

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7687935号
(P7687935)

(45)発行日 令和7年6月3日(2025.6.3)

(24)登録日 令和7年5月26日(2025.5.26)

(51)国際特許分類

FI

G 0 6 N 99/00 (2019.01)

G 0 6 N 99/00 1 8 0

G 0 6 N 20/00 (2019.01)

G 0 6 N 20/00

請求項の数 8 (全26頁)

(21)出願番号	特願2021-180254(P2021-180254)	(73)特許権者	000005108
(22)出願日	令和3年11月4日(2021.11.4)		株式会社日立製作所
(65)公開番号	特開2023-68859(P2023-68859A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43)公開日	令和5年5月18日(2023.5.18)	(74)代理人	110001678
審査請求日	令和6年6月17日(2024.6.17)		藤央弁理士法人
		(72)発明者	大森 健史
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
			株式会社日立製作所内
		(72)発明者	奥山 裕
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
			株式会社日立製作所内
		(72)発明者	中田 百科
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
			株式会社日立製作所内
		審査官	渡辺 順哉

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 計算機システム及び装置条件の探索支援方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

処理を行う製造装置を制御するための装置条件の探索を支援する計算機システムであって、

演算装置、前記演算装置に接続される記憶装置、及び前記演算装置に接続される接続インタフェースを有する少なくとも一つの計算機を備え、

前記処理は、少なくとも一つの製造工程を含み、

前記計算機システムは、

前記装置条件である入力パラメータの値と、前記処理の結果である出力パラメータの値との組合せから構成される学習データの入力を受け付ける第1インタフェースを提示し、

前記第1インタフェースを介して入力された前記学習データを前記記憶装置に格納し、基準学習データにおける前記処理の製造工程の構造と、他の前記学習データにおける前記処理の製造工程の構造とを分析し、前記分析の結果に基づいて、前記基準学習データと同一のデータセットに集約可能な前記学習データを特定する分類処理を実行し、

前記分類処理の結果に基づいて、前記学習データを集約することによってデータセットを生成し、

前記データセットを用いて、前記入力パラメータの値から前記出力パラメータの値を予測するモデルの学習処理を実行し、生成された前記モデルを前記記憶装置に格納し、

前記モデル及び前記出力パラメータの目標値に基づいて、前記入力パラメータの値を探索する探索処理を実行し、

前記探索処理の結果を表示する第2インタフェースを提示し、
前記分類処理では、
複数の前記学習データの中から前記基準学習データを選択し、
複数の前記学習データの中からターゲット学習データを選択し、
前記ターゲット学習データにおける前記処理の全ての製造工程が、前記基準学習データの
前記処理に含まれ、かつ、前記ターゲット学習データにおける前記処理の全ての製造工
程の実行順が、前記基準学習データの前記処理における実行順と一致する場合、前記ター
ゲット学習データを、前記基準学習データと同一のデータセットに集約できると判定する
ことを特徴とする計算機システム。

【請求項2】

請求項1に記載の計算機システムであって、
前記基準学習データに集約可能な前記学習データを用いてデータセットを生成する場合
、集約可能な前記学習データにおける前記処理の製造工程の構造を、前記基準学習データ
における前記処理の製造工程の構造と同一となるように、集約可能な学習データを整形す
ることを特徴とする計算機システム。

【請求項3】

請求項1に記載の計算機システムであって、
前記基準学習データを指定するための第3インタフェースを提示することを特徴とする
計算機システム。

【請求項4】

請求項1に記載の計算機システムであって、
集約する前記学習データを選択するための第4インタフェースを提示することを特徴と
する計算機システム。

【請求項5】

計算機システムが実行する、処理を行う製造装置を制御するための装置条件の探索支援
方法であって、

前記計算機システムは、演算装置、前記演算装置に接続される記憶装置、及び前記演算
装置に接続される接続インタフェースを有する少なくとも一つの計算機を含み、

前記処理は、少なくとも一つの製造工程を含み、

前記装置条件の探索支援方法は、

前記少なくとも一つの計算機が、前記装置条件である入力パラメータの値と、前記処理
の結果である出力パラメータの値との組合せから構成される学習データの入力を受け付け
る第1インタフェースを提示する第1のステップと、

前記少なくとも一つの計算機が、前記第1インタフェースを介して入力された前記学習
データを前記記憶装置に格納する第2のステップと、

前記少なくとも一つの計算機が、基準学習データにおける前記処理の製造工程の構造と
、他の前記学習データにおける前記処理の製造工程の構造とを分析し、前記分析の結果に
基づいて、前記基準学習データと同一のデータセットに集約可能な前記学習データを特定
する分類処理を実行する第3のステップと、

前記少なくとも一つの計算機が、前記分類処理の結果に基づいて、前記学習データを集
約することによってデータセットを生成する第4のステップと、

前記少なくとも一つの計算機が、前記データセットを用いて、前記入力パラメータの値
から前記出力パラメータの値を予測するモデルの学習処理を実行し、生成された前記モデ
ルを前記記憶装置に格納する第5のステップと、

前記少なくとも一つの計算機が、前記モデル及び前記出力パラメータの目標値に基づい
て、前記入力パラメータの値を探索する探索処理を実行する第6のステップと、

前記少なくとも一つの計算機が、前記探索処理の結果を表示する第2インタフェースを
提示する第7のステップと、を含み、

前記第3のステップは、

前記少なくとも一つの計算機が、複数の前記学習データの中から前記基準学習データを

10

20

30

40

50

選択するステップと、

前記少なくとも一つの計算機が、複数の前記学習データの中からターゲット学習データを選択するステップと、

前記少なくとも一つの計算機が、前記ターゲット学習データにおける前記処理の全ての製造工程が、前記基準学習データの前記処理に含まれ、かつ、前記ターゲット学習データにおける前記処理の全ての製造工程の実行順が、前記基準学習データの前記処理における実行順と一致する場合、前記ターゲット学習データを、前記基準学習データと同一のデータセットに集約できると判定するステップと、を含むことを特徴とする装置条件の探索支援方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の装置条件の探索支援方法であって、

前記第 4 のステップは、前記少なくとも一つの計算機が、集約可能な前記学習データにおける前記処理の製造工程の構造を、前記基準学習データにおける前記処理の製造工程の構造と同一となるように、集約可能な学習データを整形するステップを含むことを特徴とする装置条件の探索支援方法。

【請求項 7】

請求項 5 に記載の装置条件の探索支援方法であって、

前記第 3 のステップは、前記少なくとも一つの計算機が、前記基準学習データを指定するための第 3 インタフェースを提示するステップを含むことを特徴とする装置条件の探索支援方法。

【請求項 8】

請求項 5 に記載の装置条件の探索支援方法であって、

前記第 4 のステップは、前記少なくとも一つの計算機が、集約する前記学習データを選択するための第 4 インタフェースを提示するステップを含むことを特徴とする装置条件の探索支援方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、製造装置の装置条件の探索を支援するシステム及び製造装置の装置条件の探索支援方法に関する。

【背景技術】

【0002】

対応可能な材料種及び構造種を増加させると同時に、精度、速度、稼働率、及び運用コストを大幅に改善するために、近年の制御装置では複数の制御ノブ（制御条件）が設けられ、制御性能及び製造性能が強化されている。

【0003】

製造装置の加工精度、加工速度、稼働率、又は運用コスト等を改善するための方法の一つとして、装置条件を最適化する方法がある。特に、加工精度改善及び目標となる加工形状を実現するためには、装置条件の最適化は重要である。

【0004】

製造装置の性能を引出すためには、多数の制御ノブに対応する多くの入力パラメータ、すなわち、装置条件を決定する必要がある。また、より難易度の高い加工結果を実現するために、一つの処理内で多数の製造工程（ステップ）を設け、そのステップ毎に入力パラメータを変更する方法が使用されている。従って、目標の加工結果が得られる入力パラメータの組み合わせを決定することが極めて困難となっているため、加工条件開発が長期化し、開発コスト及び運用コストが増大している。さらに、高難度の加工の要求が増加しており、これに対応できる高度な知識と技術を持ったエンジニアが不足している。

【0005】

以上より、製造装置の装置条件の最適化を行うエンジニアを支援するシステムが要求される。さらに、専門知識を持たないエンジニアが、その支援機能を使用できるようになる

10

20

30

40

50

ための、簡単かつ利便性の高いシステムが必要となる。

【0006】

特許文献1には、半導体製造装置の条件最適化の手法が開示されている。また特許文献2には、半導体製造における加工結果シミュレータをインターネット上に公開することで、ユーザがシミュレーションに費やすコストを削減する方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】特開2019-040984号公報

【文献】特開2003-50871号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

エンジニアを支援する一つの方法としては、加工結果シミュレータ、又は機械学習及び深層学習を用いた加工形状予測モデルを用いた、最適条件探索システムを提供することが考えられる。

【0009】

しかし、難易度の高い加工に対応できるシミュレーションモデル及び学習モデルは、科学技術計算及びプログラミング知識を持つデータ科学者やエンジニアを前提とするモデルが多く、必要な装置条件の指定及びシミュレータ実行等にスクリプト及び命令文が必要であり、実行が難しいという課題がある。また、データセット構築から演算実行までの手順が多く、その過程で複数のソフトを使う必要がある場合が多い。加えて、科学技術計算及びプログラミング知識を持つエンジニアも不足している。

20

【0010】

従って、一般的なエンジニアが使用できる、簡単かつ利便性の高いシステムを提供する必要がある。具体的には、データ入力から装置条件の検討までがワンストップで可能であり、コマンド及びスクリプト作成を不要とするシステムが必要である。

【0011】

最適な装置条件の演算結果は、学習データセット及び演算設定に強く依存するため、装置条件探索時のユーザの利便性を向上するためには、これらの設定変更とその結果保持を簡単にすることが極めて重要である。

30

【0012】

特に、学習データセット構築においては、装置条件の探索モデルによる装置条件の予測精度を維持又は高めることができるデータを、全データ又は取得済みデータの中から選択することが重要である。よって、学習データセットの構築を簡単に行えることが重要である。

【0013】

特許文献1では、学習モデルを用いた半導体処理装置の条件最適化手法が開示されている。前述した通り、装置条件の最適化において、エンジニアの不足を解決するためには、このような手法を、一般的なエンジニアにも使用可能とする必要がある。

40

【0014】

また、特許文献2では、加工形状のシミュレータをインターネット上に公開し、複数のユーザに使用可能とする方法が開示されている。最適な装置条件を探索するためには、予測形状のみならず、予測に対する実際の実験データの取り込みや予測モデルの改善までが一般的なエンジニアによって達成できる必要がある。

【0015】

本発明は、製造装置の装置条件の探索を支援、特に、学習データセットの構築を支援するシステ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】

【0016】

50

本願において開示される発明の代表的な一例を示せば以下の通りである。処理を行う製造装置を制御するための装置条件の探索を支援する計算機システムであって、演算装置、前記演算装置に接続される記憶装置、及び前記演算装置に接続される接続インタフェースを有する少なくとも一つの計算機を備え、前記処理は、少なくとも一つの製造工程を含み、前記計算機システムは、前記装置条件である入力パラメータの値と、前記処理の結果である出力パラメータの値との組合せから構成される学習データの入力を受け付ける第1インタフェースを提示し、前記第1インタフェースを介して入力された前記学習データを前記記憶装置に格納し、基準学習データにおける前記処理の製造工程の構造と、他の前記学習データにおける前記処理の製造工程の構造とを分析し、前記分析の結果に基づいて、前記基準学習データと同一のデータセットに集約可能な前記学習データを特定する分類処理を実行し、前記分類処理の結果に基づいて、前記学習データを集約することによってデータセットを生成し、前記データセットを用いて、前記入力パラメータの値から前記出力パラメータの値を予測するモデルの学習処理を実行し、生成された前記モデルを前記記憶装置に格納し、前記モデル及び前記出力パラメータの目標値に基づいて、前記入力パラメータの値を探索する探索処理を実行し、前記探索処理の結果を表示する第2インタフェースを提示し、前記分類処理では、複数の前記学習データの中から前記基準学習データを選択し、複数の前記学習データの中からターゲット学習データを選択し、前記ターゲット学習データにおける前記処理の全ての製造工程が、前記基準学習データの前記処理に含まれ、かつ、前記ターゲット学習データにおける前記処理の全ての製造工程の実行順が、前記基準学習データの前記処理における実行順と一致する場合、前記ターゲット学習データを、前記基準学習データと同一のデータセットに集約できると判定する。

10

20

【発明の効果】

【0017】

本発明の代表的な実施の形態によれば、学習データセットの構築を支援できる。前述した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施例の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】実施例1のシステムの構成例を示すブロック図である。

【図2】実施例1の装置条件探索支援システムが実行する処理の一例を説明するフローチャートである。

30

【図3】実施例1の装置条件探索支援システムが実行する処理の一例を説明するフローチャートである。

【図4】実施例1の装置条件探索支援システムが提示する画面の一例を示す図である。

【図5】実施例1の装置条件探索支援システムが、データ入力ボタンが操作された場合に提示する操作欄の一例を示す図である。

【図6A】実施例1の装置条件探索支援システムによる入出力データ情報の更新例を示す図である。

【図6B】実施例1の装置条件探索支援システムによる入出力データ情報の更新例を示す図である。

【図6C】実施例1の装置条件探索支援システムによる入出力データ情報の更新例を示す図である。

40

【図6D】実施例1の装置条件探索支援システムによる入出力データ情報の更新例を示す図である。

【図6E】実施例1の装置条件探索支援システムによる入出力データ情報の更新例を示す図である。

【図7】実施例1の装置条件探索支援システムが、データセット作成ボタンが操作された場合に提示する画面の一例を示す図である。

【図8】実施例1の装置条件探索支援システムが、手動作成ボタンが操作された場合に提示する画面の一例を示す図である。

【図9】実施例1の装置条件探索支援システムが実行する処理の一例を説明するフローチャート

50

ャートである。

【図１０】実施例１の装置条件探索支援システムが、ワークスペース作成ボタンが操作された場合に提示する画面の一例を示す図である。

【図１１】実施例１の装置条件探索支援システムが、前処理設定ボタンが操作された場合に提示する画面の一例を示す図である。

【図１２Ａ】実施例１の装置条件探索支援システムが、演算設定ボタンが操作された場合に提示する画面の一例を示す図である。

【図１２Ｂ】実施例１の装置条件探索支援システムが、演算設定ボタンが操作された場合に提示する画面の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【００１９】

以下、本発明の実施例を、図面を用いて説明する。ただし、本発明は以下に示す実施例の記載内容に限定して解釈されるものではない。本発明の思想ないし趣旨から逸脱しない範囲で、その具体的構成を変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。

【００２０】

以下に説明する発明の構成において、同一又は類似する構成又は機能には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

【００２１】

本明細書等における「第１」、「第２」、「第３」等の表記は、構成要素を識別するために付するものであり、必ずしも、数又は順序を限定するものではない。

【００２２】

図面等において示す各構成の位置、大きさ、形状、及び範囲等は、発明の理解を容易にするため、実際の位置、大きさ、形状、及び範囲等を表していない場合がある。従って、本発明では、図面等に開示された位置、大きさ、形状、及び範囲等に限定されない。

【実施例１】

【００２３】

図１は、実施例１のシステムの構成例を示すブロック図である。

【００２４】

システムは、装置条件探索支援システム１００及び実証実験システム１０１から構成される。装置条件探索支援システム１００及び実証実験システム１０１は、直接又はネットワークを介して互いに接続される。

【００２５】

ユーザ端末１０２は、表示システム１１１に接続する。ユーザは、表示システム１１１がユーザ端末１０２に提示するＧＵＩ（Ｇｒａｐｈｉｃａｌ Ｕｓｅｒ Ｉｎｔｅｒｆａｃｅ）を介して各種操作を行う。具体的には、ユーザは、演算実行部１４２の機能の実行に必要な入力等を行う。

【００２６】

実証実験システム１０１は、装置条件探索支援システム１００より入力された装置条件に基づいて、製造装置を用いた実験を行う。実証実験システム１０１は、製造装置１５０及び計測機１５１から構成される。実証実験システム１０１では、加工対象となる試料１６０が製造装置１５０に導入され、受信した装置条件に基づいて試料１６０に対する処理が実行される。製造装置１５０からは処理が行われた試料１６０が処理結果として計測機１５１に出力される。計測機１５１は、処理が行われた試料１６０の計測を行い、計測結果を装置条件探索支援システム１００に送信する。計測結果は、入出力データ入力部１３２によって出力データとしてデータ保存部１３０に登録される。

【００２７】

計測結果として取得されるデータは、例えば、画像等である。画像内の寸法、サイズ等の特徴量を計測ソフト等で取得する場合には、その計測ソフトで取得された結果が計測結果となる。なお、製造装置１５０が取得するセンサデータ等を処理結果として扱うこともできる。この場合には、計測機１５１での計測は不要となるため、センサデータ等が測定

10

20

30

40

50

結果として装置条件探索支援システム１００に送信される。

【００２８】

ここで、製造装置１５０は、装置条件の最適化が要求される装置であり、例えば、半導体製造装置、成膜装置、造形装置（３Ｄプリンタ等）、洗浄装置、塗布装置、運搬装置、梱包装置、機械加工装置、建設装置（重機等）である。また、半導体製造装置の具体例としては、リソグラフィ装置、成膜装置、パターン加工装置、イオン注入装置、加熱装置、洗浄装置を含む。リソグラフィ装置は、露光装置、電子線描画装置、Ｘ線描画装置を含む。成膜装置は、例えば、ＣＶＤ（Chemical Vapor Deposition）、ＰＶＤ（Physical Vapor Deposition）、蒸着装置、スパッタリング装置、熱酸化装置を含む。パターン加工装置は、例えば、ウェットエッチング装置、ドライエッチング装置、電子ビーム加工装置、レーザ加工装置を含む。イオン注入装置は、プラズマドーピング装置、イオンビームドーピング装置を含む。加熱装置は、例えば、抵抗加熱装置、ランプ加熱装置、レーザ加熱装置を含む。洗浄装置は、液体洗浄装置、超音波洗浄装置を含む。

10

【００２９】

装置条件探索支援システム１００は、製造装置１５０に設定する装置条件を探索する。装置条件探索支援システム１００は、探索処理によって得られた装置条件を実証実験システム１０１に送信する。装置条件探索支援システム１００は、演算システム１１０及び表示システム１１１から構成される。以下の説明では、探索処理における各種処理を演算と記載する。

20

【００３０】

演算システム１１０及び表示システム１１１は、プロセッサ、メモリ、ネットワークインタフェース、入力装置、及び出力装置を備える計算機から構成される。なお、各システムを構成する計算機の数に限定されない。

【００３１】

演算システム１１０は演算部１２０を有する。表示システム１１１は、データ保存部１３０、認証部１３１、入出力データ入力部１３２、学習データセット構築部１３３、装置条件送信部１３４、及び演算管理部１３５を有する。演算管理部１３５は、演算設定部１４０、演算結果表示部１４１、及び演算実行部１４２を有する。

【００３２】

認証部１３１は、ユーザからのアクセスを受け付けた場合、ログイン画面を表示する。ログイン画面は一般的な表示画面であるため図示していない。認証部１３１は、ユーザ名、アクセスパスワード、及びユーザ所属グループ等の入力と、アクセス可能領域とを対応づけた情報を管理しており、当該情報に基づいてアクセス可否を判定する。

30

【００３３】

表示システム１１１は、ログイン処理が完了した場合、学習に使用するデータを入力するための画面（図５を参照）を表示する。入出力データ入力部１３２は、入力データ及び出力データの登録及び削除、並びにデータ表示列のラベル名及びパラメータ名等の設定及び表示を行う。

【００３４】

ここで、入力データは製造装置１５０を制御するための条件であるパラメータの値の組合せであり、出力データは製造装置１５０の処理結果である。以下の説明では、入力データ及び出力データのペアを入出力データと記載する。入出力データは探索モデルを学習するためのデータとして用いられる。

40

【００３５】

表示システム１１１は、ユーザによる入出力データの入力が完了した場合、学習データセットを構築するための画面（図７及び図８を参照）を表示する。学習データセット構築部１３３は、データセットの構築、及びデータセットに付随する情報の管理、並びに各種情報の表示を行う。

【００３６】

50

表示システム１１１は、ユーザによる学習データセットの構築が完了した場合、演算に関する各種設定を行うための画面を表示する。当該画面には、後述するようにワークスペースの作成及び管理を行う画面（図１０を参照）、前処理の設定を行うための画面（図１１を参照）、及び探索モデルの設定を行うための画面（図１２Ａ及び図１２Ｂを参照）がある。演算管理部１３５の各機能部は、前述の画面を用いた設定の反映、演算の状況及び演算結果の表示、演算の実行指示、演算システム１１０から取得した結果の出力及び管理を行う。なお、演算管理部１３５は、設定、演算の実行、結果の表示を同時に実行してもよいし、演算部１２０に複数の演算を同時実行させてもよい。

【００３７】

データ保存部１３０は、表示システム１１１が扱う各種情報を管理する。

10

【００３８】

装置条件送信部１３４は、データ保存部１３０から装置条件を取得し、製造装置１５０に送信する。

【００３９】

なお、演算システム１１０及び表示システム１１１は、一つのシステムに統合してもよい。また、演算システム１１０及び表示システム１１１の機能部の配置は任意に設定できる。例えば、演算管理部１３５を演算システム１１０に含めてもよい。また、装置条件探索支援システム１００が有する機能部は、複数の機能部を一つの機能部にまとめてもよいし、一つの機能部を機能毎に複数の機能部に分けてもよい。

20

【００４０】

本実施例では、製造装置１５０の装置条件の探索を行うシステムについて説明するが、検査装置、観察装置、又は計測装置においても、目標となる検査、観察、又は計測を実現するための装置条件の最適化は重要である。例えば、電子顕微鏡の観察においては、撮像時のフォーカス、観察面の方位、観察位置、電子ビーム加速電圧等の装置条件を調節することによって、目標の撮像対象を最適な画質で取得できる。従って、本発明は、製造装置以外の装置についても適用することができる。本システムを適用する装置の具体例としては、電子顕微鏡、レーザ顕微鏡、光学顕微鏡、膜厚計測機、３次元寸法計測機がある。

【００４１】

図２及び図３は、実施例１の装置条件探索支援システム１００が実行する処理の一例を説明するフローチャートである。

30

【００４２】

装置条件探索支援システム１００は、ユーザのログイン処理が完了した後、以下で説明する処理を開始する。

【００４３】

まず、装置条件探索支援システム１００は、画面を介したユーザ入力に基づいて、入出力データを設定する（ステップＳ２０１）。

【００４４】

装置条件探索支援システム１００は、画面を介したユーザ入力に基づいて、学習データセットを構築する（ステップＳ２０２）。

【００４５】

40

装置条件探索支援システム１００は、画面を介したユーザ入力に基づいて、ワークスペースを作成する（ステップＳ２０３）。このとき、ユーザは演算に使用するデータセットを選択する。なお、データセットの選択は、ワークスペースの作成と同時に行われてもよいし、ワークスペースが作成された後に行われてもよい。

【００４６】

装置条件探索支援システム１００は装置条件の探索処理を実行する（ステップＳ２０４）。当該処理では、複数の演算の設定を行い、また、各演算の実行及び演算結果の表示を行うことができる。装置条件の探索処理の詳細は図３を用いて説明する。

【００４７】

データセット、演算の設定、及び演算の実行状態は一つのワークスペースと対応づけて

50

管理される。これによって、装置条件の管理の利便性が向上する。装置条件は、データセット及び演算の設定に強く依存するため、装置条件の探索時のユーザの利便性を向上するためには、これらの変更及び演算結果の管理を簡単にすることが極めて重要である。

【0048】

装置条件探索支援システム100は、実証実験システム101に、装置条件を含む実証実験の実行指示を送信する（ステップS205）。実証実験システム101は、装置条件に基づいて実証実験を実行し、処理結果及び計測結果を装置条件探索支援システム100に送信する。

【0049】

装置条件探索支援システム100は、処理結果及び計測結果を受信した場合、出力データとしてデータ保存部130に登録し（ステップS206）、処理を終了する。なお、出力データは、送信した装置条件（入力データ）と対応づけて登録される。

【0050】

上記の一連の処理によって、データ保存部130には新たな入出力データが登録される。新たな入出力データを用いて、再度同様の処理を実行することによって、新たな装置条件を探索し、新たな装置条件に基づく実証実験が可能となる。図2に示す処理が繰り返し実行されることによって、ユーザが所望する目的を達成できる装置条件の探索精度を大幅に高めることができる。

【0051】

なお、図2に示す処理の実行前に、データセットの構築方法及び演算の設定条件を予め指定することによって、データセットの構築、演算の実行、実証実験の続行、入出力データの登録を自動化できる。また、装置条件探索支援システム100は、ユーザに対して、各種処理の進行状況を表示することによって、ユーザの利便性を向上させることができる。

【0052】

次に、図3を用いて装置条件の探索処理について説明する。

【0053】

装置条件探索支援システム100は、画面を介したユーザ入力に基づいて、データセットに含まれるデータの前処理に関する設定を行い（ステップS301）、当該設定に基づいて前処理を実行する（ステップS302）。

【0054】

装置条件探索支援システム100は、画面を介したユーザ入力に基づいて、探索モデルに関する設定を行い（ステップS303）、当該設定に基づいて学習処理を実行し、また、探索モデルを用いて装置条件を探索する（ステップS304）。ここで、探索モデルは、例えば、入力データを入力として受け付け、出力データを予測するモデルである。

【0055】

装置条件探索支援システム100は、画面を介したユーザ入力に基づいて、探索結果に対して実行する後処理に関する設定を行い（ステップS305）、当該設定に基づいて後処理を実行し、処理結果を表示する（ステップS306）。

【0056】

図4は、実施例1の装置条件探索支援システム100が提示する画面の一例を示す図である。

【0057】

画面400は、操作ボタン表示欄401及び操作欄402を含む。操作ボタン表示欄401は、画面を用いて行う操作を選択するためのボタンを表示する欄である。操作ボタン表示欄401には、データ入力ボタン410、データセット作成ボタン411、及びワークスペース作成ボタン412が含まれる。操作欄402は、各種情報の提示及び各種情報の設定を行うための欄である。操作欄402には、操作ボタンに応じた表示が行われる。

【0058】

図5は、実施例1の装置条件探索支援システム100が、データ入力ボタン410が操作された場合に提示する操作欄402の一例を示す図である。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 9 】

データ入力ボタン 4 1 0 が押下された場合、操作欄 4 0 2 には入出力データ情報 5 0 0 及び追加ボタン 5 0 1 が表示される。入出力データ情報 5 0 0 は、テーブル形式の情報であり、条件番号 5 1 1、ステップラベル 5 1 2、ステップ番号 5 1 3、入力パラメータ 5 1 4、及び出力パラメータ 5 1 5 を含むエントリを格納する。一つの条件に対して一つのエントリが存在する。

【 0 0 6 0 】

条件番号に対して、試料 1 6 0 に対する処理に含まれる各ステップの入力データと出力データとが対応づけて管理される。入出力データの関係を学習する場合、製造装置 1 5 0 の入出力の対応関係を把握する必要があるため、前述のような形式でデータを管理することが重要である。

10

【 0 0 6 1 】

なお、エントリに含まれるフィールドは前述したものに限定されない。例えば、利便性向上のために、登録したユーザの名称及び所属するグループの名称、並びに、登録日時を格納するフィールドを含んでもよい。

【 0 0 6 2 】

なお、入出力データ情報 5 0 0 は、テーブル形式に限定されず、セル形式、シート形式、又はアレイ形式等でもよい。

【 0 0 6 3 】

条件番号 5 1 1 は、条件の識別情報を格納するフィールドである。ステップラベル 5 1 2 は、試料 1 6 0 に対する処理に含まれるステップに付与されるラベルを格納するフィールドである。ステップ番号 5 1 3 は、試料 1 6 0 に対する処理におけるステップの実行順番を格納するフィールドである。入力パラメータ 5 1 4 は、入力パラメータの値を格納するフィールド群である。入力パラメータ 5 1 4 には一つ以上のフィールドが含まれる。出力パラメータ 5 1 5 は、出力パラメータの値を格納するフィールド群である。出力パラメータ 5 1 5 には一つ以上のフィールドが含まれる。

20

【 0 0 6 4 】

条件番号 5 1 1 が「X a b 1」のエントリのように、高度な処理を実現するために一つの処理に複数のステップを設け、各ステップについて入力パラメータが設定される。なお、出力パラメータ 5 1 5 は、処理の結果に関するパラメータであるため一つのエントリに対して一つ設定されることになる。

30

【 0 0 6 5 】

登録済みの入出力データが存在する場合、入出力データ情報 5 0 0 には、当該入出力データに対応するエントリが表示される。

【 0 0 6 6 】

ユーザは、追加ボタン 5 0 1 を押下することによって、入出力データ情報 5 0 0 にエントリを追加し、追加されたエントリにステップの行を追加し、各行のステップラベル 5 1 2、ステップ番号 5 1 3、入力パラメータ 5 1 4、及び出力パラメータ 5 1 5 に値を設定する。なお、追加ボタン 5 0 1 が押下された場合、装置条件探索支援システム 1 0 0 は、入力用の画面を別途表示し、当該画面への入力に基づいて入出力データ情報 5 0 0 にエントリを追加してもよい。

40

【 0 0 6 7 】

入力パラメータ 5 1 4 に設定する値は、通常、数値であり、製造装置 1 5 0 には、上限値、下限値、又は入力禁止範囲等の入力制限が設けられている。従って、装置条件探索支援システム 1 0 0 は、入力制限に従って、ユーザが入力した値のエラー判定を行い、適切でない値が入力された場合、エラーとなった値又は値が入力されたフィールドを強調表示し、また、エラーの理由を表示し、ユーザに通知することが望ましい。出力パラメータも同様に設定される値は数値であり、計測対象となる試料 1 6 0 に応じた上限値、下限値、又は入力禁止範囲が設けられている。従って、装置条件探索支援システム 1 0 0 は、禁止範囲に従って、ユーザが入力した値のエラー判定を行い、適切でない値が入力された場合

50

、エラーとなった値又は値が入力されたフィールドを強調表示し、また、エラーの理由を表示し、ユーザに通知することが望ましい。

【0068】

なお、装置条件探索支援システム100は、入力パラメータ514及び出力パラメータ515のフィールドを追加又は削除する操作、及びフィールドの名称を変更する操作を受け付けるようにしてもよい。また、入力パラメータ514及び出力パラメータ515のフィールドの数及び名称は、初回にのみ設定できるようにしてもよい。

【0069】

なお、装置条件探索支援システム100は、条件番号511、ステップラベル512、ステップ番号513、入力パラメータ514、及び出力パラメータ515の一部を別途画面に表示してもよい。

10

【0070】

なお、条件番号511、ステップラベル512、ステップ番号513、入力パラメータ514、及び出力パラメータ515を一つの情報として管理していてもよい。

【0071】

装置条件探索支援システム100は、ステップラベル512に基づいて、同一のデータセットに集約可能な入出力データの分類を行い、分類結果に基づいて、データセットを構築することができる。ただし、データセットに含めるべき入出力データと、データセットに含めた場合、学習が困難になる入出力データとが存在する。例えば、既存のデータセットに一つの入出力データを含めることによって、データセットの入力パラメータの数が増大する場合、学習データが形成するパラメータ空間の次元も増加するため、学習における解の探索が困難になり、探索モデルの精度が低下しやすい。例えば、データ数が100かつ入力パラメータの数が10であるデータセットに少量のデータを追加することによって入力パラメータの数が20に増加するケースが考えられる。

20

【0072】

パラメータ空間の次元が一定の場合、データ数の増加は探索モデルの精度向上に有効である。一方、データ数の増加に伴ってパラメータ空間の次元が増加する場合、探索モデルの精度が低下する可能性がある。従って、データセットへの集約によるパラメータ数の増加は可能な限り抑えるべきである。パラメータ数の増加は、少なくとも、データセットに追加されるデータの数以下にすることが望ましい。また、データの追加数に対して、パラメータ数の増加をどこまで許容するかは、データセットの構築における重要な点である。

30

【0073】

データ数の増加とパラメータ数の増加との間のトレードオフの関係を考慮した入出力データの集約は、ステップ及びパラメータ種の構成を理解した上で選択する必要があるため、経験及び時間を要する。

【0074】

本実施例の装置条件探索支援システム100は前述のトレードオフを可視化する。これによって、ユーザは、前述のトレードオフの関係を容易に理解でき、短時間で質の高いデータセットを構築できる。

【0075】

ここで、装置条件探索支援システム100による入出力データの分類方法について説明する。図6A、図6B、図6C、図6D、及び図6Eは、実施例1の装置条件探索支援システム100による入出力データ情報500の更新例を示す図である。

40

【0076】

装置条件探索支援システム100は、複数のステップを含む二つの条件に対応する入出力データを選択し、以下の第1基準及び第2基準に基づいて集約できる入出力データであるか否かを判定する。ここで、選択された二つの条件を第1条件及び第2条件とする。

(第1基準) 第1条件の全てのステップラベルが、第2条件のステップラベルに含まれること。

(第2基準) 第1条件のステップラベルの実行順が、第2条件においても同一であること。

50

【0077】

第1基準及び第2基準を満たす場合、装置条件探索支援システム100は、第1条件の入出力データを第2条件の入出力データに集約できると判定する。なお、第1条件に含まれるステップラベルと第2条件に含まれるステップラベルとが同一である場合も、第1基準及び第2基準を満たすものとする。

【0078】

装置条件探索支援システム100は、以下のような手順で、自動的に、入出力データを分類し、データセットを構築する。

【0079】

(処理1) 装置条件探索支援システム100は、入出力データ情報500の中から最もステップ数が多い条件を選択する。装置条件探索支援システム100は、当該条件を親条件に設定する。

【0080】

(処理2) 装置条件探索支援システム100は、親条件に対して第1基準及び第2基準を満たす条件を検索し、当該条件のリストを生成する。

【0081】

(処理3) 装置条件探索支援システム100は、条件のリストから一つの条件を選択し、当該条件を親条件に設定する。

【0082】

以下、(処理2)及び(処理3)を繰り返し実行することによって、集約可能な入出力データを分類できる。

【0083】

(処理4) データの分類が完了した後、装置条件探索支援システム100は、集約可能と判定された条件を集約することによってデータセットを構築する。このとき、データセットに含まれる条件のステップ構造を親条件に基づいて更新する。具体的には、装置条件探索支援システム100は、条件に、親条件に含まれるステップを、親条件のステップ構成と同様の構成となるようにステップを追加する。追加されたステップに対応する入力パラメータ514及び出力パラメータ515にはゼロが設定される。上記のように条件を更新しても、入力パラメータがすべてゼロの場合、製造装置150は、通常、動作しないため、ステップが無い状態と同義に取り扱える。

【0084】

なお、製造装置150の仕様によって空欄が許可されるパラメータについては空欄のままでもよい。なお、装置部品の温調用の液体媒体又はヒータ等の温度等、瞬間的に変更が困難であり、指定値に到達するまでに時間を要するパラメータがある。当該パラメータについては、挿入されたステップの入力値として、挿入されたステップより前のステップの値と同じ値を入力し、又はユーザが指定する特定の値を入力することが望ましいケースがある。ユーザは、当該パラメータに対しては、挿入されたステップより前のステップと同じ値、又は指定した値が入力されるように設定する。

【0085】

図5に示す入出力データ情報500において、条件番号「XZ1」を親条件とした場合、条件番号「XZ1」、「Xst1」、及び「Xst2」の条件が集約対象となる。条件を集約してデータセットを構築した場合、条件は図6Aに示すように更新される。条件番号「XY1」を親条件とした場合、条件番号「XY1」、「abc1」、及び「abc2」の条件が集約対象となる。条件を集約してデータセットを構築した場合、条件は図6Bに示すように更新される。条件番号「Xab1」を親条件とした場合、条件番号「Xab1」、「Xab2」、「Xab3」、「Xab4」、「abc1」、及び「abc2」の条件が集約対象となる。条件を集約してデータセットを構築した場合、条件は図6Cに示すように更新される。条件番号「Xab3」を親条件とした場合、条件番号「Xab3」、「abc1」、及び「abc2」の条件が集約対象となる。条件を集約してデータセットを構築した場合、条件は図6Dに示すように更新される。条件番号「Xab4」を親条

10

20

30

40

50

件とした場合、条件番号「X a b 4」、「a b c 1」、及び「a b c 2」の条件が集約対象となる。条件番号「a b c 1」を親条件とした場合、条件番号「a b c 1」及び「a b c 2」の条件が集約対象となる。条件を集約してデータセットを構築した場合、条件は図 6 E に示すように更新される。

【0086】

集約する条件において、同一のステップにおける入力パラメータの値が、ゼロ以外の一つの値を持つ条件と、集約によって該当ステップの該当パラメータが挿入される（言い換えると集約前のデータでは該当ステップのパラメータが含まれない）条件のみで構成される場合がある。この場合に、ゼロ以外の一つの値を X 1 とした場合、集約後のステップの挿入時に、該当パラメータの値に X 1 を設定とすることが望ましい。この理由は、該当パラメータの値が X 1 のみで構成されたデータセットと、該当パラメータの値が X 1 とゼロを持つデータセットでは、後者はデータセットのデータ空間が拡大されるため解の探索に要する時間が増大するためである。

【0087】

製造装置 150 の入出力の関係を学習するモデル（例えば、回帰モデル）は、通常、パラメータの構造が同一であるデータを用いて学習されるため、上記のステップ挿入が重要となる。また、前述した通り、ステップ構造が異なる条件を手動で分類することは、時間及び労力を要するため、分類及び集約の自動化又は支援を実現する機能を組み込むことが、利便性の向上及び利用ユーザ拡大のためにも重要である。

【0088】

上記では、集約可能な入出力データの判定方法及び集約方法について述べたが、以下では集約が望ましくない入出力データの例について説明する。前述した集約方法は、パラメータ及びステップ構造が異なる条件に対しても適用すること可能である。例えば、第 1 条件及び第 2 条件のステップラベル及びステップ順番が異なる場合、両者のステップをお互いに全て挿入すれば、原理的には集約することができる。しかし、第 1 条件及び第 2 条件のパラメータの数がそれぞれ 10 とした場合、集約後のパラメータの数は最大で 20 に増大する。集約によるデータセットのデータは増加数よりも、パラメータの増加数が大きい場合、前述の通り、解の探索が困難となる。従って、前述のような集約は望ましくない。

【0089】

図 7 は、実施例 1 の装置条件探索支援システム 100 が、データセット作成ボタン 411 が操作された場合に提示する画面の一例を示す図である。図 8 は、実施例 1 の装置条件探索支援システム 100 が、手動作成ボタンが操作された場合に提示する画面の一例を示す図である。

【0090】

データセット作成ボタン 411 が押下された場合、操作ボタン表示欄 401 には、新たに、自動作成ボタン 420 及び手動作成ボタン 421 が表示される。操作欄 402 には、データセット情報 700 が表示される。

【0091】

データセット情報 700 は、テーブル形式の情報であり、データセット名 711、親条件 712、条件数 713、ステップ数 714、作成日時 715、及び作成方法 716 を含むエントリを格納する。一つのデータセットに対して一つのエントリが存在する。

【0092】

なお、エントリに含まれるフィールドは前述したものに限定されない。例えば、入力データ及び出力データの各々のパラメータ数を格納するフィールドを含んでもよい。

【0093】

親条件 712 は、分類判定時の親条件の識別情報を格納するフィールドである。条件数 713 は、データセットに含まれる条件（入出力データ）の数を格納するフィールドである。ステップ数 714 は、データセットに含まれる条件に含まれるステップの数を格納するフィールドである。作成日時 715 は、データセットが作成された日時を格納するフィールドである。作成方法 716 は、データセットの作成方法を格納するフィールドである

10

20

30

40

50

。作成方法 716 には「自動」及び「手動」のいずれかが格納される。

【0094】

装置条件探索支援システム 100 は、ユーザがデータセット情報 700 のエントリを選択した場合、データセットを構成するデータの一覧を表示してもよい。例えば、「XZ1-a u t o-01」のエントリが選択された場合、図 6 A に示すような画面が表示される。

【0095】

自動作成ボタン 420 が押下された場合、装置条件探索支援システム 100 は前述の分類処理及びデータセットの構築処理を実行する。図 7 では、「a u t o」を含む名称のデータセットが自動的に作成されたデータセットである。

【0096】

手動作成ボタン 421 が押下された場合、装置条件探索支援システム 100 は、操作欄 402 に図 8 に示す操作欄 800 を提示する。操作欄 800 は、親条件選択 811、データ選択 812、条件番号 813、ステップラベル 814、ステップ番号 815、入力パラメータ 816、及び出力パラメータ 817 を含むエントリを格納する。一つの条件に対して一つのエントリが存在する。

【0097】

条件番号 813、ステップラベル 814、ステップ番号 815、入力パラメータ 816、及び出力パラメータ 817 は、条件番号 511、ステップラベル 512、ステップ番号 513、入力パラメータ 514、及び出力パラメータ 515 と同一のフィールドである。親条件選択 811 は、エントリに対応する条件を親条件として選択するためのフィールドである。データ選択 812 は、集約する条件を選択するためのフィールドである。

【0098】

装置条件探索支援システム 100 は、任意のエントリの親条件選択 811 が選択された場合、前述した分類処理を実行し、集約可能な条件を強調表示する。図 8 に示すように、条件「X a b 1」が親条件として選択された場合、条件「a b c 1」、「a b c 2」、「X a b 1」、「X a b 2」、「X a b 3」、「X a b 4」が強調表示される。ユーザは、強調表示されたエントリを参照し、集約する条件のデータ選択 812 にチェックを設定する。

【0099】

前述したように、手動での条件の分類には時間及び労力を要するため、分類を支援する機能は利便性の向上及び利用ユーザの拡大に有用である。

【0100】

なお、一つの条件において、出力パラメータの値は必ず設定されているものとして説明したが、出力パラメータが計測されていない場合もある。通常、出力パラメータの値が設定されていない条件は、モデルの学習データとしては使用できない。そこで、入力パラメータ及び出力パラメータの値が全て存在する条件を用いて入出力関係を学習することによってモデルを生成し、入力パラメータの値をモデルに入力することによって、存在しない出力パラメータの予測値を取得する。出力パラメータの値が補完された入出力データは学習データとして用いることができる。これによって、学習データの数を増やすことができる。

【0101】

ただし、予測値にはモデルの学習に起因する誤差が含まれるため、ユーザが、予測値によって補完された入出力データを利用するか否かを選択することが望ましい。このとき、装置条件探索支援システム 100 は、予測値又は予測値が入力されたセルの色の変更等、強調表示によって視認できるようにする。

【0102】

図 9 は、実施例 1 の装置条件探索支援システム 100 が実行する処理の一例を説明するフローチャートである。図 9 では、データセットの構築の詳細を説明する。

【0103】

装置条件探索支援システム 100 は、画面 400 を介して、ユーザ入力を受け付ける（

10

20

30

40

50

ステップ S 9 0 1)。

【0104】

装置条件探索支援システム 1 0 0 は、ユーザ入力に基づいて、データセットを作成する(ステップ S 9 0 2)。

【0105】

具体的には、自動作成ボタン 4 2 0 が押下された場合、装置条件探索支援システム 1 0 0 は、自動的に条件を分類し、分類結果に基づいてデータセットを作成する。手動作成ボタン 4 2 1 が押下された場合、装置条件探索支援システム 1 0 0 は、ユーザが指定した親条件に基づいて条件を分類し、ユーザが選択した条件に基づいてデータセットを作成する。

【0106】

装置条件探索支援システム 1 0 0 は、出力パラメータの値が設定されていない条件について、出力パラメータの値の予測を実行する(ステップ S 9 0 3)。装置条件探索支援システム 1 0 0 は予測値を出力パラメータに設定する。

【0107】

ステップ S 9 0 3 の処理を実現するために、出力パラメータの値の予測を実行するための操作ボタンを操作ボタン表示欄 4 0 1 又は操作欄 4 0 2 に設ける。ユーザは、データセットを選択し、当該操作ボタンを押下することによってステップ S 9 0 3 の処理が実行される。なお、データセットは指定されなくてもよい。この場合、全データセットに対して処理が実行される。

【0108】

なお、出力パラメータの値が設定されていない条件が存在しない場合、ステップ S 9 0 3 の処理は省略できる。

【0109】

なお、ユーザが予測値を含む入出力データをデータセットに含めるか否かを選択できるようにしてもよい。

【0110】

図 1 0 は、実施例 1 の装置条件探索支援システム 1 0 0 が、ワークスペース作成ボタン 4 1 2 が操作された場合に提示する画面の一例を示す図である。

【0111】

ワークスペース作成ボタン 4 1 2 が押下された場合、操作ボタン表示欄 4 0 1 には、新たに、新規作成ボタン 4 3 0、コピーボタン 4 3 1、前処理設定ボタン 4 3 2、演算設定ボタン 4 3 3、及び結果表示ボタン 4 3 4 が表示される。操作欄 4 0 2 には、ワークスペース情報 1 0 0 0 が表示される。

【0112】

ワークスペース情報 1 0 0 0 は、テーブル形式の情報であり、ワークスペース名 1 0 1 1、データセット名 1 0 1 2、親条件 1 0 1 3、条件数 1 0 1 4、ステップ数 1 0 1 5、作成日時 1 0 1 6、演算開始日時 1 0 1 7、及び演算ステータス 1 0 1 8 を含むエントリを格納する。一つのワークスペースに対して一つのエントリが存在する。

【0113】

なお、エントリに含まれるフィールドは前述したものに限定されない。例えば、入力データ及び出力データの各々のパラメータ数を格納するフィールドを含んでもよい。

【0114】

データセット名 1 0 1 2、親条件 1 0 1 3、条件数 1 0 1 4、ステップ数 1 0 1 5、及び作成日時 1 0 1 6 は、データセット名 7 1 1、親条件 7 1 2、条件数 7 1 3、ステップ数 7 1 4、及び作成日時 7 1 5 と同一のフィールドである。ワークスペース名 1 0 1 1 は、ワークスペースの名称を格納するフィールドである。ワークスペースの名称は自動的に設定されてもよいし、ユーザがフィールドに手動で設定してもよい。演算開始日時 1 0 1 7 は、探索処理の開始日時を格納するフィールドである。演算ステータス 1 0 1 8 は、探索処理における演算の実行状態を格納するフィールドである。

【0115】

10

20

30

40

50

新規作成ボタン 430 が押下された場合、装置条件探索支援システム 100 は、図示していないデータセット選択画面を提示し、ユーザからデータセットの選択結果を受け付けた場合、ワークスペース情報 1000 にエントリを登録する。

【0116】

ユーザがワークスペース情報 1000 のいずれかのエントリを選択し、コピーボタン 431 を押下した場合、装置条件探索支援システム 100 は、ワークスペース情報 1000 にエントリを追加し、当該エントリに選択されたエントリの内容をコピーする。なお、ワークスペース名 1011 には、選択されたエントリと異なる値が設定される。

【0117】

装置条件の探索は、データセット及び演算設定に強く依存するため、装置条件の探索時のユーザの利便性を向上させるためには、データセット及び演算設定の変更、並びに、変更結果の管理を簡略化することが重要である。従って、図 10 に示すように、ワークスペースごとに、データセット、演算設定、及び演算の実行状態を管理することによってユーザの利便性を向上することができる。

10

【0118】

前処理設定ボタン 432、演算設定ボタン 433、及び結果表示ボタン 434 のそれぞれが押下された場合、各ボタンに対応する画面が表示される。画面の詳細は後述する。なお、装置条件探索支援システム 100 は、探索処理が完了していない場合、結果表示ボタン 434 の操作を受け付けない、又は、結果表示ボタン 434 が操作されても画面を表示しないように制御する。

20

【0119】

図 11 は、実施例 1 の装置条件探索支援システム 100 が、前処理設定ボタン 432 が操作された場合に提示する画面の一例を示す図である。

【0120】

画面 1100 は、表示欄 1101、設定欄 1102、1103、1104、操作欄 1105 を含む。

【0121】

表示欄 1101 は、使用しているワークスペースの情報を表示する欄である。設定欄 1102 は、出力パラメータの目標値を設定するための欄である。ユーザは、設定表 1120 に、出力パラメータの目標値を設定する。

30

【0122】

設定欄 1103 は、入力パラメータの探索範囲を設定するための欄である。ユーザは、設定表 1130 に、入力パラメータの最大値及び最小値、並びに、探索時に、最大値から最小値の間に入らない値を追加する数を設定する。探索範囲に値を追加する理由は、入力パラメータの中にはガス流入量系のような制御範囲が完全クローズ時の流入ゼロ及び流入制御のゼロではない下限値及び上限値をもつようなパラメータがあるためである。

【0123】

設定欄 1104 は、探索時に離散的に値を変更する入力パラメータに関する設定を行うための欄である。ユーザは、設定表 1140 に、任意の入力パラメータの離散的な変更パターンを設定する。これによって、離散値しか取り得ない、又は、離散値でのみ設定を行う入力パラメータの値の探索に対応できる。

40

【0124】

設定欄 1102、1103、1104 には、設定された内容を保存するためのセーブボタン及び保存された内容をロードするためのロードボタンが含まれる。

【0125】

操作欄 1105 は、設定欄 1102、1103、1104 への入力、及び前処理の実行を制御するための欄である。

【0126】

編集ボタン 1150 は、設定欄 1102、1103、1104 への入力を有効化するためのボタンである。編集ボタン 1150 が押下された場合、演算の実行状態は初期化され

50

る。

【0127】

実行ボタン1151は、前処理に係る演算の実行フェーズに遷移するためのボタンである。実行ボタン1151が押下された場合、設定欄1102、1103、1104への入力を受け付けないように制御される。演算の結果は各種設定と対応づけて管理されており、演算の実行後に各種設定が変更された場合に演算の結果との対応付けが混乱するのを避けるためである。特に、複数の演算を実行する場合、演算の途中で設定が変更された場合、演算が停止する等、演算のエラーの原因となるため、設定の編集と演算の実行とを切り替える必要がある。

【0128】

なお、装置条件探索支援システム100は、実行ボタン1151が押下された場合、設定欄1102の設定内容を確認し、正しい値が設定されているか否かを判定してもよい。これによって、予めエラーの発生を回避できる。

【0129】

演算表1155には、前処理用の演算の名称、実行ボタン、及び演算の実行状態が表示される。本実施例では、各演算は上から順に実行されるものとする。各演算の実行ボタンは、前段の演算が完了するまで有効化されない。例えば、「Preprocess2」の実行ボタンは、「Preprocess1」が完了した後有効化される。これによって、ユーザは、演算の実行状態を視覚的に把握でき、利便性が向上する。

【0130】

ログ欄1156には、演算の実行状態又は実行結果を示すログが表示される。

【0131】

結果フォルダボタン1152は、演算の実行によって生成された出力データ等が保存されたフォルダを参照するためのボタンである。遷移ボタン1153は、前処理の設定前のフェーズに遷移するためのボタンである。例えば、遷移ボタン1153が押下された場合、図10の状態に遷移する。遷移ボタン1154は、演算設定のフェーズに遷移するためのボタンである。例えば、遷移ボタン1154が押下された場合、図12の状態に遷移する。ただし、全ての演算が完了するまでは、遷移ボタン1154は有効化されない。

【0132】

図12A及び図12Bは、実施例1の装置条件探索支援システム100が、演算設定ボタン433が操作された場合に提示する画面の一例を示す図である。

【0133】

画面1200は、設定欄1201、1202、操作欄1203、及び表示欄1204を含む。

【0134】

設定欄1201は、探索モデルの学習及び装置条件の探索に係る演算に関する設定を行うための欄である。

【0135】

ユーザは、モデル選択表1210に、使用するモデルの形式及びモデルを用いた装置条件の探索方法を選択する。なお、モデル選択表1210では、選択したモデルの形式に応じて使用可能な探索方法が選択可能な形式で表示される。

【0136】

なお、モデルの形式としては、単回帰、サポートベクター回帰、回帰木、ニューラルネットワークを用いた回帰等を選択できる。また、探索方法としては、ランダムサーチ、グリッドサーチ、及び勾配法等を選択できる。

【0137】

ユーザは、パラメータ設定表1211、1212に装置条件の探索を制御するためのパラメータの値を設定する。パラメータ設定表1211は、モデルの形式及び探索方法に依存するパラメータを設定するための表であり、パラメータ設定表1212は、モデルの形式及び探索方法に依存しないパラメータを設定するための表である。

10

20

30

40

50

【0138】

モデルの形式として「カーネルリッジ回帰」、探索方法として「ランダム」が選択された場合、パラメータ設定表1211及びパラメータ設定表1212には、図12Aに示すようなパラメータが表示される。

【0139】

Cnumは、探索時に一度に変更する入力パラメータの数を調整するパラメータである。searchNは、探索する条件の数を調整するパラメータである。Nprintは、中間結果の表示間隔を調整するパラメータである。Nprintに設定された値と同数の探索試行が実行された場合、装置条件探索支援システム100は、それまでに得られた処理条件を表示する。Nkfは、交差検証におけるデータ分割数を調整するパラメータである。

10

【0140】

探索コスト表1213には、推奨される探索数及び演算時間の推定値が表示される。なお、推奨演算時間を表示してもよい。なお、探索数及び演算時間は、モデル選択表1210及びパラメータ設定表1211、1212の設定に基づいて算出されるものとする。

【0141】

設定欄1202は、ハイパーパラメータに関する設定を行うための欄である。

【0142】

ユーザは、ハイパーパラメータの探索を実行する場合、探索ボタン1220を押下する。装置条件探索支援システム100は、ハイパーパラメータを探索し、ハイパーパラメータ表1221に探索結果を表示する。ユーザは、ハイパーパラメータを手動で設定する場合、設定ボタン1222を押下し、設定表1223に値を設定する。

20

【0143】

操作欄1203は、設定欄1201、1202への入力、並びに、探索モデルの学習及び装置条件の探索を制御するための欄である。

【0144】

編集ボタン1230は、設定欄1201、1202への入力を有効化するためのボタンである。また、編集ボタン1230が押下された場合、演算の実行状態は初期化される。

【0145】

実行ボタン1231は、演算の実行フェーズに遷移するためのボタンである。実行ボタン1231が押下された場合、設定欄1201、1202への入力を受け付けないように制御される。

30

【0146】

演算表1235及びログ欄1236は、演算表1155及びログ欄1156と同様の欄である。

【0147】

結果フォルダボタン1232は、演算の実行によって生成された出力データ等が保存されたフォルダを参照するためのボタンである。遷移ボタン1233は、演算の設定前のフェーズに遷移するためのボタンである。例えば、遷移ボタン1233が押下された場合、図11の状態に遷移する。遷移ボタン1234は、結果参照のフェーズに遷移するためのボタンである。例えば、遷移ボタン1234が押下された場合、表示欄1204に結果が表示される。ただし、全ての演算が完了するまでは、遷移ボタン1234は有効化されない。

40

【0148】

表示欄1204は、演算によって得られた装置条件を表示するための欄である。表示欄1204には、複数の装置条件が表示される。

【0149】

以上で説明したように、実施例1の装置条件探索支援システム100は、製造装置の装置条件を探索するための各種入力を支援することができる。特に、学習データセットの構築を支援することに特徴がある、これによって、装置条件の最適化に要する時間及び労力

50

を削減し、効率化を図ることができる。また、装置条件探索支援システム１００は各種入力を支援するため、専門知識を持たないエンジニアも使用することができる。

【実施例２】

【０１５０】

実施例２では、装置条件探索支援システム１００を複数のユーザが使用する点が実施例１と異なる。

【０１５１】

複数のユーザ端末１０２は、それぞれ、異なるネットワークを介して装置条件探索支援システム１００に接続されてもよい。例えば、インターネットを介して接続されてもよいし、イントラネットを介して接続されてもよい。ユーザ端末１０２と装置条件探索支援システム１００との間には、ファイアウォール及び認証サーバが設置され、ユーザ認証及びアクセス制御が行われる。

【０１５２】

ユーザは、ユーザ端末１０２を操作して、装置条件探索支援システム１００にアクセスし、入力データ及び出力データの入力、データセットの作成、ワークスペースの作成、演算設定、及び装置条件の取得を行うことができる。また、ユーザは、装置条件を実証実験システム１０１に送信し、実証実験結果を取得することができる。また、ユーザは、装置条件とともに実証実験結果を、装置条件探索支援システム１００に登録できる。実証実験結果を新たな学習データとして登録することによって、装置条件の探索精度を向上させることができる。

【０１５３】

複数のユーザが学習データを登録することによって、装置条件、データセット、実証実験結果等を共有することができるため、複数のユーザが協業して装置条件を探索することができる。

【０１５４】

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。また、例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために構成を詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、各実施例の構成の一部について、他の構成に追加、削除、置換することが可能である。

【０１５５】

また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、本発明は、実施例の機能を実現するソフトウェアのプログラムコードによっても実現できる。この場合、プログラムコードを記録した記憶媒体をコンピュータに提供し、そのコンピュータが備えるプロセッサが記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出す。この場合、記憶媒体から読み出されたプログラムコード自体が前述した実施例の機能を実現することになり、そのプログラムコード自体、及びそれを記憶した記憶媒体は本発明を構成することになる。このようなプログラムコードを供給するための記憶媒体としては、例えば、フレキシブルディスク、ＣＤ－ＲＯＭ、ＤＶＤ－ＲＯＭ、ハードディスク、ＳＳＤ（Solid State Drive）、光ディスク、光磁気ディスク、ＣＤ－Ｒ、磁気テープ、不揮発性のメモリカード、ＲＯＭなどが用いられる。

【０１５６】

また、本実施例に記載の機能を実現するプログラムコードは、例えば、アセンブラ、Ｃ／Ｃ＋＋、perl、Shell、PHP、Python、Java（登録商標）等の広範囲のプログラム又はスクリプト言語で実装できる。

【０１５７】

さらに、実施例の機能を実現するソフトウェアのプログラムコードを、ネットワークを介して配信することによって、それをコンピュータのハードディスクやメモリ等の記憶手段又はＣＤ－ＲＷ、ＣＤ－Ｒ等の記憶媒体に格納し、コンピュータが備えるプロセッサが

10

20

30

40

50

当該記憶手段や当該記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出して実行するようにしてもよい。

【0158】

上述の実施例において、制御線や情報線は、説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。全ての構成が相互に接続されていてもよい。

【符号の説明】

【0159】

100 装置条件探索支援システム
101 実証実験システム
102 ユーザ端末
110 演算システム
111 表示システム
120 演算部
130 データ保存部
131 認証部
132 入出力データ入力部
133 学習データセット構築部
134 装置条件送信部
135 演算管理部
140 演算設定部
141 演算結果表示部
142 演算実行部
150 製造装置
151 計測機
160 試料

10

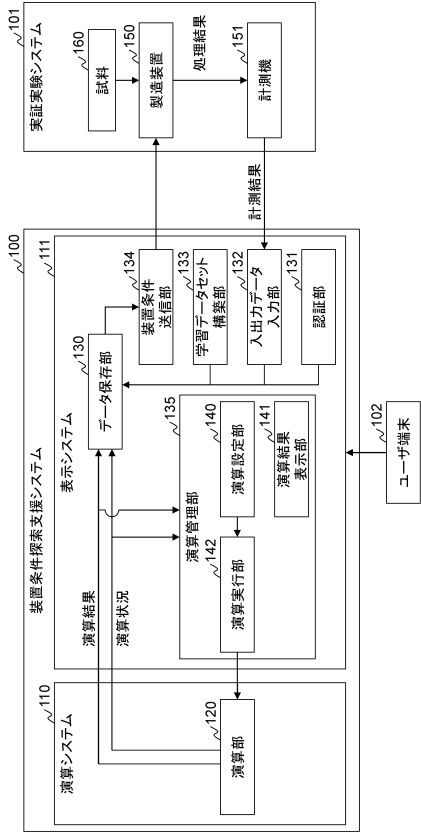
20

30

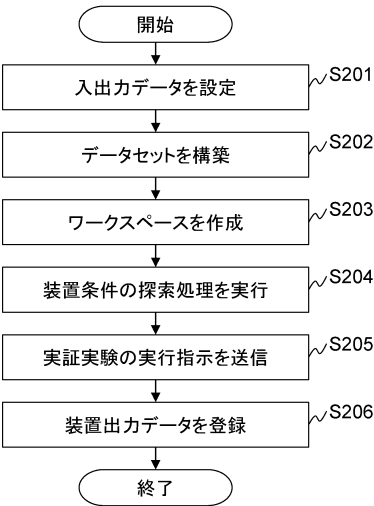
40

50

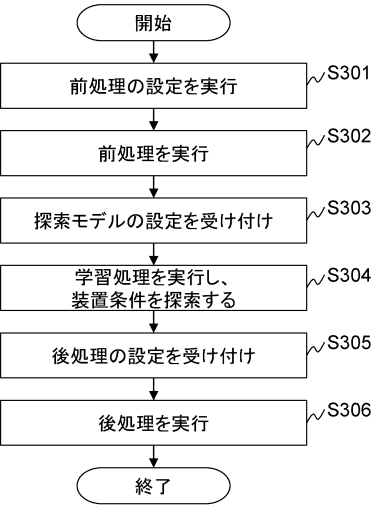
【図面】
【図 1】



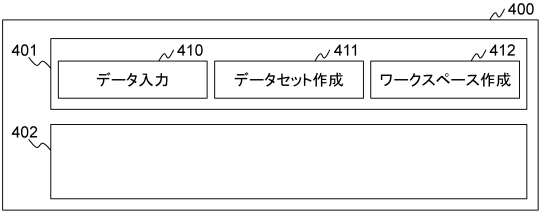
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

20

30

40

50

【図 5】

〜511		〜512	〜513	〜514		〜515	500
条件番号	ステップラベル	ステップ番号	入力パラメータ		出力パラメータ		
			パラメータ1	...	パラメータ1	...	
abc1	st	1	100	...	10.2	...	
abc2	st	1	140	...	12.5	...	
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	
Xab1	st	1	90	...	9.2	...	
	mid1	2	10	...		...	
	mid2	3	10	...		...	
Xab2	st	1	80	...	8.1	...	
	mid1	2	20	...		...	
	mid2	3	15	...		...	
Xab3	st	1	70	...	8.3	...	
	mid2	2	10	...		...	
Xab4	st	1	70	...	8.1	...	
	mid1	2	25	...		...	
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	
XY1	st	1	100	...	11.1	...	
	mid1	2	10	...		...	
	mA	3	0	...		...	
	mid2	4	15	...		...	
XZ1	st3	1	400	...	30.5	...	
	mid1	2	20	...		...	
	mA	3	0	...		...	
	mid2	4	20	...		...	
Xst1	st3	1	550	...	35.5	...	
Xst2	st3	1	600	...	38.2	...	
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	
							〜501
							追加

【図 6 A】

〜511		〜512	〜513	〜514		〜515	500
条件番号	ステップラベル	ステップ番号	入力パラメータ		出力パラメータ		
			パラメータ1	...	パラメータ1	...	
XZ1	st3	1	400	...	30.5	...	
	mid1	2	20	...		...	
	mA	3	0	...		...	
	mid2	4	20	...		...	
Xst1	st3	1	550	...	35.5	...	
	mid1	2	0	...		...	
	mA	3	0	...		...	
	mid2	4	0	...		...	
Xst2	st3	1	600	...	38.2	...	
	mid1	2	0	...		...	
	mA	3	0	...		...	
	mid2	4	0	...		...	
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	

10

20

【図 6 B】

〜511		〜512	〜513	〜514		〜515	500
条件番号	ステップラベル	ステップ番号	入力パラメータ		出力パラメータ		
			パラメータ1	...	パラメータ1	...	
XY1	st	1	100	...	11.1	...	
	mid1	2	10	...		...	
	mA	3	0	...		...	
	mid2	4	15	...		...	
abc1	st	1	100	...	10.2	...	
	mid1	2	0	...		...	
	mA	3	0	...		...	
	mid2	4	0	...		...	
abc2	st	1	140	...	12.5	...	
	mid1	2	0	...		...	
	mA	3	0	...		...	
	mid2	4	0	...		...	
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	

【図 6 C】

〜511		〜512	〜513	〜514		〜515	500
条件番号	ステップラベル	ステップ番号	入力パラメータ		出力パラメータ		
			パラメータ1	...	パラメータ1	...	
Xab1	st	1	90	...	9.2	...	
	mid1	2	10	...		...	
	mid2	3	10	...		...	
Xab2	st	1	80	...	8.1	...	
	mid1	2	20	...		...	
	mid2	3	15	...		...	
Xab3	st	1	70	...	8.3	...	
	mid1	2	0	...		...	
Xab4	mid2	3	10	...	8.1	...	
	st	1	70	...		...	
abc1	st	1	100	...	10.2	...	
	mid1	2	0	...		...	
	mid2	3	0	...		...	
abc2	st	1	140	...	12.5	...	
	mid1	2	0	...		...	
	mid2	3	0	...		...	
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	

30

40

50

【図 6 D】

条件番号	ステップラベル	ステップ番号	入力パラメータ		出力パラメータ	
			パラメータ1	...	パラメータ1	...
Xab3	st	1	70	...	8.3	...
	mid2	2	10	...		...
abc1	st	1	100	...	10.2	...
	mid2	2	0	...		...
abc2	st	1	140	...	12.5	...
	mid2	2	0	...		...
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...

【図 6 E】

条件番号	ステップラベル	ステップ番号	入力パラメータ		出力パラメータ	
			パラメータ1	...	パラメータ1	...
abc1	st	1	100	...	10.2	...
abc2	st	1	140	...	12.5	...
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...

【図 7】

データ入力	データセット作成	ワークスペース作成
自動作成 (自動分類)	自動作成	自動作成

データセット名	親条件	条件数	ステップ数	作成日時	作成方法
XZ1-auto-01	XZ1	20	4	2021/3/30	自動
XY1-auto-01	XY1	70	4	2021/3/30	自動
Xab1-auto-01	Xab1	55	3	2021/3/30	自動
Xab3-auto-01	Xab3	60	2	2021/3/30	自動
Xab4-auto-01	Xab4	65	2	2021/3/30	自動
abc1-auto-01	abc1	45	1	2021/4/11	自動
abc1-m-01	abc1	35	1	2021/4/13	手動
abc1-m-02	abc1	50	1	2021/5/21	手動
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

【図 8】

親条件 選択	データ 選択	条件番号	ステップ ラベル	ステップ番号	入力パラメータ		出力パラメータ	
					パラメータ1	...	パラメータ1	...
☐	☒	abc1	st	1	100	...	10.2	...
☐	☒	abc2	st	1	140	...	12.5	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...
☒	☒	Xab1	st	1	90	...	9.2	...
			mid1	2	10	...		...
			mid2	3	10	...		...
☐	☒	Xab2	st	1	80	...	8.1	...
			mid1	2	20	...		...
			mid2	3	15	...		...
☐	☒	Xab3	st	1	70	...	8.3	...
			mid2	2	10	...		...
			st	1	70	...		...
☐	☒	Xab4	mid1	2	25	...	8.1	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...		...
								...

10

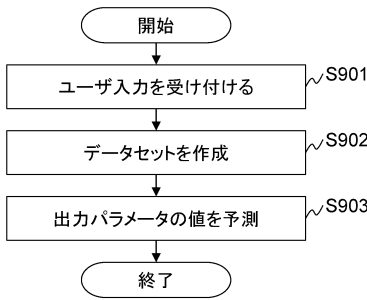
20

30

40

50

【図 9】



【図 10】

データ入力

ワークスペース作成

データセット作成

ワークスペース作成

新規作成

コピー

前処理設定

演算設定

結果表示

ワークスペース名

W-XZ1-41

W-XY1-41

W-Xab1-31

W-Xab3-31

W-abc1-11

W-abc1-12

W-abc1-13

...

データセット名

XZ1-auto-01

XY1-auto-01

Xab1-auto-01

Xab3-auto-01

abc1-auto-01

abc1-m-01

abc1-m-02

...

観条件

XZ1

XY1

Xab1

Xab3

abc1

abc1

abc1

...

条件数

20

70

55

60

45

35

50

...

ステップ数

4

4

3

3

1

1

1

...

作成日時

2021/3/30 9:30

2021/3/30 10:30

2021/3/30 10:45

2021/3/30 11:15

2021/4/11 10:00

2021/5/20 10:30

2021/5/21 16:00

...

演算開始日時

2021/3/30 完了

2021/3/30 完了

2021/3/30 完了

2021/3/30 完了

2021/4/11 完了

2021/5/20 85%

2021/5/21 40%

...

演算ステータス

完了

完了

完了

完了

完了

mainprocess

mainprocess

...

【図 11】

ワークスペース

ワークスペース名	データセット名	観条件	条件数	ステップ数
W-abc1-11	abc1-m-02	abc1	45	1

出力パラメータ 目標値

パラメータ1	パラメータ2	...
10.0	350	...

探索領域

パラメータ1	パラメータ2	...
最大	600	20
最小	10	0
追加点	0	0

入力パラメータ 離散値

パラメータ1	パラメータ2	パラメータ3	...
-	0,10,20	-	...

操作

編集

実行

結果フォルダ

戻る

次へ

演算名

実行ボタン

実行状態

Preprocess1	実行	○
Preprocess2	実行	○
Preprocess3	実行	○
Preprocess4	実行	○
Preprocess5	実行	○

--- preprocess 5 start

data set: abc1-m-02

base condition: abc1

num. of data: 50

step: 1

--- preprocess 5 end

【図 12 A】

セーブ

ロード

モデル

探索方法

回帰モデル(KRR)	ランダム
------------	------

パラメータ

値

説明

Cnum	2	同時変更パラメータ数
serachN	100000	探索数
Nprint	10000	中間結果表示間隔
CRN	auto	探索中心条件
Nkf	10	N-fold 交差検証
Ntrials	100	ハイパーパラメータサーチのトライアル数
hp1_max	0.001	ハイパーパラメータ1の最大値
hp1_min	0.01	ハイパーパラメータ1の最小値
hp2_max	-4	ハイパーパラメータ2の最大値
hp1_min	-2	ハイパーパラメータ2の最小値

パラメータ

値

説明

Ncan	10	提案条件の数
threshold_distance	0.1	提案レシビ候補間の距離
CPU	1	使用するCPU数

推奨探索数

10000000

推定演算時間[h]

10

10

20

30

40

50

【図 1 2 B】

1202

■ ハイパーパラメタ

探索

設定

hp1(opt)0.01

hp2(opt)-3

hp1(opt)0.01

hp2(opt)-3

1203

■ 操作

編集実行

結果フォルダ

戻る次へ

演算名	実行ボタン	実行状態
Mainprocess	実行	→
Postprocess1	実行	
Postprocess2	実行	

--mainprocess 50% complete: 5/16 17:01

--mainprocess 55% complete: 5/16 17:32

--mainprocess 60% complete: 5/16 18:03

--mainprocess 65% complete: 5/16 18:35

--mainprocess 70% complete: 5/16 19:06

--mainprocess 75% complete: 5/16 19:37

1204

■ 結果

条件番号	ステップラベル	ステップ番号	入力パラメータ		出力パラメータ	
			パラメータ1	...	パラメータ1	...
p1	st	1	99	...	10.1	...
p2	st	1	145	...	11.8	...
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2019-040984 (JP, A)
 特開 2016-162257 (JP, A)
 特開 2017-107302 (JP, A)
 特開平 05-282270 (JP, A)
 特開 2019-049975 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
 G06N 3/00-99/00
 H01L 21/02