

# 一軸NC装置の試作

青森職業訓練短期大学校 安田 三男

## Trial Manufacture of One-Axis Numerical Control Apparatus for Teaching Mechatronics System

Mitsuo Yasuda

**要約** 数十年前開発されたNC工作機械も、今では多くの企業内にも導入され、汎用工作機械に代わり主流を占めるまでに至っている。その結果、生産システムも変化した。技術教育においても、NC工作機械に関する色々な教育が行われているが、機械工学に携わっているものにとっては、どうしても機械操作およびNCテープを作成するプログラミングが重要視され、NC装置のハードウェアについて注目されることは少ないというのが現状である。

機構（メカニズム）と電子工学（エレクトロニクス）を結び付けたメカトロニクスという言葉も生まれ、我々の周囲にも数多くのメカトロニクス製品が存在する。NC工作機械もメカトロニクス製品のひとつである。このようなことから、機械工学に携わっているものにとっても電子工学に関する知識、技術が要求されている。

今回、NC装置に注目し、装置を構成するテープリーダ、パルス分配回路、励磁制御回路等各ブロックを制作し一軸装置を制御した。この報告は制作した各ブロックの役割および信号の流れについて述べている。この制作を通して電子工学およびNC工作機械の制御方法について学習することができ、メカトロニクスを学ぶ教材として有効性があると考えられる。

### I はじめに

今日の産業界における技術革新は著しいものがある。技術的变化はいままでもなく技術者の世界にも大きな影響をもたらし、仕事や職務は、これまでのものとは非常に異なってきた。技術革新は今後も進み、技術者に対し、新たな能力を要求し続けて行くであろうと考える。

第2次世界大戦後まもなく開発されたNC工作機械は、目ざましい発展を遂げ、多くの企業内にも導入されて汎用工作機械に代わり、工作機械の主流を占めるまでに至っている。また、NC工作機械の出現は、今までの生産システムに変化をもたらし、現在、注目を浴びているFAシステムにおいて、生産ハードウェア部分の加工部門にも採用されている。

NCとは「工作物に対する工具経路、その他、加工に必要な作業の行程などを、それに対応する数値情報で指令する制御」と定義されている<sup>(1)</sup>。機械工学に携わって

る者にとって、NC工作機械というと、どうしても加工の分野である、図面からNC工作機械に加工を行なわせるための加工手順、切削条件および工具経路などの機械に指令する、作業内容の情報が打ち込まれたNCテープを作成する、プログラミングに注目しがちである。NCテープの情報を読み取り、必要な指令信号を発生し、この信号が駆動装置を介してNCテープ情報に対応した運転を工作機械が実現するというNCハードウェアの部分に注目することは少ない。

機械技術者を志すものにも、機械に関する知識の他に電気、電子に関する幅広い知識、技術が要求されている。このような現状の中で、身近にあるNC装置のハードウェアを取り上げ、各回路を製作していくことにより、段階的に論理回路、電子部品の知識などの電子技術を学び、NC装置に対する理解を、より一層深めることができるのではないかと考え、今回、一軸NC装置を試作したので報告する。

## II 装置の仕様および概要

装置を製作するにあたって、どのような機能を設定するかが問題となるが、今回の試作では最低限必要な機能だけを設定することとし、主として以下の機能を設定することとした。

- (1) AUTOおよびMANUAL動作ができること。
- (2) 送り速度の設定ができること。
- (3) 移動量の設定ができること。
- (4) 移動方向の指定ができること。
- (5) 駆動軸の指定ができること。
- (6) 一行程の終了を認識できること。

などであるが、そのほか安全対策として、軸の両端にリミットスイッチを配置した。

1ハルスあたりのテーブル移動量は、ピッチ4mmのボールネジと基本ステップ角1.8度のハルスモータを直接カップリングにより接続したため0.02mmとなった。

最大送り速度の設定にあたっては、ハルスモータの最大自起動周波数を調べたところ、400PPS程度であったため、余裕を見て255PPSに設定した。また、最大指令ハルス数の設定は、最大移動量を一軸装置の最大移動範囲の1/2以下とするため8191ハルスに設定した。試作した装置を図1、仕様を表1に示す。

表1 装置仕様

(1) テープリーダー	光電式 読み取り速度 28キャラクタ/秒
(2) テープコード	E: Aコード
(3) 位置指令	最大 163.82mm (6191ハルス) 最小 0.02mm (1ハルス)
(4) テーブル送り速度指令	最大 5.1mm/秒 (255PPS) 最小 0.02mm/秒 (1PPS)
(5) ハルスモータ	2相ハルスモータ 基本ステップ角 1.8度
(6) ハルスモータ駆動方式	テープリーダー用 1-2相駆動方式 一軸装置用 2相駆動方式
(7) 輸送機	ボールネジ ピッチ 4mm 最大移動範囲 500mm

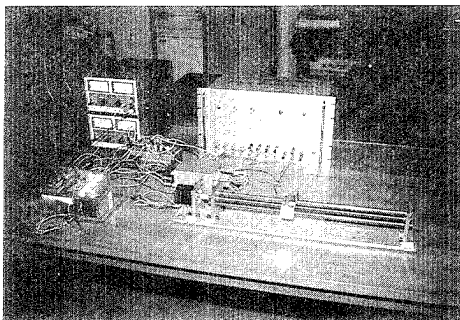


図1 一軸NC装置

図2に装置のブロック図を示す。AUTO/MANUAL変換回路において、MANUALとは、手動による寸動可能状態を指し、AUTOとは、NCテープの情報を読み取り、この情報により1軸装置が動くという一連の動作を連続して繰り返す状態を指す。この状態において、テープリーダーにより読み取られた情報は、主制御回路において移動方向(CW、CCW)、移動量および送り速度などが判別され移動量、送り速度は記憶回路に記憶される。ブロック終了を示すキャリッジリターンのキャラクタを認識すると、テープリーダー用ハルスモータは回転を停止し、同時に基準発振器(2.09175MHz)より送り速度制御回路にハルスが入力される。このハルスの周波数は、記憶回路に記憶されている送り速度に応じた周波数に変換され、ハルス分配回路へ出力される。ハルス分配回路は、記憶回路に移動量として記憶されている指令ハルス数を励磁制御回路へ出力する。このことにより、1軸用ハルスモータが回転し、1軸装置のテーブルは、指令された送り速度で指令ハルス数に相当する距離だけ移動することになる。次にハルス分配回路より、ハルス分配終了を知らせるエンドキャリー信号が出力されるとテーブルは移動を停止し、同時にテープリーダー用ハルスモータが回転し、次のブロックの情報を読み込むことになる。

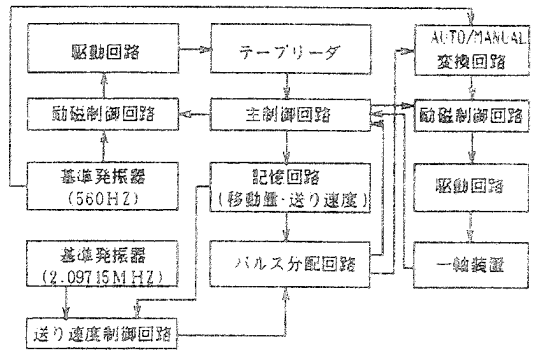


図2 NC装置ブロック図

## III テープリーダー

NC工作機械に加工を行なわせるためには、それに必要な機械のすべての運転のもとになる情報を外部から与えてやらなければならない。そのための入力媒体となるのがNCテープである。

NCテープは、テープを横切る8個の穴の有無により一つのキャラクタを表現している。テープリーダーは、NCテープ上の穴の有無を正確に読み取り、その状態を主制御回路に伝える装置である。穴の有無の判別は、フォト

トランジスタと赤外線発光ダイオードを対にして用い、フォトトランジスタの出力は、波形整形回路を通して主制御回路に送られる。

また、テープ送り穴の有無を判別し、主制御回路で用いるテープクロックおよび記憶回路で用いるシフトパルスを作り出している。

はじめテープリーダからの出力波形を調べたところ、フォトトランジスタ出力波形が乱れており、波形整形回路出力に不要なパルスがあることが確認され、穴の有無の判別が正確に行われていないことがわかった。このときのフォトトランジスタ出力波形および波形整形回路出力波形を図3に示す。読み取り速度は14キャラクタ/秒である。このように、NCテープ上の穴の有無が正確に読み取れない場合、運転のもとになる情報がNC装置に伝わらないため、一軸装置は、正常には駆動しない。テープリーダは情報伝達のための重要な役割を担っているのである。

不要パルスが発生するのは、発光ダイオードの光出力不足が考えられたため、発光ダイオードの電流を増してみたが、不要パルスは消えなかった。次に、読み取り速度を早めてみたところフォトトランジスタ出力波形にあまりがあるものの、波形整形回路出力波形に不要なパルスは現れなくなった。このときのフォトトランジスタ出力波形および波形整形回路出力波形を図4に示す。読み取り速度は28キャラクタ/秒である。



図3 不要パルスのあるテープリーダ出力

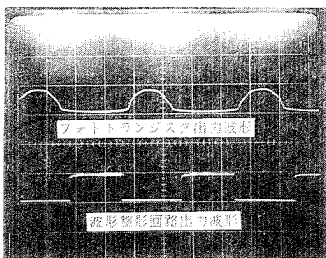


図4 不要パルスのないテープリーダ出力

読み取り速度は、テープリーダ用パルスモータの回転速度により決定されるが、パルスモータ駆動回路が自作のため、回転速度を余り早くできず、28キャラクタ/秒が最高となった。

#### IV 主制御回路

テープリーダから伝えられた穴の有無の状態は、主制御回路のバッファレジスタから、テープクロックにより8ビットのパラレルデータとして出力され、8入力ANDゲートにより各キャラクタが認識される。このことにより、各回路のゲートがオープンされたり、プリセット信号およびクリア信号などが出力されることになる。そのほか、テープリーダ用パルスモータの回転、停止、1軸装置の回転方向の指示もこの回路により行われる。図5に主制御回路図を示す。

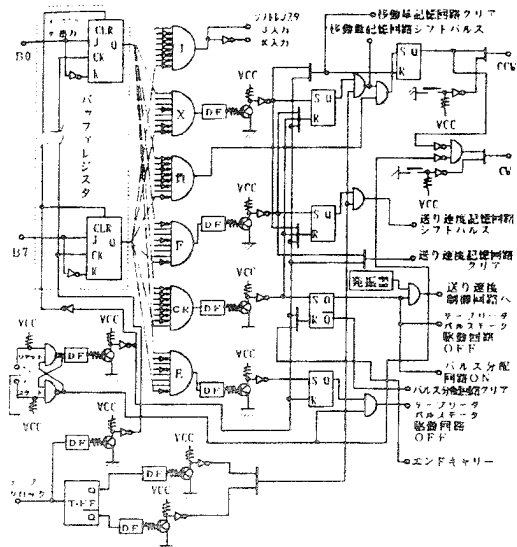


図5 主制御回路

回転方向の指示は、AUTO状態においては、X続いて負のキャラクタが認識されたときだけCCW方向の指示が出され、それ以外の時はCW方向の指示が出される。MANUAL状態においては、CW、CCWのどちらかのスイッチを押すことにより回転方向を指示する。

このように、主制御回路では色々な信号を取り扱うため、論理回路を設計する時には、各信号のロジック・レベルの変化と時間的な関係を表すタイムチャートを作成し、論理動作の検証を行うことが非常に重要である。

タイムチャートを作成する場合、関係する全ての信号の論理状態を把握しておかなければならない。しかし、ICの種類により、出力変化が信号の立ち上がりまたは

立ち下がりで行われるもの、プリセット、クリアがHレベルまたはLレベルで行われるものなどの違いもあり、作成には苦慮した。

また、この回路の設計は、テープフォーマットにおいてキャラクタを並べる順序にも影響を与えることになる。

### V 励磁制御回路

2相パルスモータの励磁方式には1相励磁、2相励磁、1-2相励磁がある。今回は多くの励磁方式を試みるため、1軸装置用は2相励磁、テーブリーダ用は1-2相励磁の二通りの方式で行なうことにした。図6にモータ内部結線図およびそれぞれの励磁シーケンスを示す。励磁シーケンスにおいて、斜線表示が励磁されている状態を示し、白ブランクは励磁されていない状態を示す。CW方向の場合、2相励磁方式はAC相、BC相、BD相、AD相……と順次励磁していく方式であり、1-2相励磁方式はAC相、C相、BC相、B相……と励磁していく方式である。

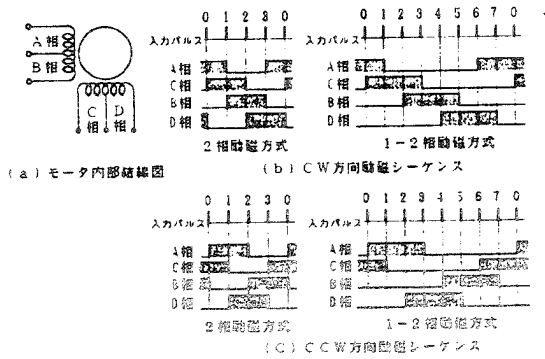


図6 励磁方式

A, B, C, D各相の状態を定めるため、それぞれフリップフロップ $FF_a, FF_b, FF_c$ および $FF_d$ を用いる。 $FF_a$ のQ出力がHレベルのとき、A相は励磁されているが、Lレベルのときは励磁されていないものとする。 $FF_b$ のQ出力がHレベルにする条件をセット条件 $S_A$ 、Lレベルにする条件をリセット条件 $R_A$ とすると、2相励磁の場合、CW方向の回転に対しては、励磁シーケンスより次の関係が得られる。

$$S_A = \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$$

$$R_A = A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$$

但し、 $\bar{A}$ は $FF_a$ のQ出力がLレベル、 $\bar{Q}$ 出力がHレベルであることを意味する。

同様にして、他の2相励磁方式および1-2相励磁方式のCW, CCW方向における各フリップフロップのセット条件、リセット条件は表2のようにになる。CW, CCW

表2 セット条件・リセット条件

2相励磁方式		1-2相励磁方式	
CW方向	CCW方向	CW方向	CCW方向
$S_A = \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$	$S_A = \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$	$S_A = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$	$S_A = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$
$R_A = A \cdot B \cdot C \cdot D$	$R_A = A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$	$R_A = A \cdot B \cdot C \cdot D$	$R_A = A \cdot B \cdot C \cdot D$
$S_B = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$	$S_B = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$	$S_B = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$	$S_B = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$
$R_B = A \cdot B \cdot C \cdot D$	$R_B = A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$	$R_B = A \cdot B \cdot C \cdot D$	$R_B = A \cdot B \cdot C \cdot D$
$S_C = \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D$	$S_C = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$	$S_C = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}$	$S_C = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$
$R_C = A \cdot B \cdot C \cdot D$	$R_C = A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$	$R_C = A \cdot B \cdot C \cdot D$	$R_C = A \cdot B \cdot C \cdot D$
$S_D = \bar{A} \cdot B \cdot C \cdot D$	$S_D = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D$	$S_D = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D$	$S_D = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$
$R_D = A \cdot B \cdot C \cdot D$	$R_D = A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D}$	$R_D = A \cdot B \cdot C \cdot D$	$R_D = A \cdot B \cdot C \cdot D$

方向の各条件を比較してみると同じ条件のものがあ、CCW方向の条件をCW方向の条件で置き換えることができる。これらの諸条件により、2相励磁方式の論理回路を組めば図7が得られる。但し、初期条件は $A = C = H$ レベル、 $B = D = L$ レベルとしてある。

各フリップフロップの出力A, B, C, Dを駆動回路に送り増幅し、パルスモータの各相を励磁することにより、パルスモータは回転する。

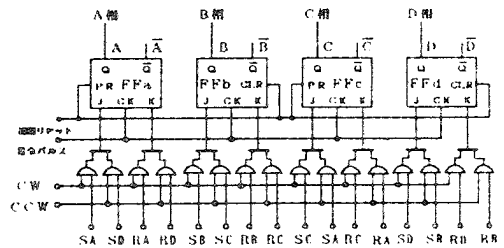


図7 励磁制御回路

パルスモータの回転速度をいくらまで早く出来るかは、スルーアップ駆動法で行なっていないため、最大自起動周波数が問題となる。調べた結果、余り大きくできずカタログ値の1/2程度であった。

### VI 記憶回路

記憶回路は、シフトレジスタを主体とする回路からできている。移動量および送り速度の値は、NCテープ上に2進数で表現されている。それぞれ、専用のシフトレジスタが設けてあり、Xのキャラクタを認識すると、移動量用のシフトレジスタだけがオープンされ、送り穴を利用して作り出されたシフトパルスにより、移動量が2進数の形で記憶されていく。また、送り速度についても、Fのキャラクタを認識することにより、同様に記憶される。

しかし、シフトパルスは前述したように送り穴を利用して作られるため、IIIテーブリーダのところで述べたようにテーブリーダからの出力波形に不要なパルスがある場合には、不要なパルスの数だけけいにシフトされる

ことになり、指令された移動量および送り速度と異なる値が記憶されることになる。ノイズに対しても同様の現象が起こるのでノイズ対策をしておく必要がある。

初期の設定の段階で、最大送り速度255PPS、最大指令パルス数8191パルスと設定したため送り速度は8桁、移動量は13桁で記憶することにした。この記憶された値は、速度制御回路、パルス分配回路において参照されることになる。

### VII パルス分配回路

パルス分配回路は、MIT方式を用いており直線補間のみ可能である。図8にこの方式の原理を示す。この回路は、2進数計数回路を主体とする簡単な回路で実現できる。同図のように、3ビットの場合にはクロックパルス8(=2<sup>3</sup>)個が1周期になる。この間に5個の指令パルスが必要ならば、これを2進数表示してX<sub>0</sub>=1, X<sub>1</sub>=0, X<sub>2</sub>=1とし、それぞれANDゲートG<sub>0</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>の開閉を制御するとG<sub>2</sub>は1, 3, 5, 7番目のクロックパルスを、G<sub>0</sub>は4番目のパルスを通過させる。2, 6番目のパルスはX<sub>1</sub>=0だからG<sub>1</sub>で阻止されて合計5個の出力が得られる。このように、X<sub>i</sub>の値を移動量に相当する指令パルス数に換算し、2進数の形で設定しておくことにより、指令された距離だけ移動することになる。また、フリップフロップのビット数は最大指令パルス数により決定される。今回の試作では最大指令パルス数を8191パルスに設定したのでビット数は13個、クロックパルス1周期は8192(=2<sup>13</sup>)パルスである。

指令パルスのパルス数は移動量を決定し、周波数はパルスモータの回転速度、最終的には送り速度を制御することになる。

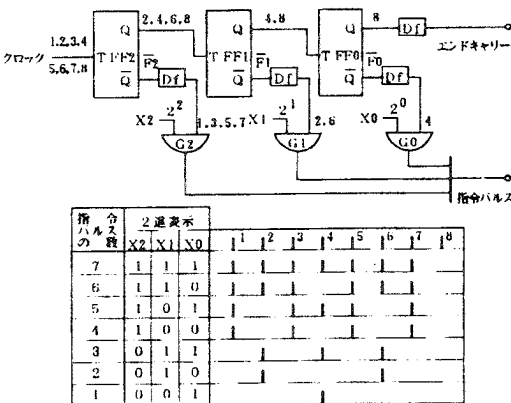


図8 MIT方式の原理

### VIII 送り速度制御回路

送り速度は、前述したように指令パルスの周波数により決定される。パルス分配回路に用いられているMIT方式は、クロックパルス1周期のパルス数の中で、何個指令パルスとして取り出すかという回路である。

指令パルスの周波数は、h:クロックパルス周波数, X:指令パルス数, A:クロックパルス1周期のパルス数とすれば

$$\text{指令パルス周波数} = h \cdot X / A$$

により求められる。上式は、指令パルス周波数はクロックパルス周波数hおよび指令パルス数Xにより変化することを示している。しかし、実際には、指令パルス数(移動量)が異なっても、指令パルス周波数(送り速度)が同じである必要性が要求される。これを可能にするには、クロックパルス周波数を指令パルス数Xの値に応じて

$$\text{クロックパルス周波数} = h / X$$

に変化させればよい。

送り速度制御回路は、パルス分配回路へのクロックパルス周波数を制御する回路であり、最終的には指令パルス周波数を制御する。この回路は、パルス分配回路と同じMIT方式の分配回路と指令パルス数(移動量)に関係する1/X回路よりできている。

分配回路のフリップフロップのビット数は、最大送り速度により決定される。最大送り速度を255PPSに設定したためビット数は8個、1周期のパルス数は256(=2<sup>8</sup>)パルスである。

図9に1/X回路とそのタイムチャートを示す。この回路は、2進数計数回路とコンパレータ回路よりできている。指令パルス数Xが5の場合には、これを2進数表示しX<sub>0</sub>=1, X<sub>1</sub>=0, X<sub>2</sub>=1とする。クロックパルスが出力されるのは、コンパレータ出力A, B, Cが共に1の場合であるから、Q<sub>0</sub>=1, Q<sub>1</sub>=0, Q<sub>2</sub>=1の場合である。このとき、パルスが5個入力されてクロックパルス1個が出力される。このようにして、指令パルス数Xの値により、分配回路から出力されるパルスの周波数が1/Xの周波数に変換される。

送り速度制御回路より出力されるクロックパルス周波数は、H:基準発振器周波数, F:送り速度(指令パルス周波数), X:指令パルス数, A:パルス分配回路におけるクロックパルス1周期のパルス数, B:分配回路の1周期のパルス数から

$$\text{クロックパルス周波数} = H \cdot \frac{F}{B} \cdot \frac{1}{X}$$

(4) 湯本俊夫：デジタル I C 回路の設計、CQ 出版社、1986年

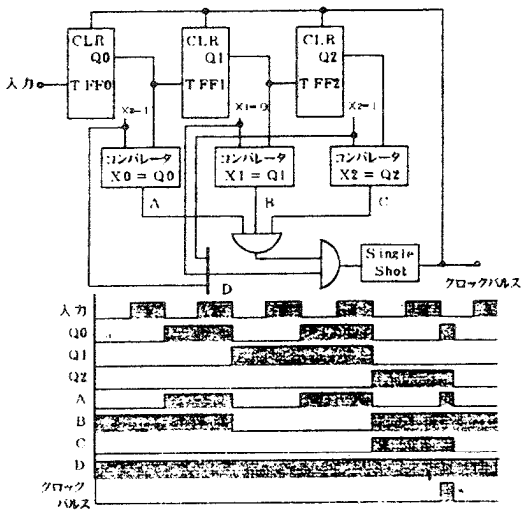


図 9 1/X回路

となり、最終的な指令パルス周波数は

$$\begin{aligned} \text{指令パルス周波数} &= H \cdot \frac{F}{B} \cdot \frac{1}{X} \cdot \frac{X}{A} \\ &= H \cdot \frac{F}{A \cdot B} \end{aligned}$$

となる。ここで  $H=A \cdot B$  に設定することにより、指令パルス周波数は  $F$  の値だけにより制御されることになる。今回試作した装置は  $A=8192$ パルス、 $B=256$ パルスとしたため、基準発振器周波数は  $2097152\text{Hz}$  となる。

このようにして指令された送り速度で、指令量だけ移動することになる。

## IX おわりに

今回試作した NC 装置は、基本である一軸制御用ではあるが、論理設計、プロットボード上での実験、実装という手順で全て手作りで行った。このことにより、授業で学んだ数値制御、電子工学などに関する知識を実証、実践し、NC 装置のハードウェアおよび制御方法を理解することができたのではないかと考える。

今後の課題として各回路の見直し、制御軸数を増やす、記憶できるブロック数を増やす、円弧補間を可能にするなど実機を持つ機能を付加していきたいと考えている。

最後に、卒業研究として一軸 NC 装置の試作に協力してくれた機械科卒業生高谷浩、成田潤一、三上力也、盛山光治の諸君に感謝の意を表する。

## 参考文献

- (1) JIS B0181 「数値制御工作機械用語」
- (2) 池辺 潤：数値制御通論、オーム社、1971年
- (3) オリエンタルモータ総合カタログ No.87001