

NC 旋盤の設計・製作

坂口 昇三*, 佐藤 弘明*

The design and manufacture of NC lathe
Shozo Sakaguchi , Hiroaki Sato

要約

近畿職業能力大学校生産技術科では、2012年度より総合制作実習のテーマとして、NC旋盤の設計・製作に取り組んできた。本報告は2012年度、2013年度の2年間での制作の過程を述べたものである。本テーマでは、製作に携わる学生たちがNC工作機を構成する機械技術や制御技術を習得することを目的として実施した。2012年度はNCプログラムにより素材を図面形状に加工できる楕円型NC旋盤を製作し、2013年度は製作したNC旋盤の基本構造に改良を加え、ミーリング機能付きNC旋盤を製作することを目指した。

1. はじめに

今日の生産活動においてNC工作機械は必須の要素であり、生産技術科においてもそのプログラミングなどの利用技術の習得に時間を割いている。本テーマでは授業から一歩踏み込み、NC旋盤の設計・製作をとおり、NC工作機の内部を構成する機械技術や制御技術について理解を深めてもらうことを目標とした。また、学生たちが設計から加工、組立、調整といった一連のものづくりの過程をとおり、様々な加工法や回路製作法を学び、ものづくりの手応えや楽しさや、目標に向かって努力した結果得られる達成感や自信を持ってもらえることを期待して製作を進めることにした。

2. 製作の概要

製作を進めるにあたって、ものづくりの一連の流れを経験できるように、仕様や構成、構造を定めた。機構部については、できるだけ校内で加工できるように、保有する加工機に合わせた大きさや構造とし、制御部については、専用装置を用いず、容易に入手できる部品を組み合わせて構成するようにした。

2012年度は、NCプログラムにより本機の運転ができ、刃物台、心押し台等の主要構成ユニットを省いた基本的なNC旋盤として、楕円型NC旋盤の製作を目標とした(図1)。

2013年度はこれに機構部としてドラム式刃物台、ミーリング主軸、ミーリング主軸割り出し機能、主軸割り出し機能(C軸割り出し機能)、Y軸を追加し、制御部としては機構部追加仕様に対応した制御機

能の追加および制御用PCのタッチパネル化を行い、ターニングセンタへの改造を図った(図2)。

3. NC 旋盤の製作 (2012 年度)

3.1 NC 旋盤の構造

2012年度は図3に示すように、主軸モータを機械下部ベース内に配置し、Vベルトにて上部主軸を



図1 NC 旋盤の構成



図2 ターニングセンタの構成

* 生産技術科



図3 NC旋盤の構造

駆動する構造とした。各軸の摺動部にはリニアガイドを用い、駆動にはサーボモータとボールネジを使用した。また、横送り台には切削工具を取り付けるためT溝を設けた。

3.2 仕様

加工物サイズや各軸のストロークを決定するにあたりチャックサイズを3インチとし、当校の設備機械の加工物サイズを考慮して各軸のストローク等を決定した。

(1) 機械仕様

横送り台上の振り	φ70
X軸ストローク	200mm
Z軸ストローク	200mm
横送り台サイズ	200×250mm
主軸駆動方式	ベルト方式
チャックサイズ	3インチ
加工物サイズ	φ50×150mm
主軸モータ	2.2kW
最高主軸回転数	3000min ⁻¹
使用工具	10mm角

(2) 切削能力

<u>旋削加工(S45C)</u>	
ワーク直径	φ30mm
切り込み	1.5mm
送り速度	0.2mm/rev

(3) 位置決め機能

早送り速度	7.5m/s
加速時間	0.1s
位置分解能	1μm

3.3 機構部の設計

機構部の設計にあたりまず考えたことは、当校の設備機械で加工できる構造、サイズの部品で構成することである。

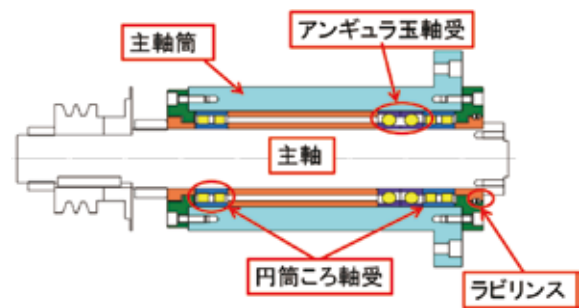


図4 主軸ユニットの構造

(1) 主軸ユニット カートリッジ方式とし、軸受はアンギュラ玉軸受、円筒ころ軸受の構成とすることにより、高速強力切削を可能とする(図4)。主軸前カバー部にはラビリンスを設け、主軸内への切削油等の進入防止をはかった。またベアリングサイズについては主軸の剛性、回転数を考慮し標準加工物と同一サイズの内径とした。

主軸ユニットをカートリッジ方式とした理由は、部品加工を普通旋盤・NC旋盤を使った旋削・穴あけ・タップ加工だけで行えること。寸法公差の管理が容易であること。また、そのために組立時のベアリング組込み作業において、部品を加熱、冷却するだけで、容易に締め込みでの挿入が行えるようになること、などが挙げられる。

(2) 主要部品 主軸台、横送り台、往復台、ベッド等の主要部品は吸振性に優れた鋳物とした。ベッドベース部は、当初鋳造品の採用を検討したが、鋳型の製作コストと納期からミガキ材による組立構造とし、摺動部はデンスバーからの削り出しとした(図5)。

3.4 主要部品の製作

(1) ベッド、往復台 ベッド、往復台のリニアガイド、ボールネジ取付け部は平面度・平行度・真直度・寸法において精度が要求されるため、マシニングセンタにより同時加工を行った(図6)。

(2) 主要部品 主軸台、横送り台、往復台、ベッド



図5 ベッド組立図



図6 往復台のガイド、ボールネジ取付け部

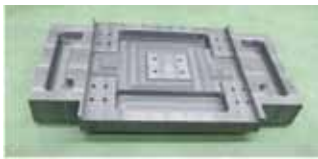


図7 往復台裏面

表1 想定した切削抵抗

主分力	1030 N
送り分力	515 N
背分力	309 N
切削動力	1.72 kW

チャック

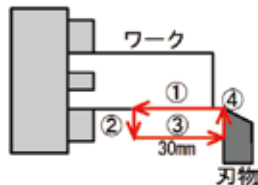


図8 想定した運転パターン

等の主要部品は、図7に示すように、不要部を削り落し軽量化を図った。

3.5 モータの選定

モータ選定のために仕様に定めた切削能力に基づき表1に示す切削抵抗、図8に示す運転パターンを想定した。

(1) 送り用モータの選定 定格出力 200W、定格トルク 0.64Nm の AC サーボモータを用いることにした。Z 軸について計算を行ったところ、図9に示すように送り分力による最大負荷トルクは 0.47Nm になり、定格トルク内に収まった。また、実効負荷トルクも 0.41Nm であり、実効負荷安全率 1.56 となったので使用に問題がないことが分かった。

(2) 主軸用モータの選定 定格出力 2.2kW、連続運転トルク 11.7Nm の 3 相誘導モータを用いることにした。図10に示すように最大切削時の負荷は 17.0 Nm となったが、60 秒定格内であること、最大切削は短時間しか行わないことから、使用可能であると判断した。

3.6 制御システムについて

本機においては一般の NC 工作機と同様に NC プログラムにより自動加工が行えるようにする。入手が容易な機器でこれを達成できるように、PC 上で動作する NC 制御装置を用いてシステムを構成した。

(1) 制御システムの構成 図11に示すように、PC、CNC コントローラ、PLC、軸駆動用サーボモータとサーボアンプ、主軸モータとインバータからなる。PC 上の CNC コントロールプログラムは NC プログラムを解釈し、CNC コントローラへ軸の送りや主軸の回転を指示する。CNC コントローラは軸駆

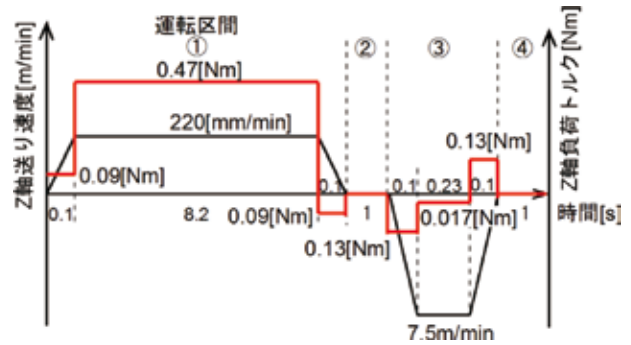


図9 Z 軸駆動モータのトルクパターン

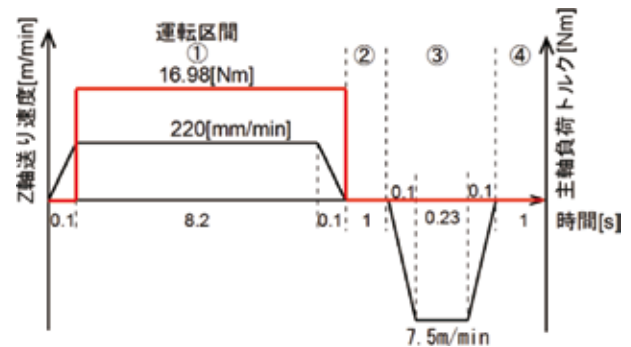


図10 主軸モータのトルクパターン

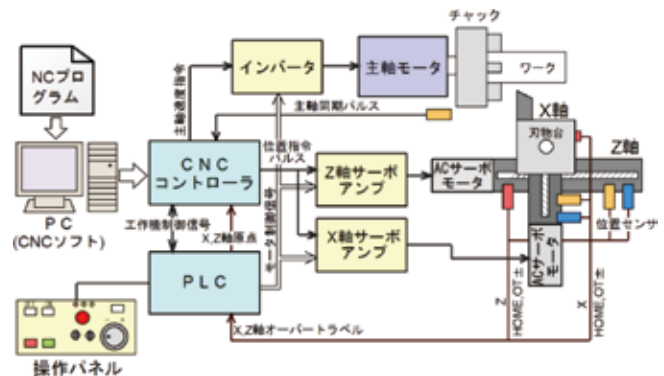


図11 NC 旋盤の制御システム

動サーボへの位置指令パルスや主軸の速度指令を発生する。PLC は、起動時の電源投入シーケンスを制御し、非常停止やサーボアラームなどの異常に対してシステムを安全に停止させる。

(2) 制御プログラムについて 図12に示すように、POWER ON スイッチを押すと、異常の有無を確認しながら、CNC コントローラ、サーボアンプの制御電源、動力電源の順に電源を投入し、最後にサーボモータを動作させる。

運転中にサーボアンプに異常が発生した場合は動力を切断し、オーバーラベルが発生した場合はサーボモータを緊急停止させるようにした。これらの異常発生への対応は、本機が複数の機器から構成

されていることから、一台の機器に異常が発生しても連動してシステム全体を停止させるようにプログラムを構成した。

3.7 制御システムの製作

操作パネルには図 13 に示すように、電源スイッチ、非常停止スイッチ、ジョグダイヤルなどを配置した。パネル内には CNC コントローラ、PLC を格

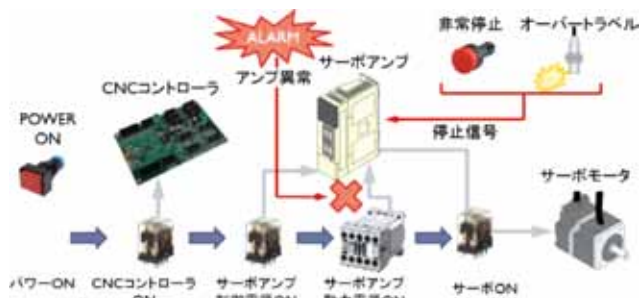


図 12 制御プログラムの概要



a) パネル外観 b) パネル内部

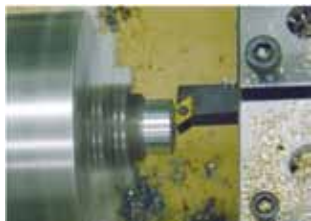
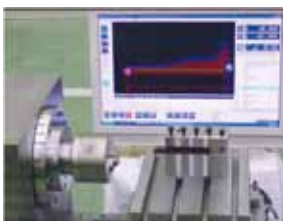
図 13 操作パネル



図 14 制御盤内部



図 15 位置センサの配置



a) 運転中のモニタ画面 b) 切削テストの様子

図 16 NC 旋盤の動作

納している。制御盤にはインバータやサーボアンプを配置し、操作パネル内にある PLC までの配線を短縮できるように IO ユニットを置いた(図 14)。また、工作機の各軸には原点、オーバートラベル検出用の位置センサを取り付けた(図 15)。

3.8 切削テスト

製作した NC 旋盤で行ったテスト運転の様子を図 16 に示す。NC プログラムにより端面加工及び外径のストレート加工を行うことができ、また仕様に定めた鋼材(S45C)の切削も可能であることが確認できた。切削テストの結果、加工物の寸法のバラツキは 0.01mm 以内に収まることが分かり、加工機として十分使用に耐える性能を持つことが分かった。なお、テストの条件は表 2 の通りである。

表 2 切削テストの条件

加工物サイズ	φ 25×30mm	
加工物材質	S45C	
加工条件	回転数	1700 min ⁻¹
	送り	0.2mm/rev
	切込	1.5mm (半径値)
加工物寸法バラツキ	0.01mm 以内	

4. ターニングセンタの製作(2013 年度)

4.1 ターニングセンタの構造

2013 年度は図 17 に示すように、C 軸ユニットを主軸台上部に配置し、ドラム式刃物台とミーリングスピンドルを横送り台上に配置する構造とした。ミーリングスピンドルは Y 軸により上下位置、A 軸により角度割出しが行えるようにした。



図 17 ターニングセンタの構造

4.2 仕様

(1) 機械仕様

横送り台上の振り	φ 70
X 軸ストローク	100mm
Y 軸ストローク	100mm
Z 軸ストローク	200mm
A 軸ストローク	120°
C 軸ストローク	360°
チャックサイズ	3 インチ
加工物サイズ	φ 50×150mm
主軸モータ	2.2kW
最高主軸回転数	3000min ⁻¹
ミーリングモータ	0.13kW
最高ミーリング回転数	3600min ⁻¹
使用工具本数	6 本
使用工具	10mm 角

(2) 切削能力

旋削加工(S45C)

ワーク直径	φ 30mm
切り込み	1.5mm
送り速度	0.2mm/rev

ミーリング加工(アルミニウム)

切り込み深さ	5mm
切削幅	3mm

4.3 機構部の設計

(1) **A 軸ユニット** ミーリングユニットの角度割出しを行う。ミーリング加工の精度を確保するためには、このユニットの割出し精度と剛性が重要である。そのため図 18 に示すように、ユニット前部に配置したクロスローラベアリングでスラスト・ラジアル両方向の荷重を受け、後部に配置した割出し用ウォームギアには荷重がかからないようにした。また、割出した角度を確実に保持できるようにディスクブレーキを配置した。

(2) **刃物台ユニット** 旋削加工時の工具本数を確保できるようにドラム式を採用した。加工時に工具には大きな切削力がかかる。その力に耐え、割出し精度を確保するため、カービックカップリングを用い、刃物台本体に設けた油圧ピストンへ 3.5MPa の油圧を加え、大きなクランプ力を発生させている(図 19)。タレットヘッドの割出しはステッピングモータで行い、その回転は刃物台本体後部に配置したタイミングプーリで刃物台軸へ伝達される。ピストンによるクランプ・アンクランプ動作やモータによる

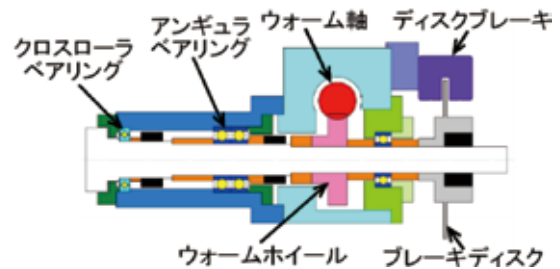


図 18 A 軸ユニットの構造

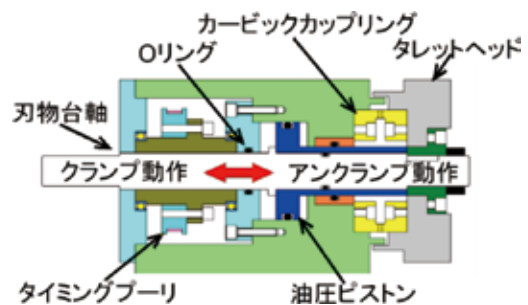


図 19 刃物台ユニットの構造

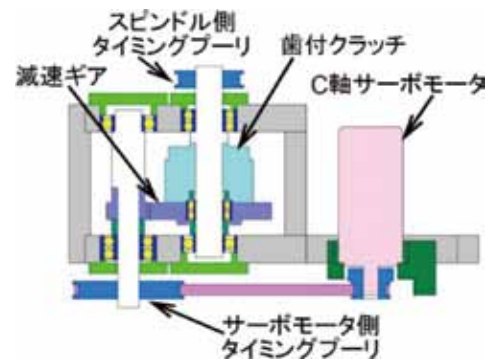


図 20 C 軸ユニットの構造



a) A 軸ユニット b) 刃物台ユニット

図 21 各ユニットの主要部品 1

角度割出し動作は刃物台軸を介してタレットヘッドに伝達される。

(3) **C 軸ユニット** ミーリング加工時に加工物の角度割出しを主軸に行わせる。図 20 に示すように割出しにはサーボモータを利用し、主軸との連結は歯



a) C 軸ユニット

b) Y 軸ユニット

図 22 各ユニットの主要部品 2

付クラッチを使う構造とした。歯付クラッチの使用により、確実な結合・切離しができ、摩擦結合のクラッチの様な滑りが発生しないため確実な割出し精度の維持ができる。

4.4 各ユニットの部品

各ユニットの構成部品は、その部品点数も多く精度も要求されるため製作には多くの時間と労力を費やした。その加工には普通旋盤、フライス盤、NC 旋盤、マシニングセンタ等を用いた。製作した部品の一部を図 21, 22 に示す。

4.5 制御システムについて

(1) 制御システムの構成 制御システムは図 23 に示すように、操作パネル、制御盤、工作機本体の 3 つの部分に分かれる。これらの中でセンサからの入力や機器の操作信号など多くの信号をやりとりする必要がある。これを省線化するために PLC のネットワーク機能を利用することにした。本機の CNC コントロールプログラムは PC 上で稼働するため小型の PC を制御盤内に組み込んだ。また、タッチパネルモニタを導入し、モニタ上のボタンで機器を操作できるようにした。

(2) 刃物台ユニットの制御 工具切換は PLC 内蔵の位置決め機能を利用し、CNC コントローラが使用中の工具を把握できるように、工具割出しセンサを持たせた。工具切換/加工に合わせ、油圧シリンダを操作して工具タレットの解放/固定を行う(図 24)。

(3) 主軸 / C 軸ユニットの制御 旋盤加工とミーリ

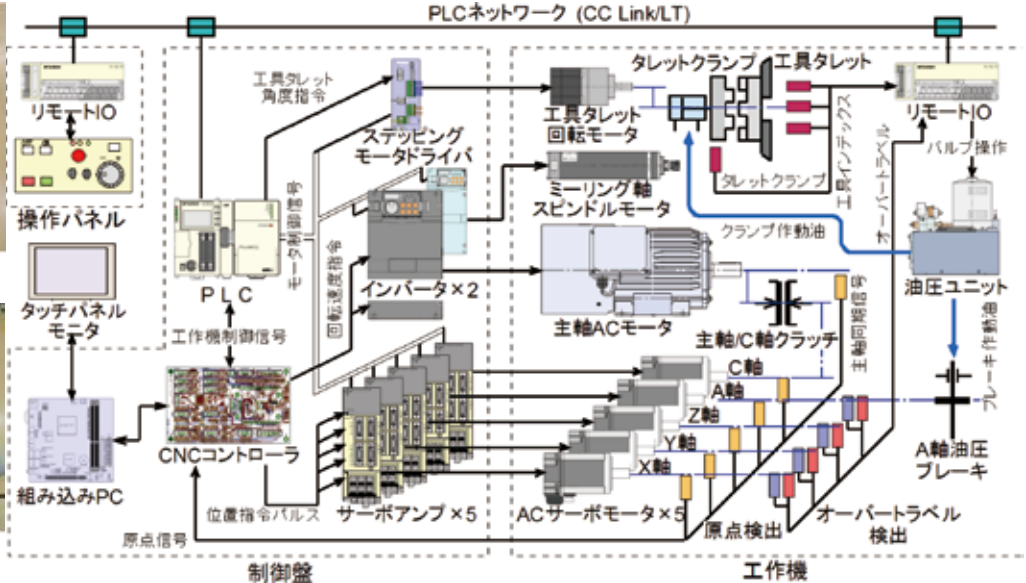


図 23 制御システムの構成

ング加工に合わせ、AC モータとサーボモータを電磁クラッチで切り替える。CNC コントローラからの指示で PLC が二つのモードを切り替える(図 25)。(4) A 軸・ミーリングスピンドル軸の制御 ミーリング軸を加工や角度割出しに合わせて固定、制動、解放する必要がある。この油圧ブレーキの操作は CNC コントローラと PLC の連携によって行う(図 26)。

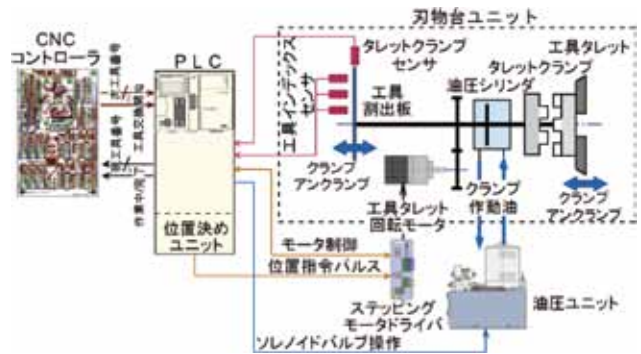


図 24 刃物台ユニットの制御系統

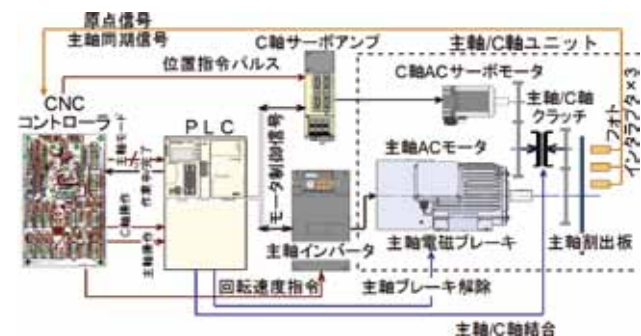


図 25 主軸/C 軸ユニットの制御系統

(5) 制御プログラムについて 本機を構成する各ユニットは位置決めを行う以外に油圧機器や電磁クラッチなどを順序よく操作し、初めて機能を発揮できる。これらの操作は CNC コントローラからの指示を受けた PLC に順序立てて実行させる。

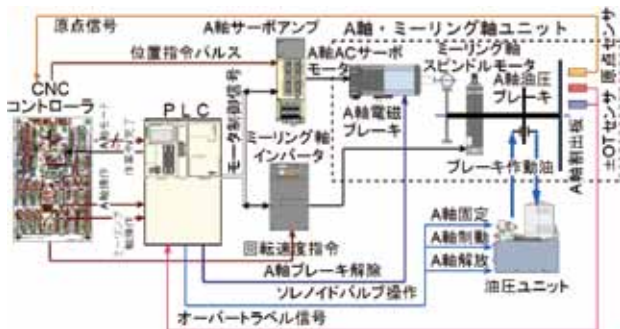


図 26. A 軸・ミーリング軸ユニットの制御系統

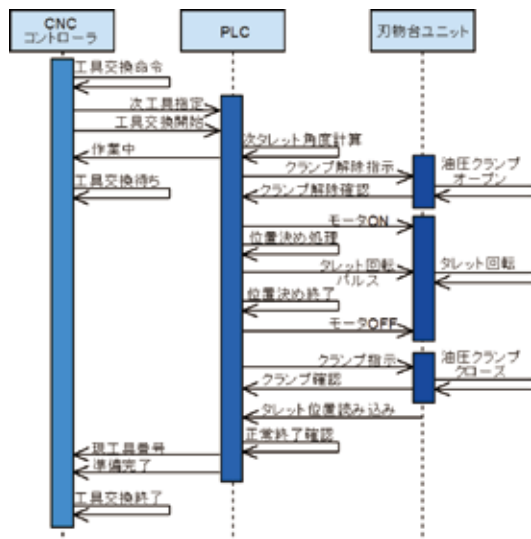


図 27. 刃物台ユニットの制御の流れ



a) 100V 制御盤 b) 200V 制御盤 c) 工作機制御盤
図 28. 製作した制御盤



図 29. ターニングセンタの動作

刃物台ユニットでは、工具交換指令により油圧シリンダを操作してクラップを解除、指定工具位置までタレットを回転、加工に備えタレットをクラップする。といった手順が必要となる(図 27)。なお、製作の遅れから現時点でプログラムは実装されていない。

4.6 制御盤の製作

多数の制御機器を格納するために、二つの制御盤に機器を格納した。一つの制御盤には AC100V を動力とする機器(図 28 a)、もう一方には AC200V を動力とする機器とコントローラ類を格納した(図 28 b)。また、工作機のブレーキや油圧バルブの操作信号、センサ入力をまとめるため、工作機にも制御盤を取り付けた(図 28 c)。

4.7 ターニングセンタの動作

残念ながら油圧系、センサ系の実装が間に合わず、自動運転にまでは至らなかったが、各ユニットを手動操作して機構部各ユニット、制御回路の動作を確認することができた。図 29 では、X 軸、Y 軸、Z 軸、A 軸を操作することにより、ミーリングスピンドルの向きを変えチャックに取り付けたワークの傍へ移動させている。

5. おわりに

2012 年度は NC プログラムにより自動運転ができ、刃物台、心押し台等の主要構成ユニットを省いた基本的な NC 旋盤として、櫛刃型 NC 旋盤の製作を行った。切削テストも行い仕様で定めた切削能力を満足する機械に仕上がった。

2013 年度はミーリング機能も搭載し、複合加工が可能なターニングセンタへの改造を目指した。しかしコンパクトにまとめる事が難しく、設計にも時間が掛かり、また加工部品点数も多く精度も要求されるため製作には多くの時間と労力を費やした。しかし学生達の努力の結果、機械系主要部品の加工、組立てが完了し、手動操作による動作確認まで行うことができた。次年度は、更なる改良を加えたいと考えている。

今回の総合制作実習を通し、学生たちは各人が自分の役割、分担を確実に実行する努力の大切さ、チームワークの大切さを学ぶとともに、真剣に取り組めば自分達にもある程度のものづくりができるという自信をもてたのではないかなと思う。