# 明　細　書

## 発明の名称 ：

# オンデマンド型複数電源管理システム、オンデマンド型複数電源管理システムプログラムおよびそのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体

## 技術分野

[0001] 本発明は、ホーム又はオフィスネットワークにおけるオンデマンド型電力制御システム用の蓄電池管理システム、オンデマンド型複数電源管理システムプログラムおよびそのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体に関し、詳細には、ユーザが日々の生活を通じて必要とする生活の質（Quality of Life）（以下、「ＱｏＬ」という。）を損なわずに、電気機器間の優先度を動的に変えて消費電力量（Ｗｈ）の上限値を超えないように電力の供給を制御しながら、商用電源に複数電源を導入してピーク電力の制約のないオンデマンド型複数電源管理システム、オンデマンド型複数電源管理システムプログラムおよびそのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体に関する。

## 背景技術

[0002] オンデマンド型電力制御システムは、家庭やオフィスのエネルギー・マネージメントを実現するためのもので、このシステムは、供給者主体の”プッシュ型”の電力ネットワークをユーザ、消費者主導型の”プル型”に180度切り替えようというものである。このシステムは、家庭の中から様々な家庭用電気製品である機器の電力要求、例えばエアコンや照明等の要求に対して、ホーム・サーバが「機器のどの要求がもっとも重要なのか」ということを、ユーザの利用形態から類推し、優先度の高い重要な電気機器から電力を供給するように制御、即ちEnergy on Demand制御（以下、「ＥｏＤ制御」という。）を行うシステムである。以下、このシステムを「ＥｏＤ制御システム」と呼ぶ。

上記システムを用いることによる最大のメリットは、需要サイドから省エネ、$CO_2$排出削減が実現可能になることである。例えば、利用者があらかじめ電気料金を２０％カットするという指示をホーム・サーバにセットすると、ＥｏＤ制御により２０％カットした電力しか流さないという利用者主体の取組みが可能になり、省エネ、$CO_2$排出の削減が実現できるシステムである。

[0003] 上記ＥｏＤ制御に関する特許文献として、以下に示す「ホームネットワーク」（特許文献１参照）および「需給調停システム」（特許文献２参照）の発明が知られている。上記ホームネットワークは、サーバ（マスタ）、該サーバの検出手段および制御手段、および部材（スレーブ）から構成され、上記サーバと部材はＬＡＮを介して接続されている。

そして、家庭内のn個の電気機器はn個の部材を介してコンセントに接続されている。上記検出手段は、実際に稼働しているm個の電気機器の稼働状況を検出する。また、上記制御手段は、n個の部材から送信されたn個の電力データを用いて家庭内で使用される消費電力量を演算し、その演算した総電力量がしきい値以上になると、m個の電気機器のうち、動作状態がステップ的または連続的に変化するj個の電気機器を、その消費電力が総電力量のしきい値よりも低くなるように制御するための制御信号をj個の部材へ出力し、その電力が制限されるようにj個の部材を制御する。

即ち、上記サーバは、上記消費電力を総電力量のしきい値よりも低くするために、動作状態がOn/Offのみで変化する電気機器、例えば天井ライト、卓上ライト、コーヒーメーカー等の電気機器に対しては、優先的に電力を供給するサーバである。

[0004] なお、上記部材は、今日では「スマートタップ」と呼ばれており、このスマートタップは、電力の測定を行う電圧・電流センサー、電力制御のための半導体リレー、通信のためのZigBeeモジュールおよびこれら全体の制御や内部処理を行うＤＳＰ内蔵のマイコンから構成されている。このマイコンは、スマートタップに取り付けた電圧・電流センサーによって計測した電流・電圧波形から、消費電力の計算を行うと共に、電圧・電流波形の特徴を表す少

数の特徴量を抽出して、スマートタップの内部メモリに事前に保存してある比較用データを使用して、その特徴量から機器を特定する機能を備える。

そして、上記マイコンで０．５秒間隔で計算された消費電力は、スマートタップの内部メモリに毎周期（１回／６０秒）のデータを保持して、複数のパケットに分割してサーバに送信している（非特許文献１、２参照）。

[0005] 上記需給調停システムは、一般家庭において、太陽電池のみならず、燃料電池や蓄電池が広く普及した場合に、電力源側の供給可能な電力と機器側の消費電力とを考慮した電力供給がより重要になるとの考えから開発された。従って、この需給調停システムは、調停サーバ、それに接続される電力源（商用電源、太陽光発電装置および燃料電池、そして、蓄電池）の装置、上記調停サーバに接続されるメモリおよび電力制御装置、上記調停サーバにネットワークを介して接続される複数の電気機器から構成されている。

各電気機器は、自身の制御を司るマイコンを備えており、さらに、自身の消費電力を計測する計測器および調停サーバとの通信機能も備えている。また、上記メモリのデータ記憶領域には、機器状態テーブルデータ、電力源状態テーブルデータ、優先度データ、上限値データ、目標値データ等が記憶されている。

[0006] 上記需給調停システムの調停サーバは、リフレッシュタイマによりカウントする２～３秒の間隔毎に、各機器および各電力源に状態を問い合わせて、その問合せの応答に従って、機器状態テーブルと電力源状態テーブルを更新して、上記各機器および各電力源の状態を管理している。

つまり上記調停サーバは、２～３秒の間隔毎に機器状態テーブルおよび電力源状態テーブルを更新するので、ユーザが必要とする電力要求に対してリアルタイムで電力の供給を制御できず、また、供給電力および容量を計算して処理するデータ量が膨大なために、演算にかかる負荷が大となっている。

そして、上記調停サーバは、電気機器からの供給要求メッセージを受信すると、消費電力の上限値および消費電力の目標値を設定する。上限値は、各電力源の現在の供給可能電力の総和であり（以下、これらの総和の供給可能

電力を「電力源の総和電力」）、この設定を上記メモリに記憶された上記電力源状態テーブルを参照することにより算出される。そして、上記調停サーバは、使用中の各電気機器が必要とする電力総和を計算し、要求電力と電力総和との合計が電力源の総和電力の目標値未満であるかどうかを判断する。

[0007] 優先度テーブルは、電気機器或いはその供給要求メッセージの優先度を決定するためのテーブルであり、供給要求メッセージ上のメッセージの種類（要求タイプ$T_a$）に対応して、優先度を示す値（０～３）が記載されている。要求タイプ$T_a$は４つ（Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄ）に分類される。上記調停サーバは、この電気機器の優先度により上記電力源の総和電力の目標値を超えないように電力の供給制御を行う電力供給制御装置である。

[0008] 一方、電気機器のマネージメント手法であるホーム・エネルギー・マネジメント・システム（HEMS）が知られている。このHEMSは、例えばクーラーであれば外気温が低い場合は自動的に運転を停止するなどの電気機器の制御ルールを設定して自動制御を行うものである。これは電気機器の利用方法を最適化することで省エネを達成するもので電気機器の使用方法に基づいている。このような従来型のHEMSは電気機器の使用方法に注目しており、各電気機器の使用法の変更による電力の削減量を考慮しておらず、また節電要請を満たすことができる電力削減率を保証することもできない。

[0009] 家庭用又はオフィス用電気製品である電気機器を使用しているユーザは、通常、消費電力と消費電力量を少しでも節電したいと考えている。その節電の目標を達成するため、上記ホームネットワークは、消費電力と消費電力量の上限値を超えないように、電気機器間の優先度を動作状態がOnとOffのみ変化する電気機器（天井ライト等）に対して、電力を優先的に供給している。そして、上記需給調停システムは、優先度を電気機器の要求タイプ$T_a$の値が０または１の電気機器（冷蔵庫やエアコン等）には優先的に電力の供給を行っているので、両者の優先度は電気機器に固定されている。ところが、ユーザの電気機器の使用状況は、時々刻々と変化するものであるため、上記のように優先度が固定されていると必要なタイミングで電気機器を使用できない

場合がある。

[0010] また、上記調停サーバは、リフレッシュタイマによりカウントする２～３秒の間隔毎に、上記機器状態テーブルと電力源状態テーブルを更新して、各機器および各電力源の状態を管理している。そのため、ユーザが必要とする電力要求、例えばエアコンを稼働させたいとの要求に対して瞬時に応答ができない。

即ちリアルタイムで電力の供給を制御できず、処理するデータ量が膨大なために負荷が大となっている。更に、ユーザが日々の生活を通じて必要とする電力の使用パターン、例えば、小さな子供がいる場合、夫婦共稼ぎの場合、独身の場合などで電力の使用パターンが異なるにも関わらず、上記調停サーバは、その電力の使用パターンを全く考慮しないで電力制御を行っており、よって、ユーザのＱｏＬが損なわれている。

[0011] そこで、本発明者等は、上記問題点を解決するために、商用電源に対して、ユーザ自身が「最大瞬時電力」と一定期間（１日、１週間、１ヶ月など）における「積算電力量のシーリング」という２種類の制限を設定することで、リアルタイムにピーク削減をコントロールすることができ、また電気代やCo2を削減できる動的優先度制御装置を有する「ＥｏＤ制御システム」を発明して、特許庁に特願2011-154495号（平成２３年７月１３日）として特許出願をした。

このＥｏＤ制御システムは、初期目標値の瞬時電力を更新初期目標値とするものである。

そして、初期目標値の瞬時電力を最大瞬時電力に更新して更新初期目標値とする初期目標値更新手段と、消費電力合計値を上記更新初期目標値と比較して、電気機器特性クラスデータを参照し、それに基づき当該電気機器が上記電気機器特性クラスデータの特性の何れに該当するかを判断し、その結果、当該電気機器の該当する特性に応じた優先度が最小の機器を選択して、電気機器間の優先度に基づいて調停する電力調停手段を用いることで、上記問題点を解決している。

[0012] 一方、電力ネットワークの安定運用には、電力の需要と供給のバランスをリアルタイムに調整することが重要であるが、いままでは電力需要に対して供給量を制御する一方向、中央集中的な管理が行われてきたため、急激な需要の増加や供給能力の低下が起きると、需給バランスを維持することが困難となる。

特に需要ピーク時の需給バランスの逼迫に対応するため、最近では需要家向けの蓄電池システムの導入が勧められている。蓄電池によって電力需要の小さい時間帯に電力を蓄え、節電要請が発生するような需要の大きい時間帯に使用することで、ライフスタイルを変更することなく節電要請に対応することができる。しかし、現状の蓄電池の管理は、夜間に充電し昼間に放電といったスケジュール管理や、太陽光発電が余っているときに充電するといった簡単な管理であって、個々の生活者の電力使用パターンに則した、効率的、適応的な充放電管理はおこなわれていない。また、どんな電力使用パターンでも対応できるように、過剰な容量、充放電電力の蓄電池が用いられ、導入コストが増大する傾向にある。

加えてオンデマンド型電力制御システムを導入することなく、単に蓄電池の導入のみによって、家庭等の電力消費量のピーク値を削減させる場合には、蓄電池の容量を大きくしなければ、該電力消費量のピーク値を満足できる程度に削減できなかった。そのため、この場合に必要とする蓄電池の容量が増大するに応じて蓄電池導入コストも増大することになる。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0013] 特許文献1：国際公開第２００８／１５２７９８号

特許文献2：特開２０１０－１９３５６２号公報

### 非特許文献

[0014] 非特許文献1：「エネルギーの情報化とSmart Grid」、IEICE technical report p.１３３－１３８、加藤丈和　他４名、２００９．０１．１９

非特許文献2：「エネルギーの情報化とSmart Grid」、京都大学大学院教授

松山隆司著、２１頁、２００９年７月２９日発行

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0015] 「ＥｏＤ制御システム」に基づいて、蓄電池を含めた電力管理を行うことで、ユーザの電力使用パターンに合わせた電力使用計画に従いながら、実際の電力使用要求に適応する蓄電池の充放電管理を制御でき、また、事前の充放電計画において、必要最小限の蓄電池のスペックでありながら、ユーザにとって最適な蓄電容量、充放電出力を設計できる、オンデマンド型電力制御システム用の複数電源管理システム、オンデマンド型電力制御システム用の複数電源管理システムプログラムおよびそのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体を提供することを課題とする。

### 課題を解決するための手段

[0016] 本発明者等は、上記課題を解決するために鋭意検討を重ねた結果、本発明を完成するに至った。

１．オンデマンド型複数電源管理システムは、複数の電源と、複数の電気機器と、その電気機器に接続されているスマートタップと、メモリを備える電気機器の電力の供給制御を行う複数電源管理装置と、該複数電源管理装置が上記スマートタップを介して接続するネットワークとを備えるオンデマンド型複数電源管理システムであって、前記複数電源管理装置は、商用電源の電力使用計画を蓄電器の供給計画の初期値とし、その初期値の時間帯毎との不満足度が最大の時間帯を探索してタイムシフト先とし、上記不満足度が最小の時間帯を探索してタイムシフト元とし、上記タイムシフト先の不満足度が、タイムシフト元の不満足度より小さくなるまで処理を繰り返すことで、電力供給計画を生成する電力供給計画生成手段と、電力を要求した電気機器と動作中の電気機器から優先度が最小となる機器と、電源負荷率が最大となる電源を選択し、電気機器の電力を削減あるいは停止するとともに、削減する電力だけ電源の供給電力を削減する処理を以下の式（１）と式（２）を満たすまで繰り返し、両式を同時に満たすように調停する調停手段とを備える

ことを特徴とする。

$$\forall a \in A, \forall s \in S : \mathrm{Pri}_a\left(\mathrm{PD}_a^{\mathrm{REQ}}\right) \geq \mathrm{LF}_s\left(\mathrm{PS}_s^{\mathrm{REQ}}\right) \qquad (1)$$

$$\sum_{a \in A} PD_a^{REQ} = \sum_{s \in S} PS_s^{REQ} \qquad (2)$$

２．１に記載のオンデマンド型複数電源管理システムは、前記複数の電源が、商用電源と蓄電器、電気自動車の蓄電器、太陽光発電の少なくとも一つの電源との組み合わせからなることを特徴とする。

３．２に記載のオンデマンド型複数電源管理システムは、前記生成された電力供給計画が前記蓄電池の最適容量であることを特徴とする。

４．プログラムは、複数の電源と、複数の電気機器と、その電気機器に接続されているスマートタップと、メモリを備える電気機器の電力の供給制御を行う複数電源管理装置と、該複数電源管理装置が上記スマートタップを介して接続するネットワークとを備えるオンデマンド型複数電源管理システムにおける上記複数電源管理装置として、コンピュータを動作させるプログラムであって、前記複数電源管理装置が、商用電源の電力使用計画を蓄電器の供給計画の初期値とし、その初期値の時間帯毎との不満足度が最大の時間帯を探索してタイムシフト先とし、上記不満足度が最小の時間帯を探索してタイムシフト元とし、上記タイムシフト先の不満足度が、タイムシフト元の不満足度より小さくなるまで処理を繰り返すことで、電力供給計画を生成する処理と、電力を要求した電気機器と動作中の電気機器から優先度が最小となる機器と、電源負荷率が最大となる電源を選択し、電気機器の電力を削減あるいは停止するとともに、削減する電力だけ電源の供給電力を削減する処理を以下の式（１）と式（２）を満たすまで繰り返し、両式を同時に満たすように調停する処理を行うことを特徴とする。

$$\forall a \in A, \forall s \in S : \mathrm{Pri}_a\left(\mathrm{PD}_a^{\mathrm{REQ}}\right) \geq \mathrm{LF}_s\left(\mathrm{PS}_s^{\mathrm{REQ}}\right) \quad (1)$$

$$\sum_{a \in A} PD_a^{REQ} = \sum_{s \in S} PS_s^{REQ} \quad (2)$$

５．プログラムは、４に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な媒体であることを特徴とする。

## 発明の効果

[0017] 本発明のＥｏＤ制御システム（オンデマンド型複数電源管理システム）は、ユーザが日々の生活を通じて必要とする電気機器や、その電気機器の使用状態に応じて電気機器間の優先度を変更できるので、必要なタイミングで必要とする電気機器を使用できる。

また、本発明のＥｏＤ制御システムによれば、ユーザが使用する電力使用パターン、そして、ユーザが設定した最大瞬時電力およびシーリングに基づいて電力の供給を制御しているので、電気機器を使用するユーザの生活の質（ＱｏＬ）を損なわずに、ユーザが設定した最大瞬時電力およびシーリングを保証できるシステムであり、また、ユーザが電力要求をすると電気機器の消費電力により優先度を変更して、リアルタイムで電力の供給を制御できる。

[0018] また、本発明のオンデマンド型複数電源管理システムは、供給側の電力削減要請を確実に満たすように自動で制御を行うことができるため、新たな手間を増やすことなく、かつ必要な電気機器を利用しながら、供給側の要請に対して需要側の電力削減率を保証できるシステムである。

更に、本発明オンデマンド型複数電源管理システムは、電力のマネージメント手法であるという点に特徴があり、そのために電気機器の分類方法も電力調整方法に基づいた分類を行い、また使用電力の上限を保証するような電力調停手段を導入することで，節電率やピーク削減率を保証することができる。そのため従来型のHEMSに代わりオンデマンド型電力制御システムを利用すれば、現在の電力需給の逼迫という問題にも対処できる。

そして、オンデマンド型複数電源管理システムは、従来のＥｏＤシステムに基づいて，あらかじめ学習したユーザの電力使用パターンに合わせた電力使用計画，充放電計画を立てることで、それらの計画に従いながら実際の電力使用要求に適応的に対応する充放電管理が実現できる。また、事前の充放電計画において，必要最小限の蓄電池のスペックを求めることで、ユーザにとって最適な蓄電容量，充放電出力が設計できる。

## 図面の簡単な説明

[0019] [図1]ＥｏＤ制御システムの通信ネットワークの構成を示す概略図。

[図2]本発明のＥｏＤ制御システムの電力ネットワークの構成を示す概略図。

[図3]各電気機器を設置するためのスマートタップ配置位置を示す配置図。

[図4]コンセント、スマートタップおよび電気機器の接続関係を示す関係図。

[図5]モデルハウスの間取りを示す間取り図。

[図6]電気機器によって使用された消費電力を示すグラフ。

[図7]電気機器によって使用された消費電力を積算した消費電力量を示すグラフ。

[図8]動的優先度制御装置が備える機能を示す機能ブロック図。

[図9-1]電力使用計画から初期計画値を設定する方法を説明する説明図。

[図9-2]電力使用計画から初期計画値を設定する方法を説明する説明図。

[図9-3]電力使用計画から初期計画値を設定する方法を説明する説明図。

[図10]実際の消費電力と初期目標値を維持したまま制御を行った場合の説明図。

[図11]実際の瞬時電力と初期目標値との差分を以降の計画値にフィードバックする制御を行った場合の説明図。

[図12]電力に対するドライヤーの満足度を示す図。

[図13]電力に対する電気ヒーターの満足度を示す図。

[図14]電力に対する炊飯器の満足度を示す図。

[図15]電力要求メッセージに対して、優先度装置が優先度に基づいて電力を供給する処理手順を説明するフロー図。

[図16]複数電源管理装置の備える機能を説明する機能ブロック図。

[図17]第２の実施形態の機能ブロック図。

[図18]動的優先度制御装置を稼働する前に、電力使用計画を設定する前処理を示すフロー図。

[図19]動的優先度制御装置の全体処理を示すフロー図。

[図20]電力使用計画設定の処理を示すフロー図。

[図21]初期目標値更新処理を示すフロー図。

[図22-1]優先度調停処理を示すフロー図。

[図22-2]優先度調停処理を示すフロー図。

[図22-3]優先度調停処理を示すフロー図。

[図22-4]優先度調停処理を示すフロー図。

[図23-1]常時監視の処理を示すフロー図。

[図23-2]常時監視の処理を示すフロー図。

[図23-3]常時監視の処理を示すフロー図。

[図24]蓄電池による消費電力のタイムシフトを示す図。

[図25]電源負荷率を示す図。

[図26]電源-家電調停アルゴリズム。

[図27]実験にて使用した家電とその制御可能性を示す図。

[図28]２人暮らしと１人暮らしの電力使用予測と電力使用計画を示す図。

[図29]２人暮らしと１人暮らしの蓄電池の充放電計画のピーク値を示す図。

[図30]２人暮らしと１人暮らしの蓄電池の蓄電計画を示す図。

[図31]本発明の瞬時電力と積算電力量の調停結果を示す図（２人暮らし）。

[図32]従来の瞬時電力と積算電力量の調停結果を示す図（２人暮らし）。

[図33]最大瞬時電力に対する不満足度を示す図（２人暮らし）。

[図34]従来手法による瞬時電力と積算電力量の調停結果を示す図（２人暮らし）。

[図35]本発明の瞬時電力と積算電力量の調停結果を示す図（１人暮らし）。

[図36]従来の瞬時電力と積算電力量の調停結果を示す図（１人暮らし）。

[図37]商用電源の最大瞬時電力と不満足度の変化を示す図（１人暮らし）。

[図38]比較例１、最大瞬時電力を７００Ｗ、１８１２Ｗｈの容量の蓄電池を使用した瞬時電力の推移を示す図。

[図39]比較例１のときの蓄電池の充電量の推移を示す図。

[図40]比較例２、４１１．２Ｗｈの容量の蓄電池を使用した場合の最大瞬時電力を示す図。

[図41]比較例２のときの蓄電池の充電量の推移を示す図。

[図42]蓄電池の容量と最大瞬時電力との関係を示す図。

## 発明を実施するための形態

[0020] 図１を参照して、本発明のＥｏＤ制御システムの通信ネットワークの構成を説明する。

図１は、本発明のＥｏＤ制御システムの通信ネットワークの構成を示す概略図である。本発明のＥｏＤ制御システム５０は、オフィス及び家庭において設置されており、動的優先度制御装置１（以下、単に「優先度装置」ともいう。）、スマートタップ１１、家庭用又はオフィス用電気製品である電気機器２０（以下、単に「機器」ともいう。）および電力制御装置３０から構成されている。上記優先度装置には、Local Area Network（以下、「ＬＡＮ」という。）を介してスマートタップ１１（以下、「ＳＴ」という。）に有線又は無線ＬＡＮで接続されている。ＬＡＮは本発明の一例であってそれに限定されるものではなく、本発明はＷｉＦｉ、ＰＬＣ、ＺｉｇＢｅｅ、特定小電力無線などのネットワークを介してＳＴに接続しても良い。そのＳＴには、各機器の電源コンセントを介して接続されている。従って、上記ＳＴはＬＡＮを介して上記優先度装置と通信可能である。

[0021] 本発明のＥｏＤ制御システムは、ある機器のスイッチをいれて電力を要求したとき、無条件に電力を供給するのではなく、まず電力を要求するメッセージを上記優先度装置に送信し、優先度装置上でユーザの電力の使用パターンに基づいて、供給可能な電力や機器の優先度などの調停によって、電力供給の可否や供給可能電力を各機器に対して決定し、機器は許可された電力の

みを使うことで、消費電力量と消費電力が目標値を上回ることなく、消費電力量の削減による節電とピーク時の大停電を回避できるシステムである。

[0022] 上記優先度装置は、汎用のサーバでありＣＰＵを含む。その優先度装置には、内部メモリ１０（以下、単に「メモリ」という。）が備えられており、直接読み書きできるハードディスクやRAMなどの半導体記憶装置である。

商用電源からの電力は、電力制御装置３０を介して優先度装置および各機器２０に供給される。

なお、本発明のＥｏＤ制御システム５０の設置場所として一般家庭を説明するが、これに限定するものではなくオフィスなどのＳＴが設置できる場所であれば何れの場所であっても良い。そして、本発明のＥｏＤ制御システムのＳＴとして電源コンセントに接続する外付けタイプを説明するが、これに限定するものではなく電源コンセントに埋め込まれた内蔵タイプであっても良い。

[0023] 図２は、図１に示したＥｏＤ制御システム５０の電力系ネットワークの構成を示す概略図である。

図１を参照して説明したように、ＥｏＤ制御システム５０は、電力制御装置３０を含み、この電力制御装置３０には電源が接続されている。ここで、電源とはいわゆる商用電源と、別途商用電源等から蓄電池に充電された個別の電源等の他の電源を合わせた電源である。

また、電力制御装置３０は、例えば、複数のブレーカ（図示せず）によって構成され、１つのメインブレーカと複数のサブブレーカとを含む。電源からの電力（交流電圧）は、メインブレーカの１次側に与えられ、メインブレーカの２次側から複数のサブブレーカに分配される。ただし、電源は、商用電流を供給／停止するためのスイッチ（図示せず）を介してメインブレーカの１次側に接続される。このスイッチは、優先度装置の切り替え信号に従ってオン／オフされる。

[0024] また、上述した優先度装置および複数の機器２０は、電力制御装置３０の出力側すなわちサブブレーカの２次側に接続される。図示は省略するが、優

先度装置は、自身に設けられる差し込みプラグを、壁ソケット等に差し込むことにより電力制御装置３０からの電力を受給可能に接続され、複数の機器は、上記ＳＴが差し込みプラグである入力コンセントと出力コンセントを備えており、該入力コンセントから電源の電力が送られ、上記出力コンセントに接続される複数の機器のコンセントを介して複数の機器に電力を受給可能に接続されている。

上述したように、本発明のＥｏＤ制御システムは、図２に示す電力ネットワークのみならず、図１に示した通信ネットワークも構築されている。

[0025] 図３は、家庭内のコンセントに接続されたＳＴから機器の配置位置を説明する図である。

図３を参照して、家２００は、例えば、リビング２００Ａ、室２００Ｂ、室２００Ｃ、室２００Ｄとから構成されている。リビング２００Ａおよび室２００Ｂは、１階に配置されており、室２００Ｃ、室２００Ｄは、２階に配置されている。図３が示すように、壁に設置されたコンセントにはそれぞれＳＴが接続されている。例えば、リビング２００Ａの壁に設置されたコンセントには、５個のＳＴが、室２００Ｂの壁に設置されたコンセントには、２個のＳＴが、室２００Ｃの壁に設置されたコンセントには、２個のＳＴが、室２００Ｄの壁に設置されたコンセントには、２個のＳＴが接続されている。以上のように、 全ての機器はＳＴを介して電源とつながっている。

[0026] 図４は、電源に接続されて壁に配置されたコンセント、スマートタップ１１および機器の接続関係を説明する図である。図４を参照して、機器である冷蔵庫２０１は、差し込みプラグを備えるコンセント２０２と、配線２０３を有し、冷蔵庫２０１のコンセント２０２が上記ＳＴ１１の出力コンセント１１４に着脱される。壁４０にはコンセント４１が配置されており、このコンセント４１の差込口４１１は、家庭内の電力系統を介して商用の電力が供給される。差し込みプラグである入力コンセント１１３が上記差込口４１１に着脱される。

[0027] 図５は、後述する動的優先度の情報処理の実施例、および実証実験で使用

されたモデルハウスの間取りを示す間取り図である。

上記モデルハウスは１つの寝室＋リビングルーム＋ダイニングキッチンのタイプであって、図に記載された番号は、表１に示す機器の名称とその機器のスイッチが設置されている場所を表しており、図に記載されたＳＴは、スマートタップ１１が配置されている場所を表している。５個のＳＴが配置されている。

[表1]

| id | name | id | name | id | name |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | TV | 12 | 寝室照明 | 30 | 風呂照明と換気扇 |
| 2 | エアコン | 13 | 台所照明 | 40 | ホットカーペット |
| 4 | ポット | 15 | 廊下照明 | 41 | ヒーター |
| 5 | コーヒーメーカー | 16 | 洗面所照明 | 42 | ルータ |
| 6 | ナイトスタンド | 17 | トイレ照明と換気扇 | 43 | ビデオデッキ |
| 7 | 炊飯器 | 18 | 温水洗浄便座 | 44 | 電磁調理器 |
| 8 | 冷蔵庫 | 20 | 空気清浄機 | 45 | 携帯電話充電器 |
| 9 | 電子レンジ | 21 | 掃除機 | 48 | PC |
| 10 | 洗濯機 | 22 | ドライヤー | | |
| 11 | リビング照明 | 23 | 電動歯ブラシ充電器 | | |

[0028] ＳＴの構造に関しては、既述したように、電圧・電流センサー、半導体リレー、ZigBeeモジュールおよびこれら全体の制御や内部処理を行うマイコンから構成されており、このマイコンは、上記電圧・電流センサーによって計測した電流・電圧波形から、消費電力の計算を行うと共に、電圧・電流波形の特徴を表す少数の特徴量から機器を特定している。そして、本発明のＥｏＤ制御システムが受信するデータは、上記ＳＴがマイコンで０．５秒間隔で計算した消費電力をスマートタップの内部メモリに毎周期（１回/６０秒）のデータとして保持して、複数のパケットに分割してサーバに送信する消費電力と、各機器２０が電力を要求する際にＳＴから送信される電力要求メッセージの２つのデータである。

図示しないが、優先度装置は、プログラム記憶領域およびデータ記憶領域のメモリを備えている。プログラム記憶領域には、通信処理プログラム、電力使用計画設定プログラム、初期目標値更新プログラムおよび優先度調停プ

ログラムなどのプログラムが記憶されている。データ記憶領域には、機器特性クラスデータ、メッセージデータなどが記憶されている。

[0029] 図６は、ある家における機器によって使用された消費電力のグラフを示す図である。

図６において、縦軸が電力（Ｗ）を横軸が時刻を表しており、そのグラフは、１日における１０分間隔での消費する消費電力を示している。なお、この電力を消費電力と呼んでいたが、一般の「消費電力」と異なる意味なので、以下に「瞬時電力」という定義された用語を用いる。この瞬時電力は、最小制御間隔τ（５～１０分）の間隔で、上記消費電力を合算した合計値を平均した消費電力を意味している。

上記グラフは、昼間には電力が使用されず、午後８時から午前１時に電力が使用されており、その間の瞬時電力の値が１９００Ｗと高いことが分かる。図７は、縦軸が消費電力量（ｋＷｈ）を、横軸が時間を表しており、そのグラフは、１日における１０分間隔での瞬時電力の積算量である消費電力量を示しており、その値は１０．０ｋＷｈである。

日本の一世帯の１ヶ月当たりの消費電力量が３００ｋＷｈで、1日当たりでは約１０．０ｋＷｈであり、図７の消費電力量は、一世帯の1ヶ月当たりのそれと同じであることを示している。なお、いままで、この電力の積算量を消費電力量と呼んでいたが、上記瞬時電力が一般の消費電力と異なる意味で用いられているので、この消費電力量は一般と異なる意味となり、以下「積算電力量」という定義された用語を用いる。

[0030] ところで、使用可能な電力の上限値は、一定期間における積算電力量の上限値(以下、「シーリング」という。）と、瞬時電力の上限値(以下、「最大瞬時電力」という。）がそれぞれ考えられる。最大瞬時電力は、ユーザが契約電力を低く抑えるためや、電力網の需給バランスを保つための電力会社からのピーク抑制要請に答えるために、時間帯ごとの電力の瞬時電力の上限値として与える。シーリングは、ユーザが電気代や$CO_2$排出量を抑えるために、一定期間（１日、１週間、１ヶ月など）に使用する積算電力量の上限値とし

て与える。

また、使用者が各時間帯にどれだけ電力を使用するかという電力使用パターンは様々である。そこで、予測される電力使用パターンから、瞬時電力と積算電力の上限を満たすためには各時刻にどれだけの電力が使用できるかを電力使用計画として定めておく必要がある。その際、ユーザの電力使用パターンを予測し、そこから各上限値を考慮して電力使用計画を定めれば、ＱｏＬを維持しながら各上限値を満たすことができる。そこで、ユーザの電力使用パターンを予測し、そこから上記瞬時値と積算値の上限が定められた電力使用パターンを「電力使用計画」と定義して以下に用いる。

[0031] 上記電力使用計画を具体的な例で説明する。図６および図７のグラフは、図６のグラフが示すように午後８時から午前１時の時間に瞬時電力の値が１９００Ｗと高いことから、例えば夫婦と子供からなる世帯の生活パターンではなく、単身世帯の生活パターンのグラフであると推測される。

このように、家庭内における全ての機器の瞬時電力が示すグラフは、ある電力使用パターンで推移することを表しており、ユーザが日々の生活で必要とする電力には、特有の使用パターンがあり、そのパターンが維持されることでＱｏＬを担保することができる。例えば、図６および図７のグラフが示す電力使用パターンで生活しているユーザが、電力会社と２０Ａの契約をしているとすると、ユーザが一時的にでも各種の機器を使用して２ｋＷを超えればブレーカーが落ち、また、一日当たり１０．０ｋＷｈの消費電力量が増えることにより電気代がかさむことになる。それをユーザが避けるために、瞬時値と積算値の上限値を例えば１割削減する計画を立てたとき、ユーザの電力使用パターンに基づいて、瞬時電力と積算電力量をその１割削減して設定される計画が「電力使用計画」である。そして、この電力使用計画におけるシーリングが９．０ｋＷｈであり、最大瞬時電力が１．８ｋＷである。

[0032] 電力の上限値としては上述したとおり、一定期間におけるシーリング（積算電力量の上限値）と各タイミングにおける最大瞬時電力（瞬時電力の上限値）がある。ユーザごとに様々な電力使用パターンが考えられる中、これら

の上限値を満たすためには各時刻にどれだけの電力を使用できるかを電力使用計画として定めておく必要がある。その際、ユーザの電力使用パターンを予測し、そこから各上限値を考慮して電力使用計画を定めれば、ＱｏＬを維持しながら各上限値を満たすことができる。そして、上記電力使用計画は、一定間隔τ(実験では１０ 分とした）ごとの使用電力を定めているので、この最小制御間隔τを説明する。

[0033] 例えば、消費電力量の上限値を３日で７２ｋＷｈと設定すると、１日当たり２４ｋＷｈ、１２時間当たり１２ｋＷｈ、１時間当たり１ｋＷｈといったようになり、上記消費電力量の初期目標値は、区切る時間によって多段に算出されるが、どの程度の長さのものを使って制御を行うかは制御の細かさに依存する。

そこで、消費電力量の上限値とτの時間間隔との関係を実証実験で得られた結果から、その時間間隔は５～１０分の間隔が好ましいことが分かった。このτの時間間隔を最小制御間隔τと呼ぶこととし、ユーザが５～１０分の間隔の内で任意に設定できるものである。

最小制御間隔τが１０分を超えると、その間隔が長いために様々な機器を使用したい場合に、使用できない機器が発生してＱｏＬを大きく損ねてしまうため、１０分を超えることは好ましくない。

最小制御間隔τが５分未満になると、時々刻々変化する状況に合わせて供給電力を変更するために、例えば電球の明るさが常に変化してちらつくなど、供給する電力が不安定になる状況が考えられるので、５分未満は好ましくない。

そして、上記消費電力から機器の全ての消費電力量を計算して処理することは、そのデータ量が膨大となるために困難である。

[0034] （第１の実施形態）

図８は、図１に示す優先度装置が備える機能を示す第１の実施形態の機能ブロック図である。

図８の符号１は優先度装置を、符号１０はそのメモリを、符号１１はＳＴ

を表しており、その優先度装置は、初期目標値更新手段１２０と電力調停手段１２２から構成されている。符号（１）は、ＳＴから送信された消費電力を表している。そして、優先度装置はそれが稼働する前に、前処理として上記消費電力を最小制御間隔τごとの使用電力を定める電力使用計画に変換して、その電力使用計画、初期目標値の瞬時電力および最大瞬時電力をメモリ１０に格納する。符号（２）は、ＳＴから送信された電力要求メッセージを表しており、その電力要求メッセージは、上記電力調停手段１２２に送信される。

[0035] そして、初期目標値更新手段１２０は、初期目標値の瞬時電力と実際の瞬時電力の差分を、その後の初期目標値の瞬時電力に配分して更新初期目標値とし、その値が最大瞬時電力を超えないようにする機能を備えている。上記電力調停手段１２２は、上記更新初期目標値と電力要求メッセージを送信した機器および動作中の機器の消費電力の合計値を比較して、該合計値が大であれば、後述する電気機器特性クラスデータに基づいて得られた両者の機器の優先度の値が最小の機器を選択して、機器の特性に応じて機器を選択する機能を備えている。

[0036]（前処理）

優先度装置を起動させる前に行う事前の処理として、上記電力使用計画を設定する処理がある。以下にその電力使用計画の設定処理を説明する。

優先度装置がＳＴから送信された０．５秒間隔で計算した消費電力をメモリに格納して、最小制御間隔τ（５～１０分）の間隔で、上記消費電力を合算した合計値を平均した瞬時電力をメモリに格納する。ユーザの過去の電力の使用実績、例えば、１週間、１ヶ月または春夏秋冬の四季毎などの瞬時電力と積算電力量を、電力使用計画として設定してメモリに格納しておく。

本発明のＥｏＤ制御システムは、予めユーザの過去の電力の使用実績である電力の使用パターンを用いて、ユーザが定める目標値、例えば３割削減を目標値として、電力使用計画を立て、そのシーリングと最大瞬時電力を決めて電力制御を行う。

本発明のＥｏＤ制御システムは、このシーリングと最大瞬時電力を用いて実際の制御を行う。従って、本発明の優先度装置は、予め、ユーザの過去の電力の使用実績により時間帯ごとの瞬時電力を用いて電力使用計画を設定しているので、より詳細にこの電力使用計画を設定できる。

また、各機器の使用電力は常に優先度装置に送信されており、優先度装置はこれをメモリに蓄積している。

[0037] 上記電力使用計画の一例を以下に説明する。電力使用計画は、最小制御間隔τ（後述する実証実験では１０分とした）ごとの瞬時電力を用いて定める。ユーザが設定したシーリング（積算電力量の上限値）をＣ（Ｗｈ）、最大瞬時電力（瞬時電力の上限値）をＭ(t)(Ｗ)、時刻tにおける電力需要予測値をＤ(t)(Ｗ）とする。式（３）および（４）から初期目標値$T_0$(t)(Ｗ)を作成する。

$$D'(t) = \begin{cases} D(t) & if\ D(t) \leqq M \\ M(t) & otherwise \end{cases} \qquad (3)$$

$$T_0(t) = \frac{C}{\sum_{t=start}^{t=end} \tau\, D'(t)} D'(t) \qquad (4)$$

優先度装置は、上記電力使用計画に従って上記初期目標値$T_0$(t)（Ｗ)の電力を対象にして、また上記最大瞬時電力を下回るように各機器の制御を行っている。

[0038] 上記電力使用計画の一例である初期目標値$T_0$(t)(Ｗ)は、各時刻について電力使用計画から一定割合を削減し、全体で上限を満たすように初期目標値を設定するための計画である（以下、「一定割合削減計画」という。）。図９－１にこの例を示す。これは初期目標値を設定するときの一例であり、この他、１日の電力使用計画の瞬時電力を超えている電力使用ピーク時のみを削減する（以下、「ピーク削減計画」という。）（図９－２）。他にも電力コストに応じて削減する（以下、「コスト削減計画」という。）（図９－３）の例もある。

コスト削減計画を採用し、例えば、最も電力が使用される午後１時から午後４時の時刻の電力使用を削減した場合には、その電力コストが高い時間帯の電力使用量の電力コストを安くすることで電力使用量を削減できる。これらの削減計画により初期目標値を設定でき、またこれらの削減計画を組み合わせて設定することも可能である。優先度装置は、このようにユーザが必要とする削減方法で電力使用計画を選定して設定できる。

[0039] 以上述べたように、優先度装置を起動させる前に行う事前の処理として、ユーザの過去の電力の使用実績に基づいて電力使用計画を設定して、ユーザが選定した削減計画により削減した、初期目標値である最大瞬時電力およびシーリングをメモリに格納しておく必要がある。上記優先度装置が起動すると、上記初期目標値を目標として以下に述べる初期目標値更新手段１２０が一定時間(τ) ごとに消費電力のチェックや初期目標値の更新の処理(interval)を行い、さらに電力調停手段１２２が機器からの要求に応じて、他の機器との調停の処理(event driven) を行う。これらの各手段を以下に説明する。なお、各機器の消費電力は常に優先度装置に送信されており、このデータを蓄積している。

[0040] （１）初期目標値更新手段

初期目標値（瞬時電力）に基づいて、最小制御間隔(τ) ごとにその初期目標値を更新する処理(interval)を行う初期目標値更新手段１２０を説明する。

優先度装置が起動すると、実際の電力の制御を行う際、τあたりの電力の初期目標値を目標として制御を行うが、過去の実績にない行動をした場合、ＱｏＬや機器の特性を考慮すると、どうしても電力を削減できない場合が存在し、そのときには実際の瞬時電力が一時的に初期目標値を超えてしまう。それとは逆に、使用する機器の台数が少なく、実際の瞬時電力が初期目標値を下回るようなことも考えられる。また、もちろん機器は人が使うものなので、実際の瞬時電力はそのときの行動にも依存して変化する。このようなとき初期目標値を維持したまま制御を続けると、最終的に上限値を満たすこと

ができなくなる。図１０は、初期目標値に対してその値を維持したまま制御を行った実際の瞬時電力の例を示す棒グラフである。

[0041] 初期目標値を維持したまま制御を行おうとしても、例えばある瞬間では人工呼吸器のように停止できない機器のみで初期目標値を上回るなど、ユーザの機器の使用状況を考慮すると初期目標値以下に電力を削減することができない場合も考えられる。そのような場合は、最大瞬時電力を上回らない範囲で初期目標値を一時的に上回ってもよいものとし、その際の超過分はそれ以降の電力使用計画で吸収するように初期目標値を更新する。こうすることで、当初に定めた初期目標値からは外れるものの、ＱｏＬを維持しながら実際の瞬時電力と初期目標値との差分を以降の初期目標値にフィードバックすることで、シーリングを満たすことができる。

[0042] 初期目標値にフィードバックを行うための分配関数を定義する。これは、初期目標値と実際の瞬時電力との差分を入力し、この差分が発生した時刻よりも後の時刻に対して差分を初期目標値に分配し、新たに初期目標値の瞬時電力を算出するものである。

図１１は、実際の瞬時電力と初期目標値との差分を以降の計画値にフィードバックする制御を行った場合の説明図である。優先度装置が稼働して制御開始時刻が$t_{now} - t_{start} \geqq i\tau$を満たす時刻$t_{now}$になると、この優先度装置は電力使用計画の更新を行う。

$i:=i+1$とすると、電力使用計画$T_i(t)$は、i回更新を行った、つまり$i\tau$経過後での時刻tにおける電力使用計画を表す。また、式（５）の$\gamma$は、電力使用計画を更新するための分配関数であり、初期目標値の瞬時電力と実際の瞬時電力の差分をその後の瞬時電力に分配するものである。従って、上記差分を式（５）に入力することで、その後の瞬時電力に分配する差分の電力が決められる。

[0043]

$$T_{i+1} := min(\gamma\ (\hat{T}_i(t_{now}) - \hat{E}(t_{now}), t_{now} - t_{start})T_i(t), M) \quad (5)$$

$$\hat{E}(t_{now}) = \sum_{t_{start}}^{t_{now}} \tau\ E_{total}(t) \quad (6)$$

$$\hat{T}_i(t_{now}) = \sum_{t_{start}}^{t\ \tau} T_i(t) \quad (7)$$

式（５）の$T_1(t_{now})$は現在の初期計画値であり、$E(t_{now})$は現在の使用電力である。

図１１に示したグラフは、差分をその後の新たな初期目標値すべてに均等に分配する方法（以下、「差分の均等分配方法」という。）で行ったもので、他の方法としては、直後の１つの瞬時電力のみに分配する方法（以下、「瞬時電力分配方法」という。）で行うことも考えられる。このように差分の分配方法は、差分の均等分配又は瞬時電力分配の方法があり、最初に全体としての電力使用計画を作成し、実際の制御を行っていく際に、最大瞬時電力を上回らない範囲で使用状況に合わせた初期目標値を改めて更新することで、柔軟な制御を行いながらシーリングを満たすことができる。

[0044] （２）電力調停手段

機器間の優先順位を与えることで、ＱｏＬ を維持しながら機器からの要求に応じて、他の機器との調停の処理(event driven) を行う電力調停手段１２２を説明する。機器からの電力要求は、ユーザがその機器を使用したいタイミングで発生するため、上記のτとは無関係に行われる。さらに、この要求には、最小制御間隔τの５～１０分が来るまで待つことの出来るものもあるが、即座に電力を必要とするものも存在する。このような機器に対しては、τごとの制御をしていたのでは電力供給が間に合わず、ＱｏＬを低下させる原因となるので、ある機器の電力要求があったときに、他の機器との調停処理を行うのに用いられる電力は、瞬時電力ではなく実際の消費電力である。これにより、さまざまなタイミングで発生する電力要求にも即座に判断をすることが出来るようになり、待機するか否かの判断も即座に下すことができ

る。

[0045] ＥｏＤ制御システムには、個々の機器が電力を要求した際にどの機器に電力を供給するかどうかを判断する指標が必要である。上限値を満たすためには、すべての機器に対して所望の電力を供給出来るわけではなく、また必要な機器は、機器やユーザの状況によって変化するため、どの機器に対して優先的に電力を供給するかを判断することが問題となる。そこで、機器の特性や状況に応じて優先度を決める必要がある。そのために、機器に対して０－１の値を取る優先度の関数を設定し、優先度の値が大きいものに優先的に電力を供給する。なお、ＱｏＬは電力が供給されることにより機器を使用できることで満たされるものであり、コスト削減や省エネによる社会貢献は考慮していない。

[0046] 各機器からの電力要求に対して電力を削減する機器を選択するためには、機器によって電力を制御する方法が異なるため、あらかじめ各機器の特性を知っておく必要がある。各機器が要求する電力の特性や電力制御方法を表すパラメータをQoEn と呼ぶ。QoEnでは以下に示す機器の電力制御方法に基づいて機器を分類する。

（１）調節可能な機器（運転中に供給されている電力を変化させることができるかどうか）（属する機器の集合を$A_{adj}$ とする。）

（２）待機可能な機器（起動時に電力の供給を待つことができるかどうか）（属する機器の集合を$A_{Wait}$ とする。）

（３）一時停止可能な機器（運転中に一時的に電力の供給を停止できるかどうか）（属する機器の集合を$A_{sus}$ とする。）

各機器を上記３種類の電力制御方法で組み合わせることにより、表２に示すように機器が８種類のクラスに分類される。この８種類のクラスに分類されたデータを「電気機器特性クラスデータ」と定義して用いる。この電気機器特性クラスデータを用いて機器間の優先度の制御を行う。

[0047] 上記８種類のクラスは、家電の欄に示した識別ＩＤで示す機器名に紐付けられることで、使用中の機器の優先度を用いて優先すべき機器を決めている

。例えば、優先度装置がＳＴからの電力要求メッセージを受信すると、そのメッセージを送ってきた機器および動作中の機器から、機器の優先度と上記電気機器特性クラスデータを用いて許可又は拒否するかを決める。

（１）調節可能な機器に分類されるものは、機器を使用中に供給されている電力が多少減少しても、機器の機能を利用できるものがあり、例としてはドライヤーや電球などがあげられる。また、（２）機器が電力を要求した際、決まった時間までに供給するのであれば、今すぐに電力を供給せずとも機器の機能上、問題がないものがあり、例としては炊飯器や洗濯機などがあげられる。更に、（３）機器を使用中に電力供給を一時停止しても、機器を利用することによるユーザの生活には影響がほとんどないものがあり、例としてはエアコンや冷蔵庫などがある。

なお、クラス８は、安全・快適な生活を確保するための機器として、例えば人工呼吸器などが分類されている。そして、上記８種類のクラスに分類された機器は、表２に示したクラスに固定されているものではない。ユーザが任意にどのクラスに機器を分類するかを決めることができる。例えば、寝たきりの高齢者の方がエアコンを常に必要な機器として選択すれば、エアコンはクラス８に分類される。換言すれば、上記調節可能、一時停止可能および待機可能なクラスに分類できない電気機器として、ガス検出器等の保安・監視用機器、人工呼吸器等の医療用機器、ルータ等のネットワーク用機器などがある。

[0048] [表2]

| クラス | 調整 | 待機 | 一時停止 | 機器識別用ID |
|---|---|---|---|---|
| 1 | YES | YES | YES | PC・給湯機 |
| 2 | YES | YES | NO | 温水洗浄便座・電子レンジ |
| 3 | YES | NO | YES | ヒーター・エアコン・冷蔵庫 |
| 4 | YES | NO | NO | TV・ドライヤー |
| 5 | NO | YES | YES | 食洗機・洗濯機 |
| 6 | NO | YES | NO | 炊飯器・トースター |
| 7 | NO | NO | YES | コピー機・湯沸しポット |
| 8 | NO | NO | NO | ガス検出器・人工呼吸器・ルーターのネットワーク用機器 |

[0049] １．調節可能な機器

電力の調節が可能な例としてドライヤーがそれに相当する。電力の調節可能な機器では、図１２に示すように、要求した通りの電力が供給されるとユーザの満足度は最も高いが、供給電力が多少減少しても満足度は大きく変わらない。しかし、大幅に電力が減少すると機器の能力が制限されユーザの満足度は低下し、最終的にある一定以下の電力になるとその機器の機能を果たせなくなる。つまり、最低限使用するのに必要な電力の優先度は高く、要求電力通りに供給する優先度は低いという、供給電力に対して単調減少の関数で優先度を与えることができる。電力調停手段では、機器ａの要求電力を$p^{req}_a$、最低限必要な電力を$p^{min}_a$としたとき、電力調整可能な機器の優先度$Pri_a^{adj}(p)$を次式のように定義する。

$$\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{adj}}(p)=\begin{cases}0 & \text{if } p_a^{\mathrm{req}}\le p\\ 1-\left(\frac{p_a^{\mathrm{req}}-p}{p_a^{\mathrm{req}}-p_a^{\mathrm{min}}}\right)^{\alpha_a^{\mathrm{adj}}} & \text{if } p_a^{\mathrm{min}}p<p_a^{\mathrm{req}}\\ 1 & \text{if } p\le p_a^{\mathrm{min}}\end{cases} \qquad (8)$$

このようにして設計した電力が調節可能な機器に対する優先度（adjust）の一例は、図１２および式(８)のようになる。

[0050] ２．待機可能な機器

起動時に待機可能な例として炊飯器がそれに相当する。指定の時刻までに機器の動作が完了していればよく、起動時刻を遅らせることのできる機器である。つまり、図１３に示すように、電力を要求した直後は優先度が低く、起動しなければならない時刻に近づくにつれ優先度が高くなるように定義すれば良い。

要求時刻を$t^{req}_a$、起動しなければならない時刻を$t^{must}_a$としたとき、待機可能な機器a の優先度$Pri^{shift}_a$（t）を次式のように定義する.

$$\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{shift}}(t)=\begin{cases}1-\left(\frac{t-t_a^{\mathrm{req}}}{t_a^{\mathrm{must}}-t_a^{\mathrm{req}}}\right)^{\alpha_a^{\mathrm{shift}}} & \text{if } t\le t_a^{\mathrm{must}},\\ 1 & \text{if } t>t_a^{\mathrm{must}}\end{cases} \qquad (9)$$

[0051] ３．一時停止可能な機器

一時停止可能な場合の例としてエアコンがそれに相当する。一時停止可能な機器は、エアコンの温度設定のように、運転中はある定常状態を目指して動作するが、一旦定常状態に到達すると、一時運転を停止しても、定常状態を保つことのできる機器である。このような機器の場合、図１４に示すように、運転開始直後は定常状態を目指して動作するため高い優先度を与える必要があるが、定常状態に到達すると一時停止しても定常状態が維持されるため優先度を下げることができる。また、一時停止後は、時間が経つにつれ定常状態からはずれるため、優先度を高くして再開する必要がある。一時停止可能な機器の優先度$Pri^{int}_{a}$（t）は、次式のようにａが動作中の場合と停止中の場合に分けて定義する。

$$\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{int}}(t)=\begin{cases}\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{run}}(t) & a\text{が動作中の場合}\\ \mathrm{Pri}_a^{\mathrm{sus}}(t) & a\text{が停止中の場合}\end{cases} \tag{10}$$

$$\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{run}}(t)=\begin{cases}\left(\frac{t-t_a^{\mathrm{enable}}}{t_a^{\mathrm{max}}-t_a^{\mathrm{enable}}}\right)^{\alpha_a^{\mathrm{run}}} & \text{if } t\le t_a^{\mathrm{enable}}\\ 1 & \text{otherwise}\end{cases} \tag{11}$$

$$\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{sus}}(t)=\begin{cases}1-\left(\frac{t-t_a^{\mathrm{min}}}{t_a^{\mathrm{disable}}-t_a^{\mathrm{min}}}\right)^{\alpha_a^{\mathrm{sus}}} & \text{if } t\le t_a^{\mathrm{max}}\\ 1 & \text{otherwise}\end{cases} \tag{12}$$

[0052] ４．一般の機器の優先度

一般の機器のクラスは表２に示した３つの特性の組み合わせで定義する。それぞれの特性に対して定義された優先度の組み合わせによってそれぞれのクラスの優先度関数を表３の項目に示したように定義する。例えば、クラス１ の優先度関数はそれぞれの特性に対応する優先度関数の積によって次式のように定義される。

$$\mathrm{Pri}_a(t,p)=\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{adj}}(p)\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{shift}}(t)\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{inc}}(t) \tag{13}$$

また、クラス８の優先度関数は１となり、これは常に優先的に電力が供給

されることを意味している。

[表3]

| ラベル | 優先度関数 $\mathrm{Pri}_a(p,t)$ |
|---|---|
| 1 | $\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{adj}}(p)\cdot\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{dim}}(t)\cdot\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{int}}(t)$ |
| 2 | $\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{adj}}(p)\cdot\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{dim}}(t)$ |
| 3 | $\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{adj}}(p)\cdot\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{int}}(t)$ |
| 4 | $\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{adj}}(p)$ |
| 5 | $\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{dim}}(t)\cdot\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{int}}(t)$ |
| 6 | $\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{dim}}(t)$ |
| 7 | $\mathrm{Pri}_a^{\mathrm{int}}(t)$ |
| 8 | 1 |

[0053] 図１５は、電力要求メッセージに対して、優先度装置が優先度に基づいて電力を供給する処理手順を説明する図である。

１．機器に接続されたＳＴは、電力要求メッセージを優先度装置に送信する（１）。

２．優先度制御装置は、現在の供給可能量や家庭での生活パターンから、電力要求メッセージを送ってきた機器、および動作中の機器の優先順位を決める。

３．機器の優先順位に従って、各機器に許可する消費電力、時間を含む電力割当メッセージ（２）、あるいは電力を供給できない機器には拒否メッセージ（２’）を返信する。

また、動作中の機器の優先度が低く、停止、あるいは電力削減させる場合には当該機器に割込メッセージ（３）を送信する。

４．電力使用を許可された機器は、許可された電力で、許可された時間だけ動作する。電力使用を拒否された機器は一定時間後に再割当メッセージを送信する（４）。

この処理手順では、ユーザ自身で供給可能な最大電力量を設定（シーリング）することで、好きなだけ電力削減が実現できる。

[0054] 上記処理手順を詳細に説明する。電力が必要となった機器$a_{req}$は、サーバに

対し電力要求メッセージ(表４)を送信する(図１５の１)。要求を受信したサーバは、即座に現時刻$t_{now}$の全体の合計使用電力$E_{total}(t_{now})$と要求電力$E_{req}$の和$E'_{total}(t_{now})$と、電力使用計画$T_i(t_{now})$とを比較する。全体の電力（和）$E'_{total}(t_{now})$が計画を下回っていれば要求通りの電力$E_{req}$を許可(式（１４))、$a_{req} \in A_{Wait}$であれば拒否(図１５の２′)、そうでなければ各機器の優先度を計算、割り込み処理として機器$a_{req}$より優先度の低い他の機器の電力を削減(図１５の３)(式（１５))、電力を確保し合計使用電力$E_{total}(t_{now})$を更新した上で、機器の特性に従い電力供給の削減を決定する。供給可能電力$E_{supply}$など表４に記載の情報を付加したメッセージを機器$a_{req}$に対して即座に送信し、機器はそれに従い電力を使用する。ここで電力供給を拒否・割り込みされた機器および$a_{req}$は、次のinterval処理において再度、電力使用方針を決定する(図１５の４)。

$$E_{supply} = \begin{cases} E_{req} & if\ E'_{total}(t_{now}) \leqq T_i(t_{now}) \\ E_{refuse} & otherwise \end{cases} \quad (14)$$

$$E_{refuse} = \begin{cases} 0 & if\ a \in A_{wait} \\ E_{adj} & else\ if\ a \in A_{adj} \\ E_{req} & otherwise \end{cases} \quad (15)$$

$$E_{adj} = max(T_i(t_{now}) - E_{total}(t_{now}), E_{req}^{min}) \quad (16)$$

($E_{req}^{min}$：要求機器の最小起動電力)

以上のように、各機器から要求を受信した優先度装置は、現時刻$t_{now}$の動作中の合計使用電力$E_{total}(t_{now})$と要求電力$E_{req}$の和$E'_{total}(t_{now})$と、電力使用計画$T_i(t_{now})$とを比較して、上記和$E'_{total}(t_{now})$が上記電力使用計画$T_i(t_{now})$を上回っていれば、式（１５）に従って優先度の最小の機器$a_{min}$の電力を削減して優先度の更新を行う。

[0055] 上記ＳＴが優先度装置に送信する電力要求メッセージのデータを表４で説明する。

表４の項目の欄に示す機器識別用ＩＤ、要求電力、最小起動電力、一時停

止可能時間および必須起動時刻に対して各項目に値の欄と必要とするクラスの欄のデータが紐付けられており、上記ＳＴはその値と必要とするクラスのデータを優先度装置に送信する。

[0056] [表4]

| 項目 | 値 | 必要とするクラス |
|---|---|---|
| 電気機器識別ID | ID | 1-8 |
| 要求電力 | Ereg(W) | 1-8 |
| 最小起動電力 | Emin(W) | 1-4 |
| 一時停止可能時間 | Time | 1,3,5,7 |
| 必須起動時刻 | Time | 1,2,5,6 |

[0057] 上記優先度装置がＳＴに返信するメッセージのデータを表５で説明する。

表５の項目の欄に示す機器識別用ＩＤ、メッセージの種類、許可する平均電力および許可する使用時間に対して値の欄のデータが紐付けられており、上記優先度装置はそのデータをＳＴに送信する。

[0058] [表5]

| 項目 | 値 |
|---|---|
| 機器識別用ID | ID |
| メッセージの種類 | 許可／拒否 |
| 許可する平均電力 | $E_{supply}$(W) |
| 許可する使用時間 | Time |

[0059] 以上の説明した初期目標値更新手段１２０及び電力調停手段１２２からなる動的優先度制御手段１は、瞬時電力がその上限値および積算電力量がその目標値Ｃを上回ることなく、積算電力量の削減による節電とピーク時の大停電を回避することができる。

[0060] （第２の実施形態）

上記優先度装置１は、最終的に瞬時電力を最大瞬時電力以下に制御でき、

積算電力量の目標値Ｃを満たす制御ができるが、機器を使用する際、負荷変動等により予期しない瞬時電力の増加が起き、最大瞬時電力を超える場合がある。このような場合に対処する第２の実施形態を説明する。

図１６は複数電源管理装置を備える機能を説明する機能ブロック図であり、図１７は、第２の実施形態の機能ブロック図である。

優先度装置は、初期目標値更新手段１２０、優先度調停手段１２３および常時監視手段１２４から構成されている。

初期目標値更新手段１２０と優先度調停手段１２３は、上述した各手段と同じ機能を備えるので説明を省略する。

上記常時監視手段１２４は、常時消費電力を監視し、全体の消費電力が最大瞬時電力をある一定期間ｄ（０．５～２秒程度）以上の間超過するときには、その全体の消費電力が最大瞬時電力を下回るよう、τの経過を待たずに、上記優先度調停手段１２３が優先度に基づいた調停を行う。

[0061] 前者はスイッチを入れた際などに機器から送信される電力要求に対して、即座に判断し機器の使用を妨げないことでＱｏＬを維持する。後者は各機器からの継続要求に対して行われ、計画値の更新や機器間の調停を行う。時々刻々変化する状況に合わせて常に供給電力を変更していると、例えば電球の明るさが常に変化しちらつくなど、機器の動作が不安定になる状況が考えられるため、最小制御間隔τを導入することで全体の安定化を図っている。さらに最大瞬時電力を超えないよう常に監視を行うことにより、最大瞬時電力を保証する。

[0062] 図１８は優先度装置が稼働する前に、そのＣＰＵの前処理を示す全体のフロー図である。

上記優先度装置のＣＰＵが稼働する前に、前処理としてステップＳ１で電力使用計画の初期目標値の設定を行い、その初期目標値をメモリに格納する処理を行う。

[0063] 図１９は優先度装置のＣＰＵが稼働した後の、ＣＰＵの全体処理を示すフロー図である。稼働後に上記優先度装置のＣＰＵは、ステップＳ３で初期目

標値の更新処理を、ステップＳ５で優先度の調停処理を行う。

図２０は、上述したステップＳ１の電力使用計画設定処理のフロー図である。図２０に示すように、上記ＣＰＵは、ステップＳ１１で各機器のＳＴから送信された１日、１週間又は１ヶ月などの消費電力を、最小制御間隔τの間隔、例えば１０分の間隔で合算して平均した瞬時電力と積算電力量に変換する。ステップＳ１３で上記瞬時電力および積算電力量からユーザが設定したシーリング（積算電力量の上限値）をC(Wh)、最大瞬時電力（瞬時電力の上限値）をM(W)、時刻ｔにおける電力需要予測値をD(t)(W）とすると、式（１７）および（１８）から電力使用計画の一例である初期目標値$T_0(t)$(W)が作成される。

$$D'(t) = \begin{cases} D(t) & if\ D(t) \leqq M \\ M(t) & otherwise \end{cases} \qquad (17)$$

$$T_0(t) = \frac{C}{\sum_{t_{start}}^{t_{end}} \tau\ D'(t)} D'(t) \qquad (18)$$

稼働する前の前処理として上記初期目標値$T_0(t)$(W)をメモリに格納しておく。

他の電力使用計画として、一日の電力使用計画の瞬時電力を超えている電力使用ピーク時のみを削減するピーク削減計画（図９－２）、又は電力コストに応じて削減するコスト削減計画（図９－３）がある。これらの削減計画により初期目標値を設定でき、またこれらの削減計画を組み合わせて設定することも可能である。

[0064] 図２１は、上述したステップＳ３の初期目標値更新処理のフロー図である。図２１に示すように、上記ＣＰＵは、ステップＳ３１で初期目標値の瞬時電力と実際の瞬時電力との差分から、差分の分配方法（差分の均等分配方法又は瞬時電力分配方法）により分配電力を計算し、その分配電力をその後の

上記初期目標値の瞬時電力に加算して、更新初期目標値を計算する。ステップＳ３３で更新初期目標値と最大瞬時電力を比べ、Ｓ３５でＹｅｓと判断さればステップＳ３７でその後の初期目標値の瞬時電力を更新初期目標値に更新する。Ｎｏと判断さればステップＳ３９で上記初期目標値を最大瞬時電力に更新して更新初期目標値とする。

[0065] 図２２－１～図２２－４は、上述したステップＳ５の優先度調停処理のフロー図である。図２２－１に示すように、上記ＣＰＵは、ステップＳ５１でＳＴから電力要求メッセージを受信すると、ステップＳ５３でそれを受信した時刻で、メモリから上記電力要求メッセージを送信した機器および動作中の機器の消費電力を呼び出して、両者の消費電力を合算して合計値を得る。

ステップＳ５５で表３を参照して、優先度関数に基づいて上記両者の機器の優先度を計算し、その値をメモリに格納する。

ステップＳ５６で、商用電源の他に、必要であれば蓄電池からなる各電源の電源負荷率関数と供給電力に基づいて、各電源の電源負荷率を計算しメモリに格納して、ステップＳ５７で上記メモリから優先度が最小の機器と電源負荷率が最大の電源を選択する。

上記最優先度と最大の電源負荷率を比較して、ステップＳ５９でＹｅｓと判断すると、その次のステップで送信した機器のＳＴに許可メッセージを送信して処理を終了する。ステップＳ５９でＮｏと判断すると、（１）のステップＳ６５に進む。

図２２－２に示すように、ステップＳ６５で表２を参照して当該機器が調節可能かを判断して、ステップＳ６７でＹｅｓと判断すると、ステップＳ６９で当該機器に電力を下げる割込メッセージを送信して、ステップＳ７０で上記電力削減分だけ、当該電源から供給電力を削減して、ステップＳ７１で削減後の消費電力、供給電力に基づいて、当該機器の優先度、当該電源の電源負荷率を再計算してステップＳ５６に戻る。

[0066] 図２２－３に示すように、ステップＳ７３で当該機器が要求メッセージを送信したＳＴで、かつ待機可能かを判断して、ステップＳ７５でＹｅｓと判

断すると、ステップＳ７７で当該機器のＳＴに拒否メッセージを送信して、ステップＳ７８で上記電力削減分だけ、当該電源から供給電力を削減し、ステップＳ７９で削減後の消費電力、供給電力に基づいて、当該家電の優先度、当該電源の電源負荷率を再計算してステップＳ５６へ戻る。ステップＳ７５でＮｏと判断すると、（３）のステップＳ８１に進む。図２２－４に示すように、ステップＳ８１で当該機器が要求メッセージを送信したＳＴでなく、かつ一時停止可能かを判断して、ステップＳ８３でＹｅｓと判断すると、ステップＳ８５で当該機器のＳＴに拒否メッセージを送信して、ステップＳ８６で上記電力削減分だけ、当該電源から供給電力を削減して、ステップＳ８７で削減後の消費電力、供給電力に基づいて、当該家電の優先度、当該電源の電源負荷率を再計算してステップＳ５６へ戻る。ステップＳ８３でＮｏと判断すると、処理を終了する。

[0067] 図２３－１～図２３－３は、上述した常時監視処理のフロー図である。

図２３－１が示すように、上記ＣＰＵは、ステップＳ９１でメモリから最大瞬時電力を呼び出し、ステップＳ９３で一定期間δ（０．５～２秒）毎に、メモリから動作中の機器の消費電力を呼び出して合算して消費電力の合計値を得る。ステップＳ９５で表３を参照して、優先度関数に基づいて上記機器の優先度を計算し、その値をメモリに格納する。ステップＳ９７で上記消費電力の合計値と上記最大瞬時電力を比較して、ステップＳ９９で消費電力の合計値が小であると判断すると処理を終了する。ステップＳ９９で消費電力の合計値が大と判断すると、ステップＳ１０１でメモリから上記優先度を呼び出してその値が最小の機器を選択して（４）に進む。

[0068] 図２３－２が示すように、ステップＳ１０３で表２の優先度クラスデータを参照して当該機器が調節可能かを判断し、ステップＳ１０５でその判断がＹｅｓであれば、ステップＳ１０７で当該機器に電力を下げる割込メッセージを送信する。そして、ステップＳ１０９で下げた電力に基づいて消費電力の合計値を更新して、ステップＳ９９に戻る。そして、上記消費電力の合計値が上記最大瞬時電力より小になるまで繰り返される。上記判断がＮｏであ

れば（５）に進む。

[0069] 図２３－３が示すように、ステップＳ１１１で当該機器が一時停止可能かを判断し、ステップＳ１１３でその判断がＹｅｓであれば、ステップＳ１１５で当該機器のＳＴに拒否メッセージを送信して、ステップＳ１１７で当該機器の消費電力を除いて消費電力の合計値を更新してステップＳ９９に戻る。そして、上記消費電力の合計値が上記最大瞬時電力より小になるまで繰り返される。

優先度装置の電力調停手段は、消費電力の合計値が最大瞬時電力より小になるまで処理が繰り返されることから分かるように、最大瞬時電力を常に下回るように電気機器への電力供給の制御を行っている。

上記電力調停手段のステップＳ５１～ステップＳ１１７の処理手順および機器特性クラスデータから分かるように、優先度装置は、家庭およびオフィスに設置される全ての機器を対象にしており、３種類の特性の機器が設置されていなくとも、例えば調節可能な機器が設置されていなくともシーリングおよび最大瞬時電力の上限値を超えることはない。

[0070] また、上述したように、各機器の使用電力は常に優先度装置に送信されており、優先度装置はこれをメモリに蓄積し、この蓄積した各機器の使用電力を積算することで、一定期間（１日、１週間、１ヶ月など）の積算電力量を得ている。そして、上記電力調停手段が最大瞬時電力を常に下回るように電気機器への電力供給を制御しているので、その結果として上記積算電力量の上限値（シーリング）を超えることがない。

[0071] 本発明のオンデマンド型電力制御システム用の蓄電池管理システム（以下、「蓄電池システム」という。）では、商用電源に、必要に応じて例えば蓄電池を加えて複数電源に拡張し、電源の調停のための特性記述として「電源QoEn」を定義する。ここでは、商用電源と蓄電池の電源QoEnを表６のように定義する。

[表6]

| 商用電源 | | 蓄電池 | |
|---|---|---|---|
| 最大瞬時電力 | $PS_u(t)$[W] | 最大放電電力 | $PS_{b1}$[W] |
| シーリング | $ES_u$[Wh] | 最大充電電力 | $PS_{b2}$ (< 0)[W] |
| 電力コスト | $C(t)$ [円/Wh] | 蓄電容量 | $ES_b$[Wh] |
| CO2排出係数 | G[kg/kWh] | 充電効率 | $\alpha_1$ $(0 < \alpha_1 < 1)$ |
| | | 放電効率 | $\alpha_0$ $(0 < \alpha_0 < 1)$ |
| | | 自然放電電力 | $\alpha_s$ [W] |
| 電源負荷率 | $LF_u(p)$ | 電源負荷率 | $LF_b(p)$ |

[0072] 商用電源の最大瞬時電力とシーリングは従来のＥｏＤ制御システムで用いた瞬時電力の上限値と積算電力量の上限値であり、ユーザが任意に設定することができる。また、時刻毎の電気代や$CO_2$排出係数など電力契約にもとづいて設定される。

蓄電池については、蓄電池から供給できる電力の最大値（最大放電電力）と蓄電池に充電できる電力の最大値（最大充電電力）、さらに蓄電池に充電できる電力量（蓄電容量）が定義される。なお、本発明の蓄電池システムでは蓄電池から供給する場合を正の数で表し、蓄電池に充電する場合は負の数で表すものとする。また、充電時、放電時の損失や自然放電が発生するので、充放電の効率を表す係数、充電効率、放電効率、および自然放電電力を定義する。

また、それぞれの電源の電源負荷率（ＬＦ：ロードファクターともいう。）は、機器の動的優先度に対応し、状況に応じた電源の供給能力を表す関数であり、後で詳しく述べる。

[0073] （計画フェーズ：電力使用計画と電力供給計画）

計画フェーズにおいて、電力使用計画と電力供給計画を作成する方法について述べる。

従来のＥｏＤ制御システムでは、商用電源のみを扱っていたため、電力使用と電力供給は同じであり電力使用計画のみを作成した。本研究ではこれに蓄電池を加えた複数電源に拡張するため、個々の電源の電力供給計画を同時に作成する。

まず、蓄電池を用いない場合の電力使用計画を初期計画とし、そこから蓄電池を用いてユーザの不便さを表す不満足度を最小化することで蓄電池を利用した電力供給計画を作成する。

[0074] 家電群をA、各家電をa∈A とし、各家電の予測消費電力パターンPD_a（t）があらかじめ学習されているものとする。商用電源をc、蓄電池をbとし、各電源の電力供給パターンをPSs（t）（ただしs∈[c,b]）とする。このとき総供給電力と総消費電力は、物理的制約によって以下の式で示すように常に一致する。

$$\sum_{a\in A} PD_a(t) = \sum_{s\in\{c,b\}} PS_s(t), \qquad (19)$$

なお、蓄電池については、$PS_b$（t）> 0 の場合は放電、$PS_b$（t）< 0の場合は商用電源からの充電を意味する。

また、商用電源の積算供給電力$ES_c$（t）と、蓄電池の蓄電量$ES_b$（t）を以下のように定義する。

$$ES_c(t) = \sum_{\delta=0}^{t} PS_c(\delta), \qquad (20)$$

$$ES_b(t) = \sum_{\delta=0}^{t} PS_b'(\delta) \qquad (21)$$

$$PS_b'(t) = \begin{cases} -\alpha_b PS_b(t) & if\ PS_b(t) < 0 \\ -\frac{1}{\alpha_b'} PS_b(t) & otherwise, \end{cases} \qquad (22)$$

ただし、$\alpha_b$と$\alpha_b'$は充放電効率を表し、$0<\alpha_b<1$、$0<\alpha_b'<1$とする。なお、式（２０）～（２２）は厳密には積分で表されるが、ここでは単位時区間ごと（実験では、２０秒間）の平均電力を電力値として用い、積分ではなく和として表している。

ユーザが設定する商用電源からの給電に対する制約として最大瞬時電力を

$\overline{PS_c(t)}$

、積算電力のシーリングを

$\overline{ES_c}$

と表し、蓄電池の特性として最大放電電力を

$\overline{PS_b}$

、最大充電電力を

$\underline{-PS_b}$

、蓄電可能量を

$\overline{ES_b}$

と表す。このとき、各電源の供給電力は以下の制約を満たさなければならない。

$$PS_c(t) < \overline{PS_c(t)},\ ES_c(T) < \overline{ES_c} \qquad (23)$$

$$\underline{PS_b} < PS_b(t) < \overline{PS_b},\quad 0 < ES_b(t) < \overline{ES_b} \qquad (24)$$

ただし、Ｔは1日、1週間といった計画を作成する期間を表し、本研究では計画期間と呼ぶ。

[0075] (1) 初期電力使用計画の作成

まず、蓄電池を考慮せずに商用電源のみを使用する場合の電力使用計画を初期値として作成する。

このとき、初期電力使用計画である商用電源の最大瞬時電力とシーリングを満たすような初期電力使用計画

$PD^{PLAN}(t)$

を次式（２５）のように作成する。

$$PD^{PLAN}(t) = \frac{\overline{ES_c}}{\sum D'(t)} D'(t), \qquad (25)$$

$$D'(t) = \begin{cases} \overline{PS_c(t)} & \text{if } D(t) > \overline{PS_c(t)} \\ D(t) & \text{otherwise} \end{cases}, \qquad (26)$$

ただし、

$\mathrm{D}(t)=\sum_{a\in A}\mathrm{PD}_a(t)$

とする。

これは、最大瞬時電力

$\overline{\mathrm{PS}_c(t)}$

を超えないようにピーク時の使用電力をカットした上で、積算電力量がシーリング

$\overline{ES}_c$

を越えないように電力使用予測に対して時間帯毎に一定割合で削減するものであり、商用電源の供給計画を

$PS_c^{PLAN}(t)=PD^{PLAN}(t)$

とする。つまり式（２５）で作成した電力使用計画と同一とするのである。

また、蓄電池の供給計画の初期値を

$PS_b^{PLAN}(t)=0$

とした。

[0076] （２）不満足度最小化による電力供給計画の作成

この計画では、商用電源の最大瞬時電力以下に機器の消費電力を抑えるために、需要のピーク時に使用電力がカットされる。

このため、初期電力使用計画

$\mathrm{PD}^{\mathrm{PLAN}}(t)$

では最大瞬時電力

$\overline{\mathrm{PS}_c(t)}$

を常に満たすためピーク時の使用電力がカットされる。しかし電力需要のピークは、生活者が最も電力を必要としている時間帯であり、その時間帯に使用できる電力を制限されることは、ユーザの生活の快適さを大きく損なうと感じられる。

そこで、予測される電力使用パターンと電力使用計画の差に基づいて、本発明の蓄電池システムは、電力使用時に感じられる不満足度

$DS(PD^{PLAN})$

を以下のように定義し、これを最小にするように蓄電池の充放電によって供給電力のタイムシフトを行い、上記の快適さを大きく損なう問題を解決する。

不満足度関数を以下の式にて定義する。

$$DS(PD^{PLAN}) = \frac{1}{|T|}\sqrt{\sum_{t=1}^{T} ds(D(t), PD^{PLAN}(t))} \qquad (27)$$

但し、

$$ds(d,p) = \begin{cases} (d-p)^2 & \text{if } d > p \\ -(d-p)^2 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (28)$$

[0077] 不満足度関数は計画期間全体で少しずつ電力を削減するより、同じ時間帯で大きく電力を削減するほど値が大きくなるように設計している。

この不満足度を最小化するように、蓄電池を利用して初期電力使用計画を修正し、各電源の電力供給計画

$PS_p^{PLAN}(t), PS_b^{PLAN}(t)$

を作成する。この問題は以下のように定式化できる。

$$\text{minimize: } DS(PD^{PLAN}) \qquad (29)$$

$$\text{subject to: } PS_p^{PLAN}(t) < \overline{PS_p(t)},\ ES_p^{PLAN}(T) < \overline{ES_p} \qquad (30)$$

$$\underline{PS_b} < PS_b^{PLAN}(t) < \overline{PS_b},\ 0 < ES_b^{PLAN}(t) < \overline{ES_b} \qquad (31)$$

$$PD^{PLAN}(t) = PS_p^{PLAN}(t) + PS_b^{PLAN}(t). \qquad (32)$$

（ただし、肩付きPLANを持つ関数は、電力使用計画、商用電源の給電計画、蓄電池の充放電計画を示す。）

不満足度最小化問題は、図２４のように蓄電池を用いて消費電力をタイムシフトさせることによって解くことができ、その結果、電力使用計画 が修正され、商用電源の給電計画および蓄電池の充放電計画が作成される。以下に

具体的な計算アルゴリズムを示す。

[0078] [初期化]

式（２５）、（２６）より求めた

$PD^{PLAN}(t)$

により

$PS_c^{PLAN}(t) := PD^{PLAN}(t)$、 $PS_b^{PLAN}(t) := 0$

とする。また、タイムシフトによる放電先の候補となる単位時区間の集合の初期値を

$\mathcal{T}_{DST} := \{t | 0 \le t \le T\}$

とする。

[Step 1.]

$t_{DST}$

から最も不満足度の大きな時区間

$t_{DST}$

を選ぶ。

$$t_{dst} = \arg\max_{t<T} \left\{ PD(t) - PD^{PLAN}(t) \right\}^2$$

又は

$$t_{DST} := \arg\max_{t \in \mathcal{T}_{DST}} ds\left( D(t), PD^{PLAN}(t) \right) \qquad (33)$$

また

$t_{DST}$

以前の時区間で

$t_{DST}$

より不満度が小さい時区間の集合を

$\mathcal{T}_{SRC}$

とする。

$$\mathcal{T}_{SRC} := \{t \mid 0 \le t < t_{DST} \wedge ds(\mathbb{D}(t), PD^{PLAN}(t)) < ds(\mathbb{D}(t_{DST}), PD^{PLAN}(t_{DST}))\} \quad (34)$$

[0079] [Step 2.]

$\mathcal{T}_{SRC}$

から最も不満足度の小さな時区間

$t_{SRC}$

を選ぶ。

$$t_{src} = \arg\max_{t<t_{dst}} \left\{ (PD(t) - PD^{PLAN}(t))^2 \right\}$$

又は

$$t_{SRC'} = \arg\min_{t \in \mathcal{T}_{SRC}} ds\left(\mathbb{D}(t), PD^{PLAN}(t)\right)^2 \quad (35)$$

ここで，充電元と放電先の不満足度が

$$ds\left(\mathbb{D}(t_{SRC}), PD^{PLAN}(t_{SRC})\right) < ds\left(\mathbb{D}(t_{DST}), PD^{PLAN}(t_{DST})\right)$$

を満たしている場合はStep 3. へ、満たしていない場合はStep 5. を実行する。

[0080] [Step 3.]

Step 2.で選択した

$t_{SRC}$

から蓄電池に充電し、Step 1. で選択した

$t_{DST}$

で放電する。ここで、充放電電力Ｃは、次式を満たす最大の値とする。

$$(\underline{PS_b} \le PS_b(t_{SRC}) - C) \wedge (PS_b(t_{DST}) + \alpha_b \alpha_b' C \le \overline{PS_b}) \quad (36)$$

$$\forall t \; ES_b^{PLAN}(t) < \overline{ES_b} \quad (37)$$

$$ds(D(t_{SRC}), PD^{PLAN}(t_{SRC}) - C)$$

$$\le ds(D(t_{DST}), PD^{PLAN}(t_{DST}) + \alpha_b \alpha_b' C) \quad (38)$$

具体的には以下のように求められる。まず式(３７)を満たす最大のＣは次式によって与えられる。

$$C' = \frac{1}{\alpha_b \alpha_b' + 1}\left(\left(D(t_{DST}) - PD^{PLAN}(t_{DST})\right) - \left(D(t_{SRC}) - PD^{PLAN}(t_{SRC})\right)\right) \quad (39)$$

次に式(３６)に従って最大充放電電力を超えない範囲に補正する。

$t_{SRC}$

での最大充電電力までの余力を

$C_{SRC}^{max}$

、

$t_{DST}$

での最大放電電力までの余力を

$C_{DST}^{max}$

とする。

$$C_{SRC}^{max} = PS_b(t_{SRC}) - \underline{PS_b} \quad (40)$$

$$C_{DST}^{max} = \frac{\overline{PS_b} - PS_b(t_{DST})}{\alpha_b \alpha_b'} \quad (41)$$

このとき、式(３６)を満たす最大のＣは次式によって与えられる。

$$C'' = \begin{cases} C_{SRC}^{max} & if \; (C' > C_{SRC}^{max}) \wedge (C_{DST}^{max} > C_{SRC}^{max}) \\ C_{DST}^{max} & if \; (C' > C_{DST}^{max}) \wedge (C_{SRC}^{max} > C_{DST}^{max}) \\ C' & otherwise \end{cases} \quad (42)$$

最後に式(４３)に従って充放電期間内の蓄電量が蓄電容量を超えないように補正する。

$$t_{max} := \underset{t_{SRC} \le t \le t_{DST}}{\arg\max} \left( ES_b^{PLAN}(t) \right) \tag{43}$$

$$C = \begin{cases} C'' & C'' < \dfrac{\overline{ES_b} - ES_b^{PLAN}(t_{max})}{\alpha_b \alpha_b' \tau} \\ \dfrac{\overline{ES_b} - ES_b^{PLAN}(t)}{\alpha_b \alpha_b' \tau} & \text{otherwise} \end{cases} \tag{44}$$

ここで、τは時区間の長さを表す。C>0なら以下のようにCだけ充放電を行うように計画を修正する。

[0081] 充電：

$PD^{PLAN}(t_{SRC})$

と

$PS_b^{PLAN}(t_{SRC})$

をCだけ減らす。すなわち、これは時区間

$t_{SRC}$

において

$PS_b^{PLAN}(t_{SRC})$

を変えることなく蓄電池にCだけ放電することを意味する（式（３２）参照）。

$$PS_b^{PLAN}(t_{SRC}) := PS_b^{PLAN}(t_{SRC}) - C \tag{45}$$

$$PD^{PLAN}(t_{SRC}) := PD^{PLAN}(t_{SRC}) - C \tag{46}$$

放電：時区間

$t_{DST}$

で蓄電池からCに放充電効率をかけた分だけ放電を行う。

$$PS_b^{PLAN}(t_{DST}) := PS_b^{PLAN}(t_{DST}) + \alpha_b \alpha_b' C \tag{47}$$

$$PD^{PLAN}(t_{DST}) := PD^{PLAN}(t_{DST}) + \alpha_b \alpha_b' C \tag{48}$$

[0082] [Step 4.]

$\mathcal{T}_{SRC} := \mathcal{T}_{SRC} - \{t_{SRC}\}$

とし、

$\mathcal{T}_{SRC} = \phi$

であればStep 5.へ、そうでなければStep 2.に戻る。

[Step 5.]

$\mathcal{T}_{DST} := \mathcal{T}_{DST} - \{t_{DST}\}$

とし、

$\mathcal{T}_{DST} = \emptyset$

であればアルゴリズムを終了する。そうでなければ、Step 1.に戻る。

なお、このアルゴリズムで求められる蓄電計画の最大値

$\max ES_b^{PLAN}(t)$

は対象とする需要家における必要最小限の蓄電容量を表す。また、アルゴリズムで計算された放充電計画

$PS_b^{PLAN}(t)$

における正・負の最大勾配は、必要とされる蓄電池の最大充電・放電電力を表しており、これらの値から需要家が必要とする蓄電池の仕様が設計できる。

なお、この際、計画段階では

$ES_b = \infty$

と選定し不満足度最小化を行うことで、それぞれの電力使用予測パターンで不満足度を最小にするために必要な蓄電池の最適容量も求めることができる。

[0083] 電源負荷率による電源の特性記述の定義

従来の単一電源ＥｏＤでは、どの家電へどれだけの供給電力を割り当てるかを家電の優先度に基づいて調停していたが、本研究で提案する複数電源対

応ＥｏＤでは、それと同時にどの電源から電力供給を行うかを調停する必要がある。

そこで、各電源の特性や状態に基づいて、各電源にどれだけの負荷がかかっているかを表す指標として電源負荷率（ＬＦ）を導入した。図２５に示すように電源負荷率をその電源からの供給電力に対する関数として次式のように定義する。図２５の（ａ）は供給電力が商業電力、図２５の（ｂ）は供給電力が蓄電池の場合である。

$$LF_s(p) = \begin{cases} 1 & \text{if } p > \overline{PS_s} \\ \frac{2}{\pi}\tan^{-1}\left(\beta_s \frac{p - T_s}{\overline{PS_s} - PS_s(t)}\right) & \text{if } \underline{PS_s} \le p \le \overline{PS_s} \\ -1 & \text{if } p < \underline{PS_s} \end{cases} \qquad (49)$$

ただし、Ｔｓは電源ｓの目標電力であり初期状態では前節で述べた電力供給計画値と同じ

$$T_s = PS_s^{PLAN}(t)$$

であるが、後で述べる定期起動プロセスによって電力の使用実績に応じて補正する。また、βｓは関数の傾きを決める設定パラメータである。

[0084] 供給電力が目標電力Ｔｓと一致しているとき、電源負荷率は０となり、供給電力が目標電力より大きくなるほど電源負荷率は大きくなる。つまり、電源負荷率が低い電源ほど供給できる電力の余力が大きく、新しい電力要求に対して優先的に電力供給を行えることを表している。

また、ここで定義した電源負荷率を家電の電力要求との調停に用いる。家電からの要求電力の優先度が電源負荷率よりも高ければ電力供給を行い、電源負荷率よりも低い優先度の要求は棄却する。

これによって、総消費電力が目標値Ｔｓを超えるような電力要求を、単にすべて棄却する制御を行うと、大きな電力を必要とする要求が計画時に予測した電力ピークより早い時刻に要求された場合に、計画通りに大きく電力を削減してユーザに不便を強いていた。これに対して、電源負荷率を用いた本手法では、電力要求の優先度が高ければ目標値を超える場合でも電源の余力にあわせて電力供給を行うというように柔軟な調停が実現できる。

[0085] このような家電の電力調停との関係から、電源負荷率関数の傾きは目標値をどれだけ厳密に維持するかを表しており、式(４９)では各電源の積算供給電力量

$ES_s(t)$

が上限値

$\overline{ES_s}$

に近づくほど傾きが急になり、より厳密に目標値を維持するように設計している。また、供給電力が目標値以下のとき電源負荷率は負の値をとるため、優先度が０以下の電力要求は、供給電力が目標値以下のときのみ電力供給が行われる。

以上の定義より電源負荷率を用いた電源-家電調停アルゴリズムは次の二つの条件を満たす必要がある。

$$\sum_{a\in A} PD_a^{REQ} = \sum_{s\in S} PS_s^{RES}, \tag{50}$$

$$\forall a \in A, \forall s \in S : \mathrm{Pri}_a\left(\mathrm{PD}_a^{\mathrm{REQ}}\right) \geq \mathrm{LF}_s\left(\mathrm{PS}_s^{\mathrm{REQ}}\right) \tag{51}$$

ただし、

$PD_a^{REQ}$

、

$Pri_a(PD_a^{REQ})$

は家電ａに割り当てられた電力とその優先度をそれぞれ表し、

$PS_s^{RES}$

は電源ｓからの供給電力を表す。式（５０）は総使用電力と総供給電力が一致するという物理的制約を表し、式（５１）は優先度が電源負荷率以上の電力要求のみ電力を供給することを表す。

[0086] リアルタイム調停

ＥｏＤシステムにおける３つのリアルタイム調停プロセスを複数電源の調

停に拡張する方法について述べる。基本的な考え方は、（１）イベント駆動プロセスにより電力要求メッセージを受け取る度に調停を行い、（２）定期起動プロセスによって計画と電力使用実績のずれをフィードバックすることである。また（３）常時監視プロセスによって消費電力の総和が最大瞬時電力を超えないように監視する。以下それぞれのプロセスについて詳細を述べる。

[0087] （１）イベント駆動プロセス（イベントドリブンプロセス）による電力要求の調停

イベント駆動プロセスの目的は家電から送られてくる電力要求メッセージに対して、電源の目標電力Ｔｓに従って、電力供給の可否を決定することである。本研究では、家電のスイッチのON/OFF、ドライヤーの弱と強などの大きな電力変動を伴う動作モードの変更を家電のイベントとし、このタイミングで電力要求メッセージを発行する。

具体的な電源-家電調停アルゴリズムを図２６を基に以下に述べる。現在動作中の家電と、新たな電力要求を受信したがまだ未調停の家電の集合を調停対象家電Ａとし、家電

$a \in A$

の割当電力（動作中の場合）あるいは要求電力

$PD_a^{REQ}$

（新規要求家電の場合）、割当電力ｐに対する家電ａの優先度を

$Pri_a(p)$

、電源の集合を

$S = \{b, c\}$

、供給電力ｐに対する電源ｓの電源負荷率を

$LF_s(p)$

と表す。

[0088] [初期化]

$\sum_{a\in A} PD_a^{REQ} < \sum_{s\in S} T_s$

を満たす場合、新たな要求を起こした家電に対して電力を供給して調停プロセスを終える。そうでない場合は物理的制約式（５０）に従い、

$\sum_{a\in A} PD_a^{REQ}$

から各電源の供給電力の初期値

$PS_s^{RES}$

を以下のように求める。

$$PS_s^{RES} = T_s + \frac{1}{|S|}\left(\sum_{a\in A} PD_a^{REQ} - \sum_{s\in S} T_s\right) \quad (52)$$

[0089] [Step 1.]

最小の優先度を持つ家電

$a_{min} \in A$

と最大の電源負荷率を持つ電源

$s_{max}$

を選ぶ。

$$a_{min} = \arg\min_{a\in A} Pri_a(PD_a^{REQ}) \quad (53)$$

$$s_{max} = \arg\max_{s\in S} LF_s(PS_s^{RES}) \quad (54)$$

[0090] [Step 2.]

$Pri_{a_{min}}(PD_{a_{min}}^{REQ}) \geq LF_{s_{max}}(PS_{s_{max}}^{RES})$

を満たしている場合、優先度に関する制約式（５１）を満たしているためアルゴリズムを停止する。そうでなければStep 3. を実行する。

[0091] [Step 3.]

$a_{min}$

への供給電力を

$s_{max}$

家電の可能性に従って削減する。（電力要求を待機させる／稼働中家電を一時停止させる／割当電力を削減する。）削減した

$c_{min}$

への供給電力を

$PD_{c_{min}}^{NEXT}$

とし、

$c_{max}$

の供給電力と

$c_{min}$

要求電力を以下のように更新する。

$$PS_{c_{min}}^{RES} := PS_{c_{min}}^{RES} - \left(PD_{c_{min}}^{REQ} - PD_{c_{min}}^{NEXT}\right), \quad (55)$$

$$PD_{c_{min}}^{REQ} := PD_{c_{min}}^{NEXT}, \quad (56)$$

$c_{min}$

を待機あるいは一時停止させた場合、

$c_{min}$

を調停対象家電Ａから取り除く。また、割当電力を削減した場合は割当電力と優先度を更新した後、Step 1．に戻る。

[0092] 上記のアルゴリズムでは家電に電力削減、一時停止などの電力割当メッセージを送りながら調停を行っているが、実際には電力割当メッセージを送信してから家電の動作モードが変わり電力が変動するまでに通信／制御遅延が生じるため、上記のアルゴリズムをシミュレーションによって仮想的に行い、式(５０)、（５１)の条件を満たす状態でアルゴリズムが停止した後、各家電への電力割当メッセージおよび各電源の供給電力の指令を送信する。

また、待機／一時停止させられた家電は一定時間経過後により高い優先度で再度電力要求メッセージを発行し調停を行うことで、供給電力に余力ができたときや、優先度が電源負荷率より高くなったときに電力割当を受けることができる。

[0093] （２）定期起動プロセスによる目標値の補正と再調停

ＥｏＤシステムでは、事前に予測電力使用パターンに基づいて作成した電力使用計画、電力供給計画にもとづいて電力調停を行う。しかし、実際の生活者の行動パターンは日によって異なるため、完全に計画と一致させることはできない。

また、各家電が動作モードの変更などによって大きく電力を変更させるときに、電力要求メッセージを発行してイベント駆動プロセスで調停を行うが、実際の家電は明確な動作モードの変更を伴わない小さな電力変動が絶えず発生するため、各家電に割り当てた電力と実際に消費した電力のずれにより需給バランスがくずれて式(５０)、(５１)の制約を満たさなくなる場合がある。そこで、定期起動プロセスでは電力使用計画と電力使用実績とのずれを補正するとともに需給バランスの再調停を行う。

[0094] まず計画の補正について述べる。イベント駆動プロセスで用いる各電源の供給電力の目標値

$T_s \quad (s \in \{c, b\})$

は、初期状態では供給計画に従って

$T_s = PS_s^{PLAN}(t)$

として与える。定期起動プロセスでは、この目的値を実際の供給電力の実績値をもとに次式のように更新する。

$$T_s = \begin{cases} \overline{PS_s(t)} & \text{if } T_s' > \overline{PS_s(t)} \\ \underline{PS_s(t)} & \text{if } T_s' < \underline{PS_s(t)} \\ T_s' & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (57)$$

$$T_s' = T_s - \frac{t_{now}}{T}\left(ES_s(t_{now}) - ES_s^{PLAN}(t_{now})\right) \qquad (58)$$

ここで、

$\frac{t_{now}}{T}$

はフィードバックゲインの役割を果たし、計画期間の終盤になるほど大きくなり、より厳密に計画を守るように補正される。

$ES_i(t)$

は電源が時刻までに供給した積算電力量であり、

$ES_i^{plan}$

は電力の供給計画の時刻までの積算量を表している。また

$\frac{1}{T}$

はフィードバックゲインに相当し、終了時刻に近づくにつれてフィードバックゲインが大きくなり、より早く計画地値に近づくように制御する。

[0095] 次に需給バランスの再調停について述べる。実際の家電の消費電力は常に細かく変動しており、常に調停時の割当電力通りに消費するわけではない。そのため式(５１)の条件を満たさなくなる場合がある。なお、物理的には総消費電力と総供給電力は常に一致するため、総消費電力の変動に対して、すべての電源が調停時に割り当てた供給電力を維持することはできない。本発明では、蓄電池は割り当てられた電力を常に維持するように制御し得るものとし、このような電力要求を伴わない電力変動分は商用電源が吸収するものとする。

ここで、実消費電力が割当電力より大きかった場合、目標値Ｔｓ対して、式（５１）を満たさなくなる可能性がある。このときは（１）で述べた家電・電源間調停を再度行う。逆に調停時の割当電力より電力を使用しなかった場合は電力に余裕ができ、電力を削減、停止、待機させられた家電に電力を割り当てることが可能であるが、このような家電は（１）で述べたように一定時間ごとに再要求を行い調停されるため、定期起動プロセスでは特に再調停を行う必要がない。

[0096] （３）常時監視プロセスによる最大瞬時電力の監視

（２）でも述べたように、本発明では、蓄電池は割り当てられた電力を常に維持するように制御できるものとし、電力要求を伴わない電力変動分は商用電源が吸収する。すると、このような電力変動の影響によって商用電源の供給電力が最大瞬時電力



を超える可能性がある。そこで常時監視プロセスでは、商用電源の供給電力を常に監視し、最大瞬時電力を超えそうになると（１）と同様の調停を行い電力を削減する。なお式(４９)に示したように、供給電力が最大瞬時電力



を超える場合には、電源負荷率は最大値である１となるので、どのような優先度の家電に対しても供給電力が最大瞬時電力以下となるまで優先度が低い順に家電の電力を削減することになる。

[0097] 実施例

（実験結果）

実験では、機器ごとに電力消費を計測できるスマートアパートで一人暮らしの学生と、二人暮らしの夫婦が、それぞれ１日実際に生活したときの消費電力データを用いて、電力使用計画、供給計画の作成と、シミュレーションによる調停を行った。また、従来の単一電源ＥｏＤとの比較をシミュレーション実験した。

[0098] （実験環境）

電力使用計画の作成に用いる予測使用電力パターン、及びリアルタイム調停のための電力要求データとして、スマートアパートで実際に生活した電力消費パターンを使用した。スマートアパートは図５に示すように、リビングルームが１部屋、ダイニングキッチンが１部屋、寝室が一部屋、トイレ及び浴室をそれぞれ１ずつ備えた１又は２人用である。

そして該スマートアパートには図２７に示す１９種類の家電が設置され、その全てにスマートタップを取り付け、家電ごとの消費電力を０．５秒ごとに計測、収集できる。単身被験者が１日２４時間生活したデータと、１組の夫婦が同じく生活したデータを実データとして用いた。

[0099] シミュレーションにおいて、リアルタイムの調停は、実生活データから各家電を使用した時刻と動作モードを検出し、同じ時刻に同じ家電から電力要求を行ったものとして調停を行った。このとき、ポットなどのように電力を

削減すると一定の機能を果たすために使用時間が長くなる家電については、稼働中の積算電力量が同じになるように使用時間（電力要求を行う時間）をのばし、照明のように使用したい時間が決まっている家電は電力削減や停止をおこなっても使用時間が変わらないようにした。

[0100] 図２７に実験に使用した家電とその可制御性を示す。なかでもポット、コーヒーメーカー、炊飯器及び食洗機は、積算電力量が一定になるように電力要求を行う家電を表し、その他の家電は要求時間が一定になるように電力要求を行う家電を表している。

電力調節可能家電は、調停によって割り当てる電力を要求電力から削減可能であり、電力を削減されるほど優先度が高くなる。待機可能家電は電力要求を行ってから電力の割当を受けるのを一定時間待つことができ、待機時間が長くなるほど優先度が高くなる。一時停止可能家電は、稼働中に調停によって停止させることができる家電であり、停止時間が長くなるほど優先度が高くなる。

[0101] （事前計画段階） 一人暮らしと二人暮らしの１日分の消費電力データを１０分ごと（τ＝１０分）に求め、それぞれ電力使用予測Ｄ（ｔ）として用い、電力使用計画と電力供給計画を作成した結果を従来のＥｏＤ制御システムと比較する。このとき、商用電源の制約として、最大瞬時電力を一人暮らしの場合は

$\overline{PS_c(t)} = 500\mathrm{W}$

、二人暮らしの場合は

$\overline{PS_c(t)} = 1000\mathrm{W}$

とし、積算電力量のシーリング

$\overline{ES_c}$

をそれぞれの電力使用量に対して１５％削減とした。

また蓄電池の特性として、蓄電容量を

$\overline{ES_b} = 1000\mathrm{Wh}$

、最大充放電電力をそれぞれ

$\underline{PS_b} = -1000W$、$\overline{PS_b} = 1000W$

、充放電効率をそれぞれ

$\alpha_b = \alpha'_b = 0.83$

とした。

[0102] 作成した電力使用計画を図２８に示す。図２８の最も高い値を示す線は予測消費電力Ｄ（ｔ）、昼頃から夜にかけて最も低い値を示す線は蓄電池を用いない従来のＥｏＤで作成した電力使用計画、昼頃に中間の値を示し、かつ明け方から午前にかけて最も低い線は本発明による電力使用計画を表す。またこのときの蓄電池の充放電計画を図２９に示す。

これらの結果から、従来のＥｏＤでは予測消費電力が最大瞬時電力を超える時間帯で電力使用計画が大きく削減されているのに対して、本発明によると電力要求の小さな時区間で蓄電池に充電し、その電力を電力要求の大きな時間帯で放電することで、小さな削減幅となり、予測消費電力に近い電力使用計画となっており、不満足度を抑えられていることが分かる。

[0103] （電力使用計画に基づく蓄電池設計）

このときに蓄電池に充電されている電力（蓄電計画）を図３０に示す。この蓄電計画の最大値より、一人暮らしの生活パターンに必要な蓄電容量は約３００Ｗｈ、二人暮らしでも４１１．２Ｗｈで十分だということがわかる。

このようにして、消費電力パターンに対して最適な蓄電池の設計を行い、最適な蓄電池の容量を決定する。

[0104] 次に、蓄電池の最大充放電電力を決定する。充放電電力は、蓄電池の電力供給計画（充放電計画）の最大値（最大放電電力）、最小値（最大充電電力）から決定できる。ただし、電力使用計画、供給計画はτごとの平均電力を基に作成するため、τ以下の間隔で発生したピーク電力が平均化され小さくなってしまう。そこで、τごとに電力使用計画値と商用電力の電力供給計画値をτ時間内の電力使用予測の大きさの比に従って分配し、それらの差を充放電電力とした。なお、このとき商用電力が最大瞬時電力を超えないように

分配した。

図２８にて示す場合において、蓄電池のτごとの最大放電電力（正の数）と最大充電電力（負の数）を図２９に示す。この図２９において値が高い線が電力使用予測であり、値が低い線は充放電計画である。

この結果より、一人暮らしの場合で１４００W、二人暮らしの場合で２０００Wの最大電力使用計画であるところ、これに対して、蓄電池の最大放電電力についてはこれより低くどちらも５００Wで十分であることが分かる。

[0105] （２人暮らしの場合）

（電力要求に対する調停結果の比較）

２人暮らしの場合について、実際の電力要求に対する調停のシミュレーション実験を行った。このときの電力要求として、計画作成時に使用した実際の生活の電力消費パターンを２時間だけ早めたデータを用いた。またこのときの最大瞬時電力、シーリングは上記条件と同様とし、電力使用計画、供給計画も上記に示した計画を用いた。

本発明の蓄電池システムによる調停結果を図３１に、従来のＥｏＤ制御システムによる調停結果を図３２にそれぞれ示す。これらの図中の電力値が高い線は要求電力、電力値が低い線は調停の結果使用した電力、中間の線は電力使用計画を表している。

[0106] この結果から、従来のＥｏＤ制御システムでは目標値を越える場合に電力供給が出来ないために、最大瞬時電力以上の要求電力が全て棄却されて割当電力が大きく削減され、電力要求のピークが現れる場合に対応できていないのに対して、本発明は早い時間帯では目標値以上の電力が供給されていることがわかる。また従来のＥｏＤ制御システムでは１０００Wを越える電力要求が全て棄却されているのに対して、本発明では１０００W以上の電力が供給されていることが分かる。

また予測電力パターンより早い時刻に消費電力のピークが生じた場合、従来手法では電力計画以上の電力を割り当てることができないために、割当電力が大きく削減されているのに対し、本発明では電源負荷率により調停条件

を緩和したことで、早い時間に生じた電力ピークにも対応できていることがわかる。

[0107] （ピークカットに対する不満足度の変化）

ピークカットに対する蓄電池の有効性を示すために、商用電源に対する最大瞬時電力の値が変化したときの不満足度の変化を調べた。商用電源の最大瞬時電力を

$$300W \le \overline{PS_c(t)} \le 1500W$$

の範囲で２０Ｗずつ変化させ、計画作成、調停シュミレーションを行った。

このとき電力要求に対してどれだけ電力を供給できたかを不満足度の値によって評価し、ピークカットに対する有効性を評価するために、商用電源の最大瞬時電力の値を変化させたときの不満足度ＤＳ（ＰＤ）と商用電源の電力変動を平準化率（Flattening Factor）によって調べた結果を図３３に示す。

平準化率は最大電力に対する平均電力の比として以下の式（５９）で評価した。

$$FF = \frac{\frac{1}{|T|}\sum_t^T PS_c(t)}{\max_{t \in T} PS_c(t)} \qquad (59)$$

図３３（ａ）は従来のＥｏＤ制御システムの結果を示し、図３３（ｂ）、は蓄電池を用いた本発明の結果を示す。従来のＥｏＤ制御システムは最大瞬時電力が８４０Ｗを下回ると、上の線で示される不満足度が急激に大きくなると共に、平準化率が低下して、商用電源からの最大瞬時電力が低下する。

[0108] これに対して、蓄電池を用いた本発明では、商用電源の最大瞬時電力が小さな場合でも、比較的不満足度を低く保つことが出来ることが分かる。これにより、本発明では最大瞬時電力を小さくしても快適な生活を維持出来ることが分かる。

なお、従来のＥｏＤ制御システムにおいて８４０Ｗで急激に不満足度が増加したのは、要求電力が大きい家電（コーヒーメーカー）が最大瞬時電力を

超え、全く使用することができなかったためである。

図３４に従来のＥｏＤシステムにおける最大瞬時電力が８６０Wと８４０Wのときの調停結果を示す。このときに従来のＥｏＤシステムにおける平準化率が同時に大きく減少しているのは、コーヒーメーカーが待機を続けて優先度が上昇し、それより優先度が低い他の家電も使用できなくなり、全体の平均電力が大きく減少したためである。

このことからも，従来手法では最大瞬時電力８４０W以下ではまともな生活ができないと考えられる。

[0109] （１人暮らしの場合）

（電力要求に対する調停結果の比較）

上記の２人暮らしの場合と同様に１人暮らしの場合についても電力要求に対する調停結果を比較した。このときの電力要求も、２人暮らしの場合と同様に、計画作成時に使用した実際の生活の電力消費パターンを２時間だけ早めたデータを用いた。またこのときの最大瞬時電力、シーリングは上記条件と同様とし、電力使用計画、供給計画も上記に示した計画を用いた。

本発明の蓄電池システムによる調停結果を図３５に、従来のＥｏＤ制御システムによる調停結果を図３６にそれぞれ示す。これらの図中の電力値が高い線は要求電力、電力値が低い線は調停の結果使用した電力、中間の線は電力使用計画を表している。

[0110] この結果から、従来のＥｏＤ制御システムでは目標値を越える場合に電力供給が出来ないために、最大瞬時電力以上の要求電力が全て棄却されて割当電力が大きく削減され、電力要求のピークが現れる場合に対応できていないのに対し、本発明では早い時間帯で目標値以上の電力が供給されていることがわかる。また従来のＥｏＤ制御システムでは５００Wを越える電力要求が全て棄却されているのに対して、本発明では５００W以上の電力が供給されていることが分かる。

[0111] （ピークカットに対する不満足度の変化）

ピークカットに対する蓄電池の有効性を示すために、２人暮らしの場合と

同様に、商用電源に対する最大瞬時電力の値が変化したときの不満足度の変化を調べた。商用電源の最大瞬時電力を

$$300W \le \overline{PS_e(t)} \le 1500W$$

の範囲で２０Ｗずつ変化させ、計画作成、調停シュミレーションを行った。

このとき電力要求に対してどれだけ電力を供給できたかを不満足度の値によって評価し、ピークカットに対する有効性を評価するために、商用電源の最大瞬時電力の値を変化させたときの不満足度ＤＳ(ＰＤ)と商用電源の電力変動を平準化率（Flattening　Factor）によって調べた結果を図３７に示す。

平準化率は最大電力に対する平均電力の比として以下の式（６０）で評価した。

$$FF = \frac{\frac{1}{|T|}\sum_t^T PS_e(t)}{\max_{t \in T} PS_e(t)} \qquad (60)$$

図３７（ａ）は従来のＥｏＤ制御システムの結果を示し、図３７（ｂ）、は蓄電池を用いた本発明の結果を示す。２人暮らしの場合とは異なり、従来のＥｏＤシステムにおいては、最大瞬時電力が７８０Ｗ及び４００Ｗよりもそれぞれ低くなると、上の線で示される不満足度が急激に大きくなり、平準化率が若干低下するが大きくは変化せず、商用電源からの最大瞬時電力も大きくは低下しない。

これに対して、蓄電池を用いた本発明では不満足度がほとんど変化せず、特に、商用電源の最大瞬時電力が小さな場合でも、大きい場合と同程度である。そして、最大瞬時電力が小さくなるほど平準化率が高くなることが分かる。

[0112] 比較例１

２人暮らしを想定し、オンデマンド型電力制御を行わずに、商用電源（系統電源）から供給される最大瞬時電力を７００Ｗとし、商用電源から供給される瞬時電力と蓄電池から供給される瞬時電力の和が最大で１５００Ｗとす

ることを条件とし、そのために必要な蓄電池の容量を求めた。その求めた容量を有する蓄電池を、商用電源と共に使用して、２人暮らしの部屋に設置された家電機器に対して電力を供給した。その結果を図３８に示す。

図３８において、３本の線のうち、１２時頃、２１時頃に最も高い値を示している線は予測された使用電力の推移を示す。そして明け方と１１時から１７時、２１時前後にフラットになる線は商用電源から供給された電力の推移を示す。さらに明け方に最も低く、その後１１時頃までフラットで有る線は蓄電池の放充電による電力を示す。

この図３８にて示される瞬時電力の推移とするために必要な蓄電池の容量を求める考え方を図３９に示す。図３９においては午前中に充電された電力がその後の必要とする瞬時電力の増大につれて放電され、１５時には一時的に完全に放電されたことが理解できる。仮に完全に放電されないのであれば、蓄電池に必要な容量を削減できるが、一時的に完全に放電されるような蓄電池の容量が、蓄電池に必要な最低限の容量である。

この結果、この例において蓄電池に必要な最低限の容量は１８１２Ｗｈとなる。

[0113] 比較例２

２人暮らしを想定し、オンデマンド型電力制御を行わずに、蓄電池容量を４１１．２Ｗｈとし、商用電源から供給される瞬時電力と蓄電池から供給される瞬時電力の和が最大で１５００Ｗとすることを条件とし、ピーク電力が最小となるように最適化した。この例において蓄電池容量は図３０の例に基づき求めた容量である。その容量を有する蓄電池を、商用電源と共に使用して、２人暮らしの部屋に設置された家電機器に対して電力を供給した。その結果を図４０に示す。

図４０において、３本の線のうち、１２時頃に最も高い値を示している線は予測された使用電力の推移を示す。そして夜中１時過ぎに高い値を示し１２時頃にフラットになる線は商用電源から供給された電力の推移を示す。これらの時間以外の時間は予測使用電力と商用電源とは同じ瞬時電力で推移す

る。さらに夜中０時頃に最も低く、その後１１時頃までフラットで、１２時前後に小さいピークを有する線は蓄電池の放充電による電力を示す。この図４０から解るように商用電源から供給される瞬時電力のピークは１１０４Ｗと上記比較例１の結果よりもより高い電力を要することになった。

この図４０に示す例にて用いた蓄電池の充電量の推移を図４１に示す。図４１においては午前中に充電された電力が、１２時頃の瞬時電力の増大につれて放電され、１３時頃には完全に放電を終了し、その後夜中の０時過ぎまで充電されることはない。この例によれば、蓄電池の容量は明らかに不足し、昼頃のわずかな時間にのみ放電できるに過ぎない。

[0114] 比較例３

２人暮らしを想定し、オンデマンド型電力制御を行わずに、蓄電池容量を１０Ｗｈから４０００Ｗｈまで１０Ｗｈ毎に変更し、各蓄電池容量における最大瞬時電力をそのピーク電力が最小となるように最適化して求めた。商用電源から供給される瞬時電力と蓄電池から供給される瞬時電力の和が最大で１５００Ｗとすることを条件とし、ピーク電力が最小となるように最適化した。その結果を図４２に示す。

この図４２において、蓄電池容量が１８１２Ｗｈ及び４１１．２Ｗｈの場合の最大瞬時電力の値は、それぞれ上記比較例１及び２の結果に対応する。しかしながら、本発明のようにオンデマンド型電力制御を行いつつ商用電源と蓄電池を制御することにより、蓄電池容量が４１１．２Ｗｈであっても最大瞬時電力が７００Ｗと極めて低い電力に留まることが解る。

[0115] （まとめ）

本発明の蓄電池システムは、ＥｏＤ制御システムを、蓄電池を含む複数電源に拡張し、様々な生活パターンに応じた電源制御を行い得るものである。そして適切な蓄電池容量の設計、及び充放電管理システムとすることができる。複数電源としては、商用電源と蓄電池以外の電源（太陽光発電、ガス発電など）や電気自動車を用いた場合に拡張することができる。

# 請求の範囲

[請求項1] 複数の電源と、複数の電気機器と、その電気機器に接続されているスマートタップと、

メモリを備える電気機器の電力の供給制御を行う複数電源管理装置と、該複数電源管理装置が上記スマートタップを介して接続するネットワークとを備えるオンデマンド型複数電源管理システムであって、前記複数電源管理装置は、商用電源の電力使用計画を蓄電器の供給計画の初期値とし、その初期値の時間帯毎との不満足度が最大の時間帯を探索してタイムシフト先とし、上記不満足度が最小の時間帯を探索してタイムシフト元とし、上記タイムシフト先の不満足度が、タイムシフト元の不満足度より小さくなるまで処理を繰り返すことで、電力供給計画を生成する電力供給計画生成手段と、

電力を要求した電気機器と動作中の電気機器から優先度が最小となる機器と、電源負荷率が最大となる電源を選択し、電気機器の電力を削減あるいは停止するとともに、削減する電力だけ電源の供給電力を削減する処理を以下の式（１）と式（２）を満たすまで繰り返し、両式を同時に満たすように調停する調停手段とを備えることを特徴とするオンデマンド型複数電源管理システム。

$$\forall a \in A, \forall s \in S : \mathrm{Pri}_a\left(\mathrm{PD}_a^{\mathrm{REQ}}\right) \geq \mathrm{LF}_s\left(\mathrm{PS}_s^{\mathrm{REQ}}\right) \qquad (1)$$

$$\sum_{a \in A} PD_a^{REQ} = \sum_{s \in S} PS_s^{ASS} \qquad (2)$$

[請求項2] 前記複数の電源が、商用電源と蓄電器、電気自動車の蓄電器、太陽光発電の少なくとも一つの電源との組み合わせからなることを特徴とする、請求項１に記載のオンデマンド型複数電源管理システム。

[請求項3] 前記生成された電力供給計画が前記蓄電池の最適容量であることを特徴とする請求項２に記載のオンデマンド型複数電源管理システム。

[請求項4] 複数の電源と、複数の電気機器と、その電気機器に接続されている

スマートタップと、メモリを備える電気機器の電力の供給制御を行う複数電源管理装置と、該複数電源管理装置が上記スマートタップを介して接続するネットワークとを備えるオンデマンド型複数電源管理システムにおける上記複数電源管理装置として、コンピュータを動作させるプログラムであって、

前記複数電源管理装置が、商用電源の電力使用計画を蓄電器の供給計画の初期値とし、その初期値の時間帯毎との不満足度が最大の時間帯を探索してタイムシフト先とし、上記不満足度が最小の時間帯を探索してタイムシフト元とし、上記タイムシフト先の不満足度が、タイムシフト元の不満足度より小さくなるまで処理を繰り返すことで、電力供給計画を生成する処理と、

電力を要求した電気機器と動作中の電気機器から優先度が最小となる機器と、電源負荷率が最大となる電源を選択し、電気機器の電力を削減あるいは停止するとともに、削減する電力だけ電源の供給電力を削減する処理を以下の式（１）と式（２）を満たすまで繰り返し、両式を同時に満たすように調停する処理を行うことをコンピュータに実行させるプログラム。

$$\forall a \in A, \forall s \in S : \mathrm{Pri}_a\left(\mathrm{PD}_a^{\mathrm{REQ}}\right) \geq \mathrm{LF}_s\left(\mathrm{PS}_s^{\mathrm{REQ}}\right) \qquad (1)$$

$$\sum_{a \in A} PD_a^{REQ} = \sum_{s \in S} PS_s^{REQ} \qquad (2)$$

[請求項5] 請求項４に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。