

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年1月6日(06.01.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/003943 A1

(51) 国際特許分類:
G06N 99/00 (2019.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/026164

(22) 国際出願日: 2020年7月3日(03.07.2020)

(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).

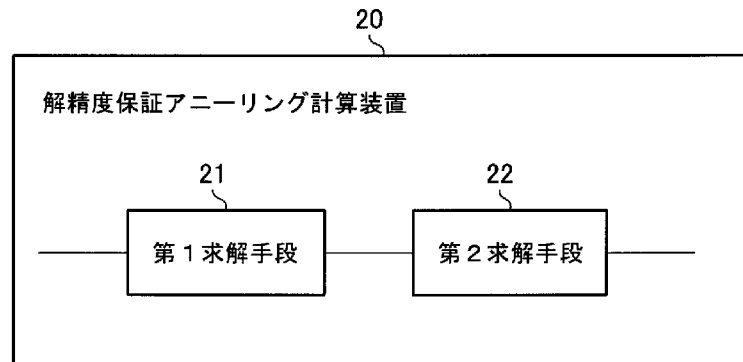
(72) 発明者: 井上 浩明(INOUE Hiroaki); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 荒木 拓也(ARAKI Takuya);

〒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). 鈴木 基己(SUZUKI Motoi); 〒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). 小林 悠記(KOBAYASHI Yuki); 〒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). 千嶋 博(CHISHIMA Hiroshi); 〒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). 矢田部 彰宏(YATABE Akihiro); 〒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). 西村 考弘(NISHIMURA Takahiro);

(54) Title: SOLUTION ACCURACY GUARANTEEING ANNEALING CALCULATION DEVICE, METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 解精度保証アニーリング計算装置、方法及びプログラム

[図11]



20 Solution accuracy guaranteeing annealing calculation device

21 First solving means

22 Second solving means

(57) Abstract: A solution accuracy guaranteeing annealing calculation device 20 comprises a first solving means 21 that solves a combinatorial optimization problem with an annealing method and a second solving means 22 that solves a relaxation problem which is a problem generated by relaxing a constraint condition imposed on the combinatorial optimization problem, wherein the second solving means 22 calculates a lower bound of minimization in a minimization problem by solving the relaxation problem generated from the combinatorial optimization problem in the case where the combinatorial optimization problem is a minimization problem, and calculates an upper bound of maximization in a maximization problem by solving the relaxation problem generated from the combinatorial optimization problem in the case where the

[続葉有]

WO 2022/003943 A1

〒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:岩壁 冬樹, 外(IWAKABE Fuyuki et al.);
〒1040031 東京都中央区京橋二丁目8番7号 読売八重洲ビル6階 サンライズ国際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

combinatorial optimization problem is a maximization problem.

(57) 要約: 解精度保証アニーリング計算装置20は、組合せ最適化問題をアニーリング方式で求解する第1求解手段21と、組合せ最適化問題に課されている制約条件が緩和されることによって生成された問題である緩和問題を求解する第2求解手段22とを備え、第2求解手段22は、組合せ最適化問題が最小化問題である場合には組合せ最適化問題から生成された緩和問題を求解することによって最小化問題における最小化対象の下界を算出し、組合せ最適化問題が最大化問題である場合には組合せ最適化問題から生成された緩和問題を求解することによって最大化問題における最大化対象の上界を算出する。

明 細 書

発明の名称： 解精度保証アニーリング計算装置、方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、解精度保証アニーリング計算装置、解精度保証アニーリング計算方法および解精度保証アニーリング計算プログラムに関する。

背景技術

[0002] 量子アニーリングマシンの実用化を契機に、組合せ最適化問題に関する研究が再度注目されている。組合せ最適化問題は、最適となる組合せを求める問題である。組合せ最適化問題として、巡回セールスマン問題、ナップサック問題、グラフ分割問題等が挙げられる。

[0003] 組合せ最適化問題を求解する手段であるソルバとして、例えば、アニーリングマシンと、整数計画ソルバが挙げられる。アニーリングマシンは、適当な解の候補を初期状態とし、状態を何らかのルールで変化させて最終的に最適解の近傍に到達することによって、問題を求解するソルバである。

[0004] アニーリングマシンには、例えばシミュレーテッドアニーリングマシン、量子アニーリングマシン、およびヒューリスティクスアルゴリズムに基づいた非量子アニーリングマシンが含まれる。

[0005] また、特許文献 1 には、デジタル回路を用いてシミュレーテッドアニーリングを行うことで目的関数の値が最小となる変数の値の組合せを計算するイジングマシンを含む最適化問題計算システムが記載されている。

[0006] また、整数計画ソルバは、組合せ最適化問題を整数計画問題に定式化することによって組合せ最適化問題を求解するソルバである。特許文献 2 には、目標関数および所定の制約条件を用いた整数計画によってスケジュール表の作成を行う整数計画ソルバを含むスケジュール表作成装置が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2020-004387号公報

特許文献2：特開2013-030182号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] アニーリングマシンは、複雑な制約条件が課された組合せ最適化問題の求解に適している。しかし、アニーリングマシンが出力する組合せ最適化問題の解の精度は、一般的に保証されない。

[0009] 解の精度が保証されない原因は、アニーリングというアルゴリズム自身の特性にある。アニーリングは、複雑な問題に対する近似解法的一种であるため、精度を保証せずに可能な限り適切な解を求めようとする。

[0010] すなわち、アニーリングで組合せ最適化問題が求解された場合、殆どの問題に対しては適切な解が得られるが、複雑な問題に対しては精度の低い解が得られる可能性がある。特許文献1～2には、組合せ最適化問題の解の精度を保証する方法は記載されていない。

[0011] そこで、本発明は、組合せ最適化問題の解の精度を保証できる解精度保証アニーリング計算装置、解精度保証アニーリング計算方法および解精度保証アニーリング計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

[0012] 本発明による解精度保証アニーリング計算装置は、組合せ最適化問題をアニーリング方式で求解する第1求解手段と、組合せ最適化問題に課されている制約条件が緩和されることによって生成された問題である緩和問題を求解する第2求解手段とを備え、第2求解手段は、組合せ最適化問題が最小化問題である場合には組合せ最適化問題から生成された緩和問題を求解することによって最小化問題における最小化対象の下界を算出し、組合せ最適化問題が最大化問題である場合には組合せ最適化問題から生成された緩和問題を求

解することによって最大化問題における最大化対象の上界を算出することを特徴とする。

[0013] 本発明による解精度保証アニーリング計算方法は、組合せ最適化問題をアニーリング方式で求解し、組合せ最適化問題に課されている制約条件が緩和されることによって生成された問題である緩和問題を求解し、組合せ最適化問題が最小化問題である場合には組合せ最適化問題から生成された緩和問題を求解することによって最小化問題における最小化対象の下界を算出し、組合せ最適化問題が最大化問題である場合には組合せ最適化問題から生成された緩和問題を求解することによって最大化問題における最大化対象の上界を算出することを特徴とする。

[0014] 本発明による解精度保証アニーリング計算プログラムは、コンピュータに、組合せ最適化問題をアニーリング方式で求解する第1求解処理、および組合せ最適化問題に課されている制約条件が緩和されることによって生成された問題である緩和問題を求解する第2求解処理を実行させるための解精度保証アニーリング計算プログラムであって、第2求解処理で、組合せ最適化問題が最小化問題である場合には組合せ最適化問題から生成された緩和問題を求解することによって最小化問題における最小化対象の下界を算出させ、組合せ最適化問題が最大化問題である場合には組合せ最適化問題から生成された緩和問題を求解することによって最大化問題における最大化対象の上界を算出させることを特徴とする。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、組合せ最適化問題の解の精度を保証できる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の実施形態の解精度保証アニーリング計算装置の構成例を示すブロック図である。

[図2]最小化問題である組合せ最適化問題の最小値、最適値、および下界の大小関係を示す説明図である。

[図3]最大化問題である組合せ最適化問題の最大値、最適値、および上界の大小関係を示す説明図である。

小関係を示す説明図である。

[図4]処理制御手段120が組合せ最適化問題を分割する例を示す説明図である。

[図5]第1処理手段130および第2処理手段140が第1部分問題を求解する例を示す説明図である。

[図6]第1処理手段130および第2処理手段140が第2部分問題を求解する例を示す説明図である。

[図7]第1処理手段130および第2処理手段140が第2部分問題を求解する他の例を示す説明図である。

[図8]本実施形態の解精度保証アニーリング計算装置100による最小化問題求解処理の動作を示すフローチャートである。

[図9]本実施形態の解精度保証アニーリング計算装置100による最大化問題求解処理の動作を示すフローチャートである。

[図10]本発明による解精度保証アニーリング計算装置100のハードウェア構成例を示す説明図である。

[図11]本発明による解精度保証アニーリング計算装置の概要を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0017] [構成の説明]

以下、本発明の実施形態を図面を参照して説明する。図1は、本発明の実施形態の解精度保証アニーリング計算装置の構成例を示すブロック図である。

[0018] 図1に示すように、解精度保証アニーリング計算装置100は、インタフェース110と、処理制御手段120と、第1処理手段130と、第2処理手段140とを備える。

[0019] なお、ブロック図に記載されている単方向の矢印は、データ（情報）が流れる方向を示す。しかし、各矢印が記載されている箇所において双方向にデータが流れる可能性は排除されていない。

- [0020] 本実施形態の解精度保証アニーリング計算装置 100 は、アニーリングマシンと整数計画ソルバを組合せて組合せ最適化問題を求解することによって、複雑な制約条件が課された組合せ最適化問題の解を得るだけでなく、解の精度も保証することを目的とする装置である。
- [0021] 上述した整数計画ソルバは、加法性が満たされるような簡単（線形）な制約条件が課された組合せ最適化問題の求解にしか適していない。しかし、整数計画ソルバは、精度が保証された組合せ最適化問題の解を出力できる。解の精度が保証される理由は、線形であるという簡単な制約条件の下では、解の精度を保証できる整数計画ソルバのアルゴリズムが存在するためである。
- [0022] 上記の内容を踏まえると、アニーリングマシンと整数計画ソルバが組合せられて組合せ最適化問題が求解された場合、複雑な制約条件が課された組合せ最適化問題の解が得られるだけでなく、解の精度も保証されることが期待される。
- [0023] 解の精度が保証されると、例えば組合せ最適化問題の求解を依頼したユーザが、得られた解の有効性を判断できる。なお、ユーザは、例えば巡回セールスマン問題をアニーリングマシンで求解することを希望する社内の担当者である。
- [0024] 図 1 に示すように、インタフェース 110 には、組合せ最適化問題が入力される。組合せ最適化問題は、最小化問題と最大化問題のいずれかに分類される。
- [0025] 最小化問題は、与えられた制約条件の下で、任意の目的関数（最小化対象）を最小にする組合せを求める問題である。また、最大化問題は、与えられた制約条件の下で、任意の目的関数（最大化対象）を最大にする組合せを求める問題である。
- [0026] 本実施形態の組合せ最適化問題は、例えば、イジングモデル形式で記述される。イジングモデルは、個々のスピンによって磁性体の振る舞いを表す統計力学上のモデルである。イジングモデルでは、個々のスピンの状態は、“1” または “-1” で表される。

[0027] 組合せ最適化問題がイジングモデル形式で表される場合、最初に組合せ最適化問題におけるエネルギーを表す式が作成される。次いで、組合せ最適化問題におけるエネルギーを表す式が、イジングモデルにおけるエネルギー関数に変換される。なお、イジングモデルにおけるエネルギー関数への変換方法は、公知である。イジングモデルにおけるエネルギー関数は、以下の式（１）のように表される。

[0028] [数1]

$$H_{Ising} = -\sum_{ij} J_{ij} s_i s_j - \sum_i h_i s_i \quad \cdots \text{式 (1)}$$

[0029] なお、式（１）における i 、 j は、いずれもスピンを表す変数である。また、式（１）における s_i は、スピン i の状態を表す変数であり、 s_j は、スピン j の状態を表す変数である。

[0030] また、式（１）における h_i は、スピン i に対応する定数である。 i の取り得る値毎に、 h_i は定数として定められる。また、式（１）における J_{ij} は、スピン i およびスピン j の組合せに対応する定数である。 i の取り得る値と j の取り得る値の組合せ毎に、 J_{ij} は定数として定められる。

[0031] また、イジングモデルにおけるエネルギー関数は、QUBO(Quadratic Unconstrained Binary Optimization)のエネルギー関数であってもよい。QUBOは、個々のスピンの状態を“１”または“０”で表すモデルである。

[0032] すなわち、組合せ最適化問題におけるエネルギーを表す式は、QUBOにおけるエネルギー関数に変換可能である。この変換方法は、公知である。以下、組合せ最適化問題におけるエネルギーを表す式がQUBOにおけるエネルギー関数で表される場合、組合せ最適化問題がQUBO形式で記述されるという。

[0033] また、イジングモデルにおけるエネルギー関数と、QUBOにおけるエネルギー関数とは、相互に変換可能である。QUBOにおけるエネルギー関数は、以下の式（２）のように表される。

[0034]

[数2]

$$H_{QUBO} = \sum_{ij} Q_{ij} x_i x_j \quad (x = (s+1)/2) \quad \cdots \text{式 (2)}$$

[0035] なお、式（２）における i 、 j は、いずれもスピンを表す変数である。また、式（２）における x_i は、スピン i の状態を表す変数であり、 x_j は、スピン j の状態を表す変数である。また、式（２）における Q_{ij} は、スピン i およびスピン j の組合せに対応する定数である。 i の取り得る値と j の取り得る値の組合せ毎に、 Q_{ij} は定数として定められる。

[0036] なお、インタフェース 110 に入力される組合せ最適化問題は、イジングモデル形式、または QUBO 形式以外の形式（例えば、横磁場イジングモデル形式）で記述される問題でもよい。

[0037] 第 1 処理手段 130 は、複雑な制約条件が課された状態の組合せ最適化問題をアニーリング方式で求解する機能を有する。例えば、シミュレーテッドアニーリング方式で組合せ最適化問題を求解する場合、第 1 処理手段 130 は、上述したシミュレーテッドアニーリングマシンで実現される。シミュレーテッドアニーリングマシンで実現される第 1 処理手段 130 は、イジングモデル形式、または QUBO 形式で記述された組合せ最適化問題を求解できる。

[0038] 式（１）に示すエネルギー関数が与えられた場合、第 1 処理手段 130 は、組合せ最適化問題を求解するにあたって最適な個々のスピンの状態（１または－１）を求める。また、式（２）に示すエネルギー関数が与えられた場合、第 1 処理手段 130 は、組合せ最適化問題を求解するにあたって最適な個々のスピンの状態（１または 0）を求める。第 1 処理手段 130 により得られた最適な個々のスピンの状態は、組合せ最適化問題の解を表している。

[0039] また、量子アニーリング方式で組合せ最適化問題を求解する場合、第 1 処理手段 130 は、上述した量子アニーリングマシンで実現される。量子アニーリングマシンで実現される第 1 処理手段 130 は、横磁場イジングモデル形式で記述された組合せ最適化問題を求解できる。

[0040] なお、組合せ最適化問題が最小化問題である場合、最適な個々のスピンの

状態は、エネルギー関数が示すエネルギーができるだけ小さくなるような個々のスピンの状態である。また、組合せ最適化問題が最大化問題である場合、最適な個々のスピンの状態は、エネルギー関数が示すエネルギーができるだけ大きくなるような個々のスピンの状態である。

[0041] 図1に示すように、第1処理手段130は、組合せ最適化問題を入力とし、組合せ最適化問題の解と最小値または最大値とを出力とする。組合せ最適化問題が最小化問題である場合、第1処理手段130は、最小値を出力する。また、組合せ最適化問題が最大化問題である場合、第1処理手段130は、最大値を出力する。なお、組合せ最適化問題の解は、最小値または最大値が得られる変数の値の組合せである。

[0042] 第2処理手段140は、複雑な制約条件が緩和された組合せ最適化問題に対して、組合せ最適化問題が最小化問題である場合には最小化問題における最小化対象の下界を算出する機能を有する。また、第2処理手段140は、組合せ最適化問題が最大化問題である場合には最大化問題における最大化対象の上界を算出する機能を有する。

[0043] 以下、第2処理手段140により算出された下界を、単に「問題の下界」ともいう。また、第2処理手段140により算出された上界を、単に「問題の上界」ともいう。第2処理手段140は、例えば上述した整数計画ソルバで実現される。

[0044] また、処理制御手段120は、インタフェース110から入力された組合せ最適化問題を緩和する機能を有する。処理制御手段120は、組合せ最適化問題に課されている制約条件を緩和することによって、組合せ最適化問題から緩和問題を生成する。

[0045] 具体的には、処理制御手段120は、組合せ最適化問題を解きやすい問題に緩和するために、線形の制約条件を残して「全ての離散変数を連続変数に変更」、「一部の離散変数を連続変数に変更」、「一部の制約条件を削除」等の変換を行う。

[0046] 例えば、緩和された組合せ最適化問題の下界は、元の組合せ最適化問題に

真の解が代入された場合に得られる値以下になることが期待される。また、緩和された組合せ最適化問題の上界は、元の組合せ最適化問題に真の解が代入された場合に得られる値以上になることが期待される。処理制御手段 120 は、緩和された組合せ最適化問題を第 2 処理手段 140 に入力する。

[0047] 図 2 は、最小化問題である組合せ最適化問題の最小値、最適値、および下界の大小関係を示す説明図である。

[0048] 図 2 に示す星形で表された最適値は、最小化問題における真の解が最小化問題に代入された場合に得られる値である。最小化問題を解析的に解くことが困難である場合、最適値は不明である。

[0049] また、図 2 に示す円で表された最小値は、第 1 処理手段 130 により最小化問題から得られた解が最小化問題に代入された場合に得られる値である。また、図 2 に示す矩形で表された下界は、第 2 処理手段 140 により得られた最小化問題の下界である。

[0050] 一般的に、最小化問題である組合せ最適化問題における最小値、最適値、および下界の大小関係は、図 2 に示すような関係になる。よって、組合せ最適化問題の最小値と併せて下界が得られた場合、ユーザは、下界が得られない場合よりも第 1 処理手段 130 により得られた解と真の解との差異を大まかに把握できる。

[0051] 図 3 は、最大化問題である組合せ最適化問題の最大値、最適値、および上界の大小関係を示す説明図である。

[0052] 図 3 に示す星形で表された最適値は、最大化問題における真の解が最大化問題に代入された場合に得られる値である。最大化問題を解析的に解くことが困難である場合、最適値は不明である。

[0053] また、図 3 に示す円で表された最大値は、第 1 処理手段 130 により最大化問題から得られた解が最大化問題に代入された場合に得られる値である。また、図 3 に示す矩形で表された上界は、第 2 処理手段 140 により得られた最大化問題の上界である。

[0054] 一般的に、最大化問題である組合せ最適化問題における最大値、最適値、

および上界の大小関係は、図3に示すような関係になる。よって、組合せ最適化問題の最大値と併せて上界が得られた場合、ユーザは、上界が得られない場合よりも第1処理手段130により得られた解と真の解との差異を大まかに把握できる。

[0055] なお、処理制御手段120は、インタフェース110から入力された組合せ最適化問題を、第1処理手段130と第2処理手段140が効率よく求解できる規模の問題である複数の部分問題に分割してもよい。例えば、処理制御手段120は、いくつかの変数に具体的な値を代入することによって、部分問題を定義してもよい。

[0056] 図1に示すように、インタフェース110は、第1処理手段130が組合せ最適化問題を求解することによって算出した組合せ最適化問題の解を出力する。また、インタフェース110は、第1処理手段130が算出した最小化問題である組合せ最適化問題の解が代入された最小化対象の値、または第1処理手段130が算出した最大化問題である組合せ最適化問題の解が代入された最大化対象の値を出力する。

[0057] また、図1に示すように、インタフェース110は、第2処理手段140が算出した下界または上界を出力する。インタフェース110は、組合せ最適化問題が最小化問題である場合には最小化問題の下界を、組合せ最適化問題が最大化問題である場合には最大化問題の上界を、併せて出力する。

[0058] 以下、解精度保証アニーリング計算装置100が組合せ最適化問題を求解する例を、図4～7を参照して説明する。図4は、処理制御手段120が組合せ最適化問題を分割する例を示す説明図である。

[0059] 図4に示す最小化問題が、本例における求解対象の組合せ最適化問題である。図4に示す最小化問題における最小化対象の式は「 $x^2+8y^2+3z^2$ 」である。また、最小化問題に課された制約式は「 $(x+2y+3z)^2=9$ 」である。また、 x, y, z がそれぞれ取り得る値は「0」か「1」である。すなわち、本例における組合せ最適化問題は、QUBO形式で記述されている。

[0060] 本例では最初に、処理制御手段120が変数 x に具体的な値を代入するこ

とによって、2つの部分問題を定義する。図4に示すように、 x に「0」を代入することによって、処理制御手段120は、第1部分問題を定義する。

第1部分問題における最小化対象の式は、「 $8y^2+3z^2$ 」である。また、第1部分問題に課された制約式は、「 $(2y+3z)^2=9$ 」である。

[0061] また、図4に示すように、 x に「1」を代入することによって、処理制御手段120は、第2部分問題を定義する。第2部分問題における最小化対象の式は、「 $1+8y^2+3z^2$ 」である。また、第2部分問題に課された制約式は、「 $(1+2y+3z)^2=9$ 」である。

[0062] 図5は、第1処理手段130および第2処理手段140が第1部分問題を求解する例を示す説明図である。最初に、処理制御手段120は、第1部分問題を解きやすい問題に緩和するために、離散変数である y, z を、いずれも連続変数に変換する。

[0063] 次いで、第2処理手段140は、緩和された第1部分問題の下界を求める（図5に示すStep.1）。上記のように y, z がいずれも連続変数に変換された場合、第2処理手段140は、例えば微分を用いて下界を求めることができる。

[0064] 図5に示すStep.1では、第2処理手段140が下界として「1.5」を求めたとする。第1部分問題は求解された最初の問題であるため、求められた下界がそのまま暫定下界となる。

[0065] 次いで、第1処理手段130は、第1部分問題の解と最小値とを求める（図5に示すStep.2）。図5に示すStep.2では、第1処理手段130が解として $(x, y, z) = (0, 0, 1)$ 、最小値として「3」をそれぞれ求めたとする。第1部分問題は求解された最初の問題であるため、求められた解がそのまま暫定解、求められた最小値がそのまま暫定値となる。

[0066] 図6は、第1処理手段130および第2処理手段140が第2部分問題を求解する例を示す説明図である。最初に、処理制御手段120は、第2部分問題を解きやすい問題に緩和するために、離散変数である y, z を、いずれも連続変数に変換する。

[0067] 次いで、第2処理手段140は、緩和された第2部分問題の下界を求める（図6に示すStep.3）。図6に示すStep.3では、第2処理手段140が下界として「20」を求めたとする。

[0068] 図6に示すStep.3で求められた下界「20」は、暫定値「3」よりも大きい。すなわち、第1処理手段130が第2部分問題の最小値を求めても暫定値「3」より大きい値が求められることが予想される。よって、第2部分問題の解と最小値とを求める処理は無駄な処理になるため、第1処理手段130は、第2部分問題の解と最小値とを求める処理を中止する。

[0069] 図7は、第1処理手段130および第2処理手段140が第2部分問題を求解する他の例を示す説明図である。最初に、処理制御手段120は、第2部分問題を解きやすい問題に緩和するために、離散変数である y, z を、いずれも連続変数に変換する。

[0070] 次いで、第2処理手段140は、緩和された第2部分問題の下界を求める（図7に示すStep.3）。図7に示すStep.3では、第2処理手段140が下界として「2」を求めたとする。

[0071] 図7に示すStep.3で求められた下界「2」は、暫定値「3」よりも小さい。すなわち、第1処理手段130が第2部分問題の最小値を求めると、暫定値「3」より小さい値が求められる可能性があることが予想される。

[0072] 次いで、第1処理手段130は、第2部分問題の解と最小値とを求める（図7に示すStep.4）。図7に示すStep.4では、第1処理手段130が解として $(x, y, z) = (1, 1, 0)$ 、最小値として「9」をそれぞれ求めたとする。

[0073] 図7に示すStep.4で求められた最小値「9」は、暫定値「3」よりも大きい。すなわち、図7に示すStep.4で求められた解が最適な解でないため、第1処理手段130は、図7に示すStep.4で求められた解を採用しない。

[0074] 図7に示す処理が終了した段階で、暫定下界が「1.5」、暫定解が「 $(0, 0, 1)$ 」、暫定値が「3」である。よって、インタフェース110は、入力された最小化問題である組合せ最適化問題に対して、解「 $(0, 0, 1)$ 」、最小値「3」、下界「1.5」をそれぞれ出力する。

[0075] 以上のように、本実施形態の解精度保証アニーリング計算装置１００は、組合せ最適化問題をアニーリング方式で求解する第１処理手段１３０と、組合せ最適化問題に課されている制約条件が緩和されることによって生成された問題である緩和問題を求解する第２処理手段１４０とを備える。

[0076] 第２処理手段１４０は、組合せ最適化問題が最小化問題である場合には組合せ最適化問題から生成された緩和問題を求解することによって最小化問題における最小化対象の下界を算出する。また、第２処理手段１４０は、組合せ最適化問題が最大化問題である場合には組合せ最適化問題から生成された緩和問題を求解することによって最大化問題における最大化対象の上界を算出する。

[0077] [動作の説明]

以下、本実施形態の解精度保証アニーリング計算装置１００の動作を図８～９を参照して説明する。図８は、本実施形態の解精度保証アニーリング計算装置１００による最小化問題求解処理の動作を示すフローチャートである。なお、処理が開始される時点での暫定値、暫定解、および暫定下界にはいずれも値が設定されていない。

[0078] 最初に、解精度保証アニーリング計算装置１００のインタフェース１１０に、組合せ最適化問題として最小化問題が入力される（ステップＳ１０１）。

[0079] 次いで、処理制御手段１２０が、インタフェース１１０に入力された最小化問題を複数の部分問題に分割する（ステップＳ１０２）。なお、ステップＳ１０２の処理は、省略されてもよい。

[0080] 次いで、処理制御手段１２０が、未だ求解されていない部分問題が存在するか否かを確認する（ステップＳ１０３）。なお、ステップＳ１０２の処理が省略された場合、「部分問題」は「１つの最小化問題」になる（以下のステップにおいても同様）。

[0081] 求解されていない部分問題が存在する場合（ステップＳ１０３におけるYes）、処理制御手段１２０は、求解されていない部分問題を１つ選択する（ステップＳ１０４）。

- [0082] 次いで、処理制御手段 120 は、選択された部分問題を緩和し（ステップ S105）、緩和された部分問題を第 2 処理手段 140 に入力する。次いで、第 2 処理手段 140 は、緩和された部分問題を求解し、下界を出力する（ステップ S106）。
- [0083] 次いで、処理制御手段 120 は、出力された下界が暫定値よりも小さいか否かを確認する（ステップ S107）。下界が暫定値以上である場合（ステップ S107 における No）、処理制御手段 120 は、選択された部分問題の求解を終了し、ステップ S103 に戻る。
- [0084] 下界が暫定値よりも小さい場合（ステップ S107 における Yes）、処理制御手段 120 は、選択された部分問題を第 1 処理手段 130 に入力する。第 1 処理手段 130 は、選択された部分問題を求解し、部分問題の解と最小値を出力する（ステップ S108）。
- [0085] 次いで、処理制御手段 120 は、出力された最小値が暫定値よりも小さいか否かを確認する（ステップ S109）。最小値が暫定値以上である場合（ステップ S109 における No）、処理制御手段 120 は、ステップ S103 に戻る。
- [0086] 最小値が暫定値よりも小さい場合（ステップ S109 における Yes）、処理制御手段 120 は、ステップ S106 で出力された下界を暫定下界に、ステップ S108 で出力された解を暫定解に、最小値を暫定値にそれぞれ更新する（ステップ S110）。更新した後、処理制御手段 120 は、ステップ S103 に戻る。
- [0087] 求解されていない部分問題が存在しない場合（ステップ S103 における No）、インタフェース 110 は、暫定下界、暫定解、暫定値をそれぞれ最小化問題の下界、解、最小値として出力する（ステップ S111）。出力した後、解精度保証アニーリング計算装置 100 は、最小化問題求解処理を終了する。
- [0088] また、図 9 は、本実施形態の解精度保証アニーリング計算装置 100 による最大化問題求解処理の動作を示すフローチャートである。なお、処理が開始される時点での暫定値、暫定解、および暫定上界にはいずれも値が設定されていない。
- [0089] 最初に、解精度保証アニーリング計算装置 100 のインタフェース 110

に、組合せ最適化問題として最大化問題が入力される（ステップS201）。

[0090] 次いで、処理制御手段120が、インタフェース110に入力された最大化問題を複数の部分問題に分割する（ステップS202）。なお、ステップS202の処理は、省略されてもよい。

[0091] 次いで、処理制御手段120が、未だ求解されていない部分問題が存在するか否かを確認する（ステップS203）。なお、ステップS202の処理が省略された場合、「部分問題」は「1つの最大化問題」になる（以下のステップにおいても同様）。

[0092] 求解されていない部分問題が存在する場合（ステップS203におけるYes）、処理制御手段120は、求解されていない部分問題を1つ選択する（ステップS204）。

[0093] 次いで、処理制御手段120は、選択された部分問題を緩和し（ステップS205）、緩和された部分問題を第2処理手段140に入力する。次いで、第2処理手段140は、緩和された部分問題を求解し、上界を出力する（ステップS206）。

[0094] 次いで、処理制御手段120は、出力された上界が暫定値よりも大きいかな否かを確認する（ステップS207）。上界が暫定値以下である場合（ステップS207におけるNo）、処理制御手段120は、選択された部分問題の求解を終了し、ステップS203に戻る。

[0095] 上界が暫定値よりも大きい場合（ステップS207におけるYes）、処理制御手段120は、選択された部分問題を第1処理手段130に入力する。第1処理手段130は、選択された部分問題を求解し、部分問題の解と最大値を出力する（ステップS208）。

[0096] 次いで、処理制御手段120は、出力された最大値が暫定値よりも大きいかな否かを確認する（ステップS209）。最大値が暫定値以下である場合（ステップS209におけるNo）、処理制御手段120は、ステップS203に戻る。

[0097] 最大値が暫定値よりも大きい場合（ステップS209におけるYes）、処理制御手段120は、ステップS206で出力された上界を暫定上界に、ステップS20

8で出力された解を暫定解に、最大値を暫定値にそれぞれ更新する（ステップS210）。更新した後、処理制御手段120は、ステップS203に戻る。

[0098] 求解されていない部分問題が存在しない場合（ステップS203におけるNo）、インタフェース110は、暫定上界、暫定解、暫定値をそれぞれ最大化問題の上界、解、最大値として出力する（ステップS211）。出力した後、解精度保証アニーリング計算装置100は、最大化問題求解処理を終了する。

[0099] [効果の説明]

本実施形態の解精度保証アニーリング計算装置100は、複雑な制約条件が課された状態の組合せ最適化問題の解を求める第1処理手段130と、課された複雑な制約条件が緩和された状態の組合せ最適化問題の下界または上界を求める第2処理手段140とを含む。

[0100] 以上の構成により、解精度保証アニーリング計算装置100は、組合せ最適化問題が最小化問題である場合、最小化問題の下界と解を併せて出力できる。また、解精度保証アニーリング計算装置100は、組合せ最適化問題が最大化問題である場合、最大化問題の上界と解を併せて出力できる。

[0101] よって、組合せ最適化問題の求解を依頼したユーザは、下界または上界が得られない場合に比べて、得られた解と真の解との差異を大まかに把握できる。すなわち、解精度保証アニーリング計算装置100は、出力する組合せ最適化問題の解の精度を保証できる。

[0102] 以下、本実施形態の解精度保証アニーリング計算装置100のハードウェア構成の具体例を説明する。図10は、本発明による解精度保証アニーリング計算装置100のハードウェア構成例を示す説明図である。

[0103] 図10に示す解精度保証アニーリング計算装置100は、CPU（Central Processing Unit）11と、主記憶部12と、通信部13と、補助記憶部14とを備える。また、ユーザが操作するための入力部15や、ユーザに処理結果または処理内容の経過を提示するための出力部16を備える。

[0104] 解精度保証アニーリング計算装置100は、図10に示すCPU11が各構成要素が有する機能を提供するプログラムを実行することによって、ソフ

トウェアにより実現される。

[0105] すなわち、CPU 11が補助記憶部14に格納されているプログラムを、主記憶部12にロードして実行し、解精度保証アニーリング計算装置100の動作を制御することによって、各機能がソフトウェアにより実現される。

[0106] なお、図10に示す解精度保証アニーリング計算装置100は、CPU 11の代わりにDSP (Digital Signal Processor) を備えてもよい。または、図10に示す解精度保証アニーリング計算装置100は、CPU 11とDSPとを併せて備えてもよい。

[0107] 主記憶部12は、データの作業領域やデータの一時退避領域として用いられる。主記憶部12は、例えばRAM (Random Access Memory) である。

[0108] 通信部13は、有線のネットワークまたは無線のネットワーク（情報通信ネットワーク）を介して、周辺機器との間でデータを入力および出力する機能を有する。

[0109] 補助記憶部14は、一時的でない有形の記憶媒体である。一時的でない有形の記憶媒体として、例えば磁気ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM (Compact Disk Read Only Memory)、DVD-ROM (Digital Versatile Disk Read Only Memory)、半導体メモリが挙げられる。

[0110] 入力部15は、データや処理命令を入力する機能を有する。また、出力部16は、データを出力する機能を有する。本実施形態のインタフェース110は、入力部15および出力部16により実現される。

[0111] また、図10に示すように、解精度保証アニーリング計算装置100において、各構成要素は、システムバス17に接続されている。

[0112] 補助記憶部14は、本実施形態の解精度保証アニーリング計算装置100において、処理制御手段120、第1処理手段130、および第2処理手段140を実現するためのプログラムを記憶している。

[0113] なお、解精度保証アニーリング計算装置100は、例えば内部に図1に示すような機能を実現するLSI (Large Scale Integration) 等のハードウェア部品が含まれる回路が実装されてもよい。

[0114] また、解精度保証アニーリング計算装置 100 は、CPU 等の素子を用いるコンピュータ機能を含まないハードウェアにより実現されてもよい。例えば、各構成要素の一部または全部は、汎用の回路 (circuitry) または専用の回路、プロセッサ等やこれらの組み合わせによって実現されてもよい。これらは、単一のチップ (例えば、上記の LSI) によって構成されてもよいし、バスを介して接続される複数のチップによって構成されてもよい。各構成要素の一部または全部は、上述した回路等とプログラムとの組み合わせによって実現されてもよい。

[0115] また、解精度保証アニーリング計算装置 100 の第 1 処理手段 130 は、組合せ最適化問題をアニーリング方式で求解する光デバイスや量子デバイスにより実現されてもよい。

[0116] 各構成要素の一部または全部が複数の情報処理装置や回路等により実現される場合には、複数の情報処理装置や回路等は集中配置されてもよいし、分散配置されてもよい。例えば、情報処理装置や回路等は、クライアントアンドサーバシステム、クラウドコンピューティングシステム等、各々が通信ネットワークを介して接続される形態として実現されてもよい。

[0117] 次に、本発明の概要を説明する。図 11 は、本発明による解精度保証アニーリング計算装置の概要を示すブロック図である。本発明による解精度保証アニーリング計算装置 20 は、組合せ最適化問題をアニーリング方式で求解する第 1 求解手段 21 (例えば、第 1 処理手段 130) と、組合せ最適化問題に課されている制約条件が緩和されることによって生成された問題である緩和問題を求解する第 2 求解手段 22 (例えば、第 2 処理手段 140) とを備え、第 2 求解手段 22 は、組合せ最適化問題が最小化問題である場合には組合せ最適化問題から生成された緩和問題を求解することによって最小化問題における最小化対象の下界を算出し、組合せ最適化問題が最大化問題である場合には組合せ最適化問題から生成された緩和問題を求解することによって最大化問題における最大化対象の上界を算出する。

[0118] そのような構成により、解精度保証アニーリング計算装置は、組合せ最適

化問題の解の精度を保証できる。

[0119] また、解精度保証アニーリング計算装置 20 は、組合せ最適化問題から緩和問題を生成する生成手段（例えば、処理制御手段 120）を備えてもよい。

[0120] そのような構成により、解精度保証アニーリング計算装置は、緩和問題を生成できる。

[0121] また、生成手段は、第 1 求解手段 21 が組合せ最適化問題を求解することによって算出した組合せ最適化問題の解、および第 2 求解手段 22 が算出した下界または上界を出力してもよい。

[0122] また、生成手段は、第 1 求解手段 21 が算出した最小化問題である組合せ最適化問題の解が代入された最小化対象の値、または第 1 求解手段 21 が算出した最大化問題である組合せ最適化問題の解が代入された最大化対象の値を出力してもよい。

[0123] そのような構成により、解精度保証アニーリング計算装置は、組合せ最適化問題の解、最小値または最大値、下界または上界を出力できる。

[0124] また、組合せ最適化問題は、イジングモデル形式で記述された問題でもよい。

[0125] そのような構成により、解精度保証アニーリング計算装置は、解が “1” と “-1” の組合せである組合せ最適化問題を求解できる。

[0126] また、組合せ最適化問題は、QUBO 形式で記述された問題でもよい。

[0127] そのような構成により、解精度保証アニーリング計算装置は、解が “1” と “0” の組合せである組合せ最適化問題を求解できる。

[0128] また、アニーリング方式は、シミュレーテッドアニーリング方式でもよい。

[0129] そのような構成により、解精度保証アニーリング計算装置は、シミュレーテッドアニーリングマシンを用いて組合せ最適化問題を求解できる。

[0130] また、組合せ最適化問題は、横磁場イジングモデル形式で記述された問題でもよい。また、アニーリング方式は、量子アニーリング方式でもよい。

[0131] そのような構成により、解精度保証アニーリング計算装置は、量子アニーリングマシンを用いて組合せ最適化問題を求解できる。

符号の説明

- [0132] 1 1 CPU
1 2 主記憶部
1 3 通信部
1 4 補助記憶部
1 5 入力部
1 6 出力部
1 7 システムバス
2 0、1 0 0 解精度保証アニーリング計算装置
2 1 第1 求解手段
2 2 第2 求解手段
1 1 0 インタフェース
1 2 0 処理制御手段
1 3 0 第1 処理手段
1 4 0 第2 処理手段

請求の範囲

- [請求項1] 組合せ最適化問題をアニーリング方式で求解する第1求解手段と、
 前記組合せ最適化問題に課されている制約条件が緩和されることによ
 って生成された問題である緩和問題を求解する第2求解手段とを備
 え、
 前記第2求解手段は、
 前記組合せ最適化問題が最小化問題である場合には前記組合せ最適
 化問題から生成された前記緩和問題を求解することによって前記最小
 化問題における最小化対象の下界を算出し、
 前記組合せ最適化問題が最大化問題である場合には前記組合せ最適
 化問題から生成された前記緩和問題を求解することによって前記最大
 化問題における最大化対象の上界を算出する
 ことを特徴とする解精度保証アニーリング計算装置。
- [請求項2] 組合せ最適化問題から緩和問題を生成する生成手段を備える
 請求項1記載の解精度保証アニーリング計算装置。
- [請求項3] 生成手段は、第1求解手段が組合せ最適化問題を求解することによ
 って算出した前記組合せ最適化問題の解、および第2求解手段が算出
 した下界または上界を出力する
 請求項2記載の解精度保証アニーリング計算装置。
- [請求項4] 生成手段は、第1求解手段が算出した最小化問題である組合せ最適
 化問題の解が代入された最小化対象の値、または前記第1求解手段が
 算出した最大化問題である組合せ最適化問題の解が代入された最大化
 対象の値を出力する
 請求項3記載の解精度保証アニーリング計算装置。
- [請求項5] 組合せ最適化問題は、イジングモデル形式で記述された問題である
 請求項1から請求項4のうちのいずれか1項に記載の解精度保証ア
 ニーリング計算装置。
- [請求項6] 組合せ最適化問題は、QUBO(Quadratic Unconstrained Binary Opti

mization)形式で記述された問題である

請求項1から請求項4のうちのいずれか1項に記載の解精度保証アニーリング計算装置。

[請求項7] アニーリング方式は、シミュレーテッドアニーリング方式である
請求項5または請求項6に記載の解精度保証アニーリング計算装置。

[請求項8] 組合せ最適化問題は、横磁場イジングモデル形式で記述された問題であり、

アニーリング方式は、量子アニーリング方式である

請求項1から請求項4のうちのいずれか1項に記載の解精度保証アニーリング計算装置。

[請求項9] 組合せ最適化問題をアニーリング方式で求解し、

前記組合せ最適化問題に課されている制約条件が緩和されることによって生成された問題である緩和問題を求解し、

前記組合せ最適化問題が最小化問題である場合には前記組合せ最適化問題から生成された前記緩和問題を求解することによって前記最小化問題における最小化対象の下界を算出し、

前記組合せ最適化問題が最大化問題である場合には前記組合せ最適化問題から生成された前記緩和問題を求解することによって前記最大化問題における最大化対象の上界を算出する

ことを特徴とする解精度保証アニーリング計算方法。

[請求項10] コンピュータに、

組合せ最適化問題をアニーリング方式で求解する第1求解処理、および

前記組合せ最適化問題に課されている制約条件が緩和されることによって生成された問題である緩和問題を求解する第2求解処理を実行させるための解精度保証アニーリング計算プログラムであって、

前記第2求解処理で、

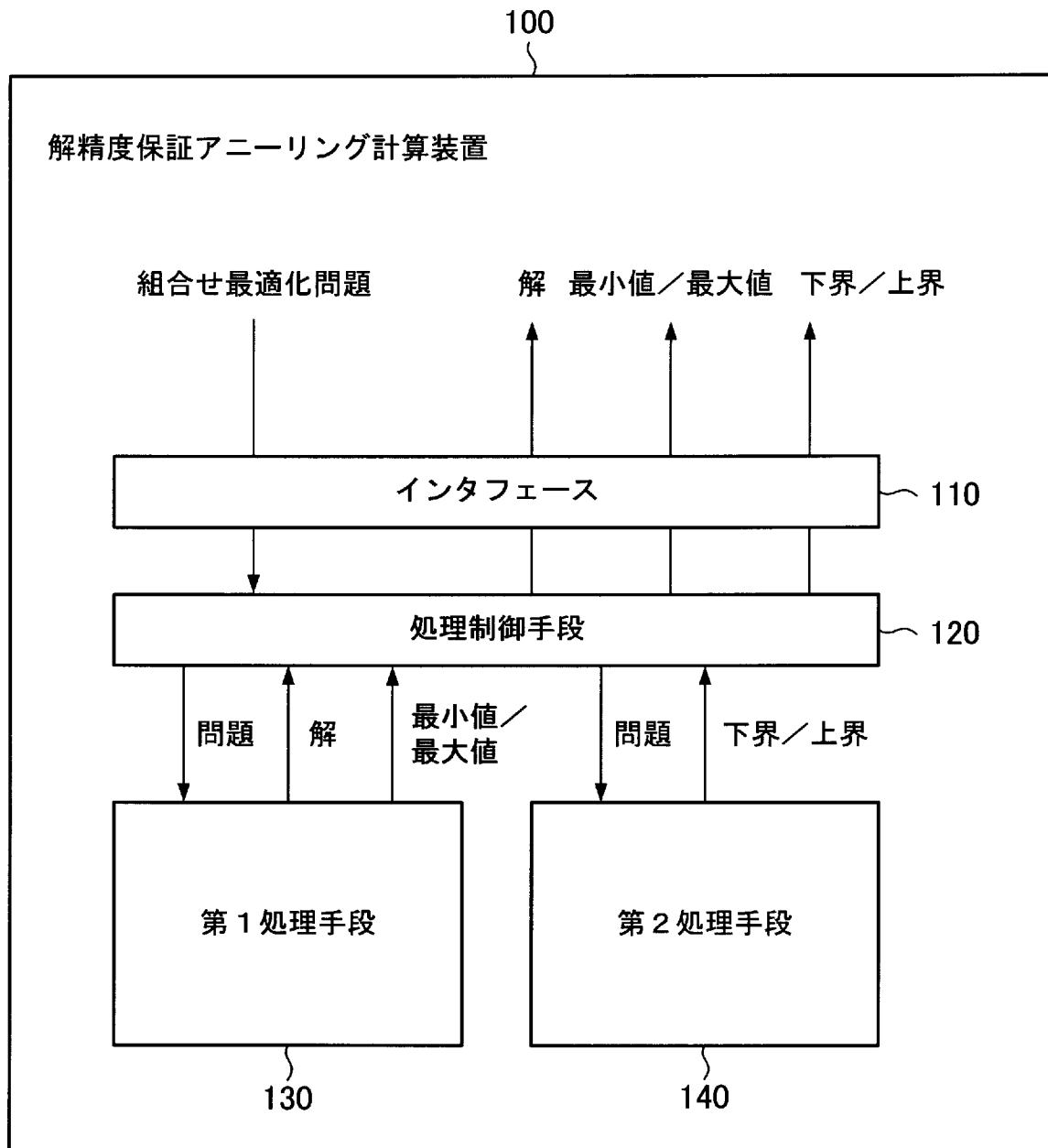
前記組合せ最適化問題が最小化問題である場合には前記組合せ最適

化問題から生成された前記緩和問題を求解することによって前記最小化問題における最小化対象の下界を算出させ、

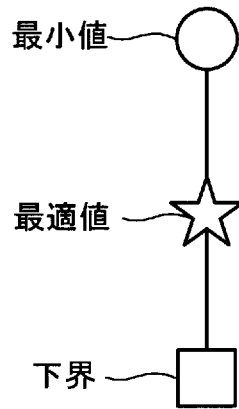
前記組合せ最適化問題が最大化問題である場合には前記組合せ最適化問題から生成された前記緩和問題を求解することによって前記最大化問題における最大化対象の上界を算出させる

解精度保証アニーリング計算プログラム。

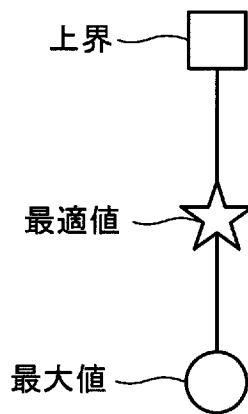
[図1]



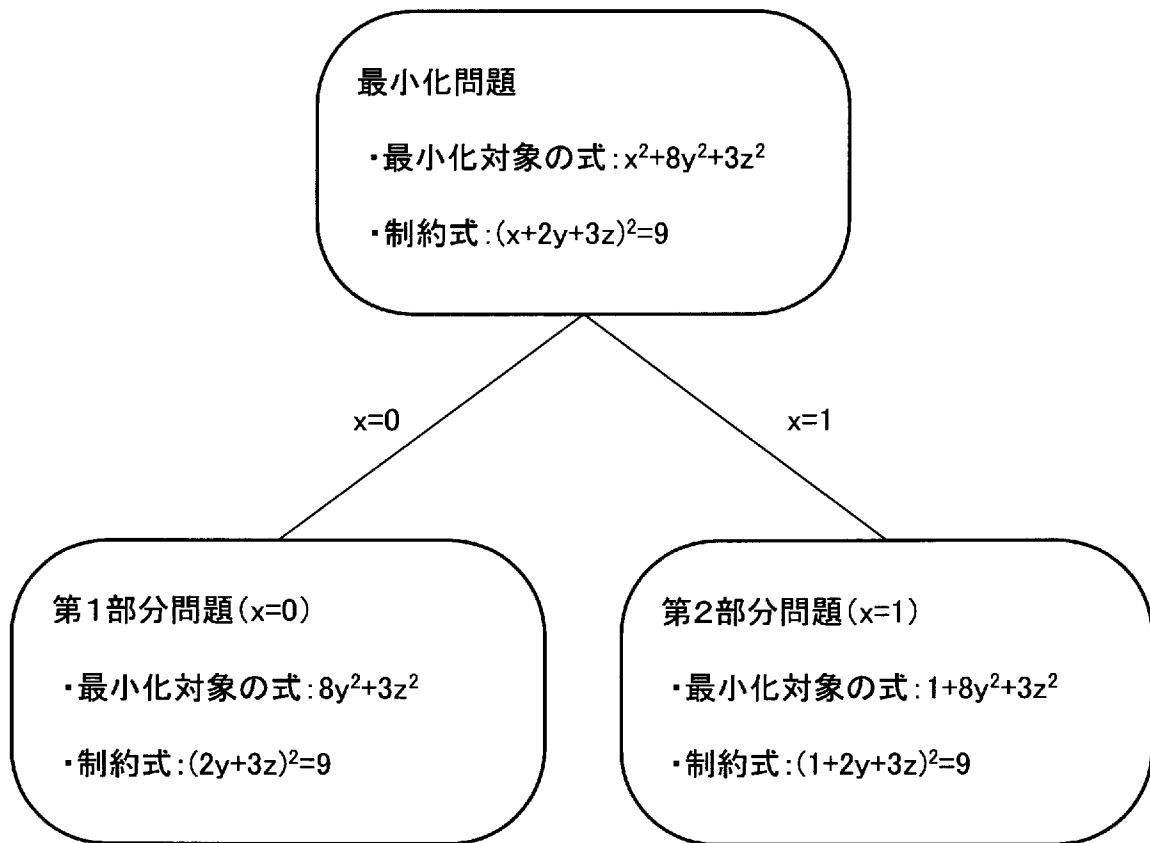
[図2]



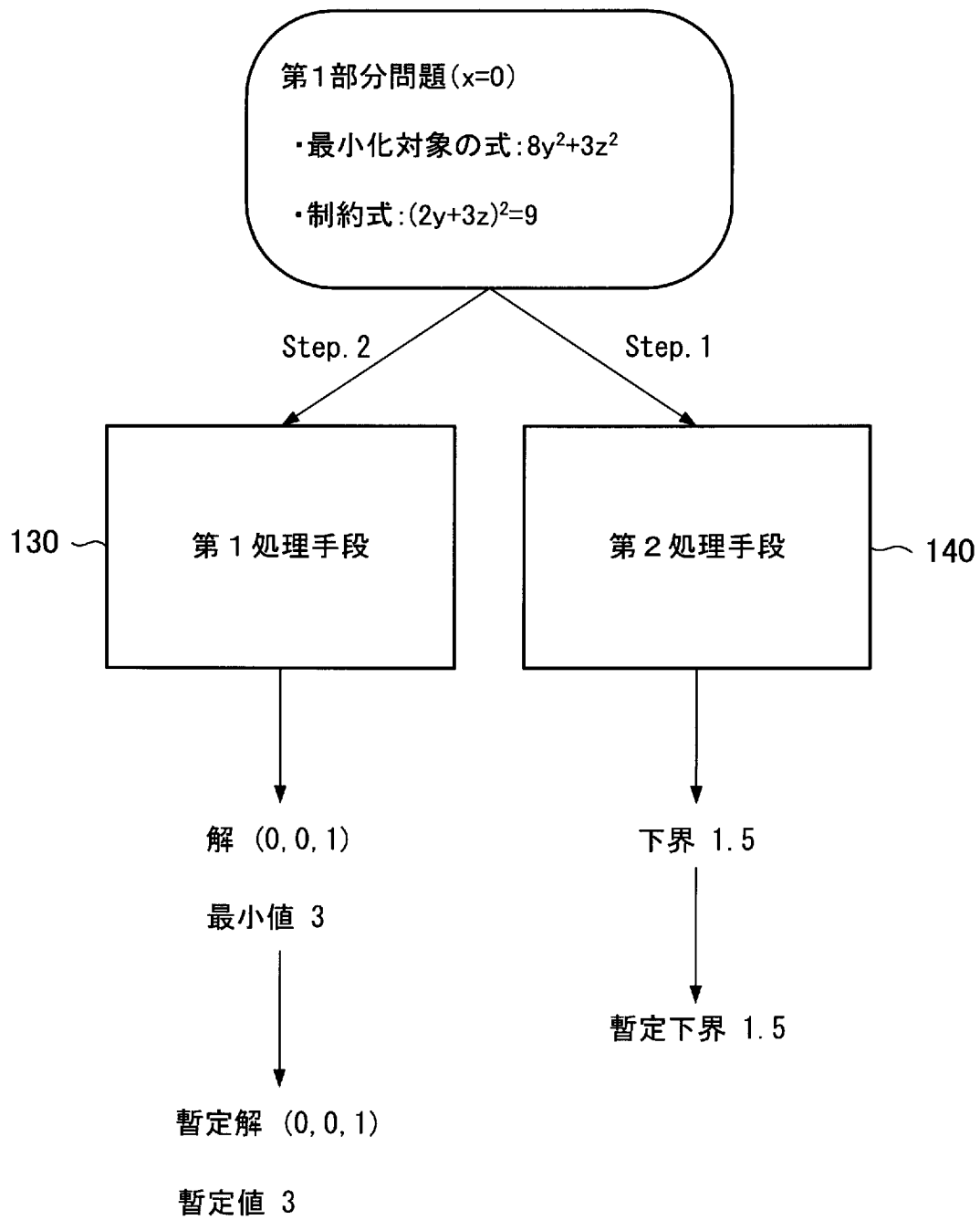
[図3]



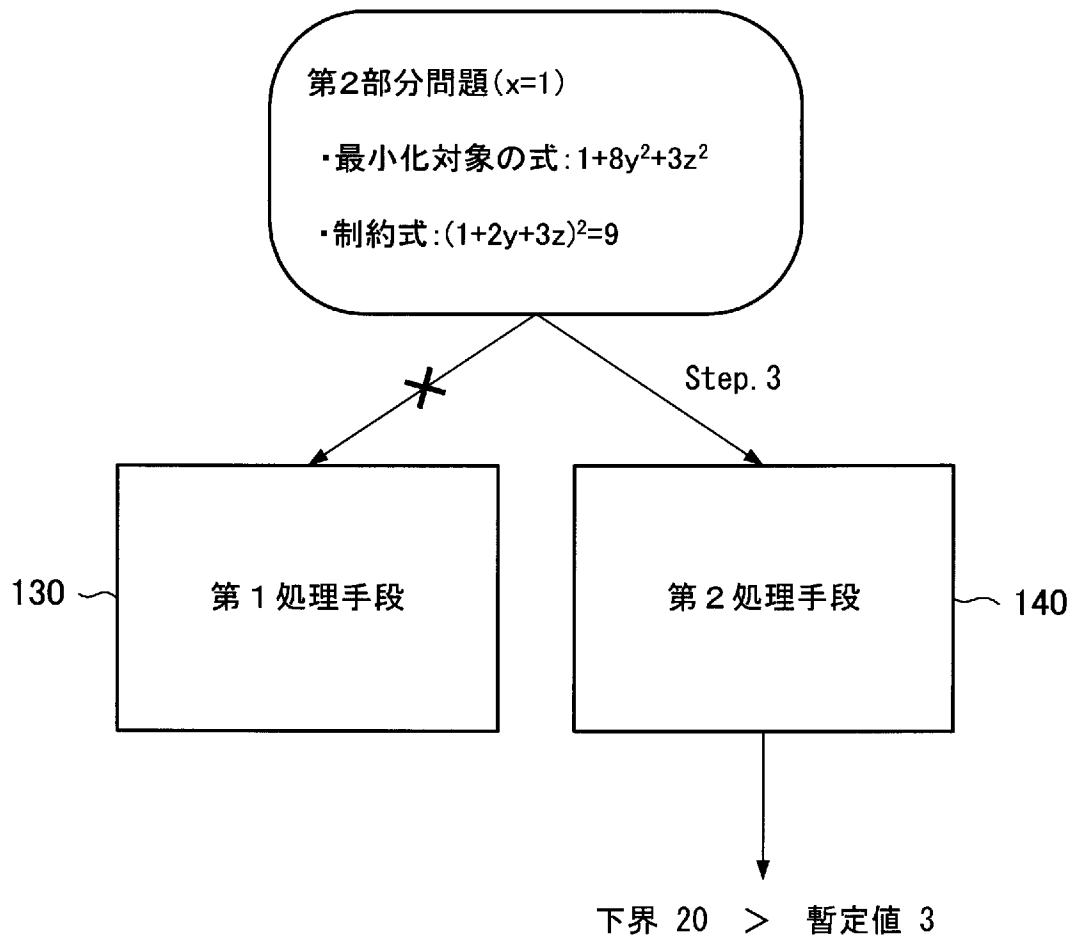
[図4]



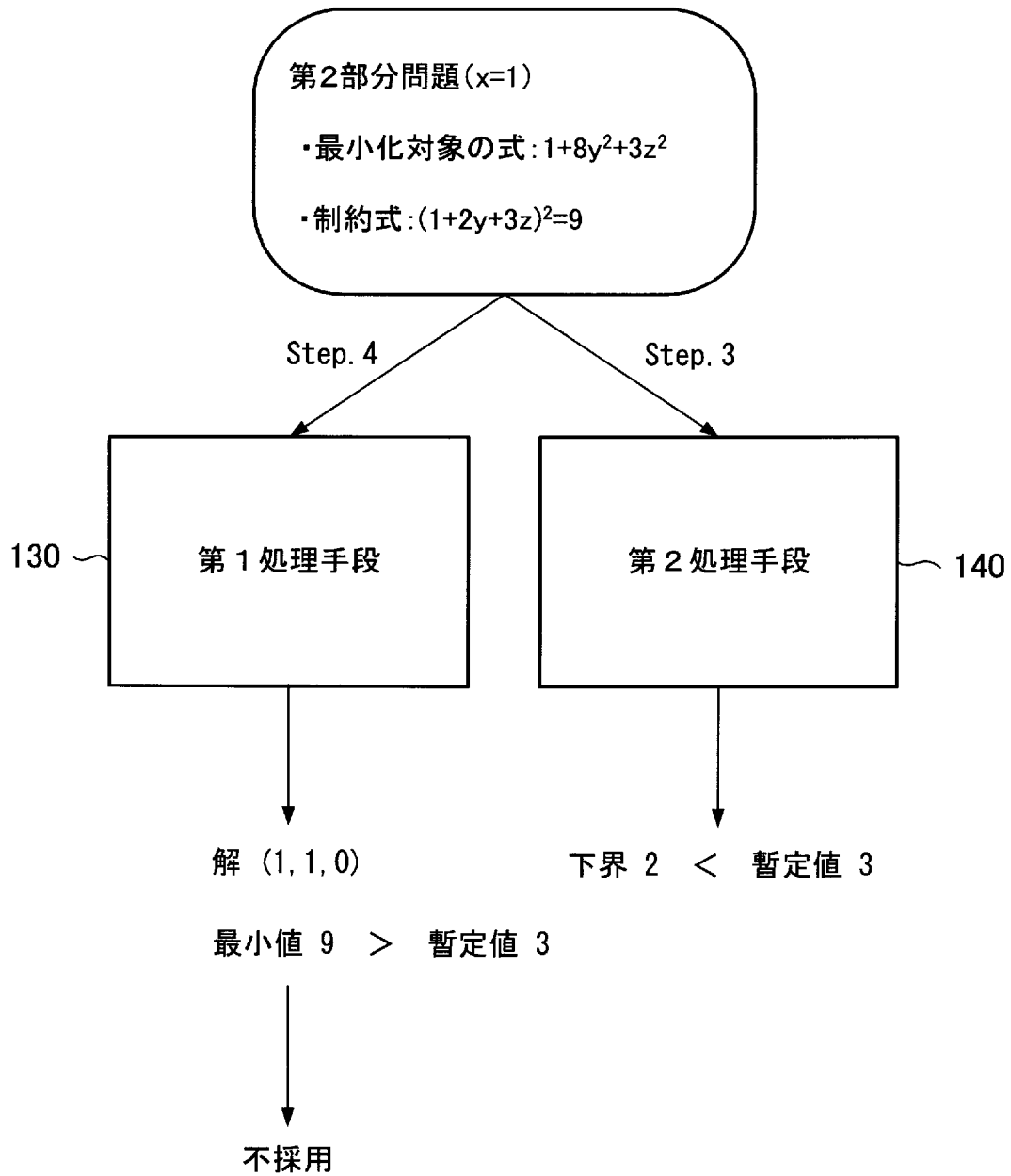
[図5]



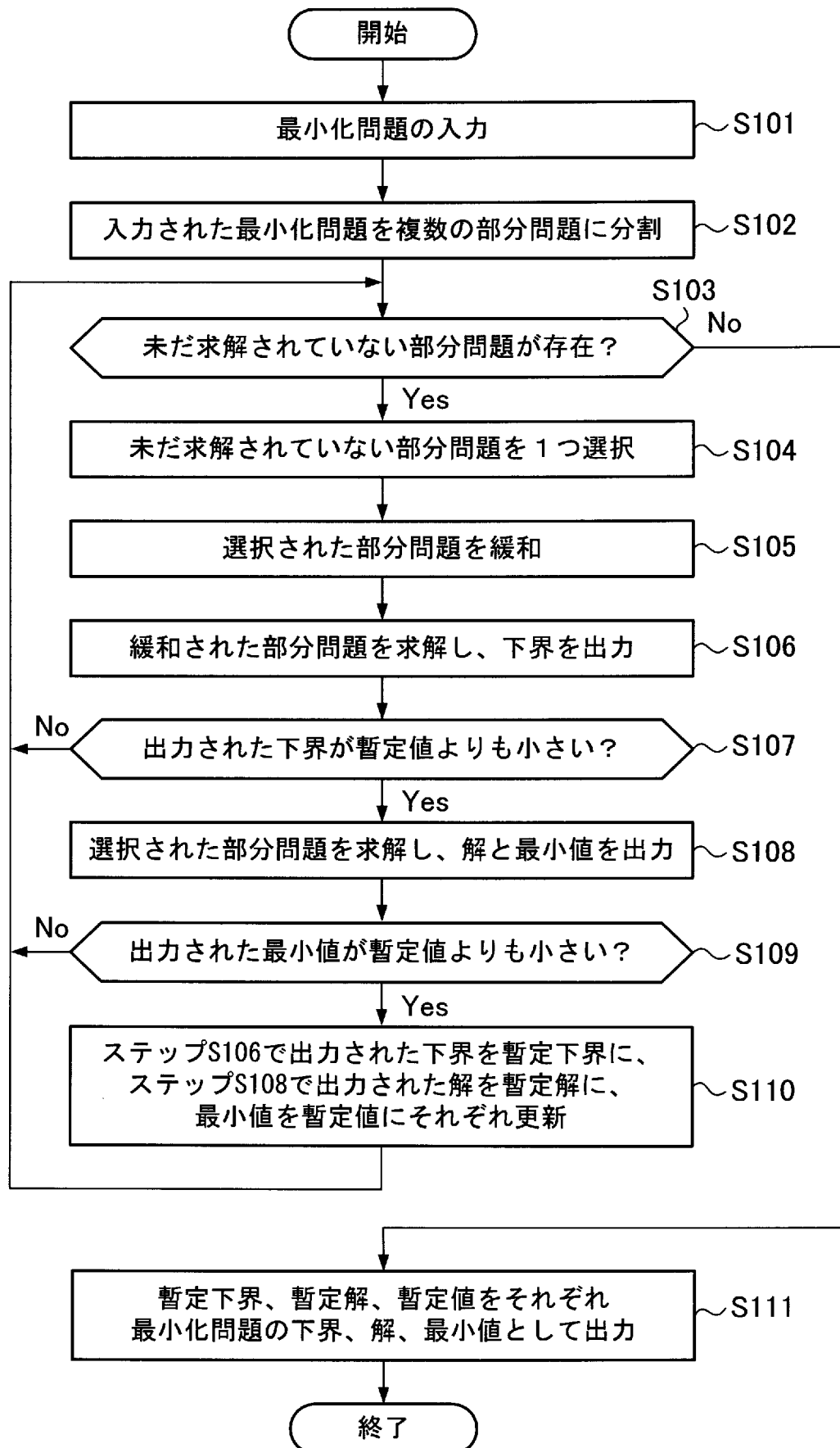
[図6]



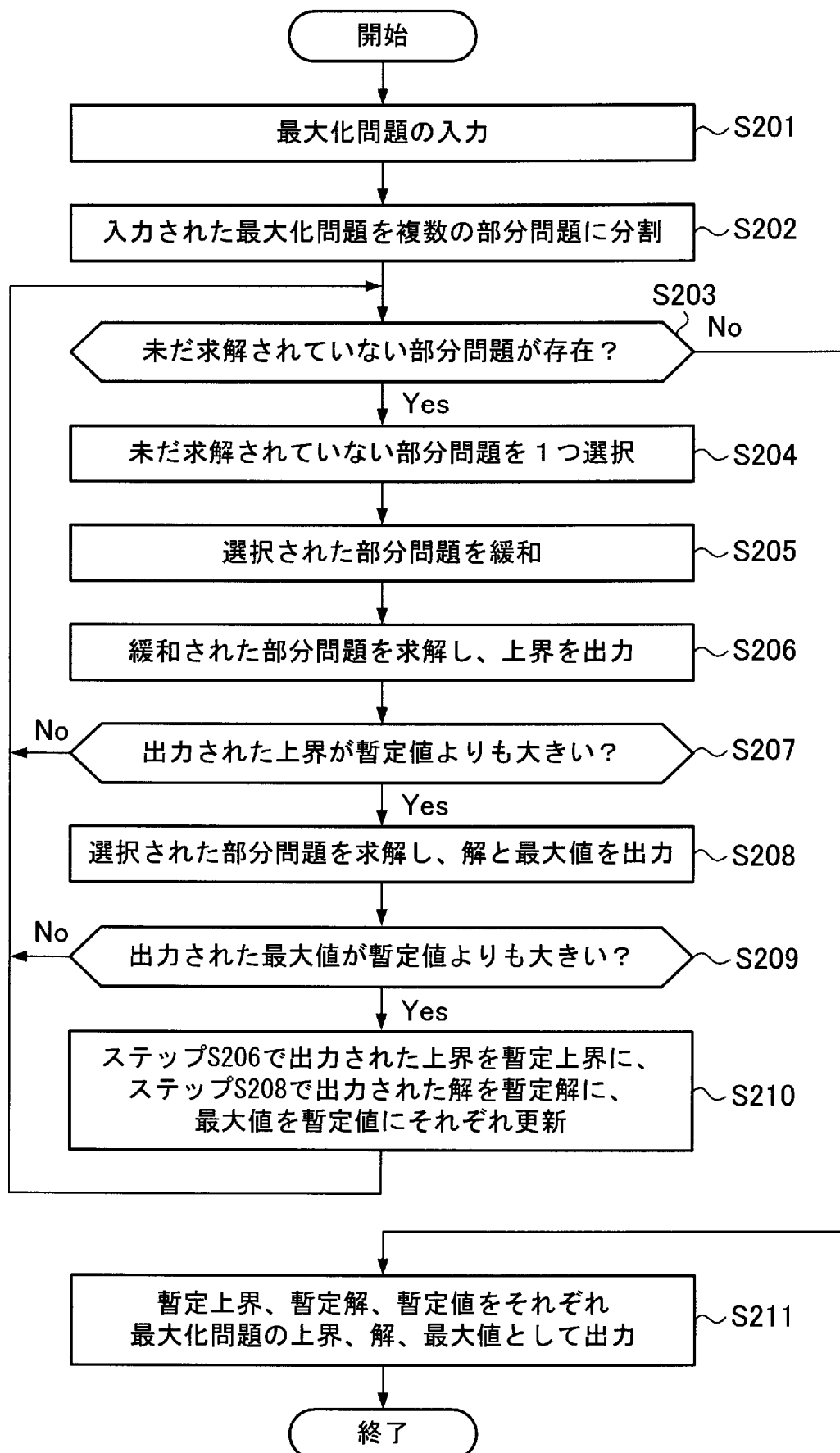
[図7]



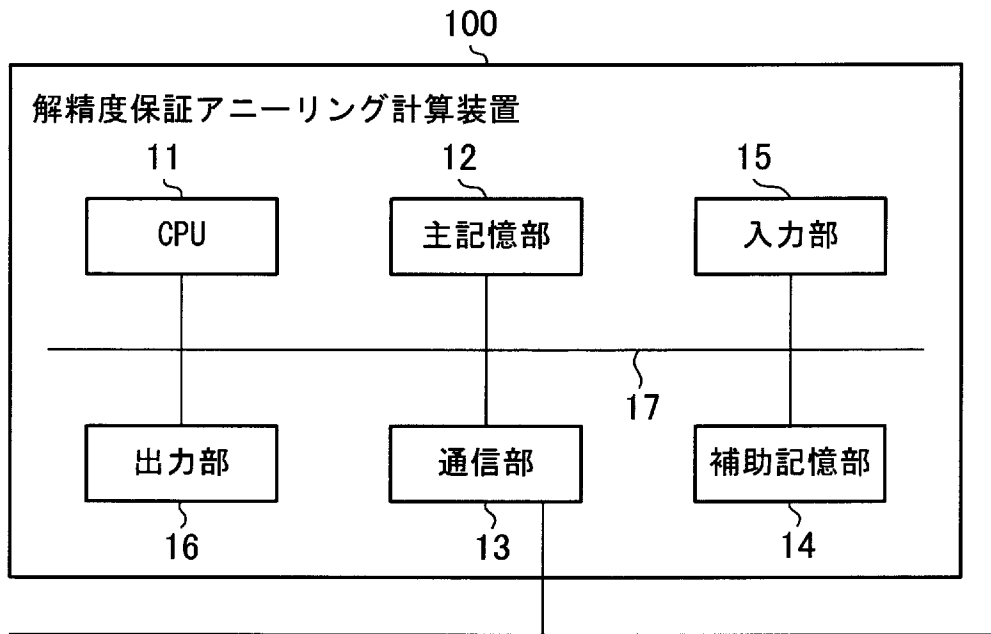
[図8]



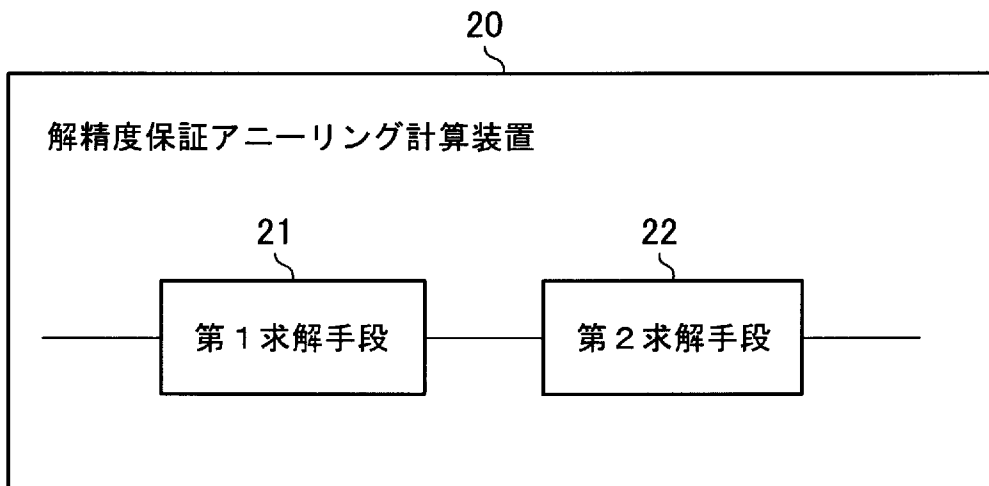
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/026164

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G06N99/00 (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)

Int. Cl. G06N3/00-99/00

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 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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	陳明哲ほか. 施設配置を考慮したネットワークデザイン問題に対するラグランジュ緩和法. 日本経営工学会論文誌. 15 December 2005, vol. 56, no. 5, pp. 331-338 ISSN: 1342-2618, in particular, pp. 331, 332, (CHEN, Ming Zhe et al. A Lagrange Relaxation Method for the Network Design Problem Considering Facility Location. Journal of Japan Industrial Management Association.)	1-10
Y	久野誉人ほか. IT Text 数理最適化. First Edition, First Printing, Tokyo: Ohmsha, Ltd., 25 August 2012, pp. 193-207, ISBN: 978-4-274-21244-4, in particular, pp. 200-202, non-official translation (KUNO, Takahito et al. IT Text: Mathematical Optimization.)	1-10



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

08.09.2020

Date of mailing of the international search report

24.09.2020

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/026164

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2020-4387 A (FUJITSU LTD.) 09 January 2020, paragraphs [0002], [0003]	5-7
Y	JP 2017-73106 A (TOSHIBA CORP.) 13 April 2017, paragraphs [0002], [0003]	5-7
Y	中田敦. NASA, Google の秘密兵器 驚愕の量子コンピュータ. 日経コンピュータ. 17 April 2014, no. 858, pp. 024-037, ISSN: 0285-4619, in particular, pp. 034, 035, non-official translation (NAKATA, Atsuhiko. NASA and Google's Secret Weapon: The Amazing Quantum Computer. Nikkei Computer.)	8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/026164

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2020-4387 A	09.01.2020	US 2019/0391807 A1 paragraphs [0003], [0004]	
JP 2017-73106 A	13.04.2017	US 2017/0104493 A1 paragraphs [0003]- [0005]	

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）） G06N 3/00-99/00		
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 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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	陳明哲ほか、施設配置を考慮したネットワークデザイン問題に対するラグランジュ緩和法, 日本経営工学会論文誌, 2005.12.15, 第56巻, 第5号, pp.331-338, ISSN 1342-2618 特にpp.331-332	1-10
Y	久野誉人ほか, IT Text 数値最適化, 第1版第1刷, 東京: 株式会社オーム社, 2012.08.25, pp.193-207, ISBN 978-4-274-21244-4 特にpp.200-202	1-10
Y	JP 2020-4387 A (富士通株式会社) 09.01.2020 (2020-01-09) 段落[0002]-[0003]	5-7
Y	JP 2017-73106 A (株式会社東芝) 13.04.2017 (2017-04-13) 段落[0002]-[0003]	5-7
Y	中田敦, NASA, Googleの秘密兵器 驚愕の量子コンピュータ, 日経コンピュータ, 2014.04.17, 第858号, pp.024-037, ISSN 0285-4619 特にpp.034-035	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。		
* 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 08.09.2020		国際調査報告の発送日 24.09.2020
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） 北元 健太 5B 3856 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/JP2020/026164

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2020-4387	A	09.01.2020	US	2019/0391807	A1	
				段落[0003]-[0004]			
JP	2017-73106	A	13.04.2017	US	2017/0104493	A1	
				段落[0003]-[0005]			