

明 細 書

発明の名称：循環流動層ボイラの運転診断方法及び運転診断装置 技術分野

[0001] 本発明は、循環流動層ボイラの運転診断方法及び運転診断装置に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、下記特許文献 1 に記載の循環流動層ボイラの蒸気圧力制御装置が知られている。この制御装置では、循環流動層ボイラの蒸気圧力を検出し、予め定めた目標圧力に対する当該蒸気圧力の偏差値を算出する。そして、この偏差値に基づいて、火炉への燃料供給量を調節することにより、蒸気圧力を目標圧力に維持する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平4－6304号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 循環流動層ボイラは、運転状態の指標となる複数の指標項目を有する。そして、これら複数の指標項目を所定の目標値に維持するように、それぞれの指標項目に関連する設定項目に対する入力値を調整する。

[0005] しかしながら、循環流動層ボイラの指標項目と、指標項目に関連する設定項目とは、複雑に関連し合っている。このため、例えば、一つの指標項目を所定の目標値に維持する制御装置を複数組み合わせた場合には、複数の指標項目を同時に制御することが困難である。また、従来は、複数の指標項目を同時に満足させた状態でボイラを運転させるために、ボイラから取得された指標項目の値であるセンサデータ等に基づいて、熟練した作業者が設定項目を選択して、設定項目に入力する入力値を決定することにより、ボイラを運転していた。

[0006] そこで、本発明は、熟練した作業者の判断を必要とせず、複数の指標項目の目標値を同時に満足するために必要な設定を提供する循環流動層ボイラの運転診断方法及び運転診断装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一側面に係る運転診断方法は、複数の設定項目のそれぞれに所定の入力値を入力して運転する循環流動層ボイラの運転診断方法であって、循環流動層ボイラの運転状態を示す複数の指標項目の目標値に基づいて、それぞれの指標項目に関連する複数の設定項目が指標項目に及ぼす影響の度合いと、指標項目の目標値を満たすための設定項目の目標値と、を推定する推定工程と、設定項目が指標項目に及ぼす影響の度合いに基づいて、複数の設定項目を順位付けする順位付け工程と、順位付け工程により付与された順位の高い設定項目の目標値と、順位の高い設定項目の入力値とを用いて、指標項目を目標値に制御するための情報を出力する出力工程と、を有する。推定工程では、設定項目のそれぞれを親ノードとし指標項目のそれぞれを子ノードとしたベイジアンネットワークに、複数の指標項目の目標値を入力して、複数の設定項目が指標項目に及ぼす影響の度合いである確率値と、設定項目の目標値と、を算出する。順位付け工程では、確率値を用いて複数の設定項目を順位付けする。

[0008] また、本発明の一側面に係る運転診断装置は、複数の設定項目のそれぞれに所定の入力値を入力して運転する循環流動層ボイラの運転診断装置であって、循環流動層ボイラの運転状態を示す複数の指標項目の目標値に基づいて、それぞれの指標項目に関連する複数の設定項目が指標項目に及ぼす影響の度合いと、指標項目の目標値を満たすための設定項目の目標値と、を推定する推定手段と、設定項目が指標項目に及ぼす影響の度合いに基づいて、複数の設定項目を順位付けする順位付け手段と、順位の高い設定項目の目標値と、順位の高い設定項目の入力値とを用いて、指標項目を目標値に制御するための情報を出力する出力手段と、を有する。推定手段は、設定項目のそれぞれを親ノードとし指標項目のそれぞれを子ノードとしたベイジアンネットワ

ークに、複数の指標項目の目標値を入力して、複数の設定項目が指標項目に及ぼす影響の度合いである確率値と、設定項目の目標値と、を算出する。順位付け手段は、確率値を用いて複数の設定項目を順位付けする。

[0009] この運転診断方法及び運転診断装置では、設定項目が指標項目に及ぼす影響の度合いを、ベイジアンネットワークを用いて算出している。この方法及び装置によれば、複数の指標項目に与えられる目標値を同時に満足する為に、影響の度合いが大きい設定項目を抽出することができる。また、抽出された設定項目のそれぞれが取るべき値の傾向が得られる。従って、この運転診断方法及び運転診断装置は、熟練した作業者の判断を必要とせず、複数の指標項目の目標値を同時に満足するために必要な設定を提供することができる。

[0010] また、ベイジアンネットワークは、設定項目が取り得る入力値と当該入力値に対応する確率とを含む第1の確率表と、指標項目が取り得るセンサデータと当該センサデータに対応する確率とを含む第2の確率表と、を有する。この場合には、指標項目が所定の値であったときの、当該指標項目に関連する設定項目が取り得る入力値に対応する確率を算出することができる。

[0011] また、本発明の一側面に係る運転診断方法では、設定項目に入力された入力値と、循環流動層ボイラに設けられたセンサにより取得された指標項目の測定値であるセンサデータと、を入力するデータ入力工程と、入力値及びセンサデータに基づいて第1の確率表と第2の確率表と更新する更新工程と、を更に有していてもよい。この場合には、ベイジアンネットワークを構成するそれぞれのノードが含む確率表が更新されるため、確率表が有する確率のデータの精度が高まる。従って、影響の度合いが大きい設定項目を抽出する精度をより高めることができる。

発明の効果

[0012] 本発明の運転診断方法及び運転診断装置によれば、熟練した作業者の判断を必要とせず、複数の指標項目の目標値を同時に満足するための設定を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0013] [図1]本実施形態の運転診断装置の構成を示す図である。
- [図2]循環流動層ボイラの構成を示す図である。
- [図3]運転診断装置の一部を構成するハードウェアを示す図である。
- [図4]ベイジアンネットワークのモデルの一例を示す図である。
- [図5]循環流動層ボイラの運転状態の診断する工程を示す図である。
- [図6]ベイジアンネットワークのモデルの一例を示す図である。
- [図7]レポートの一例を示す図である。

発明を実施するための形態

- [0014] 以下、添付図面を参照しながら本発明による運転診断装置及び運転診断方法の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。
- [0015] 図1に示すように、本実施形態の運転診断装置1は循環流動層ボイラ2（以下、単に「ボイラ」ともいう）の運転状態を診断する。まず、ボイラ2について説明する。ボイラ2は、図2に示すように、外部循環型（Circulating Fluidized Bed型）の循環流動層ボイラである。このボイラ2は、縦長の筒形状をなす流動層型の火炉3を備えている。火炉3の中間部には、燃料を投入する燃料投入口3aと、上部には燃焼ガスを排出するガス出口3bと、が設けられている。燃料投入装置5からこの火炉3に供給される燃料は、燃料投入口3aを介して火炉3の内部に投入される。
- [0016] 火炉3のガス出口3bには固気分離装置として機能するサイクロン7が接続されている。サイクロン7の排出口7aはガスラインを介して後段のガス処理系に接続されている。また、サイクロン7の底部出口からはダウンカマーと称されるリターンライン9が下方に延びており、リターンライン9の下端は火炉3の中間部側面に接続されている。
- [0017] 火炉3内では、下部の給気ライン3cから導入される燃焼・流動用の空気により、燃料投入口3aから投入された燃料を含む固形物が流動し、燃料は

流動しながら約800～900℃で燃焼する。サイクロン7には、火炉3で発生した燃焼ガスが固体粒子を同伴しながら導入される。サイクロン7は、遠心分離作用により固体粒子と気体とを分離し、リターンライン9を介して分離された固体粒子を火炉3に戻すと共に、固体粒子が除かれた燃焼ガスを排出口7aからガスラインを通じて後段のガス処理系に送出する。

[0018] この火炉3では「炉内ベット材」と呼ばれる固形物が発生し底部に溜まるが、この炉内ベット材で不純物（低融点物質等）が濃縮されて起こるベット材の焼結及び溶融固化、或いは不燃夾雑物による動作不良を抑制することが必要である。このため、火炉3では、底部の排出口3dから炉内ベット材が定期的に外部に排出されている。排出されたベット材は、循環ライン（図示せず）上で金属などの不適物を取り除いた後、再び火炉3に投入される。

[0019] 上記のガス処理系は、サイクロン7の排出口7aにガスラインを介して接続されたガス熱交換装置13と、このガス熱交換装置13の排出口13aにガスラインを介して接続されたバグフィルタ（集塵器）15とを備えている。ガス熱交換装置13には、排ガスの流路を横切るように水を流動させるボイラチューブ13bが設けられている。サイクロン7から送られた高温の排ガスがこのボイラチューブ13bに接触することで、排ガスの熱がチューブ内の水に回収され、発生した高温の水蒸気がボイラチューブ13bを通じて発電用のタービンに送られる。バグフィルタ15は、この可燃性ガスに未だ同伴している飛灰等の微粒子を除去する。バグフィルタ15の排出口15aから排出された清浄なガスはガスライン及びポンプ17を経由して煙突19から外部に排出される。

[0020] 図1を参照すると、ボイラ2には、運転データを構成するセンサデータを取得し、運転診断装置1にセンサデータを出力するセンサ群14が設置されている。これらセンサ群14には、例えば、ボイラ2の所定の部位の温度を測定する温度センサ14a、排ガス又は水の流量を測定する流量センサ14b又は排ガス中の所定の物質の濃度を測定する濃度センサ14c等が含まれている。また、これらセンサデータの一部が、指標項目である。指標項目と

は、センサデータにおいて運転状態の指標となる項目であり、例えば、圧力偏差、収熱量、ボイラ効率及びCOやNOXといった環境負荷物質の排出濃度などが含まれる。

[0021] ボイラ2は、設定項目群16を構成する複数の設定項目のそれぞれに所定の入力値を入力して運転する。設定項目とは、ボイラ2を運転する為にボイラ2に対して作業員や制御装置（図示せず）が、所定の入力値を入力することができる項目である。設定項目には、例えば、ブロー流量16a、砂の供給量16b、又は、火炉3に供給される石炭の供給量である給炭量16c等がある。更に、設定項目群16には、ブロワの運用回数、空気流量、大気解放弁の解放回数、水の注入量、バルブの開度等が含まれる。

[0022] 続いて、運転診断装置1について説明する。運転診断装置1は、ボイラ2のセンサデータと指標項目の目標値とに基づいてボイラ2の運転状態を診断するものである。この指標項目に与えられる目標値は、例えば、ボイラ2を高い効率で運転させる運転指標及び環境負荷物質の排出量を低減する運転指標のように複数の運転指標に基づいている。運転診断装置1は、ボイラ2に配置されたセンサ群14から入力されたセンサデータと、運転診断装置1に入力される指標項目の目標値と、運転診断装置1に予め記録されているベジアンネットワークのモデルとに基づいて、ボイラ2の運転状態を診断する。診断の結果、運転診断装置1は、目標を満足する為に調整すべき設定項目を示すと共に、調整すべき設定項目に入力されるべき値の傾向を示す。

[0023] 運転診断装置1は、データ処理装置20と、データ処理装置20に所定のデータ等を入力するための入力装置21と、データ処理装置20から出力されたデータを表示するための出力装置22とを備えている。

[0024] 運転診断装置1は、例えば、図3に示すコンピュータ100を用いて実現される。図1及び図3に示すように、コンピュータ100は、本実施形態のデータ処理装置20を構成するハードウェアの一例である。コンピュータ100は、CPUを具備しソフトウェアによる処理や制御を行なうサーバ装置、パーソナルコンピュータ等の各種データ処理装置を含む。コンピュータ1

00は、CPU41、主記憶装置であるRAM42及びROM43、入力デバイスであるキーボード及びマウス等の入力装置21、ディスプレイ、プリンタ等の出力装置22、ネットワークカード等のデータ送受信デバイスである通信モジュール47、ハードディスク等の補助記憶装置48などを含むコンピュータシステムとして構成されている。図1に示す機能的構成要素は、図3に示すCPU41、RAM42等のハードウェア上に所定のコンピュータソフトウェアを読み込ませることにより、CPU41の制御のもとで入力装置21、出力装置22、通信モジュール47を動作させるとともに、RAM42や補助記憶装置48におけるデータの読み出し及び書き込みを行うことで実現される。

[0025] データ処理装置20は、機能的構成要素として、ボイラ2に配置されたセンサ群14から入力されるセンサデータを受信するデータ入力部23と、ベイジアンネットワークのモデルを記録するモデル記録部24と、センサデータに基づいてベイジアンネットワークのモデルを更新するモデル更新部25と、設定項目が指標項目に与える影響の度合いを算出する推論データ計算部26と、センサデータと推論データ計算部26の出力とに基づいて調整すべき設定項目とその値の傾向を算出する推論データ処理部27と、推論データ処理部27の出力に基づいて運転指標となるレポートを作成するレポート作成部28と、を備えている。

[0026] データ入力部23には、ボイラ2のセンサ群14により取得されたセンサデータと、設定項目群16に入力された入力値とが入力される。データ入力部23は、入力されたセンサデータを推論データ処理部27へ出力すると共に、必要に応じてモデル更新部25に出力する。また、データ入力部23は、設定項目群16への入力値を推論データ計算部26へ出力する。

[0027] モデル記録部24には、ベイジアンネットワークのモデルが記録されている。モデル記録部24は、後述する推論データ計算部26から参照可能に構成されており、推論データ計算部26からの要求に応じてベイジアンネットワークのモデルを推論データ計算部26に出力する。

[0028] ここで、ベイジアンネットワークのモデル50について説明する。図4は、ボイラ2の設定項目と指標項目とからなるベイジアンネットワークの一例である。ベイジアンネットワークは、原因51と結果52との関係を簡単な図で表現し、確率的な現象の推移をグラフィカルに表現したものである。ベイジアンネットワークからは、ある変数の値が求まったときに、観測されていない変数の確率を求めることができる。

[0029] 本実施形態では、設定項目を原因51と規定し、指標項目を結果52として規定している。複数の設定項目を含む原因51には、作業員や制御装置が設定値を入力することができる項目として、例えば、ブロワ運用回数51a、空気流量51b、大気解放弁の開度51c、水注入量51d、バルブ開度51e、給炭量51f、砂供給量51g、及びブロー流量51h等がある。これら原因として規定された設定項目は、ベイジアンネットワークでは親ノードとして示される。また、複数の指標項目を含む結果52には、センサデータにおいて運転状態の指標となる項目として、例えば、圧力偏差52a、収熱量52b、排ガスCO濃度、及びボイラ効率52d等がある。これら結果として規定された指標項目は、ベイジアンネットワークでは子ノードとして示される。そして、設定項目と指標項目の関係は、親ノードから子ノードに延びた矢印により関係を有することが示されている。例えば、圧力偏差52aへは、ブロワ運用回数51aと空気流量51bとから矢印が延びている。従って、圧力偏差52aには、ブロワ運用回数51aと空気流量51bとが関係することを示している。また、それぞれのノードは、確率表(Conditional Probability Table: CPT)を有している(図6参照)。

[0030] 図1を参照すると、モデル更新部25は、データ入力部23から入力されたセンサデータに基づいてベイジアンネットワークのモデルに含まれるデータを更新する。更新されたモデルのデータはモデル記録部24に出力され、記録される。

[0031] 推論データ計算部26は、ベイジアンネットワークのモデルと、入力装置

21から入力される指標項目の目標値とに基づいて、各指標項目に与える設定項目の影響の度合いを算出する推定手段である。より具体的には、推論データ計算部26は、指標項目に及ぼす設定項目の影響の度合いを確率値として出力する。この確率値の出力過程については、後述する。そして、推論データ計算部26は、出力された結果を推論データ処理部27に出力する。

[0032] 推論データ処理部27は、指標項目に関連する設定項目が指標項目に及ぼす影響の度合いに基づいて、複数の設定項目を順位付けする順位付け手段である。より具体的には、推論データ計算部26により算出された確率値に基づいて設定項目の順位付けを行う。また、推論データ処理部27は、順位付けされた各設定項目の状態と、ボイラ2の各設定項目に実際に入力されている入力値の状態とを比較する。この比較により、設定項目への入力値の状態がベイジアンネットワークのモデルに基づいて得られた設定項目の状態と適合しているかを判定する。また、推論データ処理部27は、センサデータの平均値、最大値、及び最小値といった統計量を計算する。推論データ処理部27は、判定した結果及び統計量をレポート作成部28に出力する。

[0033] レポート作成部28は、順位の高い設定項目の目標値と、順位の高い設定項目の入力値とを用いて、指標項目を目標値に制御するための情報を表示するレポートのデータを作成する出力手段である。レポート作成部28は、作成したデータを出力装置22に出力する。例えば、出力装置22がディスプレイである場合には、レポートが画面に表示される。また、出力装置22がプリンタである場合には、レポートが紙媒体に印刷される。

[0034] 以上のように、本実施形態に係る運転診断装置1によれば、複数の設定項目のそれぞれが複数の指標項目のそれぞれに及ぼす影響の度合いを、推論データ計算部26が算出している。この運転診断装置1によれば、複数の指標項目に与えられる目標値を同時に満足する為に、影響の度合いが大きい設定項目を確率値に基づいて抽出することができる。また、抽出された設定項目のそれぞれが取るべき値の傾向が得られる。従って、このボイラ2の運転診断装置1は、熟練した作業者の判断を必要とせず、ボイラ2の運転状態を診

断し、複数の指標項目の目標値を同時に満足するために必要な情報を提供することができる。

[0035] 次に、運転診断装置 1 を用いた運転診断方法について説明する。図 5 は、運転診断方法の主要な工程を示す図である。運転診断方法は、センサデータ等を入力するデータ入力工程 S 1 と、ベイジアンネットワークのモデルを読み込むモデル読込工程 S 2 と、指標項目の目標値を入力する目標値入力工程 S 3 と、推論データを計算する推論データ計算工程 S 4 と、推論データを処理する推論データ処理工程 S 5 と、レポートを出力する出力工程 S 6 とを有している。

[0036] <データ入力工程 S 1>

データ入力工程 S 1 では、ボイラ 2 に設定されたセンサ群 1 4 からのセンサデータと、ボイラ 2 の設定項目に入力された入力値とを運転診断装置 1 に入力する。このデータ入力工程 S 1 は、主としてデータ入力部 2 3 により実行される。このデータ入力工程 S 1 で収集されるデータは、1 日分、1 週間分、又は、1 か月分といった長い期間のデータである。データは、ボイラ 2 に配置されたセンサ群 1 4 及び設定項目から直接にデータ入力部 2 3 に入力されてもよいし、センサデータと設定項目の入力値が図示しない記録媒体に記録され、当該記録媒体から読み込むこととしてもよい。

[0037] <モデル読込工程 S 2>

モデル読込工程 S 2 では、モデル記録部 2 4 に記録されたベイジアンネットワークのモデルを推論データ計算部 2 6 に読み込む。このモデル読込工程 S 2 は、主としてモデル記録部 2 4 により実行される。このモデル読込工程 S 2 は、ベイジアンネットワークのモデルに含まれる確率表を更新するか否かを判定する更新判定工程 S 2 a と、確率表を更新する更新工程 S 2 b と、モデルを読み込む読込工程 S 2 c と、を有している。

[0038] まず、更新判定工程 S 2 a において、モデルを更新するか否かの判断をする。モデルの更新を行うと判定した場合（工程 S 2 a : Y E S）には、更新工程 S 2 b に移行し、モデル更新部 2 5 によりモデルの更新を行う。モデル

の更新を行わないと判定した場合（工程 S 2 a : N O）には、読込工程 S 2 c に移行する。

[0039] <更新工程 S 2 b>

モデルを更新する更新工程 S 2 b は、主にモデル更新部 2 5 により実行される。まず、モデル更新部 2 5 は、データ入力部 2 3 に入力された複数のセンサデータと、モデル記録部 2 4 に記録されたモデルが有する確率表のデータとを読み込む。ここで、モデルの更新に用いられるセンサデータは、ボイラ 2 が理想的な状態で運転された場合のデータであることを要する。次に、各センサデータの値をいくつかの状態に分類するために所定の閾値を用いて離散化する。続いて、分類された各々の状態の存在する確率を算出する。つまり、データ入力部 2 3 に入力されたセンサデータを用いて、新規な確率表のデータを算出する。そして、モデル記録部 2 4 に記録されていた確率表の確率データに、算出した確率表の確率データを取り込むことにより、確率データを更新する。このように、ベイズ統計に基づくモデルでは、過去のモデルを容易に取り込み、新しいモデルが得られる。更新工程 S 2 b を実行した後は、読込工程 S 2 c に移行する。

[0040] <読込工程 S 2 c>

読込工程 S 2 c では、モデル記録部 2 4 に記録されたベイジアンネットワークのモデルのデータが推論データ計算部 2 6 に読み込まれる。読込工程 S 2 c は、主としてモデル記録部 2 4 と、推論データ計算部 2 6 とにより行われる。

[0041] <目標値入力工程 S 3>

目標値入力工程 S 3 では、推論データ計算工程 S 4 の計算に用いる指標項目の目標値を読み込む。指標項目の目標値は、ボイラ 2 を高い効率で運転させる、或いは、環境負荷物質の排出量を低減するといった運転指標に基づいている。これら目標値は、例えば、ボイラ効率が「高」であり、排ガスの C O 濃度が「低」というように、離散化された状態として入力装置 2 1 を用いて入力される。

[0042] <推論データ計算工程 S 4>

推論データ計算工程 S 4 は、目標値入力工程 S 3 において入力された指標項目の目標値と、ベイジアンネットワークのモデルに基づいて、複数の設定項目が指標項目に及ぼす影響の度合いと、指標項目の目標値を満たすための設定項目の目標値と、を推定する推定工程である。すなわち、指標項目の目標値をベイジアンネットワークのモデルに入力し、その指標項目に対応する設定項目ごとの確率値を算出する。推論データ計算工程 S 4 は、主として推論データ計算部 26 により実行される。

[0043] ベイジアンネットワークのモデルを用いて、設定項目の確率値を計算する方法について詳細に説明する。ベイジアンネットワークは、条件付き確率のアイデアを基本としたベイズの定理に基づくものである。まず、ベイズの定理について説明する。事象 A と事象 B とが同時に発生する確率を同時確率という。これに対して、事象 A が発生したという条件の下で事象 B が発生する確率のことを、A のもとで B が発生する条件付き確率といい、次式 (1) で示される。

[数1]

$$P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} \dots (1)$$

また、事象 B が発生したという条件の下で事象 A が発生する確率のことを、B のもとで A が発生する条件付き確率といい、次式 (2) で示される。

[数2]

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \dots (2)$$

ベイズの定理は、上記式 (1) と式 (2) とを用いて次式 (3) で示される。

[数3]

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \dots (3)$$

式 (3) に示されるベイズの定理より、A が発生したときに B が発生する

確率 ($P(B|A)$) から、 B が発生したときに A が発生する確率 ($P(A|B)$) を算出できる。一般には、 A を原因とし、 B を結果として扱う。すなわち、原因 A が発生したときに、結果 B が発生する確率から、結果 B が発生したときに原因 A が発生する確率を算出する。

[0044] 図6は、ボイラ2の設定項目と指標項目とからなるベイジアンネットワークの一例である。本実施形態では、設定項目を原因 A と規定し、指標項目を結果 B として規定している。図6は、給水流量の状態と排ガス濃度との関係、及び給水温度と排ガス濃度との関係をベイジアンネットワークで表したものである。ベイジアンネットワークのモデル60は、原因 $A1$ である給水流量を示す親ノード61と、原因 $A2$ である給水温度を示す親ノード62と、結果 B である排ガス濃度を示す子ノード63とを有する。原因 $A1$ である親ノード61は、結果 B である子ノード63に向けた矢印64により、子ノード63と連結されている。また、原因 $A2$ である親ノード62は、結果 B である子ノード63に向けた矢印65により、子ノード63と連結されている。

[0045] これら親ノード61、62及び子ノード63は、確率表61a、62a、63aを有している。親ノード61が有する第1の確率表である確率表61aは、給水流量を所定の閾値を用いて2つの状態に区分けし、それぞれの状態が存在する確率を示したものである。すなわち、確率変数を、給水流量が「高」の状態を1とし、給水流量が「低」の状態を0であると規定する。そして、給水流量の確率変数が「高=1」のときに対応する確率が $a2$ であり、給水流量が「低=0」のときに対応する確率が $a1$ である。

[0046] 親ノード62が有する第1の確率表である確率表62aは、給水温度を所定の閾値を用いて2つの状態に区分けし、それぞれの状態が存在する確率を示したものである。すなわち、確率変数を、給水温度が「高」の状態を1とし、給水温度が「低」の状態を0であると規定する。そして、給水温度の確率変数が「高=1」のときに対応する確率が $a4$ であり、給水温度が「低=0」のときに対応する確率が $a3$ である。

[0047] 子ノード63が有する第2の確率表である確率表63aは、結果Bである子ノード63の原因A1である親ノード61及び原因A2である親ノード62に関する条件付き確率を示したものである。ここでは、センタデータに含まれる指標項目として排ガス濃度を例示する。子ノード63が有する確率表63aは、センサデータの一つである排ガス濃度を所定の閾値を用いて2つの状態に区分けし、それぞれのセンサデータの状態に対応する確率を示したものである。すなわち、確率変数として、排ガス濃度が「高」の状態を1とし、排ガス濃度が「低」の状態を0であると規定する。例えば、給水流量A1が「低」であり、給水温度A2が「低」であるとき、排ガス濃度の確率変数が「低=0」である確率はb11であり、排ガス濃度の確率変数が「高=1」である確率はb21である。

[0048] このベイジアンネットワークのモデル60から、排ガス濃度の確率変数Bが1である場合、すなわち、「排ガス濃度が高い」場合に、給水流量が高い（A1=1）場合の確率値と、給水温度が高い（A2=1）場合の確率値とを求める計算例に基づいて説明する。

[0049] まず、排ガス濃度が高いとき（B=1）に、給水流量が高い（A1=1）場合の確率値X1を算出する。確率値X1は、上記式（3）を用いると次式（4）のように示される。なお、式（4）では、A1=1の事象を単にA1とし、B=1の事象を単にBと示している。

[数4]

$$X1 = P(A1|B) = \frac{P(B|A1)P(A1)}{P(B)} \dots (4)$$

ここで、分子P（B）は、下記式（5）で示される。

[数5]

$$\begin{aligned} P(B) &= P(B \cap A1 \cap A2) + P(B \cap \overline{A1} \cap A2) + P(B \cap A1 \cap \overline{A2}) + P(B \cap \overline{A1} \cap \overline{A2}) \\ &= P(B|A1 \cap A2)P(A1 \cap A2) + P(B|\overline{A1} \cap A2)P(\overline{A1} \cap A2) \\ &\quad + P(B|A1 \cap \overline{A2})P(A1 \cap \overline{A2}) + P(B|\overline{A1} \cap \overline{A2})P(\overline{A1} \cap \overline{A2}) \dots (5) \\ &= P(B|A1 \cap A2)P(A1)P(A2) + P(B|\overline{A1} \cap A2)P(\overline{A1})P(A2) \\ &\quad + P(B|A1 \cap \overline{A2})P(A1)P(\overline{A2}) + P(B|\overline{A1} \cap \overline{A2})P(\overline{A1})P(\overline{A2}) \\ &= B24 \times a2 \times a4 + B22 \times a1 \times a4 + B23 \times a2 \times a3 + B21 \times a1 \times a3 \end{aligned}$$

また、分母 $P(B|A1)$ は、下記式 (6) で示される。

[数6]

$$P(B|A1) = P(B|A1 \cap \overline{A2})P(\overline{A2}) + P(B|A1 \cap A2)P(A2) \dots (6)$$

$$= b23 \times a3 + b24 \times a4$$

上記式 (4), (5), (6) により、排ガス濃度が高いときに、給水流量が高い確率値 $X1$ が得られる。

- [0050] 次に、排ガス濃度が高いとき ($B=1$) に、給水温度が高い ($A2=1$) 場合の確率値 $X2$ を算出する。確率値 $X2$ は、上記式 (3) を用いると次式 (7) のように示される。なお、式 (7) では、 $A2=1$ の事象を単に $A2$ とし、 $B=1$ の事象を単に B と示す。

[数7]

$$X2 = P(A2|B) = \frac{P(B|A2)P(A2)}{P(B)} \dots (7)$$

ここで、分子 $P(B)$ は上記式 (5) により算出される。また、分母 $P(B|A2)$ は、次式 (8) で示される。

[数8]

$$P(B|A2) = P(B|\overline{A1} \cap A2)P(\overline{A1}) + P(B|A1 \cap A2)P(A1) \dots (8)$$

$$= b22 \times a1 + b24 \times a2$$

上記式 (5), (7), (8) により、排ガス濃度が高いときに、給水温度が高い確率値 $X2$ が得られる。

- [0051] 以上の計算により、排ガス濃度が高いとき ($B=1$) に給水流量が高い場合 ($A1=1$) の確率値 $X1$ と、排ガス濃度が高いとき ($B=1$) に給水温度が高い場合 ($A2=1$) の確率値 $X2$ が算出される。これら確率値 $X1$ 及び確率値 $X2$ により、給水流量及び給水温度といったそれぞれの設定項目が、排ガス濃度といった指標項目に及ぼす影響の度合いと、指標項目の目標値を満たすための設定項目の目標値を推定することができる。例えば、確率値 $X1$ が確率値 $X2$ より大きい場合には、指標項目である排ガス濃度に及ぼす影響の度合いは、給水温度よりも給水流量の方が大きいと想定される。

- [0052] 上述したように、ベイジアンネットワークのモデルをボイラ2の運転診断

に適用する場合には、原因 A を設定項目と規定し、結果 B をセンサデータと規定する。そして、設定項目が所定の状態であったときに得られるセンサデータに含まれる指標項目の確率 $P(B | A)$ を過去のデータから計算すれば、指標項目の状態が所定の目標値である時の設定項目の確率 $P(A | B)$ が推論できる。

[0053] なお、確率変数の取る値（上述の例では、0 又は 1）は、計算機の処理能力の制約により、離散値として取り扱われる。従って、連続値をとるセンサデータを扱う場合には、所定の閾値を用いて、高、中、低等のように離散化する処理を行う必要がある。

[0054] <推論データ処理工程 S 5>

図 5 に示されるように、推論データ処理工程 S 5 は、推論データ計算部 26 において算出されたデータに対して、レポートの作成に必要なデータ処理を行う。この推論データ処理工程 S 5 は、順位付け工程 S 5 a と、比較工程 S 5 b とを有している。順位付け工程 S 5 a では、設定項目が指標項目に及ぼす影響の度合い（確率値）に基づいて、複数の設定項目を順位付けする。順位付け工程 S 5 a は、主として推論データ処理部 27 により実行される。例えば、理想的なボイラ 2 の運転状態の目標値として、ボイラ効率を高く設定し、環境負荷物質の排出濃度を低く設定する。これら目標値とベイジアンネットワークのモデルからは、それぞれの指標項目に対応する設定項目と、その設定項目が取り得る状態が確率値により得られる。この確率値が最も大きい設定項目を第 1 位とし、確率値の大きさを影響度の大きさとして順位を決定する。指標項目に対する設定項目の確率値が大きい順に順位付けし、確率が大きい設定項目から順次改善していけば、ボイラ 2 の運転状態は理想的な状態に近づく。また、比較工程 S 5 b では、ボイラ 2 の設定項目に入力された入力値の状態と、推論データ計算工程 S 4 において算出された指標項目の目標値を満足する設定項目の状態とを比較する。この比較により、ボイラ 2 の設定項目に入力された入力値の状態が、推論データ計算工程 S 4 において算出された指標項目の目標値を満足する設定項目の状態と適合しているか

を判定する。なお、推論データ処理工程 S 5 では、センサデータごとに、評価対象期間中の統計量を算出する。統計量には、平均値、最大値、最小値等がある。

[0055] <出力工程 S 6>

出力工程 S 6 では、推論データ処理工程 S 5 により付与された順位の高い設定項目の目標値と、順位の高い設定項目の入力値とを用いて、指標項目を目標値に制御するための情報を出力する。この出力工程 S 6 は、主としてレポート作成部 2 8 により実行される。出力工程 S 6 において作成されたデータは、出力装置 2 2 であるディスプレイ又はプリンタに出力される。レポートの一例を図 7 に示す。図 7 に示すように、レポート 7 0 は、ボイラ 2 の運転状態の指標項目を表示する表 7 1 と、運転状態を改善するために必要な情報を表示する表 7 2 を有している。

[0056] レポート 7 0 の表 7 1 には、ボイラ 2 の運転状態を示す情報が表示される。この表 7 1 には、指標項目を表示する欄 7 1 a と、センサ群 1 4 により取得された指標項目のデータの統計量を表示する欄 7 1 b と、指標項目のデータを離散化した結果を表示する欄 7 1 c とがある。統計量には、例えば、平均値、最大値、及び最小値がある。また、離散化した結果には、例えば、ボイラ効率を示す列のように、「低」・「中」・「高」といった離散化の状態と、「低」は 9 0. 2 未満であり、「中」は 9 0. 2 以上 9 3. 4 未満であり、「高」は 9 3. 4 以上であるといった離散化に用いられる閾値と、「低」は 1 3. 5 % であり、「中」は 7 4. 5 % であり、「高」は 1 2 % であるといったそれぞれの状態の確率分布とが示される。

[0057] レポート 7 0 の表 7 2 には、指標項目を目標値に制御するための情報であるボイラ 2 の運転状態を理想的な状態に近づけるために必要な設定の情報が表示される。この表 7 2 には、順位付け工程 S 5 a により付与された順位の高い設定項目を表示する欄 7 2 a と、設定項目の望ましい状態を表示する欄 7 2 b と、順位の高い設定項目の入力値である設定項目の状態を表示する欄 7 2 c と、運転状態を改善するための設定項目に対する診断結果を示す欄 7

2 d とがある。例えば、ブロー流量を示す列を参照すると、ブロー流量は大きい方が望ましく、現在の状態は（大・中・小）のうち、大の割合が 0 % であり、ブロー流量を大きくするように入力値を調整することが望ましいことがわかる。

[0058] 以上のように、本実施形態に係る運転診断方法によれば、複数の設定項目のそれぞれが複数の指標項目のそれぞれに及ぼす影響の度合いを、ベイジアンネットワークを用いて算出している。この方法によれば、複数の指標項目に与えられる目標値を同時に満足する為に、影響の度合いが大きい設定項目を抽出することができる。また、抽出された設定項目のそれぞれが取るべき値の傾向が得られる。従って、このボイラ 2 の運転診断方法は、熟練した作業者の判断を必要とせず、複数の指標項目の目標値を同時に満足するために必要な設定を提供することができる。

[0059] また、本実施形態に係る運転診断方法では、設定項目に入力された入力値と、ボイラ 2 に設けられたセンサにより取得された指標項目の測定値であるセンサデータと、を取得するデータ入力工程 S 1 と、入力値及びセンサデータに基づいて、親ノード 6 1, 6 2 が有する第 1 の確率表 6 1 a, 6 2 a と、子ノード 6 3 が有する第 2 の確率表 6 3 a と更新する更新工程 S 2 b と、を更に有していてもよい。この場合には、ベイジアンネットワークを構成するそれぞれのノード 6 1, 6 2, 6 3 が含む確率表 6 1 a, 6 2 a, 6 3 a が更新されるため、確率表 6 1 a, 6 2 a, 6 3 a が有する確率のデータの精度が高まる。従って、影響の度合いが大きい設定項目を抽出する精度をより高めることができる。

[0060] なお、上述した実施形態は運転診断装置 1 及び運転診断方法の一例を示すものである。本発明に係る運転診断装置 1 及び運転診断方法は、上述した実施形態に限られるものではなく、請求項に記載した要旨を変更しない範囲で、上述した実施形態に係る運転診断装置 1 及び運転診断方法を変形し、又は他のものに適用したものであってもよい。

[0061] 指標項目は、上述した項目と異なるセンサデータを用いてもよい。また、

設定項目には、上述した項目と異なる項目を設定項目としてもよい。

産業上の利用可能性

- [0062] 循環流動層ボイラの運転診断方法及び運転診断装置によれば、熟練した作業者の判断を必要とせず、複数の指標項目の目標値を同時に満足するための設定を提供することができる。

符号の説明

- [0063] 1…運転診断装置、2…循環流動層ボイラ、14…センサ群、16…設定項目群、20…データ処理装置、21…入力装置、22…出力装置、23…データ入力部、24…モデル記録部、25…モデル更新部、26…推論データ計算部、27…推論データ処理部、28…レポート作成部、50, 60…モデル、61, 62…親ノード、61a, 62a, 63a…確率表、63…子ノード、70…レポート、S1…データ入力工程、S2…モデル読込工程、S3…目標値入力工程、S4…推論データ計算工程、S5…推論データ処理工程、S5a…順位付け工程、S6…出力工程。

請求の範囲

- [請求項1] 複数の設定項目のそれぞれに所定の入力値を入力して運転する循環流動層ボイラの運転診断方法であって、
- 前記循環流動層ボイラの運転状態を示す複数の指標項目の目標値に基づいて、それぞれの前記指標項目に関連する複数の前記設定項目が前記指標項目に及ぼす影響の度合いと、前記指標項目の目標値を満たすための前記設定項目の目標値と、を推定する推定工程と、
- 前記設定項目が前記指標項目に及ぼす影響の度合いに基づいて、複数の前記設定項目を順位付けする順位付け工程と、
- 前記順位付け工程により付与された順位の高い前記設定項目の前記目標値と、順位の高い前記設定項目の前記入力値とを用いて、前記指標項目を前記目標値に制御するための情報を出力する出力工程と、
- を有し、
- 前記推定工程では、前記設定項目のそれぞれを親ノードとし前記指標項目のそれぞれを子ノードとしたベイジアンネットワークに、複数の前記指標項目の前記目標値を入力して、複数の前記設定項目が前記指標項目に及ぼす影響の度合いである確率値と、前記設定項目の前記目標値と、を算出し、
- 前記順位付け工程では、前記確率値を用いて複数の前記設定項目を順位付けする、循環流動層ボイラの運転診断方法。
- [請求項2] 前記ベイジアンネットワークは、前記設定項目が取り得る入力値と当該入力値に対応する確率と含む第1の確率表と、前記指標項目が取り得るセンサデータと当該センサデータに対応する確率と含む第2の確率表と、を有する請求項1に記載の循環流動層ボイラの運転診断方法。
- [請求項3] 前記設定項目に入力された前記入力値と、前記循環流動層ボイラに設けられたセンサにより取得された指標項目の測定値であるセンサデータと、を入力するデータ入力工程と、

前記入力値及び前記センサデータに基づいて前記第 1 の確率表と前記第 2 の確率表と更新する更新工程と、を更に有する請求項 2 に記載の循環流動層ボイラの運転診断方法。

[請求項 4]

複数の設定項目のそれぞれに所定の入力値を入力して運転する循環流動層ボイラの運転診断装置であって、

前記循環流動層ボイラの運転状態を示す複数の指標項目の目標値に基づいて、それぞれの前記指標項目に関連する複数の前記設定項目が前記指標項目に及ぼす影響の度合いと、前記指標項目の目標値を満たすための前記設定項目の目標値と、を推定する推定手段と、

前記設定項目が前記指標項目に及ぼす影響の度合いに基づいて、複数の前記設定項目を順位付けする順位付け手段と、

順位の高い前記設定項目の前記目標値と、順位の高い前記設定項目の前記入力値とを用いて、前記指標項目を前記目標値に制御するための情報を出力する出力手段と、
を有し、

前記推定手段は、前記設定項目のそれぞれを親ノードとし前記指標項目のそれぞれを子ノードとしたベイジアンネットワークに、複数の前記指標項目の前記目標値を入力して、複数の前記設定項目が前記指標項目に及ぼす影響の度合いである確率値と、前記設定項目の前記目標値と、を算出し、

前記順位付け手段は、前記確率値を用いて複数の前記設定項目を順位付けする、循環流動層ボイラの運転診断装置。