

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4636364号
(P4636364)

(45) 発行日 平成23年2月23日 (2011.2.23)

(24) 登録日 平成22年12月3日 (2010.12.3)

(51) Int. Cl.

F I

G 1 O F 1/02 (2006.01)

G 1 O F 1/02

B

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2004-372967 (P2004-372967)
 (22) 出願日 平成16年12月24日 (2004.12.24)
 (65) 公開番号 特開2005-208614 (P2005-208614A)
 (43) 公開日 平成17年8月4日 (2005.8.4)
 審査請求日 平成19年10月23日 (2007.10.23)
 (31) 優先権主張番号 特願2003-428990 (P2003-428990)
 (32) 優先日 平成15年12月25日 (2003.12.25)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000004075
 ヤマハ株式会社
 静岡県浜松市中区中沢町 1 〇 番 1 号
 (74) 代理人 100104798
 弁理士 山下 智典
 (72) 発明者 藤原 祐二
 静岡県浜松市中沢町 1 〇 番 1 号 ヤマハ株
 式会社内

審査官 鈴木 聡一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 演奏操作子の駆動方法、演奏操作子の駆動装置、プログラムおよび自動演奏ピアノ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

演奏操作子の操作位置または操作速度のうち一方の測定値をセンサによって測定する過程と、

前記演奏操作子の操作位置または操作速度のうち他方の測定値を前記センサの測定結果に基づいて出力する過程と、

前記演奏操作子の軌道の目標値である軌道リファランスに基づいて、前記操作位置および操作速度の目標値を設定する過程と、

前記操作位置の目標値および測定値に基づいて操作位置の偏差を算出する過程と、

前記操作速度の目標値および測定値に基づいて操作速度の偏差を算出する過程と、

前記操作位置の偏差に対して、所定の位置ゲインを乗算し、その乗算結果を位置制御信号として出力する過程と、

前記操作速度の偏差に対して、所定の速度ゲインを乗算し、その乗算結果を速度制御信号として出力する過程と、

前記位置制御信号および前記速度制御信号の和に基づいて、前記操作位置および操作速度の各測定値が対応する各目標値に近づくように前記演奏操作子を駆動する過程と

を有し、前記操作位置の単位をミリメートルとし、前記操作速度の単位をミリメートル / 秒としたとき、前記速度ゲインを前記位置ゲインの「1 ~ 3 倍」の範囲に設定することを特徴とする演奏操作子の駆動方法。

【請求項 2】

10

20

前記操作位置の目標値および前記操作速度の目標値のうち一方は、他方の関数によって表されることを特徴とする請求項 1 記載の演奏操作子の駆動方法。

【請求項 3】

前記演奏操作子の操作位置の変動範囲のうち所定範囲における前記操作速度の偏差が、前記所定範囲以外の範囲における前記操作速度の偏差よりも小さくなるように前記位置ゲインおよび前記速度ゲインを設定することを特徴とする請求項 1 記載の演奏操作子の駆動方法。

【請求項 4】

請求項 1 ないし 3 の何れかに記載の演奏操作子の駆動方法を実行することを特徴とする演奏操作子の駆動装置。

10

【請求項 5】

請求項 1 ないし 3 の何れかに記載の演奏操作子の駆動方法を処理装置に実行させることを特徴とするプログラム。

【請求項 6】

請求項 4 記載の演奏操作子の駆動装置を有することを特徴とする自動演奏ピアノ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、自動演奏ピアノその他自動楽器の演奏操作子の駆動に用いて好適な演奏操作子の駆動方法、演奏操作子の駆動装置、プログラムおよび自動演奏ピアノに関する。

20

【背景技術】

【0002】

従来の自動演奏ピアノにおいては、各鍵を駆動するソレノイドと、各鍵の押下位置を計測するキーセンサとが設けられている。特許文献 1 に開示されている自動演奏ピアノにおいては、押鍵イベント、打弦イベント等から成る演奏情報が供給されると、該演奏情報に基づいて各鍵の軌道リファランス（鍵軌道の目標値）が生成され、各鍵位置は上記キーセンサの検出信号に基づいて、軌道リファランスに沿うようにフィードバック制御される。特許文献 1 においては、フィードバック制御の内容として、位置制御または速度制御が適用できる旨が開示されている。

【0003】

30

また、同文献によれば、鍵のある位置における速度とハンマの打弦速度とが特定の対応関係を示すことが開示されている。この位置は、ピアノの個体差にもよるが、概ねレスト位置から 9 . 0 mm ~ 9 . 5 mm 程度押し下げた位置である。したがって、鍵がこの位置に達するときの速度を、打弦強度データに応じて制御すれば、記録時の打弦速度を忠実に再現することができる。なお、上述の所定位置をリファランスポイントという。

【0004】

また、特許文献 2 においては、自動演奏ピアノのペダルを駆動する技術が開示されている。同文献においては、位置制御および速度制御の双方をペダル駆動に適用するとともに、センサ等によって検出されたペダル位置がフィードバックされる構成が開示されている。また、同文献には、正規化処理を行うことによって、自動演奏ピアノの個体差を吸収することも開示されている。

40

【特許文献 1】特開平 7 - 1 7 5 4 7 2 号公報

【特許文献 2】特開平 2 - 2 7 5 9 9 1 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、鍵の制御において重要な事項は、記録時の打弦速度を忠実に再現することである。このためには、記録時のリファランスポイントにおける押鍵速度を忠実に再現しなければならない。しかし、特許文献 1 に開示された位置制御では、リファランスポイントにおける押鍵速度を忠実に再現することが困難であった。これは、位置制御では現在の鍵

50

の押下深さと軌道リファランスとの偏差に応じて鍵速度が制御されるため、軌道リファランスにおける押鍵速度に実際の押鍵速度を追従させることが困難になるためである。

【 0 0 0 6 】

また、特許文献 1 に開示された速度制御では、フィードバックゲインを上げると押鍵軌道の振動やオーバーシュートなどが起こりやすいという問題が生じ、フィードバックゲインを下げると軌道リファランスの押鍵速度に実際の押鍵速度を追従させることが困難になるという問題が生じる。

【 0 0 0 7 】

このため、特許文献 2 に開示されたペダル駆動の技術を鍵駆動に適用し、位置制御および速度制御の双方を適用するとともに、正規化処理を行うことによって各鍵の個体差を吸収することも考えられる。しかし、特許文献 2 に開示されたペダル駆動技術においては、最終的にはペダルの「操作位置」を再現することが制御の主眼に置かれており、「押鍵速度」（特にリファランスポイント付近における速度）を再現すべき鍵駆動とは異なる点が多い。

【 0 0 0 8 】

また、ペダル駆動に用いられるアクチュエータは、鍵用のアクチュエータと比較すると、大型でありストロークも長く、動作速度が比較的遅く、負荷が大きく、負荷パターンも相違する。さらに、鍵は、木材、フェルトなど、変形しやすい部品によって構成されているため、雑音成分が入り易いという特徴も考慮する必要がある。従って、単に特許文献 2 に開示された技術を鍵駆動に適用したとしても、鍵を忠実に駆動することが困難であった。

この発明は上述した事情に鑑みてなされたものであり、鍵等の演奏操作子を正確に駆動できる演奏操作子の駆動方法、演奏操作子の駆動装置、プログラムおよび自動演奏ピアノを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

上記課題を解決するため本発明にあっては、下記構成を具備することを特徴とする。なお、括弧内は例示である。

請求項 1 記載の演奏操作子の駆動方法にあっては、演奏操作子の操作位置または操作速度のうち一方の測定値をセンサ（ 2 7 ）によって測定する過程と、前記演奏操作子の操作位置または操作速度のうち他方の測定値を前記センサ（ 2 7 ）の測定結果に基づいて出力する過程（ 2 1 8 ）と、前記演奏操作子の軌道の目標値である軌道リファランスに基づいて、前記操作位置および操作速度の目標値を設定する過程（ 2 0 2 ）と、前記操作位置の目標値および測定値に基づいて操作位置の偏差（ e_x ）を算出する過程と、前記操作速度の目標値および測定値に基づいて操作速度の偏差（ e_v ）を算出する過程と、前記操作位置の偏差（ e_x ）に対して、所定の位置ゲイン（ k_x ）を乗算し、その乗算結果を位置制御信号（ u_x ）として出力する過程と、前記操作速度の偏差（ e_v ）に対して、所定の速度ゲイン（ k_v ）を乗算し、その乗算結果を速度制御信号（ u_v ）として出力する過程と、前記位置制御信号（ u_x ）および前記速度制御信号（ u_v ）の和に基づいて、前記操作位置および操作速度の各測定値が対応する各目標値に近づくように前記演奏操作子を駆動する過程とを有し、前記操作位置の単位をミリメートルとし、前記操作速度の単位をミリメートル/秒としたとき、前記速度ゲイン（ k_v ）を前記位置ゲイン（ k_x ）の「 1 ~ 3 倍」の範囲に設定することを特徴とする。

さらに、請求項 2 記載の構成にあっては、請求項 1 記載の演奏操作子の駆動方法において、前記操作位置の目標値および前記操作速度の目標値のうち一方は、他方の関数によって表されることを特徴とする。

さらに、請求項 3 記載の構成にあっては、請求項 1 記載の演奏操作子の駆動方法において、前記演奏操作子の操作位置の変動範囲のうち所定範囲（リファランスポイント）における前記操作速度の偏差（ e_v ）が、前記所定範囲（リファランスポイント）以外の範囲における前記操作速度の偏差（ e_v ）よりも小さくなるように前記位置ゲイン（ k_x ）お

10

20

30

40

50

よび前記速度ゲイン (k_v) を設定することを特徴とする。

また、請求項 4 記載の演奏操作子の駆動装置にあっては、請求項 1 ないし 3 の何れかに記載の演奏操作子の駆動方法を実行することを特徴とする。

また、請求項 5 記載のプログラムにあっては、請求項 1 ないし 3 の何れかに記載の演奏操作子の駆動方法を処理装置に実行させることを特徴とする。

また、請求項 6 記載の自動演奏ピアノにあっては、請求項 4 記載の演奏操作子の駆動装置を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

このように本発明によれば、操作位置の単位をミリメートルとし、操作速度の単位をミリメートル / 秒としたとき、速度ゲインを位置ゲインの「 1 ~ 3 倍」の範囲に設定したから、鍵等の演奏操作子を軌道リファランスに沿って正確に駆動することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 1 】

1. 第 1 実施例

1.1. 第 1 実施例の構成

次に、本発明の第 1 実施例による自動演奏ピアノのハードウェア構成を図 1 を参照して説明する。

図において、10 はソレノイドであり、電流制御によりプランジャ部分が軸方向に変位する。22 はハンマセンサであり、一次側にフォトダイオード、二次側にフォトトランジスタを設けたフォトセンサを、2 個、並列して設けたセンサである。なお、一方のフォトセンサが遮光状態になってから双方のフォトセンサが遮光状態になるまでの時間差から打弦タイミングと打弦速度とが検出される。27 はキー位置センサであり、鍵の押下位置を検出して、そのデータをアナログ出力する。

【 0 0 1 2 】

30 は PWM 発生器であり、矩形波電流のパルス幅を可変することにより、ソレノイド 10 に供給される平均電流を制御する。37 は I / O インターフェースであり、ハンマセンサ 22 およびキー位置センサ 27 の出力信号を波形整形する。なお、ソレノイド 10、ハンマセンサ 22、キー位置センサ 27、PWM 発生器 30 および I / O インターフェース 37 は、鍵盤の各鍵にそれぞれ設けられる。40 はフレキシブルディスクドライブ (FDD) であり、演奏情報等を記憶するためのフレキシブルディスクが挿入される。50 は CPU であり、後述する制御アルゴリズムに基づいて各部を制御する。52 はフラッシュ ROM であり、パラメータおよびプログラムが記憶される。54 は RAM であり、ワークメモリとして使用される。60 はバスラインであり、上述した各部を接続する。以上の要素により、自動演奏ピアノ 100 が構成される。

【 0 0 1 3 】

次に、自動演奏ピアノの鍵部の概要構成を図 2 に示す。

図において 70 は鍵であり、バランスピン 80 によって揺動自在に支持されている。また、キー位置センサ 27 は、鍵 70 の前方 (図上右側) 下面に対向して設けられている。鍵 70 の前方下面には、鍵の押下量に応じて連続的に透過光量が変化するように、遮光板 75 が鍵 70 の下方に向かって突出するように設けられている。15 はプランジャであり、ソレノイド 10 の一部を構成し、ソレノイド 10 に供給される電流により上下方向に変位し、鍵 70 を駆動する。90 はアクション機構であり、鍵 70 の運動をハンマ 2 に伝達する。4 は弦であり、ハンマ 2 によって打弦される。6 はダンパであり、弦 4 を制動する。

【 0 0 1 4 】

また、CPU 50 によって実行される機能は、記録メディアあるいはリアルタイム通信装置から供給される演奏情報に基づいて、鍵の軌道リファランスを生成する再生前処理部 110 と、供給された軌道リファランスとキー位置センサ 27 の出力信号すなわち各時刻における鍵 70 の位置とに対応した制御信号 u を生成し制御信号 u に応じた励磁電流をソ

10

20

30

40

50

レノイド 10 に供給するモーション制御部 120 と、ハンマセンサ 22 およびキー位置センサ 27 の出力信号に基づいて演奏情報を記憶する演奏記録部 130 と、この演奏情報に対して各種補正を行う記録後処理部 140 とから構成されている。

【0015】

ここで、本自動演奏ピアノは消音機能を有するものであるが、これはハンマが打弦する直前にハンマの回動を阻止する構成を有するものであって、具体的には、ハンマシャンクの回動を阻止するストッパ（図示略）を設けるものである。そして通常演奏時には、このストッパをハンマの回動を阻止しない位置に配置し、消音演奏時にはこのストッパをハンマの回動を阻止しない位置に配置するものである。このようなストッパを有する消音機構は公知のものを使用すればよく、その詳細構成についての説明を省略する。

10

【0016】

1.2. 第 1 実施例の制御アルゴリズムの構成

ここで、上記モーション制御部 120 における詳細動作を図 3 を参照し説明する。

図において処理がステップ SP2 に進むと、FDD40 に挿入されたフレキシブルディスク等から M I D I 情報が取得される。次に、処理がステップ SP4 に進むと、この M I D I 情報が正規化されつつ、所定区間の軌道リファランスが作成される。次に、処理がステップ SP6 に進むと、この軌道リファランスが微分されることにより、速度目標値 r_v が生成される。次に処理がステップ SP8 に進むと、所定時間 T だけ処理が待機される。次に、処理がステップ SP10 に進むと、位置目標値 r_x すなわち現在時刻における軌道リファランスの値が求められる。

20

【0017】

次に、処理がステップ SP12 に進むと、キー位置センサ 27 の出力する位置信号 y_x を A/D 変換してなる位置信号 $y_x d$ が取得される。次に、処理がステップ SP14 に進むと、この位置信号 $y_x d$ が正規化されることにより、位置信号 y_x が得られる。次に、処理がステップ SP14 に進むと、位置目標値 r_x から位置信号 y_x が減算されることにより、位置偏差 e_x が求められる。次に、処理がステップ SP18 に進むと、この位置偏差 e_x が所定の位置ゲイン k_x で増幅されることにより、位置制御信号 u_x が得られる。次に、処理がステップ SP20 に進むと、現時点の位置信号 y_x および過去（所定時間 T だけ前の）位置信号 y_x に基づいて、現在の速度信号 y_v が算出される。

【0018】

30

次に、処理がステップ SP22 に進むと、速度目標値 r_v から速度信号 y_v が減算されることにより、速度偏差 e_v が算出される。次に、処理がステップ SP24 に進むと、速度偏差 e_v に対して速度ゲイン k_v が乗算されることにより、速度制御信号 u_v が得られる。次に、処理がステップ SP26 に進むと、位置制御信号 u_x と速度制御信号 u_v とが加算され、これにより制御信号 u が算出される。次に、処理がステップ SP28 に進むと、この制御信号 u が PWM 発生器 30 に供給される。これにより、制御信号 u に応じたデューティ比の電流がソレノイド 10 に供給され、鍵 70 が駆動される。

【0019】

次に、処理がステップ SP30 に進むと、先にステップ SP4 において作成された軌道区間の軌道リファランスに対応する駆動処理が終了したか否かが判定される。ここで「N O」と判定されると、処理はステップ SP8 に戻り、ステップ SP8 ~ SP28 の処理が繰り返される。一方、該軌道区間に対する駆動処理が終了すると、ステップ SP30 において「Y E S」と判定され、処理はステップ SP32 に進む。ここでは、当該鍵 70 に係る M I D I 情報に対する処理が全て終了したか否かが判定される。ここで「N O」と判定されると、処理はステップ SP4 に戻り、鍵 70 に係る次の M I D I 情報に基づいて、所定区間の軌道リファランスが生成される。以下、鍵 70 に係る全ての M I D I 情報に基づいて同様の処理が繰り返される。そして、全ての M I D I 情報について駆動処理が終了すると、ステップ SP32 において「Y E S」と判定され、本ルーチンが終了する。

40

【0020】

上述したアルゴリズムはブロック図としても表現することができる。そこで、上述した

50

本実施例の制御アルゴリズムと等価なブロック図を図４に示す。

図において２０２は目標値生成部であり、軌道リファランスに基づいて、位置目標値 r_x と速度目標値 r_v とを生成する。ここで、軌道リファランスは、時刻に対する鍵７０の押下位置の関数として表現されるから、位置目標値 r_x は現在時刻に対する軌道リファランスの値であり、速度目標値 r_v は軌道リファランスの傾きになる。

【００２１】

２０３は減算器であり、位置目標値 r_x から後述する位置信号 y_x を減算し、その結果を位置偏差 e_x として出力する。２０４は増幅部であり、位置偏差 e_x を所定の位置ゲイン k_x で増幅し、ソレノイド１０に供給すべき平均電流（換言すればＰＷＭ発生器３０におけるデューティ比の増減値）に対応する位置制御信号 u_x を出力する。また、２０６は減算器であり、速度目標値 r_v から後述する速度信号 y_v を減算し、その結果を速度偏差 e_v として出力する。

10

【００２２】

２０８は増幅部であり、速度偏差 e_v を所定の速度ゲイン k_v で増幅し、ソレノイド１０に供給すべき平均電流に対応する速度制御信号 u_v を出力する。２１０は加算器であり、位置制御信号 u_x および速度制御信号 u_v を加算し、その加算結果を制御信号 u として出力する。この制御信号 u は最終的にソレノイド１０に供給すべき電流の平均値に対応する値であり、ＰＷＭ発生器３０においては、該制御信号 u に基づいて矩形波電流のデューティ比が設定される。

20

【００２３】

この矩形波電流によって鍵７０が駆動されると、キー位置センサ２７によって、アナログ信号である時々刻々の位置信号 $y_x a$ が出力される。この位置信号 $y_x a$ は、Ｉ／Ｏインターフェース３７を介してデジタル信号の位置信号 $y_x d$ に変換される。２１６は正規化部であり、下式（１）に基づいて鍵７０およびキー位置センサ２７の個体差を補正し、正規化した位置信号 y_x を出力する。

$$y_x = R * y_x d + S \quad [\text{mm}] \quad \dots \dots (1)$$

【００２４】

式（１）において、 R はゲイン校正值、 S はオフセット校正值であり、測定によって予め得られた値である。これらの値はフラッシュＲＯＭ５２に記憶される。また、２１８は速度生成部であり、位置信号 y_x を微分することにより速度信号 y_v を出力する。例えば、所定時間 T [sec]（例えば１サンプリング周期）前の位置信号 y_x を「 y_{x1} [mm]」、現在の位置信号 y_x を「 y_{x0} [mm]」とすると、

30

$$y_v = (y_{x0} - y_{x1}) / T \quad [\text{mm/sec}] \quad \dots \dots (2)$$

によって速度信号 y_v を求めることができる。

【００２５】

これら位置信号 y_x および速度信号 y_v が上述した減算器２０３、２０６にフィードバックされることにより、位置信号 y_x および速度信号 y_v が各々位置目標値 r_x および速度目標値 r_v に追従するように制御信号 u が設定されることになる。なお、上記アルゴリズムの構成要素２０２～２１８は、フラッシュＲＯＭ５２に格納されたプログラムおよびＣＰＵ５０によって実現される。

40

【００２６】

１．３．第１実施例の動作

FDD４０からＣＰＵ５０に演奏情報が読み込まれると、その演奏情報に基づいて各鍵７０の軌道リファランスが生成される。軌道リファランスを生成する詳細な処理は、上述した特許文献１に開示されているが、例えば等速押鍵時のＭＩＤＩベロシティ値を「 v_m 」とし、このベロシティ v_m から位置目標値 r_x の傾きを所定の関数 $f(v_m)$ によって求め、位置目標値 r_x の初期値を r_{x0} としたとき、下式（３）によって軌道リファランスを表現することができる。

$$r_x = f(v_m) * t + r_{x0} \quad \dots \dots (3)$$

【００２７】

50

また、速度目標値 r_v は、

$$r_v = d(r_x) / dt = f(v_m) \dots\dots(4)$$

である。なお、関数 $f(v_m)$ は指数関数であり、演算またはテーブルの値参照の何れによっても実現することができる。そして、軌道リファランス上の時々刻々のサンプリング値が目標値生成部 202 に供給されると、図 4 のアルゴリズムに基づいて、サンプリング周期毎に制御信号 u が計算され、この制御信号 u に基づく矩形波電流によってソレノイド 10 が（従って鍵 70 が）駆動される。

【0028】

本実施例においては、位置および速度の双方に対してフィードバック制御が行われ、位置偏差 e_x および速度偏差 e_v に対するゲイン（増幅部 204, 208 におけるゲイン）を独立して設定できるから、軌道リファランスに対して実際の押鍵軌道を精密に追従させることができる。

【0029】

ここで、増幅部 204, 208 におけるゲイン k_x , k_v に対して種々の値を設定し、実際の自動演奏ピアノを用いて位置信号 y_x および速度信号 y_v を測定した結果を図 8 ~ 図 11 に示す。これらの図において、横軸は時刻、縦軸は位置目標値 r_x については「押鍵深さ」であり速度目標値 r_v については「押鍵速度」である。そして、位置目標値 r_x および位置信号 y_x のディメンションは「mm（ミリメートル）」であり、速度目標値 r_v および速度信号 y_v のディメンションは「mm/s（ミリメートル/秒）」である。

【0030】

まず、図 8 は、位置ゲイン $k_x = 0.2$ 、速度ゲイン $k_v = 0.0$ とした時の測定結果である。この例においては、ゲイン k_x , k_v 共に低いため、位置信号 y_x が位置目標値 r_x に追従することができず、発音が行われなかった。次に、図 9 は、位置ゲイン $k_x = 0.5$ 、速度ゲイン $k_v = 1.4$ とした時の測定結果である。この例においては、位置信号 y_x の最終的な押鍵深さが位置目標値 r_x に追従できなかったため、発音は行われたものの、所定の基準音量より弱い音であった。

【0031】

次に、図 10 は、位置ゲイン $k_x = 0.2$ 、速度ゲイン $k_v = 3.2$ とした時の測定結果である。この例においては、速度ゲイン k_v が位置ゲイン k_x よりもはるかに大きいため、位置信号 y_x および速度信号 y_v が振動し、動作が不安定になっている。次に、図 11 は、位置ゲイン $k_x = 0.5$ 、速度ゲイン $k_v = 0.2$ とした時の測定結果である。この例においては、速度制御が不十分であるために、速度信号 y_v が急激に上昇し、所定の基準音量より強い音で発音が行われた。

【0032】

次に、図 12 は、位置ゲイン $k_x = 1.1$ 、速度ゲイン $k_v = 2.0$ とした時の測定結果である。この例においては、位置信号 y_x が位置目標値 r_x によく追従し、良好な発音結果がすなわち演奏情報の記録時と同等の音量での発音結果が得られた。その他、ゲイン k_x , k_v を様々な値に対して測定結果をまとめたものを図 13 に示す。この図によれば、ゲイン k_x , k_v は何れも「0.5」以上の値を有し、かつ上限値（位置ゲイン k_x にあっては「2.0」、速度ゲイン k_v にあっては「2.3」）以下の値で良好な結果が得られることが解る。さらに、速度ゲイン k_v が位置ゲイン k_x の「1 ~ 3 倍」である時に概ね良好な結果が得られることが解る。

【0033】

また、従来技術の欄において述べたように、押鍵速度とハンマの打弦速度とが特定の対応関係を示す位置をリファランスポイントという。図 12 の位置信号 y_x の軌跡においては、一点鎖線で囲んだ範囲 A がリファランスポイントに相当する。このリファランスポイント付近での押鍵速度を極力速度目標値 r_v に近づけるため、押鍵速度をサーボ制御することは必須である。一方、位置目標値 r_x についても、位置目標値 r_x のリファランスポイントの範囲内で実際の鍵位置もリファランスポイントに近づいていれば最適であるが、サーボ制御の本質的な特性により、遅れが生じること自体は不可避である。そこで、この

10

20

30

40

50

「遅れ」のばらつきが「0」近くの値になるようにしておくといよい。遅れ時間が一定であれば、鍵駆動の際の時間補正は容易になる。本実施例においては、その上で、可能な限り、位置サーボの効果も確保するようにしている。

【0034】

図9の例においては、時刻 $t_2 \sim t_3$ 付近にて、位置サーボによる制御が不十分であり、エンド位置において鍵位置 y_x が位置目標値 r_x に十分に追従していない。これは、位置サーボと速度サーボのバランスがやや悪いためである。これに対して、図12の例では、エンド位置においても鍵位置 y_x が位置目標値 r_x にほぼ追従している。これは、位置サーボと速度サーボのバランスが良好であるためである。鍵速度 y_v と鍵位置 y_x に対する速度ゲイン k_v および位置ゲイン k_x のバランスが崩れていると、不都合が大きくなる。例えば、図11の例では速度ゲイン k_v および位置ゲイン k_x のバランスは良いが、両ゲインが共に小さいため、結果として時刻 $t_2 \sim t_3$ の間では鍵速度 y_v が速度目標値 r_v を追い越し気味になるため、やや強打状態になる。また、鍵速度 y_v が定常状態にならず不安定になる。

【0035】

また、図8の例は、位置ゲイン k_x が小さく、かつ速度サーボを実行しない（速度ゲイン k_v が「0」である）ものである。時刻 $t_2 \sim t_3$ の区間の前半では鍵速度 y_v が低いいため鍵位置 y_x がエンド位置に到達せず、発音も行われない。さらに、図10の例にあっては、位置ゲイン k_x に比較して速度ゲイン k_v が過大であるため、時刻 $t_1 \sim t_3$ の区間で鍵位置 y_x が振動し、鍵速度 y_v も発振している。また、位置サーボによる制御が不十分であるときは、特に鍵を連打したときに問題が生じる。すなわち、鍵軌道のエンド位置が徐々にずれてゆくとともに、鍵がレスト位置にまで戻らないという問題が生じる。この様子を図14(a)に示す。また、位置サーボおよび速度サーボの双方を施した例を図14(b)に示す。

【0036】

2. 第2実施例

次に、本発明の第2実施例の自動演奏ピアノについて図5を参照し説明する。

第2実施例においては、第1実施例のキー位置センサ27に代えて、鍵70の速度を検出するキー速度センサ28が設けられている。すなわち、鍵70が駆動されると、キー速度センサ28によって、アナログ信号である時々刻々の速度信号 y_{va} が出力される。この速度信号 y_{va} は、I/Oインターフェース37を介してデジタル信号の速度信号 y_vd に変換される。

【0037】

220は正規化部であり、下式(5)に基づいて、鍵70およびキー位置センサ27の個体差を補正し、正規化した速度信号 y_v を出力する。

$$y_v = P * y_{xd} + Q \quad [\text{mm/sec}] \quad \dots \dots (5)$$

【0038】

式(5)において、 P はゲイン校正值、 Q はオフセット校正值であり、測定によって予め得られた値である。これらの値はフラッシュROM52に記憶される。また、222は位置生成部であり、下式(6)に基づいて速度信号 y_v を積分することにより位置信号 y_x を出力する。例えば、所定時間 T [sec]（例えば1サンプリング周期）前の位置信号 y_x を「 y_{x1} [mm]」とし、現在の速度信号 y_v を「 y_{v0} [mm/sec]」とすると、

$$y_x = y_{x1} + y_{v0} * T \quad [\text{mm}] \quad \dots \dots (6)$$

によって位置信号 y_x を求めることができる。上述した以外の本実施例の構成/動作は第1実施例と同様である。すなわち、キーセンサとしては、位置センサおよび速度センサの何れも適用可能であることが解る。

【0039】

3. 第3実施例

次に、本発明の第3実施例の自動演奏ピアノについて図6を参照し説明する。

第3実施例においては、第1実施例の目標値生成部202に代えて、目標値生成部23

2 が設けられている。該目標値生成部 2 3 2 においては上述した位置目標値 r_x および速度目標値 r_v に加えて、所定のバイアス値 r_u が常時出力される。また、2 3 4 は加算器であり、加算器 2 1 0 の出力信号（すなわち位置制御信号 u_x と速度制御信号 u_v の合計）に対して、さらにバイアス値 r_u を加算し、その結果を制御信号 u として PWM 発生器 3 0 に供給する。上述した以外の本実施例の構成 / 動作は第 1 実施例と同様である。

【 0 0 4 0 】

ここで、バイアス値 r_u について説明しておく。図 2 の構成において、ソレノイド 1 0 に供給する矩形波電流の平均値を「0」から徐々に上昇させてゆくと、矩形波電流の平均値が極めて小さい時には鍵 7 0 は駆動されず、電流の平均値がある値になると鍵 7 0 が駆動され始める。バイアス値 r_u は、この駆動が開始される電流の境界値に対応する値に設定される。従って、本実施例においては、このバイアス値 r_u に応じた電流が常時ソレノイド 1 0 に供給されているため、軌道リファランがレスト状態（鍵 7 0 が全く駆動されない状態）から立ち上がる時のレスポンスを向上させることができる。

【 0 0 4 1 】

4. 第 4 実施例

次に、本発明の第 4 実施例の自動演奏ピアノについて図 7 を参照し説明する。

上述した第 1 ないし第 3 実施例においては、位置信号 y_x および速度信号 y_v のフィードバック制御を行ったが、本実施例はこれらに加えて加速度信号もフィードバックするようにしたものである。

【 0 0 4 2 】

図 7 において 2 4 0 は加速度生成部であり、速度信号 y_v を微分することにより加速度信号 y_a を生成する。2 4 2 は増幅部であり、加速度信号 y_a を所定のゲインで増幅し加速度制御信号 u_a を出力する。2 4 4 は加算器であり、「位置制御信号 u_x + 速度制御信号 u_v - 加速度制御信号 u_a 」の演算結果を制御信号 u として PWM 発生器 3 0 に供給する。上述した以外の本実施例の構成 / 動作は第 2 実施例と同様である。本実施例によれば、例えば加速度信号 y_a が大きい時に制御信号 u を減少させるように加速度制御信号 u_a が制御されるから、押鍵軌道のオーバーシュートなどを抑制することが可能になる。

【 0 0 4 3 】

5. 変形例

本発明は上述した実施例に限定されるものではなく、例えば以下のように種々の変形が可能である。

(1) 上記第 1 実施例においては、上述の式 (3) および (4) から明らかなように、鍵を駆動する際の目標値となる位置目標値 r_x および速度目標値 r_v は関数によって表現される。上述の式 (3) および (4) から次の式が得られる。

$$r_x = r_v * t + r_{x0} \quad \dots \dots (7)$$

ここで速度目標値 r_v は、関数 $f(v_m)$ によって規定される、ある軌道区間での一定値である。このように位置目標値 r_x および速度目標値 r_v を関数によって関連付けることにより、各軌道区間では r_x , r_v の値をデータ列として記憶しておく必要がなくなり、何れか一方の値のみを記憶しておけばよい。これにより、データ列作成に伴って、値に誤差が発生する虞がなくなる。さらに、参照する都度微分演算などの複雑な計算を行う必要がなく、上記式 (7) に基づいた延在を行えば足りる。この結果、データ値が正確になり、データ量が少なくなり、演算が簡便になり、外部へのグラフ等の表示が容易になるという効果を奏する。

【 0 0 4 4 】

また、上式 (7) に代えて、以下のような積算式を用いても良い。

$$r_x = r_{x_} + r_v * T \quad \dots \dots (8)$$

式 (8) において $r_{x_}$ は前回の位置目標値 r_x の値であり、 T はサンプリング周期を表す。サンプリング周期 T は一定値であるから、「 $r_v * T$ 」は対象となる軌道区間内では一定値となり、予め計算しておくことができる。この方法においても、上述したのと同様の効果を奏することができる。

【 0 0 4 5 】

(2)また、第4実施例において説明したように、軌道リファランスは等加速度軌道であってもよい。まず、ある押鍵区間において鍵速度に一定の加速度目標値 r_a が与えられたとする。この区間での初速度を r_{v0} とすると、速度目標値 r_v は下式によって表すことができる。

$$r_v = r_a * t + r_{v0} \quad \dots\dots(9)$$

さらに、この区間における位置目標値 r_x を次式によって表すことができる。

$$r_x = (1/2) * r_a * t^2 + r_{v0} * t + r_{x0} \quad \dots\dots(10)$$

なお、この例の場合、 r_{x0} をレスト位置とし、その値を「0」に決定しておくともよい。

また、次式のように、位置目標値 r_x を速度目標値 r_v を用いて表してもよい。

$$r_x = (1/2) * (r_v + r_{v0}) * t + r_{x0} \quad \dots\dots(11)$$

この場合の位置目標値 r_x および速度目標値 r_v は、例えば図15に示すようになる。図15において、横軸は時刻、縦軸は位置目標値 r_x については「押鍵深さ」であり速度目標値 r_v については「押鍵速度」である。そして、位置目標値 r_x および位置信号 y_x のディメンジョンは「mm（ミリメートル）」であり、速度目標値 r_v および速度信号 y_v のディメンジョンは「mm/s（ミリメートル/秒）」である。この変形例においても、変形例（1）と同様の効果が得られる。

【 0 0 4 6 】

(3)上記各実施例においては、自動演奏ピアノ100に組み込まれたプログラムによって鍵軌道を制御したが、このプログラムのみをCD-ROM、フレキシブルディスク等の記録媒体に格納して頒布し、あるいは伝送路を通じて頒布することもできる。

【 0 0 4 7 】

(4)また、上記各実施例においては、「位置」、「速度」および「加速度」の次元を適用したが、その他に「力」の次元等を適用してもよい。

(5)また、上記第4実施例においては、加速度信号 y_a については特に目標値を与えなかったが、軌道リファランスに基づいて加速度信号 y_a についても目標値を設定しサーボ制御を行うようにしてもよい。

【 0 0 4 8 】

(6)また、位置ゲイン k_x と速度ゲイン k_v の組み合わせは、図13に「ok」と記載した領域に限られるものではない。例えば、速度目標値 r_v を低くすると、図13において「+」または「-」と記載した領域においても良好な発音が得られる場合がある。さらに、速度目標値 r_v を「0」に近い値に設定すると、速度ゲイン k_v が「0」に近い領域においても良好な発音が得られる場合がある。

【 0 0 4 9 】

(7)上記各実施例においては、距離の単位を「mm（ミリメートル）」、速度の単位を「mm/s（ミリメートル/秒）」としたが、単位はこれらのものに限られるものではなく、種々の単位の組み合わせが可能であることは言うまでもない。何れの単位が用いられた場合であっても、距離の単位を「mm（ミリメートル）」、速度の単位を「mm/s（ミリメートル/秒）」に換算したとき、速度ゲイン k_v が位置ゲイン k_x の「1～3倍」である時に良好な結果が得られるのである。また、速度ゲイン k_v の上限値（または下限値）が位置ゲイン k_x の上限値（または下限値）の「1～3倍」になるように各部を設定したのも本発明の範疇にふくまれるものである。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 5 0 】

【図1】本発明の各実施例による自動演奏ピアノのハードウェアブロック図である。

【図2】該自動演奏ピアノの鍵部の側面図である。

【図3】第1実施例の制御プログラムのフローチャートである。

【図4】第1実施例の制御アルゴリズムのブロック図である。

【図5】第2実施例の制御アルゴリズムのブロック図である。

【図6】第3実施例の制御アルゴリズムのブロック図である。

【図 7】第 4 実施例の制御アルゴリズムのブロック図である。

【図 8】第 1 実施例による実験結果を示す図である。

【図 9】第 1 実施例による実験結果を示す図である。

【図 10】第 1 実施例による実験結果を示す図である。

【図 11】第 1 実施例による実験結果を示す図である。

【図 12】第 1 実施例による実験結果を示す図である。

【図 13】第 1 実施例による実験結果を示す図である。

【図 14】第 1 実施例による実験結果を示す図である。

【図 15】等加速度の軌道リファランスを示す図である。

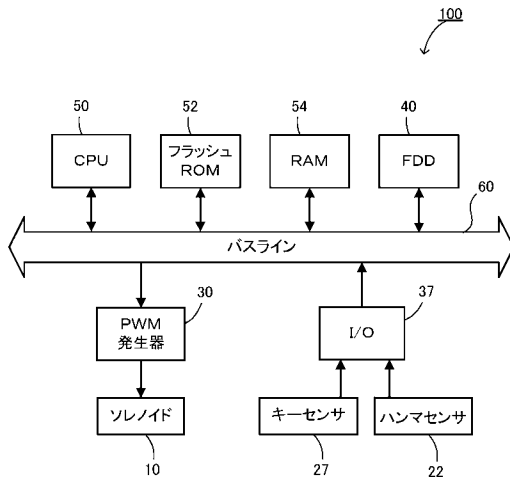
【符号の説明】

【 0 0 5 1 】

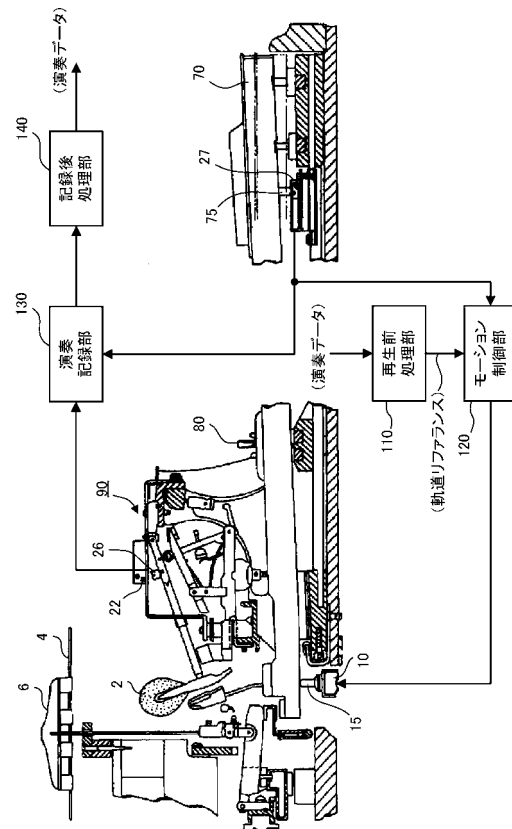
１０：ソレノイド、１５：プランジャ、２２：ハンマセンサ、２７：キー位置センサ、
 ２８：キー速度センサ、３０：ＰＷＭ発生器、３７：Ｉ／Ｏインターフェース、４０：Ｆ
 ＤＤ、４０：フレキシブルディスクドライブ、５０：ＣＰＵ、５２：フラッシュＲＯＭ、
 ５４：ＲＡＭ、７０：鍵、７５：遮光板、８０：バランスピン、１００：自動演奏ピアノ
 、２０２：目標値生成部、２０３，２０６：減算器、２０４，２０８：増幅部、２１０，
 ２３４，２４４：加算器、２１６，２２０：正規化部、２１８：速度生成部、２２２：位
 置生成部、２３２：目標値生成部、２４０：加速度生成部、２４２：増幅部。

10

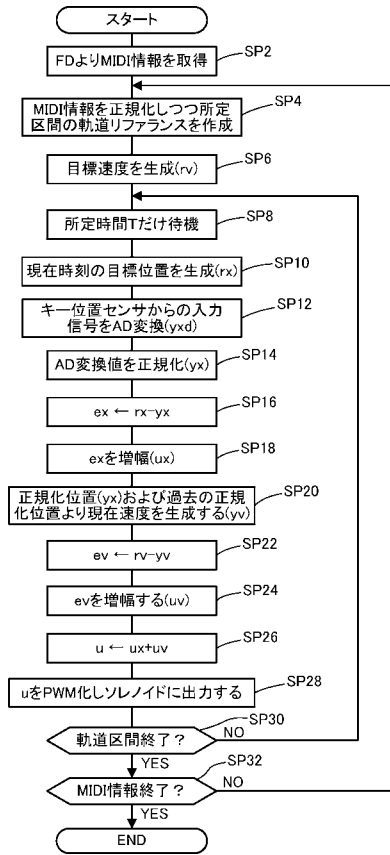
【 図 1 】



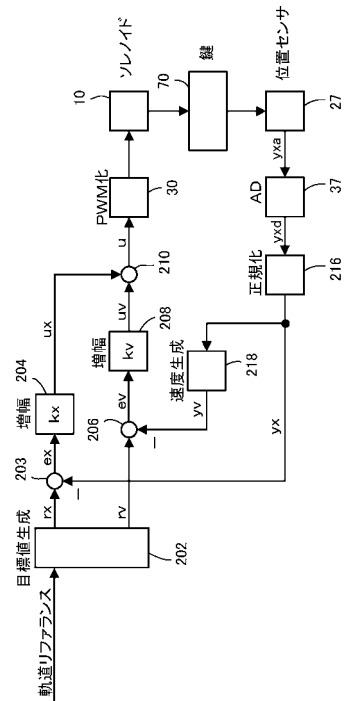
【圖 2】



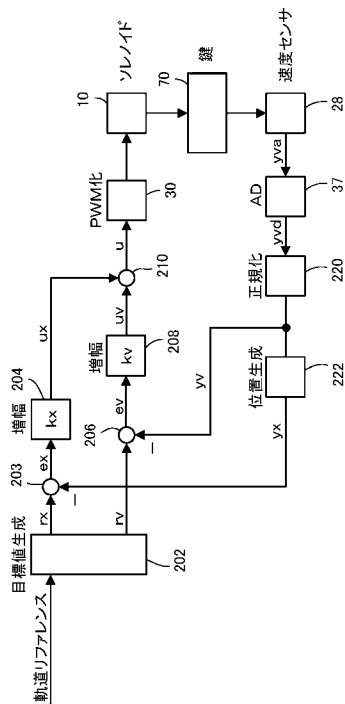
【 図 3 】



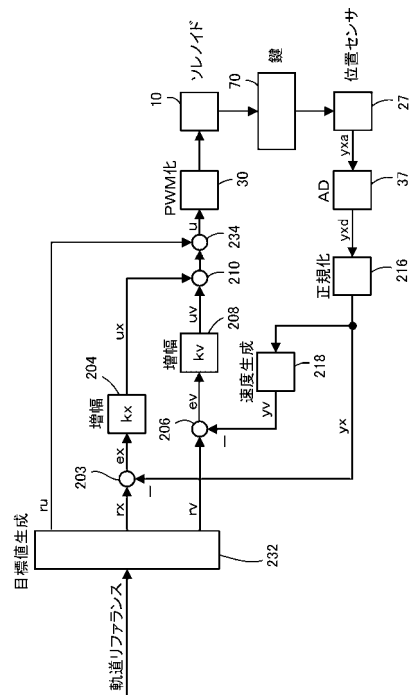
【 図 4 】



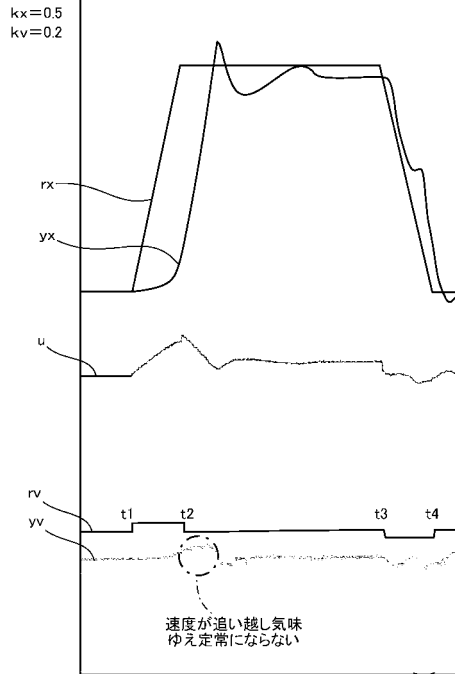
【 図 5 】



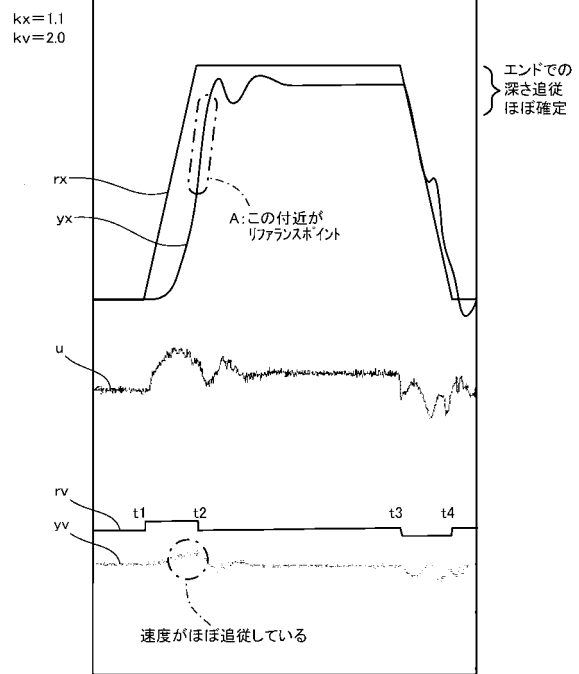
【 図 6 】



【図 1 1】



【図 1 2】

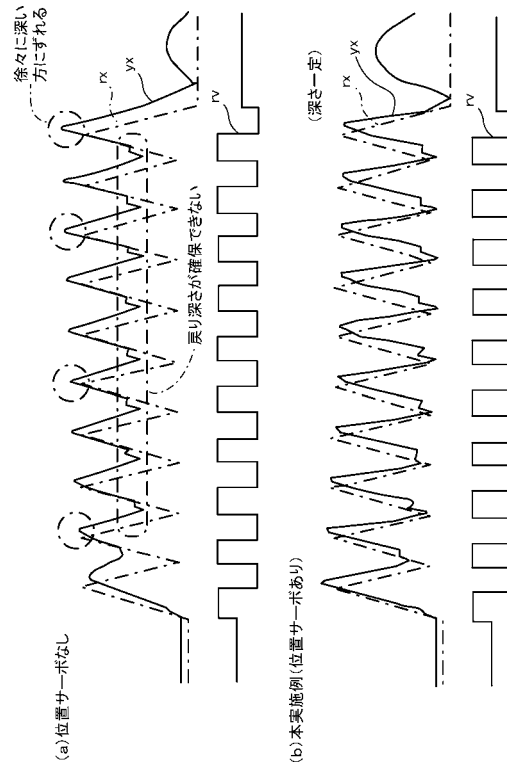


【図 1 3】

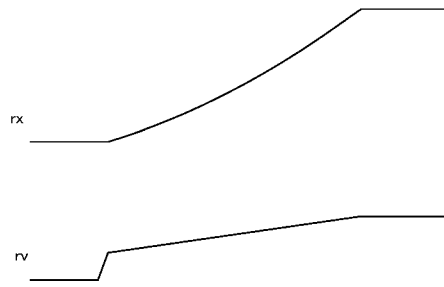
$kx \backslash kv$	0.0	0.2	0.5	0.8	1.1	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.5
0.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0.5	+	+	ok	ok	ok	-	*	*	*	#	#	#	#
0.8	+	+	+	+	ok	ok	ok	ok	ok	-			
1.1				+	+	ok	ok	ok	ok	#			
1.4					+	+	+	ok	ok	#			
1.7						+	+	ok	ok	#			
2.0							+	ok	#				
2.3							+	+	#				

* 発音せず
+ 強めに発音
ok 良好
- 弱めに発音
振動等の動作乱れ

【図 1 4】



【図 15】
等加速軌道リファレンスの図



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平08-044348(JP,A)
特開平09-081124(JP,A)
特開平09-044253(JP,A)
特開平06-321120(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G10F	1/00 -	5/06
G10H	1/00 -	7/12