

# 民生用ビデオカメラによる3次元動作分析用、同期信号発生装置の試作

松原周信

## Development of a synchronizing signal generator for 3D motion analysis with household camcorders

CHIKANOBU MATSUBARA

**Abstract:** To analyze 3D motion with 2 household digital camcorders, a synchronizing signal generator constructed by 10 pairs of LEDs and the driving circuit was developed. Ten pieces of red colored 5 cm wide line tape were attached on a L-shaped 1 m long white angle bar at outside surfaces of L-shape with a distance of each 5 cm, and on each red area 2 green LEDs were mounted at both surfaces and these 2 LEDs were connected in series. At video recording, each pair of LEDs (ten pairs in total) were lighted successively for each 1/600 second (1/10 single field time) once each cycle by a singlechip microcomputer, and this cycle was repeated at intervals of 1 second. The angle bar was set in the vicinity of right or left end of the camera angle, and both outside surfaces of L-shape were trained to 2 camcorders. When an exposure of a camcorder comes across the lighting cycle of LEDs, a certain position and number of LEDs, corresponding to the delay from the lighting of the first pair and the duration of the exposure respectively, are recorded to a camcorder. Based on these records, the time difference of each exposure of 2 camcorders could be calculated, and the coordinates of the subject in the screen image derived from one camcorder could be converted to those synchronized to another camcorder by interpolation.

(Accepted October 2, 2006)

動作分析用に設計された高速度ビデオカメラは、一般には複数のカメラのシャッターを同期させ、かつ高速に撮影することができる<sup>1)</sup>。ただし、家庭用のアナログ<sup>2)</sup>あるいはデジタルビデオカメラと比較すれば、かなり高価で、設置や操作は、機種にもよるが必ずしも容易とは言いがたい。これに対し、近年普及した家庭用のデジタルビデオカメラは、カメラヘッドと録画部が一体であるにもかかわらず小型、軽量のため扱いやすく、かつ安価である。また、1秒あたり29.97フレームの撮影を行うが、1フレームはインターレース方式によって交互に走査した奇数と偶数の走査線による2つの画像から構成されるので、記録されたファイルにアクセスし2枚の画像に分離すれば、1秒あたり $29.97 \times 2 = 59.94$ フィールドの画像を得ることができる。1秒あたり約60コマということは、約1/60秒の分解能で動作を分析することができることを意味する。すなわち、野球における打球やゴルフ

のスイングにおけるクラブヘッドなどの高速な動きを分析するには不十分な場合が多いが、比較的低速な身体各部分の動きを観察するには、多くの場合十分である。

しかし、2台の家庭用ビデオカメラを用いて3次元の動作を撮影する場合、両者のシャッターを同期させることはできないので、同じ瞬間の1コマずつを撮影することはできない。ただし、絶対的な位置を求める必要がなく、また急激な運動方向の変化があまりないという条件のもとで、移動距離や速度、2点以上の相互の位置関係などがわかりさえすればよいのであれば、1コマから次のコマまでの露光間隔が安定している限り、必ずしも両者を同期させる必要はなく、また両者の動作時間差を知る必要もない。しかし、2台で撮影した映像のどれらのコマ同士が、時間的に一番近接して対応しているかを知る必要はある。また、絶対的な位置を知る必要がある場合には、2台のカメラの動作時間差を求め、時間軸と

京都府立大学人間環境学部食保健学科健康科学研究室

Laboratory of Health Science, Department of Food Sciences and Nutritional Health, Faculty of Human Environment, Kyoto Prefectural University

座標データについて1次補間あるいはラグランジュ補間など何らかの補間法を用い、2台を同期させたと同等のデータを得るようにすればよい。

この動作時間差については、大掛かりになっても差し支えなければ、2台のカメラそれぞれに同期信号分離装置(シンクセパ)を接続し、これを用いて露光の時間差を知ることができる。しかしその場合、カメラから画像信号を出力させ、ケーブルを介して同期信号分離装置に入力させ、さらにこれらの装置それぞれから時間差測定装置まで、ケーブルを接続しなければならない。また、これらの装置はいずれにも、電源の供給が必要である。これに対し、2台のカメラに時間分解能の高い同一の時計を写し込めば、理論上はるかに容易に目的を達成することができる。ただし、ある程度離れた距離、しかも時計から見て角度の異なる2方向から撮影して読み取ることのできる大きさで、さらにシャッタースピード1/60~1/250秒程度の長い露光時間でも、高分解能の時間を示す盤面と針などをカメラに鮮明に撮影させることのできる時計が必要である。

すなわち、7セグメントLEDなどによるデジタル表示の場合、カメラの露光中に表示が変化すれば数字が重なって撮影され、読み取ることができなくなり、高分解能の要求を満たさない。アナログ式の場合、ステップモータなどを用いれば、使用するカメラに合わせその都度、読み取ることのできる最高速度で正確に針を回すことも、手数をいとわなければ不可能ではない。ただし、720×480ドット程度の画面上で時間を読み取るためには、画面上で相応のスペースを占める大きさの時計を設置しなければならず、このようなことは容易でない。そこで、設置も操作も容易で、時計にかわり必要な条件をすべて満たす簡易な装置を開発し、2台のカメラを同期させたに相当するデータを得ることを試みた。

## 方 法

長さ1m、幅2cm、厚さ1.5mmの板2枚の、1mの一辺同士を90度の角度で接合した形状をした白色プラスチック製のL型棒状アングル(ホワイトアングル)に幅5cmの赤色ラインテープを、アングルの長軸に直角に5cm間隔で10枚、L型の外側2面にわたって貼り付け、それぞれのラインテープ片上の2面に1個ずつ穴を開け、ブラケット入りの緑色LEDを合計20個、光の放射方向をL型の外側にして実装した。さらに、第1図の中央から右に示す通り、同じラインテープ片上、すなわちL型棒状アングルの一方の端から同じ距離にあるLED同士を、直列に配線した。したがって、これらペアの一方が点灯または消灯していれば、これと90度の角度をなすもう一方のLEDも、全く時間遅れなく、必ず点灯または消灯していることとなる。これら10組のLEDは、第1図の通りシングルチップマイクロコンピュータ

(Microchip PIC16C84)を用い、L型棒状アングルの端から順に、1/600秒ずつ点灯して1巡し、1秒ごとにこれを繰り返すようにした。

なお、5cm幅の赤色ラインテープを5cm間隔で白色のアングルに貼り付けたのは、被験者1人の動作を分析するのに適した画角で撮影する際一緒に写し込んだ場合、ビデオ再生時にラインテープひとつひとつが別々に認識でき、したがって端から何番目のLEDが点灯しているかが明瞭にわかる、ほぼ最小限の大きさとするためである。また、LEDの色を緑としたのは、ビデオ撮影の際、比較的明るく写るためである。

また、「本体」とLEDを実装したアングル棒はそれぞれの部分に分け、コネクタを介し両者をリード線で接続した。その理由は、次の通りである。すなわち、第1図のスイッチは本体に実装した押しボタンで、これを押すとLEDが点灯を開始するのであるが、LEDは撮影する画面上の、邪魔にならない位置に設置するのに対し、押しボタンは操作しやすい場所にあった方が便利だからである。本体は、電源部分を含め12cm×7cm×3.6cmの大きさのプラスチック製のケースに収め、重量は本体が275g、LEDを実装したアングル棒(約2mのリード線を含む)が345gであった。次に、図のLINE OUTは、検者あるいは被験者への合図として、スピーカから「ピッ」という音を発せさせる場合に使用するものである。これらの点については、Appendixに機械語によるプログラムの例を示し、簡単な説明を添えた。なお、LEDを実装したアングル棒は、被験者の背後等に場所をとらないよう縦に設置し、そのL型の外側2面は2台のビデオカメラそれぞれに正対させるものとした。

この装置は、当初、バレーボールにおけるパスの3次元動作分析を行うために製作したもので、その際体育館において、LEDを実装したアングル棒を、被験者背後の壁面に縦に取り付けた。L型の外側2面は被験者の右前方と左前方ともに約20m離して設置したビデオカメラ(いずれも、ソニーDCR-TRV17)にそれぞれ正対させた。撮影には、使用したビデオカメラに備わっているプログラムAEモードのうち、「スポーツレッスン」を選択し、被験者の動作を撮影する際、アングル棒を同時に写し込んだ。また、被験者の前方3mの位置にバレーボールマシン(フルザーコーポレーションVM-H)を設置し、本体のLINE OUT端子にパーソナルコンピュータ用のアンプ付きスピーカ(エレコムMS-70SV)を接続して、これを用いボールを発射するタイミングを検者に指示させた。

## 結 果

撮影後、テープを再生してパーソナルコンピュータ(マザーボード:GYGABYTE GA-7VT880-L, CPU:AMD Athlon XP 3200+)に取り込み、720×480ドット

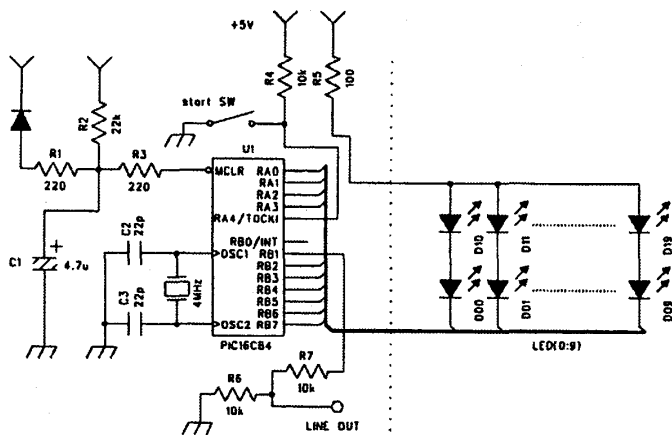


Fig.1 Circuit diagram of the synchronizing signal generator for 3D motion analysis with 2 household camcorders. Ten pairs of LEDs connected in series light successively for each 1/600 second once each cycle, and this cycle is repeated at intervals of 1 second.

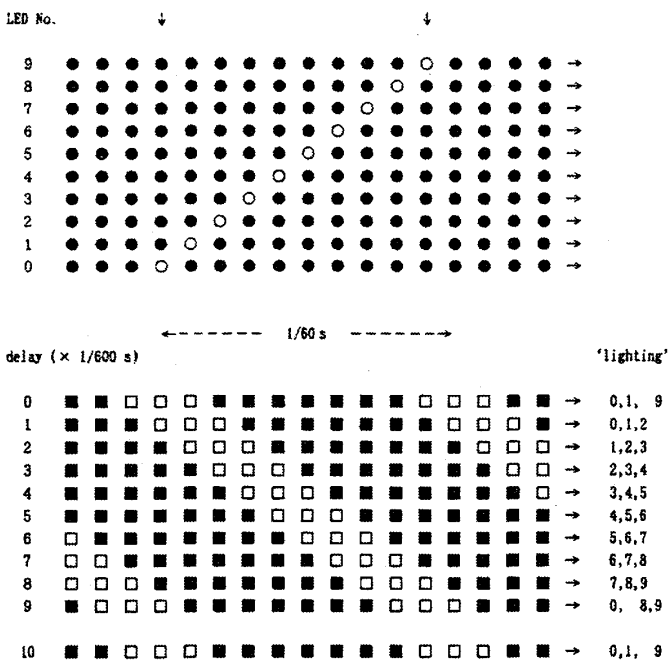


Fig.2 Conceptual diagram of exposure condition at a certain shutter speed. In the upper part of this figure, each column (vertical) indicates a line of 10 LEDs; an open circle is a lighting LED and closed circle not lighting. From left to right, each vertical line means a certain state of successive 1/600 second. In the lower part, an open square means exposure state and closed square not being exposed. This figure indicates the examples of experimental data that 3 LEDs are recorded to a camcorder while the shutter is open state. If LED0, 1 and 2 are recorded as the second row (horizontal), the midst of exposure time accorded to the lighting time of LED1, and the delay from the lighting time of LED0 is  $(1/600) \times 1$  second as written at the left end of the lower part of this figure.

の画像として表示させた結果、通常の照明条件のもとで、LEDの点灯を明瞭に認識することができた。ただし、LEDは画面に明るく写る場合のほか、薄く写ることもあった。薄いのは、そのLEDが点灯後ある程度時間が経過してからビデオカメラの露光が始まったか、逆に点灯時間の1/600秒が経過する以前に露光が終了した場合である。

なお、一般にビデオカメラのシャッタースピードは標準では1/60秒なので、プログラムAEモードを解除して撮影すると、1/600秒ごとに順次点灯する10個のLEDは、全部が明るく写っている場合には、連続する2コマに合計10個写るか、まれに1コマに10個全部が写ることとなる。実際には「スポーツレックス」を選択したので、LEDの点灯している1コマまたは連続する2コマでは、1コマに写っていた場合には連続した3個、連続する2コマに写っていた場合には合計3個のLEDのみが明るく点灯しているか、さらにもう1個、時間的に最初または最後のLEDが薄く点灯しているか、あるいは4個のLEDのうち最初と最後の両者が薄く、間の2個が明るく点灯していた。このことは、シャッタースピードが  $1/600 \times 3 = 1/200$  (秒) 強であったことを意味する。

以上のLEDの状態を、3個のLEDが写る場合について、第2図に示した。図の上半分において、白丸は点灯しているLED、黒丸は消灯しているLEDで、縦に10個並んだLEDは、1秒ごとに1/600秒間ずつ、下から上に1個ずつ順次点灯して行く。LEDの縦の列は、1列ずつが、左から右へ1/600秒経過するごとにおける状態を表している。次に図の下半分において、白四角はビデオカメラが露光中を、黒四角は露光停止中を表し、横1行ごとに、左から右へ四角のマーク1個あたり1/600秒ごとの状態を示している。露光中にLEDの点灯に遭遇すれば3個のLEDが写し込まれる状態を、白四角で表現した。

四角の一番上の横1行から読み取ることでできる通り、一番下すなわち0番のLEDの点灯が、ちょうど露光時間の間あたりであったとすると、そのコマには0番と1番のLEDの点灯が写し込まれ、次のコマに9番のLEDの点灯が写し込まれる。2行目から読み取れる通り、下から2番目すなわち1番のLEDの点灯が、ちょうど露光時間の間あたりであったとすると、そのコマには0番、1番、2番の3個のLEDの点灯が写し込まれる。したがって、図の下半分の右端に示したような、どのLEDが点灯しているかのパターンから、左端に示した通り、露光時間の間点が0番のLED点灯から1/600秒単位でどれだけ遅れていたかを知ることができる。

なお、前述の通りLEDが3個写っている場合には、露光時間の間時点は、3個のうち中央のLEDが点灯している時間とほぼ一致する。4個写っている場合で、最初と最後のLEDが両方薄い場合、露光時間の間時点は、前から2番目と3番目のLEDの点灯している時間の間時点であり、最初または最後のLEDが薄い場合には、濃



```

MOV LW 0FH          ; output data = (xxxx1111)
MOV WF PORTA       ; (LED0-3 OFF)
MOV LW 0FDH        ; output data = (1111110x)
MOV WF PORTB       ; (SP=0 LED4-9 OFF)

BSF STATUS,5      ; RP0=1
MOV LW 88H         ; B'100x1xxx'
MOV WF OPTIO       ; (PORTB pull up disable
                  ; TMR0 don't care)
MOV LW 00H         ; initialize Port A
                  ; (PA0-4 output)
MOV WF TRISA       ; " (xxx00000)
                  ; ( " )
MOV LW 01H         ; initialize Port B
MOV WF TRISB       ; " (00000001)

MOV LW 00H         ; B'00000000' disable all interrupt
MOV WF INTCON      ;

BCF STATUS,5      ; RP0=0

-----

BCF REGG,0        ; clear flag

BTFSS PORTB,SW    ; sense SW
BSF REGG,0        ; set flag if SW-ON

----- light -----

MOV LW 0FEH        ; (11111110)
MOV WF REGE       ; "

MOVF REGE,0       ; LED0 ON
MOV WF PORTA      ; (11111110)

MOV LW 04H        ; rotate left 4 times
MOV WF REGD       ; "

INI20:
MOV LW 0AH        ; timer about 100 ms
MOV WF REGC       ; "

INI40:
MOV LW 64H        ; "
MOV WF REGB       ; "

INI60:
MOV LW 64H        ; "
MOV WF REGA       ; "

INI80:
DECFSZ REGA,1    ; "
GOTO INI80       ; "
DECFSZ REGB,1    ; "
GOTO INI60       ; "
DECFSZ REGC,1    ; "
GOTO INI40       ; "

BSF STATUS,0     ;
RLF PORTA,1      ; LED turn OFF/ON
DECFSZ REGD,1    ;
GOTO INI20       ;

MOV LW 0FFH       ; LED3 OFF
MOV WF PORTA      ; (11111111)

-----

MOV LW 06H        ; rotate left 6 times
MOV WF REGD       ; "

MOV LW 0FBH       ; (11111011)
MOV WF REGE       ; "

INI100:
MOVF REGE,0      ;
ANDLW 0FDH       ; W AND (11111101)

MOV WF PORTB     ; LED turn OFF/ON

MOV LW 0AH        ; timer about 300 ms
MOV WF REGC       ; " (10 times)

INI110:
MOV LW 64H        ; "
MOV WF REGB       ; " (100 times)

INI120:
MOV LW 64H        ; "
MOV WF REGA       ; " (100 times)

INI130:
DECFSZ REGA,1    ; " 3 us / cycle
GOTO INI130      ; "

DECFSZ REGB,1    ; "
GOTO INI120      ; "

DECFSZ REGC,1    ; "
GOTO INI110      ; "

BSF STATUS,0     ;
RLF REGE,1       ;
DECFSZ REGD,1    ;
GOTO INI100      ;

MOV LW 0FDH       ; turn OFF LED10
MOV WF PORTB      ;

-----

SWTEST:
BTFSC PORTB,SW   ; sense SW
GOTO SWTEST

BTFSC REGG,0     ; test flag
GOTO MAIN

////////////////////////////////////

CALL SOUND05     ; sound for 0.5 s
CALL DELAY05     ;
CALL LIGHT       ;
CALL DELAY10     ; delay for 1 s
CALL LIGHT       ;
CALL DELAY10     ; delay for 1 s
CALL LIGHT       ;
CALL DELAY20     ; delay for 2 s
CALL DELAY6M     ; delay for 355 s
                  ; = 360 s

-----

MAIN:
CALL SOUND05     ; 0.5 s
CALL DELAY05     ;
CALL LIGHT       ;
CALL DELAY10     ; 1 s
CALL LIGHT       ;
CALL DELAY10     ; 1 s
CALL LIGHT       ;
CALL DELAY20     ; 2 s

CALL SOUND01     ; 0.2 s
CALL DELAY01     ; 0.1 s
CALL SOUND01     ; 0.2 s
CALL DELAY07     ; 0.5 s
CALL LIGHT       ;
CALL DELAY10     ; 1 s
CALL LIGHT       ;
CALL DELAY10     ; 1 s
CALL LIGHT       ;
CALL DELAY20     ; 2 s

```



```

LGHT80:
MOVF REGE,0      ;
ANDLW OFDH      ; W AND (11111101)
MOVWF PORTB     ; LED turn OFF/ON

                ; timer for 1/600 s
                ; (0FA=250)
                ; 2+3*250-1=751 us
MOVWL 0FAH
MOVWF REGA      ;
LGHT90:
DECFSZ REGA,1   ;
GOTO LGHT90     ;
                ;
MOVWL 0FAH      ; (0FA=250)
                ; 2+3*250-1=751 us
MOVWF REGA      ;
LGHT100:
DECFSZ REGA,1   ;
GOTO LGHT100   ;
                ;
MOVWL 34H       ; (34H=52) 2+3*52-1=157 us
MOVWF REGA      ;
LGHT110:
DECFSZ REGA,1   ;
GOTO LGHT110   ;
                ;
NOP             ;
BSF STATUS,0   ;
RLF REGE,1     ;
DECFSZ REGD,1  ;
GOTO LGHT80    ;

MOVWL OFDH     ; LED10 OFF
MOVWF PORTB   ;

RETURN

;//////////////////////////////////////
;----- lower sound (0.1 s) -----

LSOUND:
MOVWL 01H      ; repeat 50 times (0.1 s)
MOVWF REGC     ;
LS100:
MOVWL 32H      ; " 32H=16*3+2=50
MOVWF REGB     ;
LS200:
MOVWL 0FFH     ; SP 0->1 (Port B)
MOVWF PORTB   ; " (11111111)

MOVWL 04H      ; repeat 4 times (250 us * 4)
MOVWF REGD     ;
LS300:
MOVWL 52H      ; B' (01010010) =82
                ; 2+82*3-1=247
MOVWF REGA     ; 250 us
LS400:
DECFSZ REGA,1  ;
GOTO LS400     ;
                ;
DECFSZ REGD,1  ;
GOTO LS300     ;

MOVWL 0FDH     ; SP 1->0 (Port B)
MOVWF PORTB   ; " (11111101)

MOVWL 04H      ; repeat 4 times (250 us * 4)
MOVWF REGD     ;

LS500:
MOVWL 52H      ; B' (01010010) =82
MOVWF REGA     ; 250 us
LS600:
DECFSZ REGA,1  ;
GOTO LS600     ;
                ;
DECFSZ REGD,1  ;
GOTO LS500     ;
                ;
DECFSZ REGB,1  ; 100 times ?
GOTO LS200     ;
                ;
DECFSZ REGC,1  ; 2 times ?
GOTO LS100     ;
                ;
RETURN

;//////////////////////////////////////
;----- sound (0.1 s) -----

SOUND01:
MOVWL 02H      ; repeat 200 times (0.1 s)
MOVWF REGC     ;
SND10:
MOVWL 64H      ; " 16*6+4=100
MOVWF REGB     ;
SND20:
MOVWL 0FFH     ; SP 0->1 (Port B)
MOVWF PORTB   ; " (11111111)

MOVWL 52H      ; B' (01010010) =82
                ; 2+82*3-1=247
MOVWF REGA     ; 250 us
SND30:
DECFSZ REGA,1  ;
GOTO SND30     ;
                ;
MOVWL 0FDH     ; SP 1->0 (Port B)
MOVWF PORTB   ; " (11111101)

MOVWL 52H      ; B' (01010010) =82
MOVWF REGA     ; 250 us
SND40:
DECFSZ REGA,1  ;
GOTO SND40     ;
                ;
DECFSZ REGB,1  ; 100 times ?
GOTO SND20     ;
                ;
DECFSZ REGC,1  ; 2 times ?
GOTO SND10     ;
                ;
RETURN

;//////////////////////////////////////
;----- sound (0.5 s) -----

SOUND05:
MOVWL 0AH      ; repeat 1000 times 0AH=10
MOVWF REGC     ;
SND100:
MOVWL 64H      ; " 16*6+4=100
MOVWF REGB     ;
SND110:
MOVWL 0FFH     ; SP 0->1 (Port B)

```

```

MOVWF PORTB      ; " (11111111)
MOVWF REGA       ; B' (01010010) =82
MOVWF REGA       ; 250 us
SND120:          ; "
DECFSZ REGA,1    ; "
GOTO SND120      ; "

MOVWF REGA       ; SP 1.>0 (Port B)
MOVWF PORTB      ; " (11111101)

MOVWF REGA       ; B' (01010010) =82
MOVWF REGA       ; 250 us
SND130:          ; "
DECFSZ REGA,1    ; "
GOTO SND130      ; "

DECFSZ REGB,1    ; 100 times ?
GOTO SND110      ; "
DECFSZ REGC,1    ; 10 times ?
GOTO SND100      ; "

RETURN

```

;//////// delay for 0.1 s //////////

```

DELAY01:
MOVWF REGD       ; ( 1 time)
MOVWF REGD       ;
MOVWF REGD       ;
MOVWF REGD       ; (100 times) = 100 ms
MOVWF REGC       ;
CALL DELAY       ;
RETURN           ;

```

;//////// delay for 0.5 s //////////

```

DELAY05:
MOVWF REGD       ; ( 5 times) = 500 ms
MOVWF REGD       ;
MOVWF REGD       ;
MOVWF REGD       ; (100 times) = 100 ms
MOVWF REGC       ;
CALL DELAY       ;
RETURN           ;

```

;//////// delay for 0.7 s //////////

```

DELAY07:
MOVWF REGD       ; ( 7 times) = 700 ms
MOVWF REGD       ;
MOVWF REGD       ;
MOVWF REGD       ; (100 times) = 100 ms
MOVWF REGC       ;
CALL DELAY       ;
RETURN           ;

```

;//////// delay for 0.9 s //////////

```

DELAY09:
MOVWF REGD       ; ( 9 times) = 900 ms
MOVWF REGD       ;
MOVWF REGD       ;
MOVWF REGD       ; (100 times) = 100 ms
MOVWF REGC       ;
CALL DELAY       ;
RETURN           ;

```

;//////// delay for (1 - 1/60 = 0.983333) s //////////

```

DELAY10:
MOVWF REGD       ; ( 9 times) = 0.900 s
MOVWF REGD       ;
MOVWF REGD       ; (100 times) = 100 ms
MOVWF REGC       ;
CALL DELAY       ;

MOVWF REGD       ; ( 1 time) = 0.083 s
MOVWF REGD       ;
MOVWF REGD       ; ( 83 times) = 83 ms
MOVWF REGC       ;
CALL DELAY       ;

RETURN           ;

```

;//////// delay for (2 - 1/60 = 1.983333) s //////////

```

DELAY20:
MOVWF REGD       ; ( 19 times) = 1.900 s
MOVWF REGD       ;
MOVWF REGD       ; (100 times) = 100 ms
MOVWF REGC       ;
CALL DELAY       ;

```

;---- delay for 0.083 s ----

```

MOVWF REGD       ; ( 1 time) = 0.083 s
MOVWF REGD       ;
MOVWF REGD       ; ( 83 times) = 83 ms
MOVWF REGC       ;
CALL DELAY       ;

RETURN           ;

```

;//////// delay for (6 min - 5 s = 355 s) //////////

```

DELAY6M:
MOVWF REGE       ; ( 71 times) = 5*71 s = 355 s
MOVWF REGE       ;
; -----
DLY6M10:
MOVWF REGD       ; ( 50 times) = 5 s
MOVWF REGD       ;
MOVWF REGD       ; (100 times) = 100 ms
MOVWF REGC       ;
CALL DELAY       ;
; -----
DECFSZ REGE,1    ;
GOTO DLY6M10     ;
RETURN           ;

```

;//////// delay for 0.7 s //////////

```

DELAY:           ; argument -> REGD,
MOVF REGC,0      ; argument -> REGC, CALL
MOVWF REGB       ; REGC -> REGB
MOVWF REGB       ; "

```

```

DLY10:
MOVWF REGA       ; OF9H=249
MOVWF REGA       ; 2+4*249-1+2=999 us
MOVWF REGA       ; REGA = 1st counter

```

```

DLY20:
NOP              ; 1 us
DECFSZ REGA,1    ; 1 us
GOTO DLY20       ; 2 us

```

```

DECFSZ REGB,1    ; REGB = 2nd counter
GOTO DLY10       ;

```



```

DECFSZ REGD,1      ;REGD = 3rd counter
GOTO  DELAY        ;
RETURN             ;
;////////////////////
END

```

電源を投入すると、LEDやリード線などの不良がなく、装置が基本的に正常に機能するかどうか確認するため、まず10個のLEDがゆっくりと順次点灯する。押しボタンを押すと、最初の6分間は、単に、座位安静時のエネルギー消費量を呼気の分析によって測定するための時間待ちをする。次の2分間は、1秒間隔でLEDを

1/600秒ずつ順次点灯させるほか、検者がボールを出すタイミングを指示するための信号音を発する。その際、5秒おきに「ピッ」という1拍の音と「ピッピッ」という2拍の音を繰り返し、1拍の場合は実際にバレーボールのアンダーハンドパスを行わせ、2拍の場合は模擬動作のみを行わせて、慣れない被験者の腕の苦痛の軽減をはかる。次の1分間は、この間のパス動作のエネルギー消費量を測定するため、5秒おきに「ピッ」という音1拍を繰り返す。押しボタンを押したまま電源を投入すると、最初の6分間の時間待ちが省略され、装置の動作確認やスピーカの音量調節などに利用できる。なお、このプログラムは、装置を他の動作分析に使用するとき変更が容易な記述方式とした。