

(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
2023年11月9日(09.11.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/214541 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 21/00 (2006.01) G06N 20/00 (2019.01)
G05B 19/418 (2006.01) H01L 21/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/016791

(22) 国際出願日: 2023年4月28日(28.04.2023)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2022-076699 2022年5月6日(06.05.2022) JP

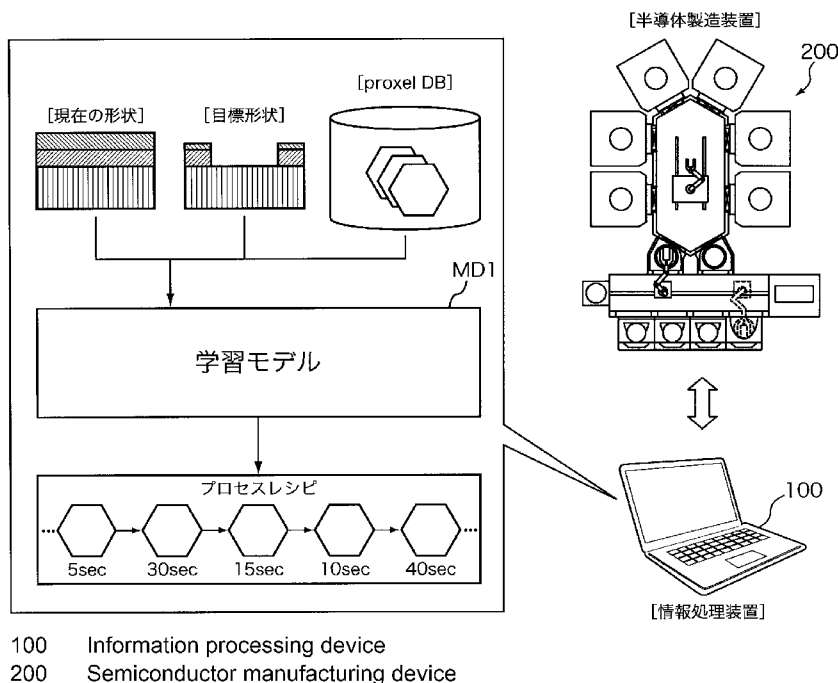
(71) 出願人: 東京エレクトロン株式会社(TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目3番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 中村 隆央(NAKAMURA, Takahiro);

〒0600003 北海道札幌市中央区北3条西3丁目1大同生命札幌ビル10階 東京エレクトロン株式会社内 Hokkaido (JP). 小川 裕亮(OGAWA, Yusuke); 〒0600003 北海道札幌市中央区北3条西3丁目1大同生命札幌ビル10階 東京エレクトロン株式会社内 Hokkaido (JP). 加藤 隆彦(KATO, Takahiko); 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP). 茂木 弘典(MOKI, Hironori); 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP).

(54) Title: MODEL GENERATION METHOD, COMPUTER PROGRAM, AND INFORMATION PROCESSING DEVICE

(54) 発明の名称: モデル生成方法、コンピュータプログラム及び情報処理装置



(57) Abstract: A model generation method, a computer program, and an information processing device are provided. A computer is used to execute a process comprising: acquiring a plurality of groups of variables for formulating a process recipe, state data indicating the state of a body to be processed prior to execution of a specific step of the process recipe, and target data indicating a target state of the body to be processed; selecting one group of variables from the plurality of groups of variables; evaluating a state of the body to be processed that is obtained by executing one step characterized by

[続葉有]

(74) 代理人: 河野 英仁, 外 (KOHNO, Hideto et al.);
〒5400035 大阪府大阪市中央区釣鐘町二丁目
4 番 3 号 河野特許事務所 Osaka (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, 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))

the selected one group of variables; and generating a process recipe formulating model by reinforcement learning using the state data and the target data that have been acquired, and a reward that is determined in accordance with the evaluated state of the body to be processed.

(57) 要約: モデル生成方法、コンピュータプログラム及び情報処理装置の提供。 プロセスレシピを構築するための複数の変数群と、プロセスレシピの特定のステップが実行される前の被処理体の状態を示す状態データと、被処理体の目標状態を示す目標データとを取得し、複数の変数群から一の変数群を選択し、選択した一の変数群により特徴付けられる一のステップを実行することによって得られる前記被処理体の状態を評価し、取得した状態データ及び目標データ、並びに、評価した前記被処理体の状態に応じて決定される報酬を用いた強化学習によって、プロセスレシピ構築のためのモデルを生成する処理をコンピュータにより実行する。

明 細 書

発明の名称：

モデル生成方法、コンピュータプログラム及び情報処理装置

技術分野

[0001] 本発明は、モデル生成方法、コンピュータプログラム及び情報処理装置に関する。

背景技術

[0002] 従来の半導体処理装置では、半導体処理装置を構成する様々な制御部品に対する制御値をステップ毎に記述してプロセスレシピを作成し、作成したプロセスレシピの各ステップに従って、各種プロセスを実施している。

[0003] 特許文献1には、目標加工形状に加工するために半導体処理装置に設定する入力パラメータ値を探索するため、入力パラメータ値と、加工結果に実測値である出力値との関係を示す予測モデルを生成する手法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2019-165123号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 本開示は、被処理体の現在の形状に応じて、プロセスレシピに推奨される変数群を提示できるモデルの生成方法、コンピュータプログラム及び情報処理装置の提供を目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示のモデル生成方法は、プロセスレシピを構築するための複数の変数群と、前記プロセスレシピの特定のステップが実行される前の被処理体の状態を示す状態データと、前記被処理体の目標状態を示す目標データとを取得

し、前記複数の変数群から一の変数群を選択し、選択した一の変数群により特徴付けられる一のステップを実行することによって得られる前記被処理体の状態を評価し、取得した状態データ及び目標データ、並びに、評価した前記被処理体の状態に応じて決定される報酬を用いた強化学習によって、プロセスレシピ構築のためのモデルを生成する処理をコンピュータにより実行する。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、被処理体の現在の形状に応じて、プロセスレシピに推奨される変数群を提示できる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]実施の形態に係る情報処理システムの概要を説明する説明図である。
[図2]製造プロセスで得られるデータの構成について説明する説明図である。
[図3] p r o x e l の構成を説明する説明図である。
[図4]情報処理装置の内部構成を示すブロック図である。
[図5] p r o x e l データベースの一例を示す概念図である。
[図6]強化学習アルゴリズムの概要図である。
[図7]学習モデルの構成例を示す模式図である。
[図8]学習モデルの生成手順を説明するフローチャートである。
[図9]学習モデルを用いたレシピ構築手順を説明するフローチャートである。
[図10]実施の形態2における学習モデルの構成例を示す模式図である。
[図11]ファインチューニングの処理手順を説明するフローチャートである。
[図12]プロセスレシピの評価手順を説明するフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、図面を参照して一実施形態について説明する。

(実施の形態1)

図1は実施の形態に係る情報処理システムの概要を説明する説明図である。実施の形態に係る情報処理システムは、情報処理装置100及び半導体製造装置200を備える。情報処理装置100及び半導体製造装置200は、

例えば通信可能に接続される。半導体製造装置 200 は、露光装置、エッチング装置、成膜装置、イオン注入装置、アッシング装置、スパッタリング装置など、半導体の製造プロセスを実施する任意の装置を含み得る。情報処理装置 100 は、半導体製造装置 200 において実行される製造プロセスに関して、推奨するプロセスレシピを構築し、構築したプロセスレシピを製造者等（ユーザ）に提示する。

[0010] 製造プロセスにおいて用いられるプロセスレシピは、複数のステップにより構成される。ここで、ステップとは、半導体の製造プロセスにおいて、状態（処理対象物の属性や半導体製造装置の状態）を変化させる最小の処理単位を表すものとする。したがって、時間の経過とともに状態が変化する場合、本実施の形態では、時間経過前及び時間経過後をそれぞれ別のステップとして捉えるものとする。

[0011] 情報処理装置 100 は、予め用意されている複数の変数群の中から、各ステップで用いる一の変数群を選択し、各ステップで実行する処理内容を定めていくことによって、ユーザに推奨するプロセスレシピを構築する。

[0012] 本実施の形態では、各ステップにおいて同一の効果が得られる一連の変数（設定値や制御値など）を変数群と記載する。以下の説明では、変数群を `proxel` とも記載する。`proxel` は、各ステップにおける処理内容を定めるためのデータの最小単位であり、画像の最小単位（Picture Element）を `pixel`、立体の最小単位（Volume Element）を `voxel` と称するのと同様の呼称である。図 1 の例では、1 つの `proxel` を 1 つの正六角形により示している。`proxel` の詳細については図 2 ～図 3 を用いて具体的に説明する。

[0013] 本実施の形態では、プロセスレシピを構築する `proxel` を探索するために強化学習による学習モデル MD 1（図 7 を参照）を用いる。学習モデル MD 1 は、例えば、処理対象物（被処理体）の現在の状態を示す状態データ、及びユーザにより設定される処理対象物の目標状態を示す目標データを入力した場合、次のステップで推奨する `proxel` の情報を出力するよう学

習される。情報処理装置100は、学習モデルMD1による演算を各ステップで実行し、演算結果に基づいて各ステップで選択すべき *proxel* を決定していくことにより、ユーザに推奨するプロセスレシピを構築する。学習モデルMD1の構成や学習モデルMD1の生成方法については後に詳述する。

[0014] 図2は製造プロセスで得られるデータの構成について説明する説明図である。半導体の製造プロセスは、プロセスレシピを構成する複数のステップに従って、ステップ順次を実施される。これら複数のステップの夫々において、例えば、初期データ(I)、設定データ(R)、出力データ(E)、測定データ(P I)、実験データ(P r)、目標データ(P f)を含む6つの項目のデータが得られる。

[0015] 初期データ(I)は、処理対象物に関するデータである。初期データ(I)は例えばユーザによって設定される。初期データ(I)は、例えば、初期限界寸法(Initial CD)、材料(Material)、厚さ(Thickness)、アスペクト比(Aspect ratio)、マスク被覆性(Mask coverage)などのデータを含む。

[0016] 設定データ(R)は、半導体製造装置に対して設定されるデータである。設定データ(R)は、処理対象物や最終目標物の属性、使用する半導体製造装置の特性などに応じて、ユーザにより設定される。設定データ(R)は、例えば、チャンバ内の圧力(Pressure)、高周波電源の電力(Power)、ガス流量(Gas)、チャンバ内の温度や処理対象物の表面温度(Temperature)等のデータを含む。

[0017] 出力データ(E)は、半導体製造装置から出力されるデータである。出力データ(E)は、例えば、RF信号のピーク間電圧(Vpp)、直流自己バイアス電圧(Vdc)、発光分光分析による発光強度(0ES)、反射波電力(Reflect)などのデータを含む。

[0018] 測定データ(P I)は、製造プロセスの実施環境に関するデータである。測定データ(P I)は、各種のセンサや測定装置を用いて測定される。測定

データ（P l）は、例えば、プラズマ密度（Plasma density）、イオンエネルギー（Ion energy）、イオン流量（Ion flux）などのデータを含む。

[0019] 実験データ（P r）は、各ステップで得られる結果物に関するデータである。実験データ（P r）は、各種のセンサや測定装置を用いて測定される。実験データ（P r）は、例えば、エッチング速度（Etching rate）、成膜速度（Deposition rate）、X Y座標（XY position）、薄膜の種類（Film type）、縦型／横型の区分（Vertical/Lateral）などのデータを含む。

[0020] 目標データ（P f）は、最終目標物に関するデータである。目標データ（P f）は、最終目標物が到達すべき属性に応じて、ユーザにより設定される。目標データ（P f）は、限界寸法（CD）、深さ（Depth）、テーパ角（Taper）、チルト角（Tilting）、ボーイング（Bowling）などのデータを含む。

[0021] なお、図2に示した項目は一例であり、各ステップに含まれる項目の種類は図示したものに限定されない。例えば、製造プロセスやステップに応じて含まれない項目があってもよく、製造プロセスやステップに応じて異なる項目が含まれてもよい。また、図2に示した各項目のデータは一例であり、各項目に含まれるデータの種類の種類は図示したものに限定されない。各項目のデータは、製造プロセスやステップに応じて適宜設定され得る。

[0022] 本実施の形態では、同一の製造プロセス、同一のステップにおいて、同様の効果が得られる一連の変数（変数群）を *proxel* として定義する。ここで、製造プロセスの所定のステップにおける効果は、当該ステップを実行する前の被処理体の状態と、当該ステップを実行した後の被処理体の状態との差分として導出される量である。

[0023] 図3は *proxel* の構成を説明する説明図である。簡略化のために、横軸を第1変数、縦軸を第2変数とした二次元の特徴量空間を例に挙げて、*proxel* の構成を説明する。プロセスレシピ内の第1変数及び第2変数を様々に変化させて同一の製造プロセスを複数回実行し、実行結果を解析することにより、各ステップにおいて同様の効果が得られる第1変数及び第2変数の範囲を見出すことができる。

- [0024] 図3にR1～R10の符号を付して示す各領域は、第1変数及び第2変数の範囲を定めることによって画定される領域である。これらの領域R1～R10のうち、領域R1、R2、R3の各領域内の変数を用いて同一の製造プロセスにおける同一のステップを実行した場合、「効果1」という同一の効果が得られたとする。この場合、領域R1、R2、R3内に含まれる複数の変数の組は1つの変数群としてグルーピングされ、これらの変数群は、1つのproxel (proxel1とする)として定義される。
- [0025] 同様に、領域R4、R5、R6、R7の各領域内の変数を用いて同一の製造プロセスにおける同一のステップを実行した場合、「効果1」とは異なる「効果2」という同一の効果が得られたとする。この場合、領域R4、R5、R6、R7内に含まれる複数の変数の組は1つの変数群としてグルーピングされ、これらの変数群は、先のproxel1とは異なる別のproxel (proxel2とする)として定義される。
- [0026] 同様に、領域R8、R9の各領域内の変数を用いて同一の製造プロセスにおける同一のステップを実行した場合、「効果1」及び「効果2」とは異なる「効果3」という同一の効果が得られたとする。この場合、領域R8、R9内に含まれる複数の変数の組は1つの変数群としてグルーピングされ、これらの変数群は、先のproxel1及びproxel2とは異なる別のproxel (proxel3とする)として定義される。
- [0027] 更に、領域R10内の変数を用いて同一の製造プロセスにおける同一のステップを実行した場合、「効果1」～「効果3」とは異なる「効果4」という単独の効果が得られたとする。この場合、領域R10に含まれる複数の変数の組は1つの変数群としてグルーピングされ、これらの変数群は、先のproxel1～proxel3とは異なる別のproxel (proxel4とする)として定義される。
- [0028] 図3では、簡略化のために二次元の特徴量空間を用いて、proxelの構成を説明したが、各ステップがK個(Kは1以上の整数)の変数を含む場合、K次元の特徴量空間を用いて、同一の効果が得られる各変数の範囲(空

間領域)を見出し、効果毎に変数をグルーピングして `proxel` を定義すればよい。

[0029] 以下、`proxel` を用いてレシピ構築を行う情報処理装置 100 の構成について説明する。図 4 は情報処理装置 100 の内部構成を示すブロック図である。情報処理装置 100 は、例えば、制御部 101、記憶部 102、通信部 103、操作部 104、及び表示部 105 を備える専用又は汎用のコンピュータである。

[0030] 制御部 101 は、CPU (Central Processing Unit)、ROM (Read Only Memory)、RAM (Random Access Memory)などを備える。制御部 101 が備える ROM には、情報処理装置 100 が備えるハードウェア各部の動作を制御する制御プログラム等が記憶される。制御部 101 内の CPU は、ROM に記憶されている制御プログラムや記憶部 102 に記憶されている各種コンピュータプログラムを読み込んで実行し、ハードウェア各部の動作を制御することによって、装置全体を本開示の情報処理装置として機能させる。制御部 101 が備える RAM には、演算の実行中に利用されるデータが一時的に記憶される。

[0031] 実施の形態では、制御部 101 が CPU、ROM、及び RAM を備える構成としたが、制御部 101 の構成は上記のものに限定されない。制御部 101 は、例えば、GPU (Graphics Processing Unit)、FPGA (Field Programmable Gate Array)、DSP (Digital Signal Processor)、量子プロセッサ、揮発性又は不揮発性のメモリ等を備える 1 又は複数の制御回路又は演算回路であってもよい。また、制御部 101 は、日時情報を出力するクロック、計測開始指示を与えてから計測終了指示を与えるまでの経過時間を計測するタイマ、数をカウントするカウンタ等の機能を備えてもよい。

[0032] 記憶部 102 は、HDD (Hard Disk Drive)、SSD (Solid State Drive)、EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)などの記憶装置を備える。記憶部 102 には、制御部 101 によって実行される各種のコンピュータプログラムや制御部 101 によって利用される

各種のデータが記憶される。

[0033] 記憶部102に記憶されるコンピュータプログラム（プログラム製品）は、学習モデルMD1を生成するための学習プログラムPG1、レシピ構築のためのレシピ構築プログラムPG2、プロセスレシピに従って製造プロセスを仮想的に行うシミュレータSIMなどを含む。これらのコンピュータプログラムは、それぞれ単一のコンピュータプログラムであってもよく、複数のコンピュータプログラムにより構成されるものであってもよい。また、これらのコンピュータプログラムは、既存のライブラリを部分的に用いるものであってもよい。

[0034] 記憶部102に記憶される学習プログラムPG1やレシピ構築プログラムPG2などのコンピュータプログラムは、当該コンピュータプログラムを読み取り可能に記録した非一時的な記録媒体RMにより提供される。記録媒体RMは、CD-ROM、USBメモリ、SD（Secure Digital）カード、マイクロSDカード、コンパクトフラッシュ（登録商標）などの可搬型メモリである。制御部101は、図に示していない読取装置を用いて、記録媒体RMから各種コンピュータプログラムを読み取り、読み取った各種コンピュータプログラムを記憶部102に記憶させる。また、記憶部102に記憶されるコンピュータプログラムは、通信により提供されてもよい。この場合、制御部101は、通信部103を介した通信によりコンピュータプログラムを取得し、取得したコンピュータプログラムを記憶部102に記憶させればよい。

[0035] また、記憶部102には、学習モデルMD1が記憶される。学習モデルMD1は、後述の強化学習によって生成される学習モデルである。記憶部102には、学習モデルMD1を構成する層の構成情報、各層を構成するノードの情報、ノード間の重み付けやバイアス等のモデルパラメータが記憶される。

[0036] また、記憶部102は、proxelデータベースDBを備える。図5はproxelデータベースDBの一例を示す概念図である。proxelデ

ータベースDBは、前述のように定められる個々のproxelを、プロセスID、各データのデータ範囲、効果、プロセスID、及びステップ番号に関連付けて記憶する。すなわち、proxelデータベースDBには、製造プロセス毎、ステップ毎、効果毎にまとめたプロセス条件が多数記憶される。proxelデータベースDBにおいて、1つのproxelのIDを指定した場合、同じ効果が得られる半導体のプロセス条件（変数群）が1つ定まる。

[0037] 本実施の形態では、情報処理装置100の内部にproxelデータベースDBを備える構成としたが、情報処理装置100の外部にproxelデータベースDBを設け、通信部103を介してアクセスし、必要なデータを取得する構成としてもよい。

[0038] 通信部103は、外部装置との間で各種のデータを送受信するための通信インタフェースを備える。通信部103の通信インタフェースとして、LAN（Local Area Network）などの通信規格に準拠した通信インタフェースを用いることができる。外部装置は、半導体製造装置200及び図に示していないサーバ装置を含み得る。通信部103は、送信すべきデータが制御部101から入力された場合、宛先の外部装置へデータを送信し、外部装置から送信されたデータを受信した場合、受信したデータを制御部101へ出力する。

[0039] 操作部104は、タッチパネル、キーボード、スイッチなどの操作デバイスを備え、ユーザ等による各種の操作及び設定を受付ける。制御部101は、操作部104より与えられる各種の操作情報に基づき適宜の制御を行い、必要に応じて設定情報を記憶部102に記憶させる。

[0040] 表示部105は、液晶モニタや有機EL（Electro-Luminescence）などの表示デバイスを備え、制御部101からの指示に応じてユーザ等に報知すべき情報を表示する。

[0041] なお、本実施の形態における情報処理装置100は、単一のコンピュータであってもよく、複数のコンピュータや周辺機器などにより構成されるコン

ピュータシステムであってもよい。また、情報処理装置100は、実体が仮想化された仮想マシンであってもよく、クラウドであってもよい。更に、本実施の形態では、情報処理装置100と半導体製造装置200とを別体として記載したが、情報処理装置100は半導体製造装置200の内部に設けられるものであってもよい。

[0042] 本実施の形態では、ユーザに提示するプロセスレシピを構築するために、強化学習アルゴリズムを用いる。図6は強化学習アルゴリズムの概要図である。強化学習アルゴリズムは、ある環境下におかれたエージェントが観測対象の現在の状態を観測し、取るべき行動を決定する問題を扱うアルゴリズムである。以下では、強化学習の一手法であるDQN (Deep Q-Network) について説明する。

[0043] 強化学習における学習モデルは、観測対象の現在の状態 s_t を入力した場合、取り得る行動 $a_1, a_2, \dots, a_n$ (n は2以上の整数)の夫々について行動価値関数の値(Q値)を出力するよう学習される。行動価値関数をニューラルネットワークで近似し、強化学習を行う手法がDQNである。

[0044] 本実施の形態では、行動価値関数を近似するニューラルネットワークを用いて学習モデルMD1を表現し、被処理体の現在の状態に応じて、各 $proxe$ を選択したときの価値に関する情報を出力するよう強化学習を行う。学習モデルMD1に入力する状態 s_t は、例えば、被処理体の現在の状態を示す状態データと、被処理体の目標状態を示す目標データとの間の差分データである。より具体的には、被処理体の現在の形状を示す画像データと、被処理体の目標形状を示す画像データとの間の差分データを用いることができる。

[0045] 学習モデルMD1は、現在の状態 s_t の入力に対し、取り得る行動 $a_1, a_2, \dots, a_n$ (n は2以上の整数)のそれぞれについて行動価値関数の値 $Q(s_t, a_1), Q(s_t, a_2), \dots, Q(s_t, a_n)$ を出力する。行動価値関数の値は、状態 s_t において行動 a を選択した場合における、将来にわたって得られる収益の期待値を表しており、Q値とも呼ばれる。すなわち、

行動価値関数の値（Q値）は、短期的な報酬を表すのではなく、長期的な意味での価値を表している。本実施の形態において、行動 a は、選択した $proxe$ l により規定される条件に従ってプロセスを構成する一のステップを実行することに相当する。

[0046] エージェントは、学習モデルMD 1 より各行動について出力されるQ値を参照し、状態 s_t において取り得る行動 $a_1, a_2, \dots, a_n$ のうち、最もQ値が高くなる行動 a_t を選択する。環境は選択された行動 a_t によって更新され、次の状態 s_{t+1} が定まる。本実施の形態において、エージェントは情報処理装置100の制御部101であり、環境はプロセスレシピに従って製造プロセスを仮想的に実行するシミュレータである。

[0047] エージェントは、行動 a_t の選択により生成される次の状態 s_{t+1} に応じて、環境より報酬 r_{t+1} を獲得する。実施する製造プロセスがエッチング処理であった場合、報酬 r_{t+1} は、例えば、被処理体を削れた量、削り残しのロス、削り過ぎのロス、選択した $proxe$ l の正当性等に応じて決定される。

[0048] エージェントは、試行錯誤を重ねながら、将来にわたって得られる報酬（収益）を最大化するような行動を学習する。具体的には、エージェントは、状態 s_t 、状態 s_{t+1} 、及び前回の行動 a_t に対する報酬 r_{t+1} を使用して、以下の数式（1）に基づき学習モデルMD 1 を順次更新する。

$$[0049] \quad Q(s_t, a_t) \leftarrow Q(s_t, a_t) + \alpha \{ r_{t+1} + \gamma \cdot \max Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t) \} \dots\dots (1)$$

[0050] ここで、 α は学習係数、 γ は割引率、 r_{t+1} は行動 a_t の結果として得られる報酬である。学習係数 α は、学習の速度を決定するパラメータであり、 $0 < \alpha < 1$ の関係を満たす。割引率 γ は、未来の状態に対する評価をどの程度割り引いて評価するかを示すパラメータであり、 $0 < \gamma < 1$ の関係を満たす。

[0051] Q学習では、数式（1）の右辺第2項がゼロになるように、誤差逆伝播法等を用いて学習モデルMD 1 のモデルパラメータを学習する。これは、行動

a_t により状態 s_t が状態 s_{t+1} に遷移した場合に、その行動 a_t のQ値を次の状態 s_{t+1} において最もQ値が高い状態である場合の値に近づけることを意味する。

[0052] エージェントは、所定の終了条件を満たすまで学習モデルMD 1の更新を繰り返す。更新を繰り返すことによって、学習モデルMD 1は報酬 r_{t+1} が最大化するように学習される。終了条件は、例えば、所定回数の更新を行った場合、被処理体の形状が目標形状に近づいた場合、被処理体が削れなくなった場合など適宜設定される。

[0053] 以上の強化学習により生成される学習モデルMD 1の構成について説明する。図7は学習モデルMD 1の構成例を示す模式図である。学習モデルMD 1は、例えば図7に示す第1レイヤL 1から第6レイヤL 6の6つのレイヤを含む。第1レイヤL 1は、スライス (Slice) 層を備える。第1レイヤL 1には、被処理体の現在の形状を示す画像データと目標形状を示す画像データとの差分データが入力される。第1レイヤL 1は、入力された差分データの一部を切り取り、後段の第2レイヤに出力する。

[0054] 第2レイヤL 2は、CNN (Convolutional Neural Network) ブロック、最大プーリング (MaxPooling) 層、バッチ正規化 (BatchNormalization) 層、ReLU (Rectified Linear Unit) 層を備える。第2レイヤL 2は、第1レイヤL 1から入力される差分データより特徴量を抽出し、抽出したデータを後段の第3レイヤへ出力する。

[0055] 第3レイヤL 3は、第2レイヤL 2と同様に、CNNブロック、最大プーリング層、バッチ正規化層、ReLU層を備える。第2レイヤL 2は、第2レイヤL 2から入力されるデータより特徴量を抽出し、抽出したデータを後段の第3レイヤへ出力する。

[0056] 第4レイヤL 4は、平滑化 (Flatten) 層、第5レイヤL 5は、線形 (Linear) 層及びReLU層、第6レイヤは、線形層を備える。第6レイヤL 6が備える最終の線形層は、取り得る行動 $a_1, a_2, \dots, a_n$ の数と同数のノードを備え、各ノードから対応する行動 $a_1, a_2, \dots, a_n$ のそれぞれに

ついて行動価値関数の値を出力する。

[0057] 本実施の形態では、被処理体の現在の形状を示す画像データと、目標形状を示す画像データとの差分を学習モデルMD 1に入力するので、目標形状に近くなったときに適切な *proxe l* を選択しやすいという利点を有する。

[0058] 以下、情報処理装置100の動作について説明する。

情報処理装置100は、実運用が開始される前の学習フェーズにて学習モデルMD 1の生成処理を行い、学習モデルMD 1が生成された後の運用フェーズにて学習モデルMD 1を用いたレシピ構築処理を実行する。

[0059] 図8は学習モデルMD 1の生成手順を説明するフローチャートである。情報処理装置100の制御部101は、学習フェーズにおいて、記憶部102に記憶されている学習プログラムPG 1を実行し、学習モデルMD 1を生成するために以下の手順を実行する。なお、学習を開始する前の段階では、学習モデルMD 1を記述するモデルパラメータには、初期値が与えられているものとする。

[0060] 制御部101は、被処理体の目標形状を示す画像データを取得する（ステップS 101）。目標形状は、被処理体に関してユーザにより設定される目標の断面形状である。制御部101は、例えばユーザ端末（不図示）から通信部103を通じて取得することが可能である。

[0061] 制御部101は、被処理体の現在の形状を示す画像データを取得する（ステップS 102）。ここで、被処理体の現在の形状を示す画像データは、例えば、シミュレータS I Mを用いた計算により得られる被処理体の断面形状の画像データである。

[0062] 制御部101は、被処理体の現在の形状を示す画像データと、目標形状を示す画像データとの差分データを学習モデルMD 1に入力し、学習モデルMD 1による演算を実行する（ステップS 103）。学習モデルMD 1による演算により、取り得る行動のそれぞれについて行動価値関数の値（Q値）が得られる。

[0063] 制御部101は、学習モデルMD 1による演算結果に基づき、*proxe*

lを選択する（ステップS104）。制御部101は、現在の状態 s_t に応じて算出される各行動のQ値のうち、Q値が最も高くなるように行動aを選択することで、proxelを選択する。制御部101は、選択したproxelの情報を記憶部102に記憶させる。

[0064] 制御部101は、proxelデータベースDBを参照し、選択したproxelに対応付けられて記憶されているプロセス条件を読み出す（ステップS105）。制御部101は、プロセス条件として、設定データ、出力データ、測定データ及び実験データのデータ範囲を読み出せばよい。

[0065] 制御部101は、proxelデータベースDBから読み出したプロセス条件に基づき、シミュレータSIMによるシミュレーションを実行し、被処理体の形状を計算する（ステップS106）。

[0066] 制御部101は、計算した被処理体の形状に基づき報酬を算出する（ステップS107）。例えば、制御部101は、ステップS102で取得した被処理体の現在の形状と、ステップS106でシミュレータSIMにより計算した被処理体の形状とを比較することにより、削れた量を算出し、削れた量に応じて例えば-0.1~0.1の報酬を付与する。また、制御部101は、ステップS101で取得した目標形状と、ステップS106で計算した被処理体の形状とを比較することにより、削り残しのロス若しくは削り過ぎのロスを算出し、削り残しのロスに対して例えば-0.1~0.1の報酬を付与し、削り過ぎのロスに対して例えば-0.1~0の報酬を付与してもよい。更に、制御部101は、ステップS103で入力したproxelが正当なものでない場合に-1の報酬を付与する。

[0067] 制御部101は、学習を終了するか否かを判断する（ステップS108）。例えば、制御部101は、製造プロセスのステップ数が閾値以上となった場合、削り過ぎのロスが閾値以上となった場合、現在の形状と目標形状との差分が閾値未満となった場合、正当でないproxelが設定回数以上選択された場合等において、学習を終了すると判断する。

[0068] 学習を終了しないと判断した場合（S108:NO）、制御部101は、

学習モデルMD 1を構成するノード間の重みやバイアスを含むモデルパラメータを更新し（ステップS 1 0 9）、処理をステップS 1 0 3へ戻す。ステップS 1 0 3へ処理を戻した後、制御部1 0 1は、シミュレータS I Mで計算した形状を現在の形状とみなして学習モデルMD 1により演算を実行する。Q学習では、上述したステップS 1 0 3～S 1 0 9の演算を繰り返し行うことにより、上述した数式（1）の第2項がゼロに近づくように学習モデルMD 1のモデルパラメータが学習される。

[0069] 学習を終了すると判断した場合（S 1 0 8：YES）、制御部1 0 1は、本フローチャートによる処理を終了する。このとき、記憶部1 0 2には、学習済みの学習モデルMD 1におけるモデルパラメータが記憶される。

[0070] 制御部1 0 1は、図8のフローチャートに示す手順を同一のプロセスについて複数回実行することにより、学習モデルMD 1を生成してもよい。この場合、制御部1 0 1は、各プロセスの終了後に報酬を付与することにより強化学習を進めればよい。例えば、制御部1 0 1は、最終の削り残しのロスに対して-1～1の報酬、ステップ数に応じて0～1の報酬を付与すればよい。また、制御部1 0 1は、削りすぎのロスに対して-1～0の報酬を付与してもよい。

[0071] 本実施の形態では、一例としてQ学習による学習アルゴリズムについて説明したが、学習モデルMD 1の生成方法は、Q学習に限らず、例えば、TD学習（Temporal Difference Learning）、方策勾配法（Policy gradients）、SARSA（State-Action-Reward-State-Action）、Actor-critic等、任意の強化学習アルゴリズムを使用できる。

[0072] 図9は学習モデルMD 1を用いたレシピ構築手順を説明するフローチャートである。情報処理装置1 0 0の制御部1 0 1は、学習モデルMD 1が生成された後の運用フェーズにおいて、記憶部1 0 2に記憶されているレシピ構築プログラムPG 2を実行し、プロセスレシピを構築するための以下の手順を実行する。なお、運用を開始する前の段階では、記憶部1 0 2には学習済みのモデルパラメータが記憶されているものとする。

- [0073] 制御部101は、プロセスレシピに用いる *proxel* のインデックスを $i = 1$ に初期化する（ステップS121）。
- [0074] 制御部101は、被処理体の初期形状及び目標形状を示す画像データを取得する（ステップS122）。初期形状は、被処理体に関してユーザにより設定されるプロセス開始前の断面形状であり、目標形状は、被処理体に関してユーザにより設定される目標の断面形状である。制御部101は、例えばユーザ端末（不図示）から通信部103を通じて取得することが可能である。
- [0075] 制御部101は、被処理体の現在の形状を示す画像データと、目標形状を示す画像データとの差分データを学習モデルMD1に入力し、学習モデルMD1による演算を実行する（ステップS123）。学習モデルMD1による演算結果は、推奨する *proxel* の情報を含む。本実施の形態において、取り得る行動のそれぞれについて算出されるQ値のうち、最もQ値が高い行動の情報は、推奨する *proxel* の情報に相当する。
- [0076] 制御部101は、学習モデルMD1による演算結果に基づき *proxel* を選択する（ステップS124）。制御部101は、選択した *proxel* をインデックス i の *proxel* として記憶部102に記憶させる。
- [0077] 制御部101は、*proxel* データベースDBを参照して、選択した *proxel* に対応付けられて記憶されているプロセス条件を読み出し（ステップS125）、シミュレータSIMによるシミュレーションを実行することにより、被処理体の形状を計算する（ステップS126）。
- [0078] 制御部101は、プロセスを終了するか否かを判断する（ステップS127）。例えば、制御部101は、ステップS126で計算した被処理体の形状（現在の形状）と目標形状との差分が閾値未満であった場合、プロセスを終了すると判断する。
- [0079] プロセスを終了しないと判断した場合（S127：NO）、制御部101は、*proxel* のインデックス i を+1だけ増加させ（ステップS128）、処理をステップS123へ戻す。制御部101は、ステップS126で

計算した形状を現在の形状とみなし、学習モデルMD 1 による演算を繰り返す。

[0080] 一方、プロセスを終了すると判断した場合（S 1 2 7 : Y E S）、制御部 1 0 1 は、インデックス $i = 1 \sim n$ の $p r o x e l$ を結合することによってプロセスレシピを構築し（ステップ S 1 2 9）、構築したプロセスレシピの情報を出力する（ステップ S 1 3 0）。ここで、 n はプロセス終了時の $p r o x e l$ のインデックスである。制御部 1 0 1 は、構築したプロセスレシピの情報を通信部 1 0 3 よりユーザ端末へ送信してもよく、表示部 1 0 5 に表示させてもよい。

[0081] 以上のように、実施の形態 1 では、強化学習を用いてレシピ構築のための学習モデルMD 1 を生成することができる。学習済みの学習モデルMD 1 を記憶部 1 0 2 に記憶させておくことができるので、運用時には、記憶部 1 0 2 から学習モデルMD 1 のモデルパラメータを読み込むことにより演算が可能となり、ユーザに推奨するプロセスレシピを構築することができる。

[0082] 本実施の形態では、学習モデルMD 1 への入力として、現在の形状を示す画像データと、目標形状を示す画像データとの差分を採用しているので、現在の形状が目標形状に近くなった場合に適切な $p r o x e l$ が選択されやすくなり、より適切なプロセスレシピを構築することができる。

[0083] 本実施の形態では、学習済みの学習モデルMD 1 に対して、初期形状及び目標形状の差分データを入力し、製造プロセス全体のプロセスレシピを構築する構成とした。代替的に、制御部 1 0 1 は、製造プロセスの第 1 の時点における形状のデータと、第 1 の時点よりも遅い第 2 の時点における形状のデータとの間の差分データを学習モデルMD 1 に入力し、第 1 の時点から第 2 の時点に至るまでの部分的なプロセスレシピを生成してもよい。

[0084] また、制御部 1 0 1 は、各ステップにおいて選択した $p r o x e l$ の情報と共に、その $p r o x e l$ について算出される行動価値関数の値を併せて表示してもよい。本実施の形態では、行動価値関数の値を基に $p r o x e l$ を選択するので、行動価値関数の値を併せてユーザに提示することにより、 p

`proxel` 選択結果の信頼度を併せてユーザに提示できる。

[0085] 更に、制御部101は、`Grad-CAM` (Gradient-weighted Class Activation Mapping) 技術を利用し、`proxel` 選択において注目した箇所をヒートマップにより表示してもよい。例えば、制御部101は、学習モデルMD1を構成する第2レイヤL2、第3レイヤL3、第4レイヤL4の結果を取り出し、第4レイヤL4による分類結果を使って誤差逆伝搬し、第3レイヤL3及び第2レイヤL2における畳み込み層の勾配を計算することにより、注目箇所を示すヒートマップを生成すればよい。

[0086] (実施の形態2)

実施の形態2では、学習モデルの変形例について説明する。

[0087] 図10は実施の形態2における学習モデルMD2の構成例を示す模式図である。実施の形態2における学習モデルMD2の構成は、実施の形態1における学習モデルMD1と同様であり、第1レイヤL1～第6レイヤL6を備える。

[0088] 実施の形態2では、被処理体の現在の形状を示す画像データと目標形状を示す画像データとの差分データに加え、前回選択した`proxel`の情報が学習モデルMD2に入力される。すなわち、実施の形態2における学習モデルMD2は、プロセスレシピにおける i 番目 (i は2以上の整数) のステップが実行される前の被処理体の形状を示す画像データと目標形状を示す画像データとの間の差分データと、 $i-1$ 番目のステップが実行される際に選択された`proxel`の情報とが入力される。具体的には、第4レイヤL4で平滑化した後のテンソルに、前回選択した`proxel`のインデックスをワンホット表現にして結合すればよい。すなわち、選択された`proxel`に対応する要素を1、残りの要素を0にしたベクトルを結合すればよい。

[0089] 実施の形態2では、前回選択した`proxel`の情報を考慮して、強化学習を行う。例えば、前回と同じ`proxel`が選択された場合、報酬をゼロとし、前回と異なる`proxel`が選択された場合、報酬を負の値 (例えば-0.5) として強化学習を行えばよい。強化学習の処理手順や学習後のレ

レシピ構築手順については、実施の形態１と同様であるため、その詳細な説明を省略する。

[0090] 実施の形態２では、前回選択した *proxel* の情報を考慮して強化学習を行うので、例えば、*proxel* の切り替えが少ない、より自然なプロセスレシピの構築が期待される。

[0091] (実施の形態３)

実施の形態３では、学習モデルのファインチューニングについて説明する。

[0092] 実施の形態３に係る情報処理装置１００は、被処理体の初期形状が変更となった場合、*proxel* データベースDBに記憶している *proxel* のデータが変更となった場合等において、学習モデルMD１のファインチューニングを行う。以下、被処理体の初期形状が変更となり、学習モデルMD１をファインチューニングする場合について説明する。

[0093] 図１１はファインチューニングの処理手順を説明するフローチャートである。制御部１０１は、学習済みの学習モデルMD１をファインチューニングして新たな学習モデルを生成する場合、記憶部１０２から学習モデルMD１のモデルパラメータを読み込む（ステップS３０１）。

[0094] 制御部１０１は、被処理体の目標形状を示す画像データを取得し（ステップS３０２）、変更後の被処理体の初期形状を示す画像データを取得する（ステップS３０３）。

[0095] 制御部１０１は、被処理体の現在の形状を示す画像データと、目標形状を示す画像データとの差分データを学習モデルMD１に入力し、学習モデルMD１による演算を実行する（ステップS３０４）。すなわち、ステップS３０１で読み込んだモデルパラメータに基づき、演算を実行すればよい。学習モデルMD１による演算により、取り得る行動のそれぞれについて行動価値関数の値（Q値）が得られる。

[0096] 制御部１０１は、学習モデルMD１による演算結果に基づき、*proxel* を選択し（ステップS３０５）、選択した *proxel* に対応付けられて

記憶されているプロセス条件を読み出す（ステップS306）。

[0097] 制御部101は、proxelデータベースDBから読み出したプロセス条件に基づき、シミュレータSIMによるシミュレーションを実行して、被処理体の形状を計算し（ステップS307）、計算した被処理体の形状に基づき報酬を算出する（ステップS308）。

[0098] 制御部101は、学習を終了するか否かを判断し（ステップS309）、学習を終了しないと判断した場合（S309:NO）、学習モデルMD1を構成するノード間の重みやバイアスを含むモデルパラメータを更新して（ステップS310）、所定をステップS304へ戻す。

[0099] 学習を終了すると判断した場合（S309:YES）、制御部101は、最終的に得られたモデルパラメータを新たな学習モデルのモデルパラメータとして記憶部102に記憶させる（ステップS311）。

[0100] 以上のように、実施の形態3では、学習済みの学習モデルMD1を活用し、ファインチューニングにより新たな学習モデルを生成することができるので、新たな被処理体について学習モデルを生成する場合であっても、学習に要する時間を短縮することができる。

[0101] 図11のフローチャートでは、初期形状が異なる場合のファインチューニングについて説明したが、proxelデータベースDBに記憶しているproxelのデータが変更となった場合等においても、ファインチューニングにより時間を掛けずに新たな学習モデルを生成することができる。

[0102] （実施の形態4）

実施の形態4では、学習モデルMD1を用いて、ユーザ設定のレシピを評価する構成について説明する。

[0103] 図12はプロセスレシピの評価手順を説明するフローチャートである。制御部101は、ユーザによって設定されたプロセスレシピを取得する（ステップS401）。制御部101は、例えばユーザ端末（不図示）から通信部103を通じてプロセスレシピを取得することが可能である。

[0104] 制御部101は、記憶部102から学習モデルMD1のモデルパラメータ

を読み込む（ステップS402）。ここでは、ユーザによって設定されたプロセスレシピにおいて想定されている被処理体と同一若しくは類似の被処理体を対象として生成された学習モデルMD1のモデルパラメータを読み込むものとする。

[0105] 制御部101は、初期形状及び目標形状を取得し（ステップS403）、それらの差分データを学習モデルMD1に入力することによって、学習モデルMD1による演算を実行する（ステップS404）。

[0106] 制御部101は、ユーザ設定のプロセスレシピにおいて選択されたproxelの評価値を算出する（ステップS405）。制御部101は、例えば、ステップS404の演算結果に基づき、ユーザにより選択されたproxelが学習モデルMD1によって選択される確率を評価値として算出する。

[0107] 制御部101は、ユーザによって選択されたproxelの情報に基づき、proxelデータベースDBよりプロセス条件を読み出し（ステップS406）、シミュレータにより形状を算出する（ステップS407）。

[0108] 制御部101は、プロセスが終了したか否かを判断し（ステップS409）、終了していないと判断した場合（S409:NO）、処理をステップS404へ戻し、次のステップにおいてユーザが選択したproxelの評価を実行する。

[0109] プロセスが終了したと判断した場合（S409:YES）、制御部101は、各proxelの評価値を含むプロセスレシピの評価結果を出力する（ステップS410）。制御部101は、算出したプロセスレシピの評価結果を通信部103よりユーザ端末へ送信してもよく、表示部105に表示させてもよい。

[0110] 以上のように、実施の形態4では、学習済みの学習モデルMD1を用いることにより、ユーザにより設定されたプロセスレシピを定量的に評価することができる。

[0111] 各実施形態に記載した事項は相互に組み合わせることが可能である。また、請求の範囲に記載した独立請求項及び従属請求項は、引用形式に関わらず

全てのあらゆる組み合わせにおいて、相互に組み合わせることが可能である。さらに、請求の範囲には他の2以上のクレームを引用するクレームを記載する形式（マルチクレーム形式）を用いているが、これに限るものではない。マルチクレームを少なくとも一つ引用するマルチクレーム（マルチマルチクレーム）を記載する形式を用いて記載してもよい。

[0112] 今回開示された実施形態は、全ての点において例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上述した意味ではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味及び範囲内での全ての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0113] 100 情報処理装置
101 制御部
102 記憶部
103 通信部
104 操作部
115 表示部
PG1 学習プログラム
PG2 レシピ構築プログラム
SIM シミュレータ
MD1, MD2 学習モデル
DB proxe | データベース

請求の範囲

- [請求項1] プロセスレシピを構築するための複数の変数群と、前記プロセスレシピの特定のステップが実行される前の被処理体の状態を示す状態データと、前記被処理体の目標状態を示す目標データとを取得し、
- 前記複数の変数群から一の変数群を選択し、選択した一の変数群により特徴付けられる一のステップを実行することによって得られる前記被処理体の状態を評価し、
- 取得した状態データ及び目標データ、並びに、評価した前記被処理体の状態に応じて決定される報酬を用いた強化学習によって、プロセスレシピ構築のためのモデルを生成する
- 処理をコンピュータにより実行するモデル生成方法。
- [請求項2] 前記モデルは、被処理体の状態を示す状態データと、前記被処理体の目標状態を示す目標データとに基づくデータを入力した場合、前記プロセスレシピの各ステップで推奨する変数群の情報を出力するよう構成される
- 請求項1に記載のモデル生成方法。
- [請求項3] 前記状態データは、前記特定のステップが実行される前の被処理体の形状を示す画像データであり、
- 前記目標データは、前記被処理体の目標形状を示す画像データであり、
- 前記被処理体の形状を示す画像データと、前記目標形状を示す画像データとの間の差分データを前記モデルに入力する
- 処理を前記コンピュータにより実行する請求項2に記載のモデル生成方法。
- [請求項4] 前記一のステップをシミュレータにより実行する
- 処理を前記コンピュータにより実行する請求項1に記載のモデル生成方法。
- [請求項5] 前記一のステップを実行する前後の前記被処理体の状態の変化、及

び、前記一のステップを実行した後の被処理体の状態と目標状態との差を算出することにより、前記一のステップを実行することによって得られる前記被処理体の状態を評価する

処理を前記コンピュータにより実行する請求項 1 に記載のモデル生成方法。

[請求項6] 算出した状態の変化、及び算出した目標状態との差に応じて、前記報酬を決定する

処理を前記コンピュータにより実行する請求項 5 に記載のモデル生成方法。

[請求項7] 前記モデルは、構築すべきプロセスレシピにおける i 番目 (i は 2 以上の整数) のステップが実行される前の前記被処理体の状態を示す状態データと、前記被処理体の目標状態を示す目標データとに基づくデータ、及び $i - 1$ 番目のステップが実行される際に選択された変数群の情報を入力した場合、前記 i 番目のステップで推奨する変数群の情報を出力するよう構成される

請求項 1 に記載のモデル生成方法。

[請求項8] 前記 $i - 1$ 番目のステップが実行される際に選択された変数群と、前記 i 番目のステップが実行される際に選択された変数群とが同一であるか否かに応じて、前記報酬を決定する

処理を前記コンピュータにより実行する請求項 7 に記載のモデル生成方法。

[請求項9] 複数回のプロセスを実行し、各プロセスで最終的に得られた被処理体の状態、及び各プロセスのステップ数に応じて、前記報酬を決定する

処理を前記コンピュータにより実行する請求項 1 に記載のモデル生成方法。

[請求項10] プロセスレシピを構築するための複数の変数群と、前記プロセスレシピの特定のステップが実行される前の被処理体の状態を示す状態デ

ータと、前記被処理体の目標状態を示す目標データとを取得し、

前記複数の変数群から一の変数群を選択し、選択した一の変数群により特徴付けられる一のステップを実行することによって得られる前記被処理体の状態を評価し、

取得した状態データ及び目標データ、並びに、評価した前記被処理体の状態に応じて決定される報酬を用いた強化学習によって、プロセスレシピ構築のためのモデルを生成する

処理をコンピュータに実行させるためのコンピュータプログラム。

[請求項11] 生成したモデルのモデルパラメータを初期値に用いて、前記被処理体とは異なる別の被処理体について新たなモデルを生成する

処理を前記コンピュータに実行させるための請求項10に記載のコンピュータプログラム。

[請求項12] プロセスレシピの特定のステップが実行される前の被処理体の状態を示す状態データと、前記被処理体の目標状態を示す目標データとを取得し、

取得した状態データ及び目標データを、請求項1から請求項9の何れか1つに記載のモデル生成方法にて生成されたモデルに入力して該モデルによる演算を実行し、

前記モデルによる演算結果に基づき、前記ステップで採用すべき変数群を特定し、

複数のステップの夫々で特定した変数群に基づき、前記プロセスレシピを構築する

処理をコンピュータに実行させるためのコンピュータプログラム。

[請求項13] 前記モデルは、複数の変数群のそれぞれについて行動価値関数の値を出力するよう構成してあり、

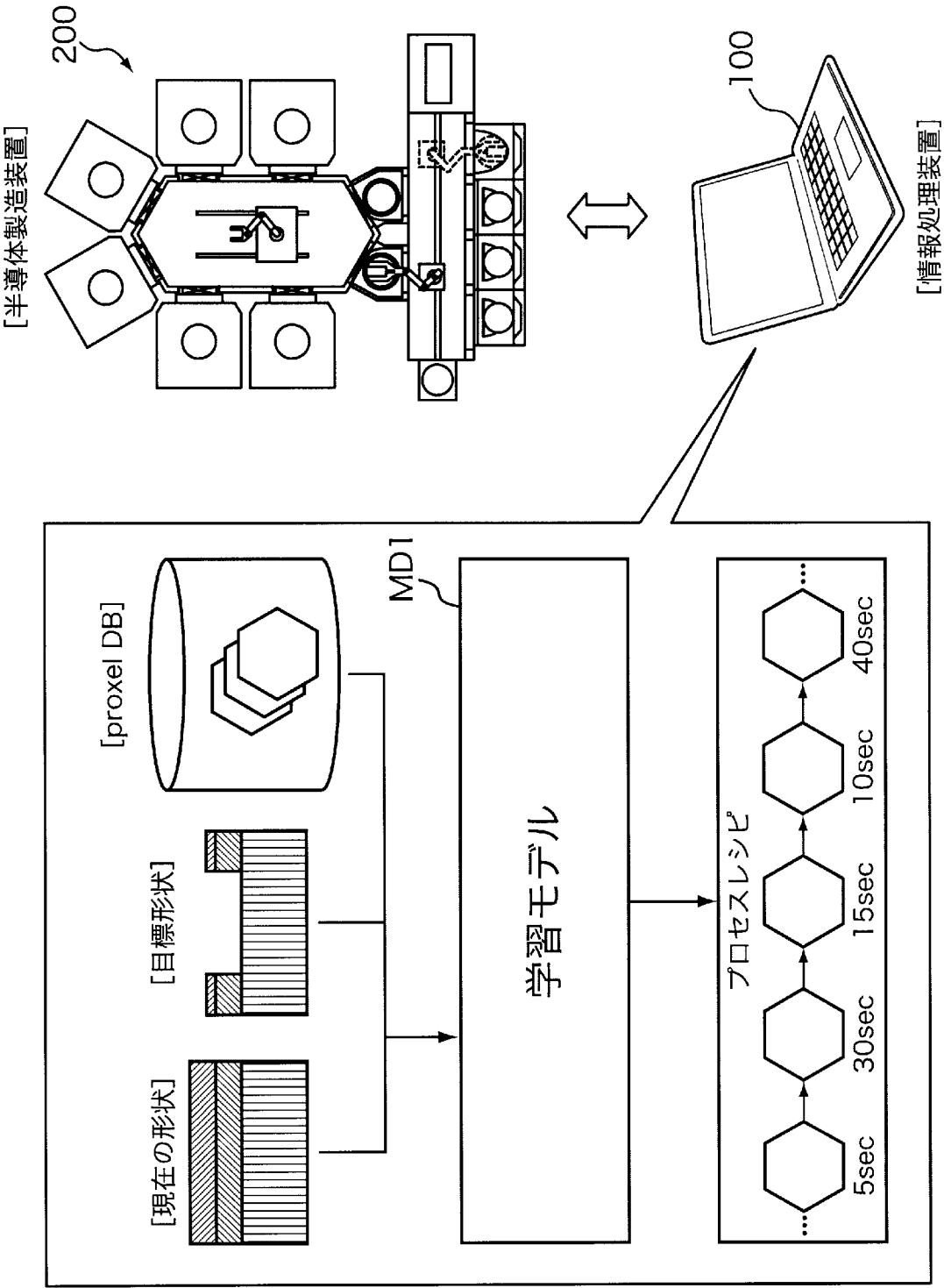
各ステップで選択した変数群の行動価値関数の値を出力する

処理を前記コンピュータに実行させるための請求項12に記載のコンピュータプログラム。

- [請求項14] 前記変数群の選択に寄与した前記状態データの部分を可視化する処理を前記コンピュータに実行させるための請求項12に記載のコンピュータプログラム。
- [請求項15] ユーザにより設定されたプロセスレシピと、前記モデルにより構築されたプロセスレシピとを比較する処理を前記コンピュータに実行させるための請求項12に記載のコンピュータプログラム。
- [請求項16] プロセスレシピを構築するための複数の変数群を記憶する記憶部と、
前記プロセスレシピの特定のステップが実行される前の被処理体の状態を示す状態データと、前記被処理体の目標状態を示す目標データとを取得する取得部と、
前記複数の変数群から1又は複数の変数群を選択し、選択した1又は複数の変数群により特徴付けられる1又は複数のステップを実行することによって得られる前記被処理体の状態を評価する評価部と、
取得した状態データ及び目標データ、並びに、評価した前記被処理体の状態に応じて算出される報酬を用いた強化学習によって、プロセスレシピ構築のためのモデルを生成する生成部と
を備える情報処理装置。
- [請求項17] プロセスレシピの特定のステップが実行される前の被処理体の状態を示す状態データと、前記被処理体の目標状態を示す目標データとを取得する取得部と、
取得した状態データ及び目標データを、請求項1から請求項9の何れか1つに記載のモデル生成方法にて生成されたモデルに入力して前記モデルによる演算を実行する演算部と、
前記モデルによる演算結果に基づき、前記ステップで採用すべき変数群を特定する特定部と、
複数のステップの夫々で特定した変数群に基づき、前記プロセスレ

シピを構築する構築部と
を備える情報処理装置。

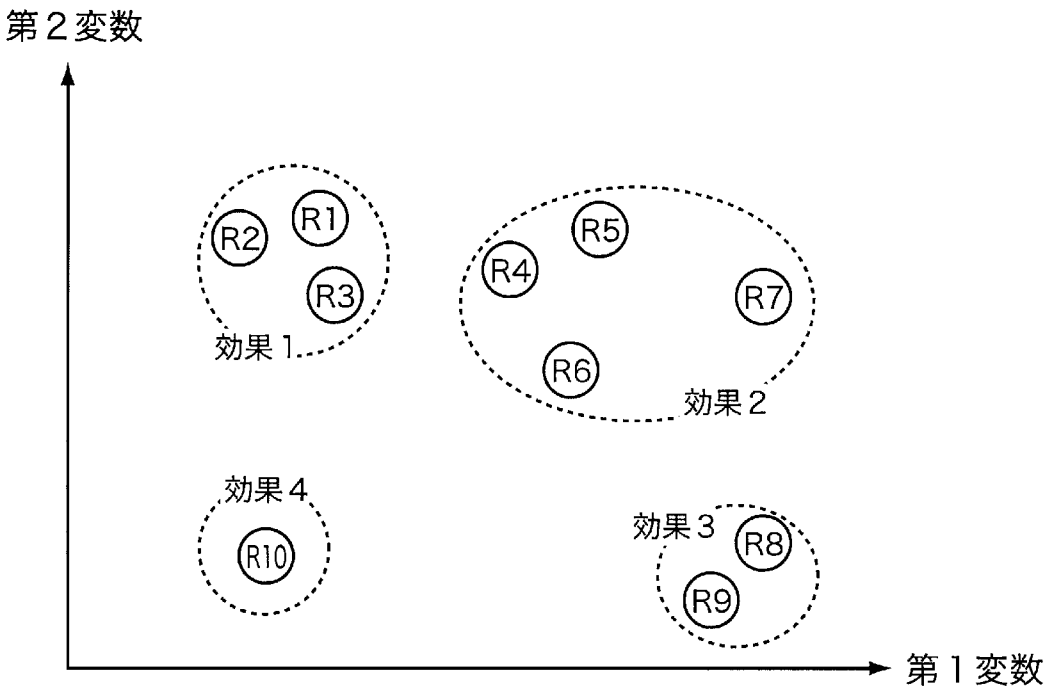
[図1]



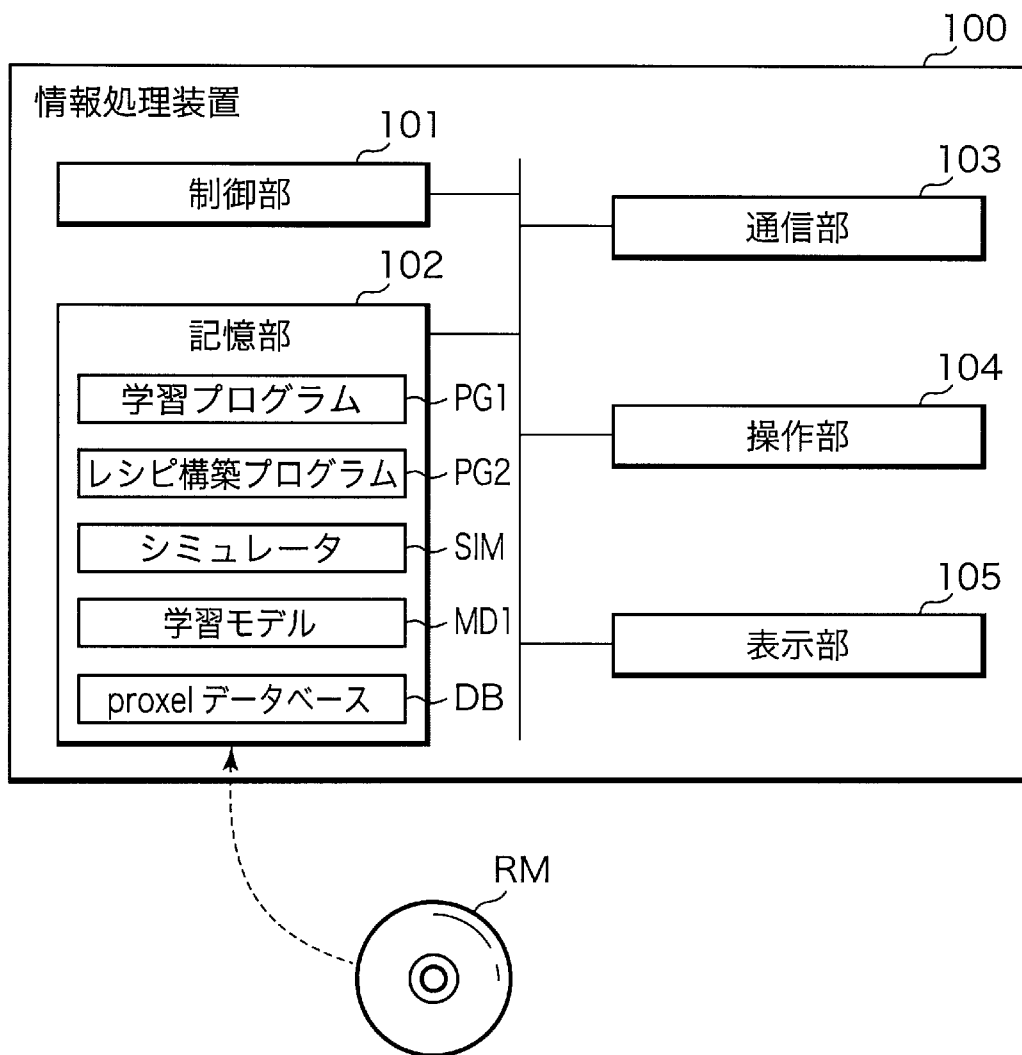
[図2]

STEP N					
初期データ (I)	設定データ (R)	出力データ (E)	測定データ (PI)	実験データ (Pr)	目標データ (Pf)
・ Initial CD ・ Material ・ Thickness ・ Aspect ratio ・ Mask coverage ・ ・	・ Pressure ・ Power ・ Gas ・ Temperature ・ ・	・ Vpp ・ Vdc ・ OES ・ Reflect ・ ・	・ Plasma density ・ Ion energy ・ Ion flux ・ ・	・ Etching rate ・ Deposition rate ・ XY position ・ Film type ・ Vertical / Lateral ・ ・	・ CD ・ Depth ・ Taper ・ Tilting ・ Bowing ・ ・
STEP 1					
STEP 0					
STEP -1					
STEP -2					
STEP -3					
STEP -4					
STEP -5					
STEP -6					
STEP -7					
STEP -8					
STEP -9					
STEP -10					
STEP -11					
STEP -12					
STEP -13					
STEP -14					
STEP -15					
STEP -16					
STEP -17					
STEP -18					
STEP -19					
STEP -20					
STEP -21					
STEP -22					
STEP -23					
STEP -24					
STEP -25					
STEP -26					
STEP -27					
STEP -28					
STEP -29					
STEP -30					
STEP -31					
STEP -32					
STEP -33					
STEP -34					
STEP -35					
STEP -36					
STEP -37					
STEP -38					
STEP -39					
STEP -40					
STEP -41					
STEP -42					
STEP -43					
STEP -44					
STEP -45					
STEP -46					
STEP -47					
STEP -48					
STEP -49					
STEP -50					
STEP -51					
STEP -52					
STEP -53					
STEP -54					
STEP -55					
STEP -56					
STEP -57					
STEP -58					
STEP -59					
STEP -60					
STEP -61					
STEP -62					
STEP -63					
STEP -64					
STEP -65					
STEP -66					
STEP -67					
STEP -68					
STEP -69					
STEP -70					
STEP -71					
STEP -72					
STEP -73					
STEP -74					
STEP -75					
STEP -76					
STEP -77					
STEP -78					
STEP -79					
STEP -80					
STEP -81					
STEP -82					
STEP -83					
STEP -84					
STEP -85					
STEP -86					
STEP -87					
STEP -88					
STEP -89					
STEP -90					
STEP -91					
STEP -92					
STEP -93					
STEP -94					
STEP -95					
STEP -96					
STEP -97					
STEP -98					
STEP -99					
STEP -100					
STEP -101					
STEP -102					
STEP -103					
STEP -104					
STEP -105					
STEP -106					
STEP -107					
STEP -108					
STEP -109					
STEP -110					
STEP -111					
STEP -112					
STEP -113					
STEP -114					
STEP -115					
STEP -116					
STEP -117					
STEP -118					
STEP -119					
STEP -120					
STEP -121					
STEP -122					
STEP -123					
STEP -124					
STEP -125					
STEP -126					
STEP -127					
STEP -128					
STEP -129					
STEP -130					
STEP -131					
STEP -132					
STEP -133					
STEP -134					
STEP -135					
STEP -136					
STEP -137					
STEP -138					
STEP -139					
STEP -140					
STEP -141					
STEP -142					
STEP -143					
STEP -144					
STEP -145					
STEP -146					
STEP -147					
STEP -148					
STEP -149					
STEP -150					
STEP -151					
STEP -152					
STEP -153					
STEP -154					
STEP -155					
STEP -156					
STEP -157					
STEP -158					
STEP -159					
STEP -160					
STEP -161					
STEP -162					
STEP -163					
STEP -164					
STEP -165					
STEP -166					
STEP -167					
STEP -168					
STEP -169					
STEP -170					
STEP -171					
STEP -172					
STEP -173					
STEP -174					
STEP -175					
STEP -176					
STEP -177					
STEP -178					
STEP -179					
STEP -180					
STEP -181					
STEP -182					
STEP -183					
STEP -184					
STEP -185					
STEP -186					
STEP -187					
STEP -188					
STEP -189					
STEP -190					
STEP -191					
STEP -192					
STEP -193					
STEP -194					
STEP -195					
STEP -196					
STEP -197					
STEP -198					
STEP -199					
STEP -200					
STEP -201					
STEP -202					
STEP -203					
STEP -204					
STEP -205					
STEP -206					
STEP -207					
STEP -208					
STEP -209					
STEP -210					
STEP -211					
STEP -212					
STEP -213					
STEP -214					
STEP -215					
STEP -216					
STEP -217					
STEP -218					
STEP -219					
STEP -220					
STEP -221					
STEP -222					
STEP -223					
STEP -224					
STEP -225					
STEP -226					
STEP -227					
STEP -228					
STEP -229					
STEP -230					
STEP -231					
STEP -232					
STEP -233					
STEP -234					
STEP -235					
STEP -236					
STEP -237					
STEP -238					
STEP -239					
STEP -240					
STEP -241					
STEP -242					
STEP -243					
STEP -244					
STEP -245					
STEP -246					
STEP -247					
STEP -248					
STEP -249					
STEP -250					
STEP -251					
STEP -252					
STEP -253					
STEP -254					
STEP -255					
STEP -256					
STEP -257					
STEP -258					
STEP -259					
STEP -260					
STEP -261					
STEP -262					
STEP -263					
STEP -264					
STEP -265					
STEP -266					
STEP -267					
STEP -268					
STEP -269					
STEP -270					
STEP -271					
STEP -272					
STEP -273					
STEP -274					
STEP -275					
STEP -276					
STEP -277					
STEP -278					
STEP -279					
STEP -280					
STEP -281					
STEP -282					
STEP -283					
STEP -284					
STEP -285					
STEP -286					
STEP -287					
STEP -288					
STEP -289					
STEP -290					
STEP -291					
STEP -292					
STEP -293					
STEP -294					
STEP -295					
STEP -296					
STEP -297					
STEP -298					
STEP -299					
STEP -300					
STEP -301					
STEP -302					
STEP -303					
STEP -304					
STEP -305					
STEP -306					
STEP -307					
STEP -308					
STEP -309					
STEP -310					
STEP -311					
STEP -312					
STEP -313					
STEP -314					
STEP -315					
STEP -316					
STEP -317					
STEP -318					
STEP -319					
STEP -320					
STEP -321					
STEP -322					
STEP -323					
STEP -324					
STEP -325					
STEP -326					
STEP -327					
STEP -328					
STEP -329					
STEP -330					
STEP -331					
STEP -332					
STEP -333					
STEP -334					
STEP -335					
STEP -336					
STEP -337					
STEP -338					
STEP -339					
STEP -340					
STEP -341					
STEP -342					
STEP -343					
STEP -344					
STEP -345					
STEP -346					
STEP -347					
STEP -348					
STEP -349					
STEP -350					
STEP -351					
STEP -352					
STEP -353					
STEP -354					
STEP -355					
STEP -356					
STEP -357					
STEP -358					
STEP -359					
STEP -360					
STEP -361					
STEP -362					
STEP -363					
STEP -364					
STEP -365					
STEP -366					
STEP -367					
STEP -368					
STEP -369					
STEP -370					
STEP -371					
STEP -372					
STEP -373					
STEP -374					
STEP -375					
STEP -376					
STEP -377					
STEP -378					
STEP -379					
STEP -380					
STEP -381					
STEP -382					
STEP -383					
STEP -384					
STEP -385					
STEP -386					
STEP -387					
STEP -388					
STEP -389					
STEP -390					
STEP -391					
STEP -392					
STEP -393					
STEP -394					
STEP -395					
STEP -396					
STEP -397					
STEP -398					
STEP -399					
STEP -400					
STEP -401					
STEP -402					
STEP -403					
STEP -404					
STEP -405					
STEP -406					
STEP -407					
STEP -408					
STEP -409					
STEP -410					
STEP -411					
STEP -412					
STEP -413					
STEP -414					
STEP -415					
STEP -416					
STEP -417					
STEP -418					
STEP -419					
STEP -420					
STEP -421					
STEP -422					
STEP -423					
STEP -424					
STEP -425					
STEP -426					
STEP -427					
STEP -428					
STEP -429					
STEP -430					
STEP -431					
STEP -432					
STEP -433					
STEP -434					
STEP -435					
STEP -436					
STEP -437					
STEP -438					
STEP -439					
STEP -440					
STEP -441					
STEP -442					
STEP -443					
STEP -444					
STEP -445					
STEP -446					
STEP -447					
STEP -448					
STEP -449					
STEP -450					
STEP -451					
STEP -452					
STEP -453					
STEP -454					
STEP -455					
STEP -456					
STEP -457					
STEP -458					
STEP -459					
STEP -460					
STEP -461					
STEP -462					
STEP -463					
STEP -464					
STEP -465					
STEP -466					
STEP -467					
STEP -468					
STEP -469					
STEP -470					
STEP -471					
STEP -472					
STEP -473					
STEP -474					
STEP -475					
STEP -476					
STEP -477					
STEP -478					
STEP -479					
STEP -480					
STEP -481					
STEP -482					
STEP -483					
STEP -484					
STEP -485					
STEP -486					
STEP -487					
STEP -488					
STEP -489					
STEP -490					
STEP -491					
STEP -492					
STEP -493					
STEP -494					
STEP -495					
STEP -496					
STEP -497					
STEP -498					
STEP -499					
STEP -500					
STEP -501					
STEP -502					
STEP -503					
STEP -504					
STEP -505					
STEP -506					
STEP -507					
STEP -508					
STEP -509					
STEP -510					
STEP -511					
STEP -512					
STEP -513					
STEP -514					
STEP -515					
STEP -516					
STEP -517					
STEP -518					
STEP -519					
STEP -520					
STEP -521					
STEP -522					
STEP -523					
STEP -524					
STEP -525					
STEP -526					
STEP -527					
STEP -528					
STEP -529					
STEP -530					
STEP -531					
STEP -532					
STEP -533					
STEP -534					
STEP -535					
STEP -536					
STEP -537					
STEP -538					
STEP -539					
STEP -540					
STEP -541					
STEP -542					
STEP -543					
STEP -544					
STEP -545					
STEP -546					
STEP -547					
STEP -548					
STEP -549					
STEP -550					
STEP -551					
STEP -552					
STEP -553					
STEP -554					
STEP -555					
STEP -556					
STEP -557					
STEP -558					
STEP -559					
STEP -560					
STEP -561					
STEP -562					
STEP -563					
STEP -564					
STEP -565					
STEP -566					
STEP -567					
STEP -568					
STEP -569					
STEP -570					
STEP -571					
STEP -572					
STEP -573					
STEP -574					
STEP -575					
STEP -576					
STEP -577					
STEP -578					
STEP -579					
STEP -580					
STEP -581					
STEP -582					
STEP -583					
STEP -584					
STEP -585					
STEP -586					
STEP -587					
STEP -588					
STEP -589					
STEP -590					
STEP -591					
STEP -592					
STEP -593					
STEP -594					
STEP -595					
STEP -596					
STEP -597					
STEP -598					
STEP -599					
STEP -600					
STEP -601					
STEP -602					
STEP -603					
STEP -604					
STEP -605					
STEP -606					
STEP -607					
STEP -608					
STEP -609					
STEP -610					
STEP -611					
STEP -612					
STEP -613					
STEP -614					
STEP -615					
STEP -616					
STEP -617					
STEP -618					
STEP -619					
STEP -620					
STEP -621					
STEP -622					
STEP -623					
STEP -624					
STEP -625					
STEP -626					
STEP -627					
STEP -628					
STEP -629					
STEP -630					
STEP -631					
STEP -632					
STEP -633					
STEP -634					
STEP -635					
STEP -636					
STEP -637					
STEP -638					
STEP -639					
STEP -640					
STEP -641					
STEP -642					
STEP -643					
STEP -644					
STEP -645					
STEP -646					
STEP -647					
STEP -648					
STEP -649					
STEP -650					
STEP -651					
STEP -652					
STEP -653					
STEP -654					
STEP -655					
STEP -656					
STEP -657					
STEP -658					
STEP -659					
STEP -660					
STEP -661					
STEP -662					
STEP -663					
STEP -664					
STEP -665					
STEP -666					
STEP -667					
STEP -668					
STEP -669					
STEP -670					
STEP -671					
STEP -672					
STEP -673					
STEP -674					
STEP -675					
STEP -676					
STEP -677					
STEP -678					
STEP -679					
STEP -680					
STEP -681					
STEP -682					
STEP -683					
STEP -684					
STEP -685					
STEP -686					
STEP -687					
STEP -688					
STEP -689					
STEP -690					
STEP -691					
STEP -692					
STEP -693					
STEP -694					
STEP -695					
STEP -696					
STEP -697					
STEP -698					
STEP -699					
STEP -700					
STEP -701					
STEP -702					
STEP -703					
STEP -704					
STEP -705					
STEP -706					
STEP -707					
STEP -708					
STEP -709</					

[図3]



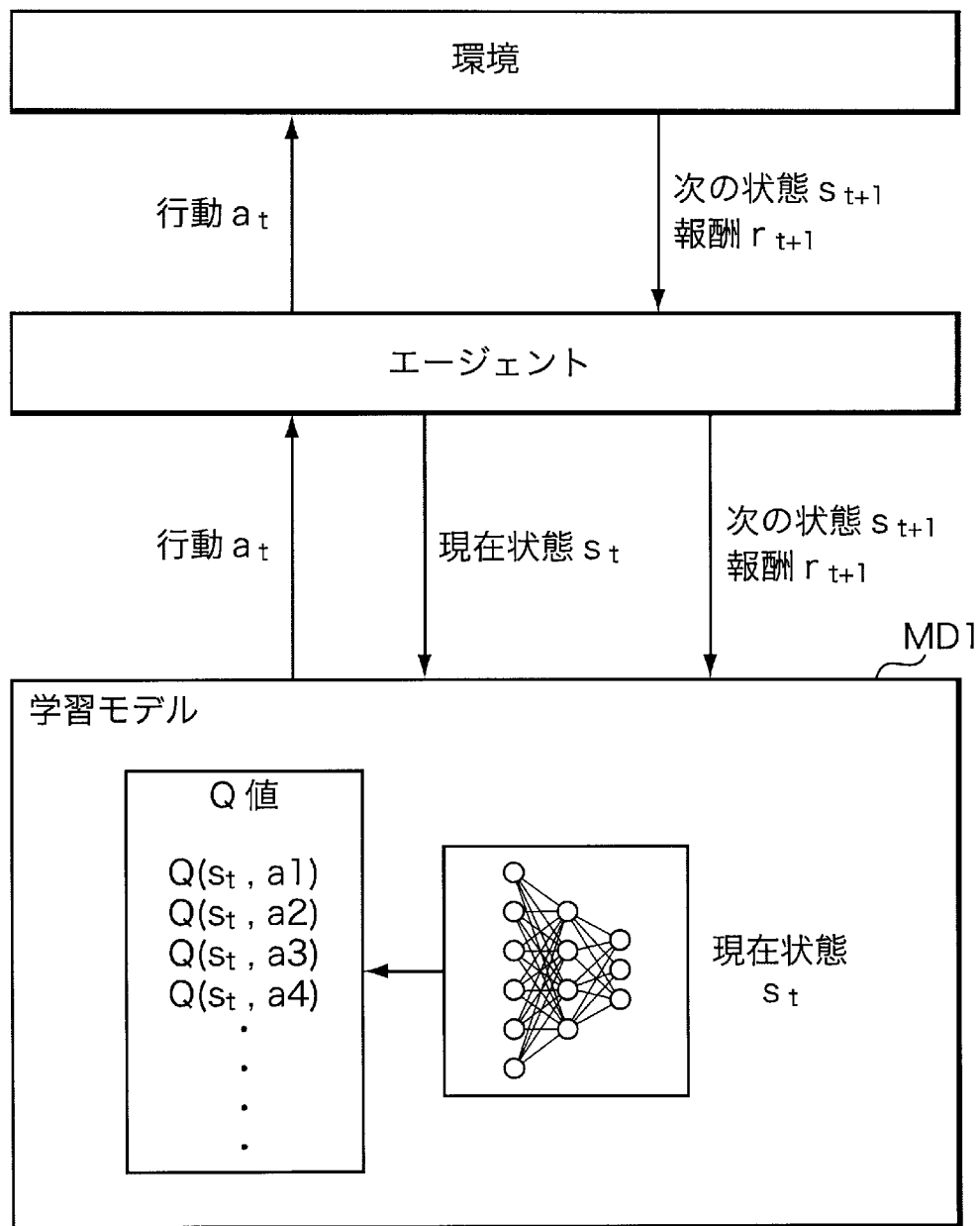
[図4]



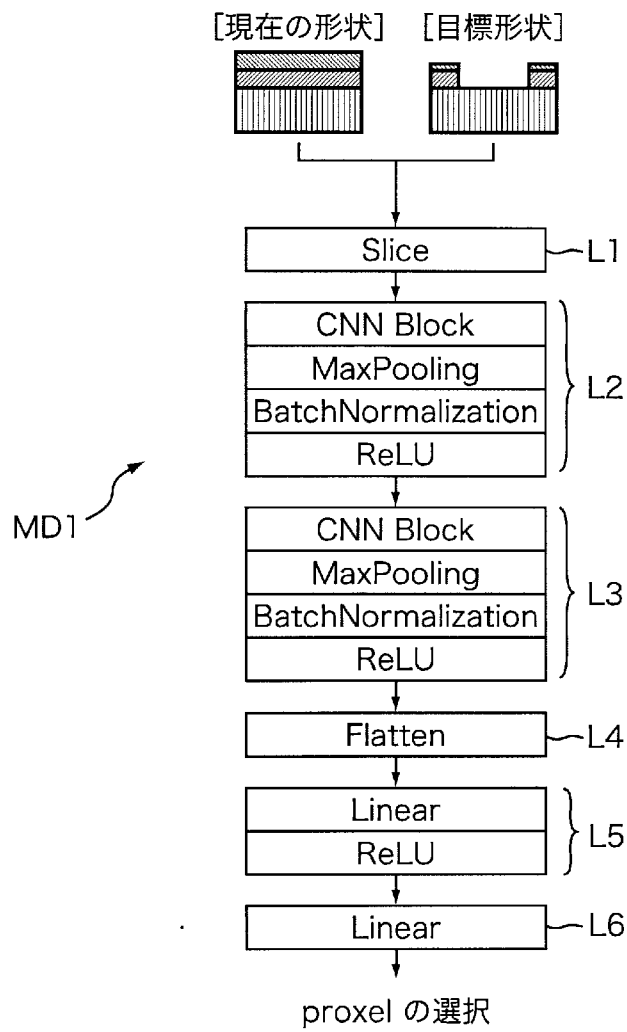
[図5]

[illegible]

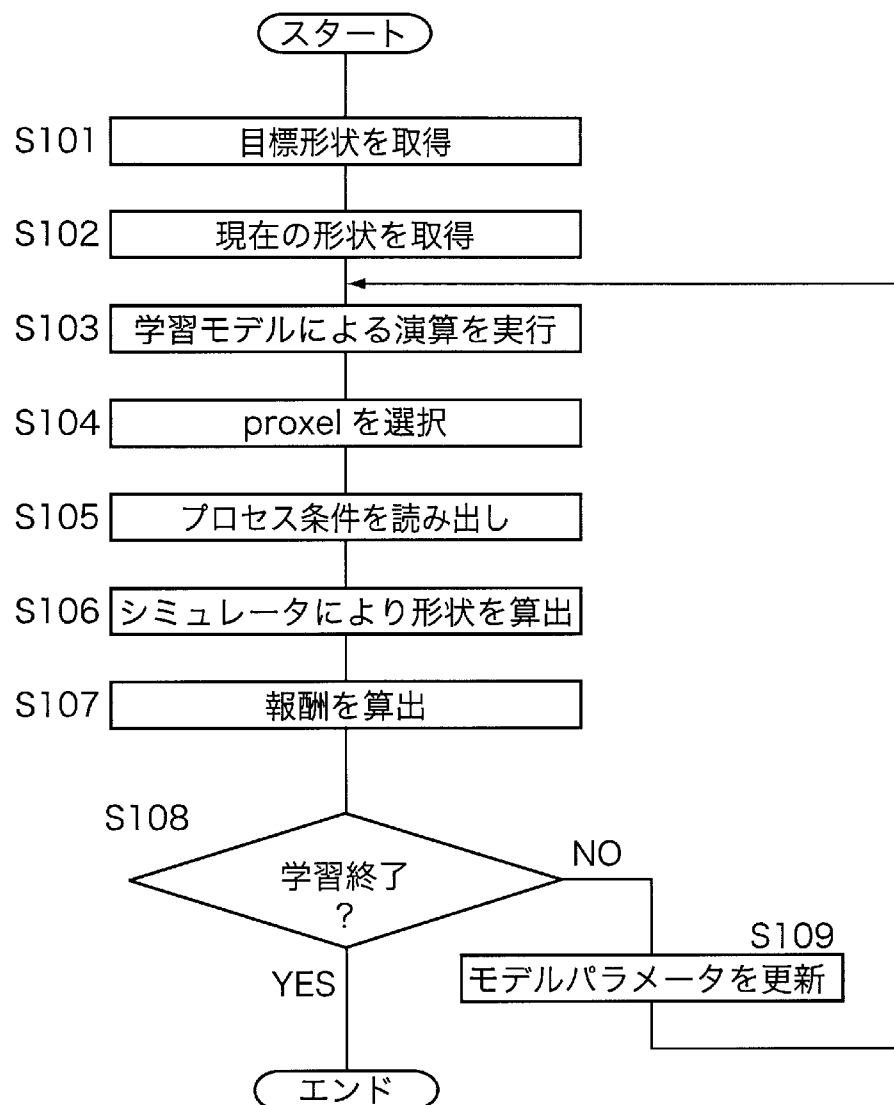
[図6]



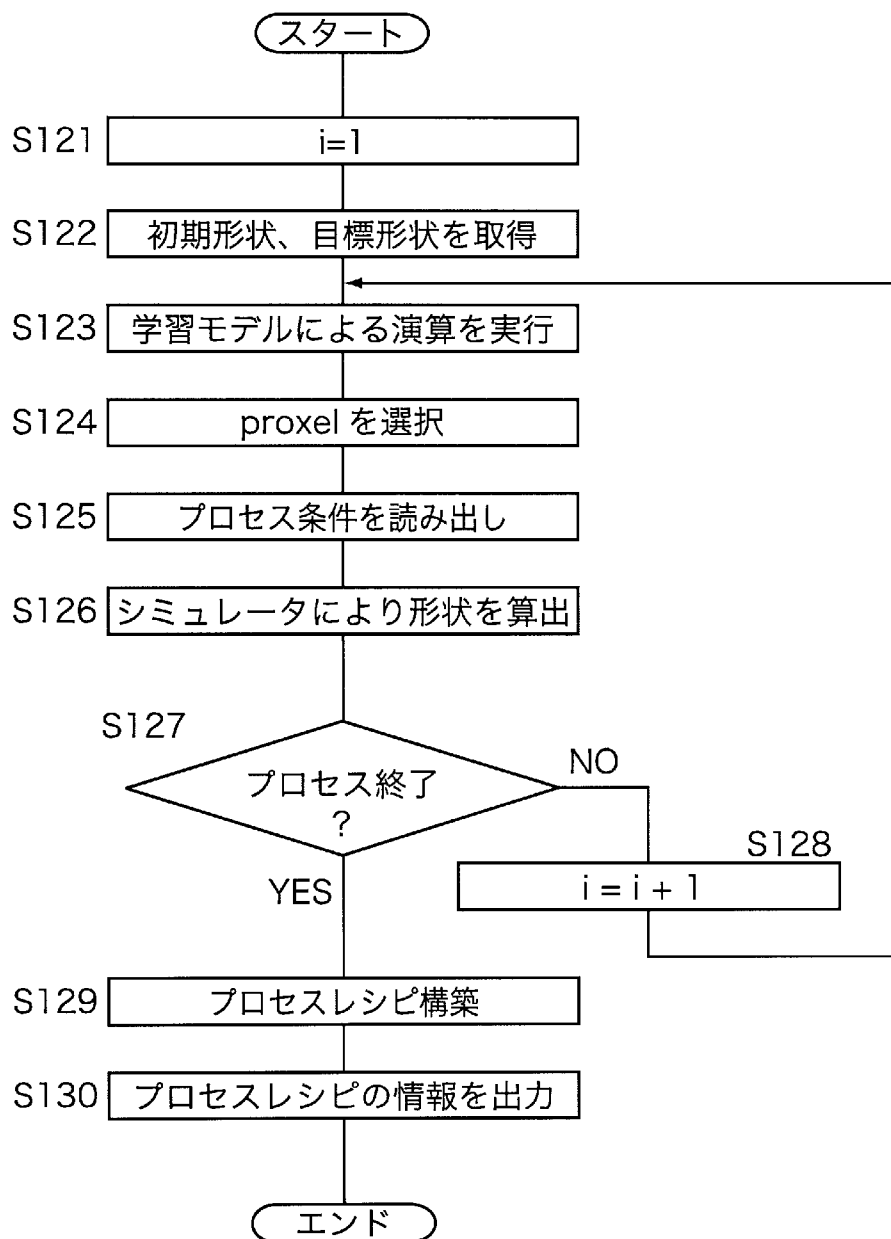
[図7]



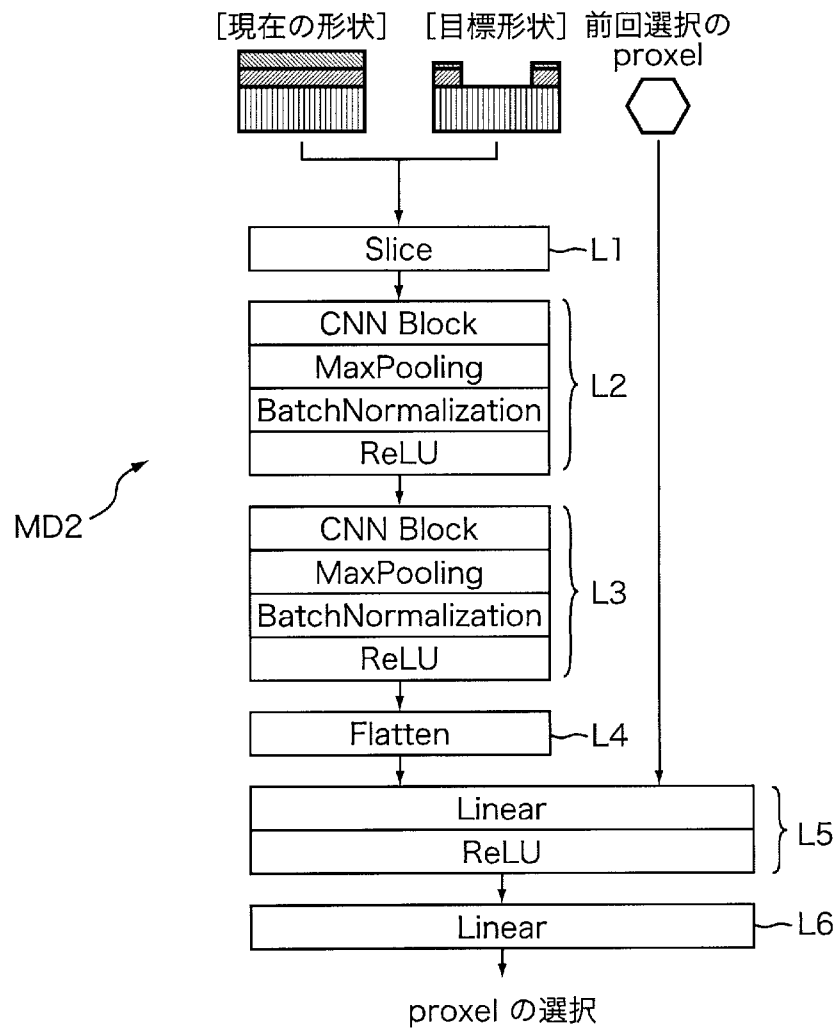
[図8]



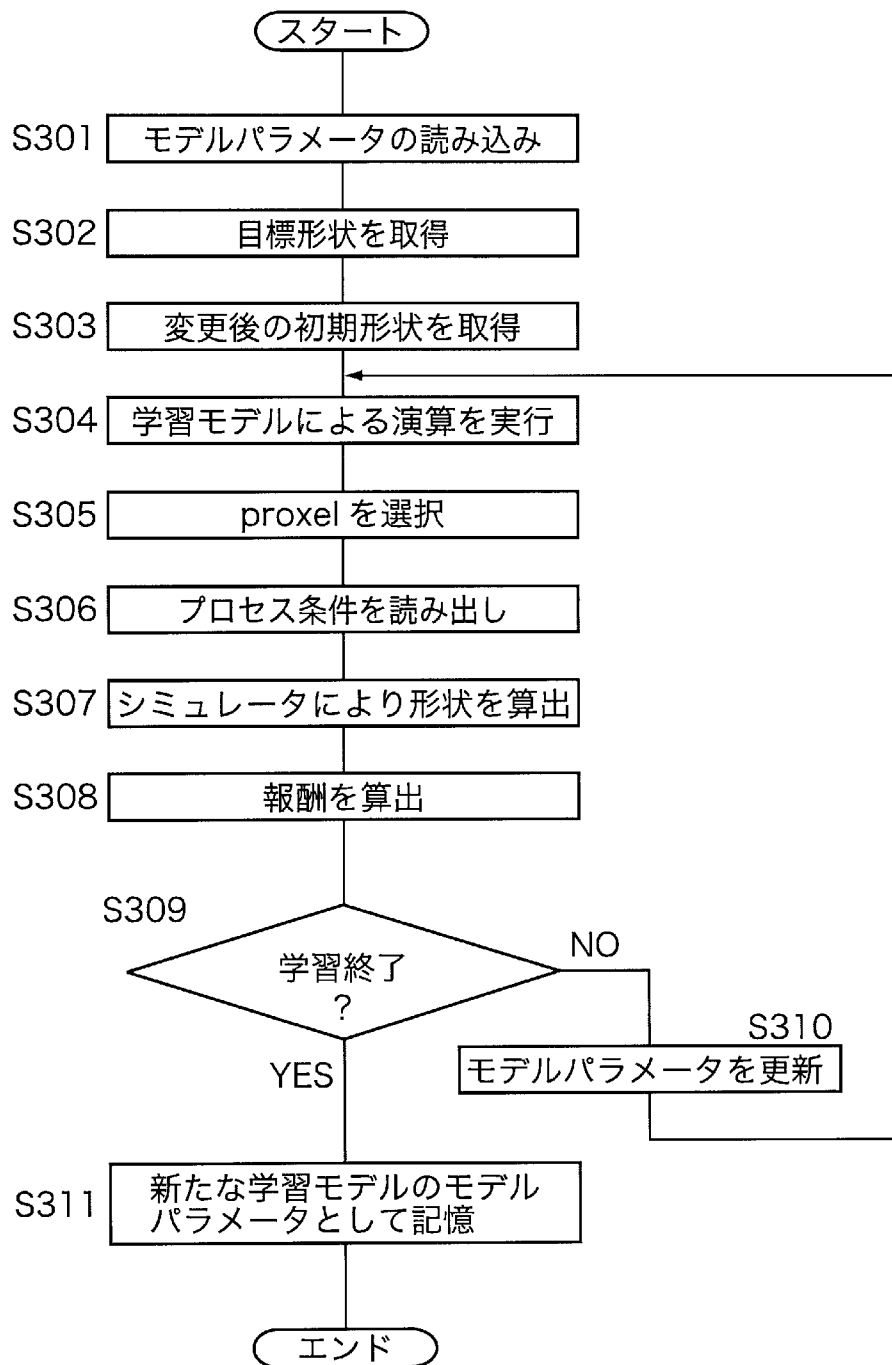
[図9]



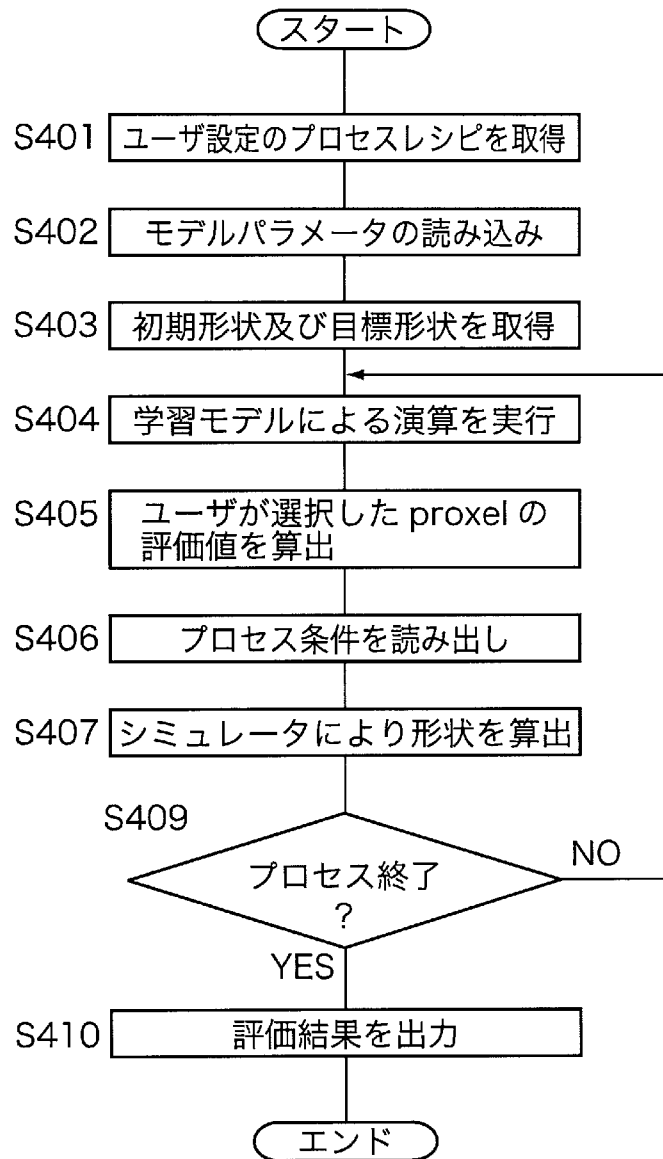
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/016791

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01L 21/00**(2006.01)i; **G05B 19/418**(2006.01)i; **G06N 20/00**(2019.01)i; **H01L 21/02**(2006.01)i

FI: H01L21/00; G05B19/418 Z; G06N20/00; H01L21/02 Z

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)

H01L21/00; G05B19/418; G06N20/00; H01L21/02

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 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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.
Y	JP 2019-212001 A (HITACHI LTD) 12 December 2019 (2019-12-12)	1-2, 4-17
A	paragraphs [0017]-[0108], fig. 1-10	3
Y	JP 2021-182182 A (HITACHI LTD) 25 November 2021 (2021-11-25)	1-2, 4-17
A	paragraphs [0005]-[0006]	3
Y	WO 2021/081213 A1 (LAM RESEARCH CORPORATION) 29 April 2021 (2021-04-29)	1-2, 4-17
A	paragraph [0008]	3
Y	JP 2020-43270 A (TOKYO ELECTRON LTD) 19 March 2020 (2020-03-19)	11-15, 17
A	paragraph [0056]	3



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

10 July 2023

Date of mailing of the international search report

18 July 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 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/JP2023/016791

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2019-212001	A	12 December 2019	US 2019/0369605 A1 paragraphs [0029]-[0120], fig. 1-10	
				KR 10-2019-0138565 A	
				TW 202004575 A	
JP	2021-182182	A	25 November 2021	US 2021/0357810 A1 paragraphs [0006]-[0007]	
				KR 10-2021-0142533 A	
				TW 202145082 A	
WO	2021/081213	A1	29 April 2021	JP 2022-552845 A paragraph [0008]	
				US 2022/0374572 A1	
				CN 114586035 A	
				KR 10-2022-0083811 A	
JP	2020-43270	A	19 March 2020	US 2022/0050943 A1 paragraph [0066]	
				WO 2020/054443 A1	
				CN 112655071 A	
				KR 10-2021-0055057 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 21/00(2006.01)i; G05B 19/418(2006.01)i; G06N 20/00(2019.01)i; H01L 21/02(2006.01)i FI: H01L21/00; G05B19/418 Z; G06N20/00; H01L21/02 Z		
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）） H01L21/00; G05B19/418; G06N20/00; H01L21/02		
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 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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
Y A	JP 2019-212001 A（株式会社日立製作所）12.12.2019（2019-12-12） 段落[0017]－[0108]及び図1－10	1-2, 4-17 3
Y A	JP 2021-182182 A（株式会社日立製作所）25.11.2021（2021-11-25） 段落[0005]－[0006]	1-2, 4-17 3
Y A	WO 2021/081213 A1（LAM RESEARCH CORPORATION）29.04.2021（2021-04-29） 段落[0008]	1-2, 4-17 3
Y A	JP 2020-43270 A（東京エレクトロン株式会社）19.03.2020（2020-03-19） 段落[0056]	11-15, 17 3
☐ 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。		
* 引用文献のカテゴリー “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 “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 “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） “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 “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 “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 “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 “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 10.07.2023		国際調査報告の発送日 18.07.2023
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） 安田 雅彦 5F 9447 電話番号 03-3581-1101 内線 3516

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/JP2023/016791

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2019-212001	A	12.12.2019	US 2019/0369605 A1	
				段落[0029]－[0120]及び図	
				1－10	
				KR 10-2019-0138565 A	
JP	2021-182182	A	25.11.2021	TW 202004575 A	
				US 2021/0357810 A1	
				段落[0006]－[0007]	
				KR 10-2021-0142533 A	
WO	2021/081213	A1	29.04.2021	TW 202145082 A	
				JP 2022-552845 A	
				段落[0008]	
				US 2022/0374572 A1	
JP	2020-43270	A	19.03.2020	CN 114586035 A	
				KR 10-2022-0083811 A	
				US 2022/0050943 A1	
				段落[0066]	
JP	2020-43270	A	19.03.2020	WO 2020/054443 A1	
				CN 112655071 A	
				KR 10-2021-0055057 A	