

パーソナルコンピュータによる 心理学実験の制御再考

坂 根 照 文

8ビットマイクロプロセッサ Z-80 を CPU に使用したシャープ社製パーソナルコンピュータ MZ-80 B を心理学実験の制御、および実験データの記録に用いる時に必要な、実験装置とパーソナルコンピュータとの I/O インターフェース回路、および 1 ミリ秒単位で時間計測が可能なタイマー・カウンター回路とともに、それらを制御する為のプログラム例を、筆者は先に紹介した（坂根, 1984）。それを用いての研究成果は、例えば坂根（1993）がある。

パーソナルコンピュータのハードウェアの進歩は著しい。それに伴いオペレーティング・システム OS も、MZ-80 B の Floppy DOS から、MS-DOS を経て Windows に進展し、Windows 95, 98, Me を経て Windows Xp が最新の OS である。ワードプロセッサ、表計算等の応用ソフトウェアを利用する時やファイル管理を行う時、あるいはプログラムファイルやデータファイルを記録したフロッピーディスク等の記録媒体を操作する時、MS-DOS ではバッチファイルを作成したり、MS-DOS のコマンドを習得しなければならなかった。Windows では CRT 画面上のアイコンを操作することにより、上記の作業を容易に行えるようになった。

コンピュータと外部周辺装置とのデータの遣り取りは I/O ポートを経由して行われる。MS-DOS 上のプログラミング言語では、I/O ポートを経由するデータの遣り取りの為に、BASIC には INP 関数、OUT ステートメントが用意されており、C には inp 関数、outp 関数が用意されている。Windows では、I/

Oポートを直接に制御することは通常は想定されておらず、Windows上のプログラミング言語である Visual Basic には上記の関数やステートメントは用意されていない。また、Visual Basic には一定時間ごとにイベントを発生させるタイマーコントロールがあるが、その精度が悪く（佐伯ら，1998），そのままでは正確な時間計測には適さない。MS-DOS 操作の煩雑さがあるにしても、心理学実験制御では MS-DOS が作動するコンピュータを使用する方が利点が多い。

ここでは、MS-DOS が作動するパーソナルコンピュータ PC-9800 シリーズの拡張スロットにコンテック社製の入力モジュール、出力モジュール、およびタイマカウンタモジュールを装着し、それらを経由して Skinner 箱でのハートのキーつき反応を PC-9801 シリーズを用いて制御する為の方法と注意点を述べよう。

PC-9800 シリーズに搭載されている 8086 系 CPU と外部入出力装置間とのデータ交信には、I/O マップド方式がとられている。このため、16 ビットの I/O ポート・アドレスが設けられており、CPU と周辺装置とのデータ交信は、I/O ポート・アドレスにより指定された 8 ビットの I/O ポートを介して行われる。PC-9800 シリーズの 1 つである FC-9801 U では、16 ビットの I/O ポート・アドレスのうち、下位 8 ビットの $D_0 \sim DF_{16}$ 、および上位 8 ビットは、 $3F_{16}$ 、 $7F_{16}$ 、 BF_{16} を除いて解放されている。したがって、 $3FD_0 \sim 3FDF_{16}$ 、 $7FD_0 \sim 7FDF_{16}$ 、および $BFD_0 \sim BFDF_{16}$ を除く

$00D_0 \sim 00DF_{16}$

$01D_0 \sim 01DF_{16}$

|

$FFD_0 \sim FFDF_{16}$

が利用者が自由に使用できる I/O ポートである（FC-9801 U ユーザーズマニュアル，1991）。

I/O インターフェイス

Skinner 箱でのハトのキーつき反応をパーソナルコンピュータ PC-9801 シリーズを用いて制御する為に、CONTEC 社製絶縁型パラレル入力モジュール PI-32(98)E, および絶縁型パラレル出力モジュール PO-64(98)E をコンピュータの拡張スロットに装着し、先に述べた解放されている I/O ポートのうちで、入力モジュールの I/O ポート・アドレスを 02D 2₁₆ に、出力モジュールの I/O ポート・アドレスを 03D 0₁₆ に設定した。

入力モジュール-入力インターフェース

Gerbrand 社製 Skinner 箱を作動させるには直流電流 28V を供給しなければならない。入力モジュール PI-32(98)E を作動させる為に必要な外部電源電圧は 12~24V であり、Skinner 箱からの入力信号を入力モジュールに直接に接続すると、供給電圧の違いにより、モジュール入力段のフォトカプラーの発光ダイオードを破壊する恐れがある。また、入力モジュールには入力信号の ON, OFF を表示する発光ダイオードが装備されているが、モジュールをコンピュータの拡張スロットに装着すると、それを容易に見ることができない。そこで、図 1 に示した入力インターフェースを Skinner 箱からの入力信号と入力モジュールとの間に組み入れた。図 1 に示したとおり、入力インターフェースのフォトカプラー TLP 504 により Skinner 箱と入力モジュールとが絶縁されるだけでなく、発光ダイオードの ON/OFF でハトが反応キーをつついて反応したかの確認が容易にできるようにした。Skinner 箱には左、中央、および右の 3 つの反応キーがあり、各々に先に述べた入力インターフェースを組み入れ、入力ポート 02D 2₁₆ の D7 から D0 の 8 ビットのうち、左キーからの入力を D6 に、中央キーは D4 に、右キーは D2 に接続した。入力ポート 02D 2₁₆ の内容は、キーが押されていない状態では 01010100₂, つまり 54₁₆ であり、左のキーが押された状態では 00010100₂, 14₁₆, 中央のキーが押された状態では 01000100₂, 44₁₆, 右のキーが押された状態では 01010000₂, 50₁₆ である。BASIC の INP 関数でこ

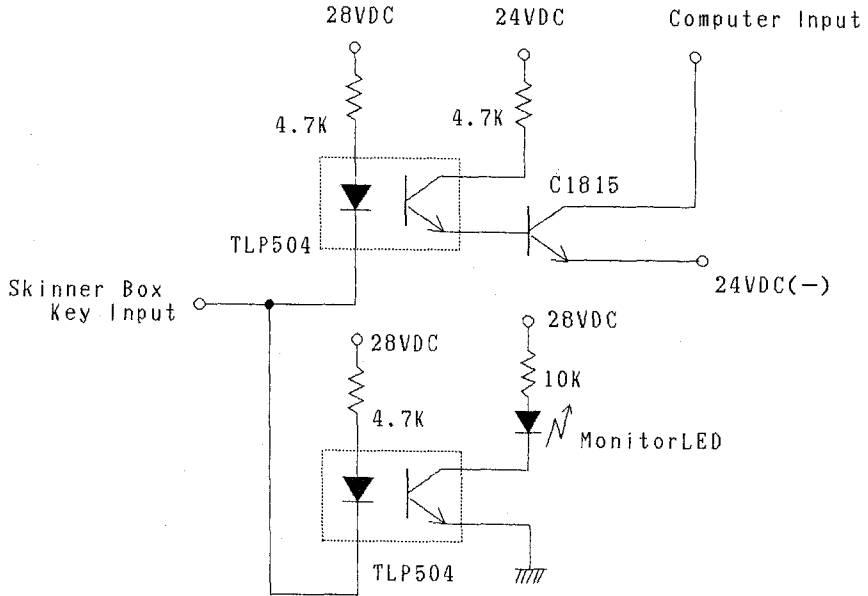


図1 Key入力インターフェース

れを表現すれば、すべてのキーが押されていない状態、左のキーが押された状態、中央のキーが押された状態、右のキーが押された状態はそれぞれ次のとおりである。

INP (&H2D2) = &H54

INP (&H2D2) = &H14

INP (&H2D2) = &H44

INP (&H2D2) = &H50

チャタリング対策

機械的な接点では、接点がONからOFF、あるいはOFFからON移行時に、数100μ秒から数ミリ秒にわたり接点が連続的にON/OFFを繰り返した後、接点がON、あるいはOFFに安定する。この現象をチャタリングという。

Skinner 箱でのハトのキーつつき反応やネズミのレバー押し反応は機械的な電気接点により、反応の有無が検出される。被験体が1回キーをつついてもチャタリング現象により、コンピュータは複数回の反応とみなす。そこで、対策が不可欠であり、それにはいくつかの方法がある。

チャタリング対策の1つは、論理 IC の 2 入力 NAND ゲートを 2 つ使用してセット・リセット・フリップフロップを構成する方法である。2 番目は、抵抗とコンデンサによる積分回路によって入力波形を平滑にし、チャタリングによる高速の接点の断続を除去する方法である。この方法では波形が鈍るのでシュミット・トリガ回路により波形を整形する必要がある。この 2 つの方法は、先に述べた入力インタフェースに加えて、フリップフロップ回路、あるいは積分回路とシュミットトリガ回路が必要であり、それを作動させるための直流 5 V 安定化電源を用意しなければならない。

この煩雑さを避ける為に、入力モジュール PI-32(98)E にはデジタルフィルターが用意されている。デジタルフィルターとは、コンピュータ・クロックのサンプリング時間毎に入力信号を調べ、あらかじめ設定した時間以上同じ信号レベルが続いた時、つまり設定時間以上に入力信号の ON, あるいは OFF が続いた時にそれを入力信号とみなし、設定時間より短い時間で信号レベルの変化があった時は、それを信号入力とみなさないようにハードウェア、ソフトウェアで実現したものをいう。

入力モジュールのデジタルフィルターの設定時間は次の式で与えられる。

$$\text{デジタルフィルターの設定時間(秒)} = \frac{2^n}{\text{I/O 拡張バスのシステムクロック}}$$

FC-9801 U の I/O 拡張バスのシステムクロックは 7.9872 MHz であり、

$$n = 16_{10}$$

に設定すれば、デジタルフィルターの設定時間は

$$\frac{2^{16}}{7.9872 \times 10^6} \cong 8.2 \text{ ミリ秒}$$

であり、ハトのキーつつき反応の検出に充分長い時間である。

出力モジュール

絶縁型パラレル出力モジュール PO-64(98)E は出力信号 64 点で、8 点ずつ 8 グループで構成されている。各点はオープンコレクタ出力で、その最大定格出力電圧は直流 35 V、最大定格出力電流は 200 mA である。Skinner 箱の照明用電球や反応キーに視覚刺激を提示する投影形表示器 In-Line Projector の使用電球は、その定格が直流 24 V、90 mA であり、出力モジュールのみで、それを充分駆動できる。突入電流防止用の予熱用抵抗を入れなければならないのは言うまでもない。また、リレーのコイルなど誘導負荷を駆動する場合は、負荷の定格が最大定格内であっても、逆起電圧吸収用のダイオードを入れねばならない。

投影形表示器には 12 個の電球が 3 列 4 行に配置され、任意の電球を 1 つ、あるいは 2 つ以上同時に点灯することによって、電球の前面のフィルムに描かれた図形をキーに投影できる。左、中央、右の反応キーに装着されている投影形表示器、Skinner 箱照明用電球、及び次に述べる出力インターフェイスを介して駆動される強化子提示用マガジンを 6 つの出力ポートのどのピットに割り付けたかを図 2 に示した。

出力インターフェイス

最大定格出力電圧、あるいは出力電流以上の負荷を駆動する場合は、その駆動部が必要である。Skinner 箱の強化子提示用マガジンは、その定格が直流 28 V、500 mA であり、出力モジュールによって直接駆動することはできない。駆動部として図 3 に示した回路を出力モジュールと強化子提示用マガジンとの間に組み入れた。最終段のトランジスタ 2 SC 495 の最大定格は直流 70 V、1 A であり、強化子用マガジンだけでなく心理学実験での使用で駆動するには充分である。

出力モジュールには出力信号の ON、OFF を表示する発光ダイオードが装備されていない。そこで図 2 に示したとおり、出力信号確認用の発光ダイオードを装着し、強化子提示の確認を容易に行えるようにした。

パーソナルコンピュータによる心理学実験の制御再考

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
OUTPort								
&H03D0	o07 [1B03]	o06 [1B04]	o05 [1B05]	o04 [1B06]	o03 [1B07]	o02 [1B08]	o01 [1B09]	o00 [1B10]
InLineProjector	左 6	左 5	左 4	左 3	左 2	左 1		
.....								
&H03D1	o17 [1A03]	o16 [1A04]	o15 [1A05]	o14 [1A06]	o13 [1A07]	o12 [1A08]	o11 [1A09]	o10 [1A10]
InLineProjector	左12	左11	左10	左 9	左 8	左 7		
.....								
&H03D2	o27 [1B16]	o26 [1B17]	o25 [1B18]	o24 [1B19]	o23 [1B20]	o22 [1B21]	o21 [1B22]	o20 [1B23]
InLineProjector	中 6	中 5	中 4	中 3	中 2	中 1		
.....								
&H03D3	o37 [1A16]	o36 [1A17]	o35 [1A18]	o34 [1A19]	o33 [1A20]	o32 [1A21]	o31 [1A22]	o30 [1A23]
InLineProjector	中12	中11	中10	中 9	中 8	中 7		

&H03D4	o47 [2B03]	o46 [2B04]	o45 [2B05]	o44 [2B06]	o43 [2B07]	o42 [2B08]	o41 [2B09]	o40 [2B10]
InLineProjector	右 6	右 5	右 4	右 3	右 2	右 1		
.....								
&H03D5	o57 [2A03]	o56 [2A04]	o55 [2A05]	o54 [2A06]	o53 [2A07]	o52 [2A08]	o51 [2A09]	o50 [2A10]
InLineProjector	右12	右11	右10	右 9	右 8	右 7		
.....								
&H03D6	o67 [2B16]	o66 [2B17]	o65 [2B18]	o64 [2B19]	o63 [2B20]	o62 [2B21]	o61 [2B22]	o60 [2B23]
		House Light			Reinf			
.....								
&H03D7	o77 [2A16]	o76 [2A17]	o75 [2A18]	o74 [2A19]	o73 [2A20]	o72 [2A21]	o71 [2A22]	o70 [2A23]

図2 OUTPUT Port ビット割付

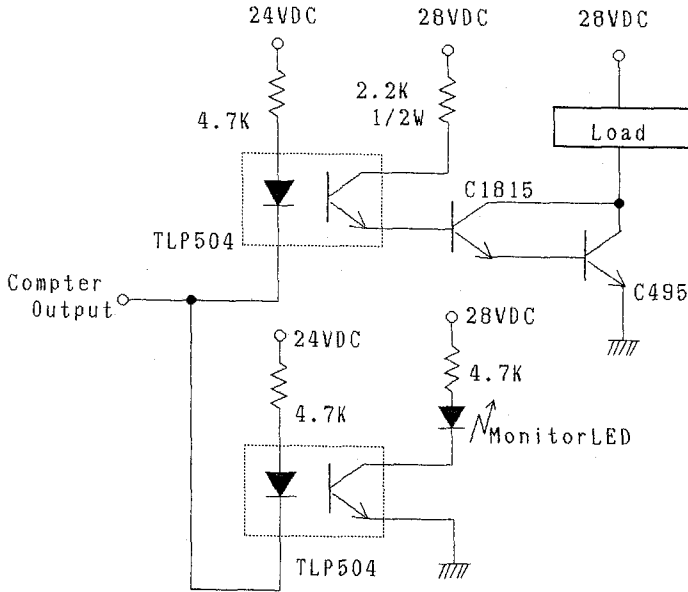


図3 強化子マガジン駆動回路

タイマー・カウンタ

Quick BASIC のコマンドでは、1 秒単位で時間の制御が可能であり、任意の時刻にセットし、また秒単位で経過時間を測定できる。t 秒間の制御プログラムは次の通りである。

Start=TIMER

DO

Time End = TIMER

LOOP WHILE Time End-Start < t !

記憶実験での記録項目の提示や、試行間隔時間の制御では秒単位の時間制御で十分であるが、反応時間測定では1/100 秒、あるいは1/1000 秒単位での時間の測定が必須であるが、Quick BASIC には1/100 秒、1/1000 秒単位で

時間計測をするコマンドがない。

CONTEC 社製タイマー・カウンター・モジュール TIR-6(98)は6個のダウン・カウンターで構成され、そのうち Timer 0 は内部クロック信号が0.1 ミリ秒に固定され、Timer 1 は内部クロック信号が1 ミリ秒に固定されている。適切なプリセット値を設定することにより、この2つのダウン・カウンターをタイマーとして使用できる。このタイマー・カウンター・モジュールをコンピュータの拡張スロットに装着し、解放されている I/O ポートのうちで、01 D 0₁₆ をその I/O アドレスに設定した。

Timer 1 の内容を 60000 ミリ秒にプリセットし、時間を計測する手順は次のとおりである。

$$60000_{10} = 1110\ 1010\ 0110\ 0000_2$$

$$= EA\ 60_{16} \text{ であるから}$$

OUT & H 01 D 6, & H 74	Timer 1 を選択
OUT & H 01 D 1, & H 00	Timer 1 をストップ
OUT & H 01 D 2, & H 60	Timer 1 の下位 8 ビットの内容を 60 ₁₆
OUT & H 01 D 2, & HEA	Timer 1 の上位 8 ビットの内容を EA ₁₆
	にセット。
	Timer 1 を 60000 ミリ秒にプリセット
OUT & H 01 D 1, 2	計時開始
OUT & H 01 D 6, & H 40	Timer 1 の内容をレジスターに書き込む
L = & H 60 - INP (& H 01 D 2)	経過時間の下位 8 ビット
M = & HEA - INP (& H 01 D 2)	経過時間の上位 8 ビット
Time = (M * 256 + L) / 1000	時間を 10 進数に変換

ここで、使用されている実験の制御プログラムを紹介しよう。変動時間間隔 variable interval スケジュールは強化期だけでなく消去期にも、強化された反応を一定の頻度で長期にわたって自発させる特質がある (Ferster & Skin-

ner, 1957)。この特質を利用して、刺激般化 (Guttman & Kalish, 1956 ; Honigら, 1963), 行動対比 (Reynolds, 1961), 選択 choice (Herrnstein, 1961 ; Chung & Herrnstein, 1967) 等の研究で、VI スケジュールが反応の基準水準 baseline を形成するために用いられている。Quick BASIC による VI スケジュールのソースプログラムを示した。

```
' VI.BAS

DECLARE SUB Interval (Time%)

InPort% = &H2D2
OutPort% = &H3D0

OUT InPort% + &H1007, &H10      'Input_Filter 8.2msec

FOR Port = 0 TO 7
  OUT OutPort% + Port, 0
NEXT

CLS
RANDOMIZE TIMER
DIM Intvl%(500), Response%(500)
DEF FNa (X) = INT(X * 100 + .5) / 100

LOCATE 4, 13
  PRINT "Variable Interval Schedule with Center Key"
LOCATE 6, 13
  INPUT "Mean Interval (sec) ? ", MeanIntvl%
LOCATE 8, 13
  INPUT "How many Reinforcements (Max 500) ? ", Reinforce%
LOCATE 10, 13
  INPUT "Rf Duration ? ", RfDuration%
LOCATE 10, 31
  PRINT "sec"
LOCATE 12, 13
  INPUT "Subject Number ? ", SubNumber%
LOCATE 14, 13
  INPUT "Data File Name ? ", OutPutFile$

FOR I = 1 TO Reinforce%
  Intvl%(I) = INT(MeanIntvl% * RND * 2) + 1
NEXT

StartTime$ = TIMES
OUT OutPort% + 6, &H40      'HouseLight ON
  Interval 10

Sum% = 0: RespSum% = 0

FOR J = 1 TO Reinforce%
  Sum% = Sum% + Intvl%(J)
  LOCATE 16, 13
  PRINT "Reinforcement :"; J; "      Interval :"; Intvl%(J)

  OUT OutPort% + 2, &H2      'Center White ON

  Start = TIMER
```

パーソナルコンピュータによる心理学実験の制御再考

```

DO
  Resp% = INP(InPort%)
  IF Resp% = &H44 THEN      'CenterKey Pressed ?
    DO
      Resp% = INP(InPort%)
      LOOP UNTIL (Resp% = &H54)  'Center Released ?
      Response%(J) = Response%(J) + 1
    END IF

    TimeEnd = TIMER
    LOOP WHILE TimeEnd - Start < Intvl%(J)

'Rf Available
DO
  Resp% = INP(InPort%)
  LOOP UNTIL (Resp% = &H44)  'CenterKey Pressed ?

DO
  Resp% = INP(InPort%)
  LOOP UNTIL (Resp% = &H54)  'Center Released ?
  Response%(J) = Response%(J) + 1

'Rf ON
OUT OutPort% + 2, &H0      'Center White OFF
OUT OutPort% + 6, &H8      'HouseLight OFF & Rf ON
  Interval RfDuration%
OUT OutPort% + 6, &H40      'HouseLight ON & Rf OFF

  RespSum% = RespSum% + Response%(J)

NEXT J

  OUT OutPort% + 6, &H0
LOCATE 16, 13
  PRINT "          Finished          "
EndTime$ = TIMES

OPEN "A:" + OutPutFile$ FOR OUTPUT AS #1
  PRINT #1, "Variable Interval"; MeanIntvl%
  PRINT #1, "Subject No. "; SubNumber%
  PRINT #1, DATE$, "Start "; StartTime$; "  Finish "; EndTime$
  PRINT #1, "Reinf      Interval(sec)  Resp_Number  RespRate"
FOR K = 1 TO Reinforce%
  PRINT #1, K, Intvl%(K), Response%(K), FNa(Response%(K) / Intvl%(K))
NEXT

  PRINT #1, "Sum of Interval : "; Sum%
  PRINT #1, "Mean Interval : "; FNa(Sum% / Reinforce%)
  PRINT #1, "Total ResponseNumber : "; RespSum%
  PRINT #1, "Total RespRate : "; FNa(RespSum% / Sum%)
CLOSE #1

END

SUB Interval (Time%)
  Start = TIMER
  DO
    TimeEnd = TIMER
  LOOP WHILE TimeEnd - Start < Time%
END SUB

```

図 4 Variable Interval スケジュール ソースプログラム

```
INPUT "Mean Interval(sec) ? ", Mean Intvl %
```

経過時間の平均値が変数 Mean Intvl % に秒単位で整数で代入され、

```
FOR I = 1 TO Reinforce %
```

```
    Intvl % (I) = INT (Mean Intvl % * RND * 2) + 1
```

```
NEXT
```

代入された値の2倍が最大値、1秒が最小値1秒の範囲で、各経過時間を無作為に強化の回数分決められる。

```
PRINT # 1, K, Intvl% (K), Response% (K), FNa (Response% (K) / Intvl% (K))
```

最後に、各強化での経過時間、その間の反応数、及び反応率があらかじめ入力されたファイル名で、ドライブ A のハードディスクにテキストファイルとして記録される。

References

- Chung, S. H., & Herrnstein, R. J. 1967 Choice and delay of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 10, 67-74.
- Ferster, C. B., & Skinner, B. F. 1957 *Schedules of reinforcement*. New York : Appleton.
- Guttman, N., & Kalish, H. I. 1956 Discriminability and stimulus generalization. *Journal of Experimental Psychology*, 51, 79-88.
- Herrnstein, R. J. 1961 Relative and absolute strength of response as a function of frequency of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 4, 267-272.
- Honig, W. K., Boneau, C. A., Burnstein, K. R., & Pennypacker, H. S. 1963 Positive and negative generalization gradients obtained after equivalent training conditions. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 56, 111-116.
- NEC ファクトリコンピュータ FC-9801 U ユーザーズマニュアル 1991 NEC
- Reynolds, G. S. 1961 Behavioral contrast. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 4, 57-71.
- 佐伯大輔・内田善久・伊藤正人 1998 Visual Basic と PC カードを用いた行動実験制御システム 行動分析学研究, 13, 66-72.
- 坂根照文 1984 マイクロコンピュータによる心理学実験制御について 愛媛大学法文学部論集 文学科編 第 17 号 139-153.
- 坂根照文 1993 ハトにおける対称性の検討 日本心理学会第 57 回大会発表論文集