

経済性を考慮した電力自給のための生活スケジュールの提示 Proposal of low cost life schedule under smart grid environment

Nguyen Quang Tuyen[†] 中内 亮介[‡] 原田 史子[†] 島川 博光[†]
Nguyen Quang Tuyen Ryosuke Nakauchi Fumiko Harada Hiromitsu Shimakawa

1. はじめに

近年、発電用エネルギー資源の枯渇対策として、仮想スマートグリッド環境 [1][3] が注目されている。本研究では、仮想スマートグリッド環境下で地域の電力を無駄にせず、各世帯の電力コストを抑えるような最適スケジュールの推薦手法を提案する。

2. 仮想スマートグリッド環境での最適化

2.1 仮想スマートグリッド環境

本研究では、以下のような仮想スマートグリッド環境を想定する。仮想スマートグリッド環境 [1][3] では、各世帯はソーラーパネルを使って太陽光発電を行い、電力を蓄電池に貯めることができる。貯めた電力は自世帯で使い、余ったときは地域の各世帯間で売買できる。地域での電力売買が発生すると、電力市場が構成される [3]。電力市場に電力がなくなると各世帯は電力会社から電力を買う。電力市場で売買される電力単価のことをマーケットプライスと定義する。マーケットプライスは電力会社から電力を買うよりも常に安く、市場の需要と供給の関係によって変動する [3]。例えば、電力の需要が高く、供給が低い場合にはマーケットプライスは高くなる。マーケットプライスが高い時に電力を使うと電力コストも高くなってしまふ。電力コストとは各世帯が電力会社や他世帯から電力を購入するときの払う総金額を指す。

2.2 生活スケジュール最適化の目的

仮想スマートグリッド環境下での各世帯の電力コストができるだけ高くないように、各世帯の一日の生活スケジュールを最適化する必要がある [2]。生活スケジュールを最適化する上で、以下の2つの目的がある。

- 地域内の電力が無駄にならないようにする
- 市場から電力を買う電力コストをできるだけ低くする

仮想スマートグリッド環境全体の目的として、できるだけ電力を地域で発電し、自給することを目指す。電力の需要と供給のバランスが崩れると、電力市場に電力が不足し、電力会社から電力を買わなければならない場合や、電力が余って、捨てなければならない場合がある。電力を自給するためには、電力会社から電力を買うことができるだけ減らし、発電した電力を無駄なく使うことが必要である。また、すべての世帯は電力コストを低く抑えたいと考えている。よって全世帯の市場から電力を買う電力コストを低くする必要がある。

本研究ではこれらの目的を達成するために、各世帯の生活スケジュールを最適化し、各世帯に対して最適化された生活スケジュールを推薦することを目標とする。

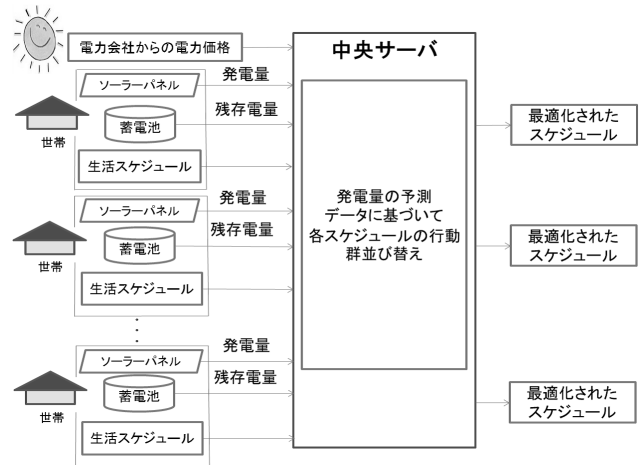


図1: 手法の概要

3. 生活行動のスケジュールリング

3.1 最適化されたスケジュールの推薦

本論文では、仮想スマートグリッド環境における最適スケジュールリングの推薦手法を提案する。図1に手法の概要を示す。本手法では、地域に1台の中央サーバがあると想定する。各世帯は過去の太陽光発電量と次の日の予定する生活スケジュールをサーバに送る。生活スケジュールは複数の生活行動によって構成される。生活行動とは、各世帯の「炊事」や「洗濯」などを指す。各生活行動では、家電の使用などで、実行中の各時刻にある量の電力を使用する使用電力は自家の太陽光発電、市場からの購入、または電力会社からの購入で賄う必要がある。サーバは次の日の予測発電量と電力会社の電力価格を用いて、各世帯が入力した生活行動群を最適になるように並び替え、各世帯に次の日のスケジュールとして推薦する。スケジュールは、各時刻にどの生活行動を行うかを一定時間単位で定めている。

3.2 最適性の観点

2.2に基づいて、2つの最適性の観点を導入する。

1. 電力会社から電力を買った電力コストの全世帯の総称を最小化する
2. マーケットプライスで電力を買った全世帯の総電力コストを最小化する

地域内でできるだけ電力を自給するために、各世帯が電力会社からできるだけ電力を買わないようにする。各世帯 i が電力会社から電力を買う電力コストを C_i^{plant} とすると、最適性1は(1)の数式で表現できる。 N は世帯数である。

$$\sum_{i=1}^N C_i^{plant} \rightarrow \min \quad (1)$$

すべての世帯は、電力市場で電力を買う電力コストを低く抑えたい。そのためには全世帯の電力市場で購入し

[†]立命館大学 情報理工学部

[‡]立命館大学大学院 理工学研究科

た電力コストの和が最小となるようにスケジュールを最適化すればよい。各世帯 i がマーケットプライスで電力を買った電力コストを C_i^{market} とすると、最適性 2 は (2) の数式で表現できる。

$$\sum_{i=1}^N C_i^{market} \rightarrow \min \quad (2)$$

3.3 電力の使用と売買の流れ

各世帯、および地域内で電力を無駄にせず、電力コストを低く抑える必要がある。また市場の供給不足や過剰供給が生じたときに、特定の世帯のみがマーケットプライスで電力を購入したり、特定の世帯のみが市場で売買できるような不公平性を回避する必要がある。そのため以下のように各時刻の電力の使用と売買の流れを決める。各世帯はまず、自分がその時刻に行う生活行動のための電力使用にその時刻の発電電力を使う。その後、電力が余る場合は蓄電池に蓄電する。蓄電池が満杯の場合、他の世帯に売る。売れ残った電力は捨てる。一方、生活行動の電力使用量が、その時刻の発電量だけでは足りない場合、自分の蓄電池から電力を使う。まだ不足する場合は他の世帯から市場の電力を買う。このとき地域全体で電力が不足しており、電力市場から電力を買えない場合は電力会社から電力を買う。全世界帯で生活行動のための電力不足が解消された後に、まだ電力市場に電力が残る場合は、各世帯が自分の蓄電池へ電力を蓄電するために他の世帯から電力を買う。この場合の価格は電力会社からの電力を買う電力コストよりも十分に低い一定の値と仮定する。また、蓄電のために電力会社から電力を買うことはないとする。

市場で供給の過不足が生じたさいに、公平に太陽電気を売買する流れを以下に示す。需要合計を D_t 、供給合計を S_t とする。 $D_t > S_t$ のとき、計 S_t が需要を持つ世帯に分配される。ここで、各需要を持つ世帯 1 から n までの需要量を $D_t^1 \leq D_t^2 \leq \dots \leq D_t^n$ と表記する。まず需要を持つ全世界帯に D_t^1 を分配する。次に $(S_t - n \times D_t^1)$ から世帯 2 から n に $(D_t^2 - D_t^1)$ を分配する。以上の処理を分配できなくまで繰り返す。供給の残りを需要がまだ満たされていない世帯に等量分配する。これにより等しい量を分配できる。 $D_t < S_t$ の時、逆の操作により分配する。

3.4 生活スケジュール最適化の制約

各世帯の生活行動を並び替えると、複数の世帯間で各時刻に電力の売買が生じる。生活スケジュールの最適化において、以下の 5 つの制約が考えられる。

- (1) 時間単位：時間単位 U を本研究では 900 秒とし、15 分単位で各世帯がどの生活行動を行うか決定する。
- (2) マーケットプライスの条件：マーケットプライスは常に電力会社の電力価格よりも安価である。市場の供給量と需要量によって変動する。
- (3) 生活スケジュールの制約：一日の実行時間の総計は 24 時間とし、常にいずれかの行動をとる。
- (4) 各生活行動の条件：並び替えた生活スケジュールが各世帯にとって無理がないように、生活行動の条件が必要である [2]。生活行動には、以下の 5 つの条件がある。(i) 時間条件：ユーザのある行動が開始してから終了するまでの時間長を制約する条件。(ii) 期間条件：ユー

生活行動	期間条件	時間条件	分割条件
炊事(朝)	6時-9時	45分間	
掃除	8時-22時	1時間	30分

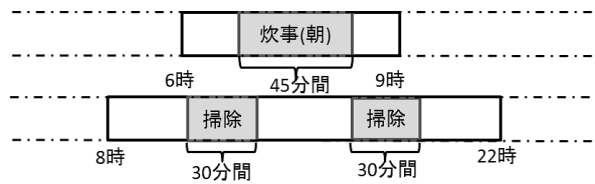


図 2: 時間, 期間と分割条件

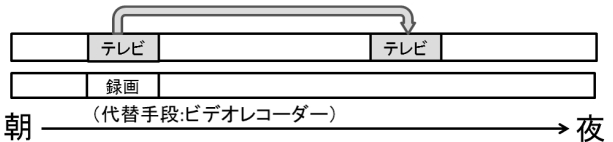


図 3: 代替条件

ザのある生活行動が実行可能な時間帯の開始・終了時刻を定める条件。(iii) 分割条件：さまざまな時間帯に分割して行える生活行動に付けられる条件。(iv) 並行条件：他の生活行動と並行できる生活行動につけられる条件。(v) 代替条件：代替手段を置くことで期間条件の期間外に並び替える生活行動に付けられる条件。

図 2 は時間条件, 期間条件, 分割条件の例を示し, 図 3 は録画機能という代替手段を使ってテレビの番組を放映時間とは異なる時間に見る代替条件を示している。

(5) 仮想スマートグリッド環境における電力の使用と売買のルール：各世帯はある生活行動をとっている間、その時間帯の発電電力、蓄電池の残存電力、他世帯から買う電力、および電力会社から買う電力を消費する。3.3 節で述べた流れに従って、無駄なく公平に電力を使用・売買する。

3.5 最適化

3.2 の最適性と 3.4 の制約より、問題を、例えば混合整数計画問題などの最適化問題に定式化できる [4]。中央サーバでこの問題を解いて最適解を求めることで、最適スケジュールが求まる。これを各世帯に推薦する。

4. おわりに

本論文では、地域内で経済性を考慮した電力自給のための生活スケジュールの提示手法を提案した。今後は、本手法の有用性を検証する予定である。

参考文献

- [1] 松本吉彦, 柳父悟: 新世代に向けた電力システム構造のビジョン, 電気学会論文誌 B, Vol.123-B(12), 1436-1442(2003)
- [2] 中西晴紀, 中小路公通, 原田史子, 島川博光: スマートグリッド環境における電力コスト最適化のための生活スケジュールの提示, 情報科学技術フォーラム講演論文集 Vol.9(2), 147-148(2010)
- [3] 谷口忠大, 高木圭太, 榊原一紀, 西川郁子: 地産地消型電力ネットワークの為に Natural Actor-Critic を用いた自動取引エージェントの構築知能と情報, 日本知能情報ファジィ学会論文誌, Vol.21(6), 1078-1091(2009)
- [4] <http://degw.cs.ritsumei.ac.jp/formulation.pdf>