

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4812224号
(P4812224)

(45) 発行日 平成23年11月9日(2011.11.9)

(24) 登録日 平成23年9月2日(2011.9.2)

(51) Int. Cl.	F I
G05B 19/4069 (2006.01)	G05B 19/4069
G05B 23/02 (2006.01)	G05B 23/02 G
G06Q 50/00 (2006.01)	G06F 17/60 106
G06F 19/00 (2011.01)	G06F 19/00 110

請求項の数 9 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2002-508157 (P2002-508157)	(73) 特許権者	000146847 株式会社森精機製作所 奈良県大和郡山市北郡山町106番地
(86) (22) 出願日	平成12年6月30日(2000.6.30)	(73) 特許権者	000149066 オークマ株式会社 愛知県丹羽郡大口町下小口五丁目25番地の1
(86) 国際出願番号	PCT/JP2000/004393	(73) 特許権者	500178636 山崎 和雄 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95 618, エル マセロ グリーンビュー ドライブ 44204
(87) 国際公開番号	W02002/003155	(74) 代理人	100104662 弁理士 村上 智司
(87) 国際公開日	平成14年1月10日(2002.1.10)		
審査請求日	平成19年5月24日(2007.5.24)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 NC加工における加工シミュレーション装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくともNCプログラム、素材形状データ及び工具形状データから成る加工情報に基づいてNC加工の加工シミュレーションを行なう装置において、

前記加工情報を基に加工シミュレーションしながら、断続切削による強制振動の周波数及び/又は負荷変動の周波数を算出して、算出した周波数もしくはこれらの周波数の整数倍の高調波周波数が機械、工具、治具、あるいは工作物の固有振動数を含む一定範囲内にあるか否かを確認し、一定範囲内にある場合には、前記一定範囲から外れるように、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度を変更する加工シミュレーション手段を備えていることを特徴とするNC加工における加工シミュレーション装置。

10

【請求項2】

前記加工シミュレーション手段は、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度と前記工具形状データの工具刃数とを基に前記強制振動の周波数を算出することを特徴とする請求項1に記載のNC加工における加工シミュレーション装置。

【請求項3】

前記加工シミュレーション手段は、前記負荷変動の周波数を算出するに当たり、素材が工具により削り取られる削り取り量を切削量として算出し、算出した切削量と、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度と、前記工具形状データとを基に前記負荷変動の周波数を算出するように構成されていることを特徴とする請求項1に記載のNC加工における加工シミュレーション装置。

20

【請求項4】

前記加工シミュレーションに先立って前記素材形状データを3次元格子点に区画した加工シミュレーション形状データに変換する素材形状データ生成手段と、

前記加工シミュレーション形状データを記憶するシミュレーション形状記憶手段とを更に備えてなり、

前記加工シミュレーション手段は、

前記NCプログラムと、前記工具形状データと、前記シミュレーション形状記憶手段に格納された加工シミュレーション形状データとを基に、前記格子点上の素材領域を工具が通過する場合に素材が工具によって削り取られる削り取り量を切削量として算出するとともに前記工具が通過する格子点の素材有無の情報を削り取りにあわせて更新し、前記算出した切削量と、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度と、前記工具形状データとを基に前記負荷変動の周波数を算出するように構成されていることを特徴とする請求項3に記載のNC加工における加工シミュレーション装置。

10

【請求項5】

前記加工シミュレーションに先立って前記素材形状データの素材底面を格子点で区画し素材高さを前記格子点の垂直方向高さデータとした加工シミュレーション形状データに変換する素材形状データ生成手段と、

前記加工シミュレーション形状データを記憶するシミュレーション形状記憶手段とを更に備えてなり、

前記加工シミュレーション手段は、

前記NCプログラムと、前記工具形状データと、前記シミュレーション形状記憶手段に格納された加工シミュレーション形状データとを基に、前記格子点上の素材領域を工具が通過する場合に素材が工具によって削り取られる削り取り量を切削量として算出するとともに前記工具が通過する格子点の前記垂直方向高さデータを削り取りにあわせて更新し、前記算出した切削量と、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度と、前記工具形状データとを基に前記負荷変動の周波数を算出するように構成されていることを特徴とする請求項3に記載のNC加工における加工シミュレーション装置。

20

【請求項6】

前記垂直方向高さデータは、素材が存在する領域の高さデータ、あるいは、素材が存在する領域の高さデータと存在しない領域の高さデータとの組み合わせから構成されることを特徴とする請求項5に記載のNC加工における加工シミュレーション装置。

30

【請求項7】

前記加工シミュレーション手段によって、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度が変更されると、前記NCプログラムを変更して、該NCプログラムで指令される主軸回転速度を前記変更した主軸回転速度とするNCプログラム作成手段を更に備えていることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載のNC加工における加工シミュレーション装置。

【請求項8】

少なくともNCプログラム、素材形状データ及び工具形状データから成る加工情報に基づいてNC加工の加工シミュレーションを行なう方法において、

40

前記加工情報を基に加工シミュレーションしながら、断続切削による強制振動の周波数及び/又は負荷変動の周波数を算出して、算出した周波数もしくはこれらの周波数の整数倍の高調波周波数が機械、工具、治具、あるいは工作物の固有振動数を含む一定範囲内にあるか否かを確認し、一定範囲内にある場合には、前記一定範囲から外れるように、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度を変更するようにしたことを特徴とするNC加工における加工シミュレーション方法。

【請求項9】

前記NCプログラムで指令された主軸回転速度を変更すると、前記NCプログラムを変更して、該NCプログラムで指令される主軸回転速度を前記変更した主軸回転速度とするようにしたことを特徴とする請求項8に記載のNC加工における加工シミュレーション方

50

法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、NC加工における加工シミュレーション装置及び方法に関するものであり、特に、素材形状データや工具形状データ及び加工形状を特定するデータに基づく加工シミュレーションに基づき、主軸回転速度を変更する装置及び方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

図1のブロック図を基に、従来の数値制御システムの適応制御指令作成システムを説明する。

【0003】

NCプログラムメモリ11には、これから行なう加工に用いるNCプログラムが格納されている。

【0004】

NCプログラム解釈部12は、NCプログラムメモリ11から1ブロックずつNCプログラムを読み込み、解釈し、本ブロックで指令されている、或いは、モーダル指令として前ブロックまでで指令されている補間種類、目標位置、送り速度を補間処理部13に送出する。

【0005】

補間処理部13は、補間種類、目標位置、送り速度に基づいて、各軸毎の単位時間(補間周期)あたりの移動量 x 、 y 、 z を算出し、サーボ制御部14に送出する。

【0006】

サーボ制御部14は、補間処理部13から得た各軸毎の単位時間あたりの移動量 x 、 y 、 z に基づいて、各軸モータの回転を制御し、各軸の動作を実施する。

【0007】

切削監視部15においては、サーボ制御部14から実際に検知した主軸負荷や送り軸負荷を受け取り、これらの内少なくとも一方を適応制御部16に送出する。

【0008】

適応制御部16においては、切削監視部15から得られた主軸負荷や送り軸負荷と予め設定された値とを比較して、主軸負荷や送り軸負荷が予め設定された過負荷判定値を超える場合には、アラーム等を発生して各軸を停止する指令を補間処理部13に対して送出する。また、主軸負荷や送り軸負荷が予め設定された速度制御検出範囲を逸脱する場合には、送り速度を上げる/下げるの速度変更指令を補間処理部13に送出する。さらに、主軸負荷や送り軸負荷が予め設定されたエアカット判定値を下回った場合には、エアカットに適当な送り速度指令を補間処理部13に送出する。

【0009】

これらの指令に基づいて、補間処理部13は、各軸毎の単位時間(補間周期)あたりの移動量 x 、 y 、 z の再計算を行なって、サーボ制御部14に送出する。

【0010】

以下、加工が終了するまで上記の処理を繰り返す。

【0011】

次に、図2のブロック図を基に、従来のNCプログラム作成システムを説明する。

【0012】

加工データ入力部21においては、NCプログラムを作成する上で必要な情報である工具種類、工具サイズ、素材材質、加工軌跡等をオペレータが入力し、入力された結果はNCプログラム作成部23に送出される。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 3 】

切削条件データテーブル 2 2 は、工具種類、工具サイズ、素材材質等からそれらに適切な送り速度、主軸回転速度等が決定できるようなデータテーブル構造となっており、NCプログラム作成部 2 3 によって参照される。

【 0 0 1 4 】

NCプログラム作成部 2 3 は、加工データ入力部 2 1 から送出された工具種類、工具サイズ、素材材質、加工軌跡等の加工データ、さらには、工具種類、工具サイズ、素材材質等に基づいて切削条件データテーブル 2 2 から読み出された送り速度、主軸回転速度等の切削条件を基に、NCプログラムを作成する。

【 0 0 1 5 】

テーブルデータ変更部 2 4 は、工具種類、工具サイズ、素材材質等と送り速度、主軸回転速度等とのリレーションテーブルの変更を指示するものである。

【 0 0 1 6 】

NCプログラム編集部 2 5 は、NCプログラムをオペレータが直接編集するものである。

【 0 0 1 7 】

このような構成のNCプログラム作成システムでは、オペレータがNCプログラムにおける送り速度等を変更したい場合には、以下の 3 種類の内、何れかの方法が採られる。

【 0 0 1 8 】

即ち、加工データ入力部 2 1 から直接送り速度等を指示する、もしくは、テーブルデータ変更部 2 4 において、予め、工具種類、工具サイズ、素材材質等と送り速度、主軸回転速度等とのリレーションテーブルの変更を指示しておく、又は、NCプログラム編集部 2 5 において、F 指令等を変更するの何れかである。

【 0 0 1 9 】

【 発明が解決しようとする課題 】

しかし、従来の数値制御システムの適応制御指令作成システムにおいては、いかに高速に主軸負荷や送り軸負荷等の加工状態情報がフィードバックされようとも、原理的に追従遅れが発生することは回避できず、「過去」の情報に基づいて、「現在」制御を行なわざるを得ない状況であった。

【 0 0 2 0 】

このため、加工負荷が大きい部分の加工から加工負荷が小さい部分の加工に移る時点においては、実際の加工負荷は小さいにも関わらず送り速度が遅くなるように制御されて、加工効率が低下したり、加工負荷が小さい部分の加工から加工負荷が大きい部分の加工に移る時点においては、実際の加工負荷は大きいにも関わらず送り速度が速くなるように制御されて、工具に負荷が掛かり過ぎたり適正な面粗度が得られない等の問題があった。

【 0 0 2 1 】

また、従来のNCプログラム作成システムにおいては、主軸回転速度などの切削条件は、オペレータが自らの判断によって指令するか、工具種類、工具サイズ、素材材質等から一義的に決定されるものであったため、断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数とは無関係となっていた。

【 0 0 2 2 】

このため、最も適切な主軸回転速度又は切削速度で切削を続けることが極めて困難であり、工具の早期摩耗や加工精度、面粗度の低下を招き易かった。さらには、断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数もしくはそれらの整数倍の高調波周波数と、機械、工具、治具、あるいは工作物等の持つ固有振動周波数が近い値になった場合には、共振による数十 μm にも及ぶ大きなびびりが発生する事があり、加工物の表面に周期的な波形のマークが入り面粗度が劣化するという問題があった。

【 0 0 2 3 】

従来はびびりが発生した時には、これを防ぐために断続切削の周波数（一般には主軸の回転速度）を変えて機械、工具、治具、あるいは工作物等の固有振動数を避けるようにしていた。

【0024】

しかしながらこの方法はカットアンドトライ的な要素が強く、また試し切削をおこないながらびびりの発生が見つければこれを無くす条件を探す必要があるため熟練した技術者でも時間を要する欠点があった。

【0025】

本発明の目的は、以上のような問題を解消し、グラフィックデータ上の加工シミュレーションを加工に先だって実行し、そこから得られる断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数に基づいて、主軸回転速度を実加工に適合した条件で実加工や加工プログラム作成に反映できるNC加工における加工シミュレーション装置及び方法を提供することにある。

【0026】

【課題を解決するための手段及びその効果】

上記目的は、少なくともNCプログラム、素材形状データ及び工具形状データから成る加工情報に基づいてNC加工の加工シミュレーションを行なう装置において、前記加工情報を基に加工シミュレーションしながら、断続切削による強制振動の周波数及び/又は負荷変動の周波数を算出して、算出した周波数もしくはこれらの周波数の整数倍の高調波周波数が機械、工具、治具、あるいは工作物の固有振動数を含む一定範囲内にあるか
否かを確認し、一定範囲内にある場合には、前記一定範囲から外れるように、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度を変更する加工シミュレーション手段を備えた加工シミュレーション装置により達成される。

【0027】

グラフィックデータ上の加工シミュレーションを加工に先だって実行し、そこから得られる断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数に基づいて、主軸回転速度を実加工に適合した条件で実加工や加工プログラム作成に反映できるため、断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数もしくはそれらの整数倍の高調波周波数と、機械、工具、治具、あるいは工作物等の持つ固有振動周波数が近い値になることが無くなり、びびりが発生することも無いので、面精度の向上が実現できる。

【0028】

また上記目的は、前記加工シミュレーション手段が、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度と前記工具形状データの工具刃数とを基に前記強制振動の周波数を算出することにより達成される。

【0029】

また上記目的は、前記加工シミュレーション手段が、前記負荷変動の周波数を算出するに当たり、素材が工具により削り取られる削り取り量を切削量として算出し、算出した切削量と、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度と、前記工具形状データとを基に前記負荷変動の周波数を算出することにより達成される。

【0030】

また上記目的は、前記加工シミュレーション装置が、前記加工シミュレーションに先立って前記素材形状データを3次元格子点に区画した加工シミュレーション形状データに変換する素材形状データ生成手段と、前記加工シミュレーション形状データを記憶するシミュレーション形状記憶手段とを更に備え、前記加工シミュレーション手段が、前記NCプログラムと、前記工具形状データと、前記シミュレーション形状記憶手段に格納された加工シミュレーション形状データとを基に、前記格子点上の素材領域を工具が通過する場合に素材が工具によって削り取られる削り取り量を切削量として算出するとともに前記工具が通過する格子点の素材有無の情報を削り取りにあわせて更新し、前記算出した切削量と、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度と、前記工具形状データとを基に前記負荷変動の周波数を算出することにより達成される。

【 0 0 3 1 】

また上記目的は、前記加工シミュレーション装置が、前記加工シミュレーションに先立って前記素材形状データの素材底面を格子点で区画し素材高さを前記格子点の垂直方向高さデータとした加工シミュレーション形状データに変換する素材形状データ生成手段と、前記加工シミュレーション形状データを記憶するシミュレーション形状記憶手段とを更に備え、前記加工シミュレーション手段が、前記NCプログラムと、前記工具形状データと、前記シミュレーション形状記憶手段に格納された加工シミュレーション形状データとを基に、前記格子点上の素材領域を工具が通過する場合に素材が工具によって削り取られる削り取り量を切削量として算出するとともに前記工具が通過する格子点の前記垂直方向高さデータを削り取りにあわせて更新し、前記算出した切削量と、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度と、前記工具形状データとを基に前記負荷変動の周波数を算出することにより達成される。

10

【 0 0 3 2 】

また上記目的は、前記垂直方向高さデータが、素材が存在する領域の高さデータ、あるいは、素材が存在する領域の高さデータと存在しない領域の高さデータとの組み合わせから構成されることにより達成される。

【 0 0 3 3 】

また上記目的は、前記加工シミュレーション装置が、前記加工シミュレーション手段によって、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度が変更されると、前記NCプログラムを変更して、該NCプログラムで指令される主軸回転速度を前記変更した主軸回転速度とするNCプログラム作成手段を更に備えていることにより達成される。

20

【 0 0 3 4 】

また上記目的は、前記加工情報に基づいてNC加工の加工シミュレーションを行なう方法において、前記加工情報を基に加工シミュレーションしながら、断続切削による強制振動の周波数及び/又は負荷変動の周波数を算出して、算出した周波数もしくはこれらの周波数の整数倍の高調波周波数が機械、工具、治具、あるいは工作物の固有振動数を含む一定範囲内にあるか否かを確認し、一定範囲内にある場合には、前記一定範囲から外れるように、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度を変更することにより達成される。

【 0 0 3 5 】

また上記目的は、上記方法において、前記NCプログラムで指令された主軸回転速度を変更すると、前記NCプログラムを変更して、該NCプログラムで指令される主軸回転速度を前記変更した主軸回転速度とすることにより達成される。

30

【 0 0 3 6 】

【 発明の実施の形態 】

本発明のNC加工における加工シミュレーション装置及び方法に係る第1の実施形態は、素材や工具の形状データに基づく加工シミュレーションをリアルタイムで行い、その結果求められる断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数に基づいて、事前に主軸回転速度を適正な値に制御するNC加工における加工シミュレーション装置である。

40

【 0 0 3 7 】

ここでは、本出願人が過去にW O 9 8 / 1 9 8 2 2 (P C T / J P 9 6 / 0 3 2 6 6) において開示した本NC加工における加工シミュレーション装置に組み込んだ例を説明する。このようにして加工負荷シミュレーションによる適応制御に加えて、びびりの抑制制御が可能となっている。もちろん今回のびびり抑制制御を単独で加える事も可能である。

【 0 0 3 8 】

以下、図3のブロック図を用いて説明する。

【 0 0 3 9 】

尚、本ブロック図では、図1のブロック図と共通する項目には、共通の番号を付

50

しているため、ブロック 16 が欠如している。

【 0 0 4 0 】

N C プログラムメモリ 11 には、これから行なわれる加工に用いる N C プログラムが格納されている。

【 0 0 4 1 】

N C プログラム解釈部 12 は、N C プログラムメモリ 11 から 1 ブロックずつ N C プログラムを読み込み、解釈し、本ブロックで指令されている、或いは、モーダル指令として前ブロックまでで指令されている補間種類、目標位置、送り速度を補間処理部 13 に通知するとともに、工具番号と主軸回転速度とを加工シミュレーション部 17 に通知し、さらに工具番号と送り速度とをシミュレーション予見制御部 18 に通知する。

10

【 0 0 4 2 】

補間処理部 13 は、補間種類、目標位置、送り速度に基づいて、各軸毎の単位時間（補間周期）あたりの移動量 x 、 y 、 z を算出し、加工シミュレーション部 17 に通知する。

【 0 0 4 3 】

加工前形状生成部 110 は、加工に先立って、予め本システムが持っている素材メモリ 19 から素材形状データを読み出し、これから行う加工シミュレーションに適したデータ構造に変換して、加工シミュレーション形状データとしてシミュレーション形状データメモリ 111 に格納しておく。或いは、オペレータが加工シミュレーションの都度、素材形状を入力し、この入力されたデータを前述のように加工シミュレーション形状データとしてシミュレーション形状データメモリ 111 に格納しておく。

20

【 0 0 4 4 】

尚、加工前形状生成部 110 は、図 5 (a) に示すように素材底面に対応した $X - Y$ 平面上に所定間隔の格子点を定義し、各格子点毎に Z 方向空間に素材が存在するか否かを、素材形状データを基に判別し、存在すれば素材底面からの高さ h_1 を、存在しなければ 0 をその格子点に対応した Z 座標値として記憶するという手順で、素材メモリ 19 の素材形状データを加工シミュレーションに用いる形状のデータ構造に変換し、シミュレーション形状データメモリ 111 に格納する。

【 0 0 4 5 】

また、図 5 (b) のように 1 つの格子点の Z 方向空間に対して、素材が存在する領域の間に素材が存在しない中空領域が挟まれていれば、この格子点に対応して記憶される Z 座標値データは 1 つのみでなく、素材領域の高さ h_1 、中空領域の高さ h_2 、再び素材領域 h_3 の高さといった複数個の Z 座標値データ（連結リスト構造）を記憶することとなる。

30

【 0 0 4 6 】

加工シミュレーション部 17 は、N C プログラム解釈部 12 から受け取った工具番号と予め本システムが持っている使用工具データメモリとから現在加工に使用されている工具の形状、例えば工具径を認識し、この工具径と補間処理部 13 から受け取った x 、 y 、 z とシミュレーション形状データメモリ 111 から必要に応じて順次読み出した加工シミュレーション用形状データとに基づいて単位時間あたり切削量を算出する。さらに後述するように、この単位時間あたりの切削量と主軸回転速度とに基づいて工具 1 回転あたり切削量を算出する。

40

【 0 0 4 7 】

図 6 (a) は、工具現在位置に基づく加工領域の認識を説明する図であり、図 6 (b) は、削り取り量の総和 ($V_{REMOVED}$) の算出方法を説明する図である。前記単位時間あたり切削量は、図 6 に示す如く工具 100 の現在位置 X 、 Y と工具径と x 、 y とから $X - Y$ 平面上に所定間隔で定義された格子点 k の内、どの格子点 k を工具 100 が通過するかを特定し、さらにこの格子点 k が持つ加工シミュレーション形状の Z 座標値と工具 100 の現在位置 Z と z とから工具が加工物を削り取るか否かを判別し、この判別された格子点 k 1 つ 1 つに対して削り取り量を算出してそれらの総和を次式によって

50

算出した削り取り量の総和 ($V_{REMOVED}$) として得られる。

【0048】

$$V_{REMOVED} = \Delta^2 \sum_x \sum_y (Z_{xy} - Z_{xy}')$$

ここで、 $V_{REMOVED}$ は削り取り量の総和、 Z_{xy} は加工前の Z 高さ、 Z_{xy}' は加工後の Z 高さである。

【0049】

尚、この時点では、 x 、 y 、 z に基づいた工具の移動が実際に行われるか否か未定のため、今回の x 、 y 、 z に基づいた工具移動による削り取りに応じた加工シミュレーション形状データの更新、及びシミュレーション形状データメモリ 111 への格納は行わない。

10

【0050】

次に、工具 1 回転内の負荷変動を求める。

【0051】

エンドミルのような回転工具の場合は、主軸の回転中心に対する切削断面 1 次モーメントの変化を求めることにより、工具 1 回転内の負荷変動を見ることができる。

【0052】

回転工具の 1 刃毎の回転角に対する切削断面 1 次モーメントを求めると、例えば図 9 のような変化を示す。

20

【0053】

X - Y 平面座標系を円筒座標系 (r , θ) に置き換え、Z 値を用いて、1 刃毎の主軸 1 回転当たり切削量 Mrr は式 1 で表わす事ができる。

【0054】

$$Mrr = \int_0^{2\pi} \int_0^R z(r, \theta) r \cdot dr d\theta \quad \dots \text{式 1}$$

ここで、R は工具半径である。

30

【0055】

1 回転区間 $0 \sim 2\pi$ を $[0, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n]$ に区分して、各微小区間 $[\theta_i, \theta_{i+1}]$ での切削量 Mrr_i は式 2 で表わすことができる。

【0056】

$$Mrr_i = \int_{\theta_i}^{\theta_{i+1}} \int_0^R z(r, \theta) r \cdot dr d\theta \quad [i : 0 \sim n] \quad \dots \text{式 2}$$

【0057】

また、角 θ_i における切削断面 1 次モーメントは式 3 で表わされる。

40

【0058】

$$S_i = \int_0^R z(r, \theta) r \cdot dr \quad \dots \text{式 3}$$

【0059】

よって、式 2 で求められる微小区間の切削量 Mrr_i を区間幅 $\Delta\theta_i$ で除すると式 4 のように、区間 $[\theta_i, \theta_{i+1}]$ での切削断面 1 次モーメントの平均値が求まる。

【0060】

$$S_i = \frac{Mrr_i}{\Delta \theta_i} \quad \dots \text{式 4}$$

【 0 0 6 1 】

上記のような理由により、各区間に切削量が計算できる十分な格子点が存在するように回転角をいくつかに分割して、図 1 0 のような区間毎の切削量を求める。

【 0 0 6 2 】

区間 [θ_i, θ_{i+1}] に存在する格子点 k で、シミュレーションにより切削された Z 座標値データを z_k 、工具中心からの距離を r_k とすると区間 [θ_i, θ_{i+1}] における切削量は式 5 で表わされる。

【 0 0 6 3 】

$$Mrr_i = \sum_k z_k r_k \quad \dots \text{式 5}$$

【 0 0 6 4 】

このようにして、区間毎の切削量を求めると図 1 1 のような工具 1 回転内の負荷変動を離散データとして得ることができる（図 1 1 では分割された各回転角毎の面積が区間毎の切削量を表す）。この得られた結果を離散フーリエ変換等の周波数解析手段を用いて周波数解析することにより、切削抵抗による振動の周波数を予測することができる。

【 0 0 6 5 】

さらに、1 回転毎に得られた結果を接続して展開していけば、図 1 2 のような連続した 1 回転内の負荷変動が得られる。あるいは、複数刃の場合には、1 刃毎のシミュレーション結果を重ね合わせることにより図 1 3 のような工具全体の負荷変動を得ることができる。このような主軸回転速度、工具径、切削条件などの加工前情報からだけでは得ることはできないシミュレーション結果から、フーリエ変換等の周波数解析手段により切削抵抗による振動周波数を求め、切削現象による振動の予測をすることに役立つ。

【 0 0 6 6 】

切削振動の主成分はエンドミルの断続切削による強制振動の周波数であり、この振動周波数は式 6 のように簡易的に計算することも可能である。

【 0 0 6 7 】

$$F_a = n \cdot k / 60 \quad \dots \text{式 6}$$

尚、 F_a は強制振動の周波数、 n は刃数、 k は主軸回転速度 (min^{-1}) である。

【 0 0 6 8 】

機械、工具、治具、あるいは工作物等の持つ固有振動周波数はあらかじめ実験もしくは解析で求めておき、この周波数を登録しておく。

【 0 0 6 9 】

振動周波数もしくはその整数倍の高調波周波数が各部の固有振動数に比べてある一定の範囲内であれば、その範囲を外れるように主軸回転速度を下げる。この範囲は実験的に求めて予めデータとして持つておく。

【 0 0 7 0 】

主軸回転速度を変更する方法は新しい回転速度を NC プログラム解釈部に送出しても良いし、主軸オーバライドの機能を利用しても良い。

【 0 0 7 1 】

これにより実際の切削で使用する主軸回転速度が決定し、この主軸回転速度に基づいた主軸 1 回転当たりの切削量をシミュレーション予見制御部に送出する。シミュレーション予見制御部 1 8 は、加工シミュレーション部 1 7 から受け取った工具 1 回転あたりの切削量と予め本システムが持っている素材材質とから加工シミュレーション切削抵抗値 R 及び切削トルク T を算出する。

【 0 0 7 2 】

10

20

30

40

50

ここでは、エンドミルにおけるシミュレーション切削抵抗値 R 及び切削トルク T の例を示す。

【 0 0 7 3 】

$$R = a \cdot V p \text{ (k g f) } \quad \dots \text{式 7}$$

$$T = b \cdot (n \cdot V) q \text{ (k g f } \cdot \text{ c m) } \quad \dots \text{式 8}$$

尚、V は 1 回転当たりの切削体積、n はエンドミルの刃数、a、b、p、q は素材材質に固有のパラメータである。

【 0 0 7 4 】

次に NC プログラム解釈部 1 2 から受け取った工具番号と予め本システムが持っている使用工具データメモリとから現在加工に使用されている工具の適正切削抵抗を読み出す。

10

【 0 0 7 5 】

尚、工具の適正切削抵抗値は、オペレータが加工に先立って工具毎に設定しておいてもよい。

【 0 0 7 6 】

上記(式 7) で算出したシミュレーション切削抵抗値と適正切削抵抗値とを比較し、シミュレーション切削抵抗値が適正切削抵抗値を逸脱している場合は、適正な切削抵抗になるような送り速度を計算し、適正送り速度として再補間要求信号とともに補間処理部 1 3 へ通知する。

【 0 0 7 7 】

20

前記適正送り速度を算出する式は、例えば以下の通りである。

【 0 0 7 8 】

$$S g = S \cdot R g / R s \quad \dots \text{式 9}$$

尚、S g は適正送り速度、S は指令送り速度、R g は適正切削抵抗値、R s はシミュレーション切削抵抗値である。

【 0 0 7 9 】

一方、逸脱していない場合は、加工形状更新信号を加工シミュレーション部 1 7 へ送り、速度適正信号を補間処理部 1 3 へ通知する。

【 0 0 8 0 】

加工シミュレーション部 1 7 は、シミュレーション予見制御部 1 8 から加工形状更新信号を受け取ったら、今回の x、y、z に基づいた工具移動による削り取りに応じて加工シミュレーション形状データを更新し、シミュレーション形状データメモリ 1 1 に格納する。

30

【 0 0 8 1 】

この更新は、格子点毎に記憶されている Z 座標値を削り取られた量だけ減算することによって実行される。

【 0 0 8 2 】

シミュレーション予見制御部 1 8 から送り速度適正信号を受け取ると、補間処理部 1 3 は、今回算出した x、y、z をそのままサーボ制御部 1 4 へ転送する。その結果、適正な切削抵抗と判断された送り速度で切削が行われることになる。

40

【 0 0 8 3 】

一方、再補間要求信号を受け取った場合は、先に補間処理したデータをすべて破棄し、シミュレーション予見制御部 1 8 から受け取った適正送り速度に基づいて再度単位時間当たりの各軸の移動量 x'、y'、z' を計算し加工シミュレーション部 1 7 に通知する。

【 0 0 8 4 】

加工シミュレーション部 1 7 では、この x'、y'、z' に基づいて前述したと同様な方法で工具 1 回転あたりの切削量を算出し、シミュレーション予見制御部 1 8 へ通知する。

【 0 0 8 5 】

50

シミュレーション予見制御部 18 では、この工具 1 回転あたりの切削量に基づいて、前述したと同様な方法でシミュレーション切削抵抗値を算出する。

【0086】

このシミュレーション切削抵抗値は、シミュレーション予見制御部 18 で計算された適正な送り速度に基づいた補間処理、加工シミュレーションの結果に基づいたものであり、当然適正切削抵抗値を逸脱していないので、加工形状更新信号を加工シミュレーション部 17 へ通知されるとともに送り速度適正信号が補間処理部 13 へ通知されことになる。

【0087】

その結果、補間処理部 13 では、先にシミュレーション予見制御部 18 で計算された適正な送り速度に基づいて補間処理を行い算出した x' 、 y' 、 z' をサーボ制御部 14 に通知するので、適正な切削抵抗になる送り速度で切削が行われることになる。

【0088】

また、上記(式 8)で算出した切削トルクに基づいて、前回補間時の切削トルクとの比較を行ない、切削トルクの前回からの変化量からトルクフィードフォワード量を算出し、このトルクフィードフォワード量をサーボ制御部 14 へ送出することも可能である。

【0089】

この場合、サーボ制御部 14 では、このトルクフィードフォワード量を送り速度又は切削速度が一定となるようなトルク制御に使用することとなる。

【0090】

切削監視部 15 においては、サーボ制御部 14 から実際に検知した主軸負荷や送り軸負荷を受け取り、適正な送り速度に基づいて算出されたシミュレーション切削抵抗との関係を常時監視し、この関係が例えば比例関係を逸脱した場合は即座に送り停止信号を補間処理部 13 に通知して補間を即座に停止させることが可能である。

【0091】

本発明の NC 加工における加工シミュレーション装置及び方法に係る第 2 の実施形態は、オペレータによる加工データ入力から NC プログラム作成を一旦行ない、この NC プログラムと素材形状データに基づいて加工シミュレーションを行い、その結果認識できる切削量、或いはこの切削量から求められる切削抵抗値と主軸回転速度に基づいて、切削による負荷変動の周波数もしくはその整数倍の高調波周波数が機械、工具、あるいは工作物等の固有振動数を含む一定範囲を避けるように、この NC プログラムの 主軸回転速度を変更する NC 加工における加工シミュレーション装置である。

【0092】

ここでは、本 NC 加工における加工シミュレーション装置を数値制御装置と切り離した例を説明する。

【0093】

以下、図 4 のブロック図を用いて説明する。

【0094】

尚、本ブロック図では、図 2 のブロック図と共通する項目には、共通の番号を付しており、このためブロック 25 が欠如しているが、図 3 のブロック図と機能的に共通又は類似するブロックについては、分かり易くするため再度説明を行なっているので、共通の番号を付していない。

【0095】

加工データ入力部 21 においては、NC プログラムを作成する上で必要な情報である工具種類、工具サイズ、素材材質、加工軌跡等をオペレータが入力し、入力された結果は NC プログラム作成部 23 に送出される。

【0096】

切削条件データテーブル 22 は、工具種類、工具サイズ、素材材質等からそれら

10

20

30

40

50

に適切な送り速度、主軸回転速度等が決定できるようなデータテーブル構造となっており、NCプログラム作成部23によって参照される。

【0097】

NCプログラム作成部23では、加工データ入力部から送出された工具種類、工具サイズ、素材材質、加工軌跡等の加工データ、さらには、工具種類、工具サイズ、素材材質等に基づいて切削条件データテーブル22から読み出された送り速度、主軸回転速度等の切削条件を基に、一旦NCプログラムを作成する。

【0098】

NCプログラム解釈部26は、NCプログラム作成部23から1ブロックずつNCプログラムを読み込み、解釈し、本ブロックで指令されている、或いは、モダル指令として前ブロックまでで指令されている補間種類、目標位置、送り速度を補間処理部27に通知するとともに、工具番号と主軸回転速度とを加工シミュレーション部28に通知する。

10

【0099】

補間処理部27は、補間種類、目標位置、送り速度に基づいて、各軸毎の単位時間（例えばターゲットとなるNC装置の補間周期）当たりの仮想的な補間移動量 x 、 y 、 z を算出し、加工シミュレーション部28に通知する。

【0100】

加工前形状生成部210は、NCプログラム作成に先立って、予め本システムが持っている素材メモリ29から素材形状データを読み出し、これから行う加工シミュレーションに適したデータ構造に変換して、加工シミュレーション形状データとしてシミュレーション形状データメモリ211に格納しておく。或いは、オペレータが加工シミュレーションの都度、素材形状を入力し、この入力されたデータを前述のように加工シミュレーション形状データとしてシミュレーション形状データメモリ211に格納しておく。

20

【0101】

尚、加工前形状生成部210は、図5(a)に示すように素材底面に対応した X - Y 平面上に所定間隔の格子点を定義し、各格子点毎に Z 方向空間に素材が存在するか否かを、素材形状データを基に判別し、存在すれば素材底面からの高さ h_1 を、存在しなければ0をその格子点に対応した Z 座標値として記憶するという手順で、素材メモリ29の素材形状データを加工シミュレーションに用いる形状のデータ構造に変換し、シミュレーション形状データメモリ211に格納する。

30

【0102】

また、図5(b)のように1つの格子点の Z 方向空間に対して、素材が存在する領域の間に素材が存在しない中空領域 h_2 が挟まれていれば、この格子点に対応して記憶される Z 座標値データは1つのみでなく、素材領域の高さ h_1 、中空領域の高さ h_2 、再び素材領域の高さ h_3 といった複数個の Z 座標値データ（連結リスト構造）を記憶することとなる。

【0103】

加工シミュレーション部28は、NCプログラム作成部23から受け取った工具番号と予め本システムが持っている使用工具データメモリとから現在加工に使用されている工具の形状、例えば工具径を認識し、この工具径と補間処理部27から受け取った x 、 y 、 z とシミュレーション形状データメモリ211から必要に応じて順次読み出した加工シミュレーション用形状データとに基づいて単位時間あたり切削量を算出し、さらにこの切削量と主軸回転速度とに基づいて工具1回転当たりの切削量を算出し、さらに定められた単位角度当たりの切削量を算出し、さらに切削による負荷変動のレベルがある範囲を超えている成分の周波数を算出する。

40

【0104】

機械、工具、治具、あるいは工作物等の持つ固有振動周波数をあらかじめ実験もしくは解析で求めておき、この周波数を登録しておく。

【0105】

50

切削による負荷変動の周波数もしくはその整数倍の高調波周波数が各部の固有振動数に比べてある一定の範囲内であれば、その範囲を外れるように主軸回転速度を下げる。この範囲は実験的に求めて予めデータとして持っておく。

【0106】

新しい主軸回転速度をNCプログラム作成部23に送出する。NCプログラム作成部では加工シミュレーション部28から通知された新しい主軸回転速度に基づいてプログラムを変更する。

【0107】

さらに、加工シミュレーション部28はこの主軸回転速度による主軸1回転当たりの切削量を算出しNCプログラム作成部23へ通知する。

10

【0108】

前記単位時間あたり切削量は、前述した手順によりこれを算出することができる。すなわち、図6に示す如く工具の現在位置 X 、 Y と工具径と x 、 y とから X - Y 平面上に所定間隔で定義された格子点の内、どの格子点を工具が通過するかを特定し、さらにこの格子点を持つ加工シミュレーション形状の Z 座標値と工具の現在位置 Z と z とから工具が加工物を削り取るか否かを判別し、この判別された格子点1つ1つに対して削り取り量を算出してそれらの総和を算出することによって得られる。

【0109】

尚、この時点では、 x 、 y 、 z に基づいた工具の移動が実際に行われるか否か未定のため、今回の x 、 y 、 z に基づいた工具移動による削り取りに応じた加工シミュレーション形状データの更新、及びシミュレーション形状データメモリ211への格納は行わない。

20

【0110】

NCプログラム作成部23では、加工シミュレーション部28から受け取った工具1回転あたりの切削量と予め本システムが持っている素材材質とから加工シミュレーション切削抵抗値 R (式7)及び切削トルク T (式8)を算出する。

【0111】

次に、工具番号と予め本システムが持っている使用工具データメモリとから現在加工に使用されている工具の適正切削抵抗を読み出す。

【0112】

尚、工具の適正切削抵抗値は、オペレータが加工に先立って工具毎に設定しておいてもよい。

30

【0113】

前記(式7)で算出したシミュレーション切削抵抗値と適正切削抵抗値とを比較し、シミュレーション切削抵抗値が適正切削抵抗値を逸脱している場合は、適正な切削抵抗になるような送り速度を計算する。

【0114】

前記適正送り速度を算出する式は、例えば(式9)のようなものである。

【0115】

一方、逸脱していない場合は、加工形状更新信号を加工シミュレーション部28へ送る。

40

【0116】

加工シミュレーション部28は、NCプログラム作成部23から加工形状更新信号を受け取ったら、今回の x 、 y 、 z に基づいた工具移動による削り取りに応じて加工シミュレーション形状データを更新し、シミュレーション形状データメモリ211に格納する。

【0117】

この更新は、格子点毎に記憶されている Z 座標値を削り取られた量だけ減算することによって実行される。

【0118】

50

適正な切削抵抗になるような送り速度を計算した場合は、先に補間処理したデータをすべて破棄し、再度単位時間当たりの各軸の移動量 x' 、 y' 、 z' を計算し加工シミュレーション部 28 に通知する。

【0119】

加工シミュレーション部 28 では、この x' 、 y' 、 z' に基づいて前述したと同様な方法で工具 1 回転あたりの切削量を算出する。

【0120】

NC プログラム作成部 23 では、この工具 1 回転あたりの切削量に基づいて、前述したと同様な方法でシミュレーション切削抵抗値を算出する。

【0121】

このシミュレーション切削抵抗値は、NC プログラム作成部 23 内部で計算された適正な送り速度に基づいた仮想的な補間処理、加工シミュレーションの結果に基づいたものであり、当然適正切削抵抗値を逸脱していないので、加工形状更新信号を加工シミュレーション部 28 へ通知することになる。

【0122】

そして、NC プログラム作成部 23 においては、各補間単位毎に適正送り速度を計算し、その適正送り速度が一定範囲に入る補間単位が連続するならばこれを結合して適正な F 指令を付加すると共に、適正送り速度が一定範囲に入らない補間単位が連続するならば、別ブロックに分割して各々適正な F 指令を付加する方法を用いて、当初の NC プログラムブロックを適宜分割する。

【0123】

尚、前述の NC プログラム作成部 23 での計算において、シミュレーション切削抵抗値が 0 以外から 0 になった、0 のままである、0 から 0 以外になったなどを判別することによって切削状態からエアカット状態になる、エアカット状態が継続している、エアカット状態から切削状態になるといった状態遷移を検知し、切削送り速度を予め機械仕様メモリ 212 に格納されている早送り速度、あるいは予め機械仕様メモリ 212 に格納されている最大補間速度にアップしたり、アップした速度を維持したり、アップした速度から適正な切削送り速度に戻すことが可能である。

【0124】

また、本実施形態において、補間処理部 27 を除いて、加工シミュレーション部 28 において、NC プログラム解釈部 26 から得られるブロック軌跡を用いてブロック当たりの切削量とブロック当たりの加工時間を計算し、これらのデータから送り速度の適正/不適を判定して F 指令変更を行なう方法を採用しても良い。

【0125】

一方、オペレータが予め基本となる送り速度を変更する場合には、例えば、テーブルデータ変更部 24 において、工具種類、工具サイズ、素材材質等と送り速度、主軸回転速度等とのリレーションテーブルの変更を指示することとなる。

【0126】

本発明の NC 加工における加工シミュレーション装置及び方法に係る第 3 の実施形態は、素材や工具の形状データに基づく加工シミュレーションをリアルタイムで行い、その結果認識できる切削量、切削箇所等のデータに基づいて、工具実績情報を作成する NC 加工における加工シミュレーション装置である。

【0127】

上記の何れの実施形態においても、素材形状データや工具形状データとして実際の加工物や工具の計測データを使用することが可能であるし、図 7 の如く素材形状データを加工物を実際に計測した結果に基づいて補正したり、同様に工具形状データを工具を実際に計測した結果に基づいて補正することが可能である。

【0128】

上記の何れの実施形態においても、加工前形状生成部 110 (又は 210) は、素材メモリ 19 (又は 29) から読み出された素材形状データに基づいて、これから行う

10

20

30

40

50

加工シミュレーションに適したデータ構造に変換する際に、この素材形状データを図8(b)の如く3次元格子点に区画してシミュレーション形状データメモリ111(又は211)に格納しておくことも可能である。例えば、図8の反転部分を除去する場合には、図8(a)の如く、X-Y平面を格子点で区画し各素材高さをZ高さデータで持った場合には、 $Z(x)(y) = h1$ から $(h1 - 1)$ と変化することとなり、図8(b)の如く3次元格子点に区画した場合には、 $P(x, y, h1) = 1$ から0に変化することとなる。

【0129】

第1の実施形態の説明においては、本NC加工における加工シミュレーション装置による送り速度制御を補間処理後に行なう形態、及び本NC加工における加工シミュレーション装置によるびり抑制のための主軸速度制御をプログラム指令後に行なう形態、及び本NC加工における加工シミュレーション装置によるモータトルク補正値をサーボ制御における電流制御部に送出する形態で組み込んだ形で説明した。

10

【0130】

第2の実施形態の説明においては、本NC加工における加工シミュレーション装置を数値制御装置と切り離して、加工に先だってNCプログラムの速度指令決定を実施する形で説明した。

【0131】

しかし、本発明の実施形態はこれらに限るものでなく、上記の装置を構成する各々の手段を各々の機能の実現ステップに置き換えた形で実施することも可能である。

【0132】

20

そして、少なくとも第1及び第2の実施形態においては、本発明の装置又は方法への入力として必要となる素材形状、工具形状、及び、補間データに相当するものを準備し、本発明の装置又は方法へ入力すれば、本実施形態で説明した通りの手順で、切削量、切削抵抗、切削振動周波数や加工前、加工途中、加工完了後の加工物形状、及び、適正な送り速度、主軸速度を適宜取り出すことができる。

【0133】

また、この適正な送り速度や主軸速度を生成する機能を利用して、NCプログラム解釈部と補間処理部との間に、本発明の装置又は方法による送り速度制御を組み込めば、実際の補間処理の前に適切な送り速度や主軸速度を予め決めておくことが可能になる。

【0134】

30

さらには、送り速度の急激な変動による機械の振動、工具の破損、あるいは、送り速度の変化、すなわち加減速に伴う形状誤差の発生を防ぐために、補間処理に先立って補間前加減速処理部を有する数値制御システムであれば、NCプログラム解釈部と補間前加減速処理部との間に本発明の装置又は方法による送り速度制御を組み込めば、機械を振動させることなく、加減速に伴う形状誤差発生を抑えて、適切な送り速度で加工を行なうことができる。

【0135】

ここでは説明を行っていないが、加工前、加工途中、加工完了後の加工物形状を逐次生成しているので、その加工物形状データをグラフィック表示部に入力すれば、グラフィック表示機能に利用できる。同様に切削量、印刷抵抗値を取り出して、色分けなどを行なってグラフィック表示すれば、加工状況の変化の様子をグラフィック表示できる。

40

【0136】

【産業上の利用可能性】

以上のように、本発明にかかるNC加工における加工シミュレーション装置及び方法は、マシニングセンタなどのNC工作機械などに適し、特に、加工シミュレーションに基づき、主軸回転速度を変更するNC工作機械に適する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 従来の数値制御システムの適応制御指令作成システムのブロック図である。

【図2】 従来のNCプログラム作成システムのブロック図である。

50

【図 3】 本発明の NC 加工における加工シミュレーション装置に係る第 1 の実施形態のブロック図である。

【図 4】 本発明の NC 加工における加工シミュレーション装置に係る第 2 の実施形態のブロック図である。

【図 5】 本発明に関わるシミュレーション形状データの構造例である。

【図 6】 本発明に関わる加工シミュレーションの原理の説明図である。

【図 7】 本発明に関わる素材形状データを加工物を実際に計測した結果に基づいて補正する場合の説明図である。

【図 8】 本発明に関わる素材形状データを 3 次元格子点に区画する場合のシミュレーション形状データの構造例を示す図である。

【図 9】 本発明に関わる回転工具の一刀毎の回転角に対する切削断面 1 次モーメントの変化の例を説明する図である。

【図 10】 本発明に関わる工具の回転角の分割を説明する図である。

【図 11】 本発明に関わる分割された工具の回転角の区間毎の切削断面 1 次モーメントを表す図である。

【図 12】 本発明に関わる 1 枚刃の場合の連続した 1 回転内の負荷変動を表す図である。

【図 13】 本発明に関わる 2 枚刃の場合の連続した 1 回転内の負荷変動を表す図である。

【符号の説明】

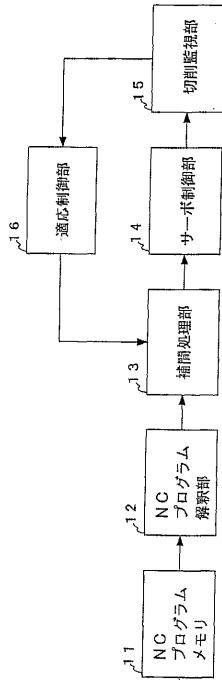
1 1	NC プログラムメモリ
1 2 , 2 6	NC プログラム解釈部
1 3 , 2 7	補間処理部
1 7 , 2 8	加工シミュレーション部
1 8	シミュレーション予見制御部
2 1	加工データ入力部
2 3	NC プログラム作成部
1 1 0 , 2 1 0	加工前形状生成部
1 1 1 , 2 1 1	シミュレーション形状データメモリ

10

20

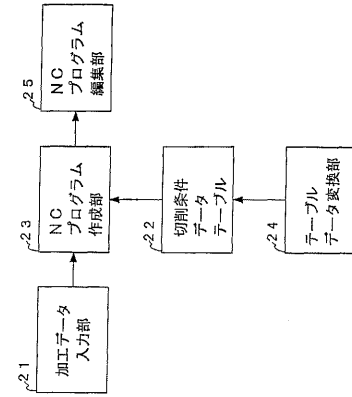
【 図 1 】

図 1



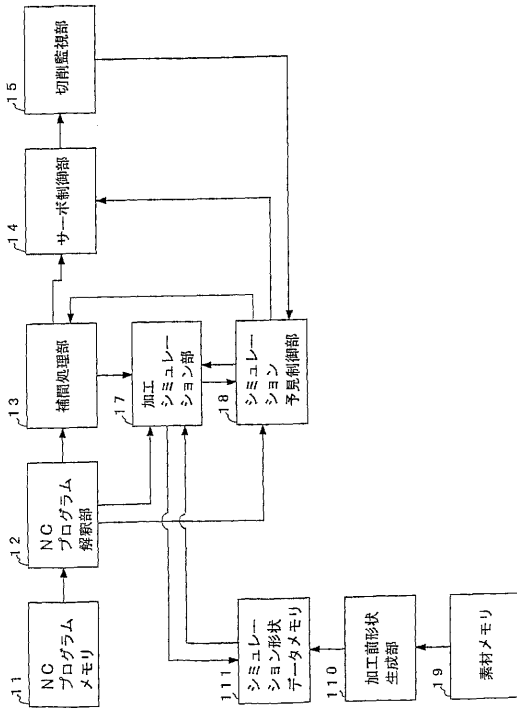
【 図 2 】

図 2



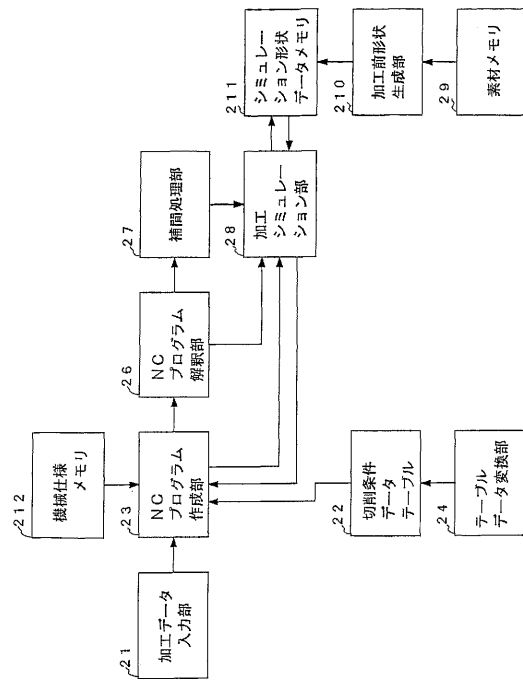
【 図 3 】

図 3



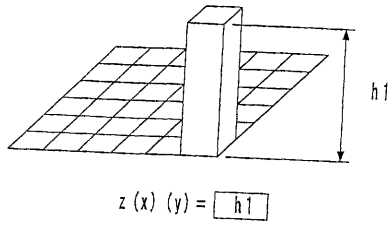
【 図 4 】

図 4



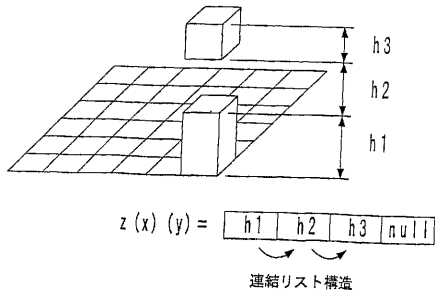
【図5(a)】

図5(a)



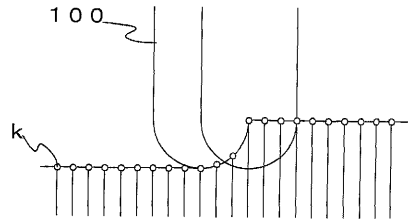
【図5(b)】

図5(b)



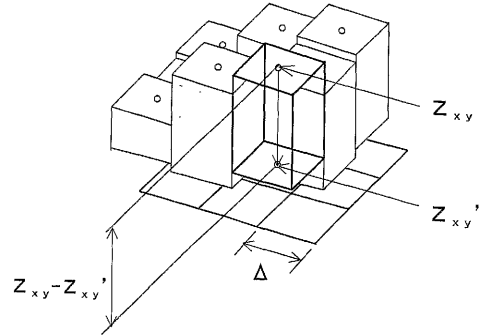
【図6(a)】

図6(a)



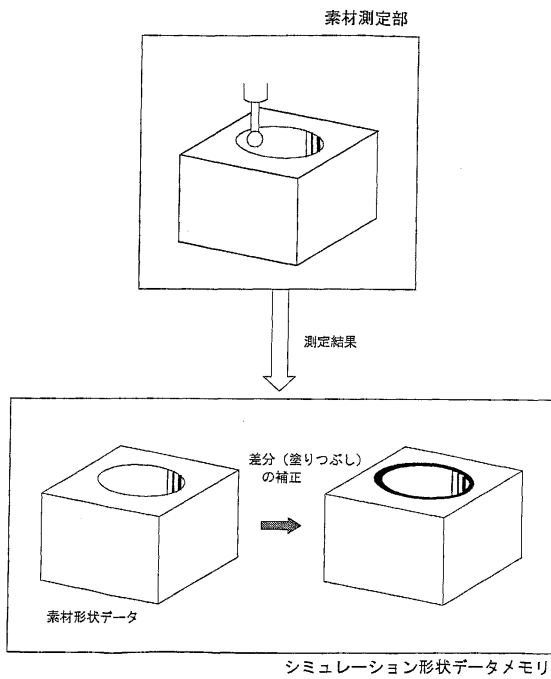
【図6(b)】

図6(b)



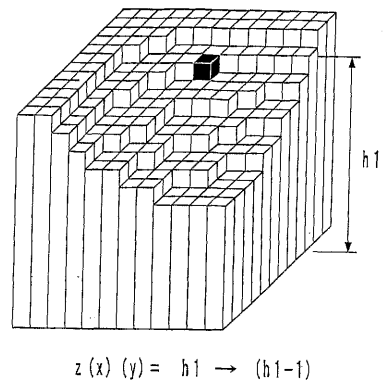
【図7】

図7



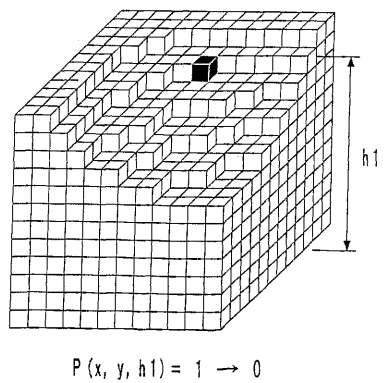
【図8(a)】

図8(a)

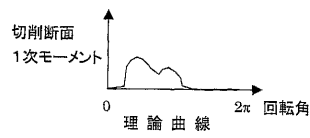


【図8(b)】

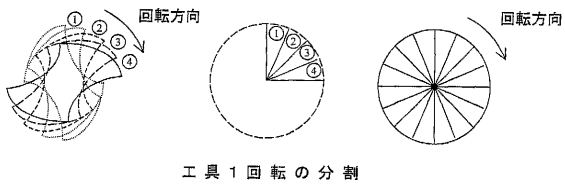
図8(b)



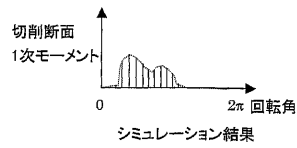
【図9】
図9



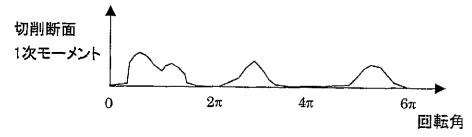
【図10】
図10



【図11】
図11



【図12】
図12



【図13】
図13

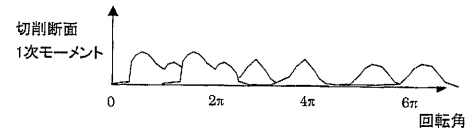


図13 シミュレーション結果を展開した場合(2枚刃)

フロントページの続き

- (72)発明者 藤嶋 誠
奈良県大和郡山市北郡山町106番地 株式会社森精機製作所内
- (72)発明者 深谷 安司
愛知県丹羽郡大口町下小口5丁目25番地の1 オークマ株式会社 大口工場内
- (72)発明者 山崎 和雄
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95618 エル マセロ グリーンビュー ドライブ 4
4204

審査官 金丸 治之

- (56)参考文献 特開昭62-024941(JP,A)
特表2000-505578(JP,A)
特表2001-517557(JP,A)
国際公開第98/019822(WO,A1)
特開平07-214416(JP,A)
白瀬敬一(外3名), エンドミル加工におけるびびり振動の解析と抑制(第1報), 精密工学会誌, 日本, 社団法人精密工学会, 1998年, Vol.64, No.3, p.465-469

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 19/4069
G05B 23/02
G06F 19/00
G06Q 50/00