

無人加工を実現する『プロファイル加工』

“Profile machining” that Realizes Unmanned Machining

佐野 記章, 山内 鉄哉

要約 プレス金型のトリム工程やフランジ工程の切り刃部と2番逃がし部を加工するプロファイル加工は、有人加工をしている顧客が多く、無人加工が進んでいない分野の一つである。ユニシス研究会の研究活動（CAMグループ）の要望を受け、プロファイル加工の無人化を狙った3Dプロファイル機能を開発した。

無人化が遅れている理由は、製品と工具との干渉回避、加工負荷による工具折損防止の保証が困難な点にある。工具干渉問題には、製品と工具との干渉を自動で回避し、干渉回避した箇所の加工残りを安全な工具系で加工するパスを自動作成した。加工負荷問題には、切削体積に応じて送り速度を最適化した。これにより、加工機オペレータが担っていた作業をシステム化し、無人加工を可能にした。

Abstract Most of the customers perform manned profile machining to process the cutting blade and the 2nd recess of thread portion in a trim and flange processes of press die. And this is one of the areas where application of unmanned profile machining is not so familiar. Receiving a request from the research activities (CAM group) of Japan Unisys Users Association, we developed functional capabilities for realizing unmanned profile machining.

The major reason why unmanned profile machining has not yet been generally practiced is the difficulties to make sure to avoid interference between the product and tools and to prevent tool breakage caused by machining load. To resolve the interference issue, we have developed a capability to automatically generate paths that avoid interference between the product and tools and in that paths, machining process being performed onto remaining portion with a safe tool system. To cope with the machining load issue, we develop a capability that optimizes the feed rate according to the volume to cut. These capabilities systematize the works that are done by machine tool operators and hence realized unmanned machining.

1. はじめに

プレス金型の成型工程には、素材を切り離すトリム工程や素材を折り曲げるフランジ工程がある。その工程に必要な金型の切り刃部、および2番逃がし部^{*1}の加工に特化した加工法がプロファイル加工である。

プロファイル加工は、無人化が進んでいない分野の一つである。ユニシス研究会の研究活動（CAMグループ）^{*2}の要望を受けて、プロファイル加工の無人化を実現する3Dプロファイル機能を開発した。3Dプロファイルでは、3次元曲線で作成されたプロファイル線に沿って加工する3次元の輪郭加工データを作成する。

本稿では、2章で、無人化の遅れをもたらしているプロファイル加工の課題について、3章で、課題解決の大方針である加工データの3次元化と2番逃がし加工について説明する。4章では、多様な要求に応えるために提供している豊富な加工機能を紹介し、5章では、無人加工の実現

に向けて実装した色々な対策について説明する。最後に、3D プロファイルの導入事例を紹介する。

2. プロファイル加工の課題

プロファイル加工では、2次元の輪郭加工データを使って、加工機のオペレータがプロファイル面に倣ってZ軸方向にハンドル操作して加工をしている顧客が多い。工具とワーク（素材）との干渉や加工負荷をオペレータが確認しながら加工する必要があり、加工機に近づいた危険な作業である。無人化を妨げる主要因を本章で説明する。

1) 工具径補正のアラームストップ

切り刃部の加工には、加工面の高品質が求められるため、工具の摩耗やタワミによる加工誤差を加工現場で調整できる工具径補正機能を使用する。一方、3次元曲線のプロファイル線は、線分に近似してデータを作成するため、加工機側でガウジや行き戻り（図1）によるアラームストップ（強制停止）が発生している。

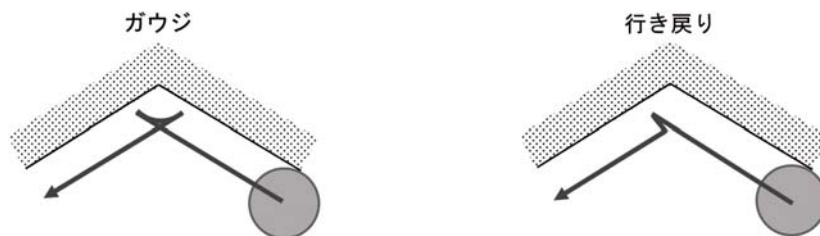


図1 ガウジ・行き戻り

2) 段取り替えによる単品加工

2番逃がし部の加工では、Z軸方向からでは負角となるため一般的なストレート工具では加工ができない。そのため、顧客はワークを「反転させる」、「横にする」など段取りを替えて曲面加工を使って単品加工を行っている。

3) 送り速度のマニュアル操作

プロファイル加工では、プロファイル面の上下の起伏が多い部分、凹コーナ部などで加工負荷が高くなる。そのため、加工現場では、プロファイル面の形状に応じて「送り速度を全体的に遅くする」、「オペレータが手動で送り速度を調整する」などの対応をしている。

3. プロファイル加工データの作成

切り刃部の加工において、2次元の輪郭加工データを使った有人加工から脱却するためには、製品面や型構造部との工具干渉がなく、プロファイル線に沿った3次元の輪郭加工データの作成が必要となる。3次元曲線のプロファイル線を単に線分近似したデータでは、折れのある3次元の輪郭加工データとなり加工品質の低下、工具径補正のアラームストップの原因となる。そこで、3次元曲線のプロファイル線を線分とヘリカル円弧に近似することで、折れない滑らかな3次元の輪郭加工データの作成を可能にした。

また、2番逃がし部の加工において、段取りを替えずに加工するためには、Z軸方向から負

角部分の加工を可能にする必要があり、それにはアンダーカット工具を使用すればよい。そこで、2番逃がし部にアンダーカット工具の肩位置が接触する位置（図2）を求めることで、段取りを替えることなく、切り刃の幅を確保した3次元の輪郭加工データの作成を可能にした。

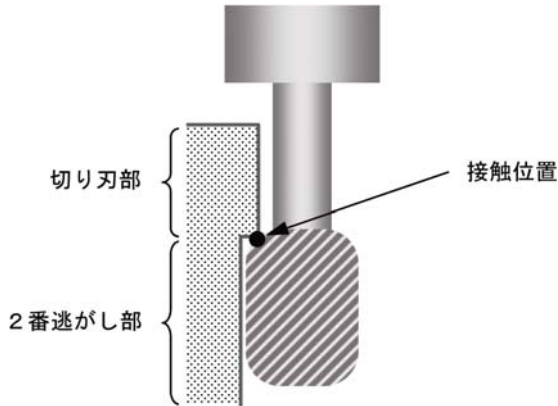


図2 2番逃がし部とアンダーカット工具の肩位置の接触位置

4. 3D プロファイルの豊富な加工機能

3D プロファイルでは、3次元の輪郭加工データを作成するだけでなく、豊富な加工機能を用意しており、それぞれにおいて、加工面の品質や加工効率の向上、加工負荷の軽減を実現している。本章で説明する。

4.1 加工要件に合わせた豊富な加工タイプ

切り刃部を加工する機能には、工具の側面を使ってプロファイル線に沿って加工する“側面加工”に加え、Z軸方向に工具を突いて加工する“突き加工”がある。高低差が大きい部位や工具の突き出しを長くする必要がある部位など、形状の特徴に応じて加工タイプを選択することで加工面品質の向上が図れる（図3）。

2番逃がし部を加工する機能には、アンダーカット工具の肩位置を使って切り刃の幅を確保する“2番逃がし加工”に加え、切り刃部と2番逃がし部を連続して突いて加工する“2番逃がし突き加工”がある。段取りを替えることなく2番逃がし部を加工でき、加工効率の向上が図れる（図4）。

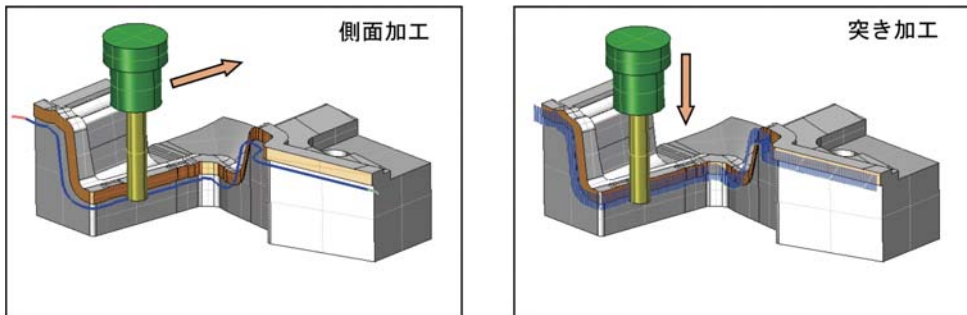


図3 切り刃部を加工する機能

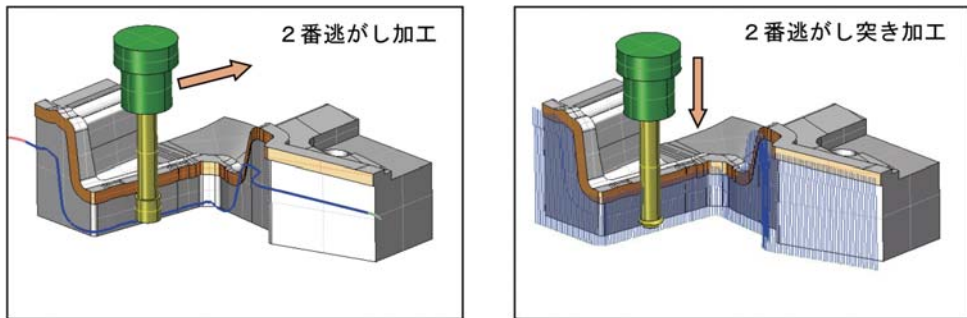


図4 2番逃がし部を加工する機能

4.2 前工程の加工残り部のみを加工する部分加工

前工程の加工残り部を自動で認識して、その加工残り部のみを小径工具で加工する“部分加工”を用意している。プロファイル面全体を大径工具で加工し、加工残り部のみを小径工具で効率よく加工でき、加工効率の向上が図れる。

“部分加工”は、“側面加工”、“突き加工”、“2番逃がし加工”、“2番逃がし突き加工”のすべての加工タイプに対応している。

4.3 鋼材加工

鋼材の余肉部分を加工する粗取り加工では、鋼材を金型から取り外して曲面加工を使って単品加工を行っているため、CAM作業時間が増大する。そこで、鋼材を金型に組み付けた状態から、鋼材の余肉部分を加工する“鋼材加工”を実装した。

“鋼材加工”を追加することにより、鋳物と鋼材を同時に加工することで加工効率の向上が図れる。加工タイプは、“側面加工”、“突き加工”とそれぞれの“部分加工”に対応している。“側面加工”の“鋼材加工”では、径方向の切り込みと軸方向の深彫りを指示することができるが、鋼材部の形状によって加工順序を選択することができる。縦長の形状には「切り込み優先」、横長の形状には「深彫り優先」、階段状に加工する「階段」の加工順序を加えることで、加工負荷の軽減と工具欠損の防止を可能にした(図5)。

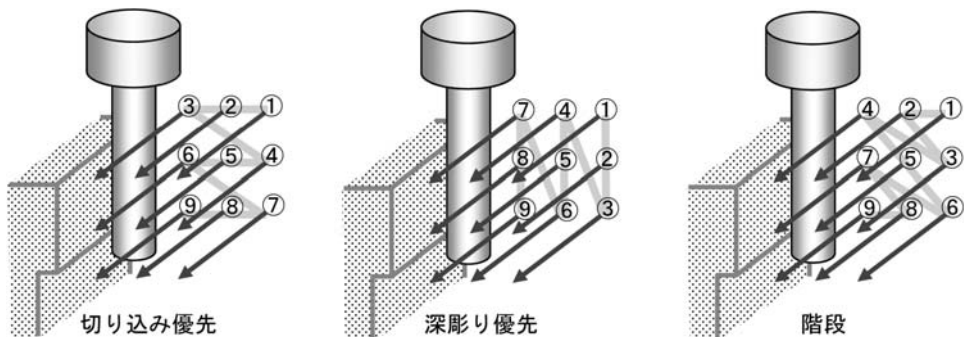


図5 鋼材加工の加工順序

4.4 根元切削による工具振動回避

“側面加工”において、工具の先端側を用いて加工する刃先切削では、工具振動（ビビリ）

が発生して加工面の品質が低下する。工具振動を抑えるためには送り速度を落として加工する必要があるため、加工時間が長くなる。そこで、工具の根元側を用いて加工する根元切削を実装した。これにより、工具振動を抑止することができ、加工面の品質が向上する。また、送り速度を落とさずに加工することができ、加工効率の向上が図れる (図6)。

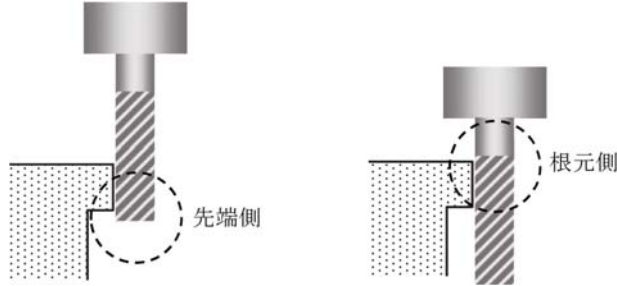


図6 刃先切削と根元切削

4.5 工具寿命を延ばすための工具軌跡

“側面加工”は、プロファイル線に沿って加工するため工具の磨耗に偏りが生じる。磨耗が偏った工具を使用し続けると加工面の品質が低下するため、短時間での工具交換が必要となり工具寿命が短くなる。そこで、工具が切削する位置に、刃先側と根元側を組み合わせた工具有効部の全体を用いることで、工具の切削部分を分散し工具の磨耗を均一化して、工具寿命を長くすることを可能にした。

加工法には、工具高さを一定で移動して有効長不足で加工できない場合に工具位置を刃先から根元、根元から刃先へ変更して再び工具高さを一定に移動する「高さ一定優先」と、工具高さを徐々に変更しながら刃先から根元、また刃先へと繰り返し交互に移動して有効長全体を使う「有効長全体」の二種類がある (図7)。

本機能は、顧客との地域交流会^{*3}で検討されたテーマに沿って開発したものである。

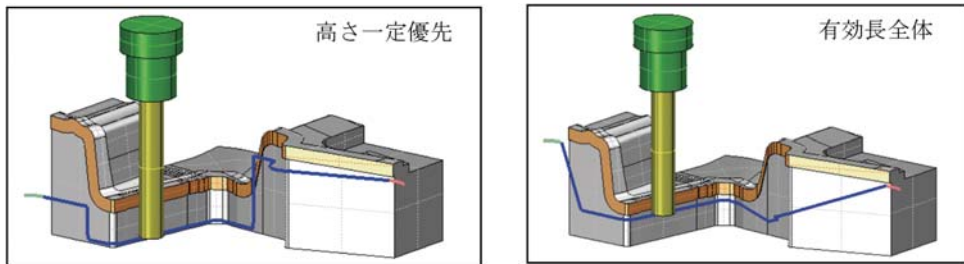


図7 工具寿命を延ばすための機能

4.6 傾斜軸加工

加工範囲の高低差が大きい深さのある形状を加工する際には、突き出し長の不足により工具が干渉するため加工残りが発生する。そのため、突き出し量の長い工具を使用すると、工具のタワミが大きくなり加工面の品質が低下する。そこで、ボール工具を使用して加工軸が傾斜した加工を可能にした。突き出し量を抑えられることで加工面の品質も向上した。加工タイプは、“側面加工”、“突き加工”に対応している (図8)。

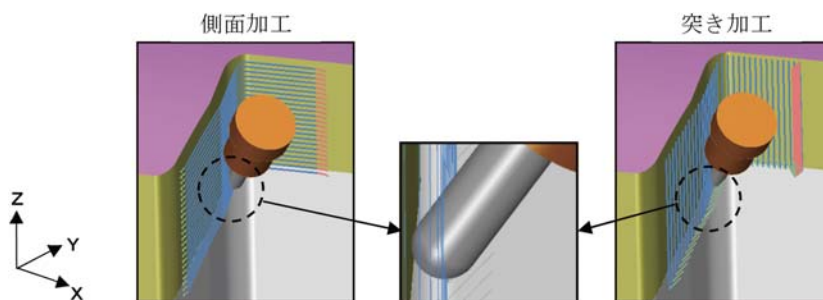


図8 傾斜軸加工

4.7 工程組みの標準化・領域自動作成によるCAM作業工数削減

プロファイル加工では、ほとんどの顧客は加工工程組みを標準化している。大径工具を用いた粗加工から仕上げ加工、小径工具による凹コーナ部加工まで、どのような加工工程組みで加工するかは顧客毎のノウハウでもある。そこで、これらのノウハウを加工データベースに構築する機能を実装した。加工データ作成時には、加工データベースから呼び出すだけで簡単に加工工程組みを作成することができる。また、加工工程組みを呼び出す際に、指定したレイヤ、またはグループに登録されている3次元曲線のプロファイル線を加工対象として自動で設定することも可能にした。これにより、事前に3次元曲線のプロファイル線をレイヤ、またはグループに仕分けすることで、経路計算までを自動化できCAM作業時間を短縮できる。

5. 無人加工

無人加工を実現するには、工具干渉のない加工データが不可欠である。また、加工負荷による工具折損などの加工トラブルが発生しない加工データを作成しなければならない。そのための方策を本章で説明する。

5.1 ホルダ干渉・有効長不足チェックによる加工トラブル回避

製品面や型構造部との工具干渉や、工具有効長不足による工具折損などの加工トラブルは、物理的な損失だけでなく、納期遅れにもつながる。そこで、アタッチメントを含めた工具と製品面や型構造部との干渉チェック機能を実装することで、「ホルダが製品面に干渉する」、「刃先が型構造部に干渉する」などの加工トラブルを事前に確認することを可能にした(図9)。

ホルダやアタッチメントが製品面に干渉した場合には、干渉しない安全な突き出し長を通知する。また、工具有効長の不足による削り残りや刃のない箇所での切削が発生する場合には、加工に必要な有効長を通知する。これにより、安全な工具を作業者が選択でき、加工トラブルを事前に回避することができる。

また、複数の候補工具^{*4}を指示した場合は、その候補工具の中から干渉しない安全な工具を自動検出する機能も実装した。これにより、データ作成の試行錯誤が削減されてCAM作業時間を短縮することができる。

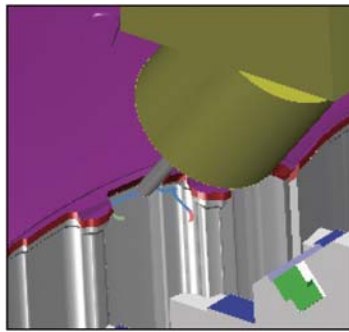


図9 傾斜軸加工の干渉チェック

5.2 干渉発生時の自動回避

工具と製品面や型構造部との干渉チェック機能で、ホルダ干渉や有効長不足が検知された場合でも工具を変更せず、加工できる範囲でデータを作成したいという要望がある。そこで、「工具を上昇させて干渉する部分を回避する」(図10)、「干渉する部分をクリップして(切り落として)データを作成せずに回避する」の二通りの方法で工具干渉を自動回避する機能を実装した。

干渉を回避した箇所は加工残りとなるため、複数の候補工具の中から干渉しない安全な工具を自動検出して、データを自動で作成する機能も実装した(図11)。これにより、加工残りがなく安全で最適な工具による加工を可能にした。

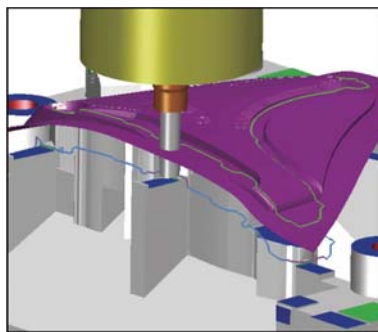


図10 干渉自動回避

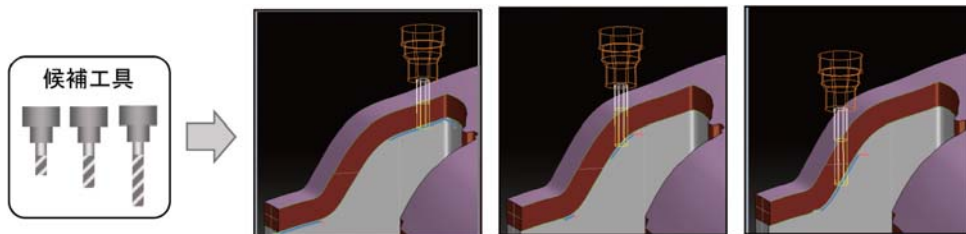


図11 候補工具による干渉自動回避

5.3 凹コーナーRによる二点接触回避

凹コーナー部にピン角がある形状では、工具の二点当たりが発生して加工負荷が大きくなり、

工具折損や加工面の品質低下につながる。そこで、加工負荷が高くなる凹コーナには、接線連続する円弧を挿入して工具の二点接触を回避する機能を実装した(図12)。これにより、加工負荷軽減による工具折損の防止、および加工面の品質低下を抑止する。

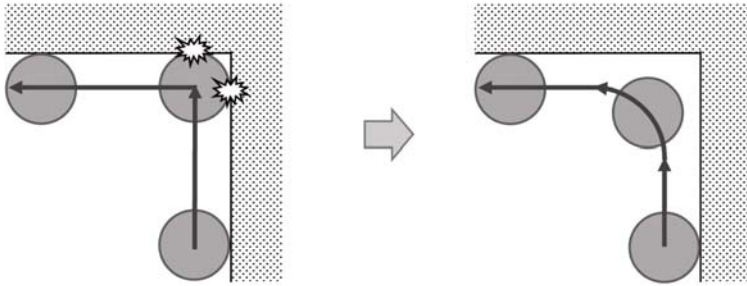


図12 凹コーナR付け

5.4 最大傾斜角度チェックによる工具折損回避

プロフィール加工では、工具のZ軸方向への急激な移動は、加工負荷が大きくなり、工具折損による加工トラブルにつながる。そこで、データの傾斜角度をチェックして、傾斜が急な箇所は穏やかな傾斜に補正する機能を実装した(図13)。これにより、加工負荷が小さくなり、工具折損を回避することができる。

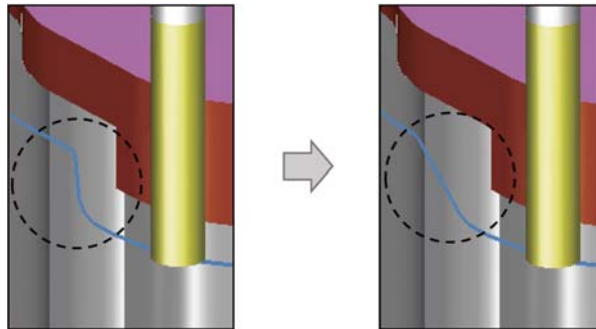


図13 最大傾斜角度チェック

5.5 トロコイド加工・切り込み/深彫り加工による加工負荷の軽減

加工負荷が高くなる凹部の加工は、工具折損などの加工トラブルを起こさないよう、送り速度を下げて加工するため、加工時間が増加する。そこで、凹部にトロコイド動作(円を描く動作)を追加する“トロコイド加工”を実装した。“トロコイド加工”は、“側面加工”、“突き加工”とそれぞれの“部分加工”に対応している。また、“鋼材加工”にも対応している。

“側面加工”では、一周円動作を作成してエアカットとなる部分は直線で結び、滑らかな動作を作成する。“突き加工”では、一周円上に突き動作を作成し、エアカットとなる部分には突き動作を作成しない。これにより、エアカットの少ない滑らかな加工データを作成している(図14)。また、プロフィール面の形状や鋳物代量によっては、一度の加工では加工負荷が高く加工できない場合があるので、径方向には“切り込み加工”、軸方向には“深彫り加工”を用意している。これにより、送り速度を下げずに、かつ加工負荷を抑えた加工を可能にする。

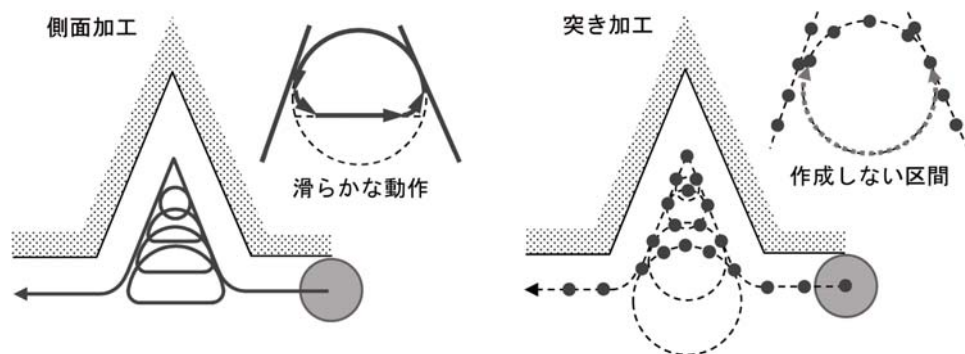


図14 トロコイド加工

5.6 素材モデルを用いた干渉チェック

工具干渉のないデータ作成における課題の一つに、データ作成時の干渉チェック形状と実加工時の初期素材形状が異なることが挙げられる。そこで、素材モデルを使った加工シミュレーションにより工具干渉を確認する機能を実装した(図15)。また、鋳物素材を測定したデータから素材モデルを作成し、加工シミュレーションを行うことで、鋳物誤差による問題も解決することができる。

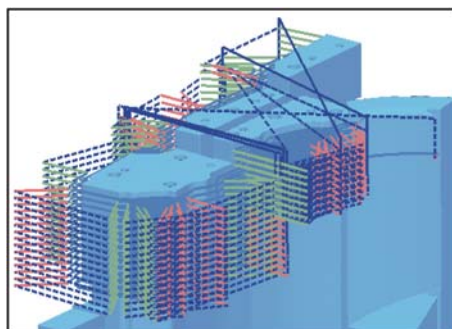


図15 素材モデルによる干渉チェック

5.7 素材モデルを用いた送り速度最適化

プロファイル加工では、プロファイル面の上下の起伏が多い部分、凹コーナ部などに加工負荷が高くなるため、加工現場では、プロファイル面の形状に応じて「送り速度を全体的に遅くする」、「オペレータが手動で送り速度を調整する」などで対応している。そこで、素材モデルを用いて加工負荷率^{*5}を算出して、その加工負荷率の高低に応じた送り速度の最適化(加減速)を行う機能を実装した(図16)。

工具の突き出し長が長い場合や、駆け上がり/駆け下がりの角度が大きい場合は、加工負荷を大きく補正することが可能である。加工タイプは、「側面加工」、「2番逃がし加工」とそれぞれの「部分加工」に対応している。これにより、加工負荷による加工トラブルが回避され、オペレータが手作業から解放されることで無人加工が可能となる。

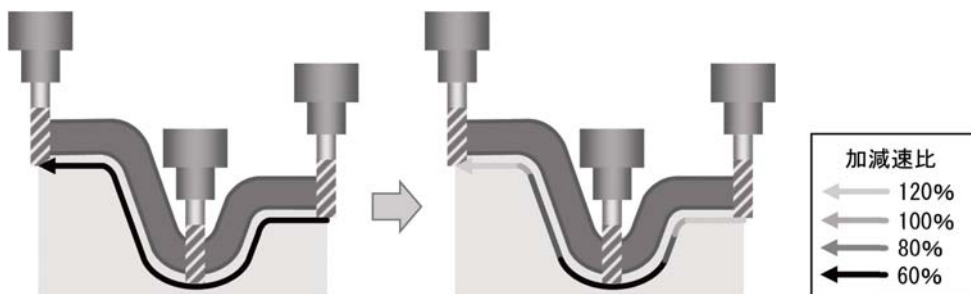


図 16 送り速度最適化

6. 導入効果

3D プロファイルを導入した顧客から高評価を得ている。その中から、いくつかの導入事例を紹介する。

6.1 2番逃がし突き加工の導入事例

1) 導入前

導入前の2番逃がし部の加工は、2次元の輪郭加工データを使用して、オペレータが監視しながらリアルタイムでZ軸方向を手動で割り込みする完全な有人加工であった。そのため、加工時間がかかり、またオペレータが加工機から離れることができず、有人加工の工数削減ができていなかった。

2) 導入後

2番逃がし部を形状沿いに突いて加工する“2番逃がし突き加工”の導入で、加工時間が減少し、2番逃がし部の加工を無人化することが可能になった(表1)。また、オペレータが加工機から離れることができるため、安全面の観点からも有用な加工法である。

表 1 型当たりの時間比較

[型当たり時間]	導入前	導入後	
加工時間	4.0H	1.0H	▲ 3.0H
有人加工工数	4.0H	0.0H	▲ 4.0H

6.2 無人加工化の事例

1) 導入前

正規のプロファイル線に対して、取り代を均一にするための粗取り加工を有人加工で行っていた。2次元の輪郭加工データを使用して現場で高さ制御を行っていたため、オペレータが加工機に張り付いて作業する必要があった。特に、鋼材については、取り代が均一でないと加工負荷がかかりやすく、工具折損につながるため無人加工が困難だった。

また、曲面加工の等高加工を使って粗取り加工をしていたため、プロファイル線に沿った加工が行えず、ワークによってはZ軸方向に無駄な加工範囲ができてしまうこともあった。

2) 導入後

導入後は、3D プロファイルで粗取りの加工データが作成できるようになったため、粗取りから仕上げまで無人加工が可能になった。加工中に、常時オペレータが加工機に張り付いて作業する必要がなくなり、オペレータの作業工数が大幅に削減された。また、プロファイル線に沿った加工データが作成されることにより、エアカットが削減されて加工時間の短縮につながった。これにより、有人加工時間を1/8に削減できた(表2)。

表2 加工時間数比較

[加工時間数]	導入前	導入後	
有人	8H	1H	▲7H
無人	0H	6H	6H

6.3 作業工数削減事例

1) 導入前

自動車部品の試作モデルを樹脂で作成する際に、抜き勾配がない試作モデルは製品面の外周や内周の垂直壁を加工する必要がある。導入前は、曲面加工の等高加工を使用して加工データを作成していたが、意図した加工データにするために「計算前の面修正」、「計算後のデータ編集」など、計算以外に手間と時間がかかっていた。

2) 導入後

垂直壁は、“側面加工”、“側面部分加工”を使用して、大径工具から小径工具へ工具径を落としながら加工している。これにより、計算以外に発生していた作業時間がゼロになり、加工データ作成の工数が38%削減できた(表3)。また、Z軸方向に高低差のある形状でも、指示した線に沿った滑らかな加工データを作成することができ、スジがなくなり、壁面の仕上がり品質が向上した。

径方向の切り込みや軸方向の深彫りを使用することで、加工負荷を軽減した加工も可能になった。切り込みと深彫りの加工順序の優先を設定することで、小物部品(スイッチ類)加工時の素材破損などの防止にも効果があった。

表3 作業別工数比較

[作業別工数]	導入前	導入後	
計算前準備	30分	20分	▲10分
工程設定	5分	5分	0分
計算	5分	3分	▲2分
データ編集	5分	0分	▲5分
合計	45分	28分	38%削減

7. おわりに

金型製作の更なる納期短縮が求められる中、CAM作業時間や加工時間の短縮は直近の課題である。また、海外展開が進む一方で、CAM作業者のスキルの差による品質の差も課題となっ

ている。これらの課題を解決するためには、無人加工を実現する機能に加え、CAM作業の標準化と加工データ作成の自動化が必要である。今後も標準化・自動化の機能強化を図り、更なる納期短縮が実現できる機能を開発していきたい。

-
- * 1 2番逃がし部とは、切り刃部の下の少し凹んだ部分のことである。プレス金型の成型工程において、刃部の欠損の保護やスクラップを切り離すための重要な部分である。
 - * 2 2008年度ユニシス研究会エンジニアリング部会。
 - * 3 日本ユニシス・エクセリューションズ株式会社のCADmeister技術研究会厚木地域交流会の2012年度活動。
 - * 4 候補工具とは、干渉発生時に回避するために使用する複数の工具を、優先順に登録した工具リストのことである。突き出し長・工具径・工具タイプの異なる工具の設定が可能である。
 - * 5 加工負荷率とは、工具径×工具有効長で削られる体積を100%として、実際に切削した素材モデルの体積の比率のことである。

参考文献 [1] 佐野記章, 「CADmeister/3Dプロファイル機能の紹介」, 機械技術, 日刊工業新聞社, Vol.64 No.5, 2016年4月, P56～58

執筆者紹介 佐野記章 (Noriaki Sano)

1998年日本ユニシス・ソフトウェア(株)(2015年日本ユニシス(株)に合併)入社。同年よりCAD/CAMシステムの開発に従事。2005年日本ユニシス・エクセリューションズ(株)出向。同年よりCAD/CAMシステムの開発および企画に従事。



山内鉄哉 (Tetsuya Yamauchi)

2012年日本ユニシス・エクセリューションズ(株)入社。同年よりCAD/CAMシステムの開発に従事。

