琉球大学学術リポジトリ

A/D 交換器を用いた簡易型光合成情報処理システム試作(農学科)

メタデータ	言語:
	出版者: 琉球大学農学部
	公開日: 2008-02-14
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 野瀬, 昭博, 仲間, 操, 宮里, 清松, 村山, 盛一, Nose, Akihiro, Nakama, Misao, Miyazato, Kiyomatsu, Murayama, Seiichi
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/3870

A／D交換器を用いた簡易型光合成情報処理システム試作

野瀬昭博*・仲間操**・宮里清松***・村山盛一*

Akihiro NOSE, Misao NAKAMA, Kiyomatsu MIYAZATO, and Seiichi MURAYAMA ; A trial production of simple data processing system making use of analog-digital (A／D) conversion board for gas exchange measurement of crop plant

Summary

A simple data processing system for gas exchange measurement of crop plant was produced as a trial product in a laboratory low cost. In order to save the cost, a simple analog-digital (A／D) conversion board (Neolog, PCN-1209-01) was used, but two general purpose interface bus (GPIB) for computer date input and output were excluded in this system. On account of the input range of A／D board, thermister (ϕ 1.00 mm, Takara KXK-67) was used for temperature measurements. Including twelve thermisters necessary for a three assimilation chamber system, however, the cost for the trial product was only about one third to a quarter of the price for articles on the market. The thermister in the trial product gave a linear relation between temperature and electric potential in the 10℃ to 40℃ temperature range (Fig.7). Using the above simple date processing system, photosynthesis-temperature response curves on sugar cane (*Saccharamu officinarum*, cv. NCo 310) leaf were examined. Curves obatinad in the experiment exhidited a typical response of C_4 photosynthesis in which the optimal was observed at high temperature of 35℃. In the examination, leaf temerature was controlled efficiently and accurately by the system(Fig.7).

緒　言

作物のガス交換に関する研究の進展は著しい。この分野における今後の課題として、次のようなことが重要である。ひとつは、ガス交換情報とそれ以外の関連する情報をいかに広く組み合わせて現象を解析するかであろうし、もうひとつは、ガス交換情報の結果に統計処理を適用できるように多数の検体を扱うことであろう。このような目的を達成するためには、結果を測定中に算出・確認しながら実験を遂行できる情報処理システムの導入が望まれる。作物のガス交換測定において、殆どのデーターは電気量として入手できる。しかし、電気量として得られる結果を効率よく処理するシステムを既成品として揃えると多額の経費を必要とする。KANDAら[4]及びAGATAら[2]は同様な視点から情報処理部を併置したガ

＊琉球大学農学部農学科

＊＊琉球大学農学部附属農場

＊＊＊琉球大学名誉教授

琉球大学農学部学術報告　36：1～10（1989）

ス交換システムを開発しているが、経費の節約や技術の簡略化に必ずしも成功していない。本研究においては、普及の著しい安価なマイクロ・コンピューターと専用のA／D変換器（ボード）を用いて、ガス交換測定用情報処理オンライン・システムを開発・試作した。

材料及び方法

試作した情報処理装置については結果の項で述べる。

試作した装置を用いて行った光合成測定実験については以下の通りである。供試植物はサトウキビ（*Saccharum officinarum*）のNCo310品種である。一節苗を砂床に置床後35℃でインキュベートし催芽させた後、琉球石灰岩土壌(暗赤色土)を詰めた1／2000aワグネルポットに植え付け、ガラス室内で育成した。施肥は、基肥として市販堆肥(N：P_2O_5：K_2O＝0.54：0.12：0.42重量％)を1kg／ポット与え、植え付け後69日目に化成肥料(N：P_2O_5：K_2O＝0.500：0.344：0.438g／ポット)を与えた。植え付け後134日から149日たった1984年9月3日から20日の間に、その時の最上位完全展開葉について、温度-光合成曲線を測定した。葉温は15℃から40℃まで約5℃おきに6種類の条件を設定し、光は60klx、通気量は約10ℓ／分で湿度の制御は行っていない。

結果及び考察

システムの概要

コンピュータを利用したデータ処理システムの一般的な構成は、センサー：専用のA／D変換機（General Purpose Interface Bus：GP IB、が必要）：コンピュータ(GPIBが必要)である。本研究で試作するシステムは、センサー：A／D交換器：コンピューターで、専用のA／D変換器を簡易なA／D変換器(ボート)で代用し、データ転送部の2個のGPIBを省いた構成になっている(図1)。増幅に際し、ノイズの発生を抑えるために本研究においては外部電源を新に加えた(図1)。

光合成研究においては、データ処理の自動化と供に、その後の計算処理も必要となる。更に、今後は実験室での一般的な研究活動のコンピュータ処理ということも考慮する必要がある。従って、以上のような目的に合うコンピュータとして、本研究においてはNEC PC 8801 Mark IIを採用した。A／D変換ボードとして、ネオログ社PCN-1209-1を用いた。図2と図3にサーミスタからの出力を増幅するためのアンプ部と直流安定化電源の構成略図を示した。

A／D変換ボードの性能

本システムの中心であるA／D変換ボードとして使用した、ネオログ社PCN-1209-1について、その性能の概略を示すと以下のとうりである。

入力点数は16点で、入力レンジは0～±5Vである。この入力レンジをプラス側、マイナス側各々で12ビットの分解能でデジタル化するが、12ビット中1ビットはデータの正負の判定に用いられるために真の分解能は11ビットということになる。0～5Vの電位を2^{11}の分解能でディジタル化するため、最小分解能は1ビット当り2.44mVとなる。本ボードへの電力の供給は外部電源が最良とされているが、コンピュータ(PC-8801)の内部電源(±12V)を用いても充分である。

温度の測定

前項で述べたように、A／D交換ボードの最小分解能が2.44mVであることから、本ボードを利用してデータを入力する際には、この点を充分に考慮する必要がある。ガス交換の測定に用いられる主要な機器類は、炭酸ガス分析計、湿度計、流量計、更に温度計である。温度計以外の機器類では内部インピー

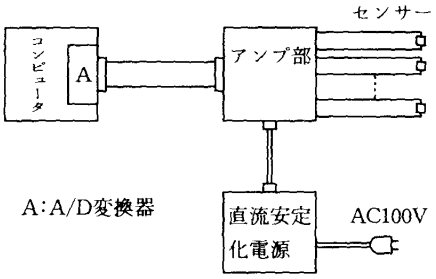

図1　システム構成の概略

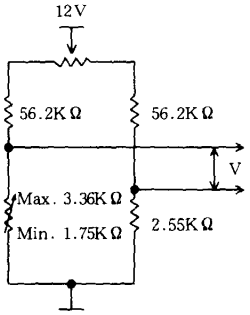

図3　サーミスタから出力（V）を得るためのブリッジ回路。回路の各抵抗値の選定については本文中に述べた。

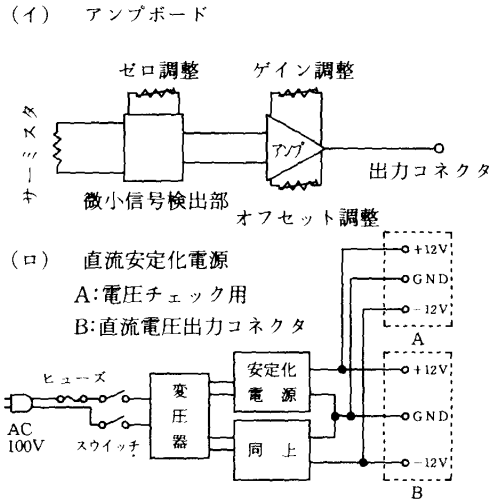

図2　アンプと直流安定化電源の概要

ダンスの大きいアンプが使用されているために、出力電圧を外部抵抗によって調整し、本A／D変換ボードの入力レベルに合わせることは容易である。しかし、温度測定においては、通常熱電対、それも銅・コンスタンタン製が利用されることが多く、この点についての検討が必要である。

著者らの使用しているϕ＝0.32mmの銅・コンスタンタン熱電対の0～40℃の出力電位は、ほぼ0～2mvである。従って、本システムに用いたA／D変換ボードの最小分解能が2.44mvであることから、温度の測定のためには、銅・コンスタンタン熱電対をそのまま用いることができない。熱電対を用いてA／D変換ボードに入力しようとすれば、充分な測定精度を確保するのに100～200倍のアンプを介在させる必要がある。この様なアンプは高価である。しかし、それでも熱電対を利用し温度を測定しようとすれば、1台のアンプを利用して別途スキャン・ボードを介して熱電対を接続し、プログラムでスキャン指令を与えながら測定すること[1]も可能である。しかし、価格と手数を検討すれば、以下に示すようなサーミスタと簡易アンプを用いる方が、作業の効率と価格の面でもプラスだと考えられる。

葉温測定に適したサーミスタとして、宝工業KXK-67, ϕ1.0mmを選定した。本サーミスタはセンサ部が微少でシリコン加工されており、強度と湾曲性に優れ、0～100℃の測定領域を持っている。従来サーミスタは出力電位に製品個体間差が著しかったが、現在は改良が加えられ、特に使用したKXKセンサでは小さい。センサ部の許容電流は0.39mA、許容電力は0.2mW、基準電圧±12Vである。また、リード線も充分に長く取れる。

以下には、KXK67-1サーミスタを用いて、0～50℃の温度を測定するための方法について述べる。本システムにおいては、センサーの保守を考慮して、許容電流・電力の70%を最大にして使用するように設計した。

分圧抵抗の決定

サーミスタで温度を測定する場合、目的とする温度領域で許容電流以内の電流を流すために適当な分圧抵抗を付加する必要がある。0℃の時、KXK67-1センサーの抵抗(R)は3.357kΩ[7]で、上述したようにこの時の最大許容電力が0.14mW(0.2mWの70%)であることから、必要な分圧抵抗(R_0)は、次式によって求められる。

$I^2=0.14\times10^3/(3.357\times10^3)$

$I=0.204$ mA

$R_0+3.357\times10^3=12/(0.204\times10^3)$

$R_0=55.5$ kΩ

ここでIは電流(A)である。

つぎに、50℃のときの必要な分圧抵抗(R_{50})は、この温度でのセンサー抵抗が1.748kΩ[7]であることから、上の場合と同様にして、

$I^2=0.14\times10^3/(1.748\times10^3)$

$I=0.283$ mA

$R_{50}+1.748\times10^3=12/(0.283\times10^3)$

$R_{50}=40.7$ kΩ

従って、分圧抵抗の最大値は55.5kΩとなる。しかし、既成の抵抗を用いたために、この値に近い56.2kΩを抵抗として用いた。

以上のような分圧抵抗を与えたブリッヂ回路（図３）を作成した。25℃時でのセンサー抵抗（2.548kΩ）[7]に近似した既成品抵抗（2.55kΩ）を回路に加えた（図3）。そこで、0～50℃での出力電位(V)は二線式サーミスタ測定回路の出力電位式[5]に従って次のように計算される。

$V_0=(3.357/(56.2+3.357)-2.55/(56.2+2.55))\times12\times10^3=155.5$mV

$V_{50}=(1.748/(56.2+1.748)-2.55/(56.2+2.55))\times12\times10^3=-158.9$mV

V_0は0℃のときの、V_{50}は50℃のときの出力電位を表している。

そこで、このような出力電位をA／D変換ボードに入力する訳であるから、その入力レベルを充分に活用するために、増幅する必要がある。A／D変換ボードの入力レベルは０～±５Ｖであるから増幅値(G)は次のようになる。

$G_0=5\times10^3/155.5=32.2$

$G_{50}=5\times10^3/158.9=31.9$

G_0は０℃、G_{50}は50℃での増幅値。従って、増幅の目標値を30倍とした。ここで、　０～50℃の温度を-155.5～158.9mV、つまり１℃当り6.288mVの出力電位を30倍するために、１℃が188.64mVの電位としてA／D変換ボードに入力されることになる。A／D変換ボードの最小分解能は2.44mV／bitであるから、これを温度に換算すると、１bitが0.013℃に相当することになり、温度分解能としてはガス交換測定に充分であることが理解されよう。

図4に0～40℃の範囲での温度と作成したサーミスタ回路出力電位の関係を示した。10℃から40℃の範囲では極めて高い直線性が得られたが、0～10℃でわずかに直線性がなくなる。

アンプ部と直流安定化電源部の回路を図５と図６に示した。アンプ部は４チャンネルを一組として構成した。表１と表２は、アンプ部(４チャンネルの一組分)と直流安定化電源の部品表である。

プログラム

以下には本システムを稼働させるためのプログラムをN88 BASICで組んだ。本プログラムは試作の基本として１台の同化箱を用い、同化箱内気温を１点、葉温を３点で測定するように組まれている。A/D変換ボードの16チャンネルの内チャンネル０(CH：０)には赤外線CO_2分析計からの入力、CH:１に

は同化箱出口の相対湿度、CH：2には同じく温度、CH：3には同化箱入口の相対湿度、CH：4には同じく温度、CH：5には同化箱内の気温、CH：6～8には葉温の入力が接続されている。同化箱の数を増す場合にはCH：9～16を、以下に示すCH：5～8の要領で組み込んで頂きたい。ここでプログラムの内容

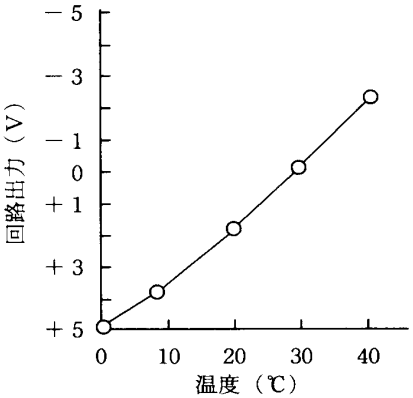

図4　サーミスタ回路出力と温度の関係

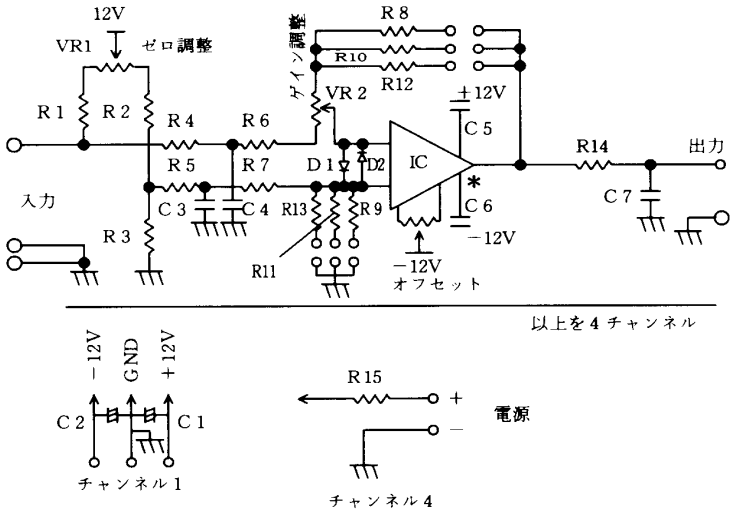

図5　アンプ回路図
＊：この部分に直流電源(±12)を接続

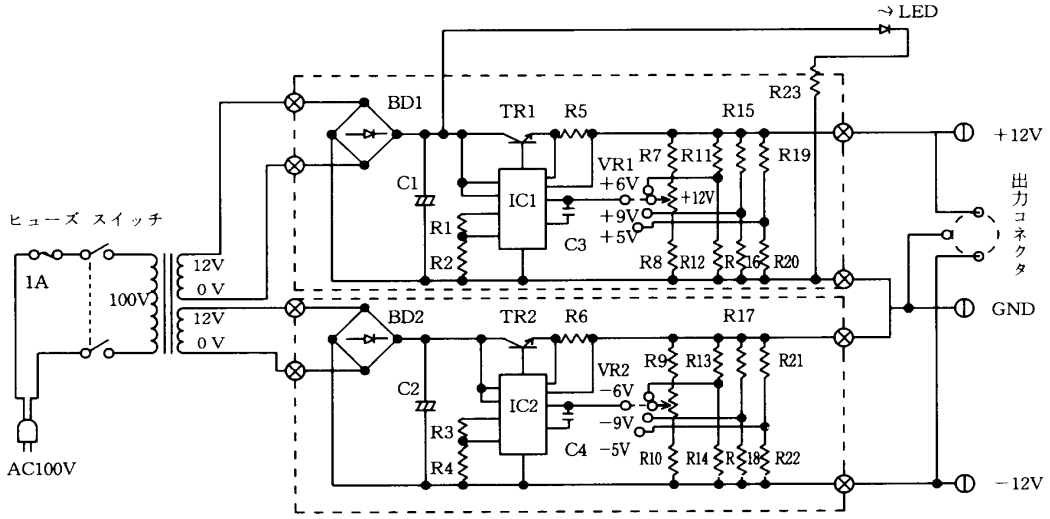

図6　直流安定化電源回路図
⊗：ハトメグラ、①：ターミナル、TR1とTR2に放熱板を取付ける。

を概略説明すると、まず20行目は、飽和水蒸気圧(mb)を計算するためのGoff-Gratchの式[6]で、30行目はその時の絶対湿度(g／m³)を求める式[6]である。40行目は図4に示したサーミスタの出力と温度の関係を三次式にカーブフィッティングして得た式である。もしサーミスタの個体間の出力特性が著しく違うときは、この項で修正式を加えることが可能である。60～70行目は項目と単位の打ち出しを示している。110行目では通気量(l／min)を入力する。120行目では差動型赤外線CO_2分析計を用いる場合の、中点の電位の入力を示している。130～280行目でA／D変換ボードの0～8CHよりデータをコンピュータに取り込む。290～560行で取り込んだデータを電気量から各々のディメンジョンの値になおし、各パ

表1　アンプ部品表（図5の部品番号と対応）

部品記号	名称	規格	数量
IC	オペアンプ	μA473/HC	1
D1,D2	ダイオード	ISI 588	2
R1,R2	金属被膜固定抵抗器	56.2KΩ(1/4W)	2
R3	〃	2.55KΩ（1/4W）	1
R4,R5	〃	1.00KΩ（1/4W）	2
R6,R7	〃	19.1KΩ（1/4W）	2
R8,R9	〃	402KΩ（1/4W）	2
R10,R11	〃	499KΩ（1/4W）	2
R12,R13	〃	604KΩ（1/4W）	2
R14	炭素被膜固定抵抗器	390Ω（1/4W）	1
R15	〃	750Ω（1/4W）	1
VR1	ポテンショメータ	1KΩ	1
VR2	〃	5KΩ	1
VR3	〃	10KΩ	1
C1,C2	アルミ電解コンデンサ	33μF(16V)	1
C3,C4	タンタルコンデンサ	33μF(16V)	1
C5,C6,C7	セラミックコンデンサ	0.01μF(50V)	
LED	表示燈	STAO; DB-10	1
	ICソケット	オペアンプ用	1
	プリント基板		1
	匡体	アルミ	1＊
	出力コネクタ	DDK;57-40360	1＊
	電源入力コネクタ	HIROSE; HS-16R-3	1＊
	センサ入力用端子板	SATO; ML-40 SLAXS(18P)	1＊
	チェック用端子板	SATO; ML-35A(15P)	1＊
	電源入力スイッチ		1＊
	端子台	3P	1＊
	〃	8P	1＊
	〃	12P	1＊

＊；アンプ全体で共用。他の数量は、4本のサーミスタに必要な数を表している。

ラメターを算出する。580行で結果をデッスプレイに表示する。

プログラム

```
10 CLS
20 DEF FNESW(T)=10.79586#*(1-273.16/(T+273.15)-(5.02808/2.3)*LOG((T+273.15)/2
73.16)+1.50474*(1-10^(-8.29692*((273.15+T)/273.16-1)))*10^(-4)+.42873*(10^(4.76955
*(1-273.16/(T+273.15)))-1)*10^(-3)+.7861183#
```

表2　直流安定化電源の部品表（図6の部品番号と対応）

部品記号	名称	規格	数量
	トランス	一次側100V,二次側12V	1
BD1,BD2	ブリッジダイオード	4B41	2
IC1,IC2	IC	μA723	2
TR1,TR2	トランジスタ	2N3055	2
C1,C2	電解コンデンサ	3300μF(25V)	2
C3,C4	セラミックコンデンサ	470PF（50V）	2
VR1,VR2	半固定抵抗	1KΩ	8
R5,R6	セメント抵抗	0.33Ω（5W）	2
R1,R3	炭素被膜固定抵抗	1KΩ（1/4W）	2
R2,R4	〃	1.8KΩ（1/4W）	2
R7,9,15,16,17,18,20,22	〃	4.7KΩ（1/4W）	8
R8,R10	〃	3KΩ（1/4W）	2
R11,R13	〃	2.7KΩ(1/4W)	2
R12,R14	〃	8.2KΩ（1/4W）	2
R19,R21	〃	470Ω(1/4W)	2
R23	〃	1.8KΩ(1/4W)	1
LED	表示燈		1
	コネクター（出力用）	HS16R-3	1
	プリント基板		2
	匡体		1
	放熱板		2
	スイッチ		1

```
30 DEF FNDS(ESW,W)=.794*ESW/(1+.00366*W)
40 DEF FNTI(V)=28.9494896#+4.97442017#*V-.0247828236#*V*V+.0257458211#*V^3
60 PRINT SPC(3);"Din";SPC;(5);"Dout";SPC(4);"At";SPC(6);"Lt"SPC(6);"Gs";S
PC(6);"LSD";SPC(5);"RH;SPC(6);"Tr"SPC(6);"CO2";SPC(6);"Po"
70 PRINT" g/m3";SPC(5);"g/m3";SPC(4);"DC"SPC(6);"DC";SPC(5);"cms";SPC(5);
"g/m3";SPC(5);"%";SPC(4);"g/lf/h";SPC(4);"ppm";SPC(3);"mg/1/h"
80 N=0
90 N=N+1
100 R2=10+N
110 LOCATE 1,R2:INPUT"Air flow:l/min";Q
120 LOCATE 20,R2:INPUT "Mid-point CO2V";MP
130 FOR I=0 TO 8
140 OUT &H84,I
150 A1=INP(&H83)
```

```
160 B1=INP(&H83)
170 IF  B1>128  THEN  230
180'  +VOLTAGE
190 A=(A1  AND  &HFO)/16
200 B=B1*16
210 C=(A+B)*5/2047
220 GOTO  270
230'-VOLTAGE
240 A=(A1  XOR  &HFF)/16
250 B=(B1  XOR  &HFF)*16
260 C=(-1*(A+B+1))*5/2048
270 D(1) C
280 NEXT  I
290'CO2  ppm
300 CO2=(MP-D(0))*20
310'Dout  ノ  ケイサン
320 TP=D(2)*24-40
330 T=TP
340 ES=FNESW(T):ESW=10^ES:DS=FNDS(ESW,T):RH=D(1)*20
350 DSOUT=DS*RH/100
360'Din  ノ  ケイサン
370 TP=D(4)*24-40
380 T=TP
390 ES=FNESW(T):ESW=10^ES:DS=FNDS(ESW,T):RH=D(3)*20
400 DSIN=DS*RH/100
410'chamber  airノ  オンド
420 SA=D(5):TAIR=FNT1(SA)
430 ES=FNESW(TAIR):ESW=10^ES:DSAIR=FNDS(ESW,TAIR)
440'leafノ  オンド&DS
450 SA=(D(6)+D(7)+D(8))/3:TLEAF=FNT1(SA)
460 ES=FNESW(TLEAF):ESW=10^ES:DSLEAF=FNDS(ESW,TLEAF)
470'Poノ  ケイサン
480 PO=CO2*11.76*Q
490'Tr  ノ  ケイサン
500 TR=(DSOUT-DSIN)*Q*.06
510'LSD  ノ  ケイサン
520 LSD=DSLEAF/DSOUT
530'Gs  ノ  ケイサン
540 GS=.36*TR/LSD
550'chamber  ナイ  RH
560 RHCHB=100*DSOUT/DSAIR
570 R1=N+1
580 LOCATE  1,R1:PRINT  USING  "###.  ##";DSIN,DSOUT,TAIR,TLEAF
```

```
,GS, LSD,RHCHB,TR,CO2 ,PO
590 IF  N<=7  THEN  GOTO  90  ELSE  10
600 END
```

光合成の測定

図7にサトウキビ葉身において測定した温度一光合成曲線の例を示した。サトウキビ葉身の光合成において、至適温度は35℃付近にあり、それより高温側においても、また、低温側においても光合成は低下していく。特に、25℃以下に葉温が低下すると、光合成速度の低下は著しい。このように、本測定装置で得られたサトウキビの温度一光合成反応は従来から認められてきたC_4植物の例[3]と同様なものであった。また、図でもわかるとうり本測定装置においては測定条件を数値でモニターしながら測定を行うことができるために、各温度条件で条件の変化を極めて小さく制御できる。

謝辞：本研究は昭和59年度文部省科学研究費補助金(59860001)によって行った。

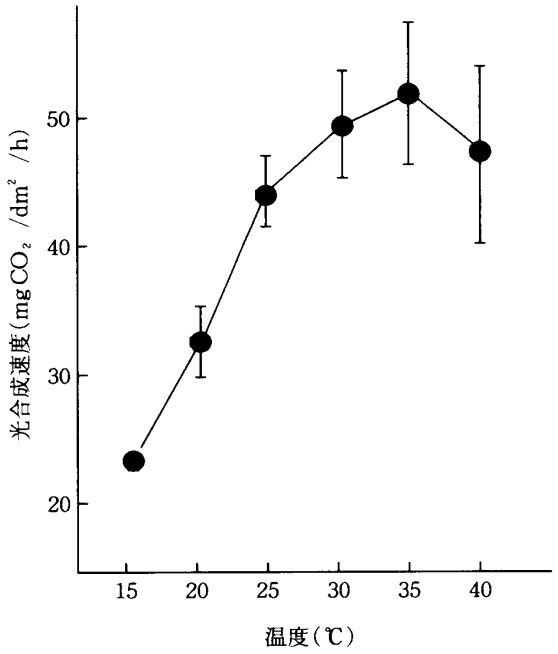

図7　サトウキビ葉身における温度一光合成反応。図中の縦線・横線は標準偏差を表す。

摘　要

作物のガス交換測定系において用いる低コスト情報処理システムを試作した。コストの低減を計るために、簡易型A／D変換器（ネオログ社、PCN-1209-1）を用い、出力用と入力用のGPIBをシステムから除外した。A／D変換器の入力特性から、　本システムでは温度の測定にサーミスタ（ϕ=1.00mm，宝工業KXK67-1)を用いた。しかし、　3連の同化箱を用いて測定を行うのに必要な12本のサーミスタ価格を含めても、試作したシステムの価格は、既製品のA／D変換システムの1／3～1／4であった。用いたサーミスタの出力電位と温度の関係は、0～40℃で直線性を有していた(図4)。試作した情報処理システムを用いて、サトウキビ葉身の温度-光合成反応を測定した。得られた結果は高温域に至適温度を有するというC_4光合成特有のものであった。本測定において、試作したシステムを用い葉温を効率よく、かつ正確に制御することができた(図7)。

引用文献

1）安立隆一　1983. 8チャンネル・リレーユニットの制作。パソコン工作入門　ナツメ、東京、68-85。

2）Agata, W., Y. Kawamitsu, S. Hakoyama, and Y. Shinma 1986. A system for measuring leaf gas exchange based on regulating vapour pressure difference. Photosynthesis Res. **9**:345-357.

3）Edwards, G. and A. A. Walker 1983. Influence of temperature, light, and water stress on carboxylation. In C_3, C_4:Mechanisims, and cellular and environmental regulation of photosynthesis. Blackwell Scientific Pub. London, Edinburgh, Boston, Melbolune. 429-435.

4）Kanda, A.. K. Imai, and T. Moriya 1984. A gas exchange measurement system and its application to rice and cassava leaves. Japan. Jour. Crop Sci. 53:472-478.
5）岸孝之 1980。 測温抵抗体温度センサの活用技術。トランジスタ技術編集部編、 センサ・インターフェーシング NO.1 温度／湿度センサ活用編。CQ出版、東京、79-85。
6）工業計測技術体系編集委員会 1969。飽和水蒸気圧。 温度・水分測定。 日刊工業新聞社、東京、17-18。
7）宝工業 資料：合成抵抗サーミスタ測温体の標準温度特性 表9。