

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5242355号
(P5242355)

(45) 発行日 平成25年7月24日 (2013. 7. 24)

(24) 登録日 平成25年4月12日 (2013. 4. 12)

(51) Int. Cl.

F I

H02J 3/00 (2006.01)

H02J 3/00 G

G06Q 50/06 (2012.01)

G06Q 50/06

H02J 3/32 (2006.01)

H02J 3/32

H02J 7/00 (2006.01)

H02J 7/00 B

請求項の数 6 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2008-310992 (P2008-310992)
 (22) 出願日 平成20年12月5日 (2008. 12. 5)
 (65) 公開番号 特開2010-136557 (P2010-136557A)
 (43) 公開日 平成22年6月17日 (2010. 6. 17)
 審査請求日 平成23年8月2日 (2011. 8. 2)

(73) 特許権者 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (74) 代理人 100081961
 弁理士 木内 光春
 (72) 発明者 平戸 康太
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
 東芝内
 審査官 田中 慎太郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電熱併給エネルギーシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

発電機能と発熱機能を併せ持つ電熱発生装置と、該電熱発生装置により発生した電力を蓄える蓄電装置と該電熱発生装置により発生した熱を蓄える蓄熱装置との少なくとも一方を有する、電熱供給エネルギーシステムにおいて、

エネルギーシステム全体の電熱需要を予測する電熱需要予測手段と、蓄電装置に蓄えられている蓄電量を予測する蓄電量予測手段と蓄熱装置に蓄えられている蓄熱量を予測する蓄熱量予測手段の少なくとも一方と、電熱発生装置の起動停止計画を作成する起動停止計画作成手段とを有し、

予測された前記電熱需要、前記蓄電量と蓄熱量の少なくとも一方、及び起動停止計画に基づき、前記電熱発生装置における電熱供給の出力配分値を、非線形計画問題求解手段を用いて、前記エネルギーシステム全体のエネルギー供給コストが最小となるよう決定する出力配分値計算手段を有することを特徴とする電熱供給エネルギーシステム。

【請求項 2】

前記出力配分値計算手段は、前記需要予測手段から取得した電力需給バランスと熱需要バランス、前記蓄電量予測手段から取得した充放電量バランスと前記蓄熱量予測手段から取得した蓄放熱量バランスの少なくとも一方、前記起動停止計画作成手段から取得した充放電同時負荷制約と蓄放熱同時負荷制約の少なくとも一方、及び負荷率上下限制約とを制約条件として、燃料費最小化条件を目的関数として、非線形計画問題求解手段により最適解を得ることを特徴とする請求項 1 に記載の電熱エネルギーシステム。

10

20

【請求項 3】

蓄電装置容量上下限制約設定手段と蓄熱装置容量上下限制約設定手段を備え、

前記出力配分値計算手段は、蓄電装置容量上下限制約設定手段から取得した計算期間内の任意の時間帯で蓄電量が上下限を逸脱しない制約と蓄熱装置容量上下限制約設定手段から取得した計算期間内の任意の時間帯で蓄熱量が上下限を逸脱しない制約の少なくとも一方を制約条件としたことを特徴とする請求項 2 に記載の電熱供給エネルギーシステム。

【請求項 4】

電熱発生装置の電力出力変化速度制約と熱出力変化速度制約、蓄電装置の電力出力変化速度制約と蓄熱装置の熱出力変化速度制約の少なくとも一方を設定する出力変化速度制約設定手段を備え、

10

前記出力配分値計算手段は、出力変化速度制約設定手段から取得した電熱発生装置の電力出力変化速度が所定の範囲にあるという条件と熱出力変化速度が所定の範囲にあるという条件、蓄電装置の電力出力変化速度の所定の範囲にあるという制約と蓄熱装置の熱出力変化速度の少なくとも一方が所定の範囲にあるという制約を制約条件としたことを特徴とする請求項 2 または請求項 3 に記載の電熱供給エネルギーシステム。

【請求項 5】

複数の電熱発生装置が含まれる電熱発生装置機器群を備え、

前記電熱発生装置群がある期間で発生する電力量がある範囲にあるという制約を設定する発生電力量制約設定手段および、前記電熱発生装置群がある期間で発生する熱量がある範囲にあるという制約を設定する発生熱量制約設定手段を有し、

20

前記出力配分値計算手段は、発生電力量制約設定手段から取得した前記電熱発生装置群がある期間で発生する電力量がある範囲にあるという制約と、前記発生熱量制約設定手段から取得した前記電熱発生装置群があるある期間で発生する熱量がある範囲にあるという制約を制約条件としたことを特徴とする請求項 2 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の記載の電熱供給エネルギーシステム。

【請求項 6】

出力配分値計算手段によって得られた出力配分値から、総燃料費を計算する総燃料費計算手段と、任意の電熱発生装置の任意の時間帯における運転単価を計算する運転単価計算手段と、与えられた起動停止計画から任意の電熱発生装置の任意の時間帯の起動停止状態を変更する起動停止計画変更手段と備え、

30

前記総燃料費計算手段によって得られた総燃料費が、起動停止計画変更前の総燃料費よりも小さい場合に起動停止計画変更結果を採用し、起動停止計画変更前の総燃料費よりも小さくない場合に起動停止計画変更結果をキャンセルすることを特徴とする請求項 2 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の記載の電熱供給エネルギーシステム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、電熱発生装置と、これに接続された蓄電装置と蓄熱装置の少なくとも一方を有する電熱供給エネルギーシステムに関する。

【背景技術】

40

【0002】

近年、環境保護および省エネルギーの要請から、発電と発電設備からの排熱を回収し、利用形態に適合する熱に変換して、電力と共に供給するいわゆる電熱供給システムを導入するケースが増加している。電熱供給システムは、一次エネルギーを高質から低質までカスケード利用することによって、極めて高い総合効率を実現することをねらっている。しかしながら、熱供給は発電と同時にされるものであるから、前記した高い総合効率は基本的に電力の需要状況と熱の需要状況が量的にも時間的にも一致していることが条件である。

【0003】

ところが、実際には電力の需要状況と熱の需要状況は必ずしも一致しない（図 8 にある

50

地域における電力需要と熱需要のグラフを示す)ので、電力または熱のどちらかの需要に供給を合わせた場合に、余剰が生じてしまい、当初期待されていたような総合効率が得られないという問題が生じる。そこで、蓄電装置あるいは蓄熱装置を導入することで、高い総合効率を確保するという対策が行われている。

【 0 0 0 4 】

そこで、蓄電装置あるいは蓄熱装置またはその両方を導入したシステムにおいて問題となるのは、ある期間における運用を考えた場合に、どのタイミングで蓄電(蓄熱)装置に対する充電(蓄熱)または、蓄電(蓄熱)装置からの放電(放熱)を行うのが合理的かということである。ある期間における蓄電(蓄熱)装置の運用を考えた場合に、蓄電(蓄熱)装置の容量の制約から、一方的に放電(放熱)し続けることはできず、ある時間帯で放電(放熱)により蓄電(蓄熱)量を減少させた分、別の時間帯で充電(蓄熱)を行い蓄電(蓄熱)量を挽回する必要があるが生じる。

10

従来のエネルギーシステム制御法においては、例えば、蓄電装置に関して、夜間に充電する時間帯と、電力負荷のピーク時に放電する時間帯を決めて規則的に運用するものが通常であった。また、蓄電装置と蓄熱装置を同時に考慮して最適な運用を図ろうとするものはなかった。

【 0 0 0 5 】

ところで、本問題に対するアプローチとして、電力系統における揚水発電所運用からのアナロジーが考えられる。揚水発電所の運用に関しては、これまで、以下のような運用方法の求め方が提案されている。

20

【 0 0 0 6 】

(揚水発電所の運用計算)

方法 1 : 揚水効率差を考慮した持ち替え計算。

方法 2 : 揚水発電機を火力機と同列で計算する。すなわち、揚水発電機の使用水量特性を火力の熱消費特性相当として、マイナスまで出力範囲を拡張した火力機のように模擬して計算する(水・火協調計算)。

方法 3 : 貯水量を最適化する。すなわち貯水量の変化分を火力の燃料費変化に置き換え、その燃料費変化を最小化するような貯水量を動的計画法により求める。

【 0 0 0 7 】

方法 1 は図 9 に示すように、火力機のみで計算した結果、増分燃料費の差が効率差以上の場合に、効率差を考慮した揚水と揚発の持ち替えを行っていく方法である。最も単純な方法であるが、持ち替えの順序によって貯水量変化が異なり、最適解が得られる保証が無い。

30

【 0 0 0 8 】

方法 2 については増分水単価という概念を導入し、各時刻で以下の水・火協調式を計算する等ラムダ法の拡張であるが、 λ 、 δ の決定に収束計算を伴うもので、収束誤差が生じるなど数値特性上好ましくない場合がある。

【 数 1 】

$$\frac{dF_i}{dp_i} = \delta \frac{dW_j}{dp_j} = \lambda \quad \dots (1)$$

40

F_i : 火力機*i*の燃料費特性

W_j : 揚水機*j*の使用水量特性

λ : 増分単価

δ : 増分水単価

【 0 0 0 9 】

方法 3 は、貯水量変化が火力分担負荷の変更をもたらすことから、図 10 のように、貯

50

水量変化を火力燃料費変化と関連付け、火力燃料費変化が最小（通常マイナス値）となるような貯水量変化を動的計画法により計算するものである。

【数 2】

$$\varphi(V_{t,i}) = \min_{j=1 \sim J(t)} [\varphi(V_{t-1,j}) + F_t(V_{t-1,j}, V_{t,i})] \quad \dots (2)$$

ただし、

$$V_{t=0} = V_0(\text{given}), \quad V_{t=T} = V_T(\text{given})$$

$$\underline{V}_t \leq V_t \leq \overline{V}_t \quad (t=1, \dots, T)$$

$$\underline{V}_t: \text{時刻} t \text{での下限貯水量} \quad \overline{V}_t: \text{時刻} t \text{での上限貯水量}$$

10

ここで、

$V_{t,j}$: 時刻 t におけるある貯水量

$\varphi(V_{t,i})$: 時刻 t におけるある貯水量 $V_{t,i}$ を実現する

初期時刻からの様々な貯水量変化のなかで

火力燃料費変化最小とする貯水量変化の

時刻 t までの火力燃料費総和

$F_t(V_{t-1,j}, V_{t,i})$: 時刻 $t-1$ におけるある貯水量 $V_{t-1,j}$ から時刻 t における

20

ある貯水量 $V_{t,i}$ へ変化したときの火力燃料費変化

【0010】

この方法 3 は、貯水量の上下限制約を同時に扱うことができ、使用水量特性が不要であるなどのメリットがある有効な方法ではあるが、貯水量変化を離散値（例えば 5 MWh 刻み等）で扱う必要があり、そのための誤差が生じることと、今回の問題のような蓄電装置と蓄熱装置の両方を考慮する問題にそのまま適用しようとした場合、多次元の動的計画問題を解くことになり、計算時間の増大を招くことになる。

【0011】

30

なお、蓄電装置をリアルタイムで制御する方法としては、特許文献 1 に記載されている燃料電池システム制御法のように、発電コストと蓄電池の放電コストを考慮してエネルギーコストが最小となるように制御する方法があるが、蓄熱装置との同時最適化は実施されていない。

【特許文献 1】特開 2003 - 163013 号公報

【非特許文献 1】岩波講座 応用数学 15〔方法 7〕最適化法 藤田 宏，今野 浩，田邊 國士（1998）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

40

従来のエネルギーシステム制御法では、既知の負荷パターンに対して経済的と考えられる発電パターンや蓄放電スケジュール等を予め決めておくものであり、様々な変化する電熱の負荷パターンに対応できるものではなかった。また、電力系統における揚水発電所運用方法からのアナロジーに基づく方法は、先述したように、電力・熱を同時に考慮する問題に対しては十分ではない。

本発明は、上記の問題に鑑みてなされたものであり、蓄電装置と蓄熱装置の少なくとも一方を有する電熱併給エネルギーシステムにおいて、全体での効率を向上させる最適な出力配分値を決定することを目的としている。また、本発明は、蓄電装置と蓄熱装置とを同様な制約条件の下で取り扱うことにより、蓄電装置と蓄熱装置を同時に最適化し得る電熱併給エネルギーシステムを提供すること、目的とする。

50

【課題を解決するための手段】**【0013】**

上記課題を解決するために、本発明は、発電機能と発熱機能を併せ持つ電熱発生装置と、該電熱発生装置により発生した電力を蓄える蓄電装置と該電熱発生装置により発生した熱を蓄える蓄熱装置との少なくとも一方を有する、電熱供給エネルギーシステムにおいて、エネルギーシステム全体の電熱需要を予測する電熱需要予測手段と、蓄電装置に蓄えられている蓄電量を予測する蓄電量予測手段と蓄熱装置に蓄えられている蓄熱量を予測する蓄熱量予測手段の少なくとも一方と、電熱発生装置の起動停止計画を作成する起動停止計画作成手段とを有し、予測された前記電熱需要、前記蓄電量と蓄熱量の少なくとも一方、及び起動停止計画に基づき、前記電熱発生装置における電熱供給の出力配分値を、非線形計画問題求解手段を用いて、前記エネルギーシステム全体のエネルギー供給コストが最小となるよう決定する出力配分値計算手段を有することを特徴とする。

10

【0014】

この場合、前記出力配分値計算手段は、前記需要予測手段から取得した電力需給バランスと熱需要バランス、前記蓄電量予測手段から取得した充放電量バランスと前記蓄熱量予測手段から取得した蓄放熱量バランスの少なくとも一方、前記起動停止計画作成手段から取得した充放電同時負荷制約と蓄放熱同時負荷制約の少なくとも一方、及び負荷率上下限制約とを制約条件として、燃料費最小化条件を目的関数として、非線形計画問題求解手段により最適解を得ることが好ましい。

20

【発明の効果】**【0015】**

本発明の実施により、蓄電装置と蓄熱装置の同時最適化を可能とし、電熱発生装置を含む全体でのシステム効率を向上させる電熱併給エネルギーシステムの需給制御法を提供することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】**【0016】**

本発明のエネルギーシステム制御方法は、与えられたエネルギーシステム全体の電熱需要、起動停止計画（各機器の起動／停止情報）、蓄電装置の蓄電量予測値、蓄熱装置の蓄熱量予測値に応じて、複数時間帯にわたる電熱発生装置と蓄電装置と蓄熱装置の総燃料費用最小な出力配分値を計算し、制御するものである。

30

【0017】

本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

図1は本発明の第1～第5の実施の形態を適用するエネルギーシステムの全体図を示し、エネルギーシステム制御装置と各装置との接続及び電力と熱と制御情報の流れを示す図である。すなわち、エネルギーシステム制御装置1は電熱発生装置群21、蓄電装置22、蓄熱装置23と、制御信号伝達手段31を介して接続されている。

【0018】

電力負荷24に対しては、電熱発生装置群21または蓄電装置22から供給される。また、熱負荷25に対しては、電熱発生装置群21または蓄熱装置23から供給される。制御信号伝達手段31をもちいて需給制御装置1から各機器を制御するための情報が各機器へ伝達される。また、電熱発生装置群21、蓄電装置22、蓄熱装置23の各機器からは運転状態の情報がエネルギーシステム制御装置1へ伝達される。

40

【0019】

エネルギーシステム制御装置1の内部には、電熱需要の実績が季節や月別、曜日別に格納された電熱需要実績データベースD1が備えられ、電熱需要予測手段11は、電熱需要実績データベースD1と、天候予測情報などを用いて、将来の電熱予測需要D5を作成する。

【0020】

エネルギーシステム制御装置1の内部には、蓄電量の実績が季節や月別、曜日別に格納された蓄電量実績データベースD2が備えられ、蓄電量予測手段12は、蓄電量実績デー

50

データベース D 2 と、天候予測情報などを用いて、将来の予測蓄電量 D 6 を作成する。
エネルギーシステム制御装置 1 の内部には、蓄熱量の実績が季節や月別、曜日別に格納された蓄熱量実績データベース D 3 が備えられ、蓄熱量予測手段 1 3 は、蓄熱量実績データベース D 3 と、天候予測情報などを用いて、将来の予測蓄熱量 D 7 を作成する。

【 0 0 2 1 】

エネルギーシステム制御装置 1 の内部には、各電熱発生装置の運転実績（特に起動 / 停止の 0 - 1 情報）が季節や月別、曜日別に格納された運転実績データベース D 4 が備えられ、起動停止計画作成手段 1 4 は、運転実績データベース D 4 と、電熱予測需要 D 5、予測蓄電量 D 6、予測蓄熱量 D 7、天候予測情報などを用いて、将来の起動停止計画 D 8 を作成する。この起動停止計画は人間系により設定されたものでもよい。

10

【 0 0 2 2 】

出力配分値計算手段 1 5 は、将来の電熱予測需要 D 5、予測蓄電量 D 6、予測蓄熱量 D 7、起動停止計画 D 8 をもとに、将来のある期間における各機器の各時間帯における出力配分値（蓄電、蓄熱のタイミング、量を含む）D 9 を計算する。

機器制御手段 1 6 は、出力配分値 D 9 をもとに各機器を制御するための情報を電熱発生装置群 2 1、蓄電装置 2 2、蓄熱装置 2 3 へ制御信号伝達手段 3 1 を介して伝達する。

【 0 0 2 3 】

（第 1 の実施の形態）

第 1 の実施の形態について述べる。

本実施の形態において、出力配分値計算手段 1 5 は、将来の電熱予測需要 D 5、予測蓄電量 D 6、予測蓄熱量 D 7、起動停止計画 D 8 をもとに、将来のある期間における各機器の各時間帯における出力配分値（蓄電、蓄熱のタイミング、量を含む）D 9 を計算するが、本発明では、蓄電装置、蓄熱装置を活用して、燃料費最小な出力配分値を決定する。

20

【 0 0 2 4 】

通常、電熱発生装置については、図 2 に示すように、負荷率に対する電力出力および熱出力はともに直線的に変化する。したがって、負荷率を ν としたときに、電力出力、熱出力は以下のように表現できる。

【 数 3 】

$$(\text{負荷率 } \nu \text{ における電力出力}) = d\nu + e$$

$$\cdots (1. 1)$$

30

$$(\text{負荷率 } \nu \text{ における熱出力}) = f\nu + g$$

【 0 0 2 5 】

以下では d, e を電力出力特性係数、 f, g を熱出力特性係数と呼ぶことにする。

また、本実施の形態においては、蓄電装置は蓄電（充電）専用の機器と放電専用の機器の組で模擬する。蓄電専用の機器の時間帯 t における上限出力を $PC_{\max, t}$ とし、放電専用の機器の時間帯 t における上限出力を $PD_{\max, t}$ とし、 DP_t を時間帯 t における電力負荷とする。また計算対象期間を $T_s \sim T_e$ とするとき、本実施の形態における任意の時間帯 t における電力需給バランス制約は式（ 1 . 2 ）のように表すことができる。

【 数 4 】

40

$$\sum_{i=1}^N u_{i,t} (d_i \nu_{i,t} + e_i) + PD_{\max, t} \nu_{N+1, t} - PC_{\max, t} \nu_{N+2, t} = DP_t \quad (t = T_s, \dots, T_e) \quad \cdots (1. 2)$$

【 0 0 2 6 】

ここで、各記号の意味は以下とする。起動停止計画 D 8 が求まっているとしているので、 $u_{i, t}$ は所与であることに注意する。（ 1 . 2 ）式では、電熱発生装置の総数を N としたときに、放電専用の機器のインデックスを $N + 2$ で、充電（蓄電）専用機器のインデックスを $N + 2$ で表すことにした。

【数 5】

$u_{i,t}$: 機器*i*の時間帯*t*における起動停止状態(起動:1 停止:0)

$v_{i,t}$: 機器*i*の時間帯*t*における負荷率

d_i, e_i : 機器*i*の電力出力特性係数

$PC_{\max,t}$: 充電上限

$PD_{\max,t}$: 放電上限

DP_t : 時間帯*t*における電力負荷

N : 電熱発生装置総数

T_s : 計算対象期間開始時間帯

T_e : 計算対象期間終了時間帯

10

【0027】

同様に、本実施の形態においては、蓄熱装置は蓄熱専用の機器と放熱専用の機器の組で模擬する。蓄熱専用の機器の時間帯 t における上限出力を $HC_{\max,t}$ とし、放熱専用の機器の時間帯 t における上限出力を $HD_{\max,t}$ とし、 HP_t を時間帯 t における熱負荷とすると、本エネルギーシステムにおける任意の時間帯 t における熱需給バランス制約は式 (1.3) のように表すことができる。

20

【数 6】

$$\sum_{i=1}^N u_{i,t} (f_i v_{i,t} + g_i) + HD_{\max,t} v_{N+3,t} - HC_{\max,t} v_{N+4,t} = DH_t \quad (t = T_s, \dots, T_e) \quad \cdots (1.3)$$

f_i, g_i : 機器*i*の熱出力特性係数

$HC_{\max,t}$: 蓄熱上限

$HD_{\max,t}$: 放熱上限

DH_t : 時間帯*t*における熱負荷

N : 電熱発生装置総数

T_s : 計算対象期間開始時間帯

T_e : 計算対象期間終了時間帯

30

【0028】

(1.3) 式では、電熱発生装置の総数を N としたときに、放電専用の機器のインデックスを $N+3$ で、蓄熱専用機器のインデックスを $N+4$ で表すことにした。

【0029】

また、蓄電装置が計算期間内で充電量と放電量のバランスを取るため、予測蓄電量 $D6$ をもとに (1.4) 式に示す充放電量バランス制約を考慮する必要がある。

40

【数 7】

$$\eta_P \sum_{t=T_s}^{T_e} PC_{\max,t} v_{N+2,t} - \sum_{t=T_s}^{T_e} PD_{\max,t} v_{N+1,t} = SP_{T_e} - SP_{T_s} \quad \cdots (1.4)$$

【0030】

同様に、蓄熱装置が計算期間内で充熱量と放熱量のバランスを取るため、予測蓄熱量 $D7$ をもとに (1.5) 式に示す蓄放熱量バランス制約を考慮する必要がある。

【数 8】

$$\eta_H \sum_{t=T_s}^{T_e} HC_{\max,t} v_{N+4,t} - \sum_{t=T_s}^{T_e} HD_{\max,t} v_{N+3,t} = SH_{T_e} - SH_{T_s} \quad \cdots (1.5)$$

 η_H :蓄熱効率 SH_{T_s} : T_s における予測蓄熱量(初期蓄熱量) SH_{T_e} : T_e における予測蓄熱量(最終蓄熱量)

【0031】

10

また、本実施の形態においては、蓄電装置は充電専用の機器と放電専用の機器の組で模擬するが、これらは同時に動作することはできないため、(1.6)式に示す充放電同時負荷制約を考慮する必要がある。

【数 9】

$$v_{N+1,t} \cdot v_{N+2,t} = 0 \quad (t=T_s, \dots, T_e) \quad \cdots (1.6)$$

【0032】

同様に、本実施の形態においては、蓄熱装置は蓄熱専用の機器と放熱専用の機器の組で模擬するが、これらは同時に動作することはできないため、(1.7)式に示す蓄放熱同時負荷制約を考慮する必要がある。

20

【数 10】

$$v_{N+3,t} \cdot v_{N+4,t} = 0 \quad (t=T_s, \dots, T_e) \quad \cdots (1.7)$$

【0033】

さらに、各機器の負荷率の上下限を考慮する必要がある。

【数 11】

$$\underline{v}_{i,t} \leq v_{i,t} \leq \bar{v}_{i,t} \quad (i=1, \dots, N+4, \quad t=T_s, \dots, T_e) \quad \cdots (1.8)$$

30

【0034】

さて、本実施の形態では、燃料費最小な出力配分値を決定するが、電熱発生装置の燃料費特性は通常、負荷率の2次式で表現されるため、目的関数は式(1.9)で表現される。

【数 12】

$$\sum_{t=T_s}^{T_e} \sum_{i=1}^N (a_i v_{i,t}^2 + b_i v_{i,t}) u_{i,t} \rightarrow \min \quad \cdots (1.9)$$

ここで、

40

 a_i :燃料費特性 2次の係数 b_i :燃料費特性 1次の係数

【0035】

上記をまとめると、以下の問題となる。

(目的関数): 燃料費最小化 (1.9)式

(制約条件): 電力需給バランス (1.2)式

: 熱需給バランス (1.3)式

: 充放電量バランス (1.4)式

: 蓄放熱量バランス (1.5)式

50

- : 充放電同時不可 (1 . 6) 式
- : 蓄放熱同時不可 (1 . 7) 式
- : 負荷率上下限 (1 . 8) 式

【 0 0 3 6 】

本問題は、目的関数が 2 次式であるが、制約に非線形な式 (1 . 6)、(1 . 7) を含む問題であり、最もよく知られた最適化手法の一つである、2 次計画法を適用することはできない。このような、非線形制約つき問題に対しては、たとえば、現在最も有効な方法の一つとされている逐次 2 次計画法を適用することで解を得ることができる。逐次 2 次計画法は、各反復において元の問題を近似した 2 次計画問題を逐次解いてゆく方法であるが、ゆく方法であるが、その概略について説明する。

10

【 0 0 3 7 】

非線形計画問題、

【数 1 3】

目的関数: $f(x) \rightarrow \min$

制約条件: $c_i(x) = 0 \quad i = 1, \dots, m_e \quad \dots \text{問題(A)}$

$c_i(x) \geq 0 \quad i = m_e + 1, \dots, m$

【 0 0 3 8 】

に対してラグランジュ関数

20

【数 1 4】

$L(x, \lambda) = f(x) - \lambda' C(x)$

【 0 0 3 9 】

を定義し、この関数の x に関する勾配

【数 1 5】

$\nabla_x L(x, \lambda) = \nabla f(x) - \lambda' \nabla C(x)$

【 0 0 4 0 】

とヘッセ行列

30

【数 1 6】

$\nabla_x^2 L(x, \lambda) = \nabla^2 f(x) - \lambda' \nabla^2 C(x)$

【 0 0 4 1 】

を考える。

いま、点 x_k が与えられているものとして、次の反復点 x_{k+1} を求めたいが、次のような 2 次計画問題を考える。

【数 1 7】

40

目的関数: $\nabla f(x_k)' s + \frac{1}{2} s' B_k s \rightarrow \min \quad \dots \text{問題(B)}$

制約条件: $c_i(x_k) + \nabla c_i(x_k)' s = 0 \quad i = 1, \dots, m_e$

【 0 0 4 2 】

これは、問題(A)の目的関数を $x = x_k$

において 2 次関数で近似し、制約条件を 1 次近似した問題であり、ベクトル s は現在の点 x_k からの変位を、問題(B)の目的関数の 2 次の係数行列 B_k は、ラグランジュ関数 $L(x_k, \lambda_k)$ のヘッセ行列を近似した行列を表している。

50

【 0 0 4 3 】

適当な B_k がヘッセ行列

【 数 1 8 】

$$\nabla_x^2 L(x_k, \lambda_k)$$

【 0 0 4 4 】

の良い近似となるように更新してゆけば、2次計画問題 (B) の解を逐次計算する反復法はニュートン法に似た性質を持つことが期待できる。この詳細については次に示す非特許文献 1 などに記述されている。

【 0 0 4 5 】

図 3 は本発明に係る第 1 の実施例を説明する処理の流れを示す図である。基本制約設定手段 151 は、電熱予測需要 D1、起動停止計画 D4、機器設備データベース D10 から、非線形問題求解手段 152 に対して、式 (1.2) ~ (1.8) で制約を、式 (1.9) で目的関数を与える。非線形問題求解手段 152 はこれら追加された制約を考慮した出力配分値 D9 を計算する。

【 0 0 4 6 】

以上のような実施の形態によれば、与えられたエネルギーシステム全体の電熱需要、起動停止計画 (各機器の起動 / 停止情報)、蓄電装置の蓄電量予測値、蓄熱装置の蓄熱量予測値に応じて、複数時間帯にわたる電熱発生装置と蓄電装置と蓄熱装置の総燃料費用最小な出力配分値を計算することができる。

【 0 0 4 7 】

(第 2 の実施の形態)

第 2 の実施の形態について述べる。この第 2 の実施の形態は、第 1 の実施の形態で述べた制約にさらに、各時刻における、蓄電装置容量上下限制約、蓄熱装置容量上下限制約を考慮した電熱発生装置と蓄電装置と蓄熱装置の総燃料費用最小な出力配分値を計算するものである。

【 0 0 4 8 】

本実施形態において、各時間帯 t における蓄電量は式 (2.1) で計算できる。

【 数 1 9 】

$$\eta_P \sum_{\tau=T_s}^t PC_{\max, \tau} v_{N+2, \tau} - \sum_{\tau=T_s}^t PD_{\max, \tau} v_{N+1, \tau} \quad (t = T_s, \dots, T_e) \quad \dots (2.1)$$

【 0 0 4 9 】

よって、蓄電量上限 $(SP_t)_{L_{\max}}$ が与えられたときに、計算期間内の任意の時間帯で、蓄電量が上限を逸脱しないという条件は、以下で表すことができる。

【 数 2 0 】

$$\eta_P \sum_{\tau=T_s}^t PC_{\max, \tau} v_{N+2, \tau} - \sum_{\tau=T_s}^t PD_{\max, \tau} v_{N+1, \tau} \leq (SP_t)_{L_{\max}} \quad (t = T_s, \dots, T_e) \quad \dots (2.2)$$

【 0 0 5 0 】

同様に、蓄電量下限 $(SP_t)_{L_{\min}}$ が与えられたときに、蓄電量が下限を逸脱しないという条件は、以下で表すことができる。

【 数 2 1 】

$$\eta_P \sum_{\tau=T_s}^t PC_{\max, \tau} v_{N+2, \tau} - \sum_{\tau=T_s}^t PD_{\max, \tau} v_{N+1, \tau} \geq (SP_t)_{L_{\min}} \quad (t = T_s, \dots, T_e) \quad \dots (2.3)$$

【 0 0 5 1 】

各時間帯 t における蓄熱量は式 (2.4) で計算できる。

10

20

30

40

【数 2 2】

$$\eta_H \sum_{\tau=T_s}^t HC_{\max,\tau} v_{N+4,\tau} - \sum_{\tau=T_s}^t HD_{\max,\tau} v_{N+3,\tau} \quad (t=T_s, \dots, T_e) \quad \dots (2.4)$$

【0052】

よって、蓄熱量上限 $(SH_t)_{Lmax}$ が与えられたときに、計算期間内の任意の時間帯で、蓄熱量が上限を逸脱しないという条件は、以下で表すことができる。

【数 2 3】

$$\eta_H \sum_{\tau=T_s}^t HC_{\max,\tau} v_{N+3,\tau} - \sum_{\tau=T_s}^t HD_{\max,\tau} v_{N+4,\tau} \leq (HP_t)_{Lmax} \quad (t=T_s, \dots, T_e) \quad \dots (2.5) \quad 10$$

【0053】

同様に、蓄熱量下限 $(SH_t)_{Lmin}$ が与えられたときに、蓄熱量が下限を逸脱しないという条件は、以下で表すことができる。

【数 2 4】

$$\eta_H \sum_{\tau=T_s}^t HC_{\max,\tau} v_{N+3,\tau} - \sum_{\tau=T_s}^t HD_{\max,\tau} v_{N+4,\tau} \geq (SP_t)_{Lmin} \quad (t=T_s, \dots, T_e) \quad \dots (2.6)$$

【0054】

第 1 の実施の形態で述べた、(1.10) の制約式として、さらに (2.2)、(2.3)、(2.5)、(2.6) 式を追加した問題を考えることで、たとえば、逐次 2 次計画法を適用することで解くことができる。 20

【0055】

図 4 は本発明に係る第 2 の実施例を説明する処理の流れを示す図である。蓄電装置容量上下限制約設定手段 153 は、予測蓄電量データ D6 から、各時刻の蓄電量上下限值を作成し、非線形問題求解手段 152 に対して、式 (2.2) および式 (2.3) で制約を与える。同様に、蓄熱装置容量上下限制約設定手段 154 は、予測蓄熱量データ D7 から、各時刻の蓄熱量上下限值を作成し、非線形問題求解手段 152 に対して、式 (2.5) および式 (2.6) で制約を与える。非線形問題求解手段 152 はこれら追加された制約を考慮した出力配分値 D9 を計算する。 30

【0056】

以上のような実施の形態によれば、第 1 の実施の形態で述べた制約にさらに、各時刻における、蓄電装置容量上下限制約、蓄熱装置容量上下限制約を考慮した電熱発生装置と蓄電装置と蓄熱装置の総燃料費用最小な出力配分値を計算することができる。

【0057】

(第 3 の実施の形態)

第 3 の実施の形態について述べる。この第 3 の実施の形態は、第 1 の実施の形態や第 2 の実施の形態で述べた制約にさらに、各時刻における、電熱発生装置と蓄電装置と蓄熱装置の出力変化速度を考慮した、電熱発生装置と蓄電装置と蓄熱装置の総燃料費用最小な出力配分値を計算するものである。 40

【0058】

本実施の形態において、各時間帯 t における電熱発生装置 i の電力出力変化速度は式 (3.1) で計算できる。

【数 2 5】

$$|d_i v_{i,t+1} - d_i v_{i,t}| \quad (t=T_s, \dots, T_e-1) \quad \dots (3.1)$$

【0059】

したがってこれらが設備上の制約からある範囲 VP_i にあるという電力出力変化速度制約は (3.2) 式のように表現できる。 50

【数 2 6】

$$|d_i v_{i,t+1} - d_i v_{i,t}| \leq VP_i \quad (t = T_s, \dots, T_e - 1) \cdots (3. 2)$$

【0 0 6 0】

各時間帯 t における電熱発生装置 i の熱出力変化速度は式 (3. 3) で計算できる。

【数 2 7】

$$|f_i v_{i,t+1} - f_i v_{i,t}| \quad (t = T_s, \dots, T_e - 1) \cdots (3. 3)$$

10

【0 0 6 1】

したがってこれらが設備上の制約からある範囲 VH_i にあるという熱出力変化速度制約は (3. 4) 式のように表現できる。

【数 2 8】

$$|f_i v_{i,t+1} - f_i v_{i,t}| \leq VH_i \quad (t = T_s, \dots, T_e - 1) \cdots (3. 4)$$

【0 0 6 2】

各時間帯 t における蓄電装置の電力出力変化速度は式 (3. 5) で計算できる。

20

【数 2 9】

$$|(PC_{\max, \tau} v_{N+2, t+1} - PD_{\max, \tau} v_{N+1, t+1}) - (PC_{\max, \tau} v_{N+2, t} - PD_{\max, \tau} v_{N+1, t})| \cdots (3. 5)$$

【0 0 6 3】

したがってこれらが設備上の制約からある範囲 VSP にあるという電力出力変化速度制約は (3. 6) 式のように表現できる。

【数 3 0】

$$|(PC_{\max, \tau} v_{N+2, t+1} - PD_{\max, \tau} v_{N+1, t+1}) - (PC_{\max, \tau} v_{N+2, t} - PD_{\max, \tau} v_{N+1, t})| \leq VSP \cdots (3. 6)$$

30

【0 0 6 4】

各時間帯 t における蓄熱装置の熱出力変化速度は式 (3. 7) で計算できる。

【数 3 1】

$$|(HC_{\max, \tau} v_{N+4, t+1} - HD_{\max, \tau} v_{N+3, t+1}) - (HC_{\max, \tau} v_{N+4, t} - HD_{\max, \tau} v_{N+3, t})| \cdots (3. 7)$$

【0 0 6 5】

したがってこれらが設備上の制約からある範囲 VSH にあるという熱出力変化速度制約は (3. 8) 式のように表現できる。

40

【数 3 2】

$$|(HC_{\max, \tau} v_{N+4, t+1} - HD_{\max, \tau} v_{N+3, t+1}) - (HC_{\max, \tau} v_{N+4, t} - HD_{\max, \tau} v_{N+3, t})| \leq VSH \cdots (3. 8)$$

【0 0 6 6】

第 1 の実施の形態で述べた、(1. 10) の制約式として、さらに (3. 2)、(3. 4)、(3. 6)、(3. 8) 式を追加した問題を考えることで、たとえば、逐次 2 次計画法を適用することで解くことができる。

【0 0 6 7】

図 5 は本発明に係る第 3 の実施例を説明する処理の流れを示す図である。出力変化速度

50

制約設定手段 155 は、機器設備データベース D10 から、電力出力変化速度と、熱出力変化速度を取得し、非線形問題求解手段 152 に対して、式 (3.2)、(3.4)、(3.6)、(3.8) で制約を与える。非線形問題求解手段 152 はこれら追加された制約を考慮した出力配分値 D9 を計算する。

【0068】

以上のような実施の形態によれば、第 1 の実施の形態や第 2 の実施の形態で述べた制約にさらに、各時刻における、電熱発生装置と蓄電装置と蓄熱装置の出力変化速度を考慮した、電熱発生装置と蓄電装置と蓄熱装置の総燃料費用最小な出力配分値を計算することができる。これにより、各機器の設備の制約を考慮した、実用性の高い配分価を得ることができる。

10

【0069】

(第 4 の実施の形態)

第 4 の実施の形態について述べる。この第 4 の実施の形態は、第 1 乃至第 3 の実施の形態で述べた制約にさらに、各時刻における、電熱発生装置の発生電力量および発生熱量に制限を与えた、電熱発生装置と蓄電装置と蓄熱装置の総燃料費用最小な出力配分値を計算するものである。

【0070】

本実施の形態では、ある電熱発生装置機器群を G_1 で表すことにする。この G_1 に含まれる機器群がある期間 $T_{s1} \sim T_{e1}$ で発生する電力量は以下のように表すことができる。

【数 33】

20

$$\sum_{i \in G_1} \sum_{t=T_{s1}}^{T_{e1}} u_{i,t} (d_i v_{i,t} + e_i) \quad \cdots (4.1)$$

【0071】

この電力量がある範囲 (目標量 CP_{G1} , 許容誤差 ε_{G1}) にある制約は、以下で表すことができる。

【数 34】

$$\left| \sum_{i \in G_1} \sum_{t=T_{s1}}^{T_{e1}} u_{i,t} (d_i v_{i,t} + e_i) - CP_{G1} \right| \leq \varepsilon_{G1} \quad \cdots (4.2)$$

30

【0072】

ある電熱発生装置機器群を G_2 で表すことにする。この G_2 に含まれる機器群がある期間 $T_{s2} \sim T_{e2}$ で発生する熱量は以下のように表すことができる。

【数 35】

$$\sum_{i \in G_2} \sum_{t=T_{s2}}^{T_{e2}} u_{i,t} (f_i v_{i,t} + g_i) \quad \cdots (4.3)$$

40

【0073】

この熱量がある範囲 (目標量 CH_{G2} , 許容誤差 ε_{G2}) にある制約は、以下で表すことができる。

【数 36】

$$\left| \sum_{i \in G_2} \sum_{t=T_{s2}}^{T_{e2}} u_{i,t} (f_i v_{i,t} + g_i) - CH_{G2} \right| \leq \varepsilon_{G2} \quad \cdots (4.4)$$

【0074】

第 1 乃至第 3 の実施の形態で述べた、問題の制約式として、さらに (4.2)、(4.4)

50

4) 式を追加した問題を考えることで、たとえば、逐次2次計画法を適用することで解くことができる。

【0075】

図6は本発明に係る第4の実施例を説明する処理の流れを示す図である。発生電力量制約設定手段156は、外部から設定された発生電力量制約データD11から、発生電力量制約を取得し、非線形問題求解手段152に対して、式(4.2)に基づき制約を与える。発生熱量制約設定手段157は、外部から設定された発生熱量制約データD12から、発生熱量制約を取得し、非線形問題求解手段152に対して、式(4.4)に基づき制約を与える。非線形問題求解手段152はこれら追加された制約を考慮した出力配分値D9を計算する。

10

【0076】

以上のような実施の形態によれば、第1乃至第3の実施の形態で述べた制約にさらに、各時刻における、電熱発生装置の発生電力量および発生熱量に制限を与えた、電熱発生装置と蓄電装置と蓄熱装置の総燃料費用最小な出力配分値を計算することができる。したがって、たとえば、ある電熱発生装置群が消費できる燃料に制限がある場合に、本制約を与えることで、燃料消費量を抑制することができ、実用性の高い出力配分値を得ることができる。

【0077】

(第5の実施の形態)

図7は本発明に係る第5の実施例を説明する処理の流れを示す図である。また、図8は処理フローをあらわす。この第5の実施の形態は、与えられた起動停止計画からさらに低燃料費の起動停止計画およびそれに対する、電熱発生装置と蓄電装置と蓄熱装置の総燃料費用最小な出力配分値を計算するものである。

20

【0078】

本実施の形態において、総燃料費計算手段19は出力配分値D9に基づき、総燃料費D14を計算する(図8 501)。この値をC1とする。運転単価計算手段は各電熱発生装置の各時間帯の運転単価D13を計算する(図8 502)。起動停止計画変更手順17はこの結果をもとに、運転単価の高い(電熱発生装置、時間帯)の組み合わせの起動停止計画変更を行う(図8 503)。出力配分値計算手段は、変更された起動停止計画D8をもとに、再度出力配分値D9を計算する(図8 504)。

30

【0079】

総燃料費計算手段19は、この出力配分値D9に基づき、総燃料費D14を計算する(図8 505)。この値をC2とする。この総燃料費D14が起動停止計画変更前の総燃料費D14よりも小さいかどうか判断し(図8 506)、小さい場合に、起動停止計画変更結果を採用し(図8 508)、最初に戻る。C2がC1よりも小さくない場合には起動停止計画変更結果をキャンセル(図8 507)し、この手順を終了する。

【0080】

総燃料費は以下の式(5.1)で計算する。

【数37】

$$(\text{総燃料費}) = \sum_{t=T_s}^{T_e} \sum_{i=1}^N (a_i v_{i,t}^2 + b_i v_{i,t} + c_i) u_{i,t} \quad \dots (5.1)$$

40

【0081】

また、運転単価は以下の式(5.2)で計算する。

【数38】

$$\text{運転単価}_{i,t} = \begin{cases} (a_i v_{i,t}^2 + b_i v_{i,t} + c_i) / (d_i v_{i,t} + e_i + f_i v_{i,t} + g_i) & \text{for } u_{i,t} = 1 \\ 0 & \text{for } u_{i,t} = 0 \end{cases} \quad \dots (5.2)$$

【0082】

50

この値が大きい（電熱発生装置、時間帯）の組み合わせほど効率が悪い運転と考えられるため、停止候補となる。

【 0 0 8 3 】

以上のような本実施の形態によれば、与えられた起動停止計画からさらに低燃料費の起動停止計画およびそれに対する、電熱発生装置と蓄電装置と蓄熱装置の総燃料費用最小な出力配分値を計算することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 8 4 】

【図 1】本発明の制御方法を適用するシステム全体の構成図。

【図 2】電熱発生装置の、負荷率に対する発電出力・回収熱量例を示すグラフ。

10

【図 3】本発明に係る第 1 の実施の形態を説明する処理の流れを示す図。

【図 4】本発明に係る第 2 の実施の形態を説明する処理の流れを示す図。

【図 5】本発明に係る第 3 の実施の形態を説明する処理の流れを示す図。

【図 6】本発明に係る第 4 の実施の形態を説明する処理の流れを示す図。

【図 7】本発明に係る第 5 の実施の形態を説明する処理の流れを示す図。

【図 8】本発明に係る第 5 の実施の形態を処理フローを示すフローチャート。

【図 9】電力負荷と熱負荷の一日の変化例を示すグラフ。

【図 10】揚水発電所の運用計算方法 1 の説明図。

【図 11】揚水発電所の運用計算方法 3 の説明図。

【符号の説明】

20

【 0 0 8 5 】

1 ... エネルギーシステム制御装置

2 ... エネルギーシステム

1 1 ... 電熱需要予測手段

1 2 ... 蓄電量予測手段

1 3 ... 蓄熱量予測手段

1 4 ... 起動停止計画作成手段

1 5 ... 出力配分値計算手段

1 6 ... 機器制御手段

1 7 ... 起動停止計画変更手段

30

1 8 ... 運転単価計算手段

1 9 ... 総燃料費計算手段

2 1 ... 電熱発生装置

2 2 ... 蓄電装置

2 3 ... 蓄熱装置

2 4 ... 電力負荷

2 5 ... 熱負荷

3 1 ... 制御信号伝達手段

3 2 ... 電力エネルギー供給手段

3 3 ... 熱エネルギー供給手段

40

1 5 1 ... 基本制約設定手段

1 5 2 ... 非線形問題求解手段

1 5 3 ... 蓄電装置容量上下限制約設定手段

1 5 4 ... 蓄熱装置容量上下限制約設定手段

1 5 5 ... 出力変化速度制約設定手段

1 5 6 ... 発生電力量制約設定手段

1 5 7 ... 発生熱量制約設定手段

D 1 ... 電熱需要実績データベース

D 2 ... 蓄電量実績データベース

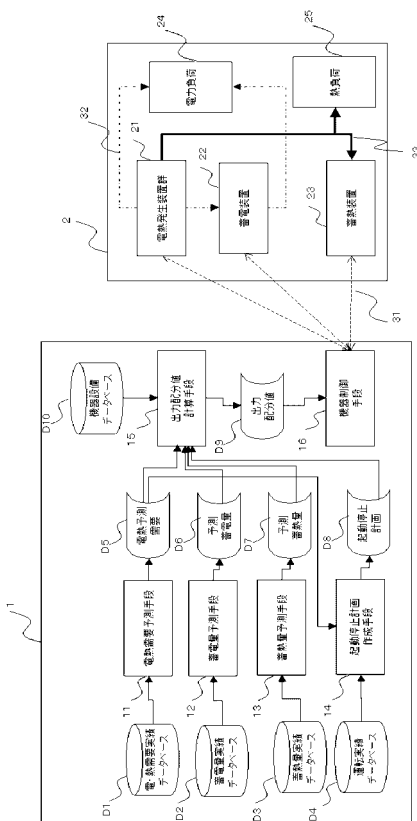
D 3 ... 蓄熱量実績データベース

50

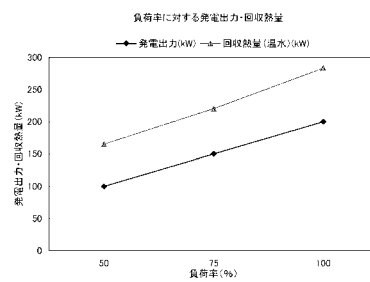
- D 4 ... 運転実績データベース
- D 5 ... 電熱予測需要データ
- D 6 ... 予測蓄電量データ
- D 7 ... 予測蓄熱量データ
- D 8 ... 起動停止計画データ
- D 9 ... 出力配分値データ
- D 10 ... 機器設備データベース
- D 11 ... 発生電力量制約データ
- D 12 ... 発生熱量制約データ
- D 13 ... 運転単価データ
- D 14 ... 総燃料費データ

10

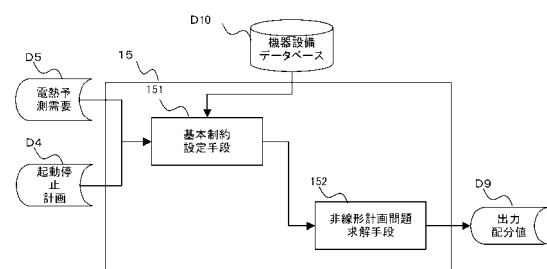
【図 1】



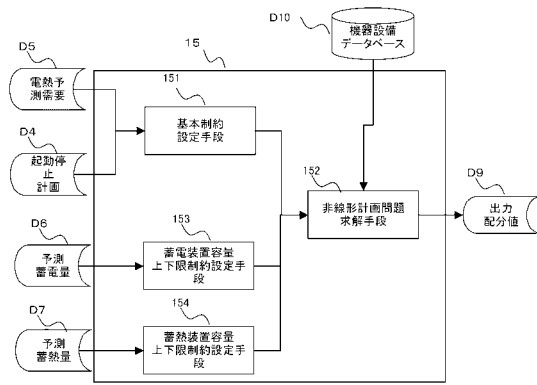
【図 2】



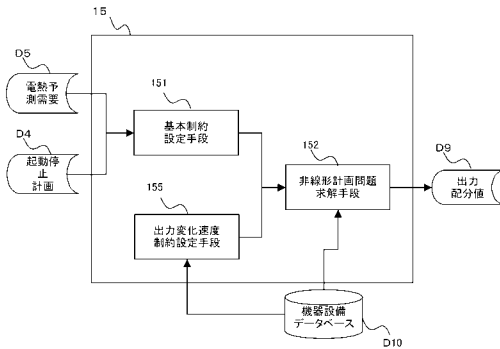
【図 3】



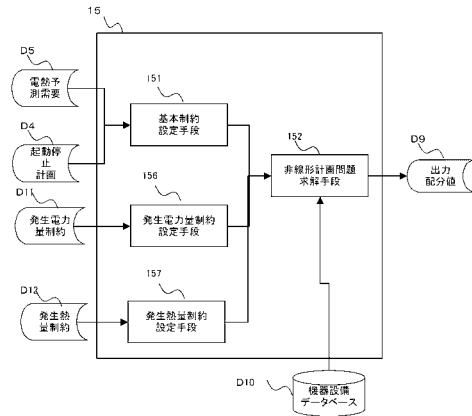
【図 4】



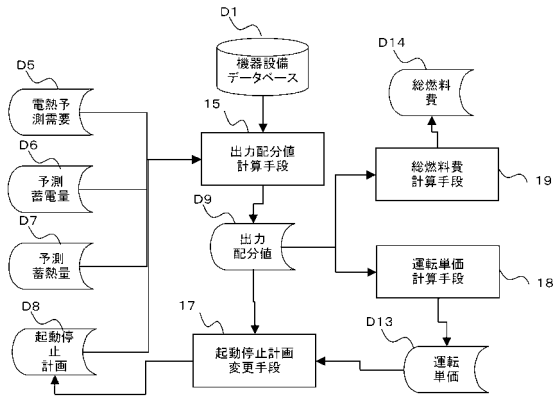
【図 5】



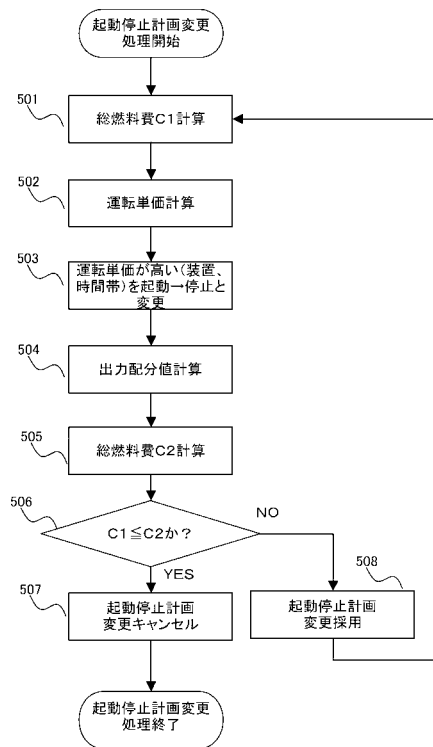
【図 6】



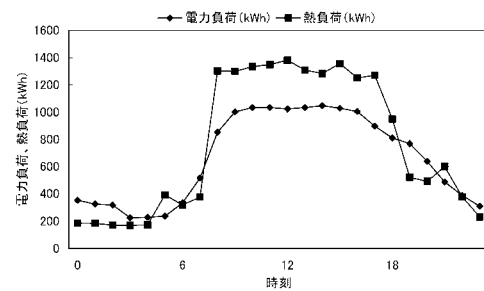
【図 7】



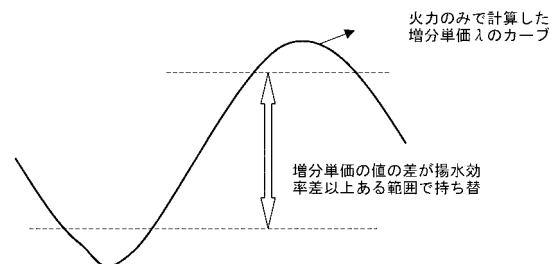
【図 8】



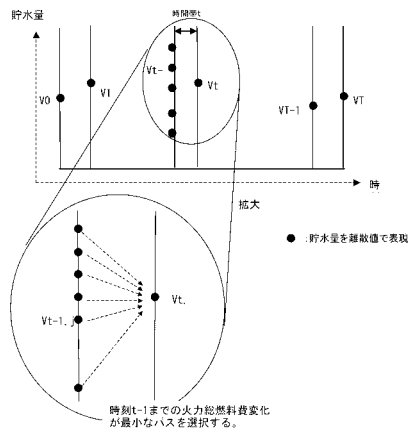
【図 9】



【図 10】



【 図 1 1 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2007-306661(JP,A)
特開2005-304118(JP,A)
特開2002-48004(JP,A)
特開2003-163013(JP,A)
特開2005-143218(JP,A)
特開2005-333701(JP,A)
特開2003-61245(JP,A)
特開2005-86953(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02J	3/00
G06Q	50/06
H02J	3/32
H02J	7/00