

機械製作実習の指導内容

－ 設計・加工・測定の一体化訓練を目指して－

北陸職業能力開発大学校 生産技術科 国谷 滋
北陸職業能力開発大学校 生産技術科 兵藤 守
北陸職業能力開発大学校 生産技術科 石川 豊

1. はじめに

近年、製造方式の高度化・多様化はとどまるところを知らない。高付加価値製品を短納期かつ低コストで製造するのに、より高度な加工技術が求められている。例えば、精密機械部品に見られるような形状が複雑化したものの加工には、最新のCAD/CAMシステムと高機能なNC工作機械の活用が不可欠である。しかしながら一方では、これらを日常的に自由に操作できる人材不足に悩まされているのも事実である。

全国9職業能力開発大学校（附属校含む）の専門課程生産技術科では『ものづくりの原点である基本的な加工技術に加え、最新の加工システム技術にも柔軟に対応できる、技能と技術を兼ね備えた実践技術者の育成』を教育訓練目標に掲げ、訓練を展開している。

本科では機械設計・機械加工・精密測定を3本の柱としてカリキュラムを編成している。このなかで、平成23年度より「機械設計製図（4単位）」の内容を機械要素の作図からボールねじ駆動一軸テーブル（以下、「駆動テーブル」という）の設計製図に切り換えた。そして、平成24年度より「CAD実習Ⅲ（2単位）」と「CAD/CAM実習Ⅱ（2単位）」を廃止し、「総合制作実習」に組み込んでいた「機械製作実習（4単位）」を単独科目として通常の訓練として実施した。なお、廃止した科目の4単位は「総合制作実習」に充当し、実質的に「総合制作実

習」の変更はない。

新設した「機械製作実習」は学生4～5名でグループを編成し、「機械設計製図」の課題である駆動テーブルを製作する。『設計、各種加工、測定、制御に関する知識・技能を複合させた課題を製作し、これまで習得した技術・技能の定着を図る。さらに、実践的かつ総合的なものづくり力や問題解決力を身につける』を科目の目標に設定した。訓練内容は精密機械に該当する駆動テーブルの部品加工とその測定、加工部品と購入部品と組み立て、組立完成品の検査とし、設計、加工、および、測定を強く関連づけている。



図1 テーブルと教材一式

廃止した「CAD実習Ⅲ」の内容は3次元CAD/CAEによる強度剛性解析を中心とする各種シミュレーションであり、「CAD/CAM実習Ⅱ」はCAD/CAMシステムを活用したマシニングセンタ加工技術である。2科目とも機械系技術者にとって大切な科目であるが、標準カリキュラムの制限や修了学生

る部品を製作できることにならない。実際に部品を加工して測定し、つくる過程を体験・実践することによって得られる技能をわれわれは学生に付与していなかった。さらに、加工と測定の相互関連が希薄な訓練形態でもあった。

これらのことを総括し、設計・加工・測定の一体化訓練の必要性を認識し、2年次Ⅵ期に駆動テーブル製作を課題とする「機械製作実習」を実施することにした。なお、1年次には「測定実習」においてノギス、マイクロメータ、ダイヤルゲージ類による測定は履修済みであり、「機械設計製図」では駆動テーブルを分解してスケッチ作業を行い、組立図や主要部品図の製図作業を履修している。

3. 実習の内容

3.1 指導のポイント

訓練や指導のポイントは、以下の通りとした。

- (1) 製作図は支給とし、加工のための読図と加工手順、加工工具、加工条件を案出する。
- (2) 精度加工のための寸法公差や幾何公差を考慮した加工をする。
- (3) 加工部品の材料はアルミ材（A5052）であり、

製品を製作する意識を持って、バイス締め付けやキズ、打痕、面取りに配慮する。

- (4) 加工部品の測定は公差の指示がない寸法を除く寸法、幾何公差、および表面粗さを測定する。
- (5) 組立完成品の検査は指示書に基づき、静的精度検査および動的精度検査をする。
- (6) グループで生産・進捗の管理をする。
- (7) グループでコミュニケーションを図り、新規・個別に習得した加工や測定に関する技術・技能を班員に伝達する。
- (8) 失敗を報告し共有する。
- (9) ものづくりの基本である5Sと3定を徹底する。

3.2 主な部品の加工のポイント

部品と組立工具の一覧を図3に示す。ボールねじは転造で軸径15mm、リード10mmとし、シャフトは軸径20mm公差g6、ラジアル玉軸受は6000番、アンギュラ玉軸受は7000番とした。カップリングはオルダム形とし偏芯に対応する。モータはステッピングモータ（オリエンタルモータ株製PK268-02B）と減速機付ACスピードコントロールモータ（同社製MSD206-401に2GNタイプ減速機付）のいずれかを組み立てて使用する。

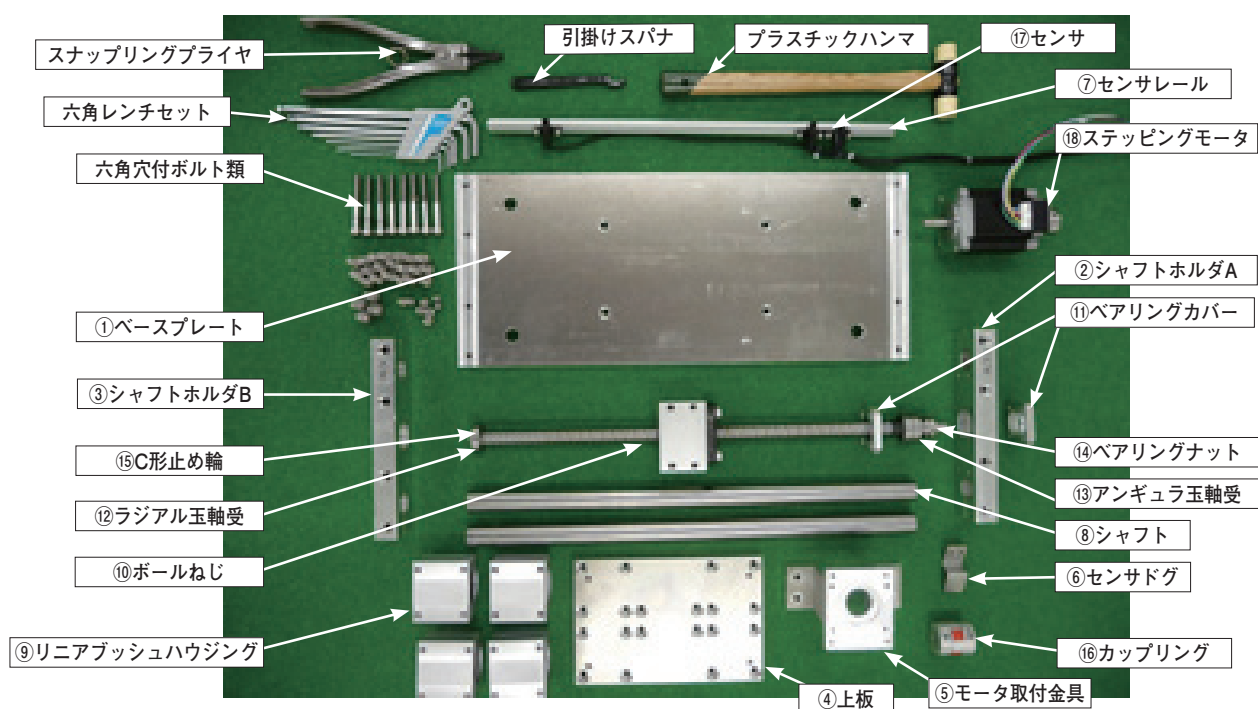


図3 テーブルの部品一覧と組立工具

加工部品は、図3の①ベースプレート、②シャフトホルダA、③シャフトホルダB、④上板、⑤モータ取付金具、⑥センサドグ、⑦センサレール（追加工）とする。主要部品の①～⑤は、板ものや角ものになるので、汎用フライス盤とボール盤作業が主になる。図4は部品図の例としてシャフトホルダAを示す。以下に加工のポイントを示す。

- (1) ①ベースプレートの仕上がりサイズは幅175×長さ420×厚さ16とし、底面の平面度0.05mm、底面基準に上面の平行度0.05mmが要求される。底面全面の平面削りは長尺ものの加工になるため、通常使用しているマシンバイス1個では精度加工ができない。
- (2) ②③シャフトホルダの仕上がりサイズは幅175×高さ46×厚さ20とし、2個のシャフト穴20mmをあける。玉軸受穴28mmのAタイプと玉軸受穴26mmのBタイプがある。玉軸受穴のはめ合いはH7、各穴間隔の寸法公差 $\pm 0.02\text{mm}$ 、底面と各穴の平行度0.01mm、底面と片面の直角度0.01mmが要求される。穴の加工は仕上げにボーリングバーを使用し、ボアマチックで測定しながら加工する。学生はともに使用経験はない。図5にボーリングバーを用いた加工を示す。また、シャフト穴

には端部から隙間2mmのスリットを入れるため、千鳥刃メタルソーを使用する。これも使用経験はない。

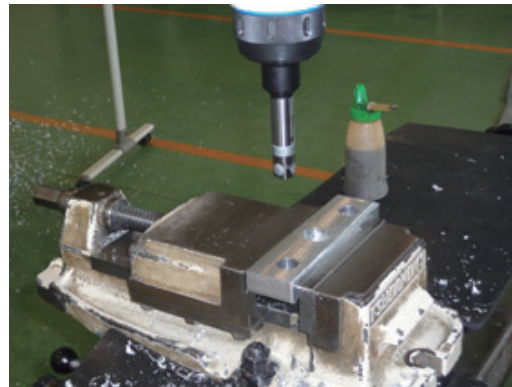


図5 ボーリングバーの加工

- (3) ④上板の仕上がりサイズは幅110×長さ175×厚さ16とし、上面と下面の両面を平面削りする。下面の平面度0.02mm、下面と上面の平行度0.02mmが要求される。上面には深座ぐり穴加工が20ヵ所あり、センタドリルや沈めフライスを使用する。
- (4) ⑤モータ取付金具の材料は 加工代2mmを残し、ワイヤカット放電加工機で粗取りする。2種のモータを取り付けできるように、組付穴は段付穴38.1mm、貫通穴24mmとし、それぞれE9とH7の

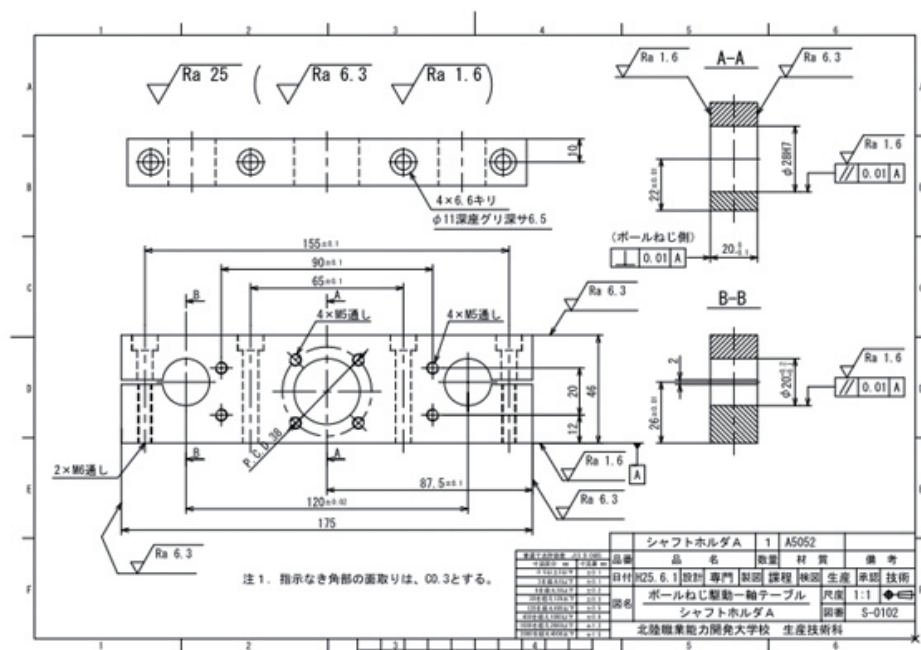


図4 部品図の例 シャフトホルダA

はめあい公差が要求される。また、シャフトホルダとの取付面とモータ取付面の平行は重要なためその平行度は0.01mmとする。

- (5) ⑥センサドグは材質SUS304、厚さ1mmの板をレーザ加工機で切断後、曲げ加工する。
- (6) ⑦センサレールはベースプレートに取り付けるため、ボルト穴を追加加工する。
- (7) 製品をつくる実習であるため、タップ立て加工にはタッピングボール盤、面取り加工には面取りカッターや面取り加工機を使用し、極力、手作業を避ける。

3.3 加工部品の測定のポイント

部品を加工したあと、寸法測定と形状測定を行い、部品の良否を判断する。学生は1年次の「測定実習」や「機械加工実習」においてノギス、マイクロメータの直接測定は実践的に習熟しているが、間接測定のダイヤルゲージ類を使いこなして寸法測定や幾何公差を測定する経験は少ない。ダイヤルゲージ類を駆使した測定は加工現場では必須であり、三次元測定機など高額な測定機器に頼らない精度測定技術を指導しなければならない。以下に測定のポイントを示す。

- (1) 配付する指示書「加工部品の測定と完成品の検査」に基づき、寸法測定では図面寸法のうち公差指示する寸法をすべて、幾何公差測定では、図面記載のすべてを測定する。
- (2) 寸法や幾何公差を測定する測定機器はダイヤルインジケータ（ピックテスタ）、スコヤマスタ、ハイトゲージとする（図6参照）。

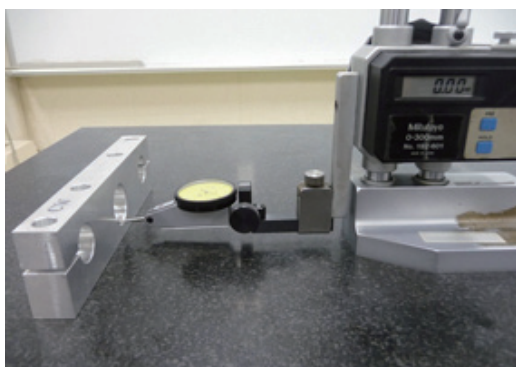


図6 ダイヤルインジケータとハイトゲージ

- (3) 表面粗さ測定は図面指示の表面粗さをすべて測定する。
- (4) 測定結果は支給する検査用図に赤字で記入し、不良の場合○で囲み集計値を表題欄近くに記入する。

3.4 組み立てのポイント

できあがった部品を組立図や組立指示書に基づき、組み立ててテーブルを完成させる。経験の浅い者は組立図を見ても組み立てのポイントがわからず、組み合う部品を単に組み付けることになる。したがって、駆動テーブルの組み立てのポイントを指示の形で指導しなければならない。本課題では、ボールねじが軸方向にガタなくシャフトホルダAに組み付けることとボールねじが滑らかに回転することポイントになり、その調整方法を指導しなければならない。

組立手順は以下の通りである。

- (1) ボールねじのモータ側軸端部に向き合うアンギュラ玉軸受2個とカラーを装入し、ベアリングナットで締め付ける。
- (2) ボールねじのモータ反対側軸端部にラジアル玉軸受を装入し、C形止め輪で止める。
- (3) ボールねじに取り付けたアンギュラ玉軸受をシャフトホルダAに装入し、両側からベアリングカバーをボルト締めする。このとき、玉軸受とカバーに隙間があると軸方向にガタを発生する。
- (4) シャフトホルダAにシャフトを装入し、4個のリニアブッシュハウジングをシャフトに通す。
- (5) シャフトホルダBにボールねじのラジアル玉軸受を装入し、シャフトを通す。このあと、シャフトホルダのスリット部をボルトで軽く締め付けてシャフトを固定する。
- (6) シャフトホルダA、Bをベースプレートにボルト締めする。
- (7) 上板をリニアブッシュハウジングとボールねじハウジングに軽くボルト締めする。図6に組み立ての途中（センサレール取付済）の写真を示す。
- (8) 図7の状態で倒立させるとき、上板が滑らかに下降すればシャフト、ボールねじ間隔は良好と見

なし、シャフト用ボルトを本締めする。不良のとき、シャフトホルダの穴位置と穴間隔を調べる。

- (9) ボールねじハウジング用ボルトを本締め後、倒立させるとき、上板が滑らかに下降すれば良好とし、不良のとき、シムを挟んで調整する。

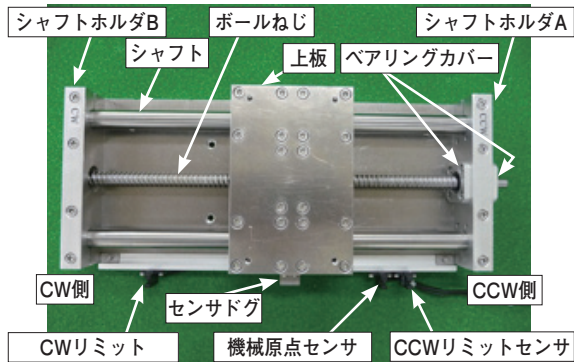


図7 組み立ての途中

- (10) リニアプッシュハウジング用ボルトを本締めし、上板を軽く押し引きするとき、ボールねじが滑らかに回転すれば良好とし、不良のとき、シムを挟んで調整する。

なお、組み立ての(8)、(9)、(10)において寸法不良や調整不能の場合、再製作になる。

- (11) モータ取付金具にモータを取り付け、モータ軸にカップリングを取り付ける。
- (12) シャフトホルダAにモータ取付金具をボルト締めし、カップリングを各軸と本締めする。カップリングが指先でつまんで軽く回れば良好とみなす。
- (13) 使用するボルトは、鋼製六角穴付きボルトとし、部品はアルミ製のためねじ込深さが1種ナットの高さの2倍程度になるボルト長さを使用する。
- (14) ボルトと部品が接触する面には、丸座金やウェーブワッシャを使用し、部品のキズ防止を図る。
- (15) モータ側はCCW、その反対側はCWとし、各側にリミット用センサ各1個と機械原点用センサをCCW側に取り付ける。

3.5 完成品検査のポイント

組み上がった機械が設計で決められた通りの機能・性能を持っているか、実際に動かして確認する

工程が検査になる。検査に合格して初めて機械が完成したことになる。

本実習では、目視外観検査、静的精度検査、および、動的精度検査を行う。

- (1) 目視外観検査は、①キズ・打痕がないか ②面取りは指示の通りか ③分解・組み立てが容易か ④ガタつきがないか ⑤滑らかに回転するかとする。
- (2) 静的精度検査は、①駆動テーブルのCW側、中央部、CCW側でベース底面と上板の平行度 ②CCW端からCW端までの上板の真直度 とする。
- (3) 動的精度検査は、①機械原点の繰り返し精度 ②機械原点駆動後の指定ポジションの繰り返し精度 とする。いずれも、ダイヤルインジ類とハイトゲージを使用して測定する。

静的精度検査では駆動テーブルを移動させるため、専用コントローラSG8030J、モータドライバCMD2120P（ともにオリエンタルモータ㈱製）で構成するモータコントローラをスイッチで操作する。また、動的精度検査では決められた動作を繰り返す行うため、モータコントローラに接続してプログラム駆動させるPIC装置（PIC「16F84」使用）を使用する。図8にモータコントローラとPIC装置を示す。

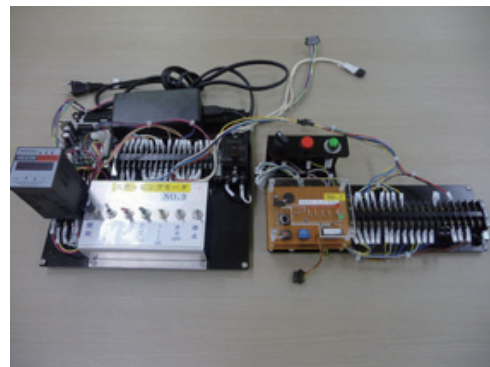


図8 モータコントローラとPIC装置

4. 訓練の実施

平成25年度は2年生22名をグループ人数4～5名の5グループとした。学生の技術・技能の習熟度を考慮し、グループ力を均一化するよう編成した。

4.1 掲示板による管理

ものづくりの現場において、「見える化」のツールとして掲示板が用いられる。本実習においても図9に示す掲示板に組立図，班編成と当番・役割表，加工担当と進捗表を貼り出し，誰もが状況を把握できるようにした。また，不良品記録書も貼り出して見えるようにした。活用方法は訓練開始時に掲示板の付近に集合し，点呼や指示のあとグループで当番や役割の確認や進捗の管理を行った。不良品の事例は訓練の格好の教材になるため，発生したら直ちに記録書を作成し，次回実習の点呼時に加工者が発生の原因や真因，対策などを全員の前で報告した。

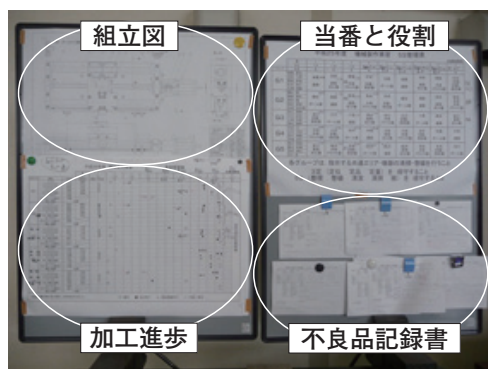


図9 掲示板

4.2 加工

加工では多くの指導点があったが，ここに主な指導を示す。

- (1) 始業時，各グループの当番が汎用フライス盤にマシンバイスを取り付ける作業を担当した。そして取付時間を計測して競わせた。時間は1分前から30分と平行出し作業の習熟にバラツキがあった。未習熟者には個別指導を行った。
- (2) 加工手順書を作成して加工に臨むように指導したが，段取り不足が目立った。初めての経験であったためと判断し，後日，提出を求めた。
- (3) 材料のバイス取付確認の方法やボーリングバー，メタルソー，タッピングボール盤などの加工方法を指導した。
- (4) 図10に不良品を示す。多くは“うっかり”，“勘違い”，“思い込み”などのヒューマンエラーであり，加工者の確認不足を露呈した。ただし，ベースプレートの不良はマシンバイス1個で固定して

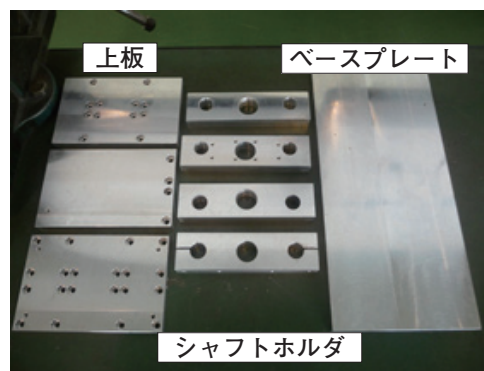


図10 不良品

加工したため，両端部と中央部の厚さが大きく異なった。想定通りの不良であり，図11に示す二連バイスで加工するよう全グループに周知徹底した。

- (5) バイス締め付け力の目安を知ることは圧潰キズ防止のため必要である。「機械要素設計」のねじの章で演習した。本科のバイスは手動ハンドル力の約100倍の締め付け力が材料に加わることを実践的に指導した。



図11 二連バイスによる平面削り

4.3 測定と検査

測定および検査の状況は以下の通りであった。

- (1) 部品の測定はおおむね良好であった。しかし，重要部の寸法ミスを知りながら組み立てまで報告しない件や加工不良の手直しミスによる再製作で組立検査が大幅に遅れたグループがあった。
- (2) 組立品の精度は部品の公差の累積で決めることになる。どの程度の精度で加工・組み立てできるか判断を決めかねていたため，完成品の検査では仕様を定めていなかった。このため完成品の評価・判定はできないが，静的精度検査では上板の平行

度は0.05～0.2mm, 真直度は0.02～0.07mmであった。動的精度検査では2通りの繰り返し精度とも0.01mm以下であった。分解能が0.05mmの駆動テーブルではガタツキもなく良好とみなせた。図12に完成品検査の様子を示す。

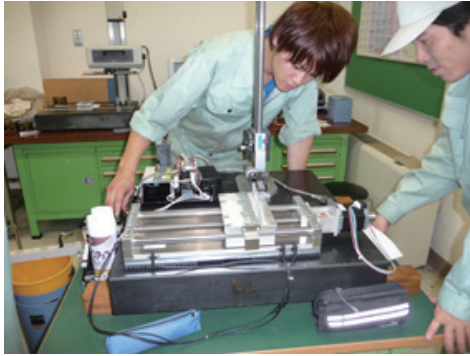


図12 完成品検査

5. 次年度以降の改善点

これまでの訓練実施から、今後の改善点を以下に示す。

- (1) 関連科目との連携を深める。
 - ・「機械設計製図」では、実際の加工を考慮した作図を指導する。
 - ・「測定実習」では、ダイヤルゲージ類の測定を実践的な内容に向上する。
 - ・「機械加工」では、加工理論や加工法に加え、製品製作の加工手順を案出する演習を行う。
- (2) 新規の加工法や測定法、組立方法や検査方法などについて、場所と時間を確保して全員に指導する。
- (3) 加工ミスに対して、読図能力の向上と確認手順を指導し、ヒューマンエラー撲滅の徹底を図る。
- (4) 加工機不足による手待ちや無駄時間を解消し、訓練効果の増大を目指す。
 - ・応用課程の半自動フライス盤を使用する。
 - ・ハンドルなど丸ものの旋盤加工部品を追加する。
- (5) 段取りを向上し無駄時間をなくす指導を図る。
- (6) 職業人として不可欠なコミュニケーション「報連相」の指導を徹底する。
- (7) 5Sと3定の指導を徹底する。

6. まとめ

- (1) 訓練時間（72時間＝1日8時間×9回）内で5グループとも完成品の検査まで行うことができた。図13に完成品を示す。
- (2) 前半は通常授業週1日、後半は集中授業で実施し、集中授業の連続訓練は効果的であった。
- (3) 精度部品の加工はおおむね良好であった。
- (4) ダイヤルゲージ類を用いた実践的な寸法測定と形状測定を習得した。
- (5) 三次元測定機の測定実習用教材に本実習の部品を供用し、実習の測定より高精度な測定ができた。
- (6) 製品の大敵であるキズ、打痕、面取りなどに対する部品の取り扱い意識が変わった。
- (7) 加工現場を実習場に持ち込んだ訓練でものづくりの意識が高まった。



図13 完成品

7. おわりに

われわれは設計科目と加工科目、加工科目と測定科目を関連付けて訓練しているつもりであっても、受ける学生にはそれらの関連を意識していない、または、できないケースが多い。ものづくり力は設計・加工・測定を含む生産技術や生産管理の総合力であり、決して単独の部分最適を寄せ集めたものではない。各分野の技術・技能を一体化して全体最適になるような訓練を展開し、改善・改良していかなければならない。

学生には本実習を糧に機械系実践技術者として成長することを期待する。