

切削負荷制御隅取り加工

Corner Machining with Cutting Load Control

中 島 毅

要 約 一般的に複雑な形状になると隅取り加工の領域の幅は一定ではなくなるため、工作機械の工具軌跡である経路を粗密なく作成するのは困難とされている。現状の隅取り加工の経路は、加工領域の外周から一定距離にオフセットをして内側の経路を作成する波紋経路である。波紋経路は、一部の加工品質や加工負荷の点で、「領域端部の加工過負荷」、「内側経路不足による加工過負荷」、「内側経路の急激な折り返し」という課題を抱えている。加工領域の外周を左右に分割して左右の領域線をガイド線として経路を作成する本数一定経路は、波紋経路が持つ課題を解決できる一方、「加工領域形状によるガイド線選定の難しさ」と「経路間のピッチ一定」という課題がある。それを克服した切削負荷制御隅取り加工の経路は、工具に対する加工負荷が一定になり、工具に優しい隅取り加工の経路である。切削負荷制御隅取り加工の経路の実現は、生産現場の人材不足を補う生産性の向上や作業工数の削減も期待できる。

Abstract Generally, when the shape is complicated, the width of the area of the corner machining is not constant, so it is difficult to create a path, which are the tool trajectories of machine tools, without sparseness or density. The current corner machining path is a ripple path that offsets a certain distance from the outer circumference of the machining area to create an inner path. The ripple path has problems such as “machining overload at the edge of the region”, “machining overload due to insufficient inner path”, and “rapid turnaround of the inner path” from the viewpoint of some machining quality and machining load. The constant number of routes that divide the outer circumference of the machined area into left and right and use the left and right area lines as guidelines can solve the problems of ripple paths, but it is said to have problems of “difficulty in selecting guidelines based on the shape of the machined area” and “constant pitch between routes”. The path of the corner machining with cutting load control that overcomes these problems is a tool-friendly corner machining path in which the machining load on the tool becomes constant. The realization of this method can also be expected to improve productivity and reduce man-hours to compensate for the lack of human resources at the production site.

1. は じ め に

金型成形では、大径の工具から小径の工具までを順に使用し鋳物を加工して金型を作成する。大径工具は加工面全体を効率よく加工するのに適しているが、加工面の隅部（凹フィレット部）に削り残しが発生する。この隅部を加工する加工方法を隅取り加工と呼ぶ。

一般的に複雑な形状になると大径工具での削り残し（隅取り加工の領域）の幅は一定ではなくなるため、工作機械の工具軌跡である経路を粗密なく作成するのは困難とされている。そのため工作機械で切削後に人手で磨きを行い、高品質な製品を作成する。磨きの技術は職人の感覚で調整され、熟練者が多くの時間を費やしている。

筆者が参画したプロジェクトでは、磨きを最小限にするために、従来の隅取り加工を抜本的に見直す活動を行い、隅取り領域の幅の大小を認識して、幅に応じた経路を作成することで凹部の流れを意識した経路と経路間のピッチを一定に保つ経路を作成する切削負荷制御隅取り加工を開発した。

本稿では切削負荷制御隅取り加工について紹介して、その有効性を述べる。まず2章で金型成形について、3章でCAMについて、4章で隅取り加工について説明する。5章で隅取り加工の課題を述べた後、6章で切削負荷制御隅取り加工による隅取り加工の課題の解決方法について紹介する。最後にサンプルデータで現状の隅取り加工と切削負荷制御隅取り加工の経路比較を行い、経路の有効性を述べる。

2. 金型成形

自動車を同種多量生産するためには、自動車部品を同精度で多量に、なおかつ効率的に生産しなければならない。その多量生産に最も適した方法がプレス加工である。

プレス加工とは、対となった金型の間にパネルなどの自動車部品となる素材を挟み、金型の上下から強い力を加えることで、パネルを金型の形に成型することである（図1）。この金型を成形するためのシステムがCAD/CAMシステムである。

CAD（Computer Aided Design）とは、コンピュータを用いて自動車や建築物など部品の金型を3次元形状で設計するシステムである。CAM（Computer Aided Manufacturing）とは、CADで設計した金型を成形するために、鋳物から削り加工するための工具の軌跡（経路と呼ぶ）を算出し、その経路から実際に鋳物を加工する工作機械を制御するためのNCデータを作成するシステムである。このNCデータを使用して工作機械で鋳物を加工し金型を成形する。

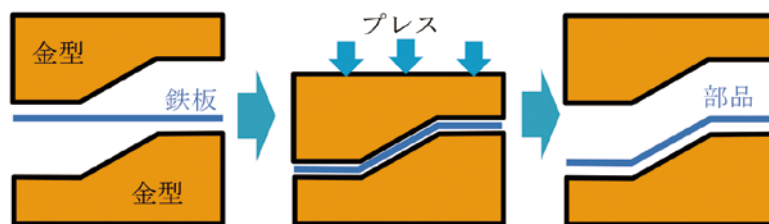


図1 プレス加工

3. CAM 概要

CAMは、CAD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動かす制御プログラム「NCデータ」を作成する機能である。NCデータで実際にモノを削る上で重要なのが工具動作を制御する経路であり、この経路には用途により様々な加工法がある（表1）。加工法は大きく二つに分類できる。最初に大まかに金型形状に近い状態まで加工する「粗加工」と完成形状にする「仕上げ加工」である。本稿で報告する隅取り加工は仕上げ加工の一つである。

表1 加工法一覧

	区分	特徴	加工法
1	粗	等高加工	高速等高粗
2	粗	形状沿い加工	ラジラス平坦
3	粗	隅部加工	残領域ボール
4	仕上げ	等高加工	等高残
5	仕上げ	等高加工	等高スパイラル
6	仕上げ	等高加工	等高輪郭
7	仕上げ	形状沿い加工	スキャン
8	仕上げ	形状沿い加工	面沿い
9	仕上げ	形状沿い加工	複合面沿い
10	仕上げ	隅部加工	隅取り
11	仕上げ	隅部加工	稜線
12	仕上げ	隅部加工	線沿い

4. 隅取り加工

隅取り加工とは、前工程の工具で加工できなかった部分を加工するための経路を作成する加工法である。前工程では大径の工具のため、加工面の隅部に加工残りが発生する。その加工残りを自工程では前工程の工具より小さい工具径で加工する（図2）。

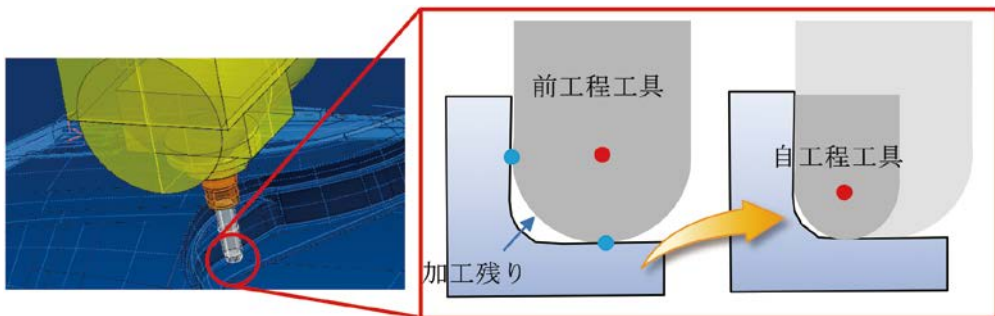


図2 前工程工具の加工残りと自工程工具

4.1 領域自動認識機能

隅取り加工では、前工程の工具径と加工対象形状（製品形状）を入力情報として、自動で隅部を認識して加工する領域（加工領域）を作成する。

前工程の工具径で形状にフィレット掛けをして、製品形状との差分から削り残る部分を検知し、その削り残る部分を自工程工具で加工した場合に、工具中心位置が移動する範囲を加工領域とする（図3）。

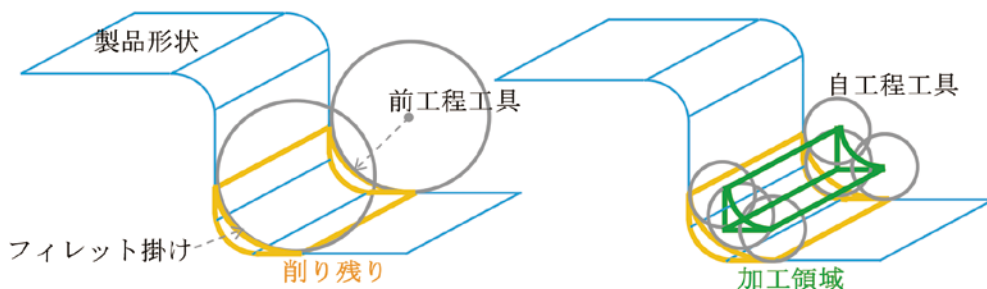


図3 加工領域認識イメージ

4.2 領域に最適な工具選定機能

隅部では、工具のブレを抑えるために製品形状に干渉しない一番短い工具を選定する。製品形状から判断して、干渉しない工具を自動で選択し、その工具で加工できる範囲を決定する(図4)。

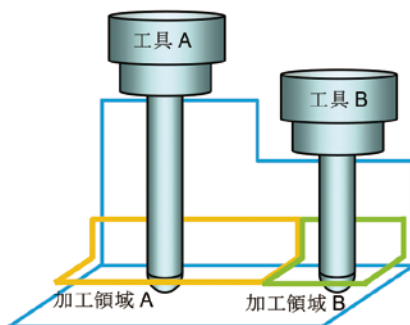


図4 干渉しない工具決定

4.3 領域・選定工具の編集機能

編集機能は、自動で決めた加工領域または選定工具に対して、ユーザが微調整を行うことができる機能である。加工領域の編集機能は、隅取り加工の領域が断片的で不連続な領域の場合に、領域を接続する一連の経路に編集することで加工効率の良い経路を作成できる(図5)。選定工具の編集機能は、対象の加工領域で使用可能な工具を可視化して工具交換を最小限に抑えた工具の再選定を行うことができる(図6)。編集機能により加工効率を上げることができる。

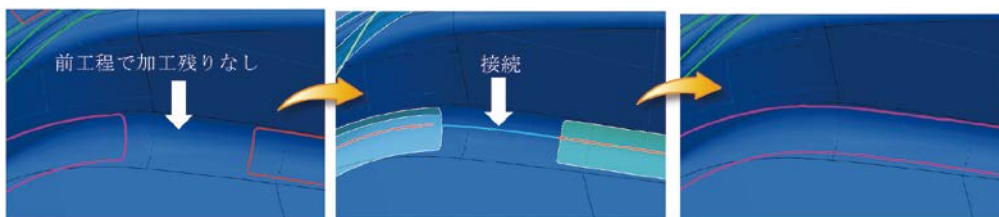


図5 接続機能による加工領域の編集

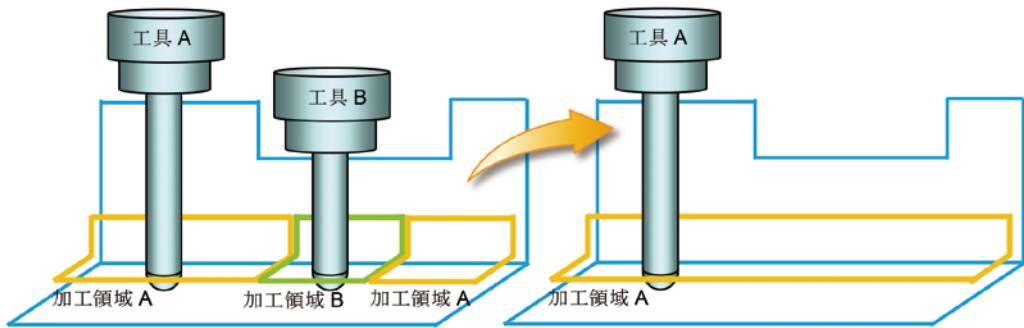


図6 選定工具の編集

4.4 経路作成機能

加工領域の外周から一定距離で内側にオフセットして加工する経路を作成する。作成した経路をさらに内側にオフセットを繰り返すことで、加工領域全体を加工する経路を作成する(図7)。

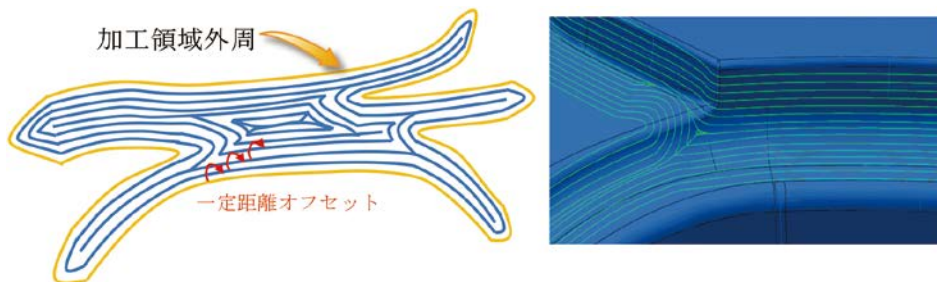


図7 オフセットして作成した経路

5. 現状の隅取り加工の課題

隅取り加工の経路は、加工領域の外周から一定距離にオフセットをして内側の経路を作成する。これを波紋経路と呼ぶ。波紋経路は加工領域の外周から順次オフセットをして経路を作成するため、経路間の離れ(ピッチと呼ぶ)が一定となる。ピッチが一定であるため加工効率が高く、さらに加工面のカスプ^{*1}の高さが一定となることで(図8)、形状に対して均一に加工残りを除去した品質の良い加工面を作成できる。

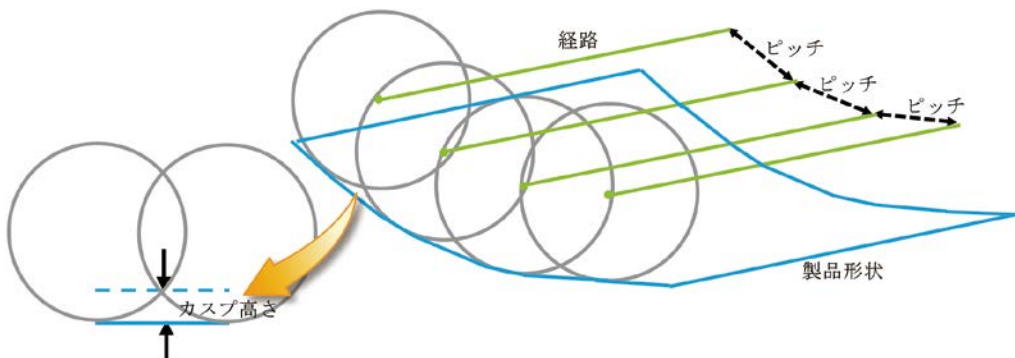


図8 カスプ高さ一定のイメージ

波紋経路は一部の加工品質や加工負荷の点で「領域端部の加工過負荷」, 「内側経路不足での加工過負荷」, 「内側経路の急激な折り返し」の三つの課題がある。この課題は, 加工領域の外周をオフセットして作成する波紋経路の作成方法に起因する。

5.1 領域端部の加工過負荷

波紋経路では, 領域の端部でフィレット形状を横断する経路となる (図 9)。フィレット形状の中心部では, 加工残りが厚く残るために, 横断する経路が中心部に向かうほど工具に対し過負荷な加工となる。結果として, 加工精度の悪化や工具破損の原因になることがある。

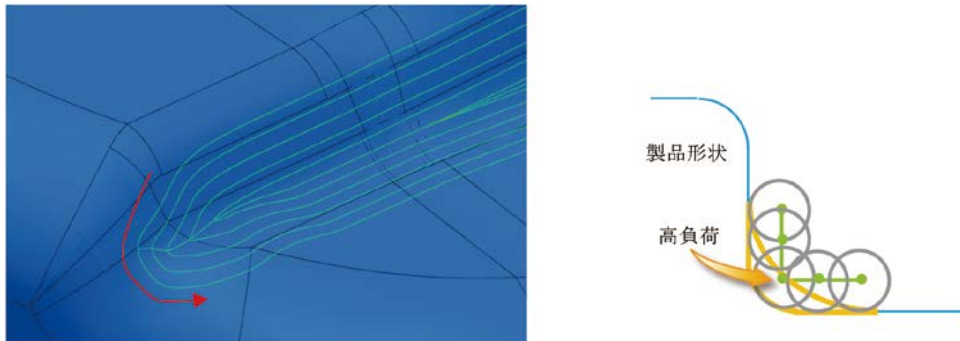


図 9 フィレット形状を横断する経路

5.2 内側経路不足による加工過負荷

加工領域の外周から順次オフセットをして経路を作成するが, 最内側のオフセットに対して経路が出ない場合がある (図 10 左)。このためカスプ高さ以上の残りが発生することで過負荷な加工となる。結果, 加工精度の悪化や工具破損の原因になることがある。負荷を軽減するために, ある条件下では補間経路を追加して対処しているが, 経路のピッチ均一性が損なわれる (図 10 右)。また, 経路が交差するため加工後の品質に課題を残す。

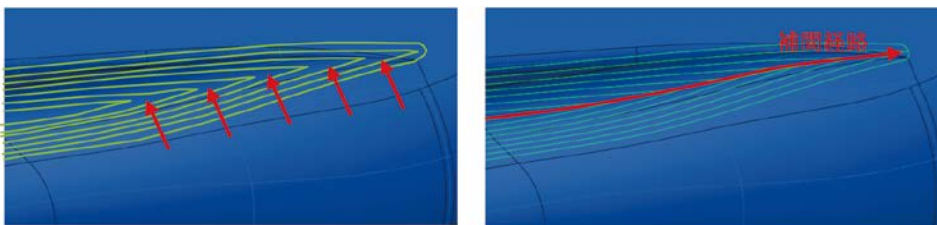


図 10 最内経路と補間経路

5.3 内側経路の急激な折り返し

加工領域の外周から順次オフセットをして経路を作成するため, 内側では急激な折り返しが発生する (図 11)。急激な折り返しは, 加工時に減速が発生するため, 加工効率の悪化や加工面を傷つけることがある^[1]。

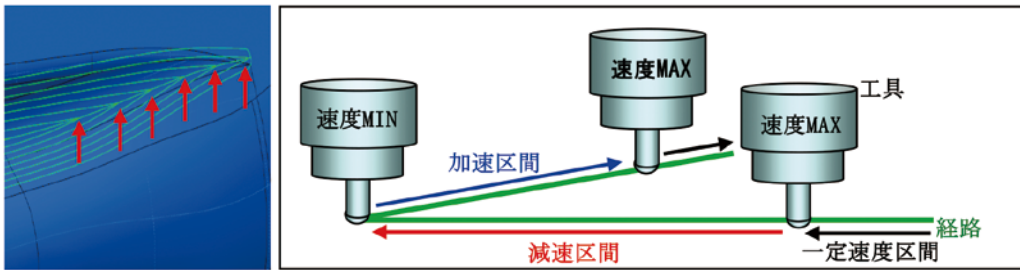


図 11 経路折れ箇所による工具加減速

6. 切削負荷制御隅取りでの課題解決

本章では、前章の課題を解決する本数一定経路について説明する。また、本数一定経路の課題を克服する切削負荷制御隅取り加工の経路を紹介する。

6.1 本数一定経路の採用

波紋経路が持つ三つの課題に対しての解決手法として採用したのが本数一定経路である。

本数一定経路は、加工領域の外周を左右に分割し、左右の領域線をガイド線として経路を作成する。ガイド線から経路ピッチを保証した経路の本数を算出し、ガイド線間に加工する経路を作成する（図 12）。

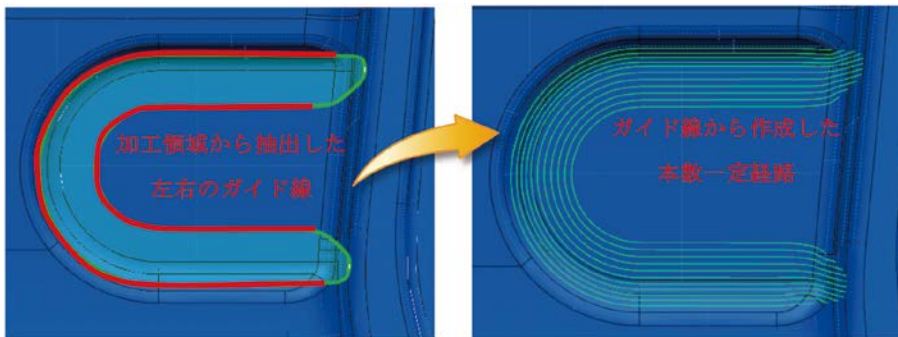


図 12 本数一定経路

本数一定の経路により、フィレット形状を横断する経路はなく、急激な折り返しやカスプ高さ以上の残りが発生しないため、加工時の減速や加工残りに対する過負荷な加工は解消される（図 13）。

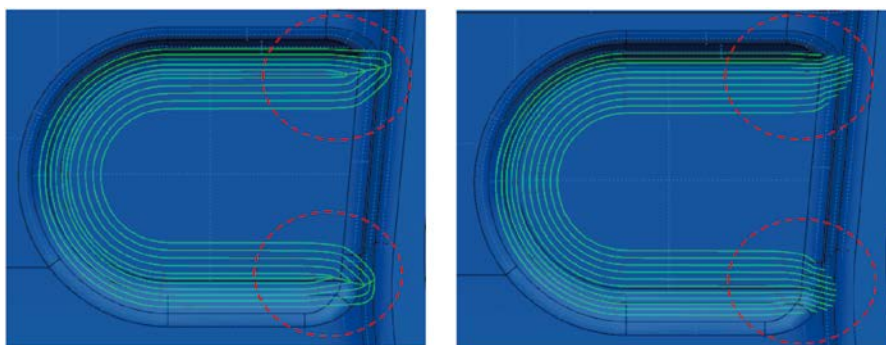


図 13 波紋経路と本数一定経路の比較

6.2 本数一定経路の課題

本数一定経路では波紋経路の課題である「領域端部の加工過負荷」, 「内側経路不足による加工過負荷」, 「内側経路の急激な折り返し」を克服することができた. その反面, 本数一定経路では波紋経路にはない「加工領域形状によるガイド線選定の難しさ」, 「経路間のピッチ一定」の二つの新たな課題がある.

筆者が参画したプロジェクトでは, この課題を克服することが波紋経路を超える隅取り加工の最良経路になると考え課題解決に取り組んだ.

6.2.1 加工領域形状によるガイド線選定の難しさ

波紋経路は加工領域をオフセットするため, 加工領域の形を問わず, 経路を作成することができる. しかし, 本数一定経路では複数個所の隅部が集まった加工領域形状では, 1 領域形状 (1 閉ループ) でガイド線 2 本を決めることは難しい. そのため, 隅部で合流する前の領域毎でガイド線を決定する必要がある (図 14).

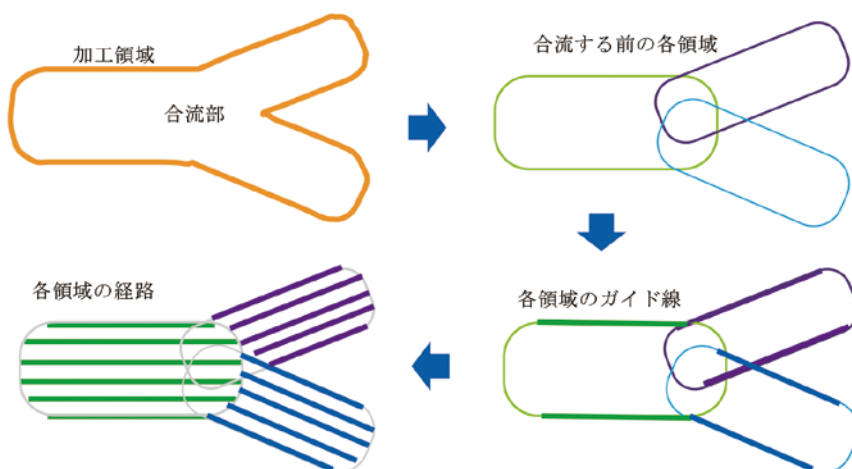


図 14 各領域で作成するガイド線決定

本数一定経路では隅部が合流する前の領域毎に経路を作成し, 各領域内の経路を繋ぐ動作としてピックフィード^{*2}を採用している. 各領域間を繋ぐ動作としては, エアカットを採用して

接続する（図 15）。そのため合流部では、各領域を接続しないためにエアカットが増加して加工時間が増加する。

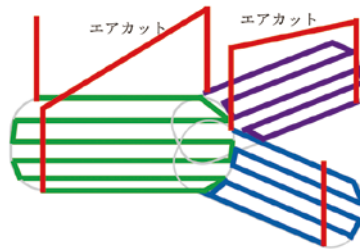


図 15 各領域間のエアカット

エアカットとは、加工途中で工具を安全な高さまで持ち上げて加工素材から一度離れ、再度降りて加工素材を切削する動きをいう（図 16）。エアカットが発生する都度、加工素材への接近・離脱における減速が起きるため加工効率の低下を招く^[1]。

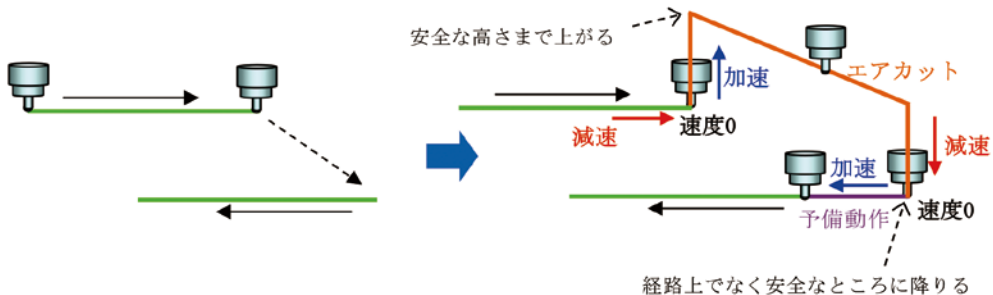


図 16 エアカットの動作イメージ

エアカットの発生を抑止するために、合流部で各領域を接続させて領域の分割を減少させたとしても、領域の幅が異なる場合は経路間のピッチが狭い密状態が発生し（図 17）、加工効率の悪化、加工品質の悪化を招く。

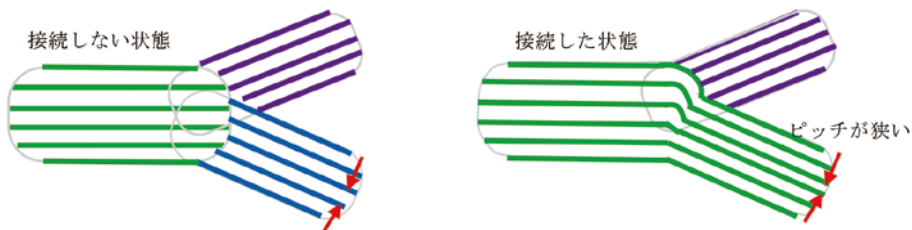


図 17 接続状態による経路ピッチの違い

6.2.2 経路間のピッチ一定

波紋経路は、外から順次オフセットをして経路を作成するため経路間のピッチが一定となる経路を作成する。本数一定経路は、2本のガイド線から経路ピッチを保証した経路の本数を算出し、ガイド線間に加工する経路を作成する。そのため、本数一定経路の経路ピッチはガイド

線間の幅の起伏に影響する。幅が一定な領域ではピッチは一定に近いが、幅が一定でない領域では経路のピッチが狭い密状態が発生し（図 18）、加工効率の悪化、加工品質の悪化を招く。

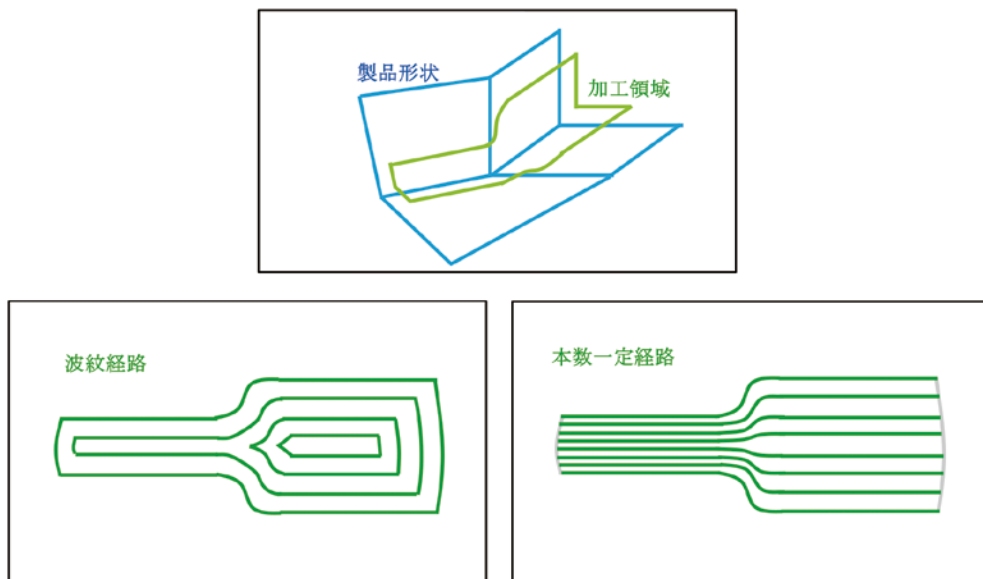


図 18 幅が一定でない領域での波紋経路と本数一定経路の比較

6.3 本数一定経路の課題解決

本節では、前節の課題を解決した本数一定経路（切削負荷制御隅取り加工の経路と呼ぶ）について説明する。

6.3.1 合流部での最適領域接続

領域合流部では経路の密状態が発生しない最適な領域接続が不可欠である。そのため、隅部が合流する前の領域に対し領域の3次元幅を算出し、同等幅の領域同士を接続相手として決定する。

領域の3次元幅は、加工領域の深さも考慮して、その領域のガイド線間を製品形状沿いに横断する線（領域横断線と呼ぶ）（図 19）の線長から算出する。

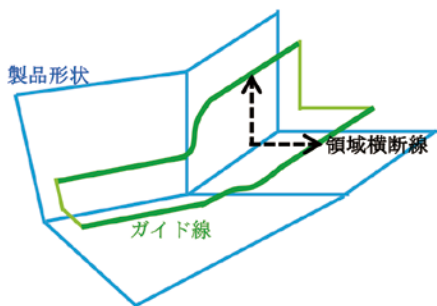


図 19 領域横断線

接続する加工領域に同等な幅がない場合に、複数相手の接続も考察し決定する。複数相手との接続の場合は、各加工領域の3次元幅から接続後の領域の3次元幅が均一となる組み合わせを決定する。決定した組み合わせから対象の領域を均一となる位置で分割し、等間隔でガイド線を設定することでピッチが一定となる本数一定経路を作成する。

この手法により、最適な領域同士の接続ができ、合流部でのエアカット発生を抑止し経路密の発生を解消することができる。

6.3.2 領域幅の変化部による領域分割

領域の幅が変化する位置を検知し、領域幅を一定に保つよう領域を分割する。これにより経路の密状態の発生を抑止し、加工時間の増加、カスプ高さの急激な変動による加工品質悪化を低減する。

領域の幅が変化する位置は、領域の進行方向に対して、領域ガイド線が離れるもしくは近づく箇所を検知する。検知した箇所から、領域幅が一定となる位置で領域を分割する（図20）。

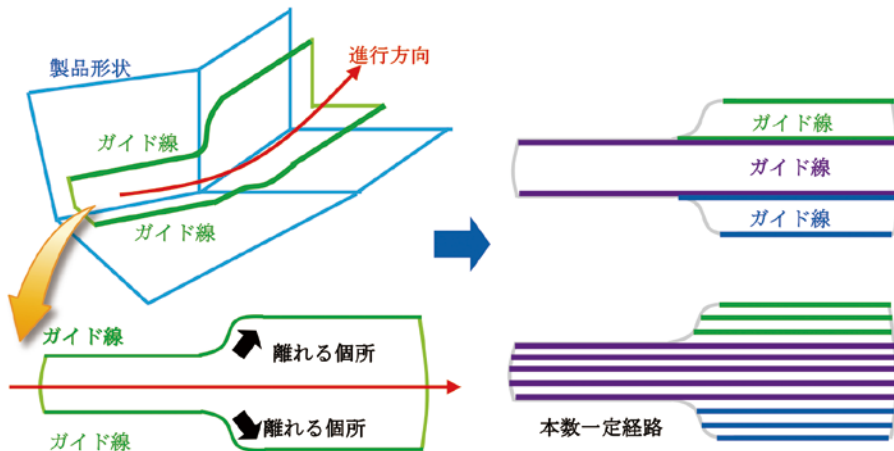


図20 領域幅変化部による領域分割

この分割は、隅部合流部で接続した領域にも有効な手法である。隅部合流部で接続した領域に対して、幅が変化する位置を検知し領域幅を一定に保つよう領域を分割することで3次元幅が一定になる組み合わせを設定することができる。つまり、合流部にて接続しやすくなり、エアカットの軽減に繋がる。

7. 切削負荷制御隅取り加工の経路検証

「隅取り加工の波紋経路」と「切削負荷制御隅取り加工の経路」をサンプルデータで比較し、経路の有効性を検証した（図21）。

図21①では、三つの領域が合流する箇所、最適な領域接続相手となる左側と右側の二つの領域を接続している。また、接続後の領域に対しても領域幅の変化部を検知し、より幅が均一になるように分割している。

図21②では、三つの領域が合流する箇所、最適な領域接続相手となる組み合わせを複数相手と決定し幅が均一になるように分割している。

図 21 ③では、図 21 ②と同様に最適な領域接続相手となる組み合わせを複数相手と決定し、さらに接続後の領域に対しても領域幅の変化部を検知し、より幅が均一になるように分割している。

図 21 ④では、単独の領域に対して領域幅の変化部を検知し、より幅が均一になるように分割している。また、波紋経路において領域端部で加工負荷となる、フィレット形状を横断する経路を解消した。

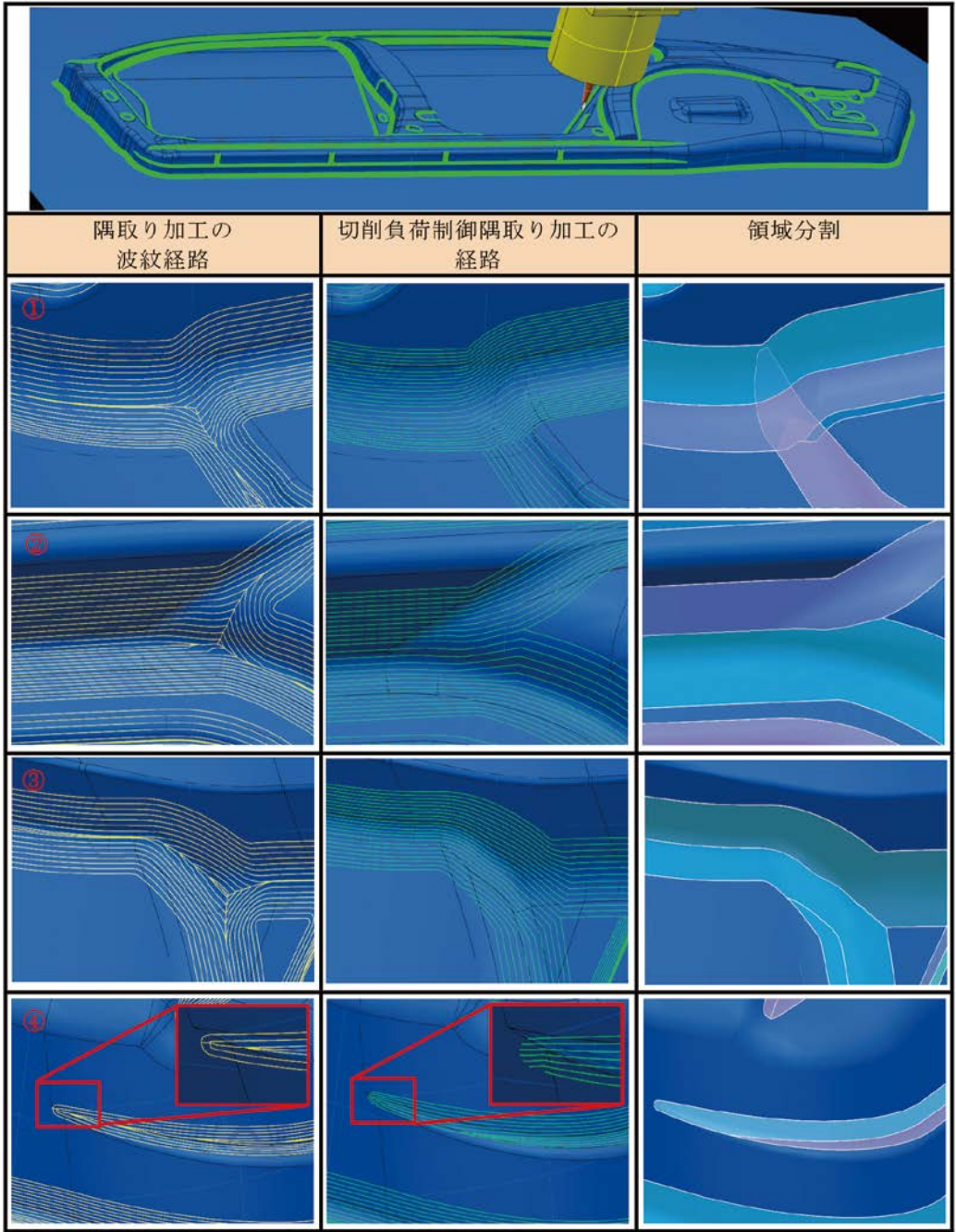


図 21 サンプルデータでの経路比較

いずれのケースも波紋経路特有の急激な折り返しが解消され、経路のピッチにおいても急激な密は発生していない。

図 21 のデータを含む四つのサンプルデータに対して急激な折り返し箇所の発生回数を図 22 にまとめた。波紋経路と比べて、切削負荷制御隅取り加工の経路での急激な折り返し箇所発生率は 0.1% 未満となったことが実証された。

これらの結果から、切削負荷制御隅取り加工の経路は波紋経路の課題を解決し、加工負荷が一定となることから、工具に優しい隅取り加工の経路であり、生産現場の熟練者が多くの時間を費やしている磨き作業時間の削減、熟練者不足を補う生産性向上効果に寄与すると考える。

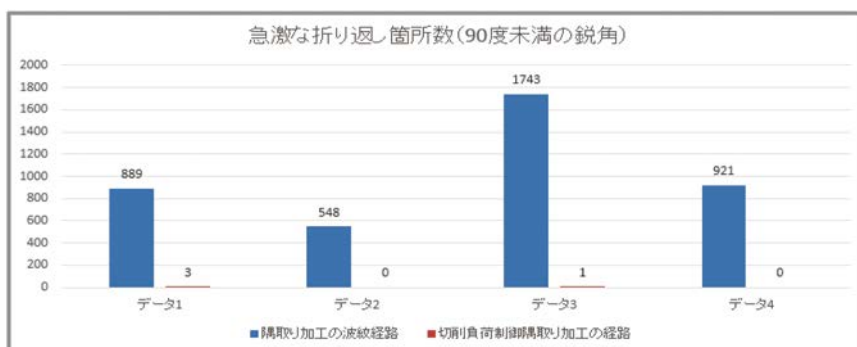


図 22 経路折れ箇所比較データ

8. お わ り に

急激な折り返しが発生しない経路間ピッチを一定に保つ経路を作成する機能を開発したことで高品質で工具に優しい加工を実現することができ、人材不足を補う生産性の向上や作業工数の削減に寄与する機能となった。今後は、プレス加工にはない溝や深い加工残り領域に対する機能強化を実施することにより、今まで以上に適用部品の範囲を拡大して、より多くの顧客にご利用いただけるように取り組んでいきたい。

最後に、本稿執筆にあたりさまざまな形でご協力・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 工具による経路間の加工残りをカスプと呼ぶ。
 - * 2 一定距離以内の基本経路間を繋ぐ動作。製品形状に干渉しない高さで移動するため安全な高さまで上がるエアカットより移動量が少ない。

参考文献 [1] 富田佳宏, 中島毅, 超大物金型への適用を実現する『高速等高粗加工』, ユニシス技報, BIPROGY, Vo.36 No.3 通巻 130 号, 2016 年 12 月, P61 ~ 62

執筆者紹介 中 島 毅 (Tsuyoshi Nakajima)

2000 年日本ユニシス・ソフトウェア(株) (2015 年日本ユニシス(株)に併合, 2022 年に BIPROGY(株)に社名変更) 入社. 同年より CAD/CAM 分野を担当し, 商品開発, 顧客システム開発に従事. 現在, 製造ビジネスサービス第一本部に所属.

