



プラントを構成する設備の特性を最適化する際に、何度も計算を繰り返すことを不要としつつ、どのように設備の特性を設定すべきか等の情報をユーザに提示することのできる技術を提供する。複数の設備からなるプラントのエネルギー解析支援装置 1 において、計算部 11 は、プラントのモデルと、プラントを構成する設備の能力を表す設備モデルと、プラントの消費エネルギーまたは負荷を表す外部条件とが与えられると、プラントのモデルを表す数式、設備モデルを表す数式及び外部条件を表す数式より、解析対象の設備の特性を表した少なくとも一の変数を含む論理式を生成する。出力部 12 は計算部 11 により生成された論理式に基づいて、一の変数が表す解析対象の設備の特性を 2 軸のうちの一の軸とするグラフを生成して出力する。

明 細 書

発明の名称：

エネルギー解析支援装置、エネルギー解析支援方法、エネルギー解析支援プログラム及びこれを記録した記録媒体

技術分野

[0001] 本発明は、電力、ガス等の資源を供給する資源供給設備と資源を需要してエネルギーを消費する資源需要設備とを有するプラントの解析を支援する技術に関する。

背景技術

[0002] 複数の設備を備え、設備の運転時にはエネルギーを消費するプラントの運転を制御する際には、消費電力等の消費エネルギーを最小化するように作成された運転スケジュールに基づいて、設備ごとの負荷配分が決定されている。これに関して、例えば、特許文献 1 では、外気温度や日射量、在室人数予測等の外部条件から建物の熱負荷を予測して、プラント全体における総消費電力が最小となる運転スケジュールを立案するシステム制御装置が開示されている。

[0003] また、特許文献 2 では、システムの装置構成を変更しながら消費エネルギー等を最適にする運用方法を計算することで、構成変更時の意思決定を支援する方法が提案されている。

[0004] 一方、システム制御等の問題を一階述語論理式で表現し、これを解くことで、システムの最適化を行う技術が知られている（例えば、非特許文献 1 を参照）。具体的には、多項式の等式や不等式を論理積（ $\wedge$ ）や論理和（ $\vee$ ）等の結合記号で結合した論理式に対して、一部の変数に限定記号と総称される全称記号（ $\forall$ ）や存在記号（ $\exists$ ）を付与してなる一階述語論理式を生成する。そして、この一階述語論理式における限定記号の付与された変数（束縛変数）を消去して、それ以外の変数（自由変数）が満たすべき論理式を導くことで、システムの最適化を行う。

[0005] 例えば、特許文献3では、制御系を一階述語論理式に変換し、一階述語論理式における限定記号の付いた変数を消去し、得られた式から制御系を解析する制御系解析・設計装置について開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2011-214794号公報

特許文献2：特開2010-250473号公報

特許文献3：特開平11-328239号公報

非特許文献

[0007] 非特許文献1：穴井宏和・横山和弘著、「Q E の計算アルゴリズムとその応用 数式処理による最適化」、東京大学出版会、2011年、p. 214-221

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 上記の一階述語論理式を解くことによりシステムを最適化する技術を含め、従来の技術では、プラントを構成する複数の設備のうちの特定の設備を使用した場合における最適な消費エネルギーについてしか計算することができなかった。すなわち、従来技術では、エネルギー効率等の所定の設備の特性を変化させた場合に、これに応じて最適な消費エネルギーがどのように変化するかを直接求めることができなかった。

[0009] このように、従来は、設備のエネルギー効率や制約条件等の特性を変更することによってどれだけ省エネが実現できるかを把握するためには、様々な設備の特性の値を具体的に設定してそれぞれについて最適化の計算を実施して、計算結果同士を比較していく必要があり、試行錯誤によるしか手段がなかった。

[0010] 本発明は、プラントを構成する設備の特性を最適化する際に、何度も計算を繰り返すことを不要としつつ、どのように設備の特性を設定すべきか等の

情報をユーザに提示することのできる技術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

[0011] 本発明の一態様に係るエネルギー解析支援装置は、複数の設備からなるプラントのエネルギー解析支援装置であって、下記の構成を有する。

- ・前記プラントのモデルと、前記プラントを構成する設備の能力を表す設備モデルと、前記プラントの消費エネルギーまたは負荷を表す外部条件とが与えられると、前記プラントのモデルを表す数式、前記設備モデルを表す数式及び外部条件を表す数式より、解析対象の設備の特性を表した少なくとも一の変数を含む論理式を生成する計算部；及び

- ・前記計算部により生成された論理式に基づいて、前記一の変数が表す前記解析対象の設備の特性を2軸のうちの一の軸とするグラフを生成して出力する出力部。

[0012] また、本発明の一態様に係るエネルギー解析支援プログラムは、複数の設備からなるプラントのエネルギー解析支援処理を情報処理装置に実行させるためのエネルギー解析支援プログラムであって、下記の構成を有する。

- ・前記プラントのモデルと、前記プラントを構成する設備の能力を表す設備モデルと、前記プラントの消費エネルギーまたは負荷を表す外部条件とが与えられると、前記プラントのモデルを表す数式、前記設備モデルを表す数式及び外部条件を表す数式より、解析対象の設備の特性を表した少なくとも一の変数を含む論理式を生成するステップ；及び

- ・前記生成された論理式に基づいて、前記一の変数が表す前記解析対象の設備の特性を2軸のうちの一の軸とするグラフを生成して出力するステップ。

[0013] また、本発明の一態様に係る記録媒体は、複数の設備からなるプラントのエネルギー解析支援処理を情報処理装置に実行させるためのエネルギー解析支援プログラムを記録した記録媒体であって、下記の構成を有する。

- ・前記プラントのモデルと、前記プラントを構成する設備の能力を表す設備モデルと、前記プラントの消費エネルギーまたは負荷を表す外部条件とが与えられると、前記プラントのモデルを表す数式、前記設備モデルを表す数式

及び外部条件を表す数式より、解析対象の設備の特性を表した少なくとも一の変数を含む論理式を生成するステップ；及び

・前記生成された論理式に基づいて、前記一の変数が表す前記解析対象の設備の特性を2軸のうちの一の軸とするグラフを生成して出力するステップ。

[0014] また、本発明の一態様に係るエネルギー解析支援方法は、複数の設備からなるプラントのエネルギー解析支援方法であって、下記の構成を有する。

・前記プラントのモデルと、前記プラントを構成する設備の能力を表す設備モデルと、前記プラントの消費エネルギーまたは負荷を表す外部条件とが与えられ、前記プラントのモデルを表す数式、前記設備モデルを表す数式及び外部条件を表す数式より、解析対象の設備の特性を表した少なくとも一の変数を含む論理式を生成するステップ；及び

・前記生成された論理式に基づいて、前記一の変数が表す前記解析対象の設備の特性を2軸のうちの一の軸とするグラフを生成して出力するステップ。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、プラントを構成する設備の特性を最適化する際に、何度も計算を繰り返すことを不要としつつ、どのように設備の特性を設定すべきか等の情報をユーザに提示することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]第1の実施形態に係るエネルギー解析支援装置の構成図である。

[図2]第1の実施形態に係る計算部における動作フローを示す図である。

[図3]第1の実施形態において一階述語論理式を生成する方法及び総消費エネルギー数式を計算する方法を説明する図である。

[図4]第1の実施形態に係る出力部が生成するグラフを模式的に示す図である。

[図5]プラントのシステムモデルを例示する図である。

[図6]設備モデルを例示する図である。

[図7]外部条件を例示する図である。

[図8]計算部が図5～図7のシステムモデル、設備モデル及び外部条件から生

成する数式群を例示する図である。

[図9]第1の実施形態における一階述語論理式を生成する方法を説明する図である。

[図10]一階述語論理式から論理式を得る方法について説明する図である。

[図11]第1の実施形態において表示部に表示するグラフを例示する図である。

[図12]変形例1において生成する設備モデル数式を例示する図である。

[図13]変形例1において生成される一階述語論理式を示す図である。

[図14]図13の一階述語論理式に限定記号消去アルゴリズムを適用して得られる論理式を示す図である。

[図15]変形例1において表示部に表示するグラフを例示する図である。

[図16]変形例2において生成する外部条件数式を説明する図である。

[図17]変形例2において生成される2つの一階述語論理式を示す図である。

[図18]図17の一階述語論理式に限定記号消去アルゴリズムを適用して得られる論理式を示す図である。

[図19]変形例2において表示部に表示するグラフを例示する図である。

[図20]変形例3において生成する設備モデル数式を説明する図である。

[図21]変形例3において生成される一階述語論理式を示す図である。

[図22]図21の一階述語論理式に限定記号消去アルゴリズムを適用して得られる論理式を示す図である。

[図23]変形例3において表示部に表示するグラフを例示する図である。

[図24]第2の実施形態に係る計算部における動作フローを示す図である。

[図25]第2の実施形態において計算部が生成する一階述語論理式及び一階述語論理式から限定記号を消去して得られる論理式について説明する図である。

[図26]第2の実施形態に係る出力部が生成するグラフを模式的に示す図である。

[図27]外部条件を例示する図である。

[図28]計算部 11 が図 5 のシステムモデル、図 6 の設備モデル及び図 27 の外部条件から生成する数式群を例示する図である。

[図29]第 2 の実施形態における一階述語論理式を生成する方法を説明する図である。

[図30]図 29 の一階述語論理式に限定記号消去アルゴリズムを適用して得られる論理式を示す図である。

[図31]第 2 の実施形態において表示部に表示する画面の一例を示す図である。

[図32]第 2 の実施形態において表示部に表示する画面の他の例を示す図である。

[図33]情報処理装置の構成図である。

[図34]記録媒体を示す図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

<第 1 の実施形態>

図 1 は、本実施形態に係るエネルギー解析支援装置の構成図である。図 1 のエネルギー解析支援装置 1 は、計算部 11 と、出力部 12 とを有し、キーボード 2A やポインティングデバイス 2B 等の入力部 2 やモニタ等の表示部 5 と接続される。

[0018] エネルギー解析支援装置 1 は、入力部 2 (2A や 2B) を介して、プラントのシステムモデル、設備モデル及び外部条件の入力を受け付ける。エネルギー解析支援装置 1 の計算部 11 は、入力されたこれらの情報より、システムモデル数式、設備モデル数式及び外部条件数式を生成し、生成した数式を用いて一階述語論理式を生成する。計算部 11 は、一階述語論理式に対し限定記号消去アルゴリズムを適用して、所望の変数と総消費エネルギーとの関係を表した論理式を得る。出力部 12 は、計算部 11 が計算により得た論理式に基づきグラフを生成してこれを表示部 5 に出力する。表示部 5 は、出力部 5 から入力された情報に基づき、グラフを表示する。

[0019] こうして、エネルギー解析支援装置 1 は、解析対象の設備のエネルギー効率やプラント運転時の制約条件等の特性を変更した場合に、プラントの総消費エネルギーがどのように変化するかをユーザが解析する際にこれを支援するための情報を提供する。

[0020] なお、エネルギー解析支援装置 1 は、入力部 2 を介してシステムモデル等の情報が入力されたことを契機として、入力された情報を用いて処理を開始することもある。あるいは、既に装置内に記憶されている情報を用いて、ユーザからの開始の指示にしたがって処理を開始することもある。

[0021] 図 2 は、計算部 11 における動作フローを示す図である。

[0022] 計算部 11 は、まず、ステップ S 1 で、システムモデル数式、設備モデル数式及び外部条件数式を取得する。これらの数式群は、システムモデル、設備モデル及び外部条件を用いて計算部 11 が生成してもよいし、入力部 2 を介して直接入力されてもよい。

[0023] ステップ S 2 では、ステップ S 1 で取得した数式群より、総消費エネルギーに関する一階述語論理式を生成する。

[0024] ステップ S 3 では、ステップ S 2 で生成した一階述語論理式を処理して総消費エネルギー数式を得る。最後に、ステップ S 4 で、総消費エネルギー数式等の情報を出力部 12 に出力し、処理を終了する。

[0025] 図 3 は、図 2 のステップ S 2 の一階述語論理式を生成する方法及びステップ S 3 の総消費エネルギー数式を計算する方法を説明する図である。

[0026] 計算部 11 は、システムモデル数式 F 1、設備モデル数式 F 2 及び外部条件数式 F 3 を論理積 (∧) で結合し、図 3 の数式 (3-2) を生成する。そして、数式 (3-2) に対し、更に、所望の設備の特性を表す変数 a 及びプラントの総消費エネルギーを表す変数 P を除く変数に対して存在記号 (∃) を付与する (図 3 の (3-1))。こうして、一階述語論理式 ϕ を生成する。

$$\phi := \exists P1, \dots, \exists PN \exists L \exists L1, \dots, \exists LN (F1 \wedge F2 \wedge F3)$$

L は、プラントの総負荷を表す変数である。また、N は、設備の台数を表し

、 P_n は、設備 n ($n = 1, 2, \dots, N$) の消費エネルギーを、 L_n は、設備 n の負荷を表す変数である。

[0027] 計算部11は、生成した一階述語論理式 ϕ に限定記号消去アルゴリズムを適用して、設備の特性を表す変数 a と総消費エネルギーを表す変数 P とが満たす関係を表した論理式 ϕ を得て、これを出力部12に出力する。

$\phi := QE[\phi]$

($\phi := (P$ と a に関する数式))

出力部12は、計算部11から入力された論理式 ϕ より、設備の特性を表す変数 a とプラントの総消費エネルギーを表す変数 P との関係を表すグラフを生成する。そして、出力部12は、生成したグラフ等の情報すなわちエネルギー解析支援装置1において解析支援処理を行った結果得られた情報を表示部5に出力する。表示部5は、出力部12から入力された情報に基づき、エネルギー解析支援装置1における計算結果を表示する。

[0028] 図4は、出力部12が生成するグラフを模式的に示す図である。図4に例示するグラフでは、一方の軸（横軸）には、設備の特性を表す変数 a をとり、他方の軸（縦軸）には、プラントの総消費エネルギーを表す変数 P をとる。論理式 ϕ が満たす領域 A が可視化される。

[0029] 以下、本実施形態に係るエネルギー解析支援装置1が、入力された各種のモデル等の情報を用いてどのように各種数式の計算を行い、計算結果のグラフを得るかについて、具体例を用いて説明する。まず、図5～図7を参照して、エネルギー解析支援装置1に入力される各種のモデル等の情報について説明する。

[0030] 図5は、プラントのシステムモデルを例示する図である。

[0031] 図5の空調システムは、複数の冷凍機を有し、複数の冷凍機は、電源から供給される電力を用いて、空調対象空間が需要する熱負荷を供給する。システムモデルは、図5に示す空調システムの設備構成や各設備の熱負荷及び消費電力から構成される。

[0032] 具体的には、冷凍機#1は、熱負荷 L_1 [kW] に対して電力 P_1 [kW]

］を消費する。冷凍機＃２は、熱負荷 L_2 〔kW〕に対し電力 P_2 〔kW〕を消費し、冷凍機＃３は、熱負荷 L_3 〔kW〕に対し電力 P_3 〔kW〕を消費する。

[0033] 設例では、更に１台の冷凍機＃４を新たに導入するとする。冷凍機＃４は、熱負荷 L_4 〔kW〕に対して電力 P_4 〔kW〕を消費する。

[0034] また、各冷凍機＃１～＃４が消費する消費電力 $P_1 \sim P_4$ の総和は、システム全体で消費する総消費電力 P 〔kW〕となり、空調対象空間が要求する総熱負荷 L 〔kW〕を各冷凍機＃１～＃４の熱負荷 $L_1 \sim L_4$ 〔kW〕として配分する。

[0035] 図６は、設備モデルを例示する図である。

[0036] 図６の設備モデルは、既存の設備である冷凍機＃１～＃３についての熱負荷に対する消費電力特性から構成される。各冷凍機＃１～＃３は、それぞれ異なる消費電力特性と上下限の制約をもつ。

[0037] 図７は、外部条件を例示する図である。

[0038] 本実施形態においては、外部条件として、空調対象空間の要求に対応するための空調システム全体の総熱負荷 L を、 500 〔kW〕と設定する。

[0039] 次に、入力されたシステムモデル、設備モデル及び外部条件より一階述語論理式を生成し、これを処理して総消費エネルギー数式を得る方法について説明する。

[0040] 図８は、計算部１１が図５～図７のシステムモデル、設備モデル及び外部条件から生成する数式群を例示する図である。

[0041] システムモデル数式 F_1 は、図５の空調システムモデルを表現した式であり、２つの数式（８－１）、（８－２）を論理積で結合した式からなる。

$$F1 := P = P1 + P2 + P3 + P4 \wedge L = L1 + L2 + L3 + L4$$

図８の式（８－１）は、各冷凍機＃１～＃４の消費電力 $P_1 \sim P_4$ の総和が、電源が各冷凍機＃１～＃４に供給する総消費電力 P に等しいことを表す。

式（８－２）は、空調対象空間の総熱負荷 L が各冷凍機＃１～＃４に配分されることを表す。

[0042] 設備モデル数式 F 2 は、図 6 の設備モデルを表現した数式であり、4 台の冷凍機 # 1 ～ # 4 それぞれの特性を表す数式を、論理積で結合した式からなる。下記の数式 F 2 のうち、4 行目は、新たに導入する冷凍機 # 4 の特性を表す数式である。冷凍機 # 4 の特性を表す数式に含まれる変数 a は、冷凍機 # 4 の負荷に対する消費電力特性を表す。

$$F2:=(P1=0.12*L1+16\wedge 69\leq L1\leq 125\vee P1=0\wedge L1=0)$$

$$\wedge (P2=0.27*L2+21\wedge 95\leq L2\leq 175\vee P2=0\wedge L2=0)$$

$$\wedge (P3=0.24*L3+26\wedge 122\leq L3\leq 212\vee P3=0\wedge L3=0)$$

$$\wedge (P4=a*L4+15\wedge 69\leq L4\leq 212\wedge 0.1\leq a\leq 0.35\vee P4=0\wedge L4=0)$$

外部条件数式 F 3 は、図 7 の外部条件を表現した数式であり、先に図 7 の説明においても述べたとおり、空調システム全体の総熱負荷 L を表す。

$$F3:=L=500$$

計算部 11 は、システムモデル数式 F 1、設備モデル数式 F 2 及び外部条件数式 F 3 を図 1 においては不図示のメモリ等の記憶手段に保持し、保持しているこれらの数式を用いて、以下の数式処理を実施する。

[0043] 図 9 は、図 8 の数式群 F 1 ～ F 3 から一階述語論理式 ϕ を生成する方法を説明する図である。

[0044] エネルギー解析支援装置 1 の計算部 11 は、まず、図 8 の数式群、すなわち、システムモデル数式 F 1、設備モデル数式 F 2 及び外部条件数式 F 3 を論理積で結合し、システム全体を表現した数式 ($F 1 \wedge F 2 \wedge F 3$) を生成する (図 9 の式 (9-2))。

[0045] そして、計算部 11 は、システム全体を表現する数式 $F 1 \wedge F 2 \wedge F 3$ に対して、総消費エネルギーを表す変数 P と冷凍機 # 4 の特性を表す変数 a とを除く変数に存在記号 ($\exists$) を付与し (図 9 の (9-1))、総消費電力に関する一階述語論理式 ϕ を生成する。

$$\phi := \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2 \wedge F3)$$

$$F1 \wedge F2 \wedge F3 :=$$

$$(P=P1+P2+P3+P4 \wedge L=L1+L2+L3+L4)$$

$$\begin{aligned}
 &\wedge (P1=0.12*L1+16\wedge 69\leq L1\leq 125\vee P1=0\wedge L1=0) \\
 &\wedge (P2=0.27*L2+21\wedge 95\leq L2\leq 175\vee P2=0\wedge L2=0) \\
 &\wedge (P3=0.24*L3+26\wedge 122\leq L3\leq 212\vee P3=0\wedge L3=0) \\
 &\wedge (P4=a*L4+15\wedge 69\leq L4\leq 212\wedge 0.1\leq a\leq 0.35\vee P4=0\wedge L4=0) \\
 &\wedge (L=500)
 \end{aligned}$$

図 10 は、一階述語論理式 ϕ から論理式 ϕ を得る方法について説明する図である。

[0046] 計算部 11 は、先に図 3 を参照して説明したとおり、図 9 の一階述語論理式 ϕ に限定記号消去アルゴリズム (QE []) を適用して、論理式 ϕ から存在記号の付与された変数を消去した論理式 ϕ を得る。論理式 ϕ は、冷凍機 #4 の特性を表す変数 a と、空調システムの総消費電力を表す変数 P とが満たす関係式からなる。

$$\phi := QE[\phi]$$

$$\begin{aligned}
 (\phi := &(-35+a\leq 0\wedge 1/10-a\leq 0\wedge 14263/100+212*a-P=0\wedge -P<0)\vee (-35+a\leq 0\wedge 1/10-a\leq 0\wedge 14263/100+212*a-P=0\wedge 12763/100-P<0)\vee (-35+a\leq 0\wedge 1/10-a\leq 0\wedge 15083/100+212*a-P\leq 0\wedge -3888/25-212*a+P\leq 0\wedge -P<0)\vee \dots \text{(以下省略)})
 \end{aligned}$$

論理式 ϕ は、冷凍機 #4 の消費電力特性 a に対して各冷凍機 #1 ~ #4 の負荷配分を変えることにより実行可能な総消費電力 P の範囲を表している。

[0047] 図 11 は、表示部 5 に表示するグラフを例示する図である。

[0048] 上記のとおり、エネルギー解析支援装置 1 の計算部 11 は、一階述語論理式 ϕ から限定記号を消去して、図 10 の論理式 ϕ を得る。得られた論理式 ϕ は、エネルギー解析支援装置 1 の出力部 12 に渡される。

[0049] 出力部 12 は、論理式 ϕ より、縦軸に総消費電力を表す変数 P を、横軸に冷凍機 #4 の消費電力特性を表す変数 a をとり、論理式 ϕ が満たす領域 $A1$ を表したグラフを生成する。図 11 においては、領域 $A1$ を斜線で示す。出力部 12 は、生成したグラフの画像情報を、表示部 5 に出力する。表示部 5 は、出力部 12 から入力された情報に基づき図 11 のグラフを表示する。

[0050] 図 11 のグラフによれば、領域 $A1$ の縦軸方向の下限值が、冷凍機 #4 の

消費電力特性 a の値に対する最適な消費電力である。下限 LM_lw は、冷凍機 # 4 の消費電力特性 a の値に対する最適な総消費電力に相当する。ユーザは、図 11 のグラフの下限 LM_lw を参照して、最も省電力を実現する運用をした場合における空調システム全体の総消費電力 P を把握しつつ、導入する冷凍機 # 4 の消費電力特性 a を決定することができる。したがって、ユーザは、グラフを参照して新たに導入する設備（冷凍機 # 4）の特性（設例では消費電力特性）を適切に決定することができ、これにより、新たに導入する設備を適切に決定することが可能となる。

[0051] 以上説明したように、本実施形態に係るエネルギー解析支援装置 1 によれば、入力されたシステムモデル、設備モデル及び外部条件より、一階述語論理式を生成する。そして、生成した一階述語論理式に限定記号消去アルゴリズムを適用して、プラントのある設備の特性とプラントの総消費電力との関係を表した論理式を得る。一階述語論理式は、入力されたシステムモデル等から生成したプラントの全体を表現した数式に、最終的に処理結果として得たい変数以外の変数、すなわち、ある設備の特性と総消費電力以外の変数に存在記号（ $\exists$ ）を付与することにより生成する。こうして生成した一階述語論理式から限定記号を消去して得られる論理式をグラフにしてモニタ等の表示部 5 に表示をすることで、ユーザにとっては、新たに導入する設備の特性と総消費エネルギーとが満たす関係を視覚的に把握することが可能となり、有効な解析に資する。

[0052] ある設備の変更は、システムを構成する他の設備の運用にも影響を与える。このため、単に効率のよい設備を導入しても、十分な省エネによる投資回収効果が見込めるか否かが判然とせず、必要以上に高性能で効果な設備を導入しても、その能力が活かしきれずに無駄な投資となってしまう場合がある。しかし、本実施形態に係るエネルギー解析支援装置 1 を用いて解析を行うことで、設備の導入前の検証によりそのような事態の発生を回避することが可能となる。

（変形例 1）

上記の実施形態においては、ある設備を導入する場合に、その設備の特性と総消費エネルギーとの関係を表す論理式 ϕ を求めてこれをグラフに描画している。上記の実施形態により描画されるグラフによれば、設備の特性と総消費エネルギーとが満たす領域には、導入する設備を稼働させる場合に満たされる領域と稼働させない場合のそれとの両方を含んでいる。これに対し、本変形例では、ある設備を稼働させる場合及び稼働させない場合のそれぞれの場合を区別したグラフを描画する点で異なる。

[0053] 以下、本変形例について、上記の実施形態と異なる点を中心に説明する。
なお、エネルギー解析支援装置 1 の構成、エネルギー解析支援装置 1 に入力される情報（システムモデル、設備モデル及び外部条件）については、上記の実施形態と同様であり、図 1 や図 5 ～図 7 を参照して説明したとおりである。

[0054] エネルギー解析支援装置 1 は、図 5 ～図 7 の情報が入力されると、上記の実施形態と同様に、まず、システムモデル数式、設備モデル数式及び外部条件数式を生成する。システムモデル数式 F 1 及び外部条件数式 F 3 については、先の実施形態と同様であり、図 8 を参照して説明したとおりである。

[0055] 図 1 2 は、本変形例において生成する設備モデル数式を例示する図である。

[0056] 本変形例においては、エネルギー解析支援装置 1 の計算部 1 1 は、設備モデル数式として、新たに空調システムに導入する冷凍機 # 4 を稼働しない場合と、稼働させる場合とでそれぞれ数式 F 2' 、 F 2' ' を生成する。

$$F2' := (P1=0.12*L1+16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1=0 \wedge L1=0)$$

$$\wedge (P2=0.17*L2+21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2=0 \wedge L2=0)$$

$$\wedge (P3=0.24*L3+26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3=0 \wedge L3=0)$$

$$\wedge (P4=0 \wedge L4=0)$$

$$F2' ' := (P1=0.12*L1+16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1=0 \wedge L1=0)$$

$$\wedge (P2=0.17*L2+21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2=0 \wedge L2=0)$$

$$\wedge (P3=0.24*L3+26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3=0 \wedge L3=0)$$

$$\wedge (P4=a*L4+15 \wedge 69 \leq L4 \leq 212 \wedge 0.1 \leq a \leq 0.35)$$

設備モデル数式 $F2'$ は、図8の設備モデル数式 $F2$ から、冷凍機#4を稼働する条件を表した以下の数式(12-2)を除いた数式で表される。

$$(P4=a*L4+15 \wedge 69 \leq L4 \leq 212 \wedge 0.1 \leq a \leq 0.35) \cdots (12-2)$$

設備モデル数式 $F2''$ は、図8の設備モデル数式 $F2$ から、冷凍機#4を稼働しない条件を表した以下の数式(12-1)を除いた数式で表される。

。

$$(P4=0 \wedge L4=0) \cdots (12-1)$$

計算部11は、生成した2つの設備モデル数式 $F2'$ 、 $F2''$ のそれぞれを用いて、2つの一階述語論理式を生成する。

[0057] 図13は、図8の数式 $F1$ 、 $F3$ と図12の数式 $F2'$ 、 $F2''$ とを用いて生成される一階述語論理式 $\phi2'$ 、 $\phi2''$ を示す図である。

[0058] 冷凍機#4が稼働しない場合の総消費電力に関する一階述語論理式 $\phi2'$ に関しては、システム全体を表現した数式として、 $(F1 \wedge F2' \wedge F3)$ を生成する。冷凍機#4が稼働する場合の一階述語論理式 $\phi2''$ に関しては、 $(F1 \wedge F2'' \wedge F3)$ を生成する。存在記号($\exists$)を付与する変数については、いずれの式 $\phi2'$ 、 $\phi2''$ についても、上記の実施形態と同様である。

$$\phi2' := \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2' \wedge F3)$$

$$(F1 \wedge F2' \wedge F3 :=$$

$$P=P1+P2+P3+P4 \wedge L=L1+L2+L3+L4$$

$$\wedge (P1=0.12*L1+16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1=0 \wedge L1=0)$$

$$\wedge (P2=0.17*L2+21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2=0 \wedge L2=0)$$

$$\wedge (P3=0.24*L3+26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3=0 \wedge L3=0)$$

$$\wedge (P4=0 \wedge L4=0)$$

$$\wedge L=500))$$

$$\phi2'' := \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2'' \wedge F3)$$

$$(F1 \wedge F2'' \wedge F3 :=$$

$$\begin{aligned}
&P=P1+P2+P3+P4 \wedge L=L1+L2+L3+L4 \\
&\wedge (P1=0.12*L1+16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1=0 \wedge L1=0) \\
&\wedge (P2=0.17*L2+21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2=0 \wedge L2=0) \\
&\wedge (P3=0.24*L3+26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3=0 \wedge L3=0) \\
&\wedge (P4=a*L4+15 \wedge 69 \leq L4 \leq 212 \wedge 0.1 \leq a \leq 0.35) \\
&\wedge L=500))
\end{aligned}$$

計算部 11 は、生成した 2 つの一階述語論理式 $\phi 2'$ 、 $\phi 2''$ のそれぞれについて限定記号消去アルゴリズムを適用し、冷凍機 #4 の消費電力特性を表す変数 a と総消費電力を表す変数 P との関係を表した論理式 $\phi 2'$ 、 $\phi 2''$ を得る。

[0059] 図 14 は、一階述語論理式 $\phi 2'$ 、 $\phi 2''$ に限定記号消去アルゴリズムを適用して得られる論理式 $\phi 2'$ 、 $\phi 2''$ を示す図である。

$$\phi 2' := QE[\phi 2']$$

$$(\phi 2' := 623/4 \leq P \leq 15719/100)$$

$$\phi 2'' := QE[\phi 2'']$$

$$(\phi 2'' := (-35+a \leq 0 \wedge 1/10-a \leq 0 \wedge 3072/25+163*a-P=0 \wedge -P < 0)$$

$$\vee (-35+a \leq 0 \wedge 1/10-a \leq 0 \wedge 14263/100+113*a-P=0 \wedge -P < 0)$$

$$\vee (-35+a \leq 0 \wedge 1/10-a \leq 0 \wedge 12103/100+203*a-P=0 \wedge -P < 0)$$

$$\vee (-35+a \leq 0 \wedge 1/10-a \leq 0 \wedge 12903/100+193*a-P=0 \wedge -P < 0)$$

$$\vee (-35+a \leq 0 \wedge 1/10-a \leq 0 \wedge 387/4+200*a-P=0 \wedge -P < 0)$$

$$\vee (-35+a \leq 0 \wedge 1/10-a \leq 0 \wedge 2778/25+212*a-P=0 \wedge -P < 0), \dots \text{ (以下省略)}$$

論理式 $\phi 2'$ 、 $\phi 2''$ は、それぞれ空調システムに新たに導入する冷凍機 #4 を稼働しない場合及び稼働する場合の冷凍機 #4 の消費電力特性 a と総消費電力 P との関係を表す。出力部 12 は、計算部 11 から式 (14-1)、(14-2) を受け取ると、これに基づき 2 つの式が満たす領域を比較可能なグラフを生成する。そして、出力部 12 は、これをエネルギー解析支援装置 1 において解析支援処理を実施した結果得られた情報として、表示部 5 に出力する。表示部 5 は、入力された情報に基づき、グラフを表示する。

- [0060] 図15は、表示部5に表示するグラフを例示する図である。図11のグラフと同様に、縦軸には、総消費電力を表す変数Pを、横軸には、冷凍機#4の消費電力特性を表す変数aをとる。
- [0061] 図15に示すように、本変形例では、2つの論理式 $\phi 2'$ 、 $\phi 2''$ のそれぞれが満たす領域A2'、A2''が色分け等により、互いに識別可能に表示される。図15においては、領域A2'、A2''を斜線、網掛けで識別可能とするグラフを作成する。
- [0062] ユーザは、図15に例示するグラフを参照して、新たに導入する冷凍機#4が稼働しない場合及び稼働する場合のそれぞれの領域を比較して、解析を行う。
- [0063] 例えば、冷凍機#4の消費電力特性aの値が小さい場合には、冷凍機#4を稼働させて他の効率の悪い冷凍機を停止させることで、稼働させない場合、すなわち冷凍機#1～#3を稼働させる場合よりも大幅に総消費電力Pを抑制できることがわかる（図15の※1）。
- [0064] また、消費電力特性aの値が約0.295以上の領域では、冷凍機#4を稼働させない方が総消費電力P小さくできること、すなわち、新たに冷凍機#4を導入しても、総消費電力Pを抑制できないことがわかる（図15の※2）。
- [0065] このように、本変形例によれば、新たに導入する設備を稼働するか否かが総消費エネルギーに与える影響や、新たに導入する設備の特性に応じて、省エネの観点からは新たに導入する設備または既存の設備のいずれを稼働させるべきかを容易に判断可能となる。

（変形例2）

上記の実施形態及び変形例1では、外部条件として、空調対象空間が相対的に高熱負荷である場合を設定している。これに対し、本変形例では、空調対象空間が相対的に低熱負荷である場合を設定して、低熱負荷時における導入する設備の特性と総消費エネルギーとの関係を表す論理式 ϕ を求めてグラフに描画する。

[0066] 以下、本変形例について、上記の実施形態及び変形例 1 と異なる点を中心に説明する。エネルギー解析支援装置 1 の構成、入力される情報（システムモデル、設備モデル及び外部条件）については、上記の実施形態及び変形例 1 と同様であり、図 1 や図 5 ～図 7 を参照して説明したとおりである。

[0067] エネルギー解析支援装置 1 は、図 5 ～図 7 の情報が入力されると、上記の実施形態や変形例 1 と同様に、システムモデル数式、設備モデル数式及び外部条件数式を生成する。本変形例では、変形例 1 と同様に、新たに導入する冷凍機 # 4 を稼働する場合及び稼働しない場合のそれぞれについて設備モデル数式 $F_{2'}$ 、 $F_{2''}$ を生成して、それぞれ冷凍機 # 4 の消費電力特性 a と総消費電力 P との関係式を求める場合について説明する。

[0068] システムモデル数式 F_1 については、上記の実施形態と同様であり、図 8 を参照して説明したとおりである。設備モデル数式 $F_{2'}$ 、 $F_{2''}$ については、変形例 1 で図 12 を参照して説明したとおりである。

[0069] 図 16 は、本変形例において生成する外部条件数式を説明する図である。

[0070] 本変形例では、エネルギー解析支援装置 1 の計算部 11 は、低熱負荷時の外部条件数式として、

$$F_{3'} := L = 400$$

を生成する。このように、本変形例では熱負荷 L には、図 16 上側の時間帯別の空調対象空間の総熱負荷のグラフでは「6 時～7 時」「7 時～8 時」等の時間帯に設定されている、相対的に低い総熱負荷の値である 400 [kW] を設定する。

[0071] 計算部 11 は、システムモデル数式 F_1 、2 つの設備モデル数式 $F_{2'}$ と $F_{2''}$ 、及び低熱負荷時の外部条件数式 $F_{3'}$ を用いて、2 つの一階述語論理式を生成する。

[0072] 図 17 は、生成される 2 つの一階述語論理式 $\phi_{3'}$ 、 $\phi_{3''}$ を示す図である。

[0073] 図 17 の 2 つの一階述語論理式 $\phi_{3'}$ 及び $\phi_{3''}$ は、それぞれ冷凍機 # 4 を稼働しない場合及び稼働する場合の総消費電力に関する一階述語論理式

である。計算部 11 は、図 8 のシステムモデル数式 F_1 、図 12 の設備モデル数式 F_2' と F_2'' 、図 16 の外部条件数式 F_3' からそれぞれシステム全体を表現した式 $(F_1 \wedge F_2' \wedge F_3')$ 、 $(F_1 \wedge F_2'' \wedge F_3')$ を生成する。存在記号 ($\exists$) を付与する変数は、上記の実施形態や変形例 1 と同様である。

$$\phi_3' := \exists P_1 \exists P_2 \exists P_3 \exists P_4 \exists L_1 \exists L_2 \exists L_3 \exists L_4 ((F_1 \wedge F_2' \wedge F_3'))$$

$$F_1 \wedge F_2' \wedge F_3' :=$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \wedge L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

$$\wedge (P_1 = 0.12 * L_1 + 16 \wedge 69 \leq L_1 \leq 125 \vee P_1 = 0 \wedge L_1 = 0)$$

$$\wedge (P_2 = 0.17 * L_2 + 21 \wedge 95 \leq L_2 \leq 175 \vee P_2 = 0 \wedge L_2 = 0)$$

$$\wedge (P_3 = 0.24 * L_3 + 26 \wedge 122 \leq L_3 \leq 212 \vee P_3 = 0 \wedge L_3 = 0)$$

$$\wedge (P_4 = 0 \wedge L_4 = 0)$$

$$\wedge L = 400)$$

$$\phi_3'' := \exists P_1 \exists P_2 \exists P_3 \exists P_4 \exists L_1 \exists L_2 \exists L_3 \exists L_4 (F_1 \wedge F_2'' \wedge F_3')$$

$$F_1 \wedge F_2'' \wedge F_3' :=$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \wedge L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

$$\wedge (P_1 = 0.12 * L_1 + 16 \wedge 69 \leq L_1 \leq 125 \vee P_1 = 0 \wedge L_1 = 0)$$

$$\wedge (P_2 = 0.17 * L_2 + 21 \wedge 95 \leq L_2 \leq 175 \vee P_2 = 0 \wedge L_2 = 0)$$

$$\wedge (P_3 = 0.24 * L_3 + 26 \wedge 122 \leq L_3 \leq 212 \vee P_3 = 0 \wedge L_3 = 0)$$

$$\wedge (P_4 = a * L_4 + 15 \wedge 69 \leq L_4 \leq 212 \wedge 0.1 \leq a \leq 0.35)$$

$$\wedge L = 400)$$

先の実施形態等においても説明したように、計算部 11 は、生成した一階述語論理式に限定記号消去アルゴリズムを適用し、冷凍機 #4 の消費電力特性を表す変数 a と総消費電力を表す変数 P との関係を表した論理式を得る。

[0074] 図 18 は、一階述語論理式 ϕ_3' 、 ϕ_3'' に限定記号消去アルゴリズムを適用して得られる論理式 ϕ_3' 、 ϕ_3'' を示す図である。

$$\phi_3' := QE[\phi_3']$$

$$(\phi_3' := 13329/100 \leq P \leq 14239/100)$$

$\phi 3' ' := QE[\phi 3' ']$

$(\phi 3 := (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 2297/25 + 188 * a - P = 0 \wedge -P < 0)$

$\vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 2532/25 + 153 * a - P = 0 \wedge -P < 0)$

$\vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 2904/25 + 119 * a - P = 0 \wedge -P < 0)$

$\vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 2364/25 + 209 * a - P = 0 \wedge -P < 0)$

$\vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 12103/100 + 103 * a - P = 0 \wedge -P < 0)$

$\vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 12903/100 + 93 * a - P = 0 \wedge -P < 0)$

$\vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 10743/100 + 183 * a - P = 0 \wedge -P < 0)$

$\vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 387/4 + 100 * a - P = 0 \wedge -P < 0)$

$\vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 1663/20 + 180 * a - P = 0 \wedge -P < 0)$

$\vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 9003/100 + 156 * a - P = 0 \wedge -P < 0) \dots$ (以下省略))

論理式 $\phi 3'$ 、 $\phi 3' '$ は、それぞれ低熱負荷時において冷凍機 # 4 を稼働しない場合と稼働する場合の冷凍機 # 4 の消費電力特性 a と総消費電力 P とが満たす関係式である。出力部 12 は、計算部 11 から論理式 $\phi 3'$ 、 $\phi 3' '$ を受け取ると、これに基づき 2 つの式が満たす領域を比較可能なグラフを生成し、これを表示部 5 に出力する。

[0075] 図 19 は、表示部 5 に表示するグラフを例示する図である。図 11 や図 15 のグラフと同様に、縦軸は、総消費電力 P を、横軸は、冷凍機 # 4 の消費電力特性 a をとる。

[0076] 図 19 に示すように、本変形例では、2 つの論理式 $\phi 3'$ 、 $\phi 3' '$ のそれぞれが満たす領域 $A 3'$ を網掛けで、 $A 3' '$ を斜線で識別可能とするグラフを作成する。ユーザは、図 19 に例示するグラフを参照して、低熱負荷時に新たに導入する冷凍機 # 4 を稼働しない場合及び稼働する場合のそれぞれの領域を比較して、解析を行う。

[0077] 例えば、図 19 においては矢印で指し示す領域のように、冷凍機 # 4 の消費電力特性 a の範囲が 0.10 から 0.35 の領域 (図 15 に示すグラフの全域) では、冷凍機 # 4 を稼働させた方が総消費電力 P を抑制できることがわかる。

[0078] なお、図 19 においては、低熱負荷時における冷凍機 # 4 の消費電力特性 a と総消費電力 P との関係を、冷凍機 # 4 を稼働しない場合と稼働する場合とで識別可能なグラフを例示している。この他にも、例えば変形例 1 で求めた図 14 の論理式 $\phi 2'$ 、 $\phi 2''$ を用いて、高熱負荷時と低熱負荷時とを比較するグラフ等、更に各種の変形例が考えられる。

[0079] このように、本変形例によれば、外部条件を変更した場合であっても、新たに導入する設備の特性と総消費エネルギーとの関係がどのようなになるかについて容易に判断可能となる。

(変形例 3)

上記の実施形態及び変形例 1、2 では、設備（冷凍機）の特性の一つである消費電力特性を表す変数 a と総消費電力 P との関係を求めている。これに対し、本変形例では、新たに導入する冷凍機の消費電力特性以外の特性を表す変数と総消費電力 P との関係を求める。

[0080] 以下、本変形例について、上記の実施形態等と異なる点を中心に説明する。エネルギー解析支援装置 1 の構成、入力される情報については、上記の実施形態等と同様であり、図 1 や図 5～図 7 を参照して説明したとおりである。

[0081] エネルギー解析支援装置 1 は、図 5～図 7 の情報が入力されると、上記の実施形態等と同様に、システムモデル数式、設備モデル数式及び外部条件数式を生成する。システムモデル数式 $F 1$ と外部条件数式 $F 3$ については、いずれも図 8 を参照して説明したとおりである。

[0082] 図 20 は、本変形例において生成する設備モデル数式を説明する図である。

[0083] 本変形例では、冷凍機 # 4 の熱負荷の上限を表す変数 b を用いて、冷凍機 # 4 を稼働する場合における設備モデル数式 $F 2''$ を生成する。冷凍機 # 4 の消費電力特性については、固定値 0.16 とする。

$$F2'' := (P1 = 0.12 * L1 + 16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1 = 0 \wedge L1 = 0)$$

$$\wedge (P2 = 0.17 * L2 + 21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2 = 0 \wedge L2 = 0)$$

$$\wedge (P3=0.24*L3+26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3=0 \wedge L3=0)$$

$$\wedge (P4=0.16*L4+15 \wedge 69 \leq L4 \leq b \wedge 69 \leq b \leq 212)$$

上の設備モデル数式 $F2''''$ のうち、冷凍機 # 4 の特性を表す数式は、以下のとおりである。

$$(P4=0.16*L4+15 \wedge 69 \leq L4 \leq b \wedge 69 \leq b \leq 212)$$

このうち、変数 b を含む第 2 の式「 $69 \leq L4 \leq b$ 」は、熱負荷 $L4$ が下限値 69 以上且つ上限値 b 以下であることを表す。第 3 の式「 $69 \leq b \leq 212$ 」は、熱負荷 $L4$ の上限 b が 69 以上かつ 212 以下の値をとることを表す。

[0084] 計算部 11 は、システムモデル数式 $F1$ 、設備モデル数式 $F2''''$ 及び外部条件数式 $F3$ を用いて、一階述語論理式を生成する。

[0085] 図 21 は、生成される一階述語論理式 $\phi4''$ を示す図である。

[0086] 図 21 の一階述語論理式 $\phi4''$ は、冷凍機 # 4 の熱負荷の上限 b を変数とする一階述語論理式である。計算部 11 は、図 8 のシステムモデル数式 $F1$ 、図 20 の設備モデル $F2''''$ 及び図 8 の外部条件数式からシステム全体を現した式 $(F1 \wedge F2'''' \wedge F3)$ を生成し、変数 b 及び P 以外の変数に存在記号 ($\exists$) を付与して、論理式 $\phi4''$ を生成する。

$$\phi4'' := \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2'''' \wedge F3)$$

$$(F1 \wedge F2'''' \wedge F3 :=$$

$$P=P1+P2+P3+P4 \wedge L=L1+L2+L3+L4$$

$$\wedge (P1=0.12*L1+16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1=0 \wedge L1=0)$$

$$\wedge (P2=0.17*L2+21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2=0 \wedge L2=0)$$

$$\wedge (P3=0.24*L3+26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3=0 \wedge L3=0)$$

$$\wedge (P4=0.16*L4+15 \wedge 69 \leq L4 \leq b \wedge 69 \leq b \leq 212)$$

$$\wedge L=500))$$

計算部 11 は、生成した一階述語論理式に限定記号消去アルゴリズムを適用し、冷凍機 # 4 の熱負荷 $L4$ の上限を表す変数 b と総消費電力を表す変数 P との関係を表した論理式を得る。

[0087] 図 22 は、一階述語論理式 $\phi4''$ に限定記号消去アルゴリズムを適用し

て得られる論理式 $\phi 4' '$ を示す図である。

$$\phi 4' ' := \text{QE}[\phi 4' ']$$

$$(\phi 4' ' := (-212+b \leq 0 \wedge 163-b \leq 0 \wedge -3724/25+P=0)$$

$$\vee (-212+b \leq 0 \wedge 200-b \leq 0 \wedge -515/4+P=0)$$

$$\vee (-212+b \leq 0 \wedge 203-b \leq 0 \wedge -15351/100+P=0)$$

$$\vee (-212+b \leq 0 \wedge 113-b \leq 0 \wedge -16071/100+P=0)$$

$$\vee (-212+b \leq 0 \wedge 193-b \leq 0 \wedge -15991/100+P=0)$$

$$\vee (-212+b \leq 0 \wedge 69-b \leq 0 \wedge -375-4*b+25*P \leq 0 \wedge -95+P=0)$$

$$\vee (-212+b \leq 0 \wedge 69-b \leq 0 \wedge -3439/20+P \leq 0 \wedge 16523/100-P \leq 0)$$

$$\vee (-212+b \leq 0 \wedge 69-b \leq 0 \wedge -17083/100+P \leq 0 \wedge 16523/100-P \leq 0)$$

$$\vee (-212+b \leq 0 \wedge 69-b \leq 0 \wedge -1737/10+P \leq 0 \wedge 3419/20-P \leq 0)$$

$$\vee (-212+b \leq 0 \wedge 69-b \leq 0 \wedge -3419/20+P \leq 0 \wedge 17083/100-P \leq 0)$$

$$\vee (-212+b \leq 0 \wedge 69-b \leq 0 \wedge -1737/10+P \leq 0 \wedge 3439/20-P \leq 0)$$

$$\vee (-212+b \leq 0 \wedge 163-b \leq 0 \wedge 3561+b-25*P=0 \wedge -P < 0)$$

$$\vee (-212+b \leq 0 \wedge 163-b \leq 0 \wedge -P < 0 \wedge -4050+2*b+25*P=0) \dots \text{（以下省略）}$$

論理式 $\phi 4' '$ は、冷凍機 # 4 の熱負荷 L_4 の上限 b と総消費電力 P との関係を表す。出力部 12 は、計算部 11 から論理式 $\phi 4' '$ を受け取ると、これに基づき論理式 $\phi 4' '$ が満たす領域を表すグラフを生成し、これを表示部 5 に出力する。

[0088] 図 23 は、表示部 5 に表示するグラフを例示する図である。図 11、15 及び図 19 のグラフと同様に、縦軸は、総消費電力 P をとる。横軸では、冷凍機 # 4 の熱負荷 L_4 の上限 b をとる。

[0089] 図 23 に示すグラフのうち、領域 $A 4' '$ は、論理式 $\phi 4' '$ の変数 b と P とが満たす領域を斜線で表している。図 20 の設備モデル数式 $F 2' ' '$ を生成する方法において記載したとおり、領域 $A 4' '$ は、冷凍機 # 4 を稼働する場合における冷凍機 # 4 の熱負荷 L_4 の上限 b と総消費電力 P とが満たす領域である。

[0090] これに対し、図 23 の領域 $A 4'$ は、冷凍機 # 4 を稼働しない場合におけ

る冷凍機 # 4 の熱負荷 L_4 の上限 b と総消費電力 P とが満たす領域である。領域 A_4' は、上記の変形例 2 にて冷凍機 # 4 を稼働しない場合について求めた論理式 ϕ_2' を利用している。論理式 ϕ_2' は、一階述語論理式 ϕ_2' から限定記号を消去することにより得られ、一階述語論理式 ϕ_2' は、システムモデル数式 F_1 、設備モデル数式 F_2' 及び外部条件数式 F_3 を用いて生成している。

[0091] ここで、図 12 の式 (12-1) に示すように、設備モデル数式 F_2' は、冷凍機 # 4 の熱負荷 L_4 の上限 b には依存しない。このため、設備モデル F_2' を用いて求めた論理式 ϕ_2' もまた、変数 b によらず、したがって、論理式 ϕ_2' は、本変形例の冷凍機 # 4 の熱負荷 L_4 の上限 b と総消費電力 P との関係を表していると言うことができる。

[0092] ユーザは、図 23 に例示するグラフを参照して、冷凍機 # 4 を稼働させる場合及び稼働しない場合のそれぞれの領域を比較して、解析を行う。

[0093] 例えば、図中丸印で囲った領域を参照すると、冷凍機 # 4 の熱負荷 L_4 の上限 b が約 160 以上になると、冷凍機 # 4 を導入し稼働した方が、稼働しない場合よりも総消費電力 P を抑制できることがわかる。

[0094] このように、本変形例によれば、新たに導入する設備の消費電力特性以外の各種の特性についても、総消費エネルギーとの関係を表した論理式を求めることができ、これにより、更にユーザのプラントの解析に資する。

[0095] 従来技術によれば、設備の制約条件（上記の例では解析対象の冷凍機 # 4 の総熱負荷の上限）を変更した場合には、最適な消費エネルギーがどのように変化するかが判然とせず、省エネを実現するためにはどのような制約条件下で設備を運用する必要があるかがわからない、ということがあった。このような場合であっても、本実施形態に係るエネルギー解析支援装置 1 を用いて解析を行うことで、設備を運用する制約条件を緩和することで省エネ化ができる場合等を検証することが可能となる。

<第 2 の実施形態>

上記の第 1 の実施形態に係るエネルギー解析支援装置 1 は、生成した一階

述語論理式から限定記号を消去し、設備の特性と総消費エネルギーとの関係を表す論理式を得てこれからグラフを生成している。これに対し、本実施形態においては、限定記号を消去した結果得られる論理式が、設備の特性同士の間で満たされる関係を表している点で異なる。

[0096] 以下、本実施形態に係るエネルギー解析支援装置 1 について、上記の第 1 の実施形態と異なる点を中心に説明する。

[0097] 本実施形態に係るエネルギー解析支援装置 1 の構成図は、図 1 の第 1 の実施形態に係るそれと同様である。エネルギー解析支援装置 1 は、計算部 1 1 と出力部 1 2 とを有し、キーボード 2 A やポインティングデバイス 2 B 等の入力部 2 やモニタ等の表示部 5 と接続される。

[0098] エネルギー解析支援装置 1 は、第 1 の実施形態と同様に、入力部 2 を介してシステムモデル、設備モデル及び外部条件の入力を受け付ける。入力されるこれらの情報についても、上記の実施形態と同様であり、図 5 ～図 7 等を参照して説明したとおりである。

[0099] 本実施形態に係るエネルギー解析支援装置 1 は、入力された情報からシステムモデル数式等の数式を生成して、一階述語論理式を生成し、生成した一階述語論理式から限定記号を消去して論理式を得る。上記のとおり、本実施形態において限定記号を消去して得られる論理式は、それぞれがプラントの設備の特性を表す変数同士が満たす関係を表している。エネルギー解析支援装置 1 は、得られた論理式に基づきグラフを生成して表示部 5 に出力し、表示をさせる。

[0100] 図 2 4 は、計算部 1 1 における動作フローを示す図である。

[0101] 図 2 の第 1 の実施形態の動作フローと比較すると、ステップ S 1 1 については、図 2 のステップ S 1 と同様である。

[0102] ステップ S 1 2 で、計算部 1 1 は、プラントの運転状態に関する一階述語論理式を生成する。ここで、「プラントの運転状態に関する一階述語論理式」は、図 2 のステップ S 2 で生成する「総消費エネルギーに関する一階述語論理式」と比較すると、存在記号を付与する変数が異なっている。

[0103] ステップS 1 3 及びステップS 1 4 では、図 2 のステップS 3 及びステップS 4 と同様の処理を実施する。すなわち、ステップS 1 2 で生成した一階述語論理式から限定記号を消去した論理式を計算し、計算により得られたプラント解析数式を出力部 1 2 に出力し、処理を終了する。

[0104] 図 2 5 は、本実施形態において計算部 1 1 が生成する一階述語論理式及び一階述語論理式から限定記号を消去して得られる論理式について説明する図である。

[0105] 計算部 1 1 は、上記の第 1 の実施形態と同様に、システムモデル数式 F_1 、設備モデル F_2 及び外部条件数式 F_3_i を論理積（ $\wedge$ ）で結合する（図 2 5 の式（2 5 - 2））。そして、本実施形態においては、計算部 1 1 は、設備の特性を表す 2 つの変数 a 、 b 以外の変数に対して存在記号（ $\exists$ ）を付与して（図 2 5 の（2 5 - 1））一階述語論理式 ϕ_i を生成する。

$$\phi_i := \exists P \exists P_1, \dots, \exists P_N \exists L \exists L_1, \dots, \exists L_N (F_1 \wedge F_2 \wedge F_{3_i})$$

外部条件数式 F_{3_i} の添え字「 i 」は、プラント解析のため予め用意されている複数の外部条件数式を互いに識別するために付されている。実施例では、複数の外部条件数式を生成し、その数を「 l 」とする。計算部 1 1 は、外部条件数式 F_{3_i} （ $i = 1, 2, \dots, l$ ）の数（ l ）だけ一階述語論理式 ϕ_i を生成する。

[0106] このように、互いに異なる外部条件数式は、それぞれプラントの運転状態を表すことから、本実施形態において生成する一階述語論理式 ϕ_i を、以下においては、「プラントの運転状態に関する一階述語論理式」ともいう。

[0107] 計算部 1 1 は、 l 個のプラントの運転状態に関する一階述語論理式 ϕ_i のそれぞれに限定記号消去アルゴリズムを適用し、設備の特性を表す変数 a 、 b が満たす関係を表した論理式 ϕ_i を得て、これを出力部 1 2 に出力する。

$$\phi_i := QE[\phi_i]$$

$$(\phi_i := (a \text{ と } b \text{ に関する数式}))$$

出力部 1 2 は、計算部 1 1 が得た l 個の論理式 ϕ_i （ $i = 1, 2, \dots, l$ ）より、2 つの設備の特性を表す変数 a 、 b が満たす領域を表したグラフを生

成する。出力部 12 は、これをエネルギー解析支援装置 1 において解析支援処理を実施した結果得られた情報として表示部 5 に出力する。表示部 5 は、出力部 12 から入力された情報に基づき、エネルギー解析支援装置 1 における計算結果を表示する。

[0108] 図 26 は、出力部 12 が生成するグラフを模式的に示す図である。本実施形態においては、一方の軸（横軸）には、設備の特性を表す変数 a を、他方の軸（縦軸）には、設備の特性を表す他の変数 b をとる。そして、図 26 に模式的に示すように、プラントの運転状態ごと、すなわち、複数の外部条件数式 F_{3i} のそれぞれについて求めた論理式 ϕ_i が満たす領域が、色分け等により可視化される。

[0109] 以下、本実施形態に係るエネルギー解析支援装置 1 が入力された各種モデルを用いてどのように各種数式の計算を行い、計算結果のグラフを得るかについて、第 1 の実施形態と同様に、具体例を用いつつ、上記第 1 の実施形態と異なる点を中心に説明する。

[0110] プラントのシステムモデル及び設備モデルについては、第 1 の実施形態と同様であり、図 5 及び図 6 に示すとおりである。

[0111] 図 27 は、外部条件を例示する図である。

[0112] 第 1 の外部条件は、空調システム全体の総熱負荷 L である。設例では、総熱負荷 L を 500 [kW] に設定する。

[0113] 第 2 の外部条件は、空調システム全体の総消費電力 P である。設例では、第 2 の外部条件として、4 とおりを設定し、それぞれ 150 [kW] 以下、140 [kW] 以下、130 [kW] 以下及び 120 [kW] 以下とする。

[0114] 図 28 は、計算部 11 が図 5 のシステムモデル、図 6 の設備モデル及び図 27 の外部条件から生成する数式群を例示する図である。

[0115] システムモデル数式 F_1 については、第 1 の実施形態と同様であり、図 8 の数式 F_1 と同様である。

$$F1:=P=P1+P2+P3+P4 \wedge L=L1+L2+L3+L4$$

設備モデル数式 F_2 については、新たに導入する冷凍機 #4 の特性を表す

変数のうち、消費電力特性については、第 1 の実施形態と同様に、「変数 a」で表す。冷凍機 # 4 の熱負荷 L 4 の上限については、「変数 b」で表す。

$$F2 := (P1 = 0.12 * L1 + 16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1 = 0 \wedge L1 = 0)$$

$$\wedge (P2 = 0.17 * L2 + 21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2 = 0 \wedge L2 = 0)$$

$$\wedge (P3 = 0.24 * L3 + 26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3 = 0 \wedge L3 = 0)$$

$$\wedge (P4 = a * L4 + 15 \wedge 69 \leq L4 \leq b \wedge 0.1 \leq a \leq 0.35 \wedge 69 \leq b \leq 212 \vee P4 = 0 \wedge L4 = 0)$$

外部条件数式 $F3_i$ ($i = 1, 2, 3, 4$) については、第 1 の外部条件及び第 2 の外部条件がいずれも成立する場合の数式を生成する。すなわち、第 1 の外部条件の式と第 2 の外部条件の式とを論理積 ($\wedge$) で結合して、外部条件数式 $F3_i$ とする。

$$F3_1 := L = 500 \wedge P \leq 150$$

$$F3_2 := L = 500 \wedge P \leq 140$$

$$F3_3 := L = 500 \wedge P \leq 130$$

$$F3_4 := L = 500 \wedge P \leq 120$$

図 29 は、図 28 の数式群 $F1$ 、 $F2$ 、 $F3_i$ から一階述語論理式 ϕ_i を生成する方法を説明する図である。

- [0116] 先に図 25 の説明においても述べたとおり、計算部 11 は、生成した図 28 の数式 $F1$ 、 $F2$ 、 $F3_i$ を論理積 ($\wedge$) で結合し、変数 a 、 b 以外の変数に存在記号 ($\exists$) を付与して、一階述語論理式 ϕ_i を生成する。図 29 においては、4 とおりの外部条件のうち、 $i = 1$ の外部条件、具体的には、空調システムの総熱負荷 L が 500 [kW] で、空調システムの総消費電力 P が 150 [kW] 以下であることを外部条件とする場合の一階述語論理式 ϕ_1 を例示する。他の 3 とおりの外部条件の場合の一階述語論理式 $\phi_2 \sim \phi_4$ の具体的な数式については、外部条件数式 $F3_i$ 以外は、 ϕ_1 と共通であるため、図 29 においては記載を省略している。すなわち、図 29 の ϕ_1 の式の外部条件数式 $F3_1$ を上記の $F3_2 \sim F3_4$ に置き換えた式が、一階述語論理式 $\phi_2 \sim \phi_4$ である。

$$\phi_1 := \exists P \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2 \wedge F3_1)$$

$$\phi_2 := \exists P \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2 \wedge F3_2)$$

$$\phi_3 := \exists P \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2 \wedge F3_3)$$

$$\phi_4 := \exists P \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2 \wedge F3_4)$$

$$F1 \wedge F2 \wedge F3_1 :=$$

$$P = P1 + P2 + P3 + P4 \wedge L = L1 + L2 + L3 + L4$$

$$\wedge (P1 = 0.12 * L1 + 16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1 = 0 \wedge L1 = 0)$$

$$\wedge (P2 = 0.17 * L2 + 21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2 = 0 \wedge L2 = 0)$$

$$\wedge (P3 = 0.24 * L3 + 26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3 = 0 \wedge L3 = 0)$$

$$\wedge (P4 = a * L4 + 15 \wedge 69 \leq L4 \leq b \wedge 0.1 \leq a \leq 0.35 \wedge 69 \leq b \leq 212 \vee P4 = 0 \wedge L4 = 0)$$

$$\wedge L = 500 \wedge P \leq 150)$$

図 3 O は、一階述語論理式 $\phi_1 \sim \phi_4$ から限定記号を消去して得られる論理式 $\phi_1 \sim \phi_4$ を示す図である。

[0117] 計算部 11 は、生成した一階述語論理式 $\phi_1 \sim \phi_4$ のそれぞれに限定記号消去アルゴリズム (QE []) を適用して、存在記号の付与された変数を消去した論理式 $\phi_1 \sim \phi_4$ を得る。論理式 $\phi_1 \sim \phi_4$ は、冷凍機 #4 の消費電力特性 a と、熱負荷 L_4 の上限 b とが満たす関係式からなる。

$$\phi_1 := QE[\phi_1]$$

$$(\phi_1 := (-213/800 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-678/4075 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 163 - b \leq 0) \vee (-2897/20300 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 203 - b \leq 0) \vee (-2097/19300 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 193 - b \leq 0) \vee (-3/25 + a < 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \dots$$

以下省略)

$$\phi_2 := QE[\phi_2]$$

$$(\phi_2 := (-173/800 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-428/4075 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 163 - b \leq 0) \vee (-3/25 + a < 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-173/800 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-428/4075 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 163 - b \leq 0) \dots \text{以下省略})$$

$$\phi_3 := QE[\phi_3]$$

$$(\phi_3 := (-133/800 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-3/25 + a < 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212$$

$+b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-133/800 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-133/800 + a \leq 0 \wedge 3/25 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \dots$ 以下省略)

$\phi_4 := QE[\phi_4]$

$(\phi_4 := (-93/800 + a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-93/800 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-7/20 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 163 - b \leq 0 \wedge 1050 - 6 * b + 25 * a * b \leq 0) \vee (-7/20 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 163 - b \leq 0 \wedge 1050 - 6 * b + 25 * a * b \leq 0) \dots$ 以下省略)

図31は、表示部5に表示する画面の一例を示す図であり、各論理式 $\phi_1 \sim \phi_4$ が満たす領域A1～A4をそれぞれグラフで示している。縦軸には、冷凍機#4の熱負荷L4の上限bを、横軸には冷凍機#4の消費電力特性aをとる。図31の領域A1～A4は、それぞれ空調システムの総消費電力Pを150、140、130、120[kW]以下とするために必要な冷凍機#4の設備能力を表している。

[0118] 図31に示すように、外部条件により、冷凍機#4の消費電力特性aとその熱負荷L4の上限bとが満たす領域A1～A4は、範囲が異なる。ユーザは、例えば図31の4つのグラフを比較しながら、冷凍機#4の消費電力特性aと熱負荷L4の上限bという互いに相関のある特性に応じて総消費電力Pがどのように変わるかを検討することができる。

[0119] 領域A1～A4は、図31に例示するようにそれぞれを画面上に並べて配置させてもよいし、1つのグラフに各領域のどのあたりが重複しているかを視認可能に表示させてもよい。

[0120] 図32は、表示部5に表示する画面の他の例を示す図であり、各論理式 $\phi_1 \sim \phi_4$ が満たす領域A1～A4を色分け等により識別可能に表示している。図32の例では、斜線や網掛け等により各領域A1～A4をユーザが識別可能に表示している。

[0121] ユーザは、図32に例示するグラフを参照して、例えば、新たに導入する冷凍機#4の消費電力特性aが0.11のとき、総消費電力Pを所定値以下に抑制しようとする場合の熱負荷L4の上限値を確認する。総消費電力を1

50 [kW] 以下にするには、冷凍機 # 4 の熱負荷の上限を 152 [kW] 以上にする必要があることがわかる。同様に、総消費電力を 140 [kW] 以下にするには、当該上限を 168 [kW] 以上に、総消費電力を 130 [kW] 以下にするには、当該上限を 200 [kW] 以上にする必要があることがわかる。

[0122] また、冷凍機 # 4 の熱負荷の上限 b が 200 [kW] 以上の範囲で総消費電力を所定値以下に抑制しようとする場合の冷凍機 # 4 の消費電力特性 a の最適な値を決定することができる。熱負荷の上限が 200 [kW] 以上の条件の下で、総消費電力を 150 [kW] 以下にするには、消費電力特性 a を 0.27 以下にすればよいことがわかる。同様に、同条件の下で総消費電力を 140 [kW] 以下にするには、消費電力特性 a を 0.18 以下にすればよいことがわかる。

[0123] このように、本実施形態に係るエネルギー解析支援装置 1 によれば、相関のある複数の設備の特性間の関係を表した式が得られ、これにより、プラントの総消費電力がどのように変わるかを可視化できる。ユーザにとっては、可視化した結果を用いて、例えばどのような効率及び制約条件を備えた設備を導入すれば省エネ効果がどの程度見込めるのかの検討が容易になる。

[0124] 本実施形態では、新たに導入する設備の制約条件（上記の例では熱負荷の上限）を一方の変数 b に設定して、これを含む論理式 ϕ_i を得てこれを解析用にユーザに提供している。従来は、ある設備の制約条件を変えた場合には、最適な消費エネルギーがどのように変化するかはわからなかったため、省エネを実現するには、設備をどのような制約条件下で運用する必要があるかもわからなかった。しかし、本実施形態に係るエネルギー解析支援装置 1 によれば、例えば制約条件を緩和した（上記の例では熱負荷の上限を上げた）場合には省エネを実現できることがあるが、そのような状態についても検証することが可能となる。

[0125] ところで、図 1 のエネルギー解析支援装置 1 は、例えば、図 33 に示すような情報処理装置（コンピュータ）を用いて構成することができる。図 33

の情報処理装置は、CPU（中央処理装置）1001、メモリ1002、入力装置1003、出力装置1004、外部記憶装置1005、媒体駆動装置1006、ネットワーク接続装置1007を備え、それらはバス1008により互いに接続されている。

[0126] メモリ1002は、例えば、ROM（read only memory）、RAM（random access memory）等を含み、処理に用いられるプログラムおよびデータを格納する。CPU1001は、メモリ1002を利用してプログラムを実行することにより、必要な処理を行う。

[0127] 図1の計算部11及び出力部12は、メモリ1002に格納されたプログラムを実行することにより実現される機能に対応する。

[0128] 入力装置1003は、例えば、キーボード、ポインティングデバイス、タッチパネル等であり、ネットワーク管理者等のオペレータからの指示や情報の入力に用いられる。出力装置1004は、例えば、ディスプレイ、プリンタ、スピーカ等であり、ユーザへの問い合わせ、アラーム、処理結果等の出力に用いられる。

[0129] 外部記憶装置1005は、例えば、磁気ディスク装置、光ディスク装置、光磁気ディスク装置、テープ装置等である。情報処理装置は、この外部記憶装置1005に、上記プログラムおよびデータを格納しておき、必要に応じて、それらをメモリ1002にロードして使用する。

[0130] 媒体駆動装置1006は、可搬記録媒体1009を駆動し、その記録内容にアクセスする。可搬記録媒体1009は、メモリカード、フレキシブルディスク、CD-ROM（compact disk read only memory）、光ディスク、光磁気ディスク等の任意のコンピュータ読み取り可能な記録媒体である。オペレータは、この可搬記録媒体1009に上記プログラムおよびデータを格納しておき、必要に応じて、それらをメモリ1002にロードして使用する。

[0131] ネットワーク接続装置1007は、LAN（local area network）、インターネット等の任意の通信ネットワークに接続され、通信に伴うデータ変換

を行う。情報処理装置は、必要に応じて、上記プログラムおよびデータを外部の装置からネットワーク接続装置１００７を介して受け取り、それらをメモリ１００２にロードして使用する。

[0132] 図３４は、図３３の情報処理装置にプログラムおよびデータを供給することのできるコンピュータ読み取り可能な記録媒体を示している。可搬記録媒体１００９やサーバ１１０１のデータベース１１０３に格納されたプログラムおよびデータは、情報処理装置１１０２のメモリ１００２にロードされる。サーバ１１０１は、そのプログラムおよびデータを搬送する搬送信号を生成し、ネットワーク上の任意の伝送媒体を介して情報処理装置１１０２に送信する。ＣＰＵ１００１は、そのデータを用いてそのプログラムを実行し、必要な処理を行う。

[0133] 本発明は上述した実施形態そのままに限定されるものではなく、実施段階でのその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化することができる。また、上記実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせにより、種々の発明を形成することができる。例えば、実施形態に示される全構成要素を適宜組み合わせても良い。さらに、異なる実施形態にわたる構成要素を適宜組み合わせてもよい。このような、発明の趣旨を逸脱しない範囲内において種々の変形や応用が可能であることは言うまでもない。

符号の説明

[0134]

1	エネルギー解析支援装置
2	入力部
5	表示部
11	計算部
12	出力部

請求の範囲

[請求項1]

複数の設備からなるプラントのエネルギー解析支援装置であって、
前記プラントのモデルと、前記プラントを構成する設備の能力を表す設備モデルと、前記プラントの消費エネルギーまたは負荷を表す外部条件とが与えられると、前記プラントのモデルを表す数式、前記設備モデルを表す数式及び外部条件を表す数式より、解析対象の設備の特性を表した少なくとも一の変数を含む論理式を生成する計算部と、
前記計算部により生成された論理式に基づいて、前記一の変数が表す前記解析対象の設備の特性を2軸のうちの一の軸とするグラフを生成して出力する出力部と、
を有することを特徴とするエネルギー解析支援装置。

[請求項2]

前記計算部は、前記プラントのモデル、前記設備モデル及び前記外部条件より、一階述語論理式を生成し、生成した一階述語論理式に限定記号消去アルゴリズムを用いて限定記号を消去することにより、前記一の変数を含んだ論理式を算出することを特徴とする請求項1記載のエネルギー解析支援装置。

[請求項3]

前記計算部は、
前記プラントのモデル、前記設備モデル及び前記外部条件より、前記プラント全体の総負荷と前記プラントの各設備に配分される負荷との関係、及び前記プラントにおける各設備の消費エネルギーと前記プラント全体の総消費エネルギーとの関係を表すシステムモデル数式と、各設備の負荷と消費エネルギーの関係を表す設備モデル数式と、前記プラント全体の総負荷または前記プラント全体の消費エネルギーを表した外部条件数式とを生成し、
前記システムモデル数式、前記設備モデル数式及び前記外部条件数式を論理積で結合し、前記限定記号消去アルゴリズムにて消去すべき変数に対して存在記号を付与することにより、前記一階述語論理式を生成することを特徴とする請求

項2記載のエネルギー解析支援装置。

[請求項4] 前記計算部は、前記システムモデル数式、前記設備モデル数式及び前記外部条件数式を論理積で結合した式に、前記一の変数として前記生成する論理式に含まれる前記解析対象の設備の特性と、前記プラントの総消費エネルギーを表す変数以外の全ての変数に限定記号を付与することにより、前記一階述語論理式を生成することを特徴とする請求項3記載のエネルギー解析支援装置。

[請求項5] 前記計算部は、前記解析対象の設備を稼働させた場合及び停止させた場合のそれぞれについて前記設備モデル数式を生成して、それぞれの場合についての前記解析対象の設備の特性と前記プラントの総消費エネルギーとの実行可能な関係を表した論理式を得ることを特徴とする請求項4記載のエネルギー解析支援装置。

[請求項6] 前記計算部において限定記号を消去して得られる前記論理式に含まれる前記一の変数は、前記解析対象の設備の消費エネルギー効率を表すことを特徴とする請求項4記載のエネルギー解析支援装置。

[請求項7] 前記計算部において限定記号を消去して得られる前記論理式に含まれる前記一の変数は、前記解析対象の設備の負荷についての制約条件を表すことを特徴とする請求項4記載のエネルギー解析支援装置。

[請求項8] 前記計算部は、前記システムモデル数式、前記設備モデル数式及び前記外部条件数式を論理積で結合した式に、前記解析対象の設備の特性を表す前記一の変数及び前記解析対象の設備の他の特性を表す他の変数以外の全ての変数に限定記号を付与することにより、前記一階述語論理式を生成することを特徴とする請求項3記載のエネルギー解析支援装置。

[請求項9] 前記計算部において限定記号を消去して得られる前記論理式に含まれる前記一の変数は、前記解析対象の設備の消費エネルギー効率を表

し、前記他の変数は、前記解析対象の設備の負荷についての制約条件を表す

ことを特徴とする請求項 8 記載のエネルギー解析支援装置。

[請求項10] 前記出力部は、前記限定記号を消去して得られた論理式に含まれる変数のうち、前記プラントの総消費エネルギーを表す変数または前記解析対象の設備の他の特性を表す他の変数を前記 2 軸のうちの他の軸として、前記グラフを生成して出力する

ことを特徴とする請求項 4 から 9 のいずれか 1 項に記載のエネルギー解析支援装置。

[請求項11] 前記計算部は、前記外部条件数式として、前記プラントの総消費エネルギーが所定の範囲となることを表す式を生成する

ことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載のエネルギー解析支援装置。

[請求項12] 前記計算部は、前記外部条件数式として、前記プラントの総負荷が所定の範囲となることを表す式を生成する

ことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載のエネルギー解析支援装置。

[請求項13] 前記計算部は、複数とおりの前記外部条件が与えられると、前記複数とおりの外部条件に対応する前記複数とおりの論理式を算出し、

前記出力部は、前記複数とおりの外部条件のそれぞれについて求めた論理式に基づいて、前記グラフを生成して出力する

ことを特徴とする請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載のエネルギー解析支援装置。

[請求項14] 前記出力部は、前記複数とおりの外部条件のそれぞれについて求めた論理式が満たす領域を同時に表示させたグラフを生成して出力する

ことを特徴とする請求項 13 記載のエネルギー解析支援装置。

[請求項15] 複数の設備からなるプラントのエネルギー解析支援処理を情報処理装置に実行させるためのエネルギー解析支援プログラムであって、

前記プラントのモデルと、前記プラントを構成する設備の能力を表す設備モデルと、前記プラントの消費エネルギーまたは負荷を表す外部条件とが与えられると、前記プラントのモデルを表す数式、前記設備モデルを表す数式及び外部条件を表す数式より、解析対象の設備の特性を表した少なくとも一の変数を含む論理式を生成し、

前記生成された論理式に基づいて、前記一の変数が表す前記解析対象の設備の特性を2軸のうちの一の軸とするグラフを生成して出力する、

ことを特徴とするエネルギー解析支援プログラム。

[請求項16]

複数の設備からなるプラントのエネルギー解析支援処理を情報処理装置に実行させるためのエネルギー解析支援プログラムを記録した記録媒体であって、

前記プラントのモデルと、前記プラントを構成する設備の能力を表す設備モデルと、前記プラントの消費エネルギーまたは負荷を表す外部条件とが与えられると、前記プラントのモデルを表す数式、前記設備モデルを表す数式及び外部条件を表す数式より、解析対象の設備の特性を表した少なくとも一の変数を含む論理式を生成し、

前記生成された論理式に基づいて、前記一の変数が表す前記解析対象の設備の特性を2軸のうちの一の軸とするグラフを生成して出力する、

ことを特徴とする記録媒体。

[請求項17]

複数の設備からなるプラントのエネルギー解析支援方法であって、

前記プラントのモデルと、前記プラントを構成する設備の能力を表す設備モデルと、前記プラントの消費エネルギーまたは負荷を表す外部条件とが与えられると、前記プラントのモデルを表す数式、前記設備モデルを表す数式及び外部条件を表す数式より、解析対象の設備の特性を表した少なくとも一の変数を含む論理式を生成し、

前記生成された論理式に基づいて、前記一の変数が表す前記解析対

象の設備の特性を2軸のうちの一の軸とするグラフを生成して出力する、

ことを特徴とするエネルギー解析支援方法。

補正された請求の範囲

[2016年2月26日(26.02.2016) 国際事務局受理]

〔請求項1〕（補正後） 複数の設備からなるプラントのエネルギー解析支援装置であって、

前記プラントのモデルと、前記プラントを構成する設備の能力を表す設備モデルと、前記プラントの消費エネルギーまたは負荷を表す外部条件とが与えられると、前記プラントのモデルを表す数式、解析対象の設備については、その消費エネルギー効率または負荷についての制約条件を表した、少なくとも一の変数を用いて、前記プラントを構成する各設備の負荷と消費エネルギーとの関係を記述した前記設備モデルを表す数式、及び外部条件を表す数式より、前記少なくとも一の変数を含む論理式を生成する計算部と、

前記計算部により生成された論理式に基づいて、前記一の変数が表す前記解析対象の設備の特性を2軸のうちの一の軸とするグラフを生成して出力する出力部と、

を有することを特徴とするエネルギー解析支援装置。

〔請求項2〕 前記計算部は、前記プラントのモデル、前記設備モデル及び前記外部条件より、一階述語論理式を生成し、生成した一階述語論理式に限定記号消去アルゴリズムを用いて限定記号を消去することにより、前記一の変数を含んだ論理式を算出する

ことを特徴とする請求項1記載のエネルギー解析支援装置。

〔請求項3〕 前記計算部は、

前記プラントのモデル、前記設備モデル及び前記外部条件より、前記プラント全体の総負荷と前記プラントの各設備に配分される負荷との関係、及び前記プラントにおける各設備の消費エネルギーと前記プラント全体の総消費エネルギーとの関係を表すシステムモデル数式と、各設備の負荷と消費エネルギーの関係を表す設備モデル数式と、前記プラント全体の総負荷または前記プラント全体の消費エネルギーを表した外部条件数式とを生成し、

前記システムモデル数式、前記設備モデル数式及び前記外部条件数式を論理積で結合し、前記限定記号消去アルゴリズムにて消去すべき変数に対して存在記号を付与する

ことにより、前記一階述語論理式を生成することを特徴とする請求項2記載のエネルギー解析支援装置。

〔請求項4〕 前記計算部は、前記システムモデル数式、前記設備モデル数式及び前記外部条件数式を論理積で結合した式に、前記一の変数として前記生成する論理式に含まれる前記解析対象の設備の特性と、前記プラントの総消費エネルギーを表す変数以外の全ての変数に限定記号を付与することにより、前記一階述語論理式を生成することを特徴とする請求項3記載のエネルギー解析支援装置。

〔請求項5〕 前記計算部は、前記解析対象の設備を稼働させた場合及び停止させた場合のそれぞれについて前記設備モデル数式を生成して、それぞれの場合についての前記解析対象の設備の特性と前記プラントの総消費エネルギーとの実行可能な関係を表した論理式を得る

ことを特徴とする請求項4記載のエネルギー解析支援装置。

〔請求項6〕 前記計算部において限定記号を消去して得られる前記論理式に含まれる前記一の変数は、前記解析対象の設備の消費エネルギー効率を表す

ことを特徴とする請求項4記載のエネルギー解析支援装置。

〔請求項7〕 前記計算部において限定記号を消去して得られる前記論理式に含まれる前記一の変数は、前記解析対象の設備の負荷についての制約条件を表す

ことを特徴とする請求項4記載のエネルギー解析支援装置。

〔請求項8〕 前記計算部は、前記システムモデル数式、前記設備モデル数式及び前記外部条件数式を論理積で結合した式に、前記解析対象の設備の特性を表す前記一の変数及び前記解析対象の設備の他の特性を表す他の変数以外の全ての変数に限定記号を付与することにより

、前記一階述語論理式を生成することを特徴とする請求項 3 記載のエネルギー解析支援装置。

〔請求項 9〕 前記計算部において限定記号を消去して得られる前記論理式に含まれる前記一の変数は、前記解析対象の設備の消費エネルギー効率を表し、前記他の変数は、前記解析対象の設備の負荷についての制約条件を表す

ことを特徴とする請求項 8 記載のエネルギー解析支援装置。

〔請求項 10〕 前記出力部は、前記限定記号を消去して得られた論理式に含まれる変数のうち、前記プラントの総消費エネルギーを表す変数または前記解析対象の設備の他の特性を表す他の変数を前記 2 軸のうちの他の軸として、前記グラフを生成して出力する

ことを特徴とする請求項 4 から 9 のいずれか 1 項に記載のエネルギー解析支援装置。

〔請求項 11〕 前記計算部は、前記外部条件数式として、前記プラントの総消費エネルギーが所定の範囲となることを表す式を生成する

ことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載のエネルギー解析支援装置。

〔請求項 12〕 前記計算部は、前記外部条件数式として、前記プラントの総負荷が所定の範囲となることを表す式を生成する

ことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載のエネルギー解析支援装置。

〔請求項 13〕 前記計算部は、複数とおりの前記外部条件が与えられると、前記複数とおりの外部条件に対応する前記複数とおりの論理式を算出し、

前記出力部は、前記複数とおりの外部条件のそれぞれについて求めた論理式に基づいて、前記グラフを生成して出力する

ことを特徴とする請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載のエネルギー解析支援装置。

〔請求項 1 4〕 前記出力部は、前記複数とおりの外部条件のそれぞれについて求めた論理式が満たす領域を同時に表示させたグラフを生成して出力する

ことを特徴とする請求項 1 3 記載のエネルギー解析支援装置。

〔請求項 1 5〕（補正後） 複数の設備からなるプラントのエネルギー解析支援処理を情報処理装置に実行させるためのエネルギー解析支援プログラムであって、

前記プラントのモデルと、前記プラントを構成する設備の能力を表す設備モデルと、前記プラントの消費エネルギーまたは負荷を表す外部条件とが与えられると、前記プラントのモデルを表す数式、解析対象の設備については、その消費エネルギー効率または負荷についての制約条件を表した、少なくとも一の変数を用いて、前記プラントを構成する各設備の負荷と消費エネルギーとの関係を記述した前記設備モデルを表す数式、及び外部条件を表す数式より、前記少なくとも一の変数を含む論理式を生成し、

前記生成された論理式に基づいて、前記一の変数が表す前記解析対象の設備の特性を 2 軸のうちの一の軸とするグラフを生成して出力する、

ことを特徴とするエネルギー解析支援プログラム。

〔請求項 1 6〕（補正後） 複数の設備からなるプラントのエネルギー解析支援処理を情報処理装置に実行させるためのエネルギー解析支援プログラムを記録した記録媒体であって、

前記プラントのモデルと、前記プラントを構成する設備の能力を表す設備モデルと、前記プラントの消費エネルギーまたは負荷を表す外部条件とが与えられると、前記プラントのモデルを表す数式、解析対象の設備については、その消費エネルギー効率または負荷についての制約条件を表した、少なくとも一の変数を用いて、前記プラントを構成する各設備の負荷と消費エネルギーとの関係を記述した前記設備モ

デルを表す数式、及び外部条件を表す数式より、前記少なくとも一の変数を含む論理式を生成し、

前記生成された論理式に基づいて、前記一の変数が表す前記解析対象の設備の特性を2軸のうちの一の軸とするグラフを生成して出力する、

ことを特徴とする記録媒体。

〔請求項17〕（補正後） 複数の設備からなるプラントのエネルギー解析支援方法であって、

前記プラントのモデルと、前記プラントを構成する設備の能力を表す設備モデルと、前記プラントの消費エネルギーまたは負荷を表す外部条件とが与えられると、前記プラントのモデルを表す数式、解析対象の設備については、その消費エネルギー効率または負荷についての制約条件を表した、少なくとも一の変数を用いて、前記プラントを構成する各設備の負荷と消費エネルギーとの関係を記述した前記設備モデルを表す数式、及び外部条件を表す数式より、前記少なくとも一の変数を含む論理式を生成し、

前記生成された論理式に基づいて、前記一の変数が表す前記解析対象の設備の特性を2軸のうちの一の軸とするグラフを生成して出力する、

ことを特徴とするエネルギー解析支援方法。

条約第19条(1)に基づく説明書

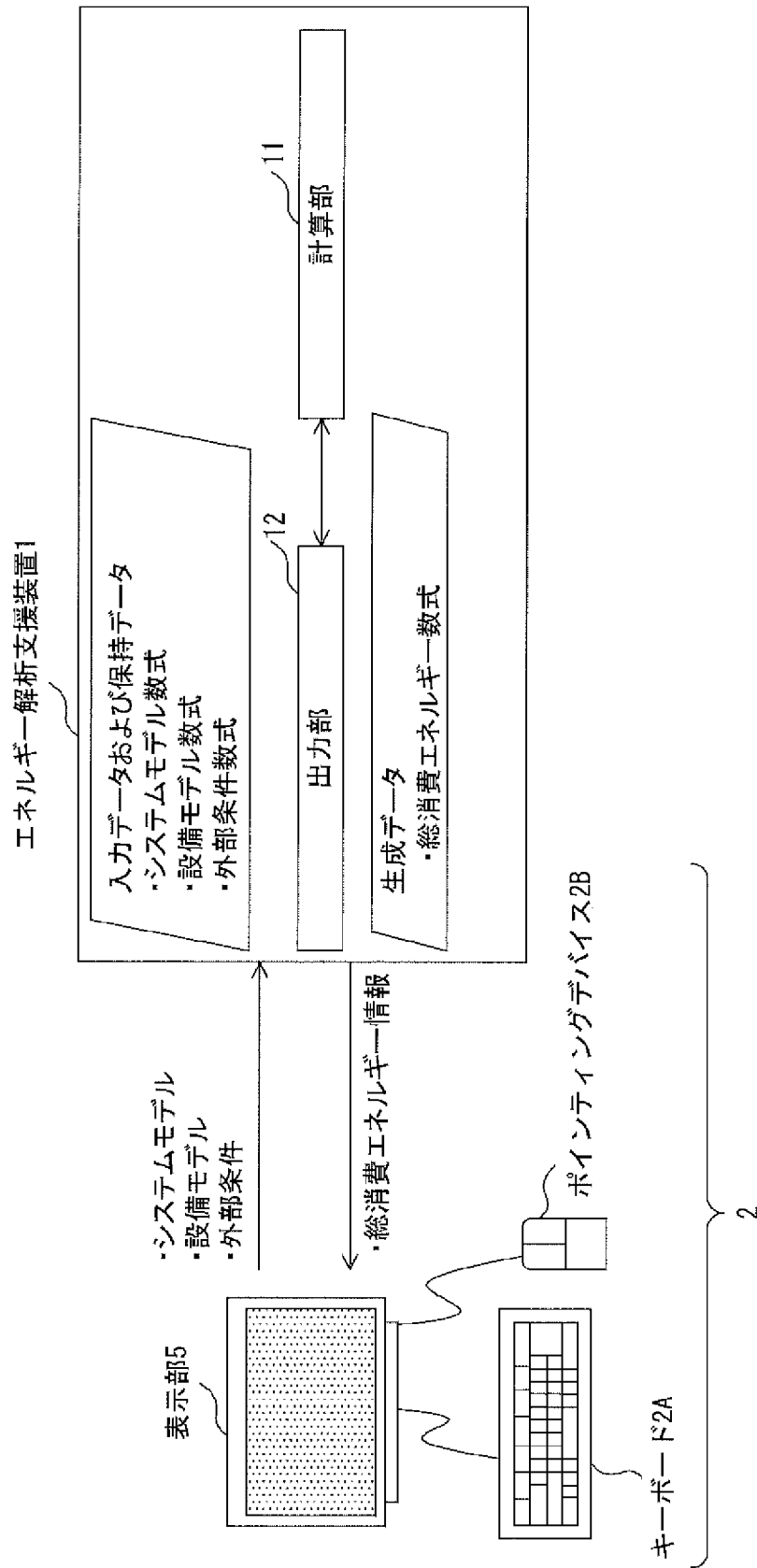
請求の範囲第1項及び第15項～第17項については、計算部が、プラントのモデルを表す数式、解析対象の設備については、その消費エネルギー効率または負荷についての制約条件を表した、少なくとも一の変数を用いて、プラントを構成する各設備の負荷と消費エネルギーとの関係を記述した設備モデルを表す数式、及び外部条件を表す数式より、少なくとも一の変数を含む論理式を生成することを明確に致しました。

文献1には、N個の熱源機器を備えた空調システムを制御する際の熱源機器ごとの熱負荷配分の決定を支援する空調制御支援装置において、N個の熱源機器から1つの熱源機器(n)を順次選択しつつ、システムモデル、機器モデル、外気条件変化、要求熱負荷に基づき生成された数式群と、過去に選択された熱源機器の供給熱負荷を指定数式との論理積(Φn)をとり、熱源機器(n)の供給熱負荷($L n$)及び空調システムの総消費電力(P)以外の変数に限定記号を付けて一階述語論理式(ψn)を生成し、限定記号消去処理により熱源機器(n)の供給熱負荷($L n$)に応じた空調システムの総消費電力(P)の変化範囲を表す消費電力範囲論理式($\Phi(P, L n)$)を生成して、そのグラフを表示部に表示させることについて記載されています。

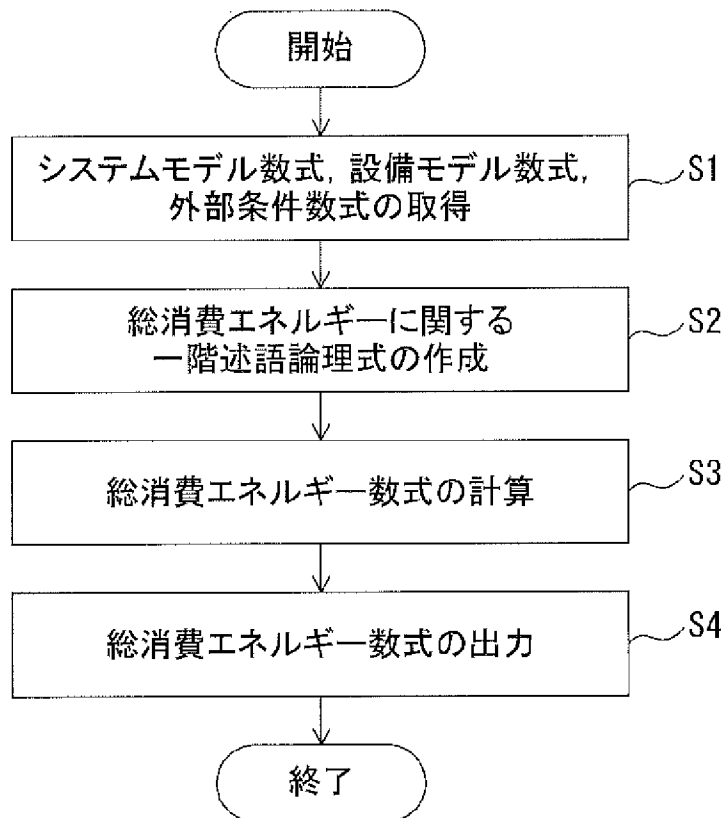
文献2には、一階述語論理式に基づくエネルギー解析を行うエネルギー解析装置において、解析条件として、複数の解析条件情報のそれぞれに対応するグラフを生成すること等について記載されています。

本発明は、プラントのモデルと、プラントを構成する設備の能力を表す設備モデルと、プラントの消費エネルギーまたは負荷を表す外部条件とが与えられると、プラントのモデルを表す数式、「解析対象の設備については、その消費エネルギー効率または負荷についての制約条件を表した、少なくとも一の変数を用いて、」プラントを構成する各設備の負荷と消費エネルギーとの関係を記述した前記設備モデルを表す数式、及び外部条件を表す数式より、少なくとも一の変数を含む論理式を生成します。これにより、本発明は、計算部により生成された論理式に基づき、前記一の変数、すなわち、「解析対象の設備についての消費エネルギー効率または負荷についての制約条件を表した変数が表す解析対象の設備の特性」を2軸のうちの一の軸とするグラフを生成して出力することが可能となります。

[図1]



[図2]



[図3]

$$\psi := \exists P_1, \dots, \exists P_N \exists L \exists L_1, \dots, \exists L_N (F_1 \wedge F_2 \wedge F_3) \tag{3-1}$$

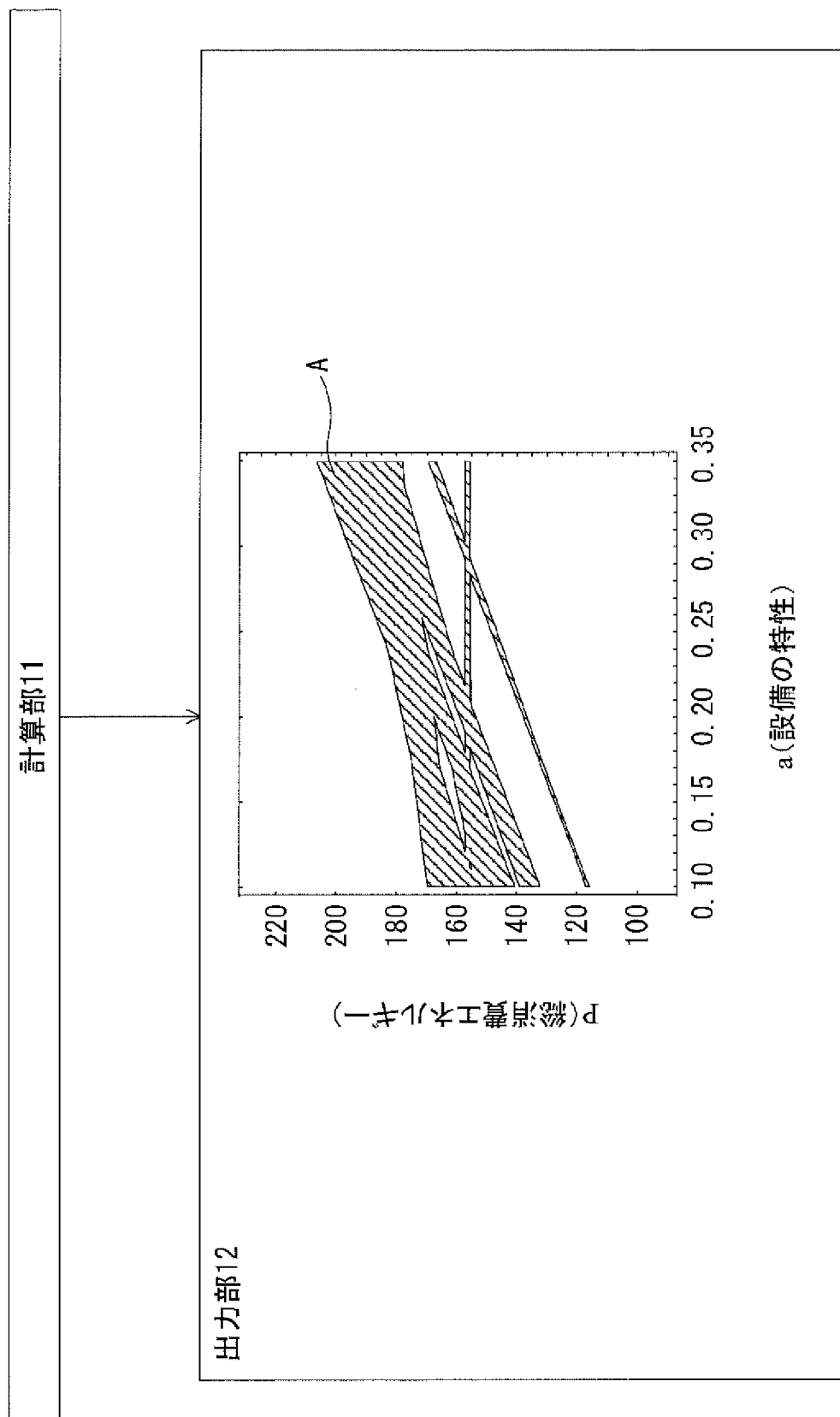
ψ	: 総消費エネルギーに関する一階述語論理式
F_1	: システムモデル数式
F_2	: 設備モデル数式
F_3	: 外部条件数式
N	: 設備の台数
L_n	: 設備 n の負荷を表す変数
P_n	: 設備 n の消費エネルギーを表す変数
L	: 総負荷を表す変数

$$\varphi := QE[\psi]$$

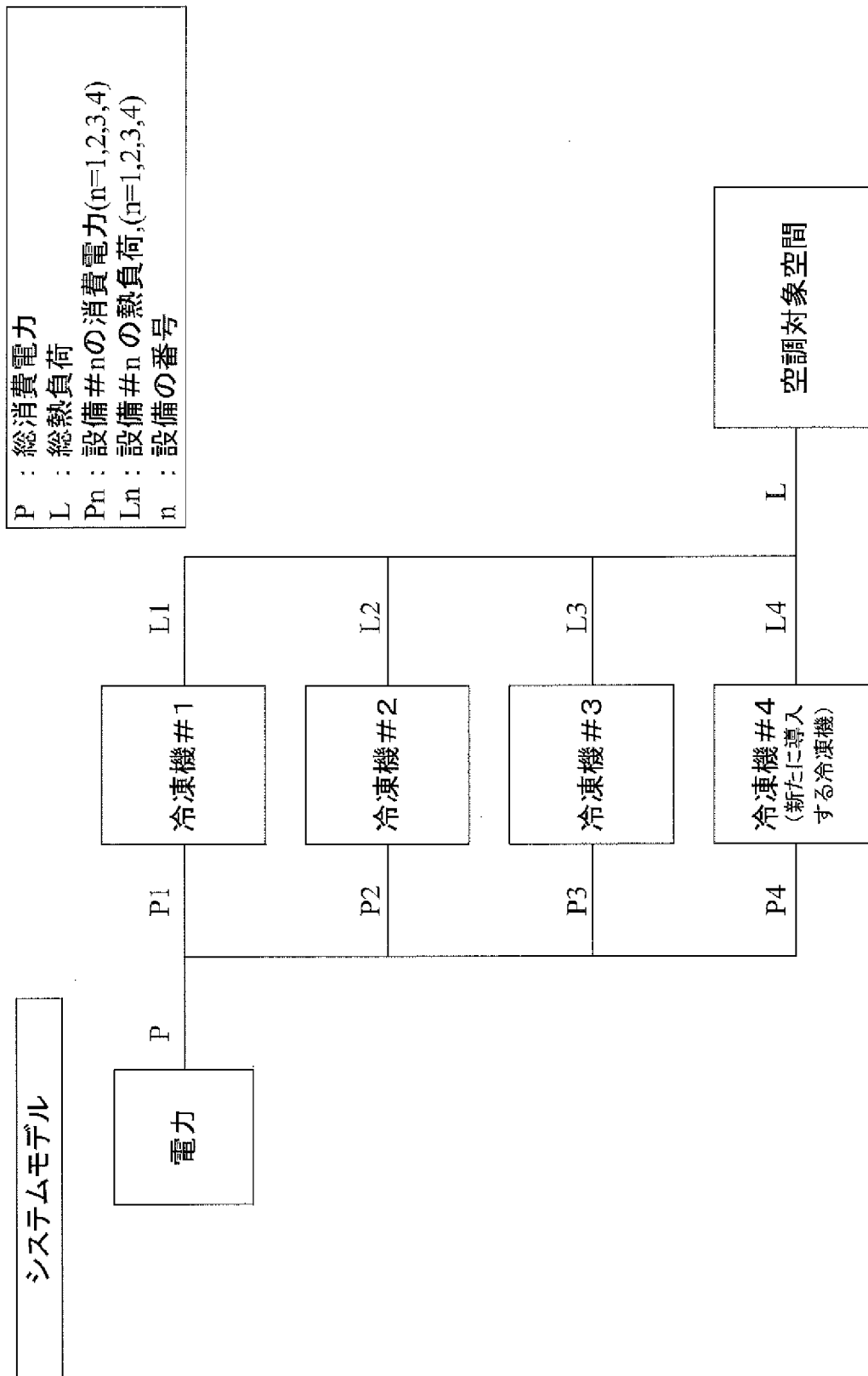
($\varphi := (P \text{ と } a \text{ に関する数式})$)

ψ	: 総消費エネルギーに関する一階述語論理式
φ	: 総消費エネルギー数式

[図4]

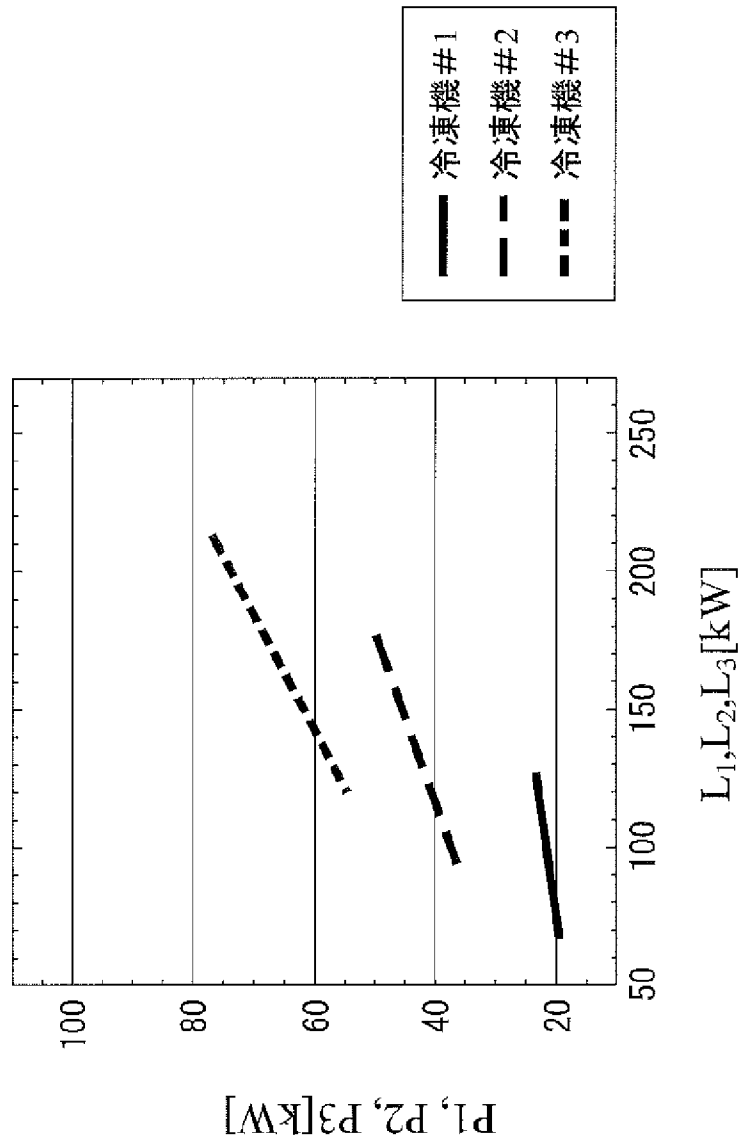


[図5]

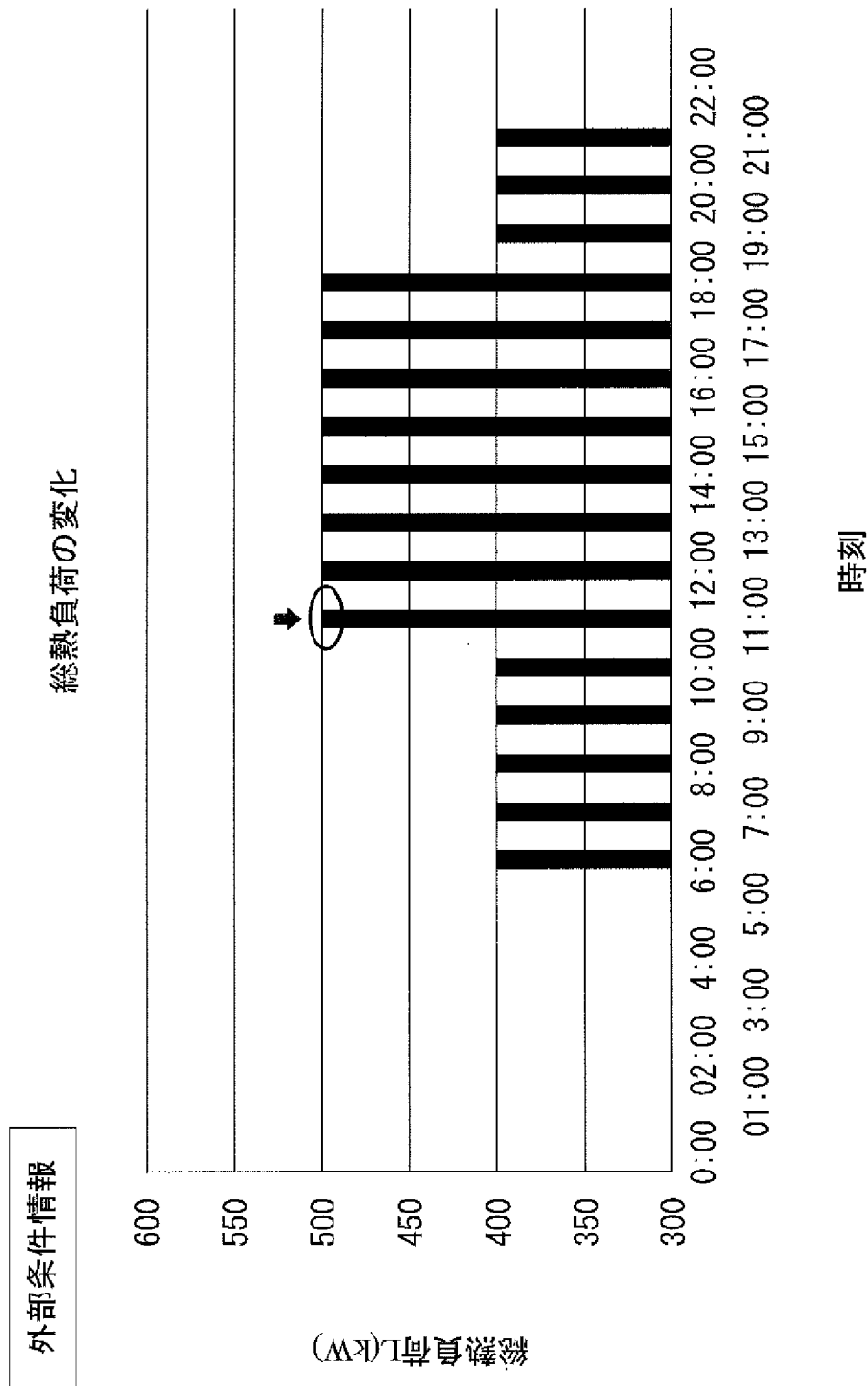


[図6]

設備モデル



[図7]



[図8]

システムモデル数式(F1)

$$F1:=P=P1+P2+P3+P4 \wedge L=L1+L2+L3+L4$$

(8-1)

設備モデル数式(F2)

$$F2:=(P1=0.12*L1+16 \wedge 69<L1<=125 \vee P1=0 \wedge L1=0) \wedge (P2=0.17*L2+21 \wedge 95<L2<=175 \vee P2=0 \wedge L2=0) \wedge (P3=0.24*L3+26 \wedge 122<L3<=212 \vee P3=0 \wedge L3=0) \wedge (P4=a*L4+15 \wedge 69<L4<=212 \wedge 0.1<a<=0.35 \vee P4=0 \wedge L4=0) \dots$$

既存の冷凍機#1～#3の特性を表す数式

導入する冷凍機#4の特性を表す数式

外部条件数式(F3)

$$F3 := L=500$$

F1	: システムモデル数式
F2	: 設備モデル数式
F3	: 外部条件数式
P	: 総消費電力
L	: 総熱負荷
P _n	: 設備 #nの消費電力(n=1,2,3,4)
L _n	: 設備 #nの熱負荷 (n=1,2,3,4)
a	: 設備の特性を表す変数(消費電力特性を表す変数)
n	: 設備の番号

[図9]

$$\begin{aligned}
 \psi := & \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2 \wedge F3) \\
 & \text{~~~~~} \quad \quad \quad (9-1) \\
 & F1 \wedge F2 \wedge F3 := \\
 & P = P1 + P2 + P3 + P4 \wedge L = L1 + L2 + L3 + L4 \\
 & \wedge (P1 = 0.12 * L1 + 16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1 = 0 \wedge L1 = 0) \\
 & \wedge (P2 = 0.17 * L2 + 21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2 = 0 \wedge L2 = 0) \\
 & \wedge (P3 = 0.24 * L3 + 26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3 = 0 \wedge L3 = 0) \\
 & \wedge (P4 = a * L4 + 15 \wedge 69 \leq L4 \leq 212 \wedge 0.1 \leq a \leq 0.35 \vee P4 = 0 \wedge L4 = 0) \\
 & \wedge L = 500) \\
 & \text{~~~~~} \quad \quad \quad (9-2)
 \end{aligned}$$

F1 : システムモデル数式

F2 : 設備モデル数式

F3 : 外部条件数式

P : 総消費電力

L : 総熱負荷

Pn : 設備 #n の消費電力 (n=1,2,3,4)

Ln : 設備 #n の熱負荷 (n=1,2,3,4)

a : 設備の特性を表す変数 (消費電力特性を表す変数)

 ψ : 総消費電力に関する一階述語論理式

[図10]

$$\begin{aligned} \varphi := & QE[\psi] \\ (\varphi := & (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 14263/100 + 212*a - P = 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge \\ & 1/10 - a \leq 0 \wedge 14263/100 + 212*a - P = 0 \wedge 12763/100 - P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \\ & \leq 0 \wedge 15083/100 + 212*a - P \leq 0 \wedge -3888/25 - 212*a + P \leq 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \\ & \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 7759/50 + 212*a - P \leq 0 \wedge -3888/25 - 212*a + P \leq 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 \\ & + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 15487/100 + 212*a - P \leq 0 \wedge -3888/25 - 212*a + P \leq 0 \wedge -P < \\ & 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 16691/100 + 143*a - P \leq 0 \wedge -16691/100 - 145*a + P \\ & \leq 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 3007/20 + 212*a - P \leq 0 \wedge -15083/100 - \\ & 212*a + P \leq 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 14807/100 + 212*a - P \leq 0 \wedge \\ & -15083/100 - 212*a + P \leq 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 3007/20 + 212*a - \\ & P \leq 0 \wedge -7759/50 - 212*a + P \leq 0 \wedge -P < 0) \vee \dots (\text{以下省略})) \end{aligned}$$

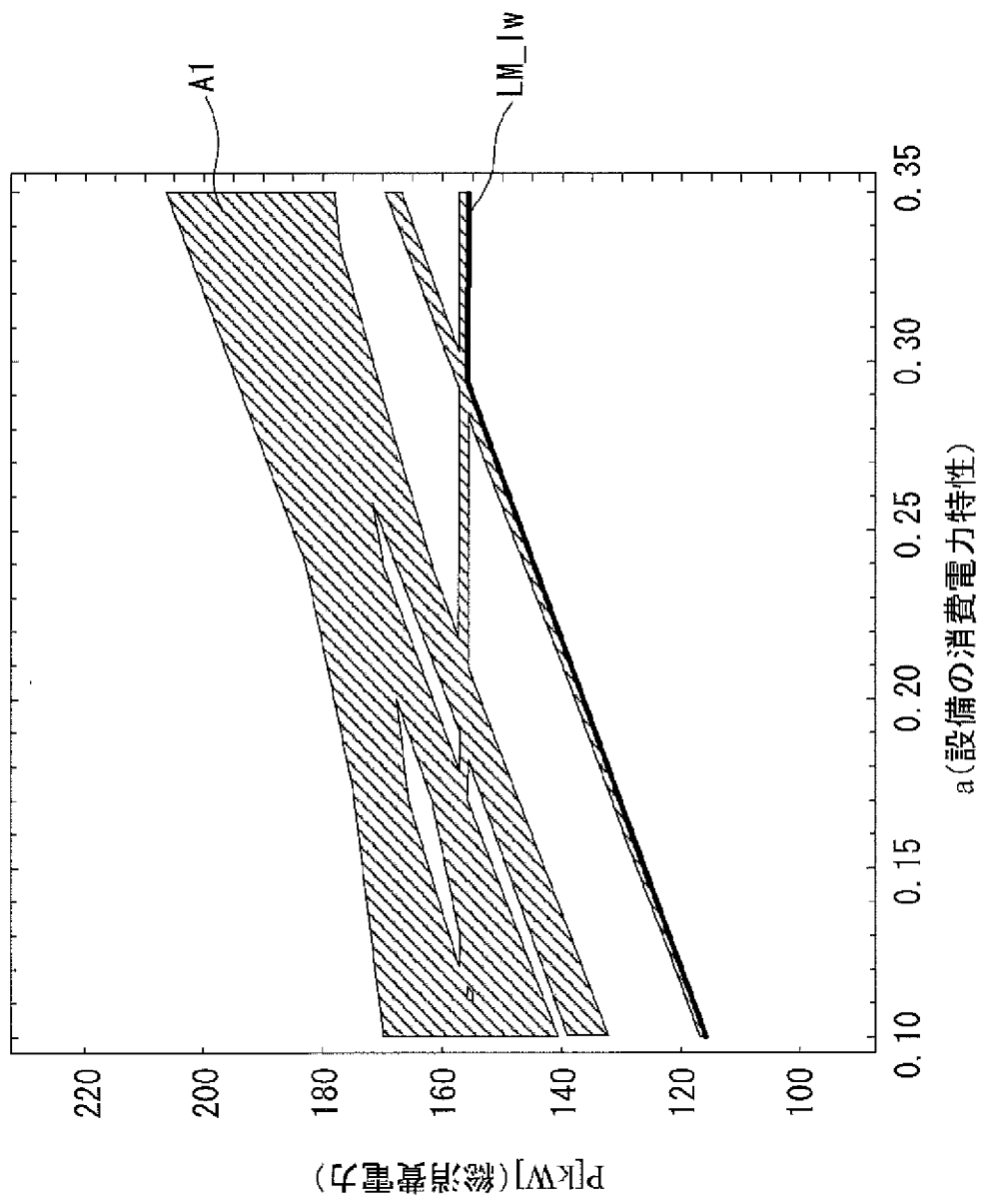
ψ : 総消費電力に関する一階述語論理式

φ : 総消費電力数式

P : 総消費電力を表す変数

a : 設備特性を表す変数

[図11]



[図12]

冷凍機#4が稼働しない場合の設備モデル数式例 (F2')	$\begin{aligned} F2' := & (P1=0.12 * L1 + 16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1=0 \wedge L1=0) \\ & \wedge (P2=0.17 * L2 + 21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2=0 \wedge L2=0) \\ & \wedge (P3=0.24 * L3 + 26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3=0 \wedge L3=0) \\ & \wedge (P4=0 \wedge L4=0) \quad \dots \quad (12-1) \end{aligned}$
冷凍機#4が稼働する場合の設備モデル数式例(F2'')	$\begin{aligned} F2'' := & (P1=0.12 * L1 + 16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1=0 \wedge L1=0) \\ & \wedge (P2=0.17 * L2 + 21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2=0 \wedge L2=0) \\ & \wedge (P3=0.24 * L3 + 26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3=0 \wedge L3=0) \\ & \wedge (P4=a * L4 + 15 \wedge 69 \leq L4 \leq 212 \wedge 0.1 \leq a \leq 0.35) \quad \dots \quad (12-2) \end{aligned}$
F2' : 冷凍機4が稼働しない場合の設備モデル数式 F2'' : 冷凍機4が稼働する場合の設備モデル数式例 Pn : 設備#nの消費電力(n=1,2,3,4) Ln : 設備#nの熱負荷 (n=1,2,3,4) a : 設備の特性を表す変数(消費電力特性を表す変数) n : 設備の番号	

[図13]

$$\psi 2' := \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2' \wedge F3)$$

$$(F1 \wedge F2' \wedge F3 :=$$

$$P = P1 + P2 + P3 + P4 \wedge L = L1 + L2 + L3 + L4$$

$$\wedge (P1 = 0.12 * L1 + 16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1 = 0 \wedge L1 = 0)$$

$$\wedge (P2 = 0.17 * L2 + 21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2 = 0 \wedge L2 = 0)$$

$$\wedge (P3 = 0.24 * L3 + 26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3 = 0 \wedge L3 = 0)$$

$$\wedge (P4 = 0 \wedge L4 = 0)$$

$$\wedge L = 500))$$

F1 : システムモデル数式

F2' : 冷凍機4が稼働しない場合の設備モデル数式

F2'' : 冷凍機4が稼働する場合の設備モデル数式

F3 : 外部条件数式

P : 総消費電力

L : 総熱負荷

Pn : 設備#nの消費電力(n=1,2,3,4)

Ln : 設備#nの熱負荷(n=1,2,3,4)

a : 設備の特性を表す変数(消費電力特性を表す変数)

 $\psi 2'$: 冷凍機#4が稼働しない場合の一階述語論理式 $\psi 2''$: 冷凍機#4が稼働する場合の一階述語論理式

$$\psi 2'' := \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2'' \wedge F3)$$

$$(F1 \wedge F2'' \wedge F3 :=$$

$$P = P1 + P2 + P3 + P4 \wedge L = L1 + L2 + L3 + L4$$

$$\wedge (P1 = 0.12 * L1 + 16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1 = 0 \wedge L1 = 0)$$

$$\wedge (P2 = 0.17 * L2 + 21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2 = 0 \wedge L2 = 0)$$

$$\wedge (P3 = 0.24 * L3 + 26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3 = 0 \wedge L3 = 0)$$

$$\wedge (P4 = a * L4 + 15 \wedge 69 \leq L4 \leq 212 \wedge 0.1 \leq a \leq 0.35)$$

$$\wedge L = 500))$$

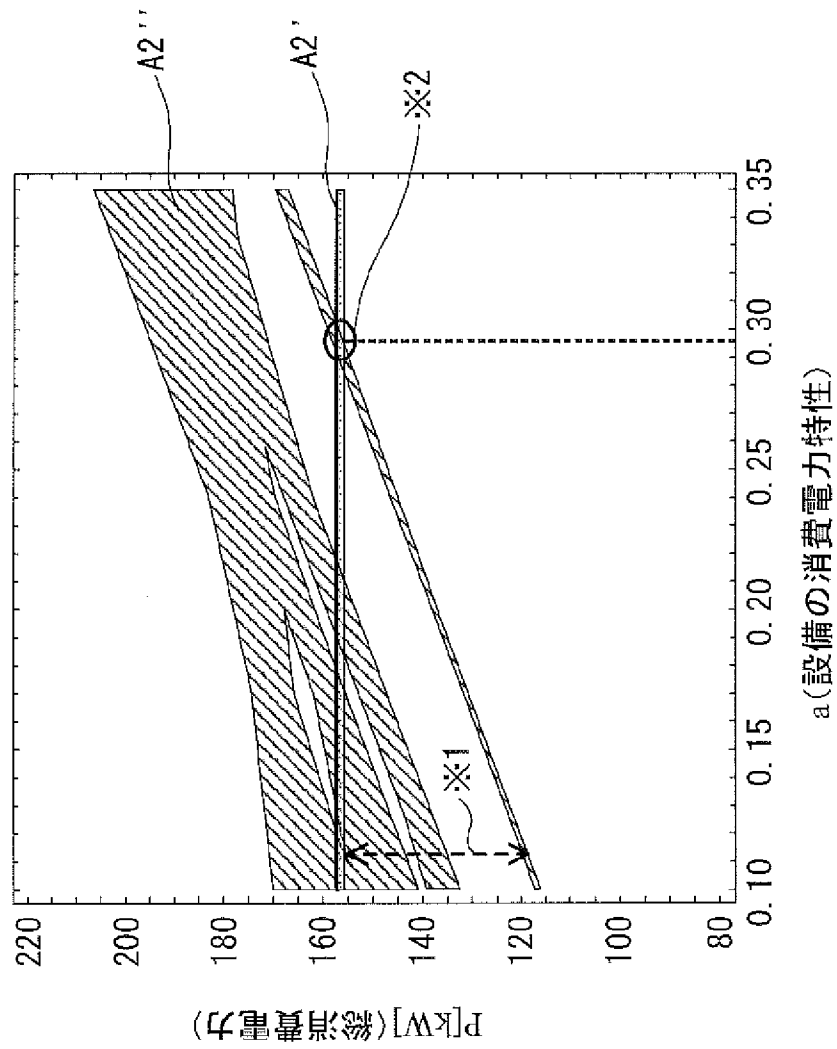
[図14]

$$\begin{aligned} \phi 2' &:= \text{QE}[\psi 2'] \\ (\phi 2' &:= 623/4 \leq P \leq 15719/100) \quad \dots \quad (14-1) \end{aligned}$$

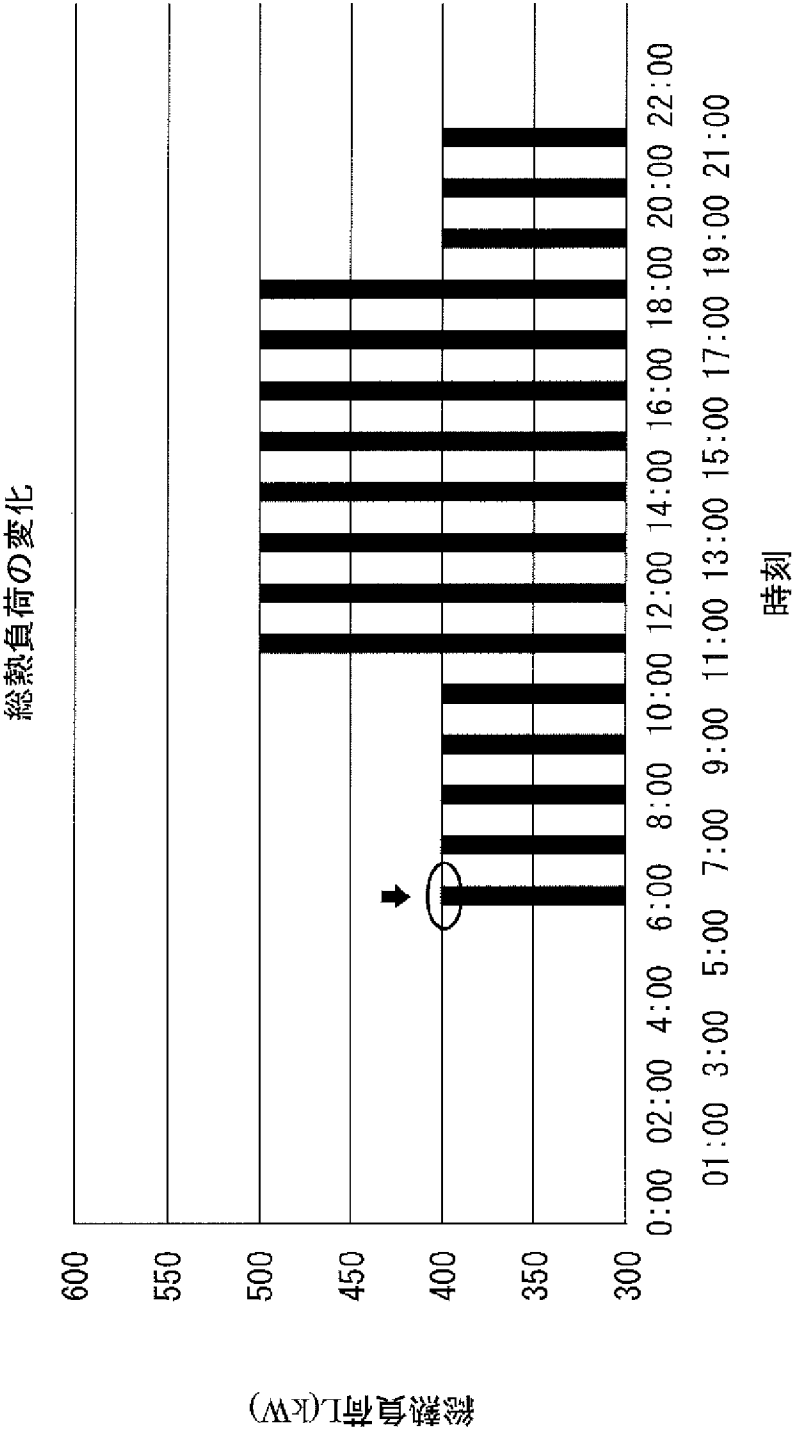
$$\begin{aligned} \phi 2'' &:= \text{QE}[\psi 2''] \\ (\phi 2'' &:= (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 3072/25 + 163*a - P = 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge \\ 1/10 - a &\leq 0 \wedge 14263/100 + 113*a - P = 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge \\ 12103/100 &+ 203*a - P = 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 12903/100 + 193*a - \\ P = 0 &\wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 387/4 + 200*a - P = 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + \\ a &\leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 2778/25 + 212*a - P = 0 \wedge -P < 0) \dots \quad (14-2) \end{aligned}$$

$\psi 2'$: 冷凍機#4が稼働しない場合の一階述語論理式
 $\psi 2''$: 冷凍機#4が稼働する場合の一階述語論理式
 $\phi 2'$: 冷凍機#4が稼働しない場合の総消費電力数式
 $\phi 2''$: 冷凍機#4が稼働する場合の総消費電力数式
 P : 総消費電力を表す変数
 a : 設備特性を表す変数

[図15]



[図16]



低熱負荷時の外部条件数式例(F3')

$F3' := L = 400$

F3' : 低熱負荷時の外部条件数式
L : 総熱負荷

[図17]

F1	: システムモデル数式
F2'	: 冷凍機#4が稼働しない場合の設備モデル数式
F2''	: 冷凍機#4が稼働する場合の設備モデル数式
F3'	: 低熱負荷時の外部条件数式
P	: 総消費電力
L	: 総熱負荷
P _n	: 設備#nの消費電力(n=1,2,3,4)
L _n	: 設備#nの熱負荷(n=1,2,3,4)
a	: 設備の特性を表す変数(消費電力特性を表す変数)
ψ3'	: 冷凍機#4が稼働しない場合の一階述語論理式(低熱負荷時)
ψ3''	: 冷凍機#4が稼働する場合の一階述語論理式(低熱負荷時)

$$\begin{aligned} \psi 3' &:= \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2' \wedge F3') \\ F1 \wedge F2' \wedge F3' &:= \\ P &= P1 + P2 + P3 + P4 \wedge L = L1 + L2 + L3 + L4 \\ \wedge (P1 &= 0.12 * L1 + 16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1 = 0 \wedge L1 = 0) \\ \wedge (P2 &= 0.17 * L2 + 21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2 = 0 \wedge L2 = 0) \\ \wedge (P3 &= 0.24 * L3 + 26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3 = 0 \wedge L3 = 0) \\ \wedge (P4 &= 0 \wedge L4 = 0) \\ \wedge L &= 400) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi 3'' &:= \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2'' \wedge F3'') \\ F1 \wedge F2'' \wedge F3'' &:= \\ P &= P1 + P2 + P3 + P4 \wedge L = L1 + L2 + L3 + L4 \\ \wedge (P1 &= 0.12 * L1 + 16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1 = 0 \wedge L1 = 0) \\ \wedge (P2 &= 0.17 * L2 + 21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2 = 0 \wedge L2 = 0) \\ \wedge (P3 &= 0.24 * L3 + 26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3 = 0 \wedge L3 = 0) \\ \wedge (P4 &= a * L4 + 15 \wedge 69 \leq L4 \leq 212 \wedge 0.1 \leq a \leq 0.35) \\ \wedge L &= 400) \end{aligned}$$

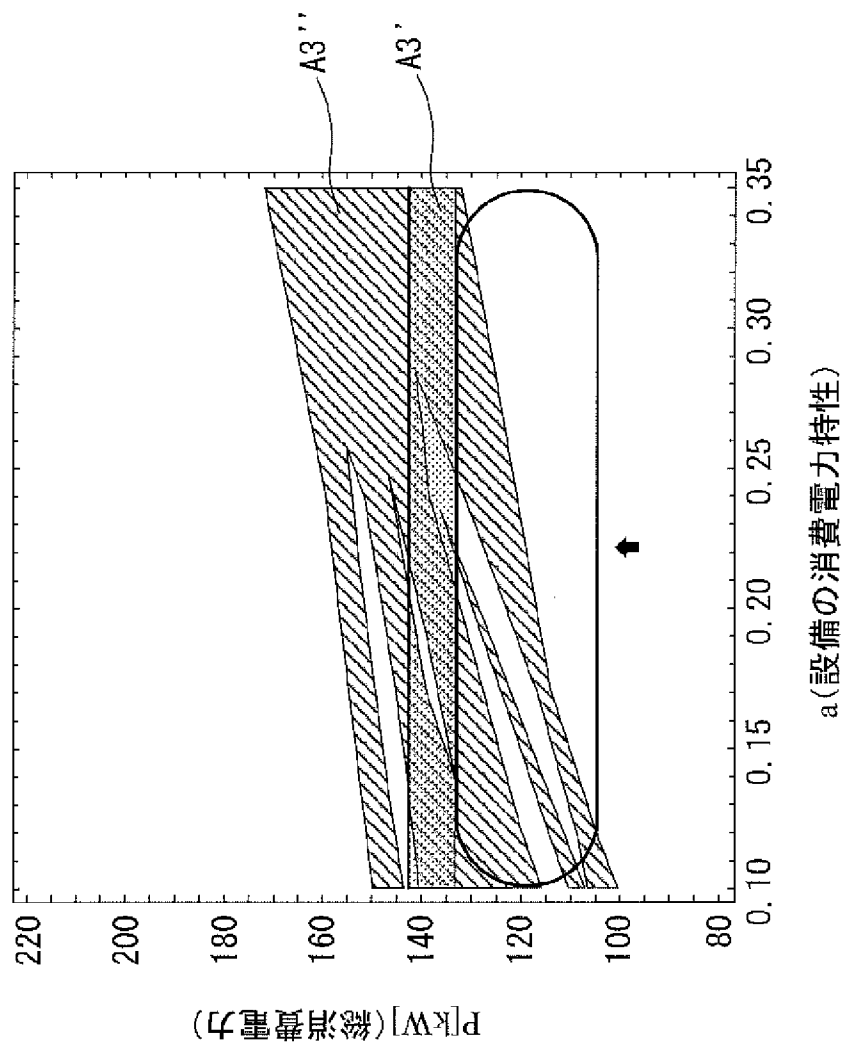
[図18]

$$\begin{aligned} \phi 3' &:= QE[\psi 3'] \\ (\phi 3' &:= 13329 / 100 \leq P \leq 14239 / 100 \\ &)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi 3'' &:= QE[\psi 3''] \\ (\phi 3' &:= (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 2297/25 + 188*a - P = 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge \\ 1/10 - a \leq 0 \wedge 2532/25 + 153*a - P = 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 2904/25 \\ + 119*a - P = 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 2364/25 + 209*a - P = 0 \wedge -P < \\ 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 12103/100 + 103*a - P = 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge \\ 1/10 - a \leq 0 \wedge 12903/100 + 93*a - P = 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 10743/ \\ 100 + 183*a - P = 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 387/4 + 100*a - P = 0 \wedge -P \\ < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge 1663/20 + 180*a - P = 0 \wedge -P < 0) \vee (-35 + a \leq 0 \wedge \\ 1/10 - a \leq 0 \wedge 9003/100 + 156*a - P = 0 \wedge -P < 0) \dots \text{ (以下省略)}) \end{aligned}$$

$\psi 3'$: 冷凍機#4が稼働しない場合の一階述語論理式(低熱負荷時)
 $\psi 3''$: 冷凍機#4が稼働する場合の一階述語論理式(低熱負荷時)
 $\phi 3'$: 冷凍機#4が稼働しない場合の総消費電力数式(低熱負荷時)
 $\phi 3''$: 冷凍機#4が稼働する場合の総消費電力数式(低熱負荷時)
 P : 総消費電力を表す変数
 a : 設備特性を表す変数

[図19]



[図20]

冷凍機#4の熱負荷の上限を変数とした場合の設備モデル数式(F2'')

$$\begin{aligned} F2'' &:= (P1=0.12 * L1 + 16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1=0 \wedge L1=0) \\ &\wedge (P2=0.17 * L2 + 21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2=0 \wedge L2=0) \\ &\wedge (P3=0.24 * L3 + 26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3=0 \wedge L3=0) \\ &\wedge (P4=0.16 * L4 + 15 \wedge 69 \leq L4 \leq b \wedge 69 \leq b \leq 212) \end{aligned}$$

- F2'' : 熱負荷の上限を変数とした設備モデル数式
- P_n : 設備#_nの消費電力($n=1,2,3,4$)
- L_n : 設備#_nの熱負荷 ($n=1,2,3,4$)
- b : 設備の特性を表す変数(熱負荷の上限を表す変数)
- n : 設備の番号

[図21]

$$\begin{aligned} \psi 4'' &:= \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2'' \wedge F3) \\ & (F1 \wedge F2'' \wedge F3 := \\ & P = P1 + P2 + P3 + P4 \wedge L = L1 + L2 + L3 + L4 \\ & \wedge (P1 = 0.12 * L1 + 16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1 = 0 \wedge L1 = 0) \\ & \wedge (P2 = 0.17 * L2 + 21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2 = 0 \wedge L2 = 0) \\ & \wedge (P3 = 0.24 * L3 + 26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3 = 0 \wedge L3 = 0) \\ & \wedge (P4 = 0.16 * L4 + 15 \wedge 69 \leq L4 \leq b \wedge 69 \leq b \leq 212) \\ & \wedge L = 500)) \end{aligned}$$

F1	: システムモデル数式
F2'''	: 熱負荷の上限を変数とした設備モデル数式
F3	: 外部条件数式
P	: 総消費電力
L	: 総熱負荷
Pn	: 設備 #nの消費電力(n=1,2,3,4)
Ln	: 設備 #nの熱負荷(n=1,2,3,4)
b	: 設備の特性を表す変数(熱負荷の上限を表す変数)
$\psi 4''$	: 熱負荷の上限を変数とした一階述語論理式

[図22]

$\phi 4'' := QE[\psi 4'']$
 $(\phi 4'' := (-212 + b \leq 0 \wedge 163 - b \leq 0 \wedge -3724/25 + P = 0) \vee (-212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0 \wedge -515/4 + P = 0) \vee (-212 + b \leq 0 \wedge 203 - b \leq 0 \wedge -15351/100 + P = 0) \vee (-212 + b \leq 0 \wedge 113 - b \leq 0 \wedge -16071/100 + P = 0) \vee (-212 + b \leq 0 \wedge 193 - b \leq 0 \wedge -15991/100 + P = 0) \vee (-212 + b \leq 0 \wedge 69 - b \leq 0 \wedge -375 - 4*b + 25*P \leq 0 \wedge -95 + P = 0) \vee (-212 + b \leq 0 \wedge 69 - b \leq 0 \wedge -3439/20 + P \leq 0 \wedge 16523/100 - P \leq 0) \vee (-212 + b \leq 0 \wedge 69 - b \leq 0 \wedge -1737/10 + P \leq 0 \wedge 17083/100 + P \leq 0 \wedge 16523/100 - P \leq 0) \vee (-212 + b \leq 0 \wedge 69 - b \leq 0 \wedge -3419/20 + P \leq 0 \wedge 17083/100 - P \leq 0) \vee (-212 + b \leq 0 \wedge 69 - b \leq 0 \wedge -1737/10 + P \leq 0 \wedge 3439/20 - P \leq 0) \vee (-212 + b \leq 0 \wedge 163 - b \leq 0 \wedge 3561 + b - 25*P = 0 \wedge -P < 0) \vee (-212 + b \leq 0 \wedge 163 - b \leq 0 \wedge -P < 0 \wedge -4050 + 2*b + 25*P = 0)). \dots (以下省略))$

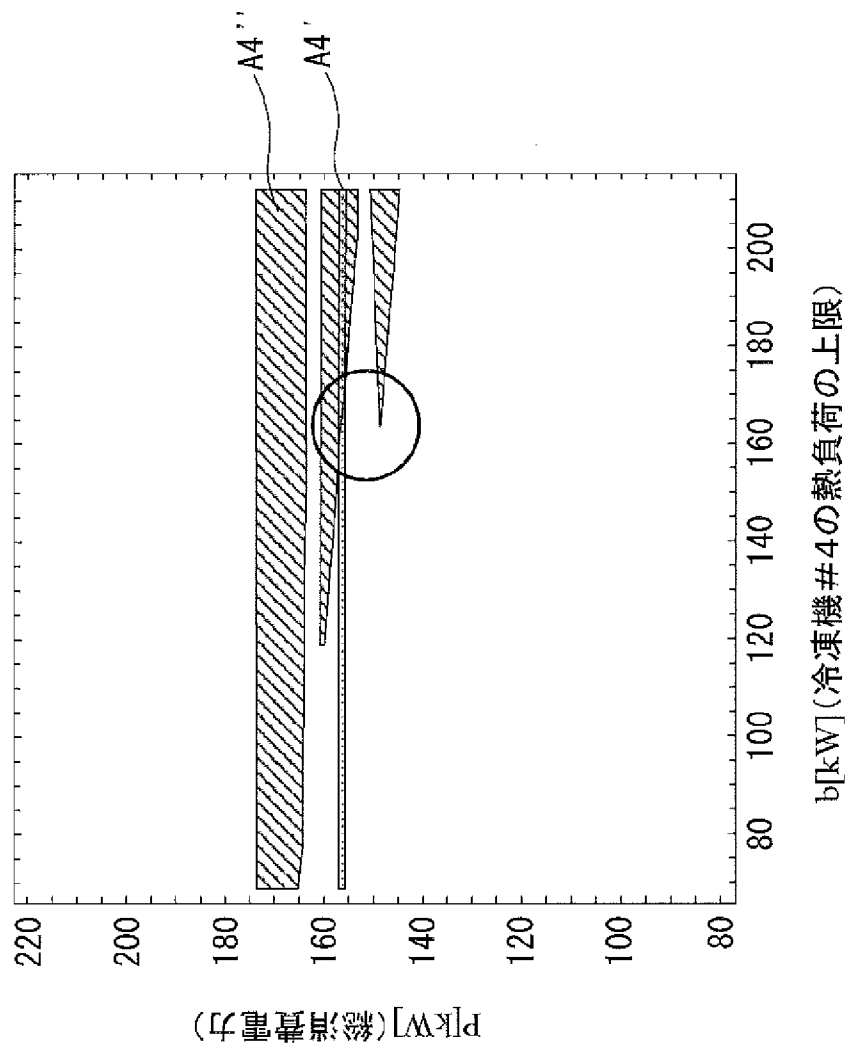
$\psi 4''$: 熱負荷の上限を変数とした一階述語論理式

$\phi 4''$: 熱負荷の上限に対する総消費電力数式

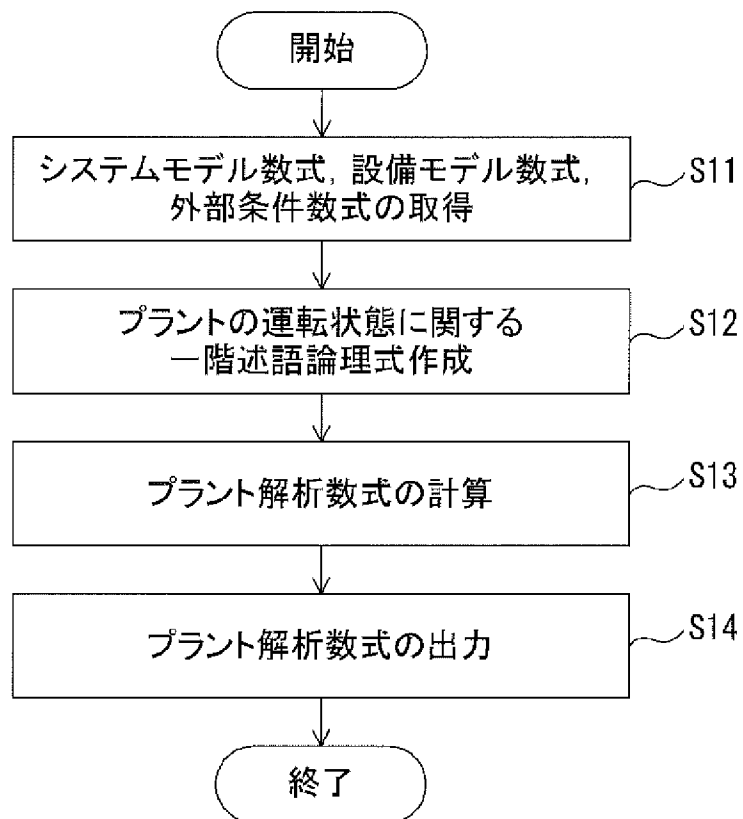
P : 総消費電力を表す変数

b : 設備特性を表す変数(熱負荷の上限を表す変数)

[図23]



[図24]



[図25]

$$\psi_i := \exists P \exists P_1, \dots, \exists P_N \exists L \exists L_1, \dots, \exists L_N (F_1 \wedge F_2 \wedge F_3_i)$$

(25-1)

$$(25-2)$$

$$\psi_i$$

プラントの運転状態に関する一階述語論理式($i=1,2,\dots,I$)

$$F_1$$

システムモデル数式

$$F_2$$

設備モデル数式

$$F_{3_i}$$

外部条件数式($i=1,2,\dots,I$)

$$N$$

設備の台数

$$L_n$$

設備# n の負荷を表す変数

$$P_n$$

設備# n の消費エネルギーを表す変数

$$P$$

総消費エネルギーを表す変数

$$L$$

総負荷を表す変数

$$I$$

外部条件数式の数

$$\varphi_i := QE[\psi_i]$$

($\varphi_i := (a \text{ と } b \text{ に関する数式})$)

$$\psi_i$$

プラントの運転状態に関する一階述語論理式($i=1,2,\dots,I$)

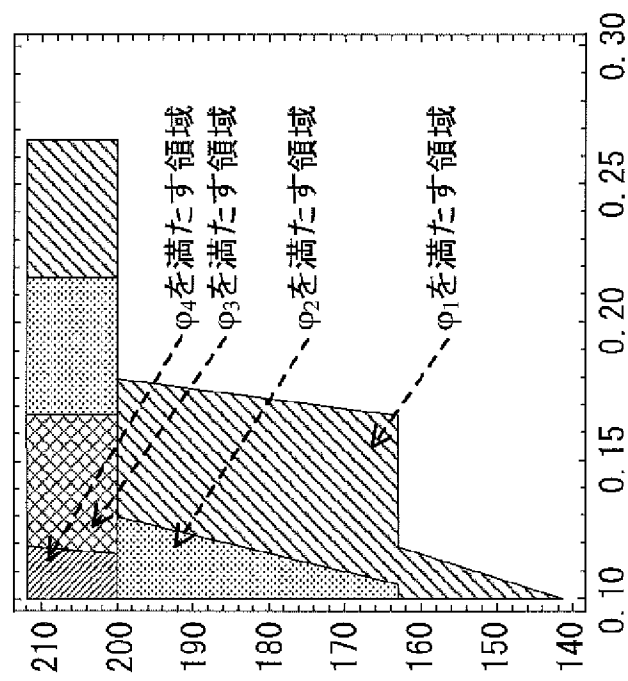
$$\varphi_i$$

プラント解析数式($i=1,2,\dots,I$)

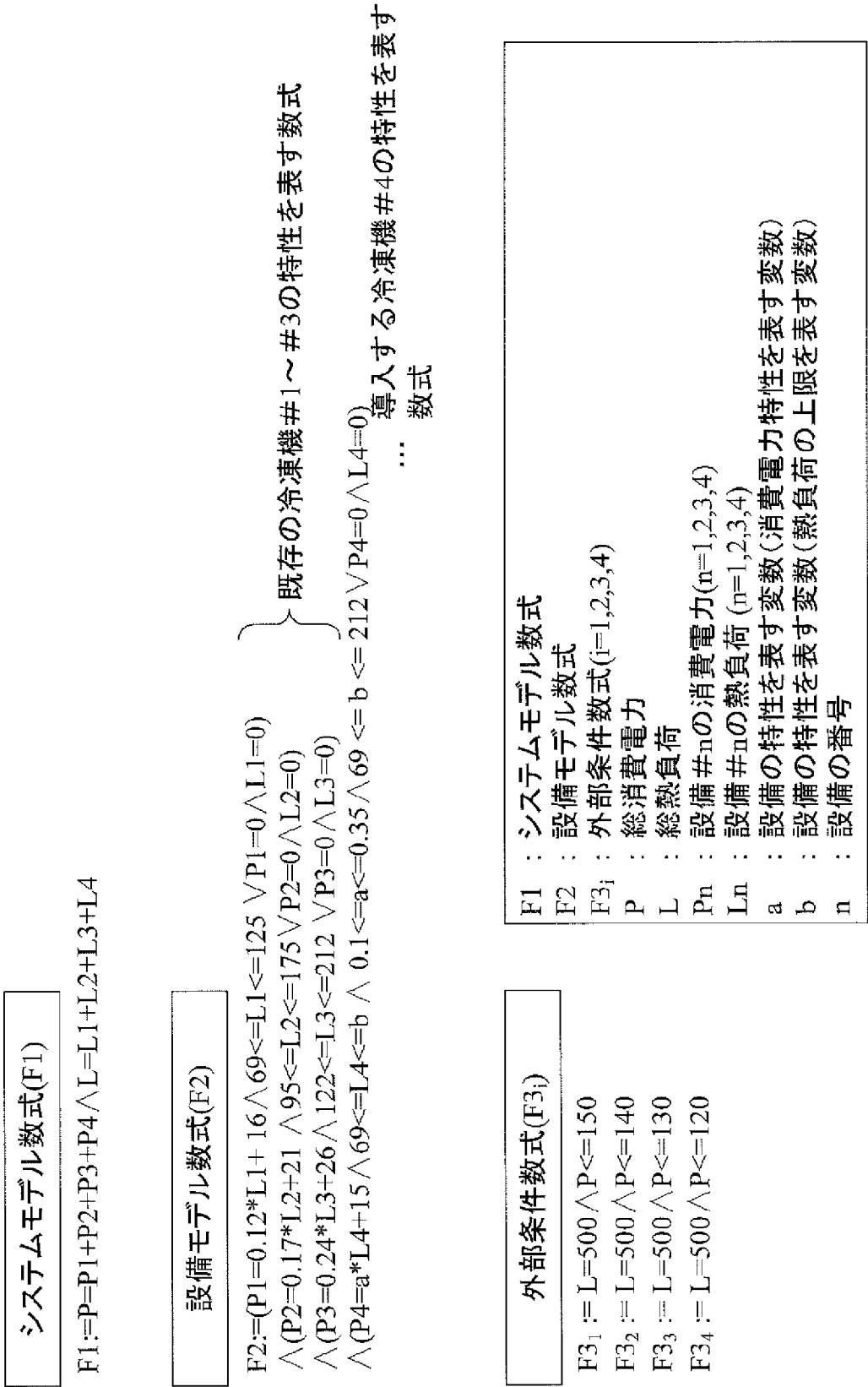
[図26]

計算部11

出力部12



[図28]



[図29]

$$\begin{aligned}
\psi_1 &:= \exists P \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2 \wedge F3_1) \\
\psi_2 &:= \exists P \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2 \wedge F3_2) \\
\psi_3 &:= \exists P \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2 \wedge F3_3) \\
\psi_4 &:= \exists P \exists P1 \exists P2 \exists P3 \exists P4 \exists L \exists L1 \exists L2 \exists L3 \exists L4 (F1 \wedge F2 \wedge F3_4) \\
F1 &\wedge F2 \wedge F3_i := \\
P &= P1 + P2 + P3 + P4 \wedge L = L1 + L2 + L3 + L4 \\
&\wedge (P1 = 0.12 * L1 + 16 \wedge 69 \leq L1 \leq 125 \vee P1 = 0 \wedge L1 = 0) \\
&\wedge (P2 = 0.17 * L2 + 21 \wedge 95 \leq L2 \leq 175 \vee P2 = 0 \wedge L2 = 0) \\
&\wedge (P3 = 0.24 * L3 + 26 \wedge 122 \leq L3 \leq 212 \vee P3 = 0 \wedge L3 = 0) \\
&\wedge (P4 = a * L4 + 15 \wedge 69 \leq L4 \leq b \wedge 0.1 \leq a \leq 0.35 \wedge 69 \leq b \leq 212 \vee P4 = 0 \wedge L4 = 0) \\
&\wedge L = 500 \wedge P \leq 150)
\end{aligned}$$

F1 : システムモデル数式

F2 : 設備モデル数式

F3_i : 外部条件数式(i=1,2,3,4)

P : 総消費電力

L : 総熱負荷

P_n : 設備#nの消費電力(n=1,2,3,4)L_n : 設備#nの熱負荷(n=1,2,3,4)

a : 設備の特性を表す変数(消費電力特性を表す変数)

b : 設備の特性を表す変数(熱負荷の上限を表す変数)

ψ_i : プラントの運転状態に関する一階述語論理式(i=1,2,3,4)

[図30]

$\varphi_1 := \text{QE}[\psi_1]$
 $(\varphi_1 := (-213/800 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-678/4075 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 163 - b \leq 0) \vee (-2897/20300 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 203 - b \leq 0) \vee (-2097/19300 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 193 - b \leq 0) \vee (-3/25 + a < 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \dots \text{以下省略})$

$\varphi_2 := \text{QE}[\psi_2]$
 $(\varphi_2 := (-173/800 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-428/4075 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 163 - b \leq 0) \vee (-3/25 + a < 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-173/800 + a = 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-428/4075 + a = 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \dots \text{以下省略})$

$\varphi_3 := \text{QE}[\psi_3]$
 $(\varphi_3 := (-133/800 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-3/25 + a < 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-133/800 + a = 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-133/800 + a < 0 \wedge 3/25 - a < 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \dots \text{以下省略})$

$\varphi_4 := \text{QE}[\psi_4]$
 $(\varphi_4 := (-93/800 + a = 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-93/800 + a < 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 200 - b \leq 0) \vee (-7/20 + a < 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 163 - b < 0 \wedge 1050 - 6*b + 25*a*b = 0) \vee (-7/20 + a < 0 \wedge 1/10 - a \leq 0 \wedge -212 + b \leq 0 \wedge 163 - b < 0 \wedge 1050 - 6*b + 25*a*b \leq 0) \dots \text{以下省略})$

ψ_i : プラントの運転状態に関する一階述語論理式($i=1,2,3,4$)

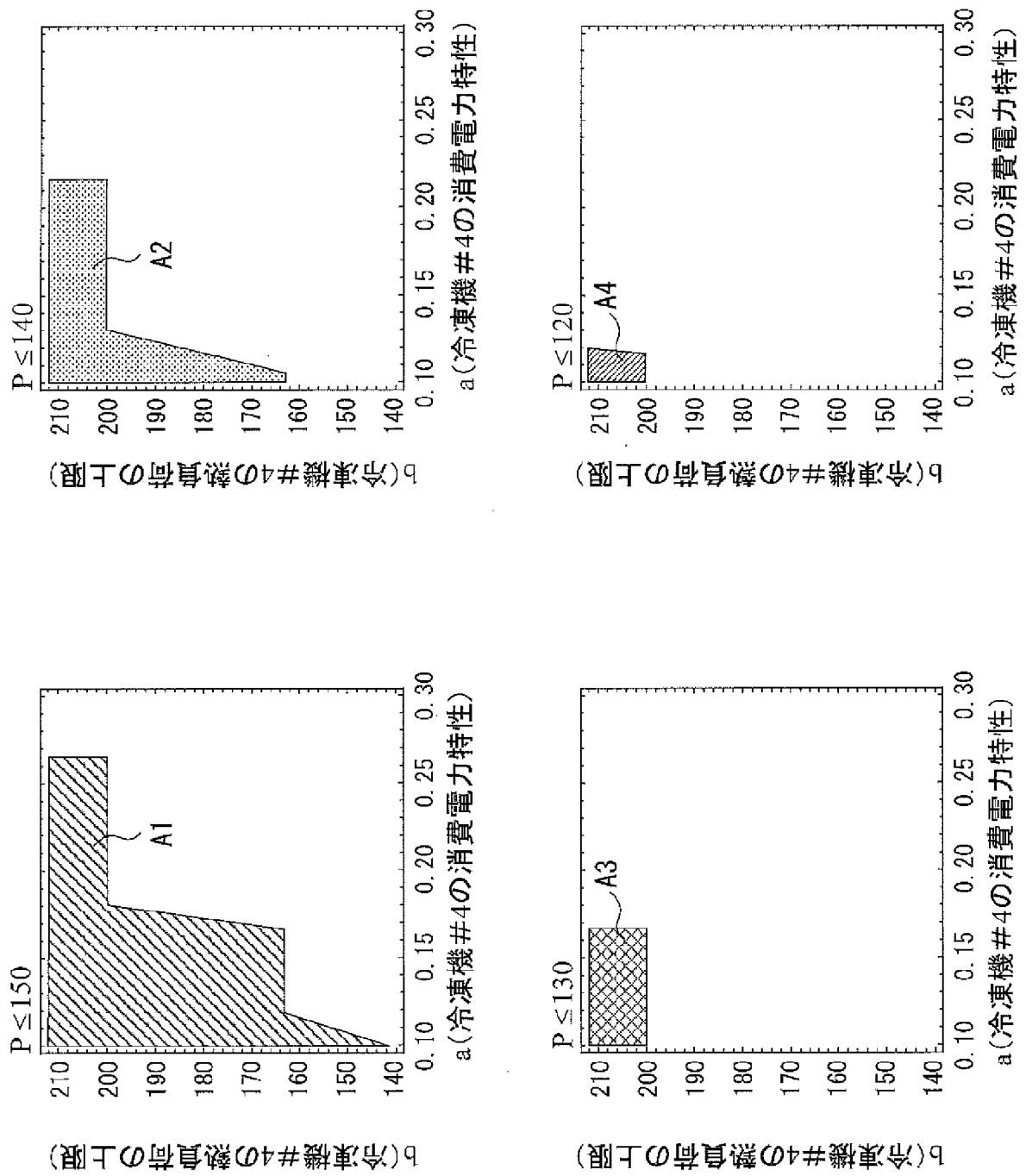
φ_i : プラント解析数式 ($i=1,2,3,4$)

P : 総消費電力を表す変数

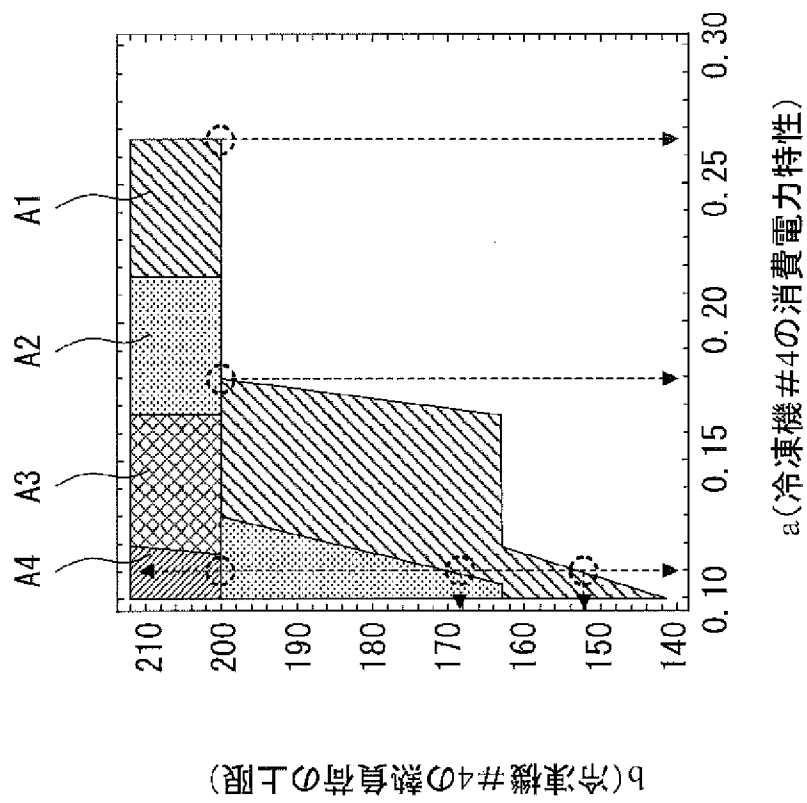
a : 設備特性を表す変数(消費電力特性を表す変数)

b : 設備の特性を表す変数(熱負荷の上限を表す変数)

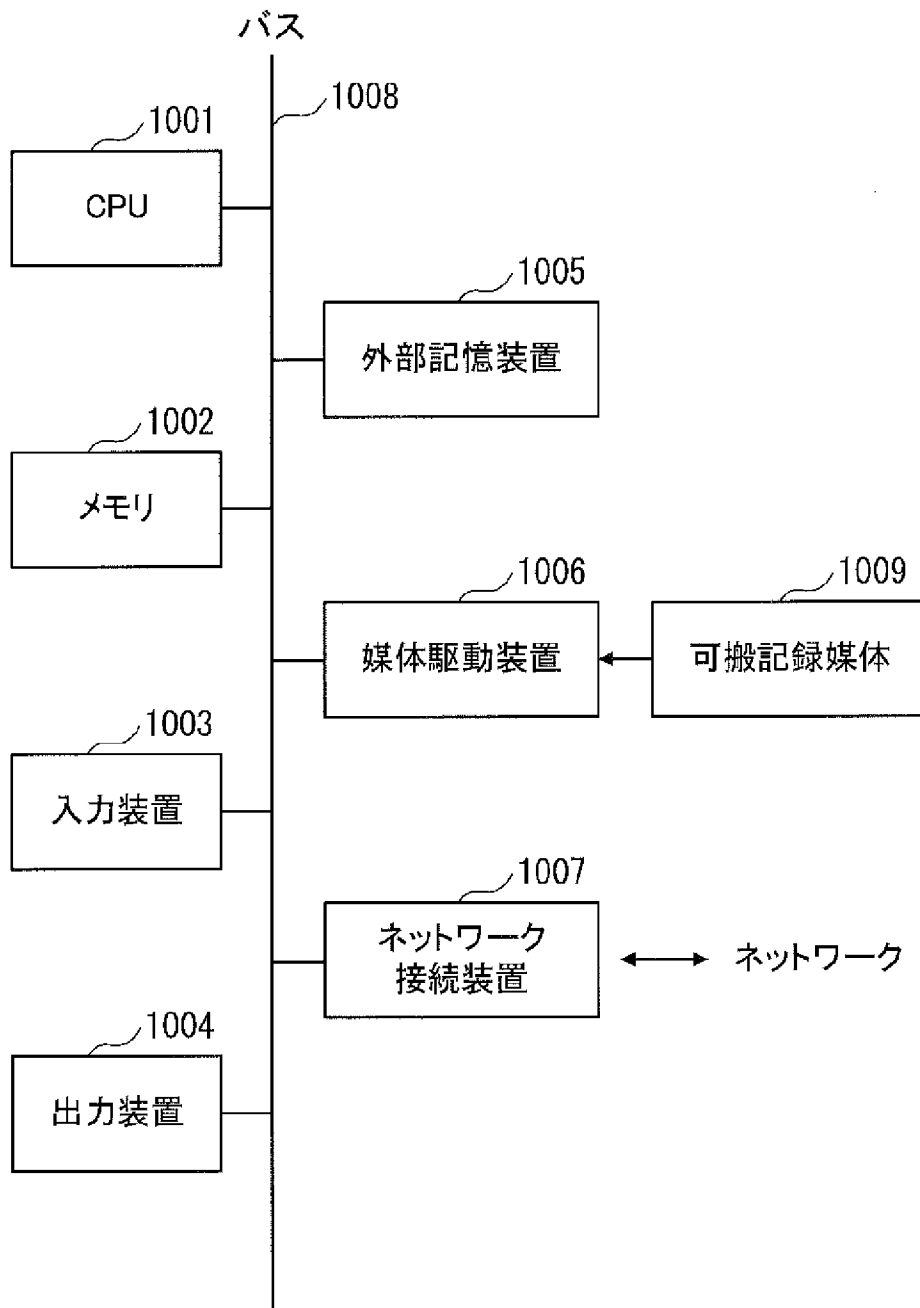
[図31]



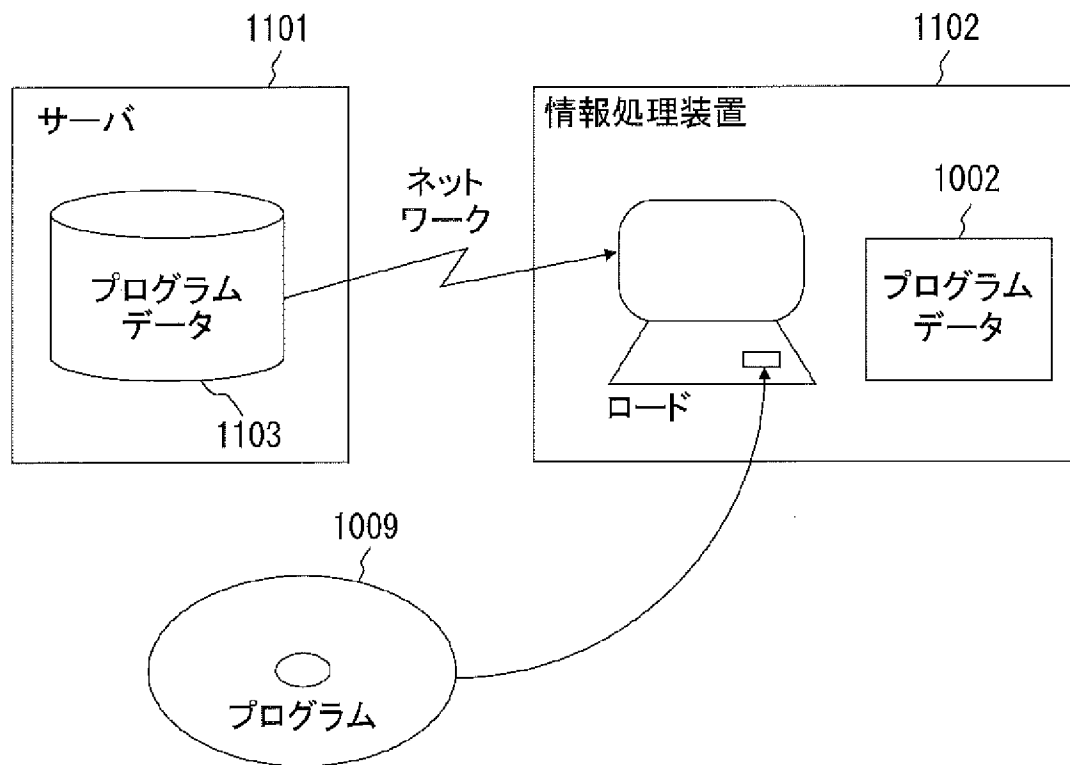
[図32]



[図33]



[図34]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/078483

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B17/02(2006.01) i

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)

G05B17/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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	JP 2015-102263 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 04 June 2015 (04.06.2015), paragraphs [0014] to [0082]; fig. 1 to 27 (Family: none)	1-4, 7-8, 10-12, 15-17 5, 13-14 6, 9
Y		
A		
Y	WO 2015/115312 A1 (Fuji Electric Co., Ltd.), 06 August 2015 (06.08.2015), paragraphs [0135] to [0222], [0243] to [0249]; fig. 21 to 41, 48 to 49 (Family: none)	5, 13-14 6, 9
A		

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
19 November 2015 (19.11.15)

Date of mailing of the international search report
01 December 2015 (01.12.15)

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/JP2015/078483

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-37141 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 23 February 2012 (23.02.2012), paragraphs [0015] to [0067]; fig. 1 to 6 & US 2013/0098084 A1 paragraphs [0023] to [0145]; fig. 1 to 6 & WO 2012/017912 A1 & EP 2602565 A1 & CN 102971589 A & KR 10-2013-0020683 A	6, 9
A	Yoshio TANGE, "Visualization of Energy Optimization Problems under Supply and Demand Balance for Energy Saving Pre-verification", The Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan C, 01 January 2014 (01.01.2014), vol.134, no.1, pages 78 to 84	1-17

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G05B17/02(2006.01)i

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（I P C））

Int.Cl. G05B17/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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 Y A	JP 2015-102263 A（富士電機株式会社）2015.06.04, [0014] - [0082], 図1-27（ファミリーなし）	1-4, 7-8, 10-12, 15-17 5, 13-14 6, 9
Y A	WO 2015/115312 A1（富士電機株式会社）2015.08.06, [0135] - [0222], [0243] - [0249], 図21-41、48-49（ファミリーなし）	5, 13-14 6, 9

☒ 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矛盾するものではなく、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

1 9 . 1 1 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 1 . 1 2 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

青山 純

3 U

4 4 8 0

電話番号 03-3581-1101 内線 3364

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2012-37141 A (三菱重工業株式会社) 2012. 02. 23, [0015] – [0067], 図1 – 6 & US 2013/0098084 A1, [0023]–[0145], FIG. 1-6 & WO 2012/017912 A1 & EP 2602565 A1 & CN 102971589 A & KR 10-2013-0020683 A	6, 9
A	丹下 吉雄 Yoshio Tange, 省エネルギー事前検討のための需給バランスを考慮したエネルギー最適化問題の可視化 Visualization of Energy Optimization Problems under Supply and Demand Balance for Energy Saving Pre-verification, 電気学会論文誌C, 2014. 01. 01, 第134巻 第1号, 第78 – 84頁	1-17