

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7422949号
(P7422949)

(45)発行日 令和6年1月26日(2024.1.26)

(24)登録日 令和6年1月18日(2024.1.18)

(51)国際特許分類	F I			
G 0 5 B 19/4093(2006.01)	G 0 5 B 19/4093	M		
B 2 3 Q 15/013(2006.01)	B 2 3 Q 15/013			
G 0 5 B 19/4155(2006.01)	G 0 5 B 19/4155	V		
B 2 3 B 1/00 (2006.01)	B 2 3 B 1/00	A		

請求項の数 8 (全21頁)

(21)出願番号 特願2023-534376(P2023-534376)	(73)特許権者 000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日 令和5年2月20日(2023.2.20)	
(86)国際出願番号 PCT/JP2023/006024	(74)代理人 100118762 弁理士 高村 順
審査請求日 令和5年6月6日(2023.6.6)	(72)発明者 長江 啓史 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
早期審査対象出願	審査官 増山 慎也
最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 数値制御装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ワークと工具とを相対的に回転させる回転指令を出力する回転指令出力部と、
前記ワークと前記工具とを相対的に移動させる送り指令を出力する送り指令出力部と、
を備え、
前記送り指令に、前進動作と後退動作とを交互に繰り返す振動動作指令を含めることが
可能である数値制御装置であって、
前記振動動作指令における1振動のうちに、
前記前進動作の際の移動速度である第一速度で移動する第一区間と、
前記後退動作の際の移動速度である第二速度で移動する第二区間と、
前記前進動作の際の移動速度であって、前記第一速度よりも遅い速度である第三速度で
移動する第三区間と、を含み、
前記振動動作指令における1振動のうちに占める、前記第一区間と、前記第二区間と、
前記第三区間との比率を決定する各区間比率決定部を有し、
前記区間比率決定部は、加工プログラムに記述された、各区間の比率を指定する文字列
と数値の組合せに従って、前記第一区間と、前記第二区間と、前記第三区間との比率を決定
する
ことを特徴とする数値制御装置。

【請求項2】

ワークと工具とを相対的に回転させる回転指令を出力する回転指令出力部と、

前記ワークと前記工具とを相対的に移動させる送り指令を出力する送り指令出力部と、
を備え、

前記送り指令に、前進動作と後退動作とを交互に繰り返す振動動作指令を含めることが
可能である数値制御装置であって、

前記振動動作指令における1振動のうちに、

前記前進動作の際の移動速度である第一速度で移動する第一区間と、

前記後退動作の際の移動速度である第二速度で移動する第二区間と、

前記前進動作の際の移動速度であって、前記第一速度よりも遅い速度である第三速度で
移動する第三区間と、を含み、

前記振動動作指令における1振動のうちに占める、前記第一区間と、前記第二区間と、
前記第三区間との比率を決定する各区間比率決定部を有し、

前記区間比率決定部は、前記第一区間と、前記第二区間と、前記第三区間との比率を示
すパラメータに基づき前記第一区間と、前記第二区間と、前記第三区間との比率を決定する
ことを特徴とする数値制御装置。

【請求項3】

前記区間比率決定部は、送り速度、主軸回転数、振動周波数、振動回数、振動振幅のう
ちの何れかと閾値との比較に基づき前記第一区間と、前記第二区間と、前記第三区間との
比率を決定する

ことを特徴とする請求項2に記載の数値制御装置。

【請求項4】

ワークと工具とを相対的に回転させる回転指令を出力する回転指令出力部と、

前記ワークと前記工具とを相対的に移動させる送り指令を出力する送り指令出力部と、
を備え、

前記送り指令に、前進動作と後退動作とを交互に繰り返す振動動作指令を含めることが
可能である数値制御装置であって、

前記振動動作指令における1振動のうちに、

前記前進動作の際の移動速度である第一速度で移動する第一区間と、

前記後退動作の際の移動速度である第二速度で移動する第二区間と、

前記前進動作の際の移動速度であって、前記第一速度よりも遅い速度である第三速度で
移動する第三区間と、を含み、

前記振動動作指令における1振動のうちに占める、前記第一区間と、前記第二区間と、
前記第三区間との比率を決定する各区間比率決定部を有し、

前記各区間比率決定部は、振動動作中に前記ワークおよび前記工具に生じる負荷を表す
負荷情報に基づいて、前記振動動作指令における1振動のうちに占める、前記第一区間と
、前記第二区間と、前記第三区間との比率を決定する

ことを特徴とする数値制御装置。

【請求項5】

前記第三区間は、少なくとも前記第一区間と前記第二区間との間に設けられている

ことを特徴とする請求項1から4の何れか一つに記載の数値制御装置。

【請求項6】

前記第三速度は、非振動加工時の前記ワークと前記工具との相対的な移動速度と同じ速
度である

ことを特徴とする請求項1から4の何れか一つに記載の数値制御装置。

【請求項7】

ワークと工具とを相対的に回転させる回転指令を出力する回転指令出力部と、

前記ワークと前記工具とを相対的に移動させる送り指令を出力する送り指令出力部と、
を備え、

前記送り指令に、前進動作と後退動作とを交互に繰り返す振動動作指令を含めることが
可能である数値制御装置であって、

前記振動動作指令における1振動のうちに、

前記前進動作の際の移動速度である第一速度で移動する第一区間と、
前記後退動作の際の移動速度である第二速度で移動する第二区間と、
前記前進動作の際の移動速度であって、前記第一速度よりも遅い速度である第三速度で移動する第三区間と、を含み、

加工条件を表すデータ、振動条件を表すデータ、送り動作内容を表すデータの少なくとも1つを含む状態変数を取得する状態取得部と、

学習済みモデルに前記状態変数を入力した際の前記学習済みモデルからの出力に基づき、前記振動動作指令における1振動のうちに占める、前記第一区間と、前記第二区間と、前記第三区間との比率を決定する推論部と、を有する

ことを特徴とする数値制御装置。

10

【請求項8】

前記学習済みモデルは、前記加工条件を表すデータ、前記振動条件を表すデータ、前記送り動作内容を表すデータの少なくとも1つと、前記振動動作指令における1振動のうちに占める、前記第一区間と、前記第二区間と、前記第三区間との比率を表すデータとを含む状態変数と、振動動作中に前記ワークおよび前記工具に生じる負荷を表す負荷情報との組み合わせを含む訓練用データセットを用いて学習されたものである

ことを特徴とする請求項7に記載の数値制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本開示は、工作機械の制御装置である数値制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

切削加工においては、切削工具とワークとを加工方向に相対的に振動させることによって切り屑を細かく分断する振動切削機能が知られている(例えば特許文献1)。

【0003】

振動切削機能を用いた加工中は、加工方向と同じ方向へ向かう前進動作と、加工方向と逆方向へ向かう後退動作とを交互に繰り返しながら切削加工を行う。前進動作時の切削工具とワークとの間の相対的な移動速度である相対移動速度は、振動切削を行わない通常の加工である非振動加工の際の相対移動速度と比べて高いため、後退動作を行っても、前進と後退とを合計した平均の相対移動速度を非振動加工の際の相対移動速度と同等にすることが可能であり、これによって加工時間、すなわち生産性を変えことなく振動切削を適用することができる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特許第7096227号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

40

しかしながら、特許文献1では、振動切削機能を用いた場合、非振動加工に比べて前進動作時の相対移動速度が速くなり、工具とワークとの間の負荷が一時的に高まる。このとき、過度の切削力、切削熱によって工具摩耗の加速あるいは工具破損等が生じたり、工具とワークとの相対的な移動速度を示す送り速度、工具とワークとの相対的な回転速度を示す主軸の回転速度、及び切り取り厚さ等についての加工条件を満たせず、加工面の滑らかさを示す加工面品位が悪化したりするなどの問題が生じる場合がある。

【0006】

本開示は、上記に鑑みてなされたものであり、振動切削において工具とワークとの間の相対的な移動速度が大きくなることに起因する加工の問題を低減することができる数値制御装置を得ることを目的とする。

50

【課題を解決するための手段】

【0007】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示における数値制御装置は、ワークと工具とを相対的に回転させる回転指令を出力する回転指令出力部と、ワークと工具とを相対的に移動させる送り指令を出力する送り指令出力部と、を備え、送り指令に、前進動作と後退動作とを交互に繰り返す振動動作指令を含めることが可能である。振動動作指令における1振動のうちに、前進動作の際の移動速度である第一速度で移動する第一区間と、後退動作の際の移動速度である第二速度で移動する第二区間と、前進動作の際の移動速度であって、第一速度よりも遅い速度である第三速度で移動する第三区間と、を含む。振動動作指令における1振動のうちに占める、第一区間と、第二区間と、第三区間との比率を決定する各区間比率決定部を有し、区間比率決定部は、加工プログラムに記述された、各区間の比率を指定する文字列と数値の組合せに従って、第一区間と、第二区間と、第三区間との比率を決定する。

10

【発明の効果】

【0008】

本開示の数値制御装置によれば、振動切削において工具とワークとの間の相対的な移動速度が大きくなることに起因する加工の問題を低減することができる、という効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0009】

20

【図1】実施の形態1にかかる数値制御装置の構成例を示すブロック図

【図2】実施の形態1の数値制御装置の後退動作の終点決定方法に関する説明図

【図3】実施の形態1の数値制御装置の前進動作の波形決定方法に関する説明図

【図4】基本的な振動波形の決定方法に関する説明図

【図5】実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の決定方法に関する説明図

【図6】実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持たない他の基本的な振動波形の決定方法に関する説明図

【図7】実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ他の振動波形の決定方法に関する説明図

30

【図8】実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ他の振動波形の決定方法に関する説明図

【図9】実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の他の決定方法に関する説明図

【図10】実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の他の決定方法に関する説明図

【図11】実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の他の決定方法に関する説明図

【図12】実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の他の決定方法に関する説明図

40

【図13】実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の他の決定方法に関する説明図

【図14】実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の作成のために用いられるデータテーブルの一例を示す図

【図15】実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の作成のために用いられるデータテーブルの他の例を示す図

【図16】実施の形態3にかかる数値制御装置の学習時の構成を示すブロック図

【図17】実施の形態3の数値制御装置に用いられるニューラルネットワークの構成例を示す図

【図18】実施の形態3の数値制御装置の学習処理に関するフローチャート

50

- 【図 19】実施の形態 3 にかかる数値制御装置の推論時の構成を示すブロック図
- 【図 20】実施の形態 3 の数値制御装置の推論処理に関するフローチャート
- 【図 21】実施の形態 1～実施の形態 3 の数値制御装置のハードウェア構成例を示す図
- 【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、実施の形態にかかる数値制御装置を図面に基づいて詳細に説明する。

【0011】

実施の形態 1.

図 1 は、実施の形態 1 にかかる数値制御装置の構成例を示すブロック図である。本実施形態における数値制御装置 1 は、加工プログラム解析部 10、各区間比率決定部 15、振動指令生成部 11、送り指令出力部 12、回転指令出力部 13、および負荷情報取得部 14 を有する。

【0012】

加工プログラム解析部 10 は、加工プログラム 16 の解析を行い、加工プログラム 16 に記述された動作指令の情報を各区間比率決定部 15 および振動指令生成部 11 に出力する。

【0013】

加工プログラム 16 の形式は問わず、例えば E I A (Electronic Industries Alliance) / I S O (International Organization for Standardization) 形式の文字列であってもよいし、対話形式のプログラムと呼ばれる、ワークの形状、加工形状および寸法といった情報を含んだ構成のプログラムでもよい。

【0014】

動作指令の情報としては、工具とワークとの相対的な移動経路を定義する始点および終点の座標値、始点と終点とを結ぶ移動経路の補間方法(直線補間、円弧補間など)、移動時の送り速度、主軸の回転数、回転方向などが含まれる。さらに、動作指令の情報には、振動切削が有効であるか否か、振動波形の形状を指定する情報が含まれていてもよい。振動波形の形状を指定する情報としては、振動周波数、振動振幅、単位時間当たりの振動回数または単位回数当たりの振動回数、後述する各区間の比率に関する情報などが挙げられる。なお、これらの振動波形の形状を指定する情報は必ず全て指定する必要はなく、一部が省略されていてもよい。

【0015】

各区間比率決定部 15 は、1 振動において第一区間、第二区間、第三区間が占める比率(以降、各区間比率、各区間の比率などと呼ぶ場合がある)を決定する。1 振動とは、振動切削において通常の加工の移動動作に重畳される振動の単位であって、例えば、振動回数 N が 1.0 の場合、1 振動当たりの主軸の回転角度は 360 度となる。各区間比率決定部 15 は、決定した比率を振動指令生成部 11 に対して出力する。各区間比率の決定方法は、加工プログラム解析部 10 からの情報に基づいて決定してもよいし、予め設けられたパラメータなどの外部情報を参照し、その値に基づいて決定してもよい。

【0016】

振動指令生成部 11 は、加工プログラム解析部 10 からの情報に基づき、振動波形を算出し、送り軸の送り指令と、主軸に対する回転指令とを作成する。振動波形の算出方法については後述する。振動動作における各区間の比率については、各区間比率決定部 15 から入力される情報を利用してよいし、予め設けられたパラメータなどの情報を参照し、その値に基づいて決定してもよい。

【0017】

送り指令出力部 12 は、振動指令生成部 11 によって生成された送り指令を、制御対象の工作機械が有する送り部 2 に対して出力する。送り部 2 としては、サーボモータおよびサーボモータを制御するサーボアンプが想定されるが、ワークと工具との相対的な移動を実現し、振動動作を実現しうる手段であれば特に制限はない。

【0018】

回転指令出力部 13 は、振動指令生成部 11 によって生成された回転指令を、制御対象の工作機械が有する回転部 3 に対して出力する。回転部 3 としては主軸モータおよび主軸モータを制御する主軸アンプが想定されるが、ワークと工具との相対的な回転を実現する手段であれば特に制限はない。

【0019】

振動切削による加工は、振動指令生成部 11 が生成した送り指令および回転指令に従い、送り部 2 および回転部 3 がワークと工具とを相対的に移動、回転させることにより実現される。相対的に回転しているワークと工具とが接触することによって、ワークが切削加工され、相対的な移動によって所望の形状への加工が実現される。この移動が振動を伴うことによって、前進および後退の動作による空振り、すなわち切削加工の中断が生じ、切り屑を細かく分断する振動切削の効果が発揮される。

【0020】

振動波形の計算方法について説明する。まず、主軸 1 回転当たりの振動回数 N が 0.5 の場合、つまり主軸 2 回転で 1 回振動する場合を例に説明する。

【0021】

以後、ワークと工具との相対的な移動の速度を送り速度と呼ぶ。送り速度の単位は、単位時間当たりの移動量、例えば mm/min で表される場合と、主軸 1 回転当たりの移動量、例えば mm/rev で表される場合がある。本実施の形態においては、どちらの送り速度であっても特に制限はないが、理解を容易にするため主軸 1 回転当たりの移動量で説明を行う。

【0022】

まず、図 2 に基づき後退動作波形の終点の決定方法について説明する。図 2 は、実施の形態 1 の数値制御装置の後退動作の終点決定方法に関する説明図である。図 2 において、縦軸は送り軸の位置を示し、横軸は主軸角度を示している。 V_a は、振動切削を行わない通常の加工である非振動加工時の送り軸の移動速度（移動波形）を示している。 V_1 は、振動加工時の前進動作の移動速度（移動波形）を示している。 V_2 は、振動加工時の後退動作の移動速度（移動波形）を示している。本説明においては、主軸 1 回転当たりの振動回数 N を 0.5 としているので、主軸 2 回転の波形である、主軸 M 回転目の波形と、主軸 $M+1$ 回転目の波形が示されている。図 2 では、主軸が M 回転目のときの初期角度が 0 度であると仮定している。

【0023】

1 回の振動動作が完了したとき、非振動加工時の送り軸の移動速度 V_a で移動した場合と同じ位置に戻ってきていれば、振動切削が有効の場合と無効の場合で、平均の送り速度は変わらないことになり、加工時間を変えずに加工を行うことが可能となる。そこで、後退動作の移動波形 V_2 の終点 E_2 を非振動加工時の送り軸の移動速度 V_a を示す直線上にとる。また、主軸 1 回転当たりの振動回数 N が 0.5 であるので、後退動作の移動波形 V_2 の終点 E_2 は前進動作の移動波形 V_1 の始点 S_1 から 720 度、主軸が回転した時点の位置となる。このようにして、後退動作の移動波形 V_2 の終点 E_2 が決定される。

【0024】

つぎに、図 3 に基づき前進動作の移動波形 V_1 の決定方法について説明する。図 3 は、実施の形態 1 の数値制御装置の前進動作の波形決定方法に関する説明図である。図 3 において、縦軸は送り軸の位置を示し、横軸は主軸角度を示している。 V_a は、非振動加工時の送り軸の移動速度を示している。 V_1 は、振動加工時の前進動作の移動速度を示している。 V_2 は、振動加工時の後退動作の移動速度を示している。図 3 の矢印 K_1 で示すように、主軸 M 回転目での前進動作の移動波形 V_1 を主軸 $M+1$ 回転目に移動することで、主軸 M 回転目での前進動作の移動波形 V_1 を加工した部分が、主軸 $M+1$ 回転目で後退動作の移動波形 V_2 とどのように関係するかを考える。後退動作の移動波形 V_2 と、破線で示される主軸 M 回転目の前進動作の移動波形 V_1 とが交われば、この交点を含む領域で理論上は空振り動作が発生し、切り屑が分断されると考えられる。

【0025】

ただし、実際には工具刃先では振幅が指令振幅よりも減衰し、切り屑が分断できない可能性がある。これは、モータから工具刃先までに存在する、ボールねじなどの駆動送り機構および刃物台等の機械構造などの影響が考えられる。したがって実際には、前進動作の終点 E 1 は、後退動作の終点 E 2 よりも大きくし、ある程度の余裕量 α を持って空振り区間が生じるように振動波形を調整することが望ましい。

【0026】

このような手法により、主軸 M 回転目の前進動作の移動波形 V 1 の傾き、すなわち前進動作の移動速度 V 1 である第一速度が決定される。図 4 は、基本的な振動波形の決定方法に関する説明図である。図 4 に示すように、前進動作の区間である第一区間と、後退動作の区間である第二区間との比率を、例えば、0.5 : 0.5 とすると、前進動作の終点 E 1 が決定される。この終点 E 1 を始点として、後退動作の移動波形 V 2 の傾きも決定され、後退動作の移動速度 V 2 である第二速度が決定される。これにより、第一区間の前進動作および第二区間の後退動作を含み、第三区間を含まない基本的な振動波形が算出され、振動振幅 W も決定される。振動振幅 W は、例えば、前進動作の終点 E 1 と、この終点 E 1 に対応する非振動加工時の位置との距離として表される。

【0027】

以上が、基本的な振動波形の計算方法である。なお、振動波形の計算方法はこれに限定されることはなく、例えば振動周波数から振動波形を算出し、空振り領域の有無および大きさを判定して振幅を調整する方法も考えられる。図 4 において、ハッチングで示される領域が空振り領域 G である。

【0028】

ここで、実施の形態 1 においては、例えば、第一速度 V 1 で移動する前進動作の区間である第一区間と、第二速度 V 2 で移動する後退動作の区間である第二区間との間に、第一速度よりも遅い速度である第三速度 V 3 で前進移動する第三区間を設ける。以下、第三速度 V 3 で移動する第三区間を持つ振動波形の計算方法を説明する。ここでは例として、第一区間の比率は変化させず、第二区間を半分にし、第二区間の半分を第二区間とし、第二区間の残り半部分を第三区間とする場合について説明する。

【0029】

前進動作の終点 E 1 を求めるまでの計算は、図 2 および図 3 での説明と同様である。図 5 は、実施の形態 1 の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の決定方法に関する説明図である。図 5 では、第三速度 V 3 を、非振動加工時の送り軸の移動速度 V a と同じとする。第三速度 V 3 が決定されると、第三区間の比率に応じて第三速度 V 3 での波形の終点 E 3 が算出され、この終点 E 3 を始点とし、後退動作の終点 E 2 を終点として後退動作の波形を計算することで第二速度 V 2 が決定される。以上のようにして、振動振幅 W を変更することなく第三速度 V 3 の区間を持つ振動波形を算出することができる。

【0030】

なお、図 5 の例では第三速度 V 3 は、非振動加工時の送り軸の移動速度 V a と同じとしたが、第三速度 V 3 は、第一速度 V 1 より低い速度であれば、他の任意の速度としてもよい。

【0031】

ここで、振動波形の上死点・下死点と非振動加工時の送り軸位置の波形との関係性について補足する。非振動加工時の送り軸位置の波形は、加工によって実現したい形状を得るために必要となる、送り軸の位置である。すなわち、非振動加工時の送り軸位置の波形よりもワーク側に刃物が進んでしまえば、所望の形状に対して削り込むことになり、逆の場合は削り残すことになる。削り残しであれば、追加工により所望の形状を実現することが可能であるが、一旦削り込んでしまうと、通常の切削加工では元に戻すことはできないため、削り込みは回避する必要がある。

【0032】

本実施の形態では、振動の上死点、または下死点を非振動加工時の送り軸の位置の波形に一致させることにより、削り込みを回避しつつ、振動切削を行う。

【0033】

図6は、実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持たない他の基本的な振動波形の決定方法に関する説明図である。図6では、第一区間の比率が第二区間の比率の3倍としている。図7は、実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ他の振動波形の決定方法に関する説明図である。図7では、図6の振動波形に第三区間を追加し、第一区間：第二区間：第三区間＝0.5：0.25：0.25となるようにしている。なお、図6と図7との違いを判り易くするために、図6の振動波形では、720度、1440度の位置で、前回の前進動作の移動波形と今回の後退動作の移動波形が交差するようにしている。

【0034】

図6、図7に示すように、第一区間の比率を0.75から0.5に下げて第三区間を追加する場合、前述の例とは逆に、第二区間の始点S2を第三区間の終点E3として、第三区間の始点S3を計算する。この第三区間の始点S3を第一区間の終点E1とすることで第一速度が決定される。図7では、第三速度V3を非振動加工時の送り軸の移動速度Vaと同じとしている。

【0035】

図8は、実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ他の振動波形の決定方法に関する説明図である。図8においては、第三速度V3を第一速度V1よりも遅い速度でかつ非振動加工時の送り軸の移動速度Vaと異なる速度としている。図8の場合は、第一区間の終点位置が変化する。

【0036】

ここまでは、主軸1回転当たりの振動回数Nが0.5の場合について説明してきたが、本実施の形態は振動回数Nの値によらず適用可能である。また、第一区間と第二区間が決まっている状態で第三区間を追加するという手順での計算方法を示してきたが、振動振幅Wと各区間の比率から振動波形を計算することもできる。

【0037】

そこで次に、振動回数Nが1.5の場合を例に、振動振幅Wと各区間の比率に基づいて振動波形を計算する手順について説明する。例えば、第一区間：第三区間：第二区間＝0.5：0.25：0.25という比率が与えられており、非振動加工時の送り軸の移動速度Vaと振動振幅Wが与えられた場合を考える。図9は、実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の他の決定方法に関する説明図である。図10は、実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の他の決定方法に関する説明図である。図9に示すように、第一区間：第三区間：第二区間＝0.5：0.25：0.25という各区間の比率と、非振動加工時の送り軸の移動速度Vaと、振動振幅Wとが与えられているとする。

【0038】

振動回数Nが1.5であるから、1振動当たりの主軸の回転角度は240度となる。この1振動当たりの主軸の回転角度を、各区間の比率で分割することにより、各区間の長さ（主軸角度）が決定する。

【0039】

ここでたとえば、第三速度V3を非振動加工時の送り軸の移動速度Vaと同じ速度に設定すると、図10に示すように、第三区間の始点S3および終点E3が決定するので、第一速度V1は第三区間の始点S3までの距離を第一区間の長さ（主軸角度）で割った値で決定される。同様にして、第二速度も計算することができる。なお、第二区間の終点E2は、振動を付加しない通常の送り速度で主軸角度が240度分進んだ位置となることに注意する必要がある。

【0040】

図11は、実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の他の決定方法に関する説明図である。図11では、第三速度V3を第一速度V1よりも遅い速度でかつ非振動加工時の送り軸の移動速度Vaと異なる速度としている。第三速度V3を第一速

10

20

30

40

50

度 V_1 よりも低い任意の速度とする場合、仮に、第一速度 V_1 = 第三速度 V_3 として計算した場合に算出される速度に対して、第一速度 V_1 は高く、第三速度 V_3 は低い範囲の速度で設定すれば波形を算出することができる。

【0041】

これまでの説明では、第三区間を第一速度 V_1 から第二速度 V_2 への切替わりの箇所でのみ設ける例と、第三区間を1振動中の一箇所にのみ設ける例を示してきたが、これに限定されず、他の様々なパターンをとることが可能である。

【0042】

例えば、第二速度 V_2 から第一速度 V_1 への切替わりの箇所に第三区間を設けることも可能である。図12は、実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の他の決定方法に関する説明図である。図12では、第一速度 V_1 から第二速度 V_2 への切替わりの箇所と、第二速度 V_2 から第一速度 V_1 への切替わりの箇所との双方に第三速度 V_3 で動作する第三区間を設けている。

【0043】

更に、第一区間の途中、第二区間の途中に第三区間を挿入し、第一区間、第二区間を分割するようにしてもよい。図13は、実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の他の決定方法に関する説明図である。図13では、第一区間の途中と、第二区間の途中と、第一速度 V_1 から第二速度 V_2 への切替わりの箇所と、第二速度 V_2 から第一速度 V_1 への切替わりの箇所に、第三速度 V_3 で動作する第三区間を設けている。

【0044】

このような振動波形を得るための計算に、図14、図15に示すような、各区間の比率と各区間の速度との組を順番に格納したデータテーブルを用いて計算してもよい。図14は、実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の作成のために用いられるデータテーブルの一例を示す図である。図15は、実施の形態1の数値制御装置において第三区間を持つ振動波形の作成のために用いられるデータテーブルの他の例を示す図である。図14のデータテーブルでは、第一速度 V_1 で動作する第一区間から第二速度 V_2 で動作する第二区間への切替わりの箇所と、第二区間から第一区間への切替わりの箇所とに、第三速度 V_3 で動作する第三区間を設けている。図15のデータテーブルでは、第一区間の途中と、第二区間の途中と、第一速度 V_1 から第二速度 V_2 への切替わりの箇所と、第二速度 V_2 から第一速度 V_1 への切替わりの箇所に、第三速度 V_3 で動作する第三区間を設けている。

【0045】

以上のように、実施の形態1にかかる数値制御装置によれば、第一速度 V_1 よりも遅い速度である第三速度 V_3 で加工する第三区間を設けているので、高い送り速度に起因した加工の問題を低減することができる。例えば、加工時に発生する切削力、切削熱が低減することで、工具の寿命が延びる効果と加工面品位の向上が期待できる。

【0046】

また、実施の形態1にかかる数値制御装置によれば、第三速度 V_3 で加工する領域で、第一速度 V_1 で加工する領域に比べて切削力が低下することにより、ワークなどに生じる弾性変形量を低減することができ、切りくずを分断しやすくなる効果を奏する。すなわち、前進動作時の切削力が増加すると、ワーク自体、あるいは機械、工具、刃物台等を含む工具支持構造の剛性が低い場合、弾性変形量が大きくなる。振動切削における切り屑分断の効果は、往復動作によって主軸1回転前に加工した部分を再度通過することでワークと工具とが空振りし、加工が断続的になることで発揮される。弾性変形量が大きくなると、ワークと工具とが相対的に遠ざかることで切込み量が少なくなる。すると、本来であれば主軸1回転前で加工済みの箇所が加工できておらず、理論上空振り動作となるはずの条件であってもワークと工具とが空振りせず、切屑分断の効果が得られないという問題を生じるが、実施の形態1にかかる数値制御装置によれば、この問題を解決することができる。

【0047】

更に、実施の形態1にかかる数値制御装置によれば、第一速度 V_1 と第二速度 V_2 の切

替わり区間に第三速度V3で加工する第三区間を設けることにより、急激な速度変化を抑制し、反転時の加速度を低減することができる。これにより、加速度に起因する振動で発生する諸問題を低減することができる。すなわち、第三区間を設けない場合、前進と後退とが瞬時に切り替わるため、振動切削の動作を行っている送り軸では反転動作時に大きな加速度を生じる。送り軸に生じた加速度は、ワークと工具との間の相対的な振動を励起することで加工面品位を悪化させるのみならず、機械全体を加振する加振源となり、機械共振、機械構造の振動といった問題を発生させる。実施の形態1にかかる数値制御装置によれば、例えば、工具の振動によって加工面品位が悪化することを防止したり、機械が振動することで締結部品などが摩耗することを防いだり、といった効果が期待できる。

【0048】

なお、各速度区間の切替わり部分については、速度が滑らかに変化するようにしてもよい。実現方法としては、例えば振動指令生成部11において、振動を含んだ送り指令の出力直前で移動平均フィルタ等の平滑化フィルタを設けることにより、速度変化を滑らかにすることができる。これにより、各速度間の変化によって生じる加速度を更に低減し、より振動を抑制する効果が期待できる。

【0049】

また、変形例として、位相、周波数、振幅のいずれか1つ以上が互いに異なる複数の正弦波の重ね合わせによって、これまで説明してきた波形と同等の波形を生成してもよい。正弦波を基本とすることで、より滑らかな移動波形とすることができる。

【0050】

実施の形態2.

実施の形態2では、各区間比率決定部15で行われる各区間比率の決定方法についてより詳細に説明する。実施の形態2における数値制御装置1の構成は、図1に示した数値制御装置1と同じであり、重複する説明は省略する。

【0051】

各区間比率の決定方法として、

- (1)加工プログラム16による入力を用いる方法、
- (2)送り部2または回転部3の負荷情報を用いる方法、
- (3)予め定められたパラメータを用いる方法

を説明する。なお、それ以外の方法を用いてもよいし、(1)~(3)の複数の方法を組み合わせてもよい。

【0052】

(1)加工プログラム16による入力を用いる方法について説明する。各区間比率決定部15では、加工プログラム16に記述された文字列、数値に基づいて、各区間比率を決定する。例えば、EIA/ISOプログラムの場合、「L0.5 M0.25 N0.25」のようにして文字列と数値の組合せにより、第一区間：第二区間：第三区間=0.5：0.25：0.25と指定する構成としてもよい。

【0053】

(2)送り部2または回転部3の負荷情報を用いる方法について説明する。この方法における実施の形態では、数値制御装置1は、図1に示したように、負荷情報取得部14を有する。負荷情報取得部14は、送り部2および回転部3より、負荷を表す負荷情報を随時取得する。例えば、送り部2としてサーボモータおよびサーボアンプを用いる場合、サーボモータは加工に伴い発生する負荷に逆らいながら、所望の動作を実現するためにトルクを発生させる。負荷が大きくなれば対抗するトルクも大きくなるため、トルクに比例して大きな電流を流すことになる。そのため、負荷情報取得部14が取得する負荷情報の一例としては、この電流のフィードバック情報が挙げられる。その他、負荷情報としては、トルクのフィードバック値、サーボモータに取り付けられた加速度センサあるいはロードセルなどの圧力計で取得した実際の負荷の値でもよい。

【0054】

また、回転部3として主軸モータおよび主軸アンプを用いる場合、工具とワークとの相

10

20

30

40

50

対的な回転速度を維持するためにトルクを発生させる。加工に伴い工具とワークとが接触することで回転速度を低下させる方向に負荷が働き、それに対抗するためにトルクを発生させる。このため、前述のサーボモータと同じ理屈により、電流フィードバック値、トルクのフィードバック値を取得することで負荷情報を得ることができる。

【0055】

次に、負荷情報に基づいて各区分比率を決定する方法について説明する。振動波形の形状を指定する情報に含まれる各区分比率などの設定値が、加工条件と工具、ワーク、および機械構造の剛性とに照らして適切な場合、ワークと工具とが離間する空振り動作を生じ、切り屑分断が発生する。空振り動作時にはワークと工具とが離間するため、ワークおよび工具にかかる負荷が低減する。従って、空振り動作時には、送り部2および回転部3に発生する負荷も低減する。逆に、加工負荷が大きいために弾性変形を生じ、空振り動作が発生していない場合には、加工が常時継続するため、負荷の低減が発生しない。このことから、負荷情報を監視することにより、正常に切り屑分断が発生しているかどうかを判定することが可能である。

10

【0056】

負荷情報取得部14から負荷情報を取得した各区分比率決定部15は、負荷情報に基づいて切り屑分断の発生の有無を判定し、切り屑分断が発生しないと判定した場合、第三速度での移動区間の比率を増加させる。これによって加工負荷を低減し、切り屑分断が発生する可能性を高める。どの程度第三区間の比率を高めるかは、予め変動量をパラメータ等で決めておいてもよいし、負荷情報の大きさに比例するように決めてもよい。第三区間の比率を変更しても負荷の減少が発生しない場合には、更に第三区間の比率を増加させ、負荷の減少が発生するまで繰り返すようにしてもよい。

20

【0057】

あるいは、弾性変形を低減するために、各区分の比率自体は変更せずに、第一区間を分割し、分割した第一区間の間に第三区間を追加するようにしてもよい。第一速度よりも低い第三速度で加工する区間では、相対的に弾性変形が低減する効果が期待できるため、第一区間をまとめて設けるよりも、第一区間を分割して間に第三区間を設けることで、同じ比率であっても弾性変形量を抑えることで切り屑分断が発生する効果が期待できる。

【0058】

また、他の区分比率決定方法の例として、負荷が一定の閾値を超えた場合について説明する。例えば第一速度が高すぎる場合、負荷が高すぎるために工具が破損したり、加工されたワークの加工面の品質が低下したりする可能性がある。そこで、負荷が或る一定の閾値を超えた場合に、第一速度を下げるように各区分比率を調整してもよい。例えば第一区間の比率を増やす方法が考えられる。

30

【0059】

(3) 予め定められたパラメータを用いる方法について説明する。各区分比率決定部15では、予め定められたパラメータによって各区分比率を決定する。複数の比率設定値を設定しておき、各種閾値によって使用する比率を切り替えてもよい。閾値の例としては、送り速度、主軸回転数、振動周波数、振動回数、振動振幅などが挙げられる。また、テーブルまたはマトリクスの形で、各種条件と閾値との組合せを用意しておき、選択するようにしてもよい。

40

【0060】

以上の各手法によって各区分比率が決定され、当該比率に基づいて振動指令生成部11が振動波形を生成する。振動波形の生成方法及び以降の動作については、前述した実施の形態1と同様であるためここでは説明を省略する。

【0061】

このように実施の形態2によれば、状況に応じて各区分比率を調整することが可能となる。これによって、加工の状況に応じた振動波形で振動切削を行うことができ、加工時の負荷を適切に調整したり、発生する加速度を適切に調整したりすることが可能となる。また、工具またはワークに生じる負荷情報に基づいて各区分比率を変更することで、常に適

50

切に各速度および各区間比率を自動調整することができ、切り屑の分断を確実に発生させることができる。

【0062】

実施の形態3.

実施の形態3では、機械学習を用いた実施例について説明する。ここでは、実施の形態3に特有の事項について主に説明し、前述の実施の形態1, 2と同様の次項については説明を省略する。図16は、実施の形態3にかかる数値制御装置の学習時の構成を示すブロック図である。

【0063】

図16において、状態取得部20は、機械学習の入力値としての状態変数を振動切削による加工実施中に取得する。状態変数は、加工条件を表すデータ、振動条件を表すデータ、送り動作内容を表すデータ、1振動における第一区間と第二区間と第三区間とのそれぞれの比率、すなわち各区間比率を表すデータを含んでもよい。加工条件を表すデータは、例えば前述の動作指令の情報を含み、加工プログラム解析部10から取得される。振動条件を表すデータは、例えば前述の振動波形の形状を指定する情報を含み、振動指令生成部11から取得される。送り動作内容を表すデータは、例えば前述の送り指令を含み、振動指令生成部11から取得される。各区間比率を表すデータは、振動指令生成部11から取得する。

【0064】

判定部22は、負荷情報取得部14より取得した負荷情報に基づき、振動切削による加工の良否を判定する。判定結果は、加工良否判定データとして学習部21に出力される。良否の判定方法としては、単に空振りの発生有無を負荷情報から判定してもよいし、負荷が一定の閾値を超えたことを基準としてもよい。また、一定期間の負荷の統計量を用いて判定してもよい。例えば負荷のばらつきが大きい場合、速度変化が頻繁に起きており、加工面品位の低下が懸念されるため、判定を否としてもよい。

【0065】

学習部21は、状態取得部20から出力される状態変数、および判定部22から出力される加工良否判定データの組合せに基づいて作成される訓練用データセットに従い、各区間比率の決定ルールを学習する。すなわち、学習部21は、状態変数と加工良否判定データから最適な各区間比率を推論する学習済みモデルを生成する。

【0066】

加工良否の判定と状態変数との関連性について説明する。状態変数は上述のように、加工条件を表すデータ、振動条件を表すデータ、送り動作内容を表すデータ、各区間比率を表すデータを含んでいる。例えば、加工条件を表すデータの一例である送り速度が高い場合、非振動加工時であっても加工に伴う負荷が高くなる傾向にあるため、振動切削時の負荷はさらに高くなることが考えられる。これによって加工良否の判定が否となる傾向は、送り速度が低い場合に比べて高くなるといえる。

【0067】

あるいは、振動条件を表すデータの一例である振動振幅が大きい場合、空振り領域が大きくなる傾向にあるため、切り屑分断が発生して加工良否の判定が良となる傾向が強まる。

【0068】

また、送り動作内容を表すデータの一例である送り指令において、振動指令が含まれる軸による特性の差が加工良否の判定に影響することもある。例えば、重力方向に動作する軸が振動する場合、重力に逆らう方向では振幅が減衰しやすくなるため、切り屑分断が発生しにくくなる傾向にある。あるいは、機械構造の観点から、重量の大きな構造が載っている軸が振動する場合も同様に、振幅が減衰しやすくなるため切り屑分断が発生しにくくなる傾向にあり、いずれの場合も加工良否の判定が否となる傾向が強まる。

【0069】

学習部21は、こうした各状態変数と加工良否判定データとの組合せの傾向から、最適な各区間比率の決定ルールを学習する。

10

20

30

40

50

【0070】

学習部21が用いる学習アルゴリズムは、教師あり学習、教師なし学習、強化学習等の公知のアルゴリズムを用いることができる。ここでは一例として、ニューラルネットワークを適用した場合について説明する。

【0071】

学習部21は、例えば、ニューラルネットワークモデルに従って、いわゆる教師あり学習により、最適な各区間比率の組合せを学習する。ここで、教師あり学習とは、入力と結果（ラベル）のデータとの組を数値制御装置1に与えることで、それらの学習用データにある特徴を学習し、入力から結果を推論する手法をいう。

【0072】

ニューラルネットワークは、複数のニューロンからなる入力層、複数のニューロンからなる中間層（隠れ層）、及び複数のニューロンからなる出力層で構成される。中間層は、1層、又は2層以上でもよい。

【0073】

図17は、実施の形態3の数値制御装置に用いられるニューラルネットワークの構成例を示す図である。例えば、図17に示すような3層のニューラルネットワークであれば、複数の入力が入力層（ $X_1 - X_3$ ）に入力されると、その値に重み W_1 （ $w_{11} - w_{16}$ ）を掛けて中間層（ $Y_1 - Y_2$ ）に入力され、その結果にさらに重み W_2 （ $w_{21} - w_{26}$ ）を掛けて出力層（ $Z_1 - Z_3$ ）から出力される。この出力結果は、重み W_1 および重み W_2 の値によって変わる。

【0074】

実施の形態3において、ニューラルネットワークは、状態取得部20によって取得される状態変数と判定部22から出力される加工良否判定データとの組合せに基づいて作成される学習用データに従って、いわゆる教師あり学習により、最適な各区間比率を学習する。すなわち、ニューラルネットワークは、入力層に状態変数を入力して出力層から出力された結果が、加工良否判定データに近づくように重み W_1 および重み W_2 を調整することで学習する。学習部21は、以上のような学習を実行することで学習済みモデルを生成し、出力する。

【0075】

学習済みモデル記憶部23は、学習部21から出力された学習済みモデルを記憶する。

【0076】

次に、図18を用いて、数値制御装置1の学習処理について説明する。図18は、実施の形態3の数値制御装置1の学習処理に関するフローチャートである。ステップb1において、状態取得部20は状態変数を取得し、判定部22は負荷情報を取得して加工良否を判定し、加工良否判定データを出力する。なお、状態変数、加工良否判定データは同時に取得、出力するものとしたが、状態変数、加工良否判定データを関連づけて入力できれば良く、状態変数、加工良否判定データをそれぞれ別のタイミングで取得、出力しても良い。ステップb2において、学習部21は、状態取得部20によって取得される状態変数と、判定部22から出力される加工良否判定データとの組合せに基づいて作成される学習用データに従って、いわゆる教師あり学習により、最適な各区間比率を学習し、学習済みモデルを生成する。ステップb3において、学習済みモデル記憶部23は、学習部21が生成した学習済みモデルを記憶する。

【0077】

図19は、実施の形態3にかかる数値制御装置の推論時の構成を示すブロック図である。推論部24は、学習済みモデル記憶部23に記憶される学習済みモデルを利用して得られる最適な各区間比率を推論する。すなわち、この学習済みモデルに状態取得部20で取得した状態変数を入力することで、状態変数から推論される最適な各区間比率を出力することができる。なお、推論部24は、数値制御装置1の状態取得部20で学習した学習済みモデルを用いて最適な各区間比率を出力するものとして説明したが、他の数値制御装置等の外部から学習済みモデルを取得し、この学習済みモデルに基づいて最適な各区間比率

10

20

30

40

50

を出力するようにしてもよい。

【0078】

次に、図20を用いて、学習済みモデルを用いて最適な各区間比率を得るための処理を説明する。図20は、実施の形態3の数値制御装置1の推論処理に関するフローチャートである。ステップc1において、状態取得部20は状態変数を取得する。ステップc2において、推論部24は学習済みモデル記憶部23に記憶された学習済みモデルに状態変数を入力し、最適な各区間比率を得る。ステップc3において、推論部24は、学習済みモデルにより得られた最適な各区間比率を数値制御装置1に出力する。ステップc4において、数値制御装置1は、出力された最適な各区間比率を用いて、振動波形を計算する。これにより、振動切削を用いた加工の状態を最適に調整することができる。

10

【0079】

なお、本実施の形態では、学習部21が用いる学習アルゴリズムに教師あり学習を適用した場合について説明したが、これに限られるものではない。学習アルゴリズムについては、教師あり学習以外にも、強化学習、教師なし学習、または半教師あり学習等を適用することも可能である。また、特徴量そのものの抽出を学習する、深層学習(Deep Learning)を用いることもでき、他の公知の方法、例えば遺伝的プログラミング、機能論理プログラミング、サポートベクターマシンなどに従って機械学習を実行してもよい。

【0080】

このように実施の形態3によれば、振動切削による加工の状況に応じて最適な各区間比率を決定することができる。実際に加工を行いながら学習を行うため、正確な各区間比率の決定方法が学習される。また、実際に加工を行いながら学習した学習済みモデルを用いるため、正確な推論が可能となる。例えば旋削加工では、所望の形状を得るために複数回に分けて徐々に切り込んでいく。例えば、荒加工、中仕上げ加工、仕上げ加工などに分けられて加工される。そのため、類似の加工経路を繰り返し加工するため、加工が進むにしたがって各区間比率を最適化していくということも可能となる。

20

【0081】

ここで、数値制御装置1のハードウェア構成について説明する。図21は、実施の形態1～実施の形態3の数値制御装置1のハードウェア構成例を示す図である。数値制御装置1は、図21に示したプロセッサ301、メモリ302、およびインタフェース回路303により実現することができる。プロセッサ301の例は、CPU(Central Processing Unit、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、プロセッサ、DSP(Digital Signal Processor)ともいう)またはシステムLSI(Large Scale Integration)である。メモリ302の例は、RAM(Random Access Memory)、ROM(Read Only Memory)である。

30

【0082】

数値制御装置1は、プロセッサ301が、メモリ302で記憶されている、数値制御装置1の動作を実行するためのプログラムを読み出して実行することにより実現される。また、このプログラムは、数値制御装置1の手順または方法をコンピュータに実行させるものであるともいえる。メモリ302は、プロセッサ301が各種処理を実行する際の一時メモリにも使用される。なお、数値制御装置1の機能について、一部を専用のハードウェアで実現し、一部をソフトウェアまたはファームウェアで実現するようにしてもよい。

40

【0083】

以上の実施の形態に示した構成は、本開示の内容の一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、本開示の要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

【符号の説明】

【0084】

1 数値制御装置、2 送り部、3 回転部、10 加工プログラム解析部、11 振動指令生成部、12 送り指令出力部、13 回転指令出力部、14 負荷情報取得部、15 各区間比率決定部、16 加工プログラム、20 状態取得部、21 学習部、22 判定

50

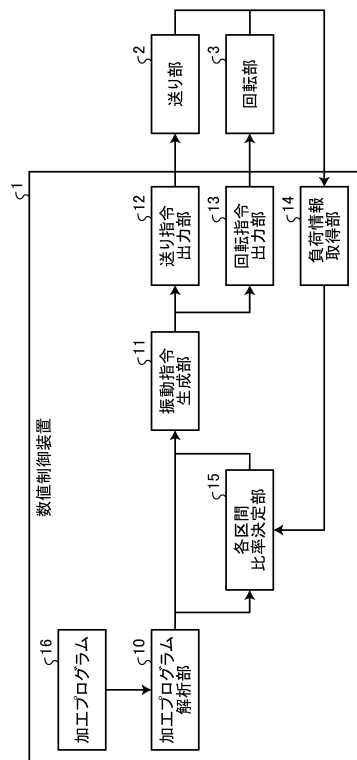
部、23 学習済みモデル記憶部、24 推論部、E1, E2, E3 終点、G 空振り領域、N 振動回数、S1, S2, S3 始点、V1 第一速度、V2 第二速度、V3 第三速度、Va 非振動加工時の送り軸の移動速度、W 振動振幅、 α 余裕量。

【要約】

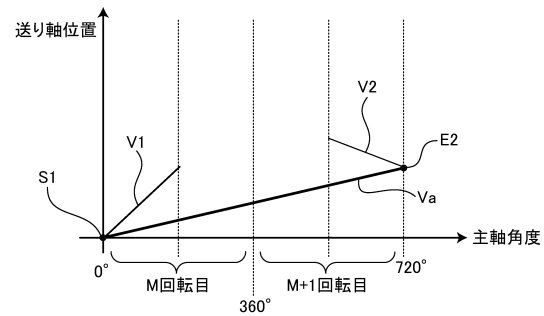
数値制御装置(1)は、ワークと工具とを相対的に回転させる回転指令を出力する回転指令出力部(13)と、ワークと工具とを相対的に移動させる送り指令を出力する送り指令出力部(12)と、を備え、送り指令に、前進動作と後退動作とを交互に繰り返す振動動作指令を含めることが可能である。振動動作指令における1振動のうちに、前進動作の際の移動速度である第一速度で移動する第一区間と、後退動作の際の移動速度である第二速度で移動する第二区間と、前進動作の際の移動速度であって、第一速度よりも遅い速度である第三速度で移動する第三区間と、を含む。

【図面】

【図1】



【図2】



10

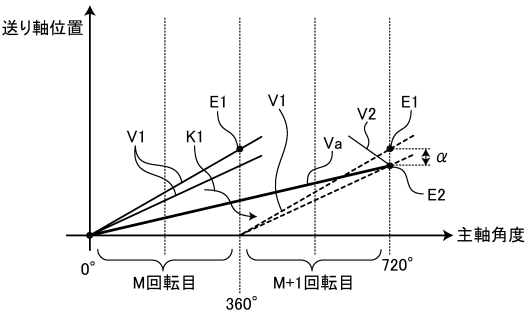
20

30

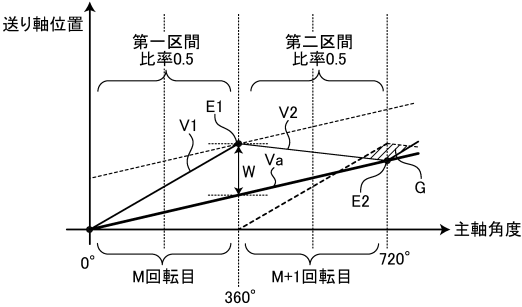
40

50

【図 3】

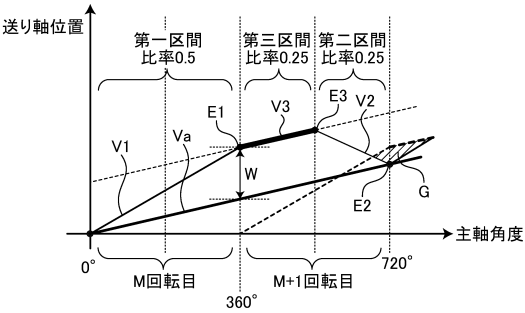


【図 4】

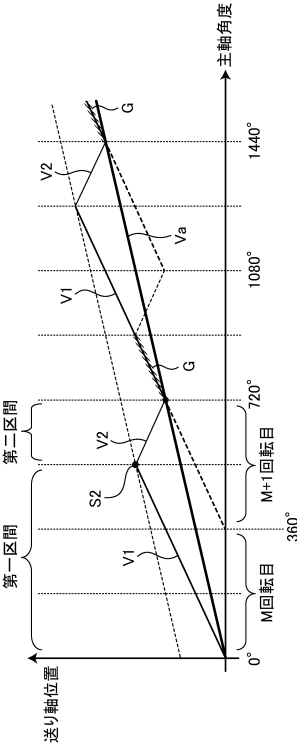


10

【図 5】



【図 6】



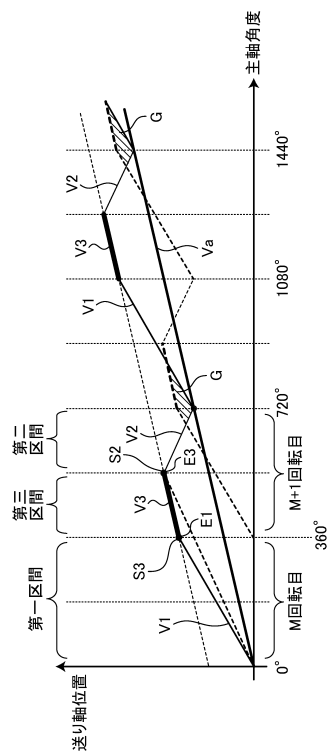
20

30

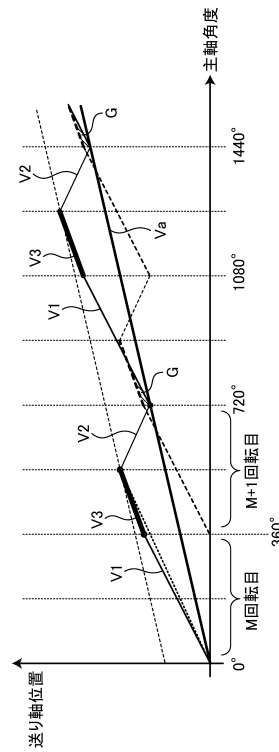
40

50

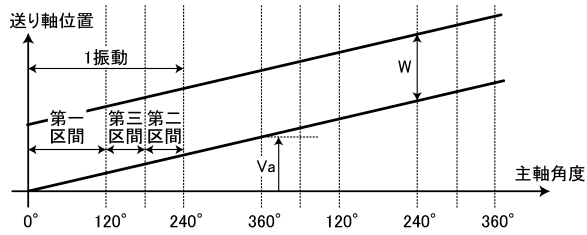
【図 7】



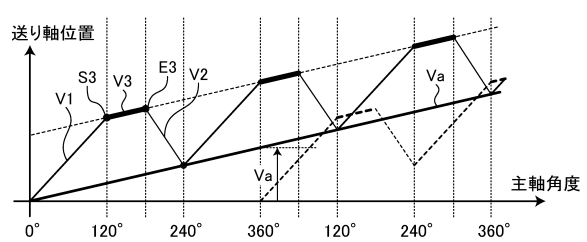
【図 8】



【図 9】



【図 10】



10

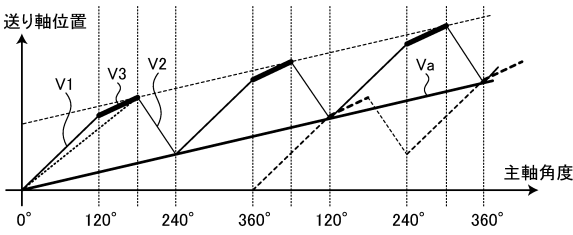
20

30

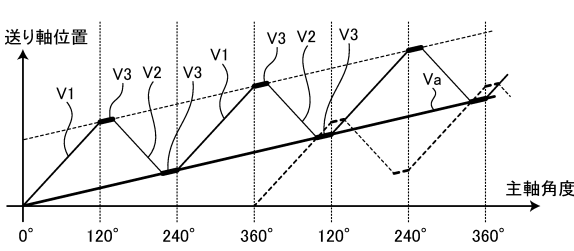
40

50

【図 1 1】

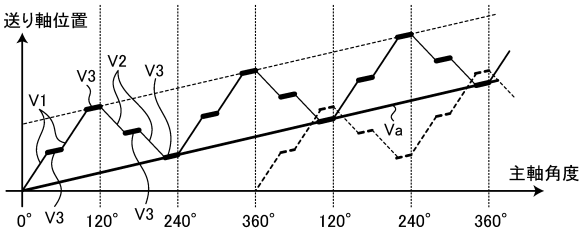


【図 1 2】



10

【図 1 3】



【図 1 4】

No.	移動速度	比率	累積比率
1	V1	0.5	0.5
2	V3	0.1	0.6
3	V2	0.3	0.9
4	V3	0.1	1.0

20

30

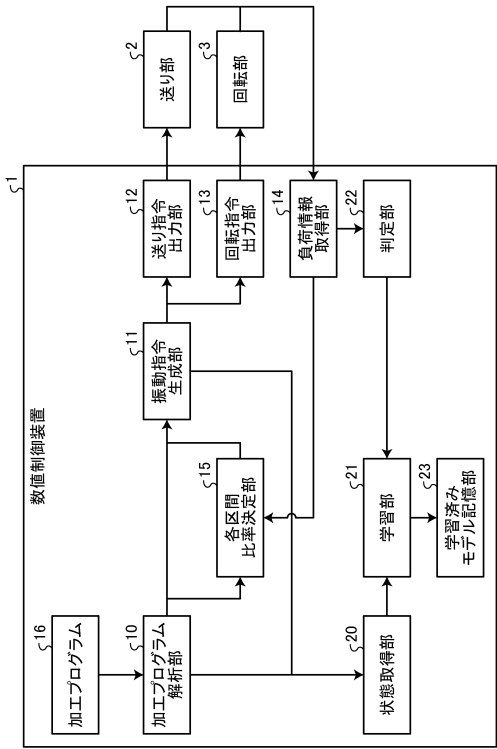
40

50

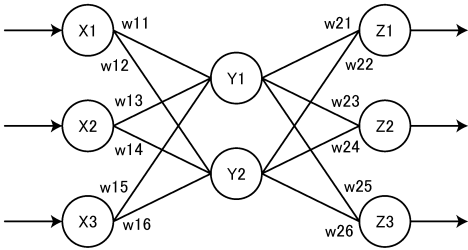
【図 1 5】

No.	移動速度	比率	累積比率
1	V1	0.15	0.15
2	V3	0.1	0.25
3	V1	0.15	0.4
4	V3	0.1	0.5
5	V2	0.15	0.65
6	V3	0.1	0.75
7	V2	0.15	0.9
8	V3	0.1	1.0

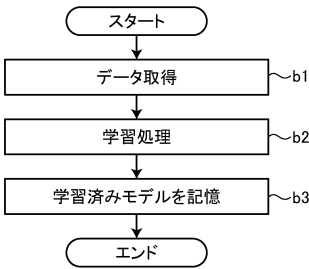
【図 1 6】



【図 1 7】



【図 1 8】



10

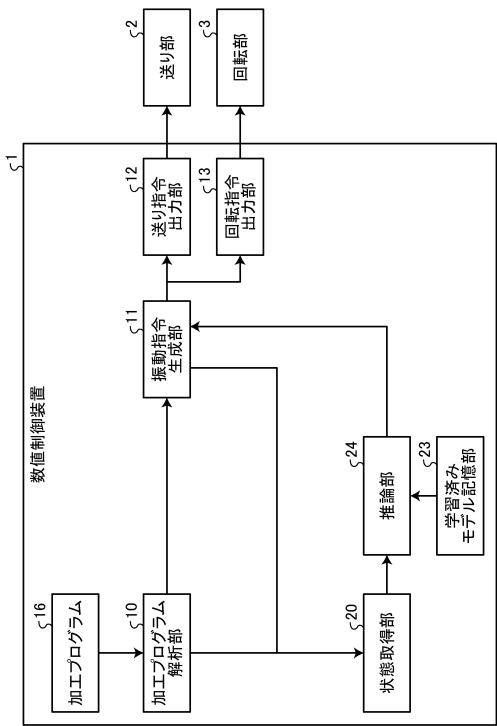
20

30

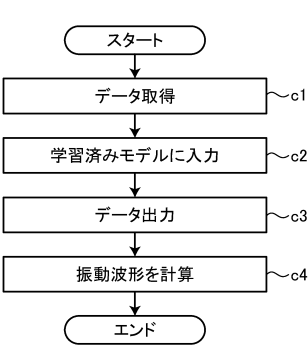
40

50

【図 19】



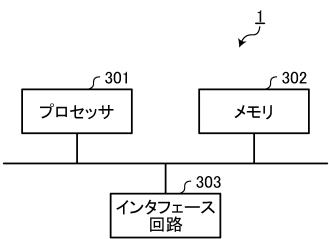
【図 20】



10

20

【図 21】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特許第 5 7 8 1 2 4 1 (J P , B 1)
特開 2 0 1 8 - 1 6 1 7 3 5 (J P , A)
特許第 7 1 5 8 6 0 4 (J P , B 1)
国際公開第 2 0 2 1 / 1 6 6 9 7 4 (W O , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
- G 0 5 B 1 9 / 4 0 9 3
B 2 3 Q 1 5 / 0 1 3
G 0 5 B 1 9 / 4 1 5 5
B 2 3 B 1 / 0 0