

高専教育への適用を目的とした5軸工作機械における CAD/CAM への取組み

尾野喬祐* 小野貴澄** 東義隆*** 宮本猛****

Approach to CAD/CAM in Five Axis Machine Tools for Purpose of Application to College of Technology Education

Keisuke ONO*, Takazumi ONO**, Yoshitaka AZUMA*** and Takeshi MIYAMOTO****

ABSTRACT

5-axis machine tools has the superiority that their tools can take the various position by adding 2 rotary axis controls to ordinal 3 linear axis controlled machine. Then the tools can take the arbitrary posture against the machined work surface. In addition, because it can reduce the work reset when the processing procedure is changed, total automation processing becomes possible. It can expect that the processing cost is reduced largely. Therefore, the introduction of 5-axis machine tools advances in the company. The training is required that engineers can handle a 5-axis machine tools in college of technology. In this paper, the basic method of operation of 5-axis machine tools was mastered. The impeller was designed by CAD/CAM. Thereby technique of CAD/CAM was acquired. The impeller was processed with 5-axis machine tools, and that impeller processing technique of 5-axis machine tools was tried to improve. The above technique was packed as an operations manual.

Keywords: 5-axis machine tools, Impeller, CAD/CAM

1. 緒言

近年のマシニングセンタを用いた加工は、多品種少量生産や試作品加工を目的とした同時多軸制御による高速・高精度加工⁽¹⁾が注目されている。教育現場におけるものづくり教育においても、3次元CAD/CAMを組み込んだ3軸マシニングセンタを始め、5軸工作機械が導入されている。

5軸工作機械は3軸制御に回転2軸を加えた5軸制御により自由度が増し、加工面に対して任意の工具姿勢をとることができる。また、段取り換えを削減できるため、加工の全自動化が可能となり、作業時間や人件費などの加工コストの大幅な削減が期待できる。したがって、企業では5軸工作機械などのNC工作機械の

導入が進んでおり、高専においては5軸工作機械を扱うことができる技術者の育成が大変求められている。その中で、平成22年7月に5軸制御高精度立型マシニングセンタが本校機械工場に導入された。

本研究では、5軸工作機械の対話機能を用いた3軸加工を行うことにより5軸工作機械の基本的操作方法を習得した。さらに、CAD/CAMを用いてインペラを設計し、5軸工作機械によるインペラの加工を行うことにより同時5軸加工技術の向上を図った。さらに、本科授業へ導入することを目的として5軸工作機械を用いたCAD/CAMの技術を習得するとともにマニュアル作成を行い、高専教育への導入について考察した。

2. 対話機能を用いた3軸加工

5軸工作機械の対話機能⁽¹⁾を用いて図1に示すφ99の半球面を加工することによって、5軸工作機械の基本的操作法の習得を行った。

* 専攻科 機械システム工学専攻

** 本科 機械工学科

*** 機械工学科 准教授

**** 機械工学科 教授



図1 半球面

3. CADによる設計

CADソフトにSolidWorks2009を用い、図2に示すφ50のインペラを設計した。また、このCADデータがCAMソフト（ESPRIT2011）との互換性があることは確認済みである。

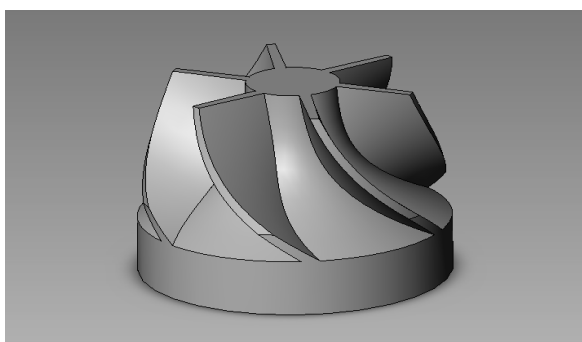


図2 インペラのCADデータ

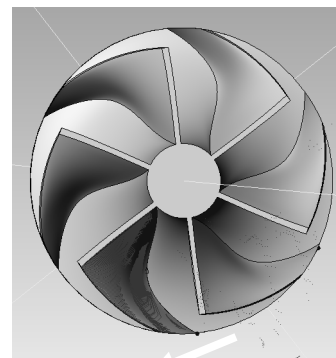
4. CAMにおける加工プログラムの改善

3章において設計したインペラのCADデータを用いて、ESPRIT2011において加工プログラムを作成した。ESPRIT2011内のインペラ加工機能を用いることにより、大まかなインペラ加工プログラムを作成することが可能である。しかし、加工プログラムのムダや工具干渉などの細かな問題について、シミュレーションを行うことによって発見し改善することが必要である。以下に、シミュレーションにより発生した問題点とそれに対して改善した点⁽²⁾を示す。

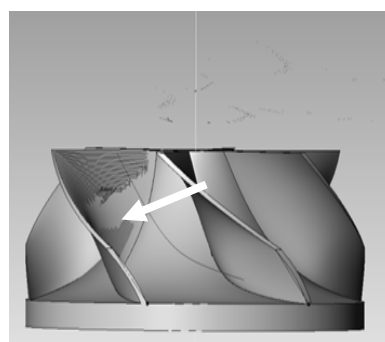
4.1 羽根上面の仕上げ加工プログラムの改善 図3の矢印に示すように工具経路が、羽根上面一面にきれいに描かれておらず、途切れ途切れの加工プログラムが作成された。これは、加工面に対して工具を垂直に立てながら切削するよう制御していたため、隣の羽根との工具干渉を回避することによって加工することが出来ない部分が発生し、加工プログラムが途切れ途切れになったと考えられる。

改善方法として、工具姿勢を加工面に対し垂直に立てるのではなく、材料にXY平面に対して垂直に工具を立てて切削し、図4の矢印のように改善された。インペラ加工機能内のオリエンテーションダイアログよ

りオリエンテーション条件を「モデルに垂直」から「固定ベクトル」に変更し、ベクトルを X:0.000 Y:0.000 Z:1.000 に設定した。

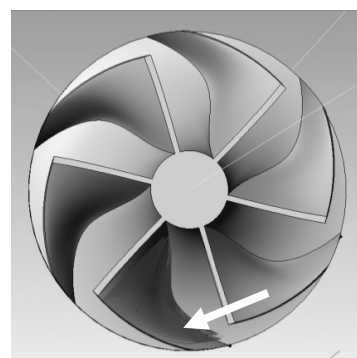


(a) 上から見た加工プログラム

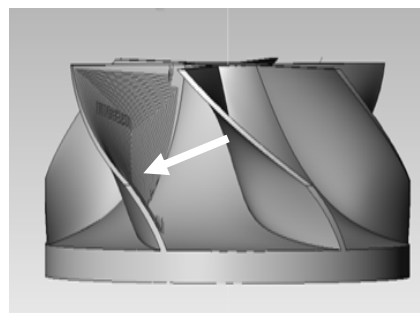


(b) 横から見た加工プログラム

図3 改善前の羽根上面の加工プログラム



(a) 上から見た加工プログラム



(b) 横から見た加工プログラム

図4 改善後の羽根上面の加工プログラム

4.2 羽根下面の仕上げ加工プログラムの改善

図5の矢印に示すようにインペラの羽根下面の仕上げ加工プログラムにおいて、工具経路がきれいに描かれていない部分が発生した。4.1節と同様に隣の羽根との工具干渉を回避するために生じた問題である。工具経路が欠けている部分の形状が手前の羽根の形状と同様であるため、手前の羽根との工具干渉回避によるものであると考えられる。

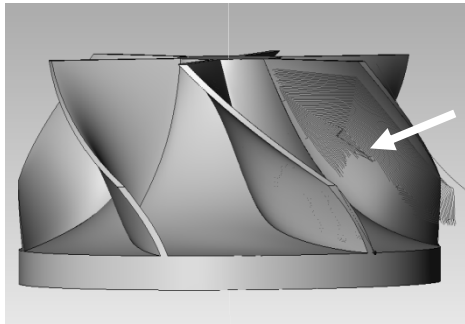


図5 改善前の羽根下面の加工プログラム

改善方法として、図6のように羽根下面の外形線（太線）を $X: 20.000$ $Y: -10.000$ の位置にコピーし、このコピーした外形線上を工具が必ず通るように制御することにより、手前の羽根との工具干渉を回避することができた。

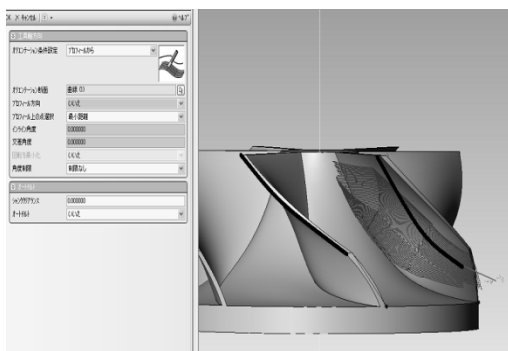


図6 工具軸方向の設定（羽根外形線のコピー）

この結果、図7の矢印に示すように羽根下面の前面に工具経路がある加工プログラムが作成することができた。しかし、シミュレーションにより工具干渉を再度確認したところ、加工面に対して工具がかなり寝てしまう姿勢になり、羽根の一部を刃が無い工具のシャンク部で加工していることが確認できた。したがって、羽根下面の外形線をコピーする際に、コピー位置を $X: 15.000$ に変更した。これにより、隣の羽根との工具干渉を回避しつつ、工具をできる限り加工面に対して立たせて加工することが可能となった。

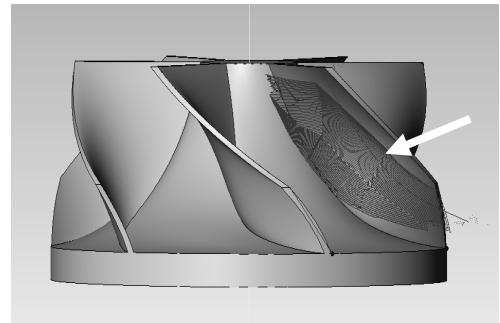


図7 改善後の羽根下面の加工プログラム

4.3 加工原点の移動による心出し技術の向上

ESPRIT2011において加工原点を $X: 0.000$ $Y: 0.000$ $Z: 0.000$ の位置に固定していたため、5軸工作機械における芯出し作業の際に、タッチセンサを用いてテーブル上面で芯出しし、チャックと材料の高さの値から材料の高さを引いた値を後から加えることによって、ESPRIT2011上の加工原点と5軸工作機械上の加工原点を同期させていた。これにより、計算ミスなどの人為的ミスの発生する可能性が高くなり、心出しを失敗するリスクが存在していた。しかし、ESPRIT2011上に

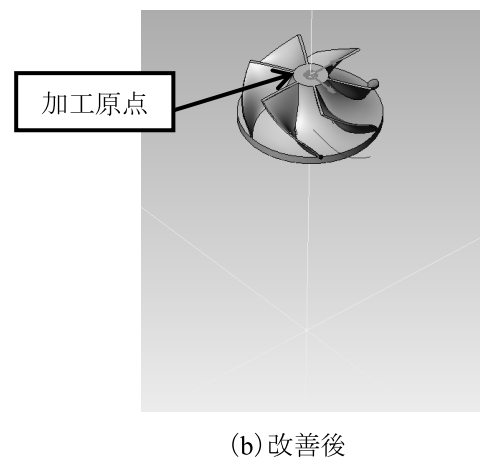
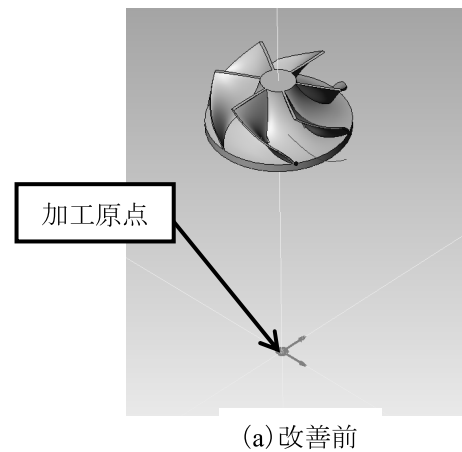


図8 加工原点の変更

において加工原点をモデル上面に変更することが可能となったため、芯出し作業においても材料上面で芯出しすることが出来るようになった。これにより、前述したリスクが少なくなり、治具や材料の寸法誤差などの影響がなくなったため、より高精度な加工が可能になった。図8に改善前と改善後の加工原点の位置を示す。改善前ではモデルの下に加工原点マークが表示されているが、改善後ではモデル上面に加工原点マークが表示されていることがわかる。

4.4 ハブ面の仕上げ加工における工具干渉の改善

ハブ面の仕上げ加工開始時に、切削開始位置へ工具が垂直にアプローチすることにより、図9に示すように本来加工してはいけない部分を加工して羽根先端が欠けてしまっていることがわかる。

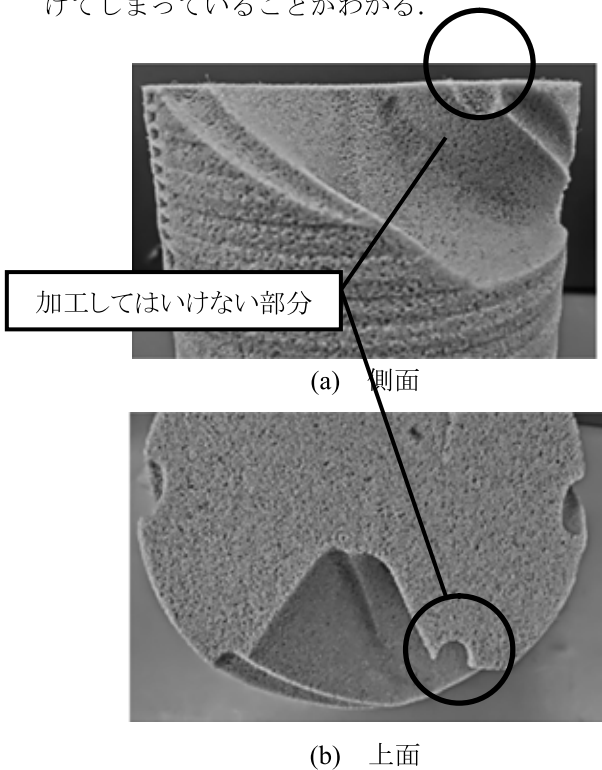


図9 羽根先端の工具干渉

この問題の対策として、図10に示す ESPRIT2011 内のリンクダイアログのアプローチ方法を設定する際に、切削開始位置へのアプローチ方法を変更し、材料に対して角度をつけて工具を侵入させるようにした。角度は、円弧角度：30.0度、円弧半径：5.0mm、垂直距離：2.0mm、接戦距離：0.0mmとした。

4.5 加工時間の短縮 前述した数々の問題点を改善した全加工プログラムを表示した。図11に全加工プログラムの工具経路を示す。図11より、インペラのモデルに対して工具経路の領域が大きく、非常に無駄な動きをしていることが考えられる。この加工プログラムの一つのハブ面を加工するのに要する加工時間は4時間11分35秒である。



図10 リンクダイアログのアプローチ設定

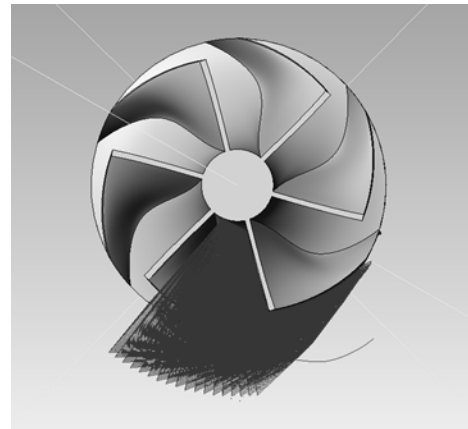


図11 改善前の加工プログラムの工具経路

1サイクルの加工が終わり、次の切削開始位置に工具を早送り移動する際に、工具を安全な位置まで、ゆっくりと十分に退避させてから、次の切削開始位置へ早送りさせていた。そこで、工具を安全な位置まで退避させる距離をできる限り小さくし、早送り運動の割合を多くした。これにより、図12に示すように工具経路全体が小さくなり、早送りを行う割合が多くなったことで加工時間が短縮された。一つのハブ面を加工するのに要する加工時間が1時間55分30秒に短縮され、54.2%の加工時間を削減した。

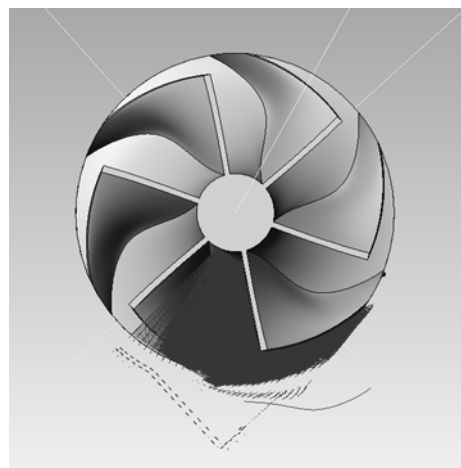


図12 改善後の加工プログラムの工具経路

5. 5 軸工作機械を用いたインペラ加工

4 章において改善した加工プログラムを用いて、5 軸工作機械により加工した⁽³⁾。

5.1 使用機械および工具 図 13 に 5 軸工作機械の外観図を示し、図 14 に使用した工具を示す。5 軸工作機械は、5 軸制御立型マシニングセンタ (NMV5000DCG) を用いた。また、工具にはφ6 のロングボールエンドミルを使用した。材料は材質がアルミ (A5052) のφ55×200 の棒材を使用した。

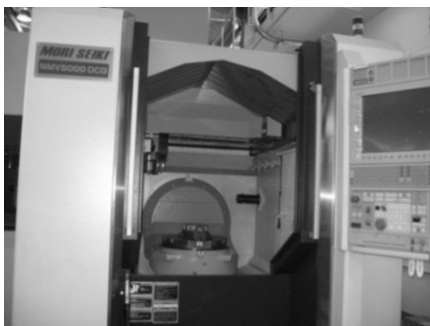


図 13 5 軸制御高精度マシニングセンタ

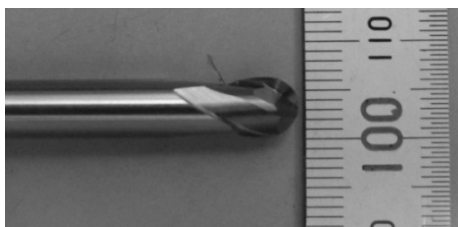


図 14 φ6 ボールエンドミル

5.2 5 軸工作機械を用いた加工 4 章で作成した加工プログラムを呼び出し、起動することによって加工を開始する。5 軸工作機械において加工したインペラを図 15 に示す。加工途中に図 15 の矢印部で工具が破損した。シミュレーションでは工具干渉を確認することはできなかったが、実際の加工では工具のシャンクが被加工物に接触し破損した。これは、工具長が長い場合工具が振れ、被加工物と接触したと考えられる。そのため、工具の姿勢を加工面に対してさらに立てることで工具干渉を回避した。工具干渉を改善した加工プログラムによって加工したインペラを図 16 に示す。

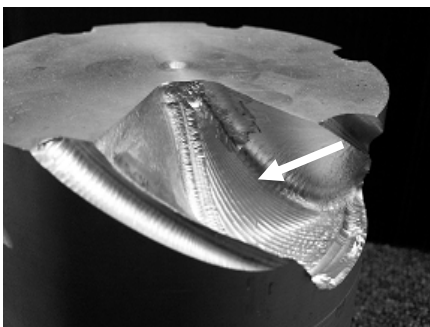


図 15 工具破損位置

図 1 と図 16 を比較すると、同様の形状の製品が削りだされていることから、加工プログラムに問題がなく、工具干渉が発生せずにインペラを加工することが出来ていることがわかる。しかし、仕上げ加工後においても図 13 のように仕上げ面が粗くなった。これは、工具長が長すぎ、工具が振れることによるびびりが原因であると考えられる。したがって、工具長を短くすることによって、びびりが解消されることが考えられる。



図 16 インペラ加工結果

6. まとめ

5 軸工作機械などの NC 工作機械の導入が企業で進んでいる中で、平成 22 年 7 月に 5 軸制御高精度立型マシニングセンタが本校機械工場に導入された。それ以来本校では、5 軸工作機械内の対話機能による 3 軸加工や CAD/CAM を用いたインペラなど同時 5 軸加工の習得を行い技術力を向上させた。

参考文献

- (1)木原，長谷川，澤井「機械工学科 卒業研究 高専における 5 軸制御工作機械の適用」，神戸高専卒業論文，2011。
- (2)山根「機械工学科 卒業研究 五軸工作機械によるインペラ加工」，神戸高専卒業論文，2013。
- (3)5 軸制御高精度立型マシニングセンタ（森精機製作所製 NMV5000DCG）取扱説明書。