

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6444885号
(P6444885)

(45) 発行日 平成30年12月26日(2018.12.26)

(24) 登録日 平成30年12月7日(2018.12.7)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 H 17/00 (2006.01) GO 1 H 17/00 Z

請求項の数 7 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2015-550662 (P2015-550662)	(73) 特許権者	000003182
(86) (22) 出願日	平成26年11月18日(2014.11.18)		株式会社トクヤマ
(86) 国際出願番号	PCT/JP2014/080485		山口県周南市御影町1番1号
(87) 国際公開番号	W02015/079975	(73) 特許権者	304020177
(87) 国際公開日	平成27年6月4日(2015.6.4)		国立大学法人山口大学
審査請求日	平成29年11月2日(2017.11.2)		山口県山口市吉田1677-1
(31) 優先権主張番号	特願2013-244250 (P2013-244250)	(74) 代理人	100120891
(32) 優先日	平成25年11月26日(2013.11.26)		弁理士 林 一好
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100165157
			弁理士 芝 哲央
		(74) 代理人	100145713
			弁理士 加藤 電太
		(74) 代理人	100136939
			弁理士 岸武 弘樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 運動装置の状態監視システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

運動装置におけるケーシング内部の監視しようとする一または複数の構成部材および/または構成部材間の連結部および/もしくは摺動部の特性に起因する振動を粘弾性部材の特性に起因する振動に置換し、かつこれらの粘弾性部材の振動が合成されたものと等価な振動の仮想的振動データを出力しうるようにした運動装置の等価モデルからなるシミュレータと、

前記シミュレータにおける等価モデルから出力される前記仮想的振動データの波形を、運動装置の正常運転時におけるケーシングの振動測定データの波形に実質的に一致させるようにシミュレータを作動して得られた、前記粘弾性部材のばね定数またはばね定数と粘性減衰係数としてのパラメータを、運動装置の正常運転時のパラメータとして記憶するパラメータ記憶部と、

運動装置の実運転時において前記ケーシングの振動を、ケーシングにおける予め選択した任意の一もしくは複数の箇所で測定するケーシング振動測定部と、

前記粘弾性部材のパラメータを変化させて前記シミュレータを作動させることにより、等価モデルより出力される仮想的振動データの波形を、前記の予め選択した任意の一もしくは複数の箇所のケーシング振動測定部で得られた実運転時の振動波形とそれぞれ実質的に一致させて、前記粘弾性部材のパラメータを同定するパラメータ同定部と、

このパラメータ同定部で同定された実運転時のパラメータが、前記パラメータ記憶部により記憶されている運動装置の正常運転時におけるパラメータと対比して、どのように変

化しているかを検証するパラメータ変化検証部と、
を備えることを特徴とする運動装置の状態監視システム。

【請求項 2】

運動装置における監視対象部としての一または複数の構成部材および/または構成部材間の連結部および/もしくは摺動部の特性に起因する振動を粘弾性部材の特性に起因する振動に置換し、前記監視対象部のうち、実運転時において振動を測定する予め選択した任意の一もしくは複数の監視対象部の各振動に対応して置換した粘弾性部材の各振動と等価な仮想的振動データ、または予め選択した任意の複数の監視対象部の各振動に対応して置換した粘弾性部材の各振動が合成されたものと等価な振動の仮想的振動データを出力するようにした運動装置の等価モデルからなるシミュレータと、

10

前記シミュレータにおける等価モデルから出力される前記仮想的振動データの波形を、運動装置の正常運転時における前記監視対象部のうち、実運転時において振動を測定する予め選択した任意の一もしくは複数の監視対象部の各振動測定データの波形、または予め選択した任意の複数の監視対象部の各振動測定データが合成された波形に実質的に一致させるようにシミュレータを作動して得られた、前記粘弾性部材のばね定数またはばね定数と粘性減衰係数としてのパラメータを、運動装置の正常運転時のパラメータとして記憶するパラメータ記憶部と、

運動装置の実運転時において前記監視対象部の振動を測定する監視対象部振動測定部と、

前記粘弾性部材のパラメータを変化させて前記シミュレータを作動させることにより、等価モデルより出力される仮想的振動データの波形を、前記監視対象部振動測定部で得られた実運転時の振動波形、またはこれらの振動が合成された波形と実質的に一致させて、前記粘弾性部材のパラメータを同定するパラメータ同定部と、

20

このパラメータ同定部で同定された実運転時のパラメータが、前記パラメータ記憶部により記憶されている運動装置の正常運転時におけるパラメータと対比して、どのように変化しているかを検証するパラメータ変化検証部と、
を備えることを特徴とする運動装置の状態監視システム。

【請求項 3】

粘弾性部材を、弾性ばねとした請求項 1 または 2 に記載の運動装置の状態監視システム

30

【請求項 4】

粘弾性部材を、弾性ばねとダッシュポットとからなるものとした請求項 1 または 2 に記載の運動装置の状態監視システム。

【請求項 5】

さらに、パラメータ変化検証部において検証された実運転時のパラメータの変化状況から、運動装置における監視しようとする一または複数の構成部材および/または構成部材間の連結部および/もしくは摺動部の変化傾向を判定する変化傾向判定部を備えることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の運動装置の状態監視システム。

【請求項 6】

さらに、パラメータ変化検証部において検証された実運転時のパラメータの変化量を、正常運転時のパラメータに基づいて予め設定した閾値と比較して、運動装置における監視しようとする一または複数の構成部材および/または構成部材間の連結部および/もしくは摺動部の異常状態を判定する異常判定部を備えることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の運動装置の状態監視システム。

40

【請求項 7】

運動装置が、電動機、クランクシャフト、コネクティングロッド、およびピストンを備えており、等価モデルが、クランクシャフト、コネクティングロッド、およびピストンの仮想の剛体を備えるものとした請求項 1 または 2 に記載の運動装置の状態監視システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【0001】

本発明は、運動装置の状態監視システムに関する。

本明細書において、運動装置とは、装置の構成部材間において相対的な可動部を備える装置を称し、その代表的なものとして、往復運動式圧縮機等の往復運動機構を含む運動装置が挙げられる。

【背景技術】

【0002】

化学プラントや機械部品製造工場、食品製造工場等においては、空気その他のガスを圧縮するのに往復運動式圧縮機が多く用いられている。

この種の往復運動装置では、運転中に予想外の破損が生じ、運転停止に至るなど多大な損害が生じている事例がある。

往復運動式圧縮機で突発的なトラブルが発生した場合、生産活動の停止により数千万円～数億円/日の生産損失が発生し、その件数は国内外で100件程度/年間である。その損傷原因の多くは、往復運動式圧縮機のクロスヘッドやピストンロッドの連結部の緩みやピストンリング、ライダリング、ピストンロッドパッキンといった摺動部の摩耗、基礎部分の剛性低下などが推定される。それらを検知するアプリケーションとして往復運動式圧縮機用の連続監視システムを、GE (Bently) を始め、ドイツのPrognost SYSTEMS、HOERBIGERが提供している。

基本的には3社の機能は同等であり、機械保護と状態監視に特化した設計となっており、シリンダの内圧と振動とクランクアングルを組み合わせることにより、様々な診断が可能となっている(例えば特許文献1参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2012-117522

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、従来の連続監視システムを装備させるには、1千万円/機のコストがかかることや、国内の関連法規による事情から、国内ユーザーで使用されている例はない。海外ユーザーはというと、日本並みの高い保全技術がないことから、それをカバーするために装備されているのが実態である。しかし、現在の往復運動式圧縮機のモニタリング技術はクランク角度で時刻歴応答の衝撃ピーク(最大振幅)を観察し、クランク角度におけるロッドロード(慣性力+ガス圧)或いは、シリンダ圧力と関連付けている手法が一般的であるが、部位の特定や度合いを評価する手法は存在しない。

【0005】

現在、プラントを運転する為に監視技術や運転時計測技術が用いられているが、故障トラブルは減少していない。それは、全ての装置に対して汎用的な同評価が適用されていること、そして、発生メカニズムが解明されていない為に内部の状態を把握できないので基準がなく、適正な評価ができていないと考える。

また、同種類の装置であったとしても、設置環境やメンテナンスの方法などによって、各装置はそれぞれ固有の現象を所持しているため、個別的に評価する技術が必要である。

さらに、往復運動式圧縮機においては、運転中ケーシングに覆われている上に、高速運転を行っているため、往復圧縮機内部に発生している繰返し荷重や、各可動部の加速度変動等の実機を用いた測定および把握は困難である。その為、システムの動特性や各種パラメータ変化に対応した数学モデルを導入した診断技術が必要と考えられる。

【0006】

本発明は、従来の技術が有する上記のような問題点に鑑みてなされたもので、ケーシングの振動を測定するだけで、または監視対象部の振動を測定することにより、数学的な解析から、運動装置の異常とその故障原因を割り出すことができ、しかも大がかりな装置を

10

20

30

40

50

必要としない運動装置の状態監視システムを提供することを目的としている。

【 0 0 0 7 】

すなわち、内部振動を同定する為に、実験モード解析より、内部の位置で発生した状態量を外部ケーシングに影響する振幅や位相の特性を把握するために伝達関数を算出し、入力同定を行う。マルチボディダイナミクス解析による数値シミュレーションからパラメータ診断を行うことで、外部のケーシングを測定することによって、内部状態を把握できる解析モデリング技術を提供するものである。また、併せて監視対象部の振動を測定し、同様な手法による解析モデリング技術を提供する。ここで監視対象部の振動とは、監視しようとする一または複数の構成部材および/または構成部材間の連結部および/もしくは摺動部の特性に起因する振動を指称する。

10

この提案により、往復運動式圧縮機に特化した新たな監視技術および判定基準を作成することによって予知メンテナンスが可能となる。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

(A) パラメータ同定に基づく診断手法

一般的なピストン-クランク軸系のモデル化に於いては、各連結部を剛結合、または集中質量系としていることが挙げられる。この場合、クロスヘッドや支持部の摺動箇所の事象を把握することができない。そこで、本モデルは、往復運動式圧縮機の可動部であるクランクシャフト-コネクティングロッド-クロスヘッド-シリンダーロッド-シリンダ系を弾性ばねまたはばね定数と粘性減衰係数で連結された等価モデルとしてモデル化を行うことにより、事象ごとの発生メカニズムを解明することができると思う。

20

具体的には、外部ケーシングまたは監視対象部から測定した周波数応答データを使用して、往復運動式圧縮機の可動部であるクランクシャフト-コネクティングロッド-クロスヘッド-シリンダーロッド-シリンダ系を弾性ばねまたは弾性ばねとダッシュポットの粘弾性部材で連結された等価モデルを用いて、最小自乗法や滑降シンプレックス法(ダウンヒルシンプレックス法)などを用いた逆問題(パラメータ同定)を解くことで、各連結部のばね定数またはばね定数と粘性減衰係数のパラメータを算出(パラメータ同定)し、そのパラメータの変化から外部測定により内部の状態を推定することが可能である。

また、状態が変化した場合、クランク角度に応じた固有値解析の結果で得られた固有値、そして、周波数解析によって得られた周波数特性が変化する。これらを複合的に評価することで内部の状態を推定することができる。なお、本明細書において、「粘弾性部材」とは、弾性部材のみの場合と、弾性部材とともに粘性部材を含む場合の両者を指称する。

30

【 0 0 0 9 】

(B) 往復運動装置のモデリング

本対象装置の往復運動装置は、電動機、クランクシャフト、コネクティングロッド、クロスヘッド、ピストンロッド、ピストン、ケーシング(シリンダ)から構成されている。

本モデルの対象は、往復運動式圧縮機の可動部であるクランクシャフト、コネクティングロッド、クロスヘッド、ピストンロッド、ピストン、シリンダ系である。

また、往復運動装置では、連結部および摺動部の故障の頻度が高く、また、それらの故障は社会的影響および人身的影響をもたらす。その為、連結部および摺動部の剛性変化が観察(把握)できるモデリングをする必要があるので、各連結部および摺動部を弾性ばねまたは弾性ばねとダッシュポットの粘弾性部材で連結した等価モデルによりモデル化を行い、動的挙動を把握する。

40

往復運動装置の駆動部分を面内並進運動する剛体として扱い、構造上で回転運動が発生する可能性があるコネクティングロッドとピストンロッドおよびピストンに関しては運動方程式で回転運動を考慮する。また、各連結部には運動方向である水平方向と垂直方向に対してそれぞれ独立の弾性ばねを配置する。そして、クロスヘッド摺動部、ピストンロッド中間グランド部、ピストンのライダリングにおいては、各部品が支持されている箇所であるので、上下方向の運動を拘束するばねを設置する。以上の仮定に基づき、多体力学モデルの運動方程式を導出する。

50

【 0 0 1 0 】

モデルの運動方程式に用いられる各連結部および摺動部に用いられているばね定数を求める。例えば、コネクティングロッドやピストンロッドの横方向のばねは等価ばね定数の式、縦方向のバネは梁理論の式、摺動部については、Hertz接触理論など、一般的な物理式を用いて、物理量を算出する。また、実機データと仮想的振動データの逆問題により、ばね定数、粘性減衰係数を未知パラメータとして導出する。

【 0 0 1 1 】

例えば、コネクティングロッド廻りの連結部状態量を監視したい場合は、コネクティングロッド以降は一つの物体と考えてモデリングを行う。また、ピストンロッドの連結部状態量を把握したい場合は、ピストンロッドの中間支持部やピストンの回転などを考慮しない、9自由度系のモデリングを、そして、ピストンロッドの中間支持部やピストンの回転などを考慮した各部状態量を把握したい場合は、11自由度系のモデリングを行うなど、監視したい状態量によって、最適なモデリングを行うことが本診断システムでは可能であり、効率的な診断システムである。

10

【 0 0 1 2 】

モデルの妥当性が判断できたら、往復運動装置の正常時の運転時データを用いて、逆問題によって未知パラメータ（各ばね定数または各ばね定数と各粘性減衰係数）を導出する。これによって、モデリングの完成である。

【 0 0 1 3 】

(C) 往復運動装置のモニタリング (内部振動推定法)

往復運動装置のモデルは内部の連結部や摺動部の状態量を把握できる。しかし、ケーシングで覆われている往復運動装置の内部に発生している繰り返し荷重や各可動部の加速度変動を推定する為に、入力信号と出力信号の関係を数学的に求めることができる伝達関数を用いて、外部ケーシングから計測した情報から内部の各可動部の状態量（加速度、速度、変位、力など）を算出する。外部ケーシングから内部状態量を推定する為に、逆行列や動質量法などに基づく入力同定手法を用いて内部振動を同定する。

20

【 0 0 1 4 】

次に、往復運動装置の運転時に計測（連続モニタリング、スポット計測）を行い、その計測したデータを用いて、モデルの運動方程式とのパラメータ同定を行うことで、各可動部のパラメータを算出し、その得られたパラメータと剛性モデルでのパラメータと比較することで、剛性変化から状態量を把握する。

30

具体的には、内部の連結状態の変化によって、固有振動数が変化することが分かっている。固有振動数が変化しているということは、連結部のばね定数、粘性減衰係数が変化しているということであるので（重量の変化はない）、そのばね定数、粘性減衰係数の変化量から状態量を把握し、傾向管理を行うことができる。

【 0 0 1 5 】

また、現在までに蓄積された故障データから、各可動部の故障・劣化が固有振動特性に影響している例を、異常時の振動パターンとして、メモリに保存しておく。

このように、蓄積された故障データおよびモデルの運動方程式を用いた動的応答解析（数値シミュレーション）でのパラメータ変化による故障時の状態変化を把握することで、各可動部の故障を推定し、異常の有無を判定することができる。また、入力同定によって得られた内部振動での正確な状態量となり、材料物性値から寿命予測を行うことも可能である。

40

【 0 0 1 6 】

(D) 本発明によると、上記課題は、具体的に次のようにして解決される。

(1) 運動装置におけるケーシング内部の監視しようとする一または複数の構成部材および/または構成部材間の連結部および/もしくは摺動部の特性に起因する振動を粘弾性部材の特性に起因する振動に置換し、かつこれらの粘弾性部材の振動が合成されたものと等価な振動の仮想的振動データを出力しうるようにした運動装置の等価モデルからなるシミュレータと、前記シミュレータにおける等価モデルから出力される前記仮想的振動データの

50

波形を、運動装置の正常運転時におけるケーシングの振動測定データの波形に実質的に一致させるようにシミュレータを作動して得られた、前記粘弾性部材のばね定数またはばね定数と粘性減衰係数としてのパラメータを、運動装置の正常運転時のパラメータとして記憶するパラメータ記憶部と、運動装置の実運転時において前記ケーシングの振動を、ケーシングにおける予め選択した任意の一もしくは複数の箇所にて測定するケーシング振動測定部と、前記粘弾性部材のパラメータを変化させて前記シミュレータを作動させることにより、等価モデルより出力される仮想的振動データの波形を、前記の予め選択した任意の一もしくは複数の箇所のケーシング振動測定部で得られた実運転時の振動波形とそれぞれ実質的に一致させて、前記粘弾性部材のパラメータを同定するパラメータ同定部と、このパラメータ同定部で同定された実運転時のパラメータが、前記パラメータ記憶部により記憶されている運動装置の正常運転時におけるパラメータと対比して、どのように変化しているかを検証するパラメータ変化検証部と、を備えることを特徴とする運動装置の状態監視システムとする。

10

【0017】

このような構成によると、ケーシングの振動を測定するだけで、数学的な解析から、運動装置の異常とその故障原因を割り出すことができるとともに、寿命予測による故障の未然防止、装置の信頼性の向上を図ることができる。

また、ケーシングの振動を外部から測定するだけで、内部の状態を推定することができる。

さらに、実測データや高価で大がかりな装置に頼ることなく、物理的および数学的な解析のみにより、故障原因を割り出すことができ、従来の運動装置の状態監視装置より安価に状態監視ができる。

20

【0018】

(2) 運動装置における監視対象部としての一または複数の構成部材および/または構成部材間の連結部および/もしくは摺動部の特性に起因する振動を粘弾性部材の特性に起因する振動に置換し、前記監視対象部のうち、実運転時において振動を測定する予め選択した任意の一もしくは複数の監視対象部の各振動に対応して置換した粘弾性部材の各振動と等価な仮想的振動データ、または予め選択した任意の複数の監視対象部の各振動に対応して置換した粘弾性部材の各振動が合成されたものと等価な振動の仮想的振動データを出力しうるようにした運動装置の等価モデルからなるシミュレータと、前記シミュレータにおける等価モデルから出力される前記仮想的振動データの波形を、運動装置の正常運転時における前記監視対象部のうち、実運転時において振動を測定する予め選択した任意の一もしくは複数の監視対象部の各振動測定データの波形、または予め選択した任意の複数の監視対象部の各振動測定データが合成された波形に実質的に一致させるようにシミュレータを作動して得られた、前記粘弾性部材のばね定数またはばね定数と粘性減衰係数としてのパラメータを、運動装置の正常運転時のパラメータとして記憶するパラメータ記憶部と、運動装置の実運転時において前記監視対象部の振動を測定する監視対象部振動測定部と、前記粘弾性部材のパラメータを変化させて前記シミュレータを作動させることにより、等価モデルより出力される仮想的振動データの波形を、前記監視対象部振動測定部で得られた実運転時の振動波形、またはこれらの振動が合成された波形と実質的に一致させて、前記粘弾性部材のパラメータを同定するパラメータ同定部と、このパラメータ同定部で同定された実運転時のパラメータが、前記パラメータ記憶部により記憶されている運動装置の正常運転時におけるパラメータと対比して、どのように変化しているかを検証するパラメータ変化検証部と、を備えることを特徴とする運動装置の状態監視システムとする。

30

40

【0019】

このような構成にすると、監視対象部の振動を測定して得たデータをもとに、数学的な解析から、運動装置の異常とその故障原因を割り出すことができ、寿命予測による故障の未然防止、装置の信頼性の向上を図ることができる。

【0020】

(3) 上記(1)または(2)項において、粘弾性部材を、弾性ばねとする。

50

このような構成によると、弾性ばねのばね定数をパラメータとして、等価モデルを簡素化することができる。

【0021】

(4) 上記(1)または(2)項において、粘弾性部材を、弾性ばねとダッシュポットとからなるものとする。

このような構成によると、弾性ばねの振動をダッシュポットにより緩和吸収する等価モデルを形成することができ、より精度の高いモニタリングを実現することができる。

【0022】

(5) 上記(1)または(2)項において、さらに、パラメータ変化検証部において検証された実運転時のパラメータの変化状況から、運動装置における監視しようとする一または複数の構成部材および/または構成部材間の連結部および/もしくは摺動部の変化傾向を判定する変化傾向判定部を備えるものとする。

10

【0023】

このような構成によると、変化傾向判定部によって、運動装置の内部の一または複数の構成部材および/または構成部材間の連結部および摺動部の変化傾向を知ることができ、その結果から、運動装置の寿命等を、早期に発見することができる。

【0024】

(6) 上記(1)または(2)項において、さらに、パラメータ変化検証部において検証された実運転時のパラメータの変化量を、正常運転時のパラメータに基づいて予め設定した閾値と比較して、運動装置における監視しようとする一または複数の構成部材および/または構成部材間の連結部および/もしくは摺動部の異常状態を判定する異常判定部を備えるものとする。

20

【0025】

このような構成によると、異常判定部により、運動装置の内部の一または複数の構成部材および/または構成部材間の連結部および/もしくは摺動部の異常状態を迅速に知ることができる。

【0026】

(7) 上記(1)または(2)項において、運動装置が、電動機、クランクシャフト、コネクティングロッド、およびピストンを備えており、等価モデルが、クランクシャフト、コネクティングロッド、およびピストンの仮想の剛体を備えるものとする。

30

【0027】

このような構成によると、運動装置に特化した、より具体的な状態監視システムを提供することができる。

【発明の効果】

【0028】

本発明によると、ケーシングの振動を測定するだけで、または監視対象部の振動を測定することにより、数学的な解析から、運動装置の異常とその故障原因を割り出すことができ、しかも大がかりな装置を必要としない運動装置の状態監視システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

40

【0029】

【図1】本発明の状態監視システムの一実施形態と、それによって監視しようとする運動装置の一例の縦断正面形とを示す図である。

【図2】本発明の状態監視システムの一実施形態のブロック図である。

【図3】運動装置の等価モデルの一例を示す図である。

【図4】図3における各弾性ばねのパラメータの正常時の値と、異常時の値との対応の一例を示す図である。

【図5】本発明の状態監視システムにおける運動装置の等価モデル作成時のフローチャートである。

【図6】同じく、運動装置のモニタリング時のフローチャートである。

50

【図7】図2におけるパラメータ同定部～パラメータ変化傾向判定部までの部分の変形例を示すブロック図である。

【図8】粘弾性部材を、弾性ばねとダッシュポットとをもって構成した変形例を示す図である。

【図9】故障事例における実機測定時の補修前後および損傷時の周波数解析結果を示す図である。

【図10】故障事例におけるシミュレーション結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

以下、本発明の運動装置の状態監視システムの一実施形態を、添付図面を参照して説明する。

10

図1に示すように、状態監視しようとする運動装置1は、この例では、化学プラントにおいて、水素を圧縮するのに使用する往復移動式圧縮機としてある。

【0031】

この運動装置1は、クランク部2と、中間接続部3と、ピストン-シリンダ部4とからなり、クランク部2のクランクケース5と、中間接続部3のディスタンスピース6と、ピストン-シリンダ部4のシリンダ7とが一体となって、ケーシング8を形成している。

【0032】

クランク部2は、クランクケース5のほぼ中央に前後方向を向くようにして回転自在に枢支され、かつ前後位置をずらした2箇所の互いに180°の関係をなす偏心部に、2個のクランクピン9a(その一方のみを図示する)を有するクランクシャフト9と、各クランクピン9aに、クランクピンメタル10を介して基部が回転自在に外嵌され、かつ先端部がクランクシャフト9から互いに左右方向外向きに延出する左右1対のコネクティングロッド11と、各コネクティングロッド11の先端部に、前後方向を向くクロスヘッドピン12とクロスヘッドピンメタル13とをもって回転自在に連結され、クランクケース5内を左右方向に摺動するクロスヘッド14とを備えている。

20

【0033】

クランク部2は、クランクシャフト9を中心として、ほぼ左右対称構造をなし、その左右の外側に中間接続部3とピストン-シリンダ部4とがそれぞれ連結されているが、以下の説明では、理解を容易にするため、クランクシャフト9から右方の構造のみについて説明することとする。

30

【0034】

コネクティングロッド11の基部は、2分割した部分をボルト15をもって結合することにより、クランクピン9aに装着されている。

クロスヘッド13の外周には、クロスヘッドシュー16が設けられ、クランクケース5との摺動抵抗を軽減するようにしてある。

【0035】

クランク部2においては、クランクシャフト9を、クランクケース5外に設けた電動機(図示略)により回転させることにより、コネクティングロッド11を介して、クロスヘッド14が左右方向に直線往復運動させられるようになっている。

40

【0036】

クロスヘッド14には、中間接続部3のディスタンスピース6を貫通して、ピストン-シリンダ部4のシリンダ7内に至る左右方向を向くピストンロッド17の左端が接続されている。

【0037】

クランクケース5とディスタンスピース6との境界部におけるピストンロッド17の貫通部には、オイルワイパーリング18が設けられ、ディスタンスピース6の中間部におけるピストンロッド17の貫通部には、中間グランドパッキン19が設けられている。

【0038】

ピストン-シリンダ部4のシリンダ7におけるディスタンスピース6との接続部のピス

50

トンロッド 17 貫通部には、グランドパッキン 20 が設けられている。

また、シリンダ 7 には、多数の冷却材通路 21 が設けられ、その中を通る冷却材により、シリンダ 7 は冷却されるようになっている。

【0039】

シリンダ 7 内に進入したピストンロッド 17 の右端部には、外周面にピストンリング 22 およびライダリング 23 を装着したピストン 24 が接続され、このピストン 24 が、シリンダ 7 の内面に設けたシリンダライナ 25 内を左右方向に往復運動することにより、ガス入口 26 から吸込弁 27 を介して吸入したガスを圧縮して、吐出弁 28 を介してガス出口 29 から吐出させるようになっている。

吸込弁 27 には、吸込弁開放式アンローダ 30 が接続されている。

10

【0040】

以上が状態監視しようとする運動装置 1 の大まかな構造であるが、このような運動装置 1 においては、各部の摺動部分、例えば、クランクケース 5 におけるクランクシャフト 9 の軸受部分、クランクピン 9a とクランクピンメタル 10 との回転部分、クロスヘッドピン 12 とクロスヘッドピンメタル 13 との回転部分、クロスヘッドシュー 16 とクランクケース 5 との摺動部分、オイルワイパーリング 18、中間グランドパッキン 19、およびグランドパッキン 20 とピストンロッド 17 との摺動部分、ピストン 24 の外周面、ピストンリング 22、およびライダリング 23 とシリンダライナ 25 との摺動部分から振動が発生する。

【0041】

20

このような運動装置 1 を、実験モード解析より、内部の位置で発生した状態量を外部ケーシングに影響する振幅や位相の特性を把握するために伝達関数を算出し、入力同定を行い、マルチボディダイナミクス解析による数値シミュレーションからパラメータ診断、そして、固有値、周波数特性の変化を行うことで、外部のケーシングを測定することによって、内部状態を把握できる解析モデリングを行おうとするものである。

【0042】

そのための状態監視システム 31 は、運動装置 1 のケーシング 8 の一部、図示の例では、クランクケース 5 の下部に取付けられ、ケーシング 8 の振動を測定する振動センサ 32 と、この振動センサ 32 の出力を、RS232C 等の出力用インターフェース 33 より送信可能なデータに変換する振動測定ユニット 34 とからなるケーシング振動測定部 35 と、振動測定ユニット 34 の出力用インターフェース 33 とケーブル 36 を介して接続された入力用インターフェース 37 を有し、マルチボディダイナミクス解析アプリケーション、FFT アナライザ、その他の必要なアプリケーションを組み込んだシミュレータとしての機能を有するパソコン(パーソナルコンピュータ) 38 とを備えている。

30

【0043】

パソコン 38 内の機能とケーシング振動測定部 35 とをブロック図で示すと、図 2 のようになる。

図 2 に示すように、状態監視システム 31 は、ケーシング振動測定部 35 とパソコン 38 とからなり、ケーシング振動測定部 35 は、振動センサ 32 と振動測定ユニット 34 とからなっている。

40

【0044】

パソコン 38 は、運動装置 1 におけるケーシング 8 内部の監視しようとする一または複数の構成部材および/または構成部材間の連結部の振動を、弾性ばねの振動に置換し、かつこれらの弾性ばねの振動が合成されたものと等価な振動の仮想的振動データを出力するようにした運動装置 1 の等価モデルからなるシミュレータ 39 と、シミュレータ 39 における等価モデルから出力される仮想的振動データの波形を、運動装置の正常運転時におけるケーシングの振動測定データの波形に実質的に一致させるようにシミュレータ 39 を作動して得られた、弾性ばねのばね定数としてのパラメータを、運動装置 1 の正常運転時のパラメータとして記憶するパラメータ記憶部 40 と、前記弾性ばねのパラメータを変化させてシミュレータ 39 を作動させることにより、等価モデルより出力される仮想的振動

50

データの波形を、ケーシング振動測定部 35 で得られた実運転時の振動波形と実質的に一致させて、弾性ばねのパラメータを同定するパラメータ同定部 41 と、このパラメータ同定部 41 で同定された実運転時のパラメータが、パラメータ記憶部 40 により記憶されている運動装置の正常運転時におけるパラメータと対比して、どのように変化しているかを検証するパラメータ変化検証部 42 とを備えている。

【0045】

また、パソコン 38 は、さらに、パラメータ変化検証部 42 において検証された実運転時のパラメータの変化状況から、運動装置 1 の内部の一または複数の構成部材および/または構成部材間の連結部および摺動部の変化傾向を判定するパラメータ変化傾向判定部 43 と、パラメータ変化検証部 42 において検証された実運転時のパラメータの変化量を、正常運転時のパラメータに基づいて予め設定した閾値と比較して、運動装置 1 の内部の一または複数の構成部材および/または構成部材間の連結部および摺動部の異常状態を判定する異常判定部 44 と、現在までに蓄積された故障データから、各可動部の故障・劣化が固有振動特性に影響している例を、異常時の振動パターンとして保存する故障データメモリ 45 とを備えている。

この故障データメモリ 45 は、等価モデルより出力される仮想的振動データの波形を、ケーシング振動測定部 35 で得られた実運転時の振動波形と実質的に一致させて、弾性ばねのパラメータを同定したときに、複数組のパラメータ同定結果が得られた場合に、過去の異常時の振動パターンと対比して、どの異常時の振動パターンに該当するかを決定するときにも有用である。

【0046】

より具体的には、シミュレータ 39 は、運動装置 1 におけるケーシング 8 内部の監視しようとする一または複数の構成部材および/または構成部材、すなわちクランクシャフト 9、コネクティングロッド 11、クロスヘッド 14、ピストンロッド 17、ピストン 24 を仮想の剛体とし、それらの相互間、およびそれらとケーシング 8 との間を粘弾性部材である弾性ばね S をもって接続したと仮定した、図 3 に示すような運動装置 1 の等価モデルを、パソコン 38 上で作成する。

図 3 において、図 1 における符号と同一の符号は、図 1 におけるのと同じの部材の仮想的剛体を示す。

各弾性ばね S のパラメータの正常時(初期状態)の値と、異常時の値との一例を図 4 に示す。

【0047】

次に、運動装置 1 の等価モデルの作成、すなわちモデリングについて、図 5 のフローチャートに基づいて説明する。

まず、対象装置の選定(S1)として、運動装置 1 を選定し、その可動部であるクランクシャフト 9、コネクティングロッド 11、クロスヘッド 14、ピストンロッド 17、ピストン 24 を仮想の剛体とし、それらの相互間、およびそれらとケーシング 8 との間を弾性ばね S をもって接続したものとする。

【0048】

モデリングにあたっては、回転運動が発生する可能性があるコネクティングロッド 11 とピストンロッド 17 およびピストン 24 に関しては運動方程式で回転運動を考慮する。また、各連結部には運動方向である水平方向と垂直方向に対してそれぞれ独立の弾性ばね S を配置する。

そして、クロスヘッド 14 摺動部、ピストンロッド 17 中間グランド部、ピストン 24 のライダーリングにおいては、各部品が支持されている箇所であるので、上下方向の運動を拘束するばねを設置し、観察箇所、故障箇所を、上記の連結部および摺動部とする(S2)。

以上の仮定に基づき、多体動力学モデルの運動方程式を導出する(S3)。

【0049】

シミュレータ 39 とパラメータ記憶部 40 とパラメータ同定部 41 とにおいては、ケー

シング振動測定部 3 5 により測定したケーシング 8 からの周波数応答データを使用して、運動装置 1 の等価モデルを用いて、最小自乗法や滑降シンプレックス法（ダウンヒルシンプレックス法）などを用いた逆問題（パラメータ同定）を解くことで、各連結部のばね定数のパラメータを算出（パラメータ同定）し、そのパラメータの変化から外部測定により内部の状態を推定する(S4)。

【 0 0 5 0 】

また、等価モデルの運動方程式に用いられる各連結部および摺動部に用いられているばね定数を求める。例えば、コネクティングロッド 1 1 やピストンロッド 1 7 の横方向のばねは等価ばね定数の式、縦方向のバネは梁理論の式、摺動部については、Hertz接触理論など、一般的な物理式を用いて、物理量を算出する。

10

【 0 0 5 1 】

この等価モデルの妥当性を確認する為に、運動方程式に基づいて行った固有値解析結果と運動装置 1 の固有振動数から固有振動特性（装置が持っている特性）を検証する(S5)。

ここで、等価モデル（運動方程式）と運動装置の固有振動特性が一致しない場合は、モデルの再検討を行い、固有振動特性が一致する等価モデルとする。

【 0 0 5 2 】

例えば、コネクティングロッド 1 1 廻りの連結部状態量を監視したい場合は、コネクティングロッド 1 1 以降は一つの物体と考えてモデリングを行う。また、ピストンロッド 1 7 の連結部状態量を把握したい場合は、ピストンロッド 1 7 の中間支持部やピストン 2 4 の回転などを考慮していない、9 自由度系のモデリングを、そして、ピストンロッド 1 7 の中間支持部やピストン 2 4 の回転などを考慮した各部状態量を把握したい場合は、1 1 自由度系のモデリングを行うなど、監視したい状態量によって、最適なモデリングを行う。

20

【 0 0 5 3 】

等価モデルの妥当性が判断できたら、運動装置の正常時の運転時データを用いて、未知パラメータ（各ばね定数）を逆問題によってパラメータ同定（システム同定）によって導出し、それをパラメータ記憶部 4 0 に記憶させておく(S6)。

これによって、モデリングの完成である(S7)。

【 0 0 5 4 】

運動装置 1 のモニタリングは、図 6 のフローチャートに示すように、次のようにして行う。

30

運動装置 1 の等価モデルは内部の連結部や摺動部の状態量を把握できる。しかし、ケーシング 8 で覆われている運動装置 1 の内部に発生している繰り返し荷重や各可動部の加速度変動を推定する為に、入力信号と出力信号の関係を数学的に求めることができる伝達関数を用いて、ケーシング 8 から計測した情報から内部の各可動部の状態量（加速度、速度、変位、力など）を算出する。ケーシング 8 から内部状態量を推定する為に、周波数応答関数測定を行い、算出結果の周波数ごとの係数を導出する(S8)。

【 0 0 5 5 】

運動装置 1 の運転時に計測（連続モニタリング、スポット計測）を行い(S9)、その計測したデータを用いて、上記のように等価モデルの運動方程式とのパラメータ同定を行うことで(S10)、各可動部のパラメータを算出し、その得られたパラメータと等価モデルでのパラメータとを、パラメータ変化検証部 4 2 において、比較することで、剛性変化から状態量を把握する。

40

その具体的なパラメータの同定方法を、式をもって示すと次の通りである。

【数 1】

◎パラメータの同定方法

各運動方程式中で示されているモデルパラメータ k_{xc} , k_{yc} , k_{xch} , k_{ych} , k_{zch} , k_{xpl} , k_{ypl} , k_{zbpl} , k_{zpl} , k_{zcpl} , k_{xp} , k_{yp} , k_{zap} , k_{zbp} を同定する方法について説明する。

運転時に測定される加速度や角加速度時系列データの周波数解析により定められる M 個の特徴的な共振周波数を f_m^{Mea} ($m=1, 2, \dots, M$)として、次の誤差関数を定義する。

$$\begin{aligned} \text{Error}(k_{xc}, k_{yc}, k_{xch}, k_{ych}, k_{zch}, k_{xpl}, k_{ypl}, k_{zbpl}, k_{zpl}, k_{zcpl}, k_{xp}, k_{yp}, k_{zap}, k_{zbp}) \\ = \sum_{m=1}^M \{f_m^{Mea} - f_m^{Sim}\}^2 \end{aligned} \quad 10$$

ここで、 f_m^{Sim} ($m=1, 2, \dots, M$)は、運転時を模擬したシミュレーションから定まる共振周波数である。この誤差関数をモデルパラメータ k_{xc} , k_{yc} , k_{xch} , k_{ych} , k_{zch} , k_{xpl} , k_{ypl} , k_{zbpl} , k_{zpl} , k_{zcpl} , k_{xp} , k_{yp} , k_{zap} , k_{zbp} の関数と見なし、この関数が最少となる k_{xc} , k_{yc} , k_{xch} , k_{ych} , k_{zch} , k_{xpl} , k_{ypl} , k_{zbpl} , k_{zpl} , k_{zcpl} , k_{xp} , k_{yp} , k_{zap} , k_{zbp} を求める。誤差関数は、加速度の測定データ $\ddot{x}_c(t_i)^{Mea}$, $\ddot{y}_c(t_i)^{Mea}$, $\ddot{\phi}(t_i)^{Mea}$, $\ddot{x}_{ch}(t_i)^{Mea}$, $\ddot{y}_{ch}(t_i)^{Mea}$, $\ddot{x}_{pl}(t_i)^{Mea}$, $\ddot{y}_{pl}(t_i)^{Mea}$, $\ddot{\xi}(t_i)^{Mea}$, $\ddot{x}_p(t_i)^{Mea}$, $\ddot{y}_p(t_i)^{Mea}$, $\ddot{\zeta}(t_i)^{Mea}$ ($i=1, 2, \dots, N$)を用いることもできる。例えば、ピストンロッドの加速度、角加速度のみを用いて表現すると、

$$\begin{aligned} \text{Error}(k_{xc}, k_{yc}, k_{xch}, k_{ych}, k_{zch}, k_{xpl}, k_{ypl}, k_{zbpl}, k_{zpl}, k_{zcpl}, k_{xp}, k_{yp}, k_{zap}, k_{zbp}) \\ = \sum_{n=1}^N \left[W_1 \{ \ddot{x}_{pl}(t_i)^{Mea} - \ddot{x}_{pl}(t_i)^{Sim} \}^2 + W_2 \{ \ddot{y}_{pl}(t_i)^{Mea} - \ddot{y}_{pl}(t_i)^{Sim} \}^2 \right. \\ \left. + W_3 \{ \ddot{\xi}(t_i)^{Mea} - \ddot{\xi}(t_i)^{Sim} \}^2 \right] \end{aligned} \quad 20$$

ここで、 W_k ($k=1, 2, 3$)は重みであり、 $\ddot{x}_{pl}(t_i)^{Sim}$, $\ddot{y}_{pl}(t_i)^{Sim}$, $\ddot{\xi}(t_i)^{Sim}$ は、運転時を模擬したシミュレーションにより定まる加速度、角加速度の時系列データである。その他、すべての加速度、角加速度データを使っても良いし、その一部を用いた誤差関数や運動方程式を用いて定式化したものを用いても良い。

これらの誤差関数を最少とする問題は、最適化問題となるので一般的な最適化手法である、最小二乗法、滑降シンプレックス法、遺伝的アルゴリズムなどを用いて解くことができる。

【0056】

具体的には、内部の連結状態の変化によって、固有振動数が変化することが分かっている。固有振動数が変化しているということは、連結部のばね定数が変化していることであるので（重量の変化はない）、そのばね定数の変化量から状態量を把握し、パラメータ変化傾向判定部 43において、傾向管理を行う。

【0057】

また、現在までに蓄積された故障データから、各可動部の故障・劣化が固有振動特性に影響している例を、異常時の振動パターンとして、故障データメモリ 45に保存しておく。

異常判定部 44において、故障データメモリ 45に蓄積された故障データおよび等価モデルの運動方程式を用いた動的応答解析（数値シミュレーション）でのパラメータ変化による故障時の状態変化を把握することで、各可動部の故障を推定し、異常の有無を判定し、異常と判定したときは、例えばブザーや警告灯等の警報装置 46を作動させる(S11)。

【0058】

さらに、運動方程式に基づいて行った固有値解析結果と運動装置 1 の固有振動数から固有振動特性を検証することによって、等価モデルの妥当性を確認することができる(S12)

また、伝達関数から得られた係数を計測データに与えることで、正確な状態量となり、材料物性値から寿命を予測したり、補修計画を立案したりすることができる(S13)。

【 0 0 5 9 】

図 7 は、図 2 におけるパラメータ同定部 4 1 ~ パラメータ変化傾向判定部 4 3 までの部分の変形例を示す。

図 7 に示すように、パラメータ同定部 4 1 およびパラメータ変化検証部 4 2 と並列的に、周波数解析部 4 7 および周波数特性変化検証部 4 8 と、固有値解析部 4 9 および固有値変化検証部 5 0 とを設け、パラメータ変化検証部 4 2 と周波数特性変化検証部 4 8 と固有値変化検証部 5 0 との検証データを、結果記憶部 5 1 に記憶させた後、図 2 におけるパラメータ変化傾向判定部 4 3 を含む変化傾向判定部 5 2 において、それらの変化傾向を判定するようにしてもよい。

【 0 0 6 0 】

また、以上の説明では、粘弾性部材として、弾性ばね S のみを用いたもとしたが、上述のすべての弾性ばね S を、図 8 に示すように、ダッシュポット D と並設し、弾性ばね S とダッシュポット D とによって粘弾性部材を構成するようにしてもよい。

【 0 0 6 1 】

このように、粘弾性部材を、弾性ばね S とダッシュポット D とからなるものとする、弾性ばね S の振動をダッシュポット D により緩和吸収する等価モデルを形成することができ、より精度の高いモニタリングを実現することができる。

【 0 0 6 2 】

次に、具体的な故障事例について説明する。

これは、往復運動装置 1 の運転中の振動値が上昇したことを受けて、想定される損傷時のシミュレーションを実施し、コネクティングロッド 1 1 およびクロスヘッド 1 4 の連結部回りの弾性ばね定数の低下に異常があると判定した事例である。

図 9 は、実機測定時の補修前後のおよび損傷時の周波数解析結果を示す。また、図 1 0 は補修前、および損傷時を想定したシミュレーション結果を示している。補修前の周波数データに対して、損傷時の周波数データが変化することから、モデルパラメータに変化が生じていることが予想され、パラメータ同定を行うことにより、損傷箇所やばね定数の低下の度合いを推定することができる。

【 0 0 6 3 】

このときの故障原因は、実際にはクロスヘッドピン 1 2 の両端に設けたクロスヘッドピンカバー（図示略）のカバーボルト（図示略）からの押えナット（図示略）の脱落によるカバーボルトの緩みであった。

図 8 に示す補修前データから異常発生時データへの変化を説明するモデルパラメータ変化として、コネクティングロッドとクロスヘッド連結部のばね定数、および、クロスヘッド摺動部のばね定数が10分の1程度低下していることから、コネクティングロッド 1 1 およびクロスヘッド 1 4 の連結部の損傷であることが推認された。これらのデータは随時、故障データメモリ 4 5 に保存される。

【 0 0 6 4 】

次に、数学的な解析について説明する。

<モデルの定式化>

図 3 に於いて、クランクシャフト 9 周りの中心 0 は、座標 (0 , 0) に固定する。クランクシャフト 9 の位置 (x 0 , y 0) は、式 (4 . 1) 、 (4 . 2) のように表すことができる。

【 数 2 】

$$x_0 = r \cos \omega t \quad (4.1)$$

10

20

30

40

50

【数 3】

$$y_0 = r \sin \omega t \quad (4.2)$$

【0065】

コネクティングロッド11の運動方程式を式(4.3)、(4.4)、(4.5)に表す。ここで、 m_c 、 l_c はコネクティングロッド11の質量および長さ、 φ をコネクティングロッド11の重心周りの微小回転角度とし、 l_{cg} をコネクティングロッド11の重心位置長さとする。さらに、コネクティングロッド11に作用する慣性モーメントを I_c とする。また k_{xc} 、 k_{yc} をクランクシャフト9とコネクティングロッド11の接合部の弾性ばね S とし、 k_{xch} 、 k_{ych} をコネクティングロッド11とクロスヘッド14の接合部の弾性ばね S とする。式(4.6)、(4.7)は、コネクティングロッド11に作用する力を表している。

10

【数 4】

$$m_c \ddot{x}_c = -k_{xc} \{x_c - l_{cg} \cos \varphi - x_0\} + k_{xch} \left\{ \left(x_{ch} - \frac{l_{ch}}{2} \right) - x_c - (l_c - l_{ch}) \cos \varphi \right\} \quad (4.3)$$

【数 5】

$$m_c \ddot{y}_c = -k_{yc} \{y_c - l_{cg} \sin \varphi - y_0\} + k_{ych} \{y_{ch} - y_c - (l_c - l_{ch}) \sin \varphi\} \quad (4.4)$$

20

【数 6】

$$I_c \ddot{\varphi} = -(l_c - l_{cg}) \sin \varphi \cdot f_{x2} + (l_c - l_{cg}) \cos \varphi \cdot f_{y2} - l_{cg} \sin \varphi \cdot f_{x1} - l_{cg} \cos \varphi \cdot f_{y1} \quad (4.5)$$

【数 7】

$$f_{x1} = k_{xc} \{x_c - l_{cg} \cos \varphi - x_0\} \quad (4.6)$$

30

【数 8】

$$f_{y1} = k_{yc} \{y_c - l_{cg} \sin \varphi - y_0\} \quad (4.7)$$

【0066】

クロスヘッド14の運動方程式を式(4.8)、(4.9)に表す。ここで、 m_{ch} 、 l_{ch} はクロスヘッド14の質量および長さとする。 l_c 、 φ はコネクティングロッド11の長さ及び重心周りの微小回転角度、そして l_{p1} 、 θ はピストンロッド17の長さ及び重心周りの微小回転角度とする。また、 k_{xch} 、 k_{ych} をコネクティングロッド11とクロスヘッド14の接合部の弾性ばね S とし、 k_{xp1} 、 k_{yp1} をクロスヘッド14とピストンロッド17の接合部の弾性ばね S とする。式(4.10)、(4.11)は、コネクティングロッド11に作用する力を表している。クロスヘッド摺動部の上下方向のばね支持を k_{zch} として、式(4.12)に表すようにクロスヘッド14に作用する上下方向の外力を、 f_{z1} とする。

40

【数 9】

$$m_{ch}\ddot{x}_{ch} = -k_{xch}\left\{\left(x_{ch} - \frac{l_{ch}}{2}\right) - x_c - (l_c - l_{ch})\cos\varphi\right\} + k_{xpl}\left\{x_{pl} - \frac{l_{pl}}{2}\cos\xi - \left(x_{ch} + \frac{l_{ch}}{2}\right)\right\} \quad (4.8)$$

【数 10】

$$m_{ch}\ddot{y}_{ch} = -k_{ych}\{y_{ch} - y_c - (l_c - l_{ch})\sin\varphi\} + k_{ypl}\left(y_{pl} - \frac{l_{pl}}{2}\sin\xi - y_{ch}\right) - k_{zch}y_{ch} \quad (4.9) \quad 10$$

【数 11】

$$f_{xz} = k_{xch}\left\{\left(x_{ch} - \frac{l_{ch}}{2}\right) - x_c - (l_c - l_{ch})\cos\varphi\right\} \quad (4.10)$$

【数 12】

$$f_{yz} = k_{ych}\{y_{ch} - y_c - (l_c - l_{ch})\sin\varphi\} \quad (4.11) \quad 20$$

【数 13】

$$f_{z1} = k_{zch}y_{ch} \quad (4.12)$$

【0067】

ピストンロッド17の運動方程式を式(4.13)、(4.14)、(4.15)に表す。ここで、 m_{pl} 、 l_{pl} はピストンロッド17の質量および長さ、 I_{pl} をピストンロッド17の重心周りの微小回転角度とし、ピストンロッド17に作用する慣性モーメントを I_{pl} とする。また k_{xpl} 、 k_{ypl} をクロスヘッド14とピストンロッド17の接合部の弾性ばね S とし、 k_{xp} 、 k_{yp} をピストンロッド17とピストン24の接合部の弾性ばね S とする。式(4.16)、(4.17)は図3に示すように、ピストンロッド17に作用する力を表している。さらに、ピストンロッド17の中間グランド支持部の3点の上下方向の外力に対するばね支持を、 k_{zbp1} 、 k_{zpl} 、 k_{zcp1} として入力している。ピストンロッド17の運動に伴い、ばね支持位置が時刻毎で移動する。そのピストンロッド17にかかる上下方向の外力を f_{z2} 、 f_{z3} 、 f_{z4} として、式(4.18)、(4.19)、(4.20)のように表す。

【数 14】

$$m_{pl}\ddot{x}_{pl} = -k_{xpl}\left\{x_{pl} - \frac{l_{pl}}{2}\cos\xi - \left(x_{ch} + \frac{l_{ch}}{2}\right)\right\} + k_{xp}\left(x_p - \frac{l_p}{2}\cos\zeta - x_{pl} - \frac{l_{pl}}{2}\cos\xi\right) \quad (4.13) \quad 30$$

40

【数 1 5】

$$m_{pl}\ddot{y}_{pl} = -k_{ypl}\left(y_{pl} - \frac{l_{pl}}{2}\sin\xi - y_{ch}\right) + k_{yp}\left(y_p - \frac{l_p}{2}\sin\zeta - y_{pl} - \frac{l_{pl}}{2}\sin\xi\right) - f_{z2} - f_{z3} - f_{z4} \quad (4.14)$$

$$l_{pl}\ddot{\xi} = -\frac{l_{pl}}{2}\sin\xi\left[k_{xpl}\left\{x_{pl} - \frac{l_{pl}}{2}\cos\xi - \left(x_{ch} + \frac{l_{ch}}{2}\right)\right\}\right] + \frac{l_{pl}}{2}\cos\xi\left\{k_{ypl}\left(y_{pl} - \frac{l_{pl}}{2}\sin\xi - y_{ch}\right)\right\} - \frac{l_{pl}}{2}\sin\xi\left\{k_{xp}\left(x_p - \frac{l_p}{2}\cos\zeta - x_{pl} - \frac{l_{pl}}{2}\cos\xi\right)\right\} + \frac{l_{pl}}{2}\cos\xi\left\{k_{yp}\left(y_p - \frac{l_p}{2}\sin\zeta - y_{pl} - \frac{l_{pl}}{2}\sin\xi\right)\right\} + (x_{pl} - x_{zbp\ t=0})\cos\xi \cdot f_{z2} + (x_{pl} - x_{zpl\ t=0})\cos\xi \cdot f_{z3} + (x_{pl} - x_{zcp\ t=0})\cos\xi \cdot f_{z4} \quad (4.15)$$

10

【数 1 6】

20

$$f_{x3} = k_{xpl}\left\{x_{pl} - \frac{l_{pl}}{2}\cos\xi - \left(x_{ch} + \frac{l_{ch}}{2}\right)\right\} \quad (4.16)$$

【数 1 7】

$$f_{y3} = k_{ypl}\left(y_{pl} - \frac{l_{pl}}{2}\sin\xi - y_{ch}\right) \quad (4.17)$$

30

【数 1 8】

$$f_{z2} = k_{zbp\ t=0}\{y_{pl} - (x_{pl} - x_{zbp\ t=0})\sin\xi\} \quad (4.18)$$

【数 1 9】

$$f_{z3} = k_{zpl}\{y_{pl} - (x_{pl} - x_{zpl\ t=0})\sin\xi\} \quad (4.19)$$

40

【数 2 0】

$$f_{z4} = k_{zcp\ t=0}\{y_{pl} - (x_{pl} - x_{zcp\ t=0})\sin\xi\} \quad (4.20)$$

【0 0 6 8】

ピストン 2 4 の運動方程式を式 (4.21)、(4.22)、(4.23) に表す。ここで、 m_p 、 l_p はピストン 2 4 の質量および長さ、 ξ をピストン 2 4 の重心周りの微小回転角度とし、ピストン 2 4 に作用する慣性モーメントを l_p とする。また k_{xp} 、 k_{yp} をピストン

50

ロッド17とピストン24の接合部の弾性ばねSとする。式(4.24)、(4.25)は、図3に示すように、ピストン24に作用する力を表している。さらに、ピストン24の支持点であるライダーリングの摺動部の2点の上下方向の外力に対するばね支持を k_{zbp} 、 k_{zcp} として入力している。ピストン24の運動に伴い、ばね支持位置が時刻毎で移動する。そのピストン24にかかる上下方向の外力を f_{z5} 、 f_{z6} として、式(4.26)、(4.27)のように表す。

【数21】

$$m_p \ddot{x}_p = -k_{xp} \left(x_p - \frac{l_p}{2} \cos \zeta - x_{pl} - \frac{l_{pl}}{2} \cos \xi \right) \quad (4.21) \quad 10$$

【数22】

$$m_{pl} \ddot{y}_{pl} = -k_{yp} \left(y_p - \frac{l_p}{2} \sin \zeta - y_{pl} - \frac{l_{pl}}{2} \sin \xi \right) - f_{z5} - f_{z6} \quad (4.22)$$

【数23】

$$\begin{aligned} l_{pl} \ddot{\xi} = & -\frac{l_p}{2} \sin \zeta \left\{ k_{xp} \left(x_p - \frac{l_p}{2} \cos \zeta - x_{pl} - \frac{l_{pl}}{2} \cos \xi \right) \right\} \quad (4.23) \quad 20 \\ & + \frac{l_p}{2} \cos \xi \left\{ k_{yp} \left(y_p - \frac{l_p}{2} \sin \zeta - y_{pl} - \frac{l_{pl}}{2} \sin \xi \right) \right\} \\ & + (x_p - x_{zbp \ t=0}) \cos \zeta \cdot f_{z5} + (x_{zcp \ t=0} - x_p) \cos \zeta \cdot f_{z6} \end{aligned}$$

【数24】

$$f_{x4} = k_{xp} \left(x_p - \frac{l_p}{2} \cos \zeta - x_{pl} - \frac{l_{pl}}{2} \cos \xi \right) \quad (4.24) \quad 30$$

【数25】

$$f_{y4} = k_{yp} \left(y_p - \frac{l_p}{2} \sin \zeta - y_{pl} - \frac{l_{pl}}{2} \sin \xi \right) \quad (4.25)$$

【数26】

$$f_{z5} = k_{zbp} \{ y_{pl} - (x_p - x_{zbp \ t=0}) \sin \zeta \} \quad (4.26) \quad 40$$

【数27】

$$f_{z6} = k_{zcp} \{ y_{pl} + (x_{zcp \ t=0} - x_p) \sin \zeta \} \quad (4.27)$$

【0069】

< ルンゲクッタ法による応答計算 >

往復動式圧縮機の回転入力周波数 f を8 [Hz]として、各パーツの重心位置の加速度応答を求める。角振動数は f (周波数)と T (振周期)と(角振動数)の関係から次式で与

えられる。

【数 2 8】

$$\omega = 2\pi f \text{ [rad/sec]}$$

【 0 0 7 0】

これが単位時間当たりの入力となる。往復動圧縮機のクランクシャフト 9 に起因する入力振幅の大きさを x_0 、 y_0 として、クランクシャフト 9 の半径を r [m] とすると、式 (4.1)、(4.2) で与えられる。上記応答計算は、数値積分を用いた応答計算法であれば、

10

制限されず、他にも、オイラー法など公知の手法を採用することもできる。

【 0 0 7 1】

< 運転時の内部振動入力同定法 >

運転時の内部振動である振動源から外部振動である応答 (計測点) までの寄与を解析する技術として、伝達経路解析 (Transfer Path Analysis, 以下 TPA) がある。その TPA に於ける伝達関数は運転時に計測することは不可能に近く、このように直接計測ができない場合に運転時の振動源を逆問題として入力同定する必要がある。入力同定手法として、広く用いられているのが逆行列法と動バネ法である。例えば、逆行列法を用いる場合について説明すれば、以下ようになる。即ち、逆行列法を用いた TPA を行うことで、加振試験から推定されるアクセランスと運転時に計測して得られる加速度値 (応答値) に基づいて

20

入力同定を行う。逆行列法による入力同定を行う時は、H1 推定章による周波数応答関数 (Frequency Response Function, 以下 FRF) を用いる。

【 0 0 7 2】

< 逆行列法 >

伝達関数逆行列法は、複雑なモデル (機構) の場合、同定精度を向上する為に応答点を増やし疑似逆行列を用いた計算を行う必要がある。まず、入力同定を行う前段階として、アクセランス (Accelerance) を求める必要がある。提案する診断システムは、外部振動 (応答) から内部振動 (入力) を同定し、その推定された入力値を用いて数学モデルによるパラメータ解析を行う。計測の利便性を考えると、計測点はシリンダーに対して 1 点が理想である為、外部振動である応答点を基準に各部位の入出力 2 点間の FRF を推定する必要がある。また、加振点は F1 ~ F5 の 5 点とした場合の複数個の入力信号と出力信号の組合せによって FRF を推定した。以下に、FRF 推定の導出及び入力同定の導出について述べる。

30

【 0 0 7 3】

クランク ピストン機構の 2 点間における入出力の周波数領域における関係は、FRF 行列を $[H_{n, n}]$ 、入力 FRF 行列を $[X_{n, m}]$ 、出力 FRF 行列を $[Y_{n, m}]$ とすると以下のように表わされる。

【数 2 9】

$$[Y] = [H][X] \quad (7.1)$$

40

【 0 0 7 4】

ここで、一般化逆行列を用いて、 $[H]$ を導出すると以下のように表わされる。

【数 3 0】

$$[H] = [Y]([X]^T)[X][X]^T)^{-1} \quad (7.2)$$

【 0 0 7 5】

また、入力同定を行う場合、導出した伝達関数 $H_{n, n}$ 、 n 、運転時の内部振動を入力信号

50

$X_{n,m}$ 、外部振動を出力信号 $Y_{n,m}$ との間には以下の関係が成り立つ。この入力同定によって内部振動を推定することができる。

【数 3 1】

$$\begin{bmatrix} X_{1,1} & \cdots & X_{1,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n,1} & \cdots & X_{n,m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{1,1} & \cdots & H_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{n,1} & \cdots & H_{n,n} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y_{1,1} & \cdots & Y_{1,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n,1} & \cdots & Y_{n,m} \end{bmatrix} \quad (7.3)$$

【0076】

< 小型実験機を用いたFRFの推定 >

小型実験装置を用いてFRFの推定を行う。外部振動の計測点を基準として、構築した数学モデルに対応する部品毎に外部（ケーシング）と内部（部品毎）の入出力2点間とし、加振点については、クランク垂直方向（F1）、クランク軸方向（F2）、ピストンロッド垂直方向（F3）、ピストンロッド水平方向（F4）、ピストン軸方向（F5）のF1～F5の5点とした場合のFRFを推定する。

上記F1～F5の5点の加振点を、図1に示してある。

以下に、上記の条件によるFRF行列[H]の導出過程を示す。なお、ここでは、ピストンロッド（内部入力）-ケーシング（外部出力）に加速度センサーを設置した条件での結果を示す。

【0077】

ケーシングを出力信号 $Z_k(1)$ 、ピストンロッドを入力信号 $Z_k(2)$ として、加振点F1～F5を式(7.1)に代入すると、以下のように表わされる。 $k = x, y, z$ （加速度センサー方向）

【数 3 2】

$$[Y] = [H][X]$$

$$\begin{bmatrix} \frac{Z_x(1)}{F_1} & \frac{Z_x(1)}{F_2} & \frac{Z_x(1)}{F_3} & \frac{Z_x(1)}{F_4} & \frac{Z_x(1)}{F_5} \\ \frac{Z_y(1)}{F_1} & \frac{Z_y(1)}{F_2} & \frac{Z_y(1)}{F_3} & \frac{Z_y(1)}{F_4} & \frac{Z_y(1)}{F_5} \\ \frac{Z_z(1)}{F_1} & \frac{Z_z(1)}{F_2} & \frac{Z_z(1)}{F_3} & \frac{Z_z(1)}{F_4} & \frac{Z_z(1)}{F_5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Z_{xx}(2)}{F_1} & \frac{Z_{xx}(2)}{F_2} & \frac{Z_{xx}(2)}{F_3} & \frac{Z_{xx}(2)}{F_4} & \frac{Z_{xx}(2)}{F_5} \\ \frac{Z_{xy}(2)}{F_1} & \frac{Z_{xy}(2)}{F_2} & \frac{Z_{xy}(2)}{F_3} & \frac{Z_{xy}(2)}{F_4} & \frac{Z_{xy}(2)}{F_5} \\ \frac{Z_{yx}(2)}{F_1} & \frac{Z_{yx}(2)}{F_2} & \frac{Z_{yx}(2)}{F_3} & \frac{Z_{yx}(2)}{F_4} & \frac{Z_{yx}(2)}{F_5} \\ \frac{Z_{zx}(2)}{F_1} & \frac{Z_{zx}(2)}{F_2} & \frac{Z_{zx}(2)}{F_3} & \frac{Z_{zx}(2)}{F_4} & \frac{Z_{zx}(2)}{F_5} \\ \frac{Z_{zy}(2)}{F_1} & \frac{Z_{zy}(2)}{F_2} & \frac{Z_{zy}(2)}{F_3} & \frac{Z_{zy}(2)}{F_4} & \frac{Z_{zy}(2)}{F_5} \\ \frac{Z_{zz}(2)}{F_1} & \frac{Z_{zz}(2)}{F_2} & \frac{Z_{zz}(2)}{F_3} & \frac{Z_{zz}(2)}{F_4} & \frac{Z_{zz}(2)}{F_5} \end{bmatrix}$$

【0078】

式(7.4)を式(7.2)のように一般化逆行列を行うと以下のように表わされる。

【数 3 3】

$$[H] = [Y]([X]^T)[X][X]^T)^{-1}$$

【0079】

$[Y]([X]^T)$ は、以下となり、

10

20

30

40

【数 3 4】

$$[Y]([X]^T) = \begin{bmatrix} O & P & Q \\ R & S & T \\ U & V & W \end{bmatrix}$$

$$O = \frac{\langle \{Z_x(1)Z_x(2)F_2^2 + Z_x(1)Z_x(2)F_1^2\}F_3^2 + Z_x(1)Z_x(2)F_1^2F_2^2F_4^2 + Z_x(1)Z_x(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_5^2 + Z_x(1)Z_x(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2 \rangle}{F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2F_5^2}$$

$$P = \frac{\langle \{Z_x(1)Z_y(2)F_2^2 + Z_x(1)Z_y(2)F_1^2\}F_3^2 + Z_x(1)Z_y(2)F_1^2F_2^2F_4^2 + Z_x(1)Z_y(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_5^2 + Z_x(1)Z_y(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2 \rangle}{F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2F_5^2}$$

10

$$Q = \frac{\langle \{Z_x(1)Z_z(2)F_2^2 + Z_x(1)Z_z(2)F_1^2\}F_3^2 + Z_x(1)Z_z(2)F_1^2F_2^2F_4^2 + Z_x(1)Z_z(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_5^2 + Z_x(1)Z_z(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2 \rangle}{F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2F_5^2}$$

$$R = \frac{\langle \{Z_y(1)Z_x(2)F_2^2 + Z_y(1)Z_x(2)F_1^2\}F_3^2 + Z_y(1)Z_x(2)F_1^2F_2^2F_4^2 + Z_y(1)Z_x(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_5^2 + Z_y(1)Z_x(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2 \rangle}{F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2F_5^2}$$

$$S = \frac{\langle \{Z_y(1)Z_y(2)F_2^2 + Z_y(1)Z_y(2)F_1^2\}F_3^2 + Z_y(1)Z_y(2)F_1^2F_2^2F_4^2 + Z_y(1)Z_y(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_5^2 + Z_y(1)Z_y(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2 \rangle}{F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2F_5^2}$$

$$T = \frac{\langle \{Z_y(1)Z_z(2)F_2^2 + Z_y(1)Z_z(2)F_1^2\}F_3^2 + Z_y(1)Z_z(2)F_1^2F_2^2F_4^2 + Z_y(1)Z_z(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_5^2 + Z_y(1)Z_z(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2 \rangle}{F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2F_5^2}$$

20

$$U = \frac{\langle \{Z_z(1)Z_x(2)F_2^2 + Z_z(1)Z_x(2)F_1^2\}F_3^2 + Z_z(1)Z_x(2)F_1^2F_2^2F_4^2 + Z_z(1)Z_x(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_5^2 + Z_z(1)Z_x(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2 \rangle}{F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2F_5^2}$$

$$V = \frac{\langle \{Z_z(1)Z_y(2)F_2^2 + Z_z(1)Z_y(2)F_1^2\}F_3^2 + Z_z(1)Z_y(2)F_1^2F_2^2F_4^2 + Z_z(1)Z_y(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_5^2 + Z_z(1)Z_y(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2 \rangle}{F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2F_5^2}$$

$$W = \frac{\langle \{Z_z(1)Z_z(2)F_2^2 + Z_z(1)Z_z(2)F_1^2\}F_3^2 + Z_z(1)Z_z(2)F_1^2F_2^2F_4^2 + Z_z(1)Z_z(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_5^2 + Z_z(1)Z_z(2)F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2 \rangle}{F_1^2F_2^2F_3^2F_4^2F_5^2}$$

【0080】

[X]([X]^T) - 1 は、以下となるので、

30

【数 3 5】

$$\begin{aligned}
 ([X][X]^T)^{-1} &= \begin{bmatrix} \frac{EI - FH}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \\ \frac{FG - DI}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \\ \frac{DH - EG}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \end{bmatrix} \\
 &\left[\begin{array}{cc} \frac{CH - BI}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} & \frac{BF - CE}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \\ \frac{AI - CG}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} & \frac{CD - AF}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \\ \frac{BG - AH}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} & \frac{AE - BD}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \end{array} \right] \quad 10
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{[(Z_x(2)^2 F_2^2 + Z_x(2)^2 F_1^2) F_3^2 + Z_x(2)^2 F_1^2 F_2^2] F_4^2 + Z_x(2)^2 F_1^2 F_2^2 F_3^2] F_5^2 + Z_x(2)^2 F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2}{F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2 F_5^2} \\
 B &= \frac{[(Z_x(2) Z_y(2) F_2^2 + Z_x(2) Z_y(2) F_1^2) F_3^2 + Z_x(2) Z_y(2) F_1^2 F_2^2] F_4^2 + Z_x(2) Z_y(2) F_1^2 F_2^2 F_3^2] F_5^2 + Z_x(2) Z_y(2) F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2}{F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2 F_5^2} \quad 20 \\
 C &= \frac{[(Z_x(2) Z_x(2) F_2^2 + Z_x(2) Z_x(2) F_1^2) F_3^2 + Z_x(2) Z_x(2) F_1^2 F_2^2] F_4^2 + Z_x(2) Z_x(2) F_1^2 F_2^2 F_3^2] F_5^2 + Z_x(2) Z_x(2) F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2}{F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2 F_5^2} \\
 D &= \frac{[(Z_x(2) Z_y(2) F_2^2 + Z_x(2) Z_y(2) F_1^2) F_3^2 + Z_x(2) Z_y(2) F_1^2 F_2^2] F_4^2 + Z_x(2) Z_y(2) F_1^2 F_2^2 F_3^2] F_5^2 + Z_x(2) Z_y(2) F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2}{F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2 F_5^2} \\
 E &= \frac{[(Z_y(2)^2 F_2^2 + Z_y(2)^2 F_1^2) F_3^2 + Z_y(2)^2 F_1^2 F_2^2] F_4^2 + Z_y(2)^2 F_1^2 F_2^2 F_3^2] F_5^2 + Z_y(2)^2 F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2}{F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2 F_5^2} \\
 F &= \frac{[(Z_y(2) Z_x(2) F_2^2 + Z_y(2) Z_x(2) F_1^2) F_3^2 + Z_y(2) Z_x(2) F_1^2 F_2^2] F_4^2 + Z_y(2) Z_x(2) F_1^2 F_2^2 F_3^2] F_5^2 + Z_y(2) Z_x(2) F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2}{F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2 F_5^2} \\
 G &= \frac{[(Z_x(2) Z_x(2) F_2^2 + Z_x(2) Z_x(2) F_1^2) F_3^2 + Z_x(2) Z_x(2) F_1^2 F_2^2] F_4^2 + Z_x(2) Z_x(2) F_1^2 F_2^2 F_3^2] F_5^2 + Z_x(2) Z_x(2) F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2}{F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2 F_5^2} \quad 30 \\
 H &= \frac{[(Z_y(2) Z_x(2) F_2^2 + Z_y(2) Z_x(2) F_1^2) F_3^2 + Z_y(2) Z_x(2) F_1^2 F_2^2] F_4^2 + Z_y(2) Z_x(2) F_1^2 F_2^2 F_3^2] F_5^2 + Z_y(2) Z_x(2) F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2}{F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2 F_5^2} \\
 I &= \frac{[(Z_x(2)^2 F_2^2 + Z_x(2)^2 F_1^2) F_3^2 + Z_x(2)^2 F_1^2 F_2^2] F_4^2 + Z_x(2)^2 F_1^2 F_2^2 F_3^2] F_5^2 + Z_x(2)^2 F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2}{F_1^2 F_2^2 F_3^2 F_4^2 F_5^2}
 \end{aligned}$$

【 0 0 8 1 】

上記より、

【数 3 6】

$$\begin{bmatrix} \frac{Z_{xx}}{FF} & \frac{Z_{xy}}{FF} & \frac{Z_{xz}}{FF} \\ \frac{Z_{yx}}{FF} & \frac{Z_{yy}}{FF} & \frac{Z_{yz}}{FF} \\ \frac{Z_{zx}}{FF} & \frac{Z_{zy}}{FF} & \frac{Z_{zz}}{FF} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O & P & Q \\ R & S & T \\ U & V & W \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{EI - FH}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \\ \frac{FG - DI}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \\ \frac{DH - EG}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \\ \frac{CH - BI}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \\ \frac{BF - CE}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \\ \frac{AI - CG}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \\ \frac{CD - AF}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \\ \frac{BG - AH}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \\ \frac{AE - BD}{A(EI - FH) + B(FG - DI) + C(DH - EG)} \end{bmatrix}$$

10

20

【0082】

本発明は、上記実施形態のみに限定されるものではなく、特許請求の範囲を逸脱することなく、次のような変形した態様での実施が可能である。

(1) 振動センサ32を、クランクケース5の下部以外の、例えばディスタンスピース6またはシリンダ7等のケーシング8の一部だけでなく、クランクシャフト9、コネクティングロッド11、ピストンロッド17等の構成部材自体に取付ける。

(2) 図3におけるクロスヘッド14およびピストンロッド17を省略し、コネクティングロッド11を直接ピストン24に接続した等価モデルを作成する。

このような等価モデルは、例えば自動車のエンジン等の状態監視に使用することができる。

30

(3) ケーシングまたは監視対象部から得られる信号を、振動波形だけでなく、超音波、音響、歪み、等を示す各種の電気信号とする。

【産業上の利用可能性】

【0083】

本発明は、往復移動式圧縮機等の往復運動装置の状態監視システムだけでなく、ケーシングを備えるその他のあらゆる運動装置の状態監視システムに適用することができる。また、ケーシングを備えない運動装置の状態監視システムにも適用することができる。

例えば、自動車のエンジン等のように、大量生産するものであって、品質がほぼ一定しているものに関しては、1個の製品に関する等価モデルを、他の製品に関してもそのまま、または個体差に基づく若干の修整を加えた上で使用することができる。

40

また、システムを使用開始から設置して、データを連続的に取得することによって、ある期間までの、または期間を限定したデータを基準データ(初期値)として記憶させることにより、異常検出が可能となる。すなわち、基準データとの比較により、監視対象部のどこに異常があるかを検出することができる。

【符号の説明】

【0084】

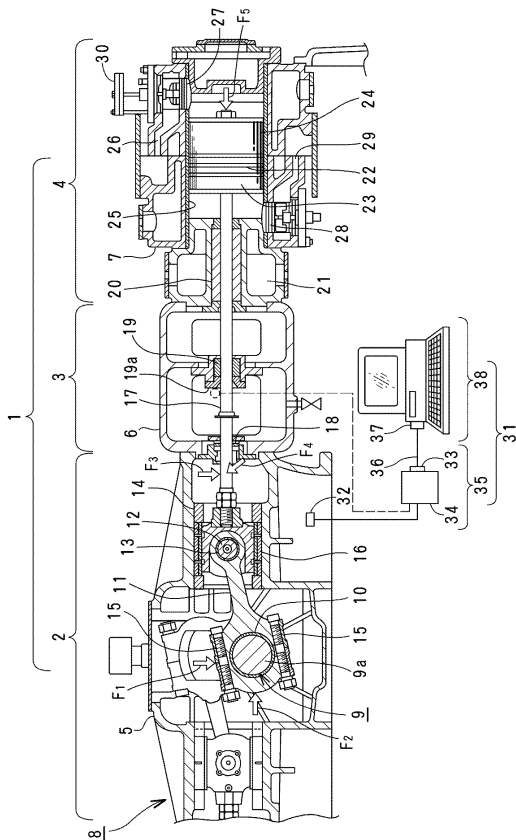
- 1 運動装置
- 2 クランク部
- 3 中間接続部

50

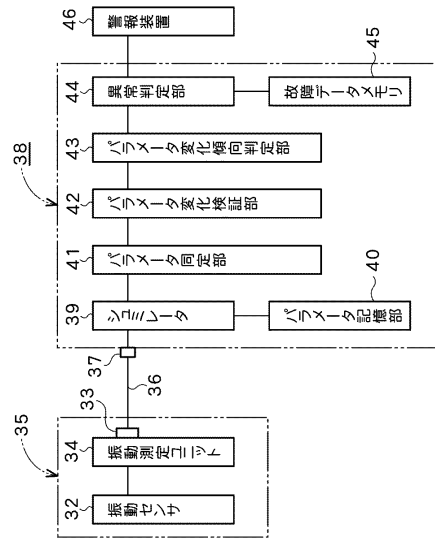
4	ピストン - シリンダ部	
5	クランクケース	
6	ディスタンスピース	
7	シリンダ	
8	ケーシング	
9	クランクシャフト	
9 a	クランクピン	
10	クランクピンメタル	
11	コネクティングロッド	
12	クロスヘッドピン	10
13	クロスヘッドピンメタル	
14	クロスヘッド	
15	ボルト	
16	クロスヘッドシュー	
17	ピストンロッド	
18	オイルワイパーリング	
19	中間グランドパッキン	
19 a	押えねじ	
20	グランドパッキン	
21	冷却材通路	20
22	ピストンリング	
23	ライダーリング	
24	ピストン	
25	シリンダライナ	
26	ガス入口	
27	吸込弁	
28	吐出弁	
29	ガス出口	
30	吸込弁開放式アンローダ	
31	状態監視システム	30
32	振動センサ	
33	出力用インターフェース	
34	振動測定ユニット	
35	ケーシング振動測定部	
36	ケーブル	
37	入力用インターフェース	
38	パソコン	
39	シミュレータ	
40	パラメータ記憶部	
41	パラメータ同定部	40
42	パラメータ変化検証部	
43	パラメータ変化傾向判定部	
44	異常判定部	
45	故障データメモリ	
46	警報装置	
47	周波数解析部	
48	周波数特性変化検証部	
49	固有値解析部	
50	固有値変化検証部	
51	結果記憶部	50

- 5 2 変化傾向判定部
- D ダッシュポット(粘弾性部材)
- S 弾性ばね(粘弾性部材)

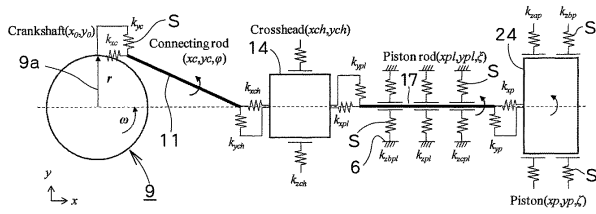
【図1】



【図2】

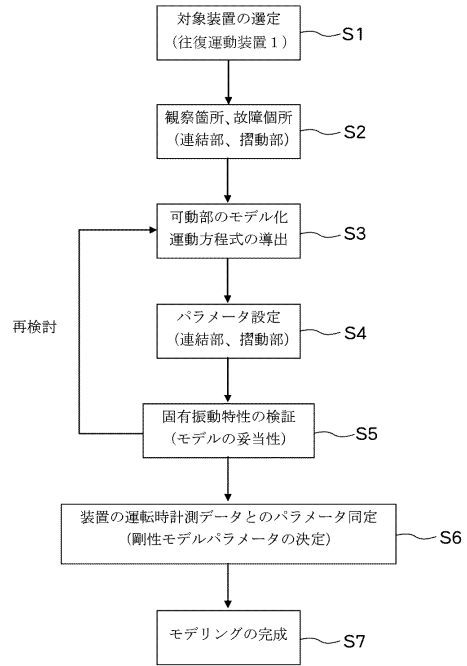


【図3】



【図5】

モデリングフロー



【図4】

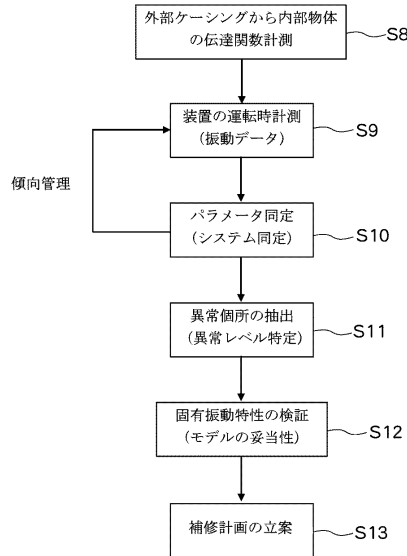
Simulation 結果
モデルパラメータ (変更前後)

Spring	正常値 [N/m]	異常時 [N/m]
k_{xc}	1.82×10^9	1.82×10^9
k_{yc}	2.40×10^8	2.40×10^8
k_{xch}	1.82×10^9	1.50×10^8
k_{ych}	2.11×10^8	2.00×10^7
k_{xpl}	4.26×10^8	4.26×10^8
k_{ypl}	2.49×10^6	2.49×10^6
k_{xp}	4.26×10^8	4.26×10^8
k_{yp}	2.49×10^6	2.49×10^6
k_{xch}	3.25×10^8	3.10×10^7
k_{ypl}	2.88×10^7	2.88×10^7
k_{xpl}	2.88×10^7	2.88×10^7
k_{ypl}	2.88×10^7	2.88×10^7
k_{xsp}	5.39×10^7	5.39×10^7
k_{ypl}	5.39×10^7	5.39×10^7

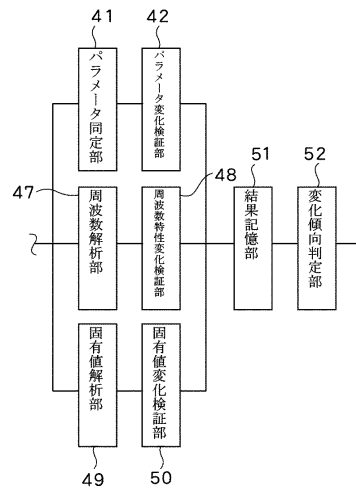
時間波形前後

【図6】

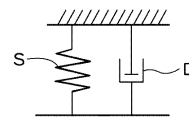
モニタリングフロー



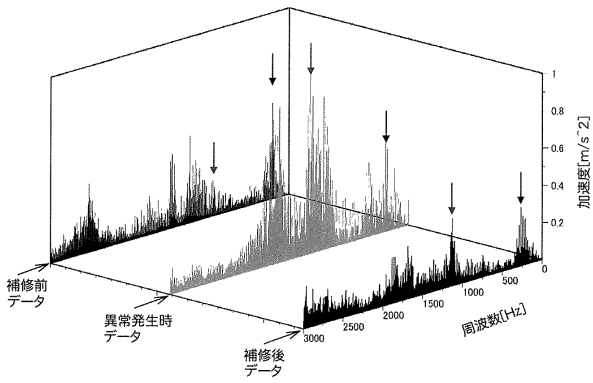
【図7】



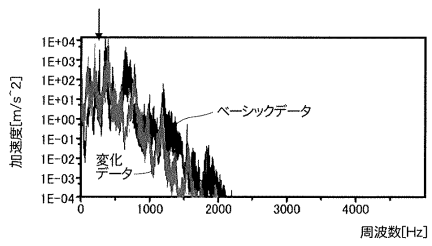
【図8】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

(74)代理人 100087893

弁理士 中馬 典嗣

(72)発明者 森 圭史

山口県周南市御影町1 - 1 株式会社トクヤマ徳山製造所内

(72)発明者 齊藤 俊

山口県宇部市常盤台2 - 16 - 1 国立大学法人山口大学工学部内

審査官 小野 郁磨

(56)参考文献 特開2002 - 372452 (JP, A)

特開2011 - 75556 (JP, A)

特開2012 - 117522 (JP, A)

国際公開第2011 / 121726 (WO, A1)

特開平7 - 128134 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01H 17 / 00

F04B 49 / 10

G01M 99 / 00