

オンデマンド型電力制御システムのための 蓄電池設計と充放電管理

田村 健人[†] 加藤 丈和^{††} 松山 隆司[†]

[†] 〒 606-8501 京都市左京区吉田本町 36-1 京都大学大学院情報学研究科

^{††} 〒 606-8501 京都市左京区吉田本町 36-1 京都大学学術情報メディアセンター

E-mail: †{ktamura,tkato,tm}@vision.kuee.kyoto-u.ac.jp

あらまし 我々は、家電の優先度制御によって、生活の質を出来る限り保ちつつ、設定した電力の上限内に電力を制御するオンデマンド型電力制御システムの研究・開発を行ってきた。本稿では、オンデマンド型電力制御システムを複数電源に拡張し、ユーザの電力消費パターンに対して適応的に充放電管理を行う蓄電池の管理手法と、それを用いて生活者の電力消費パターンに適した蓄電池を設計する方法を提案する。

キーワード エネルギーの情報化、オンデマンド型電力制御システム、蓄電池管理、ホームエネルギーマネジメントシステム (HEMS)

Storage Battery Design and Charge-Discharge Management for the Energy on Demand System

Kento TAMURA[†], Takekazu KATO^{††}, and Takashi MATSUYAMA[†]

[†] Graduate School of Informatics, Kyoto University, 36-1 yoshidahonmachi sakyo-ku kyoto-shi, 606-8501, Japan

^{††} Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University, 36-1 yoshidahonmachi sakyo-ku kyoto-shi, 606-8501, Japan

E-mail: †{ktamura,tkato,tm}@vision.kuee.kyoto-u.ac.jp

Abstract We have developed a novel energy management method named Energy on Demand (EoD) for a single power source [1], [2]. This paper proposes extension of the EoD for multiple power sources and an adaptive storage battery management method based on the EoD. The novelty of the method rests in the demand-based battery capacity design and dynamic charge/discharge control. The effectiveness of the proposed method has been proved with experiments using real life data in the smart apartment room.

Key words i-Energy, Energy on Demand, storage battery management, home energy management system (HEMS)

1. はじめに

我々は、現在の中央集中型の電力ネットワーク管理に対して、電力ネットワークと情報通信ネットワークを統合した、分散・双方向型のエネルギー管理基板として「エネルギーの情報化 [3]」というコンセプトを提唱し、研究開発をおこなっている。また、その中核技術として「オンデマンド型電力制御システム (Energy on Demand: 以下 EoD) [1], [2]」と呼ぶ、家電の動的優先度制御によって、生活者の電力使用パターンに柔軟に適応して生活の質を維持しつつ、生活者が設定した電力削減率を必ず達成する、需要家サイド電力管理システムを提案して

いる。この中で、商用電源のみの家庭に対する EoD について述べ、家電同士の調停アルゴリズムを提案した。本稿では、この EoD を複数の分散電源に拡張し、特に蓄電池の管理について、様々な生活パターンに対して効率的かつ適応的な充放電管理手法と、そのための蓄電池の容量、出力の設計方法を提案する。

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維持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、中央集約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。実際、現在の我が国では 2011 年 3 月 11 日の東日本大震災震災に端

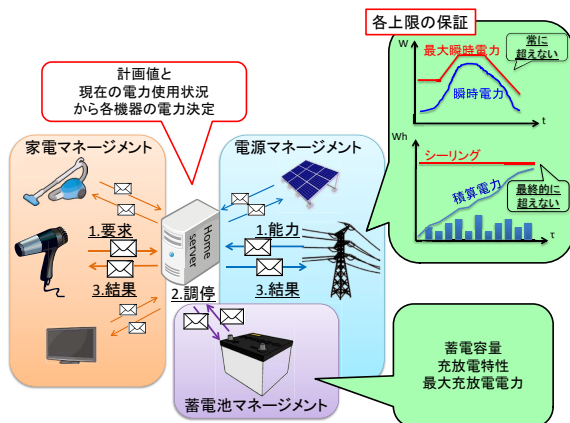


図1 オンデマンド型電力制御システムの概要

を発生する電力の供給不足により、電力需要のピーク時には節電要請や計画停電が行われるほど、需給バランスの逼迫は身近かつ深刻な問題である。

このような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がある。

そのような問題に対して、本研究では我々が提案している「オンデマンド型電力制御システム」に基づいて、蓄電池を含めた電力管理を行うことで、あらかじめ学習した生活者の電力使用パターンに合わせた電力使用計画、充放電計画を立てて、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を実現する。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、生活者にとって最適な蓄電容量、充放電出力を設計する。

2. オンデマンド電力制御システムによる適応的蓄電池管理

2.1 オンデマンド型電力制御システム

我々が提案する「オンデマンド型電力制御システム（以下EoD）」は、家電の動的優先度と調停に基づく電力供給によって、生活の質をできるだけ維持しつつ節電率や最大瞬間電力を保証するシステムである。

図1にEoDの概要を示す。家電のスイッチを入れると必要なだけの電力が常に供給される現在の電力ネットワークに対し、我々が提案するEoDは、1)家電のスイッチを入れてもすぐには電力は供給されず、電力要求メッセージを電力マネージャに送信する。2)電力マネージャは、動作中・要求家電の消費

表1 電源 QoEn

商用電源	蓄電池
最大瞬間電力 $\overline{PSc}(t)[W]$	最大放電電力 $\overline{PSb}[W]$
シーリング $\overline{ESc}[Wh]$	最大充電電力 $\overline{PSb} (< 0)[W]$
電力コスト $C(t) [円/Wh]$	蓄電容量 $\overline{ESb}[Wh]$
CO2 排出係数 $G[kg/kWh]$	充電効率 $\alpha_i (0 < \alpha_i < 1)$
	放電効率 $\alpha_o (0 < \alpha_o < 1)$
	自然放電電力 $\alpha_n [W]$
キャパシティ $CI_c(p)$	キャパシティ $CI_b(p)$
インデックス	インデックス

電力や優先度、および各電源の供給電力や供給能力にもとづいて要求を調停し、電力供給の可否、供給電力を決定して電力割当メッセージを家電に送信、3)電力割当てメッセージを受け取った家電は、割当てられた電力を使用して動作する、というように調停にもとづいて電力を管理する。これによって、節電率や最大瞬間電力を保証することが可能となる。また各家電に対して、その動作状況に応じて動的に決まる優先度を与えることで、必要性が高い家電の要求に対しては優先的に電力を供給することで生活の質を維持することが可能となる。

我々は今までに、EoDの基本的な仕組みを提案し、単一の電源（商用電源）のみを持つ需要家において、家電の要求を調停するアルゴリズムを提案した[1],[2]。本稿ではこれを蓄電池を含む2電源に拡張し、EoDの枠組みのなかで蓄電池の充放電管理、および必要な蓄電池の設計を行う方法を提案する。

EoDは、過去の電力使用パターンから、節電率や最大瞬間電力などの上限値を達成するための電力使用計画を作成する計画フェーズと、実際の電力要求に対して調停を行い、電力使用計画に従って電力供給を行う調停フェーズの二段階で構成される。以下、電源の特性記述について述べた後、これらの二段階のフェーズについて述べる。

2.2 電源の特性記述（電源 QoEn）

EoDシステムでは、家電に対して電力制御の可能性に基づくクラス分けや、各クラス動的優先度の定義など、調停のための特性記述を家電QoEn(Quolity of Energy)として定義する[4],[2]。本研究では、これを複数電源に拡張し、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1のように定義する。

商用電源の最大瞬間電力とシーリングは従来のEoDで用いた瞬間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CO2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、本研究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。

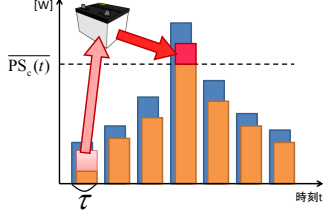


図 2 蓄電池を用いた供給電力のタイムシフト

また、それぞれの電源のキャパシティインデックスは、家電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、2.4 節で詳しく述べる。

2.3 計画フェーズ：電力使用計画と電力供給計画

本節では、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 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、文献 [2] に示す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。

ここで、あらかじめ学習した家全体の電力使用予測 $PD(t)$ が与えられているものとする。このとき、初期電力使用計画 PD^{PLAN} を次式のように作成する。

$$PD^{PLAN}(t) = \frac{\overline{ES}_c}{\sum_{t=0}^T PD'(t)} PD'(t) \quad (1)$$

$$PD'(t) = \begin{cases} \overline{PS}_c(t) & (PD(t) > \overline{PS}_c(t)) \\ PD(t) & (PD(t) \leq \overline{PS}_c(t)) \end{cases}$$

これは、最大瞬時電力 PS_c を超えないようにピークをカットした上で、積算電力量がシーリング $\overline{ES}$ を超えないように電力使用予測に対して各時間帯一定割合で削減している。

この計画では、商用電源の最大瞬時電力以下に家電で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。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、その時間帯に使用出来る電力を大きく制限されることは、生活の快適さを大きく損なうと考えられる。

そこで、本研究では電力使用の不満足度 $DS(PD^{PLAN})$ 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、このような問題を解決する。

$$DS(PD^{PLAN}) = \sqrt{\sum_{t=0}^T (PD(t) - PD^{PLAN}(t))^2} \quad (2)$$

具体的な手順としては、以下のとおりである。

初期化 商用電源の供給計画を $PS_c^{PLAN}(t) = PD^{PLAN}(t)$ 、つまり式 (1) で作成した電力使用計画と同一とする。また、蓄電池の供給計画の初期値を $PS_b^{PLAN}(t) = 0$ とする。

Step-1. 各時間帯ごとの不満足度 $(PD(t) - PD^{PLAN}(t))^2$ を評価し、不満足度が最大の時間帯を選択し、タイムシフト先 t_{dst} とする。

$$t_{dst} = \arg \max_{t < T} \left\{ (PD(t) - PD^{PLAN}(t))^2 \right\} \quad (3)$$

Step-2. t_{dst} より前の時間帯で不満足度最小の時間帯をタイムシフト元 t_{src} とする。

$$t_{src} = \arg \max_{t < t_{dst}} \left\{ (PD(t) - PD^{PLAN}(t))^2 \right\} \quad (4)$$

Step-3. t_{src} の時間帯に充電し、 t_{dst} の時間帯に放電することで、供給電力のタイムシフトを行う。このときの充放電電力は、表 1 で述べた最大放電電力、最大充電電力、および蓄電容量を超えない範囲、かつ不満足度が逆転しない範囲で最大の値とする。

Step-4. タイムシフト先 t_{dst} の不満足度が、タイムシフト元 t_{src} の不満足度より大きい間、Step-1. から 3 の処理を繰り返す。

この際、計画段階では $\overline{ES}_b = \infty$ と設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。

2.4 調停フェーズ：家電の使用電力と電源の供給電力の調停

調停フェーズでは、電力使用計画、電力供給計画に従って、実際の電力要求を調停する。文献 [2] では、計画と実際の消費電力パターンの差を吸収しつつ積算電力量のシーリングや最大瞬時電力を維持するために、調停フェーズを 1) **イベントドリブンプロセス**による電力要求の調停、2) 一定時間ごとに稼働する**定期稼働プロセス**による計画と使用電力のずれのフィードバック、3) **常時監視プロセス**による最大瞬時電力の監視の 3 つのプロセスで構成した。本研究では、これらのプロセスを複数電源に拡張し、家電の使用電力だけでなく各電源の供給電力を調停する。

2.4.1 定期稼働プロセスによる計画値の更新

実際の生活における電力使用パターンは様々であり、電力使用計画、供給計画と実際の電力使用、供給には差異が生じる。そこで、現在時刻までの実際の消費電力と計画とのずれをフィードバックし、その時刻以降の目標値を補正することで、電源 QoEn で設定したシーリングを満たすように制御する。従来では電力使用＝電力供給であったが、複数電源の場合には各電源ごとに供給電力の目標値を定め、それらをそれぞれフィードバックする。

電源 $s \in \{c, b\}$ の電力供給目標値を T_s とする。初期状態では各電源の目標値を電力供給計画と同じ、つまり $T_s = PS_s^{PLAN}(0)$ とする。この後、時間間隔 τ ごとに T_s を更新し、実際の電力供給量 ES_s と計画との誤差をフィードバックして T_s を以下のように更新する。

$$T_s = \begin{cases} \overline{PS}_s(t) & (\overline{PS}_s(t) \leq T'_s) \\ T'_s & (\underline{PS}_s(t) \leq T'_s < \overline{PS}_s(t)) \\ \underline{PS}_s(t) & (T'_s < \underline{PS}_s(t)) \end{cases} \quad (5)$$

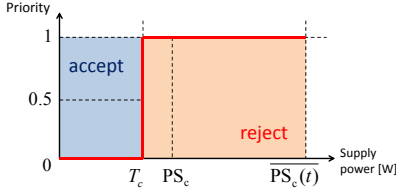


図3 従来手法における供給電力と優先度の関係

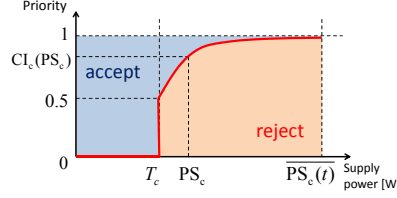


図4 商用電源の Capacity Index

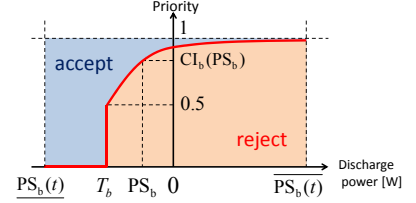


図5 蓄電池の Capacity Index

$$T'_s = PS_s^{\text{PLAN}}(t) - \frac{1}{\tau} \frac{t}{T} (ES_s(t) - ES_s^{\text{PLAN}}(t))$$

ここで、 $ES_s(t)$ は電源 s が時刻 t までに供給した積算電力量であり、 ES_s^{PLAN} は電源 s の供給計画の時刻 t までの積算量を表している。また、 $\frac{t}{T}$ はフィードバックゲインに相当し、終了時刻 T に近づくにつれてゲインが大きくなり、より早く計画値に近づくように制御する。

2.4.2 イベントドリブンプロセスによる家電・電源調停

イベントドリブンプロセスでは、家電から送信された電力要求メッセージに対して、電力供給を許可するか削減、あるいは拒否するかを調停する。このとき従来の EoD では、消費電力が目標値 T_c を常を超えないように、優先度が低い家電から電力を削減、停止した。しかし、この方法では計画段階の電力予測の需要ピークの時刻よりも早い時刻にピークが現れるような電力消費パターンに対して、電力を前倒して供給することができなかった。また、複数電源の場合、使用する電力を商用電源から供給するか、蓄電池から供給するかを決める必要がある。

そこで本研究では、各電源の電力供給能力の特性を表す Capacity Index を定義する。Capacity Index は、ある時刻の電源の状態や計画値に基づいて、どの電源からどれくらい電力を供給するか、また、どのくらいの優先度の家電にまで電力を供給するかを決定するための指標である。

例えば従来の EoD では、家電の要求電力が計画値を超えた場合は目標値を下回るまで家電に供給する電力を削減するというアルゴリズムであったが、このときの優先度と供給電力の関係は図3のように表される。グラフの横軸は供給電力であり、赤線はこれ以上の優先度の家電にのみ電力供給を許可するということを意味する。従来の EoD では、目標値を超える場合の電力要求はすべて棄却するので、図3のように目標値までは0で目標値以上では1となる関数で表現される。

本研究では、このような調停の条件を緩和し、供給電力が目標値を超えても優先度の高い家電へは電力を供給できるように、図4のようになめらかなカーブを持つ単純増加関数として Capacity Index を定義する。これにより、もし商用電源の出力が目標値を超えていても、Capacity Index を超える優先度を持つ家電への電力供給は許容することを意味している。また、蓄電池についても同様に図5のように定義する。なお、蓄電池の場合には供給電力が負の数の場合は蓄電池への充電を表している。

Capacity Index 関数は、各電源ごとに次式のように定義する。

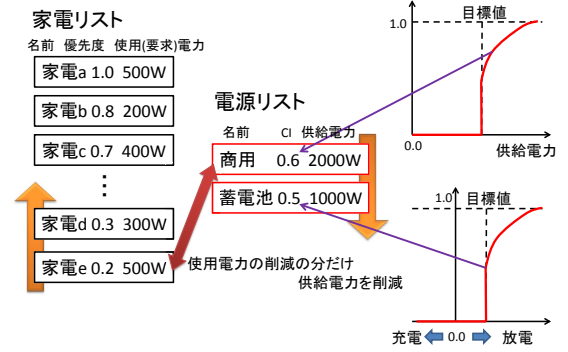


図6 家電と電源の調停アルゴリズム

$$CI_s(PS_s) = \begin{cases} 0 & \text{if } PS_s < T_s \\ \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left(\beta_s \frac{PS_s - T_s}{ES_s - ES_s(t)} \right) + 0.5 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

ただし、 β_s は Capacity Index の傾きを決めるパラメータである。Capacity Index は積算供給電力によって決まり、商用電源であればシーリングまでの余裕が少ないほど、蓄電池であれば蓄電容量の残量が少ないほど傾きが大きくなり、より厳密に目標値を守るように制御する。

Capacity Index によって、各電源の供給電力に対して電力供給を許可する家電の優先度を決定する。つまり、次式の条件を満足するように調停する。

$$\forall a \in A, \forall s \in S : \text{Pri}_a(PD_a^{\text{REQ}}) \geq CI_s(PS_s^{\text{RES}}) \quad (7)$$

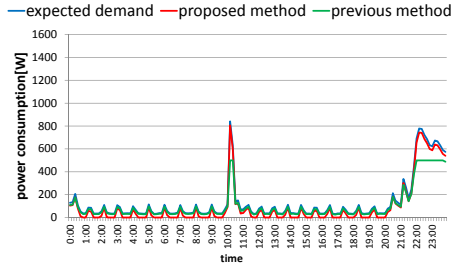
ただし、 PD_a^{REQ} 及び $\text{Pri}_a(PD_a^{\text{REQ}})$ は家電 a からの要求電力とその際の優先度を表す。また、使用電力の総和と供給電力の総和は一致するため、調停は次式を満足する必要がある。

$$\sum_{a \in A} PD_a^{\text{REQ}} = \sum_{s \in S} PS_s^{\text{RES}} \quad (8)$$

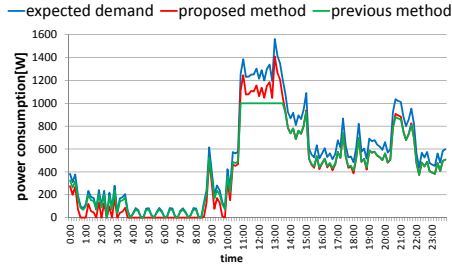
具体的な調停手順は、図6に示すように、電力を要求した家電と動作中家電から優先度が最小となる家電 $a_{\min}$ と、Capacity Index が最大となる電源 $s_{\max}$ を選択し、家電 $a_{\min}$ の電力を削減あるいは停止するとともに、削減する電力だけ電源 $s_{\max}$ の供給電力を削減する。この処理を式(7)を満たすまで繰り返すことで、式(8)と式(7)を同時に満たすように調停する。

3. 実験結果

実験では、家電ごとの電力消費を計測できるスマートマンションルーム [5] で一人暮らしの学生と、二人暮らしの夫婦が、



(a) 一人暮らし



(b) 二人暮らし

図 7 電力使用予測と電力使用計画

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。

3.1 電力使用計画の比較

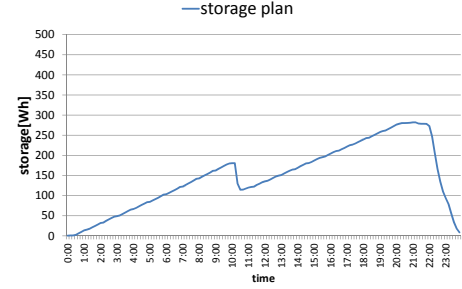
一人暮らしと二人暮らしの一日分の消費電力データをそれぞれ電力使用予測 $PD(t)$ として用い、電力使用計画と電力供給計画を作成した結果を従来の EoD と比較する。このとき、商用電源の最大瞬時電力を一人暮らしの場合は $PS_c(t) = 500W$ 、二人暮らしの場合は $PS_c(t) = 1000W$ とし、積算電力量のシーリングはそれぞれの電力使用予測の積算電力量に対して 15% 削減とした。また、このときの蓄電池の蓄電容量と最大充放電電力は無限大とし、充放電効率 $\alpha_i = \alpha_o = 0.84$ とした。

図 7 に実験結果を示す。図の青線が電力使用予測、赤線が従来の EoD の電力使用計画、緑の線が提案手法による電力使用計画を $\tau = 10$ 分ごとの平均電力で表している。この結果より従来では最大瞬時電力の制限によって大きく使用計画が削減されている時間帯でも、提案手法では小さな削減幅となっていることがわかる。

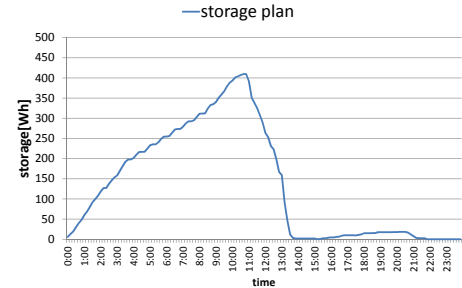
3.2 電力使用計画に基づく蓄電池設計

ここで、前節で使用した消費電力パターンに対して最適な蓄電池の設計を行う。まず、蓄電池の容量を決定する。前節に示した提案手法による電力使用計画に対する蓄電池の蓄電量 $ES_b^{PLAN}(t)$ を図 8 に示す。この結果における最大の蓄電量より必要な蓄電容量を決定する。この消費電力パターンの場合では、必要な蓄電容量は一人暮らしで約 300Wh、二人暮らしでも 400Wh 程度で十分であることがわかる。

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

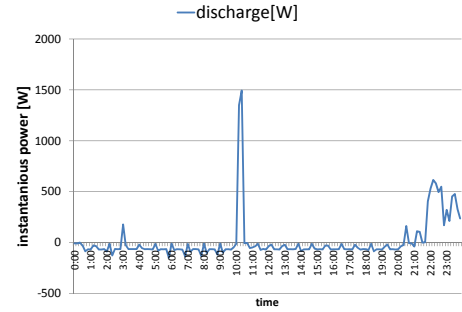


(a) 一人暮らし

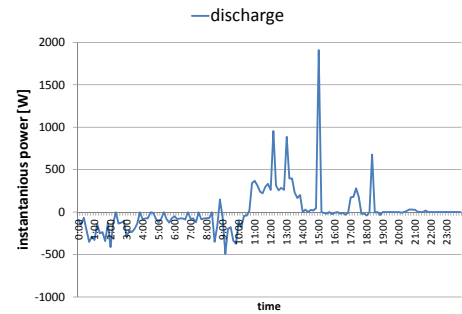


(b) 二人暮らし

図 8 蓄電池の蓄電計画



(a) 一人暮らし



(b) 二人暮らし

図 9 蓄電池の充放電計画のピーク値

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。

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 9 に示す。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 の最大放電電力を持つ蓄電池が必要であることがわかる。また、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。

3.3 電力要求に対する調停結果の比較

二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3.1節と同様とし、電力使用計画、供給計画も3.1節に示した計画を用いた。

提案手法による調停結果を図10に、従来手法による調停結果を図11にそれぞれ示す。これらの図中の青線は要求電力、赤線が電力使用計画、緑線が調停の結果使用した電力を表している。

この結果から、従来手法では目標値を超える場合に電力供給が出来ないために、早い時間で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、提案手法で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。また従来手法では1000Wを超える電力要求が全て棄却されているのに対して、提案手法では1000W以上の電力が供給されていることが分かる。

3.4 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 $300W \leq \overline{PS_c}(t) \leq 1500W$ の範囲で20Wずつ変化させ、計画作成、調停シミュ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た結果を図12に示す。図中の青線が従来手法、赤線が提案手法の結果を示す。従来手法は最大瞬時電力が約860Wを下回ると、不満足度が急激に大きくなるのに対し、蓄電池を用いた提案手法では、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ていることが分かる。これにより、提案手法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。

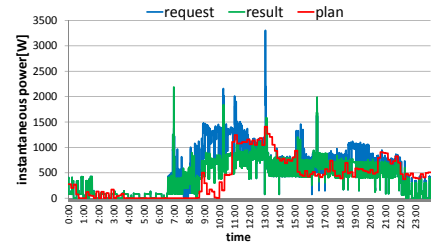
4. まとめ

本研究では、我々が今までに提案してきたオンデマンド型電力制御システムを複数電源に拡張し、様々な生活パターンに応じた蓄電池の設計、及び充放電管理法を提案した。今回は、複数電源として特に蓄電池が加わった場合について議論したが、今後は、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しより一般的なEoDシステムを開発する予定である。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金若手研究（B）（23700169）の助成をうけたものである。

文 献

- [1] 湯浅健史, 加藤丈和, 松山隆司, “スマートタップネットワークを用いたオンデマンド型電力制御システム,” 信学技報, USN2011-10, pp.25–30, July 2011.
- [2] T. Kato, K. Yuasa, and T. Matsuyama, “Energy on demand: Efficient and versatile energy control system for home energy management,” Second IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm2011), pp.410–415, Brussels Belgium, 2011.
- [3] 松山隆司, “エネルギーの情報化とは：背景, 目的, 基本アイデア, 実現手法,” 情報処理学会学会誌, vol.51, no.8, pp.926–933,

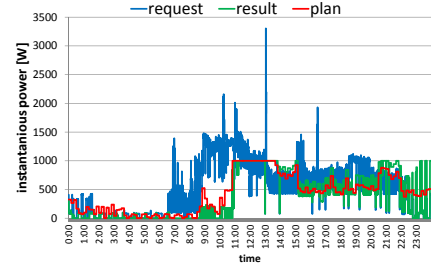


(a) 瞬時電力



(b) 積算電力量

図10 提案手法による調停結果



(a) 瞬時電力



(b) 積算電力量

図11 従来手法による調停結果

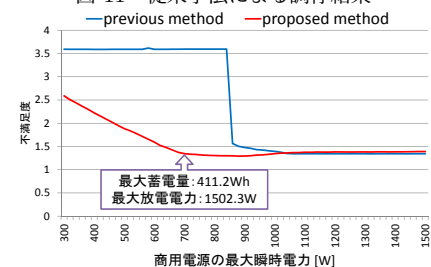


図12 商用電源の最大瞬時電力と不満足度の変化

2010.

- [4] 加藤丈和, 松山隆司, “i-energy profile: スマートタップネットワークによるエネルギーの情報化プロファイル,” 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J94-B, no.10, pp.1232–1245, 2011.
- [5] 加藤丈和, 松山隆司, “スマートタップネットワークによる消費電力見える化システム,” 情報処理学会研究報告 CDS 研究会, 第 2011-CDS-2, No.6 巻, pp.1–6, 2011.