

磨きレスを狙う『複合面沿い加工』

“Along Composite Surface Process” Not to Polish the Manufactured Goods

河 野 淳

要 約 金型において、仕上げ加工後の型でプレス成形を行うと3～10ミクロン程度の型の凹凸（カッターマーク）や最大30ミクロン程度の加工段差が成形品に転写される。これらを取り除くために加工後の金型に対し磨くという作業をする必要があるが、この磨き作業には工数がかかる上に、金型自体の精度を低下させる。

磨き作業を最小にするため、加工段差やカッターマークを発生させる原因を調査し、複数の領域を複合一つの経路を作成する機能と加工順の最適化機能、加工速度一定となる経路点配置機能を、複合面沿い加工として実装することにより、それらを解消した。

Abstract When you press mold by using a processed die, unevenness of up to 30 microns is generated in the manufactured goods. You have to polish the manufactured goods to remove the unevenness. The precision of manufactured goods is worsened by this polishing process.

We investigated the cause of the unevenness. As a result, we implemented a process called “Process Along Composite Surface” to solve the problems.

1. はじめに

CAM (Computer Aided Manufacturing) は、CAD (Computer Aided Design) 機能により設計された3次元形状データから工作機械に取り付けられた工具をどのように動かすかが記述されている工作機械の制御プログラム「NCデータ」を作成する機能である。NCデータで加工する（実際にモノを削る）上で重要なのが、工具をどのように動かすか、すなわち工具軌跡である。この工具軌跡（以下、経路と呼ぶ）は用途により様々な算出方法があり、次期CAM^{*1}でも15種類もの経路を求める方法（以下、加工法と呼ぶ）がある。

意匠面と呼ばれる自動車の外形に表れる形状に対しては、顧客が加工後の品質に最も妥協を許さない部分であり、既存の加工法では加工面に加工段差やカッターマークが発生するという問題がある。それらを取り除くためには、加工後に金型を磨くことが必要であり、それは工数の増加と金型自体の精度の低下を招く^[1]。我々は磨きを不要とする加工品質に仕上げると顧客の要求レベルを満たせずにいた。

そこで、意匠面をどのように加工したいかを顧客に確認することから始め、意匠面の特徴、加工上の課題、加工する上でのこだわりを把握し、意匠面に対する加工品質を向上させることを目的とした新たな加工法「複合面沿い加工機能」を開発した。

本稿では、2章で意匠面の加工品質と二つの課題について、3章と4章でそれらの課題を解決する複合面沿い加工について述べ、5章では関連する手戻りの軽減策について述べる。

2. 意匠面の加工品質と課題

自動車のプレス部品には外板（Outer Panel）と内板（Inner Panel）という二種類がある。外板は最終的に自動車の外形に表れる（外から目に見える）部品である。代表的なものにはルーフ、ドアアウター、フェンダー、サイドパネルアウターなどがある。内板は自動車の外形には表れない部品である。代表的なものにはフードインナー、ドアインナー、フロアなどがある。意匠面とは外板のことを言い、意匠的な意図を持って形状設計された曲面を指している。

車両開発工程において、この意匠面のプレス金型を作成するための加工用データ（NCデータ）は、ただ加工できるだけでなく加工後の品質が良いデータを作成することが必須となっている。しかし、既存の加工法を利用して加工した場合二つの課題があった^[1]。

1) 加工段差

最大で 30 ミクロン程度の、加工面上に現れる段差（図 1）

2) カッターマーク

ボール工具で加工したときに残る、想定以上（3～10 ミクロン程度）の加工残りや食い込み

これらは、工作機械、工具および経路それぞれに要因が考えられるが、今回は経路の課題を整理し、対策を行った。

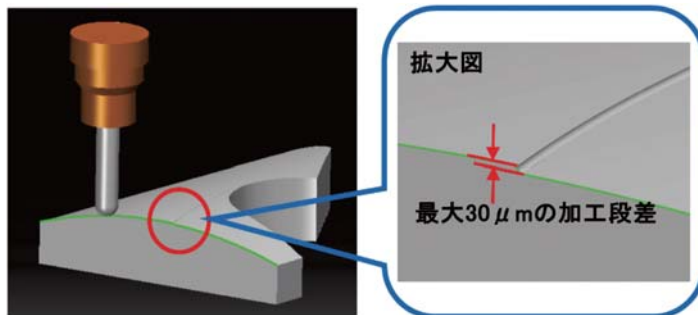


図 1 加工段差

3. 加工段差をなくすための取り組み

本稿で複合面沿い加工と呼称する加工法のうち、加工段差をなくす方策について、本章で説明する。

3.1 領域を分けることにより発生する加工段差の解決

意匠面の仕上げ加工法として、次期 CAM では次の二つの加工法を推奨してきた。

- 1) スキャン加工：計算方向から見て走査線のピッチが一定となる経路を作成
- 2) 面沿い加工：ガイド線を基に面沿いピッチが一定となる経路を作成

しかし、上記いずれの加工法も形状の起伏により加工残りが発生したり、経路の折れにより加工面に筋が付いたりする課題があり、意匠面全体を一つの加工領域として経路を作成することができなかった。このため、加工領域を複数に分ける必要があり、分けた領域の境界部分に加工段差が発生する。

3.1.1 スキャン加工の課題

スキャン加工の経路は、一定ピッチの走査線を形状に接触する位置に作成する手法（図2）である。この手法を利用した場合、意匠面がなだらかな面ならばボール工具による経路間の加工残り（以下、カスプと呼ぶ）は一定になるが、傾斜面など混ざっている場合にはカスプが一定にならない（図3）。そのため傾斜部はピッチや投影方向を変更する必要が発生し、領域を分けることになる（図4）。

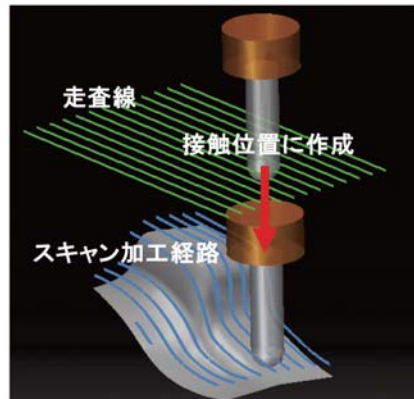


図2 スキャン加工経路

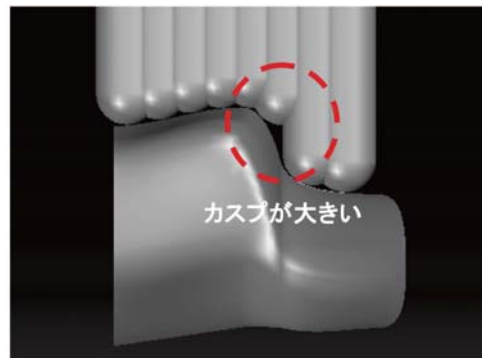


図3 カスプが不均一

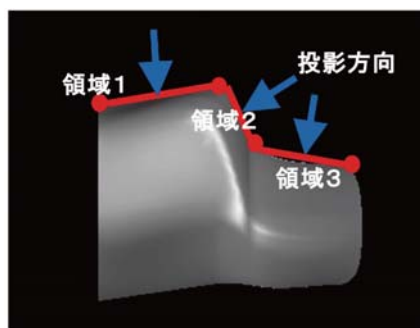


図4 スキャン加工の領域分割

3.1.2 面沿い加工の課題

面沿い加工の経路は面上のガイド線を基準に面上オフセットして経路を作成する手法（図5）である。

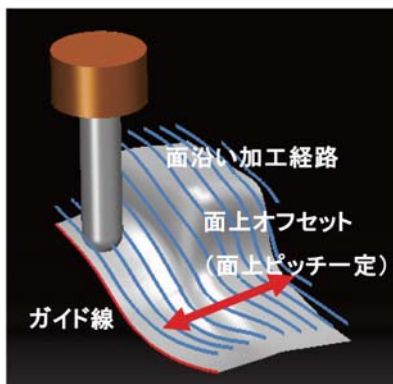


図5 面沿い加工経路

この手法を利用した場合、指示されたガイド線沿いに面上でのピッチが一定となるような経路を計算するため、凹カーブをオフセットしていくことによりカーブ部が縮退され（図6）、経路に折れが発生する（図7）。折れた経路は加工面に筋を残すことになる。

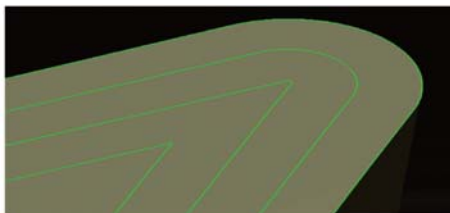


図6 オフセットによる折れ

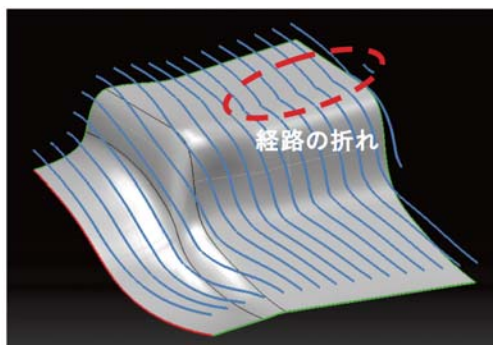


図7 面沿い加工経路の折れ

折れをなくすためには、オフセットによりカーブが縮退しないことを考慮しながら領域を分ける必要がある（図8）。3次元的なオフセットによる折れの発生は、経路を作成してみないとわからないことも多く、何度も領域の作成から経路計算を繰り返す作業が必要となり、作業工数がかかる要因となっていた。

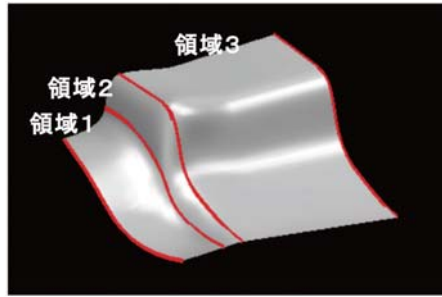


図8 面沿い加工の領域分割

3.1.3 可変投影法による解決

意匠面全体をひとつの加工領域として経路を求めるために、複数のガイド線を指示しそのガイド線間を埋める線（投影元線）を作成し、その線を形状に投影して経路を作成する方法を考案した（図9）。この際、同じ方向から投影するだけでは、作成した経路の精度やピッチが意匠面を加工するための品質を満たせないため、なるべく形状に対し面直に投影する可変投影方法（図10）を採用した。

また、ガイド線間ごとにピッチを指示できるようにし、経路間のピッチ幅を均一にできるようにした。投影方向に関してはガイド線間で急に変化しないよう補間し自動で投影方向を決定する仕組みを採用した（図11）。これらにより、意匠面全体を一領域として経路を求めることが可能になり、複数領域に分けていたときの加工段差の問題を解決した。

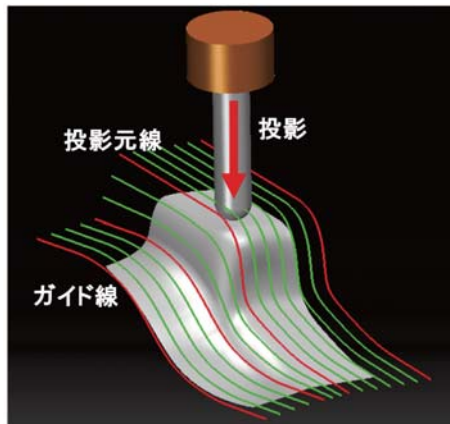


図9 投影による加工法

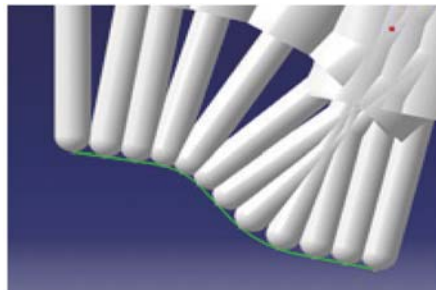


図10 可変投影方法

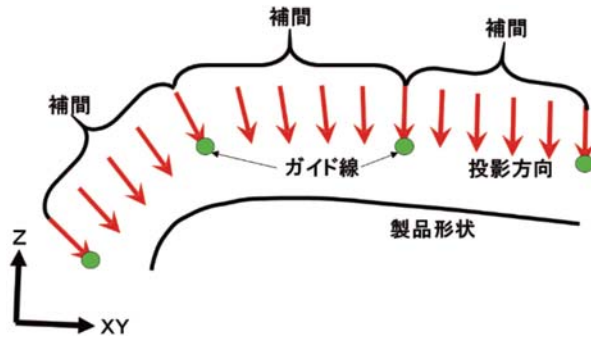


図 11 投影方向の補間

3.2 加工順により発生する加工段差の解決

意匠面を一つの加工領域として経路を作成することは可能になったが、形状によって経路が分割される場合には空中動作が必要となる（図 12）。形状により経路が分割された場合は、異なる投影元線に対し同様に分割された経路をまとめ（経路グループ）、経路グループ単位で加工するように並べ替える（図 13）。

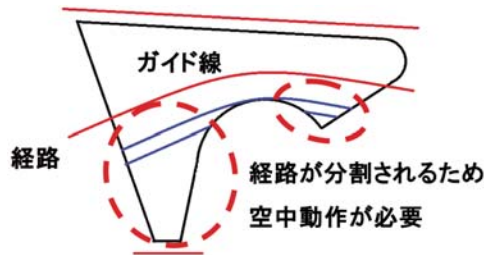


図 12 空中動作が必要となる形状

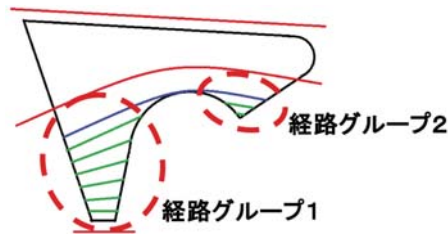


図 13 経路のグループ化

この並べ替えにおいて図 13 の場合、経路グループ 1 を加工後に経路グループ 2 を加工すると経路グループ 1 加工時に工具が磨耗するため経路グループ 2 の境界で加工段差が大きくなる課題があった。また、往復加工（2WAY）での加工指示を行った場合でも、次の経路グループへ乗り移る場合のエアカットが大きいと工具が冷えることにより加工段差が付いてしまうという課題があった。

工具磨耗による加工段差を少なくするために、各経路グループの切削長が短い順に加工すれば、工具磨耗による影響が少なくなると考え、経路グループを切削長の短い順に並べ替える機能を実装した。また、グループ並べ替え後に加工方向を変更することにより、グループ間のエアカット動作を小さくする機能も実装した（図 14）。

これらの実装により、経路が分割され空中動作が必要となった場合に発生する加工段差を抑えることができた。

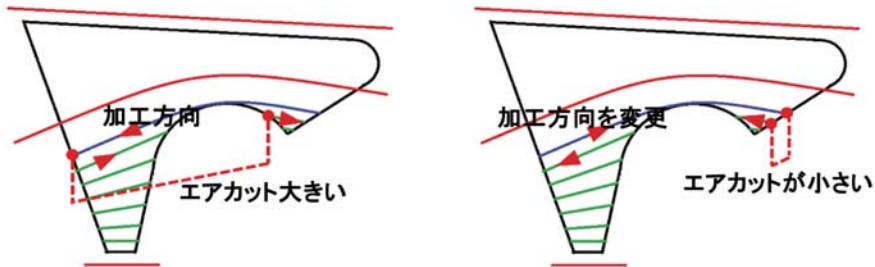


図 14 加工方向によるエアカットの違い

4. カッターマークをなくすための取り組み

複合面沿い加工にて、カッターマークをなくす方策について、本章で説明する。

4.1 工具たわみ戻りにより発生するカッターマーク

NCデータは工具が動作する座標値列とその工具をどのような条件で動作させるのかで表現されており、条件には工具の回転数や送り速度があげられる。NCデータ上では指示した送り速度を出力しているが、座標値列の並びにより工作機械側で加工速度が変化する。カッターマークの原因は、加工中に減速が発生すると、工具がたわんでいる状態から元に戻ることで刃先位置が変わってしまうからだと考えられる(図15)。加工中に減速が発生するのは、工作機械の制御でNCデータ座標値列の折れから送り速度が自動調整されるためである。NCデータの座標値列は経路点列から作成されており、現状の経路点の並びでは送り速度が自動調整され減速が発生してしまう。

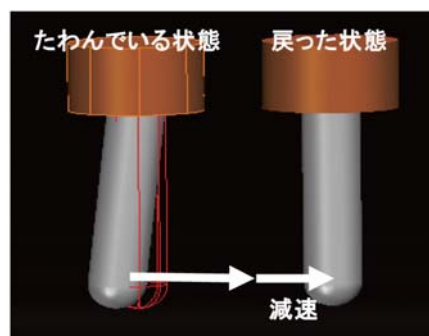


図 15 加工中の工具の状態

4.2 曲率を考慮した経路点配置による解決

送り速度が自動調整されないよう、経路点列をどのように並べるか検討し、経路点列の曲率が急変する部分の折れ角度が大きい時、自動減速される可能性があると考えた。実際にスキャン加工で経路を作成し加工したところ、経路点列の曲率が急変している部分でカッターマークがついていることが判明した。そこで曲率が急変しないよう経路点を配置する機能を実装した

(図16). また、同様に切削開始部分と切削終了部分でも経路点に折れがある場合に減速されることが考えられたため、折れのない乗り切り動作を作成する機能を実装した(図17). これらの実装により、加工減速されることがなくなりカッターマークが発生する問題を解決した.

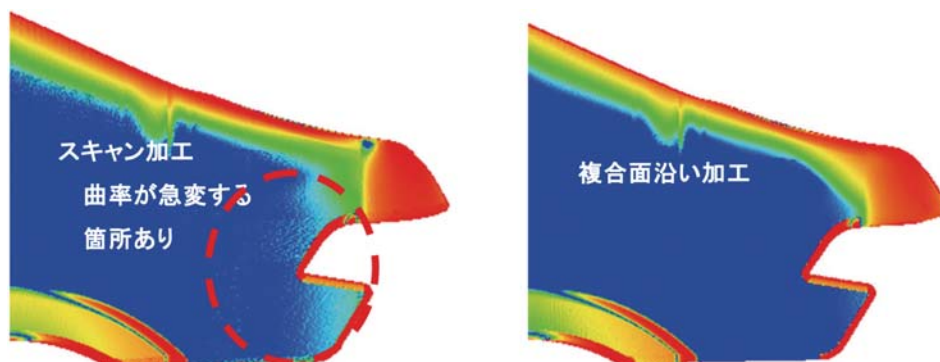


図16 経路の曲率を表示



図17 折れのない乗り切り動作

5. 手戻りをなくすための取り組み

今回開発した複合面沿い加工は、指示されたガイド線とピッチによりガイド線間に投影元線を作成し、その線を投影することにより経路を作成する。そのため、ガイド線間は指定ピッチ以下となるが実際に作成された経路は形状の起伏により面上でのピッチが指定ピッチより大きくなることもある。また、複数のガイド線間で個別にピッチを指定しても、形状により領域間でピッチの粗密が発生することがあった。ピッチを均一にするためには、経路確認後にピッチを変更し再度経路を作成するという手戻りが発生した。実際に経路を求めると計算時間がサイドパネルアウトクラスのモデルで15分ほどかかるため、手戻りが発生すると作業工数がかかってしまう問題があった。そこで、簡易に計算することにより1分ほどで経路を確認できるプレビュー機能を実装し、実際の経路を計算する前にピッチの粗密を確認することを可能にした(図18).

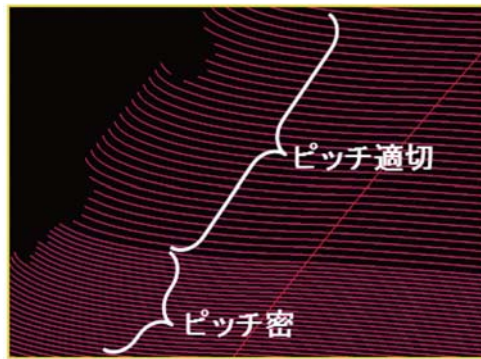


図 18 プレビュー機能によるピッチ粗密の確認

6. おわりに

複合面沿い加工の実装により今までの機能ではできなかった意匠面に対する NC データの作成が可能になり、磨き作業を最小にしても金型自体の精度を低下させることはなくなった。この複数の領域を複合し一つの経路を作成する機能は、他社システムでも実現されていない加工法であり、様々な顧客で利用可能と考えている。また、複数ガイド線指示による可変投影計算による経路作成方法は、意匠面以外にも適用可能と考え、ガイド線のバリエーションの追加やラジラス工具を使った経路作成機能の実装を検討している。

最後に、本稿執筆にあたりご協力・ご指導いただいた皆様に深く感謝し、御礼申し上げます。

-
- * 1 次期 CAM：日本ユニシス・エクセリユーションズが提供する CAD/CAM システムである CADmeister 上に日本ユニシスが CAM 機能を強化した新たな金型製作ソリューションであり、曲面加工用パッケージ、型構造部加工用パッケージおよびプロファイル加工用パッケージから構成される。

参考文献 [1] 日笠山晴久, 三石貴幸, 大坪正典, 蓮沼博行, 工具経路点配置最適化による加工面の高品位化, 型技術, 日刊工業新聞, 25 号, 2010 年 7 月, p.1-2.

執筆者紹介 河野 淳 (Jun Kono)

1989 年日本ユニシス(株)入社。同年より CAD/CAM システムの開発に従事。現在製造システム本部エンジニアリングシステム一部二室に所属。

