

プリンタインタフェースを使用した 計測制御教材用 A/D 変換装置

但馬文昭*・武澤 隆*

An A/D Conversion Device Connected with a Printer Interface
for a Teaching Material of Measurement and Control

Fumiaki TAJIMA and Takashi TAKEZAWA

ABSTRACT

An A/D conversion device connected with a printer interface has been developed. This device is supposed to be used not only as an A/D converter but as a teaching material of measurement and control in the course of technical education at a technical high school and a junior high school. This device is easy to be made at a low cost ; it is simply composed of a 4-bit D/A converter with a dual operational amplifier, some resistors and a comparator. It has no exclusive integrated circuit for an A/D conversion device, and its process is needed to be programmed by BASIC language. So learners can practice and understand a mechanism of A/D conversion through learning the program.

1. はじめに

コンピュータによる計測制御技術は、外界（自然界）のアナログ量をデジタル量に変換してコンピュータ内に取り込み視覚化したり（計測）、あるいは、得られたデジタル量を加工し、アナログ量に変換して外界に働きかける（制御）ものである。中学校技術・家庭科においても情報基礎領域の教材としてだけではなく、電気、機械等の他の領域と融合した教材が数多く開発されている¹⁾。また、CAI 的利用と相俟って、コンピュータによる視覚化、模擬化が可能となり、この種の教材は高い教育効果を上げることができる²⁾。

一方、このようなパソコンを使用した計測制御教材を作成し、利用するためには A/D 変換を行うインタフェースが必要となるが、中学校においてはもちろん工業高校においても安価で、作成が容易なものが望まれる。このような見地からパソコンに標準的に装備されているセントロニクス準拠のプリンタインタフェースを利用したものが提案されている³⁾

*横浜国立大学教育学部

が、それは専用の IC を利用している。このため、A/D 変換がブラックボックスの中で行われてしまい、変換の仕組みを示す教材化を図ることはできない。

一方、アナログ量とデジタル量の概念を教員養成の学生に対して意識させることの重要性は文献⁴⁾に指摘されているが、工業高校や中学校の情報基礎領域においても深く踏み込まないまでもコンピュータの内部でのデータの処理について理解させることは重要である。

そこで、本研究では A/D 変換の仕組みを工業高校や中学校の生徒に理解させることができ、A/D 変換器としても使用できることを目的としてプリンタインタフェースの入力・出力ポートの両方を使用した簡易な A/D 変換装置を開発した。

2. A/D 変換の方法

国産パソコンのプリンタインタフェースは 8 ビットの平行出力と 1 ビットの BUSY 入力を持っている。これを用いた A/D 変換を行う装置の基本構成を図 1 に示す。アナログ入力としてはセンサ等からの計測しようとする電圧を想定している。本装置では 0 ~ 5 [V] とした。A/D 変換の方法は次のとおりである。パソコンからプリンタインタフェースの平行出力を経て、図中の D/A 変換器に適切なデジタル信号が入力される。D/A 変換器によりアナログ信号に変換された電圧とアナログ入力電圧は比較器により 0 または 5 [V] の TTL レベルのデジタル信号に変換され BUSY 端子よりパソコンに入力される。このデジタル信号はパソコンにおいて逐次比較方式⁵⁾に基づいて BASIC 言語により記述されたプログラムによりデジタル符号に変換される。

図中の D/A 変換器は経済性と製作の容易性を考慮して 4 ビットの重み抵抗方式⁵⁾とした。

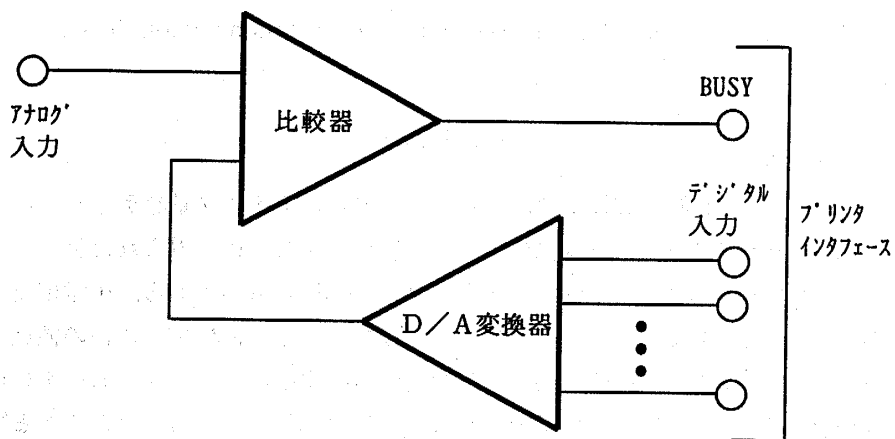


図 1 A/D 変換装置の基本構成

3. A/D 変換装置の回路構成

図 2 に A/D 変換装置の回路構成を示す。オペアンプとしてはデュアル型⁶⁾のものを使用し、ひとつは D/A 変換器として、残りは比較器として使用している。電源は D/A 変換器

が反転増幅器となっているため正負2電源（±6 [V]，実際には乾電池を使用）が必要となる。D/A変換器は反転増幅器による加算回路になっている。また，D/A変換器は4ビットのデジタル符号の最大値15とアナログ電圧5 [V]が対応するように回路定数を次に示す手順で決定した。

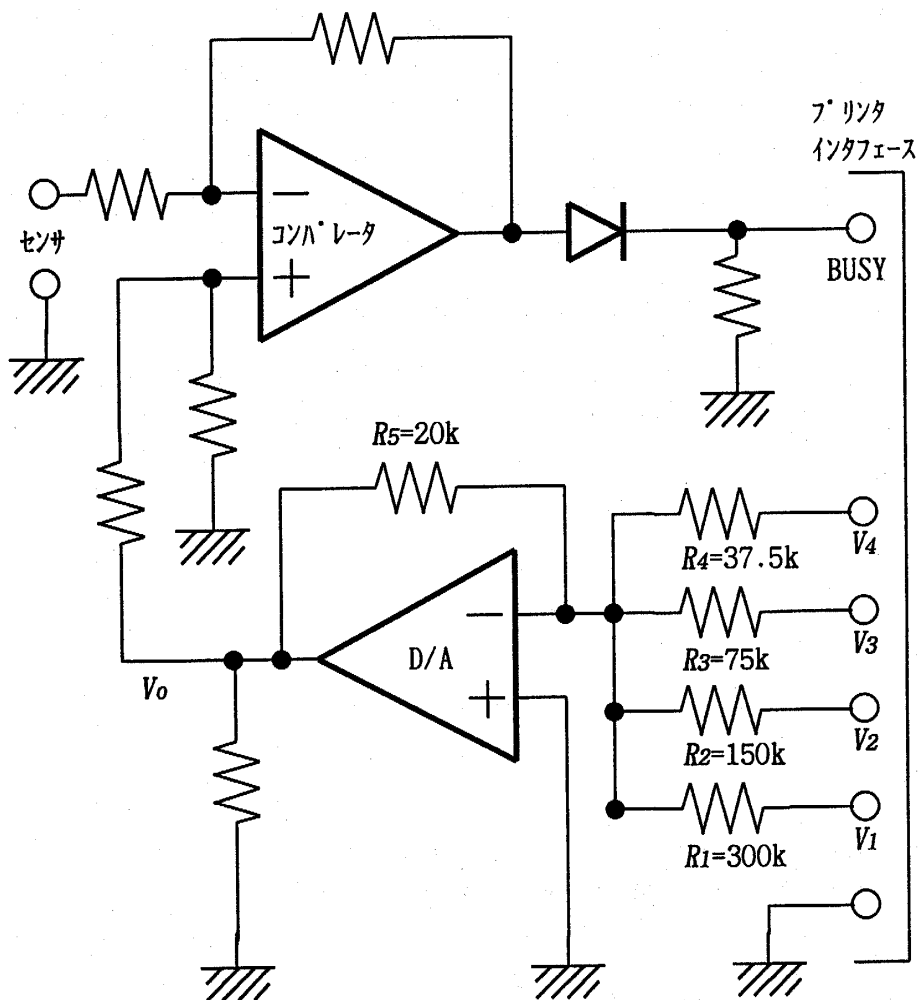


図2 A/D変換回路

図2の回路のD/A変換器の出力電圧 V_o と入力電圧 V_1, V_2, \dots, V_4 の関係は次式で表される。

$$V_o = - \left(\frac{R_5}{R_1} V_1 + \frac{R_5}{R_2} V_2 + \dots + \frac{R_5}{R_4} V_4 \right) \dots\dots\dots (1)$$

ここで $R_4 = R$ とすれば，重み抵抗 R_1, R_2, R_3 は次のように表される。

$$R_3 = 2R, R_2 = 4R, R_1 = 8R \dots\dots\dots (2)$$

一方、 $V_1 = V_2 = \dots = V_4 = 5 [V]$ のとき $V_0 = -5 [V]$ となるように R_1, R_2, \dots, R_5 を決定すればよいから、これらの条件と(2)式を(1)式に代入し、 $R_5 = 20 [k\Omega]$ とおけば図2に示す回路定数が得られる。比較器は差動増幅器とし、電圧利得を200と大きくとっている。これにより、出力5 [V] を得るに必要な比較器の入力電圧は25 [mV] となる。これは、後に示す量子化誤差と比較してかなり小さく、教材用としては十分であると考えられる。

A/D変換器の計測精度は主に量子化誤差により評価される。本装置の場合、D/A変換器の入力のビット数が4ビットであるので、量子化誤差は $\pm 1/2$ LSB (Least Significant Bit) = 0.16 [V] と計算され、一定である。

なお、本装置はアナログ入力電圧の時間的変化がそれほど速くないことを想定しているので、サンプリングの際のホールド機能をもっていない。

4. A/D変換プログラム

A/D変換プログラムの一例を図3に示す。これはBASIC言語により記述されている。また、図4にプログラムの処理の流れを示す。プログラムは基本的には逐次変換方式に基

```

100 '          save "ADCONV. bas", a
110 '
120 DIM XD(16)
130 FOR I=0 TO 15
140   READ XD(I)
150 NEXT I
160 N=3
170 D=0
180 '
190 OUT &H40, D+2^N          : ' 出力ポートへデジタル出力
200 A=1-(INP(&H42) AND 4)/4  : ' BUSYからの読み込み
210 IF A<>1 THEN GOTO 230
220 D=D+2^N
230 IF N=0 THEN GOTO 260
240 N=N-1
250 GOTO 190
260 ' 測定電圧の計算
270 IF D= 0 AND A<>1          THEN XO=0          :GOTO 310
280 IF D>=1 AND D<=14 AND A<>1 THEN XO=(XD(D-1)+XD(D))/2:GOTO 310
290 IF D>=1 AND D<=14 AND A= 1 THEN XO=(XD(D)+XD(D+1))/2:GOTO 310
300 IF D=15 AND A= 1          THEN XO=XD(D)
310 PRINT "AD CONVERSION VOLTAGE(V) :";XO
320 END
330 DATA 0.16, 0.57, 0.80, 1.25, 1.63, 2.00, 2.27, 2.60, 2.85, 3.20, 3.50
340 DATA 3.90, 4.30, 4.65, 4.90, 5.05

```

図3 A/D変換プログラム

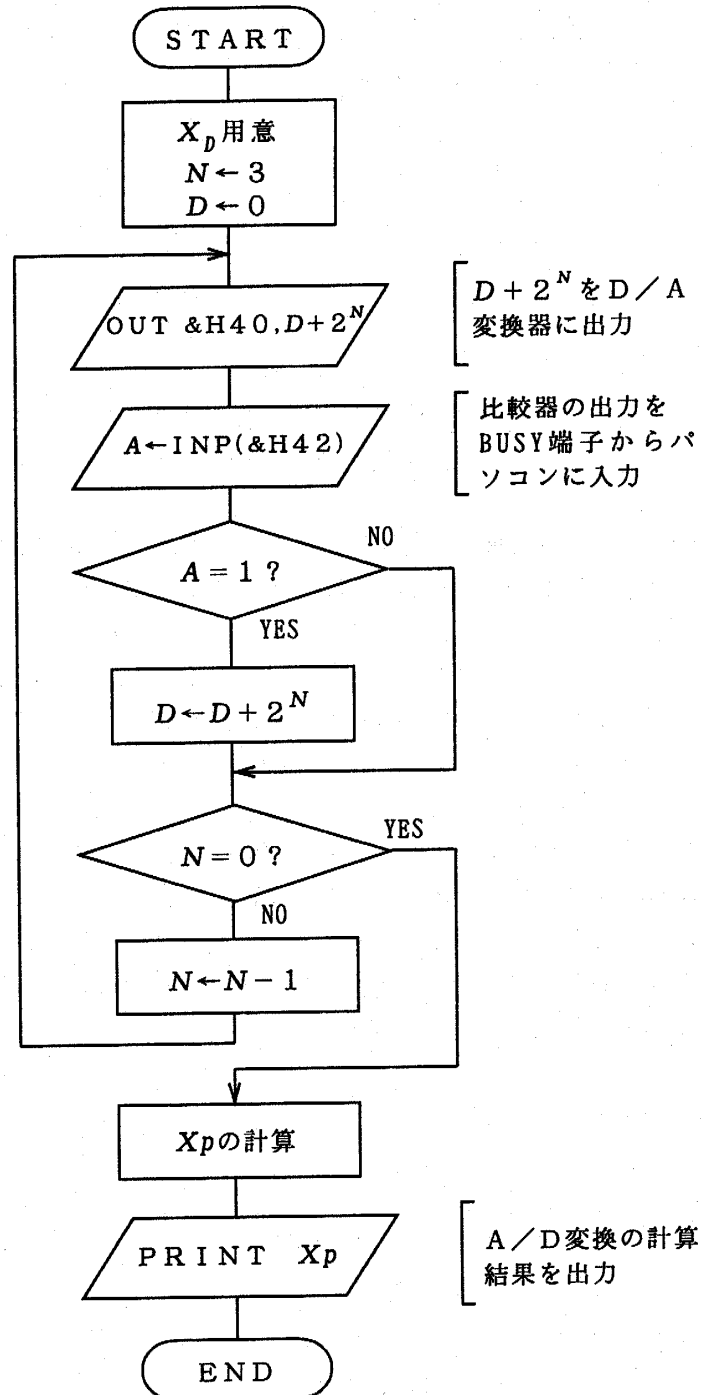


図4 A/D変換プログラム

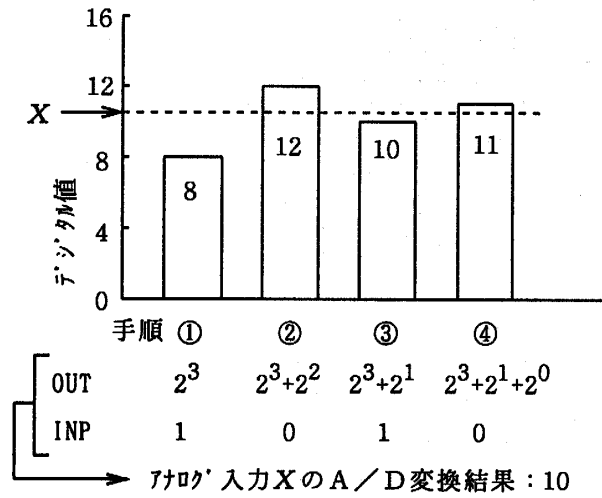


図5 A/D変換処理手順

づいている。図5にそのA/D変換処理過程の説明図を示す。図4, 5を対比してプログラムの処理の流れを次に示す。D/A変換器の入力は4ビットであり、MSB(Most Significant bit)から順に値を決定する。従って、 $N=3$ とし、未知のアナログ入力電圧 X に対し、図5に示すように①として 2^3 を出力する。その結果、図5のように X が 2^3 に対応する電圧より高いときはINP命令により1が取り込まれ、 D に 2^3 が加算される。

次に、②では $D + 2^2 = 12$ に対応するアナログ電圧と X が比較され、 X の方が低いので、0がINP命令により取り込まれる。このときは、 D の値は変わらない。同様にして③、④の処理を経て、 X のA/D変換後のデジタル値 $D = 10$ が得られる。最後に、(3)式によりこの値を電圧値 X_p に換算してディスプレイに出力する。

ここで、 X_D および X_{D+1} は図3においてデジタル値 D 、 $D + 1$ を得る最小のアナログ入力電圧を表す。本装置では、量子化誤差が一定でないこと及び X_0 が0 [V]にならないことから、この式を用いて誤差を少なくしている。

$$\left. \begin{aligned}
 &\cdot X < X_0 \text{ のとき} \\
 &\quad X_p = 0 \\
 &\cdot X > X_p \text{ (} D = 0, 1, \dots, 14 \text{) のとき} \\
 &\quad X_p = \frac{(X_D + X_{D+1})}{2} \\
 &\cdot X > X_{15} \text{ のとき} \\
 &\quad X_p = X_{15}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

5. 結果および考察

本装置を使用して、アナログ入力電圧を計測した結果を図6に示す。これによると実測値と設計値にかなりのずれがある。このずれは、回路作成上の経済性、容易性を図るために図2中のD/A変換器の重み抵抗として設計値に最も近い市販の抵抗器を使用している

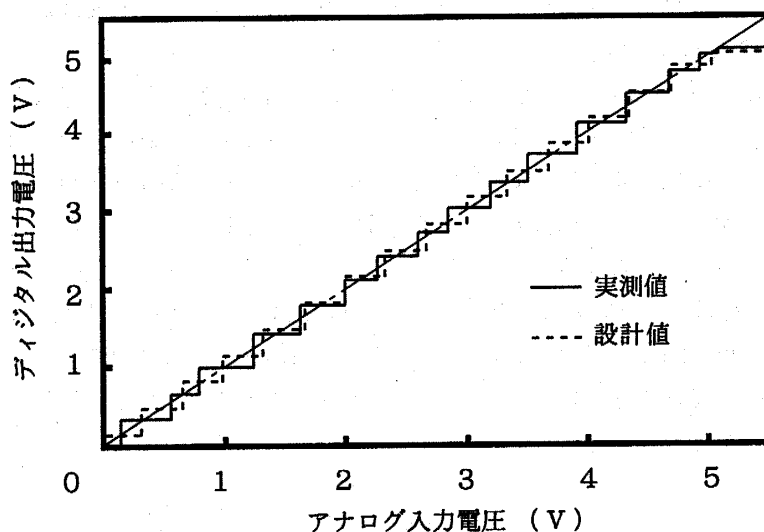


図6 A/D変換装置の入出力特性

ことが原因である。実際に使用した抵抗は、 R_1 から R_4 まで順に表示値270 [k Ω], 150[k Ω], 68[k Ω], 36[k Ω]である。また、量子化誤差が最大となるのは入力電圧が0.80[V]から1.25 [V] のときで、量子化誤差の値は0.23 [V] である。最小となるのは4.90 [V] から5.05 [V] のときで、誤差の値は0.08 [V] である。

次に本装置を計測に使用したときのサンプリング周波数を調べた。これはソフトウェアのスタイルにかなり影響される。本研究においては図3に示したプログラムを使用してサンプリング周波数を調べた。実験の際使用した機器はパソコンとしてPC-9801 VX(クロック10 MHz), オペレーティングシステムとしてMS-DOS (Ver.3.3 C), N 88-BASIC (インタプリタ) を使用した。その結果、約40 [Hz] であった。BASIC コンパイラを使用すればさらに高速化を図ることが可能である。

本装置を試みに本学大学院の現職教員に対して講義・実習の教材として使用した。A/D変換のBASICプログラムは課題とした。そのとき学生が作製したプログラムの一例を参考までに付録1に示す。このプログラムのアルゴリズムは図3に示す逐次比較法に厳密に基づいてはいないがA/D変換を理解し易いアルゴリズムであると考えられる。

6. おわりに

工業高校の計測制御領域や中学校情報基礎領域における計測制御教材作成のためのプリンタインタフェースを使用した簡易なA/D変換装置を開発した。得られた結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 本装置は専用のA/D変換ICを使用せず、BASIC言語により記述したソフトウェアによりA/D変換を行う構成をとっているため、生徒がプログラミング学習を通じて、A/D変換の仕組みを理解できる。
- (2) 本装置を計測制御教材に導入し易いように経済性、作成の容易性に配慮し、ハード

ウェアとしてはデュアルオペアンプ1個により4ビットのD/A変換器と比較器を構成し、簡素化を図った。

- (3) 本装置はD/A変換器の入力を4ビットとし、計測できるアナログ入力電圧の範囲を0～5[V]として、量子化誤差は ± 0.16 [V]となるように設計した。しかし、D/A変換器の入力抵抗の誤差により実測値は最大 ± 0.23 [V]、最小 ± 0.08 [V]となった。
- (4) 本装置のサンプリング周波数は約40[Hz]で、高速サンプリングの必要性がない教材には十分と考えられる。

本研究では、安価で作成容易な4ビットのA/D変換装置について示した。今後は本装置を使用した教材開発が必要である。具体的には、A/D変換の仕組みをさらに理解し易くするために視覚化を図ること、あるいはサーミスタ等のセンサを接続した計測教材の開発などが考えられる。

参考文献

- 1) 例えば、宮内正義・神野泰二・神野弘良：パソコン計測システムの構築と教材及び学習支援応用，日本産業技術教育学会第33回全国大会要旨集，pp.98(1990)。
- 2) 増尾慶裕・中山茂・玉井輝雄：情報基礎教育におけるパソコン計測制御の教育実践，日本産業技術教育学会第32回全国大会要旨集，pp.75(1989)。
- 3) 例えば、杵淵信・菅野徳明：セントロニクスインターフェイスを利用した逐次比較型A/Dコンバータのデータ入力手法，日本産業技術教育学会誌，32，4，257-262(1990)。
- 4) 遠藤秀治：電気分野のアナログ・デジタル意識，日本産業技術教育学会第33回全国大会要旨集，pp.101(1990)。
- 5) 源馬宏一郎・稲生清春：工業計測のための電子回路Ⅲ，計測と制御，27，6，506-514(1988)。
- 6) NATIONAL SEMICONDUCTOR CORP：LINER DATABOOK，pp.3-157～3-166(1980)。

付録1 A/D変換プログラム

```

100 '      save"pc-cont3.bas", a
110 ' PC-CONT
120 DIM D(16)
130 ' -----データより&H40, Iの出力電圧値の読み込み
140 FOR I=0 TO 15
150     READ D(I)
160 NEXT I
170 FOR I=0 TO 15
180     OUT &H40, I ' ---D/A変換器の出力を比較器へ
190     A=INP(&H42)' ---比較器の出力をBUSY端子からパソコンに入力
200     A=A AND &H4
210     A=A/4 : A=1-A : PRINT "A=";A
220     IF A<1 THEN GOTO 230 ELSE X=(D(I)+D(I+1))/2
230 NEXT I
240 PRINT USING "INPUT VOLTAGE X=##.###(V)";X
250 END
260 DATA 0.16 , 0.57 , 0.80 , 1.25 , 1.63 , 2.00 , 2.27 , 2.60
270 DATA 2.85 , 3.20 , 3.50 , 3.90 , 4.30 , 4.65 , 4.90 , 5.05

```