

パツムワン工科大学へのマイクロコンピュータ応用技術の導入

Microcomputer Education Materials for Pathumwan Institute of Technology supported by JICA

佐藤 清忠, プラモート・スリノイ

一関工業高等専門学校機械工学科, パツムワン工科大学メカトロニクス工学部

Kiyotada Sato, Ichinoseki National College of Technology Mechanical Engineering,
Pramot Srinoi, Pathumwan Institute of Technology Faculty of Mechatronics (Bangkok, Thailand)

Abstract In Mechatronics Engineering education, it is important to educate the Interdisciplinary knowledge. Robot system is useful to learn the knowledge effectively. This report describes robot education with Z80 or PIC, H8 microcomputer. These education materials were introduced from 1997 into Pathumwan institute of technology by support of JICA.

Key words : JICA, Z80, PIC, H8, Sumo Robot, Ultrasonic Object Detector

1 はじめに

タイ国は、教育省職業教育局下にあるパツムワン工業高等専門学校（現パツムワン工科大学）を、工業高等専門学校の核として位置づけ、同校を新技術分野の技術者養成の中心的存在としようとして構想した。この構想をもとに、日本政府に対し1990年に電子工学教育関連機材の無償資金協力を要請し、また教官のレベル・アップと産業界のニーズに応えられる実践的技術者の育成を目的として、プロジェクト方式技術協力の要請をおこなった。

これに対し日本政府は、1991年同校に約6億円の無償資金協力を実施することを決定し、電子工学関連分野の実験・実習用機材と教育補助用機材としてビデオ教材製作機材、LL教室用機材を1993年に供与するとともに、同年4月より学士課程レベルのメカトロニクス学科開設とそれに必要な技術移転を目的としたプロジェクト方式技術協力を開始した。具体的には教材設備や研究機材の導入とその指導をすることであるが、これをパツムワン工業高等専門学校拡充計画（PTCプロジェクト）と呼ぶ。

メカトロニクス学科の教育、研究分野は、自動制御、マイクロコンピュータ、CAM&CNC、計測技術、プロセス制御、ロボット、デジタル制御、自動化工場理論、センサー技術、油空圧制御にわたり、1993年から具体的に、日本から高専教官はじめ、大学の教官が現地に派遣され、教材の導入と操作等の指導が開始された。当該学科は、新年度20名の学生定員であり、

順次増加し、現在1学年80名となっている。教官数は合計13名（1997年現在）である。

以上、JICAを通じて行ったPTCプロジェクトがタイ政府に認められ、2000年以降に、工科大学として大幅な機構改革が行われる予定である。

ここで紹介する内容は、PTCプロジェクトの最終年度であった1997年と、延長期間2年間の合計3年間で行ったマイクロコンピュータ部門に関する具体的な教育機材と、その実施結果を報告する。

2 Z80マイクロコンピュータによる 自走型相撲ロボットの導入

2-1 教材設備のねらい

自走型相撲ロボットCZR720-JRP（システムロード社）の導入の経緯は次の通りである。当初、ファジィ制御やニューロ等の先端的な教育研究設備の支援が期待されていた。しかしタイ国の現状を関係者に尋ね調査した結果、多数の学生が開発体験できるロボット教材と、その開発が可能な教材、すなわち電子部品類や計測器類の導入を思いつき、この有効性を強く勧めたのであった。

筆者らは、メカトロニクス技術教育の目標は、機械工学や電気工学、情報工学等の学際的な技術のコーディネート能力をもつ専門技術者の養成である、という信念があった。そうした学際的な技術が、ロボコン競技のような授業を行うことで体験、習得できるのではないかと考えた。またタイ国内の他の専門学校でも

購入が可能であり、授業担当者の負担はそれほど多くはなく、学生は主体的に取り組めるので、様々な観点から教材として好ましい、と予想したのである。

当面は20人規模で授業するとして、Z80制御のロボットを12台購入した。開発に必要な教材は、具体的にはハンダこてやニッパー、ワイヤストリッパー、またラッピングワイヤやフラットケーブル、万能基板、E24シリーズの抵抗やコンデンサ、各種半固定抵抗、CMOS-IC類、OPアンプIC、センサ、LED類、コネクタ、直流安定化電源、実験用オシロスコープ、デジタルマルチメータである。パソコンを除き、予算総額約300万円を使い、以上の競技を行うために必要最小限と思われる環境を一挙に整えた。

2-2 ロボット教材の製作実習

写真1には導入したCZR720-JRPを示す。光センサが底面の4隅にあり、このセンサ信号をZ80CPUで検出し、適切な制御信号を四輪駆動の各モータに送り出し、相手を押し出したり、土俵中央へ戻ろうとする目的の動作を行わせる。

初年度は組立て作業を行う必要があった。その結果、複雑な対戦型制御プログラムの開発を行う期間がなく、光センサだけを用い、白黒のラインをトレースして走行時間を競わせる課題を提案した。その様子を写真2に示す。折れ曲がったコースの途中にはセンサ信号を乱す雑音シールを貼り付け、この外乱を克服して無事に一回りしてくることを開発課題にした。競技は学校1階の廊下で開催し一般公開した。授業を受けた学生は、大学3年、4年生の希望者（課題研究の実験授業）であり、1台のロボットに2～3名の学生を割り当てた。単純なルールながらそれぞれ個性的な走行になり、大勢の前できちんと動作させることの緊張感や難しさを体験したと思われる。

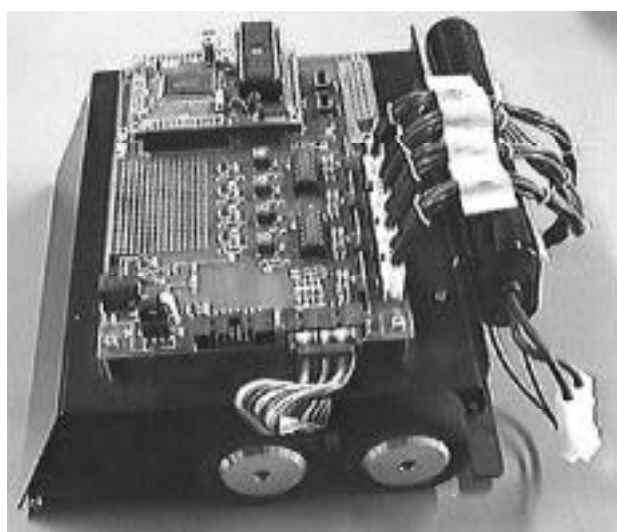


写真1 CZR720-JRP



写真2
走行速度競技



2-3 超音波物体検出回路

相撲競技を想定し、相手ロボットの存在を検出するために、初年度に超音波センサによる物体検出装置を製作させた。その回路例をFig.1に示す。

学生たちの大部分は工業高校からの入学であり、工作に熟練しており、また工科大学の教員の協力のもとでタイ語の教科書も作成し熱心な指導支援があったために、全員、動作させることができた。目標は50cm程度の物体の検出であるが、うまく調整することにより約2m程度の物体の存在を知ることができる。しかし、本格的な競技への活用には至らず、なお1年の時間が必要であった。

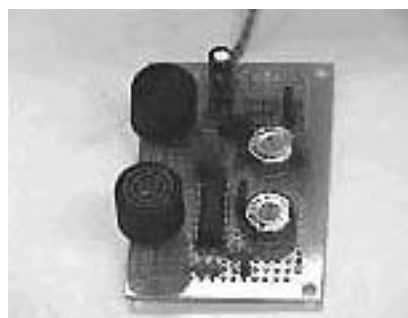


写真3 超音波物体検出回路と製作実習作業

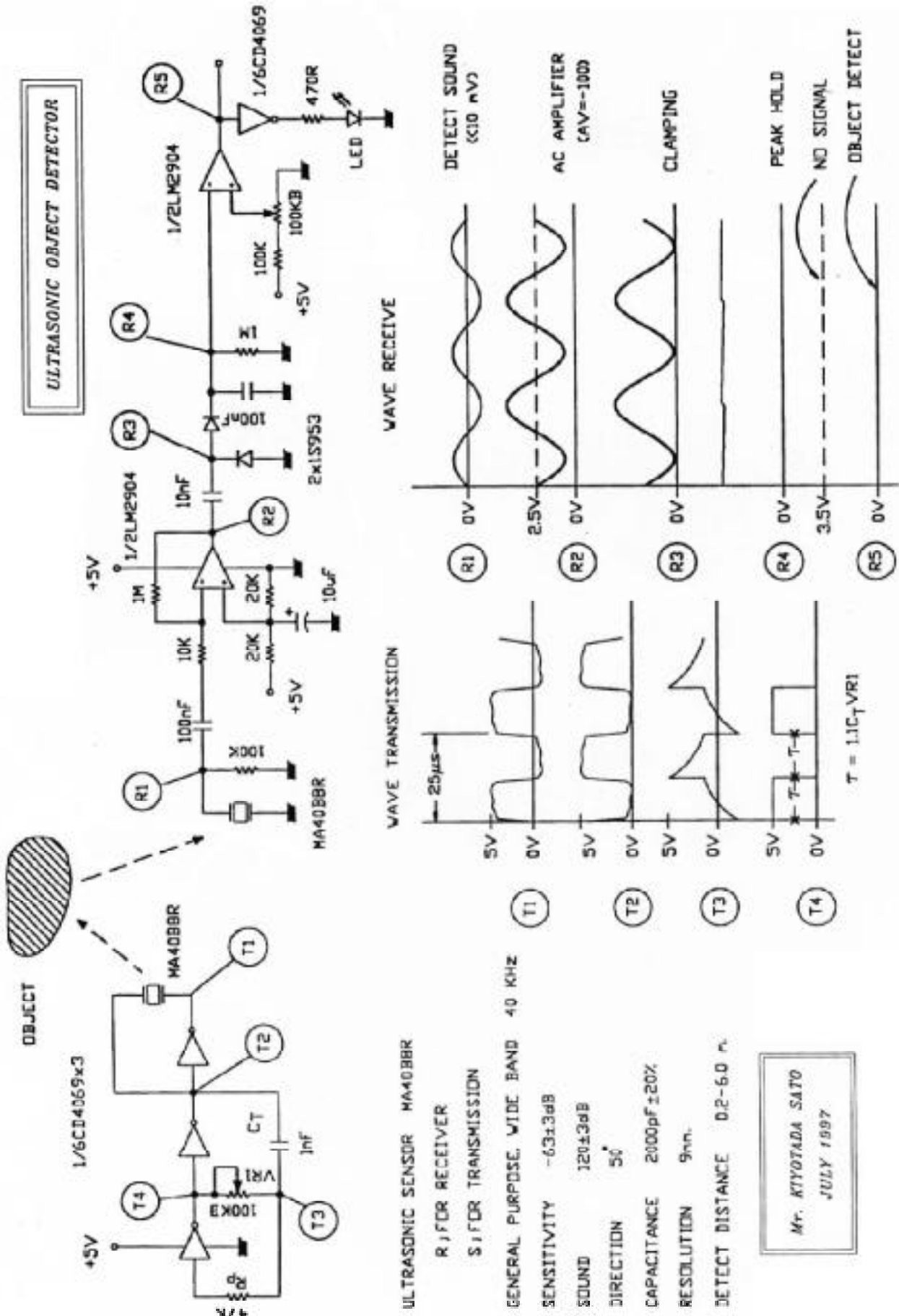


Fig.1 超音波物体検出回路

2-4 対戦型プログラムの開発

支援2年目、1998年には、1997年度の経験をふまえ、Fig.1の超音波物体検出回路を搭載した本格的な対戦型ロボットのZ80プログラム開発を行った。写真4には、試合のようす、アセンブラ作成からPROMを製作する環境等の状況を示す。

土俵の白線を検出しながら、超音波で相手の位置を確認し、そちらに進むプログラム作成は、「遷移表」のような制御データを作成すると作成しやすくなり、その技法をFig.2のように紹介した。なおZ80アセンブラ開発環境、XA80、SW-3 PROM Writerは、タイ語環境のAT機にインストールされており、日本語表記部分が文字化けしてしまう。これは対応図により位置確認しながら操作するよう指導した。

超音波による物体検出のために、周波数を少しずらし、相互の干渉を防ぐ目的の2次バンドパス・フィルタの提案を行った。回路図をFig.3に示す。しかし調整に微妙な技術が必要である等の問題が生じ、結果的には同じ周波数を使い、単純な物体検出を行った。これらの付属回路により、ロボットの制御基板の改造も必要になり、製作グループでは電子制御を行う人と、

ロボットの機構そのものを改造し製作する人に作業分担当したようである。

機構部品の工作は、廃材を利用し、回転カッターなど、ありあわせの工作機械を工夫して使用した。しかしその仕上がりや信頼性等の完成度は高かった。

あるグループでは回転運動でなく直進と後退だけで突き進む戦術を採用し、また奇抜な戦術として白板を相手の白線検出センサに検出させて後退させる戦術もあった。多様な設計の仕方があり、積極的に実現を試みる姿勢に感心させられた。

対戦型ロボットの設計・製作は、取り組みから完成まで2週間しかなかった。学生は前年度と同様に3～4年生から募集を行い、2～3名を12台のロボットそれぞれに割り当てた。何人かの学生は徹夜の作業も行った。限られた測定器、また部品をうまく利用して、それぞれの目的の動作を期限まできちんと完成させてくる粘り強さがあった。

こうした経験も少しは影響があった想像するが、授業に参加した学生の何人かが参加したチームが、この年の秋に開催された世界ロボコン大会の大学部門のタイ国内予選で、圧倒的な勝利を収めたのである。



写真4-1 製作・調整作業



写真4-2 Z80 プログラミング・PROM製作



写真4-3 試合のようす

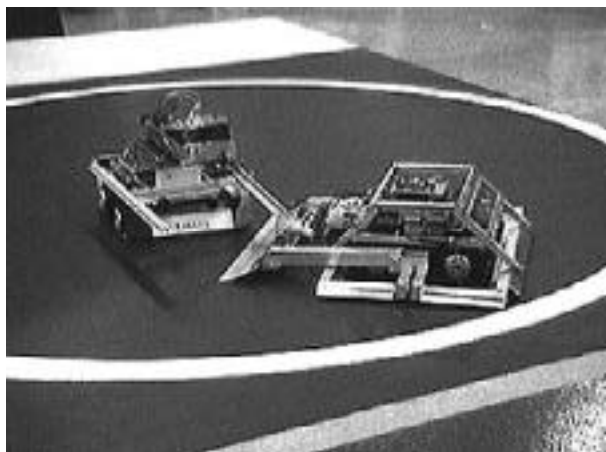


写真4-4 独自の戦術による設計

Sumo Robot Control program design Hints

1 procedure
 write Z80 assembler control program using note_pad
 compile by XA80W
 PROM write by swlus

2 Observation basic value (Need not so exactry)
 1) Velocity of forward/backward
 Get typical value V(cm/s)
 Under condition of Full-charge / poor-charge
 2) Velocity of turning
 Get typical value VA(degree/s)
 Under condition of Full-charge / poor-charge
 3) Time lag
 Head lag/ Tail lag time
 4) Caution to excahnge counter-tward
 Rush current (short circuit current) will occure. If the current occure frequently, motor driver IC will be broken.

3 Sensing method
 Use Majority operation
 $y=abc'+ab'c+a'bc$
 Three times sense and determin real result use by majority operation

6 Drive control command with consider before command

Now	Before	next	command	Backward
Status	Forward	T/L	T/R	Backward
0	F	T/L	T/R	B
1	B	T/L	T/L	B
2	B	T/R	T/R	B
3	B	B	B	B
4	F	T/L	T/L	F
5	T/L	T/L	T/R	T/R
6	S	S	S	S
7	S	S	S	S
8	F	T/R	T/R	F
9	S	S	S	S
A	T/R	T/R	T/L	T/L
B	S	S	S	S
C	F	F	F	F
D	S	S	S	S
E	S	S	S	S
F	S	S	S	S

7 How to create command table by Z80 Assembler
 Use Indirect addressing by HL register
 H=(90H) Highr address valu
 L=sensor status + before command code

```

ORG 9000h
S0 DB 05h,09h,06h,0ah
S1 DB 0ah,09h,09h,0ah
SF DB 00,00,00,00
LD H,90h
CALL SENSOR ....
Results put b3-b0 use by majority operation
SLA A
SLA A ....
Create address use by sensor output data
OR D ....
D register has before command
LD L,A ....
A register has lower address of table
LD A,(HL) ....
Get table data , next control data
    
```

8 Smart type using ultrasonic sensor
 Under the condition sensor status 0, If you have object detector, can more smart program design example as follows.

Object Detect	Before command	T/L	T/R	B
no	T/L	B	-	F
yes	F	F	F	F

This transition table will cause a unique motion to search object 1st Turn left next back, next forward, and turn left repeatedly up to find object. If you want to effectively attack to enemy, this method will available.

Fig.2 授業用テキスト例・Z80CPU によるモーター制御 (一部)

Multiple feedback type Band-pass Filter

ตัวกรองการขยายแบบ [1]
 Design sheet

Frequency	1000 (Hz)
Q	10
Gain of f_0	1
Capacitor	0.01 (uF)
GB products	10000 (Hz)
Allowed by LM324	OK

resistor1 318.3095862 (ohm)
 resistor1 158.1548431 (ohm)
 resistor2 6.789773583 (ohm)

(1) 1500uVrms BPF, RL0

$Q = \frac{f_0}{f_1 - f_2} = \frac{f_0}{\Delta f}$

Multiple Feed-back type BPF
 by Motorola Linear Data Book

- f_0, Q, R_1 (gain of ω_0/f_0) are C
- $R_5 = \frac{Q}{\omega_0 C}$
- $R_1 = \frac{R_3}{2Q}$
- $R_2 = \frac{R_1 R_3}{4Q^2 R_1 - R_3}$
- Verify Capacitor "C" value to set adequate value Resistor R_1, R_2, R_3

$Q^2 f_0 < \frac{1}{10} f_w$ $f_w = \text{Bandwidth of LM324} = 1 \text{ MHz}$

Fig.3 超音波周波数弁別用のバンドパス・フィルタ

3 新型CPUの導入

3-1 導入の経緯と設備案

1998年の秋に行われたNHKロボコン世界大会の公式試合に参加する中で、各大学が新型のマイクロコンピュータを駆使したロボットを製作しているのを見、また今後予想される高度な自走型ロボット製作を考慮して、3年目の1999年には、AKI-PIC開発キット、AKI-H8開発キットをそれぞれ10台、導入した。

3-2 PIC 16F84の導入

Microchip社のPICシリーズは、ホビイの分野でもよく知られたマイコンである。ハード・アーキテクチャなので、Z80に慣れ親しんでいる人には取り組みにくい面があるが、拡張アセンブラ等の開発ツールが出回っており、今日では開発しやすい機種のひとつであると考えられる。この中で13Bitの入出力可能な16F84のCPUチップの導入を行った。これは1024x14のプログラムエリア、68バイトのデータRAMをもつ18PinDIPのチップである。

PICはパイプライン処理により高速実行(10MHzクロックで1命令400ns)可能、タイマー・カウンタ内蔵、LEDを直接駆動できる程度の十分な駆動能力(約±20mA)、電氣的にプログラムの書き換えができ、1個数百円と安価なので魅力的である。また逆差ししてもめったに壊れない頑強さがあり、いかにも学生教材用に適している。タイ国内でもこのチップは知られており、一部の学生は自分用のチップを購入し、独自に勉強していた。

教材の個数を多く確保するために、通信販売業者の経路で入手し輸出の手続きをとった。このため教材が授業実施日に間に合わず、手持ちの3台の教材を使用し、パツムワン工科大学から選抜された学生と教職員

が4、5人参加するという形になった。しかし選抜されただけあって、知識の吸収が非常に速く、指導した翌日には開発環境(Windows画面)を改良したり、回路基板を、その日の内に完成させ動作確認するという迅速な技術指導ができた。回路作成課題には7セグメントLEDの順次点灯や、ステッピングモーターの駆動を行った。PIC評価基板を写真5に示す。Fig.4には回路図を示す。

PIC 16F84にはAD変換器が内蔵されておらず、簡易入力評価に、Fig.5の電圧・周波数変換回路を考案し紹介した。

これは、PICのタイマー機能を利用してアナログ電圧入力値を測定するものである。Fig.6に示すように、CMOS発信回路まわりの抵抗値を適切に設定すると、比較的直線性のよい電圧・周期特性になる。この周期で、PICに内蔵しているタイマーの動作開始、停止を行い、結果としてアナログ電圧値を測定することができる。

具体的には、Fig.7のような回路で、超音波による物体距離の計測を行う応用例を紹介した。自走競技用ロボットでは自分の周りの物体存在の計測を行う必要があり、こうした距離計測をPICで行うと簡便でメリットがあると思われる。測定プログラムを拡張アセンブラで作成した例をFig.8に示す。拡張アセンブラは、マクロ定義のようなもので、実際にはMicrochip社のオリジナル機械コードに置換される。プログラムでは、正確な超音波周波数40.0KHzを出力すると同時にタイマーカウンタを作動させ、ある時間(約6mS)になったときのカウント値をそのままLED表示している。表示は6mS間の積分値を示し、雑音に対して安定した値となる特長がある。

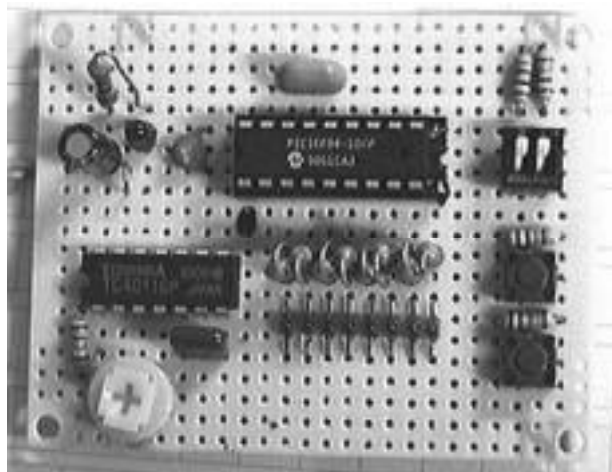


写真5 PIC 評価回路例

PIC 16F84 EVALUATION CIRCUIT

1999 PIT by satok@ichinoseki.ac.jp

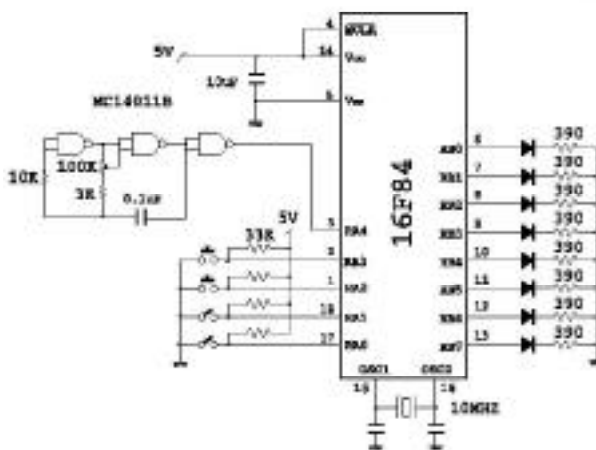
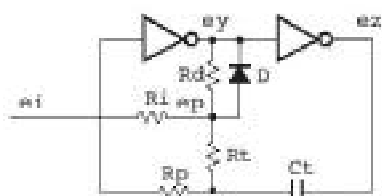
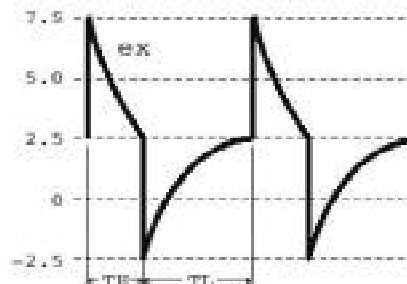


Fig.4 写真5の評価回路

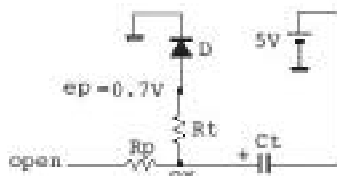
VOLTAGE-FREQUENCY CONVERTER



Vh=5(v)



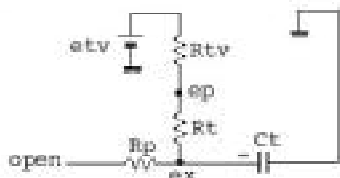
ey="L" D="ON"



Discharge from 7.5V to 0.7V.

$$T_H = C_t * R_t * \ln\left(\frac{7.5 - 0.7}{2.5 - 0.7}\right)$$

ey="H" D="OFF"



Charge from -2.5V to etv.

$$e_{tv} = \frac{e_i R_d + 5 R_i}{R_d + R_i}$$

$$R_{tv} = \frac{R_i R_d}{R_i + R_d}$$

$$T_L = C_t * R_t * \ln\left(\frac{e_{tv} + 2.5}{e_{tv} - 2.5}\right)$$

Fig.5 AD変換に利用できる電圧・周波数変換回路

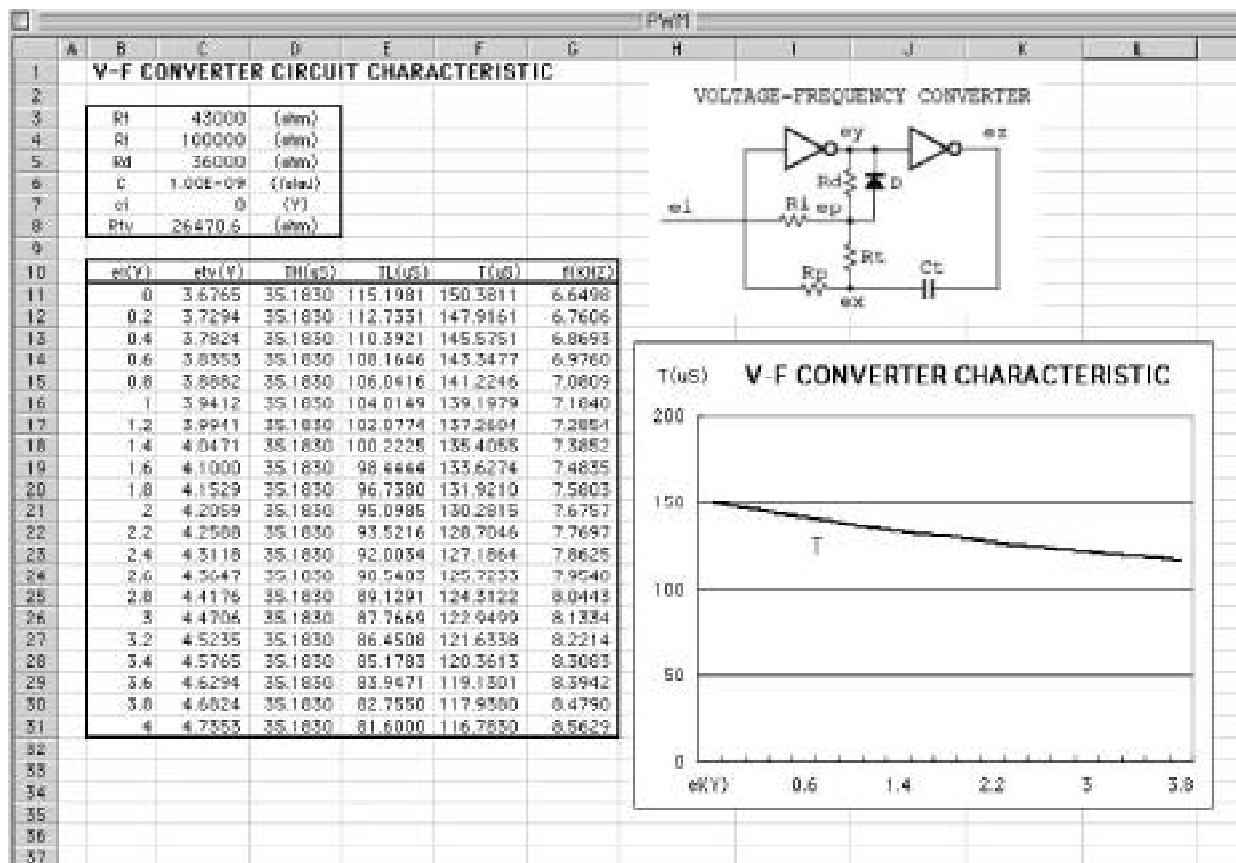


Fig.6 シミュレーションによる回路動作設計

PIC 16F84 APPLICATION ULTRASONIC DISTANCE MEASUREMENT

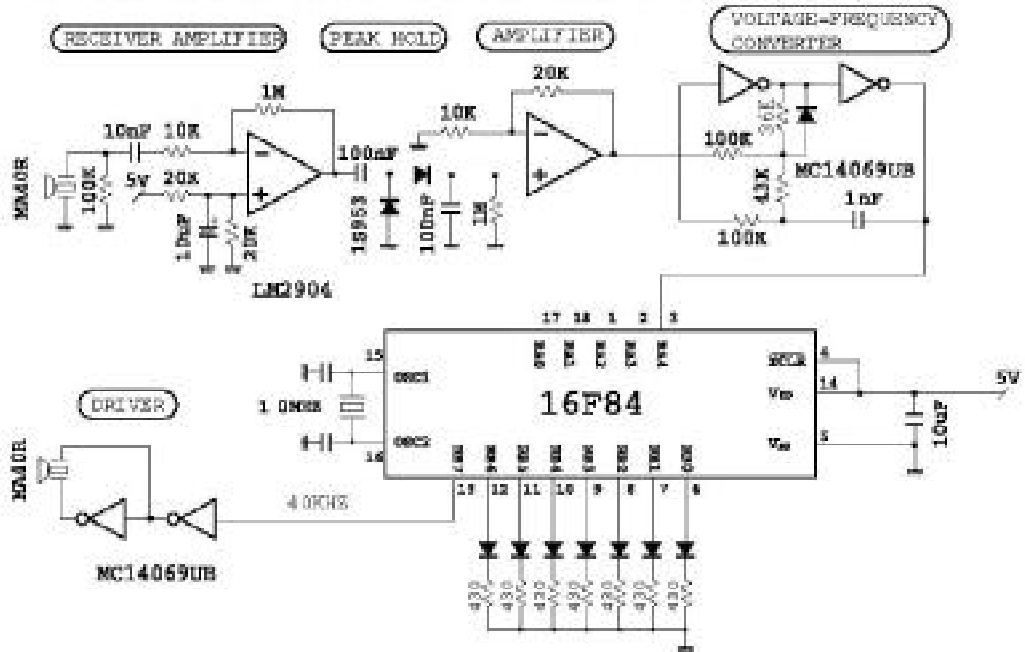


Fig.7 PIC 16F84 を用いた超音波距離計

```

; V-F Converter measurement sample program
; by satok@ichinoseki.ac.jp
;
; PB0-7 LED output "1" : ON
; PA4 V-F Oscillator input
;
include 16f84.h
; Include header for Register address
.osc hs ; resonator drive
.pwrt on ; Power on reset
.wdt off ; Watch dog timer
.protect off ; EEPROM protect always off
; 0ch - 02fh General Purpose Register Area
org 0ch
wk ds 1
tml ds 1
tm2 ds 1
tm3 ds 1
; Input Switch and oscillator connected configuration
osc equ ra.4
sw0 equ ra.3
sw1 equ ra.2
sel1 equ ra.1
sel0 equ ra.0
;
org 0
goto start ; Power on restart vector
org 4
goto start ; Interrupt vector
;
start mov option,#20h
;OPTION TCOS=1 counter mode
clr ra ; Initilize I/O port
clr rb
mov !ra,#11111b ; RA all inputs(Macro)
mov !rb,#0 ; RB output
mov wk,#0
;Ultrasonic transmitter 40KHZ drive pulse
;For Ultrasonic Sensor
usd movlw 4
movwf tm3
usd1 movlw 0
movwf tm2
usd2 movf wk,0 ;wk->w
iorlw 80h
movwf rb
movlw 9 ; 12.4us
movwf tml
usd3 decfsz tml,1
goto usd3
movf wk,0;wk->w
movwf rb
movlw 8 ; 12.4us
movwf tml
usd4 decfsz tml,1
goto usd4 ;
decfsz tm2,1
goto usd2
;
decfsz tm3,1
goto usd1
;
mov wk,tmr0 ; timer0 value
mov tmr0,#0 ; counter clear
;
goto usd

```

Fig.8 超音波による物体との距離の2進値をLED表示

3-3 H8-3084Fの導入

日立の組み込み型16ビットマイコンH8-3048Fは、AD/DA機能をもち、カウンタやタイマー、またパラレルI/Oが多数利用でき、メカトロニクス応用に適したチップである。多数の周辺回路機能が付属しているためにマニュアルが分厚くなるきらいがあるが、目的を定めて使用すると、たいへん単純な教材が作成できる。

具体的には写真6の評価基板を用意し、Fig.9のプログラムを使用して1命令づつ動作説明を行った。内容は、パラレル出力ポートにつながったLEDの表示値を、順次+1加算して表示するものである。プッシュスイッチを1、2個設けておけば、加減算や表示値クリアなどもすぐできる。

プログラムはモトローラ社の表記方法になり、命令オペランドやファイル名の表現方法が間違いやすいが、慣れだけの問題である。図示するように、ハード、ソフトともに単純な内容にできるので、Z80に慣れている学生であると、3時間程度の説明で概ね理解できたと思う。その後、開発環境を紹介し、Flash ROMへの書き込み手順を説明し、パラレル入出力の基本的な周辺機能活用の演習を行った結果、マニュアルを参照し応用開発ができるようになった。

マニュアル利用における問題は、定まったI/Oアドレスに置かれた各種周辺機能の索引と、その利用のしかたであった。AD変換器などは概ね設定機能の内容が想像がつくが、汎用カウンタなどでPWM波形制御しようとする、何度か試行錯誤が要求されることもあった。Flash ROMは書き込み回数が最大100回までなので、こうした問題に注意する必要がある。

```

;-----
; H8/3048F LED DISPLAY CHECK
;-----
        .cpu 300ha
;
p1ddr:      .equ  h'fffc0
p1dr:      .equ  h'fffc2
;
        .section reset0,data,locate=h'0
        .data.l   reset
;
        .section rom,code,locate=h'00100
;-----
;   power on reset
;-----
reset:
        mov.l #h'fff10,er7
        mov.b #h'ff,r01    ;Port1=output
        mov.b r01,@p1ddr
begin:
        mov.b #0,r11      ;Data Number
loop:   mov.b r11,r01
        not.b r01
        mov.b r01,@p1dr
        bsr   wait
        inc.b r11
        bne  loop
        bra  begin      ;Endless loop
;
wait:   mov.l er0,@-sp
        mov.l #h'10000,er0
wait1:  dec.l #1,er0
        bne  wait1
        mov.l @sp+,er0
        rts
;
        .end

```

Fig.9 H8-3048F 動作習得に適したプログラム例

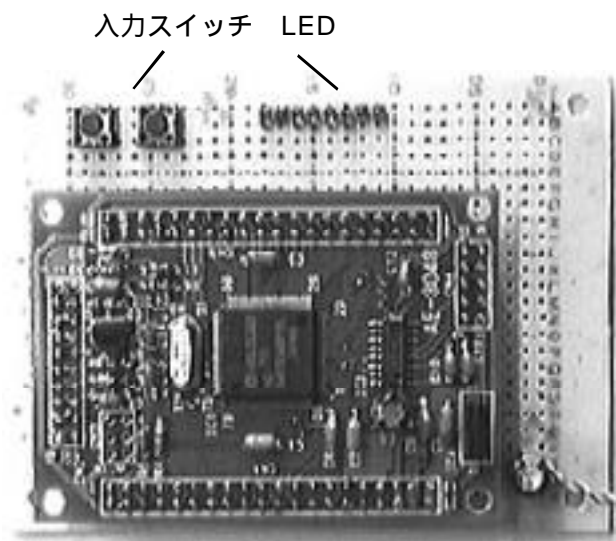


写真6 H8-3048F動作確認用基板

3-4 応用技術例

ロボコン競技用としてH8を利用する場面も考えられ、写真7のような超音波による距離測定の技術を紹介した。Fig.10はその回路図である。一定の超音波周波数40KHZの発生を内蔵タイマー(ITU)のPWM設定で実現し、受信した超音波信号は増幅とピーク保持回路で直流電圧に変換し、約8 μ S変換速度の内蔵A-D変換により読みとり、その結果をパラレルポートにつないだLCDへソフトウェア・スキャンにより表示する、というつながりである。ITUとAD変換器の設定をマニュアルを参照して設定するところが若干難しいだけである。実際に演習を試み、表示結果を変化させたりする課題に取り組みさせた。

こうした高機能のチップは、複雑な内部状態の監視を行うことも必要で、AKI-H8キットを揃えるならLCD表示器も用意するのがよいと思われる。

4 まとめ

1997年から3年間にわたり、パツムワン工科大学メカトロニクス工学部に対し、JICAによるロボット教材の教育支援を行った経緯を紹介した。

導入した教材は、手作りを基本としたロボット及びその開発に必要な電子部品類、計測器、工具など一式である。バンコックに赴任する都度、互いに打ち合わせを行いながら不足する電子部品等を補充し、メカトロニクス応用システムを開発するための環境を完備していった。こうした教材を活用して、競技課題に沿いロボット開発を行う授業のスタイルは、学際的な感性を養うメカトロニクス工学科に対して適切であったと考えられる。

この教材に関連して、来年2000年度には、マイコン制御ロボット教材の導入を見当している工業高専メカトロニクス学科が8校、新設される、と聞いた。支援の意義が少しはあったのでは、と感じている。

タイ国の産業、経済状況は厳しいものがある。大学が指導して最先端技術を駆使するベンチャー企業の台頭も望まれるが、一方ではもっと現場よりの、モノを考案・設計し、きちんと製造し保守管理できる能力をもった技術者を育成することも必要である。

そうした中で、メカトロニクス学科の学生諸君は熱心に授業に参加し、作品の開発に取り組んでいた。謙虚に新技術を取り入れ、学生同士よく助け合い、礼儀正しく敬虔で、何人かは休日に貧しい北部の小中学校教育のボランティア支援にもでかけていると聞く。マイクロコンピュータ応用技術の導入支援をする中で、新しいタイ国を創造していくであろう彼らに出会ったことは、私にとって最大の喜びである。

5 参考 URL

- <http://202.211.8.173/SATOK/ptc/index.html>
1997年度の活動経緯
- <http://202.211.8.173/jica2/index.html>
1998年度の活動経緯
- <http://202.211.8.173/jica3/index.html>
NHK世界ロボコン大会(1999.3,福島)
- <http://202.211.8.173/jica4/index.html>
1999年度の活動経緯
- <http://ksc11.th.com/jicairie/>
PTC プロジェクト公式ページ
- <http://semiconductor.hitachi.com/search/H8シリーズ・マニュアル索引ページ>
- <http://www.microchip.com/10/Lit/PICmicro/index.htm>
PIC 公表データ

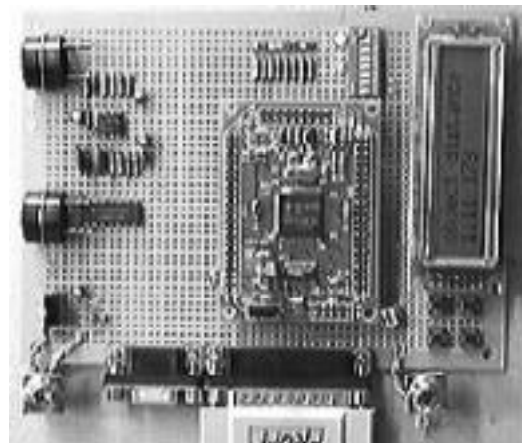


写真7 AKI-H8キットを利用した超音波距離計

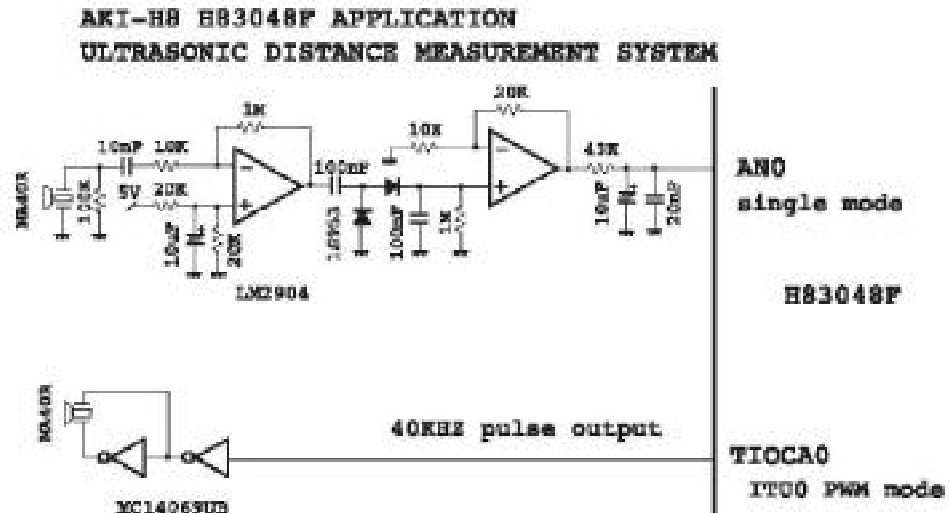


Fig.10 H8-3048F によるA-D 変換応用例