

論文・解説

32

金型設計における機械加工性検証システムの開発 Development of Manufacturability Verification System for Assisting Holder Part Design

毎田 和博^{*1} 石丸 真^{*2} 中廣 幹夫^{*3}

Kazuhiro Maida

Shin Ishimaru

Mikio Nakahiro

要 約

昨今、複数の生産拠点における同時生産への即応や、グローバルな販売環境の変化に対応するため、プレス金型量産準備業務において、更なる期間短縮、金型コストの削減が求められている。それに応えるため、これまで3D金型設計のバーチャルな世界で設計の確かさを検証する品質保証プロセスを構築し、手戻りのないスムーズな量産準備プロセスの実現を目指してきた。しかし、これらの検証は、設計最終段階の限られた時間内でしか行えず設計プロセス内で手戻りが発生するため、設計者への時間的な負担が大きくなり問題となっている。その問題を解消するためには、設計者自身が、設計途中において簡単に短時間で検証することが求められる。本稿では、簡単に短時間で「機械加工性検証」ができるシステムを開発したので紹介する。本システムを使うことで、金型設計段階ですべての品質を保証するプロセスの実現に更に一步近づけることができた。

Summary

In order to respond to the concurrent production at plural production bases and global changes in the marketing environment, in recent years further lead-time and cost cuts have been required in the stamping-die pre-production process. To that end, we developed a 3D design quality assurance process, aiming to achieve a pre-production process with no reworks taking place. This quality assurance process, however, only allowed engineers to verify the design quality in the final stage of the design process. As a result, reworks took place throughout the design process, thus interrupting engineers' work and requiring increased man-hours. To solve this problem, we have newly developed a manufacturability verification system which allows engineers to verify the design quality both readily and briefly in the design process. The development of this system has brought us one step closer to establishing a process that satisfies all quality requirements in the stamping-die design process.

1. はじめに

昨今、複数の生産拠点における同時生産への即応や、グローバルな販売環境の変化に対応するため、プレス金型の量産準備業務において、更なる期間短縮、金型コストの削減が求められている。

これらの要求に対応するため、これまで3D金型設計のバーチャルな世界で設計の確かさを検証する品質保証プロセスを構築することで、手戻りのないスムーズな量産準備プロセスの実現を目指してきた。

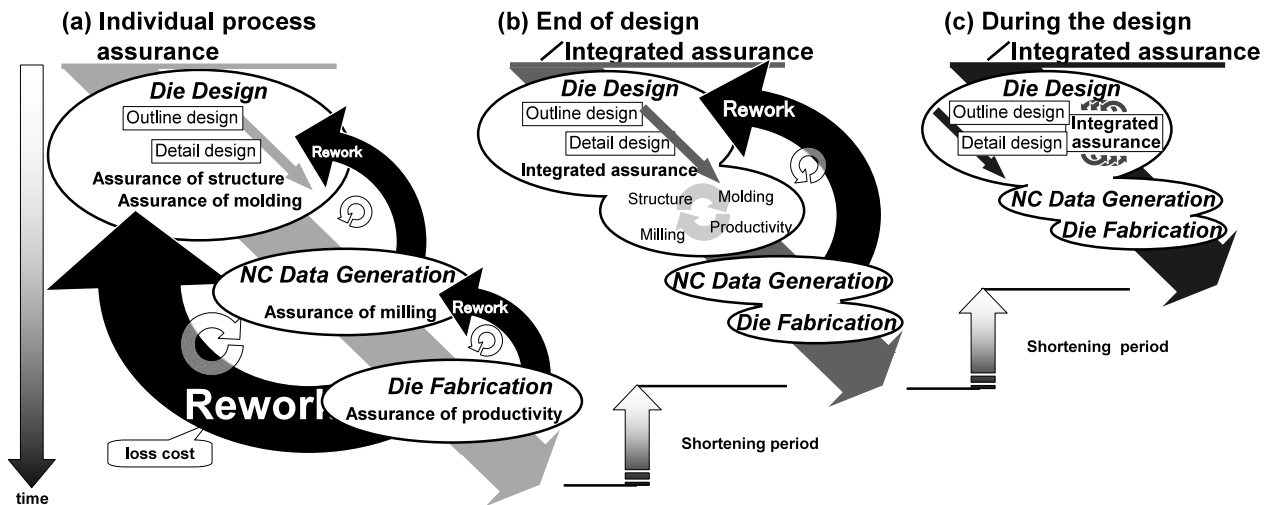
従来は、設計の後工程であるNCデータ作成や金型製作（機械加工・組立・トライアル）のプロセスにおいて、

個々のアウトプットを保証するために、設計の不備を“手戻り（不具合対策）”という形で補いながら、時間をかけ、コストアップを重ねながら金型を熟成していくしかなかった。更なる期間短縮、金型コストの削減が求められる今、これらの手戻りという無駄をとことなくさなければならぬ（Fig.1(a)）。

そのため、「上流の工程である設計プロセス内で、金型のすべての品質を保証して、後工程では淡々と設計通りに金型づくりができる姿」をつくる必要がある。

そこで我々は、設計の最終段階で、プレス成形と金型製作のスキルを持つ人が、3D設計モデルの機能性や製作性の検証（チェック）を行い、後工程の手戻りを削減してきた。

*1~3 車体技術部
Body Production Engineering Dept.



しかし、設計最終段階の限られた時間内で、ほぼ出来上がった3D設計モデルに対して検証し、更に検証結果による構造修正を行うため、設計者への時間的な負担を大きくしている。それゆえ、検証により出た大幅な構造修正を必要とする効率化案すべてを金型に織り込めず、設計者が必要と判断する最低限の修正に留めてしまっている (Fig.1(b))。

これらの問題を解消するためには、設計の初期段階での構想設計を十分に行った上で、最小限の手戻りですむ設計途中段階で、設計者自身による金型の機能性や製作性の検証を短時間で行い、金型の熟成度を早期にスパイラルアップさせ品質保証をすることが重要と考える (Fig.1(c))。

本稿では、設計途中段階で金型の品質を保証するための支援システムの一つである機械加工性検証システムの開発について紹介する。

2. 機械加工性検証

2.1 機械加工性検証とは

3D設計モデルを基に、加工困難な形状を見つけ出し、加工が容易に行える金型構造への修正を検討するプロセスを「機械加工性検証」と呼んでいる。

加工困難な形状の代表的事例は、「工具ホルダが金型構造に当り、最長工具でも加工面まで届かない (Fig.2(a))」、「加工面と周囲の構造との隙間が狭く、工具先端の径が入

らない (Fig.2(b))」などが挙げられる。

これらは、使用工具の加工限界を超える金型構造のため起こり、設計後工程であるNCデータ作成や機械加工段階で検出された場合は、機械加工の中断、設計変更待ちといった、対応に1日から数週間を要する大きな手戻りとなる。

2.2 従来の機械加工性検証の問題

設計者は、金型の機能要件だけでなく、加工要件に関する知識も持つ必要がある。その加工要件の大部分を占め、多様で見落としが多いのは、加工限界の条件である。それも、大型の金型部品ともなれば、数百もの加工面が互いに関連し合い、使用工具も多種にわたり、熟練の設計者でも、このように複雑で、多様な加工限界の条件すべてを漏らさず考慮し、設計することは難しい (Fig.3)。

従来、加工困難形状の確実な検出方法は、NCデータ作成時に、周囲構造と工具との干渉により、工具経路が発生しない部位を該当形状とする方法しかなかった。しかも、この検証方法を行うには、NCデータ作成、機械加工のスキルを必要としており、設計者が簡単に、短時間で実施できるものではない。そこで、NCデータ作成や機械加工のスキルを持った専任者が、設計最終段階でNCデータを作成し機械加工性検証する方法をとらざるを得ず、これにより、機械加工からの手戻りを防止してはいるが、3D設計モデルの大幅修正による手戻りが発生した。

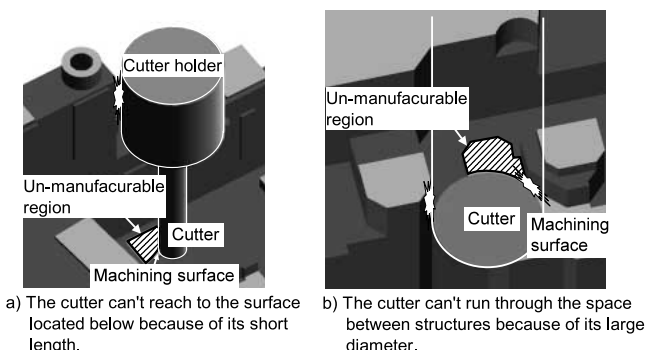


Fig.2 Un-Manufacturability Region

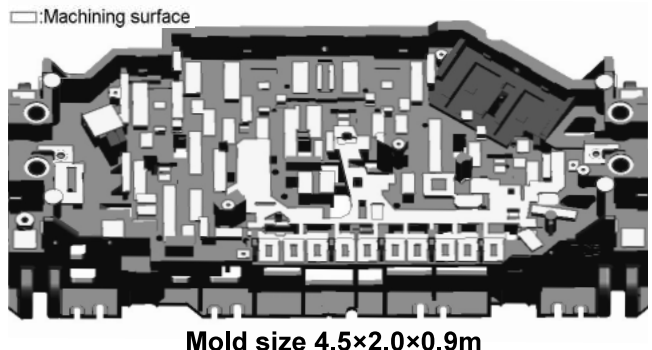


Fig.3 A Large Holder Part (Example)

3. 機械加工性検証システムの開発

設計プロセスの問題を解決するため、NCデータ作成や機械加工のスキルがなくても高速で機械加工性検証できるシステムを開発した。

金型構造中の加工困難形状を検出し、設計者に掲示するシステムの概要を、以下の2ステップに示す。

Step1: 3D設計モデルを膨張させ、素材誤差を考慮した加工検証用の素材モデルを作成する。

Step2: NCデータを作成せず、工具選択のみで、素材モデルと工具モデルから検証し加工困難な形状を検出する。

また、機械加工性検証を、設計途中で短時間で実施するためには、上記ステップを高速で処理しなければならない。

本システムの開発においては、本来のグラフィック処理だけでなく高い並列計算能力を活用したGPGPU (General Purpose GPU) などによる数値演算でも注目の集まっているGPU (Graphic Processing Unit) を用いた高速計算¹⁾を組み込んだ。

以下に開発した二つの技術を紹介する。

3.1 素材モデルを高速で自動生成する技術

本システムで扱う素材モデルは、「加工面」と「非加工面」とで構成され、「加工面」は設計寸法通り、「非加工面」は、加工素材が持つ誤差において最大の誤差（素材誤差）量だけ膨張させた、設計とは異なる形のモデルである。

プレス金型の主な加工素材は鋳物で、大きな素材誤差を持つ。加工困難形状の検出に際し、加工素材には素材誤差が一律に（膨張側へ）付加されているという最も厳しい加工条件を想定しなければならない。そのため、「設計者が、一分の見落とししもなく検証できる、素材誤差を含んだ実物に近いモデル（素材モデル）の作成」が必要となる（Fig.4）。

このような素材モデルを作成するには、3D設計モデルを基に、CAD機能を駆使し、モデル定義する方法もあるが、短時間で定義できる専用CADソフトウェアは存在せず、現行の設計業務に素材モデル定義作業を組み込む余裕もなく、リードタイムをかけることは許されない。よって我々は、この素材モデルを簡単かつ、高速で自動生成する技術を開発した。その処理手順を以下に述べる。

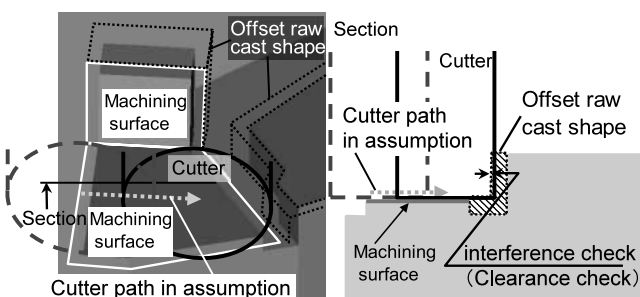


Fig.4 Interference Check between Cutter and Offset Raw Cast Shape

(1) 入力用3D設計モデルの作成

素材モデルの生成には、3D設計モデルのデータ構造を変換し、本システムへの入力用3D設計モデルを準備する。

次項目で詳細な説明を行うが、準備する入力用3D設計モデルのデータ構造は、非加工面の膨張形状を瞬時に得る等の高速処理のため、GPU演算に直結できるポリゴンモデル（多面体近似モデル）とした。また、加工面は、使用工具の違いにより、加工属性で分類した。

3D設計モデルには、設計者の意図を後工程へ伝達する目的から、様々な属性情報が付けられており、その属性情報の一つとして、加工属性に応じたいくつかの色を、モデル上の加工面に付けている。その色を利用して「自由曲面、座面、側面、傾斜面、ポケット、溝、および穴」加工の主要7種類の加工属性に分類した（Fig.5）。

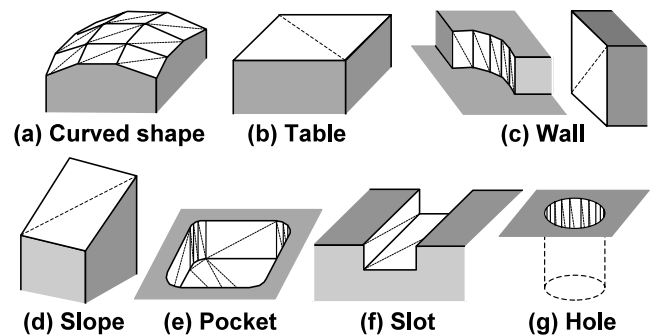


Fig.5 Seven Types of Form Features

(2) 非加工面の膨張（膨張形状の生成）

3D設計モデルの加工属性を持たない非加工面のみを、素材誤差量だけ膨張させた形状を生成する。膨張形状は、ポリゴン要素の頂点、辺、平面を、以下のように置き換えることで得る。

頂点と辺は、素材誤差量を半径とした球と円筒に、平面は、裏表に素材誤差量の厚さを持った厚板にそれぞれ置き換えて、その表面のみを膨張形状とする（Fig.6）。

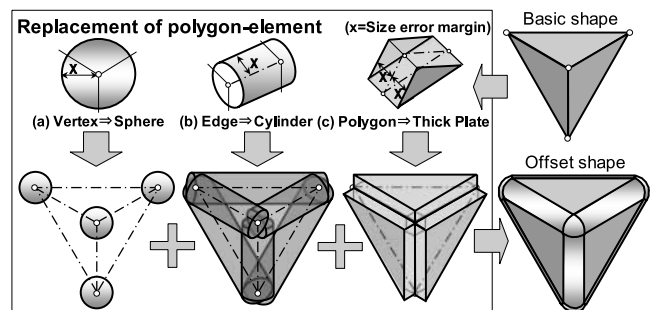


Fig.6 Generation of an Offset Shape

(3) 加工面の拡張（加工拡張面の生成）

加工面は、設計寸法通りで誤差を含まないが、素材モデ

ル上では、非加工面と隣接関係にある加工面は、前項目の膨張形状をすべて削り取れるように、加工範囲を広げる必要がある。ゆえに加工面輪郭から、滑らかに加工面に接する方向に素材誤差量だけ範囲を拡張した、「加工拡張面」を生成する (Fig.7)。

この加工拡張面と、非加工面の膨張形状とを考慮し、素材モデルを表現するためには、更に、「膨張形状と加工拡張面」、「加工拡張面と加工拡張面」の処理が重なった場合の対応が必要である。

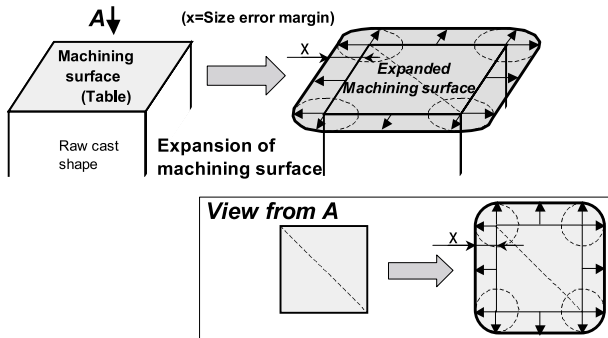


Fig.7 Expansion of Machining Surface

(4) 「膨張形状と加工拡張面」の重複処理

膨張形状と加工拡張面の重複は、加工面と非加工面が隣接する場合に発生し、このような場合は膨張形状のうち、加工拡張面から突出する部分を除去する処理を行う (Fig.8)。

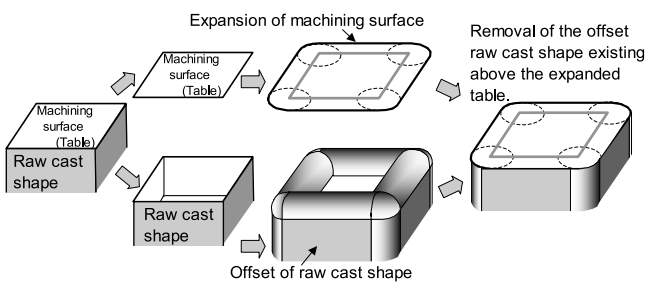


Fig.8 Modification of an Offset Raw Cast Shape Intersecting with an Expanded Table

(5) 「加工拡張面同士」の重複処理

加工拡張面同士の重複は、加工面同士が隣接する場合に発生し、このような場合は、更に、凸交差と凹交差の二つのケースに分けられる。

凸交差の重複処理は、互いに交差した加工拡張面の表側に露出した部分を除去する処理を行う (Fig.9の加工面(b)(c))。

凹交差の重複処理は、互いに交差した加工拡張面の裏側に露出した部分を除去する処理を行う (Fig.9の加工面(a)(b))。

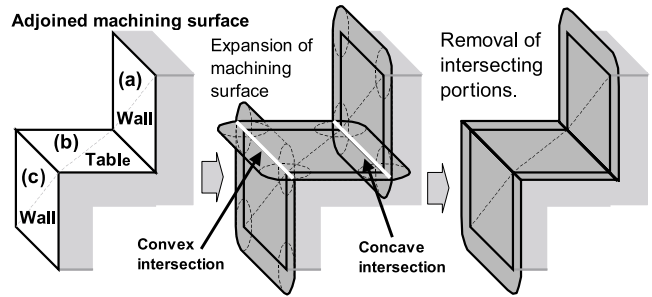


Fig.9 Interference Processing on Expanded Machining Surfaces

以上の処理手順において、「非加工面の膨張」や「加工面の拡張」および、「膨張形状と加工拡張面の重複処理」、並びに「加工拡張面同士の重複処理」を、GPUを用いた⁽²⁾独自開発のZマップ立体モデリングシステムに組み込むことにより極めて短時間で処理でき、機械加工性検証に適切な素材モデルを高速に自動作成できる。素材モデルを自動作成した事例を示す (Fig.10)。GPUとしてNVIDIA社のQuadro FX1500を搭載したPCを使用し3.4秒で図の大きさの金型素材モデルを計算できる。

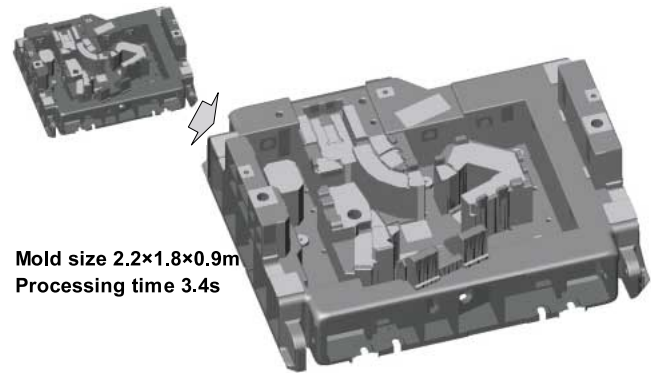


Fig.10 An Offset Raw Cast Shape Automatically Generated by Our System

3.2 加工困難形状を高速NCレスで自動検出する技術

加工困難な形状を検出するためには、市販されているCAMソフトウェアを使用する方法がある。しかし、CAMソフトウェアは、加工属性ごとに使用する工具、工具の動き、加工順序などの加工知識を必要とし、その工具や経路計算の設定などの複雑さから、設計者は容易に使いこなせない。

そのために、NCデータ作成や加工知識の少ない設計者を対象とし、前述の処理で作成された素材モデルを使いより正確な検証ができる「加工困難な形状をNCレスで高速に自動検出する技術」を開発したので以下に紹介する。

(1) 工具データベースによる自動切削工具設定

機械加工性検証するためには、検証する切削工具を選定する必要がある。

金型を機械加工する場合、位置、形、大きさなど加工部位の特性ごとに使用される切削工具の種類や形状が違う。

また、同加工する切削工具であってもできる限り工具径が大きく、かつ少ない工具種類で加工するのが望ましい。

この工具選定を誤るといくら良い検証方法を行っても、実際のNCデータ作成時の工具選定とミスマッチを引き起こし、手戻りをなくすことはできない。そのため、加工属性ごとにNCデータ作成時の工具選定を整理し、実加工に使用される多種類の工具形状から、数種類の加工限界となる工具形状を定義し、その選定優先順を決定することで、その情報を持った工具データベースを構築し、機械加工性検証システムとリンクさせた (Fig.11)。

これによりすべての加工属性に対して、自動的に優先順の高い切削工具から連続選択された工具モデルが作られ、機械加工性検証の計算ができるため、設計者の負担を軽減すると同時にオペレーション回数を大幅に低減できる。また、「検証時の工具選定」と「実際のNCデータ作成時の工具選定」のミスマッチがなくなり手戻りを削減できる。

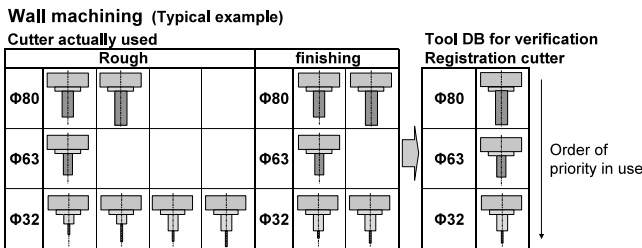


Fig.11 Wall Processing - Case with Cutter

(2) 加工困難な形状を自動検出する技術

加工困難な形状の検出は、加工拡張面上に工具モデルを素材モデルと干渉しない位置に配置し、加工拡張面内の工具モデルを配置できない領域 (加工困難な形状) を見つけ出せば良い。

そのため、CAMソフトウェアのように実加工の複雑な工具経路計算に多大な計算時間をかけ、計算エラーの発生する計算方法よりも、GPUを活用した単純な計算である逆オフセット法による高速工具経路計算の技術を使った。従来これらの計算は、大量の算術計算を実行するため大幅な計算時間が必要であったが、GPUを使ったこの技術は当社で開発したCAMソフトウェア⁽²⁾で実装した実績があり、計算時間の高速化が見込める (Fig.12)。次にその処理手順を以下に述べる。

まず、加工拡張面を余すことなく加工するように加工拡張面の範囲内に一定ピッチのXY直行格子を定義する (Fig.13)。そして、この格子に、素材モデルの裏から工具モデルをトレースさせる逆オフセット処理⁽¹⁾を施すことにより、工具モデルと素材モデルの干渉が発生しない工具経路を求めることができる (Fig.14)。

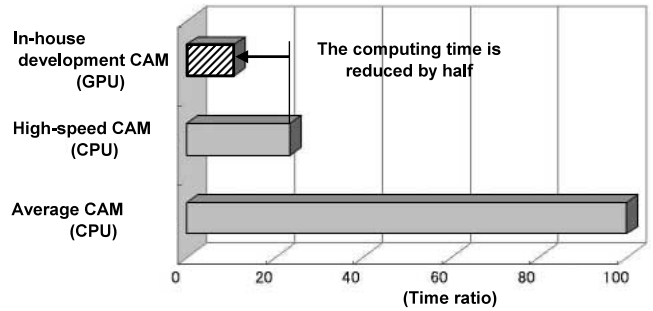


Fig.12 Comparison of Time to Calculate Cutter Path

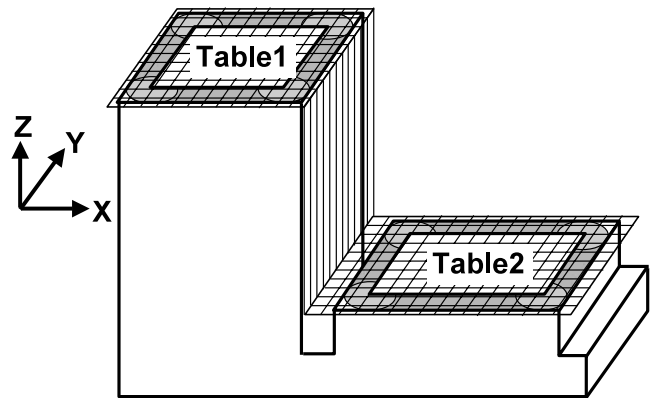


Fig.13 Generate Regular Square Grid Lying on the Table

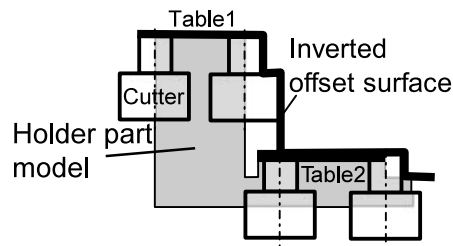


Fig.14 Inverted Offset Process

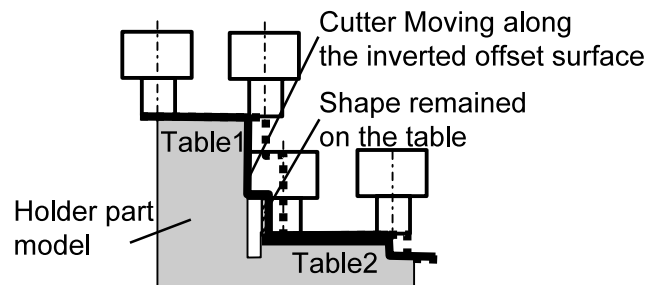


Fig.15 Calculation of Un-Manufacturable Region

次に計算された工具経路を元に加工困難な形状を自動的に検出する。

その検出方法は、検出する素材モデルの範囲にZマップモデルを定義し、工具経路上に工具モデルをトレースさせZマップモデルを削り取る。次に加工拡張面の範囲内でのZマップモデル頂点と素材モデルを比較し、素材モデルより高いZマップモデル頂点が加工困難な点となる。

同様に全てのZマップモデル頂点を検索することにより、加工困難な形状を自動的に検出することができる (Fig.15)。

しかし、本システムではZマップモデルによる処理を行っているため、真上から影に隠れた形状は、表現できない。例えばFig.16(b)のハッチング部は加工拡張面の中に隠れてしまうので今回の手法では検出されず、結果的に加工困難な形状と判定されない。この問題を解決するためにZマップモデルと入力用3D設計モデルを比較し3D設計モデルが隠れている部位も加工困難な形状として検出可能にした。なお、これらの検出計算にもGPUのデブスバッファ法⁽¹⁾を使ったロジックを用いることにより高速化を実現している。

計算した結果検出された加工困難な形状の例を示す (Fig.17)。図の 80の切削工具で検証し、GPUとしてNVIDIA社のQuadro FX1500を搭載したPCを使用し、図の

大きさの金型を98.6秒で計算 (素材モデル作成 ~ 加工困難な形状の検出まで) できる。

4. まとめ

今回開発したシステムを使用した結果、設計プロセス内で、5軸を除く加工範囲すべての加工困難な形状ほぼすべてを検出し設計修正することができ、設計プロセス後の機械加工の手戻りをなくすことができた。更に、従来のNCデータを作成する検証方法と比較し検証工数を50%削減できた。今後の課題は、複雑な形状の機械主軸を使う5軸加工においても加工困難な形状の検出を可能にすることと、設計者による加工困難形状の修正をよりの確に行わせるために、その修正量をアドバイスできるシステムにすることである。

今回は、機械加工性検証のみを紹介したが、金型構想設計の質向上、設計段階で行える部品間の干渉検証、量産性 (パネル搬送、動作、スクラップ) 検証による金型設計品質向上に取り組んでいる。これらの取り組みにより、金型が出来上がるまでQ (品質) C (コスト) D (納期) が不確実であった金型づくりから、設計プロセスにおいて、QCDを保証できる金型づくりへと変革していきたい。

最後に、検証計算方法についてご指導、ご協力いただいた茨城大学 乾正知教授に深く感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 乾：ポリゴン表現に基づくCAM, 精密工学会誌, Vol.69, No.4, p.486-489 (2003)
- (2) 大田ほか：コンピュータグラフィックス技術を利用したCAM処理の高速化, 型技術, Vol.19, No.8, p.62-63 (2004)

著者



毎田和博



石丸 真



中廣幹夫

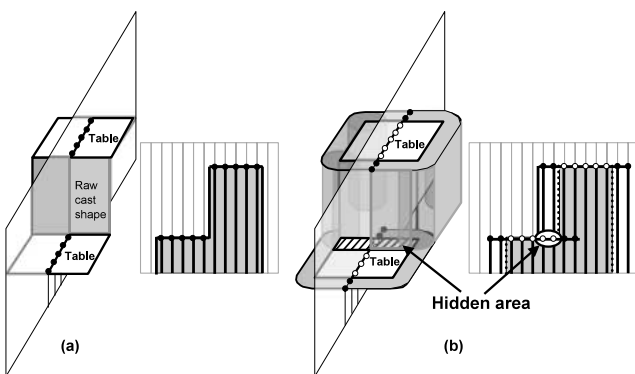


Fig.16 Processing when Machined Surfaces are Hidden

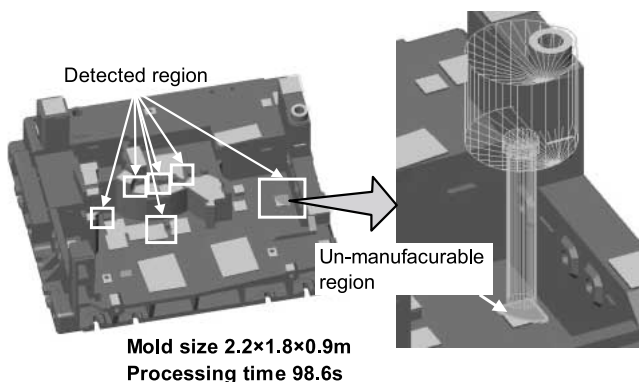


Fig.17 Un-Manufacturable Region in a Holder Part Model Automatically Detected by our System