

# Energy-on-Demandシステムでの組合せ最適化 アルゴリズムによる家電への電力割当制御

森本 尚之<sup>1,a)</sup>

**概要:** 近年提案されている Energy-on-Demand (EoD) システムにおいては、省エネやピーク削減のために利用可能な電力に制限がある状況において、システムが利用者に最適となるように家電機器への電力割当量を決定し、制御する。本展示では、組合せ最適化アルゴリズム（多重選択ナップザック問題に対するアルゴリズム等）を用いて家電の動作モードを制御し電力割当を最適化する EoD システムについて述べる。

**キーワード:** Energy-on-Demand, 電力割当制御システム, 組合せ最適化アルゴリズム

## 1. はじめに

近年、様々な分野において電力エネルギーの有効活用が重要な課題となっている。たとえば、いわゆる「デマンドレスポンス」は電力の需要側の消費量を抑制することで電力需給のバランスを保つ仕組みであるが、需要を抑制するには限られた電力を有効に使うことが求められる。一方で、家庭内での節電行為は利用者による手動操作が必要なが多いため、節電に意欲のある利用者にとっても継続して行うことは必ずしも容易ではない。また、利用者が機器の消費電力の値などについて必ずしも熟知していない場合、節電行為を行ったとしても目標を確実に達成できるとは限らない。

こうした状況を踏まえて、新しい需要家サイド電力管理システムとしてオンデマンド型電力制御 (Energy-on-Demand, EoD) システムが提案されている [2]。現在の家庭内電力網においては、家電をコンセントに接続し電源を入れれば無条件に電力が供給される。対して EoD システムにおいては、利用者の生活スタイルなどのポリシーに基づき、電力消費機器は自らが必要とする電力を明示的にシステムに要求し、その要求をシステム内に存在する電力割当マネージャが調停し、総消費電力の上限を超えない範囲で利用者の生活の質 (Quality-of-Life) をできるだけ高めるように機器への電力供給を制御する。

したがって、EoD システムにおいては、すべての電力要求を満たすことができないときに、どの機器にどれだけの電力を割り当てるかを決定することが重要となる [4]。この問題はいわゆる組合せ最適化問題として考えることができる。すなわち、様々な考えられる家電機器への電力の

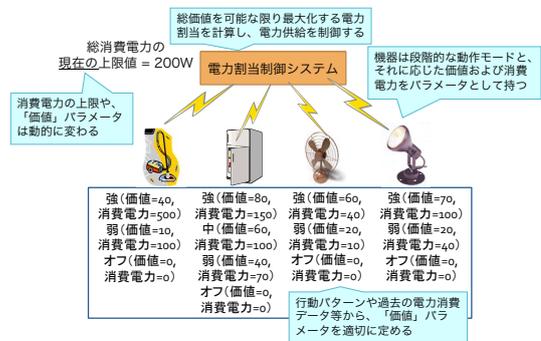


図 1 本研究で目標とするシステムの概要

割り当て量の組合せの中から、総消費電力の上限という制約条件を満たしつつ、利用者にとって最適となる割当を決定する問題である。本研究の目標は、図 1 に示すように、より現実の環境を踏まえた問題のモデル化、パラメータの決定手法の構築、電力割当アルゴリズムの開発を行い、それらに基づく電力割当制御機器および電力割当制御システムを構築することである。最適な電力割当の実現のためには、多くの家電はオン・オフをはじめとして様々な動作モードを持つため、複数の家電の動作モードの組合せのなかから最適なものを選ぶ必要がある。また、消費電力と利用者にとっての利便性とは必ずしも比例せず、家電によってはモード切り替えにともない消費電力が線形でなく階段状に変動するといった性質があるため、線形計画法のような手法で簡単に解くことは見込めない。本展示では、EoD システムでの組合せ最適化アルゴリズム（多重選択ナップザック問題に対するアルゴリズム等）による家電への電力割当制御について述べる。

## 2. システムの概要と動作例

システムの設計は、以前実装したプロトタイプシステム [3] をベースとしている。システムの中央には電力割当マ

<sup>1</sup> 京都大学  
Kyoto University  
<sup>a)</sup> nmorimoto@icems.kyoto-u.ac.jp

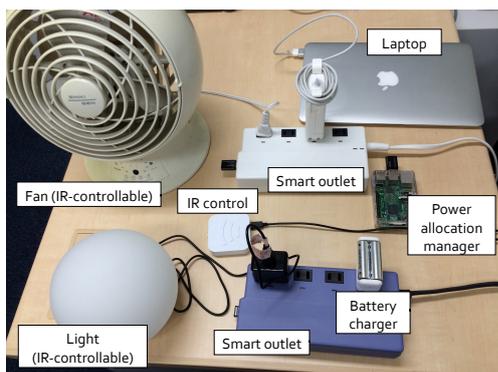


図 2 システムの動作環境の一例

マネージャが位置する。マネージャは各家電の取りうる動作モード、電力割当決定に必要なパラメータ値、各家電が接続されているスマートタップ（リレーによるオン・オフ制御、消費電力の測定、他機器との通信が可能な電源タップ）の ID、各家電に対する制御手段のリスト（赤外線通信による制御が可能か、またはリレーによる制御のみ可能か）、赤外線制御可能な家電の動作モード変更のための制御信号、それぞれの家電の状態（現在の動作モード）の情報を保持している。また、マネージャは各家電の現在の消費電力情報を収集し、その総和が総消費電力の上限値を超過している場合に、組合せ最適化アルゴリズムを用いて最適な電力割当を決定する。最後に、赤外線制御可能な機器に対しては後述する赤外線リモコンを経由して制御を行う。赤外線による制御が不可の機器には、機器が接続されているスマートタップに該当ソケットの機械式リレーを開閉するための制御命令を出力する。システムの動作環境の一例を図 2 に示す。

ここでは一例として、電力割当の決定に多重選択ナップザック問題に対するアルゴリズム [1] を用いた場合の本システムの動作を示す。多重選択ナップザック問題においては、アイテム（動作モード）はサイズ（消費電力）と価値（利用者にとっての利便性）を持つ。また、アイテムはクラス（家電）に分類され、各クラスからはただ 1 つのアイテムをナップザック（電源）に入れることができる。目的は、ナップザックに入れることのできたアイテムの価値の総和の最大化である。ここでは機器として赤外線制御可能な扇風機と照明、およびリレーでのみ制御可能なバッテリー充電器とノート PC を利用した。時間の経過に応じて上限値の設定を様々に変更させた場合の、各機器の消費電力とその合計の変動を図 3 に示す。まず開始から 40 秒後付近において、この時点では上限値は 80W に設定されていたが、消費電力の総和が上限値を超えたため電力割当マネージャによる制御が機能し、扇風機の動作モードを強から弱に変更することで消費電力の合計を上限値以下に収めていることが観察できる。また、開始後 75 秒後付近で上限値の設定を 40W に変更したところ、それまでの動作モードでは新

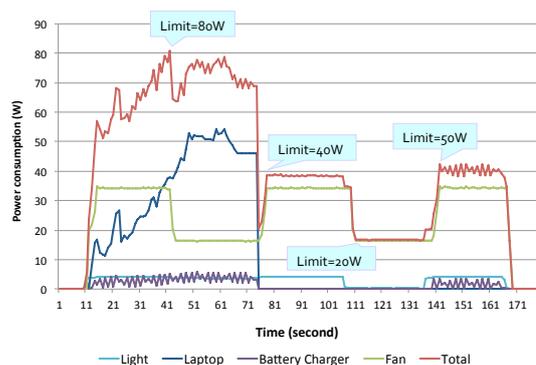


図 3 全機器の消費電力の総和と、個別の機器の消費電力の変動

たな上限値を守ることができないため、新しい上限値の範囲での最適割当を再計算している。その結果、ノート PC および充電器への電力供給は停止し、扇風機の動作モードは強に戻っている。110 秒後に上限値を 20W に、および 140 秒後に 70W に設定した際も同様に、それぞれの上限値設定での再計算がなされ目的とする制御が行われている。

今後の課題として、パラメータが動的に変動する状況への対応が挙げられる。消費電力の上限値は、電力供給状況や節電目標の変更等により変動する。また、機器の「価値」パラメータは、利用者の行動や環境などに応じて動的に変わると考えられる。加えて、環境の変動の種類（天候の変化など）や利用者の行動のなかには、事前に予測することが容易でないものも考えられる。このような問題はいわゆるオンライン問題（将来の出来事がわからない状況で処理を決める必要がある組合せ最適化問題）の枠組みで捉えられるため、今後はオンライン問題として定式化し、適宜システムを改良する予定である。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K15979 の助成を受けている。

## 参考文献

- [1] Dudziński, K. and Walukiewicz, S.: Exact methods for the knapsack problem and its generalizations, *European Journal of Operational Research*, Vol. 28, No. 1, pp. 3–21 (1987).
- [2] Kato, T., Yuasa, K. and Matsuyama, T.: Energy on demand: Efficient and versatile energy control system for home energy management, *Proceedings of the 2011 IEEE Second International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, IEEE, pp. 392–397 (2011).
- [3] Morimoto, N., Fujita, Y., Yoshida, M., Yoshimizu, H., Takiyamada, M., Akehi, T. and Tanaka, M.: A Power Allocation Management System Using an Algorithm for the Knapsack Problem, *Proceedings of the IEEE 38th International Conference on Computer Software and Applications Workshops (COMPSACW)*, pp. 590–595 (2014).
- [4] Sakai, K. and Okabe, Y.: Quality-aware energy routing toward on-demand home energy networking, *Proceeding of the 2011 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, pp. 1041–1044 (2011).