

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

演奏操作子と、
前記演奏操作子を駆動するための駆動手段と、
前記演奏操作子の動きに応じた物理量を検出する検出手段と、
前記演奏操作子の操作位置の目標値及び操作速度の目標値の少なくともいずれか一方を生成する目標値生成手段と、
前記検出手段の出力と前記目標値の偏差に対して或るゲイン値を乗算し、その乗算結果に基づき前駆駆動手段をサーボ制御する制御手段と、
前記操作位置の目標値及び操作速度の目標値の少なくともいずれか一方に基づき前記制御手段におけるゲイン値を可変設定するゲイン値設定手段と
を含むことを特徴とする演奏操作子の駆動装置。 10

【請求項 2】

前記ゲイン値設定手段は、前記演奏操作子の操作位置に関する偏差に対するゲイン値及び操作速度に関する偏差に対するゲイン値の少なくとも何れか一方を設定する手段であることを特徴とする請求項 1 に記載の演奏操作子の駆動装置。

【請求項 3】

前記ゲイン値設定手段は、前記操作位置に関する偏差に対するゲイン値及び前記操作速度に関する偏差に対するゲイン値の少なくとも一方を、所定の操作速度を境界として、異なる値に設定する手段を含むことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の演奏操作子の駆動装置。 20

【請求項 4】

前記制御手段は、前駆駆動手段をサーボ制御するために該駆動手段に与える駆動データに対して所定の固定値を加算するための加算手段を含み、
該加算手段において、前記操作位置の目標値及び操作速度の目標値の少なくともいずれか一方に応じて可変する所定値を該固定値に加えて加算するようにしたことを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れかに記載の演奏操作子の駆動装置。

【請求項 5】

前記請求項 1 乃至 4 の何れかに記載の演奏操作子の駆動装置を有する自動演奏ピアノ。

【請求項 6】

演奏操作子をサーボ制御によって駆動するための方法であって、
前記演奏操作子を駆動手段によって駆動する手順と、
前記演奏操作子の動きに応じた物理量を検出する手順と、
前記演奏操作子の操作位置の目標値及び操作速度の目標値の少なくともいずれか一方を生成する手順と、
前記検出した物理量に応じた出力と前記目標値との偏差に対して或るゲイン値を乗算して、その乗算結果に基づき前駆駆動手段のサーボ制御を行う手順と、
前記操作位置の目標値及び操作速度の目標値の少なくともいずれか一方に基づき前記制御手段におけるゲイン値を可変設定する手順と
を含むことを特徴とする演奏操作子の駆動方法。 30 40

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

この発明は、自動演奏ピアノ等の自動演奏楽器において、演奏操作子を駆動するための駆動装置、及び、前記演奏操作子を駆動するための方法に関にする。

【背景技術】**【0002】**

従来から知られる自動演奏ピアノの一例として、鍵を電氣的に駆動するための電磁ソレノイドと、ソレノイドのプランジャの動きを連続量で検出するプランジャセンサとを有し、制御系において、再生すべき演奏情報に基づく鍵の時間経過に応じた変位を表す軌道リ 50

ファランスを生成すると共に、前記プランジャセンサの検出信号がフィードバック信号として帰還入力され、該生成した軌道リファラン스와該プランジャセンサの検出信号とに基づくソレノイドの駆動のサーボ制御を行うことで、前記演奏情報に応じた鍵の挙動の再現を行うようにしたものがあった（例えば下記特許文献1を参照）。該特許文献1においては、サーボ制御の内容として、位置サーボ制御又は速度サーボ制御の何れも適用できる旨が開示されている。

【0003】

また、上記特許文献1には、鍵の駆動速度とハンマの打弦速度の関係について、鍵の所定のストローク位置における速度と、ハンマの打弦速度とが重要な対応を示す旨が記載されており、前記所定のストローク位置における鍵の速度を適切に制御することで、ハンマの打弦速度を忠実に再現できるようになることが開示されている。前記所定のストローク位置は、ピアノ個体差によって多少の変動があるものの、概ね、レスト位置から9.0～9.5mm押し下げた位置とされる。なお、本明細書中では、上記所定のストローク位置を鍵の「リファランス位置」という。

10

【0004】

また、自動演奏ピアノにおいて、鍵以外の演奏操作子を自動的に駆動する技術として、ペダルを自動的に駆動するものがあった（例えば、特許文献2参照）。該特許文献2においては、位置制御及び速度制御の双方をペダル駆動制御に適用すると共に、センサによって検出されたペダルの位置情報がフィードバックされる構成が開示されている。なお、該特許文献2には、正規化処理を行うことで、個々の自動演奏ピアノに応じた個体差を吸収

20

【特許文献1】特開平7-175472号公報

【特許文献2】特開平2-275991号公報

【0005】

ところで、鍵の駆動制御においては重要なことは、演奏情報が表す打弦速度を忠実に再現すべく、鍵の動作速度（押鍵速度）を制御することである。上記特許文献1に開示された鍵の駆動制御においては、帰還入力されたプランジャの動作位置或いは動作速度と軌道リファランスとの偏差に応じて、鍵の駆動速度が制御される構成であったが、これだけでは、軌道リファランスが表す押鍵速度（サーボ制御の目標値）に対する実際の押鍵速度（サーボ制御の制御量）の追従性が不十分であった。特に、鍵の押鍵動作の開始時において、押鍵速度の追従性が鈍くなってしまう易く、このことから、連打打鍵を行う場合の追従性能が損なわれていた、という不都合があった。一方で、鍵の速度追従性を向上すべく押鍵ストローク全体にわたってサーボのゲイン係数を大きくすると、押鍵速度の与えすぎによる鍵の挙動の乱れ（所謂「2度打ち」等）といった不都合が生じる恐れがあった。このことから、サーボゲイン係数の係数値（ゲイン値）は、前記押鍵速度の追従性不足と押鍵速度の過多との双方を回避しうよう、中庸な値に設定されることとなり、これを鍵の軌道再現性向上のために積極的に活用することはなかった。

30

また、特許文献2に開示された技術を鍵に応用して、位置制御及び速度制御の双方による駆動制御を行うことも考えられるが、該特許文献2においては最終的にはペダルの「操作位置」の再現に制御の主眼が置かれていた。従って、「押鍵速度」を再現することに制御の主眼が置かれるところの鍵駆動に対して、該特許文献2の技術をそのまま適用しただけでは、鍵を軌道リファランスに対して忠実に駆動することが困難であった。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

この発明は上述の点に鑑みてなされたもので、例えば自動演奏ピアノの鍵のサーボ制御のような、自動演奏楽器の演奏操作子の駆動制御において、実現すべき演奏操作子の動作の目標値（軌道リファランス）に対する演奏操作子の実際の動作（制御量）の追従性を向上させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 0 7 】

この発明は、演奏操作子と、前記演奏操作子を駆動するための駆動手段と、前記演奏操作子の動きに応じた物理量を検出する検出手段と、前記演奏操作子の操作位置の目標値及び操作速度の目標値の少なくともいずれか一方を生成する目標値生成手段と、前記検出手段の出力と前記目標値との偏差に対して或るゲイン値を乗算し、その乗算結果に基づき前駆駆動手段をサーボ制御する制御手段と、前記操作位置の目標値及び操作速度の目標値の少なくともいずれか一方に基づき前記制御手段におけるゲイン値を可変設定するゲイン値設定手段とを含むことを特徴とする演奏操作子の駆動装置である。

【 0 0 0 8 】

また、この発明は、演奏操作子をサーボ制御によって駆動するための方法であって、前記演奏操作子を駆動手段によって駆動する手順と、前記演奏操作子の動きに応じた物理量を検出する手順と、前記演奏操作子の操作位置の目標値及び操作速度の目標値の少なくともいずれか一方を生成する手順と、前記検出した物理量に応じた出力と前記目標値との偏差に対して或るゲイン値を乗算して、その乗算結果に基づき前駆駆動手段のサーボ制御を行う手順と、前記操作位置の目標値及び操作速度の目標値の少なくともいずれか一方に基づき前記制御手段におけるゲイン値を可変設定する手順とを含むことを特徴とする演奏操作子の駆動方法として構成することも可能である。

【 発明の効果 】

【 0 0 0 9 】

上記構成からなる演奏操作子の駆動装置によれば、目標値生成手段は、前記演奏操作子の操作位置の目標値及び操作速度の目標値の少なくともいずれか一方を生成し、ゲイン値設定手段は、前記操作位置の目標値及び操作速度の目標値の少なくともいずれか一方に基づき制御手段におけるゲイン値（サーボのゲイン係数）を可変設定する。これにより、制御手段におけるサーボのゲイン値は、操作位置の目標値及び操作速度の目標値の少なくともいずれか一方に応じた値に設定されることになる。制御手段は、前記検出手段の出力と前記目標値との偏差に対して、前記ゲイン値設定手段によって設定したゲイン値を乗算し、その乗算結果に基づき前駆駆動手段をサーボ制御する。これにより、目標値が表す演奏操作子の操作位置や操作速度等の要素を考慮したより緻密な鍵の駆動制御を行うことができるようになり、目標値に対する制御量の追従性を向上させることができる。特に速度制御の精度を向上することができるので、自動演奏ピアノの鍵の駆動制御に好適である。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 0 】

以下、添付図面を参照してこの発明の一実施例について説明する。当該実施例においては、この発明に係る演奏操作子の駆動装置を、自動演奏機能を有するアコースティックピアノ（自動演奏ピアノ）に適用した例を示す。

【 0 0 1 1 】

図 1 は、この実施例に係る自動演奏ピアノの概要構成図であり、機械的な発音機構の要部と共に、電気的制御系に関する機能ブロックの要部を抽出して示している。図 1 に示すように、自動演奏ピアノは、機械的な発音機構として、複数（例えば 88 個）の鍵 1 と、該鍵 1 の運動をハンマに伝達するためのアクション機構 2 と、対応する鍵 1 の運動に連動して打弦運動するハンマ 3 と、該ハンマ 2 によって打撃される弦 4 と、弦 4 の振動を止めるためのダンパ 5 とを含む。鍵 1 は、バランスピン P に貫通された位置を凡その支点として、上下揺動可能に支持されており、非押鍵時（外力を加えない状態）では図 1 において実線で示すレスト位置（ストローク 0 mm の位置）にある。そして、演奏操作（押鍵及び離鍵）に応じて、前記レスト位置からエンド位置の間で上下にストロークする。前記エンド位置は、例えばレスト位置から 10 mm 押し下げられたストローク位置とし、これを図において 2 点鎖線で示す。鍵 1 の後端下面側には、当該鍵 1 を駆動するための鍵駆動装置（アクチュエータ）として、電磁ソレノイド 6 が具備されている。これらの構成は、一般的な自動演奏ピアノと概ね同様である。

【 0 0 1 2 】

10

20

30

40

50

ソレノイド 6 は、周知の通り、ヨーク内に配置されたコイルと、該コイル軸心内において双方向的に直線移動可能に挿入された棒状のプランジャ 9 とを有しており、該プランジャ 9 の先端部が鍵 1 の後端下面部に当接されている。当該ソレノイド 6 に対して励磁電流が与えられることでソレノイド 6 が駆動されると、プランジャ 9 は上方変位して、対応する鍵 1 の後端下面を突き上げる。このプランジャ 9 の突き上げによって、対応する鍵 1 の駆動（押鍵駆動）が行われる。すなわち、自動演奏ピアノにおいては、ソレノイド 6 と鍵 1 という夫々機械的に独立した動作系を介して、最終的な制御対象となるハンマ 3 の打弦運動が実現される。

【 0 0 1 3 】

自動演奏ピアノの各鍵 1 の下面側には、鍵 1 の動作を検出するためのキーセンサ 7 が配 10
設される。キーセンサ 7 は、例えば、鍵 1 の動作ストロークの全工程について連続的な位置情報を出力可能な光学式の位置センサによって構成され、鍵 1 のストローク位置を表すデータをアナログ信号で出力しうる。周知の通り、位置センサの出力（位置情報）を時間的に微分演算することで、速度情報を求めることが可能である。キーセンサ 7 の出力は、後述する記録制御部 1 2 並びにモーション制御部 1 1 の双方に供給され、演奏録音時の演奏情報の生成・記録処理と、演奏情報再生時のサーボ制御とに利用される。また、キーセンサ 7 として適用可能な光学式位置センサの具体的な構成例については、例えば上記特許文献 1 に記載の構成等、従来から知られる適宜のセンサ構成を採用してよく、また、光学式に限らず、その他適宜の位置センサによって構成されても差し支えない。

各ハンマ 3 に対応してハンマ 3 による打弦速度及び打弦タイミングを検出するためのハン 20
マセンサ 8 が設けられている。各ハンマセンサ 8 は、例えばハンマ 3 の運動に関する物理量（位置、速度或いは加速度等）の情報を出力可能な適宜の光学式のセンサ等によって構成されてよい。この例では、ハンマセンサ 8 の出力は、後述する記録制御部 1 2 に供給され、演奏録音時の演奏情報の生成処理に際して利用される。なお、自動演奏ピアノのハンマセンサとして適用可能な各種センサの具体的な構成例については、例えば、特開 2 0 0 1 - 1 7 5 2 6 2 号公報等に詳細に記載されている。

【 0 0 1 4 】

ここで、図 2 を参照して、当該自動演奏ピアノの電氣的なハードウェア構成について簡単に説明すると、図 2 に示すように当該自動演奏ピアノは、C P U 2 0、R O M 2 1、R 30
A M 2 2 及び記憶装置 2 3 を含み、各装置間がデータ及びアドレスバス 2 0 B を介して接続される。

【 0 0 1 5 】

C P U 2 0 は、当該自動演奏ピアノの全体的な動作を制御するとともに、演奏情報の再生処理や、鍵操作に応じた演奏情報の記録（演奏録音）処理等の各種信号処理を実行する。C P U 2 0 が実行する各種処理の制御プログラムは、例えば R O M 2 1 内に記憶されていてよい。該各種処理の実行中に発生した各種データや各種パラメータは、R A M 2 2 等の適宜のメモリ内に記憶される。また、R O M 2 1 或いは R A M 2 2 には、詳しくは後述するフィードバックゲイン値を算出するためのテーブルが記憶される。

【 0 0 1 6 】

記憶装置 2 3 は、演奏録音処理により生成した演奏情報を書き込むことや、演奏情報再生時に使用する演奏情報の記憶しておくことに利用されるものであり、ハードディスク、 40
フレキシブルディスク又はフロッピー（登録商標）ディスク、コンパクトディスク（C D - R O M）、光磁気ディスク（M O）、Z I P ディスク、D V D（D i g i t a l V e r s a t i l e D i s k）、半導体メモリ等、適宜の記憶媒体で構成してよい。

【 0 0 1 7 】

入出力インターフェース（I / O）2 4 は A D 変換器を含み、キーセンサ 7 及びハンマセンサ 8 から出力される検出信号（アナログ信号）は、当該 I / O 2 4 を介してデジタル信号に変換されて C P U 2 0 へ出力される。C P U 2 0 では所定のクロックタイミング毎に各センサの出力を取得する処理を行う。また、後述する演奏情報再生時に C P U 2 0 の制御の下で生成されるソレノイド駆動用の制御信号は、P W M 発生器 2 5 を介して P W 50

M形式の電流信号（以下PWM信号と略称）に変換され、ソレノイド6に出力される。なお、当該自動演奏ピアノには、この他にも操作者（ユーザ）が動作モードの選択等を行うための各種設定用の操作子群や、適宜の外部機器に接続する通信インターフェース等が具備されてよい。

【0018】

当該自動演奏ピアノにおいて実行される演奏録音動作及び演奏情報の再生動作の概略について説明する。図1において、記録制御部12及び記録後処理部13は、演奏録音処理に関するモジュールに相当し、また、再生前処理部10及びモーション制御部11は演奏情報の再生処理に関するモジュールに相当する。これら各モジュールが担う各種演算処理によって実現される各種機能は、CPU20が実行するソフトウェアプログラムによって実施されてよいが、これに限らず、該各モジュールが担う各種演算処理を実行する信号処理回路を備えることで、該各モジュールの各種機能をハードウェア装置によって構成しても差し支えない。

10

【0019】

記録制御部12では、キーセンサ7やハンマセンサ8から出力された各検出信号に基づき演奏情報の生成・記録処理を行う。すなわち、ハンマセンサ8の検出信号に基づき打弦速度及び打弦時刻に関する情報を求め、また、キーセンサ7の検出信号に基づき押鍵速度及び押鍵時刻に関する情報を求め、これら演奏イベントに関する種々の情報に基づき演奏者によるピアノ演奏の演奏内容を表す演奏情報を生成する。ここで生成される演奏情報は、MIDI形式等、適宜のデータフォーマットで作成されてよい。生成された演奏情報は、記録後処理部13において正規化処理された後に、適宜の記憶装置23（図2参照）に記録されうる。ここで前記正規化処理とは、ピアノの個体差を吸収するための処理である。なお、正規化処理については、例えば上記特許文献2等の記載に詳しい。

20

【0020】

再生前処理部10では、記憶装置23（図2参照9や、図示しないリアルタイム通信装置等から供給される演奏情報に基づいて、該演奏情報に含まれる各演奏イベントを再現するための鍵の軌道データを生成し、これをモーション制御部11に供給する。ここで前記鍵の軌道データは、或る時間区間での時間経過に応じた鍵の位置の変化を表すデータであり、演奏情報に含まれる打弦速度情報（ハンマに与えられるべき打弦速度）を実現するために鍵が描くべき軌道を計算によって求めたものである。なお、MIDI情報に基づき自動演奏ピアノの鍵駆動用の軌道データを生成するための処理、制御原理等の詳細については、上記特許文献1等の公知の文献を参照されたい。

30

モーション制御部11では、供給された軌道データを用いて各時刻におけるソレノイド駆動用の目標値を生成する。モーション制御部11には、また、キーセンサ7の検出信号に対応する物理量情報（位置、速度或いは加速度等）がフィードバック信号として入力されている。モーション制御部11は、基本的には、前記目標値（軌道データ）とキーセンサ7の検出信号とに基づき、ソレノイド6を駆動するための制御信号uを生成し、前述のPWM発生器25（図2参照）を介して、前記制御信号uに応じた励磁電流をソレノイド6に出力することで、鍵1の挙動をサーボ制御するものである。

【0021】

モーション制御部11は、直接にはソレノイド6に対して励磁電流を与えて、これを駆動するものであるが、その制御の目的は、最終的には、適切なハンマ3の打弦速度を実現すべく鍵1を駆動することにあり、軌道リファランスが表わす押鍵速度情報に忠実な鍵1の押鍵速度を再現することに制御の重点が置かれる。前述の通り、鍵1のストローク幅（レスト位置 - エンド位置間）は略10mmである。よって、モーション制御部10は、目標値（軌道リファランス）が表す押鍵速度を、比較的狭い限られた動作範囲（略10mm）内において、忠実に再現することを要請される。また、ソレノイド6と鍵1とは、夫々機械的に独立した動作系であり、異なる運動伝達の性質を持つことから、単純に実現すべき鍵の軌道データのみを考慮したソレノイド駆動信号（制御信号u）では、鍵1の軌道再現性が不十分である。この実施例によれば、詳しくは後述するように、モーション制御部

40

50

11において、サーボ制御のゲイン係数を供給された目標値（軌道リファランス）に応じて変更することで、鍵の速度再現性を非常に高精度に高めることができるようになる。

【0022】

図3は、上記モーション制御部11において実行されるサーボ制御のシステム構成を機能的に示すブロック図である。以下、この発明に係るサーボ制御における制御アルゴリズムの一例について説明する。なお、図3において、1点鎖線で囲むフィードバックループにおける各種演算処理は、CPU20が実行するソフトウェアプログラムによって実施される。

【0023】

図3において、目標値生成部30は、再生すべき演奏情報に応じて生成された鍵の軌道データ（軌道リファランス）に基づき、或る時刻における該軌道リファランスの位置成分を表す位置目標値 r_x 及び速度成分を表す速度目標値 r_v を生成する。目標値生成部30で生成された各事象（位置及び速度）についての目標値は、所定のサンプル時間（例えば1ms毎）に従って、並行に送出される。なお、この実施例において、鍵1はレスト位置（ストローク0mm）からエンド位置（レスト位置から略10mm押し下げられた位置）の間でストロークするものであるため、位置目標値 r_x の値は、一例として、ミリメートル（mm）単位で表現でき、0～10mmの範囲の値をとりうる。また、速度目標値 r_v の値は、一例として、ミリメートル毎秒（mm/s）単位で表現でき、0～500mm/sの範囲の値をとりうる。

【0024】

目標値生成部30で生成された位置目標値 r_x 及び速度目標値 r_v は、所定のサンプル時間（例えば1ms毎）に従って、次段の位置比較部31及び速度比較部32に夫々入力される。位置比較部31及び速度比較部32には、前記位置目標値 r_x 及び速度目標値 r_v と共に、後述する位置フィードバック信号及び速度フィードバック信号が夫々負帰還入力される。位置比較部31は、目標値生成部30で生成した位置目標値 r_x から該位置フィードバック信号を減算して、両者の差分を表す位置偏差 e_x を求める。また、速度比較部32では、速度目標値 r_v と速度フィードバック信号を減算して、両者の差分を表す速度偏差 e_v を求める。

【0025】

図3において、符号33はゲイン値算出部である。ゲイン値算出部33には、目標値生成部30から出力された位置目標値 r_x が供給される。ゲイン値算出部33では、前記供給された位置目標値 r_x に基づき、後述する算出テーブルを参照して、前記位置偏差 e_x に対して乗算すべき位置ゲイン値 k_x （サーボゲイン係数）を算出する。このように、位置目標値 r_x に応じて位置偏差 e_x に対するサーボゲイン係数を可変することで、各時刻における鍵のストローク位置の位置目標値 r_x に対する追従性を向上させることができる。位置ゲイン値 k_x を可変制御して、各時刻の位置目標値 r_x を精密に再現することによって、時間経過に応じた鍵1のストローク位置の変化の再現性、つまり、鍵1の動作速度の再現性を向上させることができるようになる。

【0026】

図4は位置ゲイン値 k_x を算出するためにゲイン値算出部33において参照するテーブルの一例を示す図である。このテーブルは図2に示すROM21或はRAM22など適宜のメモリ内に記憶されていてよい。図4に示すように、当該テーブルには、位置ゲイン値 k_x の算定の条件として位置目標値 r_x が3mm以下の値を表すか、3mm以上の値を表すかが設定されており、位置目標値 r_x が3mm以下の場合は、位置ゲイン値 k_x は相対的に大きい値「0.9」に設定される。また、位置目標値 r_x が3mm以上の場合には、位置ゲイン値 k_x は相対的に小さい値「0.3」に設定される。なお、前記ゲイン値算出テーブルに指標として設定された値等は、一例であってこれに限定されるものではない。また、位置ゲイン値 k_x の算出はテーブル参照に限らず、例えば、位置目標値 r_x をパラメータとする適宜の演算式によって求めるよう構成してもよい。

【0027】

10

20

30

40

50

位置成分増幅部 34 では、前記ゲイン値算出部 33 から出力された位置ゲイン値 k_x によって位置偏差 e_x を乗算し、その結果である位置制御信号 u_x を出力する。位置成分増幅部 34 から出力される位置制御信号 u_x は、ソレノイド 6 に供給すべき励磁電流における位置成分の使用比率（パーセンテージ）に換算せられた値をとる。すなわち、位置成分増幅部 34 では、位置偏差 e_x が表す位置成分の制御量を、ミリメートル単位による表現から、後段の P W M 発生器におけるデューティ比の増減値）に対応する値に単位変換している。

また、速度成分増幅部 35 は、速度偏差 e_v を所定の速度ゲイン値 k_v で乗算して、速度制御信号 u_v を出力する。図に示す例では、速度成分増幅部 35 における速度ゲイン値 k_v は所定の固定値で与えられている。速度ゲイン値 k_v は、実験により適切な値に設定しうるもので、当該サーボ制御においては速度制御に重点が置かれることから、位置ゲイン値 r_x よりも大きい値に設定されることになる。速度成分増幅部 35 から出力される速度制御信号 u_v は、ソレノイド 6 に供給すべき励磁電流における速度成分の使用比率（パーセンテージ）に換算せられた値をとる。すなわち、速度成分増幅部 35 では、速度偏差 e_v が表す速度成分の制御量を、ミリメートル毎秒単位による表現から、後段の P W M 発生器におけるデューティ比の増減値）に対応する値に単位変換している。

【0028】

位置成分増幅部 34 及び速度成分増幅部 35 から出力された位置制御信号 u_x 及び速度制御信号 u_v は次段の加算部 36 において加算され、その加算結果が制御信号 u として出力される。制御信号 u は、最終的にソレノイド 6 に対して供給すべき電流信号（言い換えれば、P W M 発生器 25 におけるデューティ比の増減値）に対応する値をとる。制御信号 u は、P W M 発生器 25（図 3 の機能ブロック「P W M 化」に相当）を介して、P W M 形式の励磁電流 u_i に変換され、ソレノイド 6 に供給される。なお、この例ではソレノイド 6 に対して供給する電流信号として、P W M 形式の信号を適用する例を示しているが、当該電流信号の形式はこれに限定されるものではない。

【0029】

ソレノイド 6 が制御信号 u に応じた励磁電流により通電されると、通電されたソレノイド 6 に対応して設けられた鍵 1 が駆動される。キーセンサ（位置センサ）7 は、駆動された鍵 1 のストローク位置 y_k を検出し、所定のサンプリング時間に従って、鍵のストローク位置 y_k に対応するアナログ検出信号 $y_x a$ を出力する。該アナログ検出信号 $y_x a$ は、A D 変換器（図 2 の入出力インターフェースに相当）24 を介してデジタル信号（鍵位置信号 $y_x d$ ）に変換される。正規化処理部 38 は、鍵位置信号 $y_x d$ における鍵 1 及びキーセンサ 7 毎の個体差を補正する処理を行い、正規化した鍵位置検出値 y_x を出力する。この鍵位置検出値 y_x は、位置目標値 r_x と比較するための位置フィードバック信号 y_x として、位置比較部 31 へ帰還入力（負帰還）される。また、鍵位置検出値 y_x は速度生成部 39 に供給される。速度生成部 39 では、該鍵位置検出値 y_x を適宜微分演算（例えば多項式適合等）することにより、該鍵 1 の速度情報を算出する。算出方法の一例として、ある任意のサンプリング時点について前後 7 点での位置情報（鍵位置検出値）を使用した 2 次曲線適合によって鍵 1 の速度情報（鍵速度値 y_v ）を算出する。鍵速度値 y_v は、前記速度目標値 r_v と比較するための速度フィードバック信号 y_v として、前記速度比較部 32 へ帰還入力（負帰還）される。

【0030】

上記図 3 に示すサーボ制御の構成によれば、位置成分及び速度成分の双方についてサーボ制御を行うと共に、位置偏差 e_x に対するゲイン値 k_x を、位置目標値 r_x に応じて 2 段階で可変設定するよう構成したことで、実際の鍵 1 の軌道を軌道リファランズに対して精密に追従させることができるようになる。

【0031】

ここで、位置成分増幅部 34 における位置ゲイン値 k_x に種々の値を設定し、鍵 1 を実際に駆動し、鍵の位置検出値 y_x 及び速度値 y_v を測定した結果を図 5（a）～（c）に示す。図 5（a）は、上記図 3 に示すサーボ構成において、或る軌道リファランズに基づ

10

20

30

40

50

き実現される鍵の動作軌道の実測例を示す軌道図であり、また、図5(b)及び(c)は、位置ゲイン値 k_x を或る固定値で与えた場合の前記軌道リファランςに基づく鍵の軌道の実測例を示す。図5(a)~(c)において、縦軸は鍵1の動作位置を表し、横軸は時間経過 t を示す。図5(b)に示す軌道は、鍵1の一回のストローク動作全体に対して、相対的に弱い位置ゲイン値 $k_x = 「0.3」$ を固定値で与えた場合の軌道例である。図から明らかなように、この場合、押鍵動作の立ち上がり時(レスト位置からの押鍵深さが3mm以下の範囲)において、実測された鍵1の軌道が軌道リファランςに対して追従できていない。このように押鍵動作の立ち上がり時の追従性が不十分であると、例えば鍵1の連打打鍵動作を行わせる場合に連打軌道を忠実に再現できなくなる等の不具合が生じる。一方、図5(c)に示す軌道は、鍵1の一回のストローク動作全体に対して、相対的に強い位置ゲイン値 $k_x = 「0.9」$ を固定値で与えた場合の軌道例である。図から明らかなように、この場合、押鍵動作の立ち上がり時の追従性が改善されるものの、鍵1の動作が不安定になり、ストロークのエンド位置近傍で、鍵1やアクション等の挙動の乱れ(1回の打鍵で2度打弦してしまう所謂「2度打ち」)が生じた。

これに対して、図5(a)の軌道は、位置目標値 r_x がレスト位置からの押鍵深さが3mm以下の値を表す場合には相対的に大きい位置ゲイン値 $k_x = 「0.9」$ を与えているので、押鍵動作の立ち上がり時(レスト位置からの押鍵深さが3mm以下の範囲)において、軌道リファランςに対する追従性を高めることができる。位置ゲイン値 k_x として相対的に大きい値を与えることで、各時刻における鍵のストローク位置を適切に再現することで、軌道リファランςの速度成分に対する押鍵速度(軌道の傾き)の追従性を高めることができる。また、位置目標値 r_x がレスト位置からの押鍵深さが3mm以上の値を表す場合は相対的に小さい位置ゲイン値 $k_x = 「0.3」$ を与えているので、ストロークのエンド位置近傍での鍵1の挙動の乱れ(「2度打ち」)を抑制することができる。このように、位置ゲイン値 k_x を位置目標値 r_x に応じて可変することで、鍵1の一回のストローク動作全体にわたって、軌道リファランςに対する追従性を向上させることができる。

【0032】

上記実施例においては、ゲイン算出部33において、位置目標値 r_x に応じた位置ゲイン値 k_x を算出する例を示した。図6(a)は、その変更例として、ゲイン算出部33において位置目標値 r_x に応じた速度ゲイン値 k_v を算出する構成例を示すサーボ構成ブロック図である。同図において、図3において既述の構成要素については、同じ符号を付与してその説明を適宜省略する。図6(a)において、ゲイン値算出部33には、目標値生成部30から出力された位置目標値 r_x が供給される。ゲイン値算出部33は前記供給された位置目標値 r_x に基づき速度ゲイン値 k_v を算出し、該算出された速度ゲイン値 k_v が速度成分増幅部35に供給される。速度ゲイン値 k_v は、例えば適宜の算出テーブルの参照によって求めるよう構成してよい。図6(b)は、位置目標値 r_x に応じた速度ゲイン値 k_v の変化特性の一例を示す図である。図において横軸に位置目標値 r_x の値をとり、縦軸に速度ゲイン値 k_v の値をとる。位置目標値 r_x の値が小さいとき(押鍵動作の立ち上がり時)に、速度ゲイン値 k_v として相対的に強い値が与えられていると、鍵1の動作が不安定になりやすいという不都合があった。この点について、図6(b)に示すように、位置目標値 r_x の値が或る閾値(例えば押鍵深さ5mm)以下を表す場合には、速度ゲイン値 k_v として相対的に小さい値を与え、位置目標値 r_x の値が該或る閾値(押鍵深さ5mm)以上を表す場合に、速度ゲイン値 k_v として相対的に大きい値を与える。これにより、押鍵動作立ち上がり時の動作を安定化させると共に、速度追従性を向上させることが可能である。

【0033】

また、図7(a)は、更に別の構成例であって、ゲイン算出部33において速度目標値 r_v に応じた位置ゲイン値 k_x を算出する構成例を示すサーボ構成ブロック図である。図7(a)において、ゲイン値算出部33には、目標値生成部30から出力された速度目標値 r_v が供給される。ゲイン値算出部33は前記供給された速度目標値 r_v に基づき位置ゲイン値 k_x を算出し、該算出された位置ゲイン値 k_x が位置成分増幅部34に供給され

る。位置ゲイン値 k_x は例えば適宜の算出テーブルの参照によって求めうる。図 7 (b) は、速度目標値 r_v に応じた位置ゲイン値 k_x の変化特性の一例を示す図である。図において横軸に速度目標値 r_v の値をとり、縦軸に位置ゲイン値 k_x の値をとる。図 7 (b) に示すように、速度目標値 r_v の値が例えば 0 mm/s から或る閾値 (例えば 50 mm/s) までの値を表す場合には、速度の大きさに対して反比例する特性で位置ゲイン値 k_x の値を設定する。つまり、速度目標値 r_v が小さい (速度が遅い) ほど、位置ゲイン値 k_x を相対的に強める。また、速度目標値 r_v の値が前記或る閾値 (例えば 50 mm/s) 以上を表す場合には、位置ゲイン値 k_v を適宜の一定の値で与えるようにする。適宜の一定の値は実験によって定めてよい。これにより、鍵 1 の動作速度が低速の場合の位置成分の追従性を向上させ、鍵 1 の動作位置をより正確に再現すること、鍵 1 の遅速動作の再現性を高めること、或いは、鍵 1 の動作停止時の動作応答性を向上させること等が可能になる。

10

【0034】

また、図 8 (a) は、更に別の構成例であって、ゲイン算出部 33 において速度目標値 r_v に応じた速度ゲイン値 k_v を算出する構成例を示すサーボ構成ブロック図である。図 8 (a) において、ゲイン値算出部 33 には、目標値生成部 30 から出力された速度目標値 r_v が供給される。ゲイン値算出部 33 は前記供給された速度目標値 r_v に基づき速度ゲイン値 k_v を算出し、該算出された速度ゲイン値 k_v が速度成分増幅部 35 に供給される。速度ゲイン値 k_v は例えば適宜の算出テーブルの参照によって求めうる。図 8 (b) は、速度目標値 r_v に応じた速度ゲイン値 k_v の変化特性の一例を示す図である。図において横軸に速度目標値 r_v の値をとり、縦軸に速度ゲイン値 k_v の値をとる。図 8 (b) に示すように、速度目標値 r_v の値が例えば 0 mm/s から或る閾値 (例えば 200 mm/s) までの値を表す場合には、速度の大きさに対して反比例する特性で速度ゲイン値 k_v の値を設定する。つまり、速度目標値 r_v が小さい (速度が遅い) ほど、速度ゲイン値 k_v を相対的に強め、速度目標値 r_v の値が前記或る閾値 (例えば 200 mm/s) 以上を表す場合には、位置ゲイン値 k_v を適宜の一定の値で与えるようにする。ここでの閾値は、図 8 (b) の例よりも大きい値に設定される。これにより、鍵 1 の動作速度をより正確に再現することができるようになる。特に、速度の速い動作をより正確に実行できるようになる。

20

【0035】

なお、フィードバックループのゲイン値 (位置ゲイン値及び/又は速度ゲイン値を異ならせるよう構成しても良い。では、位置ゲイン値及び速度ゲイン値のいずれか一方のみを可変設定する構成例について挙げたが、これに限らず、双方を可変設定するよう構成してよい。位置ゲイン値及び速度ゲイン値の双方を可変設定する場合は、各ゲイン値を算出するための参照値としては、上記の各実施例に挙げた算出アルゴリズムに従い、位置目標値及び速度目標値を適宜に組み合わせてよい。

30

【0036】

また、所定の速度目標値 (例えば $r_v = 200 \text{ mm/s}$) を境界として、弱打打鍵速度域 ($r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以下) と通常打鍵速度域 ($r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以上) に打鍵パターンを区分して、フィードバックループのゲイン値 (位置ゲイン値及び/又は速度ゲイン値) を異ならせるよう構成しても良い。

40

また、サーボ構成の別の例として、位置成分増幅部 34 及び速度成分増幅部 35 の出力を加算部 36 において一本化した (加算した) が制御信号 u に対して、更に「固定値」を加算する構成を採用し、与えられた速度目標値に応じて可変する該固定値を加える構成としてもよい。「固定値」は、鍵やハンマ等の各部材の物理的特性や実現すべき打鍵動作の動作特性など、種々の要因に対して、当該サーボ制御の動作を最適化するための補正值として機能する。図 9 (a) は、上記固定値の加算を行うサーボ構成例のブロック図である。この例では、ゲイン算出部 33 には位置目標値 r_x 及び速度目標値 r_v が供給されており、ゲイン算出部 33 は、該供給された位置目標値 r_x 及び速度目標値 r_v に基づき、位置ゲイン値 k_x 及び速度ゲイン値 k_v と、固定値 f を出力する。固定値 f は、第 2 加算器

50

40において、加算部36の出力(制御信号u)に加算されるパラメータである。図9(b)は、上記(a)の構成において、ゲイン算出部33が出力する各制御パラメータ(位置ゲイン値 k_x 、速度ゲイン値 k_v 及び固定値 f)の特性の一例を示す図である。図9(b)の特性によれば、所定の速度目標値(例えば $r_v = 200 \text{ mm/s}$)を境界として、弱打打鍵速度域($r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以下)と通常打鍵速度域($r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以上)に打鍵パターンを区分し、通常打鍵速度域においては、与えられた速度目標値 r_v に応じて固定値 f が可変($f = 9 + 2 * (r_v - 200) / 100$)されるようになっている。このように、鍵の速度が相対的に速い場合(例えば $r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以上)には、速度目標値に応じた固定値 f を与えることで、比較的速い速度での打鍵動作に対する追従性を向上させることができる。なお、図9(b)の特性例では、弱打打鍵速度域($r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以下)と通常打鍵速度域($r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以上)いずれの場合も、フィードバックループのゲイン値(位置ゲイン値及び/又は速度ゲイン値)として一定の値が与えられているが、これに限らず適宜ゲイン値を異ならせることで、フィードバックループの特性を調整することが可能である。また、図9(b)では、所定の位置目標値 r_x (例えば $r_x = 4 \text{ mm}$)を境界として、押鍵開始部分($r_x = 0 \sim 4 \text{ mm}$)と押鍵後半部分($r_x = 4 \sim 10 \text{ mm}$)という2種の鍵動作範囲の区分を示している。ゲイン算出部33の制御パラメータ出力特性の更に別の例としては、前記鍵動作範囲の区分に応じて制御パラメータを異ならせることで、フィードバックループの特性を調整することも可能である。

10

20

30

40

50

【0037】

以上説明した通り、この実施例によれば、サーボゲインの係数(位置ゲイン値及び速度ゲイン値の少なくともいずれか一方)を、供給された位置目標値 r_x 及び速度目標値 r_v の少なくとも何れか一方に応じて可変制御することで、軌道リファランスが表す押鍵速度(サーボ制御の目標値)に対する実際の押鍵速度(サーボ制御の制御量)の追従性を向上することができ、演奏情報の再現性を高めることができる。

【0038】

なお、上記実施例においては、ゲイン値算出部33に目標値(位置目標位置 r_x 及び/又は速度目標値 r_v)を供給して、該目標値に応じて、フィードバックループの補正值(制御パラメータ:ゲイン値、固定値)を可変する例について説明したが、これに限らず、鍵盤速度や鍵盤位置の実測値(つまり速度信号 y_v 、位置信号 y_x)に基づき各制御パラメータを設定するよう構成することも可能である。

また、上記図3のサーボ構成によれば、鍵1に対応して設けられた位置センサ(キーセンサ7)の出力に基づく鍵の位置情報及び速度情報をフィードバック信号として利用する例を示したが、センサによって動作検出する部材及び該センサが検出する次元は上記の例に限定されない。すなわち、キーセンサ7は位置センサに限らず速度センサであってもよく、双方を適宜組み合わせてもよいし、また、鍵の動作のセンサ出力をフィードバック制御に利用する構成に限らず、ハンマの位置情報や速度情報をフィードバック信号として利用してもよいし、ソレノイドのプランジャの動作速度情報をフィードバック信号として利用することも可能である。なお、この発明に係る自動演奏ピアノの形態は、グランドピアノ、アップライトピアノのいずれであってもよい。

【0039】

また、上述の例では、自動演奏ピアノにおける鍵1の駆動制御について説明したが、この発明に係る目標値に応じて変化される補正值を、制御信号に足し込むことで、サーボ制御の再現精度を向上させるという技術思想は、鍵の駆動制御に限らず、例えば自動演奏ピアノのペダル駆動制御等、その他自動演奏楽器の演奏操作子の駆動制御に適用することも可能である。

【0040】

また、上述の実施例においては、モーション制御部11において実行する各種演算処理(サーボ制御)は、CPU20が実行するソフトウェアプログラムによって実施される構成を示したが、これに限らず、ハードウェア装置によって上記各種演算処理を実行するよ

う構成することも可能である。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1】この発明の一実施例に係る自動演奏ピアノの全体構成を示す図。

【図2】同実施例に係る自動演奏ピアノにおける電氣的ハードウェア構成を示すブロック図。

【図3】同実施例に係る自動演奏ピアノのサーボ制御システム構成例を示す機能ブロック図。

【図4】同実施例に係る位置ゲイン値算出用のテーブルの一例を示す図。

【図5】(a)～(c)は、鍵の駆動制御において実現すべき軌道リファランスと、それ 10
に応じた鍵の駆動軌道(制御量)の実測例とを示す軌道図であって、(a)は図4のテ
ーブルに従って算出された位置ゲイン値を利用した軌道例を示す、(b)及び(c)は、比
較のために位置ゲイン値をある固定値で与えた場合の軌道例を示す。

【図6】(a)は上記実施例の変更例であって、位置目標値に応じて速度ゲイン値を算出
するサーボ構成のブロック図を示し、(b)は位置目標値に応じた速度ゲイン値の変化特
性を示す図。

【図7】(a)は上記実施例の別の変更例であって、速度目標値に応じて位置ゲイン値を
算出するサーボ構成のブロック図を示し、(b)は速度目標値に応じた位置ゲイン値の変
化特性を示す図。

【図8】(a)は上記実施例の更に別の変更例であって、速度目標値に応じて速度ゲイン 20
値を算出するサーボ構成のブロック図を示し、(b)は速度目標値に応じた速度ゲイン値
の変化特性を示す図。

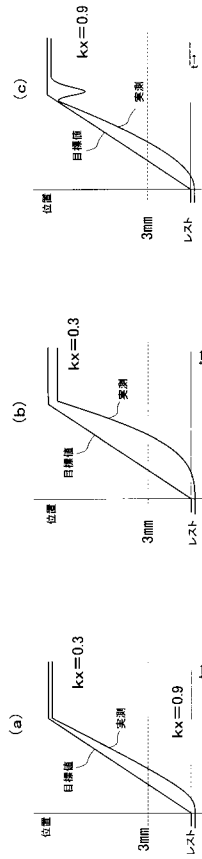
【図9】(a)は上記実施例の更に別の変更例であって、制御信号に所定の固定値を加算
するサーボ構成のブロック図を示し、(b)は当該図9(a)に示すゲイン値算出部の出
力特性の一例を示す図。

【符号の説明】

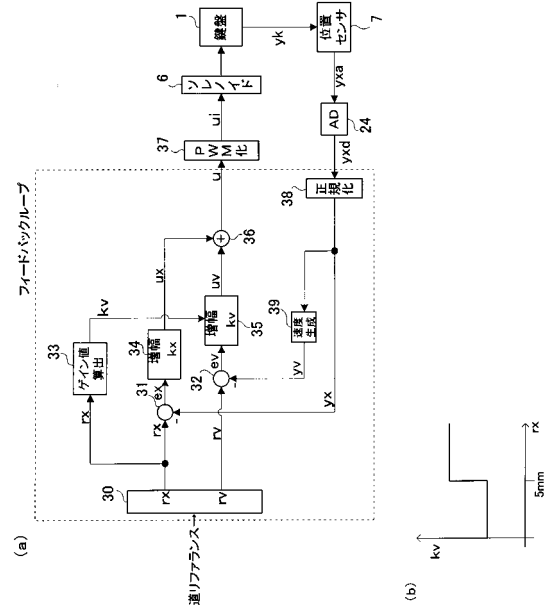
【0042】

1 鍵、2 アクション機構、3 ハンマ、4 弦、5 ダンパ、6 電磁ソレノイド、
7 キーセンサ、8 ハンマセンサ、9 プランジャ、10 再生前処理部、11 モー
ション制御部、12 記録制御部、13 記録後処理部、30 目標値生成部、31 位 30
置比較部、32 速度比較部、33 ゲイン値算出部、34 位置成分増幅部、35
速度成分増幅部

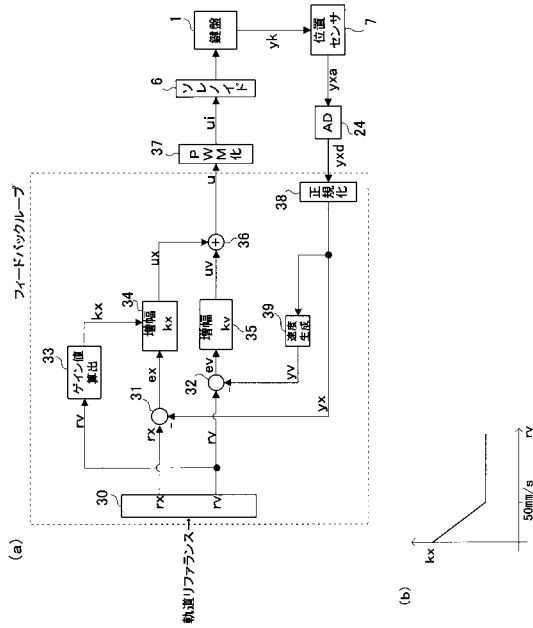
【図 5】



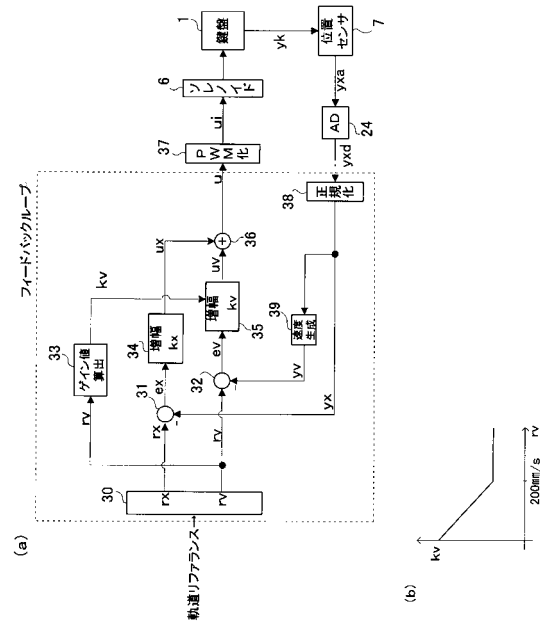
【図 6】



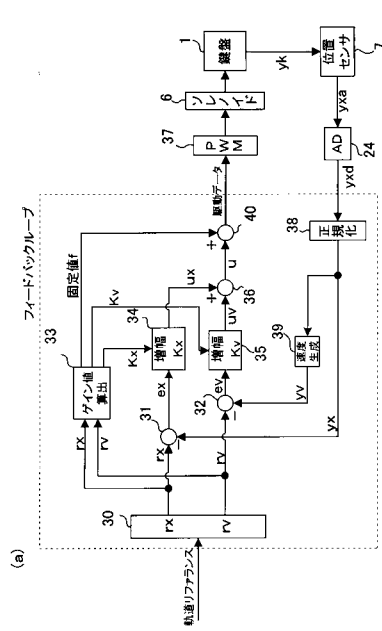
【図 7】



【図 8】



【図 9】



(b)

	低速打撃速度域	通常打撃速度域	高速打撃速度域
$r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以下	$r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以下	$r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以上	$r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以上
$r_x = 0 \sim 4 \text{ mm}$	$r_x = 0 \sim 4 \text{ mm}$	$r_x = 0 \sim 4 \text{ mm}$	$r_x = 4 \sim 10 \text{ mm}$
K_x	0.6	0.2	0.6
K_v	0.3	0.3	0.2
固定値f	9%	9%	$9+2 \times (r_v-200)/100\%$