

5 軸制御マシニングセンタの技術習得

○野田匠利^{A)}

A) 教育・研究技術支援室 装置開発技術系

概要

5 軸制御マシニングセンタの活用技術を習得すべく、外部機関（北海道職業能力開発大学校）にて、5 軸加工機による加工技術に関するセミナーを受講した。その結果、5 軸加工の特徴・長所、5 軸加工と 3 軸加工との仕上りの差異、5 軸 CAM の操作技術、加工物の評価法、必要な設備・工具類など、今後活用していく上での参考となる有用なノウハウ・情報を多数、得ることが出来た。

本発表では、5 軸加工機に関するセミナーについての内容・成果について報告する。

1 背景・目的

平成 25 年度に本装置開発室に新規に導入された 5 軸制御マシニングセンタ（5 軸加工機、Mazak VARIAXIS j-500/5X、図 1）は、従来の 3 軸（直交座標系の X 軸・Y 軸・Z 軸）制御マシニングセンタに 2 軸の回転軸（本機では A 軸（X 軸の回転軸）・C 軸（Z 軸の回転軸））の制御が加わった加工機であり、複雑な曲面のような創造性に富む形状の加工を可能とする能力を有しており、宇宙開発分野をはじめとする教育・研究における活用が期待されている。しかしながら、技術職員の世代交代や配置換えが重なったことで、マシニングセンタに関する技術の円滑な継承が難しい状態にあり、また、稼働率、理学部をはじめとする本学構成員への認知度ともに十分とはいえないのが現状である。



図 1. 本装置開発室の 5 軸制御マシニングセンタ(Mazak VARIAXIS j-500/5X)

本研修の時点で、私は 2 件の 5 軸加工機を用いた業務依頼製作に取り組んだが、学生時代にマシニングセンタに関する実習の受講経験はあったものの、同時 5 軸加工や CAM(Computer Aided Manufacturing)に関する業務・研修の経験がこれまでに無かったため、5 軸加工機の特徴を活かした加工にいち早く取り組むには、何らかの研修の受講が必要不可欠であるとの結論に至った。

5 軸加工機に関する研修・セミナーを調査したところ、北海道職業能力開発大学校において実施される、実務者を対象とした職業能力開発セミナーの中で、本装置開発室と形式の近い立型の 5 軸加工機による、5

軸加工の基礎に関するセミナーがあり、本装置開発室の実情に合致した 5 軸加工機の活用技術を習得する上で期待できる内容であったことから今回、本セミナーを受講した。

2 研修について

本研修では、5 軸加工の特徴的な加工の一例としての割り出し加工、3 軸加工と 5 軸加工の比較加工についてそれぞれ、CAM ソフトの操作から実加工、仕上がりの評価までの一連の工程を実施した。

2.1 概要

- 期間：平成 27 年 7 月 29 日（水）～7 月 31 日（金） 計 3 日間
- 会場：北海道職業能力開発大学校（北海道ポリテクカレッジ、北海道小樽市）
- 受講コース：5 軸制御マシニングセンタによる加工技術
- 使用 5 軸制御マシニングセンタ：森精機 NMV5000 DCG（図 2）
- 使用 CAM ソフトウェア：hyperMILL（OPEN MIND 社）
- 切削液：水溶性・エマルジョンタイプ
- 被削材（工作物材質）：アルミニウム合金(A6063)



図 2. 使用 5 軸制御マシニングセンタ（森精機 NMV5000 DCG）

2.2 日程

- 1 日目
 - 座学（5 軸加工の特徴・長所、加工条件の設定について）
 - CAM ソフトによる加工プログラム作成
- 2 日目
 - 加工実習（割り出し加工）
 - 3 軸加工と 5 軸加工の比較加工実習（平面）
- 3 日目
 - 3 軸加工と 5 軸加工の比較加工実習（球状ポケット、コア形状）

2.3 座学での習得内容（5 軸加工の特徴・加工条件）

5 軸加工の長所として、

- 任意の角度に割り出しが可能であり、ワンチャックで多面加工が容易に可能

- 工具突き出し長さの低減による加工条件の向上
- ボールエンドミルによる曲面加工の条件最適化が挙げられる。

割り出し（工作物を任意の角度に傾斜・回転）が必要な加工において、従来は割り出し台や回転テーブルの使用、ジグの製作、段取り替え等の手間が必要であったが、5軸加工では、テーブルや主軸を任意の角度へ傾斜出来るだけでなく、CAM等で加工プログラム上での加工原点・座標系・平面の移動や回転が容易に可能であるため、ジグ製作や段取り替えの手間が大幅に省けるだけでなく、手動の割り出し台や回転テーブル使用時のような煩雑な計算を必要としない。

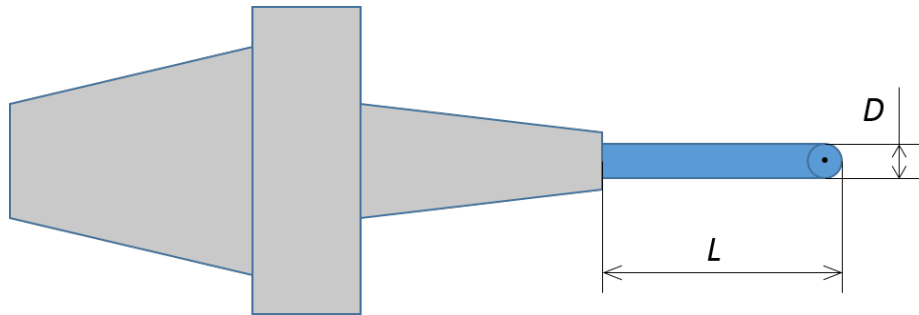


図3. 工具突き出し長さ/工具径比(L/D)¹⁾

エンドミル加工において、工具の突き出し長さが大きくなると、工具の振動や振れ、たわみなどが増大することから、回転数、送り速度、切込み量等の切削条件を落とさなければならなくなる。定量的な指標として、工具突き出し長さ/工具径の比で定義される L/D（図3¹⁾）と呼ばれるパラメータが5を超えると加工条件を落とす必要があり、8を超えると加工が困難となる。そのため、高能率で高品質な加工を行うには、工具の突き出し長さを最小限にすることが必要である。

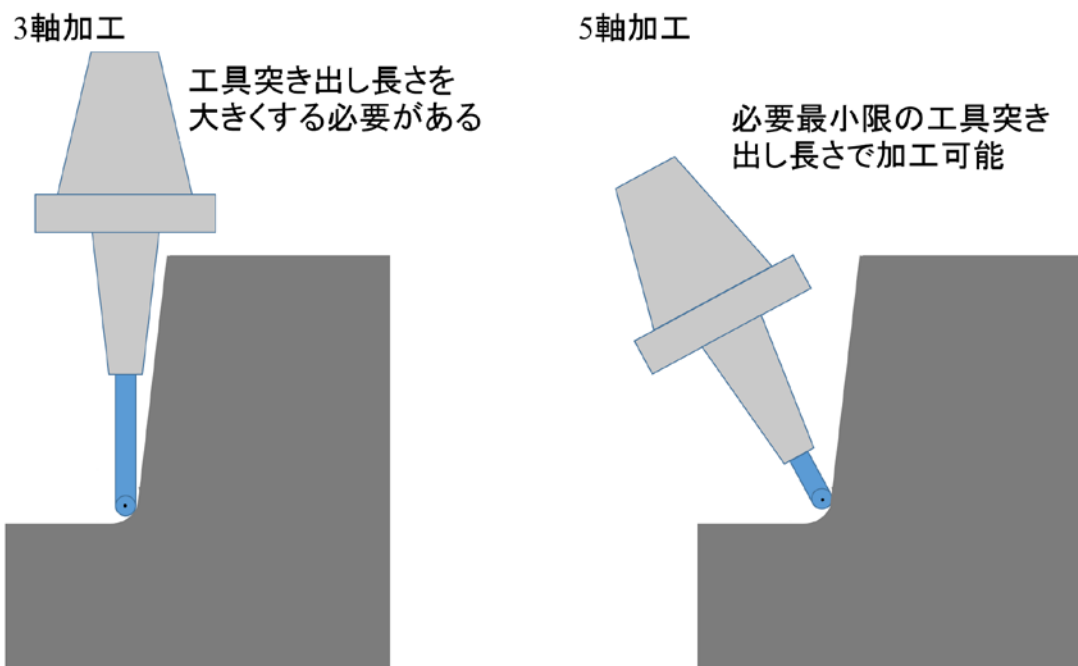


図4. 5軸加工の長所（工具突き出し長さの低減）¹⁾

5軸加工では、図4¹⁾に示すように、従来の3軸加工では工具の突き出し長さが非常に大きくなる、あるいは形彫放電による加工が必要となるような深堀加工を、回転軸制御による主軸あるいはテーブルの傾斜を導入することで、短い工具突き出し長さで行うことが可能となる。

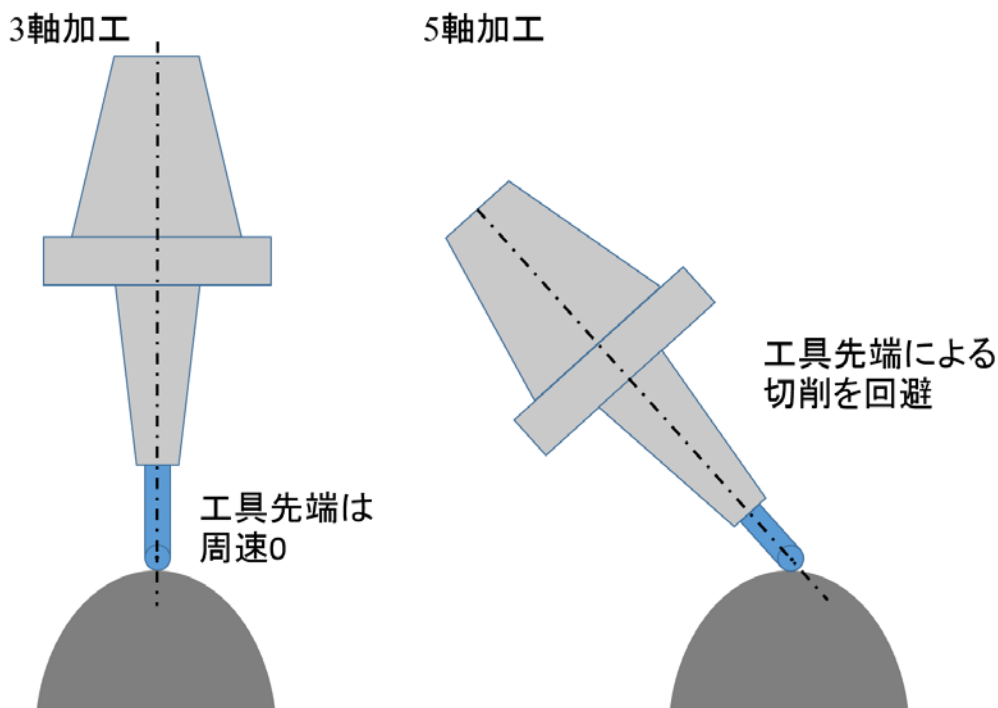


図 5. 5 軸加工の長所（ボールエンドミル先端での切削の回避）¹⁾

また、図 5 示すように、ボールエンドミルでの曲面加工において、主軸が X-Y 平面に対して常に直立している 3 軸加工では、切れ味などの切削性が悪いボールエンドミル先端での加工が避けられない、周速が 0 の箇所が発生するが、5 軸加工では、加工面に対して主軸を相対的に傾斜させることで、ボールエンドミル先端での加工を回避し、良好な切削を行うことが可能である¹⁾。

2.4 CAM ソフトによる加工プログラム作成

5 軸機能を活かした加工は、プログラムの記述量が膨大なものになるため、G コードで直接記述していく従来の NC プログラム作成手法では著しく困難である。また、NC 装置に装備されている対話式プログラミングは、単純形状の容易なプログラミングに特化しているため、簡単な割り出し・斜面加工を含む加工プログラムは作成可能であるものの、同時 5 軸機能を最大限に活かした複雑な曲面を有する形状はプログラミングすることができない。そのため、5 軸加工を実施するには、3D モデルの加工シミュレーションを行い、その結果を NC プログラムへ変換する CAM ソフトの操作技術の習得が必須である。

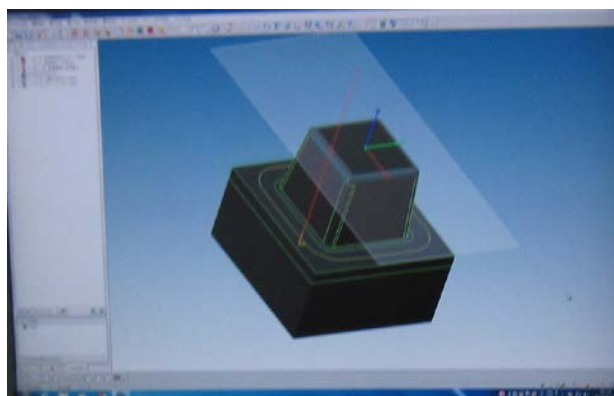


図 6. CAM ソフトによる加工プログラム作成

本研修では、CAM ソフトとして、OPEN MIND 社の hyperMILL を使用した。本ソフトは、従来の 3 軸加工とほとんど変わらない操作性で 5 軸加工の加工シミュレーション・加工プログラム作成が可能という特徴を有する。これまでの業務では本装置開発室の 5 軸加工機に搭載されている対話式プログラミング(Mazak MAZATROL)により加工プログラムを作成していたが、それと比較すると、CAM ソフト上での加工プログラム作成は、3D-CAD におけるモデリングと同様の操作感覚で、加工領域や工具経路など、より視覚的にわかり易い形できめ細やかな加工条件の設定が可能(図 6)であり、3D-CAD 操作と G コード・対話式プログラミング双方において十分なスキルと経験があれば、CAM 技術の修得も円滑に可能であると思われる。

2.5 加工実習（割り出し加工）

5 軸機能を活かした加工の一例として、割り出し加工（テーブルを任意の角度に傾斜させた後に、従来と同様の直交 3 軸制御により加工。加工中は、回転軸は停止）の実習を行った。工作物の形状と寸法を図 7¹⁾ に示す。

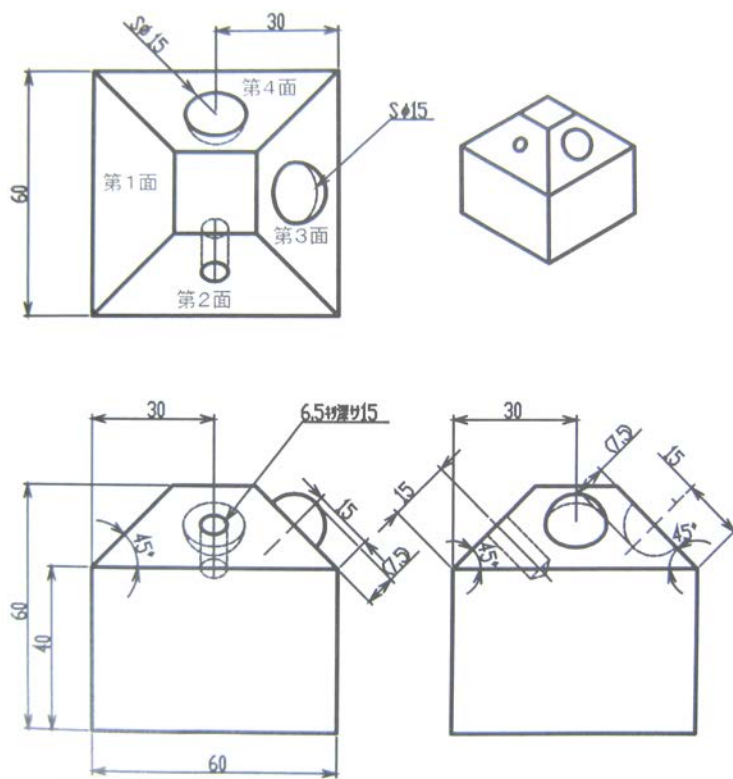


図 7. 割り出し加工実習の工作物の形状と寸法¹⁾

それぞれの面は、B 軸を 45° 傾けた状態で、C 軸を 90° ずつ回転させて加工を進めた。第 1 面では平面、第 2 面ではドリルによるキリ穴、第 3 面では球状ボス形状、第 4 面では球状ポケット形状を加工した。

実際の加工に当たって、図 8 に示す工具測定機により工具径および工具長を測定した。この工具測定機では、複数枚の刃を有する工具において、最大の工具長あるいは工具径を手早く測定し、その結果を工作機械に入力して工具サイズを補正することが可能となるため、導入することによって、多数の工具が必要な加工において、高精度と能率化の両立の推進が期待される。

割り出し加工実習後の工作物を図 9 に示す。5 軸加工機では、このような傾斜面を有する多面加工を、きわめて容易に行うことが可能である。

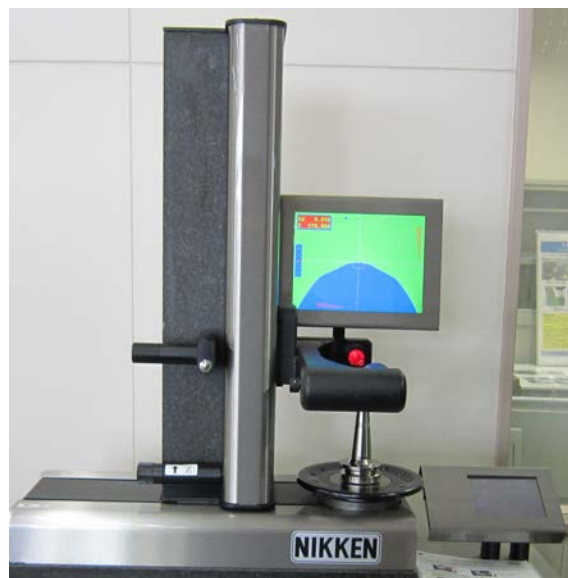


図 8. 工具測定機（NIKKEN 製）

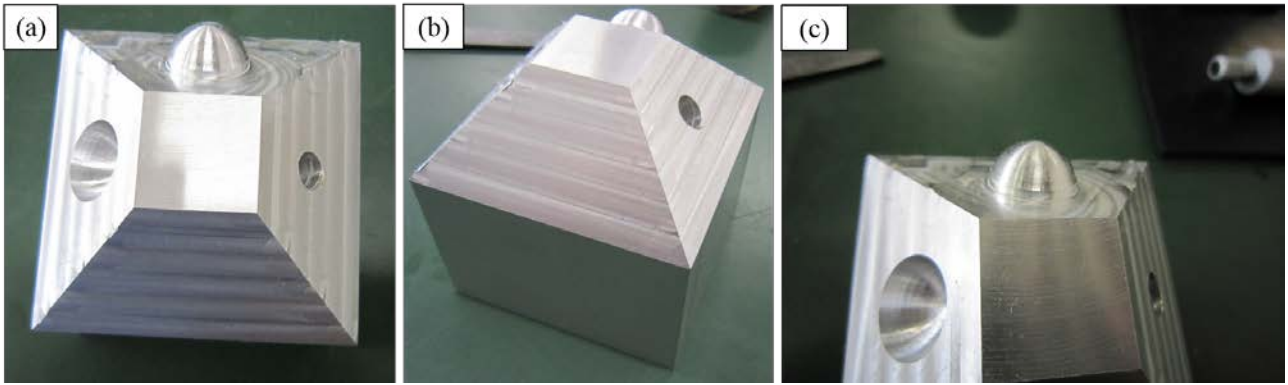


図 9. 割り出し加工実習による工作物

(a)全体図、(b)平面・ドリル穴拡大図、(c)球状コア・球状ポケット拡大図

2.6 3軸加工と5軸加工の比較加工実習

従来の3軸加工と5軸加工の比較として、平面、球状ポケット、コア形状の3種類の加工実習とその評価を行った。

3軸加工、5軸加工それぞれについて、ボールエンドミルによる平面加工(図10¹⁾のように、送り方向に加工、ピック方向にシフトを繰り返す)を実施した結果(切削面及びピック方向形状測定)を図11に示す。なお、加工条件は以下の通りである。

- Z切込み量：0.1 mm
- 使用工具：φ6 ボールエンドミル、超硬合金製
- 切削速度：100 m/min
- 送り速度：0.1 mm/刃
- 5軸加工時主軸傾斜角：15~30°

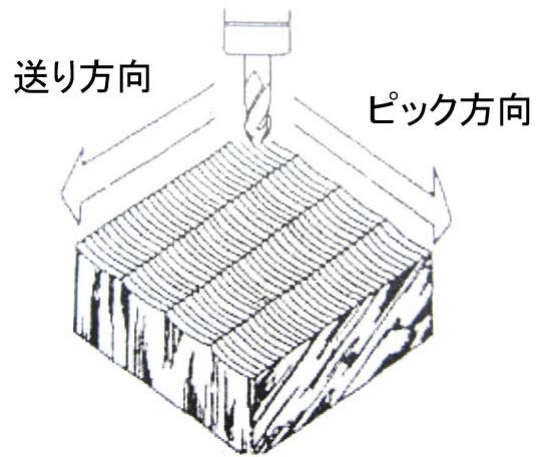


図 10. ボールエンドミルによる平面加工¹⁾

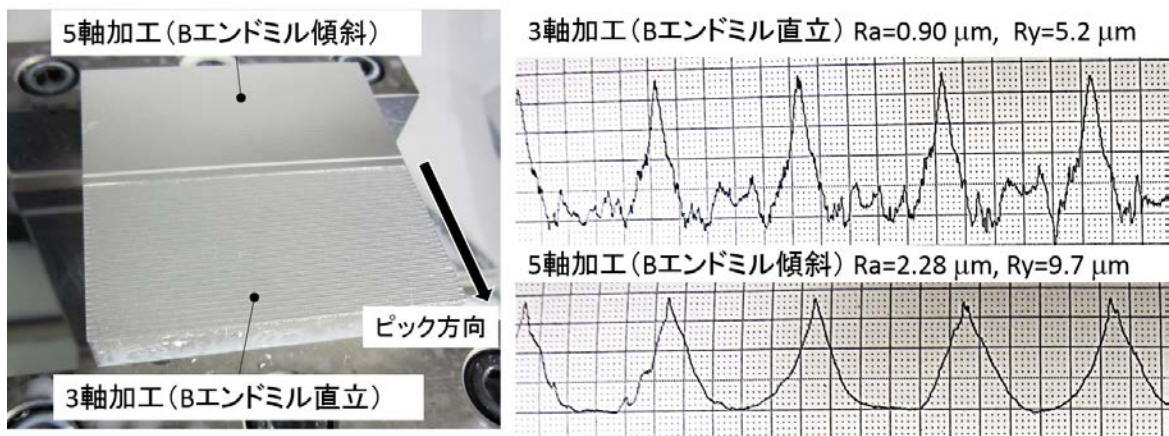


図 11. 5軸加工と3軸加工の比較(平面加工)

表面粗さの数値自体は3軸加工の方が優れた値であるのは、3軸加工における切削面では、ボールエンドミル先端の周速が0であることから、擦れるように接触したためだと思われ、理論曲線とは異なる底部の荒れが確認できる一方で、5軸加工では切削理論における断面曲線に近い形状を得た。また、3軸加工と比較して、5軸加工では、光沢のある、美しい切削面を得ることが出来た。

また、5軸加工ならではの特色のある加工として、ヒール加工と呼ばれる、ラジラスエンドミル（コーナー部にRを有するエンドミル）のコーナーR部を利用した加工法についても同様に試験を行った。ヒール加工による平面加工後の切削面を図12に示す。加工条件は以下の通りである。

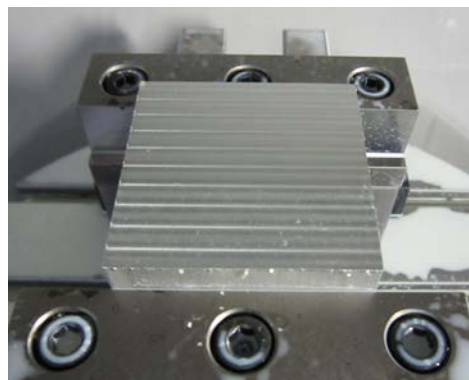


図 12. ヒール加工による平面加工切削面

- Z切込み量：0.1 mm
- 使用工具：φ8 ラジラスエンドミル、コーナーR2
- 工具材種：ハイス
- 切削速度：100 m/min
- 送り速度：0.1 mm/刃
- 5軸加工時主軸傾斜角：～15°

ヒール加工では、ピック方向のピッチを大きく取れるため短時間で加工が終了し、かつ光沢が美しく、滑らかな触感を有する切削面を得ることが出来た。

球状ポケット（お椀状の穴）の比較加工において、3軸加工ではボールエンドミルをテーブル面に対し直立したまま、5軸加工では同時5軸制御（直交3軸と回転2軸を同時に動かして制御）により加工を実施した。工作物の形状と寸法及び5軸加工後の工作物切削面を図13に示す。加工条件は以下の通りである。

- 仕上げ切込み量：0.3 mm
- 使用工具：φ8 ボールエンドミル、超硬合金製
- 切削速度：100 m/min
- 送り速度：0.1 mm/刃
- 5軸加工時主軸傾斜角：～15°

球状ポケット加工においても、3軸加工が傷が目立つ切削面であったのに対し、5軸加工では傷が少なく、また平面加工と同様に光沢が美しく、滑らかな触感を有する切削面を得ることが出来た。

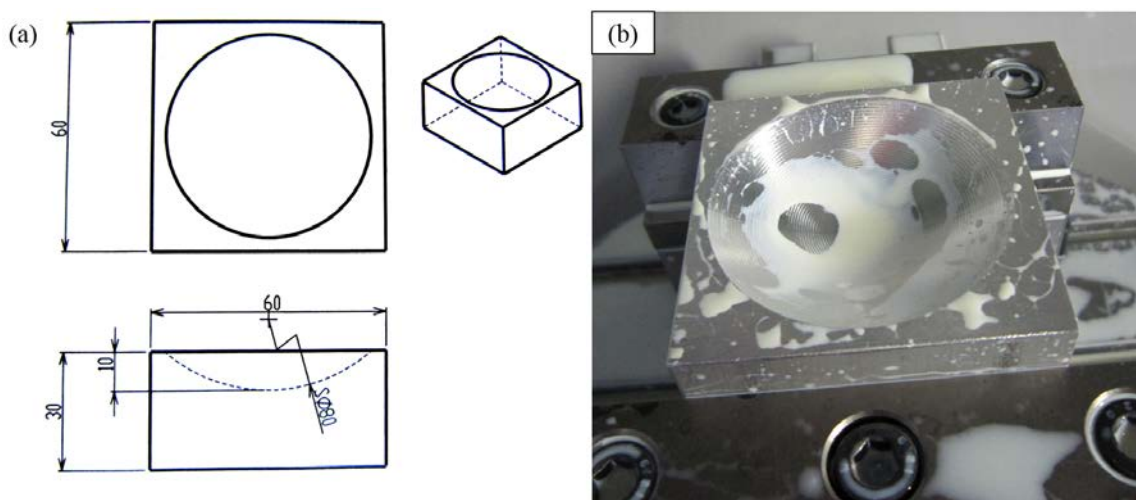


図 13. 球状ポケット加工 (a) 形状と寸法¹⁾ (b) 切削面（ボールエンドミル、5軸加工）

以上の結果から、ボールエンドミルを用いた曲面加工において、周速度が遅く切れ味の悪い先端付近での切削を避けることが出来、光沢が美しく、滑らかな触感を有する切削面を得やすい5軸加工は、きわめて有用であることが期待される。

コア形状に関しては研修時間の関係上、3軸加工と5軸機能を活かした加工との比較が出来なかったが、スワープ加工と呼ばれる、傾斜した側面に沿って主軸を傾ける加工が可能であることを確認した（図14¹⁾）。

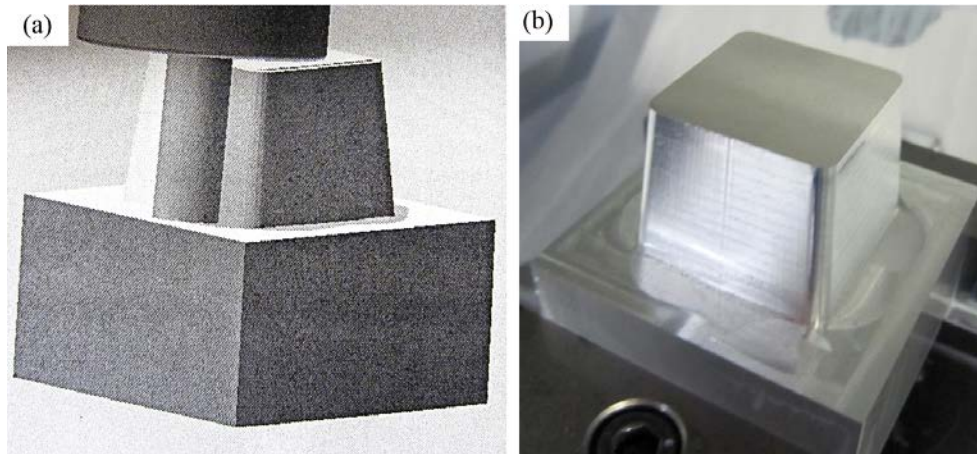


図 14. コア形状加工

(a)スワーフ加工のイメージ¹⁾ (b)スワーフ加工後のコア形状斜面（エンドミル、5軸加工）

3 まとめ

今回の研修では、5軸加工機による切削加工の一連の工程として、CAMソフトによる加工プログラム作成・加工条件の設定、実加工と製作物の評価までを実際に体験し、5軸加工の基礎を身につけることが出来た。

本研修を通して、

- 従来の直交3軸加工では頻繁な工具の入れ替えが必要な加工
- 従来の汎用工作機械・マシニングセンタでは手間を要する多面加工
- 光沢が美しく、滑らかな触感を有する切削面が必要な曲面加工

については、5軸加工機の活用により、従来よりも容易に加工が可能となることが期待される。

一方、ターボ機械のインペラなどに代表される複雑な三次元曲面を有する製作物については、これまで実績が少なかったが、現状で可能な技術からノウハウを積み重ねていくことで、将来的には挑戦したいと考えている。

今後は、実際の業務依頼における5軸加工機による製作に加えて、本装置開発室の設備での今回の研修と類似した加工試験の実施及び評価、利用者拡大のための環境・マニュアル整備、本装置開発室及び本学構成員に対する5軸加工機使用法に関する研修の題材としても本研修の成果を活用したい。

4 謝辞

本研修は、理学部平成27年度技術研修経費により受講したものである。採択をして頂いた理学部技術連絡委員会の皆様に、深く御礼申し上げます。

また、本研修の受講に当たって、ご理解とご協力をして頂きました教育・研究技術支援室 装置開発技術系の皆様、本研修において指導をして頂きました北海道職業能力開発大学の講師の皆様に、心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 北海道職業能力開発大学校：5軸制御マシニングセンタ加工技術，北海道職業能力開発大学校 能力開発セミナーテキスト，平成27年7月