

機械加工シミュレーションを用いた多軸加工教育の展開

岡本 邦夫*, 矢口 久雄**, 浅見 博*, 須永 修司*, 金子 忠夫**

(2019年1月7日受理)

1. はじめに

現在のモノづくり現場では、人手不足や長時間労働などの問題を背景に、同一製品を短時間で安定的に加工できる自動加工機能を有する NC 工作機械を用いた機械加工が大きな役割を担っている。これに加えて、今日の NC 工作機械の技術進歩にともなって複雑形状の加工需要も増えており、作業効率向上の観点から、より多くの制御軸を有する多軸加工機を導入し、一度の材料把持で複数加工を可能とするなどの時間短縮が現場レベルでも進んでおり、現場の技術者には多軸加工を含めた高度な NC 加工に対応したスキルが求められている。

上記の現状を踏まえて、群馬高専の実習工場には、多軸加工が可能な設備として、旋盤とフライス盤の機能を有し、図 1 に示す X, Y, Z, C 軸の 4 軸方向に同時に軸移動が可能な複合加工機（ヤマザキマザック INTEGREGX j-200）と、図 2 に示す X, Y, Z, A, C 軸の 5 軸方向に同時に軸移動が可能なマシニングセンタ（ヤマザキマザック VARIAXIS500-5X II）が導入されている¹⁾。しかし、当然ながら、設備導入で即座に多軸加工の実習が可能となるほど単純な話ではない。実際、群馬高専の NC 工作に関する学習は、機械工学科 2～3 年生の実習で、X, Y, Z 軸方向に移動して機械加工する 3 軸加工までは実施しているが、多軸加工を実施するには至っていない。

コンピュータ制御の NC 工作であっても、まずは作業者が自らハンドルを操作して軸移動を行う汎用機を用いて、機械動作の基礎を学び、機械加工における工作の“発想”を身につけなければならない。手作業でモノを削る感覚を修得することで、加工条件を適切に設定することが可能となる。また、多軸加工で複雑な形状を扱う際、加工プログラムを 1 行 1 行作成することは現実的ではないため、CAM ソフト（本校では Mastercam）を扱うスキルも必要である。さらに、加工に必要な図面を作成する設計・製図においては 3D-CAD（本校では Solidworks）のスキルも求められる。以上のように、多軸加工には多くの準備が必要となるが、幸いにして、本校の機械工学科 1～3 年生の実習において、これらの基礎を学ぶことができるため、多軸加工に進むには“あと一歩”のところまではきていると言える。

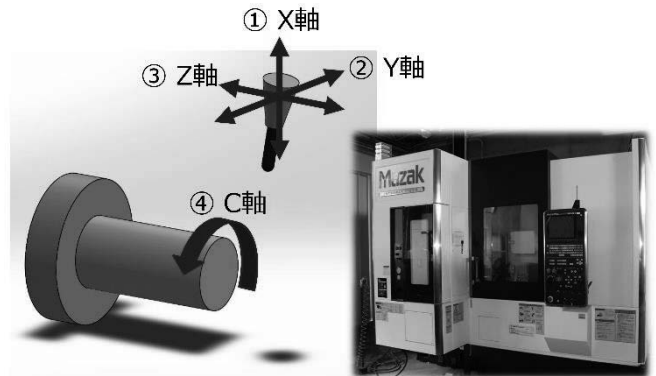


図 1 複合加工機（4軸加工）

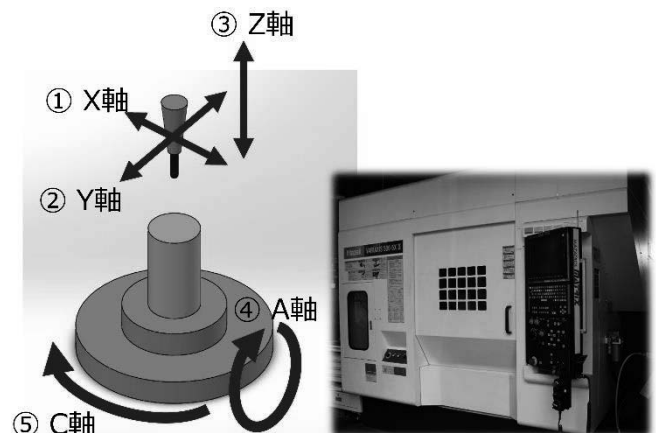


図 2 マシニングセンタ（5軸加工）

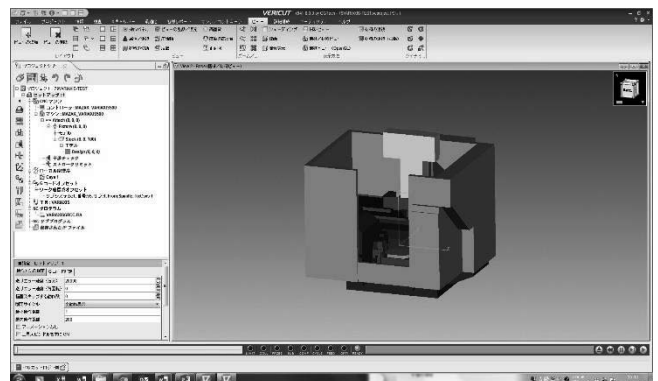


図 3 VERICUT 機械カスタマイズ (VARIAXIS500-5X II)

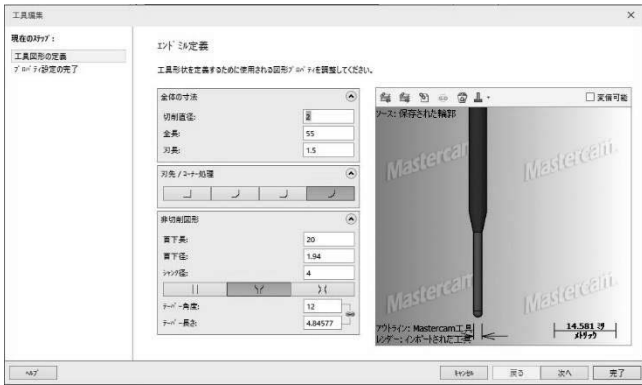


図4 エンドミルデータの設定

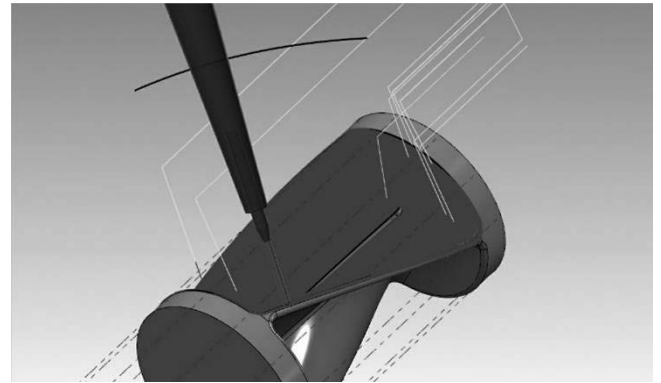


図6 工具軸制御

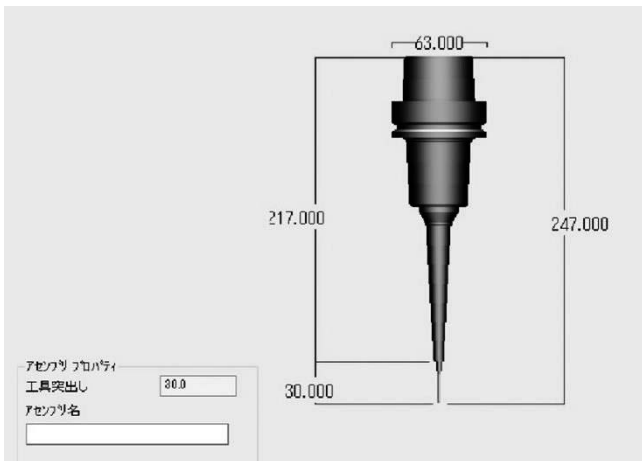


図5 工具ホルダデータの設定

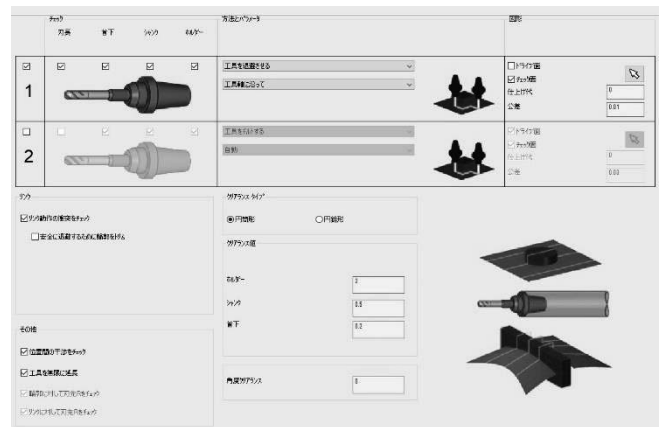


図7 衝突コントロール

前述したように、機械工学科の低学年の実習において多軸加工に求められる基礎はできている。しかし、多軸加工教育を妨げている大きな問題として、本校の複合加工機とマシニングセンタはそれぞれ1台ずつであり、汎用機を用いた実習のように学生1人に機械1台という状況でないことに加えて、NC加工プログラムのミスによる衝突で高価な工作機械が破損する危険が常にあることが挙げられる。CAMソフトにも簡易シミュレーターは備えられているが、工具とワークが複雑に動作する多軸加工では衝突を正確に予測することはできない。これらの問題は、学生に限らず、指導者にも大きな問題である。汎用機やNC加工などに熟練した技術職員であっても、多軸加工における衝突をCAMソフトのみで完全に防ぐことは難しい。そのため、多軸加工教育に必要な実習手順や加工サンプルなどの準備にも大きな困難がある。そこで著者らは、これらの問題を解決し、多軸加工教育を展開することを目的として、平成30年度より本校に導入された機械加工シミュレーションソフト「VERICUT」²⁾の活用に取り組んでいる。

2. シミュレーションとCAMによる多軸加工

機械加工シミュレーションソフト「VERICUT」はパソコン上でNC加工プログラムの確認作業を行うことができ、通常はワーク（材料）に工具が衝突することを防止する目的で用いられる。図3に示すように、本校現有の多軸加工機に合わせてカスタマイズがされており³⁾、シミュレーションで実機の動きを高い精度で再現できる。国立高専機構が進める“KOSEN（高専）4.0”イニシアティブにおいて本校が採択された「バーチャル工房を活かした高専教育高度化による情報活用エンジニアの育成」の取り組みの一環として、平成30年度より30ライセンス導入されている。実習において学生は1人1台の多軸加工機をパソコン上でシミュレーションし、衝突の心配をすることなく、CAMソフトで作成したNC加工プログラムを検証することができる。

多軸加工では、まず、CAMソフト（Mastercam）の多軸用アプリケーションを用いる。本校のマシニングセンタの場合、比較的単純な3軸加工とは異なり、ワークを把持するテーブルも動くため、使用するエンドミル（工具）やホルダの設定が重要となる。図4にエンドミルデータの設定画面を示す。ここでは、ボールエンドミルを

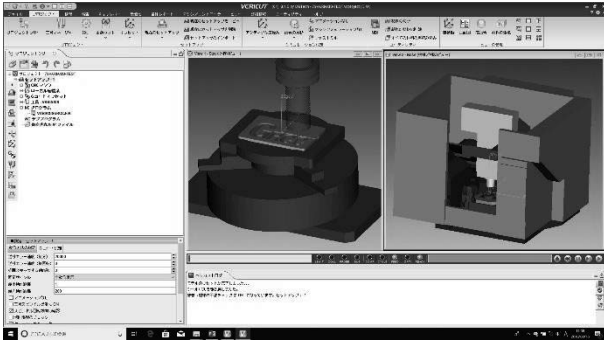


図8 学生作品の機械加工シミュレーション



図9 2年生工作実習でのシミュレーションデモ

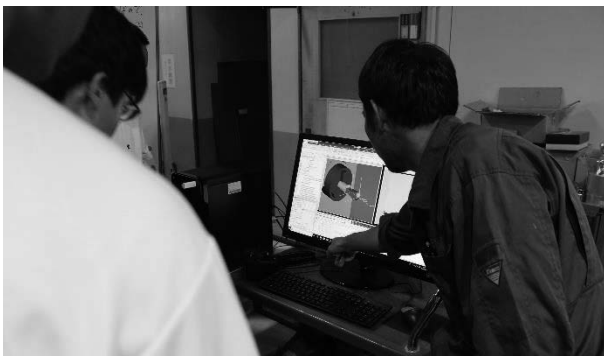


図10 3年生工作実習でのシミュレーションデモ

例として、工具直径、全長、刃長などを設定している。また、図5に示すように、工具ホルダについては工具ホルダメーカー④のCADデータを読み込ませることによって、工具ホルダの形状や寸法を反映させることができる。ここで、工具突き出し量の設定も行うことになるが、工具先端では常にワークとの摩擦で振動が生じているため、突き出し量が多い場合にはビビリと呼ばれる工具振動も大きくなって材料の削り過ぎによる加工面の粗さなどにつながる。そのため、適切な条件設定が必要となるが、このような工具突き出し量に限らず、NC加工における適切な加工条件は結局のところケースバイケースであるため、その根底においては手作業で身につけたモノを削る感覚や経験が重要な意味を持つてくる。

その後、工具などの設定をもとに、工具とワークの衝突を回避しながら適切に切削が行われるようにNC加工プログラムを組んでいく。特に、多軸加工を要するような複雑な形状（任意形状）の場合、工具がワークに干渉せずに加工を進めるためには、加工時に工具の中心軸が通るように拘束を与える制御線や制御点を用いた工具軸制御が不可欠となる（図6；左上の円弧は制御線）。また、図7に示す工具及び工具ホルダの衝突コントロールの設定により工具の各部分が衝突するのを防ぐ。ここで必要な操作は画面上でチェックを入れるのみであり、図4と図5で設定した情報をもとにソフトが自動的に工具干渉を回避してくれる。さらに、切削面以外の部分との工具干渉を防ぐ指示や、工具と材料のクリアランスなどの設定もできる。ここでの設定は、工具干渉が頻繁に起こりうる多軸加工ならではの重要なものと言える。

以上の設定を行った後、工具軌跡をCAMソフトのベリファイと呼ばれる簡易的なシミュレーションを行い、工具軌跡を見ながら削り残しがないかを確認する。実際は、適切な切削が実現されるまで、前述した制御軸や制御点の調整を繰り返し、加工プログラムを最適化していくことになる。さらに、VERICUTのシミュレーションを用いて、CAMの設定のみでは回避しきれなかった衝突の確認を行い、必要に応じて、加工プログラムの修正を行う。このように、CAMのプログラム作成とベリファイに加えて、VERICUTのシミュレーション確認を行っていくには相応の時間を要する。しかし、実機を使わずにパソコン上でのCAMとVERICUTの操作のみで、多軸加工に必要な実践的スキルの修得ができるため、学習効率はむしろ高いと考えられる。

3. 実習への試験導入と今後の展望

平成30年度前期の機械工学科2年生と3年生の実習において、VERICUTのシミュレーションによって学生作品が加工される様子をパソコン上で見せるデモンストレーションを実施した（図8～10）。また、学校見学会や小・中学生向けのイベント「機械の学校 in 高専」においてもVERICUTを活用した説明を行った。加工の様子は早送りもできるため、実機で見せるよりも短時間で効果的に工具などの動きを把握でき、視覚的にもわかりやすいと、学生たちには好評であった。実際、実加工では機械の覗き窓が小さいために同時に何人もの学生が加工の様子を見ることは難しく、さらに、中を覗き込んでも切削油を多く使用しているために工具動きが見えにくい場合も少なくない。そのような場合に、実加工の横でVERICUTのシミュレーションを示し、工具の動きなどを詳細に説明するというような利用方法によっても効果

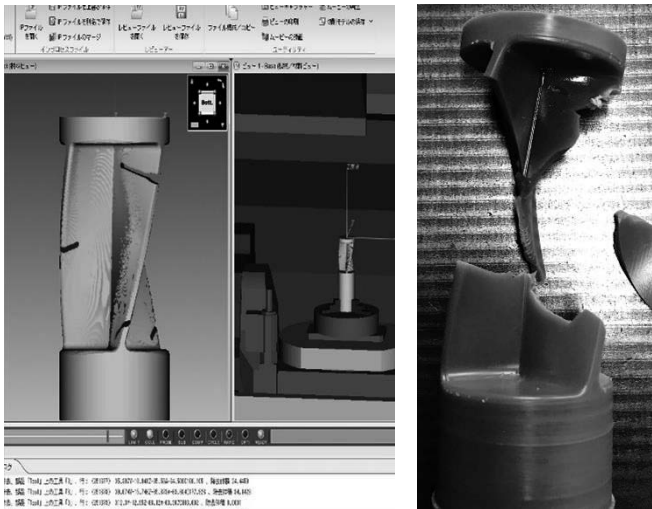


図 11 シミュレーション (左) と実加工 (右) の比較

的な学習を進めることが可能になると考えられる。

VERICUT は本校の多軸加工機に合わせたカスタマイズがなされており、実加工に対する再現性が極めて高いことから、シミュレーションであっても実機同様の学習効果が期待できる。図 11 に再現性を検証するテストとして、安全な樹脂製材料を用いた衝突を行い、シミュレーションと実機の比較を行った様子を示す。樹脂製材料が割れる様子が再現されており、シミュレーションの有用性が確認できる。さらに、VERICUT には NC 加工プログラムを 1 行 1 行、手入力して実行させる MDI と呼ばれる機能も実装されている。この機能を活用することで、より本質的なレベルで NC 加工プログラムについて理解を深めることも可能となる。本校と同じ CAM ソフト (Mastercam) を所有していない企業や団体の方々に対して、一般的な NC 加工プログラムの講習を行う場合などにも役立てられると考えられる。

今後、機械工学科 5 年生の後期選択科目にて 4 軸加工に取り組む予定である。翼型の CAD モデルを題材として、CAM ソフトによる NC 加工プログラムの作成を行い、VERICUT による機械加工シミュレーションで動作検証を行う。仮に誤った NC 加工プログラムを作成してパソコン上で衝突が起こっても、実際の機械を破損させる心配はない。そのため、学生の機械加工に対する不安も解消される。また、ライセンスは実習に十分な数を確保できており、パソコン上ではあるが、学生 1 人に 1 台の工作機械が割り当てられるため、機械の順番待ちをすることもない。以上のような試験導入を通じて、授業における多軸加工教育を実用レベルまで高めていくことを目指す。

4. おわりに

多軸加工教育において機械加工シミュレーションソフト「VERICUT」の活用について検討を進めた。本校の多軸加工教育が抱える大きな問題として、多軸加工の実機が非常に高価な設備であるため、工具とワークの衝突で機械が破損するリスクが大きいこと、さらに、学生 1 人に 1 台を割り当てる台数がないことが挙げられる。VERICUT の導入によって実機同様のシミュレーションがパソコン上でできることから衝突のリスクは解消し、ライセンスも十分な数があることから、パソコン上ではあるが、学生 1 人に 1 台の工作機械を割り当てることができた。実際、機械工学科 2 年生と 3 年生の実習、さらには、学校見学会や小・中学生向けのイベントにおいて VERICUT を使用したデモンストレーションを行った結果、多軸加工教育における機械加工シミュレーションの有用性を確認することができた。

一般に、機械加工では作業の段取りが重要となる。これは、実際に著者が機械加工の現場で学び、重要視してきたことである。製品の仕上がりは 9 割方が段取りで決まると言っても過言ではない。特に、自動加工機はプログラム運転のため、プログラムが終了するまで止めることができない。製品の仕上がり具合は機械が停止してから確認しなくてはならない。もしも、段取りが不十分で要求を満たす仕上がりでなければ、加工はやり直しとなる。そのような中、実機で用いる NC 加工プログラムと同じものを用いて、パソコン上で正確に実加工をシミュレーションできることのメリットは本当に大きく、様々な場面で重宝されるであろう。本校においても、多軸加工という教育の高度化に加えて、段取りの大切さを学ぶという観点からも、今回の VERICUT による機械加工シミュレーションの導入は重要な意味を持つと思われる。今後、学生たちにはモノづくりにおける段取りの大切さについても、しっかりと伝えていければと考えている。

参考文献

- 1) ヤマザキマザック
<https://www.mazak.jp/>
- 2) VERICUT (株式会社 CGTech)
<https://main.vericut.jp/>
- 3) 株式会社 Ai ソリューションズ
<https://www.ai-sols.co.jp/products/vericut/>
- 4) 株式会社 MST コーポレーション
<http://www.mst-corp.co.jp/>

Educational Development of Multispindle Machining with CNC Simulation

Kunio OKAMOTO, Hisao YAGUCHI, Hiroshi ASAMI,

Shuji SUNAGA, and Tadao KANEKO

Educational program of multispindle machining has been developed by using of VERICUT CNC simulation. VERICUT simulation demonstrated machining process in workshop practice class of department of mechanical engineering. Students took a view of tool motion and material removal process on screen effectively. Consequently, it was found that VERICUT simulation have a useful role in the education of multispindle machining.

