

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-185021

(P2015-185021A)

(43) 公開日 平成27年10月22日(2015.10.22)

(51) Int.Cl.

G 05 B 23/02

(2006.01)

F 1

G 05 B 23/02

テーマコード(参考)

T

3 C 2 2 3

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2014-62396 (P2014-62396)	(71) 出願人	501387839 株式会社日立ハイテクノロジーズ 東京都港区西新橋一丁目24番14号
(22) 出願日	平成26年3月25日 (2014.3.25)	(74) 代理人	110000350 ポレール特許業務法人
		(72) 発明者	高島 還一 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
		(72) 発明者	川口 洋平 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
		(72) 発明者	戸上 真人 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
		F ターム(参考)	3C223 AA18 BA03 CC02 DD03 EB02 FF22 FF31 GG01 HH03

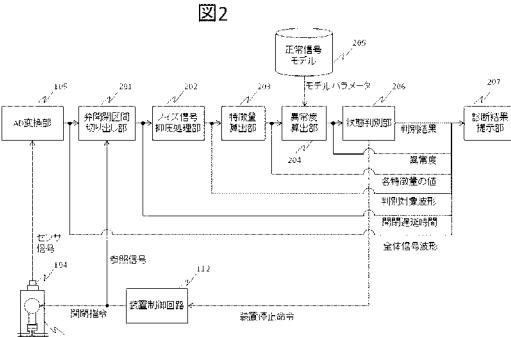
(54) 【発明の名称】弁状態診断システム

## (57) 【要約】

【課題】ノイズの影響に対して頑健に弁の状態を監視・診断するシステムを課題とする。

【解決手段】弁状態診断システムは、弁の動作情報を読み取るセンサ104を有し、開閉指令に対応する参照信号を用いて弁開閉区間切り出し部210で弁閉塞時の信号を切り出し、特徴量算出部203で、信号の時間変化形状を表わす特徴量を算出し、正常信号モデル205のモデルパラメータと特徴量を用いて、異常度算出部204で異常度を算出し、この異常度を用いて状態判別部206が弁の状態判別を行い、弁の完全停止状態、突発的な開閉不良状態、経年劣化による開閉不良状態、経年劣化による交換時期推奨状態等の診断結果提示部207に提示する。

【選択図】図2



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

弁状態診断システムであって、

弁の動作情報を読み取るセンサと、

前記センサからの出力信号の時間変化形状を表わす特徴量、或いは前記センサからの出力信号の周波数スペクトルにおける、エネルギーの特定周波数帯域への集中度合いに基づく特徴量を算出する特徴量算出部と、

前記時間変化形状を表わす特徴量、或いは前記エネルギーの特定周波数帯域への集中度合いに基づく特徴量から異常度を算出し、前記異常度に基づき、前記弁の状態判別を行う状態判別部と、を備える、

ことを特徴とする弁状態診断システム。

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載の弁状態診断システムであって、

前記弁の弁開閉指令信号に基づき、開閉区間を切り出す弁開閉区間切り出し部を、更に備える、

ことを特徴とする弁状態診断システム。

**【請求項 3】**

請求項 2 に記載の弁状態診断システムであって、

前記弁開閉区間切り出し部は、前記センサからの出力信号のピーク検出を行い、前記弁開閉指令信号による弁開閉時刻と、前記ピーク検出の時刻との差を開閉遅延時間として算出し、前記出力信号の切り出し区間の補正を行う、

ことを特徴とする、弁状態診断システム。

**【請求項 4】**

請求項 1 に記載の弁状態診断システムであって、

前記特徴量算出部は、

前記センサからの出力信号の前記時間変化形状を表わす特徴量を、分析区間内における前記出力信号の振幅値のピーク値、最大値と最小値の差、前記振幅値の分散、前記出力信号の振幅値の尖度、或いは前記出力信号の振幅値に対する半値幅を用いて算出する、

ことを特徴とする弁状態診断システム。

**【請求項 5】**

請求項 1 に記載の弁状態診断システムであって、

前記特徴量算出部は、

前記エネルギーの特定周波数帯域への集中度合いに基づく特徴量を、前記周波数スペクトルのノルム、或いは前記周波数スペクトル全体のエネルギーの総和と特定帯域のスペクトルのエネルギーの総和との比を用いて算出する、

ことを特徴とする弁状態診断システム。

**【請求項 6】**

請求項 1 に記載の弁状態診断システムであって、

前記時間変化形状を表わす特徴量、或いは前記エネルギーの特定周波数帯域への集中度合いに基づく特徴量を提示する提示部を更に備える、

ことを特徴とする弁状態診断システム。

**【請求項 7】**

請求項 3 に記載の弁状態診断システムであって、

前記開閉遅延時間を表示する提示部を、更に備える、

ことを特徴とする弁状態診断システム。

**【請求項 8】**

請求項 1 に記載の弁状態診断システムであって、

弁正常時の、前記時間変化形状を表わす特徴量、あるいは前記エネルギーの特定周波数帯域への集中度合いに基づく特徴量を入力として、正常信号モデルを出力するモデル学習部を更に有する、

10

20

30

40

50

ことを特徴とする弁状態診断システム。

**【請求項 9】**

請求項 8 に記載の弁状態診断システムであって、

前記異常度算出部は、

前記時間変化形状を表わす特徴量、あるいは前記エネルギーの特定周波数帯域への集中度合いに基づく特徴量と、前記正常信号モデルを入力として、弁の動作の仕方が正常状態のものとかけ離れるほど、高くなる数値を前記異常度として出力する、  
ことを特徴とする弁状態診断システム。

**【請求項 10】**

請求項 9 に記載の弁状態診断システムであって、

前記異常度を提示する提示部を、更に備える、

ことを特徴とする弁状態診断システム。

**【請求項 11】**

請求項 9 に記載の弁状態診断システムであって、

前記状態判別部は、

前記異常度と、少なくとも一つの閾値とを比較することにより、前記弁の状態判別を行う、

ことを特徴とする弁状態診断システム。

**【請求項 12】**

請求項 11 に記載の弁状態診断システムであって、

前記状態判別部は、

前記異常度が第一の閾値以上であり、かつ過去の診断時の異常度との差が第二の閾値以下であれば、経年劣化による弁開閉不良であると判断する、

ことを特徴とする弁状態診断システム。

**【請求項 13】**

請求項 11 に記載の弁状態診断システムであって、

前記状態判別部は、

前記異常度が第一の閾値以上であり、かつ過去の診断時の異常度との差が第二の閾値以上であれば、突発的な異常による弁開閉不良であると判断する、

ことを特徴とする弁状態診断システム。

**【請求項 14】**

請求項 11 に記載の弁状態診断システムであって、

前記状態判別部は、

前記異常度が、前記第一の閾値以下であり、前記第一の閾値より低い値の第三の閾値以上であり、かつ過去の診断時の異常度との差が第二の閾値以下であれば、当該弁の交換時期であると判断する、

ことを特徴とする弁状態診断システム。

**【請求項 15】**

請求項 11 に記載の弁状態診断システムであって、

前記状態判別部は、

前記異常度が、前記第一の閾値より高い値の第四の閾値以上と判別した場合、診断対象に装置停止命令を出力する、

ことを特徴とする弁状態診断システム。

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【0001】**

本発明は弁状態診断システムに係り、弁の開閉に伴う振動等に基づき弁状態の判別を行う診断技術に関する。

**【背景技術】**

**【0002】**

10

20

30

40

50

本技術分野の背景技術として、特許文献1、2等があり、特許文献1の要約には、燃料供給弁に設置した振動センサと、燃料供給弁の開閉タイミングを表示する信号を供給するサイクル位相供給装置と、振動センサから供給される振動測定信号と燃料供給弁の開閉タイミング表示信号を入力し燃料供給弁の開閉に伴う振動に基づいて燃料供給弁の異常を判定して異常信号を出力する異常発信装置とを備えて、開閉時の振動強度に基づいて燃料供給弁の異常を検出し警報する、と記載されている。

#### 【0003】

すなわち、特許文献1には、ガスエンジンにおける燃料供給弁の異常を、振動センサで観測された振動の強度を用いて診断する装置および方法が記載されている。また、特許文献2には、振動のレベルを用いて燃料噴射弁の異常を検出する装置が記載されている。

10

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0004】

【特許文献1】特開2012-132420号公報

【特許文献2】特開平10-318027号公報

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0005】

引用文献1、2には、振動の強度を用いて、弁の異常の診断、検出を行う技術が記載されているが、何らかの装置に装着された弁を診断する場合、振動センサで観測される信号には、弁の振動だけでなく、装置自体の機械振動がノイズとして混入する。そして、弁の種類や、弁が装着された装置によっては、弁の振動に対してそれらノイズの影響が大きいため、単に振動の強度を用いただけでは、異常の誤検出や検出漏れが起こるという課題がある。

20

#### 【0006】

本発明の目的は、上記の課題を解決し、ノイズの影響に対して頑健に弁状態を監視・診断することのできる弁状態診断システムを提供することにある。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0007】

上記の目的を達成するため、本発明においては、弁状態診断システムであって、弁の動作情報を読み取るセンサと、センサからの出力信号の時間変化形状を表わす特徴量を算出する特徴量算出部と、時間変化形状を表わす特徴量から異常度を算出し、当該異常度に基づき、弁の状態判別を行う状態判別部と、を備える弁状態診断システムを提供する。

30

#### 【0008】

また、上記の目的を達成するため、本発明においては、弁状態診断システムであって、弁の動作情報を読み取るセンサと、センサからの出力信号の周波数スペクトルにおける、エネルギーの特定周波数帯域への集中度合いに基づく特徴量を算出する特徴量算出部と、集中度合いに基づく特徴量から異常度を算出し、当該異常度に基づき、弁の状態判別を行う状態判別部と、を備える弁状態診断システムを提供する。

40

#### 【発明の効果】

#### 【0009】

本発明によれば、ノイズの影響に対して頑健に弁の状態を監視・診断することが可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0010】

【図1】実施例1の弁状態診断システムのハードウェア構成図の一例を示す図である。

【図2】実施例1の弁状態診断システムの機能ブロック図である。

【図3】実施例1の弁状態診断システムの処理フローチャートの一例を示す図である。

【図4】実施例1に係る、弁開閉区間切り出し部における、弁開閉区間切り出し処理を模式的に示す図である。

50

【図5】実施例1に係る、正常状態の弁が閉じたとき、及び異物が混入した状態で閉じたときの振動信号の波形の一例を示す図である。

【図6】実施例1に係る、正常状態あるいは異物混入状態に弁が閉じたときの音響信号波形の一例を示す図である。

【図7】実施例1に係る、弁が正常の状態で、ノイズ信号の有無での閉塞時振動信号波形を比較説明するための図である。

【図8】実施例1に係る、弁が異物混入による閉塞不良状態で、ノイズ信号の有無での閉塞時振動波形を比較説明するための図である。

【図9】実施例1に係る、正常信号モデルを学習するための、正常信号データベース作成の処理を説明するための図である。

【図10】実施例1に係る、正常信号モデルを学習する処理の一例を示す図である。

【図11】実施例1に係る、弁状態診断システムのユーザインタフェース部の一例を示す図である。

【図12】実施例2に係る、正常状態と異物が混入した状態の弁が閉じたときの振動信号の得た周波数スペクトルを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明の種々の実施例を図面に従い説明する。

【実施例1】

【0012】

実施例1は弁の状態を監視・診断する弁状態診断システムの実施例を説明する。

図1は、実施例1の弁状態診断システムのハードウェア構成図の一例を示す図である。同図において、弁状態診断システム100は、中央演算装置101、記憶媒体102、揮発性メモリ103、センサ104、AD変換部105、ユーザインタフェース部106、電源107から構成されている。

【0013】

弁状態診断システム100は、診断対象となる装置110に設置されている弁111の診断を行う。診断対象装置110は、装置制御回路112を通じて、弁111の開閉を行っている。センサ104が、弁111の信号を観測し、AD変換部105がセンサ104で観測したアナログ信号をデジタル信号に変換する。中央演算装置101は変換されたデジタル信号を揮発性メモリ103に格納する。

【0014】

中央演算装置101は、診断対象装置110の装置制御回路が送る参照信号を利用して、揮発性メモリ103に格納された信号から、弁111が開閉を行っている区間の信号のみを切り出す。その後、中央演算装置101は切り出された信号から振幅値の時間変化形状を表わす、言い替えると時間変化形状に基づく特徴量を算出する。中央演算装置101は記憶媒体102に格納された正常信号モデル205を読み込んで異常度を算出する。そして、中央演算装置101は、異常度に従って状態を判別し、その判別結果を、切り出した波形に関する情報と併せて、ユーザインタフェース部106に出力する。これら一連の処理は、中央演算装置101が、記憶媒体102に格納された、弁状態診断プログラムに基づいて実行する。

【0015】

用いるセンサ104の種類としては、例えば振動センサやマイクロフォンがある。センサ104は、弁111に直接装着してもよい。あるいは、弁111の信号を観測できる範囲であれば、弁111から離れた場所に、センサ104を設置してもよい。例えば、振動センサの場合は弁111の振動が伝わる場所、マイクロフォンの場合は弁111の音が届く範囲の任意の場所に置くことができる。AD変換部105は、センサ104から得られる信号がデジタル信号である場合は、導入しなくてもよい。

【0016】

中央演算装置101、記憶媒体102、揮発性メモリ103は、弁状態診断システム1

00を構築するために新たに導入してもよい。もし、診断対象装置110が、独自に中央演算装置、記憶媒体、揮発性メモリを備えており、ソフトウェアによって弁111を制御しているのであれば、それらを利用してよい。電源107は弁状態診断システム100と、診断対象装置110それぞれに分けて導入してもよく、可能であれば同じ電源を用いてもよい。ユーザインターフェース部106は、例えば診断対象装置110に備え付けたモニタであってもよく、ネットワーク経由で接続された別のPCを経由したモニタなどであっても良い。

#### 【0017】

図2は、本実施例の弁状態診断システム100の機能ブロック図である。

同図において、観測センサ104が観測したアナログ信号は、AD変換部105によってデジタル信号に変換される。

#### 【0018】

変換されたデジタル信号は、弁開閉区間切り出し部201によって、弁開放時あるいは閉塞時の区間のみ切り出される。このとき、弁開閉区間切り出し部201は、診断対象装置110に備えられている装置制御回路112から送られる開閉指令信号を、参照信号として受け取り、この参照信号を用いることで、弁開閉区間を切り出す。またこのとき、参照信号の情報から読み取った開閉時刻と、その周辺時刻において信号のピークを検出した時刻との差を取ることで、開閉遅延時間を算出する。

#### 【0019】

ノイズ信号抑圧処理部202は、切り出された信号を読み込み、信号に含まれるノイズ信号を抑圧して出力する。なお、このノイズ信号抑圧処理部202としては、通常用いられる帯域フィルタ(BPF)等を用いれば良い。特徴量算出部203は、ノイズ信号抑圧処理部202から出力されるノイズ抑圧後の信号を読み込み、信号の時間変化形状を表わす特徴量を算出して出力する。異常度算出部204は、特徴量算出部203から出力された特徴量と、記憶媒体102に格納されている正常信号モデル205を読み込んで、異常度を算出して出力する。

状態判別部206は、異常度算出部204から出力された異常度を読み込み、弁111の状態を判別し、判別結果を出力する。判別した結果は、診断結果提示部207によって提示される。

提示する情報は、状態判別部206から出力される判別結果の他に、異常度算出部204が出力する異常度や、特徴量算出部203から出力される各特徴量の値、ノイズ信号抑圧処理部202あるいは弁開閉区間切り出し部201から出力される時間信号波形、弁開閉区間切り出し部201から出力される開閉遅延時間などの付加情報を提示してもよい。

#### 【0020】

提示方法は、例えば、ユーザインターフェース部106を介した画像情報提示、点字ディスプレイによる提示、音声による提示、プリンタを介した画像情報の印刷などである。

判別する弁状態の種類は、弁111が完全に停止している状態、弁111内に異物が混入などの突発的な異常ににより弁の開閉が不十分である開閉不良状態、経年劣化によって開閉が不十分になっている開閉不良状態、そして経年劣化がある程度進んでおり交換時期が迫っている状態、である。

#### 【0021】

図3は、本実施例の弁状態診断システム100の処理フローチャートである。

診断対象の装置110が稼働したときに、それに同期して弁状態診断システム100も稼働開始する(300)。そして、センサ104により弁111についての信号の観測が開始される(302)。観測した信号はAD変換処理によりデジタル信号に変換される(303)。

#### 【0022】

次に、変換されたデジタル信号から、弁111の開閉区間が切り出される(304)。切り出された信号に対して、ノイズ信号抑圧処理(305)が行われ、ノイズ信号が抑圧される。その後ノイズ信号抑圧処理(306)が行われた信号から、特徴量算出処理によ

10

20

30

40

50

り特徴量が算出される。そして、得られた特徴量を用いて異常度が算出される(307)。異常度に基づいて弁111の状態判別処理(308)が行われ、その判別結果が、診断結果提示処理によって診断結果提示部207に提示される(309)。その後、状態判別部206は異常度に従って、装置を停止すべきか否かを判断し(301)、停止すべきと判断した場合は、診断対象装置110および弁状態診断システム100の終了処理(310)を行い、終了する(311)。

#### 【0023】

図4は、本実施例の弁開閉区間切り出し部201における、弁開閉区間切り出し処理の方法を説明するための模式図である。

ほとんどの診断対象装置110において、弁111は、装置制御回路112によって開閉の制御が行われている。このとき、装置制御回路112から弁111に向かって送られる開閉指令信号を、弁開閉区間切り出し部201にも送ることで、AD変換部105から送られた信号の中から、弁開閉区間の時間情報を得ることができる。例えば、図4のように、装置制御回路112から、弁111を開放している間は1に、弁111を閉じている間は0になるような指令信号が出力されている場合であれば、これを参照信号として、参照信号が0から1に切り替わった時刻を弁開放時の信号区間、参照信号が1から0に切り替わった時刻を弁閉塞時の信号区間として切り出すことができる。

#### 【0024】

しかし、このとき、弁111を通過する液体の種類や、弁111の状態によっては、装置制御回路112から開閉指令が出力された時刻と、実際に弁111が開閉した時刻の間に遅延が生じる場合がある。そのため、弁開閉区間切り出し部201では、参照信号から読み取った弁開閉時刻 $T_i$ から、その周辺の区間 $T$ 内で、信号の絶対値が最大となる時刻 $T_r$ を検出(ピーク401の検出)し、 $T_r$ の周辺区間を切り出して、弁閉塞時信号として出力する。このとき、参照信号による弁開閉時刻 $T_i$ と、ピークを検出した時刻 $T_r$ との差( $T_r - T_i$ )を開閉遅延時刻として、これも出力することも可能である。

#### 【0025】

なお、区間 $T$ 内において、ピーク401が検出出来ない場合は、後で説明する弁の完全停止状態と判断できる。この後、BPF等を用いたノイズ信号抑圧処理部202により、切り出された信号から、ノイズ信号が抑圧され、特徴量算出部203へと送られる。

#### 【0026】

図5は、(a)正常状態の弁(電磁弁)が閉じたときの振動信号、および(b)異物が混入した状態で閉じたときの振動信号を、振動センサを用いて収録して得られた時間信号波形である。共に、横軸が時間(msec)、縦軸が振幅を示す。以下の信号波形図においても同様である。

#### 【0027】

また、図6の(a)、(b)は、同じく正常状態あるいは異物混入状態に弁(電磁弁)が閉じたときの音響信号を、マイクロフォンを用いて収録して得られた時間信号波形である。どちらの信号においても、正常時の弁閉塞時は、振幅の時間変化が、鋭く高いピーク形状(図5の501)を持っているのに対して、異物混入時の弁閉塞時は、ピーク(図5の502)が鈍く低く、つまり振幅の時間変化が少なくかつ緩やかになっている。これは、異物が混入することによって、弁の閉塞が不十分になり、閉じたときの衝撃が弱まったためである。異物混入だけでなく、経年劣化による閉塞不良も同様の振る舞いをする。

#### 【0028】

そこで、本実施例の弁状態診断システムにおいては、弁の信号の時間変化形状を表わす特徴量を算出し、これを用いて閉塞不良といった状態の判別を行う。鈍り具合を表現する特徴量としては、例えばピーク値、最大値と最小値の差、半値幅、振幅値の分散、尖度がある。

#### 【0029】

まず、ピーク値は、切り出された信号における、振幅値の絶対値の最大値であり、正常状態であれば高い値を、開閉不良状態であれば低い値を取る。次に、最大値と最小値は、

10

20

30

40

50

切り出された信号における、振幅の最大値と最小値の差を計算したものである。これも、正常状態であれば高い値を、開閉不良状態であれば低い値を取る。半値幅はピーク波形の幅を表すものであり、正常状態であれば低い値を、開閉不良状態であれば高い値を取る。

#### 【0030】

振幅の分散値及び尖度は、振幅値の変動の激しさを表すものであり、正常状態であれば高い値を、開閉不良状態であれば低い値を取る。振幅値の分散 $\text{var}(x)$ 、および尖度 $\text{kur}(x)$ は、それぞれ次に示す数1、数2によって計算される。 $x(n)$ は時刻nにおける信号の振幅値、mはピーク周辺区間Nにおける $x(n)$ の平均値である。

#### 【0031】

#### 【数1】

$$\text{var}(x) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x(n) - m)^2$$

10

#### 【0032】

#### 【数2】

$$\text{kur}(x) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x(n) - m)^4}{\left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x(n) - m)^2 \right]^2}$$

20

先に説明したように、従来例において、ピーク値のような信号の強度のみを用いて異常を検出しているが、本実施例の弁状態診断システムにおいて、ピーク値だけではなく、これらの信号の時間変化形状を表現する特徴量を用いることで、ノイズ信号の影響に対して頑健に状態を診断することが可能となる。

#### 【0033】

図7の左上段と右上段は、それぞれ弁（電磁弁）が正常の状態において、(a)ノイズ信号がない場合の閉塞時振動信号波形と、(b)ノイズ信号がある場合、すなわち、弁の周辺の部品が駆動したことでの駆動振動がノイズ信号として混入したときの閉塞時振動信号である。ノイズ信号がある場合には、閉塞時の振幅値が、ノイズによって正の方向へシフトしている。このため、ピーク値はノイズ信号が無い場合に比べて低くなる。これにより、ピーク値のような信号の強度のみを用いると、正常状態のものを閉閉不良として誤検出を引き起こすことがある。一方、最大値と最小値の差は、相対量であるため、ノイズによって振幅値がシフトしても変動しにくい。また、分散や尖度も振幅値の時間変化の仕方を表現するものであるため、同様に変動しにくい。

30

#### 【0034】

図7の下段は、(c)正常状態（ノイズ信号有り）の各特徴量と、正常状態（ノイズ信号無し）の各特徴量の差を正規化してプロットしたものである。同図の(c)において、ノイズ信号がある場合と無い場合での振動レベル（ピーク値）の差に対して、本実施例に係る時間変化形状を表わす特徴量の差は小さく、ノイズ信号の影響が小さいことを示している。

40

#### 【0035】

図8の左上段と右上段は、それぞれ弁（電磁弁）が異物混入による閉塞不良状態において、(a)ノイズ信号がない場合の閉塞時振動信号波形と、(b)ノイズ信号が混入した場合の閉塞時振動信号である。左下段は、(c)ノイズ信号がない場合の、正常状態の弁閉塞時振動波形である。この例では、図7の例とは逆に、振幅値が負の方向へシフトしている。そのため、ピーク値はノイズ信号が無い場合に比べて高くなる。これにより、振動の強度のみを用いると、閉塞不良状態のものを正常として判別し、検出漏れを引き起こすこ

50

とがある。

#### 【0036】

図8の右下段は、(d)閉塞不良状態(左上段および右上段)の各特徴量と正常状態(左下段)の各特徴量の差である。ノイズ信号がない場合であれば、どの特徴量も、正常状態と閉塞不良状態で差が出ているが、ノイズ信号がある場合では、振動レベル(ピーク値)が正常状態と閉塞不良状態の差が0に近くなっている。差が小さいということは、すなわち閉塞不良状態と正常状態の判別がつきにくいという意味である。

#### 【0037】

一方、本実施例に係る、時間変化形状を表わす特徴量では、ピーク値の場合ほど差が小さくならない。なお、これらの特徴量の算出は、図8の(a)、(b)で表示している時間区間よりも短い区間で行っている。以上のことから、ピーク値だけでなく、本実施例に係る、振幅値の時間変化形状を表す特徴量を使うことで、ノイズ信号の影響に対して頑健に開閉不良を診断することができる。

#### 【0038】

次に、図2の弁状態診断システムの特徴量算出部203から出力される特徴量と、記憶媒体102に格納されている正常信号モデル205を読み込み、異常度算出部204が異常度を計算する。

#### 【0039】

図9は、正常信号モデル205を学習するための、正常信号データベース208作成の処理を表すものである。正常信号データベース208の作成処理は、制御対象装置110および弁状態診断システム100をユーザが運用するときに行ってもよい。あるいは、装置生産時に行ってもよい。正常に動作する弁111の信号に対して、これまでの処理と同様にして弁開閉区間の切り出し、特徴量の算出を行う。このとき、弁以外の部品の駆動を止められる状態であれば、ノイズ信号抑圧処理部202は必要ないが、ノイズ信号が混入する場合は、ノイズ信号抑圧処理部202を必要に応じて利用することもできる。

#### 【0040】

弁を十分な回数稼働させ、弁信号の特徴量を十分な数だけ収集し、正常信号データベース208として保存する。保存先は、この処理を装置運用時に行うのであれば、記憶媒体102に格納する。生産時に行うのであれば、処理用に記憶媒体を別途用意して、そこに格納することもできる。

#### 【0041】

図10は、本実施例における、正常信号モデル205を学習する処理を表すものである。この処理も、正常信号データベース208の処理と同様、装置運用時に行ってもよいし、装置生産時に行ってもよい。記憶媒体102、あるいは生産時に行う場合は別の記憶媒体に格納された正常信号データベース208を読み込み、モデル学習部209が正常信号モデル205を学習する。モデル学習の方法は、正規分布や混合正規分布、1-classサポートベクターマシンなどの公知の技術を用いればよい。モデル学習部209は、学習した正常信号モデル208を、記憶媒体102に格納する。

#### 【0042】

異常度算出部204は、特徴量算出部203から出力された特徴量と、学習されて記憶媒体102に格納された正常信号モデル205を読み込み、異常度を算出する。異常度は、例えば学習モデルに混合正規分布を用いた場合であれば、混合正規分布に対する尤度をシグモイド関数に入力したり、単純に係数をかけたりするなど、適当な関数を用いて変形して算出するなどの公知の手法用いればよい。

#### 【0043】

異常度算出部204から出力された異常度を、状態判別部206が読み込み、異常度を元に弁の状態を診断する。状態判別部206は、異常度が閾値Th1以下であれば、弁は正常であると判断する。異常度が閾値Th1以上であれば、異常であると判断する。このとき、過去N回の診断時に出力された異常度との差を計算し、異常度の差がTh2以上であれば、突発的に異常度が上昇しているため、突発的な閉塞不良状態として判断する。異

常度の差が  $T_{h2}$  以下であれば、緩やかに異常度が上昇しているため、経年劣化による閉塞不良状態として判断する。

#### 【0044】

また、 $T_{h1}$  より低い閾値  $T_{h3}$  を設けて、異常度の差が  $T_{h2}$  以下、異常度が  $T_{h3}$  以上かつ  $T_{h1}$  以下であれば、状態判別部 206 は弁 111 について、経年劣化により、決定的な異常とまではいかなくとも、異常度がある程度上昇していると判断し、弁 111 の交換時期が近付いている状態として判断する。

#### 【0045】

状態判別部 206 で判別された結果は、診断結果提示部 207 へ出力される。このとき、異常度が閾値  $T_{h1}$  よりも高い閾値  $T_{h4}$  以上であった場合、判別結果を診断結果提示部 207 へ出力すると同時に、装置制御回路 112 に装置停止命令を出力し、診断対象装置 110 を停止させることも可能である。

10

#### 【0046】

図 11 は、本実施例の弁状態診断システムのユーザインターフェース部 106 の一例を示す図である。本例では、ユーザインターフェース部 106 は、表示パネル 210 を有し、全体波形を示す全体波形提示部 211 や、判別対象信号を提示する判別対象信号提示部 212、異常度や特徴量などの判別情報を提示する判別情報提示部 213、そして判別結果を提示する判別結果提示部 214 といった、AD変換部 105 から状態判別部 206 に到る各機能ブロックから出力される各情報を表示する領域を有している。

20

#### 【0047】

なお、判別結果提示部 214 は、図 2 に示した診断結果提示部 207 に対応している。状態判別部 206 が出力する判別結果だけを表示しても良いが、他の情報も提示することにより、ユーザはこれらの情報を見ることで、判別結果をより信頼することができる。また、表示パネル 210 に操作入力部 215 を付け加えることで、ユーザによりこれらの情報の表示・非表示を任意に切り替えられるようにしても良い。

30

#### 【0048】

全体波形提示部 211 では、センサ 104 で観測された信号をAD変換部 105 がデジタル信号に変換したものを、そのまま表示する。ユーザはこの表示を見ることで、弁周辺の全体的な動作を目視で確認することができる。判別対象信号提示部 212 では、弁開閉区間切り出し部 201 が出力する弁開閉区間で切り出された信号波形、あるいは、その信号に対して、ノイズ信号抑圧処理部 202 がノイズ信号を抑圧して出力した信号を提示する（なお、図 2 ではノイズ信号抑圧処理後の信号波形を表示する例を示している）。この信号を表示することで、ユーザは全体波形を見るよりも、弁開閉時の動作をより詳細に把握することができる。

30

#### 【0049】

判別情報提示部 213 では、弁開閉区間切り出し部 201 から出力される開閉遅延時間、特徴量算出部 203 から出力される各特徴量の値、異常度算出部 204 から出力される異常度を表示する。ユーザはこの情報を見ることで弁状態診断システム 100 が弁 111 を診断した結果の根拠を知ることができる。

40

#### 【0050】

判別結果提示部 214 では、状態判別部 206 が出力した、状態判別結果を表示する。表示する状態は、弁の完全停止状態、突発的な開閉不良状態、経年劣化による開閉不良状態、経年劣化による交換時期推奨状態である。なお、先に説明したように、弁開閉時にピーク値が検出されない場合、弁の完全停止状態と判断することができる。

40

#### 【0051】

ユーザインターフェース部 106 には、操作入力部 215 は無くても良いが、付け加えることもできる。操作入力部 215 は、例えばユーザインターフェース部 106 が装置備え付けのモニタである場合はタッチパネルや装置に付けたボタンなどを使用すればよい。ユーザインターフェース部 106 がネットワーク経由で接続された別のパーソナルコンピュータ（PC）を経由したモニタであれば、マウスやキーボードなどを使用すればよい。操作入

50

力部を付け加えれば、ユーザからの入力を操作入力部が受け付けることで、各特徴量などの表示・非表示を切り替えることが可能となる。また、ユーザが現在の時刻を入力し、操作入力部 215 がそれを受け付けて記憶媒体 102 に格納しておくことで、判別結果提示部 214 に、状態判別結果と併せて、その判別結果が出力された時間を表示することができる。これにより、ユーザは弁に異常が発生したときに、それがいつ起こったのかを把握することができる。

#### 【実施例 2】

##### 【0052】

実施例 2 として、弁の状態を監視・診断するシステム 100において、弁の振動信号あるいは音響信号のスペクトル形状を表現する特徴量を用いた場合の実施例を説明する。

10

##### 【0053】

本実施例と実施例 1との違いは、図 2 に示したシステム中の特徴量算出部 203 における処理内容のみである。実施例 1 では、特徴量算出部 203 は弁の振動信号あるいは音響信号を読み込んで、信号の時間変化形状を表現、表わす特徴量を算出していたが、本実施例では、信号に周波数分析を適用し、周波数スペクトルの形状を表現する特徴量を算出する。

##### 【0054】

図 12 は (a) 正常状態、および (b) 異物が混入した状態の弁(電磁弁)がそれぞれ閉じたときの振動信号に周波数分析を行って得た周波数スペクトルである。弁が閉じたときの周波数スペクトルはどちらも単一のピークを持つ形状をしている。正常状態の弁の振動は、図 5 で示されるような、鋭いピークを持つ時間波形をしているため、その周波数スペクトルは、異物混入状態と比べてやや広域に渡ってエネルギーが存在する。一方、異物混入状態の弁の振動は、緩やかなピークを持つ時間波形をしているため、その周波数スペクトルは、正常状態よりも低域にエネルギーが集中する。

20

##### 【0055】

そこで、周波数スペクトルにおける、エネルギーの特定周波数帯域への集中度合いに基づく特徴量を算出し、これを用いて状態の判別を行う。この集中度合いを表現する特徴量としては、例えばノルムを用いたスパース度、スペクトル全体のエネルギーに対する特定帯域のエネルギーの比率等が知られている。

30

##### 【0056】

スパース度は、スペクトルのエネルギーが特定の周波数帯域のみに集中しており、それ以外の周波数帯域ではエネルギーがゼロに近い状態のときに、高い値を持つ。スパース度を計算するためには、L0ノルムやL1・L2ノルム比、エントロピーなどの公知の手法を用いることができる。

##### 【0057】

スペクトル全体のエネルギーに対する特定帯域のエネルギー比率は、例えば図 12 における 0~1.5 kHz などの特定周波数帯域のパワーや振幅の総和と、全周波数帯域でのパワーや振幅の総和の比を算出することで求めることができる。

##### 【0058】

本実施例では、弁の状態を監視・診断するシステム 100において、弁の振動信号あるいは音響信号のスペクトル形状を表現する特徴量を用いて弁の状態を診断する。ノイズ信号が周期性を持っている場合は、周波数スペクトル上では特定の周波数帯域にノイズ信号成分が集中するため、あらかじめノイズ信号の周波数帯域が分かっている場合などでは、その帯域を特徴量算出に用いないなどの処理が可能である。そのため、実施例 1 のような時間波形上で算出する特徴量を用いた場合よりも雑音に頑健に状態の診断が行える場合がある。

40

##### 【0059】

以上種々の実施例を説明したが、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のより良い理解のために詳細に説明したのであり、必ずしも説明の全ての構成を備えるものに限定されものではない。

50

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、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることが可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

#### 【0060】

更に、上述した各構成、機能、処理部等は、それらの一部又は全部を中央演算装置等が実行するプログラムを作成する例を説明したが、それらの一部又は全部を例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現しても良いことは言うまでもない。

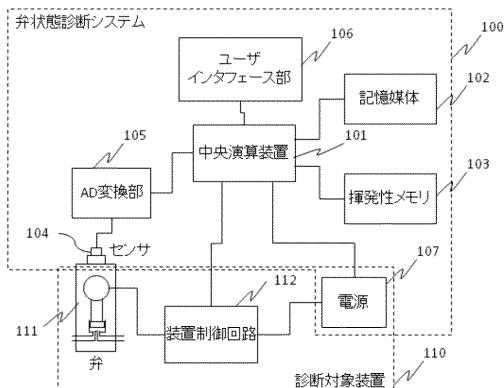
#### 【符号の説明】

##### 【0061】

100	弁状態診断システム	10
101	中央演算装置	
102	記憶媒体	
103	揮発性メモリ	
104	センサ	
105	AD変換部	
106	ユーザインターフェース部	
107	電源	
110	実施例1による診断対象装置	
111	弁	
112	装置制御回路	20
201	弁開閉区間切り出し部	
202	ノイズ信号抑圧処理部	
203	特徴量算出部	
204	異常度算出部	
205	正常信号モデル	
206	状態判別部	
207	診断結果提示部	
208	正常信号データベース	
209	正常信号モデル	
210	表示パネル	30
211	全体波形提示部	
212	判別対象信号提示部	
213	判別情報提示部	
214	判別結果提示部	
215	操作入力部	
401	ピーク	
501	高いピーク	
502	低いピーク。	

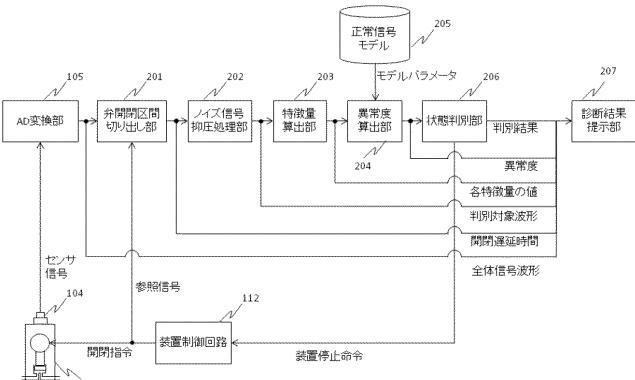
【図1】

図1



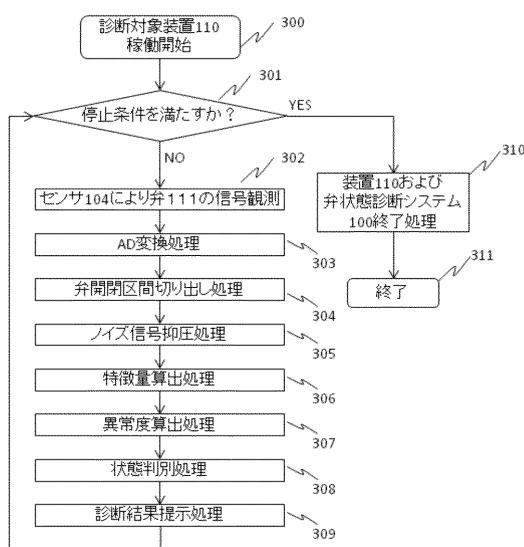
【図2】

図2



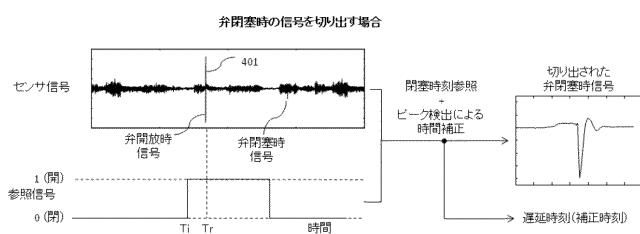
【図3】

図3



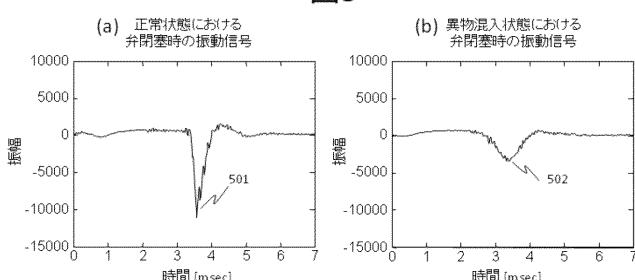
【図4】

図4

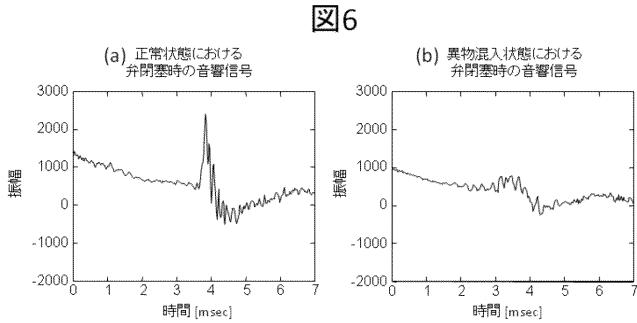


【図5】

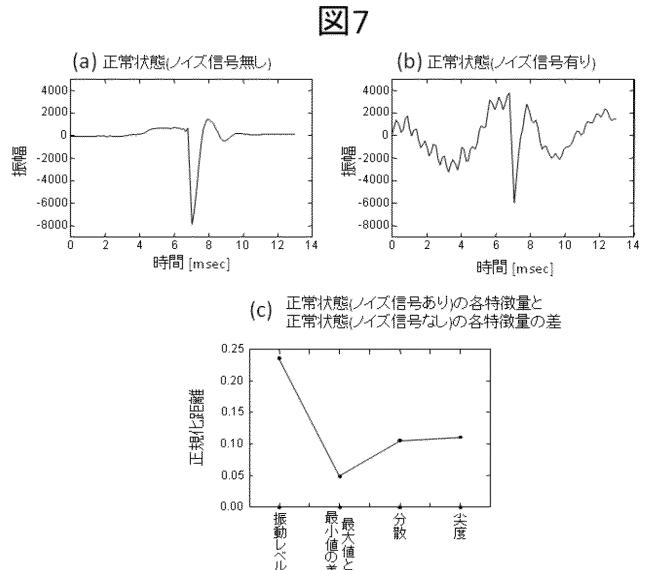
図5



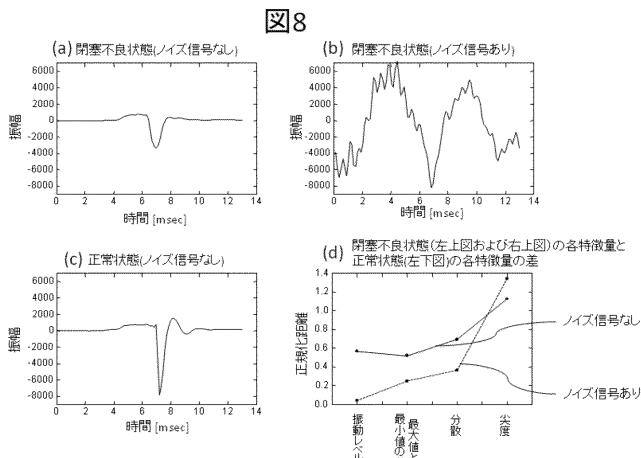
【図6】



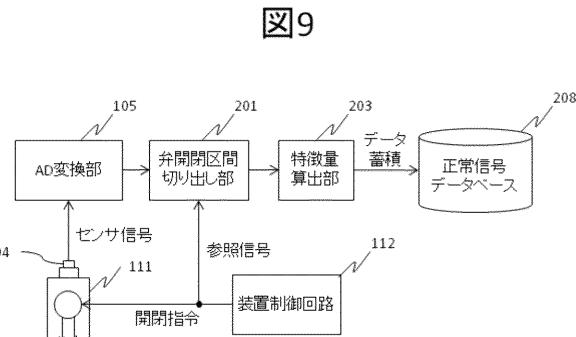
【図7】



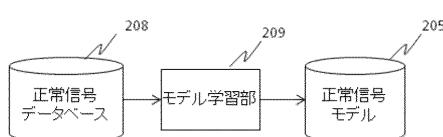
【図8】



【図9】

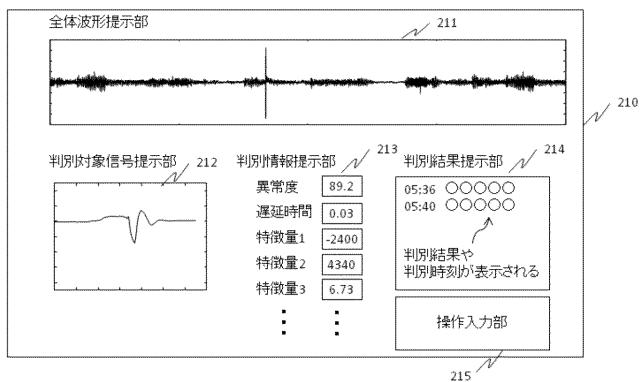


【図10】



【図 1 1】

図11



【図 1 2】

図12

