

金型細溝加工用CAMシステムの開発

寺本一成，後藤明弘，尾曾由紀夫，桑野義正，木村祿郎

Development of CAM System for Groove Milling of Molds and Dies

Kazunari Teramoto, Akihiro Gotoh, Yukio Oso, Yoshimasa Kuwano, Rokuro Kimura

要 旨

樹脂金型のリブ溝など，金型上の細くて深い溝の新しい切削加工法が提案された。この加工法では高品位な仕上げ面が得られ，従来の放電加工で必要とした磨き工程が省略できるので，加工工数の大幅な削減が期待できる。

本報の金型細溝加工用CAMシステムは，上記細溝のNC切削化技術の構成要素として開発したソフトウェアであり，溝形状のモデリングから溝加工のNC処理までを一貫して行える。モデリングでは専用の2次元モードにより溝形状が生成でき，NC処理では5軸加工の実現により凹凸の多い3次元曲面上の溝加工を可能にした。

本システムを使用した加工試験において5軸細溝加工の実用性を確認し，さらに実型のリブ溝加工へ適用して大幅な工数削減を達成した。

CAM : Computer Aided Manufacturing
NC : Numerical Control

Abstract

A new machining technology has been proposed for narrow and deep rib grooves in resin molds. This technology provides machined surfaces with high fineness, thus dispensing with manual polishing processes needed in electric discharge machining. It has realized remarkable reduction in mold fabrication time and cost.

This paper presents a CAM system which has been developed for machining narrow grooves in molds. The system enables the geometric modeling of groove shapes using a two-dimensional mode with a sense of drafting and the NC processing for machining groove on three-dimensional uneven surfaces based on five-axis NC data.

The application of this CAM system to actual molds has proved that it can be practically used in the five-axis machining of narrow grooves, and that it contributes to significant man-power reduction in machining.

キーワード 金型加工，CAD/CAM，NC，5軸制御，工具経路，切削加工，溝加工，リブ溝，樹脂型

1. はじめに

金型加工の高能率化，短納期化は昨今を問わずこれに関わる企業の重要なテーマとなりつづけている。とりわけ，人手による磨き作業の削減は高能率化，短納期化のみならず苦痛を伴う作業からの開放あるいは熟練者不足の点からも関心が高い。このような背景から，金型曲面の磨き作業削減を目的とするさまざまな研究

開発が行われてきた¹⁾。

一方，樹脂金型に見られるリブ溝など金型上の細くて深い溝についても，磨き作業が省略できる新しい切削加工法²⁾が提案された。深さが溝幅の5～10倍にも及ぶ細溝は従来より放電加工に依存せざるを得ず，面粗さの限界から加工後の磨きを必要としていた。この作業はせまい空間を人手で磨くことから，熟練と根気のいる非効率的なものである。上記切削加工法は高品

位な仕上げ面が得られるのでこれら磨き工程が省略でき、また放電加工用の電極製作も不要となることから、加工工数の大幅な削減が期待できる。

切削加工の実現に当っては工具、加工法^{3,4)}、工作機械⁵⁾について、それぞれ専門的な立場からの研究開発が進められた。本報で述べる金型細溝加工用CAMシステムもその一環として開発したものであり、背景としては次の点が上げられる。

まず、効率的な溝加工を行うためには溝加工に適した工具経路が望ましい。すなわち、通常の面沿い加工と異なり深さ方向の加工領域を認識した工具経路が求められる。また、凹凸の多い3次元金型面上の溝加工へ対応するには工具姿勢を制御できる5軸加工機能が必要であり、かつ工具姿勢には溝形状に応じたきめ細かな制御が求められる。従来の汎用CAD/CAMシステムにはこれらを満足する十分な機能がなく、切込み方向のオフセットなどを利用して空切削が多くなるばかりで適性な工具経路が得られない。このため、高効率な細溝の5軸切削加工を実現するには専用のCAMシステムを開発する必要があるとの結論に至った。

このようなハ・ド、ソフト両面からの総合的な取り組みにより、本報で述べる細溝の切削加工が実現した。

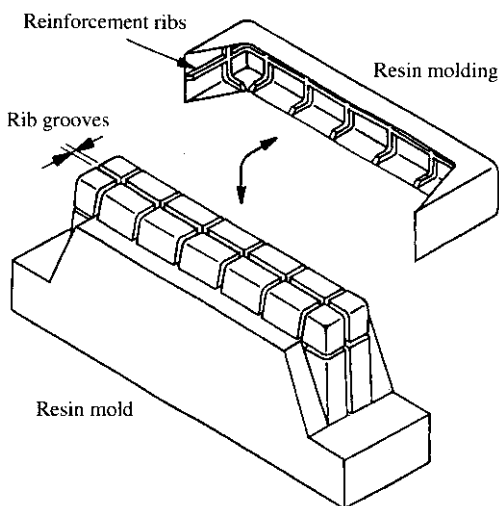


Fig. 1 An example of rib grooves.

2. 金型細溝加工法の概要

細溝の代表として上げられるFig. 1のような樹脂金型のリブ溝を例に、細溝切削加工の概要を述べる。

使用する工具は、新たに開発されたFig. 2のような特殊刃形の超硬エンドミルである。総形加工で工具形状を溝へ転写するため、刃部の軸方向断面は溝断面と同形状で抜き勾配相当のテーパを有する。また、刃部の径方向断面はFig. 3のように従来のエンドミル断面から多角形断面へ改良され、従来比4倍の剛性向上を達成している。これによって、工具径の10倍以上の刃長による切削を可能にしたことが、リブ溝のような深い細溝の切削化を実現した特長として挙げられる。

細溝加工で標準的に使われるのは直系が0.6～2.0mmのもので、使用条件はTable 1のようである。加工は0.02～0.1mm程度の微小切込みで行い、加工中の切削速度を確保するため工具には6 000～20 000min⁻¹の高速回転

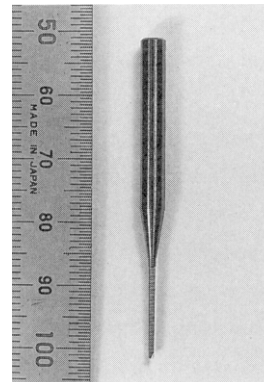


Fig. 2 Tool for narrow groove milling.

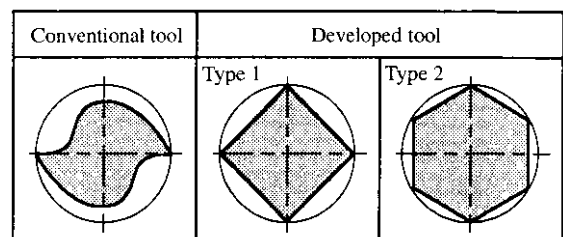


Fig. 3 Cutting edge section of the tool.

が必要である。微小切込みのため、深さ5～20mmのリブ溝では数百回の繰り返し加工が必要となるが、これによってテーパ刃部によるワークへのパニシ作用が加わり、磨き不要の高品位仕上げ面が得られる。

一方、3次元形状金型面ではFig. 4のような傾斜面上の溝加工が数多く存在する。これに対し、通常の3軸加工で真上から加工しようとするれば深い溝加工を余儀なくされ、長い刃長や突出し量が工具に求められる。また溝の形状によっては、工具保持部とワークの干渉により加工できないケースも生じる。小径工具を使用する本加工にとって、刃長や突出し量が大きくなることのデメリットは大きい。このため、細溝の切削加工には溝形状に応じて工具軸の方向を連続的に制御するような5軸加工が求められる。これによれば、工具の

刃長を溝の実質的な深さ近くに抑えることができ、突出し量も必要最小限に留めることができる。

3. システムの開発と特徴

開発したCAMシステムは、Fig. 5に示すような構成の3次元グラフィック対話形システムであり、形状モデリングならびにNC処理の機能をもつ。

形状モデリングには、金型形状の生成などに用いるベーシックな3次元モードのほか、溝図面をもとに詳細な溝形状を生成するための2次元モードがある。また、他のCADシステムの形状データやマスタモデルの

Table 1 Cutting condition of the groove milling by the tool.

Number of revolution	6 000 ~ 20 000 min ⁻¹
Cutting depth per stroke	0.02 ~ 0.1 mm
Feed speed	400 ~ 600 mm/min

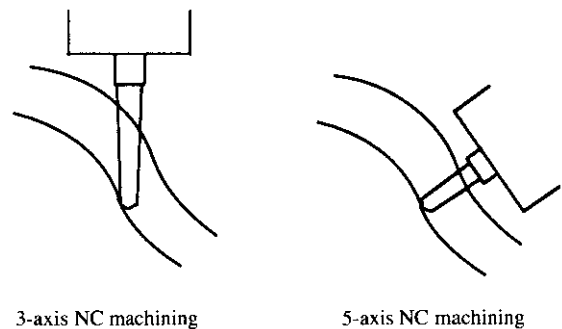


Fig. 4 Necessity of 5-axis machining.

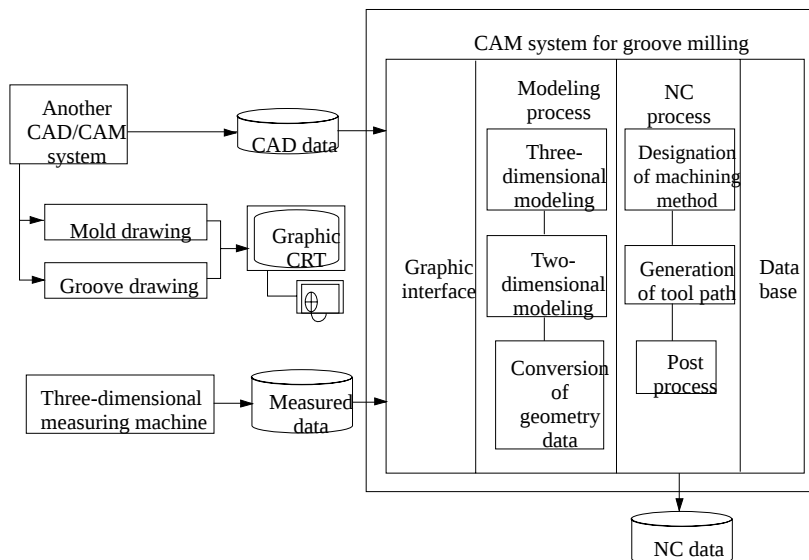


Fig. 5 CAM system for groove milling.

測定データを、金型形状や溝形状のデータとして受け入れるための形状データ変換部も備えている。

NC処理には、先に述べた5軸加工用の工具経路生成部と、このデータを加工機械の5軸構成に応じたNCデータに変換するためのポスト処理部、およびツーリングや加工条件を与えるための加工方法指定部がある。

3.1 細溝形状のモデリング

細溝の形状はFig. 6に示すような溝中心面で表現する。これは、溝の位置を規定する金型面上の溝曲線と、深さ方向の詳細形状を規定する溝底曲線とで区切られた領域を、曲面として定義したものである。溝曲線および溝底曲線は溝の設計情報として展開形状が図面などにより与えられる。そこで、図面と同次元でモデリングが実行できるように、先に述べた2次元モードを設けた。これは、溝曲線を展開したFig. 7に示すような平面上で、展開形状によって溝中心面をモデリングできる環境である。この2次元モードと3次元モードを併用することで、容易に溝中心面が生成できる。

溝中心面の具体的なモデリング手順は以下のようである (Fig. 8参照)。

3次元モードにより、金型面上に溝曲線を生成する。これは、図面をもとに生成した平面曲線を金型面へ投影するか、マスタモデルの測定データがある場合には、そのデータを溝曲線として用いる。2次元モードへの変換を行う。これにより、生成した溝曲線は型の抜き方向に対して平面展開さ

れ、2次元モードの曲線にマッピングされる。

2次元モードにて、溝底曲線など溝の詳細形状を生成する。これは、用意した直線、円、曲線などの定義要素を用いて行う。生成した溝形状は3次元モードにマッピングし、金型面上に溝中心面が生成される。

なお、溝曲線および溝底曲線のCADデータが用意されている場合には、3次元モードにおいて溝中心面だけを生成すればよい。

溝中心面の表現には直線 (母線という) の移動で形成される線織面を用いているが、この線織面形成にあたっては母線方向について配慮すべき点がある。すなわち、溝曲線を抜き方向 (多くは金型の真上方向) から見た形状が直線か曲線かである。この形状が直線の場合 (直線溝と呼ぶ) には、溝中心面は平面上の領域となるので母線方向は拘束されない。したがって、母線は溝曲線と溝底曲線の形状に応じて滑らかに推移させればよい。しかし、この形状が曲線の場合 (曲線溝と呼ぶ) には、溝中心面は曲面となるので母線方向を抜き方向に拘束しなければならない。母線が抜き方向からずれると、抜き方向から見た溝中心面にうねりが生じる。この現象は型が抜けなくなると同時に、加工においてもうねりに伴って工具の位置ずれが発生することを意味する。このため、直線溝か曲線溝かを判別したのち母線方向を決定している。

一方、多様な溝形状に対応するため溝中心面の表現に用いる線織面は、4本の曲線から成る標準の4辺形

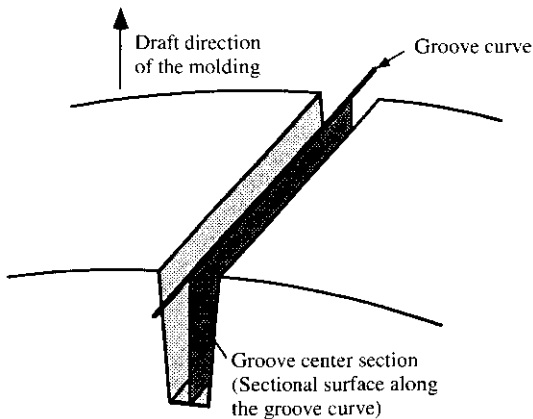


Fig. 6 Groove center section.

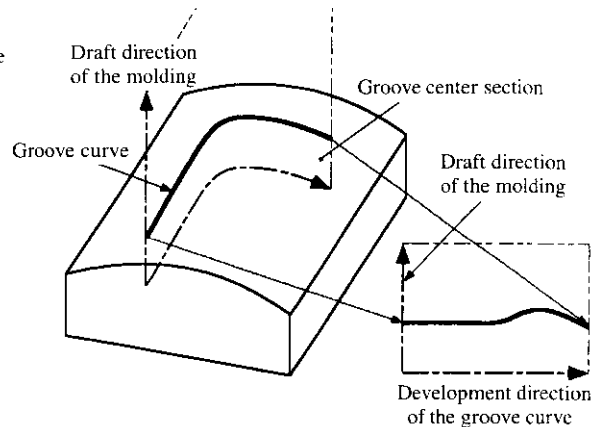


Fig. 7 Groove curve is represented in two-dimensional view.

パッチのほか、2本あるいは3本の曲線から成る特殊な縮退パッチの形式も可能にしている。Fig. 9は、以上述べた溝曲線の形状ならびにパッチ形式の関係において、溝中心面の母線がどのように生成されるかを表したものである。

3.2 金型面の形状データ受け入れ

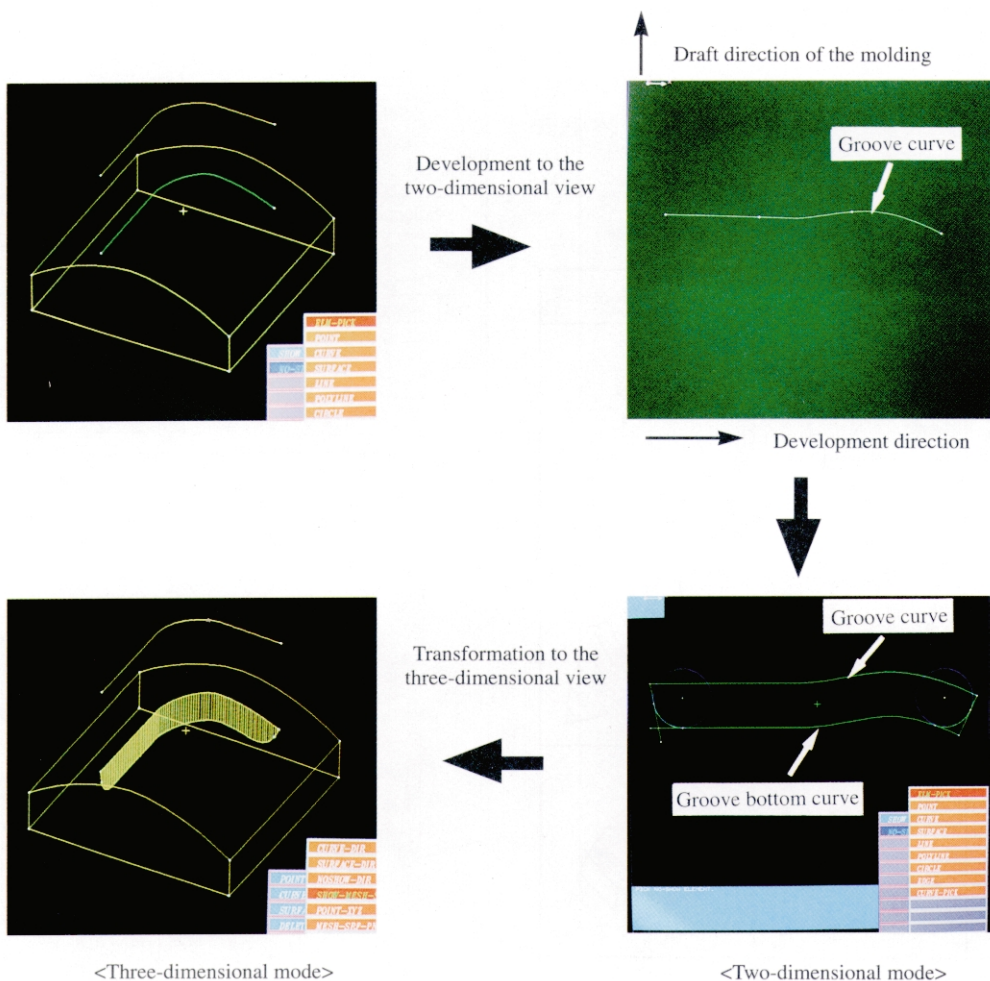
溝形状のモデリングに用いる金型面の形状データは、関連する設計部署で生成されたCADデータを引用する場合と、3次元測定機などによりデジタイジングされた金型マスタモデルの測定データを引用する場合がある。これらのデータは、その構成要素である点、曲線、曲面のデータを本システムの形状表現に変換して受け入れる。

ここで、CADデータの引用については、異なる

CAD/CAMシステム間で製品形状データを交換するための標準形式を規定したIGES (Initial Graphics Exchange Specification) 準拠のファイルを介する。IGESの幾何要素のうち、溝形状を定義する上で特に必要となる線分、スプライン^{注)}曲線およびスプライン曲面は、本システムの自由曲線と自由曲面の表現に変換する。

一方、マスタモデルの測定データは、溝曲線をじかに定義するための点列データとして受け入れる。このデータには、金型面の測定値がそのまま座標値で出力されたものと、面の倣い動作により連続的に追従したプローブの軌跡がNCプログラムの形式で出力されたものがある。いずれの場合にも、それらの点列データを曲線補間し

注) スプラインとは帯状の弾性体を曲げたときに形成される滑らかな形状をいう。



て、本システムの溝曲線として使うことのできる自由曲線を生成する。

3.3 細溝加工の5軸NC処理

細溝加工のNC処理は、Fig. 10に示すようなツーリングおよび加工条件の選定、工具経路の生成、ポスト処理の流れで行う。ここで、ツーリングとしては加工機械、工具ホルダ、工具を、また加工条件としては切削条件、工具姿勢条件、工具移動形式などを、それぞれ事前に登録してあるツーリングデータおよび加工条件データから選定する。

工具経路としては位置と姿勢ベクトルを計算し、ポスト処理において加工機械の5軸形式に見合った直動軸の移動量および回転軸の移動量に変換する。この変換に必要な旋回アーム長や旋回軸間距離などは加工機械情報として事前に登録しておき、加工機械の選定に際して引用する。

以上は一般的なNC処理に準拠するものであるが、本システムでは細溝の5軸加工という特殊な背景から、実用面に配慮した幾つかの機能を開発した。その代表的なものを以下に挙げる。

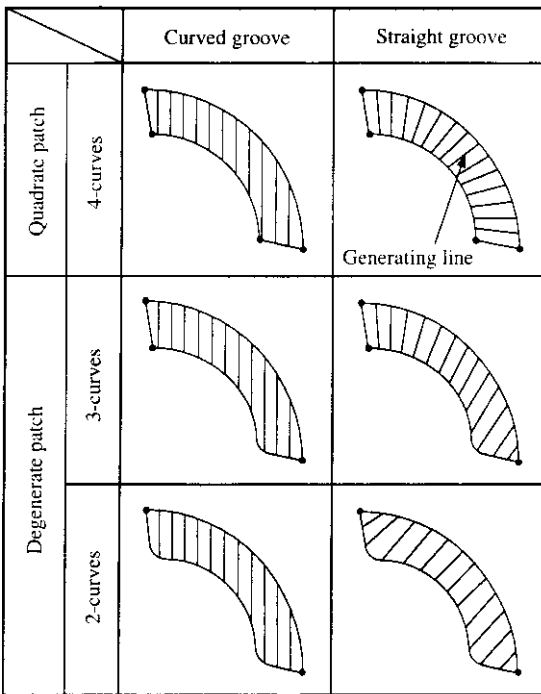


Fig. 9 The relation of generating lines to groove forms.

(1) 分割加工

先の2章で述べたように、細溝の加工は微小切込みを与えながら数百回の繰り返し加工を行うことになるので、加工領域が大きな溝の場合には工具寿命の問題が生じる。そこで、工具経路の生成前に加工する溝形状についての総切削長を概算し、工具の寿命を越えるときには分割加工ができるようにした。分割は溝の形状に応じて長さ方向と深さ方向が選定できる。

(2) 傾斜面の座加工

傾斜が大きい金型面上に溝が存在する場合、工具の食い付きがわるいことにより折損などのトラブルが生じ易い。この対策として、溝加工の前にFig. 11に示すようなフラットエンドミルによる座加工を考え、座

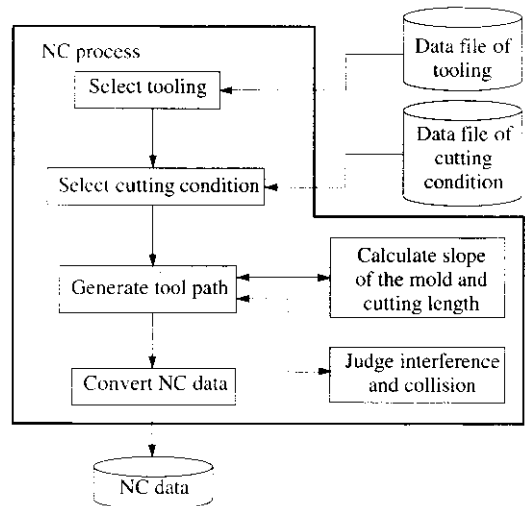


Fig. 10 Flow chart of NC process.

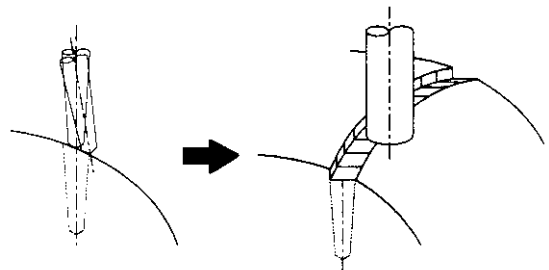


Fig. 11 Base cutting of slope.

加工用の工具経路生成機能を開発した。ここでは、工具の進行方向について金型面に対し面直に工具軸を制御した5軸加工を行う。

金型面の傾斜度は一定のサンプリング点を設けて事前に計算し、座加工の必要な部分をピックアップする。また、加工すべき座の幅は金型面の傾斜度から算出するようにした。

(3) 干渉・衝突の事前判定

主軸やテーブルの旋回動作を伴う5軸加工では、干渉・衝突の事前判定が実用性を高める上で重要となる。そこで、主軸側の主要要素を円柱と角柱を用いて定義し、工具の移動に従ってワークやテーブルなどの衝突判定を行うようにした。また、主軸側の要素が金型面に接近した場合には、準ニュートン法の数値計算を用いて曲面を対象とした微小な干渉判定も行う。

3.4 工具経路の計算法

細溝加工の工具経路は溝中心面を工具の駆動面として生成する。その概念は、Fig. 12に示すように工具軸を溝中心面上に拘束しながら、工具がアイソパラメトリック曲線に沿って一定のピッチで切込みを繰り返し溝中心面を移動するというものである。工具経路計算において溝中心面上の点 $P(x, y, z)$ は、面の助変数 u および v を用いて

$$x \equiv f(u, v)$$

$$y \equiv g(u, v)$$

$$z \equiv h(u, v)$$

により求める。

一方、細溝加工において工具の刃長や突出量を必要最小限に留めるためには、金型面の形状や溝の形状に応じてこれに適した工具姿勢での5軸加工が望まれる。このため、幾つかの工具姿勢条件を用意し、上記の形状に応じて適合する条件を選択できるように

した。Fig. 13に示す4つがその代表的なものである。図中の は水平で平面的な金型面上の溝を対象として、抜き方向に工具軸を固定した通常の3軸加工に該当するもの。 は傾斜面上の溝を対象として、一定角度に工具軸を傾斜させるもの。 は一定の曲率をもつ

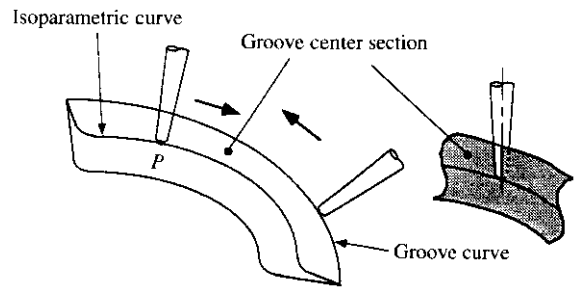


Fig. 12 Concept of tool path generating.

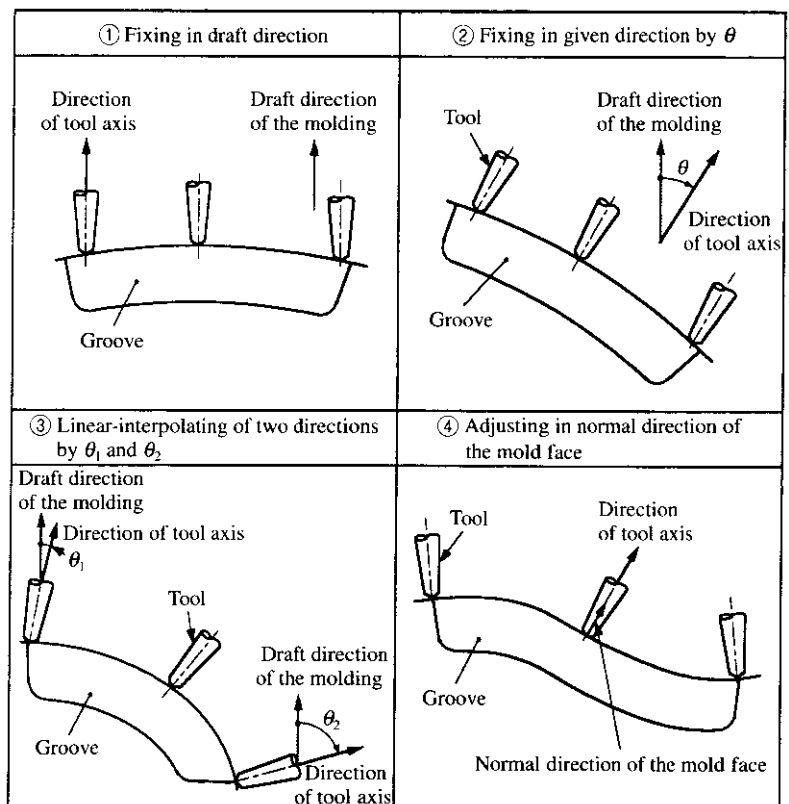


Fig. 13 Typical conditions of tool posture.

面に対し2つの限界角度を与えて、この間を線形補間するように加工中の工具軸を制御するもの。は凹凸の混在する面を想定し、金型面に対し常に面直に工具軸を制御するものである。3次元形状の金型面に対しては、実用上 ないし が有効である。

ここで、工具姿勢についても先の3.1節で触れた抜き方向から見た溝曲線の形状、すなわち直線溝が曲線溝かに留意する必要がある。直線溝の場合には溝中心面は平面上の領域であり、Fig. 13で示したような条件による工具姿勢制御が可能である。しかし、曲線溝の場合には工具姿勢を任意に制御することは許されず、工具軸を抜き方向に固定しなければならない。これは、溝の湾曲する部分において工具軸が抜き方向から傾斜すれば、溝側面に過切削が発生するからである。先の母線の決定と同様に、ここでも直線溝が曲線溝かを判別して工具姿勢制御の可否を判断している。

次に、工具経路計算における工夫点について述べる。溝曲線中に大きな曲率部を有するような溝形状において、上記 あるいは に示したような工具姿勢条件によって工具軸を変動させた場合には、溝中心面内においてFig. 14に示すような工具軸の交差が発生することもある。しかし、本細溝加工はテーパエンドミルを使用した総形加工であるため、工具軸の交差が許されない。もし交差すれば、交差部におけるテーパエンドミルの刃径の違いにより溝側面に段差が発生する。このため、工具経路計算においては交差を避ける工夫が必要となる。これについて、溝底曲線を基準とする次のような計算法を考案した。

溝底曲線上に、指定されたトレランスにもとづく刻みでFig. 15に示すような計算点 $P_1 \sim P_n$ を設ける。任意の点 P_i について、 P_i を通り溝曲線（金型面上にある）において所定の工具姿勢条件（図の条件は金型面への面直制御）を満足するような工具軸 a_i および交点 C_i を求める。これは交点 C_i を浮動点とした準ニュートン法の数値計算で解く。求めた交点 C_i は溝曲線上の工具経路点であり、工具軸 a_i 上の点 P_i と C_i の間には切込み量に従って中間の工具経路点を設ける。次の点 P_{i+1} の計算についても同様であるが、図中に示す C' のような点で数値計算が収束すれば工具軸に交差が生じる。したがって、ここでは先の交点 C_i より前方に解が求められるような収束条件を

追加する。これによって先の工具軸と交差しない C_{i+1} のような交点が求められる。

工具軸 a_i と a_{i+1} の角度が一定の許容値を越えた場合には、この間を滑らかに補間するような工具軸を追加し、この工具軸上に と同様の中間の工具経路点を設ける。

これら一連の計算で求めた工具経路点を、溝曲線から溝底曲線までFig. 12に示したようなアイソパラメトリック曲線に沿って接続する。

Fig. 16は、この計算法によって得られた交差のない工具経路の出力例である。図において、溝曲線や溝底曲線と平行に描かれた曲線がアイソパラメトリック曲線に沿った工具経路を表し、ここから垂直に延びた直線がそれぞれの位置での工具軸を表す。なお、図では工

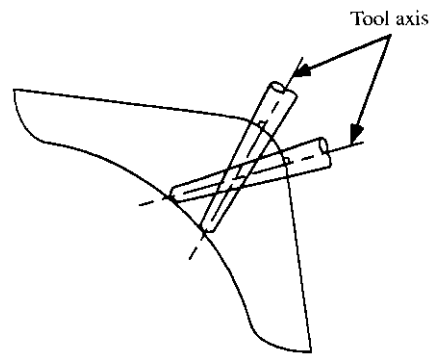


Fig. 14 Intersection of the tool axis.

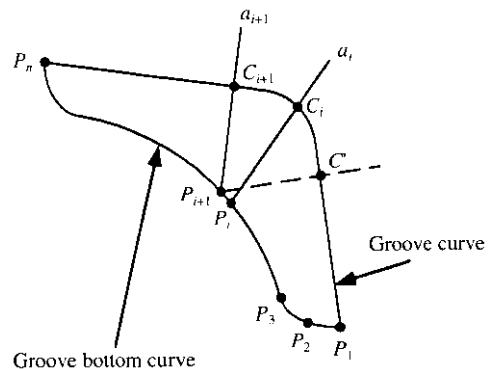


Fig. 15 Calculating method of the tool path.

具軸を表す直線が1本に見えるが、これは上下の工具経路について描いた工具軸が重なっているためである。

4. 実用試験

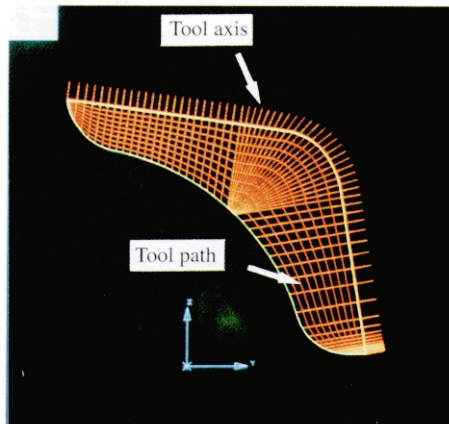
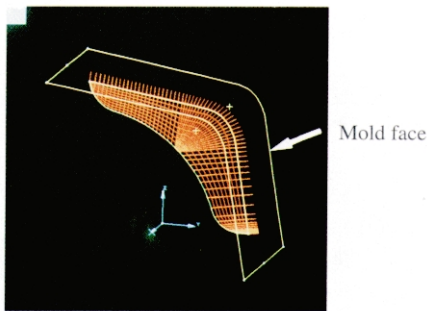


Fig. 16 Calculated tool path.

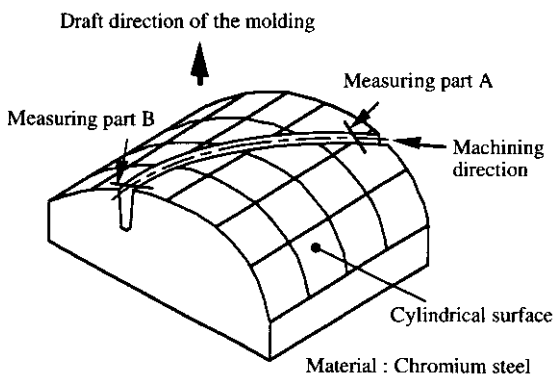


Fig. 17 Test model of the groove milling.

主軸などの旋回動作を伴う5軸加工での細溝切削の実用性を見極めるため、加工試験を実施した。試験はFig.17に示すような円筒面のテストモデルへ幅1.5mm、深さ10mmの溝加工を行い、加工後の溝形状および仕上げ面粗さを測定した。使用した加工機械はFig.18に示すような主軸に旋回軸をもつ門形の5軸制御マシニングセンタであり、微細形状部の加工専用開発されたものである。Table 2に本試験での加工条件を示す。

試験においては微小切込みで加工を進めていくため切削長さが約20mmに達したが、加工中における工具の

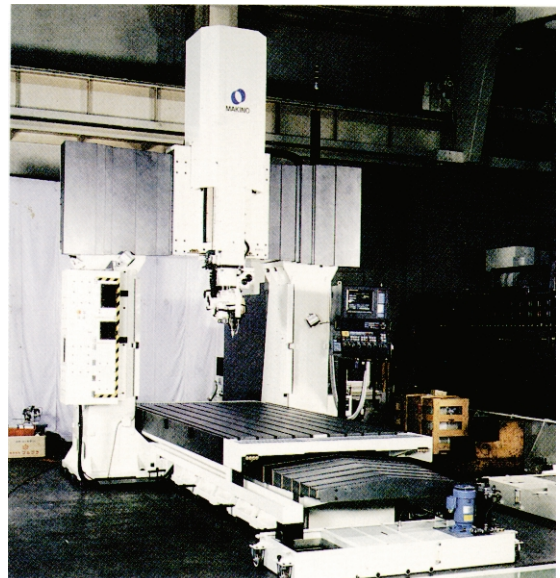


Fig. 18 Machining center of the groove milling.

Table 2 Machining condition of the test model.

Tool diameter	1.5 mm
Number of revolution	10 000 min ⁻¹
Feed speed	400 mm/min
Cutting depth per stroke	0.05 mm
Tool posture condition	Adjusting in normal direction of the mold face

折損および異常などは特に認められなかった。FIG.19 および FIG.20 は加工後の溝形状および仕上げ面粗さの測定結果であり、測定部位は先の FIG.17 中に示した A 部および B 部である。測定結果を見ると、溝形状については工具のアップカット側へ 1° および 1.5° の若干の傾きが認められるが、これは溝加工における一般的な現象であり予想されたことである。溝の傾きが大きいと成形後の製品の離脱性に問題を生じ

るが、 1° 前後の傾きは樹脂の弾性により離脱性に影響しないことを事前に確認しており、形状的には問題ないと判断される。一方、仕上げ面粗さについては溝の両側面ともに $R_{\max} 2\mu\text{m}$ 以下の良好な結果が得られ、後工程の磨きが不要となる要求面粗さ $R_{\max} 3 \sim 4\mu\text{m}$ を充分満足していた。これらの試験結果から良好な切削性が確認でき、5軸細溝加工の実用性に問題はないと判断した。

5. 実型加工への適用

実用化の手始めとして、自動車用樹脂金型のリブ溝加工へ適用を試みた。Fig. 21はその加工状況であり、Fig. 22は加工終了後の金型である。結果として、実型の3次元形状部に配された細溝に対しても工具の折損や干渉などのトラブルが発生することなく、期待通りの5軸加工が実施できた。また、成形後の製品評価においてもリブ側面に問題となる荒れは認められず、本切削加工によってリブ溝全体に高品位仕上げ面が得られ磨き工程を省略できることが裏づけされた。

Fig. 23は、上記を始めとする幾つかの樹脂金型リブ溝加工について、これまで行ってきた放電加工との加工時間比を、本システムによる切削加工の時間を100として表したものである。図中の斜線部が加工に要した時間を示すものであり、切削加工では放電加工に対

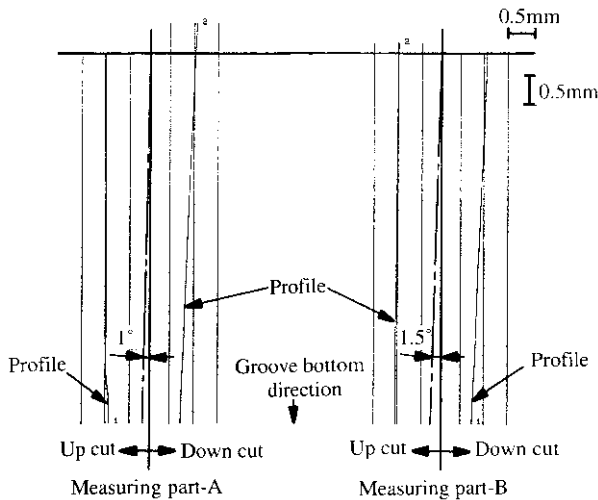


Fig. 19 Measured profile of the groove after machining.

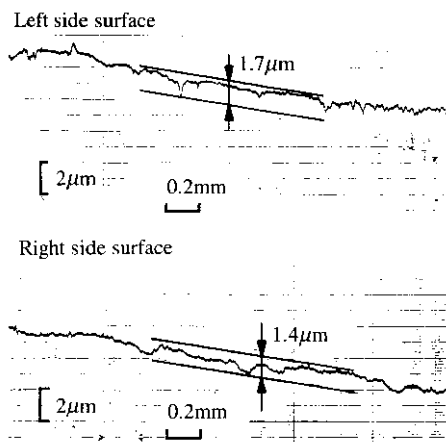


Fig. 20 Measured surface roughness of the groove after machining.

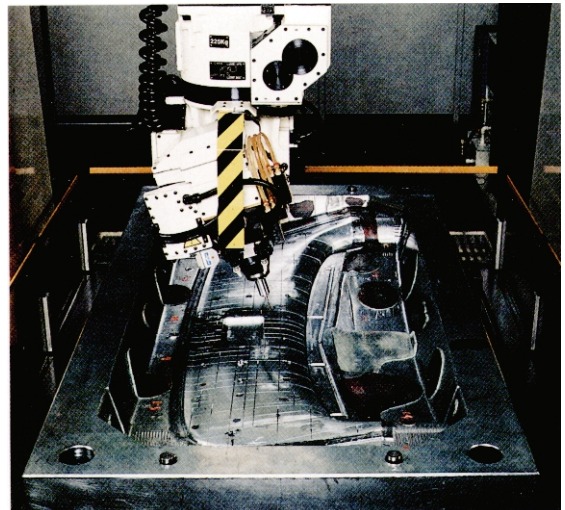


Fig. 21 Groove milling of the resin mold.

して約1/3の時間で加工でき、大幅な工数削減が達成できた。

6. おわりに

金型細溝の切削化に関する研究開発はトヨタ自動車(株)、(株)牧野フライス製作所、当所がそれぞれ工具および加工法、工作機械、ソフトウェアを担当した。

本報の金型細溝加工用CAMシステムは、当所が開発を担当したソフトウェアシステムである。このシステムは、溝形状のモデリングから溝加工のNC処理までを一貫して行え、次のような特徴を有する。

- (1)専用の2次元モードにより、図面と同次元で細溝の形状モデリングが実行できる。
- (2)CADデータやマスタモデルの測定データを受け入れるインタフェースを有する。
- (3)5軸加工を対象としたNC処理により、凹凸の多い3次元曲面上の溝加工を可能にしている。
- (4)細溝加工の実用面に配慮したNC処理上の各種付

加機能を備えている。

- (5)金型面や溝の形状に応じて工具姿勢条件を選定でき、工具の刃長や突出し量を必要最小限に留めることができる。

- (6)過切削や段差(工具軸の交差による)の発生しない安定した工具経路が生成できる。

また、加工試験によって5軸細溝加工の実用性を確認し、実型のリブ溝加工へ適用して大幅な工数削減を達成した。今後、さまざまな細溝の切削化が強力に進むものと期待される。

なお、上記3社で開発した技術は、「大物金型のリブ溝及び微細形状部高能率加工システム」として平成4年度の機械振興協会賞を受賞した⁶⁾。

一方、金型への5軸加工の適用はここで取り上げた細溝加工のみならず、型形状部の曲面加工に対しても有効な手段であることは言うまでもない。筆者らも先に、楕円エンドミルを活用した高能率5軸曲面加工法⁷⁻⁹⁾を提案しており、また学会などにおける報告¹⁰⁾も活発化している。5軸加工の研究ならびに実用化は今後ますます進展するであろうと思われる。

最後に、技術指導ならびに本報で取り上げた加工試験に御協力いただいたトヨタ自動車(株)阿部忠之氏、松岡和彦氏、(株)牧野フライス製作所の関係各位に感謝いたします。

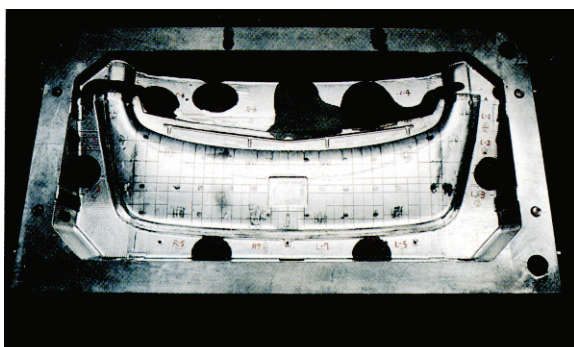


Fig. 22 Resin mold after the groove machining.

Ratio of machining time [%]		50	100	150	200	250
Development method (Milling)	Produce data	Milling				
	Design					
Conventional method (Electrical discharge machining)	Design electrode					
	Machining electrode		Electrical discharge machining			
					Manual polishing	

Fig. 23 Comparison of machining time.

参考文献

- 1) 例えば, 内藤国雄ほか: "金型の高品位・高能率仕上切削法の開発", 精密工学会誌, 59-4(1993), 649
- 2) 松岡和彦: "特殊工具による金型の高速溝加工", 型技術者会議'90講演論文集, (1990), 80
- 3) 松岡和彦, 阿部忠之: "金型微細形状部加工システム(その1)システム紹介と適用事例", 型技術者会議'92講演論文集, (1992), 200
- 4) Takeuchi, A. and Teramoto, K.: "Development of Groove Milling Technique of Molds and Dies", 27th ISATA, Proc. for the Dedicated Conf. on, Lean/Agile Manuf. for the Automot. Ind., (1994), 249
- 5) 持田英樹, 内海敬三: "金型微細形状部加工システム(その2)加工機械", 型技術者会議'92講演論文集, (1992), 202
- 6) 第27回機械振興協会賞受賞者業績概要: "大物金型のリブ溝及び微細形状部高能率加工システムの開発", 機械振興, 25-12(1992), 69
- 7) 木村祿郎, ほか: "金型用NC曲面加工システムの開発(第1報)楕円工具による曲面加工の考え方", 1990年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1990), 649
- 8) 寺本一成, ほか: "金型用NC曲面加工システムの開発(第2報)楕円工具の選定と軌跡計算", 1990年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1990), 651
- 9) 後藤明弘, ほか: "曲面加工用楕円エンドミルの切削性能", 1990年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1990), 77
- 10) 例えば, 鈴木裕, ほか: "5軸加工用CAMシステムの開発", 精密工学会誌, 60-6(1994), 832

著者紹介



寺本一成 Kazunari Teramoto

生年: 1953年。

所属: 開発部加工技術課。

分野: CAMソフトウェア, NC加工技術に関する研究開発。

学会等: 精密工学会会員。

1992年度第27回機械振興協会賞受賞。



後藤明弘 Akihiro Gotoh

生年: 1959年。

所属: 開発部加工技術課。

分野: 機械加工技術に関する研究開発。

学会等: 精密工学会会員。



尾曾由紀夫 Yukio Oso

生年: 1964年。

所属: 開発部加工技術課。

分野: 3次元形状のコンピュータモデリングに関する研究開発。



桑野義正 Yoshimasa Kuwano

生年: 1965年。

所属: 開発部加工技術課。

分野: CAMに関する研究開発。

学会等: 精密工学会会員



木村祿郎 Rokuro Kimura

生年: 1941年。

所属: 開発部加工技術課。

分野: CAM・NC技術に関する研究開発。

学会等: 精密工学会, 日本機械学会会員。