

Title	スマートグリッド向けの住宅コミュニティエネルギーシステムのデマンドサイドマネジメント
Author(s)	CHAROEN, Prasertsak
Citation	
Issue Date	2020-06
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/16722
Rights	
Description	Supervisor: 丹 康雄, 先端科学技術研究科, 博士

氏名	CHAROEN, Prasertsak		
学位の種類	博士(情報科学)		
学位記番号	博情第 433 号		
学位授与年月日	令和 2 年 6 月 24 日		
論文題目	Demand-Side Management in Residential Community Energy System for the Smart Grid		
論文審査委員	主査 丹 康雄	北陸先端科学技術大学院大学	教授
	篠田 陽一	同	教授
	リム 勇仁	同	准教授
	Razvan BEURAN	同	准教授
	Chalie CHAROENLARNOPPARUT	SIIT	准教授

論文の内容の要旨

The electrical grid has operated on a centralized, top-down model for the past century and heavily relied on fossil fuels for energy production. Grid operators are responsible for the reliable delivery of electricity to consumers where electricity generation must be matched with the total demand at all times. The main driving costs and capacity requirements are the electricity demand that occurs during peak periods. These peaks in demand require utility companies to operate costly and inefficient generators. Moreover, a concern of climate change and greenhouse gas emission leads to an expected widespread demand-side adoption of distributed energy resources (DERs), including renewable energy. The higher penetration of renewable energy resources causes the challenges of the grid operators to exacerbate. The intermittent nature of renewable resources and uncoordinated operation of DERs substantially limit the ability of the supply adaptation to the fluctuating demand and reverse power flow. One of the foreseeable solutions is to manage how end-users consume their energy. Demand-side management (DSM) is a technique to exploit the flexibility in the demand-side and change the consumption pattern of the end-users such that demand profiles match better with the supply and thus lower energy costs.

In this dissertation, a DSM method for a residential community with high penetration of DER is presented. In the proposed DSM method, a local energy sharing scheme is incorporated into a price-based demand response to exploit the value of DER, benefiting both the utility company and its customers. On the one hand, the utility company can adopt the DSM method to motivate the customers to shift their energy consumption and production such that peak demand and export energy can be reduced. As a result, the aggregate consumption curve becomes more flat and smooth. Therefore, the utility company can lower energy costs from the costly peak-time energy procurement and mitigate the problem of reverse power flow. On the other hand, the customers will be

incentivized from participating in DSM and motivated to share their energy locally. Thus, increasing their energy bill savings and self-consumption, which maximize the value of DER.

We define a procedure of DSM into three sequential processes: day-ahead consumption scheduling, consumption rescheduling, and energy billing. In the day-ahead consumption scheduling, we propose energy price functions to motivate users to plan their energy consumption and formulate an energy bill minimization problem for each user based on appliance specifications and preferences. Then, we present an iterative distributed algorithm to solve for optimal consumption schedules while preserving the privacy of the users.

Furthermore, we aim to improve the practicality aspect of the proposed DSM model by addressing the uncertainty of human behavior and energy billing fairness issues. We propose the consumption rescheduling algorithm to allow the users to change their preferences during operating periods and recalculate consumption schedules for the remaining time in order to avoid unnecessary costs. The energy billing mechanism with a penalty/reward system is proposed to fairly allocate any energy bill discrepancy to users based on their deviated consumption from the assigned schedules.

Simulation results indicate the effectiveness of the proposed DSM model in terms of peak demand and export energy reduction while maximizing the energy bill savings of the users.

Simulation on the impact of battery, PV generation, and user participation in the system performance is carried out. Furthermore, the simulation results of the proposed consumption rescheduling algorithm show improved consumption profile of the community in response to the changing preferences of users. Finally, the results of the proposed energy billing mechanism show the fair allocation of energy bills to each user proportion to the amount of deviated consumption.

Keywords: Demand-Side Management, Distributed Energy Resource, Energy Consumption Scheduling, Local Energy Sharing, Smart Grid

論文審査の結果の要旨

近年の環境問題を受け再生可能エネルギーの利活用は実用段階に入っているが、その実、電力システムの全体像は大規模発電から送電および配電網を経て需要家に届けられる同時同量システムから変化しておらず、その中で部分的に負の負荷として再生可能エネルギーが取り扱われているに過ぎない。

これに対し、本研究では特別高圧受電以下の配電システムレベルで独立したコミュニティを形成し、かつ、家庭単位でも発電、蓄電、さらにスケジューリング可能な電力負荷といった要素を持つことを前提としたボトムアップの電力システムを想定し、コミュニティ

外部からの買電も含めた収支で需給バランスする電力システムについて、その運転方法と得失について議論を行っている。

また、特徴的な概念として、公平性というものを取り入れた点に独創性がある。我が国では比較的一様に様々な機器が家庭に入っていくが、世界の多くの国々では貧富の差が大きく、環境保全に貢献したり電力システムの安定に貢献したりすることのできるシステムを取り入れる余裕のない家庭の存在は歴然としており、これに対して少なくとも電力料金の観点で公平性というものをどう考えるのかという論点である。特に、本論文では、設備の有無といった決定的な状況もさることながら、電力需給予測の前提になっていた電力消費行動からの逸脱というユニークな論点も取り上げて議論が行われており、新たな研究分野につながる可能性を秘めている。

研究はシミュレーションベースで進められているが、基本となるモデルやデータは十分に信頼性のあるものが選ばれており、また、繰り返し演算とならざるを得ないアルゴリズムにおいては、実際の規模に対して十分に現実的な計算リソースで収束が得られることが実験によって示されるとともに、収束しない場合でも最適値は得られないにせよシステム動作として破綻はきたさないことなどが示されており、実現性に関する検討も行われている。

本論文の主要な部分は IF2.7 の論文誌に収録されているほか、国際会議等においても一定の評価が得られている。

以上を鑑み、本研究は、学術的意義はもとより、将来の電力システムのあり方に対して一石を投じるものとして産業界的にも意義深いものとして位置づけられ、博士(情報科学)の学位論文に値するものと判断した。