

# CAD/CAM および三次元測定機を活用した 実習教材における訓練効果の検証

## 主執筆者

隈元 康一

独立行政法人 高齢・障害・求職者雇用支援機構  
栃木職業能力開発促進センター

## テーマ

職業能力開発の実践

## 要旨

本稿は、令和6年度職業訓練教材コンクールにおける応募教材作品「CAD/CAM および三次元測定機を活用した実習教材 歯車ポンプの課題を通して」<sup>[1]</sup>の教材を活用して得られた訓練効果の検証を行った。検証は、筆者が昨年度まで在籍していた千葉職業能力開発促進センター君津訓練センターで実施したものである。

CADによるモデリングおよびCAMによるNCデータの作成、NC工作機械による各部品の製作、三次元測定機による形状測定など実践的な教材を通して学習し、その訓練効果について検証した結果、一定の成果が得られたので本稿にて報告する。

## 1. はじめに

### 1. 1 教材開発に至った経緯

千葉職業能力開発促進センター君津訓練センターの離職者訓練では、テクニカルオペレーション科が実施されている。テクニカルオペレーション科の訓練期間は6ヶ月間で、前半3ヶ月間は主に機械製図、2次元CAD、3次元CAD/CAMなどの図面に関する知識を学び、後半3ヶ月では測定、汎用旋盤、フライス盤、NC工作機械など機械加工に関する知識について学ぶ。受講生の定員は15名である。

教材開発に至った経緯であるが、テクニカルオペレーション科の多数の受講生から、各授業の課題が単発であるため、総合的に一貫性を持たせた課題を製作できればより充実した訓練科になるのではないかと提案を受けたのがきっかけである。

### 1. 2 課題の決定について

課題を開発するにあたり、受講生と意見交換を実施した。下記にその内容を示す。

- 授業で習得した技能や技術を活かしたい。
- 就職に役立つ課題内容が良い。
- CAD/CAM や NC 工作機械についてもっと深く学びたい。
- ノギス、マイクロメータの一般的な測定器以外にも、高度な測定が可能な三次元測定機について学びたい。
- 課題製作期間は6日間程度で、あまり無理のない課題が良い。

以上の意見から、では実際にどのような課題が考えられるのか検討することとした。課題のヒントになったのは、機械製図の教科書に付録として記載されている図面<sup>[2][3]</sup>を参考にした。その図面の中に「歯車ポンプ」の組立図、部品図が掲載されており、製作するにあたり授業で習得するすべての内容が網羅されていた。例えば本体やカバーについてはCAD/CAMおよびマシニングセンタを使用して製作を行い、製作後、三次元測定機により測定を行う。歯車はワイヤーカット放電加工機、Vプーリは旋盤およびNC旋盤、ブラケットはフライス盤およびマシニングセンタにより行う。CAD/CAM や三次元測定機の専門的な分野は、授業の内容以外にも補足説明する部分はあるが、総合的に判断しても大変良い課題であることがわかった。製作の都合上、多少の図面変更を伴うが、再度受講生と確認を行い、課題は「歯車ポンプ」に決定することにした。

### 1. 3 課題の製作時期について

課題の製作時期については、6ヶ月目のマシニングセンタの授業で実施することとした。製作期間は表1の製作スケジュールに示す通り、組立・調整・稼働実験も含めて6日間に設定した。2日間はCAD/CAMにより各部品のモデリングおよびNCプログラムの作成を行った。残りの4日間で各種工作機械を使用して部品の製作を行い、その後三次元測定機により測定・検査を行った。

グループの振り分けは、受講生と綿密な相談を行い、各スキルに合わせた部品を選択してもらうことで決定した。スケジュール通り順調に進むことはないので、指導員は常に進捗管理を行う必要がある。

## 2. 各部品のモデリングおよび加工データの作成

### 2. 1 平歯車の検討

モジュール： $m$ 、歯数： $z$ 、圧力角： $\alpha$ とすると、基準円直径： $d$ 、歯先円直径： $d_a$ 、歯底円直径： $d_f$ 、基礎円直径： $d_b$ は式(1)で表せる。

$$\left. \begin{aligned} d &= mz \\ d_a &= m(z + 2) \\ d_f &= m(z - 2.5) \\ d_b &= mz \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

また、インボリュート曲線の  $X$ 、 $Y$  座標は式(2)で表せる。

$$\left. \begin{aligned} X &= (d_b/2)(\cos \theta + \theta \sin \theta) \\ Y &= (d_b/2)(\sin \theta - \theta \cos \theta) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

今回製作する平歯車は、 $m=4$ 、 $z=9$ 、 $\alpha=20^\circ$ である。角度 $\theta$ はできる限り曲線に近似させるため、 $0.05^\circ$ 単位で設定している。式(1)、(2)より表計算ソフトを使用してグラフ化したものを図1に示す。グラフ化することで、基準円直径、歯先円直径、歯底円直径、基礎円直径、インボリュート曲線を可視化できるため、習得度の訓練効果が期待できる。

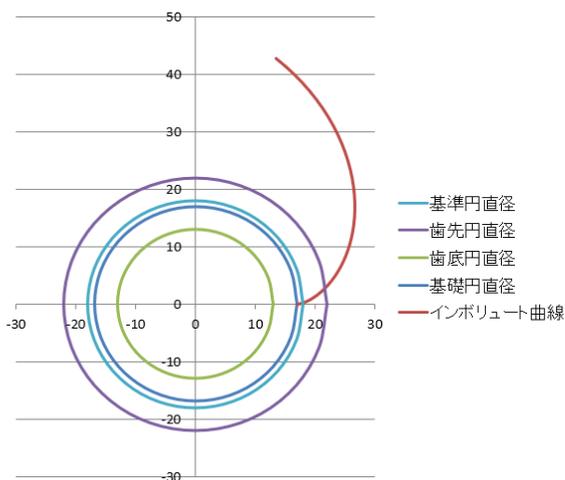


図1. グラフ化による可視化

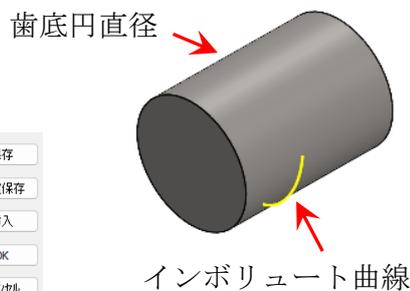
次に得られたインボリュート曲線の  $X$ 、 $Y$  座標を3次元CADに挿入する操作を行う。取り込む方法は、「座標点カーブ」を使用することで、座標を挿入することが可能である。図2にその方法を示す。



(a) 座標点カーブ

点	X	Y	Z
1	16.91mm	0mm	0mm
2	16.94mm	0mm	0mm
3	17mm	0.01mm	0mm
4	17.1mm	0.02mm	0mm
5	17.25mm	0.04mm	0mm
6	17.43mm	0.09mm	0mm
7	17.66mm	0.15mm	0mm
8	17.92mm	0.24mm	0mm
9	18.21mm	0.36mm	0mm
10	18.54mm	0.5mm	0mm
11	18.9mm	0.69mm	0mm

(b)  $X$ 、 $Y$ 座標値



(c) 座標値の挿入

図2. インボリュート曲線の挿入

3次元CADにインポリュート曲線を挿入した後は、基礎円、歯先円などスケッチ作業を行う必要があるが、詳しい操作方法については参考文献[1]の「1. 3次元CADマニュアル」 「08 平歯車の詳細設計」を参考にさせていただきたい。図3にスケッチ作業から1枚の歯形を作成し、円形パターンにより歯車をモデリングした図を示す。

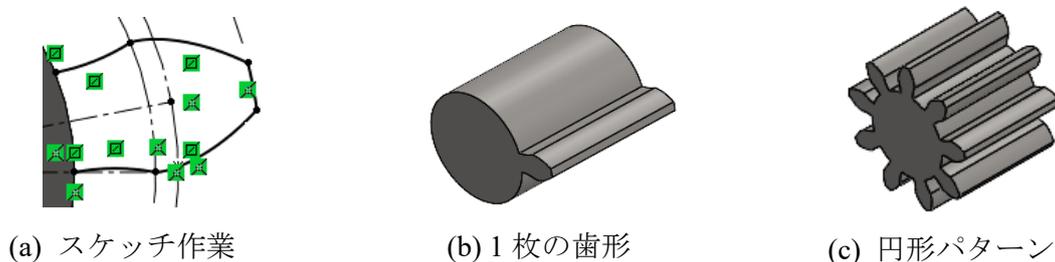


図3. 平歯車のモデリング

## 2. 2 歯車ポンプ全体像の把握

歯車ポンプの部品点数は合計9点あるため、各 부품のモデリングをすべて完成させてからアセンブリするのではなく、ベース形状を作成した後アセンブリを行った。そうすることで歯車ポンプの全体像を容易に把握することが可能となる。その後、カット形状およびフィレットなど図4に示すように段階的に各 부품のモデリングを進め、歯車ポンプ全体像の進捗状況の確認を行った。

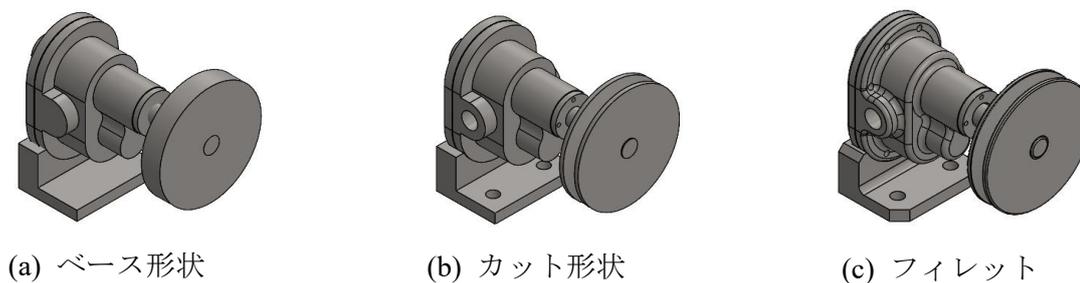


図4. 全体像の進捗状況の確認

## 2. 3 質量の確認

図5に示すように、3次元CADの質量特性機能により歯車ポンプの質量を確認した結果、3566.22gであった。実際の完成品の質量を調べたところ3560gであったため、ほぼ一致する結果となった。



図5. 歯車ポンプの質量の確認結果

1

表 1. 歯車ポンプ製作スケジュール

図番	部品名	グループ名	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目
GP-001	本体	A (3)	CAD/CAM により各部品のモデリングおよびNCプログラムの作成  アセンブリにより全体像を把握  平歯車の詳細設計および NCプログラムの作成  NC プログラムをシミュレーションソフトにより確認  各グループ、製作にあたり認識の相違がないように、十分に確認を行うこと		フライス盤 マシニングセンタ			三次元測定機による測定
GP-002	カバー	B (3)			フライス盤 マシニングセンタ			
GP-003	駆動軸	C (3)			汎用旋盤			組立・調整  稼働実験
GP-004	従動軸	C (3)			汎用旋盤			
GP-005	平歯車	D (3)			フライス盤	ワイヤーカット放電加工機		
GP-006	ブラケット	E (3)			フライス盤 マシニングセンタ			
GP-007	Vプーリ	C (3)				汎用旋盤 NC 旋盤		
GP-009	ツバ付きブシュ	C (3)			汎用旋盤 フライス盤			
GP-011	ベース	E (3)			フライス盤			

2 注 1) : グループ名の( )内の数字は人数を示す

3 注 2) : 使用ソフト SOLIDWORKS2023, CAMWorks2023, GV-CNC

## 2. 4 CAMによる加工データ作成

本体およびカバーは、CAMにより加工データの作成を行った。テクニカルオペレーション科で実施しているCAMの授業内容は、主に輪郭加工、ポケット加工、穴あけ加工などの2次元要素である。使用する工具もスクエアエンドミル、ドリルなどフライス盤で使用した工具情報である。しかし、本体およびカバーの製作ではボールエンドミルを使用することから、ボールエンドミルの特徴など補足説明を行う必要がある。また荒加工、仕上げ加工の切削条件は通常の切削条件と異なるため、高速加工概論の説明を行った。

高速加工の場合、荒加工の切削条件の目安は、切削速度  $V_c=100\sim 300\text{m/min}$ 、1刃あたりの送り量  $f_z=0.1\sim 0.15\text{mm/tooth}$ 、軸方向の切込み量  $A_d=\text{工具直径}\times 0.06\sim 0.15\text{mm}$ 、径方向の切込み量  $R_d=\text{工具直径}\times 0.5\text{mm}$  と定義される。この定義から切削条件を算出すると、R5のボールエンドミルを使用した場合、主軸回転速度  $N=10,000\text{min}^{-1}$ 、テーブル送り量  $F=2,000\text{mm/min}$ 、 $A_d=0.6\sim 1.5\text{mm}$ 、 $R_d=5\text{mm}$  となる。

仕上げ加工の切削条件の目安は、切削速度  $V_c=100\sim 400\text{m/min}$ 、軸方向の切込み量  $A_d=0.1\sim 0.2\text{mm}$ 、1刃あたりの送り量  $f_z$  (mm/tooth) および径方向の切込み量  $R_d$  (mm) は、図6の  $R_d$  とカプス高さ  $h$  (mm) の関係から式(3)、(4)にて設定する。 $R$  はボールエンドミルの半径である。

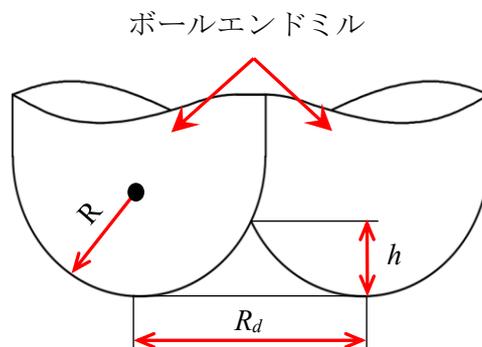
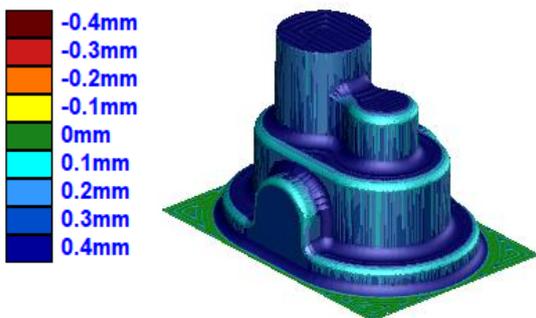


図6.  $R_d$  と  $h$  の関係

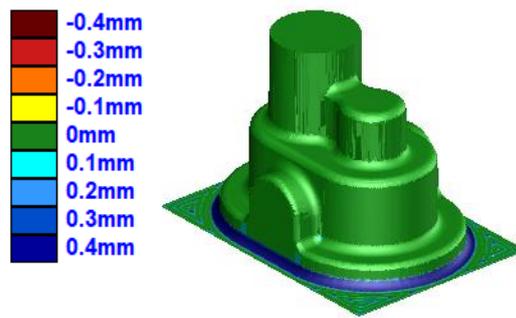
$$h = R - \sqrt{R^2 - (R_d/2)^2} \quad (3)$$

$$R_d = f_z \quad (4)$$

仕上げ加工のカプス高さ  $h=0.001\text{mm}$  に設定すると、R4のボールエンドミルを使用した場合、式(3)、(4)より  $R_d=f_z=0.18\text{mm}$  となる。ただし、高速回転による刃の振れの影響を考慮する必要があり、実際は2枚刃を使用しているが、1枚刃のみで切削していると考える。主軸回転速度  $N=12,000\text{min}^{-1}$  とした場合、テーブル送り量は  $F=2,160\text{mm/min}$  と算出される。図7にCAMにより本体およびカバーを加工したシミュレーション結果を示す<sup>[4][5]</sup>。数値は削り残り代を示している。



(a) 本体の荒加工



(b) 本体の仕上げ加工

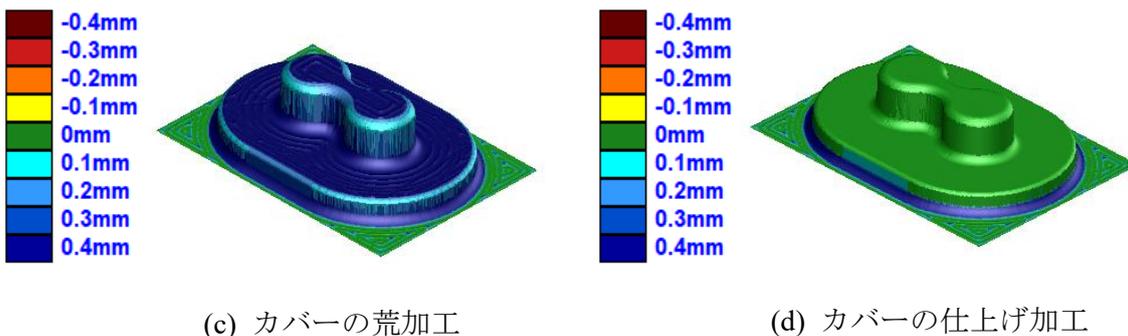


図7. 本体およびカバーの加工シミュレーション結果

### 3. 各種工作機械による加工

#### 3. 1 工具の回転振れの確認方法

工具の回転振れを確認する方法として、図8に示すように多成分動力計 KISTLER 9129AA に治具を介して、超硬チップの表面に接触させて接触力を測定し、工具の回転振れの状態を確認した。

図9に接触力を測定した結果を示す。(a)の場合、工具が回転振れしているため接触力に差が出ている。回転振れが発生している場合は、工具の脱着を再度行い接触力の確認を行う。(b)の場合は回転振れが抑制されているため、接触力はほぼ同等である。

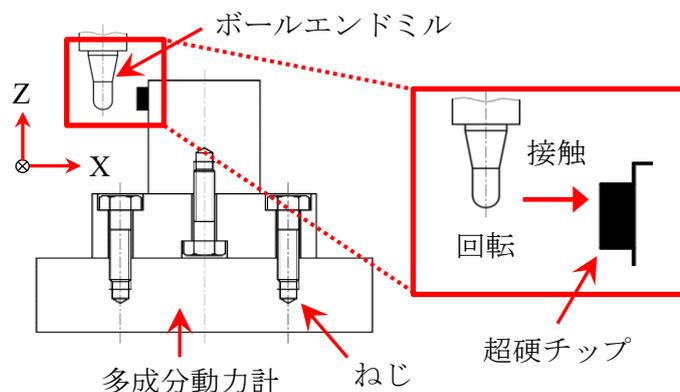
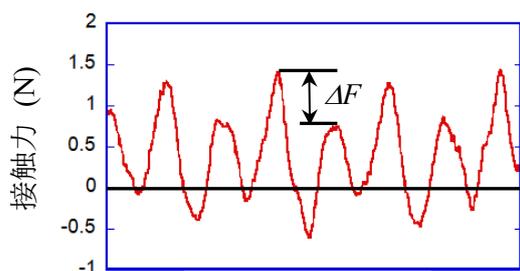
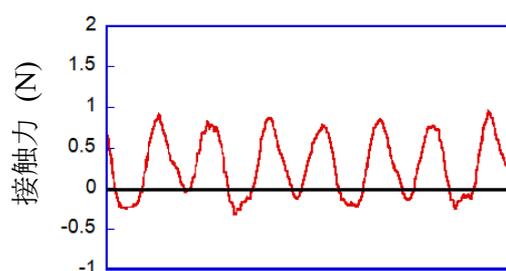


図8. 回転振れの確認方法



(a) 回転振れしている接触力の波形



(b) 回転振れが抑制された接触力の波形

図9. 切れ刃の接触力の測定

#### 3. 2 マシニングセンタによる本体の加工

マシニングセンタはKITAMURA Mycenter-3XGを使用した。本体の加工は材料とホルダの干渉を避けるため、大昭和精機株式会社のサイドロックホルダのスリムタイプを採用した。荒加工および仕上げ加工で使用したホルダの型式はそれぞれ BBT40-SSL10-150、BBT40-SSL8-135 である。図10はCAMにより出力したNCデータを使用して、マシニングセンタ

により本体の高速加工を行っており、加工時間は約6時間である。図8による接触力の測定を行い、工具の振れはできるだけ抑制している状態である。材料とホルダの干渉がないかなども十分に確認を行う必要がある。また、マシニングセンタの仕様に高精度・輪郭制御など送り速度の加減速を制御する機能を有していれば、加工精度が安定すると考えられる。

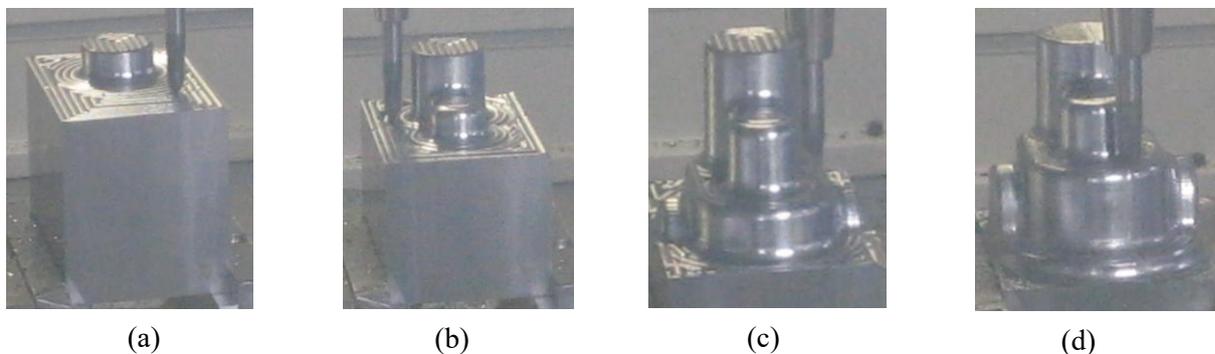


図10. マシニングセンタによる本体の加工

続いて歯車が入るケーシング部の加工を行った。ケーシング部は、マニュアルプログラミングのため、図11に示すように加工シミュレーションソフトにてプログラムが間違っていないか確認した<sup>[6]</sup>。

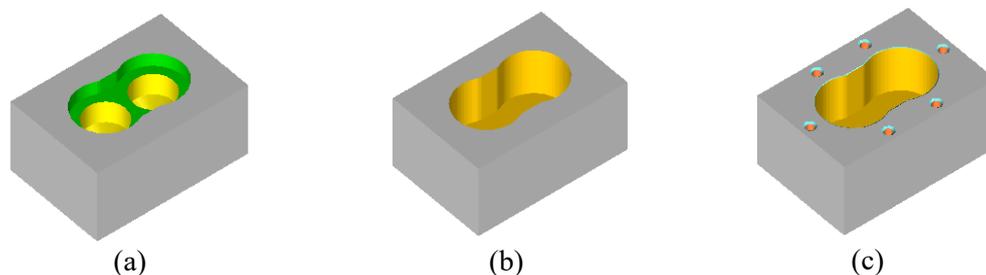
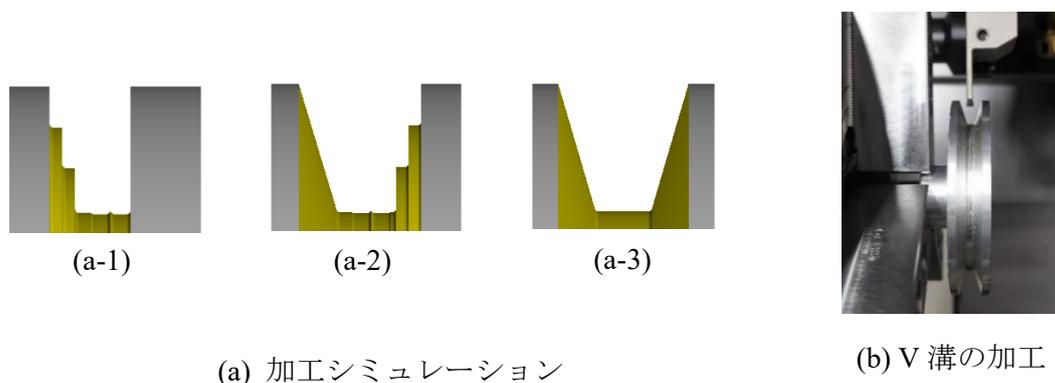


図11. ケーシング部の加工シミュレーション

### 3. 3 NC旋盤によるVプーリの加工

NC旋盤はMazak QUICK TURN 200を使用した。VプーリのV溝以外は汎用旋盤にて加工済みである。V溝形状はマニュアルプログラミングのため、図12に示すように加工シミュレーションソフトにてプログラムが間違っていないか確認し<sup>[6]</sup>、その後加工を行った。



(a) 加工シミュレーション

(b) V溝の加工

図12. Vプーリの加工

### 3. 4 ワイヤークット放電加工機による平歯車の加工

ワイヤークット放電加工機はFANAC ROBOCUT  $\alpha$ -C400iAを使用した。図13に示すようにCAMにより出力したデータを使用して、平歯車の加工を行った。加工時間は約2時間である。

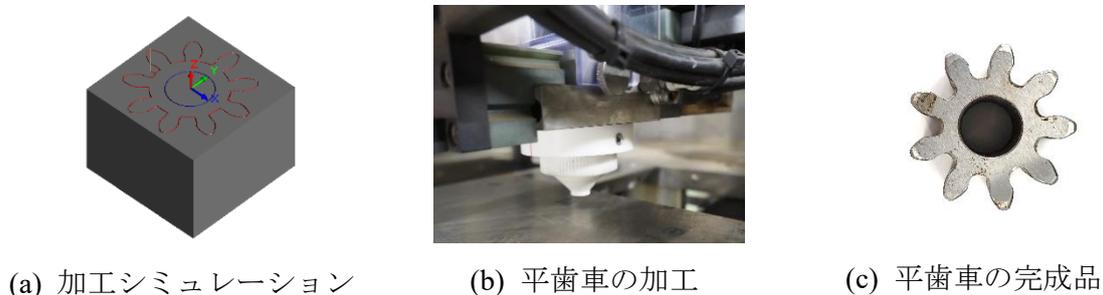


図13. 平歯車の製作

### 3. 5 歯車ポンプの完成

製作した歯車ポンプの各部品および完成品を図14に示す。本体、カバーはマシニングセンタ、駆動歯車、従動歯車は旋盤およびワイヤークット放電加工機、ブラケットはフライス盤、Vプーリは旋盤およびNC旋盤、ツバ付きブシュは旋盤およびフライス盤にて加工を行った。

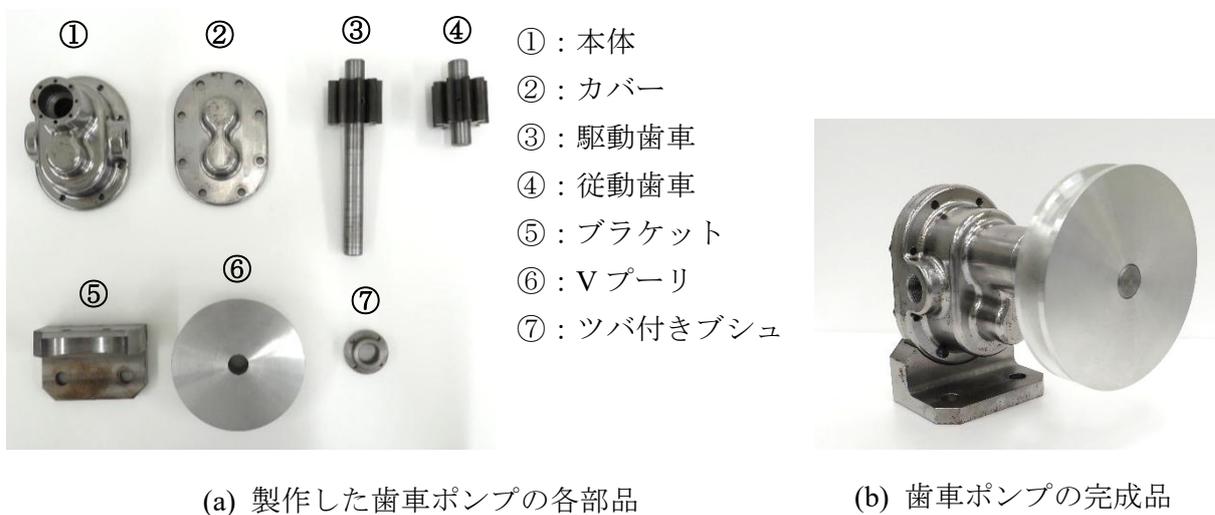
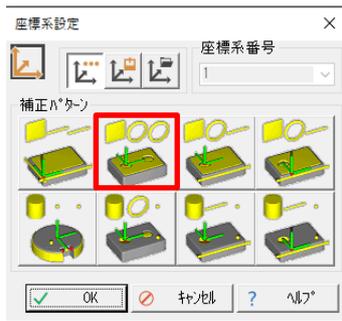


図14. 歯車ポンプの各部品および完成品

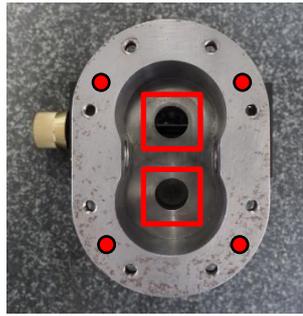
## 4. 三次元測定機による測定

### 4. 1 本体の輪郭測定

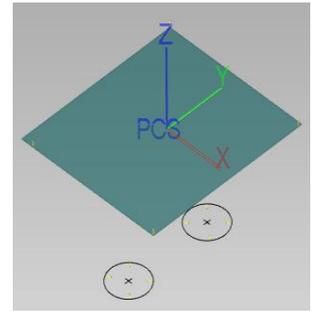
本体およびカバーは複雑な形状をしているため、三次元測定機 Mitutoyo CRYSTA-Apex V544を使用して測定を行った。測定を行うにあたり、図15に示すように平面および基準穴を測定して測定物の座標系を設定する。



(a) パターンの選択



(b) 要素の測定



(c) 座標系の確認

図 15. 座標系の設定

座標系を設定した後は、外側・内側の輪郭を自動測定にて測定する。自動測定は図 16 に示すように、CNC パラメータを ON にして、測定開始点、アプローチ方向、測定速度など設定する<sup>[7][8]</sup>。



図 16. 輪郭の自動設定パラメータ

図 17 はプローブを測定物にアプローチするときの X、Y、Z 各軸のアプローチ方向の設定値である。例えば、測定物に対して手前側 (緑枠) の位置からアプローチしたい場合、Y 軸とベクトルが同じ方向になるため、Y の設定値は「0」となる。X 軸および Z 軸の設定値は、Y 軸に対して直角となるため「90」となる。また右側 (黄枠) の位置からアプローチ

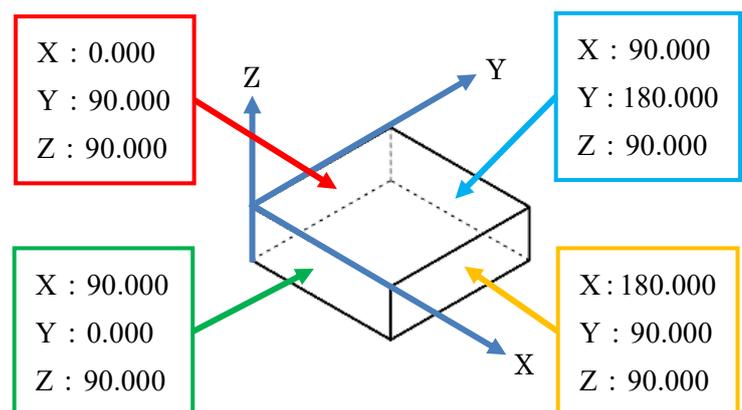


図 17. アプローチ方向

したい場合、X 軸とベクトルが反対方向となるため、X の設定値は「180」となる。Y 軸および Z 軸の設定値は、X 軸に対して直角となるため「90」となる。アプローチ方向の概念を理解していなければ、三次元測定機のプローブが予期しない方向へと動作し、プローブの破損や機器の故障につながるため、自動測定を開始する前に十分なチェックが必要となる。

図18は本体の内側形状を自動測定している様子である。自動測定した後は、メモリ内から計算を行い、座標値と測定値の確認を行う。図面上の寸法値は「44.20」のため、「0.14」の誤差を生じる結果となった。

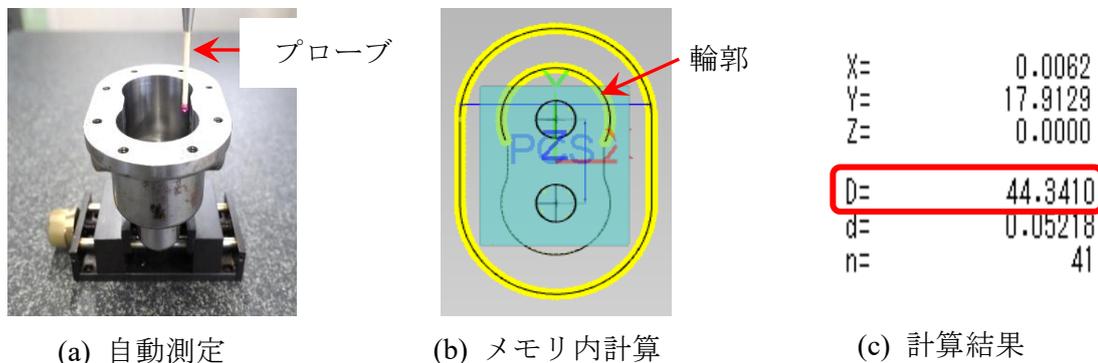


図18. 本体の内側形状の自動測定

#### 4. 2 カバーの穴位置の角度測定および外側形状の自動測定

本体の測定と同様に座標系を設定後、カバーの穴位置および外側形状の自動測定を行った。図19はカバーの穴位置の角度測定および外側形状の自動測定をしている様子である。穴位置は必要な穴を測定した後、メモリ内から線要素を作成し角度を求めた。図面上の寸法値は、穴位置の角度が「60°」、外側形状の輪郭が「78」のため、ほぼ同等の測定値を得ることができた。



図19. カバーの穴位置の角度測定および外側形状の自動測定

また、三次元測定機による詳しい操作方法については、参考文献[1]の「4. 三次元測定機マニュアル」「14 カバーの穴の直径・位置の測定および輪郭測定」および「15 本体の外側および内側の輪郭測定」を参考にさせていただきたい。

## 5. 性能の検討

今回参考にした歯車ポンプは、吐き出し圧力  $p = 0.3\text{MPa}$ 、口径の呼び  $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 、軸動力  $P = 0.2\text{kW}$ 、回転速度  $N = 500\text{min}^{-1}$  である。1回転あたりの理論吐き出し量  $Q_0$  ( $\text{m}^3/\text{rev}$ )は、モジュール  $m$  ( $\text{mm}$ )、歯数  $z$ 、歯幅  $b$  ( $\text{mm}$ )とすると、近似的に式(5)から求められる。

$$Q_0 = \frac{2\pi m^2 z b}{10^9} \quad (5)$$

平歯車の仕様はモジュール  $m = 4\text{mm}$ 、歯数  $z = 9$ 、歯幅  $b = 35\text{mm}$ 、圧力角  $\alpha = 20^\circ$  の標準平歯車である。式(5)に代入すると、

$$Q_0 = \frac{2 \times \pi \times 4^2 \times 9 \times 35}{10^9} = 3.17 \times 10^{-5}$$

歯車ポンプでは、側面すきまと歯先すきまのために漏れが生じるので、実際の吐き出し量を  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{min}$ )、回転速度を  $N$  ( $\text{min}^{-1}$ )、容積効率を  $\eta_v$  とすれば、式(6)が成立する。

$$Q = Q_0 N \eta_v \quad (6)$$

$\eta_v$  は、油の粘度、側面のすきまの大きさに影響されるが、吐き出し圧力  $10\text{MPa}$  くらいまでは  $0.85 \sim 0.9$  程度である。よって式(6)に代入すると、

$$Q = 3.17 \times 10^{-5} \times 500 \times 0.85 = 0.0135$$

となり、容積  $500\text{ml}$  のペットボトルを約2秒で満たす能力となる。

また、歯車ポンプの運転に必要な軸動力  $P$  ( $\text{kW}$ )は、機械効率を  $\eta$  とすると式(7)から求められる。

$$P = \frac{pQ}{60\eta_v\eta} \quad (7)$$

$\eta$  を  $0.8$  とし、式(7)に代入すると、

$$P = \frac{0.3 \times 10^6 \times 0.0135}{60 \times 0.85 \times 0.8} \cong 0.1$$

と求められ、軸動力は  $0.2\text{kW}$  の原動機で十分である。

図 20 は稼働実験および吐き出し量の確認を行っている様子である。回転速度  $N=500\text{min}^{-1}$ 、油の粘度 VG32 で実験したところ、500ml のペットボトルを約 2 秒で満杯にすることができ、式(6)で求めた理論値とほぼ一致することが確認できた。



歯車ポンプ

(a) 稼働実験



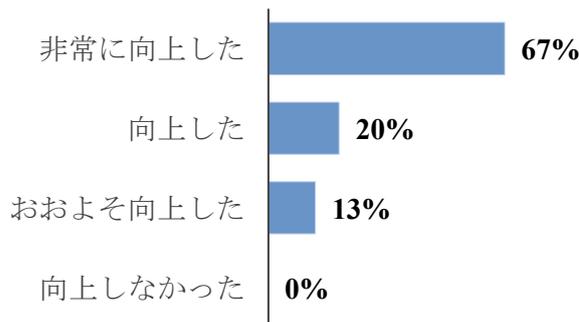
(b) 吐き出し量の確認

図 20. 歯車ポンプの性能の検討

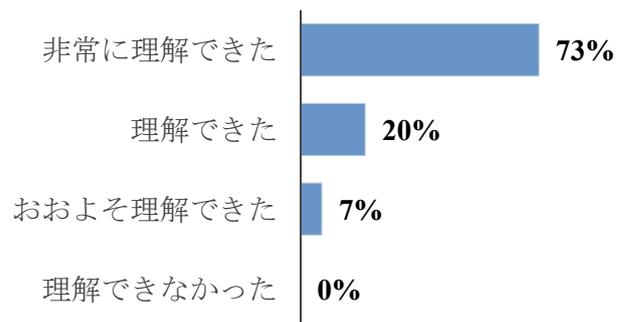
## 6. アンケート調査

歯車ポンプの課題製作を通して、受講生にアンケートを実施し、どのような訓練効果があったのか調査した。アンケートは受講生 15 名に対して実施した。図 21 はアンケートの調査結果である。

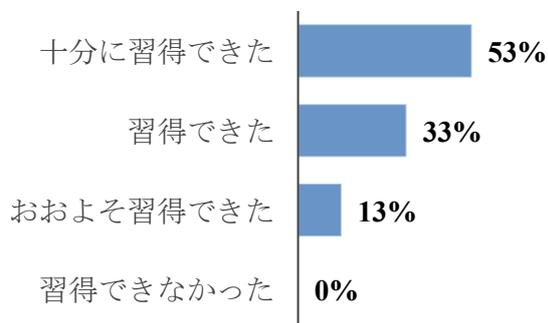
1. 3次元 CAD のモデリング技術は向上したか



2. CAM による加工データの作成は理解できたか



3. 三次元測定機による測定の技能は習得できたか



4. 歯車ポンプの課題を通して習得できた技能は今後の就職活動に役に立つと考えられるか

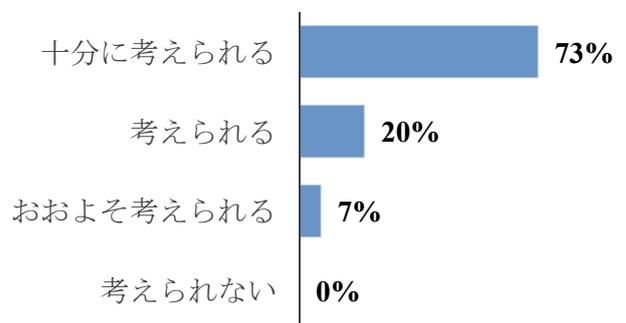


図 21. アンケート調査結果

調査の結果、「1. 3次元 CAD のモデリング技術は向上したか」の項目について、約 70% の受講生が「非常に向上した」と回答している。この結果について、平歯車のモデリングでは、インボリュート曲線の座標値は式(1)、(2)より表計算ソフトを使用して求め、3次元 CAD

に座標点カーブとして挿入し歯形を作成したことから、歯車についての理解が深まった結果だと考えられる。また、各部品のモデリングをすべて完成させてからアセンブリするのではなく、ベース形状を作成した後アセンブリを行った。その後、カット形状およびフィレット形状など段階的に各部品のモデリングを行ったことで、歯車ポンプ全体像の進捗状況の確認が容易になり理解の促進に繋がったと考えられる。

「2. CAMによる加工データの作成は理解できたか」の項目について、約70%の受講生が「非常に理解できた」と回答している。この結果について、通常のCAMの授業では輪郭加工、ポケット加工、穴あけ加工などの2次元要素が主な授業内容である。使用する工具もスクエアエンドミル、ドリルなどフライス盤で使用した工具情報である。しかし、本体およびカバーの製作ではボールエンドミルを使用することから、通常の切削条件とは異なるため、高速加工概論の説明を行い、主軸回転速度およびテーブル送り量を設定した。仕上げ加工のテーブル送り量については、理論式(3)、(4)に基づいて条件を算出した。CAMの操作では算出した切削条件により加工シミュレーションを行った結果、削り残り代が均一になり算出した切削条件に問題がないことが確認できた。このように、複雑な形状でも理論式に基づいて切削条件を導き出せば、シミュレーションでも良好な結果が得られることがわかった。また、高速加工を行う前に、高速回転に伴う工具の回転振れを確認したことが非常に重要であったと考えている。工具の回転振れは、多成分動力計を使用して接触力を測定し、その接触力の波形を取得することで振れの状態を確認した。振れの状態を補正した後、マシニングセンタにより高速加工を行った。このように、工具の振れを可視化したことや、高速加工を確認できたことで新たな知見を得ることができ、理解が深まったと考えられる。さらに歯車の入るケーシング部やVプーリのV溝の部分については、指導員が詳細な説明を行わなくても受講生自身が加工シミュレーションソフトを使用しプログラムを完成させており、非常に良い相乗効果を得るきっかけとなった。

「3. 三次元測定機による測定の技能は習得できたか」の項目について、約50%の受講生が「十分に習得できた」と回答している。この結果については、三次元測定機による自動測定は、まず座標系の設定およびアプローチ方向の概念を理解する必要がある。特にアプローチ方向については、図17に示すベクトルが非常に重要であり、この部分の理解が困難であったように感じる。しかし、設定を誤ると三次元測定機のプローブが予期しない方向へと動作し、機器の故障につながるため自動測定を開始する前に十分なチェックが必要となる。また、穴位置の角度測定は、必要な穴を測定した後、メモリ内から線要素を作成し角度を求めた。その結果、図面上の寸法値とほぼ同等の測定値を得ることができた。ノギスやマイクロメータなどの一般的な測定器以外にも、三次元測定機により高度な測定のスキルを学べたことは、測定・評価の重要性を再認識する結果となった。

「4. 歯車ポンプの課題を通して習得できた技能は今後の就職活動に役に立つと考えられるか」の項目について、約70%の受講生が「十分に考えられる」と回答している。この結果について、歯車ポンプの性能は式(5)、(6)、(7)に基づいて算出し、その後製作した歯車ポンプの稼働実験を行い実際の吐き出し量を確認したところ、理論値とほぼ一致する結果となった。また単純ではあるが、製作した歯車ポンプの稼働実験にて油を吸って吐き出したときは、感動を得ることができた。歯車ポンプの製作を通してCAD/CAMおよび三次元測定機を活用して技能をスキルアップできたことが、今後の就職先や就職活動において役に立つ結果となっ

たと考えられる。

以下、アンケート結果の抜粋である。

- 歯車から設計を行った後、CAMによりプログラムを作成しワイヤーカットにて製作できたことで一連の流れが確認できた。
- 3次元CADで段階的にモデリングを進めアセンブリを操作したことで、早い段階から進捗状況の確認ができたのでわかりやすかった。
- CAD/CAMが使えると、何でも製作できると思った。
- CAD/CAMについての理解がかなり深まった。楽しかったです。
- 授業では2次元的な加工要素が多かったが、3次元形状も加工できることがわかった。
- 高速加工概論が学べてよかった。フライス盤の加工とは全く違うと感じた。
- 工具の振れがあることが初めてわかった。多成分動力計を使うことで、波形の可視化ができたので、わかりやすかった。
- マシニングセンタがあんなに高速で動くところを初めて見た。びっくりでした。
- 三次元測定機を使うと、穴の直径や位置情報までわかるのですごいと思った。
- 三次元測定機の自動測定機能により、正確な輪郭の形状まで測定できることがわかった。
- 稼働実験で油を吸って吐くといった単純な動作であったが、動いたときは感動した。
- 理論値通り油の吐き出し量が確認できたので、とても感動した。
- 製造業に興味がわきました。ありがとうございました。

## 7. まとめ

本稿では、CAD/CAMおよび三次元測定機を活用した実習教材として、歯車ポンプの製作に取り組んだ内容の訓練効果について報告した。3次元CADでは平歯車のモデリングはインボリュート曲線の座標点を挿入して歯形を作成した。また、段階的にモデリングを進めアセンブリ作業を行ったことで、進捗状況を容易に把握することができた。

CAMについて、本体やカバーはマシニングセンタによる高速加工にて製作を行った。通常の加工条件とは異なるため、高速加工における主軸回転速度やテーブル送り量などの定義についても説明を行った。理論式に基づいて算出した切削条件にて加工シミュレーションを行った場合、良好な結果が得られることがわかった。また、実際のマシニングセンタによる加工においては、多成分動力計を使用して工具の回転振れの確認を行った。さらに材料とホルダの干渉を避けるため、サイドロックホルダのスリムタイプを採用している。

三次元測定機による測定では、本体およびカバーの輪郭を自動測定にて測定した。自動測定を実施するには、アプローチ方向の概念を理解することが非常に重要である。今回はこの部分の理解が困難であったと考えられるため、教材を見直し理解の促進につなげたいと考えている。しかし、ノギスやマイクロメータなど一般的な測定器以外にも、三次元測定機による測定を学べたところは、よい経験になったと考えられる。

歯車ポンプの課題を通して、CAD/CAMおよび三次元測定機を活用して技能をスキルアップできたことは、今後の就職先や就職活動において十分に役に立つ結果となり、大きな訓練効果が得られたと推測される。また、稼働実験にて「感動した経験」を得られたということも非常に重要なポイントであると考えられる。

今回は機械製図の教科書を参考に図面の製作を行ったが、今後は油の吐き出し量を決定し、歯車や軸およびケーシングの仕様を検討するなど、機械設計やCAEの要素を取り入れて、設計分野への就職も可能となるように実習教材のレベルアップを図りたいと考えている。

また、CAD/CAMおよび三次元測定機については、能力開発セミナーへの展開も可能であるため、実績の確保に繋がりたいと考えている。

## 参考文献

---

- [1] 隈元康一：「CAD/CAM および三次元測定機を活用した実習教材 歯車ポンプの課題を通して」、令和6年度職業訓練教材コンクール，職業能力開発総合大学校 基盤整備センター，<https://www.tetras.uitec.jeed.go.jp/statistics/concours/24kyouzai/sakuhin#c04> (2024).
- [2] 富岡淳ほか：文部科学省検定教科書 7 実教 工業 702 高等学校工業科用 機械製図，実教出版 (2023).
- [3] 土屋重助：機械加工総合技術 歯車ポンプの製作セミナーテキスト，千葉職業能力開発促進センター高度訓練センター (2001).
- [4] KreeD, 講習テキスト CAMWorks Standard 編 (2022).
- [5] KreeD, 3DCAM 講習テキスト CAMWorks 3D MILL 編 (2022).
- [6] KreeD, GV-CNC TUTORIAL, Cubictek (2021).
- [7] Mitutoyo, MCOSMOS V5.0 CNC 入門編 講習テキスト, 第3版 No. TD-AT-0064 (2021) .
- [8] Mitutoyo, MCOSMOS V5.0 CNC SCANPAK 入門編 講習テキスト, 第5版 No. TD-AT-0063 (2022).