(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2016-529528
(P2016-529528A)
(43)公表日　平成28年9月23日(2016.9.23)

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード（参考）
G01M 17/04 (2006.01)	G01M 17/04	

審査請求 未請求　予備審査請求 未請求　（全 23 頁）

(21)出願番号	特願2016-540929 (P2016-540929)
(86)(22)出願日	平成26年9月9日 (2014.9.9)
(85)翻訳文提出日	平成28年4月4日 (2016.4.4)
(86)国際出願番号	PCT/US2014/054803
(87)国際公開番号	WO2015/035394
(87)国際公開日	平成27年3月12日 (2015.3.12)
(31)優先権主張番号	61/875,645
(32)優先日	平成25年9月9日 (2013.9.9)
(33)優先権主張国	米国 (US)

(71)出願人　505383383
エムティーエス　システムズ　コーポレイション
アメリカ合衆国　ミネソタ　５５３４４２　２９０，　エデン　プレイリー，　テクノロジー　ドライブ　１４０００
(74)代理人　100078282
弁理士　山本　秀策
(74)代理人　100113413
弁理士　森下　夏樹
(72)発明者　ガンズ，　ピーター　ディー.
アメリカ合衆国　ミネソタ　５５３８７，　ワコニア，　１エスティー　ストリート　イースト　３２５

最終頁に続く

(54)【発明の名称】コンプライアントアクチュエータセンブリおよび反復して得られる駆動を有する試験システム

(57)【要約】
試験システムおよび方法は、負荷を試験試料（１８）に与えるためのコンプライアントアクチュエータセンブリ（１５０）を有する物理的試験装置（１０、２００）に試験駆動信号を印加することを含む。試験駆動信号に対する物理的試験装置（１０）および試験試料（１８）の実際の応答信号が得られ、実際の応答信号および選択された応答信号の関数としての誤差が計算される。誤差が選択された閾値に達していない場合、誤差と緩和利得係数とに基づく新しい駆動信号が得られる。新しい駆動信号は、誤差が選択された閾値に達するまで、得られて適用される。

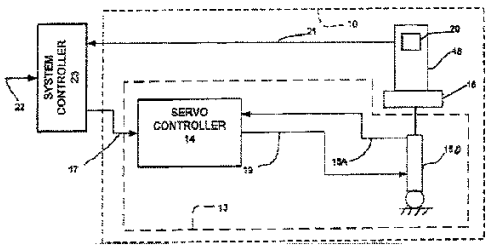


FIG. 5

【特許請求の範囲】
【請求項１】
試験システムであって、
駆動信号に応答するコンプライアントアクチュエータセンブリ、および前記コンプライアントアクチュエータセンブリに動作可能に接続されている試験試料を有する物理的試験装置と、
非一過性のコンピュータ記憶デバイスと、
前記記憶デバイスとともに動作可能であるプロセッサと
を備え、
前記プロセッサは、前記非一過性のコンピュータ記憶デバイス上に記憶された命令を実行するように構成されており、前記命令は、実行されると、
（ａ）試験駆動信号を前記物理的試験装置に印加することと、
（ｂ）前記試験駆動信号に対する前記物理的試験装置および前記試験試料の実際の応答信号を得ることと、
（ｃ）前記実際の応答信号と選択された応答信号との関数として誤差を計算することと、
前記誤差が選択された閾値を超える場合、
（ｄ）前記誤差と緩和利得係数とに基づいて新しい駆動信号を得ることと、
（ｅ）ステップ（ａ）から（ｄ）を繰り返すことと
を行い、
前記試験駆動信号は、前記誤差が前記選択された閾値に達するまで、前記新しい駆動信号である、試験システム。
【請求項２】
前記緩和利得係数は、約０．５より大きい、請求項１に記載の試験システム。
【請求項３】
前記緩和利得係数は、約０．６５より大きい、請求項２に記載の試験システム。
【請求項４】
前記緩和利得係数は、約０．７５より大きい、請求項３に記載の試験システム。
【請求項５】
前記緩和利得係数は、約０．８より大きい、請求項４に記載の試験システム。
【請求項６】
前記非一過性のコンピュータ記憶デバイスは、前記物理的装置および前記試験試料との使用のために構成されている線形または非線形モデルの形態を記憶し、前記新しい駆動信号は、前記誤差、前記線形または非線形モデル、および前記緩和利得係数に基づいて得られる、請求項１～５のいずれか１項に記載の試験システム。
【請求項７】
前記コンプライアントアクチュエータセンブリは、アクチュエータと、前記アクチュエータを前記試験試料に接続するばねとを備えている、請求項１～５のいずれか１項に記載の試験システム。
【請求項８】
前記コンプライアントアクチュエータセンブリは、前記試験試料に接続されているアクチュエータと、コンプライアンスを前記アクチュエータに提供するために前記アクチュエータに動作可能に連結されている圧縮性流体を有するアキュムレータとを備えている、請求項１～５のいずれか１項に記載の試験システム。
【請求項９】
前記コンプライアントアクチュエータセンブリのコンプライアンスは、調節可能である、請求項１～８のいずれか１項に記載の試験システム。
【請求項１０】
駆動信号に応答する複数のコンプライアントアクチュエータセンブリをさらに備え、前記複数のコンプライアントアクチュエータセンブリは、前記試験試料に動作可能に接続さ

れている、請求項１～９のいずれか１項に記載の試験システム。
【請求項１１】
前記試験試料は、車両の少なくとも一部分であり、前記コンプライアントアクチュエータセンブリのうちの少なくとも１つは、前記車両の前進運動に実質的に対応する方向に、前記車両の前記少なくとも一部分に対して負荷を与えるように構成されている、請求項１～１０のいずれか１項に記載の試験システム。
【請求項１２】
前記試験試料は、車両の少なくとも一部分であり、前記コンプライアントアクチュエータセンブリのうちの少なくとも１つは、前記車両の前進運動に対して実質的に横方向に、前記車両の前記少なくとも一部分に対して負荷を与えるように構成されている、請求項１～１１のいずれか１項に記載の試験システム。
【請求項１３】
前記コンプライアントアクチュエータセンブリと一緒の前記物理的試験装置のコンプライアンスは、前記試験試料よりもっとコンプライアントである、請求項１～１２のいずれか１項に記載の試験システム。
【請求項１４】
前記コンプライアントアクチュエータセンブリの前記コンプライアンスは、前記物理的試験装置が前記試験試料よりもっとコンプライアントであるように構成されている、請求項１～１２のいずれか１項に記載の試験システム。
【請求項１５】
選択された応答信号を生成するように、駆動信号に応答する試験システムを制御する方法であって、前記試験システムは、試験試料に与えられる負荷のためのコンプライアンスを有する物理的試験装置を備え、前記方法は、
（ａ）試験駆動信号を前記物理的試験装置に印加することと、
（ｂ）前記試験駆動信号に対する前記試験システムの実際の応答信号を得ることと、
（ｃ）プロセッサを用いて、前記実際の応答信号と選択された応答信号との関数として誤差を計算することと、
前記誤差が選択された閾値に達していない場合、
（ｄ）前記誤差と緩和利得係数とに基づいて新しい駆動信号を得ることと、
（ｅ）ステップ（ａ）から（ｄ）を繰り返すことと
を含み、
前記試験駆動信号は、前記誤差が前記選択された閾値に達するまで、前記新しい駆動信号である、方法。
【請求項１６】
前記緩和利得係数は、約０．５より大きい、請求項１５に記載の方法。
【請求項１７】
前記緩和利得係数は、約０．６５より大きい、請求項１６に記載の方法。
【請求項１８】
前記緩和利得係数は、約０．７５より大きい、請求項１７に記載の方法。
【請求項１９】
前記緩和利得係数は、約０．８より大きい、請求項１８に記載の方法。
【請求項２０】
前記物理的試験装置の前記コンプライアンスを調節することをさらに含む、請求項１５～１９のいずれか１項に記載の方法。
【請求項２１】
ステップ（ｅ）の後に、
（ｆ）前記選択された閾値に達する前記誤差に対応する前記新しい駆動信号を前記試験システムに印加し、前記試験試料に対して試験を行うことと、
（ｇ）前記試験システム内の前記試験試料を、類似するが前記試験試料と異なる新しい試験試料と交換することと、

（ｈ）前記選択された閾値に達する前記誤差に対応する前記新しい駆動信号を前記新しい試験システムに印加し、前記新しい試験試料に対して試験を行うことと
をさらに含む、請求項１５～２０のいずれか１項に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
（関連出願の引用）
本願は、米国仮特許出願第６１／８７５，６４５号（２０１３年９月９日出願）の利益を主張する。
【０００２】
本発明は、システム、機械、またはプロセスの制御に関する。より具体的には、本発明は、振動または他の制御されたシステムへの入力として駆動信号を生成するために使用されるモデルを計算することに関する。
【背景技術】
【０００３】
試験試料に与えられる負荷および／または運動を模倣することが可能である振動システムが、概して、知られている。振動システムは、製品の開発において高度に効果的であるため、性能評価、耐久性試験、および種々の他の目的で広く使用されている。例えば、自動車、オートバイ等の開発において、車両またはその基礎構造を、道路または試験トラック等の動作条件を模倣する研究室環境下に置くことは、極めて一般的である。研究室内の物理的シミュレーションは、動作環境を再現するために振動システムに印加されることができる駆動信号を開発するために、データ取得および分析の周知の方法を伴う。本方法は、動作環境の物理的入力に対して「遠隔」に変換器を伴う車両を装備することを含む。一般的な遠隔変換器は、目的とする動作環境を暗に定義する、歪みゲージ、加速度計、および変位センサを含むが、それらに限定されない。次いで、車両が同一の動作環境において駆動されながら、遠隔変換器応答（内部負荷および／または運動）が記録される。振動システムに搭載された車両を用いたシミュレーション中、振動システムのアクチュエータは、研究室内の車両上で記録された遠隔変換器応答を再現するよう駆動される。
【０００４】
しかしながら、模擬試験が起こり得る前に、振動システムの入力駆動信号と遠隔変換器の応答との間の関係が、研究室内で特徴付けられなければならない。典型的には、本「システム識別」手順は、以降では「物理的システム」と称される完全な物理的システム（例えば、振動システム、試験試料、および遠隔変換器）のそれぞれのモデルまたは伝達関数を得ることと、同システムの逆モデルまたは逆伝達関数を計算することと、振動システムのための好適な駆動信号を反復して得るために逆モデルまたは伝達関数を使用し、研究室状況における試験試料上の遠隔変換器から、動作環境で見出されたものと実質的に同一の応答を得ることとを伴う。
【０００５】
当業者であれば理解するように、好適な駆動信号を得る本プロセスは、遠隔変換器が試験システム入力から物理的に遠隔でない場合（例えば、「遠隔」変換器が振動システムコントローラの力または運動等のフィードバック変数である場合）、改変されない。
【０００６】
振動システムのための駆動信号を得るための上記のシステムおよび方法は、実質的成功を収めているが、継続してそのようなシステムを改良する必要がある。具体的には、物理的システムおよび駆動信号を得るためのプロセスのモデルを改良する必要がある。
【発明の概要】
【課題を解決するための手段】
【０００７】
本明細書の本概要および要約は、発明を実施するための形態において以下でさらに説明される、簡略化された形態の概念の選択を紹介するために提供される。本概要および要約

は、請求される主題の主要な特徴または不可欠な特徴を識別するように意図されておらず、請求される主題の範囲を決定することの補助として使用されるようにも意図されていない。請求される主題は、背景技術で記述される、いずれかまたは全ての不利点を解決する実装に限定されない。

【０００８】

本発明の第１の側面は、駆動信号に応答するコンプライアントアクチュエータセンブリ、およびコンプライアントアクチュエータセンブリに動作可能に接続されている試験試料を有する、物理的試験装置（ｔｅｓｔ　ｒｉｇ）を含む、試験である。非一過性のコンピュータ記憶デバイスが提供され、プロセッサとともに動作するように構成され、プロセッサは、試験駆動信号を物理的試験装置に印加するために記憶デバイス上に記憶された命令を実行する。試験駆動信号に対する物理的試験装置および試験試料の実際の応答信号が得られ、実際の応答信号および選択された応答信号の関数としての誤差が計算される。誤差が選択された閾値に達していない場合、誤差および緩和利得係数に基づく新しい駆動信号が得られる。新しい駆動信号は、誤差が選択された閾値に達するまで、得られて適用される。

【０００９】

第２の側面は、負荷を試験試料に与えるためのコンプライアントアクチュエータセンブリを有する物理的試験装置に試験駆動信号を印加することを含む、試験システムを動作させる方法である。試験駆動信号に対する物理的試験装置および試験試料の実際の応答信号が得られ、実際の応答信号と選択された応答信号との関数としての誤差が計算される。誤差が選択された閾値に達していない場合、誤差および緩和利得係数に基づく新しい駆動信号が得られる。新しい駆動信号は、誤差が選択された閾値に達するまで、得られて適用される。

【００１０】

以下の特徴のうちの１つ以上のものを、上記で説明される側面のさらなる実施形態において提供することができる。

【００１１】

緩和利得係数は、０．５より大きく、好ましくは、０．６５より大きく、より好ましくは、０．７５より大きく、その上さらに好ましくは、０．８より大きい。以前に使用されたものより大きい緩和利得係数を使用できることによって、以下で議論されるもの等の反復プロセスを使用して駆動を得るために必要な反復の全体的な数は、そのようなコンプライアントアクチュエータセンブリを有していない試験システムと比較すると、有意に削減されている。

【００１２】

方法および試験システムは、使用されるモデルのタイプによって制限されない。例えば、限定ではないが、線形または非線形モデルは、物理的装置および試験試料との使用のために構成されることができ、新しい駆動信号は、誤差、線形または非線形モデル、および緩和利得係数に基づいて得られる。

【００１３】

コンプライアントアクチュエータセンブリは、各々がコンプライアンスを提供するようにアクチュエータを試験試料に接続するばねを有する１つ以上のアクチュエータを備え、および／またはアキュムレータを含むことができる。アキュムレータは、複動式アクチュエータのチャンバの各々、ピストンに流体的または機械的に連結されることができる。アキュムレータは、そうでなければ実質的に剛体のアクチュエータにばね効果を導入する。各アキュムレータは、圧縮性流体（典型的には、窒素等のガス、機械ばね、または他の弾性媒体もしくはデバイス）の第１の部分と、ガスと比較して実質的に非圧縮性である、液体で充填される第２の部分とを含むことができる。各アキュムレータ１６４の第２の部分は、ボアに流体的に連結され、ピストンに機械的に連結される。一般的に、ばねデバイスまたは媒体および液体の分離を維持するために、ダイヤフラム（またはピストン等の同等の分離デバイス）が各アキュムレータ内に提供される。独占的ではないが、典型的には、

窒素ガスまたは機械的要素で事前充填される、油圧アキュムレータを使用することにより、特定の試験試料の要件に合致するように、アクチュエータアセンブリのばね剛性（すなわち、コンプライアンス）の調整を可能にする。

【００１４】

コンプライアントアクチュエータセンブリのコンプライアンスは、調節可能であり得、および／または所望であれば、コンプライアントアクチュエータセンブリは、１つ以上の自由度で試験試料よりもっとコンプライアントである。

【００１５】

所望の性能を得るために、アクチュエータアセンブリの他の設計判断も使用することができる。例えば、低い周波数で効果的となるが、より低いコンプライアンスおよびさらなる剛性を保証する、より高い周波数で、実質的に不活性または少なくとも実質的により剛性になるようにコンプライアンスを調整するために、アキュムレータ有効面積とピストンの面積との間の面積比、アキュムレータピストンの質量、および／またはアキュムレータに進入／退出する油の速度のうちのいずれかまたは全てを使用することができる。

【００１６】

先述の実施形態のうちのいずれかにおいて上記で説明される方法および試験システムの特定の利点は、試験システム内の試験試料を、類似するが試験試料と異なる新しい試験試料と交換できることである。選択された閾値に達する誤差に対応する駆動信号は、新しい試験試料に対して試験を行うように印加される。従来技術では、新しい駆動信号が生成される必要があり、これは大幅な時間量を要する。代わりに、コンプライアントアクチュエータセンブリにより、類似するが異なる試験試料上で同一の駆動信号を使用することができる。

【００１７】

本明細書で使用されるように、「類似するが異なる試験試料」は、試験試料で使用するための全体的な同一の構造を有する、試験試料であるが、各類似するが異なる試験試料は、限定されないが、異なる構造、要素、材料、動作パラメータ特性、値、設定、または調節等の少なくとも１つの点で異なる。別の言い方をすれば、２つの試験試料は、同一の駆動信号が試験試料の各々を試験するために使用される場合、各試験試料から得られる試験結果が好適である場合に、類似するが異なる。同一の前述の試験試料が、そうでなければ実質的に同一であるが、１つ以上のコンプライアントアクチュエータセンブリを含まない試験システムで使用され、同一の駆動信号が各試験試料に印加される場合に、得られる試験結果が好適ではないであろう場合には、２つの試験試料は、類似するが異なる。

【００１８】

本方法および試験システムは、車両の少なくとも一部分である試験試料に対して特に有利であり、コンプライアントアクチュエータセンブリのうちの少なくとも１つは、具体的には、前進運動、または車両の前進運動に対して横への運動に実質的に対応する方向に、車両の少なくとも一部分に対して負荷を与えるように構成される。

【図面の簡単な説明】

【００１９】

【図１】図１は、従来技術の試験システムの概略ブロック図である。

【図２】図２は、好適なコンピューティング環境の概略図である。

【図３Ａ】図３Ａは、従来技術の振動試験の方法の識別段階に関与するステップを図示する、フローチャートである。

【図３Ｂ】図３Ｂは、従来技術の振動試験の方法の反復段階に関与するステップを図示する、フローチャートである。

【図３Ｃ】図３Ｃは、従来技術の振動試験の方法の別の反復段階に関与するステップを図示する、フローチャートである。

【図４Ａ】図４Ａは、調節器を伴う振動システムのために駆動信号を得るための従来技術の反復プロセスの詳細ブロック図である。

【図４Ｂ】図４Ｂは、本発明の調節器を伴う振動システムのために駆動信号を得るための

別の従来技術の反復プロセスの詳細ブロック図である。
【図５】図５は、本発明の側面を有する、試験システムの概略ブロック図である。
【図６】図６は、コンプライアントアクチュエータセンブリの概略図である。
【図７】図７は、本発明の側面を有する、物理的試験装置の概略ブロック図である。
【図８】図８は、従来技術の振動試験の方法の識別段階を図示する、概略ブロック図である。
【図９】図９は、従来技術の振動試験の方法の反復段階を図示する、概略ブロック図である。
【発明を実施するための形態】
【００２０】
図１は、物理的システム１０を図示する。物理的システム１０は、概して、サーボコントローラ１４と、アクチュエータ１５とを備えている振動システム１３を含む。図１の概略図では、アクチュエータ１５は、好適な機械的インターフェース１６を通して試験試料１８に連結される１つ以上のアクチュエータを表す。サーボコントローラ１４は、アクチュエータコマンド信号１９をアクチュエータ１５に提供し、これが順に、試験試料１８を励起する。好適なフィードバック１５Ａが、アクチュエータ１５からサーボコントローラ１４に提供される。変位センサ、歪みゲージ、加速度計等の試験試料１８上の１つ以上の遠隔変換器２０は、測定された、または実際の応答２１を提供する。物理的システムコントローラ２３は、フィードバックとして実際の応答２１を受信し、物理的システム１０への入力として駆動１７を計算する。上記で議論される例示的な反復プロセスの一実施形態では、物理的システムコントローラ２３は、２２で提供される所望の応答と試験試料１８上の遠隔変換器２０の実際の応答２１との比較に基づいて、物理的システム１０のための駆動１７を生成する。単一チャネルの場合に対して図１で図示されているが、Ｎ個の応答構成要素を備えている応答２１、およびＭ個の駆動構成要素を備えている駆動１７を伴う、複数チャネルの実施形態が典型的であり、本発明の別の実施形態と見なされる。
【００２１】
図２および関連議論は、本発明が実装され得る、好適なコンピューティング環境の簡潔な一般的説明を提供する。必要とはされないが、物理的システムコントローラ２３を、コンピュータ３０によって実行されているプログラムモジュール等のコンピュータ実行可能命令の一般的文脈において、少なくとも部分的に説明する。概して、プログラムモジュールは、特定のタスクを行うか、または特定の抽象データ型を実装する、ルーチンプログラム、オブジェクト、構成要素、データ構造等を含む。プログラムモジュールは、ブロック図およびフローチャートを使用して以下で図示される。当業者であれば、コンピュータ実行可能命令へのブロック図およびフローチャートを実装することができる。当業者であれば、本発明が、マルチプロセッサシステム、ネットワークパーソナルコンピュータ、ミニコンピュータ、メインフレームコンピュータ等を含む、他のコンピュータシステム構成を用いて実践され得ることも理解するであろう。本発明はまた、タスクが通信ネットワークを通してリンクされる遠隔処理デバイスによって行われる、分散型コンピューティング環境において実践され得る。分散型コンピュータ環境では、プログラムモジュールは、ローカルおよび遠隔メモリ記憶デバイスの両方の中に位置し得る。
【００２２】
図２で図示されるコンピュータ３０は、中央処理装置（ＣＰＵ）３２、メモリ３４、およびメモリ３４とＣＰＵ３２とを含む種々のシステム構成要素を連結するシステムバス３６を有する、従来のパーソナルまたはデスクトップコンピュータを備えている。システムバス３６は、メモリバスまたはメモリコントローラ、周辺機器用バス、および種々のバスアーキテクチャのうちのいずれかを使用するローカルバスを含む、いくつかのタイプのバス構造のうちのいずれかであり得る。メモリ３４は、読み取り専用メモリ（ＲＯＭ）およびランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）を含む。起動中等にコンピュータ３０内の要素間で情報を転送することに役立つ基本ルーチンを含む、基本入出力（ＢＩＯＳ）が、ＲＯＭに記憶される。ハードディスク、光ディスクドライブ、ＲＯＭ、ＲＡＭ、フラッシュメモリ

カード、デジタルビデオディスク等の非一過性のコンピュータ読み取り可能な記憶デバイス３８が、システムバス３６に連結され、プログラムおよびデータの記憶に使用される。一般的に、プログラムは、付随データを伴って、または伴わずに、記憶デバイス３８のうちの少なくとも１つからメモリ３４にロードされる。

【００２３】

キーボード、ポインティングデバイス（マウス）等の入力デバイス４０は、ユーザがコマンドをコンピュータ３０に提供することを可能にする。モニタ４２または他のタイプの出力デバイスがさらに、好適なインターフェースを介してシステムバス３６に接続され、フィードバックをユーザに提供する。所望の応答２２は、モデム等の通信リンクを通して、または記憶デバイス３８のリムーバブル媒体を通して、入力としてコンピュータ３０に提供することができる。駆動信号１７は、コンピュータ３０によって実行されるプログラムモジュールに基づいて、かつコンピュータ３０を振動システム１３に連結する好適なインターフェース４４を通して、図１の物理的システム１０に提供される。インターフェース４４はまた、実際の応答２１も受信する。

【００２４】

本発明を説明する前に、物理的システム１０をモデル化し、それに適用される駆動１７を得るための例示的な既知の方法を詳細に再検討することも役立ち得る。試験車両に関して以下で説明されるが、従来技術の方法および以下で説明される本発明は、車両のみを試験することに限定されず、他のプロセス、試験試料のタイプ、およびその基礎構造または構成要素で使用できることに留意されたい。加えて、動作は、いくつかの他の数学的技法（例えば、適応逆制御（ＡＩＣ）型モデル、自己回帰外因（ＡＲＸ）および状態空間型のモデル等のパラメトリック回帰技法、またはそれらの組み合わせ）によって、実行されることができるが、説明は、スペクトル分析ベースのモデル化推定および実装を仮定して行われる。

【００２５】

図３Ａを参照すると、ステップ５２では、試験車両が、遠隔変換器２０を装備される。ステップ５４では、車両が目的とする野外動作環境下に置かれ、遠隔変換器応答が測定および記録される。例えば、車両を道路または試験トラック上で駆動されることができる。典型的にはアナログである、測定された遠隔変換器応答は、一般的に公知であるように、アナログ／デジタル変換器を通してデジタル形式でコンピュータ３０に記憶される。

【００２６】

次に、識別段階において、物理的システム１０の入出力モデルが決定される。本手順は、ステップ５６において、入力として駆動１７を物理的システム１０に提供し、出力として遠隔変換器応答２１を測定することを含む。モデル推定に使用される駆動１７は、選択された帯域幅にわたる周波数成分を有する、ランダム「白色雑音」であり得る。ステップ５８では、ステップ５６において適用された入力駆動と得られた遠隔変換器応答に基づいて、物理的システム１０のモデルの推定値が計算される。一実施形態では、これは、一般的に「周波数応答関数」（ＦＲＦ）として知られている。数学的に、ＦＲＦは、Ｎ×Ｍ行列であり、各要素は、周波数依存性複素変数（利得および位相対周波数）である。行列の列が入力に対応する一方で、行は出力に対応する。当業者によって理解されるように、ＦＲＦはまた、物理的システム１０または物理的システム１０に実質的に類似する他のシステムを使用して、事前試験から直接得られ得る。

【００２７】

逆モデルＨ（ｆ）$^{-1}$が、ステップ６０において遠隔応答の関数として物理的駆動１７を決定するために必要とされる。当業者によって理解されるように、逆モデルを直接計算することができる。本明細書で使用されるような「逆」モデルという用語は、非正方Ｎ×ＭシステムのためのＭ×Ｎ「疑似逆」モデルも含む。さらに、スピンドル連結車両試験システム内の「ブレーキオン」および「ブレーキオフ」を伴う領域等の異なる順モデルＨおよび逆モデルＨ（ｆ）$^{-1}$を使用することができる。従来技術におけるこの時点で、本方法は、所望の遠隔変換器応答２２（以降では「所望の応答」）を理想的に複製する実際の

応答２１を生成する駆動１７を得るために、図３Ｂおよび４Ａで図示される反復段階に入る。逆物理的システムモデルＨ（ｆ）$^{-1}$が、７２で表される一方で、物理的システム（振動システム、試験車両、遠隔変換器、および計装）は、１０で表される。図３Ｂを参照すると、ステップ７８では、逆モデル７２は、初期駆動１７x_1（ｔ）を決定するために標的応答補正７７に適用される。標的応答補正７７は、初期駆動のための所望の応答２２であることができるが、殆どの場合、緩和利得係数９５によって低減させられる。次いで、逆モデル７２からの計算された駆動１７x_1（ｔ）は、ステップ８０において物理的システム１０に適用される。次いで、適用された駆動１７x_1（ｔ）への物理的システム１０の実際の遠隔変換器応答２１（以降では「実際の応答」）y_1（ｔ）が、ステップ８６において得られる。完全な物理的システム１０が線形である（１の緩和利得９５を可能にする）場合、初期駆動１７x_1（ｔ）を必要な駆動として使用することができる。しかしながら、物理的システムが、典型的には非線形であるため、反復プロセスによって正しい駆動１７に到達しなければならない。（当業者によって理解されるように、類似物理的システムのための前の試験で使用された駆動１７が初期駆動として使用され得る。）

反復プロセスは、初期駆動x_1（ｔ）に起因する第１の実際の応答y_1（ｔ）を記録することと、それを所望の応答２２と比較して、ステップ８８において差として応答誤差８９Δy_1を計算することとを伴う。（第１の実際の応答信号y_1（ｔ）は、図４Ａの８７において提供される）。応答誤差８９Δy_1は、ステップ９０において事前選択された閾値と比較され、応答誤差８９が閾値を超える場合、反復が行われる。具体的には、応答誤差８９Δy_1は、新しい標的応答補正７７を提供するために緩和利得係数９５によって低減させられる。本実施形態では、逆伝達関数Ｈ（ｆ）$^{-1}$は、新しい標的応答補正７７に適用され、駆動補正$\Delta x_2$９４を作成し（ステップ９１）、$\Delta x_2$９４は、ステップ９２において、第１の駆動x_1（ｔ）１７Ａに追加され、第２の駆動x_2（ｔ）１７を与える。反復プロセス（ステップ８０－９２）は、応答誤差８９が応答の全てのチャネル上の事前選択された閾値を下回って引き下げられるまで繰り返される。次いで、所望の応答２２の所定の閾値以内である応答２１を生成した最後の駆動１７が、試料試験を行うために使用されることができる。

【００２８】

説明されるように、応答誤差８９Δyは、一般的に、標的応答補正７７を形成するために緩和利得係数（または反復利得）９５によって低減させられる。反復利得９５は、反復プロセスを安定させ、反復オーバーシュートに対して収束率をトレードオフする。さらに、反復利得９５は、物理的システム１０に存在する非線形性により、反復プロセス中に試験車両がオーバーロードされるであろう可能性を最小化する。当業者によって理解されるように、反復利得が、駆動補正９４Δxおよび／または応答誤差８９に適用されることができる。図４Ａでは、反復プロセス中に所望の応答２２、実際の応答２１、および前の駆動１７Ａを記憶するために記憶デバイス３８を使用できることに留意されたい。当然ながら、メモリ３４も使用することができる。また、鎖線９３は、逆モデル７２が物理的システム１０の逆関数の推測であることを示す。図４Ａのブロック図は、上記で議論されるように、ＭＴＳ Ｓｙｓｔｅｍｓ Ｃｏｒｐｏｒａｔｉｏｎ（Ｅｄｅｎ Ｐｒａｉｒｉｅ，Ｍｉｎｎｅｓｏｔａ）からのＲＰＣＩＩＩ^{TM}とともに含まれるような市販のソフトウェアモジュールを使用して、当業者によって実装されることができる。

【００２９】

この時点で、駆動を計算するための修正された従来技術の方法についても議論することができる。修正された従来技術の方法は、図３Ａで図示される識別段階のステップと、図３Ｂで図示される反復段階のステップの多くとを含む。便宜上、修正された方法の反復ステップは、図３Ｃ、および図４Ｂで図示されるようなブロック図で図示される。図４Ｂで図示されるように、標的応答補正７７の計算は同一である。しかしながら、実際の応答２１と所望の応答２２との間の応答誤差８９が選択された閾値より大きい場合には、標的応答補正７７が、現在の反復のための新しい標的応答７９を得るために、ステップ９７において前の標的応答７９Ａに追加される。逆モデル７２は、新しい駆動１７を得るために標

的応答７９に適用される。図４Ｂで図示されるように、上記で議論される理由で反復利得９５が使用されることができる。

【００３０】

図４Ａおよび４Ｂは、概して、物理的システムの逆モデル７２を改良するために、反復プロセスの各ステップ中に動作する調節器１００を含む、別のタイプの反復プロセスを図示する。本プロセスは、その全体で参照することにより本明細書に組み込まれる、米国特許第７，０３１，９４９号で詳細に説明される。概して、図４Ａで図示されるように、調節器１００は、応答誤差８９の単純関数として（すなわち、図４Ｂの前の標的情報７９Ａを伴わずに）標的応答補正７７を直接受信する逆モデル７２を補正し、物理的システム駆動１７は、前の駆動１７Ａとの組み合わせにおいて駆動補正９４を含む。逆に、図４Ｂで図示されるように、逆モデル７２は、標的応答補正７７と前の標的応答７９Ａとの組み合わせとして標的応答７９を受信し、駆動１７は、逆モデル７２を適用することによって直接得られる。図４Ｂの場合、調節器１００は、図４Ａと概念的に同一の様式で逆モデル７２を補正する。しかしながら、図４Ａおよび４Ｂの構成は、各々が固有の状況的利点を伴って、異なる信号を、米国特許第７，０３１，９４９号で説明される仮想識別モデリングプロセスに利用可能にする。調節器１００は、反復様式で動作することもできる。

【００３１】

概して、本発明の側面が、図１に類似する図５で概略的に図示されるが、アクチュエータ１５は、コンプライアントアクチュエータセンブリ１５０と置換されている。試験試料によって確かめられた実際の負荷を模倣する負荷を試験試料に対して生成することが試験装置で具現化される場合、コンプライアントアクチュエータセンブリ１５０は、そのようなシステムで一般的に見られる高い周波数で高い負荷を生成することができなければならない。しかしながら、コンプライアントアクチュエータセンブリ１５０は、試験試料１８の変位に適応することができるように、低剛性ばね特性を示す。図５の概略図では、そのような特性が理解されないかもしれない。しかしながら、複数の自由度において負荷を与えるための試験システムで適用される場合（コースに沿って移動する車両を模倣するために、各々が負荷を車両スピンドルに加える図７で図示される車両スピンドル試験設備２００を伴う１つ以上の車両スピンドルを有する道路シミュレータ等）、１以上の自由度におけるそのようなコンプライアンスは、特に、水平負荷（車両の模擬前進運動およびその側方の方向、また、キャンバおよび操向モーメントにおける負荷）に対して非常に有利であることが分かっている。車両を試験する場合に１つ以上の水平負荷に対する負荷経路内にコンプライアントアクチュエータセンブリを提供することは、試験者が、ステップ５４において固有の試験データを記録する必要なく、同一の機能を有するが異なる特性を有する車両構成要素、例えば異なる剛性の車軸または安定器ブッシングを試験し、各異なるブッシングに対して上記で説明されるような反復プロセスを使用して、固有の駆動を生成することを可能にし得る。

【００３２】

車両スピンドルに連結される試験システムの形態で図７に図示されているが、これは、一実施例にすぎない。他の多自由度アクチュエータベースの負荷適用試験システムは、ステアリングギア試験システム、ステアリングナックル試験システム、制御アーム試験システム、および一般に、試料または設備の運動が制御チャネルの中および／または間に外乱を与える任意の用途を含むが、それらに限定されない。

【００３３】

コンプライアントアクチュエータセンブリ１５０の第１の実施形態が、図６で概略的に図示されている。ピストン１５８は、シリンダまたはボア１５５の中でスライド可能である。ピストン１５８およびボア１５５は、試験システム設計に応じて片口または両口のいずれかである、複動式油圧アクチュエータとして動作する。サーボコントローラ１４の一部を構成する流量制御弁１５９が、ボア１５５に流体的に連結され、ピストン１５８を変位させるように油圧流体をボア１５５に選択的に提供する。アキュムレータ１６４が、複動式アクチュエータのチャンバの各々、ピストンに流体的または機械的に連結される。ア

キュムレータ１６４は、そうでなければ実質的に剛体のアクチュエータにばね効果を導入する。各アキュムレータ１６４は、圧縮性流体（典型的には、窒素等のガス、機械ばね、または他の弾性媒体もしくはデバイス）の第１の部分１６５と、ガスと比較して実質的に非圧縮性である、液体で充填される第２の部分１６７とを含む。各アキュムレータ１６４の第２の部分１６７は、ボア１５５に流体的に連結され、ピストン１５８に機械的に連結される。一般的に、ばねデバイスまたは媒体と液体との分離を維持するために、ダイヤフラム１６９（または、ピストン等の同等の分離デバイス）が各アキュムレータ１６４内に提供される。独占的ではないが、典型的には、窒素ガスまたは機械的要素で事前充填される、油圧アキュムレータ１６４を使用することは、特定の試験試料の要件に合致するように、アクチュエータアセンブリ１５０のばね剛性（すなわち、コンプライアンス）の調整を可能にする。

【００３４】

所望の性能を得るために、アクチュエータアセンブリ１５０の他の設計判断も使用されることができる。例えば、低い周波数で効果的であるが、より低いコンプライアンスおよびさらなる剛性を保証するより高い周波数で、実質的に不活性または少なくとも実質的により剛となるようにコンプライアンスを調整するために、アキュムレータ１６４の有効面積とピストン１５８の面積との間の面積比、アキュムレータピストンの質量、および／またはアキュムレータ１６４に進入／退出する油の速度のうちのいずれかまたは全てが使用されることができる。

【００３５】

米国特許第６，４５７，３６９号（その全体で参照することにより本明細書に組み込まれる）は、本発明で使用されることができるガスばねを提供するために圧縮性ガスの体積を使用するアクチュエータの他の形態（線形または部分的回転）を開示する。しかしながら、米国特許第６，４５７，３６９号で説明されるコンプライアントアクチュエータは、本明細書で教示されるような様式では使用されないことに留意されたい。米国特許第６，４５７，３６９号では、コンプライアントアクチュエータは、より高い周波数の入力外乱にもコンプライアントである高い静的または低周波数の負荷を提供するために使用される。しかしながら、所望であれば、特にそこで説明されるような油圧電源投入または動作停止に関するいくつかの制御技法は、組み込まれることができる。

【００３６】

上記で示されるように、コンプライアントアクチュエータセンブリは、図７で図示される試験システム２００等の多自由度（多軸）試験システムで特に有利である。試験システム２００は、その全体で参照することにより本明細書に組み込まれる、米国特許第６，６４０，６３８号で詳細に説明されるが、それでもなお、道路シミュレータの１つの形態である。

【００３７】

図７およびその概略図を参照すると、車両スピンドル試験設備２００は、示されていない車両のスピンドルに直線力および回転モーメントを加えるように設計されているシステムの例である。車両スピンドル試験設備２００は、従来の様式で車両スピンドルに固定される、ホイールアダプタ筐体２１６を含む。第１の負荷アセンブリ２１３は、ホイールアダプタ筐体２１６と、一対の垂直に延びる負荷リンクまたは支柱２２０とを含む。概して、第１の負荷アセンブリ２１３は、アクチュエータアセンブリ２２３および２２５を用いて、２つの互に垂直な軸２２２および２２４の一方または両方に沿った方向への負荷をスピンドルに加える。加えて、第１の負荷アセンブリ２１３は、アクチュエータアセンブリ２２７を使用して、軸２２２および２２４に互に垂直である軸２２６の周りのモーメントまたはトルクを加えることができる。

【００３８】

例示的実施形態では、試験設備２００はまた、第２の負荷アセンブリ２１５も含む。第２の負荷アセンブリ２１５は、複数の支柱２１７と、アクチュエータアセンブリ２１９Ａ、２１９Ｂ、および２２９のうちの少なくとも１つとを備えている。概して、第２の負荷

アセンブリ２１５は、アクチュエータアセンブリ２２９を使用して、実質的に軸２２６に沿って力を加えるとともに、アクチュエータアセンブリ２１９Ａおよび２１９Ｂを使用して、軸２２４の周りのモーメントを印加し、アクチュエータアセンブリ２１９Ａ、２１９Ｂ、および２２９を使用して、軸２２２と平行な軸の周りのモーメントを加えることができる。

【００３９】

図７のアクチュエータアセンブリの各々は、各アクチュエータアセンブリが、関連アクチュエータと直列に動作可能に連結されたばね要素２４０（油圧または電気であり得る、）を含むという点において、コンプライアントアクチュエータセンブリの第２の形態を備えている。ばね要素は、機械ばね（例えば、コイルばね）またはガスもしくは空気ばねを備えていることができる。図７では２本の支柱に直列に接続されたばね要素として図示されているが、ばね要素は、アクチュエータから、限定されないが、負荷経路内の任意のレバーアームの一部分に組み込まれるような試料への連結部までの負荷経路に沿ったいずれかの場所に、またはレバーアームのコンプライアントな枢動を提供するためにレバーアームの一部分に、または負荷経路内任意の連結部内に組み込まれ得ることを理解されたい。一般的に、ばね要素は、軸方向ばね効果を提供するであろう。ばね要素は、図示されるように、レバーアームの枢動点がコンプライアンスを伴って移動することを可能にするためにレバーアームに動作可能に連結されるばね、ならびに軸方向ばね要素２４０を含むことができる。さらに別の言い方をすれば、本発明の一側面は、試験システムの剛性が試験試料の剛性より実質的に小さいように、コンプライアントアクチュエータセンブリを提供することである。

【００４０】

機械ばね２４０と比較して、複動式アクチュエータ端部間、または固定された端部と単動式アクチュエータ端部との間に動作可能に連結されたコンプライアンス要素を有するコンプライアントアクチュエータ１５０が有利であり得ることに留意されたい。なぜなら、アクチュエータアセンブリのコンプライアンスが制御ループ（図５の信号線１９および１５Ａ）の「内側」にあり、それによって、結果として生じる運動の閉ループ制御を依然として提供し、制御されていない共振応答を低減させるか、または排除し得るからである。

【００４１】

試験システムにコンプライアントアクチュエータまたはアセンブリを含むことの特定の利点は、複数の「類似するが異なる」試験試料を試験するために新しい駆動が必要とされなくてもよいことである。多くの場合、従来技術の試験システムでは、収集される各対応試験試料の固有の応答データに基づいて試験される、各類似するが異なる試験試料に対して上記で説明されるような反復プロセスを使用して、新しい駆動が、図３Ａのステップ５４において記録される。しかしながら、ステップ５２において、車両等のその動作環境に各類似するが異なる試験試料を設置して、データを記録することは、労力および時間の両方において非常に犠牲が大きい。同様に、固有の記録されたデータに基づいて、反復プロセスを使用して駆動を生成することもまた、典型的には、非常に時間がかかり、反復プロセスの性質により、試験試料および／または試験システムに摩耗を引き起こす。１つ以上のコンプライアントアクチュエータセンブリの使用は、特に試料誘発型運動に対するシステム感度を低減させることができ、したがって、制御ループ外乱拒否能力を増加させ、同一の駆動が複数の類似するが異なる試験試料に使用されることを可能にすることが分かっている。

【００４２】

コンプライアントアクチュエータセンブリはまた、時として試験中に異なる特性を示す試験試料に対して試験を行うことにも役立つ。コンプライアント負荷アセンブリはまた、経時的に加えられた力または負荷をより一貫して保つこともできる。

【００４３】

試験システム内のコンプライアントアクチュエータセンブリの使用により達成されている、さらに別の有意な利点は、そのようなコンプライアントアクチュエータセンブリを有

していない試験システムと比較したときに、上記で議論されるもの等の反復プロセスを使用して駆動を得るために必要な反復の全体的な数が、有意に削減されていることであることに留意されたい。一般的に、上記で議論される理由のために、反復利得または緩和利得係数９５は、オーバーシュートが生じず、試験試料を損傷しないように、小さく、例えば、約０．３に保たれなければならない。緩和利得係数が小さいため、最終駆動を得るために必要とされる反復の数は、極めて大きく、例えば、３０回の反復である。各反復が、道路シミュレータ等の試験システムに１時間以上の時間を要することは珍しいことではなく、したがって、最終駆動に収束するために、容易に３０時間以上の時間を要し得る。しかしながら、（例えば、車両の後車軸／サスペンション装置、または車両サスペンション装置の１つの角、もしくは１つ以上のコンプライアントアクチュエータセンブリに接続されたエンジンマウント等の直接連結構成要素試験試料を試験するために、完全車両スピンドル連結道路シミュレータを伴う水平チャネル、または１つもしくは２つのスピンドルが連結された道路シミュレータを使用する部分車両試験のように、少なくともいくつかの自由度において）事実上、試験システムが試験試料より実質的に剛ではないことを可能にする、コンプライアントアクチュエータセンブリの使用は、約０．５より大きい緩和利得係数が使用されること、さらなる実施形態では、約０．６５より大きい緩和利得係数が使用されること、その上さらなる実施形態では、約０．７５より大きい緩和利得係数が使用されること、その上他のさらなる実施形態では、約０．８より大きい緩和利得係数が使用されることを可能にする。より大きい緩和利得係数の使用は、最終駆動に収束するために必要とされる反復の数を著しく削減し、それによって、大幅な時間および経費を節約し、緩和利得係数が増加するにつれて、概して、必要とされる反復の数が減少し、したがって、反復の数が減少するため、試験中の緩和利得係数の任意の増加は、有意な利点を提供することができる。

【００４４】

この時点で、新しい駆動信号に到達するために処理または計算中に使用される任意のタイプのモデルのために、前述の利点が得られることにも留意されたい。試験システム内の１つ以上のコンプライアントアクチュエータセンブリの使用により、反復の数の削減が達成されているため、使用されるモデルのタイプは重要ではない。したがって、本発明は、駆動信号の反復中に使用される例示的な試験システム方法論に限定されず、むしろ、例えば、線形および非線形モデルの両方とともに使用されることができる。

【００４５】

従来技術の試験システムおよび方法と、コンプライアントアクチュエータセンブリを有する本試験システムおよび方法との間のさらに別の差異は、例えば、（少なくともいくつかの自由度において）試験試料の１０％の剛性等、試験試料よりはるかに柔軟であるように試験システムを調節することによって、試験試料に対して選択されたコンプライアンスまたは選択された剛性を有するように、試験システム（物理的試験装置）のコンプライアンスを調節できることである。これは再度、より大きい緩和利得係数が使用されることを可能にし、それによって、反復の数を削減する。試験システムの剛性またはコンプライアンスに対するそのような調節は、緩和利得係数が類似試験試料と無関係であることを可能にし得、例えば、道路シミュレータが、１つの試験では車の剛性の１０％、別の試験ではトラックの剛性の１０％を有するように調節された場合、同数またはほぼ同数の反復が各車両に必要とされ得る。

【００４６】

本発明の側面から利益を得ることができる、他の例示的な反復プロセスおよび実施形態は、その全てがその全体で参照することにより本明細書に組み込まれる、米国特許第８，１３５，５５６号、米国公開特許出願第ＵＳ ２０１３／０３０４４４１Ａ１号、および本書と同日付に出願された「Ｍｅｔｈｏｄｓ ａｎｄ Ｓｙｓｔｅｍｓ ｆｏｒ Ｔｅｓｔｉｎｇ Ｃｏｕｐｌｅｄ Ｈｙｂｒｉｄ Ｄｙｎａｍｉｃ Ｓｙｓｔｅｍｓ」と題される米国特許出願で説明される。

【００４７】

概して、前述の特許および出願は、連結ハイブリッド動的システムのシミュレーションを制御するための配置を提供する。１つの例示的な配置では、配置は、システムの物理的構造構成要素を駆動し、駆動信号入力を試験装置に印加した結果として試験装置応答を生成するように構成される物理的試験装置を備えている。プロセッサは、物理的構成要素に対する補完システムの仮想モデル（また、本明細書では「仮想モデル」）で構成される（すなわち、補完システムの仮想モデルと物理的構成要素とは、完全ハイブリッド動的システムを構成する）。プロセッサは、入力として試験装置応答の第１の部分を受信し、入力として受信した試験装置応答の第１の部分および仮想駆動を使用して、補完システムのモデル応答を生成する。プロセッサはさらに、試験装置応答の異なる第２の部分を、補完システムの仮想モデルからの対応する応答と比較して、差を形成するように構成され、差は、試験装置駆動信号を生成するために使用されるであろう、システム動的応答モデルを形成するために使用される。

【００４８】

実施形態では、プロセッサはさらに、試験駆動信号を生成し、試験装置応答を受信し、補完システムの仮想モデルからの応答を生成し、試験装置応答を補完システムの仮想モデルからの応答と比較して、ハイブリッドシミュレーションプロセス誤差を生成するように構成される。次いで、誤差は、補完システムの仮想モデルからの応答と試験装置応答との間の差が定義された閾値を下回るまで、反復様式でシステム動的応答モデルの逆関数を使用して低減させられる。

【００４９】

図８は、連結ハイブリッド動的システムのシミュレーションを制御するための例示的な配置を描写し、本発明の側面は、本明細書で説明される例示的な配置に限定されず、むしろ上記で識別された特許および特許出願内の他の配置のうちのいずれかにも適用できることを理解されたい。

【００５０】

例示的な配置では、補完車両モデル３７０が、コンピュータのハードディスク等の好適な非一過性のコンピュータ読み取り可能な媒体内で提供され、プロセッサによってアクセス可能である。しかしながら、他のシステムが本開示から逸脱することなくモデル化され得るため、車両のモデルは例示的にすぎない。また、説明の目的で、物理的構成要素は、車両サスペンションシステムで採用される支柱である。支柱が、上記で識別される特許出願で説明されるように、実際のタイヤおよびホイールを差し引いた完全な車両の試験を含むが、それに限定されない、験物理的構成要素の実施例にすぎないため、他の構成要素が試験され得る。駆動を受け入れ、試験装置３７２の一部である、上記で議論されるコンプライアントアクチュエータセンブリのうちのいずれかに応答を提供する、試験装置３７２も提供される。本実施例では、試験装置３７２は、試験装置３７２内に搭載される物理的支柱を試験するように構成される。しかしながら、試験装置３７２は、他の構造構成要素を試験するように構成され得る。試験装置３７２は、装置コントローラ３７４を有する。

【００５１】

配置は、試験装置３７２を駆動するために使用される駆動信号を生成するように採用することができる、システム動的応答モデルを形成または究明する。システム動的応答モデル３７６は、一実施例として、周波数応答関数（ＦＲＦ）であり得る。システム動的応答モデル３７６はまた、補完システムのモデル３７０が実行される、同一のプロセッサによって、決定または計算され得る。しかしながら、システム動的応答モデル３７６はまた、別個のプロセッサ上で決定および計算され得る。

【００５２】

図８はまた、システム動的応答モデル３７６を形成する配置およびステップを描写する。これは、システム応答モデリングステップと称することができる。本システム動的応答モデル３７６は、以降で説明される、図９の反復プロセスで採用することができる。図８では、ランダム試験装置駆動３７８が、設置された車両構成要素３８０（支柱等）を有する試験装置３７２の中に再生される。ランダム試験装置駆動３７８は、ランダム振幅、広

帯域周波数の駆動等の一般駆動であり得る。２つの応答が開示された実施形態で測定されるが、配置は２つの応答に限定されない。ランダム試験装置力信号３８２等のこれらの応答のうちの１つは、補完システムの車両モデル３７０に適用されるものである。ランダム装置変位３８４等の他方の応答は、補完システムの仮想モデル３７０の応答と比較される応答である。図８の開示された実施形態では、第１の応答３８２が、支柱によって試験装置３７２に及ぼされる力である一方で、第２の応答３８４は、入力として装置コントローラ３７４に提供されることもできる支柱３８０の変位である。他の応答信号が試験装置３７２から提供され得るため、力および変位信号は、例示的にすぎないことに留意されたい。

【００５３】

ランダム装置力３８２等の試験装置３７２からの応答は、補完システムの仮想車両モデル３７０へのランダムモデル駆動３８６を形成するように、入力として供給される。補完システムの仮想車両モデル３７０は、被試験構成要素、この場合は支柱３８０を除外する。補完システムの仮想車両モデル３７０は、ランダムモデル応答信号８８、この場合は変位で、ランダムモデル駆動入力信号３８６に応答する。

【００５４】

プロセスの第３のステップでは、補完システムの仮想モデル３７０のランダム応答８８が、関連試験装置ランダム応答３８４と比較される。比較３９０が、ランダム応答差３９２（本明細書では実施例として変位）を形成するように行われる。ランダム応答差３９２とランダム装置駆動３７８との間の関係は、システム動的応答モデル３７６を確立する。システム動的応答モデル３７６は、逆にされ、図２の反復シミュレーション制御プロセスにおける試験装置駆動予測に使用されるであろう。

【００５５】

システム動的応答モデル３７６の決定は、高出力および高速の計算能力が必要とされないようにオフラインプロセスで行われ得る。さらに、データを取得する必要がないため、仮想モデル内で、または物理的環境において、任意の構成要素がどのように応答するであろうかという予備知識がなくても、その構成要素を試験することができる。システム動的応答モデル３７６のオフライン測定は、補完システムの仮想モデルの応答８８と、構成要素３８０が物理的システムの中にあるときの装置入力への装置応答３８４との間の差の感度を測定する。装置駆動３７８とシステム応答差３９２との間の関係がモデル化されると、図２で見られるように、オフライン反復プロセスが行われる。これは、試験駆動開発ステップと見なされ得る。

【００５６】

オフライン反復である、図２の反復プロセスでは、試験構成要素３８０を除外する、補完システムの仮想モデル３７０が動作させられる。例示的実施形態では、仮想モデル３７０は、仮想車両の補完システムであり、除かれる被試験物理的構成要素は、支柱３８０である。仮想車両は、補完システムの仮想モデル３７０の応答４００を生成するように、試験道路上で駆動される。実施例として、応答４００は、支柱３８０の変位を表し得るが、支柱３８０が実際には存在しないため、これは実際には、応答４００によって測定される、支柱３８０によって占有されるであろう空間の変位である。仮想試験道路入力に加えて、補完システムの仮想モデル３７０への追加の入力が、参照数字３９８として示されている。補完システムの車両モデル３７０への追加のモデル入力３９８は、試験装置３７２からの試験装置応答３９４に基づく。試験装置３７２において測定される力等の追加のモデル入力３９８は、試験中に車両モデル３７０に同時に適用される。最初の反復（Ｎ＝０）に対して、補完システムの仮想モデル３７０への入力３９８は、典型的には、ゼロであろう。

【００５７】

補完システムの仮想モデル３７０の応答４００は、試験装置３７２からの試験装置応答３９６と比較される。補完システムの仮想モデル３７０の応答４００が変位である場合、試験装置応答３９６も変位でなければならない。４０２の比較が、応答差４０３を形成す

るように、試験装置応答３９６と補完システムの仮想モデル３７０の応答４００との間で行われる。

【００５８】

応答差４０３、この場合、変位差は、所望の差４０４と比較される。典型的には、所望の差４０４は、反復制御プロセスのためにゼロに設定されるであろう。しかしながら、さらなる実施形態では、本開示の範囲から逸脱することなく、他の所望の差が採用され得る。

【００５９】

応答差４０３と所望の差４０４との間の比較４０６は、図１に示されるステップにおいて以前に決定されたシステム動的応答モデル３７６の逆関数（ＦＲＦ－１）によって使用される、シミュレーション誤差４０７を生じる。システム動的応答モデル３７６の逆関数は、図２で参照数字４０８として描写されている。駆動補正４０９が、次の試験装置駆動信号４１４を生成するように、４１２において前の試験装置駆動信号４１０に追加される。典型的には、シミュレーション誤差４０７は、緩和利得係数によって低減させられる。緩和利得係数（または反復利得）は、反復プロセスを安定させ、反復オーバーシュートに対して収束率をトレードオフする。さらに、反復利得は、物理的システムに存在する非線形性により、反復プロセス中に試験構成要素がオーバーロードされるであろう可能性を最小化する。当業者によって理解されるように、そのように所望される場合、反復利得を駆動補正４０９に適用することができる。

【００６０】

次の試験装置駆動信号４１４が試験装置３７２に印加され、第１および第２の応答が測定される。車両モデル３７０に適用される応答３９４は、プロセッサおよび補完システムの仮想モデル３７０を介して、試験装置応答３９６と比較される応答４００を生成する。本プロセスは、結果として生じるシミュレーション誤差４０７が所望の公差値に低減されるまで、反復して繰り返される（矢印３９７および３９９によって表される）。

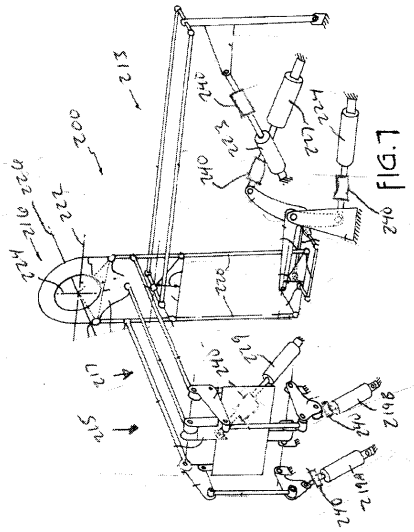
【００６１】

車両モデル３７０の処理および最終試験装置駆動信号４１４の決定は、単一のプロセッサ内で行われることが可能である。しかしながら、ある実施形態では、複数のプロセッサが採用され得る。また、シミュレーション誤差４０７を決定するためのプロセス、および試験装置駆動信号４１４の決定が、オフラインで行われ得ることも理解されたい。

【００６２】

本主題は、構造特徴および／または方法論的行為に特有の用語で説明されているが、添付の請求項で定義される主題は、裁判所によって判断されているように、必ずしも上記で説明される具体的特徴または行為に限定されないことを理解されたい。むしろ、上記で説明される具体的特徴および行為は、請求項を実装する例示的形態として開示される。

【図７】



【図２】

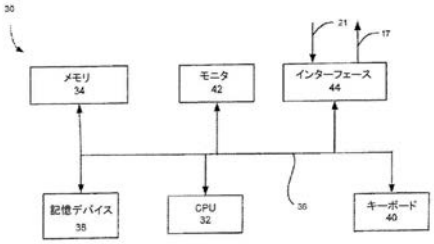


FIG.2

【図１】

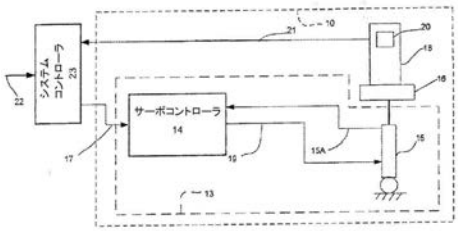


FIG.1

【図３Ａ】

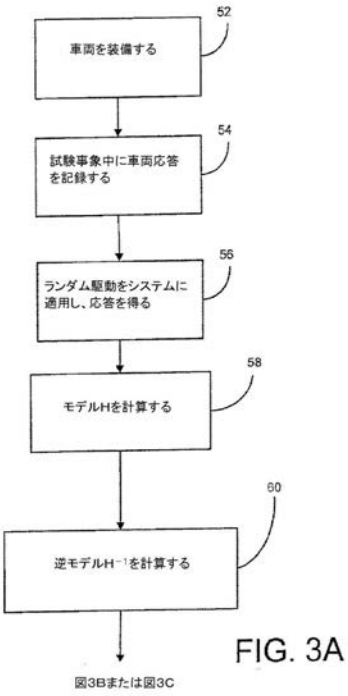


FIG. 3A

【図３Ｂ】

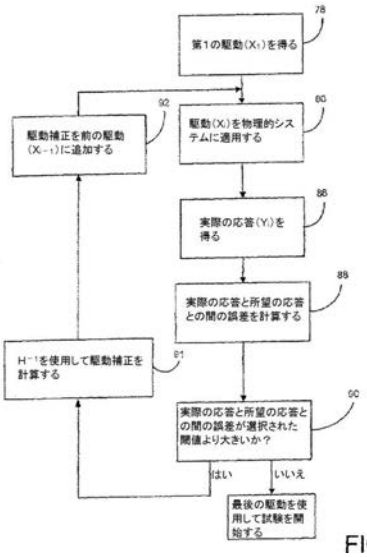


FIG. 3B

【図３Ｃ】

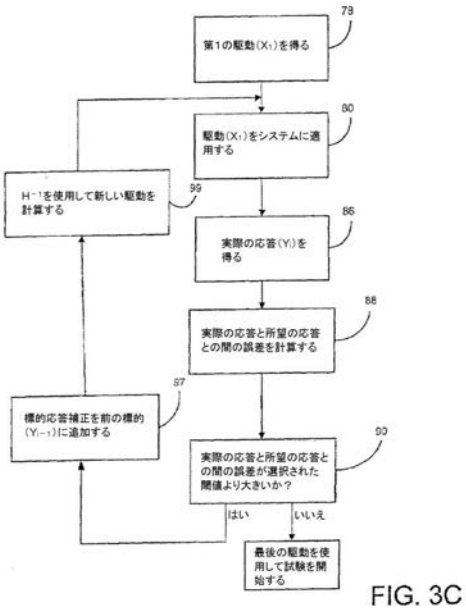


FIG. 3C

【図４Ａ】

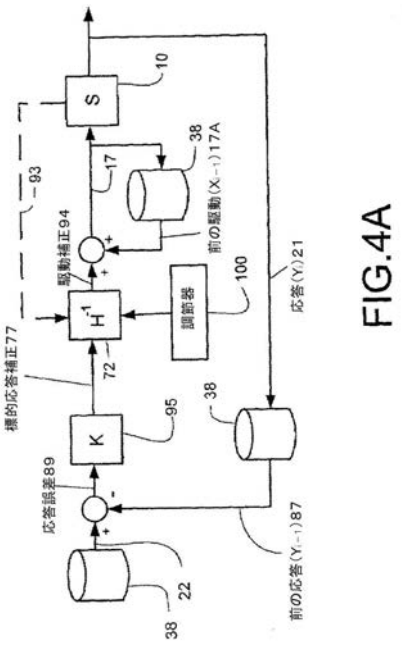


FIG.4A

【図４Ｂ】

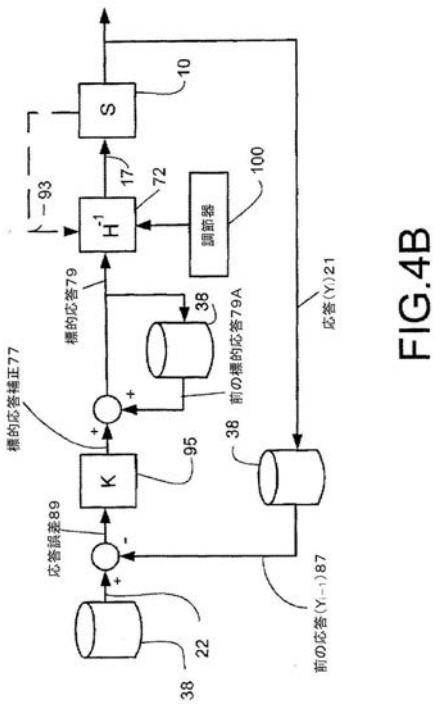


FIG.4B

【図５】

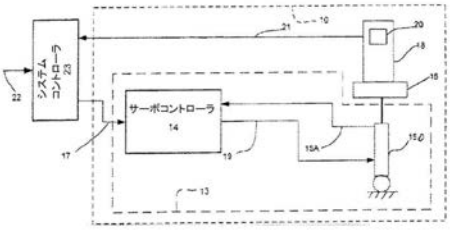


FIG. 5

【図６】

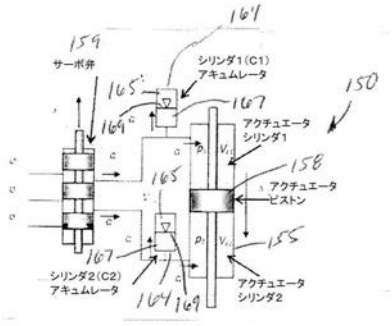


FIG. 4

【図８】

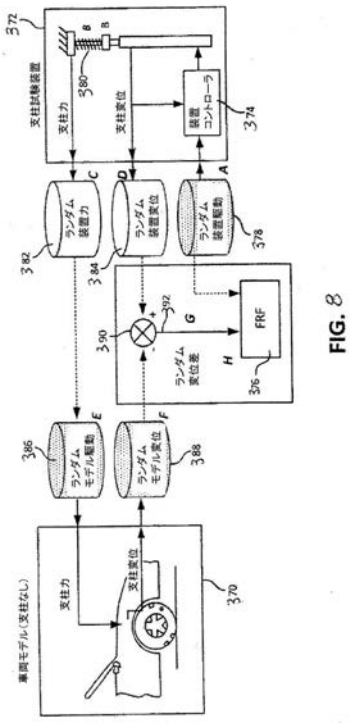


FIG. 8

【図９】

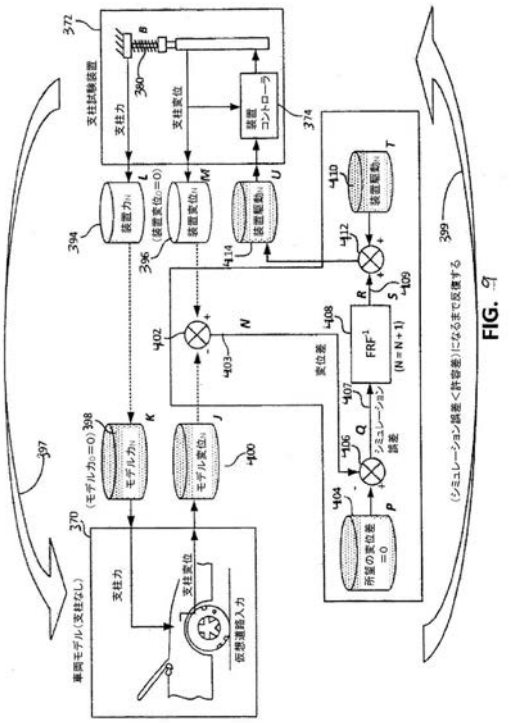


FIG. 9

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2014/054803

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01M17/00
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 511 431 A (HINTON CHRISTOPHER E [GB]) 30 April 1996 (1996-04-30) column 1, line 46 - line 61 column 2, line 4 - line 8 column 2, line 61 - column 3, line 18 column 3, line 35 - line 42 column 4, line 6 - line 14 column 5, line 62 - column 6, line 5 column 6, line 10 - line 15 figure 3 -----	1-21
Y	US 2003/033058 A1 (LUND RICHARD A [US]) 13 February 2003 (2003-02-13) paragraph [0040] -----	1-14
	-/--	

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
23 January 2015	23/02/2015

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Kaiser, Jean-Luc

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2014/054803

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 1 291 635 A2 (MAHA GMBH & CO KG [DE]) 12 March 2003 (2003-03-12) column 3, line 34 - line 38 column 12, line 18 - line 23 column 12, line 33 - line 36 figure 1	7-9, 12-14
Y	William Levine: "Control System Applications" In: "Control System Applications", 31 December 1999 (1999-12-31), CRC Press, XP055159022, ISBN: 978-0-84-930054-7 pages 63-63, Section 4.5.5; page 63	15-21
Y	US 5 650 704 A (PRATT GILL A [US] ET AL) 22 July 1997 (1997-07-22) column 4, line 4 - line 7 column 4, line 57 - line 69 figure 2	20

3

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/US2014/054803

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5511431 A	30-04-1996	DE 4434024 A1	30-03-1995
		GB 2282228 A	29-03-1995
		US 5511431 A	30-04-1996
US 2003033058 A1	13-02-2003	AU 2002360357 A1	19-05-2003
		US 2003033058 A1	13-02-2003
		WO 03040584 A2	15-05-2003
EP 1291635 A2	12-03-2003	AT 409311 T	15-10-2008
		DE 10143492 A1	20-03-2003
		EP 1291635 A2	12-03-2003
US 5650704 A	22-07-1997	US 5650704 A	22-07-1997
		US 5910720 A	08-06-1999

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JP,KE,KG,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US

(72)発明者 グルニエ, グレン シー.
アメリカ合衆国 ミシガン ４８０９６, レイ, インディアン トレイル ５９６００
(72)発明者 ハエグ, スティーブン アール.
アメリカ合衆国 ミネソタ ５５３３１, ショアウッド, ビバリー ドライブ ２７０１５
(72)発明者 ダレイマー, カイル ジョセフ
アメリカ合衆国 ミネソタ ５５０１２, センター シティ, オアシス ロード ３３０９１