

明 細 書

非定常信号解析装置及び非定常信号解析プログラムを記録した媒体

技 術 分 野

本発明は、監視対象である各種のメカニカルシステム、プロセス等から発生する非定常信号を解析するための非定常信号解析装置に係わり、特に、エレベータから発生する非定常信号を解析するための非定常信号解析装置に関する。

また、本発明は、監視対象から発生する非定常信号をコンピュータによって解析するためのプログラムを記録した媒体に関する。

背 景 技 術

従来、監視対象であるメカニカルシステム、プロセス等から発生した信号を測定器によって測定し、測定によって得られた信号データを解析することによって監視対象の異常を検知して操作員（オペレータ又はユーザー）に異常状態を警告表示する診断システムとして様々なものが提案されている。

これらの診断システムは、一般に監視対象から得られた信号データをフーリエ変換してスペクトルを監視したり、監視対象の入出力データからシステム同定手法によって特性モデルを推定したりする方法が主流である。

しかし、監視対象の運転状態が急激に変化する非定常状態において測定された非定常信号に対しては、フーリエ変換によって時々刻々と変化するスペクトルを求めたり、システム同定によって変動する特性モデルを求めたりすることはできなかった。

そこで、非定常信号を解析して監視対象の異常を検知する手法として、ウェーブレット変換を用いたウェーブレット解析手法が注目されている。以下、このウェーブレット解析手法について説明する。

監視対象から測定された信号データを $x(t)$ とすると、従来のフーリエ変換は下式 (1)

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

によって表現される。これに対してウェーブレット変換は、下式 (2)

$$wt(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt \quad (2)$$

によって表現される。ここで、 $\phi(\cdot)$ はマザーウェーブレットと呼ばれる変換のための基底関数である。

フーリエ変換は、ウェーブレット変換における基底関数を $\phi(t) = e^{-jt}$ 、 $b=0$ 、 $a=\omega^{-1}$ とした場合に相当し、その基底関数は図 2 a に示したように無限遠の過去から未来に伸びた関数である。したがって、フーリエ変換によって得られたスペクトルは、例えば図 2 b に示したように周波数軸のみの 1 次元関数となり、観測データのどの部分の特徴かという時間依存性が判別できない。

これに対してウェーブレット変換では、例えば下式 (3)

$$\phi(t) = e^{-(t/T)^2} e^{-jt} \quad (3)$$

で示されるガボール関数と呼ばれる関数を基底関数として用いることによって、この基底関数は図3 aに示したような時間的に局在した関数となる。

このため、ウェーブレット変換によって得られたスペクトルは、例えば図3 bに示したように周波数軸及び時間軸に対する2次元関数となり、この2次元関数に基づいて信号内の各周波数成分の時間依存性を判別することができる。

上述したようにウェーブレット変換は観測されたデータの各時刻でのスペクトル分布を抽出することができることから、非定常信号に対する解析手段として有効であり、したがって監視対象の運転状態が時々刻々と変換する場合にも有効であるとされている。

ところが、上述した従来の診断システムは、監視対象から得られた非定常信号に対してただ単にウェーブレット変換を行うようにしたものであるため、その解析結果は周波数スペクトルの時間依存性を示すにとどまるものであり、解析対象の異常診断のための解析手法としては不十分であった。

例えば図3 bに示したような従来の診断システムによる解析結果を見ても、この解析結果が監視対象の状態変化とどのように関わっているかについては読みとることができない。

そこで、本発明は、上述した問題点を解消し、監視対象から得られた非定常信号を解析することによって監視対象の異常状態を的確に診断することができる非定常信号解析装置を提供することを目的とする。

発明の開示

本発明の一形態による非定常信号解析装置は、監視対象から発生する非定常信号を解析するための非定常信号解析装置において、前記非定常信号をウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを作成するウェーブレット変換計算手段と、前記監視対象における特定の状態量の時間変化を表した状態量変化関数を設定する状態量変化関数設定手段と、前記状態量変化関数の逆関数によって

前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換する時間座標非線形変換手段と、を備えたことを特徴とする。

本発明の他の形態による非定常信号解析装置は、監視対象がエレベータであって、このエレベータの乗りかごにおいて測定された非定常信号である加速度信号を解析するための非定常信号解析装置において、前記加速度信号をウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを作成するウェーブレット変換計算手段と、前記乗りかごの特定の状態量である昇降位置又は昇降速度の時間変化を表した状態量変化関数を設定する状態量変化関数設定手段と、前記状態量変化関数の逆関数によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記昇降位置又は前記昇降速度の座標に非線形変換する時間座標非線形変換手段と、を備えたことを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記時間座標非線形変換手段は、拡張ウェーブレット変換式

$$wt(a, b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz$$

によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記時間座標非線形変換手段は、前記ウェーブレットスペクトルデータを各時間毎に分割し、時間と前記特定の状態量との関係を記憶したデータテーブル或いは前記状態量変化関数に基づいて、分割されたデータを状態量順に並べ替え、各データ間を補間或いは平滑化処理することによって、前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴と

する。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記非定常信号を測定するための応答データ測定手段をさらに有することを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記状態量変化関数設定手段は、前記特定の状態量以外の状態量に関する測定データに基づいて前記状態量変化関数を推定するようにしたことを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記特定の状態量以外の状態量に関する測定データは前記非定常信号に関する測定データであることを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記状態量変化関数設定手段は、前記監視対象の動特性モデルに基づく状態観測器又はカルマンフィルタを用いて、前記特定の状態量の時間変化を前記特定の状態量以外の状態量の測定データに基づいて推定することによって前記状態量変化関数を推定するようにしたことを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記状態量変化関数設定手段は、前記特定の状態量の測定データに基づいて前記状態量変化関数を求めるようにしたことを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記状態量変化関数設定手段は、予め求めておいた前記状態量変化関数を使用するようにしたことを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、少なくとも前記特定の状態量の座標及び周波数の座標を有する座標系によって前記時間座標非線形変換手段の解析結果を表示する表示手段をさらに有することを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記時間座標非線形変換手段の解析結果に基づいて前記監視対象における異常の発生の有無を判定する異常

判定手段をさらに有することを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記時間座標非線形変換手段の解析結果であるスペクトルデータについての前記表示手段による表示に対して、表示全体の中の特定の領域を指定するための領域指定手段と、前記領域指定手段によって指定された領域に対応するスペクトルデータを取り出して前記異常判定手段に送るためのデータ抽出手段と、をさらに有することを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記異常判定手段による判定結果を前記表示手段に表示するようにしたことを特徴とする。

本発明による非定常信号解析装置は、好ましくは、前記異常判定手段による判定結果を表示する異常表示手段をさらに有することを特徴とする。

本発明の他の形態による非定常信号解析プログラムを記録した媒体は、監視対象から発生する非定常信号をコンピュータによって解析するためのプログラムを記録した媒体であって、この非定常信号解析プログラムはコンピュータに、前記非定常信号をウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを作成するウェーブレット変換計算機能と、前記監視対象における特定の状態量の時間変化を表した状態量変化関数を設定する状態量変化関数設定機能と、前記状態量変化関数の逆関数によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換する時間座標非線形変換機能と、を実現させることを特徴とする。

本発明による非定常信号解析プログラムを記録した媒体は、好ましくは、前記監視対象はエレベータであり、前記非定常信号は前記エレベータの乗りかごにおいて測定された加速度信号であり、前記特定の状態量は前記乗りかごの昇降位置又は昇降速度であることを特徴とする。

本発明による非定常信号解析プログラムを記録した媒体は、好ましくは、前記時間座標非線形変換手段は、拡張ウェーブレット変換式

$$wt(a,b) = \int_{t(-\infty)}^{t(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz$$

によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴とする。

本発明による非定常信号解析プログラムを記録した媒体は、好ましくは、前記時間座標非線形変換手段は、前記ウェーブレットスペクトルデータを各時間毎に分割し、時間と前記特定の状態量との関係を記憶したデータテーブル或いは前記状態量変化関数に基づいて、分割されたデータを状態量順に並べ替え、各データ間を補間或いは平滑化処理することによって、時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴とする。

そして、本発明によれば、監視対象の特定の状態量に対する周波数の変化の依存性、相関関係を求めることができるので、監視対象の異常状態を的確に診断することができる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1実施形態による非定常信号解析装置の概略を示した構成図である。

図2 aはフーリエ変換の基底関数を示したグラフであり、図2 bはフーリエ変換によるパワースペクトルを示したグラフである。

図3 aはウェーブレット変換の基底関数を示したグラフであり、図3 bはウェーブレット変換によるウェーブレットパワースペクトルを示したグラフである。

図4は、本発明の第1実施形態の変形例における状態量推定手段の概略を示した構成図である。

図5は、本発明の第1実施形態の第1実施例の解析対象であるエレベータの概

略を示した構成図である。

図6は、本発明の第1実施形態の第1実施例のハードウェア構成を示した構成図である。

図7は、本発明の第1実施形態の第1実施例における拡張ウェーブレット変換に基づくエレベータ異常診断アルゴリズムを示したフローチャートである。

図8a、図8b、図8cは、それぞれ、モータ軸偏心異常時のエレベータのモータトルク、かご速度、かご位置を示したグラフである。

図9a、図9b、図9cは、それぞれ、モータ軸偏心異常時のエレベータのかご内加速度、回転トルク変動、かご内加速度のフーリエ変換結果を示したグラフである。

図10は、モータ軸偏心異常時のエレベータのかご内加速度データを従来のウェーブレット変換手法によって解析した結果を示したグラフである。

図11a、図11bは、それぞれ、モータ軸偏心異常時のエレベータのかご内加速度データをかご速度に対して拡張ウェーブレット変換した結果を示したグラフである。

図12は、モータ軸偏心異常時のエレベータのかご内加速度データをかご位置に対して拡張ウェーブレット変換した結果を示したグラフである。

図13a、図13b、図13cは、それぞれ、ガイドレール異常時のエレベータのモータトルク、かご速度、かご位置を示したグラフである。

図14a、図14bは、それぞれ、ガイドレール異常時のエレベータのかご内加速度、かご内加速度のフーリエ変換結果を示したグラフである。

図15は、ガイドレール異常時のエレベータのかご内加速度のかご位置に対する拡張ウェーブレット変換結果を示したグラフである。

図16は、本発明の第1実施形態の第2実施例による非定常信号解析装置の概略を示した構成図である。

図17は、本発明の第1実施形態の第2実施例による非定常信号解析装置を列車に取り付けた状態を説明するための説明図である。

図18は、本発明の第1実施形態の第3実施例による非定常信号解析装置の外観を示した斜視図である。

図19は、本発明の第1実施形態の第3実施例による非定常信号解析装置の内部のシステム構成を示した構成図である。

図20は、本発明の第1実施形態の第3実施例による非定常信号解析装置の表示部の表示状態の一例を示した図である。

図21は、本発明の第1実施形態の第3実施例による非定常信号解析装置の概略を示した構成図である。

図22は、本発明の第2実施形態による非定常信号解析プログラムを記録した媒体からプログラムを読み出すためのコンピュータシステムを示した斜視図である。

図23は、本発明の第2実施形態による非定常信号解析プログラムを記録した媒体からプログラムを読み出すためのコンピュータシステムを示したブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

第1実施形態

以下、本発明による非定常信号解析装置の第1実施形態について図1及び図3a、図3bを参照して説明する。

図1は、本実施形態による非定常信号解析装置全体の概略構成を示しており、この非定常信号解析装置は、解析対象から発生する非定常信号を測定するための応答データ測定手段1を備えている。この応答データ測定手段1は、センサー及びA/D変換器、各種ノイズ除去フィルタ等によって構成されている。

応答データ測定手段1によって得られた非定常信号データ（応答データ時系列）

$x(t)$ はウェーブレット変換計算手段2に送られる。

このウェーブレット変換計算手段2は、例えば上述したウェーブレット変換式(2)

$$wt(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) x(t) dt \quad (2)$$

を保持している。ここで、 a は周波数 ω の逆数であり、 b は時間 t である。

そして、ウェーブレット変換計算手段2において、上式(2)を用いて非定常信号データ $x(t)$ をウェーブレット変換し、図3bに示したようなウェーブレットスペクトルデータ(ウェーブレット変換データ) $wt(a, b)$ を算出する。

ウェーブレット変換計算手段2によって得られたウェーブレットスペクトルデータ $wt(a, b)$ は時間座標非線形変換手段3に送られる。この時間座標非線形変換手段3は、ウェーブレット変換計算手段2によって得られたウェーブレットスペクトルデータ $wt(a, b)$ の時間座標を、監視対象の特定の状態量(物理量)に関して非線形座標変換するための手段である。

ここで、特定の状態量とは、例えば、応答データ測定手段1によって測定される非定常信号が加速度に関する信号であるとすれば、特定の状態量は、例えば速度であり、或いは位置である。この点については、後述する第1実施例及び第2実施例において、エレベータ及び鉄道列車を例に挙げて詳しく説明する。

また、本実施形態による非定常信号解析装置は、時間と特定の状態量との関係を表す状態量変化関数データ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ を書き込むための時間～状態量変換テーブル4を備えている。この時間～状態量変換テーブル4は、後述する状態量推定手段6と共に、監視対象における特定の状態量の

時間変化を表した状態量変化関数を設定する状態量変化関数設定手段を構成する。

そして、この時間～状態量変換テーブル4に書き込まれる状態量変化関数データ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ を得るための方法としてはいくつかの方法が考えられるが、本実施形態においては、予め求めておいた状態量変化関数データ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ を、入力手段5によって時間～状態量変換テーブル4に書き込むようにする。

なお、状態量変化関数データ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ を得るためのその他の方法としては、例えば、特定の状態量 z (例えば速度) を直接測定して状態量測定値を得ることによって、特定の状態量 z の時間変化を直接的に取得する方法、或いは特定の状態量 z (例えば速度) 以外の状態量 (例えば加速度) に関する測定データに基づいて特定の状態量 z の時間変化を推定する方法等が考えられる。

後者の特定の状態量以外の状態量から特定の状態量 z の時間変化を推定する方法は、図1に示した状態量推定手段6を使用する方法であり、これについては本実施形態の変形例として後述する。

時間座標非線形変換手段3は、時間～状態量変換テーブル4に書き込まれた状態量変化関数データ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ を読み出し、読み出した状態量変化関数データに基づいてウェーブレットスペクトルデータ $w_t(a, b)$ の時間座標 b を状態量 z の座標に変換する。具体的には、時間座標非線形変換手段3は、特定の状態量 z の時間 t に対する関数 (状態量変化関数) $z(t)$ の逆関数 $t(z)$ を求め、この逆関数 $t(z)$ に基づいて上述したウェーブレット変換式 (2) を時間 t から特定の状態量 z に変数変換する。

このようにして特定の状態量 z に変数変換されたウェーブレット変換式 (2) は下式 (4) のようになる。

$$wt(a, b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz \quad (4)$$

以下では、上式(4)によって示された変換を便宜上、拡張ウェーブレット変換と称することにする。この拡張ウェーブレット変換式(4)によってウェーブレットスペクトルデータ $w t(a, b)$ の時間座標 b を状態量 z の座標に変換することによって、特定の状態量に対する周波数の変化を示した拡張ウェーブレットスペクトル $w t(a, z)$ が得られる。

なお、上述のウェーブレットスペクトル $w t(a, b)$ は、周波数 ω の関数という意味を強調するために、以下では $\omega = a^{-1}$ を用いて $w t(\omega, b)$ 、 $w t(a^{-1}, b)$ との表記も用いることにする。また、以下では従来のウェーブレットスペクトルを $w t(\omega, t)$ 、拡張ウェーブレットスペクトルを $w t(\omega, z)$ と記して区別することにする。

また、拡張ウェーブレットスペクトル $w t(\omega, z)$ の別の計算の仕方として、従来のウェーブレット変換により得られたウェーブレットスペクトルデータ $w t(\omega, t)$ を各時間 $\{t_1, t_2 \dots t_n\}$ のデータ $\{w t(\omega, t_1), w t(\omega, t_2) \dots w t(\omega, t_n)\}$ に分割し、時間と特定の状態量の関係を示した状態量変化関数 $z(t)$ 或いはその関係を記憶したデータテーブル $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_n)\}$ に基づき、前記の分割データを状態量 z の順に並べ替え、データ間を補間又は平滑化处理することにより、時間座標を状態量座標に非線形変換した拡張ウェーブレットスペクトル $w t(\omega, z)$ を得る方法もある。

次に、時間座標非線形変換手段3によって求めた拡張ウェーブレットスペクトル $w t(a, z)$ は表示手段7に送られる。この表示手段7は、拡張ウェーブレ

ットスペクトル $w_t(a, z)$ に基づいて、時間座標軸を変数変換された拡張ウェーブレットスペクトルデータ（ウェーブレット解析データ）として周波数座標 $\omega = a^{-1}$ （又はその逆数 a ）及び状態量座標 z に対する2次元関数 $w_t(\omega, z)$ を表示する。

具体的には、例えば、 $\{\omega, z, |w_t(\omega, z)|\}$ 或いは $\{\omega, z, \angle w_t(\omega, z)\}$ による3次元グラフをディスプレイ装置上に表示する。ここで、 $|a|$ は a の絶対値を意味し、 $\angle a$ は a の位相角を意味する。

さらに、本実施形態による非定常信号解析装置は、時間座標非線形変換手段3によって算出された拡張ウェーブレットスペクトルデータに基づいて監視対象における異常の発生の有無を自動的に判定する異常判定手段8を備えている。この異常判定手段8は、所定の異常診断方式を用いて監視対象の正常・異常を自動判定し、判定結果であるアラーム情報・異常モード情報等を表示手段7に送ってオペレータに警告表示するものである。

ここで、所定の異常診断方式としては、例えば解析結果の拡張ウェーブレットスペクトルデータ $w_t(\omega, z)$ の特定の部分のパワスペクトル値

$$\{|w_t(\omega_1, z_1)|, \dots, |w_t(\omega_m, z_m)|\}$$

に基づいて、次式(5)

$$\text{if } (|w_t(\omega_1, z_1)| > \varepsilon_1) \text{ then 異常} \quad (5)$$

などのしきい値判定や、各種の複合的手段による判定を行うようにする。

また、異常判定手段8による判定結果は、表示手段7に表示するだけでなく、表示手段7とは別に設けた異常表示手段9にアラーム表示することもできる。

また、時間座標非線形変換手段3の解析結果である拡張ウェーブレットスペクトルデータについての表示手段7の表示に対して、ポインティングデバイス等により使用者が表示全体の中から特定領域を指定し、その特定領域に対応する拡張ウェーブレットスペクトルデータのみを取り出して異常判定手段8に送り、その

データのみを用いて異常判定手段8によって前記の監視対象における異常の発生の有無を判定することもできる。

これにより、表示手段7に一度表示された拡張ウェーブレットスペクトルの中から通常と異なった特徴を有する部分を使用者が判断して取り出し、その部分についてのみ解析をすることで、他の部分に含まれるノイズや外乱その他の因子の影響を受けることなく直接的な解析作業が可能になり、その結果、異常判定の精度が向上する。

以上述べたように本実施形態の非定常信号解析装置によれば、監視対象から測定された非定常信号データをウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを求め、これらのウェーブレットスペクトルデータに対して時間座標軸を特定の状態量（物理量）の座標軸に座標変換するようにしたので、周波数スペクトルの時間変化のみならず、特定の状態量（例えばメカニカルシステムにおける位置、速度、加速度など）と周波数スペクトルとの相関関係・因果関係を容易に把握することができる。

このため、監視対象において異常現象が発生した場合にその異常現象を物理法則の観点から理解しやすい解析結果・表示が得られ、例えば異常現象の発生箇所を容易に特定することができる。

また、本実施形態の非定常信号解析装置によれば、監視対象の運転状態、内部状態などが頻繁に変化する非定常状態において、変化する状態ごとにスペクトル分布を解析することができるので、非定常信号の解析に極めて有効であり、結果として、短い断片的なデータに対しても有効な解析を行うことが可能となる。

変形例

次に、上述した第1実施形態の変形例について図4を参照して説明する。

本変形例による非定常信号解析装置は、時間～状態量変換テーブル4に書き込むための状態量変化関数データ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ を、特

定の状態量 z 以外の状態量に関する測定データに基づいて、状態量推定手段 6 によって推定して作成するようしたものである。したがって、特定の状態量 z を直接測定できない場合において極めて有効である。

本変形例における状態量推定手段 6 は、監視対象の動特性モデルに基づいた状態推定手段を用いて特定の状態量 z の時間変化を測定データから実時間で推定することにより、状態量変化関数データ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ を得るものである。

図 4 は、本変形例における状態量推定手段 6 の概略構成を示している。この状態量推定手段 6 においては、監視対象 10 の入力信号 $u(t)$ を出力信号予測モデル 11 に入力したときの出力予測値 $\hat{y}(t)$ と実際の出力信号 $y(t)$ との差である推定誤差信号 $e(t)$ に基づき、推定状態量修正手段 12 により出力信号予測モデル 11 内の状態量推定値を逐次修正することにより、直接には測定できない特定の状態量 $z(t)$ を実時間で推定することができる。

状態推定手段の一例としてカルマンフィルタ或いは状態観測器による構成では、出力信号予測モデルが下式 (6)、(7)、推定状態量修正手段が下式 (8) となる。

$$z(k|k-1) = Az(k-1|k-1) + Bu(k-1) \quad (6)$$

$$\hat{y}(k|k-1) = Cz(k|k-1) \quad (7)$$

$$z(k|k) = z(k|k-1) + K(y(k) - \hat{y}(k|k-1)) \quad (8)$$

ここで、 A 、 B 、 C は監視対象の動特性モデルに関する係数行列、 K はカルマンゲイン（或いは状態観測器ゲイン）である。

この逐次計算により、監視対象の入力信号 $u(k)$ 、出力信号 $y(k)$ の観測データ系列から監視対象の内部状態量ベクトル $z(k|k)$ を推定することができる。このようにして推定された状態量ベクトル中のいくつかの要素を特定の状態量 z として取り出し、その時系列 $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ から時間～状態量変換テーブル4を作成する。

なお、上述の状態量の推定は、予めオフラインで処理しておく方法と、データを観測しながら実時間で処理する方法とがある。

以上述べたように本変形例によれば、特定の状態量 z を直接測定することができない場合であっても、状態量推定手段6によって特定の状態量 z と観測データスペクトルとの関係を把握することができる。また、ウェーブレット解析手法に他の解析手法を組み合わせることが容易になる。

第1実施例

次に、上記第1実施形態による非定常信号解析装置の第1実施例として、監視対象がメカニカルシステムであるエレベータの場合について図5乃至図15を参照して説明する。本実施例においては、測定信号（非定常信号）がエレベータの乗りかご内で測定される加速度信号であり、非線形変換に用いる特定の状態量は乗りかごの昇降位置或いは昇降速度である。

監視対象であるエレベータは、図5に示したように、モータ51、シープ（滑車）52a、52b、52c、52d、かご枠53、乗りかご54、ガイドローラ55、ガイドレール56、カウンターウェイト57によって構成されている。

また、本実施例による非定常信号解析装置は、図6に示したように乗りかご54内に配置された加速度センサー20を備えている。この加速度センサー20によって測定された加速度信号は、A/D変換器21に送られて変換された後、

解析・表示装置（例えばパソコン）22に取り込まれる。加速度センサー20及びA/D変換器21は図1に示した応答データ測定手段1を構成する。

解析・表示装置22の内部では図1に示した処理によって拡張ウェーブレットスペクトルデータが算出され、算出された拡張ウェーブレットスペクトルデータが解析・表示装置22の画面に表示される。また、解析結果又は異常診断結果はモデム23、23及び公衆回線を通じて遠隔地の監視センターに送られ、この監視センターの集中監視端末24に表示され、さらに異常状態に応じてアラームが発生される。

図7は、解析・表示装置22における具体的なフローチャートを示したものである。

まず、診断開始と共に、加速度センサー20によって乗りかご54内の加速度信号 $x(t)$ を測定する（ステップ1）。次に、上述した式（2）及び式（3）を用いて、測定された加速度信号 $x(t)$ に基づいてウェーブレットスペクトルデータ $w_t(a, b)$ を計算する（ステップ2）。

そして、その解析結果であるウェーブレットスペクトルデータ $w_t(a, b)$ 又は $w_t(\omega, b)$ を時間軸及び周波数軸に対してディスプレイ端末に表示する（ステップ3）。ここで、 $\omega = a^{-1}$ はウェーブレットスペクトルの周波数である。次に、解析対象の特定の状態量として、かご速度又はかご位置のいずれかを使用者が選択する（ステップ4）。なお、このステップ4については、かご速度及びかご位置の両方の手順を自動的に処理するようにすることも可能である。

次に、ステップ4の特定の状態量の選択においてかご位置を選択した場合には、加速度信号 $x(t)$ を2階積分することにより、かご位置信号 $p(t)$ を生成する（ステップ5）。そして、ステップ5で生成されたかご位置信号データ $\{p(t_1), p(t_2) \dots p(t_N)\}$ に基づいて、時間 t 及び位置 p の関数テーブルを作成する（ステップ6）。

次に、ステップ2で算出されたウェーブレットスペクトルデータの時間座標をステップ6で作成された関数テーブルに基づいてかご位置 p の座標に変換し、拡張ウェーブレットスペクトルデータ $w_t(\omega, p)$ を求める(ステップ7)。そして、解析結果である拡張ウェーブレットスペクトルデータ $w_t(\omega, p)$ をディスプレイに表示する(ステップ8)。

さらに、下式(9)に示したように $w_t(\omega, p)$ で位置 p に対する変化率を計算し、変化率が所定のしきい値を超えるか否かを判定式によって判定し、パワースペクトルの位置に対する急変の有無を判定する(ステップ9)。

$$|w_t(\omega, p(t_i)) - w_t(\omega, p(t_{i+1}))| / |p(t_i) - p(t_{i+1})| > \varepsilon_p \quad (9)$$

そして、ステップ9において急変があると判定された場合には、急変箇所 $p(t_i)$ を検出し、エレベータ系のレール或いはロープの異常としてディスプレイに表示する(ステップ10)。一方、急変がないと判定された場合には、ディスプレイに「異常なし」を表示し(ステップ11)、診断を終了或いは次の動作周期まで待機する。

また、ステップ4において特定の状態量としてかご速度を選択した場合には、加速度信号 $x(t)$ を1階積分することによってかご速度信号 $v(t)$ を生成する(ステップ12)。そして、ステップ12で生成されたかご速度信号データ $\{v(t_1), v(t_2) \dots v(t_N)\}$ に基づいて、時間 t 及び速度 v の関数テーブルを作成する(ステップ13)。

次に、ステップ2で算出されたウェーブレットスペクトルデータ $w_t(a, b)$ の時間座標をステップ13で作成された関数テーブルに基づいてかご速度 v の座

標に変換し、拡張ウェーブレットスペクトルデータ $w_t(\omega, v)$ を求める（ステップ14）。そして、解析結果である拡張ウェーブレットスペクトルデータ $w_t(\omega, v)$ をディスプレイに表示する（ステップ15）。

さらに、下式（10）に示したように $|w_t(\omega, v)|$ のしきい値判定

$$|w_t(\omega_i, v_i)| > \varepsilon v \quad (10)$$

により、しきい値を超えるパワスペクトルを持つ部分のデータ（ピークスペクトル） $\{w_t(\omega_1, v_1), w_t(\omega_2, v_2) \dots w_t(\omega_m, v_m)\}$ を検出する。

さらに、周波数 ω とかご速度 v との間の比例関係式（11）

$$v_i = r \omega_i + e_i \quad (11)$$

を仮定し、誤差 e_i の二乗和 $\sum e_i^2$ が最小となる係数 r の最小二乗解

$$r = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i v_i}{\sum_{i=1}^m \omega_i^2} \quad (12)$$

を求める。

このとき、各データ点 $\{(\omega_1, v_1), (\omega_2, v_2) \dots (\omega_m, v_m)\}$ の比例関係式（11）の直線からの距離 d の分散に対する判定式

$$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{|v_i - r \omega_i|^2}{1 + r^2} < \varepsilon r \quad (13)$$

が成り立てば速度 v と周波数 ω に強い相関（比例）関係があると判断する（ステップ16）。

そして、この場合は、エレベータの回転系（モータ、シーブ、各軸のベアリング、ガイドローラなど）のいずれかに異常があると判断される。なぜならば、回転系の偏心等によるトルクむらの周波数は回転数に比例し、また、かご速度も回転数に比例するためである。

さらに、比例係数 r からどの回転系かを判定し、判定結果をディスプレイに表示する（ステップ17）。例えば、 $(r/2\pi)$ がシーブ（滑車）の半径に一致すれば、

$$\text{かご速度} = 2\pi (\text{シーブ半径}) \times (\text{シーブ回転周波数}) \quad (14)$$

なる関係からシーブの偏心によるトルクむらが原因と判断される。一方、ステップ16において相関関係はないと判定された場合には、ディスプレイに「異常なし」を表示し（ステップ11）、診断を終了或いは次の動作周期まで待機する。

次に、図1に示した時間座標非線形変換手段3における処理に対応するステップ6又はステップ13における座標変換の具体的手順について説明する。

まず、かご位置信号 $p(t)$ 或いはかご速度信号 $v(t)$ をここでは状態量信号 $z(t)$ と記すことにし、データ列 $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ からなる関数テーブル（時間～状態量変換テーブル4）が得られているとする。そして、通常のウェーブレット変換により得られたデータ

$$wt(a, b) = \{wt(a_i, b_j) \mid i=1, \dots, n1, j=1, \dots, n2\} \quad (15)$$

に対し、まず周波数 $\omega = a^{-1}$ の関係を代入し、

$$wt(\omega, b) = \{wt(\omega_i, b_j) \mid \omega_i = a_i^{-1}, i=1, \dots, n1, j=1, \dots, n2\} \quad (16)$$

なるデータに変換する。

次に、各データ要素の時間座標 b_j に対し、

$$t_k \leq b_j \leq t_{k+1} \quad (17)$$

なる t_k を $\{t_1, t_2 \dots t_N\}$ から探し出し、線形補間式

$$\begin{aligned} z(b_j) &= z(t_k) + \frac{b_j - t_k}{t_{k+1} - t_k} (z(t_{k+1}) - z(t_k)) \\ &= \frac{(b_j - t_k)z(t_{k+1}) + (t_{k+1} - b_j)z(t_k)}{t_{k+1} - t_k} \end{aligned} \quad (18)$$

により、対応する状態量 $z(b_j)$ を求めることにより、拡張ウェーブレットスペクトルデータ

$$wt(\omega, z) = \{wt(\omega_i, z(b_j)) \mid \omega_i = a_i^{-1}, i=1, \dots, n1, j=1, \dots, n2\} \quad (19)$$

を得ることができる。

また、別の手段としては、時間～状態量変換テーブル4から関数 $z(t)$ を推定する。例えば、

$$z(t) = z_0 + z_1 t + \dots + z_p t^p \quad (20)$$

なる多項式を仮定し、係数 $z_0, z_1 \dots z_p$ をデータ $\{z(t_1), z(t_2) \dots z(t_N)\}$ から最小二乗推定する。次に、その逆関数 $t(z)$ を求める。

最後に、観測データ $x(t)$ に対し、

$$wt(a, b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz \quad (21)$$

を直接、数値積分することにより、拡張ウェーブレットスペクトルデータを得ることもできる。

図8 a乃至図1 5は、本実施例による非定常信号解析装置を用いてエレベータの乗りかご5 4の加速度データを解析した結果を示している。

図8 a乃至図1 2は、エレベータのモータ5 1の軸が偏心したことによる回転トルクむらが原因で乗りかご5 4において異常振動が生じたケースを示している。図8 aはモータ5 1のトルク司令値、図8 bはその時のかご加速度信号 $x(t)$ の積分計算から推定したかご速度信号 $v(t)$ 、図8 cは同様にかご加速度信号 $x(t)$ の2階積分計算から推定したかご位置信号 $p(t)$ である。

このとき、乗りかご5 4の内部で観測された加速度データ $x(t)$ は、図9 aに示したように速度と共に周波数特性が変化する非定常信号である。その理由は、モータ軸の偏心によるトルクむらの周波数が図9 bに示したようにかご速度に比例して変化するためである。したがって、加速度データ $x(t)$ を単純にフーリエ変換しても、図9 cに示したように全体のスペクトル分布が解るだけで、速度信号への依存性は判別できない。

図1 0、図1 1 a、図1 1 b、図1 2はそれぞれ、加速度信号 $x(t)$ を従来型ウェーブレット変換した結果、速度信号 $v(t)$ に基づく拡張ウェーブレット変換した結果、位置信号 $p(t)$ に基づく拡張ウェーブレット変換した結果を示している。

例えば、図1 1 a、図1 1 bの速度信号に基づくウェーブレットスペクトルデ

ータを見ると、スペクトルの山（ピークスペクトル）が速度信号 $v(t)$ と周波数 $\omega = a^{-1}$ との比例関係を表す一直線上に並んでいることが判別できる。この結果から、エレベータの回転系が異常であることが判別され、さらに、速度と周波数との比例関係からモータ 51 の軸が異常であることが判別される。

また、図 13 a 乃至図 15 はエレベータのガイドレール 56 に異常がある場合の解析結果を示している。図 13 a、図 13 b、図 13 c はそれぞれ、モータトルク信号、かご速度信号 $v(t)$ 、かご位置信号 $p(t)$ を示している。図 14 a、図 14 b はそれぞれ、かご内加速度信号 $x(t)$ 、そのフーリエ変換結果を示している。

そして、乗るかご 54 が上昇中に、高さ約 10.7 m の部分にガイドレール 56 の継ぎ目による段差があり、この段差によって乗るかご 54 がインパルス状の外力を受け、振動を始めている。しかし、図 14 b に示したフーリエ変換の結果からは、どの部分で外力を受けたのか判別できない。

次に、加速度信号 $x(t)$ の位置信号 $p(t)$ に対する拡張ウェーブレット変換の結果を図 15 に示す。図 15 から解るように、かご位置 p 軸方向に対し、 $p = 10.7$ m の部分でスペクトルの急変が見られる。したがって、この $p = 10.7$ m の部分でガイドレール 56 の異常が発生していることが判別される。

以上述べたように本実施例によれば、エレベータの乗るかご 54 の加速度信号をかご速度に対して拡張ウェーブレット変換し、得られた拡張ウェーブレットスペクトルデータにおけるピークスペクトルの周波数とかご速度との比例関係から回転系のトルク変動が発生していることが判別でき、さらに比例係数から原因となる回転系の半径を特定できる。

同様に、加速度信号のかご位置に対する拡張ウェーブレットスペクトルデータのスペクトルの位置変化から、レール、ロープなどの傷の有無を判別でき、その

位置を特定することができる。

したがって、エレベータの異常診断、メンテナンス業務等の効率を大幅に向上させることができる。また、エレベータの移動距離が短く、観測データ長が短い場合でも精度の高い解析・異常診断を行うことが可能である。

なお、本実施例の異常判定手段は、エレベータのかご内加速度信号を一度記憶し、それに対して、オフライン処理で異常解析を行う場合と、実時間でデータの測定、特定状態量であるかご速度・加速度の推定、拡張ウェーブレット計算、異常の判定を全て実時間で行う場合とがある。

特に、エレベータシステムの異常診断への適用に関しては、加速度信号に含まれる振動スペクトルのかご位置、かご速度との相関関係が明確に把握でき、診断、異常箇所の特定が容易に行える。

第2実施例

次に、上記第1実施形態による非定常信号解析装置の第2実施例として、監視対象が列車である場合について図16及び図17を参照して説明する。

鉄道などの列車、電車は車輪の摩耗或いはレールの歪み、変形などにより、異常振動や異常音を発することがあり、乗り心地の低下、乗客の不快感、さらには列車事故の原因となる。

そこで、以下では、非定常信号解析装置を列車の異常診断システムとして使用する場合について説明する。

図16は本実施例による非定常信号解析装置の概略を示した構成図であり、図17は本実施例による非定常信号解析装置を列車に取り付けた状態を説明するための説明図である。

図16に示したように本実施形態による非定常信号解析装置は、応答データ測定手段1を構成する加速度センサー30及び音響センサー31を備えており、これらのセンサー30、31は図17に示したように列車32に取り付けられてい

る。加速度センサ30及び音響センサー31からなる応答データ測定手段1の検出信号は、ウェーブレット変換計算手段2に送られてここでウェーブレットスペクトルに変換される。

また、図17に示したように列車32には従来から位置センサ33及びエンコーダ34が取り付けられており、位置センサ33は地上に設置された地上識別子(目印)35を認識するものであり、一方、エンコーダ34は列車32の車輪軸に取り付けられてこの車輪軸の回転を検出するものである。

さらに、本実施例による非定常信号解析装置は、図16に示したように速度・位置検出手段36を備えており、この速度・位置検出手段36は、上述した位置センサ33及びエンコーダ34からの信号に基づいて、特定の状態量である列車の速度及び位置を検出し、時間～位置データ或いは時間～速度データを作成する。これらの時間～位置データ或いは時間～速度データは時間～状態量変換テーブル4に送られてここに格納される。

ウェーブレット変換計算手段2によって算出されたウェーブレットスペクトルは時間座標非線形変換手段3に送られ、この時間座標非線形変換手段3は、時間～状態量変換テーブル4からの時間～位置データ或いは時間～速度データに基づいて、ウェーブレットスペクトルの時間座標を列車位置座標或いは列車速度座標に変換して拡張ウェーブレットスペクトルを生成する。

時間座標非線形変換手段3の変換結果は異常判定手段8に送られ、この異常判定手段8において正常か異常かの判定がなされる。ここで、異常判定の方法としては、まず位置～周波数に対する拡張ウェーブレットスペクトルを過去の正常時のスペクトルデータと比較し、その差異がしきい値以上になった場合に線路のレール異常と判定し、さらに、異常が発生したレールの場所を特定する。

また、他の異常判定方法としては、速度～周波数に対する拡張ウェーブレットスペクトルを過去の正常時のスペクトルデータと比較し、その差異がしきい値以

上になった場合に列車の車輪異常と判定し、異常が発生した車輪を特定する。

なお、異常判定の際に使用される正常時のデータは、通常運転時のデータ或いは列車試験時のデータの基づいて別途作成し、予め準備しておくようにする。

異常判定手段 8 による判定結果は列車 3 2 内に設けられた表示警報装置（異常表示手段） 9 に送られ、異常の場合には運転員に対して警報が発せられる。また、異常判定手段 8 の判定結果は、有線又は無線の通信手段 3 7 によって列車管制センター内の受信手段 3 8 に送られ、さらに列車管制センター内の表示手段 7 に送られてここに表示される。

なお、上記の実施例においては実時間にて処理を実行することを前提としているが、実時間ではなくオフラインによって処理を実行することも可能である。

また、上記の実施例においては異常診断システムである非定常信号解析装置を列車の内部に設置するようにしているが、非定常信号解析装置を列車外部に設置し、加速度センサー 3 0 及び音響センサー 3 1 を線路側に取り付けることによって上記と同様の機能を実現することができる。

第 3 実施例

次に、上記第 1 実施形態による非定常信号解析装置の第 3 実施例として、不特定の監視対象の異常を解析するための汎用異常診断ツールである非定常信号解析装置について図 1 8 乃至図 2 1 を参照して説明する。本実施例による非定常信号解析装置は、センサー、演算機能、及び表示機能等が一体化した携帯型の解析装置或いは異常診断装置である。

図 1 8 は本実施例による非定常信号解析装置（汎用異常診断装置） 4 0 の外観を示した斜視図であり、図 1 9 はこの非定常信号解析装置の内部のシステム構成を示した構成図である。

図 1 8 及び図 1 9 に示したようにこの非定常信号解析装置 4 0 は、解析結果である拡張ウェーブレットスペクトルデータを表示するための表示部 4 1 を備えて

おり、この表示部41は電子ペンよりなるポインティングデバイス42によって使用者が画面上の特定の領域を指定できるようになっている。なお、ポインティングデバイスとしては、電子ペンに代えてマウスを設けることもできる。

また、本実施例による非定常信号解析装置40は、応答データ測定手段である加速度センサー43を内蔵しており、さらに、監視対象の状態量信号を取り込むための外部信号入力端子44を備えている。加速度センサー43からの検出信号及び外部信号入力端子44からの入力信号は、非定常信号解析装置40の内部に設けられた中央処理装置(CPU)45に送られるようになっている。CPU45にはメモリ46が接続されており、センサー情報はこのメモリ46に記憶され、CPU45によって拡張ウェーブレット変換計算が実行される。

図20は、CPU45によって得られた拡張ウェーブレットスペクトルデータを表示部41に表示した状態の一例を示しており、画面上の横軸が特定の状態量(監視対象の位置、速度など)を示し、縦軸が周波数を示し、さらに、スペクトルのパワーの強さを等高線で表示したものである。なお、等高線に代えて色分けでスペクトルのパワーを表示することも可能である。

そして、使用者は、電子ペン又はマウスなどよりなるポインティングデバイス42を操作して、表示部41の画面上で領域指定線によって異常診断の実施を希望する特定の領域を指定する。なお、指定する領域の形は長方形には限られず、任意の形状が可能である。

このようにして表示部41の画面上で特定の領域を指定すると、指定された領域に相当する拡張ウェーブレットデータだけが切り出され、切り出されたデータのみに対して引き続いて異常診断処理が実施される。また、指定領域以外の部分のデータを0と見なした上で以後の異常診断処理を実施するようにしても良い。

次に、図21を参照して、領域指定後の異常診断処理について説明する。図21において符号47はポインティングデバイス42を含む領域指定手段であり、

この領域指定手段47によって異常診断すべき領域が指定されると、データ抽出手段48によって指定した領域に対応する拡張ウェーブレットスペクトルデータが取り出されるか、或いは、指定領域以外の部分のデータが0にセットされる。

このようにして加工されたデータは異常判定手段8に送られ、これらのデータに基づいて、例えば前述した式(12)及び式(13)に示した手順などによって異常の有無が判定される。異常判定手段8による判定結果は表示手段7に送られてここで表示される。なお、表示部41を表示手段7として兼用することもできる。

以上述べたように本実施例においては、領域指定手段47及びデータ抽出手段48によって、表示部41に表示された全スペクトルデータのうちの一部を指定できるようにしたので、表示部41に表示された全スペクトルデータの中から通常と異なった特徴を示している部分を使用者が判断して取り出し、取り出した部分のみに対して異常判定手段8によって解析することができる。このため、異常診断解析の際に、指定領域以外の部分に含まれるノイズや外乱その他の因子の影響を受けることがなく、異常判定の精度を向上させることができる。

第2実施形態

次に、本発明の第2実施形態による非定常信号解析プログラムを記録した媒体について図22及び図23を参照して説明する。

本実施形態による非定常信号解析プログラムを記録した媒体は、上述した第1実施形態におけるウェーブレット変換計算手段2、時間座標非線形変換手段3、及び状態量変化関数設定手段(時間～状態量変換テーブル4、状態量推定手段6)のそれぞれの機能をコンピュータに実現させるための非定常信号解析プログラムを記録した、機械読み取り可能な又はコンピュータ読み取り可能な記録媒体(記憶媒体)である。

また、非定常信号解析プログラムに、さらに、上述した第1実施形態における

異常判定手段8の機能についてのプログラムを追加することもできる。

本実施形態における非定常信号解析プログラムによる解析手順は、上記第1実施形態及びその変形例、或いは第1実施形態の第1乃至第3実施例において説明した解析手順と同様である。

図22は、本実施形態による非定常信号解析プログラムを記録した媒体からプログラムを読み出すためのコンピュータシステムを示した斜視図であり、記録媒体に記録されているプログラムは、コンピュータシステム50に搭載された記録媒体駆動装置により読み出されて非定常信号の解析に用いられる。

コンピュータシステム50は、図22に示したように、ミニタワー等の筐体に収納されたコンピュータ本体51と、CRT（陰極線管）、プラズマディスプレイ、液晶表示装置（LCD）等の表示装置52と、記録出力装置としてのプリンタ53と、入力装置としてのキーボード54a及びマウス54bと、フレキシブルディスクドライブ装置56と、CD-ROMドライブ装置57と、を備えている。

図23は、本実施形態による非定常信号解析プログラムを記録した媒体からプログラムを読み出すためのコンピュータシステムを示したブロック図である。図23に示したように、コンピュータ本体51が収納された筐体内には、RAM等よりなる内部メモリー55と、ハードディスクドライブユニット58等の外部メモリーがさらに設けられている。

非定常信号解析プログラムが記録されたフレキシブルディスク61は、図22に示したように、フレキシブルディスクドライブ装置56のスロットに挿入されて所定のアプリケーションプログラムに基づいて読み出し可能である。なお、プログラムを記録した媒体としては、フレキシブルディスク61のみに限られず、CD-ROM62であっても良い。また、記録媒体は、図示しないMO (Magnet Optical) ディスク、光ディスク、DVD (Digital Versatile Disk)、カードメ

モリ、磁気テープ等であっても良い。

産業上の利用可能性

本発明による非定常信号解析装置及び非定常信号解析プログラムを記録した媒体は、監視対象の特定の状態量に対する周波数の変化の依存性、相関関係を求めることができるので、エレベータや列車等の監視対象の異常状態を診断するために広く用いることができる。



請 求 の 範 囲

1. 監視対象から発生する非定常信号を解析するための非定常信号解析装置において、

前記非定常信号をウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを作成するウェーブレット変換計算手段と、

前記監視対象における特定の状態量の時間変化を表した状態量変化関数を設定する状態量変化関数設定手段と、

前記状態量変化関数の逆関数によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換する時間座標非線形変換手段と、を備えたことを特徴とする非定常信号解析装置。

2. 監視対象がエレベータであって、このエレベータの乗りかごにおいて測定された非定常信号である加速度信号を解析するための非定常信号解析装置において、

前記加速度信号をウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを作成するウェーブレット変換計算手段と、

前記乗りかごの特定の状態量である昇降位置又は昇降速度の時間変化を表した状態量変化関数を設定する状態量変化関数設定手段と、

前記状態量変化関数の逆関数によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記昇降位置又は前記昇降速度の座標に非線形変換する時間座標非線形変換手段と、を備えたことを特徴とする非定常信号解析装置。

3. 前記時間座標非線形変換手段は、拡張ウェーブレット変換式

$$wt(a,b) = \int_{z(-\infty)}^{z(\infty)} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz$$



によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の非定常信号解析装置。

4. 前記時間座標非線形変換手段は、前記ウェーブレットスペクトルデータを各時間毎に分割し、時間と前記特定の状態量との関係を記憶したデータテーブル或いは前記状態量変化関数に基づいて、分割されたデータを状態量順に並べ替え、各データ間を補間或いは平滑化处理することによって、前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の非定常信号解析装置。

5. 前記非定常信号を測定するための応答データ測定手段をさらに有することを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか一項に記載の非定常信号解析装置。

6. 前記状態量変化関数設定手段は、前記特定の状態量以外の状態量に関する測定データに基づいて前記状態量変化関数を推定するようにしたことを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の非定常信号解析装置。

7. 前記特定の状態量以外の状態量に関する測定データは前記非定常信号に関する測定データであることを特徴とする請求項6に記載の非定常信号解析装置。

8. 前記状態量変化関数設定手段は、前記監視対象の動特性モデルに基づく状態観測器又はカルマンフィルタを用いて、前記特定の状態量の時間変化を前記特定の状態量以外の状態量の測定データに基づいて推定することによって前記状態量変化関数を推定するようにしたことを特徴とする請求項6又は請求項7に記載の非定常信号解析装置。

9. 前記状態量変化関数設定手段は、前記特定の状態量の測定データに基づいて前記状態量変化関数を求めるようにしたことを特徴とする請求項1乃至請求



項5のいずれか一項に記載の非定常信号解析装置。

10. 前記状態量変化関数設定手段は、予め求めておいた前記状態量変化関数を使用するようにしたことを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の非定常信号解析装置。

11. 少なくとも前記特定の状態量の座標及び周波数の座標を有する座標系によって前記時間座標非線形変換手段の解析結果を表示する表示手段をさらに有することを特徴とする請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の非定常信号解析装置。

12. 前記時間座標非線形変換手段の解析結果に基づいて前記監視対象における異常の発生の有無を判定する異常判定手段をさらに有することを特徴とする請求項11記載の非定常信号解析装置。

13. 前記時間座標非線形変換手段の解析結果であるスペクトルデータについての前記表示手段による表示に対して、表示全体の中の特定の領域を指定するための領域指定手段と、

前記領域指定手段によって指定された領域に対応するスペクトルデータを取り出して前記異常判定手段に送るためのデータ抽出手段と、をさらに有することを特徴とする請求項12記載の非定常信号解析装置。

14. 前記異常判定手段による判定結果を前記表示手段に表示するようにしたことを特徴とする請求項12又は請求項13に記載の非定常信号解析装置。

15. 前記異常判定手段による判定結果を表示する異常表示手段をさらに有することを特徴とする請求項12乃至請求項14のいずれか一項に記載の非定常信号解析装置。

16. 監視対象から発生する非定常信号をコンピュータによって解析するためのプログラムを記録した媒体であって、この非定常信号解析プログラムはコンピュータに、



前記非定常信号をウェーブレット変換してウェーブレットスペクトルデータを
作成するウェーブレット変換計算機能と、

前記監視対象における特定の状態量の時間変化を表した状態量変化関数を設定
する状態量変化関数設定機能と、

前記状態量変化関数の逆関数によって前記ウェーブレットスペクトルデータの
時間座標を前記特定の状態量の座標に非線形変換する時間座標非線形変換機能と、
を実現させることを特徴とする非定常信号解析プログラムを記録した媒体。

17. 前記監視対象はエレベータであり、前記非定常信号は前記エレベータ
の乗りかごにおいて測定された加速度信号であり、前記特定の状態量は前記乗り
かごの昇降位置又は昇降速度であることを特徴とする請求項16記載の非定常信
号解析プログラムを記録した媒体。

18. 前記時間座標非線形変換手段は、拡張ウェーブレット変換式

$$wt(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \phi\left(\frac{t(z-b)}{a}\right) x(t(z)) \frac{dt(z)}{dz} dz$$

によって前記ウェーブレットスペクトルデータの時間座標を非線形変換したスペ
クトルデータを計算することを特徴とする請求項16又は請求項17に記載の非
定常信号解析プログラムを記録した媒体。

19. 前記時間座標非線形変換手段は、前記ウェーブレットスペクトルデー
タを各時間毎に分割し、時間と前記特定の状態量との関係を記憶したデータテー
ブル或いは前記状態量変化関数に基づいて、分割されたデータを状態量順に並べ
替え、各データ間を補間或いは平滑化处理することによって、時間座標を前記特
定の状態量の座標に非線形変換したスペクトルデータを計算することを特徴とす
る請求項16又は請求項17に記載の非定常信号解析プログラムを記録した媒体。