

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-68901

(P2006-68901A)

(43) 公開日 平成18年3月16日(2006.3.16)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
B23Q 15/00 (2006.01)	B23Q 15/00 301Z	5H269
G05B 19/4097 (2006.01)	B23Q 15/00 A	
	G05B 19/4097 B	

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2005-331691 (P2005-331691)	(71) 出願人	000154990 株式会社牧野フライス製作所
(22) 出願日	平成17年11月16日 (2005.11.16)		東京都目黒区中根2丁目3番19号
(62) 分割の表示	特願平10-260519の分割	(74) 代理人	100077517 弁理士 石田 敬
原出願日	平成10年9月14日 (1998.9.14)	(74) 代理人	100092624 弁理士 鶴田 準一
		(74) 代理人	100082898 弁理士 西山 雅也
		(74) 代理人	100081330 弁理士 樋口 外治
		(72) 発明者	吉田 順 神奈川県愛甲郡愛川町三増359番地の3 株式会社牧野フライス製作所内

最終頁に続く

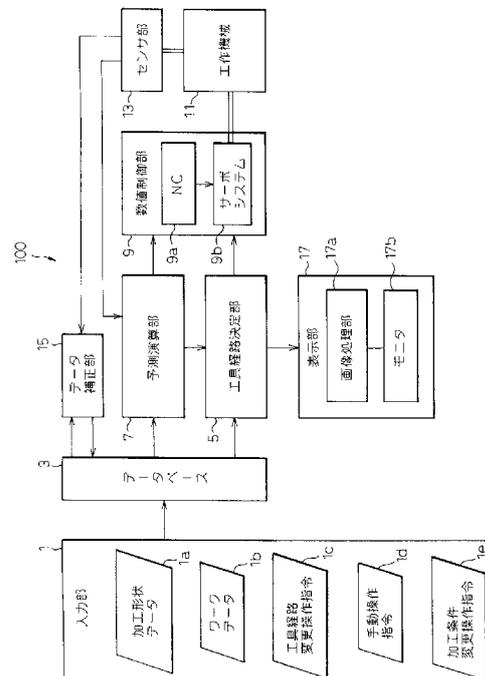
(54) 【発明の名称】 工作機械の制御装置

(57) 【要約】

【課題】加工すべき製品の形状データと未加工ワークに関するデータとを入力するのみで製品を自動的に加工できるようにする。

【解決手段】工作機械の制御装置100が、加工形状データ1a、ワークデータ1bを入力する入力部1と、工作機械11の機械データ、工具データのうち少なくとも1つを格納するデータベース3と、入力部1のデータ、データベース3のデータに基づき、少なくとも加工負荷、または工具とワークとの干渉を予測する予測演算部7と、入力部1のデータ、データベース3のデータ、及び予測演算部7の予測演算結果に基づき、工具経路を生成すると共に、加工条件を決定する工具経路決定部5と、決定された工具経路及び加工条件に対して変更操作があったとき、これを工具経路及び加工条件に反映させるオペレータ変更操作判断部5fとを有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

加工形状データを入力してワークを加工する工作機械の制御装置であって、
最終的なワークの形状に関する加工形状データ、加工前のワークの材質、形状に関する
ワークデータを入力する入力手段と、

前記ワークを加工する前記工作機械の機械仕様を表す機械データ、前記工作機械が保有
する工具の工具仕様を表す工具データのうち少なくとも1つを格納するデータ格納手段と

、
前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータに基づ
き、少なくとも加工負荷、または工具とワークとの干渉を予測する予測演算手段と、

前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータ、及び
前記予測演算手段による予測演算結果に基づき、前記ワークを加工する工具経路を生成す
ると共に、前記工作機械の主軸回転速度、送り速度等の前記ワークを加工する際の加工条
件を決定する工具経路決定手段と、

前記工具経路決定手段により生成、決定された工具経路及び加工条件に対するオペレ
ータによる変更操作を認識、記憶し、前記変更操作が妥当か否かを判断し、前記変更操作を
工具経路及び加工条件の生成、決定に反映させるオペレータ変更操作判断手段と、

を具備して構成されることを特徴とした工作機械の制御装置。

【請求項 2】

前記工具経路決定手段は、工具及び加工パターンを選択すると共に、加工工程を決定す
る加工工程決定手段を含んで構成される請求項 1 に記載の工作機械の制御装置。

【請求項 3】

前記オペレータ変更操作判断手段は、前記入力手段により入力された加工形状データ及
びワークデータ、前記加工工程決定手段により選択された工具を認識し、前記工具の手動
による送り動作時または早送り動作時に、前記工具が前記ワークに干渉しない領域を前記
工具の可動領域とし、前記可動領域を越えて動作させようとしたときには、前記ワークと
の干渉が発生する前に前記工具の動作を停止させる請求項 2 に記載の工作機械の制御装置

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、未加工ワークを投入し、最終的な製品の加工形状に関するデータ（以下、加
工形状データと記載する）を入力することにより、未加工ワークが前記加工形状データに
基づき加工され、目的とする加工製品を得ることができる工作機械の制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、NC工作機械で製品を加工する場合、まず、目的とする加工製品の形状を表した
図面が作成される。プログラマは、その図面から加工工程を決定し、手動または自動プロ
グラミング装置でNCプログラムを作成する。オペレータは、そのNCプログラムをNC
工作機械に入力すると共に、加工すべき未加工ワークを手動またはワーク自動交換装置で
NC工作機械に装着する。そして使用工具のプリセットと工具オフセット量の設定を行い
、NC工作機械の工具マガジンに使用工具を装着する。その後、NCプログラムを実行す
ることによりワークが加工され製品が製作される。これらの工程を可及的に自動化し、か
つ、プログラマやオペレータが蓄積しているノウハウを加工に反映させるために種々の発
明がなされてきた。

【0003】

まず、第1の従来技術として、特許文献1に開示された自動プログラミング装置がある
。これは、ワークの加工形状を表すデータから加工形状を抽出する形状認識手段と、加工
されるワークの加工形状について、最適な加工条件が格納されている加工条件記憶手段と
、前記形状認識手段からの出力に基づいて、前記加工条件記憶手段に格納されている最適

10

20

30

40

50

な加工条件を自動的に設定する自動加工条件設定手段とを備えている。これにより、オペレータが加工条件を設定することなく自動的に設定可能となり、オペレータの人的過誤が排除され良好な加工が行え、さらに、オペレータの負荷が軽減され、かつ、作業時間も短縮されるものである。

【0004】

第2の従来技術として、特許文献2に開示された加工システムがある。このシステムでは、素材、表面あらさ、寸法精度などのワークに関するデータを予め記憶し、第1のニューラルネットワークにより加工条件が決定される。この加工条件は、オペレータが修正することもできる。そして、実際に加工された後、加工結果に基づき加工条件を修正して修正加工条件を求めると共に、第1のニューラルネットワークの重みを修正する学習手段を備えている。さらに、加工中に発生する火花、音、力などを検出するセンサを有しており、このセンサからの入力データを時系列データとして第2のニューラルネットワークに入力し、ある時点での加工状況を所定の時間幅で平均化して把握し、加工条件を動的に修正する適応制御手段を具備している。こうして熟練作業でなくとも最適な加工条件で加工を行うことを可能としたものである。

10

【0005】

第3の従来技術として、特許文献3に開示された数値制御を用いた加工方法がある。これは、各種情報ファイルの登録、加工図形のデータの入力、仕上図形の処理、パターン認識及び加工プロセスの決定処理に基づいて、簡素化されたデータ入力により、加工プロセスや工作機械を最適に選択し、生産効率の高い加工領域、加工手順を設定し、入力図形に最適な工具や加工条件、工具経路を決定し、加工後の測定及び補正により、生産効率を高めると共に、加工精度を高めようとするものである。

20

【0006】

【特許文献1】特開平4 - 315550号公報

【特許文献2】特開平4 - 138504号公報

【特許文献3】特開平9 - 26811号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

加工すべき製品の形状データから工具経路を自動生成する技術は周知であり、これに種々の加工条件を付加することによりNCプログラムが自動的に作成可能となる。第1の従来技術による発明は、加工すべき製品の形状データに基づいて、この加工条件をデータベースから所定のアルゴリズムに従って選択するようにしたものである。これは、いわば静的な加工条件である。これに対して、第2の従来技術による発明は、刻々の加工状態をセンサで検出し、検出結果に基づいて設定した加工条件をニューラルネットワークの学習機能を用いて適応制御し、刻々の加工状態に応じた動的な加工条件を求めるようにしたものである。第1と第2の従来技術は、加工条件の自動決定に重点を置いている。

30

【0008】

第3の従来技術は、オペレータがデータ入力することにより、第1と第2の従来技術と同様な技術を用いて加工条件を自動決定し、さらに、工具及び工具経路の自動決定、加工後の測定及び補正の技術を組合せ、目的とする製品を無人で加工する発明である。

40

【0009】

然しながら、これらの従来技術は、加工状態をフィードバックして補正する方法にて高い精度と生産効率を確保するという技術思想であるが、加工状態を予測して、その予測結果に基づいて工具経路や加工条件を決定し、より高精度、高効率な加工を実現するものではない。

【0010】

本発明の目的は、加工すべき製品の形状データと未加工ワークに関するデータとを入力するのみで要求精度に合致した加工が高効率を以て実行され、目的とする製品を自動的に加工できるようにした工作機械の制御装置を提供するものである。

50

【0011】

また、本発明の他の目的は、加工状態を予測して、予測した加工状態に合致するように工具経路、加工条件を自動的に決定して、高精度な加工を高速にて実行可能な工作機械の制御装置を提供するものである。

【0012】

更に本発明の他の目的は、オペレータによる工具経路、加工条件の変更操作およびオペレータによる手動操作を可能とした工作機械の制御装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明は、加工形状データを入力してワークを加工する工作機械の制御装置であって、
最終的なワークの形状に関する加工形状データ、加工前のワークの材質、形状に関するワ
ークデータを入力する入力手段と、前記ワークを加工する前記工作機械の機械仕様を表す
機械データ、前記工作機械が保有する工具の工具仕様を表す工具データのうち少なくとも
1つを格納するデータ格納手段と、前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格
納手段に格納されたデータに基づき、少なくとも加工負荷、または工具とワークとの干渉
を予測する予測演算手段と、前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手
段に格納されたデータ、及び前記予測演算手段による予測演算結果に基づき、前記ワーク
を加工する工具経路を生成すると共に、前記工作機械の主軸回転速度、送り速度等の前記ワ
ークを加工する際の加工条件を決定する工具経路決定手段と、前記工具経路決定手段によ
り生成、決定された工具経路及び加工条件に対するオペレータによる変更操作を認識、記
憶し、前記変更操作が妥当か否かを判断し、前記変更操作を工具経路及び加工条件の生成
、決定に反映させるオペレータ変更操作判断手段とを具備して構成される工作機械の制御
装置を要旨とする。

【0014】

前記工具経路決定手段は、工具及び加工パターンを選択すると共に、加工工程を決定する加工工程決定手段を含んで構成されていることが好ましい。

また、前記オペレータ変更操作判断手段は、前記入力手段により入力された加工形状データ及びワークデータ、前記加工工程決定手段により選択された工具を認識し、前記工具の手動による送り動作時または早送り動作時に、前記工具が前記ワークに干渉しない領域を前記工具の可動領域とし、前記可動領域を越えて動作させようとしたときには、前記ワークとの干渉が発生する前に前記工具の動作を停止させることが好ましい。

【0015】

さらに本発明の一実施形態によれば、加工形状データを入力してワークを加工する工作機械の制御装置であって、最終的なワークの形状に関する加工形状データ、加工前のワークの材質、形状に関するワークデータを入力する入力手段と、前記ワークを加工する前記工作機械の機械仕様を表す機械データ、前記工作機械が保有する工具の工具仕様を表す工具データのうち少なくとも1つを格納するデータ格納手段と、前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、前記ワークを加工する工具経路を生成すると共に、前記工作機械の主軸回転速度、送り速度等の前記ワークを加工する際の加工条件を決定する工具経路決定手段と、前記工具経路決定手段により生成、決定された工具経路及び加工条件に対するオペレータによる変更操作を認識、記憶し、前記変更操作が妥当か否かを判断し、前記変更操作を工具経路及び加工条件の生成、決定に反映させるオペレータ変更操作判断手段とを具備して構成される工作機械の制御装置が提供される。

【0016】

更に、本発明の他の実施形態によれば、加工形状データを入力してワークを加工する工作機械の制御装置であって、最終的なワークの形状に関する加工形状データ、加工前のワークの材質、形状に関するワークデータを入力する入力手段と、前記ワークを加工する前記工作機械の機械仕様を表す機械データ、前記工作機械が保有する工具の工具仕様を表す工具データのうち少なくとも1つを格納するデータ格納手段と、前記入力手段により入力

されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータに基づき、前記ワークを加工する工具経路を生成すると共に、前記工作機械の主軸回転速度、送り速度等の前記ワークを加工する際の加工条件を決定する工具経路決定手段と、前記工具経路決定手段により生成、決定された工具経路及び加工条件に対するオペレータによる変更操作を認識、記憶し、前記変更操作が妥当か否かを判断し、前記変更操作を工具経路及び加工条件の生成、決定に反映させるオペレータ変更操作判断手段と、前記入力手段により入力されたデータ、前記データ格納手段に格納されたデータ、前記工具経路決定手段又は前記オペレータ変更操作判断手段により決定した工具経路及び加工条件のデータに基づき、前記ワークの加工コストを演算するコスト演算手段とを具備して構成される工作機械の制御装置が提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0017】

本発明の実施形態を添付図面を参照して説明する。

図1は、本発明実施形態による工作機械の制御装置100のブロック図である。制御装置100は、入力部1、データベース3、工具経路決定部5、予測演算部7を主要な構成要素として含んでいる。詳細には図示されていないが、制御装置100は、CPU、RAM、ROM、入出力インターフェース、データ記憶装置及びこれらを相互接続する双方向バスにより構成することができる。

【0018】

入力部1は、制御装置100に必要なデータや指令を入力するための装置構成であって、キーボードのみならず、フロッピディスクや光磁気ディスク等の情報媒体及びその駆動装置、さらには、後述する各種データを格納し指令を発するネットワークコンピュータおよびそのインタフェース装置等により構成することができる。

20

【0019】

オペレータは、入力部1から加工形状データ1a、ワークデータ1b、工具経路変更操作指令1c、手動操作指令1d、加工条件変更操作指令1e等のデータや指令を入力することができる。加工形状データ1aは、目的とする加工製品の形状に関するデータであり、例えばCADデータ等の電子化された図形情報とすることができる。また、加工形状データ1aは、加工精度や表面あらさ等に関するデータを含んでいても良い。ワークデータ1bは、当該製品を加工する未加工ワークの形状、材質に関するデータである。ワークデータ1bは、未加工ワークを工作機械11に装着、固定するための取付具やパレット等の治具の寸法、形状、工作機械11上での取付位置、及び治具への未加工ワークの取付位置に関するデータをも含んでいてもよい。

30

【0020】

工具経路変更操作指令1cは、制御装置100が自動生成した工具経路をワークの加工が進捗する間にオペレータが変更するための指令である。手動操作指令1dは、ワークの加工が進捗する間にオペレータが手動操作にて加工を行うための指令である。加工条件変更操作指令1eは、制御装置100が自動生成した加工条件をワークの加工が進捗する間にオペレータが変更するための指令である。工具経路変更操作指令1c、手動操作指令1d、加工条件変更操作指令1eについては詳細に後述する。

【0021】

40

入力部1から入力されたデータは、データ格納手段としてのデータベース3に格納される。データベース3は、機械データベース3a、工具/ホルダデータベース3b、加工条件データベース3c、材料データベース3d、NC/サーボデータベース3e、入力データベース3f、ユーザデータベース3gを含んでいる。データベース3は、例えばハードディスク装置や光ディスク装置等のデータ格納装置により構成することができる。また、データベース3内の機械データベース3a、工具/ホルダデータベース3b、加工条件データベース3c、材料データベース3d、NC/サーボデータベース3e、入力データベース3f、ユーザデータベース3gの各々は、個別のデータ格納装置により構成しても或いは1つのデータ格納装置内を複数の領域に区切って、各データベース3a~3gとしてもよい。

50

【0022】

図2を参照すると、機械データベース3aに格納されるデータには、工作機械11の各送り軸のストローク、主軸最高回転速度、最大送り速度、温度に対する機械の変形特性に関するデータ、ワークの重量による機械の変形特性に関するデータ等が含まれる。工具/ホルダデータベース3bに格納されるデータには、工具の管理番号、工具及び工具ホルダの寸法、形状、工具の材質、工具寿命、工具の負荷に対する倒れ特性、及び振れ特性に関するデータ、主軸先端部の寸法、形状等が含まれる。加工条件データベース3cに格納されるデータには、1刃当たりの送り量、切込量、ピックフィード量、クーラント使用の有無、加工パターン、加工面を複数の加工領域に区分するための領域区分データ、ある加工面を加工する最適な工具を選択するための基礎データ等が含まれる。材料データベース3dに格納されるデータには、材料の種類、硬さ、引張強さ、弾性係数等が含まれる。NC/サーボデータベース3eに格納されるデータには、数値制御装置の諸元、設定パラメータ、サーボの時定数、ゲイン等が含まれる。入力データベース3fには、入力部1から入力された加工形状データ1a、ワークデータ1b、及び工具経路変更操作指令1c、手動操作指令1d、加工条件変更操作指令1eに関するデータが格納される。ユーザデータベース3gには、後述するオペレータまたはユーザが過去に変更操作した加工条件に関するデータが蓄積、格納される。

10

【0023】

ここで、データベース3に格納されるデータは、オペレータが任意に入力するデータ、工作機械11に既に登録されているデータ、所定の記憶手段にあらかじめ記憶されたデータのうち少なくとも1つであればよい。

20

【0024】

図3、4を参照して、工具経路決定部5を説明する。

工具経路決定部5は、以下に詳細に説明する加工工程決定部5a、工具経路生成部5b、加工条件決定部5c、及び補正部5dを主要な構成要素として含んで成る。

【0025】

先ず、入力データベース3fに格納されている加工形状データ1a及びワークデータ1bが加工工程決定部5aに送られる(ステップS11)。このデータに基づいて、加工工程決定部5aは、未加工ワークおよび最終的に製作されるワークの加工面の形状を認識する。次いで、加工工程決定部5aは加工条件データベース3c内に格納されている領域区分データと認識した加工面の形状に基づいて、加工表面の曲率、傾斜角度及び深さ等を表面パラメータとして、加工表面を複数の加工領域に区分する(ステップS13)。次いで、加工工程決定部5aは、前記加工領域の各々の表面パラメータに対応させて、当該加工領域を加工するために最適な工具及び加工パターンを、加工条件データベース3c内に格納されている加工面を加工する最適な工具を選択するための基礎データ及び加工パターンから選択する(ステップS15)。例えば、急傾斜面をスキャンパスで加工すると、工具に過負荷がかかったり、異常振動が発生したりする。これを防止するために、急傾斜面では等高線加工パスが選択される。また、このとき、加工条件データベース3cからクーラント供給の要否に関するデータも導入される。次いで、各々の加工領域を加工する加工順序が決定される(ステップS17)。

30

40

【0026】

図5から図12に加工パターンの例を示す。図5はスキャン(走査)加工パスであり、図6は等高輪郭加工パスである。図7はワークが存在している部位のみを加工領域として切削効率の向上を図るスキャン(走査)加工パス、いわゆるキャラクタライン加工パス、図8は点Oを中心とする放射加工パスである。

【0027】

図9は鋳物等、仕上形状からほぼ一定量の取り代があるワークでその形状の法線方向に一定量ずつ追い込んでいく、例えばワークをオフセットしていくことで繰り狭めていくような等高輪郭加工パス、図10は鋳物等、仕上形状からほぼ一定量の取り代があるワークでその形状の法線方向に一定量ずつ追い込んでいくスキャン(走査)加工パス、図11は

50

ワークが存在している部位のみを加工領域として、例えばワークが存在している部位から加工を開始したり、ワークが加工すべき加工形状に近くなった場合にピックフィード量を小さくする等して、切削効率の向上を図る等高線加工パスである。

【0028】

図12は加工領域の境界部を隣の加工領域と自動的にオーバーラップさせ、オーバーラップ部分をスムーズに工具をリトラクトさせることで境界部の段差を防止する、例えば加工領域における所定距離離れている退避位置から前記加工領域に向かい、使用する工具径での工具経路より所定量だけ法線方向に離れた位置から工具の移動を開始し、前記加工領域では使用する工具径での工具経路に一致するよう前記工具を移動させ、前記加工領域の加工を行う加工パスである。これらの加工パターンは、蓄積されたノウハウを反映させて、加工領域の曲率、傾斜角度、深さ等の表面パラメータと対応させて加工パターンが選択できるようにデータベース3に格納されている。また、図示する加工パターンは、一例であって本発明を限定する趣旨ではない。

10

【0029】

次に、図13から図15を参照して、加工工程決定部5aにおける切削方向の自動決定方法を説明する。図13(a)には、加工すべきワークの1つの曲面 R_c が図示されている。一例として、図13に示すようなワークの曲面 R_c を図5のスキャン(走査)加工パスにて加工する際、ワーク曲面 R_c の長手方向を決定して、これに平行な方向を工具の送り方向とすることにより、ピックフィードの回数を可及的に少なくすることが可能となる。ピックフィードの回数を減らすことにより、ピックフィードに伴う工具の移動停止時間が短縮され、加工時間が短縮可能となる。

20

【0030】

先ず、図13(b)のようなワーク曲面 R_c の最大投影面積を与える平面 TP を決定する(ステップS21)。次いで、ワーク曲面 R_c を平面 TP に投影する(ステップS23)。図14に、ワーク曲面 R_c を平面 TP に投影した図形を示す。次いで、投影された図形 P_{rc} の重心 G を求める(ステップ25)。これは、図形 P_{rc} が決定されれば、一義的に決定することができる。重心 G を通過する直線 L_i ($i=1\sim n$)を発生させる(ステップ27)。直線 L_i の発生方法は、充分な大きさの i に対して任意に発生させても、或いは、重心 G を中心として等角度間隔で発生させてもよい。

30

【0031】

次いで、図形 P_{rc} と直線 L_i の交点 A_i 、 B_i を求め(ステップS29)、交点 A_i 、 B_i 間の距離 $|A_i, B_i|$ を演算する(ステップS31)。この距離が、最大値 $|A_i, B_i|_{\max}$ となる直線 L_i の方向を長手方向と決定する(ステップS33)。後述する工具経路生成部5bで工具経路を生成する際、このようにして決定された直線 L_i の方向を長手方向として、この方向に工具をワークに対して送ることにより、ピックフィードの回数を最小とすることができ、加工時間の短縮が可能となる。

【0032】

次に、図16~図20を参照してキャラクタラインを図7に示すようにスキャン(走査)加工パスにて高精度に加工する方法を説明する。図16は、キャラクタライン L_c を有する加工すべきワークの1つの曲面 R_c の斜視図である。なお、以下の説明では図16~図19に示すように凸状のキャラクタラインを加工する場合に付いて説明するが、図7に示すように凹状のキャラクタラインをスキャン加工パスにて加工する場合も同様であることは言うまでもない。

40

【0033】

キャラクタラインは、曲面に表情を付けるために設けられる曲線部または直線部分であって、他の曲面領域とは際立って目立つ部分であるので、他の加工領域よりも高い精度で加工することが要求される。そのために、このキャラクタラインを特定し、この部分だけを他の領域とは異なる加工条件にて加工することが必要となる。

【0034】

ワーク曲面 R_c からキャラクタライン L_c を抽出するために、本実施形態では、先ず、

50

図17に示すように、ワーク曲面 R_c を複数の曲面要素 $S_1 \sim S_n$ （本実施形態では $n = 14$ ）に分割する（ステップS35）。曲面要素 $S_1 \sim S_{14}$ の各々の大きさは、当該曲面要素部分の曲率等を加味して適宜に決定する。次いで、隣接する曲面要素（本実施形態では図18に示すように面要素 S_1 と面要素 S_{13} ）の間の境界線 L を確定する（ステップS37）。

【0035】

更に、この境界線 L に接する接線 L_t を求める（ステップS39）。この場合、境界線 L と接線 L_t との接点 P_t は、境界線 L 上に任意に選択することができるが、例えば、境界線 L の midpoint とすることができる。次に、接点 T_t において接線 L_t に対して垂直に交差する平面 T_p を求める（ステップS41）。そして、平面 T_p と2つの面要素 S_1 、 S_{13} との交線 L_1 、 L_{12} を求め（ステップS43）、この2つの交線 L_1 、 L_{13} の連続性を確認する（ステップS45）。その方法としては、接点 P_t における交線 L_1 、 L_{13} の微分係数が一致することを確認する方法を採ることができる。交線 L_1 、 L_{13} が不連続である場合（ステップS47においてYesの場合）には、境界線 L をキャラクタラインと判断し（ステップS49）、交線 L_1 、 L_{13} が連続である場合（ステップS47においてNoの場合）には、境界線 L をキャラクタラインではないと判断する（ステップS51）。このようにして加工工程決定部5aでキャラクタライン L_c を抽出した後に、図21に示すように、キャラクタライン L_c に対して垂直な方向を加工方向として所定のピックフィード量 P で移動する工具経路を工具経路生成部5bで生成することにより、高精度に切削加工を行うことができる。このとき、隣接する2つのキャラクタラインの交点における接線の傾きから、当該2本のキャラクタラインが1本のキャラクタラインであるか否かを判断して、加工工程を決定することもできる。

【0036】

また、キャラクタラインと同様に高精度に仕上げなければならない加工領域として、プレス用の金型の凸 R 部がある。凸 R 部の一例が、図22(a)に示されている。図22(a)においてAで示す凸 R 部は、例えば金型等では、プレス加工したときに型の表面形状が非常によく転写され、また、見た目にも目立つ部分であるので、金型のなかでも高精度に仕上げなければならない領域である。

【0037】

例えば、こうした加工領域を判断するために、加工工程決定部5aは、加工形状データから加工面を一定の公差以下で近似する微小な三角形の面要素に分割し（図22(b)参照）、その大きさが所定の閾値よりも小さい面要素が集中している領域を抽出して形状急変領域とし、この急変領域が凸形か凹形かを判断して、凸形の場合に当該領域を凸 R 部とすることができる。こうして決定された凸 R 部のみを高精度に加工する工具経路を工具経路生成部5bで生成することにより、不必要にワーク全体を高精度に加工する無駄を省くことができる。

【0038】

次に、図23を参照して、加工パターンの一例としてコンタリングによる溝加工を説明する。図23(a)で示すように、ワーク W に加工する溝30の幅と同じ直径の工具 T を用いて溝加工を行うと、工具 T がワーク W への出入口において撓んだり、撓みが解放されたりして負荷変動が大きくなり、溝30の底に疵が形成される。これに対して、図23(b)に示すように、溝30の幅よりも小さな直径の工具 T を用いて長円コンタリング動作させる工具経路を工具経路生成部5bで生成して溝加工を行うと、工具 T に負荷される切削荷重が小さくなり、工具 T の撓みも小さくなるので、ワークへの出入口での工具 T の撓みや撓みが解放されることにより負荷変動が小さくなる。また、高速高精度送りかつ軽負荷高速送りにより安定した切削加工が得られる。

【0039】

上述のようにして加工工程決定部5aにおいて決定された加工領域、工具、加工パターン、加工順序に関するデータは、加工工程決定部5aの加工工程保存手段（図示せず）に一旦保存され、次いで、工具経路生成部5bに送られる。工具経路生成部5bは、この加

10

20

30

40

50

工領域、工具、加工パターンに関するデータと、入力データベース 3 f に格納されているワークデータ 1 b、特に未加工ワークの材料データと、材料データベース 3 d に格納されている材料の種類、引張強さ、弾性係数に関するデータとに対応させて、加工条件データベース 3 c に格納されている 1 刃当たりの送り量、切込み量、ピックフィード量のデータ群から当該ワークを加工するために最適な値を決定すると共に、工具経路及びピックフィード経路を生成する。工具経路及びピックフィード経路の生成は、加工条件データベース 3 c に格納されている演算式により行われる。

【0040】

ピックフィード経路の方向の決定方法の一例を図 24、25 を参照して説明する。

図 24 に示すように周方向に傾斜角が一定していない形状のワーク加工面を等高加工パターンで切削加工し、ピックフィード量を接線方向の量として設定する場合、急な斜面においてピックフィードを行うと、より緩やかな部分で前回の工具経路との間隙が広くなりすぎ、削り残しが発生する。そこで、図 24 において矢印で示すように、傾斜の緩やかな位置でピックフィードを行えば、このような削り残しを防止することができる。

10

【0041】

先ず、加工工程決定部 5 a では、等高加工パターンの工具経路に沿って複数の接平面を定め（ステップ S 53）、接平面の法線ベクトルを演算する（ステップ S 55）。接平面は、例えば、等高加工パターンの工具経路に沿って周方向に等角度間隔で複数の接点を離散的に定め、該接点におけるワーク曲面に対する接平面を演算することにより求めることができる。次いで、上記法線ベクトルの各々の傾きを求め（ステップ S 57）、最も急峻な角度の法線ベクトルを有する接平面の接点を求める（ステップ S 59）。法線ベクトルの傾きが最も急峻な接平面が最も緩やかな面となっているので、この最も傾きの急峻な法線ベクトルを与える接点からピックフィードを行うように工具経路生成部 5 b ではピックフィード経路を発生させる（ステップ S 61）。つまり、当該接点で接線方向の移動量が設定したピックフィード量となるピックフィード経路を発生させる。なお、ピックフィードの方向は、上記接点において前記工具経路に接する直線に対して垂直な接線方向である。

20

【0042】

ここで、加工工程決定部 5 a で工具、加工パターン及び加工工程を選択、決定せずに、オペレータが、後述するように任意に工具、加工パターン及び加工工程を入力または変更するようにしてもよい。また、ある加工工程の処理中に別の加工工程の処理を行うことも可能である。

30

【0043】

次いで、加工条件決定部 5 c が工具経路生成部 5 b からの演算結果に基づいて、1 刃当たりの送り量、切込み量、ピックフィード量から工作機械 11 の主軸回転速度、送り速度を決定すると共に、各加工工程毎の工具交換指令、後述するセンサ部 13 による測定工程の挿入に関する指令を数値制御部 9 に発生する。

【0044】

図 26、27 を参照して、加工条件決定部 5 c で決定される加工条件のうちピックフィード量 P と送り速度 F の決定方法の一例を説明する。図 26 は、ボールエンドミル T をワーク W に対して矢印 D f の方向に送ることにより、スキャン（走査）パスにて切削加工する様子を示す斜視図である。

40

【0045】

先ず、入力データベース 3 f 内の加工形状データに含まれる仕上精度からカスプ高さ h を決定する（ステップ S 63）。次いで、加工形状データ、ワークデータから機械データベース 3 a 及び工具 / 工具ホルダデータベース 3 b を参照して使用工具を決定する（ステップ S 65）。使用工具を決定すると、工具半径 r および刃数 n が自動的に決定される。こうして決定されたカスプ高さ h および工具半径 r から以下の式にてピックフィード量 P を演算する（ステップ S 67）。

$$P = (8 r h)$$

50

【 0 0 4 6 】

次いで、ワークデータに含まれるワークの材料から工具 / 工具ホルダデータベース 3 b および加工条件データベース 3 c を参照して、切削速度 V を決定し (ステップ S 6 9)、ピックフィード量 P と切削速度 V から主軸回転速度 N (rpm) を求める (ステップ S 7 1)。ここで、求められた主軸回転速度 N が実際の機械の最大主軸回転速度 N_{max} を越えているか否かを確認する (ステップ S 7 3)。主軸回転速度 N が実際の工作機械の最大主軸回転速度 N_{max} を越えていない場合 (ステップ S 7 3 で Yes の場合)、ステップ S 7 1 で求められた主軸回転速度 N にて切削加工を行うようにし (ステップ S 7 5)、主軸回転速度 N が実際の工作機械の最大主軸回転速度 N_{max} を越えている場合 (ステップ S 7 3 で No の場合)、当該工作機械の最大主軸回転速度 N_{max} を主軸回転速度 N として切削を行うように設定する (ステップ S 7 7)。次いで、こうして求められた刃数 n 、さらにはピックフィード量 P と等しく設定された工具の 1 刃あたりの送り量 f 、主軸回転速度 N から以下の式にて送り速度 F を求める (ステップ S 9 7)。

10

$$F = n f N$$

【 0 0 4 7 】

これにより、図 2 6 に示すように、ワーク W の加工面に形成される波形の条痕は、工具の 1 刃あたりの送り量 f とピックフィード量 P が等しくなり加工面が均一に分布することとなる。これにより、特に金型を加工する場合に、後工程の磨き作業に特定の方向性がなく、形状に沿って磨き仕上げをすることが可能となり、磨き仕上げに要する時間が短縮される。

20

【 0 0 4 8 】

ここで、加工条件決定部 5 c で加工条件を決定せずに、後述するようにオペレータが任意に入力した加工条件を利用したり、或いは、所定の記憶手段にあらかじめ記憶された加工条件を利用してもよい。

【 0 0 4 9 】

補正部 5 d は、後述する予測演算部 7 からの予測演算結果に基づき、工具経路生成部 5 b または加工工程決定部 5 a へ補正指令を発生する。

【 0 0 5 0 】

数値制御部 9 は、一般的に周知の NC 装置 9 a と、サーボモータ、アンプを含むサーボシステム 9 b とを具備しており、工作機械 1 1 の軸送り及び主軸の回転を制御する。つまり、NC 装置 9 a は周知の通り、工具経路データ及び加工条件データから X 、 Y 、 Z の各送り軸の移動指令を生成すると共に、工作機械 1 1 の主軸の起動、停止、クーラントの ON/OFF、自動工具交換、自動パレット交換等の動作指令を発する。サーボシステム 9 b は NC 装置 9 a から移動指令を受け取り、送り軸のサーボモータを制御する。こうして、数値制御部 9 により工作機械 1 1 が制御される。

30

【 0 0 5 1 】

工作機械 1 1 は、例えば自動工具交換装置を備えたマシニングセンタなどの一般的に周知の工作機械である。工作機械 1 1 には、工作機械 1 1 のコラムやベッドなどの機体各部の温度、クーラントの温度、工作機械 1 1 が設置されている環境温度を測定するためのサーミスタ等の温度センサおよび工作機械 1 1 のモータに供給される電流値を測定する電流計等を含む機械センサ、工作機械 1 1 に装着されている工具の工具長、工具径、工具先端形状等を測定するための工具センサ、及び、加工されているワークの形状を実際に測定するワークセンサを含むセンサ部 1 3 が設けられている。センサ部 1 3 で測定された値は後述する予測演算部 7 へ送られる。さらに、センサ部 1 3 の工具センサで測定された工具径、工具長、回転中の工具の振れ、中心位置変動等はデータ補正部 1 5 を介してデータベース 3 の工具 / ホルダデータベース 3 b に送られ、データベース 3 の内容、特に、工具の摩耗特性、工具寿命、工具の振れ特性が補正、更新される。

40

【 0 0 5 2 】

また、センサ部 1 3 の機械センサの温度センサで測定された機体各部の温度、クーラントの温度、環境温度等はデータ補正部 1 5 を介してデータベース 3 の機械データベース 3

50

a に送られ、機械データベース 3 a の該当部が補正、更新される。さらに、センサ部 1 3 のワークセンサで測定された加工誤差から工作機械 1 1 の動作時の位置決め誤差を演算し、データ補正部 1 5 を介してデータベース 3 の機械データベース 3 a に送り、機械データベース 3 a の該当部を補正、更新するようにしてもよい。センサ部 1 3 のワークセンサで測定された加工誤差を工具経路決定部 5 の補正部 5 d へ送り、ここで加工誤差データから補正データを生成し、工具経路生成部 5 b で補正工具経路を生成して再加工することもできる。

【 0 0 5 3 】

次に、図 2 8 を参照して予測演算部 7 を説明する。

予測演算部 7 は、加工状態シミュレーション部 7 a、機械挙動シミュレーション部 7 b、ワークシミュレーション部 7 c、工具挙動シミュレーション部 7 d を主要な構成要素として具備している。

【 0 0 5 4 】

加工状態シミュレーション部 7 a は、入力データベース 3 f から加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b を受け取り、工具 / ホルダデータベース 3 b から、加工工程決定部 5 a にて決定された工具及び工具ホルダの寸法、形状、主軸先端部の形状、寸法を受け取る。さらに、加工状態シミュレーション部 7 a は、工具経路生成部 5 b で決定、演算された 1 刃当たりの送り量、切込み量、ピックフィード量、工具経路及びピックフィード経路を受け取り、かつ、加工条件決定部 5 c で決定された主軸回転速度、送り速度を受け取る。

【 0 0 5 5 】

加工状態シミュレーション部 7 a は、加工に先立って、つまり、一番最初に工具経路決定部 5 が工具経路等を生成する際に、加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b と、工具、工具ホルダ及び主軸先端部の形状、寸法と、工具経路と、ピックフィード経路とから工具、工具ホルダ、主軸先端部とワークとが、加工中に干渉するか否かを予測する。ある加工領域での加工中に干渉が生じることが予測される場合には、加工状態シミュレーション部 7 a は加工工程決定部 5 a に対して、当該加工領域を加工不可領域とするように指令する。このとき、当該加工不可領域を他の工具により加工可能である場合または加工不可領域の加工パターンを変更できる場合には、加工工程決定部 5 a は、工具または加工パターンを変更して加工領域、工具、加工パターン、加工順序を決定し直し、工具経路決定部 5 に送出する。そして、上記手順が繰り返される。工具や加工パターンが変更できない場合には、加工工程決定部 5 a は、当該加工不可領域を加工工程から外した加工順序を工具経路決定部 5 に送出する。

【 0 0 5 6 】

図 2 9 を参照して、予測演算結果を加味した加工領域の決定方法の一例を説明する。ある工具に対して干渉の発生しない領域 2 1 a が加工状態シミュレーション部 7 a により予測演算された場合に、当該工具で加工可能な領域、例えば面傾斜角度が 6 6 度以下の領域が 2 1 b の領域で示されるような場合 (図 2 9 (a))、両者の重なり合う部分が加工領域 2 1 c として決定される (図 2 9 (b))。

【 0 0 5 7 】

加工工程決定部 5 a は、図 2 9 に示す方法と同様に、工具とワークとの干渉チェックにより決定された加工領域、または入力部 1 から入力した加工形状データ 1 a に対して任意に決定した工具とワークとの干渉チェックにより決定された加工領域と、入力部 1 から入力した加工形状データ 1 a の面傾斜角度、面の曲率、深さに基づき決定された加工領域との重複領域を加工すべき範囲とすることもできる。

【 0 0 5 8 】

加工状態シミュレーション部 7 a は、さらに、加工が開始された後にも同様の干渉チェックをリアルタイムで実行している。その結果、工具とワークの干渉が予測される場合には、その旨のデータを工具経路生成部 5 b に送出する。工具経路生成部 5 b は、この干渉を避ける工具経路、例えば Z 軸方向に逃げる干渉回避工具経路を演算、生成する。

【 0 0 5 9 】

10

20

30

40

50

また、加工状態シミュレーション部 7 a は、実際に加工が行われている間、加工形状データ 1 a、ワークデータ 1 b、加工パターン、工具経路に関するデータに基づき、加工が進捗するワークにおける入隅部（インコーナ部）を予測する。この予測結果は加工条件決定部 5 c へ送られ、加工条件決定部 5 c が、前記入隅部（インコーナ部）で工具の送り速度を減速させる加工条件を決定する。

【 0 0 6 0 】

さらに、加工状態シミュレーション部 7 a は、ワークデータ 1 b と、工具経路生成部 5 b で決定、演算された工具の 1 刃当たりの送り量、切込み量、ピックフィード量、工具経路と、加工条件決定部 5 c で決定された主軸回転速度、送り速度から加工負荷を予測演算する。さらに、加工状態シミュレーション部 7 a は、加工形状データ 1 a と、ワークデータ 1 b と、加工工程決定部 5 c で決定された工具、工具ホルダ及び主軸先端部の形状、寸法と、工具経路生成部 5 b で決定、演算されたピックフィード量、工具経路から、加工中のワークの現時点の形状を予測すると共に、工具とワークとの接触点、ワークの重量を予測する。

10

【 0 0 6 1 】

また、加工状態シミュレーション部 7 a は、予想されるワークの重量変化と加工条件決定部 5 c で決定された加工条件とに基づきワークの負荷イナーシャを予測する。この予測される負荷イナーシャは数値制御部 9 へ送られ、数値制御部 9 のサーボシステム 9 b のパラメータが補正される。

【 0 0 6 2 】

工具とワークとの接触点の予測に基づいて、例えば、工具がある工具経路を移動中にワークを切削していない、いわゆるエアカットが生じることが予測される場合、加工状態シミュレーション部 7 a は、その旨のデータを加工条件決定部 5 c に送る。これにより、加工条件決定部 5 c は、エアカットが予測される領域を通過する工具経路に沿って工具が移動する際、最大送り速度で移動するよう数値制御部 9 に指令を出すことが可能となる。

20

【 0 0 6 3 】

機械挙動シミュレーション部 7 b は、機械データベース 3 a に格納されている温度に対する機械の熱変形特性に関するデータと、センサ部 1 3 の温度センサからの温度データに基づき工作機械 1 1 の熱変形を予測する。また、加工状態シミュレーション部 7 a で予測演算されたワークの重量データ及び機械データベース 3 a に格納されているワークの重量による機械の変形特性に関するデータに基づき、工作機械 1 1 のワークの重量による変形を予測する。

30

【 0 0 6 4 】

ワークシミュレーション部 7 c は、入力データベース 3 f から加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b を受け取り、工具 / ホルダデータベース 3 b から、加工工程決定部 5 c にて決定された工具及び工具ホルダの寸法、形状、主軸先端部の形状、寸法を受け取る。さらに、ワークシミュレーション部 7 c は、工具経路生成部 5 b で決定、演算された工具の 1 刃当たりの送り量、切込み量、ピックフィード量、工具経路及びピックフィード経路を受け取り、かつ、加工条件決定部 5 c で決定された主軸回転速度、送り速度を受け取る。そして、ワークシミュレーション部 7 c は、受け取ったデータに基づき加工が進捗する刻々のワークの中間形状を予測演算し、その予測演算結果を加工状態シミュレーション部 7 a、機械挙動シミュレーション部 7 b へ送る。

40

【 0 0 6 5 】

工具挙動シミュレーション部 7 d は、加工状態シミュレーション部 7 a で予測される加工負荷、工具 / ホルダデータベース 3 b に格納されている工具の負荷に対する倒れ及び振れ特性に関するデータから工具の倒れ量、振れ量を予測する。また、工具 / ホルダデータベース 3 b に格納されている工具寿命に関するデータと、前記加工状態シミュレーション部 7 a で予測された加工負荷、加工接点、切込み量、加工時間から工具の摩耗量、摩耗分布を予測演算する。摩耗分布とは、例えばボールエンドミルの場合、先端が摩耗するのか

50

、或いは、先端からどの位置で摩耗するのか、ストレート部か等の工具の摩耗部位を予測するものである。この摩耗の予測演算により、工具寿命に達したか否かの判断が行われる。さらに、センサ部 13 の工具センサによっても回転中の工具の形状（工具径、工具長、中心位置、姿勢など）の変化から予測値の修正が行われる。

【0066】

また、工具挙動シミュレーション部 7 d において予測演算された工具の倒れ量は工具経路決定部 5 の補正部 5 d に送られ、予測される工具の倒れ量が所定値よりも大きいときには、工具の倒れを考慮した工具経路を生成するよう工具経路生成部 5 b に送出する。例えばワークと工具とを水平方向に相対移動させるときに加工負荷が大きい場合には、工具は移動方向に対して前方に倒れるように変形するために主軸の座標位置よりも工具の先端位置が遅れて移動する。そのために、必要な加工を行うために工具の先端位置が所定の加工位置まで移動するように送り量を補正しなければならない。これにより、高精度な加工が可能となる。

10

【0067】

次にオペレータ変更操作判断部 5 f を説明する。

工作機械 11 が自動加工を実施している間に、オペレータが加工の進捗するワークの中間形状を見て、オペレータの経験に照らして工具経路の変更を望んだり、既述したように加工に際して制御装置 100 が自動的に提示した加工条件に対してオペレータが変更を望むことがある。オペレータ変更操作判断部 5 f は、こうした制御装置 100 が提示する加工条件や工具経路に対するオペレータの変更を可能とする。

20

【0068】

つまり、オペレータ変更制御部 5 f は、入力部 1 から入力された工具経路変更操作指令 1 c、手動操作指令 1 d、加工条件変更操作指令 1 e に応答して、加工中に数値制御部 9 に対して割込を掛けて、オペレータによる加工プロセスの変更を可能とするのである。

【0069】

図 30 を参照して、加工中の工具経路の変更操作について説明する。

先ずステップ S 8 1 において工具経路変更操作指令 1 c が入力されたか否かを判断する。工具経路変更操作指令 1 c が入力されていなければ（つまり、ステップ S 8 1 において No の場合）、オペレータ変更操作判断部 5 f は何らの処理も行わずに、進捗する従前の加工がそのまま継続される。工具経路変更操作指令 1 c が入力部 1 に入力されると（ステップ S 8 1 において Yes の場合）、ステップ S 8 3 において、オペレータ変更操作判断部 5 f は、工具経路の変更が現在の送り速度や主軸の回転速度といった加工条件に対して妥当であるか否かを判断する。

30

【0070】

工具経路の変更が妥当であると判断されると（ステップ S 8 3 において Yes の場合）、ステップ S 8 5 においてワークの加工面に未切削部分、つまり削り残しが存在するか否かが判断される。この判断は、既述した予測演算部 15 からのデータに基づいて行うことができる。ワークの加工面に未切削部分が残らないと判断されると（ステップ S 8 3 において No の場合）、ステップ S 8 7 において、工具経路の変更指令がオペレータ変更操作判断部 5 f から工具経路生成部 5 b に発せられる。

40

【0071】

工具経路の変更が妥当ではないと判断されると（ステップ S 8 3 において No の場合）、ステップ S 8 9 において、加工条件を変更することにより工具経路の変更が可能になるか否かを判断する。加工条件を変更することにより妥当な工具経路が変更となると判断される場合（ステップ S 8 9 において Yes の場合）、ステップ S 9 1 において、オペレータ変更操作判断部 5 f から加工条件決定部 5 c に対して、妥当な工具経路の変更を与える加工条件に変更するよう指令が発せられ、上述したステップ S 8 5 へ進み未切削部分の存否が判断される。ステップ S 8 9 において、加工条件を変更しても妥当な工具経路が変更とならないと判断されると（ステップ S 8 9 において No の場合）、ステップ S 9 7 において、オペレータ変更操作判断部 5 f から後述する表示部 17 へ変更の受入が不能である旨表示

50

するように指令が発せられる。

【0072】

ステップS85において、未切削部分が存在すると予測される場合（ステップS85においてYesの場合）には、ステップS93において工具経路の変更を待機することにより、つまり、現在進捗する加工プロセスを一定時間継続した後に工具経路の変更を行うことにより、未切削部分が残らないと予測される場合（ステップS93においてYesの場合）、ステップS95において、工具経路の変更を一定時間待機した後に、ステップS87において工具経路の変更が実行される。工具経路の変更を一定時間待機しても未切削部分が存在すると判断される場合（ステップS93においてNoの場合）には、ステップS97において変更受入不能が表示される。

10

【0073】

次に、図31を参照して、加工の開始に際して制御装置100が自動的に提示した加工条件に対してオペレータが変更した加工条件への変更操作を説明する。既述のようにして、オペレータが、加工形状データ1a及びワークデータ1bを入力部1に入力すると、それに基づいて工具経路決定部5、特に加工条件決定部5cがオペレータに加工条件を提示する（ステップ99）。この加工条件は、データベース3に格納されている過去の実績、経験則、公知技術に基づく加工条件に関するデータを参照することにより決定される。一方で、ユーザまたはオペレータは、これとは異なる独自の経験により蓄えられた加工条件を持っている場合が少なくない。また、製品の納期等の関係から制御装置100が提示する加工条件よりも加工時間が短くなる加工条件を望む場合もある。

20

【0074】

ステップS101において、加工条件変更操作指令1eが入力されているか否かを判断する。オペレータが入力部1から加工条件変更操作指令1eを入力してないければ（ステップS101においてNoの場合）、ステップS99において提示した加工条件で加工を開始する（ステップS103）。

【0075】

オペレータが入力部1から加工条件変更操作指令1eを入力すると（ステップS101においてYesの場合）、ステップS105において変更内容を解析し、その妥当性を判断する（ステップS107）。変更内容が妥当ではないと判断されると（ステップS107においてNoの場合）、オペレータ変更操作判断部5fは、加工条件の変更が妥当ではない理由、及び加工条件の変更、修正を促す表示をするよう表示部17に指令を発し（ステップS109）、ステップS101に戻る。オペレータが再び加工条件の変更を入力すると、既述したようにその妥当性が判断される。ステップS107における変更の妥当性判断の際に妥当でないとして判断された場合に、ステップS99において提示した加工条件にリセットできるようにプログラムすることもできる。

30

【0076】

ステップS107において、加工条件の変更が妥当であると判断された場合（ステップS107においてYesの場合）には、ステップS111においてオペレータによる当該加工条件の変更内容がユーザデータベース3gに保存される。このオペレータによる加工条件の変更内容は、過去の変更内容に照らし合わせて典型的に分析、分類され、同様の内容を有する加工条件の変更の頻度が演算される（ステップS113）。変更頻度が高い場合には、オペレータまたはユーザは、この頻度の高い類型に属する変更または同類の変更を望むことが多いと判断できる。そこで、ステップS115において、変更頻度が所定の閾値よりも高いか否かを判断する。変更頻度が高ければ（ステップS115においてYesの場合）、加工条件を提示する際に、こうしたオペレータまたはユーザの意図若しくは好みを反映して、変更頻度が高い類型に属する加工条件を優先的に提示できるようにユーザデータベース3gの内容を修正する共に、データベース3の内容を更新（ステップS117）。次いで、変更した加工条件で加工を行う（ステップS119）。

40

【0077】

また、オペレータ変更操作判断部5fは、更に、オペレータによる手動操作を可能とす

50

る。

図 3 2、3 3 を参照すると、既述したように、オペレータが入力部 1 から加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b を入力すると、制御装置 1 0 0 は、最終的なワークの形状である加工形状及び加工前のワーク形状を認識し（ステップ S 1 2 1）、加工形状データ 1 a に基づき選択された工具 T および工具ホルダ T H を認識する（ステップ S 1 2 3）。次に、ワークがワークテーブルに固定されているか、主軸 S P に工具 T が装着されているか、主軸 S P は回転しているかといった事項を確認して、加工の準備が整っているかを判断する（ステップ S 1 2 5）。準備が整っていない場合（ステップ S 1 2 5 において No の場合）には、オペレータ変更操作判断部 5 f は何らの処理も行わない。

【 0 0 7 8 】

加工準備が整っている場合（ステップ S 1 2 5 において Yes の場合）には、ステップ S 1 2 7 において、手動操作指令 1 d が入力されているか否かを判断する。手動操作指令 1 d が入力されていない場合（ステップ S 1 2 7 において No の場合）には、オペレータ変更操作判断部 5 f は何らの処理も行わない。手動操作指令 1 d が入力されると、当該手動操作指令 1 d が早送りであるか否かを判断する（ステップ S 1 2 9）。

【 0 0 7 9 】

早送りの場合（ステップ S 1 2 9 において Yes の場合）、ステップ S 1 3 1 において、予測演算部 7 による予測演算結果に基づいて、工具 T および工具ホルダ T H がワーク、特に入力部 1 に入力されたワーク形状に干渉するか否かを判断する（図 3 3 参照）。工具 T および工具ホルダ T H がワークに干渉すると判断される場合（ステップ S 1 3 1 において Yes の場合）、オペレータ変更操作判断部 5 f は、数値制御部 9 に対して送り軸を停止するよう指令を発する（ステップ S 1 3 3）。工具 T および工具ホルダ T H がワークに干渉しないと判断される場合（ステップ S 1 3 1 において No の場合）、オペレータ変更操作判断部 5 f は特に処理を行わず、オペレータは、手動により早送りにて送り軸を操作可能となる。

【 0 0 8 0 】

手動操作指令 1 d が早送りではない場合（ステップ S 1 2 9 において No の場合）、更にステップ S 1 3 5 において、手動操作指令 1 d がジョグ（JOG）送りまたはハンドル操作による送りであるかを判断する。手動操作指令 1 d が、その何れでもない場合（ステップ S 1 3 5 において No の場合）には、軸送りは停止していると判断し（ステップ S 1 3 7）、オペレータ変更操作判断部 5 f は、それ以上処理を行わない。

【 0 0 8 1 】

手動操作指令 1 d がジョグ（JOG）送りまたはハンドル操作による送りである場合（ステップ S 1 3 5 において Yes の場合）には、オペレータ変更操作判断部 5 f は、予測演算部 7 による予測演算結果に基づいて、工具ホルダ T H がワーク、特にワーク形状と干渉するか否かを判断する（ステップ S 1 3 9）。工具ホルダ T H がワークと干渉すると判断される場合（ステップ S 1 3 9 において Yes の場合）、オペレータ変更操作判断部 5 f は、数値制御部 9 に対して送り軸を停止するよう指令を発する（ステップ S 1 3 3）。

【 0 0 8 2 】

工具ホルダ T H がワークと干渉しないと判断される場合（ステップ S 1 3 9 において No の場合）、オペレータ変更操作判断部 5 f は、予測演算部 7 による予測演算結果に基づいて、工具 T が加工形状と干渉するか否かを判断する（ステップ S 1 4 1）。工具 T が加工形状と干渉すると判断される場合（ステップ S 1 4 1 において Yes の場合）、オペレータ変更操作判断部 5 f は、数値制御部 9 に対して送り軸を停止するよう指令を発する（ステップ S 1 3 3）。工具 T が加工形状と干渉しないと判断される場合（ステップ S 1 4 1 において No の場合）、オペレータ変更操作判断部 5 f は特に処理を行わず、オペレータは、手動によりジョグ（JOG）送りまたはハンドル操作による送りにて送り軸を操作可能となる。

【 0 0 8 3 】

次に、コスト演算部 5 e を説明する。

10

20

30

40

50

既述したオペレータによる加工条件の変更は、製品の納期や加工コストとの関連で行われることも予想される。つまり、制御装置 100 が提示する加工条件が、過去の実績、経験則、公知技術から最適であると考えられても、製品の納期が差し迫っているために、最適値よりも若干高い主軸回転速度や送り速度を選択することは従来から行われているのである。そこで、コスト演算部 5 e が、提示された加工条件または変更された加工条件のコストまたは利益を演算し、オペレータがコストや納期を考慮した加工条件を選択できるよう支援する。

【0084】

図 35 を参照すると、加工時間に対するコスト曲線が示されている。一般的に加工時間が長くなると、工作機械の使用電力、消費される切削油等の工作機械のランニングコスト曲線 I は高くなり、主として工具摩耗のために必要となる工具交換に基づく工具コスト曲線 II は低くなる。加工のトータルコストは曲線 III にて示すことができ、最小コストを与える加工時間 A が存在する。本実施形態では、コスト演算部 5 e が、こうしたコスト曲線を用いて上述したようにオペレータがコストや納期を考慮した加工条件を選択できるよう支援する。

10

【0085】

先ず、図 35 において曲線 III で示すようなコスト曲線を求める (ステップ S 143)。基本的にはコスト曲線は工作機械のランニングコストと工具コストから求められるが、更に、人件費や光熱費その他の費用を考慮しても良い。次いで、図 35 において A で示すような最小コストと、そのときの加工条件を求め、それを例えば表示部 17 を介してオペレータに提示する (ステップ S 145)。このとき、単に数値のみを示すのではなく、図 35 に示すようなコスト曲線にて示しても良い。

20

【0086】

オペレータは、既述したように提示された加工条件およびコスト、納期等を勘案して加工条件を変更することもある。コスト演算部 5 e は、ステップ S 147 において、加工条件が変更されたか否かを監視している。加工条件が変更されなければ (ステップ S 147 において No の場合)、そのまま加工が開始される (ステップ S 149)。オペレータが、加工条件を変更すると (ステップ S 147 において Yes の場合)、変更された加工条件でのコストを演算するとともに (ステップ S 151)、そのコストを提示し (ステップ S 153) 再びステップ S 147 に帰還する。オペレータが、そのコスト、加工条件を選択すれば加工が開始され (ステップ S 149)、再び変更を望めば、その変更が演算、提示される (ステップ S 151、S 153)。加工条件の変更方法として、既述した加工条件変更操作指令 1 e を入力することもできるが、例えば、加工時間を入力パラメータとして、制御装置 100 が入力された加工時間に合致するように加工条件を選択するようにしても良い。例えば、図 35 において最小コストを与える加工時間 A から B へ変更するようにしても良い。

30

【0087】

図 34、35 では、単にトータルコストをオペレータに提示することにより、オペレータの加工条件の選択を支援することを説明したが、当該製品加工により得られる売上が分かっている場合には、オペレータに利益または利益率を提示することもできる。図 37 (a) を参照すると、曲線 V は、図 35 の曲線 III に相当するトータルコスト曲線であり、直線 IV は売上を表し、曲線 VI は売上からトータルコストを減じた利益を示している。コストが売上より大きくなれば、利益がマイナスになることは言うまでもない。また、利益曲線 VI を時間で除することにより図 37 (b) に示す単位時間当たりの利益曲線 VII となる。図 37 (b) において、単位時間当たりの利益が最大となる条件が C で示されている。

40

【0088】

先ず、利益曲線 VI を求め (ステップ S 155)、次いで、利益曲線 VI を時間で除して単位時間当たりの利益曲線 VII を求める (ステップ S 157)。次いで、表示部 17 を介して最大の単位時間当たりの利益と、そのときの加工条件を提示する。オペレータは、既述したように提示された加工条件および単位時間当たりの利益、納期等を勘案して加工条件

50

を変更することがある。コスト演算部 5 e は、ステップ S 1 6 1 において、加工条件が変更されたか否かを監視している。加工条件が変更されなければ（ステップ S 1 6 1 において No の場合）、そのまま加工が開始される（ステップ S 1 6 7）。オペレータが、加工条件を変更すると（ステップ S 1 6 1 において Yes の場合）、変更された加工条件での単位時間当たりの利益を演算するとともに（ステップ S 1 6 3）、そのコストを提示し（ステップ S 1 6 5）再びステップ S 1 6 1 に帰還する。オペレータが、その単位時間当たりの利益、加工条件を選択すれば加工が開始され（ステップ S 1 6 7）、再び変更を望めば、その変更が演算、提示される（ステップ S 1 6 3、S 1 6 5）。加工条件の変更方法として、既述した加工条件変更操作指令 1 e を入力することもできるが、例えば、加工時間を入力パラメータとして、制御装置 1 0 0 が入力された加工時間に合致するように加工条件を選択するようにしてもよい。例えば、図 3 7（b）において最大の単位時間当たりの利益を与える加工時間 C から D へ変更するようにしても良い。

【0089】

次に、表示部 1 7 を説明する。表示部 1 7 は画像処理部 1 7 a と、CRT 等のモニタ 1 7 b とを具備している。表示部 1 7 は工具経路決定部 5 の加工工程決定部 5 a において決定された加工領域、加工パターン、工具の形状及び管理番号等を表示することができる。画像処理部 1 7 a は、加工工程決定部 5 a からの前記加工領域の曲率、傾斜角度、深さに関するデータを受け取り、各々の領域を色分けして三次元表示するためのデータを生成することができる。

【0090】

また、詳細には図 1 に示されていないが、データベース 3、予測演算部 7、数値制御部 9、センサ部 1 3 と接続されており、各々からの情報をグラフィック表示またはテキスト表示することができる。例えば表示部 1 7 は予測演算部 7 からのデータに基づき工具とワークとの干渉チェックの結果をグラフィック表示することができる。さらに、入力データベース 3 f に入力されている加工形状データ 1 a における加工精度のデータと、センサ部 1 3 において測定されたワークの形状測定データを比較して表示させてもよい。また、既述したように、ワークと工具との干渉を回避するための干渉回避工具経路により、ワークの削り残された部分をグラフィック表示することもできる。更に、図 3 8 に示すように、テキスト表示画面で「工具経路生成中」、「工具経路生成済」、「加工中」、「加工済」といった処理の進行状況や、「エリア 1：等高加工」「エリア 2：スキャン加工」といった加工領域をその進行状況に合わせて色分け表示したり、グラフィック画面において、その対応した領域をハイライト点滅表示や色分け表示により示しても良い。

【0091】

本発明の実施形態の作用について説明する。

まず、オペレータは入力部 1 から加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b をデータベース 3 に入力すると、入力した加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b と、データベース 3 に格納されている各データとに基づき、工具経路決定部 5 の加工工程決定部 5 a で加工領域、工具、加工パターン、及び加工工程が選択、決定される。次いで、工具経路決定部 5 の工具経路生成部 5 b で工具経路が、加工条件決定部 5 c で加工条件が決定される。このように生成、決定された工具経路、加工条件等の機械駆動データにより数値制御部 9 を介して工作機械 1 1 が駆動制御され、ワークの加工が行われ加工製品が完成する。

【0092】

このとき、予測演算部 7 では、オペレータが入力部 1 から加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b と、データベース 3 に格納されている各データとに基づき、加工負荷、工具とワークとの干渉等の各種の予測演算が行われ、その予測演算結果が工具経路決定部 5 の加工工程決定部 5 a へ送られ、予測演算部 7 での予測演算結果に基づき工具、加工パターン、及び加工工程が決定される。同様に、予測演算部 7 での予測演算結果に基づき工具経路決定部 5 の工具経路生成部 5 b で工具経路が、加工条件決定部 5 c で加工条件が決定され、それに対応したコストや利益がコスト演算部 5 e で演算される。オペレータが工具経路や加工条件を変更したり、手動操作したりする場合には、オペレータ変更操作判断部 5

f がそうした操作を監視する。

【0093】

このように本発明は、入力部 1 から入力した加工形状データ 1 a 及びワークデータ 1 b と、データベース 3 に格納されている各データとに基づき、予測演算部 7 で加工負荷、工具とワークとの干渉等の各種の予測演算が事前に行われるのである。つまり、従来はまず加工を行い、そのときの加工状態を検出してフィードバックして最適な制御を試みていたのに対して、本発明ではまず予測演算をして、その予測演算結果でフィードフォワード制御して加工を行う。また、検出した加工状態をフィードバックしてフィードフォワード制御の精度を更に向上させるようにしている。よって、最適化される速度が従来より速くなり、高精度な加工をより速く遂行できる。

10

【0094】

従来技術と本発明の比較例を図 39 に示す。

図 39 (a) に示すような図面形状に対して、実際には図 39 (b) のような削り残し部があった場合に、従来技術では、工具の送り速度を高速のまま、例えば 16 m/min で加工すると、その削り残し部で工具に過大な負荷が作用し、加工精度が著しく低下したり、極端な場合には工具が切損してしまうことがある。従来技術でも工具の送りを低速にする、例えば 200 mm/min で加工すれば、そのような不都合は生じないが、加工時間の大幅な長期化を招いてしまう。これに対して本発明では、工具の送り速度を高速に保ったまま加工してもこうしたことが生じない。これは、予測演算部 9 において、加工負荷の予測値の算出や、工具とワークとの干渉回避チェックが事前に行われ、かつ予めデータベース 3 に格納されている各種データベースを利用することにより初めて達成される。

20

【0095】

以上説明したように、本発明によれば、オペレータは加工すべき製品の形状データと、投入する未加工ワークの形状および材料に関するデータのみを入力することにより、要求精度に合致した加工が適切な工具、工具経路、加工条件で自動的に実行され、短時間で製品の加工が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0096】

【図 1】本発明実施形態による工作機械の制御装置のブロック図である。

【図 2】データベースのブロック図である。

30

【図 3】工具経路決定部のブロック図である。

【図 4】加工工程決定部のフローチャートである。

【図 5】加工パターンの一例としてスキャン（走査）加工パスを示す略図である。

【図 6】加工パターンの一例として等高輪郭加工パスを示す略図である。

【図 7】加工パターンの一例としてキャラクタライン加工パスを示す略図である。

【図 8】加工パターンの一例として放射加工パスを示す略図である。

【図 9】加工パターンの一例として等高輪郭加工パスによる荒削りを示す略図である。

【図 10】加工パターンの一例として図 5 とは別のスキャン（走査）加工パスを示す略図である。

【図 11】加工パターンの一例として等高線加工パスを示す略図である。

40

【図 12】加工パターンの一例として加工領域の境界部を隣の加工領域と自動的にオーバーラップさせ、オーバーラップ部分をスムーズに工具をリトラクトさせることで境界部の段差を防止する加工パスを示す略図である。

【図 13】ワークの加工曲面の長手方向決定方法を説明するための模式図である。

【図 14】ワークの加工曲面の長手方向決定方法を説明するための説明図である。

【図 15】ワークの加工曲面の長手方向決定方法のフローチャートである。

【図 16】キャラクタラインの決定方法を説明するための模式図である。

【図 17】キャラクタラインの決定方法を説明するための別の模式図である。

【図 18】キャラクタラインの決定方法を説明するための説明図である。

【図 19】キャラクタラインの決定方法を説明するための別の説明図である。

50

- 【図20】キャラクタラインの決定方法のフローチャートである。
- 【図21】キャラクタラインを加工するための加工パスを示す略図である。
- 【図22】凸R部決定方法を説明するための模式図であり、(a)はワークの全体斜視図、(b)は(a)の部分拡大図である。
- 【図23】溝加工の説明図であり、(a)は従来技術による溝加工を示す図、(b)は本発明のコンタリングによる溝加工を示す図である。
- 【図24】等高加工パスにおけるピックフィードを行う位置の決定方法を説明する模式図である。
- 【図25】等高加工パスにおけるピックフィードを行う位置の決定方法のフローチャートである。
- 【図26】面加工におけるピックフィード量及び送り速度の決定方法を説明するための模式図である。
- 【図27】面加工におけるピックフィード量及び送り速度の決定方法のフローチャートである。
- 【図28】予測演算部のブロック図である。
- 【図29】加工領域の決定方法を説明するための模式図である。
- 【図30】オペレータによる工具経路変更操作方法のフローチャートである。
- 【図31】オペレータによる加工条件変更操作方法のフローチャートである。
- 【図32】オペレータによる手動操作方法のフローチャートである。
- 【図33】オペレータによる手動操作方法を説明するための模式図である。
- 【図34】コストを考慮した加工条件の変更操作方法のフローチャートである。
- 【図35】コストを考慮した加工条件の変更操作方法を説明するための図である。
- 【図36】単位時間当たりの利益を考慮した加工条件の変更操作方法のフローチャートである。
- 【図37】単位時間当たりの利益を考慮した加工条件の変更操作方法を説明するための図であり、(a)は利益曲線、(b)は単位時間当たりの利益曲線である。
- 【図38】加工進行状況の表示を説明するための模式図である。
- 【図39】本発明の効果を説明するための略図であり、(a)は加工形状データに基づく図面形状、(b)は本発明の制御装置を用いて加工した場合と、従来技術とを比較する図である。

【符号の説明】

- 【0097】
- 1 入力部
 - 3 データベース
 - 3 a 機械データベース
 - 3 b 工具/ホルダデータベース
 - 3 c 加工条件データベース
 - 3 d 材料データベース
 - 3 e NC/サーボデータベース
 - 3 f 入力データベース
 - 3 g ユーザデータベース
 - 5 工具経路決定部
 - 5 a 加工工程決定部
 - 5 b 工具経路生成部
 - 5 c 加工条件決定部
 - 5 d 補正部
 - 5 e コスト演算部
 - 5 f オペレータ変更操作判断部
 - 7 予測演算部
 - 7 a 加工状態シミュレーション部

10

20

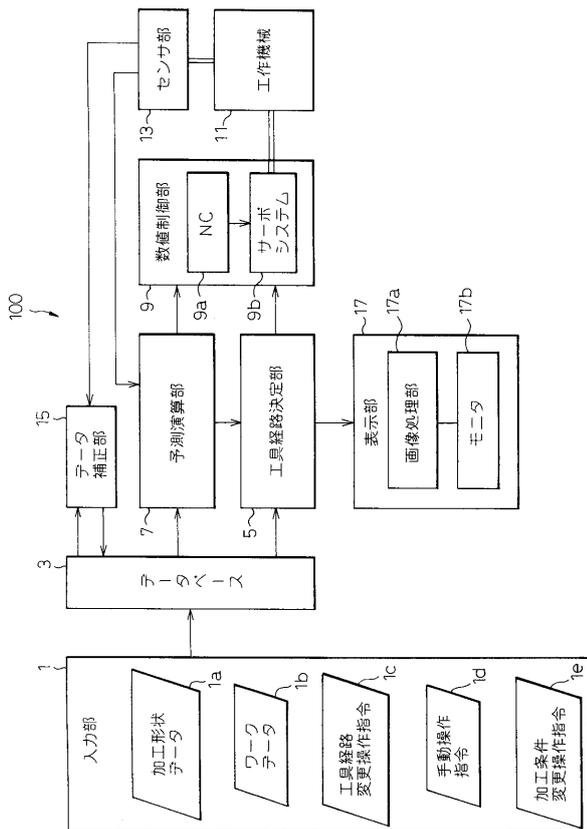
30

40

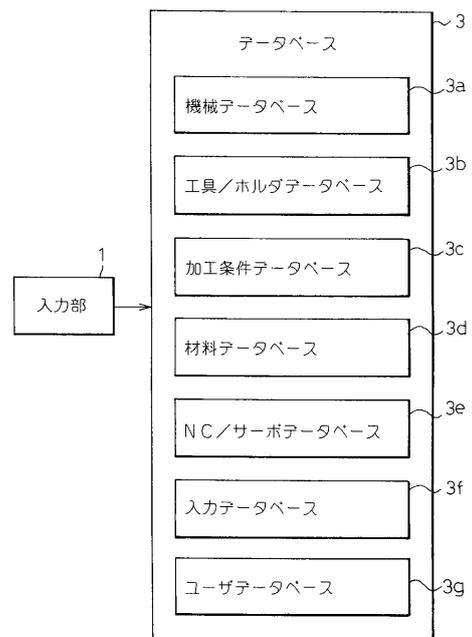
50

- 7 b 機械挙動シミュレーション部
- 7 c ワークシミュレーション部
- 7 d 工具挙動シミュレーション部
- 9 数値制御部
- 11 工作機械
- 13 センサ部
- 15 データ補正部
- 17 表示部
- 100 制御装置

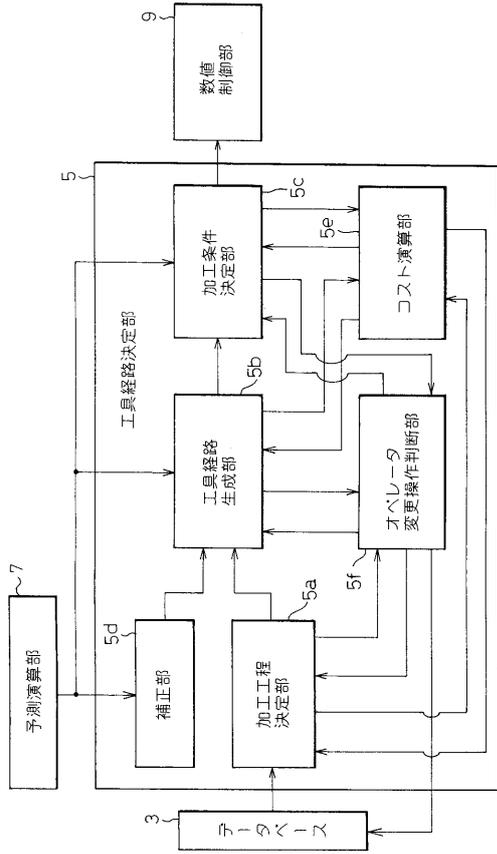
【 図 1 】



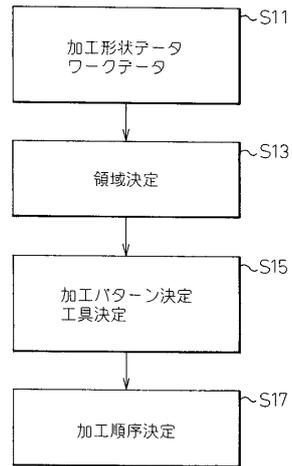
【 図 2 】



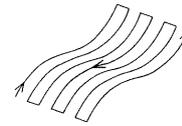
【 図 3 】



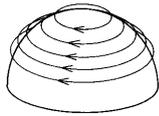
【 図 4 】



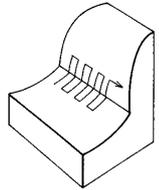
【 図 5 】



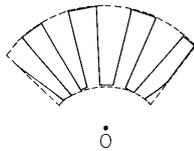
【 図 6 】



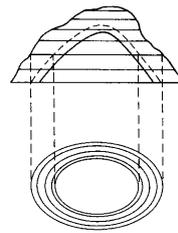
【 図 7 】



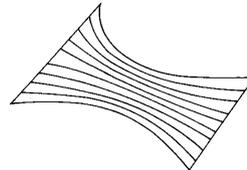
【 図 8 】



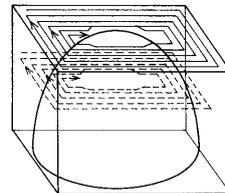
【 図 9 】



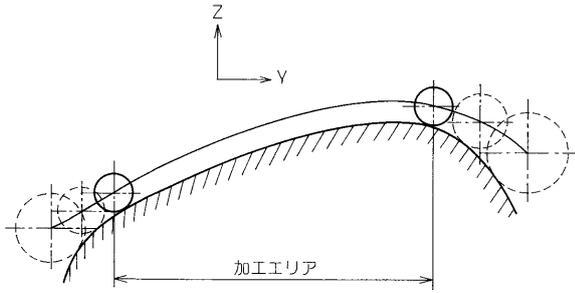
【 図 10 】



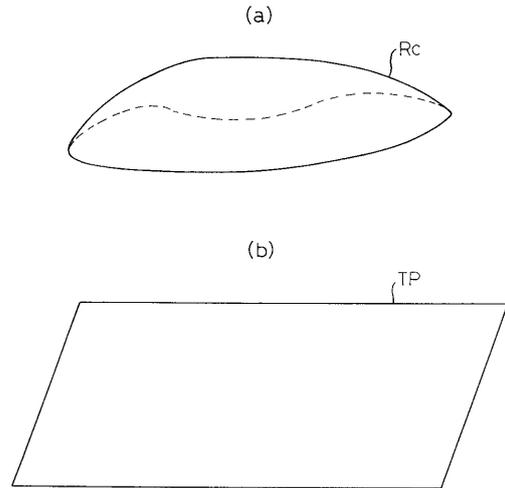
【 図 11 】



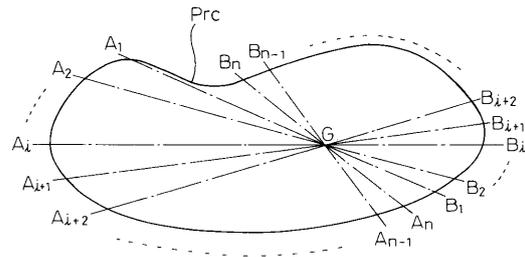
【図 1 2】



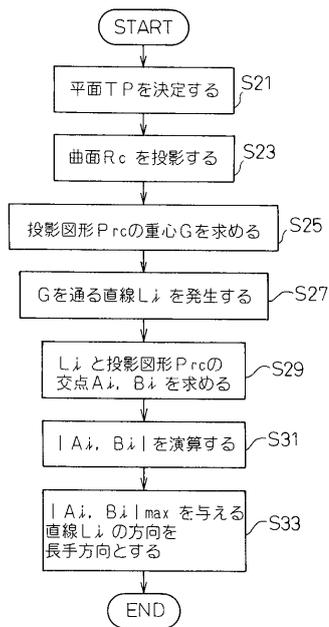
【図 1 3】



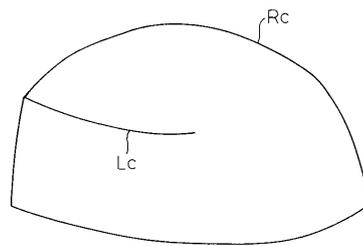
【図 1 4】



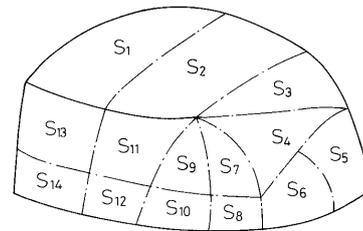
【図 1 5】



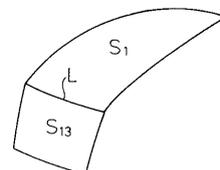
【図 1 6】



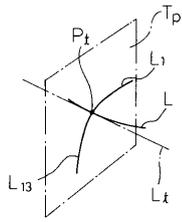
【図 1 7】



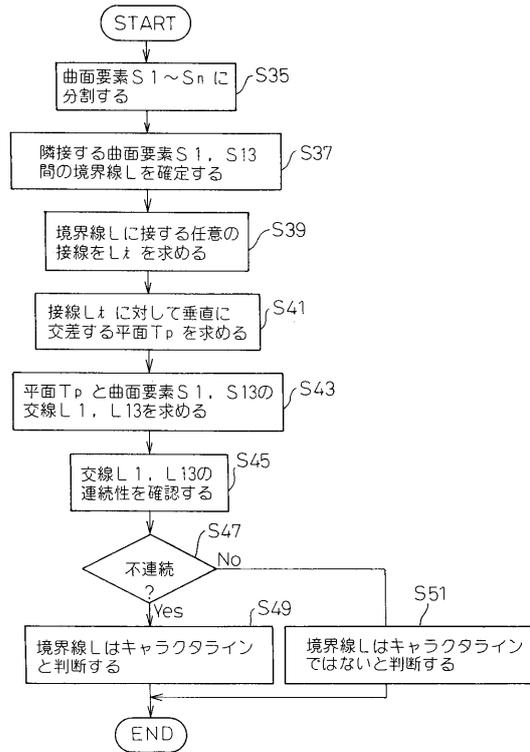
【図 1 8】



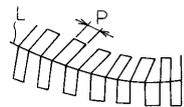
【図 19】



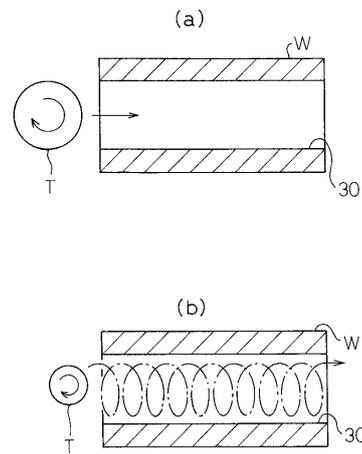
【図 20】



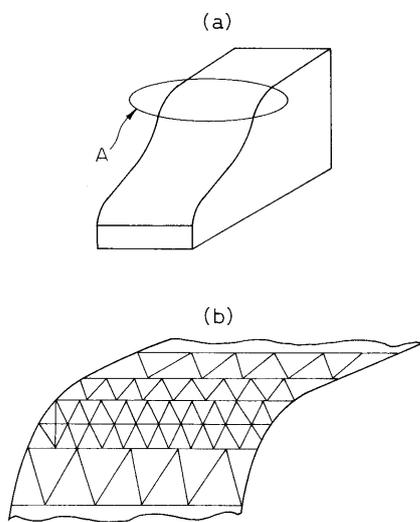
【図 21】



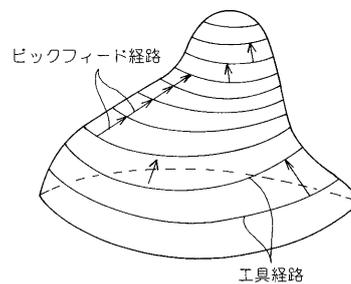
【図 23】



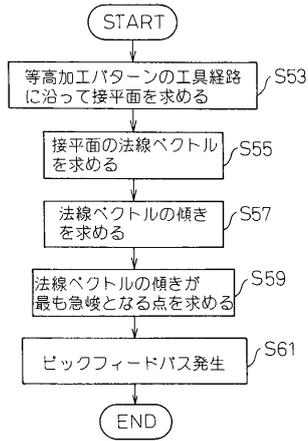
【図 22】



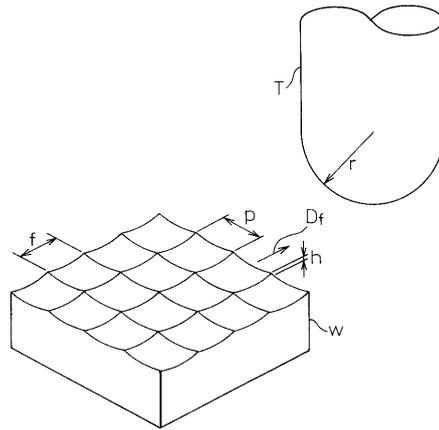
【図 24】



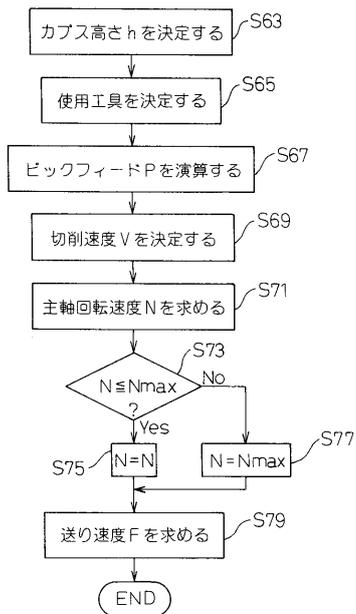
【 図 2 5 】



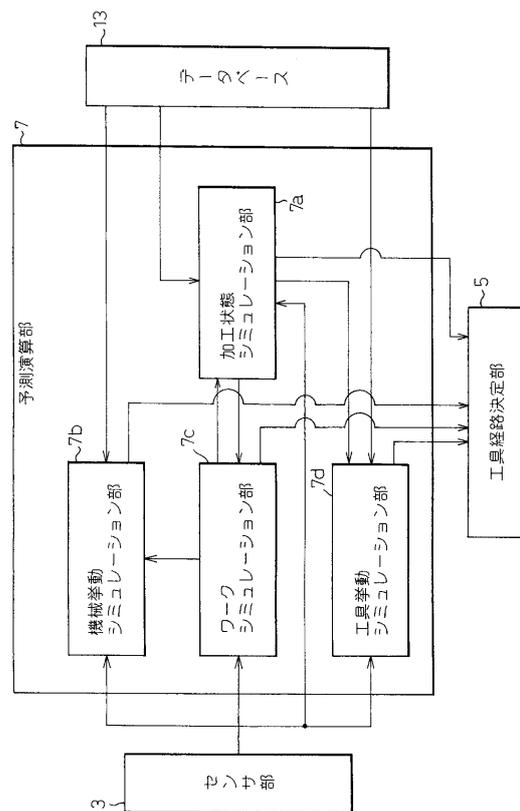
【 図 2 6 】



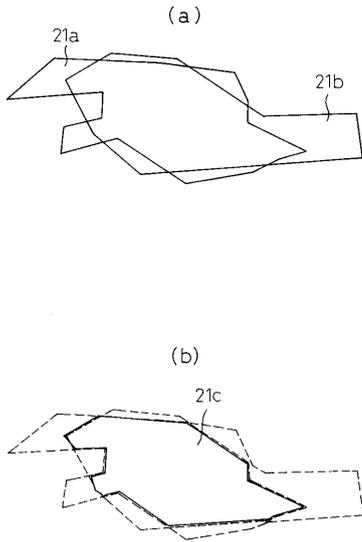
【 図 2 7 】



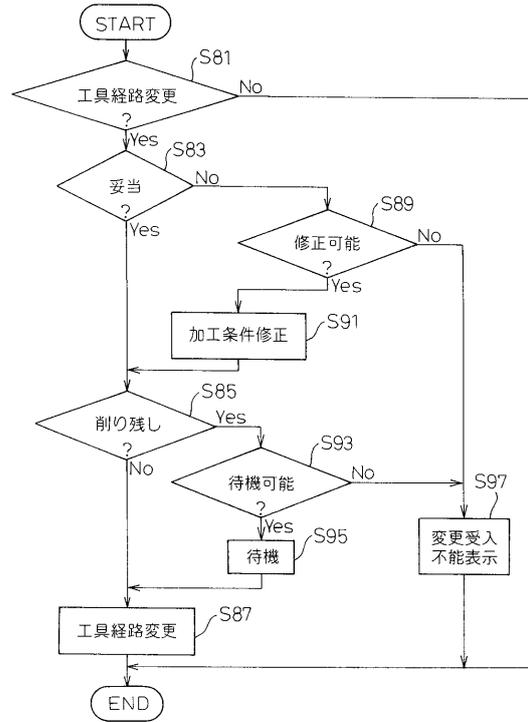
【 図 2 8 】



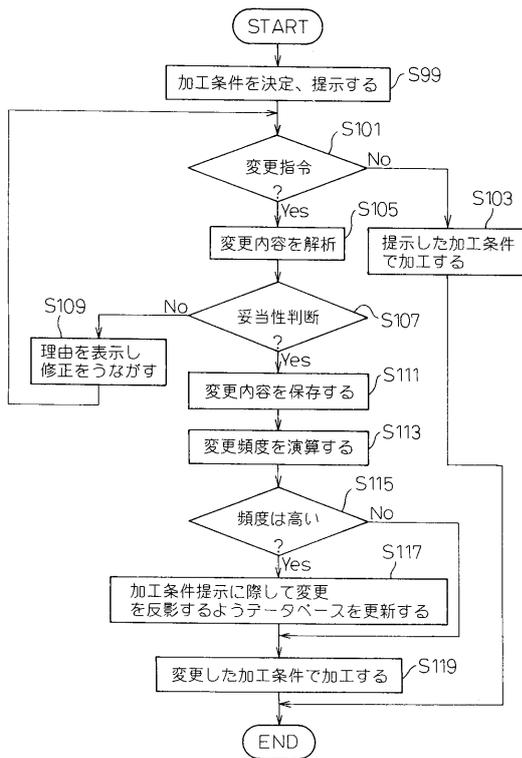
【図 29】



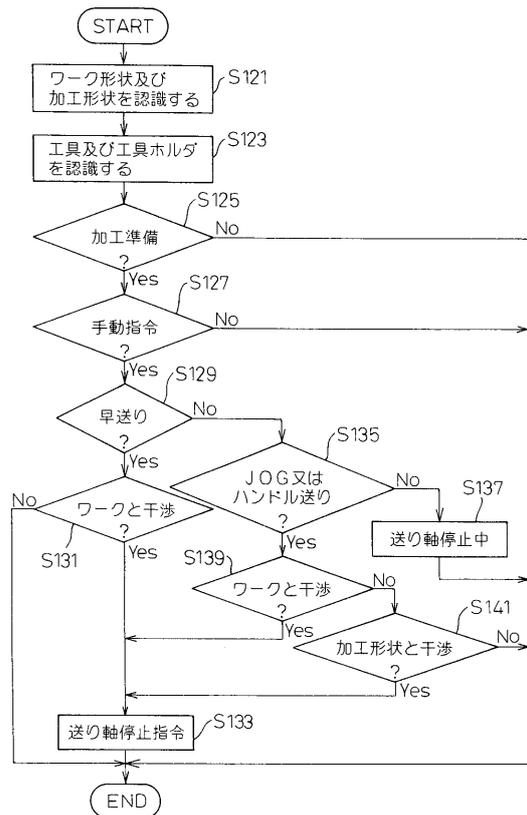
【図 30】



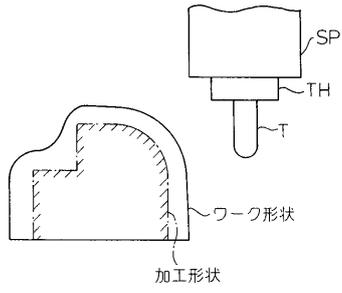
【図 31】



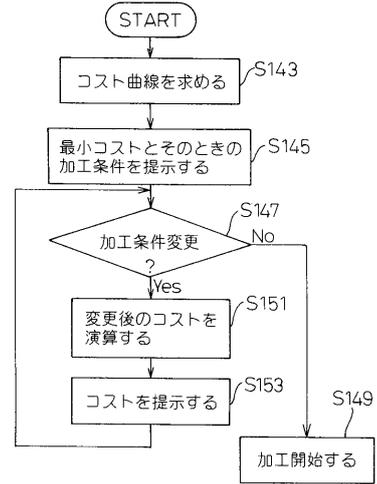
【図 32】



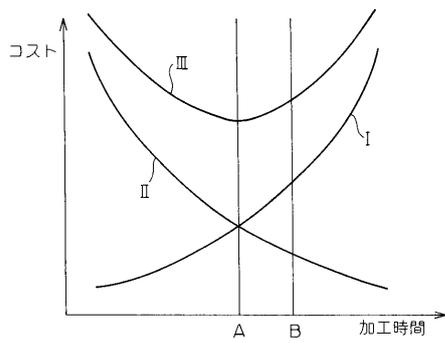
【図 3 3】



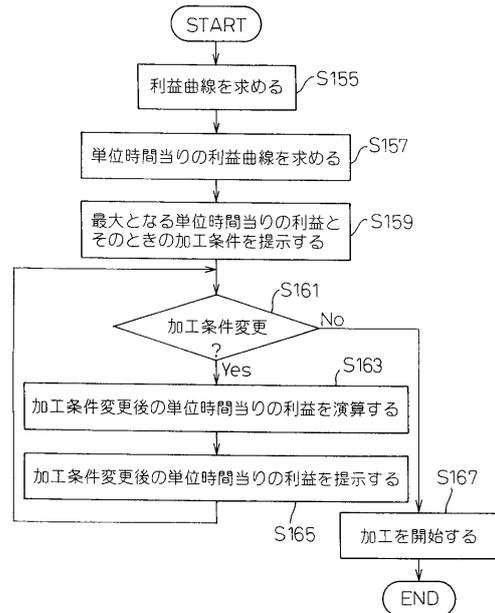
【図 3 4】



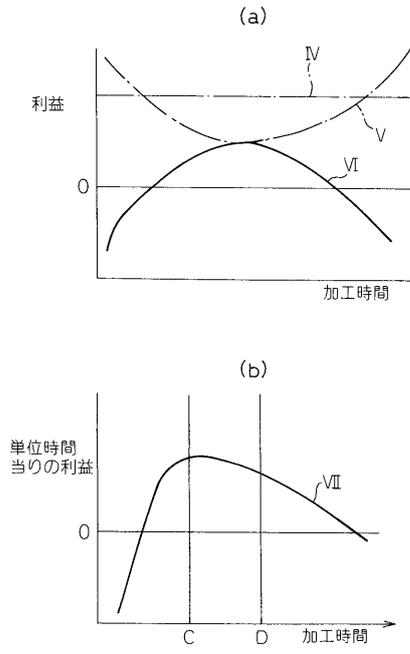
【図 3 5】



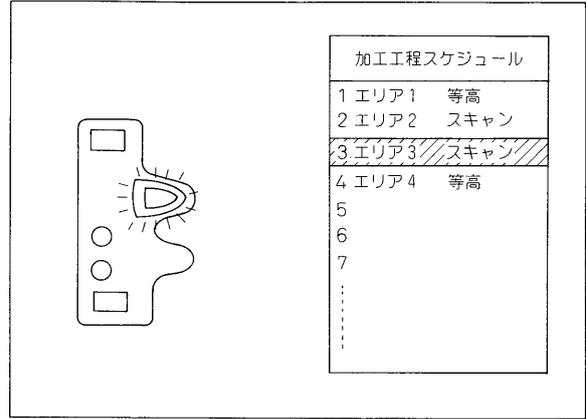
【図 3 6】



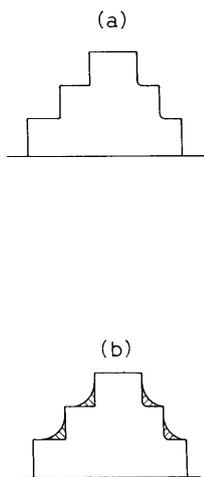
【 図 3 7 】



【 図 3 8 】



【 図 3 9 】



フロントページの続き

- (72)発明者 川名 啓
神奈川県愛甲郡愛川町三増3 5 9番地の3 株式会社牧野フライス製作所内
- (72)発明者 井上 真一
神奈川県愛甲郡愛川町三増3 5 9番地の3 株式会社牧野フライス製作所内
- (72)発明者 久木 達也
神奈川県愛甲郡愛川町三増3 5 9番地の3 株式会社牧野フライス製作所内
- Fターム(参考) 5H269 AB01 BB03 BB05 BB08 BB14 QA01 QE03 QE04 QE05 QE08
QE10