

Ⅲ SPP のテーマとしてのハードウェアとソフトウェア

理学部 伊藤 陽*

ITOH, Yoh

1. はじめに

平成 16 年度のサイエンスパートナーシッププログラム（教員研修）のテーマの一つとして、「ワンボードコンピュータを用いたデータの入出力実験（温度の測定）」を行った。ここではその目的と内容の概要について報告する。

平成 15 年度には、「簡単な質量分析計の分解・組み立て・測定の実際」というテーマを実施してみた。その目的は、教育現場で日々生徒に接している先生方に、目に見えないイオンや原子の運動は比較的簡単な部品で制御できる事を体験し、それらについてのイメージを豊かにしていただく事であった。16 年度は、情報関連の授業や理科実験の中で活用していただけることを期待して、コンピュータのハードとソフトに関する内容とした。

このテーマの選択の背景には、私のコンピュータについての以下のような漠然とした感想がある。

- ・日常生活でコンピュータの存在は不可欠となってきているが、その機能の高度化の結果、データの流れや電気回路としての機能についての理解は困難となっている。
- ・現状のままでは、コンピュータを応用した理科実験や、より高度な実験装置へコンピュータ活用が困難になっていってしまうのではないか。
- ・物を作り、それが思い通りに動いた時の喜びは、科学や技術を学ぶ最も基本的な牽引力となるはずだ。等々である。

コンピュータという言葉からイメージされるものは、人によりさまざまである。キーボード、ディスプレイ、本体といったデスクトップ型のものや、ノートパソコン等が多くの場合に思い浮かべられよう。しかし、電化製品・自動車の中にも数多くの制御用のコンピュータが内蔵されている。また、ほとんど意識されることはないが、デジタルカメラ・携帯電話や電子辞書などはコンピュータそのものである。最近、学生実習にもコンピュータによる計測を導入しつつあるが、コンピュータが何かを行っても実習生はそれを当然と思い、不思議さや感動・有難みをさほど感じないようである。また日常生活を支えるコンピュータには、その存在にすら気づかないようである。すべてがデジタル化される傾向が強まる中、少なくとも動作原理については高等学校の教科書「情報C」程度

* 城西大学理学部

の内容が多くの人に理解されるべきではないかと思っている。

今回の研修では、構造が簡単でメモリー内容の直接読み出し・書き換えなど、ユーザーに多くのことが許されている 8 ビットの CPU を搭載したワンボードコンピュータを用い、これを操作する事から

- (1) コンピュータ内でのデータの表現や流れ、特に外部機器との間でのデータの入出力を具体的に学ぶ。
- (2) また、温度センサーを自作、ボードコンピュータに接続し、温度測定装置を組み立てる。これにより
- (3) アナログ量とそのデジタル化、デジタルデータの持つ意義についての基礎的な理解を深める、ことを目指した。

2. 実施内容

用いたコンピュータは、(有)中日電工 <http://www.alles.or.jp/~thisida/> のオリジナル商品 CDZ-80 と I/O トレーニングボードである。型番からもわかるように、CPU として Z-80 系のものが搭載されている。このボードコンピュータの特徴は、入出力、表示などコンピュータのすべての機能が 1 枚の基板上に準備されていることであり、言語も BASIC、アッセンブラ、逆アッセンブラまでもが標準で搭載されている。機能を集積しすぎたために、取り扱い方はお世辞にもスマートとはいえないが、コンピュータの機能の原理を学ぶには適したものと言えよう。

搭載されている BASIC は N-88BASIC に似たもので、データ入出力時に役立つビット演算機能が強化されている。この BASIC は実行時に 1 行ずつ機械語に翻訳・実行されていくインタープリタである。BASIC は大きなプログラムを書くには適さないとは多く言われることである。現代の開発言語の主流は C 言語になりつつある。しかし、C 言語を用いるためには、プログラムを書き、翻訳し、実行するという一連の作業が必要となる。コンピュータを実際の装置に接続し制御プログラムを試してみる、という時にはやや敷居が高いように思える。C 言語のインタープリタも存在するようではあるが、一般的ではない。

I/O トレーニングボードには、一度に 8 ビットのデジタルデータを入出力できる 8255 という IC と Z80-PIO という IC が使われていて、出力されたデータを発光ダイオードでの表示が可能である。また、アナログデータをデジタルデータに変換するために ADC0809 という IC が使われている。

今回は、CDZ-80 を用いたが、実際の教育現場で計測などに使う場合は、たとえば同社の ZB シリーズの選定がより実践的と思われる。

同様のコンセプトで開発されている C 言語用のボード類は、たとえば

<http://www.yellowsoft.com/products/index.html>

等に紹介されている。

研修は以下のような内容で行われた。

< 1 日目 >

目的の説明

ボードコンピュータの操作方法の説明。

1 進数, 2 進数, 10 進数, 16 進数の説明。

ASCII コードの説明。

実習課題 1. メモリー内容の表示と直接書き込み。

実習課題 2. 文字列の作成と表示。

実習課題 3. デジタルデータの入出力 (BASIC 言語を使用)

実習課題 4. アナログデータの入出力・デジタル録音 (機械語を使用)

< 2 日目 >

実習課題 5. オペアンプを用いた温度センサーの作成と校正

実習課題 6. 温度センサーの制御ソフトの作成

実習課題 7. 温度センサーの時定数の測定

(ニュートンの冷却の法則, 熱伝導方程式)

実習課題 8. より進んだ測定方法の例

実習課題 1, 2 では, メモリー内容を直接操作し, その結果を内容を表示するモニターコマンド (Dump Memory) 等を使って確認した。この課題の目的は, (1) メモリーの内容は 8 個の 0 と 1 の数値の並びでしかなく, それを 1 バイトの数値と解釈するか, 文字と解釈するかは, プログラムを組む人に任されていること。(2) 当然のことであるが, 解釈を間違えると必要な情報とはまるで異なったものになってしまうこと, を理解する事であった。

これらの過程を通じて, なぜコンピュータで文字や図や音楽が送受信できるかについても理解を深めた。

実習課題 3 では, BASIC 言語の OUT 命令を用いてトレーニングボード上の I/O ポートに接続された発光ダイオードを点灯・消灯させること, および IN 命令を用いて, デジタルスイッチの設定値を読み込む事を行った。プログラム例は参考 1 に示した。

実習課題 4 では, アナログ電圧をデジタル量に変換する ADC (Analog to Digital Converter) を用いて, デジタルオーディオの原理を学んだ。人間が一般に聴くことのできる周波数は 20~20kHz 程度であり, 音楽 CD では 1 秒間に 44,100 回 16 ビット分解能で, またデジタル電話では 8,000 回程度データを変換・記録している。

実習に用いていた ADC0809 は A/D 変換におよそ $80\mu\text{s}$ 程度の時間がかかってしまう。また、用いている BASIC 言語では 1 行の命令を実行するために $1000\mu\text{s}$ 程度かかってしまうため、ここではすべて機械語でのプログラムを用いなくてはならない。

録音されたデータは、メモリー内容を見れば数値の羅列でしかないが、音声データとして処理する事から音として再現される事、また、数値データを逐一コピーする事から、オリジナルの完璧な複製ができる事、再生のタイミングを変える事で音声を高くも低くもできる事、などを体験しながら学ぶ事ができた。この課題では、参考 2 に示した取り扱い説明書中のサンプルプログラムを使用した。

実習課題 5 の「オペアンプを用いた温度センサーの作成と校正」では、 1°C を正確に 10.0mV に変換する National Semiconductor 社の LM35 という温度センサーを用いた。CDZ-80 の ADC は 2.55V を 255 に変換する設定となっている。例えば、 $0\sim 50^\circ\text{C}$ の範囲での自動計測を想定すると、温度センサーの出力電圧は $0\sim 0.5\text{V}$ となる。これを直接 A/D 変換すると、出力は 50 となり、温度の読みは 1°C が限界（量子）となってしまふ。そこで、出力電圧を 5 倍程度増幅した後に A/D 変換することにより、分解能を 0.2°C まで向上させることとした。実際に製作した回路を図 1 に示した。

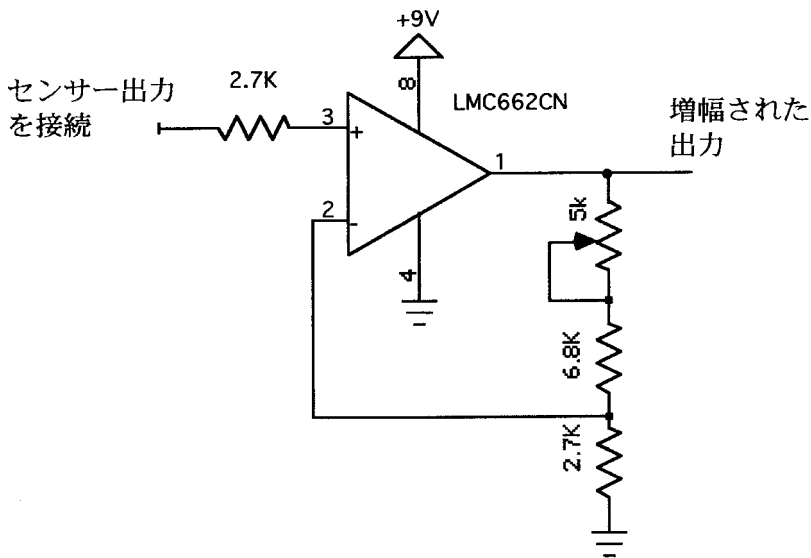


図 1 温度計に使用した単一電源オペアンプ回路

課題 6 では、温度センサーの制御ソフト（参考 3）を作成し、それを用いて課題 7 で、室温になっている温度センサーを手で温め、一定温度になる様子を観測した。温度上昇の様子は、最初は急激に変化するが、その後の変化は緩やかとなる。測定例を図 2 に示した。

一定温度になるには、ほぼ 50 秒間ほどかかることが分かる。

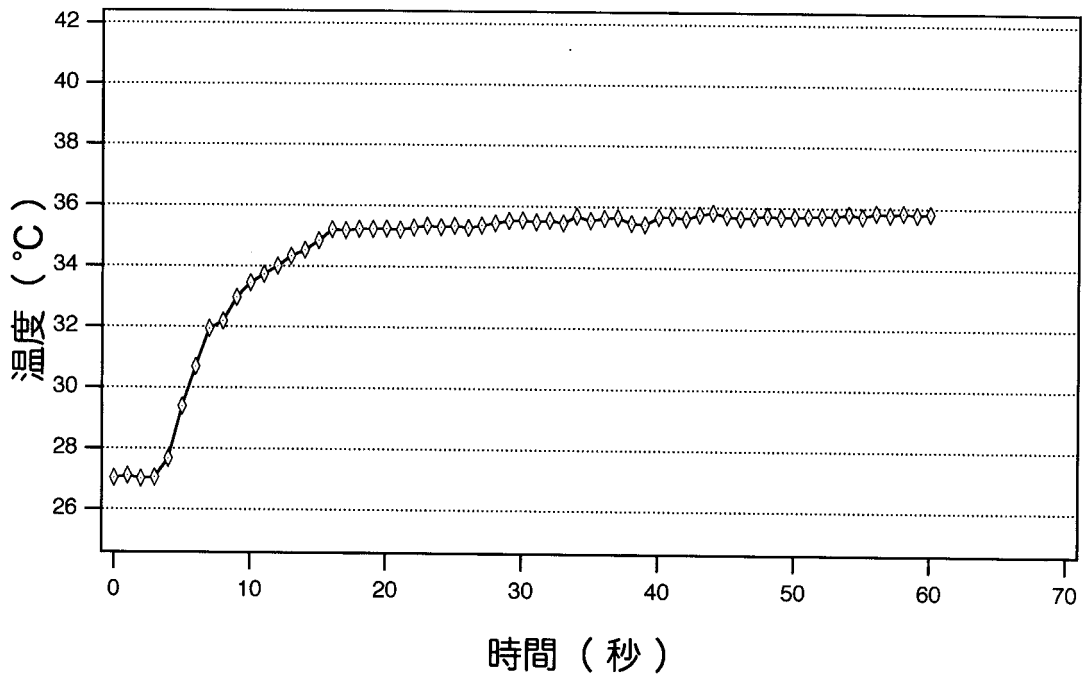


図2 温度上昇の時間特性

この時間変化の様子を、以下に示す熱伝導方程式を用いて定性的に理解した。

厚さ l [m], 断面積 S [m²] の物体の両面の温度差が T [K] であったとする。この時の高温側から低温側への熱の移動量 Q [J] は、温度差, 断面積, 時間 t [s] に比例し, 厚さに反比例することが知られている。(ニュートンの冷却則)

$$Q = \kappa \frac{T}{l} S \cdot t$$

ここで, κ は熱伝導率 [Wm⁻¹K⁻¹] であり, T/l を温度勾配と呼ぶ。次に比熱容量 c [J K⁻¹kg⁻¹], 密度 ρ [kg·m⁻³] の細い線の温度 U [K] の, 位置 x [m] と時刻 t [s] への依存性を求めると

$$\frac{\partial U(x,t)}{\partial t} = \frac{\kappa}{c\rho} \frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial x^2}$$

となり, これは1次元の熱伝導方程式と呼ばれる。この方程式の解の一例を図3に示した。(参考文献: 物理数学コース フーリエ級数 井町, 内田 著 裳華房)

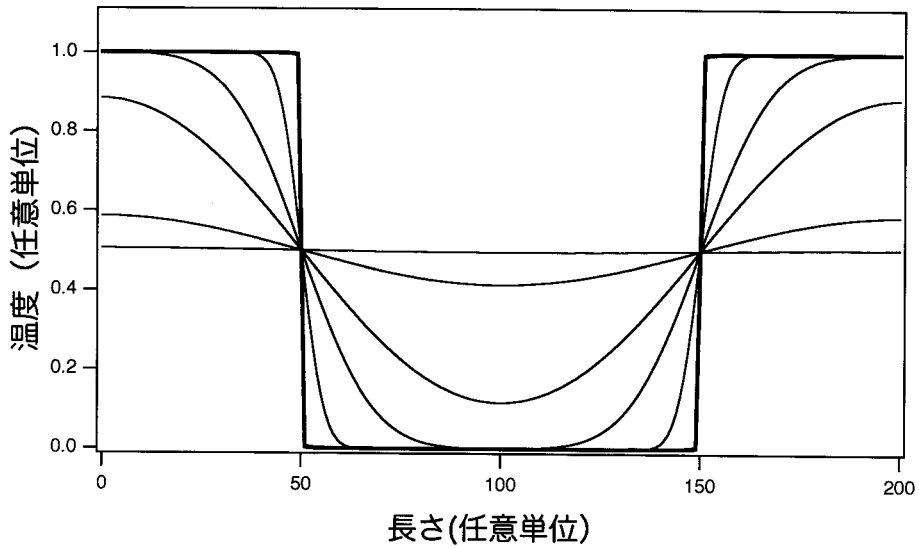


図3 熱伝導方程式の解の例

$t=0$ の時の温度分布は黒の太い実線で表されている。その後の変化は、任意時間単位で、 $t=0.01, 0.1, 0.5, 2.0, 5.0$ の時の様子が示されていて、全体の温度が平均値 0.5 に近づいていく様子が分かる。

図4に示したのは、図3の位置 55 [任意単位] の場所の温度の時間変化の様子である。

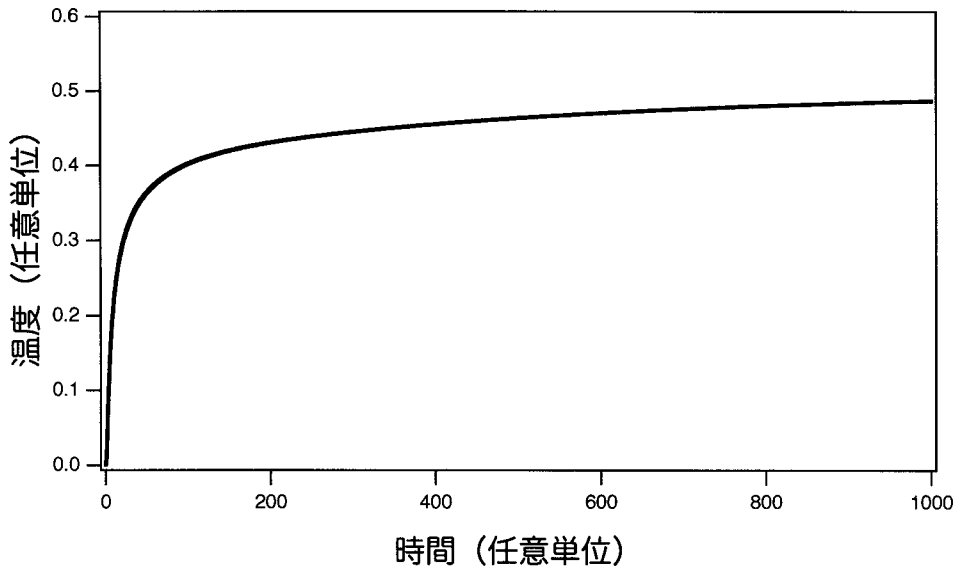


図4 温度上昇の時間変化の様子

最初、急激に温度上昇が始まり、その後なだらかに平衡温度に近づいていく様子が表されている。

この時間変化の様子は、実験的に求められた温度センサーの時間変化とよく一致していることが分かる。すなわち、温度一定の温度センサーが他の温度の物体と接触した時、最初は温度勾配が大きいため多量の熱の移動が発生して急激な温度変化が生じる。その後は、時間とともに温度勾配が減り、徐々に温度センサーと物体との熱平衡状態へと移行していく。

課題8「より進んだ測定」では、本研修の目的とはやや異なるが、デジタルマルチメータの測定値をシリアルポート経由で取り込むシステムを用いて、製作した温度計のデータを Windows の動作している計算機に取り込んだ。

最近では、シリアルポートや、USB ポートに直接につなげる測定器が多くなってきた。例えば http://www.sanwa-meter.co.jp/index_j.html。これらを用いることにより、プログラムを製作することもなく、自動的にデータ収集が行え、またエクセルなどにデータを渡すことも可能である。中・高でのコンピュータ学習は、インターネットでの検索とワードとエクセル、といった実習が多いように聞いているが、この例のような自動計測も簡単に行えるため、機械に慣れる意味も含めて導入していただきたいことを強調した。

3. 今後の課題

コンピュータを用いた計測の利点は、多量のデータが簡単に入手できることである。また、かなりの高速での測定も可能としてくれる。温度センサーが熱平衡状態へ遷移していく時間変化なども、時計と鉛筆での記録ではその細かな変化を見て取ることは困難である。そして、その細かな時間変化の様子を理解するためには、偏微分方程式を解かなくてはならないということは当然の事ではあるが、測定と解析を通して自然現象の理解をより深める事ができたと見えよう。

最近のパーソナルコンピュータは、性能が非常に向上してきたが、計測の側面から考えると必ずしも使いやすくなってきたとは言えない。パラレルポート、シリアルポートなどはレガシーインターフェースと呼ばれ、搭載されていない機種が多くなってきた。また、ここで紹介したようなデータの直接の入力・出力はオペレーティングシステムが許可していない事が多い。コンピュータ教育に適したハードウェアの開発も重要度が高いと言えよう。CPU やハードウェアのシミュレータで十分ではないかと、この種の議論では良く言われるが、私は実体験のないまま机上・コンピュータ内でのみ回路を組むことの価値を見いだせないままである。

完璧な 16bit コンピュータチップが雑誌の付録として付いてくる時代が何を意味するのか(「トランジスタ技術」CQ出版社 2005 年 4 月号)。手を動かして回路を組み、ソフトウェアを作り試験する、という昔から行われたトレーニングがいつの時代にも必要という事ではなからうか。

参考1 ----- 発光ダイオードの点滅 -----

```

10 OUT $B3,$82      8255の設定 A, C ポート出力, B ポート入力
20 OUT $B0, 0      LED すべて消す
30 FOR I=0 TO 255  変数 I は0-255 まで
40 OUT $B0, I      数値I をポートに出力する
50 FOR J=0 TO 750  変数 J は0から750 まで
60 NEXT J          次のJ
70 OUT $B0, 0      LED すべて消す
80 NEXT I          次の数
90 OUT $B0, 0      LED すべて消して, 終了

```

参考2 ----- 録音 プログラム -----

```

8000  21 00 84  LD HL,$8400  データの格納アドレスの設定
8003  01 00 3C  LD BC,$3C00  データ数の指定
8006  D3 B8     CNT:OUT (B8),A  AD変換開始
8008  3E 47    LD A, 47      約300μs 待つ
800A  3D      DEC A
800B  20 FD    JR NZ,FD
800D  DB B8    IN A,(B8)     変換データの読み込み
800F  77      LD (HL), A    データの格納
8010  ED A1    CPI          指定数のデータを得る
8012  EA 06 80 JP PE, CNT
8015  C3 33 10 JP $1033    終了して, 入力待ちとする

```

----- 再生 プログラム -----

```

8100  3E 0F    LD A, 0F      Z80-PIO の設定
8102  D3 AB    OUT (AB), A
8104  21 00 84 LD HL,$8400  データの格納アドレスの設定
8107  01 00 3C LD BC,$3C00  データ数の指定
810A  7E      CNT:LD A,(HL) データの出力
810B  D3 AA    OUT (AA), A
810D  3E 48    LD A, 48      約300μs 待つ
810F  3D      DEC A
8110  20 FD    JR NZ,FD
8112  ED A1    CPI          指定数分のデータを再生する
8114  EA 0A 81 JP PE, CNT

```


8117 C3 33 10 JP \$1033 終了して、入力待ちとする

参考3----- 温度センサーの時定数の測定 プログラム -----

```

10 DIM D(30)
20 FOR I = 0 TO 30
30 D(I) = 0
40 FOR J=1 TO 10      測定回数の決定 #
50 OUT $BC, 0        $BC 番地に接続されている ADC の変換開始命令
60 D(I) = D(I) + IN($BC)  変換されたデータを$BC 番地から読み込む
70 NEXT J            データの積算
80 CLS                表示を消す
90 PRINT D(I)/50;    温度の平均値の表示
100 FOR K= 0 TO 1500  1秒ほど待つ
110 NEXT K
120 NEXT I            計測を繰り返す
130 CLS
140 PRINT "FINISHED. HIT ANYKEY!";
150 FOR I = 0 TO 30
160 B$ = INKEY$      キーボードの読み取り
170 IF B$ = " " GOTO 160  押されていないと戻る
180 CLS
190 PRINT I, D(I)/50;  測定値の表示
200 FOR J = 0 TO 750
210 NEXT J
220 NEXT I

```

ADC 入力には雑音が入ってしまうため、温度測定を10回行い、平均化している。

(Received Mar. 31, 2005)