

(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3月7日(07.03.2024)



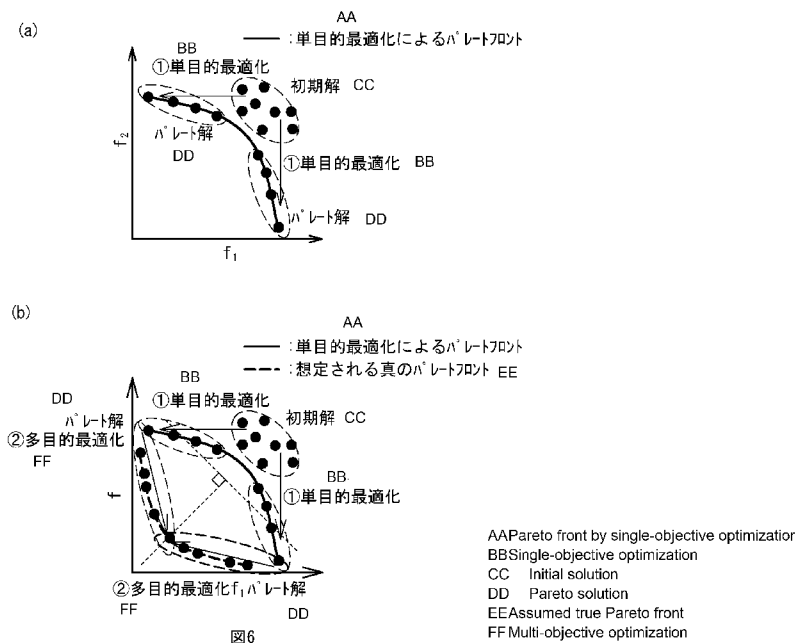
(10) 国際公開番号

WO 2024/047682 A1

- (51) 国際特許分類:
G06Q 10/0639 (2023.01) G16Z 99/00 (2019.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/032329
- (22) 国際出願日: 2022年8月29日(29.08.2022)
- (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: 富士通株式会社 (FUJITSU LIMITED) [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 猪谷宜彦 (ITANI, Norihiko); 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP). 山▲崎▼貴司 (YAMAZAKI, Takashi); 〒2118588 神
- 奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 片山 修平 (KATAYAMA, Shuhei); 〒1040031 東京都中央区京橋1-6-1 三井住友海上テプコビル 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, 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, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) Title: COMPUTATION PROGRAM, COMPUTATION METHOD, AND INFORMATION PROCESSING DEVICE

(54) 発明の名称: 演算プログラム、演算方法、および情報処理装置



(57) Abstract: This computation program executes: a process for using each of a plurality of objective functions as a first evaluation function to perform single-objective optimization on an initial solution, thereby calculating a single-objective optimal solution that has a better value than the initial solution; and a process for using, as a second evaluation function, a linear weighted sum obtained by weighting each of the plurality of objective functions in accordance with the single-objective optimal solution to perform multi-objective optimization on the second evaluation function, starting from



WO 2024/047682 A1

PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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))

the single-objective optimal solution.

(57) 要約 : 演算プログラムは、初期解について、複数の目的関数のそれぞれを第1評価関数として用いて単目的最適化を実行することで、前記初期解よりも値が良好となる単目的最適解を算出する処理と、前記単目的最適解に応じて前記複数の目的関数の各々に重み付けした線形加重和を第2評価関数として用いて、前記単目的最適解を起点として前記第2評価関数に対して多目的最適化を実行する処理と、を実行させる。

明 細 書

発明の名称：演算プログラム、演算方法、および情報処理装置

技術分野

[0001] 本件は、演算プログラム、演算方法、および情報処理装置に関する。

背景技術

[0002] 生産ラインへの製品の投入順序を最適化するにあたって、生産コストや生産完了時間などの複数の目的関数について最適化する技術が開示されている（例えば、特許文献1～4参照）。

先行技術文献

特許文献

- [0003] 特許文献1：特開2022-83200号公報
特許文献2：特開2002-366587号公報
特許文献3：米国特許公開第2015/0019173号
特許文献4：米国特許公開第2016/0306899号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、目的関数を複数設定した多目的最適化を行う場合、解の空間が広がってしまう。したがって、初期解としての初期投入順序から探索を開始して最適解の候補となるパレート最適解集合を算出するまでに、長時間を要することになってしまう。

[0005] 1つの側面では、本発明は、計算時間を短縮することができる情報処理装置、演算方法、および演算プログラムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 1つの態様では、演算プログラムは初期解について、複数の目的関数のそれぞれを第1評価関数として用いて単目的最適化を実行することで、前記初期解よりも値が良好となる単目的最適解を算出する処理と、前記単目的最適解に応じて前記複数の目的関数の各々に重み付けした線形加重和を第2評価

関数として用いて、前記単目的最適解を起点として前記第2評価関数に対して多目的最適化を実行する処理と、を実行させることを特徴とする演算プログラム。

発明の効果

[0007] 計算時間を短縮することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]パレート解を例示する図である。

[図2]多目的最適化エンジンに遺伝的アルゴリズムを用いる場合を例示する図である。

[図3]線形加重和法を例示する図である。

[図4] (a) は実施例1に係る情報処理装置の全体構成を表す機能ブロック図であり、(b) は情報処理装置のハードウェア構成図である。

[図5]実施例1のフローチャートを例示する図である。

[図6] (a) および (b) は実施例1の説明図である。

[図7]実施例2のフローチャートを例示する図である。

[図8] (a) および (b) は実施例2の説明図である。

[図9]計算結果を示す図である。

[図10]計算結果を示す図である。

[図11]ハイパーボリュームを説明するための図である。

[図12]生産ラインモデルを例示する図である。

[図13] (a) ~ (c) は製品情報を例示する図である。

[図14]計算結果を示す図である。

[図15]計算結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0009] 製造業界や流通業界をはじめ、様々な業界の現場には最適化問題が存在している。例えば、製造現場における生産計画の最適化問題では、ある生産計画に要する製造時間と、装置の稼働時間に比例して発生するコストの関係性がトレードオフになる問題が存在する。例えば、製造時間を短くすると、稼

働コストが高いレガシー装置の稼働時間が増えてコストが増加するなどのトレードオフになる問題が存在する。

[0010] トレードオフの関係にある複数の目的関数を同時に最適化する多目的最適化問題は、一般的に、パレート解を求める問題である。上記の例では、ある生産計画に要する製造時間と、装置の稼働時間に比例して発生するコストと、がそれぞれ目的関数である。説明変数は、生産計画であって、たとえば生産工程に各製品を投入する投入順序などである。パレート解とは、他の任意の解と比べて、複数の目的関数のうち、1つでも優れている目的関数が存在する解のことである。図1は、パレート解を例示する図である。図1において、 $(f_1, f_2) = (9, 3)$ の解は、 $(f_1, f_2) = (8, 2)$ と比較した場合に優れている目的関数が存在しないため、パレート解ではない。

[0011] 図1の例では、各目的関数が最小となるように最適化しているため、左下側に位置するパレート解が得られている。各パレート解を結ぶ線（各パレート解の配置）をパレートフロントと称する。多目的最適化計算で得られたパレート解の中から、ユーザは目的に合う最適解を選択する。よって、より最適で多くの選択肢をユーザに与えるために、多目的最適化計算では、より最適で広範囲なパレートフロントをなるべく短い計算時間で算出することが求められる。

[0012] 例えば、最適化したい複数の目的関数を多目的最適化エンジンの評価関数に設定して多目的最適化計算を行う場合が考えられる。図2は、多目的最適化エンジンに、一例として遺伝的アルゴリズムを用いる場合を例示する図である。遺伝的アルゴリズムは、遺伝的要素を取り入れて、初期解群から各目的関数が最小化されるように解を求めていく手法である。図2の例では、初期解から、左側および下側に移動していくような方向が探索方向に該当する。このような手法では、問題規模が大きい実問題では、実時間内で厳密解を算出することができない場合が多いため、有限の計算時間内でより最適な解を算出することが求められる。

[0013] そこで、最適化したい複数の目的関数に重み付けをして、1つの評価関数

を設定し、単目的最適化エンジンで最適化計算を行う場合が考えられる。図3は、この場合の線形加重和法を例示する図である。例えば、初期解群から、目的関数 $f_1(x_1) \cdot w + \text{目的関数 } f_2(x_1) \cdot (1-w)$ が得られ、当該解から目的関数 $f_1(x_2) \cdot w + \text{目的関数 } f_2(x_2) \cdot (1-w)$ が得られ、さらに目的関数 $f_1(x_3) \cdot w + \text{目的関数 } f_2(x_3) \cdot (1-w)$ が得られていく。「w」が重みに相当し、 $0 < w < 1$ の値である。しかしながら、このような手法では、評価関数として、スケールが異なる複数の指標に対して適切な重みを求めることが難しい。また、計算時間を短縮化することが困難である。

[0014] そこで、以下の実施例では、計算時間を短縮化することができる情報処理装置、演算方法、および演算プログラムについて説明する。

実施例 1

[0015] 図4(a)は、実施例1に係る情報処理装置100の全体構成を表す機能ブロック図である。情報処理装置100は、最適化処理用のサーバなどである。図4(a)で例示するように、情報処理装置100は、目的関数設定部10、最適化実行部20、途中経過記録部30、結果出力部40などとして機能する。

[0016] 図4(b)は、情報処理装置100のハードウェア構成図である。図4(b)で例示するように、情報処理装置100は、CPU101、RAM102、記憶装置103、入力装置104、表示装置105等を備える。

[0017] CPU (Central Processing Unit) 101は、中央演算処理装置である。CPU101は、1以上のコアを含む。RAM (Random Access Memory) 102は、CPU101が実行するプログラム、CPU101が処理するデータなどを一時的に記憶する揮発性メモリである。記憶装置103は、不揮発性記憶装置である。記憶装置103として、例えば、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリなどのソリッド・ステート・ドライブ (SSD)、ハードディスクドライブに駆動されるハードディスクなどを用いることができる。

記憶装置103は、演算プログラムを記憶している。入力装置104は、ユーザが必要な情報を入力するための装置であり、キーボード、マウスなどである。表示装置105は、結果出力部40が出力する結果などを画面に表示装置である。CPU101が演算プログラムを実行することで、情報処理装置100の各部が実現される。なお、情報処理装置100の各部として、専用の回路などのハードウェアを用いてもよい。

[0018] 目的関数設定部10は、複数の目的関数を設定する。目的関数設定部10は、2つの目的関数を設定してもよく、3以上の目的関数を設定してもよい。本実施例においては、目的関数設定部10は、N個の目的関数 $f_1 \sim f_N$ を設定する。最適化実行部20は、目的関数 $f_1 \sim f_N$ が最適化されるように最適化を実行する。途中経過記録部30は、最適化実行部20が最適化を実行していく途中の結果を記録する。結果出力部40は、最適化実行部20が実行した最適化の結果を出力する。

[0019] 以下、図5のフローチャートと、図6(a)および図6(b)の説明図に沿って、パレート最適解の算出処理について説明する。なお、図6(a)および図6(b)は、2つの目的関数 f_1, f_2 についての説明図である。

[0020] まず、目的関数設定部10は、最適化したいN個の目的関数($f_n; n=1 \sim N$)を設定する(ステップS1)。各目的関数は、例えば、生産工程における生産完了時間、生産に係るコストなどである。生産完了時間が短いほど良好であり、コストが低いほど良好である。

[0021] 次に、最適化実行部20は、 n を1に設定する(ステップS2)。これにより、まず、目的関数 f_1 に着目する。

[0022] 次に、最適化実行部20は、各説明変数の初期値をランダム値で設定する(ステップS3)。初期値は、1つであってもよいが、複数であってもよい。初期値は、ユーザが入力装置104を用いて入力してもよい。

[0023] 次に、最適化実行部20は、説明変数に応じた目的関数 $f_1 \sim f_N$ の値を算出する(ステップS4)。1回目にステップS4が実行される場合には、説明変数の初期値から目的関数 $f_1 \sim f_N$ の値が算出される。初期値が複数であ

る場合には、図6(a)で例示するような初期解群が生成される。

[0024] 次に、途中経過記録部30は、ステップS4で用いられた説明変数と、ステップS4で算出された目的関数 $f_1 \sim f_n$ の値を記録する(ステップS5)。したがって、途中経過記録部30は、初期解群を記録する。

[0025] 次に、最適化実行部20は、目的関数 f_n の最適解が収束したか否かを判定する(ステップS6)。ここでは、目的関数 f_n が最も良好な値となったか否かが判定される。なお、初期値よりも良好な解が得られているか否かを判定してもよい。

[0026] ステップS6で「No」と判定された場合、最適化実行部20は、単目的最適化エンジンで評価関数が最適化されるように説明変数を更新する(ステップS7)。その後、ステップS4から再度実行される。

[0027] ステップS6で「Yes」と判定された場合、最適化実行部20は、 n が N 以上であるか否かを判定する(ステップS8)。ステップS8の実行によって、全ての目的関数について単目的最適化が終了したか否かを判定することができる。

[0028] ステップS8で「No」と判定された場合、最適化実行部20は、 n に1を足して $n+1$ とする(ステップS9)。その後、ステップS3から再度実行される。

[0029] ステップS8で「Yes」と判定された場合、最適化実行部20は、全計算結果からパレート解を抽出する(ステップS10)。それにより、図6(a)で例示するように、各目的関数を単目的最適化することで得られるパレート解を抽出することができる。なお、抽出されたパレート解は、途中経過記録部30が記録する。

[0030] 次に、最適化実行部20は、ステップS10で抽出されたパレート解の配置に応じた重み付けを行なった線形加重和を算出する(ステップS11)。例えば、パレート解の配置を近似した近似平面に垂直方向に重み付けを行なう。目的関数が2つであれば、上記の近似平面の代わりに、パレート解の近似直線を用いる。図6(a)では、パレート解を近似した近似直線が得られ

ている。近似の手法は、特に限定されるものではないが、例えば、最小二乗法などである。図6(b)で、近似直線と、当該近似直線に対して交差する方向(例えば、垂直な方向)が描かれている。この方向が、解の探索方向に相当する。

[0031] 次に、最適化実行部20は、目的関数 $f_1 \sim f_N$ と、線形加重和を評価関数として多目的最適化を実行する(ステップS12)。この場合の説明変数の初期値は、ステップS10で抽出されたパレート解に相当する説明変数である。

[0032] 次に、最適化実行部20は、ステップS12の実行結果を用いて、パレート解を算出する(ステップS13)。図6(b)に、パレート解が描かれている。ステップS13の算出結果は、結果出力部40が出力する。

[0033] 以上のように、最適化したい複数の N 個の目的関数 $f_n(x)$ ($n=1, \dots, N$)をそれぞれ単目的最適化の評価関数に設定して、単目的最適化エンジンで最適化し、各単目的最適化の最適解とその説明変数を求解する。単目的最適化の各最適解を起点に、パレートフロントに対して垂直方向に各目的関数重み付けした線形加重和を評価関数に設定して多目的最適化計算を実行してパレート解を求解する。各目的関数を最小化しながら、線形加重和で最適解の探索方向を設定して、真のパレートフロントを求解する。

[0034] この手法では、多目的最適化の前に各目的関数について単目的最適化が行われる。単目的最適化によって得られた最適解を起点に多目的最適化を行なうために、真のパレートフロントに到達するまでの計算時間が短縮化される。なお、単目的最適化の計算負荷は多目的最適化と比較すると大幅に小さいため、単目的最適化を行わずに多目的最適化を行なう場合と比較して、結果として計算負荷が小さくなり、計算時間を短縮化することができる。

実施例 2

[0035] 実施例1では、単目的最適化で最適計算過程の結果を用いたが、それに限られない。実施例2では、単目的最適化で最適計算過程の結果を用いない場合について説明する。

- [0036] 以下、図7のフローチャートと、図8(a)および図8(b)の説明図に沿って、実施例2に係るパレート最適解の算出処理について説明する。なお、図8(a)および図8(b)は、2つの目的関数 f_1 、 f_2 についての説明図である。
- [0037] まず、目的関数設定部10は、最適化したいN個の目的関数(f_n ; $n = 1 \sim N$)を設定する(ステップS21)。各目的関数は、例えば、生産工程における生産完了時間、生産に係るコストなどである。生産完了時間が短いほど良好であり、コストが低いほど良好である。
- [0038] 次に、最適化実行部20は、 n を1に設定する(ステップS22)。これにより、まず、目的関数 f_1 に着目する。
- [0039] 次に、最適化実行部20は、説明変数の初期値をランダム値で設定する(ステップS23)。初期値は、1つであってもよいが、複数であってもよい。初期値は、ユーザが入力装置104を用いて入力してもよい。
- [0040] 次に、最適化実行部20は、説明変数に応じた目的関数 $f_1 \sim f_N$ の値を算出する(ステップS24)。1回目にステップS24が実行される場合には、説明変数の初期値から目的関数 $f_1 \sim f_N$ の値が算出される。初期値が複数である場合には、図6(a)で例示するような初期解群が生成される。
- [0041] 次に、最適化実行部20は、目的関数 f_n の最適解が収束したか否かを判定する(ステップS25)。ここでは、目的関数 f_n が最も良好な値となったか否かが判定される。なお、初期値よりも良好な解が得られているか否かを判定してもよい。
- [0042] ステップS25で「No」と判定された場合、最適化実行部20は、単目的最適化エンジンで評価関数を最適化するように説明変数を更新する(ステップS26)。その後、ステップS24から再度実行される。
- [0043] ステップS26で「Yes」と判定された場合、最適化実行部20は、 n がN以上であるか否かを判定する(ステップS27)。ステップS27の実行によって、全ての目的関数について単目的最適化が終了したか否かを判定することができる。

- [0044] ステップS27で「No」と判定された場合、最適化実行部20は、 n に1を足して $n+1$ とする（ステップS28）。その後、ステップS23から再度実行される。
- [0045] ステップS27で「Yes」と判定された場合、最適化実行部20は、目的関数毎に、最適解を抽出する（ステップS29）。図8(a)で例示するように、 f_1 の値が最も低い解および f_2 の値が最も低い解が、最適解として抽出される。なお、抽出された各最適解は、途中経過記録部30が記録する。
- [0046] 次に、最適化実行部20は、ステップS29で抽出された最適解の配置に応じた重み付けを行なった線形加重和を算出する（ステップS30）。例えば、最適解を結ぶ面に垂直方向に重み付けを行なう。目的関数が2つであれば、最適解を結ぶ直線を用いる。図8(a)では、最適解を結ぶ直線が得られている。図8(b)で、最適解を結ぶ線と、当該線に対して交差する方向（例えば、垂直な方向）が描かれている。この方向が、解の探索方向に相当する。
- [0047] 次に、最適化実行部20は、目的関数 $f_1 \sim f_N$ と、線形加重和を評価関数として多目的最適化を実行する（ステップS31）。この場合の説明変数の初期値は、ステップS29で抽出された最適解に相当する説明変数である。
- [0048] 次に、最適化実行部20は、ステップS31の実行結果を用いて、パレート解を算出する（ステップS32）。図8(b)に、パレート解が描かれている。ステップS32の算出結果は、結果出力部40が出力する。
- [0049] 以上のように、最適化したい複数の N 個の目的関数 $f_n(x)$ ($n=1, \dots, N$)をそれぞれ単目的最適化の評価関数に設定して単目的最適化エンジンで最適化し、各単目的最適化の最適解とその説明変数を求解する。単目的最適化の各最適解を起点に、各目的関数 f_n と、パレートフロントに対して垂直方向に各目的関数に重み付けした線形加重和を評価関数に設定して多目的最適化計算を実行してパレート解を求解する。各目的関数を最小化しながら、線形加重和で最適解の探索方向を設定して、真のパレートフロントを求解

する。

[0050] この手法では、多目的最適化の前に各目的関数について単目的最適化が行われる。単目的最適化によって得られた最適解を起点に多目的最適化を行なうために、真のパレートフロントに到達するまでの計算時間が短縮化される。なお、単目的最適化の計算負荷は多目的最適化と比較すると大幅に小さいため、単目的最適化を行わずに多目的最適化を行なう場合と比較して、結果として計算負荷が小さくなり、計算時間を短縮化することができる。

[0051] (実施例1のシミュレーション結果)

以下、実施例1についてのシミュレーション結果について説明する。目的関数として、 f_1 および f_2 を用いる。これらの目的関数を最小化する多目的最適化を行なった。一例として、下記式の標準問題を用いた。この標準問題は、「Eckart Zitzler, Kalyanmoy Deb, and Lothar Thiele, Comparison of Multiobjective Evolutionary Algorithms: Empirical Results, Evolutionary Computation, vol. 8, Issue 2, pp. 173-195 (2000).」で開示されている。

[数1]

$$\mathcal{T}(\mathbf{x}) = (f_1(x_1), f_2(\mathbf{x}))$$

[0052] 目的関数 f_1 および目的関数 f_2 の一例として、下記式を用いる。

[数2]

$$f_1(x_1) = x_1$$

[数3]

$$f_2(\mathbf{x}) = g(x_2, \dots, x_m) \left[1 - \sqrt{x_1/g(x_2, \dots, x_m)} \right]$$

[0053] ここで、 $g(x_2, \dots, x_m)$ は下記式のように表すことができる。

[数4]

$$g(x_2, \dots, x_m) = 1 + 9 \left(\sum_{i=2}^m x_i \right) / (m - 1)$$

[0054] なお、 $m = 30$ とし、下記式が成立するものとする。

[数5]

$$x_i \in [0, 1]$$

[0055] 上記の目的関数について、それぞれ単目的最適化を実施した。説明変数 $x = (x_1, x_2, \dots, x_{30})$ は、初期値はランダム値で、単目的最適化エンジンによって目的関数を最小化するように更新した。それぞれの単目的最適化では、計算過程の結果（説明変数 x と、 $f_1(x)$ および $f_2(x)$ の値）も出力した。単目的最適化の計算過程の結果を含む全計算結果から、パレート解とその説明変数を求めた。図9は、計算結果を示す図である。図9の結果に示すように、単目的最適化では、 $f_1(x)$ の値が小さい領域と $f_2(x)$ の値が小さい領域とに集中した。

[0056] 次に、 $f_1(x)$ および $f_2(x)$ のパレート解を起点とし、パレートフロントの近似直線の垂直方向に重み付けした線形加重和と、 $f_1(x)$ と、 $f_2(x)$ の3つの目的関数で多目的最適化を実施した。結果を図10に示す。図10では、図2の手法で求めたパレート解も併せて示してある。図2の手法と、実施例1に係る手法とを、同じ計算回数（約4900回）で比較すると、実施例1に係る手法ではより最適なパレートフロントが算出可能であったことがわかる。したがって、同じパレートフロントを得るための計算時間は短縮化されたことがわかる。ハイパーボリュームで比較すると、実施例1に係る手法では、図2の手法に係る手法よりもハイパーボリュームが1.3%低くなった。

[0057] 図11は、ハイパーボリュームについて説明するための図である。ハイパ

一ボリュームは、パレート解の性能指標である。具体的には、ハイパーボリュームとは、目的関数空間上で、ある基準点と、アルゴリズムによって得られた解集合とによって形成される領域の面積や体積を表している。一例として、基準点を(0, 0)とし、各目的関数を標準化した値を用いることができる。目的関数を2つにする場合には、図11で表した面積がハイパーボリュームである。このハイパーボリュームが大きいほど解が広がることになるため、良い結果が得られていると判断することができる。

[0058] (実施例2のシミュレーション結果)

次に、実施例2のシミュレーション結果について説明する。実施例2では、製造現場の具体的なレイアウトを用いて目的関数を設定した。

[0059] 図12は、生産ラインモデルを例示する図である。図12で例示するように、生産ラインモデルには、分岐および合流が存在し、複数の製品が1つずつ投入される。当該複数の製品のそれぞれについて、複数の作業が順番に行われる。当該複数の製品について、少なくとも一部の作業が異なっている。

[0060] 図12の生産ラインモデルは、工程1および工程2で構成された生産ラインモデルである。製品投入順序に従って工程1と工程2を通過するときに分岐と合流を繰り返し、最後は検品と梱包工程を経て出荷に至る。工程1では、同じ仕様の製造装置1が3台配置されている。各製造装置1で作業を行う前に、段替え（生産する製品の品種に合わせて加工機の治具や装置の設定を変更する作業）が行われる。

[0061] 工程2では、段替えを必要としていない。工程2では、3台の製造装置2と、製造装置2とは異なる仕様の2台のレガシー装置が配置されている。レガシー装置は、コストも時間もかかる装置のことである。

[0062] 一例として、段替え作業員は2名である。したがって、最大で2台の装置で段替えを同時に並行して実施することができる。各装置のコストは、装置の稼働時間に比例して増加する。

[0063] 一例としてこのようなレイアウトで、製造時間とコストを最適化する計画を立案する。例えば、段替えを少なくして製造時間を短くしようとすると、

レガシー装置の利用が増えてコストが増加するため、製造時間とコストとがトレードオフの関係にある。

[0064] 図13(a)～図13(c)は製品情報を例示する図である。図13(a)は、生産マスタのうちマスタ情報を例示する図である。図13(b)は、生産マスタのうち稼動コストを例示する図である。図13(c)は、生産マスタのうち段替えのタクトタイムを例示する図である。

[0065] 図13(a)で例示するように、各製品種A～Eについて、製造数、製造装置1の加工タクトタイム、製造装置2の加工タクトタイム、レガシー装置の加工タクトタイム、段替え仕様が関連付けられている。図13(b)で例示するように、各製造装置について、装置稼動コスト係数が関連付けられている。この係数を、加工タクトタイムに掛け合わせることで、稼動コストが算出される。図13(c)で例示するように、後製品／前製品の組み合わせに対して、段替えタクトタイムが関連付けられている。ある装置についての前製品とは、これまで当該装置で製造工程が行われていた製品の品種である。後製品とは、次に当該装置で製造工程が行われる製品の品種である。「後製品／前製品」の番号に、各製品の組合せが紐づけられている。

[0066] 目的関数を、製造時間とコストの2つとした。高速求解可能な単目的求解特化エンジンを利用することで、計算時間は極めて短いと想定した。初期値には、ランダム値を設定した。図14に結果を示す。横軸は製造時間を示し、縦軸はコストを示す。製造時間およびコストについて、それぞれ単目的最適解が得られている。

[0067] 次に、製造時間およびコストの各単目的最適解を起点に、最適解を結ぶ直線の垂直方向に重み付けした線形加重和と、製造時間と、コストの3つの目的関数で多目的最適化を実施した。結果を図15に示す。実施例2の手法で得られるパレートフロント（計算回数が約600回）と同等の結果（HV=0.576）を、図2の手法では1600回の計算回数で得られるため、計算量を約60%減らすことができた。図2の手法と実施例2の手法とで、同じ計算回数（約600回）で結果を比較すると、より広範囲な最適なパレー

トフロント（HVが約2倍）が算出された。

[0068] なお、上記各例では最適化アルゴリズムとして遺伝的アルゴリズムを用いたが、それに限られない。進化的アルゴリズムなどの他の最適化アルゴリズムを用いてもよい。

[0069] 上記各例において、最適化実行部20が、初期解について、複数の目的関数のそれぞれを第1評価関数として用いて単目的最適化を実行することで、初期解よりも値が良好となる単目的最適解を算出し、前記単目的最適解に応じて前記複数の目的関数の各々に重み付けした線形加重和を第2評価関数として用いて、前記単目的最適解を起点として前記第2評価関数に対して多目的最適化を実行する実行部の一例である。

[0070] 以上、本発明の実施例について詳述したが、本発明に係る特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

符号の説明

- [0071] 10 目的関数設定部
20 最適化実行部
30 途中経過記録部
40 結果出力部
100 情報処理装置
101 CPU
102 RAM
103 記憶装置
104 入力装置
105 表示装置

請求の範囲

- [請求項1] コンピュータに、
初期解について、複数の目的関数のそれぞれを第1評価関数として用いて単目的最適化を実行することで、前記初期解よりも値が良好となる単目的最適解を算出する処理と、
前記単目的最適解に応じて前記複数の目的関数の各々に重み付けした線形加重和を第2評価関数として用いて、前記単目的最適解を起点として前記第2評価関数に対して多目的最適化を実行する処理と、を実行させることを特徴とする演算プログラム。
- [請求項2] 前記複数の目的関数の数は、2であり、
前記コンピュータに、前記単目的最適化の実行によって得られた前記単目的最適解と、途中経過の解との配置に近似した近似直線を算出し、前記近似直線に交差する方向に前記重み付けを設定する処理を実行させることを特徴とする請求項1に記載の演算プログラム。
- [請求項3] 前記近似直線に交差する方向は、前記近似直線に垂直な方向であることを特徴とする請求項2に記載の演算プログラム。
- [請求項4] 前記複数の目的関数の数は、2であり、
前記コンピュータに、前記単目的最適化の実行によって得られた前記単目的最適解を結ぶ線に交差する方向に前記重み付けを設定する処理を実行させることを特徴とする請求項1に記載の演算プログラム。
- [請求項5] 前記単目的最適解を結ぶ線に交差する方向は、前記単目的最適解を結ぶ線に垂直な方向であることを特徴とする請求項4に記載の演算プログラム。
- [請求項6] 前記複数の目的関数の数は、3以上であり、
前記コンピュータに、前記単目的最適化の実行によって得られた前記単目的最適解と、途中経過の解との配置に近似した近似平面を算出し、前記近似平面に交差する方向に前記重み付けを設定する処理を実行させることを特徴とする請求項1に記載の演算プログラム。

- [請求項7] 前記近似平面に交差する方向は、前記近似平面に垂直な方向であることを特徴とする請求項6に記載の演算プログラム。
- [請求項8] 前記複数の目的関数の数は、3以上であり、
前記コンピュータに、前記単目的最適化の実行によって得られた前記単目的最適解を結ぶ面に交差する方向に前記重み付けを設定する処理を実行させることを特徴とする請求項1に記載の演算プログラム。
- [請求項9] 前記単目的最適解を結ぶ面に交差する方向は、前記単目的最適解を結ぶ面に垂直な方向であることを特徴とする請求項8に記載の演算プログラム。
- [請求項10] 初期解について、複数の目的関数のそれぞれを第1評価関数として用いて単目的最適化を実行することで、前記初期解よりも値が良好となる単目的最適解を算出する処理と、
前記単目的最適解に応じて前記複数の目的関数の各々に重み付けした線形加重和を第2評価関数として用いて、前記単目的最適解を起点として前記第2評価関数に対して多目的最適化を実行する処理と、
をコンピュータが実行することを特徴とする演算方法。
- [請求項11] 前記複数の目的関数の数は、2であり、
前記単目的最適化の実行によって得られた前記単目的最適解と、途中経過の解との配置に近似した近似直線を算出し、前記近似直線に交差する方向に前記重み付けを設定する処理を前記コンピュータが実行することを特徴とする請求項10に記載の演算方法。
- [請求項12] 前記近似直線に交差する方向は、前記近似直線に垂直な方向であることを特徴とする請求項11に記載の演算方法。
- [請求項13] 前記複数の目的関数の数は、2であり、
前記単目的最適化の実行によって得られた前記単目的最適解を結ぶ線に交差する方向に前記重み付けを設定する処理を前記コンピュータが実行することを特徴とする請求項10に記載の演算方法。
- [請求項14] 前記単目的最適解を結ぶ線に交差する方向は、前記単目的最適解を

結ぶ線に垂直な方向であることを特徴とする請求項 13 に記載の演算方法。

[請求項15] 前記複数の目的関数の数は、3 以上であり、
前記単目的最適化の実行によって得られた前記単目的最適解と、途中経過の解との配置に近似した近似平面を算出し、前記近似平面に交差する方向に前記重み付けを設定する処理を前記コンピュータが実行することを特徴とする請求項 10 に記載の演算方法。

[請求項16] 前記近似平面に交差する方向は、前記近似平面に垂直な方向であることを特徴とする請求項 15 に記載の演算方法。

[請求項17] 前記複数の目的関数の数は、3 以上であり、
前記単目的最適化の実行によって得られた前記単目的最適解の配置を結ぶ面に交差する方向に前記重み付けを設定する処理を前記コンピュータが実行することを特徴とする請求項 10 に記載の演算方法。

[請求項18] 前記単目的最適解を結ぶ面に交差する方向は、前記単目的最適解を結ぶ面に垂直な方向であることを特徴とする請求項 17 に記載の演算方法。

[請求項19] 初期解について、複数の目的関数のそれぞれを第 1 評価関数として用いて単目的最適化を実行することで、前記初期解よりも値が良好となる単目的最適解を算出し、前記単目的最適解に応じて前記複数の目的関数の各々に重み付けした線形加重和を第 2 評価関数として用いて、前記単目的最適解を起点として前記第 2 評価関数に対して多目的最適化を実行する実行部、を備えることを特徴とする情報処理装置。

[請求項20] 前記複数の目的関数の数は、2 であり、
前記実行部は、前記単目的最適化の実行によって得られた前記単目的最適解と、途中経過の解との配置に近似した近似直線を算出し、前記近似直線に交差する方向に前記重み付けを設定することを特徴とする請求項 19 に記載の情報処理装置。

[請求項21] 前記近似直線に交差する方向は、前記近似直線に垂直な方向である

ことを特徴とする請求項 20 に記載の情報処理装置。

[請求項22]

前記複数の目的関数の数は、2 であり、

前記実行部は、前記単目的最適化の実行によって得られた前記単目的最適解を結ぶ線に交差する方向に前記重み付けを設定することを特徴とする請求項 19 に記載の情報処理装置。

[請求項23]

前記単目的最適解を結ぶ線に交差する方向は、前記単目的最適解を結ぶ線に垂直な方向であることを特徴とする請求項 22 に記載の情報処理装置。

[請求項24]

前記複数の目的関数の数は、3 以上であり、

前記実行部は、前記単目的最適化の実行によって得られた前記単目的最適解と、途中経過の解との配置に近似した近似平面を算出し、前記近似平面に交差する方向に前記重み付けを設定することを特徴とする請求項 19 に記載の情報処理装置。

[請求項25]

前記近似平面に交差する方向は、前記近似平面に垂直な方向であることを特徴とする請求項 24 に記載の情報処理装置。

[請求項26]

前記複数の目的関数の数は、3 以上であり、

前記実行部は、前記単目的最適化の実行によって得られた前記単目的最適解を結ぶ面に交差する方向に前記重み付けを設定することを特徴とする請求項 25 に記載の情報処理装置。

[請求項27]

前記単目的最適解を結ぶ面に交差する方向は、前記単目的最適解を結ぶ面に垂直な方向であることを特徴とする請求項 26 に記載の情報処理装置。

[図1]

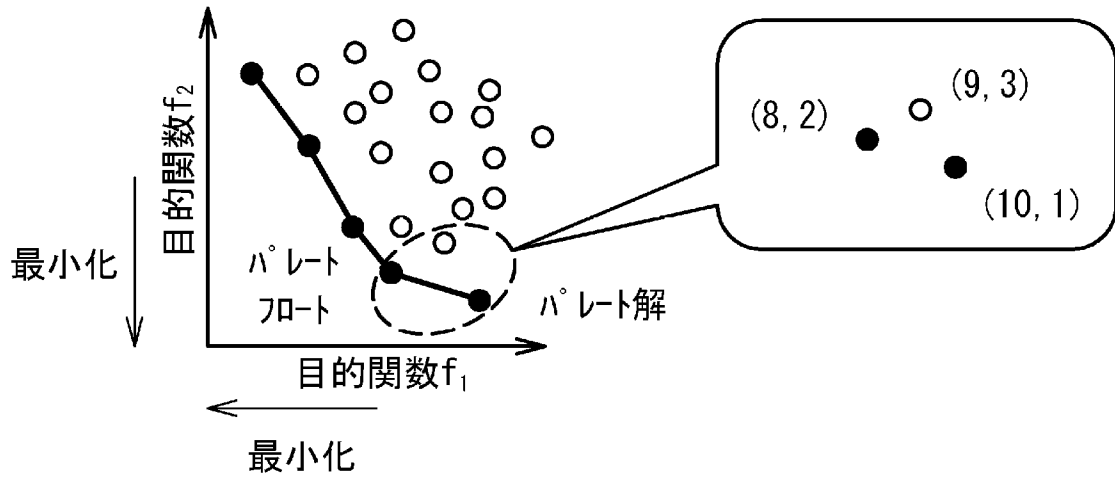


図1

[図2]

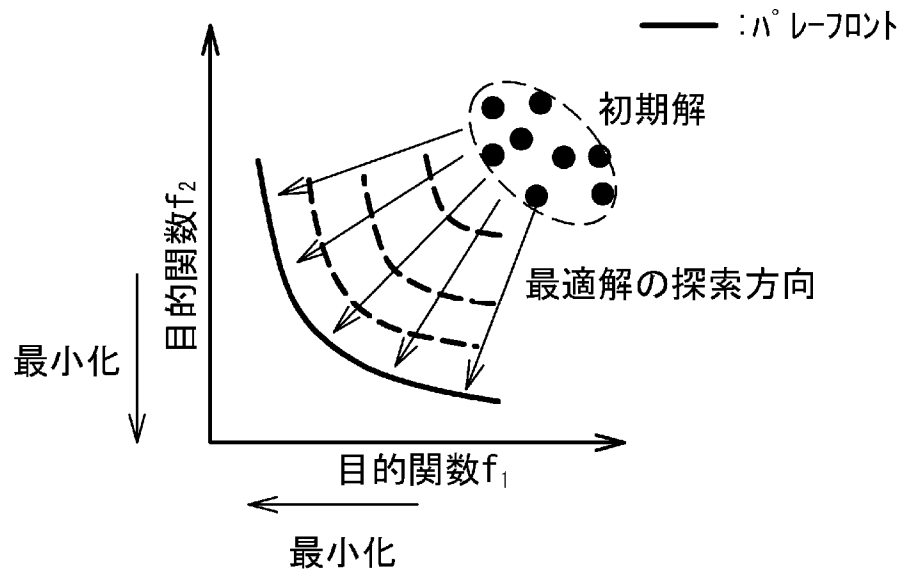


図2

[図3]

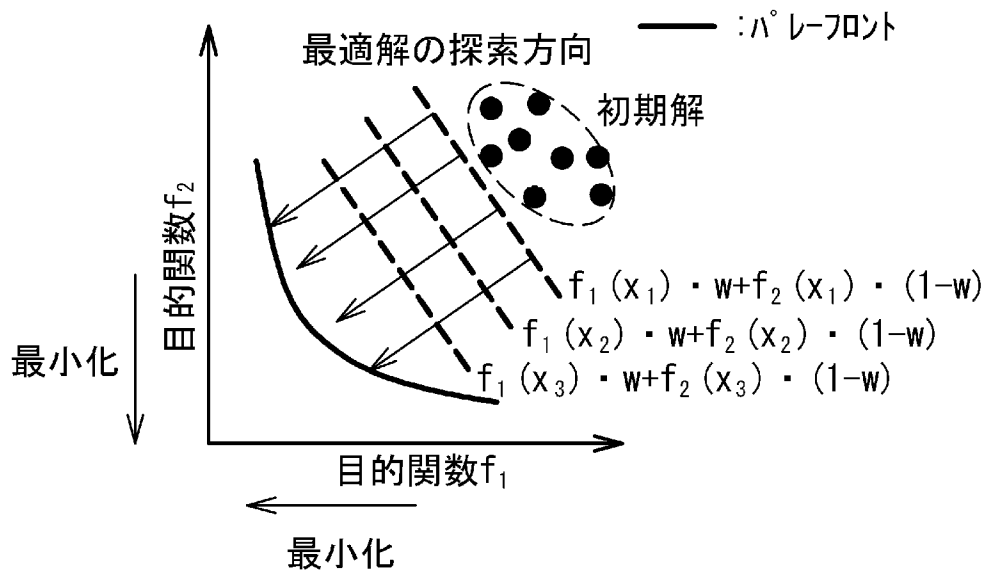


図3

[図4]

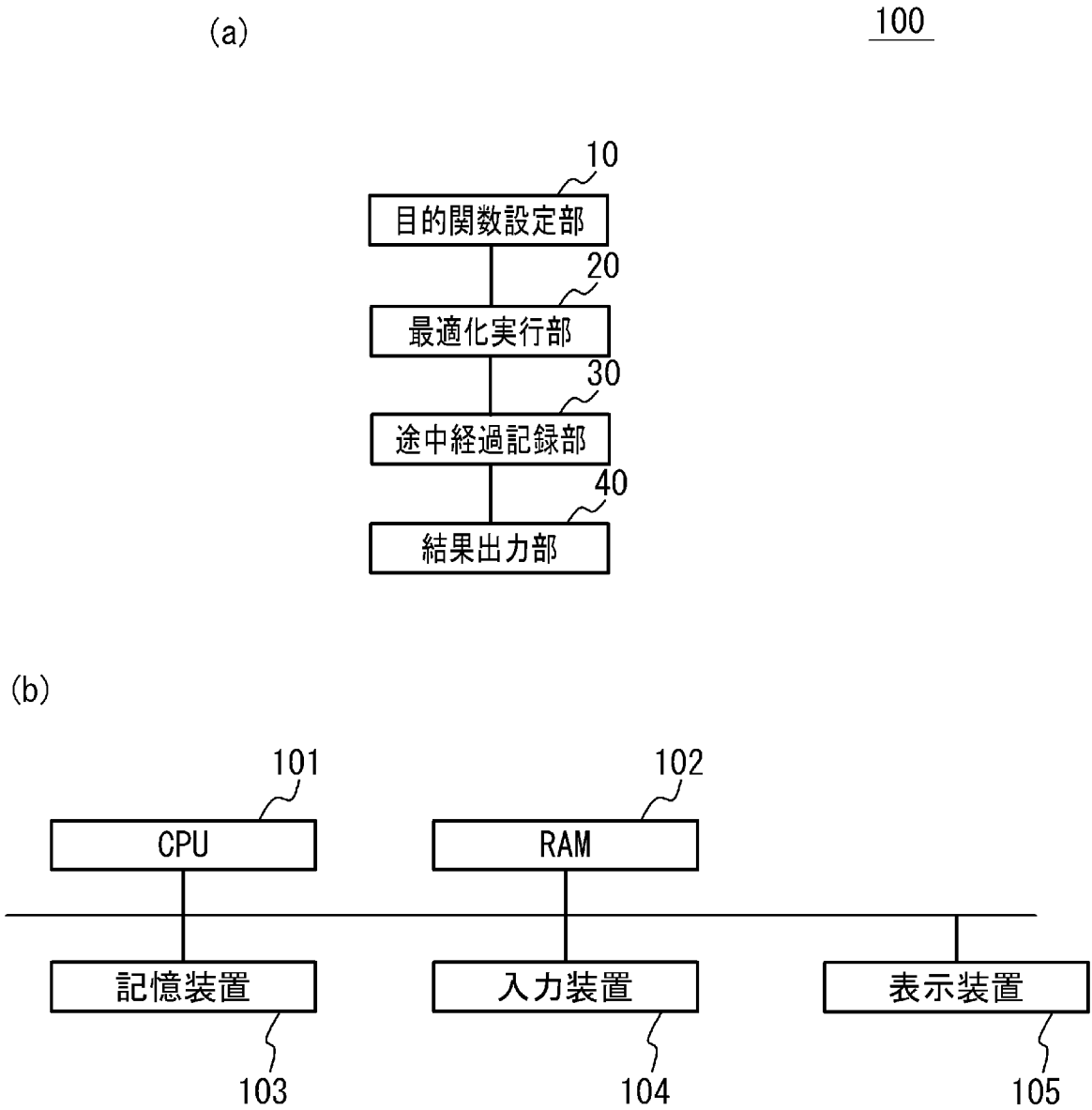


図4

[図5]

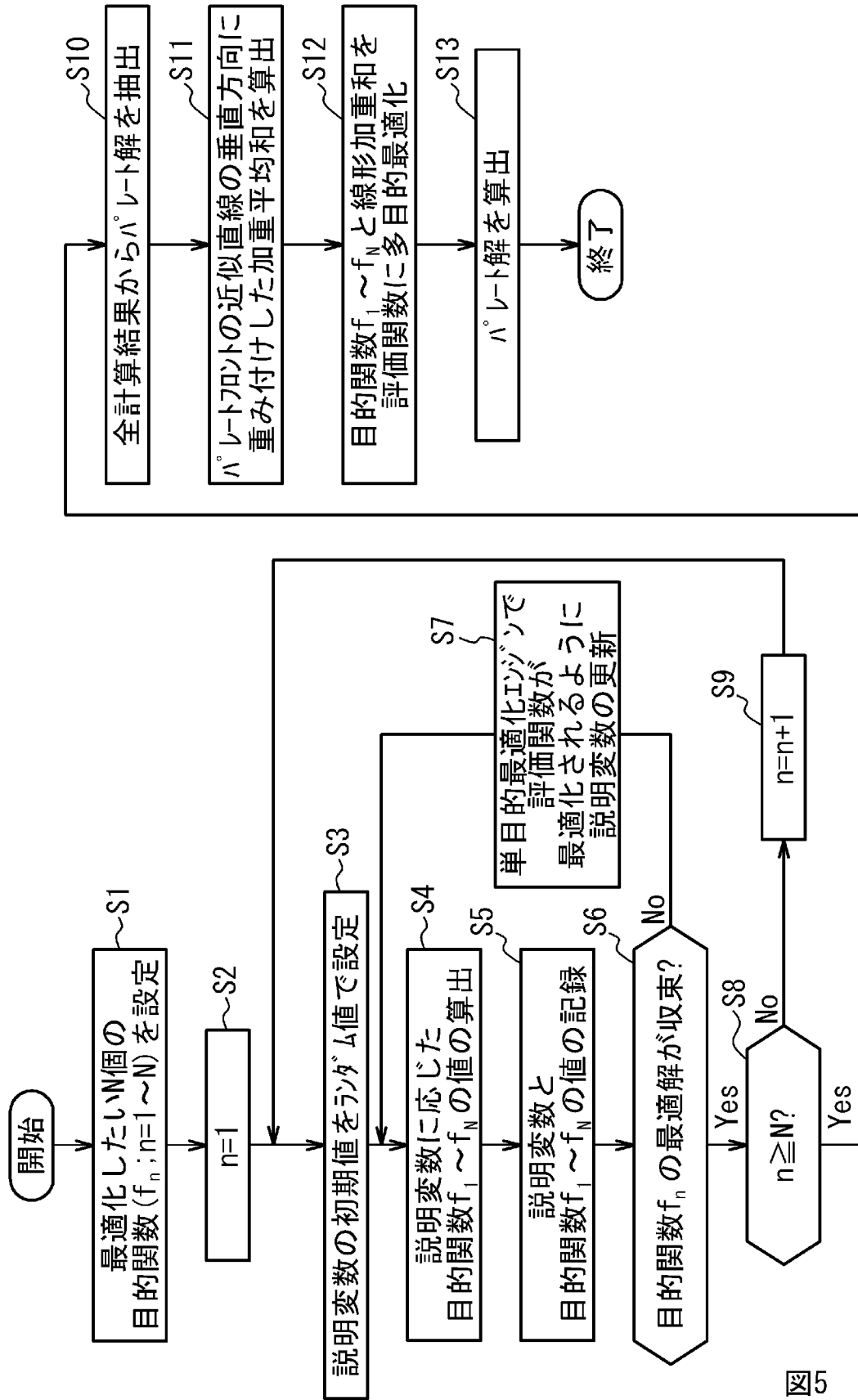


図5

[図6]

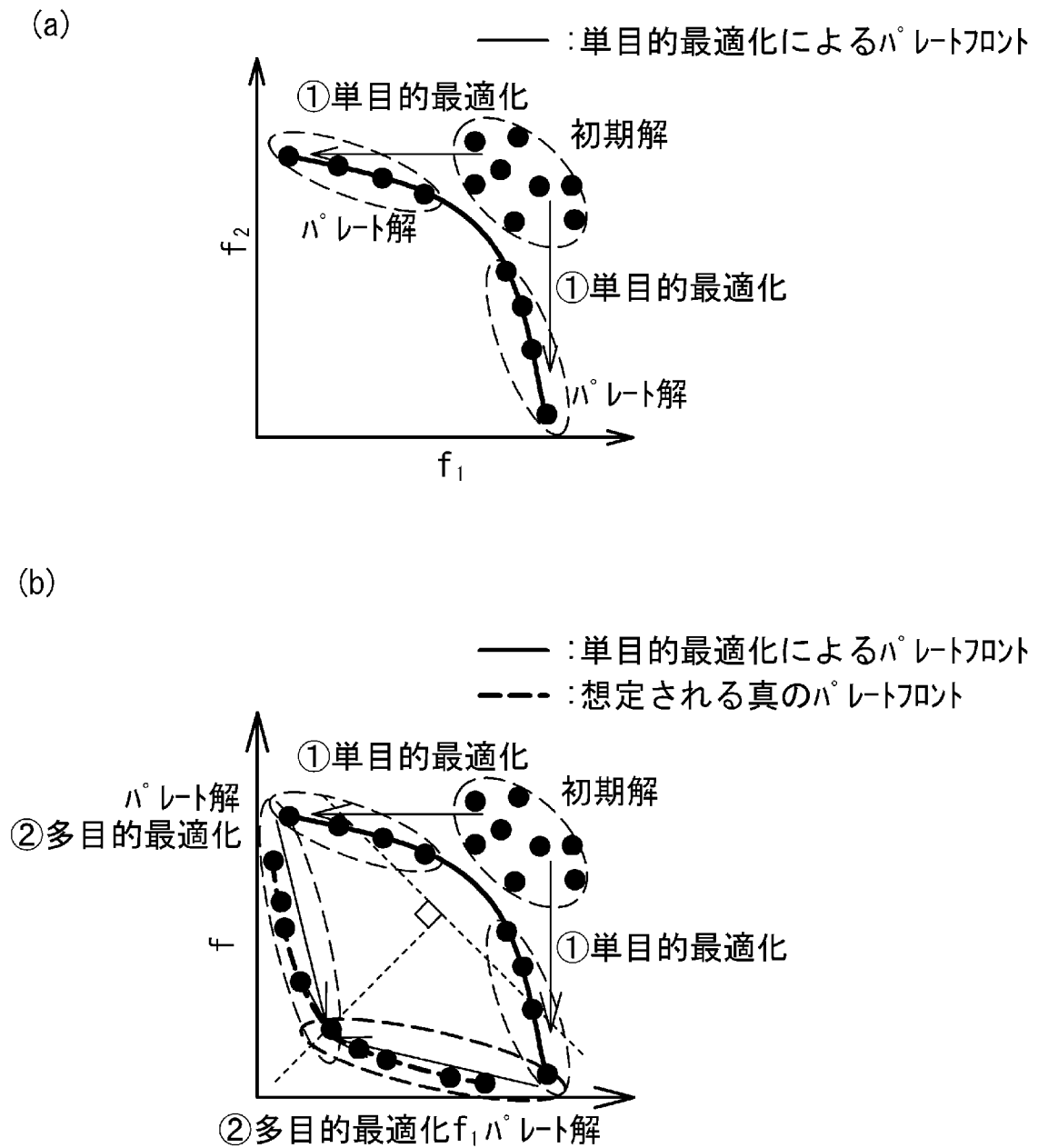


図6

[図7]

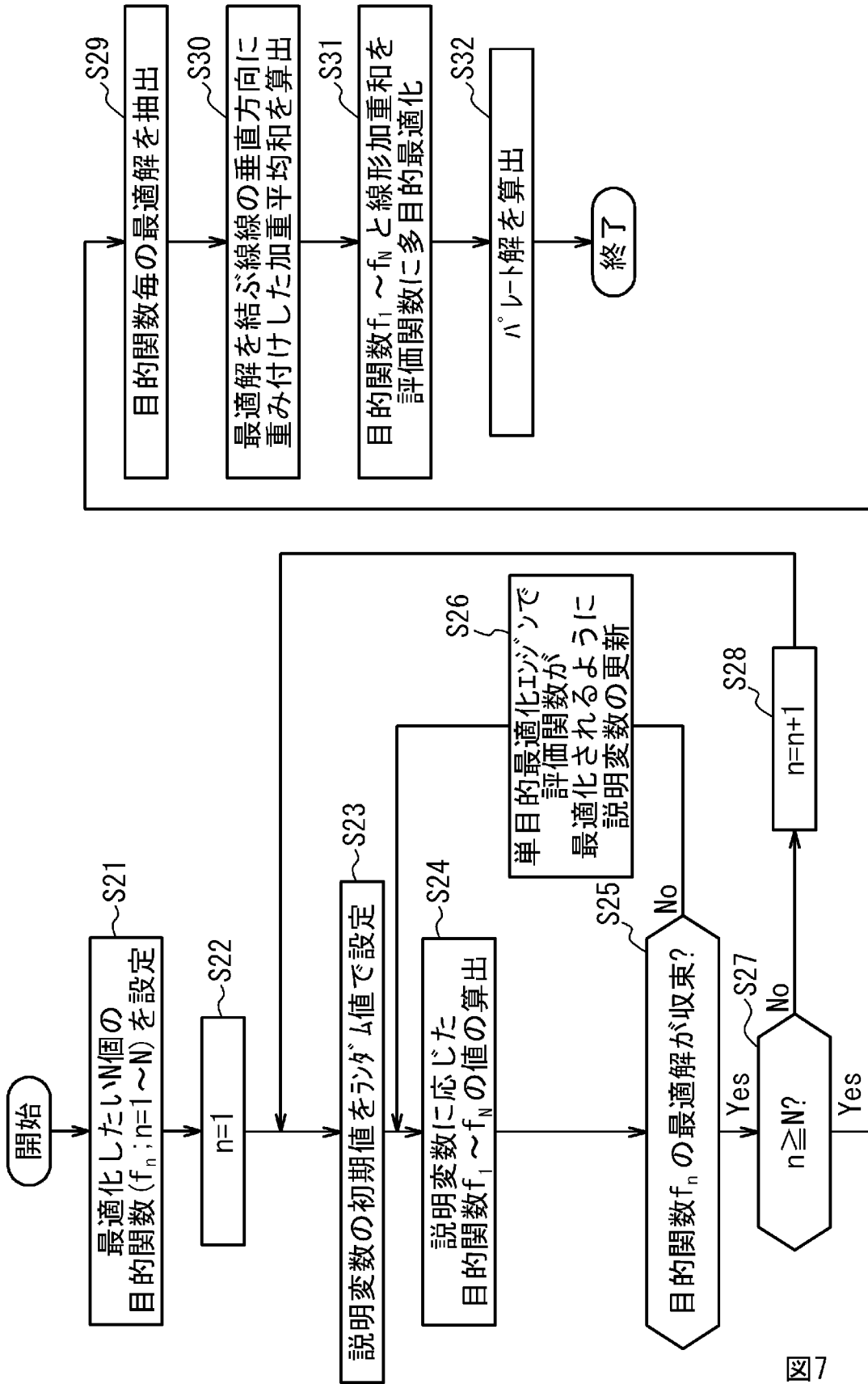


図7

[図8]

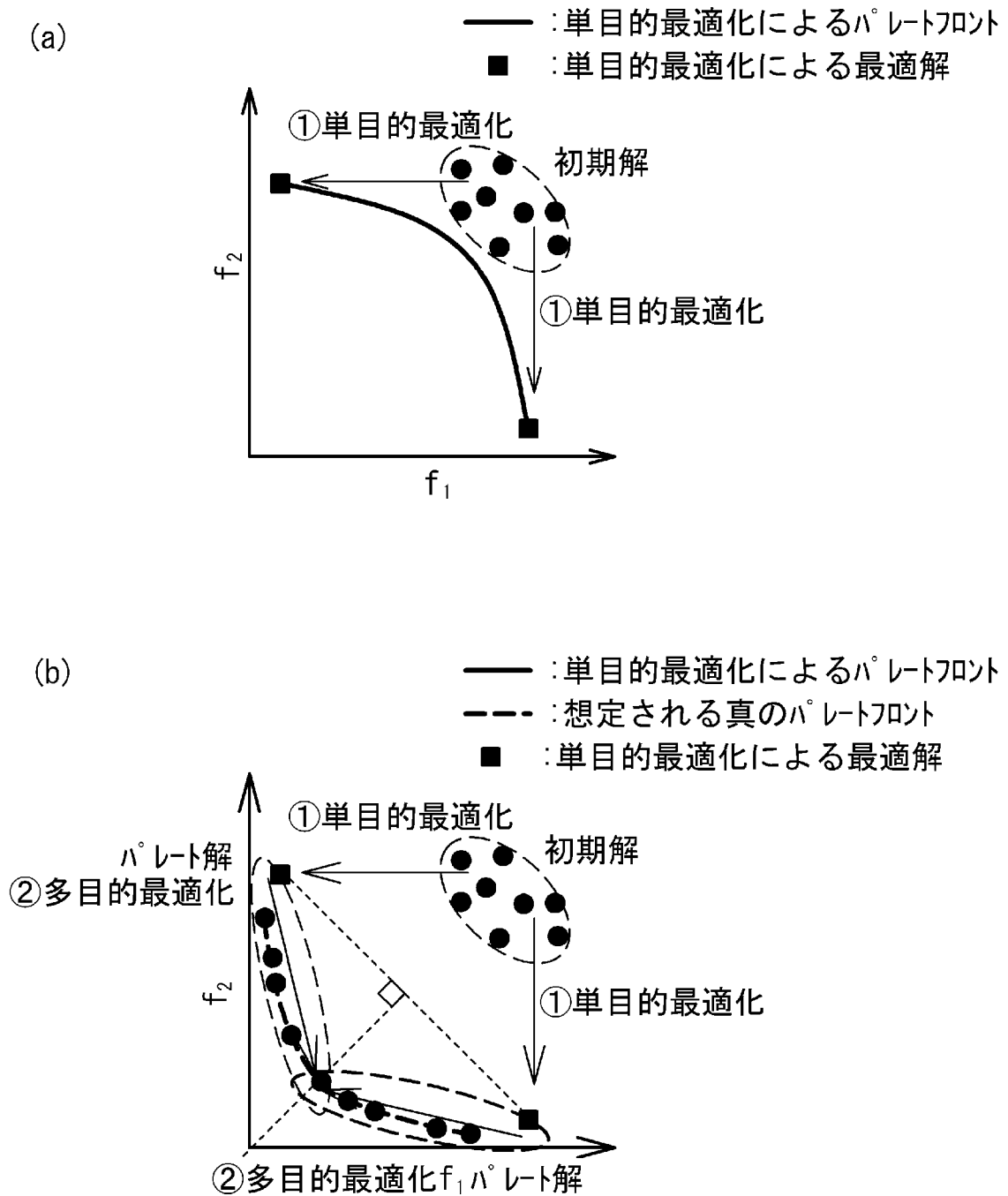
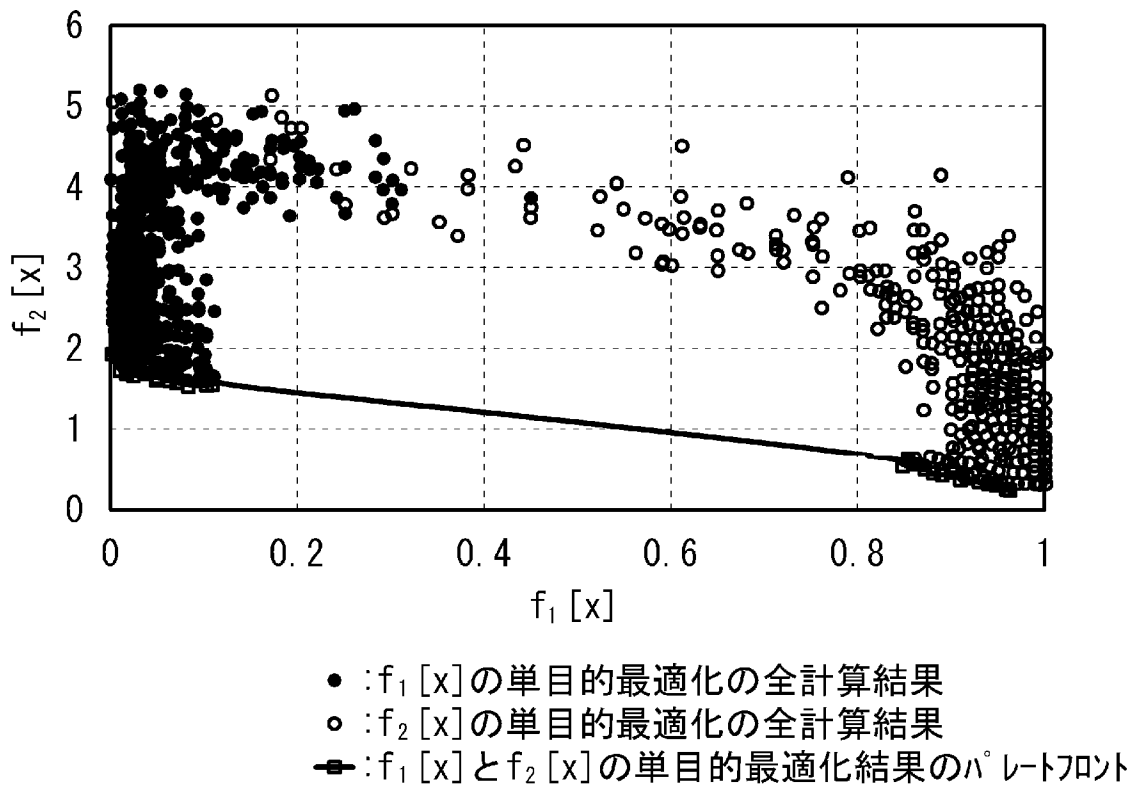


図8

[図9]



[図9]

[図10]

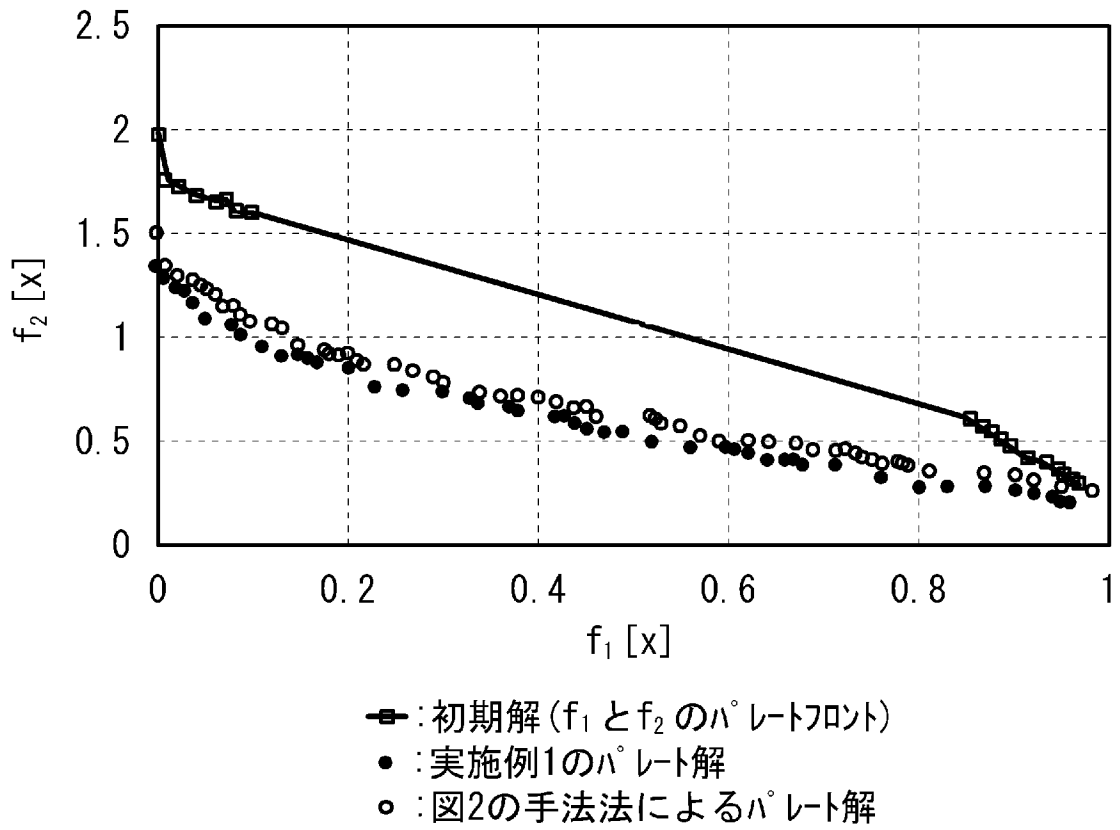


図10

[図11]

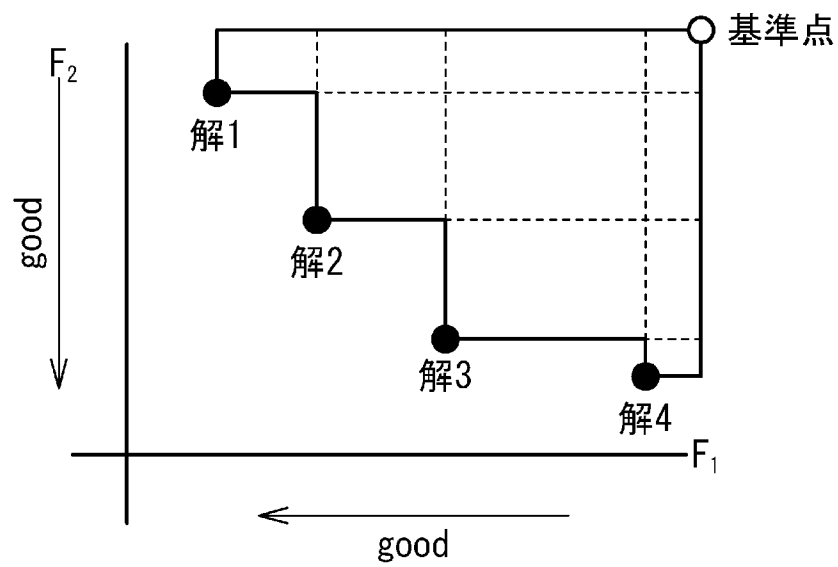


図11

[図12]

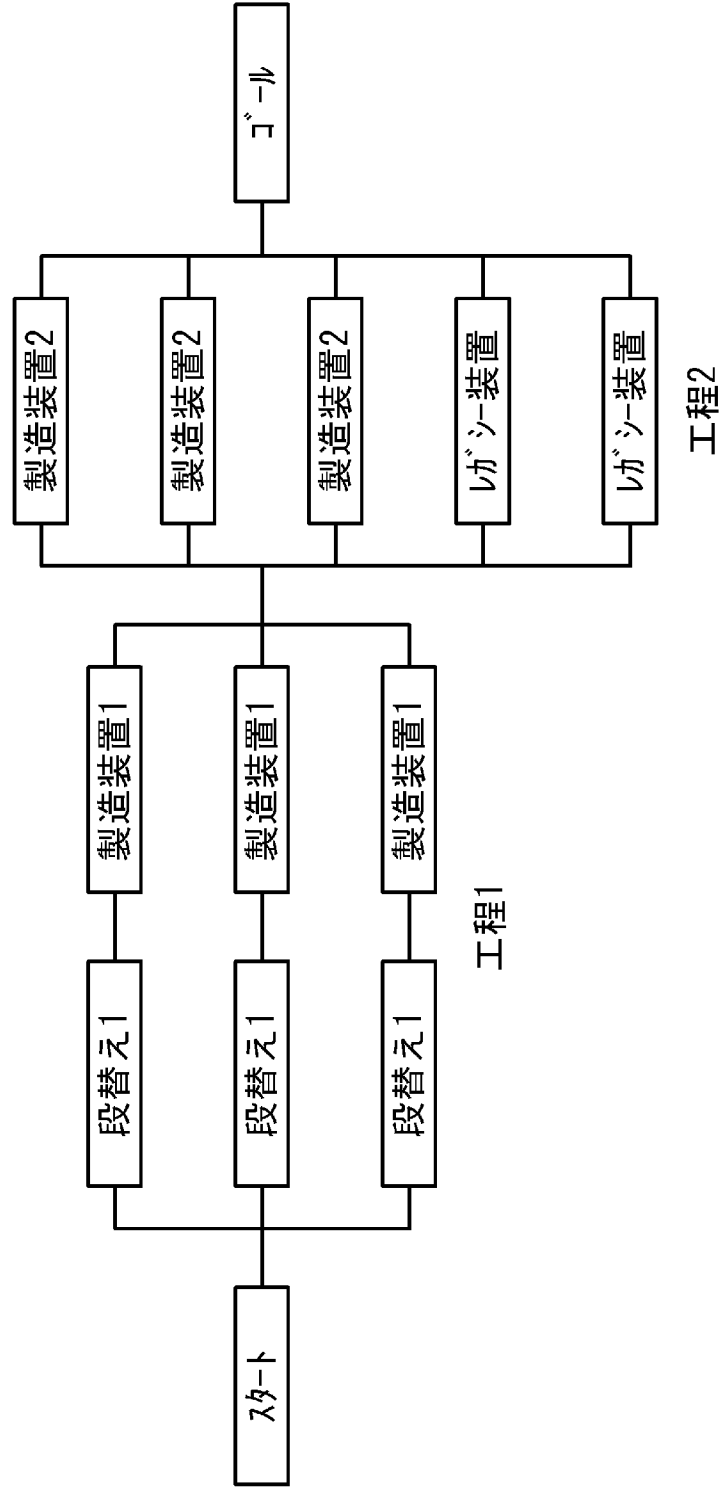


図12

[図13]

(a)

製品種	製造数	加工タトタム			段替え仕様
		製造装置1	製造装置2	カシ装置	
A	20	40	60	65	1
B	20	50	70	75	2
C	20	60	80	85	3
D	20	70	85	90	4
E	20	80	65	70	5

(b)

製造装置	装置稼働コスト係数
製造装置1	0
製造装置2	1
カシ装置	2

(c)

後製品/前製品	1	2	3	4	5
1	-	30	40	35	50
2	30	-	20	10	45
3	40	20	-	15	40
4	35	10	15	-	35
5	50	45	40	35	-

図13

[図14]

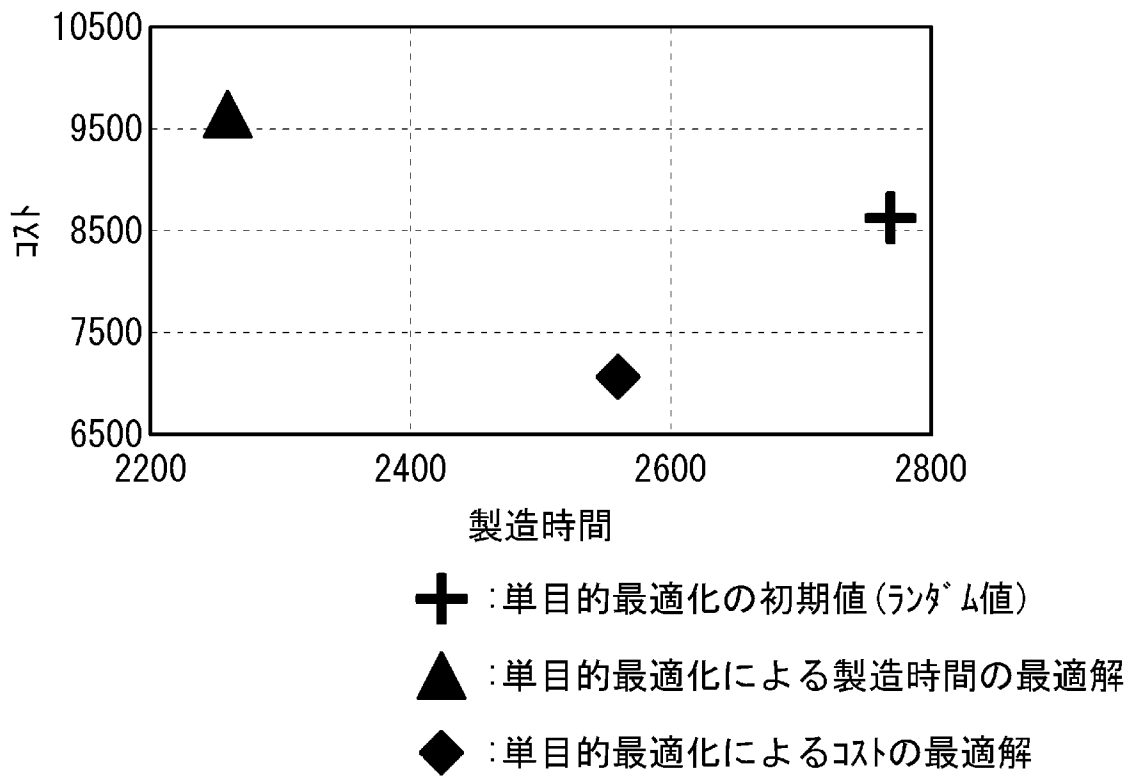
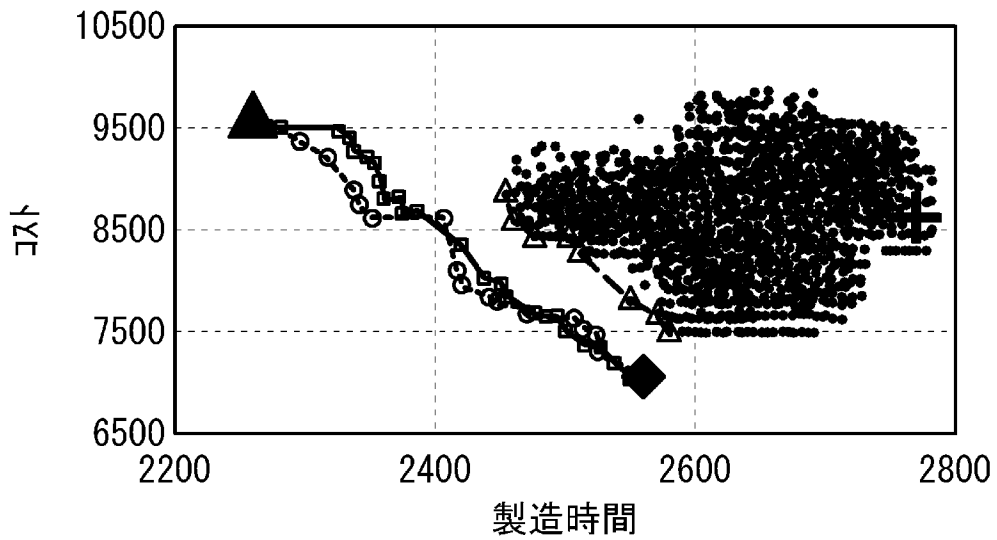


図14

[図15]



- +
 - ▲
 - ◆
 -
 -
 - △—
- + : 単目的最適化の初期値 (ランダム値)
 ▲ : 単目的最適化による製造時間の最適解
 ◆ : 単目的最適化によるコストの最適解
 —■— : 実施例2のパレートフロント
 —○— : 図2の手法によるパレートフロント
 (実施例2とパレートフロントが同等の場合)
 —△— : 図2の手法によるパレートフロント
 (実施例2と計算回数が同等の場合)

図15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/032329

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G06Q 10/0639</i> (2023.01)i; <i>G16Z 99/00</i> (2019.01)i FI: G06Q10/06 332; G16Z99/00		
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) G06Q10/00-99/00; G16Z99/00		
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.
X	渡邊 真也 WATANABE, Shinya. 単目的最適化問題における多目的化とその有効性 Multiobjective Approaches in Single Objective Optimization Environment. 情報処理学会論文誌 vol. 46 no. SIG17 (TOM13) IPSJ. 19 December 2005 (accession date) chapter 4, fig. 1-2	1, 10, 19
A		2-9, 11-18, 20-27
A	JP 2009-169557 A (FUJITSU LTD) 30 July 2009 (2009-07-30) entire text, all drawings	1-27
A	WO 2021/186551 A1 (FUJITSU LTD) 23 September 2021 (2021-09-23) entire text, all drawings	1-27
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 02 November 2022		Date of mailing of the international search report 15 November 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.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/032329

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2009-169557 A	30 July 2009	US 2009/0182539 A1 CN 101493854 A KR 10-2009-0078303 A	
WO 2021/186551 A1	23 September 2021	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G06Q 10/0639(2023.01)i; G16Z 99/00(2019.01)i FI: G06Q10/06 332; G16Z99/00		
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）） G06Q10/00-99/00; G16Z99/00 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 1971-2022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		
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
X	渡邊 真也 SHINYA WATANABE, 単目的最適化問題における多目的化とその有効性 Multiobjective Approaches in Single Objective Optimization Environment, 情報 処理学会論文誌 第46巻 No. SIG17 (TOM13) IPSJ, 2005.12.19 (受 入日) 第4章, 図1-2	1,10,19
A		2-9,11-18,20-27
A	JP 2009-169557 A (富士通株式会社) 30.07.2009 (2009-07-30) 全文, 全図	1-27
A	WO 2021/186551 A1 (富士通株式会社) 23.09.2021 (2021-09-23) 全文, 全図	1-27
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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	02.11.2022	国際調査報告の発送日 15.11.2022
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） 毛利 太郎 5L 3990 電話番号 03-3581-1101 内線 3502	

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/JP2022/032329

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2009-169557 A	30.07.2009	US 2009/0182539 A1 CN 101493854 A KR 10-2009-0078303 A	
WO 2021/186551 A1	23.09.2021	(ファミリーなし)	