

(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2019-148931
(P2019-148931A)

(43) 公開日 令和1年9月5日(2019.9.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G05B 19/4093 (2006.01)	G05B 19/4093	A 3C269
G05B 19/4103 (2006.01)	G05B 19/4103	Z

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2018-32539 (P2018-32539)	(71) 出願人	504132881 国立大学法人東京農工大学 東京都府中市晴見町3-8-1
(22) 出願日	平成30年2月26日 (2018.2.26)	(71) 出願人	504150450 国立大学法人神戸大学 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1
		(74) 代理人	100079049 弁理士 中島 淳
		(74) 代理人	100084995 弁理士 加藤 和詳
		(74) 代理人	100099025 弁理士 福田 浩志
		(72) 発明者	笹原 弘之 東京都府中市晴見町3-8-1 国立大学 法人東京農工大学内

最終頁に続く

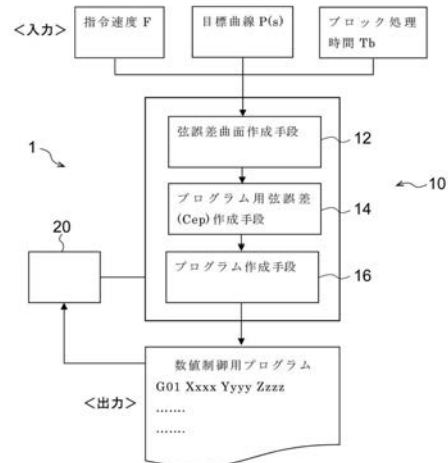
(54) 【発明の名称】 数値制御用プログラム作成装置、数値制御工作システムおよび数値制御工作プログラム

(57) 【要約】

【課題】数値制御工作機械において、より高速度でかつ高精度な加工が実現される数値制御用プログラムを作成することが可能な数値制御用プログラム作成装置、数値制御工作システム、および数値制御工作プログラムを提供すること。

【解決手段】数値制御装置の処理時間を示すブロック処理時間、数値制御装置の加工速度を指定する指令速度、目標曲線における曲率半径、および目標曲線を線分近似するための弦誤差の複数のパラメータ間の関係を記憶する記憶手段と、数値制御装置が数値制御工作機械を制御する上での弦誤差の条件に基づき、該複数のパラメータ間の関係を用いて目標弦誤差を算出する算出手段と、目標弦誤差に基づいて目標曲線に対する近似線分を作成するプログラム作成手段と、を含む。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

目標曲線に沿った加工を行う数値制御工作機械を制御する数値制御装置に対する指令を示す数値制御用プログラムを作成する数値制御用プログラム作成装置であって、

前記数値制御装置の処理時間を示すブロック処理時間、前記数値制御装置の加工速度を指定する指令速度、前記目標曲線における曲率半径、および前記目標曲線を線分近似するための弦誤差の複数のパラメータの間の関係を記憶する記憶手段と、

前記数値制御装置が前記数値制御工作機械を制御する上での前記弦誤差の条件に基づき、前記複数のパラメータの間の関係を用いて目標弦誤差を算出する算出手段と、

前記目標弦誤差に基づいて前記目標曲線に対する近似線分を作成するプログラム作成手段と、

を含む数値制御用プログラム作成装置。

10

【請求項 2】

複数のパラメータの間の関係が前記ブロック処理時間、前記指令速度、前記曲率半径、および前記弦誤差の間の関係を示す弦誤差曲面である

請求項 1 に記載の数値制御用プログラム作成装置。

【請求項 3】

前記弦誤差の条件が、前記弦誤差曲面上の点を指定する条件である

請求項 2 に記載の数値制御用プログラム作成装置。

【請求項 4】

前記弦誤差の条件が、前記弦誤差曲面の近傍の点を指定する条件である

請求項 2 に記載の数値制御用プログラム作成装置。

20

【請求項 5】

前記算出手段は、前記ブロック処理時間、前記指令速度、前記曲率半径、および前記弦誤差のいずれかに 1 より大きい補正係数を乗じて前記目標弦誤差を算出する

請求項 4 に記載の数値制御用プログラム作成装置。

【請求項 6】

前記複数のパラメータの間の関係が、前記指令速度および前記曲率半径を変数とする前記弦誤差の関数であり、

前記算出手段は、前記目標曲線における前記指令速度および前記曲率半径の組合せに対する前記弦誤差の最大値を前記弦誤差の関数を用いて演算し、前記弦誤差の最大値を用いて前記目標弦誤差を算出する

請求項 1 に記載の数値制御用プログラム作成装置。

30

【請求項 7】

前記複数のパラメータの間の関係が、前記指令速度および前記曲率半径を変数とする前記弦誤差の関数であり、

前記算出手段は、前記目標曲線における前記指令速度の最大値および前記曲率半径の最小値を演算し、前記指令速度の最大値および前記曲率半径の最小値を用いて前記弦誤差の関数に基づいて前記目標弦誤差を算出する

請求項 1 に記載の数値制御用プログラム作成装置。

40

【請求項 8】

前記弦誤差の関数が、前記指令速度および前記曲率半径で表された法線加速度の関数であり、

前記算出手段は、前記目標曲線における前記法線加速度の最大値を演算し、前記法線加速度の最大値を用いて前記法線加速度の関数に基づいて前記目標弦誤差を算出する

請求項 7 に記載の数値制御用プログラム作成装置。

【請求項 9】

前記算出手段は、前記目標弦誤差に最小値を設定し、算出された目標弦誤差が前記最小値未満となった場合には前記最小値を前記目標弦誤差として算出する

請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の数値制御用プログラム作成装置。

50

【請求項 10】

請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の数値制御用プログラム作成装置と、
目標曲線に沿った加工を行う数値制御工作機械と、
前記数値制御用プログラム作成装置で作成されたプログラムに基づいて前記数値制御工作機械を制御する数値制御装置と、を含む
数値制御工作システム。

【請求項 11】

目標曲線に沿った加工を行う数値制御工作機械を制御する数値制御装置に対する指令を示す数値制御用プログラムを作成する数値制御用プログラム作成装置を動作させるための数値制御工作プログラムであって、

10

コンピュータを、

前記数値制御装置の処理時間を示すブロック処理時間、前記数値制御装置の加工速度を指定する指令速度、前記目標曲線における曲率半径、および前記目標曲線を線分近似するための弦誤差の複数のパラメータの間の関係を記憶する記憶手段と、

前記数値制御装置が前記数値制御工作機械を制御する上での前記弦誤差の条件に基づき、前記複数のパラメータの間の関係を用いて目標弦誤差を算出する算出手段と、

前記目標弦誤差に基づいて前記目標曲線に対する近似線分を作成するプログラム作成手段と、

として機能させるための数値制御工作プログラム。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】**【0001】**

本発明は、数値制御用プログラム作成装置、数値制御工作システムおよび数値制御工作プログラムに関し、特に、工作物と工具とを相対運動させることによって目標曲線に沿った加工を行う数値制御工作機械を制御する数値制御装置に指令するためのプログラムを作成する数値制御用プログラム作成装置、数値制御工作システムおよび数値制御工作プログラムに関する。

【背景技術】**【0002】**

数値制御工作機械の主要な機能は、工作物（加工対象物、ワーク）を所望の精度内でできるだけ短時間に加工する高速高精度加工である。また、数値制御用プログラム作成装置（Computer Aided Manufacturing: CAM）の重要な機能は高速高精度加工を行うためのプログラム（数値制御用プログラム）を作成して数値制御装置に指令することである。

30

【0003】

加工形状が曲線である場合には、数値制御用プログラム作成装置は曲線加工のためのプログラムを作成する。曲線加工を行う場合、目標曲線からの最大距離が設定された弦誤差（許容弦誤差）となるよう近似した微小線分でプログラムを作成することが通常行われる。

【0004】

40

上記の微小線分プログラムを作成する従来技術として特許文献 1 に開示されたファイルコンバータ装置が知られている。特許文献 1 に開示されたファイルコンバータ装置では、目標曲線を NURBS (Non Uniform Rational B-Spline) 曲線とし、その NURBS 曲線に対して設定された弦誤差 () 以下でかつできるだけ近い距離となる微小線分を作成し、G01 (直線補間指令) による直線補間プログラムを作成する。

【0005】

高精度加工のためには弦誤差を小さくし、より小さな微小線分のプログラムを作成することが望ましい。しかしながら、数値制御装置がプログラムの 1 ブロックを読み込んで解析するには一定の時間 (以下、「ブロック処理時間」) が必要である。従って、そのプロ

50

ック処理時間よりも高速に1ブロックを読み出して解析する必要があるような、過剰に小さな微小線分のプログラムが指令されると、指令速度通りの加工速度が出ない、あるいは加工速度がふらついて加工面が荒くなるなどの問題が発生する。そのため、設定する弦誤差を過剰に小さくすることはできない。この問題に対しては、一定の余裕を見込んで大きめの弦誤差を設定することも考えられるが、この場合は意図する加工精度が達成できなくなる可能性がある。

【0006】

上記ブロック処理時間に関連する従来技術として、特許文献2に開示された送り速度クランプ方式が知られている。特許文献2に開示された送り速度クランプ方式では、ブロック処理時間に基づいて指令速度をクランプしている。しかしながら、特許文献2に開示された送り速度クランプ方式では所望の元の指令速度に対してクランプするため、高速加工の観点からは望ましくない。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】国際公開第W099/61962号公報

【特許文献2】特開平6-95727号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、以上のような背景に鑑みてなされたものであり、数値制御工作機械において、より高速度でかつ高精度な加工が実現される数値制御用プログラムを作成することが可能な数値制御用プログラム作成装置、数値制御工作システム、および数値制御用プログラムを提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0009】

上述した目的を達成するために、請求項1に記載の数値制御用プログラム作成装置は、目標曲線に沿った加工を行う数値制御工作機械を制御する数値制御装置に対する指令を示す数値制御用プログラムを作成する数値制御用プログラム作成装置であって、前記数値制御装置の処理時間を示すブロック処理時間、前記数値制御装置の加工速度を指定する指令速度、前記目標曲線における曲率半径、および前記目標曲線を線分近似するための弦誤差の複数のパラメータの間の関係を記憶する記憶手段と、前記数値制御装置が前記数値制御工作機械を制御する上での前記弦誤差の条件に基づき、前記複数のパラメータの間の関係を用いて目標弦誤差を算出する算出手段と、前記目標弦誤差に基づいて前記目標曲線に対する近似線分を作成するプログラム作成手段と、を含むものである。

30

【0010】

また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、複数のパラメータの間の関係が前記ブロック処理時間、前記指令速度、前記曲率半径、および前記弦誤差の間の関係を示す弦誤差曲面であるものである。

【0011】

また、請求項3に記載の発明は、請求項2に記載の発明において、前記弦誤差の条件が、前記弦誤差曲面上の点を指定する条件であるものである。

40

【0012】

また、請求項4に記載の発明は、請求項2に記載の発明において、前記弦誤差の条件が、前記弦誤差曲面の近傍の点を指定する条件であるものである。

【0013】

また、請求項5に記載の発明は、請求項4に記載の発明において、前記算出手段は、前記ブロック処理時間、前記指令速度、前記曲率半径、および前記弦誤差のいずれかに1より大きい補正係数を乗じて前記目標弦誤差を算出するものである。

【0014】

50

また、請求項 6 に記載の発明は、請求項 1 に記載の発明において、前記複数のパラメータの間の関係が、前記指令速度および前記曲率半径を変数とする前記弦誤差の関数であり、前記算出手段は、前記目標曲線における前記指令速度および前記曲率半径の組合せに対する前記弦誤差の最大値を前記弦誤差の関数を用いて演算し、前記弦誤差の最大値を用いて前記目標弦誤差を算出するものである。

【0015】

また、請求項 7 に記載の発明は、請求項 1 に記載の発明において、前記複数のパラメータの間の関係が、前記指令速度および前記曲率半径を変数とする前記弦誤差の関数であり、前記算出手段は、前記目標曲線における前記指令速度の最大値および前記曲率半径の最小値を演算し、前記指令速度の最大値および前記曲率半径の最小値を用いて弦誤差の関数に基づいて前記目標弦誤差を算出するものである。

10

【0016】

また、請求項 8 に記載の発明は、請求項 7 に記載の発明において、前記弦誤差の関数が、前記指令速度および前記曲率半径で表された法線加速度の関数であり、前記算出手段は、前記目標曲線における前記法線加速度の最大値を演算し、前記法線加速度の最大値を用いて法線加速度の関数に基づいて前記目標弦誤差を算出するものである。

【0017】

また、請求項 9 に記載の発明は、請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の発明において、前記算出手段は、前記目標弦誤差に最小値を設定し、算出された目標弦誤差が前記最小値未満となった場合には前記最小値を前記目標弦誤差として算出するものである。

20

【0018】

上述した目的を達成するために、請求項 10 に記載の数値制御工作システムは、請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の数値制御用プログラム作成装置と、目標曲線に沿った加工を行う数値制御工作機械と、前記数値制御用プログラム作成装置で作成されたプログラムに基づいて前記数値制御工作機械を制御する数値制御装置と、を含むものである。

【0019】

上述した目的を達成するために、請求項 11 に記載の数値制御工作プログラムは、目標曲線に沿った加工を行う数値制御工作機械を制御する数値制御装置に対する指令を示す数値制御用プログラムを作成する数値制御用プログラム作成装置を動作させるための数値制御工作プログラムであって、コンピュータを、前記数値制御装置の処理時間を示すブロック処理時間、前記数値制御装置の加工速度を指定する指令速度、前記目標曲線における曲率半径、および前記目標曲線を線分近似するための弦誤差の複数のパラメータの間の関係を記憶する記憶手段と、前記数値制御装置が前記数値制御工作機械を制御する上での前記弦誤差の条件に基づき、前記複数のパラメータの間の関係を用いて目標弦誤差を算出する算出手段と、前記目標弦誤差に基づいて前記目標曲線に対する近似線分を作成するプログラム作成手段と、として機能させるためのものである。

30

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、数値制御工作機械において、より高速度でかつ高精度な加工が実現される数値制御用プログラムを作成することが可能な数値制御用プログラム作成装置、数値制御工作システム、および数値制御工作プログラムを提供することが可能となる。

40

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図 1】第 1 の実施の形態、第 2 の実施の形態、および第 3 の実施の形態に係る数値制御用プログラム作成装置を含む数値制御工作システムの構成の一例を示すブロック図である。

【図 2】ブロック処理時間 (T_b) を求めるプログラムを説明する図である。

【図 3】指令速度 F と実速度 V_m との関係の一例を示すグラフである。

【図 4】指令速度 F および曲率半径 r と弦誤差 C_e との関係を表す弦誤差曲面を示す図で

50

ある。

【図 5】目標曲線 $P(s)$ において曲率半径を求める例を説明する図である。

【図 6】曲率半径 r 、弦の線分長 L_b 、弦誤差 C_e 、および角度 θ の関係を説明する図である。

【図 7】目標曲線 $P(s)$ に対する数値制御工作プログラムの処理の流れを示すフローチャートである。

【図 8】目標曲線 $P(s)$ に対する数値制御用プログラムの作成を説明する図である。

【図 9】本発明の実施例の結果を示すグラフである。

【図 10】本発明の実施例の結果における誤差と速度波形を示す図である。

【図 11】指令線分のコーナにおける方向変化角と減速との関係を説明する図である。

10

【図 12】第 4 の実施の形態および第 5 の実施の形態に係る数値制御用プログラム作成装置の構成の一例を示すブロック図である。

【図 13】第 4 の実施の形態における指令速度と曲率半径を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下、図面を参照して、本発明を実施するための形態について詳細に説明する。なお、以下の実施の形態は特許請求の範囲に係る発明を限定するものではない。また、実施の形態の中で説明されている特徴の組合せの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

【0023】

20

[第 1 の実施の形態]

図 1 から図 11 を参照して、本実施の形態に係る数値制御用プログラム作成装置、数値制御工作システムおよび数値制御工作プログラムについて説明する。

【0024】

図 1 に示すように、本実施の形態に係る数値制御用プログラム作成装置 10 は、弦誤差曲面作成手段 12、プログラム用弦誤差作成手段 14、およびプログラム作成手段 16 を含んで構成されている。数値制御用プログラム作成装置 10 は数値制御装置を介して数値制御工作機械 20 に接続されており、数値制御用プログラム作成装置 10、数値制御装置、および数値制御工作機械 20 によって、本実施の形態に係る数値制御工作システム 1 が構成されている。なお、簡略化のため、図 1 では数値制御装置は数値制御工作機械 20 に含まれ、一体的に構成している。

30

【0025】

数値制御用プログラム作成装置 10 は、図 1 に示すように指令速度 F 、目標曲線 $P(s)$ 、およびブロック処理時間 T_b を入力とし、数値制御用プログラムを出力する。そして、出力された数値制御用プログラムは、指令として数値制御装置（数値制御工作機械 20）に送られる。すなわち、本実施の形態に係る数値制御用プログラム作成装置 10 は、いわゆる CAM として構成されている。

【0026】

指令速度 F は、工作物に対する工具の送り速度（相対速度）である。目標曲線 $P(s)$ が与えられた場合の指令速度 F は、従来知られた方法により数値制御用プログラム作成装置 10 に対して設定される。あるいは、数値制御工作システム 1 のオペレータ等が指令速度 F を入力するようにしてもよい。あるいは、数値制御用プログラム作成装置 10（CAM）には、工作物の材質や硬さ、工具の径や刃数などの諸条件を入力すると適切な指令速度 F （送り速度）を出力する機能をもったものがある。その場合は、図 1 の指令速度 F は数値制御用プログラム作成装置 10（CAM）の中で作成される。そのような機能によって指令速度 F を取得してもよいし、あるいはプログラマやオペレータ等が適切な指令速度 F を入力してもよい。以上のようにして目標曲線 $P(s)$ に対する指令速度 F が指令される。

40

【0027】

目標曲線 $P(s)$ は、工作物に対する工作内容が決まると該工作内容に対応して与えら

50

れる（決定される）。あるいは、目標曲線 $P(s)$ は数値制御用プログラム作成装置 10（CAM）において目標加工形状から作成される。ここで、 s は曲線上の距離であり、関数 $P(s)$ は距離 s に対する加工曲線を示している。また、目標曲線 $P(s)$ は 3次元ベクトルであり、 $P(s) = (P_x(s), P_y(s), P_z(s))$ のように表記される。なお、目標曲線 $P(s)$ の時数は 3次元に限られず、4次元以上の高次元としてもよい。また、目標曲線 P を関数として表現する変数は距離 s に限られず、時間 t など他の変数による関数としてもよい。

【0028】

ブロック処理時間 T_b は、数値制御装置が 1 ブロックを読み出して解析する時間である。本実施の形態では、後述するように、このブロック処理時間 T_b は予め測定しておく。

10

【0029】

弦誤差曲面作成手段 12 は、指令速度 F 、ブロック処理時間 T_b 、および目標曲線 $P(s)$ から求められる曲率半径 r を用いて後述する弦誤差曲面 S_c を作成する。作成された弦誤差曲面 S_c は、数値制御用プログラム作成装置 10 が備える図示しない ROM 等の記憶手段に記憶させてもよい。プログラム用弦誤差作成手段 14 は、指令速度 F 、曲率半径 r 、および弦誤差曲面 S_c を用いてプログラム用弦誤差 C_{ep} （本発明に係る「目標弦誤差」に相当）を算出する。プログラム作成手段 16 は、プログラム用弦誤差 C_{ep} と目標曲線 $P(s)$ を用いて、数値制御用プログラムを作成する。プログラム作成手段 16 における数値制御用プログラムの作成は、従来知られた方法で行えばよい。なお、以下の説明においては、弦誤差一般を記号 C_e で表記し、プログラム用弦誤差を記号 C_{ep} で表記し

20

【0030】

次に、ブロック処理時間 T_b を取得する方法について説明する。ブロック処理時間 T_b の取得方法の一例として、たとえばタイマー割り込みによる方法が知られている（例えば、特許文献 2）。しかしながら、タイマー割り込みによる方法では数値制御装置のソフトウェアを変更する必要がある。そこで、本実施の形態ではより簡便な方法である、微小直線移動指令を繰り返し、その間の時間を測定して実速度からブロック処理時間 T_b を得る方法を用いている。

【0031】

図 2 は、ブロック処理時間 T_b を算出するためのプログラム（以下、「ブロック処理時間算出プログラム」）の一例を示している。図 2 に示すように、ブロック処理時間算出プログラムはメインプログラム（MAIN-PROG）とサブプログラム SUB-PROG（999）を含んで構成されている。図 2 の例では、メインプログラムはサブプログラムを 50 回呼び出している。

30

【0032】

サブプログラムによる指令は、0.1mm の移動量を持つブロックを 100 回実行することにより 10mm 移動する指令である。従って、メインプログラムは、指令速度「 $F * *$ 」（任意の値）で 500mm 移動することを指令するプログラムとなっている（10mm \times 50 回 = 500mm）。メインプログラムは、マクロ変数「#3001」によってその間の時間 T_m （min:分）を測定する。以上から、実速度は $500 / T_m$ （mm/min）で求められる。

40

【0033】

メインプログラムにおける「G53」は、移動が終了した後マクロ変数「#3001」を読むためにプログラムの読み込みを一旦停止する指令である。指令速度 F が十分小さければ、メインプログラムはほぼ指令速度 F 通りの速度で実行される。しかしながら、指令速度 F が大きくなるとブロック処理時間 T_b が間に合わなくなり実速度は頭打ちとなる。その限界からブロック処理時間 T_b （msec:millisecond）を求めることができる。

【0034】

図 3 は、以上のようにして求めた指令速度 F と実速度 V_m との関係の一例を示している

50

。すなわち、図3はいくつかの指令速度Fに対する実速度V_mの変化を示すグラフである。図3から、実速度V_mは1500mm/minが限界であることがわかる。この限界の実速度1500mm/minを用い、以下に示す(式1)によってブロック処理時間T_bを算出すると、T_b = 4msecとなる。

$$T_b(\text{msec}) = \frac{0.1(\text{mm})}{1500(\text{mm}/\text{min})} \times 60000 \quad \dots \quad (\text{式1})$$

$$= 4(\text{msec})$$

【0035】

なお、本例では0.1mmの移動ブロックを5000回指令してマクロ変数でその間の時間を測定して実速度V_mを得たが、微小な移動指令は0.1mmに限られず適宜な値を選択してよい。また、加工時間を計数する場合にもマクロ変数を用いることなく、例えばストップウォッチなどで時間を測定してもよい。さらに、ブロック処理時間T_bについては、本実施の形態ではT_b = 4msecの場合を例示して説明するが、ブロック処理時間T_bは数値制御装置によって異なるし、厳密には指令内容(軸数、直線指令か円弧指令か、工具径補正ありかなしか、など)によっても異なってくる。しかしながら、所定の数値制御装置において固定軸数の微小直線指令を行う場合は、ブロック処理時間T_bは一定と考えられるので、本実施の形態ではブロック処理時間T_bを定数として取り扱う。

【0036】

次に、弦誤差曲面作成手段12について説明する。弦誤差曲面作成手段12は、曲率半径r、指令速度F、およびブロック処理時間T_bと弦誤差C_eとの関係を示す弦誤差曲面S_cを作成する部位である。上述したように、ある数値制御装置において、微小線分指令に対するブロック処理時間T_bは一定と考えてよい。そこで本実施の形態に係る弦誤差曲面S_cは、ブロック処理時間T_bをある値に固定した場合の、曲率半径r、指令速度Fおよび弦誤差C_eの関係を示している。ブロック処理時間T_bを固定した場合の、曲率半径r、指令速度Fおよび弦誤差C_eの関係は、後述するように所定の曲面で表される。

【0037】

以下、弦誤差曲面S_cの作成方法について説明するが、まず、図6を参照して弦誤差について説明する。図6は、目標曲線Pを線分で近似する場合の近似方法を示している。図6において、円弧で近似した曲率半径rの曲線に対して線分長L_bの弦を作成したときの弦に対応する角度をθとした場合、弦誤差C_e(mm)は図6のように定義される。その際、指令速度F(mm/min)は、ブロック処理時間T_b(msec)によって、それ以上指令を上げて実速度は大きくならないことを意味する(式2)の制限を受ける。

$$\left. \begin{aligned} F &\leq \frac{L_b}{T_b} \times 60000 = \frac{2 \times r \times \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{T_b} \times 60000 \\ C_e &= r \times \left(1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right) \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (\text{式2})$$

【0038】

(式2)からθを消去すると、以下に示す(式3)を得る。

$$C_e^2 - 2 \times r \times C_e + \frac{(F \times T_b)^2}{1.44 \times 10^{10}} \leq 0 \quad \dots \quad (\text{式3})$$

(式3)は不等式であるが、これを(式4)のように等式としたものは曲面を表し、この曲面を弦誤差曲面S_cとよぶ。

$$C_e^2 - 2 \times r \times C_e + \frac{(F \times T_b)^2}{1.44 \times 10^{10}} = 0 \quad \dots \quad (\text{式4})$$

つまり、本実施の形態に係る弦誤差曲面S_cは、あるブロック処理時間T_bが与えられた場合の、曲率半径r、指令速度F、弦誤差C_eの複数のパラメータの間の関係を示して

10

20

30

40

50

いる。図示しない記憶手段はこの複数のパラメータの間の関係を記憶する。記憶手段がこのような複数のパラメータの間の関係を記憶することについては、後述の実施の形態でも同様である。

【0039】

図4は、(式4)に基づき弦誤差曲面作成手段12によって作成された弦誤差曲面 S_c の一例を示している。図4では、ブロック処理時間 T_b を $T_b = 4 \text{ msec}$ としている。また図4では、X軸を指令速度 F (mm/min)、Y軸を曲率半径 r (mm)、Z軸を弦誤差 C_e (mm)としている。なお、(式3)で表される不等式は、弦誤差 C_e が弦誤差曲面 S_c のZ軸方向の上側の領域に存在する必要があることを示している。

【0040】

次に、図5を参照して、目標曲線 $P(s)$ から局所的な曲率半径 r を求める方法について説明する。いま、距離 s を変数とする目標曲線 $P(s)$ が図5に示すように与えられたものとする。目標曲線 $P(s)$ は、上述したように3次元ベクトル $P(s) = (P_x(s), P_y(s), P_z(s))$ である。この場合、曲率半径 r は、曲線上のある位置 $P(s_0)$ から微小な曲線上の距離 s (以下、「微小距離 s 」だけ離れた位置 $P(s_1)$ ($s_1 = s_0 + s$)との間の曲率半径から求められる。ここで、 s は曲率半径 r が得られる程度の微小距離であり、曲率等に応じて可変としてもよい。具体的には、 $P(s_m)$ を $P(s_0)$ と $P(s_1)$ との中点、つまり $P(s_m) = P((s_0 + s_1)/2)$ とする。このとき、 $P(s_0)$ 、 $P(s_m)$ 、 $P(s_1)$ の3点を用いて円弧近似を行い、その円弧の半径を求める曲率半径 r とする。以上の手順から曲率半径 r が求められるが、

10

20

【0041】

次に、プログラム用弦誤差作成手段14の動作について説明する。本実施の形態に係るプログラム用弦誤差 C_{ep} は、数値制御用プログラム作成装置10においてプログラムを作成する際に用いる弦誤差をいう。すなわち、プログラム用弦誤差作成手段14は、上記方法によって算出した曲率半径 r 、予め設定した指令速度 F 、予め測定したブロック処理時間 T_b に対して(式3)を充足する極力小さい、または十分小さい弦誤差 C_e を算出する。算出された弦誤差 C_e を、プログラム用弦誤差 C_{ep} とする。本実施の形態においては、このように弦誤差 C_e を算出しプログラム用弦誤差 C_{ep} とする手段が目標弦誤差を算出する算出手段である。

30

【0042】

次に、プログラム作成手段16が、上記で求めたプログラム用弦誤差 C_{ep} を用いて数値制御装置を制御するためのプログラム(指令)を作成する。プログラムの具体的な作成方法は従来知られている方法により作成されるので、詳細な説明を省略する(例えば、特許文献1参照)。

【0043】

次に、図7および図8を参照して、弦誤差曲面作成手段12、プログラム用弦誤差作成手段14、プログラム作成手段16において実行される、数値制御用プログラム作成処理について説明する。図7および図8は、本実施の形態に係る数値制御用プログラム作成プログラム(以下、「数値制御工作プログラム」)の流れを示すフローチャートである。数値制御工作プログラムは、数値制御用プログラム作成装置10の図示しないROM等の記憶手段に記憶され、CPUによって読み出され、RAM等の記憶手段に展開して実行される。図7および図8では、図8に示す目標曲線 $P(s)$ において、位置 $P(s_s)$ から $P(s_e)$ までのプログラムを作成する場合を例示して説明する。

40

【0044】

ステップS101では、まず微小距離 s として、 $P(s)$ 上で局所的な曲率半径 r が求められるほどの(つまり、目標曲線 $P(s)$ の一部を円弧とする略扇形が形成されるほどの)長さを設定する。すなわち、微小距離 s は、距離 s_s と s_e との長さに対して十分小さく設定される。最終フラグを0に設定する。 $P(s_s)$ を第1プログラム指令点とする。 $s_0 = s_s$ 、 $s_1 = s_0 + s$ とする。

50

【 0 0 4 5 】

次のステップ S 1 0 2 では、ブロック処理時間 T_b 、曲率半径 r 、指令速度 F および弦誤差 C_e の関係を表す式 (4) を用いて弦誤差曲面 S_c を求める。ステップ 1 0 2 における処理が、弦誤差曲面作成手段 1 2 における処理である。

【 0 0 4 6 】

次の S 1 0 3 では、 $P(s_0)$ と $P(s_1)$ との間の曲率半径 r を、例えば上述した方法によって求める。次に、曲率半径 r 、指令速度 F に対して (式 3) を満たすできるだけ小さい、または十分小さい弦誤差 C_e を求めプログラム用弦誤差 C_{ep} とする。ステップ 1 0 3 における処理が、プログラム用弦誤差作成手段 1 4 における処理である。ここで、できるだけ小さい弦誤差 C_e とは、例えば式 (4) を満たす C_e であり、本実施の形態ではこの式 (4) を満たす弦誤差 C_e をプログラム用弦誤差 C_{ep} とする。これが、本実施の形態における弦誤差の条件である。一方、十分小さい弦誤差 C_e とは、式 (4) に対して + Z 方向の近傍に位置する弦誤差 C_e であり、具体例については後述する。

10

【 0 0 4 7 】

次のステップ S 1 0 4 では、図 8 に示すように、プログラム用弦誤差 C_{ep} に基づいて $P(s_0)$ から $P(s_1)$ までの間のプログラム指令点 $P(s_{01})$ 、 $P(s_{02})$ 、 \dots 、 $P(s_{0n})$ を求め、作成対象のプログラムに追加する。ステップ S 1 0 4 における処理が、プログラム作成手段 1 6 における処理である。なお、プログラム作成手段 1 6 における処理には、従来技術に係るプログラムの作成も含まれるので、ステップ S 1 0 4 における処理は、プログラム作成手段 1 6 における処理の一部である。

20

【 0 0 4 8 】

次の S 1 0 5 では、最終フラグが 1 か否か判定する。当該判定が否定判定となった場合にはステップ S 1 0 6 に移行するとともに、肯定判定となった場合には本数値制御工作プログラムを終了する。

【 0 0 4 9 】

次のステップ S 1 0 6 では、 $s_{0n} = s_0$ 、 $s_0 + s = s_1$ として、次の区間 $P(s_0)$ 、 $P(s_1)$ の準備をする。

【 0 0 5 0 】

次のステップ S 1 0 7 では、 $s_1 > s_e$ であるか否か判定する。当該判定が否定判定となった場合にはステップ S 1 0 2 に戻るとともに、肯定判定となった場合にはステップ S 1 0 8 に移行する。

30

【 0 0 5 1 】

次のステップ S 1 0 8 では、次回が最終区間となるので、 $s_e = s_1$ 、最終フラグ = 1 とした後、ステップ S 1 0 2 に戻る。

【 0 0 5 2 】

次に、図 9 および図 1 0 を参照して、実施例の一例について説明する。図 9 および図 1 0 に示す実施例は、目標曲線 $P(s)$ を半径 5 0 mm の円の円周全体とし、指令速度 F を $F = 1 0 0 0 0 \text{ mm/min}$ とし、ブロック処理時間 T_b を $T_b = 4 \text{ msec}$ としている。また、理解の容易さの観点から、本実施例では、3次元曲面である弦誤差曲面 S_c (図 4) において曲率半径 r をある値に固定し、図 4 に示す弦誤差曲面 S_c における指令速度 F と弦誤差 C_e の関係を示す 2 次元グラフで考える。図 9 は、目標曲線 $P(s)$ の半径を 5 0 mm とした場合の指令速度 F と弦誤差 C_e との関係を示している。つまり、図 9 は図 4 において曲率半径 r を $r = 5 0 \text{ mm}$ とした場合の断面を示している。図 9 に「弦誤差曲面」として示す曲線はこの断面を示している。

40

【 0 0 5 3 】

また、本実施例では、上記の条件で作成したプログラムを用いて数値制御工作機械 2 0 を動作させた場合の、最大誤差 E_{max} (mm) と実速度 V_m (mm/min) を測定した。ここで、本実施の形態でいう最大誤差 E_{max} とは目標曲線 $P(s)$ と実軌跡の最大誤差であり、実速度 V_m は実際の運動における平均速度である。最大誤差 E_{max} および実速度 V_m は、交差格子エンコーダによって実軌跡をパソコンに取り込みそのデータを解

50

析することによって取得した。図9では、横軸を指令速度 F と実速度 V_m とし、縦軸を弦誤差 C_e と最大誤差 E_{max} としている。つまり、図9では、 (F, C_e) と (V_m, E_{max}) の座標系を重ねて表示している。

【0054】

本実施例では、本実施の形態を適用しない比較例であるケース1と、本実施の形態を適用したケース2の加工条件を設定し、両者を比較した。プログラム用弦誤差 C_{ep} は、ケース1で 0.01 mm 、ケース2で 0.00111 mm とした。各ケースの加工条件を整理すると、以下のようになる。

<ケース1>

プログラム用弦誤差 $C_{ep} = 0.01\text{ mm}$ (約157角形)、指令速度 $F = 10000\text{ mm/min}$ 、曲率半径 $r = 50\text{ mm}$ 、ブロック処理時間 $T_b = 4\text{ msec}$

10

<ケース2>

プログラム用弦誤差 $C_{ep} = 0.00111\text{ mm}$ (約471角形)、指令速度 $F = 10000\text{ mm/min}$ 、曲率半径 $r = 50\text{ mm}$ 、ブロック処理時間 $T_b = 4\text{ msec}$

【0055】

ここで、ケース1の 0.01 mm というプログラム用弦誤差 C_{ep} は、従来の加工においてよく設定される数値である。図9では、この点を「ケース1指令」と表記された白抜き丸で示している。一方、ケース2のプログラム用弦誤差 0.00111 mm は、この点を「ケース2指令」と表記された白抜き丸で示している。すなわち、ケース1のプログラム用弦誤差 C_{ep} は、(式3)を充足しているが弦誤差曲面 S_c から離間している。つまり、ブロック処理時間による制限((式3)の不等式)の観点からかなり余裕を見込んだプログラム用弦誤差 C_{ep} となっている。これに対し、ケース2のプログラム用弦誤差 C_{ep} は、弦誤差曲面 S_c 上の点となっている(すなわち、(式4)を満たしている)。つまり、(式3)を充足しつつ極力小さなプログラム用弦誤差 C_{ep} となっている。

20

【0056】

ここで、プログラム用弦誤差 C_{ep} と、目標曲線 $P(s)$ である半径 50 mm の円との関係について説明する。プログラム用弦誤差 C_{ep} と、目標曲線 $P(s)$ の半径が定まると、実際の加工軌跡が多角形として定まる。具体的には、プログラム用弦誤差 C_{ep} を $C_{ep} = 0.01\text{ mm}$ とした場合はこの多角形がおよそ157角形となり、プログラム用弦誤差 C_{ep} を $C_{ep} = 0.00111\text{ mm}$ とした場合はこの多角形がおよそ471角形となる。つまり、ケース1よりケース2の方がより加工精度が高くなることが想定される。

30

【0057】

以上の条件の下、それぞれのケースについて数値制御工作機械20を動作させた。図9において、「ケース1結果」と表記された黒四角がケース1による加工の結果を示し、「ケース2結果」と表記された黒四角がケース2による加工の結果を示している。図9から、結果を整理すると以下のようになる。

<ケース1>

実速度 $V_m = 7847\text{ mm/min}$ 、最大誤差 $E_{max} = 0.0168\text{ mm}$

<ケース2>

実速度 $V_m = 9369\text{ mm/min}$ 、最大誤差 $E_{max} = 0.0119\text{ mm}$

40

【0058】

すなわち、ケース1の結果に対してケース2の結果は、実速度 V_m が速くなり、最大誤差 E_{max} が小さくなっている。実速度は、ケース1の実速度 $V_m = 7847\text{ mm/min}$ から、ケース2の実速度 $V_m = 9369\text{ mm/min}$ と、より高速度になっている。つまり、ケース1のプログラム用弦誤差 $C_{ep} = 0.01\text{ mm}$ から、ケース2ではプログラム用弦誤差 $C_{ep} = 0.00111\text{ mm}$ とすることにより、より高速高精度となった。

【0059】

次に、図10を参照して、本実施例の結果についてより詳細に説明する。図10(a)はケース1の結果を、図10(b)はケース2の結果を、各々示している。また、図10(a)、(b)の各々において、<1>で示す図は誤差の軌跡を、<2>は実速度 V_m (

50

図10では「合成速度」と表記)の波形を示している。<1>では、外側の円が目標曲線P(s)を示しており、その内側の曲線が実軌跡における誤差を拡大したものを示している。

【0060】

図10(a)の<1>と図10(b)<1>との比較から、ケース2の誤差のほうがケース1の誤差より小さいことがわかる。また、図10(a)<2>から、ケース1の速度波形では、指令速度 $F = 10000 \text{ mm/min}$ に到達していない。これは、多角形の線分間のコーナにおける方向変化角が大きいため各コーナで減速が発生しているためである。つまり、図10(a)<2>の速度波形には表れない程度の減速加速を繰り返しているため指令速度 $F = 10000 \text{ mm/min}$ に到達しない。これに対し、図10(b)<2>に示すように、ケース2ではその方向変化角が小さいためあまり減速せず、指令速度 $F = 10000 \text{ mm/min}$ に到達している。その結果、ケース1の実速度よりケース2の実速度の方が速くなるのである。なお、図10(a)<2>において4か所で速度が上がっているのは、移動方向が45度(あるいは135度)となる場合2軸の合成速度として加速されるという特殊な理由から生じたものである。

10

【0061】

図11を参照して、上記方向変化角と実速度との関係について説明する。図11は、目標曲線Pに対してプログラム用弦誤差 Cep によって指令線分を作成した時、指令線分のコーナ Lc で方向変化が発生した状態を示している。図11に示すように、指令線分のコーナ Lc における方向変化角が大きいと、数値制御装置はコーナで発生する誤差を小さくするように減速させる。一方、方向変化角が小さいとそれほどの減速を行わない。このことによって、方向変化角による実速度の差が発生する。

20

【0062】

以上詳述したように、本実施の形態に係る数値制御用プログラム作成装置、数値制御工作システムおよび数値制御工作プログラムによれば、より高速度でかつ高精度な加工が実現される数値制御用プログラムを作成することが可能となる。プログラム用弦誤差 Cep を弦誤差曲面 Sc に基づいてできるだけ小さくすることによってより高速度、高精度となる理由を以下に整理する。

(1) プログラム用弦誤差 Cep を小さくすることにより、線分間のコーナにおける方向変化角が小さくなり減速が少なくなるため、より高速となる。

30

(2) プログラム用弦誤差 Cep を小さくすることにより目標曲線との誤差が小さくなり、より高精度となる。

さらに、本実施の形態では、上記のようにプログラム用弦誤差 Cep を小さくする場合において、式(4)で示す関係を考慮しているので、高速高精度化しつつブロック処理時間が間に合わなくなることもならない。つまりブロック処理時間が間に合わないことによる加工速度の低下も抑制される。なお、本実施例では特定の条件における結果を示したが、他のさまざまな条件で行った実施例においても弦誤差曲面 Sc に基づいてプログラム用弦誤差 Cep をできるだけ小さくすることによって、同様により高速度、高精度となることを確認している。

40

【0063】

[第2の実施の形態]

上記実施の形態では、図7に示すステップS103において、曲率半径 r 、指令速度 F に対応し(式3)を満たすできるだけ小さい、つまり(式4)を満たす弦誤差 Ce をプログラム用弦誤差 Cep とした。しかしながら、(式4)を満たすプログラム用弦誤差 Cep はブロック処理時間 Tb が間に合うかどうかの境界にあるため、場合によってはブロック処理時間 Tb が間に合わないことも想定される。その場合、読み込み解析処理したブロックが不足して急激な減速が生じる可能性がある。

【0064】

そこで本実施の形態では、上記(式4)に変えて以下に示す(式5)を用いる。(式5)は、(式4)における指令速度 F に対して係数 kf を掛けたものである。

50

$$Ce^2 - 2 \times r \times Ce + \frac{(kf \times F \times Tb)^2}{1.44 \times 10^{10}} = 0 \quad \dots \quad (式5)$$

ここで、 kf は $kf > 1.0$ で、 1.0 に近い値とする。(式5)に従うことは、図7に示すステップS103において、曲率半径 r 、指令速度 F に対応し(式3)を満たす十分小さい弦誤差 Ce をプログラム用弦誤差 Cep とすることに相当する。

【0065】

ここで、 α を以下に示す(式6)のように定義する。

$$\alpha = \frac{(kf \times Tb)^2}{1.44 \times 10^{10}} \quad \dots \quad (式6)$$

10

上記 α を用いて、(式5)は以下に示す(式7)のように簡略化される。

$$Ce^2 - 2 \times r \times Ce + \alpha \times F^2 = 0 \quad \dots \quad (式7)$$

弦誤差 Ce は小さいので(式7)を解いた2根のうち小さい方を Ce とすると、以下に示す(式8)となる。

$$Ce = r - \sqrt{r^2 - \alpha \times F^2} \quad \dots \quad (式8)$$

ここで、弦誤差 Ce は実数であるため、 $r^2 - \alpha \times F^2 \geq 0$ である。なお、 $kf = 1.0$ 、 $Tb = 4 \text{ msec}$ とした場合の(式8)における曲率半径 r 、指令速度 F に対する弦誤差 Ce が図4に示す弦誤差曲面 Sc である。

20

【0066】

ここで、(式8)において平方根部分を多項式に展開してその第2項までを採用すれば、(式9)のように近似することもできる。

$$Ce = \frac{\alpha}{2} \times \frac{F^2}{r} \quad \dots \quad (式9)$$

むしろ、求められる弦誤差曲面の精度等を勘案して第3項以降を採用してもよいが、ここでは簡便のため第2項までとしている。(式9)の近似式を用いても、プログラム用弦誤差 Cep を弦誤差曲面 Sc 上、あるいは弦誤差曲面 Sc 近傍とすることができる。

30

【0067】

ここで、(式8)において、例えば $kf = 1.1$ とすることは、指令速度 F が $F = 10000 \text{ mm/min}$ であっても、実際には $F = 11000 \text{ mm/min}$ に対応する(式4)の弦誤差 Ce をプログラム用弦誤差 Cep とすることになる。あるいは、(式4)で求めた弦誤差 Ce に対して係数 kce をかけてプログラム用弦誤差 $Cep = kce \times Ce$ としてもよい。例えば $kce = 1.05$ とすれば、(式4)から求めた弦誤差 Ce に対して少し大きい値をプログラム用弦誤差 Cep を採用することになる。あるいは、 r に係数をかけるか、 Tb に係数をかけるようにしてもよい。さらに、係数をかけたパラメータを組み合わせてもよい。本実施の形態では、このようにしてプログラム用弦誤差 Cep を算出する。その算出する手段が目標弦誤差を算出する算出手段である。

40

【0068】

換言すると、本実施の形態は、(式4)で示される曲面の近傍の弦誤差 Ce をプログラム用弦誤差 Cep とすることとしている。本実施の形態では、このように弦誤差曲面の近傍の弦誤差 Ce をプログラム用弦誤差 Cep とすることが、弦誤差の条件である。このことにより、ブロック処理時間 Tb が間に合わないことによって急激な減速が生じることが抑制される。プログラム用弦誤差 Cep を決定した後の処理は上記実施の形態と同様なので、詳細な説明を省略する。

【0069】

[第3の実施の形態]

50

上記実施の形態では、ブロック処理時間 T_b 、曲率半径 r および指令速度 F を用いてプログラム用弦誤差 C_{ep} を求めた。これに対し、本実施の形態に係るプログラム用弦誤差作成手段 14 は、あるブロック処理時間 T_b の数値制御装置において、目標曲線 $P(s)$ における曲率半径 r および指令速度 F の組合せに対する弦誤差 C_e の最大値を C_{emax} とし、プログラム用弦誤差 C_{ep} を $C_{ep} = C_{emax}$ とする。つまり、目標曲線 $P(s)$ における曲率半径 r および指令速度 F の組合せに対して、 C_{emax} を以下に示す(式 10) から算出する。ここで、あるブロック処理時間 T_b の数値制御装置において、目標曲線 $P(s)$ における曲率半径 r および指令速度 F の組合せに対する弦誤差 C_e の関係、つまり(式 8) が、本実施の形態における複数のパラメータの間の関係、弦誤差の関数である。(式 8) に対して \max 演算を行った(式 10) によって C_{emax} を算出する手段が本実施の形態における目標弦誤差を算出する算出手段である。

$$C_{emax} = \max_{r,F} (r - \sqrt{r^2 - \alpha \times F^2}) \quad \dots \quad (\text{式 10})$$

【0070】

(式 10) に示す C_{emax} を C_{ep} とすることによって、目標曲線 $P(s)$ におけるどのような曲率半径 r およびどのような指令速度 F に対してもブロック処理時間 T_b が間に合わなくなることはない、できるだけ小さい、または十分小さい弦誤差 C_e とすることができる。つまり、(式 8) が示す弦誤差 C_e は、任意の曲率半径 r と指令速度 F に対するできるだけ小さい、または十分小さい弦誤差 C_e である。一方、目標曲線 $P(s)$ における曲率半径 r および指令速度 F の組合せに対応させた最大の C_e である C_{emax} を用いることにより、目標曲線 $P(s)$ のどこにおいてもブロック処理時間 T_b が間に合わなくなることはない、できるだけ小さい、または十分小さい弦誤差 C_e が得られる。

【0071】

ここで、上記実施の形態は、目標曲線における曲率半径 r および指令速度 F に応じて変化する C_{ep} を求めていたが、本実施の形態においては、目標曲線 $P(s)$ に対して求める C_{ep} は 1 個の数値である。その意味から、本実施の形態は上記実施の形態より簡便である。

【0072】

なお、本実施の形態に係る弦誤差曲面作成手段 12 およびプログラム用弦誤差作成手段 14 は、数値制御用プログラム作成装置 10 (CAM) の中に組み込んでもよい。あるいは、数値制御用プログラム作成装置 10 から出力されたデータを各数値制御装置に合わせたプログラムとするポストプロセッサ(図示省略)の中に組み込んでもよい。さらに、数値制御用プログラム作成装置 10 やポストプロセッサの外に作成してもよい。ポストプロセッサの中に組み込む、または数値制御用プログラム作成装置 10 やポストプロセッサの外に作成する場合は、図 1 に示すプログラム作成手段 16 は既存の数値制御用プログラム作成装置とすることができる。つまり、既存の数値制御用プログラム作成装置 (CAM) に対する弦誤差の設定値あるいは入力値として、求めたプログラム用弦誤差 C_{ep} を設定あるいは入力するように構成してもよい。

【0073】

また、(式 10) を用いたプログラム用弦誤差 C_{ep} の算出は、プログラム作成前に目標曲線 $P(s)$ をチェックして行ってもよいし、一旦既存の CAM によって従来通りプログラムを作成し、その結果をチェックしてプログラム用弦誤差 C_{ep} を算出し、算出したプログラム用弦誤差 C_{ep} を用いて再度プログラムを作成してもよい。

【0074】

[第 4 の実施の形態]

図 12 を参照して、本実施の形態に係る数値制御用プログラム作成装置、数値制御工作システムおよび数値制御工作プログラムについて説明する。図 12 は、本実施の形態に係る数値制御用プログラム作成装置 10A を示している。なお、図 12 では数値制御装置および数値制御工作機械 20 の図示を省略している。

【0075】

10

20

30

40

50

図 1 2 に示すように、数値制御用プログラム作成装置 1 0 A は、プログラム用弦誤差作成手段 1 4、およびプログラム作成手段 1 6 を含んで構成されている。つまり、数値制御用プログラム作成装置 1 0 A は、数値制御用プログラム作成装置 1 0 における弦誤差曲面作成手段 1 2 を除いた形態である。数値制御用プログラム作成装置 1 0 A では、弦誤差曲面作成手段 1 2 を用いる代わりに、目標曲線 P (s) の特徴を表す目標曲線指標 I g、およびブロック処理時間 T b を用いてプログラム用弦誤差 C e p を算出し、算出したプログラム用弦誤差 C e p を用いてプログラムを作成する。

【 0 0 7 6 】

本実施の形態では、目標曲線指標 I g を、目標曲線 P (s) における最小曲率半径 r m i n、および最大指令速度 F m a x としている。図 1 3 を参照して、最小曲率半径 r m i n、および最大指令速度 F m a x について説明する。図 1 3 に示す破線は、工作物 W 上の目標曲線 P (s) を示している。図 1 3 において、最も小さい曲率半径が r m i n である。一方、最大指令速度 F m a x は、図 1 3 に示すように目標曲線 P (s) の場所によって指令速度が F 1、F 2、F 3、・・・のように変化する場合において、F m a x = M a x (F 1、F 2、F 3、・・・) で定義される。指令速度が F 1 だけであれば、F m a x = M a x (F 1) = F 1 である。

10

【 0 0 7 7 】

ここで、(式 8) に基づいて、以下に示す(式 1 1) および(式 1 2) が得られる。

$$\frac{\partial C_e}{\partial r} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \alpha \times \left(\frac{F}{r}\right)^2}} < 0 \quad \dots \quad (\text{式 1 1})$$

20

$$\frac{\partial C_e}{\partial F} = \frac{\alpha \times F}{\sqrt{r^2 - \alpha \times F^2}} > 0 \quad \dots \quad (\text{式 1 2})$$

【 0 0 7 8 】

(式 1 1) から、曲率半径 r が減少するにしたがって弦誤差 C e は増加することがわかる。また、(式 1 2) から F が増大するにしたがって弦誤差 C e は増加することがわかる。従って、目標曲線 P (s) における最小曲率半径を r m i n とし、最大指令速度を F m a x とすると、とり得る最大の弦誤差 C e である最大弦誤差 C e m a x は、以下に示す(式 1 3) から算出することができる。ここで、第 3 の実施の形態と同様、(式 8) が、本実施の形態における複数のパラメータの関係、弦誤差の関数である。(式 8) に対して r m i n と F m a x を適用した(式 1 3) によって C e m a x を算出する手段が、本実施の形態における目標弦誤差を算出する算出手段である。

30

$$C_{e_{max}} = r_{min} - \sqrt{r_{min}^2 - \alpha \times F_{max}^2} \quad \dots \quad (\text{式 1 3})$$

本実施の形態では、以上のようにして求められた最大弦誤差 C e m a x をプログラム用弦誤差 C e p としている。

【 0 0 7 9 】

以上の構成を有する本実施の形態によれば、上記第 3 の実施の形態と同様、目標曲線 P (s) におけるどのような曲率半径 r およびどのような指令速度 F に対しても、ブロック処理時間 T b が間に合わなくなることはない、できるだけ小さい、または十分小さいプログラム用弦誤差 C e p を求めることができる。この点は上記第 3 の実施の形態と同様であるが、本実施の形態では第 3 の実施の形態よりもより簡便にプログラム用弦誤差 C e p を求めることができる。

40

【 0 0 8 0 】

本実施の形態では、すでに取得しているブロック処理時間 T b、目標曲線 P (s) における最小曲率半径 r m i n および最大指令速度 F m a x からプログラム用弦誤差 C e p を求めるものである。そのため、本実施の形態では、上記実施の形態のように弦誤差曲面 S c を求めることは不要であり、この点からも本実施の形態は上記実施の形態より簡便な形

50

態となっている。

【0081】

具体例を示せば、例えば、ブロック処理時間 T_b を $T_b = 4 \text{ msec}$ 、最小曲率半径 r_{\min} を $r_{\min} = 25 \text{ mm}$ 、最大指令速度 F_{\max} を $F_{\max} = 10000 \text{ mm/min}$ 、係数 k_f を $k_f = 1.1$ とすると、プログラム用弦誤差 C_{ep} は $C_{ep} = C_{emax} = 0.00269 \text{ mm}$ となる。

【0082】

図12に示す数値制御用プログラム作成装置10Aにおいて、破線で囲んだ部分が実質的な入力と該入力を受けた動作部分であるが、本実施の形態は、該動作部分を数値制御用プログラム作成装置(CAM)の中に組み込んだ形態としている。しかしながらこれに限られず、上記第3の実施の形態で説明したように、ポストプロセッサの中に組み込んでよいし、あるいは、数値制御用プログラム作成装置やポストプロセッサの外に作成してもよい。ポストプロセッサの中に組み込む場合、または数値制御用プログラム作成装置やポストプロセッサの外に作成する場合は、図12のプログラム作成手段は既存の数値制御用プログラム作成装置(CAM)とすることができる。つまり、既存の数値制御用プログラム作成装置(CAM)(プログラム作成手段16をCAMとした構成でもよい)に対する弦誤差の設定値あるいは入力値として、求めたプログラム用弦誤差 C_{ep} を設定あるいは入力する形態とすることも可能である。

10

【0083】

また、最小曲率半径 r_{\min} 、および最大指令速度 F_{\max} を求める方法は、目標曲線 $P(s)$ の形状や図面から目視で判断してもよい。あるいは、一旦既存の数値制御用プログラム作成装置によって従来例に従ったプログラムを作成し、作成したプログラムをチェックして求め、(式13)で求めたプログラム用弦誤差 C_{ep} によって再度プログラムを作成してもよい。最小曲率半径 r_{\min} については、図5に関する説明で述べたような方法で求めてもよい。以上の求め方の具体的な手順は従来知られたものなので、詳細な説明を省略する。

20

【0084】

[第5の実施の形態]

本実施の形態に係る数値制御用プログラム作成装置の構成は、上記第4の実施の形態に係る数値制御用プログラム作成装置10Aと同様なので、必要な場合は図12を参照することとし、詳細な説明を省略する。本実施の形態に係る数値制御用プログラム作成装置も、ブロック処理時間 T_b 、および目標曲線の特徴を表す目標曲線指標 I_g を用いてプログラム用弦誤差 C_{ep} を求め、プログラムを作成する。しかしながら、本実施の形態では、目標曲線 $P(s)$ における曲率半径 r および指令速度 F の代わりに、これらのパラメータによって記述される法線加速度 $A_n = F^2 / r$ に着目し、その最大値 A_{nmax} を目標曲線の特徴を表す目標曲線指標 I_g としている。

30

【0085】

すなわち、(式9)において $A_n = F^2 / r$ とおくと、以下に示す(式14)となる。これが、本実施の形態における弦誤差の関数である。

$$C_e = \frac{\alpha}{2} \times A_n \quad \dots \quad (\text{式14})$$

40

【0086】

従って、目標曲線 $P(s)$ における法線加速度 A_n の最大値を、最大法線加速度 A_{nmax} とすると、とり得る最大の C_e である C_{emax} は、以下に示す(式15)で表すことができる。本実施の形態では、この C_{emax} をプログラム用弦誤差 C_{ep} とする。本実施の形態においては、(式15)から C_{emax} を算出する手段が目標弦誤差を算出する算出手段である。

$$C_{emax} = \frac{\alpha}{2} \times A_{nmax} \quad \dots \quad (\text{式15})$$

【0087】

50

(式15)を用いて算出される最大弦誤差 C_{emax} 用いても、上記第4の実施の形態と同様、目標曲線 $P(s)$ における曲率半径 r および指令速度 F から算出されるどのような法線加速度 A_n に対しても、ブロック処理時間 T_b が間に合わなくなることが抑制され、かつ極力小さい、または十分小さい弦誤差 C_e 、すなわちプログラム用弦誤差 C_{ep} を得ることができる。プログラム用弦誤差 C_{ep} を求めた後の処理は、上記第4の実施の形態と同様なので、詳細な説明を省略する。

【0088】

なお、上記第4の実施の形態では目標曲線 $P(s)$ における最小曲率半径 r_{min} および最大指令速度 F_{max} を目標曲線指標 I_g とし、本実施の形態では目標曲線 $P(s)$ における曲率半径 r および指令速度 F から算出される法線加速度 $A_n = F^2 / r$ の最大値 A_{nmax} を目標曲線指標 I_g としたが、これに限られず、他に目標曲線 $P(s)$ の特徴を表す指標があればその指標を目標曲線指標 I_g としてもよい。

10

【0089】

[第6の実施の形態]

上記各実施の形態では、プログラム用弦誤差 C_{ep} を算出し、算出されたプログラム用弦誤差 C_{ep} を用いて数値制御用プログラムを作成した。しかしながら、上記各実施の形態のようにプログラム用弦誤差 C_{ep} を用いて数値制御用プログラムを作成した場合、例えば数値制御用プログラム長が長くなり、プログラム作成における計算時間が、想定するものより長くなる等の現象が発生する場合がある。

20

【0090】

そこで、本実施の形態では、プログラム用弦誤差 C_{ep} に弦誤差下限値 C_{emin} を設けることとした。このことにより、プログラム用弦誤差 C_{ep} が過剰に小さくなることを予防し、その結果、プログラム作成における計算時間が想定外に長くなることを抑制している。

【0091】

例えば、上記第1の実施の形態の実施例の条件において、曲率半径 $r = 200\text{ mm}$ を仮定すると、プログラム用弦誤差は $C_{ep} = 0.00028\text{ mm}$ となるが、このプログラム用弦誤差 C_{ep} の値は不必要に小さい値と考えられる。そこで、本実施の形態ではプログラム用弦誤差 C_{ep} に弦誤差下限値 C_{emin} を設け、 $C_{ep} < C_{emin}$ となる場合はプログラム用弦誤差 C_{ep} を $C_{ep} = C_{emin}$ とする。本実施の形態では、このような算出を行う手段が目標弦誤差を算出する算出手段である。弦誤差下限値 C_{emin} の具体的な値としては、例えば $C_{emin} = 0.001\text{ mm}$ とすることができる。このことにより、不必要に数値制御用プログラムが長くなることや、プログラム作成での計算時間が長くなることが抑制される。プログラム用弦誤差 C_{ep} を求めた後の処理は、上記各実施の形態と同様なので、詳細な説明を省略する。

30

【0092】

以上詳述したように、本発明においては、指令速度 F 、ブロック処理時間 T_b 、目標曲線 $P(s)$ の曲率半径 r に基づいて高速度、高精度加工に適したプログラム用弦誤差 C_{ep} を求め、求めたプログラム用弦誤差 C_{ep} によって微小線分のプログラムを作成している。この際、プログラム用弦誤差 C_{ep} は、弦誤差曲面 S_c 上の点であってもよいし、予め定められた手順によって求められた弦誤差曲面 S_c 近傍の点であってもよい。その結果、数値制御工作機械を用いた曲線加工において、従来技術よりもより高速度、高精度加工に適した数値制御用プログラムを作成し、数値制御装置に指令することができることになった。このことにより、本発明に係る数値制御工作システムは、従来技術と比較してより高速度、高精度加工を行うことができるようになった。そのため、本発明に係る数値制御工作システムは加工の効率が向上し、ひいては省エネルギーにも貢献することができる。

40

【符号の説明】

【0093】

1 数値制御工作システム

10、10A 数値制御用プログラム作成装置

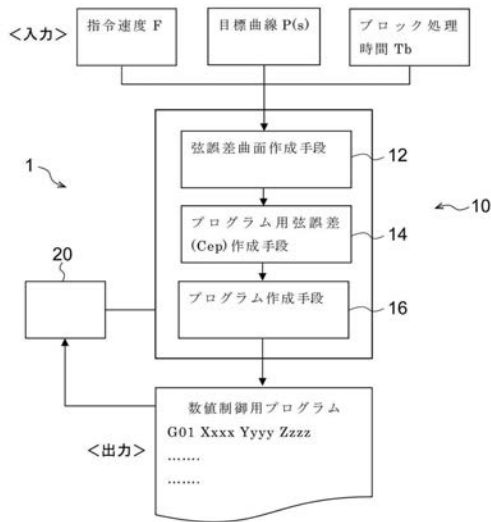
50

- 1 2 弦誤差曲面作成手段
- 1 4 プログラム用弦誤差作成手段
- 1 6 プログラム作成手段
- 2 0 数値制御工作機械
- C e 弦誤差
- C e p プログラム用弦誤差
- C e m a x 最大弦誤差
- C e m i n 弦誤差下限値
- F 指令速度
- I g 目標曲線指標
- T b ブロック処理時間
- r m i n 最小曲率半径
- F m a x 最大指令速度
- r 曲率半径
- P (s) 目標曲線
- S c 弦誤差曲面
- A n 法線加速度
- A n m a x 最大法線加速度
- s 距離
- s 微小距離
- W 工作物

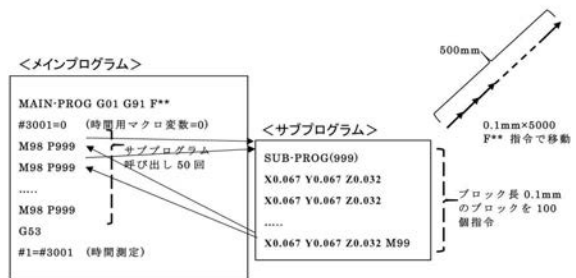
10

20

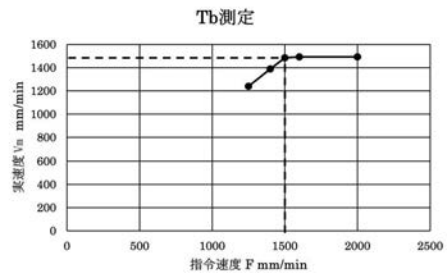
【 図 1 】



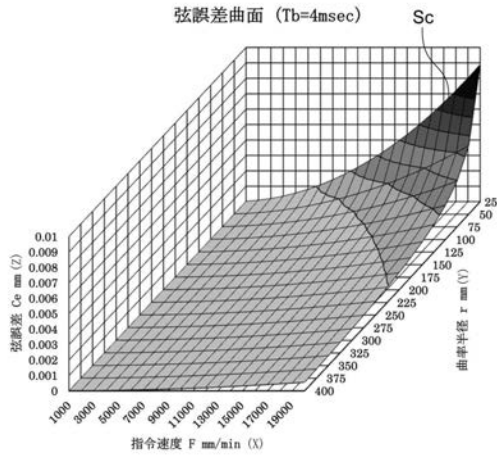
【 図 2 】



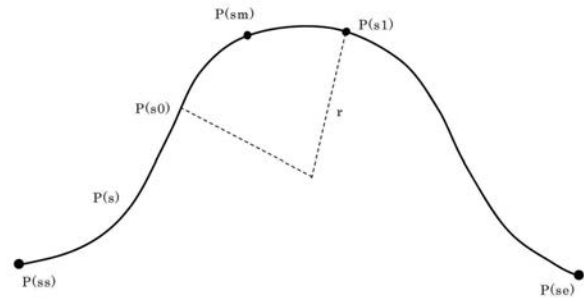
【 図 3 】



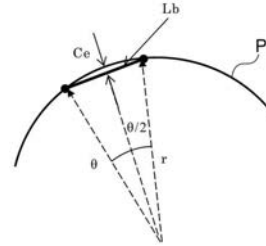
【 図 4 】



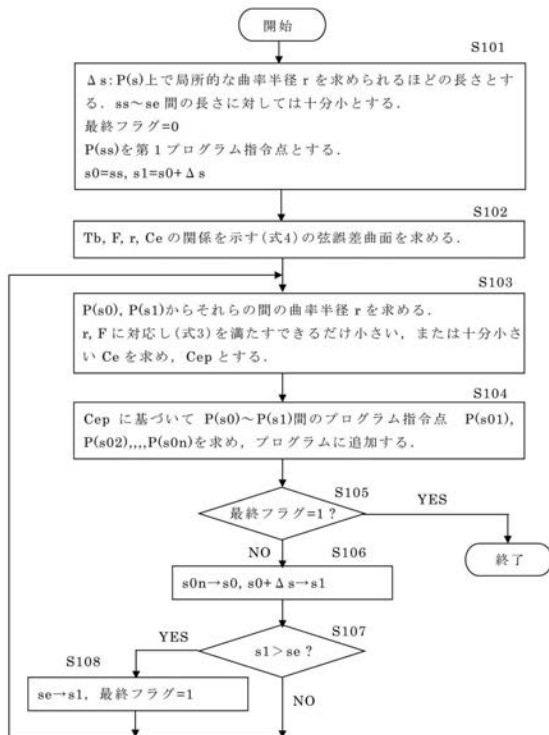
【 図 5 】



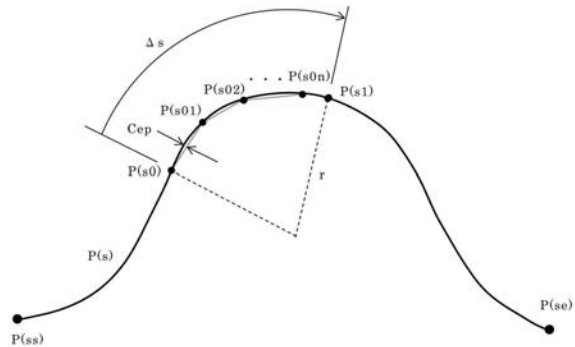
【 図 6 】



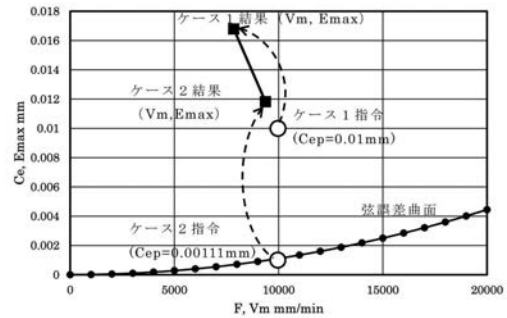
【 図 7 】



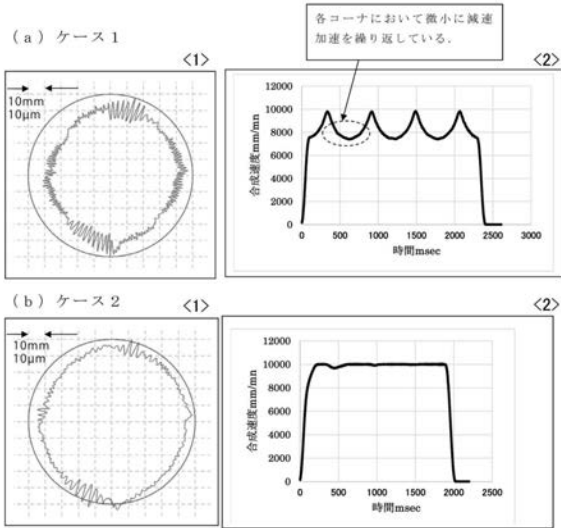
【 図 8 】



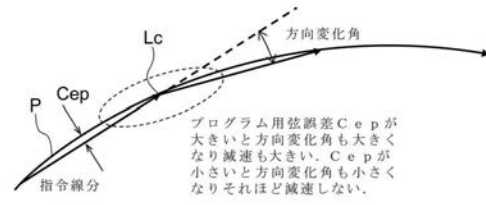
【 図 9 】



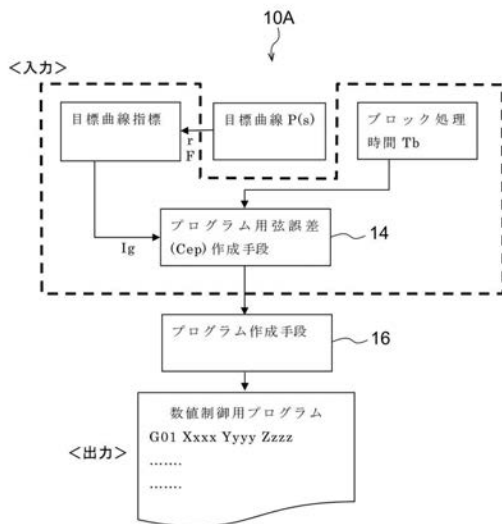
【図 10】



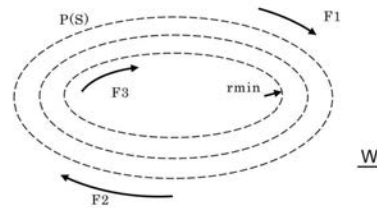
【図 11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(72)発明者 大槻 俊明

東京都府中市晴見町3 - 8 - 1 国立大学法人東京農工大学内

(72)発明者 佐藤 隆太

兵庫県神戸市灘区六甲台町1 - 1 国立大学法人神戸大学内

Fターム(参考) 3C269 AB01 BB03 BB05 EF02 EF59 QA05 QB02 RB03