

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7555317号
(P7555317)

(45)発行日 令和6年9月24日(2024.9.24)

(24)登録日 令和6年9月12日(2024.9.12)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 M 7/02 (2006.01) G 0 1 M 7/02 B

請求項の数 11 (全23頁)

(21)出願番号	特願2021-139906(P2021-139906)	(73)特許権者	319007240 株式会社日立インダストリアルプロダク ツ 東京都千代田区外神田一丁目5番1号
(22)出願日	令和3年8月30日(2021.8.30)	(74)代理人	110000350 ポレール弁理士法人
(65)公開番号	特開2023-33929(P2023-33929A)	(72)発明者	石原 新士 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
(43)公開日	令和5年3月13日(2023.3.13)	(72)発明者	青木 祐也 東京都千代田区外神田1丁目5番1号 株式会社日立インダストリアルプロダク ツ内
審査請求日	令和6年2月2日(2024.2.2)	審査官	中村 圭伸

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 試験装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

評価対象である供試体を配置する供試体設置部と、前記供試体設置部を加振するためのアクチュエータと、前記アクチュエータの応答を検出する内部センサと、試験装置の動作パターンを設定する目標波形設定部と、オペレータ操作を受け付けると共に試験動作を提示するユーザインタフェースと、前記アクチュエータの応答を制御し、且つ、試験結果を前記ユーザインタフェースに提示するコントローラと、を備えた試験装置であって、

目標波形と内部センサの検出値との差を解消するように制御入力を計算するフィードバック制御部と、

前記内部センサの検出値から供試体の応答を計算する供試体応答予測部と、

実験データを用いて少なくとも前記供試体応答予測部の調整を行う実験データ解析部と、を有することを特徴とする試験装置。

【請求項2】

請求項1に記載の試験装置において、

前記コントローラは、前記フィードバック制御部と、目標波形に従って制御入力を計算するフィードフォワード制御部と、前記供試体応答予測部と、前記実験データ解析部と、を有することを特徴とする試験装置。

【請求項3】

請求項1に記載の試験装置において、

追加コントローラを備え、

前記追加コントローラは、前記供試体応答予測部及び前記実験データ解析部を有することを特徴とする試験装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の試験装置において、
追加コントローラを備え、

前記追加コントローラは、目標波形と内部センサの検出値との差を解消するように目標波形を修正するプレフィルタタイプのフィードフォワード制御部と、前記供試体応答予測部及び前記実験データ解析部を有することを特徴とする試験装置。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の試験装置において、

前記コントローラは、前記フィードバック制御部と、目標波形と内部センサの検出値との差を解消するように目標波形を修正するプレフィルタタイプのフィードフォワード制御部と、前記供試体応答予測部及び前記実験データ解析部を有することを特徴とする試験装置。

【請求項 6】

請求項 2 に記載の試験装置において、
供試体応答を計測する外部センサを備え、

前記実験データ解析部は、ユーザインタフェースから調整用の目標波形を設定した状態で試験加振を実施し、試験加振時の内部センサの検出値と外部センサの検出値を記録し、前記内部センサの検出値と外部センサの検出値に従って供試体応答予測部の予測モデルを更新し、外部センサの検出値に従ってフィードフォワード制御部を更新することを特徴とする試験装置。

【請求項 7】

請求項 3 に記載の試験装置において、
供試体応答を計測する外部センサを備え、

前記実験データ解析部は、ユーザインタフェースから調整用の目標波形を設定した状態で試験加振を実施し、試験加振時の内部センサの検出値と外部センサの検出値を記録し、前記内部センサの検出値と外部センサの検出値に従って供試体応答予測部の予測モデルを更新することを特徴とする試験装置。

【請求項 8】

請求項 4 に記載の試験装置において、
供試体応答を計測する外部センサを備え、

前記実験データ解析部は、ユーザインタフェースから調整用の目標波形を設定した状態で試験加振を実施し、試験加振時の内部センサの検出値と外部センサの検出値を記録し、前記内部センサの検出値と外部センサの検出値に従って前記供試体応答予測部の予測モデルを更新し、外部センサの検出値に従って前記プレフィルタタイプのフィードフォワード制御部を更新することを特徴とする試験装置。

【請求項 9】

請求項 5 に記載の試験装置において、
供試体応答を計測する外部センサを備え、

前記実験データ解析部は、ユーザインタフェースから調整用の目標波形を設定した状態で試験加振を実施し、試験加振時の内部センサの検出値と外部センサの検出値を記録し、前記内部センサの検出値と外部センサの検出値に従って供試体応答予測部の予測モデルを更新し、外部センサの検出値に従ってプレフィルタタイプのフィードフォワード制御部を更新することを特徴とする試験装置。

【請求項 10】

評価対象である供試体を配置する供試体設置部と、前記供試体設置部を加振するためのアクチュエータと、前記アクチュエータの応答を検出する内部センサと、試験装置の動作パターンを設定する目標波形設定部と、オペレータ操作を受け付けると共に試験動作を提示するユーザインタフェースと、前記アクチュエータの応答を制御し、且つ、試験結果を

10

20

30

40

50

前記ユーザインタフェースに提示するコントローラと、を備えた試験装置のパラメータ調整方法であって、

実験データ解析部が、内部センサの検出値及び外部センサにより計測される供試体応答を加振開始から加振終了まで記憶し、

前記実験データ解析部が、加振中に取得したデータを用いて供試体応答予測のための伝達関数を算出し、フィードフォワード制御の伝達関数のパラメータの調整を行うことを特徴とする試験装置のパラメータ調整方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の試験装置のパラメータ調整方法において、

供試体が変更されると、前記実験データ解析部が、内部センサの検出値及び外部センサにより計測される供試体応答を加振開始から加振終了まで記憶することを特徴とする試験装置のパラメータ調整方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、試験対象を加振して評価する試験装置及び試験装置のパラメータ調整方法に関する。

【背景技術】

【0002】

構造物の耐震性能を評価するために、構造物の特性を模擬したモデル（以下、供試体と称する）を加振して評価する試験装置が知られている。これらの試験装置には、地震波形など、変位や加速度の応答が早い試験パターンを再現する必要があるため、応答性や駆動力に優れた油圧アクチュエータが利用されることが多い。

20

【0003】

このような振動試験装置は、ユーザが定めた所定の試験パターン（加速度指令や変位指令）に従って、油圧アクチュエータを駆動することによって、供試体の評価試験を実施する。

振動試験装置には油圧アクチュエータの位置、速度、加速度を取得するセンサが取り付けられているため、これらの信号を利用してフィードバック制御を実施することで、所望の試験波形を再現する。

30

【0004】

しかしながら、上記の構成では、油圧アクチュエータの変位或いは油圧アクチュエータの速度を試験パターンに追従させることができるものの、必ずしも、供試体の変位、速度、及び加速度を試験パターンに追従させることができるとは限らない。このため、供試体の特定箇所に生じる変位、速度、及び加速度のパターンを再現したいというユーザ（若しくは、オペレータ）の要求に応えることが容易ではない。

【0005】

さらに、油圧アクチュエータを利用する関係上、油圧の特性の変化や駆動部の摩擦などの変動要素を有するために、適切な制御設計がなされていないと、油圧アクチュエータの変位或いは油圧アクチュエータの速度も所望のパターンで駆動することは困難である。

40

【0006】

このような課題に対して、特許文献 1 では、供試体（被試験体）に変位センサ及び加速度センサを取り付け、その信号をサーボ制御装置に取り込み、このセンサ情報を利用して試験条件（加振パターン）を変更することで、供試体の変位や加速度を制御する振動試験装置が提示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】特開 2012 - 237634 号公報

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】**【0008】**

特許文献1に開示される試験装置は、供試体の特定箇所の変位や加速度が取得できる構成になっているため、これらの信号を利用して適切な制御を実行すれば、試験装置のユーザ又はオペレータが望む試験パターンを再現し得る構成になっている。

具体的には、特許文献1では、供試体の振動特性を取得するための試験を行い、この試験において指令した変位量（若しくは加速度量）に対して、実際に供試体に取り付けられたセンサから取得した変位量を記憶する。この特性把握用の加振で得られた波形の周波数と変位量をデータベースとして保管し、供試体が最大変位量を超えるまで加振指令値を増幅する特性把握試験を繰り返し行うことで、実際に試験を行いたい周波数領域をカバーするように、供試体を最大変位で加振できる補正量を決定する。この補正量を利用して、試験パターンを補正することで所望の変位で供試体を加振することができるようになる。

10

【0009】

上記の手法を利用すれば、実際の供試体の変位が、試験装置のユーザが望む変位に調整することが可能である。よって、供試体に与える力やエネルギーなどを評価する試験には有効な手法である。

【0010】

しかしながら、特許文献1の手法では振幅（ゲイン）のみを変更しており、位相の補償は実施されないため、動的に試験パターンを変更する場合は十分な性能を提供できない虞がある。

20

【0011】

そこで、本発明は、供試体の挙動を正確に予測し、その予測値を用いて所望の供試体応答の実現、すなわち、変位の量（ゲイン）と位相の調整を行い得る試験装置及び試験装置のパラメータ調整方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】**【0012】**

上記課題を解決するため、本発明に係る試験装置は、評価対象である供試体を配置する供試体設置部と、前記供試体設置部を加振するためのアクチュエータと、前記アクチュエータの応答を検出する内部センサと、試験装置の動作パターンを設定する目標波形設定部と、オペレータ操作を受け付けると共に試験動作を提示するユーザインタフェースと、前記アクチュエータの応答を制御し、且つ、試験結果を前記ユーザインタフェースに提示するコントローラと、を備えた試験装置であって、目標波形と内部センサの検出値との差を解消するように制御入力を計算するフィードバック制御部と、前記内部センサの検出値から供試体の応答を計算する供試体応答予測部と、実験データを用いて少なくとも前記供試体応答予測部の調整を行う実験データ解析部と、を有することを特徴とする。

30

また、本発明に係る試験装置のパラメータ調整方法は、評価対象である供試体を配置する供試体設置部と、前記供試体設置部を加振するためのアクチュエータと、前記アクチュエータの応答を検出する内部センサと、試験装置の動作パターンを設定する目標波形設定部と、オペレータ操作を受け付けると共に試験動作を提示するユーザインタフェースと、前記アクチュエータの応答を制御し、且つ、試験結果を前記ユーザインタフェースに提示するコントローラと、を備えた試験装置のパラメータ調整方法であって、実験データ解析部が、内部センサの検出値及び外部センサにより計測される供試体応答を加振開始から加振終了まで記憶し、前記実験データ解析部が、加振中に取得したデータを用いて供試体応答予測のための伝達関数を算出し、フィードフォワード制御の伝達関数のパラメータの調整を行うことを特徴とする。

40

【発明の効果】**【0013】**

本発明によれば、供試体の挙動を正確に予測し、その予測値を用いて所望の供試体応答の実現、すなわち、変位の量（ゲイン）と位相の調整を行い得る試験装置及び試験装置のパラメータ調整方法を提供することが可能となる。

50

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の一実施形態に係る油圧駆動式振動試験装置を模式的に示す概観図である。

【図2】本発明の一実施例に係る実施例1の油圧駆動式振動試験装置の機能ブロック図である。

【図3A】目標波形を示すグラフである。

【図3B】目標波形とアクチュエータ変位の様子を示すグラフである。

【図3C】目標波形と供試体変位の様子を示すグラフである。

【図4】外部センサを利用したフィードバック制御の機能ブロック図である。

10

【図5A】本実施例のフィードフォワード制御の設計に係るブロック線図である。

【図5B】本実施例のフィードフォワード制御の設計に係るブロック線図である。

【図5C】本実施例のフィードフォワード制御の設計に係るブロック線図である。

【図6】実施例1に係る試験装置の駆動方法を示すフローチャートである。

【図7】本発明の他の実施例に係る実施例2の油圧駆動式振動試験装置を模式的に示す概観図である。

【図8】図7に示す油圧駆動式振動試験装置の機能ブロック図である。

【図9A】目標波形の修正方法を示す図である。

【図9B】目標波形の修正方法を示す図である。

【図10】実施例2に係る試験装置の駆動方法を示すフローチャートである。

20

【図11】本発明の他の実施例に係る実施例3の油圧駆動式振動試験装置を模式的に示す概観図である。

【図12】図11に示す油圧駆動式振動試験装置の機能ブロック図である。

【図13】プレフィルタタイプのフィードフォワード制御を含むブロック線図である。

【図14】本発明の他の実施例に係る実施例4の油圧駆動式振動試験装置の機能ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

図1は、本発明の一実施形態に係る油圧駆動式振動試験装置を模式的に示す概観図である。なお、本明細書では、説明の簡略化のため、1軸の油圧駆動式振動試験装置を例示して説明するが、本発明は1軸の油圧駆動式振動試験装置に限定されるものではない。例えば、駆動方式が油圧式の油圧ピストンでなく、電動式の直動アクチュエータであっても良い。さらに、本発明の適用範囲は振動試験装置に限定されるものでもない。例えば、回転運動によって遠心加速度を発生させる遠心力載荷試験装置などにも適用でき、試験装置の一例として、以下では、油圧駆動式振動試験装置を試験装置の一例として説明する。なお、図1では、点線は信号線を示し、実線は配管を示している。

30

【0016】

図1に示すように、ユーザインタフェース1は、試験装置の一例として油圧駆動式振動試験装置100のユーザ若しくはオペレータが各種試験パターンを設定するために利用される。オペレータはユーザインタフェース1を介して、目的とする加振波形を設定する。

40

ユーザインタフェース1は目標信号を生成する装置であるため、専用の端末に限らず、操作端末とシグナルジェネレータの組合せなど複数機器で構成されていても良い。なお、操作端末は、通常のパソコン(PC)やタブレットPCであっても良い。

【0017】

なお、ユーザインタフェース1で設定する加振波形の次元は変位、速度、加速度の何れでもよい。オペレータは、過去に実際に起きた地震波形の再現や、特定の挙動を励起するように任意のパターンで加振波形を設計する。

試験用の目標信号を生成する端末(シグナルジェネレータやPC)が、本発明における目標波形設定部に相当する。

コントローラ2は、ユーザインタフェース1で設定された目標通りに油圧駆動式振動試験

50

装置を動かすための各種制御演算を実行する。コントローラ 2 は、ユーザインタフェース 1 で設定した目標加振波形と後述する各種センサ S 0 1 ~ S 0 6 の値を取得して、サーボアンプ 3 の操作量の演算を行う。なお、コントローラ 2 の詳細な構成は後述する。

【 0 0 1 8 】

サーボアンプ 3 は、コントローラ 2 から出力された指令（電圧）を、サーボバルブ 4 を駆動するために電流値へと変換する。

サーボバルブ 4 は、サーボアンプ 3 から受け取った電流値に従って、弁の開閉を行うことで、油圧源 5 から油圧シリンダ 6 に流れる圧油を調整する。サーボバルブ 4 と油圧源 5 の間に圧油の温度を検出する温度センサ S 0 1 が備えられる。

【 0 0 1 9 】

サーボバルブ 4 を経て油圧シリンダ 6 に供給された圧油は、油圧ピストン 7 を駆動する。このとき、サーボバルブ 4 の図 1 中の左右どちらのポートから圧油が供給されるかによって、油圧ピストン 7 の駆動方向が変更される。サーボバルブ 4 から吐出された圧油は流量センサ S 0 2 a , S 0 2 b によって検出可能である。油圧ピストン 7 の駆動方向に応じて、圧油の流れる経路が変わるため、駆動方向によって使用する流量センサを適宜変更しても良い。

【 0 0 2 0 】

油圧ピストン 7 は、カップリング 8 を介してテーブル 9 に力を加えることで、テーブル 9 を振動させる。油圧ピストン 7 には、速度センサ S 0 3 及び変位センサ S 0 4 が備え付けられている。なお、必ずしも、速度センサ S 0 3 及び変位センサ S 0 4 を両方とも備える必要はない。例えば、変位センサ S 0 4 のみが備えられている場合には、検出値の差分を速度として近似利用すれば良い。また、速度センサ S 0 3 のみが備えられている場合には、積分値を変位量としても良い。さらにまた、速度センサ S 0 3 や変位センサ S 0 4 の代わりに、若しくは、追加して加速度センサを備えても良い。これら油圧ピストン 7 の変位を検出するためのセンサが、本発明の内部センサに相当する。

【 0 0 2 1 】

油圧シリンダ 6 には、油圧ピストン 7 の前後圧を検出するための圧力センサ S 0 5 a , S 0 5 b が備えられている。これらのセンサを区別する必要がある場合は、油圧ピストン 7 からテーブル 9 に向かう軸に x 軸をとり、x 軸の負側の圧力センサ S 0 5 a を後方圧力センサ、x 軸の正側の圧力センサ S 0 5 b を前方圧力センサと呼ぶ。

【 0 0 2 2 】

上述のサーボアンプ 3、サーボバルブ 4、油圧源 5、油圧シリンダ 6、及び油圧ピストン 7 にて、後述する本発明におけるアクチュエータ 1 1 が構成される。

【 0 0 2 3 】

テーブル 9 に、試験対象になる構造物（供試体 1 0）を備え付け、ユーザインタフェース 1 で設定した加振波形に従って、供試体 1 0 を加振することで、各種評価を行う。テーブル 9 は本発明における供試体設置部に相当する。

【 0 0 2 4 】

以上の構成が顧客現場に備えつけられている試験装置（油圧駆動式振動試験装置 1 0 0）の構成である。本発明では、上記の構成に加えて、供試体 1 0 の挙動（変位、速度、加速度）を計測するために、非接触センサ S 0 6 を別途用意する。非接触センサ S 0 6 は本発明の外部センサに相当する。非接触センサ S 0 6 として、例えば、レーザー変位計が用いられる。非接触センサ S 0 6 は試験装置（油圧駆動式振動試験装置 1 0 0）の応答調整時に調整作業員が設置するものであり、顧客が利用するものではない。すなわち、顧客が行う加振試験時に非接触センサ S 0 6 の情報を利用することはできないことに注意されたい。

【 0 0 2 5 】

以下、図面を用いて本発明の実施例について説明する。なお、以下では、説明を簡単にするため、全て加振波形が変位の次元で与えられる変位制御を前提とするが、速度制御或いは加速度制御であっても、本発明の技術的範囲に含まれることは言うまでもない。

10

20

30

40

50

【実施例 1】

【0026】

図 2 は、本発明の一実施例に係る実施例 1 の油圧駆動式振動試験装置の機能ブロック図である。なお、図 2 では、理解を容易にするため便宜上、上述の図 1 に示した一部の構成要素を省略している。

【0027】

図 2 に示すように、ユーザインタフェース 1 は、GUI (Graphical User Interface) 1 a 及び目標波形設定部 1 b から構成される。GUI 1 a はオペレータが各種入力を行う操作端末 (PC やタブレットなど) に相当し、目標波形設定部 1 b は試験パターンを生成するシグナルジェネレータに相当する。なお、GUI 1 a はモニタ

10

【0028】

コントローラ 2 は、フィードバック制御部 2 a、フィードフォワード制御部 2 b、実験データ解析部 2 c、及び供試体応答予測部 2 d から構成される。ここで、フィードバック制御部 2 a、フィードフォワード制御部 2 b、実験データ解析部 2 c、及び供試体応答予測部 2 d は、例えば、図示しない CPU (Central Processing Unit) などのプロセッサ、各種プログラムを格納する ROM、演算過程のデータを一時的に格納する RAM、外部記憶装置などの記憶装置にて実現されると共に、CPU などのプロセッサが ROM に格納された各種プログラムを読み出し実行し、実行結果である演算結果を RAM 又は外部記憶装置に格納する。

20

【0029】

フィードバック制御部 2 a は、アクチュエータ 1 1 (サーボアンブ 3、サーボバルブ 4、油圧源 5、油圧シリンダ 6、及び油圧ピストン 7 にて構成される) の挙動が安定になるように、内部センサ (変位センサ S 0 4 に相当) の出力結果に基づいてフィードバック制御入力の演算を行う。フィードバック制御には PID 制御などが利用される。

【0030】

フィードフォワード制御部 2 b は、ユーザインタフェース 1 を構成する目標波形設定部 1 b で設定された目標波形に基づいてフィードフォワード制御入力の計算を行う。フィードフォワード制御入力の演算の詳細は後述する。

アクチュエータ 1 1 には、上記のフィードバック制御入力とフィードフォワード制御入力を足し合わせた値が指令値として印加される。

30

【0031】

実験データ解析部 2 c は、内部センサ (変位センサ S 0 4 に相当) で取得したアクチュエータ 1 1 の変位及び外部センサ (非接触センサ S 0 6 に相当) で取得した供試体 1 0 の変位に従って、上述のフィードフォワード制御部 2 b のパラメータ調整及び後述する供試体応答予測部 2 d のパラメータ調整を行う。実験データ解析部 2 c の演算の詳細は後述する。

供試体応答予測部 2 d は、内部センサ (変位センサ S 0 4) で取得したアクチュエータ 1 1 の変位と、実験データ解析部 2 c で算出されたパラメータに従って供試体 1 0 の変位の予測値を計算する。この機能によって、外部センサ (非接触センサ S 0 6) がない状態でも、試験装置 (油圧駆動式振動試験装置 1 0 0) のオペレータは供試体 1 0 の変位を把握することができる。

40

【0032】

以下、いくつかの図を用いて、コントローラ 2 におけるフィードフォワード制御部 2 b、実験データ解析部 2 c、及び供試体応答予測部 2 d について具体的に説明する。

【0033】

フィードフォワード制御部 2 及び供試体応答予測部 2 d の 2 つの機能ブロックは、初回加振時は機能しておらず、予め試験加振を行って供試体 1 0 の変位及びアクチュエータ 1 1 の変位のデータが実験データ解析部 2 c に記憶され、分析されてからそれぞれの機能が有効になる。

【0034】

50

具体例として、図 3 A に示すような黒実線で示す目標波形で試験加振を実施したとする。この時、内部センサ（変位センサ S 0 4）で取得したアクチュエータ 1 1 の変位は、図 3 B 中の点線、外部センサ（非接触センサ S 0 6）で取得した供試体 1 0 の変位は、図 3 C の一点鎖線で示される波形として得られたとする。

【 0 0 3 5 】

本実施例に係る試験装置（油圧駆動式振動試験装置 1 0 0）の制御目的は、目標波形と供試体 1 0 の応答（外部センサ S 0 6 の波形）を一致させることである。

ただし、コントローラ 2 を構成するフィードバック制御部 2 a は、アクチュエータ 1 1 の応答（内部センサ S 0 4 の応答）を目標波形に合わせるために利用されるものである。すなわち、フィードバック制御部 2 a は、図 3 B に示される 2 つの波形を一致させるために用いられる。よって、上記の目標を達成する、すなわち図 3 C に示される 2 つの波形を一致させるには不向きであることに注意が必要である。

10

【 0 0 3 6 】

なお、供試体 1 0 に外部センサ S 0 6 が取り付けられた場合、図 4 に示すように、フィードバック制御部 2 a を構築すれば、供試体 1 0 の応答が目標波形に一致するようにアクチュエータ 1 1 を制御できる可能性がある。しかし、このようなフィードバック制御を行うと、アクチュエータ制御の内部安定性を保証できないため、試験装置（油圧駆動式振動試験装置 1 0 0）を破損する虞がある。

以上を鑑みて、本実施例に係る試験装置（油圧駆動式振動試験装置 1 0 0）は、供試体 1 0 の応答を目標波形に一致させるために、フィードフォワード制御部 2 b を活用する。

20

【 0 0 3 7 】

フィードフォワード制御部 2 b の具体的な設計方法について説明する。

図 5 A は、本実施例のフィードフォワード制御の設計に係るブロック線図であって、フィードフォワード制御部 2 b が無効な状態であり、フィードバック制御部 2 a のみが有効な時の制御ブロック図である。C はフィードバック制御部（図 5 A 中、F B 制御）の伝達関数であり、P はアクチュエータ 1 1 の伝達関数であり、G はテーブル 9（供試体設置部）を含む供試体 1 0 の伝達関数を意味する。

【 0 0 3 8 】

この時、目標値 r （目標波形 1 b に相当）からアクチュエータ 1 1 の応答 y （内部センサ S 0 4 の応答に相当）までの伝達関数は以下の式（1）で与えることができる。

30

【 0 0 3 9 】

【数 1】

$$y = \frac{PC}{1 + PC} r \quad \dots (1)$$

【 0 0 4 0 】

さらに、アクチュエータ 1 1 の応答 y から供試体 1 0 の応答 z （外部センサ S 0 6 の応答に相当）は以下の式（2）で与えることができる。

40

【 0 0 4 1 】

【数 2】

$$z = Gy \quad \dots (2)$$

【 0 0 4 2 】

上述の式（1）及び式（2）より、目標値 r から供試体の応答 z への応答を以下の式（3）で与えることができる。

【 0 0 4 3 】

50

【数 3】

$$z = G \left(\frac{PC}{1 + PC} \right) r \quad \dots (3)$$

【0044】

図5Bは、本実施例のフィードフォワード制御の設計に係るブロック線図であって、フィードフォワード制御部2bが有効になったときのブロック線図である。Fがフィードフォワード制御(図5B中、FF制御)の伝達関数である。

10

【0045】

フィードフォワード制御が有効な時、目標値rからアクチュエータ11の変位yまでの伝達関数は以下の式(4)で表現できる。

【0046】

【数4】

$$y = \frac{P(C + F)}{1 + PC} r \quad \dots (4)$$

20

【0047】

先ほどと同様に、目標値rから供試体10の応答zへの応答は以下の式(5)で与えることができる。

ここで、フィードバック制御のみが有効な時に得られた供試体10の応答zをz1とし、フィードフォワード制御が追加されたときに得られる供試体10の応答zをz2とすると、上述の式(3)及び以下の式(5)より、式(6)の関係式を得ることができる。

【0048】

【数5】

$$z = G \cdot \frac{P(C + F)}{1 + PC} r \quad \dots (5)$$

30

【0049】

【数6】

$$z_2 = \frac{(C + F)}{C} z_1 \quad \dots (6)$$

【0050】

すなわち、フィードバック制御のみが有効な時に取得した供試体10の応答z1(外部センサ506のデータ)があれば、フィードフォワード制御を加えた後の供試体10の応答z2を式(6)で設計することができる。

40

【0051】

より具体的には、図5Cのように理想的な応答を表現した参照モデルMに対する供試体10の応答zm(以下に示す式(7))とフィードフォワード制御を加えた後の供試体10の応答z2の差ができるだけ小さくなるように、以下に示す式(8)の評価関数Jを最小化するようにフィードフォワード制御Fを設計する。

【0052】

【数7】

50

$$z_m = M \cdot r \quad \dots (7)$$

【 0 0 5 3 】

【 数 8 】

$$J = \int (z_m - z_2)^2 dt \quad \dots (8)$$

10

【 0 0 5 4 】

例えば、フィードフォワード制御を、調整パラメータ を有する伝達関数として、以下の式 (9) で定義すると、式 (8) を最小化するように調整パラメータ を算出することができる。ここで、 s はラプラス変換である。

【 0 0 5 5 】

【 数 9 】

$$F(\rho) = \frac{\rho_0 s^m + \rho_1 s^{m-1} + \dots + \rho_m}{s^m + \rho_{m+1} s^{m-1} + \dots + \rho_{2m}} \quad \dots (9)$$

20

【 0 0 5 6 】

なお、式 (9) の次数 m が大きいほど、実現可能な制御動作の幅が広がり、理想応答 z_m に近い波形を実現できるようになるが、一方で最適化計算に必要な時間が長くなる。

このため、次数 m は小さな値で設定し、所望の精度を実現できない場合に限り、次数 m を大きくする運用方法が望ましい。

【 0 0 5 7 】

さらに、上述の式 (6) によれば、設計したフィードフォワード制御 F と実測した供試体 1 0 の応答 z_1 を利用して、設計したフィードフォワード制御追加後の応答 z_2 が予測できる。この予測結果を利用して、設計したフィードフォワード制御 F が所望の応答を実現するかを事前に計算することができる。この事前計算結果を利用して、次数 m の調整を行う機構が備わっていることが望ましい。

30

【 0 0 5 8 】

以上、実験データ (供試体の変位 z_1) を用いてフィードフォワード制御部 2 b を設計するアルゴリズムが実験データ解析部 2 c に実装されている。

【 0 0 5 9 】

上述のように、フィードバック制御のみが有効な状態でアクチュエータ 1 1 の応答 y と供試体 1 0 の応答 z を取得すると図 5 における供試体の伝達関数 G の入出力データが利用できる。

入出力データがあれば、システム同定を利用して伝達関数 G を推定することができる。システム同定で得られた伝達関数 G_d を利用すれば、アクチュエータ 1 1 の応答 y から供試体 1 0 の応答 z の予測値 z_d を以下の式 (1 0) で得ることができる。

40

【 0 0 6 0 】

【 数 1 0 】

$$z_d = G_d \cdot y \quad \dots (10)$$

【 0 0 6 1 】

以上のように、実験データ (アクチュエータ 1 1 の変位 y 、供試体 1 0 変位 z) を利用し

50

て供試体応答予測部 2 d を設計するアルゴリズムが実験データ解析部 2 c に実装されている。

【 0 0 6 2 】

一般に、供試体 1 0 の応答予測を行う場合、供試体 1 0 の機構モデル（運動方程式）を構築して、その機構モデルの伝達関数を算出する。このような手法の場合、供試体が変更されるたびに機構モデルを構築する必要があり、試験装置（油圧駆動式振動試験装置 1 0 0 ）のユーザに負担がかかる。一方で、システム同定によって、供試体 1 0 の伝達関数 G_d を求める手法は供試体 1 0 が頻繁に変わる試験装置（油圧駆動式振動試験装置 1 0 0 ）でも、試験加振を行うのみで、供試体 1 0 の応答を取得できる点にメリットがある。

なお、システム同定を行う場合、フィードフォワード制御 F と同様に、伝達関数 G_d の次数 n も大きいほど表現力が高くなる。ただし、次数 n が高すぎると予測計算時間が必要になるため、次数 n はできるだけ低いほうが望ましい。このため、低い次数から同定をはじめ、モデルの精度（平均二乗誤差など）をユーザに提示して、徐々に次数を上げていく方式が望ましい。

【 0 0 6 3 】

次に本実施例に係る試験装置（油圧駆動式振動試験装置 1 0 0 ）の駆動方法について説明する。図 6 は、本実施例に係る試験装置（油圧駆動式振動試験装置 1 0 0 ）の駆動方法を示すフローチャートである。

【 0 0 6 4 】

図 6 に示すように、まず、試験装置（油圧駆動式振動試験装置 1 0 0 ）の立ち上げ準備として、ステップ $S 0 1$ において、オペレータが各種設定を行う。これはオペレータがユーザインタフェース 1 を構成する $G U I 1 a$ を操作して、試験パターンを設定する操作に相当する。そしてこの操作を行うことで、ユーザインタフェース 1 を構成する目標波形設定部 1 b に試験パターンが設定される。

また、コントローラ 2 では、オペレータが目標波形設定部 1 b に試験パターンを設定したタイミングで、フィードフォワード制御の伝達関数 F （上述の式（9））の分子部分の係数 i （ $i = 0 \sim m$ ）を全て“0”に設定する。このように設定することで、フィードフォワード制御部 2 b は常に“0”を出力する無効状態になる。

さらに、フィードフォワード制御の次数 m を初期値（例えば、 $m = 3$ ）のように設定する。ステップ $S 0 1$ （初期設定）の処理が全て完了するとステップ $S 0 2$ に遷移する。

【 0 0 6 5 】

ステップ $S 0 2$ では、ユーザインタフェース 1 を構成する目標波形設定部 1 b に設定された試験パターンを利用した加振試験を行う。

ステップ $S 0 3$ において、実験データ解析部 2 c は、加振開始から内部センサ（変位センサ $S 0 4$ ）及び外部センサ（非接触センサ $S 0 6$ ）が出力するデータをロギングし始め、加振が終了するとデータのロギングを終了する。

【 0 0 6 6 】

ステップ $S 0 4$ では、実験データ解析部 2 c が、加振中に取得したデータを用いて供試体応答予測のための伝達関数 G_d を算出する。

その後、ステップ $S 0 5$ にて、供試体応答予測部 2 d が、実験データ解析部 2 c により算出された伝達関数 G_d の精度予測値を、ユーザインタフェース 1 を構成する $G U I 1 a$ のモニタに表示する。

【 0 0 6 7 】

ステップ $S 0 6$ では、調整員は $G U I 1 a$ のモニタに表示された予測精度が所望の値を満たしているかを確認し、調整員による確認結果（判断結果）の入力を $G U I 1 a$ が受け付け、次のステップに移行する。具体的には、調整員による確認結果（判断結果）の入力が「精度が十分」（ $Y E S$ ）ならばステップ $S 0 8$ に遷移し、一方、調整員による確認結果（判断結果）の入力が「精度が不十分」（ $N O$ ）ならばステップ $S 0 7$ に遷移する。

【 0 0 6 8 】

ステップ $S 0 7$ に遷移した場合、 $G U I 1 a$ を介して実験データ解析部 2 c により算出

10

20

30

40

50

された伝達関数 G_d の次数 n を上げて再度ステップ $S 0 4$ に遷移する。なお、次数 n を上げて精度が改善しない場合、それ以上の繰り返しを行わないように、ステップ $S 0 6$ の判定が「YES」になるようにする処理を有することが望ましい。

【0069】

上述のステップ $S 0 4$ からステップ $S 0 7$ までの処理は実験データ解析部 $2 c$ にて、供試体応答予測部 $2 d$ を計算するステップに相当する。

【0070】

ステップ $S 0 8$ では、実験データ解析部 $2 c$ が、加振中に取得したデータを用いてフィードフォワード制御の伝達関数 F のパラメータの調整を行う。

ステップ $S 0 8$ でパラメータの算出が終わるとステップ $S 0 9$ に遷移する。ステップ $S 0 9$ では、供試体応答予測部 $2 d$ が、実験データ解析部 $2 c$ により算出されたパラメータを用いて伝達関数 F と、上述の式 (6) から供試体 $1 0$ の変位の予測値 z_2 を算出し、算出結果として供試体 $1 0$ の変位の予測値 z_2 を、ユーザインタフェース 1 を構成する $G U I 1 a$ へ出力し、 $G U I 1 a$ のモニタへ表示する。

10

【0071】

ステップ $S 1 0$ にて、調整員は、ユーザインタフェース 1 を構成するに $G U I 1 a$ のモニタに表示された供試体 $1 0$ の変位の予測値 z_2 を確認して、フィードフォワード制御 F を適用した時に得られる供試体応答が試験目的にマッチするかを判断する。試験目的にマッチすると判断した場合 (YES) はステップ $S 1 2$ へ遷移し、一方、試験目的にマッチしない (NO) と判断した場合はステップ $S 1 1$ に遷移する。具体的には、調整員による判断結果の入力が「マッチした (目標達成)」 (YES) を $G U I 1 a$ が受け付けるとステップ $S 1 2$ に遷移し、一方、調整員による確認結果 (判断結果) の入力が「マッチしない (目標未達成)」 (NO) を $G U I 1 a$ が受け付けるとステップ $S 1 1$ に遷移する。

20

【0072】

ステップ $S 1 1$ に遷移した場合、フィードフォワード制御 F の次数 m を変更する操作を行う。次数 m が高いほど調整員の判断する条件を達成し易くなるが、計算時間も増えるため、次数 m の増加幅は「1」とすることが望ましい。ステップ $S 1 1$ で次数変更を行ったら、ステップ $S 0 8$ に戻り、実験データ解析部 $2 c$ が、再度フィードフォワード制御 F の各係数の計算を行う。この処理は、ステップ $S 1 0$ で調整員が $G U I 1 a$ を介して「マッチした (目標達成)」 (YES) との判断を入力するまで、次数 m を増やして繰り返される。なお、システム同定 (上述のステップ $S 0 4$) のパートと同じく、次数 m を上げて結果が変わらない場合、ステップ $S 1 0$ で「YES」になるようにする処理を有することが望ましい。

30

【0073】

ステップ $S 0 8$ からステップ $S 1 1$ の処理は実験データ解析部 $2 c$ にて、フィードフォワード制御部 $2 b$ のパラメータを計算するステップに相当する。

なお、システム同定 (ステップ $S 0 4$ ~ ステップ $S 0 7$) とフィードフォワード制御設計 (ステップ $S 0 8$ ~ ステップ $S 1 1$) の順番は逆になっても良い。

【0074】

システム同定とフィードフォワード制御設計が終了すると、ステップ $S 1 2$ に遷移し、求めた各種パラメータを確定する。

40

以上、ステップ $S 0 1$ からステップ $S 1 2$ は試験装置 (油圧駆動式振動試験装置 $1 0 0$) の調整員が行う作業である。この作業が実施されている最中は外部センサ (非接触センサ $S 0 6$) が利用できるが、顧客 (試験装置のオペレータ) への引き渡し時に外部センサ (非接触センサ $S 0 6$) が撤去される。この撤去作業がステップ $S 1 3$ に含まれる。

【0075】

ステップ $S 1 4$ にて、試験装置 (油圧駆動式振動試験装置 $1 0 0$) のオペレータは調整済みのパラメータを用いて本加振実験を行う。

ステップ $S 1 5$ では、再試験を行う場合 (YES) はステップ $S 1 6$ に遷移し、一方、再試験を行わない場合 (NO) は終了する。

50

【 0 0 7 6 】

ステップ S 1 6 にて、再試験を行う場合でも供試体 1 0 が変わらない場合 (N O) は継続して試験を行うことができる。一方、供試体が変更されると、設計した供試体モデル G d (供試体応答予測のための伝達関数 G d) とフィードフォワード制御 F を更新する必要があるため、ステップ S 0 1 に戻り上述の処理を繰り返し実行する。

なお、顧客 (試験装置のオペレータ) が外部センサ (非接触センサ S 0 6) を用意する場合、ステップ S 0 1 ~ ステップ S 1 2 のステップを顧客 (試験装置のオペレータ) が実行できることは言うまでもない。そのような場合、上述のステップ S 1 3 も不要になる。

【 0 0 7 7 】

以上の通り、本実施例によれば、供試体の挙動を正確に予測し、その予測値を用いて所望の供試体応答の実現、すなわち、変位の量 (ゲイン) と位相の調整を行い得る試験装置及び試験装置のパラメータ調整方法を提供することが可能となる。

10

【 実施例 2 】

【 0 0 7 8 】

図 7 は、本発明の他の実施例に係る実施例 2 の油圧駆動式振動試験装置を模式的に示す概観図であり、図 8 は、図 7 に示す油圧駆動式振動試験装置の機能ブロック図である。上述の実施例 1 では、コントローラ 2 がフィードフォワード制御部 2 b を有する構成であるのに対し、本実施例では、コントローラ 2 はフィードバック制御部 2 a を有し、追加コントローラ 2 0 を更に設け、追加コントローラ 2 0 が実験データ解析部 2 c 及び供試体応答予測部 2 d を有する構成とした点が実施例 1 と異なる。実施例 1 と同様の構成要素に同一

20

【 0 0 7 9 】

本実施例に係る試験装置の一例としての油圧駆動式振動試験装置 1 0 0 a を構成するコントローラ 2 がフィードフォワード制御部 2 b を有しない点に特徴があり、既設の試験装置など、コントローラ 2 のプログラムを更新することが困難なサイトでの利用に好適である。

【 0 0 8 0 】

図 8 に示すように、既設のコントローラ 2 は、フィードバック制御部 2 a のみが実装されており、追加の機能を導入することができない。このため、非接触センサ S 0 6 のセンサ情報はコントローラ 2 に取り込むのではなく、別に用意した追加コントローラ 2 0 に取り込む構成としている。よって、本実施例では、上述の実施例 1 におけるコントローラ 2 内に実装されていた実験データ解析部 2 c 及び供試体応答予測部 2 d が追加コントローラ 2 0 に実装されている。ここで、フィードバック制御部 2 a、実験データ解析部 2 c、及び供試体応答予測部 2 d は、例えば、図示しない CPU (C e n t r a l P r o c e s s i n g U n i t) などのプロセッサ、各種プログラムを格納する ROM、演算過程のデータを一時的に格納する RAM、外部記憶装置などの記憶装置にて実現されると共に、CPU などのプロセッサが ROM に格納された各種プログラムを読み出し実行し、実行結果である演算結果を RAM 又は外部記憶装置に格納する。

30

【 0 0 8 1 】

追加コントローラ 2 0 は、内部センサ (変位センサ S 0 4) と外部センサ (非接触センサ S 0 6) で取得したデータを用いて、実験データ解析部 2 c を介して、供試体応答予測部 2 d で用いる供試体応答予測モデル G d (供試体応答予測のための伝達関数 G d) の算出を行う。供試体応答予測モデル G d が得られたら、供試体応答予測部 2 d は内部センサ (変位センサ S 0 4) からのデータを入力として、供試体 1 0 の応答予測値 z d を算出し、ユーザインタフェース 1 を構成する GUI 1 a のモニタに算出された供試体 1 0 の応答予測値 z d を表示する。

40

【 0 0 8 2 】

試験装置 (油圧駆動式振動試験装置 1 0 0 a) のオペレータは供試体 1 0 の応答予測 z d を確認しながら、実現したい目標波形 r と供試体 1 0 の応答予測 z d が一致するように目標波形を調整する。例えば、図 9 A に示すように、点線で示される目標波形 r について、

50

一点鎖線で示される供試体 10 の応答予測 z_d のゲイン（変位）が低い場合、図 9 B に示すように、ゲインを増やした修正目標波形 r_d （実線）を与えることで、供試体 10 の応答予測 z_d がもともとの目標波形 r に一致するようになる。

供試体応答予測モデル G_d が実際の供試体 10 の応答 G に近ければ、供試体 10 の応答予測 z_d と供試体 10 の実際の応答 z は一致するため、図 9 B の状態は、供試体 10 を目標波形 r で加振できていることになる。

【0083】

図 10 は、本実施例に係る試験装置（油圧駆動式振動試験装置 100 a）の駆動方法を示すフローチャートである。図 10 に示すフローチャートでは、上述の実施例 1 の図 6 に示したフローチャートと同一の処理若しくは同一の動作ステップに、同一のステップ番号を付している。以下では、図 6 と異なる点のみ説明する。

10

【0084】

図 10 におけるステップ S_{01} からステップ S_{07} は、上述の実施例 1 と同様である。ステップ S_{06} で、調整員は GUI_{1a} のモニタに表示された予測精度が所望の値を満たしているかを確認し、調整員による確認結果（判断結果）の入力を GUI_{1a} が受け付け、次のステップに移行する。具体的には、調整員による確認結果（判断結果）の入力が「精度が十分」（ YES ）ならばステップ S_{21} に遷移する。

【0085】

ステップ S_{21} 及びステップ S_{22} は、図 6 におけるステップ S_{12} 及びステップ S_{13} と同様の処理である。

20

ステップ S_{23} から試験装置（油圧駆動式振動試験装置 100 a）のオペレータが調整を行うステップになる。図 10 に示すように、ステップ S_{23} では、まず、本当に加振したい目標波形 r を初期値として試験装置（油圧駆動式振動試験装置 100 a）を加振する。ステップ S_{24} にて、目標波形 r と供試体 10 の応答予測 z_d の一致率を確認する。オペレータは、目標波形 r と供試体 10 の応答予測 z_d が十分に一致していれば（ YES ）となり、ステップ S_{14} に遷移する。一方、一致率が不十分な場合（ NO ）はステップ S_{25} に遷移する。

【0086】

ステップ S_{25} では、目標波形 r と供試体 10 の応答予測 z_d の一致率が高くなるように、修正目標波形 r_d をオペレータが設定する。この作業はオペレータの習熟度によって、目標波形 r と供試体 10 の応答予測 z_d の一致率がかえって悪くなる可能性があることに注意が必要である。

30

【0087】

ステップ S_{25} にて修正した目標波形 r_d （修正目標波形 r_d ）を用いて、再度ステップ S_{23} にて試験加振を行い、目標波形 r と供試体 10 の応答予測 z_d の一致率が十分に高くなるまで調整を繰り返す。

【0088】

ステップ S_{24} にて、目標波形 r と供試体 10 の応答予測 z_d が十分に一致していれば（ YES ）、ステップ S_{14} へ遷移する。ステップ S_{14} 以降の処理は上述の実施例 1 と同様である。

40

【0089】

以上の通り本実施例によれば、供試体の応答を予測するため、外部センサを取り外してから、顧客に引き渡してフィードバック制御の調整を顧客であるオペレータが容易に行うことが可能となる。

【実施例 3】

【0090】

図 11 は、本発明の他の実施例に係る実施例 3 の油圧駆動式振動試験装置を模式的に示す概観図であり、図 12 は、図 11 に示す油圧駆動式振動試験装置の機能ブロック図である。上述の実施例 2 では、目標波形の修正を試験装置のオペレータが実施する形態を想定したが、目標波形を修正する機能も追加コントローラ 20 に実装する構成とした点が実施

50

例 2 と異なる。実施例 2 と同様の構成要素に同一符号を付し、以下では、実施例 2 と重複する説明を省略する。

【 0 0 9 1 】

図 1 1 に示すように、本実施例に係る試験装置（油圧駆動式振動試験装置 1 0 0 b）では、ユーザインタフェース 1 と追加コントローラ 2 0 が相互に情報の授受を行い、追加コントローラ 2 0 から修正目標波形 r_d が既設のコントローラ 2 に提供される構成を有する。

【 0 0 9 2 】

図 1 2 に示すように、本実施例に係る追加コントローラ 2 0 には、フィードフォワード制御部 2 0 b、実験データ解析部 2 0 c、及び供試体応答予測部 2 0 d が実装されている。供試体応答予測部 2 0 d については、上述の実施例 2 における供試体応答予測部 2 d と同様のため説明を省略する。ここで、フィードフォワード制御部 2 0 b、実験データ解析部 2 0 c、及び供試体応答予測部 2 0 d は、例えば、図示しない CPU (Central Processing Unit) などのプロセッサ、各種プログラムを格納する ROM、演算過程のデータを一時的に格納する RAM、外部記憶装置などの記憶装置にて実現されると共に、CPU などのプロセッサが ROM に格納された各種プログラムを読み出し実行し、実行結果である演算結果を RAM 又は外部記憶装置に格納する。

10

【 0 0 9 3 】

本実施例に係るフィードフォワード制御部 2 0 b は、上述の実施例 1 に係るフィードフォワード制御部 2 b と異なりプレフィルタタイプの補償器として作用する。すなわち、図 5 B に示すフィードフォワード制御 F ではなく、図 1 3 に示すように、フィードフォワード制御 D として考える。

20

【 0 0 9 4 】

図 1 3 において、目標波形 r から供試体 1 0 の応答 z までの伝達関数は以下の式 (1 1) で与えることができる。

【 0 0 9 5 】

【数 1 1】

$$z = G \cdot D \cdot \left(\frac{PC}{1 + PC} \right) r \quad \dots (11)$$

30

【 0 0 9 6 】

フィードバック制御 C のみが有効な場合の供試体 1 0 の応答を z_1 、プレフィルタタイプのフィードフォワード制御 D が有効になった場合の供試体 1 0 の応答を z_3 とすると、式 (1 2) の関係性が成り立つ。

【 0 0 9 7 】

【数 1 2】

$$z_3 = D \cdot z_1 \quad \dots (12)$$

40

【 0 0 9 8 】

上述の実施例 1 と同様に、プレフィルタタイプのフィードフォワード制御 D を以下の式 (1 3) のように調整パラメータ i ($i = 0 \sim 2m$) で与える、以下の式 (1 4) を最小化するように調整パラメータ i を数値計算で算出すれば、所望の供試体 1 0 の応答 z_m を実現することができる。

【 0 0 9 9 】

【数 1 3】

50

$$D(\theta) = \frac{\theta_0 s^m + \theta_1 s^{m-1} + \dots + \theta_m}{s^m + \theta_{m+1} s^{m-1} + \dots + \theta_{2m}} \quad \dots (13)$$

【 0 1 0 0 】

【 数 1 4 】

$$J = \int (z_m - z_2)^2 dt \quad \dots (14)$$

10

【 0 1 0 1 】

図 1 3 に示すように、本実施例では、ユーザインタフェース 1 を構成する目標波形設定部 1 b に設定した目標波形 r をフィードフォワード制御部 2 0 b で修正目標波形 r' に変換したうえで、既存のコントローラ 2 のフィードバック制御部 2 a に与えている。すなわち、上述の実施例 2 においてオペレータが手動で行っていた修正目標波形 r_d の生成を自動化していると言える。

【 0 1 0 2 】

本実施例に係る試験装置の駆動方法を示すフローチャートは、上述の実施例 1 の図 6 に示すフローチャートと同様である。ただし、ステップ S 0 3 からステップ S 1 1 までの動作が、実施例 1 ではコントローラ 2 で実行されるのに対して、本実施例では、追加コントローラ 2 0 で実行される点異なる。

20

【 0 1 0 3 】

本実施例によれば、実施例 2 と比較し、オペレータが手動で行っていた修正目標波形 r_d の生成を自動化することが可能となる。

【 実施例 4 】

【 0 1 0 4 】

図 1 4 は、本発明の他の実施例に係る実施例 4 の油圧駆動式振動試験装置の機能ブロック図である。上述の実施例 3 では、プレフィルタタイプのフィードフォワード制御 D を追加コントローラ 2 0 にて実現する構成であったのに対し、本実施例では、プレフィルタタイプのフィードフォワード制御 D をコントローラ 2 に実装する構成とした点が実施例 3 とことなる。

30

【 0 1 0 5 】

プレフィルタタイプのフィードフォワード制御 D は上述の実施例 1 のように、コントローラ 2 のプログラムを変更できる場合にも有効である。

【 0 1 0 6 】

図 1 4 に示すように、本実施例に係る試験装置（油圧駆動式振動試験装置 1 0 0 c）は、コントローラ 2 内に上述の実施例 3 における追加コントローラ 2 0 に実装されているものと同様のものを実装している。

40

【 0 1 0 7 】

本実施例に係る試験装置（油圧駆動式振動試験装置 1 0 0 c）の駆動方法は、上述の実施例 1 における図 6 に示すフローチャートと同様である。

【 0 1 0 8 】

本実施例によれば、実施例 1 と同様の効果を奏することが可能となる。

【 0 1 0 9 】

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例

50

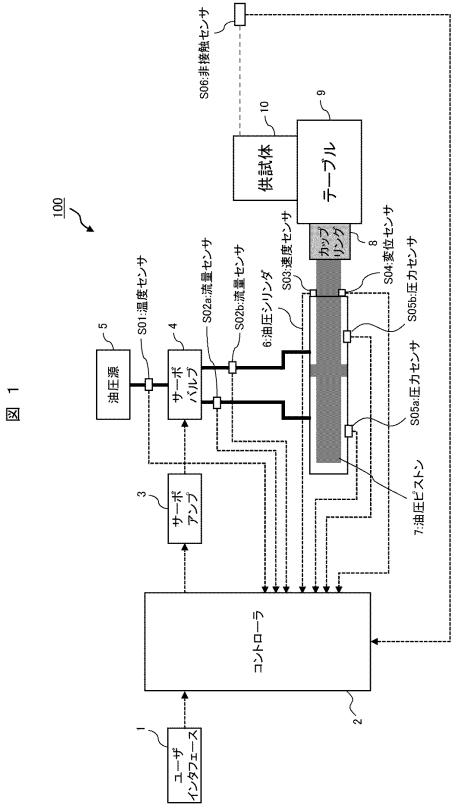
の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。

【符号の説明】

【 0 1 1 0 】

1 ... ユーザインタフェース	
1 a ... G U I	
1 b ... 目標波形設定部	
2 ... コントローラ	
2 a ... フィードバック制御部	
2 b ... フィードフォワード制御部	
2 c ... 実験データ解析部	10
2 d ... 供試体応答予測部	
3 ... サーボアンプ	
4 ... サーボバルブ	
5 ... 油圧源	
6 ... 油圧シリンダ	
7 ... 油圧ピストン	
8 ... カップリング	
9 ... テーブル	
1 0 ... 供試体	
1 1 ... アクチュエータ	20
2 0 ... 追加コントローラ	
2 0 b ... フィードフォワード制御部	
2 0 c ... 実験データ解析部	
2 0 d ... 供試体応答予測部	
S 0 1 ... 温度センサ	
S 0 2 a , S 0 2 b ... 流量センサ	
S 0 3 ... 速度センサ	
S 0 4 ... 変位センサ	
S 0 5 a , S 0 5 b ... 圧力センサ	
S 0 6 ... 非接触センサ (外部センサ)	30
1 0 0 , 1 0 0 a , 1 0 0 b , 1 0 0 c ... 油圧駆動式振動試験装置	

【図面】
【図 1】



【図 3 A】

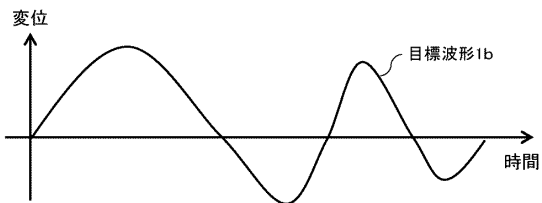


図 3A

【図 2】

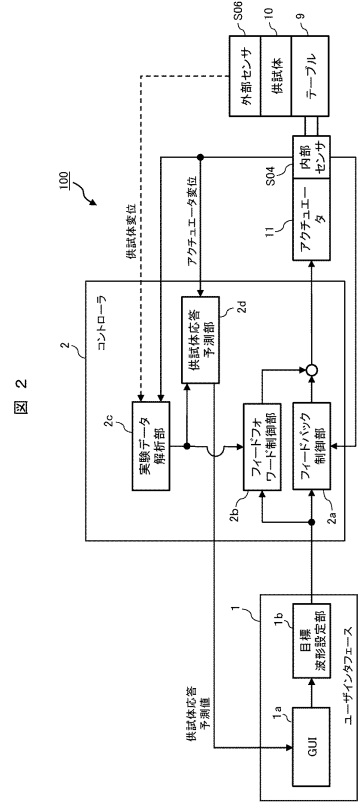


図 2

【図 3 B】

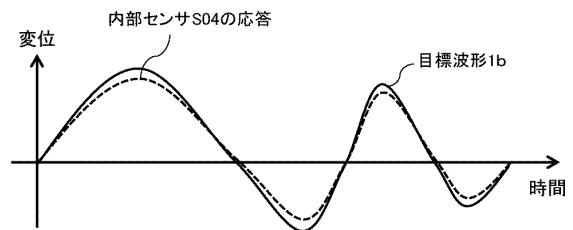


図 3B

10

20

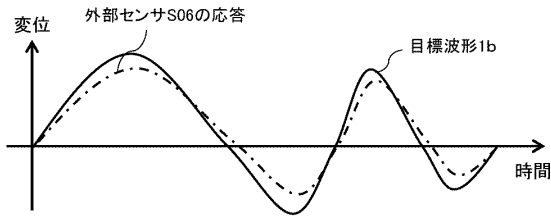
30

40

50

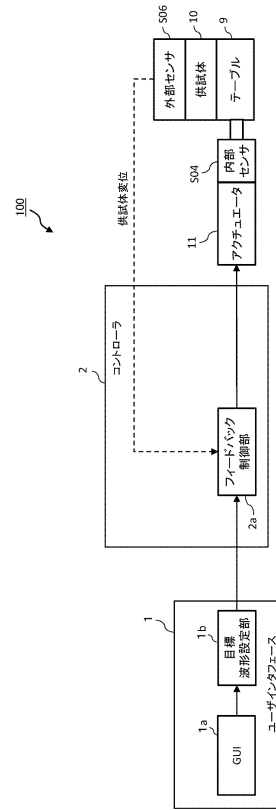
【図3C】

図 3C



【図4】

図 4

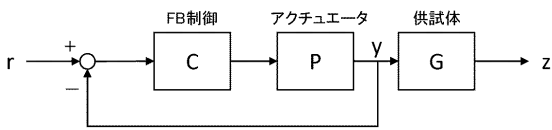


10

20

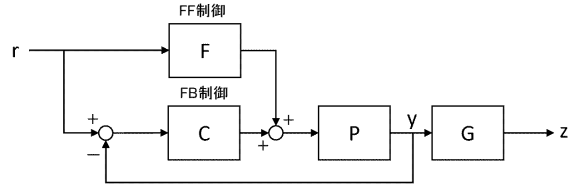
【図5A】

図 5A



【図5B】

図 5B

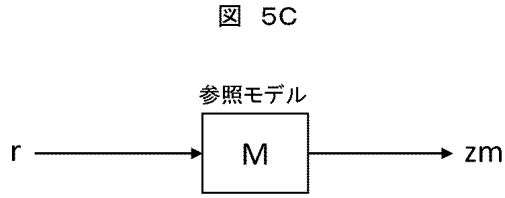


30

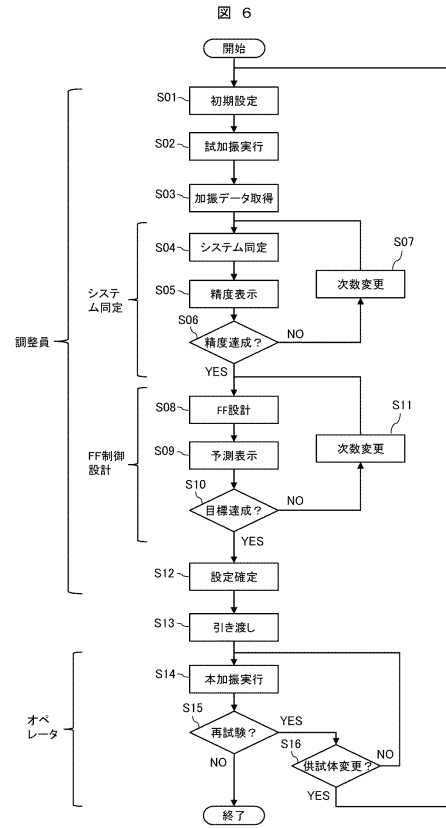
40

50

【 図 5 C 】



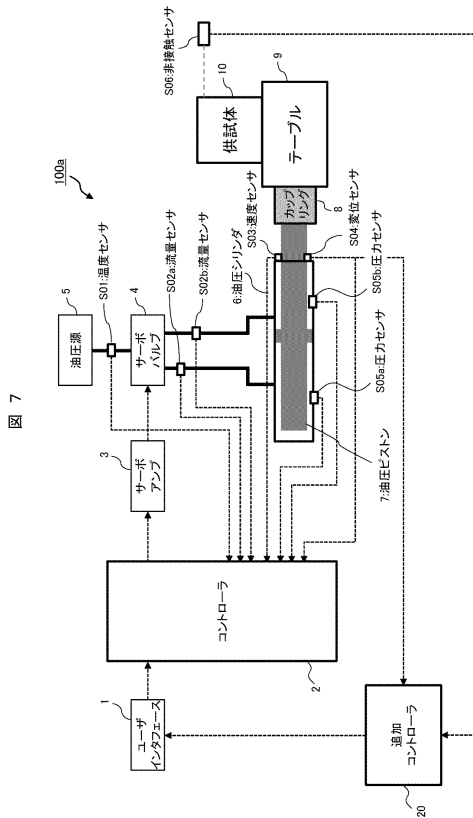
【 図 6 】



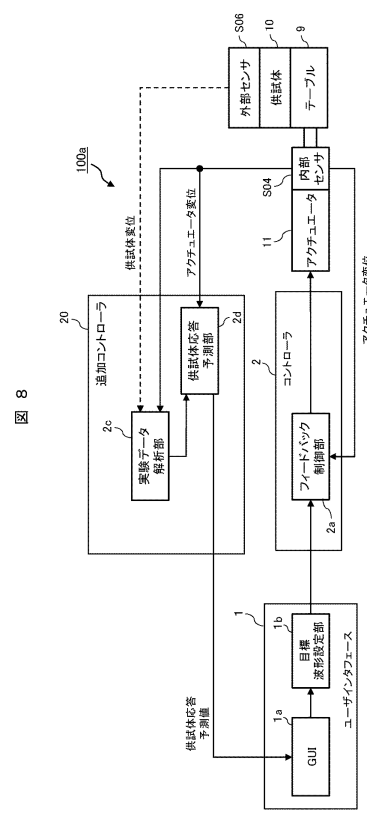
10

20

【 図 7 】



【 図 8 】



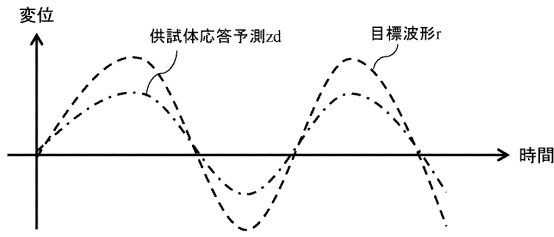
30

40

50

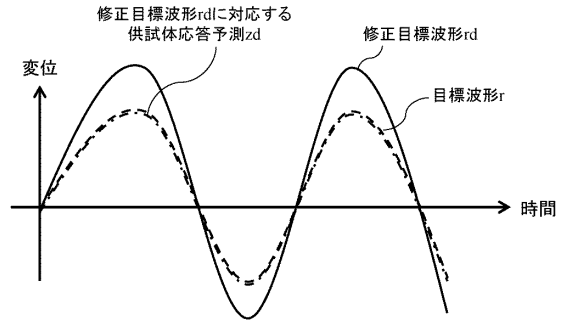
【図 9 A】

図 9A



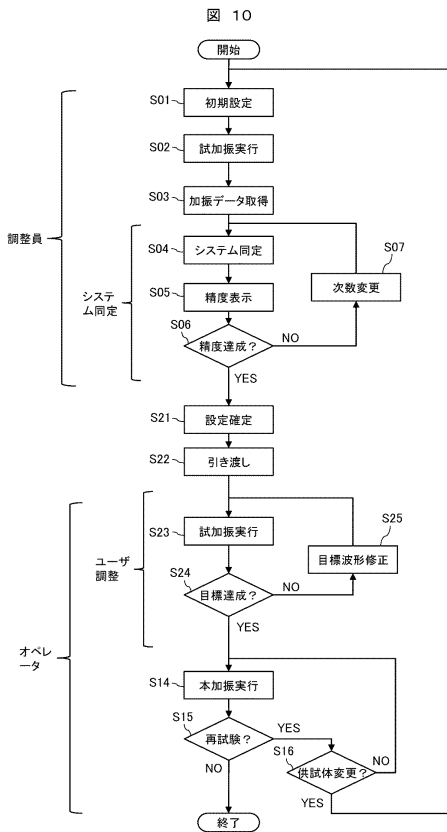
【図 9 B】

図 9B



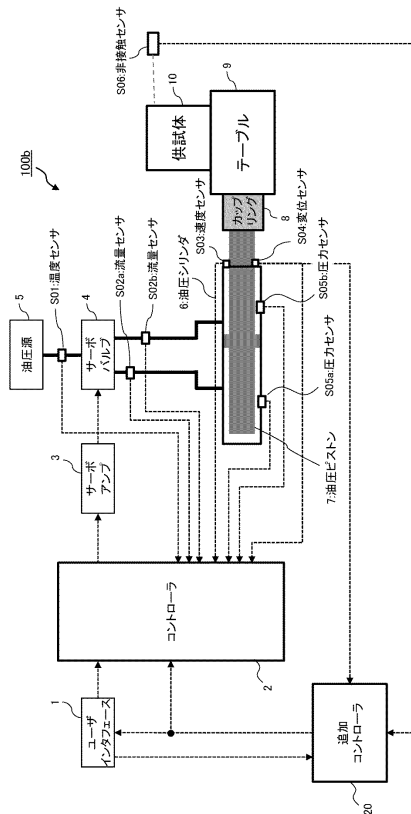
【図 10】

図 10



【図 11】

図 11



10

20

30

40

50

【図 1 2】

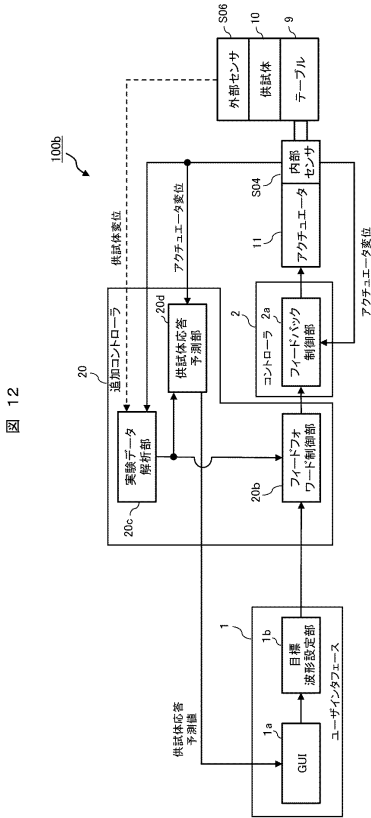


図 12

【図 1 3】

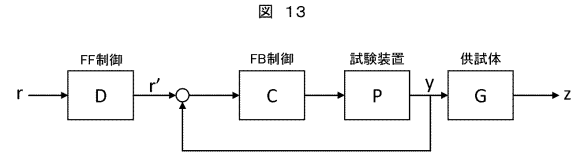


図 13

【図 1 4】

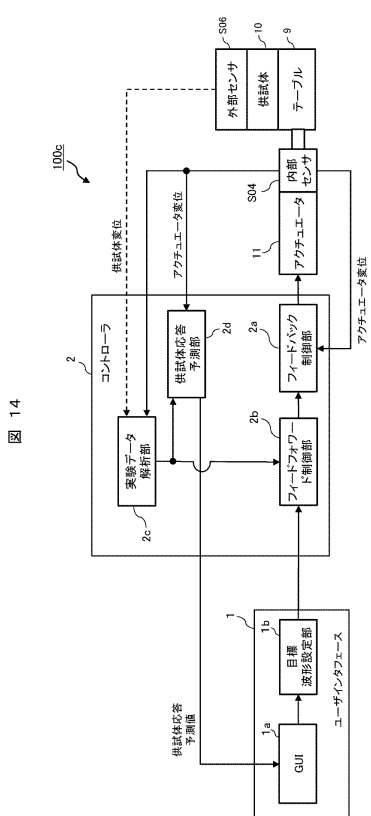


図 14

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2020-190880(JP,A)
特開昭58-120144(JP,A)
特開平7-306115(JP,A)
特開2008-233075(JP,A)
特開2012-237634(JP,A)
特開2011-27669(JP,A)
米国特許第6848311(US,B1)
中国特許出願公開第102147322(CN,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01M 7/00 - 7/06