

(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5月19日(19.05.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/084776 A1

(51) 国際特許分類:
G06N 20/00 (2019.01)

京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT
知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/041921

(22) 国際出願日: 2021年11月15日(15.11.2021)

(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: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).

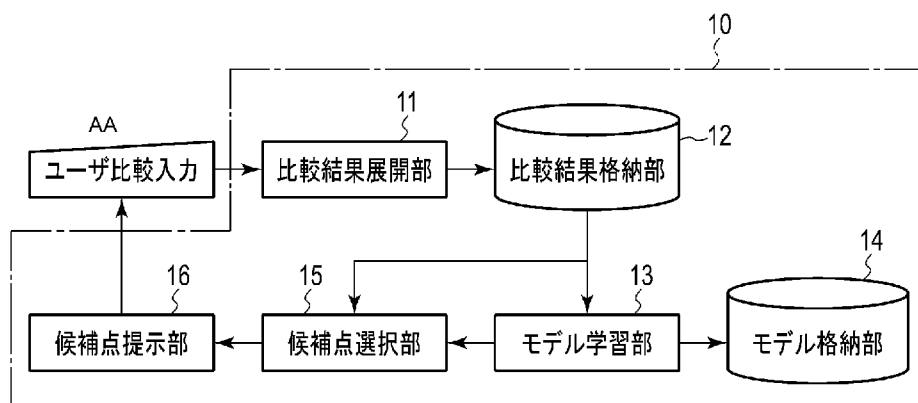
(72) 発明者: 蔵内雄貴 (KURAUCHI, Yuki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).
幸島匡宏 (KOJIMA, Masahiro); 〒1808585 東

(74) 代理人: 弁理士法人鈴榮特許総合事務所 (SUZUYE & SUZUYE); 〒1050014 東京都港区芝三丁目23番1号 セレスティン芝三井ビルディング11階 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, 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,

(54) Title: BAYESIAN OPTIMIZATION DEVICE, BAYESIAN OPTIMIZATION METHOD, AND BAYESIAN OPTIMIZATION PROGRAM

(54) 発明の名称: ベイズ最適化装置、ベイズ最適化方法、およびベイズ最適化プログラム



- 1 Comparison result expansion unit
12 Comparison result storage unit
13 Model training unit
14 Model storage unit
15 Candidate point selection unit
16 Candidate point presenting unit
AA User comparison input

(57) Abstract: A Bayesian optimization device comprising: a comparison result expansion unit that receives and expands the result from a comparison by a user; a comparison result storage unit that stores expanded comparison result; a model training unit that trains a model on the basis of the expanded comparison result; a model storage unit that stores the trained model; a candidate point selection unit that selects candidate points to be searched on the basis of the expanded comparison result and the trained model; and a candidate point presenting unit that presents candidate points to be searched to the user.

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))

(57) 要約: ベイズ最適化装置は、ユーザによる比較結果を受け取って展開する比較結果展開部と、展開された比較結果を格納する比較結果格納部と、展開された比較結果をもとにモデルを学習するモデル学習部と、学習済みのモデルを格納するモデル格納部と、展開された比較結果と学習済みのモデルをもとに、探索すべき候補点を選択する候補点選択部と、探索すべき候補点をユーザに提示する候補点提示部を有する。

明 細 書

発明の名称：

ベイズ最適化装置、ベイズ最適化方法、およびベイズ最適化プログラム 技術分野

[0001] 本発明は、ベイズ最適化装置、ベイズ最適化方法、およびベイズ最適化プログラムに関する。

背景技術

[0002] 個人のデータを収集する仕組みが作りやすい分野において、パーソナライズが多く用いられている。例えば、閲覧／再生／クリック／購買／評価ログから商品／コンテンツ／サービス／広告のパーソナライズが行われている。

[0003] 一方、個人のデータを収集する仕組みが作りにくい分野においては、パーソナライズは一般的でない。例えば、顔表情／仕草／声からの感情／好感度推定、飲食物からの香り／味／美味しさの感じ方などの五感の評価に代表される、何らかの事物に対してどう感じるか、についてのパーソナライズは一般的でない。

[0004] このような主観データを対象としたパーソナライズが実現されれば、例えば、あるAさんの感情認識特性に合わせて顔表情を変換して感情を正しく伝えたり、あるAさんにとって最も美味しく感じられる料理を作ったりするなどの活用が考えられる。

[0005] 以上から、主観データに関するモデルを容易に構築するための、主観データを効率的に収集する手法が必要である。

先行技術文献

非特許文献

[0006] 非特許文献1：B. Shahriari, K. Swersky, Z. Wang, R. Adams, and N. de Freitas : Taking the human out of the loop: A Review of Bayesian Optimization. Proc. of the IEEE, (1), 12/2015(2016)

非特許文献2：Google. “The makings of a smart cookie.” <https://www.b>

log.google/technology/research/makings-smart-cookie/, 2017.

非特許文献3: Chu, Wei, et. al. "Preference learning with Gaussian processes." Proc. of the 22nd international conference on Machine learning, 2005.

非特許文献4: Niranjan Srinivas, et. al. "Information-theoretic regret bounds for gaussian process optimization in the bandit setting ", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 58, no. 5, pp. 3250-3265, 2010.

非特許文献5: Jonas Mockus, et. al. "The application of Bayesian methods for seeking the extremum" , Towards Global Optimisation, Vol.2, pp. 117-129, 1978.

非特許文献6: Emile Contal, et. al. "Gaussian Process Optimization with Mutual Information" , International Conference on Machine Learning , pp. 253-261, 2014.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] 非特許文献1は、少数のデータを収集してモデルを構築する方法としてベイズ最適化を開示している。
- [0008] ベイズ最適化は、あるパラメタに対する評点を入力として、探索すべきパラメタの提示を繰り返し学習する仕組みである。
- [0009] 例えば、あるレシピの料理に対してユーザが点数付けすると、次に評価すべきレシピが出力され、それをユーザが点数付けする、ということを繰り返し、最終的にユーザの評価が最大化されたレシピが出力される。
- [0010] 非特許文献2は、ベイズ最適化を用いてクッキーのレシピを最適化した例を開示している。
- [0011] しかし、主観データを収集する上では、ユーザの評点にぶれが大きい問題がある。
- [0012] 非特許文献3は、ユーザの評点のぶれの問題を解決するため、比較結果を

入力としガウス過程を用いて学習する手法を提案している。

[0013] この手法は、前回選択したパラメタと提示されたパラメタの比較結果を入力として、探索すべきパラメタの提示を繰り返し学習する仕組みである。前回選択したパラメタは、過去最高評価のパラメタである。

[0014] ここで、提示されたパラメタは、探索すべきパラメタであり、前回選択したパラメタは、提示されたパラメタすなわち探索すべきパラメタと比較されるパラメタである。以下では、探索すべきパラメタを探索すべき候補点または新規候補点または単に候補点とも称し、また、探索すべきパラメタと比較されるパラメタを比較点とも称する。

[0015] 例えば、2つのレシピの料理に対してユーザが順に選ぶと、次に比較すべきレシピが出力され、前回高評価としたレシピと出力された比較すべきレシピに対してユーザが順に選ぶ、ということを繰り返し、最終的にユーザの評価が最大化されたレシピが出力される。

[0016] しかし、この手法では、収束までに時間がかかり、ユーザが行う比較の回数が多いという課題がある。

[0017] 本発明は、上記事情に着目してなされたもので、その目的は、学習が早く収束し、ユーザが行う比較の回数が低減されるベイズ最適化装置、ベイズ最適化方法、およびベイズ最適化プログラムを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0018] 本発明の一態様は、ベイズ最適化装置である。ベイズ最適化装置は、ユーザによる比較結果を受け取って展開する比較結果展開部と、展開された比較結果を格納する比較結果格納部と、展開された比較結果をもとにモデルを学習するモデル学習部と、学習済みのモデルを格納するモデル格納部と、展開された比較結果と学習済みのモデルをもとに、探索すべき候補点を選択する候補点選択部と、探索すべき候補点をユーザに提示する候補点提示部を有する。

[0019] 本発明の一態様は、ベイズ最適化方法である。ベイズ最適化方法は、ユーザによる比較結果を受け取って展開することと、展開された比較結果を格納

することと、展開された比較結果をもとにモデルを学習することと、学習済みのモデルを格納することと、展開された比較結果と学習済みのモデルをもとに、探索すべき候補点を選択することと、探索すべき候補点をユーザに提示することを有する。

[0020] 本発明の一態様に係るベイズ最適化プログラムは、上記のベイズ最適化装置の各構成要素の機能をコンピュータに実行させる。

発明の効果

[0021] 本発明によれば、学習が早く収束し、ユーザが行う比較の回数が低減されるベイズ最適化装置、ベイズ最適化方法、およびベイズ最適化プログラムが提供される。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]図1は、実施形態に係るベイズ最適化装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

[図2]図2は、実施形態に係るベイズ最適化装置において比較結果展開部が受け取る比較結果のデータの一例を示す図である。

[図3]図3は、実施形態に係るベイズ最適化装置において比較結果展開部が出力する展開された比較結果のデータの一例を示す図である。

[図4]図4は、実施形態に係るベイズ最適化装置において比較結果展開部が行う比較結果の展開の様子を示す模式図である。

[図5]図5は、実施形態に係るベイズ最適化装置のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

[図6]図6は、実施形態に係るベイズ最適化装置の動作を示すフローチャート図である。

[図7]図7は、従来例に係るベイズ最適化装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

[図8]図8は、従来例に係るベイズ最適化装置において比較結果格納部に格納される比較結果のデータの一例を示す図である。

[図9]図9は、従来例に係るベイズ最適化装置における比較の様子を示す模式

図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、図面を参照して本発明に係る実施形態を説明する。図1は、実施形態に係るベイズ最適化装置10の機能構成の一例を示すブロック図である。

[0024] 図1に示されるように、ベイズ最適化装置10は、比較結果展開部11と、比較結果格納部12と、モデル学習部13と、モデル格納部14と、候補点選択部15と、候補点提示部16を有する。

[0025] 比較結果展開部11は、ユーザによる比較結果を受け取り、受け取った比較結果を展開する。比較結果展開部11はまた、展開された比較結果を比較結果格納部12に出力する。

[0026] 比較結果格納部12は、展開された比較結果を比較結果展開部11から受け取り、これを格納する。

[0027] モデル学習部13は、展開された比較結果を比較結果格納部12から読み込むとともに、モデル格納部14からモデルを読み込む。モデル学習部13は、比較結果をもとにモデルを学習する。モデル学習部13はまた、学習済みのモデルをモデル格納部14に出力する。

[0028] モデル格納部14は、初期状態では、未学習のモデルを格納している。モデル学習部13がモデルの学習を実行する都度、モデル格納部14は、学習済みのモデルをモデル学習部13から受け取り、これを格納する。言い換えれば、モデル格納部14は、格納しているモデルを更新する。

[0029] 候補点選択部15は、比較結果格納部12から比較結果を読み込むとともに、モデル学習部13から学習済みのモデルを読み込む。候補点選択部15はまた、比較結果と学習済みのモデルをもとに、探索すべき候補点を選択する。候補点選択部15はまた、探索すべき候補点を候補点提示部16に出力する。

[0030] 候補点提示部16は、探索すべき候補点を候補点選択部15から受け取り、これをユーザに提示する。

[0031] 図2は、比較結果展開部11に入力されるユーザによる比較結果のデータ

の一例を示す図である。また、図3は、比較結果展開部が出力する展開された比較結果のデータの一例を示す図である。図2と図3において、比較結果のデータは表形式で表されている。また図2では、便宜上、比較結果のデータは2段の表として描かれている。

[0032] 図2と図3の比較結果のデータは、クッキーのレシピのデータの例であり、複数のパラメタを有する。各パラメタは、砂糖、バター、…の情報を有する。比較結果のデータはまた、試行回数毎に、比較結果の情報を有する。

[0033] 比較結果展開部11に入力されるユーザによる比較結果は、3つ以上のパラメタとそれらの比較結果を有する。図2の比較結果のデータは、パラメタの数が3の場合のデータである。このため、図2の比較結果のデータは、パラメタ1とパラメタ2とパラメタ3を有する。図2の比較結果のデータはまた、比較結果として、試行回数毎に、1位と2位と3位のパラメタの情報を有する。

[0034] 図3の比較結果のデータは、2つのパラメタすなわちパラメタ1とパラメタ2を有するデータである。図3の比較結果のデータはまた、比較結果として、試行回数毎に、1位のパラメタの情報を有する。

[0035] 比較結果展開部11は、図2の比較結果のデータを展開して、図3の比較結果のデータを作り出す。比較結果展開部11は、先ず、図2の比較結果のデータのパラメタ1とパラメタ2とパラメタ3を相互に比較することにより、3個の比較結果を取得する。3個の比較結果は、パラメタ1とパラメタ2の比較結果である第1の比較結果と、パラメタ2とパラメタ3の比較結果である第2の比較結果と、パラメタ3とパラメタ1の比較結果である第3の比較結果である。比較結果展開部11は、次に、これら3個の比較結果に基づいて順位付けを行って、図3の比較結果のデータを作り出す。

[0036] 次に、ベイズ最適化装置10のハードウェア構成について説明する。ベイズ最適化装置10は、コンピュータで構成される。例えば、ベイズ最適化装置10は、パーソナルコンピュータやサーバコンピュータ等で構成される。

[0037] 図5は、実施形態に係るベイズ最適化装置10のハードウェア構成の一例

を示すブロック図である。図5に示されるように、ベイズ最適化装置10は、入力装置21と、CPU22と、記憶装置25と、出力装置28を有する。ベイズ最適化装置10はさらに、これらに加えて、他の周辺装置を有していてもよい。

[0038] 入力装置21とCPU22と記憶装置25と出力装置28は、バス29を介して互いに電氣的に接続されており、バス29を介してデータや命令のやりとりを行う。

[0039] 入力装置21は、ユーザからデータや命令を受け取る装置である。例えば、入力装置21は、キーボードやマウスで構成される。入力装置21は、これに限らず、他の任意の入力機器で構成されてもよい。

[0040] 出力装置28は、ユーザにデータを提示する装置である。例えば、出力装置28は、ディスプレイで構成される。出力装置28は、これに限らず、他の任意の出力機器で構成されてもよい。

[0041] 記憶装置25は、CPU22が実行する処理に必要なプログラムとデータを記憶している。CPU22は、記憶装置25から必要なプログラムとデータを読み出して実行することにより、各種の処理を行う。

[0042] 記憶装置25は、主記憶装置26と、補助記憶装置27を有する。主記憶装置26と補助記憶装置27は、相互間でプログラムとデータのやりとりを行う。

[0043] 主記憶装置26は、CPU22の処理に一時的に必要なプログラムとデータを記憶する。例えば、主記憶装置26は、RAM(Random Access Memory)等の揮発性メモリで構成される。

[0044] 補助記憶装置27は、外部機器やネットワークを介して供給されるプログラムやデータを記憶しており、CPU22の処理に一時的に必要なプログラムとデータを主記憶装置26に提供する。例えば、補助記憶装置27は、HDD(Hard Disk Drive)やSSD(Solid State Drive)等の不揮発性メモリで構成される。

[0045] CPU22は、プロセッサであり、データや命令を処理するハードウェア

である。CPU 22は、制御装置23と、演算装置24を有する。

[0046] 制御装置23は、入力装置21と演算装置24と記憶装置25と出力装置28を制御する。

[0047] 演算装置24は、主記憶装置26からプログラムとデータを読み込み、プログラムを実行してデータを処理し、処理したデータを主記憶装置26に提供する。

[0048] このようなハードウェア構成において、入力装置21とCPU 22と主記憶装置26は、比較結果展開部11を構成する。また、記憶装置25は、比較結果格納部12とモデル格納部14を構成する。CPU 22と主記憶装置26は、モデル学習部13と候補点選択部15を構成する。CPU 22と主記憶装置26と出力装置28は、候補点提示部16を構成する。

[0049] 次に、図6を参照して、ベイズ最適化装置10の動作について説明する。図6は、ベイズ最適化装置10の動作を示すフローチャート図である。

[0050] ステップS11において、比較結果展開部11は、ユーザによる比較結果の入力待ちをしている。比較結果展開部11は、ユーザによる比較結果を受け取ると、ステップS12の処理へ進む。ユーザによる比較結果は、3つ以上のパラメタを含む。

[0051] ステップS12において、比較結果展開部11は、比較結果を展開する。すなわち、比較結果展開部11は、受け取った比較結果の3つ以上のパラメタを相互に比較することによって、展開された比較結果を作り出す。例えば、比較結果展開部11は、図2に示されるような3つのパラメタを含む比較結果を受け取り、図3に示されるような2つのパラメタを含む展開された比較結果を作り出す。比較結果展開部11は、展開された比較結果を比較結果格納部12に出力する。

[0052] ステップS13において、比較結果格納部12は、展開された比較結果を比較結果展開部11から受け取り、これを格納する。

[0053] ステップS14において、モデル学習部13は、展開された比較結果を比較結果格納部12から読み込むとともに、モデル格納部14からモデルを読

み込む。モデル学習部 13 は、展開された比較結果をもとにモデルを学習する。モデル学習部 13 はまた、学習済みのモデルをモデル格納部 14 と候補点選択部 15 に出力する。

[0054] ステップ S 15 において、モデル格納部 14 は、学習済みのモデルをモデル学習部 13 から受け取り、これを格納する。

[0055] ステップ S 16 において、候補点選択部 15 は、展開された比較結果を比較結果格納部 12 から読み込むとともに、学習済みのモデルをモデル学習部 13 から受け取る。候補点選択部 15 はまた、展開された比較結果と学習済みのモデルをもとに、探索すべき候補点を選択する。候補点選択部 15 は、探索すべき候補点を候補点提示部 16 に出力する。

[0056] ステップ S 17 において、候補点提示部 16 は、探索すべき候補点を候補点選択部 15 から受け取り、これをユーザに提示する。その後、ベイズ最適化装置 10 は、ステップ S 11 の処理へ戻る。

[0057] 以下、実施形態に係るベイズ最適化装置 10 と、従来例に係るベイズ最適化装置 50 とを比較して論じる。図 7 は、従来例に係るベイズ最適化装置 50 の機能構成の一例を示すブロック図である。図 7 において、図 1 の機能構成と同一の参照符号が付された機能構成は同様の機能構成を表している。

[0058] 図 7 を図 1 と比較して分かるように、従来例に係るベイズ最適化装置 50 は、実施形態に係るベイズ最適化装置 10 から比較結果展開部 11 を省いた構成となっている。これに伴い、従来例に係る比較結果格納部 12 は、ハードウェア的には、記憶装置 25 に加えて入力装置 21 と CPU 22 を含んで構成される。

[0059] 図 8 は、図 7 のベイズ最適化装置 50 において比較結果格納部 12 に格納される比較結果のデータの一例を示す図である。図 8 の比較結果のデータは、図 2 と図 3 の比較結果のデータと同様、クッキーのレシピのデータの例であり、表形式で表されている。

[0060] 図 8 の比較結果のデータは、2つのパラメタすなわちパラメタ 1 とパラメタ 2 と比較結果を有する。各パラメタは、砂糖、バター、…の情報を有する

。比較結果は、試行回数毎に、1位のパラメタの情報を有する。

[0061] 図8を図3と比較して分かるように、図8の比較結果のデータは、図3の比較結果のデータと同様のデータである。

[0062] 従来例に係るベイズ最適化装置50では、2つのパラメタを有するユーザによる比較結果が比較結果格納部12に入力される。モデル学習部13は、その比較結果をもとにモデルを学習する。候補点選択部15は、比較結果と学習済みのモデルをもとに、探索すべき候補点を選択する。候補点提示部16は、探索すべき候補点をユーザに提示する。その後、比較結果格納部12は、ユーザによる次の比較結果の入力を待つ。これを繰り返すことによって、ベイズ最適化を行う。

[0063] 図9は、従来例に係るベイズ最適化装置50における比較の様子を示す模式図である。ベイズ最適化装置50に入力されるユーザによる比較結果は、2つのパラメタすなわちパラメタ1とパラメタ2を有する。パラメタ1とパラメタ2を比較することによって得られる比較結果は、比較結果C1のただ1個である。

[0064] これに対して、実施形態に係るベイズ最適化装置10では、3つ以上のパラメタを有するユーザによる比較結果が比較結果展開部11に入力される。比較結果展開部11は、3つ以上のパラメタを相互にパラメタ比較することによって、展開された比較結果を作り出す。展開された比較結果は、図3に示されるように、2つのパラメタを有する比較結果である。展開された比較結果は、比較結果格納部12に格納される。モデル学習部13は、展開された比較結果をもとにモデルを学習する。候補点選択部15は、比較結果と学習済みのモデルをもとに、探索すべき候補点を選択する。候補点提示部16は、探索すべき候補点をユーザに提示する。その後、比較結果展開部11は、ユーザによる次の比較結果の入力を待つ。これを繰り返すことによって、ベイズ最適化を行う。

[0065] 図4は、実施形態に係るベイズ最適化装置10において、比較結果展開部11が行う比較結果の展開の様子を示す模式図である。比較結果展開部11

に入力されるユーザによる比較結果は、3以上のパラメタを有する。図4は、パラメタの数が4の場合を表している。比較結果展開部11は、パラメタ1とパラメタ2とパラメタ3とパラメタ4を相互に比較する。その結果、比較結果展開部11は、 ${}_4C_2 = 6$ 個の比較結果C1, C2, C3, C4, C5, C6を得る。

[0066] このように、実施形態に係るベイズ最適化装置10においては、4つのパラメタを相互に比較して取得した6個の比較結果を基にしてモデルの学習を行うため、2つのパラメタを比較してモデルの学習を行う従来例に係るベイズ最適化装置50と比較して、モデルの学習が理想的には6倍の速度で収束することが期待される。これは、言い換えれば、ユーザによる比較の回数が $1/6$ に低減されることが期待される。

[0067] 以下、より一般化して、比較結果展開部11が受け取るユーザによる比較結果がN個のパラメタを含む場合について論じる。ここで、Nは、3以上の自然数である。

[0068] 比較結果展開部11は、N個のパラメタを相互に比較することにより、 ${}_NC_2$ 個の比較結果を取得し、 ${}_NC_2$ 個の比較結果に基づいて順位付けを行って、展開された比較結果を作り出す。この展開された比較結果をもとに、モデル学習部13がモデルを学習する。このため、学習が早く収束し、ユーザによる比較の回数が減る。

[0069] 比較結果展開部11は、ユーザによる比較結果のN個のパラメタに対して、M個の新規候補点と、 $N - M$ 個の比較点を選ぶ。ここで、Mは、1以上かつN未満の自然数である。

[0070] $N - M$ 個の比較点の選び方の例は、例えば、以下のとおりである。

(1) 過去に比較したうち評価が上位 $N - M$ 個の比較点を選ぶ。

(2) 過去に比較したうちランダムに $N - M$ 個の比較点を選ぶ。

(3) 過去に比較したうち新規候補点からの距離（例えば二乗距離など）が遠い $N - M$ 個の比較点を選ぶ。

[0071] ここで、Nの値の設定について説明する。Nは大きくするほどに、多くの

比較結果が得られる。その結果、学習が早く収束し、ユーザによる比較の回数が減る。その反面、ユーザの負担が増える。これらを考慮すると、例えば、 N は10以下であることが望ましい。

[0072] 次に、 M の値の設定について説明する。 M は小さくすると、1回に追加する新規候補点の数が少なくなる。その結果、新規候補点と比較点との比較結果が多く得られるので、推論性能は向上する。その反面、計算コストは大きくなる。

[0073] このため、 N の値と M の値はいずれも、性能とコストのトレードオフの中で決めればよい。

[0074] 比較結果展開部11と候補点選択部15における新規候補点の探索は、非特許文献4に開示されるUpper Confidence Boundアルゴリズム、非特許文献5に開示されるExpected Improvementアルゴリズム、非特許文献6に開示されるMutual Informationアルゴリズムなどを用いて行う。

[0075] 次に、モデル学習部13におけるモデルと学習について説明する。モデルにはガウス過程を用い、学習は下記の尤度関数を用いて行う。

[0076] [数1]

$$\Phi(z_k) = \int_{-\infty}^{z_k} \mathcal{N}(\gamma; 0, 1) d\gamma$$

$$z_k = \frac{f(v_k) - f(u_k)}{\sqrt{2}\sigma}$$

v_k, u_k は k 番目の比較におけるパラメタであり、前者の方がユーザによって高い評価がされていることを表し、 $f(x)$ はパラメタ x における予測評価値を得る関数を表し、 $\mathcal{N}(\delta; \mu, \sigma^2)$ は平均 μ 分散 σ^2 の正規分布に従うランダム変数 δ を表す。

[0077] 以上に説明したように、実施形態に係るベイズ最適化装置10は、 N 個のパラメタを相互に比較して $N C_2$ 個の比較結果を取得し、これらの比較結果に基づく展開された比較結果をもとにモデルの学習を行う。このため、学習が早く収束し、ユーザによる比較の回数が減る。

[0078] したがって、実施形態によれば、学習が早く収束し、ユーザが行う比較の回数が低減されるベイズ最適化装置、ベイズ最適化方法、およびベイズ最適

化プログラムが提供される。

[0079] なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で種々に変形することが可能である。また、各実施形態は適宜組み合わせて実施してもよく、その場合組み合わせた効果が得られる。更に、上記実施形態には種々の発明が含まれており、開示される複数の構成要件から選択された組み合わせにより種々の発明が抽出され得る。例えば、実施形態に示される全構成要件からいくつかの構成要件が削除されても、課題が解決でき、効果が得られる場合には、この構成要件が削除された構成が発明として抽出され得る。

符号の説明

- [0080] 1 0 …実施形態に係るベイズ最適化装置
 1 1 …比較結果展開部
 1 2 …比較結果格納部
 1 3 …モデル学習部
 1 4 …モデル格納部
 1 5 …候補点選択部
 1 6 …候補点提示部
 2 1 …入力装置
 2 2 …C P U
 2 3 …制御装置
 2 4 …演算装置
 2 5 …記憶装置
 2 6 …主記憶装置
 2 7 …補助記憶装置
 2 8 …出力装置
 2 9 …バス
 5 0 …従来例に係るベイズ最適化装置

請求の範囲

- [請求項1] ユーザによる比較結果を受け取って展開する比較結果展開部と、展開された比較結果を格納する比較結果格納部と、展開された比較結果をもとにモデルを学習するモデル学習部と、学習済みのモデルを格納するモデル格納部と、展開された比較結果と学習済みのモデルをもとに、探索すべき候補点を選択する候補点選択部と、探索すべき候補点をユーザに提示する候補点提示部を有するベイズ最適化装置。
- [請求項2] 前記比較結果展開部は、前記ユーザによる比較結果に含まれる3つ以上のパラメタを相互に比較して3つ以上の比較結果を取得し、取得した前記3つ以上の比較結果に基づいて前記展開された比較結果を作り出す、請求項1に記載のベイズ最適化装置。
- [請求項3] 前記比較結果展開部は、前記ユーザによる比較結果に含まれる N 個（ N は3以上の自然数）のパラメタを相互に比較して ${}_NC_2$ 個の比較結果を取得し、取得した前記 ${}_NC_2$ 個の比較結果に基づいて前記展開された比較結果を作り出す、請求項2に記載のベイズ最適化装置。
- [請求項4] 前記比較結果展開部は、前記 N 個のパラメタに対して、 M 個（ M は1以上かつ N 未満の自然数）の新規候補点と、 $N-M$ 個の比較点を選ぶ、請求項3に記載のベイズ最適化装置。
- [請求項5] 前記比較結果展開部は、前記 $N-M$ 個の比較点として、過去に比較したうち評価が上位 $N-M$ 個の比較点と、過去に比較したうちランダムに $N-M$ 個の比較点と、過去に比較したうち新規候補点からの距離が遠い $N-M$ 個の比較点のいずれかを選ぶ、請求項4に記載のベイズ最適化装置。

[請求項6] 前記モデル学習部は、モデルにガウス過程を用い、学習は下記の尤度関数を用いて行う、

[数1]

$$\Phi(z_k) = \int_{-\infty}^{z_k} \mathcal{N}(\gamma; 0, 1) d\gamma$$

$$z_k = \frac{f(v_k) - f(u_k)}{\sqrt{2}\sigma}$$

v_k, u_k は k 番目の比較におけるパラメタであり、前者の方がユーザによって高い評価がされていることを表し、 $f(x)$ はパラメタ x における予測評価値を得る関数を表し、 $\mathcal{N}(\delta; \mu, \sigma^2)$ は平均 μ 分散 σ^2 の正規分布に従うランダム変数 δ を表す。

請求項1から5までのいずれかひとつに記載のベイズ最適化装置。

[請求項7] ユーザによる比較結果を受け取って展開することと、

展開された比較結果を格納することと、

展開された比較結果をもとにモデルを学習することと、

学習済みのモデルを格納することと、

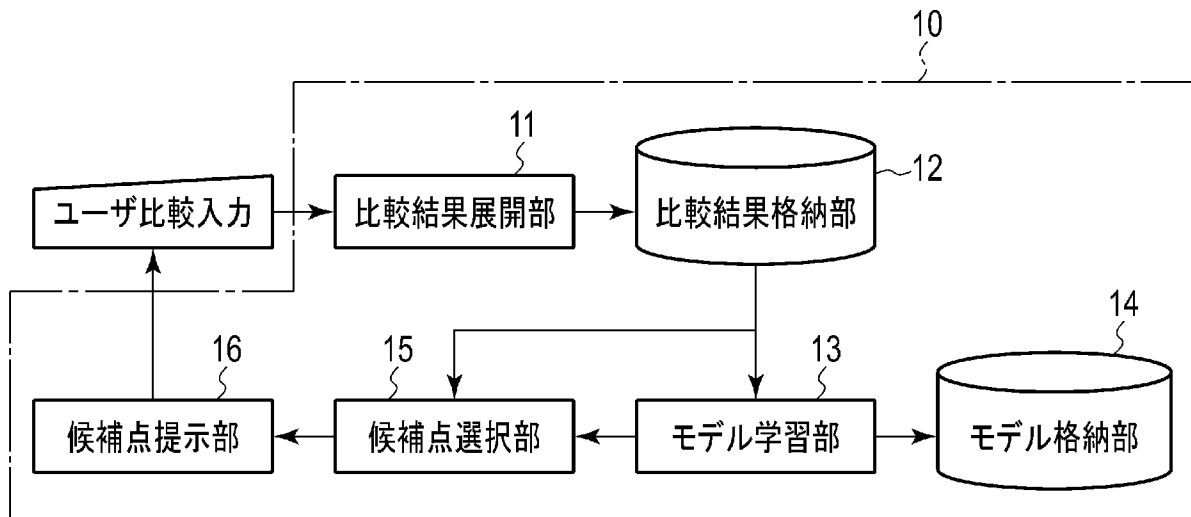
展開された比較結果と学習済みのモデルをもとに、探索すべき候補点を選択することと、

探索すべき候補点をユーザに提示することを有する

ベイズ最適化方法。

[請求項8] 請求項1から請求項3までのいずれかひとつに記載のベイズ最適化装置の各構成要素の機能をコンピュータに実行させるベイズ最適化プログラム。

[図1]



[図2]

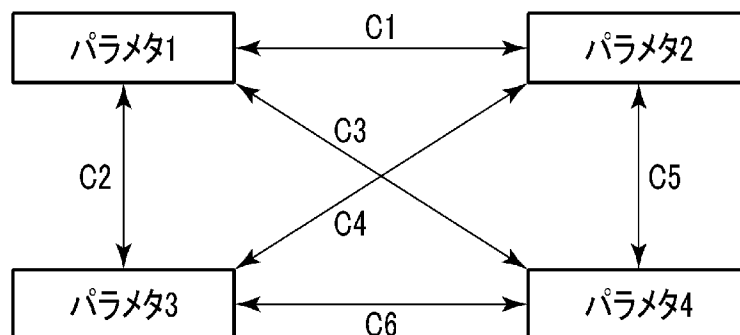
試行回数	パラメタ1			パラメタ2		
	砂糖	バター	...	砂糖	バター	...
1	200g	100g		50g	50g	
2	10g	10g		50g	50g	
...						

試行回数	パラメタ3			比較結果		
	砂糖	バター	...	1位	2位	3位
1	100g	30g		パラメタ2	パラメタ3	パラメタ1
2	30g	50g		パラメタ3	パラメタ2	パラメタ1
...						

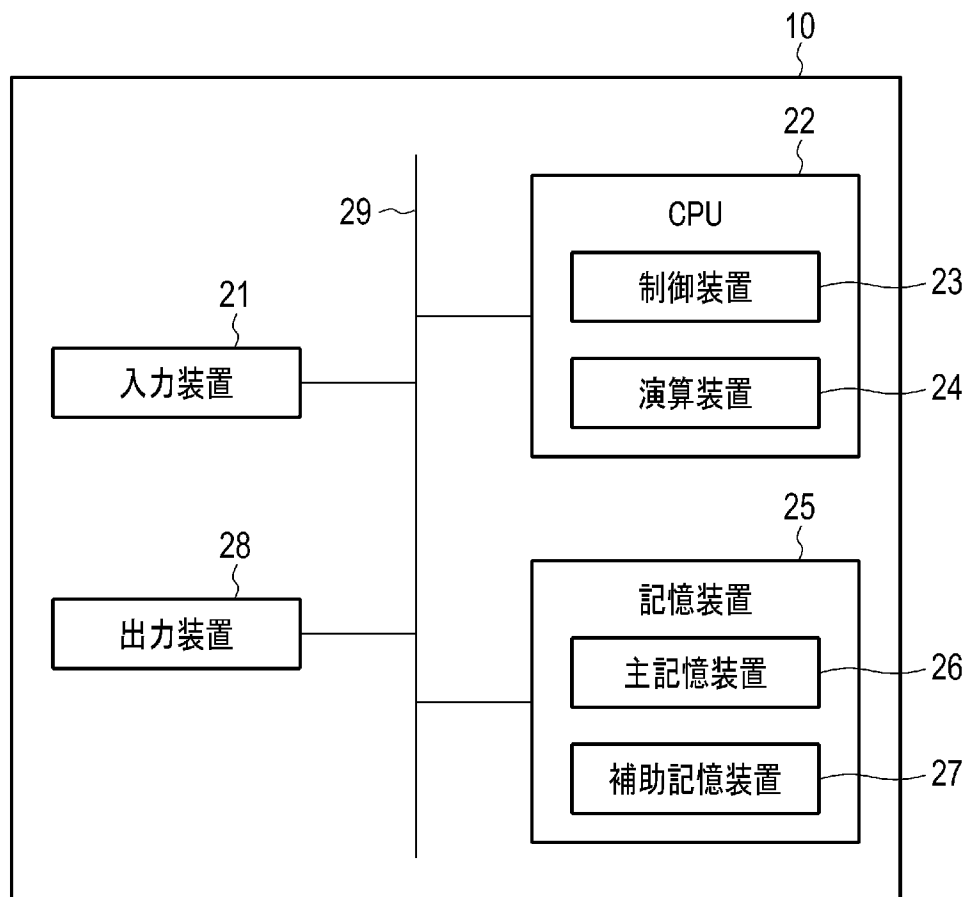
[図3]

試行回数	パラメタ1			パラメタ2			比較結果
	砂糖	バター	...	砂糖	バター	...	1位
1	200g	100g		50g	50g		パラメタ2
2	200g	100g		100g	30g		パラメタ2
...							

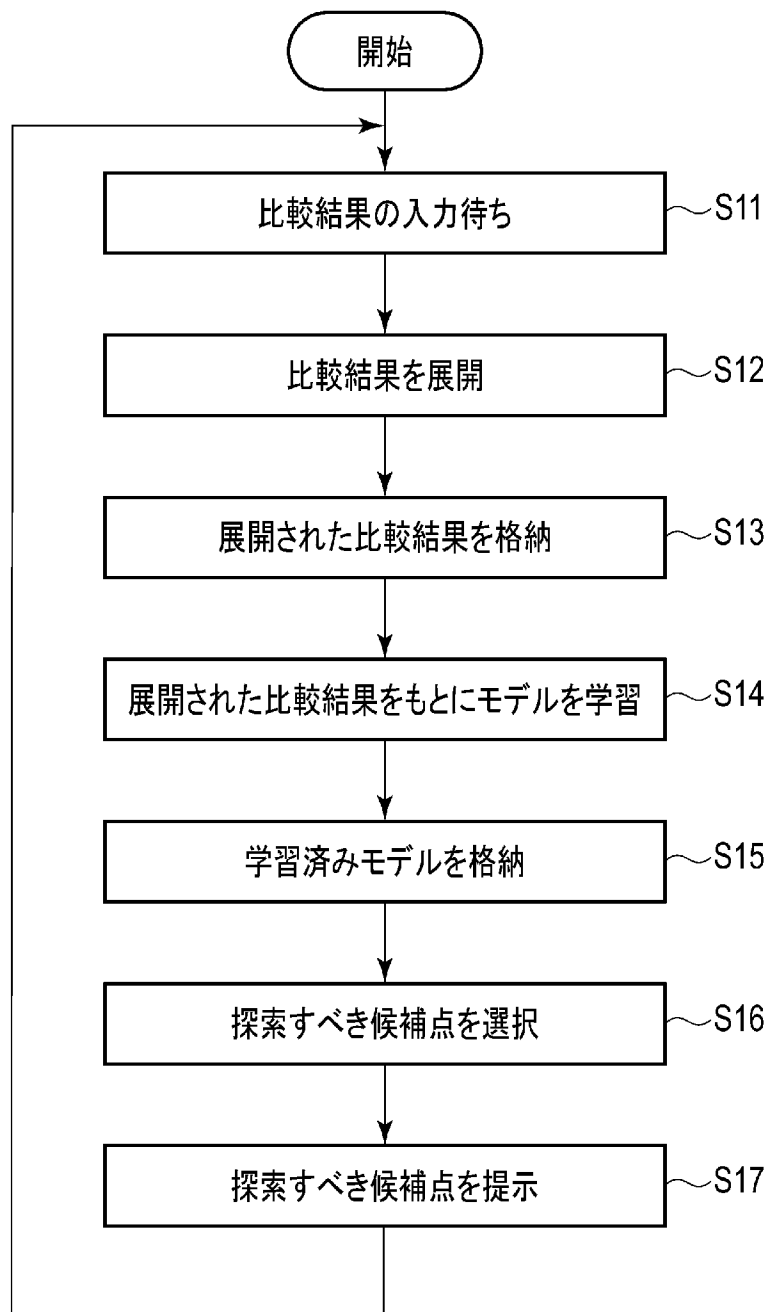
[図4]



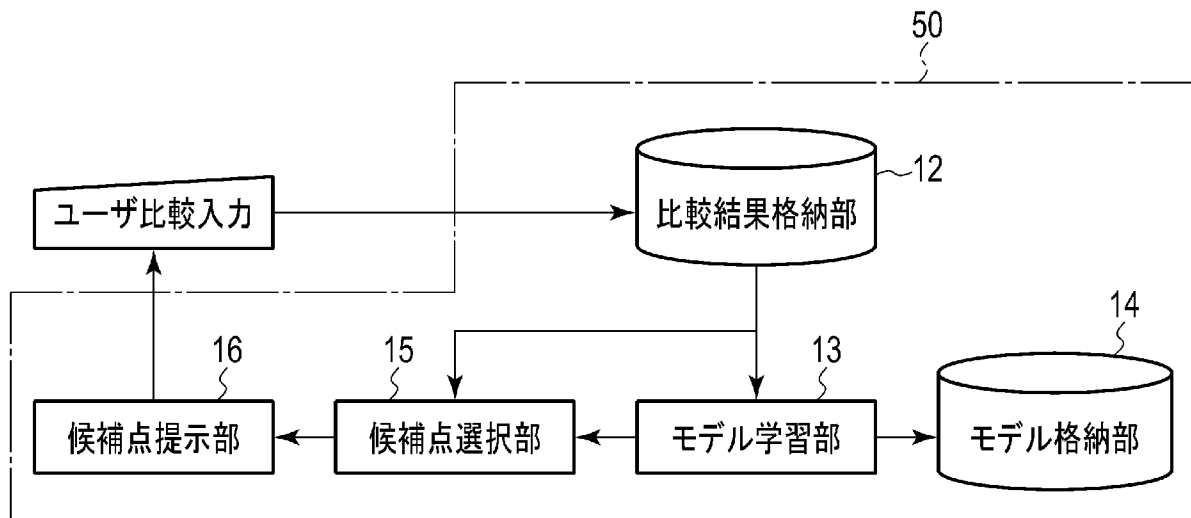
[図5]



[図6]



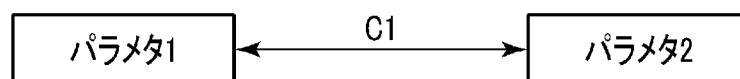
[図7]



[図8]

試行回数	パラメタ1			パラメタ2			比較結果
	砂糖	バター	...	砂糖	バター	...	1位
1	200g	100g		50g	50g		パラメタ2
2	200g	100g		100g	30g		パラメタ2
...							

[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/041921

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06N 20/00 (2019.01)i FI: G06N20/00 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) G06N20/00 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 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022 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	GAO, Yang. MEYER, Christian M. GUREVYCH, Iryna. APRIL: Interactively Learning to Summarise by Combining Active Preference Learning and Reinforcement Learning. arXiv.org [online]. 29 August 2018, [retrieval date 19 January 2022], Internet<URL https://arxiv.org/pdf/1808.09658.pdf> "Abstract", "1 Introduction", "4 APRIL: Decomposing SPPI into Active Preference Learning and RL"	1-8
A	SHAHRIARI, Bobak. SWERSKY, Kevin. WANG, Ziyu. ADAMS, Ryan P. FREITAS, Nando de. Taking the Human Out of the Loop: A Review of Bayesian Optimization. Proceedings of the IEEE. vol. 104, issue: 1, Institute of ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, INC. January 2016, pp. 148-175, [retrieval date 19 January 2022], Internet<URL https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7352306> "Abstract", "I. Introduction"	1-8
☐ 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 19 January 2022		Date of mailing of the international search report 01 February 2022
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.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G06N 20/00(2019.01)i FI: G06N20/00														
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）） G06N20/00 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 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2022年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2022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 - 2022年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年													
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	Yang Gao, Christian M. Meyer and Iryna Gurevych, APRIL: Interactively Learning to Summarise by Combining Active Preference Learning and Reinforcement Learning, arXiv.org [online], 2018.08.29, [検索日 2022.1.19], インターネット<URL https://arxiv.org/pdf/1808.09658.pdf > 「Abstract」、 「I Introduction」 及び 「4 APRIL: Decomposing SPPI into Active Preference Learning and RL」	1-8												
A	Bobak Shahriari, Kevin Swersky, Ziyu Wang, Ryan P. Adams and Nando de Freitas, Taking the Human Out of the Loop: A Review of Bayesian Optimization, Proceedings of the IEEE, Volume: 104, Issue: 1, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2016.01, p.148-175, [検索日 2022.1.19], インターネット<URL https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7352306 > 「ABSTRACT」 及び 「I. INTRODUCTION」	1-8												
☐ 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 19.01.2022	国際調査報告の発送日 01.02.2022													
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） 川▲崎▼ 博章 5B 5284 電話番号 03-3581-1101 内線 3545													