

# リアルタイム・プライシングによる電力需給調整に関する研究

M2013SS014 安西将貴

指導教員：佐々木美裕

## 1 はじめに

近年、世界各国はスマートメータを使用した新たな電力網(スマート・グリッド)を構築し、電力の需給調整に力を入れている。スマートメータとは、スマートコミュニティの構成要素の1つで通信機能と備えた電力メータである。

世界各国がスマートメータを導入する理由は、電力価格のリアルタイム・プライシングを導入できるからである。リアルタイム・プライシングとは、電力の需給状況に応じて時々刻々の電力の料金を決定する料金制度である。この料金制度により、再生可能エネルギーの大量導入や電力需要のピーク抑制など電力の需給調整に役立つと考えられている。しかし、現状リアルタイム・プライシング導入による需要家への影響および電力の需給調整に役立つかどうかはよくわかっていない。

そこで本研究は、各需要家が各自のエネルギー需要を満たすように最適な行動をするという仮定の下で電力の売買価格の決定を行い、リアルタイム・プライシング導入による需要家への影響およびスマート・コミュニティ内の電力需給状況の変化について考察する。この問題は、各需要家が各自のエネルギー需要を満たすように最適な行動をするという制約が含まれる電力の売買価格を決定する2段階最適化問題である。

関連する過去の研究として参考文献[2, 3, 4]がある。参考文献[3, 4]はスマートコミュニティの構成要素であるスマートハウスに着目し、電力の売買価格を既知としてスマートハウスに設置されている各種電池システムの最適運転計画を策定するモデルを提案している。参考文献[2]は電力会社が動的に電力の売買価格を変動させるエージェントシミュレーションを用いて電力価格の変動による影響の分析を行っている。

## 2 問題の概要

### 2.1 想定する状況

本研究では、コミュニティ・エネルギー・マネジメント・システム(CEMS)と複数のホーム・エネルギー・マネジメント・システム(HEMS)で構成されているスマートコミュニティについて考える。想定する状況を図1に示す。CEMSは、スマートコミュニティ内のエネルギーの需給調整や再生可能エネルギーの発電量予測、電力の売買価格の決定を行うシステムで、HEMSは、蓄電池、太陽電池、燃料電池など複数のエネルギー供給源を有した家(スマートハウス)で、スマートメータから受け取った電力の売買価格情報を基に各種電池を最適制御するシステムである。またこれらのシステムは、互いに電力の売買価格情報や各需要家の買電量と売電量をやり取りしてリアルタイム・プライシング制度を実現する。

CEMSの目的は、CEMS運用者の利益を一定以上確保した上で、再生可能エネルギーの導入促進、電力需要の

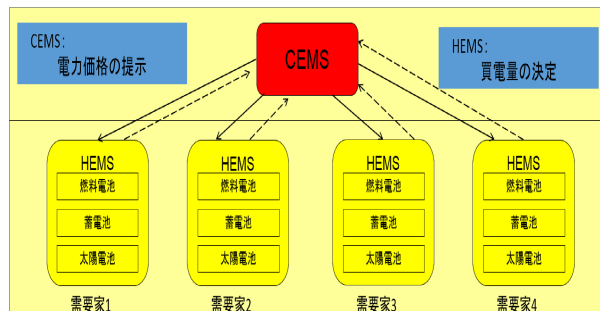


図1 CEMSとHEMSの関係

ピークカットをすることである。そのためには、コミュニティ内の電力需要をコミュニティ内で発電した再生可能エネルギーで賄うあるいはコミュニティ内で発電した再生可能エネルギーの電力量分だけコミュニティ内で電力を消費すること(電力の地産地消)が望ましいと考えられる。なぜなら、再生可能エネルギーは天候などにより発電量が左右されたり、発電コストが高く送電によるロスのできる限り防ぎたいからである。CEMS運用者の利益を一定以上確保する理由は、リアルタイム・プライシングを持続可能な電力の料金制度にするためである。本研究では、買電を需要家(HEMS)がCEMS運用者から買う電力、売電を需要家がCEMS運用者に売る電力と定義し、電力の地産地消を各時刻における買電量と売電量の差で定義する。

HEMSの目的は、需要家の電力需要、温水需要を満たした上で、スマートハウスの運用コストを最小化することである。スマートハウスのエネルギーの流れを図2に示す[4]。本研究では、すべての需要家が蓄電池、太陽電池、燃

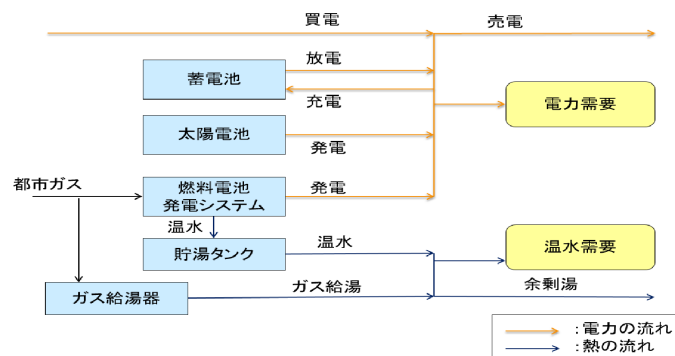


図2 スマートハウスのエネルギーの流れ

料電池が設置されているスマートハウスに居住していると仮定する。蓄電池は電力を一時的に蓄えておくことができる機器であり、必要に応じて充電や放電が可能となっている。太陽電池は太陽光エネルギーから電力を生み出

す機器である。燃料電池はガスを燃料として発電を行う機器である。電力需要は買電、蓄電池からの放電、太陽電池、燃料電池から賄うことができる。燃料電池は発電する際に、同時に熱も発生し、発生した熱は貯湯タンクに蓄えられ、必要に応じて温水需要に充てられる。貯湯タンクからのみで温水需要を賄うことができない場合は、ガス給湯器からの供給も可能である。一方、温水需要量を超える温水が発生したときは余剰湯として廃棄される。買電や発電によって利用可能な電力は電力需要のみに充てるのではなく、売電することもできる。ただし、売電可能な電力量は最大で売電を行う時刻の太陽光発電量までであり、買電を行っている時刻に売電はできない。また、燃料電池は起動時に本体を温めるための起動費用が必要であり、燃料電池の稼働中は常に一定量の燃料を投入する必要がある。

## 2.2 リアルタイム・プライシング

リアルタイム・プライシングとは、電力価格を電力の需給状況に応じて時々刻々と変動させる料金制度のことである。しかし、問題の設定上、時々刻々と料金を変動させるのは困難であるため、電力の売買価格を時間帯ごとに設定する。また電力の売買価格は、数時間前に公表されるのが好ましいが、本研究では 24 時間分を事前に需要家に知らせると仮定する。

## 3 定式化

### 3.1 CEMS の定式化

記号を以下のように定義する。\$T\$ は時間帯の集合、\$H\_t\$ は \$t \in T\$ 時間帯に含まれる時刻 \$h \in H\$ の集合を表す。\$\epsilon\_{\max}, \epsilon\_{\min}\$ は、それぞれ CEMS 運用者が得ることを許される利益の最大値、最小値、\$\bar{C}\$ は買電価格、売電価格が取りうる値の最大値を表す。\$C\_b(t)\$ は時間帯 \$t\$ の買電価格を表す変数、\$C\_s(t)\$ は時間帯 \$t\$ の売電価格を表す変数とする。

CEMS の問題は以下のように定式化できる。ただし、\$S\_i(C\_b, C\_s)\$ は電力の売買価格が \$C\_b, C\_s\$ のときの需要家 \$i \in I\$ の最適応答における買電量、売電量の集合を表す。

Minimize

$$f(C_b, C_s) = \sum_{h \in H} \left| \sum_{i \in I} z_i^-(i, h) - z_i^+(i, h) \right| \quad (1)$$

subject to

$$\{z_i^-, z_i^+\} \in S_i(C_b, C_s) \quad (i \in I) \quad (2)$$

$$\epsilon_{\min} \leq \sum_{t \in T} C_b(t) \sum_{h \in H_t} \sum_{i \in I} z_i^-(h) - \sum_{t \in T} C_s(t) \sum_{h \in H_t} \sum_{i \in I} z_i^+(h) \leq \epsilon_{\max}, \quad (3)$$

$$0 \leq C_b(t) \leq \bar{C}, \quad 0 \leq C_s(t) \leq \bar{C} \quad (t \in T) \quad (4)$$

式 (1) は時刻 \$h \in H\$ における需要家 \$i \in I\$ の買電量と売電量の差の絶対値の総和を計算することによって、時刻 \$h \in H\$ における地域内の消費電力量または余剰電力量を表す。式 (2) は需要家 \$i \in I\$ の時刻 \$h \in H\$ における最適

な買電量、売電量を表す。式 (3) は CEMS 運用者の利益が取りうる範囲を表す。式 (4) は時刻帯 \$t \in T\$ における買電価格、売電価格が取りうる値の範囲を表す。

### 3.2 HEMS の定式化

HEMS の問題を解くモデルは尾添ら [3] のモデルを参考に定式化する。尾添ら [3] は混合整数計画問題として定式化した。対象の期間を \$H\$ とし、時刻の添え字集合を \$\mathcal{H} = \{1, 2, \dots, H + 1\}\$, 需要家の添え字集合を \$I\$ とする。需要家 \$i \in I\$ の時刻 \$h \in \mathcal{H}\$ の電力需要を表す定数を \$E\_i(h)\$, 給湯需要を表す定数を \$\Theta\_i(h)\$, 太陽光発電量を表す定数を \$s\_i(h)\$ とする。需要家 \$i \in I\$ の時刻 \$h \in \mathcal{H}\$ のガス燃料の投入量を表す変数を \$x\_i(h)\$, 買電量を表す変数を \$z\_i^-(h)\$, 売電量を表す変数を \$z\_i^+(h)\$, ガス給湯器による給湯量を表す変数を \$y\_i^-(h)\$, 余剰湯量を表す変数を \$y\_i^+(h)\$, 蓄電池の充電量を表す変数を \$r\_i^+(h)\$, 蓄電池の放電量を表す変数を \$r\_i^-(h)\$, 燃料電池の発電量を表す変数を \$p\_i^{FC}(h)\$, 燃料電池の排熱回収量を表す変数を \$q\_i^{FC+}(h)\$, 貯湯タンクからの出湯量を表す変数を \$q\_i^{FC-}(h)\$, 燃料電池が起動するか、しないかを表すバイナリ変数を \$\alpha\_i^{FC}(h)\$, 蓄電池の蓄電量を表す \$R\_i(h)\$, 蓄電池が充電するか、しないかを表すバイナリ変数を \$\delta\_i^{R+}(h)\$, 蓄電池が放電するか、しないかを表すバイナリ変数を \$\delta\_i^{R-}(h)\$, 燃料電池の起動状態を表すバイナリ変数を \$\delta\_i^{FC}(h)\$, 蓄熱タンクの蓄熱量を表す変数を \$Q\_i(h)\$, 買電するか売電するかを表すバイナリ変数を \$\delta\_i^{FSW}(h)\$, 蓄電池の制約に使用する補助変数を \$\lambda\_i^{R+}(h), \mu\_i^{R+}(h), \lambda\_i^{R-}(h), \mu\_i^{R-}(h)\$, 燃料電池の制約に使用する補助変数を \$\lambda\_i^{FC}(h), \mu\_i^{FC}(h)\$ とする。\$C\_1, C\_2, C\_3(h), C\_4(h), C\_5\$ はそれぞれ燃料電池のガス燃料の単価、燃料電池の 1 回あたりの起動費用、時刻 \$h\$ の単位電力量あたりの買電価格、時刻 \$h\$ の単位電力量あたりの売電価格、単位熱量あたりの給湯費用を表す。\$R^{\max}, R^{\min}\$ はそれぞれ蓄電池の蓄電可能な蓄電量の最大値、最小値、\$R\_i^0, \eta^{BC}, \eta^{BD}\$ はそれぞれ初期蓄電量、充電効率、放電効率、\$r^{\min}, r^{\max}\$ はそれぞれ蓄電池の充電量と放電量の最大値、最小値、\$x^{\min}, x^{\max}\$ はそれぞれ燃料電池の燃料投入量の最大値、最小値、\$\delta\_i^{FC0}\$ は燃料電池が時刻 1 から起動しているかしていないかを表す定数、\$Q^{\max}, Q^{\min}\$ はそれぞれ貯湯タンクに溜められる熱量の最大値、最小値、\$Q\_i^0\$ は貯湯タンクの初期蓄熱量を表す。\$a, p^{FC0}\$ は燃料電池の発電量の制約で使用する定数、\$b, q^{FC0}\$ は発熱量の制約で使用する定数を表す。\$M\$ は十分大きな値を表す。

需要家 \$i \in I\$ の HEMS の問題は以下のように定式化できる。ただし、\$z\_i^+ = \{z\_i^+(h); h \in H\}\$, \$z\_i^- = \{z\_i^-(h); h \in H\}\$, \$C\_b(t) = C\_3(h)\$, \$C\_s(t) = C\_4(h)\$ (\$h \in H\_t\$) とする。

Minimize

$$g(z_i^-, z_i^+) = C_1 \sum_{h \in H} x_i(h) + C_2 \sum_{h \in H} \alpha_i^{FC}(h) + \sum_{h \in H} C_3(h) z_i^-(h) - \sum_{h \in H} C_4(h) z_i^+(h) + C_5 \sum_{h \in H} y_i^-(h) \quad (5)$$

subject to

$$R_i(1) = R_i^0, \quad (6)$$

$$R^{\min} \leq R_i(h) \leq R^{\max}, \quad h \in \mathcal{H}, \quad (7)$$

$$R_i(h+1) = R_i(h) + \eta^{BC} r_i^+(h) - \frac{r_i^-(h)}{\eta^{BD}}, \quad h \in \mathcal{H}, \quad (8)$$

$$r_i^+(h) \geq 0, \quad r_i^-(h) \geq 0, \quad h \in \mathcal{H}, \quad (9)$$

$$\delta_i^{R+}(h) + \delta_i^{R-}(h) \leq 1, \quad h \in \mathcal{H}, \quad (10)$$

$$\lambda_i^{R+}(h) + \mu_i^{R+}(h) = \delta_i^{R+}(h), \quad h \in \mathcal{H}, \quad (11)$$

$$\lambda_i^{R+}(h) \geq 0, \quad \mu_i^{R+}(h) \geq 0, \quad h \in \mathcal{H}, \quad (12)$$

$$r_i^+(h) = r^{\min} \lambda_i^{R+}(h) + r^{\max} \mu_i^{R+}(h), \quad h \in \mathcal{H}, \quad (13)$$

$$\lambda_i^{R-}(h) + \mu_i^{R-}(h) = \delta_i^{R-}(h), \quad h \in \mathcal{H}, \quad (14)$$

$$\lambda_i^{R-}(h) \geq 0, \quad \mu_i^{R-}(h) \geq 0, \quad h \in \mathcal{H}, \quad (15)$$

$$r_i^-(h) = r^{\min} \lambda_i^{R-}(h) + r^{\max} \mu_i^{R-}(h), \quad h \in \mathcal{H}, \quad (16)$$

$$\lambda_i^{FC}(h) + \mu_i^{FC}(h) = \delta_i^{FC}(h), \quad h \in \mathcal{H}, \quad (17)$$

$$\lambda_i^{FC}(h) \geq 0, \quad \mu_i^{FC}(h) \geq 0, \quad h \in \mathcal{H}, \quad (18)$$

$$x_i(h) = x^{\min} \lambda_i^{FC}(h) + x^{\max} \mu_i^{FC}(h), \quad h \in \mathcal{H}, \quad (19)$$

$$p_i^{FC}(h) = ax_i(h) + p^{FC0} \delta_i^{FC}(h), \quad h \in \mathcal{H}, \quad (20)$$

$$q_i^{FC+}(h) = bx_i(h) + q^{FC0} \delta_i^{FC}(h), \quad h \in \mathcal{H}, \quad (21)$$

$$p_i^{FC}(h) \geq 0, \quad q_i^{FC+}(h) \geq 0, \quad h \in \mathcal{H}, \quad (22)$$

$$\delta_i^{FC}(1) = \delta_i^{FC0}, \quad (23)$$

$$\delta_i^{FC}(h) - \delta_i^{FC}(h-1) \leq \alpha_i^{FC}(h), \quad h \in \mathcal{H} \setminus 1, \quad (24)$$

$$Q_i(1) = Q_i^0, \quad (25)$$

$$Q_i^{\min} \leq Q_i(h) \leq Q_i^{\max}, \quad h \in \mathcal{H}, \quad (26)$$

$$Q_i(h+1) = Q_i(h) + q_i^{FC+}(h) - q_i^{FC-}(h), \quad h \in \mathcal{H}, \quad (27)$$

$$q_i^{FC-}(h) \geq 0, \quad h \in \mathcal{H}, \quad (28)$$

$$\begin{aligned} p_i^{FC}(h) + s_i(h) + z_i^-(h) + r_i^-(h) \\ = E_i(h) + z_i^+(h) + r_i^+(h), \quad h \in \mathcal{H}, \end{aligned} \quad (29)$$

$$z_i^+(h) \geq 0, \quad z_i^-(h) \geq 0, \quad h \in \mathcal{H}, \quad (30)$$

$$q_i^{FC-}(h) + y_i^-(h) = \Theta_i(h) + y_i^+(h), \quad h \in \mathcal{H}, \quad (31)$$

$$z_i^+(h) \leq M \delta_i^{ESW}(h), \quad h \in \mathcal{H}, \quad (32)$$

$$z_i^-(h) \leq M(1 - \delta_i^{ESW}(h)), \quad h \in \mathcal{H}, \quad (33)$$

$$z_i^+(h) \leq s_i(h), \quad h \in \mathcal{H}, \quad (34)$$

$$y_i^+(h) \geq 0, \quad y_i^-(h) \geq 0, \quad h \in \mathcal{H} \quad (35)$$

式 (5) の第 1 項は燃料電池の燃料コストの総和, 第 2 項は燃料電池の起動コストの総和, 第 3 項は買電コストの総和, 第 4 項は売電利益の総和, 第 5 項はガス給湯コストの総和を表す. 式 (6) は蓄電池の初期蓄電量, 式 (7) は蓄電可能な蓄電量の制約, 式 (8) は蓄電量の制約, 式 (9) は充電量, 放電量に対する非負制約, 式 (10) は充電と放電が同時に行われないことを表す制約, 式 (11)-(13) は充電量の制約, 式 (14)-(16) は放電量の制約を表す. 式 (17)-(19) は燃料電池の燃料の投入量の制約, 式 (20) は発電量の制約, 式 (21) は発熱量の制約, 式 (22) は発電量, 発熱量に対する非負制約, 式 (23) は初期状態を表す制約, 式 (24) は稼働状態を表す制約である. 式 (25) は貯湯タンクの初期蓄

熱量の制約, 式 (26) は蓄熱可能な蓄熱量の制約, 式 (27) は蓄熱量の制約, 式 (28) は貯湯タンクからの出湯量に対する非負制約を表す. 式 (29) は電力の需給バランスの制約, 式 (30) は買電量と売電量に対する非負制約, (31) は熱量の需給バランスの制約である. 式 (32), 式 (33) は買電と売電が同時に行われないことを表す制約, 式 (34) は太陽電池で発電した電力を売電量が超えないことを表す制約, 式 (35) はガス給湯量, 余剰湯量に対する非負制約である.

## 4 CEMS の問題の解法

本研究は, CEMS の問題を解く方法として微分を使わない代表的な方法である Nelder-Mead 法を改良した Simple Direct Search(SDS) を用いる. SDS とは, Hedar[1] らによって Nelder-Mead 法を改良して作られたアルゴリズムである. このアルゴリズムを使用する理由は, CEMS の目的関数値は HEMS の問題の最適解によって定まるため, 最急降下法や準ニュートン法などの微分を用いる標準的な最適化手法を用いることは困難を要するためである. しかし, Nelder-Mead 法や SDS も局所最適解を求める理論的な保証はなく, 無制約最適化問題にしか適用できない特徴をもつため, 多スタート法とペナルティ関数法を用いて CEMS の問題を解く. 以下にペナルティ関数を用いたモデルを示す. ただし,  $C$  は CEMS 運用者の利益,  $p_1$  は CEMS 運用者の利益に対するペナルティ関数,  $p_2$  は買電価格, 売電価格の上限, 下限に対するペナルティ関数である.

Minimize

$$f(C_b(t), C_s(t)) + p_1 + p_2$$

Subject to.

$$\{z_i^-, z_i^+\} \in S_i(C_b, C_s),$$

$$v = \sum_{t \in T} C_b(t) \sum_{h \in H_t} \sum_{i \in I} z_i^-(h) - \sum_{t \in T} C_s(t) \sum_{h \in H_t} \sum_{i \in I} z_i^+(h),$$

$$p_1 = \alpha \cdot \max\{\epsilon_{\min} - v, 0\} + \alpha \cdot \max\{v - \epsilon_{\max}, 0\},$$

$$\begin{aligned} p_2 = P \left[ \sum_{t \in T} \max\{C_b(t) - \bar{C}, 0\} + \sum_{t \in T} \max\{C_s(t) - \bar{C}, 0\} \right] \\ + P \left[ \max\{-C_b(t), 0\} + \max\{-C_s(t), 0\} \right] \end{aligned}$$

以下にペナルティ関数法と SDS を組み合わせたアルゴリズムを示す.

1. 収束条件  $\epsilon_1^P, \epsilon_2^P, \epsilon_1^S, \epsilon_2^S$ , パラメータ  $\rho, \sigma$  を設定し,  $x^*$  を  $x^*=0$  とする.
2. 単体を構成する頂点  $x^1, x^2, \dots, x^{n+1}$  として, 初期単体を生成する. ただし,  $x^i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i)$ , ( $i = 1, 2, \dots, n+1$ ) とする.
3. SDS を実行し,  $x^1$  を出力する.

4.  $|f(x^*) - f(x^1)| < \epsilon_1^P$  または  $|x_i^* - x_i^1| < \epsilon_2^P, (i = 1, \dots, n+1)$  ならば, アルゴリズムを終了する. そうでなければ,  $x^* = x^1$  として, 2 へ進む.

以下に終了条件を変更した SDS を示す.

1.  $f(x^1) \leq f(x^2) \leq \dots \leq f(x^{n+1})$  となるように並び変える.
2.  $f(x^{n+1}) - f(x^1) < \epsilon_1^S$  または  $|x_i^{n+1} - x_i^1| < \epsilon_2^S, (i = 1, \dots, n+1)$  ならば, アルゴリズムを終了する. そうでなければ, 3 へ進む.
3.  $k = 1$  とする.
4.  $k \leq n$  ならば, 5 へ進む. そうでなければ, 9 へ進む.
5. 反射点  $\{\hat{x}^i\}_{i=n-k+2}^{n+1}$  を計算する.

$$\hat{x}^i = \bar{x} + \rho(\bar{x} - x^i) \quad i = n+1, n, \dots, n-k+2,$$

ただし,  $\bar{x}$  は  $\bar{x} = \frac{1}{n-k+1} \sum_{i=1}^{n-k+1} x^i$  で定義する.

6.  $\hat{f}$  を計算する.  

$$\hat{f} = \min_{n-k+2 \leq i \leq n+1} f(\hat{x}^i) \quad i = n+1, \dots, n-k+2,$$
7.  $\hat{f} < f(x^1)$  ならば, 8 へ進む. そうでなければ,  $k = k+1$  として 4 へ進む.
8.  $x^i = \hat{x}^i (i = n+1, \dots, n-k+2)$  として 1 へ進む.
9. 収縮点  $\hat{x}^i$  を計算し,  $x^i = \hat{x}^i (i = 2, 3, \dots, n+1)$  として 1 へ進む.

$$\hat{x}^i = x^1 + \sigma(x^i - x^1) \quad i = 2, 3, \dots, n+1$$

## 5 計算実験

SDS を MATLAB 上に実装し,  $\epsilon_{\max}, \epsilon_{\min}$  および  $t$  の値を変えて CEMS の問題を解いた. HEMS の問題は, IBM ILOG CPLEX12.5.1 を用いて解いた. 使用するデータは, 2008 年 10 月下旬から 11 月上旬に計測された 10 件の電力需要量, 温水需要量, 太陽光発電量の実データで, 対象期間を午前 1 時から午後 24 時に設定した. ただし, 太陽光発電量はすべての需要家が共通の値を使用する.  $t$  は 1, 2, 3, 4 と変化させ,  $\epsilon_{\min}$  は 0, 50, 100,  $\epsilon_{\max}$  は 50, 100, 150 と変化させた.  $\epsilon_{\min}$  は, CEMS 運用者が損をしないように  $\epsilon_{\min} \geq 0$  とした.  $H_1 = \{1, \dots, 7, 24\}, H_2 = \{8, 9\}, H_3 = \{10, \dots, 17\}, H_4 = \{18, \dots, 23\}$  とおくと,  $t=1$  のとき  $H_1 = H_1 \cup H_2 \cup H_3 \cup H_4, t=2$  のとき  $H_1 = H_1, H_2 = H_2 \cup H_3 \cup H_4, t=3$  のとき  $H_1 = H_1, H_2 = H_2 \cup H_3, H_3 = H_4, t=4$  のとき  $H_1 = H_1, H_2 = H_2, H_3 = H_3, H_4 = H_4$  と設定した. 使用した定数は  $C_1=0.008, C_2=10, C_5=0.009, x^{\min}=780, x^{\max}=1990, a=0.615, b=0.38, q^{FC0}=-205, p^{FC0}=-28, Q^{\min}=0, Q^{\max}=10467, \delta_i^{FC0}=\delta_{FC}(H+1), Q_i^0=Q(H+1), \eta^{BC}=0.9, \eta^{BD}=0.9, R^{\min}=0, R^{\max}=1000, r^{\min}=0, r^{\max}=1000, M=10000, \bar{C}=0.04$  である. 初期時刻の蓄電池の蓄電量, 貯湯タンクの蓄熱量および燃料電池の稼働状況を対象期間の終了時刻と同じにした理由は, 同じ需要パターンが毎日繰り返されることを仮定するためである.

図 3, 図 4 に最適値の推移を示す. 図 3, 図 4 より  $t$  が大きくなるにつれて, 最適値が小さくなるのがわかる. この結果は, 電力の売買価格を設定する時間帯を細かくするほうが地産地消の促進になることを示している.

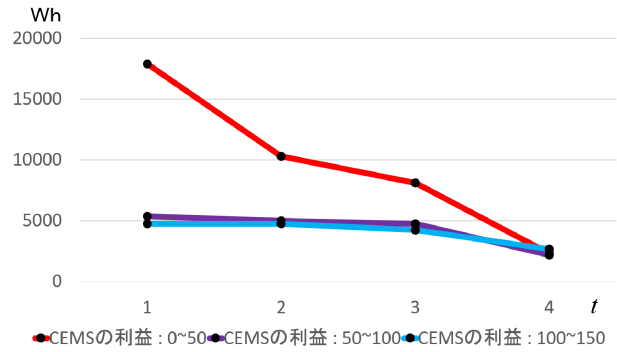


図 3 最適値の推移

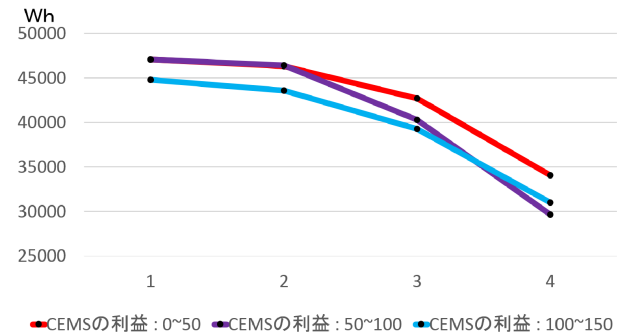


図 4 最適値の推移

## 6 おわりに

本研究は, CEMS の問題の定式化およびその解法を提案して, リアルタイム・プライシングの導入が電力の地産地消に効果的な政策であることを示した. 今後の課題として, 電力売買価格決定問題を解くためのアルゴリズムの改良がある. 本研究では, SDS と多スタート法を組み合わせ使用したため, 解を求めるのに時間を要した. 今後は, 高速かつ正確に解を求めることができるアルゴリズムを開発し, 需要家の数を増やして再度実験を試みたい.

## 参考文献

- [1] A.R. Hedar and M. Fukushima(2002): “Hybrid simulated annealing and direct search method for nonlinear unconstrained global optimization”, *Optimization Methods and Software*, Vol. 17, pp. 891-912.
- [2] 川口将吾, 金森亮, 伊藤孝行 (2012): 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の導入の影響分析, 情報処理学会研究報告.
- [3] 尾添俊介, 田中洋一, 福島雅夫 (2011): 「リコース付き確率混合整数計画法によるスマートハウスの運用最適化」, 電気学会論文誌 B, Vol. 131, No. 11, pp. 885-895.
- [4] 保田将弘: 電力価格のリアルタイム・プライシングを考慮したスマートハウス運用最適化, 南山大学大学院数情報研究科, 2013 年度修士論文, 2014.