

# 応募教材作品説明書

## 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

独立行政法人 高齢・障害・求職者雇用支援機構  
千葉職業能力開発促進センター君津訓練センター  
隈元 康一

## 1. 教材開発に至った経緯

### 1.1 背景

ポリテクセンター君津の離職者訓練では、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、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、残り3ヶ月間では測定、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。

- 訓練で習得した技能を活かしたい。
- 就職に役立つ課題内容が良い。
- CAD/CAMやNC工作機械を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、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

以上の内容から、では実際どのような課題が良いのか検討することにした。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、製作するにあたり訓練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プーリーは旋盤およびNC旋盤、ガス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や三次元測定機などの専門的な分野は、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分かった。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行うこととした。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、指導員は常に進捗管理を行う必要がある。

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			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			

注1):グループ名の( )内の数字は人数を示す

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

## 2. 教材の内容

### 2.1 3次元 CAD マニュアル

3次元 CAD のマニュアルは 8 種類用意している。下記にその分類を示す。

- 課題 1: 本体
- 課題 2: カバー
- 課題 3: 駆動軸
- 課題 4: ブラケット
- 課題 5: V プーリ
- 課題 6: その他の部品のモデリング【図面のみ配布し、各自自分で考える】
- 課題 7: 歯車ポンプ組立
- 課題 8: 平歯車の詳細設計

マニュアルは用意されているが、最初からマニュアルは配布せず、まずは図面のみを配布し、自力で考えることを意識させた。ただし授業で示した内容では、すべてを自力でモデリングすることは不可能であることから、補足説明を行いながら、なるべく自分でモデリングできるように心掛け、達成感を得られるように授業展開を行った。

### 2.2 CAM マニュアル

CAM のマニュアルは 3 種類用意している。下記にその分類を示す。

- 課題 9: 本体 CAM モデル
- 課題 10: カバー CAM モデル
- 課題 11: 平歯車 CAM モデル

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った工具情報である。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、高速加工概論など補足説明を行う必要がある。

### 2.3 NC プログラムのシミュレーションマニュアル

NC プログラムのシミュレーションマニュアルは 2 種類用意している。下記にその分類を示す。

- 課題 12: 本体ケーシング部の加工シミュレーション
- 課題 13: V プーリの V 溝部の加工シミュレーション

本体ケーシング部および V プーリの V 溝部の NC プログラムは、マニュアルで行うことから、座標の確認や入力ミスなど入念なチェックが必要となる。

## 2. 4 三次元測定機マニュアル

三次元測定機のマニュアルは、2種類用意している。下記にその分類を示す。

- 課題 14: カバーの穴の直径・位置の測定および輪郭測定
- 課題 15: 本体の外側および内側の輪郭測定

カバーの穴位置、直径の測定および輪郭測定、本体ケーシング部の測定はノギス、マイクロメータなど汎用の測定器では測定できないことから、三次元測定機を使用する。輪郭形状の自動測定など三次元測定機の特徴を活かした測定技術を習得することが目的である。

## 3. 歯車ポンプの製作

### 3. 1 マシニングセンタによる加工

図 1 はマシニングセンタ(KITAMURA Mycenter-3XG)、図 2 は本体形状の加工を行ったときに使用したホルダである。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式のスリムツールを採用した。荒加工では R5 のボールエンドミルを使用したため、ホルダは BBT-SSL10-150、仕上げ加工では R4 のボールエンドミルを使用したため、ホルダは BBT-SSL 8-135 を採用した。

工具の振れ精度が気になるようであれば、焼き嵌めチャックを使用することも可能である。しかし、焼き嵌め作業には焼き嵌め装置が必要となり、手間やコストの問題を解決しなければならない。今回使用したサイドロック式のホルダでも問題なく加工できたので、特別な装置は必要ないと考えられる。

図 3 は CAMWorks により本体の加工をシミュレーションした結果である。図 4 は本体を出力した NC データにてマシニングセンタにより加工している様子を示しており、加工時間は約 6 時間である。従来の加工方法とは違い、高速加工によって行う。主軸の回転速度  $12,000\text{min}^{-1}$ 、送り速度  $2,000\text{mm/min}$  であることから、加工を実施する前に主軸の暖機運転などが必要となる。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 1 マシニングセンタ



図 2 サイドロック式ホルダ

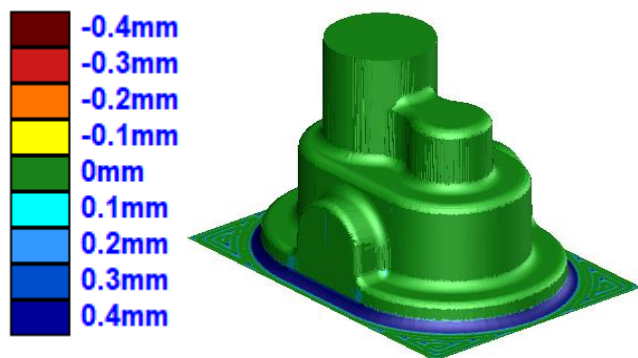


図 3 シミュレーション結果



図 4 本体の加工

### 3. 2 NC 旋盤による加工

図 5 は NC 旋盤(Mazak QUICK TURN 200), 図 6 は V プーリの V 溝を NC 旋盤により加工している様子である. 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 7 に示すように加工シミュレーションソフト(GV-CNC)にてプログラムが間違っていないか確認した.



図 5 NC 旋盤



図 6 V 溝の加工

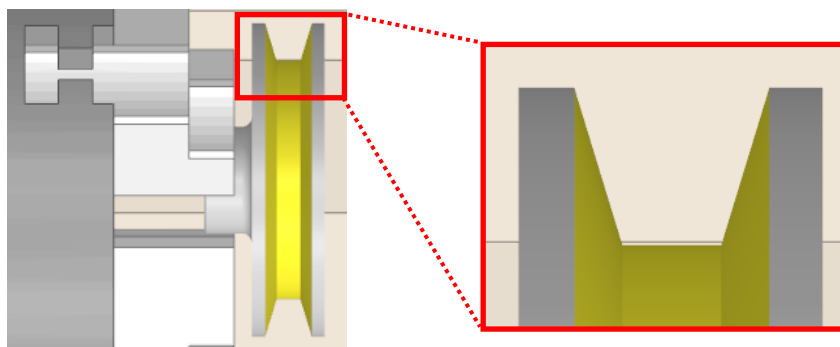


図 7 加工シミュレーション

### 3.3 ワイヤークット放電加工機による平歯車の加工

図 8 はワイヤークット放電加工機(FANUC ROBOCUT  $\alpha$ -C400iA), 図 9 はワイヤークット放電加工機にて平歯車を加工している様子である. 平歯車の NC データは, CAMWorks にて出力した. 図 10 に CAMWorks にてシミュレーションした結果を示す.

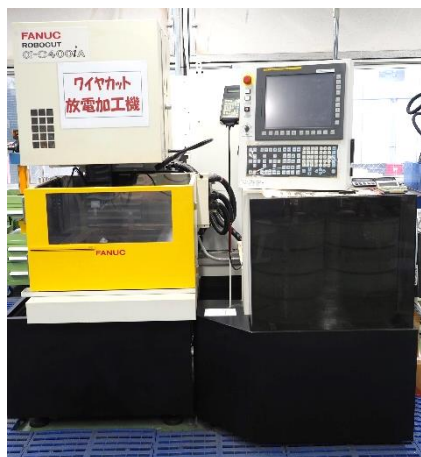


図 8 ワイヤークット放電加工機



図 9 平歯車の加工

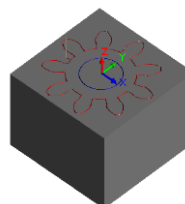
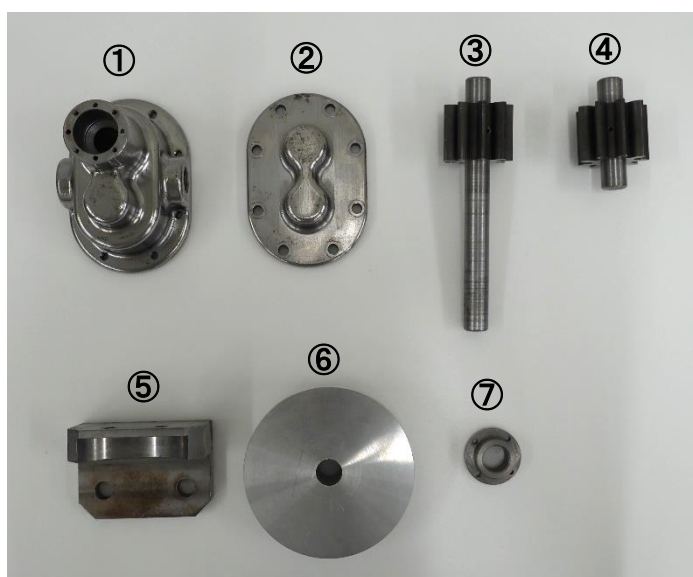


図 10 加工シミュレーション

### 3.4 歯車ポンプの完成

図 11 は製作した歯車ポンプの各部品, 図 12 は歯車ポンプの 3 次元モデル, 図 13 は歯車ポンプの完成品である.



- ①: 本体
- ②: カバー
- ③: 駆動歯車
- ④: 従動歯車
- ⑤: ブラケット
- ⑥: V プーリ
- ⑦: ツバ付きブシュ

図 11 製作した歯車ポンプの各部品

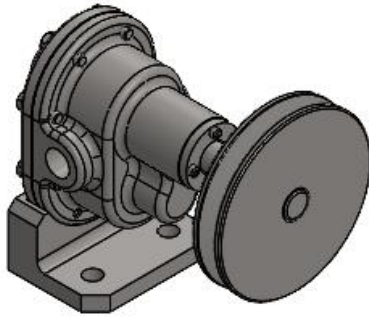


図 12 3次元モデル



図 13 歯車ポンプ完成品

#### 4. 三次元測定機による測定

図 14 は三次元測定機(Mitutoyo CRYSTA-Apex V544), 図 15 は三次元測定機にて本体輪郭の自動測定を行っている様子である。自動測定は CNC ON の状態で行うため, 測定ポイントの開始点, アプローチ方向, CNC パラメータなど細かな設定が必要となる。



図 14 三次元測定機

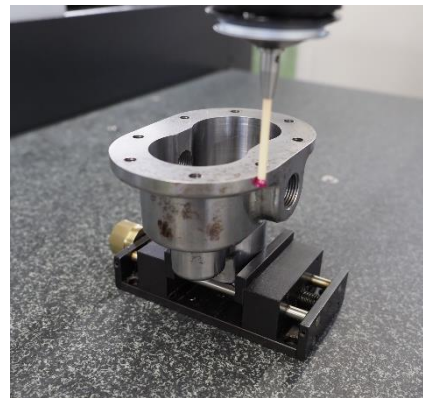


図 15 輪郭の自動測定



## 5 性能の検討

図 16 は実際に稼働実験を行っており, 図 17 は吐出量を確認している様子である. 今回製作した歯車ポンプは, 吐出し圧力  $p = 0.3\text{MPa}$ , 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.

平歯車の仕様は歯数  $z = 9$ , モジュール  $m = 4\text{mm}$ , 歯幅  $b = 35\text{mm}$  の標準平歯車である. 1 回転あたりの理論吐出量  $Q_0$ 【 $\text{m}^3/\text{rev}$ 】は, 歯幅  $b$ 【 $\text{mm}$ 】, 歯数  $z$ , モジュール  $m$ 【 $\text{mm}$ 】とすると, 次式から求められる.

$$Q_0 = \frac{2\pi m^2 z b}{10^9} = \frac{2 \times \pi \times 4^2 \times 9 \times 35}{10^9} = 3.17 \times 10^{-5} \text{ 【m}^3/\text{rev} \text{】}$$

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, 容積効率を  $\eta_v$ , 実際の吐出し量を  $Q$  【 $\text{m}^3/\text{min}$ 】, 回転速度を  $N$  【 $\text{min}^{-1}$ 】とすれば,

$$\eta_v = \frac{Q}{Q_0 N}$$

$\eta_v$  は, 油の粘度, 側面のすきまの大きさに影響されるが, 0.85~0.9 くらいである.

$$Q = Q_0 \times N \times \eta_v = 3.17 \times 10^{-5} \times 500 \times 0.85 = 0.0135 \text{ 【m}^3/\text{min} \text{】}$$

となる. 容積 500ml のペットボトルを約 2s で満たす能力となる.

油の粘度 VG32 で実験したところ, 500ml のペットボトルが約 2s で一杯になることを確認することができた.

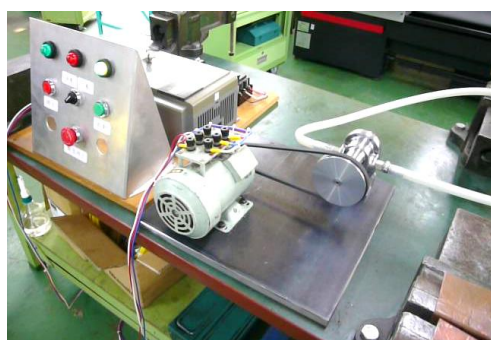


図 16 稼働実験

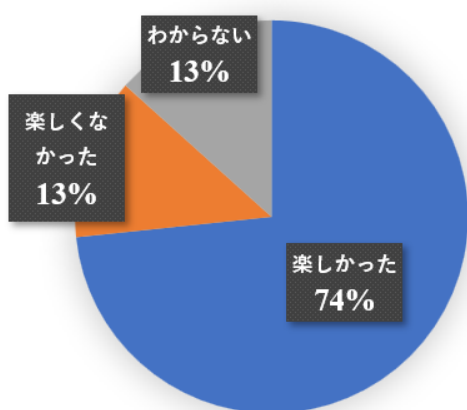


図 17 吐出し量の確認

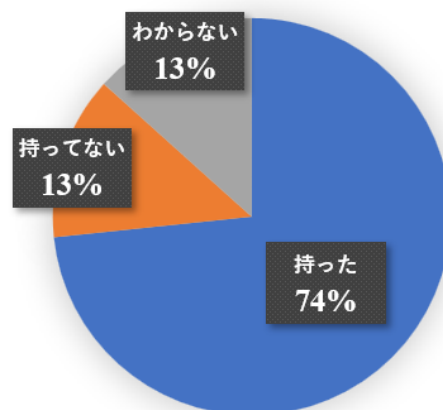
## 6. アンケート調査

歯車ポンプの課題製作を通して、受講者にアンケートを実施し、どのような効果があったか調査を実施した。アンケートは受講者 15 名に対して実施した。図 18 はアンケートの調査結果である。約 7 割近くが CAD/CAM や三次元測定機に興味を示し、製造業への就職意欲につながったと考えられる。歯車ポンプの課題を通して、一定の成果が得られた結果となった。

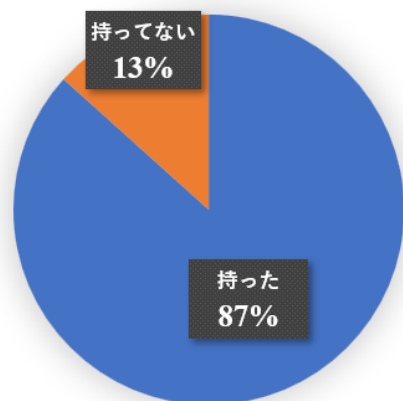
### 1. 歯車ポンプの製作は楽しかったか



### 2. CAD/CAMに興味を持った



### 3. 三次元測定機に興味を持った



### 4. 今後製造業に係る職種に就職を考えているか

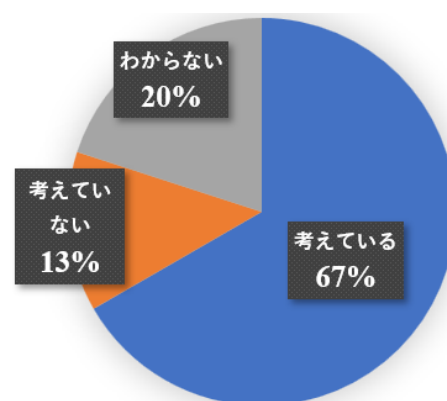


図 18 アンケート調査結果

以下、アンケート結果の抜粋である。

- 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思った。
- 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。びっくりです。

- 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すごかった。
- 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り、感動した。
- 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。
- 製造業に興味がわきました。ありがとうございました。

## 7. 今後への展開

今回、CAD/CAM および三次元測定機を活用した実習教材として、歯車ポンプを製作した。課題を通して、受講者が CAD/CAM および三次元測定機に興味を持って製作に取り組んだことから、一定の成果が得られたと感じている。今回は機械製図の教科書を参考に図面を製作したが、今後は吐出量を計算し歯車の仕様を決定するなど、機械設計の要素を取り入れて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。

## 謝辞

今回、歯車ポンプの製作に熱心に取り組んでいただいた受講者の皆様には、心から感謝申し上げます。この課題を通して得られた知識や技能が、お役に立てたのであれば幸いです。ご協力していただき、ありがとうございました。

## 参考文献

- 1) 富岡淳ほか, 文部科学省検定済教科書 7 実教 工業 702 高等学校工業科用 機械製図, 実教出版, 2023.
- 2) 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.
- 3) (株)アドライズ, よくわかる SOLIDWORKS 演習 モデリングマスター編 改訂第2版, 日刊工業新聞社, 2017.
- 4) CADRISE/(株)アドライズ, よくわかる 3次元 CAD SOLIDWORKS 演習 図面編, 日刊工業新聞社, 2021.
- 5) KreeD, 講習テキスト CAMWorks Standard 編, 2022.
- 6) KreeD, 3D CAM 講習テキスト CAMWorks 3D MILL 編, 2022.
- 7) KreeD, GV-CNC TUTORIAL, Cubictek, 2021
- 8) Mitutoyo, MCOSMOS V5.0 CNC 入門編 講習テキスト 第3版 No.TD-AT-0064, 2021.
- 9) Mitutoyo, MCOSMOS V5.0 CNC SCANPAK 講習テキスト 第5版 No.TD-AT-0063, 2022.
- 10) 吉松邦浩, 効率と実践を意識した三次元測定実習教材 -20 の指導ポイントと就職意欲と品質管理意識の醸成-, 令和4年度職業訓練教材コンクール, 熊本職業能力開発促進センター, 2022.

## 使用機器

- 1) 3次元 CAD: SOLIDWORKS2023
- 2) 3次元 CAM: CAMWorks2023
- 3) 加工シミュレーションソフト: GV-CNC
- 4) 汎用旋盤: WASHINO LEO-80A
- 5) フライス盤: IWASHITA 2VB
- 6) NC 旋盤: Mazak QUICK TURN 200
- 7) マシニングセンタ: KITAMURA Mycenter-3XG
- 8) ワイヤークット放電加工機: FANUC ROBOCUT  $\alpha$ -C400iA