NCデータの再構成による高精度金型加工*

長谷川浩二** 中本圭一*** 石田 徹*** 竹内芳美***

Highly Accurate Molding Die Machining by Reconstruction of NC Data

Kouji HASEGAWA, Keiichi NAKAMOTO, Tohru ISHIDA and Yoshimi TAKEUCHI

NC commands are generated by CAM systems to realize high speed and high accuracy machining. At the time, the feed rate in most of NC data may be set to be constant in machining any workpiece shapes. In addition, NC data do not necessarily reflect the workpiece shape correctly due to the variation in the coordinate point values calculated by CAM systems. It causes the reduction in the machined surface quality. The shape recognition in the tool feed direction on the basis of NC data has already been devised. Thus, the study enables 3-D shape recognition to be identified from NC data in the pick feed direction as well as those in the feed direction. After the identification, the feed rate can be controlled according to the identified shape information. The system developed in the study can detect the distinguishing points from the coordinate information in NC data. Then, the points are arranged to generate the smooth tool motion and to control the feed rate for the identified workpiece shape. From experimental result, it is confirmed that the machined surface quality is successfully improved and the machining time is also reduced.

Key words: shape recognition, point arrangement, feedrate control, high speed and high accuracy machining, die machining

1. 緒 言

近年の金型業界では加工技術の発展に伴い、リードタイムの短縮、高品質化、低コスト化への要求が高まっている。これに対し、加工の効率とコストのバランスから主に切削工具を用いた高速直彫り加工が指向されている。しかし、直彫り加工では工具突出し量や切込み量、ホルダの形状など様々な要因を考慮する必要がある。そこで、桑野らは工具と被削材の組合せに対応した切削条件をデータベースに登録し、加工シミュレーションによりツーリングや加工手順を決定するシステムを開発している¹⁾³⁾。このように高速加工は実現しているが高速かつ高精度な加工の実現には課題が残る。

従来の工作機械では、一般に複数の加工モード（高能率、高精度モードなど）を用意し、目的に合わせてモードを選択して加工している。しかし、この方法ではNCデータで指令されたある速度を基準に一貫して加工することになる。例えば、高能率モードでは加工時間短縮を優先するため、速度を抑える必要があっても減速しない。これにより精度や加工面品位が悪化する恐れがある。また高精度モードでは、精度を優先するために平面や滑らかな曲面など高い送り速度で加工可能な箇所でも必要以上に速度を抑えるため、加工時間が長くなってしまうという問題があった。これに対し、齋藤らはNCデータの1ラインから形状を工具送り方向に認識し、各形状に適した最適な送り速度を指定する送り制御技術を開発している⁴⁾。

実際の加工の現場ではNCデータだけを受け取って、加工を行う場合が多く、その際に、NCデータを生成したCAMシステムや元のCADデータに関する情報を参照していない。しかし、使用するCAMシステムによっては演算誤差の発生によってNCデータに不具合が生じることがある。演算誤差の例を図1に示

す。誤差のない理想的な点の配置は、図1(a)のように形状に沿って整列している。しかし、CAMシステムの演算誤差により図1(b)のようにラインによって点の配置が異なる場合がある。このようなばらつきを含んだまま加工を行うと、ライン毎に送り速度に差が生じて、加工面に筋が入るなどの面品位低下の原因となる。

そこで本研究では、工具送りとピックフィードの両方向を考慮して形状を認識し、点群を整列させるシステムの開発を目的とする。開発したシステムの構成を図2に示す。このシステムでは市販のCAMシステムで生成したNCデータを入力として従来の工具送り方向の形状認識を行い、その情報からピックフィード方向の形状認識、点群の整列を行い、新しいNCデータを出力する。得られたNCデータを加工実験に用い、システムの実用性を検証した。

Fig.1 Difference between ideal and real point positions

Fig.2 Developed system

* 原稿受付 平成23年3月18日
** 学生会員 大阪大学大学院(大阪府吹田市山田丘2-1)
*** 正会員 大阪大学大学院

なお、本研究では平面上に定義された線分と円弧をピックフィード方向にスイープした、いわゆる2.5次元形状を対象としているため、形状の境界は直線となる。従って、形状の境界と工具送り方向が平行となる場合は考慮していない。また、点列を整列させる許容範囲は任意に設定できるようにしている。

2. NCデータを参照した形状認識

2.1 工具送り方向の形状認識

開発したシステムでは、NCデータの点群からまず工具送り方向にライン毎の形状の境界となる点、ならびにこの点間の形状を認識する。この点をS点と呼ぶ。この情報からピックフィード方向の形状認識を行うことで形状情報と形状間の境界を3次元的に認識する。

先行研究の工具送り方向の形状認識では、微小点群のNCデータを直線、円弧に分類する。このとき、全ての範囲で形状認識を行うと計算時間が長くなってしまったため、その前段階としてエリアと呼ぶ点群の範囲を設定する。このエリアの設定は各形状の境界で折れ角が大きくなることや線分長が長くなることを利用しており、形状認識を行う計算時間の短縮を図っている。次に、各エリアにおいて近似線や角度誤差、面積誤差を解析して、直線、円弧の認識を行っていく。このとき、1つの直線や円弧ではないと判断された場合には、エリアを分割して、再度形状認識を行う。これにより各ラインに対して図3に示すS点及びS点間の形状情報を得ることができる⁴⁾。

2.2 ピックフィード方向の形状認識

上記で得られたS点とS点間の形状情報を基にしてピックフィード方向の形状認識を行う。形状認識の手順を図4に示す。

Fig.3 S point recognition for one line

Fig.4 Shape recognition for all line

図4(a)は形状認識前の点群の例を、図4(b)に先行研究⁴⁾で考案されている工具送り方向の形状認識を行った結果を示している。図中の白丸は指令点群を表している。これにより各ラインに対して点群の並びから直線、円弧に形状分類し、形状間の境界となるS点が得られる。得られたS点は図中の黒丸で表されている。しかし、工具送り方向の形状認識ではライン毎に独立して認識を行うため、図のように得られたS点にはばらつきがある。従来のシステムでは形状の境界となるS点の位置により送り制御を行うため、S点の位置がライン毎に異なっている場合、送り速度を変化させる点も変わる。これが原因でライン毎に真の形状の境界において実送り速度に差が生じ、加工面に乱れが生じる。これを解決するため、ピックフィード方向の形状認識から各ラインのS点の並びを認識することで、目標形状を3次元的に認識する。

本手法では、図4(c)のようにピックフィード方向にある同じ形状の境界を表しているS点を探索し、そのS点を図4(d)のように整列することにより境界を決定する。まず工具送り方向の形状認識で得られたあるS点に対して、その近傍にあるS点を探索する。その後、近傍にあるS点に対して直線近似を行い、直線とラインの交点を形状の境界と認識する。ここで認識した境界上にS点を整列させると図4(d)のように整った形状間の境界が得られる。上述したように、本研究で対象とした形状の場合、各ラインでのS点のばらつきは基本的に小さい。従って、図4(c)の円で囲まれたS点のように、近傍にあるS点を同じ境界を表すS点と考え、これらの点を整列させることで形状間の境界を直線とすることができる。

次に各S点間の形状を決定する。点のばらつきにより同じ形状である可能性が高いエリアにおいて、認識した形状がラインによって異なる場合がある。その例を図5に示す。これは図5(a)のように直線と判断すべき範囲について、図5(b)のように点群のばらつきの影響で両端の点がずれとき、近似円弧の半径を極端に大きくすることで円弧と判定してしまう場合である。そこで、本研究では円弧と認識したエリアの近似半径に上限を決定することでライン毎の形状認識の差をなくすようにした。図6にその例を示す。図中の点A、Bはそれぞれ円弧と認識された範囲の最初の点と最後の点を示している。また点Cは円弧上でA、Bの間にある点である。ここで線分ABと線分ACのなす角 q の許容値を決める。すると近似半径 $\lim R$ は式(1)より得られる。

Fig.5 Failure of shape recognition

Fig.6 Limit of recognized radius

$$\lim R = \frac{d}{2 \sin 2\theta} \tag{1}$$

式中の d は範囲の最初の点と最後の点の距離を示している。この値をそれぞれの範囲について計算し、形状認識で得られた近似円弧の半径がこの値を超えた場合はこの範囲を直線とみなす。円弧と認識された全ての範囲にこの操作を行うことでライン毎に認識された形状を統一する。

3. 点群の整列

得られた3次元形状情報に従って点群の整列を行う。形状認識を終えた後の点群の様子を図7に示す。図7(a), (b)には直線と認識した場合を、図7(c), (d)には円弧と認識した場合を示しており、図7(a), (c)はS点間の点群の整列前の様子を、図7(b), (d)には点群の整列後の様子を示している。ピックフィード方向の形状認識によってS点とS点間の形状が得られている。しかし、図7(a), (c)のようにピックフィード方向の形状認識を終えた時点ではS点の位置のみ整列しており、S点間の点群についてはばらつきを含んだままである。そのためこの点群を形状情報に従って整列する。

ここで、図7(a), (c)に示すように、整列前の点群ではラインによってS点間にある点の数が異なる場合が存在する。点群の整列を行う場合、全てのラインに対して点の数を統一する必要がある。本システムではS点間の点の数を各ラインでの最大数

に統一した。直線の場合は両端のS点の位置の差を統一された点数で分割し、点を再配置した。また、円弧の場合は近似円弧と中心からできる扇形の中心角を統一された点の数で分割して再配置した。このとき、点の配置が変わるので再配置した点毎の工具軸ベクトルから回転2軸への指令を作成する。この操作によって、点のばらつきを解消することができる。

4. 形状認識の事例

開発したシステムを図8のように定義した形状に対して適用した。図のように円弧、直線を含む形状で、右下部は隣接する直線間で3°~10°の微小角をなしている。また図9は工具送り方向の形状認識を行った結果認識したS点を示す。直線と認識した範囲にはLを、円弧と認識した範囲についてはAを表記している。

しかし、この段階ではまだ各ラインに対して独立に工具送り方向の形状認識を行っているのでS点やS点間の点群はばらつきの影響を受けている。そのため、図9の四角で囲まれている箇所のように形状の境界でS点が連続して存在することがある。これに対し、ピックフィード方向の形状認識を行うことで3次元的に整列させる。また、図8の①から⑧までの箇所の形状について、定義した形状情報とそれぞれの認識結果を表1に示す。ここで、生成したNCデータはR3のボールエンドミルで加工することを想定しているため、円弧のRについて凹の円弧では-3.0 mm、凸の円弧では+3.0 mm だけ工具半径分をオフセットした値となっている。表から円弧や微小角が認識できていることがわかる。

Fig.9 Shape recognition in the tool feed direction

Table 1 Shape information

Shape	No.	Defined	Recognized
Curve	①	R7	R9.99
	②	R10	R12.99
	③	R5	R7.99
	④	R10	R12.99
	⑤	R10	R6.99
Microangle	⑥	5°	4.87°
	⑦	3°	2.90°
	⑧	10°	9.69°

次に、点群の整列の結果を示す。図10に全体図を、図11に図10の領域A、B、Cに囲まれている範囲における点群を、図12に各範囲でのS点の様子を示す。図11、図12の左の図が市販のCAMシステム(OPEN MIND Technologies AG(株)製のhyperMill)で生成した点群を示し、右の図は開発したシステムを適用して得られた点群を示している。図中の黒の矢印は工具送り方向を、白い矢印はピックフィード方向を表す。図からもわかるように、市販のCAMシステムを用いて生成した点群には一部の並びに不連続性が生じている。それに対して、開発したシステムを適用して生成した点群では工具送り方向、ピックフィード方向の両方で点群が整列していることがわかる。また、図12から形状の境界が明確になっていることもわかる。なお、本研究では近傍にあるS点について、同じ境界上にあると判断して整列しているが、これは点群の整列により得られる面品位の向上を優先しているためである。

Fig.10 Overview of target shape with regenerated tool center point

(a) Area A

(b) Area B

(c) Area C

Fig.11 Result of arrangement of tool center points

5. 事例の加工実験

得られた点群を用い、3軸制御高速金型加工機((株)ジェイテクト製UH55)によって加工実験を行った。今回の実験では、ワーク側面を図13に示すように3つの領域に分割し、別々の方法で生成したNCデータを用いて加工した。(I)の領域は、市販のCAMシステムで生成したNCデータを用い、従来の加工モードの中の「高速モード」と「高精度モード」の間の速度を指令する「標準モード」で決定した一定の送り速度で加工した。(II)の領域は、

(a) Area A

(b) Area B

(c) Area C

Fig.12 Result of aligned S points

Fig.13 Finish machining for side surface

Table 2 Machining conditions

Area	(I)	(II)	(III)
Workpiece material	NAK55 (HV400)		
Tool	R3 ball end mill		
Spindle speed	40,000 rpm	40,000 rpm	40,000 rpm
Feed rate	4,500 mm/min	4,500 mm/min	4,500 mm/min
Depth of cut	0.10 mm	0.10 mm	0.10 mm
Pickfeed	0.10 mm	0.10 mm	0.10 mm

Fig.14 Whole view of machined workpiece

(a) Area A

(b) Area B with corner

(c) Area D with corner
Fig.15 Machined surface

Table 3 Machining time

Area	(I)	(II)	(III)
Workpiece material	9m56s	9m39s	9m30s

(I)のNCデータに対して開発したシステムにより点群の整列を行った新しいNCデータを用いて(I)と同様に「標準モード」で送り速度を決定して加工した。さらに(III)の領域は、本システムを適用したNCデータを用い、送り速度については認識された形状毎に送り制御を行って加工した。加工条件を表2に示す。工具にはR3のボールエンドミルを使用しており、ワークにはNAK55(HV400)を使用した。加工後のワークの全体図を図14に、また図15(a)にはAに示した微小角部の加工面を、図15(b)、(c)は領域B、Dで示したコーナ部の加工面を示す。

図15(a)のように、微小角部では点群の整列前のNCデータで加工した箇所(I)、特に実線の楕円で囲まれている部分は角の部分に面品位の悪化が見られるが、点群整列後のNCデータで加工した箇所(II),(III)、特に点線の楕円で囲まれている部分は角が再現されている。図15(b)、(c)に示すコーナ部でも同様に面品位が向上している。図15(c)では、一定の送り速度で加工した箇所(I)、特に楕円で囲まれている部分で急な形状の変化による削込みが発生しているのに対し、形状認識による減速を加えることで削込みの軽減にも成功している。表3に加工時間を示すが、点群を整列させたNCデータで加工した場合、整列前と比較して若干加工時間が短縮できている。これは点群を形状に沿って整列させることにより工具経路を短縮でき、また無駄な加減速が生じなかったためと考えられる。以上のことから本研究で開発したシステムが有効であることが検証できた。

6. 結 論

本研究では、CAMシステムで生成されたNCデータから3次元での形状認識を行い、点群の整列を行うことにより金型の高速高精度加工の実現を目的とし、以下の結論を得た。

- 1) NCデータの座標情報から工具送り方向に加え、ピックフィード方向の形状認識を行うことで、3次元での形状認識を実現し、形状に合わせた送り制御を可能とした。
- 2) NCデータに含まれる工具中心点群を整列させてばらつきをなくしたNCデータを生成する手法を考案した。
- 3) 開発したシステムにより生成したNCデータを用いて加工実験を行い、面品位の向上に成功した。

本研究を実施するにあたり、加工実験を手伝っていただいた(株)ジェイテクトの山田良彦氏に謹んで感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 大石重雄, 山田良彦, 桑野義正: 型加工工程設計支援システム(Mill-Plan/UH)の開発(工作機械特集JIMTOF2006), JTEKT engineering journal 1002 (2006), 12.
- 2) 桑野義正, 寺本一成, 長屋隆之, 山田良彦: 型彫り加工工程設計支援システムの開発-加工条件算出モジュールの組み込み-, 2004年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 (2004), A35, 49.
- 3) 桑野義正, 寺元一成, 島田元浩: 型彫り加工工程設計システムの開発, 2001年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 (2001), D19, 157.
- 4) 齋藤敦, 大石重雄, 村上信二, 山田良彦, 桑野義正: 高速金型加工に適した自動加工工程設計と最適送り制御技術の開発, 2005年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 (2005), 109, 707.