

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7405275号  
(P7405275)

(45)発行日 令和5年12月26日(2023.12.26)

(24)登録日 令和5年12月18日(2023.12.18)

(51)国際特許分類		F I		
E 0 2 F	9/20 (2006.01)	E 0 2 F	9/20	D
E 0 2 F	3/43 (2006.01)	E 0 2 F	3/43	B
G 0 5 B	11/36 (2006.01)	G 0 5 B	11/36	D
G 0 5 B	13/02 (2006.01)	G 0 5 B	13/02	A

請求項の数 9 (全17頁)

(21)出願番号	特願2022-553484(P2022-553484)	(73)特許権者	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(86)(22)出願日	令和3年7月15日(2021.7.15)	(74)代理人	100103894 弁理士 家入 健
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/026609	(72)発明者	吉本 達也 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(87)国際公開番号	WO2022/070553	(72)発明者	吉田 裕志 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(87)国際公開日	令和4年4月7日(2022.4.7)	審査官	松本 泰典
審査請求日	令和5年3月6日(2023.3.6)		
(31)優先権主張番号	特願2020-162900(P2020-162900)		
(32)優先日	令和2年9月29日(2020.9.29)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 建設機械の作業制御方法、作業制御システム及び作業制御装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

制御の単位区間である制御区間毎に制御ゲインを調整する制御パラメータ調整処理と、前記制御ゲインを用いて建設機械の姿勢を制御するフィードバック制御入力値を算出するフィードバック制御処理と、を行い、  
前記制御パラメータ調整処理において、  
前制御区間における目標位置に対する姿勢検出値のオーバーシュート量を算出するオーバーシュート算出処理と、  
前記オーバーシュート量に基づき次制御区間の前記制御ゲインの加減率である制御ゲイン加減率を算出する加減率算出処理と、  
前制御区間で算出された平滑化後加減率と前記制御ゲイン加減率とに基づいて、前記制御ゲイン加減率を平滑化した平滑化後加減率を算出する加減率平滑化処理と、  
前記平滑化後加減率から前記次制御区間の制御ゲインを算出する制御ゲイン算出処理と、  
を行う作業制御方法。

【請求項2】

前記加減率平滑化処理は、  
前記制御ゲイン加減率が前制御区間で算出された平滑化後加減率よりも大きい場合に、平滑化係数を小さな値となるように書き換えて、前記平滑化係数を出力する平滑化係数決定処理と、  
前記前制御区間に対応した前記制御ゲイン加減率と、前記次制御区間に対応した前記制

御ゲイン加減率と、に対して前記平滑化係数を適用した平滑化処理を施して平滑化後加減率を算出する平滑化後加減率算出処理と、

を有する請求項 1 に記載の作業制御方法。

【請求項 3】

前記平滑化係数は、前記建設機械に指示する作業指示内容毎に大きい値と小さい値の組み合わせが設定され、

前記平滑化係数決定処理では、前記作業指示内容に応じて前記平滑化係数の値の組み合わせを切り替える請求項 2 に記載の作業制御方法。

【請求項 4】

前記制御区間は、1つの期間内に異なる位置となる複数の前記目標位置を含み、

前記オーバーシュート算出処理は、複数の前記目標位置の前記オーバーシュート量の平均値又は最大値を前記加減率算出処理に与える前記オーバーシュート量として算出する請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の作業制御方法。

【請求項 5】

前記平滑化係数は、制御対象部位毎に大きい値と小さい値の組み合わせが設定され、

前記平滑化係数決定処理では、前記制御対象部位に応じて前記平滑化係数の値の組み合わせを切り替える請求項 2 又は 3 に記載の作業制御方法。

【請求項 6】

前記制御パラメータ調整処理は、前記フィードバック制御処理と並列して処理を行う請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の作業制御方法。

【請求項 7】

前記フィードバック制御処理では、1つの前記制御区間よりも短い時間周期で前記建設機械の姿勢を検出して、検出結果を用いた前記フィードバック制御入力値の算出を行う請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の作業制御方法。

【請求項 8】

制御の単位区間である制御区間毎に制御ゲインを調整する制御パラメータ調整手段と、前記制御ゲインを用いて建設機械の姿勢を制御するフィードバック制御入力値を算出するフィードバック制御手段と、

前記フィードバック制御入力値に基づき前記建設機械の姿勢を制御する建設機械制御手段と、を有し、

前記制御パラメータ調整手段は、

前制御区間における目標位置に対する姿勢検出値のオーバーシュート量を算出するオーバーシュート算出手段と、

前記オーバーシュート量に基づき次制御区間の前記制御ゲインの加減率である制御ゲイン加減率を算出する加減率算出手段と、

前制御区間で算出された平滑化後加減率と前記制御ゲイン加減率とに基づいて、前記制御ゲイン加減率を平滑化した平滑化後加減率を算出する加減率平滑化処理手段と、

前記平滑化後加減率から前記次制御区間の制御ゲインを算出する制御ゲイン算出手段と、を有する作業制御システム。

【請求項 9】

制御の単位区間である制御区間毎に制御ゲインを調整する制御パラメータ調整手段と、前記制御ゲインを用いて建設機械の姿勢を制御するフィードバック制御入力値を算出するフィードバック制御手段と、を有し、

前記制御パラメータ調整手段は、

前制御区間における目標位置に対する姿勢検出値のオーバーシュート量を算出するオーバーシュート算出手段と、

前記オーバーシュート量に基づき次制御区間の前記制御ゲインの加減率である制御ゲイン加減率を算出する加減率算出手段と、

前制御区間で算出された平滑化後加減率と前記制御ゲイン加減率とに基づいて、前記制御ゲイン加減率を平滑化した平滑化後加減率を算出する加減率平滑化処理手段と、

10

20

30

40

50

前記平滑化後加減率から前記次制御区間の制御ゲインを算出する制御ゲイン算出手段と、を有する作業制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は建設機械の作業制御方法、作業制御システム及び作業制御装置に関し、特に建設機械の姿勢をコンピュータを用いた数値制御により制御する建設機械の作業制御方法、作業制御システム及び作業制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、建設機械の遠隔制御や自動制御に関する技術開発が進んでいる。このような制御を行う場合、PID制御に代表されるフィードバック制御が行われる。このフィードバック制御では、制御対象部位が目標値に収束するまでに目標値を超えるオーバーシュートが発生する。建設機械では、激しいオーバーシュートが発生すると、機械の振動、障害物への衝突、対象物の破壊等の問題が発生する。そのため、建設機械のフィードバック制御においてはオーバーシュートの発生を抑制する必要がある。そこで、特許文献1、2にオーバーシュートの発生を抑制する技術の一例が開示されている。

【0003】

特許文献1に記載のモータ制御装置は、位置偏差を入力して位置決め時間と、オーバーシュート、サーボロック時の振動を診断する応答診断部と、その結果に基づいて位置制御部と速度制御部、トルクフィルタ部、電流制御部、速度信号作成部、速度フィードフォワード補償部、トルクフィードフォワード補償部の調整を行うゲイン調整部と、調整されたゲインに基づいて再びモータを駆動する、というサイクルを数回繰り返して、最適な制御ゲインを自動的にチューニングし、所定の評価関数が予め設定された値より小さくなった場合はチューニング終了と判断するチューニング終了判断部とを備える。

【0004】

特許文献2に記載のプロセス制御装置は、目標値にプロセスの制御量をフィードバック制御し、少なくとも比例・積分制御を行うプロセス制御装置において、前記目標値の変化又は外乱の印加により発生する該目標値と前記制御量との制御偏差を波形で観測し、該制御偏差を半周期ごとにその絶対値を時間積分して面積値を演算する演算手段と、該面積値を用いて所定の調整ルールにより制御パラメータを調整する修正手段と、を備える。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2003-061377号公報

【文献】特開平02-245902号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

建設機械では、例えば、大トルクが必要な作業、トルクは小さくても精度が必要な作業、トルクと精度の両方を要求される作業など、制御対象部位に要求される制御特性が作業の種類毎に異なるため、作業毎に適切な制御を行うことが難しい問題がある。しかしながら、特許文献1、2に記載の技術では、このような作業毎の制御特性の変化に対応することができない。つまり、特許文献1、2に記載の技術では、建設機械の制御精度と、作業効率とを両立できない問題がある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の建設機械の作業制御方法の一態様は、制御の単位区間である制御区間毎に制御ゲインを調整する制御パラメータ調整処理と、前記制御ゲインを用いて建設機械の姿勢を制御するフィードバック制御入力値を算出するフィードバック制御処理と、を行い、前記

10

20

30

40

50

制御パラメータ調整処理において、前制御区間における目標位置に対する姿勢検出値のオーバーシュート量を算出するオーバーシュート算出処理と、前記オーバーシュート量に基づき次制御区間の前記制御ゲインの加減率である制御ゲイン加減率を算出する加減率算出処理と、前制御区間で算出された平滑化後加減率と前記制御ゲイン加減率とに基づいて、前記制御ゲイン加減率を平滑化した平滑化後加減率を算出する加減率平滑化処理と、前記平滑化後加減率から前記次制御区間の制御ゲインを算出する制御ゲイン算出処理と、を行う。

【0008】

本発明の建設機械の作業制御システムの一態様は、制御の単位区間である制御区間毎に制御ゲインを調整する制御パラメータ調整部と、前記制御ゲインを用いて建設機械の姿勢を制御するフィードバック制御入力値を算出するフィードバック制御部と、前記フィードバック制御入力値に基づき前記建設機械の姿勢を制御する建設機械制御部と、を有し、前記制御パラメータ調整部は、前制御区間における目標位置に対する姿勢検出値のオーバーシュート量を算出するオーバーシュート算出部と、前記オーバーシュート量に基づき次制御区間の前記制御ゲインの加減率である制御ゲイン加減率を算出する加減率算出部と、前制御区間で算出された平滑化後加減率と前記制御ゲイン加減率とに基づいて、前記制御ゲイン加減率を平滑化した平滑化後加減率を算出する加減率平滑化処理部と、前記平滑化後加減率から前記次制御区間の制御ゲインを算出する制御ゲイン算出部と、を有する。

10

【0009】

本発明の建設機械の作業制御装置の一態様は、制御の単位区間である制御区間毎に制御ゲインを調整する制御パラメータ調整部と、前記制御ゲインを用いて建設機械の姿勢を制御するフィードバック制御入力値を算出するフィードバック制御部と、を有し、前記制御パラメータ調整部は、前制御区間における目標位置に対する姿勢検出値のオーバーシュート量を算出するオーバーシュート算出部と、前記オーバーシュート量に基づき次制御区間の前記制御ゲインの加減率である制御ゲイン加減率を算出する加減率算出部と、前制御区間で算出された平滑化後加減率と前記制御ゲイン加減率とに基づいて、前記制御ゲイン加減率を平滑化した平滑化後加減率を算出する加減率平滑化処理部と、前記平滑化後加減率から前記次制御区間の制御ゲインを算出する制御ゲイン算出部と、を有する。

20

【発明の効果】

【0010】

本発明にかかる建設機械の作業制御方法、作業制御システム及び作業制御装置によれば、作業中の建設機械の制御を高精度で行うことができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施の形態1にかかる作業制御システムの制御対象となる建設機械の概略図である。

【図2】実施の形態1にかかる作業制御システムの概略的なブロック図である。

【図3】実施の形態1にかかる作業制御システムの詳細なブロック図である。

【図4】実施の形態1にかかる加減率平滑化処理部のブロック図である。

【図5】実施の形態1にかかるオーバーシュート算出処理を説明するフローチャートである。

40

【図6】オーバーシュート算出処理で対象とするオーバーシュートの大きさを説明するタイミングチャートである。

【図7】実施の形態1にかかる加減率算出処理を説明するフローチャートである。

【図8】実施の形態1にかかる平滑化係数決定処理を説明するフローチャートである。

【図9】実施の形態1にかかる平滑化加減率算出処理を説明するフローチャートである。

【図10】オーバーシュート量と平滑化加減率との関係を説明するグラフである。

【図11】実施の形態1にかかる制御ゲイン算出処理を説明するフローチャートである。

【図12】実施の形態1にかかるフィードバック制御処理を説明するフローチャートである。

50

【図13】実施の形態2にかかる制御区間と目標位置との関係を説明するタイミングチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0012】

説明の明確化のため、以下の記載及び図面は、適宜、省略、及び簡略化がなされている。また、様々な処理を行う機能ブロックとして図面に記載される各要素は、ハードウェア的には、CPU (Central Processing Unit)、メモリ、その他の回路で構成することができ、ソフトウェア的には、メモリにロードされたプログラムなどによって実現される。したがって、これらの機能ブロックがハードウェアのみ、ソフトウェアのみ、またはそれらの組合せによっていろいろな形で実現できることは当業者には理解されるべきであり、いずれかに限定されるものではない。なお、各図面において、同一の要素には同一の符号が付されており、必要に応じて重複説明は省略されている。

10

【0013】

また、上述したプログラムは、様々なタイプの非一時的なコンピュータ可読媒体を用いて格納され、コンピュータに供給することができる。非一時的なコンピュータ可読媒体は、様々なタイプの実体のある記録媒体を含む。非一時的なコンピュータ可読媒体の例は、磁気記録媒体 (例えばフレキシブルディスク、磁気テープ、ハードディスクドライブ)、光磁気記録媒体 (例えば光磁気ディスク)、CD-ROM (Read Only Memory)、CD-R、CD-R/W、半導体メモリ (例えば、マスクROM、PROM (Programmable ROM)、EPROM (Erasable PROM)、フラッシュROM、RAM (Random Access Memory)) を含む。また、プログラムは、様々なタイプの一時的なコンピュータ可読媒体によってコンピュータに供給されてもよい。一時的なコンピュータ可読媒体の例は、電気信号、光信号、及び電磁波を含む。一時的なコンピュータ可読媒体は、電線及び光ファイバ等の有線通信路、又は無線通信路を介して、プログラムをコンピュータに供給できる。

20

【0014】

実施の形態1

以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。以下で説明する建設機械の作業制御方法、作業制御システム、及び、作業制御装置は、シリンダーを用いて機械の関節を駆動する建設機械を制御する。そこで、以下の説明では、建設機械としてバックホウを例とする。また、以下の説明では、作業制御処理を行う処理ブロックがネットワークを通じて複数の箇所に分散して配置される作業制御システムについて説明するが、作業制御システムに含まれる処理ブロックを1つの装置とする作業制御装置としてもよい。また、作業制御システムにおいて行われる制御内容をもって作業制御方法と称す。

30

【0015】

また、以下で説明する作業制御システムは、建設機械として作業者が操作可能な操作レバーを有する機械に対して適用することも、操作レバーを用いずに電気的な信号により電磁比例弁等を用いて駆動機構を直接制御する機械に対しても適用できる。

【0016】

図1に実施の形態1にかかる作業制御システム1の制御対象となる建設機械の概略図を示す。図1に示す建設機械10は、バックホウである。建設機械10は、クローラ11、旋回台12、コックピット13、ブーム14、アーム15、バケット16を有する。クローラ11は、建設機械10を移動させるための無限軌道である。旋回台12は、コックピット13及びブーム14等が搭載されるシャシーを旋回させる。コックピット13は、建設機械10の姿勢を操作する操作レバー等が配置される操作室である。また、図示は省略したが、作業制御システム1では、建設機械10内に建機駆動処理部17が配置される。また、ブーム14、アーム15、及び、バケット16は、それぞれが可動部に相当し、油圧シリンダーによって稼動する。この油圧シリンダーは、建機駆動処理部17の作用により伸縮する。なお、可動部に該当する部分は油圧シリンダー以外にも例えばモータで駆動される部位も含まれる。

40

50

## 【 0 0 1 7 】

なお、建機駆動処理部 1 7 は、例えば、作業者が操作可能な操作レバーに対して当該操作レバーを変位させるアクチュエータを動作させることも、電氣的な信号により電磁比例弁等を動作させることもできる。

## 【 0 0 1 8 】

実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 では、建設機械 1 0 の建機駆動処理部 1 7 に対してフィードバック制御入力値を与えることで建設機械 1 0 のブーム 1 4 等の可動部を移動させる。そして、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 では、フィードバック制御で用いる制御ゲインを所定の制御区間ごとに調整しながらフィードバック制御を行う。以下では、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 について以下で詳細に説明する。

10

## 【 0 0 1 9 】

まず、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 の処理ブロックの構成について説明する。そこで、図 2 に実施の形態 1 にかかる作業制御システムの概略的なブロック図を示す。なお、図 2 では、建設機械 1 0 は作業制御システム 1 の制御対象のものとして示した。図 2 に示す例では、姿勢制御装置 2 0 に建設機械制御部 2 1、姿勢検出部 2 2 が設けられる。作業制御装置 3 0 に制御パラメータ調整部 3 1、フィードバック制御部 3 2 が設けられる。そして、姿勢制御装置 2 0 と作業制御装置 3 0 とを用いて建設機械 1 0 を操作する。図 2 に示す例は一例であり、例えば姿勢制御装置 2 0 と作業制御装置 3 0 を一つの装置とし、建設機械 1 0 と姿勢制御装置 2 0 とを通信により接続することもできる。また、姿勢制御装置 2 0 を建設機械 1 0 と一体となるように設け、姿勢制御装置 2 0 と作業制御装置 3 0 とが通信により接続される形態とすることもできる。また、建設機械 1 0 は作業制御装置 3 0 による制御対象であり、姿勢制御装置 2 0 は、作業制御装置 3 0 が建設機械 1 0 を具体的に動作させるためのインタフェースとも捉えられ、その場合、作業制御装置 3 0 が作業制御システム 1 の主要部分と考えることが出来る。

20

## 【 0 0 2 0 】

姿勢制御装置 2 0 は、建設機械制御部 2 1 及び姿勢検出部 2 2 を有する。建設機械制御部 2 1 は、フィードバック制御部 3 2 が算出するフィードバック制御入力値を建機駆動処理部 1 7 に与えることで、建設機械 1 0 の可動部を動作させる。姿勢検出部 2 2 は、建設機械 1 0 のアーム等の可動部に設けられたセンサから各可動部の関節角を取得して建設機械 1 0 の姿勢を表す姿勢検出値として出力する。

30

## 【 0 0 2 1 】

作業制御装置 3 0 は、制御パラメータ調整部 3 1 及びフィードバック制御部 3 2 を有する。制御パラメータ調整部 3 1 は、制御の単位区間である制御区間毎に制御ゲインを調整する。また、制御パラメータ調整部 3 1 は、姿勢検出部 2 2 で検出された姿勢検出値に基づき制御区間毎に前記制御ゲインを調整する。この制御ゲインの調整処理についての詳細は後述する。フィードバック制御部 3 2 は、制御パラメータ調整部 3 1 が算出した制御ゲインと姿勢検出部 2 2 から取得した姿勢検出値とを用いて建設機械の姿勢を制御するフィードバック制御入力値を算出する。フィードバック制御部 3 2 は、このフィードバック制御入力値の生成処理を、姿勢検出値を用いた P I D 制御等により行う。

## 【 0 0 2 2 】

なお、このフィードバック制御入力値は、建設機械 1 0 の可動部毎に生成されるものであってもよく、複数の可動部に対する入力値が含まれるものであっても良い。また、作業制御システム 1 は、可動部毎に異なるパラメータを用いて入力値を算出するものとする。

40

## 【 0 0 2 3 】

図 3 に実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 の詳細なブロック図を示す。なお、図 3 では、ブロック間でやりとりされる情報の流れを示すために、すでに説明した建設機械 1 0、建設機械制御部 2 1 及び姿勢検出部 2 2 を示した。図 3 に示すように、作業制御装置 3 0 は、制御パラメータ調整部 3 1、フィードバック制御部 3 2、及び、作業指示部 3 3 を有する。作業指示部 3 3 は、建設機械 1 0 に行わせる作業内容を示す作業指示を制御パラメータ調整部 3 1 及びフィードバック制御部 3 2 に与える。以下では、特に、制御パ

50

ラメータ調整部 3 1 及びフィードバック制御部 3 2 について詳細に説明する。

【 0 0 2 4 】

制御パラメータ調整部 3 1 は、オーバーシュート算出部 3 1 1、加減率算出部 3 1 2、加減率平滑化処理部 3 1 3、制御ゲイン算出部 3 1 4 を有する。オーバーシュート算出部 3 1 1 は、前制御区間における目標位置に対する姿勢検出値のオーバーシュート量を算出する。この姿勢検出値は、姿勢検出部 2 2 から出力されるものである。加減率算出部 3 1 2 は、オーバーシュート量に基づき次制御区間の制御ゲインの加減率である制御ゲイン加減率を算出する。

【 0 0 2 5 】

加減率平滑化処理部 3 1 3 は、前制御区間で算出された平滑化後加減率と加減率算出部 3 1 2 で算出される制御ゲイン加減率とにより判断される制御ゲイン加減率の増減方向に基づき切り替えられる平滑化係数を用いて制御ゲイン加減率を平滑化した平滑化後加減率を算出する。制御ゲイン算出部 3 1 4 は、平滑化後加減率から次制御区間の制御ゲインを算出する。

10

【 0 0 2 6 】

ここで、加減率平滑化処理部 3 1 3 のより詳細なブロック図を図 4 に示す。図 4 に示すように、加減率平滑化処理部 3 1 3 は、平滑化係数決定部 4 1 及び平滑化後加減率算出部 4 2 を有する。平滑化係数決定部 4 1 は、制御ゲイン加減率が前制御区間で算出された平滑化後加減率よりも大きい場合にその他の時よりも平滑化係数を小さな値となるように書き換えて、平滑化係数を出力する。

20

【 0 0 2 7 】

なお、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 では、平滑化係数として、大きな値と小さな値の組み合わせを 1 つのセットとして扱う。また、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 では、制御対象部位或いは作業指示内容の違いに応じた複数セットの平滑化係数を予めシステム内に保持する。

【 0 0 2 8 】

平滑化後加減率算出部 4 2 は、前制御区間に対応した制御ゲイン加減率と、次制御区間に対応した制御ゲイン加減率と、に対して平滑化係数決定部 4 1 で決定された平滑化係数を適用した平滑化処理を施して平滑化後加減率を算出する。

【 0 0 2 9 】

フィードバック制御部 3 2 は、誤差更新部 3 2 1、制御入力算出部 3 2 2 を有する。誤差更新部 3 2 1 は、作業指示部 3 3 から得た作業内容の指示に含まれる目標位置と姿勢検出部 2 2 から得た姿勢検出値との誤差を算出する。制御入力算出部 3 2 2 は、制御ゲイン算出部 3 1 4 が算出した制御ゲインを用いて建設機械の姿勢を制御するフィードバック制御入力値を算出する。このとき、制御入力算出部 3 2 2 は、誤差更新部 3 2 1 で算出された誤差をゼロに近づけるようにフィードバック制御入力値を算出する。

30

【 0 0 3 0 】

上記の処理ブロックの動作についてより詳細に説明する。以下では、目標位置が設定されてから次に変化するまでの期間を制御区間に設定した例について説明する。また、以下の説明では制御対象部位の 1 つを対象としたものであり、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 では、制御対象部位毎に以下で説明する動作を行う。

40

【 0 0 3 1 】

まず、オーバーシュート算出部 3 1 1 で行われるオーバーシュート算出処理について説明する。図 5 に実施の形態 1 にかかるオーバーシュート算出処理を説明するフローチャートを示す。図 5 に示すように、実施の形態 1 にかかるオーバーシュート算出処理では、まず制御区間の初期位置と目標位置との差からオーバーシュートの方向を算出する（ステップ S 1）。次いで、姿勢検出値から把握される制御対象部位の現在位置と目標位置のオーバーシュート方向に対する誤差を算出する（ステップ S 2）。次いで、制御区間の初期時刻から現在時刻までの最大誤差を算出する（ステップ S 3）。そして、目標位置が切り替わるまでステップ S 2、S 3 の処理を繰り返す（ステップ S 4）。このステップ S 4 にお

50

いて、目標位置が切り替わったこと判断された場合、オーバーシュート算出部 3 1 1 は、ステップ S 2 ~ S 4 を通じて検出された最大誤差を前制御区間のオーバーシュート量として算出する（ステップ S 5）。

【0032】

ここで、図 5 のフローチャートを現在位置の変化を示すタイミングチャートを用いて説明する。図 6 にオーバーシュート算出処理で対象とするオーバーシュートの大きさを説明するタイミングチャートを示す。図 6 に示すように、実施の形態 1 では、目標位置が切り替わる毎に制御区間が切り替える。例えば、図 6 に示す例では、目標位置として  $T(i)$  が設定される時間  $t_1(j)$  から時間  $t_2(j)$  の期間を制御区間  $j$  とする。

【0033】

オーバーシュート算出部 3 1 1 は、ステップ S 1 のオーバーシュートの方向の算出では、制御区間の開始時刻の制御対象部位の位置を  $(t_1(j))$  と、制御区間  $j$  における目標位置  $T(i)$  との差に基づき判断する。また、オーバーシュート算出部 3 1 1 は、ステップ S 2 においてステップ S 1 で決定した方向の誤差を算出する。さらに、オーバーシュート算出部 3 1 1 は、目標位置の変化方向と同一方向のオーバーシュートの極大値を制御区間中継続して取得する。ここで、目標位置  $T(i)$  に対する誤差を  $e_i(t)$  とするとき、誤差  $e_i(t)$  は (1) 式で表される。ステップ S 3 では、オーバーシュートの極大値が発生する毎に誤差  $e(i)$  を蓄積する。

【数 1】

$$e_i(t) = \begin{cases} \max\{\theta(t) - \theta T(i), 0\} & \text{if } \theta(t_1(j)) \leq \theta T(i) \\ \max\{\theta T(i) - \theta(t), 0\} & \text{others} \end{cases} \quad \dots(1)$$

【0034】

その後、制御区間が終了するタイミングでオーバーシュート算出部 3 1 1 は、(2) 式を用いて、制御期間  $j$  中 ( $t_1(j)$  から  $t_2(j)$  の期間) の誤差の最大値  $a(j)$  を算出し、算出した最大値をオーバーシュート量  $a(j)$  として算出する。

【数 2】

$$a(j) = \sup e_i(t) \quad t \in [t_1(j), t_2(j)] \quad \dots(2)$$

【0035】

続いて、実施の形態 1 にかかる加減率算出部 3 1 2 の動作について詳細に説明する。図 7 に実施の形態 1 にかかる加減率算出処理を説明するフローチャートを示す。図 7 に示すように、加減率算出部 3 1 2 は、オーバーシュート算出部 3 1 1 により算出された前制御区間のオーバーシュート量を取得する（ステップ S 1 1）。次いで、加減率算出部 3 1 2 は、作業指示部 3 3 から現在の作業内容を取得する（ステップ S 1 2）。その後、加減率算出部 3 1 2 は、現在の作業内容に対する制御ゲイン加減率を前制御区間のオーバーシュート量から算出する（ステップ S 1 3）。

【0036】

ここで、制御ゲイン加減率は、オーバーシュート量を  $a(j)$ 、任意の大きさに設定される重み係数を  $\omega$ 、制御区間  $j$  に対応する制御ゲイン加減率を  $r(j)$  とすると (3) 式で表すことができる。

【数 3】

$$r(j) = 1 + \omega \cdot a(j) \quad \dots(3)$$

【0037】

続いて、実施の形態 1 にかかる平滑化係数決定部 4 1 の動作について詳細に説明する。

図 8 に実施の形態 1 にかかる平滑化係数決定処理を説明するフローチャートを示す。図 8 に示すように、平滑化係数決定部 4 1 は、加減率算出部 3 1 2 により算出された制御ゲイン加減率を取得する（ステップ S 2 1）。次いで、平滑化係数決定部 4 1 は、前制御区間の平滑化後加減率を平滑化後加減率算出部 4 2 から取得する（ステップ S 2 2）。そして、平滑化係数決定部 4 1 は、ステップ S 2 1 で取得した制御ゲイン加減率とステップ S 2 2 で取得した平滑化後加減率を大小比較する（ステップ S 2 3）。

【0038】

ここで、ステップ S 2 3 において、制御ゲイン加減率が平滑化後加減率よりも大きい場合、平滑化係数決定部 4 1 は、加減率が増加していると判断して増加率増大時の平滑化係数を次制御区間の制御ゲインの算出にもちいる増加率増大時の平滑化係数とする（ステップ S 2 4）。一方、ステップ S 2 3 において、制御ゲイン加減率が平滑化後加減率以下であった場合、平滑化係数決定部 4 1 は、加減率が減少していると判断して増加率減少時の平滑化係数を次制御区間の制御ゲインの算出にもちいる増加率増大時の平滑化係数とする（ステップ S 2 5）。なお、平滑化係数 と平滑化係数 は、 < の関係を有する。

10

【0039】

続いて、実施の形態 1 にかかる平滑化後加減率算出部 4 2 の動作について詳細に説明する。図 9 に実施の形態 1 にかかる平滑化加減率算出処理を説明するフローチャートを示す。図 9 に示すように、平滑化後加減率算出部 4 2 は、平滑化係数決定部 4 1 で算出された平滑化係数を取得する（ステップ S 3 1）。また、平滑化後加減率算出部 4 2 は、加減率算出部 3 1 2 により算出された制御ゲイン加減率を取得する（ステップ S 3 2）。そして、平滑化後加減率算出部 4 2 は、ステップ S 3 1、S 3 2 で取得した値を用いて次制御区間の平滑化後加減率を算出する（ステップ S 3 3）。

20

【0040】

ここで、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 では、平滑化係数決定部 4 1 で算出される平滑化係数が制御ゲイン加減率の増減方向により異なる。そこで、ステップ S 3 3 で算出される平滑化後加減率は、制御ゲイン加減率の増減方向の違いにより、(4)式と(5)式のいずれかにより算出される。(4)式は、制御ゲイン加減率が増加する方向となったときのものであり、(5)式は、制御ゲイン加減率が減少する方向となったときのものである。なお、 $R(j)$  は制御区間  $j$  の平滑化後加減率であり、 $R(j+1)$  は次制御区間となる制御区間  $j+1$  の平滑化後加減率である。また、建設機械 10 の稼動開始時の制御区間における平滑化後加減率  $R(1)$  は 1 である。

30

【数 4】

$$R(j+1) = \alpha \cdot R(j) + (1 - \alpha) \cdot r(j) \quad \dots (4)$$

【数 5】

$$R(j+1) = \beta \cdot R(j) + (1 - \beta) \cdot r(j) \quad \dots (5)$$

【0041】

ここで、オーバーシュート量と平滑化加減率との関係について説明する。そこで、図 10 にオーバーシュート量と平滑化加減率との関係を説明するグラフを示す。図 10 に示すグラフでは、実施の形態 1 にかかる制御パラメータ調整部 3 1 を用いて 10 個の制御区間に対して処理を繰り返し実行したものである。図 10 のグラフでは、横軸に試行を繰り返した制御区間の数（試行回数）を示し、左側の縦軸にオーバーシュート量を示し、右側の縦軸に平滑化後加減率を示したものである。また、図 10 では、オーバーシュート量を実線で示し、平滑化後加減率を一点鎖線で示した。また、図 10 に示す例は、オーバーシュート量が大きく、制御ゲイン加減率が増加する方向で選択される平滑化係数を 0.8、オーバーシュート量が小さく、制御ゲイン加減率が減少する方向で選択される平滑化係数を 0.99 としたものである。

40

50

## 【 0 0 4 2 】

図 1 0 に示す例では、試行回数が 1 回 ~ 2 回の試行期間は一定値以上のオーバーシュートが継続的に発生するため、2 回 ~ 3 回目の試行に対応した制御ゲインに適用される平滑化加減率が大きく上昇する。これにより、オーバーシュート量が抑制される方向に制御ゲインが小さくなる。

## 【 0 0 4 3 】

また、試行回数が 3 回 ~ 5 回の試行期間は、オーバーシュート量が一定値以下に抑制されている。そのため、4 回目 ~ 6 回目の試行に対応した制御ゲインに適用される平滑化加減率は少しずつ減少する。これにより、オーバーシュート量は一定値以下に抑制されるように維持されながら、建設機械 1 0 の動作速度が維持される。

10

## 【 0 0 4 4 】

また、試行回数が 6 回の試行期間は、オーバーシュート量が一定値を超える。そのため、7 回目の試行に対応した制御ゲインに適用される平滑化加減率は大きく上昇する。これにより、オーバーシュート量が抑制される方向に制御ゲインが小さくなる。

## 【 0 0 4 5 】

また、試行回数が 7 回 ~ 1 0 回の試行期間は、オーバーシュート量が一定値以下に抑制されている。そのため、8 回目 ~ 1 1 回目 ( 1 1 回目は不図示 ) の試行に対応した制御ゲインに適用される平滑化加減率は少しずつ減少する。これにより、オーバーシュート量は一定値以下に抑制されるように維持されながら、建設機械 1 0 の動作速度が維持される。

## 【 0 0 4 6 】

このように、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 では、加減率算出部 3 1 2、平滑化係数決定部 4 1、平滑化後加減率算出部 4 2 を用いて制御ゲインの算出に適用される加減率を平滑化することで、オーバーシュート量を一定値以下に即座に抑制しながら、オーバーシュート量が少ない場合には制御ゲインを徐々に上昇させるように調整する。

20

## 【 0 0 4 7 】

続いて、制御ゲイン算出部 3 1 4 について説明する。図 1 1 に実施の形態 1 にかかる制御ゲイン算出処理を説明するフローチャートを示す。図 1 1 に示すように、制御ゲイン算出部 3 1 4 では、まず、平滑化後加減率算出部 4 2 により算出された最新の平滑化後加減率を取得する ( ステップ S 4 1 )。次いで、制御ゲイン算出部 3 1 4 は、ステップ S 4 1 で取得した平滑化後加減率を用いて次制御区間における制御ゲインを算出する ( ステップ S 4 2 )。

30

## 【 0 0 4 8 】

ここで、制御ゲイン算出部 3 1 4 における制御ゲイン算出処理についてさらに詳細に説明する。ここでは、オーバーシュート量の最大値を取得した前制御区間を  $j$  とし、前制御区間  $j$  の結果に基づき算出した制御ゲインを適用する制御区間を次制御区間を  $j + 1$  とする。また、次制御区間  $j + 1$  に対応する制御ゲインを  $K(j + 1)$ 、制御ゲインの初期値を  $K(1)$ 、前制御区間  $j$  の結果に基づき算出され、次制御区間  $j + 1$  に適用される平滑化加減率を  $R(j + 1)$  とする。このような条件の下、制御ゲイン算出部 3 1 4 は、( 6 ) 式に基づき次制御区間  $j + 1$  に適用する制御ゲイン  $K(j + 1)$  を算出する。

## 【 数 6 】

$$K(j + 1) = K(1) / R(j + 1) \quad \dots (6)$$

40

## 【 0 0 4 9 】

続いて、フィードバック制御部 3 2 におけるフィードバック制御入力値の算出処理について説明する。フィードバック制御部 3 2 は、誤差更新部 3 2 1 と制御入力算出部 3 2 2 とを有する。そして、誤差更新部 3 2 1 においてリアルタイムな姿勢検出値と目標位置との誤差を算出する。そして、制御入力算出部 3 2 2 において、誤差をゼロに近づけるフィードバック制御入力値を算出する。そこで、制御入力算出部 3 2 2 におけるフィードバック制御入力値の算出処理について説明する。図 1 2 に実施の形態 1 にかかるフィードバッ

50

ク制御処理を説明するフローチャートを示す。

【 0 0 5 0 】

図 1 2 に示すように、制御入力算出部 3 2 2 は、まず、制御ゲイン算出部 3 1 4 により算出された制御ゲインを取得する（ステップ S 5 1）。次いで、制御入力算出部 3 2 2 は、取得した制御ゲインを用いてフィードバック制御入力値を算出する（ステップ S 5 2）。つまり、フィードバック制御部 3 2 では、制御パラメータ調整部 3 1 により更新された制御ゲインに基づきフィードバック制御入力値を算出する。

【 0 0 5 1 】

上記説明より、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 では、制御区間毎に前制御区間に発生したオーバーシュート量に基づき次制御区間に適用する制御ゲインの大きさを調整する。つまり、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 では、建設機械 1 0 の運用中に変化する各部位のトルク或いは作業内容に応じて制御ゲインを調整する。例えば、作業内容としては、掘削地点にアームを伸ばす、掘削地点へバケットの刃先を入れる、掘削する、持ち上げる、掘削した土砂を乗せたまま方向転換する、バケットに入っている土砂を放土する等がある。このような作業においてはバケットに土砂が入っている状態と入っていない状態とでは、バケット或いはアームを動かす際のトルクに違いが生じる。また、掘削作業中とその他の作業中とでは必要になるトルクに違いが生じる。建設機械では、作業内容に応じて必要になる各部位に必要なトルクが変化する。そこで、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 のように前制御区間に派生したオーバーシュート量に基づき制御ゲインを制御区間毎に計算する。これにより、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 では、各部位に必要なトルクの増減が生じてもオーバーシュート量を抑制することができる。

【 0 0 5 2 】

また、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 では、前制御区間で算出した平滑化加減率と前制御区間で発生したオーバーシュート量から算出した制御ゲイン加減率との比較結果に応じて平滑化後加減率算出部 4 2 で平滑化係数 と平滑化係数 のいずれを選択する。そして、平滑化係数 と平滑化係数 との関係を  $<$  とする。これにより、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 は、制御ゲインの減少方向の感度を高め、かつ、制御ゲインの増加方向の感度を低くする。このような制御を行うことで、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 では、オーバーシュートの大きさが一定値以下の範囲に早急に抑制しながら、建設機械 1 0 の動作速度を不当に抑制しないような制御を行うことができる。

【 0 0 5 3 】

また、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 では、平滑化後加減率算出部 4 2 で選択する平滑化係数の組み合わせを制御対象の部位、或いは、作業内容に応じて切り替える。これにより、実施の形態 1 にかかる作業制御システム 1 は、作業の内容或いは必要トルクに応じた最適な制御ゲインの算出を行うことができる。

【 0 0 5 4 】

実施の形態 2

実施の形態 2 では、制御区間の設定方法の別の形態について説明する。実施の形態 1 では、1 つの制御区間内で発生する目標位置の切り替わりは 1 つであった。実施の形態 2 では、1 つの制御区間内で複数回の目標位置の切り替わりを行う。そして、このような目標位置の切り替わりが生じた場合のオーバーシュート量の算出方法について説明する。

【 0 0 5 5 】

そこで、図 1 3 に実施の形態 2 にかかる制御区間と目標位置との関係を説明するタイミングチャートを示す。図 1 3 に示す例では、時刻  $t_1(j)$  から時刻  $t_2(j)$  に至る制御区間  $j$  において、4 回の目標位置の切り替わりが発生する。この 4 回の目標位置の切り替わりにおいて発生するオーバーシュート量をそれぞれ  $a(i) \sim a(i+3)$  とする。なお、オーバーシュート量  $a(i) \sim a(i+3)$  は、(1) 式に応じて算出される。そして、実施の形態 2 では、(2) 式に代えて(7)式、或いは、(8)式に応じて算出する。(7)式は、制御期間  $j$  の期間中に発生するオーバーシュート量  $a(i) \sim a(i+$

10

20

30

40

50

3) の平均値を制御期間のオーバーシュート量  $a(j)$  とするものである。(8)式は、制御期間  $j$  の期間中に発生するオーバーシュート量  $a(i) \sim a(i+3)$  の最大値を制御期間のオーバーシュート量  $a(j)$  とするものである。なお、(7)式及び(8)式において、 $n$  及び  $k$  は、1つの制御期間内の目標値の切り替わり回数を示す。

【数7】

$$a(j) = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} a(i+k) \quad \dots (7)$$

10

【数8】

$$a(j) = \max\{a(i), a(i+1), \dots, a(n-1)\} \quad \dots (8)$$

【0056】

上記説明より、実施の形態2では、制御区間の長さを任意に設定し、実施の形態1にかかる作業制御システム1の制御ゲインの調整期間を柔軟に設定することができる。

【0057】

以上、実施の形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記によって限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、発明の範囲内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

20

【0058】

この出願は、2020年9月29日に出願された日本出願特願2020-162900を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

【符号の説明】

【0059】

- 1 作業制御システム
- 10 建設機械
- 11 クローラー
- 12 旋回台
- 13 コックピット
- 14 ブーム
- 15 アーム
- 16 バケット
- 17 建機駆動処理部
- 181 ~ 184 姿勢センサ
- 20 姿勢制御装置
- 21 建設機械制御部
- 22 姿勢検出部
- 30 作業制御装置
- 31 制御パラメータ調整部
- 32 フィードバック制御部
- 311 オーバーシュート算出部
- 312 加減率算出部
- 313 加減率平滑化処理部
- 314 制御ゲイン算出部
- 321 誤差更新部
- 322 制御入力算出部
- 33 作業指示部

30

40

50

- 4 1 平滑化係数決定部
- 4 2 平滑化後加減率算出部

【図面】

【図 1】

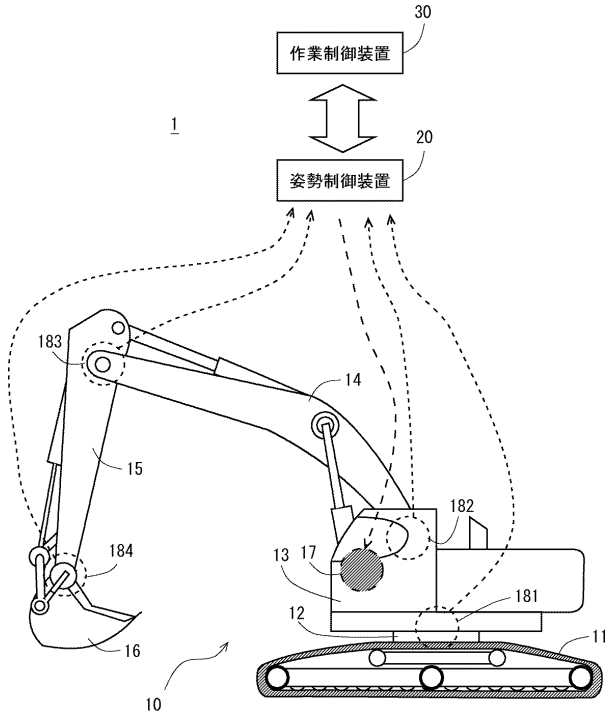


Fig. 1

【図 2】

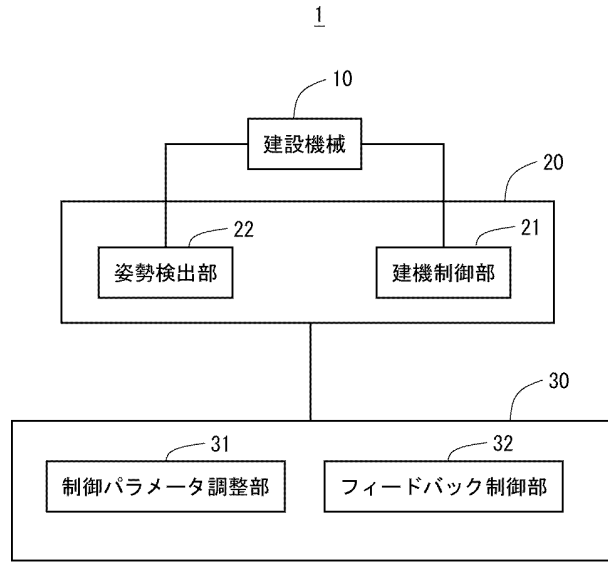


Fig. 2

【図 3】

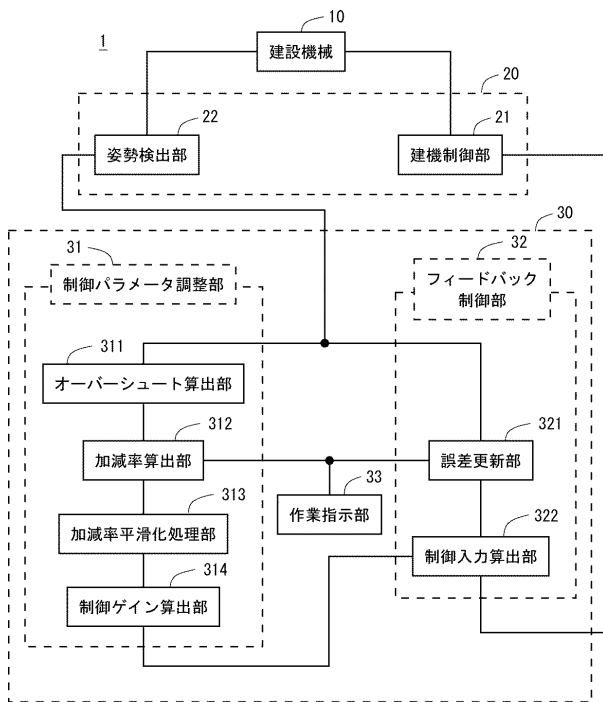


Fig. 3

【図 4】

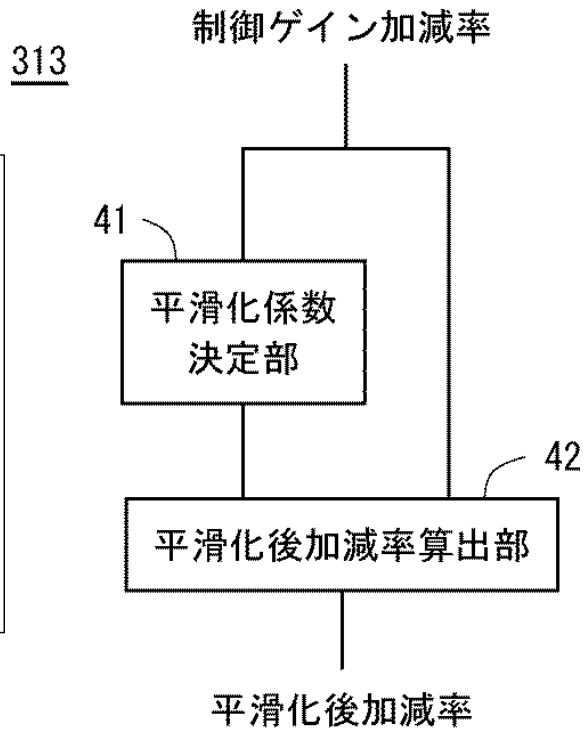


Fig. 4

10

20

30

40

50

【図5】

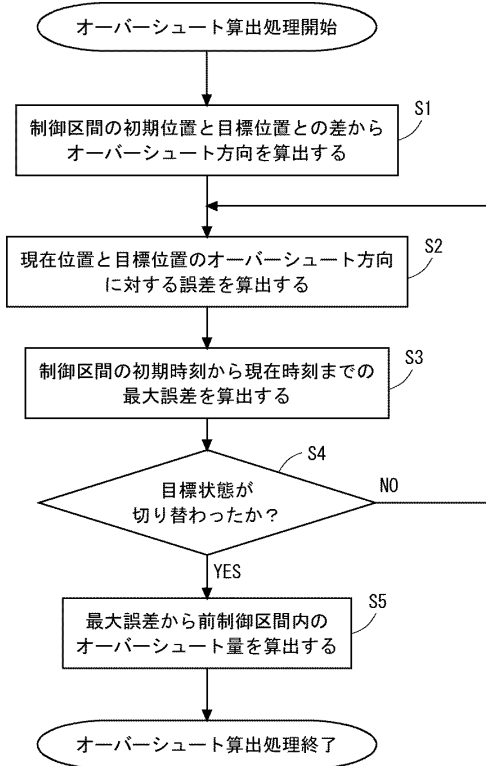


Fig. 5

【図6】

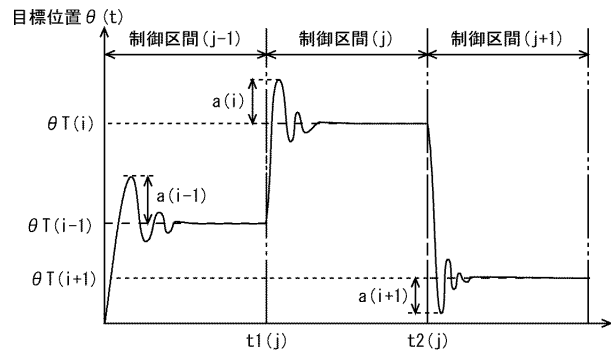


Fig. 6

【図7】

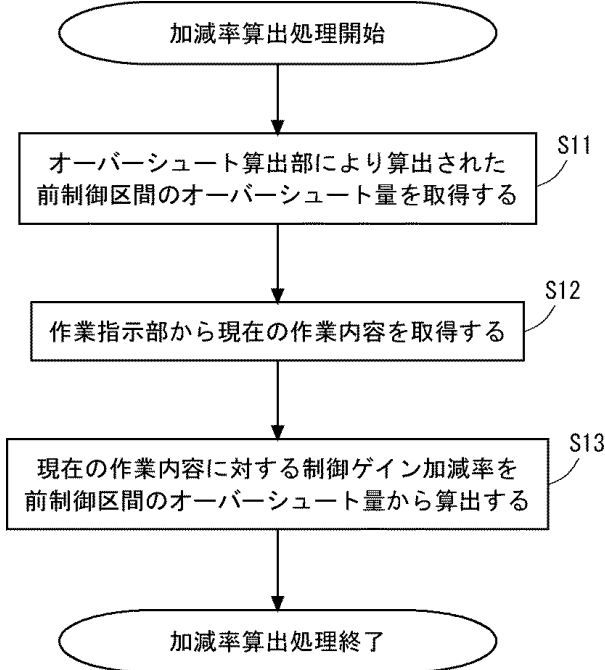


Fig. 7

【図8】

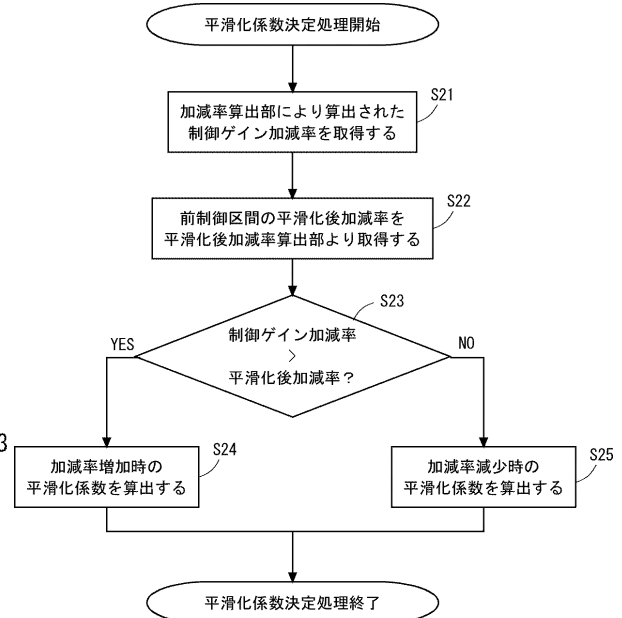


Fig. 8

10

20

30

40

50

【図 9】

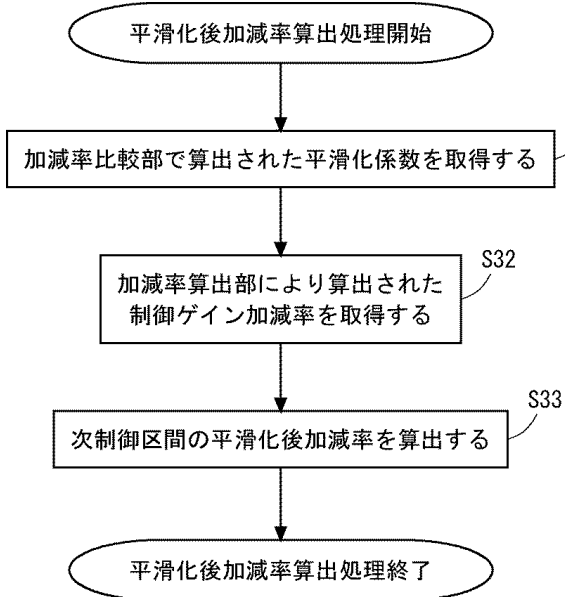


Fig. 9

【図 10】

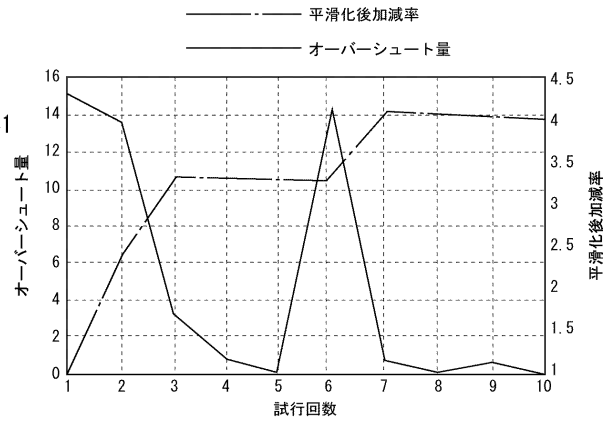


Fig. 10

【図 11】

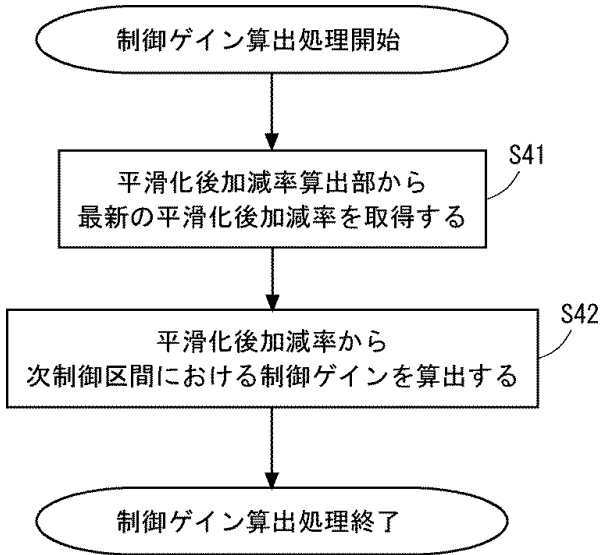


Fig. 11

【図 12】

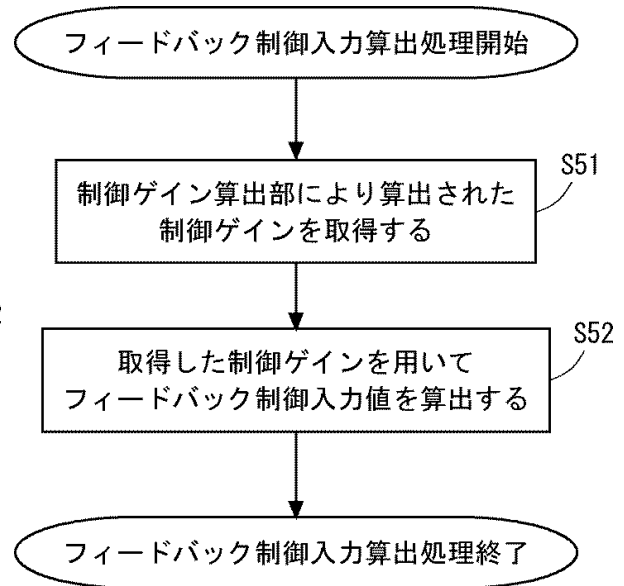


Fig. 12

10

20

30

40

50

【 13 】

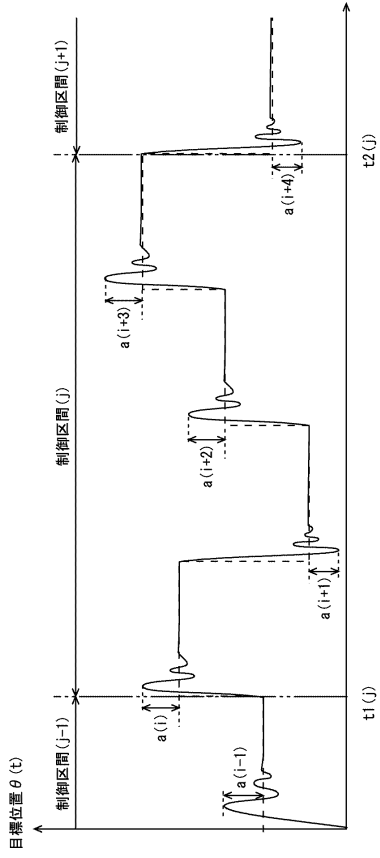


Fig. 13

10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平4 - 75113 (JP, A)  
特開2011 - 6862 (JP, A)  
特開平2 - 245902 (JP, A)  
特開2003 - 61377 (JP, A)  
米国特許出願公開第2020 / 0024828 (US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
E02F 9 / 20  
E02F 3 / 43  
G05B 11 / 36  
G05B 13 / 02