

明 細 書

発明の名称：電力需給計画装置

技術分野

[0001] 本発明は電力需給計画装置に関し、例えば発電機の起動停止および出力配分の計画である需給計画を算出する電力需給計画装置に適用して好適なものである。

背景技術

[0002] 従来の発電機の需給計画は、計画期間の各時刻の需要予測値に基づいて、各発電機や電力システムの運用上の制約を満足して電力需要に合わせた発電機の運転状態、停止状態および出力を決定するものである。このような発電機の需給計画方法としては、非特許文献1、非特許文献2に記載の方法がある。これらにあるように、電力の需要と供給とが一致するという需給バランス、起動した発電機はその状態を一定時間保持するという最小連続起動、停止した発電機はその状態を一定時間保持するという最小連続停止時間など、各発電機や電力システムの運用上の制約を満たしながら、総発電コストが最小となるように需給計画が算出される。この需給計画では、発電機1台でも、起動と停止とを計画の時間断面数 n だけ考慮した場合、 2^n の膨大な通りの需給計画が考えられるため、短時間で膨大な通りの中から総発電コストを最小化する最適化手法が必須となる。

[0003] 一方で、近年においては、出力が天候に依存する再生可能エネルギー（以後、VRE: Variable Renewable Energy）が電力系統に連系されている。これらVREの予測が外れることが多く、前述の需給計画の算出時に想定されるVREが実出力と異なることで、需給計画の経済性が劣化することが懸念される。また、電力を売買するシステムである電力市場が導入されることで、変動要素を予測しながら発電機の出力計画を算出することが必要となってきた。

[0004] 以上のことから、予測誤差などの不確定性を考慮することが重要となっ

おり、非特許文献3では、需要の不確実性を考慮し、特許文献1では、電力市場での売電を想定している。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2016-35719号公報

非特許文献

[0006] 非特許文献1：吉川元庸、澤敏之、中島宏、木下光夫、樽林芳之、中田祐司、
「火力・揚水発電所の運用計画作成手法」、電学論B、114巻、12号(1994)

非特許文献2：澤敏之、佐藤康生、鶴貝満男、大西司、「潮流制約を考慮した火力、揚水、水力および融通の統合翌日運用計画作成」、IEEJ Trans. PE、Vol.128、No.10(2008)

非特許文献3：椎名孝之、「確率計画法」、朝倉書店、pp99-110(2015)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] ここで、非特許文献3および特許文献1においては、需要やVREの不確実性を考慮するために、複数の想定ケースやシナリオを考慮しているが、検討するシナリオが多くなるほど演算時間が増加する。また、需給計画の時刻みが短くなるほど演算時間はさらに増加する。時々刻々と不確実性を伴う要素は変化していると考えられるが、需給計画の算出に長い時間を要する場合には、需給計画の算出時の想定と状況が変わるために需給計画の総コスト等に対する最適性は劣化すると考えられる。

[0008] 本発明は以上の点を考慮してなされたもので、需給計画を短時間で算出し得る電力需給計画装置を提案しようとするものである。

課題を解決するための手段

[0009] かかる課題を解決するため本発明においては、発電機の起動停止および出力配分の計画である需給計画を算出する電力需給計画装置であって、電力の需給に係る需給情報を算出する需給情報算出部と、前記需給情報算出部によ

り算出される需給情報を入力として、発電機の起動停止および出力配分の需給計画を算出する需給計画算出部と、前記需給計画算出部により算出される需給計画および前記需給計画より短い時間刻みの需給情報を入力として、前記需給計画における発電機の起動開始時間および／または停止開始時間を総発電コストが低減するように調整することで前記需給計画より短い時間刻みの需給計画を算出する需給計画調整部と、を設けるようにした。

[0010] 上記構成によれば、例えば、長い時間刻みの需給計画を算出し、この需給計画の発電機の起動開始時間および／または停止開始時間をより短い時間刻みで微調整して発電機の出力配分を決定することで、短い演算時間で短い時間刻みの需給計画を算出することができる。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、需給計画を短時間で算出することができる。

[0012] 上記した以外の課題、構成および効果は、以下の実施の形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]第1の実施の形態による電力需給計画装置に係るソフトウェア構成の一例を示す図である。

[図2]第1の実施の形態による電力需給計画装置と電力系統とのハードウェア構成の一例を示す図である。

[図3]第1の実施の形態による電力需給計画装置の処理の全体を示すフローチャートの一例を示す図である。

[図4]第1の実施の形態による発電機の起動停止のスケジュールの一例を示す図である。

[図5]第2の実施の形態による電力需給計画装置に係るソフトウェア構成の一例を示す図である。

[図6]第2の実施の形態による電力需給計画装置の処理の全体を示すフローチャートの一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下図面について、本発明の一実施の形態を詳述する。

[0015] 以下、本発明の実施に好適な実施の形態について説明する。本実施の形態では、複数の発電設備を有する事業者、電力仲介業者などの電力供給業者が、電力の需給計画を立案する場合に用いる電力計画立案支援方法について主に説明する。なお、下記はあくまでも実施の例に過ぎず、下記の具体的な内容に発明自体が限定されることを意図するものではない。

[0016] (1) 第1の実施の形態

(1-1) 構成 (ソフト)

図1において、100は全体として第1の実施の形態による電力需給計画装置を示す。

[0017] 図1は、電力需給計画装置100に係るソフトウェア構成の一例を示す図である。電力需給計画装置100は、電力情報データベース110と、需給情報算出部120と、需給計画算出部130と、需給計画調整部140と、発電計画データベース150とを備えている。需給情報算出部120は、供給力算出部121と、調整力算出部122と、入力更新部123とを備えている。

[0018] (1-2) 作用 (ソフト)

電力情報データベース110には、発電機機器データ111、電力系統の連系線の送電容量制約などの系統運用データ112、気象予測データ113、調整力価格データ114、需要予測データ115、VPP (Virtual Power Plant) 需要・発電状況データ116などが格納されている。

[0019] 需給情報算出部120は、需給情報算出部120、需給計画算出部130、需給計画調整部140等を備え、発電機機器データ111、電力系統の連系線の送電容量制約などの系統運用データ112、気象予測データ113、需要予測データ115などを入力に、電力の需給に係る需給情報 (供給力の情報、調整力の情報など) を算出する。より具体的には、供給力算出部121は、予測値に基づいて対象日対象時刻に必要となる合計発電量を供給力として出力する。調整力算出部122は、予測誤差などにより必要となる合計

発電出力が供給力からずれた場合にその出力変化分を補正する調整力を算出して出力する。入力更新部 1 2 3 は、供給力算出部 1 2 1 および調整力算出部 1 2 2 より短い周期および短い時間刻みで供給力算出部 1 2 1 および調整力算出部 1 2 2 の出力の更新値を出力する。

[0020] 需給計画算出部 1 3 0 は、調整力算出部 1 2 2 で算出された出力変化分と供給力算出部 1 2 1 において算出された必要電力量とが出力可能な全発電機の起動停止スケジュールおよび各発電機の出力配分を算出する。

[0021] 需給計画調整部 1 4 0 は、需給計画算出部 1 3 0 で算出された起動停止スケジュールと入力更新部 1 2 3 の出力とを入力に、起動停止スケジュールにおいてより短い時間刻みで総発電コストが低減するように発電機の起動開始時間および／または停止開始時間（起動停止時間）を前後させることで、短い時間刻みやより短い周期で起動停止スケジュールおよび出力配分を出力する。

[0022] 発電計画データベース 1 5 0 では、需給計画算出部 1 3 0 と需給計画調整部 1 4 0 との出力をデータベースに記録する。なお、発電計画データベース 1 5 0 のデータは、後述の表示部 2 0 1 等に画面表示 1 6 0 されてもよい。

[0023] (1-3) 構成 (ハード)

図 2 は、電力需給計画装置 1 0 0 と電力系統 2 1 0 とのハードウェア構成の一例を示す図である。

[0024] 電力系統 2 1 0 は、複数の同期発電機 2 1 1 および負荷 2 1 2 が母線 (ノード) 2 1 3、変圧器 2 1 4、送電線路 2 1 5 等を介して相互に連系されたシステムである。電力系統 2 1 0 では、発電機 2 1 1 の情報、負荷 2 1 2 の情報 (需要情報) などの複数の計測データが通信ネットワーク 2 2 0 を介してデータベースに格納される。

[0025] なお、図 2 において、ノード 2 1 3 には、電力系統 2 1 0 の保護、制御、監視の目的での各種の計測器が適宜設置されており、計測器で検知した信号は、通信ネットワーク 2 2 0 を介して電力需給計画装置 1 0 0 の通信部 2 0 3 に送られる。図 2 に示す通信部 2 0 3 では、他にも気象システム、電力市

場システム、VPPのような複数の分散電源や需要家を監視制御するアグリゲータとも通信を行う。

[0026] 電力需給計画装置100は、計算機システムで構成されており、ディスプレイ装置等の表示部201、キーボード、マウス等の入力部202、通信部203、CPU (Central Processing Unit) 204、メモリ205、および各種データベース（例えば、電力情報データベース110、発電計画データベース150）を格納する記憶部206がバス線207に接続されている。

[0027] (1-4) 作用 (ハード)

表示部201は、例えば、ディスプレイ装置に代えて、またはディスプレイ装置と共に、プリンタ装置、音声出力装置等を用いる構成でもよい。入力部202は、例えば、キーボードスイッチ、マウス等のポインティング装置、タッチパネル、音声指示装置等の少なくともいずれか1つを備えて構成できる。通信部203は、通信ネットワーク220に接続するための回路および通信プロトコルを備える。CPU204は、計算プログラムを実行して表示すべき画像データの指示、各種データベース内のデータの検索等を行う。CPU204は、1つまたは複数の半導体チップとして構成してもよいし、計算サーバのようなコンピュータ装置として構成してもよい。メモリ205は、例えば、RAM (Random Access Memory) として構成され、コンピュータプログラムを記憶したり、各処理に必要な計算結果データ、画像データ等を記憶したりする。メモリ205に格納されたデータは、表示部201に送られて表示される。

[0028] なお、電力需給計画装置100の機能（需給情報算出部120、需給計画算出部130、需給計画調整部140など）は、例えば、CPU204がプログラムをメモリ205に読み出して実行すること（ソフトウェア）により実現されてもよいし、専用の回路などのハードウェアにより実現されてもよいし、ソフトウェアとハードウェアとが組み合わされて実現されてもよい。また、電力需給計画装置100の機能の一部は、電力需給計画装置100と通信可能な他のコンピュータにより実現されてもよい。

[0029] (1-5) 処理フローチャート

図3は、電力需給計画装置100の処理の全体を示すフローチャートを示している。

[0030] ステップS301では、供給力算出部121は、電力系統に連系される需給計画の対象外の発電機について、気象予測データ113等から太陽光発電などの発電出力を予測し、需要予測で算出された需要を合計し、需給計画の対象となる発電機で必要となる供給力を算出する。

[0031] ステップS302では、調整力算出部122は、過去の需要変動や太陽光発電の出力変動から、実運用時に需給計画における合計出力からの誤差を補正する調整力を算出する。なお、この調整力において、現状では総需要に対して予め定められた値（例えば、2%程度）が設定されている。

[0032] ステップS303では、需給計画算出部130は、需給計画を算出する。より具体的には、需給計画算出部130は、各発電機の出力に応じた発電コストや起動費、最大出力、最低出力、連続起動時間、連続停止時間、出力変化速度、メンテナンスや試験のような必ず停止および／または起動する期間などの発電機機器データ111と、供給力算出部121で算出された供給力と、調整力算出部122で算出された調整力とを入力に、以下の目的関数を最小化し、以下に例を示した制約条件を満たした発電機の起動停止スケジュールと出力配分となる需給計画を算出する。なお、算出された需給計画は、表示部201に表示されてもよい。

[0033] <目的関数>

計画時間内におけるすべての発電機の発電コストおよび起動費

[数1]

$$F(P, u) = \sum_{t=1}^{T_{end}} \left(\sum_{i=1}^{N_{gen}} a_i P_{it}^2 + b_i P_{it} + c_i u_{it} + SUC_i(\Delta u_{it}) \right)$$

..... (式1)

T_{end} : 計画の終端時刻 N_{gen} : 発電機台数 a_i, b_i, c_i : 発電コスト係数

P_{it} : 発電出力 u_{it} : 起動停止を示す0,1の離散変数

Δu_{it} : 1(起動開始時点) 0(その他) SUC_i : 起動コスト

[0034] <制約条件>

最大・最小発電機出力（各発電機の出力が、最大出力から最低出力の範囲内）

需給バランス（分担分の需要が合計発電出力と一致する）

最小連続起動・停止時間（再起動または再停止は最小連続時間後となる）

運転・停止期間（指定期間で発電機を停止または運転を継続する）

運転予備力・必要調整力（実運用時と需給計画との誤差を補正する余力）

[0035] 上記においては、非特許文献1、非特許文献2にあるように、動的計画法や二次計画法によって、目的関数を最小化する最適解を算出することが可能である。

[0036] 以下のステップS304およびステップS305では、ステップS301～ステップS303の出力の需給計画がより短い時間刻みに展開されてデータベースに出力される。なお、ステップS304およびステップS305は、より短い間隔で繰り返されてもよい。

[0037] ステップS304では、入力更新部123は、供給力算出部121および調整力算出部122と同等の処理（機能）により、より短い時間刻みで供給力および調整力を出力する。なお、電力情報データベース110からの入力の時間刻みより需給計画の時間刻みの方が短い場合には、入力更新部123は、スプライン補完、線形補完などの補完により短い時間刻みの入力を算出する。

[0038] ステップS305では、需給計画調整部140は、入力更新部123により更新された短い時間刻みの供給力および調整力、需給計画算出部130で算出された需給計画を入力に、需給計画算出部130で算出した需給計画より短い時間刻みの需給計画を算出する。

[0039] ここで、ステップS303において需給計画算出部130により、各発電機*i*の起動停止のスケジュールが例えば1時間刻みで $u_i = \{0, 0, 0, 1, 1, 1,$

0, 0, 0・・・}のように時間ごとに起動状態が「1（起動）」または「0（停止）」と算出された場合の例を、図4の表401に示す。この場合、需給計画調整部140では、図4の表402のように、需給計画の表401の破線部を、より短い時間刻み例えば15分刻みの計画に展開するとき、起動時点を1.0Hではなく、時刻を遅くした1.5Hなどに遅くすることができる。この際、発電コストが高い発電機の起動時刻を、制約を満たす範囲で遅い時刻とすることで、発電コストが高い発電機の起動時間が短くなり（式1）をより最小化できると考えられる。

[0040] そこで、需給計画調整部140においては、発電コストが高い発電機の順に、全ての発電機ですべての起動開始時点を表402のように遅くしていくように演算してもよい。また、発電機の停止開始時点においては、需給計画調整部140は、発電コストが高い発電機順に、すべての発電機ですべての停止開始時点を早くしていくように演算してもよい。

[0041] なお、起動停止開始時間をより短い時間刻みで微調整したが、各発電機の出力は調整した起動停止スケジュールに基づいて算出される。

[0042] このように、需給計画調整部140においては、発電機の起動停止の有無は、需給計画算出部130の算出結果を基にし、起動開始時間および／または停止開始時間を（式1）の目的関数が小さくなるように調整し、調整した起動停止に応じた発電機の出力を算出する。

[0043] なお、上記のステップS301～ステップS303は、第1の時間間隔で（例えば、1時間ごとに）繰り返され、ステップS304およびステップS305は、第1の時間間隔よりも短い第2の時間間隔で（例えば、5分後ごとに）繰り返され、それぞれの結果は、発電計画データベース150に保存され、表示部201に表示される。

[0044] （1－6）効果

本実施の形態によれば、短い時間刻みの需給計画の算出または需給計画の更新を実施するにあたり、まずは長い時間刻みにおいて、総発電コストなどの評価関数を最小にして電力システムの制約条件を満たすように、各時刻の発電

機の起動停止の有無を示す起動停止計画を決定する。次に、この計画を対象に、上記制約条件を満たし、上記評価関数を低減できるように、より短い時間刻みで起動停止計画の起動開始時間および／または停止開始時間を微調整した短い時間刻みの需給計画を算出する。

[0045] これにより、発電機の起動の有無を前提にして計算ができるようになるので、一度に起動停止の有無も含めた需給計画を短い時間刻みで算出するよりも、より短時間で算出することが可能である。

[0046] また、発電機の起動時間や停止時間の微調整にあたっては、発電機の発電コスト順に応じて、起動開始時間を遅く、停止開始時間を早くするように、微調整する発電機の順や調整時間の方向を決めることで、より演算時間の短縮が可能である。

[0047] (2) 第2の実施の形態

第2の実施の形態について、以下に説明する。なお、第1の実施の形態で説明した内容と重複する説明については省略する。

[0048] (2-1) 構成 (ソフト)

図5に示す本実施の形態の電力需給計画装置500では、需給情報算出部520において、供給力シナリオ算出部521、入力変化シナリオ算出部523が追加されている点が第1の実施の形態と主に異なる。

[0049] (2-2) 作用 (ソフト)

供給力シナリオ算出部521は、需要や需給計画の対象外の発電の予測およびその誤差分布を複数のシナリオで模擬したシナリオケースを算出する。入力変化シナリオ算出部523は、供給力シナリオ算出部521および調整力算出部522より短い周期および短い時間刻みで両機能の更新値を出力する。需給計画算出部530は、供給力シナリオ算出部521で算出された確率ごとのシナリオと調整力とに基づいた起動停止スケジュールを算出する。需給計画調整部540は、需給計画算出部530で算出された起動停止スケジュールについて、発電機の起動停止時間を微調整することで、より短い時間刻みやより短い周期で起動停止スケジュールを出力する。発電計画データ

ベース550は、需給計画算出部530と需給計画調整部540との出力をデータベースに記録する。発電計画データベース550に記録されたデータは、表示部201等に画面表示160されてもよい。

[0050] (2-3) 構成および作用 (ハード)

電力需給計画装置500のハードウェア構成については、第1の実施の形態からの変更がないので、その説明を省略する。

[0051] (2-4) 処理フローチャート

図6は、電力需給計画装置500の処理の全体を示すフローチャートを示している。

[0052] ステップS601では、供給力シナリオ算出部521は、需要や需給計画の対象外の発電の予測およびその誤差分布からそれらを模擬できるように複数のシナリオ (確率シナリオ) を算出する。

[0053] ここで、予測値とその誤差分布つまりは予測のとり得る分布である予測分布の例として、非特許文献4を紹介する。気温、雲量、天候、気圧、湿度、降水量、日射量、需要実績、太陽光発電実績、予測誤差の実績などで示される入力 x に対して、予測したい対象 (需要や需給計画の対象外の発電の合計の予測) t の関係を下記 (式2) で近似し、予測誤差を含めた分布を考慮していく。なお、 $x=(X_1, X_2, \dots, X_N)^T$ 、 $y=(Y_1, Y_2, \dots, Y_N)^T$ かつ N 個の各要素 X_n および Y_n は、それぞれベクトルとした入力と出力とし、 ε は、分散 β^{-1} とする精度とし、 $w=(w_0, w_1, \dots, w_m)$ は、係数行列のパラメータとする。

<非特許文献4>

C.M. ビショップ、「パターン認識と機械学習 上 ベイズ理論による統計的予測」、丸善出版株式会社、pp28-31(2012)

[数2]

$$t = y(x, w) + \varepsilon = w_0 + w_1 x + w_2 x^2 + \dots + w_M x^M + \varepsilon = \sum_{j=0}^M w_j x^j + \varepsilon$$

..... (式2)

[0054] (式2)において、 w と β による対数尤度関数は、下記 (式3) で示され、

対数尤度を最大化することで、(式2)の近似精度を最もよくする w である w_{ML} を算出することができる。

[数3]

$$\ln p(t|x, w, \beta) = -\frac{\beta}{2} \sum_{n=1}^N \{y(x_n, w) - t_n\}^2 + \frac{N}{2} \ln \beta - \frac{N}{2} \ln(2\pi)$$

..... (式3)

[0055] このとき、精度を示す β は、(式4)で示される。

[数4]

$$\frac{1}{\beta_{ML}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \{y(x_n, w_{ML}) - t_n\}^2$$

..... (式4)

[0056] 上記の w_{ML} を代入した(式2)および β_{ML}^{-1} により予測分布を含む予測式は、(式5)で示される。(式5)においてDistは、正規分布を示し、 $y(x, w_{ML})$ を平均値とした分散 β_{ML}^{-1} の予測分布となる。

[数5]

$$p(t|x, w_{ML}, \beta_{ML}) = \text{Dist}(t|y(x, w_{ML}), \beta_{ML}^{-1})$$

..... (式5)

[0057] この予測分布において、分布を需給計画で反映するために、供給力シナリオ算出部521は、分布の範囲におけるそれぞれの発生確率において予測値のシナリオを作成する。なお、このシナリオについては、複数の予測パターンの時系列データであり、これらパターンの対象時点での分布が対象時点での予測分布に従うものとなる。このシナリオ作成には、非特許文献5のように、乱数に基づいて特定の確率分布に従うデータ点を作成できるようなモンテカルロ法を活用する。このモンテカルロ法を使うことで、前述の需要や需給計画の対象外の発電の合計値の予測値、確率分布となる誤差分布に従うシナリオケースを発生させる。また、雷のように電力系統の事故(系統事故)に起因する要素について、雷予報などで将来の発生確率が分かる場合は、供給力シナリオ算出部521は、事故影響エリアの需要量や発電量と確率に基

づき、系統事故の影響される需要と発電量のシナリオ（系統事故による需給変化量の確率分布によるシナリオ）を作成し、上記シナリオケースに加算してもよい。また、VPPのように複数の需要家や発電機を管理し、1つの大規模な発電所とみなせる設備（複数の機器が集合した設備）に対して、事前に決めた指令通りの出力ができない可能性がある場合に、供給力シナリオ算出部521は、この出力偏差（出力誤差）の分布によるシナリオも同様に上記シナリオケースに加算してもよい。このようにシナリオを追加することで、電力系統の状況に対応した需給計画を算出できるようになる。

<非特許文献5>

金明哲、「Rで学ぶデータサイエンス3 ベイズ統計データ解析」、共立出版株式会社、pp46-81(2010)

- [0058] ステップS602においては、調整力算出部522は、需要や需給計画の対象外の発電の実績値とその予測値から誤差を補正する調整力を算出する。この調整力では、概ね総需要の2%が設定されてきたが、実際の電力系統の変動に応じて調整力を確保するために、ステップS601の予測分布または後述のステップS604の逐次更新された予測分布における分布の分散 σ の 2σ や 3σ の大きさを調整力に設定してもよい。また、雷のように系統事故に起因する要素について、雷予報データなどの事故確率データ511で将来の発生確率が分かる場合は、事故影響エリアの需要量や発電量を調整力に加算してもよい。加えて、複数の需要家や発電機を1つの発電所として管理するVPPが事前に決めた指令通りの出力ができない可能性がある場合に、指令値からの差分を調整力に加算してもよい。
- [0059] ステップS603では、需給計画算出部530は、各発電機の出力に応じた発電コストや起動費、最大出力、最低出力、連続起動時間、連続停止時間、出力変化速度、メンテナンスや試験のような必ず停止および／または起動する期間などの発電機機器データ111と、供給力シナリオ算出部521で算出された供給力のシナリオと、調整力算出部522で算出した調整力とを入力に、下記（式6）の目的関数を最小化する起動停止計画を算出する。こ

の最小化手法としては、例えば、非特許文献3の確率計画法がある。

[0060] ここで、基本的には、調整力のために発電コストが低い発電機の確保は適切ではないが、ステップS602やステップS604の予測分布の 2σ や 3σ が大きく予め設定した閾値以上の場合には、実運用時に需給計画から誤差が大きく調整力の活用の頻度が高いと考えられることから、発電コストが安い発電機で調整力を確保する（発電コストが相対的に安い発電機から調整力を確保してもよいし、発電コストが最も安い発電機から順に調整力を確保してもよい。）。一方で、予測分布の 2σ や 3σ が小さく閾値以下の場合には、調整力の活用頻度は小さいと考えられることから発電コストが高い発電機で調整力を確保する（発電コストが相対的に高い発電機から調整力を確保してもよいし、発電コストが最も高い発電機から順に調整力を確保してもよい。）。なお、ここでの調整力の確保は、発電機としたが、蓄電池や揚水発電機のような電力機器でもよい。

[0061] <目的関数>

計画時間内におけるすべての発電機の発電コストおよび起動費

[数6]

$$F(P, u) = \sum_1^S PDist_s \sum_{t=1}^{T_{end}} \left(\sum_{i=1}^{N_{gen}} a_i P_{it}^2 + b_i P_{it} + C_i u_{it} \right) + \sum_{t=1}^{T_{end}} \left(\sum_{i=1}^{N_{gen}} SUC_i (\Delta u_{it}) \right)$$

..... (式6)

T_{end} : 計画の終端時刻 N_{gen} : 発電機台数 a_i, b_i, c_i : 発電コスト係数

P_{it} : 発電出力 u_{it} : 起動停止を示す0, 1の離散変数

Δu_{it} : 1(起動開始時点) 0(その他) SUC_i : 起動コスト

S : 想定したシナリオ数 $PDist_s$: 各シナリオの発生確率

[0062] <制約条件>

最大・最小発電機出力（各発電機の出力が、最大出力から最低出力の範囲内）

需給バランス（分担分の需要が合計発電出力と一致する）

最小連続起動・停止時間（再起動または再停止は最小連続時間後となる）

運転・停止期間（指定期間で発電機を停止または運転を継続する）

運転予備力・必要調整力（実運用時と需給計画の誤差を補正する余力）

[0063] 以下のステップS604およびステップS605では、ステップS601～ステップS603の出力に基づき、より短い時間刻みの需給計画に展開されてデータベースに出力される。なお、ステップS604およびステップS605は、より短い間隔で繰り返されてもよい。

[0064] ステップS604では、入力変化シナリオ算出部523は、供給力シナリオ算出部521および調整力算出部522と同等の処理（機能）により、入力が更新されるごとに短い時間刻みで逐次的にシナリオ（確率シナリオ）を出力する。ここで、ステップS603の需給計画の算出後に、供給力や調整力の確率分布変化を反映するために、新たに検出されデータベースに保存されたデータを活用して、確率分布を逐次更新する。この例として、非特許文献4のベイズ統計を活用する。（式2）の w がとりうる分布の初期値として、（式7）の精度パラメータ α を持つ事前分布を定義し、（式7）と（式5）とにより相似的に算出される w の事後分布を（式8）に示す。

[数7]

$$p(w|\alpha) = \text{Dist}(w|0, \alpha^{-1}I) = \left(\frac{\alpha}{2\pi}\right)^{(M+1)/2} \exp\left\{-\frac{\alpha}{2}w^T w\right\}$$

..... (式7)

[0065] < w の事後分布>

[数8]

$$p(w|x, t, \alpha, \beta) \propto p(t|x, w, \beta)p(w|\alpha)$$

..... (式8)

[0066] （式8）においては、追加データのたびに更新した（式5）の $p(t|x, w_{ML}, \beta_M)$ と、 $p(w|\alpha)$ として更新前の（式8）の分布を、（式8）に代入することで、追加データに基づいた w の分布の逐次更新が可能となる。この逐次更新されていく（式8）を $p(w|x, t)$ として、新たなデータ X による（式2）の分布を $p(t|X, w)$ として、予測式（式9）に代入することで、データ更新のたびに逐

次更新される予測分布を得ることが可能となる。なお、(式9)を正規分布に近似して(式10)を得ることができる。

[0067] <予測式>

[数9]

$$p(t|X, x, t) = \int p(t|X, w)p(w|x, t)dw$$

..... (式9)

[0068] <正規分布に近似した予測分布>

[数10]

$$p(t|x, X, t) = \text{Dist}(t|m(x), s^2(x))$$

..... (式10)

$$m(x) = \beta \phi(x)^T S \sum_{n=1}^N \phi(x_n) t_n$$

$$s^2(x) = \beta^{-1} + \phi(x)^T S \phi(x)$$

$$S^{-1} = \alpha I + \beta \sum_{n=1}^N \phi(x_n) \phi(x_n)^T$$

[0069] ここで、Iは、単位行列、 $\phi(x)$ は、 $\phi_i = x_i (i=0, \dots, M)$ という要素を持つベクトルとする。この(式10)の逐次更新された予測分布に基づいて、ステップS601と同様に発生確率ごとで供給力のシナリオを作成する。なお、調整力においてもステップS602の調整力算出部522のように更新された予測分布に基づいて2 σ または3 σ の大きさを調整力とし、2 σ や3 σ を閾値判別することで、調整力を確保する機器を選択してもよい。

[0070] ステップS605では、需給計画調整部540は、ステップS603で需給計画算出部530により算出された需給計画と、ステップS603よりも短い周期で逐次更新されるステップS604の供給力のシナリオおよび調整力とを入力に、需給計画算出部530で算出した需給計画より短い時間刻みの需給計画を算出する。

[0071] 第1の実施の形態と同様に、ステップS603の需給計画算出部530により、各発電機iの起動停止のスケジュールが例えば1時間刻みで $u_i = \{0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, \dots\}$ のように時間ごとに起動状態が「1(起動)」

または「0（停止）」で算出されたとする。このとき需給計画調整部540では、より短い時間刻み例えば15分刻みの計画に展開する場合に、起動時点1.0Hではなく、時刻を前後させることが可能である。よって、需給計画調整部540は、（式6）の発生確率に応じたシナリオの総発電コストに関する目的関数を最小化できるように各発電機の起動や停止の開始時間を微調整する。

[0072] このとき、ステップS601で想定した予測分布に対し、ステップS601の実施後に電力系統で想定外の事象が起こった場合には、ステップS604の逐次更新により算出された予測分布がステップS601の予測分布に比べ分布（例えば分散 σ ）が大きくなり、逐次更新時に需給バランスなどの制約条件が満たせない可能性がある。

[0073] この場合には、まず、発電量不足の場合には発電機の発電コストが安い順に起動する発電機の起動時刻を早く、停止する発電機の停止開始時間を遅らせるとし、発電量過剰の場合は前述とは逆に起動停止時間を調整して制約条件逸脱を解消する。

[0074] ここで、起動停止時間の調整で制約条件が満たせない場合には、発電量不足の場合は起動中の発電機の次に発電コストが安い発電機を追加起動、発電量過剰の場合には起動中の発電機の中で最も発電コストが高い発電機を停止する。

[0075] 次に（式6）の目的関数を最小化するために、第1の実施の形態と同様に発電コストが高い発電機の起動開始時間を、制約を満たす範囲で遅い時刻とすることで、発電コストが高い発電機の起動時間が短くなり（式6）をより最小化できると考えられる。なお、起動停止開始時間を短い時間刻みで微調整を行ったが、各発電機の出力は調整した起動停止スケジュールに基づいて算出される。

[0076] このように、需給計画調整部540においては、発電機の起動停止の有無は、需給計画算出部530の算出結果を基にし、起動や停止の開始時間を（式6）の目的関数が小さくなるようにより短い時間刻みで微調整する。また

、ステップS604の逐次更新で算出された予測分布がステップS601の予測分布と大きく違う場合には、需給計画調整部540は、制約逸脱解消のための起動開始時間および／または停止開始時間の調整、発電機の追加起動および／または停止を行う。また、需給計画調整部540は、運用者に電力システムの需給状況の変化をアラーム出力（例えば、音、光、画面などを出力可能なスピーカ、ランプ、ディスプレイ等の報知装置を用いて報知）することで、運用者は、急な電力システムの状況変化にも対応することが可能となる。

[0077] なお、ステップS605の需給計画の逐次修正展開においては、ステップS603の発電機の起動停止計画の算出より短い周期で計画を出力したが、ステップS604の供給力や調整力のシナリオの更新時に算出される予測分布が前回の逐次修正展開や発電機の起動停止計画で想定した分布（例えば、分散 σ ）との差異が閾値以上となることを判定に、実行してもよい。

[0078] (2-5) 効果

本実施の形態では、電力需給計画装置500は、供給力の予測分布を算出し、分布を反映した複数のシナリオを算出する。電力需給計画装置500は、このシナリオと各シナリオの発生確率とに基づき、制約を満たしながら総発電コストの期待値を最小化する需給計画を算出する。電力需給計画装置500は、この複数のシナリオを考慮した需給計画の算出には長い演算時間が必要であることから、演算時間の短縮化のため、1時間程度の演算刻みで需給計画を算出し、例えば数時間ごとに需給計画を更新する。一方で、電力需給計画装置500は、以下の需給計画の各発電機の起動停止時間の微調整については、より短い演算刻み、より短い周期で需給計画を出力する。

[0079] 電力需給計画装置500は、時間経過ごとに更新される需要や発電情報のデータを活用して供給力や調整力の予測分布をデータの更新ごとに逐次更新する。電力需給計画装置500は、この逐次更新される予測分布を反映した複数のシナリオに基づいて、前述の1時間刻みの需給計画の発電機の起動停止開始時間を微調整する。このとき、調整力については更新した予測分布の分散が大きいほど、発電コストが安い発電機で分担することで、調整力の活

用頻度に応じた調整力の確保が可能と考える。なお、微調整前に制約逸脱がある場合には、電力需給計画装置500は、まず制約逸脱を解消できるように起動開始時間および／または停止開始時間を調整し、それでも満たせない場合は発電機の追加起動および／または停止を実施する。電力需給計画装置500は、制約条件を満たした後は、総発電コストが最小になるように起動停止開始時間を調整する。

[0080] 以上のように、1時間程度の演算刻みで需給計画を算出し、発電機の起動および停止の有無を決定した後、より短い時間刻みで需給計画の起動開始時間および／または停止開始時間を微調整することで、短い時間刻みの需給計画を算出するよりも演算時間の短縮が可能である。さらに、より短い時間刻みへの需給計画の微調整時には、予測分布の逐次更新を行うことで、より現状の需給状態に即した需給計画を算出することが可能である。特に、何らかの外乱により系統状況が逼迫した場合には、予測分布の更新により系統状況の変化を判別し、即座に系統状況の変化に対応可能できるように需給計画を微調整する。

[0081] (3) 他の実施の形態

なお上述の実施の形態においては、本発明を電力需給計画装置に適用するようにした場合について述べたが、本発明はこれに限らず、この他種々のシステム、装置、方法、プログラムに広く適用することができる。

[0082] また、上記の説明において、各機能を実現するプログラム、テーブル、ファイル等の情報は、メモリや、ハードディスク、SSD (Solid State Drive) 等の記憶装置、または、ICカード、SDカード、DVD等の記録媒体に置くことができる。

[0083] また上述した構成については、本発明の要旨を超えない範囲において、適宜に、変更したり、組み替えたり、組み合わせたり、省略したりしてもよい。

符号の説明

[0084] 100……電力需給計画装置、110……電力情報データベース、120

……需給情報算出部、130……需給計画算出部、140……需給計画調整部、150……発電計画データベース。

請求の範囲

- [請求項1] 発電機の起動停止および出力配分の計画である需給計画を算出する電力需給計画装置であって、
- 電力の需給に係る需給情報を算出する需給情報算出部と、
- 前記需給情報算出部により算出される需給情報を入力として、発電機の起動停止および出力配分の需給計画を算出する需給計画算出部と、
- 、
- 前記需給計画算出部により算出される需給計画および前記需給計画より短い時間刻みの需給情報を入力として、前記需給計画における発電機の起動開始時間および／または停止開始時間を総発電コストが低減するように調整することで前記需給計画より短い時間刻みの需給計画を算出する需給計画調整部と、
- を備えることを特徴とする電力需給計画装置。
- [請求項2] 前記需給計画調整部は、前記調整において、発電コストが高い発電機の順に、前記起動開始時間については遅く調整し、前記停止開始時間については早く調整する、
- ことを特徴とする請求項1に記載の電力需給計画装置。
- [請求項3] 前記需給情報算出部は、
- 電力情報から供給力の予測分布を算出し、算出した予測分布を反映した複数のシナリオを算出する供給力シナリオ算出部と、
- 逐次に更新される電力情報に基づいて、前記供給力シナリオ算出部より短い周期で供給力の予測分布と前記予測分布を反映した複数のシナリオとを算出する入力変化シナリオ算出部と、を備え、
- 前記需給計画算出部は、前記供給力シナリオ算出部により算出されるシナリオに基づいて、発電機の起動停止および出力配分の需給計画を算出し、
- 前記需給計画調整部は、前記需給計画算出部により算出される需給計画と、前記入力変化シナリオ算出部により逐次に更新されるシナリ

オとを入力として、前記需給計画における発電機の起動開始時間および／または停止開始時間を総発電コストが低減するように調整することで前記需給計画より短い時間刻みの需給計画を算出する、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の電力需給計画装置。

[請求項4]

前記需給計画調整部は、前記供給力シナリオ算出部により算出される供給力の予測分布と、前記入力変化シナリオ算出部により電力情報の逐次の更新に応じて算出される予測分布とを比較し、予測分布の分散の変化が閾値以上となると判定した場合、前記短い時間刻みの需給計画を算出する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の電力需給計画装置。

[請求項5]

前記需給計画調整部は、前記供給力シナリオ算出部により算出される供給力の予測分布と、前記入力変化シナリオ算出部により電力情報の逐次の更新に応じて算出された予測分布とを比較し、予測分布の分散の変化が閾値以上となると判定した場合、電力系統の需給状況の変化を運用者にアラーム出力する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の電力需給計画装置。

[請求項6]

前記需給計画算出部および前記需給計画調整部は、前記需給情報算出部で算出される供給力の予測分布の分散が大きい場合、発電コストが安い発電機で調整力を確保し、分散が小さい場合、発電コストが高い発電機で調整力を確保するように需給計画を算出する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の電力需給計画装置。

[請求項7]

前記供給力シナリオ算出部および前記入力変化シナリオ算出部は、電力系統の事故による需給変化量の確率分布を反映した供給力の複数のシナリオと、複数の機器が集合した設備の出力誤差の分布を反映した供給力の複数のシナリオとの少なくとも一方を算出する、

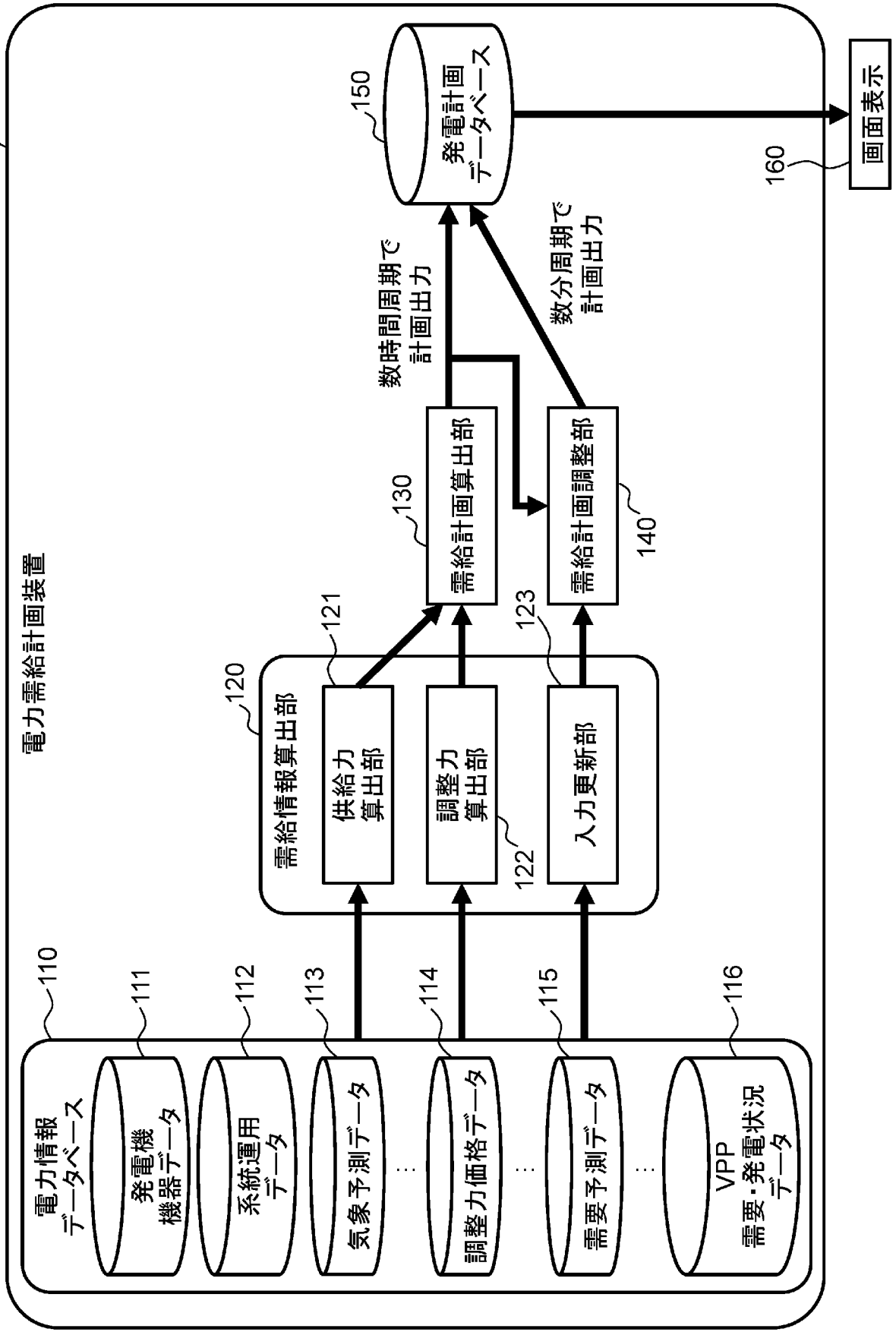
ことを特徴とする請求項 3 に記載の電力需給計画装置。

要 約 書

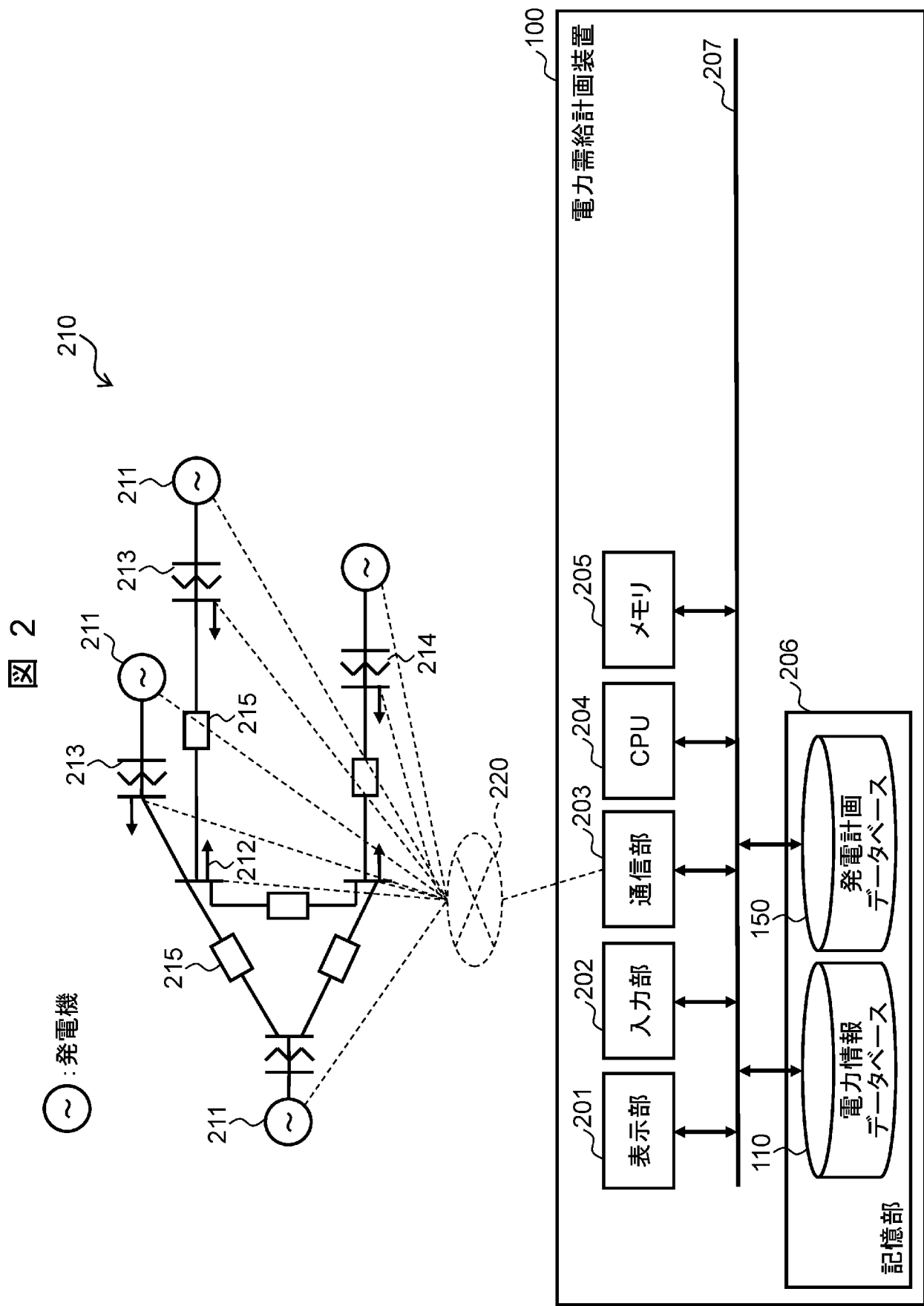
発電機の起動停止および出力配分の計画である需給計画を算出する電力需給計画装置であって、電力の需給に係る需給情報を算出する需給情報算出部と、需給情報算出部により算出される需給情報を入力として、発電機の起動停止および出力配分の需給計画を算出する需給計画算出部と、需給計画算出部により算出される需給計画および需給計画より短い時間刻みの需給情報を入力として、需給計画における発電機の起動開始時間および／または停止開始時間を総発電コストが低減するように調整することで需給計画より短い時間刻みの需給計画を算出する需給計画調整部と、を設けるようにした。

[図1]

図 1

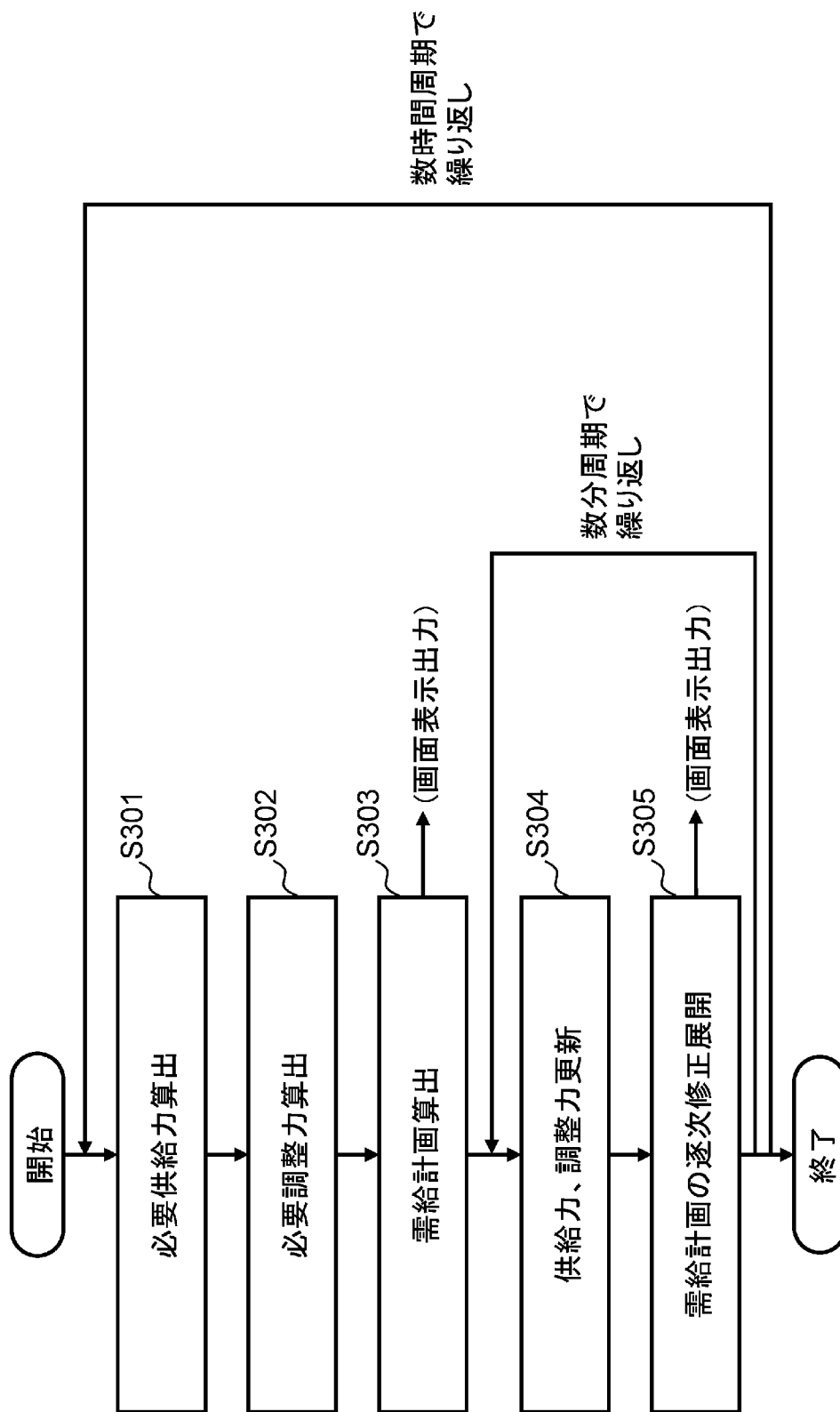


[図2]



[図3]

図 3

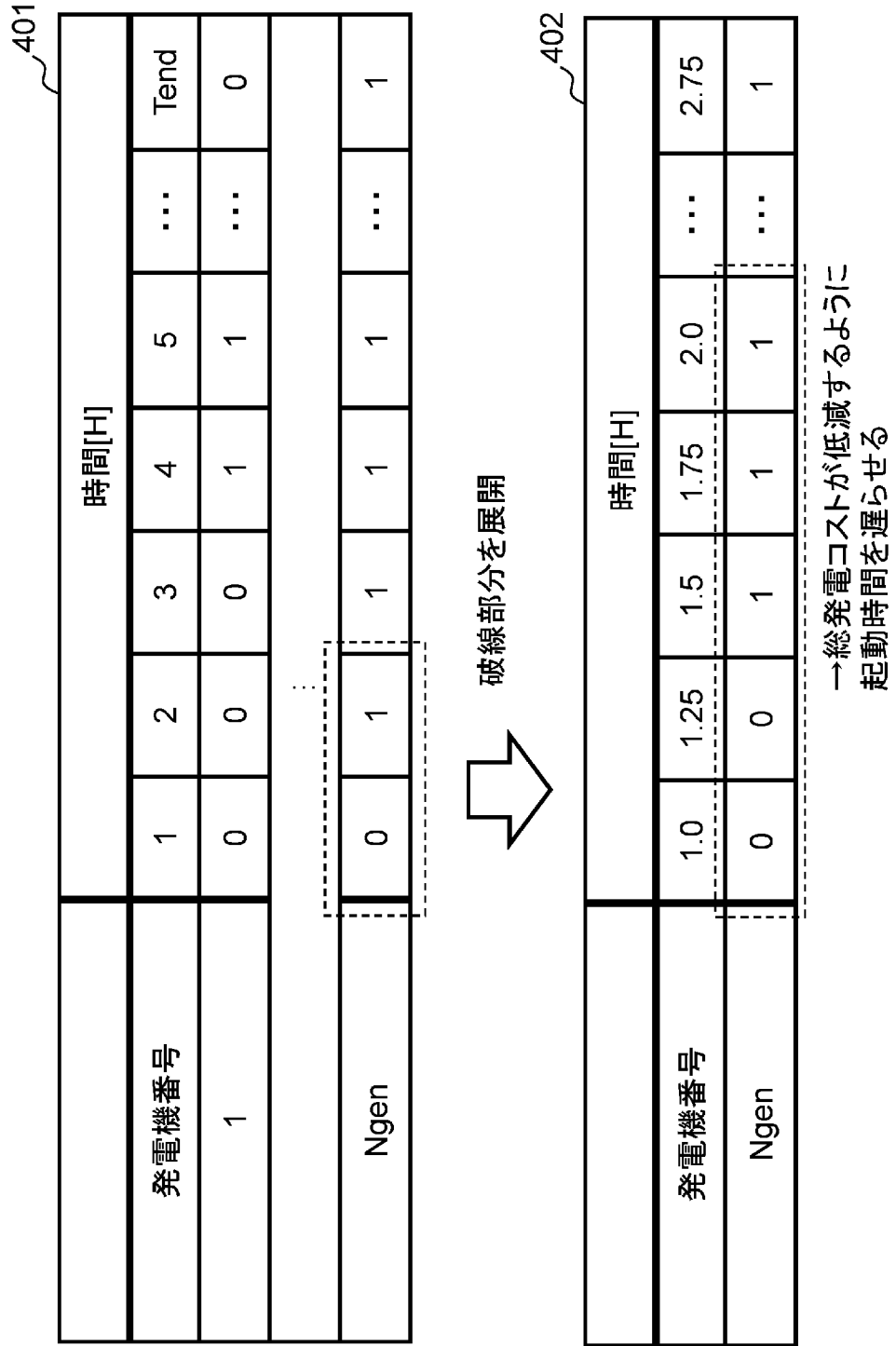


数時間周期で
繰り返し

数分周期で
繰り返し

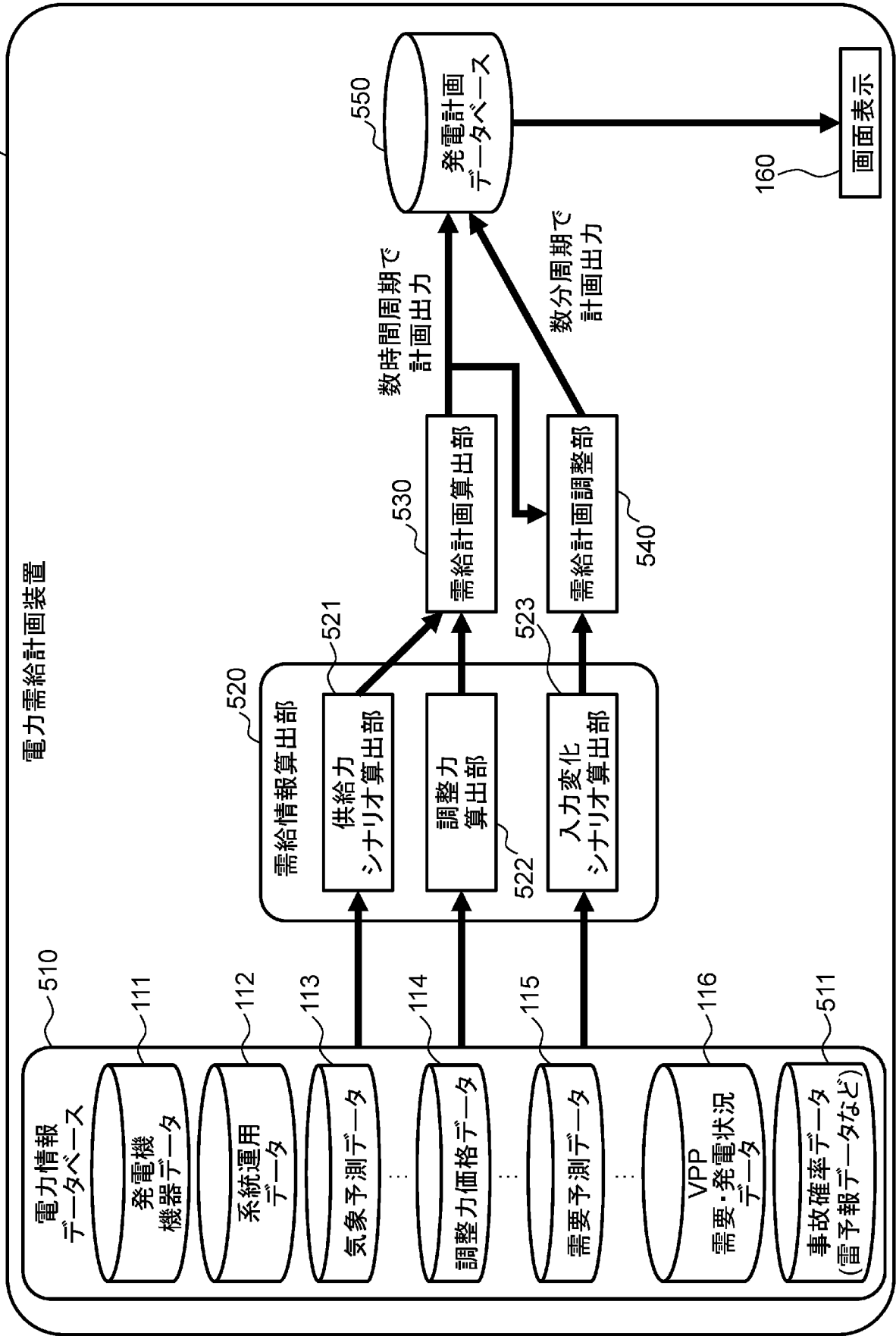
[図4]

図 4



[図5]

図 5



[図6]

図 6

