

<実践報告・資料>

共同研究「多機能工作機械の開発」の経緯とその成果

川内職業能力開発短期大学校

廣瀬 渉

Progress and Result of Joint Research; "Development of Multifunctional Machine Tool"

Wataru HIROSE

要約 株タック技研工業と九州職業能力開発大学校（Kyushu Polytechnic College : 九州PC）、川内職業能力開発短期大学校（Polytechnic College Sendai : PC川内）において、平成21、22、23年度にかけて、段付きドリル等のコンビネーションカッターが有効活用可能で、立／横形ボール盤、立／横形フライス盤、横形マシニングセンタ、旋盤等に加工機能変更可能な、多機能工作機械の意匠および製品化検討用試作機を共同研究にて開発したので、その成果も含めて経緯について報告する。

I はじめに

平成21、22、23年度にかけて、オプションによるアタッチメントを取り換えることにより、立／横形ボール盤、立／横形フライス盤、横形マシニングセンタ、旋盤等、加工機能の変更が可能で、さらに手動、半自動（対話型）、数値制御（Numerical Control : NC）の操作機能を持ち、1台の工作機械で、単品から大量品、多品種等様々な生産形態に対応した「多機能工作機械」を開発した。当初の目標に対し、一定の成果が得られたので報告する。

研究担当は表1の通りである。なお、平成23年度は筆者の転勤に伴う体制である。

表1 共同研究担当表

●平成21、22年度

機構部	九州PC、生産機械システム技術科	廣瀬 渉
制御部	九州PC、生産電子システム技術科	友添 信雄 氏
ソフト部	九州PC、生産情報システム技術科	中山 裕介 氏

●平成23年度

機構部	PCII内、生産技術科	廣瀬 渉
制御部	九州PC、生産電子システム技術科	友添 信雄 氏
ソフト部	九州PC、生産情報システム技術科	吉田 啓孝 氏

II 共同研究の端緒

株タック技研工業は、福岡県北九州市八幡西区に所在し、タップ、ドリルのスピンドルユニット、高速スピンドルモータ等、産業用電気機械の設計、製造、販売をしている企業である。



図1 H16、NCマルチスピンドルタッピングマシン

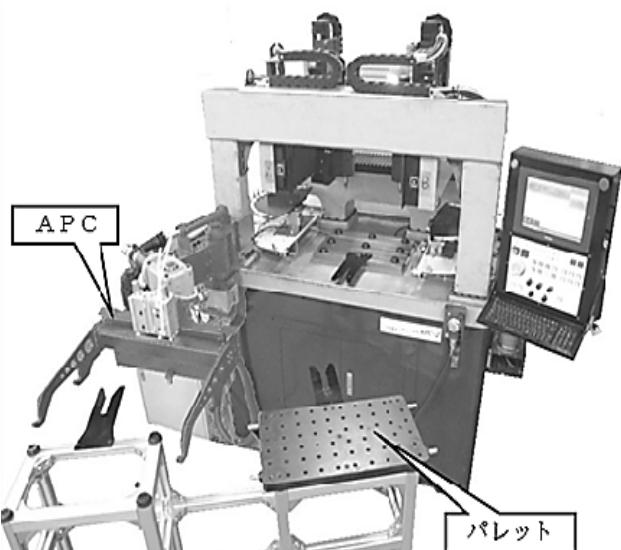


図2 H18-20、FMS対応 NCマルチスピンドル・タッピングセンタ

㈱タック技研工業との共同研究は、平成 16 年度、図 1 に示す「NC マルチスピンドルタッピングマシン」の開発に始まる。これは、マグネシウムダイカスト製法によるノートパソコン筐体の、鋸抜き穴に対する M2, M3 等、小径タップ追加工の高効率化を目指した工作機械である。

さらに、平成 18、19、20 年度にかけて、前装置を生産現場で本格的活用が可能なように、完全自動化を目指した図 2 に示す「NC マルチスピンドル・タッピングセンタ」を開発した。そして今回報告する、「多機能工作機械」で 3 代目となる。

本装置の開発は、平成 20 年度共同研究中間報告会後の次年度共同研究検討会の席上、㈱タック技研工業の社長より、「卓上横形で大量生産から単品生産まであらゆる用途に対応でき、ミーリング加工も可能なボール盤ができるか」と提案されたことに端を発する。

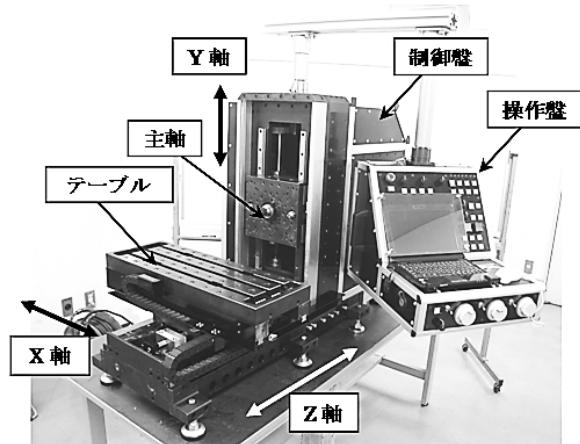


図 3 H21、横形ボール盤全景

表 2 H21、機械仕様

機械形状	横型 ボール盤
機械寸法 (mm)	W : 1200 D : 570 H : 840
機械質量 (kg)	350
軸数	4 軸 移動軸 : 3 主軸 : 1
移動量 (mm)	X : 330 Y : 260 Z : 215
最大ワークサイズ (mm)	310 × 260 × 215 以下
最大積載質量 (kg)	20
電源	三相 200V
モーションコントローラ	MP2300 (安川電機社製)

III 本研究の意義

研究所や単品を多く取り扱う工場など、スペース的に数種類の工作機械を設置する余裕がない所においては、内製不可能な加工を外部委託している状況がある。また、工作機械を設置出来たとしても、一般的に現状の工作機械のほとんどは、導入後の機能変更が不可能である。さらに、ハードディスク、携帯電話などに代表される、軽合金、小型製品の大量生産を

行っている生産現場において、ボトルグリップテーパシャンク (Bottle Grip Taper Shank : BT) 30 番クラスの主軸テーパを持つ、即ちオーバーサイズのマシニングセンタで加工を行っている現状がある。

これらの状況を改善すべく、主軸ユニットを含むオプションアタッチメントの交換と、モーションコントローラ (Motion Controller : MC) のモード切り替えにより、ミーリング機能、旋盤機能等、容易にあらゆる用途に対応し、省スペース、省エネルギー、低コストを目指した多機能型工作機械の試作機を開発することとした。

なお、本共同研究は㈱タック技研工業社員の技術向上は勿論のこと、㈱タック技研工業の理解・承認の下、九州 PC 生産系応用課程の開発課題テーマ、および PC 川内専門課程機械系の総合制作テーマ、すなわち学生の教育訓練の一環として取り組み、学生に対し、企業の製品開発を行わせることによる技術・技能向上と即戦力の付加を狙った。

IV 平成 21 年度共同研究概要

1 開発目標

初年度は、XYZ 軸位置決め機構、ティーチングプレイバック機能、および対話型による 2 段階切削条件設定機能等、コンビネーションカッターを有効利用できる高能率穴加工対応の横形ボール盤機能の開発を目指した。図 3 に完成した横形ボール盤の全景、また、表 2 に装置の仕様を示す。

2 コンビネーションカッターとは

図 4 に示すように、ドリル & リーマなど加工条件の違う穴加工機能を 1 本の工具にすることで、工具交換の時間を減らすことによる加工効率を目指した工具である。

コンビネーションカッターは、一般的にオーダーメイド工具で、市販品としては図 5 に示す段付きドリルがある。なお、本カッターは自動車工業等、大量生産専用工作機械で使用されており、市販されているマシニングセンタ等において、コンビネーションカッターを有効活用できる汎用 NC 工作機械は見あたらない。



図 4 コンビネーションカッター

図 5 段付きドリル

3 機構部

機構部としては、図6に示すように長尺物のコバ部(端面部)に対する加工の要求に応えるために横形構造とした。なお、次年度のオプション機能として自動工具交換装置(Automatic Tool Changer: ATC)、フライス盤・旋盤機能等を付加することを考え、モータ出力・機構強度・制御機能にゆとりのある製品設計および製作に取り組んだ。

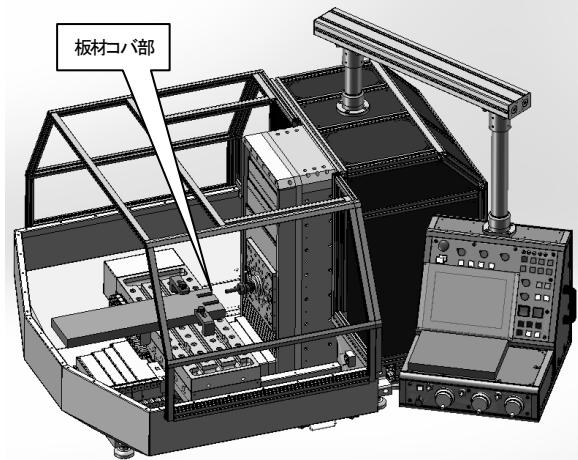


図6 板材のコバ部加工

3-1 XYZ 軸位置決め機構

位置決め誤差 $\pm 5 \mu\text{m}$ 以内を実現するために、予圧荷重を付加した株THK社のスライドガイドおよびリード精度等級C2のボールねじを選定するとともに、各軸には400WのACサーボモータ(Z軸のみブレーキ付き)を使用した。

3-2 主軸ユニット

株タック技研工業において、本機専用に開発した主軸ユニットと市販ツーリング BT20 を図7に示す。

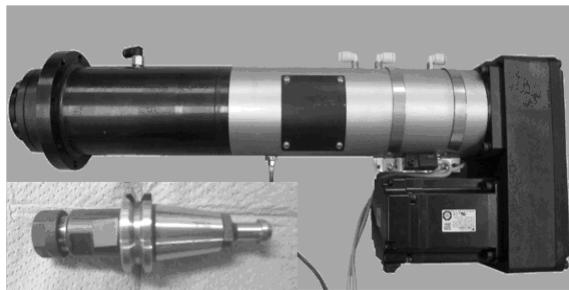


図7 主軸ユニットとBT20ツーリング

主軸ユニットは主軸端をナショナルテーパ(7/24 taper shank: NT) 20番とし、自動工具交換が可能な構造をしている。また、モータは定格出力 750W、 3000 min^{-1} のACサーボモータを使用している。

なお、主軸ユニットは立／横形としていずれにも着脱して

使用可能なように、フランジ接続としている。将来的にはオプションとして高速スピンドルユニットを用意し、グラインディングセンタとしても使用可能としている。

4 制御部

MCには株安川電機のMP2300を使用し、対話型およびティーチングプレイバック機能に対応するため、モニター兼用メインコントローラ用としてミニノートパソコン(Mini-Note Personal Computer: MN-PC)を使用した。

MN-PCとMC間の通信にはEthernetを使用し、MC、カウンタおよびモータドライバ間においては、省配線化のためにMECHATROLINK IIを使用した。

なお、ティーチングプレイバック機能は、操作盤上のXYZ手動ハンドル(ロータリーエンコーダ)より発生したパルスを基に制御を行う。図8に制御部のブロック図を示す。

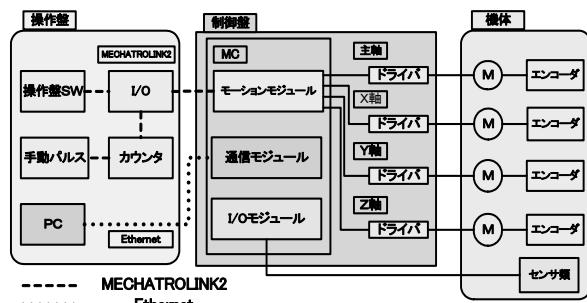


図8 機器制御ブロック図

5 ソフト部

加工は、MN-PCのGraphical User Interface (GUI)からの対話型データ入力、または手動操作からのティーチングプレイバックによるMN-PC制御システムとして実現する。

MN-PC制御システムでは、以下の開発を行った。

- ① ボール盤の状態表示
- ② ワークの原点設定
- ③ コンビネーションカッターの2段階切削条件の設定
- ④ 穴加工座標位置、深さの指定(複数)
- ⑤ 加工プログラムの生成(MC・マイコン制御)
- ⑥ 加工プログラムの検証(シミュレータによる動作確認)
- ⑦ MC加工条件設定
- ⑧ MC加工プログラムのダウンロード

なお MN-PC 制御システムは、ボール盤連携部、シミュレータ部、MC加工制御部として構成している。

5-1 ボール盤連携部

ボール盤連携部では、ボール盤の状態表示(軸情報、動作モード等)を行い、コンビネーションカッターの切削条件や加工情報の指示、および原点設定等を行う。図9に作成したGUI画面を示す。

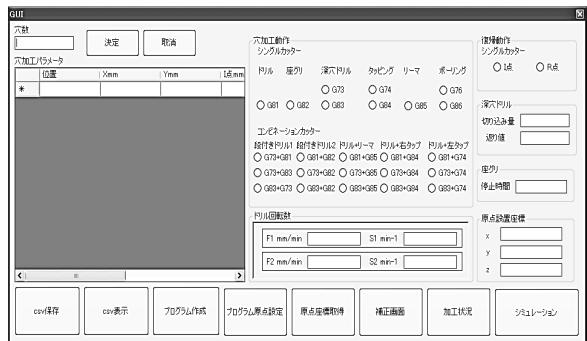


図9 穴加工 GUI、TOP 画面

5-2 シミュレータ部

シミュレータ部では、ボール盤連携部から得られた加工情報を元に、加工プログラムを生成し、そのXY平面にカッター中心経路、YZ/ZX平面に工具先端高さ方向経路のシミュレーションを行う。コンビネーションカッターにおいては、2段階加工に応じて加工動作を分解し、色違いでグラフィカルにシミュレート表示し、動作確認が行える。加工情報の修正が必要になった場合、その場で修正が可能である。図10に作成した加工シミュレータ画面を示す。

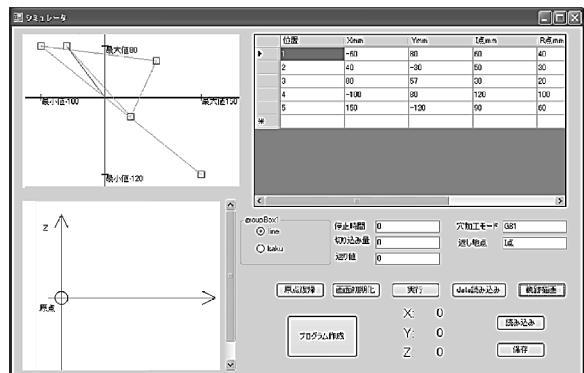


図10 加工シミュレータ画面

5-3 MC 加工制御部

MC加工制御部は、コンビネーションカッターの切削条件に応じた加工条件設定を行い、シミュレータで生成した加工プログラムをMCで実行できるようにする。加工プログラムを基本プログラムと加工データに分離し、加工データをMC側に設定することで加工を行う。基本プログラムは、MC側にあらかじめ設定しておき、必要な時に呼び出して利用する。

V 平成22年度共同研究概要

1 開発目標

平成21年度、卓上ボール盤クラスでのコンビネーションカッターの有効利用を目指し、コンビネーションカッター対

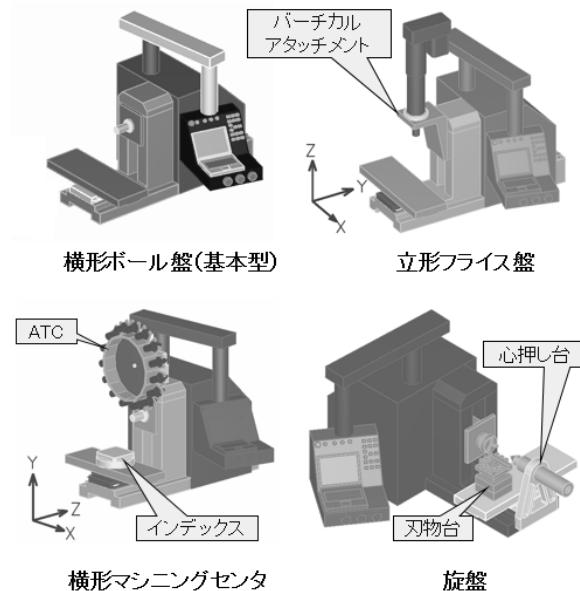


図11 H22、多機能工作機械の目標機能

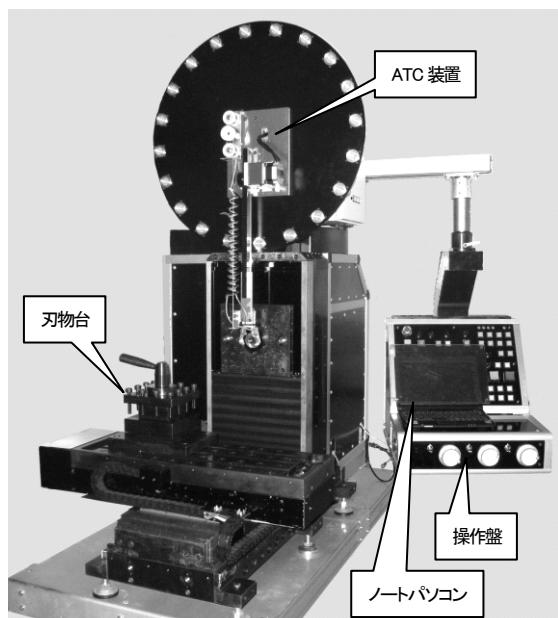


図12 H22、横形マシニングセンタの全景

表3 H22、機械仕様

機械形状	横形マシニングセンタ
機械寸法(mm)	1180×1440×1350
機械質量(kg)	420
軸数	5軸(移動3,主軸1,ATC1)
移動量(mm)	X:330 Y:260 Z:215
最大ワークサイズ(mm)	330×260×215
最大積載質量(kg)	20
電源	三相 200V
多機能用 MC	MP2300(安川電機社製)
ボール盤用 MC	マイコン SH2A7216(自作)
ATC ポッド数	20個

応対話型ボール盤を開癆した。

平成 22 年度においては、前年度開癆したコンビネーションカッタ一対応対話型ボール盤に、旋盤機能、立／横形フライス盤機能、および ATC 付き横形マシニングセンタ機能を付加し、オプションアタッチメントの交換による多機能工作機械の開癆を目指とした。その多機能工作機械の目標機能を図 11 に、平成 22 年度完成した横形マシニングセンタの全景を図 12 に、また表 3 に横形マシニングセンタの仕様を示す。

2 機構部

2-1 Z 軸および Y 軸滑動カバー

6 月中旬に北九州市で実施された西日本総合機械展への出展に向けて、図 13 に示す Y、Z 軸滑動カバーの製作を行った。

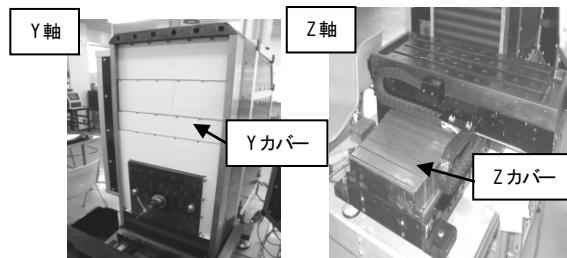


図 13 Y,Z 軸滑動カバー

2-2 刃物台および、心押し台

次年度開癆予定の旋盤機能に必要な刃物台、心押し台の製作に取組んだ。しかし、心押し台においては、コンピュータ支援による構造解析（Computer Aided Engineering : CAE）によるたわみ解析の結果、約 0.01 mm の変形を生じたため心押し台は製作せず、チャッキングによる片持ち加工のみとした。図 14 に製作した刃物台、図 15 に心押し台のたわみ解析図を示す。

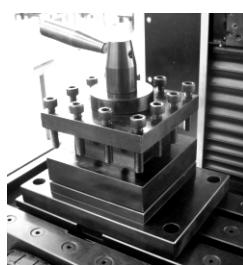


図 14 刃物台

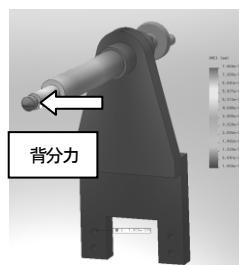


図 15 心押し台たわみ解析

2-3 ATC 装置

図 16 に ATC 装置構成図を示すように、ドラムにはボッドを 20 個配置し、100 W の AC サーボモータ、減速比 1/5 のタイミングブーリとベルトを用いて回転運動している。ATC ハンドの前後動作にはガイド付きエアーシリンダ、上下動作にはステッピングモータとラック & ピニオンを使用し、ツーリ

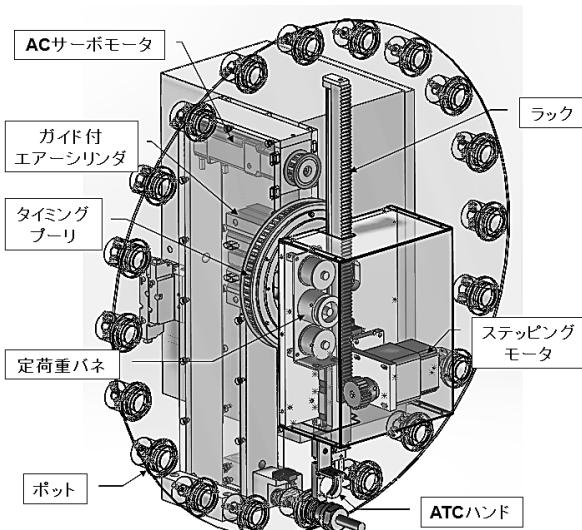


図 16 ATC 装置

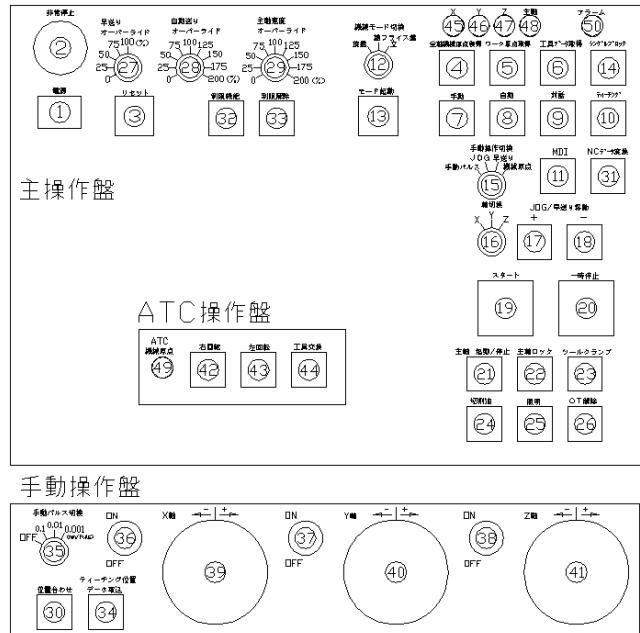


図 17 操作盤スイッチレイアウト

表 4 操作盤スイッチ名称

1	電源	26	OT解除
2	非常停止	27	早送りオーバーライド
3	リセット	28	自動送りオーバーライド
4	全軸機械原点復帰	29	主軸速度オーバーライド
5	ワーク原点取得	30	位置決め
6	工具データ取得	31	NCデータ変換
7	手動	32	制限機能
8	自動	33	制限解除
9	対話	34	ティーチング位置データ取込
10	ティーチング	35	手動パルス切換
11	MDI	36	X軸手パ有効/無効
12	機械モード切換	37	Y軸手パ有効/無効
13	モード起動	38	Z軸手パ有効/無効
14	シングルロック	39	X軸手動パルサー
15	手動操作切換	40	Y軸手動パルサー
16	軸切換	41	Z軸手動パルサー
17	+	42	ATC右回転
18	-	43	ATC左回転
19	スタート	44	工具交換
20	一時停止	45	X機械原点LP
21	主軸起動/停止	46	Y機械原点LP
22	主軸ロック	47	Z機械原点LP
23	ツールクランプ	48	主軸機械原点LP
24	切削油	49	ATC機械原点LP
25	照明	50	アームLP

ングの把持にはラック下端に装備した ATC ハンド（エアーチャック）を用いた構成としている。

ラック & ピニオン方式は他の工具交換方式に比べて効率が劣るが、本機の ATC 装置はあくまでもオプション装置の 1つであり、大きな改造をすることなく、コンパクトで後付も可能な着脱方式の装置としてこの機構を採用した。

3 制御部

3-1 操作盤部

操作盤部は、旋盤、横形ボール盤、立／横形フライス盤、横形マシニングセンタ機能を付加し、それに対応するモード切換ができるようにした。他に制限機能の GUI を起動させるためのスイッチや、試運転時等に一行ずつ実行し確認するシングルステップスイッチ、今後開発予定のモーションプログラムを NC データに変換する NC データ変換スイッチ、XYZ 軸の絶対座標現在位置を取得するティーチング位置データ取込スイッチを追加した。図 17 に操作盤スイッチレイアウト、図中の操作盤スイッチ名称を表 4 に示す。

また、平成 21 年度の操作盤内配線は図 18 の左図の様に混線していたが、平成 22 年度は同右図に示す様に基板化し、省配線化することで、将来の製品化を目指した。

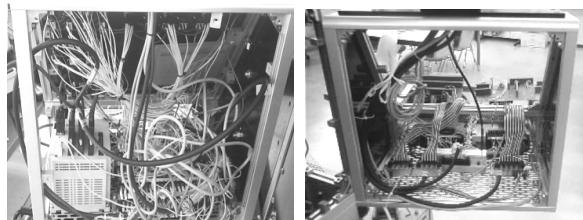


図 18 操作盤の基板化(左:H21 年度、右:H22 年度)

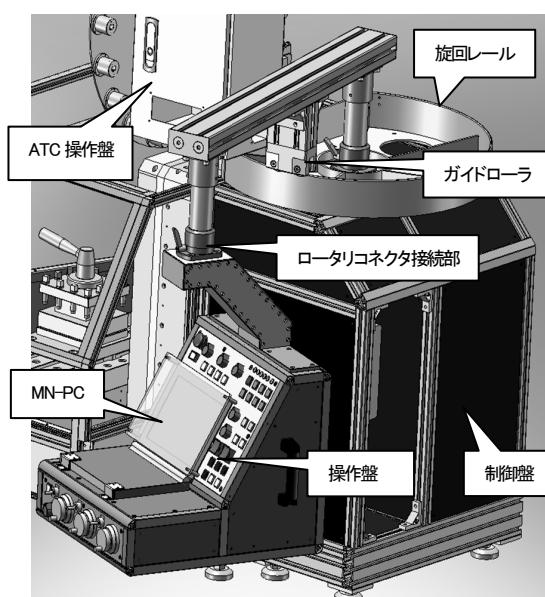


図 19 操作盤・制御盤全景図

3-2 操作盤旋回機構

平成 21 年度の操作盤は 16 kg 近くの質量があり、旋回支柱部にたわみが発生していた。平成 22 年度は操作盤内の I/O ユニット等の物品を制御盤内に移し、外板をアルミ板に変更することで質量を約 10 kg まで軽くすると共に、操作盤の形状から重心位置ずれを補正するためのロータリコネクタ接続部の設置、さらには操作盤の質量を支えるための旋回レールとガイドローラを取り付け、旋回ロッドのたわみを防止する機構とした。図 19 に今回製作した操作盤・制御盤の全景を示す。

3-3 制御プログラム

平成 21 年度は手動および半自動（対話）のボール盤機能に必要な制御プログラムに特化し開発を行ったが、平成 22 年度は、手動、半自動（対話）、自動（NC）、およびティーチングプレイバック機能等、多機能工作機械としての各機能を満足させるために必要な、表 5 に示す制御プログラムを作成した。

表 5 多機能部制御プログラム開発

制御プログラミング	原点復帰プログラムの修正
	ソフトウェアリミットプログラムの作成
	位置決めプログラムの作成
	角度制限プログラムの作成
	円弧制限プログラムの作成
	ティーチングデータ取込みプログラムの作成
	ATC の動作プログラムの作成
制御配線	ATC 制御盤の配線

4 ソフト部

4-1 概要

ソフト部は、操作盤上の MN-PC から、手動、半自動（対話）、自動（NC）、ティーチングプレイバックの各モードに対応した操作用 GUI を介して、MC に対してコマンドを送信することにより動作する構成としている。

平成 21 年度は手動および半自動（対話）のボール盤機能に特化した GUI を開発したが、平成 22 年度は多機能工作機械として、各機能を満足させるために必要な以下のソフトを作成した。

- ① 機体状態表示（位置、設定、動作等）
- ② ワーク原点設定
- ③ 工具情報設定（工具番号、工具長、工具径、切削条件等）
- ④ 穴加工情報設定（位置、深さ、加工種類等）
- ⑤ ミーリング加工条件設定（加工種類、深さ、手順等）
- ⑥ 加工プログラミングの生成・検証
- ⑦ MC へのプログラム転送
- ⑧ コマンド入力実行（Manual Direct Input : MDI）設定
- ⑨ ティーチングプレイバック設定

4-2 半自動(対話型)操作部

半自動(対話型)ソフトは、主に GUI により対話入力された穴加工情報、またはミーリング加工情報を元に、モーションプログラムの自動生成を行う。生成後、加工シミュレータによる動作確認を行い、MC を用いて加工を制御するソフトである。また、このソフトは、ワーク原点設定、工具情報設定、パラメータ即ち機械の状態設定等の GUI ソフトを作成した。この半自動(対話型) GUI のトップ画面を図 20 に示す。



図 20 対話型 GUI TOP 画面

4-3 加工シミュレータ部

シミュレータ部では、対話型操作部から得られた加工情報を元に、シミュレーション表示を行う。加工情報から加工動作を分解し、グラフィック座標値に置き換えてシミュレーション表示し、動作確認が行える。この検証にて、加工情報の修正が必要になった場合、その場で修正が可能である。図 21 に実際作図した加工シミュレータを示す。

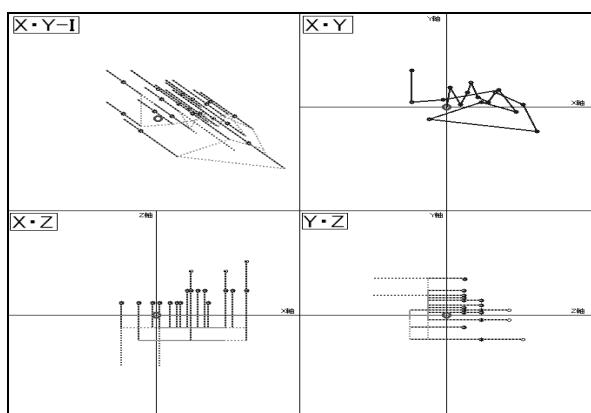


図 21 加工シミュレータ

4-4 加工データ変換部

加工データ変換部は、半自動(対話型) GUI で作成した加工情報を元に、MC で実行するためのモーションプログラム

に変換するソフトである。すなわち、加工データに変換を行い、MC に転送する。

4-5 ティーチングプレイバック部

本機能は、ティーチングモードにおいて、手動加工の動作(位置、速度データ)を MN-PC のハードディスクに時間系列で記録し、プレイバックモード時、記録した動作と同じ動作を行うものである。図 22 に手動操作によるティーチングデータ転送システム図を示す。

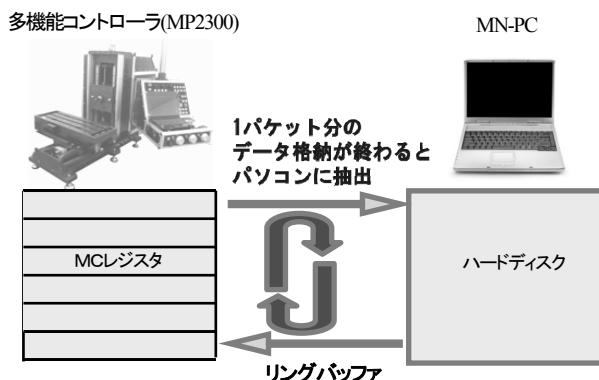


図 22 ティーチングデータ転送システム図

VI 平成 23 年度共同研究概要

1 開発目標

平成 21、22 年度にかけて、立／横形フライス盤機能および ATC 付き横形マシニングセンタ機能など、広範囲な加工に対応し、さらに手動、半自動(対話型)、自動(NC)の操作機能を持ち、1 台の工作機械で、单品、大量品、多品種等様々な生産形態に対応した「多機能工作機械」を九州 PCにおいて共同開発してきた。

平成 23 年度は、開発の最終年度としてセル型生産システム (Flexible Manufacturing Cell : FMC) に対応可能、すなわち完全自動化へのレベルアップを図ること、また、製品化への技術転用ができるようにすることを目標とした。

なお、筆者の PC 内への転勤に伴い、PC 内において、横形マシニングセンタ機能の FMC 化に必要不可欠な「インデックスステーブル」の開発を行うと共に、九州 PCにおいては、平成 22 年度までの共同研究実績をベースにした、ソフト・制御系の未完成部および従来機能のバージョンアップと、自動(NC)機能に必要不可欠なエミュレータソフト (NC データ → モーションプログラム変換ソフト) 等、新規機能の開発を行った。

2 インデックスステーブルの概要

インデックスステーブルとは、回転角度割出し装置のことであり、別名、割出しテーブル、ロータリテーブルとも呼ばれる。

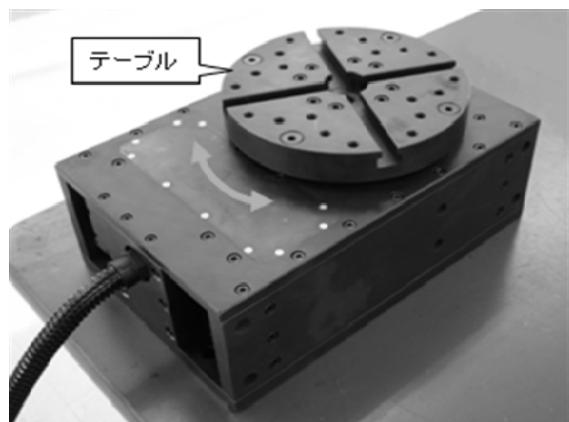


図23 インデックステーブル全景

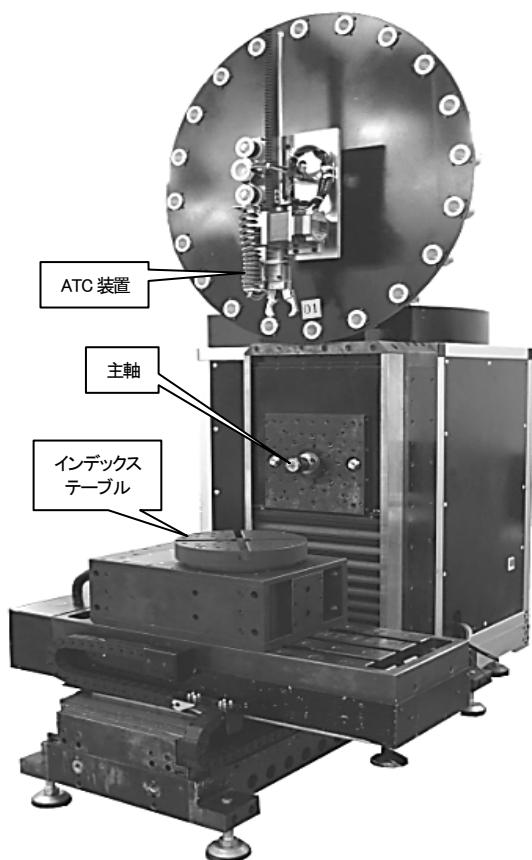


図24 多機能工作機械+インデックステーブル

インデックステーブルは、多機能工作機械のMCからの指令で制御され、多機能工作機械の立／横形マシニングセンタ機能時のロータリテーブル機能（ただし、角度出しのみ、同時に4軸制御加工は不可）、また、枠形ブロックを用いた90度割出による多数個取り加工が可能な装置である。

本装置の特徴は、ウォームギアを用いたバックラッシ（遊び）の除去方法にある。市販のインデックステーブルには、ウォームギアを左右に2分割し、その間にホイールの歯を挟み、バネで圧着することによりバックラッシを除去するもの

もあるが、本装置は、ホイールとウォームギアの噛合（ウォームギアの平行移動によるホイールへの圧着）によるバックラッシ除去を考え、この機構を搭載したインデックステーブルを開発した。図23に装置全景を、図24に多機能工作機械に装着した本装置を示す。また、図25に本機に対するインデックステーブルの配置を示す。

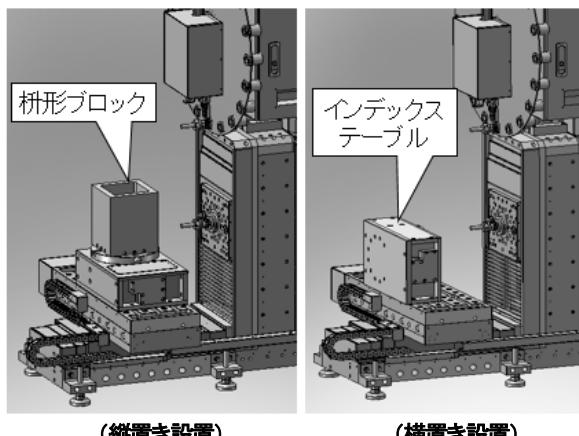


図25 インデックステーブルの配置

3 機構部概要

3-1 構成

インデックステーブルは、ACサーボモータを動力源とする動力伝達機構、バックラッシを除去するためのウォーム噛合機構、テーブルの支持・旋回機構等から構成される。表6にインデックステーブルの仕様を示す。

表6 インデックステーブル仕様

装置設置形態	縦／横置き設置可能
割出制御形態	(度/pulse)
機械最大寸法	(mm)
テーブル寸法	(mm)
枠形ブロック寸法	(mm)
機械質量	(kg)
最大積載質量	(kg)
ウォームギヤ減速比	
最高回転数	(min ⁻¹)
割出精度	(sec)
ACサーボモータ	(W)
電源	三相200V

3-2 バックラッシレス構造

モータが駆動開始の時、DCソレノイドと偏心クランクによりウォームとホイールは約0.2 mm離れ、インデックスが可能となり、バックラッシを有することになる。

また、モータが駆動停止の時、皿バネの作用によりウォームとホイールが噛合し、ウォームギアがロックされることに

より、バックラッシレス構造となる。したがって、その角度でテーブルは固定され、このとき加工可能となる。バックラッシレスの構成を図26に示す。

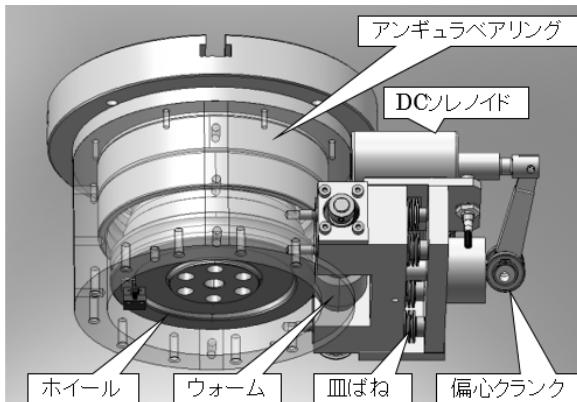


図26 バックラッシレスの構成

VII 評価

1 機構部精度

平成21年度共同研究の終了時、JIS B 6203（横形フライス盤）に基づいた静的精度と、レーザ測定における繰返し位置決め精度、連続位置決め精度の測定を行った。図27に位置決め精度の全長検査、表7に一方向繰返し位置決め精度、表8にJIS B 6203に基づいた測定の結果を示す。

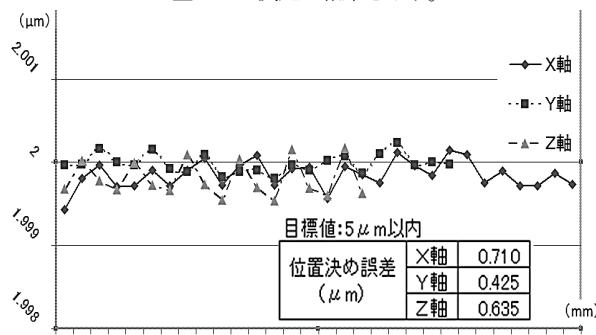


図27 位置決め精度の全長検査(レーザ測長器使用)

表7 一方向繰返し位置決め精度(レーザ測長器使用)

条件	測定位置	軸	誤差(μm)
ストローク X軸 316.6 mm Y軸 234.1 mm Z軸 184.4 mm	機械原点	X軸	-0.075
		Y軸	0.3
		Z軸	0.125
送り速度 1800 mm/min 試験回数 3回 位置決め回数 7回 温 度 19 ℃ 湿 度 44%	ストローク中心	X軸	0.05
		Y軸	0.25
		Z軸	0.225
	ストロークエンド	X軸	0
		Y軸	0.2
		Z軸	0.45

図27および表7の測定結果より、位置決め精度の当初目標である5 μm以下は達成しており、さらに、表8のJIS B 6203

に基づく精度測定を実施した結果、項目1「X軸方向の平面度」を除きほぼ機構部の静的精度を満足した。ただし、項目4「主軸の振れ」はテストバー不所有のため未測定となった。

本機は機能・操作性の調査を目的とする製品化検討用試作機のため、今回の共同研究においては精度不良箇所の修正および未測定箇所の実測は行わなかった。今後、(株)タック技研工業において製品化の決定がなされた場合、社内において本機を基に、問題点の改善と図面修正、さらにはJISの精度内に調整した生産化試作機を製作することになっている。

表8 JIS B 6203(横形フライス盤)に基づく精度測定表

単位:mm			
	測定場所または方向	許容値	測定値(最大値)
1 テーブル上面の平面度	X軸方向	0.06/m以内	0.12/m
	Z軸方向	0.06/m以内	0.02/m
2 主軸の振れ テーブル内		0.01以内	0.002
			ダイヤルゲージ(0.001/div.)
3 主軸の端面振れ 主軸の端面		0.01以内	0.001
			ダイヤルゲージ(0.001/div.)
4 主軸穴の振れ テストバー口元位置	0.01/m以内	※ /m	ダイヤルゲージ(0.001/div.)
	テストバー口元から300位置	0.02/m以内	※ /m
5 テーブルの左右方向運動とその上面との平行度 X軸方向テーブル全移動距離	0.03以内	0.015	ダイヤルゲージ(0.001/div.)
			テストバー
6 テーブルの前後方向運動とその上面との平行度 Z軸方向テーブル全移動距離	0.02以内	0.006	ダイヤルゲージ(0.001/div.)
7 テーブルの左右方向運動とテーブルの基准T溝側面との平行度 X軸方向テーブル全移動距離	0.03以内	0.006	ダイヤルゲージ(0.001/div.)
8 テーブルの前後方向運動とテーブルの基准T溝側面との直角度 Z軸方向テーブル全移動距離	0.02以内	0.009	ダイヤルゲージ(0.001/div.)
			スコヤ(150/300)
9 テーブル上面と垂直(Y軸)方向との直角度 X-Y軸方向	0.02以内	0.019	ダイヤルゲージ(0.001/div.)
	Z-Y軸方向	0.02以内	0.003
※ テストバー未所有のため未測定 許容値オーバー			

2 ATC 工具交換動作

ATCの一連の工具交換動作は、以下のとおりである。

- ①主軸工具戻し先ポッドのATCポジション割出
- ②ATCハンドの伸長と主軸工具の把持
- ③工具のアンクランプと主軸からの引き抜き
- ④ATCハンドの引き戻しとポッドへの装着
- ⑤ATCハンド退避と該当ポッドのATCポジション割出
- ⑥ATCハンドの伸長と該当工具の把持
- ⑦ポッドからの引き抜きとATCハンドの主軸位置までの伸長
- ⑧主軸への装着と工具のクランプ
- ⑨ATCハンドの退避

これらの工具交換動作について、任意ポッドの工具と主軸工具との交換完了までの所要時間を3回計測し、その平均値を算出した結果、28.4秒であった。これは決して満足できる結果ではない。問題はATCハンドの伸縮運動モータにコストを意識してステッピングモータを使用しており、トルク一応答周波数の関係より脱調のおそれから、回転速度を抑えて

駆動した結果である。AC サーボモータを使用した場合、工具交換動作時間は 16 秒を切れるかと思われるが、前述したように、ラック&ピニオン方式は省スペースで後付可能なオプションの ATC 装置として開発したものであり、ATC アームを持つ BT30 クラスの市販マシニングセンタの工具交換時間(JIS 規格B6336-9:cut-to-cut tool change time)と対比した場合、効率は明らかに悪い。

3 第 50、51 回西日本総合機械展へ出展

㈱タック技研工業からの展示依頼に基づき、第 50、51 回西日本総合機械展（第 50 回：平成 22 年 6 月 24 日～26 日、第 51 回：平成 23 年 6 月 23 日～25 日）において、㈱タック技研工業ブース内で展示・説明を実施した。第 51 回西日本総合機械展における展示状況を図 28、29 に示す。

本機械展で展示した結果、見学者から様々な意見、反応等があり、開発の参考とさせていただいたが、特筆すべき点として、特に興味を示して頂いた見学者との質疑応答をする中で、次年度以降の共同研究まで話題が発展したことである。PC 川内に帰校後、コンタクトを取りつつ準備期間を経て、平成 24、25 年度にかけて、見学者の所属する鹿児島県内の企業と、「鋳造品堰切断装置の開発」のテーマにて共同研究を実施させていただいた。



図 28 ㈱タック技研工業ブース全景



図 29 九州 PC 学生による「多機能工作機械」の説明状況

VIII 開発課題および総合制作における開発状況

1 概要

㈱タック技研工業の理解・承認の下、九州 PC の生産系応用課程「開発課題」、および PC 川内専門課程機械系「総合制作」のテーマとして開発に取り組み、平成 21～23 年度の 3 年間で合計 34 名の学生が本機開発に従事した。

学生への指導は、各年度当初、㈱タック技研工業と打ち合わせに基づき筆者が作成した構想図および構想仕様書（案）を基に、機械・電子・情報の職員で協議し、それぞれの学生に提示後、機構部・制御部・ソフト部の担当割を定め開発実施に取りかかった。

筆者が担当した九州 PC および PC 川内の 11 名の機械系学生を中心に、指導と開発状況について以下に簡単に述べる。

2 平成 21 年度

平成 21 年度は、「コンビネーションカッター対応、対話型ボール盤の開発」のテーマにて、機械科 4 名、電子科 2 名、情報科 4 名の計 10 名で開発課題を実施した。機構部および制御部（ソフト/ハード）を機械科が担当し、ソフト部は情報科が担当した。電子科は主軸コントローラ部に特化した。

機械科 4 名の学生は、グループリーダー、サブリーダーの役割決定後、以下のテーマ毎に希望と適正に基づき 1 名ずつ担当させた。

- ・移動軸機構の設計・製作
- ・筐体の設計・製作
- ・制御盤・操作盤の設計・製作
- ・制御ラダープログラミング

ベース、コラム、制御盤等の筐体設計は、筆者が作成した構想仕様書および構想図（未完成の計画図）を学生に提示し、筆者の指導・アドバイスの下、CAE を用いて構造部材の寸法、構成を学生に決定させ、CAD により図面化させた。また、移動軸機構の設計は、XYZ 軸の送りモータ、ボールねじ、リニアガイド等の主要機構品の選定を筆者が行い、併せて設計・製図も担当した。サドル、テーブル、防塵カバー等の機構部設計においては、筆者の指導・助言の下、設計・製図を学生が行い計画図を完成させた。なお、主軸ユニットについては筆者と㈱タック技研工業とで協議し、㈱タック技研工業で設計・製作を行った。

MC は㈱タック技研工業からの要望および提供により、㈱安川電機の MP2300 を使用した。その制御装置構成については職員間の協議の上決定し、その制御はプログラミング法等㈱タック技研工業の社員からサポートを受けた学生が、筆者の操作および動作仕様に基づき、制御プログラムの全てを作成した。

操作盤、制御盤の設計・製図は、筆者の指導・助言の下、学生が作成した。特に操作盤のスイッチレイアウトは重要であるため、筆者が設計・製図を行ったが、その他は全て学生が行つた。

加工について、サドル、ポールねじのナットハウジングおよび軸端サポート等、小物品はNCフライス盤を用いて学生が加工を行い、筐体、テーブルおよびコラム等、中物品についてはマシニングセンタを用いて筆者が加工を行つた。ベースの大物品については、九州PCに加工範囲に該当する加工機が無いため外注を行つた。その際、図面担当の学生を引率し、加工業者に説明をさせた。なお、ベースも含めてほとんどの加工物品について、学生と共同で常温黒染めを行つた。

組立は作業台上において、学生と共同でノックピンおよび位置決めピン頼りに、ベースから順に組み上げた。ある程度組み上がつた時、学生が設計・製作・組立を行つたキャスター付きアルミフレーム専用架台上に移設した。

精度測定は筆者が担当し、レーザ測長器等を用いて位置決め精度、一方向繰返し位置決め精度、およびJIS B 6203(横形フライス盤)に基づく精度測定を行つた。

3 平成 22 年度

平成 22 年度は、「多機能工作機械の開発」のテーマにて、機械科 4 名、電子科 3 名、情報科 4 名の計 11 名で開発課題を実施した。機構部および制御部(ソフト)を機械科が担当し、ソフト部は情報科が担当した。電子科は主軸コントローラ部と制御部(ハード)を担当した。

機械科 4 名の学生は平成 21 年度と同様に役割決定後、以下のテーマ毎に希望と適正に基づき 1 名ずつ担当させた。

- ・ATC 装置機構部の設計・製作
- ・操作盤改修および操作盤旋回機構部の設計・製作
- ・スライドカバーおよび旋盤機能部の設計・製作
- ・制御ラダープログラミング

ATC は横形マシニングセンタ機能に付属するオプションアタッチメントの考え方から、本機に着脱可能な機構することを前提に、筆者が作成した構想仕様書を学生に提示した。

また、スライドカバー、操作盤旋回機構は機械科の学生全員で、さらに、制御盤・操作盤改修においては機械および電子科の担当学生 2 名に対し、平成 21 年度における問題点を把握させ、学生と協議する中で改修構想を纏めた。

制御ラダープログラミングにおいては、平成 21 年度の修正および未完成機能、さらには制限機能、ティーチングプレイヤック機能および ATC 動作機能等、新機能の構想を提示した。図 30 に、(株)タック技研工業社員から制御ラダープログラミング担当の学生に対する MC プログラミング指導の状況を示す。また、図 31 に耐ノイズ試験の状況を示す。

CAD および加工・組立等の指導状況は、平成 21 年度と同様な形態で進めた。



図 30 H22、(株)タック技研工業社員の MC プログラミング指導



図 31 H22、耐ノイズ試験

4 平成 23 年度

平成 23 年度は、筆者の PC 川内への異動に伴い、「インデックステーブルの設計・製作」のテーマにて、生産技術科 3 名が担当した。また、九州 PC においては、「多機能工作機械の開発」のテーマにて、機械科 3 名、電子科 3 名、情報科 4 名の合計 13 名で実施した。

九州 PC 応用課程の「開発課題」52 単位(実質 48 単位)に対し、専門課程における「総合制作」は 20 単位(実質 16 単位)と少なく、また、専門課程の学生は応用課程の学生に比べ、経験不足に伴う技術・技能の思考力に差があるという認識のもと、以下に述べる取り組みを行つた。

総合制作実習の開始当初、生産技術科 3 名の学生に対し、インデックステーブルの説明および構想仕様書の説明を実施し、市販の既製品と異なる機構構成等、本テーマに対する正確なイメージを移植した。

学生の担当については、赴任早々につき学生の適正が判らないため、役割決定後、希望により担当割を行つた。学生 3 名の担当割を以下に示す。

- ・ウォーム噛合機構
- ・ボックスケース
- ・テーブル・旋回機構

ウォーム噛合機構の部品選定および設計・製図は主に筆者が担当した。学生には CAE による噛合機構部の構造解析を行わせ、それに基づく CAD データの修正等を担当させた。

ボックスケースおよびテーブル・旋回機構においては、筆者の指導・アドバイスの下、CAD およびCAE による設計・製図をそれぞれの担当の学生が行い、全体計画図はウォーム噛合機構を担当した学生が作成し完成させた。

加工は、主に CAD で部品図を作成した学生がフライス盤・旋盤・ワイヤカット放電加工機等の工作機械を使用し、部品取りを行った。しかし、高精度品および重量物品等についてはマシニングセンタを用いて筆者が加工を行った。なお、部品取り終盤において、学生に部品 1 点ずつを与え、マシニングセンタによる加工を実施し、NC プログラミングから加工まで、復習も含めて就職先に必要な技能について経験させた。

5 総括

平成 21、22 年度の開発課題発表会後、共同研究完了報告も兼ねて、機械、電子、情報の学生全員を率引し、㈱タック技研工業において社員並びに加工委託先企業の技術者に対し説明、質疑応答をさせる等、この開発を通して企業の研究開発業務を疑似体験させた。また、平成 21 年度のカバーの設置、旋回アームのたわみ等の問題点について、学生間の協議によって原因の把握、改善の提案を行わせた結果、「V 平成 22 年度共同研究概要」で述べた「2-1 Z 軸および Y 軸スライドカバー」、「3-2 操作盤旋回機構」が完成した。

したがって、それぞれの年度目標に沿って製品を完成させたことから、学生にとって“ものづくり”に必要な構想から機構品選定、設計・製図等の開発手順等の知識・技能の修得はもちろんのこと、コミュニケーション、創造力、判断力、問題解決力等、実体験に即して確実に向上し、実践技術者としての実力が身に付いたと確信できた。

IX まとめ

共同研究の当初、本機開発の共同研究は 3 年間と見定め、平成 21 年度はコンビネーションカッター対応の横形ボール盤の開発、平成 22 年度は横形マシニングセンタ機能の開発、そして平成 23 年度は FMC 対応の「多機能工作機械」の開発を目指してきた。

平成 22 年度共同研究終了直前に、横形ボール盤、横形マシニングセンタの試作機能領域において、手動、半自動（対話型）操作による機能確認のテストカットを行った。

手動操作においては鉄鋼 (S45C) ブロック材に対し、Φ6 の 2 枚刃ハイスエンドミルを用いて、手動パレス送りおよびジョグ送りによる直線溝切削を行った。また、半自動（対話型）操作においては、アルミニウム合金 (A5052) のブロック材に対し、Φ3 センタドリルと M5 用段付ドリル（六角穴付ボルト用）を用いて、自動工具交換による 2 行 5 列の格子状穴加工を実施した。いずれのテストカットにおいても、支障なく所定の操作および加工が行えた。

したがって、コンビネーションカッター対応、対話型横形ボール盤機能、および多機能工作機械機能中の横形フライス盤、横形マシニングセンタ機能等、正常動作の確認ができたことから、平成 21、22 年度の開発目標はほぼ達成できたと確信できた。

しかし、平成 23 年度は筆者の異動により、立形フライス盤機能および旋盤機能等の未完成、および自動 (NC) 機能（エミュレータソフト）の未確認、さらには、インデックスステップ機構部は完成したが、九州 PC において本機との接続・機能テスト等、未確認の部分が発生することとなった。

平成 23 年度で本機の共同研究は終了したが、平成 24 年度以降、本機は九州 PC の職員により、制御およびソフト部の未完成機能、特に NC 対応エミュレータソフトの完成を目指し開発を継続中である。

また、㈱タック技研工業とは、「多機能型卓上マシーンの開発」のテーマにて平成 24 年度共同研究を実施した。研究体制は機構部を PC 川内で、制御部を九州 PC で開発したものである。これは、本機をさらに小形化し、電源断でも対応可能な手動操作ハンドル、およびコスト低減を狙ったバック



図 32 H24 共同研究「多機能型卓上マシーン全景」

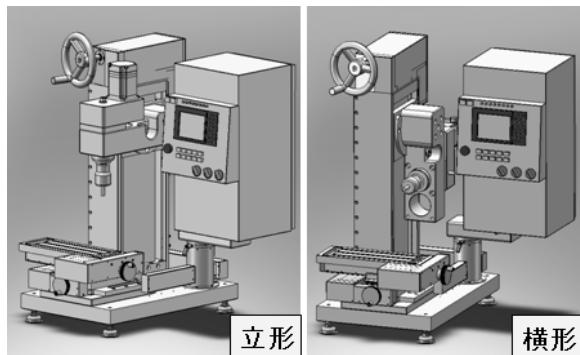


図33 主軸頭、立／横変換機能

ラッシレス台形ねじ等を採用すると共に、主軸頭を立／横形に変換可能なボール盤、フライス盤加工機能、さらには手動、半自動（対話型）、自動（NC）の操作機能を持つ、卓上工作機械を開発した。図32に「多機能型卓上マシーン全景」を、また図33に主軸頭の立／横変換機能図を示す。

㈱タック技研工業においては、平成21～23年度開発した「多機能工作機械」を上位機種、平成24年度の「多機能型卓上マシーン」を簡易機種と位置付けており、両機を基礎に今後社内でさらにプラシアップした生産化試作機を製作する方向で開発を行うと伺っている。

最後に、平成16年度から平成24年度まで、4台の工作機械の共同研究に従事できたことは、㈱タック技研工業を介して、県工業技術センター、大学（北九州市内）、大手企業総合研究所（北九州市内）、中堅工作機械メーカー（愛知県）、中堅NC装置メーカー（埼玉県）、製作委託企業（北九州市内）等、教授、社長および研究・技術職員の方々と面識ができ、研究開発に関する様々な助言を頂いたこと、さらには学生の就職および大学院への斡旋も含めて、本だけでは得られない開発・製作に関する様々な貴重な体験をしたと今更ながら感じている。また、企業の開発業務の一助を本共同研究で行えたことに、開発の苦労、苦悩を超越したところで、通常業務では得られない技術者としての感概が得られた。

このような機会を提供していただいた㈱タック技研工業の会長、社長はじめ関係社員の皆様方に、厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- (1) 廣瀬 渉, 福本秀樹, 中山裕介, 「NCマルチスピンドル・ドリル&タッピングマシン」, ツールエンジニア, 大河出版, 第46巻, 7号, 2005年7月1日, pp.90-93.
- (2) 廣瀬 渉, 「NCマルチスピンドル・タッピングセンタ共同研究の成果とその経緯」, 九州職業能力開発大学校紀要, 2010年, 第11号, pp.9-17.
- (3) 土井安弘, 本多庸悟, 井上久仁子, 「NCシステム辞典」, 朝倉書店, 1983年11月5日.
- (4) 北郷 薫, 「機械の辞典」, 朝倉書店, 1980年9月30日.
- (5) 日本工業標準調査会, 「ひざ形横フライス盤および万能フライス盤の試験および検査方法、JIS B 6203」, 日本規格協会, 昭和61年11月1日改正.