

明 細 書

発明の名称：

運転状態推定システム、学習装置、推定装置、状態推定器の生成方法、及び推定方法

技術分野

[0001] 本発明は、石油製品を製造するための装置の運転状態を推定するための運転状態推定システム、そのシステムに利用可能な学習装置、推定装置、状態推定器の生成方法、及び推定方法に関する。

背景技術

[0002] 原油を精製して石油製品を生産するための製油所は、原油を蒸留塔で異なる沸点を持つ複数の留分に分離し、必要に応じて更に下流装置で処理・アップグレードして石油製品を生産する。例えば、利用価値の低い重質留分や残油（重油）を流動状態の触媒と高温で接触させることによりガソリンなどの高価値な留分に分解したりしている。これらを生産するために利用された触媒は、表面に付着した炭素（コーク）を燃焼させることにより再生され、反応塔に戻されて再利用される（例えば、特許文献1参照）。これにより、原油資源を有効に活用することができ、製油所の収益を向上させることができる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2019-89907号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 触媒を再生するための再生塔において、コークの不完全燃焼が起こると、アフターバーン（アフターバーニング）と呼ばれる現象が生じることが知られている。アフターバーンが生じると、流動接触分解装置が損傷したり、

運転が継続できなくなったりする場合があるので、アフターバーンの発生を抑える必要がある。

[0005] 本発明は、こうした状況を鑑みてなされたものであり、その目的は、製油所の好適な運転を実現するための技術を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0006] 上記課題を解決するために、本発明のある態様の運転状態推定システムは、触媒を用いた反応装置と触媒を再生する再生装置とを含む流動接触分解装置の運転中に取得可能な情報から流動接触分解装置の運転状態を推定するための状態推定器を学習する学習装置と、流動接触分解装置の運転中に取得された情報に基づいて、学習装置により学習された状態推定器により流動接触分解装置の運転状態を推定する推定装置と、を備える。学習装置は、流動接触分解装置が過去に運転されたときに取得された情報を学習データとして取得する学習データ取得部と、学習データ取得部により取得された学習データを使用して、機械学習により状態推定器を学習する学習部と、を備える。推定装置は、流動接触分解装置の運転中に取得された情報を取得する運転データ取得部と、運転データ取得部により取得された情報を状態推定器に入力して流動接触分解装置の運転状態を推定する運転状態推定部と、運転状態推定部により推定された流動接触分解装置の運転状態を表す情報を出力する推定結果出力部と、を備える。

[0007] 本発明の別の態様は、学習装置である。この装置は、触媒を用いた反応装置と触媒を再生する再生装置とを含む流動接触分解装置が過去に運転されたときに取得された情報を学習データとして取得する学習データ取得部と、学習データ取得部により取得された学習データを使用して、流動接触分解装置の運転中に取得可能な情報から流動接触分解装置の運転状態を推定するための状態推定器を機械学習により学習する学習部と、を備える。

[0008] 本発明のさらに別の態様は、推定装置である。この装置は、触媒を用いた反応装置と触媒を再生する再生装置とを含む流動接触分解装置の運転中に取得された情報を取得する運転データ取得部と、運転データ取得部により取得

された情報を、流動接触分解装置が過去に運転されたときに取得された情報を学習データとして流動接触分解装置の運転状態を推定するための状態推定器を学習する学習装置により機械学習された状態推定器に入力して流動接触分解装置の運転状態を推定する運転状態推定部と、運転状態推定部により推定された流動接触分解装置の運転状態を表す情報を出力する推定結果出力部と、を備える。

[0009] 本発明のさらに別の態様は、状態推定器の生成方法である。この方法は、コンピュータに、触媒を用いた反応装置と触媒を再生する再生装置とを含む流動接触分解装置が過去に運転されたときに取得された情報を学習データとして取得するステップと、取得された学習データを使用して、流動接触分解装置の運転中に取得可能な情報から流動接触分解装置の運転状態を推定するための状態推定器を機械学習により学習するステップと、を実行させる。

[0010] 本発明のさらに別の態様は、推定方法である。この方法は、コンピュータに、触媒を用いた反応装置と触媒を再生する再生装置とを含む流動接触分解装置の運転中に取得された情報を取得するステップと、取得された情報を、流動接触分解装置が過去に運転されたときに取得された情報を学習データとして流動接触分解装置の運転状態を推定するための状態推定器を学習する学習装置により機械学習された状態推定器に入力して流動接触分解装置の運転状態を推定するステップと、推定された流動接触分解装置の運転状態を表す情報を出力するステップと、を実行させる。

[0011] なお、以上の構成要素の任意の組合せ、本発明の表現を方法、装置、システム、記録媒体、コンピュータプログラムなどの間で変換したものもまた、本発明の態様として有効である。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、製油所の好適な運転を実現するための技術を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]流動接触分解装置の構成を概略的に示す図である。

[図2]実施の形態に係る運転状態推定システムの構成を示す図である。

[図3]アフターバーン指標と、流動接触分解装置の再生装置の運転状態との関係を示す図である。

[図4]特徴量算出器により算出される特徴量の例を示す図である。

[図5]指標予測器により予測されたアフターバーン指標の例を示す図である。

[図6]指標予測器により予測されたアフターバーン指標の例を示す図である。

[図7]実施の形態に係る学習装置の構成を示す図である。

[図8]実施の形態に係る運転状態推定装置の構成を示す図である。

[図9]実施の形態に係る状態推定器の生成方法の手順を示すフローチャートである。

[図10]実施の形態に係る運転状態推定方法の手順を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0014] 図1は、流動接触分解装置（Fluid Catalytic Cracking：FCC）の構成を概略的に示す。流動接触分解装置10は、反応装置11と、再生装置14とを備える。反応装置11は、ライザー12と、ストリッパー13とを備える。

[0015] ライザー12は、原料油を触媒に接触させて製品を得るための反応塔である。ライザー12の底部には、原料油と、水蒸気と、触媒が導入される。原料油は、例えば、沸点が灯油（約170℃）よりも高い、灯油、軽油から常圧残油に至る広範囲の留分や残油などであってもよい。触媒は、例えば、ゼオライト、シリカ、粘土鉱物などを含む粒子であってもよい。ライザー12は、例えば500℃程度の温度の下で原料油を分解し、分解生成物を頂部からストリッパー13に供給する。

[0016] ストリッパー13は、ライザー12から供給された分解生成物にスチームを導入して、触媒に付着した分解油蒸気を取り去る（ストリッピング）とともに、触媒のみを下方に分離して再生装置14に供給する。ストリッパー13の頂部から抜き出された分解油は、更に下流装置で処理・アップグレード

される。

- [0017] 再生装置 14 は、ライザー 12 において使用された触媒を再生する。ライザー 12 において触媒が原料油の分解反応に使用されると、触媒の表面に炭素（コーク）が付着して触媒が失活する。再生装置 14 は、触媒の表面に付着したコークを高温下で燃焼させることにより再生し、再生した触媒をライザー 12 の底部に供給する。再生装置 14 には、表面にコークが付着した触媒と空気とが導入される。再生装置 14 の頂部から、二酸化炭素を含む排ガスが排出される。
- [0018] 再生装置 14 において、局所的な空気量の減少が生じると、酸素の不足によりコークが不完全燃焼して、排ガス中の一酸化炭素濃度が高まり、アフターバーンが発生する。アフターバーンが発生すると、局所的な発熱による温度上昇などによって再生装置 14 が損傷したり、流動接触分解装置 10 の運転が継続できなくなったりする場合がある。したがって、流動接触分解装置 10 を運転する際には、再生装置 14 におけるアフターバーンの発生を抑えることが重要である。
- [0019] 本実施の形態では、学習装置が、流動接触分解装置 10 の運転中に取得可能な情報から流動接触分解装置 10 の運転状態を推定するための状態推定器を、機械学習により学習する。そして、運転状態推定装置が、流動接触分解装置 10 の運転中に、学習済みの状態推定器を使用して流動接触分解装置 10 の運転状態を推定する。具体的には、学習装置は、状態推定器として、現在の流動接触分解装置 10 の運転状態が、再生装置 14 においてアフターバーンが生じている状態なのか、アフターバーンが生じていない状態なのか、アフターバーンが生じていない状態からアフターバーンが生じている状態へ移行している状態なのかを推定するための特徴量を算出する特徴量算出器を学習する。運転状態推定装置は、特徴量算出器により算出された特徴量に基づいて流動接触分解装置 10 の現在の運転状態を推定する。また、学習装置は、状態推定器として、アフターバーンが発生しているか否かを表すアフターバーン指標の値を予測するための指標予測器を学習する。運転状態推定装

置は、指標予測器により予測された指標に基づいて流動接触分解装置 10 の将来の運転状態を推定する。これにより、運転員は、流動接触分解装置 10 の運転状態を的確に把握しながら流動接触分解装置 10 を制御することができるので、再生装置 14 におけるアフターバーンの発生を抑えることができる。

[0020] 図 2 は、実施の形態に係る運転状態推定システムの構成を示す。運転状態推定システム 1 は、原油を精製して石油製品を生産するための製油所 3 と、製油所 3 の流動接触分解装置 10 の運転状態を推定するための状態推定器を学習するための学習装置 100 とを備える。製油所 3 と学習装置 100 とは、インターネットや社内接続系統などの任意の通信網 2 により接続され、オンプレミス、クラウド、エッジコンピューティングなどの任意の運用形態で運用される。

[0021] 製油所 3 は、製油所 3 に設置された常圧蒸留塔や流動接触分解装置 10 などの制御対象装置 5 と、制御対象装置 5 の運転条件を制御するための制御量を設定する制御装置 20 と、学習装置 100 により学習された状態推定器を使用して流動接触分解装置 10 の運転状態を推定する運転状態推定装置 200 とを備える。

[0022] 図 3 は、アフターバーン指標と、流動接触分解装置の再生装置の運転状態との関係を示す。アフターバーン指標は、再生装置においてアフターバーンが生じていないときには正の値を取り、アフターバーンが生じているときには負の値を取るよう選択又は算出される。正負が逆であってもよい。アフターバーン指標は、流動接触分解装置 10 の運転中にセンサや機器などから取得可能な情報であってもよいし、流動接触分解装置 10 の運転中にセンサや機器などから取得可能な情報から所定の数式又は算出アルゴリズムにより算出される情報であってもよい。

[0023] 流動接触分解装置 10 の運転状態として、アフターバーン指標が正である正常状態、アフターバーン指標が負であるアフターバーン状態、アフターバーン指標が正から負、又は負から正に遷移する遷移状態がある。

[0024] 期間（１）において、流動接触分解装置１０は正常に運転されているが、期間（２）においては、再生装置１４においてアフターバーンが生じている。期間（３）に正常状態に戻るが、期間（４）に再びアフターバーンが生じている。期間（５）に遷移状態となり、期間（６）に正常状態に戻るが、期間（７）に再びアフターバーンが生じ、期間（８）には遷移状態となっている。

[0025] 本実施の形態の特徴量算出器は、流動接触分解装置１０が運転されたときに取得された多次元の情報から、より次元数の低い特徴量を算出する。学習装置４０は、特徴量算出器により多次元の情報から算出される特徴量が、その多次元の情報が取得されたときの流動接触分解装置１０の運転状態に応じて異なるクラスに分類されるように、特徴量算出器を学習する。学習装置４０は、例えば、特徴選択、特徴抽出で使用されるオートエンコーダや、 t 分布型確率的近傍埋め込み法などの手法により、多次元の情報を次元圧縮・削減しても特徴量は保持されるような特徴量算出器を学習する。

[0026] 図４は、特徴量算出器により算出される特徴量の例を示す。流動接触分解装置１０が図３に示したように運転されたときに取得された多次元の情報を、２つの特徴量に次元削減し、算出された２つの特徴量を２次元座標空間にプロットした。正常状態である期間（１）、（３）、（６）の情報がプロットされた領域と、アフターバーン状態である期間（２）、（４）、（７）の情報がプロットされた領域が明確に分離されている。また、遷移状態である期間（５）、（８）の情報がプロットされた領域は、正常状態の領域とアフターバーン状態の領域の間に位置している。したがって、運転状態推定装置３０は、このように学習された特徴量算出器を使用して、流動接触分解装置１０の運転中に取得された情報から特徴量を算出し、算出された特徴量を図４に示した２次元座標空間にプロットすることにより、現在の流動接触分解装置１０の運転状態を視覚的に分かりやすく運転員に提示することができる。運転員は、現在の特徴量のプロット位置から、現在の流動接触分解装置１０の運転状態を把握するとともに、正常状態においてはアフタ

ーバーン状態へ移行する可能性、アフターバーン状態においてはその苛酷度などを把握することができる。

[0027] 特徴量算出器に入力される情報は、流動接触分解装置10が運転されているときに取得可能な情報であれば任意の情報であってもよいが、流動接触分解装置10の運転状態が正常状態であるときとアフターバーン状態であるときとの間で値が異なる情報であることが望ましい。特徴量算出器に入力される情報は、例えば、再生装置14の内部の温度、温度分布、再生装置14から排出される排ガスの温度、量、排ガス中の一酸化炭素濃度、二酸化炭素濃度、再生装置14やライザー12などに接続された配管を流れる流体の温度、流量、流速、配管に設けられた弁の開度、再生装置14からライザー12に供給される再生触媒の温度、コーク残量、ライザー12からストリッパー13に供給される分解生成物の温度、量、ストリッパー13から抜き出される軽質留分の温度、量などであってもよい。

[0028] 特徴量算出器は、流動接触分解装置10が運転されているときに取得可能な情報を、流動接触分解装置10の運転状態に応じてクラス分類又はクラスターリングするための任意の手法により学習されてもよい。特徴量算出器は、教師あり学習により学習されてもよいし、教師なし学習により学習されてもよい。

[0029] 本実施の形態の指標予測器は、流動接触分解装置10が運転されているときに取得された情報から、アフターバーン指標の予測値を算出する。学習装置40は、流動接触分解装置10が過去の所定のタイミングで運転されたときに取得された情報が指標予測器に入力されたときに、所定のタイミングから所定時間経過後のアフターバーン指標の予測値が指標予測器から出力されるように指標予測器を学習する。指標予測器は、流動接触分解装置10が運転されているときに取得される情報及び運転されているときに取得される情報を基に推測される推測値を入力層に入力し、所定時間経過後のアフターバーン指標の予測値を出力層から出力するニューラルネットワークなどであってもよい。この場合、学習装置40は、流動接触分解装置10が過去の所定

のタイミングで運転されたときに取得された情報や推測値が指標予測器に入力されたときに、所定のタイミングから所定時間経過後のアフターバーン指標の予測値が指標予測器から出力されるように、ニューラルネットワークの各種ハイパーパラメーターを調整してもよい。

[0030] 図5は、指標予測器により予測されたアフターバーン指標の例を示す。流動接触分解装置10が図3に示したように運転されたときに取得された情報と、その30分後のアフターバーン指標の値とを学習データとして指標予測器を学習した。(1)～(8)の各期間の前半の学習データを使用して指標予測器を学習し、学習された指標予測器を使用して各期間の後半のアフターバーン指標を予測した。このようにして学習した指標予測器により、30分後のアフターバーン指標を高精度で予測できることが示された。これにより、運転員は、アフターバーン指標の現在値と予測値を監視しながら、アフターバーン指標が所定の範囲内から逸脱しないように、流動接触分解装置10の運転管理をリアルタイムに実行することができる。

[0031] 図6は、指標予測器により予測されたアフターバーン指標の例を示す。流動接触分解装置10が図5に示した期間とは別の期間に運転されたときに取得された情報を、上記のようにして学習した指標予測器に入力して予測した30分後のアフターバーン指標の予測値と、30分後のアフターバーン指標の実績値とを比較した。未知のデータであっても、上記のようにして学習した指標予測器により、30分後のアフターバーン指標を高精度で予測できることが示された。

[0032] 指標予測器に入力される情報は、流動接触分解装置10が運転されているときに取得可能な情報や推測可能な情報であれば任意の情報であってもよい。指標予測器に入力される情報は、再生装置14におけるアフターバーンの発生を上位事象とするフォルトツリー解析の結果に基づいて選択されてもよい。また、指標予測器に入力される複数の種類の情報の重みは、再生装置14におけるアフターバーンの発生を上位事象とするフォルトツリー解析の結果に基づいて調整されてもよい。これにより、流動接触分解装置10や周辺

の装置の特性に合わせて指標予測器を学習することができるので、指標予測器の精度を向上させることができる。

[0033] 指標予測器に入力される情報は、例えば、再生装置 14 の内部の温度、温度分布、再生装置 14 から排出される排ガスの温度、量、排ガス中の一酸化炭素濃度、二酸化炭素濃度、再生装置 14 やライザー 12 などに接続された配管を流れる流体の温度、流量、流速、配管に設けられた弁の開度、再生装置 14 から排出される排ガスの温度、量、排ガス中の一酸化炭素濃度、二酸化炭素濃度、再生装置 14 からライザー 12 に供給される再生触媒の温度、コーク残量、ライザー 12 からストリッパー 13 に供給される分解生成物の温度、量、ストリッパー 13 から抜き出される軽質留分の温度、量などであってもよい。

[0034] 学習装置 40 は、流動接触分解装置 10 が運転されているときに取得された複数の種類の情報のうち特定の情報を学習データとして使用して学習した指標予測器により算出されるアフターバーン指標の予測値と、その情報を学習データとして使用せずに学習した指標予測器により算出されるアフターバーン指標の予測値との差に基づいて、その情報の重みを調整してもよい。両者の差が大きいほど、アフターバーン指標への寄与度が大きいと考えられるので、その情報の重みを重くしてもよい。これにより、指標予測器の精度を更に向上させることができる。

[0035] 運転状態推定装置 30 は、特定の情報を学習データとして使用して学習された指標予測器により算出されたアフターバーン指標の予測値と、特定の情報を学習データとして使用せずに学習された指標予測器により算出されたアフターバーン指標の予測値を運転員に提示してもよい。これにより、特定の情報がアフターバーンの要因となっているか否かを運転員が判断することができるので、運転員がアフターバーンの発生を回避するために適切な制御を実行することができる。

[0036] 学習装置 40 は、流動接触分解装置 10 が運転されているときに取得された複数の種類の情報を、情報の種類に応じたオフセット時間で調整して学習

データを生成してもよい。この場合、運転状態推定装置 30 は、流動接触分解装置 10 が運転されているときに取得される複数の種類の情報を、情報の種類に応じたオフセット時間で調整してから指標予測器に入力する。例えば、配管に設けられた弁の開度を変更したときに、配管を流れる流体の流量は即座に変化するが、再生装置 14 の内部でアフターバーンが発生したときに、再生装置 14 の内部における局所的な温度変化の影響が周囲に伝播するまでには時間がかかる。このような応答特性を考慮してオフセット時間を調整することにより、指標予測器の精度を更に向上させることができる。

[0037] 図 7 は、実施の形態に係る学習装置 100 の構成を示す。学習装置 100 は、通信装置 101、制御装置 120、及び記憶装置 130 を備える。

[0038] 通信装置 101 は、無線又は有線による通信を制御する。通信装置 101 は、通信網 2 を介して、運転状態推定装置 200 などとの間でデータを送受信する。

[0039] 記憶装置 130 は、制御装置 120 が使用するデータ及びコンピュータプログラムを格納する。記憶装置 130 は、学習データ保持部 131、特徴量算出器 132、及び指標算出器 133 を備える。

[0040] 学習データ保持部 131 は、流動接触分解装置 10 が運転されているときに取得された情報を学習データとして格納する。特徴量算出器 132 及び指標算出器 133 は、学習装置 100 により学習される。

[0041] 制御装置 120 は、学習データ取得部 121、学習データ生成部 122、特徴量算出器学習部 123、指標算出器学習部 124、及び提供部 125 を備える。これらの構成は、ハードウェアコンポーネントでいえば、任意のコンピュータの CPU、メモリ、メモリにロードされたプログラムなどによって実現されるが、ここではそれらの連携によって実現される機能ブロックを描いている。したがって、これらの機能ブロックがハードウェアのみ、ソフトウェアのみ、またはそれらの組合せによっていろいろな形で実現できることは、当業者には理解されるところである。

[0042] 学習データ取得部 121 は、流動接触分解装置 10 が運転されているとき

に取得可能な情報を、製油所 3 に設けられた各種のセンサ、機器、装置、設備、流動接触分解装置 10、制御装置 20 などから取得し、学習データ保持部 131 に格納する。

[0043] 学習データ生成部 122 は、学習データ保持部 131 に格納された情報から、特徴量算出器 132 及び指標算出器 133 を学習するための学習データを生成する。上述したように、学習データ生成部 122 は、再生装置 14 におけるアフターバーンの発生を上位事象とするフォルトツリー解析の結果に基づいて、学習データ保持部 131 に格納された情報の中から学習データを選択してもよい。学習データ生成部 122 は、情報の種類に応じたオフセット時間の調整などの前処理を学習データ保持部 131 に格納された情報に実行することにより学習データを生成してもよい。学習データ生成部 122 は、学習データ保持部 131 に格納された情報から別の情報を算出又は推測することにより学習データを生成してもよい。

[0044] 特徴量算出器学習部 123 は、学習データ生成部 122 により生成された学習データを使用して特徴量算出器 132 を学習する。上述したように、特徴量算出器学習部 123 は、オートエンコーダや t 分布型確率的近傍埋め込み法などの手法により、多次元の学習データを次元圧縮・削減しても、流動接触分解装置 10 の運転状態の特徴が次元数の低い特徴量に保持されるような特徴量算出器 132 を学習する。

[0045] 指標算出器学習部 124 は、学習データ生成部 122 により生成された学習データを使用して指標算出器 133 を学習する。上述したように、指標算出器学習部 124 は、複数の学習データを入力し、所定時間経過後のアフターバーン指標の予測値を出力する指標算出器 133 を学習する。

[0046] 提供部 125 は、特徴量算出器学習部 123 により学習された特徴量算出器 132 と、指標算出器学習部 124 により学習された指標算出器 133 を、運転状態推定装置 200 に提供する。

[0047] 図 8 は、実施の形態に係る運転状態推定装置 200 の構成を示す。運転状態推定装置 200 は、通信装置 201、表示装置 202、入力装置 203、

制御装置 220、及び記憶装置 230 を備える。

- [0048] 通信装置 201 は、無線又は有線による通信を制御する。通信装置 201 は、通信網 2 を介して、学習装置 100 などとの間でデータを送受信する。表示装置 202 は、制御装置 220 により生成された表示画像を表示する。入力装置 203 は、制御装置 220 に指示を入力する。
- [0049] 記憶装置 230 は、制御装置 220 が使用するデータ及びコンピュータプログラムを格納する。記憶装置 230 は、運転データ保持部 231、特徴量算出器 232、指標算出器 233、及び相関関係保持部 234 を備える。
- [0050] 運転データ保持部 231 は、流動接触分解装置 10 が運転されているときに取得された情報を格納する。特徴量算出器 232 及び指標算出器 233 は、学習装置 100 により学習され、学習装置 100 から提供される。相関関係保持部 234 は、特徴量算出器 232 から出力される特徴量の 2 次元座標空間又は 3 次元座標空間における座標と、流動接触分解装置 10 の運転状態との間の相関関係を保持する。
- [0051] 制御装置 220 は、運転データ取得部 221、入力データ生成部 222、運転状態推定部 223、及び推定結果出力部 224 を備える。これらの構成は、ハードウェアのみ、ソフトウェアのみ、又はそれらの組合せによっていろいろな形で実現できる。
- [0052] 運転データ取得部 221 は、流動接触分解装置 10 が運転されているときに取得可能な情報を、製油所 3 に設けられた各種のセンサ、機器、装置、設備、流動接触分解装置 10、制御装置 20 などから取得し、運転データ保持部 231 に格納する。
- [0053] 入力データ生成部 222 は、運転データ保持部 231 に格納された情報から、特徴量算出器 232 及び指標算出器 233 に入力するための入力データを生成する。入力データ生成部 222 は、学習装置 100 において学習データ生成部 122 が学習データを生成するために実行したのと同じ前処理を、運転データ保持部 231 に格納された情報に実行してもよい。
- [0054] 運転状態推定部 223 は、入力データ生成部 222 により生成された入力

データを特徴量算出器 232 及び指標算出器 233 に入力し、それぞれから出力される推定結果を取得する。

[0055] 推定結果出力部 224 は、運転状態推定部 223 により取得された推定結果を出力する。推定結果出力部 224 は、特徴量算出器 232 により算出された特徴量を 2 次元座標空間又は 3 次元座標空間にプロットした図を表示装置 202 に表示する。推定結果出力部 224 は、相関関係保持部 234 に格納された相関関係を参照して、特徴量算出器 232 により算出された特徴量に対応する流動接触分解装置 10 の運転状態を更に表示装置 202 に表示する。推定結果出力部 224 は、指標算出器 233 により算出されたアフターバーン指標の予測値を表示装置 202 に表示する。

[0056] 図 9 は、実施の形態に係る状態推定器の生成方法の手順を示すフローチャートである。学習装置 100 の学習データ取得部 121 は、流動接触分解装置 10 が運転されているときに取得可能な情報を取得する (S10)。学習データ生成部 122 は、学習データ取得部 121 により取得された情報から、特徴量算出器 132 及び指標算出器 133 を学習するための学習データを生成する (S12)。特徴量算出器学習部 123 は、学習データ生成部 122 により生成された学習データを使用して特徴量算出器 132 を学習する (S14)。指標算出器学習部 124 は、学習データ生成部 122 により生成された学習データを使用して指標算出器 133 を学習する (S16)。提供部 125 は、特徴量算出器学習部 123 により学習された特徴量算出器 132 と、指標算出器学習部 124 により学習された指標算出器 133 を、運転状態推定装置 200 に提供する (S18)。

[0057] 図 10 は、実施の形態に係る運転状態推定方法の手順を示すフローチャートである。運転状態推定装置 200 の運転データ取得部 221 は、流動接触分解装置 10 が運転されているときに取得可能な情報を取得する (S20)。入力データ生成部 222 は、運転データ取得部 221 により取得された情報から、特徴量算出器 232 及び指標算出器 233 に入力するための入力データを生成する (S22)。運転状態推定部 223 は、入力データ生成部 2

22により生成された入力データを特徴量算出器232に入力し、特徴量を算出する(S24)。運転状態推定部223は、入力データ生成部222により生成された入力データを指標算出器233に入力し、アフターバーン指標を算出する(S26)。推定結果出力部224は、運転状態推定部223により取得された推定結果を出力する(S28)。

[0058] 以上、本発明を実施例にもとづいて説明した。この実施例は例示であり、それらの各構成要素や各処理プロセスの組合せにいろいろな変形例が可能なこと、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは当業者に理解されるところである。

符号の説明

[0059] 1 運転状態推定システム、2 通信網、3 製油所、5 制御対象装置、10 流動接触分解装置、11 反応装置、12 ライザー、13 ストリッパ、14 再生装置、20 制御装置、100 学習装置、121 学習データ取得部、122 学習データ生成部、123 特徴量算出器学習部、124 指標算出器学習部、125 提供部、131 学習データ保持部、132 特徴量算出器、133 指標算出器、200 運転状態推定装置、221 運転データ取得部、222 入力データ生成部、223 運転状態推定部、224 推定結果出力部、231 運転データ保持部、232 特徴量算出器、233 指標算出器、234 相関関係保持部。

産業上の利用可能性

[0060] 本発明は、製油所の流動接触分解装置を好適に運転するための運転状態推定システムに利用可能である。

請求の範囲

- [請求項1] 触媒を用いた反応装置と前記触媒を再生する再生装置とを含む流動接触分解装置の運転中に取得可能な情報から前記流動接触分解装置の運転状態を推定するための状態推定器を学習する学習装置と、
- 前記流動接触分解装置の運転中に取得された情報に基づいて、前記学習装置により学習された状態推定器により前記流動接触分解装置の運転状態を推定する推定装置と、
- を備え、
- 前記学習装置は、
- 前記流動接触分解装置が過去に運転されたときに取得された情報を学習データとして取得する学習データ取得部と、
- 前記学習データ取得部により取得された学習データを使用して、機械学習により前記状態推定器を学習する学習部と、
- を備え、
- 前記推定装置は、
- 前記流動接触分解装置の運転中に取得された情報を取得する運転データ取得部と、
- 前記運転データ取得部により取得された情報を前記状態推定器に入力して前記流動接触分解装置の運転状態を推定する運転状態推定部と、
- 、
- 前記運転状態推定部により推定された前記流動接触分解装置の運転状態を表す情報を出力する推定結果出力部と、
- を備える運転状態推定システム。
- [請求項2] 前記運転状態は、前記再生装置においてアフターバーンが生じていない状態、前記再生装置においてアフターバーンが生じている状態、及び前記再生装置においてアフターバーンが生じていない状態からアフターバーンが生じている状態へ移行している状態のうち少なくとも2以上を含む請求項1に記載の運転状態推定システム。

- [請求項3] 前記状態推定器は、前記学習データ取得部により取得された情報よりも次元数の低い特徴量を算出する請求項1又は2に記載の運転状態推定システム。
- [請求項4] 前記学習部は、前記状態推定器により前記学習データから算出される特徴量が、その学習データが取得されたときの前記流動接触分解装置の運転状態に応じて異なるクラスに分類されるように、前記状態推定器を学習する請求項3に記載の運転状態推定システム。
- [請求項5] 前記特徴量は、2次元又は3次元であり、
前記推定結果出力部は、前記特徴量を2次元座標空間又は3次元座標空間にプロットした図を出力する請求項3又は4に記載の運転状態推定システム。
- [請求項6] 前記推定結果出力部は、2次元座標空間又は3次元座標空間における前記特徴量の座標と、前記流動接触分解装置の運転状態との間の相関関係を保持し、前記状態推定器により算出された特徴量に対応する前記流動接触分解装置の運転状態を更に出力する請求項5に記載の運転状態推定システム。
- [請求項7] 前記学習部は、前記流動接触分解装置が過去の所定のタイミングで運転されたときに取得された情報が前記状態推定器に入力されたときに、前記所定のタイミングから所定時間経過後に取得された別の種類の情報の予測値が前記状態推定器から出力されるように前記状態推定器を学習する請求項1又は2に記載の運転状態推定システム。
- [請求項8] 前記学習部は、前記再生装置におけるアフターバーンの発生を上位事象とするフォルトツリー解析の結果に基づいて、前記状態推定器が前記学習データ取得部により取得される複数の種類の情報から前記予測値を算出する際のそれぞれの種類の情報の重みを調整する請求項7に記載の運転状態推定システム。
- [請求項9] 前記学習部は、前記学習データ取得部により取得される複数の種類の情報のうち特定の情報を学習データとして使用して学習した状態推

定器により算出される前記予測値と、前記特定の情報を学習データとして使用せずに学習した状態推定器により算出される前記予測値との差に基づいて、前記特定の情報の重みを調整する請求項 8 に記載の運転状態推定システム。

[請求項10] 前記推定結果出力部は、前記特定の情報を学習データとして使用して学習された状態推定器により算出された予測値と、前記特定の情報を学習データとして使用せずに学習された状態推定器により算出された予測値を出力する請求項 9 に記載の運転状態推定システム。

[請求項11] 前記学習装置は、前記学習データ取得部により取得された複数の種類の情報を、情報の種類に応じたオフセット時間で調整して学習データを生成する学習データ生成部を更に備え、

前記推定装置は、前記運転データ取得部により取得された複数の種類の情報を、情報の種類に応じた前記オフセット時間で調整して前記状態推定器への入力データを生成する入力データ生成部を更に備える請求項 1 から 10 のいずれかに記載の運転状態推定システム。

[請求項12] 前記複数の種類の情報は、所定のタイミングにおける前記再生装置内の温度を示す情報と、前記所定のタイミングよりも前のタイミングにおける前記反応装置又は前記再生装置の運転状態を示す情報とを含む請求項 11 に記載の運転状態推定システム。

[請求項13] 前記反応装置は、沸点が 170℃以上である流体を対象とする請求項 1 から 12 のいずれかに記載の運転状態推定システム。

[請求項14] 触媒を用いた反応装置と前記触媒を再生する再生装置とを含む流動接触分解装置が過去に運転されたときに取得された情報を学習データとして取得する学習データ取得部と、

前記学習データ取得部により取得された学習データを使用して、流動接触分解装置の運転中に取得可能な情報から前記流動接触分解装置の運転状態を推定するための状態推定器を機械学習により学習する学習部と、

を備える学習装置。

[請求項15] 触媒を用いた反応装置と前記触媒を再生する再生装置とを含む流動接触分解装置の運転中に取得された情報を取得する運転データ取得部と、

前記運転データ取得部により取得された情報を、前記流動接触分解装置が過去に運転されたときに取得された情報を学習データとして前記流動接触分解装置の運転状態を推定するための状態推定器を学習する学習装置により機械学習された前記状態推定器に入力して前記流動接触分解装置の運転状態を推定する運転状態推定部と、

前記運転状態推定部により推定された前記流動接触分解装置の運転状態を表す情報を出力する推定結果出力部と、
を備える推定装置。

[請求項16] コンピュータに、

触媒を用いた反応装置と前記触媒を再生する再生装置とを含む流動接触分解装置が過去に運転されたときに取得された情報を学習データとして取得するステップと、

取得された学習データを使用して、前記流動接触分解装置の運転中に取得可能な情報から前記流動接触分解装置の運転状態を推定するための状態推定器を機械学習により学習するステップと、
を実行させる状態推定器の生成方法。

[請求項17] コンピュータに、

触媒を用いた反応装置と前記触媒を再生する再生装置とを含む流動接触分解装置の運転中に取得された情報を取得するステップと、

取得された情報を、前記流動接触分解装置が過去に運転されたときに取得された情報を学習データとして前記流動接触分解装置の運転状態を推定するための状態推定器を学習する学習装置により機械学習された前記状態推定器に入力して前記流動接触分解装置の運転状態を推定するステップと、

推定された前記流動接触分解装置の運転状態を表す情報を出力する
ステップと、
を実行させる推定方法。