

明 細 書

発明の名称：支援装置、支援方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、支援装置、支援方法及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] 従来、プラントの運転を支援するための装置が広く知られている。例えば、特許文献1に記載の装置は、製造装置の複数の状態についてシミュレートした複数の結果を教師データとして機械学習させた予測モデルを有し、製造装置の第1状態に関する情報の少なくとも一部を予測モデルに入力して製造装置の第2状態を演算する。製造装置の第1状態は、センサ等により直接測定することが可能な物理量であり、製造装置の第2状態は、センサ等により直接測定することが非常に困難な物理量である。そして、製造装置の第2状態に関する情報の演算結果に基づいて、観測が困難な製造装置の内部の映像情報を生成し、生成した映像情報を表示する。

[0003] また、特許文献2に記載の装置は、モデルパラメータの各々の履歴データを適用した場合のシミュレーションデータを算出し、シミュレーションデータと実際のプラントの出力との一致度が高くなるように履歴データの中から所望のモデルパラメータを探索する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2018-169818号公報

特許文献2：特開2010-225022号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、従来の技術においては、プラントの内部の材料の流動状態に関する情報を出力する際の処理負荷について検討されておらず、その改善が求められていた。

[0006] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、プラントの内部の材料の流動状態に関する情報を出力する際の処理負荷を低減することができる支援装置、支援方法及びプログラム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] 上記課題を解決するため、本発明のある態様の支援装置は、プラントの運転を支援するための支援装置であって、前記プラントの操作変量を含む解析条件と、前記解析条件に対応する解析結果とが関連付けられた参照データを記憶する記憶部であって、前記解析結果は、前記プラントの内部の循環材の流動状態を示す情報を含む、記憶部と、前記プラントの運転状態における操作変量と、前記プラントに設けられたセンサで検出されるセンサ値とを含む運転データを取得する取得部と、前記参照データと前記運転データとに基づいて、前記運転データに対応する前記参照データに関する参照情報を出力する出力部と、を備える。

[0008] 本発明のある態様の支援方法は、プラントの運転を支援するための支援方法であって、プラントの操作変量を含む解析条件と、前記解析条件に対応する、前記プラントの内部の循環材の流動状態を示す情報を含む解析結果とが関連付けられた参照データを記憶する工程と、前記プラントの運転状態における操作変量と、前記プラントに設けられたセンサで検出されるセンサ値とを含む運転データを取得する工程と、前記参照データと前記運転データとに基づいて、前記運転データに対応する前記参照データに関する参照情報を出力する工程と、を含む。

[0009] 本発明のある態様のプログラムは、コンピュータに、プラントの操作変量を含む解析条件と、前記解析条件に対応する、前記プラントの内部の循環材の流動状態を示す情報を含む解析結果とが関連付けられた参照データを記憶させる処理と、前記プラントの運転状態における操作変量と、前記プラントに設けられたセンサで検出されるセンサ値とを含む運転データを取得させる処理と、前記参照データと前記運転データとに基づいて、前記運転データに対応する前記参照データに関する参照情報を出力させる処理と、を実行させ

る。

[0010] 上記態様によれば、記憶部に予め記憶された参照データを参照してプラントの内部の材料の流動状態に関する情報を出力するため、シミュレーションを実行するごとに参照データを算出する場合に比して、プラントの内部の材料の流動状態に関する情報を出力する際の処理負荷を低減することができる。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、プラントの内部の材料の流動状態に関する情報を出力する際の処理負荷を低減することができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]第1実施形態に係るプラントの全体構成を示す概略図である。

[図2]同実施形態に係る支援装置の機能構成を示すブロック図である。

[図3]同実施形態に係るプロセスデータのデータ内容の一例を示す模式図である。

[図4]同実施形態に係るシミュレーションデータのデータ内容の一例を示す模式図である。

[図5]プラントの内部に関する内部画像に基づく循環材の流動状態の推定方法の一例を説明するための図である。

[図6A]数理モデルに基づく循環材の流速ベクトルの一例を示す図である。

[図6B]プラントの内部に関する内部画像に基づく循環材の流動方向の一例を示す図である。

[図6C]図6Aに示した数理モデルに基づく循環材の流速ベクトルと、図6Bに示したプラントの内部に関する内部画像に基づく循環材の流速ベクトルとを重ねて表示した図である。

[図7]数理モデルの更新処理の処理内容を示すフローチャートである。

[図8]シミュレーションデータの表示処理の処理内容を示すフローチャートである。

[図9A]同実施形態に係る支援装置の動作を説明するための図である。

[図9B]同実施形態に係る支援装置の動作を説明するための図である。

[図10]第2実施形態に係る支援装置による循環材の流動状態の推定方法を説明するための図である。

[図11]同実施形態に係るプロセスデータのデータ内容の一例を示す模式図である。

[図12]同実施形態に係るシミュレーションデータのデータ内容の一例を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0013] 〔第1実施形態〕

以下、図面を参照しつつ、発明の実施形態を通じて本発明を説明するが、以下の実施形態は特許請求の範囲に係る発明を限定するものではなく、また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせのすべてが発明の解決手段に必須であるとは限らない。各図面に示される同一又は同等の構成要素、部材、処理には、同一の符号を付するものとし、適宜重複した説明は省略する。

[0014] 図1は、本発明の第1実施形態に係るプラントの全体構成を示す概略図である。まず、図1を用いて、本実施形態が対象とするプラント1の構成について説明する。プラント1は、例えば、循環流動層ボイラ（Circulating Fluidized Bed型）を含む発電プラント（焼却プラント）であって、高温で流動する珪砂等の循環材を循環させながら燃料を燃焼して、蒸気を発生させるボイラを備えるものである。プラント1の燃料としては、石炭のような化石燃料の他、例えば非化石燃料（木質バイオマス、廃タイヤ、廃プラスチック、スラッジ等）を使用することができる。プラント1で発生した蒸気は、タービン100の駆動に用いられる。なお、本発明が対象とするプラントは、ボイラを含む発電プラントや焼却プラントに限られるものではなく、化学プラント、排水処理プラント等、プロセスデータが取得できるプラントであればよい。

[0015] プラント1は、火炉2内で燃料を燃焼させ、固気分離装置として機能する

サイクロン 3 によって排ガスから循環材を分離し、分離された循環材を火炉 2 内に戻して循環させるように構成されている。分離された循環材は、サイクロン 3 の下方に接続された循環材回収管 4 を経由して火炉 2 の下部に返送される。なお、循環材回収管 4 の下部と火炉 2 の下部とは、流路が絞られたループシール部 4 a を介して接続されている。これにより、循環材回収管 4 の下部には所定量の循環材が貯められた状態となる。サイクロン 3 によって循環材が取り除かれた排ガスは、排ガス流路 3 a を経由して後部煙道 5 に供給される。

[0016] ボイラは、燃料を燃焼させるための火炉 2 と、燃焼により得られた熱を用いて水蒸気等を発生させるための熱交換器を備える。火炉 2 の中間部には、燃料を供給する燃料供給口 2 a が設けられており、火炉 2 の上部には、燃焼ガスを排出するガス出口 2 b が設けられている。図示されていない燃料供給装置から火炉 2 に供給される燃料は、燃料供給口 2 a を介して火炉 2 の内部に供給される。また、火炉 2 の炉壁には、ボイラ給水を加熱するための炉壁管 6 が設けられている。炉壁管 6 を流れるボイラ給水は、火炉 2 での燃焼によって加熱される。

[0017] 火炉 2 内では、下部の給気ライン 2 c から導入される燃焼・流動用の空気により、燃料供給口 2 a から供給された燃料を含む固形物が流動し、燃料は流動しながら例えば約 800～900℃で燃焼する。サイクロン 3 には、火炉 2 で発生した燃焼ガスが循環材を同伴しながら導入される。サイクロン 3 は、遠心分離作用により循環材と気体とを分離し、循環材回収管 4 を介して分離された循環材を火炉 2 に戻すとともに、循環材が除かれた燃焼ガスを排ガス流路 3 a から後部煙道 5 へと送出する。

[0018] 火炉 2 では、底部に炉内ベッド材と呼ばれる循環材の一部が滞留する。このベッド材には、循環流動に不適な粗い粒径を有するベッド材や排燃夾雑物が含まれることがあり、これらの循環材として不適なベッド材によって流動不良が発生することがある。そのため、流動不良を抑制するために、火炉 2 では、底部の排出口 2 d から炉内ベッド材が連続的又は断続的に外部に排出

されている。排出されたベッド材は、図示されていない循環ライン上で金属や粗大粒径等の不適物を取り除いた後、再び火炉2に供給されるか、若しくはそのまま廃棄される。火炉2の循環材は、火炉2、サイクロン3及び循環材回収管4で構成される循環系内を循環する。

[0019] 後部煙道5は、サイクロン3から排出されたガスを後段へ流す流路を有している。後部煙道5は、排ガスの熱を回収する排熱回収部として、過熱蒸気を発生させる過熱器10と、ボイラ給水を予熱する節炭器12と、を有している。後部煙道5を流れる排ガスは、過熱器10及び節炭器12を流通する蒸気やボイラ給水と熱交換されて冷却される。また、節炭器12を通過したボイラ給水が貯留される蒸気ドラム8を有し、蒸気ドラム8は火炉壁6にも接続されている。

[0020] 節炭器12は、排ガスの熱をボイラ給水に伝熱して、ボイラ給水を予熱するものである。節炭器12は、管21によってポンプ7と接続される一方、管22によって蒸気ドラム8と接続されている。ポンプ7から管21を経由して節炭器12に供給され、節炭器12によって予熱されたボイラ給水は、管22を経由して蒸気ドラム8に供給される。

[0021] 蒸気ドラム8には、降水管8a及び炉壁管6が接続されている。蒸気ドラム8内のボイラ給水は、降水管8aを下降し、火炉2の下部側で炉壁管6に導入されて蒸気ドラム8へ向かって流通する。炉壁管6内のボイラ給水は、火炉2内で発生する燃焼熱によって加熱されて、蒸気ドラム8内で蒸発し蒸気となる。

[0022] 蒸気ドラム8には、内部の蒸気を排出する飽和蒸気管8bが接続されている。飽和蒸気管8bは、蒸気ドラム8と過熱器10とを接続している。蒸気ドラム8内の蒸気は、飽和蒸気管8bを経由して過熱器10に供給される。過熱器10は、排ガスの熱を用いて蒸気を過熱して過熱蒸気を生成するものである。過熱蒸気は、管10aを通り、プラント1外のタービン100に供給されて発電に利用される。

[0023] タービン100から排出された蒸気の圧力と温度は、過熱器10から排出

される蒸気の圧力と温度よりも低い。特に限定されるものではないが、タービン100へ供給される蒸気の圧力は、約10～17MPa程度であり、温度は約530～570℃程度となる。タービン100から排出される蒸気の圧力は、約3～5MPa程度であり、温度は約350～400℃程度となる。

[0024] タービン100の下流には復水器102が設けられている。タービン100から排出された蒸気は復水器102に供給され、復水器102において凝縮して飽和水に戻された上でポンプ7へと供給される。タービン100には、タービン100の回転により得られる運動エネルギーを電気エネルギーに変換するジェネレータが接続される。

[0025] ポンプ7aは、復水器102の水位を一定に保つように、補給水を供給する。図1では、ポンプ7aにより補給される補給水流量u1を示している。

[0026] 本実施形態で取り扱うプロセスデータは、プラント1に関する任意のデータであってよいが、例えば、プラント1の状態をセンサで測定したデータであってよく、より具体的には、プラント1の温度、圧力及び流量等の測定値を含んでよい。図1では、ポンプ7から節炭器12に供給されるボイラ給水流量u2を示している。さらに、図1では、過熱器10からタービン100に供給されるボイラ出口蒸気流量u3を示し、蒸気ドラム8から過熱器10に供給される飽和蒸気流量u4を示している。なお、補給水流量u1は、飽和蒸気流量u4に追従するように制御されてよい。また、ボイラ出口蒸気流量u3（又は過熱蒸気流量）と、蒸気ドラム8の液面レベルの双方を監視しながら、ボイラ給水流量u2を調整に追従するように制御されてよい。

[0027] プラント1に破孔が生じた場合、補給水流量u1が上昇したり、ボイラ給水流量u2とボイラ出口蒸気流量u3の流量差が増大したりする。DCS(Distributed Control System)20は、補給水流量u1、ボイラ給水流量u2、ボイラ出口蒸気流量u3及び飽和蒸気流量u4等のプラント1のプロセスデータについて異常が生じていないか監視する。

[0028] なお、プロセスデータとして補給水流量u1、ボイラ給水流量u2、ボイ

ラ出口蒸気流量 u_3 及び飽和蒸気流量 u_4 を例示したが、プラント 1 に関するプロセスデータは、他のデータであってもよい。プラント 1 に関するプロセスデータは、温度、圧力等の他のデータであってもよい。

[0029] 図 2 は、本実施形態に係る支援装置 200 の制御構成を示すブロック図である。

[0030] 図 2 に示すように、支援装置 200 は、プラント 1 の動作を支援するための装置であり、例えば、プラント 1 の操作変量を含む解析条件を数理モデル 224 に入力することで、解析条件に対応する解析結果に含まれるプラント 1 の内部の循環材の流動状態を示す情報を数理モデル 224 から出力させる。プラント 1 の操作変量は、例えば、プラント 1 の温度、圧力及び流量を含む。数理モデル 224 は、所定の解析条件におけるプラント 1 の内部の循環材の流動状態をシミュレーションにより再現するためのモデルである。そして、支援装置 200 は、数理モデル 224 から出力された情報に基づいて、循環材の流動状態を示す画像を生成し、生成した画像を表示する。

[0031] 支援装置 200 は、例えば、制御部 210 と、記憶部 220 とを備える。制御部 210 は、例えば、CPU (Central Processing Unit) などのハードウェアプロセッサがプログラム (ソフトウェア) を実行することにより実現される。また、これらの構成要素のうち一部または全部は、LSI (Large Scale Integration) や ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field-Programmable Gate Array)、GPU (Graphics Processing Unit) などのハードウェア (回路部: circuitryを含む) によって実現されてもよいし、ソフトウェアとハードウェアの協働によって実現されてもよい。プログラムは、予め支援装置 200 の HDD やフラッシュメモリなどのコンピュータ読み取り可能な記録装置に格納されていてもよいし、DVD や CD-ROM などの着脱可能なコンピュータ読み取り可能な記録媒体に格納されており、コンピュータ読み取り可能な記録媒体がドライブ装置に装着されることで支援装置 200 の HDD やフラッシュメモリにインストールされてもよい。

- [0032] 支援装置 200 は、例えば、DCS 20（分散制御システム）、入力装置 110、表示装置 120 に接続されている。
- [0033] DCS 20 は、プラント 1 の運転時にプラント 1 の内部に設置されたセンサにより検出されたデータを、プラント 1 の運転時におけるプロセスデータ 222 として取得して支援装置 200 に出力する。プロセスデータ 222 は、運転データの一例である。
- [0034] 入力装置 110 は、例えば、プラント 1 の操作変量のパラメータを変更するための操作が入力される。入力装置 110 は、例えば、変更されたプラント 1 の操作変量を含む解析条件を数理モデル 224 に入力する。
- [0035] 表示装置 120 は、例えば、支援装置 200 により生成された循環材の流動状態を示す画像を表示する。表示装置 120 は、例えば、プラント 1 の操作変量のパラメータを変更するための操作が入力装置 110 に入力された場合、変更されたプラント 1 の操作変量を含む解析条件を数理モデル 224 に入力して得られる循環材の流動状態を示す画像を表示する。
- [0036] 制御部 210 は、例えば、受付部 211、情報取得部 212、画像取得部 213、画像処理部 214、シミュレータ部 215、計算部 216、出力部 217 を備える。
- [0037] 受付部 211 は、プラント 1 の操作変量のパラメータの変更を受け付ける。受付部 211 は、例えば、プラント 1 の操作変量のパラメータを変更するための操作が入力装置 110 に入力された場合、変更後のプラント 1 の操作変量のパラメータを入力装置 110 から受け付ける。
- [0038] また、受付部 211 は、数理モデル 224 のモデルパラメータの入力を受け付ける。受付部 211 は、例えば、数理モデル 224 のモデルパラメータの初期値を設定するための操作が入力装置 110 に入力された場合、モデルパラメータの初期値を入力装置 110 から受け付けて数理モデル 224 に適用する。
- [0039] 情報取得部 212 は、プラント 1 の運転状態における操作変量と、プラント 1 に設けられたセンサにより検出されるセンサ値とを含む運転データを取

得する。情報取得部 212 は、例えば、プラント 1 の運転時におけるプロセスデータ 222 をプラント 1 から DCS 20 を経由して取得して記憶部 220 に格納する。

[0040] 図 3 は、プロセスデータ 222 のデータ内容の一例を示す図である。同図に示す例では、プロセスデータ 222 は、データ ID に対して解析条件とモニタ値とが対応付けられている。解析条件は、解析対象となるプロセスデータ 222 の取得時におけるプラント 1 の複数の操作変量を含む。モニタ値は、例えば、位置情報と、センサ値とを含む。位置情報は、プラント 1 の内部に設置された複数のセンサの各々の位置に関する情報である。センサ値は、複数のセンサの各々により検出される値であり、循環材の流動状態に関する情報を含む。循環材の流動状態は、例えば、循環材の流動方向に関する情報を含む。この例では、位置情報は、循環材の流動状態に関する情報を表示装置 120 の画面上で可視化する際の二次元座標により表される。センサ値は、プラント 1 の内部の位置ごとの循環材の流動方向に関する情報であり、基準座標系における原点を中心とした循環材の流動方向の角度により表される。

[0041] 画像取得部 213 は、プラント 1 の内部に関する内部画像を取得する。プラント 1 の内部に関する画像は、プラント 1 の内部をカメラ等により直接撮影した画像だけでなく、プラント 1 の内部に設けられたセンサの検出結果等に基づいて生成された画像を含む。

[0042] 画像処理部 214 は、例えば、損傷判定部 214A を備える。損傷判定部 214A は、画像取得部 213 により取得されたプラント 1 の内部に関する内部画像に対して画像処理を実行することにより、プラント 1 の損傷部分を判定する。

[0043] シミュレータ部 215 は、例えば、解析実行部 215A と、モデル更新部 215B とを備え、プラント 1 の操作変量を含む解析条件を数理モデル 226 に入力して解析条件に対応する解析結果に含まれるプラント 1 の内部の循環材の流動状態を示す情報をシミュレーション結果として出力する。

- [0044] 解析実行部 215 A は、プラント 1 の操作変量を含む解析条件を数理モデル 224 に入力して解析条件に対応する解析結果に含まれるプラント 1 の内部の循環材の流動状態を示す情報を解析する。解析実行部 215 A は、プラント 1 の操作変量を含む解析条件と、解析条件に対応する解析結果とが関連付けられたシミュレーションデータ 223 を記憶部 220 に格納する。シミュレーションデータ 223 は、参照データの一例である。解析実行部 215 A は、例えば、複数の解析条件と、複数の解析条件の各々に対応する解析結果とが関連付けられたシミュレーションデータ 223 を記憶部 220 に格納する。解析実行部 215 A は、上述した受付部 211 がプラント 1 の操作変量のパラメータの変更を受け付けた場合、変更されたパラメータに対応するプラント 1 の内部の循環材の流動状態を示す情報を解析する。
- [0045] 図 4 は、シミュレーションデータ 223 のデータ内容の一例を示す図である。同図に示す例では、シミュレーションデータ 223 は、データ ID に対して入力データと出力データとが対応付けられている。入力データは、数理モデル 224 に入力されるデータであり、シミュレーションデータ 223 の解析時における複数の解析条件を含む。出力データは、数理モデル 224 から出力されるデータであり、例えば、位置情報と、モニタ点とを含む。位置情報は、プラント 1 の部位を示す情報を含む。モニタ点は、プラント 1 の部位ごとに数理モデル 224 により解析される情報であり、循環材の流動状態に関する情報を含む。この例では、位置情報は、循環材の流動状態に関する情報を表示装置 120 の画面上で可視化する際の二次元座標により表される。センサ値は、プラント 1 の内部の位置ごとの循環材の流動方向に関する情報であり、基準座標系における原点を中心とした循環材の流動方向の角度により表される。
- [0046] モデル更新部 215 B は、画像取得部 213 により取得されたプラント 1 の内部に関する内部画像に基づいて推定されたプラント 1 の内部の循環材の流動状態と、記憶部 220 に格納されたシミュレーションデータ 223 の解析結果に含まれる循環材の流動状態を示す情報とに基づいて、数理モデル 2

24を更新する。プラント1の内部画像に基づくプラント1の内部の循環材の流動状態の推定は、例えば、プラント1の操作者により手作業で行われる。例えば、プラント1の操作者は、一つのプラント1の内部画像に基づいて、プラント1の損傷部分の延びる方向を目視で確認し、プラント1の損傷部分の延びる方向に基づいて循環材の流動方向を推定する。

[0047] 図5は、プラント1の内部に関する内部画像に基づく循環材の流動状態の推定方法の一例を説明するための図である。同図に示す例では、損傷判定部214Aがプラント1の内部画像に基づいてプラント1の損傷部分を事前に判定している。この場合、プラント1の内部の循環材によりプラント1の内壁が損傷したと想定されることから、プラント1の損傷部分の延びる方向とプラント1の内部の循環材の流動方向とは概ね一致していると考えられる。そのため、プラント1の操作者は、まず、プラント1の内部画像に基づいて、プラント1の損傷部分の延びる方向が上下方向に沿う方向であることを目視により確認する。そして、プラント1の操作者は、プラント1の損傷部分の延びる方向に沿う一方側から他方側に向かう方向（この例では、上方向）をプラント1の内部の循環材の流動方向として推定する。この場合、例えば、プラント1の操作者は、プラント1の損傷部分の延びる方向と、数理モデル224に基づいて解析された、プラント1の損傷部分に対応する流速ベクトルの向きとを比較し、プラント1の損傷部分の延びる方向に沿う2つの方向のうち、流速ベクトルの向きに対して相対的に近い方向をプラント1の内部の循環材の流動方向として推定する。

[0048] 図6Aは、数理モデル224に基づく循環材の流速ベクトルの一例を示す図である。この例では、数理モデル224の解析結果に含まれるプラント1の内部の循環材の流動状態を示す情報が可視化されて表示されている。循環材の流動状態を示す情報は、プラント1の部位ごとの循環材の流動方向を含む。図6Aに示す例では、図中の矢印の向きが循環材の流動方向を示し、図中の矢印の長さが循環材の流動速度を示している。このような矢印の態様は他の図面においても同様である。

[0049] 図 6 B は、プラント 1 の内部に関する内部画像に基づく循環材の流動方向の一例を示す図である。この例では、プラント 1 の内部の循環材の流動方向がプラント 1 の部位ごとに可視化されて表示されている。

[0050] 図 6 C は、図 6 A に示した数理モデル 2 2 4 に基づく循環材の流速ベクトルと、図 6 B に示したプラント 1 の内部に関する内部画像に基づく循環材の流速ベクトルとを重ねて表示した図である。同図に示すように、数理モデル 2 2 4 に基づく循環材の流速ベクトルと、プラント 1 の内部に関する内部画像に基づく循環材の流速ベクトルとは若干の乖離がある。そのため、モデル更新部 2 1 5 B は、この乖離を小さくするように、数理モデル 2 2 4 のモデルパラメータを更新する。具体的には、モデル更新部 2 1 5 B は、以下の〔数 1〕に示す評価関数を設定してモデルパラメータの最適値 S を探索する。

[数1]

$$S(Model) = \sum_i U_i - V_i$$

[0051] また、モデル更新部 2 1 5 B は、流速ベクトルごとに重みづけを設定して〔数 2〕に示す評価関数を設定してもよい。

[数2]

$$S(Model) = \sum_i \alpha_i (U_i - V_i)$$

[0052] また、モデル更新部 2 1 5 B は、各々の流速ベクトルの単位ベクトル同士の内積を小さくするように〔数 3〕に示す評価関数を設定してもよい。

[数3]

$$S(Model) = \sum_i 1 - \left(\frac{U_i}{|U_i|} \cdot \frac{V_i}{|V_i|} \right)^2$$

[0053] 計算部 2 1 6 は、記憶部 2 2 0 に格納されたシミュレーションデータ 2 2

3と情報取得部212により取得されたプロセスデータ222との類似度を計算する。計算部216は、例えば、プロセスデータ222に含まれる複数の操作変量と、複数の操作変量の各々に対応する解析条件であってシミュレーションデータ223に含まれる解析条件との類似度、及び、プロセスデータ222に含まれる複数のセンサ値と、複数のセンサ値の各々に対応するモニタ点であってシミュレーションデータ223に含まれるモニタ点との類似度に基づいて、シミュレーションデータ223とプロセスデータ222との類似度を計算する。計算部216は、例えば、複数の操作変量、及び、複数のセンサ値を p_n 、複数の操作変量の各々に対応する解析条件、及び、複数のセンサ値の各々に対応するモニタ点を q_n とし、以下の〔数4〕に基づいて、上述した類似度をユークリッド距離として計算する。

〔数4〕

$$d(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = d(\mathbf{q}, \mathbf{p}) = \sqrt{(q_1 - p_1)^2 + (q_2 - p_2)^2 + \cdots + (q_n - p_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2}$$

[0054] 出力部217は、シミュレーションデータ223とプロセスデータ222とに基づいて、プロセスデータ222に対応するシミュレーションデータ223に含まれる解析条件、及び、位置情報に対応付けられたモニタ点に関する情報を参照情報の一例として出力する。出力部217は、例えば、計算部216により計算されたシミュレーションデータ223とプロセスデータ222との類似度に基づいて、参照情報を出力する。出力部217は、記憶部220に記憶されたシミュレーションデータ223のうち、計算部216により計算されたプロセスデータ222との類似度が最大となる参照情報を出力する。出力部217は、例えば、シミュレーションデータ223に含まれるデータIDごとに、複数の操作変量と複数の操作変量の各々に対応する解析条件との類似度を算出するとともに、複数のセンサ値と複数のセンサ値の各々に対応するモニタ点との類似度を算出する。そして、出力部217は、これらの類似度に基づいて、プロセスデータ222とシミュレーションデー

タ 2 2 3 との類似度が最大となるデータ I D を判定し、判定したデータ I D に対応する複数の操作変量、及び、位置情報に対応付けられた複数のモニタ点に関する情報を参照情報として出力する。

[0055] 次に、本実施形態に係る支援装置 2 0 0 により実行される数理モデル 2 2 4 の更新処理について、図 7 に示すフローチャートを参照して説明する。なお、図 7 に示すフローチャートは、例えば、所定の周期で繰り返し実行される。

[0056] 図 7 に示すように、内部画像に基づく推定処理として、画像取得部 2 1 3 は、まず、プラント 1 の内部に関する内部画像を取得する（ステップ S 1 0 ）。

[0057] 次に、損傷判定部 2 1 4 A は、先のステップ S 1 0 において取得した内部画像に対して画像処理を実行することにより、内部画像からプラント 1 の損傷部分を判定する（ステップ S 1 1 ）。こうして判定されたプラント 1 の損傷部分に基づいて、循環材の流動状態がプラント 1 の操作者により手作業で推定され、内部画像に基づく推定処理が終了する。

[0058] 次に、数理モデル 2 2 4 に基づく解析処理として、モデル更新部 2 1 5 B は、受付部 2 1 1 が受け付けたモデルパラメータの初期値を数理モデル 2 2 4 に適用して数理モデル 2 2 4 を設定する（ステップ S 1 2 ）。

[0059] 次に、解析実行部 2 1 5 A は、受付部 2 1 1 が受け付けた解析条件を数理モデル 2 2 4 に入力することで、プラント 1 の内部における循環材の流動状態を解析する（ステップ S 1 3 ）。

[0060] そして、解析実行部 2 1 5 A は、先のステップ S 1 3 において解析した循環材の流動状態に関する解析結果を出力し（ステップ S 1 4 ）、数理モデル 2 2 4 に基づく解析処理が終了する。

[0061] 次に、モデル更新部 2 1 5 B は、上述した内部画像に基づく推定処理により推定された循環材の流動状態と、上述した数理モデル 2 2 4 に基づく解析処理により解析された循環材の流動状態との比較に基づいて、数理モデル 2 2 4 を評価する（ステップ S 1 5 ）。

- [0062] そして、モデル更新部 215 B は、先のステップ S 15 における数理モデル 224 の評価結果が所定条件を満たさない場合（ステップ S 16 = N O）、数理モデル 224 のモデルパラメータを最適化した上で（ステップ S 17）、その処理をステップ S 12 に戻し、数理モデル 224 の評価結果が所定条件を満たすまでの間、ステップ S 12 ～ステップ S 17 の処理を繰り返す。
- [0063] 一方、モデル更新部 215 B は、先のステップ S 16 における数理モデル 224 の評価結果が所定条件を満たす場合（ステップ S 16 = Y E S）、図 7 に示す数理モデル 224 の更新処理を終了する。
- [0064] 次に、本実施形態に係る支援装置 200 により実行されるシミュレーションデータの表示処理について、図 8 に示すフローチャートを参照して説明する。なお、図 8 に示すフローチャートは、例えば、プラント 1 の操作者からの入力コマンドを受信した場合に開始される。
- [0065] 図 8 に示すように、情報取得部 212 は、まず、プラント 1 から D C S 20 を経由してプロセスデータ 222 を取得する（ステップ S 20）。
- [0066] 次に、計算部 216 は、先のステップ S 20 において取得されたプロセスデータ 222 と、記憶部 220 に格納されたシミュレーションデータ 223 との類似度を評価する（ステップ S 21）。
- [0067] 次に、出力部 217 は、記憶部 220 に格納されたシミュレーションデータ 223 のうち、先のステップ S 21 においてプロセスデータ 222 との類似度が最も高いと評価されたシミュレーションデータ 223 を選択する（ステップ S 22）。
- [0068] 次に、出力部 217 は、先のステップ S 22 において選択されたシミュレーションデータ 223 を表示装置 120 に出力して表示させる（ステップ S 23）。
- [0069] 次に、出力部 217 は、受付部 211 がシミュレーションデータ 223 の解析条件を変更する操作を受け付けたか否かを判定する（ステップ S 24）。出力部 217 は、受付部 211 がシミュレーションデータ 223 の解析条

件を変更する操作を受け付けたと判定した場合（ステップS 2 4＝Y E S）、記憶部2 2 0に格納されたシミュレーションデータ2 2 3のうち、変更後の解析条件に対応するシミュレーションデータ2 2 3を選択する（ステップS 2 5）。

[0070] 次に、出力部2 1 7は、先のステップS 2 5において選択されたシミュレーションデータ2 2 3を表示装置1 2 0に出力して表示させる（ステップS 2 6）。

[0071] 次に、出力部2 1 7は、入力装置1 1 0からの入力操作に基づいて、シミュレーションデータ2 2 3の表示を終了するか否かを判定する（ステップS 2 7）。出力部2 1 7は、シミュレーションデータ2 2 3の表示を終了しないと判定した場合（ステップS 2 7＝N O）、その処理をステップS 2 4に戻し、シミュレーションデータの表示を終了すると判定するまでステップS 2 4～ステップS 2 7の処理を繰り返す。一方、出力部2 1 7は、シミュレーションデータ2 2 3の表示を終了すると判定した場合（ステップS 2 7＝Y E S）、図8に示すシミュレーションデータ2 2 3の表示処理を終了する。

[0072] また、出力部2 1 7は、先のステップS 2 4において、受付部2 1 1がシミュレーションデータ2 2 3の解析条件を変更する操作を受け付けていないと判定した場合（ステップS 2 4＝N O）、ステップS 2 5～ステップS 2 7の処理を経ることなく、図8に示すシミュレーションデータ2 2 3の表示処理を終了する。

[0073] 次に、本実施形態に係る支援装置2 0 0の動作について説明する。

[0074] 図9 Aに示すように、支援装置2 0 0は、循環材の流動状態に関するシミュレーションを実行する際には、まず、現在のプラント1の運転状態を示すプロセスデータ2 2 2と、記憶部2 2 0に格納された複数の解析条件に対応するシミュレーションデータ2 2 3とを比較する。また、支援装置2 0 0は、プロセスデータ2 2 2との類似度が最も高いシミュレーションデータ2 2 3を選択し、選択したシミュレーションデータ2 2 3に対応する解析条件を

表示装置 120 に表示する。そして、支援装置 200 は、プラント 1 の操作者により表示装置 120 のアイコン 1A が操作された場合、シミュレーションの実行が開始される。この場合、図 9B に示すように、支援装置 200 は、上述した解析条件の下での循環材の流動状態を示すシミュレーション画像 GB を表示装置 120 に表示する。また、支援装置 200 は、循環材の流動状態を示すシミュレーション画像 GB に対応付けて、プラント 1 の各位置に対応するプラント 1 の内部に関する内部画像 GA を表示する。すなわち、支援装置 200 は、画像取得部 213 により取得された内部画像 GA を、プラント 1 の部位を示す情報と関連付けて出力する。また、支援装置 200 は、プラント 1 の内部に関する内部画像 GA に基づいて推定される循環材の流動方向を示す画像 GC を、循環材の流動状態を示すシミュレーション画像 GB と重畳させてプラント 1 の内部に関する内部画像 GA に対応付けられた位置に表示する。すなわち、画像取得部 213 により取得された内部画像 GA に基づいて推定された循環材の流動方向を含む内部流動情報を、プラント 1 の部位を示す情報にさらに関連付けて出力する。そして、循環材の流動状態を示すシミュレーション画像 GB に加えて、プラント 1 の内部に関する内部画像 GA、及び、内部画像 GA に基づいて推定された循環材の流動方向を示す画像 GC がシミュレーション画像 GB に対応付けられた状態で重畳して表示されることにより、循環材の流動状態に関する情報をより一層的確に把握することができる。

[0075] また、図 9A に示すように、支援装置 200 は、シミュレーションデータの解析条件の変更を受け付けており、一部のパラメータが変更された場合、記憶部 220 に格納されたシミュレーションデータの解析条件を参照して、変更後のパラメータに対応する解析条件を探索する。そして、支援装置 200 は、探索された解析条件の下での循環材の流動状態を示すシミュレーション画像 GB を表示装置 120 に表示する。

[0076] [第 2 の実施形態]

第 2 の実施形態以降では第 1 の実施形態と共通の事柄についての記述を省

略し、異なる点についてのみ説明する。特に、同様の構成による同様の作用効果については実施形態毎には逐次言及しない。

[0077] 図10に示すように、本実施形態に係る支援装置200におけるプラント1の内部に関する内部画像GAに基づく循環材の流動状態の推定方法の一例を説明するための図である。同図に示す例では、プラント1の操作者は、互いに異なる時点で撮影された複数の内部画像GAを対象として、事前に判定したプラント1の損傷部分の経時変化を分析する。これにより、プラント1の損傷部分の延びる方向に加え、所定期間におけるプラント1の損傷部分の延び量が把握されるようになり、循環材の流動方向に加え、循環材の流動速度を推定することが可能となる。

[0078] 図11は、プロセスデータ222Aのデータ内容の一例を示す図である。同図に示す例では、プロセスデータ222Aは、データIDに対して解析条件とモニタ値とが対応付けられている。解析条件は、解析対象となるプロセスデータ222Aの取得時におけるプラント1の複数の操作変量を含む。モニタ値は、例えば、位置情報と、センサ値とを含む。位置情報は、プラント1の内部に設置された複数のセンサの各々の位置に関する情報である。センサ値は、複数のセンサの各々により検出される値であり、循環材の流動状態に関する情報を含む。循環材の流動状態は、例えば、循環材の流動方向、及び、循環材の流動速度を含む。この例では、位置情報は、循環材の流動状態に関する情報を表示装置120の画面上で可視化する際の二次元座標により表される。センサ値は、プラント1の内部の位置ごとの循環材の流動方向、流動速度に関する情報である。循環材の流動方向は、基準座標系における原点を中心とした循環材の流動方向の角度により表される。循環材の流動速度は、位置情報により示されるプラント1の内部の位置を始点とした循環材の流動速度を示している。

[0079] 図12は、シミュレーションデータ223Aのデータ内容の一例を示す図である。同図に示す例では、シミュレーションデータ223Aは、データIDに対して入力データと出力データとが対応付けられている。入力データは

、数理モデル 2 2 4 に入力されるデータであり、シミュレーションデータ 2 2 3 A の解析時における複数の解析条件を含む。出力データは、数理モデル 2 2 4 から出力されるデータであり、例えば、位置情報と、モニタ点とを含む。位置情報は、プラント 1 の部位を示す情報を含む。モニタ点は、プラント 1 の部位ごとに数理モデル 2 2 4 により解析される情報であり、循環材の流動状態に関する情報を含む。循環材の流動状態は、例えば、循環材の流動方向、および、循環材の流動速度を含む。この例では、位置情報は、循環材の流動状態に関する情報を表示装置 1 2 0 の画面上で可視化する際の二次元座標により表される。センサ値は、プラント 1 の内部の位置ごとの循環材の流動方向、流動速度に関する情報であり、循環材の流動方向は基準座標系における原点を中心とした循環材の流動方向の角度により表される。循環材の流動速度は、位置情報により示されるプラント 1 の内部の位置を始点とした循環材の流動速度を示している。

[0080] なお、モデル更新部 2 1 5 B は、画像取得部 2 1 3 により取得されたプラント 1 の内部に関する内部画像に基づいて推定されたプラント 1 の内部の循環材の流動状態と、記憶部 2 2 0 に格納されたシミュレーションデータ 2 2 3 A の解析結果に含まれる循環材の流動状態を示す情報とに基づいて、数理モデル 2 2 4 を更新する。例えば、プラント 1 の操作者は、内部画像に基づいて推定された循環材の流動方向と、シミュレーションデータ 2 2 3 A の解析結果に含まれる循環材の流動方向との類似度を評価する。また、プラント 1 の操作者は、内部画像に基づいて推定された循環材の流動速度と、シミュレーションデータ 2 2 3 A の解析結果に含まれる循環材の流動速度との類似度を評価する。そして、プラント 1 の操作者は、これらの類似度の評価結果に基づいて、シミュレーションデータ 2 2 3 A の解析結果に含まれる循環材の流動状態と実際の循環材の流動状態との乖離度合いを評価し、その乖離度合いが小さくなるように数理モデル 2 2 4 のモデルパラメータを更新する。

[0081] [付記]

上記各実施形態から把握できる技術的思想を以下に記載する。

(付記 1)

プラントの運転を支援するための支援装置であって、

前記プラントの操作変量を含む解析条件と、前記解析条件に対応する解析結果とが関連付けられた参照データを記憶する記憶部であって、前記解析結果は、前記プラントの内部の循環材の流動状態を示す情報を含む、記憶部と、

前記プラントの運転状態における操作変量と、前記プラントに設けられたセンサで検出されるセンサ値とを含む運転データを取得する情報取得部と、

前記参照データと前記運転データとに基づいて、前記運転データに対応する前記参照データに関する参照情報を出力する出力部と、

を備える、

支援装置。

(付記 2)

前記参照データと前記運転データとの類似度を計算する計算部をさらに備え、

前記出力部は、前記計算部により計算された前記類似度に基づいて、前記参照情報を出力する、

付記 1 に記載の支援装置。

(付記 3)

前記出力部は、前記記憶部に記憶された前記参照データのうち、前記計算部により計算された前記類似度が最大となる前記参照情報を出力する、

付記 2 に記載の支援装置。

(付記 4)

前記計算部は、前記運転データに含まれる前記操作変量及び前記センサ値のそれぞれに対する前記参照データとの各類似度に基づいて、前記類似度を計算する、

付記 2 または 3 に記載の支援装置。

(付記 5)

前記プラントの内部に関する内部画像を取得する画像取得部をさらに備え、

前記参照データは、前記プラントの部位を示す情報を含み、
前記出力部は、前記内部画像を、前記プラントの部位を示す情報と関連付けて出力する、

付記 1 から 4 のいずれか一つに記載の支援装置。

(付記 6)

前記出力部は、前記内部画像に基づいて推定された循環材の流動方向を含む内部流動情報を、前記プラントの部位を示す情報にさらに関連付けて出力する、

付記 5 に記載の支援装置。

(付記 7)

前記プラントの操作変量を含む解析条件を数理モデルに入力して前記解析条件に対応する解析結果に含まれる前記プラントの内部の循環材の流動状態を示す情報をシミュレーション結果として出力するシミュレータ部をさらに備える、

付記 1 から 6 のいずれか一つに記載の支援装置。

(付記 8)

前記シミュレータ部は、前記プラントの内部に関する内部画像に基づいて推定された前記プラントの内部の循環材の流動状態と、前記参照データの解析結果に含まれる前記循環材の流動状態を示す情報とに基づいて、前記数理モデルを更新するモデル更新部をさらに備える、

付記 7 に記載の支援装置。

(付記 9)

前記プラントの操作変量のパラメータの変更を受け付ける受付部をさらに備え、

前記シミュレータ部は、変更されたパラメータに対応する解析結果を出力する、

付記 1 から 8 のいずれか一つに記載の支援装置。

(付記 10)

プラントの運転を支援するための支援方法であって、

プラントの操作変量を含む解析条件と、前記解析条件に対応する、前記プラントの内部の循環材の流動状態を示す情報を含む解析結果とが関連付けられた参照データを記憶する工程と、

前記プラントの運転状態における操作変量と、前記プラントに設けられたセンサで検出されるセンサ値とを含む運転データを取得する工程と、

前記参照データと前記運転データとに基づいて、前記運転データに対応する前記参照データに関する参照情報を出力する工程と、

を含む、

支援方法。

(付記 11)

コンピュータに、

プラントの操作変量を含む解析条件と、前記解析条件に対応する、前記プラントの内部の循環材の流動状態を示す情報を含む解析結果とが関連付けられた参照データを記憶させる処理と、

前記プラントの運転状態における操作変量と、前記プラントに設けられたセンサで検出されるセンサ値とを含む運転データを取得させる処理と、

前記参照データと前記運転データとに基づいて、前記運転データに対応する前記参照データに関する参照情報を出力させる処理と、

を実行させる、

プログラム。

[0082] なお、以上説明した各実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更／改良され得るとともに、本発明にはその等価物も含まれる。即ち、各実施形態に当業者が適宜設計変更を加えたものも、本発明の特徴を備えている限り、本発明の範囲に包含される。例えば、各実

施形態が備える各要素及びその配置、材料、条件、形状、サイズなどは、例示したものに限定されるわけではなく適宜変更することができる。また、各実施形態は例示であり、異なる実施形態で示した構成の部分的な置換又は組み合わせが可能であることは言うまでもなく、これらも本発明の特徴を含む限り本発明の範囲に包含される。

符号の説明

[0083] 1…プラント、20…DCS、110…入力装置、120…表示装置、200…支援装置、210…制御部、211…受付部、212…情報取得部、213…画像取得部、214…画像処理部、214A…損傷判定部、215…シミュレータ部、215A…解析実行部、215B…モデル更新部、216…計算部、217…出力部、220…記憶部、221…画像データ、222…プロセスデータ、223…シミュレーションデータ、224…数理モデル。

請求の範囲

- [請求項1] プラントの運転を支援するための支援装置であって、
 前記プラントの操作変量を含む解析条件と、前記解析条件に対応する解析結果とが関連付けられた参照データを記憶する記憶部であって、前記解析結果は、前記プラントの内部の循環材の流動状態を示す情報を含む、記憶部と、
 前記プラントの運転状態における操作変量と、前記プラントに設けられたセンサで検出されるセンサ値とを含む運転データを取得する情報取得部と、
 前記参照データと前記運転データとに基づいて、前記運転データに対応する前記参照データに関する参照情報を出力する出力部と、
 を備える、
 支援装置。
- [請求項2] 前記参照データと前記運転データとの類似度を計算する計算部をさらに備え、
 前記出力部は、前記計算部により計算された前記類似度に基づいて、前記参照情報を出力する、
 請求項1に記載の支援装置。
- [請求項3] 前記出力部は、前記記憶部に記憶された前記参照データのうち、前記計算部により計算された前記類似度が最大となる前記参照情報を出力する、
 請求項2に記載の支援装置。
- [請求項4] 前記計算部は、前記運転データに含まれる前記操作変量及び前記センサ値のそれぞれに対する前記参照データとの各類似度に基づいて、前記類似度を計算する、
 請求項2に記載の支援装置。
- [請求項5] 前記プラントの内部に関する内部画像を取得する画像取得部をさらに備え、

前記参照データは、前記プラントの部位を示す情報を含み、
前記出力部は、前記内部画像を、前記プラントの部位を示す情報と
関連付けて出力する、
請求項 1 に記載の支援装置。

[請求項6] 前記出力部は、前記内部画像に基づいて推定された循環材の流動方向を含む内部流動情報、前記プラントの部位を示す情報にさらに関連付けて出力する、
請求項 5 に記載の支援装置。

[請求項7] 前記プラントの操作変量を含む解析条件を数理モデルに入力して前記解析条件に対応する解析結果に含まれる前記プラントの内部の循環材の流動状態を示す情報をシミュレーション結果として出力するシミュレータ部をさらに備える、
請求項 1 に記載の支援装置。

[請求項8] 前記シミュレータ部は、前記プラントの内部に関する内部画像に基づいて推定された前記プラントの内部の循環材の流動状態と、前記参照データの解析結果に含まれる前記循環材の流動状態を示す情報とに基づいて、前記数理モデルを更新するモデル更新部をさらに備える、
請求項 7 に記載の支援装置。

[請求項9] 前記プラントの操作変量のパラメータの変更を受け付ける受付部をさらに備え、
前記シミュレータ部は、変更されたパラメータに対応する解析結果を出力する、
請求項 7 に記載の支援装置。

[請求項10] プラントの運転を支援するための支援方法であって、
プラントの操作変量を含む解析条件と、前記解析条件に対応する、前記プラントの内部の循環材の流動状態を示す情報を含む解析結果とが関連付けられた参照データを記憶する工程と、
前記プラントの運転状態における操作変量と、前記プラントに設け

られたセンサで検出されるセンサ値とを含む運転データを取得する工程と、

前記参照データと前記運転データとに基づいて、前記運転データに対応する前記参照データに関する参照情報を出力する工程と、

を含む、

支援方法。

[請求項11]

コンピュータに、

プラントの操作変数を含む解析条件と、前記解析条件に対応する、前記プラントの内部の循環材の流動状態を示す情報を含む解析結果とが関連付けられた参照データを記憶させる処理と、

前記プラントの運転状態における操作変数と、前記プラントに設けられたセンサで検出されるセンサ値とを含む運転データを取得させる処理と、

前記参照データと前記運転データとに基づいて、前記運転データに対応する前記参照データに関する参照情報を出力させる処理と、

を実行させる、

プログラム。