

公益財団法人 川西記念新明和教育財団 研究報告書

一品生産に特化した全自動 CAM ソフトウェアの開発

神戸大学大学院工学研究科

西田 勇

1. 緒言

わが国が目指す新産業革命 Society 5.0 では、クラウドコンピュータや IoT を活用したもののづくり革命により、社会の多様なニーズにきめ細やかに対応できることが求められている。製品の生産では、ユーザが望むユニークな製品を大量生産と同等の効率とコストで生産するマスカスタマイゼーションを達成することが求められている。しかしながら、機械加工に注目すると、現状では熟練者が加工用プログラム（NC プログラム）を作成しなければならず、このことが機械加工の完全自動化の妨げになっている。また、機械加工が熟練者に依存しているため、加工したい製品と加工に使用する機械は 1 対 1 の関係であることが多く、柔軟性に富んだ生産システムが実現されているとは言い難い。また、ユーザのニーズが多様化する一方で、わが国の製造業は少子高齢化による従事者の減少と熟練者の退職という問題に直面している。つまり、機械加工用の NC プログラムの作成のように自動化のための段取りに要する労力が増加するにも関わらず、段取りを行う人的資源は減少している。

これまでに NC プログラムの作成を支援する CAM (Computer Aided Manufacturing) ソフトウェアが数多く開発されてきており、すでに加工現場では広く使われているが、既存の CAM ソフトウェアでは、加工領域の選択や加工順序の決定、加工条件の決定など多くの作業を使用者が行う必要があるため、CAM ソフトウェアの習得には膨大な時間と経験を要していた。また、これらの多くの作業を使用者に委ねているため、NC プログラムの作成の完全自動化は実現できていない。大量生産の場合では、NC プログラムの作成に多くの時間と手間を要したとしても、全体の生産コストに占める割合は小さかった。しかしながら、金型製品や機械部品の試作などの一品生産の場合では、NC プログラムの作成に要する全体の生産コストに占める割合は非常に大きい。そこで、デジタル変革の著しい現状において、従来のような人に依存したやり方ではなく、コンピュータ技術を駆使した革新的なものづくり基盤技術の確立が必要である。本研究では、3 次元 CAD モデルにおいて、CAD ソフトウェアの種類に依存しない形式である STL データのみを入力情報として、完全に自動で加工領域を抽出して、工具経路の生成を全自動で行うことができる革新的な CAM ソフトウェアを独自に開発している。

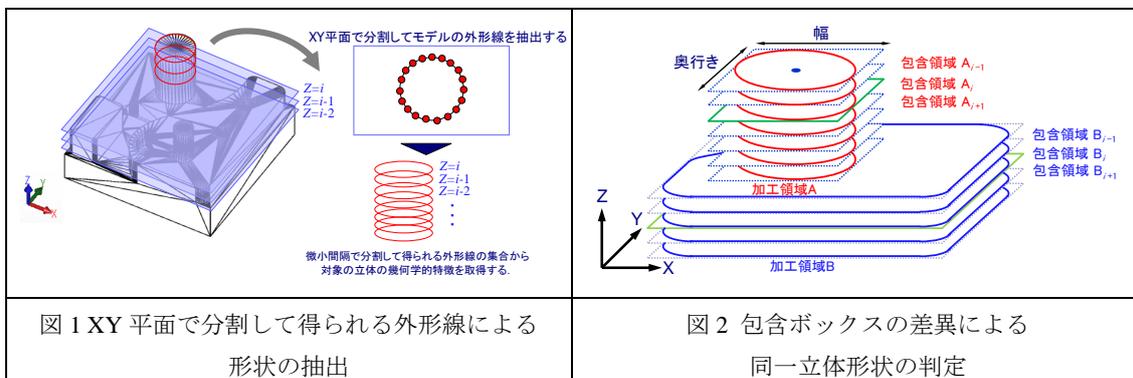
2. 外形線モデルによる加工フィーチャの認識

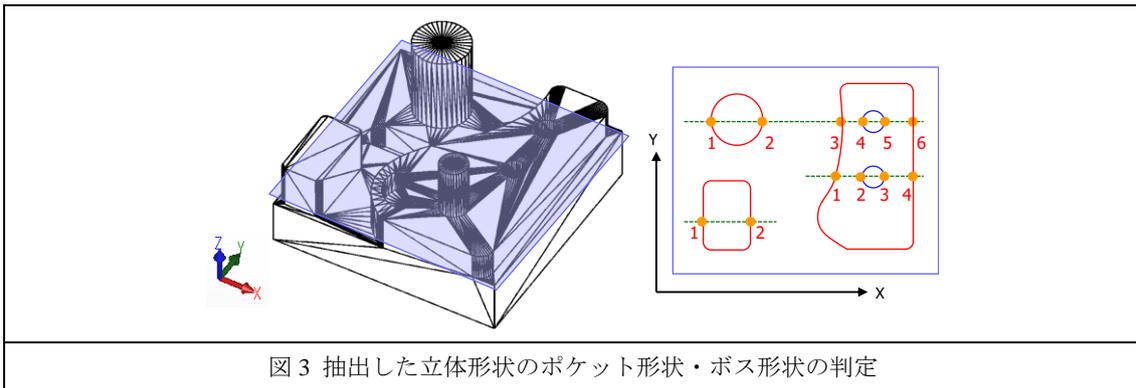
切削加工では、加工領域に対してその加工に適した工具の移動軌跡が必要となるため、CAD モデルから加工領域を抽出し、その幾何学的特徴を求める必要がある。これまでに、目標形状から加工フィーチャと呼ばれる加工工程を特徴付ける領域を認識付けることが提唱され^[1]、様々な加工フィーチャ認識方法が提案されている。目標形状を基に加工フィーチャを認識する方法^[2]や、目標形状ではなく除去形状から加工フィーチャを認識する方法^[3]が提案されている。どちらの方法でも加工領域とその幾何学的特徴を求めることができるものの、これらの処理を自動で行うためには、一般的にカーネルとよばれる CAD 独自の形状

処理機能が必要となり、扱える CAD モデルのデータ形式は使用する CAD ソフトに依存するという問題がある。つまり、データ互換性の課題である。3次元 CAD モデルのデータ形式は、情報量の多寡と互換性の程度に応じて、カーネルデータ、中間データ、メッシュデータの大きく3つに分類できる。しかし製造工程では多様な CAD や CAM が使用されており、CAD のデータ形式と CAM で扱えるデータ形式が異なることがしばしば生じる。そのため、加工現場で再度 CAD モデルを作り直すといった手間が必要となる。メッシュデータは三角形パッチの集合で形状を表現することから STL (Standard Triangulated Language) 形式とも呼ばれ、このデータ形式は汎用性と互換性が高い一方で、CAD モデル作成時の履歴情報やソリッド情報がすべて失われてしまう。つまり、切削加工に必要な加工フィーチャを認識するために必要な情報がすべて欠如したデータ形式となる。本研究では、上記のデータ互換性の課題を克服するために、STL 形式の CAD モデルのみから加工フィーチャを認識し、認識した加工フィーチャに基づいて工具経路を自動で生成する方法を提案する。

まず、図1に示すように3次元 CAD モデルを XY 平面で微小間隔に分割することで、製品形状の外形線を取得する。微小間隔で分割して得られる外形線の集合から対象の立体の幾何学的特徴(高さ、アプローチ面の形状、大きさなど)を取得することができる。ここで、図2に示すように各 Z 値での分割平面で取得できる外形線に対して、中心座標の位置および包含ボックスの差異がしきい値以内であれば同一領域として判定する。これを同一領域として判定されなくなるまで外形線を重ね合わせることで凸形状もしくは凹形状の立体形状を取得することができる。

上述のように微小間隔に XY 平面で分割して得られる外形線を重ね合わせることで、ボス形状やポケット形状を構成する立体形状を取得することが可能であるが、STL データでは点と線の集合であるメッシュデータで構成されているため、取得した立体形状がボス形状かポケット形状かは容易には判別できない。そこで本研究では、図3に示すように取得した立体形状が存在する任意の Z 値での XY 平面に対して、対象の外形線の中心の Y 座標での X 軸と平行な直線と XY 平面上に存在する外形線との交点を算出する。X 値の小さい方から順に交点の番号を付与していき、対象の外形線との交点の番号が奇数となる場合は、ボス形状と判定することができる。また、対象の外形線との交点の番号が偶数となる場合は、

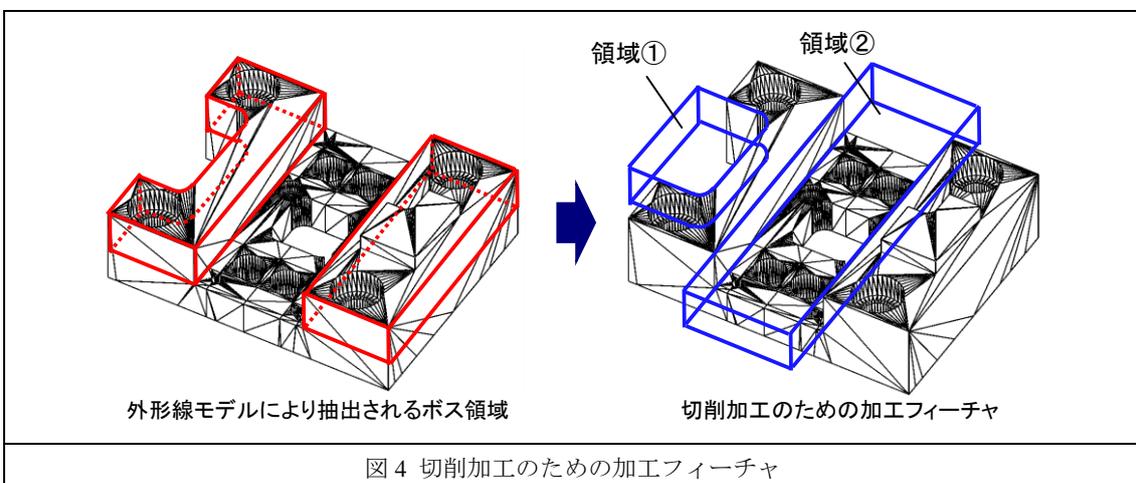


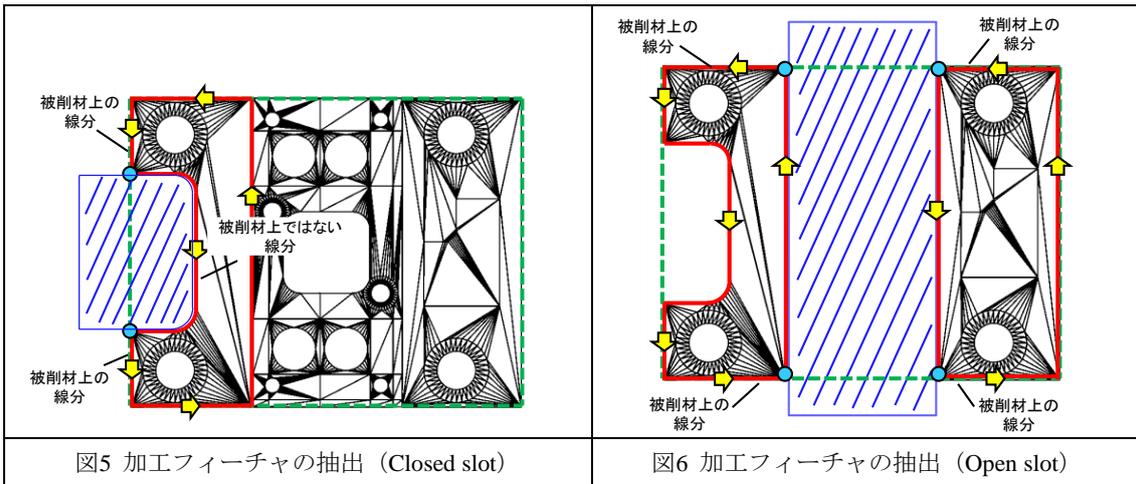


ポケット形状と判定することができる。これらの処理を得られたすべての立体形状に対して行うことで、3次元CADモデルのSTL形式のデータのみからポケット形状やボス形状といった加工フィーチャを認識することができる。

上記で述べたように、三角形パッチの集合で表現しているSTL形式のCADモデルに含まれるポケット形状やボス形状を抽出し、それらの幾何学的特徴を抽出することが可能となるが、図4に示すように切削加工では、ボス領域の一部に被削材と接している凹部が存在する場合は、ポケット領域として抽出すべきであり、(領域①)、複数のボス領域に挟まれた領域はポケット領域として抽出すべきである(領域②)。

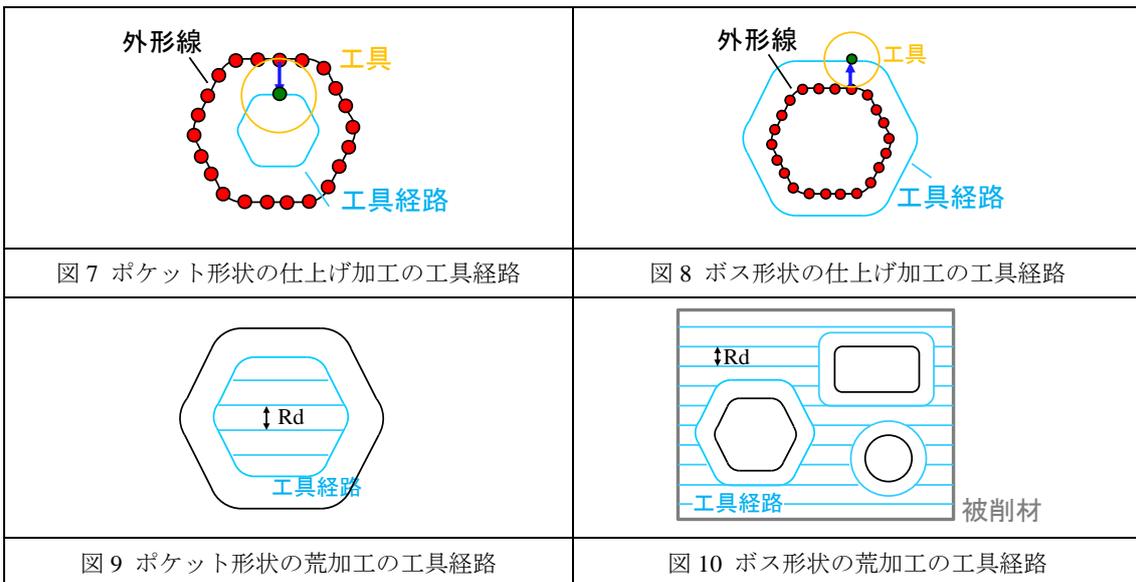
図5に示すように、得られたボス領域の外周の点群を任意の点から反時計回りに解析して、線分が被削材の外周上に存在している状態から一度被削材の外周上ではなくなり、再度被削材の外周の同じエッジ上に存在するような箇所が抽出された場合に、被削材の外周上ではない領域をポケット領域として抽出することが可能となる。また、図6に示すように、得られたボス領域の外周の点群を任意の点から反時計回りに解析して、線分が被削材の外周上に存在している状態から被削材の外周上でなくなる点が、別のボス領域の同様の点とともに、被削材の外周の同じエッジ上に存在する場合に、ポケット領域として抽出することが可能となる。





3. 加工フィーチャに基づいた工具経路の生成

抽出した加工フィーチャに対する工具経路は、仕上げ加工の場合、ポケット形状であれば、図7に示すようにメッシュデータをXY平面で分割して得られる外形線に対して、工具半径分だけ内側にオフセットすることで等高線加工の工具経路を算出することができる。ボス形状であれば、図8に示すように得られる外形線に対して、工具半径分だけ外側にオフセットすることで等高線加工の工具経路を算出することができる。荒加工の場合、ポケット形状であれば、図9に示すように仕上げ加工の工具経路に対して、半径方向切込量 (Rd) の間隔でX軸に平行な直線と仕上げ加工の工具経路との交点から工具経路を生成することができる。また、ポケット形状のアプローチ面が円である場合は、ドリルによる穴加工の工具経路を生成することもできる。ボス形状であれば、図10に示すように同一高さに存在するすべてのボス形状の仕上げ加工の工具経路に対して、半径方向切込量 (Rd) の間隔でX軸に平行な直線と仕上げ加工の工具経路との交点から工具経路を生成することができる。



4. 加工フィーチャに基づいた工具経路の生成

外形線モデルによる3次元CADモデルの形状認識および切削加工のための加工フィーチャの認識方法の妥当性を検証するため、図11に示すような3次元形状に対して、解析を行った。図11には算出した工具経路を併せて示す。また、被削材にアルミニウム合金A2017を用いて実加工した結果を図12に示す。図12に示した結果から、提案した方法の有用性が確認できた。

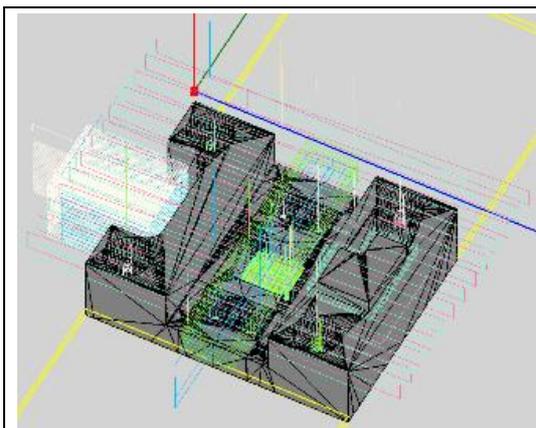


図11 3次元CADモデルおよび工具経路の結果

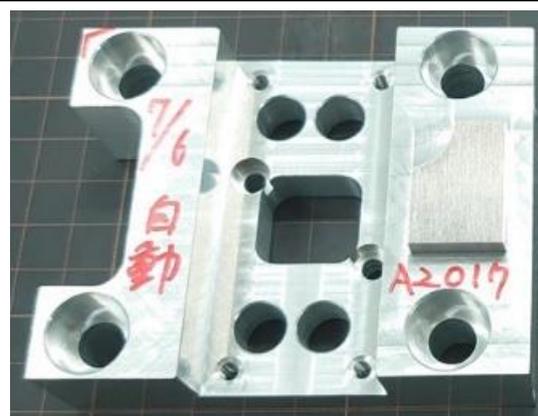


図12 実加工結果

謝辞

本研究を遂行するにあたり多大なご支援をいただきました。公益財団法人川西記念新明和教育財団およびご関係の皆様へ深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 杉村延広, 工程設計システムの現状と将来, 精密工学会誌, Vol.72, No.2, pp.165-170 (2006)
- [2] El-Mehalawi, M. and Miller, R. A., A database system of mechanical components based on geometric and topological similarity. Part I: representation, Computer-Aided Design, Vol.35, No.1, pp.83-94 (2003)
- [3] Sakurai, H. and Dave, P., Volume decomposition and feature recognition, part 1- polyhedral objects, Computer-Aided Design, Vol.27, Issues 11, pp.793-869 (1995)