

(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
2024年7月4日(04.07.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/142173 A1

(51) 国際特許分類:

G06N 99/00 (2019.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/048011

(22) 国際出願日: 2022年12月26日(26.12.2022)

(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: 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 窪田 大(KUBOTA, Dai); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 井手口 裕太(IDEGUCHI, Yuta); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 鷹野 芙美代(TAKANO, Fumiyo); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 土井 龍太郎(DOI, Ryutaro); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).

京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 中村 暢達(NAKAMURA, Nobutatsu); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).

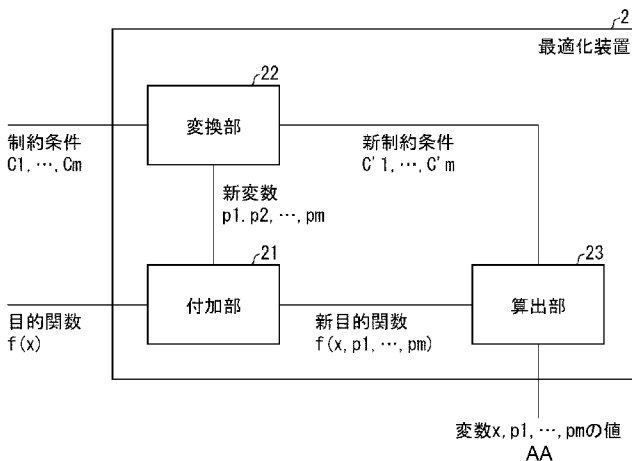
(74) 代理人: 弁理士法人 H A R A K E N Z O W O R L D P A T E N T & T R A D E M A R K (HARAKENZO WORLD PATENT & TRADEMARK); 〒5300041 大阪府大阪市北区天神橋2丁目北2番6号 大和南森町ビル Osaka (JP).

(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, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

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

(54) 発明の名称: 最適化装置、最適化方法、及びプログラム

[図7]



2... OPTIMIZATION DEVICE
21... ADDITION UNIT
22... CONVERSION UNIT
23... CALCULATION UNIT
C1, ..., Cm... CONSTRAINT CONDITION
C'1, ..., C'm... NEW CONSTRAINT CONDITION
f(x)... OBJECTIVE FUNCTION
f(x, p1, ..., pm)... NEW OBJECTIVE FUNCTION
p1, p2, ..., pm... NEW VARIABLE
AA... VALUES OF VARIABLES x, p1, ..., pm

(57) Abstract: In order to automatically and efficiently implement a debugging operation on a constraint condition imposed on an optimization problem, an optimization device (2) comprises: an addition unit (21) that generates a new objective function ($f(x, p1, p2, \dots, pm)$) by adding a new variable ($p1, p2, \dots, pm$) to an objective function ($f(x)$); a conversion unit (22) that converts each constraint condition (Ci) to a new constraint condition ($C'i$) to be imposed on a corresponding new variable (pi); and a calculation unit (23) that calculates a value that maximizes or minimizes the new objective function ($f(x, p1, p2, \dots, pm)$) under the new constraint condition ($C'1, C'2, \dots, C'm$).

[続葉有]

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, 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: 最適化問題に課される制約条件に対するデバッグ作業を自動的に且つ効率的に実施するために、最適化装置(2)は、新変数($p_1, p_2, \dots, p_m$)を目的関数($f(x)$)に付加することによって、新目的関数($f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$)を生成する付加部(21)と、各制約条件(C_i)を、対応する新変数(p_i)に課される新制約条件(C'_i)に変換する変換部(22)と、新制約条件($C'_1, C'_2, \dots, C'_m$)の下で新目的関数($f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$)を最大化または最小化する値を算出する算出部(23)と、を備える。

明 細 書

発明の名称：最適化装置、最適化方法、及びプログラム

技術分野

[0001] 最適化問題を解くための最適化装置及び最適化方法に関する。また、そのような最適化装置としてコンピュータを機能させるためのプログラムに関する。

背景技術

[0002] 様々な産業において最適化問題という数理モデルを用いた計画立案が行われている。最適化問題は、効用を表す目的関数と、解の探索範囲を規定する制約条件と、により構成される。例えば、特許文献1には、検査対象となるソフトウェア、ソフトウェアへの入力値制約条件、およびソフトウェアの検査条件を入力値として、制約条件付き最適化ソルバーを用いた充足可能性判定により、ソフトウェアを検査するソフトウェア検査装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：国際公開第2016／121074号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 最適化問題に課される制約条件としては、通常、ユーザが入力した数式が用いられる。ユーザが誤った制約条件を入力すると、解を持つべき最適化問題が解を持たなくなることがある。このため、最適化問題に課される制約条件が適切であるかを判断するデバッグ作業が重要である。

[0005] このようなデバッグ作業は、これまで、人手によって行われていた。このため、制約条件が適切であるか否かの判断の質が属人的な要素に左右され得るという問題があった。また、最適化問題に課される制約条件が増えると、デバッグ作業に時間が掛かるという問題があった。

[0006] 本発明の一態様は、上記の問題に鑑みてなされたものであり、その目的は、最適化問題に課される制約条件に対するデバッグ作業を効率的に実施することが可能な最適化装置を実現することにある。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一態様に係る最適化装置は、少なくとも一つ以上の制約条件の各々に対応する、少なくとも一つ以上の新変数を第一の目的関数に付加し、第二の目的関数とする付加手段と、前記各制約条件を、対応する前記新変数に課される新制約条件に変換する変換手段と、前記第二の目的関数の変数及び各新変数の値であって、新制約条件の下で前記第二の目的関数を最大化または最小化する値を算出する算出手段と、を備える。

[0008] 本発明の一態様に係る最適化方法は、最適化装置が、少なくとも一つ以上の制約条件の各々に対応する、少なくとも一つ以上の新変数を第一の目的関数に付加し、第二の目的関数とすることと、前記各制約条件を、対応する前記新変数に課される新制約条件に変換することと、前記第二の目的関数の変数及び各新変数の値であって、新制約条件の下で前記第二の目的関数を最大化または最小化する値を算出することと、を含む。

[0009] 本発明の一態様に係るプログラムは、コンピュータを最適化装置として機能させるプログラムであって、前記コンピュータを、少なくとも一つ以上の制約条件の各々に対応する、少なくとも一つ以上の新変数を第一の目的関数に付加し、第二の目的関数とする付加手段と、前記各制約条件を、対応する前記新変数に課される新制約条件に変換する変換手段と、前記第二の目的関数の変数及び各新変数の値であって、新制約条件の下で前記第二の目的関数を最大化または最小化する値を算出する算出手段と、として機能させる。

発明の効果

[0010] 本発明の一態様によれば、最適化問題に課される制約条件に対するデバッグ作業を効率的に実施することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]第1の参考形態に係るデバッグ装置の構成を示すブロック図である。

[図2]第1の参考形態に係るデバッグ方法の流れを示すフロー図である。

[図3]第2の参考形態に係るデバッグ装置の構成を示すブロック図である。

[図4]第2の参考形態に係るデバッグ方法の流れを示すフロー図である。

[図5]第3の参考形態に係るデバッグ装置の構成を示すブロック図である。

[図6]第3の参考形態に係るデバッグ方法の流れを示すフロー図である。

[図7]第1の実施形態に係る最適化装置の構成を示すブロック図である。

[図8]第1の実施形態に係る最適化方法の流れを示すフロー図である。

[図9]第2の実施形態に係る最適化装置の構成を示すブロック図である。

[図10]第2の実施形態に係る最適化方法の流れを示すフロー図である。

[図11]第4の参考形態に係る制約条件評価装置の構成を示すブロック図である。

[図12]第4の参考形態に係る制約条件評価方法の流れを示すフロー図である。

[図13]各参考形態に係るデバッグ装置又は各実施形態に係る最適化装置として機能するコンピュータの構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0012] 〔最適化問題〕

後述する各参考形態に係るデバッグ装置および各実施形態に係る最適化装置は、最適化問題に課される制約条件のデバッグを行うために、不適切な制約条件を特定するための装置ある。対象となる最適化問題は、特に限定されないが、例えば、以下の最適化問題が想定される。

[0013] 〔最適化問題〕

解空間 X において目的関数 $f(x_1, x_2, \dots, x_r)$ を最大化する要素 $(x_1, x_2, \dots, x_r) \in X$ を求める問題のことを、「最適化問題」という。ここで、解空間 X は、制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ を満たす要素 $(x_1, x_2, \dots, x_r)$ の集合である。各制約条件 C_i ($i = 1, 2, \dots, m$)は、変数 $x_1, x_2, \dots, x_r$ の一部又は全部を含む数式（例えば、等式又は不等式）により表現される。

[0014] ここで、目的関数 $f(x_1, x_2, \dots, x_r)$ を最大化することと最小化することとは、自明な変換によって等価である。具体的には、目的関数 $f(x_1, x_2, \dots, x_r)$ を最小化する最適化問題は、目的関数に -1 を乗じた新たな目的関数 $-f(x_1, x_2, \dots, x_r)$ を最大化する最適化問題である。

[0015] (線形計画問題、整数線形計画問題、混合整数線形計画問題)

目的関数及び制約条件が全ての変数に関して線形になる最適化問題のうち、変数 $x_1, x_2, \dots, x_r$ が連続変数(実数変数)である最適化問題を、「線形計画問題」といい、変数 $x_1, x_2, \dots, x_r$ が離散変数(整数変数)である最適化問題を、「整数線形計画問題」という。また、目的関数及び制約条件が全ての変数に関して線形になる最適化問題のうち、変数 $x_1, x_2, \dots, x_r$ に連続変数と離散変数との両方が含まれる最適化問題を、「混合整数線形計画問題」という。

[0016] (2次制約無しバイナリ最適化問題)

下記の目的関数 $f(x_1, x_2, \dots, x_r)$ を最大化する要素 $(x_1, x_2, \dots, x_r) \in X$ を求める問題のことを、「2次制約無しバイナリ最適化問題」という。ここで、変数 $x_1, x_2, \dots, x_r$ は、それぞれ、0又は1の値を取るバイナリ変数である。2次制約無しバイナリ最適化問題では、制約条件を直接扱うことはできないが、目的関数に制約条件に対応する項を追加することで、近似的に扱うことが可能である。

[0017] [数1]

$$f(x_1, x_2, \dots, x_r) = \sum_{\gamma \neq \delta} Q_{\gamma\delta} x_\gamma x_\delta$$

[参考形態1]

本発明の第1の参考形態について、図面を参照して詳細に説明する。本参考形態は、後述する各参考形態の基本となる形態である。

[0018] (デバッグ装置の構成)

本参考形態に係るデバッグ装置1の構成について、図1を参照して説明する。図1は、デバッグ装置1の構成を示すブロック図である。

- [0019] デバッグ装置 1 は、最適化問題 P に課される複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のデバッグを行うための装置である。ここで、 m は、制約条件の個数を表す 2 以上の任意の自然数である。
- [0020] デバッグ装置 1 は、図 1 に示すように、分割部 11 と、特定部 12 と、を備えている。
- [0021] 分割部 11 は、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で最適化問題 P の解が存在しない場合、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ を複数のグループ $G_1, G_2, \dots, G_n$ に分割するための手段である。ここで、 n は、グループの個数を表す 2 以上 m 未満の自然数である。
- [0022] 特定部 12 は、除外すると最適化問題 P の解が存在するグループ $G_{j'}$ を特定するための手段である。特定部 12 は、(1) 複数のグループ $G_1, G_2, \dots, G_n$ から少なくとも 1 つのグループ（ここでは、1 つのグループ G_j 、後述する変形例では、 m 個のグループ $G_1, G_2, \dots, G_n$ から選択された n' 個のグループ）を選択する選択処理と、(2) 複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のうち、選択したグループ G_j 以外のグループ $G_1, G_2, \dots, G_{j-1}, G_{j+1}, \dots, G_n$ に含まれる制約条件の下で最適化問題 P の解が存在するか否かを判定する判定処理と、を、1 以上 n 以下の各 j について繰り返す。除外すると最適化問題 P の解が存在するグループ $G_{j'}$ として特定部 12 が特定するグループは、そのグループ $G_{j'}$ 以外のグループ $G_1, G_2, \dots, G_{j'-1}, G_{j'+1}, \dots, G_n$ に属する制約条件の下で最適化問題 P の解が存在しないグループである。
- [0023] なお、最適化問題 P は、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で解が存在しないことが予め分かっている最適化問題であってもよいし、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で解が存在しないことが予め分かっていない最適化問題であってもよい。後者の場合、分割部 11 は、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ を複数のグループ $G_1, G_2, \dots, G_n$ に分割する分割処理を実行する前に、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で最適化問題 P の解が存在するか否かを判定する判定処理を実行してもよい。

[0024] (デバッグ方法の流れ)

本参考形態に係るデバッグ方法 S 1 の流れについて、図 2 を参照して説明する。図 2 は、デバッグ方法 S 1 の流れを示すフロー図である。

[0025] デバッグ方法 S 1 は、最適化問題 P に課される複数の制約条件 C 1, C 2, ..., C m のデバッグを行うための方法である。本参考形態において、デバッグ方法 S 1 は、デバッグ装置 1 により実施される。

[0026] デバッグ方法 S 1 は、図 2 に示すように、分割処理 S 1 1 と、特定処理 S 1 2 と、を含んでいる。

[0027] 分割処理 S 1 1 は、複数の制約条件 C 1, C 2, ..., C m の下で最適化問題 P の解が存在しない場合、複数の制約条件 C 1, C 2, ..., C m を複数のグループ G 1, G 2, ..., G n に分割するための処理である。本参考形態に係るデバッグ装置 1 において、分割処理 S 1 1 は、分割部 1 1 により実行される。

[0028] 特定処理 S 1 2 は、除外すると最適化問題 P の解が存在するグループ G j' を特定するための処理である。特定処理 S 1 2 においては、(1) 複数のグループ G 1, G 2, ..., G n からグループ G i を選択する選択処理 S 1 2 1 と、(2) 複数の制約条件 C 1, C 2, ..., C m のうち、選択したグループ G i 以外のグループ G 1, G 2, ..., G j-1, G j+1, ..., G n に属する制約条件の下で最適化問題 P の解が存在するか否かを判定する判定処理 S 1 2 2 と、が、1 以上 n 以下の各 j について繰り返される。除外すると最適化問題 P の解が存在するグループ G j' として特定処理 S 1 2 にて特定されるグループ G j' は、グループ G j' 以外のグループ G 1, G 2, ..., G j'-1, G j'+1, ..., G n に属する制約条件の下で最適化問題 P の解が存在しないグループ G j' である。本参考形態に係るデバッグ装置 1 において、特定処理 S 1 2 は、特定部 1 2 により実行される。

[0029] なお、最適化問題 P は、複数の制約条件 C 1, C 2, ..., C m の下で解が存在しないことが予め分かっている最適化問題であってもよいし、複数の制約条件 C 1, C 2, ..., C m の下で解が存在しないことが予め分かっている

い最適化問題であってもよい。後者の場合、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ を複数のグループ $G_1, G_2, \dots, G_n$ に分割する分割処理 S_{11} を実行する前に、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で最適化問題 P の解が存在するか否かを判定する判定処理を実行してもよい。

[0030] (デバッグ装置及びデバッグ方法の効果)

従来のデバッグ装置においては、各制約条件 C_i ($1 \leq i \leq m$) について、その制約条件 C_i が不適切な制約条件であるか否かが判定されるのに対して、本参考形態に係るデバッグ装置1においては、各グループ G_j ($1 \leq j \leq n$) について、そのグループ G_j に不適切な制約条件が含まれているか否かが判定される。したがって、従来のデバッグ装置においては、判定を完了するまでに最適化問題を解く回数が m 回であるのに対して、本参考形態に係るデバッグ装置1においては、判定を完了するまでに最適化問題を解く回数は n 回である。

[0031] 上述したように、グループ $G_1, G_2, \dots, G_n$ の個数 n は、制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の個数 m よりも少ない。したがって、本参考形態に係るデバッグ装置1によれば、判定を完了するまでに最適化問題を解く回数を、従来のデバッグ装置よりも少なくすることができる。その結果、本参考形態に係るデバッグ装置1によれば、判定を完了するまでに要する時間を、従来のデバッグ装置よりも短くすることができる。本参考形態に係るデバッグ方法 S_1 によっても、同様の効果が得られる。

[0032] (分割処理の具体例)

分割処理 S_{11} の幾つかの具体例について説明する。

[0033] 各グループ G_j に含める制約条件の個数 p_j が予め定められている場合、以下のような具体例が考えられる。

[0034] 具体例1：各グループ G_j に含める制約条件を、各制約条件 C_i のインデックス i に基いて決める。例えば、制約条件 $C_1 \sim C_{p_1}$ をグループ G_1 に含め、制約条件 $C_{p_1+1} \sim C_{p_1+p_2}$ をグループ G_2 に含め。グループ $G_3 \sim G_n$ に含める制約条件も同様に決める。

[0035] 具体例2：各グループ G_j に含める制約条件を、ランダムに決める。例えば、 m 個の制約条件からランダムに選択された p_1 個の制約条件をグループ G_1 に含め、残り $m - p_1$ 個の制約条件からランダムに選択された p_2 個の制約条件をグループ G_2 に含める。グループ $G_3 \sim G_n$ に含める制約条件も同様に決める。

[0036] また、各制約条件 C_i の内容に注目する場合、以下のような具体例が考えられる。

[0037] 具体例3：同種の制約条件が同じグループに属するように、各グループ G_j に含める制約条件を決める。例えば、変数の入れ替えにより一方の制約条件から他方の制約条件に変換可能な2つの制約条件を同種の制約条件と見做し、同種の制約条件が同じグループに属するように、各グループ G_j に含める制約条件を決める。この場合、同種の制約条件の組としては、例えば、「 $x_i + 2x_{i+1} \geq 1$ 」と「 $x_{i'} + 2x_{i'+1} \geq 1$ 」との組（ $i \neq i'$ ）などが挙げられる。

[0038] （変形例1）

本参考形態においては、 m 個の制約条件 $C_1 \sim C_m$ のそれぞれについて、不適切な制約条件であるか否かを判定する問題について考えたが、本発明の射程はこれに限定されない。すなわち、 m 個の制約条件 $C_1 \sim C_m$ から選択された m' 個の制約条件の組み合わせのそれぞれについて、不適切な組み合わせであるか否かを判定する問題も、本発明の射程に含まれる。ここで、 m' は、 $1 < m' < m$ を満たす特定の自然数である。この場合、従来のデバッグ装置において最適化問題を解く回数は、 $m! / (m - m')! / m'!$ 回に及ぶ。

[0039] これに対して、本参考形態に係るデバッグ装置1においては、 n 個のグループ $G_1 \sim G_n$ から選択された n' 個のグループのそれぞれについて、不適切な組み合わせであるか否かを判定する。ここで、 n' は、 $1 < n' < n$ を満たす特定の自然数である。この場合、特定部12は、 n 個のグループ $G_1, G_2, \dots, G_n$ から選択された n' 個のグループの組み合わせの各々につ

いて、その組み合わせを構成するグループ以外のグループに含まれる制約条件の下で最適化問題Pの解が存在するか否かを判定する。したがって、本参考形態に係るデバッグ装置1において最適化問題を解く回数は、 $n! (n - n')! / n'!$ 回に抑えられる（ $n < m$ なので、 $n! (n - n')! / n'! \ll m! (m - m')! / m'!$ である）。したがって、参考形態に係るデバッグ装置1によれば、判定を完了するまでに要する時間を、従来のデバッグ装置よりも大幅に短縮することができる。

[0040] なお、本参考形態に対する上記の変形は、後述する各参考形態に対しても適用することが可能である。

[0041] （変形例2）

本参考形態においては、 m 個の制約条件 $C_1 \sim C_m$ のそれぞれについて、不適切な制約条件であるか否かを判定する問題について考えたが、本発明の射程はこれに限定されない。すなわち、 m 個の制約条件 $C_1 \sim C_m$ から選択された任意個数の制約条件の組み合わせのそれぞれについて、不適切な組み合わせであるか否かを判定する問題も、本発明の射程に含まれる。この場合、従来のデバッグ装置において最適化問題を解く回数は、 2^m 回に及ぶ。

[0042] これに対して、本参考形態に係るデバッグ装置1においては、 n 個のグループ $G_1 \sim G_n$ から選択された任意個数のグループのそれぞれについて、不適切な組み合わせであるか否かを判定する。この場合、特定部12は、 n 個のグループ $G_1, G_2, \dots, G_n$ から選択された任意個数のグループの組み合わせの各々について、その組み合わせを構成するグループ以外のグループに含まれる制約条件の下で最適化問題Pの解が存在するか否かを判定する。したがって、本参考形態に係るデバッグ装置1において最適化問題を解く回数は、 2^n 回に抑えられる（ $n < m$ なので、 $2^n \ll 2^m$ である）。したがって、参考形態に係るデバッグ装置1によれば、判定を完了するまでに要する時間を、従来のデバッグ装置よりも大幅に短縮することができる。

[0043] なお、本参考形態に対する上記の変形は、後述する各参考形態に対しても適用することが可能である。

[0044] (変形例 3)

本参考形態に係るデバッグ装置 1 は、更に、出力部を備えていてもよい。出力部は、特定部 1 2 により特定されたグループ G_j' を表す情報、そのグループ G_j' のインデックス j' を表す情報、そのグループ G_j に含まれる制約条件を表す情報、又は、その制約条件のインデックスを表す情報を、ユーザに提示するための構成である。出力部は、これらの情報を、ディスプレイを介して画像として出力してもよいし、スピーカを介して音声として出力してもよい。

[0045] なお、本参考形態に対する上記の変形は、後述する各参考形態に対しても適用することが可能である。

[0046] [参考形態 2]

本発明の第 2 の参考形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、参考形態 1 にて説明した構成要素と同じ機能を有する構成要素については、同じ符号を付し、その説明を適宜省略する。

[0047] 本参考形態においては、最適化問題 P において最適化の対象となる変数（例えば、目的関数の変数）に離散変数（例えば、整数）が含まれる場合、その／それらの離散変数を連続変数に置き換えた緩和問題 P' を制約条件 C_1 , C_2 , ..., C_m のデバッグに利用する。緩和問題 P' に解が存在しない場合には、最適化問題 P にも解が存在しないことが数学的に保証されている。

[0048] (デバッグ装置の構成)

本参考形態に係るデバッグ装置 1 A の構成について、図 3 を参照して説明する。図 3 は、デバッグ装置 1 A の構成を示すブロック図である。

[0049] デバッグ装置 1 A は、第 1 の参考形態に係るデバッグ装置 1 に生成部 1 3 を追加することにより構成されている。

[0050] 生成部 1 3 は、最適化の対象となる変数を離散変数から連続変数に置き換えることによって、最適化問題 P から緩和問題 P' を生成するための構成である。

[0051] 分割部 1 1 は、生成部 1 3 によって生成された緩和問題 P' を利用して、

複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で最適化問題 P の解が存在するか否を判定する。例えば、分割部 11 は、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で緩和問題 P' の解が存在するか否を判定し、緩和問題 P' の解が存在しない場合に最適化問題 P の解が存在しないと判定する。分割部 11 は、緩和問題 P' の解が存在しない場合、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ を複数のグループ $G_1, G_2, \dots, G_n$ に分割する。

[0052] なお、緩和問題 P' の解が存在する場合であっても、最適化問題 P の解が存在しないことがある。このため、緩和問題 P' の解が存在する場合、分割部 11 は、更に、最適化問題 P の解が存在するか否を判定してもよい。

[0053] 特定部 12 は、生成部 13 によって生成された緩和問題 P' を利用して、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のうち、グループ G_j 以外のグループ $G_1, G_2, \dots, G_{j-1}, G_{j+1}, \dots, G_n$ に属する制約条件の下で最適化問題 P の解が存在するか否かを判定する。例えば、特定部 12 は、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のうち、グループ G_j 以外のグループ $G_1, G_2, \dots, G_{j-1}, G_{j+1}, \dots, G_n$ に属する制約条件の下で緩和問題 P' の解が存在するか否かを判定し、緩和問題 P' の解が存在しない場合に最適化問題 P の解が存在しないと判定する。

[0054] なお、緩和問題 P' の解が存在する場合であっても、最適化問題 P の解が存在しないことがある。このため、緩和問題 P' の解が存在する場合、特定部 12 は、更に、最適化問題 P の解が存在するか否かを判定してもよい。

[0055] (デバッグ方法の流れ)

本参考形態に係るデバッグ方法 S1A の流れについて、図 4 を参照して説明する。図 4 は、デバッグ方法 S1A の流れを示すフロー図である。

[0056] デバッグ方法 S1A は、第 1 の参考形態に係るデバッグ方法 S1 に生成処理 S13 を追加することにより構成されている。

[0057] 生成処理 S13 は、最適化問題 P において最適化の対象となる変数を離散変数から連続変数に置き換えることによって、緩和問題 P' を生成するための処理である。デバッグ装置 1A において、生成処理 S13 は、生成部 13

により実行される。

[0058] 分割処理 S 1 1 においては、生成処理 S 1 3 によって生成された緩和問題 P' を利用して、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で最適化問題 P の解が存在するか否が判定される。例えば、分割処理 S 1 1 においては、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で緩和問題 P' の解が存在するか否が判定され、緩和問題 P' の解が存在しない場合に最適化問題 P の解が存在しないと判定される。

[0059] なお、緩和問題 P' の解が存在する場合であっても、最適化問題 P の解が存在しないことがある。このため、緩和問題 P' の解が存在する場合、分割処理 S 1 1 において、更に、最適化問題 P の解が存在するか否を判定されてもよい。

[0060] 特定処理 S 1 2 においては、生成処理 S 1 3 によって生成された緩和問題 P' を利用して、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のうち、グループ G_j 以外のグループ $G_1, G_2, \dots, G_{j-1}, G_{j+1}, \dots, G_n$ に属する制約条件の下で最適化問題 P の解が存在するか否かが判定される。例えば、特定処理 S 1 2 においては、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のうち、グループ G_j 以外のグループ $G_1, G_2, \dots, G_{j-1}, G_{j+1}, \dots, G_n$ に属する制約条件の下で緩和問題 P' の解が存在するか否かが判定され、緩和問題 P' の解が存在しない場合に最適化問題 P の解が存在しないと判定される。

[0061] なお、緩和問題 P' の解が存在する場合であっても、最適化問題 P の解が存在しないことがある。このため、緩和問題 P' の解が存在する場合、特定処理 S 1 2 において、更に、最適化問題 P の解が存在するか否かを判定してもよい。

[0062] (デバッグ装置及びデバッグ方法の効果)

第 1 の参考形態に係るデバッグ装置 1 においては、離散変数の最適化問題 P を解くのに対して、本参考形態に係るデバッグ装置 1 A においては、連続変数の緩和問題 P' を解く。最適化の対象となる変数に離散変数が含まれる

最適化問題 P は、 NP 困難クラスに属する問題であるのに対して、最適化の対象となる変数が全て連続変数である緩和問題 P' は、 P クラスに属する問題である。したがって、本参考形態に係るデバッグ装置 1 によれば、第 1 の参考形態に係るデバッグ装置 1 よりも短い時間で不適切な制約条件を含むグループを特定することができる、或いは、第 1 の参考形態に係るデバッグ装置 1 では現実的な時間内に不適切な制約条件を含むグループを特定することができない場合でも、現実的な時間内に不適切な制約条件を含むグループを特定することができる、という更なる効果を奏する。

[0063] 〔参考形態 3〕

本発明の第 3 の参考形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、第 1 の参考形態にて説明した構成要素と同じ機能を有する構成要素については、同じ符号を付し、その説明を適宜省略する。

[0064] （デバッグ装置の構成）

本参考形態に係るデバッグ装置 1 B の構成について、図 5 を参照して説明する。図 5 は、デバッグ装置 1 B の構成を示すブロック図である。

[0065] デバッグ装置 1 B は、第 1 の参考形態に係るデバッグ装置 1 に分割部 1 4 及び特定部 1 5 を追加することにより構成されている。

[0066] 分割部 1 4 は、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のうち、特定部 1 2 により特定されたグループ $G_{j'}$ に属する制約条件を、複数のサブグループ $G_{j'_1}, G_{j'_2}, \dots, G_{j'_q}$ に分割するための手段である。グループ $G_{j'}$ に含まれる制約条件の個数を p とすると、サブグループの個数 q は、2 以上 p 以下の自然数である。 $q = p$ の場合、各サブグループ $G_{j'_k}$ に 1 個の制約条件が含まれることになる。この場合、各サブグループ $G_{j'_k}$ は、そのサブグループ $G_{j'_k}$ に含まれる制約条件と同一視することができる。

[0067] 特定部 1 5 は、除外すると最適化問題 P の解が存在するサブグループ $G_{j'_k}$ を特定するための手段である。特定部 1 2 は、(1) 複数のサブグループ $G_{j'_1}, G_{j'_2}, \dots, G_{j'_q}$ から 1 つのサブグループ $G_{i'_k}$ を

選択する選択処理と、(2)複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のうち、選択したサブグループ $G_{i'}^k$ 以外のサブグループ $G_{i'}^1, G_{i'}^2, \dots, G_{i'}^{k-1}, G_{i'}^{k+1}, \dots, G_{i'}^q$ に含まれる制約条件の下で最適化問題 P の解が存在するか否かを判定する判定処理と、を、1以上 q 以下の各 k について繰り返す。除外すると最適化問題 P の解が存在するサブグループ $G_{j'}^{k'}$ として特定部15が特定するサブグループは、そのサブグループ $G_{i'}^{k'}$ 以外のサブグループ $G_{i'}^1, G_{i'}^2, \dots, G_{i'}^{k'-1}, G_{i'}^{k'+1}, \dots, G_{i'}^q$ に含まれる制約条件の下で最適化問題 P の解がないサブグループである。

[0068] (デバッグ方法の流れ)

本参考形態に係るデバッグ方法 S_{1B} の流れについて、図6を参照して説明する。図6は、デバッグ方法 S_{1B} の流れを示すフロー図である。

[0069] デバッグ方法 S_{1B} は、第1の参考形態に係るデバッグ方法 S_1 に分割処理 S_{14} 及び特定処理 S_{15} を追加することにより構成されている。

[0070] 分割処理 S_{14} は、複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のうち、特定処理 S_{12} により特定されたグループ $G_{j'}$ に属する制約条件を、複数のサブグループ $G_{j'}^1, G_{j'}^2, \dots, G_{j'}^q$ に分割するための処理である。グループ $G_{j'}$ に含まれる制約条件の個数を p とすると、サブグループの個数 q は、2以上 p 以下の自然数である。 $q=p$ の場合、各サブグループ $G_{j'}^k$ に1個の制約条件が含まれることになる。この場合、各サブグループ $G_{j'}^k$ は、そのサブグループ $G_{j'}^k$ に含まれる制約条件と同一視することができる。デバッグ装置1Bにおいて、分割処理 S_{14} は、分割部14により実行される。

[0071] 特定処理 S_{15} は、除外すると最適化問題 P の解が存在するサブグループ $G_{j'}^{k'}$ を特定するための処理である。特定処理 S_{15} においては、(1)複数のサブグループ $G_{j'}^1, G_{j'}^2, \dots, G_{j'}^q$ から1つのサブグループ $G_{i'}^k$ を選択する選択処理と、(2)複数の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のうち、選択したサブグループ $G_{i'}^k$ 以外のサブグループ $G_{i'}$

$1, G_{i'}^2, \dots, G_{i'}^{k-1}, G_{i'}^{k+1}, \dots, G_{i'}^q$ に含まれる制約条件の下で最適化問題 P の解が存在するか否かを判定する判定処理と、
 が、 1 以上 q 以下の各 k について繰り返される。除外すると最適化問題 P の解が存在するサブグループ $G_{j'}^{k'}$ として特定処理 $S15$ にて特定されるサブグループは、そのサブグループ $G_{i'}^{k'}$ 以外のサブグループ $G_{i'}^1, G_{i'}^2, \dots, G_{i'}^{k'-1}, G_{i'}^{k'+1}, \dots, G_{i'}^q$ に含まれる制約条件の下で最適化問題 P の解がないサブグループである。デバッグ装置 $1B$ において、特定処理 $S15$ は、特定部 15 により実行される。

[0072] (デバッグ装置およびデバッグ方法の効果)

第1の参考形態に係るデバッグ装置 1 においては、グループ単位で制約条件が適切であるか否かが判定されるのに対して、本参考形態に係るデバッグ装置 1 においては、サブグループ単位で制約条件が適切であるか否かが判定される。したがって、本参考形態に係るデバッグ装置 $1B$ によれば、第1の参考形態に係るデバッグ装置 $1B$ よりも細かい単位（サブグループ単位）で制約条件が適切であるか否かを判定することができる、という更なる効果を奏する。

[0073] [実施形態1]

本発明の第1の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。本実施形態は、後述する実施形態の基本となる形態である。

[0074] (最適化装置の構成)

本実施形態に係る最適化装置 2 の構成について、図7を参照して説明する。図7は、最適化装置 2 の構成を示すブロック図である。

[0075] 最適化装置 2 は、 m (m は任意の自然数) 個の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で目的関数 $f(x)$ の値を最大化または最小化する最適化問題を解くための装置である。ここで、 m は、任意の自然数であり、 $x = (x_1, x_2, \dots, x_r)$ は、変数ベクトルである。制約条件 C_i は、例えば、不等式 $A_i x + b_i \geq 0$ である。ここで、 i は、 1 以上 m 以下の各自然数であり、 A_i は、係数行列であり、 b_i は、係数ベクトルである。換言すると、各制約条

件において、係数行列と係数ベクトルとの和は非負の値である。

[0076] 最適化装置 2 は、付加部 2 1 と、変換部 2 2 と、算出部 2 3 と、を備えている。付加部 2 1 と、変換部 2 2 と、算出部 2 3 とは、本実施形態において、それぞれ付加手段、変換手段、および算出手段を実現する構成である。

[0077] 付加部 2 1 は、各制約条件 C_i (i は 1 以上 m 以下の自然数) に対応する新変数 p_i を目的関数 $f(x)$ に付加することによって、新目的関数 $f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$ を生成するための構成である。目的関数 $f(x)$ を第 1 の目的関数、新目的関数 $f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$ を、第 2 の目的関数とも称する。すなわち、付加部 2 1 は、少なくとも一つ以上の制約条件の各々に対応する、少なくとも一つ以上の新変数を第一の目的関数に付加し、第二の目的関数とする構成である。

[0078] 新目的関数 $f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$ は、例えば、 $f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m) = f(x) + p_1 + p_2 + \dots + p_m$ である。換言すると、第二の目的関数は、第一の目的関数と新変数との和である。

[0079] 変換部 2 2 は、各制約条件 C_i を、対応する新変数 p_i に課される新制約条件 C'_i に変換するための構成である。換言すると、変換部 2 2 は、各制約条件を、対応する新変数に課される新制約条件に変換する構成である。

[0080] 新制約条件 C'_i は、例えば、不等式 $p_i \geq 0$ 、及び、不等式 $p_i \geq -A_i x + b_i$ である。換言すると、新制約条件は、対応する新変数が非負であり、係数行列と変数と係数ベクトルとの線形和を用いた不等式で表される。

[0081] 算出部 2 3 は、新目的関数 $f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$ の変数 x 及び各新変数 p_i の値であって、新制約条件 $C'_1, C'_2, \dots, C'_m$ の下で新目的関数 $f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$ を最大化または最小化する値を算出するための構成である。換言すると、算出部 2 3 は、第二の目的関数の変数及び各新変数の値であって、新制約条件の下で第二の目的関数を最大化または最小化する値を算出する構成である。

[0082] (最適化方法の流れ)

本実施形態に係る最適化方法 S 2 の流れについて、図 8 を参照して説明す

る。図8は、最適化方法S2の流れを示すフロー図である。

[0083] 最適化方法S2は、 m 個の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で目的関数 $f(x)$ の値を最大化または最小化する最適化問題を解くための方法である。本実施形態において、最適化方法S2は、最適化装置2により実施される。

[0084] 最適化方法S2は、図8に示すように、付加処理S21と、変換処理S22と、算出処理S23と、を含んでいる。

[0085] 付加処理S21は、各制約条件 C_i に対応する新変数 p_i を目的関数 $f(x)$ に付加することによって、新目的関数 $f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$ を生成するための処理である。換言すると、付加処理S21は、少なくとも一つ以上の制約条件の各々に対応する、少なくとも一つ以上の新変数を第一の目的関数に付加し、第二の目的関数とするための処理である。新目的関数 $f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$ は、例えば、 $f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m) = f(x) + p_1 + p_2 + \dots + p_m$ である。本実施形態において、付加処理S21は、最適化装置2の付加部21により実行される。

[0086] 変換処理S22は、各制約条件 C_i を、対応する新変数 p_i に課される新制約条件 C'_i に変換するための処理である。換言すると、変換処理S22は、各制約条件を、対応する新変数に課される新制約条件に変換するための処理である。新制約条件 C'_i は、例えば、不等式 $p_i \geq 0$ 、及び、不等式 $p_i \geq -A_i x + b_i$ である。本実施形態において、変換処理S22は、最適化装置2の変換部22により実行される。

[0087] 算出処理S23は、新目的関数 $f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$ の変数 x 及び各新変数 p_i の値であって、新制約条件 $C'_1, C'_2, \dots, C'_m$ の下で新目的関数 $f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$ を最大化または最小化する値を算出するための処理である。換言すると、算出処理S23は、第二の目的関数の変数及び各新変数の値であって、新制約条件の下で第二の目的関数を最大化または最小化する値を算出するための処理である。本実施形態において、算出処理S23は、最適化装置2の算出部23により実行される。

。

[0088] (最適化装置及び最適化方法の効果)

新制約条件 $C'_1, C'_2, \dots, C'_m$ の下で新目的関数 $f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$ の値を最大化または最小化する最適化問題は、元の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で元の目的関数 $f(p_1, p_2, \dots, p_m)$ の値を最大化または最小化する最適化問題の緩和問題となっている。このため、新制約条件 $C'_1, C'_2, \dots, C'_m$ の下で新目的関数 $f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$ の値を最大化または最小化する最適化問題は、必ず解を持つ。したがって、本実施形態に係る最適化装置2によれば、元の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で元の目的関数 $f(p_1, p_2, \dots, p_m)$ の値を最大化または最小化する最適化問題が解を持たない場合であっても、常に近似解(制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ を緩やかに適用した解)が得られる。

[0089] また、新目的関数 $f'(x, p_1, p_2, \dots, p_m)$ の値を最大化または最小化する新変数 p_i の値は、対応する制約条件 C_i に対する違反度を表す。したがって、本実施形態に係る最適化装置2によれば、上述した近似解と共に、各制約条件 C_i に対する違反度を得ることができる。

[0090] なお、本実施形態に係る最適化方法S2においても、本実施形態に係る最適化装置2と同様の効果が得られる。

[0091] [実施形態2]

本発明の第2の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、第1の実施形態にて説明した構成要素と同じ機能を有する構成要素については、同じ符号を付し、その説明を適宜省略する。

[0092] (最適化装置の構成)

本実施形態に係る最適化装置2Aの構成について、図9を参照して説明する。図9は、最適化装置2Aの構成を示すブロック図である。

[0093] 最適化装置2Aは、第1の実施形態に係る最適化装置2に出力部24を追加することにより構成されている。出力部24は、本実施形態において出力

手段を実現する構成である。

[0094] 出力部24は、算出部23にて算出された値のうち、新変数 p_1 , p_2 , ..., p_m 以外の変数ベクトル x の値を、制約条件 C_1 , C_2 , ..., C_m の下で目的関数 $f(x)$ の値を最大化または最小化する最適化問題の近似解として出力するための構成である。また、出力部24は、算出部23にて算出された値のうち、各新変数 p_i の値を、対応する制約条件 C_i に対する違反度として出力するための構成である。なお、出力部24は、これらの値を、ディスプレイを用いて画像として出力してもよいし、スピーカを用いて音声として出力してもよい。

[0095] (最適化方法の流れ)

本実施形態に係る最適化方法S2Aの構成について、図10を参照して説明する。図10は、最適化方法S2Aの流れを示すフロー図である。

[0096] 最適化方法S2Aは、第1の実施形態に係る最適化方法S2に出力処理S24を追加することにより構成されている。

[0097] 出力処理S24は、算出処理S23にて算出された値のうち、変数ベクトル x の値を、制約条件 C_1 , C_2 , ..., C_m の下で目的関数 $f(x)$ の値を最大化または最小化する最適化問題の近似解として出力するための処理である。また、出力処理S24は、算出処理S23にて算出された値のうち、各新変数 p_i の値を、対応する制約条件 C_i に対する違反度として出力するための処理である。なお、出力処理S24においては、これらの値を、ディスプレイを用いて画像として出力してもよいし、スピーカを用いて音声として出力してもよい。

[0098] (最適化装置及び最適化方法の効果)

本実施形態に係る最適化装置2Aによれば、制約条件 C_1 , C_2 , ..., C_m の下で目的関数 $f(x)$ の値を最大化または最小化する最適化問題の近似解を、各制約条件 C_i に対する違反度と共にユーザに知らせることができる、という更なる効果を奏する。本実施形態に係る最適化方法S2Aにおいても、本実施形態に係る最適化装置2Aと同様の更なる効果が得られる。

[0099] 〔実施形態と参考形態との組み合わせ〕

デバッグ装置 1 では、解の有無を判定するために、分割部 1 1 及び特定部 1 2 において最適化問題を解く。この際、最適化問題を解くためのソルバーとして最適化装置 2 を用いることができる。この場合、分割部 1 1 及び特定部 1 2 は、例えば、全ての制約条件について、違反度が 0 である場合に、最適化問題に解が存在すると判定し、何れか 1 つの制約条件について、違反度が 0 でない場合に、最適化問題に解が存在しないと判定する。或いは、全ての制約条件について、違反度が予め定められた閾値を下回る場合に、最適化問題に解が存在しないと判定し、何れか 1 つの制約条件について、違反度が予め定められた閾値を上回る場合に、最適化問題に解が存在しないと判定する。

[0100] 〔参考形態 4〕

(制約条件評価装置の構成)

本参考形態に係る制約条件評価装置 3 の構成について、図 1 1 を参照して説明する。図 1 1 は、制約条件評価装置 3 の構成を示すブロック図である。

[0101] 制約条件評価装置 3 は、 m 個の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で目的関数 $f(x)$ の値を最大化または最小化する最適化問題において、各制約条件 C_i について、この最適化問題の解が制約条件 C_i をどの程度充足しているかを示す充足度 S_i を評価するための装置である。ここで、 m は、任意の自然数であり、 i は、1 以上 m 以下の各自然数であり、 $x = (x_1, x_2, \dots, x_r)$ は、変数ベクトルである。なお、評価の対象となる制約条件 C_i は、 m 個の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のうち、 $g_i(x) \geq 0$ という形で表現できる制約条件である。

[0102] 制約条件評価装置 3 は、図 1 1 に示すように、算出部 3 1 と、評価部 3 2 と、提示部 3 3 と、を備えている。

[0103] 算出部 3 1 は、 m 個の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で目的関数 $f(x)$ の値を最大化または最小化する変数 x の値を算出するための構成である。すなわち、最適化問題を解くための構成である。

[0104] 評価部32は、 m 個の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のうち、 $g_i(x) \geq 0$ という形で表現できる各制約条件 C_i について、充足度 S_i を算出するための構成である。評価部32は、例えば、算出部31により算出された変数 x の値（すなわち、最適化問題の解）を制約条件 C_i の左辺に現れる $g_i(x)$ に代入することによって、充足度 S_i を算出する。

[0105] 提示部33は、 m 個の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のうち、 $g_i(x) \geq 0$ という形で表現できる各制約条件 C_i について、評価部32により算出された充足度 S_i 、又は、充足度 S_i から算出された指標をユーザに提示するための構成である。例えば、提示部33は、 m 個の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ を充足度 S_i の降順又は昇順にソートしてディスプレイに表示する。或いは、提示部33は、各制約条件 C_i の充足度 S_i を示すグラフ（例えば、円グラフ）を作成し、作成したグラフをディスプレイに表示する。或いは、提示部33は、各制約条件 C_i の充足度 S_i を示すヒートマップを作成し、作成したヒートマップをディスプレイに表示する。

[0106] （制約条件評価方法の流れ）

本参考形態に係る制約条件評価方法S3の流れについて、図12を参照して説明する。図12は、制約条件評価方法S3の流れを示すフロー図である。

[0107] 制約条件評価方法S3は、 m 個の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で目的関数 $f(x)$ の値を最大化または最小化する最適化問題において、各制約条件 C_i について、この最適化問題の解が制約条件 C_i をどの程度充足しているかを示す充足度 S_i を評価するための方法である。本参考形態において、制約条件評価方法S3は、制約条件評価装置3により実施される。

[0108] 制約条件評価方法S3は、図12に示すように、算出処理S31と、評価処理 t と、提示処理S33とを含んでいる。

[0109] 算出処理S31は、 m 個の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ の下で目的関数 $f(x)$ の値を最大化または最小化する変数 x の値を算出するための処理である。すなわち、最適化問題を解くための処理である。本参考形態に係る制

約条件評価装置3において、算出処理S31は、算出部31によって実行される。

[0110] 評価処理S32は、 m 個の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のうち、 $g_i(x) \geq 0$ という形で表現できる各制約条件 C_i について、充足度 S_i を算出するための処理である。評価処理S32においては、例えば、算出処理S31にて算出された変数 x の値（すなわち、最適化問題の解）を制約条件 C_i の左辺に現れる $g_i(x)$ に代入することによって、充足度 S_i が算出される。本参考形態に係る制約条件評価装置3において、評価処理S32は、評価部32によって実行される。

[0111] 提示処理S33は、 m 個の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のうち、 $g_i(x) \geq 0$ という形で表現できる各制約条件 C_i について、評価処理S32にて算出された充足度 S_i 、又は、充足度 S_i から算出され指標をユーザに提示するための処理である。例えば、提示処理S33においては、 m 個の制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ を充足度 S_i の降順又は昇順にソートしてディスプレイに表示される。或いは、提示処理S33においては、各制約条件 C_i の充足度 S_i を示すグラフ（例えば、円グラフ）が作成され、作成されたグラフがディスプレイに表示される。或いは、提示処理S33においては、各制約条件 C_i の充足度 S_i を示すヒートマップが作成され、作成されたヒートマップがディスプレイに表示される。本参考形態に係る制約条件評価装置3において、提示処理S33は、提示部33によって実行される。

[0112] （制約条件評価装置及び制約条件評価方法の効果）

上述した制約条件 C_i の充足度 S_i は、最適化問題の解が制約条件 C_i を余裕をもって満たしている場合に大きな値になり、最適化問題の解が制約条件 C_i を辛うじて満たしている場合に小さな値になる。本参考形態に係る制約条件評価装置3によれば、このような性質を有する充足度 S_i をユーザに提示することができる。これにより、ユーザは、各制約条件 C_i が適切な制約であるか不適切な制約条件であるかを、充足度 S_i を参考にして判断することができる。これにより制約条件 $C_1, C_2, \dots, C_m$ のデバッグ作業を

効率的に進めることができる。

[0113] 〔ソフトウェアによる実現例〕

デバッグ装置 1, 1 A, 1 B、最適化装置 2, 2 A、及び制約条件評価装置 3 の一部又は全部の機能は、集積回路（ＩＣチップ）等のハードウェアによって実現してもよいし、ソフトウェアによって実現してもよい。

[0114] 後者の場合、デバッグ装置 1, 1 A, 1 B、最適化装置 2, 2 A、及び制約条件評価装置 3 は、例えば、各機能を実現するソフトウェアであるプログラムの命令を実行するコンピュータによって実現される。このようなコンピュータの一例（以下、コンピュータ C と記載する）を図 13 に示す。コンピュータ C は、少なくとも 1 つのプロセッサ C 1 と、少なくとも 1 つのメモリ C 2 と、を備えている。メモリ C 2 には、コンピュータ C をデバッグ装置 1, 1 A, 1 B、最適化装置 2, 2 A、及び制約条件評価装置 3 として動作させるためのプログラム P が記録されている。コンピュータ C において、プロセッサ C 1 は、プログラム P をメモリ C 2 から読み取って実行することにより、デバッグ装置 1, 1 A, 1 B、最適化装置 2, 2 A、及び制約条件評価装置 3 の各機能が実現される。

[0115] プロセッサ C 1 としては、例えば、CPU（Central Processing Unit）、GPU（Graphic Processing Unit）、DSP（Digital Signal Processor）、MPU（Micro Processing Unit）、FPU（Floating point number Processing Unit）、PPU（Physics Processing Unit）、TPU（Tensor Processing Unit）、量子プロセッサ、マイクロコントローラ、又は、これらの組み合わせなどを用いることができる。メモリ C 2 としては、例えば、フラッシュメモリ、HDD（Hard Disk Drive）、SSD（Solid State Drive）、又は、これらの組み合わせなどを用いることができる。

[0116] なお、コンピュータ C は、プログラム P を実行時に展開したり、各種データを一時的に記憶したりするための RAM（Random Access Memory）を更に備えていてもよい。また、コンピュータ C は、他の装置との間でデータを送受信するための通信インタフェースを更に備えていてもよい。また、コンピ

ユータCは、キーボードやマウス、ディスプレイやプリンタなどの入出力機器を接続するための入出力インタフェースを更に備えていてもよい。

[0117] また、プログラムPは、コンピュータCが読み取り可能な、一時的でない有形の記録媒体Mに記録することができる。このような記録媒体Mとしては、例えば、テープ、ディスク、カード、半導体メモリ、又はプログラマブルな論理回路などを用いることができる。コンピュータCは、このような記録媒体Mを介してプログラムPを取得することができる。また、プログラムPは、伝送媒体を介して伝送することができる。このような伝送媒体としては、例えば、通信ネットワーク、又は放送波などを用いることができる。コンピュータCは、このような伝送媒体を介してプログラムPを取得することもできる。

[0118] [付記事項1]

本発明は、上述した実施形態に限定されるものでなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能である。例えば、上述した実施形態に開示された技術的手段を適宜組み合わせ得られる実施形態についても、本発明の技術的範囲に含まれる。

[0119] [付記事項2]

上述した実施形態の一部又は全部は、以下のようにも記載され得る。ただし、本発明は、以下の記載する態様に限定されるものではない。

[0120] (付記1)

少なくとも一つ以上の制約条件の各々に対応する、少なくとも一つ以上の新変数を第一の目的関数に付加し、第二の目的関数とする付加手段と、前記各制約条件を、対応する前記新変数に課される新制約条件に変換する変換手段と、前記第二の目的関数の変数及び各新変数の値であって、新制約条件の下で前記第二の目的関数を最大化または最小化する値を算出する算出手段と、を備える最適化装置。

[0121] (付記2)

前記算出手段にて算出された値のうち、新変数以外の変数の値を、制約条

件の下で目的関数の値を最大化または最小化する最適化問題の解として出力する出力手段を更に備え、前記出力手段は、前記算出手段にて算出された値のうち、各新変数の値を、対応する制約条件に対する違反度として出力することを特徴とする、付記 1 に記載の最適化装置。

[0122] (付記 3)

前記各制約条件において、係数行列と係数ベクトルとの和は非負の値であり、前記第二の目的関数は、前記第一の目的関数と前記新変数との和であり、前記各新制約条件は、対応する前記新変数が非負であり、前記係数行列と前記変数と前記係数ベクトルとの線形和を用いた不等式で表される、付記 1 又は 2 に記載の最適化装置。

[0123] (付記 4)

最適化装置が、少なくとも一つ以上の制約条件の各々に対応する、少なくとも一つ以上の新変数を第一の目的関数に付加し、第二の目的関数とすることと、前記各制約条件を、対応する前記新変数に課される新制約条件に変換することと、前記第二の目的関数の変数及び各新変数の値であって、新制約条件の下で前記第二の目的関数を最大化または最小化する値を算出することと、を含む最適化方法。

[0124] (付記 4 a)

前記算出することにおいて算出された値のうち、新変数以外の変数の値を、制約条件の下で目的関数の値を最大化または最小化する最適化問題の解として出力することをさらに含み、前記出力することにおいて、前記算出することにおいて算出された値のうち、各新変数の値を、対応する制約条件に対する違反度として出力する、付記 4 に記載の最適化装置。

[0125] (付記 5)

コンピュータを最適化装置として機能させるプログラムであって、前記コンピュータを、少なくとも一つ以上の制約条件の各々に対応する、少なくとも一つ以上の新変数を第一の目的関数に付加し、第二の目的関数とする付加手段と、前記各制約条件を、対応する前記新変数に課される新制約条件に変

換する変換手段と、前記第二の目的関数の変数及び各新変数の値であって、新制約条件の下で前記第二の目的関数を最大化または最小化する値を算出する算出手段と、として機能させるプログラム。

[0126] (付記 5 a)

前記コンピュータを、前記算出手段にて算出された値のうち、新変数以外の変数の値を、制約条件の下で目的関数の値を最大化または最小化する最適化問題の解として出力する出力手段としてさらに機能させ、前記出力手段は、前記算出手段にて算出された値のうち、各新変数の値を、対応する制約条件に対する違反度として出力することを特徴とする、付記 1 に記載の最適化装置。

[0127] (付記 6)

少なくとも 1 つのプロセッサを備える最適化装置であって、前記プロセッサは、少なくとも一つ以上の制約条件の各々に対応する、少なくとも一つ以上の新変数を第一の目的関数に付加し、第二の目的関数とする付加処理と、前記各制約条件を、対応する前記新変数に課される新制約条件に変換する変換処理と、前記第二の目的関数の変数及び各新変数の値であって、新制約条件の下で前記第二の目的関数を最大化または最小化する値を算出する算出処理と、を実行する最適化装置。

[0128] なお、この最適化装置は、更にメモリを備えていてもよく、このメモリには、前記付加処理と、前記変換処理と、前記算出処理とを前記プロセッサに実行させるためのプログラムが記憶されていてもよい。また、このプログラムは、コンピュータ読み取り可能な一時的でない有形の記録媒体に記録されていてもよい。

符号の説明

[0129] 2、2 A 最適化装置

2 1 付加部

2 2 変換部

2 3 算出部

2 4 出力部

請求の範囲

- [請求項1] 少なくとも一つ以上の制約条件の各々に対応する、少なくとも一つ以上の新変数を第一の目的関数に付加し、第二の目的関数とする付加手段と、
- 前記各制約条件を、対応する前記新変数に課される新制約条件に変換する変換手段と、
- 前記第二の目的関数の変数及び各新変数の値であって、新制約条件の下で前記第二の目的関数を最大化または最小化する値を算出する算出手段と、
- を備える最適化装置。
- [請求項2] 前記算出手段にて算出された値のうち、新変数以外の変数の値を、制約条件の下で目的関数の値を最大化または最小化する最適化問題の解として出力する出力手段を更に備え、
- 前記出力手段は、前記算出手段にて算出された値のうち、各新変数の値を、対応する制約条件に対する違反度として出力することを特徴とする、
- 請求項 1 に記載の最適化装置。
- [請求項3] 前記各制約条件において、係数行列と係数ベクトルとの和は非負の値であり、
- 前記第二の目的関数は、前記第一の目的関数と前記新変数との和であり、
- 前記各新制約条件は、対応する前記新変数が非負であり、前記係数行列と前記変数と前記係数ベクトルとの線形和を用いた不等式で表される、
- 請求項 1 又は 2 に記載の最適化装置。
- [請求項4] 最適化装置が、
- 少なくとも一つ以上の制約条件の各々に対応する、少なくとも一つ以上の新変数を第一の目的関数に付加し、第二の目的関数とすること

と、

前記各制約条件を、対応する前記新変数に課される新制約条件に変換することと、

前記第二の目的関数の変数及び各新変数の値であって、新制約条件の下で前記第二の目的関数を最大化または最小化する値を算出することと、

を含む最適化方法。

[請求項5]

コンピュータを最適化装置として機能させるプログラムであって、前記コンピュータを、

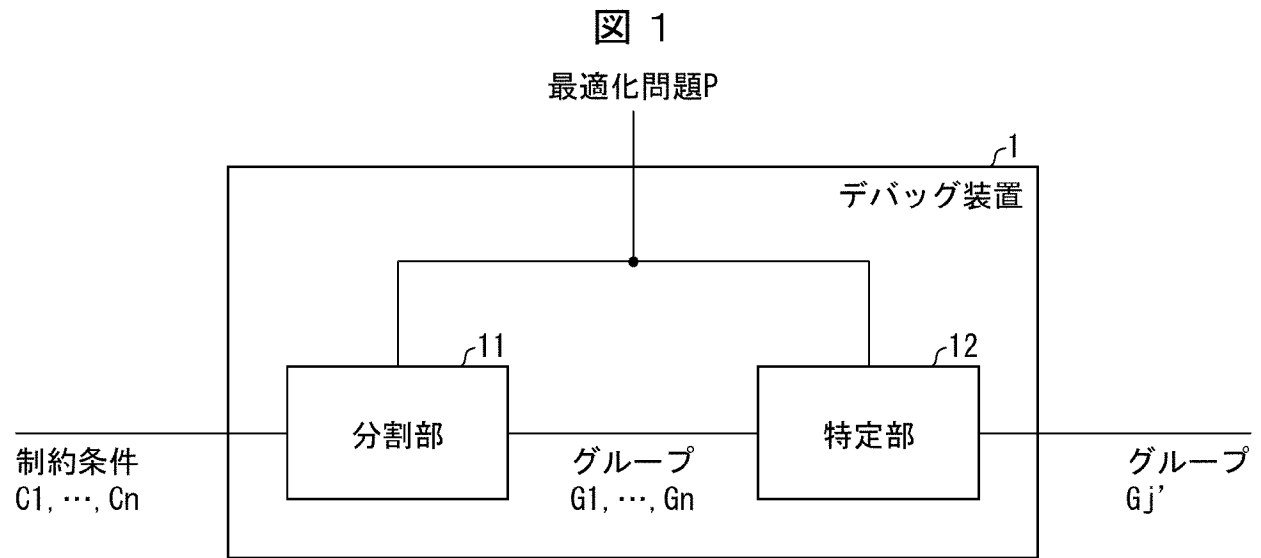
少なくとも一つ以上の制約条件の各々に対応する、少なくとも一つ以上の新変数を第一の目的関数に付加し、第二の目的関数とする付加手段と、

前記各制約条件を、対応する前記新変数に課される新制約条件に変換する変換手段と、

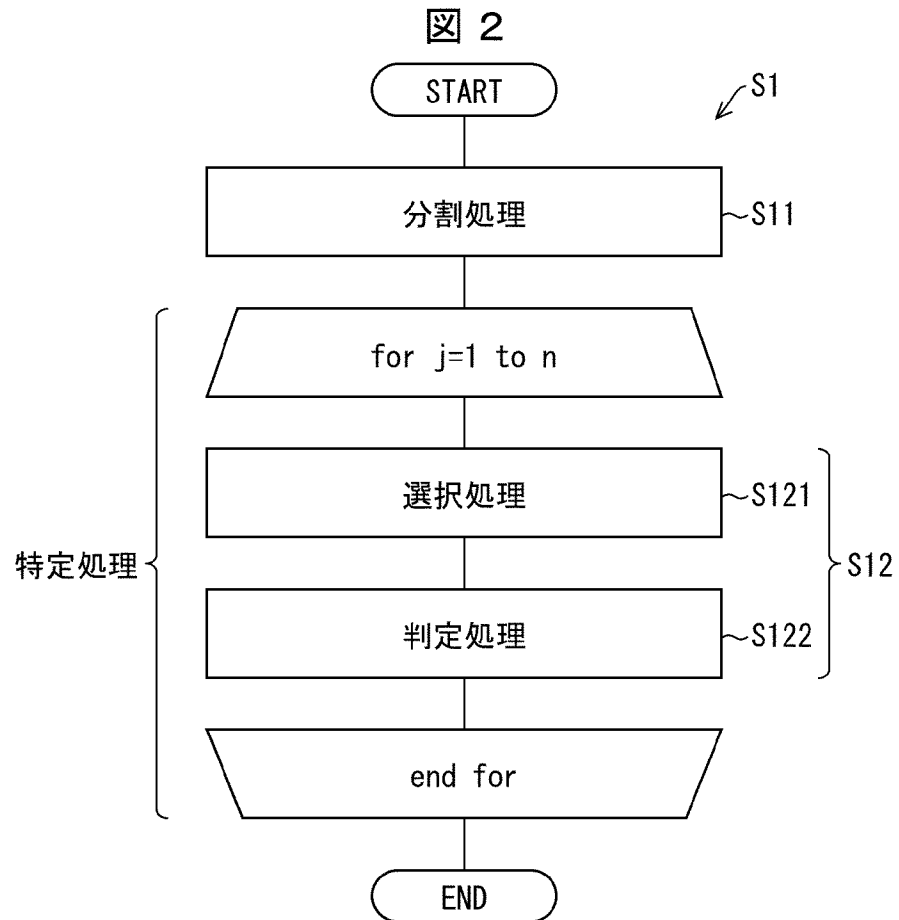
前記第二の目的関数の変数及び各新変数の値であって、新制約条件の下で前記第二の目的関数を最大化または最小化する値を算出する算出手段と、

として機能させるプログラム。

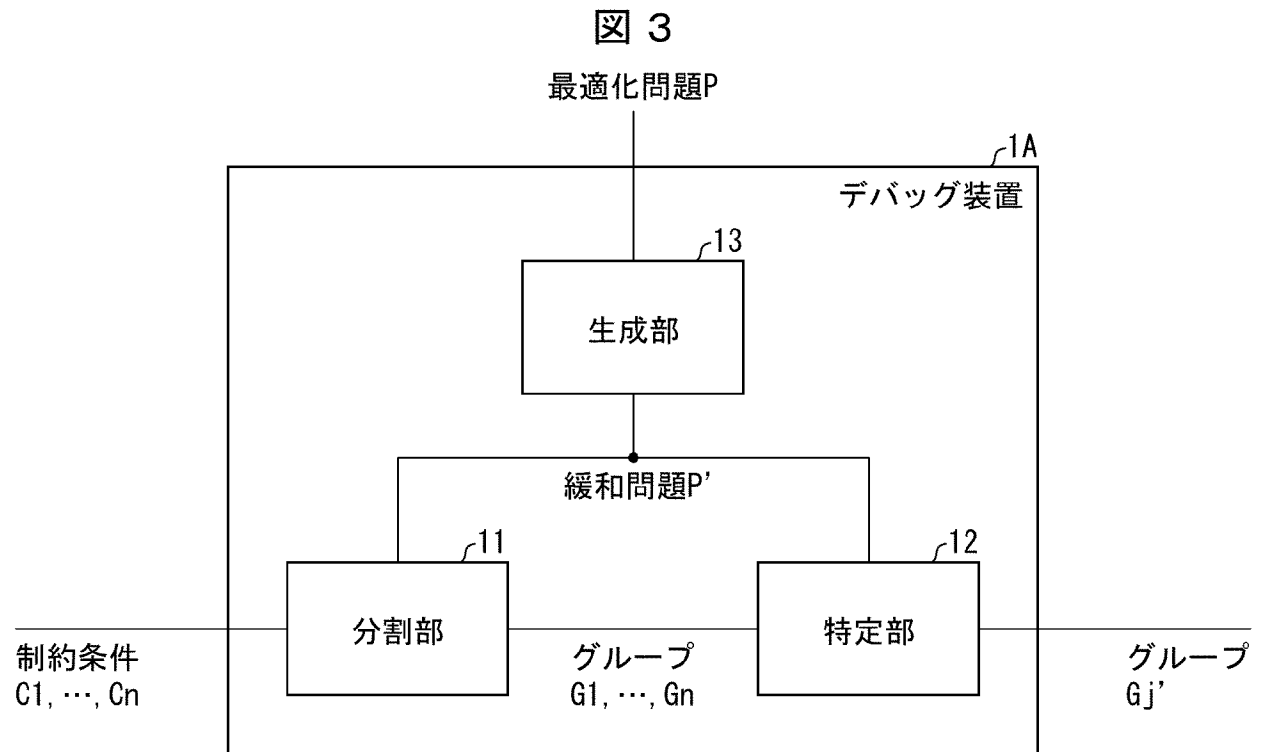
[図1]



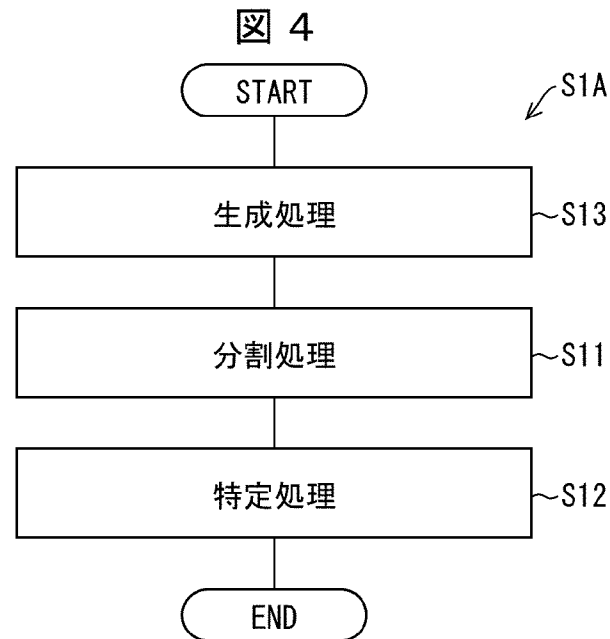
[図2]



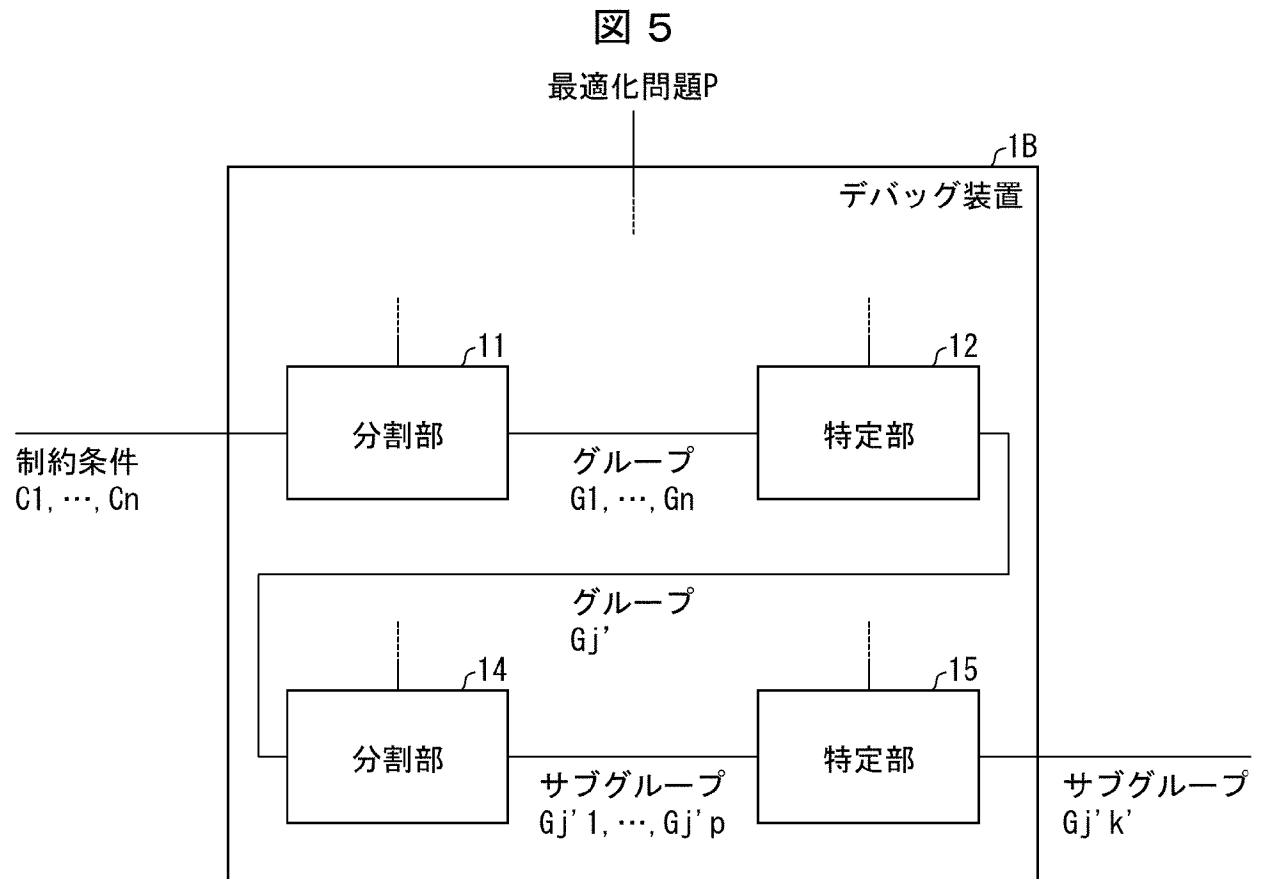
[図3]



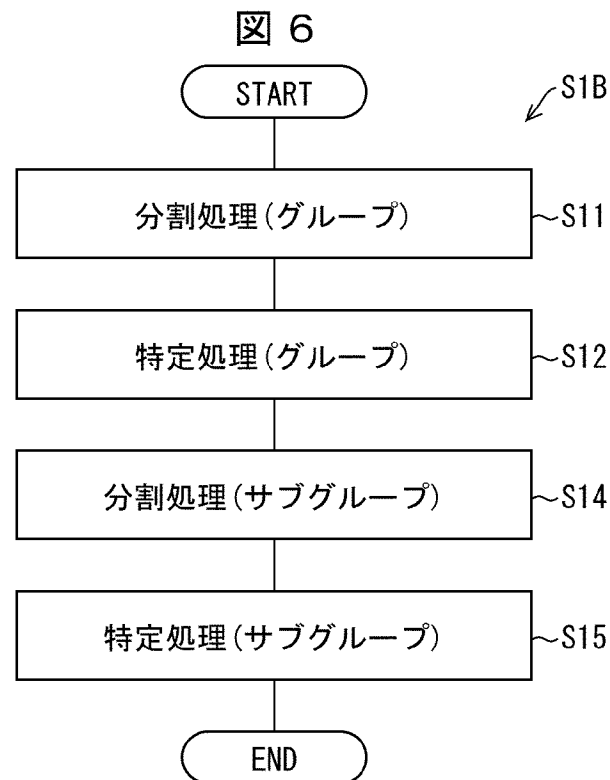
[図4]



[図5]

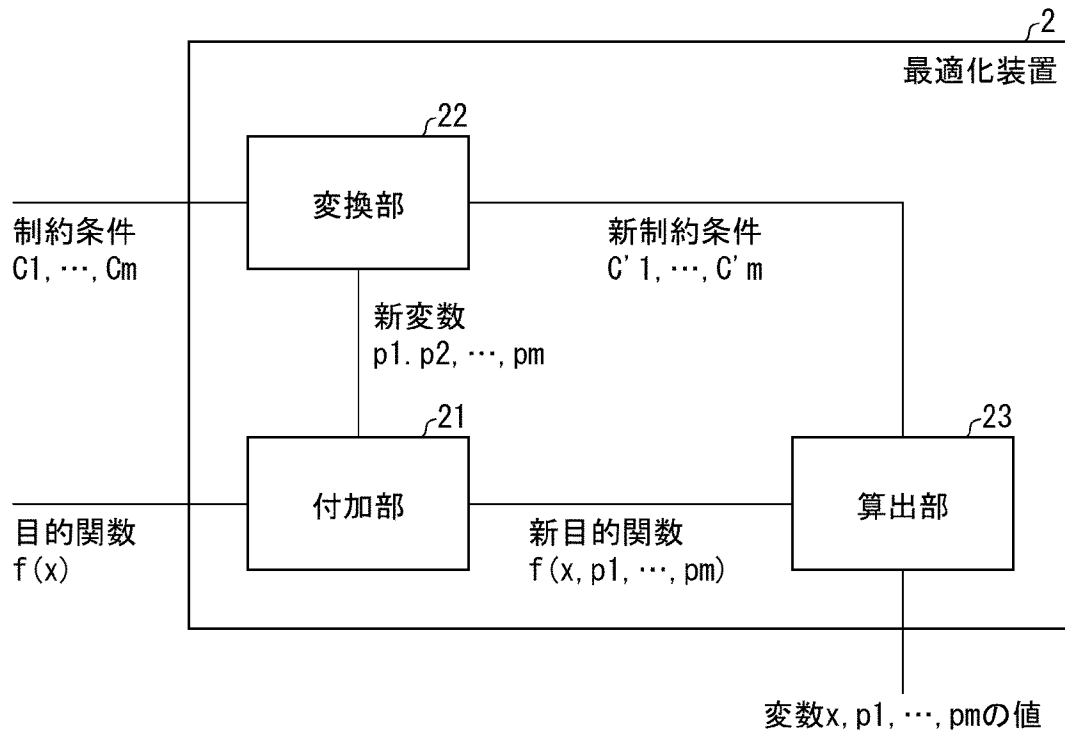


[図6]



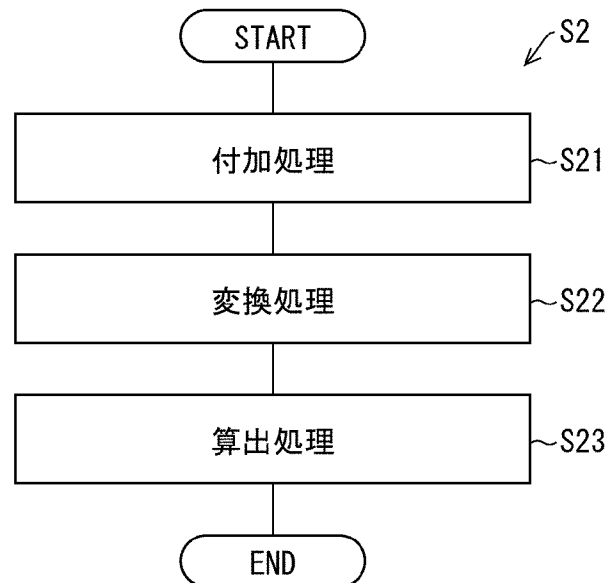
[図7]

図 7



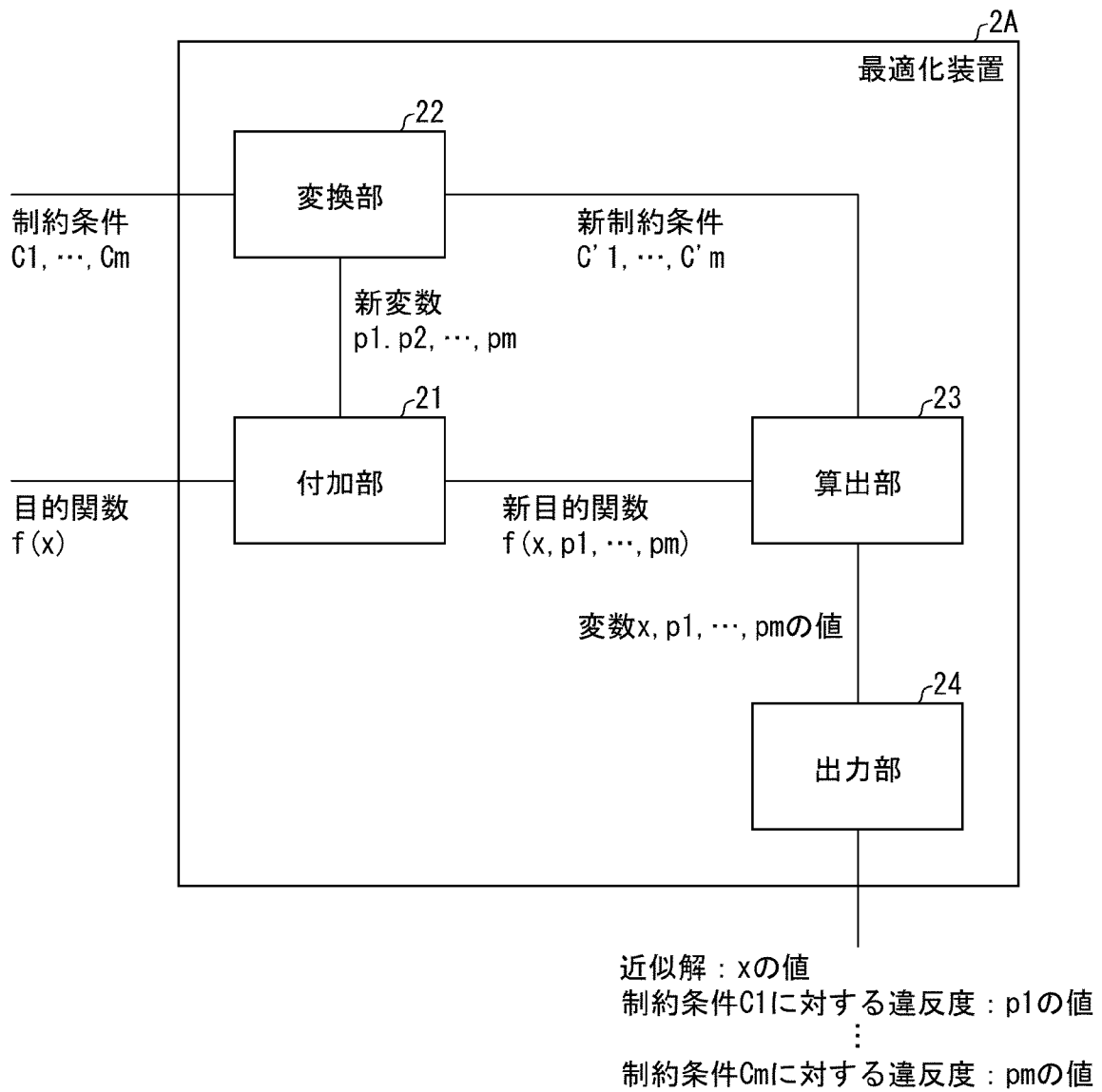
[図8]

図 8

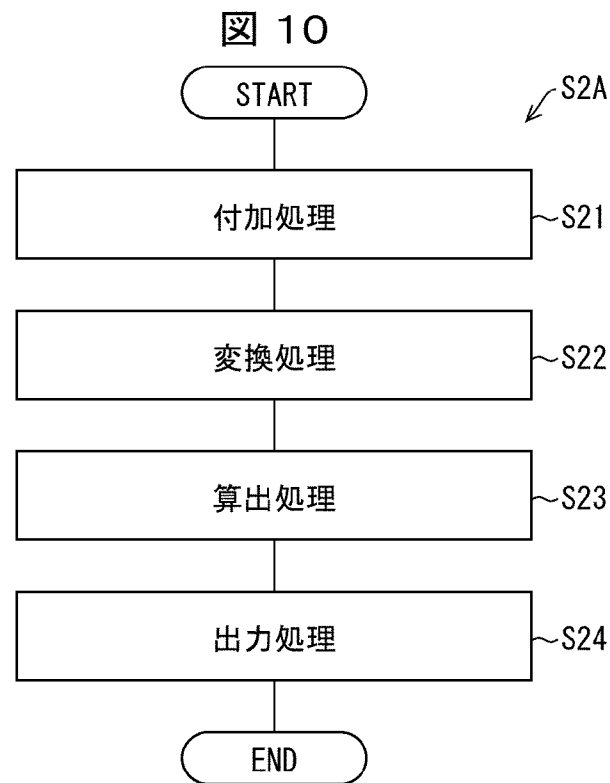


[図9]

図 9

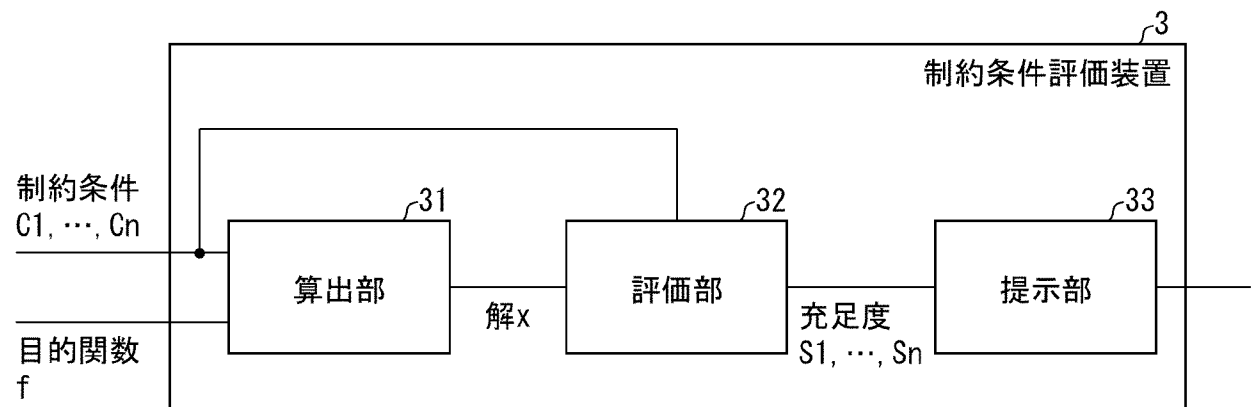


[図10]

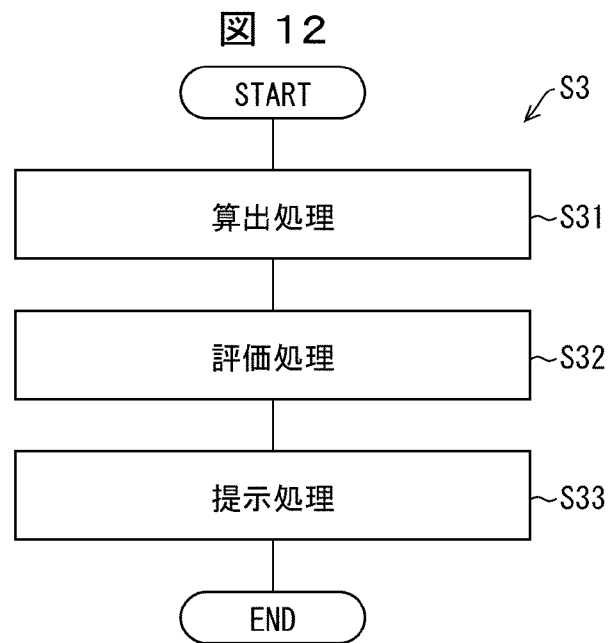


[図11]

図 11

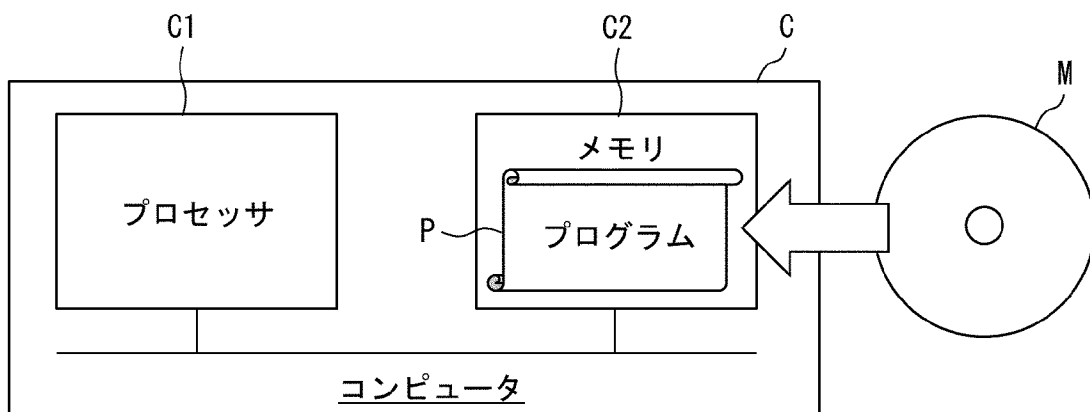


[図12]



[図13]

図 13



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/048011

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G06N 99/00**(2019.01)i

FI: G06N99/00 180

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)

G06N99/00

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 1971-2023

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 2017-027597 A (COLORFUL BOARD INC.) 02 February 2017 (2017-02-02)	1-2, 4-5
A	paragraphs [0066]-[0068]	3
Y	CN 113031451 A (ZHEJIANG SUPCON TECH. CO., LTD.) 25 June 2021 (2021-06-25)	1-2, 4-5
	paragraph [0013]	
Y	JP 11-259450 A (HITACHI, LTD.) 24 September 1999 (1999-09-24)	2
	paragraphs [0123], [0127]	
A	WO 2022/003943 A1 (NEC CORPORATION) 06 January 2022 (2022-01-06)	1-5
	fig. 8-9	



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

01 March 2023

Date of mailing of the international search report

14 March 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/JP2022/048011

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2017-027597	A	02 February 2017	(Family: none)	
CN	113031451	A	25 June 2021	(Family: none)	
JP	11-259450	A	24 September 1999	(Family: none)	
WO	2022/003943	A1	06 January 2022	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G06N 99/00(2019.01)i FI: G06N99/00 180		
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）） G06N99/00		
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 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	JP 2017-027597 A（カラフル・ボード株式会社）02.02.2017（2017 - 02 - 02） 段落[0066]-[0068]	1-2, 4-5
A		3
Y	CN 113031451 A（ZHEJIANG SUPCON TECH CO LTD）25.06.2021（2021 - 06 - 25） 段落[0013]	1-2, 4-5
Y	JP 11-259450 A（株式会社日立製作所）24.09.1999（1999 - 09 - 24） 段落[0123]及び[0127]	2
A	WO 2022/003943 A1（日本電気株式会社）06.01.2022（2022 - 01 - 06） 図8-9	1-5
☐ 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 01.03.2023		国際調査報告の発送日 14.03.2023
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） 坂庭 剛史 5B 9288 電話番号 03-3581-1101 内線 3545

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/JP2022/048011

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2017-027597	A	02.02.2017	(ファミリーなし)	
CN	113031451	A	25.06.2021	(ファミリーなし)	
JP	11-259450	A	24.09.1999	(ファミリーなし)	
WO	2022/003943	A1	06.01.2022	(ファミリーなし)	