

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年10月27日(27.10.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/224399 A1

- (51) 国際特許分類:
G05B 19/18 (2006.01) G05B 13/04 (2006.01)
G05B 19/4155 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/016285
- (22) 国際出願日: 2021年4月22日(22.04.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者:矢野 敦仁(YANO Atsuyoshi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機

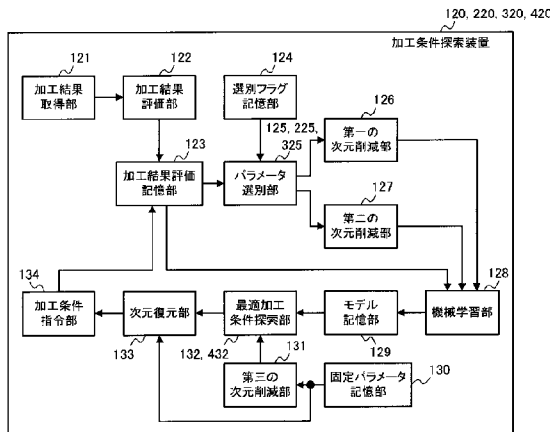
株式会社内 Tokyo (JP). 宮川 翔貴(MIYAGAWA Shoki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 山形 洋一, 外 (YAMAGATA Yoichi et al.); 〒1510053 東京都渋谷区代々木2丁目16番2号 甲田ビル4階 特許業務法人 山形・佐藤特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: PROCESSING CONDITION FINDING DEVICE, PROGRAM, AND PROCESSING CONDITION FINDING METHOD

(54) 発明の名称: 加工条件探索装置、プログラム及び加工条件探索方法



120, 220, 320, 420 Processing condition finding device
121 Processing result acquisition unit
122 Processing result evaluation unit
123 Processing result evaluation storage unit
124 Sorting flag storage unit
125, 225, 325 Parameter sorting unit
126 First dimensionality reduction unit
127 Second dimensionality reduction unit
128 Machine learning unit
129 Model storage unit
130 Fixed parameter storage unit
131 Third dimensionality reduction unit
132, 432 Optimum processing condition finding unit
133 Dimensionality restoration unit
134 Processing condition command unit

(57) Abstract: A processing condition finding device (120) is provided with: a parameter sorting unit (125) which sorts a plurality of parameters into a plurality of variable parameters and one or a plurality of fixed parameters; a first dimensionality reduction unit (126) which generates a first feature quantity having a dimensionality less than or equal to a first dimensionality from the plurality of variable parameters; a second dimensionality reduction unit (127) which generates a second feature quantity having a dimensionality less than or equal to a second dimensionality from the one or plurality of fixed parameters; a machine learning unit (128) which learns the relationship between the first feature quantity, the second feature quantity, and a plurality of evaluation values to generate a learning model; a third dimensionality processing unit (131) which generates a third feature quantity having a dimensionality less than or equal to the second dimensionality from one or a plurality of target fixed parameters, which are one or a plurality of fixed parameters; an optimum processing condition finding unit (132) which finds the optimum value of a feature quantity for a plurality of target variable parameters using the third feature quantity and the learning model; and a dimensionality restoration unit (133) which identifies target processing conditions from the optimum value and the one or plurality of target

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

fixed parameters.

(57) 要約：加工条件探索装置（120）は、複数のパラメータを複数の可変パラメータ及び一又は複数の固定パラメータに選別するパラメータ選別部（125）と、複数の可変パラメータから第一の次元以下の第一の特徴量を生成する第一の次元削減部（126）と、一又は複数の固定パラメータから第二の次元以下の第二の特徴量を生成する第二の次元削減部（127）と、第一の特徴量、第二の特徴量及び複数の評価値の関係を学習することで、学習モデルを生成する機械学習部（128）と、一又は複数の固定パラメータである一又は複数の対象固定パラメータから、第二の次元以下の第三の特徴量を生成する第三の次元処理部（131）と、第三の特徴量及び学習モデルを使用して、複数の対象可変パラメータの特徴量の最適値を探索する最適加工条件探索部（132）と、最適値及び一又は複数の対象固定パラメータから探索加工条件を特定する次元復元部（133）とを備える。

明 細 書

発明の名称：

加工条件探索装置、プログラム及び加工条件探索方法

技術分野

[0001] 本開示は、加工条件探索装置、プログラム及び加工条件探索方法に関する。

背景技術

[0002] 産業用に用いられる加工機は、被加工物である素材に対し所定の加工処理を行うことで、その形状又は状態を変化させる加工を行う。このような加工機には、素材の切削若しくは研削等を行う工作機械、又は、素材の混合、反応、加熱、冷却、乾燥若しくは焼成等の処理を行うプラント機器が例として挙げられる。

[0003] 一般に、これらの加工機では、使用者の意図を反映できるように複数のパラメータを設定できるようになっている。加工機の加工結果は、複数のパラメータの組み合わせである加工条件に依存するため、所望の加工結果を得るためには、加工機に適切な加工条件を設定する必要がある。

[0004] しかし、複数のパラメータが存在し、かつ、各々のパラメータが連続値又は段階的な離散値で設定可能である場合、その組み合わせパターンは膨大な数となる。このため、所望の加工結果が得られるような加工条件を発見するためには、多大な手間及び時間をかけて試行錯誤を行う必要がある。

[0005] このようなパラメータに関して、従来から、加工結果の評価値と、評価値に対応する加工条件とに基づいて、加工が実施されていない加工条件に対応する評価値を予測した予測値を求め、予測値に基づいて最適加工条件を計算することも行われているが、パラメータの次元が大きいほど大域的な最適値の探索が困難になる。

[0006] そこで、特許文献1では、高次元のデータに対し、主成分分析等の手段を用いてその特徴量を抽出し、抽出された特徴量の次元を削減することで、問

題を扱いやすくする方法が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特表2012-509190号公報（段落0014）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、従来の次元削減では、全てのパラメータから特徴量を抽出する結果として全てのパラメータが探索対象になるので、使用者の意図又は加工現場の状況等により、一部のパラメータに変更が加えられないような場合には適用できないという問題点がある。

[0009] 例えば、加工結果が制御パラメータだけでなく、大きさ若しくは比重等の素材の性質に関わる特性パラメータ、又は、温湿度等の加工現場の環境に関わる環境パラメータ等にも依存する場合、最適加工条件の探索はこれらのパラメータも加味して行う必要がある。しかしながら、次元削減を行う場合、これらの変更不可能なパラメータも変更対象にされてしまう。

[0010] そこで、本発明の一又は複数の態様は、加工に使用される加工条件において、変更が許可されていないパラメータが存在する場合であっても、変更が許可されているパラメータについて大域的な最適加工条件の探索を可能にすることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 本開示の一態様に係る加工条件探索装置は、各々が複数のパラメータを有する複数の加工条件、及び、前記複数の加工条件における複数の加工結果に対する複数の評価値を示す加工結果評価情報を記憶する加工結果評価記憶部と、前記複数のパラメータを、変更を許可する複数の可変パラメータ及び変更を許可しない一又は複数の固定パラメータに選別するパラメータ選別部と、前記複数の可変パラメータから、予め定められた次元である第一の次元以下の第一の特徴量を生成することで、前記複数の加工条件に対応する一又は

複数の第一の特徴量を生成する第一の次元処理部と、前記一又は複数の固定パラメータから、予め定められた次元である第二の次元以下の第二の特徴量を生成することで、前記複数の加工条件に対応する一又は複数の第二の特徴量を生成する第二の次元処理部と、前記一又は複数の第一の特徴量、前記一又は複数の第二の特徴量及び前記複数の評価値の関係を学習することで、学習モデルを生成する機械学習部と、探索対象となる加工条件である対象加工条件において使用される一又は複数の固定パラメータである一又は複数の対象固定パラメータから、前記第二の次元以下の第三の特徴量を生成する第三の次元処理部と、前記第三の特徴量及び前記学習モデルを使用して、前記対象加工条件において使用される複数の可変パラメータである複数の対象可変パラメータの特徴量の最適値を探索する探索部と、前記最適値及び前記一又は複数の対象固定パラメータから、前記対象加工条件として探索された加工条件である探索加工条件を特定する特定部と、を備えることを特徴とする。

[0012] 本開示の一態様に係るプログラムは、コンピュータを、各々が複数のパラメータを有する複数の加工条件、及び、前記複数の加工条件における複数の加工結果に対する複数の評価値を示す加工結果評価情報を記憶する加工結果評価記憶部、前記複数のパラメータを、変更を許可する複数の可変パラメータ及び変更を許可しない一又は複数の固定パラメータに選別するパラメータ選別部、前記複数の可変パラメータから、予め定められた次元である第一の次元以下の第一の特徴量を生成することで、前記複数の加工条件に対応する一又は複数の第一の特徴量を生成する第一の次元処理部、前記一又は複数の固定パラメータから、予め定められた次元である第二の次元以下の第二の特徴量を生成することで、前記複数の加工条件に対応する一又は複数の第二の特徴量を生成する第二の次元処理部、前記一又は複数の第一の特徴量、前記一又は複数の第二の特徴量及び前記複数の評価値の関係を学習することで、学習モデルを生成する機械学習部、探索対象となる加工条件である対象加工条件において使用される一又は複数の固定パラメータである一又は複数の対象固定パラメータから、前記第二の次元以下の第三の特徴量を生成する第三

の次元処理部、前記第三の特徴量及び前記学習モデルを使用して、前記対象加工条件において使用される複数の可変パラメータである複数の対象可変パラメータの特徴量の最適値を探索する探索部、及び、前記最適値及び前記一又は複数の対象固定パラメータから、前記対象加工条件として探索された加工条件である探索加工条件を特定する特定部、として機能させることを特徴とする。

[0013] 本開示の一態様に係る加工条件探索方法は、各々が複数のパラメータを有する複数の加工条件、及び、前記複数の加工条件における複数の加工結果に対する複数の評価値を示す加工結果評価情報に含まれている前記複数のパラメータを、変更を許可する複数の可変パラメータ及び変更を許可しない一又は複数の固定パラメータに選別し、前記複数の可変パラメータから、予め定められた次元である第一の次元以下の第一の特徴量を生成することで、前記複数の加工条件に対応する一又は複数の第一の特徴量を生成し、前記一又は複数の固定パラメータから、予め定められた次元である第二の次元以下の第二の特徴量を生成することで、前記複数の加工条件に対応する一又は複数の第二の特徴量を生成し、前記一又は複数の第一の特徴量、前記一又は複数の第二の特徴量及び前記複数の評価値の関係を学習することで、学習モデルを生成し、探索対象となる加工条件である対象加工条件において使用される一又は複数の固定パラメータである一又は複数の対象固定パラメータから、前記第二の次元以下の第三の特徴量を生成し、前記第三の特徴量及び前記学習モデルを使用して、前記対象加工条件において使用される複数の可変パラメータである複数の対象可変パラメータの特徴量の最適値を探索し、前記最適値及び前記一又は複数の対象固定パラメータから、前記対象加工条件として探索された加工条件である探索加工条件を特定することを特徴とする。

発明の効果

[0014] 本開示の一又は複数の態様によれば、加工に使用される加工条件において、変更が許可されていないパラメータが存在する場合であっても、変更が許可されているパラメータについて大域的な最適加工条件の探索を可能にする

ことができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]実施の形態1～6に係る加工システムの構成を概略的に示すブロック図である。

[図2]実施の形態1～4における加工条件探索装置の構成を概略的に示すブロック図である。

[図3]加工結果評価情報の一例を示す概略図である。

[図4] (A) 及び (B) は、パラメータ選別部によって選別されたパラメータを示すパラメータデータの例を示す概略図である。

[図5]加工条件探索装置のハードウェア構成例を示すブロック図である。

[図6]実施の形態1に係る加工システムの動作を示すフローチャートである。

[図7]実施の形態1における探索方法を説明するための概略図である。

[図8]実施の形態2におけるパラメータ選別部225の構成を概略的に示すブロック図である。

[図9] (A) 及び (B) は、 $Q \times$ と $R \times$ との相関性が低い場合と、高い場合との例を示す概略図である。

[図10]実施の形態2におけるパラメータ選別部におけるパラメータ選別動作の一例を示すフローチャートである。

[図11]実施の形態3におけるパラメータ選別部の構成を概略的に示すブロック図である。

[図12]実施の形態3におけるパラメータ振分部におけるパラメータの振分動作の一例を示すフローチャートである。

[図13]実施の形態4における初回探索時の最適加工条件探索部の動作を示すフローチャートである。

[図14]実施の形態5における加工条件探索装置の構成を概略的に示すブロック図である。

[図15]実施の形態5における第一の次元削減部、第二の次元削減部、第四の次元削減部、第一の比較部及び第二の比較部での動作を示すフローチャート

である。

[図16]実施の形態6における加工条件探索装置の構成を概略的に示すブロック図である。

[図17]実施の形態6における第一の次元削減部、第二の次元削減部、第四の次元削減部、合成部及び比較部での動作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

[0016] 実施の形態1.

図1は、実施の形態1に係る加工システム100の構成を概略的に示すブロック図である。

加工システム100は、加工機110と、加工条件探索装置120とを備える。

加工機110は、加工条件探索装置120からの加工条件を用いて加工を行い、その加工の結果である加工結果を示す情報である加工結果情報を加工条件探索装置120に与える。

加工条件探索装置120は、加工機110に設定した加工条件における加工結果情報を受け取り、加工機110に適した加工条件を探索する。

加工条件は、複数のパラメータからなる。

[0017] 図2は、加工条件探索装置120の構成を概略的に示すブロック図である。

加工条件探索装置120は、加工結果取得部121と、加工結果評価部122と、加工結果評価記憶部123と、選別フラグ記憶部124と、パラメータ選別部125と、第一の次元削減部126と、第二の次元削減部127と、機械学習部128と、モデル記憶部129と、固定パラメータ記憶部130と、第三の次元削減部131と、最適加工条件探索部132と、次元復元部133と、加工条件指令部134とを備える。

[0018] 加工結果取得部121は、加工機110から、加工結果を示す情報である加工結果情報を取得する。取得された加工結果情報は、加工結果評価部122に与えられる。

加工結果情報の種類は、加工機 110 の種別又は加工目的等によって異なる。例えば、加工結果情報は、加工物の検査データであり、その検査結果値は、加工仕様によって定められた目標値からの誤差又は不良率であることが考えられる。

[0019] なお、実施の形態 1 では、加工結果取得部 121 は、加工機 110 から加工結果情報を取得しているが、実施の形態 1 は、このような例に限定されない。例えば、加工機 110 とは別の検査機等から、加工結果情報を取得してもよい。また、図示しない入力部を介して、使用者が加工結果情報を入力してもよい。

[0020] 加工結果評価部 122 は、加工機 110 で行われた加工の結果である加工結果を評価することで評価値を定め、後述する加工結果評価情報に、その加工が行われる際に使用された加工条件である探索加工条件に対応付けて、その定められた評価値を追加する。

[0021] 例えば、加工結果評価部 122 は、加工結果取得部 121 からの加工結果情報で示される加工結果を評価して、その評価値を定める。評価値は、連続値若しくは離散値等の数値、属性を表すカテゴリ値、又は、命題の真偽を表す論理値等である。

[0022] ここで、評価値は、加工結果の良否を示す。例えば、評価値は、加工の良否の度合を連続値又は離散値を取る数値であってもよい。具体例としては、加工の不良の割合を 0 から 1 の連続値で表した不良率がある。この場合には、値が小さいほど加工結果が良好であることを示す。

また、評価値は加工結果の良否を示すカテゴリ、又は、予め定められた命題に対して真か偽かを表す論理値であってもよい。

そして、加工結果評価部 122 は、その評価値を対応する加工条件に対応付けて加工結果評価記憶部 123 に記憶する。

[0023] 加工結果評価記憶部 123 は、複数の加工条件と、その複数の加工条件における複数の加工結果に対する複数の評価値を示す加工結果評価情報を記憶する。上述のように、複数の加工条件の各々は、複数のパラメータを有する

。

[0024] 例えば、加工結果評価情報には、デフォルトとして、加工条件探索装置 120 で探索された加工条件とは異なる加工条件と、その加工条件における加工結果の評価値とが対応付けて記憶されている。このような情報は、図示しない入力部を介して入力されればよい。

そして、加工結果評価情報には、加工条件指令部 134 が加工機 110 に指示した加工条件と、この加工条件による加工結果に対して、加工結果評価部 122 が定めた評価値とが対応付けて記憶されている。

なお、加工結果評価情報には、加工条件探索装置 120 を通じて行われた全ての加工について、これらの情報が加工結果評価記憶部 123 に記憶されているものとする。

[0025] 図 3 は、加工結果評価情報の一例を示す概略図である。

図 3 に示されているように、加工結果評価情報 101 は、加工条件を構成する各種パラメータと、これに対応する評価値とをまとめたマトリクスとなっている。

図 3 に示されている例では、過去 N 回（N は、1 以上の整数）実施された加工について、それぞれの加工を識別するための加工識別情報である加工番号が付与されている。そして、その加工番号毎に、加工の際に使用された M 種（M は、2 以上の整数）のパラメータと、これに対応する評価値とがマトリクスの縦の一行に並べられている。

新たな加工が実施されると、マトリクスの右端に一つの列が新しく追加され、その列に、加工条件と、その評価値とが記録されていく。

[0026] パラメータの具体例は、加工機 110 の制御パラメータ、材料の種類若しくは特性値等の性状を表す材料パラメータ、又は、加工現場の温湿度等の環境パラメータ等である。これらのパラメータは、連続値若しくは離散値等の数値、属性を表すカテゴリ値、又は、命題の真偽を表す論理値等がある。

[0027] 選別フラグ記憶部 124 は、複数のパラメータを選別するために、複数のパラメータの種別毎に、可変パラメータであるか、固定パラメータであるか

を示す選別フラグを記憶する。

例えば、選別フラグ記憶部 124 は、加工条件を構成する複数のパラメータの各々の種別について、それぞれが変更可能な可変パラメータであるか、変更不可能な固定パラメータであるかを示す選別フラグを記憶する。言い換えると、可変パラメータは、変更を許可するパラメータであり、固定パラメータは、変更を許可しないパラメータである。

選別フラグは、図示しない入力部を介して、使用者の指示を受けることで設定されてもよい。また、選別フラグは、加工機 110 の種別又は機種等の条件から自動的に設定されてもよい。さらに、選別フラグは、図示しない通信部を介して、他の装置から受信されてもよい。

固定パラメータには、加工機 110 の制御パラメータのうち、変更不可能若しくは使用者が変更を望まない制御パラメータ、材料の性状、サイズ若しくは量等の材料に関するパラメータ、又は、加工環境の気圧若しくは温湿度等の環境パラメータ等が含まれる。

[0028] パラメータ選別部 125 は、加工結果評価情報に含まれている複数のパラメータを、変更を許可する複数の可変パラメータ及び変更を許可しない一又は複数の固定パラメータに選別する。ここでは、パラメータ選別部 125 は、選別フラグを参照することで、複数のパラメータを、複数の可変パラメータ及び一又は複数の固定パラメータに選別する。

例えば、パラメータ選別部 125 は、加工結果評価記憶部 123 に記憶されている加工結果評価情報に含まれている複数のパラメータと、選別フラグ記憶部 124 に記憶されている選別フラグとをそれぞれ読み出す。パラメータ選別部 125 は、選別フラグに従って、パラメータを可変パラメータ又は固定パラメータに選別する。そして、パラメータ選別部 125 は、選別された可変パラメータを示す可変パラメータデータ及び選別された固定パラメータを示す固定パラメータデータを生成する。

[0029] 図 4 (A) 及び (B) は、パラメータ選別部 125 によって選別されたパラメータを示すパラメータデータの例を示す概略図である。

図4（A）は、可変パラメータを格納した可変パラメータデータ102の例であり、図4（B）は、固定パラメータを格納した固定パラメータデータ103の例である。

[0030] 可変パラメータデータ102は、 M_v 種のパラメータを格納し、固定パラメータデータ103は、 M_f 種のパラメータを格納する。

可変パラメータデータ102及び固定パラメータデータ103は、図3に示されている加工結果評価情報101と同様に、過去 N 回実施された加工について、加工番号毎にパラメータを保持したマトリクスで構成されている。 M_v 及び M_f は、それぞれ可変パラメータと、固定パラメータとの次元数に相当する。

[0031] 可変パラメータデータ102において、加工番号 x における y 番目の可変パラメータを q_{xy} とする。固定パラメータデータ103において、加工番号 x における z 番目の固定パラメータを r_{xz} とする。これらは、図3に示されている加工結果評価情報101に格納されている加工条件において、加工番号 x の列から抽出されたものである。

[0032] 図2に戻り、第一の次元削減部126は、可変パラメータデータに含まれている複数の可変パラメータから、予め定められた次元である第一の次元以下の第一の特徴量を生成することで、複数の加工条件に対応する一又は複数の第一の特徴量を生成する第一の次元処理部である。ここでは、第一の次元削減部126は、複数の可変パラメータの次元が第一の次元よりも大きい場合に、複数の可変パラメータの次元を削減することで、第一の特徴量を生成する。

[0033] 例えば、第一の次元削減部126は、パラメータ選別部125によって生成された可変パラメータデータを分析し、可変パラメータデータの次元数 M_v が、予め定められた閾値 TH_v よりも大きいかな否かを判断する。そして、第一の次元削減部126は、次元数 M_v が閾値 TH_v よりも大きい場合に、可変パラメータデータを閾値 TH_v 以下の次元数 L_v で表現した第一の特徴量データに変換する次元削減処理である第一の次元削減処理を行う。ここで

、閾値 TH_v が第一の次元に対応する。また、次元数 L_v が 2 以上である場合には、第一の特徴量データに含まれている複数の次元の第一の特徴量を、第一の特徴量セットともいう。

[0034] 具体的には、加工番号 n に対応する第一の特徴量データの x 次元目の要素を av_{nx} とすると、 av_{nx} は、可変パラメータ q_{n1} 、 q_{n2} 、 $\dots$ 、 q_{nM_v} の関数となるから、以下の (1) 式で表される。

$$av_{nx} = f_x(q_{n1}, q_{n2}, \dots, q_{nM_v}) \quad (1)$$

ここで、 f_x は、可変パラメータを第一の特徴量データの x 次元目の要素に変換する関数を表している。ここでの要素が第一の特徴量となる。

[0035] この次元削減処理として、例えば、主成分分析を用いることが考えられる。この場合、主成分分析によって得られた各主成分が特徴量となる。この際、共分散行列の固有値の大きい順に第一主成分から第 k 主成分までを抽出し、残りの主成分を除去すれば次元を削減することができる。ただし、 $k < M_v$ とする。

[0036] ニューラルネットワークを用いたオートエンコーダもまた、次元削減処理の好適な例のひとつである。この場合は、オートエンコーダのエンコーダネットワークの出力が特徴量となる。ここでエンコーダネットワークとは、オートエンコーダを構成するニューラルネットワークの一部であり、エンコーダ処理に関わるサブネットワークを意味している。

[0037] 加工結果の評価値と、評価値に対応する加工条件とに基づいて、加工が実施されていない加工条件に対応する評価値を予測した予測値を求め、予測値に基づいて最適加工条件を計算する技術をブラックボックス最適化という。ブラックボックス最適化の一種であるベイズ最適化における次元削減処理として、ランダム行列を使って低次元空間を高次元に埋め込む Random Embedding Bayesian Optimization (REMOBO)、又は、探索空間を一次元空間に制限する Line Bayesian Optimization (LINEBO) 等の処理が知られているが、これらも実施の形態 1 における次元削減処理として用いることができる。

。

ここで、REMBOについては、下記の文献1、LINEBOについては、下記の文献2に詳細に記載されている。

文献1: Wang, Ziyu, et al. "Bayesian optimization in high dimensions via random embeddings." Twenty-Third International Joint Conference on Artificial Intelligence. 2013

文献2: Kirschner, Johannes, et al. "Adaptive and Safe Bayesian Optimization in High Dimensions via One-Dimensional Subspaces." arXiv preprint arXiv:1902.03229 (2019)

[0038] また、この他の次元削減処理として、多次元尺度構成法、独立成分分析、非負値行列因子分析(NMF)、局所線形埋め込み法(LLE)、局所性保存射影(LPP)、ラプラス固有写像(LEP)、カーネル主成分分析、Karhunen-Loeve展開、t-SNE(t-distributed Stochastic Neighbor Embedding)等の処理が用いられてもよい。

[0039] なお、第一の次元削減部126は、可変パラメータデータの次元数 M_v が閾値 TH_v 以下である場合は、次元削減を行わず、可変パラメータデータそのものを第一の特徴量データとする。

そして、第一の次元削減部126は、第一の特徴量データを機械学習部128に与える。

[0040] 第二の次元削減部127は、固定パラメータデータで示される一又は複数の固定パラメータから、予め定められた次元である第二の次元以下の第二の特徴量を生成することで、複数の加工条件に対応する一又は複数の第二の特徴量を生成する第二の次元処理部である。ここでは、第二の次元削減部12

7は、複数の固定パラメータの次元が第二の次元よりも大きい場合に、複数の固定パラメータの次元を削減することで、第二の特徴量を生成する。

[0041] 例えば、第二の次元削減部127は、パラメータ選別部125によって生成された固定パラメータデータを分析し、固定パラメータデータの次元数 M_f が、予め定められた閾値 TH_f よりも大きいかな否かを判断する。第二の次元削減部127は、次元数 M_f が閾値 TH_f よりも大きい場合は、固定パラメータデータを閾値 TH_f 以下の次元数 L_f で表現した第二の特徴量データに変換する次元削減処理である第二の次元削減処理を行う。次元削減の具体的な処理は、第一の次元削減部126と同様である。ここで、次元数 M_f が第二の次元に対応する。また、次元数 L_f が2以上である場合には、第二の特徴量データに含まれている複数の次元の第二の特徴量を、第二の特徴量セットともいう。

[0042] 加工番号 n の固定パラメータに対する、第二の特徴量データの x 次元目の要素を $a_{f_{nx}}$ とすると、 $a_{f_{nx}}$ は、固定パラメータ値 $r_{n1}, r_{n2}, \dots, r_{nM_f}$ の関数となるから以下の(2)式で表される。

$$a_{f_{nx}} = h_x(r_{n1}, r_{n2}, \dots, r_{nM_f}) \quad (2)$$

ここで、 h_x は、固定パラメータを第二の特徴量データの x 次元目の要素に変換する関数を表している。ここでの要素が第二の特徴量となる。

[0043] また、固定パラメータデータの次元数 M_f が閾値 TH_f 以下である場合は、第二の次元削減部127は、次元削減を行わず、固定パラメータデータそのものを第二の特徴量データとする。

そして、第二の次元削減部127は、第二の特徴量データを機械学習部128に与える。

[0044] なお、固定パラメータは、後述する最適加工条件探索部132における探索対象とならないので、固定パラメータデータの次元数 M_f が大きい場合であっても、第二の次元削減処理を省略し、固定パラメータデータそのものを第二の特徴量データとしてもよい。

[0045] 機械学習部128は、一又は複数の第一の特徴量、一又は複数の第二の特

微量及び複数の評価値の関係を学習することで、学習モデルを生成する。

例えば、機械学習部 128 は、第一の次元削減部 126 より与えられる第一の特徴量データと、第二の次元削減部 127 より与えられる第二の特徴量データと、加工結果評価記憶部 123 に記憶されている加工結果評価情報に含まれている評価値とから、各特徴量を入力値、評価値を応答値とみなして両者の関係性を学習し、これを数理モデルで表現した学習モデルを生成する。

[0046] 学習モデルは、例えば、評価値が連続値又は離散値等の数値であれば回帰モデル、カテゴリ値又は論理値であれば分類モデルを適用することができる。新たな入力値、すなわち各特徴量の値が与えられたとき、これを学習モデルに入力すれば、これに対する加工結果の評価値の予測値を算出することができる。このような学習モデルを生成するための学習アルゴリズムの具体例は、線形回帰、非線形回帰、回帰木、モデル木、サポートベクター回帰、遺伝子プログラミング、ガウス過程回帰、線形判別分析、ロジスティック回帰、k 近傍法、サポートベクターマシン、決定木、ランダムフォレスト又はニューラルネットワーク等である。

[0047] モデル記憶部 129 は、機械学習部 128 で生成された学習モデルを記憶する。

[0048] 固定パラメータ記憶部 130 は、探索対象となる加工条件である対象加工条件において使用される一又は複数の固定パラメータを記憶する。固定パラメータ記憶部 130 に記憶されている一又は複数の固定パラメータを一又は複数の対象固定パラメータともいう。また、固定パラメータ記憶部 130 に記憶されている一又は複数の固定パラメータを示すデータを固定パラメータデータ又は対象固定パラメータデータともいう。

例えば、固定パラメータ記憶部 130 に記憶される固定パラメータについては、使用者の指示で設定されたり、特定の条件で自動的に設定されるようにしたり、図示しない通信手段を通じて別の機器から入力されるようにすればよい。

なお、選別フラグ記憶部 124 に記憶されている選別フラグ又は固定パラメータ記憶部 130 に記憶されている固定パラメータは、後述の探索手順が一通り実施された後に、変更できるようにしてもよい。

[0049] 第三の次元削減部 131 は、固定パラメータ記憶部 130 に記憶されている一又は複数の固定パラメータから、第二の次元以下の第三の特徴量を生成する第三の次元処理部である。ここでは、第三の次元削減部 131 は、その複数の固定パラメータの次元が第二の次元よりも大きい場合に、その複数の固定パラメータの次元を削減することで、第三の特徴量を生成する。

[0050] 例えば、第三の次元削減部 131 は、固定パラメータ記憶部 130 に記憶されている固定パラメータデータを分析し、固定パラメータデータの次元数 M_f が閾値 TH_f よりも大きいかな否かを判断する。第三の次元削減部 131 は、次元数 M_f が閾値 TH_f よりも大きい場合は、固定パラメータデータを次元数 M_f 以下の次元数 L_f で表現した第三の特徴量データに変換する次元削減処理である第三の次元削減処理を行う。第三の次元削減処理は第二の次元削減部 127 で行われる第二の次元削減処理と同一の次元削減処理である。第三の特徴量データは、最適加工条件探索部 132 に与えられる。なお、次元数 L_f が 2 以上である場合には、第三の特徴量データに含まれている複数の第三の特徴量を、第三の特徴量セットともいう。

[0051] 第二の次元削減処理が主成分分析であれば、第三の次元削減部 131 は、その際に使用された固有値と、固有ベクトルとを用いて主成分を第二の特徴量データと同数抽出すればよい。

また、第二の次元削減処理がオートエンコーダを使用している場合は、第三の次元削減部 131 は、第二の次元削減部 127 と同一のエンコーダネットワークに固定パラメータを入力し、その出力を第三の特徴量とすればよい。

なお、固定パラメータデータの次元数 M_f が所定の閾値 TH_f 以下である場合、第三の次元削減部 131 は、第三の次元削減処理を行わずに、固定パラメータ記憶部 130 から読みだした固定パラメータデータそのものを第三

の特微量データとして、最適加工条件探索部 132 に与える。

[0052] 最適加工条件探索部 132 は、第三の特微量及び学習モデルを使用して、対象加工条件において使用される複数の可変パラメータである複数の対象可変パラメータの特微量の最適値を探索する探索部である。

例えば、最適加工条件探索部 132 は、モデル記憶部 129 に記憶されている学習モデルを用いて、最適加工条件を探索する。この際、最適加工条件探索部 132 は、第三の次元削減部 131 から与えられる第三の特微量データと、予め定められた方法で生成された複数の可変パラメータの特微量の候補とを学習モデルへの入力として与え、これに対する学習モデルの応答として得られた評価値の予測値を取得する。そして、最適加工条件探索部 132 は、最も良好な予測値を与える候補を最適加工条件として、次元復元部 133 に与える。なお、最適加工条件に含まれている候補が最適値に相当する。

[0053] 次元復元部 133 は、最適値及び一又は複数の対象固定パラメータから、対象加工条件として探索された加工条件である探索加工条件を特定する特定部である。ここでは、次元復元部 133 は、複数の可変パラメータの次元が第一の次元よりも大きい場合に、最適値から複数の可変パラメータの次元と同一の次元となるようにパラメータを復元する。

[0054] 例えば、次元復元部 133 は、可変パラメータデータの次元数 M_v が閾値 TH_v よりも大きい場合に、最適加工条件探索部 132 から与えられた最適加工条件を、可変パラメータに変換する。例えば、変換後の x 次元目の可変パラメータ値を q_x^* 、最適加工条件として出力された可変パラメータの特微量の y 次元目の要素を $a_{v_y}^*$ とすると、 q_x^* は $a_{v_1}^*, a_{v_2}^*, \dots, a_{v_{L_v}}^*$ の関数となるから以下の (3) 式で表される。

$$q_x^* = g(a_{v_1}^*, a_{v_2}^*, \dots, a_{v_{L_v}}^*) \quad (3)$$

[0055] ここで、 g は、特微量を可変パラメータに変換する関数を表している。例えば、次元圧縮処理が主成分分析であれば、次元復元部 133 は、次元圧縮処理で使用された固有値と、固有ベクトルとを用いて、最適加工条件を可変パラメータに変換することができる。

また、次元圧縮処理がオートエンコーダであれば、次元復元部 133 は、デコーダネットワークに特徴量を入力すれば、出力として可変パラメータを得ることができる。ここでデコーダネットワークとは、オートエンコーダを構成するニューラルネットワークの一部であり、デコーダ処理に関わるサブネットワークを意味している。

なお、次元復元部 133 は、可変パラメータデータの次元数 M_v が閾値 T_{H_v} よりも小さい場合、次元復元は行わず最適加工条件探索部 132 から与えられた最適加工条件を、そのまま可変パラメータとする。

[0056] 加工条件指令部 134 は、探索加工条件を加工機 110 に与えて、加工機 110 に探索加工条件で加工を行わせるとともに、加工結果評価情報に探索加工条件を追加する。

例えば、加工条件指令部 134 は、次元復元部 133 から与えられた可変パラメータと、固定パラメータ記憶部 130 から読みだした固定パラメータとを合わせて加工条件とし、その加工条件で加工を行うように加工機 110 に指令する。また、加工条件指令部 134 は、その加工条件を加工結果評価記憶部 123 に記憶されている加工結果評価情報に格納する。

[0057] この際、図示しない入力部を介して、使用者が加工条件を任意に修正できるようにしてもよい。その場合、使用者が修正を施した加工条件が、加工条件指令部 134 から加工機 110 及び加工結果評価記憶部 123 に出力される。

[0058] 以上のようにして、加工条件探索装置 120 から加工条件が与えられると、加工機 110 は、その加工条件に従って、加工を実施する。そして、加工機 110 は、その加工の結果を示す加工結果情報を加工条件探索装置 120 に与える。

[0059] 次に、加工条件探索装置 120 のハードウェア構成を説明する。

図 2 に示されている加工結果取得部 121、加工結果評価部 122、パラメータ選別部 125、第一の次元削減部 126、第二の次元削減部 127、機械学習部 128、第三の次元削減部 131、最適加工条件探索部 132、

次元復元部 133 及び加工条件指令部 134 は、それぞれ処理回路により実現することができる。

処理回路は、プロセッサを備える回路であってもよいし、専用のハードウェアであってもよい。また、これらは、これらをクラウド等のコンピュータネットワーク上で接続して構成した分散コンピューティング環境において実現されてもよい。言い換えると、加工条件探索装置 120 は、コンピュータにより実現されてもよい。

[0060] 加工結果評価記憶部 123、選別フラグ記憶部 124、モデル記憶部 129 及び固定パラメータ記憶部 130 は、記憶装置によって実現することができる。

記憶装置は、DRAM (Dynamic Random Access Memory)、SRAM (Static Random Access Memory) 若しくはフラッシュメモリ等の半導体メモリ、磁気ディスク、光学ディスク若しくは磁気テープ等の記録媒体、又は、コンピュータネットワーク上のデータストレージが該当する。

[0061] 図 5 は、加工条件探索装置 120 のハードウェア構成例を示すブロック図である。

上述した処理回路 140 は、例えば、プロセッサ 141 及びメモリ 142 を備える。

加工条件探索装置 120 の各部が処理回路 140 によって実現される場合、プロセッサ 141 が、メモリ 142 に格納されたプログラムを読み出して実行することにより、加工結果取得部 121、加工結果評価部 122、パラメータ選別部 125、第一の次元削減部 126、第二の次元削減部 127、機械学習部 128、第三の次元削減部 131、最適加工条件探索部 132、次元復元部 133 及び加工条件指令部 134 が実現される。

[0062] 言い換えると、加工条件探索装置 120 の各部が処理回路 140 によって実現される場合、加工結果取得部 121、加工結果評価部 122、パラメータ選別部 125、第一の次元削減部 126、第二の次元削減部 127、機械

学習部 128、第三の次元削減部 131、最適加工条件探索部 132、次元復元部 133 及び加工条件指令部 134 は、ソフトウェアであるプログラムを用いて実現される。

[0063] このようなプログラムは、ネットワークを通じて提供されてもよく、また、記録媒体に記録されて提供されてもよい。即ち、このようなプログラムは、例えば、プログラムプロダクトとして提供されてもよい。

[0064] また、加工結果評価記憶部 123、選別フラグ記憶部 124、モデル記憶部 129 及び固定パラメータ記憶部 130 は、メモリ 142 により実現される。

メモリ 142 は、プロセッサ 141 の作業領域としても使用される。

[0065] プロセッサ 141 は、CPU (Central Processing Unit) 等である。メモリ 142 は、例えば、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ等の、不揮発性又は揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク等が該当する。

[0066] なお、加工結果取得部 121、加工結果評価部 122、パラメータ選別部 125、第一の次元削減部 126、第二の次元削減部 127、機械学習部 128、第三の次元削減部 131、最適加工条件探索部 132、次元復元部 133 及び加工条件指令部 134 を実現する処理回路が、専用ハードウェアである場合、その処理回路は、例えば、FPGA (Field Programmable Gate Array)、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) である。

[0067] 加工条件探索装置 120 の各部は、プロセッサを備える処理回路及び専用ハードウェアを組み合わせ実現されてもよい。または、加工条件探索装置 120 は、クラウド等のコンピュータネットワークにより、上述したようなプロセッサを備える処理回路あるいは専用ハードウェアを複数接続することで実現されてもよい。

言い換えると、加工条件探索装置 120 の各部は、処理回路網により実現

することができる。

[0068] 次に、実施の形態１に係る加工システム１００の動作について説明する。

図６は、実施の形態１に係る加工システム１００の動作を示すフローチャートである。

まず、選別フラグ記憶部１２４は、選別フラグを記憶する（Ｓ１０）。ここでは、例えば、加工システム１００の使用者が図示しない入力部を介して、加工機１１０で使用する複数のパラメータの各々の種別について、可変パラメータであるか、固定パラメータであるかを設定することで、その設定に従って選別フラグを記憶させればよい。

[0069] 次に、固定パラメータ記憶部１３０は、ステップＳ１０で記憶された選別フラグによって変更不可能な固定パラメータに指定されたパラメータについて、その値を固定パラメータデータとして記憶する（Ｓ１１）。この固定パラメータデータも、また、例えば、図示しない入力部を介して、使用者の指示で設定されればよい。

[0070] 次に、パラメータ選別部１２５は、加工結果評価記憶部１２３から複数のパラメータを読み出し、選別フラグ記憶部１２４に記憶されている選別フラグを参照することで、その複数のパラメータの各々を、可変パラメータ又は固定パラメータに選別する（Ｓ１２）。そして、パラメータ選別部１２５は、選別された可変パラメータを示す可変パラメータデータ及び選別された固定パラメータを示す固定パラメータデータを生成し、可変パラメータデータを第一の次元削減部１２６に与え、固定パラメータデータを第二の次元削減部１２７に与える。

[0071] 第一の次元削減部１２６は、パラメータ選別部１２５によって生成された可変パラメータデータを分析し、可変パラメータデータの次元数 M_v が閾値 TH_v よりも大きいかな否かを判断する（Ｓ１３）。次元数 M_v が閾値 TH_v よりも大きい場合（Ｓ１３でＹｅｓ）には、処理はステップＳ１４に進み、次元数 M_v が閾値 TH_v 以下の場合（Ｓ１３でＮｏ）には、処理はステップＳ１５に進む。なお、次元数 M_v が閾値 TH_v 以下の場合（Ｓ１３でＮｏ）

には、第一の次元削減部 1 2 6 は、次元削減を行わずに、可変パラメータデータそのものを第一の特徴量データとして機械学習部 1 2 8 に与える。

[0072] ステップ S 1 4 では、第一の次元削減部 1 2 6 は、可変パラメータデータを、閾値 T_{Hv} よりも小さい次元数 L_v で表現した第一の特徴量データに変換する。

[0073] ステップ S 1 5 では、第二の次元削減部 1 2 7 は、パラメータ選別部 1 2 5 によって選別された固定パラメータデータを分析し、固定パラメータデータの次元数 M_f が閾値 T_{Hf} よりも大きいかな否かを判断する。次元数 M_f が閾値 T_{Hf} よりも大きい場合 (S 1 5 で Yes) には、処理はステップ S 1 6 に進み、次元数 M_f が閾値 T_{Hf} 以下の場合 (S 1 5 で No) には、処理はステップ S 1 7 に進む。なお、次元数 M_f が閾値 T_{Hf} 以下の場合 (S 1 5 で No) には、第二の次元削減部 1 2 7 は、次元削減を行わずに、固定パラメータデータそのものを第二の特徴量データとして機械学習部 1 2 8 に与える。

[0074] ステップ S 1 6 では、第二の次元削減部 1 2 7 は、固定パラメータデータを、閾値 T_{Hf} よりも少ない次元数 L_f で表現した第二の特徴量データに変換する。

[0075] ステップ S 1 7 では、第三の次元削減部 1 3 1 は、固定パラメータ記憶部 1 3 0 に記憶されている固定パラメータデータの次元数 M_f が閾値 T_{Hf} よりも大きいかな否かを判断する。次元数 M_f が閾値 T_{Hf} よりも大きい場合 (S 1 7 で Yes) には、処理はステップ S 1 8 に進み、次元数 M_f が閾値 T_{Hf} 以下の場合 (S 1 7 で No) には、処理はステップ S 1 9 に進む。なお、次元数 M_f が閾値 T_{Hf} 以下の場合 (S 1 7 で No) には、第三の次元削減部 1 3 1 は、次元削減を行わずに、固定パラメータデータそのものを第三の特徴量データとして最適加工条件探索部 1 3 2 に与える。

[0076] ステップ S 1 8 では、第三の次元削減部 1 3 1 は、固定パラメータ記憶部 1 3 0 から固定パラメータデータを読み出し、これに対して第二の次元削減部 1 2 7 と同一の次元削減処理を行うことで第三の特徴量データに変換し、

その第三の特微量データを最適加工条件探索部 1 3 2 に与える。

[0077] ステップ S 1 9 では、機械学習部 1 2 8 は、第一の次元削減部 1 2 6 より与えられる第一の特微量データと、第二の次元削減部 1 2 7 より与えられる第二の特微量データと、加工結果評価記憶部 1 2 3 に記憶されている加工結果評価記憶部に記憶されている加工結果評価情報に含まれている複数の評価値とを読み込み、各特微量を入力値、その評価値を応答値とみなして両者の関係性を学習し、これを数理モデルで表現した学習モデルを生成する。生成された学習モデルは、モデル記憶部 1 2 9 に記憶される。

[0078] 次に、最適加工条件探索部 1 3 2 は、モデル記憶部 1 2 9 に記憶されている学習モデルを用いて最適加工条件を探索する（S 2 0）。この際、最適加工条件探索部 1 3 2 は、第三の次元削減部 1 3 1 から与えられた第三の特微量データと、予め定められた方法で生成された複数の可変パラメータの特微量の候補を学習モデルへの入力値として与え、これに対する学習モデルの応答として得られた評価値の予測値を取得し、最も良好な予測値を与える候補を最適加工条件とする。

[0079] 図 7 は、実施の形態 1 における探索方法を説明するための概略図である。

図 7 では、評価値が可変パラメータの特微量 a_v と、固定パラメータの特微量 a_f とによって決定される場合の例として、可変パラメータの特微量 a_v を横軸、固定パラメータの特微量 a_f を縦軸とするグラフが示されている。

[0080] 図 7 において、四角形で示されている点 P 0 1 ~ P 0 6 は、加工結果評価記憶部 1 2 3 に記憶されている探索済みの加工条件を示している。

また領域 R 1 1、領域 R 1 2 及び領域 R 1 3 は、探索済みの加工条件のデータを基に機械学習部 1 2 8 が学習し生成した学習モデルにより、加工結果が不良、良及び最良と予測される領域をそれぞれ表している。ここでは一例として評価値が不良率であるものとする。そして、評価値が、0 % から 1 0 0 % までの連続値をとるものとして、不良率 1 % 未満を最良、5 % 未満を良、5 % 以上を不良と定義する。このため、領域 R 1 1 における評価値の予測

値は、5%以上、領域R12における評価値の予測値は、1%以上で、5%未満、領域R13における評価値の予測値は、1%未満となる。

なお、これらの領域は自明ではなく、各々の座標に対応する可変パラメータの特微量の値 a_v 及び固定パラメータの特微量の値 a_f を学習モデルに入力し、これに対する予測値を取得してはじめて観測できるものであるという点に注意する必要がある。

[0081] いま、ある第三の特微量が固定パラメータの特微量の値として a_{f*} を示しているとする、探索空間は、図7に示されている破線L上となる。探索空間の次元数はすなわち可変パラメータの特微量、言い換えると第一の特微量の次元数に等しい。この例では簡便な図で説明するため可変パラメータの特微量を1次元としているが、2次元以上の場合には探索空間もまた2次元以上となる。

[0082] 探索候補は、このように第三の特微量によって制限された探索空間上の点から選択されるが、その選択方法は任意の手段が用いられてもよい。例えば、グリッドサーチのように探索空間を所定の間隔で格子状に区切り、各々の格子点を探索候補とするようにしてもよいし、ランダムサーチのように探索空間上の任意の点を所定の数だけ無作為に選ぶようにしてもよい。あるいは、山登り法、焼きなまし法、粒子群最適化法又はベイズ最適化等の手法により、1点ずつ候補点を選出しながらその予測値を求め、この結果を基に次の候補点を定めるような、逐次最適化手法が用いられてもよい。

[0083] 破線L上において、三角で示されている点P21、丸で示されている点P22及び二重丸で示されている点P23は、予め定められた方法で選定された探索候補を表しており、それぞれの点の横軸座標が可変パラメータの特微量の候補となる。

[0084] いま、三角で示された点P21に対応する第一の探索候補において予測された不良率が5%以上、例えば12%であるものとする。丸で示された点P22に対応する第二の探索候補において予測された不良率が1%以上5%未満、例えば3%であるものとする。二重丸で示された点P23に対応する第

三の探索候補において予測された不良率が1%未満、例えば0.2%であったものとする。このとき、最適加工条件探索部132は、点P23で示される第三の探索候補を最良と判断して、その候補における可変パラメータの特徴量 a_v^* を最適加工条件として次元復元部133に与える。

[0085] なお、機械学習部128が生成する学習モデルがガウス過程回帰モデルであれば、最適加工条件探索部132は、これを用いて評価値の予測値だけでなく、その信頼区間も計算することが可能である。そして、最適加工条件探索部132は、計算された信頼区間に基づいて計算される獲得関数により、任意の未探索点について、探索すべきか否かを示すスコアを計算することができる。このような場合、最適加工条件探索部132は、獲得関数によって計算されるスコアが最大となるような探索点における、可変パラメータの特徴量を最適加工条件とするようにしてもよい。

[0086] 以上のように、最適加工条件探索部132は、固定パラメータの特徴量を保持したまま、可変パラメータの特徴量についてのみ最適な候補を選択し最適加工条件とするため、固定パラメータを変更することなく可変パラメータについてのみ探索することが可能となる。また、最適加工条件探索部132は、学習モデルにより最良の結果が得られると予測された候補を最適加工条件として選出するので、加工機110による実際の試行をより少なくし、効率的な加工条件の探索を可能にする。

[0087] 図6に戻り、次元復元部133は、可変パラメータデータの次元数 M_v が閾値 TH_v よりも大きいかなんかを判断する(S21)。可変パラメータデータの次元数 M_v が閾値 TH_v よりも大きい場合(S21でYes)には、処理はステップS22に進み、可変パラメータデータの次元数 M_v が閾値 TH_v 以下である場合(S21でNo)には、処理はステップS23に進む。

[0088] ステップS22では、次元復元部133は、最適加工条件探索部132から与えられた最適加工条件を、可変パラメータに変換する。そして、次元復元部133は、その可変パラメータと、固定パラメータ記憶部130から読みだした固定パラメータとを合わせた加工条件を探索加工条件として加工条

件指令部 134 に与える。

一方、ステップ S21 で N の場合には、次元復元部 133 は、次元復元を行わずに、最適加工条件探索部 132 から与えられた最適加工条件を、そのまま可変パラメータとし、その可変パラメータと、固定パラメータ記憶部 130 から読みだした固定パラメータとを合わせた加工条件を探索加工条件として加工条件指令部 134 に与える。

[0089] 次に、加工条件指令部 134 は、次元復元部 133 から与えられた加工条件で加工を行うように加工機 110 に指令する (S23)。また、加工条件指令部 134 は、加工結果評価記憶部 123 に記憶されている加工結果評価情報に、この加工条件を追加する。

なお、この際、図示しない入力部を介して使用者が加工条件を任意に修正できるようにしてもよい。この場合、使用者が修正を施した加工条件が、加工条件指令部 134 から加工機 110 及び加工結果評価記憶部 123 に与えられる。

[0090] 次に、加工機 110 は、加工条件指令部 134 から与えられた加工条件に従って加工を実施する (S24)。

そして、加工結果取得部 121 は、加工機 110 から、加工結果情報を取得する (S25)。

[0091] 加工結果評価部 122 は、加工結果取得部 121 が取得した加工結果情報に基づいて加工結果の評価値を定める (S26)。

そして、加工結果評価部 122 は、その評価値を、加工結果評価記憶部 123 に記憶されている加工結果評価情報に、加工条件指令部 134 により追加された加工条件に対応付けて格納する。

[0092] そして、パラメータ選別部 125 は、処理を終了するか否かを判断する (S28)。処理を終了しない場合 (S28 で N) は、処理はステップ S12 に戻り、上述の処理が繰り返される。処理を終了するか否かについては、任意の方法で判断されればよい。例えば、任意の反復回数の上限が定められていてもよいし、又は、使用者が加工結果を見て終了を指示できるようにし

てもよい。さらに、何らかの基準に従い、加工条件探索装置 120 が自ら探索を終了できるようにしてもよい。

[0093] 以上のように、実施の形態 1 によれば、加工条件を、固定パラメータと、可変パラメータとに分けて個別に次元削減を行って各々の特徴量に変換し、固定パラメータの特徴量を保持したまま、可変パラメータの特徴量について最適加工条件を探索するようにしたので、加工条件を構成するパラメータが高次元であり、かつ、その一部が変更不可能なパラメータであっても、変更可能なパラメータについてのみ効率的に最適値を探索することができる。

[0094] また、実施の形態 1 によれば、可変パラメータが高次元であっても、可変パラメータを次元削減して得られた、可変パラメータよりも低次元な可変パラメータの特徴量に対して最適加工条件を探索するようにしたことで、探索空間が低次元となり、最適加工条件の探索が容易になる。

[0095] また、実施の形態 1 によれば、加工条件を構成するパラメータが高次元であっても、次元削減によって得られた、より低次元な特徴量に基づいて機械学習及び最適加工条件の探索を行うようにしたことで、これらの処理に要する計算能力又はメモリ容量を軽減することができる。

[0096] また、実施の形態 1 によれば、学習モデルにより最良の結果が得られると予測された候補を最適加工条件として選出するので、加工機 110 による実際の試行をより少なくし、効率的な加工条件の探索を可能にすることができる。

[0097] また、実施の形態 1 によれば、加工条件と、評価値との関係を学習する機械学習において、最適加工条件の探索対象となる、可変パラメータの特徴量だけでなく、固定パラメータの特徴量も用いて機械学習を行って学習モデルを作成するようにし、固定パラメータも加味して加工結果の評価値を予測できるようにしたことで、予測精度を向上することができる。

[0098] 実施の形態 2.

実施の形態 1 では、選別フラグに従って可変パラメータと固定パラメータとを選別している。しかしながら、選別フラグにおいて可変パラメータに選

別されたパラメータであっても、固定パラメータとの相関性が高く、固定パラメータに振り分け可能なパラメータが存在する。実施の形態2では、そのようなパラメータを自動的に識別して、固定パラメータに振り分けする。

[0099] 図1に示されているように、実施の形態2に係る加工システム200は、加工機110と、加工条件探索装置220とを備える。

実施の形態2に係る加工システム200における加工機110は、実施の形態1に係る加工システム100における加工機110と同様である。

[0100] 図2に示されているように、実施の形態2における加工条件探索装置220は、加工結果取得部121と、加工結果評価部122と、加工結果評価記憶部123と、選別フラグ記憶部124と、パラメータ選別部225と、第一の次元削減部126と、第二の次元削減部127と、機械学習部128と、モデル記憶部129と、固定パラメータ記憶部130と、第三の次元削減部131と、最適加工条件探索部132と、次元復元部133と、加工条件指令部134とを備える。

[0101] 実施の形態2における加工条件探索装置220の加工結果取得部121、加工結果評価部122、加工結果評価記憶部123、選別フラグ記憶部124、第一の次元削減部126、第二の次元削減部127、機械学習部128、モデル記憶部129、固定パラメータ記憶部130、第三の次元削減部131、最適加工条件探索部132、次元復元部133及び加工条件指令部134は、実施の形態1における加工条件探索装置220の加工結果取得部121、加工結果評価部122、加工結果評価記憶部123、選別フラグ記憶部124、第一の次元削減部126、第二の次元削減部127、機械学習部128、モデル記憶部129、固定パラメータ記憶部130、第三の次元削減部131、最適加工条件探索部132、次元復元部133及び加工条件指令部134と同様である。

[0102] パラメータ選別部225は、加工結果評価記憶部123に記憶されている加工結果評価情報に含まれている複数のパラメータの各々を、可変パラメータ又は固定パラメータに選別し、選別された可変パラメータを示す可変パラ

メータデータ及び選別された固定パラメータを示す固定パラメータデータを生成する。

[0103] 図8は、実施の形態2におけるパラメータ選別部225の構成を概略的に示すブロック図である。

パラメータ選別部225は、初期振分部250と、パラメータデータ記憶部251と、パラメータ振分部254と、出力部258とを備える。

[0104] 初期振分部250は、選別フラグを参照することで、複数のパラメータを、複数の可変パラメータ及び一又は複数の固定パラメータに振り分ける。ここで、初期振分部250により可変パラメータに振り分けられたパラメータを初期可変パラメータともいい、初期振分部250により固定パラメータに振り分けられたパラメータを初期固定パラメータともいう。

[0105] 例えば、初期振分部250は、選別フラグ記憶部124から読み出された選別フラグに従い、加工結果評価記憶部123に記憶されている加工結果評価情報に含まれている複数のパラメータの各々を、固定パラメータ又は可変パラメータに、初期状態として振り分けることで、振り分けられた可変パラメータを示す可変パラメータデータ及び振り分けられた固定パラメータを示す固定パラメータデータを生成する。

そして、初期振分部250は、可変パラメータデータ及び固定パラメータをパラメータデータ記憶部251に記憶させる。

[0106] パラメータデータ記憶部251は、初期振分部250により生成された可変パラメータデータを記憶する可変パラメータデータ記憶部252と、初期振分部250により生成された固定パラメータデータを記憶する固定パラメータデータ記憶部253とを備える。

[0107] パラメータ振分部254は、初期振分部250により初期状態として振り分けられた可変パラメータ及び固定パラメータを、最終的に振り分ける。

パラメータ振分部254は、相関性分析部255と、再振分部256とを備える。

[0108] 相関性分析部255は、複数の初期可変パラメータの各々と、一又は複数

の初期固定パラメータの各々との複数の組み合わせを特定し、その複数の組み合わせの各々の相関性を分析する。

例えば、相関性分析部 255 は、可変パラメータデータ記憶部 252 に記憶された可変パラメータデータと、固定パラメータデータ記憶部 253 に記憶された固定パラメータデータについて、パラメータの種別毎に組み合わせ、そのパラメータ間の相関性を分析する。

[0109] 具体的には、図 4 (A) に示されているように、可変パラメータデータ記憶部 252 には過去の N 回の加工について、Mv 種の可変パラメータデータ 102 が記憶され、図 4 (B) に示されているように、固定パラメータデータ記憶部 253 には Mf 種の固定パラメータデータ 103 がそれぞれ記憶されているとする。この場合、次の (4) 式で表される相関性スコア ϕ_{xy} が全ての x 及び y の組み合わせについて計算される。

$$\phi_{xy} = \Phi(Qx, Ry) \quad (4)$$

[0110] ただし、 $1 < x < Mv$ 、 $1 < y < Mf$ であり、Qx は可変パラメータデータ 102 の内、パラメータ番号 x の過去 N 回分の可変パラメータ値 q_{1x} , q_{2x} , $\dots$, q_{Nx} を要素とするベクトル、Ry は固定パラメータデータ 103 の内、パラメータ番号 y の過去 N 回分の固定パラメータ値 r_{1y} , r_{2y} , $\dots$, r_{Ny} を要素とするベクトルである。

また、関数 Φ は、ベクトル間の相関性を表す数値を出力する関数である。相関性スコア ϕ_{xy} の具体例は相関係数の絶対値や交差エントロピー、KL (Kullback-Leibler) 情報量又はその他の相互情報量等である。

[0111] 図 9 (A) 及び (B) は、Qx と Rx との相関性が低い場合と、高い場合との例を示している。

図 9 (A) は、Qx と Rx との相関性が低い場合を示しており、図 9 (B) は、Qx と Rx との相関性が高い場合を示している。

なお、図 9 (A) 及び (B) に示されているグラフでは、縦軸は、パラメータ番号 x の可変パラメータを示し、横軸は、パラメータ番号 y の固定パラ

メータを示す。

[0112] 図9（A）に示されているように、相関性が低い場合は、可変パラメータと、固定パラメータとは、ほぼ無相関に分布しているのに対し、図9（B）に示されているように、相関性が高い場合は、可変パラメータと、固定パラメータとの間に一定の関係が認められる。言い換えると、後者の場合、可変パラメータは、固定パラメータに連動しているとみなすことができる。また、後者の場合、可変パラメータは、固定パラメータが決定されたときに自動的に値が定まるパラメータであると見なすこともできる。このため、そのような可変パラメータは、固定パラメータに含めてしまうことができる。これは逆相関の場合も同様である。

[0113] 従って、再振分部256は、相関性分析部255が計算した相関性スコアに基づいて、可変パラメータデータの再振り分けを行う。具体的には、再振分部256は、予め定められた閾値 TH_{ϕ} に従い、 $\phi_{xy} > TH_{\phi}$ を満たす可変パラメータを固定パラメータに振り分けて、そのような可変パラメータを固定パラメータデータ内に格納する。

言い換えると、再振分部256は、複数の初期可変パラメータの各々と、一又は複数の初期固定パラメータの各々との複数の組み合わせの内、相関性が予め定められた閾値よりも高い組み合わせに含まれている初期可変パラメータを、初期固定パラメータに振り分け直すことで、振り分け後の複数の初期可変パラメータを複数の可変パラメータとして確定し、振り分け後の一又は複数の初期固定パラメータを一又は複数の固定パラメータとして確定する。

[0114] 出力部258は、再振分部256の再振分けが完了した後、パラメータデータ記憶部251に記憶されている可変パラメータデータを第一の次元削減部126に与え、固定パラメータデータを第二の次元削減部127に与える。

[0115] 図10は、実施の形態2におけるパラメータ選別部225におけるパラメータ選別動作の一例を示すフローチャートである。

まず、初期振分部 250 は、初期の振分けとして選別フラグ記憶部 124 に記憶されている加工結果評価情報に含まれている複数のパラメータを初期状態として振り分けることで、可変パラメータデータ及び固定パラメータデータを生成する (S30)。生成された可変パラメータデータは、可変パラメータデータ記憶部 252 に記憶され、生成された固定パラメータデータは、固定パラメータデータ記憶部 253 に記憶される。

[0116] 次に、相関性分析部 255 は、可変パラメータデータ記憶部 252 に記憶された可変パラメータデータと、固定パラメータデータ記憶部 253 に記憶された固定パラメータデータについて、パラメータの種別毎に組み合わせて、そのパラメータ間の相関性を分析する (S31)。ここでは、相関性スコア ϕ_{xy} が計算される。

[0117] 次に、再振分部 256 は、可変パラメータを識別するためのパラメータ番号 x を「1」に初期化する (S32)。

そして、再振分部 256 は、パラメータ番号 x が、最大値 M_v を超えるまで、以下の処理を繰り返し行う (S33)。

[0118] 再振分部 256 は、固定パラメータを識別するためのパラメータ番号 y を「1」に初期化する (S34)。

そして、再振分部 256 は、パラメータ番号 y が、最大値 M_f を超えるまで、以下の処理を繰り返し行う (S35)。

[0119] 再振分部 256 は、相関性分析部 255 が計算した相関性スコア ϕ_{xy} が、予め定められた閾値 $TH\phi$ を超えているか否かを判断する (S36)。相関性スコア ϕ_{xy} が閾値 $TH\phi$ を超えている場合 (S36 で Yes) には、処理はステップ S37 に進み、相関性スコア ϕ_{xy} が閾値 $TH\phi$ 以下である場合 (S36 で No) には、処理はステップ S38 に進む。

[0120] ステップ S37 では、再振分部 256 は、相関性スコア ϕ_{xy} が閾値 $TH\phi$ を超えたと判断された際のパラメータ番号 x の可変パラメータ Q_x を固定パラメータとして振分け直す。具体的には、再振分部 256 は、可変パラメータデータ記憶部 252 から可変パラメータ Q_x を抜き出し、それを固定パラ

メータデータ記憶部 253 に記憶されている固定パラメータデータに追加する。

[0121] ステップ S38 では、再振分部 256 は、パラメータ番号 y に「1」を加算する。

そして、再振分部 256 は、パラメータ番号 y が最大値 Mf 以下であるか否かを判断する (S39)。パラメータ番号 y が最大値 Mf 以下である場合 (S39 で Yes) には、処理はステップ S35 に戻り、パラメータ番号 y が最大値 Mf を超えている場合 (S39 で No) には、処理はステップ S40 に進む。

[0122] ステップ S40 では、再振分部 256 は、パラメータ番号 x に「1」を加算する。

そして、再振分部 256 は、パラメータ番号 x が最大値 Mv 以下であるか否かを判断する (S41)。パラメータ番号 x が最大値 Mv 以下である場合 (S41 で Yes) には、処理はステップ S33 に戻り、パラメータ番号 x が最大値 Mv を超えている場合 (S41 で No) には、処理はステップ S42 に進む。

[0123] ステップ S42 では、出力部 258 は、パラメータデータ記憶部 251 に記憶されている可変パラメータデータ及び固定パラメータデータを出力する。

[0124] 以上のように、実施の形態 2 によれば、選別フラグに従って一旦、可変パラメータとして識別されたパラメータも、固定パラメータとの相関性を分析し、相関性が高い場合に固定パラメータに再振分けされる。これにより、より可変パラメータの次元を減らすことができ、最適加工条件の探索がしやすくなる。

[0125] 実施の形態 3.

実施の形態 2 では、選別フラグにおいて可変パラメータとされたパラメータであっても、固定パラメータとの相関性が高い場合に、その可変パラメータを固定パラメータに振分けている。実施の形態 3 は、選別フラグにおいて

可変パラメータとされたパラメータが加工結果に寄与するか否かを分析し、寄与しない可変パラメータを固定パラメータに振り分ける。

[0126] 図1に示されているように、実施の形態3に係る加工システム300は、加工機110と、加工条件探索装置320とを備える。

実施の形態3に係る加工システム300における加工機110は、実施の形態1に係る加工システム100における加工機110と同様である。

[0127] 図2に示されているように、実施の形態3における加工条件探索装置320は、加工結果取得部121と、加工結果評価部122と、加工結果評価記憶部123と、選別フラグ記憶部124と、パラメータ選別部325と、第一の次元削減部126と、第二の次元削減部127と、機械学習部128と、モデル記憶部129と、固定パラメータ記憶部130と、第三の次元削減部131と、最適加工条件探索部132と、次元復元部133と、加工条件指令部134とを備える。

[0128] 実施の形態3における加工条件探索装置320の加工結果取得部121、加工結果評価部122、加工結果評価記憶部123、選別フラグ記憶部124、第一の次元削減部126、第二の次元削減部127、機械学習部128、モデル記憶部129、固定パラメータ記憶部130、第三の次元削減部131、最適加工条件探索部132、次元復元部133及び加工条件指令部134は、実施の形態1における加工条件探索装置220の加工結果取得部121、加工結果評価部122、加工結果評価記憶部123、選別フラグ記憶部124、第一の次元削減部126、第二の次元削減部127、機械学習部128、モデル記憶部129、固定パラメータ記憶部130、第三の次元削減部131、最適加工条件探索部132、次元復元部133及び加工条件指令部134と同様である。

[0129] パラメータ選別部325は、加工結果評価記憶部123に記憶されている加工結果評価情報に含まれている複数のパラメータの各々を、可変パラメータ又は固定パラメータに選別し、選別された可変パラメータを示す可変パラメータデータ及び選別された固定パラメータを示す固定パラメータデータを

生成する。

[0130] 図 1 1 は、実施の形態 3 におけるパラメータ選別部 3 2 5 の構成を概略的に示すブロック図である。

パラメータ選別部 3 2 5 は、初期振分部 2 5 0 と、パラメータデータ記憶部 2 5 1 と、パラメータ振分部 3 5 4 と、出力部 2 5 8 とを備える。

実施の形態 3 におけるパラメータ選別部 3 2 5 の初期振分部 2 5 0、パラメータデータ記憶部 2 5 1 及び出力部 2 5 8 は、実施の形態 2 におけるパラメータ選別部 3 2 5 の初期振分部 2 5 0、パラメータデータ記憶部 2 5 1 及び出力部 2 5 8 と同様である。

[0131] パラメータ振分部 3 5 4 は、初期振分部 2 5 0 により初期状態として振り分けられた可変パラメータ及び固定パラメータを、最終的に振り分ける。

パラメータ振分部 3 5 4 は、再振分部 3 5 6 と、寄与度分析部 3 5 7 とを備える。

[0132] 寄与度分析部 3 5 7 は、複数の初期可変パラメータの各々の対応する評価値への寄与度を分析する。

例えば、寄与度分析部 3 5 7 は、可変パラメータデータ記憶部 2 5 2 から可変パラメータデータを読み出し、加工結果評価記憶部 1 2 3 から可変パラメータデータに含まれている複数の可変パラメータの各々に対応する評価値を読み出す。そして、寄与度分析部 3 5 7 は、複数の可変パラメータの各々の、評価値への寄与度を分析する。

[0133] 例えば、図 4 (A) に示されているように、可変パラメータデータ記憶部 2 5 2 には過去の N 回の加工について、M v 種の可変パラメータデータ 1 0 2 が記憶されているとする。また、加工結果評価記憶部 1 2 3 には過去 N 回の加工における評価値が記憶されているとする。

[0134] この場合、次の (5) 式で表される寄与度スコア ϕ_x が、 $1 < x < M v$ を満たす全ての x について計算される。

$$\phi_x = \Psi (Q_x, J) \quad (5)$$

ここで、 Q_x は、可変パラメータデータ 1 0 2 に含まれている、パラメー

タ番号 x の過去 N 回分の可変パラメータ値 $q_{1x}, q_{2x}, \dots, q_{Nx}$ を要素とするベクトルである。

また、 J は、過去 N 回分の評価値 $j_1, j_2, \dots, j_N$ を要素とするベクトルである。

また、関数 $\Psi(Q_x, J)$ は、 Q_x の J への寄与度を数値で表す寄与度スコアを計算する関数である。

[0135] 寄与度スコア ϕ_x の具体例として、 Q_x と、 J との相関係数の絶対値が挙げられる。

または、寄与度スコア ϕ_x は、 Q_x で J を単回帰分析したときの回帰誤差の大きさの逆数であってもよい。

さらに、寄与度スコア ϕ_x は、 Q_x を除くすべての可変パラメータ、言い換えると、 $i \neq x$ を満たす全ての Q_i を用いて J を重回帰分析したときの回帰誤差の大きさであってもよい。

また、これらの回帰分析は、線形回帰のほか、非線形回帰又はカーネル回帰が挙げられる。

[0136] このようにして計算された寄与度スコアは、パラメータ番号 x の可変パラメータが評価値に寄与しているか否かを表しており、寄与度が低い場合には、加工条件への影響が小さいものとして、最適加工条件の探索範囲から除外可能であるとみなすことができる。

[0137] 再振分部 356 は、可変パラメータデータ記憶部 252 に記憶されている可変パラメータについて、寄与度スコア ϕ_x が予め定められた閾値 TH_ψ 以下である場合、そのパラメータを固定パラメータに振り分ける。

言い換えると、再振分部 356 は、複数の初期可変パラメータの内、寄与度が予め定められた閾値以下の初期可変パラメータを、初期固定パラメータに振り分け直すことで、振り分け後の複数の初期可変パラメータを複数の可変パラメータとして確定し、振り分け後の一又は複数の初期固定パラメータを一又は複数の固定パラメータとして確定する。

[0138] 図 12 は、実施の形態 3 におけるパラメータ振分部 354 におけるパラメ

ータの振分動作の一例を示すフローチャートである。

まず、寄与度分析部 357 は、可変パラメータデータ記憶部 252 から可変パラメータデータを読み出し、加工結果評価記憶部 123 から、可変パラメータデータに含まれている複数の可変パラメータの各々に対応する評価値を読み出す。そして、寄与度分析部 357 は、複数の可変パラメータの各々のパラメータの種別における評価値への寄与度を分析する (S50)。具体的には、寄与度分析部 357 は、可変パラメータのパラメータ番号 x の全てについて、上記の (5) 式により、寄与度スコア ϕ_x を算出する。

[0139] 次に、再振分部 356 は、可変パラメータを識別するためのパラメータ番号 x を「1」に初期化する (S51)。

そして、再振分部 356 は、パラメータ番号 x がその最大値 M_v を超えるまで、以下の処理を繰り返す (S52)。

[0140] 再振分部 356 は、パラメータ番号 x に対応する可変パラメータの寄与度スコア ϕ_x が閾値 TH_ψ よりも大きいかなんかを判断する (S53)。寄与度スコア ϕ_x が閾値 TH_ψ 以下である場合 (S53でNo) には、処理はステップ S54に進み、寄与度スコア ϕ_x が閾値 TH_ψ よりも大きい場合 (S53でYes) には、処理はステップ S55に進む。

[0141] ステップ S54 では、再振分部 356 は、寄与度スコア ϕ_x が閾値 TH_ψ よりも大きいと判断された際のパラメータ番号 x の可変パラメータ Q_x を固定パラメータとして振り分け直す。具体的には、再振分部 356 は、可変パラメータデータ記憶部 252 から可変パラメータ Q_x を抜き出し、それを固定パラメータデータ記憶部 253 に記憶されている固定パラメータデータに追加する。そして、処理はステップ S55に進む。

[0142] ステップ S55 では、再振分部 356 は、パラメータ番号 x に「1」を加算する。

そして、再振分部 356 は、パラメータ番号 x が最大値 M_v 以下であるかなんかを判断する (S56)。パラメータ番号 x が最大値 M_v 以下である場合 (S56でYes) には、処理はステップ S52に戻り、パラメータ番号 x

が最大値 M_v を超えている場合（S56でNo）には、処理は終了する。

[0143] 以上のように実施の形態3によれば、選別フラグに従って一旦、可変パラメータとして識別されたパラメータも、評価値との寄与度を分析し、寄与度が低い場合に固定パラメータに再振分けするようにしたので、より可変パラメータの次元を減らすことができ、最適加工条件の探索がしやすくなる。

[0144] 実施の形態4.

実施の形態1では、最適加工条件探索部132は、所定の方法で生成した複数の可変パラメータの特徴量の候補を学習モデルへの入力として与え、これに対する学習モデルの応答として得られた評価値の予測値を取得し、その中で最も良好な予測値を与える候補を最適加工条件として出力する。

しかしながら、初回の探索では、加工結果評価記憶部123には過去に実施された加工についてのデータのみが記憶されている。この場合、学習モデルによって予測される加工条件よりも、過去のデータの中で、条件が近く、良好な評価値を得た実績のある加工条件を最適加工条件として選択する方が良好な結果が得られる場合がある。

そこで、実施の形態4は、初回の探索において、第一の特徴量データ、第二の特徴量データ、第三の特徴量データ及び評価値に基づいて、最適加工条件を決定する例を示す。

[0145] 図1に示されているように、実施の形態4に係る加工システム400は、加工機110と、加工条件探索装置420とを備える。

実施の形態4に係る加工システム400における加工機110は、実施の形態1に係る加工システム100における加工機110と同様である。

[0146] 図2に示されているように、実施の形態4における加工条件探索装置420は、加工結果取得部121と、加工結果評価部122と、加工結果評価記憶部123と、選別フラグ記憶部124と、パラメータ選別部125と、第一の次元削減部126と、第二の次元削減部127と、機械学習部128と、モデル記憶部129と、固定パラメータ記憶部130と、第三の次元削減部131と、最適加工条件探索部432と、次元復元部133と、加工条件

指令部 1 3 4 とを備える。

[0147] 実施の形態 4 における加工条件探索装置 4 2 0 の加工結果取得部 1 2 1、加工結果評価部 1 2 2、加工結果評価記憶部 1 2 3、選別フラグ記憶部 1 2 4、パラメータ選別部 1 2 5、第一の次元削減部 1 2 6、第二の次元削減部 1 2 7、機械学習部 1 2 8、モデル記憶部 1 2 9、固定パラメータ記憶部 1 3 0、第三の次元削減部 1 3 1、次元復元部 1 3 3 及び加工条件指令部 1 3 4 は、実施の形態 1 における加工条件探索装置 1 2 0 の加工結果取得部 1 2 1、加工結果評価部 1 2 2、加工結果評価記憶部 1 2 3、選別フラグ記憶部 1 2 4、パラメータ選別部 1 2 5、第一の次元削減部 1 2 6、第二の次元削減部 1 2 7、機械学習部 1 2 8、モデル記憶部 1 2 9、固定パラメータ記憶部 1 3 0、第三の次元削減部 1 3 1、次元復元部 1 3 3 及び加工条件指令部 1 3 4 と同様である。

[0148] 最適加工条件探索部 4 3 2 は、初回の探索においてのみ、加工結果評価記憶部 1 2 3 に記憶されている加工結果評価情報に含まれている複数の評価値の中で、予め定められた基準を満たしている加工番号を全て選別する。そして、最適加工条件探索部 4 3 2 は、第二の特徴量データの中で、選別された加工番号に対応する第二の特徴量を特定し、特定された第二の特徴量が、第三の特徴量データで示される第三の特徴量と最も近い一つの加工番号を特定する。例えば、第二の特徴量と、第三の特徴量との距離尺度を用いて計算される特徴量間の距離が最小となる一つの加工番号が特定されればよい。

[0149] そして、最適加工条件探索部 4 3 2 は、第一の特徴量データの中から、特定された一つの加工番号に対応する特徴量を最適加工条件として決定し、決定された最適加工条件を次元復元部 1 3 3 に与える。

なお、最適加工条件探索部 4 3 2 は、初回以外の探索では、実施の形態 1 と同様にして、最適加工条件を決定する。

[0150] 図 1 3 は、初回探索時の最適加工条件探索部 4 3 2 の動作を示すフローチャートである。

図 1 3 に示されているフローチャートは、初回の探索時のみ行われる。

まず、最適加工条件探索部 4 3 2 は、加工結果評価記憶部 1 2 3 に記憶されている加工結果評価情報に含まれている複数の評価値の中で予め定められた基準を満たしている加工番号を全て選別する。例えば、予め定められた閾値を用いて、閾値に対応する評価値よりも加工結果が良いと判断される全ての加工番号が選別されればよい。

[0151] 次に、最適加工条件探索部 4 3 2 は、選別された加工番号に対応する第二の特征量の中で、第三の特征量と最も近い第二の特征量の加工番号 n^* を特定する（S 6 1）。

[0152] 次に、最適加工条件探索部 4 3 2 は、第一の特征量データの中から、加工番号 n^* に対応する特征量を最適加工条件として決定する（S 6 2）。そして、決定された最適加工条件は、次元復元部 1 3 3 に与えられる。

[0153] 第三の特征量は探索において変更不可能なパラメータの値を特征量に変換したものであり、過去のデータの中で、評価値が良好かつこれと近いものを探索し、それと対となる可変パラメータを初回の最適加工条件として選択することにより、少ない探索回数で良好な加工条件を発見することが期待できる。

[0154] 以上のように、実施の形態 4 では、最適加工条件探索部 4 3 2 は、最適値の探索を初めて行う場合には、複数の評価値から、予め定められた評価よりも評価の高い一以上の評価値を特定し、複数の第二の特征量の内、特定された一以上の評価値に対応する一以上の第二の特征量を特定し、特定された一以上の第二の特征量の内、第三の特征量と最も近い一つの第二の特征量を特定し、その一つの第二の特征量に対応する一つの第一の特征量を特定し、その一つの第一の特征量を最適値とする探索部として機能する。

[0155] 以上のように、実施の形態 4 によれば、初回の探索において、加工結果評価記憶部 1 2 3 に記憶された過去の加工条件の中から、加工結果が良好、かつ、今回の探索では変更不可能となっている固定パラメータの実際の値と近い条件を探索し、これと対となる可変パラメータを初回の最適加工条件とすることで、より少ない探索回数で良好な加工条件を発見することができる。

[0156] なお、実施の形態４におけるパラメータ選別部１２５は、実施の形態１におけるパラメータ選別部１２５と同様であるとしたが、実施の形態４は、このような例に限定されるものではない。例えば、実施の形態４におけるパラメータ選別部１２５は、実施の形態２におけるパラメータ選別部２２５又は実施の形態３におけるパラメータ選別部３２５であってもよい。

[0157] 実施の形態５．

実施の形態１では、選別された可変パラメータデータと、固定パラメータデータとに対し、それぞれ別個に次元削減を施している。実施の形態５では、削減効果を高めるために、パラメータデータを選別せずにまとめて次元削減した結果を参考として、これに近づけるようにそれぞれの削減処理を調整する。

[0158] 図１に示されているように、実施の形態５に係る加工システム５００は、加工機１１０と、加工条件探索装置５２０とを備える。

実施の形態５に係る加工システム５００における加工機１１０は、実施の形態１に係る加工システム１００における加工機１１０と同様である。

[0159] 図１４は、加工条件探索装置５２０の構成を概略的に示すブロック図である。

加工条件探索装置５２０は、加工結果取得部１２１と、加工結果評価部１２２と、加工結果評価記憶部１２３と、選別フラグ記憶部１２４と、パラメータ選別部１２５と、第一の次元削減部５２６と、第二の次元削減部５２７と、機械学習部１２８と、モデル記憶部１２９と、固定パラメータ記憶部１３０と、第三の次元削減部１３１と、最適加工条件探索部１３２と、次元復元部１３３と、加工条件指令部１３４と、第四の次元削減部５６０と、第一の比較部５６１と、第二の比較部５６２とを備える。

[0160] 実施の形態５における加工条件探索装置５２０の加工結果取得部１２１、加工結果評価部１２２、加工結果評価記憶部１２３、選別フラグ記憶部１２４、パラメータ選別部１２５、機械学習部１２８、モデル記憶部１２９、固定パラメータ記憶部１３０、第三の次元削減部１３１、最適加工条件探索部

1 3 2、次元復元部 1 3 3 及び加工条件指令部 1 3 4 は、実施の形態 1 における加工条件探索装置 1 2 0 の加工結果取得部 1 2 1、加工結果評価部 1 2 2、加工結果評価記憶部 1 2 3、選別フラグ記憶部 1 2 4、パラメータ選別部 1 2 5、機械学習部 1 2 8、モデル記憶部 1 2 9、固定パラメータ記憶部 1 3 0、第三の次元削減部 1 3 1、最適加工条件探索部 1 3 2、次元復元部 1 3 3 及び加工条件指令部 1 3 4 と同様である。

[0161] 第四の次元削減部 5 6 0 は、複数のパラメータの次元を削減することで、第四の特徴量を生成する次元削減部である。

例えば、第四の次元削減部 5 6 0 は、加工結果評価記憶部 1 2 3 に記憶されている加工結果評価情報から加工条件を読み出し、読み出された加工条件に含まれている複数のパラメータに対して次元削減を施すことで、第四の特徴量データを生成する。生成された第四の特徴量データは、第一の比較部 5 6 1 及び第二の比較部 5 6 2 に与えられる。

[0162] 第一の次元削減部 5 2 6 は、実施の形態 1 と同様に、第一の特徴量データを生成し、生成された第一の特徴量データを第一の比較部 5 6 1 に与える。但し、第一の次元削減部 5 2 6 は、複数の可変パラメータの次元数によらずに、複数の可変パラメータの次元を削減することで、第一の特徴量を生成する。

そして、第一の次元削減部 5 2 6 は、第一の比較部 5 6 1 から、第一の特徴量データと、第四の特徴量データとを比較することで算出される類似度スコアである第一の類似度スコアを取得し、第一の類似度スコアが収束したか否かを判断する。

[0163] 第一の類似度スコアが収束していない場合には、第一の次元削減部 5 2 6 は、第一の類似度スコアで示される、第一の特徴量データと、第四の特徴量データとの類似の度合いが高まるように、次元削減処理を変えることでそれを調整する。そして、第一の次元削減部 5 2 6 は、調整後の次元削減処理により再度第一の特徴量データを生成し、生成された第一の特徴量データを第一の比較部 5 6 1 に与える。

以上の処理は、第一の類似度スコアが収束するまで繰り返される。

[0164] そして、第一の類似度スコアが収束した場合には、第一の次元削減部 5 2 6 は、収束したと判断された第一の特徴量データを機械学習部 1 2 8 に与える。なお、第一の類似度スコアが収束する前の第一の特徴量を第一の仮の特徴量ともいう。

[0165] 以上により、第一の次元削減部 5 2 6 は、第一の類似度スコアが収束するまで、複数の可変パラメータの次元を削減する処理を変更して第一の仮の特徴量の生成を繰り返し、第一の類似度スコアが収束した際の第一の仮の特徴量を第一の特徴量として決定する。

[0166] 第二の次元削減部 5 2 7 は、実施の形態 1 と同様に、第二の特徴量データを生成し、生成された第二の特徴量データを第二の比較部 5 6 2 に与える。但し、第二の次元削減部 5 2 7 は、複数の固定パラメータの次元数によらずに、複数の固定パラメータの次元を削減することで、第二の特徴量を生成する。

そして、第二の次元削減部 5 2 7 は、第二の比較部 5 6 2 から、第二の特徴量データと、第四の特徴量データとを比較することで算出される類似度スコアである第二の類似度スコアを取得し、第二の類似度スコアが収束したか否かを判断する。

[0167] 第二の類似度スコアが収束していない場合には、第二の次元削減部 5 2 7 は、第二の類似度スコアで示される、第二の特徴量データと、第四の特徴量データとの類似の度合いが高まるように、次元削減処理を変えることでそれを調整する。そして、第二の次元削減部 5 2 7 は、調整後の次元削減処理により再度第二の特徴量データを生成し、生成された第二の特徴量データを第二の比較部 5 6 2 に与える。

以上の処理は、第二の類似度スコアが収束するまで繰り返される。

[0168] そして、第二の類似度スコアが収束した場合には、第二の次元削減部 5 2 7 は、収束したと判断された第二の特徴量データを機械学習部 1 2 8 に与える。なお、第二の類似度スコアが収束する前の第二の特徴量を第二の仮の特

微量ともいう。

[0169] 以上により、第二の次元削減部527は、第二の類似度スコアが収束するまで、複数の固定パラメータの次元を削減する処理を変更して第二の仮の特微量の生成を繰り返し、第二の類似度スコアが収束した際の第二の仮の特微量を第二の特微量として決定する。

[0170] 第一の比較部561は、第一の仮の特微量と、第四の特微量とが類似している度合いを示す類似度スコアである第一の類似度スコアを算出する。

第二の比較部562は、第二の仮の特微量と、第四の特微量とが類似している度合いを示す類似度スコアである第二の類似度スコアを算出する。

[0171] 類似度スコアとしては、具体的には、相関係数の絶対値、交差エントロピー、KL情報量 (Kullback-Leibler Divergence)、その他の相互情報量が用いられる。なお、交差エントロピー又は相互情報量は、比較するデータが似通っているほど低い値をとるので、類似度スコアに用いる場合は、正負の符号を逆転するか、逆数等の形にする。

[0172] オートエンコーダは実施の形態5の第一の次元削減部526、第二の次元削減部527及び第四の次元削減部560の次元削減処理の好適な例であり、第一の次元削減部526と、第二の次元削減部527とは、オートエンコーダの学習の際、上述の交差エントロピー又はKL情報量を損失関数に加えることで、第四の次元削減部560に近い次元削減効果を得ることができる。

[0173] 第四の特微量データと、第一の特微量データ又は第二の特微量データとにおいて、それぞれ次元が異なる場合は、例えば、全ての特微量の組み合わせについて類似度スコアが計算され、その最大値又は平均値が第一の類似度スコア又は第二の類似度スコアとして採用することが考えられる。

[0174] 例えば、第一の特微量データの次元数を M_v 、第四の特微量データの次元数を M_o とする。このとき、第一の特微量データの x 次元目の特微量と、第四の特微量データの z 次元目の特微量との類似度スコア $\alpha_1(x, z)$ は、次の(6)式で表される。

$$\alpha_{1(x, z)} = \Gamma(A v_x, A o_z) \quad (6)$$

[0175] ここで、 Γ は、類似度スコアを算出する関数である。

また、 $A v_x$ は、加工番号 n における第一の特徴量データの x 次元目の特徴量を $a v_{nx}$ としたときに、 $a v_{1x}, a v_{2x}, \dots, a v_{Nx}$ を要素とするベクトルである。

さらに、 $A o_z$ は、加工番号 n における第四の特徴量データの z 次元目の特徴量 $a o_{nz}$ としたとき、 $a o_{1z}, a o_{2z}, \dots, a o_{Nz}$ を要素とするベクトルである。

ここで、 N は加工番号の最大値である。

[0176] このような第一の類似度スコア $\alpha_{1(x, z)}$ を $x = 1, 2, \dots, Mv$ 及び $z = 1, 2, \dots, Mo$ の全ての組み合わせについて計算し、その最大値、最小値又は平均値を第一の類似度スコア α_1 とする。

第二の類似度スコア α_2 も同様に、加工番号 n における第二の特徴量データの y 次元目の特徴量を $a f_{ny}$ としたとき、 $a f_{1y}, a f_{2y}, \dots, a f_{Ny}$ を要素とするベクトル $A f_y$ と、上述の第四の特徴量データの z 次元目の特徴量を要素とするベクトル $A o_z$ により、次の(7)式で表される類似度スコア $\alpha_{2(y, z)}$ を $y = 1, 2, \dots, Mf$ 及び $z = 1, 2, \dots, Mo$ の全ての組み合わせについて計算し、その最大値、最小値又は平均値を第二の類似度スコア α_2 とする。

$$\alpha_{2(y, z)} = \Gamma(A f_y, A o_z) \quad (7)$$

[0177] また、前回の類似度スコアからの変化量が、予め定められた閾値以下である場合に、類似度スコアが収束したと判断されればよい。

[0178] 以上に記載された第五の実施の形態における加工条件探索装置520のハードウェア構成は、第一の実施の形態における加工条件探索装置120のハードウェア構成と同様である。例えば、第四の次元削減部560、第一の比較部561及び第二の比較部562も、処理回路140により実現することができる。

[0179] 図15は、実施の形態5における第一の次元削減部526、第二の次元削

減部 5 2 7、第四の次元削減部 5 6 0、第一の比較部 5 6 1 及び第二の比較部 5 6 2 での動作を示すフローチャートである。

- [0180] まず、第四の次元削減部 5 6 0 は、加工結果評価記憶部 1 2 3 に記憶されている加工結果評価情報に含まれている加工条件、言い換えると、パラメータを読み出し、これに対して次元削減を施すことで、第四の特微量データを生成する (S 7 0)。生成された第四の特微量データは、第一の比較部 5 6 1 及び第二の比較部 5 6 2 に与えられる。
- [0181] 第一の次元削減部 5 2 6 は、実施の形態 1 と同様にパラメータ選別部 1 2 5 からの可変パラメータデータを次元削減し、第一の特微量データを生成する (S 7 1)。第一の特微量データは、第一の比較部 5 6 1 に与えられる。
- [0182] 第一の比較部 5 6 1 は、第四の特微量データと、第一の特微量データとを比較し、第一の類似度スコア α_1 を算出する (S 7 3)。第一の類似度スコア α_1 は、第一の次元削減部 5 2 6 に与えられる。
- [0183] 第一の次元削減部 5 2 6 は、第一の類似度スコア α_1 が収束しているか否かを判断する (S 7 3)。第一の類似度スコア α_1 が収束していない場合 (S 7 3 で No) には、処理はステップ S 7 4 に進み、第一の類似度スコア α_1 が収束している場合 (S 7 3 で Yes) には、処理はステップ S 7 5 に進む。ここで、第一の次元削減部 5 2 6 は、ステップ S 7 1 で生成した第一の特微量データを機械学習部 1 2 8 に与える。
- [0184] ステップ S 7 4 では、第一の次元削減部 5 2 6 は、第一の類似度スコア α_1 が増加するように次元削減処理を変更する。そして、処理はステップ S 7 1 に戻る。
- [0185] ステップ S 7 5 では、第二の次元削減部 5 2 7 は、実施の形態 1 と同様に、パラメータ選別部 1 2 5 からの固定パラメータデータを次元削減し、第二の特微量データを生成する (S 7 2)。第二の特微量データは、第二の比較部 5 6 2 に与えられる。
- [0186] 第二の比較部 5 6 2 は、第四の特微量データと、第二の特微量データとを比較し、第二の類似度スコア α_2 を算出する (S 7 6)。第二の類似度スコア

α_2 は、第二の次元削減部527に与えられる。

[0187] 第二の次元削減部527は、第二の類似度スコア α_2 が収束しているか否かを判断する(S77)。第二の類似度スコア α_2 が収束していない場合(S77でNo)には、処理はステップS78に進み、第二の類似度スコア α_2 が収束している場合(S77でYes)には、第二の次元削減部527は、ステップS75で生成した第二の特徴量データを機械学習部128に与えて、処理を終了する。

[0188] ステップS78では、第二の次元削減部527は、第二の類似度スコア α_2 が増加するように次元削減処理を変更する。そして、処理はステップS75に戻る。

[0189] 以上のように実施の形態5によれば、選別された可変パラメータデータと、固定パラメータデータとに対し、それぞれに次元削減を施す際、パラメータデータを選別せずにまとめて次元削減した結果を参考として、これに近づけるようにそれぞれの削減処理を調整するようにしたので、次元削減効果を高めることができる。

[0190] なお、実施の形態5におけるパラメータ選別部125は、実施の形態1におけるパラメータ選別部125と同様であるとしたが、実施の形態5は、このような例に限定されるものではない。例えば、実施の形態5におけるパラメータ選別部125は、実施の形態2におけるパラメータ選別部225又は実施の形態3におけるパラメータ選別部325であってもよい。

また、実施の形態5における最適加工条件探索部132も、実施の形態4における最適加工条件探索部432であってもよい。

[0191] 実施の形態6.

実施の形態5では、第一の特徴量と、第二の特徴量とを、それぞれ個別に第四の特徴量と比較している。実施の形態6は、第一の特徴量及び第二の特徴量を、第四の特徴量と同一の次元数になるように合成し、第四の特徴量と比較する。

[0192] 図1に示されているように、実施の形態6に係る加工システム600は、

加工機 1 1 0 と、加工条件探索装置 6 2 0 とを備える。

実施の形態 6 に係る加工システム 6 0 0 における加工機 1 1 0 は、実施の形態 1 に係る加工システム 1 0 0 における加工機 1 1 0 と同様である。

[0193] 図 1 6 は、加工条件探索装置 6 2 0 の構成を概略的に示すブロック図である。

加工条件探索装置 6 2 0 は、加工結果取得部 1 2 1 と、加工結果評価部 1 2 2 と、加工結果評価記憶部 1 2 3 と、選別フラグ記憶部 1 2 4 と、パラメータ選別部 1 2 5 と、第一の次元削減部 6 2 6 と、第二の次元削減部 6 2 7 と、機械学習部 1 2 8 と、モデル記憶部 1 2 9 と、固定パラメータ記憶部 1 3 0 と、第三の次元削減部 1 3 1 と、最適加工条件探索部 1 3 2 と、次元復元部 1 3 3 と、加工条件指令部 1 3 4 と、第四の次元削減部 5 6 0 と、合成部 6 6 3 と、比較部 6 6 4 とを備える。

[0194] 実施の形態 6 における加工条件探索装置 6 2 0 の加工結果取得部 1 2 1、加工結果評価部 1 2 2、加工結果評価記憶部 1 2 3、選別フラグ記憶部 1 2 4、パラメータ選別部 1 2 5、機械学習部 1 2 8、モデル記憶部 1 2 9、固定パラメータ記憶部 1 3 0、第三の次元削減部 1 3 1、最適加工条件探索部 1 3 2、次元復元部 1 3 3 及び加工条件指令部 1 3 4 は、実施の形態 1 における加工条件探索装置 1 2 0 の加工結果取得部 1 2 1、加工結果評価部 1 2 2、加工結果評価記憶部 1 2 3、選別フラグ記憶部 1 2 4、パラメータ選別部 1 2 5、機械学習部 1 2 8、モデル記憶部 1 2 9、固定パラメータ記憶部 1 3 0、第三の次元削減部 1 3 1、最適加工条件探索部 1 3 2、次元復元部 1 3 3 及び加工条件指令部 1 3 4 と同様である。

[0195] 実施の形態 6 における加工条件探索装置 6 2 0 の第四の次元削減部 5 6 0 は、実施の形態 5 における加工条件探索装置 5 2 0 の第四の次元削減部 5 6 0 と同様である。但し、実施の形態 4 においては、第四の次元削減部 5 6 0 は、生成された第四の特徴量データを比較部 6 6 4 に与える。

[0196] 第一の次元削減部 6 2 6 は、実施の形態 1 と同様に、第一の特徴量データを生成し、生成された第一の特徴量データを合成部 6 6 3 に与える。但し、

第一の次元削減部 6 2 6 は、複数の可変パラメータの次元数によらずに、複数の可変パラメータの次元を削減することで、第一の特徴量を生成する。

そして、第一の次元削減部 6 2 6 は、比較部 6 6 4 から、第一の特徴量データ及び第二の特徴量データの合成特徴量を示す合成特徴量データと、第四の特徴量データとを比較することで算出される類似度スコアを取得し、その類似度スコアが収束したか否かを判断する。

[0197] 類似度スコアが収束していない場合には、第一の次元削減部 6 2 6 は、類似度スコアで示される、合成特徴量データと、第四の特徴量データとの類似の度合いが高まるように、次元削減処理を変えることでそれを調整する。そして、第一の次元削減部 6 2 6 は、調整後の次元削減処理により再度第一の特徴量データを生成し、生成された第一の特徴量データを合成部 6 6 3 に与える。

以上の処理は、類似度スコアが収束するまで繰り返される。

[0198] そして、類似度スコアが収束した場合には、第一の次元削減部 6 2 6 は、収束したと判断された第一の特徴量データを機械学習部 1 2 8 に与える。なお、第一の類似度スコアが収束する前の第一の特徴量を第一の仮の特徴量ともいう。

[0199] 以上により、第一の次元削減部 6 2 6 は、類似度スコアが収束するまで、複数の可変パラメータの次元を削減する処理を変更して第一の仮の特徴量の生成を繰り返し、類似度スコアが収束した際の第一の仮の特徴量を第一の特徴量として決定する。

[0200] 第二の次元削減部 6 2 7 は、実施の形態 1 と同様に、第二の特徴量データを生成し、生成された第二の特徴量データを合成部 6 6 3 に与える。但し、第二の次元削減部 6 2 7 は、複数の固定パラメータの次元数によらずに、複数の固定パラメータの次元を削減することで、第二の特徴量を生成する。

そして、第二の次元削減部 6 2 7 は、比較部 6 6 4 から、第一の特徴量データ及び第二の特徴量データの合成特徴量を示す合成特徴量データと、第四の特徴量データとを比較することで算出される類似度スコアを取得し、その

類似度スコアが収束したか否かを判断する。

[0201] 類似度スコアが収束していない場合には、第二の次元削減部 6 2 7 は、類似度スコアで示される、合成特徴量データと、第四の特徴量データとの類似の度合いが高まるように、次元削減処理を変えることでそれを調整する。そして、第二の次元削減部 6 2 7 は、調整後の次元削減処理により再度第二の特徴量データを生成し、生成された第二の特徴量データを合成部 6 6 3 に与える。

以上の処理は、類似度スコアが収束するまで繰り返される。

[0202] そして、第二の類似度スコアが収束した場合には、第二の次元削減部 6 2 7 は、収束したと判断された第二の特徴量データを機械学習部 1 2 8 に与える。なお、第二の類似度スコアが収束する前の第二の特徴量を第二の仮の特徴量ともいう。

[0203] 以上により、第二の次元削減部 6 2 7 は、類似度スコアが収束するまで、複数の固定パラメータの次元を削減する処理を変更して第二の仮の特徴量の生成を繰り返し、類似度スコアが収束した際の第二の仮の特徴量を第二の特徴量として決定する。

[0204] 合成部 6 6 3 は、第一の仮の特徴量及び第二の仮の特徴量を合成することで、合成特徴量を生成して、合成特徴量の次元と、第四の特徴量の次元とを同じにする。

例えば、合成部 6 6 3 は、第一の次元削減部 6 2 6 から与えられた第一の特徴量データで示される第一の特徴量と、第二の次元削減部 6 2 7 から出力された第二の特徴量データで示される第二の特徴量を合成し、合成された特徴量である合成特徴量が第四の特徴量と同一の次元数となるようにして、その合成特徴量を示す合成特徴量データを生成する。生成された合成特徴量データは、比較部 6 6 4 に与えられる。

[0205] 具体的には、特徴量の合成手段が、例えば、線形結合であれば、加工番号 n における合成特徴量の z 次元目の要素を $a s_{n z}$ としたとき、合成部 6 6 3 は、次の (8) 式により合成を行うことができる。

[数1]

$$as_{nz} = \sum_{k=1}^{Mv} wv_k av_{nk} + \sum_{k=1}^{Mf} wf_k af_{nk}$$

(8)

[0206] ここで、 wv_k 及び wf_k は、重み係数である。

合成手段の他の例としてニューラルネットワークが挙げられる。その場合、 as_{nz} は $x=1, 2, \dots, Mv$ としたときの av_{nx} 及び $y=1, 2, \dots, Mf$ としたときの af_{ny} をそれぞれ入力したときの、ニューラルネットワークの出力である。

[0207] また、合成部663は、比較部664から、第一の特徴量データ及び第二の特徴量データの合成特徴量を示す合成特徴量データと、第四の特徴量データとを比較することで算出される類似度スコアを取得し、その類似度スコアが収束したか否かを判断する。

[0208] 類似度スコアが収束していない場合には、合成部663は、類似度スコアで示される、合成特徴量データと、第四の特徴量データとの類似の度合いが高まるように、合成処理を変えることでそれを調整する。

言い換えると、合成部663は、類似度スコアが収束するまで、第一の仮の特徴量及び第二の仮の特徴量を合成する処理を変更する。

[0209] 比較部664は、合成特徴量と、第四の特徴量とが類似している度合いを示す類似度スコアを算出する。

例えば、比較部664は、第四の特徴量データと、合成部663から与えられる合成特徴量データとを比較し、類似度スコア α を算出する。

類似度スコアとしては、具体的には、相関係数の絶対値、交差エントロピー、KL情報量、その他の相互情報量が用いられる。なお、交差エントロピー又は相互情報量は、比較するデータが似通っているほど低い値をとるので、類似度スコアに用いる場合は、正負の符号を逆転するか、逆数等の形にする。

- [0210] オートエンコーダは実施の形態6の第一の次元削減部626、第二の次元削減部627及び第四の次元削減部660の次元削減処理の好適な例であり、第一の次元削減部626と、第二の次元削減部627とは、オートエンコーダの学習の際、上述の交差エントロピー又はKL情報量を損失関数に加えることで、第四の次元削減部660に近い次元削減効果を得ることができる。
- [0211] また、前回の類似度スコアからの変化量が、予め定められた閾値以下である場合に、類似度スコアが収束したと判断されればよい。
- [0212] 以上に記載された第六の実施の形態における加工条件探索装置620のハードウェア構成は、第一の実施の形態における加工条件探索装置120のハードウェア構成と同様である。例えば、第四の次元削減部560、合成部663及び比較部664も、処理回路140により実現することができる。
- [0213] 図17は、実施の形態6における第一の次元削減部626、第二の次元削減部627、第四の次元削減部660、合成部663及び比較部664での動作を示すフローチャートである。
- [0214] まず、第四の次元削減部560は、加工結果評価記憶部123に記憶されている加工結果評価情報に含まれている加工条件、言い換えると、パラメータを読み出し、これに対して次元削減を施すことで、第四の特徴量データを生成する(S80)。生成された第四の特徴量データは、比較部664に与えられる。
- [0215] 第一の次元削減部626は、実施の形態1と同様にパラメータ選別部125からの可変パラメータデータを次元削減し、第一の特徴量データを生成する(S81)。第一の特徴量データは、合成部663に与えられる。
- [0216] 第二の次元削減部627は、実施の形態1と同様に、パラメータ選別部125からの固定パラメータデータを次元削減し、第二の特徴量データを生成する(S82)。第二の特徴量データは、合成部663に与えられる。
- [0217] 合成部663は、第一の次元削減部626から与えられた第一の特徴量データで示される第一の特徴量と、第二の次元削減部627から出力された第

二の特徴量データで示される第二の特徴量を合成し、合成された特徴量である合成特徴量が第四の特徴量と同一の次元数となるようにして、その合成特徴量を示す合成特徴量データを生成する（S 8 3）。生成された合成特徴量データは、比較部 6 6 4 に与えられる。

[0218] 比較部 6 6 4 は、第四の特徴量データと、合成特徴量データとを比較し、類似度スコア α を算出する（S 8 4）。類似度スコア α は、第一の次元削減部 6 2 6、第二の次元削減部 6 2 7 及び合成部 6 6 3 に与えられる。

[0219] 第一の次元削減部 6 2 6、第二の次元削減部 6 2 7 及び合成部 6 6 3 は、類似度スコア α が収束しているか否かを判断する（S 8 5）。類似度スコア α が収束していない場合（S 8 5 で N o）には、処理はステップ S 8 6 に進む。類似度スコア α が収束している場合（S 8 5 で Y e s）には、第一の次元削減部 6 2 6 は、ステップ S 8 1 で生成した第一の特徴量データ、第二の次元削減部 5 2 7 は、ステップ S 8 2 で生成した第二の特徴量データを機械学習部 1 2 8 に与えて、処理を終了する。

[0220] ステップ S 8 6 では、第一の次元削減部 6 2 6 及び第二の次元削減部 6 2 7 は、類似度スコア α が増加するように次元削減処理を変更する。

次に、合成部 6 6 3 は、類似度スコア α が増加するように合成処理を変更する（S 8 7）。そして、処理はステップ S 8 1 に戻る。

[0221] 以上のように、実施の形態 6 によれば、選別された可変パラメータデータと、固定パラメータデータとに対する次元削減を、パラメータデータを選別せずにまとめて次元削減した結果を参考として調整する際に、可変パラメータデータと、固定パラメータデータとの特徴量を合成し、パラメータデータを選別せずにまとめて次元削減した結果得られた特徴量と同一の次元数となるようにして比較して得られた類似度スコアを用いるようにしたので、パラメータデータを選別せずにまとめて次元削減した場合により近い削減効果を得ることができる。

[0222] なお、実施の形態 6 におけるパラメータ選別部 1 2 5 は、実施の形態 1 におけるパラメータ選別部 1 2 5 と同様であるとしたが、実施の形態 6 は、こ

のような例に限定されるものではない。例えば、実施の形態6におけるパラメータ選別部125は、実施の形態2におけるパラメータ選別部225又は実施の形態3におけるパラメータ選別部325であってもよい。

また、実施の形態6における最適加工条件探索部132も、実施の形態4における最適加工条件探索部432であってもよい。

符号の説明

[0223] 100, 200, 300, 400, 500, 600 加工システム、 110 加工機、 120, 220, 320, 420, 520, 620 加工条件探索装置、 121 加工結果取得部、 122 加工結果評価部、 123 加工結果評価記憶部、 124 選別フラグ記憶部、 125, 225, 325 パラメータ選別部、 126, 526, 626 第一の次元削減部、 127, 527, 627 第二の次元削減部、 128 機械学習部、 129 モデル記憶部、 130 固定パラメータ記憶部、 131 第三の次元削減部、 132, 432 最適加工条件探索部、 133 次元復元部、 134 加工条件指令部、 250 初期振分部、 251 パラメータデータ記憶部、 252 可変パラメータデータ記憶部、 253 固定パラメータデータ記憶部、 254, 354 パラメータ振分部、 255 相関性分析部、 256, 356 再振分部、 357 寄与度分析部、 258 出力部、 560 第四の次元削減部、 561 第一の比較部、 562 第二の比較部、 663 合成部、 664 比較部。

請求の範囲

[請求項1]

各々が複数のパラメータを有する複数の加工条件、及び、前記複数の加工条件における複数の加工結果に対する複数の評価値を示す加工結果評価情報を記憶する加工結果評価記憶部と、

前記複数のパラメータを、変更を許可する複数の可変パラメータ及び変更を許可しない一又は複数の固定パラメータに選別するパラメータ選別部と、

前記複数の可変パラメータから、予め定められた次元である第一の次元以下の第一の特徴量を生成することで、前記複数の加工条件に対応する一又は複数の第一の特徴量を生成する第一の次元処理部と、

前記一又は複数の固定パラメータから、予め定められた次元である第二の次元以下の第二の特徴量を生成することで、前記複数の加工条件に対応する一又は複数の第二の特徴量を生成する第二の次元処理部と、

前記一又は複数の第一の特徴量、前記一又は複数の第二の特徴量及び前記複数の評価値の関係を学習することで、学習モデルを生成する機械学習部と、

探索対象となる加工条件である対象加工条件において使用される一又は複数の固定パラメータである一又は複数の対象固定パラメータから、前記第二の次元以下の第三の特徴量を生成する第三の次元処理部と、

前記第三の特徴量及び前記学習モデルを使用して、前記対象加工条件において使用される複数の可変パラメータである複数の対象可変パラメータの特徴量の最適値を探索する探索部と、

前記最適値及び前記一又は複数の対象固定パラメータから、前記対象加工条件として探索された加工条件である探索加工条件を特定する特定部と、を備えること

を特徴とする加工条件探索装置。

- [請求項2] 前記第一の次元処理部は、前記複数の可変パラメータの次元が前記第一の次元よりも大きい場合に、前記複数の可変パラメータの次元を削減することで、前記第一の特徴量を生成することを特徴とする請求項1に記載の加工条件探索装置。
- [請求項3] 前記第二の次元処理部は、前記複数の固定パラメータの次元が前記第二の次元よりも大きい場合に、前記複数の固定パラメータの次元を削減することで、前記第二の特徴量を生成することを特徴とする請求項1又は2に記載の加工条件探索装置。
- [請求項4] 前記第三の次元処理部は、前記複数の対象固定パラメータの次元が前記第二の次元よりも大きい場合に、前記複数の対象固定パラメータの次元を削減することで、前記第三の特徴量を生成することを特徴とする請求項1から3の何れか一項に記載の加工条件探索装置。
- [請求項5] 前記特定部は、前記複数の可変パラメータの次元が前記第一の次元よりも大きい場合に、前記最適値から前記複数の可変パラメータの次元と同一の次元となるように複数のパラメータを復元することを特徴とする請求項1から4の何れか一項に記載の加工条件探索装置。
- [請求項6] 前記第一の次元処理部は、前記複数の可変パラメータの次元を削減することで、第一の仮の特徴量を生成し、
前記第二の次元処理部は、前記複数の固定パラメータの次元を削減することで、第二の仮の特徴量を生成し、
前記複数のパラメータの次元を削減することで、第四の特徴量を生成する次元削減部と、
前記第一の仮の特徴量と、前記第四の特徴量とが類似している度合いを示す第一の類似度スコアを算出する第一の比較部と、
前記第二の仮の特徴量と、前記第四の特徴量とが類似している度合いを示す第二の類似度スコアを算出する第二の比較部と、

前記第一の次元処理部は、前記第一の類似度スコアが収束するまで、前記複数の可変パラメータの次元を削減する処理を変更して、前記第一の仮の特徴量の生成を繰り返し、前記第一の類似度スコアが収束した際の前記第一の仮の特徴量を前記第一の特徴量とし、

前記第二の次元処理部は、前記第二の類似度スコアが収束するまで、前記複数の固定パラメータの次元を削減する処理を変更して、前記第二の仮の特徴量の生成を繰り返し、前記第二の類似度スコアが収束した際の前記第二の仮の特徴量を前記第二の特徴量とすること

を特徴とする請求項1に記載の加工条件探索装置。

[請求項7]

前記第一の次元処理部は、前記複数の可変パラメータの次元を削減することで、第一の仮の特徴量を生成し、

前記第二の次元処理部は、前記複数の固定パラメータの次元を削減することで、第二の仮の特徴量を生成し、

前記複数のパラメータの次元を削減することで、第四の特徴量を生成する次元削減部と、

前記第一の仮の特徴量及び前記第二の仮の特徴量を合成することで、合成特徴量を生成して、前記合成特徴量の次元と、前記第四の特徴量の次元とを同じにする合成部と、

前記合成特徴量と、前記第四の特徴量とが類似している度合いを示す類似度スコアを算出する比較部と、

前記第一の次元処理部は、前記類似度スコアが収束するまで、前記複数の可変パラメータの次元を削減する処理を変更して、前記第一の仮の特徴量の生成を繰り返し、前記類似度スコアが収束した際の前記第一の仮の特徴量を前記第一の特徴量とし、

前記第二の次元処理部は、前記類似度スコアが収束するまで、前記複数の固定パラメータの次元を削減する処理を変更して、前記第二の仮の特徴量の生成を繰り返し、前記類似度スコアが収束した際の前記第二の仮の特徴量を前記第二の特徴量とし、

前記合成部は、前記類似度スコアが収束するまで、前記第一の仮の
特徴量及び前記第二の仮の特徴量を合成する処理を変更すること
を特徴とする請求項 1 に記載の加工条件探索装置。

[請求項8] 前記特定部は、前記最適値から前記複数の可変パラメータの次元と
同一の次元となるようにパラメータを復元すること
を特徴とする請求項 6 又は 7 に記載の加工条件探索装置。

[請求項9] 前記複数のパラメータを選別するために、前記複数のパラメータの
種別毎に、可変パラメータであるか、固定パラメータであるかを示す
選別フラグを記憶する選別フラグ記憶部をさらに備え、
前記パラメータ選別部は、前記選別フラグを参照することで、前記
複数のパラメータを、前記複数の可変パラメータ及び前記一又は複数の
固定パラメータに選別すること
を特徴とする請求項 1 から 8 の何れか一項に記載の加工条件探索装
置。

[請求項10] 前記複数のパラメータを選別するために、前記複数のパラメータの
種別毎に、可変パラメータであるか、固定パラメータであるかを示す
選別フラグを記憶する選別フラグ記憶部をさらに備え、
前記パラメータ選別部は、
前記選別フラグを参照することで、前記複数のパラメータを、複数の
初期可変パラメータ及び一又は複数の初期固定パラメータに振り分
ける初期振分部と、
前記複数の初期可変パラメータの各々と、前記一又は複数の初期固
定パラメータの各々の複数の組み合わせを特定し、前記複数の組み
合わせの各々の相関性を分析する相関性分析部と、
前記複数の組み合わせの内、前記相関性が予め定められた閾値より
も高い組み合わせに含まれている初期可変パラメータを、初期固定パ
ラメータに振り分け直すことで、振り分け後の複数の初期可変パラメ
ータを前記複数の可変パラメータとし、振り分け後の一又は複数の初

期固定パラメータを前記一又は複数の固定パラメータとする再振分部と、を備えること

を特徴とする請求項 1 から 8 の何れか一項に記載の加工条件探索装置。

[請求項11] 前記複数のパラメータを選別するために、前記複数のパラメータの種別毎に、可変パラメータであるか、固定パラメータであるかを示す選別フラグを記憶する選別フラグ記憶部をさらに備え、

前記パラメータ選別部は、

前記選別フラグを参照することで、前記複数のパラメータを、複数の初期可変パラメータ及び一又は複数の初期固定パラメータに振り分ける初期振分部と、

前記複数の初期可変パラメータの各々の前記評価値への寄与度を分析する寄与度分析部と、

前記複数の初期可変パラメータの内、前記寄与度が予め定められた閾値以下の初期可変パラメータを、初期固定パラメータに振り分け直すことで、振り分け後の複数の初期可変パラメータを前記複数の可変パラメータとし、振り分け後の一又は複数の初期固定パラメータを前記一又は複数の固定パラメータとする再振分部と、を備えること

を特徴とする請求項 1 から 8 の何れか一項に記載の加工条件探索装置。

[請求項12] 前記探索加工条件を加工機に与えて、前記加工機に前記探索加工条件で加工を行わせるとともに、前記加工結果評価情報に前記探索加工条件を追加する加工条件指令部と、

前記加工機で行われた加工の結果である加工結果を評価することで評価値を定め、前記加工結果評価情報に、前記探索加工条件に対応付けて定められた前記評価値を追加する加工結果評価部と、をさらに備え、

前記探索部は、前記最適値の探索を初めて行う場合には、前記複数の

の評価値から、予め定められた評価よりも評価の高い一又は複数の評価値を特定し、複数の前記第二の特徴量の内、前記一又は複数の評価値に対応する一以上の第二の特徴量を特定し、前記一以上の第二の特徴量の内、前記第三の特徴量と最も近い一つの第二の特徴量を特定し、前記一つの第二の特徴量に対応する一つの第一の特徴量を特定し、前記一つの第一の特徴量を前記最適値とすること

を特徴とする請求項 1 から 11 の何れか一項に記載の加工条件探索装置。

[請求項13]

コンピュータを、

各々が複数のパラメータを有する複数の加工条件、及び、前記複数の加工条件における複数の加工結果に対する複数の評価値を示す加工結果評価情報を記憶する加工結果評価記憶部、

前記複数のパラメータを、変更を許可する複数の可変パラメータ及び変更を許可しない一又は複数の固定パラメータに選別するパラメータ選別部、

前記複数の可変パラメータから、予め定められた次元である第一の次元以下の第一の特徴量を生成することで、前記複数の加工条件に対応する一又は複数の第一の特徴量を生成する第一の次元処理部、

前記一又は複数の固定パラメータから、予め定められた次元である第二の次元以下の第二の特徴量を生成することで、前記複数の加工条件に対応する一又は複数の第二の特徴量を生成する第二の次元処理部、

前記一又は複数の第一の特徴量、前記一又は複数の第二の特徴量及び前記複数の評価値の関係を学習することで、学習モデルを生成する機械学習部、

探索対象となる加工条件である対象加工条件において使用される一又は複数の固定パラメータである一又は複数の対象固定パラメータから、前記第二の次元以下の第三の特徴量を生成する第三の次元処理部

、

前記第三の特徴量及び前記学習モデルを使用して、前記対象加工条件において使用される複数の可変パラメータである複数の対象可変パラメータの特徴量の最適値を探索する探索部、及び、

前記最適値及び前記一又は複数の対象固定パラメータから、前記対象加工条件として探索された加工条件である探索加工条件を特定する特定部、として機能させること

を特徴とするプログラム。

[請求項14]

各々が複数のパラメータを有する複数の加工条件、及び、前記複数の加工条件における複数の加工結果に対する複数の評価値を示す加工結果評価情報に含まれている前記複数のパラメータを、変更を許可する複数の可変パラメータ及び変更を許可しない一又は複数の固定パラメータに選別し、

前記複数の可変パラメータから、予め定められた次元である第一の次元以下の第一の特徴量を生成することで、前記複数の加工条件に対応する一又は複数の第一の特徴量を生成し、

前記一又は複数の固定パラメータから、予め定められた次元である第二の次元以下の第二の特徴量を生成することで、前記複数の加工条件に対応する一又は複数の第二の特徴量を生成し、

前記一又は複数の第一の特徴量、前記一又は複数の第二の特徴量及び前記複数の評価値の関係を学習することで、学習モデルを生成し、

探索対象となる加工条件である対象加工条件において使用される一又は複数の固定パラメータである一又は複数の対象固定パラメータから、前記第二の次元以下の第三の特徴量を生成し、

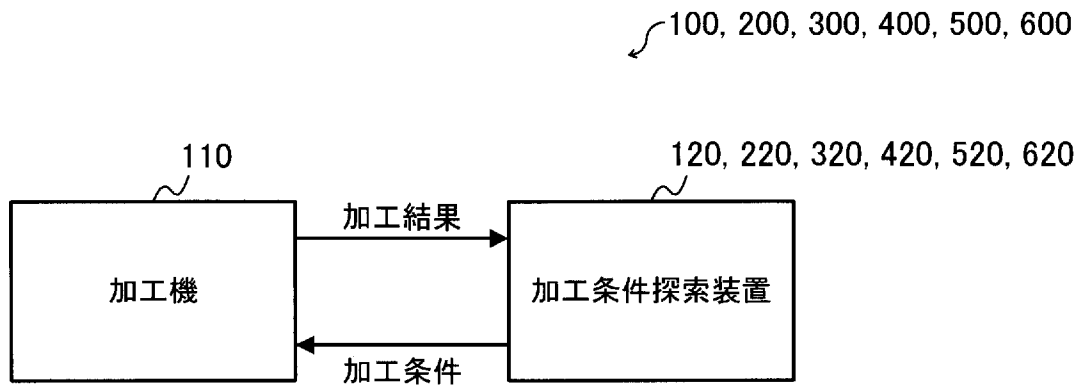
前記第三の特徴量及び前記学習モデルを使用して、前記対象加工条件において使用される複数の可変パラメータである複数の対象可変パラメータの特徴量の最適値を探索し、

前記最適値及び前記一又は複数の対象固定パラメータから、前記対

象加工条件として探索された加工条件である探索加工条件を特定すること

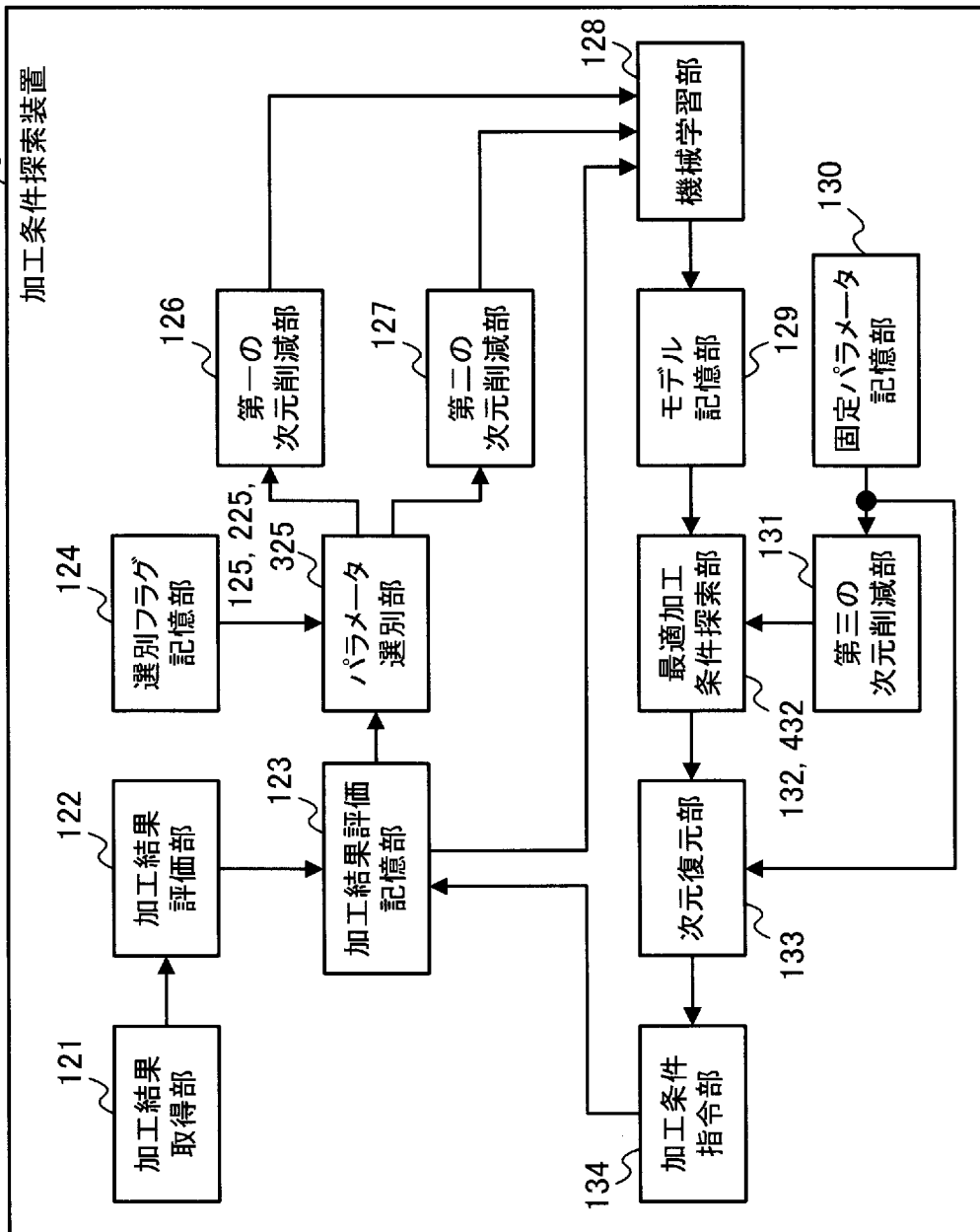
を特徴とする加工条件探索方法。

[図1]



[図2]

120, 220, 320, 420



[図3]

101

		加工番号			
		1	2	...	N
パラメータ番号	1	p_{11}	p_{21}	...	p_{N1}
	2	p_{12}	p_{22}	...	p_{N2}
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$
	M	p_{1M}	p_{2M}	...	p_{NM}
評価値		j_1	j_2	...	j_N

[図4]

102

103

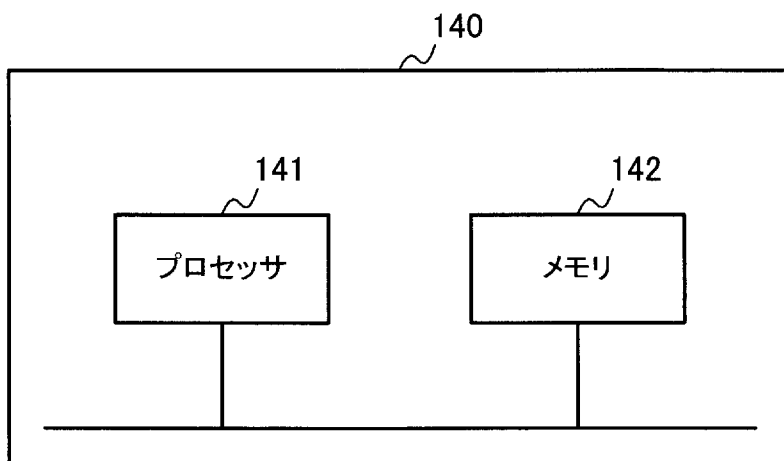
		加工番号			
		1	2	...	N
パラメータ番号	1	q_{11}	q_{21}	...	q_{N1}
	2	q_{12}	q_{22}	...	q_{N2}
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$
	M_v	q_{1M_v}	q_{2M_v}	...	q_{NM_v}

(A)

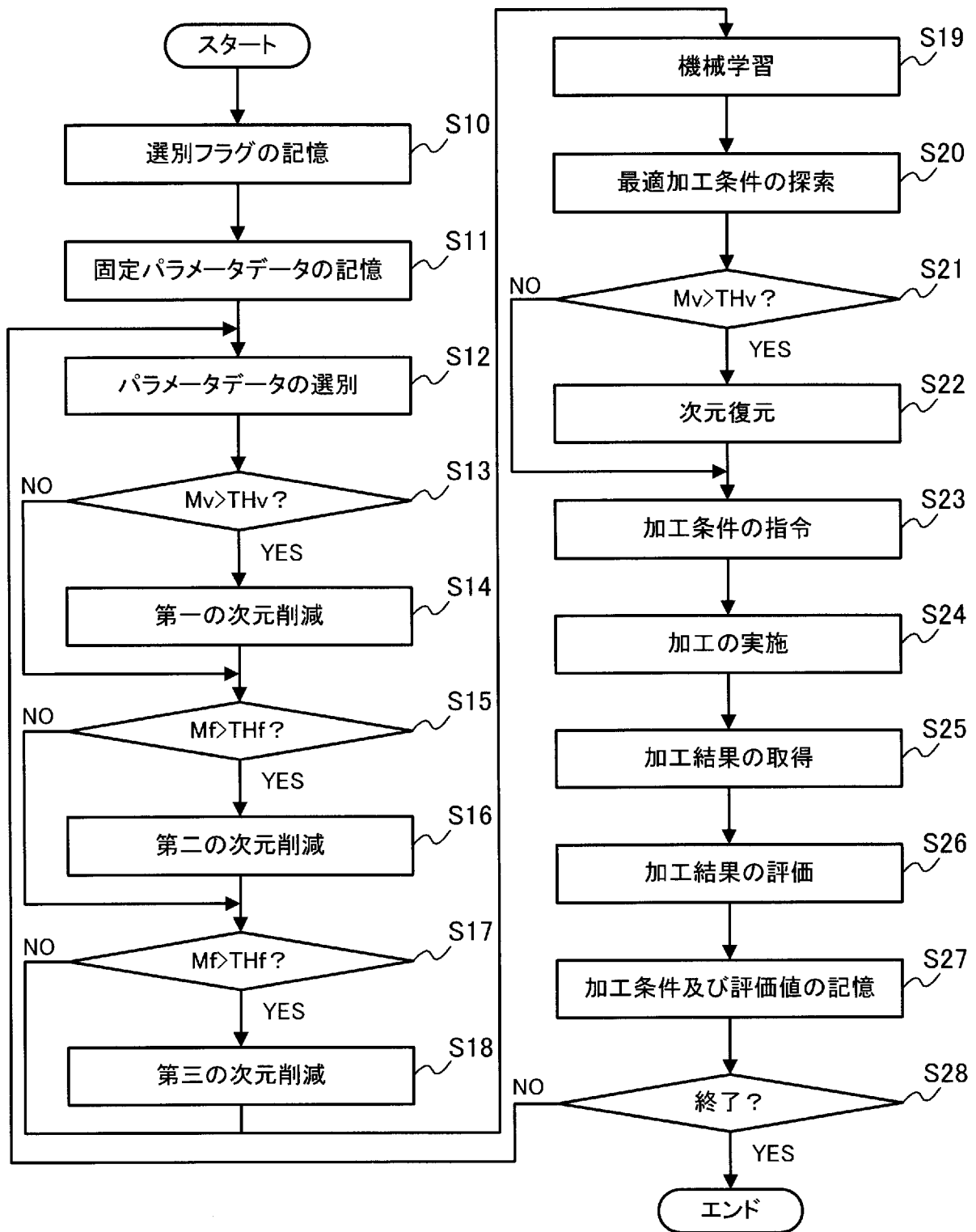
		加工番号			
		1	2	...	N
パラメータ番号	1	r_{11}	r_{21}	...	r_{N1}
	2	r_{12}	r_{22}	...	r_{N2}
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$
	M_f	r_{1M_f}	r_{2M_f}	...	r_{NM_f}

(B)

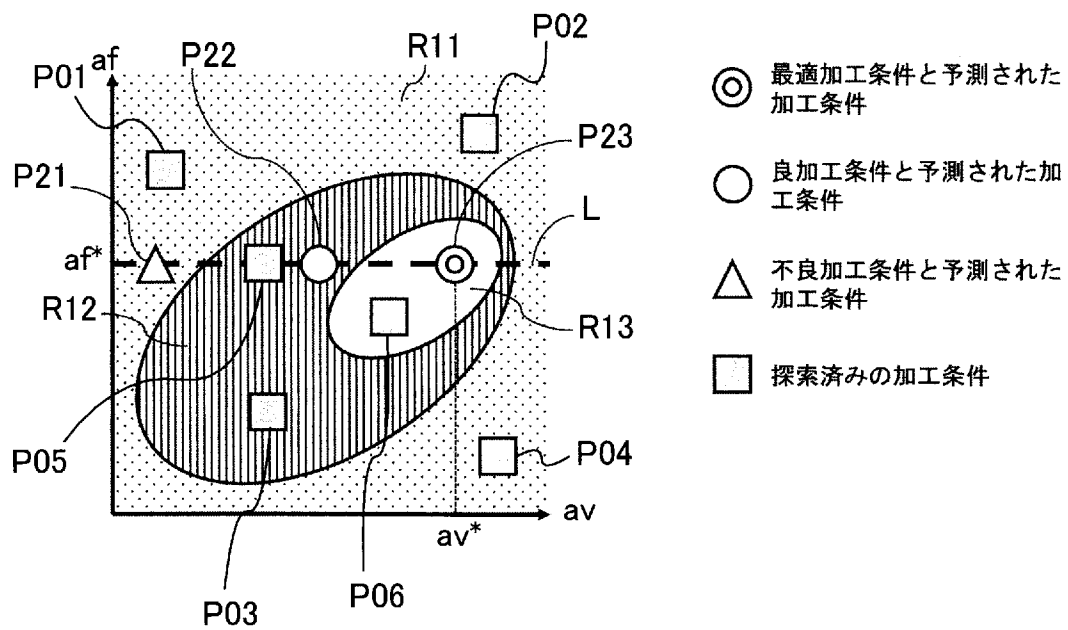
[図5]



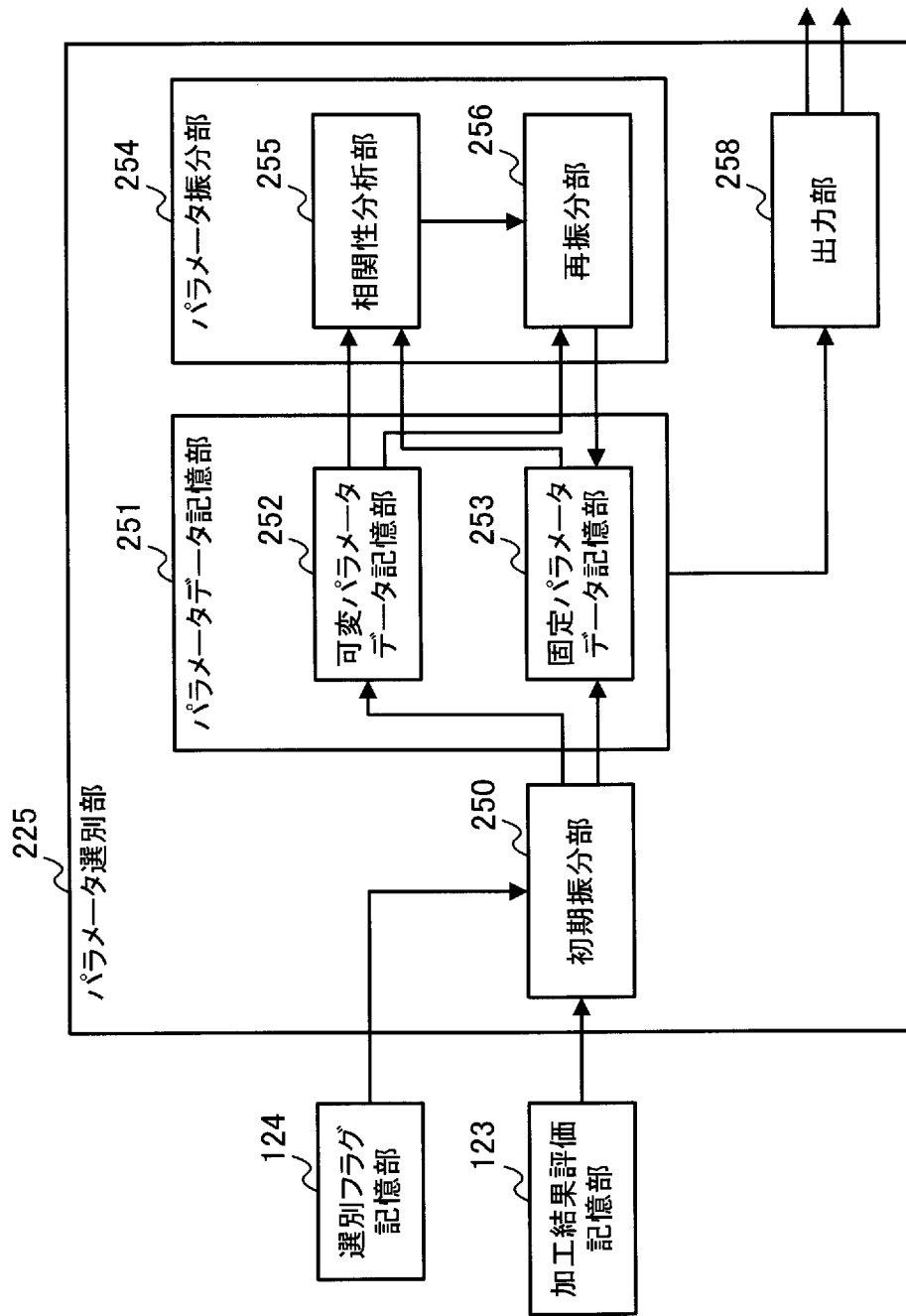
[図6]



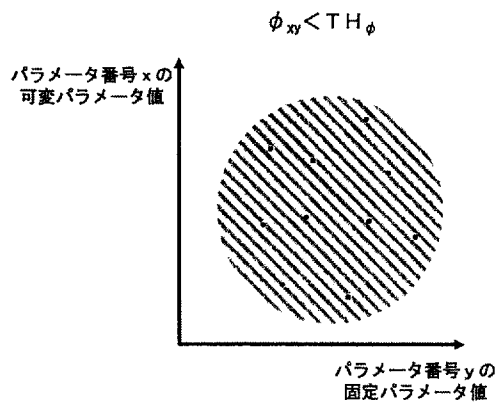
[図7]



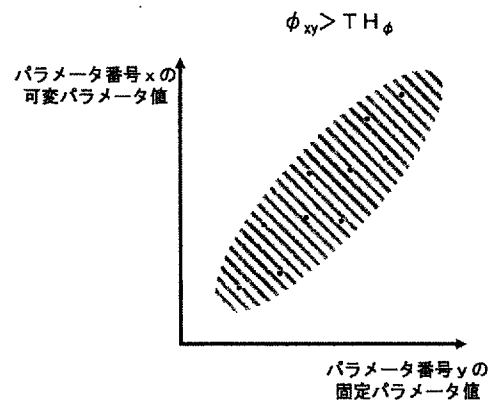
[図8]



[図9]

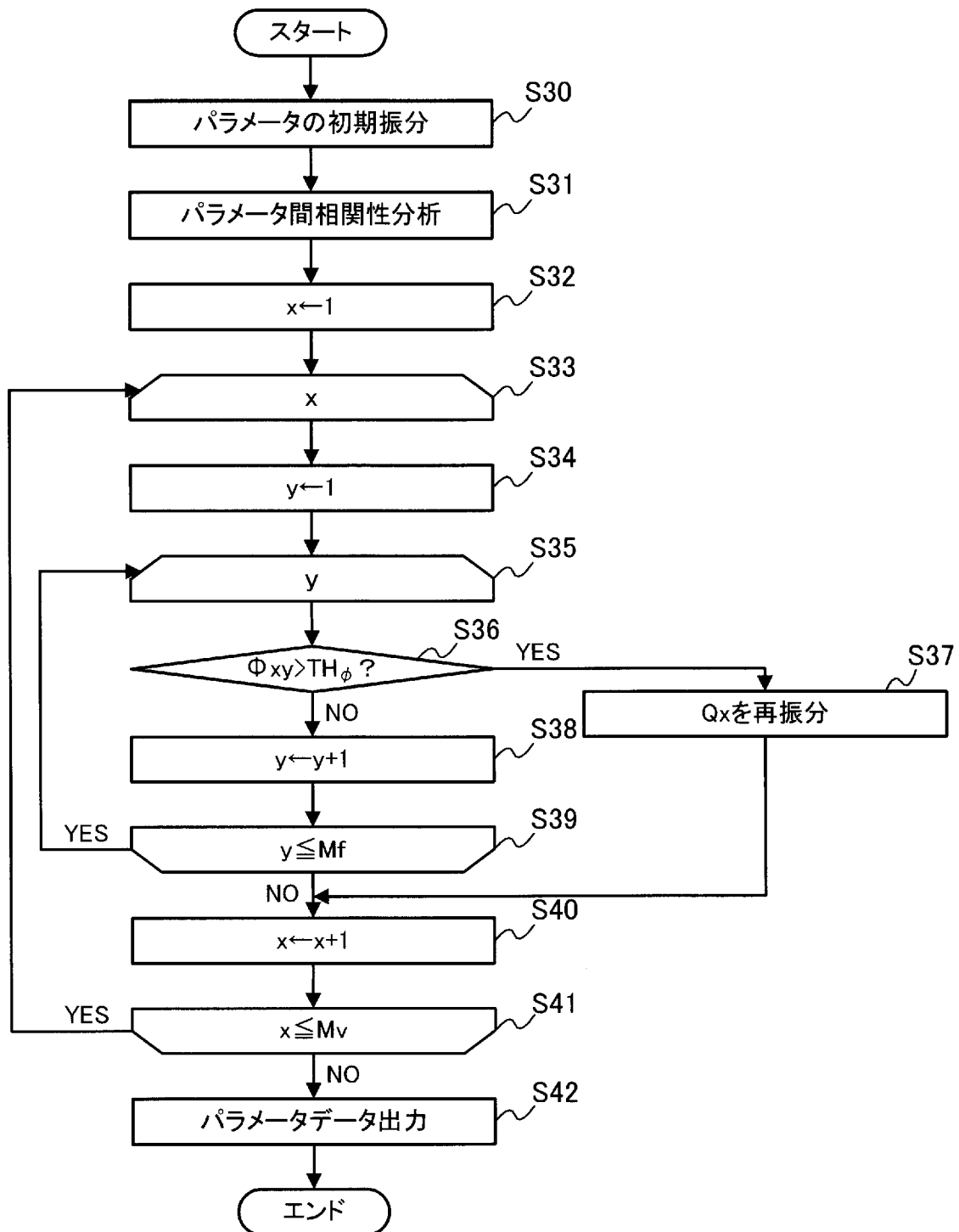


(A)

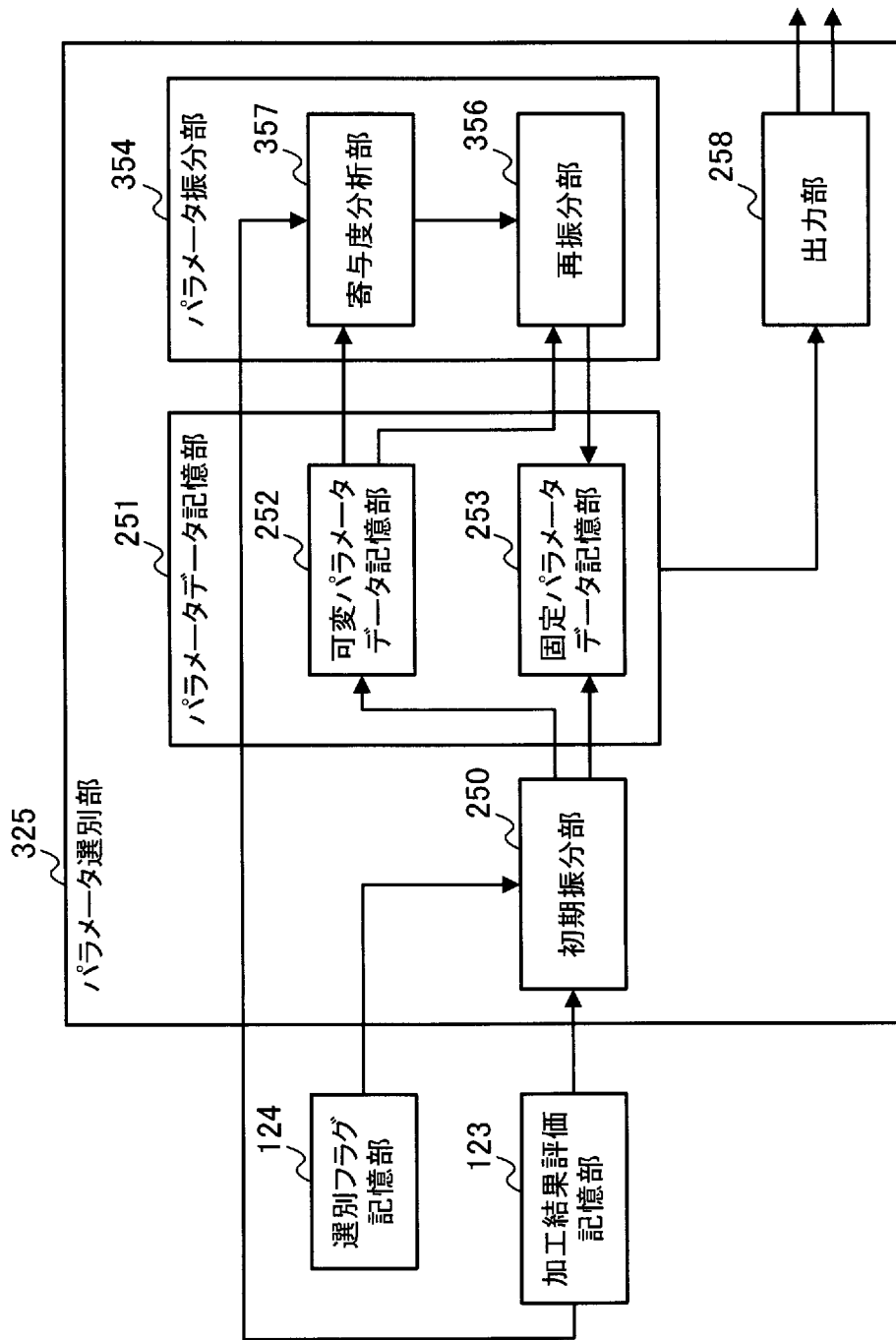


(B)

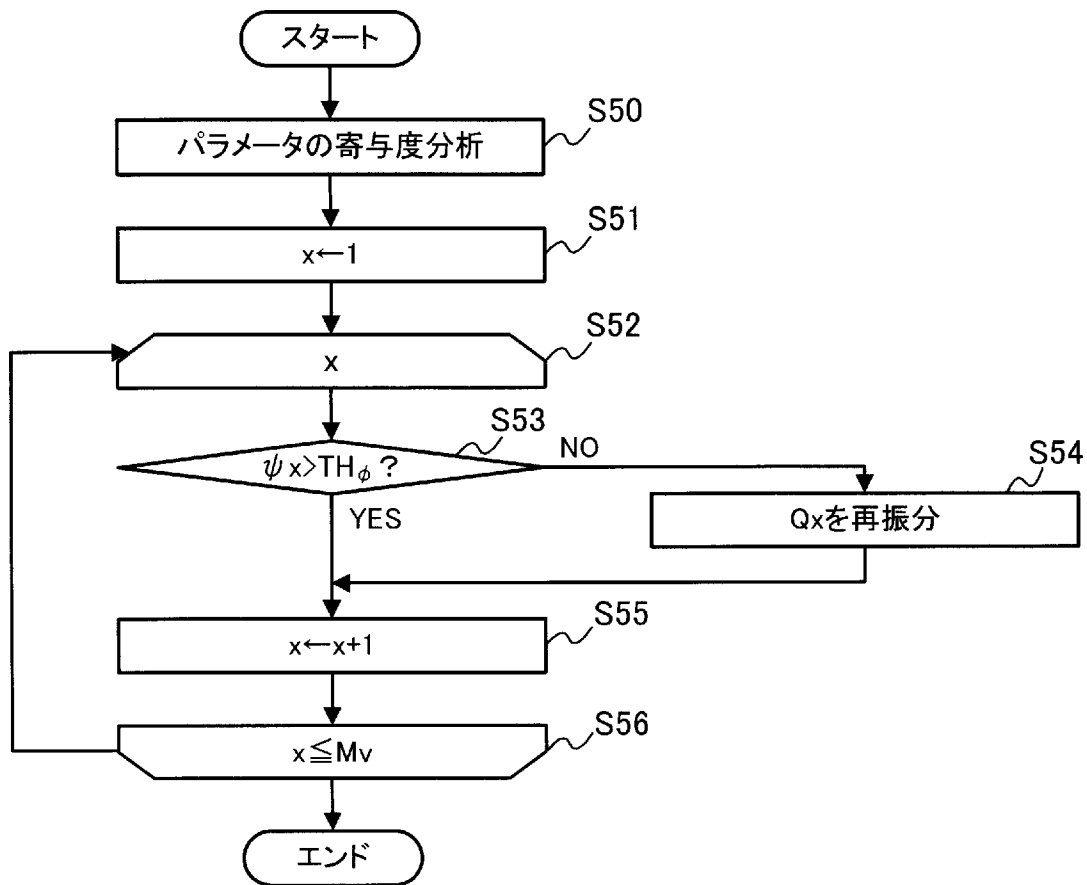
[図10]



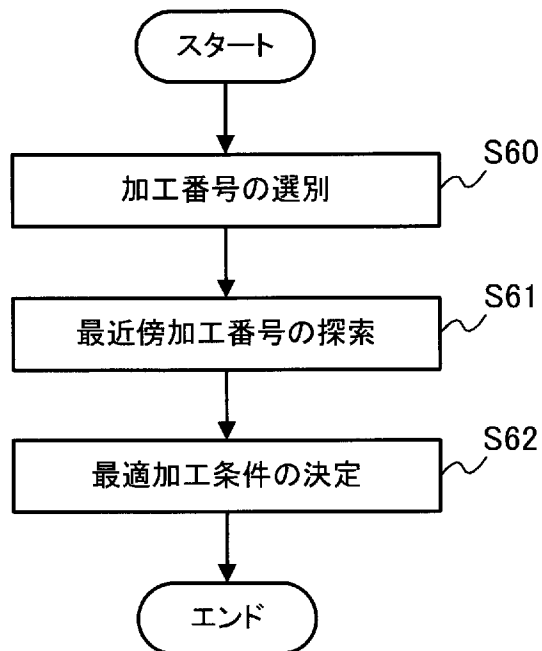
[図11]



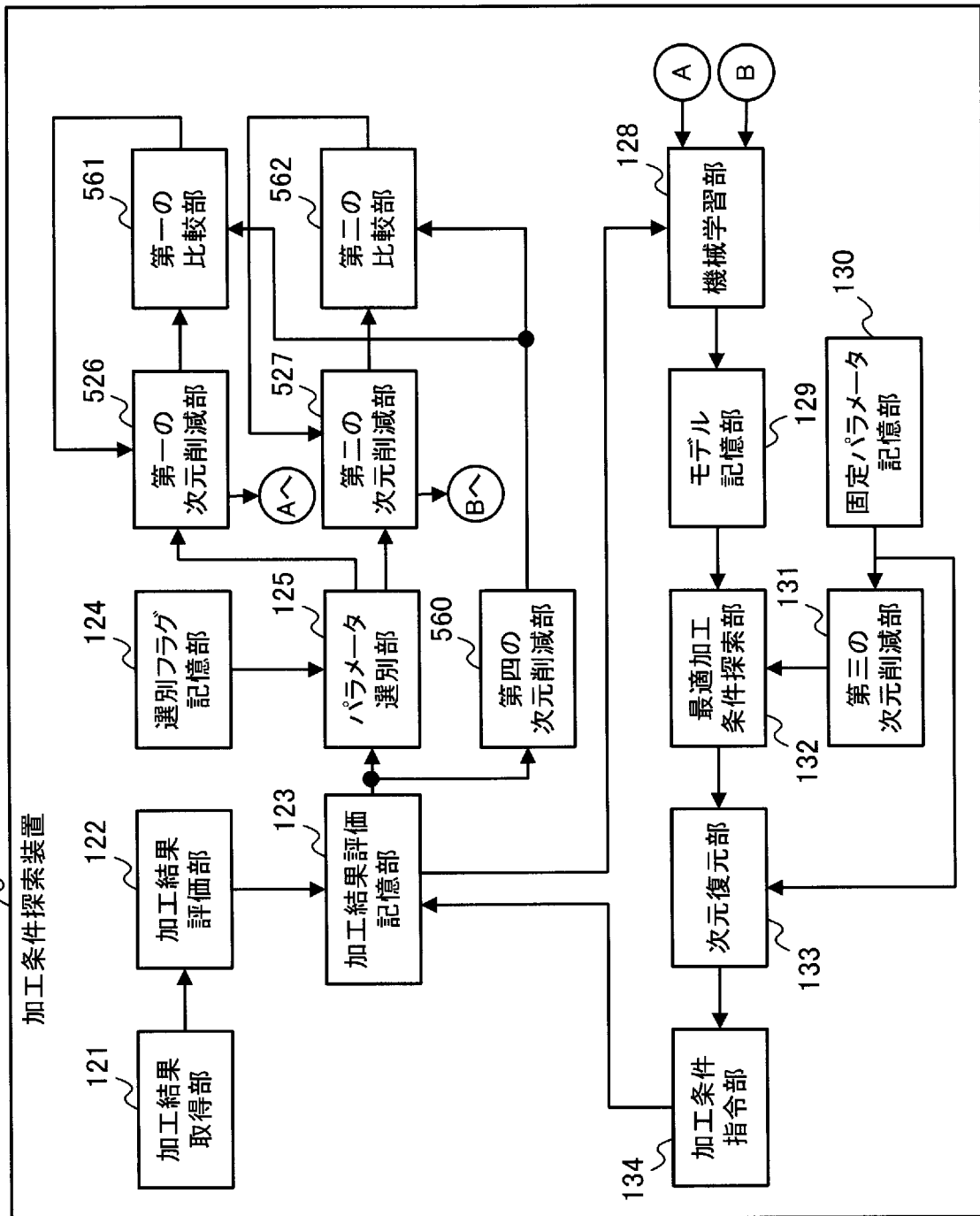
[図12]



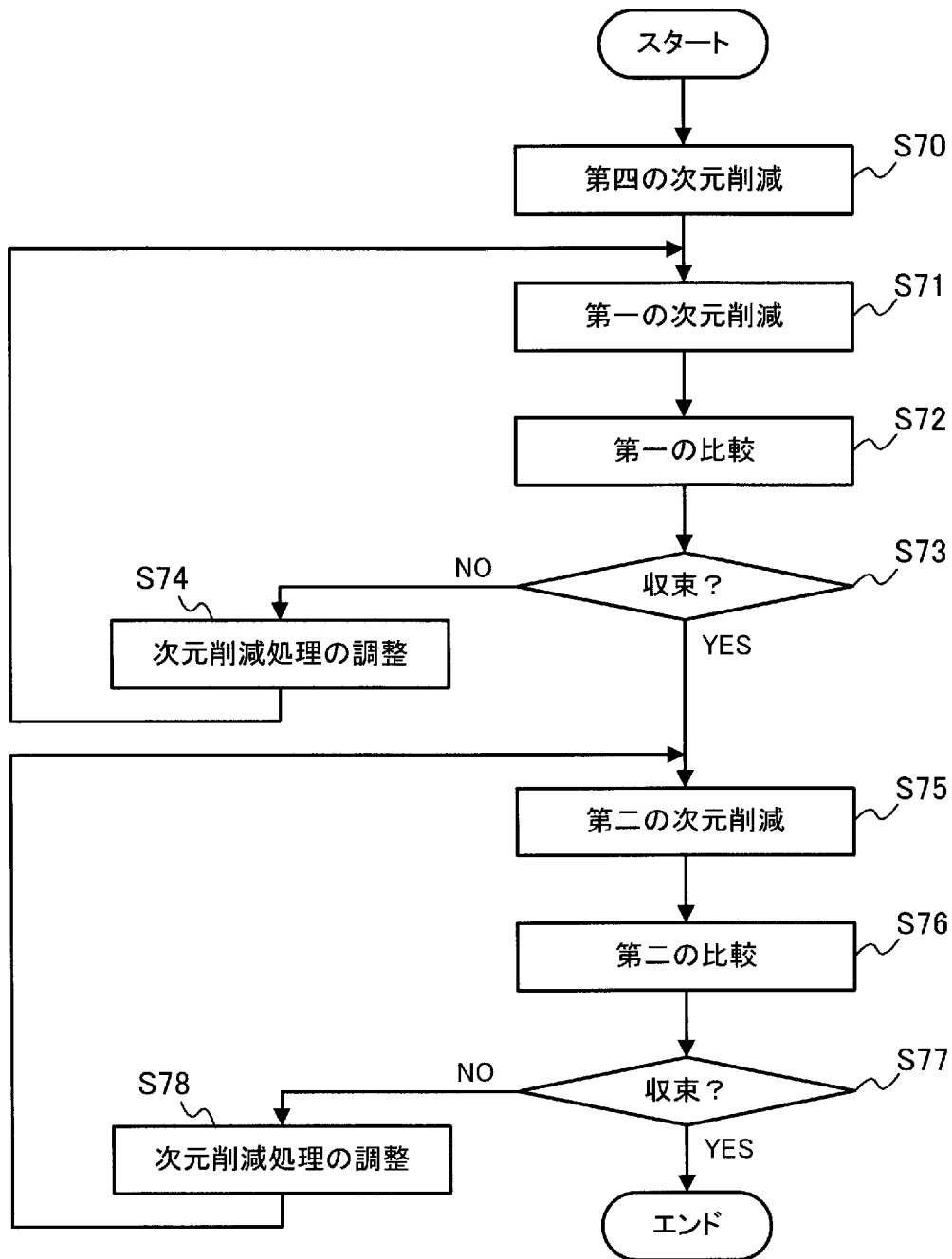
[図13]



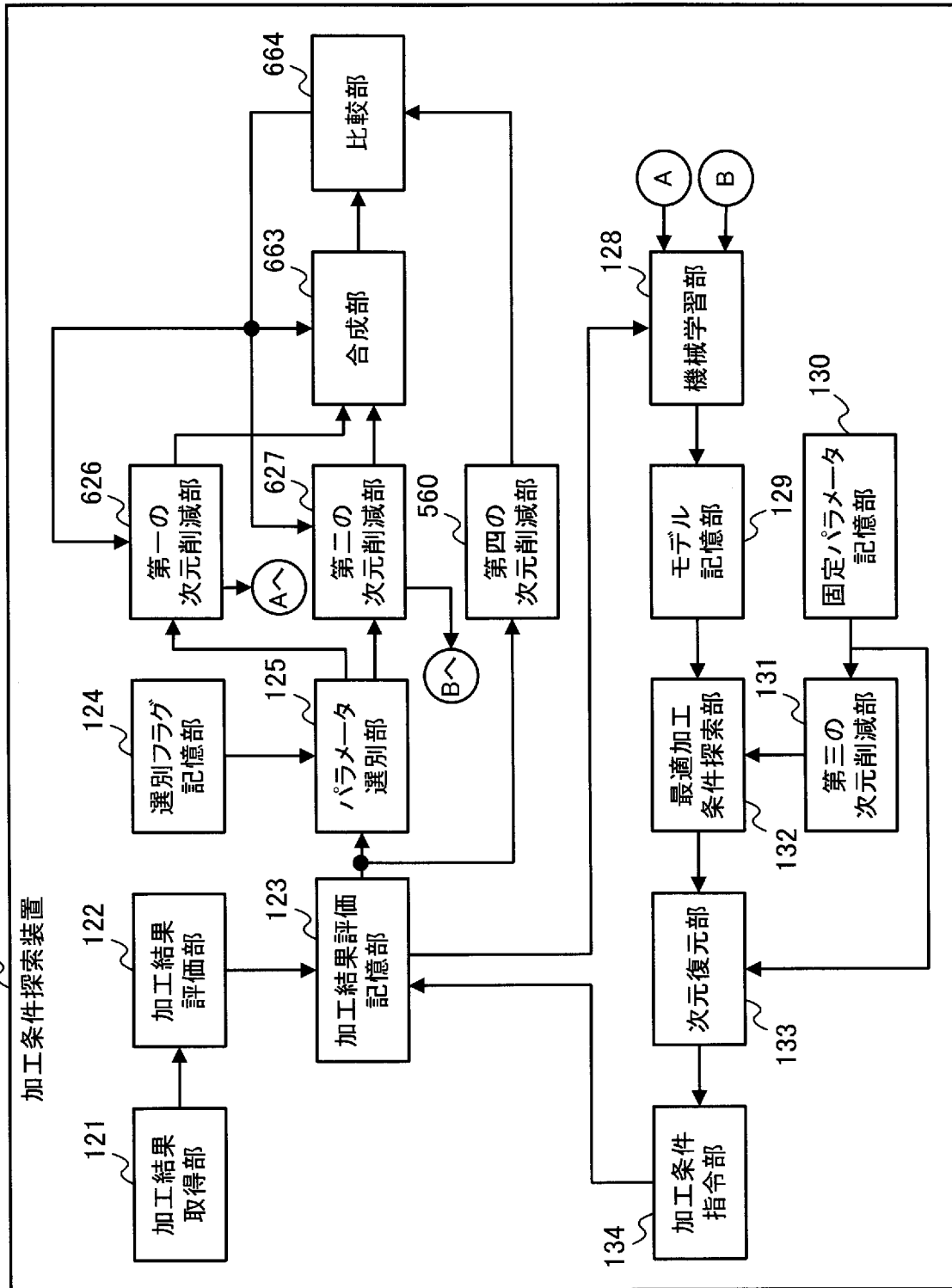
520



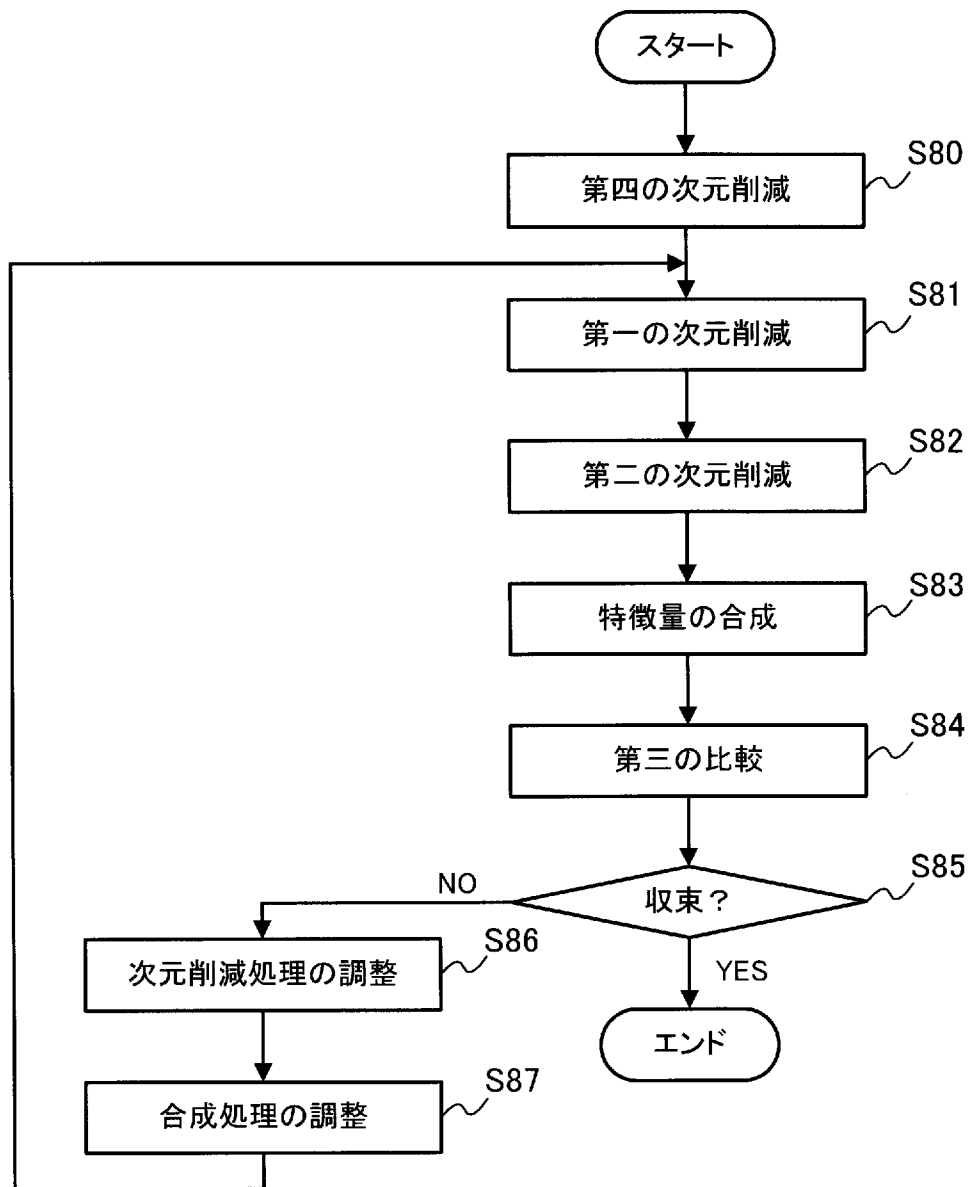
[図15]



620



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/016285

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B 19/18(2006.01)i; G05B 19/4155(2006.01)i; G05B 13/04(2006.01)i
FI: G05B19/18 Z; G05B19/4155 V; G05B13/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G05B19/18; G05B19/4155; G05B13/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021

Registered utility model specifications of Japan 1996-2021

Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-312308 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 09 November 2001 (2001-11-09) entire text, all drawings	1-14
A	JP 2005-115560 A (MICRON SEIMITSU KK) 28 April 2005 (2005-04-28) entire text, all drawings	1-14
A	JP 2009-282909 A (SODICK CO LTD) 03 December 2009 (2009-12-03) entire text, all drawings	1-14
A	JP 2012-236267 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 06 December 2012 (2012-12-06) entire text, all drawings	1-14
A	JP 2019-198876 A (FANUC LTD) 21 November 2019 (2019-11-21) entire text, all drawings	1-14
A	US 2020/0272128 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 27 August 2020 (2020-08-27) entire text, all drawings	1-14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
17 June 2021 (17.06.2021)

Date of mailing of the international search report
29 June 2021 (29.06.2021)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application no.
PCT/JP2021/016285

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2001-312308 A	09 Nov. 2001	(Family: none)	
JP 2005-115560 A	28 Apr. 2005	(Family: none)	
JP 2009-282909 A	03 Dec. 2009	(Family: none)	
JP 2012-236267 A	06 Dec. 2012	(Family: none)	
JP 2019-198876 A	21 Nov. 2019	US 2019/0351512 A1 entire text, all drawings DE 102019112379 A1 CN 110549005 A	
US 2020/0272128 A1	27 Aug. 2020	WO 2020/176733 A1	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G05B 19/18(2006.01)i; G05B 19/4155(2006.01)i; G05B 13/04(2006.01)i FI: G05B19/18 Z; G05B19/4155 V; G05B13/04														
B. 調査を行った分野														
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G05B19/18; G05B19/4155; G05B13/04														
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2021年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2021年	日本国実用新案登録公報	1996-2021年	日本国登録実用新案公報	1994-2021年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2021年													
日本国実用新案登録公報	1996-2021年													
日本国登録実用新案公報	1994-2021年													
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）														
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
A	JP 2001-312308 A（松下電工株式会社）09.11.2001（2001-11-09） 全文、全図	1-14												
A	JP 2005-115560 A（ミクロン精密株式会社）28.04.2005（2005-04-28） 全文、全図	1-14												
A	JP 2009-282909 A（株式会社ソディック）03.12.2009（2009-12-03） 全文、全図	1-14												
A	JP 2012-236267 A（三菱電機株式会社）06.12.2012（2012-12-06） 全文、全図	1-14												
A	JP 2019-198876 A（ファナック株式会社）21.11.2019（2019-11-21） 全文、全図	1-14												
A	US 2020/0272128 A1（GENERAL ELECTRIC COMPANY）27.08.2020（2020-08-27） 全文、全図	1-14												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献	“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの													
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 17.06.2021	国際調査報告の発送日 29.06.2021													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 白井 卓巳 3U 4550 電話番号 03-3581-1101 内線 3364													

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/016285

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2001-312308	A	09.11.2001	(ファミリーなし)	
JP	2005-115560	A	28.04.2005	(ファミリーなし)	
JP	2009-282909	A	03.12.2009	(ファミリーなし)	
JP	2012-236267	A	06.12.2012	(ファミリーなし)	
JP	2019-198876	A	21.11.2019	US 2019/0351512	A1
				全文、全図	
				DE 102019112379	A1
				CN 110549005	A
US	2020/0272128	A1	27.08.2020	WO 2020/176733	A1