

## 応用研究論文

## コンピュータ援用設計・機械加工（CAD/CAM）教育の取り組み

## 秋田県立大学における CAD/CAM 教育

高橋武彦<sup>1</sup>，野村光由<sup>1</sup><sup>1</sup> 秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科

機械設計教育では、与えられた仕様を実現する機械の機構や構造を定義することに加え、機械設計により寸法が決定した形状の加工方法に関する知識も必要である。すなわち、図面や 3 次元 CAD モデルを実際の形にするまでに必要とされる加工手順、さらには機械加工におけるツール選択、加工条件、加工面の表面粗さなどの理解である。それらの理解は、機械設計のセンスを養う上でも重要である。現在は、多くの機械加工が自動化された NC 加工により行われており、機械設計から NC 加工までの流れを接続する教育が必要である。その実現のため本研究では、NC 加工までの流れを取り入れた CAD/CAM 教育を構築した。その内容は、CAD モデリング、NC コードを用いたプログラミングの理解、CAM を用いた加工工程のモデリングおよび NC コードの生成、実際の NC 加工となっている。また、それらの知識や技能が実務ではどのように使われているのか、地元企業の工場見学で確認する機会も含む内容となっている。本報告では、構築した CAD/CAM の教育プログラムの概要と、その効果の考察について述べる。

**キーワード：**CAD/CAM 教育，CAD/CAM，CAM モデリング，NC 加工，マシニングセンタ

近年の ICT（情報通信技術）の発達により、コンピュータ上で設計形状を 3 次元的にモデル化する 3 次元 CAD（コンピュータ援用設計）を中心とするプロダクトモデルの活用がグローバル生産の基盤技術となってきた（青山，2015）。この流れを受けて製造業では、リードタイム短縮（高能率設計生産）やグローバルな生産体制への転換を進めるため、3 次元 CAD によるモデリング、CAM（コンピュータ援用加工）による加工プログラム作成、NC（数値制御）加工機による機械加工という CAD/CAM の一連の流れの導入が進んでいる。これにより航空機産業、自動車産業などにおけるメーカーとサプライヤの間では、従来の図面データの受け渡しから、CAD データを基本とする電子データによる情報の受け渡しが主流となり、簡単な構造の部品はもちろんのこと、金型や航空機用の治工具といった多様な曲面をもつ部品の生産も速やかに進むようになってきている。

大学や高専などの高等教育機関が CAD/CAM の教

育を取り扱う場合、3 次元 CAD を用いた教育は多くの報告（三隅，朝比奈，平野，岡村 2012；入江，2012；長坂，2014）がなされており、NC 加工機を動作させる G コードおよび、その G コードを用いた加工対象の切削加工のためのプログラムである NC プログラミングにまで踏み込んだ教材開発も報告（長坂，2017）されている。しかし、実際に CAM から NC 加工機を用いた加工までを扱う教育の報告は、金型を対象とした人材教育（王，2009）など少数である。CAM による加工プログラム作成は、ソフトウェア上の作業でありながら、実際の NC 加工において短時間で精度良く加工するための順序や方法を考える必要がある。また、工具の折れや材料の熱変形および切削性に関係する送り速度や主軸回転数、工具と加工機の干渉なども考慮する必要がある。これらは、座学による説明や、ソフトウェア上のシミュレーションでは、その理解が限定的となるため、実際に NC 加工機での加工までを体験することが重要と考える。

しかし、設計製図教育の延長線上で 3 次元 CAD 教育を進めてきた教員にとっては、実際の NC 加工までを含んだ教育はハードルが高く、加工を専門とする教員にとっては、3 次元 CAD、CAM といったソフトウェア教育のハードルが高く、CAD/CAM 教育を扱った授業として実際の NC 加工までを取り扱った事例についての報告はほとんどなされていない。

これまでに筆者は、秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科で、企業で即戦力となる人材育成を目指した設計製図教育（高橋、日置、小林、岡部、2006；高橋、小林、岡部、田中、2007；高橋、伊藤、小林、2008；高橋、伊藤、森、小林、2014）に取り組んできた。設計に必要な基礎知識の中で、設計と加工の知識がどのように関連しているのか、実際の加工はどのように行われるのかなどは、製作することができるモノの図面やモデルを考える上でもとても重要である。本報告では、設計により形が決まった部品をどのようにして実際の形にするかに主眼を置き、実際の NC 加工までの流れを取り入れた CAD/CAM 教育の内容の構築、および授業として実践した結果およびその効果について述べる。

### 授業内容および使用設備

本学の講義形態は、半年を一セメスタ（講義回数 15 回）とするセメスタ制となっている。CAD/CAM の講義は、3 年生の後半セメスタに開講される選択科目であり、担当する教員は 1 名で、毎年受講者数は 20 名前後となっている。この CAD/CAM の講義に先立つ設計製図教育として、2 年生の後半セメスタの必修科目である設計製図Ⅰ、3 年生の前半セメスタの必修科目である設計製図Ⅱを行っている。設計製図Ⅰでは、ドラフターによる手書きの設計製図、設計製図Ⅱでは、3 次元 CAD ソフトウェアである Solidworks<sup>®</sup>による機械設計およびモデリングを実施している。したがって、CAD/CAM の講義の段階では、機械製図のルール、3 次元 CAD の操作は十分に理解が進んでいる。

CAD/CAM 講義において NC 加工までの流れを取り入れるべく構築した講義内容を表 1 に示す。前半の講義では自動車関連メーカーや航空機関連メーカーで

表 1 CAD/CAM の授業計画

授業回数	内容
1	イントロダクション
2	CAD の機能
3-5	CATIA <sup>®</sup> V5 を用いたモデリング
6	NC 加工機の構造
7	NC プログラムの基礎
9-12	Mastercam <sup>®</sup> X7 による CAM モデリング
13-14	NC 加工機を用いた CAM 加工
15	工場見学



図 1 マシニングセンタ（マザック VTC-160A）

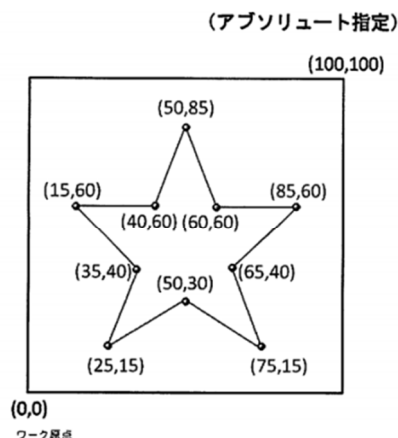
広く用いられている 3 次元 CAD ソフトウェアの CATIA<sup>®</sup> V5 を用いたサーフェスモデリングを扱い、NC 加工機の構造および、NC 加工機を動作させるための G コードを用いた NC プログラミングを挟んで、後半の講義で機械加工関係の会社において広く用いられている CAM ソフトウェアの Mastercam<sup>®</sup> X7 を用いた CAM オペレーション、および NC 加工機を用いた実際の加工を行っている。また、便宜上 15 回目としている工場見学では、CAM ソフトウェアの操作の習得が進んだ 12 回目以降の 1 コマを利用して、地元企業である（株）三栄機械や秋田精工（株）とスケジュールを調整し、授業時間内で製造現場の見学をおこなっている。講義で使用するソフトウェアのライセンス数は、CATIA<sup>®</sup> V5 が 27 ライセンス、Mastercam<sup>®</sup> X7 が 30 ライセンスであり、その他に NC コードによるツールパスの確認が行える編集長も使用可能である。なお、Mastercam<sup>®</sup> X7 で使用できる機能は、本学の加工設備であるマシニングセンタに合わせて 3 軸までの加工となっており、また、

そのマシニングセンタに合わせた NC プログラムを生成するためのポスト機能も導入している。

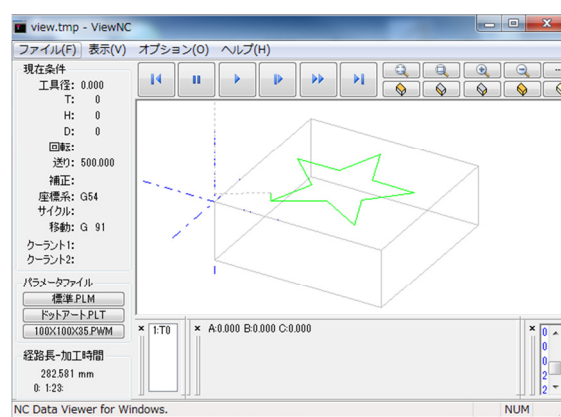
図 1 に NC 加工に用いるマシニングセンタであるマザック VTC-160A の外観を示す。VTC-160A は、主軸最高回転数が  $10000 \text{ min}^{-1}$ 、主軸の可動範囲が X 軸：560 mm、Y 軸：410 mm、Z 軸：510 mm の 3 軸加工機である。また ATC（自動工具交換装置）を備えており、最大で 24 本の工具をマガジンに収納可能である。この VTC-160A の標準のインターフェースはフロッピーディスクであるため、CAM で生成した大容量の NC プログラムでの運転を可能にする IC メモリカードによる DNC 運転のオプションを追加している。以降では、NC 加工までを行う講義の中心となる NC プログラムの基礎、CAM ソフトウェアによる NC プログラムの生成および、NC 加工機での実際の加工について述べる。

### CAM の操作方法の習得

Mastercam® X7 の使用に先立ち、NC 加工機械を動作させるための G コードおよび、その G コードで記述される NC プログラミングの基礎的な部分を理解させるため、NC プログラムで記述された移動経路をコンピュータの画面上で確認する機能を備えたソフトウェアである編集長（株式会社ジェービーエム製）を用いて、手入力による NC プログラミングの学習を行っている。初めに基本的な G コードの説明と例題となる NC プログラムの説明を行った後、実際に NC プログラム作成させている。その図形例を図 2 に示す。図 2 (a) に示す座標を基に NC プログラムの作成を行い、その NC プログラムが正しく動作するか、もしくは間違った座標になっていないかは、図 2 (b) に示すように編集長の View モードにおいて視覚的に確認できる。したがって、学生らは、NC コードによる動きの違いを視覚的に確認しながら学習を進められる。また、この編集長では、ヘルプ機能により選んだ G コードの解説や記述のフォーマットも表示される。これも NC プログラミングの理解の助けとなっていると考える。この G コードの理解は、NC プログラムを作成するためだけでなく、NC 加工機の G コードによる操作や、NC 加工機にお



(a) NC プログラムの課題例

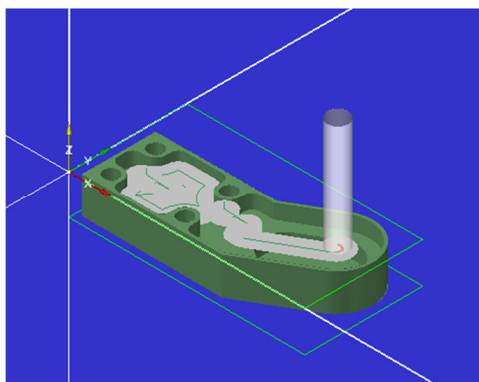


(b) NC プログラムの動作確認

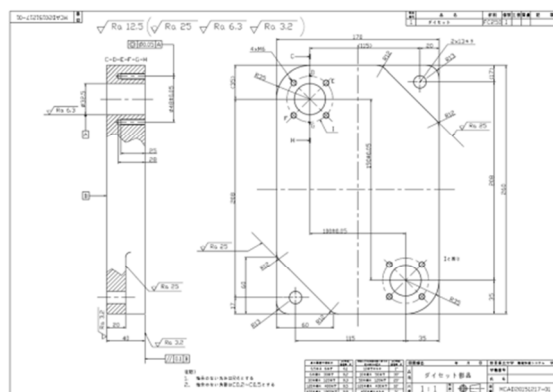
図2 編集長を用いた動作確認

ける NC プログラムの動作確認においても必要な素養である。例えば、CAM ソフトウェアにより生成された NC コードにおいて、ツール番号の変更や加工工程のスキップが必要となった際に CAM ソフトウェアの操作まで手戻りを生じさせる形では効率が悪いため、その場で NC プログラムを修正できる素養が必要とされる。したがって、NC プログラムの作成が CAM ソフトウェアで行われるプロセスが主流となっても、G コードの理解は不可欠であると考え

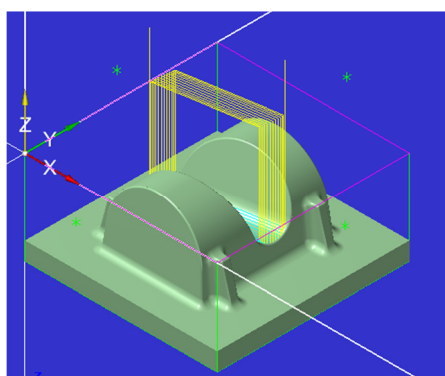
次に Mastercam® X7 を用いた 2 次元加工、3 次元加工の操作方法の習得をおこなっている。操作方法の説明および習得については、操作のポイントをまとめた配布資料と、教員のソフトウェア操作を学生のコンピュータ端末側に設置された教示ディスプレイに転送表示させて、その動きトレースさせる方式の両方を用いて進めている。図 3 に 2 次元加工にお



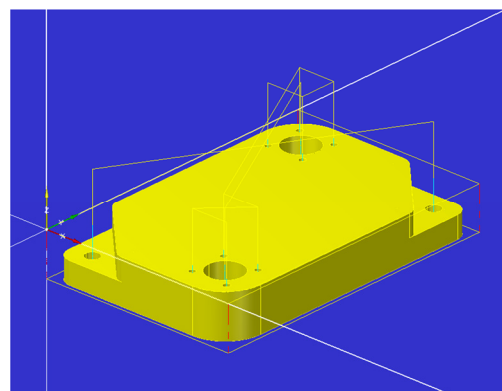
(a) 2 軸加工



(a) 課題図面



(b) 3 軸加工



(b) 加工パスの設定例

図3 Mastercam® X7 を用いたツールパス設定の例

図4 CAM モデリングの課題例

ける切削領域の検証例，および 3 次元加工におけるツールパスの表示例を示す．2 次元加工では，3 次元モデルの輪郭情報や穴位置を抽出して，指定する深さまで切削を行う輪郭加工，ポケット加工，およびドリル加工を行うためのツールパスが作成できる．3 次元加工では，3 次元モデルの表面をドライブ面として，その形状を削り出すためのツールパスが作成できる．

ツールパス作成までの一連の流れは以下のようなになる．まず，3 次元 CAD で作成した 3 次元モデルを読み込み，加工面を上に向けてワーク原点を考慮した位置にモデルを移動する．次にモデルを包括するエリアを加工対象とするストック設定（加工対象となる素材の大きさの設定）を行う．そして加工工程の順番に従って加工ツールの指定，ツールパスの設定などを行う．これらの工程では，図 3 (a) に示すように工具直径により，境界とした輪郭内で除去できる範囲が異なるため，削り残しがどのように生じるのかを確認しながら，加工工程を考えることがで

きる．その後，全ての加工工程の検証を行い，NC コードを生成する．この NC コードについても，編集長に読み込み，View モードにおいて視覚的に確認することができる．

この加工工程の各種設定では，加工に使用するフラットエンドミル，ボールエンドミル，ドリルなどの工具の直径や長さを登録し主軸回転数や送り速度を設定した上で，切削における動き方，切削ピッチ，仕上げ代などを設定する必要がある．実際に加工する場合，被削材や工具直径を考慮して，主軸回転数や送り速度を設定する必要があるが，この時点では，ソフトウェアの操作習得を優先しており，工具に関しては，工具の種類，工具直径，長さの設定にとどめ，主軸回転数や送り速度はソフトウェアのデフォルト値のままとしている．

この講義を受けた結果，資料を確認しながらではあるが，単独で加工工程を考えながら輪郭加工，穴加工などを使い分けて，図 4 に示すような課題形状に対しても CAM モデリングができるようになる．



このように 3 コマ程度の短時間で CAM ソフトウェアに習熟できる点について、CAD/CAM 講義が開講される前のセメスタにおいて必修講義である設計製図Ⅱが開講されており、その中で 3 次元 CAD をかなりの頻度で使用しているため、コンピュータ上での 3 次元形状の取り扱いに習熟している効果が大きいと考えられる。実際に加工まで実施することを考えた場合、1 年生、もしくは 2 年生の時点で、CAM から NC 加工までの流れを実施できれば、ものづくりに対する好奇心を刺激できると考えられる。しかし、ソフトウェア操作の習得に時間がかかり、課題を行う上で機械製図や加工の知識の説明の時間を多く取る必要があるため、講義という限られた時間の中で達成できる範囲が限定的になると予想できる。この点より、機械製図、加工の知識に関する講義が一通り終わっている 3 年生後半セメスタに CAD/CAM の講義を開講することは、実際に NC 加工までを実施する上でも適切であると考えられる。

### 実際の加工のための NC プログラム生成

マシニングセンタで実際に加工するための 3 次元モデルを図 5 に示す。モデルは、Mastercam® X7 の販売元である株式会社ジェービーエムより教材として提供いただいたものである。被削材は、幅 100 mm、長さ 100 mm、高さ 35 mm の A5052 アルミニウム材とした。

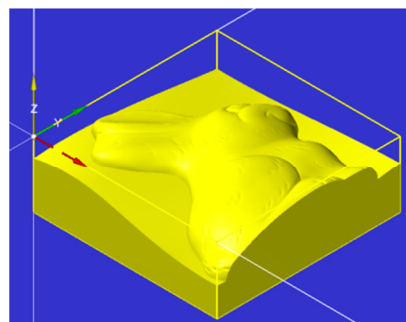
加工工程の各種設定では、ソフトウェア上で登録する工具番号を NC 加工機の ATC（自動工具交換装置）の工具マガジンの工具番号に合わせ、主軸回転数や送り速度も加工を考慮した設定が必要である。通常、主軸回転数は (1) 式で計算される切削速度を基準として与えられる。

$$v = \frac{\pi DN}{1000} \quad (1)$$

ここで、 $v$ ：切削速度 (m/min)、 $D$ ：フラットエンドミルの場合は工具直径 (mm) であり、ボールエンドミルの場合は接触直径 (mm)、 $N$ ：工具の主軸回転数 ( $\text{min}^{-1}$ ) である。また、送り速度は、表面粗さに関係し、例えばボールエンドミルでの理論表面粗さは (2) 式で与えられる。



(a) 平面図



(b) 加工パスの設定例

図 5 実際の加工のための CAM モデリング課題例

$$R_z = \frac{f_z^2}{8r} \times 1000 \quad (2)$$

ここで、 $R_z$ ：理論表面粗さ ( $\mu\text{m}$ )、 $f_z$ ：1 刃当たりの送り (mm/rev)、 $r$ ：コーナ半径 (mm) である。実際はこれらの式を用いて被削材（加工される素材）に適した条件設定を考える必要があるが、CAM の操作経験が少ない段階では、混乱を生じる可能性が高いため、本講義では使用工具メーカーから出されている奨励切削条件（例えば、ミスミ AS コート粉末ハイス鋼スクエアエンドミルによる溝切削）を利用した。その切削条件をもとに (1) 式、(2) 式を用いて、工具直径が大きくなる場合に主軸回転数を下げても切削速度が一定になることや、送り速度から考えられる表面粗さと機械製図における粗さ記号との対応の確認を行い、Mastercam® X7 上での設定値の理解を促している。

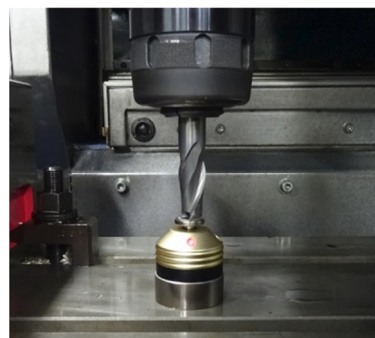
### マシニングセンタを用いた加工実習

Mastercam® X7 を用いた NC プログラムの作成を行った後で、マシニングセンタを用いた実際の加工に入っている。マシニングセンタでは、加工を始め

る前にいくつかの準備が必要である。それらの準備を、体験を交えて理解することも重要と考える。講義では、説明を加えながら実際にマシニングセンタを操作し、加工までの準備を進めている。まず、マシニングセンタを起動し、機械原点の復帰作業を行った後に主軸を動かすための基本操作と手入力による G コードコマンドの実行方法などを説明する。その後、工具の取付けおよび工具長補正を行う。工具長補正は、図 6 (a) に示すように、接触センサを用いて行っている。なお、本講義での加工における工具長補正にはマシニングセンタ内の登録データを利用するため、NC プログラム生成後にエディタ等を用いて工具長補正の G コードを削除している。

次に、被削材の取付けおよび被削材の原点の登録である。被削材はバイスで固定するが、その際、バイスと工具が干渉しないように、また加工面の水平が保たれるように取付け位置に注意する必要がある。被削材原点の設定には、図 6 (b) に示すようにダイヤルピックゲージを用いている。まず、ダイヤルピックゲージで被削材の水平を確認する。その後、X 軸と Y 軸の原点を求める。その方法は、以下のようになる。まず、X 軸を動かして被削材の対向する両側面にダイヤルピックゲージを接触させて、それぞれの座標を求める。次に、その座標を基に被削材の中心座標を計算する。そこから被削材の X 軸に沿った寸法の半分の長さだけマイナス側にオフセットして被削材の X 軸の原点を決める。Y 軸についても同様の手順である。このダイヤルピックゲージを用いた考え方は、説明でも実際の操作でも、理解が難しいようで、学生が最も苦勞するポイントとなっている。被削材原点の Z 軸の原点の設定は、工具長補正にも用いた接触センサを被削材の上に置き実施している。以上より、加工前の準備が完了する。

マシニングセンタで NC プログラムを動かす際は、PC カードを用いた DNC 運転で行っている。また、加工に用いる NC プログラムは、教員側で準備したものである。図 7 にマシニングセンタで切削加工した形状を示す。図 5 に示した 3 次元モデル通りの形状に加工できていることが分かる。しかし、図 7 (b) に示すように、周囲のバリ、加工痕などの問題が確認できる。これらは NC シミュレーションでは確認できない部分であり、実際に加工したから見えてく



(a) 工具長補正の設定

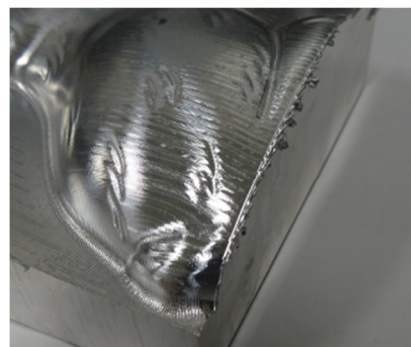


(b) ワーク原点の設定

図 6 マシニングセンタにおける加工準備



(a) 加工したサンプルの概観



(b) 加工時生じたバリ

図 7 マシニングセンタによるサンプル加工

るものである。このような経験も実際に加工までを行う利点と考える。

この幅 100 mm, 長さ 100 mm, 高さ 35 mm の A5052 アルミニウム材を被削材とした場合の加工は, 加工開始から 2 時間程度を要した。使用したツールは, フェイスミル,  $\phi 16$  フラットエンドミル,  $\phi 10$  ボールエンドミル,  $\phi 4$  ボールエンドミルの 4 種類であり, 加工工程は 6 工程であった。マシニングセンタの操作説明および加工前の準備を完了するのに 1 時間程度を要するため, このサイズの被削材では授業内に加工結果を確認することが困難であった。

### CAD/CAM システムを含む製造現場の見学

CAD/CAM 講義の一環として, 地元企業である(株)三栄機械や秋田精工(株)におもむき, 製造現場を見学させていただいている。ここでは, (株)三栄機械の工場見学の様子を紹介する。(株)三栄機械は, 部品加工や機械装置の設計製作からプラント工事まで行っている由利本荘市に本社を置く会社で, 秋田県立大学の本荘キャンパスからは, 車で 3 分程度の距離にあるため, 講義の時間内での移動と見学が可能である。図 8 に工場見学の様子の一部を示す。工場見学では, 初めに会社概要および製造している部品についての説明を受けたのち, CATIA® V5 を使用したモデル作成や図面検討などの作業を行っている設計部門, CAD データをもとに Mastercam® X7 を用いて NC プログラムを作成している CAM 部門, 門型 5 軸加工機で NC 加工を行っている加工部門, 3 次元測定器を用いて加工品質をチェックしている品質管理部門で, 各担当者から説明をおこなってもらった。学生にとっては, CAD を用いたモデル作成, CAM を用いた NC プログラムの作成などは, CAD/CAM の講義の中でも扱っているものの, 実際の製造現場でどのように CAD や CAM が使われているかを見る機会はほとんどないため, 貴重な体験となっている。特に図 8 (b) に示す門型の 5 軸 NC 加工機のような大型の装置については, その存在も知らない学生がほとんどであり, とても興味深く説明を聞いている。このような工場見学の機会を持つことは, CAD/CAM の講義で扱っている内容が, どのよ



(a) 全体説明



(b) 門型 5 軸加工機

図 8 地元企業の工場見学の様子

### CAD/CAM 教育内容の効果とその改善

うにもものづくりに活かされているのかを理解する上で, とても有効であると考ええる。

CAM ソフトウェアの導入およびマシニングセンタとのインターフェースの整備を進め, それらの使用を前提とした CAD/CAM の講義内容を構築し, 講義を進めた。その結果, 卒業研究において必要な部品を学生自身が 3 次元 CAD でモデリングし, Mastercam® X7 により NC プログラミングを生成し, マシニングセンタで加工して作製する事例が出てきている。その加工例を図 9 に示す。この例は, S45C の円盤から加工された形状であり, 内面の段加工に加えてボルト止めに用いる穴加工が施されている。この際のマシニングセンタの操作および, ワークの固定については, 安全面への配慮もあり技術職員のサポートを必要としているが, Mastercam® X7 による NC プログラミングについては, 講義資料をベースに独自に行えるまでになっていることがわかる。以上より, 実際の CAD—CAM—加工という流れを学ぶ上で, 本講義が有用であると考えられる。

また, 講義においてマシニングセンタで加工を行った際, 加工時間が 2 時間となり時間内に加工結果

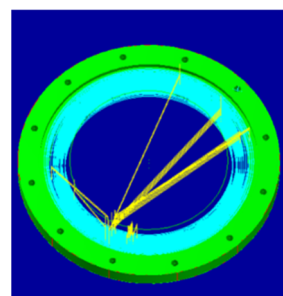


を確認できなかった。授業時間内に加工を完了させ、その結果の確認のまで行える事が望ましく、その点を改善すべく被削材のサイズおよび加工条件の検討を行った。その結果、被削材を幅 70 mm、長さ 70 mm、高さ 35 mm の A2024 アルミニウム材とし、仕上げ加工における切削ピッチを 0.2 mm から 2 mm に変更することで、加工時間を 30 分に短縮できた。これにより、今後の講義では講義の時間内で、加工結果の確認までを行え、CAD－CAM－加工という流れ理解を深められると考える。

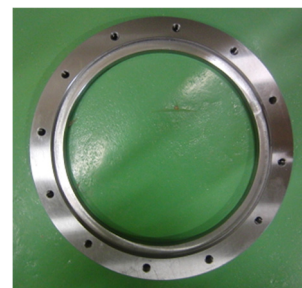
### おわりに

秋田県立大学において、実際の NC 加工までの流れを取り入れた CAD/CAM 教育の内容を構築し、授業において実践した結果について述べた。以下にその成果をまとめる。

- 1) CAM ソフトウェアの導入、既存の NC 加工機との連携面の整備、さらには授業内容への落とし込みを行い、授業内で実際に CAM での NC プログラミングからのマシニングセンタによる加工までを取り扱えるようになった。
- 2) 3 次元 CAD による 3 次元データの扱いがある程度身につけている段階で CAD/CAM の講義を行うことにより、ソフトウェア操作の習得が容易になり、実際に NC 加工までを実施する上で必要な図面や加工の知識にまでその理解を広げられる。
- 3) マシニングセンタで NC プログラムを動かし、実際に加工することで、加工後の周囲のバリ、加工痕などの問題が確認できた。これらは NC シミュレーションでは確認できない部分であり、実際に加工したから見てくるものである。
- 4) CAD/CAM の授業がある程度進んだ段階で、実際の CAD/CAM システムを使用している製造現場を見学するにより、CAD/CAM の講義で扱っている内容が、どのようにものづくりに活かされているのかの理解につながる。
- 5) CAD/CAM の講義を受けた学生が、卒業研究で必要な部品を 3 次元 CAD でモデリングして Mastercam<sup>®</sup> X7 により NC プログラミングを生成し、実際にマシニングセンタで加工する事例も出てきて



(a) CAM モデル



(b) マシニングセンタでの加工結果

図9 CAM を用いて卒業研究に使う部品を加工した事例

おり、その教育効果が徐々に表れてきている。

今後は、地元企業で必要とされる内容を充実させるとともに、加工工程設計や精度の良い加工のための加工条件といった部分を加えていきたいと考える。また、本年度（2017 年度）に、Mastercam<sup>®</sup> X7 の 5 軸加工のライセンスを追加導入した。したがって、教育内容に 5 軸加工のための CAM 教育の内容を反映させる点も今後の課題となる。

### 文献

- 青山英樹 (2015). 「3D-CAD/CAM の現状と方向性」『精密工学会誌』 81 (3) 206-210.
- 入江司 (2012). 「設計製図教育における自学自習のための教材の開発」『設計工学』 47 (10) 455-459.
- 三隅雅彦, 朝比奈奎一, 平野利幸, 岡村大 (2012). 「3 次元 CAD を利用した創造設計教育」『設計工学』 47 (10) 435-439.
- 長坂保美 (2014). 「教育用 CAD/CAM 教材の開発 (第 3 報 3 次元 CAD 基本操作を効率的に学習する教材の検討)」『設計工学』 49 (1) 36-43.
- 長坂保美 (2017). 「教育用 CAD/CAM 教材の開発



(第4報, NC プログラム教材の開発)』『設計工学』52 (5) 321-330.

王 志剛 (2009). 「岐阜大学における金型人材教育の最前線」『精密工学会誌』75 (5) 583-586.

高橋武彦, 日置進, 小林淳一, 岡部健一, 田中伸司 (2006). 「CAD/CAE にいたる一連の流れを組み入れた設計教育」『日本設計工学会 平成 18 年度秋季研究発表講演会 講演論文集』93-96.

高橋武彦, 小林淳一, 岡部健一, 田中伸司 (2007). 「CAD/CAE を用いたモノづくりプロセスのための CAD 教育」『2007 年度 精密工学会東北支部学術講演会 講演論文集』31-32.

高橋武彦, 伊藤一志, 小林淳一 (2008). 「3 次元 CAD を活用した発想を具体化する機械設計教育の試み」『日本設計工学会東北支部 平成 20 年度研究発表講演会 講演論文集』37-38.

高橋武彦, 伊藤一志, 森英明, 小林淳一 (2014). 「創造性を高めるための設計製図教育の取り組み」『日本設計工学会 平成 25 年度秋季研究発表講演会 講演論文集』13-14.

例えばミスミ「AS コート粉末ハイス鋼スクエアエンドミルによる溝切削」

<http://jp.misumi-ec.com/maker/misumi/fs/tech/44>.

〔 平成 29 年 11 月 30 日受付  
平成 29 年 12 月 14 日受理 〕

## Instruction of Computer Aided Design and Manufacturing Teaching Contents

---

Takehiko Takahashi<sup>1</sup>, Mitsuyoshi Nomura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Department of Machine Intelligence and Systems Engineering, Faculty of System, Science and Technology, Akita Prefectural University*

Machine design education teaches students how to define machine elements and structures that accurately implement specifications. In addition, machining includes procedures for the process, tool selection, processing conditions, surface roughness, and so on—all of which should be understood for students to learn how to generate ideas for feasible drawings and models, as a background in machine design. Therefore, practical contents of CAD/CAM instruction were formulated to teach and provide an experience of the process from CAD/CAM operation to the actual NC machining process in creating a real work piece. This CAD/CAM instruction has mainly consisted of practical training in 3D-CAD modeling, a fundamental NC program, practical training in CAM operation, and NC machining. A factory tour was established to confirm actual, practical usage of CAD/CAM. Thus, this paper outlines practical contents of CAD/CAM instruction and its educational effect.

**Keywords:** CAD/CAD education, CAD/CAM, CAM modeling, NC machining, machining center