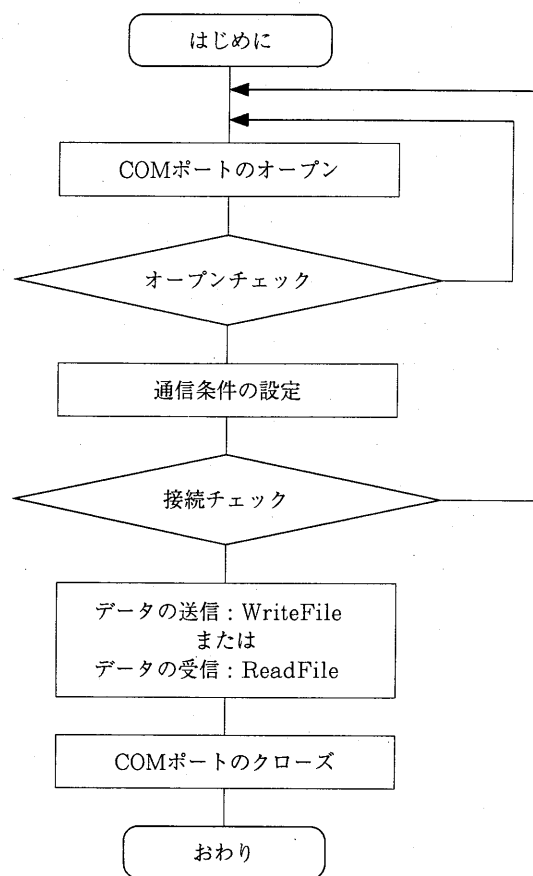


図6 パソコン側ソフトウェアのフローチャート

#### 3.1 LEDの点滅制御

LED点滅制御部の8個のLEDは、接続デジタルポートであるポートAおよびポートEの各ビットをHIGH (5V) またはLOW (0V) に設定することによって、点灯・消灯制御を行うことができる。すなわち、各ビットの論理値を1に設定すれば点灯、0に設定すれば消灯制御が実現できる。8個のLEDはLED1から順にそれぞれ2進数8ビットの各桁と論理的に対応している。したがって、点滅制御のためのプログラムは、LEDの点滅状態に対応した論理値をパソコンからUSBを通してPICへ出力することで実現される。例えば、論理値として2進数『10101010』を出力すれば、8個のLEDのうち偶数番目のLEDが点灯状態、奇数番目のLEDが消灯状態になる。

図7は、上記の動作に対応したプログラムのうち、点滅制御に直接関係する部分である。データの送信は、WriteFile関数を使って行う。関数に含まれるパラメータは、ポートのハンドル値、送信データ配列変数のポインタ、送信バイト数、送信完了バイト数の4つであり、これらのデータを送信しその成否を戻り値として取得することでデータの送信機能を行う。4つのパラメータのうち、プログラム上で設定するのは送信データ配列変数のポインタであり、制御の種類と内容を2つの変数で設

```
wDATA = Chr(&H35) & Chr(170)
dLen = Len(wDATA)
bRet = WriteFile(hComm, wDATA, dLen, wLen, IntPtr.Zero)
bRet = ReadFile(hComm, rDATA, 30, rLen, IntPtr.Zero)
```

図7 LED点滅制御プログラム

定する。ここでは、LED制御を、対応するパラメータ『35』で、LEDの点滅状態を、2進数『10101010』に相当する10進数『170』で設定している。データ送信後折り返しポートの状態を受信する。この機能を担う関数がReadFile関数である。関数の使い方およびパラメータはWriteFile関数と同様である。

図8は、8個のLEDのうち1個だけをLED1から順次一定の時間間隔で点灯・消灯させていく動作を実現するプログラムである。『For ~ Next』文によるループ文を使い、LEDの点滅状態を変数xaを使って設定している。この例では各ビットの値を指定することになるので、プログラムに示すようにxaの値として $2^i$ を設定している。

```
For i=0 To 7
  xa=2^i
  wDATA = Chr(&H35) & Chr(xa)
  dLen = Len(wDATA)
  bRet = WriteFile(hComm, wDATA, dLen, wLen, IntPtr.Zero)
  bRet = ReadFile(hComm, rDATA, 30, rLen, IntPtr.Zero)
  For j=1 To 2000
    TextBox3.Text=j
  Next j
Next i
```

図8 LED順次点灯制御プログラム

変数jを使ったループ文は、点灯間隔（インターバル）を設定するものである。

### 3.2 モータの回転制御

モータの回転制御を行うポートDの8ビットの信号端子は、下位から2ビットずつがモータ制御用ICTA7291Pを通して個々のモータと論理的に接続されており、各2ビットの信号の組み合わせにより正転、逆転、停止の制御が行われるしくみになっている。TA7291Pによるモータ制御のしくみは表1に掲げる通りである<sup>22)</sup>。表に示すように、両ポートから出力（TA7291Pに入力）される信号が同レベルの場合モータは停止し、異なる場合正転または逆転の回転動作を行う。

論理的なモータ制御のしくみを具体的に説明すると、以下のようになる。ポートDの論理値として『10100101』を設定すると、この論理値の下位から2ビットずつが表1の入力となり、その組合せに応じて各モ-

表1 TA7291Pの入出力信号と動作の関係

IN1	IN2	OUT1	OUT2	動作
0	0	∞	∞	ストップ
1	0	H (+5V)	L (0V)	正転
0	1	L	H	逆転
1	1	L	L	ストップ

タの端子（TA7291Pの出力）が『HIGH』、『LOW』および『∞』に設定され、正転・逆転および停止の動作を行う。この例では、下位4ビットに接続された2つのモータが正転、上位4ビットに接続された2つのモータが逆転動作を行う。ポートD各端子の論理値は、例示のように対応する2進数またはそれを10進数に変換した値（この例では『165』）をパソコン側から送信することによって設定する。

この動作を実現するためのパソコン側のプログラムは、図9の通りである。LEDの場合と同様モータ制御に直接かかわる部分のみを示している。モータ制御を指定するパラメータは『36』、目的とする回転制御に対応するパラメータは10進数『165』であり、これを送信データ配列変数のポインタに入力し、送信およびポートの状態を受信する。

```
wDATA = Chr(&H36) & Chr(165)
dLen = Len(wDATA)
bRet = WriteFile(hComm, wDATA, dLen, wLen, IntPtr.Zero)
bRet = ReadFile(hComm, rDATA, 30, rLen, IntPtr.Zero)
```

図9 モータ回転制御プログラム

図10は、上記の動作を一定の期間継続した後、動作を停止させるプログラムである。前述の送受信動作を『For ~ Next』によるループ文で繰り返し、そのループの回数によって目的とする動作のインターバルを設定している。下位4行は停止制御に相当する部分である。

```
For i = 0 To 100
  wDATA = Chr(&H36) & Chr(165)
  dLen = Len(wDATA)
  bRet = WriteFile(hComm, wDATA, dLen, wLen, IntPtr.Zero)
  bRet = ReadFile(hComm, rDATA, 30, rLen, IntPtr.Zero)
Next i
wDATA = Chr(&H36) & Chr(0)
dLen = Len(wDATA)
bRet = WriteFile(hComm, wDATA, dLen, wLen, IntPtr.Zero)
bRet = ReadFile(hComm, rDATA, 30, rLen, IntPtr.Zero)
```

図10 モータ回転制御プログラム（回転→停止）

#### 4. 簡易ロボット制御への応用

開発したUSBインターフェースを用いたパソコン制御教具のモータ回転制御機能を、簡易ロボット制御に応用し教材化を視野に入れたハードウェア・ソフトウェアの開発およびその検討を行った。図11に、簡易ロボット制御教具を示す。簡易ロボットは、直流モータを3個活用したフォークリフト模型であり、3個のうち2個のモータで前後・左右各方向への移動機能を、1個のモータでリフトの上下移動機能を実現するものである。このロボットの3個のモータをパソコン制御教具のモータ回転制御部に接続し、簡易ロボット制御教具を構成した。簡易ロボットの3個のモータとポートDとの論理的な接続は、下位ビットからリフト制御、右車輪制御、左車輪制御の順になっている。

開発した教具によるパソコン制御機能として、単一動作制御、リモートコントロール制御、シーケンシャル制御の3つの機能を装備した。単一動作制御機能は、前進、後進、リフト上昇等目的とする1つの動作を、設定した一定の期間（インターバル）実行させるものである。リモートコントロール制御機能は、前進、後進、リフト上昇等目的とする複数の動作（9種類）を画面上的ボタン操作で実行させるものである。シーケンシャル制御機能は、あらかじめ構想したアルゴリズムにしたがって、ロボットを自動制御するものであり、本教具の中心的な機能である。

上記の各機能に応じたソフトウェア開発は、パソコン側で行った。図12は、開発したソフトウェアのフォーム画面である。図中の①が単一動作制御機能、②がリモートコントロール制御機能そして③がシーケンシャル制御機能それぞれの操作部に対応している。

単一動作制御機能は、3.2で説明した制御方法にしたがって、目的とする動作に対応する10進数およびインターバルに対応する変数を入力し、コマンドボタン（画面上では『制御』ボタン）をクリックすることにより制御を実行させるものである。この動作に対応するプログラムは、「for ~ next」文によるループで作成されており、このループの回数がインターバルに対応した変数に

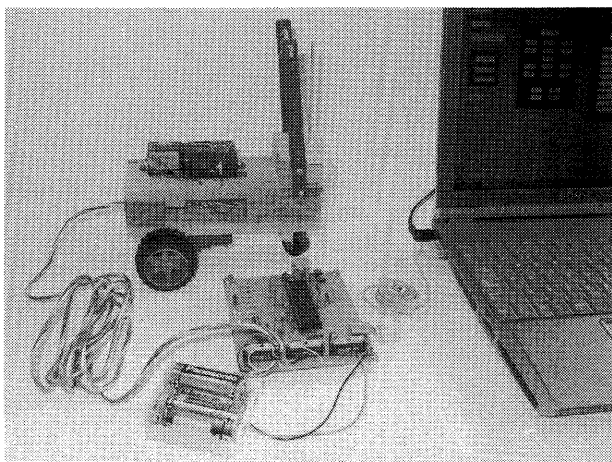


図11 パソコン簡易ロボット制御教具

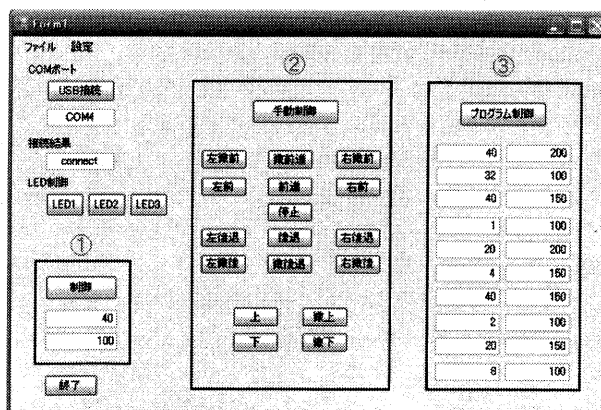


図12 ロボット制御ソフトのフォーム画面

相当する。したがって、動作を継続する実際の時間は、パソコンのCPUのクロック周波数に依存する。画面上の例では、動作に対応する10進数を『40』、インターバルを『100』に設定しており、これを実行すると、前進動作をループの100ステップ間実行する。本機能は、目的とする動作を指定する変数（論理値）と、実際の動作との対応を逐次確認可能であり、パソコン制御のしくみに関する学習を、具体的な操作活動を通して展開する上で、有効に活用できるものと考えられる。

リモートコントロール制御機能は、フォーム画面中央部分（②の部分）に配置された前進、後進等の各動作に対応したボタンをクリックすることにより、目的とする制御を実現するものである。各ボタンの機能には、次のボタンがクリックされるまでその動作を継続するものと、クリックされたボタンに対応する動作を一定のインターバル（一瞬）だけ実行するものを備えている。これにより、ロボットの細かい動作の制御が可能になる。本機能は、制御者の意図・目的に応じた手動制御を実現するものであるが、教育的な機能も備えている。すなわち、手動によるロボット制御を通して、自動制御との違いが明確になり、パソコン制御の機能・特徴に関する学習の効果的な展開が可能になるものと考えられる。

シーケンシャル制御機能は、フォーム画面右側部分（③の部分）に配置されたテキストボックスに入力されたパラメータに基づいて制御プログラムを作成し、それにしたがって簡易模型ロボットを自動制御するものである。10行2列で構成されるテキストボックスの各行が1つのステップ動作を構成しており、各行2つのテキストボックスのうち左側で目的とする動作を、右側でインターバルを設定する。プログラムは、最大10ステップまで設定可能であり、目的に応じた制御プログラムを容易に構成することができる。例示のパラメータ設定で作成されるプログラムは、現在位置から別の位置にある物体をフォークリフトで移動させるプログラムである。プログラムを実行させる（『プログラム制御』ボタンをクリックする）と、ロボットは、『前進→右前進→前進→リフト上昇→後進→左後進→前進→リフト下降→後進→左前進』という順序でそれぞれ設定したインターバルにしたがって動

作する。

上記の自動制御機能を実現するためのパソコン側のプログラムは、3.2で示したモータ回転制御プログラムの目的とする動作とインターバルに対応するパラメータをテキストボックスの値から取得してループ文を作成し、それをステップの数だけ組み込むことによって構成されている。第1ステップのプログラムを、図13に示す。本機能は、パソコン側ソフトウェアのプログラムコードをブラックボックス化し、フォーム画面上のみでプログラムによるパソコン制御を学習させることを目的として開発したものである。この機能をフォーム画面からではなく、Visual Basicのプログラムを直接作成・変更してプログラミングを行うには、図13の最初の2行を削除し、目的とする動作とインターバルに対応するパラメータを直接数値で入力し、それを必要なステップ数だけ作成すればよい。このように、本教具は、学習者の実態や学習の目的に応じて柔軟な対応が可能であり、初歩的、導入的な学習からプログラミング・制御に関する専門教育に至るまで幅広い学習者を対象とした教材としての適用が可能である。

```

xa = TextBox1.Text
xb = TextBox2.Text
For i = 0 To xb
  wDATA = Chr(&H36) & Chr(xa)
  dLen = Len(wDATA)
  bRet = WriteFile(hComm, wDATA, dLen, wLen, IntPtr.Zero)
  bRet = ReadFile(hComm, rDATA, 30, rLen, IntPtr.Zero)
Next i

```

図13 シーケンシャル制御プログラム

## 5. おわりに

本研究では、技術科教育におけるコンピュータによる計測・制御に関する学習の必修化に対し、学習の深化・充実および義務教育段階における一貫的・系統的な情報リテラシー教育、情報技術教育の展開を目的に、パソコンをホストコントローラとした制御教具の開発を行った。開発した教具は、小型マイクロコントローラ（PIC）にUSB通信機能を担わせ、Visual Basic言語を用いて、LED、モータ等のアクチュエータをパソコン制御するものである。開発した制御教具を簡易ロボット制御に応用し、教材化を視野に入れたハードウェア・ソフトウェアの開発およびその検討を行った。その結果、本教具を適用することにより、パソコン制御のしくみ・機能・特徴およびプログラミングによる自動制御に関する学習を、学習者のレディネスに応じて柔軟に展開することが可能であることが示唆された。

今後の課題としては、授業実践を通しての教材の評価があげられる。プログラムによる計測・制御に関する学習における本教具の位置づけの明確化、学習指導法の検

討を基に学習指導計画・学習指導案を作成し、検証授業とその評価を通して本教具の有効性を追求していきたい。また、計測機能を付加した計測・制御教具への拡張があげられる。PICの未使用ポートを入力ポートとして活用し、距離、光等のセンサを取り付け外部情報に基づく制御、すなわちシーケンシャル制御だけでなくフィードバック制御も可能にし、教具のインテリジェント化を図っていきたい。

## 参考文献

- 1) 早川義一（編著）：システムと制御，オーム社（2008）
- 2) 鷹野英司他：電子機械制御入門，理工学社（2007）
- 3) 文部省：中学校学習指導要領（1999）
- 4) 文部科学省：中学校学習指導要領（2008）
- 5) 嶋田彰子他：自律型ロボット教材を活用したプログラムと計測・制御学習に関する授業方法の開発と評価，日本産業技術教育学会誌第49巻4号，pp. 297-305（2007）
- 6) 伊藤陽介他：ロボカップジュニア・レスキューを題材とする情報技術学習の提案，日本産業技術教育学会誌第50巻2号，pp. 59-67（2008）
- 7) 紅林秀治他：自律型3モータ制御用ロボット教材の開発，日本産業技術教育学会誌第51巻1号，pp. 7-16（2009）
- 8) 前述3）
- 9) トランジスタ技術編集部（編）：オリジナルUSB機器の設計と製作，CQ出版（2005）
- 10) PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet, Microchip Technology Inc（2004）
- 11) TA7291P, TA7291S/SG, TA7291F/FG Data Sheet, 東芝（2007）
- 12) 後閑哲也：PICで楽しむUSB機器自作のすすめ，技術評論社，pp. 50-54（2006）
- 13) インターフェース編集部（編）：USBターゲット機器開発のすべて，CQ出版，pp. 111-118（2005）
- 14) 前述12) pp. 26-30
- 15) 前述10)
- 16) 前述11)
- 17) 前述12) pp. 54-59
- 18) 前述12) pp. 84-85
- 19) 前述12) pp. 92-98
- 20) 林晴比古：明快入門 Visual Basic 2005 ビギナー編，Soft Bank Creative（2007）
- 21) ミューテック：Visual Basicテクニックブック，シーアンドアール研究所（2007）
- 22) 前述11)