

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3968656号  
(P3968656)

(45) 発行日 平成19年8月29日(2007.8.29)

(24) 登録日 平成19年6月15日(2007.6.15)

|                             |            |     |   |
|-----------------------------|------------|-----|---|
| (51) Int. Cl.               | F I        |     |   |
| <b>G05B 23/02</b> (2006.01) | G05B 23/02 |     | R |
| <b>G06Q 50/00</b> (2006.01) | G06F 17/60 | 138 |   |
| <b>G21C 17/00</b> (2006.01) | G21C 17/00 |     | P |
|                             | G21C 17/00 |     | X |

請求項の数 5 (全 15 頁)

|           |                               |           |                       |
|-----------|-------------------------------|-----------|-----------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2003-28239 (P2003-28239)    | (73) 特許権者 | 000005108             |
| (22) 出願日  | 平成15年2月5日(2003.2.5)           |           | 株式会社日立製作所             |
| (65) 公開番号 | 特開2004-240642 (P2004-240642A) |           | 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号     |
| (43) 公開日  | 平成16年8月26日(2004.8.26)         | (74) 代理人  | 100098017             |
| 審査請求日     | 平成16年8月6日(2004.8.6)           |           | 弁理士 吉岡 宏嗣             |
|           |                               | (72) 発明者  | 楠見 尚弘                 |
|           |                               |           | 茨城県日立市大みか町七丁目2番1号     |
|           |                               |           | 株式会社日立製作所 電力・電機開発研究所内 |
|           |                               | (72) 発明者  | 大賀 幸治                 |
|           |                               |           | 茨城県日立市大みか町七丁目2番1号     |
|           |                               |           | 株式会社日立製作所 電力・電機開発研究所内 |
|           |                               | 審査官       | 佐々木 一浩                |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラント機器の保守支援装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラント機器の観測値を蓄積する観測値データベースと、前記プラント機器の情報を蓄積する機器データベースと、前記プラント機器の点検情報を蓄積する点検情報データベースと、前記観測値データベース、前記機器データベース、前記点検情報データベースの観測値および情報を用いて任意時刻のプラント機器異常を診断する状態診断部と、前記機器データベースおよび前記点検情報データベースの情報と前記状態診断部で診断した情報とを用いて前記プラント機器異常がプラント運転に及ぼす影響を評価するプラント運転影響度評価部と、前記状態診断部および前記プラント運転影響度評価部で得た結果を用いて前記プラント機器の点検方法および点検時期を決定する点検方法/時期決定部とからなるプラント機器の保守支援装置において、

10

前記状態診断部は、前記観測値データベースに納められている過去の実測値に基づいて機器のモデルを作成するモデル作成手段と、作成されたモデルを用いて機器の任意の状態量を計算するモデル計算手段と、前記状態量に基づいて異常確率を計算する異常確率計算手段とを含み、

前記プラント運転影響度評価部は、故障モード影響度解析によって得られた前記プラント機器の影響度と、前記故障モードを頂上事象とするフォールトツリー解析の結果から得られる異常要因に対して前記状態診断部で算出される前記異常確率を前記異常要因の発生確率とし前記故障モードが前記プラント機器の異常によってどれくらいの割合で関与しているかを算出した結果と、前記プラント機器がオンライン状態で点検可能であれば1以上

20

の数値を代入した係数とを用いて、点検可能でなければ1を代入した係数とを用いて、前記故障モードの影響度と前記故障モードの発生確率と前記点検の係数とを乗算した結果を前記プラント機器の異常によるプラント運転への影響度の評価値とする手段を含み、

前記点検方法/時期決定部は、前記プラント運転影響度評価部で得られた評価結果が所定のしきい値を超えかつオンライン状態で点検可能である場合に、前記状態診断部で算出された異常発生までの残り時間内に点検時期を設定する手段を含むことを特徴とするプラント機器の保守支援装置。

#### 【請求項2】

プラント機器の観測値を蓄積する観測値データベースと、前記プラント機器の情報を蓄積する機器データベースと、前記プラント機器の点検情報を蓄積する点検情報データベースと、観測できない機器の状態量を推定し、前記観測値データベース、前記機器データベース、前記点検情報データベースの観測値および情報ならびに推定された前記観測できない機器の状態量を用いて任意時刻のプラント機器異常を診断する状態診断部と、前記機器データベースおよび前記点検情報データベースの情報と前記状態診断部で診断した情報とを用いて前記プラント機器異常がプラント運転に及ぼす影響を評価するプラント運転影響度評価部と、前記状態診断部および前記プラント運転影響度評価部で得た結果を用いて前記プラント機器の点検方法および点検時期を決定する点検方法/時期決定部とからなるプラント機器の保守支援装置において、

前記状態診断部は、取得できる実測値に基づいてセンサなどで直接観測できない値を推定する状態推定手段と、前記観測値データベースに納められている過去の実測値および推定された前記観測できない機器の状態量に基づいて機器のモデルを作成するモデル作成手段と、作成されたモデルを用いて機器の任意の状態量を計算するモデル計算手段と、前記状態量に基づいて異常確率を計算する異常確率計算手段とを含み、

前記プラント運転影響度評価部は、故障モード影響度解析によって得られた前記プラント機器の影響度と、前記故障モードを頂上事象とするフォールトツリー解析の結果から得られる異常要因に対して前記状態診断部で算出される前記異常確率を前記異常要因の発生確率とし前記故障モードが前記プラント機器の異常によってどれくらいの割合で関与しているかを算出した結果と、前記プラント機器がオンライン状態で点検可能であれば1以上の数値を代入した係数とを用いて、点検可能でなければ1を代入した係数とを用いて、前記故障モードの影響度と前記故障モードの発生確率と前記点検の係数とを乗算した結果を前記プラント機器の異常によるプラント運転への影響度の評価値とする手段を含み、

前記点検方法/時期決定部は、前記プラント運転影響度評価部で得られた評価結果が所定のしきい値を超えかつオンライン状態で点検可能である場合に、前記状態診断部で算出された異常発生までの残り時間内に点検時期を設定する手段を含むことを特徴とするプラント機器の保守支援装置。

#### 【請求項3】

請求項1または2に記載のプラント機器の保守支援装置において、

前記観測値データベースは、プラントから得られる観測値を点検時期からの経過日数毎に格納する手段と観測値を前記状態診断部にリアルタイムで転送する手段とを備えたことを特徴とするプラント機器の保守支援装置。

#### 【請求項4】

請求項1, 2, 3のいずれか一項に記載のプラント機器の保守支援装置において、

前記状態診断部の前記異常確率計算手段は、前記観測値データベースに格納されている過去の観測値を用いて作成されたモデルを用いて前記プラント機器の任意時刻における観測値を予測し、その結果を用いて前記プラント機器の任意時刻における異常確率と現時刻から異常発生までの残り時間とを算出する手段を含むことを特徴とするプラント機器の保守支援装置。

#### 【請求項5】

請求項1, 2, 3のいずれか一項に記載のプラント機器の保守支援装置において、

前記状態診断部の前記異常確率計算手段は、前記観測値データベースに格納されている

10

20

30

40

50

過去の観測値を用いて作成されたモデルおよび観測できない機器の状態量を推定するモデルを用いて前記プラント機器の任意時刻における観測値を予測し、その結果を用いて前記プラント機器の任意時刻における異常確率と現時刻から異常発生までの残り時間とを算出する手段を含むことを特徴とするプラント機器の保守支援装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、原子力プラント、火力プラント、化学プラントなどのプラント機器の保守支援装置に係り、特に、各プラント機器の異常がプラント運転に及ぼす影響度を評価し、その影響度に基づいて各機器の点検手法および点検時期を決定する手段に関する。

10

【0002】

【従来技術】

原子力プラントに代表される大規模プラントを構成する機器の点検時期を適切に決定することは、古くから検討されている。特に、原子力プラントのように安全性が重視される場合には、機器故障によるプラントへの影響を考慮して、そのプラント機器の点検時期を決定する必要がある。

【0003】

そこで、経年劣化による機器の故障とその機器の故障モードによる影響とを故障モード影響解析によって評価し、評価値に基づいてそのプラント機器の点検時期を決定していた(例えば、特許文献1参照)。

20

【0004】

また、保存されたデータに基づいて経年劣化状態を評価し、その経年劣化がプラントに及ぼす影響を評価し、経年劣化状態および影響に基づいてそのプラント機器の点検時期を決定していた(例えば、特許文献2参照)。

【0005】

【特許文献1】

特開2000-002785号公報(第4-5頁、図1、図5-7)

【特許文献2】

特開2001-125626号公報(第4-5頁、図1、図2)

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、プラント機器の故障は、経年劣化だけにより生ずるわけではない。点検時期の決定には、経年劣化のみならず、プラント機器に異常状態が発生した事象も考慮する必要がある。従来は、この経年劣化とは直接関係が無い機器異常について点検時期を決定する方法がなかった。

【0007】

一般に、機器故障は、機器のある個所が異常状態となったことが一要因となる。そのため、保全という観点からは、その異常状態による故障発生を未然に防ぎ、プラントへの影響を小さくすることが、非常に重要である。

【0008】

本発明の目的は、経年劣化と関係が無い場合でも、プラント機器が異常に至った際のプラント運転への影響度を的確に評価し、機器の点検手法および点検時期を決定するプラント機器の保守支援装置を提供することである。

40

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記目的を達成するために、プラント機器の観測値を蓄積する観測値データベースと、前記プラント機器の情報を蓄積する機器データベースと、前記プラント機器の点検情報を蓄積する点検情報データベースと、前記観測値データベース、前記機器データベース、前記点検情報データベースの観測値および情報を用いて任意時刻のプラント機器異常を診断する状態診断部と、前記機器データベースおよび前記点検情報データベースの情

50

報と前記状態診断部で診断した情報とを用いて前記プラント機器異常がプラント運転に及ぼす影響を評価するプラント運転影響度評価部と、前記状態診断部および前記プラント運転影響度評価部で得た結果を用いて前記プラント機器の点検方法および点検時期を決定する点検方法/時期決定部とからなるプラント機器の保守支援装置を提案する。

【0010】

前記状態診断部は、前記観測値データベースに納められている過去の実測値に基づいて機器のモデルを作成するモデル作成手段と、作成されたモデルを用いて機器の任意の状態量を計算するモデル計算手段と、前記状態量に基づいて異常確率を計算する異常確率計算手段とを含むことができる。

【0011】

本発明は、また、上記目的を達成するために、プラント機器の観測値を蓄積する観測値データベースと、前記プラント機器の情報を蓄積する機器データベースと、前記プラント機器の点検情報を蓄積する点検情報データベースと、観測できない機器の状態量を推定し、前記観測値データベース、前記機器データベース、前記点検情報データベースの観測値および情報ならびに推定された前記観測できない機器の状態量を用いて任意時刻のプラント機器異常を診断する状態診断部と、前記機器データベースおよび前記点検情報データベースの情報と前記状態診断部で診断した情報とを用いて前記プラント機器異常がプラント運転に及ぼす影響を評価するプラント運転影響度評価部と、前記状態診断部および前記プラント運転影響度評価部で得た結果を用いて前記プラント機器の点検方法および点検時期を決定する点検方法/時期決定部とからなるプラント機器の保守支援装置を提案する。

【0012】

前記状態診断部は、取得できる実測値に基づいてセンサなどで直接観測できない値を推定する状態推定手段と、前記観測値データベースに納められている過去の実測値および推定された前記観測できない機器の状態量に基づいて機器のモデルを作成するモデル作成手段と、作成されたモデルを用いて機器の任意の状態量を計算するモデル計算手段と、前記状態量に基づいて異常確率を計算する異常確率計算手段とを含む。

【0013】

前記観測値データベースは、プラントから得られる観測値を点検時期からの経過日数毎に格納する手段と観測値を前記状態診断部にリアルタイムで転送する手段とを備える。

【0014】

前記状態診断部の前記異常確率計算手段は、前記点検方法/時期決定部で得られた結果を反映して異常確率を計算する手段を含む。

【0015】

前記状態診断部の前記異常確率計算手段は、前記観測値データベースに格納されている過去の観測値を用いて作成されたモデルを用いて前記プラント機器の任意時刻における観測値を予測し、その結果を用いて前記プラント機器の任意時刻における異常確率と現時刻から異常発生までの残り時間とを算出する手段を含む。

【0016】

前記状態診断部の前記異常確率計算手段は、前記観測値データベースに格納されている過去の観測値を用いて作成されたモデルおよび観測できない機器の状態量を推定するモデルを用いて前記プラント機器の任意時刻における観測値を予測し、その結果を用いて前記プラント機器の任意時刻における異常確率と現時刻から異常発生までの残り時間とを算出する手段を含む。

【0017】

前記プラント運転影響度評価部は、プラント運転中に点検可能である場合、該当する前記プラント機器の影響を考慮して影響度を評価する手段を含む。

【0018】

前記プラント運転影響度評価部は、故障モード影響度解析によって得られた前記プラント機器の影響度と、前記故障モードを頂上事象とするフォールトツリー解析の結果から得られる異常要因に対して前記状態診断部で算出される前記異常確率を前記異常要因の発生確

10

20

30

40

50

率とし前記故障モードが前記プラント機器の異常によってどれくらいの割合で関与しているかを算出した結果と、前記プラント機器がプラント運転中に点検可能であれば1以上の数値を代入した係数を用いて、点検可能でなければ1を代入した係数を用いて、前記プラント機器の異常によるプラント運転への影響度を評価する手段を含む。

【0019】

前記点検方法/時期決定部は、前記プラント運転影響度評価部で得られた評価結果が所定のしきい値を超えかつプラント運転中に点検が可能である場合に、前記状態診断部で算出された異常発生までの残り時間内に点検時期を設定する手段を含む。

【0020】

【発明の実施の形態】

次に、図1～図9を参照して、本発明によるプラント機器の保守支援装置の実施形態を説明する。なお、これらの実施形態は、本発明を原子力発電プラントに適用した例である。

【0021】

【実施形態1】

図1は、本発明によるプラント機器の保守支援装置の実施形態1の構成を示すブロック図である。本実施形態1のプラント機器の保守支援装置は、観測値データベース1と、機器データベース2と、点検情報データベース3と、状態診断部4と、プラント運転影響度評価部5と、点検方法/時期決定部6と、表示部7と、保存部8とを備えている。状態診断部4は、モデル作成手段41と、モデル計算手段42と、異常確率計算手段43とを含んでいる。

【0022】

観測値データベース1は、プラントから得られる観測値を格納している。また、同じ観測値でも、点検時期から経過した時間毎に観測値を並べ替えることができる。さらに、オンラインで状態監視が可能となるように、プラントから得られた観測値を格納するとともに、状態診断部4にその観測値を送る機能も備えている。

【0023】

機器データベース2には、プラントの構成機器に関する設計データと、故障および異常となる観測値のしきい値と、故障モード影響度解析により予め得られた解析データと、故障モード影響度解析の各故障モードを頂上現象としたフォールトツリー解析による解析データとが格納されている。

【0024】

点検情報データベース3は、点検方法と、点検時期の履歴と、オンラインメンテナンスが可能な場合の点検情報係数( )とを格納している。点検情報係数( )については、点検方法/時期決定部6とともに、後で詳細に説明する。

【0025】

状態診断部4は、機器の任意時刻における異常確率を算出する。状態診断部4の中で、モデル作成手段41は、観測値データベース1に納められている過去の実測値に基づいて機器のモデルを作成する。モデル計算手段42は、作成されたモデルを用いて、機器の任意の状態量を計算する。異常確率計算手段43は、その状態量に基づいて異常確率を計算する。

【0026】

プラント運転影響度評価部5は、故障モード影響度解析により予め得られた各機器の故障モードに対応するプラントへの影響度と、各機器の故障モードを頂上現象としたフォールトツリー解析を実施した結果による異常影響度とを算出し、状態診断部4で算出した異常確率と点検情報データベース3に格納されている点検情報係数( )とを用いて、プラント運転への影響度を評価する。

【0027】

点検方法/時期決定部6は、プラント運転影響度評価部5で得られた評価結果と点検情報データベース3および状態診断部4から得られた異常発生までの残り時間とを考慮し、各機器の点検方法および点検時期を決定する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 8 】

決定した点検方法および点検時期の情報は、点検情報データベース 3 と、状態診断部 4 と、プラント運転影響度評価部 5 とにそれぞれ反映される。

## 【 0 0 2 9 】

特に、状態診断部 4 では、点検方法および点検時期を考慮したオンラインでの状態監視を実施し、プラント運転の安全性を確保するための支援が可能となっている。

## 【 0 0 3 0 】

表示部 7 は、点検方法 / 時期決定部 6 で決定された点検方法および点検時期を表示する。状態診断部 4 における診断結果も併せて表示できる。保存部 8 は、点検方法および点検時期を決定するまでに用いた情報を一括して保存する。なお、表示部 7 としては、汎用品の表示機器を用いることができ、保存部 8 の構成機器も特殊な物ではない。

10

## 【 0 0 3 1 】

したがって、観測値データベース 1 , 機器データベース 2 , 点検情報データベース 3 , 状態診断部 4 , プラント運転影響度評価部 5 , 点検方法 / 時期決定部 6 をユニットとし、表示部 7 および保存部 8 を外部機器として接続する構成を採用してもよい。

## 【 0 0 3 2 】

図 2 は、状態診断部 4 において異常確率を算出する方法を示す図である。

## 【 0 0 3 3 】

任意時刻の予測値を得るために、観測値データベース 1 に格納されている実測値に基づいてモデル作成手段 4 1 でモデルを作成しておく。モデル作成手段 4 1 では、観測値を状態量として種々のモデルを使用できる。モデルとしては、ARMA モデルなどに代表される統計的モデル、物理モデル、伝達関数やニューラルネットワークに代表されるブラックボックスモデルなどがあり、各機器から得られる観測値や異常診断の種類に応じて選択する。

20

## 【 0 0 3 4 】

モデル計算手段 4 2 は、得られた実測値を初期値としてモデルに入力し、任意時刻の予測値を得る。

## 【 0 0 3 5 】

図 2 のように、モデルに与える初期値の時刻を  $t_0$  とし、時刻  $t_1$  の観測値  $x$  がモデルによる予測値で得られたとする。このとき、時刻  $t_1$  における予測値の確率分布を過去の実測値から求めておき、観測値  $x$  の確率  $P(x)$  を算出する。

30

## 【 0 0 3 6 】

例えば、時刻  $t_1$  における確率分布が正規分布に従うとすると、観測値  $x$  に対する確率  $P(x)$  は、数式 1 で求められる。ここで、 $\sigma^2$  は分散、 $\mu$  は平均、 $x$  は十分小さい正の値を表す。

## 【 0 0 3 7 】

## 【 数 1 】

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \Delta x$$

40

観測値  $x$  が平均から離れると、 $P(x)$  は小さくなり、過去の実測値から得られる正常な範囲から外れることを意味する。そこで、この確率  $P(x)$  を用いて、数式 2 により、異常確率を算出する。

## 【 0 0 3 8 】

## 【 数 2 】

## 異常確率 = $1 - P(x)$

数式 2 によれば、観測値  $x$  が正常値から外れると、異常確率が大きくなる。

【 0 0 3 9 】

ここで考慮した時刻  $t_0$  と  $t_1$  の差  $t_1 - t_0$  を異常発生までの残り時間とする。

【 0 0 4 0 】

図 3 は、原子力プラントの再循環ポンプを対象として、故障モードがプラントに及ぼす影響度を解析した例を示す図である。

10

【 0 0 4 1 】

機器データベース 2 には、図 3 に示すように、機種に応じて構成要素、故障モード、故障原因、故障の影響、影響度が記述されている。ここでは、影響度が最も高いプラント停止に至る故障モードを 5 とし、影響度を 1 ~ 5 段階で分類しているが、本発明は、このような分類方式には限定されない。

【 0 0 4 2 】

ただし、この影響度は、経年劣化に起因する故障に関するものであるため、そのまま使用すると機器異常による影響度にならない。そこで、各故障モードを頂上現象としたフォールトツリー解析を実施し、異常要因に対する各故障モードとの関係を解析し、機器異常による影響度を算出することにする。

20

【 0 0 4 3 】

図 4 は、原子力プラントの再循環ポンプについて、シール室圧力異常を頂上現象として故障に至る異常要因を解析した例を示す図である。

【 0 0 4 4 】

原子力プラントの再循環ポンプは、ステンレス鋼製の単段、二重渦巻形の立型遠心ポンプである。その軸シールは、一段で全圧力をシール可能なメカニカルシールを二段直列に配置してある。

【 0 0 4 5 】

各シールにかかる圧力を等分するために、シール水の一部を外部に流出させるコントロール・ブリードオフを実施している。各シールを監視するため、一段目および二段目のシール室圧力と温度とを測定し、二段目シールからの漏えい量とコントロール・ブリードオフ量とを測定している。

30

【 0 0 4 6 】

図 4 に示すように、シール室圧力異常 10 をフォールトツリー解析の頂上現象とすると、異常要因は、漏えい量異常 12, コントロール・ブリードオフ量異常 13, 一段目シール室圧力異常 14, 二段目シール室圧力異常 15, 一段目シール室温度異常 16, 二段目シール室温度異常 17 からなり、OR ゲート 11 を介して、頂上現象に接続されている。

【 0 0 4 7 】

また、それぞれの異常要因に状態診断部 4 で算出された異常確率を当てはめると、各異常要因によるシール室圧力異常の確率が算出される。

40

【 0 0 4 8 】

一般に、OR ゲートを介したフォールトツリーにおいては、いずれかの要因が異常となれば、上位の事象が発生するので、数式 3 を用いて確率を決定する。ここで、 $P_{UOR}$  は OR ゲートの上位事象、 $P_1$  はその要因事象、 $I$  は添え字  $i$  の集合を表す。

【 0 0 4 9 】

【 数 3 】

$$P_{UOR} = \max_{i \in I} P_i$$

10

この場合、上位事象であるシール室圧力異常 10 が発生する確率  $P_{PLRI}$  は、漏えい量異常 12 の確率  $P_1$ 、コントロール・ブリードオフ量異常 13 の確率  $P_2$ 、一段目シール室圧力異常 14 の確率  $P_3$ 、二段目シール室圧力異常 15 の確率  $P_4$ 、一段目シール室温度異常 16 の確率  $P_5$ 、二段目シール室温度異常 17 の確率  $P_6$  のうちで、一番大きい確率の値を選択することになる。このとき求めた頂上事象の発生確率を異常による故障モード発生確率とする。

【0050】

一方、頂上事象がその異常要因の AND 関係で成立する場合も考慮しなければならない。

【0051】

図5は、機器データベースに格納されている故障に至る異常要因の AND 関係で頂上事象が生ずる場合を説明する図である。異常要因は、異常事象 A22 と異常事象 B23 とからなり、AND ゲート 21 を介して、頂上事象 A20 に接続されている。

20

【0052】

この場合も、各異常事象に状態診断部4で算出された異常確率を当てはめ、数式4により、頂上事象 A20 が発生する確率を求める。ここで、 $P_{UAND}$  は AND ゲートの頂上事象が発生する確率、 $P_j (j = 1, \dots, N)$  は頂上事象の要因となる異常事象を表す。

【0053】

【数4】

$$P_{UAND} = \frac{\sum_{j=1}^N P_j}{N}$$

30

各異常要因が AND 関係であることから、それぞれの確率が高くなければ、上位である事象が発生しないので、各異常事象の確率の平均値を設定する。ここでも、得られた頂上事象の発生確率を異常による故障モード発生確率とする。

【0054】

図6は、プラント運転影響評価部の処理手順を示すフローチャートである。この一連の処理を全ての機器の全ての故障モードについて実施する。

【0055】

ステップ100：異常確率が算出されているかを確認する。

【0056】

ステップ101：異常確率が算出されていなければ、異常確率を算出する。

40

50

【0057】

ステップ102：次に、異常による故障モード発生確率が算出されているかを確認する。

【0058】

ステップ103：算出されていなければ、異常による故障モード発生確率を算出する。

【0059】

ステップ104：機器情報データベース3を参照し、該当機器がオンラインメンテナンス可能であるかどうかを確認する。オンラインメンテナンスが可能であれば、運転中待機係数が減少した状態における点検となるので、その影響度を通常の影響よりも大きくするために、点検情報係数を1以上に設定する。点検情報係数は、機器の機能や設置場所および待機係数の大小などを考慮して決定する。オンラインメンテナンスが可能でなければ、定期検査における実施となるため、点検情報係数( )は1に設定する。 10

【0060】

ステップ105：最後に、異常による故障モード発生確率に、その故障モードの影響度および点検情報係数( )をそれぞれ乗算し、それを評価値とする。

【0061】

図7は、点検方法/時期決定部の処理手順を示すフローチャートである。

【0062】

ステップ110：まず、該当機器がオンラインメンテナンス可能であるかを確認する。

【0063】

ステップ111：オンラインメンテナンスが可能であれば、状態監視保全を選択する。 20

【0064】

ステップ115：そうでなければ、時間計画保全を選択する。

【0065】

ステップ112：状態監視保全111の場合、プラント運転影響度評価部5で算出された評価値をしきい値と比較する。

【0066】

ステップ113：評価値がしきい値よりも大きければ、状態診断部4で求めた異常発生までの残り時間内に点検時期を設定する。

【0067】

ステップ114：そうでなければ、点検時期延長が可能とする。 30

【0068】

ステップ116：時間計画保全115の場合、プラント運転影響度評価部5で算出された評価値をしきい値と比較する。

【0069】

ステップ117：評価値がしきい値よりも大きければ、次回の定期検査における検査を設定する。

【0070】

ステップ114：そうでなければ、点検時期延長が可能とする。

【0071】

ここまでは、機器異常のプラント運転への影響度を評価し、この影響度に基づき、各機器の点検方法および点検時期を決定する基本的方式について説明した。 40

【0072】

現実には、点検時期が延長された場合またはオンラインメンテナンスを実施できない機器で評価値がしきい値よりも大きい場合などは、プラントのより一層の安全性を考慮して、状態監視によるモニタリングに評価情報を反映する必要がある。

【0073】

本発明では、このようなことも考慮して、点検方法/時期決定部で得られた情報を状態診断部4にフィードバックし、モニタリングに反映する機能を備えている。

【0074】

図8は、点検方法および点検時期が決定した情報に基づいて、状態診断部で異常確率を算 50

出する方法を示す図である。

【0075】

図2の場合と同様に、 $t_0$ はモデルに与える初期値の時刻であり、時刻 $t_1$ の観測値 $x$ をモデルの出力である予測値により得たとする。観測値 $x$ の対象となる機器が、点検方法/時期決定部6において、点検時期延長可能と判定され、点検時期延長と決定したとする。

【0076】

この場合、安全性を保つためにも、従来よりも少し厳しい基準で状態を監視する必要がある。そこで、時刻 $t_1$ における確率分布の形状を変更して、監視基準を厳しくする。

【0077】

図2の場合は、確率分布が正規分布に従うと仮定したので、この仮定を継続する。数式1における分散を小さくすると、分布が平均 $\mu$ の近傍で盛り上がる形状となる。そのため、同じ観測値 $x$ でも、分布の裾のほうに対応するため、確率 $P(x)$ は、確率 $P(x)$ よりも小さくなる。すなわち、数式2から、異常確率は、確率 $P(x)$ のときと比べて大きくなる。その結果、正常値からのずれによる感度が高くなり、通常よりも厳しい基準で状態を監視できる。

【0078】

【実施形態2】

図9は、本発明によるプラント機器の保守支援装置の実施形態2の構成を示すブロック図である。本実施形態1のプラント機器の保守支援装置は、観測値データベース1と、機器データベース2と、点検情報データベース3と、状態診断部4と、プラント運転影響度評価部5と、点検方法/時期決定部6と、表示部7と、保存部8とを備えている。本実施形態2の状態診断部4は、実施形態1のモデル作成手段41、モデル計算手段42、異常確率計算手段43に加えて、状態推定手段44を含んでいる。

【0079】

観測値データベース1は、プラントから得られる観測値を格納している。また、同じ観測値でも、点検時期から経過した時間毎に観測値を並べ替えることができる。さらに、オンラインで状態監視が可能となるように、プラントから得られた観測値を格納するとともに、状態診断部4にその観測値を送る機能も備えている。

【0080】

機器データベース2には、プラントの構成機器に関する設計データと、故障および異常となる観測値のしきい値と、故障モード影響度解析により予め得られた解析データと、故障モード影響度解析の各故障モードを頂上現象としたフォールトツリー解析による解析データとが格納されている。

【0081】

点検情報データベース3は、点検方法と、点検時期の履歴と、オンラインメンテナンスが可能な場合の点検情報係数( )とを格納している。

【0082】

状態診断部4は、機器の任意時刻における異常確率を算出する。状態診断部4の中で、モデル作成手段41は、観測値データベース1に納められている過去の実測値に基づいて機器のモデルを作成する。モデル計算手段42は、作成されたモデルを用いて、機器の任意の状態量を計算する。異常確率計算手段43は、その状態量に基づいて異常確率を計算する。状態推定手段44は、取得できる実測値に基づいて、センサなどで直接観測できない状態量を推定する。

【0083】

任意時刻の予測値を得るために、観測値データベース1に格納されている実測値に基づいてモデル作成手段41でモデルを作成しておく。モデル作成手段41では、観測値を状態量として種々のモデルを使用できる。モデルとしては、ARMAモデルなどに代表される統計的モデル、物理モデル、伝達関数やニューラルネットワークに代表されるブラックボックスモデルなどがあり、各機器から得られる観測値や異常診断の種類に応じて選択する。

## 【0084】

本実施形態2の状態推定手段44は、点検方法や点検時期を決定する際に必要となる機器の状態量が実測値として得られない場合に、観測できない機器の状態量を推定する。モデル作成手段41は、実測値とともに、状態推定手段44により推定された機器の状態量を取り込んでモデルを作成する。

## 【0085】

ここで、観測できない状態量とは、リアルタイムに観測できないことを意味し、分解点検などを実施したときは、計測して得られる量である。この分解点検時にだけ得られる実測値に基づいて、状態推定をするモデルを規定する。

## 【0086】

観測できない状態量を観測できる状態量から推定する場合には、例えば、因子分析や主成分分析などを用いて、観測できる状態量の中でどの状態量が観測できない状態量に関係しているかを求め、強く関係している状態量に基づいて回帰モデルに代表される統計的モデル、伝達関数やニューラルネットワークに代表されるブラックボックスモデルでモデルを作成する。

## 【0087】

また、機器によっては、物理モデルを定義できる場合もある。このときには、カルマンフィルタのような状態推定手法を用いる。

## 【0088】

モデル計算手段42は、得られた実測値を初期値としてモデルに入力し、作成されたモデルを用いて、機器の任意の状態量を計算する。異常確率計算手段43は、その状態量に基づいて異常確率を計算する。

## 【0089】

プラント運転影響度評価部5は、故障モード影響度解析により予め得られた各機器の故障モードに対応するプラントへの影響度と、各機器の故障モードを頂上現象としたフォールトツリー解析を実施した結果による異常影響度とを算出し、状態診断部4で算出した異常確率と点検情報データベース3に格納されている点検情報係数( )とを用いて、プラント運転への影響度を評価する。

## 【0090】

点検方法/時期決定部6は、プラント運転影響度評価部5で得られた評価結果と点検情報データベース3および状態診断部4から得られた異常発生までの残り時間とを考慮し、各機器の点検方法および点検時期を決定する。

## 【0091】

表示部7は、点検方法/時期決定部6で決定された点検方法および点検時期を表示する。表示部7は、状態診断部4における診断結果も併せて表示できるようにしてもよい。

## 【0092】

保存部8は、点検方法および点検時期を決定するまでに用いた情報を一括して保存する。決定した点検方法および点検時期の情報は、点検情報データベース3と、状態診断部4と、プラント運転影響度評価部5とにそれぞれ反映される。

## 【0093】

特に、状態診断部4では、点検方法および点検時期を考慮したオンラインでの状態監視を実施し、プラント運転の安全性を確保するための支援が可能となっている。

## 【0094】

上記実施形態1, 2では、本発明を原子力発電プラントの構成機器に適用しているが、本発明の適用対象は、原子力発電プラントに限定されない。例えば、火力発電プラントや化学プラントに代表される大規模なシステムの構成機器についても観測値が得られ、各機器の情報や保守の履歴などが管理されているので、本発明はこれらの保守支援にも適用できる。

## 【0095】

## 【発明の効果】

10

20

30

40

50

本発明によれば、プラントの実測値および予測値に基づいて、任意時刻における機器の異常確率を算出して、その機器が異常に至った際のプラント運転への影響度を評価するので、経年劣化と関係が無い場合でも、機器の点検手法および点検時期を決定できるプラント機器の保守支援装置が得られる。

【0096】

また、決定された点検手法および点検時期の情報を状態診断および影響度に反映させ、点検時期を考慮した状態監視や点検手法を考慮した影響評価ができる。

【0097】

さらに、点検方法や点検時期を決定する際に必要となる機器の状態量が実測値として得られない場合に、観測できない機器の状態量を推定することもできる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるプラント機器の保守支援装置の実施形態1の構成を示すブロック図である。

【図2】実施形態1の状態診断部4において異常確率を算出する方法を示す図である。

【図3】原子力プラントの再循環ポンプを対象として、故障モードがプラントに及ぼす影響度を解析した例を示す図である。

【図4】原子力プラントの再循環ポンプについて、シール室圧力異常を頂上現象として故障に至る異常要因を解析した例を示す図である。

【図5】機器データベースに格納されている故障に至る異常要因のAND関係で頂上事象が生ずる場合を説明する図である。

20

【図6】プラント運転影響評価部の処理手順を示すフローチャートである。

【図7】点検方法/時期決定部の処理手順を示すフローチャートである。

【図8】点検方法および点検時期が決定した情報に基づいて、状態診断部で異常確率を算出する方法を示す図である。

【図9】本発明によるプラント機器の保守支援装置の実施形態2の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

- 1 観測値データベース
- 2 機器データベース
- 3 点検情報データベース
- 4 状態診断部
- 5 プラント運転影響度評価部
- 6 点検方法/時期決定部
- 7 表示部
- 8 保存部
- 10 シール室圧力異常
- 11 ORゲート
- 12 漏えい量異常
- 13 コントロール・ブリードオフ量異常
- 14 一段目シール室圧力異常
- 15 二段目シール室圧力異常
- 16 一段目シール室温度異常
- 17 二段目シール室温度異常
- 20 頂上事象A
- 21 ANDゲート
- 22 異常事象A
- 23 異常事象B
- 41 モデル作成手段
- 42 モデル計算手段
- 43 異常確率計算手段

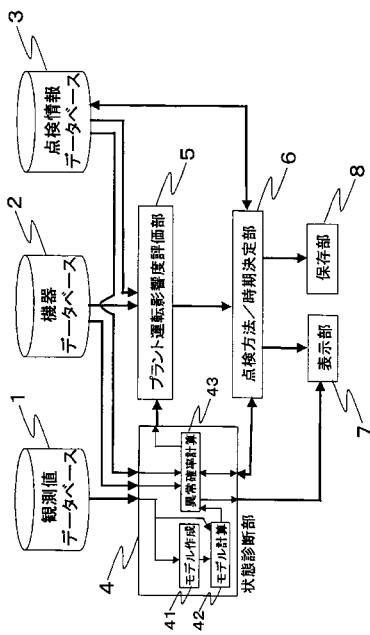
30

40

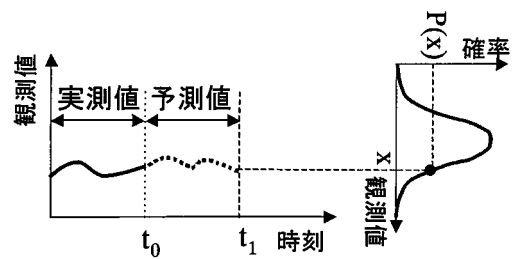
50

4 4 状態推定手段

【 図 1 】



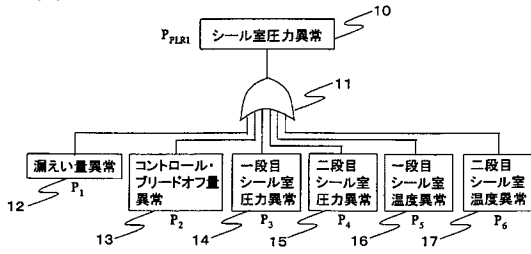
【 図 2 】



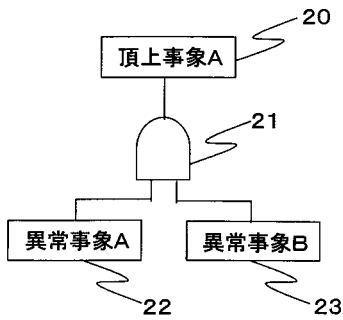
【 図 3 】

| 系統   | PLR      | 機種        | PLRポンプ                   |     |
|------|----------|-----------|--------------------------|-----|
| 構成要素 | 故障モード    | 故障原因      | 故障の影響                    | 影響度 |
| 軸シール | シール室圧力異常 | 異物混入      | プラント手動停止                 | 5   |
| モータ  | 回転速度の変動  | 信号の干渉     | プラント手動停止                 | 5   |
| 熱交換器 | 冷却水喪失    | 原子炉冷却水系故障 | 再循環ポンプシールパージ系の注入水により冷却保持 | 4   |
|      | ...      |           |                          |     |

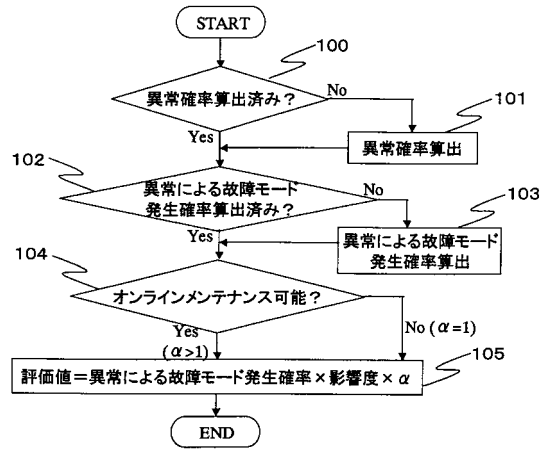
【図4】



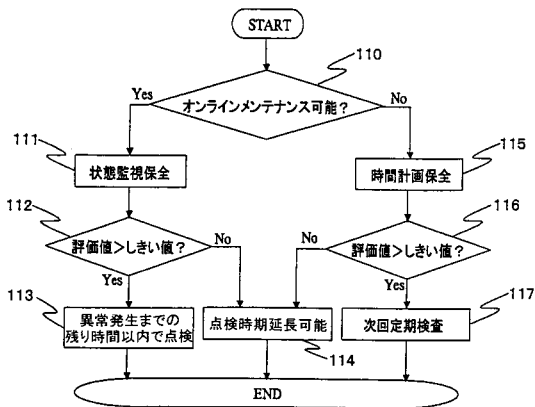
【図5】



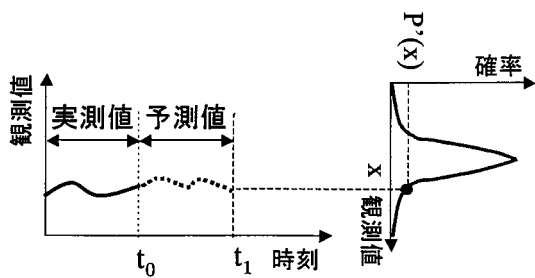
【図6】



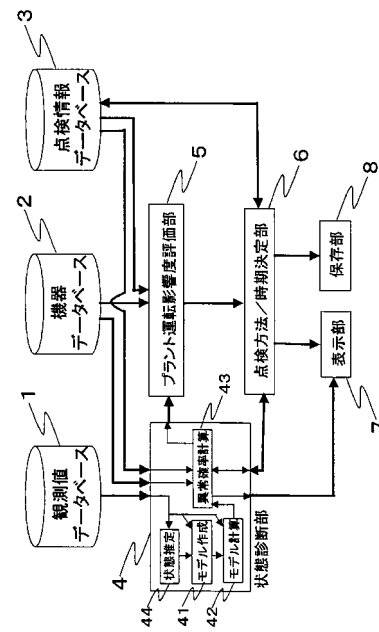
【図7】



【図8】



【図9】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09-054613(JP,A)  
特開平06-331507(JP,A)  
特開2001-209405(JP,A)  
特開昭53-072982(JP,A)  
特開平08-314537(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 23/02

G06Q 50/00

G21C 17/00