

活動リズム自動計測システムの製作

浅井理人

京都大学・瀬戸臨海実験所

I. 実験装置の概要

海産動物の概潮リズムを調べる目的で、活動リズムの自動計測システムを設計、製作した。既に文献 1 に優れた性能を有する計測装置の製作記事があるが、素人が自作するには些か手強い計測装置であるうえ情報も十分とは言えない。そこで、この記事では実験装置の内容(II章)、その使用法(III章)及び若干の改造方法(IV章)について必要な情報を漏らさず書くように努めた。この実験システムをIV章③④に従って拡張すればパソコン 1 台で最大 3072 個体分の計測と実験条件の制御を 1 個体ずつ別々に同時に行うことが可能であり¹、様々な動物の活動リズムの実験に応用できると思われる。

筆者の実験システムの構成を図 1 に、仕様を表 1 に示す。各暗箱では 12 個体分の計測ができ、データは 6 分毎にパソコンに送られてフロッピーディスクに保存され、同時にパソコンから実験条件をプログラムによって制御する。こ

の装置は 12 チャンネル単位でユニット化されていて、一つのユニットだけで実験を始めることができ新しいユニットを作るたびにそれをシステムに追加できる。ユニットを追加するには新しいユニットを他のどれか一つのユニットと S-VHS 用ケーブル²一本で繋ぐだけである。図 1 の、実験装置と接続されていないほうのパソコンは計測中にデータをコピーしたりするのに使うもので、実験に必要な不可欠なものではないがあつたほうがよい。なお飼育装置を含む、海水を扱う部分については現在改良中なのでこの記事では触れなかった。

注1) この場合はデータの保存にはハードディスク等の大容量の媒体が必要である。

注2) 市販の S-VHS 用ケーブルのなかには Y グラウンドと C グラウンドが短絡したものがある。このユニットの接続には 4 本の線が必要なのでそのようなケーブルは使えない。

項目	仕様
計測方法	赤外線遮断回数カウント式 (変更可・IV①参照)
最大計数値	15回 (変更可・IV②参照)
計測間隔	6分 (変更可・II②参照)
計測期間	無制限 (要フロッピーディスク交換)
計測チャンネル数	12チャンネル/ユニット (拡張可・IV③参照)、最大128ユニット/パソコン
制御チャンネル数	4チャンネル/ユニット (拡張可・IV④参照)
データ記録方法	CSV形式 (カンマ区切りテキストファイル)
パソコンとの接続	シリアルポート (RS232C) 使用、2400bps
伝送フォーマット	1スタートビット、8ビットデータ、偶数パリティ、1ストップビット
消費電力	DC5V・700mA/ユニット
使用するパソコン	NEC・PC9801シリーズ (DOS/V、Mac等はプログラムが未対応)

表1 実験装置の仕様

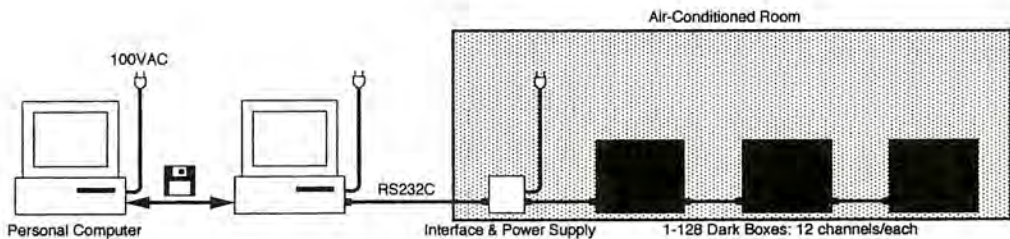


図1 実験システム構成要素

II. 実験装置の製作

この章では、この実験装置の製作に必要な情報を述べる。まずパソコンに接続する電気回路の中身について解説し、次にその回路とパソコンを制御するプログラムについて解説する。最後に実験装置の調整方法について簡単に解説する。

① 電気回路

この実験装置 1 ユニット分の全回路図を図 2 に、対応する部品表を表 2 に示す。一つのユニットは、赤外線の遮断回数を数える IC2、パソコンからの命令を出力し IC2 のデータをパソコンに送る LSI 等から構成される。

図 2 の、破線で囲まれた部分はパソコン側の信号電圧 ($\pm 12\text{ V}$) とユニット側の信号電圧 ($+5\text{ V}$) を相互に変換する回路で、パソコン一台につき一つだけ必要である。IC5 は、この用途には最も普通で使用される IC でありコンデンサ等の付け方も決まっている。この回路を含むシステム全体の電源は図 2 右下の電源ユニットから供給する。電源ユニットには市販の数 A~数十 A の電源ユニットを使用する。破線で囲まれた回路は電源ユニットとは 2 本、パソコンとは 3 本、計測ユニットとは 4 本の線で接続されているが、この 4 本の線は図の左側から順番に、パソコンから各計測ユニットへの制御用通信線、各計測ユニットからパソコンへ

のデータ用通信線、 $+5\text{ V}$ 、 0 V (グラウンド) である。このシステムに接続される全ての計測ユニットがこの 4 本の線を共有する。

パソコンから計測ユニットへ送られる信号は、常に二つの数字から構成されており、1 番目の数字が特定の LSI のアドレスを、2 番目の数字がその LSI への命令を表わす。LSI のアドレスは 7 桁の 2 進数で、LSI の 4~10 ピン^{注1} を $+5\text{ V}$ (1 を意味する) か 0 V (0 を意味する) にして設定する。ただし何も設定していないピンは LSI の内部で自動的に $+5\text{ V}$ に設定される^{注2}。パソコンから各計測ユニットへの制御用通信線に信号が送られると、1 番目の数字で指定されたアドレスを持つ LSI だけが、2 番目の数字 (命令) を 39~33 ピンに 7 桁の 2 進数で出力する^{注3}。一度出力された命令は次の命令が来るまで保持される。実際にパソコンから計測ユニットへ送られる数字は 8 桁の 2 進数で、アドレスと命令を区別するために、アドレスの数字は 8 桁目 (2^7 の桁) が 1 に、命令の数字は 8 桁目が 0 にしてある。従って、0~127 の数字であれば命令であり、128~255 の数字であればアドレスである。

命令を受信した LSI だけが自動的に、各計測ユニットからパソコンへのデータ用通信線を使って二つの 8 桁の 2 進数をパソコンに送り返す。1 番目の数字は 11~18 ピンに加えられている電圧を、2 番目の数字は 29~22 ピンに

加えられている電圧を表わす^{注4}。11~18ピンは何も加えないとLSIの内部で自動的に+5Vに設定される^{注5}。

LSIの39~37ピンはIC3の1~3ピンに接続されている。IC3は、1~3ピンに入力された3桁の2進数に従って、15~9, 7ピンのうちの

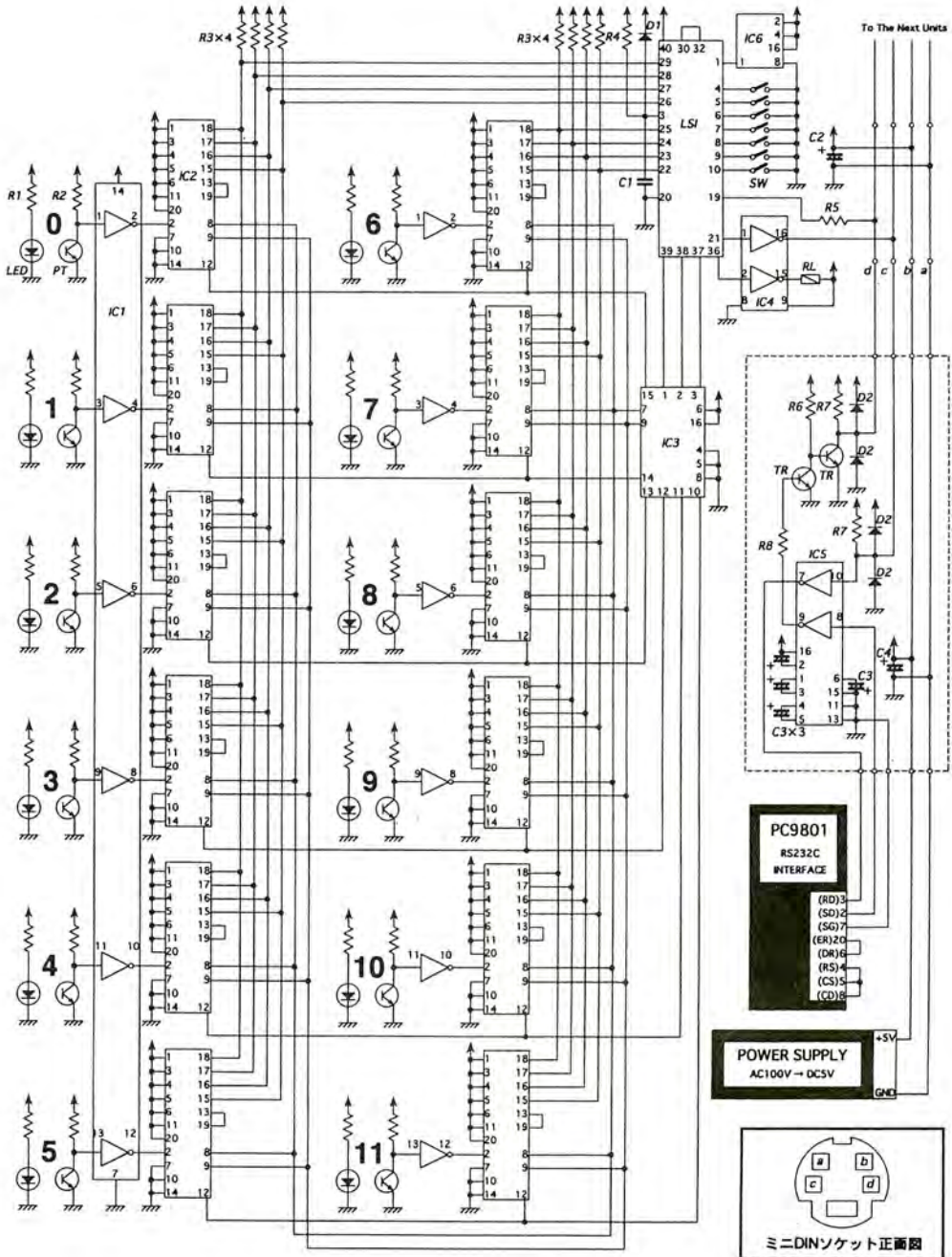


図2 実験装置回路図

いずれかが一つを 0 Vに、他を+5 Vに設定する。それらの出力は IC2 に接続されている。

IC2 の内部にはカウンタとレジスターがある。カウンタは 2 ピンに入力された電圧が 0 Vから+5 Vに変化する回数を数えるが、13 ピンが 0 Vになると計数値を 15 に、8 ピンが 0 Vになると計数値を 0 に設定する^{注6}。レジスターは 9 ピンが 0 Vになるとカウンタの計数値をレジスターに読み込み、12 ピンが 0 Vになっている場合に限りレジスターの値を 18~15 ピンに 4

LSI の 29~26 ピン及び 25~22 ピンにはそれぞれ 6 個の IC2 が接続されているが、IC3 によってどの IC2 がデータを出力するかが制御される。

IC1 はシュミット・トリガ付きインバータで、1 個の IC に 6 個のインバータが入っている。インバータの基本的な機能は入力があるスレッシュホールド以下になると+5 Vを、スレッシュホールド以上になると 0 Vを出力することであるが、シュミット・トリガが付いているために出力が+5 Vから 0 Vに変化するスレッシュホールドが 0 Vから+5 Vに変化するスレッシュホールドよりも高い。そのためこのヒステリシス幅より小さなノイズは無視されるので安定した動作が期待できる。IC1 により、フォトランジスターのコレクター電圧の変化は二値化されて IC2 の 2 ピンに入力される。

また、IC4 はトランジスターアレイで 1 個の IC に 7 個のトランジスターが入っている。LSI の出力は弱いので IC4 のトランジスターを介してリレーを駆動する。IC6 は水晶発振子を内蔵したボーレートジェネレーター専用の IC であるが高価なので、他の方法で 153.6 kHzを作つて LSI の 1 ピンに入力してもよい。

注 1) IC、LSI のピン番号は、凹印を上にして型番印刷面から見て左上のピン(1 ピン)から順に反時計回りに番号を付ける。IC に関しては文献 2 に、LSI に関しては文献 3 に、フォトランジスターや発光ダイオードに関しては文献 4 にそれぞれ詳しい情報が記載されている。

注 2) 例えば 4~7 ピンのみを 0 Vに繋ぐとアドレスは 112(二進法の 1110000)に、4 ピンのみを 0 Vに繋ぐとアドレスは 126(同 1111110)になる

注 3) 例えば命令として 3(同 0000011、実際に送られる数字は 00000011)が送られると 39~38 ピンが+5 Vに、37~33 ピンは 0 Vになる。図 2 の回路図では 36 ピンがリレーを制御する。リレーによって開閉される蛍光灯等は図 2 の回路図では省いた。また、図 2 の回路図では 35~33 ピンの出力は使用しない。

記号	定格/型名 [メーカー]	品名	個数
C1	1 μ F	コンデンサー	1*
C2	33 μ F 25V	電解コンデンサー	1*
C3	10 μ F 50V	電解コンデンサー	4
C4	33 μ F 25V	電解コンデンサー	1
D1	1S1588	ダイオード	1*
D2	1S1585	ダイオード	4
IC1	74HC14	IC	2**
IC2	74HC697	IC	12**
IC3	74HC137	IC	1**
IC4	ULN2004	トランジスターアレイ	1*
IC5	MAX232 [マキシム]	IC	1
IC6	SPG8640CN [セイコー]	水晶発振IC	1*
LED	TLN110 [東芝]	赤外発光ダイオード	12*
LSI	MC14469 [モトローラ]	LSI	1*
PT	TPS611 [東芝]	フォトランジスター	12**
R1	70 Ω 1/2W	抵抗	12**
R2	10k Ω 1/4W	抵抗	12**
R3	10k Ω 1/4W	抵抗	8**
R4	20k Ω 1/4W	抵抗	1*
R5	10k Ω 1/4W	抵抗	1*
R6	4.7k Ω 1/4W	抵抗	1
R7	330 Ω 1/4W	抵抗	2
R8	10k Ω 1/4W	抵抗	1
RL	DC5V駆動型	リレー	1*
SW	8 選ディップスイッチ	ディップスイッチ	1*
TR	2SC1815	トランジスター	2
	0.1 μ F	コンデンサー(バスコン用)	18**
	14P用ICソケット	ICソケット	2**
	16P用ICソケット	ICソケット	4**
	20P用ICソケット	ICソケット	12**
	40P用ICソケット	ICソケット	1*
	ICB93S [サンハヤト] 等	ICピッチユニバーサル基板	適量
	耐熱電子ワイヤー-0.5mm径等	基板用配線材・ハンダ	適量
	ミニDINジャック4P	S-VHS端子ソケット	2*
	5V20A/ES05020 [Volgen] 等	電源ユニット	1
	PC9801F [NEC] 等	パーソナルコンピューター	1

注：*印及び**印の部品はユニットの台数分必要である。

表 2 図2の部品表

桁の 2 進数で出力する。図 2 の回路では、

注 4) 例えば、11、29、28 ピンだけが +5 V で他がすべて 0 V のときは、1 と 3 が順番にパソコンへ送られる。

注 5) 図 2 の回路図では 29~22 ピンのみをデータ用に使っている。11~18 ピンには何も配線していないので、最初に送り返される数字は常に

255(同 11111111)である。元々 11~18 ピンには温度モニター用の AD コンバーターを接続する予定であったが、設計途中で温度のモニターは市販の乾電池式の温度記録装置に変更した。

注 6) 8 ピンが優先される。

```

100 'AB1*****
110 '*****INITIALIZE*****
120 F$="AB1":LA=3:DIM C%(LA, 23), D%(LA, 11)
130 SCREEN 2, 0, 0, 1:WINDOW(1, -31)-(3010, 128*LA+128):CLS 3:LOCATE 0, 0:PRINT F$
140 FOR A=0 TO LA:OPEN F$+HEX$(A)+".TXT" FOR OUTPUT AS #1:CLOSE #1:NEXT A
150 FOR A=0 TO LA:FOR H=0 TO 23:READ C%(A, H):NEXT H:NEXT A
160 H=VAL(LEFT$(TIME$, 2)):M=54
170 '*****TIME KEEP*****
180 FLAG=0:M=M+6:IF M=60 THEN M=0:H=H+1:IF H=24 THEN H=0
190 M$=RIGHT$("0"+RIGHT$(STR$(M), LEN(STR$(M))-1), 2)
200 H$=RIGHT$("0"+RIGHT$(STR$(H), LEN(STR$(H))-1), 2)
210 ON TIME$=H$+":"+M$+":00" GOSUB *WORK
220 TIME$ ON
230 LOCATE 72, 0:PRINT TIME$:IF FLAG=1 THEN GOTO 180
240 GOTO 230
250 *WORK:FLAG=1'*****
260 '*****DATA READ*****
270 OPEN "COM:E81NN" AS #2
280 FOR A=0 TO LA
290 PRINT #2, CHR$(128+A);CHR$(8*C%(A, H)+6);:FOR J=1 TO 200:NEXT J:S$=INPUT$(2, #2)
300 PRINT #2, CHR$(128+A);CHR$(8*C%(A, H)+7);:FOR J=1 TO 200:NEXT J:S$=INPUT$(2, #2)
310 FOR I=0 TO 5
320 PRINT #2, CHR$(128+A);CHR$(8*C%(A, H)+1);:FOR J=1 TO 200:NEXT J:S$=INPUT$(1, #2)
330 Z=ASC(INPUT$(1, #2)):D%(A, I)=Z AND 15:D%(A, I+6)=(Z AND 240)/16
340 NEXT I:NEXT A:CLOSE #2
350 '*****DATA SAVE*****
360 FOR A=0 TO LA
370 OPEN F$+HEX$(A)+".TXT" FOR APPEND AS #1
380 WRITE #1, D%(A, 0);D%(A, 1);D%(A, 2);D%(A, 3);D%(A, 4);D%(A, 5);D%(A, 6);D%(A, 7);D%(A, 8);D%(A, 9);D%(A, 10);
D%(A, 11);C%(A, H):CLOSE #1
390 NEXT A
400 '*****DATA PLOT*****
410 FOR A=0 TO LA
420 FOR I=0 TO 11:X1=X+250*I+10:YA=Y+128*A:LINE(X1, YA)-(X1, YA-D%(A, I)), 7:NEXT I
430 NEXT A:X=X+1:IF X=240 THEN X=0:Y=Y+16:IF Y=112 THEN END
440 RETURN'*****
450 '***0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3*****CONDITION*****
460 DATA 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0
470 DATA 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0
480 DATA 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0
490 DATA 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0

```

リスト1 計測用プログラム例1

② プログラム

実験用のプログラム例をリスト 1 に示す。

このプログラムは 4 ユニット、合計 48 チャンネルの実験システムにおいて、パソコンの内蔵時計に従い 1 時間単位で各ユニット毎に LD の制御を行い、同時に 6 分間毎に各チャンネルの活動量のデータをパソコンに読み込んでフロッピーディスクに保存するものである。以下にこのプログラムの内容を行単位で説明する。

100~110 行はコメントで、意味はない。120 行では、このプログラムの実験を他から区別するための名前(ここでは AB1 とする)を F\$に入れ、各ユニットに 0 から順に番号(LSIのアドレス)を付けて最後の番号(ここではユニットが 4 台なので 3)を LA(LastAddress の略)に入れ、各ユニットへの命令用の配列 C%(Command の略)と一時的にデータを入れる配列 D%(Data の略)を定義する。130 行では、画面表示モード等を決めて左上に F\$を表示する。140 行では、F\$と各ユニットの番号を組み合わせた名前で、各ユニットからのデータ用のファイルを新たに作る(ここでは AB10.TXT、AB11.TXT、AB12.TXT、AB13.TXT の 4 つである)。150 行では、460~490 行に書かれたデータを C%に入れる。160 行では、現在時刻が何時かを H(Hour の略)に入れ(現在時刻が 3 時 2 分 1 秒ならば H=3)、M(Minute の略)には現在時刻

によらず 54 を入れる。

ここまでがプログラムのスタート時にのみ実行される部分である。

170 行はコメントで、意味はない。180 行では、FLAG に 0 を入れ、M に 6 を加える。ここで 6 の代りに 1 を加えれば 1 分間毎に計測することになる。また、M が 60 になれば 0 に戻して H に 1 を加え H が 24 であれば 0 にする。この H 時 M 分が次の計測予定時刻になる。190~200 行では、M と H を表わす 2 桁の文字列 M\$と H\$を作る。これは、N88BASIC で現在時刻(パソコン内蔵時計の時刻)を得るための関数 TIME\$の型に合わせるためである。210 行では、現在時刻 TIME\$が計測予定時刻と一致したら直ちに他の作業を中断して、250 行以下のサブルーチン*WORK に進むように設定する。220 行では、210 行の設定を有効にする。230 行では、画面右上に現在時刻を表示し、もし FLAG が 1 であれば 180 行に戻る。240 行では、230 行に戻る。従って現在時刻が計測予定時刻と一致するまで、プログラムは 230 行と 240 行を交互に実行し続ける。そのため、画面右上には常に現在時刻が表示される。

250~440 行が、計測予定時刻に実行されるサブルーチンである。このうち、270~340 行が実験装置との通信に関する部分、360~390 行がデータをフロッピーディスクに追加保存する部分、410~430 行がデータを画面に表示する部分である。250 行では、このサブルーチンを*WORK と名付け、FLAG を 1 にする。260 行はコメントで、意味はない。270 行では、実験装置との通信を開始するためにシリアルポートを開く。280 行と 340 行では、0 から LA までの A(Address の略)について 290~340 行を繰返すように設定する。290 行では、A 番のユニットに、カウンターのデータをレジスタに移す命令を送る。ユニットから送り返された 2 つの文字を S\$に入れる。300 行では、A 番のユニットに、カウンターのデータを 0 に戻す命令を送る。

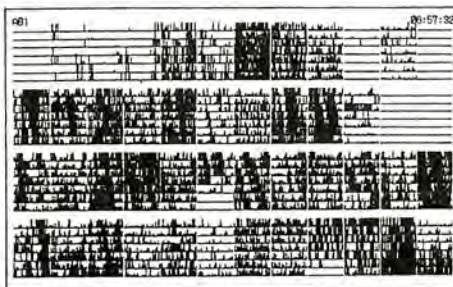


図3 実験中のパソコンモニター画面

ユニットから送り返された 2 つの文字を S\$ に入れる。310 行と 340 行では、0 から 5 までの I について 320~330 行を繰返すように設定する。320 行では、A 番のユニットに、チャンネル I とチャンネル I+6 のレジスターに移されたデータを送り返すよう命令を送る。ユニットから送り返された最初の文字を S\$ に入れる。330 行では、ユニットから送り返された 2 番目の文字を数値に直して Z に入れ、さらにデータに直して D%(A, I)、D%(A, I+6) に入れる。340 行では、実験装置との通信を終了するためにシリアルポートを閉じる。

350 行はコメントで、意味はない。360 行と 390 行では、0 から LA までの A について 370~380 行を繰返すように設定する。370 行では、140 行で作った A 番のユニットからのデータ用のファイルを、データを書き込むために開く。380 行では、チャンネル 0~11 のデータと、そのデータに対応する 6 分間の次の 6 分間の実験条件を順にファイルに書き込み、そのファイルを閉じる。

```

1 DIM D%(11)'*****TEST SAMPLE*****<<<PRESS "ctrl"+"C" TO BREAK>>*****
2 INPUT "ADDRESS, LIGHT(1-ON, 0-OFF)"; A, C: OPEN "COM:EB1NN" AS #1
3 PRINT #1, CHR$(80+A); CHR$(8+C*6); CHR$(80+A); CHR$(8+C*7);: FOR J=1 TO 1996: NEXT J
4 IF EOF(#1)=0 THEN S$=INPUT$(4, #1) ELSE PRINT "NO CONNECTION": CLOSE #1: GOTO 2
5 FOR I=0 TO 5: PRINT #1, CHR$(80+A); CHR$(8+C*I);: FOR J=1 TO 1840: NEXT J: S$=INPUT$(1, #1)
6 Z=ASC(INPUT$(1, #1)): D%(I)=Z AND 15: D%(I+6)=(Z AND 240)/16: NEXT I: CLOSE #1
7 FOR I=0 TO 11: PRINT D%(I);: NEXT I: PRINT: GOTO 2

```

リスト2 テスト用プログラム

400 行はコメントで、意味はない。410 行と 430 行では、0 から LA までの A について 420 行を繰返すように設定する。420 行では、新たに得られたデータのグラフを画面に追加表示する。430 行では、次回グラフを書き込む位置を計算する。グラフは 24 時間毎に段を改め、もし一週間が経過して 7 段が終了していれば、プログラムを終了する。440 行では、サブルーチンを終了して、中断していた作業に戻る。

450 行はコメントで、意味はない。460~490 行

では、各ユニットの実験条件を時間単位で設定する。この例ではすべてのユニットについて 6 時台から 17 時台までライトオン、それ以外の時間はライトオフに設定されている。

このプログラムの実行中の画面を、図 3 に示す。左上に、表示中のデータを保存しているデータファイル名が、右上に現在のパソコン内蔵時計の時刻が、中央に計測中のデータのグラフが表示される。N88BASIC のコマンドについては文献 5 に詳しく解説されている。

このプログラムはスタート時に実験条件等を入力する必要がなく、スタートの 1 週間後に自動的に終了する。筆者はこのようなプログラムを何種類か作成してコンパイルし、バッチファイルに書き並べて一つのプログラムが終了すると次のプログラムがスタートするようにして、長期間の計測を自動的に行っている。もちろんリスト 3 に示すように一つのプログラムのみで長期間の計測を行うこともできるし、インタプリタ上で計測プログラムを実行するほうが計測途中の実験条件の変更等にはより柔軟に対応できる。

しかし、この例のように一週間単位でユニット化されたプログラムを組み合わせると一つの実験を構成する方法は実際にやってみると細かいことに気を使わずにすむので便利である^{注 1}。プログラムを書き換えることによって任意の時間系列の環境条件を設定できる。パソコンの特性を生かして環境条件にランダムなノイズを加えたり、得られた活動データに基いてリアルタイムで環境条件を計算することも可能である。

注 1) 筆者の場合は院生の個人研究の為、プログラ

ミングをしない人の使用を考慮しなかったが、複数の人で使う場合はソフトウェアの使い勝手を改善するべきであろう。

③ 実験装置の点検と調整

電気回路はセンサー部を除けば特に調整の必要はない。しかしトランジスタや IC、LED 等は過剰な電流を流すと発熱、破裂する危険があるので、電気回路は正確かつ頑丈に製作し、水滴やゴミが付着しないように注意して配置する。また念のために、電源投入前にテスターで +5 V 線と 0 V 線の間が短絡していないことを確認し、IC ソケットに IC を挿入する前に一度電源を入れて、テスターで IC ソケットの各ピンの電圧を確認しておく。ここで使用した IC は静電気に弱いため取り扱いに注意する。センサー部は、IC1 の出力が、赤外線がフォトトランジスタに入射しているときに +5 V になり実験動物がフォトトランジスタに入射する赤外線を遮ったときに 0 V になるように、赤外発光ダイオードやフォトトランジスタのライトガイドの直径等を調整する。調整不可能な場合は R1 や R2 の値を変更する^{注1}。

電気回路基板にさしあたり異常がなければ、Ⅲ章①、②に従ってパソコンを設定し電気回路をパソコンに接続して電源を入れる。次に N88BASIC 上でリスト 2 のプログラムを実行し、異常がなければ電気回路は完成である。このプログラムでは、最初に入力要求に従って通信したいユニットのアドレスとライトのオン・オフをカンマで区切って入力する。もし対応するユニットとの通信が失敗すれば「NO CONNECTION」という画面表示が返され、通信が成功すればユニットのライトがオン・オフされて 12 個のデータが画面に表示される。

正常でない場合は原因が、プログラムにある場合、パソコン(設定を含む)にある場合、装置及びパソコン間の配線にある場合、電気回路基板の配線にある場合、電気回路の部品の故障

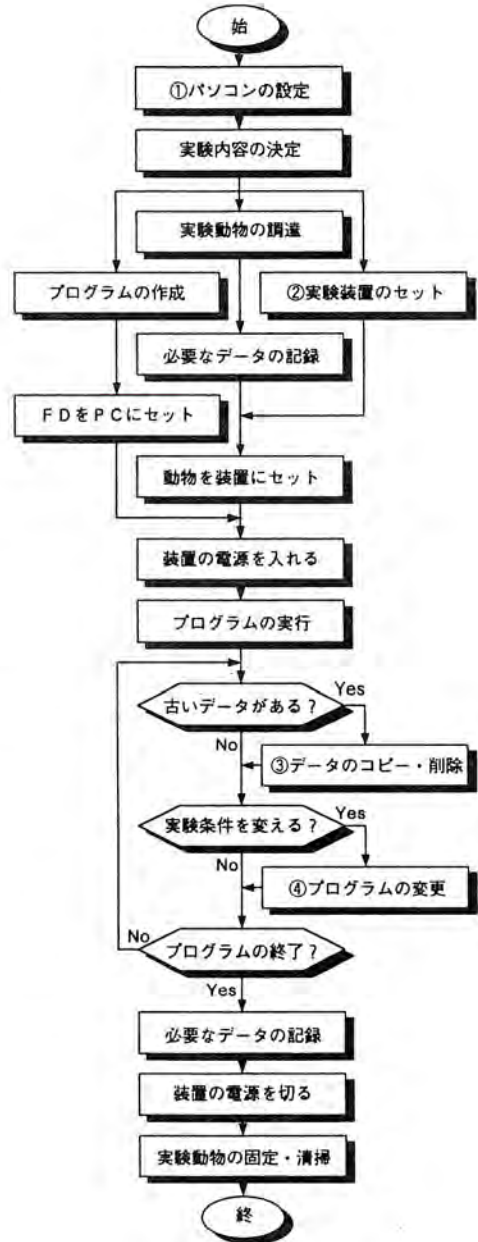


図4 実験装置の使用法

にある場合、及びその他の人為的な単純ミスに大別できる。異常に対する対処法はケース

バイケースであり、この記事で一つ一つ解説することは多くして益少ない作業なので省略する。

注 1) 筆者は、変更しやすいように R2 には集合抵抗を用いてソケットに挿入するようにしている。IC1 の出力が +5 V にならない場合は R2 の値を大きくする。

III 実験装置の使用時の注意点

この実験装置を使用する場合の、実験の準備から終了までの手順の概略を図4に示す。このうちの①～④について解説する。

てメモリスイッチの設定を変更する。最後に、この変更を有効にするために再起動をする。

日付と時刻を合わせる場合は、MS-DOS の DATE コマンドと TIME コマンドを実行し画面の表示に従って現在の日付と時刻を入力する。

② 実験装置のセットアップ

まず、各ユニットのアドレスを、0 番から順番に、重複しないように 2 進数で設定する。アドレス設定用のスイッチは、オンが 2 進数の 0 を、オフが 1 を意味する。

次に、暗箱や電源の配置を整えてパソコンの

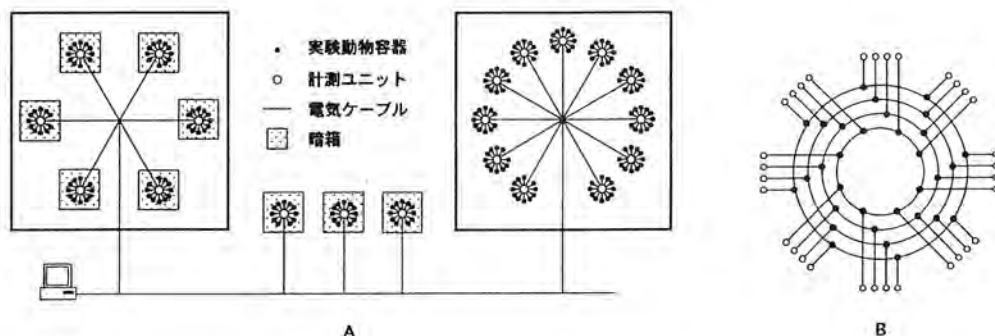


図5 実験システムの配線図

① パソコンの設定

シリアルポートの通信条件とパソコン内蔵時計の日時を設定する必要がある。まずメモリスイッチの変更を有効にするためにディップスイッチの SW2 の 5 をオンにする。つぎにメモリスイッチをデータ長 8 ビット、パリティチェックあり、偶数パリティ、ストップビット長 1 ビット、ボーレート 2400 ボーに変更する。具体的な方法は、PC9801F2 (古い機種) では機械語モニタモード (mon) でメモリスイッチの SW1 (ssw1) を 7C に、SW2 (ssw2) を X7 (X は元のまま) にする。PC9801BX3 (新しい機種) では MS-DOS の SWITCH コマンドを実行して画面の表示に従っ

シリアルポートとユニット間及びユニット相互間のケーブルの配線をする。各ユニットは 2 本の通信線と 2 本の電源線さえ共有していればよい。そこで、実験動物の容器が光条件や温度条件によって暗箱や恒温室等に入れ子状に配置されている場合は、その配置に従って図 5A のように配線すると便利である。その際、各分岐点には図 5B のようなソケットの塊を用意する必要がある。このような配線方法には、数珠繋ぎ配線と比較して、個々のユニットをシステムから切り離す際に他のユニットへの影響が少ないという利点もある。実験装置の配線が完了するまでは、実験装置の電源は切っておいたほうがよい。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0
2	1	2	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0
3	9	0	0	0	0	0	0	9	0	1	1	0	0	0	0	0
4	1	0	0	2	0	0	0	4	0	1	1	0	0	0	0	0
5	2	0	0	5	0	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0
6	1	0	0	1	0	0	3	0	0	3	1	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	3	0	0	15	0	0	0	0	0	0
8	1	0	0	1	4	4	0	3	13	1	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	4	0	15	15	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	1	10	1	0	15	15	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	1	0	1	0	15	9	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	0	1	1	0	4	0	15	9	1	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1	0	1	1	0	2	0	5	2	1	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	2	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
18	0	0	1	0	0	0	3	13	1	1	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	15	2	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	1	5	0	0	9	0	13	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	1	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	5	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	10	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0

図6 データを表計算ソフトで開いたところ

③ データのコピー・削除

データファイルの保存されているフロッピーディスクが一杯になってデータが書き込めなくなると、プログラムは停止してしまう。そこで、一週間が経過して新しいデータファイルが作られたら速やかに古いほうのファイルを他のフロッピーディスク等にコピーした後、削除する。この作業は、パソコンがフロッピーディスクにデータを書き込んでから次に再び書き込むまでの間に、他のパソコンを利用して行う。利用できる別のパソコンが無い場合は、バッチファイルと必要になる実行用ファイル、及びフロッピーディスクを交換する時点で最新になるデータファイルと同名の空のファイルの入ったフロッピーディスクを必要な枚数だけ予め用意しておき、適宜交換する。

図6は、得られたデータファイルを表計算ソフトに読み込んだところで、左から順にそれぞれ0~11チャンネルのデータ及び暗箱内のライトの状態を示す。また図7に、実際にこのシステムでチゴガニを計測して得たデータの一例を示す。

④ プログラムの変更

バッチファイルに登録された実行用ファイルは、実際にそのファイルが実行されるときのみフロッピーディスクの中に存在していればよい。従って、一度入れたものを実行前に新しい実

図7 チゴガニのデータ (LL)

行ファイルと交換することで、将来の実験条件を変更することができる。この作業は別のパソコンを利用して行う。

IV 実験装置の仕様変更

実験の内容によっては第II章の実験装置のままでは機能が不十分のこともある。この章では、この実験装置の仕様の変更例について略述する。

① 計測方法 (センサー) の変更

対象とする実験動物や実験のデザインによって活動量を測定する方法は異なる。まず既に述べた赤外線を使用する場合の配線例を図8Aに挙げる。赤外線を使用する際には容器の汚れ等により光線が遮光されないようにするこ

と赤外線光源の発熱に注意する必要がある。また赤外線は水に吸収されやすいので、水生動物を使う場合は光源の発光ダイオードの数を増やさねばならないこともある。

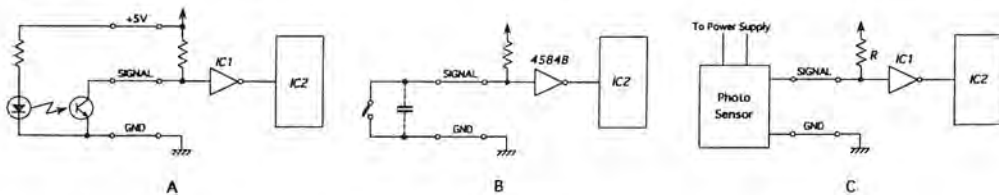


図8 センサーの接続方法

次にマイクロスイッチやリードスイッチ、ロータリーエンコーダ等を使用する場合の配線例を図8Bに挙げる。もしスイッチのチャタリングによって生じるノイズのために実際よりも余計にカウントするようならば、IC1を74HC14からよりヒステリシス幅の大きい4584Bに差し替えたり(ソケットに差ししてあるICを交換すればよい)、スイッチに並列にコンデンサーを入れるとよい。リードスイッチは外部に可動部分がなく防水加工が容易なため、水生動物の実験に向いている。リトルら(文献6)は帰家習性のあるカサガイの家の近くにリードスイッチをセットしカサガイに磁石を付けて、野外でのカサガイの帰家パターンを調べている。

オムロン等から市販されているフォトセンサーで出力がオープンコレクターになっているものを使用する場合は図8Cのように接続する。これら市販のセンサーはシグナル/ノイズ比が高く、赤外線光源より何桁も明るい環境(即ち光源からの赤外線が遮光されてもセンサーへ入射する光量が殆ど変化しない環境)でも使用できるように工夫されている。従って、特に実験室外の制御されていない環境下での使用に適する。その他のセンサーや文献1の波形整形回路等を使用する場合も、オープンコレクター出力ならば図8Cのように、TTL出力ならばIC1の入力のプルアップ抵抗Rを外して接続する。

② 最大計数値を255にする

この実験装置では、最大15までしかカウントできず15以上はすべて15として記録される。

従って正確な数値を得るためには、実験動物を入れる容器のサイズを大きくして動物が赤外線横切る確率を減らしたり計測間隔^{注1}を短くするなどしてカウント値が15に達しないようにするか、或いは回路の一部を変更して最大計数値を大きくする必要がある。図2の電気回路で、左右のカウンターICを図9のようにカスケード接続すれば、最大計数値は255になる。プログラムの方はリスト1の330行を、ZをそのままD%(A, I)に代入するように変更する。IC2をN個、同様に接続することにより最大計数値を $2^{4N}-1$ にできる。

注1) 計測間隔はプログラムの変更により秒単位で設定できるが実験装置との通信時間やデータをフロッピーディスクに書き込むのに要する時間や精度を考慮すると、最短計測間隔は10秒間程度であろう。

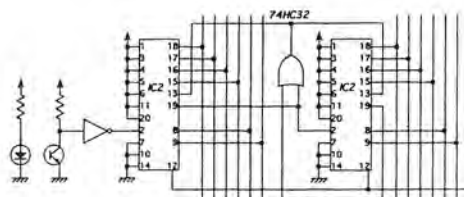


図9 最大計測数を変更する回路

③ 計測チャンネル数を24にする

図2の実験装置では、LSIのデータ用の11~18ピンには何も接続していない。そこで11~

```

100 'SAMPLE*****
110 '*****INITIALIZE*****
120 F$="B:XX":LA=5:DIM C%(143),D%(LA,23):DEFDBL T
130 SCREEN 2,0,0,1:WINDOW(1,-31)-(6010,128*LA+128):CLS 3:LOCATE 0,0:PRINT F$
140 N=1:FOR A=0 TO LA:OPEN F$+HEX$(N)+HEX$(A)+".TXT" FOR OUTPUT AS #1:CLOSE #1:NEXT A
150 H=VAL(LEFT$(TIMES$,2)):M=54
160 '*****TIME KEEP*****
170 FLAG=0:M=M+6:IF M>60 THEN M=M-60:H=H+1:IF H=24 THEN H=0
180 M$=RIGHT$("0"+RIGHT$(STR$(M),LEN(STR$(M))-1),2):H$=RIGHT$("0"+RIGHT$(STR$(H),LEN(STR$(H))-1),2)
190 ON TIMES$=H$+"":M$+"":00" GOSUB *WORK
200 TIMES ON
210 LOCATE 72,0:PRINT TIMES$:IF FLAG THEN GOTO 170 ELSE GOTO 210
220 *WORK:FLAG=1:T=T+1'*****
230 '*****CONDITION*****
240 FOR L=0 TO 143
250 PERIOD=2*L+120:IF T MOD PERIOD > PERIOD/2 THEN C%(L)=1 ELSE C%(L)=0
260 NEXT L
270 '*****DATA READ*****
280 OPEN "COM:EB1NN" AS #2:FOR A=0 TO LA
290 PRINT #2,CHR$(128+A);CHR$(6);CHR$(128+A);CHR$(7);FOR J=1 TO 200:NEXT J:S$=INPUT$(4,#2)
300 FOR I=0 TO 5:FOR K=0 TO 3:L=24*A+6*K+I:M=16*K+8*C%(L)+I
310 PRINT #2,CHR$(128+A);CHR$(M);CHR$(128+A);CHR$(M+64);CHR$(128+A);CHR$(M);
320 FOR J=1 TO 200:NEXT J:NEXT K:S$=INPUT$(22,#2)
330 Z=ASC(INPUT$(1,#2)):D%(A,1)=Z AND 15:D%(A,1+6)=(Z AND 240)/16
340 Z=ASC(INPUT$(1,#2)):D%(A,1+12)=Z AND 15:D%(A,1+18)=(Z AND 240)/16:NEXT I:NEXT A:CLOSE #2
350 '*****DATA SAVE*****
360 FOR A=0 TO LA:OPEN F$+HEX$(N)+HEX$(A)+".TXT" FOR APPEND AS #1
370 WRITE #1,D%(A,0);D%(A,1);D%(A,2);D%(A,3);D%(A,4);D%(A,5);D%(A,6);D%(A,7);D%(A,8);D%(A,9);D%(A,10);
D%(A,11);D%(A,12);D%(A,13);D%(A,14);D%(A,15);D%(A,16);D%(A,17);D%(A,18);D%(A,19);D%(A,20);D%(A,21);
D%(A,22);D%(A,23);T:CLOSE #1:NEXT A
380 IF T MOD 240*7=0 THEN N=N+1 ELSE GOTO 410
390 FOR A=0 TO LA:OPEN F$+HEX$(N)+HEX$(A)+".TXT" FOR OUTPUT AS #1:CLOSE #1:NEXT A
400 '*****DATA PLOT*****
410 FOR A=0 TO LA:FOR I=0 TO 23:X1=X+250*I+10:YA=Y+128*A:LINE(X1,YA)-(X1,YA-D%(A,I)),7:NEXT I:NEXT A
420 X=X+1:IF X=240 THEN X=0:Y=Y+16:IF Y=112 THEN Y=0:CLS 2
430 RETURN'*****

```

リスト3 計測用プログラム例2

18ピンにも29～22ピンと同様の回路を接続すれば1ユニットの計測チャンネル数を24チャンネルに拡張できる。この場合、表2で**印をつけた部品が余計に必要な。計測チャンネル数、制御チャンネル数を共に24チャンネル/ユニットに拡張した場合のプログラム例をリスト3に示す。これは、6ユニット144チャンネルの実験装置で、各チャンネル毎に12分ずつ異なる、12時間から40.6時間までの光周期に対する活動リズムの引き込みを調べるプログラムである。このプログラムではバックファイルは使用せず、Bドライブのデータ用フロッピーディスクに一週間毎に新しいデータファイルを作る。

④ 制御チャンネル数を24にする

図2の回路で、1ユニットの制御チャンネル数を24チャンネルに拡張するための回路例を図10に、その際に新たに必要となる部品を表3に示す。LSIについては配線を変更するピンのみを示し、IC3との接続は図2と同様である。IC8は14ピンが0Vになっている時の13ピンの電圧を、4～7及び9～12ピンのいずれか一つ(1～3ピンに加える3桁の2進数で指定する)に出力する。各ピンの出力は次に変更される時まで保持される。リスト3に計測チャンネル数、制御チャンネル数を共に24チャンネル/ユニットに拡張した場合のプログラム例を示す。

これら以外の変更点としては、AD コンバータによるアナログ値の入力や、ランダムファイル形式でのデータの保存などが考えられる。また 1 ユニットの計測・制御チャンネル数は、実際には電気回路を工夫すればいくらでも増やすことができるし、文献3にあるように2本の通信線を短絡して1本にすることも可能である。筆者の実験装置に関しては、海水の水位や水質、給餌や物理的な攪乱などを制御できるようにすることが今後の課題である。

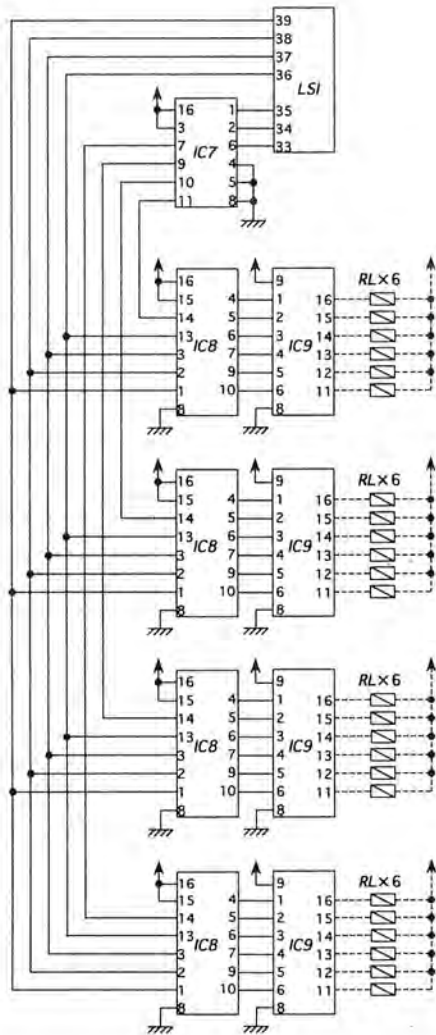


図10 制御チャンネル数を24にする回路

末筆ながら、坂本克彦氏(現・通産省工業技術院生命研 NEDO 派遣研究員)には白浜では入手困難な部品を大阪や京都から郵送していただき、又この記事の途中稿を読んでいただき、大変お世話になりました。厚く御礼申し上げます。

略号	定格/型名 [メーカー]	品名	個数
IC7	74HC137	IC	1
IC8	74HC259	IC	4
IC9	ULN2004	トランジスタアレイ	4
RL	DC5V駆動型	リレー	24
	0.1 μF	コンデンサー(パソコン用)	5
	16P用ICソケット	ICソケット	9

表3 図10の部品表

V 参考文献

1. 田中舘明博・長谷川建治・富岡憲治・正木忠勝・千葉喜彦・蒲澤良男・相良嘉一 第5章・研究法 時間生物学ハンドブック(朝倉書店) 503-542, 1991
2. 猪飼國夫 最新 74 シリーズ IC 規格表(CQ出版社) 1995
3. 野田龍三 何台でも増設できるリモート I/O の製作 トランジスタ技術 Vol. 28, No. 1:462-469, 1991
4. 猪飼國夫 最新光半導体素子規格表(CQ出版社) 1991
5. PC-9801F BASIC REFERENCE MANUAL (日本電気株式会社)
6. Little, C., Partridge, J. C. & Teagle, L. Foraging activity of limpets in normal and abnormal tidal regimes. J. mar. biol. Ass. U. K. Vol. 71:537-554, 1991