

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2年 6月 1日現在

機関番号：52301
研究種目：奨励研究
研究期間：2019
課題番号：19H00164
研究課題名：ICT を活用した同時多軸 NC 加工教育の実践的展開

研究代表者
岡本 邦夫 (OKAMOTO, Kunio)
群馬工業高等専門学校・技術専門職員

交付決定額（研究期間全体）（直接経費）：540,000 円

研究成果の概要：

本研究では、NC 加工機械シミュレーションソフト「VERICUT」を活用した同時多軸 NC 加工教育プログラムを高専生向けに開発し、その教育効果を検証した。多軸加工時の動作や進入時のアプローチ方法、切削パターン、機械干渉に伴う工具突出量、ホルダー選定などの同時多軸加工に必要なとされるスキルの多くを PC 画面上で教育できる利点は大きく、多軸加工の動作理解や CAM 操作、プログラム学習に関する学生の高い達成度から本研究の取り組みによる優れた学習効果が認められた。その一方で、指導者が学生指導で活用できる加工条件やノウハウなどの知識を体系化したデータベース構築の試みでは、実機械の活用や有益な情報提供が今後の課題として見えてきた。

研究成果の学術的意義や社会的意義：

高専の NC 機械加工教育では低学年の実習にて X・Y・Z の 3 軸加工を行うのが主流である。しかし、多軸機能を有する NC 加工機械の普及とともに実際の製造現場では複雑形状の加工需要が高まり、インペラの加工方法などに代表される同時 NC 多軸加工に対応したスキルが現場の技術者には求めるようになってきている。このような背景のもと、本研究の ICT を活用した同時多軸加工教育にて得られた成果の社会的意義は大きい。また、研究代表者の所属する高専では本研究成果をもとにした同時多軸加工をテーマとする研究も展開されるようになっており、これらの研究高度化にともなう学術的意義も含めた発展性のある成果が得られたと考えられる。

研究分野：工業教育

キーワード：ICT 同時多軸加工 NC 工作機械 機械シミュレーションソフト CAD/CAM

1. 研究の目的

研究代表者の所属する群馬高専には同時多軸 NC 加工に対応したマシニングセンタや複合加工機が導入されていたが、それを扱う指導者側のスキル不足や後述する機械の台数不足などの理由から機械工学科の実習における NC 教育は 3 軸加工にとどまっており、設備の性能を十分に活用できていなかった。そこで、本研究代表者や協力者らが中心となって、同時多軸 NC 加工に必要なとなるスキルの獲得に取り組むとともに、その成果を本科 5 年生の卒業研究や専攻科生の特別研究に還元し、実験等で必要となる複雑形状部品の加工を行える段階にまで到達していた。このような取り組みを通じて一部の学生に対しては、完成品の仕上がりや機械動作、加工工程等について指導を行い、学生が製作過程を実際に目にするることによる教育的効果が少なからずあった。しかし、それらは多軸加工を必要とする研究に携わる学生らに限定されていたのが実情であり、より多くの学生にも浸透させていくことが次なる課題であった。

前述のように、群馬高専には同時多軸 NC 加工機の設備導入が進められていたが、旋盤などの汎用工作機とは異なり、機械が非常に高価なために導入台数は限られており、学生に一人一台という形で割り当てられないために加工には多くの時間がかかる。また、機械操作に不慣れた学生の場合、加工プログラムミスによる衝突で機械破損させてしまう危険が常にある。このような状況から、指導者側のスキル向上によって教育体制が整った段階においても、同時多軸 NC 加工教育を機械工学科の実習に導入して学生たちに広く浸透させるには大きな障害が残されていた。この問題を解決するために、研究代表者が着目したのが CAM と併用して使用していた機械シミュレーションソフトである。もともとは加工プログラムの動作確認用として衝突による

機械破損を事前に防ぐために用いられるソフトウェアであるが、研究代表者はそのような使用とともに加工プログラム学習にも活用を図っていた。卒業研究等で多軸加工の部品製作を必要とする学生には、加工工程の説明にシミュレーションを使用しており、切削加工時の動作や加工のポイントについて指導を行っていた。このようなシミュレーションの活用を全面的に実習に導入すれば、先に述べた同時多軸 NC 加工教育の障害を取り除くことができる上、これまでにない革新的な教育プログラムを構築できると考えた。

以上のような背景と着想のもとで、本研究では機械シミュレーションソフトを活用した教育プログラムを開発し、昨今の機械加工現場で求められる同時多軸 NC 加工スキルを身につけるための基礎的な取り組みを高専教育に導入し、その教育効果を検証することを目的とした。さらに、実加工に必要なとされる材料や形状による切削加工条件や加工ノウハウについて高専生や指導者向けのデータベースを構築し、グループウェアによる情報共有を行うことで技能継承の基礎を整えることとした。

2. 研究成果

(1) 教育プログラムの構築及び5年生選択科目への導入

本研究における同時多軸 NC 加工教育の対象学生としては、機械加工の基礎知識と CAD/CAM を使用した経験を有する学生であることが望ましく、さらに、CAM ソフトのライセンス数の制限も考慮して、機械工学科5年生の選択科目「機械工学特論Ⅱ」(図1)にて試験的な導入を行うこととした。一般的な教育機関では学生一人に一台ずつ高価な NC 加工機械を割り当てることはできないため、旋盤実習のように加工を同時に行うことができない。そのような中、各学生が自分の PC 上で機械加工を再現できる機械シミュレーションの利点は大きく、実際、限られた授業時間内で以下に述べるような多様な教育内容を効率的に展開できた。各学生が同時多軸 NC 加工教育に必要なとされる CAM 操作から機械シミュレーションまでの流れを一度に体験することで、非常に高い学習効果が得られたと考える。

機械シミュレーションの強みとして、ワーク長さ、治具やホルダー選定、工具の突き出し量などの条件を詳細に設定してその結果をすぐに確認できることから、加工面向上や工具破損の防止に繋げるという観点から条件設定の重要性についてははじめに解説した。加えて、切削エリアの工具動作を制御する「制御軸」についても扱った。多軸加工を必要とする場合でもそれほど複雑な形状ではない場合には CAM の機能において多軸加工アプリケーションの中で切削面を沿って加工するよう多軸加工プログラムを容易に作成できるが、捻じれなどがあって壁の裏側まで加工を行う場合には切削工具の「制御軸」を正しく設定するスキルが不可欠となる。「制御軸」を理解するには、あらかじめ工作機械の動作を熟知しておかなくてはならないことから、モノづくりに特化した高専生にとっても難易度は高い内容と言える。しかし、希望通りの加工を行うために「制御軸」が不可欠であるばかりでなく、機械やワークへの干渉の恐れやアンダーカット、切削アプローチの頻繁による加工時間超過を防ぐという意味からも、授業で扱っておかなければならない重要な内容と言える。このような実機での教育では難しいと思われる高度な扱いをも含む操作やスキルに関する指導は、本研究で開発した教育プログラムにおけるシミュレーション活用によってはじめて可能となった。

図2に、材料や形状による切削加工条件や加工ノウハウを提供するための情報共有シートを示す。切削条件についてはこちらで加工実績のあるデータを提供し、加工条件の設定を行った。実際には加工エリアにより最適な工具を選択して加工を行うことから、一つの製品を完成させるのに数本の工具を必要とする。使用工具のメーカーにおいても工具の切削条件は公開されているため、こちらも多少は参考にはなるが、形状やコーティングがほぼ同じ工具でもメーカーによって条件が異なるのが現状である。NC 加工機は汎用機よりも高回転・高速で機械が動作するため、メーカーの加工条件のみでは決定できない部分もある。たとえば、荒加工では加工後に図3に示すような階段状の輪郭ができる。その段差に応じて、中仕上げ加工における工具が受ける切削負荷も異なるため、必ずしもメーカーの切削条件のように加工していくわけではなく、次の加工における工程や使用工具を考えながら最適時間で加工を行っていかなくてはならない。そのために細かな設定が求められるポイントがいくつもあり、



図1 授業風景

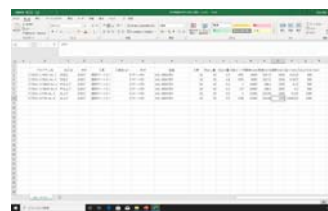


図2 加工条件データ共有

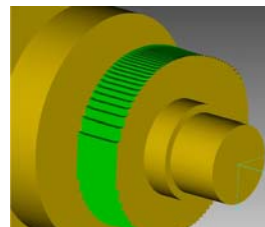


図3 荒加工後の切削面

これらは実際の加工経験を多く積まなければ十分には理解できない。また、当然ながら加工条件は使用する機械の性能にも依存することから、機械に応じた対応も考えていかなくてはならない難しい問題である。シミュレーションではデータで切削負荷や加工時の形状把握がある程度はできるものの、以上のような実加工特有の加工条件や詳細な加工ポイントを押さえるという観点からは不十分な点があった。受講した学生からも、理論的な計算式等は講義で学習しているので理解はできるが、実際にそれを十分に活用するとなると難しいとの意見があった。以上より、今後、切削条件のデータ共有をさらに進めることに加えて、実機械の活用も含めて学生が理解できるような学習プログラムの構築、それを支える加工ノウハウについても有益な情報提供が課題として見えてきた。

(2) 卒業研究への展開

本研究のさらなる展開として、前述の授業「機械工学特論Ⅱ」を受講した機械工学科5年生の中から、卒業研究に機械シミュレーションを活用する取り組みも出てきた。たとえば、実験部品の製作において、加工プログラムの作成を行ってから機械シミュレーションによる動作確認を行い、おおよその切削時間や加工パスのパターン化で実験評価を行うというものである(図4,5参照)。今回は研究代表者が放課後に追加の個別指導を行うことで、CAMと機械シミュレーションの操作スキルを学生が習得できたことから、ある程度の時間をかけて指導を行えば、学生自らが作成したプログラムと機械シミュレーションを活用して実加工まで到達できることが示された。なお、過去には、本研究の協力者でもある金子教授の研究室においてCAMを活用した多軸加工の研究が行われており、図6に示すように学生が多軸加工のスキルを獲得する例もあったが、今回は授業における下地があった分だけより効果的な学習環境を提供できた点に大きな進歩があったと考えている。

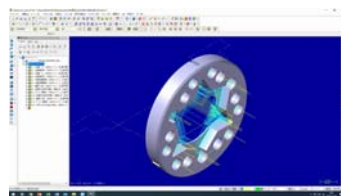


図4 CAM操作

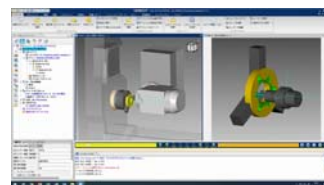


図5 機械シミュレーション

(3) 人材育成講座への展開

研究代表者らは地域貢献を目的に一昨年度より多軸加工機教育の人材育成講座を企業向けに開講しており、本研究で得られた成果の一部を還元している。本年度の受講者は現場の機械オペレータであったこともあり、会社でCAM操作を行っているというよりも、完成したプログラムを適宜修正して機械の前で加工を行っている技術者であった。プログラムを読み取るスキルを持っているが、普段は3軸加工が主となっており、今後、仕事で多軸加工を行っていくとのことであった。そこで、多軸加工プログラムの特徴である座標変換や原点座標の変化にともなうマクロ計算について説明し、その際に機械シミュレーションでプログラムと照らし合わせながら解説を行っていった。本研究で得られた成果をもとに、多軸加工に必要なスキルの説明に加えて、プログラムミスによるアンダーカットや制御パターンの選択ミスによる誤制御による加工面への影響についても、シミュレーションを用いて短時間で解説を行うことができた。CAM操作で終わらず、シミュレーション、実加工と一連の流れで多軸加工を理解してもらう工夫は、受講者の方々からも好評であった。



図6 卒業研究の加工品



図7 人材育成講座

(4) まとめと今後の発展

今回、開発した教育プログラムを実際に授業へ導入することを通じて、機械シミュレーションを活用した学習の有用性と今後の課題が確認できた。実機と同じ動作を再現できるシミュレーションの強みとして、実加工へリンクする形で常に理解を深めることができることから、特にプログラム学習や切削パターンの学習において、機械シミュレーションの活用が効果的であることがわかった。さらなる発展的内容として、多軸加工では工具進入時の干渉による削り過ぎやうまく工具制御が行なえずアンダーカットが起きやすいことから、シミュレーションにおいてこれらの確認する機能を活用し、加工パス作成の教育に今後取り入れていきたい。また、ビビリ振動や加工条件の不一致による加工面の傷や粗さについては機械シミュレーションでも確認できないため、加工時の切削負荷の確認機能を応用した工夫を検討していく予定である。

今回の進展によって大幅な教育改善がなされたとは言え、指導者側も機械シミュレーションソフトが有する機能のすべては活用できていないため、研究代表者自らも操作スキルの一層の向上も図りながら学生指導に積極的に貢献していきたいと考えている。多様化する製造現場で活躍できる技術者の育成という目的に加えて、高専教育の高度化における実習工場のプレゼンス向上という戦略的観点からも、NC 工作機械の多軸化を学生たちに広く体験学習させる試みは重要な意味を持つと考える。本研究で取り組んだ同時多軸 NC 加工教育は、従来から機械実習において培われてきた技能に、CAD/CAM を合わせた総合的な学修として位置付けられるものである。多軸加工の技術指導へ積極的に踏み込むことで、本校における次世代のモノづくりを牽引する教育プログラムを確立することが本研究の最終目標である。

3. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① 岡本邦夫、矢口久雄、ICT を活用した同時多軸 NC 加工教育の実践的展開、群馬高専レビュー、査読無、第 38 号、2019、pp. 71-77
<http://www.gunma-ct.ac.jp/gakko/pdf/review/review38.pdf>
- ② 金子忠夫、矢口久雄、浅見博、岡本邦夫、黒澤拓末、擬似的な同時 5 軸加工に関する基礎的検討、群馬高専レビュー、査読無、第 38 号、2019、pp. 15-22
<http://www.gunma-ct.ac.jp/gakko/pdf/review/review38.pdf>

〔学会発表〕(計1件)

- ① 岡本邦夫、黒澤拓末、浅見博、須永修司、矢口久雄、金子忠夫、CNC シミュレーションを活用した人材育成講座、令和元年度全国高専フォーラム、2019

4. 研究組織

研究協力者

研究協力者氏名：金子 忠夫、矢口 久雄、須永 修司、浅見 博、黒澤 拓末

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。