

複数の工具姿勢を必要とする形状に対する 5軸制御加工に関する研究

函館工業高等専門学校 ○ 中村昌恵 古川原麻衣 谷垣 光
太田勝広 山田 誠

要 旨

CAD/CAM 技術の普及により、手軽に三次元加工ができるようになってきている。しかしながら、一方向からだけでは加工することができない、すなわち、複数の工具姿勢を必要とするような形状は、RP 技術では容易に作成可能なものの除去加工においては困難な加工である。現在、他国との競争において、このような特徴のある加工技術が必要となっている。この複数の工具姿勢を必要とする形状を加工するためには、5軸工作機械による3+2軸制御加工法、あるいは、同時5軸制御加工法を必要とする。本研究では、5軸制御加工における3+2軸制御加工法と同時5軸制御加工法とを比較し、その特徴について考察する。また、一方向からでは加工できない複数の工具姿勢を必要とする形状に対する3+2軸制御加工法の適用例について報告する。

1. 緒言

CAD/CAM 技術の普及により、容易に三次元加工が可能となってきている。しかしながら、一方向からだけでは加工することができない、すなわち、複数の工具姿勢を必要とするような形状の加工は、RP 技術では容易なものの除去加工においては困難な加工である。この複数の工具姿勢を必要とする形状を加工するためには、5軸工作機械による3+2軸制御加工法¹⁾、あるいは、同時5軸制御加工法を必要とする。本研究では、5軸制御加工における3+2軸制御加工法と同時5軸制御加工法とを比較し、その特徴について考察する。また、一方向からでは加工できない複数の工具姿勢を必要とする形状に対する3+2軸制御加工法の適用例として非接触3次元計測による形状データに基いた5軸制御工作機械による再現加工について示す。

2. 3+2軸制御加工と同時5軸制御加工

一方向からでは加工できない複数の工具姿勢を必要とする形状を加工するためには、5軸制御工作機械による加工が有効である。5軸制御工作機械を用いて加工を行う場合、その加工方法を大きく大別して、回転軸と並進軸とを同時に運動させる同時5軸制御加工と、回転軸をある角度に固定し(割り出し)、並進軸により3軸制御加工を行う3+2軸制御加工の2通りの加工方法が存在する。

異なり、その違いによる加工形状を表1に示す。これらの形状が、5軸制御加工における加工特徴として存在する。

5軸制御工作機械を用いて、形状加工を行う場合についてその流れを図1に示す。設計者がある形状を設計し、その形状を加工するときどのような加工方法が適切であるかを決定し、その加工方法に沿って形状加工が行われる。ここで、オペレータが加工方法を決定するための要件は、次のものが存在する。

- 1) 要求形状に対する適切さ
- 2) ソフトウェアなどの加工環境
- 3) 仕上げ面性状などの設計要件

これらを判断して加工方法が決定されることとなる。

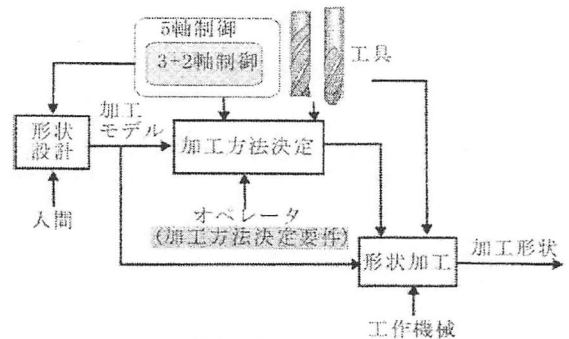


図1. 5軸制御加工を行うための手順

表1. 5軸制御加工における加工方法の比較

| | | 3軸制御 | 3+2軸制御 | 同時5軸制御 |
|--------------|-----------|---|---|----------------------------------|
| 加工時の運動軸 | | 並進軸 | 並進軸 | 回転軸、並進軸 |
| 加工形状 | | 単一の方向に対する工具形状の転写 | 複数の方向に対する工具形状の転写 | 連続した複数の方向に対する工具形状の転写 |
| 工具の加工形状による違い | フラットエンドミル | 単一平面への円筒穴、角溝 単一方向からの底面による平面 側刃による平面 | 複数平面への円筒穴、角溝 複数方向からの底面による平面 側刃による平面 | 曲面上への角溝 円切れ刃による球面 側刃による線状面 |
| | ボールエンドミル | 単一平面への球面穴、球面溝 単一方向からの点加工による曲面 | 複数平面への球面穴、球面溝 複数方向からの点加工による曲面 | 曲面上への球面溝 連続した複数方向からの点加工による曲面 |

除去加工では、工具に加工運動を与えて、その包絡体で形状を形成することとなる。この包絡体は加工方法により

例えば、自由曲面を加工する場合、要求形状に対する適切さでは、同時5軸制御加工は、自由度が高く様々な形状に対して対応が可能である。しかしながら、加工動作が複雑になりNCプログラム作成や検証が難しくプログラム作成に長時間を要する。したがって、ソフトウェアにおいて環境を整備することが困難である。

一方、3+2軸制御加工では、5軸制御加工が持つ自由度をある程度維持できるため、複雑な形状にも対応できる。また、加工する際の姿勢(割り出し角)が決定すれば、既に技術が確立されている3軸制御用のCAMを利用することが可能である。そのため、ソフトウェア環境は容易に整備できる。

3. 形状測定に基づく3+2軸制御加工

3+2軸制御加工の例として、3次元形状測定によりその再現加工を行った。今回は測定対象として人物を対象モデルとして実施した。形状測定と3+2軸制御加工を対比すると、非常によく似たプロセスからなっている。3次元物体を測定することは、対象形状を固定し複数の方向から測定することとなる。それにより計算機空間における3次元形状が作成される。一方、3+2軸制御加工は、やはり複数の方向から加工し、計算機空間に存在する3次元モデルを実空間に再生することとなる。従って、ある対象物体に対する撮影(測定)ノウハウと加工姿勢を決定するノウハウとは非常に似たものとなる。人物を対象とした場合、対象を固定することが非常に困難であるので、その撮影回数は、少ない方が望ましい。この測定から3+2軸制御加工までを以下の手順(図2)で行った。

- 1) 3次元デジタイザーを用いて測定対象の撮影を行い測定物の点群データを得る。この測定は垂直からの角度 $\phi=70^\circ$ において、垂直軸周りの角度 θ を $30^\circ, 90^\circ, 150^\circ, 210^\circ, 270^\circ, 330^\circ$ の6方向から撮影し、図3のような測定形状を得た。
- 2) 6方向の撮影データを結合し、その点群データを基に、余分な点の削除と穴埋めなどのデータ編集を行い、図4に示すような形状モデルPを作成した。
- 3) 加工データの作成には3軸制御用CAM(Edge CAM)を用いた。形状モデルPに対し、Z軸回り、X軸回りの回転変換を式(1)のように適用し、図5に示すように、3方向からの加工のための工具経路を作成した。

$$P' = A^4(-\phi)A^6(-\theta)P \quad (1)$$

ここで、 P' は回転変換後のモデル、 $A^4()$ は、X軸回りの座標変換行列、 $A^6()$ はZ軸回りの座標変換行列をそれぞれ表している。また、モデルに対する工具軸のZ軸回りの回転角を θ 、X軸回りの回転角を ϕ とする。 θ, ϕ は、測定時の姿勢角度を用いた。

- 4) 工具、加工条件(切込み深さ、加工ピッチ、主軸回転数等)を決め荒加工および仕上げ加工の工具経路をNCデータに変換し、5軸制御マシニングセンタにおいて、3+2軸制御加工を行った。

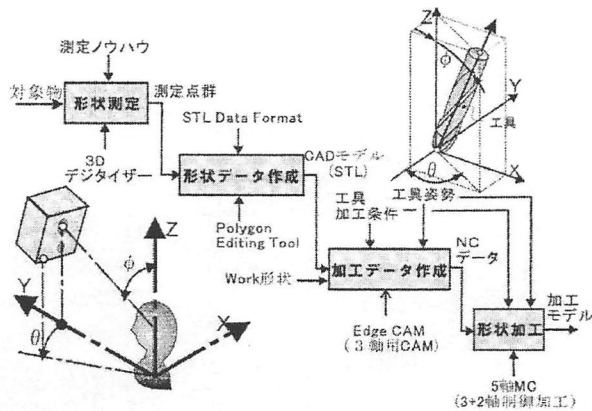


図2. 形状測定を基とする3+2軸制御加工の手順



図3. 多方向測定データ

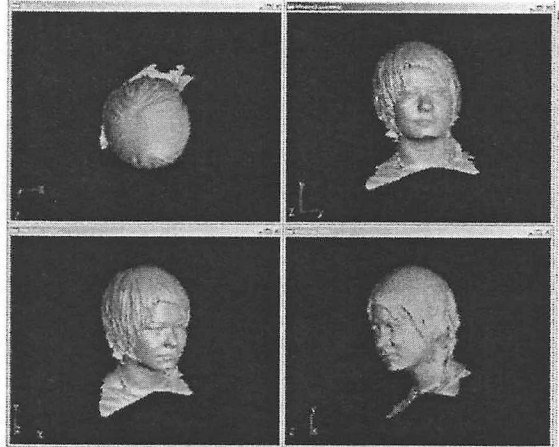


図4. 結合モデル

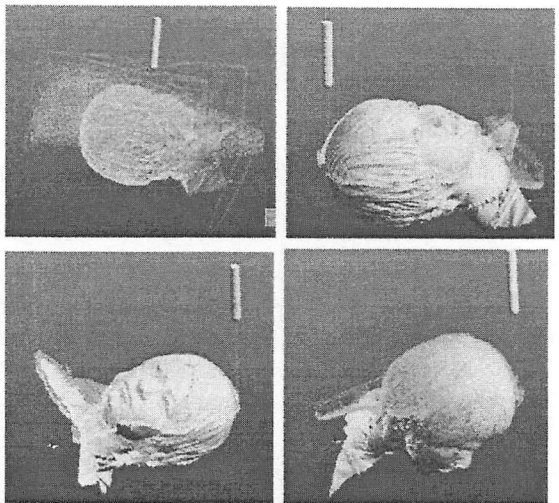


図5. CAMにおける工具経路の生成

5 結言

複数の工具姿勢を必用とする形状に対する5軸制御加工の適用に関して次の事項を示した。

- 1) 3+2軸制御加工と同時5軸制御加工との加工特徴を示した。
- 2) 3+2軸制御加工の例として、3次元デジタイザーを用いた形状測定から形状加工までの手順を示した。

参考文献

- 1) 山田, 田中, 近藤, 岸浪, 香村: 5軸NC工作機械による主軸傾斜曲面加工法に関する研究(第1報), 精密工学会誌, 70, 1, (2004)