

粒子フィルタを用いた太陽光発電予測に基づく 家庭電力マネジメントモデルの提案

吉村 卓也¹・金森 亮²・伊藤 孝行³

¹ 名古屋工業大学大学院 工学研究科 情報工学専攻 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail:yoshimura.takuya@itolab.nitech.ac.jp

² 名古屋工業大学 しくみ領域 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail:kanamori.ryo@nittech.ac.jp

³ 名古屋工業大学大学院 工学研究科 産業戦略工学専攻/情報工学科
(〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail:ito.takayuki@nittech.ac.jp

再生可能エネルギーの導入された環境を想定した社会基盤としてスマートグリッドが注目を集めており、より効率的な再生可能エネルギーによる電力発電が重要となってきた。本論文では、適切な定義に基づいて自律的に問題を解決するエージェント技術を活用して、太陽光パネルを持つ一般家庭での蓄電池の有効利用のための電力マネジメント手法を提案する。提案する手法では、太陽光発電量の予測値を活用した電力購入及び販売を行い、効率的に蓄電池を管理する。また、深夜帯に電力価格が低下することを考慮して、利潤が高くなるエージェント戦略を組み込み、より家庭にとって効用の高い電力マネジメントを実現する。予測値を考慮した電力マネジメントは、電力購入量を低減させることができ、負荷平準化対策として有効であることを示した。また、予測値を考慮することで、より安定的な電力量の購入が行えるため、太陽光発電量の不安定性を緩和することができる。また、夜間に電力を予め購入することで電力の販売量を増やすことができたが、電力需給の安定性を損なうことがわかった。

Key Words : Agent, Simulation, Smart grid, Demand-Supply balancing, Electric power management

1. はじめに

スマートグリッドと呼ばれる情報技術を駆使した高度な電力供給網が世界的に注目を集めており、効率的な電力の制御や、再生可能エネルギーが導入された環境を配慮した社会基盤の構築において、社会的な貢献が期待されている。

日本政府でも積極的な太陽光発電の導入計画が実施されており、太陽光発電パネルや家庭用蓄電池の低価格も進み、今後は一般家庭への普及率が増加すると予測されるため、設置された太陽光発電パネルの発電状況、蓄電池の蓄電状況、及び電力使用状況を考慮した最適量の電力売買は複雑化していく。また、太陽光発電量は天候によって発電量が大きく左右されるため、需給バランスの維持や出力変動による配電系統の電圧不安定化、系統事故時における大規模な停電といった課題がある。

本論文では、太陽光発電を導入した家庭の蓄電池管理を最適化していくことで、太陽光発電の不安定性の持つ様々な課題の解決を目指す。特に、本論文では、適切な定義に基づいて自律的に問題を解決するエージェント技術を活用していく。家庭の電力マ

ネジメントの問題では、電力需給バランスや負荷平準化対策への有効性などの効率的な蓄電池の運用方法について考察する。また、深夜帯になると、電力の利用者が大幅に減少するため、電力価格が割引される制度がある。この割引制度を考慮し、夜間に予め電力を購入したときの影響についての実験を行い考察する。

スマートグリッドに関係する研究は様々な分野で行われており¹⁻⁴⁾、川口氏らは、エージェントに基づく電力マネジメントにより、電力の需給バランスの安定を目的とした再生可能エネルギーの導入や蓄電池の効率的利用についての研究を行なっている⁵⁾。本論文では、購入する電力の最適量を太陽光発電量の予測値を考慮したエージェントモデルによる電力マネジメントを提案する。太陽光発電量の予測は時系列フィルタとして用いられる粒子フィルタ^{10,11)}を用いて行う。粒子フィルタについては、3章にて詳しく述べる。提案するエージェントモデルでの電力需給のバランスや蓄電池の安定利用について考察する。

本論文の構成について述べる。2章で本論文の関連研究として、電力マネジメントエージェントにつ

いて述べる．3 章では，太陽光発電予測に用いる粒子フィルタについてとその適用について述べる．4 章では，3 章で述べた粒子フィルタを活用したエージェントによる電力マネジメントについて述べる．特に，エージェントの電力売買のためのエージェントの戦略について詳しく説明する．5 章では提案するエージェントによる電力マネジメントによる蓄電池の効率的利用の分析を行い，提案する手法の有効性について考察する．最後にまとめと今後の課題についてまとめる．

2. 関連研究

スマートグリッドにおける電力マネジメントのアプローチは多岐にわたり研究されている．例えば，ゲーム理論を用いた経済分野からのアプローチ⁷⁾，多目的最適解によるアプローチ⁴⁾，そして電力売買や価格決定に対するアプローチ^{3,8)}などがある．本論文では，情報分野の技術のエージェントに基づくアプローチに注目する．エージェントに基づく電力マネジメントでは，太陽光パネルと蓄電池を備えた住宅に対して電力マネジメントを行うエージェントを想定しており，需要家の電力マネジメントにおける課題をエージェント技術の活用により解決を目指す．電力マネジメントエージェントは，適切な定義により自律的に問題を解決する能力を備えるエージェントの特徴から，需要家の課題解決手段として効果的であるとして用いられているアプローチである．

文献⁹⁾では，日本における現実的な消費データの利用と太陽光発電の導入及び学習を行うエージェントを用いた電力マネジメントについて提案している．需要家における次世代の電力マネジメントに着目しており，次世代型の電力マネジメントは詳細な需要の情報収集と需要に即した最適な電力制御を行うため，スマートハウスの実現において有効である．基本的に電力マネジメントエージェントは可能な限り電力購入量を少なく抑えて，家庭に依って利益となる行動を取ることを目的とする．従って，エージェントの戦略は，家庭の蓄電状況や昼間の太陽光発電による余剰電力を有効活用することが需要となる．設置料を除けば，比較的に安価に入手可能な太陽光発電によるエネルギーを利用することで家庭の電力購買料を抑えることが出来るため，消費者は総合的な電力料金を低価格に出来るメリットがある．また，購買料を減少させることで，電力網への負担が軽減し，ピークが分散されることから電力会社にとってもリスク回避や安定供給の実現に繋がるメリットがある．

電力マネジメントエージェントの基本的な行動原理をいかに示す．

(1) 太陽光発電の有効活用

晴天時の日中は太陽光発電で賄い，発生する余剰電力は蓄電池に蓄える．

(2) 蓄電池の有効活用

蓄電された電力は有効に放電して利用する．電力

消費の多い時間帯や天候が悪く太陽光発電が期待できない場合に利用する．

(3) 電力購入の抑制

電気料金の削減が消費者の効用を高める行動となるため，電力購入量を抑えるよう行動する．電力購入量は太陽光発電量および蓄電状況を活用する．

(4) 太陽光発電の不安定さへの対策

再生可能エネルギーの大きな課題の一つである不安定性に対する対策は，蓄電池の充電容量に常に余裕がある状態を保つようにすることである．太陽光発電は天候に応じて発電量が大幅に変化するため，電力購入量や蓄電池の蓄電量が非常に不安定になる．その不安定性を補完できるように，常に蓄電池に余裕をもたせる．

3. 粒子フィルタ

粒子フィルタとは，時系列フィルタの一種で，非線形または非ガウス型のあらゆる状態空間型のモデルに適用可能なフィルタリング手法で，様々な研究分野で応用されている⁹⁻¹⁰⁾．ある状態の確率分布を多数のサンプル値で近似的に計算する．ある状態の事後分布を求める際には定義した観測値に依って定まり，それぞれの粒子の尤度を用いる．粒子フィルタの基本的な考え方は，与えられた観測地を条件付き分布から多数の粒子のサンプル値に近似表現していくことで，近似された値（粒子）は状態予測モデルに基づいて予測が行われる．尤度の高い粒子は分裂し，新しい粒子が発生して，尤度の値が小さければ粒子は消滅していく．設定する問題に応じて適切な状態予測モデル及び観測モデルを定義する必要があり，以下に非線形かつ非ガウス型の状態空間型モデルの関数を示す．

$$\mathbf{x}_t = f(\mathbf{x}_{t-1}, \theta_t u_t) \quad (1)$$

$$\mathbf{y}_t = h(\mathbf{x}_t, \eta_t, v_t) \quad (2)$$

(1)式と(2)式について説明する． $\mathbf{x}_t$ は時刻 t の k 次元の状態ベクトル， $\mathbf{y}_t$ は時刻 t の l 次元の観測ベクトル，

θ_t, η_t はパラメータベクトル， u_t, v_t はそれぞれガウス分布に限らない確率密度関数に従うシステムノイズと観測ノイズで，白色ノイズとする． f, h は非線形関数であり，(1)式は状態ベクトルの時間ステップを表す状態方程式，(2)式は観測方程式である．一期先の状態 $\mathbf{x}_t$ の予測確率分布（事後確率）は

$$p(\mathbf{x}_t | \mathbf{y}_{1:t-1}) = \int p(\mathbf{x}_t | \mathbf{x}_{t-1}) p(\mathbf{x}_{t-1} | \mathbf{y}_{1:t-1}) d\mathbf{x}_{t-1} \quad (3)$$

と表すことができる．時刻 t までの観測ベクトル $\mathbf{y}_{1:t}$ が得られた後に，フィルタリングされた状態 $\mathbf{x}_t$ の確率分布（事後確率）はベイズ定理より，

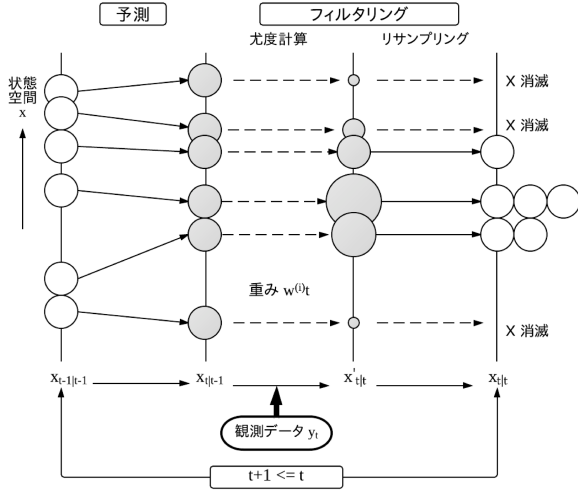


図 1 粒子フィルタの概念図

$$p(x_t|y_{1:t}) = \frac{p(y_t|x_t)p(x_t|y_{1:t-1})}{p(y_t|y_{1:t-1})} \quad (4)$$

となる．これらの(3)，(4)の式の条件付き確率を独立した多数の粒子を用いて近似を行う．(3)式の事前確率を用いて，

$$p(x_t|y_{1:t-1}) \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta(x_t - x_{t|t-1}^{(i)}) \quad (5)$$

と近似する． N は粒子数， δ はディラックのデルタ関数， $x_{t|t-1}^{(i)}$ は時刻 t の i 番目の粒子の事前推定値である．(5)式を(4)式に代入して，観測値 y_t を加えた事後確率が次の式になるように粒子 $x_{t|t}^{(i)}$ を求める．

$$p(x_t|y_{1:t}) \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta(x_t - x_{t|t}^{(i)}) \quad (6)$$

(5)式，(6)式の粒子 $x_{t|t-1}^{(i)}$ ， $x_{t|t}^{(i)}$ は(1)式，(2)式に従って以下の手順で求めていく．

1) 初期化

時刻 $t-1$ として， i 番目の粒子($i=1, \dots, N$)についてフィルタリング後の状態 $x_{t-1|t-1}^{(i)}$ が与えられる（図1の第一列目の粒子集合）．

2) 予測

状態方程式(1)式より， i 番目の粒子($i=1, \dots, N$)の予測値を求める．従って，事前確率が(5)式によって求められる（図1の第二列目の粒子集合）．

3) フィルタリング

(4)式の $p(y_t|x_t)$ は状態 x_t の時に観測 y_t が得られる尤度であり，観測式(2)四季から定まる $R(y_t|x_{t|t-1}^{(i)})$ によって得られる．図1の第三列の粒子集合の大きさは尤度の大小を表しており，観測値との適合度を計算して，高い粒子ほど尤度が大きいことを示す．(4)式の分母の $p(y_t|y_{1:t-1})$ は

$$\begin{aligned} p(y_t|y_{1:t-1}) &= \int R(y_t|x_t)p(x_t|y_{1:t-1})dx_t \\ &\approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R(y_t|x_{t|t-1}^{(i)}) \end{aligned} \quad (7)$$

となり，(5)式，(7)式を(4)式に代入すると事後確率として以下の式が得られる．

$$p(x_t|y_{1:t}) \approx \sum_{i=1}^N w_t^{(i)} \delta(x_t - x_{t|t-1}^{(i)}) \quad (8)$$

また，尤度関数によって得られた尤度を正規化する． $w_t^{(i)}$ は正規化された尤度である．

$$w_t^{(i)} = R(y_t|x_{t|t-1}^{(i)}) / \sum_{i=1}^N R(y_t|x_{t|t-1}^{(i)}) \quad (9)$$

4) リサンプリング

正規化された尤度（重み） $w_t^{(i)}$ に比例して $x_{t|t-1}^{(i)}$ を復元抽出して，抽出された粒子 $x_{t|t}^{(i)}$ とする（図1の第四粒子集合）．抽出した粒子の合計を N 個とする．粒子の重みはすべて $1/N$ となり，最終的に事後分布(6)式が得られる．さらに，リサンプリング後の各粒子の状態またわパラメータにランダムな攪乱を与えて，特定の粒子のみが選択されない工夫を行う．

(4) 更新

時間を更新する．1に戻って繰り返し処理する．

以上により， x_t の最適推定量と $\hat{x}_t$ 推定誤差分散 $\hat{\sigma}_t$ は次の(9)，(10)式によって求めることができる．

$$\hat{x}_t = E[x_t] \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{t|t}^{(i)} = \sum_{i=1}^N w_t^{(i)} x_{t|t-1}^{(i)} \quad (10)$$

$$\hat{\sigma}_t^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{t|t}^{(i)} - \hat{x}_t)^2 = \sum_{i=1}^N w_t^{(i)} (w_{t|t-1}^{(i)} - \hat{x}_t)^2 \quad (11)$$

4. 提案手法

(1) 粒子フィルタの適用

3章で示した粒子フィルタのアルゴリズムに従って太陽光発電の状態遷移モデルを定義する．本論文での粒子フィルタは，天候ごとの過去 N 日分の発電量と気象庁のデータから作成した平均的な天候の発電量から状態遷移に用いる曲線モデルを作成した．また，天候の定義は，気象庁データの県別での雨日数及び晴れ日数をもとに定義する．以下に作成した状態遷移の曲線モデルに基づく状態方程式を示す．

$$\hat{p}_{t+1} = x_t + \frac{1}{2} \{ (\hat{p}_t - x_{t-1}) + \{f(t+1) - x_t\} \} + w(t) \quad (12)$$

t は現在時刻を表す． p_{t+1} は時刻の太陽光発電量の予測値である．関数 f はある時刻における天候別の太

陽光発電量を決定する平均的な曲線モデルである。 g は過去 N 日間の平均的な太陽光発電量の傾向をモデル化した関数である。 x_t は時刻 t における太陽光発電量である。(12)式は、関数 f, g における現在時刻 t から一期先の時刻 $t+1$ の2つの変化量の平均を時刻 t における太陽光発電量 x_t に加算した値を次の粒子の状態としている。

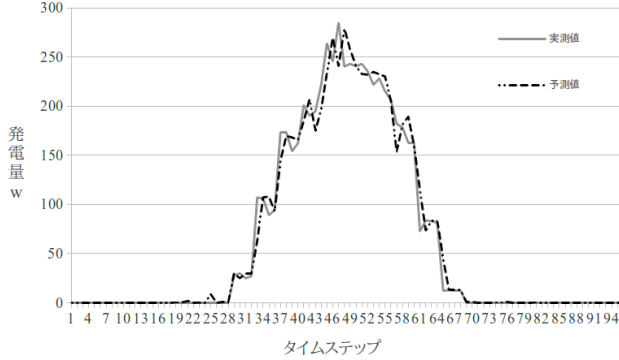


図2 粒子フィルタによる予測結果の一例

図2は、本論文で定義した状態モデルに従って実測値及び予測値を示したグラフである。また、年間の兵器的な晴れ日数から集計した晴れモデルの時の発電量の推移も示してある。グラフの横軸は1目盛15分のタイムステップで、合計95ステップの1日分のデータをグラフ化したものである。

(2) 太陽光発電量予測値を活用したエージェント戦略

家庭エージェントは自宅に設置した蓄電池の蓄電容量の充電状況から、電力を購入するのか蓄電池から電力を賄うのかを判断していく。また、電力価格は深夜の時間帯に割引がされるので、家庭エージェントは前日に次の日に購入する電力量を推定して深夜にある程度の電力を購入して蓄電池に蓄えておく。夜間に購入する電力をより多く分配することで利潤を高めることができる。

日中のエージェントの戦略について始めに説明する。文献⁵⁾では、現在時刻の太陽光発電量から、必要となる電力量の決定をする。本論文では、粒子フィルタを用いて、太陽光発電量の予測値を活用した電力購入量の決定を行う。

ここで、家庭のエージェントが電力売買を行う際に用いる変数を定義する。

1. 蓄電量 B
2. 太陽光発電量 PV
3. 電力需要 D
4. 蓄電目標値 G
5. 最大蓄電容量 C
6. 購入量 buy
7. 販売量 $sell$

また、(13)式に蓄電量 B の更新式を示す。

$$B_t = B_{t-1} + PV_t - D_t - sell_t + buy_t \quad (13)$$

蓄電量 B_t は時刻 t における蓄電量で、蓄電量 B_t は前の時刻 B_{t-1} 、時刻 t の太陽光発電量 PV_t 、需要量 D_t 、販売した電力量 $sell_t$ 、及び購入した電力量 buy_t によって更新される。

家庭エージェントは(13)式により蓄電池の状態を更新していき、次の時間帯で購入する電力量の判断材料として活用する。例えば、家庭エージェントは次の状態の蓄電量が目標値 G を達成していなければ電力を購入し、目標値 G 以上の蓄電量の時は余剰電力を売る。更に、次の時間帯での太陽光発電量および電力需要量を考慮することで、予め電力消費量が多い時間帯には多めに購入し、逆に発電量が多い場合は電力を売る行動をとる。次に、電力の購入量及び販売量の決定戦略について述べる。

電力の購入及び販売は、ある時刻 t における太陽光発電量 PV_t 、電力需要 D_t 、次の時刻 $t+1$ における太陽光発電量 PV_{t+1} 、及び電力需要 D_{t+1} の関係性によって決定される。(14)式に太陽光発電量 PV 及び電力需要 D の関係式を示す。

$$\Delta d_t = PV_t - D_t \quad (14)$$

(14)式は、時刻 t における太陽光発電量 PV_t から電力需要 D_t を引いた値で、太陽光発電量により余った余剰電力量を表す。家庭エージェントは、時刻 t 及び $t+1$ における余剰電力 Δd_t 、 Δd_{t+1} が正か負の値を取るかで電力を購入及び販売するかの意思決定を行う。

$$\text{条件 A: } 0 \leq B_{t-1} + \Delta d_t + \Delta d_{t+1} < G \quad (15)$$

条件Aは、時刻 t 及び時刻 $t+1$ における余剰電力量 Δd_t 、 Δd_{t+1} を前の時刻 $t-1$ の蓄電量 B_{t-1} に加えた値が目標値 G よりも少ないことを示す。この目標値 G の蓄電量が達成されていないときは電力を購入し、達成されている場合は目標値以上に蓄電している余剰電力を販売する。購入する電力量は次の(15)式で定義する。

$$buy_t = \begin{cases} -(\Delta d_t + \Delta d_{t+1}) & (A \text{ を満たす}) \\ 0 & (-(\Delta d_t + \Delta d_{t+1}) < 0) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (16)$$

条件Aを満たすとき、すなわち、蓄電量 B_t が目標値 G に到達できていなかった場合を示し、不足した電力量を購入する。購入する電力量は時刻 t から $t+1$ での消費される電力量の分である。余剰電力 Δd_t 、 Δd_{t+1} が正の値のとき、発電量 PV_t 及び PV_{t+1} が電力需要 D_t 、 D_{t+1} よりも多く得られており、家庭エージェントは電力が余っているため、電力を購入しない。また、購入量が0のとき、家庭エージェントは電力

を販売する意思決定を行う。(17)式に販売する電力量の定義を示す。

$$sell_t = \begin{cases} B_{t-1} - G & (A \text{ を満たさない}) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (17)$$

条件Aを満たさないとき、蓄電量 B_t は目標値 G を超えているため、差分の電力量を販売する。時刻 t 及び $t+1$ における余剰電力 Δd_t 、 Δd_{t+1} が負の値になるとき、すなわち、太陽光発電量よりも電力需要が多い場合で、電力を購入する必要がある、家庭エージェントは電力を販売しない。

次に、夜間におけるエージェントの戦略について述べる。深夜には電力が昼間より価格が低くなるため、家庭は事前に次の日の天候、今までの電力需要及び太陽光発電量から、次の日の1日に購入するであろう電力量を概算して、深夜帯に予め購入しておく。次の日の電力需要及び太陽光発電量は以下の式で定義する。

$$D_{ave} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^L D_{ij} \quad (18)$$

$$PV_{ave} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^L PV_{ij} \quad (19)$$

(18)式は、過去 N 日間の電力需要の平均値を示している。 L はタイムステップを示している。同様に、(19)式は、過去 N 日間の時刻 j における平均発電量を示している。 D_{ave} と PV_{ave} の値を活用して、次の日に購入するであろう電力量を計算し、深夜帯に分配していく夜間の電力購入の戦略を立てる。(20)式に夜間購入する電力量を表す式を示す。

$$buy_{day} = \begin{cases} D_{ave} - PV_{ave} & (B_t + D_{ave} - PV_{ave} < \alpha C) \\ \alpha C - B_t & (otherwise) \end{cases} \quad (20)$$

α は蓄電容量に蓄える比率で、夜間に蓄電容量の何割程度蓄えるかを表す係数である。一日に購入するおおよその電力量を計算した後、夜間の時間帯に購入を分配していく。

$$buy_{day_i} = \frac{1}{S} buy_{day} \quad (21)$$

(21)式は、夜間の1タイムステップで購入する電力量を表している。 S は夜間の深夜時間帯域幅を表している。

5. エージェントシミュレーション

実験では粒子フィルタを用いた太陽光発電料の予測値を用いた電力購入を決定するエージェントについて、電力需給バランス及び家庭の利潤に着目して、

未来予測を考慮するエージェントの戦略の有用性について検証する。

(1) 実験設定

実験では、3つのケース、1) 予測なしによる電力売買を行うエージェント、2) 予測有りの電力マネジメントを行うエージェント、3) 2)に夜間にまとめ買いを行う戦略を加えたエージェントの電力需給バランス及び家庭の利潤を比較する。

ケース1：太陽光発電量の予測なし

ケース2：太陽光発電量の予測有りの

ケース3：夜間まとめ買い+発電量予測有り

また、各ケースのエージェントが持つ蓄電池、太陽光パネル、及び目標蓄電量は以下のように設定する。

- ・ 蓄電容量：5kW
- ・ 太陽光パネル：4kWhシステム
- ・ 目標蓄電量：2kW

ケース3における夜間の目標とする蓄電量は最大容量の80%とするため、(20)式における α を0.8とする。シミュレーションは365日間行う。

(2) 実験結果

ケース1からケース3でシミュレーション実験を行い、家庭の蓄電容量、販売量、及び購入量から蓄電池の効率活用および電力需要への影響について分析する。図3は電力の総販売量を表したグラフである。ケース1とケース2を比較すると、ケース2の販売量が多い。この理由は、一期先の発電量が多く得られる場合に余剰電力が発生すると判断でき、予測する事でその機会が増えるためである。ケース3が最も販売量が多い結果を示している。この結果は、予め電力を夜間に購入する事で、特に晴れの日には、蓄電池を日中までの消費量をまかなう事で電力を売る機会が多くなることを表している。

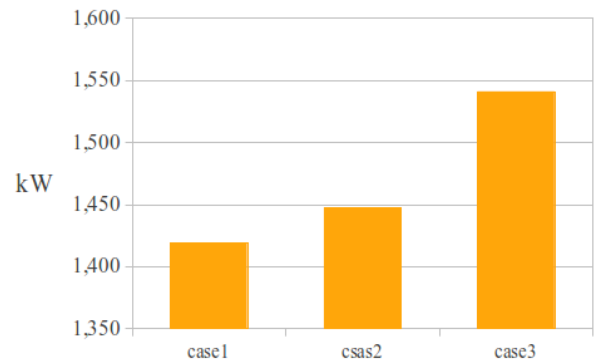


図3 電力の総販売量 (kW/年)

図4は、電力の総購入量を表したグラフである。最も低い値を示しているのがケース2で、最も高い値を示しているのがケース1である。ケース1とケース2の結果から、太陽光発電量の予測値を考慮する事で、次の時間帯に余裕があると判断できるため、事前に少ない電力量で抑えることができる。ケース2よりもケース3の購入量が増加した理由は、夜間で購入する量が予想よりも多すぎた場合が起きるからである。特に曇りの日は、予想よりも大幅に蓄電量が得られる場合があるため、より多くの電力量を

購入してしまう。

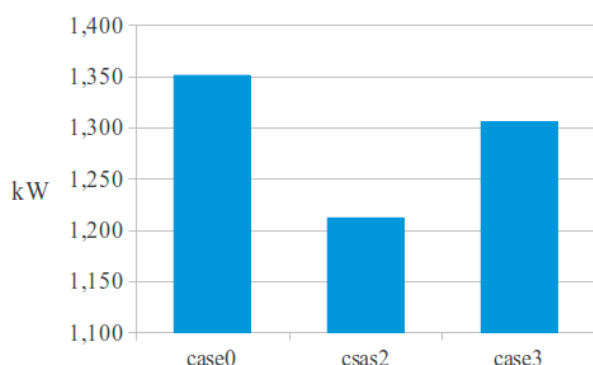


図4 電力の総購入量 (kW/年)

表1は、蓄電量、販売量及び購入量の変動係数を表した表である。蓄電量を比較すると、どのケースも殆ど変わらず、安定的に蓄電量を保有できていることがわかる。また、販売量も同様にどのケースも殆ど変わらない結果が得られている。購入料の変動係数を比較した場合、ケース2での変動率が最も低く、他のケースと比較してより安定的に電力を購入している。ケース3で高くなるのは、夜間に多く電力購入を行う場合があるため、変動係数は高くなる。

表1 蓄電量、販売量、及び購入量の変動係数

	蓄電量 変動係数	販売量 変動係数	購入量 変動係数
ケース1	0.033	0.773	0.345
ケース2	0.034	0.776	0.262
ケース3	0.036	0.776	0.364

以上の結果から、太陽光発電量の予測値を考慮することで、電力購入量の低減することができ、また、安定した電力量を購入することができる。前者は、全体的な電力需要を抑えることに繋がり、負荷平準化対策として有効である。また、安定した電力購入ができるため、太陽光発電量の不安定性を緩和することができることがわかった。また、夜間に電力を予め購入することでより多くの電力を販売することができるが、電力購入の安定性を損なうことがわかった。

6. まとめ

家庭の蓄電池の効率的な活用の手法として、エージェントによる太陽光発電量の予測値を考慮した電力マネジメント手法を提案した。更に、夜間電力の割引に従って、エージェントは夜間のうちに電力を予め購入する戦略をとる。エージェントのシミュレーションを行った結果、予測値を考慮した電力マネジメントは、電力購入量を低減させることができ、負荷平準化対策として有効であることを示した。また、予測値を考慮することで、より安定的な電力量の購入が行えるため、太陽光発電量の不安定性を緩和することができる。また、夜間に電力を予め購

入することで電力の販売量を増やすことができたが、電力需給の安定性を損なうことがわかった。

今後の課題として、電力市場による価格の要素を取り入れ、より電力需給の変動が大きくなるモデルによる検証を行っていき、実際の電力マネジメントモデルを検証していく。また、電気自動車の普及を見据え、充放電行動を加味した家庭電力マネジメントモデルを検討していく予定である。

参考文献

- 1) S.v.D.R.A.R. Perukrishnen V, Thomas D. Voice and N.R.Jennings, "Agentbased control for decentralised demandside management in the smart grid," 2011. Proc. of the 10th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS-2011).
- 2) S.v.D.R.A.R. Perukrishnen V, Thomas D. Voice and N.R. Jennings, "Agentbased micro-storage management for the Smart grid," 2010. Proc. of the 9th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS-2010).
- 3) M.M.V. Prashant P. Reddy, "Learned behavior of multiple autonomous agents in smart grid markets," 2011. Proc of the Twenty-Fifth Conference on Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI-2011).
- 4) B.R. Sathyanarayana and G.T. Heydt, "A roadmap for distribution energy management via multiobjective optimization," 2010. Power and Energy Society General Meeting.
- 5) 川口将吾,金森亮,伊藤孝行,“エージェントシミュレーションによる電力売買における価格変動制導入の影響分析,” 2012. 情報処理学会研究報告 IPSJ SIG Technical Report.
- 6) 樋口知之,“粒子フィルタ,” 電子情報通信学会誌,vol.88,no.12, pp.143-148,2005.
- 7) 健志畑中,政之藤田,“システム科学技術のための分散協調最適化とポテンシャルゲーム,” 計測と制御= Journal of the Society of Instrument and Control Engineers,vol.51,no.1,pp.49-54, jan 2012.
- 8) S.D.R.A.R. Thomas D. Voice, Perukrishnen Vytelingumand N.R. Jennings, "Decentralized control of micro-storage in the smart grid," 2011. Proc of the Twenty-Fifth Conference on Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI-2011).
- 9) K. Eryu, T. Seto, M. Furuuchi, Y. Otani, N. Tajima, and T.Kato, "Effects of filter packing density and particle deposition classification performance of inertial filter for sampling of pm0.1," JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING OF JAPAN, vol.44, no.9, pp.609-615, 2011.
- 10) 須藤純一,立川康人,椎葉充晴,萬和明,K. Sunmin,“粒子フィルタを用いた河川水位の実時間予測手法の開発,” 水耕学論文集,vol.55,pp.511-516,2011.
- 11) 加藤丈和,“パーティクルフィルタとその実装方(チュートリアル)”.
- 12) 水谷信泰,金森亮,伊藤孝行,“太陽光発電と蓄電池を備えた住宅のためのエージェントに基づく電力利用マネジメントモデルの提案, 情報処理学会研究報告. ICS, [知能と複雑系],vol.2011, no.1,pp.1-6,oct 2011.

(2013. 8. 2 受付)